

第1回SADワークショップ講演記録集

1998年7月7日～9日

於：高エネルギー加速器研究機構

Structural Definitions of
Beam Line & Component

Particle Tracking
6D full-symplectic tracking
Dynamic aperture survey
Synchrotron radiation

Optics Matching
 Optical/Geometrical matching
 Off-momentum matching
 Finite-amplitude matching
 Spin matching

**SADScript Programming Interface in
Mathematica Style**
 Built-in, system- and user-defined
 functions for accelerators
 SAD/Tkinter/KBFrame Tcl/Tk interface



Nonlinear Analysis
 Taylor map by automatic differentiation
 Lie algebraic map

Emittance Calculation
6D Beam-matrix method
Anomalous emittance
 Spin depolarization(SODOM)

第1回SADワークショップ講演記録集

1998年7月7日～9日

於：高エネルギー加速器研究機構

Structural Definitions of
Beam Line & Component

Particle Tracking
6D full-symplectic tracking
Dynamic aperture survey
Synchrotron radiation

Optics Matching
 Optical/Geometrical matching
 Off-momentum matching
 Finite-amplitude matching
 Spin matching

**SADScript Programming Interface in
Mathematica Style**
 Built-in, system- and user-defined
 functions for accelerators
 SAD/Tkinter/KBFrame Tcl/Tk interface



Emittance Calculation
6D Beam-matrix method
Anomalous emittance
 Spin depolarization(SODOM)

Nonlinear Analysis
 Taylor map by automatic differentiation
 Lie algebraic map

はじめに

高エネルギー加速器研究機構／総合研究大学院大学 生出勝宣
総合研究大学院大学／高エネルギー加速器研究機構 平田光司

これは1998年7月7～9日にKEKで開かれた第一回SADワークショップの記録である。

このワークショップの目的は、ホームページに書かれた次のような「開催の趣旨」から明らかであろう。

SAD (Strategic Accelerator Design) はKEKにおいて1986年以来開発が進んできた加速器設計のための汎用計算プログラムです。TRISTAN、KEKB、FFTB、ATF、JLC、NLC等多くの加速器における設計、シミュレーション、コミッショニング、改良等の作業を通じて、SADプログラムの特色や備える機能の有用性、有効性が示されると同時に、プログラム自身も当初の姿から大きく成長してきました。

多数のユーザーを有するようになった今日、関係者が一堂に会し、現在のSADプログラムの様々な利用実態を語り合いプログラムの全体像を認識すると共に、将来に向けたプログラム開発の方向性を探りたいと思います。

SADの歴史はSADホームページ

<http://www-acc-theory.kek.jp/SAD/sad.html>

に簡単に紹介されている。ここに翻訳すると：

- 1986 平田、鎌田、生出、山本、横谷によってプロジェクト始まる。
- 1987 最初のversionがHITACで動く。Lie代数計算、6次元トラッキング、ビームマトリックス法によるエミッタス計算がMAINレベルで動いていた。
- 1988 オペティックスマッチングのコードFFSができ、NLC/FFTBの最終収束系の設計に用いられた。SADという名前も定まった。
- 1989 周期的オペティックスも設計できるようにFFSが改良され、KEKBリングの最初の設計がSADを使って行われた。
- 1990 ソレノイドによるx-yカップリングが存在する場合にも使えるようにFFSが拡張された。軌道補正システムFFS/CORが開発された。
- 1992 スピン計算用プログラムSODOMが横谷によって開発され、SADとデータのやりとりができるようになった。
- 1993 HP735/755を4台使ったAhsadシステムが運用され、SADはHITACからAhsadに移行した。
- 1994 FFSにMathematica-styleのfunctionsが導入され、計算の自由度が圧倒的に

- 拡大した。TRISTANでは日常の運転にSADを使うようになった。
- 1995 AcsadのサーバーとしてDEC8000(7 CPUs)が導入された。Taylor map、ビームビーム相互作用などがSADに取り入れられた。
 - 1996 KEKBコントロール用にEPICSがSADにリンクした。トラッキングとマッチングにパラレル計算が用いられるようになり、計算が圧倒的に早くなかった。
 - 1997 SAD/FFSにPython とTkinterが埋め込まれる。これらを用いてGUIライブラリーが作られコマンドなどが簡単に参照できるようになった。Acsadは10 CPUにアップグレードされた。
 - 1998 KEKB LinacのコミッショニングにSAD/KBFrameが用いられた。

SAD以前にはKEKにおける計算コードはすべて輸入されたものであった。もっとも MAGICなど、横谷馨氏によってほぼ全面的に書き換えられて使われていたものはあるが、マッチング (MAGIC、SYNCH) 、クロマティシティー補正 (HARMONなど) 、トラッキング(PATRICIA、RACETRACK)、エミッターンス計算(PETROS)等、すべて別々のプログラムで行われていた。それぞれのコードは、それなりに良く使い込まれ、かなり信頼できるものではあったが、使われている物理モデル、近似の種類などがそれ異なるために、結果の物理的解釈がはっきりしない、というのも避けられなかった。

1985年のOHOサマースクールは「加速器と計算機」をテーマとして行われたが、その開会のあいさつで木村主幹（当時、現物質構造科学研究所長）が、「KEK独自の計算機コードが存在しないのが残念である」と述べるような状況だった。折しも横谷馨氏がスピニ偏極の計算にLie代数を用いる方法を開発し、その方法が軌道の非線形成分の摂動計算にも使えるものだったので（これ自体はEtienne Forest氏によって発見されていた）、これを用いたコードを開発する気運が高まり、それがSADへと発展していったものである。

当時の担当は、ラティスの入力フォーマット（山本）、摂動計算（横谷、平田）、トラッキング（生出）であった。エミッターンスが解らないと摂動計算もトラッキングも実用上困る、というつまらない理由からエミッターンス計算もすることになり、ビームマトリックスを用いる計算法が実用化された。

このように、当初は摂動計算がメインで、摂動計算とトラッキングの比較というかなりアカデミックな興味でSADが作られたのは、今から考えると夢のような話しだろう。（摂動計算の部分は後に行方不明になったが、誰も気にしないという不幸な運命をたどった。Differential Algebraを使ったほうが簡単であることが後に明らかとなったことにも原因がある。）

SADの本質的な飛躍はFFSによるマッチングルーティンが付け加わったことによる。リニアコライダーの最終収束系の設計を当初の目的としたため、非線形マッチングともいべき機能が与えられた。これを円形加速器にも応用したことによって、SADの驚異的なマッチング機能が生まれたものと言える。同様にx-yカップリングがある場合のマッチングが可能となり、たまたまその時期に起きたTRISTANのQCS問題を解決したことによっ

てSADの実力が広く認識されることとなった。

その後のSADの発展については本記録に述べられている通りである。SADが加速器用のプログラムとして成功しているのは、プログラム製作が常に実戦的な問題意識と結びついていたこともあるが、もうひとつ重要な点は、できるだけ現実に忠実な3次元トラッキングコードを中心に据え、悪しき「理論主義」を排したことによると思われる。とはいえ、いかなるコードも近似抜きにはあり得ず、SADも、想定された状況を越えて利用すれば、手痛い目にあうだろう。いかに優れた計算機コードと言えども、利用する人の物理学能力を越えて性能を發揮することは無く、この点で、SADの利用者はいつでも必要があればコード開発に手を出す覚悟が必要であろう。SADの将来はこの点にかかっている、と言ってよいのではないだろうか？

準備などには以下の人達の協力を得た。

組織委員会：黒川（委員長）、松本、小磯、平田

プログラム委員会：鎌田（委員長）、生出、平田

Proceedings担当：生出（編集長）、平田

参加登録者33名、この内KEKから23名、外部から10名であったが、実際には更に多くの人が非公式に参加した。参加者には、夜も含めて他の用事を入れずにこのワークショップに集中することを要求したが、夜まで熱心な討論が続き、盛況であった。SADの応用に関するセッションでは、さながら日本の先端加速器のレビューのようであり、計算コードの研究会というより、ビーム物理の研究会のようであったのは面白い現象であった。SADは加速器設計のための道具を越えて、ビームの性質を研究するビーム物理のひとつの方針を示していると言えるのではないだろうか。

プログラムリスト

1998年7月7日 (火)

セッション：SADの物理

SAD	K. Oide	1
Taylor Map analysis in SAD	K. Ohmi	29
Orbit Correction	M. Kikuchi	53
Emittance in Electron Rings	K. Hirata	65
Spin in SAD	K. Yokoya	75

1998年7月8日 (水)

セッション：SADの応用 (I)

Nonlinear Study	S. Kamada	93
Beam-Beam Interactions	K. Ohmi	109
Simulation of Electron Beam with Space Charge Force	K. Oide	123
Emittance Growth Due to Intra Beam Scattering	K. Oide	125
Synchrotron Radiation	S. Kamada	127

セッション：SADの応用 (II)

(Design Studies)

KEKB Collider	H. Koiso	149
VSX: The Future Project of VUV and Soft X-Ray High Brilliant Light Source	H. Takaki	179
Hadron Accelerators	S. Machida	211

(Simulations)

Study of 3D Laser Colling by SAD	T. Kihara	235
Wake Fields and CBI	H. Fukuma	255
Estimation of the Beam Loss in KEKB Transport Line	Y. Funakoshi	267

(Machine Studies)

SAD in ATF Operation and Study	K. Kubo	291
Detection and Correction of Machine Errors by pi-bump	S. Matsumoto	307

Comments	Y. Kamiya
----------	-----------

1998年7月9日 (木)

(Machine Study, Continued)

Mini-beta/xy coupling compensation	S. Kamada	325
Commissioning of KEKB J-Linac	H. Koiso	333

セッション：SADの応用 (III)

SAD/Tkinter, KB Frame	N. Akasaka	353
User Remote Environment	K. Furukawa	371
SAD computer system	T. Mimashi	381
SAD in Python	N. Yamamoto	391
Object Oriented Programming is SAD Script	N. Akasaka	403
SAD + C++ = SAD++?	K. Ohmi	413

セッション：SADの問題点と発展の方向

SAD Update V1.0.7.6.11b Accelerator Particles	K. Oide	429
Summary Talk 1	N. Kumagai	431
Summary Talk 2	Y. Mori	431

参加登録者一覧（順不同・敬称略）

名前	所属
生出勝宣	KEK 加速器研究施設
鎌田 進	KEK 加速器研究施設
平田光司	KEK 加速器研究施設
横谷 馨	KEK 加速器研究施設
菊池光男	KEK 加速器研究施設
小磯晴代	KEK 加速器研究施設
大見和史	KEK 物質構造科学研究所
久保 淨	KEK 加速器研究施設
福間 均	KEK 加速器研究施設
赤坂展昌	KEK 加速器研究施設
三増俊宏	KEK 加速器研究施設
古川和朗	KEK 加速器研究施設
町田慎二	KEK 加速器研究施設
山本 昇	KEK 加速器研究施設
船越義裕	KEK 加速器研究施設
Etienne Forest	KEK 加速器研究施設
木原崇博	京都大学化学研究所原子核科学研究施設
小林幸則	KEK 物質構造科学研究所放射光源研究系
上杉智教	KEK（田無分室）
増澤美佳	KEK 加速器研究施設
高嶋圭史	名古屋大学工学研究科材料プロセス工学専攻
高木宏之	東京大学物性研究所軌道放射物性研究施設
岡本宏巳	京都大学化学研究所原子核科学研究施設
野村昌弘	動燃 大洗工学センター 先進室
池上雅紀	日本原子力研究所陽子加速器研究室
熊谷教孝	Spring-8
森 義治	KEK 加速器研究施設
神谷幸秀	東大物性研
松本修二	KEK 加速器研究施設
肖 愛民	総研大
中山光一	(株) 東芝 電力・産業システム技術開発センター
John Flanagan	KEK 加速器研究施設
中村達郎	KEK 加速器研究施設

SAD

K. Oide

SAD

K. Oide

*KEK, High Energy Accelerator Research Organization
Oho, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan*

July 7, 1998

Topics:

- Overview
- Elements and Keywords
- Beam line
- Transformation
- Optical functions
- Matching
- Extension of SAD

Thank to

SADists:

N. Akasaka	(KBFrame, Tkinter, CA)
K. Hirata	(LIE, Emittance)
M. Kikuchi	(Orbit correction)
S. Kuroda	(4 by 4 normalization)
K. Ohmi	(Beam-beam, Taylor map)
K. Oide	(FFS, Emittance, Tracking, SADScript, Plot, Tkinter)
N. Yamamoto	(MAIN, CA, Python)
K. Yokoya	(LIE, SODOM)

Power Users/Advisors:

E. Forest	(Fringe, map, etc.)
H. Fukuma	(TRISTAN, KEKB)
Y. Funakoshi	(TRISTAN, KEKB)
S. Kamada	(TRISTAN, RADLIGHT)
H. Koiso	(KEKB)
K. Kubo	(ATF)
S. Matsumoto	(TRISTAN, KEKB, ATF)
J. Urakawa	(ATF)

SAD System Managers:

K. Furukawa
T. Mimashi
K. Oide
N. Yamamoto

Directors of KEK:

Y. Kimura
S.-I. Kurokawa
H. Sugawara
K. Takata
Y. Watase
Y. Yamazaki

SAD 1986 - 1998

MAIN [山本 1987]
definition of lattice/element

LIE [廣瀬・平井 1987]
Lie Algebra

TRACK

[生田 1987]
particle tracking
dynamic aperture
radiation/space charge

EMIT

[1988 生出・平田]
emittance by beam matrix
intrabeam scattering
anomalous emittance

BEAMBEAM

[大見 1995]
strong-weak beam-beam
effect

RADIATION

[生出・鎌田 1996]
synchrotron radiation light
in time domain

SODOM

[横谷 1993]
spin optics

SADScript

[生出 1994]
interpreter language in
Mathematica © style
over 250 functions

CA

[山本・赤坂 1997]
EPICS channel
access

PLOT

[生出 1995]
TopDrawer/CanvasDrawer
ListPlot / FitPlot
OpticsPlot / Plot
ListBirdsEyePlot

FFS

[生田 1988]
command interpreter for
optics/geometry matching
off-momentum matching
finite amplitude matching
wakefield optics

Tkinter

[生出・赤坂 1997]
Tcl/Tk interface

COR

[箭道 1990]
orbit correction

Amoeba

[生出 1996]
simplex method

CorrectOrbit

[箭道 1994]
orbit correction package

DA

[大見 1996]
Taylor map

more packages

Elements and Keywords

Definition Syntax:

Main Level:

```
element-type element = (keyword = expr. ...)  
element1     = (keyword = expr. ...)  
... ;
```

Example:

```
QUAD QF1 = (L = 0.5 K1 = 0.1)  
QD1 = (L = 0.5 K1 = -0.1);
```

Function: (FFS SASEnt) SAScript main program

```
SetElement[element, type, { keyword->value, ...}]
```

Example:

```
SetElement["QF1", "QUAD", {"L"->0.5, "K1"->0.1}];
```

element		keywords
APERT	aperture	COUPLE DP DX1 DX2 DY1 DY2 JDPX JDPY
BEAMBEAM	beam-beam	AX AY AZ BX BY COUPLE DP DPX DPY DX DY DZ EMITX EMITY EPX EPY EX EY NP R1 R11 R12 R13 R14 R15 R16 R2 R22 R23 R24 R25 R26 R3 R33 R34 R35 R36 R4 R44 R45 R46 R55 R56 R66 SIGZ SLICE STURN XANGLE ZPX ZPY ZX ZY
BEND	dipole	ANGLE COUPLE DISFRIN DISRAD DX DY E1 E2 EPS F1 FRINGE KO K1 L RANKICK ROTATE
CAVI	rf cavity	COUPLE DPHI DX DY FREQ HARM L LWAKE PHI RANPHASE RANVOLT ROTATE TWAKE V02 V1 V11 V20 VOLT
COORD	coordinate transformation	CHI1 CHI2 CHI3 COUPLE DIR DX DY DZ
DECA	decapole	COUPLE DISFRIN DISRAD DX DY K4 L ROTATE
DODECA	dodecapole	COUPLE DISFRIN DISRAD DX DY K5 L ROTATE

Table 1: Keywords of SAD elements.

element		keywords
DRIFT	drift space	COUPLE DISKIN L RADIUS
INS	insertion	AX AY BX BY COUPLE DIR DPX DPY DX DY EPX EPY EX EY PSIX PSIY R1 R2 R3 R4
MAP	external map	COUPLE
MARK	marker	AX AY AZ BX BY COUPLE DDP DP DPX DPY DX DY DZ EMITX EMITY EPX EPY EX EY GEO JDPX JDPY JDPZ JDX JDY JDZ OFFSET PSIX PSIY R1 R2 R3 R4 SIGZ
MONI	monitor	COUPLE DX DY OFFSET ROTATE
MULT	universal multipole	CHI1 CHI2 COUPLE DISFRIN DISRAD DPHI DX DY DZ EPS F1 F2 FREQ FRINGE HARM KO K1 K10 K11 K12 K13 K14 K15 K16 K17 K18 K19 K2 K20 K21 K3 K4 K5 K6 K7 K8 K9 L PHI RADIUS ROTATE SK0 SK10 SK11 SK12 SK13 SK14 SK15 SK16 SK17 SK18 SK19 SK2 SK20 SK21 SK3 SK4 SK5 SK6 SK7 SK8 SK9 VOLT W1

Table 2: Keywords of SAD elements (cont'd).

OCT	octupole	COUPLE DISFRIN DISRAD DX DY K3 L ROTATE
PHSROT	phase space rotation	AX AY AZ B11 B12 B13 B14 B15 B16 B22 B23 B24 B25 B26 B33 B34 B35 B36 B44 B45 B46 B55 B56 B66 BX BY BZ COUPLE D11 D12 D13 D14 D15 D16 D21 D22 D23 D24 D25 D26 D31 D32 D33 D34 D35 D36 D41 D42 D43 D44 D45 D46 D51 D52 D53 D54 D55 D56 D61 D62 D63 D64 D65 D66 DP DZ EMITX EMITY EMITZ EPX EPY EX EY JDPY JDY PSIX PSIY PSIZ R1 R2 R3 R4 SIGZ ZPX ZPY ZX ZY
QUAD	quadrupole	ACHROMA COUPLE DISFRIN DISKIN DISRAD DX DY EPS F1 F2 FRINGE K1 L ROTATE
SEXT	sextupole	COUPLE DISFRIN DISRAD DX DY K2 L ROTATE
SOL	solenoid	BOUND BZ CHI1 CHI2 CHI3 COUPLE DBZ DPX DPY DX DY DZ F1 GEO L
TCAVI	transverse cavity	COUPLE DX DY FREQ HARM KO L LWAKE PHI RANKICK RANPHASE ROTATE TWAKE

Table 3: Keywords of SAD elements (cont'd).

overlapped element

In the real world, many elements are placed overlapping to each other. For instance,

- quadrupoles in nonuniform solenoid (e.g. Belle & QCS).
- Quads, dipoles, solenoids on accelerating structure (e.g. Linac).

Though these components can be expressed using **SOL** and **MULT** in the current version of SAD, they are uneasy to handle.

A **BEND** element with “multipoles” or acceleration is not possible to express yet. Even it is not impossible to define “multipoles” in the curved coordinate, but it will be impractical to use such quantity for magnet measurements which are usually done in Cartesian system.

Beam Line

Definition Syntax:

Main Level:

LINE *beamline* = (*element1*, *element2*, ...);

Example:

LINE L1 = (START QF1 QD1);

Function: *beamline* の定義

BeamLine[*element1*, *element2*, ...]

Example:

l = BeamLine["START", "QF1", "QD1"];
FFS["USE l"]; *expand l*

FFS["lattice"]; *lattice*

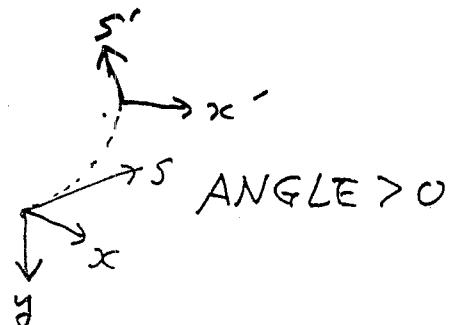
construction of beam line

A beam line is a series of elements.

- Elements are appended to the previous one, with the local coordinate at the exit of the previous element.

- A BEND element rotates the local coordinate according to its value of ANGLE.
- A general coordinate transformation is possible by COORD element.

local coordinate



- The local coordinate is a right-hand system.
- The *s*-axis points the direction of the beam line.
- A BEND element rotates the local coordinate around the *y*-axis by $-\text{ANGLE}$, when ROTATE is zero.
- For any elements, the keyword ROTATE rotates the element (and the local coordinate) around the local *s*-axis by $-\text{ROTATE}$ at the entrance, and rotates back at the exit.
- The rotation is done after taking out the offset given by (DX, DY) at the entrance, and before resetting the offset at the exit.
- At the entrance of SOL the coordinate is automatically set to the axis of SOL. At the exit it resets to the design orbit. In both cases, The angle χ_3 (see below) is set to zero after the transformation.

geometry coordinate

The relation between the local coordinate (x, y, s) at each element and the global geometric coordinate (ξ, η, ζ) is shown by DISPLAY GEOMETRY (abbrev. DISP G) command.

- The global coordinate defaults its origin at the beginning of the beam line, and the axes are $(\xi, \eta, \zeta) = (s, -x, -y)$.
- The global coordinate can be changed by ORG command.

The rotation of the local coordinate is expressed by three angles as shown in Fig. 1.

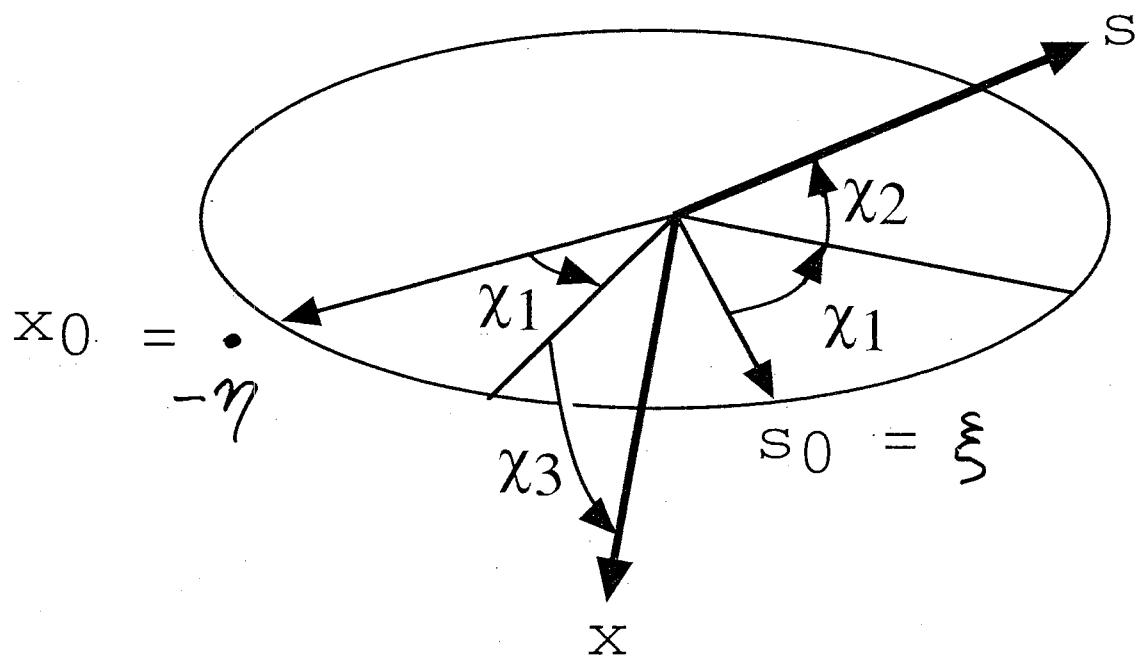


Figure 1: Rotation of the local coordinate is expressed by angles χ_1 , χ_2 , and χ_3 .

coordinate and orbit

- The coordinate and the orbit are different things.
- In usual cases the coordinate is placed on the design orbit, but they become different by using SOL, misaligned elements, elements with K0 as the “design”, or COORD elements.
- To avoid confusion, there is a flag GEOFIX (default: OFF).
- When GEOFIX is ON, the coordinate is fixed by changing alignment, etc.
- The design momentum $p_0(s)$ works as a part of the coordinate system.
- GEOFIX also fixes $p_0(s)$. This is important in a linac.

Transformation

Different transformations are used in TRACK, EMIT, and FFS. FFS uses the same routines for orbit and matrix calculation as EMIT's, but uses its 4 by 5 submatrix for the optics parametrization.

	TRACK	EMIT	FFS
orbit tracking	6D symplectic	6D symplectic	6D symplectic
matrix	—	6D	4 by 5
radiation loss	when RAD	when RADCOD	—
rad. diffusion	classical(TRPT), Gaussian(RING)	as beam matrix	—
acceleration	OK	OK	OK
wake field	(obsolete)	—	OK
space charge	static approx.	—	—
intrabeam	—	beam matrix	—

Table 4: Comparison of transformations in TRACK, EMIT, and FFS.

DRIFT

Transformation in DRIFT is done analytically (without parallel or ultra-relativistic approximations).

BEND

- The body of BEND is treated analytically even with the edge angles, when K1 is zero.

- The non-analytic part consists of the linear fringe (leak of the field from the edge), nonlinear fringe at the first order, and field index (K_1).

The entire transformation is:

(rotation errorによるキツツ)

(drift to the entrance face)

$$x_2 = x_1 / (\cos(\psi_1) - \sin(\psi_1) (p_{x1}/p_{z1}))$$

$$p_{x2} = p_{x1} \cos(\psi_1) + p_{z1} \sin(\psi_1)$$

$$y_2 = y_1 + (p_{y1}/p_{z1}) x_2 \sin(\psi_1)$$

$$z_2 = z_1 - (p_1 / p_{z1}) x_2 \sin(\psi_1) ,$$

where $\psi_1 = \text{ANGLE} * E_1$;

(linear fringe at entrance face)

$$x_2 = x_1 + dxfr (p_1 - p_0)/p_1$$

$$p_{y2} = p_{y1} + dyfr y_1/p_1^2$$

$$z_2 = z_1 + (dxfr p_{x1} + dyfr y_1^2/(2 p_1))/p_1$$

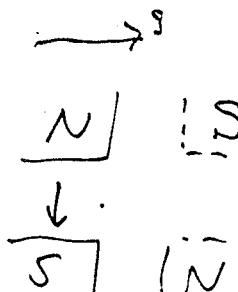
where $dxfr = F_1^2/(24 \rho_{ob})$,

$$dyfr = F_1/(6 \rho_{ob}^2) ,$$

$$\rho_{ob} = L' / (\text{ANGLE} + K_0) ,$$

$$L' = L - (\text{ANGLE} F_1)^2 / (24 L)$$

$$* \sin(\text{ANGLE} (1 - E_1 - E_2)/2) / \sin(\text{ANGLE}/2)$$



(nonlinear fringe at entrance)

$$x_2 = x_1 + y_1^2 p_1^2 / (2 \rho_{ob} (p_1^2 - p_{x1}^2)^{(3/2)})$$

$$p_{y2} = p_{y1} - p_{x1} y_1 / (p_1 \rho_{ob} \sqrt{p_1^2 - p_{x1}^2})$$

$$z_2 = z_1 - p_{x1} y_1^2 p_1 / (2 \rho_{ob} (p_1^2 - p_{x1}^2)^{(3/2)})$$

(body of bend)

$$\begin{aligned} p_{x2} = & -\rho_0 / \rho_{ob} (\sin(\psi_2) + \sin(\omega + \psi_1)) \\ & + \sin(\omega) p_{z1} + \cos(\omega) p_{x1} \\ & - x_1 / \rho_{ob} \sin(\omega) \end{aligned}$$

```

x2 = x1 cos(omega)
    + rhob (pz2 - cos(omega) pz1 + sin(omega) px1)
    + rho0 (cos(omega+psi1) - cos(psi2))
y2 = y1 + py1/sqrt(p1^2 - py1^2) s
z2 = z1 - s p1/sqrt(p1^2 - py1^2) + v1/v0 L'
where rho0 = L'/ANGLE
      omega = ANGLE - psi1 - psi2
      s      = rhob ANGLE (arcsin(px1/sqrt(p1^2 - py1^2))
                           - arcsin(px2/sqrt(p2^2 - py2^2)) + omega)

```

(nonlinear fringe at exit)

```

x2 = x1 - y1^2 p1^2/(2 rhob (p1^2 - px1^2)^(3/2))
py2 = py1 + px1 y1/(p1 rhob sqrt(p1^2 - px1^2))
z2 = z1 + px1 y1^2 p1/(2 rhob (p1^2 - px1^2)^(3/2))

```

(linear fringe at entrance face)

```

x2 = x1 - dxfr (p1 - p0)/p1
py2 = py1 + dyfr y1/p1^2
z2 = z1 + (-dxfr px1 + dyfr y1^2/(2 p1))/p1

```

(drift from the exit face)

```

px2 = cos(psi2) px1 + sin(psi2) pz1
x2 = x1 (cos(psi2) + px2/pz2 sin(psi2))
y2 = y1 + py2/pz2 x1 sin(psi2)
z2 = z1 - x1 sin(psi2) p2/pz2
where psi2 = ANGLE * E2;

```

If K1 is nonzero, the effects from E1 and E2 are approximated by thin quadrupoles. Then the body is subdivided into

1 + Floor[Sqrt[Abs[K1 L']/(12 10^-5 EPS)]]

slices

QUAD

- As there is no analytical solution of the transformation for the body of a quadrupole, SAD splits the Hamiltonian into the linear and residual nonlinear parts.
- A quadrupole body is sliced, and for each slice, the linear part is tracked analytically, and the residual part is applied as a kick:

(nonlinear fringe at entrance)

canonical transformation by a generating function

$$\begin{aligned} G(x_1, px_2, y_1, py_2, p_1) \\ = H_0(x_1, px_2, y_1, py_2, p_1) \\ + (D[H_0, x_1] D[H_0, px_2] + D[H_0, y_1] D[H_0, py_2]) / 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{where } H_0 &= px_2 dx_1 + py_2 dy_1 \\ dx_1 &= x_1 (a/3 + b) \\ dy_1 &= -y_1 (a + b/3) \\ a &= K_1 x_1^2/p_1/4 \\ b &= K_1 y_1^2/p_1/4 . \end{aligned}$$

(linear fringe at entrance)

$$\begin{aligned} px_2 &= \exp(-a) px_1 \\ py_2 &= \exp(a) py_1 \\ x_2 &= \exp(a) x_1 + b px_1 \\ y_2 &= \exp(-a) y_1 - b py_1 \\ z_2 &= z_1 - (a x_1 + b (1 + a/2) px_2) px_1 \\ &\quad + (a y_1 + b (1 - a/2) py_2) py_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{where } a &= -K_1 F_1 \text{abs}(F_1) / (24 p_1 L) \\ b &= K_1 F_2 / L . \end{aligned}$$

F1 and F2 are parameters to characterize the slope of the field at the edges defined as:

$$\begin{aligned} F1 &= \text{SIGN}(\text{Sqrt}[a], a), \quad a = 24(I_0^2/2 - I_1), \\ F2 &= I_2 - I_0^3/3 \end{aligned}$$

with

$$I_n = \text{Integrate}[(s-s0)^n K1[s]/K1_0, \{s, -\text{Infinity}, \text{Infinity}\}],$$

(body of quad)

The body is subdivided in

$$n = 1 + \text{Floor}[10 \text{Abs}[(K1 L)/EPS]]$$

(EPS = 1 is used when EPS = 0),

then a transversely linear transformation

$\exp(:H:)$ is done in each slice with

$$\begin{aligned} H &= ((-p + (px^2 + py^2)/(2 p) + E/v_0) L \\ &\quad + K1 (x^2 - y^2)/2)/n . \end{aligned}$$

Between slices applied is the correction $\exp(:dH:)$ for the kinematical term with

$$\begin{aligned} dH &= (-\sqrt{p^2 - px^2 - py^2} + p \\ &\quad - (px^2 + py^2)/(2 p)) L/n . \end{aligned}$$

In a solenoid, the forms of H and dH are modified.

(linear fringe at exit)

$$px2 = \exp(a) px1$$

$$py2 = \exp(-a) py1$$

$$x2 = \exp(-a) x1 + b px1$$

$y_2 = \exp(a) y_1 - b p_{y1}$
 $z_2 = z_1 + (a x_1 - b (1 - a/2) p_{x2}) p_{x1}$
 $\quad - (a y_1 - b (1 + a/2) p_{y2}) p_{y1}$
 where $a = -K_1 F_1 \text{abs}(F_1)/(24 p_1 L)$
 $b = K_1 F_2/L$.

(nonlinear fringe at exit)

canonical transformation by a generating function

$$\begin{aligned}
 G(x_1, p_{x2}, y_1, p_{y2}, p_1) \\
 &= H_0(x_1, p_{x2}, y_1, p_{y2}, p_1) \\
 &\quad + (D[H_0, x_1] D[H_0, p_{x2}] + D[H_0, y_1] D[H_0, p_{y2}])/2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{where } H_0 &= p_{x2} dx_1 + p_{y2} dy_1 \\
 dx_1 &= x_1 (a/3 + b) \\
 dy_1 &= -y_1 (a + b/3) \\
 a &= -K_1 x_1^2/p_1/4 \\
 b &= -K_1 y_1^2/p_1/4
 \end{aligned}$$

SEXT, OCT, DECA, DODECA

The transformation in a $2(n+1)$ -pole is given as

$$\begin{aligned}
 &\exp(:F_{in}:) \exp(:a L:) \exp(:H_n/2:) \exp(:b L:) \\
 &\quad * \exp(:V_n:) \exp(:a L:) \exp(:H_n/2:) \exp(:b L:) \exp(:F_{out}:),
 \end{aligned}$$

where L and H_n are Hamiltonians of a drift of length L and a thin $2(n+1)$ -pole kick of integrated strength K_n :

$$H_n = K_n/(1+n)! \operatorname{Re}((x - I y)^{(1+n)}) ,$$

respectively. The coefficients are $a = 1/2 - 1/\sqrt{12}$ and $b = 1/2 - a$.

Terms $\exp(:Fin:)$ and $\exp(:Fout:)$ are transformations for entrance and exit nonlinear fringes.

The term $\exp(:Vn:)$ is a correction to adjust the third-order terms in L:

$$Vn = (\text{SUM over } j=(x,y), k=(x,y)) [- \beta/2 (Hn,k)^2 + \gamma (Hn,j Hn,k Hn,j,k)] ,$$

where ,i represents the derivative by x or y.

We have also introduced two coefficients $\beta = 1/6 - 1/\sqrt{48}$ and $\gamma = 1/40 - 1/24/\sqrt{3}$.

CAVI

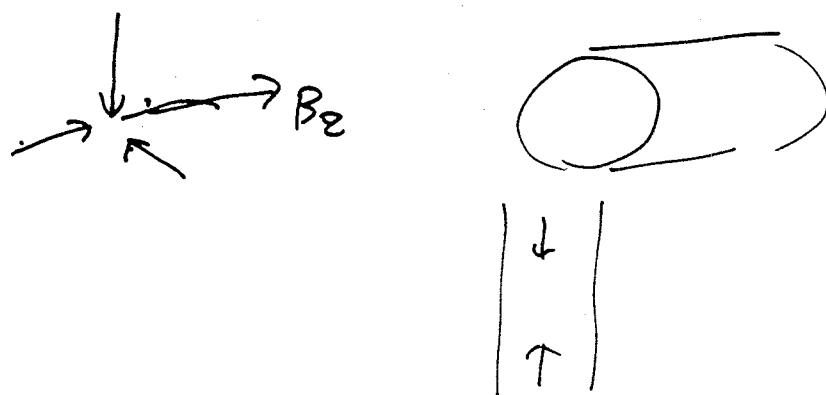
- CAVI simulates an accelerating structure. It is basically a thin acceleration. When its length L is specified, CAVI is sliced into pieces, consisting drifts and thin accelerations.
- It does not represent any realistic field pattern or “rf fringe field” .

MULT

- **MULT** is a universal element to express an overlapped elements with multipoles and acceleration.
- The basic idea of the transformation is same as QUAD: Divide the body into slices, solve linear term analytically, correct nonlinear by kicks.

SOL

- The basic characteristics of the transformation of elements above are applicable when an element is placed within a solenoid field, if the body of the solenoid field is constant.
- Since **SOL** only accepts a constant B_z , when the solenoid field is non-uniform in s , one have to prepare a deck with many solenoids.
- The fringe field of the solenoid is applied automatically, as the continuity of the canonical momenta.



Optical Functions

In FFS, optics are represented by 20 optical functions listed in Table 5. Note that FFS calculates only 4 by 5 optics.

function		function	
AX	α_X	AY	α_X
BX	β_X	BY	β_Y
NX	ψ_X	NY	ψ_Y
EX	η_X	EY	η_Y
EPX	η_{PX}	EPY	η_{PY}
R1	r_1	R2	r_2
R3	r_3	R4	r_4
DX	x	DY	y
DPX	p_x	DPY	p_y
DZ	z	DDP	Δp

Table 5: Optical functions in FFS. The notation assumes the momenta $(p_x, p_y, \Delta p)$ to be normalized by the local design momentum $p_0(s)$.

The transformation from the physical coordinate to the normal coordinate is given by

$$\begin{pmatrix} X \\ P_X \\ Y \\ P_Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mu & 0 & -r_4 & r_2 \\ 0 & \mu & r_3 & -r_1 \\ r_1 & r_2 & \mu & 0 \\ r_3 & r_4 & 0 & \mu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ p_x \\ y \\ p_y \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \eta_X \\ \eta_{PX} \\ \eta_Y \\ \eta_{PY} \end{pmatrix} \Delta p , \quad (1)$$

where $\mu^2 + (r_1 r_4 - r_2 r_3) = 1$.

acceleration

When the design coordinate involves acceleration such as in a linac, the parametrization is done for a scaled coordinate:

$$\left(x/\sqrt{\beta\gamma(s)}, p_x\sqrt{\beta\gamma(s)}, y/\sqrt{\beta\gamma(s)}, p_y\sqrt{\beta\gamma(s)} \right)$$

where $\beta\gamma(s) = p_0(s)/(mc)$. Note that above is still a symplectic variables. The resulting Twiss parameter gives the usual relation:

$$\langle x(s)^2 \rangle = \beta_x(s)\varepsilon_x(s), \text{ etc.},$$

being $\varepsilon_x(s)$ the physical emittance at s .

physical dispersion

The dispersion functions in Eq. 1 are dispersion in the normal coordinate. Sometimes the physical dispersions

$$\begin{pmatrix} \eta_x \\ \eta_{px} \\ \eta_y \\ \eta_{py} \end{pmatrix} \equiv \begin{pmatrix} \mu & 0 & r_4 & -r_2 \\ 0 & \mu & -r_3 & r_1 \\ -r_1 & -r_2 & \mu & 0 \\ -r_3 & -r_4 & 0 & \mu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \eta_X \\ \eta_{PX} \\ \eta_Y \\ \eta_{PY} \end{pmatrix}$$

are more convenient. The physical dispersions are denoted by PEX, PE_{PX}, PEY, PE_{PY}, respectively.

Matching

Matching of optics by SAD/FFS has the following characteristics:

- Using multi dimension, multi variable Newton's method with Singular Value Decomposition (SVD) as the main method, supplemented by the steepest descent method.
- appropriate choice of functions. For instance, matches $\log \beta_x$ instead of β_x .
- matches geometry of a beam line together with optical functions.
- fuzzy logic to determine the local minimum and switching the methods.
- off-momentum matching.
- finite-amplitude matching.
- boosted by various SADScript functions.

Newton's method with SVD

- For matching functions f_i and variables x_k , solve

$$\Delta f_i = \sum_k \frac{\partial f_i}{\partial x_k} \Delta x_k , \quad (2)$$

using SVD.

- Search the minimum along the vector Δx_k using prediction with cubic interpolation.
- The derivatives are obtained either analytically or numerically.

SADScript functions used in matching

Mathing by FFS has become more powerful by using various SADScript functions:

name	purpose
ElementValues	to specify dependences between variables
FitFunction	to match any number of any function
FitValue	to change the goal; to set minimum or maximum of the function.
FitWeight	to change the weight of functions
InitialOrbits	to set the initial condition of many orbits
MatchingAmplitude	finite-amplitude matching
OpticsEpilog	to do additional task after calculation.
OpticsProlog	to do additional task before calculation
VariableRange	to set the range of variables

Table 6: SADScript functions for matching.

off-momentum matching

Off-momentum matching is the method of chromaticity correction in SAD.

- If a matching condition is give as

$$\text{function value } n ,$$

matching is done for $n = 2m + 1$ off-momentum points

$$\Delta p = \text{DP0} + \text{DP } k/m \quad (k = -m, m) , \quad (3)$$

when n is odd.

- When $n = 2m$ is even, the off-momenta are same as the case $n = 2m + 1$, Eq. 3, but the $k = 0$ is excluded.
- The function `FitValue` can change the goal value of matching for each momentum.
- FFS uses no perturbation to calculate the off-momentum optics.

finite-amplitude matching

Finite-amplitude matching is an extension of off-momentum matching to the transverse phase space.

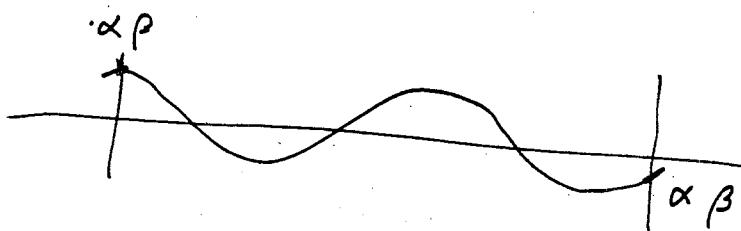
$$\text{MatchingAmplitude} = \{\{\Delta p_1, n_x, n_y\}, \dots\};$$

sets matching conditions for the orbits on $\Delta p = \Delta p_1$, with initial offset

$$(x, p_x, y, p_y) = \begin{cases} (x_k \cos \phi_x, x_k \sin \phi_x, 0, 0) \\ (0, 0, y_k \cos \phi_y, y_k \sin \phi_y) \end{cases}, \quad (4)$$

where $\phi_{x,y} = (0, 2\pi/3, 4\pi/3)$ and $(x_k, y_k) = (n_x, n_y) \sqrt{2\beta_{x,y}(\varepsilon_x + \varepsilon_y)}$.

- The orbits with the initial offsets never close at the end of the ring, but it is just ignored.
- x - y coupled initial conditions can be given by Initial Orbit.



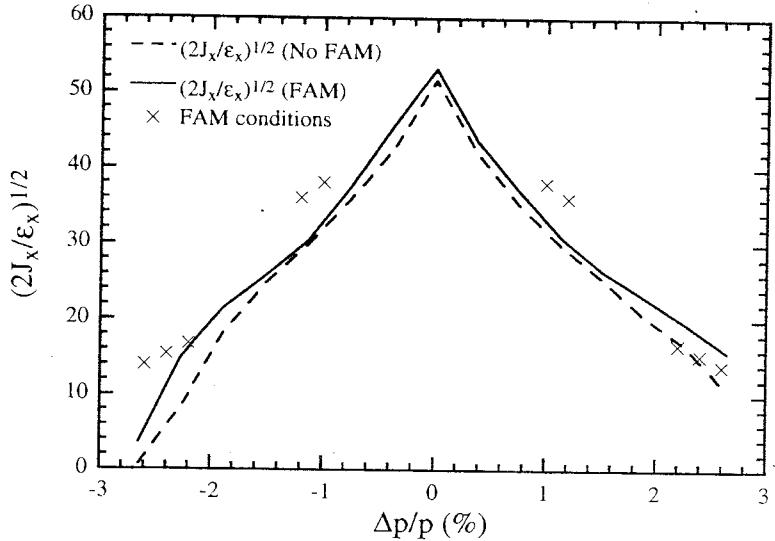


Figure 2: Effect of the finite-amplitude matching(FAM) method. The dashed and solid lines show the dynamic apertures, averaged over 100 samples, before and after FAM, respectively. The FAM orbits are shown by markers (Oide, Koiso, Ohmi, 1996).

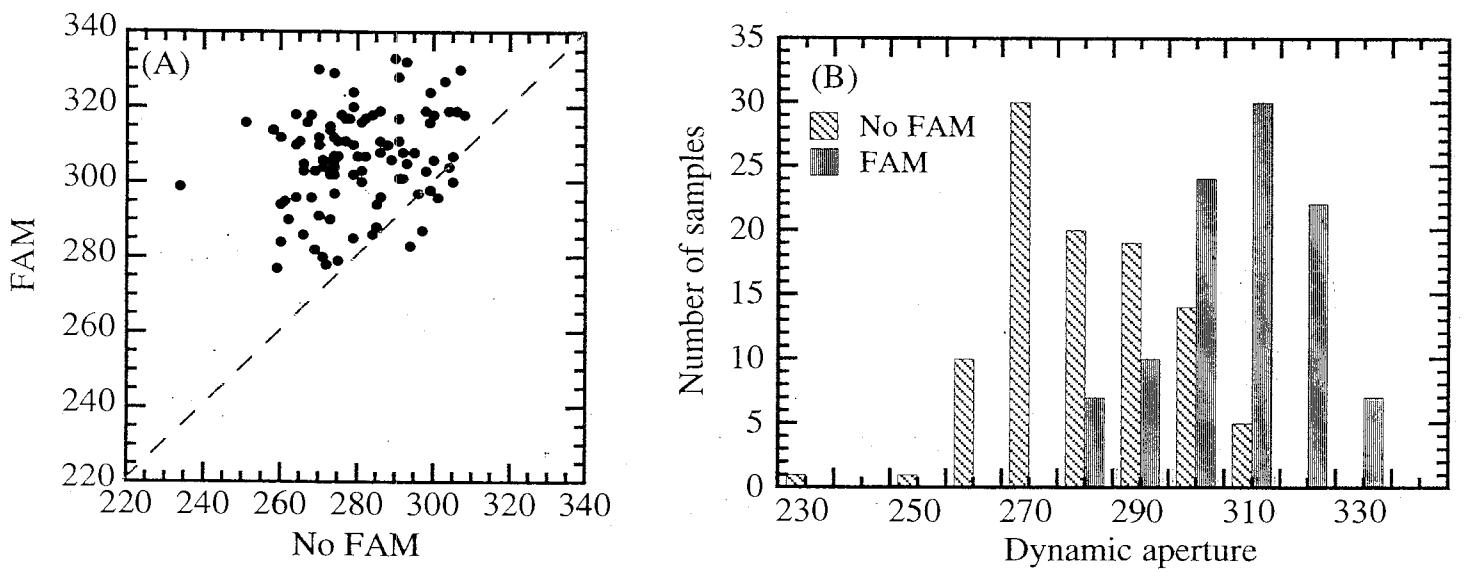


Figure 3: (A): Comparison of the dynamic aperture before/after FAM for 100 samples of sextupole settings. (B): Distribution of the dynamic apertures (Oide, Koiso, Ohmi, 1996).

Extension of SAD

There are several ways to extend SAD for match one's needs. What follows are list of them, from easier to harder.

- Write your own SADScript functions. This is the easiest unless you need very fast simulation.
- If you need hard simulation, but if the interaction between SAD is small, write an interface to your code in SADScript. This is easy, too. This was done for DA Taylor map and E. Forest's code, or to import results of TRANSPORT. It would be also done to revitalize SODOM.
- Write a new compiled function for SADScript. This is hard, but the rules are not so many.
- Add a new element for SAD. You have to write different routines for tracking, emittance, and matching.

These difficulties will be solved in various ways, hopefull not much far from now.

Taylor map analysis SAD

K. Ohmi

Taylor map analysis in SAD

K.OHMI

KEK-IMSS

平成 10 年 7 月 6 日

概要

A differential algebra (DA) class library has been developed by using the program language C++.

This paper shows how the library is designed and can be used.

1 Introduction

世の中の現象を数式で表そうとした場合、ある基準の量からのずれをとり、そのずれに対して、方程式を立てるという方法がよく使われる。加速器中の粒子の運動を調べる際も、その方法に従って行われている。まず粒子を通そうとする軌道(基準軌道)に対して座標系を張る。粒子の運動はその座標系の上で、すなわち基準軌道からのずれによって表現される。その系での粒子の座標は微小量として考えることができ、ある時刻($t = t_0$)での粒子の座標を $\mathbf{x}_0 = (x_0, p_{x0}, y_0, p_{y0}, z_0, p_{z0})$ とすると、別の時刻($t = t$)での座標 $\mathbf{x} = (x, p_x, y, p_y, z, p_z)$ は初期値の関数で表される ($\mathbf{x} = f(\mathbf{x}_0)$)。ここで基準軌道が実際の粒子の軌道に一致していれば、 $\mathbf{x}(0) = 0$ であるが、誤差などで、一致していない場合は $\mathbf{x}(0) = \mathbf{a} \neq 0$ である。円形加速器で 1 周後の粒子の位置はやはり初期値の関数で与えられ、 $\mathbf{x}(C) = f_{rev}(\mathbf{x}(0))$ で表せる。一方、粒子の運動は形式的に

$$\mathbf{x} = T \exp \left(\int_{t_0}^t : H(t') : dt' \right) \mathbf{x}_0 \quad (1)$$

で表される。ここで $: A : \mathbf{x} = [A, \mathbf{x}]$ 、 $[,]$ はポアッソンブラケットである。よく元の位置 $\mathbf{x}(0)$ を 1 周後の $\mathbf{x}(C)$ への写像(Map)という言い方をし、 $\mathbf{x}(C) = \mathcal{M}\mathbf{x}(0)$ という表し方をするが、実体は関数 f であり、ハミルトニ

アンによる移送 $T \exp(-\int : H : dt)$ である。関数 $f(\mathbf{x})$ はハミルトニアンによる移送であることから以下のよう
な制限がつく。

$$[f_i(\mathbf{x}), f_j(\mathbf{x})] = S_{ij} \quad (2)$$

ここで

$$S = \begin{pmatrix} S_2 & 0 & 0 \\ 0 & S_2 & 0 \\ 0 & 0 & S_2 \end{pmatrix} \quad S_2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

この f に対する条件をシンプレクティック（正準）条件
といい、位相空間体積の保存（リュウビリ）の定理と対応
している。

f の実体は一般には複雑な関数である。線形要素だけ
で加速器が構成されていれば定数行列で表すことができる。
非線形要素が入ると、その要素だけの写像位ならま
あなんとか 1 つの関数で書けるが、リング 1 周分を 1 つの
関数で表現するのは現実的でないことは容易にわかる。
そこで粒子の位置は微少量と位置づけられているので、
 $f(\mathbf{x})$ を \mathbf{x} に関して Taylor 展開するという考えがでてくる。
その Taylor 展開した map、 f_T を Taylor map とい
う。具体的に Taylor map を扱うためにある次数 (n 次と
する) までで近似することが行われる。有限次数の多項
式は代数を形成し、多項式の係数は微分係数と定数をの

ぞいて同じなので、Differential Algebraとも呼ぶ。以下で DA という言葉が出てくるが多項式と言うことと同義である。n 次でうち切ることで、シンプレクティック条件、式(2)は n 次までしか成り立たなくなってしまう。たとえばその Taylor map を使って、何周ものトラッキングを行った場合、誤差がたまって、位相空間情報が歪んでしまう。ダイナミックアパーチャを調べるときなどは位相空間体積がしらべている周回において、近似的に保存していないと、意味ある結果が得られない。そのためトラッキングに使うには注意が必要である。n 次まで同じでより高次でシンプレクティック条件を満たすような工夫もあるが、ここでは行われていない。

n 次までの Taylor map を計算機で扱う方法について述べよう。ある時刻 ($t = t_0$) での粒子の座標を $x_0 = (x_0, p_{x0}, y_0, p_{y0}, z_0, p_{z0})$ とすると、別の時刻 ($t = t$) での座標 $x = (x, p_x, y, p_y, z, p_z)$ は初期値を使って、

$$x_i = f_i(x_0) = a_i^0 + a_{ij}^1 x_{0,j} + a_{ijk}^2 x_{0,j} x_{0,k} \dots \quad (4)$$

という多項式で表すことができる。計算機にのせる実体は $a_{i \dots v}^m$ を一次元配列にしたものである。要素の数は v 変数、n 次まで ${}_{n+v} C_v$ である。要はこの配列同士の演算を行なえばよい。通常のプログラム言語を使うといくつかの配列を渡し、配列を受け取るという形式になるのだ

が、C++を用いて、この配列を多項式 daというオブジェクトとし、オブジェクト間の演算を演算子オーバーロードを使うことにより、通常の四則演算記号 + - * / および通常の3角関数、対数関数 sin log exp を使って表すことができる。

以下、Sec.2で DA class library について述べる。これは加速器はもちろん力学以外にも利用できる。Mathematica の多項式限定版とおもえばよいだろう。Sec.3では力学を念頭において class map について述べる。

2 DA class Library

多項式を表わすものとして、クラス da がある。この実体は先に述べたように double の配列であり、宣言時に考慮している変数の数、次数に応じてメモリーが動的に確保される。mathematicaに対し多項式のみの扱いで、機能は限定されるが、多項式の係数のみに注目して数値計算しているので、mathematicaに比べ非常に高速である。

まず class da を定義しているヘッダーファイル (dacpp.h) の抜粋を以下に示す。

```

// dacpp.h

#ifndef DACPP_H
#define DACPP_H
#include <iostream.h>
#include "da_init.h"

extern int N_ord,N_var,L_vec,N_cv;

class da
{
    double* v;
public:
    da(void);
    da(const da&);
    da(double* z) {v=z; }

    friend ostream& operator<<(ostream&,da&);

    da& operator=(const da&);
    da& operator=(const double);
    da& operator=(const char*);
    da& operator+(void) {return(*this);}
    da operator-(void);

    da& operator+=(const da&);
    da& operator-=(const da&);
    da& operator*=(const da&);
    da& operator/=(const da&);

    friend da operator+(const da&,const da&);           da+da
    friend da operator+(const da&,const double);          da+double
    friend da operator+(const double,const da&);          double+da
    friend da operator-(const da&,const da&);            da-da
    friend da operator-(const da&,const double);          da-double
    friend da operator-(const double,const da&);          double-da

    friend da operator*(const da&,const da&);

```

```

friend da operator*(const double,const da&);
friend da operator*(const da&,const double);
friend da operator/(const double,const da&);
friend da operator/(const da&,const double);
friend da operator/(const da&,const da&);

int operator==(double);
int operator!=(double);

~da(void){ delete [] v;} ;

friend da dpow(const da&,int,int);
friend da dif(const da&,const int);
friend da itg(const da&,const int);
friend da sin(const da&);
friend da cos(const da&);
friend da sinh(const da&);
friend da cosh(const da&);
friend da exp(const da&);
friend da log(const da&);
friend da sqrt(const da&);
friend da asin(const da&);
friend da atan(const da&);
friend da pow(const da&,double);

friend da poi(const da&,const da&);      [ a,b ]
friend da line_itg(const da&);           { a dx
};


```

C++ではヘッダーファイルを見ればどのような関数が用意されているか、ただちにわかる。`da operator+(const da&, const da&)` 等は 2 つの DA object (`a, b` とする) の和を `a+b` と書くことで関数 `operator+(a, b)` が呼ばれ、結果として DA object を返すことを意味する。その関数に DA の和に相当する演算内容をコーディングしておけば多項式の和 `c=a+b` が計算されるのである。

実際の応用に対して以下のような sample プログラムを例に示す。

```
#include <sadplus.h>

void main(int argc, char* argv[])
{
    int i;
    InitializeDifferentialAlgebra(10,1);
    10次 1変数
    ↓ /
    da x;
    x.dBase(0,1.);      x = x ... 1次の多項式で係数 1
    cout << x << sin(x);
}
```

----- output -----

Number of variable is odd. Added 1 dummy variable

Number of variables = 0 (cvar) 2 (var) 0 (pvar) 2

*** 61*4 Byte allocation for DA table

Differential Algebra Library

Order and number of variables = 10 2

Number of canonical variables = 2

Total address is 11 : Length of DA vector = 66

*** 6*8 Byte allocation for DA resistor

{ {10, 2},

{110, 1} };

{ {10, 2},

{110, 1},

{330, -0.16666666666667},

{550, 0.0083333333333333},

{770, -0.000198412698412698},

{990, 2.75573192239859e-06} };

$$\Rightarrow x - \frac{x^3}{6} + \frac{x^5}{5!} - \dots$$

まず da の変数の数、次元を設定する `InitializeDifferentialA1` という関数を呼ぶことにより、10次、1変数の多項式を扱うように設定される。その後ろに置かれた `da x` という宣言により、da 型のオブジェクト（実体は double 型の配列）が生成される。これは従来の `int a;` とすることで 4Byte(16bit machine では 2Byte) の整数というオブジェクトがメモリー上に `allocate` されることの拡張で、新しい型を定義し、その型のオブジェクトを宣言することで、その型に応じたメモリー領域を `allocate` することができる。`dacpp.h` の 13 行目に da オブジェクトの実体が `v` という double 型の配列（ポインタ）であることを示している。また `v` はそのクラス内で宣言された関数（メンバー関数とフレンド関数）のみによりアクセス可能である。

ここでは 10 次までの多項式を考えている。`x` という da 型変数が作られ、`dBase(0, 1.)` という関数で `x=x` に初期化される。`sin(x)` で sin が多項式で展開され、`cout <<` により、出力される。出力結果は

$$\sin x = x - \frac{1}{3!}x^3 + \frac{1}{5!}x^5 - \frac{1}{7!}x^7 + \frac{1}{9!}x^9 \quad (5)$$

であることが確かめられる。

3 Map

ここでは Sec.2 で述べた DA Library を使って、加速器中の粒子の力学を利用する。Sec.1 で述べたように、ある時刻 t_0 の正準変数 x_0 から t での x への map は da を使って表現できる。map に関するクラスは力学変数の数だけ da オブジェクトをもつオブジェクトである。

C++ を使った da library の特徴は演算が実数と同様にできることなので、数値的なトラッキングとソースコードを宣言文以外ほとんど同一にできる。そのため実数を力学変数の数だけ用意したものも、クラスとして用意しトラッキングも行えるようになっている。

これらは

```
map_da  
map_double --- 1 particle 実数  
pBeam --- multi particle
```

というクラス名である。これらのヘッダーファイルはほとんど同じ構造をもっているので、map_da を例として示す。

```

#ifndef MAP_DA_H
#define MAP_DA_H
// ++++++
//          map_da.h
// ++++++
#include <stdio.h>
#include <iostream.h>
#include <dacpp.h>
#include <matrix.h>
#include <lin_map.h>
#include <map_double.h>
#include <track.h>

class map_da    //:private da
{
    da *m;
public:
    map_da(void) {
        m=new da[N_cv];
        //cout << " map constructed " << m << '\n';
    }
    map_da(const map_da&);
    map_da(const matrix&);

    ~map_da(void){
        delete [] m;}
    void dBase(void);
    friend ostream& operator<<(ostream&,const map_da&);
    friend istream& operator>>(istream&,map_da&);
    friend void is_symplectic(const map_da&);
    map_da& operator=(const map_da&);
    map_da& operator=(const matrix&);
    map_da& operator=(double);
    map_da operator+=(const map_da&);
    map_da operator-=(const map_da&);
    da& operator[](int i) { return m[i];}

```

```

friend matrix lin_da(const map_da&);

friend da concatenate(const da&,const map_da&);
friend map_da concatenate(const map_da&,const map_da&);
friend map_double concatenate(const map_da&,const map_double&)
friend pBeam concatenate(const map_da&,const pBeam&);

map_double mapping(const map_double& x) {
    return concatenate(*this,x);}
pBeam mapping(const pBeam& x) {
    return concatenate(*this,x);}

friend map_da operator*(const map_da& x,const map_da& y)
    { return(map_da(concatenate(x,y))); }
friend map_da operator*(matrix&,const map_da&);
friend map_da operator*(const map_da&,const matrix&);
friend map_da operator*(const lin_map& x,const map_da& y)
    {return ((matrix&) x*y);}
friend map_da operator*(const map_da& x,const lin_map& y)
    {return (x*(matrix&) y);}

friend map_da Sym_trans(const map_da&,const matrix&);
//Lie map
friend da poi_itg(const map_da&);

friend map_da lie_exp(const da& f,const map_da& x);
friend map_da lie_exp(const da& f);

};

#endif

```

4 Lie algebra analysis

4.1 Symplectic map を得るために

古典力学の map は正準変換であるが、多項式で高次項を打切っているため、その次数以上では正準的でなくなっている。しかしながら打切り次数までは正しい map なので、それと矛盾しない Symplectic map を作ることができる。基本的な考えは Dragt-Finn の Factorization [2] にある。まず Linear term を map から抜き出す。この Linear map を \mathcal{R} とする。

$$\mathcal{M} = \mathcal{R}\mathcal{M}_R \quad (6)$$

非線形部分のみを含んだ map、 \mathcal{M}_R は

$$\mathcal{M}_R \mathbf{x} = \mathbf{x} + a_{ij}x_i x_j + \dots \quad (7)$$

のように書ける。そこで map を

$$\mathcal{M}_R = e^{f_3} e^{f_4} \dots \quad (8)$$

のように Factrize していく。これを Dragt-Finn Factrization という。これを展開すると

$$1 + : f_3 : + \left(\frac{1}{2} : f_3^2 : + : f_4 : \right) + \dots \quad (9)$$

となり、これから

$$: f_3 : \mathbf{x} \equiv S_{ij} \frac{\partial f_3}{\partial x_j} = a_{ijk} x_j x_k \quad (10)$$

よって

$$f_3 = \int^x S_{ni} a_{ijk} x_j x_k dx_n \quad (11)$$

から 3 次の Lie map が得られる。と う せん な が ら この 経 路 積 分 は 経 路 に 依 存 し な い の で 好み の 経 路 が 取 れ る。次 の 4 次 の Lie map は

$$e^{-:f_3:} \mathcal{M}_R \quad (12)$$

を 積 分 す る こ と に よ り 逐 次 求 め ら れ る。同 様 な 方 法 で

$$\mathcal{M} = \dots e^{:f_4:} e^{:f_3:} \mathcal{R} \quad (13)$$

と い う Factorization が で き る。ま た

$$\mathcal{M} = e^{:f:} \quad (14)$$

の 形 の 多 項 式 f を 求 め る こ と も で き る。式 (8) の 形 の Factorization は 以 下 の よ う に 実 現 さ れ て い る。こ こ で 注意 し な け れば な ら な い こ と は、実 際 に 多 項 式 の 形 で Symplectic map を 得 る た め に は $e^{:f_n:}$ を 展 開 し な け れば な ら な い こ と で あ る。そ の た め に 実 際 に この map を 使 う と き に、展 開 を 打 切 る た め に、や は り Symplectic で な く な っ て し ま う。こ れ に 対 し て 一 般 的 で は な い か も 知 れ な い が Symplecticity を 満 た す よ う に す る 方 法 も あ る [3]。

4.2 Canonical perturbation

ここでは得られた多項式 map を正準変換で、逐次正準不变量に変換していくことで摂動をおこなう。Sec.4.1 でやったようにまず 3 次の map を取り出す。

$$\mathcal{M}_R = e^{f_3} \mathcal{M}_{\geq 4} \quad (15)$$

それにある 3 次の正準変換 e^{F_3} をおこなう。

$$\begin{aligned} e^{F_3} R \mathcal{M}_R e^{-F_3} &= R \underbrace{R^{-1} e^{F_3} R e^{f_3} e^{-F_3}}_{= R \exp \left\{ : (R^{-1} - I) F_3 + f_3 : \right\} \mathcal{N}_{\geq 4}} e^{F_3} \mathcal{M}_{\geq 4} e^{-F_3} \quad (16) \\ &= R \exp \left\{ : (R^{-1} - I) F_3 + f_3 : \right\} \mathcal{N}_{\geq 4} \end{aligned}$$

ここで $\mathcal{M}_{\geq 4}$ は 4 次以上の map、 $\mathcal{N}_{\geq 4}$ は $\mathcal{M}_{\geq 4}$ に 3 次同士の項のポアソンブラケットからくる 4 次以降の項を加えたものである。上式の中括弧の中を $x_i^2 + p_i^2 = J_i$ だけで書ければ 3 次の摂動ができたことになる。そこで f_3 を J のみで書ける項 (g_3) と、それ以外 (f'_3) にわけ、 F_3 を求める。

$$\begin{aligned} f_3 &= f'_3 + g_3(J) \\ F_3 &= (R^{-1} - I)^{-1} f'_3 \end{aligned} \quad (17)$$

$(R^{-1} - I)^{-1}$ を計算するために R の固有値、固有ベクトルを求める。 R は

$$R = \exp \left\{ -\frac{1}{2} \mu_{0i} (x_i^2 + p_i^2) \right\} \quad (18)$$

から、

$$Rh_{\pm i} = e^{\mp i \mu_i} h_{\pm i} \quad (19)$$

$$h_{\pm i} = (x_i \pm i p_i)$$

$f'_3 \in R$ の固有ベクトルで表す
For f'_3 ためる

ここで F_3 と f_3 を固有ベクトルで展開し、 F_3 の係数を決める。

$$e^{:F_3:} R \mathcal{M}_R e^{-:F_3:} = R e^{g_3(J)} \mathcal{N}_{\geq 4} \quad (20)$$

さらに高次の摂動をおこなうには、 $\mathcal{N}_{\geq 4}$ を求めなければならぬ。DA をつかった場合、CBH の恒等式等を使うことなく直接

$$\mathcal{N}_{\geq 4} = e^{-g_3(J)} R^{-1} e^{:F_3:} R \mathcal{M}_R e^{-:F_3:} \quad (21)$$

から得られる。高次の摂動は

$$\begin{aligned} & e^{:F_4:} e^{:F_3:} R \mathcal{M}_R e^{-:F_3:} e^{-:F_4:} \\ &= RR^{-1} e^{:F_4:} R e^{g_3(J)} e^{:f_4:} e^{-:F_4:} e^{:F_4:} \mathcal{N}_{\geq 5} e^{-:F_4:} \quad (22) \\ &= R e^{g_3(J)} \exp\{:(R^{-1} - I)F_4 + f_4:\} \mathcal{O}_{\geq 5} \end{aligned}$$

として同様のことを繰り返せばよい。

4.3 実装と使用例

以下に Lie analysis に関する関数を定義しているヘッダーファイルを示す。

```
#ifndef LIE_DA_H
#define LIE_DA_H

map_da lie_exp(const da&, const map_da&); Lie
map_da lie_exp(const da&); exp
da lie_exp(const da&, const da&); exp
map_da fac_map_type1(const da&); Re^f
map_da fac_map_type2(const da&); Re^f
map_da fac_map_type3(const da&); Re^f
da fac_drg_type1(const map_da&); drg
da fac_drg_type2(const map_da&); drg
da fac_drg_type3(const map_da&); drg
da fac_drg_type1(const map_da&, map_da&); drg
da fac_drg_type2(const map_da&, map_da&); drg
da fac_drg_type3(const map_da&, map_da&); drg
da can_perturbation(const map_da&); perturbation
da can_perturbation(const map_da&, da&); perturbation
c_da Normal_expression(const da&); Normal
c_da Real_expression(const c_da&); Real

#endif
```

#include <sadplus.h> Sad +.NF o source

```
void main(int argc,char* argv[])
{
    int i;
    EMIT SAD;
    Beam BEAM;
    Accelerator PF;
    int Noda;

    OperatingParameterSet("fort.11",BEAM,SAD,PF);
    Noda=atoi(argv[2]);

    cout << "Circumference = " << Length(PF) << '\n';
    cout << SAD;

    InitializeDifferentialAlgebra(Noda);

    map_da x;
    x.dBase();

    PF.Mapping(x);
    da z;
//    z=fac_drg_type1(x);
//    z=fac_drg_type2(x);
//    z=fac_drg_type3(x);
    z=can_perturbation(x);

    ofstream daout("dap.out",ios::out);
    daout << z;
    daout.close();
}
```

```

.....
OFF EMIT RAD FLUC;
OFF RFSW;
FFS USE=RING;
CELL CALC NX NY EX EPX CALC;
EMIT;
e=Emittance[OneTurnInformation->True];
M0=OneTurnTransferMatrix/.e;
Md=OneTurnDampingMatrix/.e;
Mt=M0+Md;
Mb=OneTurnExcitation/.e;
N=NormalCoordinates/.e;
BE=EquilibriumBeamMatrix/.e;
CO=ClosedOrbit/.e
Print[M0]
Print[N];
Print[Mb];
Print[Md];
Write[11,"Beam BEAM=( energy= 2.5 , N_particle=1.25E9);"];
Write[11,"Linmap =(",M0,");"];
Write[11,"PtoN =(",N,");"];
Write[11,"LinmapD =(",Mt,");"];
Write[11,"Bmatrix =(",Mb,");"];
Write[11,"Benv =(",BE,");"];
Write[11,"COD =({0,0,0,0,0,0});"];
nlat=Length[LINE["name","*"]];
Print[nlat];
Do[
at=LINE["TYPE",i];
name=LINE["NAME",i];
If[at==0 || at==42 || at==41,
a2=LINE[Element["KEYWORDS",LINE["ELEMENT",i]],i];
a3=Element["KEYWORDS",LINE["ELEMENT",i]];
If[at==1, Write[11,"Drift ",name,"=(",a2,");"],;
If[at==2, Write[11,"Bend ",name,"=(",a2,");"],;
If[at==4, Write[11,"Quad ",name,"=(",a2,");"],;
If[at==6, Write[11,"Sext ",name,"=(",a2,");"],;
If[at==8, Write[11,"Octu ",name,"=(",a2,");"],;
```

```
If[at==31, a2[[4]]=0.2368; Write[11,"Cavity ",name,"=(\",a2,\");  
If[at==17, Write[11,"Wiggler ",name,"=(\",a2,\");"]],  
If[at==36, Write[11,"IP      ",name,"=(\",a2,\");"]],  
If[at==37, Write[11,"Ph_rot  ",name,"=(\",a2,\");"]],  
    Write[11,"// ",name," Can not translated"];]]]]]]]]]  
];  
,{i,1,nlat}];  
System["/users/ohmi/sad+/bin/sad+.NF fort.11 4"];  
stop;  
STOP;
```

出力例を示す。

Circumference = 187.074

Number of variables = 0 (cvar) 6 (var) 0 (pvar) 6 (tot)
*** 309*4 Byte allocation for DA table

Differential Algebra Library

Order and number of variables = 4 6

Number of canonical variables = 6

Total address is 125 : Length of DA vector = 210

*** 6*8 Byte allocation for DA resistor

$\{ \{ 4, 6 \},$

$\{ \{ 4, 4, 0, 0, 0, 0, 0 \}, -2776.75291748779 \}, \leftarrow x^4 \text{ の } 1 \text{ 次 } \frac{\partial}{\partial x}$

$\{ \{ 4, 2, 0, 2, 0, 0, 0 \}, 8255.91631694457 \}, \leftarrow x^2 y^2$

$\{ \{ 4, 2, 0, 0, 0, 2, 0 \}, -32.049921626784 \}, \leftarrow x^2 z^2$

$\{ \{ 4, 0, 0, 4, 0, 0, 0 \}, -6344.60578111711 \}, \leftarrow y^4$

$\{ \{ 4, 0, 0, 2, 0, 2, 0 \}, 31.5411021361129 \}, \leftarrow y^2 z^2$

$\{ \{ 4, 0, 0, 0, 0, 4, 0 \}, -5.5479132439368 \}, \leftarrow z^4$

$\{ \{ 4, 2, 2, 0, 0, 0, 0 \}, -5553.50583497557 \}, \leftarrow x^2 P_x^2 = 2 \times x^4 \text{ の } 1 \text{ 次 } \frac{\partial}{\partial x}$

$\{ \{ 4, 0, 2, 2, 0, 0, 0 \}, 8255.9163169445 \},$

$\{ \{ 4, 0, 2, 0, 0, 2, 0 \}, -32.0499216267842 \},$

$\{ \{ 4, 2, 0, 0, 2, 0, 0 \}, 8255.91631694459 \},$

$\{ \{ 4, 0, 0, 2, 2, 0, 0 \}, -12689.211562234 \},$

$\{ \{ 4, 0, 0, 0, 2, 2, 0 \}, 31.5411021361129 \},$

$\{ \{ 4, 2, 0, 0, 0, 0, 2 \}, -32.0499216267848 \},$

$\{ \{ 4, 0, 0, 2, 0, 0, 2 \}, 31.541102136113 \},$

$\{ \{ 4, 0, 0, 0, 0, 2, 2 \}, -11.0958264878736 \},$

$\{ \{ 4, 0, 4, 0, 0, 0, 0 \}, -2776.75291748779 \},$

$\{ \{ 4, 0, 2, 0, 2, 0, 0 \}, 8255.91631694454 \},$

$\{ \{ 4, 0, 2, 0, 0, 0, 2 \}, -32.0499216267861 \},$

$\{ \{ 4, 0, 0, 0, 4, 0, 0 \}, -6344.60578111704 \},$

$\{ \{ 4, 0, 0, 0, 2, 0, 2 \}, 31.5411021361121 \},$

$\{ \{ 4, 0, 0, 0, 0, 0, 4 \}, -5.54791324393672 \} \};$

参考文献

- [1] M. Berz, SSC-166 (Part I) (1988).
- [2] A. Dragt and M. Finn, J. Math. Phys., **20**, 2649 (1979).
- [3] J. Irwin, SSC-228 (1989).
- [4] E. Forest, Particle Accelerator, **24**, 91 (1989).

Orbit Correction

M. Kikuchi

Orbit Correction

KEK/ Kikuchi M.

SAD ワークショップ／98.7.7

0. 目次

- 1 .Orbit correction は Optics matching の一部である？
- 2 .CorrectOrbit の機能
- 3 .MakeBump の機能
- 4 .Bump を用いた軌道補正
- 5 .問題点

陽電子ライン・アライシメント工程表(案)

1998/4/27

アライシメントの場所	4月							5月						
	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日
SY3 + Yellow Fence	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Yellow Fence - BT搬入口														
BT搬入口 - ダンプ														

1. Orbit correction は Optics matching の一部である？

$$y_j == f_j(x_i), \quad j = 1, \dots m; i = 1, \dots n$$

y: Optics の目標値；

例 dx (水平軌道)、 η_y (垂直方向ディスパージョン) . . . 等

x: Beam line 要素の変数

例 $K0$ (キック角)、 DY (y 方向ミスマッチメント) . . . 等

上の方程式を Optics matching でとられている手法 (SVD、Newton 法、Downhill Simplex 法、等) にしたがって解けばよい。

のであるが、歴史的経緯により Optics matching とは独立に環境が提供されている。

2. CorrectOrbit の機能

シングルキックの重畠として解く。

変数： $K0$ (キック角)

モニター：あらゆる Beam line 要素

被補正物理量：軌道、ディスパージョン

拘束条件：軌道、軌道長、ディスパージョン

解法：(拘束条件付) SVD、MICADO

2.0 変数の指定 (例)

```
st=Steer["ZV*"];
```

名前が ZV* にマッチする BEND 要素の $K0$ を変数とし、変数の列を st にセットする。

2.1 モニターの指定 (例)

```
bpm=Monitor["M*"];
```

名前が M* にマッチする要素をモニターとして指定し、モニター列を bpm にセットする。

ビームモニタ用コネクタ取付工事週間工程表

工事件名 : コネクタ取付け

工事場所 : 高エネルギー加速器研究機構

工事期間 : 平成10年2月3日～平成10年6月30日

制御室名	作業内容	4月						備考
		20日 月	21火	22水	23木	24金	25土	
9LC5 (トンネル側)	1. ケーブル名称確認及び区分							
	2. 被覆剥ぎ取り(外導体含む)	■	■	■	■	■	■	9D×4芯同軸ケーブル (外廻りのみ)
	3. コネクタ取付位置決定	■	■	■	■	■	■	
	4. コネクタ取付及び銘板貼付	■	■	■	■	■	■	
AR/BT 電源室	1. ケーブル名称確認及び区分	■	■	■	■	■	■	FHPX-8D同軸ケーブル
	2. 被覆剥ぎ取り(外導体含む)	■	■	■	■	■	■	
	3. コネクタ取付位置決定	■	■	■	■	■	■	
	4. コネクタ取付及び銘板貼付	■	■	■	■	■	■	
AR/WS 電源室	1. ケーブル名称確認及び区分	■	■	■	■	■	■	FHPX-8D同軸ケーブル
	2. 被覆剥ぎ取り(外導体含む)	■	■	■	■	■	■	
	3. コネクタ取付位置決定	■	■	■	■	■	■	
	4. コネクタ取付及び銘板貼付	■	■	■	■	■	■	
AR/S 電源室	1. ケーブル名称確認及び区分	■	■	■	■	■	■	FHPX-8D同軸ケーブル
	2. 被覆剥ぎ取り(外導体含む)	■	■	■	■	■	■	
	3. コネクタ取付位置決定	■	■	■	■	■	■	
	4. コネクタ取付及び銘板貼付	■	■	■	■	■	■	

2.2 被補正物理量、拘束条件、解法の指定（例）

これらは関数 CorrectOrbit の引数として指定される。

```
kick=CorrectOrbit["X", bpm, st, optics,
Condition->{{'ZX.1', 'ZX.2', 'ZX.3'}, {1, -2, 1}, 0}}];
```

bpm で指定された要素の軌道値 (X) [Twiss に保存されている値] を被補正量とする。st を未知量とし、拘束条件

$$K_0(ZX.1) - 2K_0(ZX.2) + K_0(ZX.3) == 0$$

のもとに SVD で解く。結果は kick にセットされる。

3. MakeBump の機能

指定された条件を満たす軌道をつくる。

変数： K_0 (キック角)

軌道条件：軌道、ディスペーション

解法： (拘束条件付) SVD

3.1 軌道条件の指定（例）

これは関数 MakeBump の引数として与える。

```
kick=MakeBump[
{{"Q1", "X", 1e-3}, {"Q2", "PX", 0}, {"Q2", "EX", 0}},
st, optics];
```

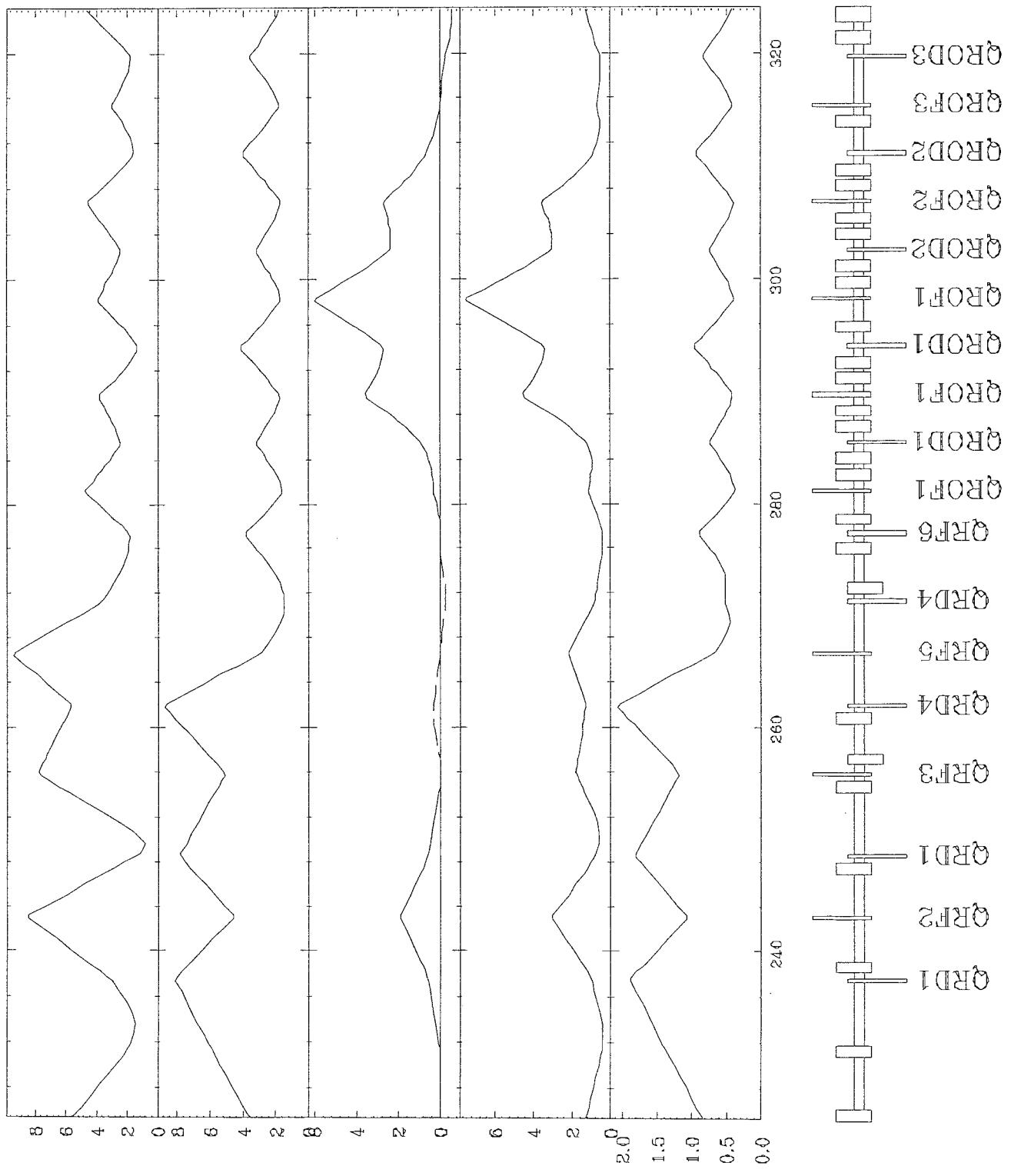
この例では $Q1$ で $X=1e-3$ 、 $Q2$ で $PX=0$ 、かつ $Q2$ で $EX=0$ を軌道条件としている。CorrectOrbit と同様に未知変数の側に拘束条件をつけることも可能である。閉軌道条件の場合にはより簡便な指定法として、

```
{{"Q2", "X", 1e-3}, "QT", "X", 6}
```

という形も可能である。これは QT のまわりのステアリングを 6 個使って、 $Q2$ で $X=1e-3$ となるような閉軌道バンプを x -面上につくることを表している。

Electron AR-2.5GeV Line V6.126

04:21:31 Saturday 21-Mar-98



α_x (mm) α_y (mm) $\alpha_{x,y}$ (m) β_x (mm) β_y (mm) $\beta_{x,y}$ (m)

4 . Bump を用いた軌道補正 bump の重畳として解く

4 . 1 CorrectOrbitBump

未知変数を bump の集合として与えて軌道補正をおこなう.

4 . 1 . 1 bump 変数の与え方 (例)

関数 CorrectOrbitBump の引数として軌道条件を純関数の形で与える.

```
bumps={ ({ {"Q2", "Y", #}, "QT", "Y", 6} &),
        ({ {"Q2", "Y", #}, "QT", "Y", 6} &) };
kick= CorrectOrbitBump[ { "Y", "EY" } ,bumps,bpm,st,optics];
```

この例では 2 つの閉軌道バンプ({ {"Q2", "Y", #}, "QT", "Y", 6} &) と ({ {"Q2", "Y", #}, "QT", "Y", 6}) & を用いて、Y 及び EY の同時補正をしている. 結果のキック角は kick にセットされる.

4 . 2 CorrectLocal

Beam line のある領域内だけで閉じた軌道補正をおこなう.

(例)

```
kick=CorrectLocal["Y", {"P1", "P2"}, bpm, st, optics];
```

2 点 P1 と P2 ではさまれた領域内で Y 補正をおこなう. 結果の軌道は (P1, P2) 外にはもれない.

5 . 問題点

A 「初級」軌道補正には充分使える. トリストンで実証済み.

A 1 . 未知変数の限界値を指定することができていない.

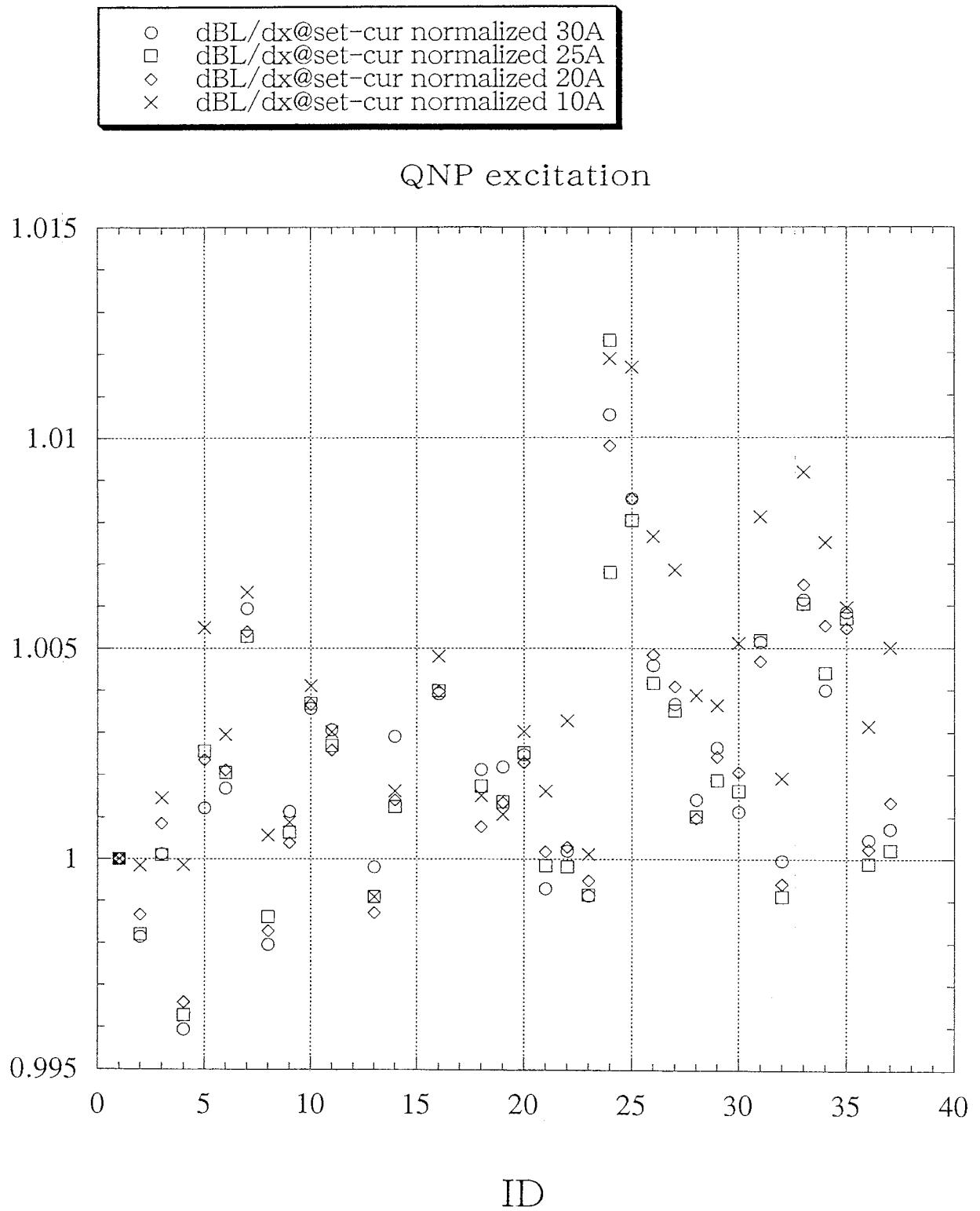
B 「高級」軌道補正には不十分.

B 1 . K0 以外のパラメータを未知変数にすることができない.

(アライメントオフセット DX,DY、等)

B 2 .

dBL/dx@set-cur normalized 30A



補遺 シングルキックの応答行列

$$N(s_1, s_2) = T^{-1}(s_2)M(s_1, s_2)T(s_1)$$

$$T = \begin{pmatrix} \mu I & J' R J \\ R & \mu I \end{pmatrix}$$

$$M(s_1, s_2) = \begin{pmatrix} \sqrt{\beta_2 / \beta_1} (\cos \Delta\psi + \alpha_1 \sin \Delta\psi) & \sqrt{\beta_1 \beta_2} \sin \Delta\psi \\ -[(1 + \alpha_1 \alpha_2) \sin \Delta\psi + (\alpha_2 - \alpha_1) \cos \Delta\psi] / \sqrt{\beta_1 \beta_2} & \sqrt{\beta_1 / \beta_2} (\cos \Delta\psi - \alpha_2 \sin \Delta\psi) \end{pmatrix}$$

$N(s_1, s_1)$ のシングルキックに対する周期解

$T(s_1)$ によって p_x 方向のキックは x 方向の変位、 p_y 方向キック、及び y 方向変位にかわる。故に N のシングルキックに対する応答行列は水平方向に対しては、

$$\begin{pmatrix} x \\ p_x \\ y \\ p_y \end{pmatrix}_2 = T^{-1}(s_2) \bar{M}(s_1, s_2) T(s_1) \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\bar{M}(s_1, s_2) = \begin{pmatrix} \bar{M}_x & 0 \\ 0 & \bar{M}_y \end{pmatrix}$$

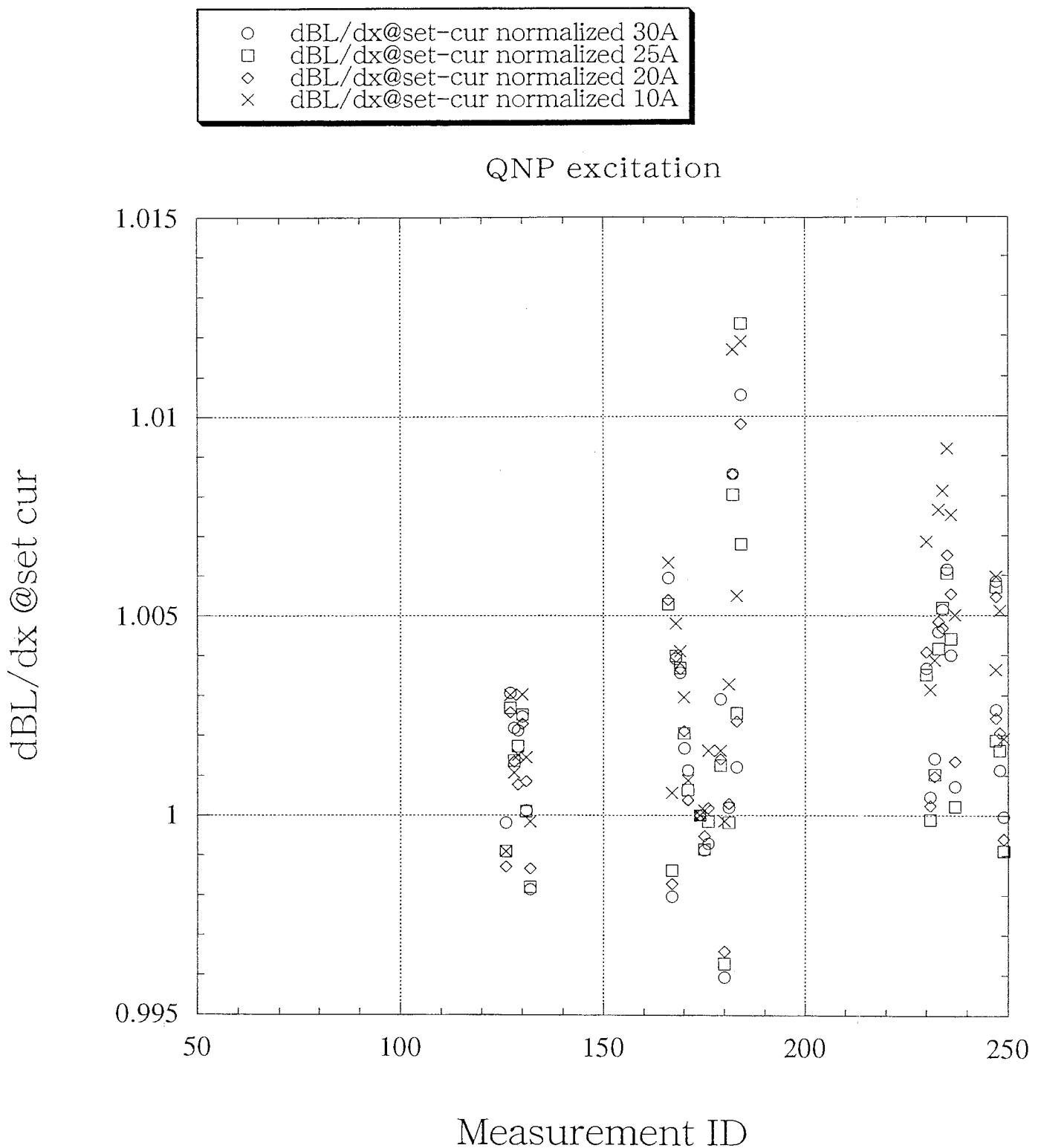
$$\bar{M}_x = \begin{pmatrix} (x_2 | x_1) & (x_2 | x'_1) \\ (x'_2 | x_1) & (x'_2 | x'_1) \end{pmatrix}$$

$$(x_2 | x_1) = \frac{1}{2 \sin \pi v_x} \sqrt{\beta_2 / \beta_1} \{ \operatorname{sgn}(\psi_2 - \psi_1) S + \alpha_1 C \}$$

$$(x'_2 | x_1) = \frac{-1}{2 \sin \pi v_x} \frac{1}{\sqrt{\beta_2 \beta_1}} \{ (\alpha_2 - \alpha_1) \operatorname{sgn}(\psi_2 - \psi_1) S + (1 + \alpha_2 \alpha_1) C \}$$

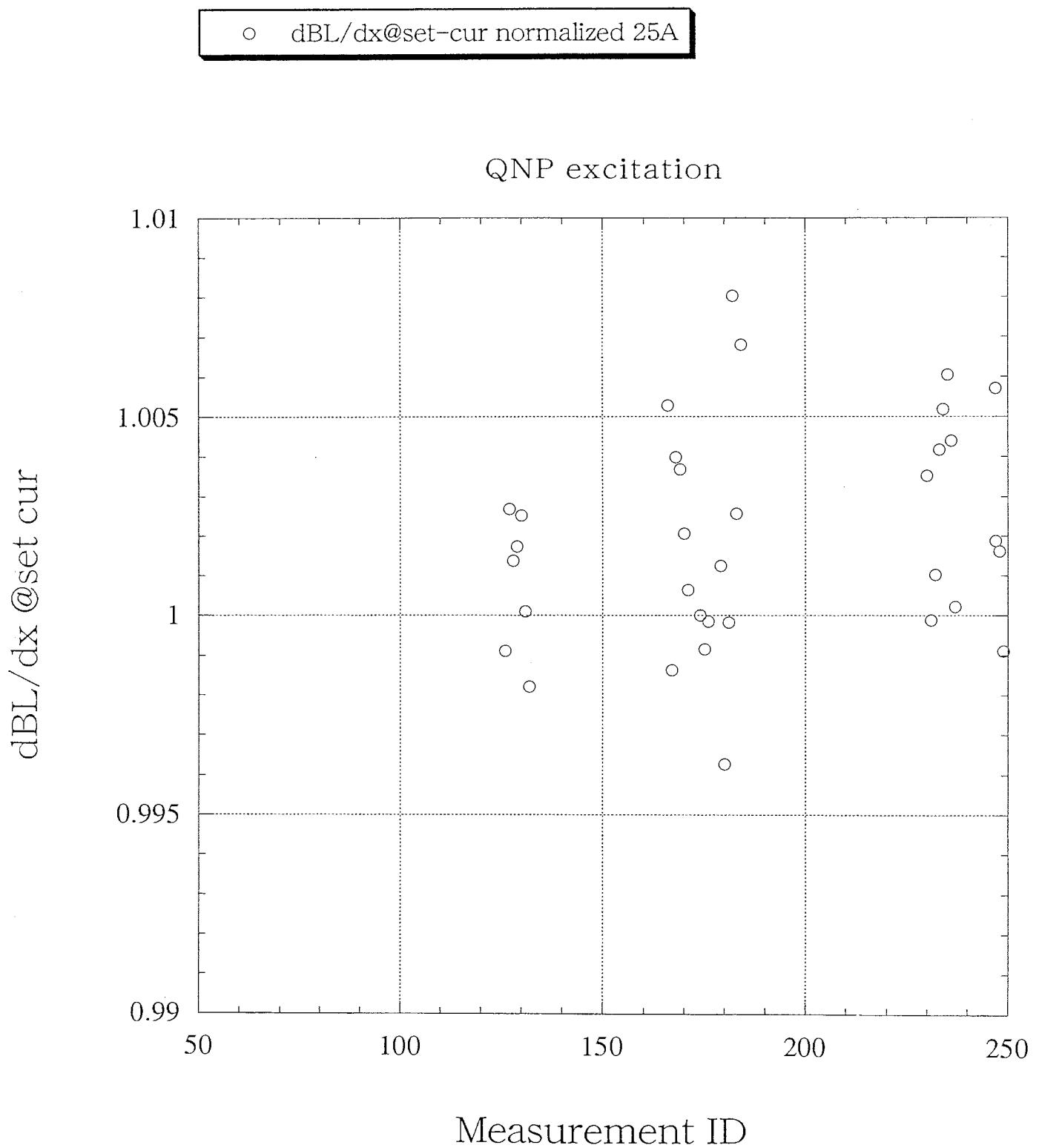
$$(x_2 | x'_1) = \frac{\sqrt{\beta_2 \beta_1}}{2 \sin \pi v_x} C$$

$$(x'_2 | x'_1) = \frac{1}{2 \sin \pi v_x} \sqrt{\beta_1 / \beta_2} \{ \operatorname{sgn}(\psi_2 - \psi_1) S - \alpha_2 C \}$$



$$S=\sin(\pi\nu_x-|\psi_2-\psi_1|)$$

$$C=\cos(\pi\nu_x-|\psi_2-\psi_1|)$$



Emittance in Electron Rings

K. Hirata

Emittances in Electron Rings

K. Hirata, KEK

Contents

1	What is Emittance?	1
2	Emittance Calculation	2
3	Gas Scattering	5
4	Conclusion	7

1 What is Emittance?

Emittance is **not** a well-defined Concept.

$$\epsilon_x = \langle x^2 \rangle / \beta_x ?$$

$$\epsilon_x = \langle I_x \rangle ?$$

What do we want to know by "emittance"?

Beam Distribution Function $\psi(x; s)$
in particular ψ_∞ .

ψ is determined by many factors:

- Symplectic Dynamics
 - lattice
 - * linear lattice
 - * nonlinear lattice
 - current-dependent processes
- Stochastic Processes
 - synchrotron radiation
 - beam-gas scattering

Users: Think of what you want and express it in terms of ψ .

Accelerator Physcists: Optimize your ψ according to the demands.

Only when Lattice is Linear and when Synchrotron Radiation is Incoherent, we can Define and Calculate the Emittance Exactly.

2 Emittance Calculation

The Envelope Formalism¹ is the only reasonable and accurate one (\leftrightarrow radiation integrals by Sands et.al.)

definition	(approximate formula
$\nu = \text{Eigenvalues}[M]/(2 \pi I)$	$\nu = \int ds \beta^{-1}(s)/(2\pi)$
Envelope Formalism	Radiation Integrals

¹K. Ohmi, K. Hirata and K. Oide, *From the Beam Envelope Matrix to Synchrotron Radiation Integrals*, Phys. Rev. E49, 751 (1994). K. Hirata and F.Ruggiero, LEP-Note No.611 ('88). K. Hirata, *Introduction to SAD*, 2-nd Advanced ICFA Beam Dynamics Workshop, CERN Report 88-04 ('88).

Envelope Matrix Σ

$$\Sigma_{ij} = \langle (x_i - \bar{x}_i)(x_j - \bar{x}_j) \rangle.$$

\bar{x} is the closed orbit

the closed orbit \bar{x} is defined in the presence of damping.

For any interval $s_1 < s < s_2$, we have a Transfer Matrix with Damping $M(s_2, s_1)$ such that

$$\bar{x}(s_2) = M(s_2, s_1)\bar{x}(s_1).$$

We can also calculate how Σ changes there:

$$\Sigma(s_2) = M(s_2, s_1)\Sigma(s_1)M^t(s_2, s_1) + \Lambda(s_2, s_1).$$

M and Λ are defined around the closed orbit

For one-turn, we have

$$\Sigma'(s) = M(s)\Sigma(s)M^t(s) + \Lambda(s).$$

The equilibrium envelope Σ_∞ is defined as

$$\Sigma'(s) = \Sigma(s).$$

- Eigenvalues of $M(s)$ are s-independent and are expressed as

$$-\alpha_j + 2\pi i\nu_j,$$

where α_j gives the damping and ν_j is the tune with damping effect.

- The emittances are obtained from eigenvalues of $J\Sigma(s)$:

Abs
 $\{\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3\} = \boxed{\quad} [\text{Eigenvalues}[J\Sigma(s)]],$

For 1D case, it is $\epsilon = (\langle x^2 \rangle \langle p_x^2 \rangle - \langle xp_x \rangle^2)^{1/2}$.

When Σ transforms as

$$\Sigma \rightarrow M\Sigma M^t,$$

$J\Sigma$ transforms as

$$J\Sigma \rightarrow (M^t)^{-1} J\Sigma M^t.$$

Here the symplectic condition $M^t JM = J$ was used. Thus

For non-radiating section, ϵ are conserved.

Also

ϵ are (slightly) s -dependent.

The computer code **SAD** uses this method to calculate the “emittances”:

Equilibrium beam matrix:

	X	Px	Y	Py	Z	Pz
X :	1.497E-09					
Px :	-5.363E-13	1.497E-09				
Y :	1.511E-12	-3.547E-12	1.673E-11			
Py :	3.683E-12	1.469E-12	1.608E-14	1.672E-11		
Z :	-1.315E-13	4.058E-14	-3.199E-16	3.601E-16	1.014E-05	
Pz :	7.326E-13	1.484E-12	1.040E-13	2.836E-13	-4.363E-11	1.014E-05

	x	px/p0	y	py/p0	z	dp/p0
x :	1.020E-08					
px/p0 :	2.357E-12	2.727E-10				
y :	4.774E-10	-1.782E-11	1.253E-10			
py/p0 :	-4.530E-11	-2.804E-11	-1.014E-12	5.974E-12		
z :	1.561E-08	-9.112E-11	1.856E-11	1.861E-13	4.603E-05	
dp/p0 :	6.503E-08	2.109E-10	1.016E-10	-7.592E-12	5.418E-07	2.240E-06

Emittance X	= 1.49667E-9 m	Emittance Y	= 1.6728E-11 m
Emittance Z	= 1.01382E-5 m	Energy spread	= .00149650
Bunch Length	= 6.78427574 mm	Beam tilt	= -.04722090 rad
Beam size xi	= .10112954 mm	Beam size eta	= .01013798 mm

In equilibrium, thanks to the central limit theorem,

$$\psi(\mathbf{x}; \bar{\mathbf{x}}, \Sigma)_{\infty} = \frac{1}{(2\pi)^3 \sqrt{\det \Sigma}} \exp \left[-\frac{1}{2} \Sigma^{-1}_{ij} (x_i - \bar{x}_i)(x_j - \bar{x}_j) \right].$$

It is **not** exactly true. It is true when the damping time is much longer than betatron and synchrotron. Even within this approximation, the central limit theorem does not hold if the radiation spectrum had diverging 2-nd order cumulant. It happens, for example, for the scattering with residual gas.

3 Gas Scattering

The collision between gas molecule and the beam electron is another stochastic process². We can obtain (almost) exact formulae for ψ_∞ . If we concentrate on the vertical distribution only, we get

$$\rho(X) = \frac{1}{\pi} \int dK \cos(KX) \exp \left[-\frac{1}{2} K^2 + N_d \tilde{f}(K/\sigma'_0) \right].$$

Here N_d is the number of collision per one damping time.

$$\tilde{f}(u) = \int d\theta f(\theta) \cos u\theta.$$

$$\begin{aligned} \hat{f}(u) &= \int_0^\infty dt \int_0^{2\pi} \frac{d\phi}{2\pi} [\tilde{f}(ue^{-t} \sin \phi) - 1] = \frac{1}{\pi} \int_0^1 dx \frac{\tilde{f}(ux) - 1}{x} \cos^{-1} x. \\ f(\theta) &= \frac{\theta_{min}^2}{(\theta^2 + \theta_{min}^2)^{3/2}}, \quad (\theta \geq 0), \quad \theta_{min} = Z^{1/3} \frac{\alpha}{\gamma}. \end{aligned}$$

In this case, the central limit theorem does not apply: in particular Σ_∞ diverges. The asymptotic form

$$\rho(X) \simeq \frac{N_d \Theta^2}{8X^3}, \quad (X \rightarrow \infty),$$

shows

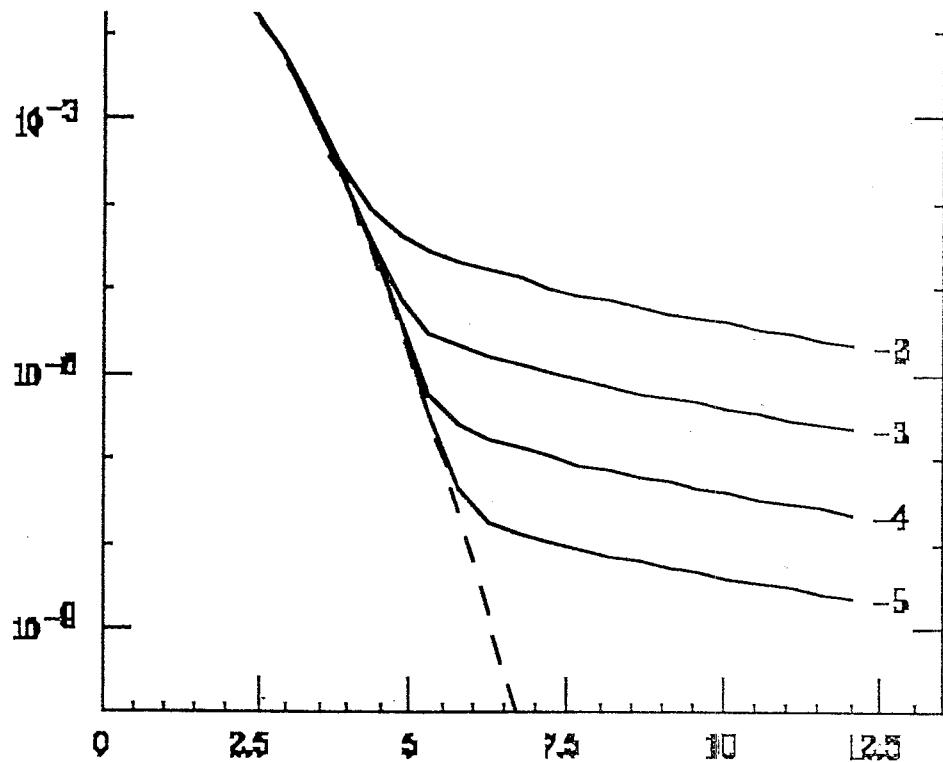
$$\langle X^2 \rangle = \infty.$$

the emittances can diverge for certain processes

In this case, you need something like "effective emittance". What is this?

To apply the central limit theorem, the stochastic process should be such that

²K. Hirata and K. Yokoya, Part.Accel. 39 147 (1992).



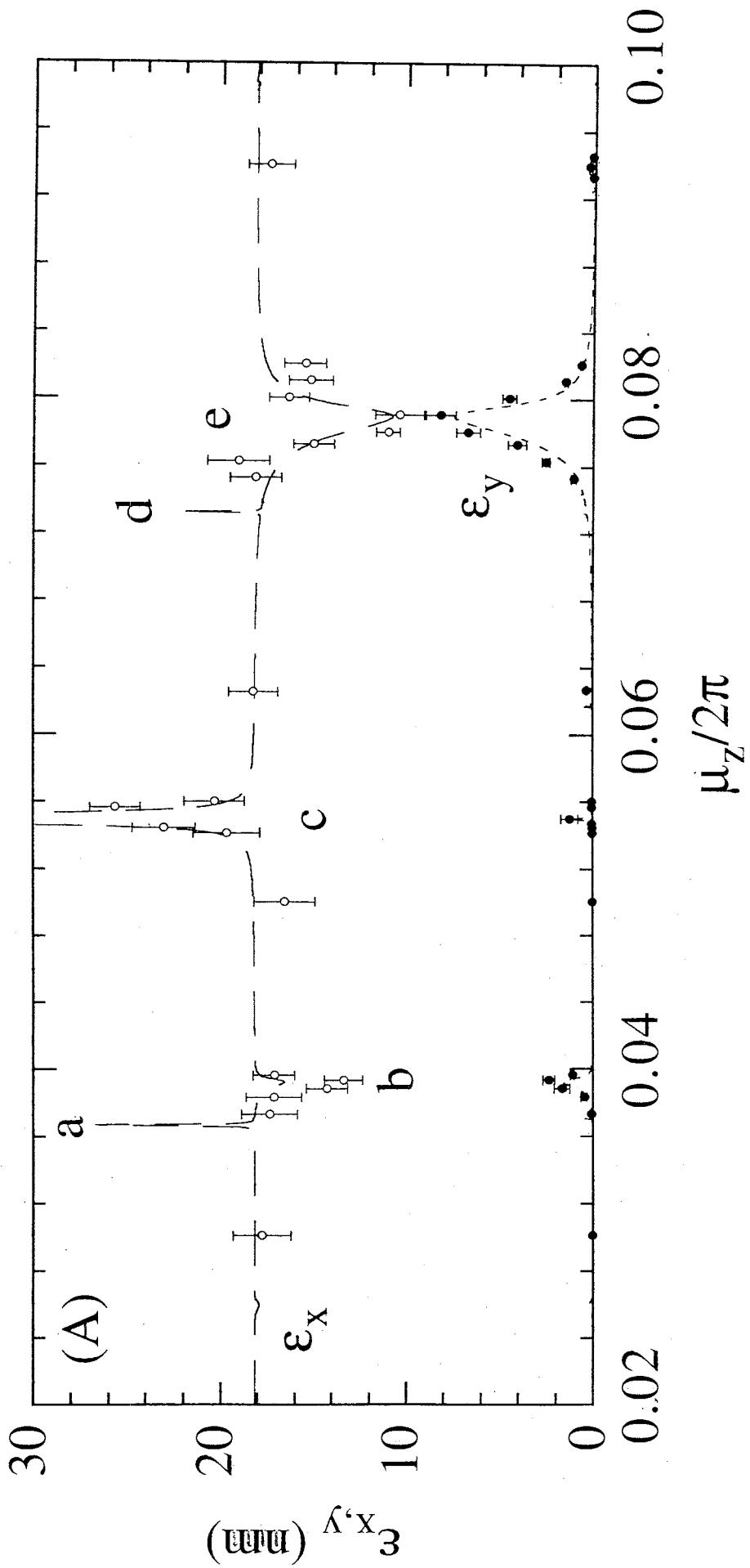
- the event (radiation, scattering etc) occurs much more frequently than the damping time,
- the damping time is much longer than the betatron and synchrotron period,
- the 2-nd cumulant of the process is finite. ($\int u^2 f(u) du < \infty$)

4 Conclusion

I think it is the choice of the users to decide what quantity should be optimized.

The claim should be meaningful from beam dynamics point of view.

FIG. 1 (A)



$$(a) \mu_x - 3\mu_z = 2N\pi$$

$$(b) \mu_x - \mu_y + 2\mu_z = 2N\pi$$

$$(c) \mu_x - 2\mu_z = 2N\pi$$

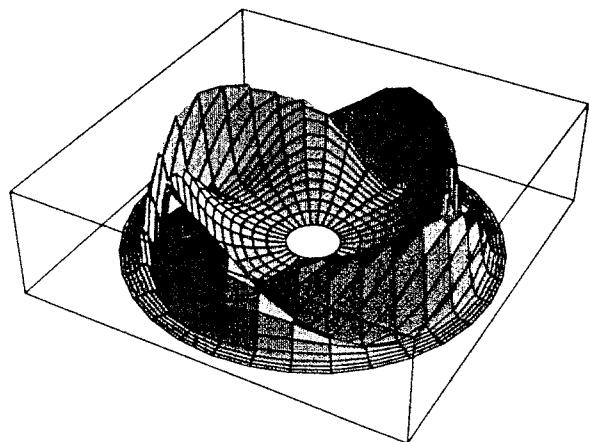
$$(d) 2\mu_x - 3\mu_z = 2N\pi$$

$$(e) \mu_x - \mu_y + \mu_z = 2N\pi$$

$$(f) \mu_y - 3\mu_z = 2N\pi$$

$$(g) \mu_y - 2\mu_z = 2N\pi$$

$$\mu_x/2\pi = 41.11, \quad \mu_y/2\pi = 41.19$$



Spin in SAD

K. Yokoya

SPIN in SAD

K. Yokoya

SAD workshop. Jul. 7-9, 1998

[1] Description of Spin

Orbit x, p_x, \dots

$$[\hat{x}, \hat{p}_x] = i\hbar \quad \hbar \ll mcE$$

Compton ~~size~~ \downarrow \uparrow normalized emittance
 $\rightarrow \lambda e \ll E$
 $4 \times 10^{-13} \text{ m} \quad 3 \times 10^{-8} \text{ m (ATF)}$

Spin

$\hat{s}_x, \hat{s}_y, \hat{s}_z$

$$[\hat{s}_x, \hat{s}_y] = i \frac{\hbar}{2} \hat{s}_z$$

Does not commute.

Always quantum mechanical.

Does it make sense to use
 $(\hat{s}_x, \hat{s}_y, \hat{s}_z)$?

Phenomena to discuss

- Classical process (precession)
- Quantum process (radiation, scattering)

How to describe spin state in tracking code?

(a) 量子化軸を決めて 各マクロ粒子の up-down state を assign する方法.

单一の散乱過程にのみ有効.

加速器内の運動には無意味.

(b) Spin 状態を 2 成分スピンorル φ ($\varphi^\dagger \varphi = 1$) で表わす方法.

$\vec{\varphi} = \varphi^\dagger \vec{\sigma} \varphi$ (3成分) を使うのが普通.

$\vec{\sigma}$: Pauli 行列

(φ の回転 ... SU(2) 行列.)

$\vec{\varphi}$... SO(3) 行列)

この場合常に $|\vec{\varphi}| = 1$

($\vec{\sigma}^2 = 1/2$ をつけて " $\vec{\varphi}$ を定義する)

Classical 現象のみなら それで OK.

Quantum 現象の記述には 二通り.

(c) 密度行列.(偏極ベクトル) を使う方法.

$$\rho_{ij} = \langle \varphi_i \varphi_j^\dagger \rangle \quad (i, j = 1, 2)$$

$\langle \rangle$: ensemble 平均

$\langle \varphi_i \varphi_j^\dagger \rangle = \text{実粒子} \rightarrow \text{ensemble 平均}$

ρ は 2×2 の正則行列. $\text{Trace } \rho = 1$

$$\Rightarrow \rho = \frac{1}{2} (1 + \vec{\varphi} \cdot \vec{\sigma}) \quad \cdots \vec{\varphi} \text{ の定義.}$$

$$\vec{\varphi} = \text{Trace}(\rho \vec{\sigma}) = \langle \varphi \vec{\sigma} \varphi^\dagger \rangle$$

ϕ と ρ は 一一対一対応

- この方法では 一般に $|\phi| \leq 1$
- 古典的現象のみなら (b) と同じ
- 量子論的現象も破れる。

散乱・輻射過程では 終状態の p_x, p_y, p_z, E
は 確率的に (乱数により) 決るか。

ϕ は 一意的に決る。

[2] Thomas - BMT 方程式

↑
Bergmann - Michel - Telegdi

\vec{s} は常に 静止系で 表現する。

(共変4元ベクトルにすると 成分の大きさが アンバランスに
なるので 実用的でない。)

このため Thomas precession が あらわれる。

$$\left(\begin{array}{l} (\text{Lorentz boost} \times \text{Lorentz boost}) \\ = \text{Lorentz boost} \times \text{回転} \end{array} \right)$$

与えられた 電磁場中の 古典的 precession

$$\frac{d\vec{s}}{dt} = \vec{\Omega} \times \vec{s}$$

$$\vec{\Omega} = -\frac{e}{m\gamma} \left[(\gamma a_r + i) B_\perp + (a_{rr}) B_{||} - \gamma \left(a_r + \frac{1}{r^2} \right) \frac{v \times \vec{E}}{c^2} \right]$$

v : 速度

$B_{||}$: \vec{B} の v 方向成分

B_\perp : transverse 成分

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

a : 異常磁気能率係数 (場が非常に強い時は)
 $= 0.0011596 (e^\pm)$ (a は 場の強さによる)
 $= 1.7928 (p)$

- 前頁の式は 慣性系で見た場合の式。

加速器座標では 2つの変更が必要。

- 独立変数 s ($s \in [0, l]$)

$$\frac{d\vec{s}}{ds} = \frac{dt}{ds} \Omega \times \vec{s}$$

- 座標軸の回転を差し引く。

座標軸を 単位ベクトル $(\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$ で表わすと

$$\frac{d\vec{e}_i}{ds} = \Omega_0(s) \times \vec{e}_i \quad (i = x, y, z, \quad \Omega_0 \cdot \vec{e}_z = 0)$$

$$\left(\Omega_0 = -\frac{\vec{e}_y}{\rho_x(s)} + \frac{\vec{e}_x}{\rho_y(s)} \right)$$

BMT 方程式は

$$\frac{d\vec{s}}{ds} = \bar{\Omega} \times \vec{s}$$

$$\bar{\Omega} = \frac{dt}{ds} \Omega - \Omega_0$$

となる。

- $|\vec{s}|$ は 保存される。

Spin 運動の（古典力学的）自由度。

- 3成分あるが、 $|S|$ は保存されるので、
実際は 2成分、自由度 1。
- 適当に変換すれば“正準変数”にされる。

e.g. $|S|=1$ なら

$$\begin{cases} \vec{S}_x = \sqrt{1-J^2} \cos \psi \\ \vec{S}_y = \sqrt{1-J^2} \sin \psi \\ \vec{S}_z = J \end{cases}$$

$$\{\vec{S}_i, \vec{S}_j\} = \sum_k \epsilon_{ijk} \vec{S}_k$$

↑ Poisson bracket, 3次元完全対称テンソル

$$\Leftrightarrow \{\psi, J\} = 1, \quad \{\psi, \psi\} = \{J, J\} = 0$$

(か)

① $|S|$ の変る現象 (quantum) のあるときは ズイ。

② 運動方程式が見若くなる

BMT 方程式は ψ について 線形 !!

Stern-Gerlach Force

轨道・スピンと共に動く古典的八三ルトニンジン

$$H = \text{Horbit} + \Omega \cdot \vec{s}$$

\downarrow

$$\sqrt{(\vec{p} - e\vec{A})^2 + m^2} + e\phi$$

で

$$\Rightarrow \frac{d\vec{s}}{dt} = [\vec{s}, H] = \Omega \times \vec{s}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\vec{p}}{dt} = - \frac{\partial \text{Horbit}}{\partial \vec{x}} - \frac{\partial \Omega}{\partial \vec{x}} \cdot \vec{s} \\ \frac{dk}{dt} = \frac{\partial \text{Horbit}}{\partial \vec{p}} + \frac{\partial \Omega}{\partial \vec{p}} \cdot \vec{s} \end{array} \right. \quad \text{Stern-Gerlach term}$$

- Stern-Gerlach term と書められ

全体で symplectic な $\Gamma = \mathbb{R}^3$. (spin が正準変数で表わされる)

- ここで今この $\epsilon = 3$ 需要は (μ と κ) で

[3] Spin Tune, Resonance etc.

Spin closed solution $n_0(s)$.

閉軌道上の粒子に 対して

$$\phi(s+C) = \phi(s) \text{ となる } \phi = n_0(s) \Sigma \text{ である。}$$

各加速器要素のスピンへの効果は 回転 R .

1 回の回転 $s \rightarrow s+C$

$$R(s) = R_n R_{n-1} \cdots R_2 R_1 = \text{回転}$$

$R(s)$ の回転軸方向 $\equiv n_0(s)$

($\pm n_0$ の不定性がある)

$$\frac{n_0 \text{ のまわりの回転角}}{2\pi} = v_{\text{spin}}$$

(mod 1 の不定性)

単純なリンク (平面軌道, error 及び solenoid 及び)

の場合

$$n_0(s) = (\pm) e_y$$

$$v_{\text{spin}} = -\gamma a$$



e_s : 運行方向, e_x : 外向,

(e_x, e_y, e_s) : 左手系

の場合、不規則に 12 マイナス号つく。

$$\gamma a = \frac{E(\text{GeV})}{0.440652} (e^\pm)$$

共鳴条件

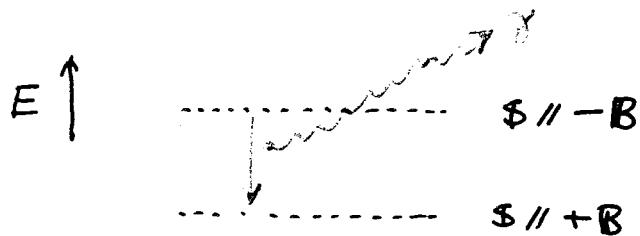
$$V_{\text{spin}} = n + n_x v_x + n_y v_y + n_s v_s$$

V_{spin} の係数は 常に 1.

\Leftarrow BMT の程式は 常に 緑型

(Stern-Gerlach の “おじさん”)

[4] 輻射偏極.



Spin-flip 輻射 (=SF) e^+ は B 方向, e^- は $-B$ 方向に
自然偏極する。

$$(\text{spin-flip rate}) \approx \left(\frac{u_c}{E}\right)^2 \times (\text{spin-nonflip radiation rate})$$

↑
通常のシンクロトロン輻射

$$(\text{自然偏極時間}) \approx \left(\frac{E}{u_c}\right)^2 \times (\text{平均輻射間隔})$$

$$\approx \left(\frac{E}{u_c}\right) \times (\text{軌道減衰時間})$$

\approx 散乱 ~ 整時間 (scattering time)

\Rightarrow 正直な Tracking は不可能。

平衡偏極度。

単純な 平面リンク²では

$$\frac{8}{5\sqrt{3}} = 92\%$$

10% depolarization 効果が大きい。

↑
主に spin-nonflip 輻射
(= SF) 妨害。

[5] Derbenev-Kondratenko の公式

平衡偏極方向は $\approx \mathbf{n}_0(s)$.

偏極度の evolution (2)

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{1}{\tau_0} \left(C_+ P - \frac{8}{5\sqrt{3}} C_- \right)$$

$$\tau_0^{-1} = \frac{5\sqrt{3}}{8} \frac{e^2 \gamma^5 h}{m c^2} \frac{I_3}{2\pi R}, \quad I_3 = \oint \frac{ds}{|\rho(s)|^3}$$

$$C_+ = \frac{1}{I_3} \oint \frac{ds}{|\rho|^3} \left[1 - \frac{2}{9} (\mathbf{n} \cdot \mathbf{e}_V)^2 + \frac{11}{18} \left(\gamma \frac{\partial \mathbf{n}}{\partial \gamma} \right)^2 \right]$$

$$C_- = \frac{1}{I_3} \oint \frac{ds}{|\rho|^3} \mathbf{e}_b \cdot \left(\mathbf{n} - \gamma \frac{\partial \mathbf{n}}{\partial \gamma} \right)$$

D-K 公式 (2)
非球形軌道に
ついても成立。

$R = C/2\pi$ = average radius

$$\mathbf{e}_V = \mathbf{v}/|\mathbf{v}|$$

$$\mathbf{e}_b = \mathbf{B}_\perp / |\mathbf{B}_\perp| \quad (\text{歪がある時は要修正})$$

n 後述。

解

$$P(t) = P_0 e^{-t/\tau_p} + P_\infty (1 - e^{-t/\tau_p})$$

$$\tau_p = \frac{\tau_0}{C_+}$$

$$P_\infty = \frac{8}{5\sqrt{3}} \frac{C_-}{C_+}$$

単純リングでは $\mathbf{n} \times \mathbf{e}_b, \mathbf{n} \cdot \mathbf{e}_v = 0, \partial n / \partial r = 0$

$$\Rightarrow C_+ = C_- = 1$$

$$\tau_p = \tau_0 \approx 99 \frac{\rho^2 [m] R [m]}{E^5 [\text{GeV}]} \text{ (sec)}$$

$$P_\infty = \frac{8}{5\sqrt{3}} = 92\%$$

Vector \mathbf{n}

一般に

$$\frac{d^2 f}{d\theta^2} + A(\theta) f = B(\theta)$$

(A, B は 周期 2π の 関数)

の 解の フーリエスペクトルには 同波数 1 及 $v \pm v'$ をもつ。

↑
同波数
運動子積のその上から一つ
↑
同波数.

同波数 1 のみ 持つ解 = 閉軌道.

$A(\theta), B(\theta)$ が更に 同波数 v_x, v_y, v_s を持つ場合、

解の スペクトルは

1. $\pm v_x, \pm v_y, \pm v_s$ ($\mp v$ side bands)

$\pm v$ ← 固有値

を持つ。

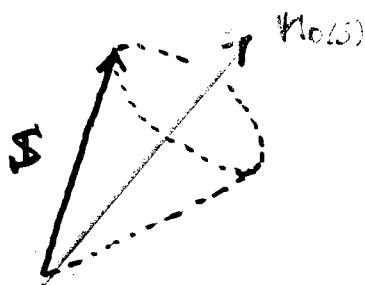
Spin (輻射子) の場合 $v = v_{\text{spin}}$.

スペクトルに v_{spin} を持たない解. $\equiv m$

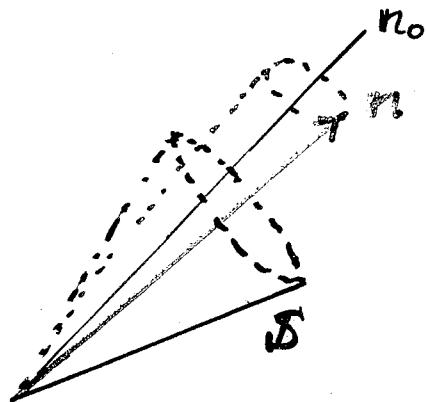
- 与えられた ベータロン運動・シンクロトロン運動毎に
それがある存在する。
- 特に 閉軌道粒子に対する (これは $m = n_0(s)$)

nの物理的意味

- $n_0(s)$



- n



DK公式は

$|n - n_0| \ll 1$ の時に成り立つ。

($|S - n| \ll 1$ である必要はない。)

- nに直交する 2つのベクトル (l, m)

$$\begin{cases} l = \sqrt{l^2 - m^2} \cos \psi \\ m = \sqrt{l^2 - m^2} \sin \psi \\ c \quad n = J \end{cases}$$

$$S = a l + b m + c n$$

とすると (J, ψ) は spin の作用変数・角変数である。

[6] n , $\partial n / \partial \gamma$ の計算.

SLIM

A. Chao NIM. 180 (1981) 29

線形軌道, $S - n_{\text{os}}(S)$ についての 線形近似.

SMILE

S. R. Mane Phys Rev. A36 (1987) 120

線形軌道, $n - n_{\text{os}}(S)$ についての 任意次数
振動展開

Lie 代数

K. Yokoya NIM. A258 (1987) 149

理論のみ. General.

Yu. Eidelman V.Yakimenko P.A. 45 (1994) 17
 50 (1995) 26/
 非線形軌道, $n - n_{\text{os}}(S)$ の 振動展開.
 (任意次数ではある)

SODOM



Spin-Orbit
Dynamics
using
One-turn
Map

K. Yokoya KEK report 92-6, May 1992

線形軌道.

$n - n_{\text{os}}(S)$ について 展開している.

(taking ϵ 小さい)

SAD は はりでいる (と思われる)

[7] Spin Matching

- 線形理論 (SLIM の レベル) の範囲で
 $\frac{\partial n}{\partial \gamma} \approx 0$ は “ γ ” (又は 最小化する) をと
 spin-transparency と呼ぶ。
- リングを n sections に分けて これを 美徳する
 ことを spin-matching と呼ぶ。
- $n = n_0(s) = \alpha \cdot l_0(s) + \beta \cdot m_0(s)$
 として α, β 線形の 範囲のみ 取る。
 軌道の 6 变数とあわせて 8 变数。

$$\begin{bmatrix} 6 \times 6 & \text{ゼロ} \\ 2 \times 6 & 2 \times 2 \end{bmatrix}$$

行列 formalism
 { 線形。

完全な spin transparency 条件は

- リング上の 各点に 対して
- 各軌道運動成分 ($\pm v_x, \pm v_y, \pm v_z$) に 対して
- (α, β) に 対応する 2 成分 ≈ 0 である
 $\Rightarrow 12n$ 条件。
- （即ち リングの 構造を とかく 考慮すれば -
 少数の 条件は 繰り重ねて きる。）

Spin-Matching 用 計算機・コード

- 各 Lab で その場のきにやつていい
- 一般的なものについては

SOM K. Yokoya

(北京の τ -charm 用に書いたもの)

ただし 未だ SAD にはつてない。

SAD 計算機に入れるべきこと

1. Flag を立てると 粒子の変数が

行列計算用に ($x, p_x, \dots, \delta, \alpha, \beta$)

tracking 用に ($\dots, \delta, S_x, S_y, S_z$)

になること

2. Basic な計算.

BMT 方程式, spin tune

Tracking (加速を含む)

3. 輻射偏極.

SLIM の V ベル --- 8×8 行列

SODOM の V ベル --- Tracking を使って spin-action
variable を求め3

4. Spin Matching

Nonlinear Study

S. Kamada

Nonlinear Study

S.Kamada

SAD Workshop

7~9 July 1998

実験的Nonlinear Study における可観測量

単粒子力学に基づくシミュレーション

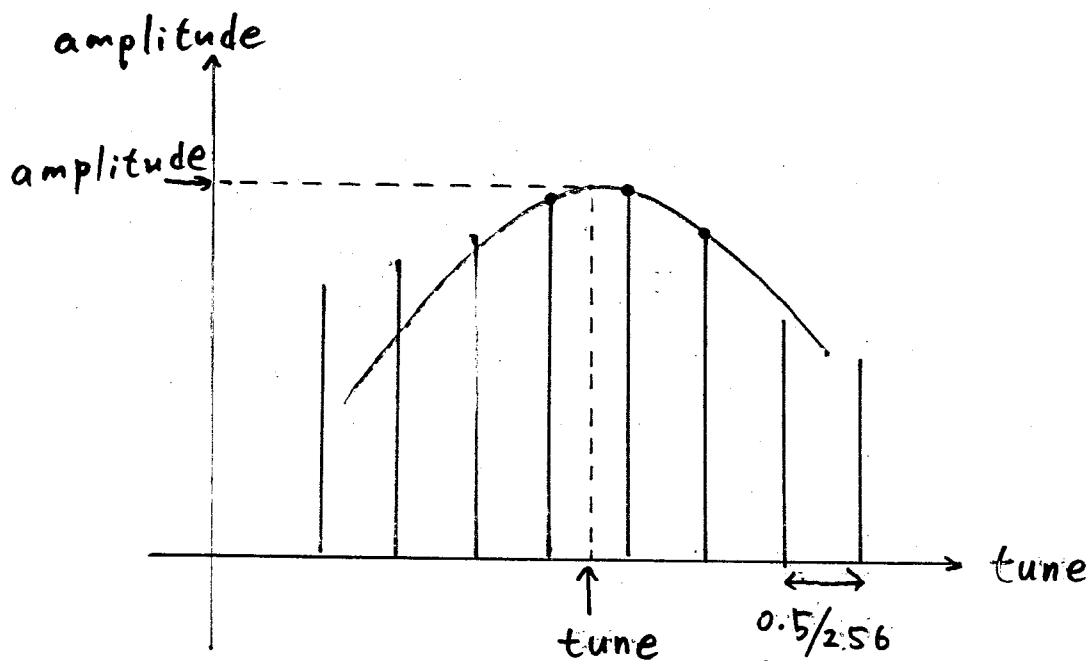
集団運動による限界

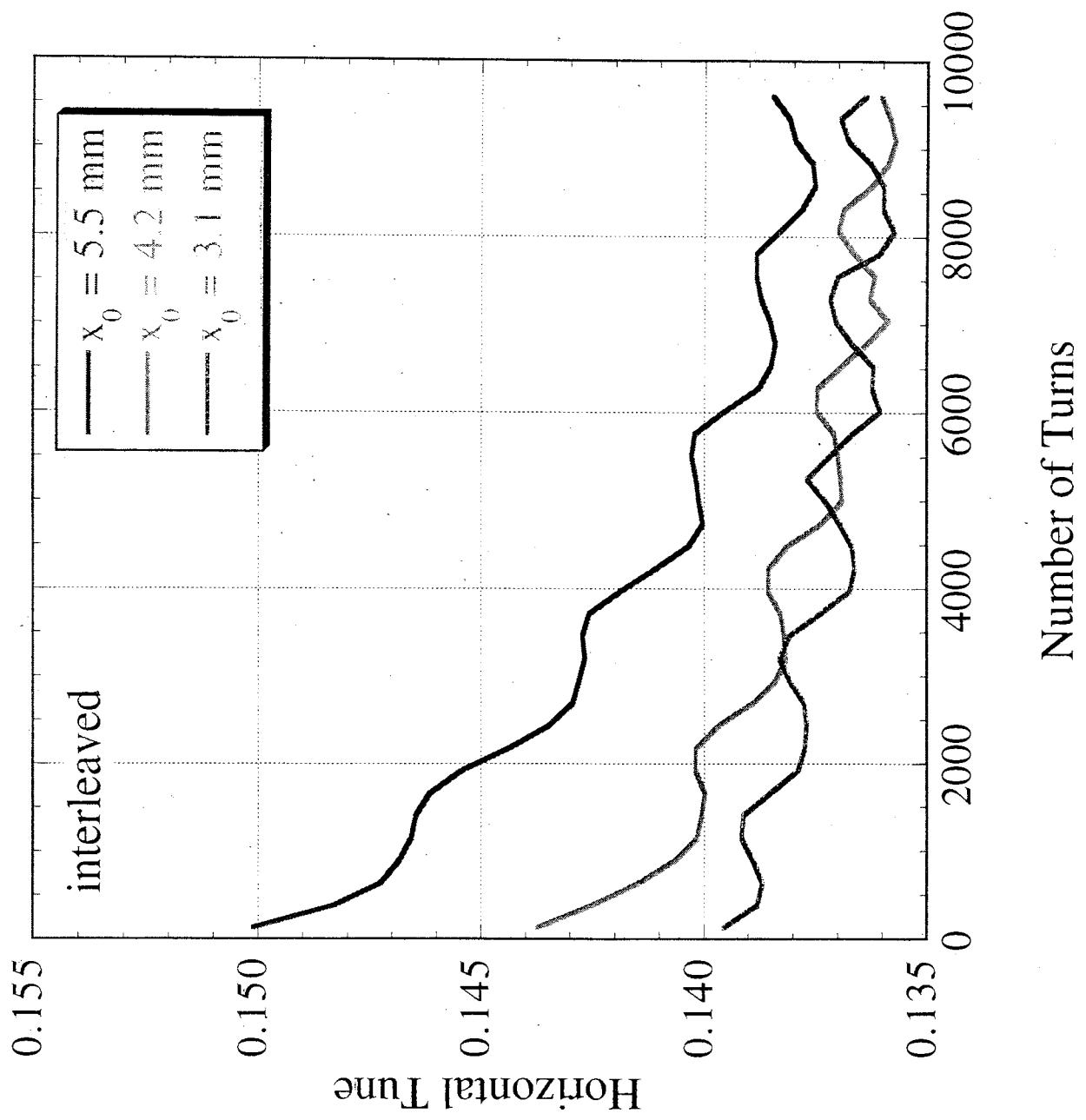
* Precise Measurement of Instantaneous Tune is needed

- Radiation Damping
- Head-Tail Damping
- Non Linear Filamentation

* Method

- turn-by-turn Position Monitor
good accuracy at small current
- FFT
take 256 turns with Hanning window
shift 50 turns in each step
- find 3 bins at the peak,
parabola fit to find the tune and amplitude





作用変数の違いから生じたヘータローフ振動数のズレ

$$\text{ハミルトン} = \mathcal{H}$$

$$\mathcal{H} = 2\pi \nu_y^o J_y + \alpha_{yy} J_y^2 + \alpha_{xy} J_x J_y + \alpha_{yz} J_y J_z$$

ヘータローフ振動数

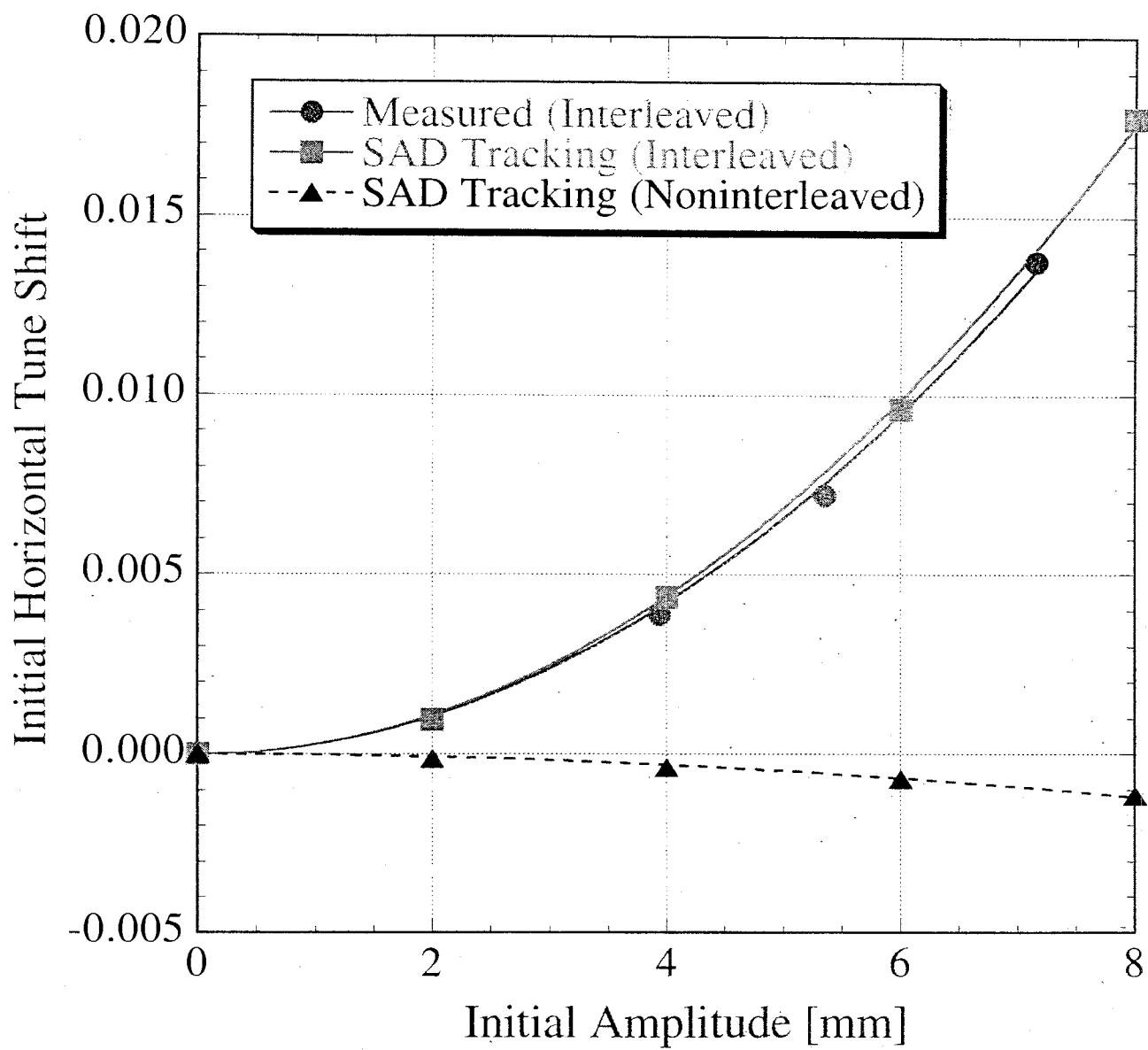
$$\nu_y = \frac{1}{2\pi} \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial t} = \frac{1}{2\pi} \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial J_y}$$

$$= \nu_y^o + \frac{1}{2\pi} (2\alpha_{yy} J_y + \alpha_{xy} J_x + \alpha_{yz} J_z)$$

粒子 A, B のヘータローフ振動数差

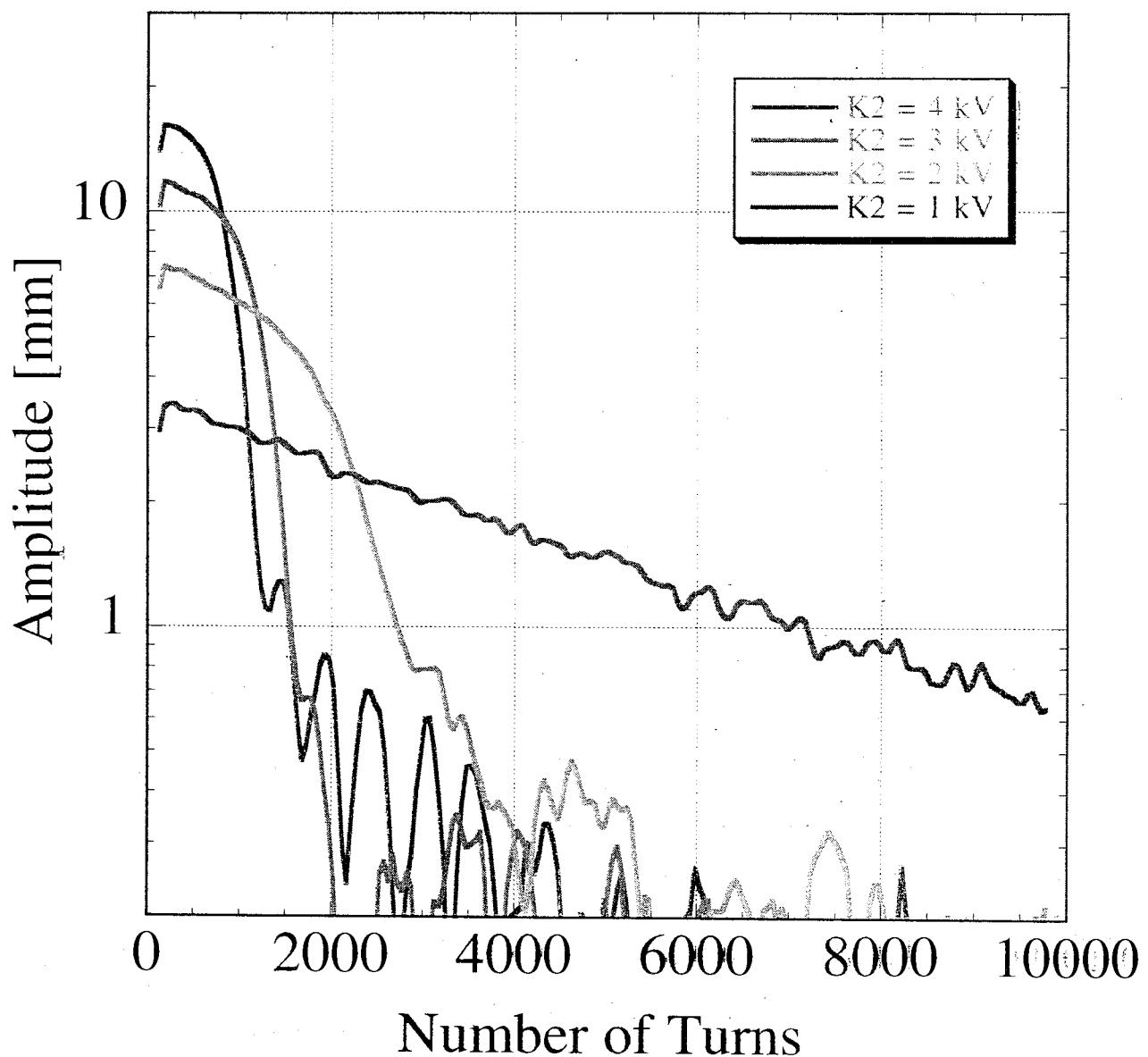
$$\Delta\nu = \nu_y^B - \nu_y^A = \frac{\alpha_{yy}}{2\pi} (2J_y^B - 2J_y^A)$$

$$\approx \frac{\alpha_{yy}}{2\pi} \frac{\Delta y}{\beta_y} 2\sqrt{\beta_y 2J_y^o}$$



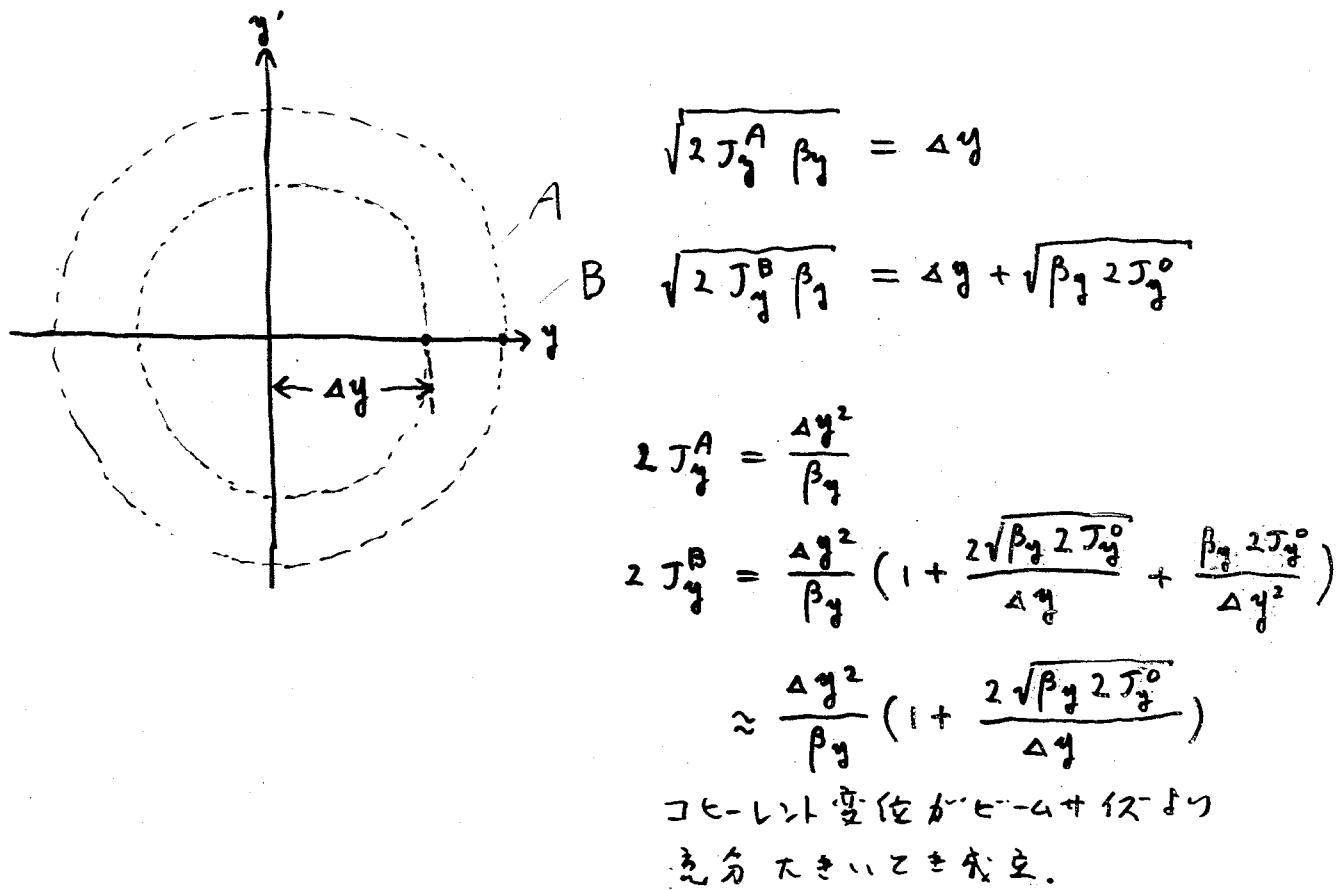
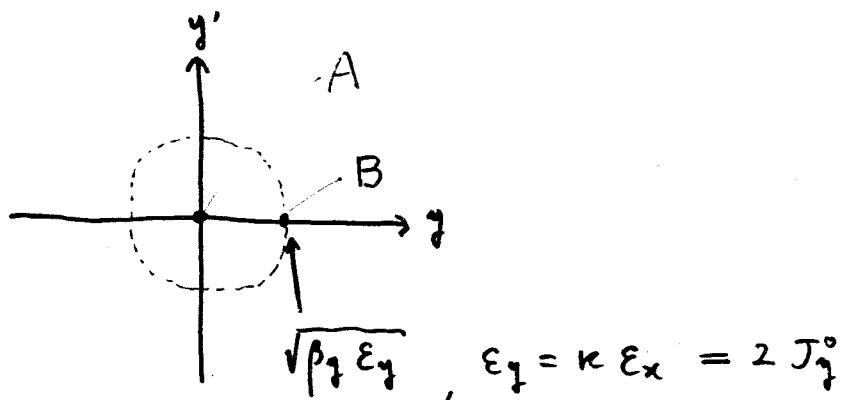
FUZ 92 MR = 2.43 DE-LLT HE 81

Decay の 実 違 い.



コヒーレントキック(位置変化)による作用量の増加

2. 立方モード



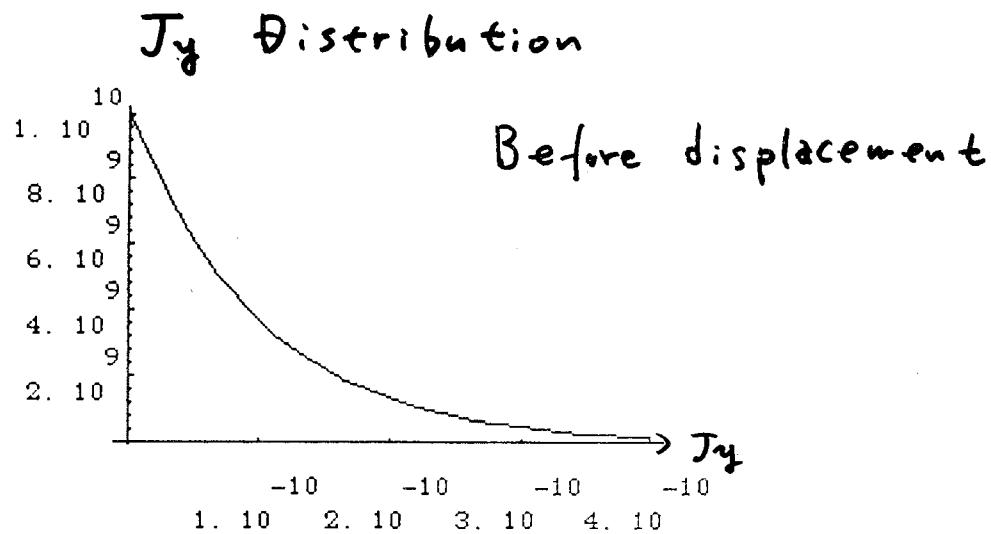


Figure 2: Action distribution by a zero displacement. Plot of $f_{J_y}(J_y)$ when $\varepsilon_y = 10^{-10}m$, $\beta_y = 0.2m$ and $\delta_y = 0$.

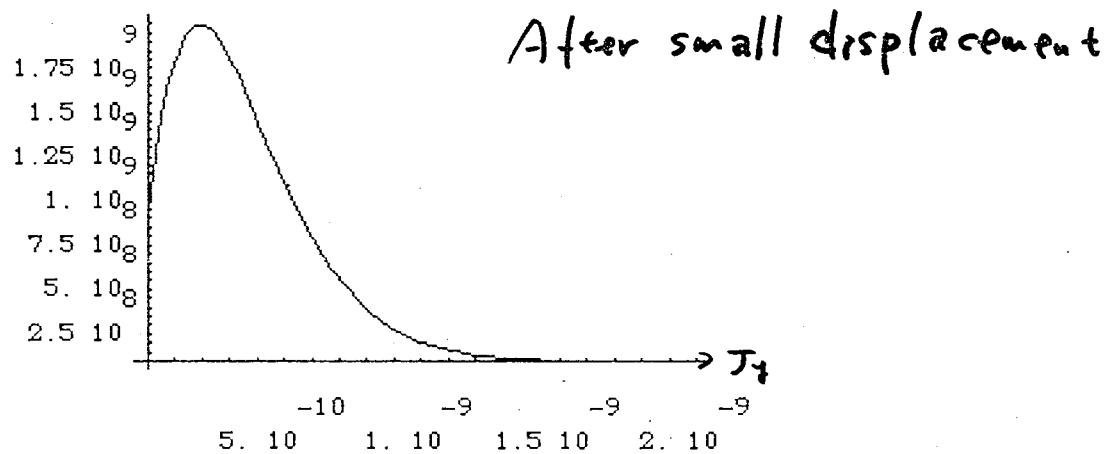


Figure 3: Action distribution by a smaller kick. Plot of $f_{J_y}(J_y)$ when $\varepsilon_y = 10^{-10}m$, $\beta_y = 0.2m$ and $\delta_y = 0.00001m$.

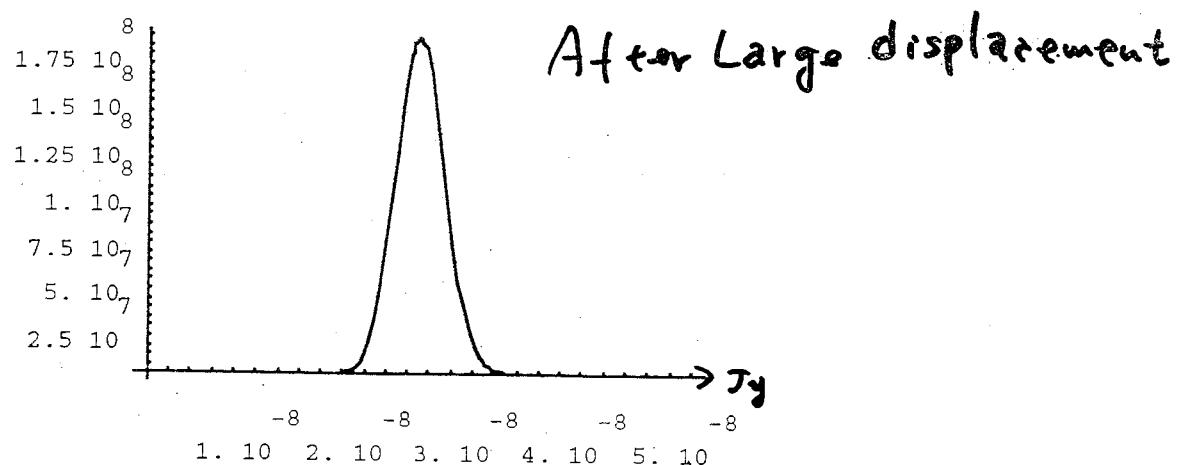


Figure 4: Action distribution by a larger kick. Plot of $f_{J_y}(J_y)$ when $\varepsilon_y = 10^{-10}m$, $\beta_y = 0.2m$ and $\delta_y = 0.0001m$.

Tune Distribution After Coherent Displacement

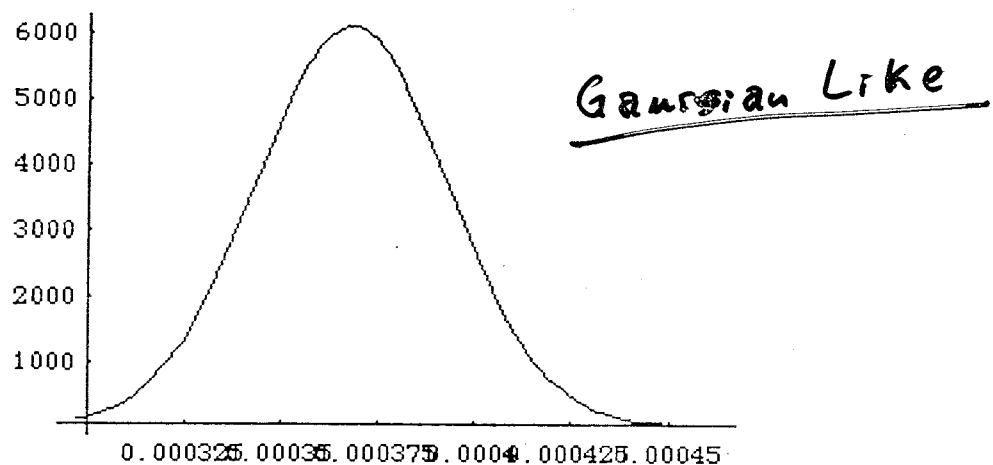
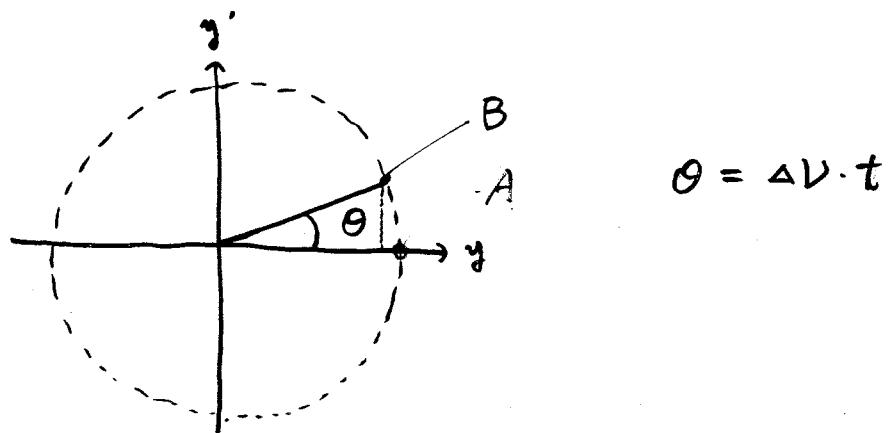


Figure 5: Distribution of tune caused by nonlinear tune shift after coherent displacement. $a_{xy} = -9299$, $a_{yy} = 47107$, $a_{yz} = 152$, $\varepsilon_x = 5 \cdot 10^{-9}$, $\varepsilon_y = 5 \cdot 10^{-11}$, $\varepsilon_z = 5 \cdot 10^{-7}$, $\beta_y = 0.2$ and $\delta_y = 0.0001$. Average and Standard Deviation of tune shift are 0.000380311 and 0.0000276356, respectively.

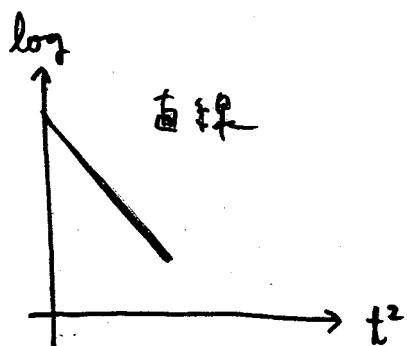
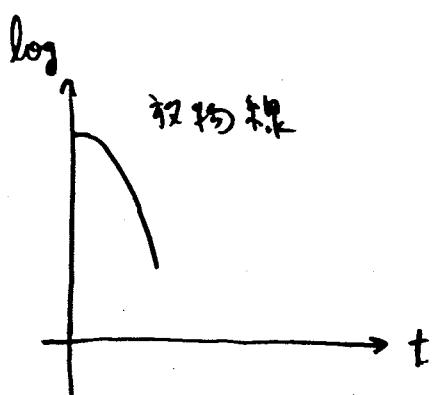
コト - レント半衰期の Decay 1.07-2



実空間 (y 軸上) における A, B の重心

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}(1 + \cos\theta) &\approx 1 - \frac{1}{4}\theta^2 \\ &\approx e^{-\theta^2/4} \\ &= e^{-(\Delta v \cdot t/2)^2} \equiv e^{-(t/\tau_d)^2} \end{aligned}$$

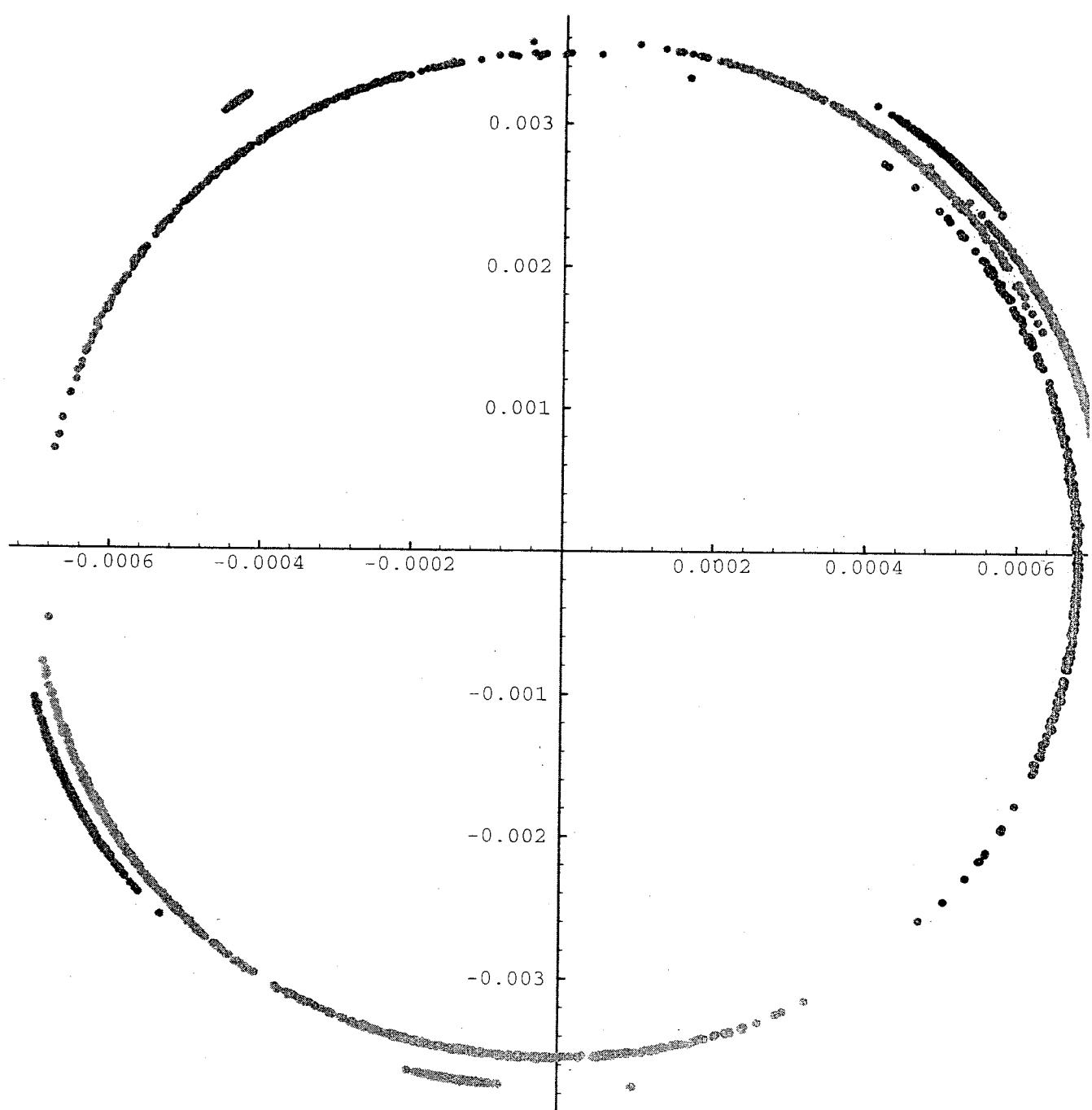
$$\tau_d = \frac{2}{\Delta v}$$



$$\begin{aligned}
 \sqrt{J_y(n)/J_y(0)} &= \sqrt{\frac{1}{2} (\langle y \rangle^2 + \langle p_y \rangle^2) / J_y(0)} \\
 &= e^{-\sigma_\theta^2/2} = e^{-\left(2\pi\sqrt{\langle \delta\nu_y^2 \rangle} n\right)^2/2} \\
 &\equiv e^{-(n/n_{NF})^2}
 \end{aligned} \tag{43}$$

where $J_y(n)$ stands for action of mass center motion n -turns after the coherent displacement. Eq. (43) also defines n_{NF} , damping time of coherent oscillation through nonlinear filamentation. In experimental measurements, n_{NF} is observable and gives tune-spread of the beam by the following relation.

$$\begin{aligned}
 (1/n_{NF}) &= \sqrt{2\pi\sigma_{\nu_y}} \\
 &= \sqrt{2} |a_{yy}| \Delta y \sqrt{\epsilon_y / \beta_y}
 \end{aligned} \tag{44}$$



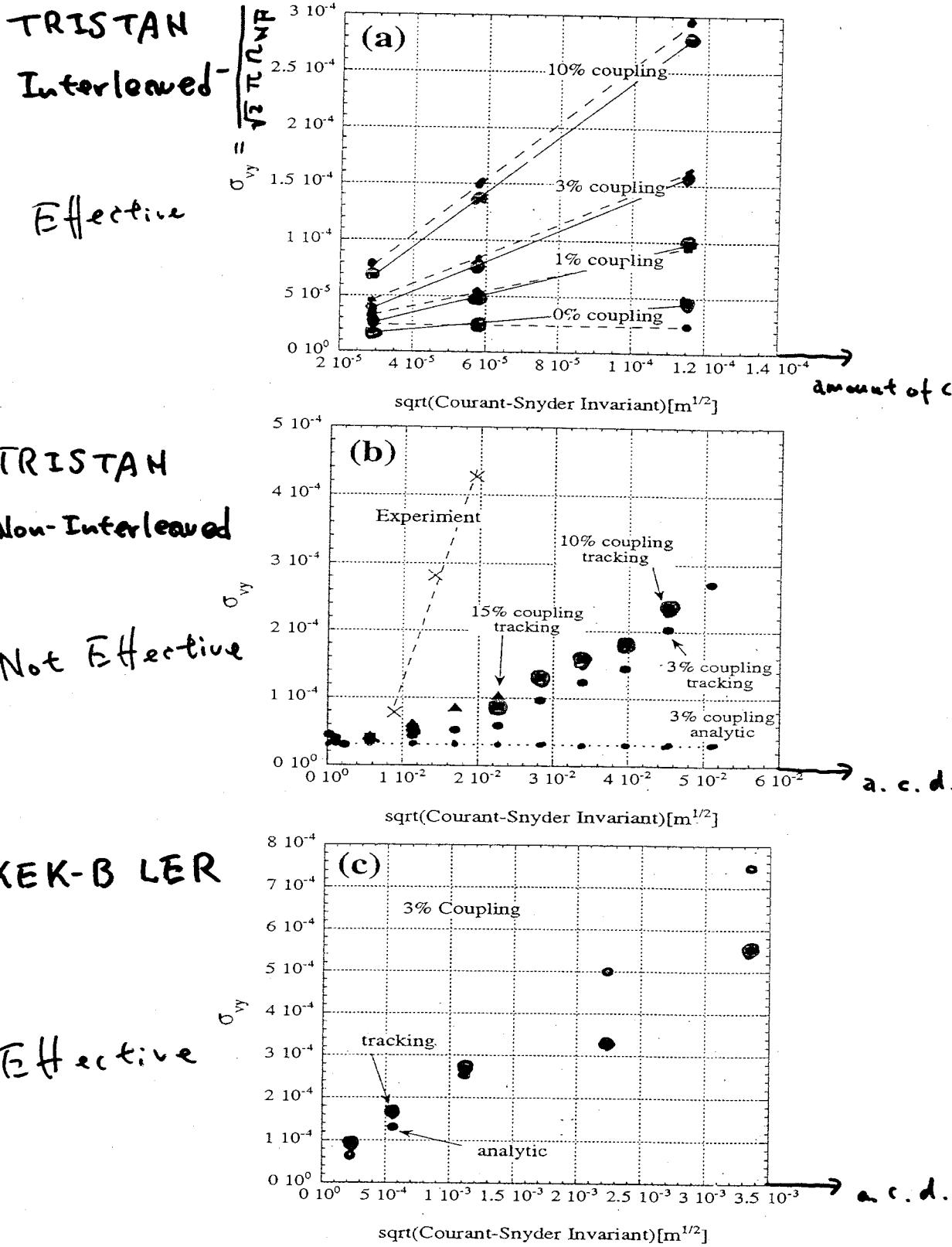


Figure 7: Tune-spread vs. Coherent-amplitude. Be aware large difference of horizontal scale between interleaved and non-interleaved optics. (a) Interleaved optic of TRISTAN. The simulation and the analytic results are indicated solid and broken lines, respectively. By increasing coupling, tune-spread becomes larger as expected from (24). (b) Non-interleaved optic of TRISTAN. Experimental data are calculated from Fig. 5. (c) KEKB-LER

Amplitude Decay

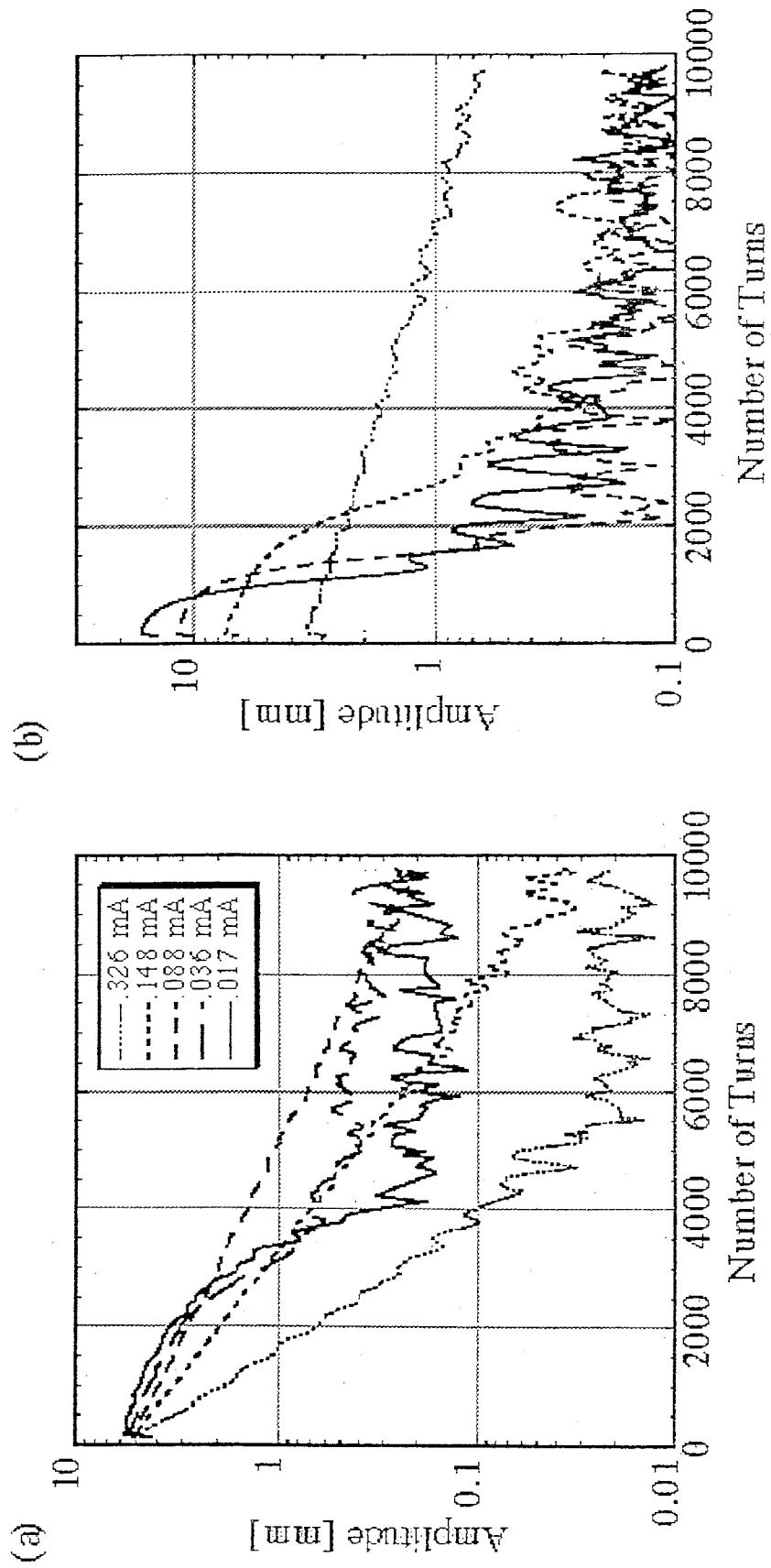
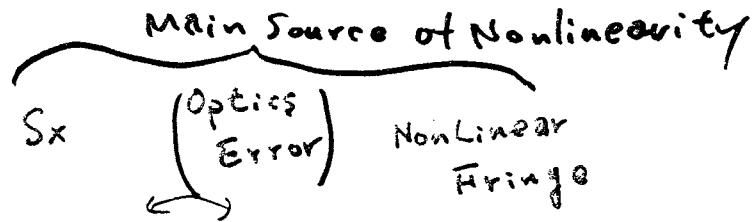


Fig. 3 The vertical oscillation decay. At low current or small initial amplitude, nonlinear filamentation is observed.

$$\text{Amplitude} \propto \exp \left\{ -n \left(\frac{1}{n_{\text{rad}}} + \frac{1}{n_{\text{heat tail}}} \right) - \left(n / n_{\text{NE}} \right)^2 \right\}$$



given
by DA
module
in SAD

	TRISTAN Interleaved	TRISTAN Non-interleaved	KEKB-LER Non-interleaved	ATF-DR 1.3 GeV
$a_{xx} [m^{-1}]$	5356.91	52.28	5998.13	-37721
$a_{xy} [m^{-1}]$	-9299.00	44.493	13178.38	101650
$a_{xz} [m^{-1}]$	88.86	728.87	87.86	49.8
$a_{yy} [m^{-1}]$	<u>47106.96</u>	-59.76	<u>29273.20</u>	9176
$a_{yz} [m^{-1}]$	152.134	323.14	-16.45	-16.7
$a_{zz} [m^{-1}]$	16.28	19.46	3.85	3.9
$\epsilon_x [nm]$	4.66	4.77	19.04	1.1
$\epsilon_z [nm]$	957.87	599.36	2431.12	1700
$\alpha_{x,y}$	0.91×10^{-4}	0.91×10^{-4}	1.29×10^{-4}	$2.7 \times 10^{-5} / 1.7 \times 10^{-5}$

Table 1: Nonlinear coefficients of optics for the simulation. Natural emittances and radiation damping rates are also given.

4 Results and Discussion

4.1 Simulation results and the analytic treatment

Results of the simulation are presented in Fig. 7 together with results of the analytic calculation by (23).

A good agreement between the simulation and the analytic treatment is found in Fig. 7 (a) for the interleaved TRISTAN optic. Also tune-spread depends on coherent-amplitude linearly as expected by (??).

On the other hand, the non-interleaved optic of TRISTAN in Fig. 7 (b) gives completely different answer between the simulation and the analytic results. Tune-spread does not depend on amplitude linearly and suggests nonlinear terms higher than included in (1). The simulation could not explain the experimental results and confess that the simulation model is far from reality.

KEKB-LER optic shows a fairly good agreement between the simulation and the analytic results especially in case of small coherent-amplitude.

- * Applicability to Hadron Machines
- * Applicability to Horizontal & Longitudinal directions
- * Extension to Coupled Cases

Beam-Beam Interactions (weak-strong model)

K. Ohmi

Beam-beam interactions (weak-strong model)

K. OHMI

平成 10 年 7 月 7 日

1 Introduction

Weak-strong model の範囲であらゆることを考慮した beam-beam map を作ることを目標としている。

- Weak-beam は macro-particles で表現する。ラティス map、放射減衰、放射励起は SAD に組み込まれている磁石要素、RF 空洞、RAD、FLUC を使用する。
- Strong-beam に対して、Guassian 近似の範囲であらゆる形状を取り入れる。ビームの $x - y$, $x - z$, $y - z$ 方向への静的な傾きも考慮される。
- Crossing angle、複数の衝突点に対応する。
- DA を使った解析も可能。

2 Basic formalism

2.1 Strong beam envelope in Lab. frame

まず Strong Beam の形状を決めなければならない。分布は 2 次までのモーメントで決められる。1 次のモーメントは closed orbit distortion で、2 次は Beam envelope matrix である。Beam Envelope の入力には Emittance と (拡張した) Twiss parameter を使う。3 自由度の Twiss parameter を定義する広く使われている方法はないので [1] の方法を使う。つまり

$$\boldsymbol{x}_{\text{physical}} = H R B \boldsymbol{x}_{\text{normal mode}} \quad (1)$$

ここで変換を表す 6×6 matrix、 B 、 R 、 H は

$$B = \text{diag}(B_u, B_v, B_w), \quad (2)$$

$$R = \begin{pmatrix} bI & -S_2 R_2^t S_2 & 0 \\ -R_2 & bI & 0 \\ 0 & 0 & I \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$H = \begin{pmatrix} \{1 - |H_x|/(1+a)\} I & H_x S_2 H_y^t S_2 / (1+a) & H_x \\ H_y S_2 H_x^t S_2 / (1+a) & \{1 - |H_y|/(1+a)\} I & H_y \\ S_2 H_x^t S_2 & S_2 H_y^t S_2 & aI \end{pmatrix}$$

である。ここで使われている 2×2 matrix は

$$B_i = \begin{pmatrix} \sqrt{\beta_i} & 0 \\ -\alpha_i/\sqrt{\beta_i} & 1/\sqrt{\beta_i} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$R_2 = \begin{pmatrix} r_1 & r_2 \\ r_3 & r_4 \end{pmatrix}, \quad H_i = \begin{pmatrix} \zeta_i & \eta_i \\ \zeta'_i & \eta'_i \end{pmatrix}. \quad (6)$$

である。Normal coordinate 上での Beam envelope はエミッタンスを対角成分とした対角行列であり、Physical coordinate すなわち Lab. 系では

$$\Sigma = \langle \mathbf{x} \mathbf{x}^t \rangle = H R B [\varepsilon] B^t R^t H^t \quad (7)$$

$$[\varepsilon] = \text{diag}(\varepsilon_x, \varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \varepsilon_z)$$

によって表される。

B, R, H は例えば、Strong beam のリングをエラーをいれたオプティクスから Twiss parameter を決めその値を入力すればいい。

ここでは Strong beam に対して座標系を選んでいる。 s 軸は Strong beam の進行方向で、 x, y 軸はそれに垂直にとられている。Head-on collision では weak-beam の座標系は strong-beam の座標系に対して、符号を変えるだけだが、crossing angle があると両座標系は複雑な関係になっている。

2.2 Transformation into Headon Frame

Weak strong のシミュレーションは Strong beam による、weak beam の map を求めることである。そのためには weak beam の座標系で Strong beam をあらわす必要がある。ここで双方の座標系のつながりがもっとも簡単な Headon collision の状態へローレンツ変換をするのが簡単である。

その変換は [2] を使う。すなわち

$$\begin{aligned}
 x^* &= \tan \phi z + \left(1 + \frac{p_x^*}{p_z^*} \sin \phi \right) x \\
 y^* &= y + \sin \phi \frac{p_y^*}{p_z^*} x \\
 z^* &= \frac{z}{\cos \phi} - \frac{H^*}{p_z^*} \sin \phi x \\
 p_x^* &= \frac{p_x - \tan \phi H}{\cos \phi} \\
 p_y^* &= \frac{p_y}{\cos \phi} \\
 \delta^* &= \delta - \tan \phi p_x + \tan^2 \phi H
 \end{aligned} \tag{8}$$

で表される。ここで

$$H = (1 + \delta) - \sqrt{(1 + \delta)^2 - p_x^2 - p_y^2}$$

$$p_z = \sqrt{(1 + \delta)^2 - p_x^2 - p_y^2}$$

である。Weak beam はこの式で変換させるが、Strong

Beam は同じ変換の線形部分をとるとする。すなわち

$$\begin{pmatrix} X^* \\ P_X^* \\ Y^* \\ P_Y^* \\ Z^* \\ \Delta^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \tan \phi & 0 \\ 0 & 1/\cos \phi & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/\cos \phi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/\cos \phi & 0 \\ 0 & -\tan \phi & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ P_X \\ Y \\ P_Y \\ Z \\ \Delta \end{pmatrix} \quad (9)$$

である。Headon Frame での Closed orbit、Strong Beam Envelope は Lab 系の Envelope から、この変換を行うことで求めることができる。

$$\begin{aligned} \langle x^* \rangle &= T \langle x \rangle \\ \Sigma^* &= \langle x^* x^{*t} \rangle = T \Sigma T^t \end{aligned} \quad (10)$$

2.3 Beam beam interaction on the head-on frame

ここまであとは head-on frame での任意の beam-envelope をもった strong-beam と macro-particle の衝突の問題である。 $s^* = 0$ での Beam の分布は

$$\psi^*(\mathbf{x}^*, s^* = 0) = \frac{1}{(2\pi)^3 \sqrt{\det \Sigma^*}} \exp\left(-\frac{1}{2} \Sigma_{ij}^{*-1} x_i^* x_j^*\right) \quad (11)$$

Beam Beam interaction を計算するために $z^*(s^* = 0)$ に対して Strong Beam をスライスし、2(4) 次元的な重心及び envelope を得る。

$$\begin{aligned} \langle x_i x_j \rangle_z &= \frac{\int dx dp_x dy dp_y d\delta x_i x_j \psi(\mathbf{x}, z)}{\int dx dp_x dy dp_y d\delta \psi(\mathbf{x}, z)} \\ \langle x_i \rangle_z &= \frac{\int dx dp_x dy dp_y d\delta x_i \psi(\mathbf{x}, z)}{\int dx dp_x dy dp_y d\delta \psi(\mathbf{x}, z)} \end{aligned} \quad (12)$$

この積分はガウス分布関数を積分変数に対し対角化することで容易に実行できる。11 の exp の肩は

$$\mathbf{x}^* \Sigma^{*-1} \mathbf{x} = \mathbf{x}_5 A \mathbf{x} + 2 \mathbf{x} \cdot \mathbf{b} z + c z^2 \quad (13)$$

ここで A を対角化させる直行行列 U と固有値 $a_\mu (\mu = 1, 2, 3, 4, 6)$ を使うと ($U^{-1} A U = a_\mu$)、各スライスの重心、envelope は

$$\langle x_\mu^* \rangle = -\frac{U_{\mu\nu} U_{\alpha\nu} b_\alpha}{a_{\nu\nu}} z \quad (14)$$

$$\Sigma_{5,\mu\nu}^* = \langle x_\mu^* x_\nu^* \rangle - \langle x_\mu^* \rangle \langle x_\nu^* \rangle = \frac{U_{\mu\alpha} U_{\nu\alpha}}{a_{\alpha\alpha}} \quad (15)$$

となる。ここで Σ_5 は z によらなく、 $\langle x \rangle$ は z に対して 1 次である。

さらに Σ_5^* は $x-y$ 平面での傾きも含まれているので、その平面で回転させ (R)、 $\langle x^*y^* \rangle = 0$ になるように座標をとったほうが、Beam Beam interaction を計算するのが簡単である。

$$R = \begin{pmatrix} I_2 \cos \theta & I_2 \sin \theta \\ -I_2 \sin \theta & I_2 \cos \theta \end{pmatrix} \quad (16)$$

$$\theta = -\frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2 \langle xy \rangle}{\langle xx \rangle - \langle yy \rangle} \right)$$

Σ_5^* が z によらないので当然この回転も z によらない。そのためスライスごとに回転する必要はなく、この変換を衝突前の weak beam と strong beam (重心と envelope) に行っておけばよい。

Weak beam と各スライスの衝突する場所は $s^* = 0$ ではないため、その場所までスライスを移動させる必要がある。

$$\Sigma_5(s) = M(s, 0)\Sigma_5(0)M^t(s, 0) \quad (17)$$

衝突点近傍がドリフトスペースの場合、 M は

$$M = \begin{pmatrix} 1 & s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

である。またその s に対する微分は

$$\frac{d\Sigma_5}{ds} = \frac{dM}{ds}\Sigma_5(0)M^t + M\Sigma_5(0)\frac{dM^t}{ds} \quad (18)$$

である。

Headon Frame での longitudinal slice 每の interaction は 6 次元で正準的な取扱いでその効果を評価する。

$$\begin{aligned}\mathcal{M}_{bb} &= \prod_i^{N_{slice}} \mathcal{D}(s_{i+1}, s_i) \mathcal{M}_{bb,i}(s_i, \Sigma(z_i^*, s_i)) \mathcal{D}(s_i, s_{i-1}) \\ &= \mathcal{D}(0, s_{N_{slice}}) \left[\prod_i \mathcal{D}(0, s_i) \mathcal{M}_{bb,i}(s_i, \Sigma(z_i^*, s_i)) \mathcal{D}(s_i, 0) \right] \mathcal{D}(0, s)\end{aligned}$$

ここで

$$s_i = \frac{z - z_i^*}{2}$$

は z をもつ weak beam 中の粒子と z_i^* の strong beam の i 番目のスライスの衝突する位置である。

\mathcal{D} はドリフトマッピングで、 \mathcal{M} はビームビームによる キックで Bassetti-Erskine Formula で表される。ただし Σ が z に依存しているので δ 方向にもキックを受ける。

$$p_x = p_x - f_x \quad (19)$$

$$p_y = p_y - f_y \quad (20)$$

$$\delta = \delta - g \quad (21)$$

ここで

$$f_y + i f_x = \frac{2Nr_e}{\gamma} \sqrt{\frac{\pi}{2(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)}} \left[w \left(\frac{x + iy}{\sqrt{2(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)}} \right) \right. \quad (22)$$

$$\left. - \exp \left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right) w \left(\frac{\sigma_y x / \sigma_x + i \sigma_x y / \sigma_y}{\sqrt{2(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)}} \right) \right]$$

$$g = \frac{N}{2} \left(\frac{d\Sigma_x}{ds} \frac{\partial U}{\partial \Sigma_x} + \frac{d\Sigma_y}{ds} \frac{\partial U}{\partial \Sigma_y} \right) \quad (23)$$

ここで

$$N \frac{\partial U}{\partial \Sigma_x} = -\frac{1}{2(\Sigma_x - \Sigma_y)} \{ x f_x + y f_y \\ + \frac{2Nr_e}{\gamma} \left[\frac{\sigma_y}{\sigma_x} \exp \left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right) - 1 \right] \} \quad (24)$$

アワーグラス効果は \mathcal{M} の中の $\Sigma(s_i)$ の項で考慮されている。

3 例

Luminosity は weak beam が通過する場所での strong beam の分布関数を足すことで得られる。

$$N_+ N_- f_{rev} h \sum_{turn} \sum_{particles} \sum_{slice} \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) / n_{turn}/n_{particle} \quad (25)$$

リングのパラメータ。

ϵ_x	1.8×10^{-8}
ϵ_y	3.6×10^{-10}
σ_z	4 mm
β_x	0.33 m
β_y	0.008 m
Half crossing angle	10 mrad
N_-	1.4×10^{10}
N_+	3.1×10^{10}

入力ファイル

```
BEAMBEAM    BMBM  =(NP=1.4D10 BETAX=0.3296D0 BETAY=0.8D-2 EX=0.D
                   EY=0.D0 EMIX=1.8D-8 EMIY=3.6D-10 DP=0.7589D-3
                   ALPHAX=0.D0 ALPHAY=0.D0 SIGZ=3.964D-3
                   SLICE=5.D0 XANGLE=10.D-3 STURN=nstart)
;
LINE      ASC=(IP BMBM ARCTN RFSECT ARCOT);
nparticle=20;
ON CMPLOT;
TRACK USE=ASC NPART=nparticle TURNS=nturn
NX=(1)
NY=(0.14142)
NZ=(1);
```

この例にはないが $r_1, r_2, r_3, r_4, zx, zpx, zy, zpy$ も同様に入力できる。Closed orbit は dx, dpx, dy, dpy である。

出力

*** Strong Beam setup *****

Number of Particles= 1.400000D+10

betau = 3.296000D-01m betav = 8.000000D-03m

etaX = .000000D+00m etaY = .000000D+00m

emittance x= 1.736400D-08m emittance y= 3.440000D-10m

Crossing angle 10.00 mrad

Envelope of Strong beam at IP (Streak image)

7.29461D-09	.00000D+00	.00000D+00	.00000D+00	1.57146D-07	.00
.00000D+00	5.26873D-08	.00000D+00	.00000D+00	.00000D+00-5.26	
.00000D+00	.00000D+00	2.75200D-12	.00000D+00	.00000D+00	.00
.00000D+00	.00000D+00	.00000D+00	4.30043D-08	.00000D+00	.00
1.57146D-07	.00000D+00	.00000D+00	.00000D+00	1.57149D-05	.00
.00000D+00-5.26864D-10	.00000D+00	.00000D+00	.00000D+00	.00000D+00	5.75

sigma x=8.540848D-05m

sigma y=1.658915D-06m

sigma z=3.964198D-03m

Conventional beam beam parameters

xix=.04063 xiy=.05077

Strong beam envelope of each slice

5.72317D-09	.00000D+00	.00000D+00	.00000D+00	.00000D+00
.00000D+00	5.26873D-08	.00000D+00	.00000D+00-5.26864D-10	
.00000D+00	.00000D+00	2.75200D-12	.00000D+00	.00000D+00
.00000D+00	.00000D+00	.00000D+00	4.30043D-08	.00000D+00
.00000D+00-5.26864D-10	.00000D+00	.00000D+00	.00000D+00	5.75934D-07

Its center of mass

9.99983D-03 .00000D+00 .00000D+00 *z

Tilt angle = .00 mrad

Envelope and its center on the tilt frame

5.72317D-09	.00000D+00	.00000D+00	.00000D+00	.00000D+00
.00000D+00	5.26873D-08	.00000D+00	.00000D+00-5.26864D-10	

.00000D+00	.00000D+00	2.75200D-12	.00000D+00	.00000D+00
.00000D+00	.00000D+00	.00000D+00	4.30043D-08	.00000D+00
.00000D+00-5.26864D-10	.00000D+00	.00000D+00	5.75934D-07	
9.99983D-03	.00000D+00	.00000D+00	.00000D+00	*z

***** Slice *****

1	1.39984589998645
	-.8415904230738
2	.5318893054592252
	-.2533010464054
3	.0
	.2533010464054002
4	-.531889305459226
	.8415904230738002
5	-1.39984589998645

Averaged beam position and size between 1 100

$\langle x \rangle$	$\langle y \rangle$	$\langle xx \rangle$	$\langle xy \rangle$	$\langle yy \rangle$
1.70430E-08	4.87955E-08	3.30160E-09	-2.22299E-12	4.22392E-12

Averaged beam position and size between 101 200

$\langle x \rangle$	$\langle y \rangle$	$\langle xx \rangle$	$\langle xy \rangle$	$\langle yy \rangle$
-3.29636E-07	3.79066E-08	3.24011E-09	-1.57437E-12	4.43860E-12

Luminosity/Ns/Nw/frev/Nbunch = 4.1940284E+04 cm⁻²

$\langle x \rangle$	$\langle y \rangle$	$\langle xx \rangle$	$\langle xy \rangle$
-1.2644591E-07	6.0590985E-08	6.3775961E-09	-2.7333656E-12

今後の拡張の可能性

- Mathematica like format
- Strong-beam の coherent motion

Simulation of Electron Beam with Space Charge Force

K. Oide

Simulation of Electron Beam with Space Charge Force

K. Oide

KEK, High Energy Accelerator Research Organization

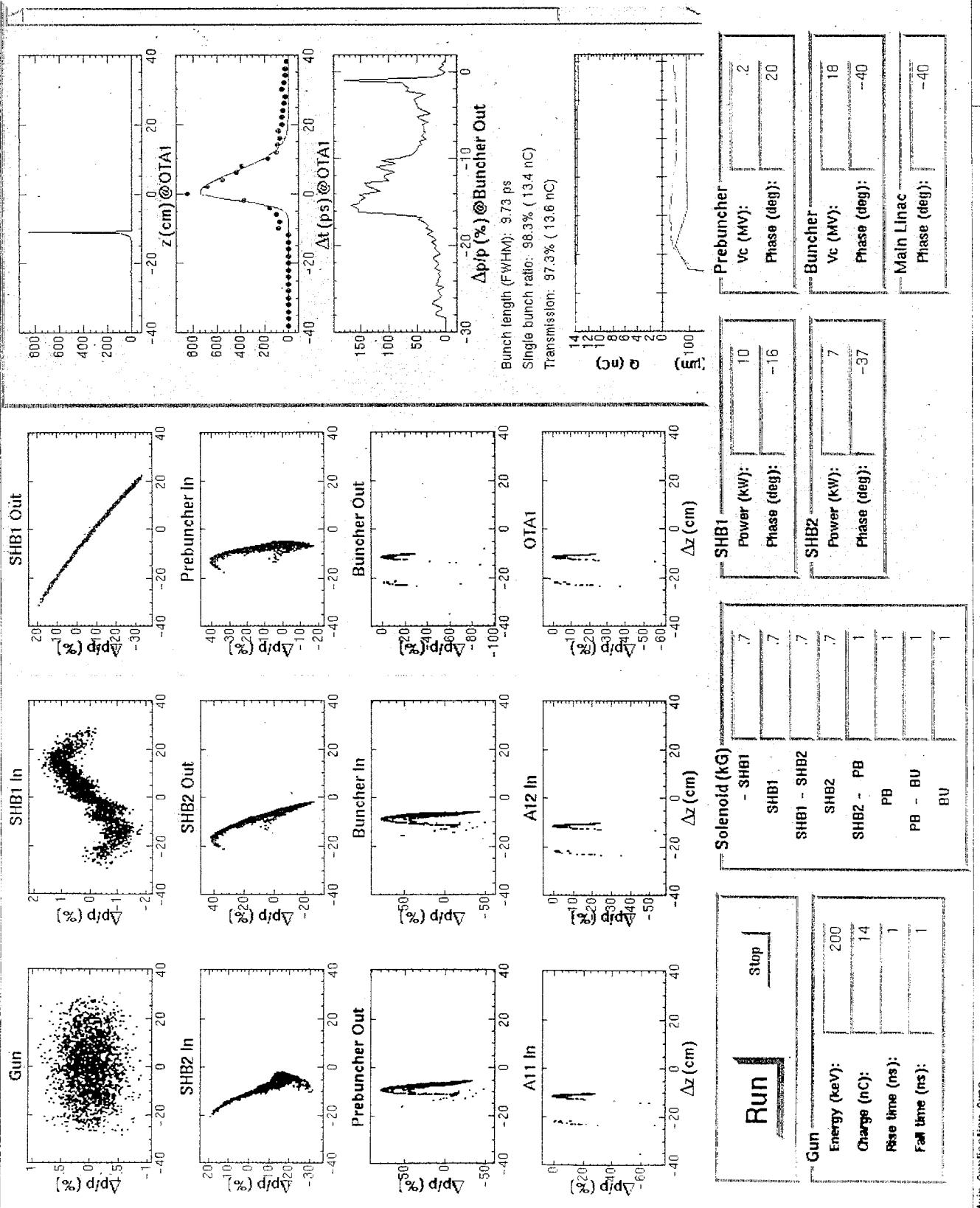
Oho, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

July 8, 1998

Abstract

A simulation code was made as a part of SAD for a bunching system of an electron gun for a linac with space charge effects. It was applied for the KEKB Injector Linac, and the result did not contradict to the observation (S. Ohsawa, Y. Ogawa).

- Multi particle, 3D beam.
- The space charge force is calculated by solving Poisson equation, assuming uniformity of the beam profile and the shape of the vacuum chamber.
- It neglects any electro-dynamical effects such as the field generated by the transverse motion of particles.
- cylindrical, uniform chamber.



Emittance Growth Due to Intra Beam Scattering

K. Oide

Emittance growth due to intrabeam scattering

K. Oide, SAD Workshop, 8-July-1998

Everything below is calculated in the rest frame of the beam.
Particle motion is assumed to be nonrelativistic in the rest frame.

$$\Delta \langle p_i p_j \rangle = c_I \Delta s \sum_{k=1,3} e_k r_{ik} r_{jk} ,$$

$$c_I = \frac{r_e^2 N}{8\pi\gamma^4 \varepsilon_x \varepsilon_y \varepsilon_z} \log(2b_{\max}/b_{\min}) ,$$

$$e_1 = f_2 + f_3 - 2f_1 , \quad \sum \varepsilon \geq 0$$

$$e_2 = f_3 + f_1 - 2f_2 , \quad \beta_z \gg \beta_x$$

$$e_3 = f_1 + f_2 - 2f_3 , \quad \Delta \varepsilon_z = \beta_z \Delta \varepsilon_x \Rightarrow \Delta \varepsilon_x$$

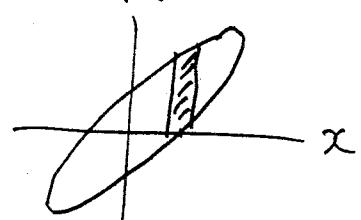
$$f_1 = \int_0^{\pi/2} \frac{2u_1 \sin^2 t \cos t dt}{\sqrt{(\sin^2 t + (u_1/u_2) \cos^2 t)(\sin^2 t + (u_1/u_3) \cos^2 t)}} ,$$

$$f_2 = \int_0^{\pi/2} \frac{2u_2 \sin^2 t \cos t dt}{\sqrt{(\sin^2 t + (u_2/u_3) \cos^2 t)(\sin^2 t + (u_2/u_1) \cos^2 t)}} ,$$

$$f_3 = \int_0^{\pi/2} \frac{2u_3 \sin^2 t \cos t dt}{\sqrt{(\sin^2 t + (u_3/u_1) \cos^2 t)(\sin^2 t + (u_3/u_2) \cos^2 t)}} ,$$

where (u_1, u_2, u_3) and r_{ik} are the eigen values and eigen vectors of the local momentum matrix, i.e.,

$$\langle \bar{p}_i \bar{p}_j \rangle = \sum u_k r_{ik} r_{jk} .$$



The maximum and minimum impact parameters are chosen as

$$b_{\max} = \min \left((V/N)^{1/3}, \sqrt{v_1}, \sqrt{v_2}, \sqrt{v_3} \right) ,$$

$$b_{\min} = \max \left(r_e, \sqrt{\frac{V}{\pi N v_t \max(\tau_x, \tau_y, \tau_z)}} \right) ,$$

where V is the bunch volume, v_1, v_2, v_3 are the eigen values of the beam spatial matrix $\langle x_i x_j \rangle$, (τ_x, τ_y, τ_z) are the radiation damping times, and $v_t = \sqrt{u_1 + u_2 + u_3}/m$ is the average transverse velocity.

Synchrotron Radiation

S. Kamada

Synchrotron Radiation

S.Kamada

SAD Workshop

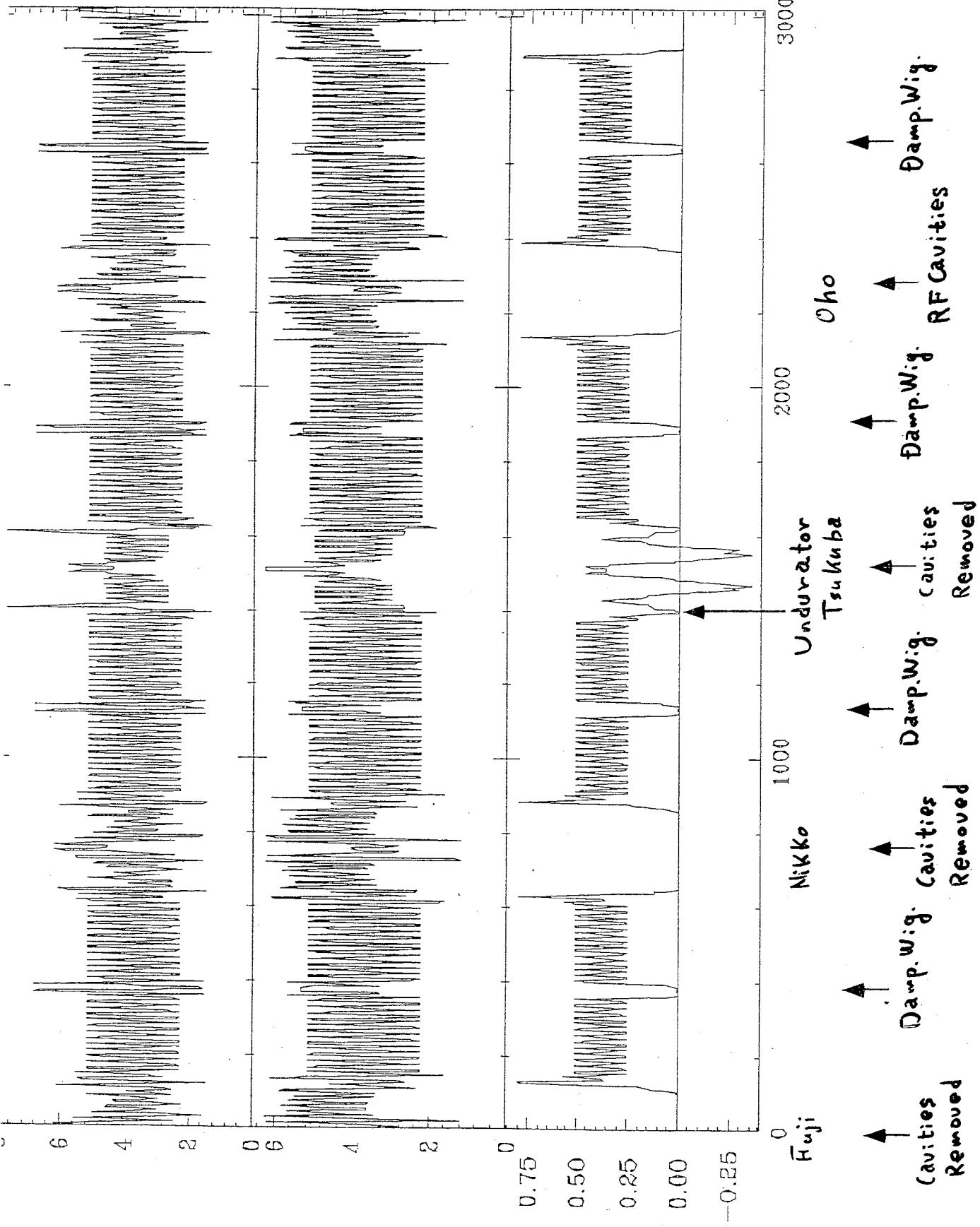
7~9 July 1998

MR放射光実験における問題提起

SADにおけるシンクロトロン放射の計算方法

シンクロトロン放射光のシミュレーション

Far-Field Limit近似を越えて



u_x (m) v_{B_x} (Vm) v_{B_y} (Vm)

Experimental Observations

(2) change of σ' photon with ID gap change

rocking curve by (+, +) arrangement

$> 10 \mu\text{rad}$ at $K \approx 1$

(1.) c.o.d. generation in a whole ring with ID gap

$\sim 20 \mu\text{rad}$ kick in vertical plane at $K=1$

no horizontal kick

(3.) reduction of σ' photon

by superimposing horizontal field

to correct the induced vertical kick

σ' photon : $9 \mu\text{rad} \rightarrow 8 \mu\text{rad}$

no further reduction by two pieces correction

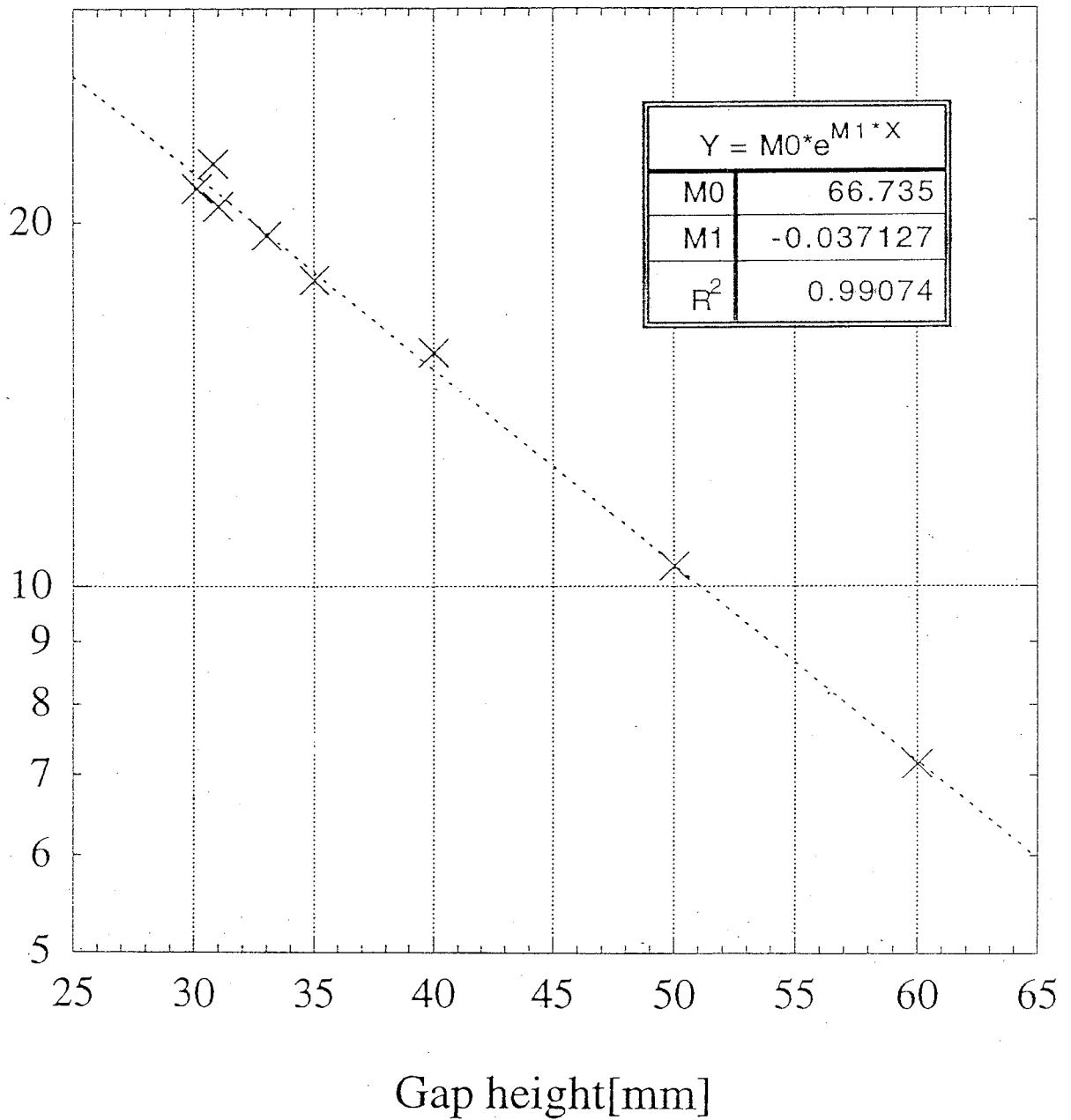
(4) Spectrum flux

(5) light angular divergence with bunch current

... \times ... L

cod induced by undulator 1:11:23 PM 3/17/97

Kick total [μ rad]

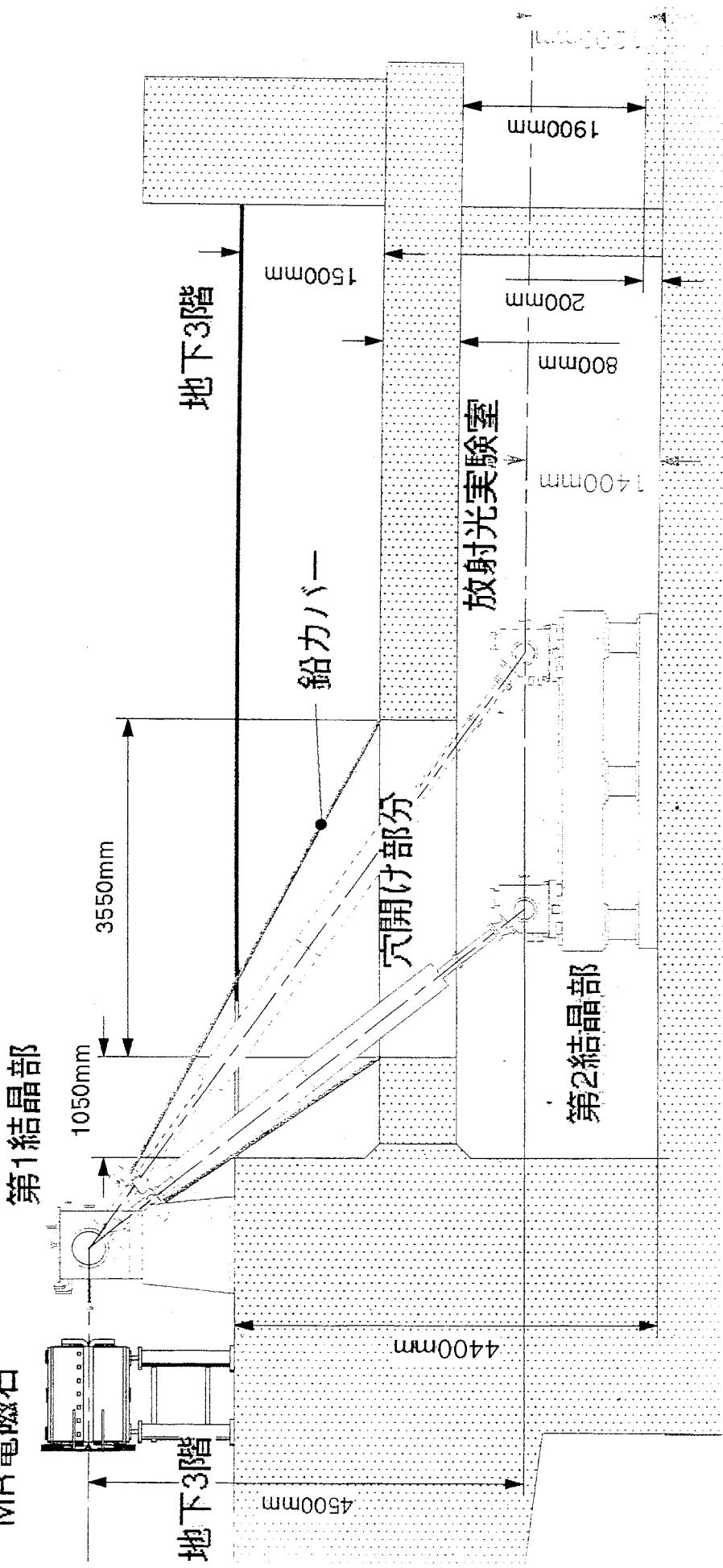


Gap height[mm]

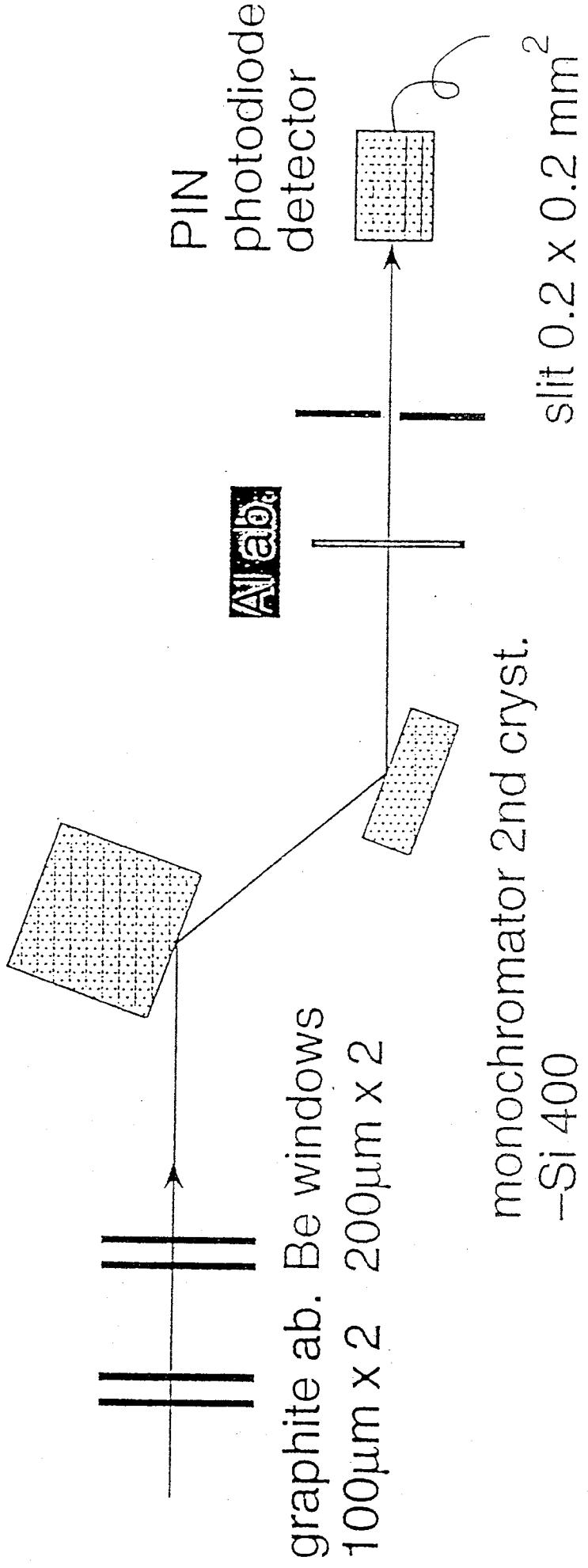
筑波地下室のリングから外側に向かって見た断面図。

トリスタン筑波実験室

MR電磁石 放射光ビームライシモノクロメーター

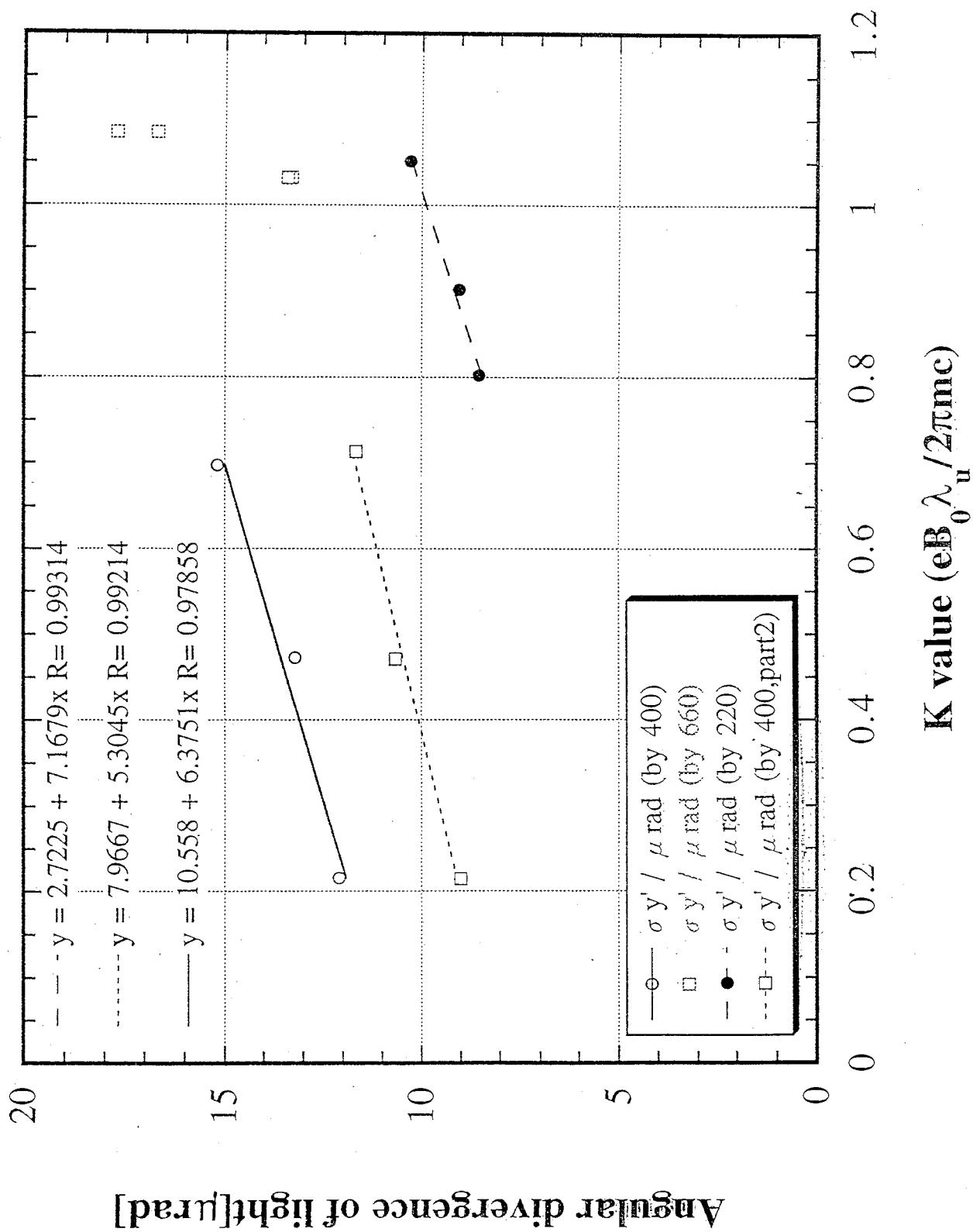


monochromator 1st cryst.
+Si 400
cooled by lq. N₂



experimental arrangement for spectrum meas.

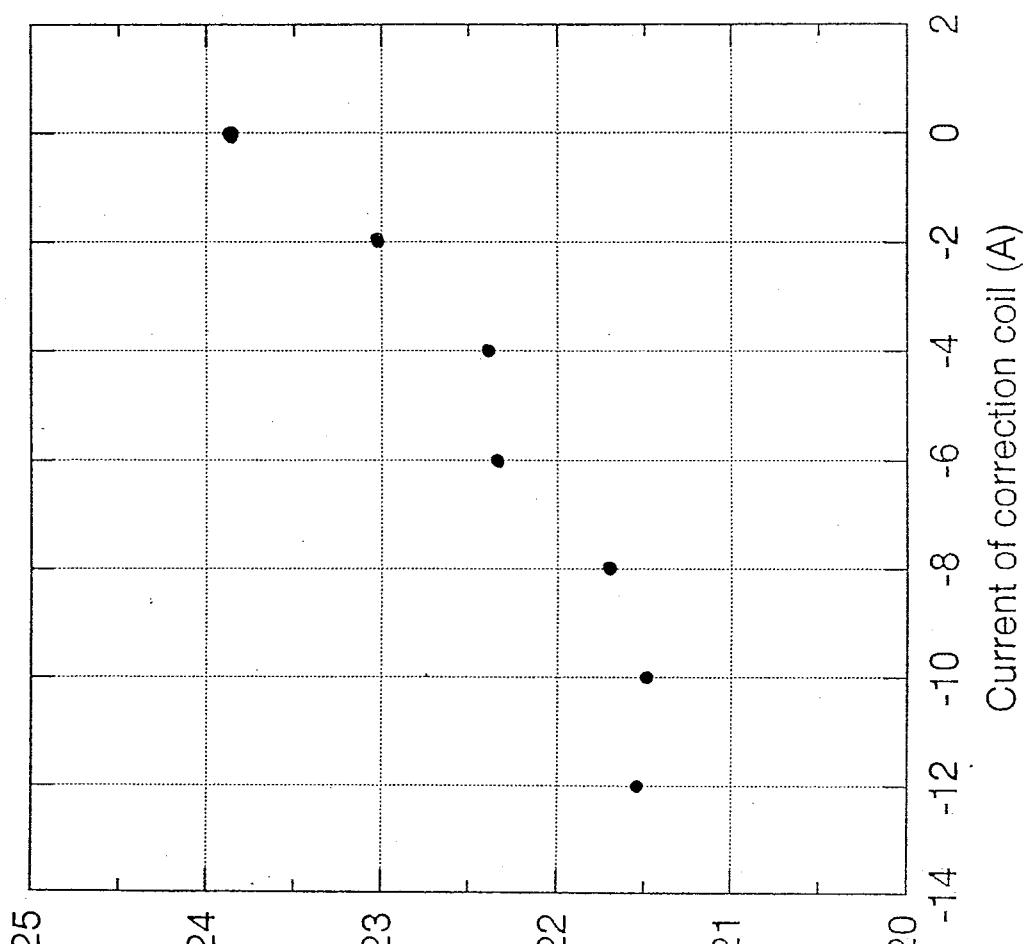
Angular Divergence of Undulator Light vs. Undulator Field



Effect of correction coil of undulator

One Piece Correction

No further Improvement
by Two Pieces
Correction



Angular divergence of light beam (arbitrary unit)

Computing Algorithm (Oide)

0. treat all terms of Heaviside-Feynman Exp. in time domain

$$E(t) = \frac{e}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{in}{R^2} + \frac{R}{c} \frac{d}{dt} \frac{in}{R^2} + \frac{1}{c^2} \frac{d^2 in}{dt^2} \right]$$

t: observer time

1. calculate trajectory of electron indexed by emitter time using SAD (Strategic Accelerator Design Code) tracking module
Track Particles RADLIGHT

2. calculate radiation field in time domain for each observer position
 t' (emitter time) \rightarrow t (observer time)
Radiation Field

3. calculate Fourier Transform to get
spectral flux Radiation Spectrum
 - brightness
 - brilliance
 - rocking curve

TrackParticles[beam, destination-component]

returns a beam after the tracking at the upstream of the destination-component. The destination can be specified by the name of the component or by a number which can be obtained by LINE["POSITION", component]. If destination is omitted, the end of the line is assumed.

The variable beam and also the result of TrackParticles are lists of the form

{location, coordinates}

where location is the position-number of the starting point. If location is same as or in the downstream of destination, the tracking is done by folding to the beginning of the line. The coordinates is a list of {7, np} form, where np is the number of particles. The first 6 elements of coordinates specifies

{x, px/p0, y, py/p0, z, dp/p0}

in this order. The {7, i} is the flag which is True(==1) when the particle is alive, and False(==0) has been lost.

TrackParticles does (less than) one turn tracking. You can do multi-turns tracking by repeating this function.

When a flag RADLIGHT is on, TrackParticles returns the trajectories of particles which are used to calculate the radiation fields. See RadiationField and RadiationSpectrum.

Radiation Spectrum

To calculate the field of the synchrotron radiation from particles, first record trajectories of particles. This is done by the function TrackParticles with a new flag RADLIGHT on. When RADLIGHT is on, TrackParticles returns a list

{beam, trajectory} ,

where beam is a list as {location, coordinates}, and trajectory is a list

{ {t1 .. tm}, {x1 .. xm}, {y1 .. ym}, {z1 .. zm} }, ..

where $\{t, x, y, z\}_i$ is the coordinates of the particle at i-th point in the trajectory. The origin and the direction of the spacial coordinates are the same as GEO coordinate {GX, GY, GZ}. One can track many particles at the same time by TrackParticles, so the trajectory has the dimensions {np, m}, where np is the number of particles.

After the trajectory is obtained, one can calculate the field in time domain at any observation point. This is done by the new function RadiationField as

field = RadiationField[trajectory[i], obs];

where trajectory[i] is the trajectory of the i-th particle, and obs is the spacial coordinate of the observation point in the GEO coordinate. The output field is a list

{ {tau1 .. taum},
 {Ex1 .. Exm}, {Ey1 .. Eym}, {Ez1 .. Ezm},
 {Hx1 .. Hxm}, {Hy1 .. Hym}, {Hz1 .. Hzm},
 {Sx1 .. Sxm}, {Sy1 .. Sym}, {Sz1 .. Hzm} }

where $H = n \times E$ and $S = E \times H$, and tau is the observation time.

RadiationField uses Feynmann-Heviside formula

$$E = (\mu_0 e / 4\pi) (c^2 n / R^2 + R/c d(c^2 n / R^2) / dt + d^2 n / dt^2) ,$$

where n and R are the direction vector and the distance from the electron at the retarded time to an observation point.

The derivatives in the above formula is calculated using the spline interpolation.

Next one can calculate the spectrum of the field by RadiationSpectrum as

```
spect = RadiationSpectrum[ {field[1], field[k]},  
{lambda1, lambda2, dlambda} ],
```

where filed[k] is one of the fields calculated by RadiationField. The range of the wavelength is given as a list above. The output spectrum spect is a list as

```
{ {k1 .. kk}, {c1 .. ck}, {s1 .. sk} },
```

where k1 .. kk is the wave number $k = \omega/c$, c1 .. ck and s1 .. sk are the cosine and sine integrals of the field in tau1 .. taum , i.e.,

$$ck + I sk = \text{Integrate}[\text{field}[\tau] \text{Exp}[I c k \tau] d\tau] .$$

An example is seen in /users/oide/WORK/oldsad/sad/examples.sad .

Simulation of Correction

1. correct pole rotation errors in average

for whole Undulator

2.

for 2 parts of Undulator

3

.

4

.

5

実際のアンジュレータ

シミュレーションモデル

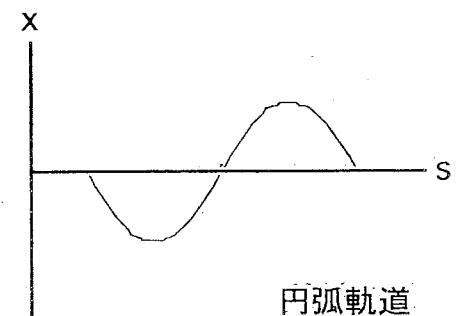
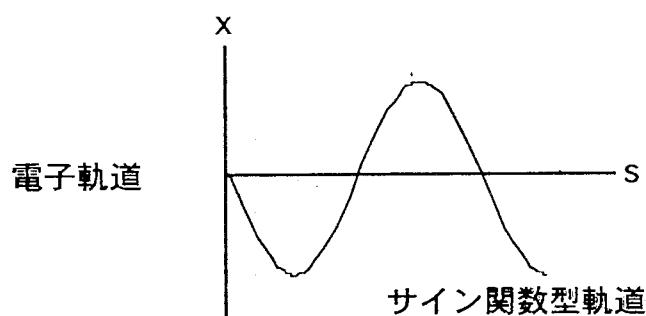
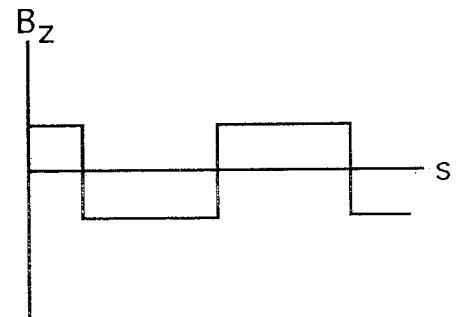
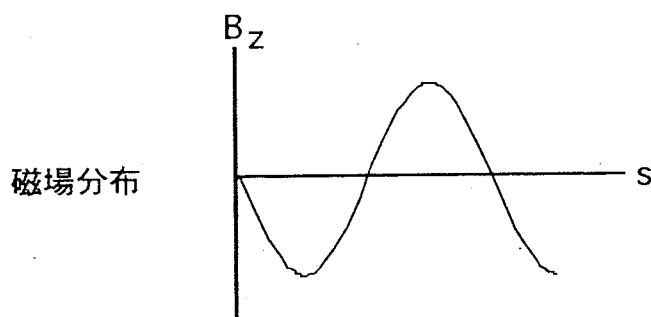
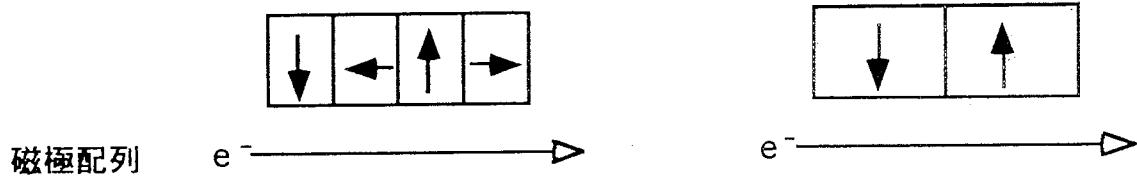
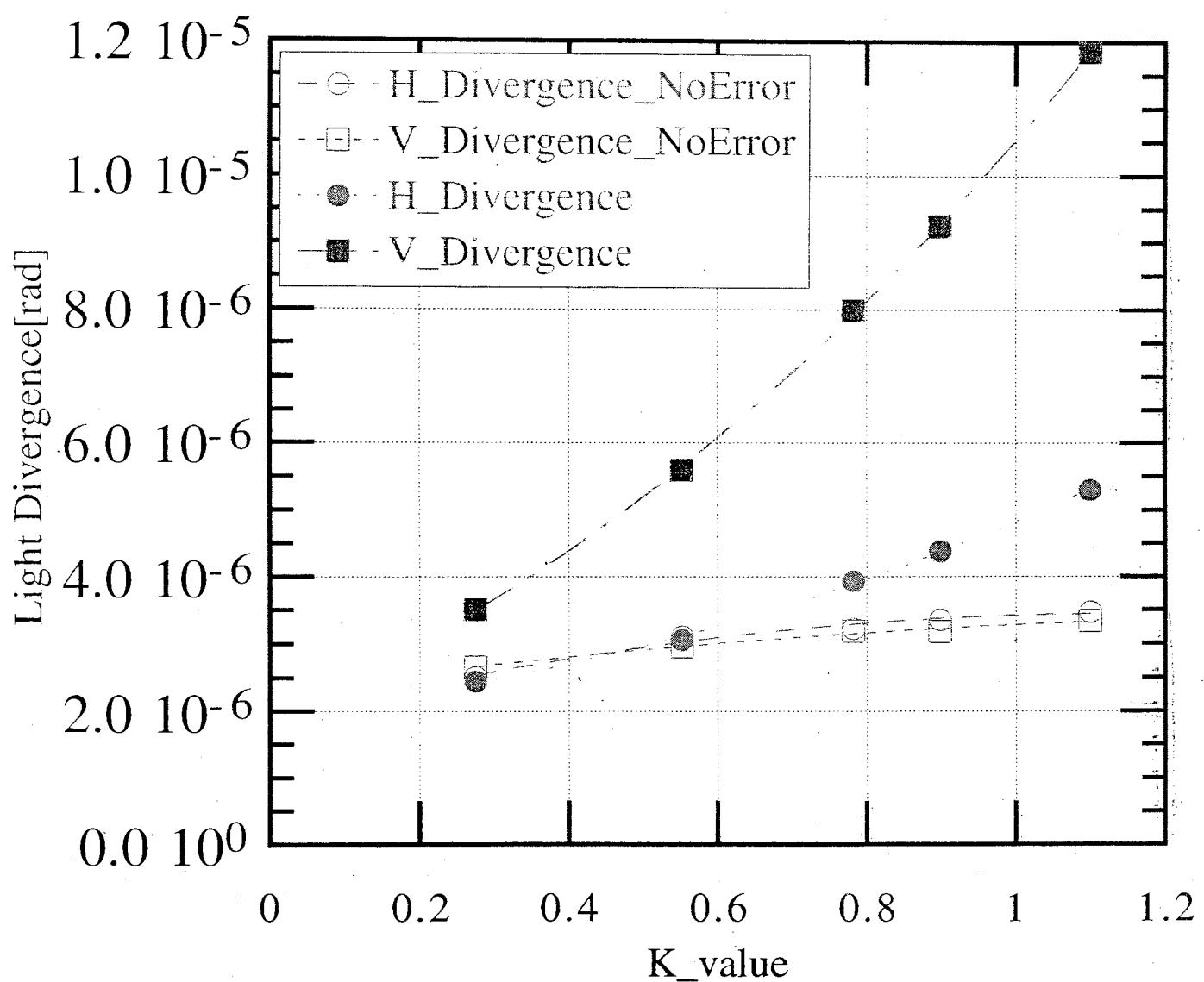
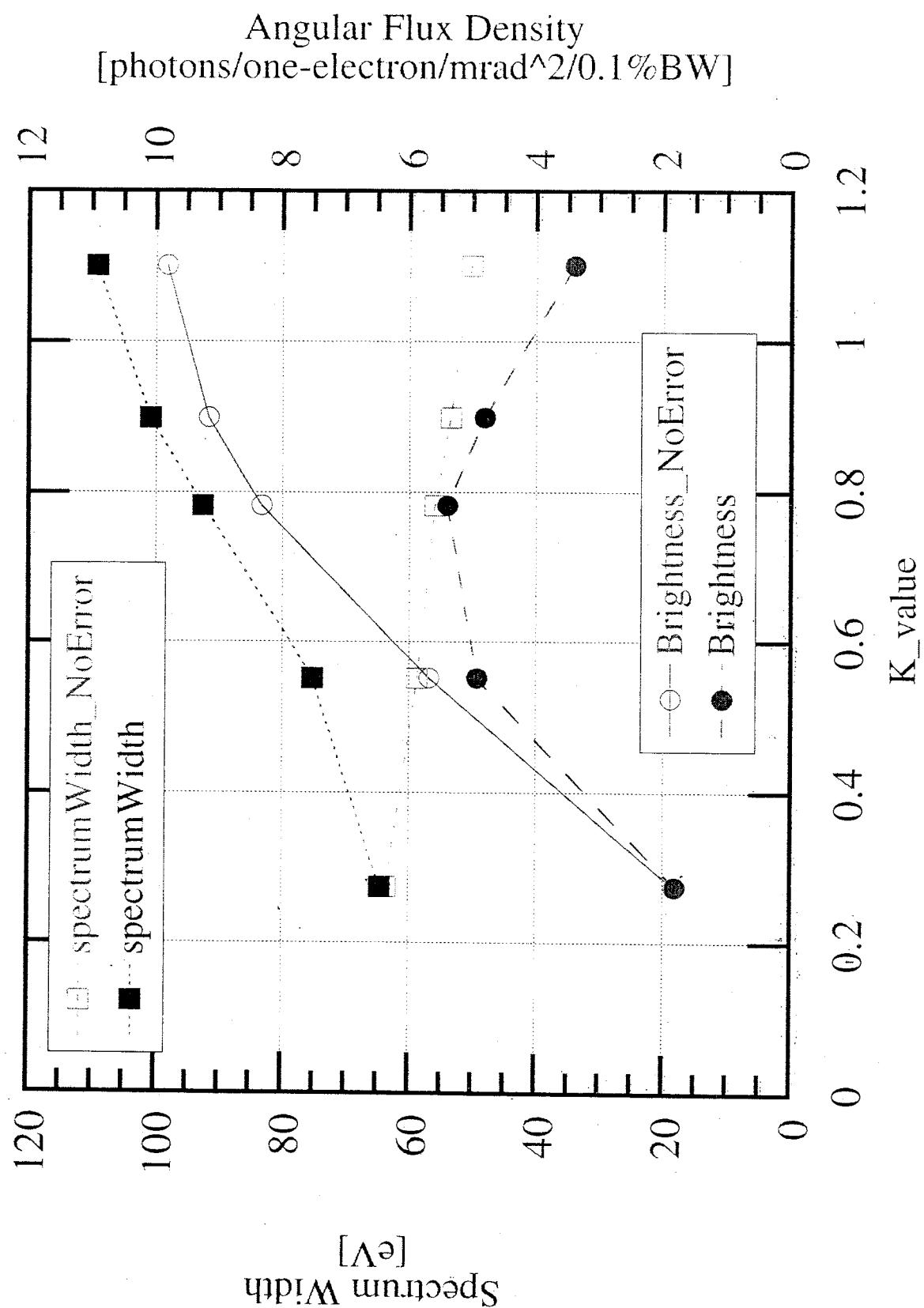


図4 アンジュレータ磁場の取り扱い

アンジュレータ不整磁場の有無による

光発散角の K 値 依存 性





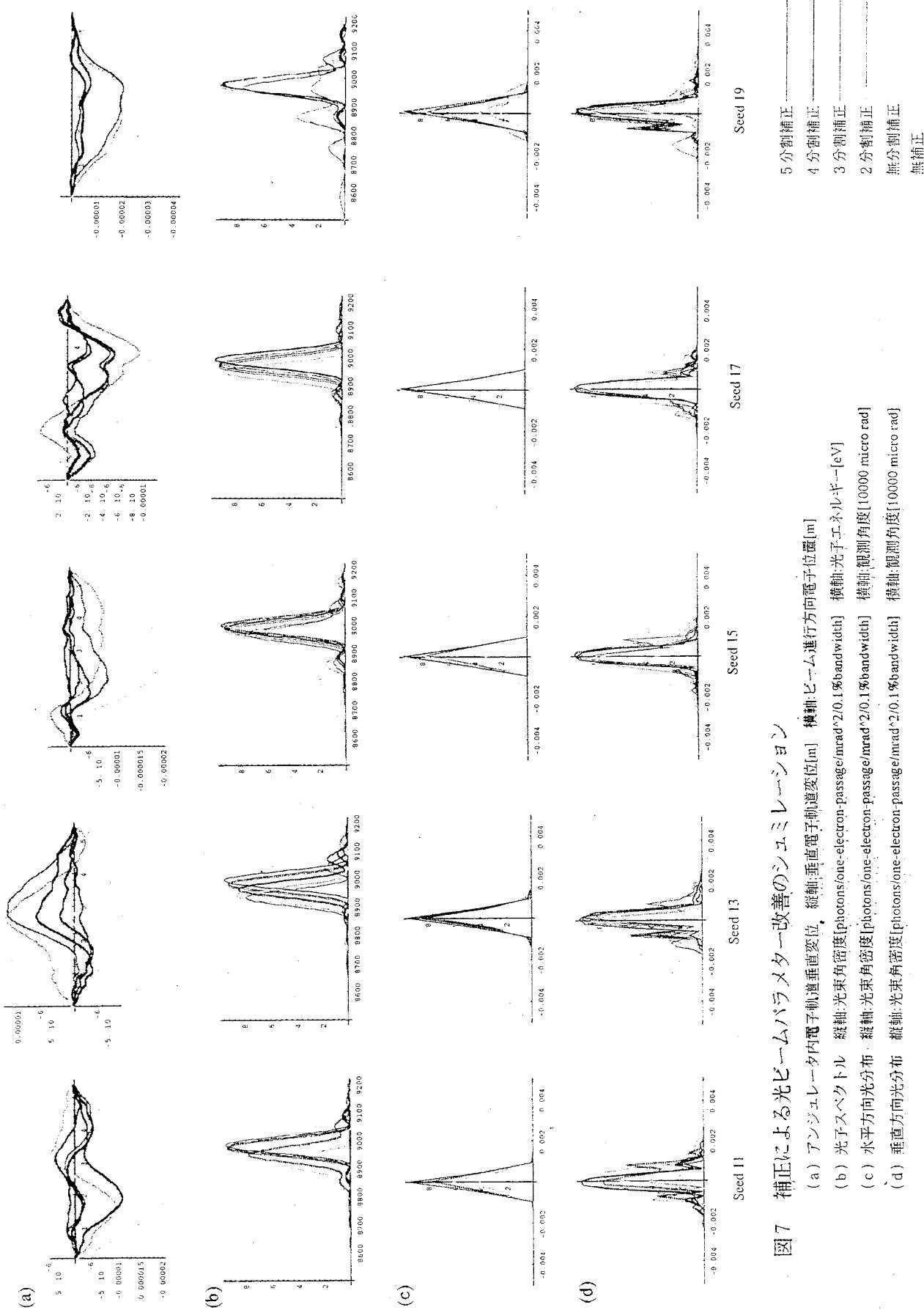


図7 补正による光ビームパラメーター改善のシミュレーション

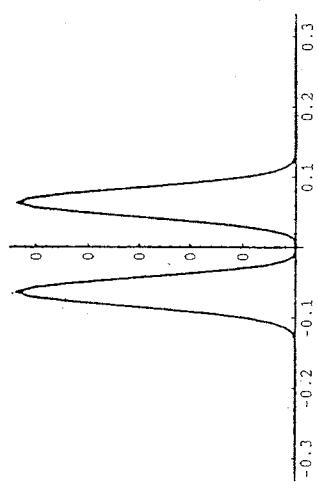
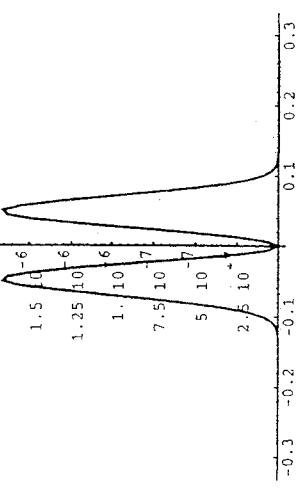
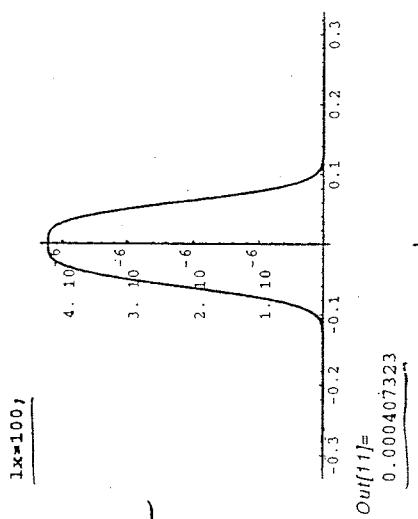
(a) アンジェレータ内電子軌道垂直変位 横軸:ビーム進行方向電子位置[m] 縦軸:光子エネルギー[eV]

(b) 光子スペクトル 横軸:光束角密度[photons/one-electron-passage/mrad^2/0.1%bandwidth] 縦軸:観測角度[1000 micro rad]

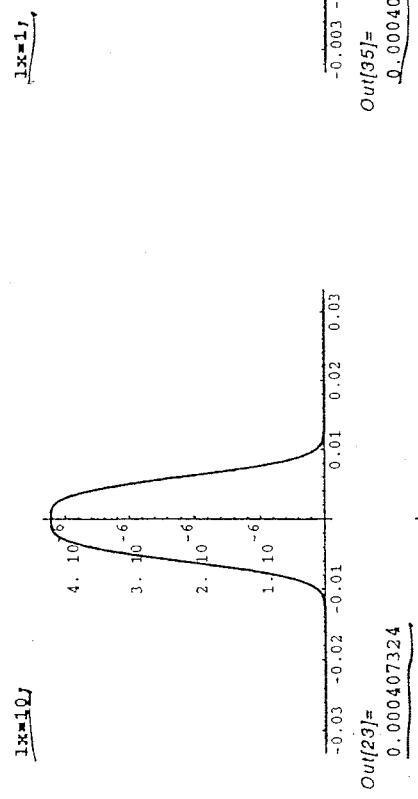
(c) 水平方向光分布 横軸:光束角密度[photons/one-electron-passage/mrad^2/0.1%bandwidth] 縦軸:観測角度[10000 micro rad]

(d) 垂直方向光分布 横軸:光束角密度[photons/one-electron-passage/mrad^2/0.1%bandwidth] 縦軸:観測角度[10000 micro rad]

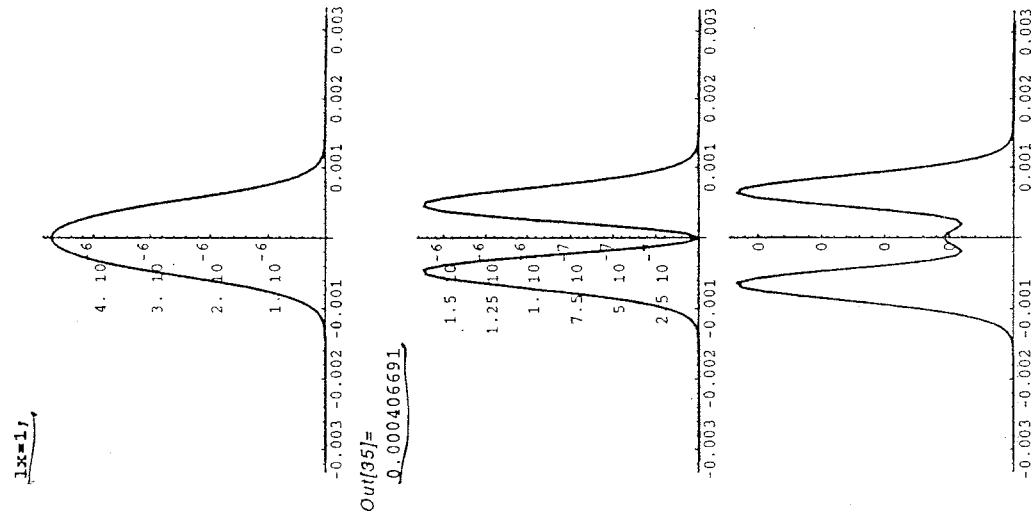
5分割補正
4分割補正
3分割補正
2分割補正
無分割補正



6

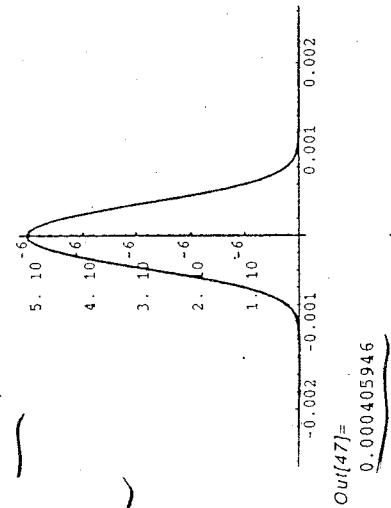
 τ_{C} 

7

 τ_{C} 

GeV, $\beta = 500 \text{ m}$, $\lambda = 500 \text{ nm}$

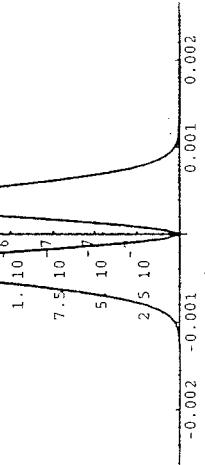
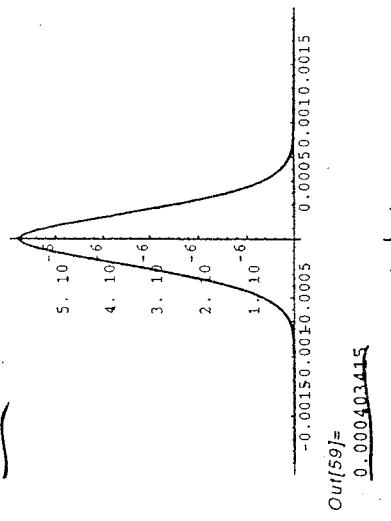
Lx=0.8;



τC

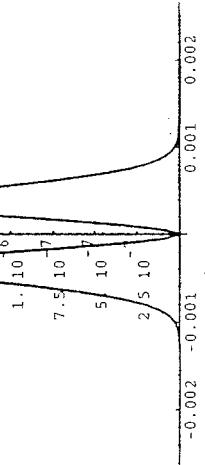
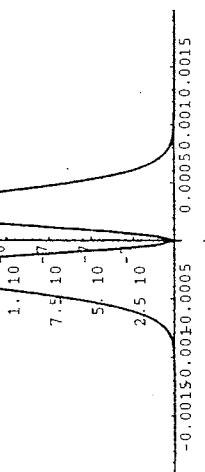
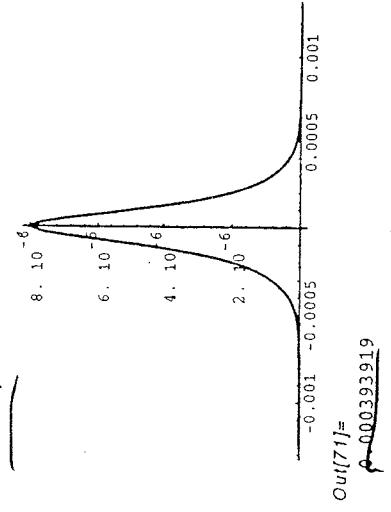
- 145 -

Lx=0.6;



τC

Lx=0.4;



τC

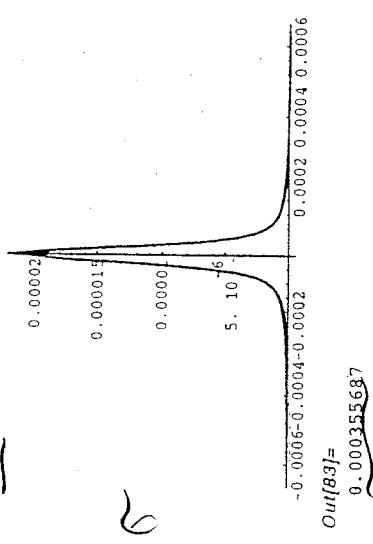
γ_{GeV} , $\delta = 500 \text{ m}$, $\lambda = 500 \text{ nm}$

Bend Light Summary

Bend Light Summary

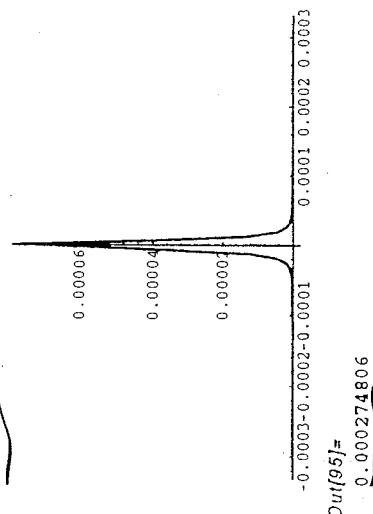
Bend Light Summary

1x=0.2,



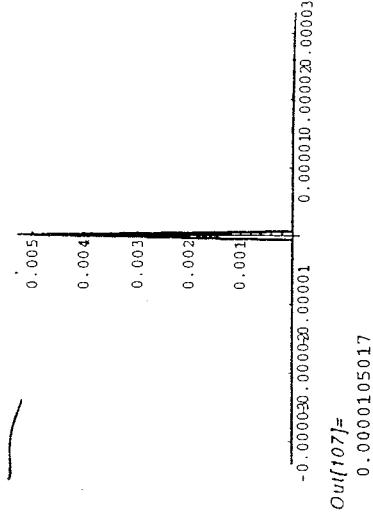
π

1x=0.1,



Out[85]=
0.0000274806

1x=0.01,

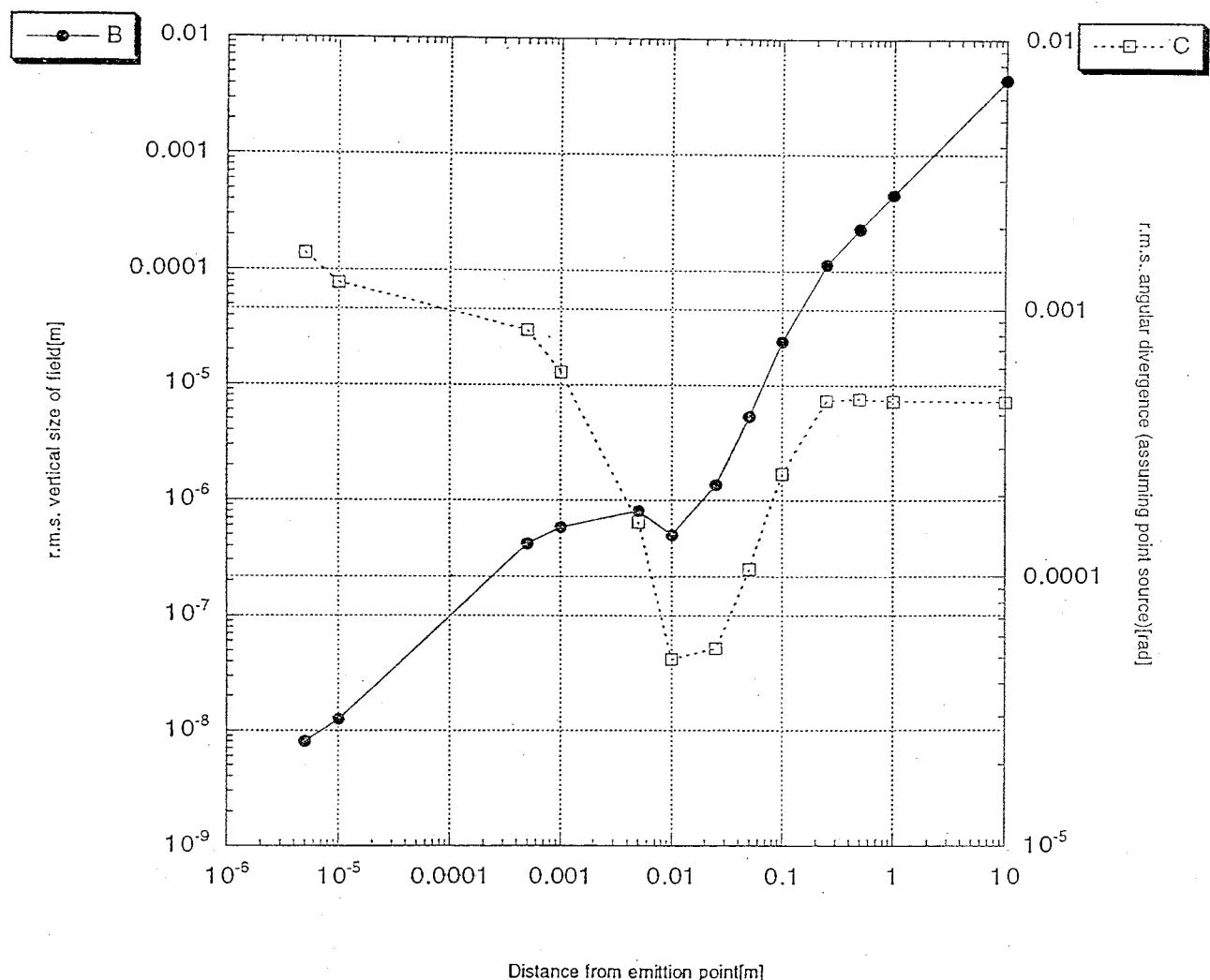


Out[87]=
0.0000105017

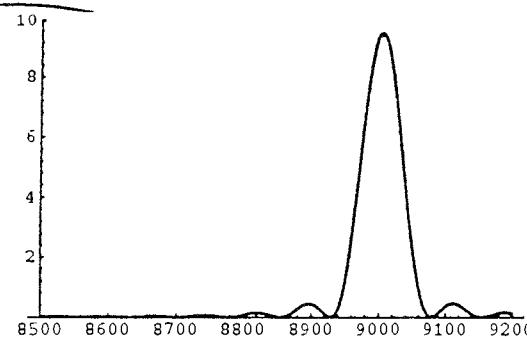
$\gamma G \approx 0$, $\beta = 500 \text{ m}$, $\lambda = 500 \text{ nm}$

Q

Visible light generation from bending magnet
 (E0=8GeV, m0=500m, LambdaObs=2.5eV)



l_x=100;



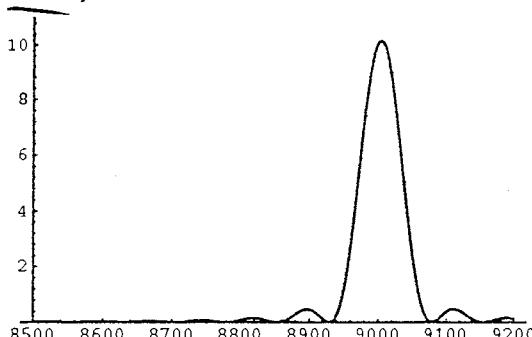
5 GeV

MR - Undulator

Central Spectrum

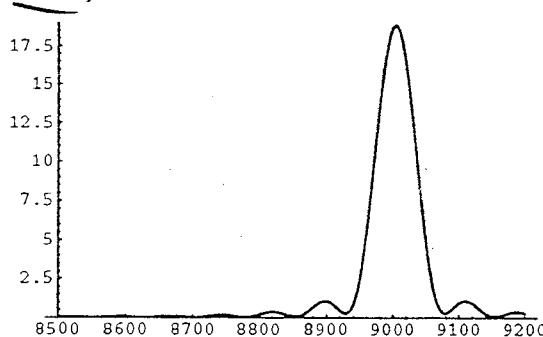
52.7314

l_x=50;



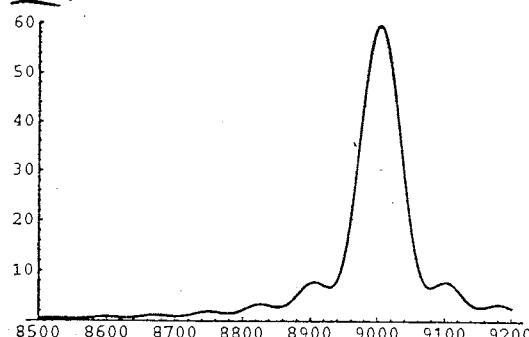
52.8356

l_x=10;



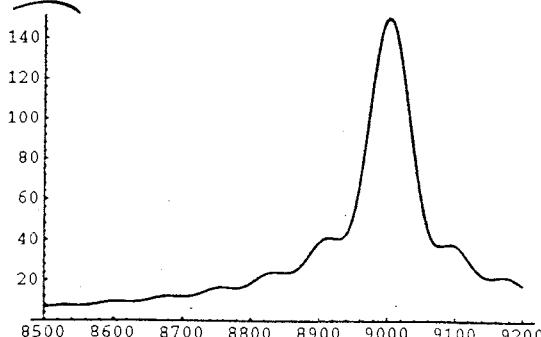
58.7481

l_x=6;



95.1289

l_x=5.5;



141.387

SADによるKEKB衝突リングの設計

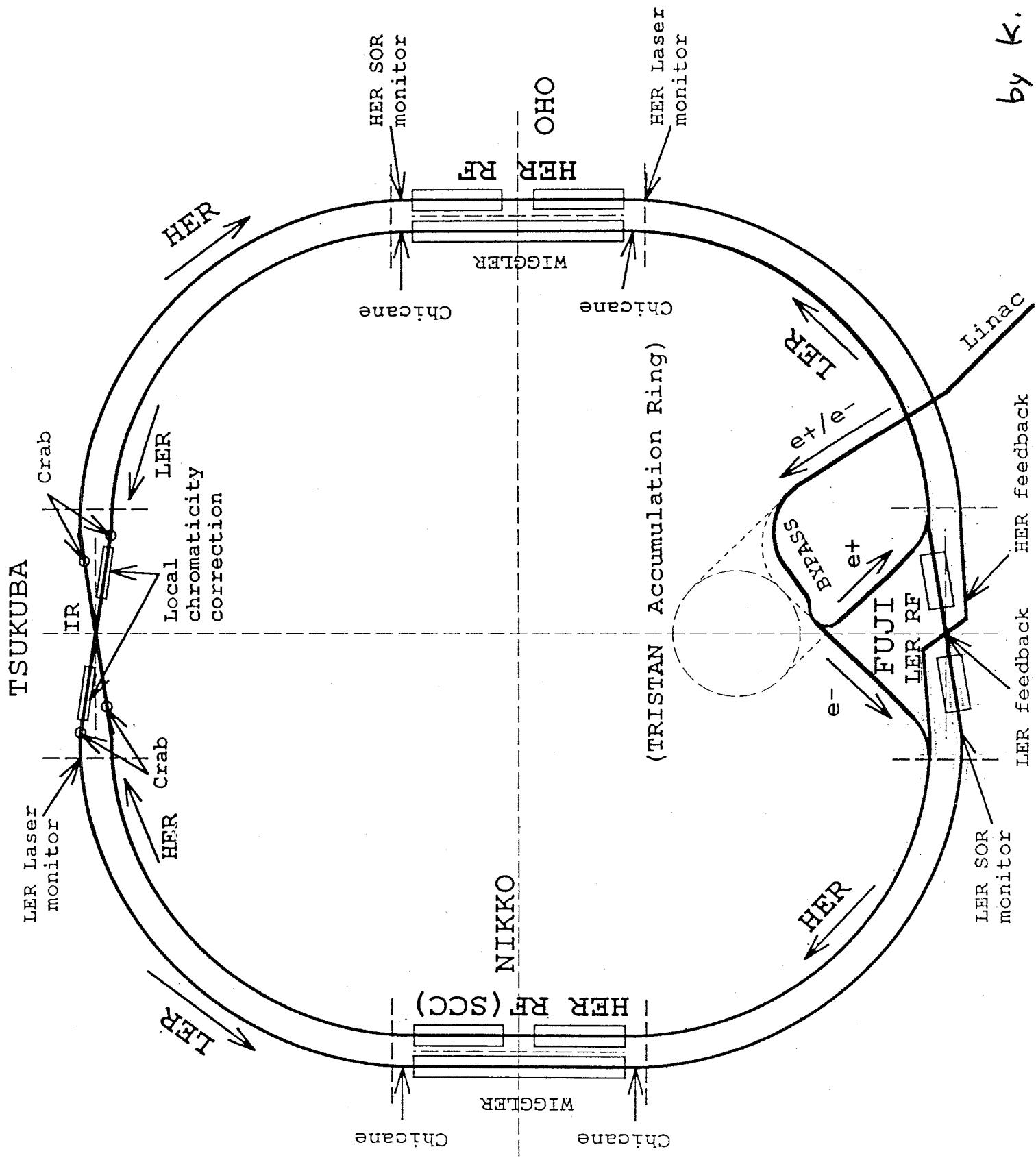
H. Koiso

SADによるKEKB衝突リングの設計

H. Koiso, K. Oide
Jul.8.1998

- 概要
- 2.5π ユニットセル
- IRオプティクス
- ダイナミックアパーチャ

by K. Satoh



		LER	HER	
Beam Energy	E	3.5	8.0	GeV
Luminosity	\mathcal{L}	1.0×10^{34}		$\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
Luminosity Reduction Factor	$R_{\mathcal{L}}$	0.845		
Half crossing angle	θ_x	11		mrad
Tune shifts	ξ_x/ξ_y	0.039/0.052		
Tune shift reductions	R_{ξ_x}/R_{ξ_y}	0.737/0.885		
Beta functions	β_x^*/β_y^*	<u>0.33/0.01</u>		m
Beam current	I	2.6	1.1	A
Bunch spacing	s_b	<u>0.59</u>		nm
Particles/bunch	N	3.3×10^{10}	1.4×10^{10}	
Number of bunches/ring	N_B	5000		
Emittance	$\varepsilon_x/\varepsilon_y$	$1.8 \times 10^{-8}/3.6 \times 10^{-10}$		m
Bunch length	σ_z	4		mm
Momentum spread	σ_δ	7.1×10^{-4}	6.7×10^{-4}	
Synchrotron tune	ν_s	0.01~0.02		
Momentum compaction factor	α_p	$1 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-4}$		
Betatron tunes	ν_x/ν_y	45.52/46.08	47.52/43.08	
Circumference	C	3016.26		m
Damping time	τ_E	44.9	22.5	ms

Table 2.2: Machine Parameters of KEKB.

2.5 π cell

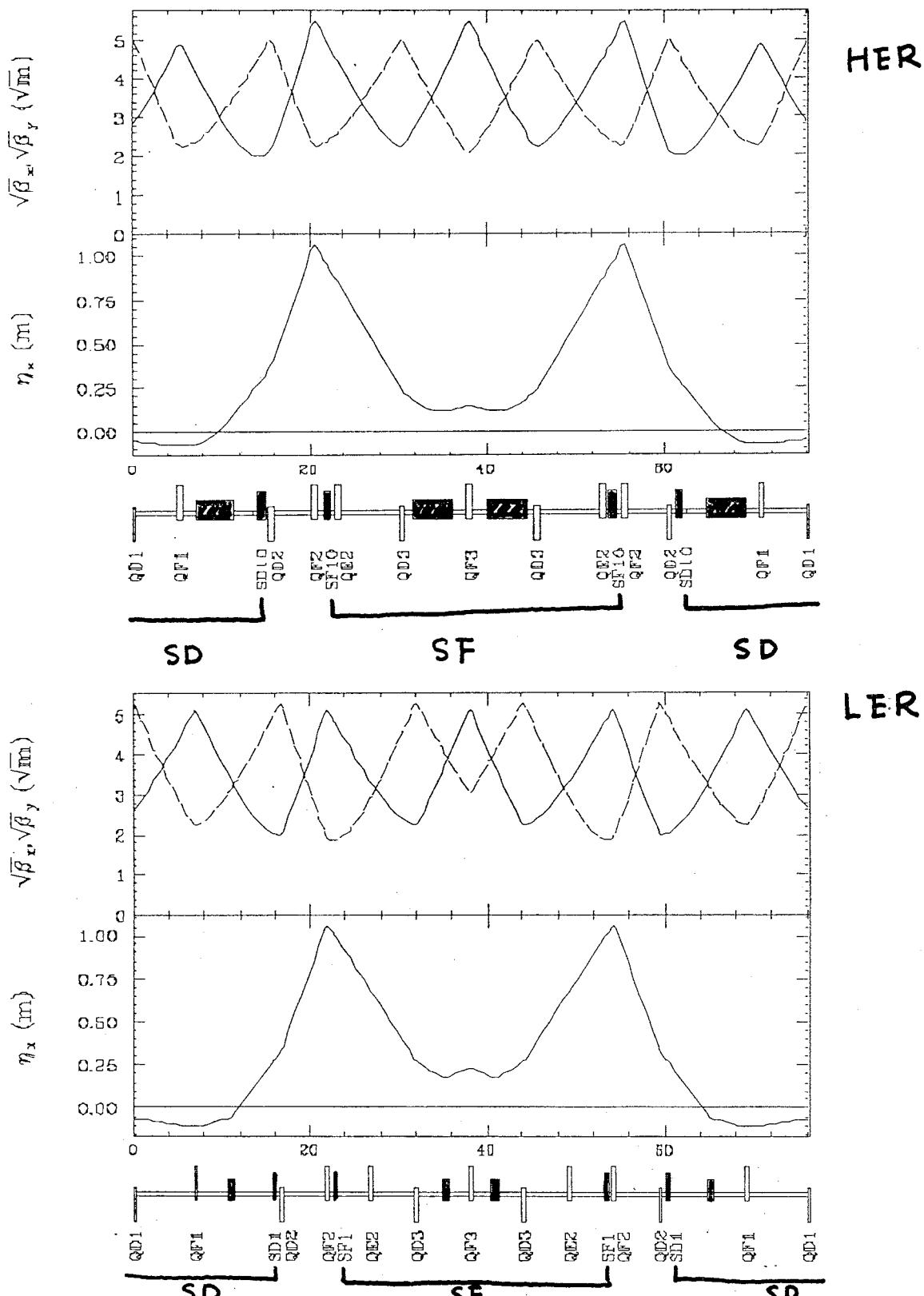


Figure 1.3: Structure of the 2.5π cell for the HER (above) and the LER (below).

LER 52 non interleaved sextupole pairs
HER 50

Emittance Control (LER)

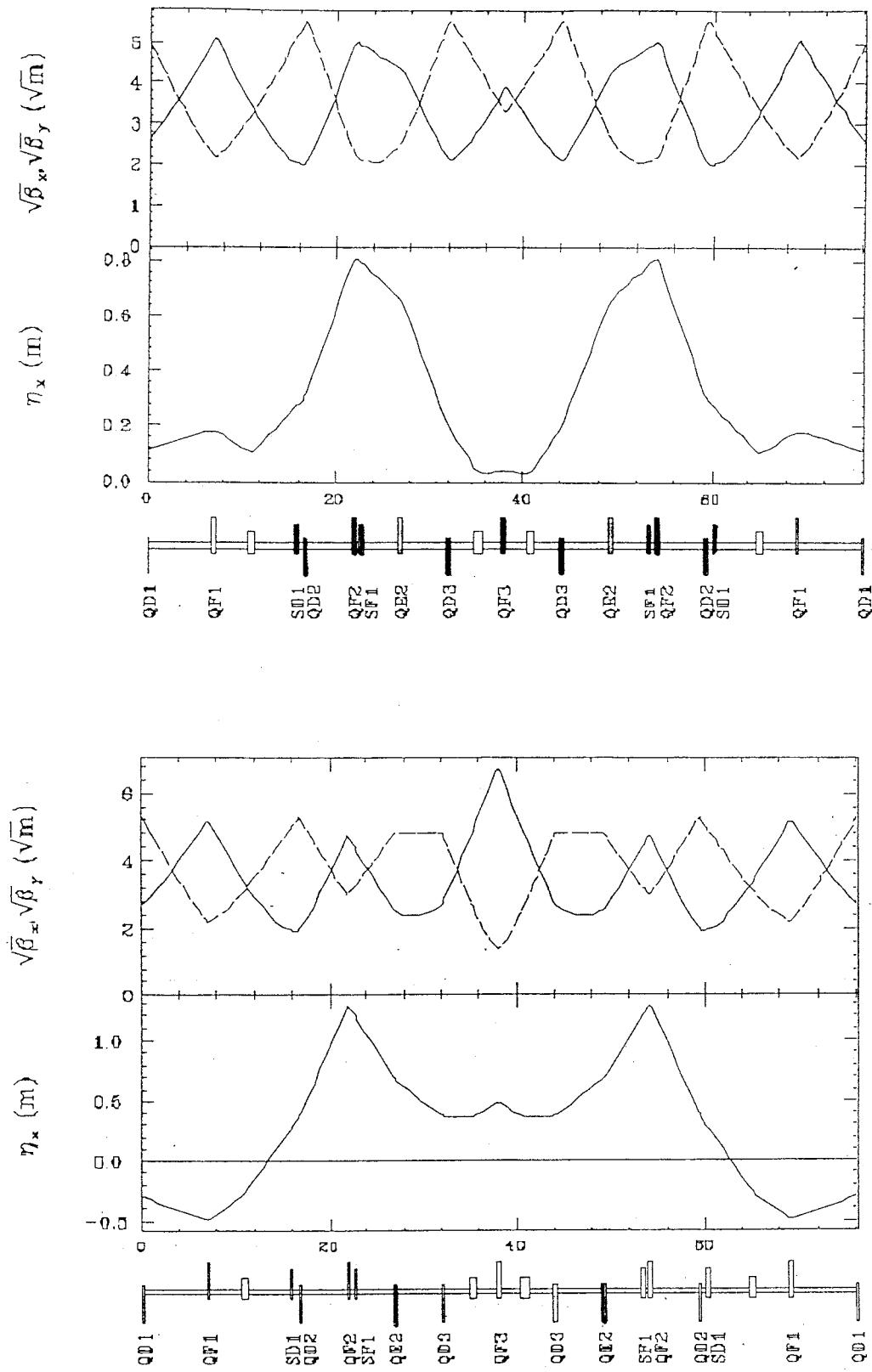


Figure 5.9: Examples of emittance control in LER; 1.0×10^{-8} m (above) and 3.6×10^{-8} m (below).

elements

In[129]:= type

```
;  
DRIFT L1      =(L =6.4312795219384 )      L2      =(L =2.8636732596223 )  
          L3      =(L =4.2196489779314 )      L7      =(L =.399 )  
          L4      =(L =4.7599042789852 )      LX40     =(L =.399 )  
          L8      =(L =3.7436699185894 )      L5A     =(L =3.7436699185894 )  
          L5B     =(L =.829 )    L6      =(L =2.643274711243 )  
          L0      =(L =2.58 )  
;  
BEND   B      =(L =.915 ANGLE =.0560998688141      E1 =.5      E2 =.5  
          F1 =.268  FRINGE =1 )  
;  
QUAD   QD1     =(L =.231 K1 =-.0994440701225 F1 =.149  FRINGE =3 )  
          QF1     =(L =.462 K1 =.1805976840225 F1 =.149  FRINGE =3 )  
          QD2     =(L =.462 K1 =-.2147342966956 F1 =.149  FRINGE =3 )  
          QF2     =(L =.462 K1 =.207513580037 F1 =.149  FRINGE =3 )  
          QE2     =(L =.462 K1 =0      F1 =.149  FRINGE =3 )  
          QD3     =(L =.462 K1 =-.1695296491999 F1 =.149  FRINGE =3 )  
          QF3     =(L =.231 K1 =.0999603604465 F1 =.149  FRINGE =3 )  
;  
SEXT   SD1     =(L =.215 K2 =0 )  
          SF1     =(L =.215 K2 =0 )  
;  
MARK   NMARK   =(AX =-4.0245584643E-16  BX =6.121904002693  
          AY =-4.1459891076E-16  BY =27.1442130402951  EX =-.06  
          EPX =-1.5929341016E-17  DX =1.306929648E-17 DPX =-1.044462471E-29  
          DP =7.1E-4  AZ =7.39611792E-4  GEO =1  
          EMITX =1.6113546249E-8  EMITY =6.8384785704E-12 )  
;
```

beam line

```
In[130]:= Print[ExtractBeamLine[]];  
BeamLine[NMARK,QD1,L1,QF1,L2,B,L3,SD1,SD1,L7,QD2,L4,QF2,LX40,SF1,SF1,L8,QE2,  
L5A,L5B,QD3,L6,B,L0,QF3,QF3,L0,B,L6,QD3,L5B,L5A,QE2,L8,SF1,SF1,LX40,QF2,L4,  
QD2,L7,SD1,SD1,L3,B,L2,QF1,L1,QD1]
```

free parameters

In[70]:= var

!Variable	Keyword	Now	!	Previous	Saved	Minimum	Maximum	Couple	Coefficient
QD1	K1	-.09944407	!	-.09944407	-.09944407	-1.00000E10	1.000000E10	<--	1.00000000
L1	L	6.43127952	!	6.43127952	6.43127952	.10000000	1.000000E10	<--	1.00000000
QF1	K1	.18059768	!	.18059768	.18059768	-1.00000E10	1.000000E10	<--	1.00000000
L2	L	2.86367326	!	2.86367326	2.86367326	.10000000	1.000000E10	<--	1.00000000
L3	L	4.21964898	!	4.21964898	4.21964898	.10000000	1.000000E10	<--	1.00000000
QD2	K1	-.21473430	!	-.21473430	-.21473430	-1.00000E10	1.000000E10	<--	1.00000000
L4	L	4.75990428	!	4.75990428	4.75990428	.10000000	1.000000E10	<--	1.00000000
QF2	K1	.20751358	!	.20751358	.20751358	-1.00000E10	1.000000E10	<--	1.00000000
L8	L	3.74366992	!	3.74366992	3.74366992	.10000000	1.000000E10	L5A.1	1.00000000
L5A	L	3.74366992	!	3.74366992	3.74366992	.10000000	1.000000E10	<--	1.00000000
QD3	K1	-.16952965	!	-.16952965	-.16952965	-1.00000E10	1.000000E10	<--	1.00000000
L6	L	2.64327471	!	2.64327471	2.64327471	.10000000	1.000000E10	<--	1.00000000
QF3	K1	.09996036	!	.09996036	.09996036	-1.00000E10	1.000000E10	<--	1.00000000

(-1 0)
 * -1)

matching conditions

In[71]:= show

	component1	component2	fun	goal-value	np	scale	
FIT SD1.2			NX	.250000000	1 ! *	6.283185307	
FIT SD1.2			NY	.250000000	1 ! *	6.283185307	
FIT SF1.2	SF1.4		NX	.500000000	1 ! *	6.283185307	- I'
FIT SF1.2	SF1.4		NY	.500000000	1 ! *	6.283185307	
FIT B.2			EX	.214000000	1 ! *	1.000000000	
FIT \$\$\$			EX	-.060000000	1 ! *	1.000000000	
FIT \$\$\$			LENG	76.1482000	1 ! *	1.000000000	
FIT \$\$\$			NX	1.250000000	1 ! *	6.283185307	
FIT \$\$\$			NY	1.250000000	1 ! *	6.283185307	
FIT QF1.1	QF2.1		BX	10.0000000	1 ! *	1.000000000	
FIT L1.1	QD2.1		BY	10.0000000	1 ! *	1.000000000	
FIT L1.1	QD3.1		BY	10.0000000	1 ! *	1.000000000	

results

In[70]:= cal

Matched.	(6.6625E-29)	DP = 0.00071	DP0 = 0.00000	ExponentOfResidual = 2.0
OffMomentumWeight =	1.000			
L1.1/QD2.1	BY	26.52738	1	26.527382
QF1.1/QF2.1	BX	24.16214	1	24.162139
SD1.2	NY	.25	1	SD1.2
SF1.2/SF1.4	NY	.5	1	SF1.2/SF1.4
\$\$\$	AX	#####	#	1.443E-15
\$\$\$	NX	1.25	1	1.250000
\$\$\$	BY	#####	#	27.144213
\$\$\$	EX	-.06	1	-.060000
				\$\$\$
				LENG
				76.1482
				1
				76.148200

Local Chromaticity Correction

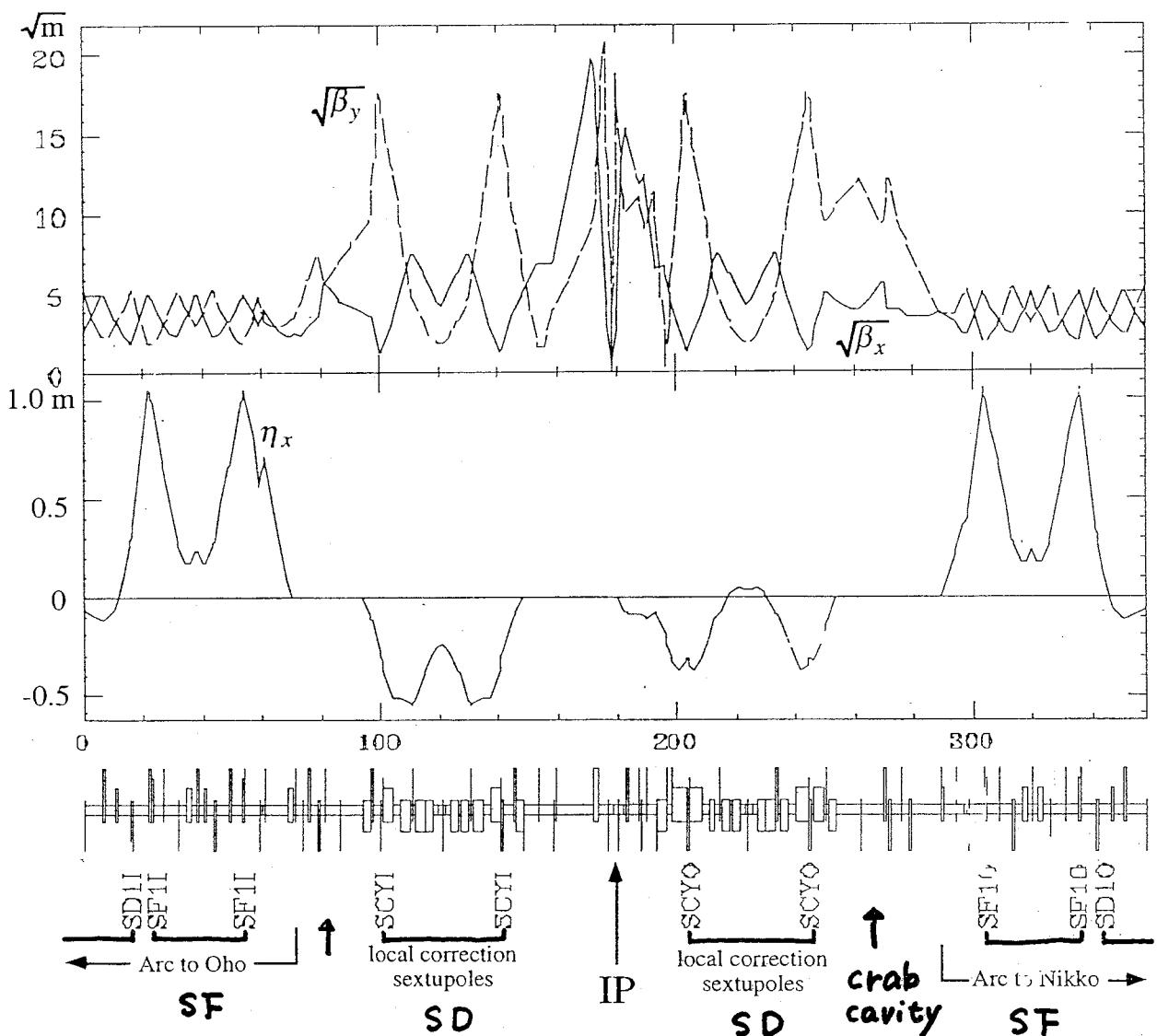
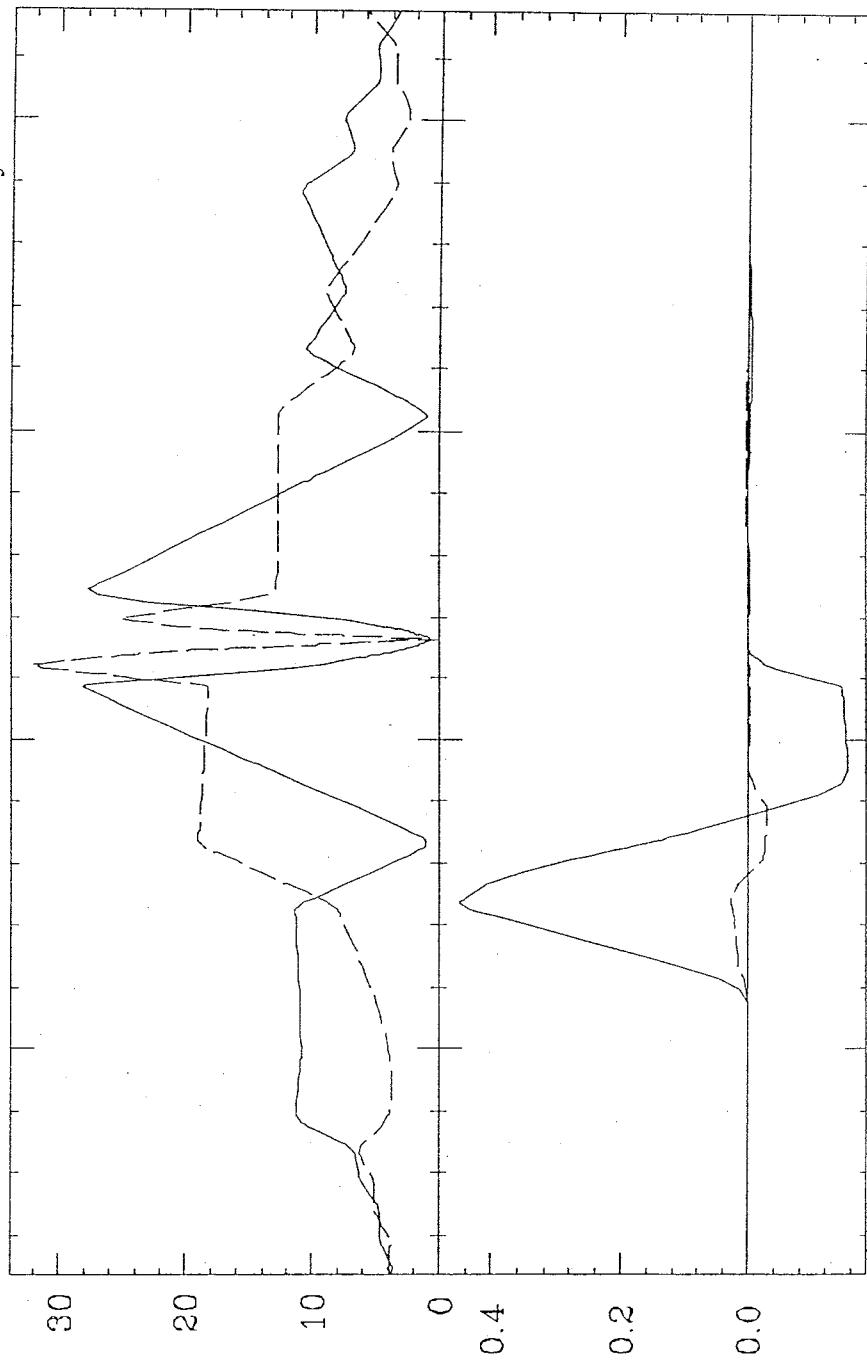


Figure 1.7: Optics of the local chromaticity correction for the LER. A pair of sextupoles for the vertical chromaticity correction is placed at each side of the IP.

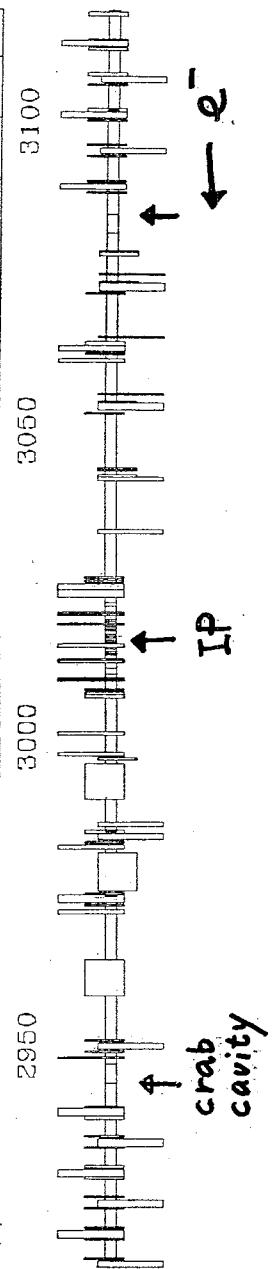
H E R

06:06:16 Saturday 18-Oct-97



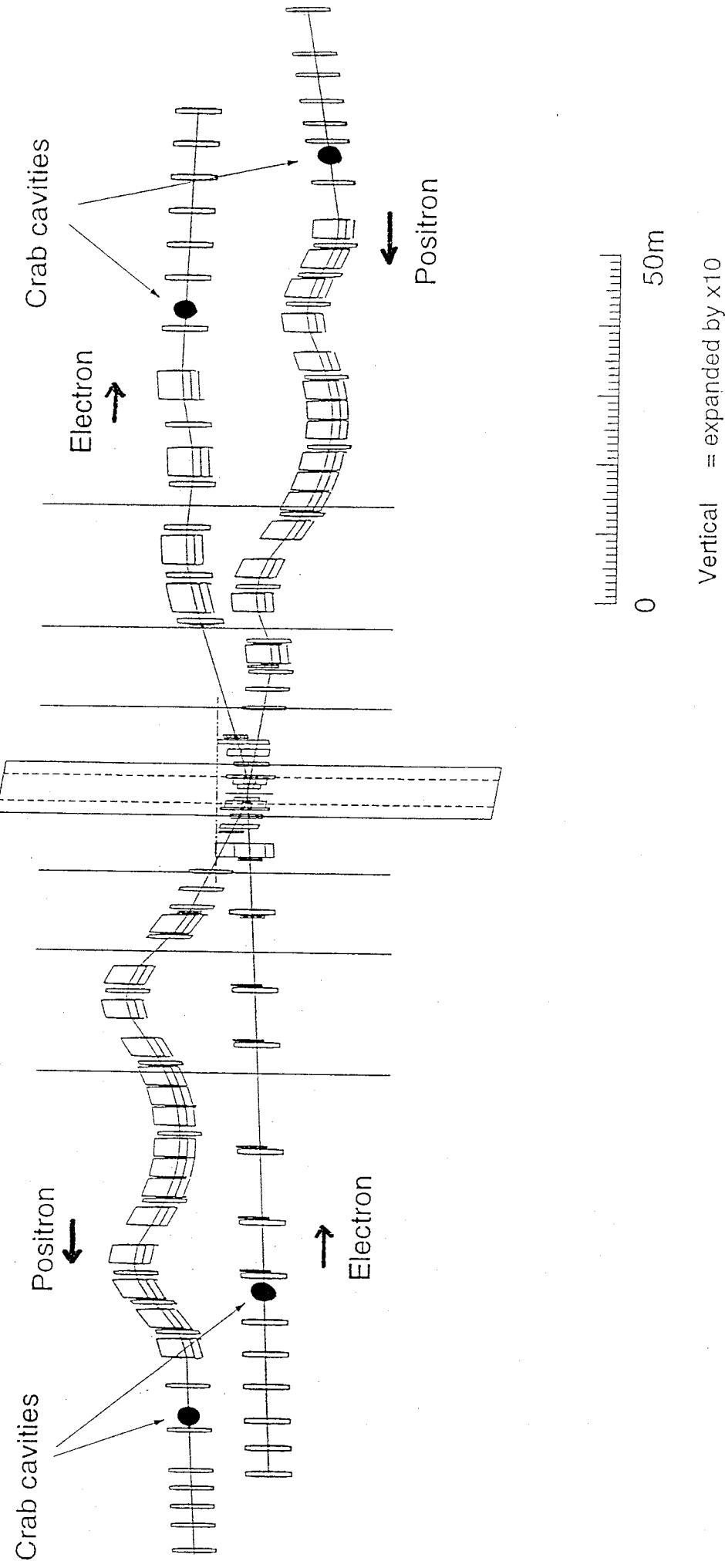
$\nabla B_x \nabla B_y$ (m)

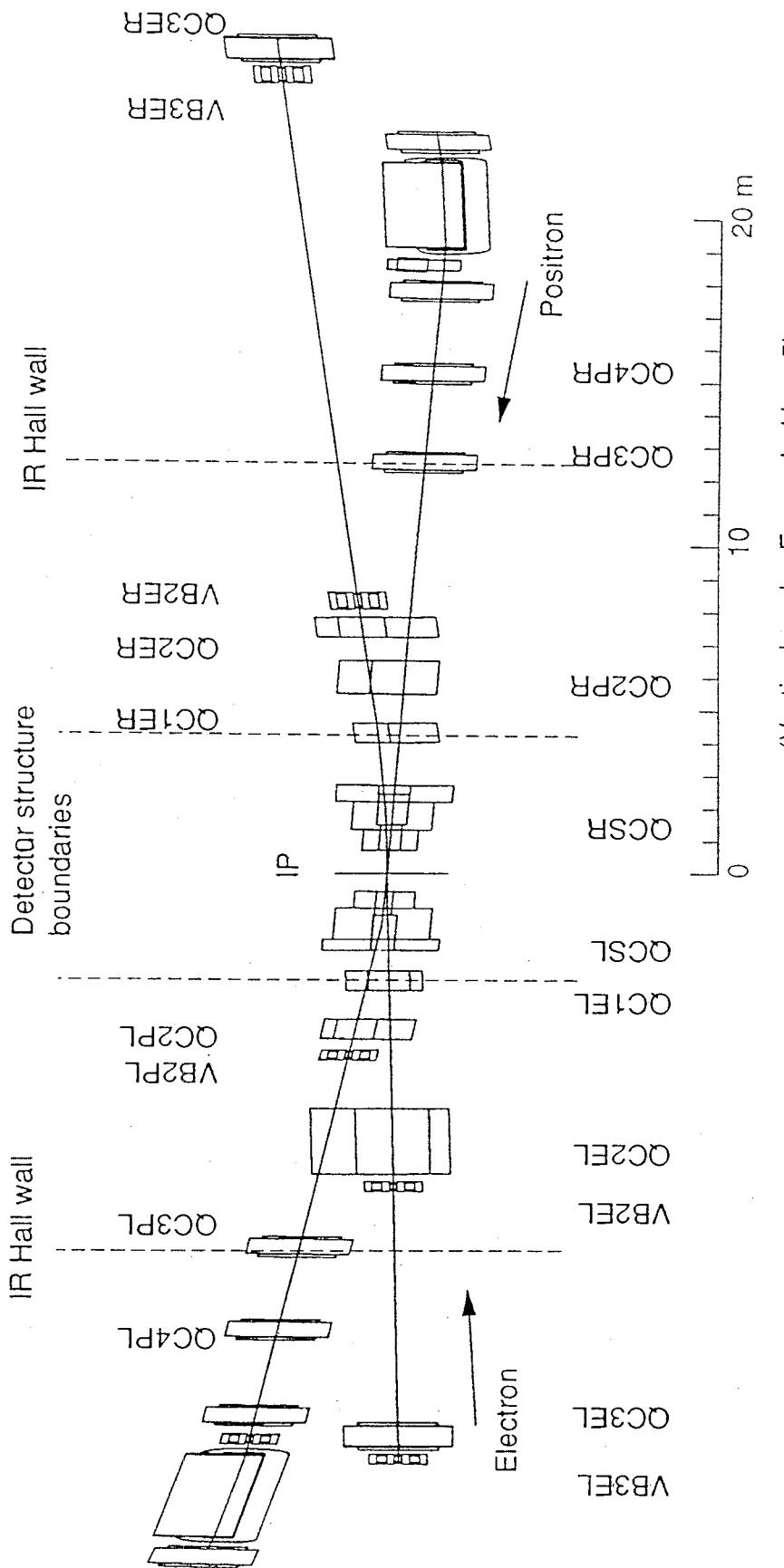
$\nabla u_x u_y$ (m)



Tsukuba Straight Section (Distorted View)

Detector





A schematic diagram of the IR beam line.

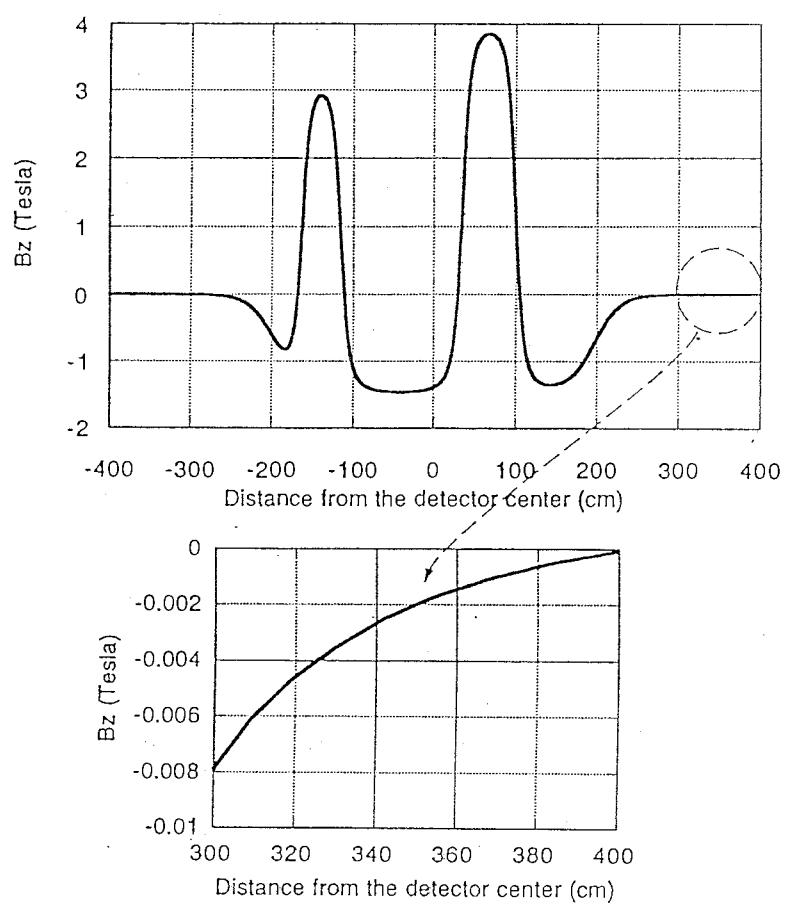


Figure 7.6: Distribution of the axial magnetic field B_z along the axis of the experimental facility.

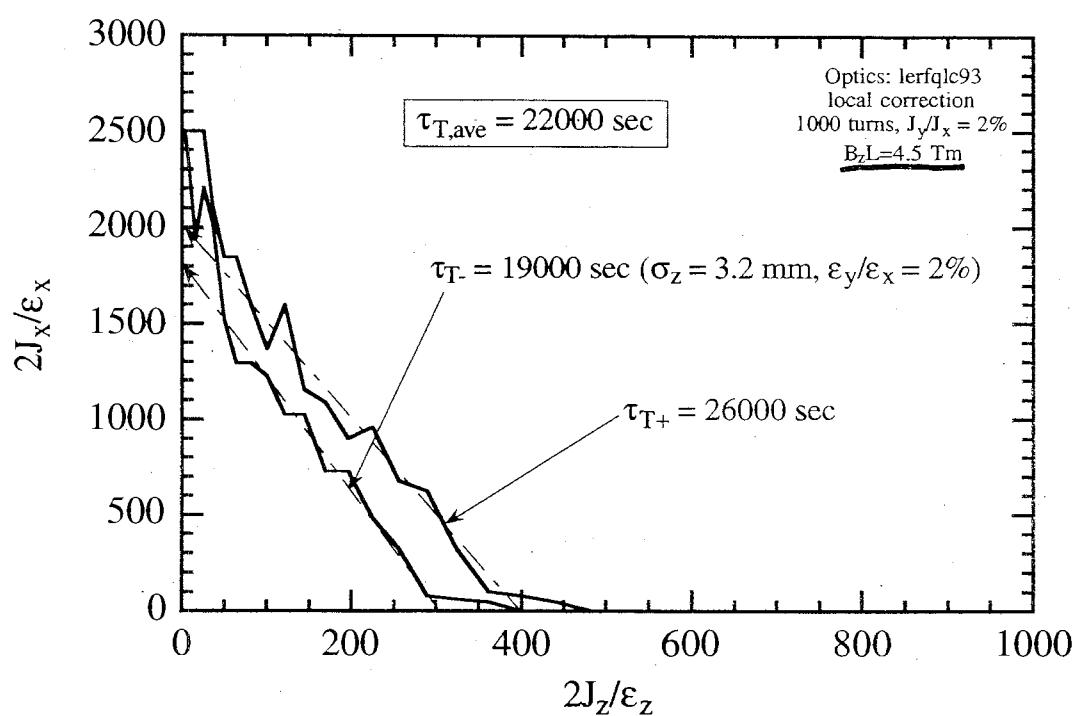
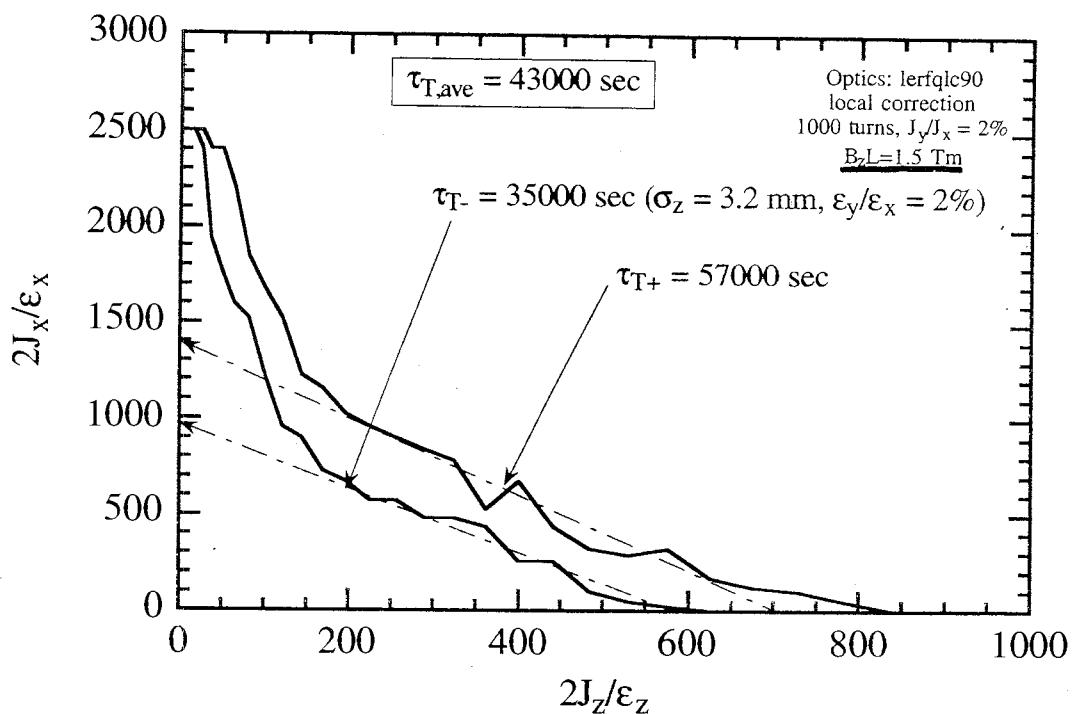


Figure 6.10: Dynamic aperture of the LER with an integrated solenoid field of 1.5 Tm (above) and 4.5 Tm (below).

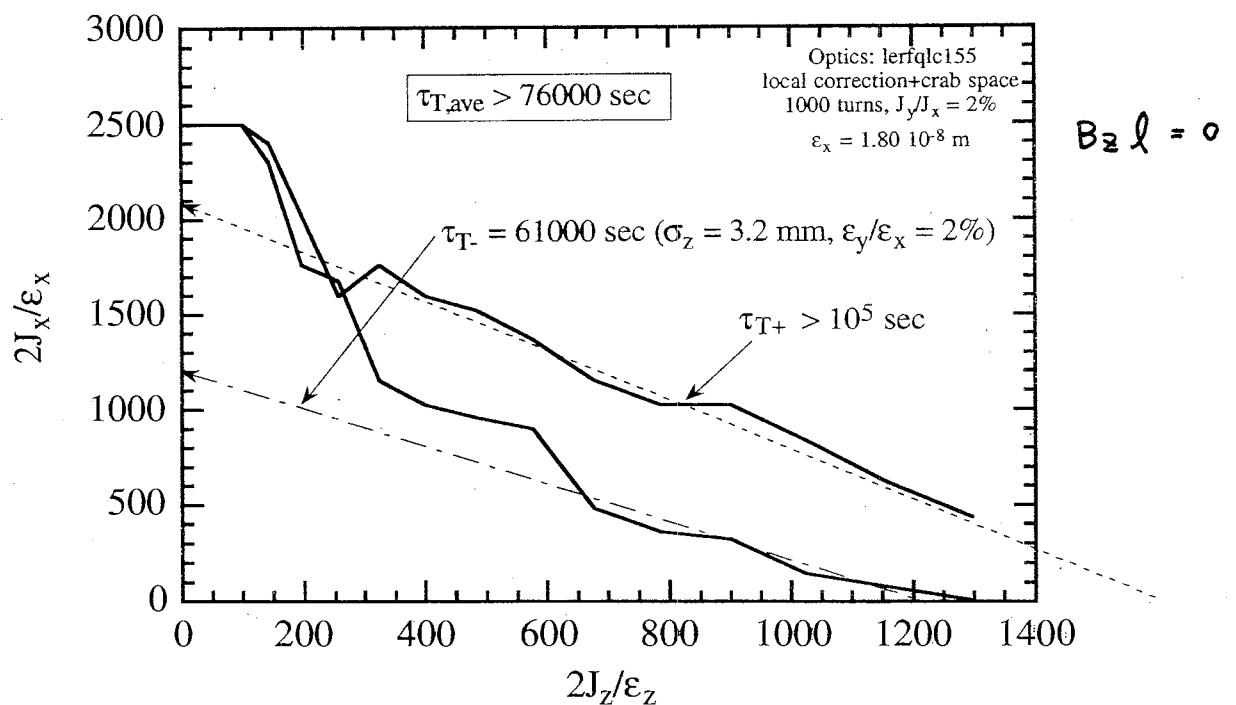
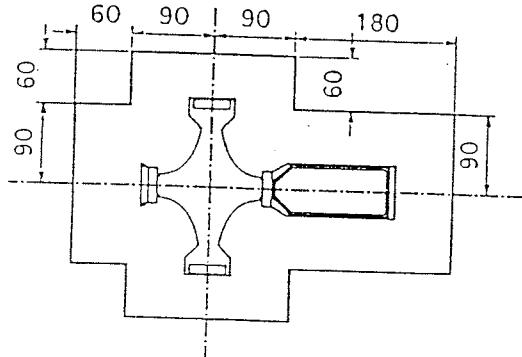
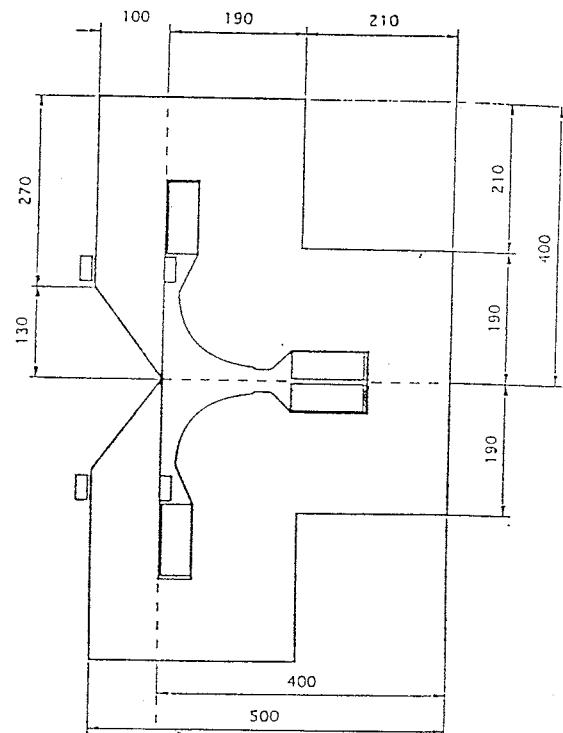


Figure 6.8: Dynamic aperture and Touschek lifetime of the LER with a local chromaticity correction.

NEW QC1EL/1
($a = 38\text{mm}$, $L = 0.6\text{m}$)

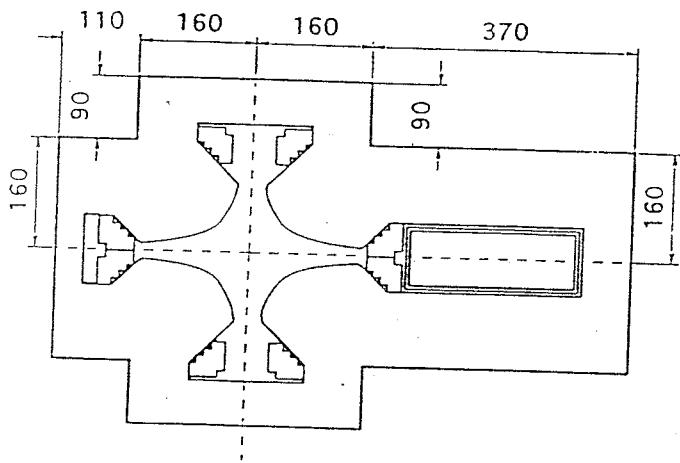


NEW QC1ER/1 (Half Quad)
($a = 70\text{mm}$, $L = 0.6\text{m}$)

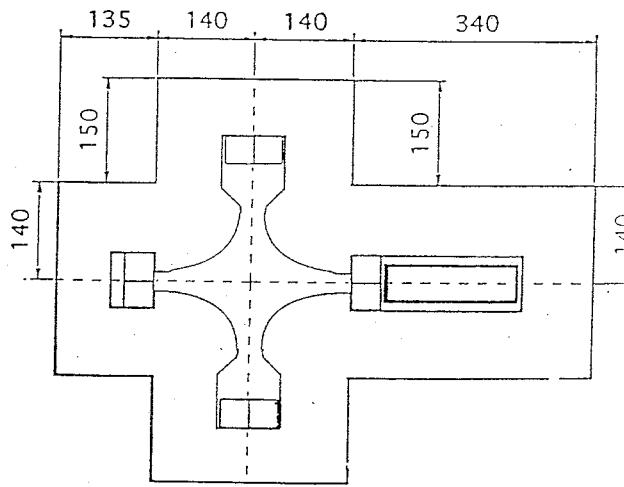


Special IR Quadrupoles

NEW QC2EL/1
($a = 60\text{mm}$, $L = 2\text{m}$)



NEW QC2ER/1
($a = 60\text{mm}$, $L = 0.6\text{m}$)



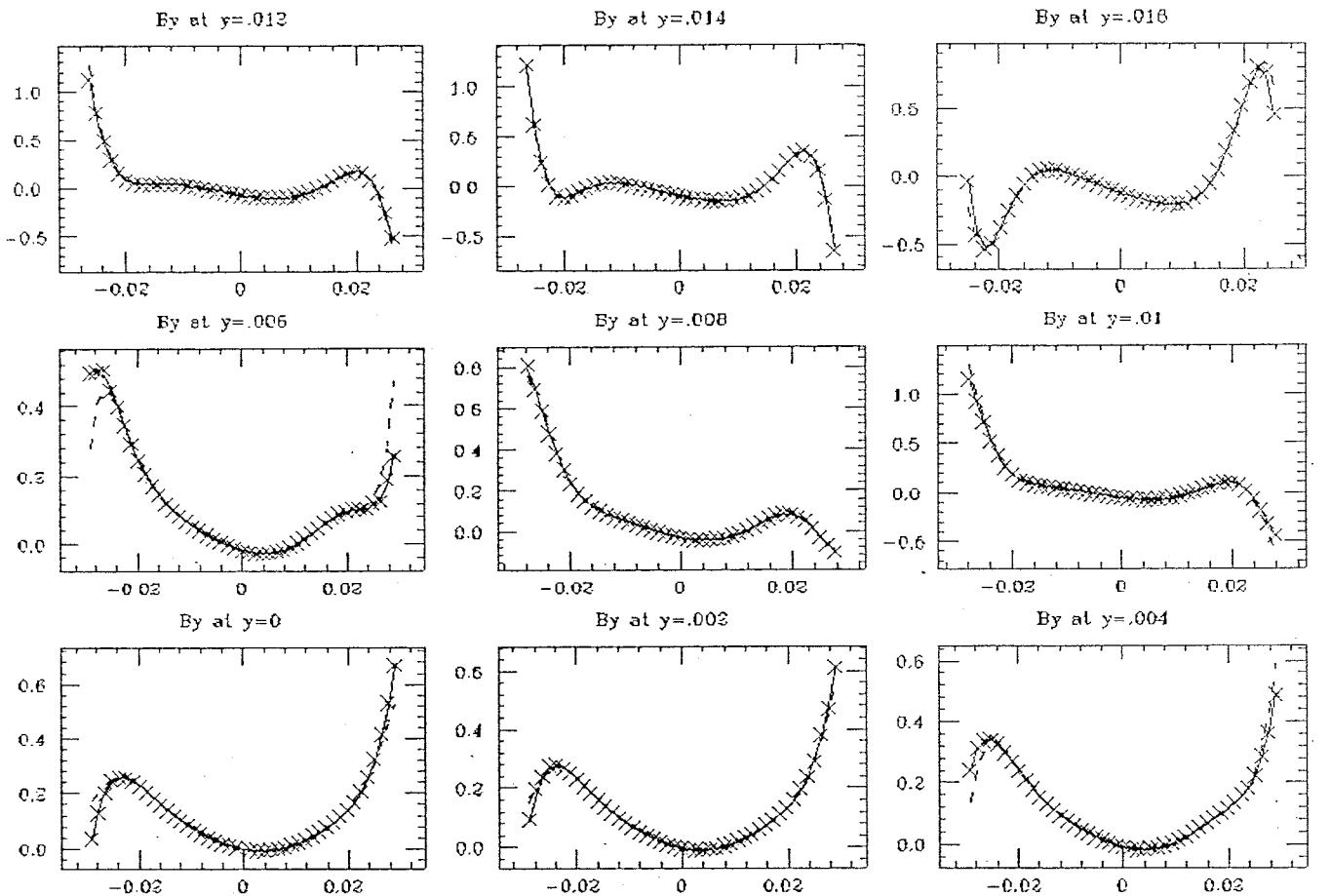


Figure 2: A part of the fitting results of the QC1LE multipoles. The crosses show the data obtained by OPERA-2d. The solid and dashed lines depict the fitting results with the multipoles up to $n = 21$ and 14 , respectively. The dashed line deviates from the data near the edge of the fitting region ($x^2 + y^2 < (0.03)^2$). Each graph collects the data at $y = \text{constant}$. The horizontal axis is the horizontal position x in meter, and vertical axis is the B_y in Gauss, respectively.

特殊磁石は K21までの MULT で表現する。
ソレノイドは 53 slices に分割。

;

MULT QC2RPH =(L =.5243 ROTATE =.0558488392529 DEG F1 =.131
FRINGE =3 K1 =.1291619949455 K2 =6.656458696753E-6
K3 =-.0083815560784 K4 =.0505270736022 K5 =373.4849539046233
K6 =-3241.60950112448 K7 =8064657.406377309
K8 =294591477.6890247 K9 =-1.13256926092E12
K10 =-2.70034128397E13 K11 =7.324516412929E16
K12 =2.128215200812E18 K13 =-3.78522359627E21
K14 =-1.37932996392E23 K15 =1.638941011696E26
K16 =6.912558569996E27 K17 =-5.69039863133E30
K18 =-2.3836539125E32 K19 =1.411204303268E35
K20 =4.243255876068E36 K21 =-1.86671039526E39)
QCSR1 =(L =.38476 ROTATE =-1.9 DEG EPS =.01 F1 =.208
F2 =1.5E-4 FRINGE =3 K1 =-.6883343785998)
. QCSL1 =(L =.18507 DX =-.0351 ROTATE =.6 DEG EPS =.01
F1 =.208 F2 =1.5E-4 FRINGE =1 K0 =6.803874688162E-5
K1 =-.3310896232651 K2 =.0016570027887 K3 =-.0013955946538
K4 =.0011886254817 K5 =-5.3801885987603 K6 =-.1296826514695
K7 =9.0973411511574)
QCSL2 =(L =.13683 DX =-.0351 ROTATE =.6 DEG EPS =.01
DISFRIN =1 K0 =5.03038943957E-5 K1 =-.2447884214155
K2 =.0012250915415 K3 =-.001031821562 K4 =8.78800587112E-4
K5 =-3.9777987030225 K6 =-.0958798141275 K7 =6.7260452245792)
QCSL3 =(L =.16148 DX =-.0351 ROTATE =.6 DEG EPS =.01
F1 =.208 F2 =1.5E-4 FRINGE =2 K0 =5.936616872774E-5
K1 =-.2888871906027 K2 =.0014457924586 K3 =-.0012177047858
K4 =.0010371169978 K5 =-4.6944013342401 K6 =-.1131526155471
K7 =7.9377459830815)
QC2LPH =(L =.32635 ROTATE =.2272355386743 DEG F1 =.14
FRINGE =3 K1 =.170771150236 K2 =-1.82474340669E-5
K3 =.0674099248697 K4 =-.0040604352696 K5 =-956.751933692439
K6 =-6545.55462017094 K7 =14463670.93155501
K8 =1081504015.73989 K9 =5.755685857234E11
K10 =-1.45113074615E14 K11 =-1.46223704982E17

K12 =1.662876889631E19 K13 =1.863832931941E22
K14 =-1.5807776269E24 K15 =-1.80492183306E27
K16 =1.17164192035E29 K17 =1.326793834229E32
K18 =-6.02444459642E33 K19 =-6.69796471066E36
K20 =1.612592979893E38 K21 =1.752619964521E41)

matching conditions

In[228]:= show

!	component1	component2	fun	goal-value	np	scale
FIT	QA5RP	QA1RP	BXM	80.00000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	QA5RP	QA1RP	BYM	90.00000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	QA1LP	QA6LP	BXM	80.00000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	QA1LP	QA6LP	BYM	90.00000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	QC2RPH.1		BXM	550.0000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	QC3RP		BYM	300.0000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	PQL1RC		AX	.000000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	PQL1RC		AY	.000000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	PQL1RC		EPX	.000000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	LF02579.2		BXM	350.0000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	LX086.12		BYM	350.0000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	PQL1LC		AX	.000000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	PQL1LC		AY	.000000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	PQL1LC		EPX	.000000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	PSL0TRC.1	PSL0TLC.2	BY	300.0000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	PSL0TRC.1		BX	2.500000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	PSL0TRC.1		BYM	330.0000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	PSL0TLC.1		BX	2.500000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	PSL0TRC.2	PSL0TLC.1	EX	1.000000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	BC2LP		LENG	268.2000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	LC3I		LENGM	240.2000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	LX5AIP		BX	30.0000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	LX5AIP	IP.1	NX	1.250000000	1 ! * 6.283185307	
FIT	LX5AOP		BX	30.0000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	IP.1	LX5AOP	NX	1.250000000	1 ! * 6.283185307	
FIT	LA60P		EX	.000000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	LA60P		EPX	.000000000	1 ! * 1.000000000	
FIT	QB1LP		GY	-35.7915840	1 ! * 1.000000000	
FIT	QB1LP		GX	316.8209140	1 ! * 1.000000000	

FIT QB2LP	GY	-35.5504830	1 ! * 1.000000000
FIT QB3LP	GX	326.1142770	1 ! * 1.000000000
FIT QB4LP	GY	-35.0342700	1 ! * 1.000000000
FIT QC5LP	GY	-35.8890080	1 ! * 1.000000000
FIT QC4LP	GX	271.9228980	1 ! * 1.000000000
FIT QC3LP	GX	263.8193690	1 ! * 1.000000000
FIT QC3RP	GX	229.6677700	1 ! * 1.000000000
FIT QC4RP	GX	220.8677360	1 ! * 1.000000000
FIT QC5RP	GY	-33.8698870	1 ! * 1.000000000
FIT QB1RP	GY	-33.3184590	1 ! * 1.000000000
FIT QB1RP	GX	173.3598670	1 ! * 1.000000000
FIT QB2RP	GY	-33.1764390	1 ! * 1.000000000
FIT QB3RP	GY	-33.0368420	1 ! * 1.000000000
FIT QB3RP	GX	164.0490340	1 ! * 1.000000000
FIT QA6RP	EX	.000000000	1 ! * 1.000000000
FIT QA6RP	EPX	.000000000	1 ! * 1.000000000
FIT PQD1C.4	GX	499.8638490	1 ! * 1.000000000
FIT PQD1C.4	GY	-1.1000000	1 ! * 1.000000000
FIT PQD1C.4	CHI1	25.71428571	1 ! * .017453293
FIT PQD1C.4	CHI2	.000000000	1 ! * .017453293
FIT PQD1C.4	GZ	.000000000	1 ! * 1.000000000
FIT IP.1	GX	250.1741070	1 ! * 1.000000000
FIT IP.1	CHI1	-1.00116200	1 ! * .017453293
FIT IP.1	GY	-34.1762830	1 ! * 1.000000000
FIT IP.1	<u>AX</u>	.000000000	<u>11</u> ! * 1.000000000
FIT IP.1	<u>AY</u>	.000000000	<u>11</u> ! * 1.000000000
FIT IP.1	<u>BX</u>	.330000000	<u>11</u> ! * 1.000000000
FIT IP.1	<u>BY</u>	.008000000	<u>11</u> ! * 1.000000000
FIT IP.1	EX	.000000000	1 ! * 1.000000000
FIT IP.1	EPX	.000000000	1 ! * 1.000000000
FIT IP.1	NX	3.700000000	1 ! * 6.283185307
FIT IP.1	NY	3.700000000	1 ! * 6.283185307
FIT IP.1	R1	.000000000	1 ! * 1.000000000

off-momentum matching

FIT IP.1	R2	.000000000	1 ! * 1.000000000
FIT IP.1	R3	.000000000	1 ! * 1.000000000
FIT IP.1	R4	.000000000	1 ! * 1.000000000
FIT LF02579.4	EY	.000000000	1 ! * 1.000000000
FIT LF02579.4	EPY	.000000000	1 ! * 1.000000000
FIT PQD1C.4	<u>AX</u>	1.47458E-16	<u>11</u> ! * 1.000000000
FIT PQD1C.4	<u>AY</u>	5.33305E-16	<u>11</u> ! * 1.000000000
FIT PQD1C.4	<u>BX</u>	6.095999987	<u>11</u> ! * 1.000000000
FIT PQD1C.4	<u>BY</u>	26.58301296	<u>11</u> ! * 1.000000000
FIT PQD1C.4	<u>NX</u>	5.000000000	<u>11</u> ! * 6.283185307
FIT PQD1C.4	<u>NY</u>	5.000000000	<u>11</u> ! * 6.283185307
FIT PQD1C.4	EX	-.067000000	1 ! * 1.000000000
FIT PQD1C.4	EPX	-2.0939E-17	1 ! * 1.000000000
FIT PQD1C.4	<u>R1</u>	.000000000	<u>11</u> ! * 1.000000000
FIT PQD1C.4	<u>R2</u>	.000000000	<u>11</u> ! * 1.000000000
FIT PQD1C.4	<u>R3</u>	.000000000	<u>11</u> ! * 1.000000000
FIT PQD1C.4	<u>R4</u>	.000000000	<u>11</u> ! * 1.000000000

results

In[226]:= cal

Residual =	4.718	DP = 0.02500	DP0 = 0.00000	ExponentOfResidual = 2.0
OffMomentumWeight =	1.000			<i>on momentum</i>
	<u>DP</u>	<u>-.025</u>	<u>-.020</u>	<u>-.015</u>
	Res.	.386	.278	.228
QA6RP	EX 0	1 .023	.023	.019
QA6RP	EPX 0	1 .007	.004	.003
LX5AIP	BX 30	1 27.90	24.85	22.66
LX5AIP/IP.1NX	1.25	1 1.480	1.461	1.432
QB3RP	GX 164.04	1 164.05193	QB3RP	GY -33.03
QB2RP	GY -33.17	1 -33.17343	QB1RP	GX 173.36
QB1RP	GY -33.31	1 -33.31551		
PSL0TRC.1	BX 2.5	1 1.388	1.504	1.661
PSL0TRC.1	BYM 330	1 279.3	271.2	272.6
PSL0TRC.1/PBY	325.03	1 221.3	225.7	235.6
PQL1RC	AX 0	1 -.183	-.100	-.051
PQL1RC	AY 0	1 3.919	2.996	2.213
PQL1RC	EPX 0	1 .002	.002	.002
PSL0TRC.2/PEX	-.307	1 -.073	-.175	-.235
QC5RP	GY -33.87	1 -33.86874	QC4RP	GX 220.86
QC3RP	BYM 300	1 251.1	166.4	105.8
QC3RP	GX 229.66	1 229.67014	LC3I	LENGM240.2
QC2RPH.1	BXM 550	1 653.1	550.6	480.5
IP.1	AX 0	11 -4.40	-2.86	-1.80
IP.1	BX .33	11 2.796	1.601	.912
IP.1	NX 3.7	1 4.044	4.032	4.012
IP.1	AY 0	11 1.421	1.167	.894
IP.1	BY .008	11 .028	.023	.018
IP.1	NY 3.7	1 3.828	3.824	3.826
IP.1	EX 0	1 -.031	-.018	-.010

IP.1	EPX	0	1	-.031	-.018	-.010	-.005	6E-13	-.002	-.004	-.006
IP.1	R1	0	1	.002	.002	.001	7.E-4	-0.	-.001	-.001	-.002
IP.1	R2	0	1	-.003	-.002	-.002	-.001	8E-14	.002	.002	.003
IP.1	R3	0	1	.002	.002	.001	8.E-4	7E-13	-.001	-.001	-.001
IP.1	R4	0	1	4.E-5	2.E-4	3.E-4	3.E-4	6E-13	-.001	-.002	-.002
IP.1	GX	250.17	1	250.17410	IP.1		GY	-34.17	1	-34.17628	
IP.1	CHI1	-1.001	1	-1.001162							
IP.1/LX5AOPNX		1.25	1	1.431	1.121	1.108	1.136	1.250	1.367	1.375	1.364
LF02579.2	BXM	350	1	1041.	756.4	563.6	430.0	264.7	134.8	105.7	80.36
BC2LP	LENG	268.2	1	268.42845	QC3LP		GX	263.81	1	263.82137	
LX086.12	BYM	350	1	18.85	9.942	5.303	2.804	2.199	25.47	48.98	87.33
QC4LP	GX	271.92	1	271.92286							
LF02579.4	EY	0	1	6.E-4	3.E-4	2.E-4	5.E-5	-0.	3.E-4	6.E-4	9.E-4
LF02579.4	EPY	0	1	5.E-4	4.E-4	3.E-4	2.E-4	5E-14	-3E-4	-4E-4	-5E-4
QC5LP	GY	-35.88	1	-35.89074							
PSL0TLC.1	BX	2.5	1	107.4	52.11	23.26	9.142	2.942	18.93	28.83	41.08
PSL0TLC.1	BY	#####	#	229.8	228.8	236.6	254.6	325.0	528.8	624.7	734.2
PSL0TLC.1	EX	#####	#	-.073	-.175	-.235	-.271	-.307	-.352	-.374	-.400
PQL1LC	AX	0	1	16.18	9.347	5.149	2.539	9E-12	-.201	.465	1.535
PQL1LC	AY	0	1	-1.37	-.651	-.286	-.113	3E-10	.126	.196	.254
PQL1LC	EPX	0	1	-.053	-.031	-.018	-.009	-0.	.011	.015	.021
QB1LP	GX	316.82	1	316.81811	QB1LP		GY	-35.79	1	-35.79458	
QB2LP	GY	-35.55	1	-35.55231	QB3LP		GX	326.11	1	326.11127	
LA60P	EX	0	1	-.124	-.085	-.054	-.030	-0.	.054	.086	.130
LA60P	EPX	0	1	.043	.026	.015	.008	5E-12	-.009	-.013	-.016
QB4LP	GY	-35.03	1	-35.03417							
LX5AOP	BX	30	1	1.756	2.895	10.36	17.18	22.75	14.26	9.301	4.652
PQD1C.4	fAX	1E-16	11	-15.7	-6.10	-1.72	.031	3E-11	-2.76	-3.65	-4.33
PQD1C.4	FBX	6.096	11	15.83	5.157	1.221	.781	6.096	21.08	24.97	26.52
PQD1C.4	fNX	5	11	8.052	8.035	7.970	7.782	7.663	7.647	7.648	7.649
PQD1C.4	fAY	5E-16	11	-3.43	-3.03	-2.18	-1.26	3E-11	-.158	-.293	.037
PQD1C.4	fBY	26.583	11	236.7	188.5	133.2	85.62	26.58	3.370	2.190	1.364
PQD1C.4	fNY	5	11	7.785	7.771	7.758	7.749	7.748	7.848	7.872	7.821

PQD1C.4	fEX	-.067	1	-.186	-.138	-.110	-.092	-.067	-.032	-.027	-.033
PQD1C.4	fEPX	-2E-17	1	-.091	-.052	-.028	-.014	-0.	.011	.015	.019
PQD1C.4	fR1	0	11	.161	.096	.051	.024	-0.	2.E-4	.003	.005
PQD1C.4	fR2	0	11	-.130	-.053	-.009	.012	4E-12	-.093	-.123	-.141
PQD1C.4	fR3	0	11	.004	.003	.002	9.E-4	-0.	9.E-6	2.E-4	5.E-4
PQD1C.4	fR4	0	11	-.003	-.001	-2E-4	5.E-4	2E-13	-.007	-.011	-.016
PQD1C.4	fGX	499.86	1	499.86384	PQD1C.4	fGY	-1.1	1	-1.100000		
PQD1C.4	fGZ	0	1	1.068E-11	PQD1C.4	fCHI1	25.714	1	25.714286		
PQD1C.4	fCHI2	0	1	2.257E-12							
\$\$\$	NX	#####	#	8.052	8.035	7.970	7.782	7.663	7.647	7.648	7.649
\$\$\$	NY	#####	#	7.785	7.771	7.758	7.749	7.748	7.848	7.872	7.821
\$\$\$	LENG	#####	#	510.32799							

SAD/FFS commands & SADScript

```
ExponentOfResidual=2;
DP=0.025;
FIT PSL0TLC cal bx by ex;
fit qa1rp qa5rp bxm 80 bym 90
fit qa1lp qa6lp bxm 80 bym 90
FIT QC2RPH bxm 550
FIT QC3RP bym 300
FIT PQL1RC AX 0 AY 0 EPX 0
FIT QC2LPH+2 bxm 350
FIT QC3LP+1 bym 350
FIT PQL1LC AX 0 AY 0 EPX 0
fit PSL0TRC PSL0TLC.2 by 300 1
fit PSL0TRC bx 2.5 bym 330
fit PSL0TLC bx 2.5
fit PSL0TRC.2 PSL0TLC ex 1
! FitValue["***","NY",dp_,v_,v1_]:=Twiss["NY","IP"]*2;
FitValue["IP","NY",dp_,v_,v1_]:=Module[{n=Twiss["NY","***"]/2,n1,n2},
n1=n-Pi/10;n2=n+Pi/10;If[v1<n1,n1,If[v1>n2,n2,Null]]];
FitValue["IP","NX",dp_,v_,v1_]:=Module[{n=Twiss["NX","***"]/2,n1,n2},
n1=n-Pi/10;n2=n+Pi/10;If[v1<n1,n1,If[v1>n2,n2,Null]]];
FitValue["PSL0TRC","BX",dp_,v_,v1_]:=If[v1<2,2,If[v1>3,3,Null]];
FitValue["PSL0TLC","BX",dp_,v_,v1_]:=If[v1<2,2,If[v1>3,3,Null]];
FitValue["PQD1C.4","NY",dp_,v_,v1_]:=If[dp<>0,Twiss["NY","PQD1C.4"],
Null];
FitValue["PQD1C.4","NX",dp_,v_,v1_]:=If[dp<>0,Twiss["NX","PQD1C.4"],
Null];
FitValue["LX5AIP","BX",dp_,v_,v1_]:=If[v1<20,20,Null];
FitValue["LX5AOP","BX",dp_,v_,v1_]:=If[v1<20,20,Null];
FitValue["BC2LP","LENG",_,v_,v1_]:=If[v1<268.2,268.2,Null];
fit BC2LP leng 268.2
fit lc3i lengm 240.2
```

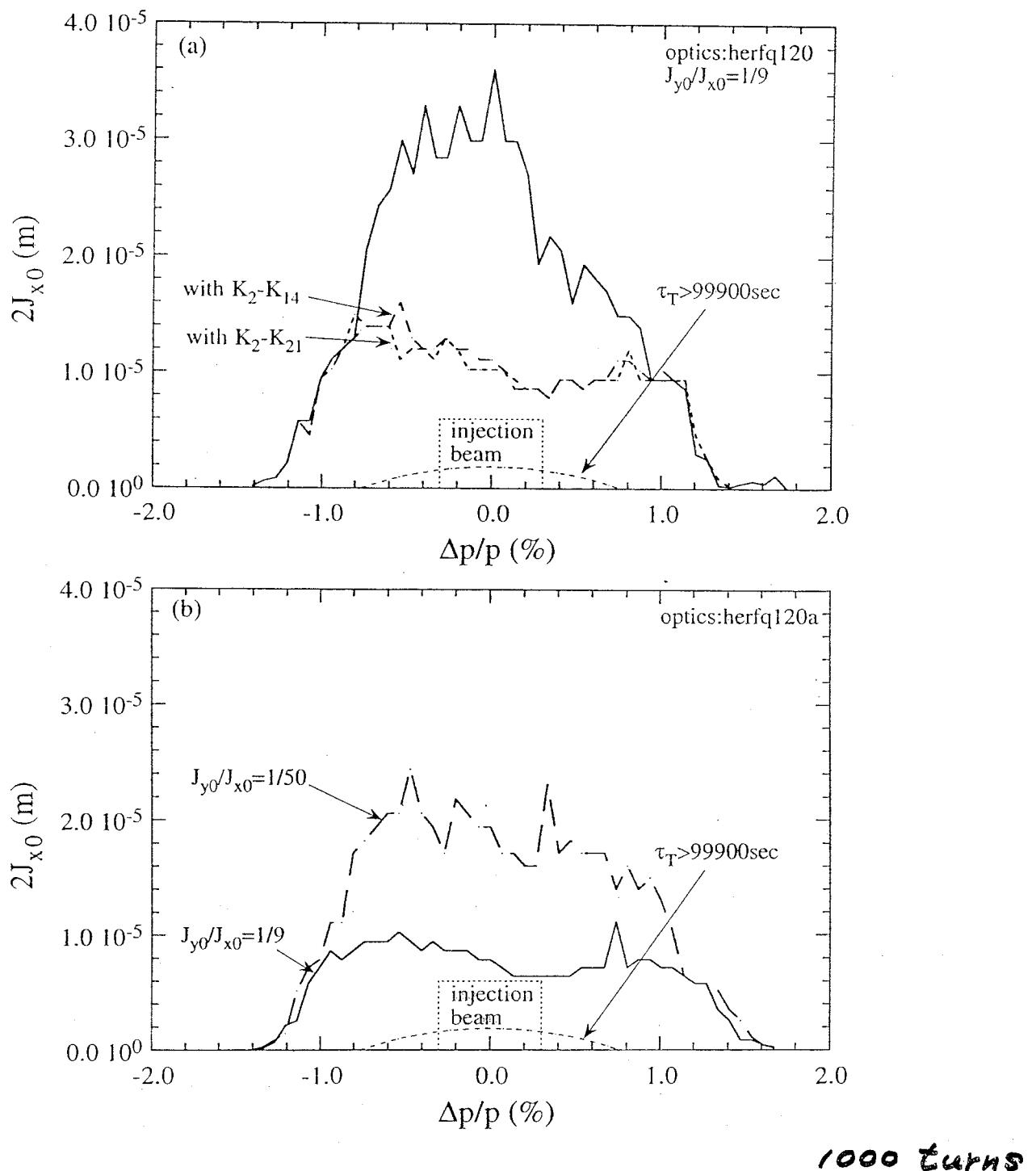


Figure 3: Dynamic aperture of HER with the multipole components of special quadrupoles. (a) with (dashed lines) and without (solid line) the multipoles of QC1LE. (b) with the multipoles of all the special quadrupoles.

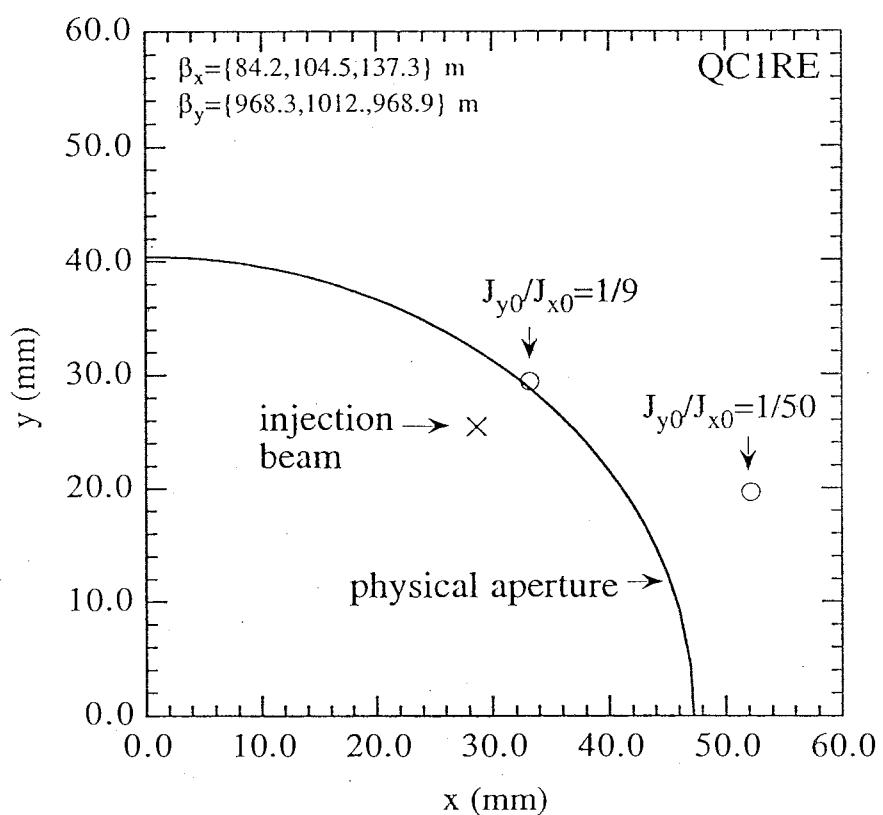
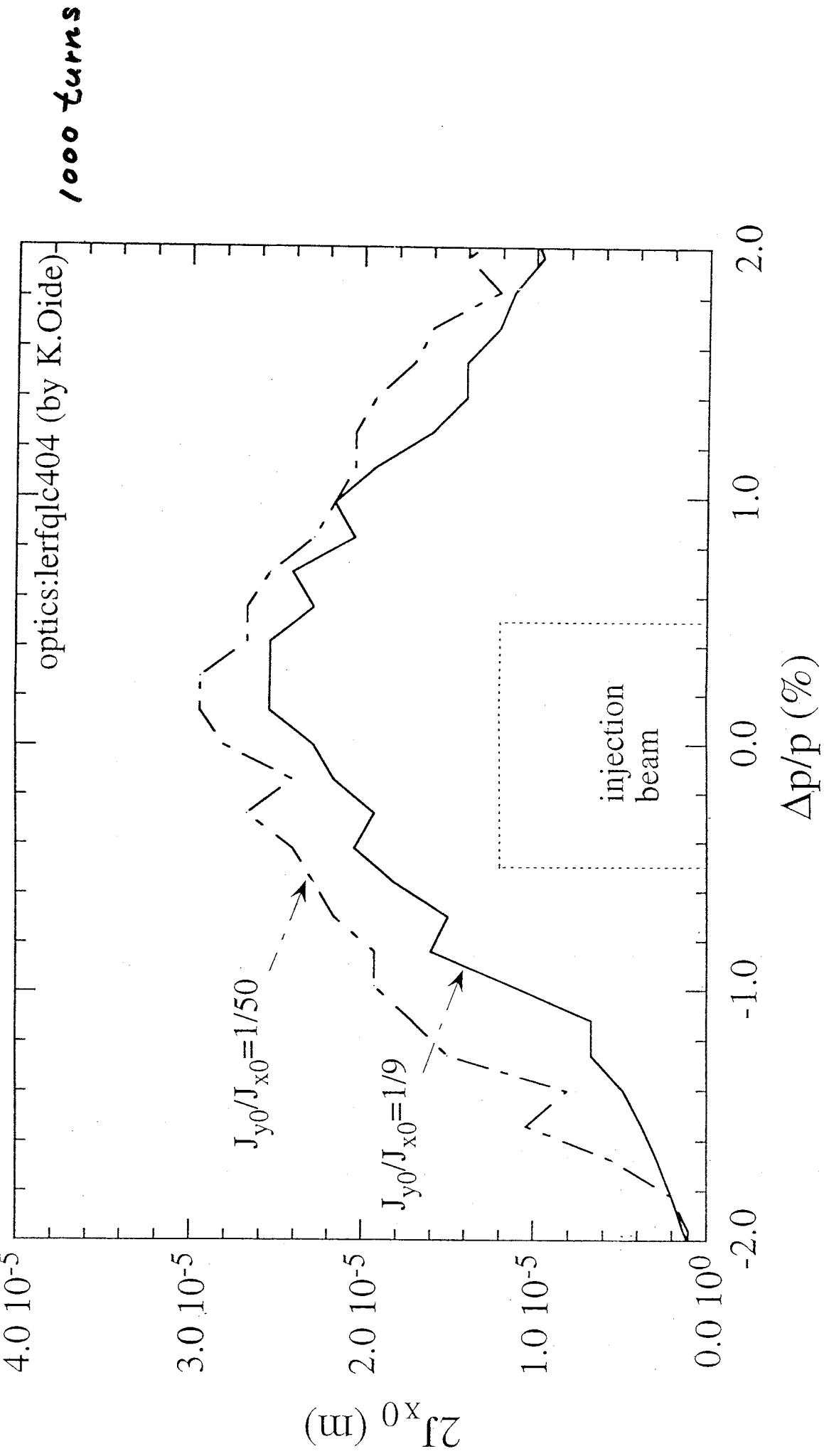
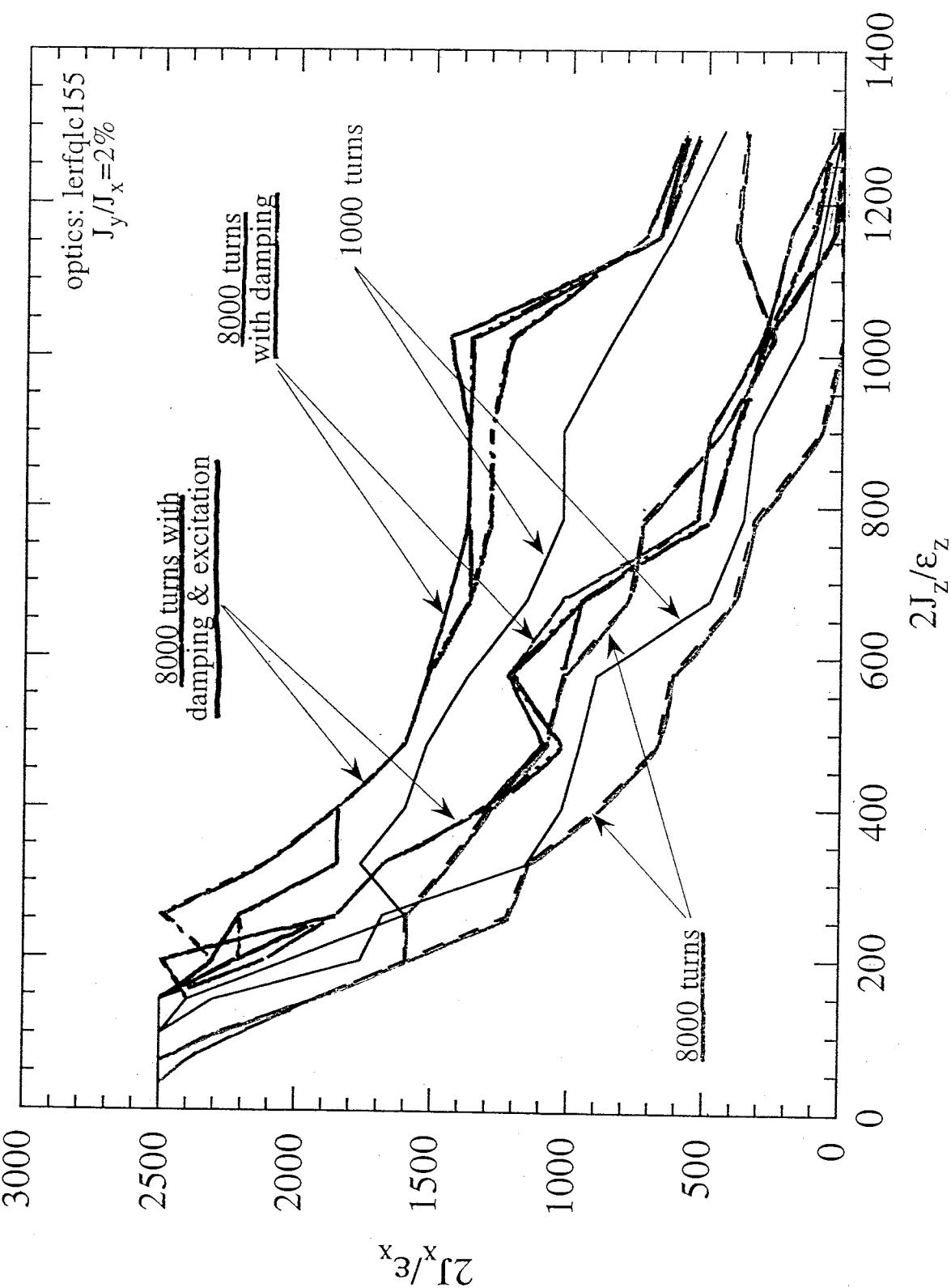


Figure 4: Physical and dynamic apertures at QC1RE. The origin is set at 44.55 mm from the center of QC1RE.

LER dynamic aperture
with QC2 multipoles



Dynamic Aperture



VSX: The Future Project of VUV and Soft X-Ray High Brilliant Light Source

H. Takaki

V S X

The Future Project of
UV and Soft X-Ray
High Brilliant Light Source

H. Takaki
(ISSP, University of Tokyo)

Contents

1. Introduction
2. Lattice
3. Chromaticity Correction
&
Dynamic Aperture
4. C.O.D. Correction
5. Summary

1. Introduction

VSX

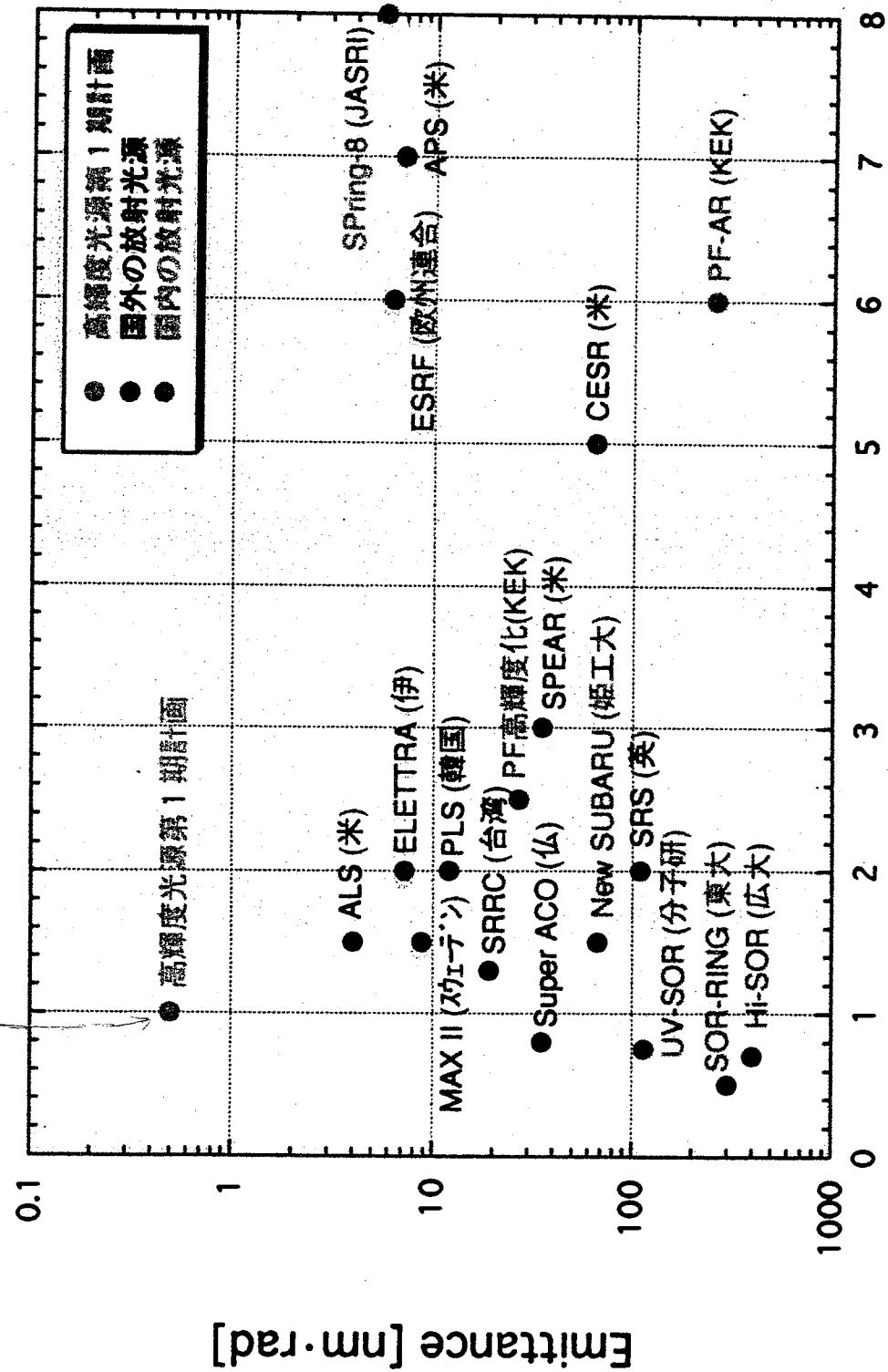
third generation Light Source



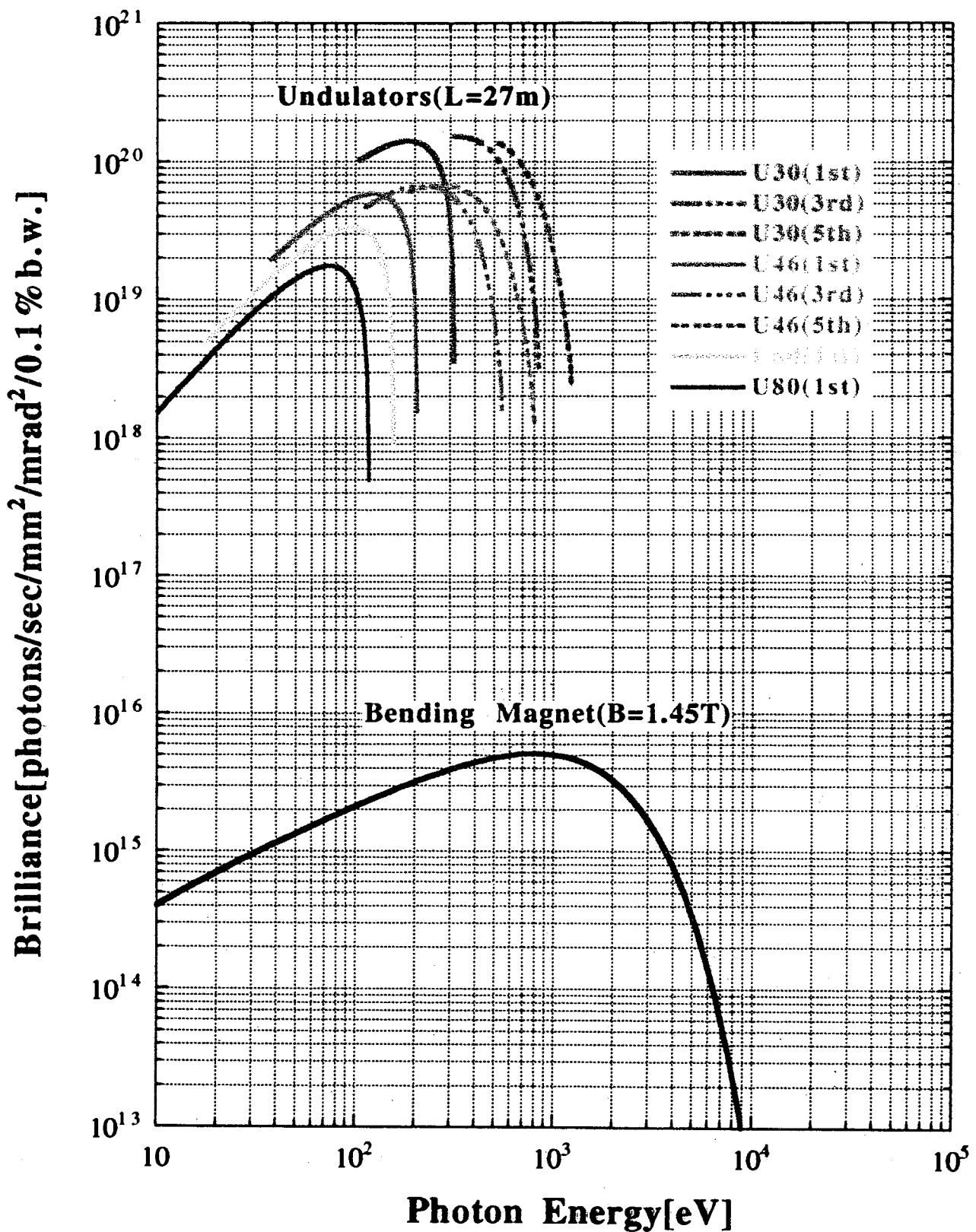
- { • Low Emittance
- Long Straight Sections for Insertion Devices

Brilliance $\simeq 10^{20}$ [photons/sec/mm²/mrad²/0.1% b.w.]

Beam energy [GeV]



**Energy 1.0GeV, Current 200mA
Emittance 1.52nmrad, Coupling 10%**



柏モニ 1°2

至→(付)



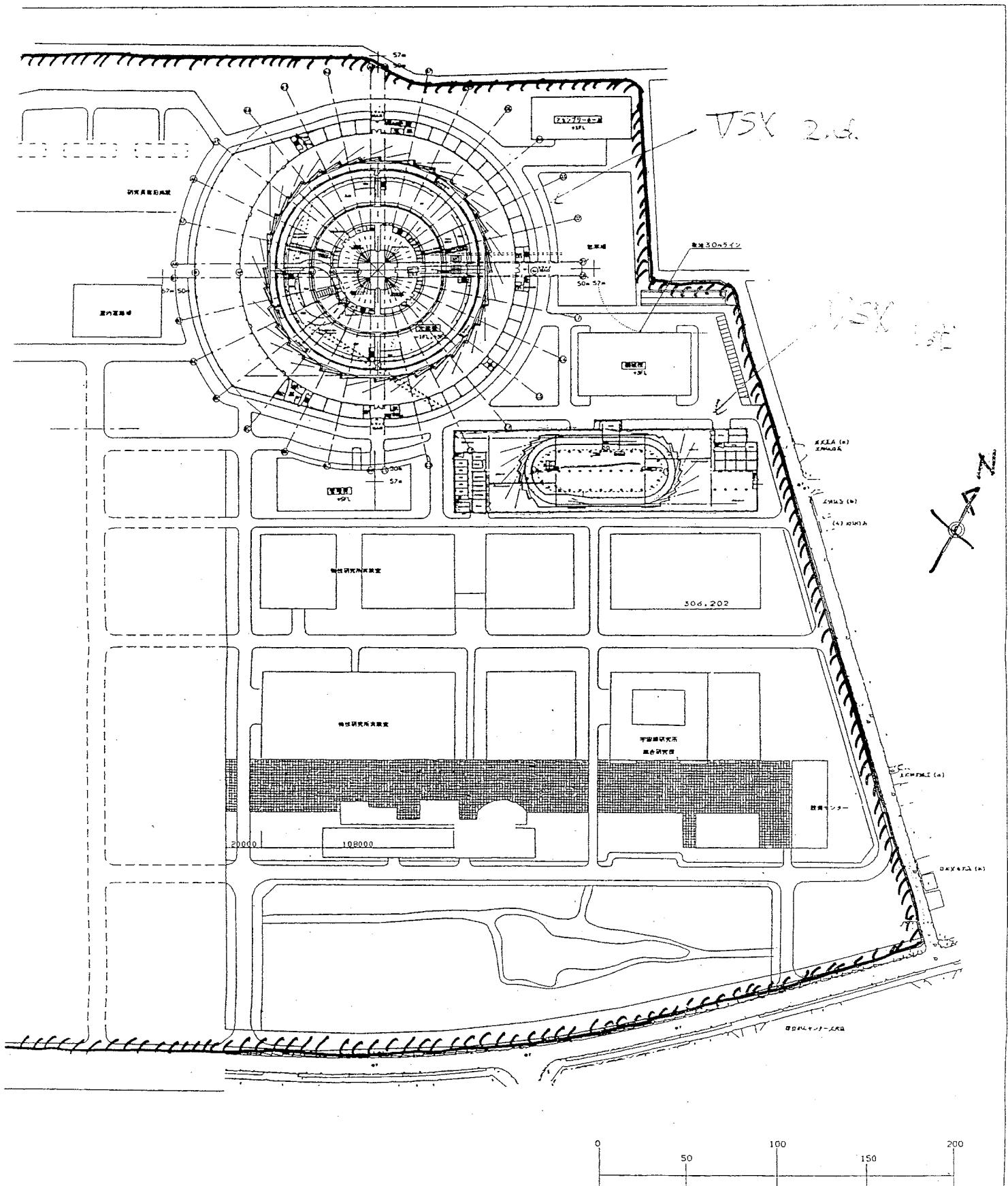
柏モニ-



↓
至東京

≈ 40ha

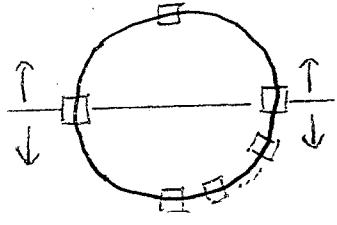
(12 + 11.6 ha)



東京大学（柏）VUV計画

配置図

S = 1 / 1000



No. of bending magnets = 24

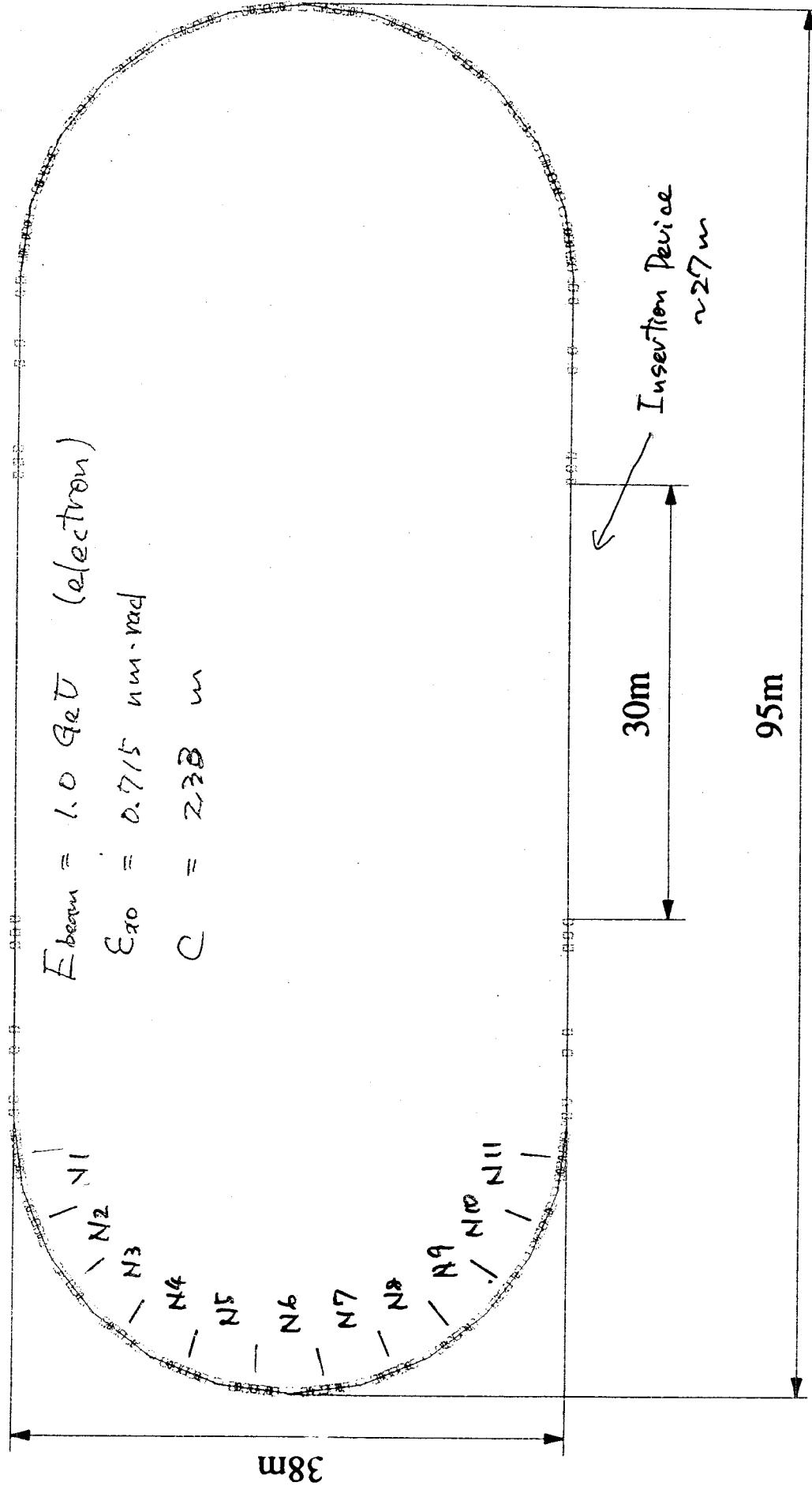


Table 1: Fundamental parameters of the VSX.

Energy	E [GeV]	1.0
Lattice type		Theoretical Minimum Emittance
Superperiod	N _s	~22
Circumference	C [m]	233.2
Long straight section		30 m x 2
Natural emittance	ϵ_{x0} [nm•rad]	0.715
Energy spread	σ_E/E	5.67×10^{-4}
Momentum compaction	α	3.11×10^{-4}
Horizontal tune	ν_x	19.21
Vertical tune	ν_y	8.15
Horizontal natural chromaticity	ξ_x	-37.4
Vertical natural chromaticity	ξ_y	-41.3
Horizontal damping time	τ_x [msec]	40.1
Vertical damping time	τ_y [msec]	40.3
Longitudinal damping time	τ_z [msec]	20.2
Revolution frequency	f _{rev} [MHz]	1.286
RF voltage	V _{RF} [MV]	0.4
RF frequency	f _{RF} [MHz]	500.1
Synchrotron tune	ν_s	0.0028
Bunch length	σ_z [mm]	2.38
RF-bucket height	$(\Delta E/E)RF$	0.043

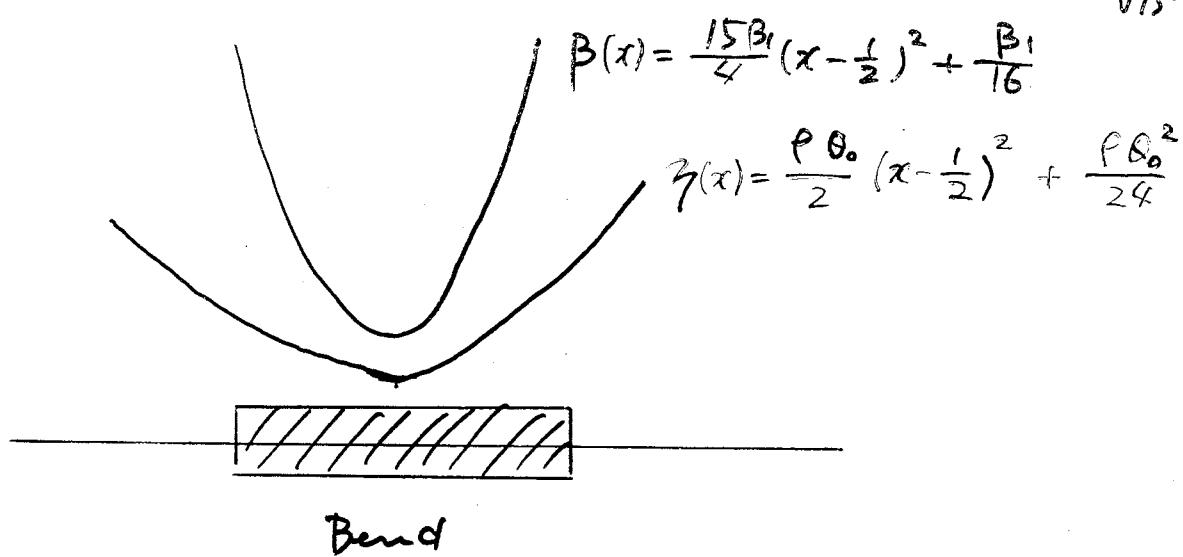
of electrons/bunch 2.5×10^9

I_{max} 200 mA

Normal Cell

Lattice Type : Theoretical Minimum Emittance
を実現する。

$$\beta_1 = \frac{8}{\sqrt{15}} \rho \theta_0$$



$$\epsilon_{20} = \frac{1}{72\sqrt{15}} C_8 r^2 \left(\frac{2\pi}{N}\right)^3$$

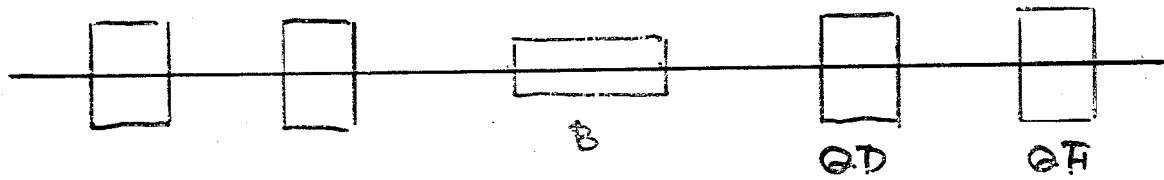
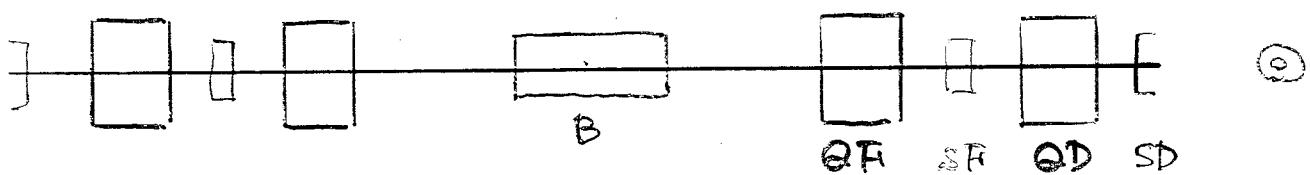
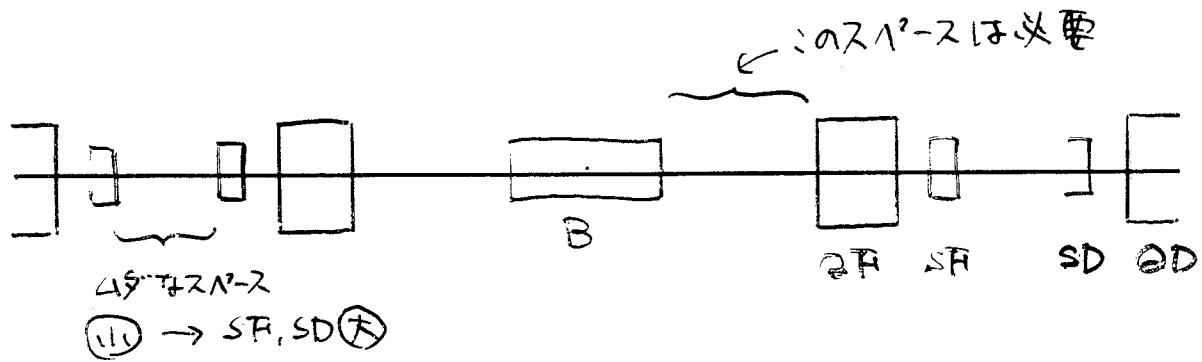
$$E = 1.0 \text{ GeV}$$

# of Bonds	ϵ_{20} [nm·rad]
20	0.98
22	0.74
24	0.56
26	0.44

diffraction limit

$$\epsilon \sim \frac{\lambda}{4\pi} \sim 1 \text{ nm} \text{ (for 100 eV)}$$

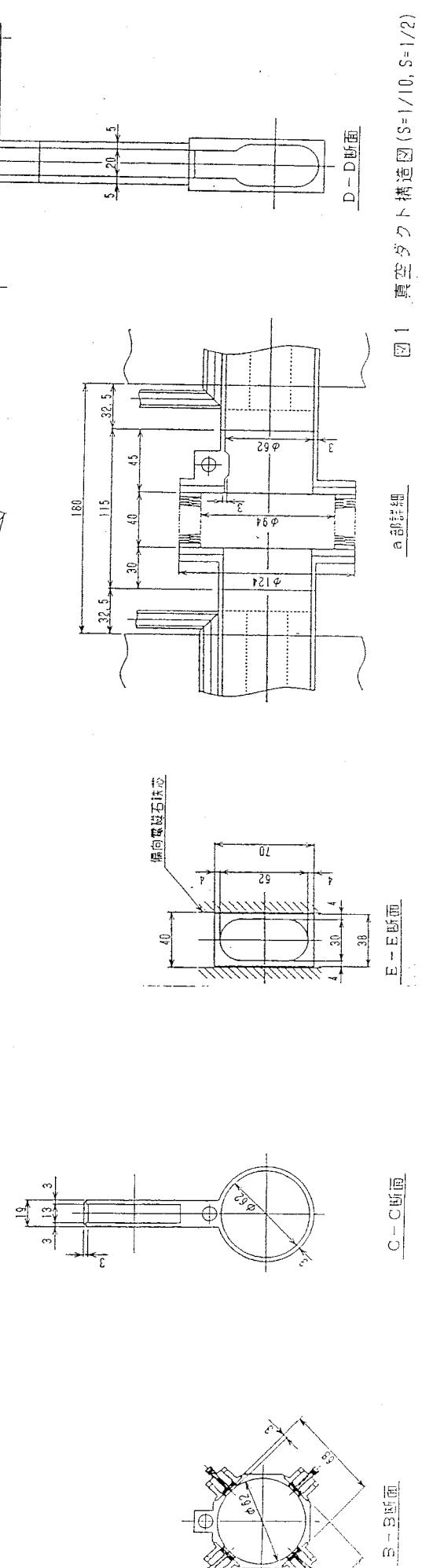
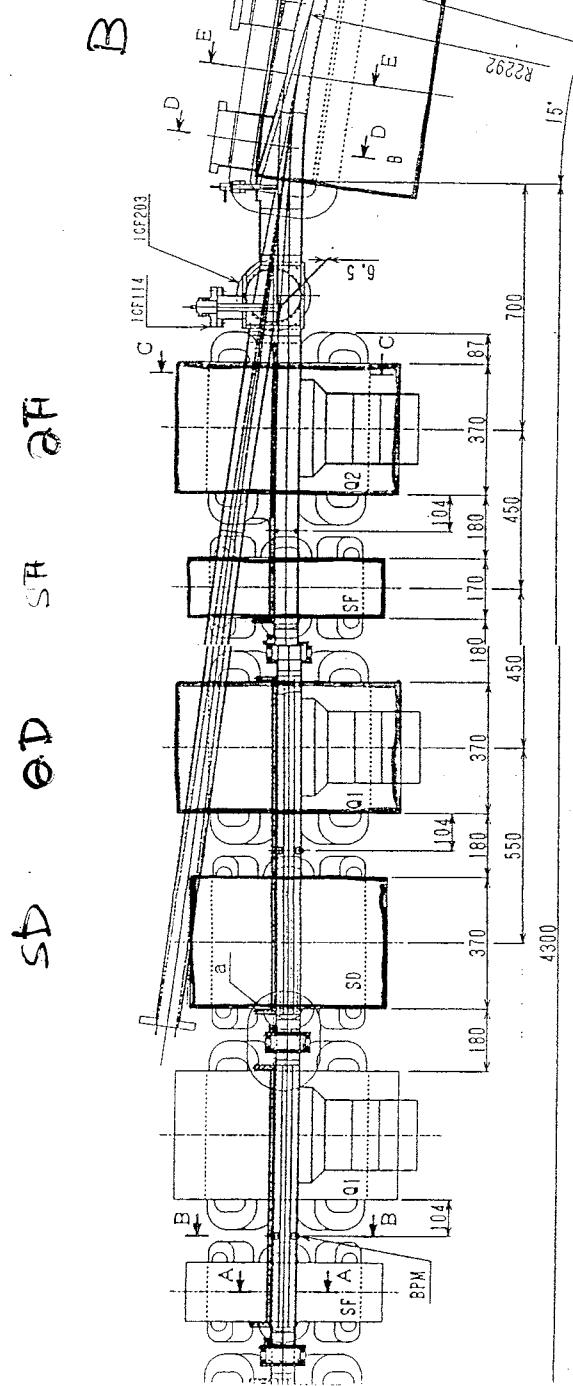
Normal Cell



: SLS

- Theoretical Minimum $I = 2^{-3.72 \times 1}$

($B \times 10^{-3} \dots \times 10^{-3}$)



真空ダクト構造図 ($S=1/10$, $S=1/2$)

ଲେ ଶ୍ରୀମତୀ ଶ୍ରୀମତୀ

C - C 断面

35

Normal Cell

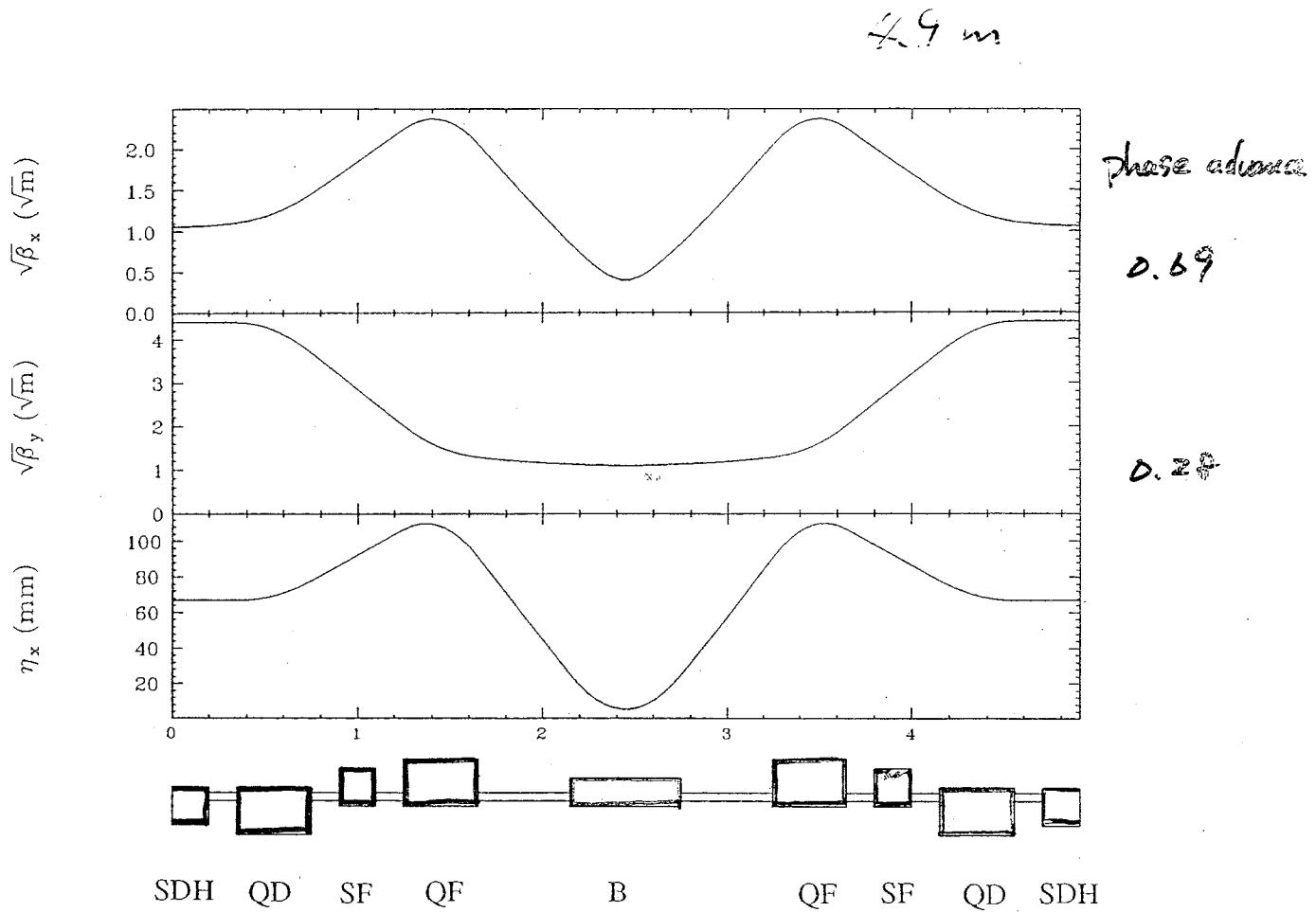
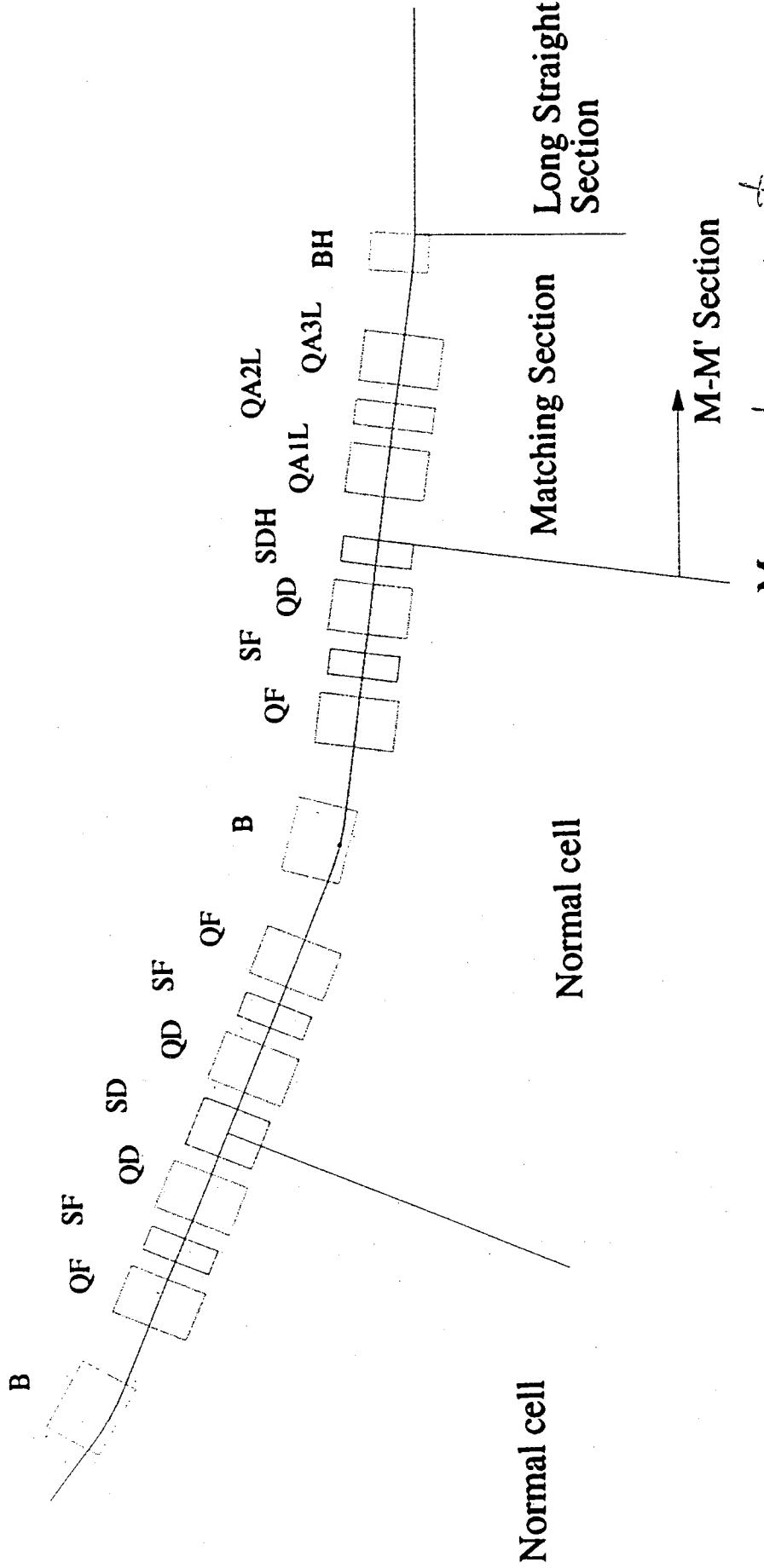


Fig. 5 The optics of the Normal Cell

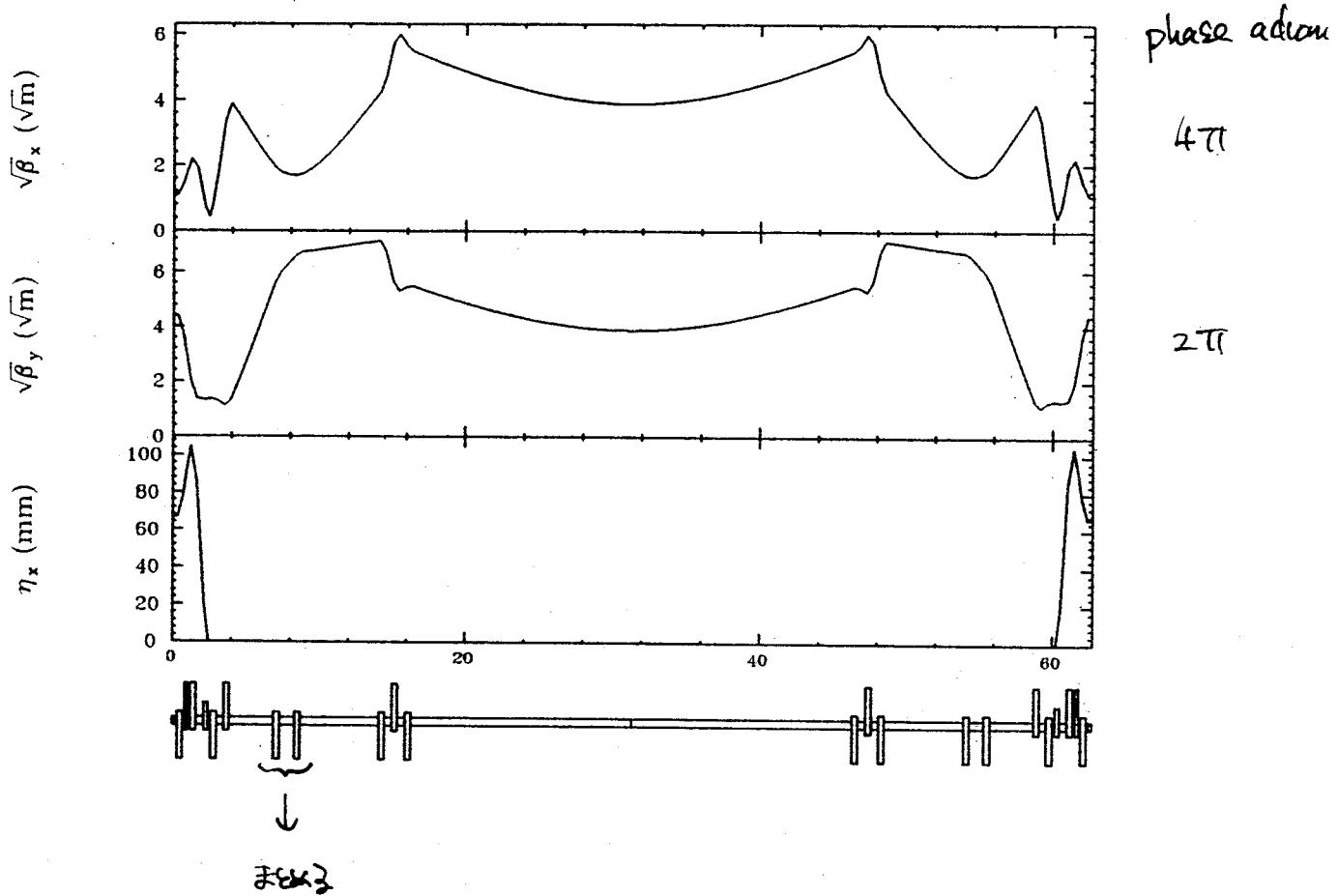


+ transparent
phase advance

H : 2.5 \times m

V : 7.5 \times m

Matching Section



Chromaticity Correction

- # of Sextupoles 2 fam. / cell
- $\gamma \neq 0$ Normal Cell
- $\gamma = 0$ Matching Section (for I.D.)



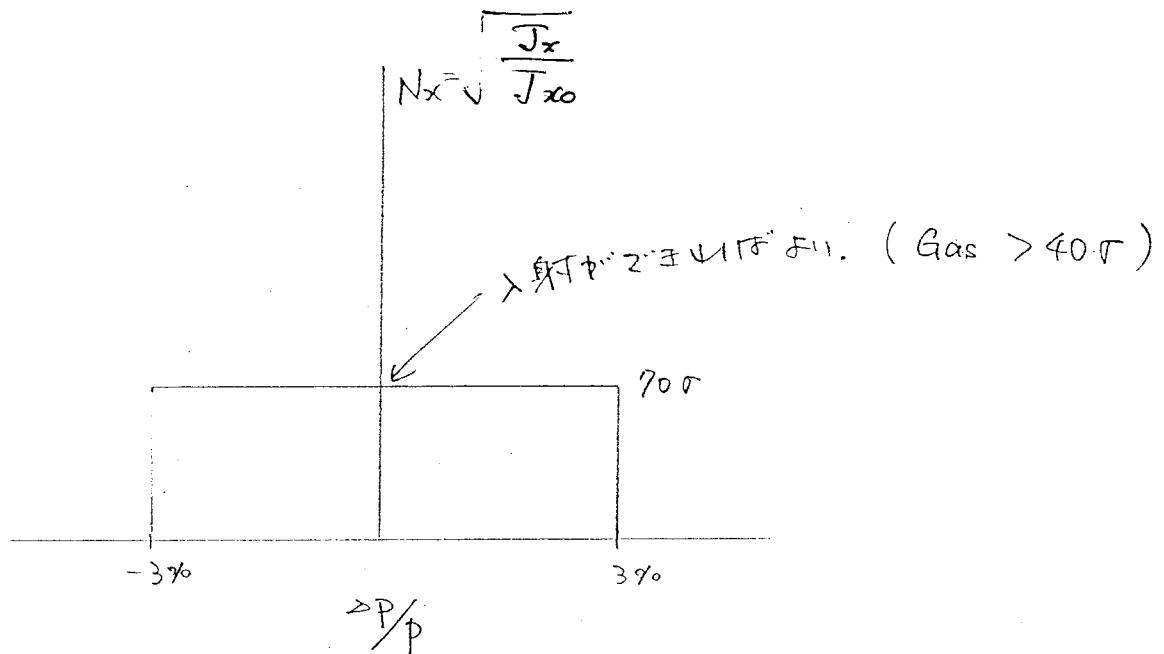
- Matching Section 2⁻ 没有 (To chromaticity 17)
+ 2 Normal Cell + 背負う。
- 对称性 → 球面 \rightarrow 2 fam. γ Correction (Cell),
- Harmonic Sextupole (C-S型) は 便宜上,



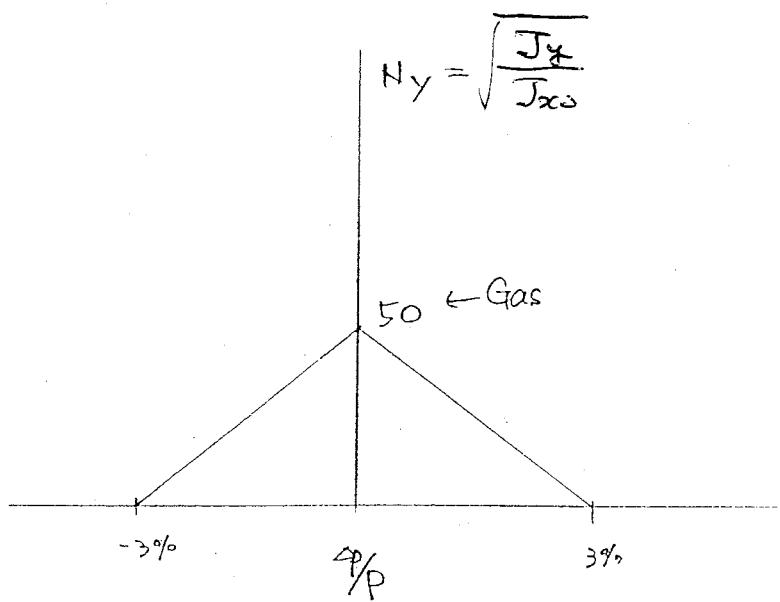
Dynamic Aperture 17?

目標 L3 Dynamic Aperture

Horizontal



Vertical



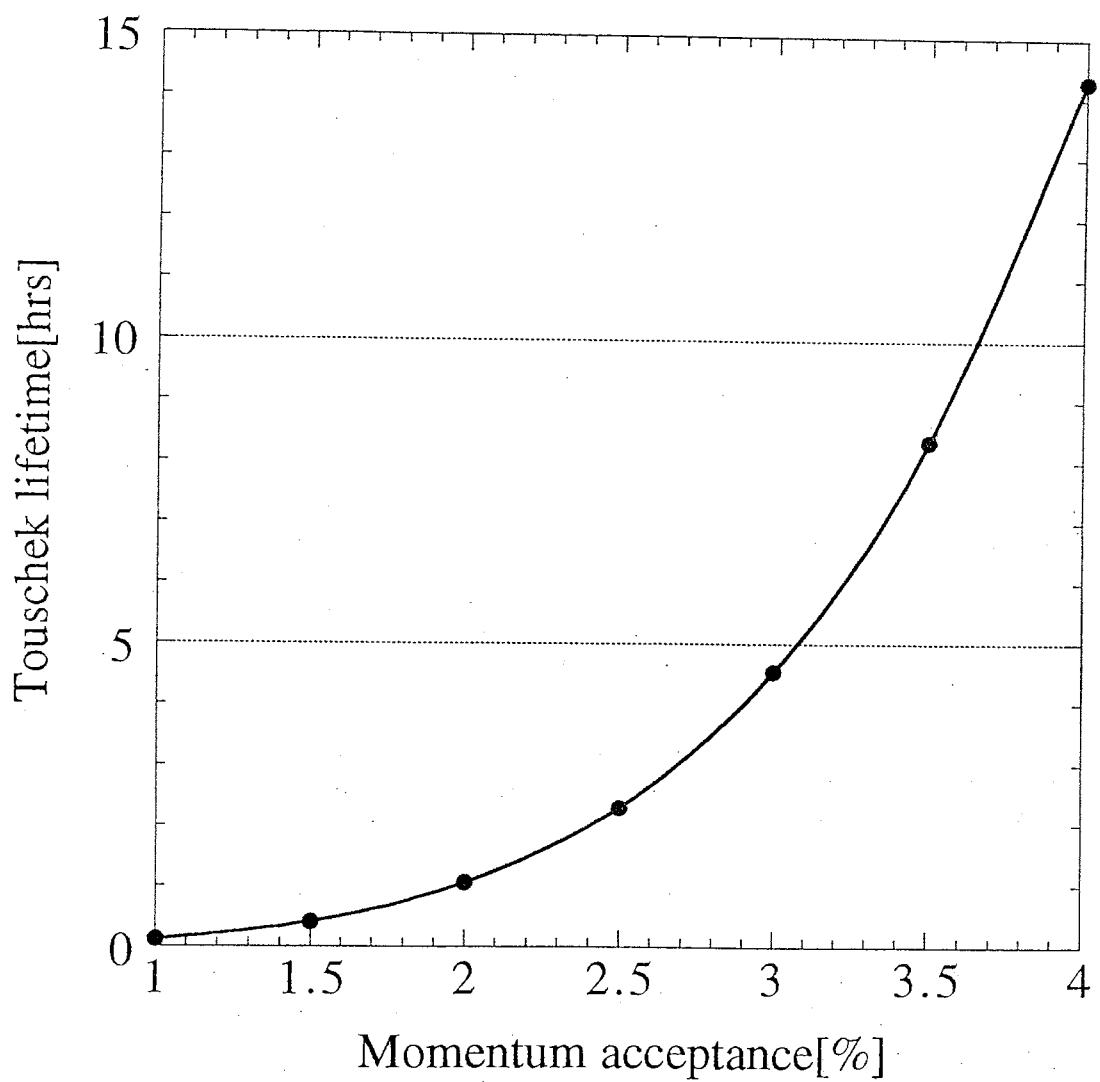
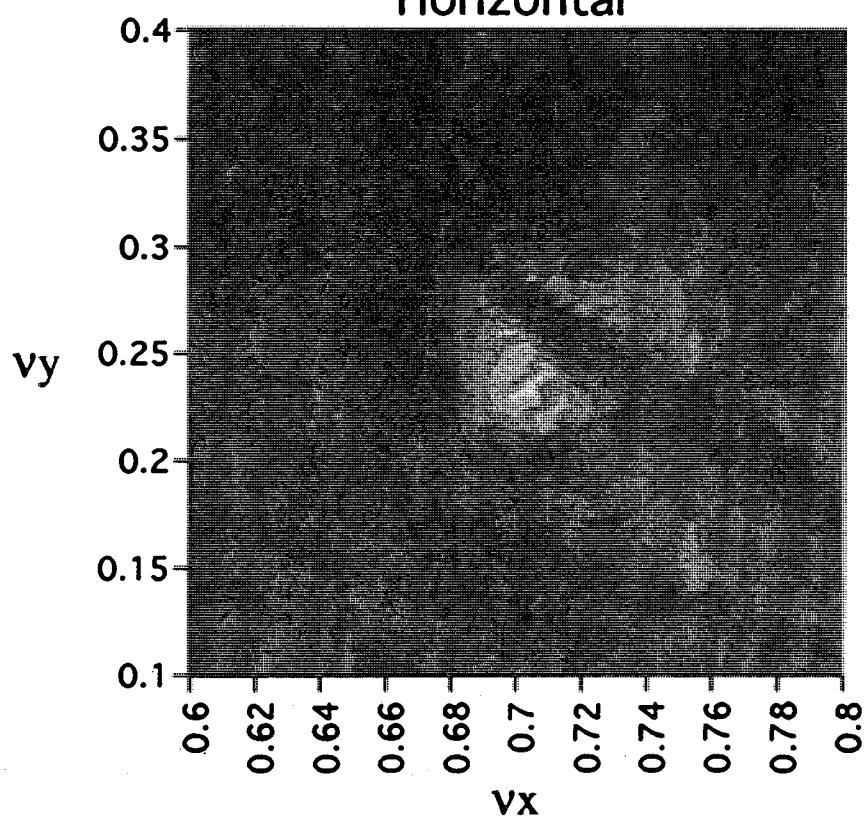


Fig. 8: The momentum acceptance vs. Touschek lifetime.

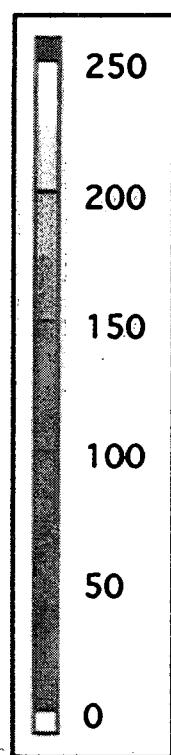
Dynamic Aperture (1 Cell)

with small Error

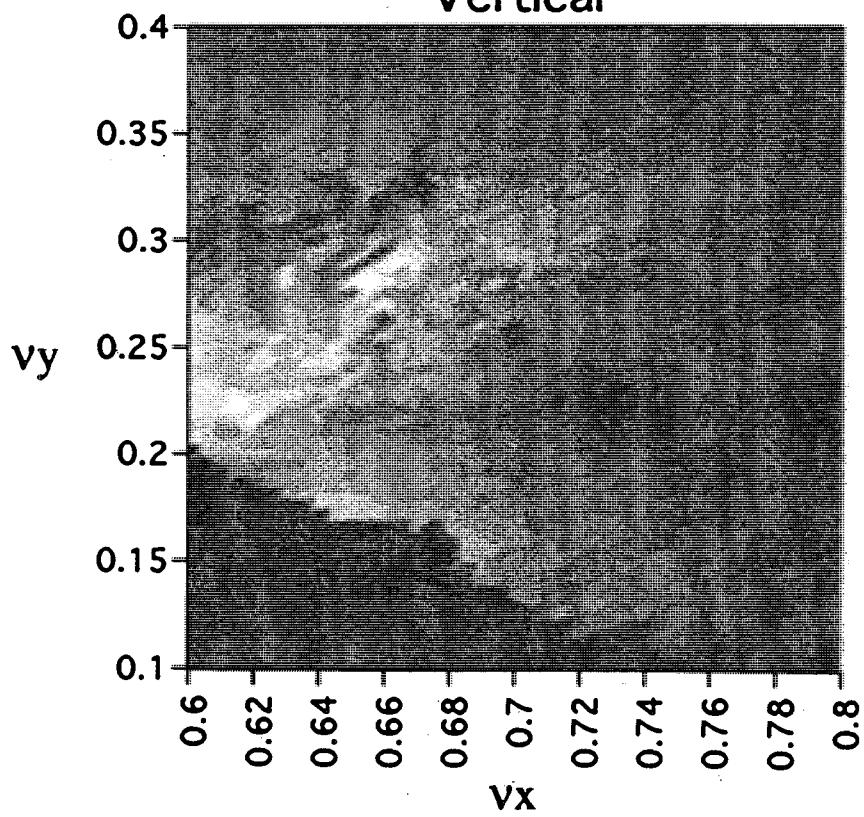
Horizontal



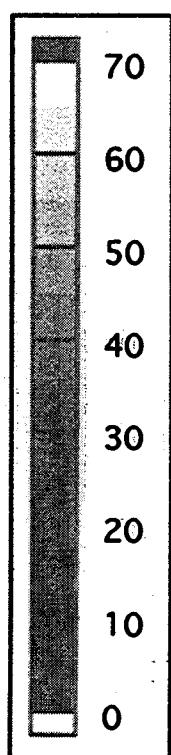
$\text{Sqrt}[J_x/J_{x0}]$



Vertical



$\text{Sqrt}[J_y/J_{y0}]$

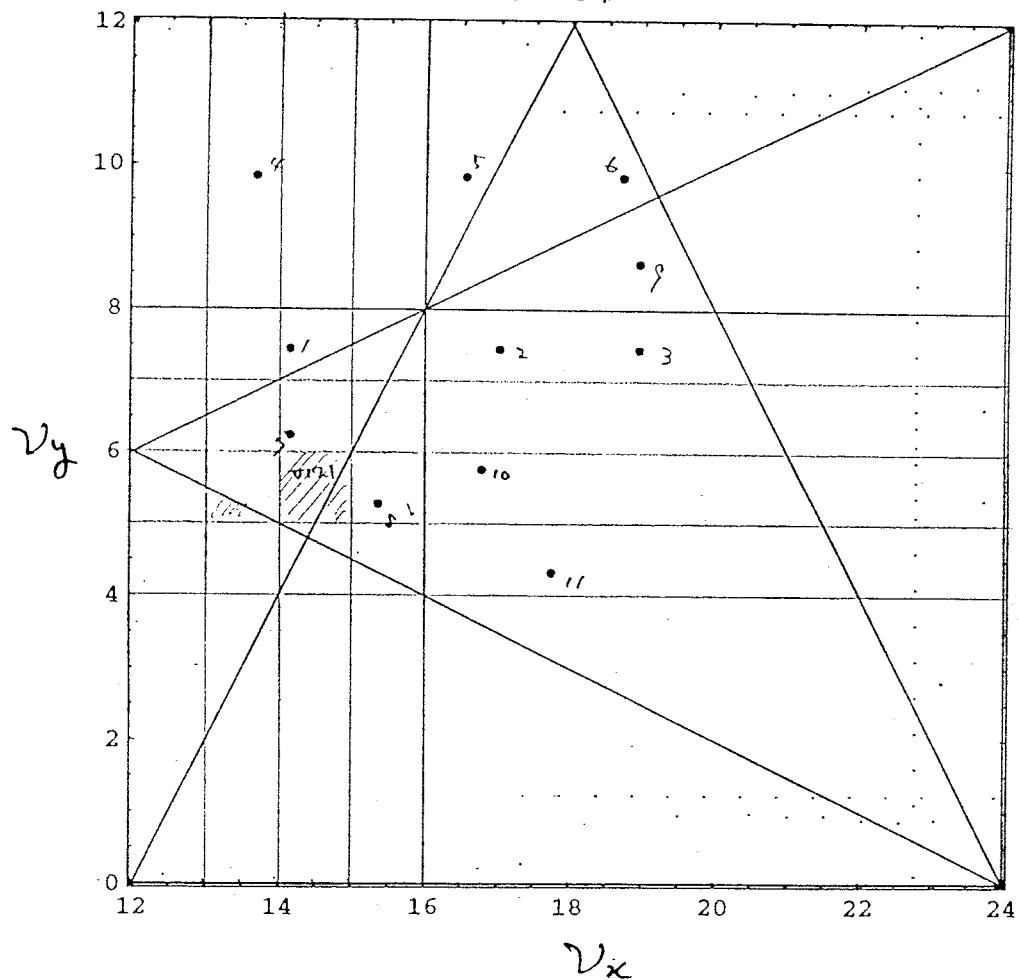


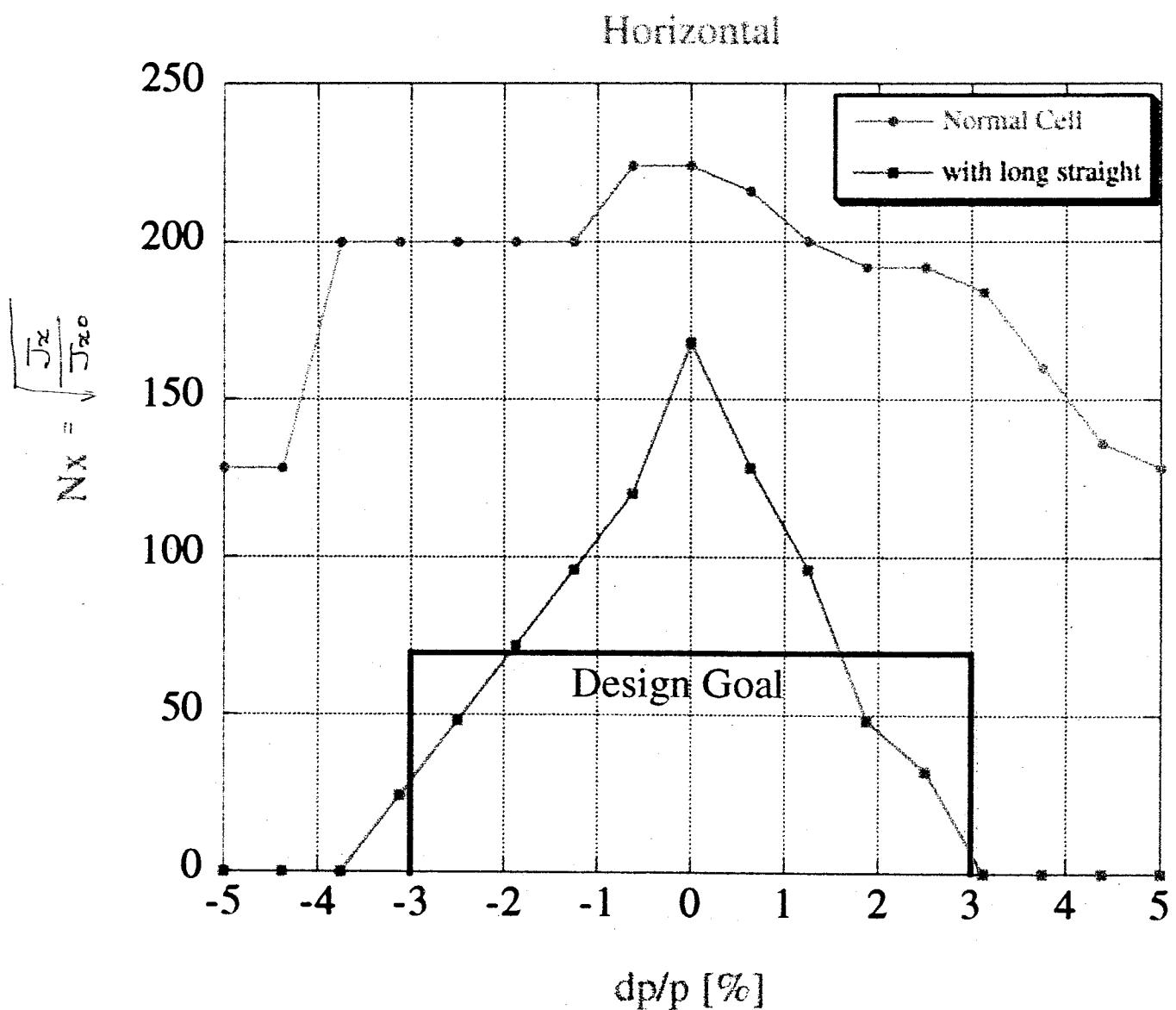
Tune Survey

tune diagram (structure only)

1

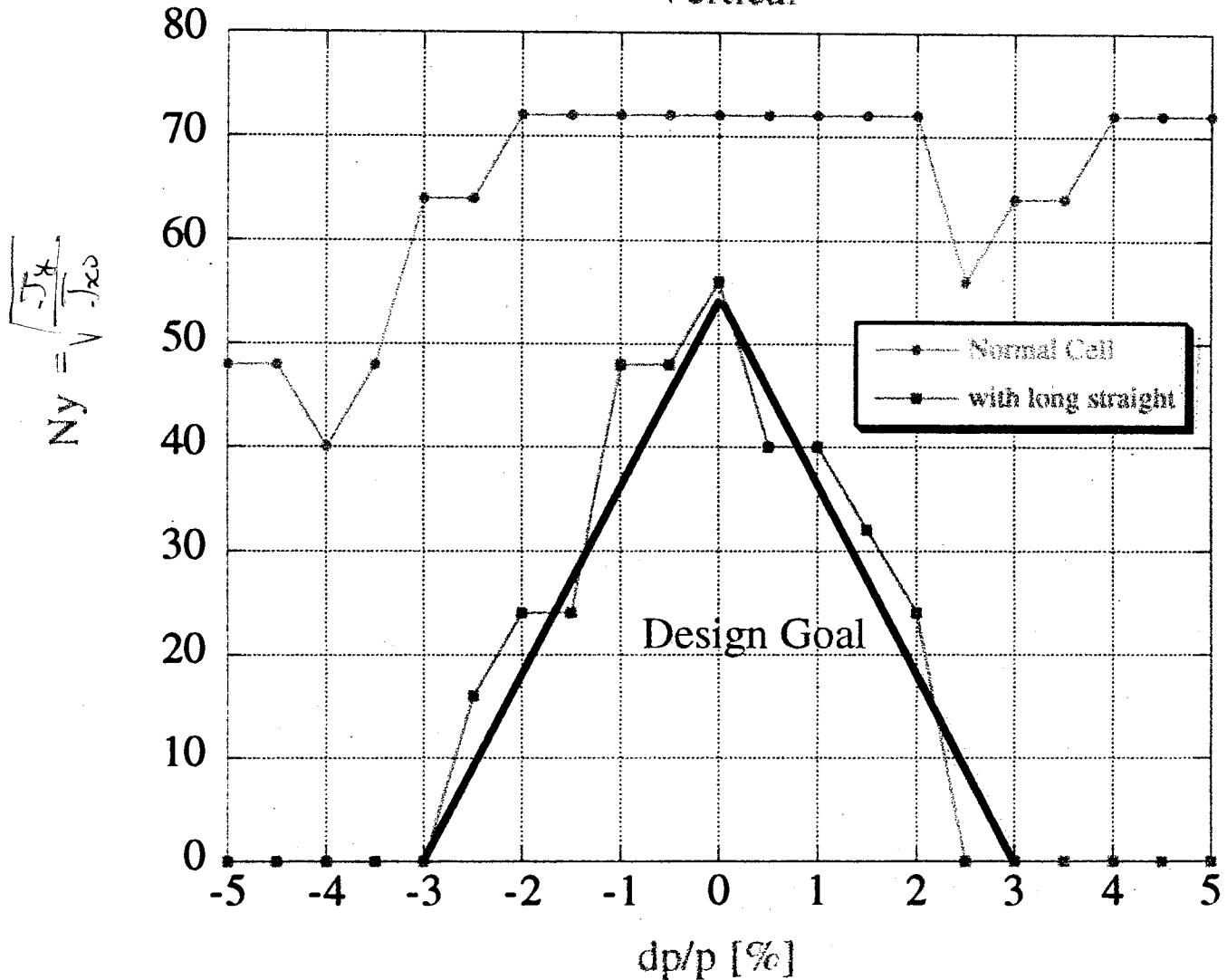
24 CELLS.



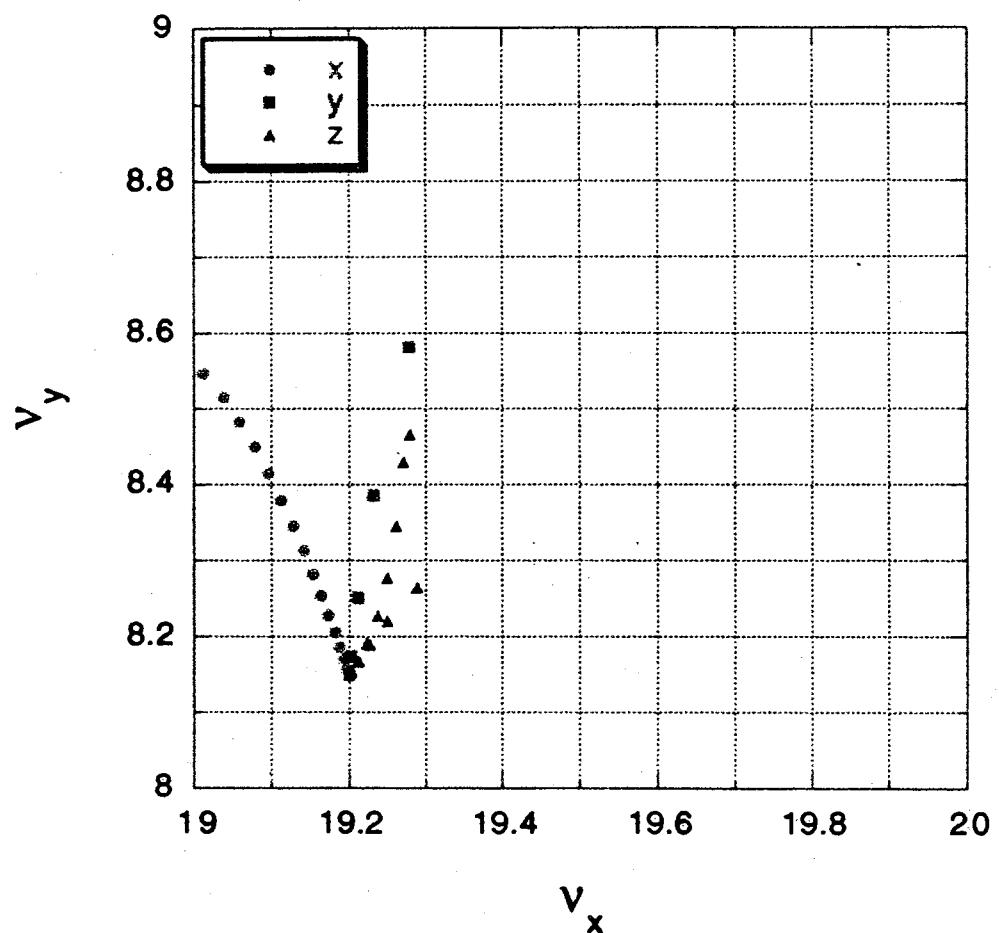


Tauschek lifetime ~ 1 hour

Vertical



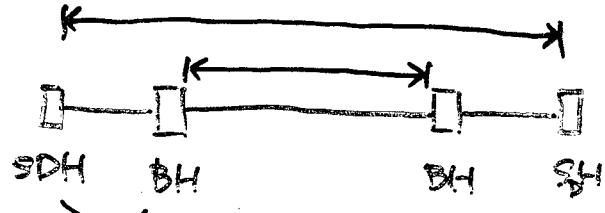
Tune Shift



どうすこ... (現在検討中)

★ $E_{local} \approx Chromaticity E$ local (= 1/23).

- BH - BH 間は transparent (= T3).

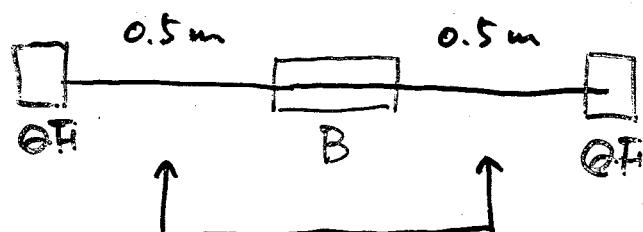


$\therefore T = 17.15 \times 10^{-3}$.

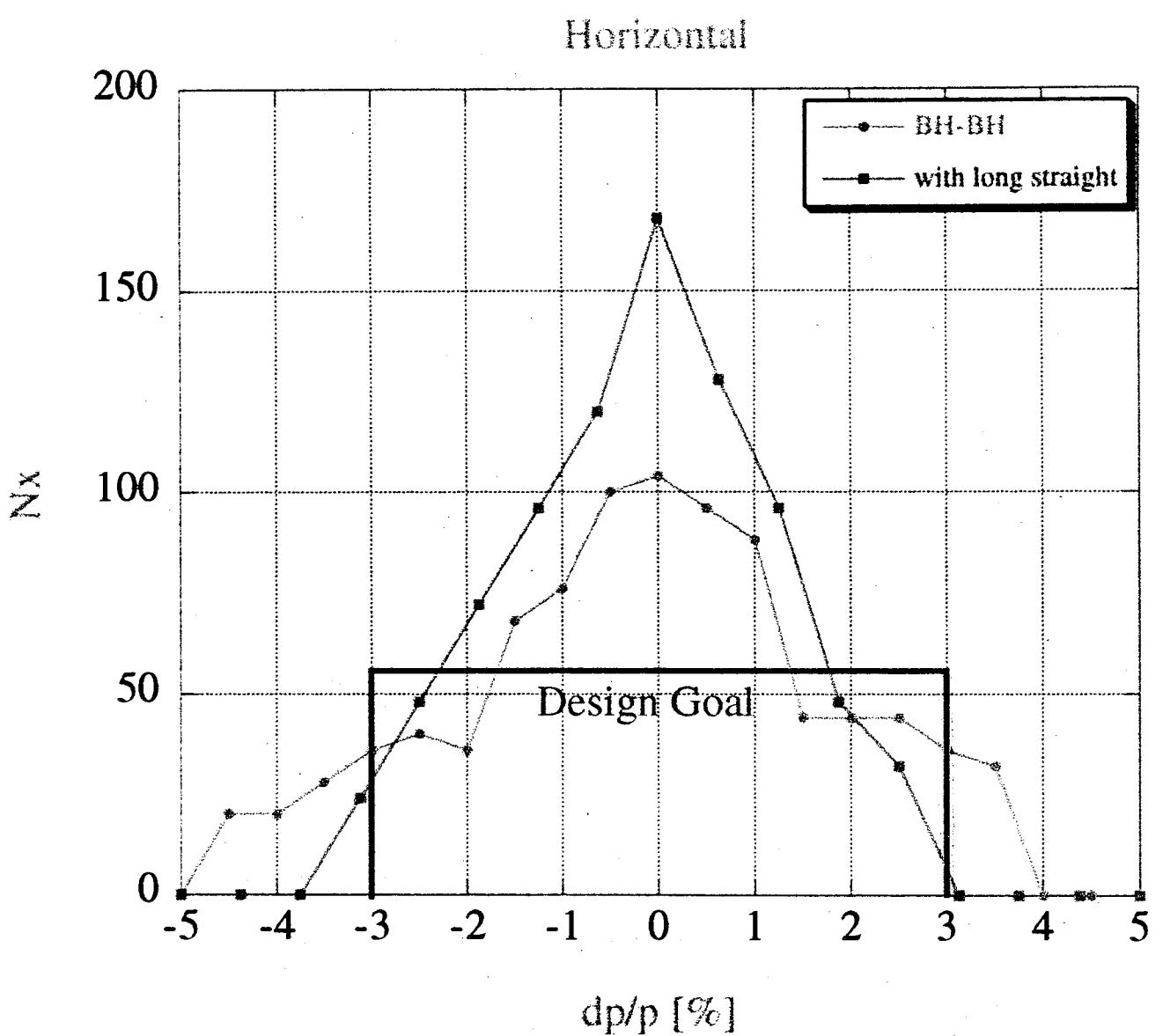
- Matching Section $E \gamma \neq 0 \approx 1/2$

$Chromaticity E_{local} \approx \text{補正 } T_3$.

★ Harmonic Sextupole (= 相当 T3 たる λ の $\frac{1}{3}$)



$\therefore \approx \lambda/3$



VIE_5

$V_x = 18.85$

$$V_g = 7.10$$

Horizontal

Range Xmin: 0.000 Xmax: 200.000
 (Ymin: 1.000 Ymax: 1.000)
 Zmin: -90.000 Zmax: 90.000

$$E_{x_0} = 7.2 \times 10^{-10} \text{ [m.vad]}$$

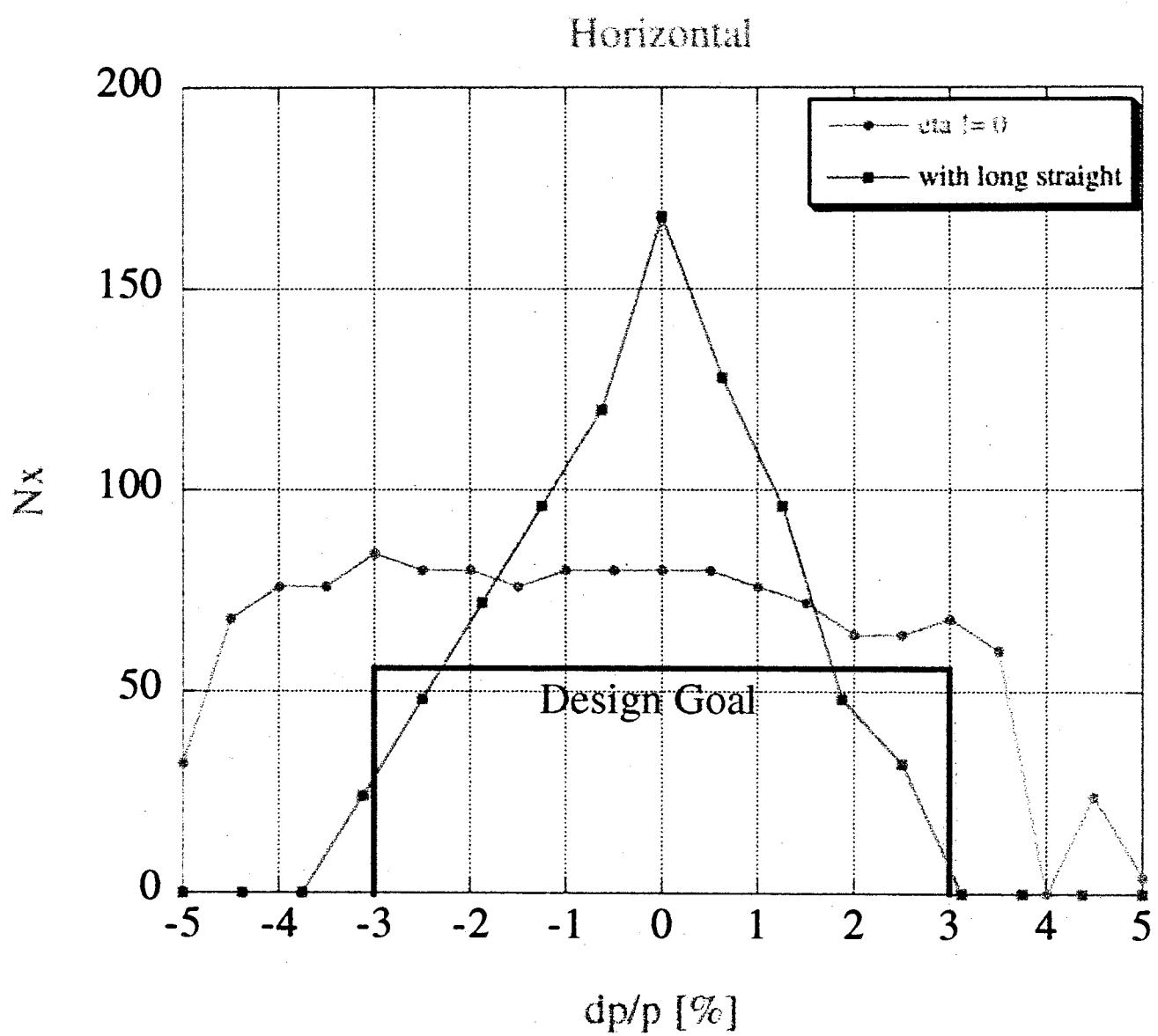
Display: 100 turns/character

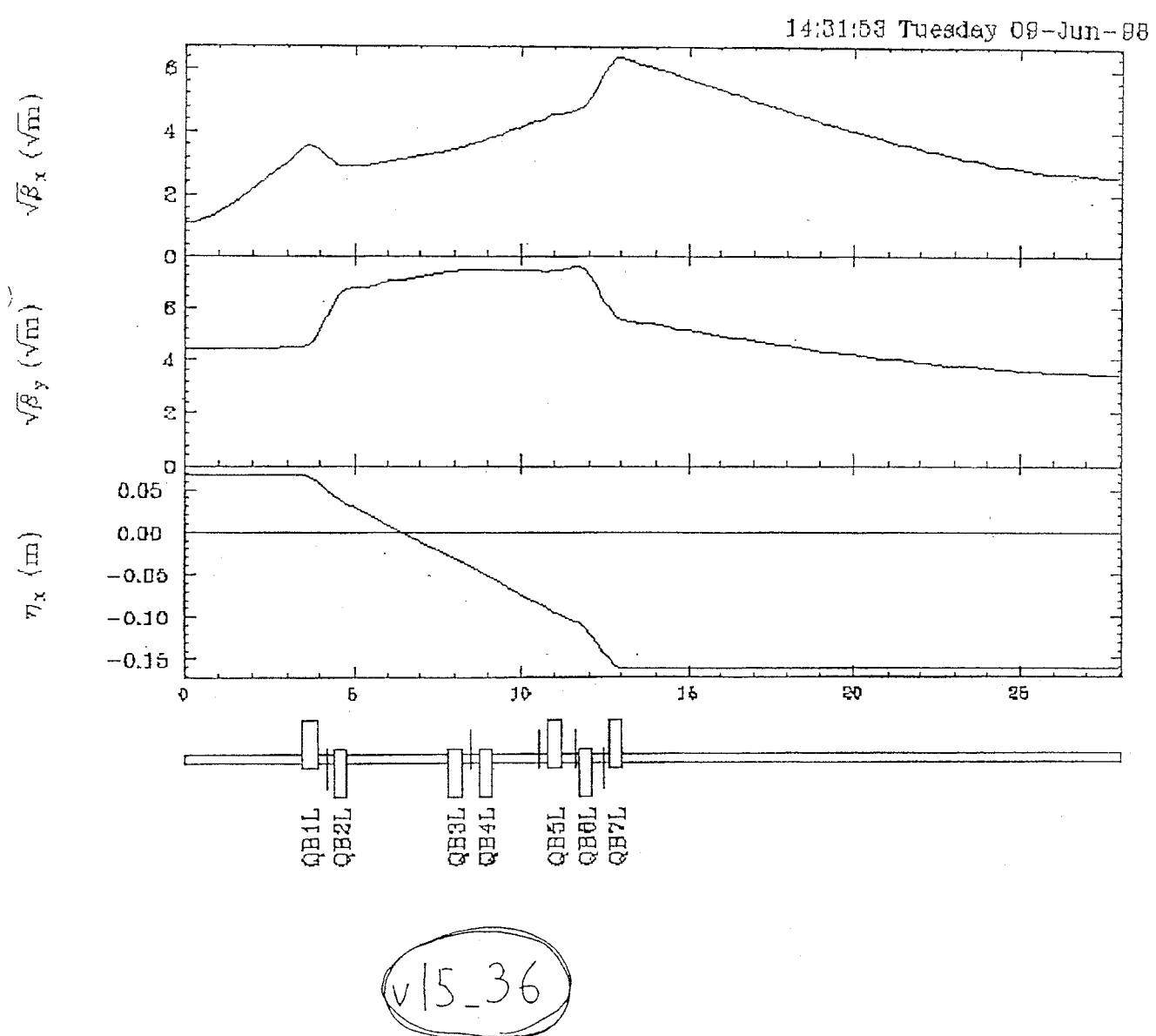
36

Vertical

Range Xmin: 1.000 Xmax: 1.000
 (Ymin: 0.000 Ymax: 200.000)
 Zmin: -90.000 Zmax: 90.000

Display: 100 turns/character



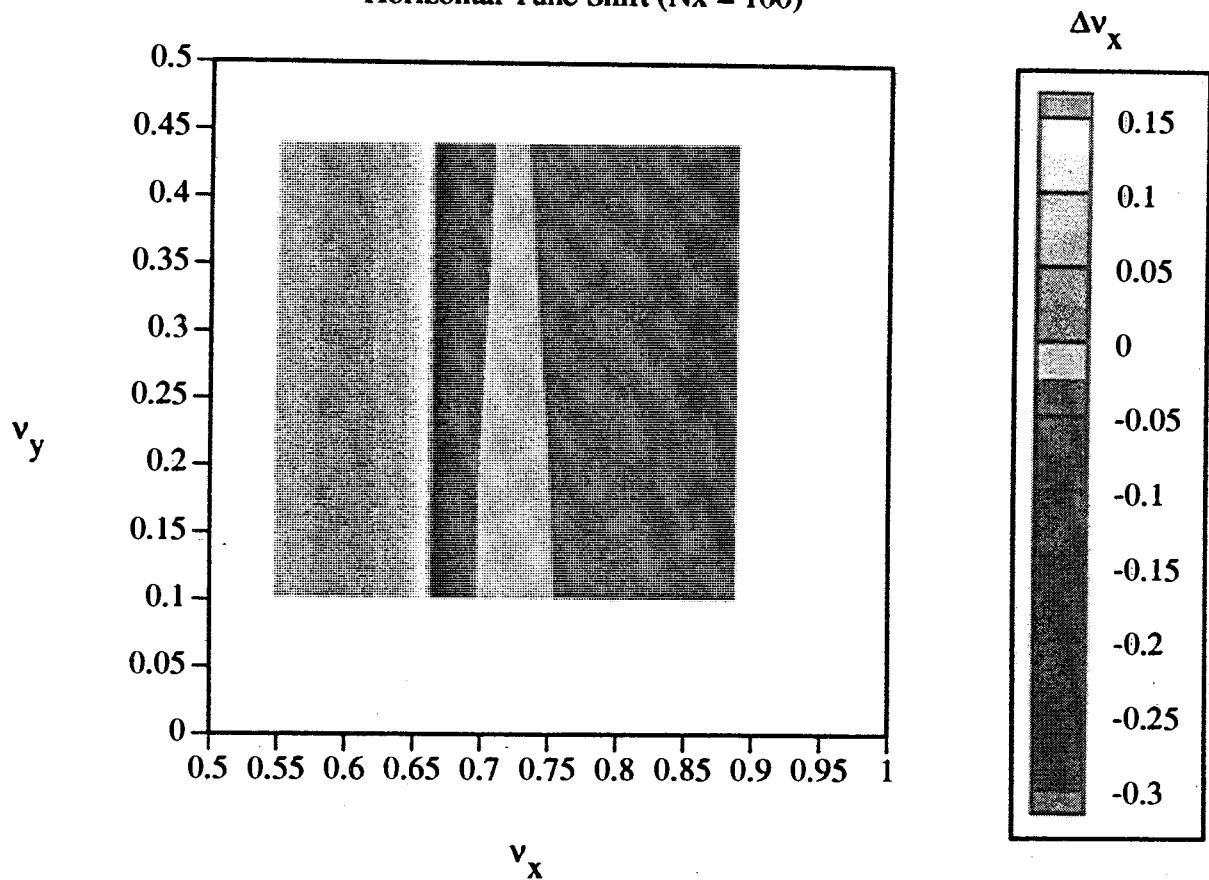


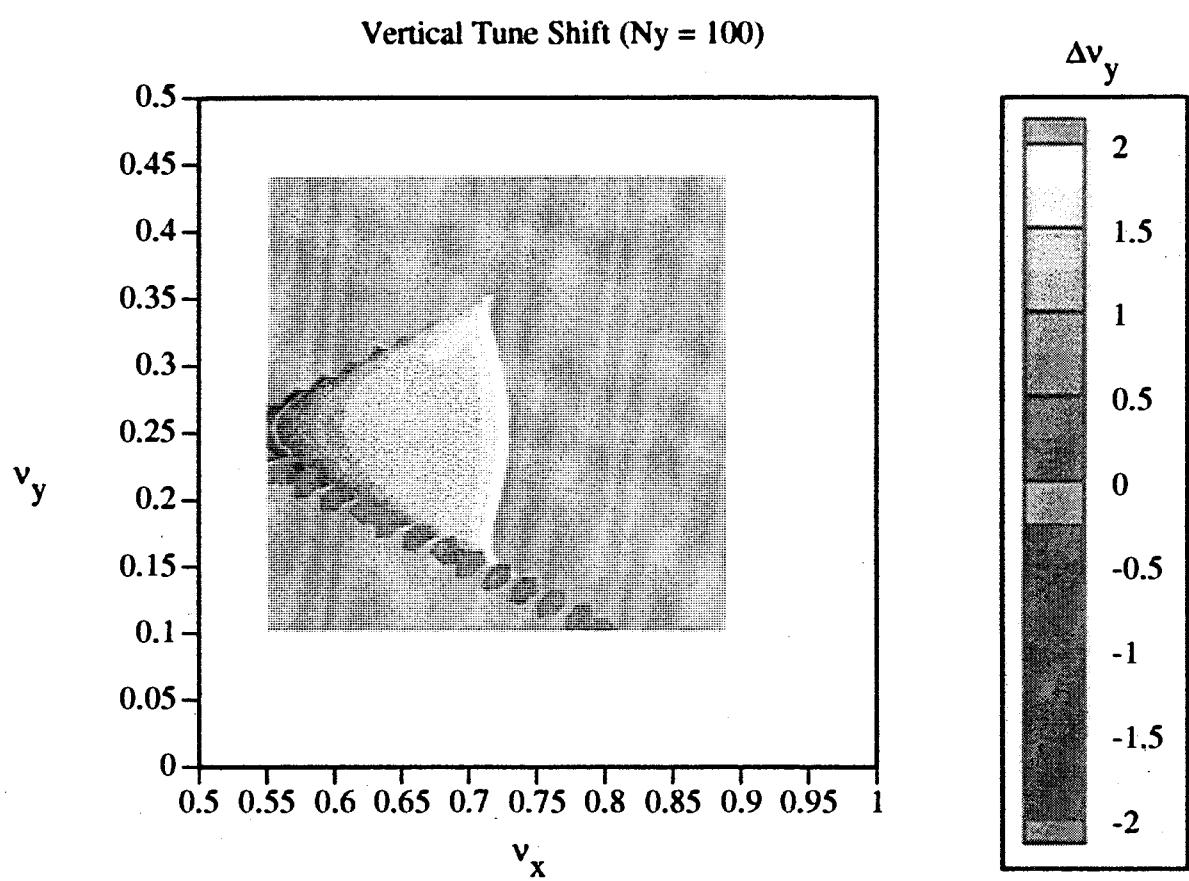
モード

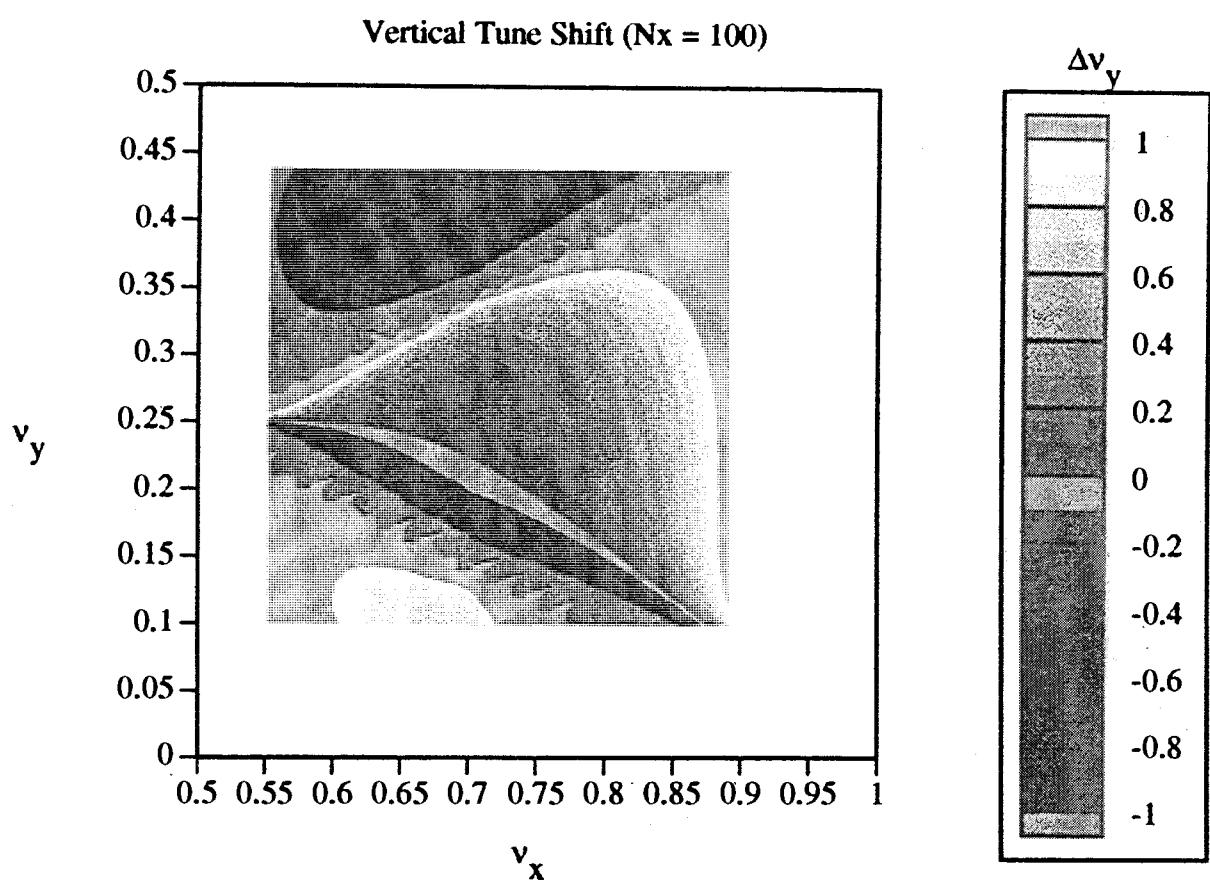
希望すること

- Chromaticity のみを発生する Element.
- phase を変換する element
- Harmonic Correction の指針となるもの
- FAQ's
- 他のコトとの比較
- SAD の Class lib. ~~化~~

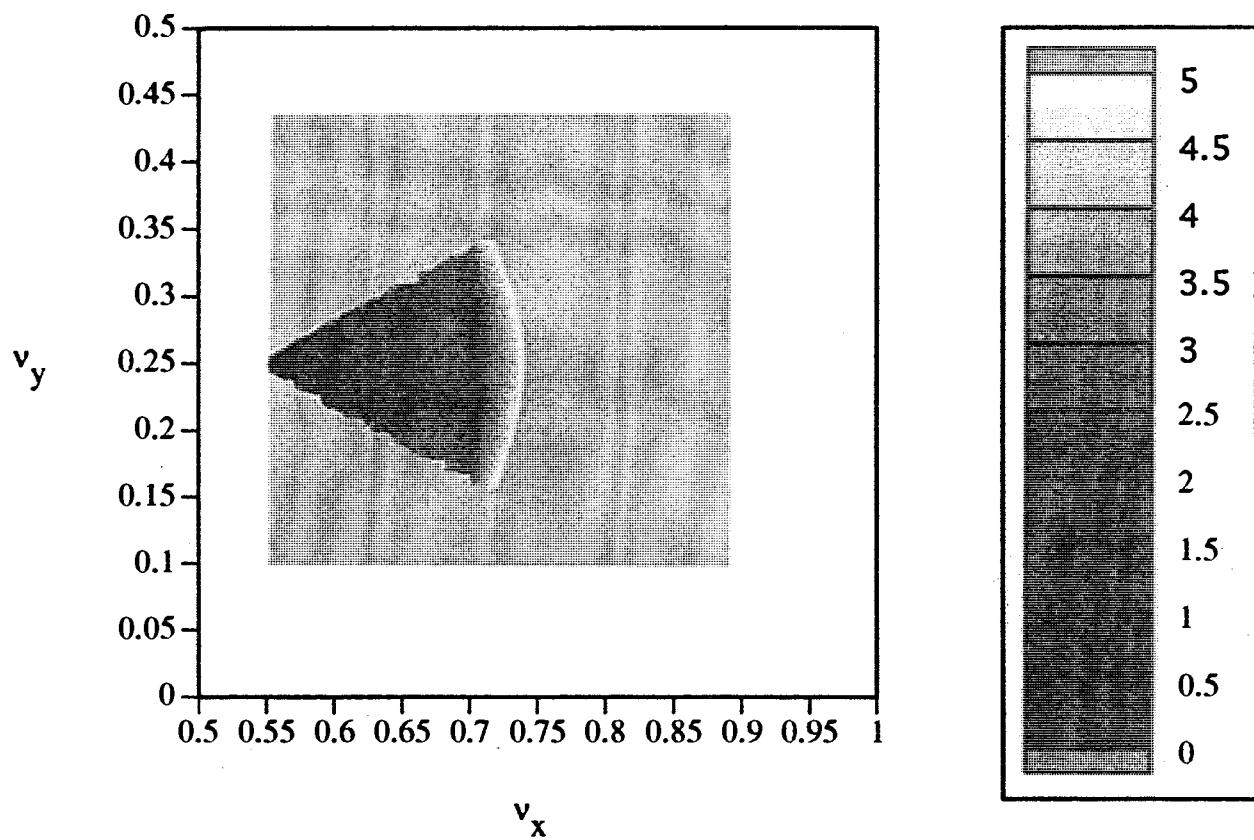
Horizontal Tune Shift ($N_x = 100$)







2乗和



Hadron Accelerators

S. Machida

(1) ドロンカD 運算器

KEK-Tanashi 田中

SADをJILに使って デザイン(5)

JHF synchrotrons

SADで できる範囲が 限定されている(5)

FFAG synchrotrons.

(cyclotron)

SADで できてほしい計算

Space charge simulation

SAD WS, July 98

JHF Synchrotrons

ラティスに対する条件

- モーメンタムコンパクションが負かつ可変。
- 直線部の位相進みが 2π (水平) と π (垂直)。
-

解法

- アーク部にはミッシングベンドを入れて r (曲率) を変調。
- 直線部には必要な数のノブを与えて、位相進みの条件を満たしながらアークをつなぐ。

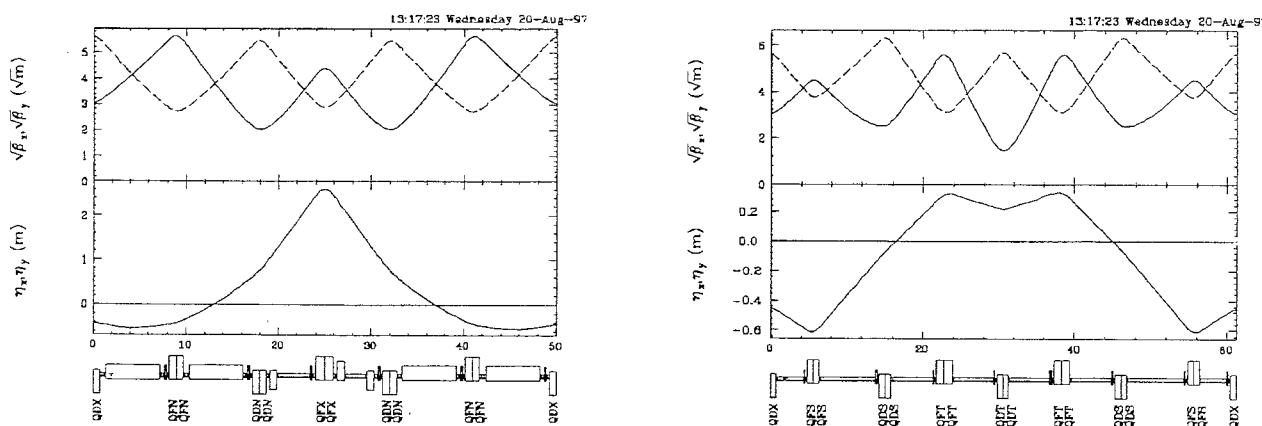


Fig. 2.1.2: Lattice functions of one module (left), which is one sixth of the arc. One insertion (right) is also shown.

Matching Procedure (1)

アーク部の1つのモジュール(3cellDOFO)について、チューンとモーメンタムコンパクションを合わせる。

```
!!
!! FITTING OF THE LATTICE STARTS HERE
!!
! start FFS commands: fit module with BXM, BYM, NX, NY, and alpha
!
CONVERGENCE=1.0E-20;
DP=1.0E-6;
FREE QDN QDX QFN QFX;
QDN MIN -0.88 SDN MAX 0.88;
QDX MIN -0.88 SDN MAX 0.88;
QFN MIN -0.88 SDN MAX 0.88;
QFX MIN -1.18 SDN MAX 1.18;
RING; CELL;
FIT REF $$$ BXM 33 BYM 33;
NX 0.74375 1 NY 0.558333333 1
GO;
!
OptimizeOptics[OptimizeFunction->((FFS["CALC"]);eX=Emittances[1]/.Emittance[];
alpha=MomentumCompaction/.Emittance[];1+MatchingResidual+(Abs[alpha+1.204e-
3]*1.e0)&]);
```

最終的に
 $\alpha_0 = -1 \times 10^{-3}$

```
!
SAVE;
VAR;
TYPE;
! OUTPUT 'lat0.out' DISP;
OUTPUT 'tdmod' DRAW BX BY & EX EY Q*;
```

Matching Procedure (2)

6つのモジュールで1つのアークを作る。

```
VISIT ARCOLY;
Print[TimeUsed[]];
!
! start FFS commands: fit arc (6*module) with BXM, BYM, NX, NY, but without alpha
!
CONVERGENCE=1.0E-20;
DP=1.0E-6;
FREE QDN QDX QFN QFX;
QDN MIN -0.88 SDN MAX 0.88;
QDX MIN -0.88 SDN MAX 0.88;
QFN MIN -0.88 SDN MAX 0.88;
QFX MIN -1.18 SDN MAX 1.18;
RING; CELL;
FIT REF $$$ BXM 33 BYM 33;
NX 4.4625 1 NY 3.35 1
GO;
SAVE;
VAR;
TYPE;
EMIT;
! OUTPUT 'lat1.out' DISP;
! OUTPUT 'tdarc' DRAW BX BY & EX EY Q*;
Print[Max[Twiss["BX", "*"]]];
Print[Max[Twiss["BY", "*"]]];
BYE;
```

Matching Procedure (3)

アーク部にマッチし、しかも位相進みが(1,0.5)となるように直線部のオプティクスを決める。

```
VISIT INSOLY;
Print[TimeUsed[]];
!
! start FFS commands: connect insertion with NX, NY, and lattice function at the boundary
!
CONVERGENCE=1.0E-20;
DP=1.0E-6;
FREE QDS QDT QFS QFT;
QDS MIN -0.88 QDS MAX 0.88;
QDT MIN -0.88 QDT MAX 0.88;
QFS MIN -0.88 QFS MAX 0.88;
QFT MIN -1.18 QFT MAX 1.18;
INS;
NX 1.000 1 NY 0.500 1;
FIT ARCST AX @ BX @ AY @ BY @ EX @ EPX @;
GO;
SAVE;
VAR;
TYPE;
! OUTPUT 'lat2.out' DISP;
Print[Max[Twiss["BX", "**"]]];
Print[Max[Twiss["BY", "**"]]];
Print[Max[Twiss["EX", "**"]]];
BYE;
```

Matching Procedure (4)

アーク部と直線部をつなぎ1つのスーパーペリオドを作る。同時に、Chromaticity補正のための Sextupole 強さを決める。

```
VISIT SUPOLY;
Print[TimeUsed[]];
!
! start FFS commands: see lattice function of a whole superperiod (arc+ins)
!
CONVERGENCE=1.0E-20;
DP=1.0E-6;
FREE SDN SFN;
SDN MIN -0.80 SDN MAX 0.80;
SFN MIN -0.80 SFN MAX 0.80;
NX 5.4625 5 NY 3.85 5
RING; CELL;
GO;
SAVE;
VAR;
TYPE;
EMIT;
OUTPUT 'lat3.out' DISP;
OUTPUT 'tdsup' DRAW BX BY & EX EY Q*;
Print[Max[Twiss["BX", "*"]]];
Print[Max[Twiss["BY", "*"]]];
Print[Max[Twiss["EX", "*"]]];
Print[TimeUsed[]];
STOP;
STOP;
```

13:17:25 Wednesday 20-Aug-97

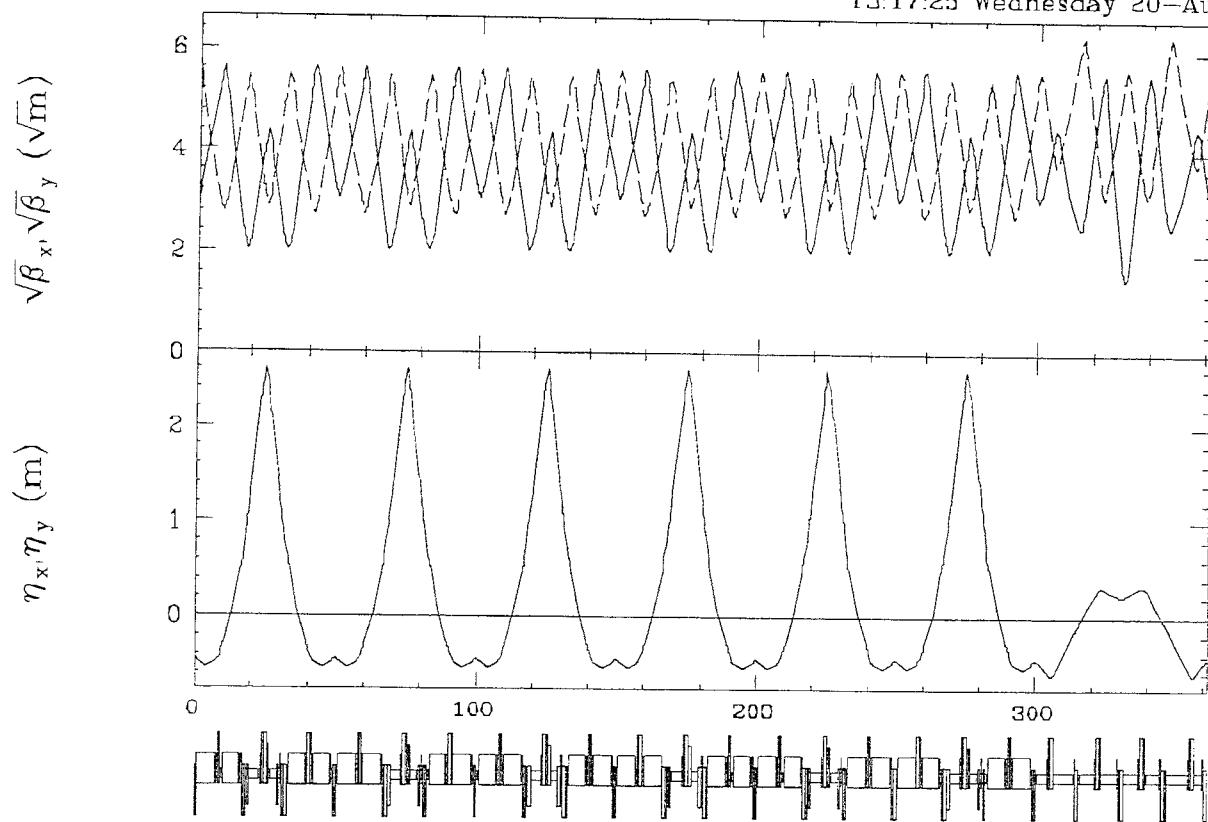


Fig. 2.1.3: Lattice functions of one superperiod, which is one quarter of the ring.

Dynamic Aperture Survey

~~スイッチ部と直線部をつなぎ一つのマップベクトルを作り。同時に、Chromaticity補正のための Sextupole 強さを決める。~~

2D チューン平面ごとの

!

! dynamic aperture survey in 2D tune plane

!

Do[

Print[TimeUsed[]];

nxi:=(21.025+0.00+0.05*(i-1))/1;

nyj:=(15.025+0.00+0.05*(j-1))/1;

;

;

;

Do[

FFS[" \

VISIT MODOLY; \

CONVERGENCE=1.0E-20; DP=1.0E-6; \

FREE QDN QDX QFN QFX; \

QDN MIN -0.088; QDN MAX 0.088; QDX MIN -0.088; QDX MAX 0.088; \

QFN MIN -0.088; QFN MAX 0.088; QFX MIN -0.118; QFX MAX 0.118; \

RING; CELL; FIT REF \$\$\$ BXM 40 BYM 40; \

NX (nxi*0.25-1.0)/6.0 1 NY (nyj*0.25-0.5)/6.0 1; \

GO"];

OptimizeOptics[OptimizeFunction->((FFS["CALC"]); \

eX=Emittances[1]/.Emittance[]; alpha=MomentumCompaction/.Emittance[]; \

1+MatchingResidual+(Abs[alpha+5.675828e-2+361.25e-3/300.e0])*1.e0)&);

FFS[" \

SAVE; VAR; TYPE; BYE"], {3}];

! OUTPUT 'lat0.out' DISP;

! OUTPUT 'tdmod' DRAW BX BY & EX EY Q*;

```

;
;
;

FFS[" \
VISIT ARCOLY; \
CONVERGENCE=1.0E-20; DP=1.0E-6; \
FREE QDN QDX QFN QFX; \
QDN MIN -0.088; QDN MAX 0.088; QDX MIN -0.088; QDX MAX 0.088; \
QFN MIN -0.088; QFN MAX 0.088; QFX MIN -0.118; QFX MAX 0.118; \
RING; CELL; FIT REF $$$ BXM 40 BYM 40; \
NX (nxi*0.25-1.0) 1 NY (nyj*0.25-0.5) 1; \
GO; SAVE; VAR; TYPE; EMIT"]];

{nx0,ny0}=Twiss[{"NX","NY"}, "***"]/2/Pi;
Print[" nux at arc=",nx0," nuy=",ny0];
Print[" bxm at arc=",Max[Twiss["BX", "*"]], " bym at arc=",Max[Twiss["BY", "*"]]];
Print[" exm at arc=",Max[Twiss["EX", "*"]]];
bxai=Append[bxai,Max[Twiss["BX", "*"]]];
byai=Append[byai,Max[Twiss["BY", "*"]]];
exai=Append[exai,Max[Twiss["EX", "*"]]];

FFS["BYE"];

! OUTPUT 'lat1.out' DISP;
! OUTPUT 'tdarc' DRAW BX BY & EX EY Q*;
```

```
;  
;  
;  
FFS[" \n  
VISIT INSOLY; \n  
CONVERGENCE=1.0E-20; DP=1.0E-6; \n  
FREE QDS QDT QFS QFT; \n  
QDS MIN -0.088; QDS MAX 0.088; QDT MIN -0.088; QDT MAX 0.088; \n  
QFS MIN -0.088; QFS MAX 0.088; QFT MIN -0.118; QFT MAX 0.118; \n  
INS; FIT ARCST AX @ BX @ AY @ BY @ EX @ EPX @; \n  
NX 1.000 1 NY 0.500 1; \n  
GO; SAVE; VAR; TYPE"];  
  
{nx0,ny0}=Twiss[{"NX","NY"}, "***"]/2/Pi;  
Print[" nux at ins=",nx0," nuy=",ny0];  
Print[" bxm at ins=",Max[Twiss["BX",**]], " bym at ins=",Max[Twiss["BY",**]]];  
Print[" exm at ins=",Max[Twiss["EX",**]]];  
bxsi=Append[bxsi,Max[Twiss["BX",**]]];  
bysi=Append[bysi,Max[Twiss["BY",**]]];  
exsi=Append[exsi,Max[Twiss["EX",**]]];  
  
FFS["BYE"];  
  
! OUTPUT 'lat2.out' DISP;  
! OUTPUT 'tdins' DRAW BX BY & EX EY Q*;
```

```

;
;

;
;

FFS[" \
VISIT SUPOLY; \
CONVERGENCE=1.0E-20; DP=1.0E-6; \
FREE SDN SFN; \
SDN MIN -0.80; SDN MAX 0.80; SFN MIN -0.80; SFN MAX 0.80; \
NX nxi*0.25 5 NY nyj*0.25 5; \
RING; CELL; GO; SAVE; VAR; TYPE; EMIT; BYE"];
! OUTPUT 'lat3.out' DISP; -----
! OUTPUT 'tdsup' DRAW BX BY & EX EY Q*;
;
;
;

$FORM="6.3";

```

```

FFS[" \
VISIT RNG; \
CONVERGENCE=1.0E-20; DP=1.0E-6; \
FREE QDN QDX QFN QFX QDS QDT QFS QFT SDN SFN; \
QDN MIN -0.088; QDN MAX 0.088; QDX MIN -0.088; QDX MAX 0.088; \
QFN MIN -0.088; QFN MAX 0.088; QFX MIN -0.118; QFX MAX 0.118; \
QDS MIN -0.088; QDS MAX 0.088; QDT MIN -0.088; QDT MAX 0.088; \
QFS MIN -0.088; QFS MAX 0.088; QFT MIN -0.118; QFT MAX 0.118; \
SDN MIN -0.80; SDN MAX 0.80; SFN MIN -0.80; SFN MAX 0.80; \
RING; CELL; FIT; \
NX nxi 1 NY nyj 1; \
GO; SAVE; VAR"];

```

```

{nx0,ny0}=Twiss[{"NX","NY"}, {"**"}]/2/Pi;
Print[" nux=",nx0," nuy=",ny0];
Print[" bxm=",Max[Twiss["BX", {"**"}]], " bym=",Max[Twiss["BY", {"**"}]]];
Print[" exm=",Max[Twiss["EX", {"**"}]]];

```

```
FFS[" \
RFSW; EMIT; EMITX=54.0E-6; EMITZ=100.00E-6; \
daxy=Append[daxy,DynamicApertureSurvey[{{0,5},{0,5},Range[0,0,1]}, \
2000,Output->6][1]]";

bxti=Append[bxti,Max[Twiss["BX","*"]]];
byti=Append[byti,Max[Twiss["BY","*"]]];
exti=Append[exti,Max[Twiss["EX","*"]]];
gtxy=Append[gtxy,((MomentumCompaction/.Emittance[])+5.675828e-2)*1.E3];

FFS["BYE"];
Print[" EMITX=",EMITX," EMITY=",EMITY," EMITZ=",EMITZ,
" SIGE=",SIGE," SIGZ=",SIGZ],

{i,1,20}];
bxa=Append[bxa,bxai];
bya=Append[bya,byai];
exa=Append[exa,exai];
bxs=Append[bxs,bxsi];
bys=Append[bys,bysi];
exs=Append[exs,exsi];
bxt=Append[bxt,bxti];
byt=Append[byt,byti];
ext=Append[ext,exti];
gt=Append[gt,gtxy];
da=Append[da,daxy],
{j,1,20}];
Print[bxa];
Print[bya];
Print[exa];
Print[bxs];
Print[bys];
Print[exs];
Print[bxt];
Print[byt];
Print[ext];
Print[gt];
Print[da];
STOP;
```

Flags

For Matching and Dynamic Aperture Survey

MOMENTUM= 3.8249E3 GEV;
MASS= 0.92826 GEV;
ON ECHO EMIT;
OFF CTIME COD RAD RADCOD RFSW FLUC;

TD_{RF} $f_{rf} \neq \text{constant}$
 $V_{rf} \neq \text{constant}$

FFAG Design and Tracking

Fixed Field Alternating Gradient (FFAG) Synchrotron

Radial sector type

$$B = B_0 \left(\frac{r}{r_0} \right)^n$$

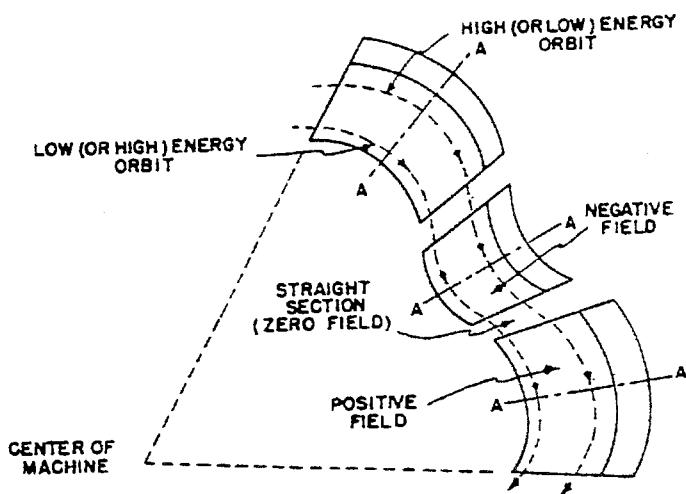


FIG. 2. Plan view of radial-sector magnets.

Spiral sector type

$$B = B_0 \left(\frac{r}{r_0} \right)^n \left\{ 1 + f \cos[N\theta - N \tan \xi \ln(r/r_0)] \right\}$$

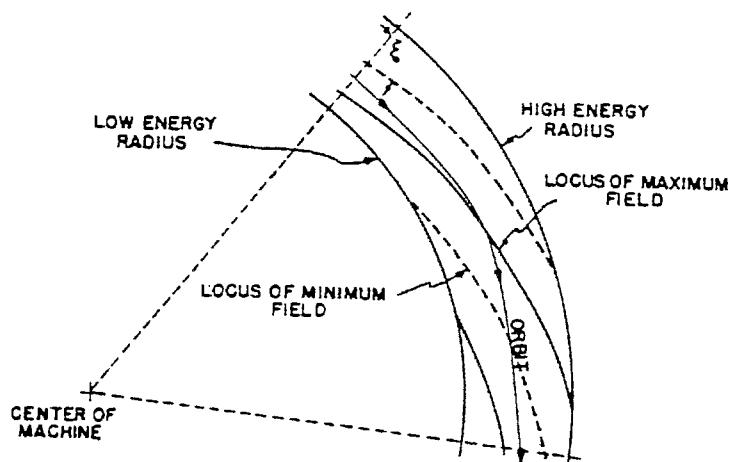


FIG. 3. Spiral-sector configuration.

FFAG Characteristics

磁場の形が以下のようであるために、

$$B = B_0 \left(\frac{r}{r_0} \right)^n$$

平衡軌道半径（長さ）が運動量による。

$$p = eBr \quad \therefore \left(\frac{p}{p_0} \right) = \left(\frac{r}{r_0} \right)^{n+1}$$

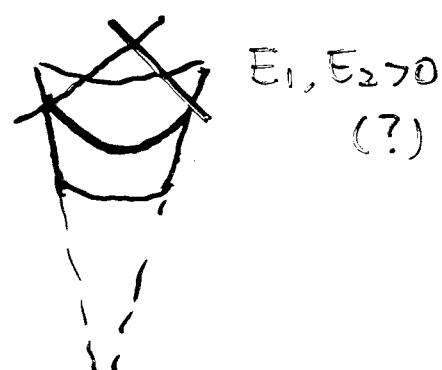
収束長が軌道長にスケールする。つまり、
チューンは運動量によらない。

$$\frac{1}{f} = kL = \frac{L}{Br} \left(\frac{dB}{dr} \right) = \frac{L}{B_0 (r/r_0)^n r} \frac{B_0 n}{r_0} \left(\frac{r}{r_0} \right)^{n-1} = \frac{nL}{r^2}$$

ここで、Lはrに比例するようにセクターの形
が選ばれている。



▷ magnet



Modeling FFAG using SAD

dp/p が小さい範囲に限って正しいと仮定して、磁場を multipole 展開する。

$$B = B_0 \left(\frac{r}{r_0} \right)^n$$

$$\left(\frac{dB}{dr} \right)_{r=r_0} = \frac{n}{r_0} B_0$$

$$\left(\frac{d^2 B}{dr^2} \right)_{r=r_0} = \frac{n(n-1)}{r_0^2} B_0$$

$$\left(\frac{d^3 B}{dr^3} \right)_{r=r_0} = \frac{n(n-1)(n-2)}{r_0^3} B_0$$

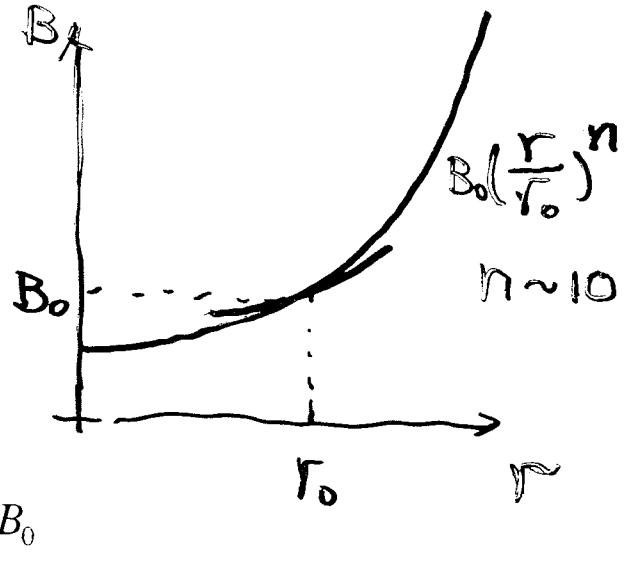
.....

sector bend に上記の multipole を thin lens キックとして入れて、本来の磁場の形を近似する。

$$BDNC = (BDNH \text{ MM } BDNH)$$

$$BFNC = (BFNH \text{ MP } BFNH)$$

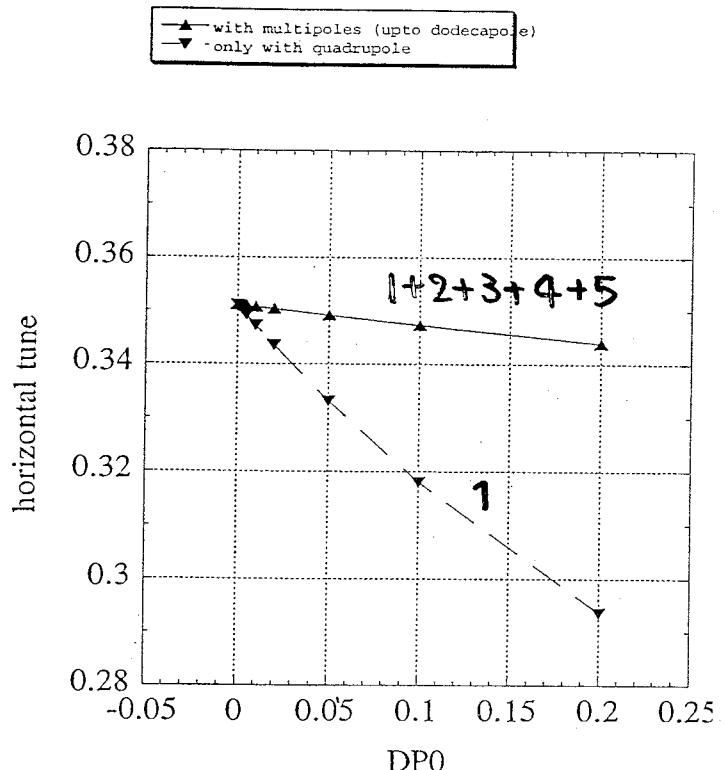
エッジが正しく半径上にあるように E1 と E2 を計算する。



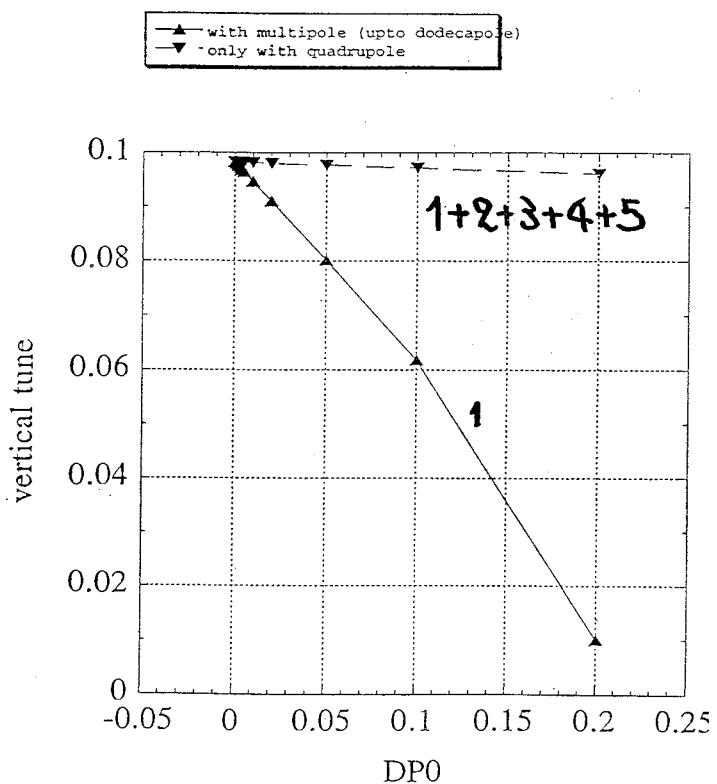
Zero Chromaticity Check

Calculate tune with non-zero “DP0”.

horizontal

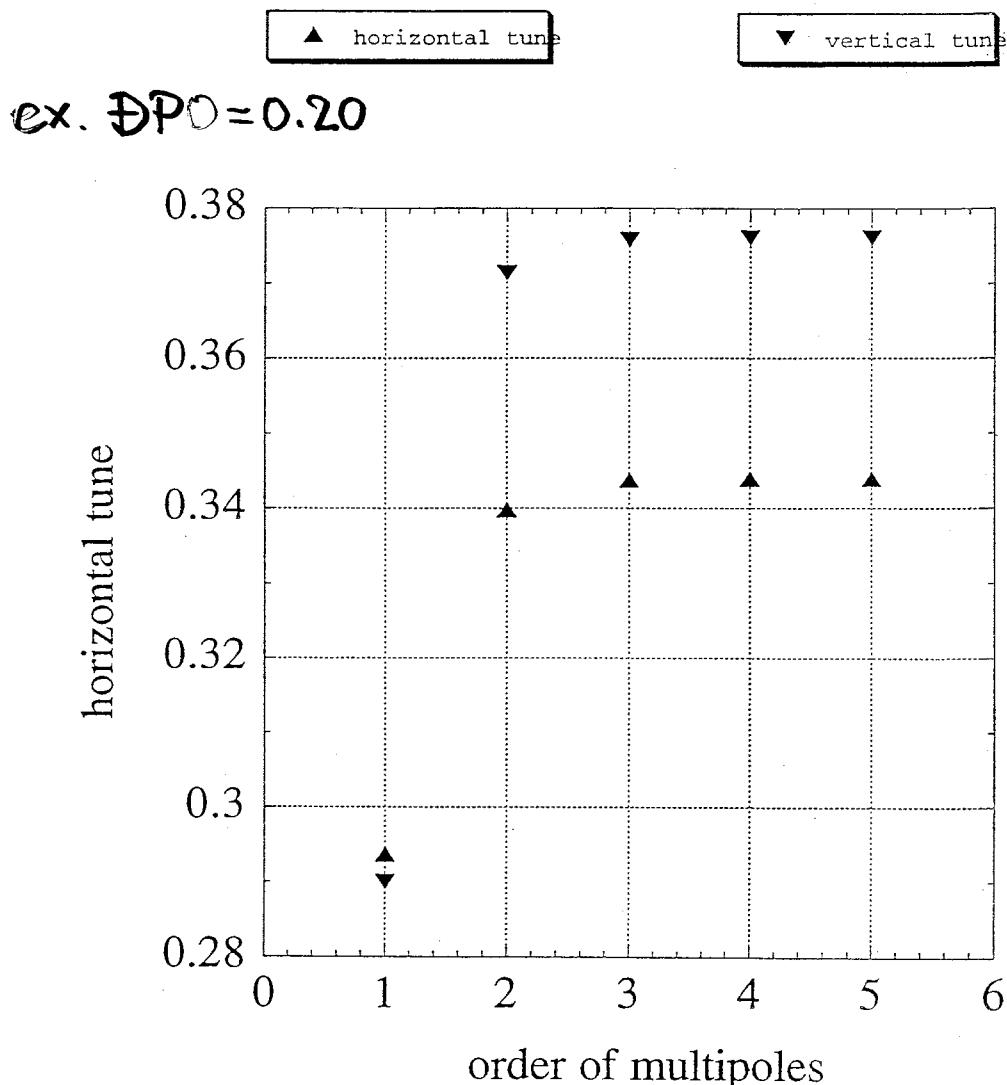


vertical



How Many Multipoles are Necessary?

(depends on dp/p range)



$\text{DP}_0=0.20$ の範囲で、FFAG の磁場をモデルするためには、少なくとも octupole は必要。

実際のマシンの運動量範囲は、4倍程度 ($\text{DP}_0=4$)。

SAD Workshop, July 8, 1998, Shinji Machida (KEK)

Some Questions and Requests

- DP0 の適応範囲。
- DP0 がノンゼロの場合の作図。
- FFAG の磁場を直接指定できること、または、高次の multipole を iterative に指定できること。
- spiral-sector タイプの磁石形状を取り入れられること。

Space-Charge Simulation

Whole cycle simulation of fast cycling machine

3GeV booster

200MeV to 3GeV

20ms

rf voltage is not constant

$$\phi \neq \omega t$$
$$= \int \omega dt$$

rf frequency is not constant

Long term simulation at injection energy of slow cycling machine

50GeV main ring

3GeV flat bottom

100~1000ms

rf voltage and frequency is constant

Space charge field calculation

Acceleration

Time as the independent variable?

multi-particle space charge tracking.

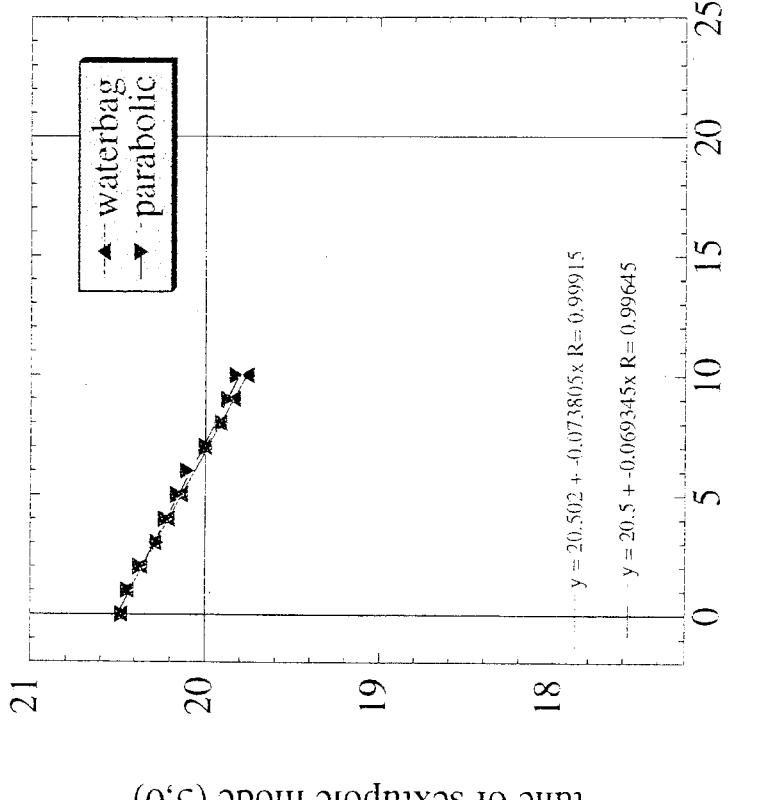
- noise 源をいかに おさえむか?
- space charge kicks Σ 外場との干渉をどうかくす。
コヒーレントモードか 非線性
- matching with intensity effects
rms matching.
- time consuming
1 day ~ 1 month

Sextupole Coherent Mode

coherent sextupole tune shift = 0.72^* incoherent tune shift

It does not depend on detailed distributions.

$$\sigma_0 \approx 88^\circ$$



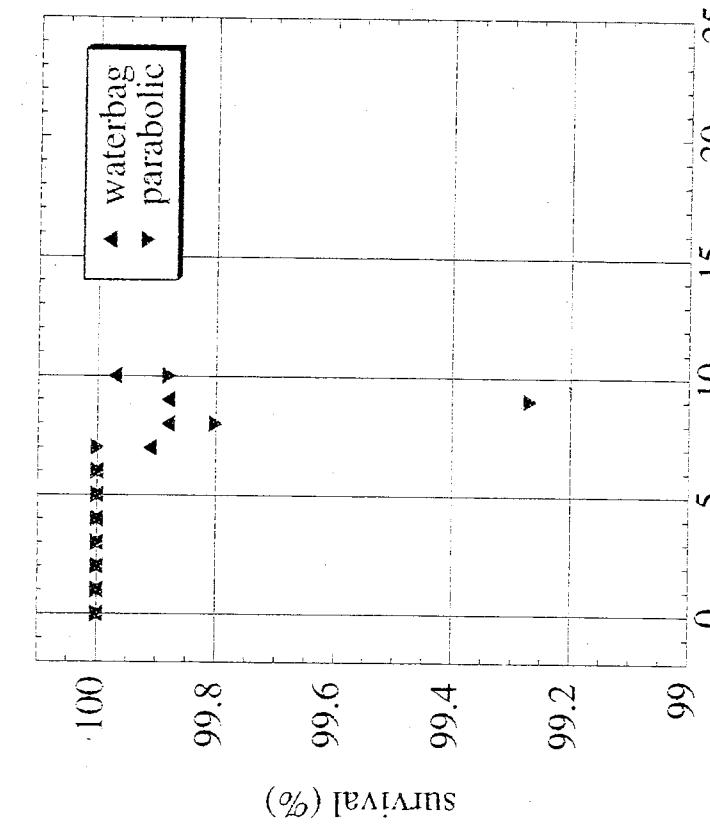
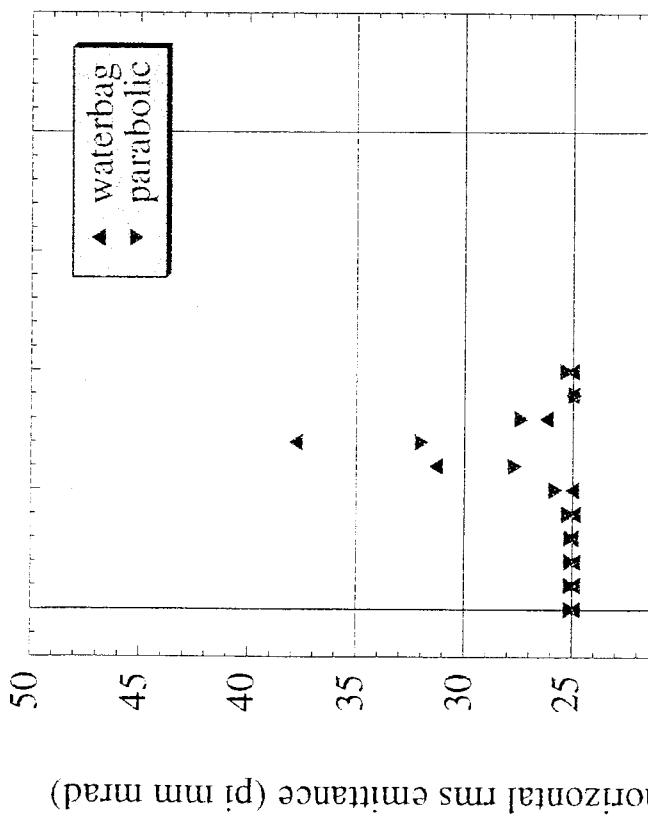
Emittance Growth in a Lattice with Sextupole Error (Horizontal)

When the coherent sextupole tune satisfies resonance condition

$$3 v_{coh, x} = 20$$

rms emittance blows up and beam loss occurs.

$$\begin{aligned}\sigma_0 &= 88^\circ \\ \sigma &\approx 86^\circ\end{aligned}$$



coasting beam intensity (A)

survival (%)

Simulation of space charge effects in a circular accelerator

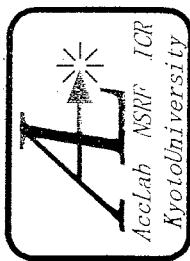
May 4, 1998, Shinji Machida (KEK)

Study of 3D Laser Colling by SAD
(SAD を用いた三次元レーザー冷却法の研究)

T. Kihara

SADを用いた三次元レーザー冷却法の研究

京大化研 木原崇博、岡本宏巳、岩下芳久



レーザー冷却の原理

結合高周波空洞による
三次元レーザー冷却

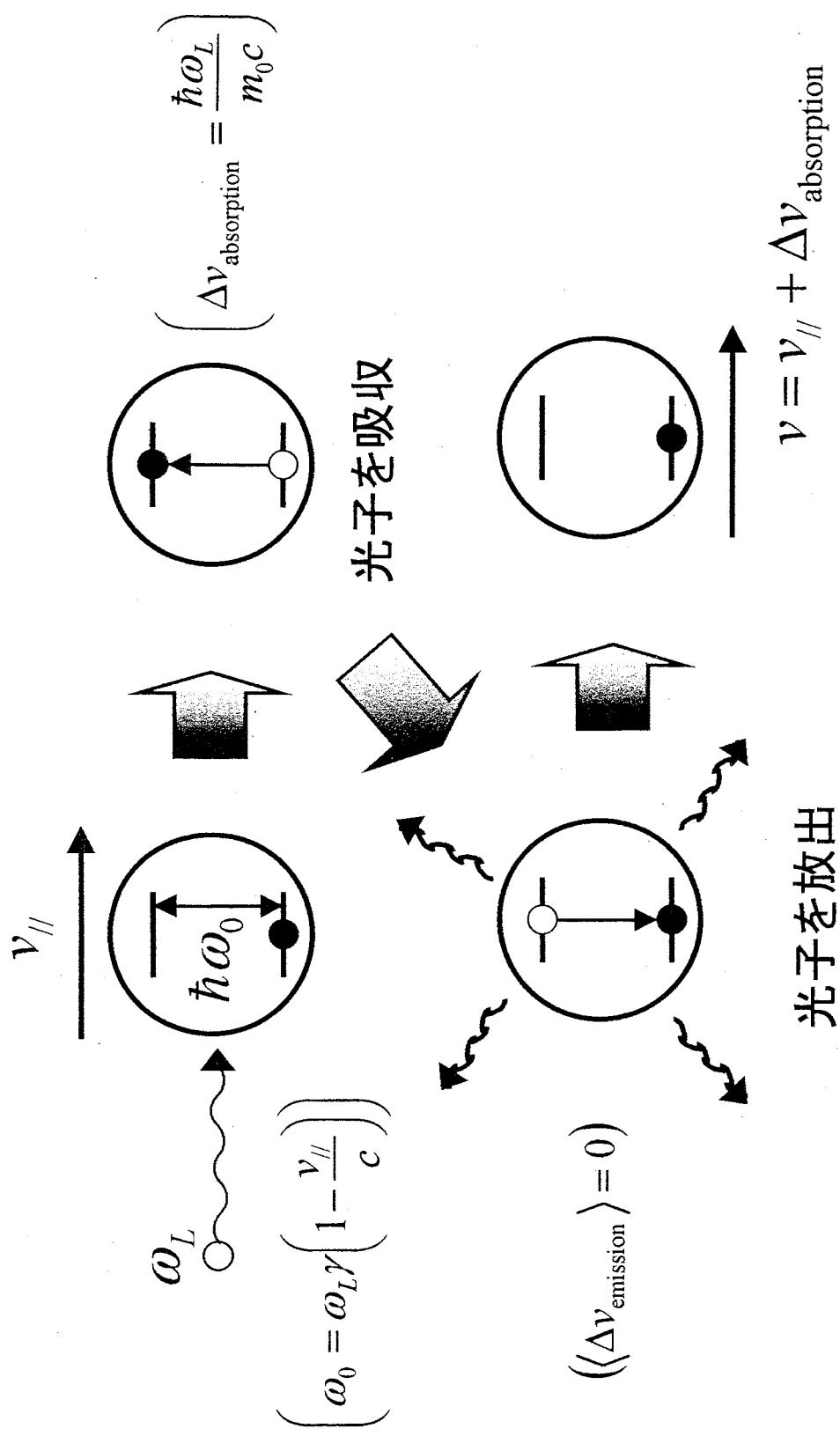
SADによる
シミュレーション

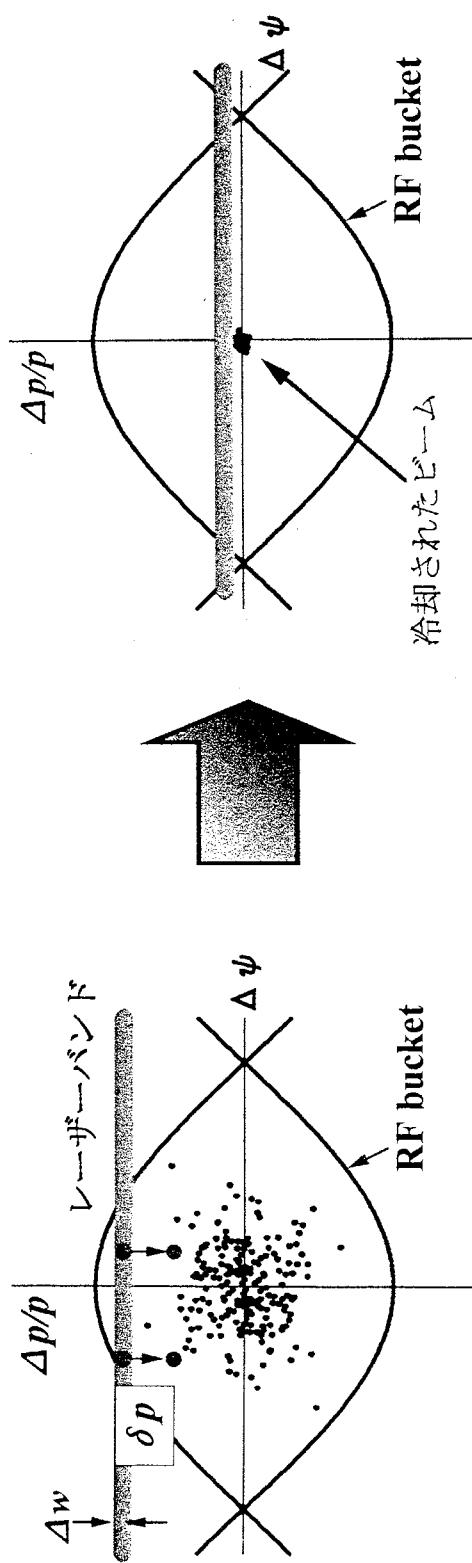
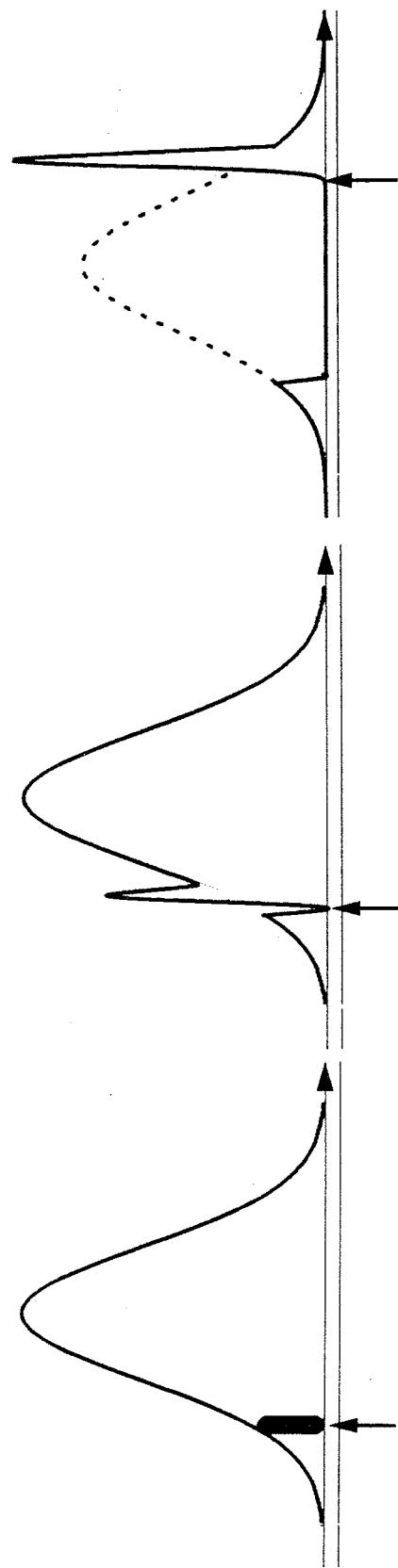
まとめと現在の課題

ビーム冷却技術

	◎	×
電子冷却 確率冷却	<ul style="list-style-type: none"> 三次元的な冷却が可能 技術的には確立されている 	<ul style="list-style-type: none"> 到達可能なビーム温度がそれほど低くない → crystallizeは困難
レーザー 冷却	<ul style="list-style-type: none"> ビーム進行方向について強力な冷却力 	<ul style="list-style-type: none"> 現在のところ一次元的な冷却しかできない

レーベンハフの原義

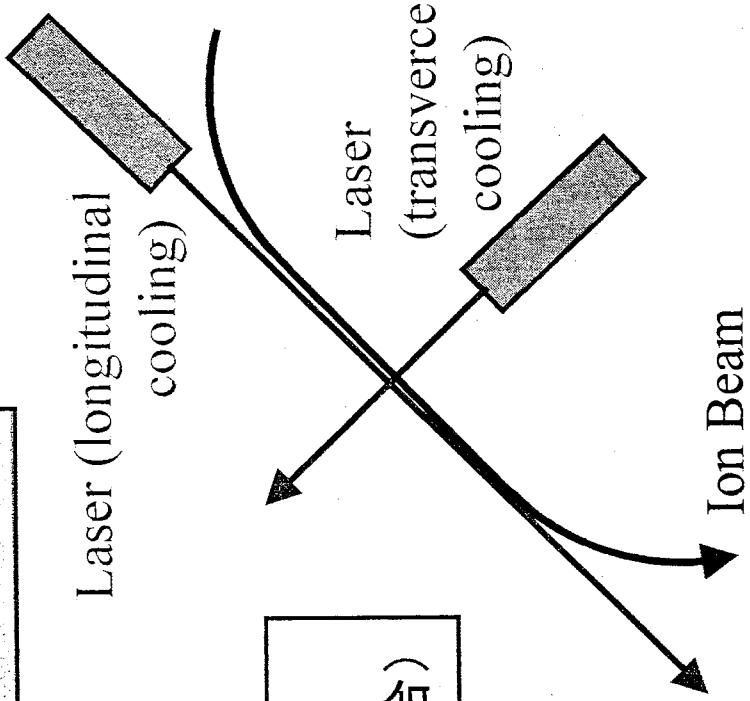




レーザー冷却の特徴

◎ 強力な冷却力

縦方向については、 $T_{\parallel} \approx 1\text{mK}$ を達成している



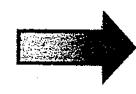
× 横方向を直接冷却できない

(高速イオシビームにに対して適用した場合)

三次元レーザー冷却

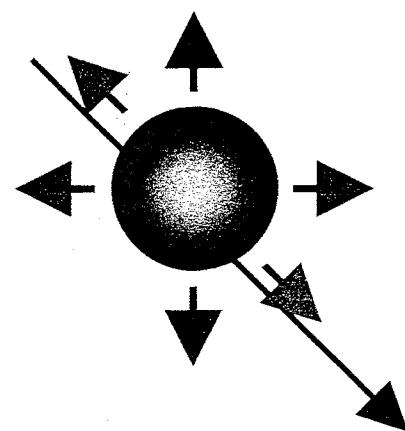
強制的共鳴結合

により、横方向の
冷却効率を向上させる



x方向とz方向:

- 1. 運動量分散
- 2. 結合高周波空洞



共鳴条件: $V_x - V_z = \text{integer.}$

※ x方向とy方向の結合には、スキュー電磁石を用いれば良い、



Coupling Cavity のベクトルポテンシャル

(horizontal - longitudinal coupling)

$$\mathbf{A}_c = (0, 0, V_c x \cdot \sin \omega_c t)$$

ただし、 ω_c : rf frequency

V_c : constant \propto gap voltage

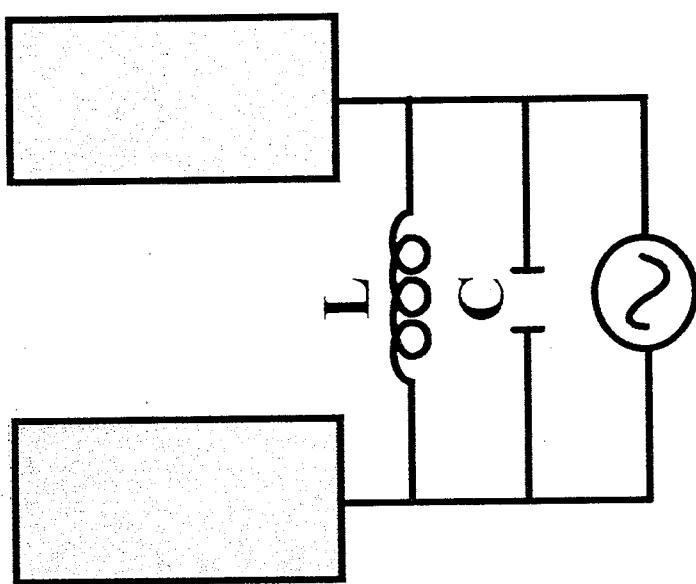
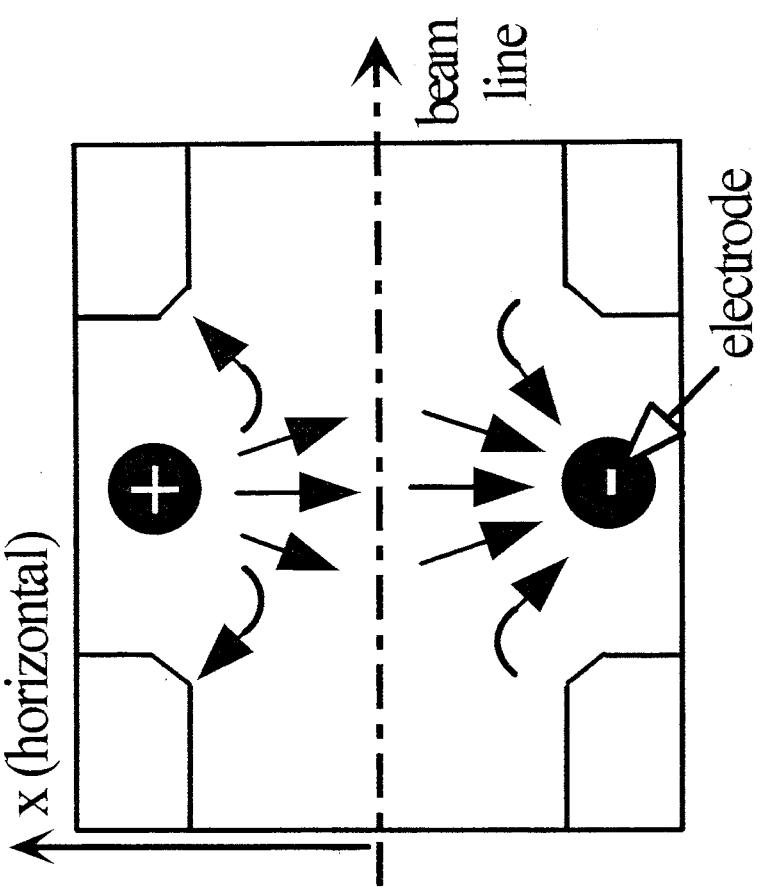
x : horizontal coordinate

($x \rightarrow y$ とすれば、vertical - longitudinal coupling)

- ・サイズを考えると、lumped circuit のような構造が必要
- ・以下のシミュレーションでは、線形成分のみ考慮

結合高周波空気

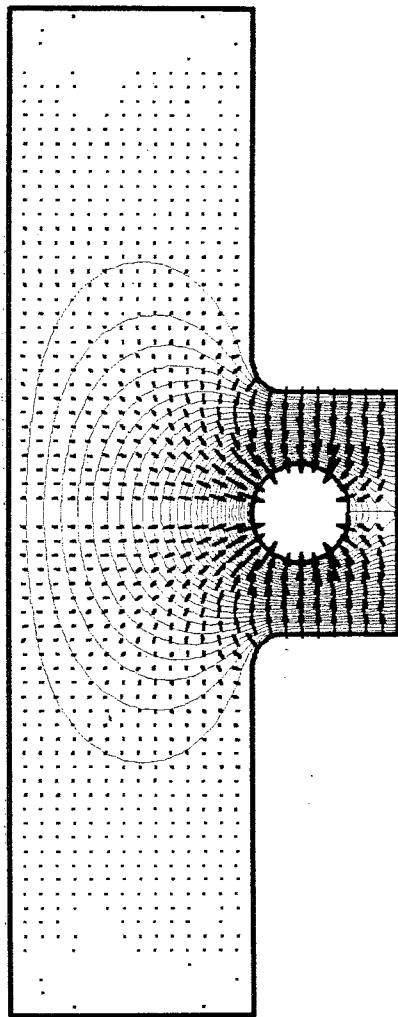
Coupling Cavity 概念図



等価回路

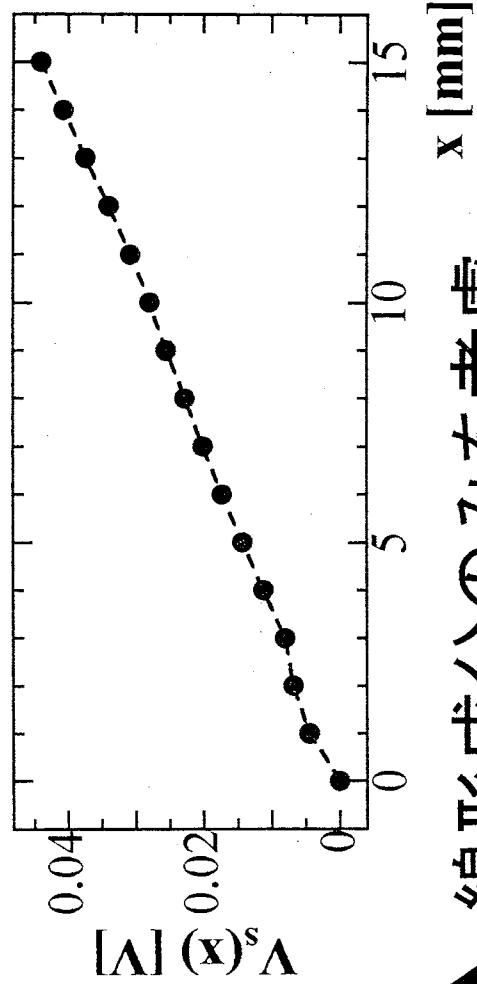
結合高周波空気

電場分布

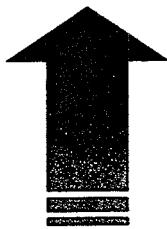


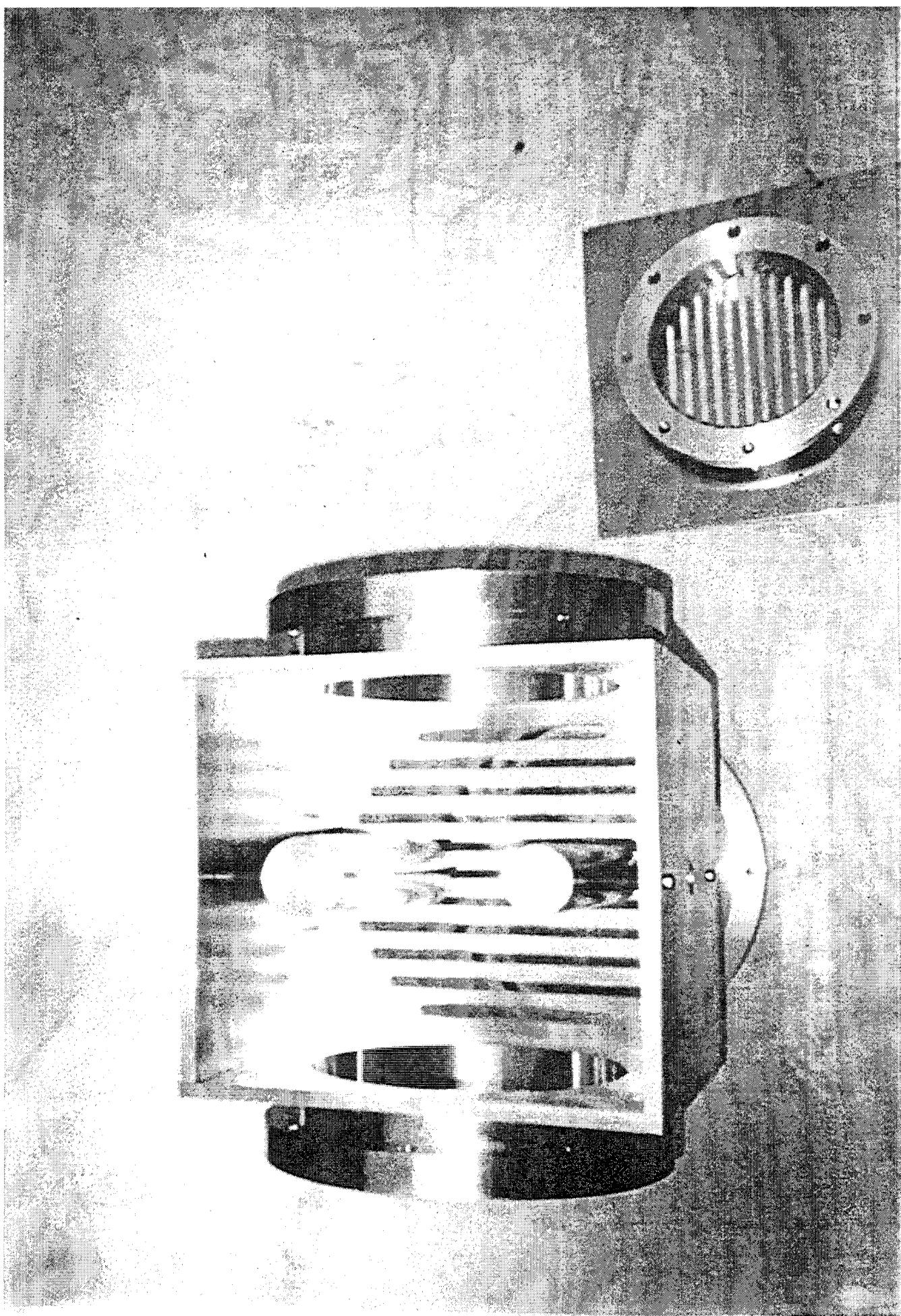
POISSONでの
静電場近似の結果

Z方向の電場
分布の積分値



線形成分のみを考慮





SADによるシミュレーション

現実のリンク(ASTRID)のパラメータを
用いた単粒子シミュレーション

レーザー冷却過程を SAD Script
で取り入れる

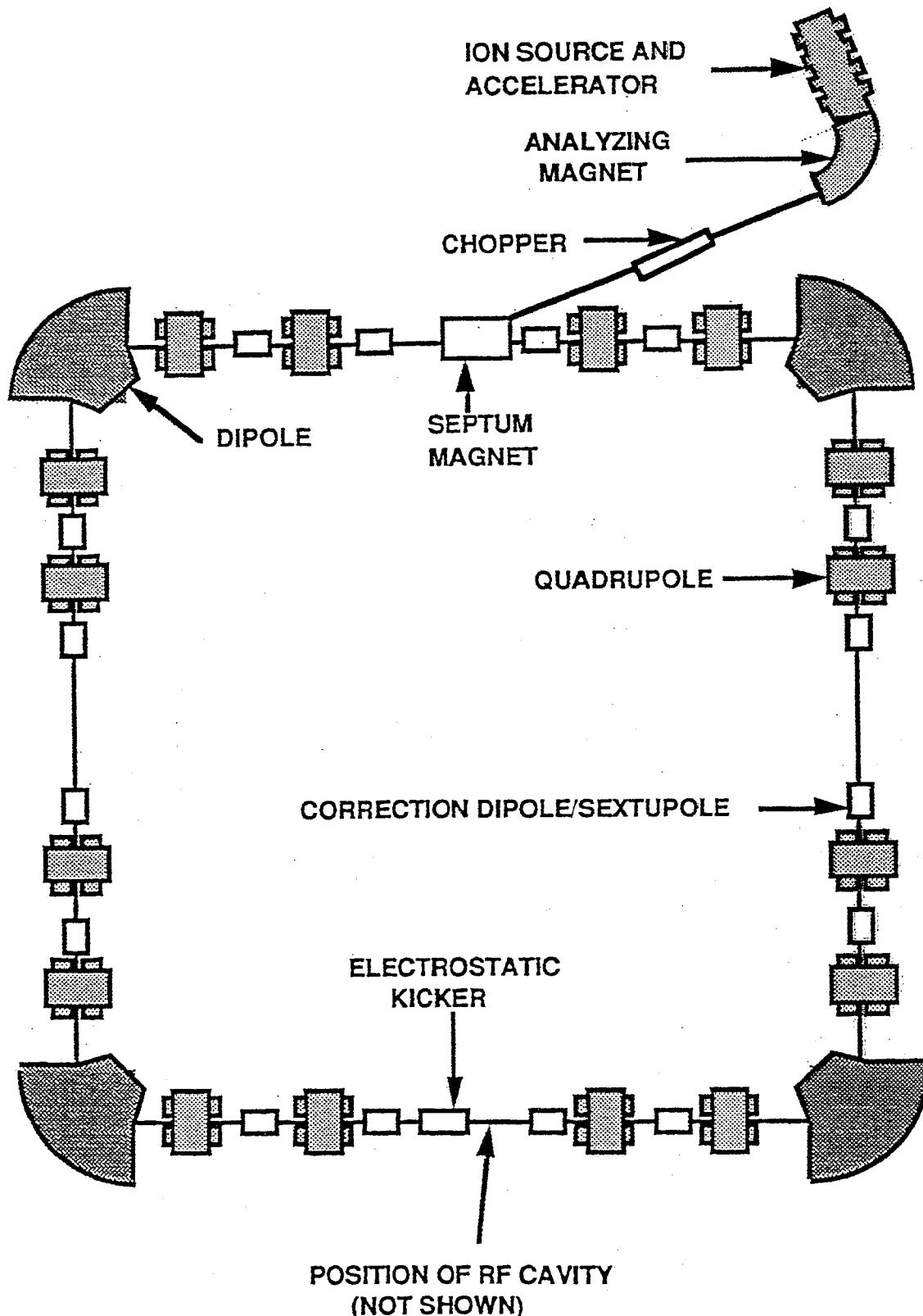


三次元レーザー冷却システムの
有効性を検証する

ASTRID の パラメータ

周長	40 m
v_x	3.10
v_y	3.08
Skew-Q	あり
粒子	$^{24}\text{Mg}^+$
エネルギー	100 keV
γ	1.0000044
β	0.00029
粒子数	100
harmonics	260

ASTRIDリング



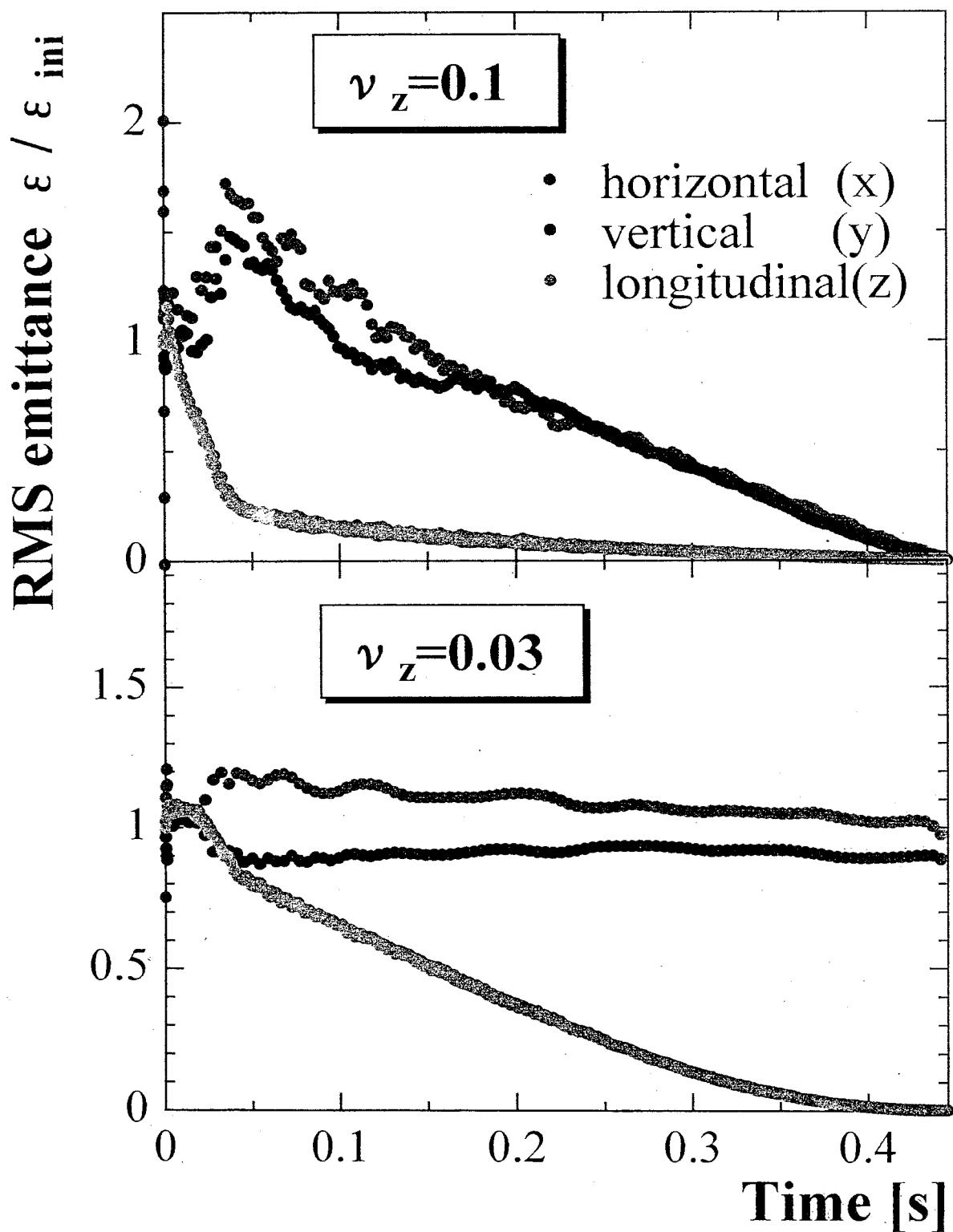
J.S.Hangst "Laser Cooling of a Stored Ion Beam
- A First step Towards Crystalline Beams" より転載

```

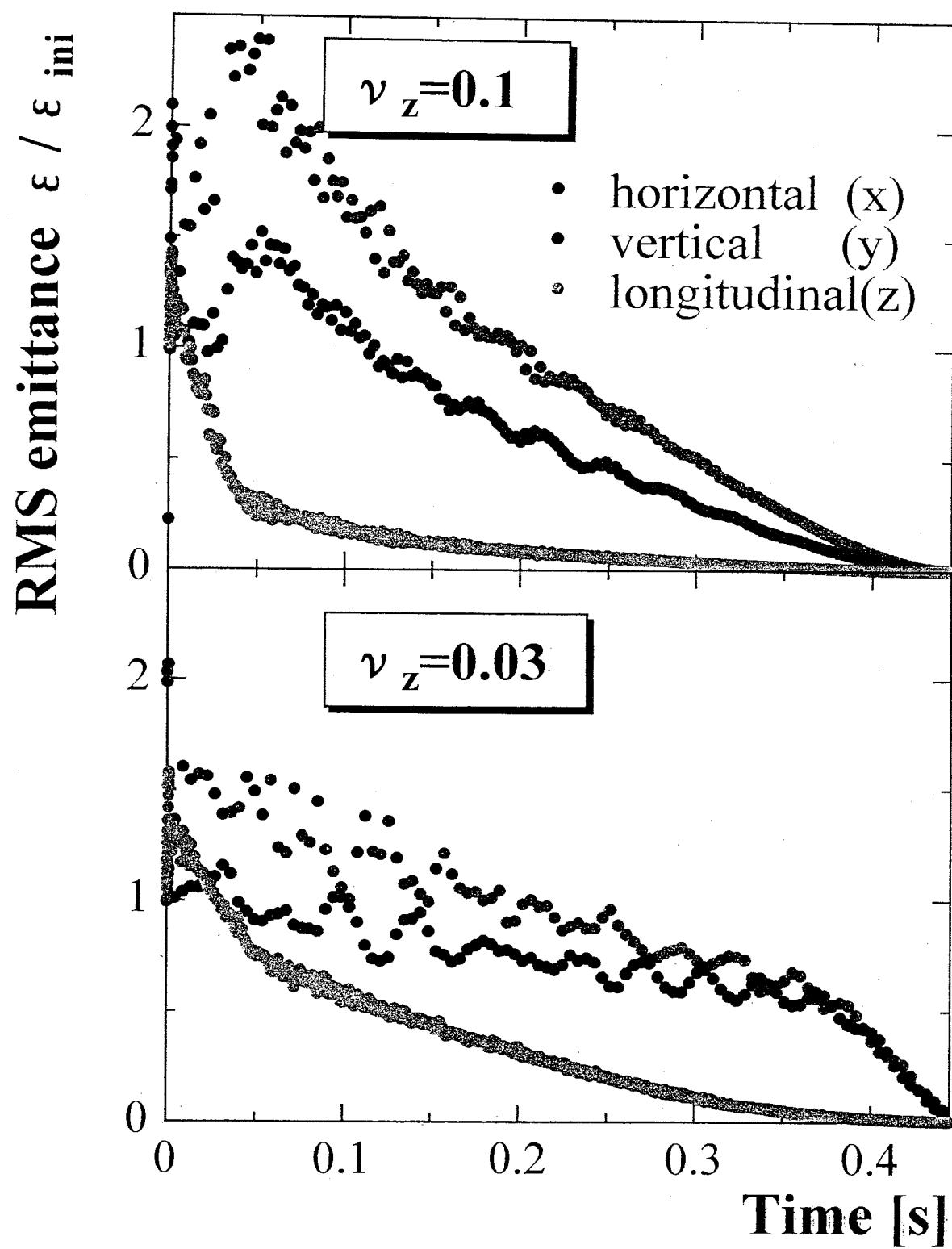
FFS USE = LEAR;
cell nx 3.08 ny 3.10 ;
free q*;
go;
cell calc;
fit CA1 ; ex 0 epx 0
free BDIS LDIS DISQ* ;
go
var;
out 'disp.txt' disp close out;
end;

.....
!
! Definition of MAP1(Cooling section)
!
ExternalMap["TRACK",LINE["POSITION","MAP1"],nt_,x_]:=Module[{p,p1,q,q1,wbn},
n=n+1;
wbn=wb[n];p=x[6];
p1=Map[If[#,wbn+hcbd && #>wbn-hcbd,-cband,#]&,p];
q=x[5];q1=Map[ #-bucketsize*Round[#/bucketsize]&,q];
!
! calculation of RMS emittance before Cooling Section
!
rms[1,n]=n;
rms[2,n]=Sqrt[Mean[x[1]^2]*Mean[x[2]^2]-[Mean[x[1]]*x[2]]]^2];
rms[3,n]=Sqrt[Mean[x[3]^2]*Mean[x[4]^2]-[Mean[x[3]]*x[4]]]^2];
rms[4,n]=Sqrt[Mean[q1^2]*Mean[x[6]^2]-[Mean[x[6]]*q1]]^2];
If[n==nstart,dint=d];
ReplacePart[ReplacePart[x,q1,5],p1,6]];
.....
Do[LINE["VOLT","CA1"]的文化[V[n]];d=TrackParticles[d,1],{nturn}];
```

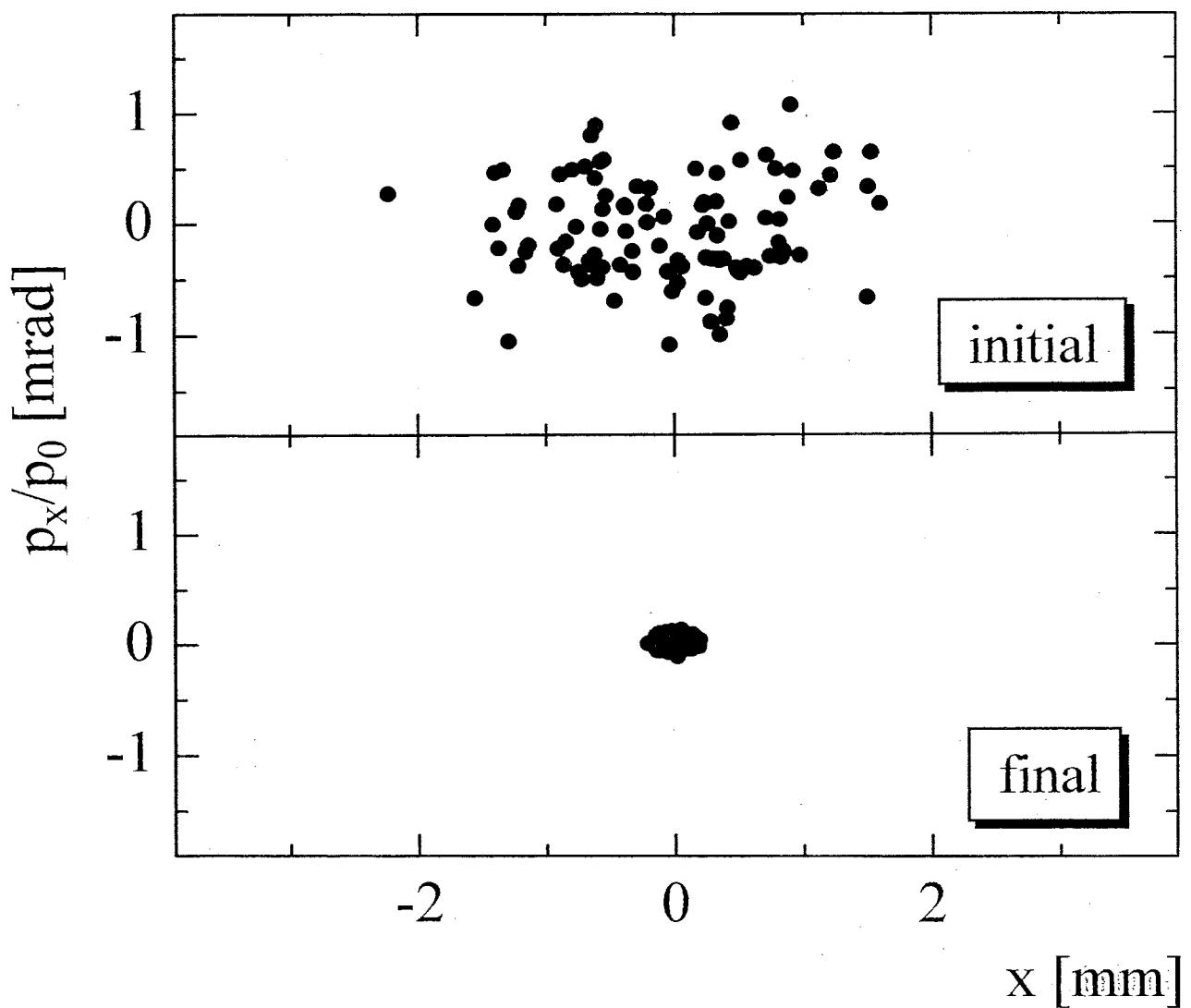
運動量分散によるスキーム



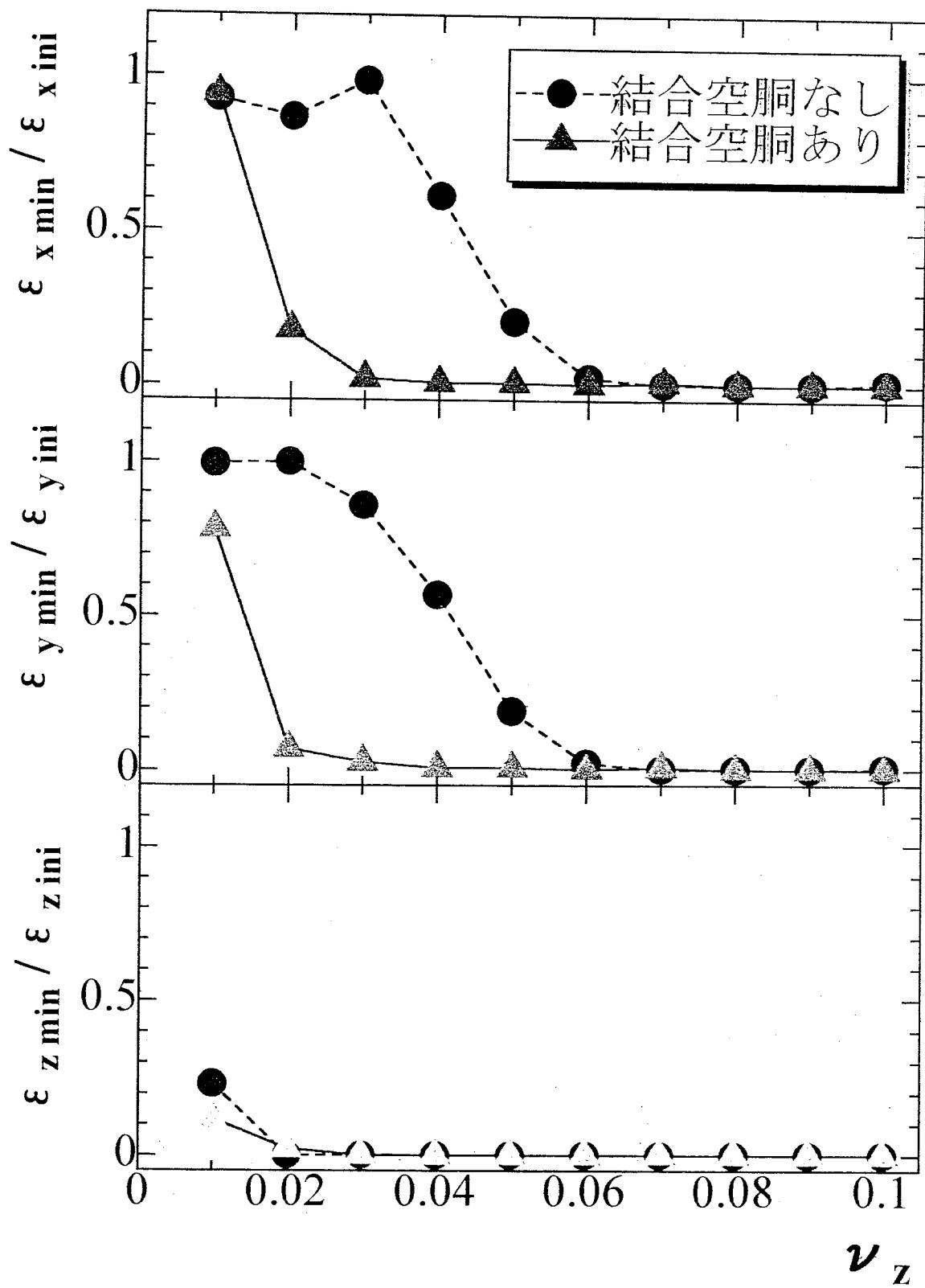
結合高周波空間によるスキーム



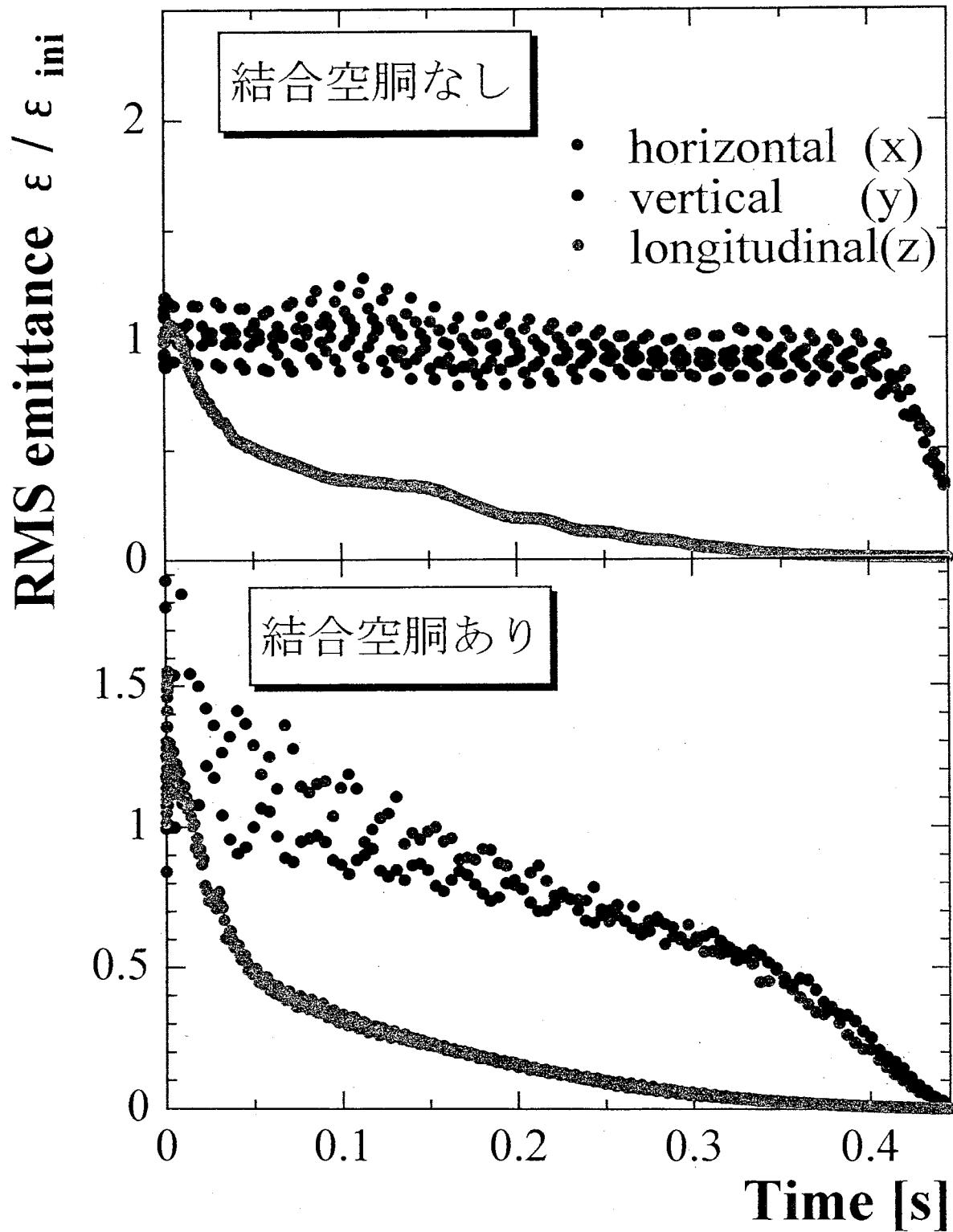
phase space の様子



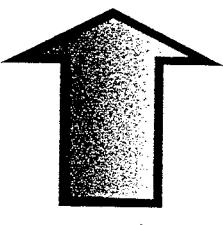
RMS emittance の最小値の比較



($\nu_z = 0.05$)





- 三次元レーザー冷却スチームが有効である
- 結合高周波空洞を導入することにより、共鳴条件による制約を緩和する(冷却効率を高める)ことが出来る
- 実際の実験との比較....冷却過程の改良
 - 極低温領域....

Intra Beam Scattering
Space Charge Effect
 - 粒子間相互作用が
重要な役割を果たす

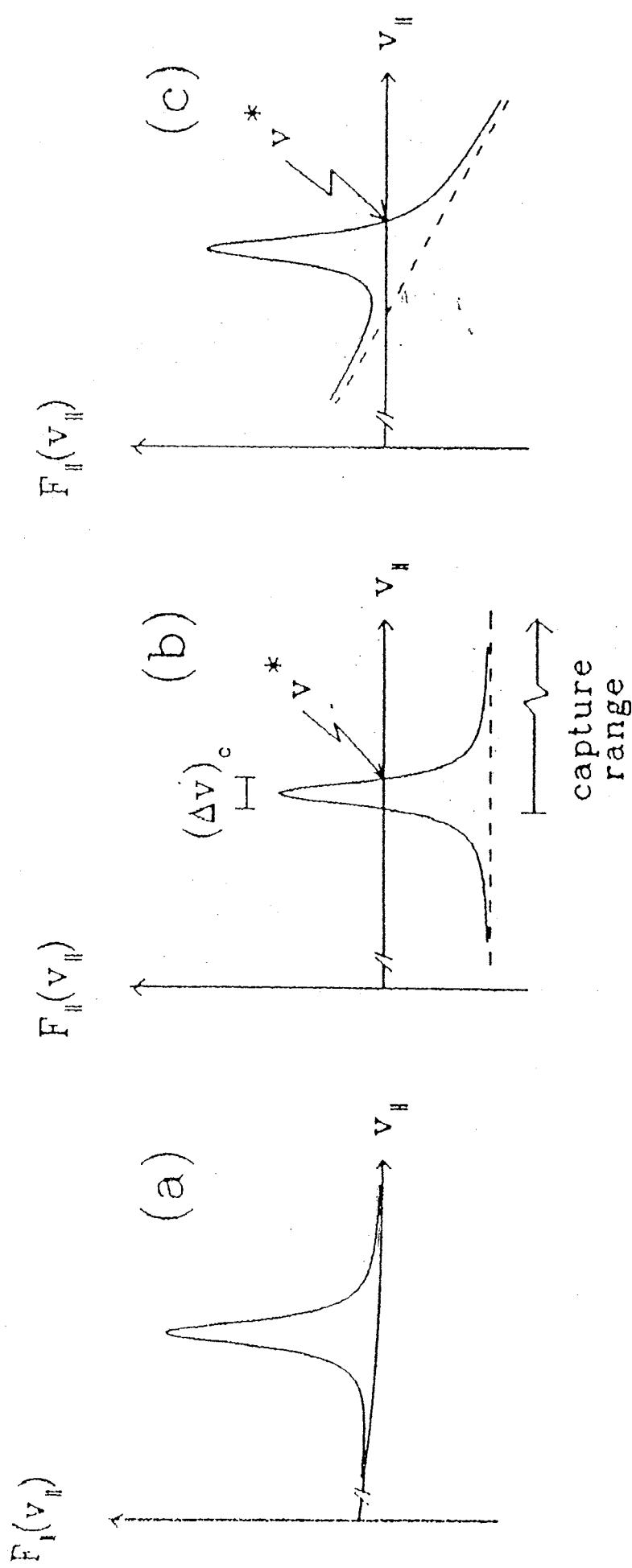


FIG. 2. (a) The spontaneous force itself has no stable point v^* [see Eq. (3)]. With the help of a (b) constant or (c) linear auxiliary force F_{aux} (dashed lines), such a point can be generated for the combined forces (solid line).

Wake Fields and CBI
(SAD を用いた結合バンチ不安定性のシミュレーション)

H. Fukuma

SADを用いた結合バンチ不安定性のシミュレーション

KEK 加速器 福間 均

(1998.7.8 SAD研究会)

1. はじめに

1) 動機

TRISTAN ARでの”速いビームイオン不安定性”の実験

100バンチ程度のバンチ列を数100mA蓄積する必要。

空洞^のHOMによる結合バンチ不安定性のgrowth timeが知りたい。

2) SADを使った理由

Wakeによるキックの部分を作つて組み込むだけで手軽にシミュレーションができる。

3. 方法

1) 計算方法

i) 縱方向

Wake 関数

$$W_L(s) = \frac{\omega_R}{2} \frac{R}{Q} \cdot \cos\left(\omega' \frac{s}{c}\right) \cdot e^{-\frac{\omega_R s}{2Qc}}$$

$$\omega' = \omega_R \sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}}$$

$$Z_L(\omega) = \frac{\frac{R}{2}}{1 + iQ\left(\frac{\omega'}{\omega} - \frac{\omega}{\omega'}\right)}$$

R : shunt impedance

$$V(s) = q \cdot W_L(s) = q \cdot \frac{\omega_R}{2} \frac{R}{Q} \cdot \cos\left(\omega' \frac{s}{c}\right) \cdot e^{-\frac{\omega_R s}{2Qc}}$$

$$\tilde{V}(s) = q \cdot W_L(s) = q \cdot \frac{\omega_R}{2} \frac{R}{Q} \cdot e^{i \cdot \omega' \frac{s}{c} - \frac{\omega_R s}{2Qc}} \equiv q \cdot A \cdot \tilde{w}(s)$$

$\overbrace{A}^{\tilde{w}}$

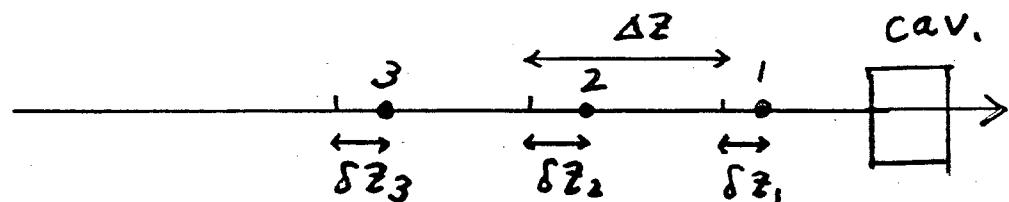
$$\tilde{V}_1 = 0$$

$$\tilde{V}_2 = q_1 \cdot A \cdot \tilde{w}(\Delta z + \delta z_1 - \delta z_2)$$

$$\begin{aligned}\tilde{V}_3 &= q_1 \cdot A \cdot \tilde{w}(2 \cdot \Delta z + \delta z_1 - \delta z_3) + q_2 \cdot A \cdot \tilde{w}(\Delta z + \delta z_2 - \delta z_3) \\ &= q_1 \cdot A \cdot \tilde{w}(\Delta z + \delta z_1 - \delta z_2) \cdot \tilde{w}(\Delta z + \delta z_2 - \delta z_3) \\ &\quad + q_2 \cdot A \cdot \tilde{w}(\Delta z + \delta z_2 - \delta z_3) \\ &= (\tilde{V}_2 + q_2 \cdot A) \cdot \tilde{w}(\Delta z + \delta z_2 - \delta z_3) \\ &\quad \vdots \\ \tilde{V}_n &= (\tilde{V}_{n-1} + q_{n-1} \cdot A) \cdot \tilde{w}(\Delta z + \delta z_{n-1} - \delta z_n)\end{aligned}$$

$$\Delta E_n = e \left(-\frac{\omega_R}{4} \frac{R}{Q} + \operatorname{Re}[\tilde{V}_n] \right)$$

$V_{n-1}, q_{n-1}, \delta z_{n-1}$ をおぼえておけばよい。



ii) 橫方向

Wake関数

$$W_T(s) = \frac{\omega_R}{2} \frac{R}{Q} \cdot \sin(\omega_R \frac{s}{c}) \cdot e^{-\frac{\omega_R s}{2Qc}}$$

$$Z_T(\omega) = \frac{\frac{R \omega_R}{2} \omega}{1 + iQ(\frac{\omega_R}{\omega} - \frac{\omega}{\omega_R})}$$

$$\tilde{V}_n = (\tilde{V}_{n-1} + x_{n-1} \cdot q_{n-1} \cdot A) \cdot \tilde{w}(\Delta z + \delta z_{n-1} - \delta z_n)$$

$$x'_n = \frac{e}{cp} \operatorname{Im}[\tilde{V}_n]$$

2) SADへの組み込み (1995年の話)

```
ExternalMap["TRACK",LINE["POSITION","RFWAKE.1"],  
nt_, x_]:=Module[ {xw},  
  
xw=CalcKick[1, nt, x];  
xw];  
  
CalcKick[rfid_, nt_, x_]:=Module[  
  
Do[  
 Do[  
  
 wcmplx[id]=Wake[id,zbuf[rfid,5,id],  
 bunchint+zbuf[rfid,1]-x[5,kp],1,zbuf[rfid,xory+1]];  
  
 wktot[kp]=wktot[kp]+wcmplx[id,2];  
  
 ,{id,1,wakeno}];  
,{kp,kpstart,np}];  
  
xw[2*xory]=xw[2*xory]+efact*wktot;  
xw];  
  
Wake[id_,w_,s_,q_,xpos_]:=Module[{wk},  
  
wk= ((w[1]+I*w[2])+q*xpos*wc1[id])*Exp[(wc2[id]*I-wc3[id])*s];  
  
{Re[wk],Im[wk]}  
];
```

4. 計算結果

1) 解析解との比較

等間隔バンチの場合の解析解

縦方向

$$\tau^{-1} = \frac{e^2 NM \alpha}{2 T_0^2 E_0 \omega_s} \sum_{p=1}^{\infty} \left\{ \omega_p^{(\mu)+} \operatorname{Re} Z(\omega_p^{(\mu)+}) - \omega_p^{(\mu)-} \operatorname{Re} Z(\omega_p^{(\mu)-}) \right\}$$

$$\omega_p^{(\mu)+} = \{(p-1)M + \mu\} \omega_0 + \omega_s, \quad \omega_p^{(\mu)-} = (pM - \mu) \omega_0 - \omega_s$$

横方向

$$\tau^{-1} = -\frac{e^2 c N M}{2 T_0^2 E_0 \omega_\beta} \sum_{p=1}^{\infty} \left\{ \operatorname{Re} Z_T(\omega_p^{(\mu')}) - \operatorname{Re} Z_T(\omega_p^{(\mu')-}) \right\}$$

$$\omega_p^{(\mu')+) = \{(p-1)M + \mu'\} \omega_0 + \delta \omega_\beta}$$

$$\omega_p^{(\mu')-} = (pM - \mu') \omega_0 - \delta \omega_\beta$$

$$\omega_\beta = N_\beta \omega_0 + \delta \omega_\beta, \quad \mu' = \mu + N_\beta$$

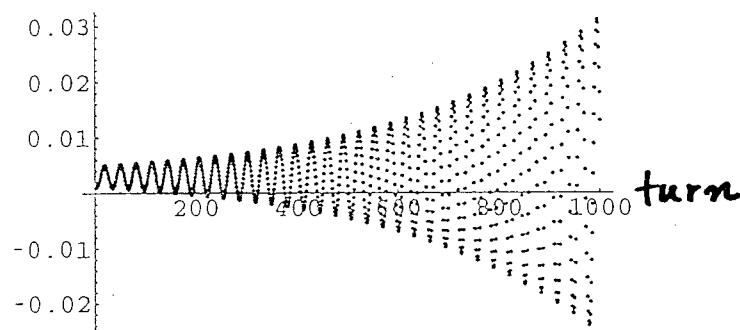
μ :モード数

M :バンチ数、 N :バンチ内粒子数、 α :モメンタムコンパクション

i) 縱方向

o 1 bunch 100mA

Amp.



$$R = 0.8 \text{ M}\Omega$$

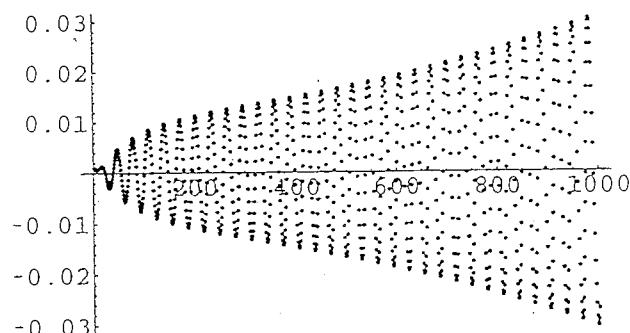
$$Q = 15000$$

\approx :

Sim. 372 turn

Anal. 365 turn

o 64 bunch 10mA X 64



\approx :

Sim. 804 turn

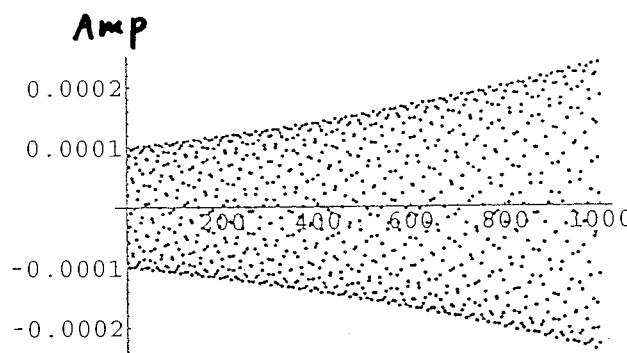
Anal. 766 turn

ii) 橫方向

$$R = 13.7 \text{ M}\Omega/\text{m}$$

$$Q = 37000$$

o 1 bunch 100mA

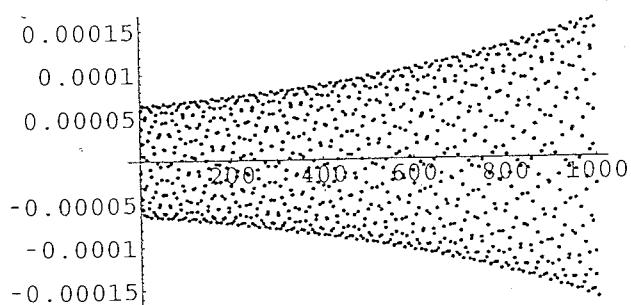


$\tilde{\epsilon}^{\pm}$:

Sim. 1126 turn

Anal. 1295 turn

o 64 bunch 2mA X 64



$\tilde{\epsilon}^{\pm}$:

sim. 1007 turn

Anal. 970 turn

ARES

SCC

monopole						dipole		
f (MHz)	$R/Q(\Omega)$	Q_L	$(R/Q) \times Q_L (\Omega)$	frequency	mode	R/Q	Q	power
76.2	17.4	71.5	1243	783	LBP-TM01	0.12	132	-
190	4.5	24.5	109	834	LBP-TM01	0.34	72	-
662.6	2.8	25.4	72.2	1018	TM011	6.6	106	900
731.7	11.0	35.7	394	1027	TM020	6.4	95	201
821.8	7.9	22.7	180	1065	SBP-TM01	1.6	76	4
925.2	3.8	16.6	62.4	1076	LBP-TM01	3.2	65	6
1331.9	3.2	28.7	90.7	1134	LBP-TM01	1.7	54	1
1389.5	3.1	27.8	86.4					
dipole						(measured)		
f (MHz)	$R/Q(\Omega/m)$	Q_L	$(R/Q) \times Q_L (k\Omega/m)$	frequency	mode	R/Q'	Q	
275.4	50.7	63.4	3.21	275.4	LBP-TE11	1.9	92	
670.0	16.6	37.1	0.62	609	LBP-TE11	40.19	120	
766.2	167	50.9	8.51	648	LBP-TE11	170.4	145	
826.7	113	30.4	3.43	688	LBP-TE11	227.3	94	
905.8	109	20.5	2.23	705	SBP-TE11	6.16	60	
986.8	210	23.2	4.85	825	SBP-TE11	3.52	97	
1067.5	68.1	10.4	0.70	888	SBP-TE11	$R/Q' = (R/Q)_r / kr^2$, ($r = 5cm$)		

2) ARバンチ列蓄積の場合の計算結果

HOM : ARES空洞、超伝導空洞それぞれ1台分

バンチ数 : 64

バンチ電流 : 5mA

バンチ間隔 : 2ns

トラックしたターン数 : 5000

(cpu時間 : 1960 sec)

縦、横方向共に振幅の増大はなかった。

Estimation of the Beam Loss in KEKB Transport Line
(KEKB でのビーム損失量の評価)

Y. Funakoshi



KEKB での ビーム損失量の評価

Funakoshi

KEK

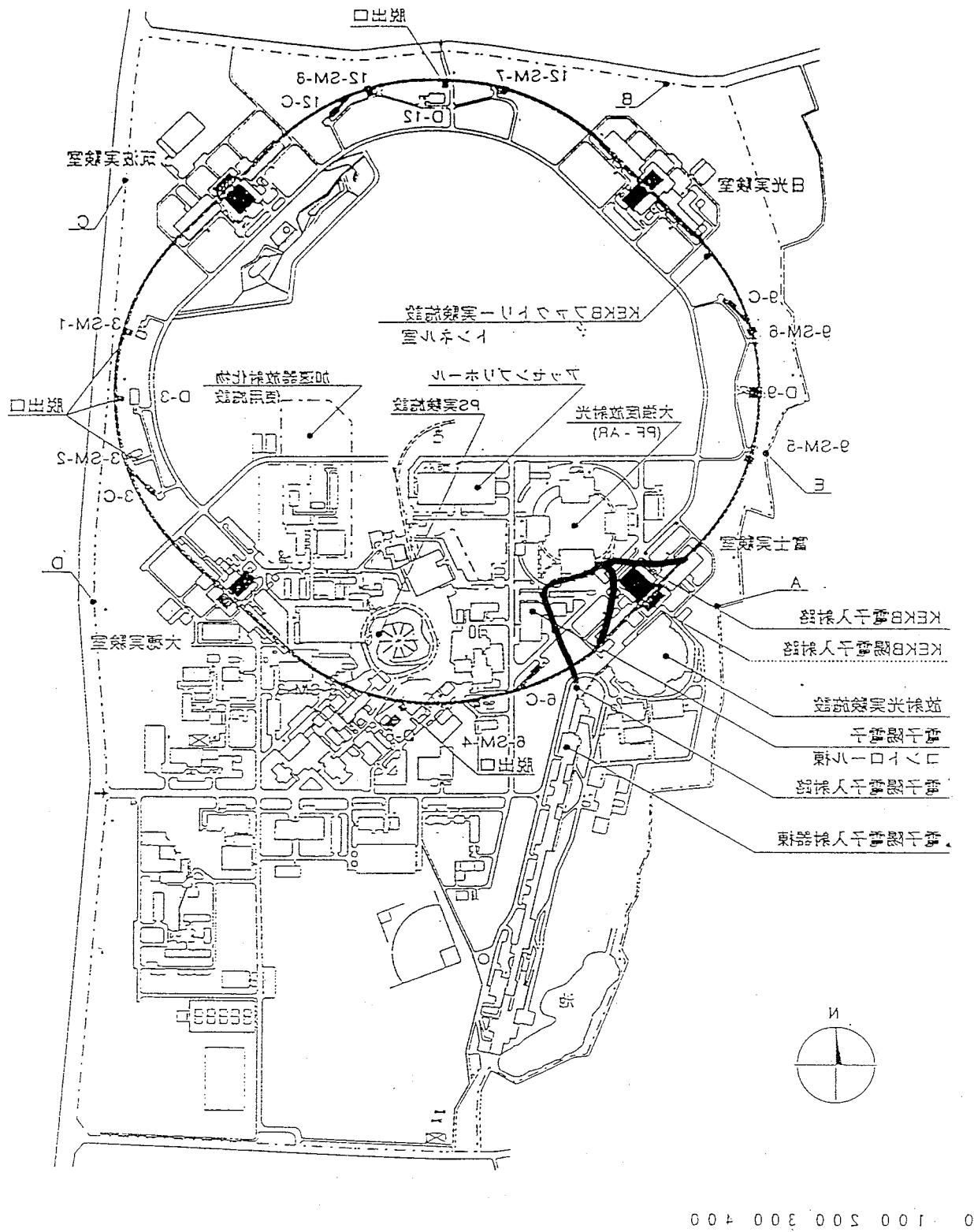


图3：本数据集与KEKB 224411-美能数据的匹配

日本・英米・大陸の諸國實業界の動向を示す。



Beam Loss のメカニズム

■ 入射時のビーム損失(BT and Ring)

- ◆ Linac からのビームのクオリティ
 - ◊ エネルギー広がり, ビームサイズの広がり
- ◆ 入射条件の非最適化
 - ◊ ビーム軌道のずれ

■ ビーム寿命

- ◆ Beam-Beam (Radiative Bhabha)
- ◆ Beam-Gas (Bremsstrahlung)
- ◆ Touschek Effect

■ Beam abort

■ 事故によるビーム損失

■ ビーム不安定性

定常状態でのビームロス

— ビーム入射時のビームロス

{ ビーム輸送路でのロス

 リング入射部でのロス

 リング内でのロス

— ビーム寿命によるビームロス

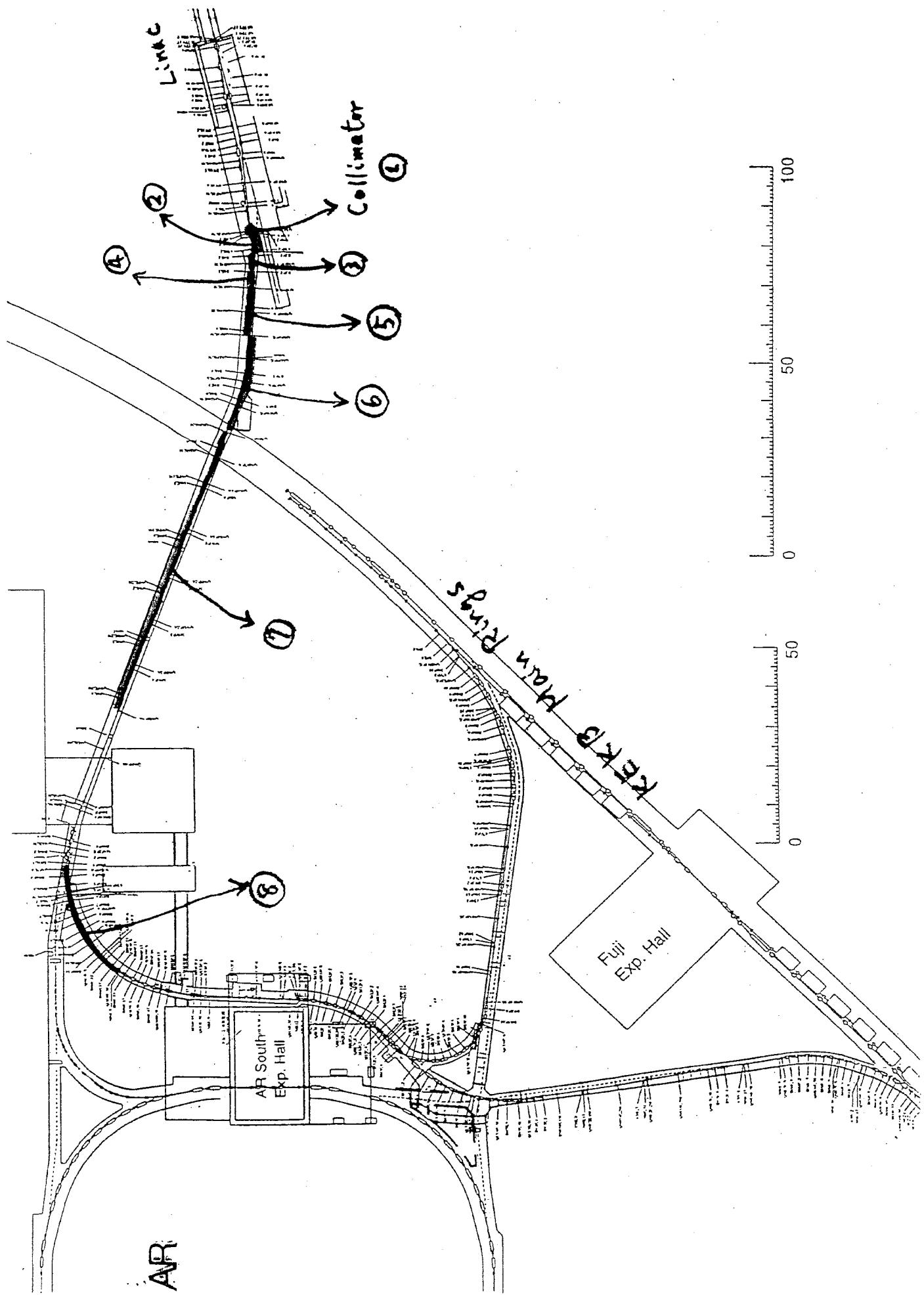
{ Beam-Beam

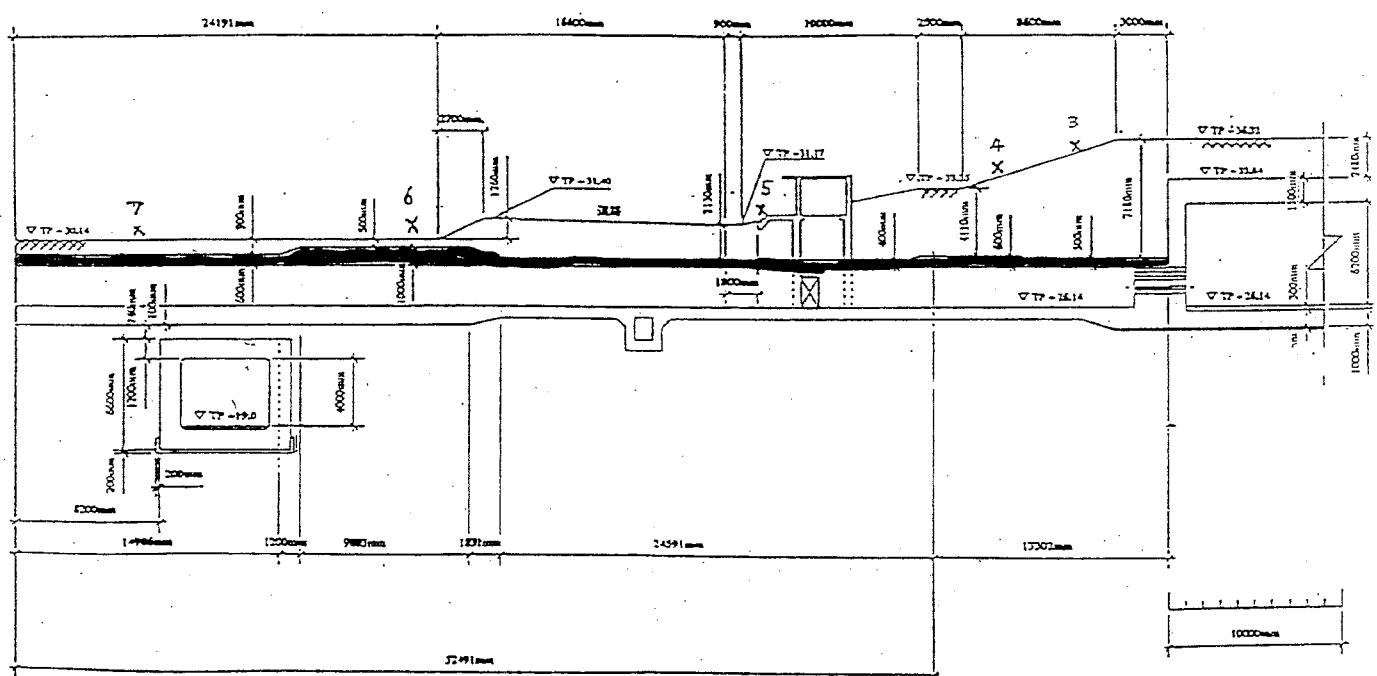
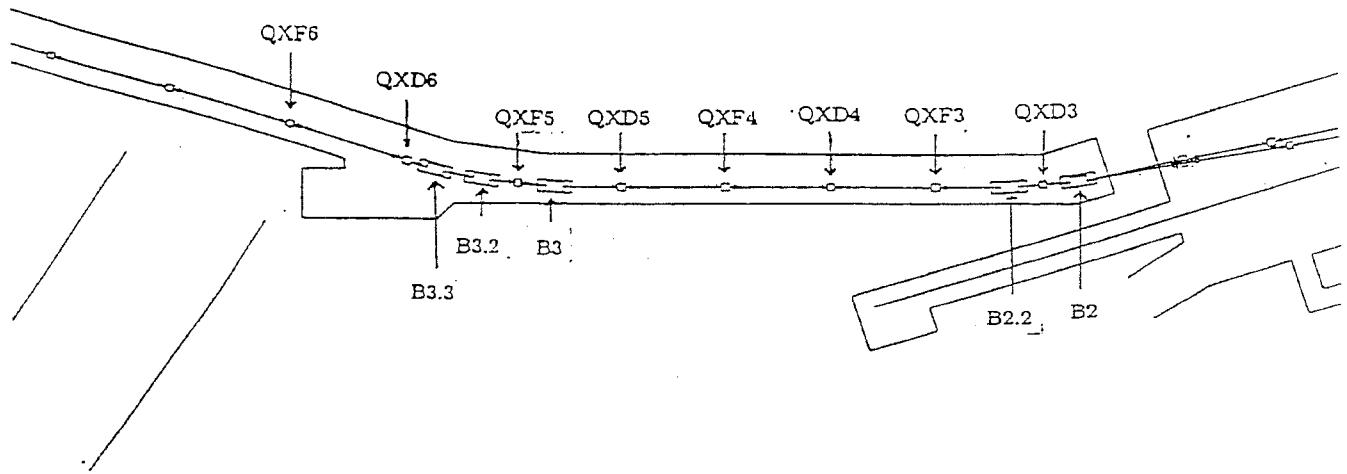
 Beam-Gas

 Touschek

— ビームダンプ

← This
talk





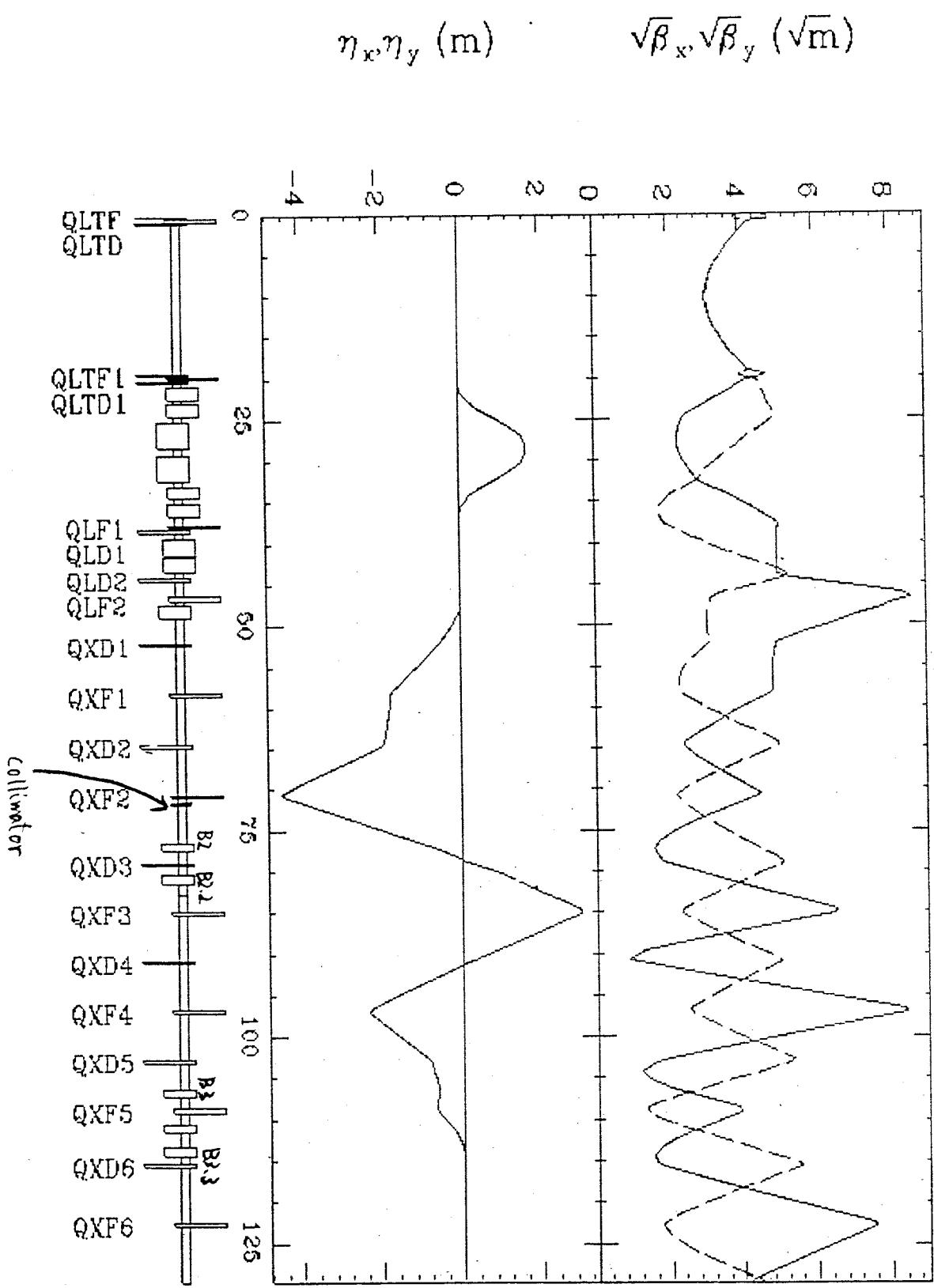
[X] 3

BTラインでのビームロス見積の手順（1）

- (1) Linac のTransverse 方向のアクセプタンスは狭いので、Transverse 方向の Tail は、ないものとする。
- (2) Optics のマッチングが悪いと、BT ラインでビームロスが起こる可能性があるが、マッチングは取れており、この理由によるビームロスは生じないものとする。
- (3) ビームロスは、Linac Beam のエネルギー広がりに由来する。このエネルギー広がりとして、シミュレーションのデータを用いる。
- (4) Linac 終端〔第 3 スイッチやードの最後〕にビーム・コリメータを設置し、エネルギーのずれの大きい粒子はこのコリメータで、削り落とす。
- (5) コリメータをかすめた粒子の一部は、下流に透過し BT ラインで失われる。その損失量をSAD 等を用いて見積もった。

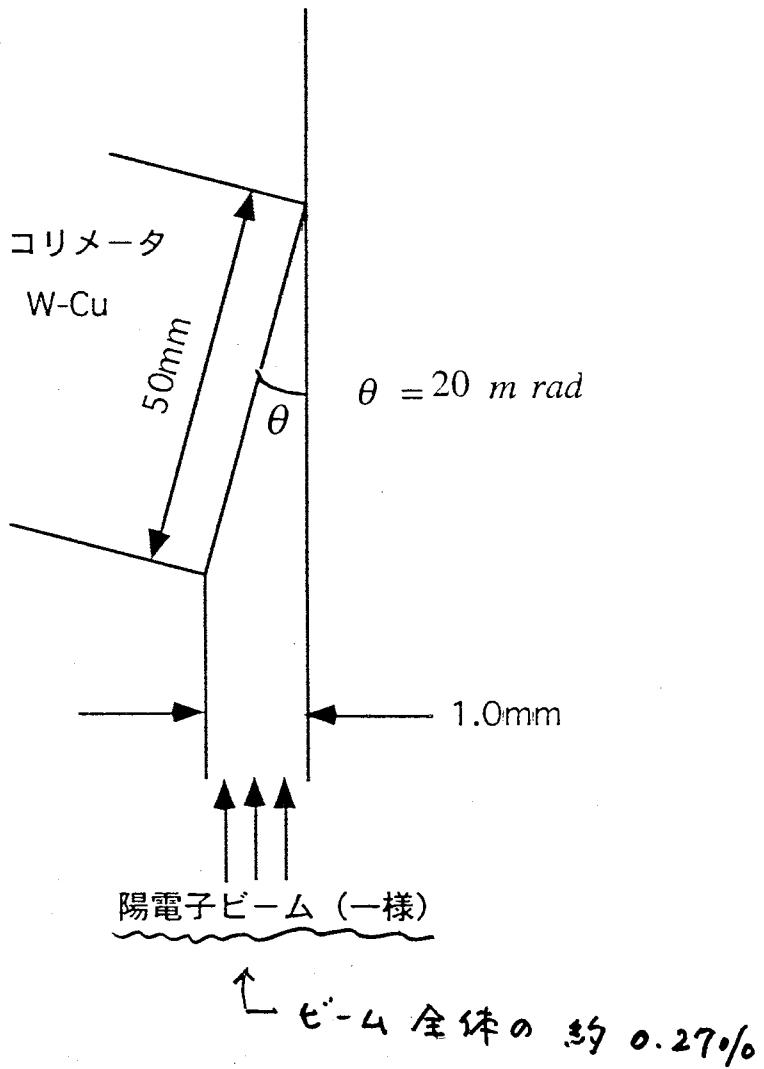
Positron Line V9.126

22:34:33 Saturday 01-Nov-97



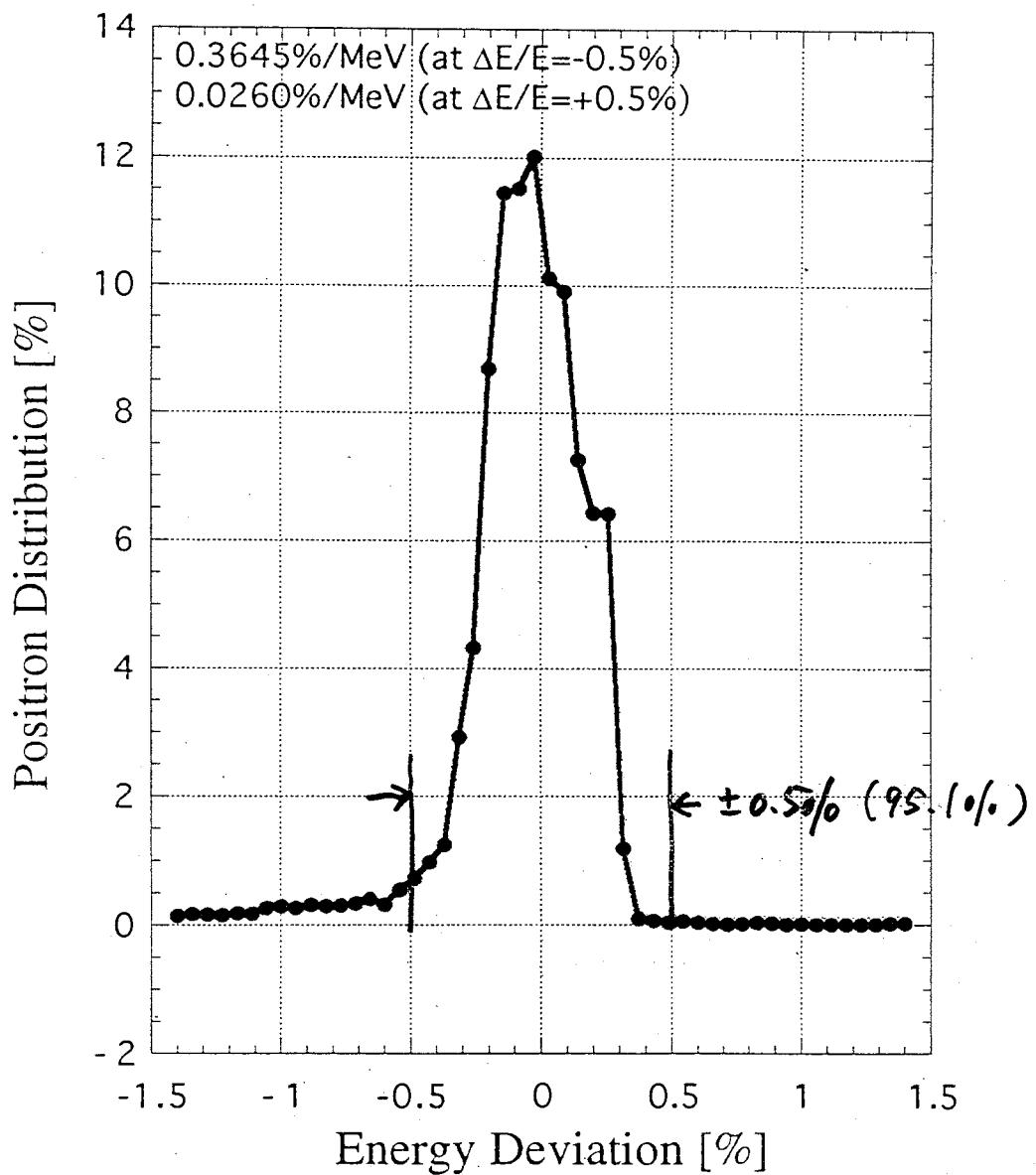
Linac からのビームの仕様

	e-	e+
Nominal Energy [GeV]	8.0	3.5
Particles/pulse	8×10^9	4×10^9
Charge/pulse [nC]	1.28	0.64
Emittance(2σ) [m]	6.4×10^{-8}	8.8×10^{-7}
Energy Spread(2σ) [%]	± 0.3	± 0.5
with ECS		± 0.25
Bunch length(σ_z) [mm]	1.5	1.5
with ECS		3.0
Time jitter $\Delta z_{\max}/c$ [ps]	± 30	± 30

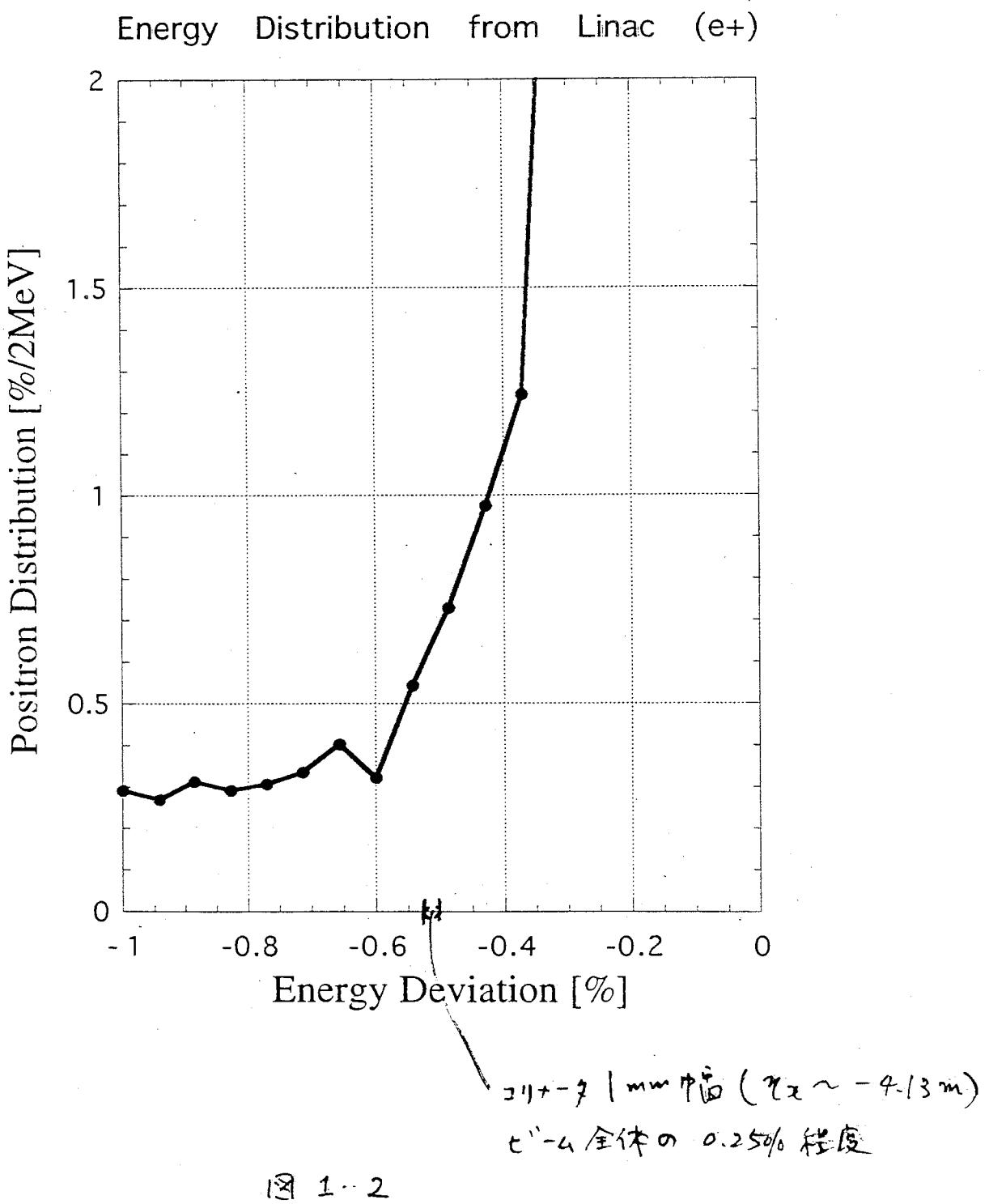


$n_x \sim -4 \text{ m}$ at the collimator

Energy Distribution from Linac (e+)



$|\Delta E/E| > 0.5\% : \sim 4.9\%$



BTラインでのビームロス見積の手順（2）

（1）Collimator の仮定

- 1) Collimator の傾きは 20mrad とする
- 2) Beam の傾きは無視する
- 3) Collimator の傾いた面に一様にビームが入射するとする
- 4) Collimator のもう一方の面に入射したビームの寄与は無視する

（2）EGSを用いて、Collimator 側面に入射した粒子が作る二次粒子の量を計算する（放射線：平山）。

（3）水平方向の散乱とともに、垂直方向の散乱も考慮した。

EGS の結果は、散乱の角分布を円錐形で与える。

各散乱角について、円周を 8 等分してトラッキングを行った。
円周方向には粒子の分布は、一様だとした。

（4）EGS が output した粒子を SAD を用いてトラッキングして、BT ラインのどの場所で、どのくらいの量の粒子がロスするかを見積もった。

（5）コリメータの設置誤差の影響（5mrad と 20mrad の比較）

20mrad の場合、5mrad に比べてほぼ 4 倍ロスが多い

Collimator angle= 0.20000D-01 radian
 Transmited positron spectrum

Upper angle is	0.002radian				
Upper energy =	100.00 MeV --	0.93160D-01+-	0.87941D-03 positrons/incident		
Upper energy =	200.00 MeV --	0.69900D-01+-	0.92118D-03 positrons/incident		
Upper energy =	300.00 MeV --	0.47750D-01+-	0.73876D-03 positrons/incident		
Upper energy =	400.00 MeV --	0.36200D-01+-	0.61246D-03 positrons/incident		
Upper energy =	500.00 MeV --	0.25740D-01+-	0.39570D-03 positrons/incident		
Upper energy =	600.00 MeV --	0.20290D-01+-	0.36980D-03 positrons/incident		
Upper energy =	700.00 MeV --	0.15910D-01+-	0.36941D-03 positrons/incident		
Upper energy =	800.00 MeV --	0.13670D-01+-	0.38535D-03 positrons/incident		
Upper energy =	900.00 MeV --	0.10520D-01+-	0.27366D-03 positrons/incident		
Upper energy =	1000.0 MeV --	0.98700D-02+-	0.20791D-03 positrons/incident		
Upper energy =	1100.0 MeV --	0.87800D-02+-	0.29663D-03 positrons/incident		
Upper energy =	1200.0 MeV --	0.70200D-02+-	0.25473D-03 positrons/incident		
Upper energy =	1300.0 MeV --	0.64200D-02+-	0.24841D-03 positrons/incident		
Upper energy =	1400.0 MeV --	0.60600D-02+-	0.25380D-03 positrons/incident		
Upper energy =	1500.0 MeV --	0.57000D-02+-	0.19272D-03 positrons/incident		
Upper energy =	1600.0 MeV --	0.62400D-02+-	0.23744D-03 positrons/incident		
Upper energy =	1700.0 MeV --	0.51600D-02+-	0.21827D-03 positrons/incident		
Upper energy =	1800.0 MeV --	0.46000D-02+-	0.16903D-03 positrons/incident		
Upper energy =	1900.0 MeV --	0.42600D-02+-	0.17098D-03 positrons/incident		
Upper energy =	2000.0 MeV --	0.44600D-02+-	0.22626D-03 positrons/incident		
Upper energy =	2100.0 MeV --	0.41800D-02+-	0.22395D-03 positrons/incident		
Upper energy =	2200.0 MeV --	0.35300D-02+-	0.15413D-03 positrons/incident		
Upper energy =	2300.0 MeV --	0.42100D-02+-	0.20308D-03 positrons/incident		
Upper energy =	2400.0 MeV --	0.39100D-02+-	0.23066D-03 positrons/incident		
Upper energy =	2500.0 MeV --	0.35900D-02+-	0.17537D-03 positrons/incident		
Upper energy =	2600.0 MeV --	0.40900D-02+-	0.20238D-03 positrons/incident		
Upper energy =	2700.0 MeV --	0.38200D-02+-	0.18558D-03 positrons/incident		

```

f=OpenRead["/users/funakosi/sadin/KEKB/BT/POSITRON/Nov1697120643"];
!end;
While[s=Read[f,Word];s<=>"Angle",Read[f,Word]];
!
head="Angle";
mat={};
While[head == "Angle",
Do[Read[f,Word],{2}];
ang=Read[f,Real];
ReadString[f];
head1=Read[f,Word];
While[head1 == "Upper",
Do[Read[f,Word],{2}];
enc=Read[f,Real];
Do[Read[f,Word],{2}];
int=Read[f,Real];
AppendTo[mat,{ang,enc,int}];
ReadString[f];
head1=Read[f,Word];
];
If[head1 == "Angle" || head1 == "angle",head="Angle",
ReadString[f];
head=Read[f,Word]];
];
Close[f];
!
!end;
np=1;
pos=LINE["POSITION","COLLIM"];!Tracking starts at the position of the collimator(No.69)
! pos=1;

```

```

y=Table[0,{8}];

xx={};

TrackBTLine[yield_,x_,idiv_,inum_,itrack_,ienergy_]:=Module[{ },
x={};

yield=Table[0,{8}];

Do[ If[mat[[step,1]] == 90, mat[[step,1]]=5/180*3.14159265];
If[mat[[step,1]] == 5, mat[[step,1]]=1.5e-3];
If[mat[[step,3]] == 0,Continue[]];
If[mat[[step,2]] == 3500,dele=(mat[[step,2]+mat[[step-1,2]])/2-3500)/3500,dele=(mat[[step,2]-3500])/3500];
delexp=mat[[step,1]]*Cos[2*Pi/idiv*(inum-1)];
dehyp=mat[[step,1]]*Sin[2*Pi/idiv*(inum-1)];
pari=(-1)^(ienergy+1)/2;
input0={ {pari*120.6535e-3}, {-pari*3.2766e-3+dclxp},{0},{delyp},{0},{-pari*0.5e-2+dclc},{1} };
input0={ {pari*20.6535e-3}, {-pari*3.2766e-3+dclxp},{0},{delyp},{0},{-pari*0.5e-2+dclc},{1} };
data0=input0;

data={pos,data0};

r={};

! numrs=100;

! end;

! Do[data=TrackParticles[data,idest];r=Append[r,data],{idest,70,598}];

Do[data=TrackParticles[data,idest];If[data[2,7,1]==0,ilost=idest;Break[]];r=Append[r,data1,{idest,70,598}];

! end;

! a={};

! Do[a=Append[a,{LINE["S",r[i,1]],r[i,2,1,1]}],{i,1,10}];

! ListPlot[a,PlotJoined->True, PlotLabel ->{"[m]","x [m]","",""}];
AppendTo[x,{mat[[step,1]],mat[[step,2]],mat[[step,3]],dclc,ilost}];

If[ilost < LINE["POSITION","LCOL.2"]+3, yield[1]=yield[1]+mat[[step,3]/3500*mat[[step,3]]];
If[ilost > LINE["POSITION","LCOL.2"]+2 && ilost < LINE["POSITION","B2"]+1, yield[2]=yield[2]+mat[[step,2]/3500*mat[[step,3]]];
If[ilost > LINE["POSITION","B2"]+1, yield[3]=yield[3]+mat[[step,2]/3500*mat[[step,3]]];
If[ilost > LINE["POSITION","B2.2"] && ilost < LINE["POSITION","B2.2"]+1, yield[4]=yield[4]+mat[[step,2]/3500*mat[[step,3]]];

```

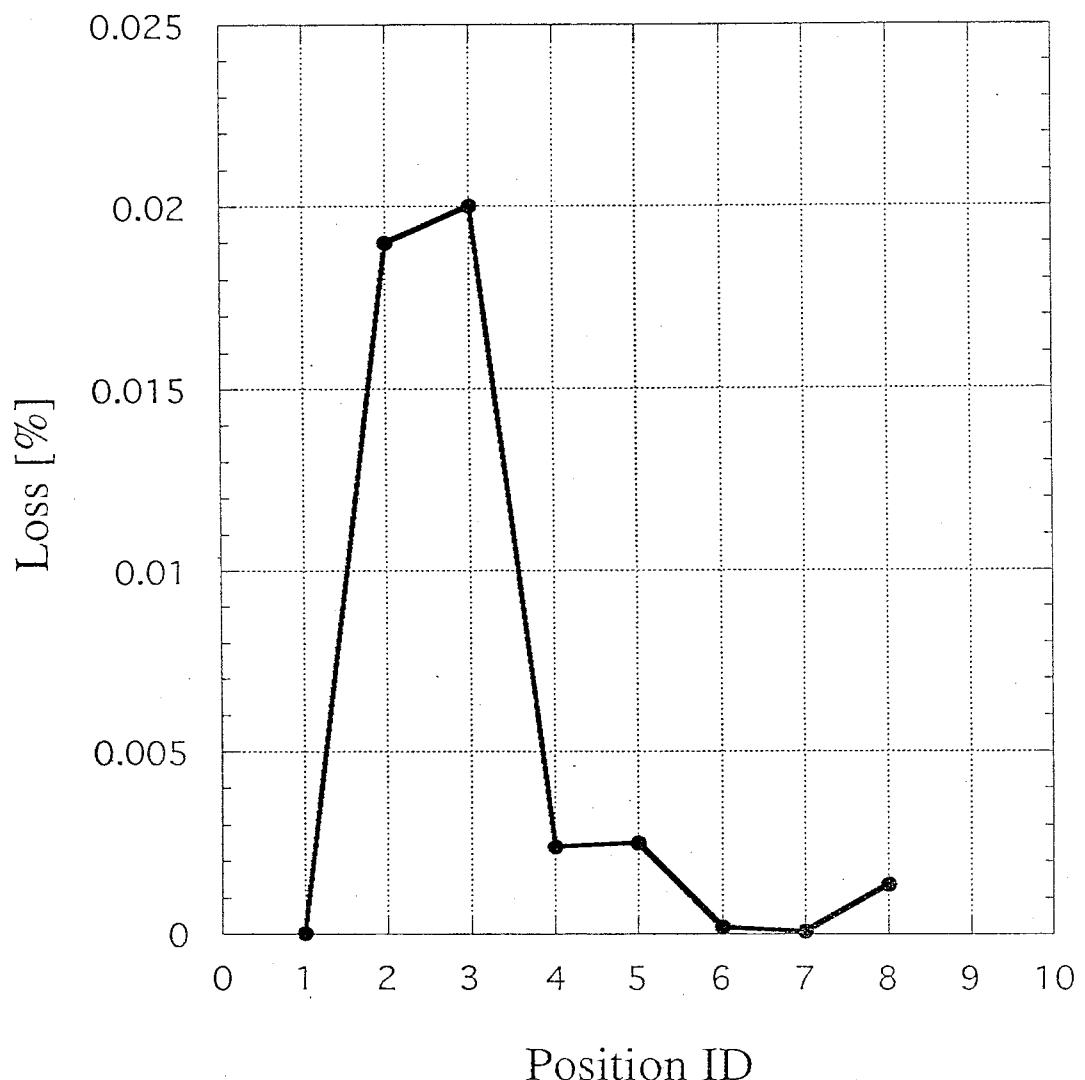
```

If[ilost > LINE["POSITION","QXF3"] && ilost < LINE["POSITION","QXF4"]+1, yield[5]=yield[5]+mat[istep,2]/3500*mat[istep,3]];
If[ilost > LINE["POSITION","QXF4"] && ilost < LINE["POSITION","QXF6"]+1, yield[6]=yield[6]+mat[istep,2]/3500*mat[istep,3];
If[ilost > LINE["POSITION","QXF6"] && ilost < LINE["POSITION","BHIAH,I"]+1, yield[7]=yield[7]+mat[istep,2]/3500*mat[istep,3]];
If[ilost > LINE["POSITION","BHIAH,I"]-1, yield[8]=yield[8]+mat[istep,2]/3500*mat[istep,3]],

! {istep,1,804}
{istep,1,itrack}
];
yyy=Table[0,{8}];
iangmax=8;
!
Do[TrackBTLine[yy,xx,iangmax,iang,Length[mat],-1];
yyy=yyy+yy,
{iang,1,iangmax}];
yyy=yyy/iangmax*100;
end;

```

ビーム全体に対するロスの割合
失われる粒子のエネルギー * 失われる粒子数 / 3.5GeV

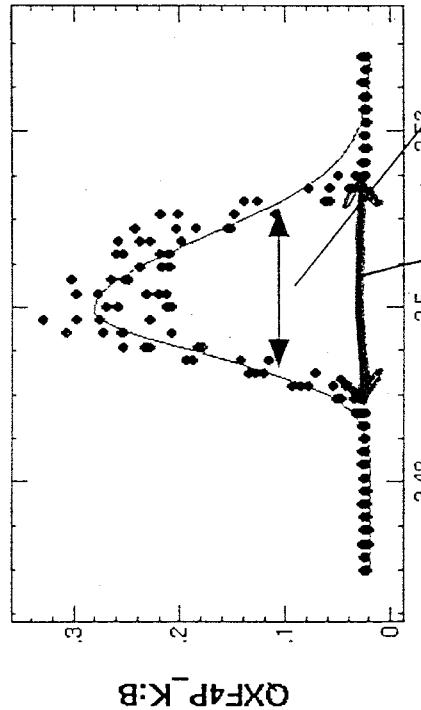


ECS ON

File Edit Window

Chi Square = .11361 Goodness = .48621
a = .26193 +/- .08534 b = 3.49967 +/- 3.63E-4 c = .01066 +/- .00273
asym = .24196 +/- .04459 sigma = .00667 +/- 1.78E-4

mons_06_13_1998_18:12:11.dat



Function = $c + a \text{Exp}[-(x - b)^2] + \text{asym} \text{Sign}[x - b]$

Main Application Area

$\pm 0.4\%$

KEKB Momentum Acceptance

Chi Square = .04036 Goodness = .48536
a = .18005 +/- .00562 b = 3.50871 +/- 5.35E-4 c = .00613 +/- .00136
asym = -.39664 +/- .07126 sigma = .00613 +/- 2.26E-4

mons_06_13_1998_18:37:28.dat

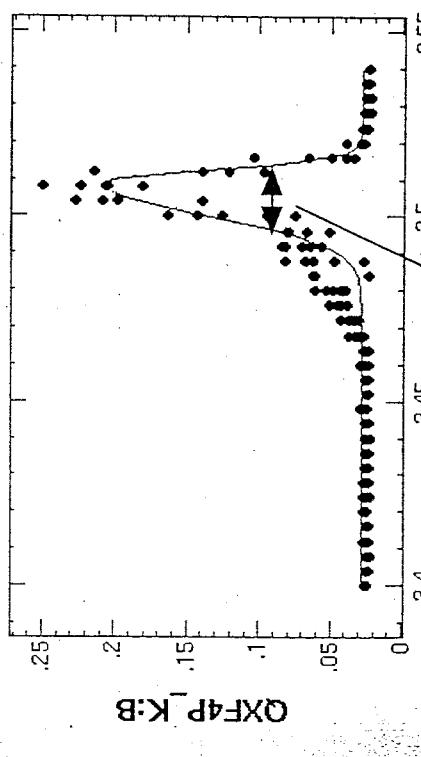
File Edit Window

ECS OFF

File Edit Window

Chi Square = .04036 Goodness = .48536
a = .18005 +/- .00562 b = 3.50871 +/- 5.35E-4 c = .00613 +/- .00136
asym = -.39664 +/- .07126 sigma = .00613 +/- 2.26E-4

mons_06_13_1998_18:37:28.dat



Chi Square = .04036 Goodness = .48536
a = .18005 +/- .00562 b = 3.50871 +/- 5.35E-4 c = .00613 +/- .00136
asym = -.39664 +/- .07126 sigma = .00613 +/- 2.26E-4

mons_06_13_1998_18:37:28.dat

$\pm 0.25\%$

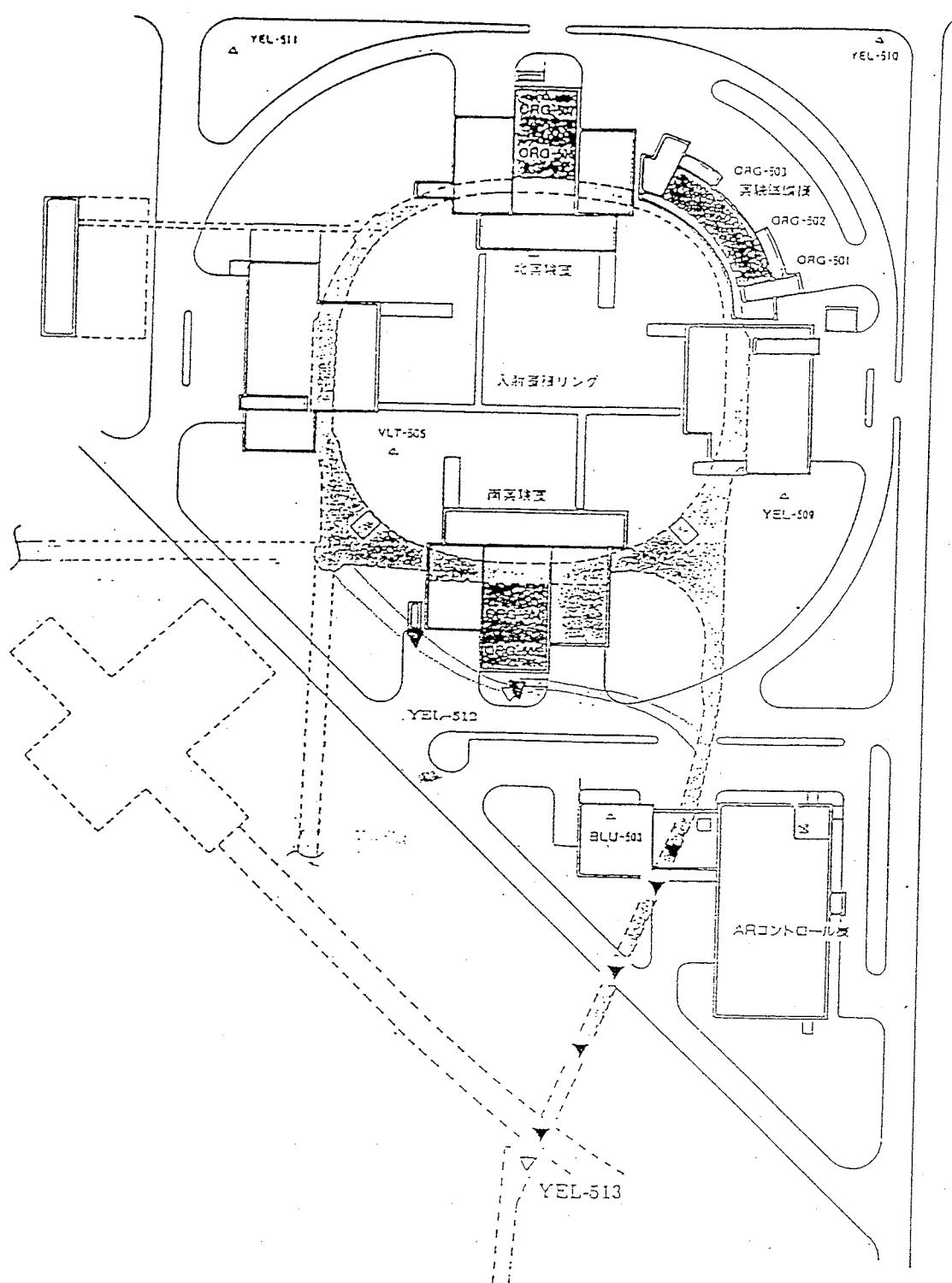
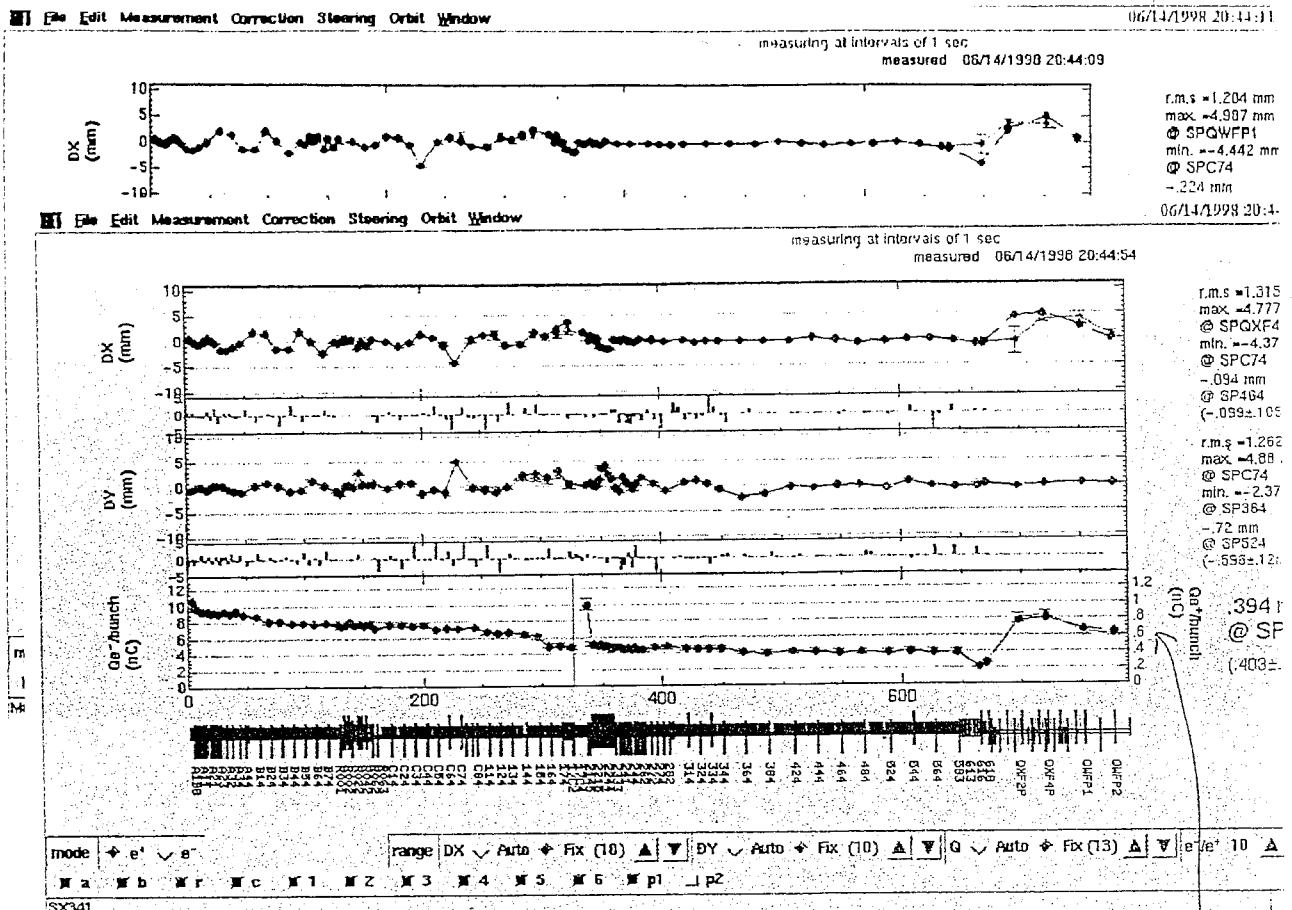


図 51: エリアモニタおよびロスモニター配置図（BT部・変更後） 入射路内に設置するロスモニタの概略の場所を▼記号で示す。エリアモニタ YEL512 および YEL513 を BT のインターロックに組み込む。エリアモニタ YEL514 および YEL515 はインターロックに組み込まない。

表 10: 陽電子入射時の BT 地上部穹間線量率

ロスの 場所	評価点 番号	損失 割合 (%)	距離 (cm)	遮蔽		空間 線量率*1 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
				コシクリ	土 (cm)	
B2-B2.2	3	0.028	810	50	640	1.8×10^{-5} (1.6×10^{-5} , 2.2×10^{-6})
B2.2-QXF3	4	0.0024	650	50	480	2.1×10^{-5} (1.8×10^{-5} , 2.5×10^{-6})
QXF3-QXF4	5	0.0025	373	40	213	3.6×10^{-3} (3.0×10^{-3} , 5.6×10^{-4})
QXF4-QXF6	6	0.00019	270	100	50	2.3×10^{-3} (1.6×10^{-3} , 7.3×10^{-4})
QXF6-QWFH.3	7	8.5e-5	270	60	90	1.6×10^{-3} (9.8×10^{-4} , 6.0×10^{-4})
QAD3-QAF8	S1	0.00137	400	60	220	9.7×10^{-4} (8.4×10^{-4} , 1.3×10^{-4})

*1:括弧内の数値は線量率の内訳を中性子、 γ 線の順に記載。



$$\begin{array}{r} 21 \times 00 \\ 21 = 01 \end{array}$$

Beam wait (1-5-027-) Data save data 80. main saved /

@BT end

0.6nCx

202

PF₂ 入射時的切度，(tkBeamSwitch / start)

- 1 - 37

丙辰入射擊了。

$$2l = 38$$

長崎 B7 再發送

21-165

Bear on

$$21 = 46$$

Ben Wait / slit 闭 (津導閉)

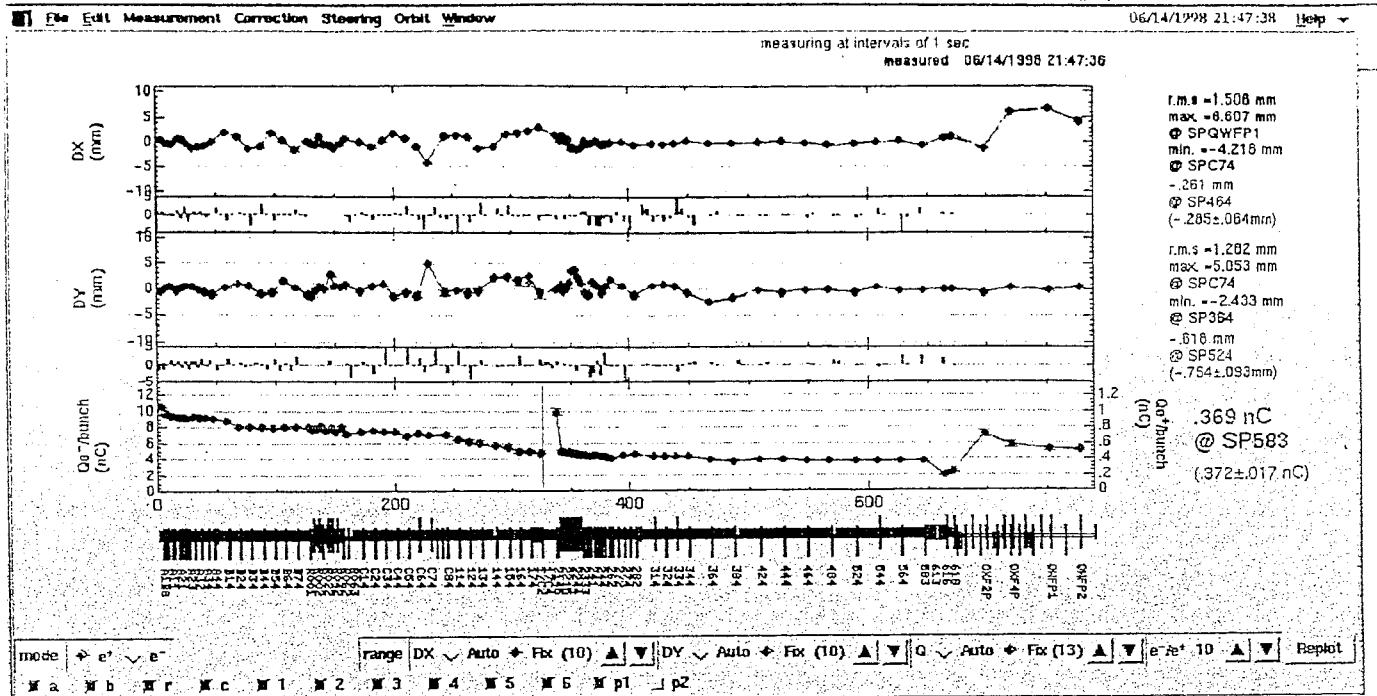
$\beta_{\text{can}} = 0$

10分钟以上测定

511	0%	0.1%	0.1	0.1	15%
512	3.7%	4.3%	0.8	0	0
513	0%	1.3%	1.3	1.7	255%
514	3.4%	4.0%	0.6	0	0
515	0.2%	0.4%	0.7	0.2	2.0%

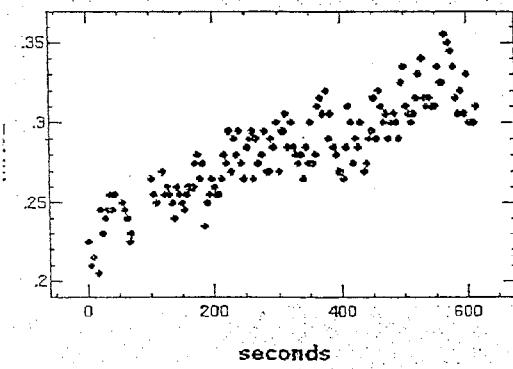
PFA入射直後 再観測はまい。

152

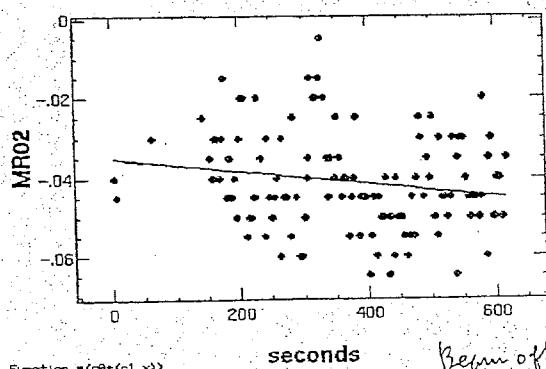


2mm OW (High Gain)

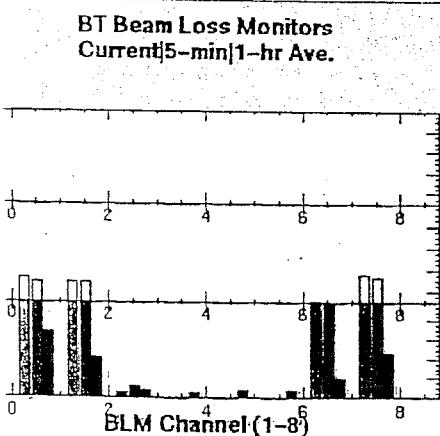
mons_06_14_1998_21:49:56.dat



mons_06_14_1998_22:01:32.dat

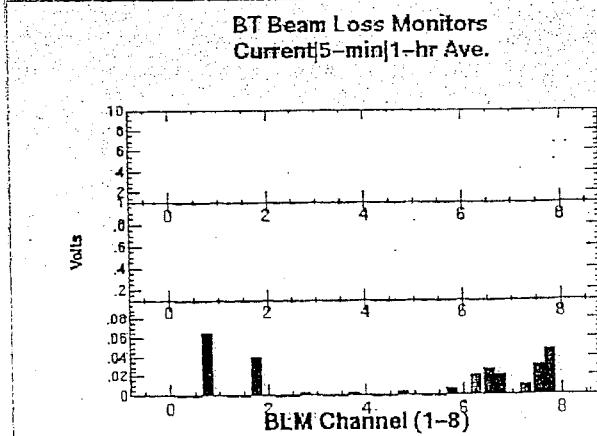


File Edit Window 06/14/1998 22:00:40 Help



2:MR03 3:MR05 4:MR06 5:MR07 6:MR00 7:MR09 8:MR10

File Edit Window 06/14/1998 22:11:42 Help



Channels: 1:MR02 2:MR03 3:MR05 4:MR06 5:MR07 6:MR08 7:MR09 8:MR10

Main Application Area

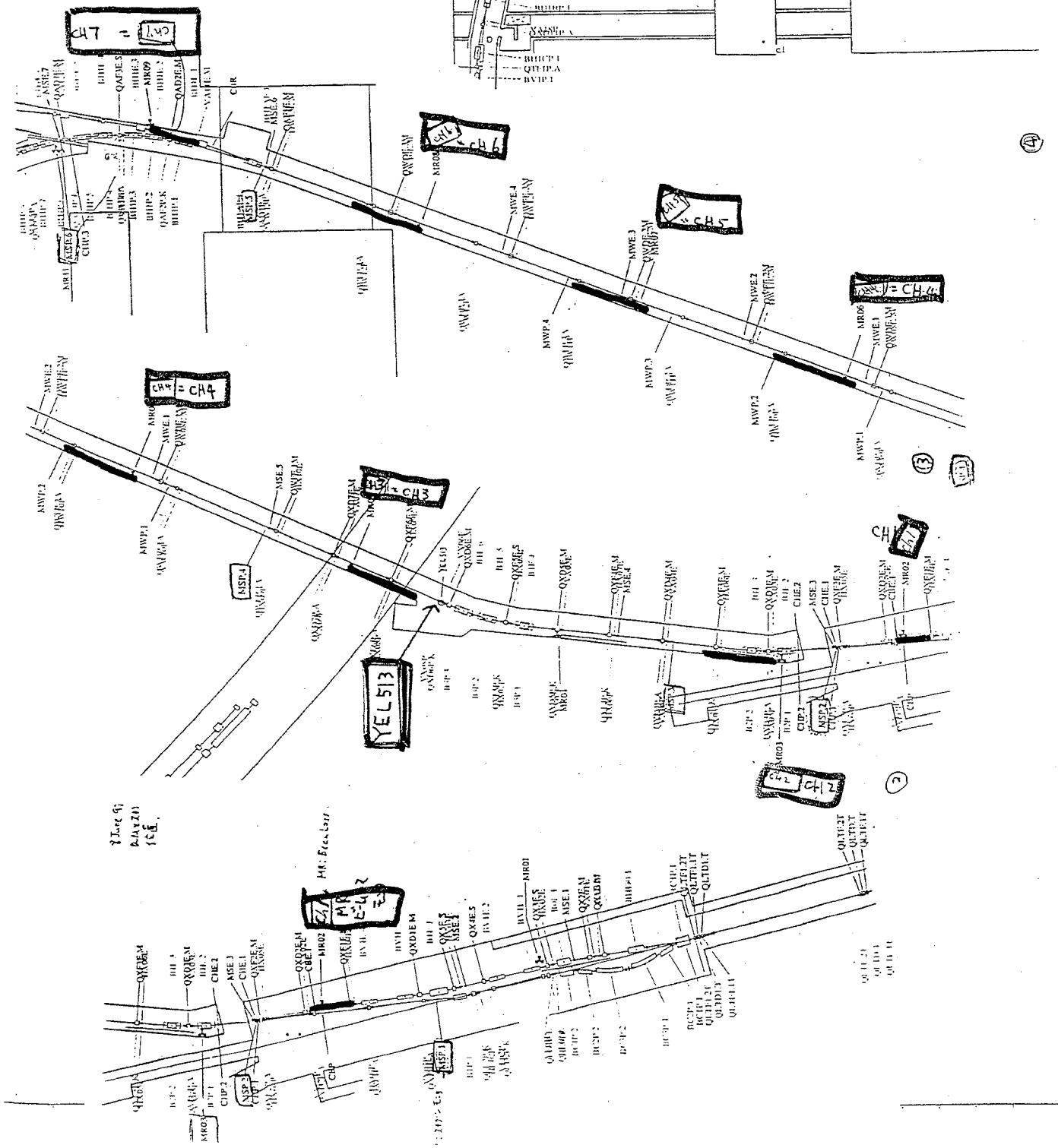
9 June 1978/John Gask

23

左記の

スクリーンモニタとロスモニタの位置

Loss Monitor



SAD in ATF Operation and Study

K. Kubo

SAD in ATF Operation, *Study*

1998.7.8. K.KUBO (KEK)

SAD is used for

- Optics and orbit calculation and correction
- Emittance, aperture etc. calculation

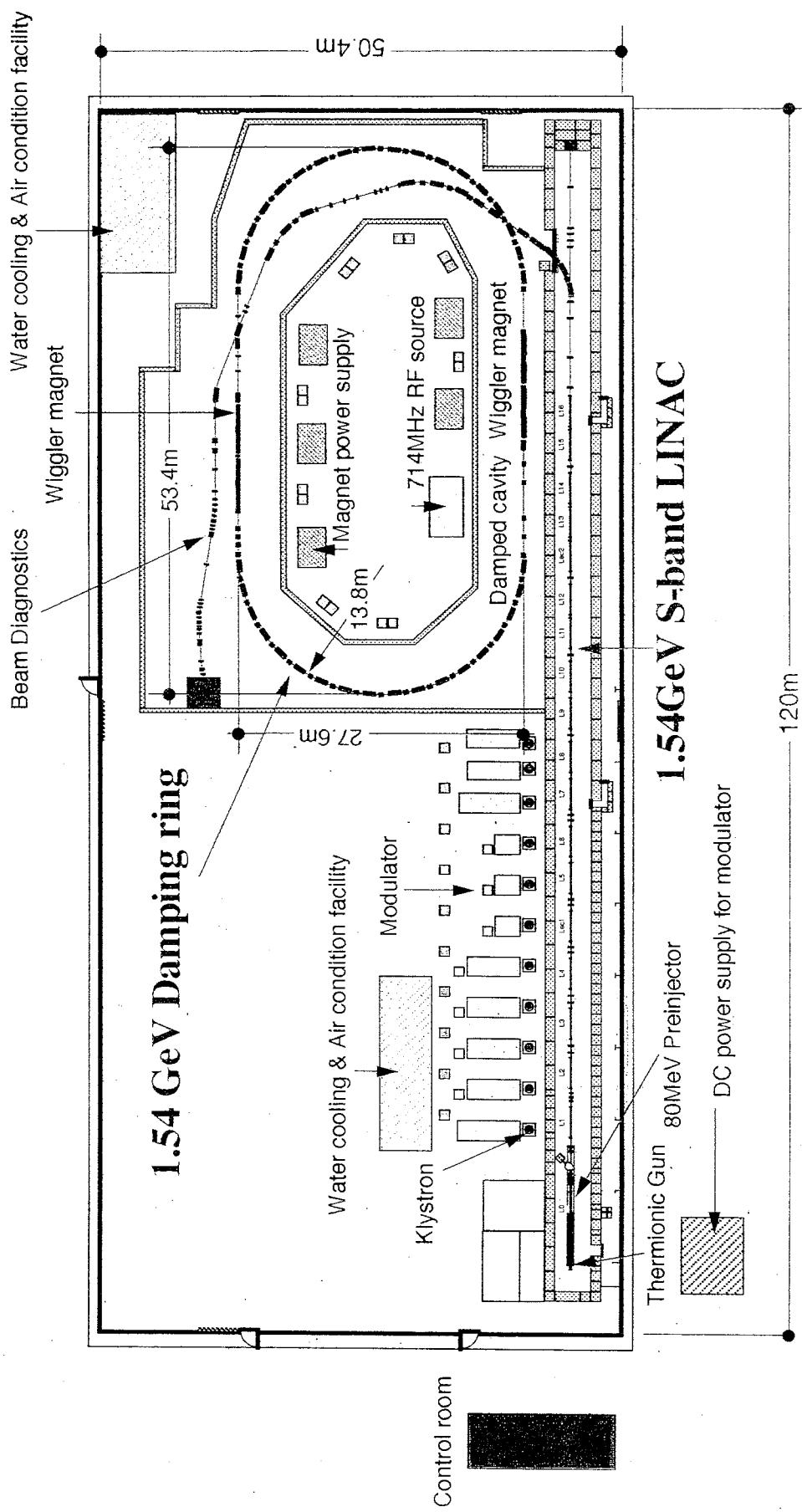
On line

- Control machine <----- network -----> SAD machine
 - Set calculated optics
 - Orbit correction
 - Local bump
 - Optics matching

Off line

- Dispersion correction
- Test and correction of optics model
- Emittance calc. from measured data
- Simulations
.

Accelerator Test Facility for JLC



ATF consists of :

1.54 GeV S-band Linac,

Damping Ring

Extraction line

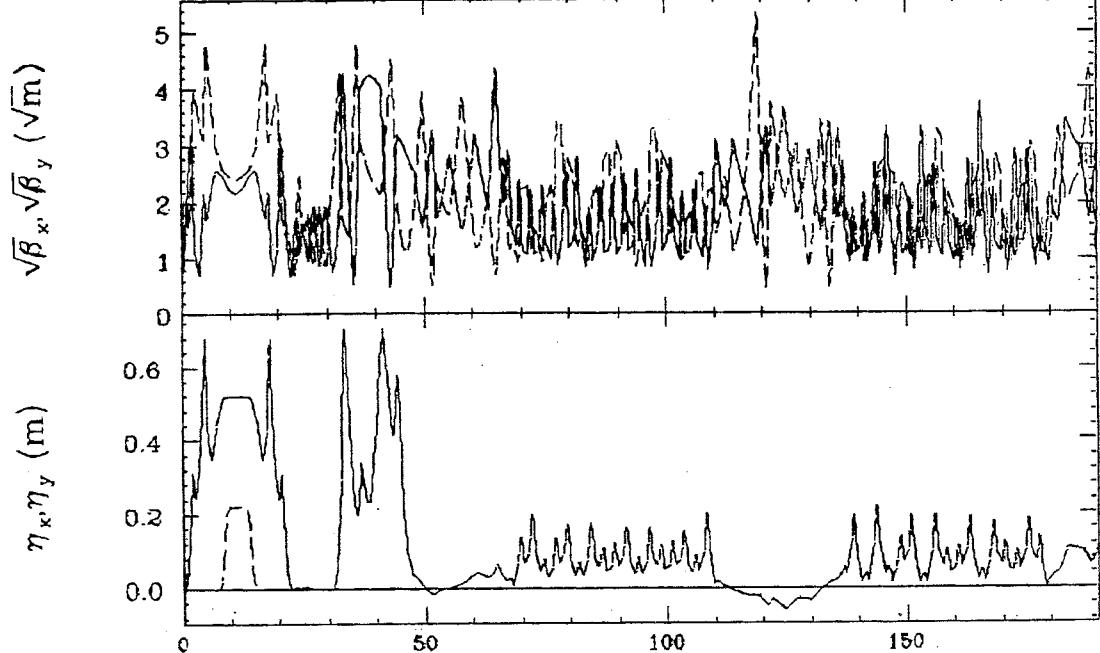
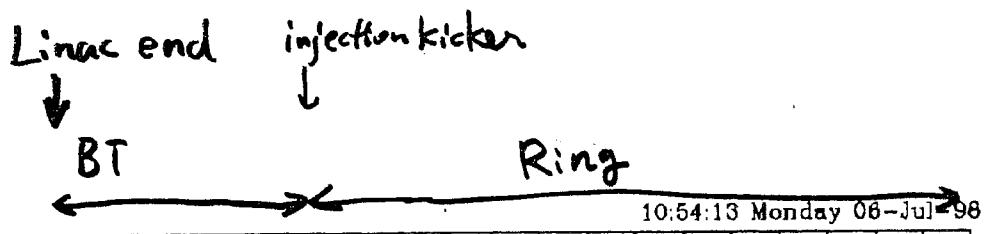
First target : Confirm the low emittance with single bunch and low repetition rate.

$$\epsilon_x = 1 \times 10^{-9} \text{ radm.}$$

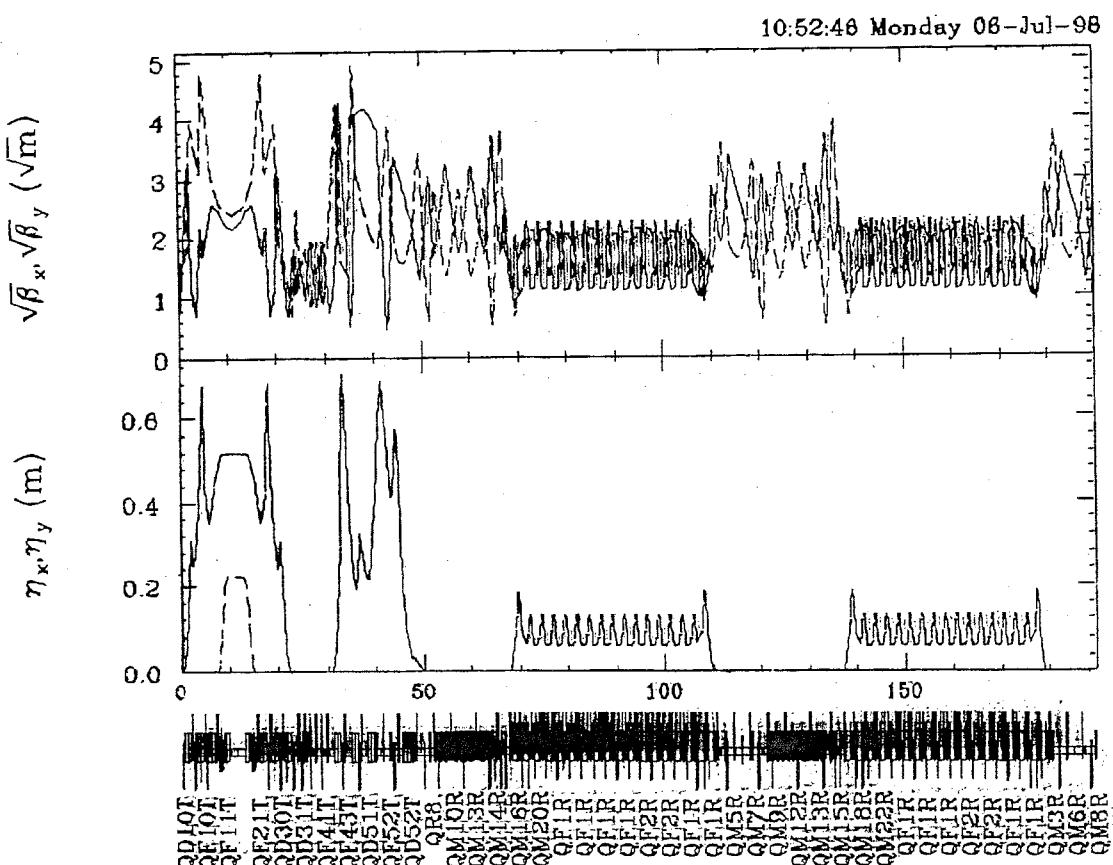
$$\epsilon_y = 1 \times 10^{-11} \text{ radm.}$$

Typical Operation Condition

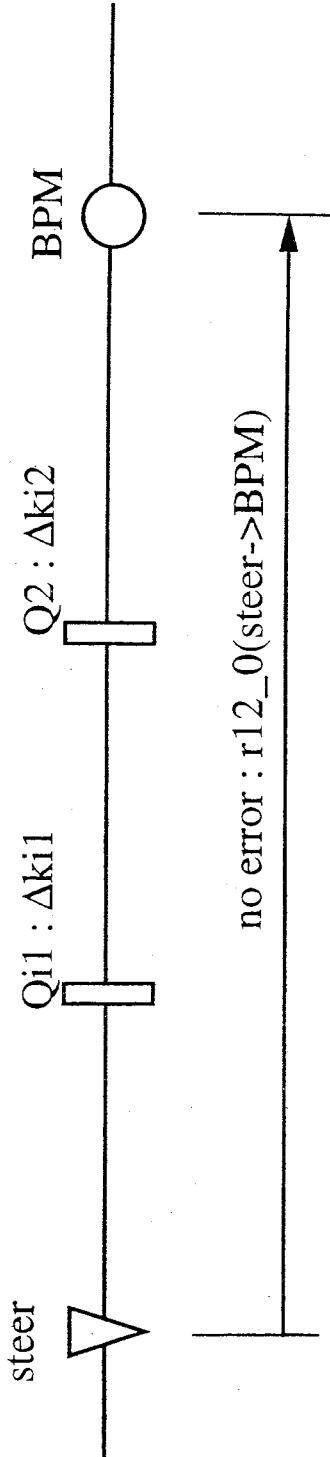
	Typical condition	Design
Beam Energy	1.29 GeV	1.54 GeV
Repetition Rate	0.78 Hz	25 Hz
Bunch trains	1	4
Bunch/train	1	20
Circulating time	640 msec	160 msec
Wiggler magnets	Off	On
RF voltage	~300 kV	~500 kV
Bunch Population	$6 \sim 8 \times 10^9$ e/bunch	2×10^{10} e/bunch



↓
 Injection Matching. Q, steers, septum



Model correction from r12 measurement



Error of quads : Δk_1 and Δk_2 (up to 1st order)
 $r_{12}(\text{steer}->\text{BPM}) - r_{12_0}(\text{steer}->\text{BPM})$

$$r_{12}(\text{steer}->Q_1) * r_{12}(Q_1-\text{BPM}) * \Delta k_1 \\ + r_{12}(\text{steer}->Q_2) * r_{12}(Q_2-\text{BPM}) * \Delta k_2$$

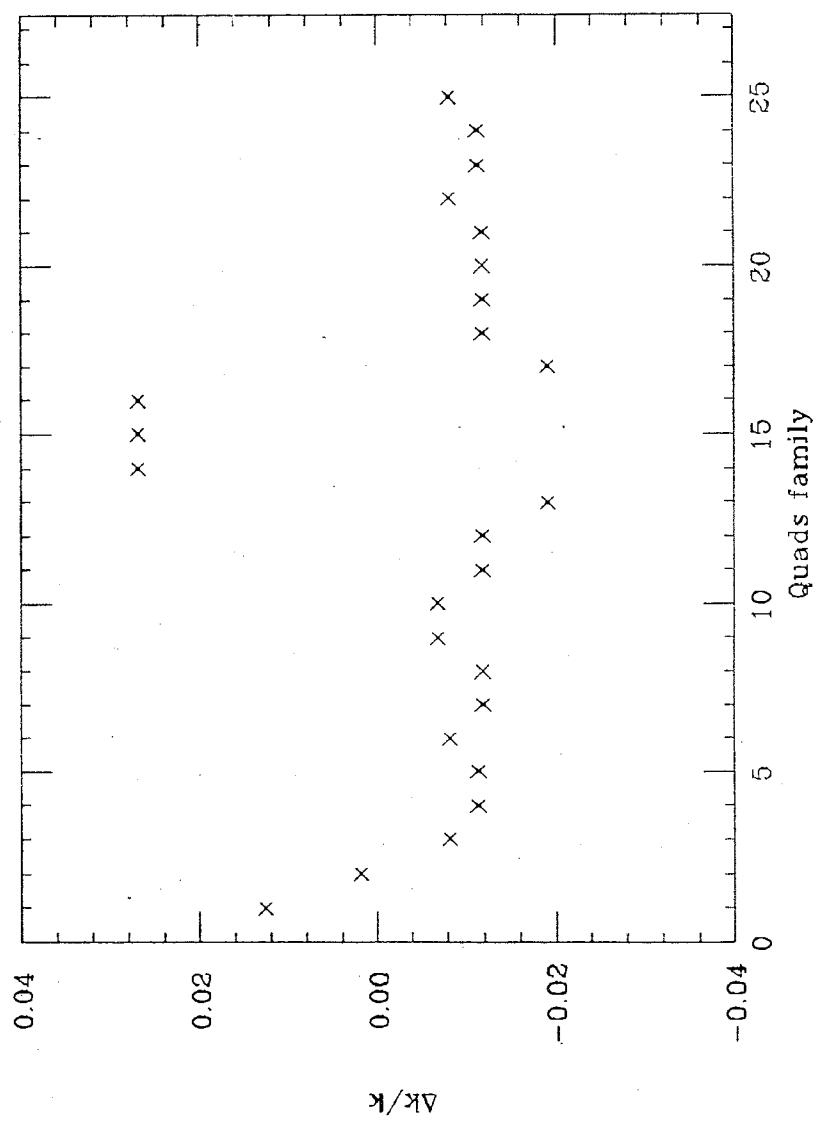
N pairs of steer - BPM ($j=1 \sim N$)
M quads ($i=1 \sim M$)

- > $R = MK$
- vector $R_j = r_{12}$ measured - r_{12} model
- matrix $M_{ij} = r_{12}(\text{steer}_j \rightarrow Q_i) * r_{12}(Q_i \rightarrow \text{BPM}_j)$
- vector $K_i = \Delta k_i$
- > Linear fitting ---> Δk

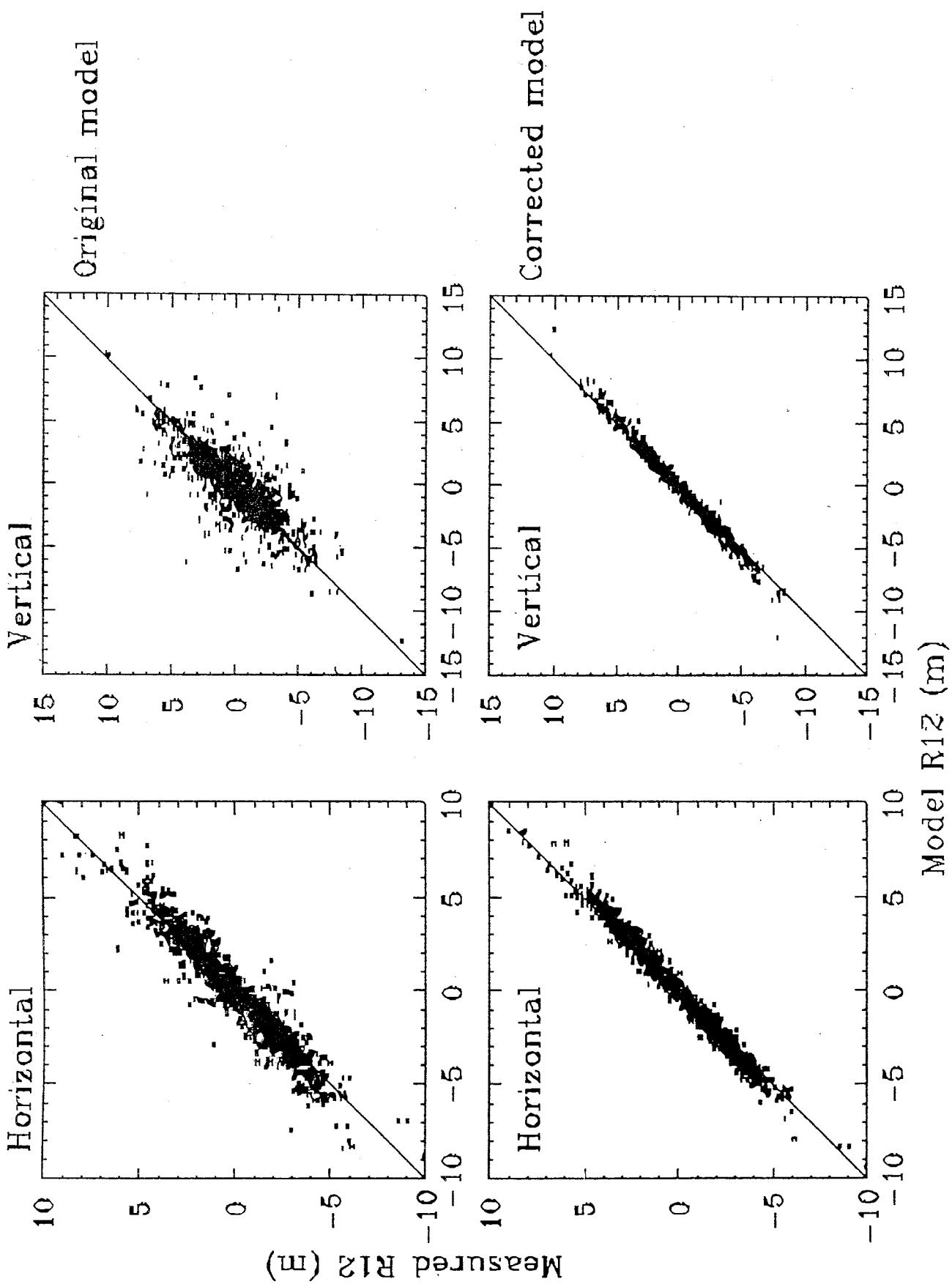
Optics Test and Correction

Errors of Quads' Strength are fitted from single pass orbit response to dipole correctors.

Correction factors for Quads families from the fitting.

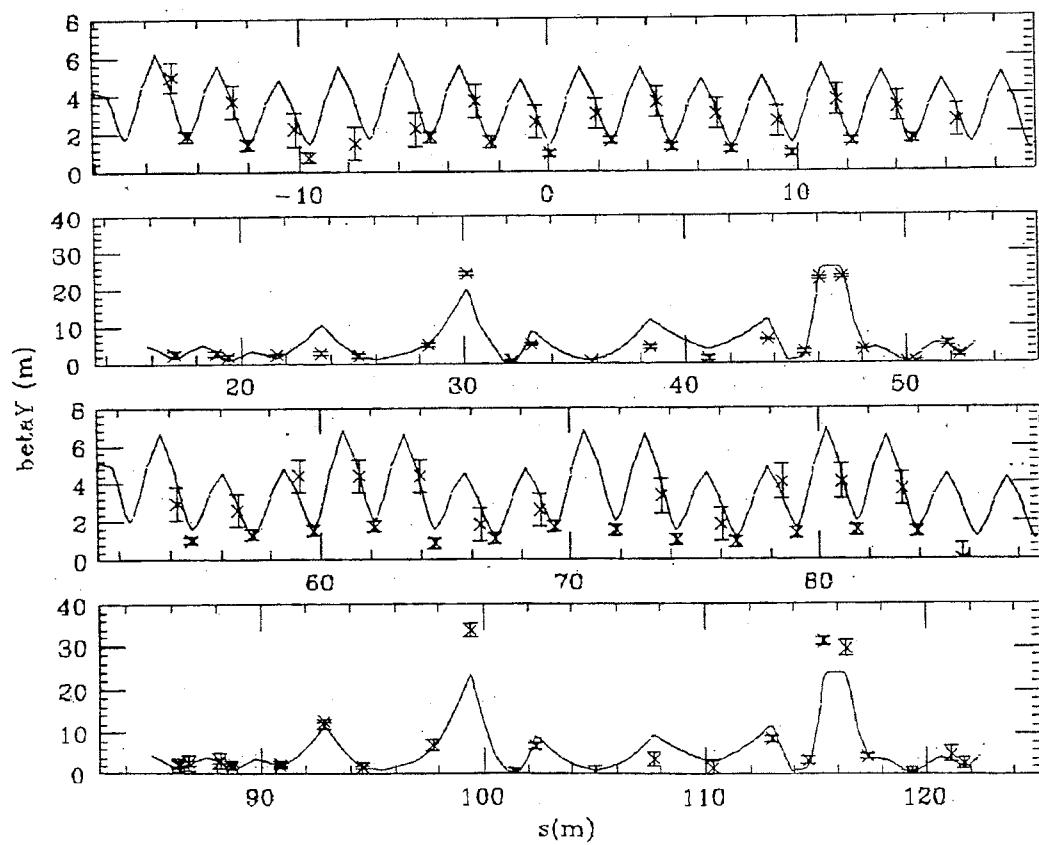
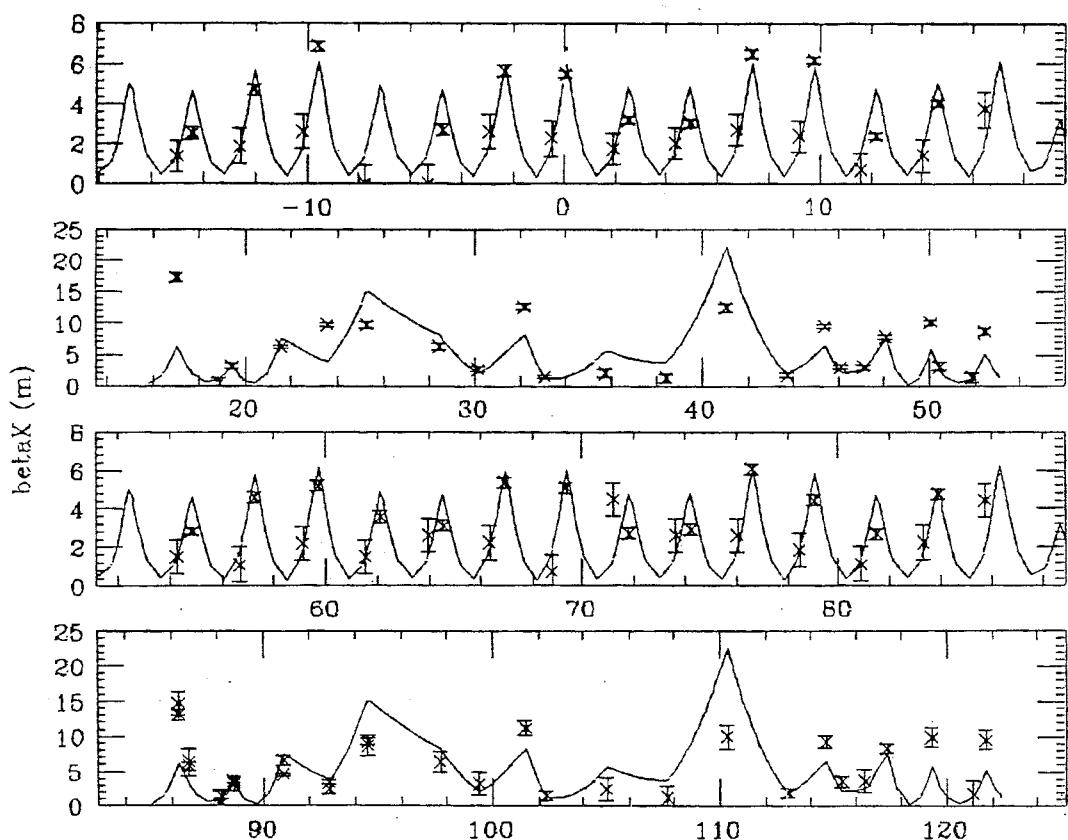


The Optics model improved after the correction.



Beta function measured at quads

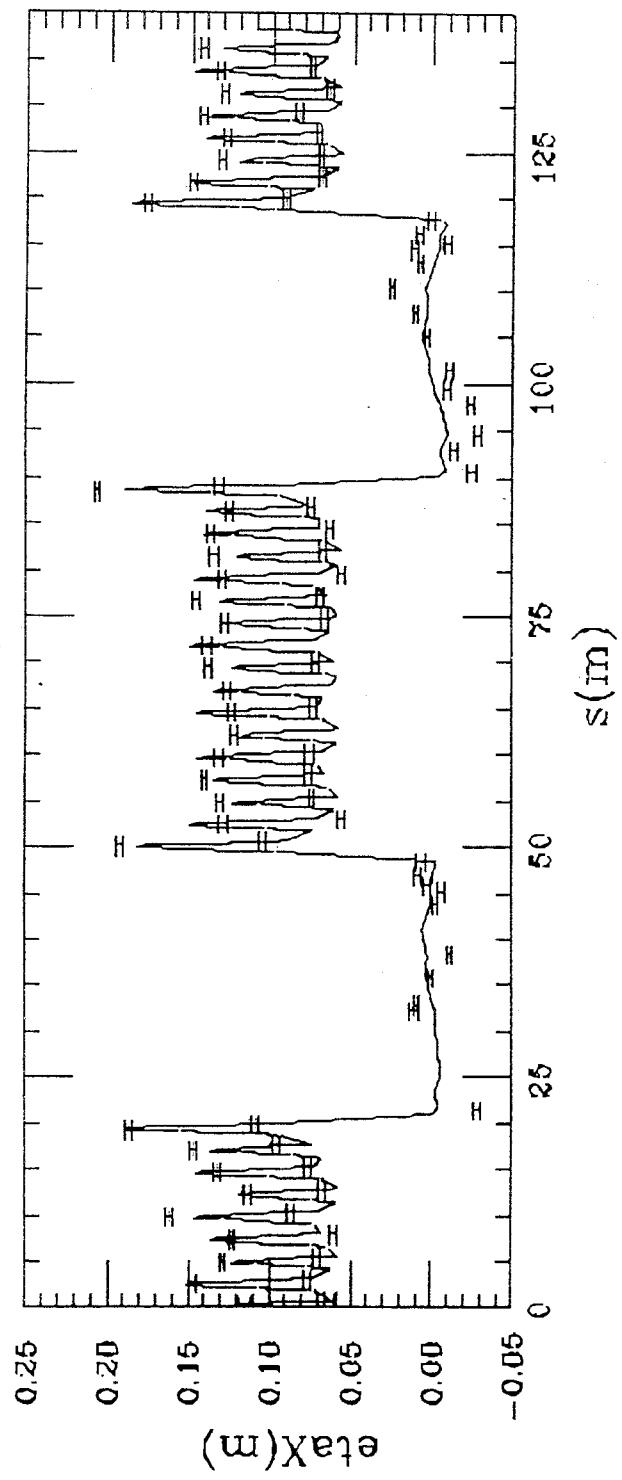
From tune measurement changing quads. ($\beta = 4\pi \Delta\nu / \Delta k$)



..... L .. C .. 13 ..

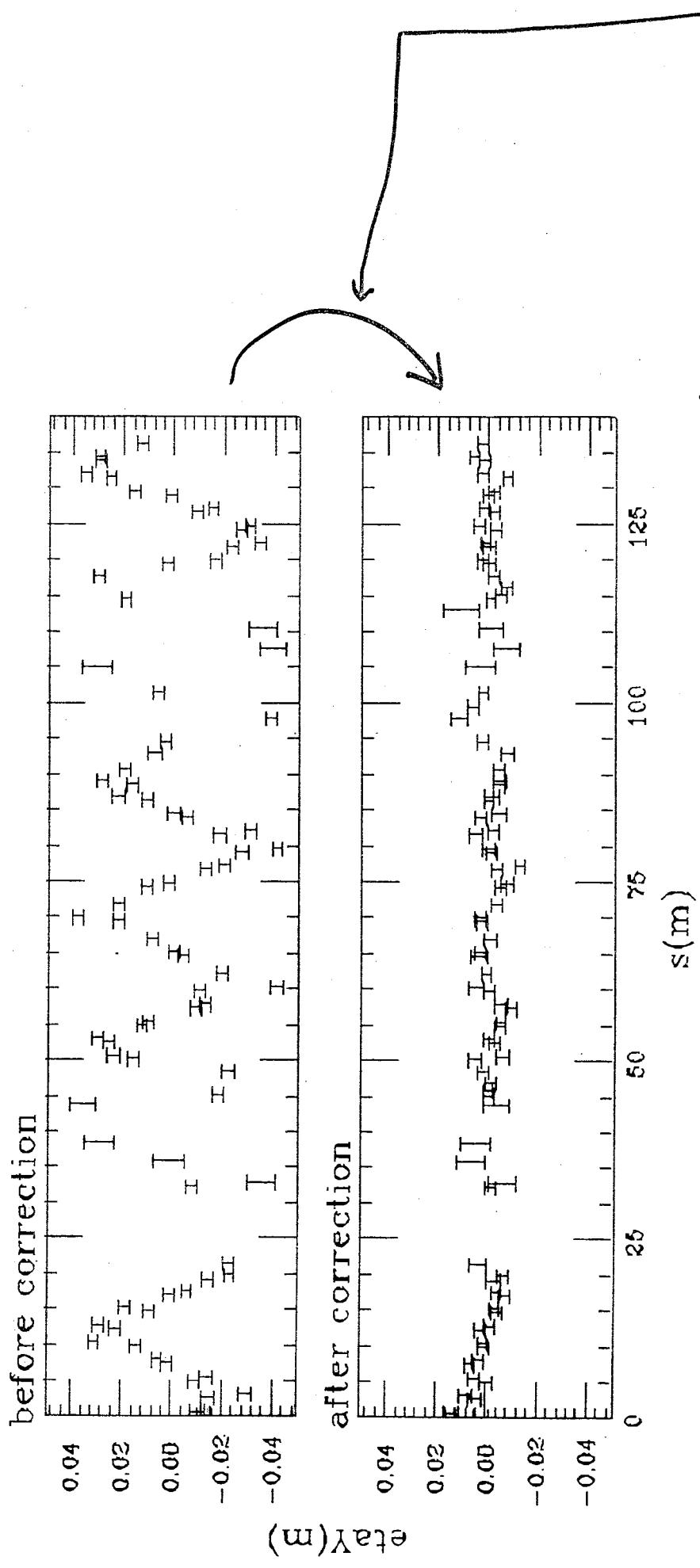
Horizontal dispersion.

Measured (plots) and model calculation (line).



Measured vertical dispersion.

Before and After dispersion Correction



Abs

β_{RH} β_Y γ_Y

FitFunction:=Map[(Twiss["EY",#[[1]]]-#[[3]])/#[[7]]]&,dispdata];

FFS["VARY K0 Z*; Z* MINMAX 0.01; FREE ZV*; GO"]; ! ZV : vertical steers

Beam size and Emittance Measurement

In Damping Ring

SR - Gated camera

---> Damping time

SR - Streak camera

---> Bunch length and Damping

SR- Interferometer

---> Equilibrium beam size

$$\text{Emittance : } \varepsilon = (\sigma^2 - (\eta \delta_E)^2) / \beta$$

σ : beam size from SR- Interferometer.

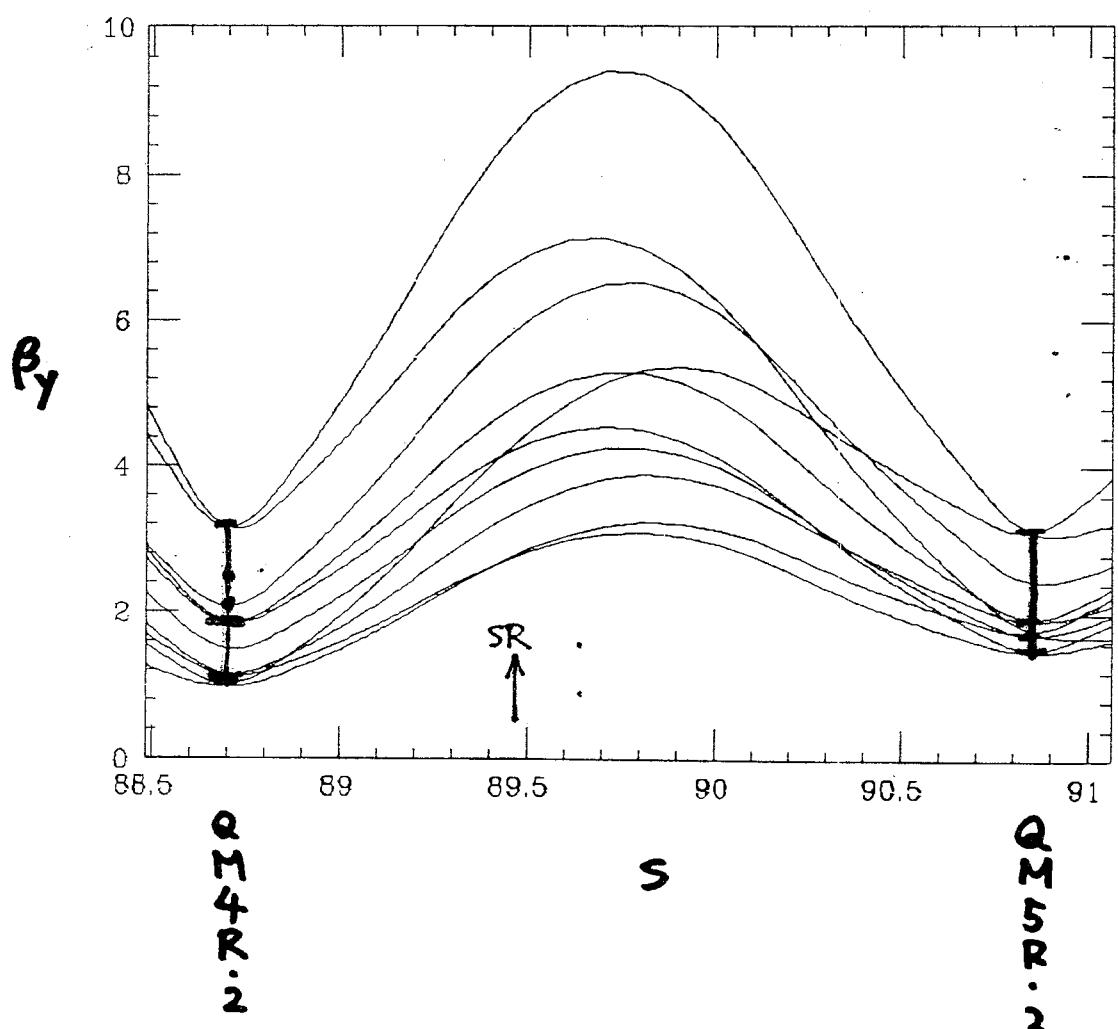
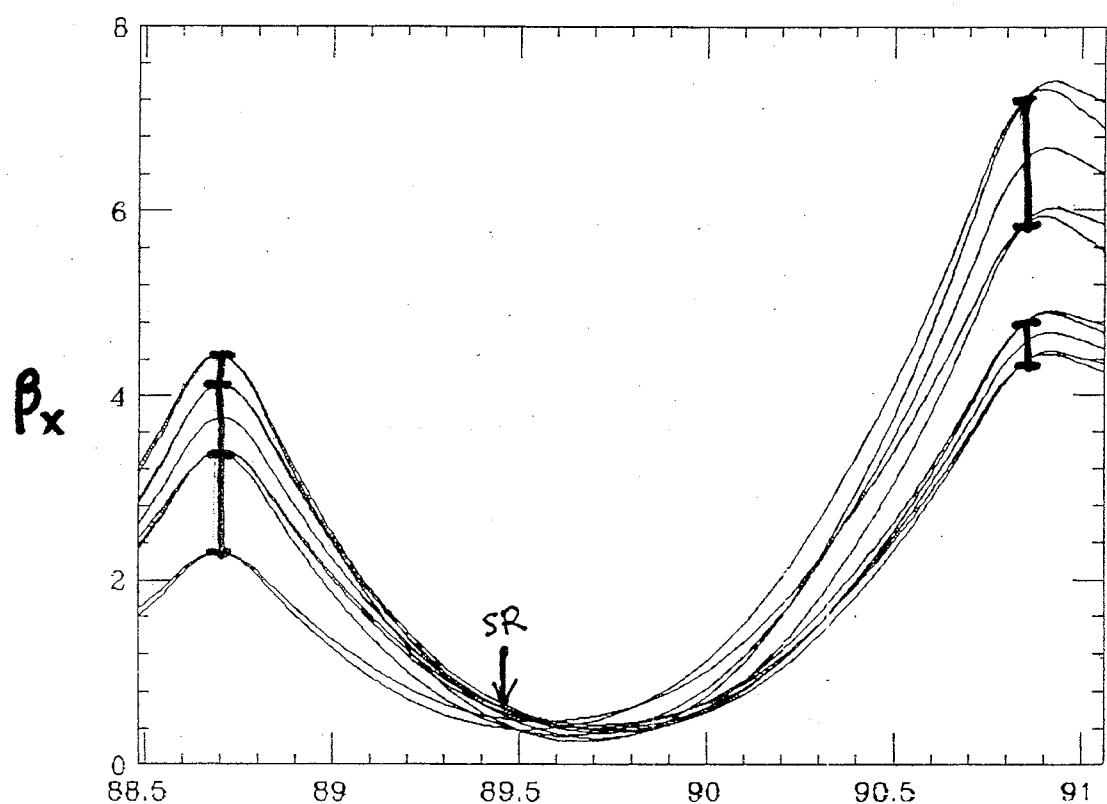
δ_E : energy spread from beam size in extraction line (at big η).

η : dispersion at SR source. Calc. from η at BPMs.

β : beta at SR source. Calc. from β at Quads.

$$\varepsilon_x \sim 1 \times 10^{-9}, \quad \beta_x \sim 0.3 \text{ m} \rightarrow \sqrt{\beta_x \varepsilon_x} \sim 17 \mu\text{m}$$

$$\varepsilon_y \sim 1 \times 10^{-11}, \quad \beta_y \sim 3 \text{ m} \rightarrow \sqrt{\beta_y \varepsilon_y} \sim 5 \mu\text{m}$$

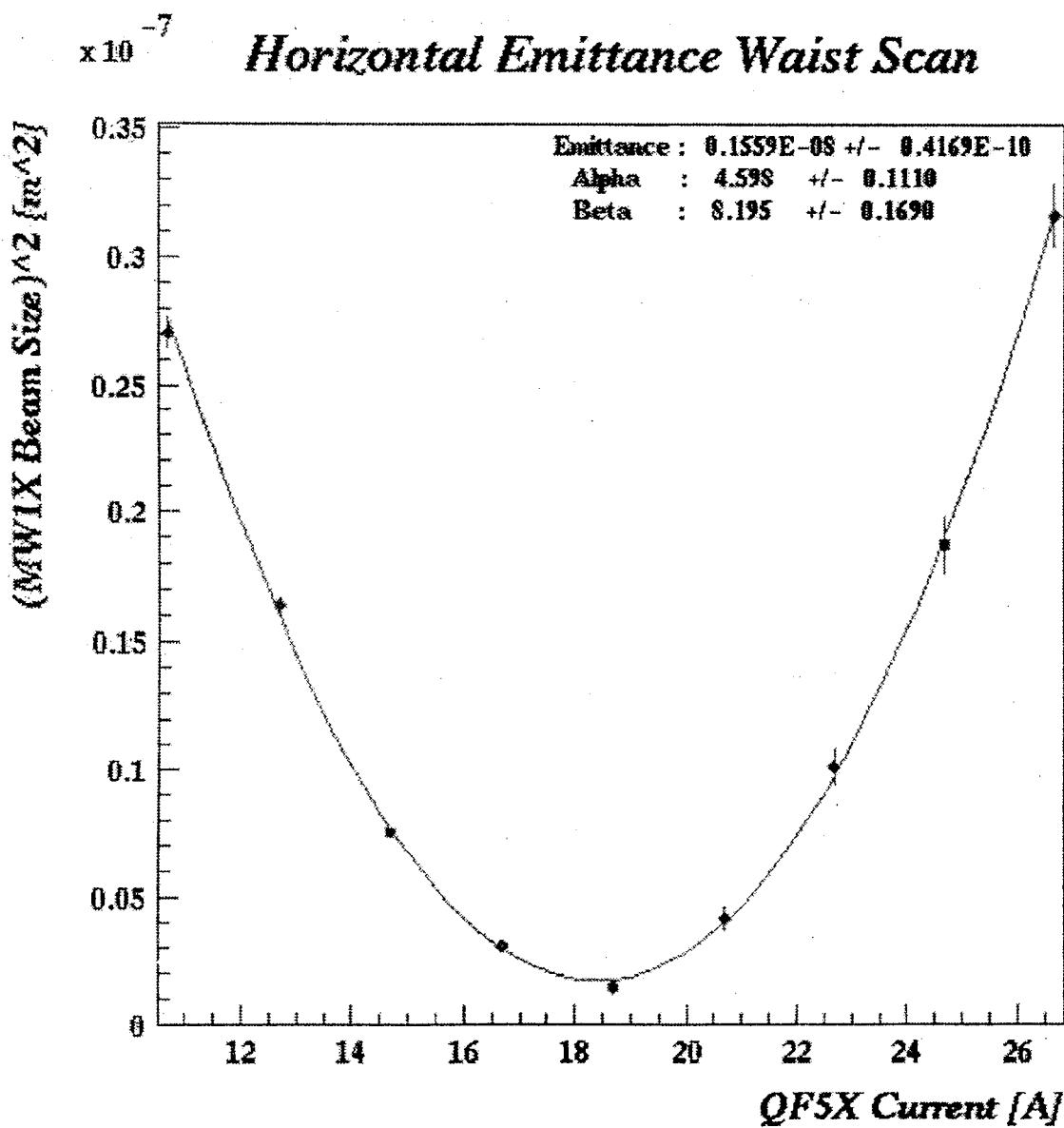


Emittance of Extracted beam

Beam size : Using Wire Scanners

2 methods for fitting emittance (and twiss parameters)

1. Changing Quad upstream of monitor.



Evaluate emittance from beam sizes

$$\text{Minimize } \chi^2 = \sum_i (\sigma_i - \sqrt{\beta_i \varepsilon})^2 / \Delta_i^2$$

σ_i : measured beam size $(\sqrt{s_{\text{size}}^2 - (\gamma_s)^2})$

Δ_i : error of σ_i

β_i : beta function at i-th wire

Twiss parameter at reference point : α_0, β_0

$$\beta_i = \beta_i(\alpha_0, \beta_0) \quad \rightarrow \quad 3 \text{ parameters} \quad \chi^2(\varepsilon, \alpha_0, \beta_0)$$

$$\frac{\partial(\chi^2)}{\partial \varepsilon} = 0 \quad \text{can be solved} \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \varepsilon(\alpha_0, \beta_0)$$

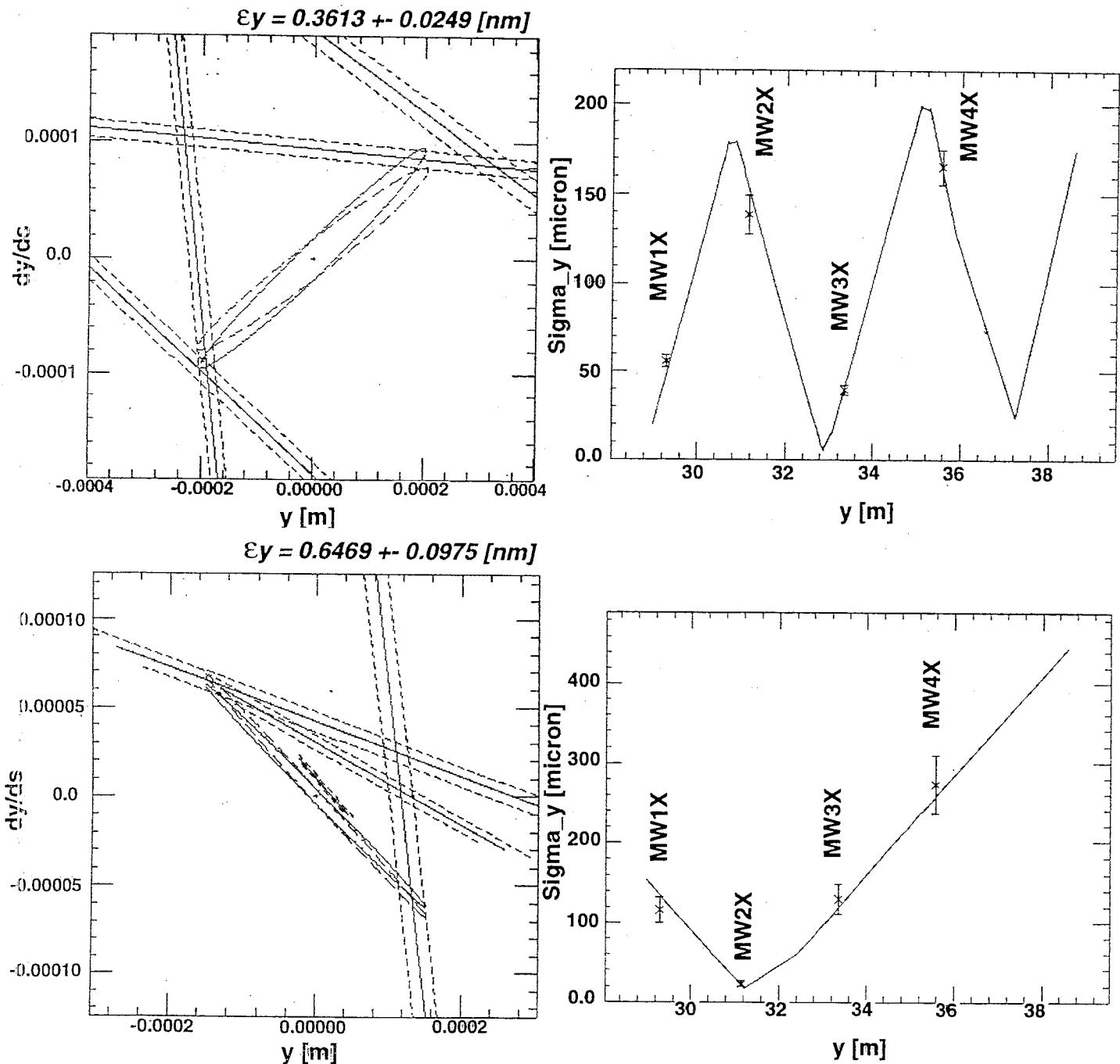
$$\rightarrow \quad 2 \text{ parameters} \quad \chi^2_{\min}(\alpha_0, \beta_0)$$

Use matching :

$$\text{FitFunction} \rightarrow \left(\sigma_i - \sqrt{\beta_i(\alpha_0, \beta_0) \varepsilon(\alpha_0, \beta_0)} \right)^2 / \Delta_i^2$$

Free α_0, β_0 ; GO;

2. Measure beam size at 4 positions



Summary of ATF beam measurement.

	Method	measured	model
COD in the arc section (peak-to-peak)	BPMs	x : <2.0 mm y : <1.0 mm	
Θ in the arc section	RF freq. ramp	< 5 mm	
Tune	kicker and FFT of oscillation	x : 15.17 y : 8.72 z : 0.00485	x : 15.145 y : 8.715 z : 0.00480
Momentum compaction	fs vs. V_c	2.22×10^{-3}	2.173×10^{-3}
Energy spread	Beam size at ext. line screen	$6.0 \pm 0.3 \times 10^{-4}$	5.56×10^{-4}
ϵ_x measured in the ring extraction line ($\times 10^{-9}$ radm)	SR interferometer Wire scanners	$0.9^{+1.8}_{-0.9}$ 1.3 ± 0.2	$1.08^{(1)} \sim 1.47^{(2)}$
ϵ_y measured in the ring ($\times 10^{-11}$ radm)	SR interferometer	$3.6^{+5.0}_{-3.6}$	$\epsilon_x \times 10^{-2}^{(3)}$
Damping time	SR profile monitor SR profile monitor SR streak camera	x : 19.5 ms y : 29.9 ms z : 20.6 ms	x : 17.0 ms y : 27.3 ms z : 19.5 ms

⁽¹⁾ Calculation without intra-beam scattering.⁽²⁾ With intra-beam scattering, $N = 8 \times 10^9$ and $\epsilon_y = \epsilon_x \times 10^{-2}$.⁽³⁾ Design value.

Detection and Correction of Machine Errors by pi-bump
(π -bumpによるマシンエラーの検出と補正)

S. Matsumoto

7/8 98

π-bump による マシンエラー の検出と補正

KEK

木谷本 義二

- はじめに
- 測定
 - ① Q magnets in TRISTAN-MR (focusing error)
 - ② S magnets " (misalignment)
 - ③ Q magnets in ATF-DR (focusing error)

π -bump とは …

- 2コの steering 磁石 (ST1, ST2) で作られる local bump. ST1 ~ ST2 間の betatron 位相が π .

$$x_{\text{bump}}(s) = \begin{cases} Z \beta^{1/2}(s) \sin \psi(s) & \text{bump region} \\ 0 & \text{outside} \end{cases}$$

ただし

$$Z_i = \sqrt{\beta(s_i)} k_i \quad (i=1, 2)$$

$Z_1 = Z_2$ が "bump が" 閉じる条件。 $k_{1,2}$ は ST1, ST2 の kick angle.

bump の高さは Z を加えること (ST1, ST2 の 1つ) 角度を加えること でできる。

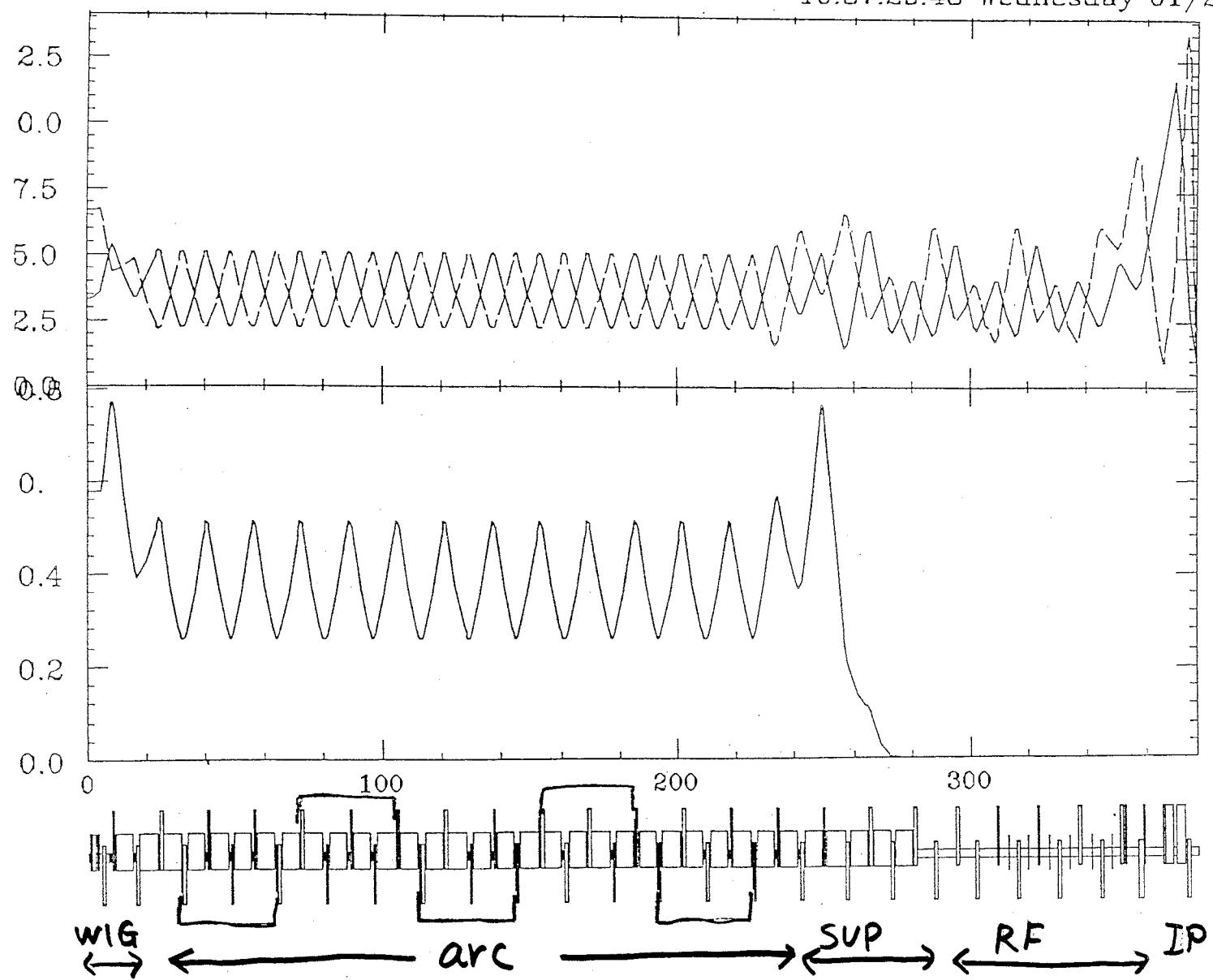
- bump region (= focusing error ($s=t$ における局所的)) があると bump のあとに

$x(\delta g, t | s)$

$$= \delta g \frac{Z \beta^{1/2}(s)}{2 \sin \pi v} \left\{ w_c(t) \cos(\psi - \pi v) + w_s(t) \sin(\psi - \pi v) \right\} + O(\delta g^2)$$

なる orbit がみだわれる。これを "leakage orbit" と呼ぶ。この轨道の振幅は w_c, w_s の関数で特徴づけられる。

10:37:29.48 Wednesday 01/20/



FUJI 衡突点、右は人字 octant

MR 高輝度放射光 optics. 90°/90° lattice (arc)

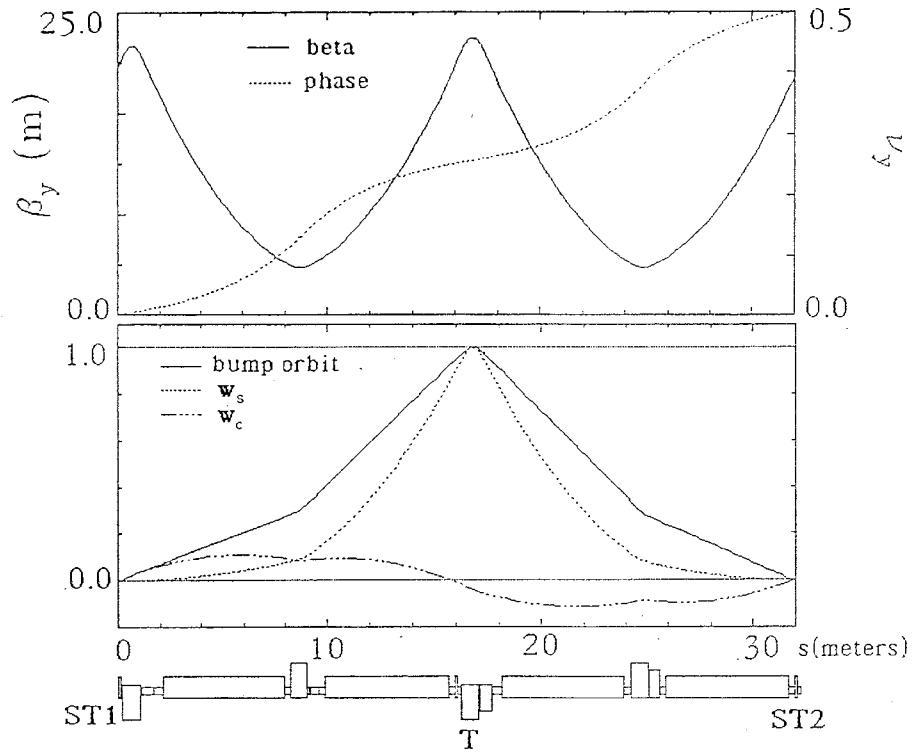


Figure 1: The vertical π -bump orbit in the arc of the TRISTAN MR. The lattice configuration (FODO) is given at the bottom. The phase advance of the unit cell is designed to be $\pi/2$. (Upper figure) The solid line is $\beta^{1/2}$ and the dashed line is the phase advance $\psi_{s_1}(s)/2\pi$. (Lower figure) The solid line is the geometrical shape of the bump orbit and the dashed and dash-dot lines are the weight functions. They are normalized by their maximum values. (The maximum of w_c is smaller than that of w_s . Thus w_c is normalized by the latter.) The defocusing quadrupole magnet T is the target. The design phase advance from ST1 to ST2 is exactly π .

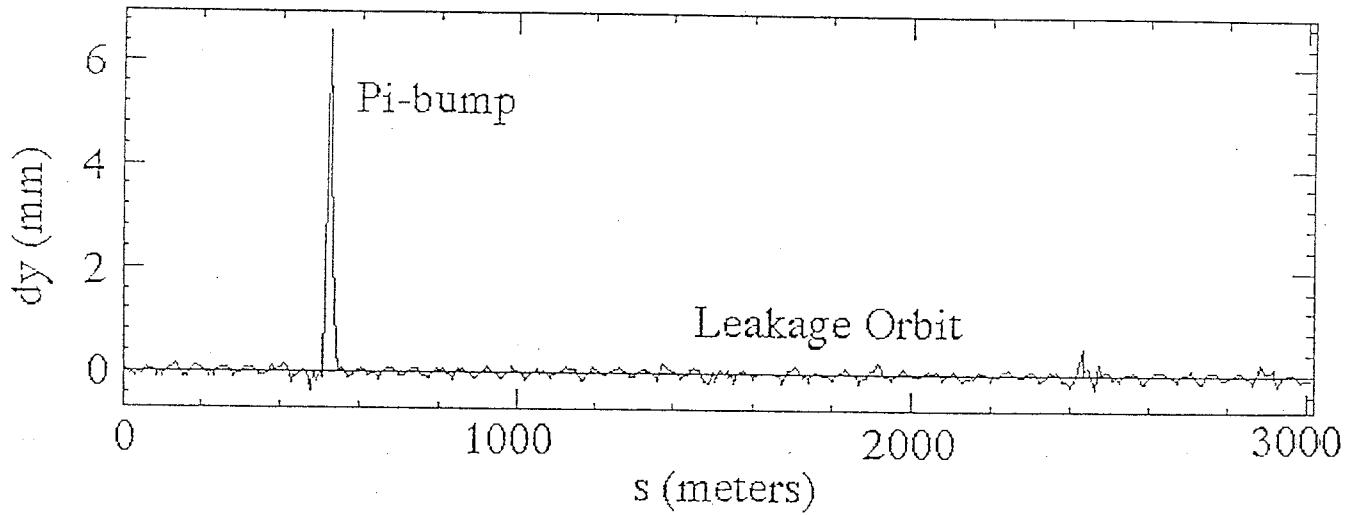


figure 3: An example of the observed leakage orbit, obtained by subtracting *rbit A* from *Orbit B*. In this example, we set a positive(upward) vertical bump. The bump height at the target is about 6 mm. The leakage orbit clearly seen.

Leakage orbit の解析

- Target Q のみ考慮。
- Target Q に "仮想ステアリング" と呼ばれる SAD 軌道補正レンズを使い、そのステアリングで Leakage orbit を "補正" する。得られた kick 角が Target 位置での miskick。

— 誤差評価 —

- 同時に 2 回軌道を測定し、その差軌道を仮想ステアリングで補正。

結果 55 samples, $\text{std} = 0.2 \mu\text{rad}$

測定中全Sext. off

⇒ Stored current $\sim 100 \mu\text{A}$ 程度。

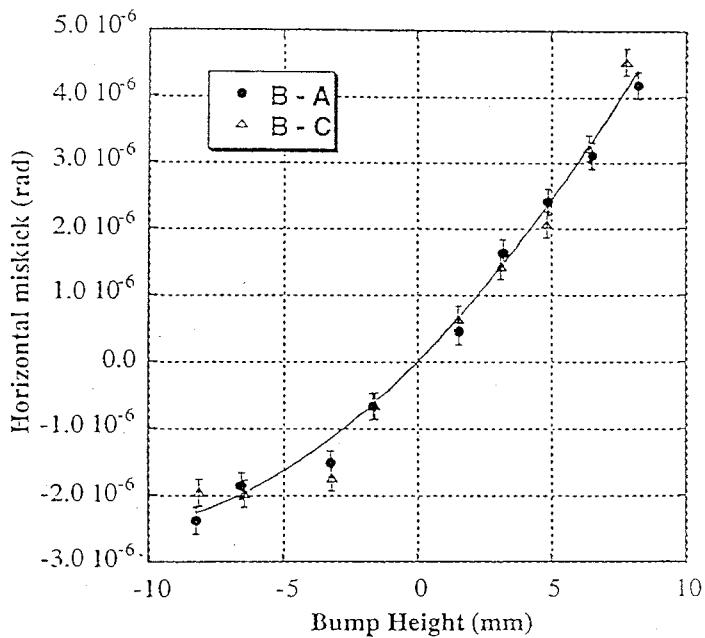


Figure 5: The plots of the miskick by a QF in the arc against the horizontal bump height. The data of *Orbit B-Orbit A* and *Orbit B-Orbit C* are shown. Some bad data were rejected. The error bars indicates the statistical error due to the noise in our orbit measurement system, discussed in the previous section. Due to the remnant field of SF next to the target, the miskick is not proportional to the bump height.

$$K_{2,SF}^{(rem)} = (3.2 \pm 0.3) \times 10^{-2}$$

③ 磁場測定データでは $K_{2,SF}^{(rem)} = 2.9 \times 10^{-2}$.

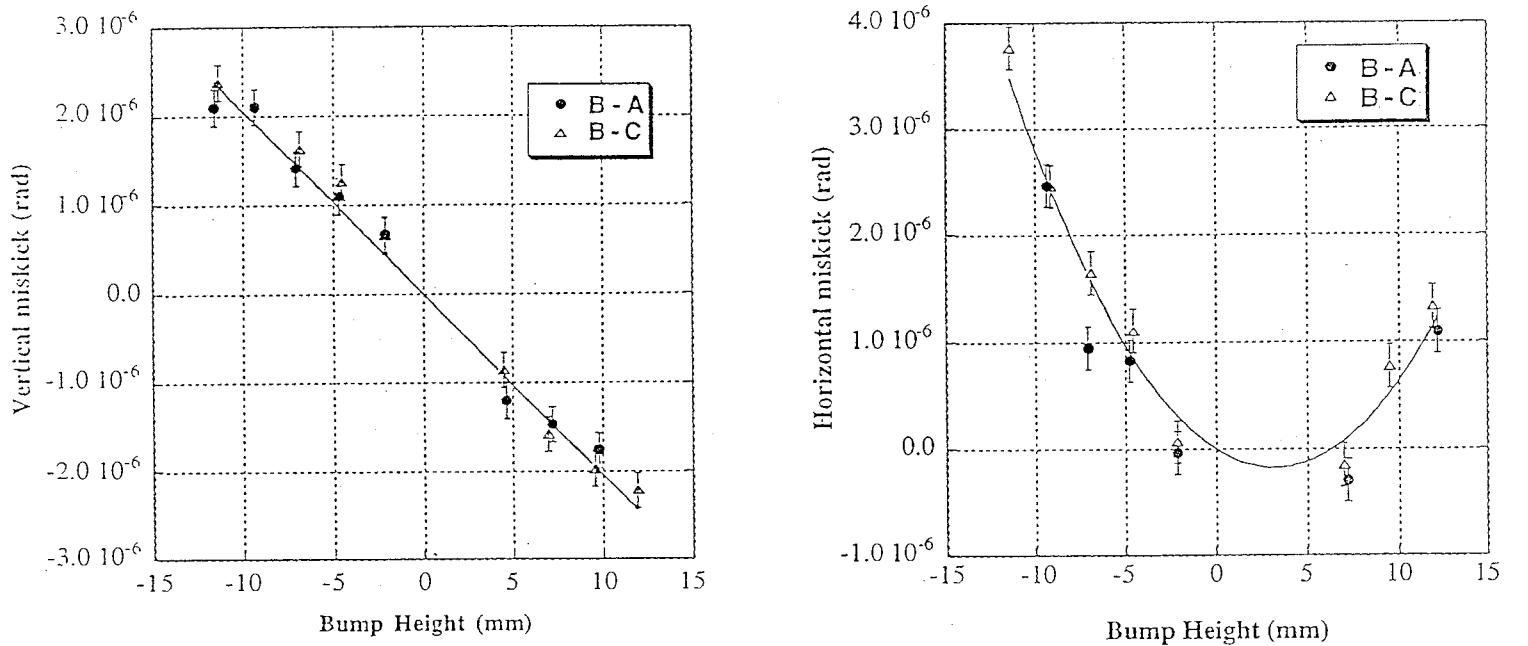


Figure 6: The miskick of a QD in the arc against the bump height. (Left) the vertical miskick. (Right) Horizontal kick. A possible source of the horizontal miskick is the sextupole magnet next to the target. The shift of the minimum of parabola from the origin indicates its misalignment.

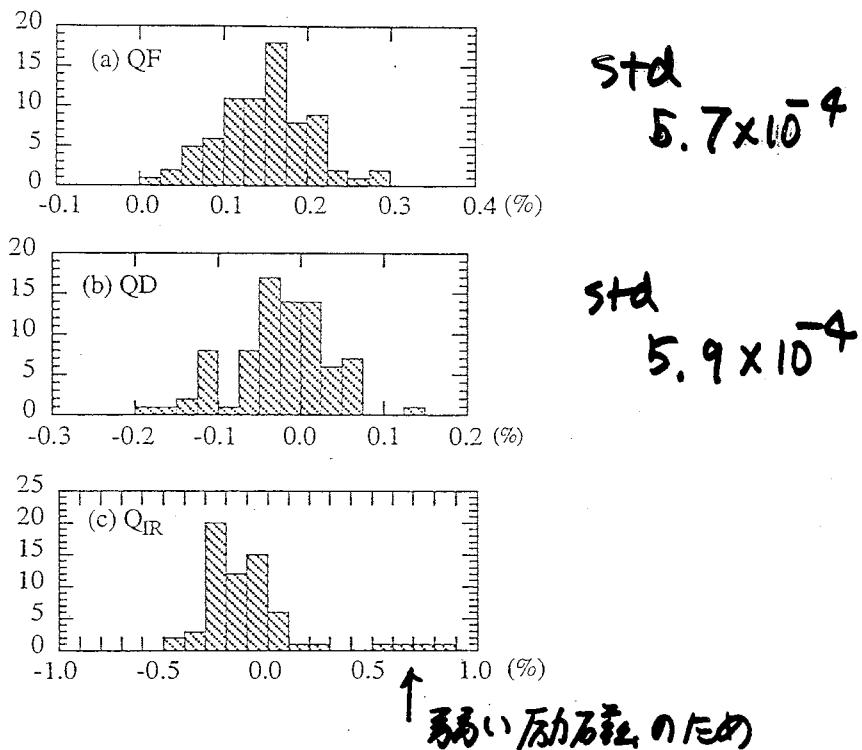


Figure 7: Relative strength deviation of the quadrupole magnets in MR.
 a) QF magnets b) QD magnets and c) quadrupole magnets in the straight sections.

MR-Qまとめ

相対収束誤差 0.1% レベルで測定可能。誤差 0.01% 以下。
 六極残留磁場の影響もきちんと見える。

測定

六極磁石ミスマッチメント
horizontal bump に対して
miskick (horizontal)

$$= \frac{k_2}{2} (x_b - x_c)^2 - \frac{k_2}{2} (x_r - x_c)^2$$

k_2 六極強さ

x_b 六極位置でのパンフ^o高さ

x_c 六極磁場中心位置

x_r 規準軌道.

同様に

miskick (vertical)

$$k_2 (x_b - x_r)(y_r - y_c)$$

$$\begin{cases} \Delta P_x = ax_b^2 + bx_b + c \\ \Delta P_y = dx_b + e \end{cases}$$

$$x_c = -\frac{b}{2a}$$

$$y_c = y_r - \frac{d}{a} \quad \text{となる。}$$

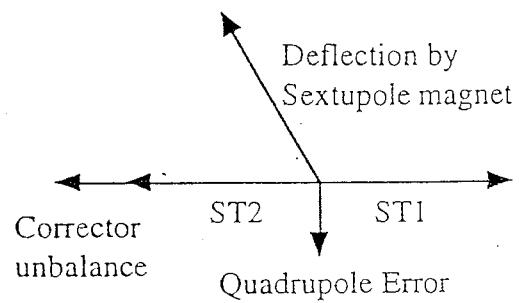


Figure 1: Deflection by a sextupole magnet can be separated from the strength unbalance of the corrector magnets using phase information of the betatron oscillation in a leakage orbit

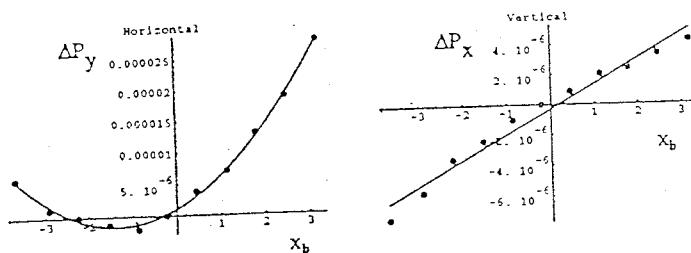


Figure 2: Deflection angle(radian) at the sextupole magnet as a function of the bump orbit at the sextupole magnet(mm). Results of fitting by quadratic and linear functions are also shown as solid curves.

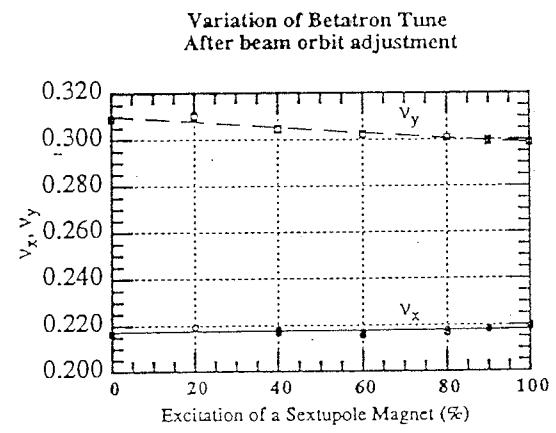
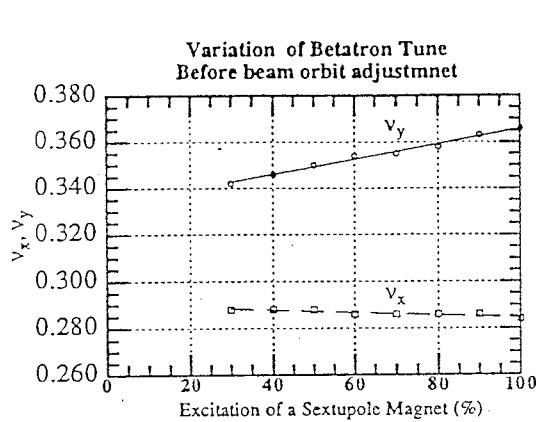


Fig 3: Betatron tune-variation as a function of excitation of sextupole magnets. The left figure shows the result before a beam orbit adjustment. The right figure shows the tune variation after a beam orbit adjustment.

Name	Before (mm)		Moved (mm)		After (mm)	
	H	V	H	V	H	V
SD2	-2.18	1.24	2.18	-1.24	0.14	0.38
SD5	-0.39	1.87	0	-1.87	-0.51	-0.81
SF7	-0.26	-0.72	+0.26	+0.72	-0.11	-0.62

Table 1: Magnetic center of the sextupole magnets before and after a mechanical re-alignment of the magnets.

山本さん

100 μm BPM read error \rightarrow 50 μm error in x_c, y_c

ATF DR の π -bump に ΔK in Q が 検出.

"Beam Line" と L2 の ring.

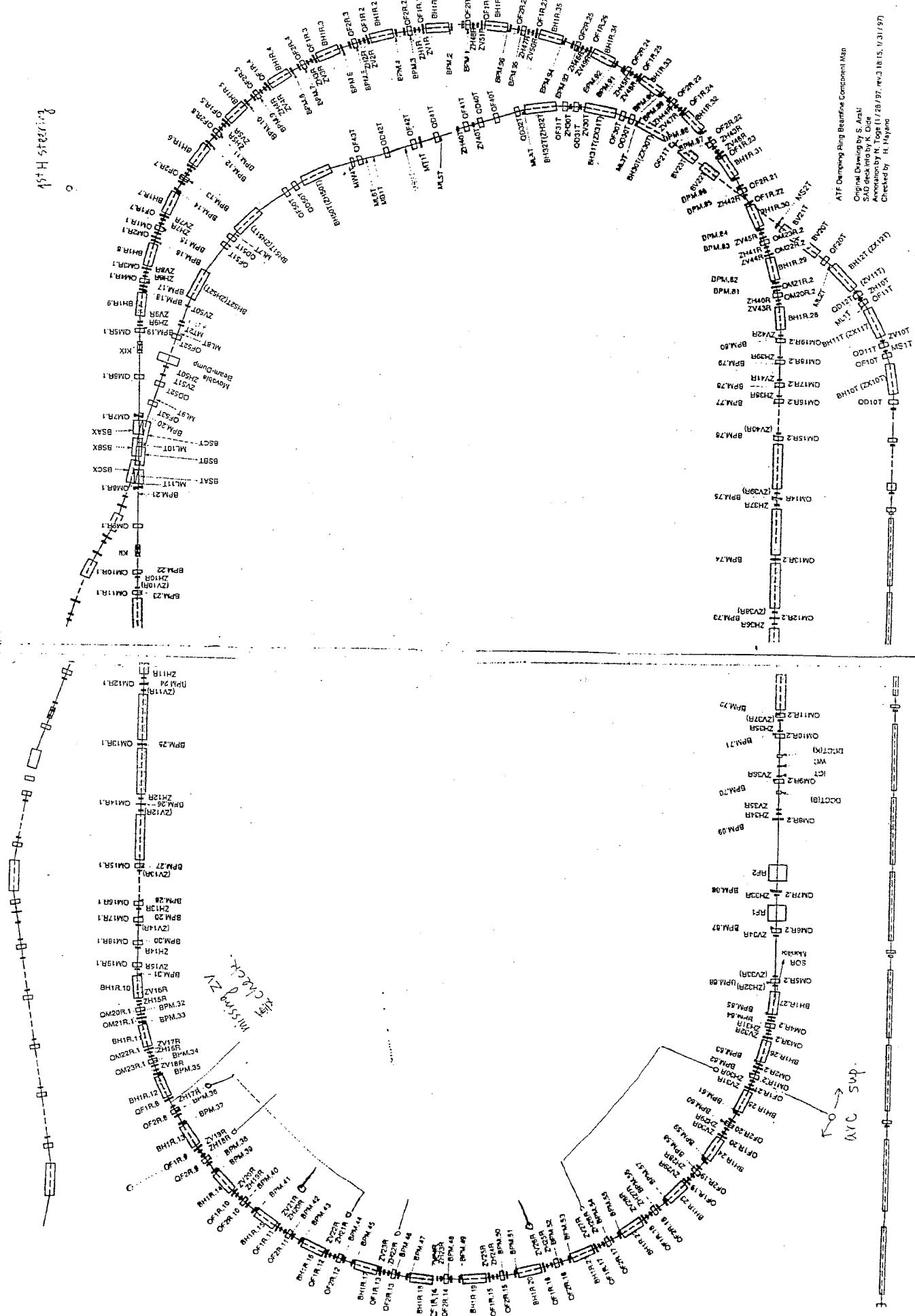
それ軌道

$$x(s) = K \sqrt{\beta(s)} \quad \delta g \cdot \beta(t) \cdot \sin \psi(t) \quad \sin(\psi(s) - \psi(t))$$

$$\equiv \sqrt{\beta(s)} (a \sin \psi(s) + b \cos \psi(s))$$

$$\begin{cases} a = K \delta g W_a(t) + \delta K \\ b = -K \delta g W_b(t) \end{cases}$$

W の大きな場所にある δg が " $x(s)$ への寄与が大きい"。



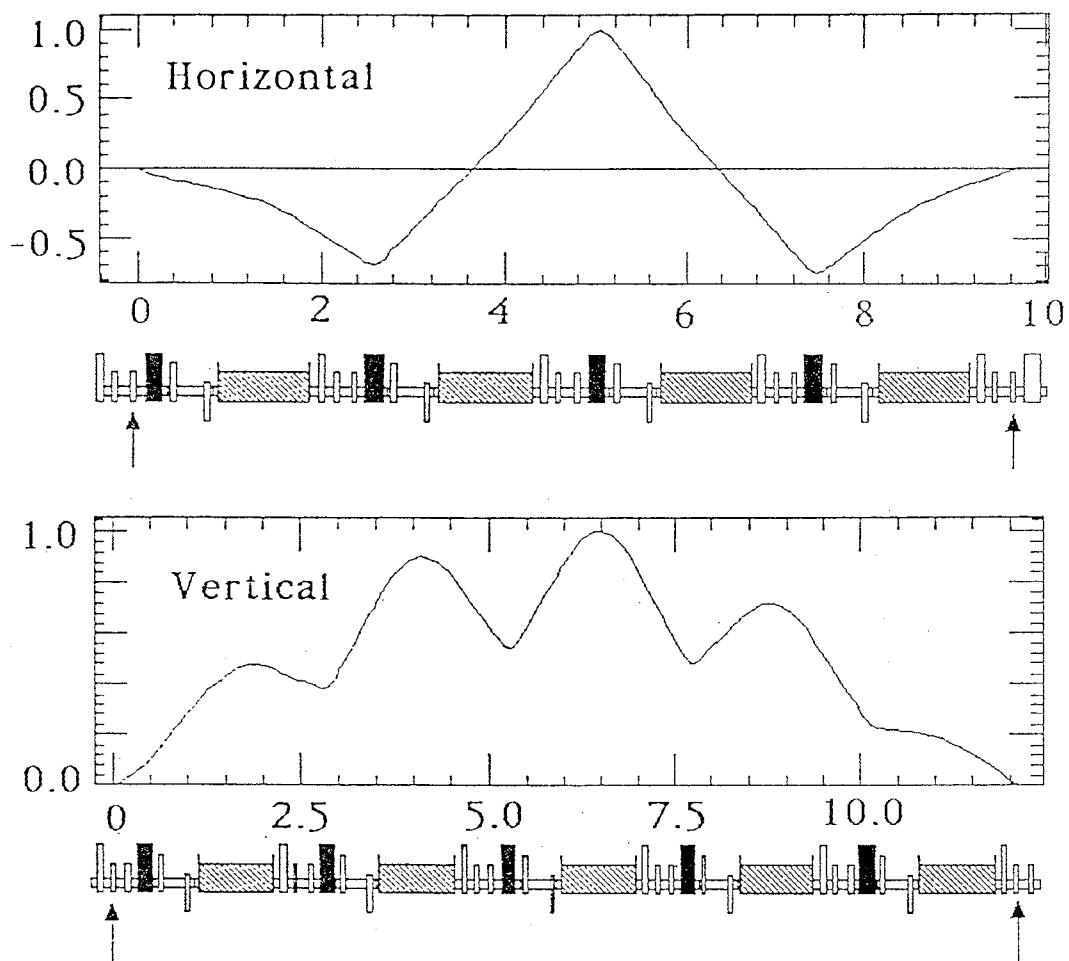
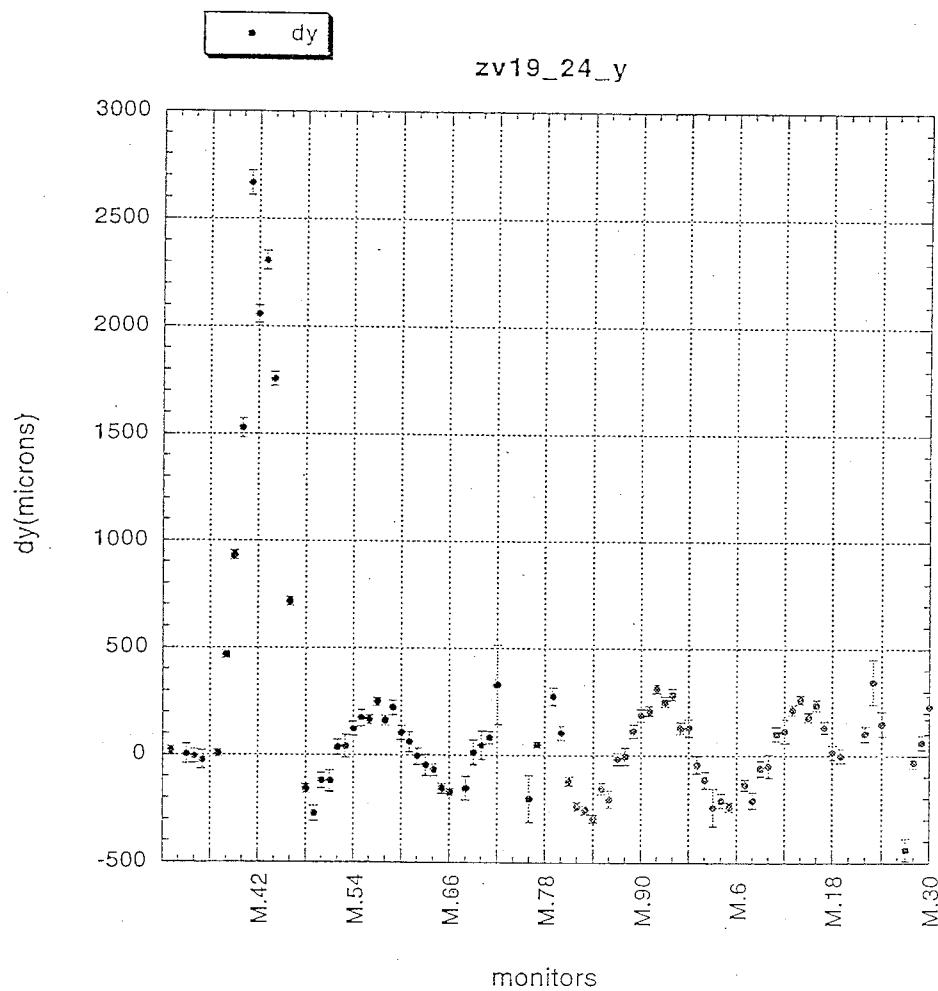


Fig. 1 Geometrical shape of a horizontal (upper figure) and a vertical (lower) bump orbit in the arc. The orbits are normalized by their maximum values. The abscissas are s (meters). The lattice configurations are shown in the bottom of each picture. The correctors to excite the bump are pointed by arrows. The magnets of QF2R (quadrupole, horizontally focusing) in the bump region are painted out and those of BH1R (combined bend, horizontally defocusing) are shaded in the figure.

zv19_24

24/2A

20 pulses



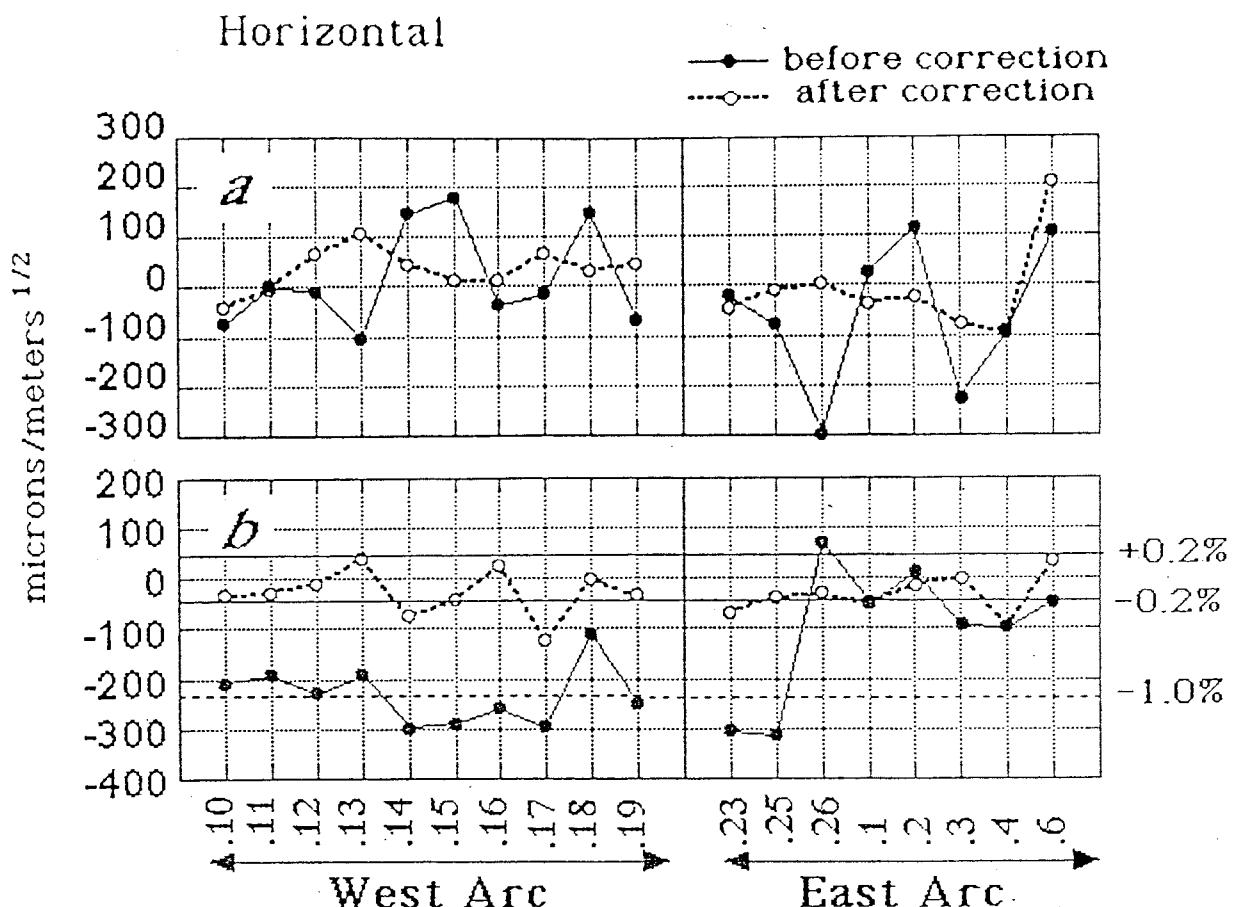


Fig. 6 The coefficients a and b of the fit for the horizontal leakage orbits of the first (before correction) and the second (after correction) measurement. The bumps are named by the target magnets. The strength of the targets was changed by the data fitted b of the first measurement. If the target deviates 0.2%, it produces b component leakage orbit of 50 microns/meter^{1/2}. This and the level of 1% target error are shown as the horizontal line in the bottom figure.

Mini-beta/xy coupling compensation
(Mini- β , x-y カップリング)

S. Kamada

Mini- β , x-yカップリング

S.Kamada

SAD Workshop

7~9 July 1998

mini- β オプティクスにおける問題の発生

従来のソレノイド磁場補正方法とダイナミックアーチャ

SADにおけるx-yカップリングの計算方法

Perfect Matchingとダイナミックアーチャの回復

Problems Encountered

- * Rotational misalignment of QCS
 - Too large emittance coupling for colliding beams ($>>2\%$)
 - Tsukuba left 18mrad, others several mrad

- * Coil breakdown of a final focus conventional quad QC1
 - Large drift of COD
 - Tune change

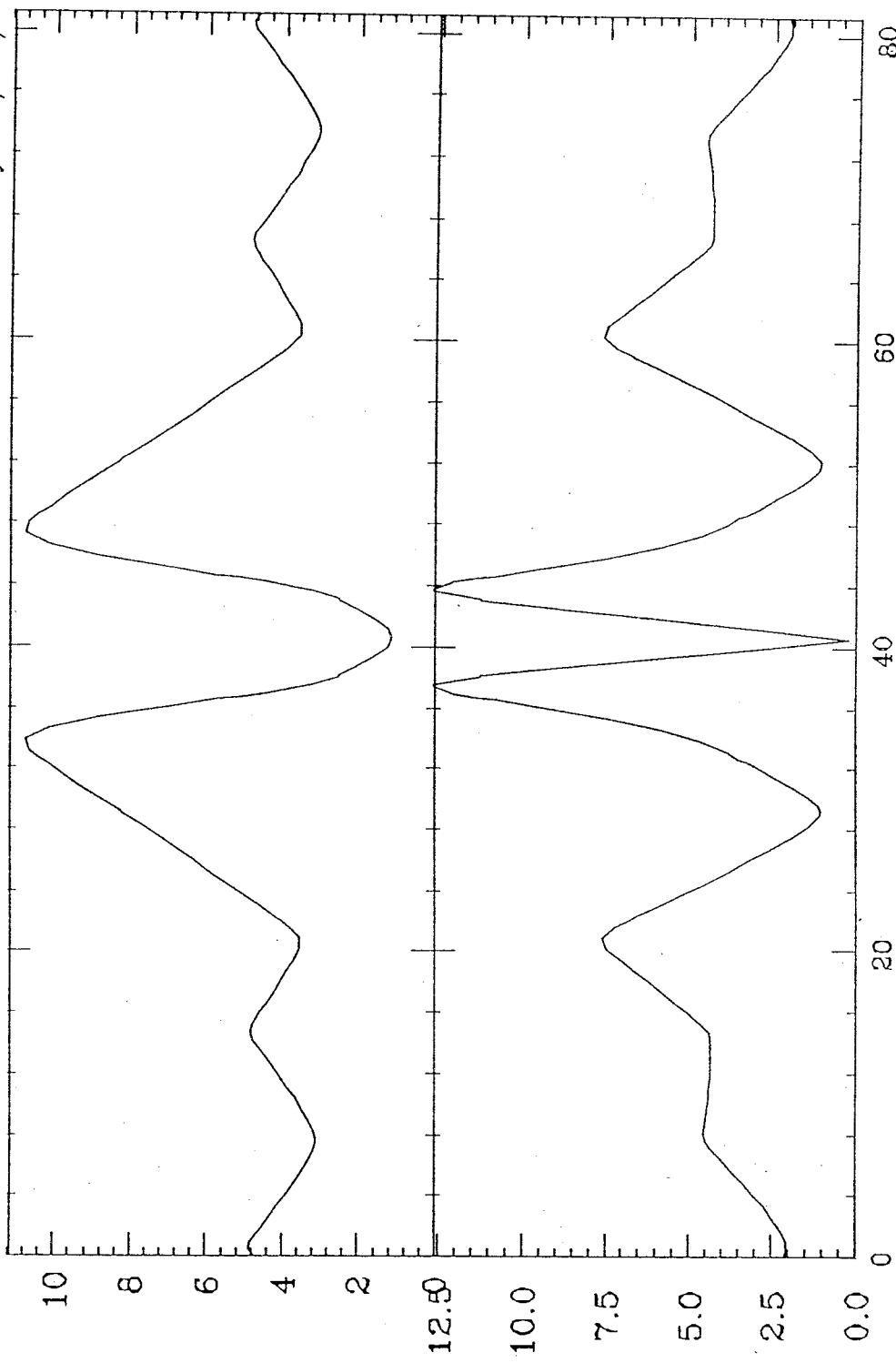
- * Difficulties in injection beam tuning with solenoids & skews
 - High sensitivity to machine parameters
 - # narrow range of optimum V_c , closed orbit and tune
 - # e^+ and e^- beams have different optimum values
 - # low and high intensity bunches have different optimum values

- ⊖ Degradation of storable bunch current (4.5mA ---> 2.5mA)

- ⊖ Poor efficiency of beam transfer from AR (50 ~ 70% ---> 30 ~ 45 %)

by
smaller
Dynamic
Aperture

14:50:34.59 Friday 05/31/91



$$B_x \text{ (V/m)} \quad B_y \text{ (V/m)}$$

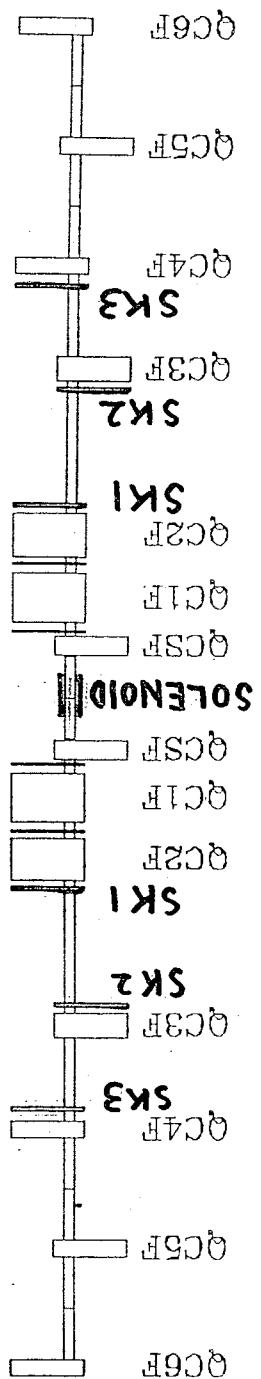


Table 3: Strengths of skew quad's for the solenoid compensation. Unit in $B'l/B\rho(m^{-1})$

		Low- β Optics			Conventional Matching			Mini- β Optics		
		SK1	SK2	SK3	SK1	SK2	SK3	SK1	SK2	SK3
Fuji	0.009	-0.009	0.011	-0.007	-0.011	0.021	-0.006	-0.010	0.019	
Tsukuba	0.011	-0.011	0.014	-0.009	-0.013	0.026	-0.005	-0.014	0.024	
Oho	0.016	-0.016	0.020	-0.013	-0.018	0.038	-0.002	-0.021	0.032	

SAD Parametrization of Coupled Motion

Coupling Parameters

$$R \equiv \begin{pmatrix} R_{11}, R_{12} \\ R_{31}, R_{41} \end{pmatrix}$$

Twiss Parameters

$$A \equiv \begin{pmatrix} \cos \psi_u + \alpha_u \sin \psi_u, \beta_u \sin \psi_u \\ -\gamma_u \sin \psi_u, \cos \psi_u + \alpha_u \sin \psi_u \end{pmatrix}$$

$$B \equiv \begin{pmatrix} \cos \psi_v + \alpha_v \sin \psi_v, \beta_v \sin \psi_v \\ -\gamma_v \sin \psi_v, \cos \psi_v + \alpha_v \sin \psi_v \end{pmatrix}$$

Revolution Matrix in Real Space

$$T(z) \equiv T(z + C, z)$$

Diagonalization of Revolution Matrix

$$T(z) = \begin{pmatrix} \mu I, -SR^T S \\ -R, \mu I \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A, 0 \\ 0, B \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mu I, SR^T S \\ R, \mu I \end{pmatrix} = Q^{-1} U Q$$

$$|Q| = 1 \rightarrow \mu^2 + |R|^2 = 1$$

Unit Symplectic Matrix

$$S \equiv \begin{pmatrix} 0, & 1 \\ -1, & 0 \end{pmatrix}$$

Transformation from Real Space to Normal Mode

$$V(z) \equiv \begin{pmatrix} u(z) \\ p_u(z) \\ v(z) \\ p_v(z) \end{pmatrix} = Q X(z)$$

- Introduction of "Perfect Optics Matching"

Matching of x-y coupled optics by SAD

Optics fitting from symmetry point
to collision point(I.P)

◊Fitting condition:

$\beta_x^*, \beta_y^*, \psi_x, \psi_y \Rightarrow$ predetermined
values

$$\alpha_x^* = \alpha_y^* = 0$$

$$R_1^* = R_4^* = R_2^* = 0$$

◊Variables

SK1, SK2, SK3
QCS, QC1, QC3, QC4, QC5, QC6

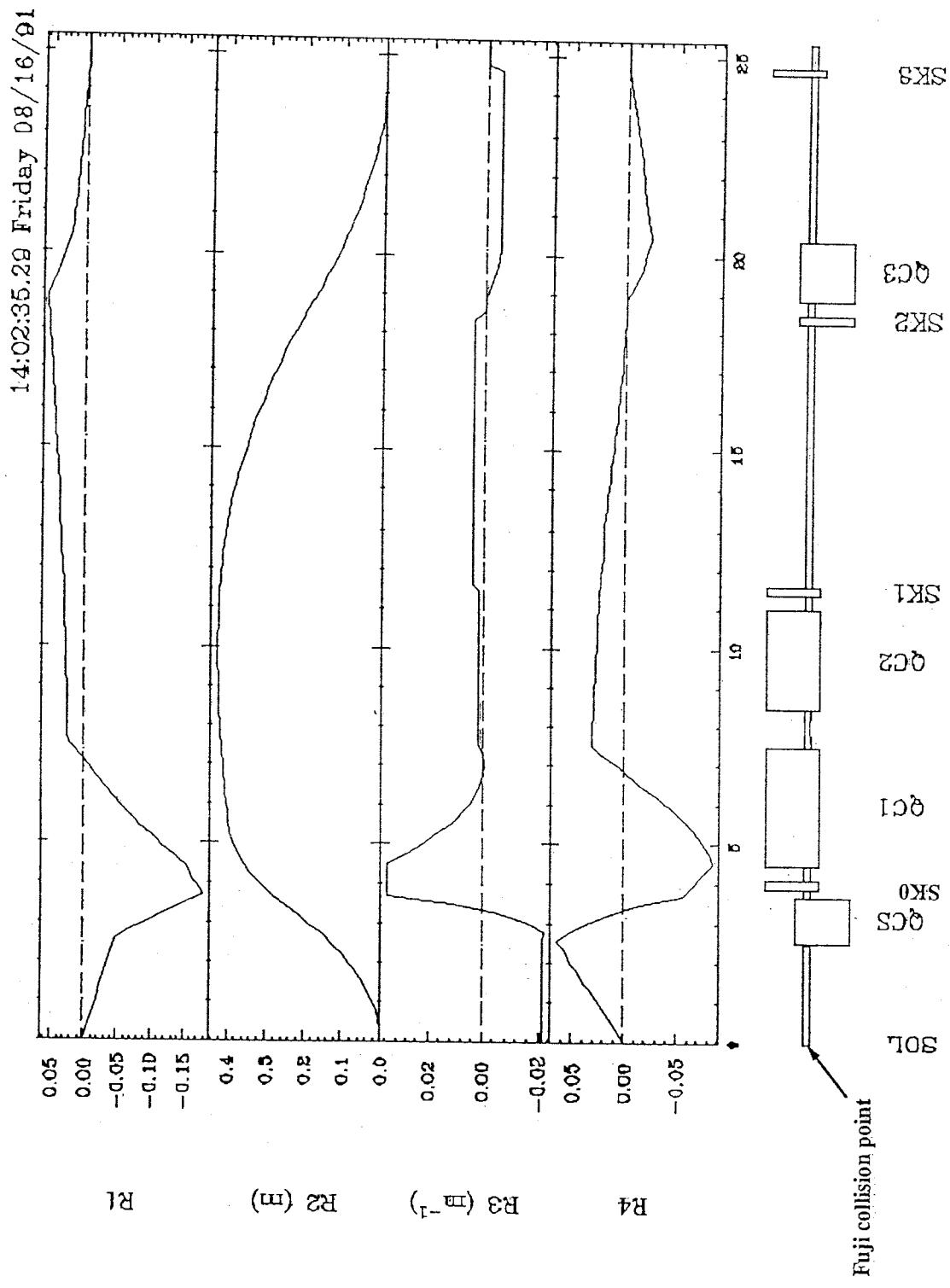
\Rightarrow Large DA by SAD tracking

- Experiment of "Perfect Optics matching"

Injection efficiency \Rightarrow almost doubled

\Rightarrow indicates large DA.

Coupling Compensation at VENUS by the Perfect Matching



Calculation of dynamic aperture by SAD

◊Method

Initial condition

Azimuthal : 0, 2, 4, 6 σ_z ($\sigma_z = 1.3 \times 10^{-3}$)

Transverse : 0 - 20 $\sigma_{x,y}$

Total 200 particles

Dynamic aperture point = The number of survived particles

◊Results

DA point (Full marks 200)

Low-beta

solenoids on	115
off	182

Mini-beta

solenoids on	89	\rightarrow	117
off	176		New skew Q

Mini-beta (Perfect matching)

solenoids on	126	\rightarrow	163
			New skew Q

Commisioning of KEKB J-Linac

H. Koiso

SAD を用いた KEKB J-Linac のコミッショニング

N. Akasaka, A. Enomoto, J. Flanagan, H. Fukuma, Y. Funakoshi,
K. Furukawa, T. Kamitani, H. Koiso, T. Ieiri, N. Iida, T. Nakamura,
Y. Ogawa, S. Ohsawa, K. Oide, K. Satoh, M. Suetake, and T. Suwada

Jul. 8. 1998
9

オプティクス計算・シミュレーション

J-ARC 設計(isochronous, achromat)

TRANSPORTとのクロスチェック

SAD - TRANSPORT 相互変換プログラム

エミッタンス増大に関するトラッキング

バンチャーナ・シミュレータ ("Space Charge" by K. Oide)

Linac/BT 軌道表示

strip line BPM ~80(linac) 4(BT)

3D 軌道履歴表示

BT ロスモニタ表示

クライストロン・ステイタス表示及びリセット

各種相関図プロット

エミッタンス、Twiss パラメタ測定及びマッチング
quadrupole scan による測定@A1, Bend, ARCent, SYIII

J-ARC $R_{16/166}$, $R_{36/366}$, $R_{56/566}$ 測定及び補正

klyB5,B6 の位相によりエネルギーを変えて軌道測定、ストリーカー
カメラによる delay 測定。

$$x = R_{166} * (dE/E)^2 + R_{16} * dE/E + c$$

R_{16} etc. 測定値を再現する quadrupole の K_1 求め、設計値 $K_{1\text{design}}$
との比率 $K_{1\text{design}}/K_1$ を補正する。(3~5%の補正になる。)

ローカルバンプによる軌道調整

加速管を MULT で表わし、 W_1 (transverse dipole wake)を取り入れ
る必要がある。

W_1 は HV 両方向に defocusing の効果をもつ。

W_1 の値はバンプが閉じるように調整する。

downhill simplex 法による陽電子電荷量の最大化

陽電子ターゲット部における電子ビームのウエスト・スキャン

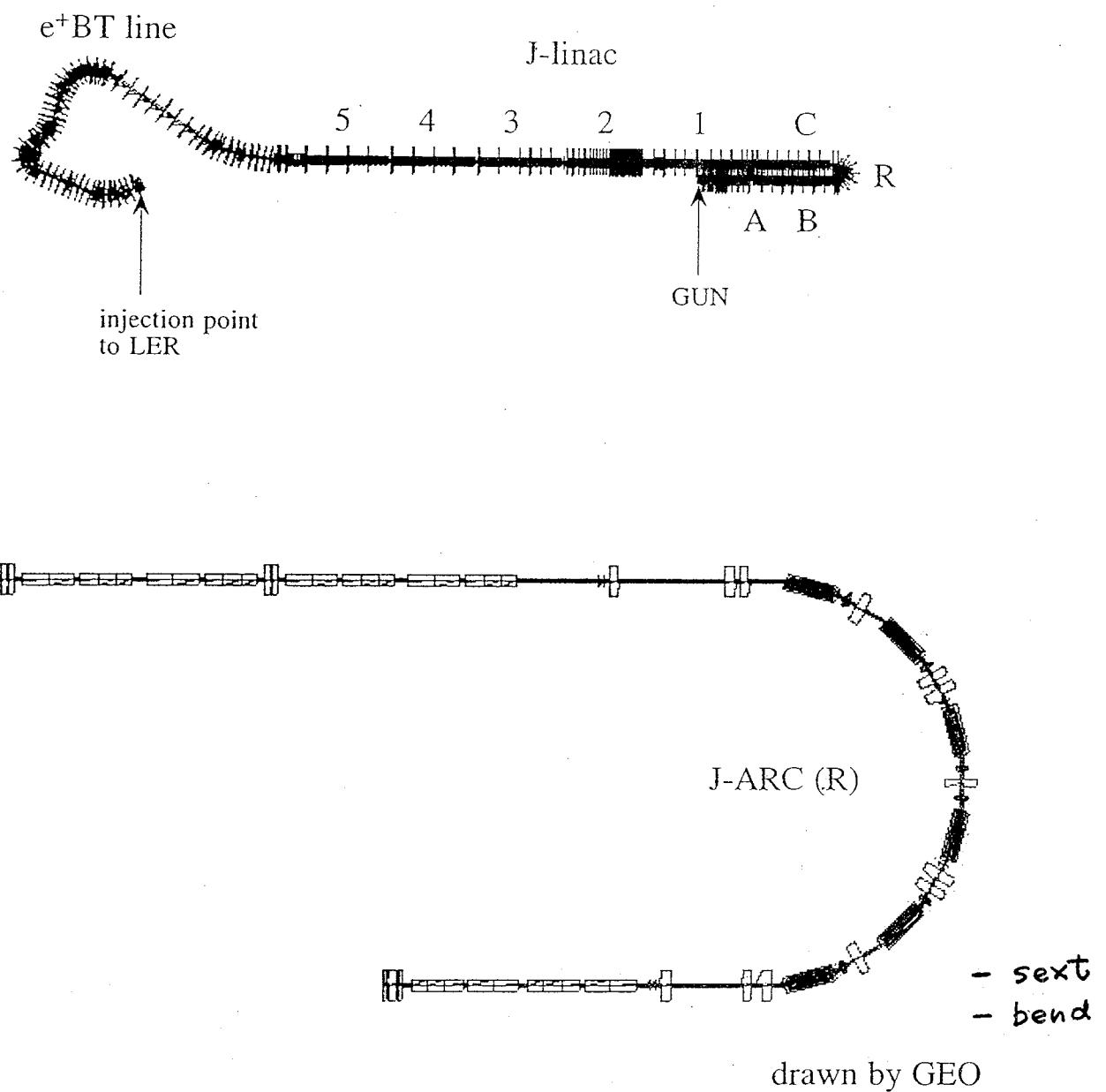
BPM オフセットの測定 (quad-BPM)

3-BPM/4-BPM 相関法による位置測定精度の評価

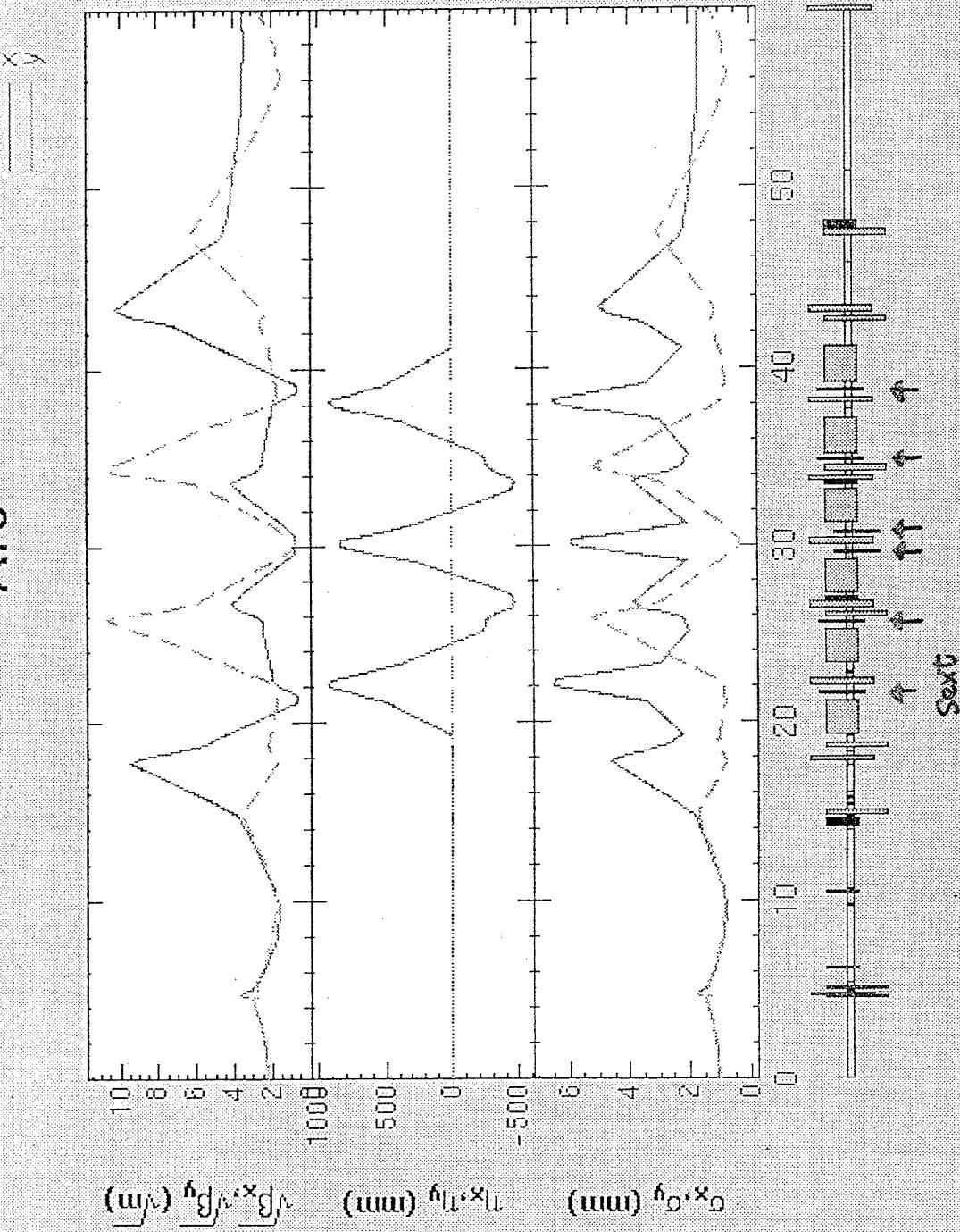
$$x_3 = a x_1 + b x_2 + c$$

BPM beam-based calibration、steer-BPM 等
オフライン解析用データ収集

wire scanner データのフィット



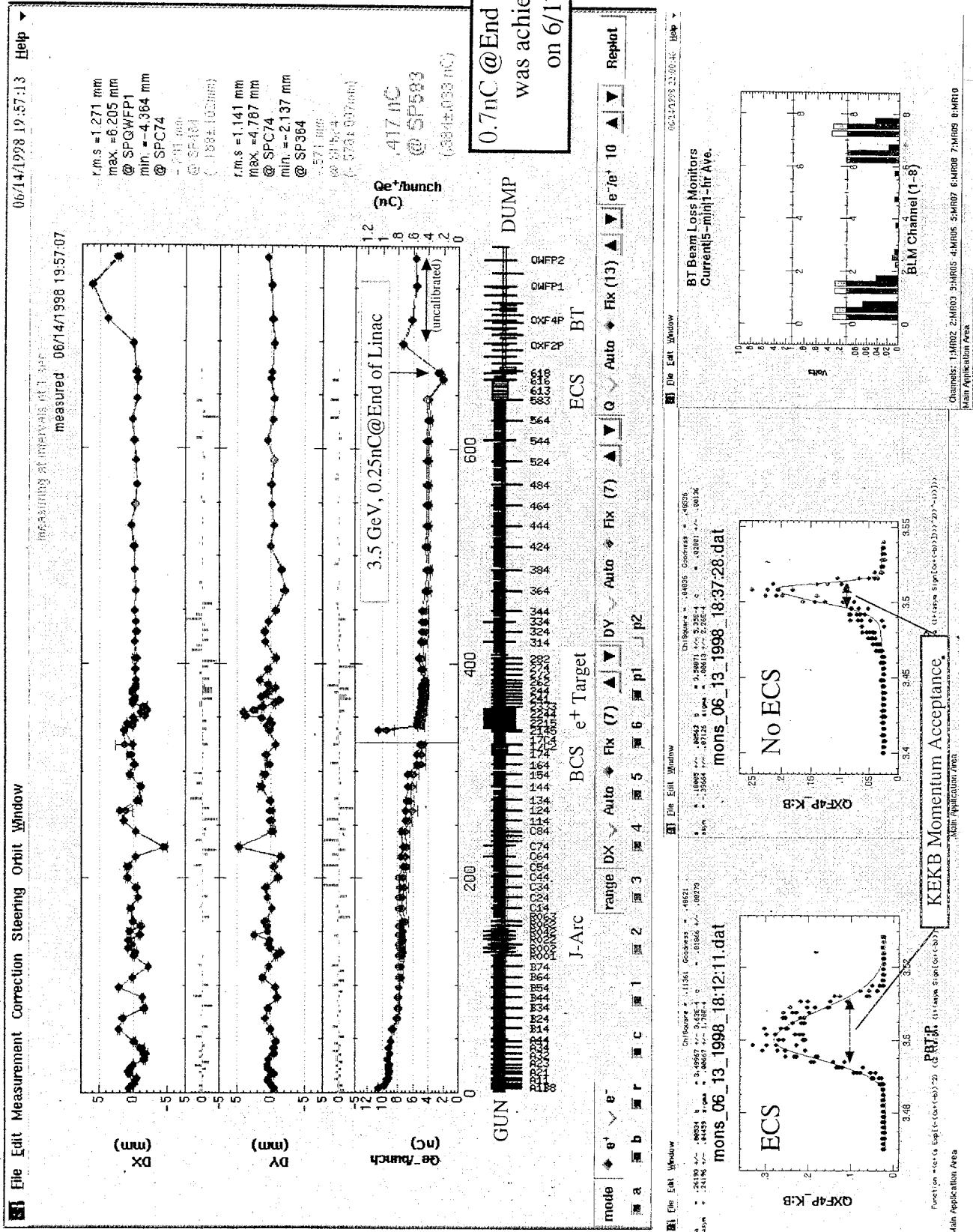
Arc



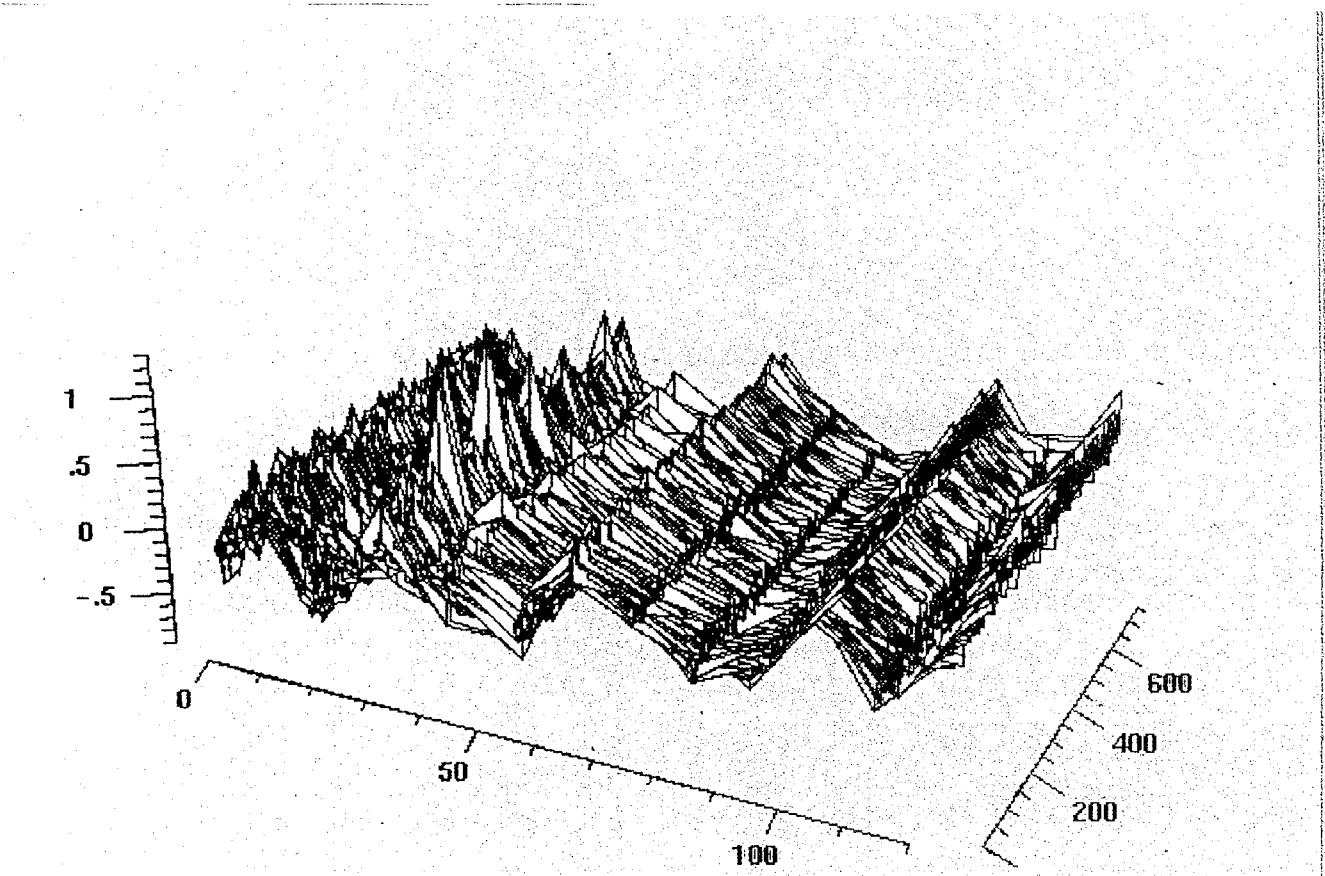
isochronous • off - momentum optics はつうせき
achromat Fit Function を用いて Tilt が 3

- measure $I = \delta, \gamma, E \equiv \gamma^2 - 1 \approx 2$ 増大するといふことを

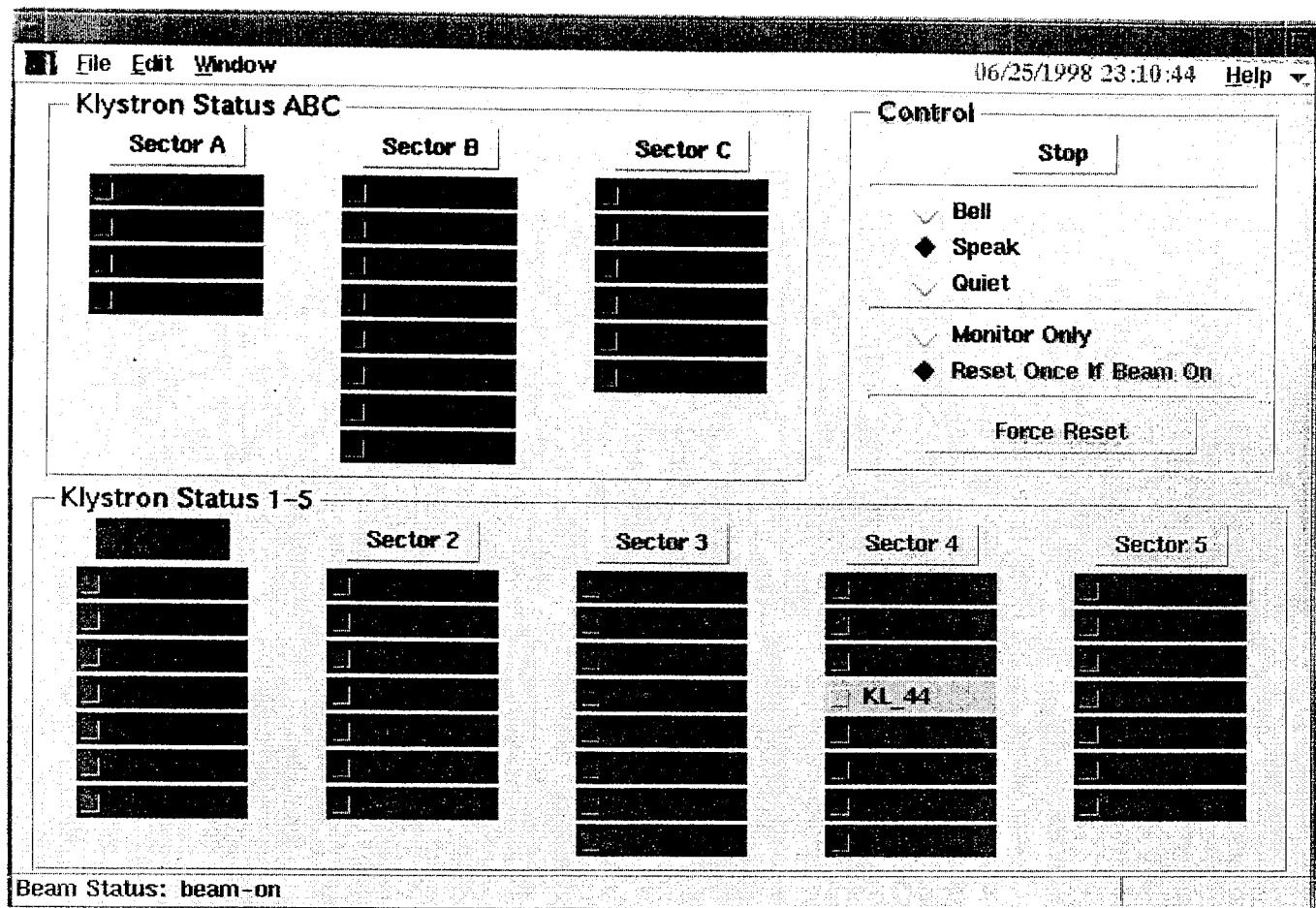
Commissioning of positron beam in KEKB Linac/BT



List Birds Eye Plot



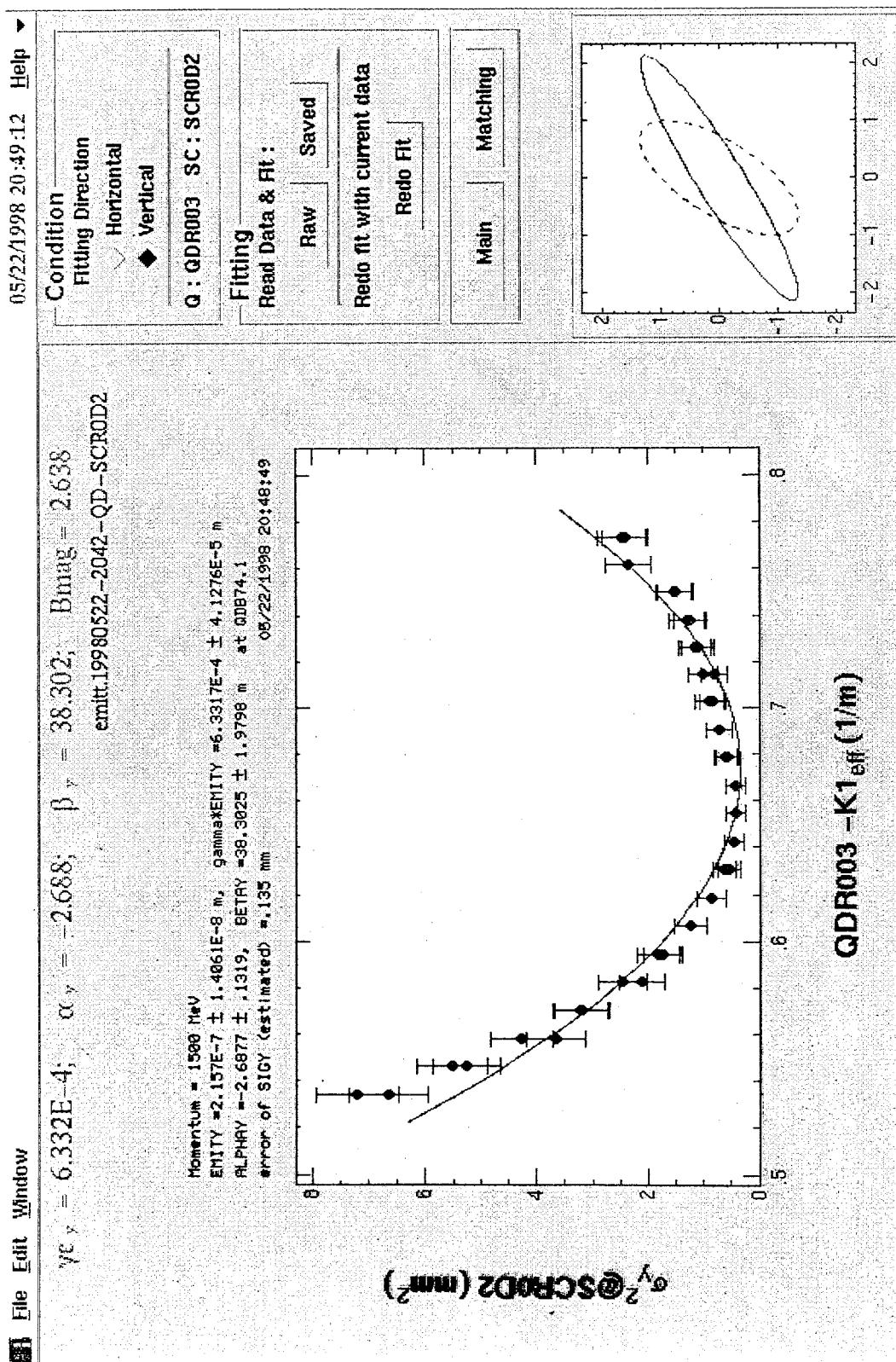
(by K. Oide)



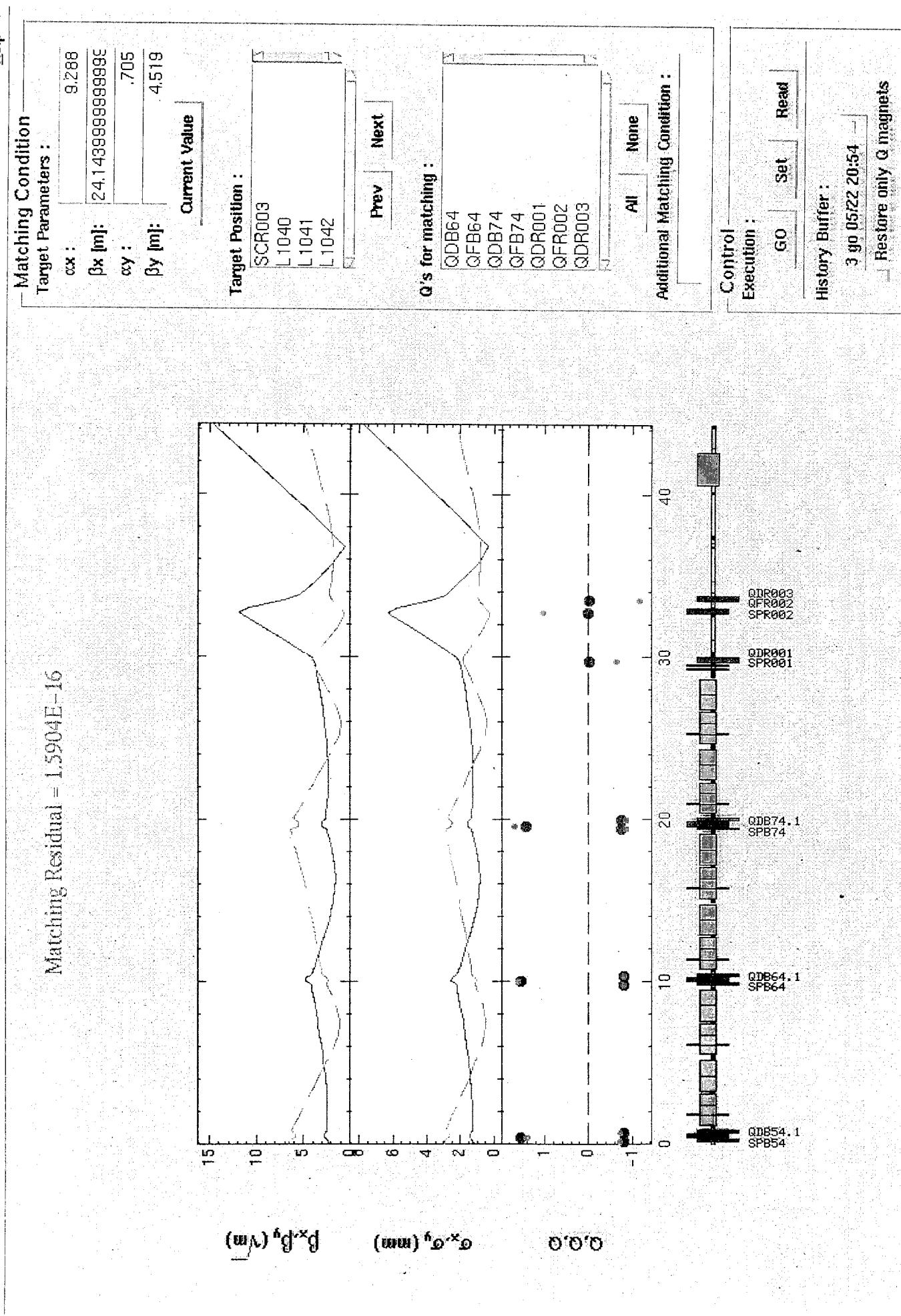
by J. Flanagan

音声 := よみアラム
Speak [文字列]

by N. Akasaka



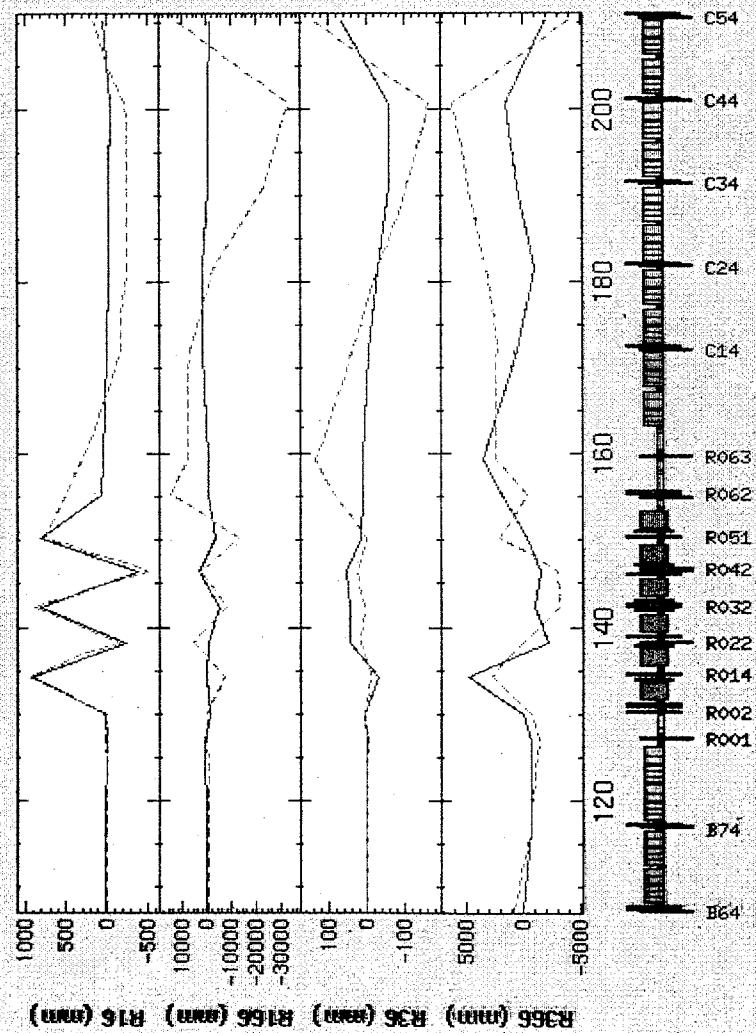
by N. Akasaki



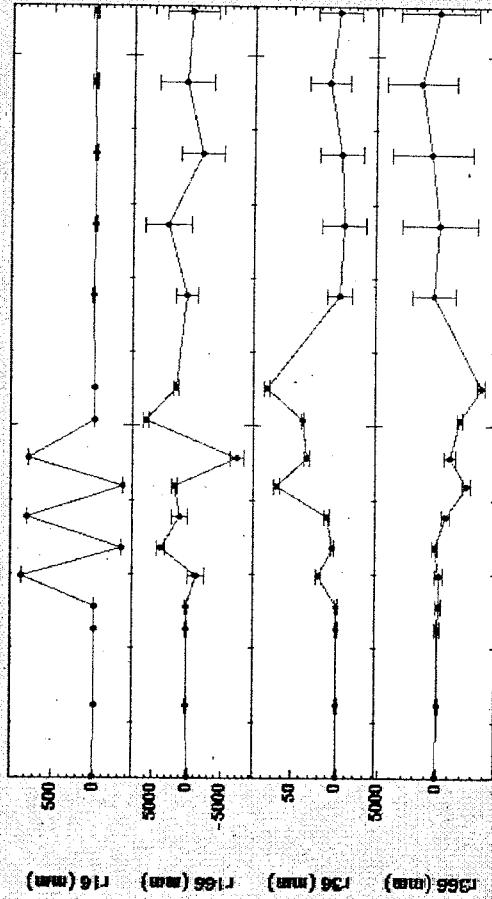
β_x (mm) β_y (mm)

R16 & R36 correction

— after correction
— before correction



rread_04_15_1998_20:08:34.dat

**Measurement**

Low energy: 1.447

High energy: 1.462

Delta energy: 5E-4

Iterations/step: 10

Comments: <none>

No Streak Camera

Use Streak Camera

◆ Debugging Mode

◆ Executive Mode

◆ Write Dispersion File

Go

Data Files

Data File

```
rread_04_15_1998_16:02:36.dat
rread_04_15_1998_16:14:10.dat
rread_04_15_1998_16:30:54.dat
rread_04_15_1998_16:51:16.dat
rread_04_15_1998_20:08:34.dat
rread_04_15_1998_20:33:15.dat
```

Fit

Load Raw Data File

Dispersion file: rmeas_04_15_1998_20:08:34.dat

Write Dispersion File

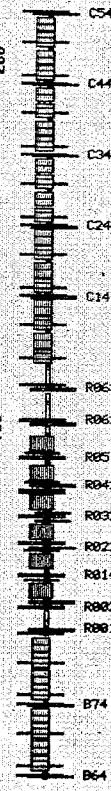
Analysis

<none>

Drop streak
points (1): 0
Drop streak
points (2): 0

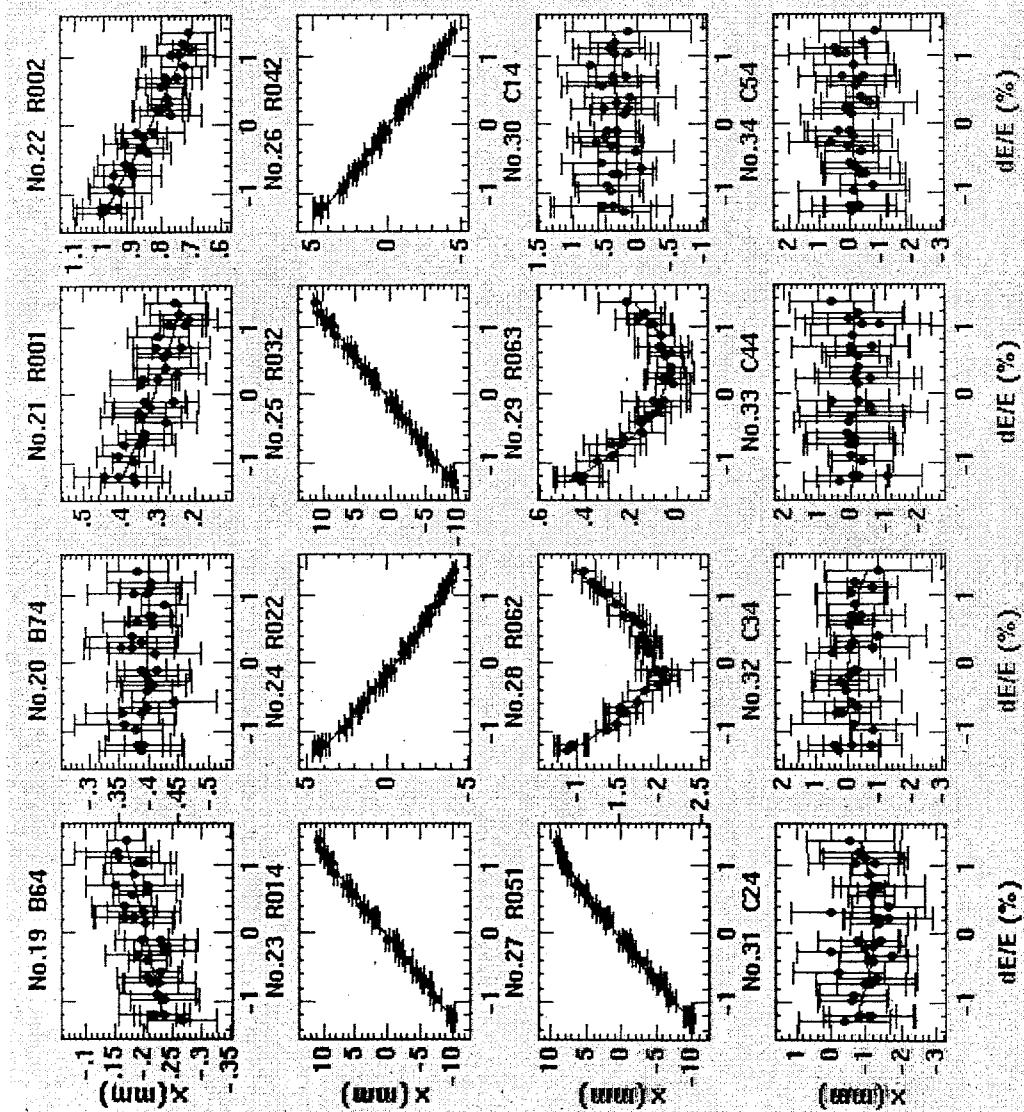
Energy Correction
Factor (current):
2.56158076838972Energy Correction
Factor (repйт):
1.00000011129551

Repplot



by J. Flanagan

by J. Flanagan



File name

read_04_15_1998_20:08:34.dat

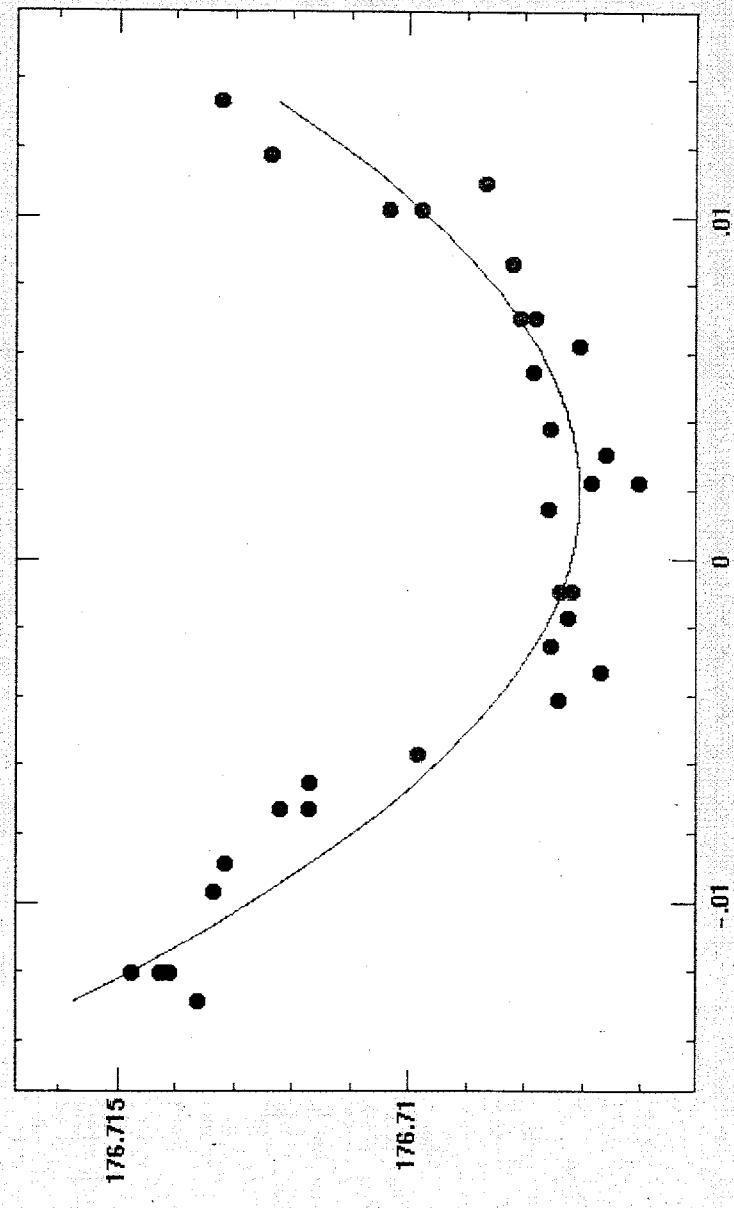
File Edit Window

04/15/1998 20:10:53 Help ▾

20 = 176.707 +/- 2.75E-4 Chi Square = 2.93E-5 Goodness = .46445
c1 = -.15255 +/- .02343 c2 = 39.9198 +/- 3.29874

read_04_15_1998_20:08:34.dat

24)-7 動く? "delay" は
Start StreakMoas[]
Get Streak Delay[]
by N. Akasaki



Function = (c0+(c1*x)+(c2*(x^2)))

energy deviation

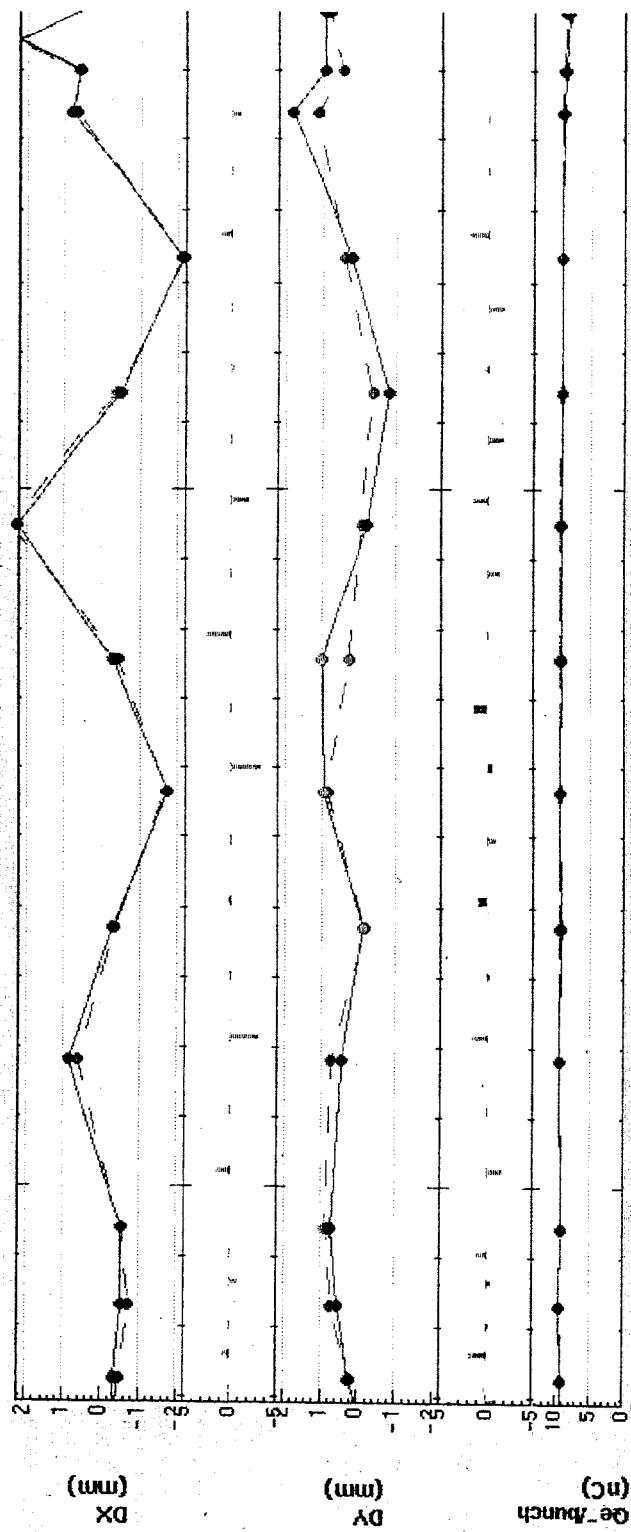
File name

read_04_15_1998_20:08:34.dat

Fit results

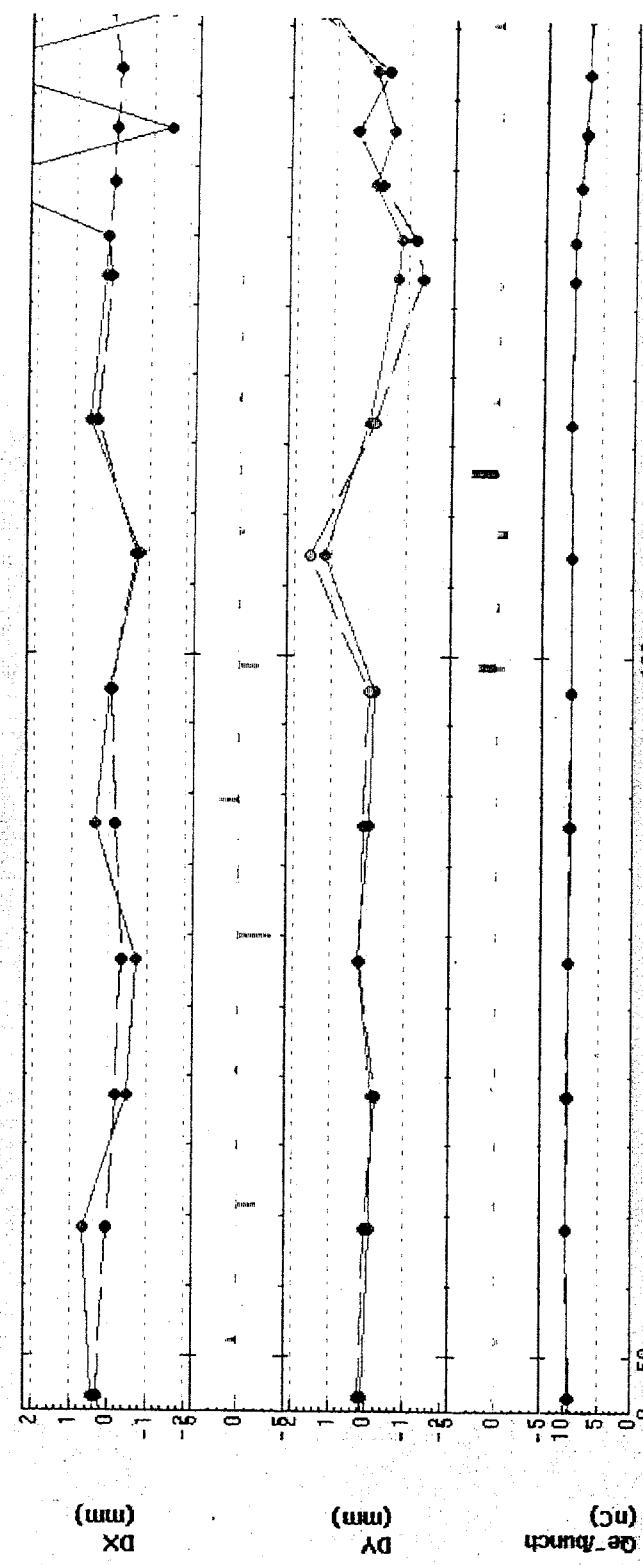
R56 (m):	0.4573315742867
R566 (m):	-11.967674580835

measured 06/16/1998 13:38:00



mode	<input checked="" type="checkbox"/> e ⁺	<input type="checkbox"/> e ⁻	<input type="checkbox"/> h	<input type="checkbox"/> r	<input type="checkbox"/> c	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> DX	<input type="checkbox"/> DY	<input type="checkbox"/> Fix (2)	<input type="checkbox"/> Auto	<input type="checkbox"/> Fix (13)	<input type="checkbox"/> a	<input type="checkbox"/> v	<input type="checkbox"/> e ⁻ /e ⁺	<input type="checkbox"/> 40	<input type="checkbox"/> 10	<input type="checkbox"/> Replot
SPB24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SPB34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SPB44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Control																						
	<input type="checkbox"/> Read Orbit																					
	<input type="checkbox"/> Calculate Bump																					
	<input type="checkbox"/> Get Steering																					
	<input type="checkbox"/> Reset Steering																					
	<input type="checkbox"/> Clear Conditions																					

measured 05/26/1998 00:34:07

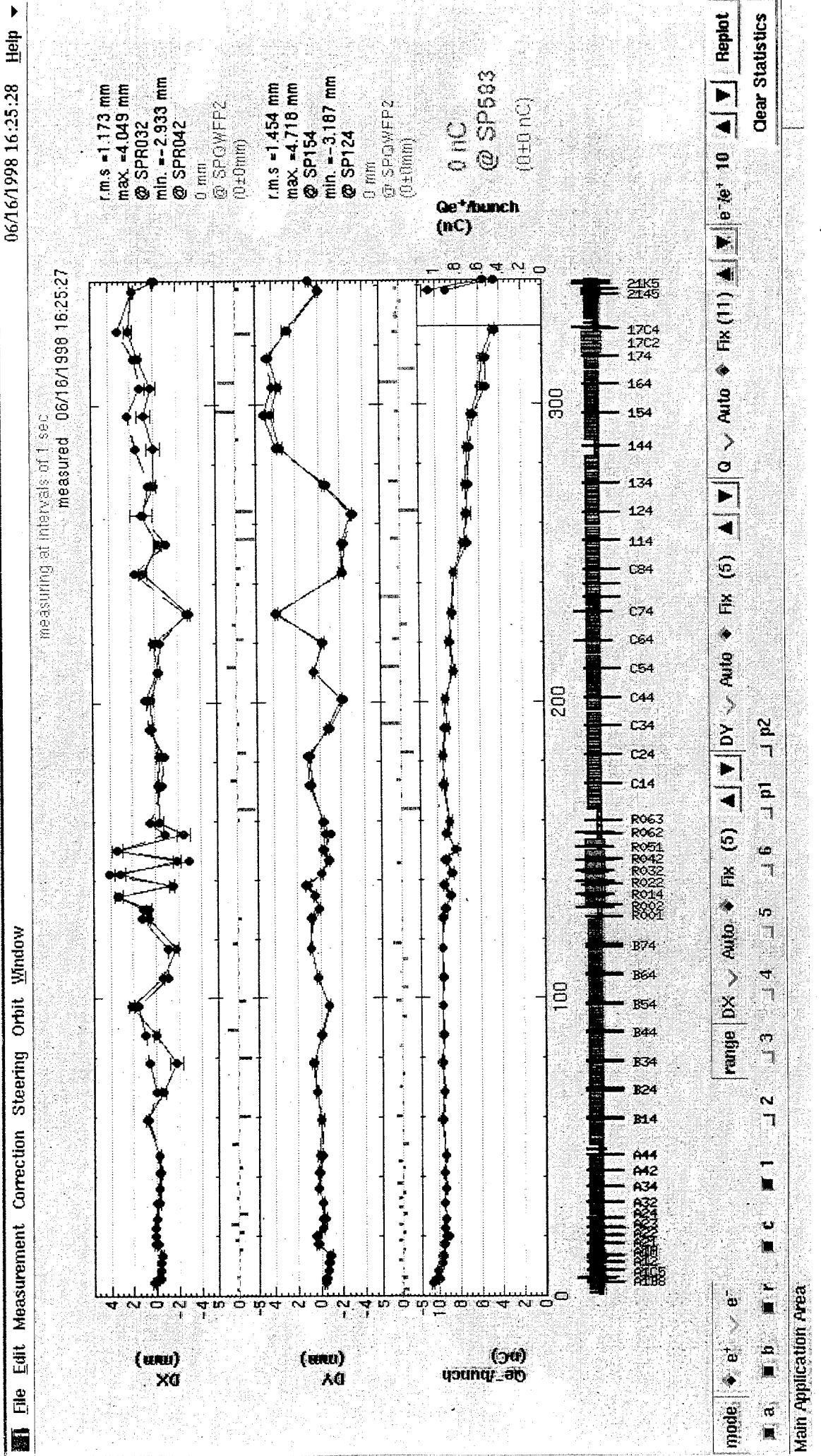


mode	<input checked="" type="checkbox"/> e ⁺	<input checked="" type="checkbox"/> e ⁻	<input type="checkbox"/> range	<input type="checkbox"/> DX	<input type="checkbox"/> Auto	<input type="checkbox"/> Fix (2)	<input type="checkbox"/> DV	<input type="checkbox"/> Auto	<input type="checkbox"/> Fix (2)	<input type="checkbox"/> DV	<input type="checkbox"/> Auto	<input type="checkbox"/> Fix (13)	<input type="checkbox"/> e ^{-le⁺}	<input type="checkbox"/> e ^{-le⁻}	<input type="checkbox"/> Replot
a	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
r	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
position	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SPB54	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SPB64	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SPB74	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
dpx	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
dpy	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
epx	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
epy	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Control

- Measure Orbit
- Calculate Bump
- Set Steering
- Reset Steering
- Gear Conditions

by H. Koiso



by H. Koiso

H for local bump on f3'

local bump

FIT SPB34 DY 0.001

FIT SPB44 DY ϕ DPY ϕ

FREE SK ϕ SYB21

:

Gō

cavity \in MULT 2" 表現 $\underline{w_1} \in 5\frac{1}{2}g$ 。

(transverse dipole wake)
效果。HV \leftarrow defocusing.

Optimization Target

Target: LIISP:SP_22_15:IAVE
 Norm: LIISP:SP_A1_B8:IAVE
 Tolerance: .001
 Persistence (0-1): .5
 Simplex Size: .1
 Max. Iterations: 100

Set

- Normalize (Optimize Target/Norm)
- Don't Normalize (Optimize Target Only)
- Maximize
- Minimize
- Debug Mode
- Execution Mode

Optimization Parameters

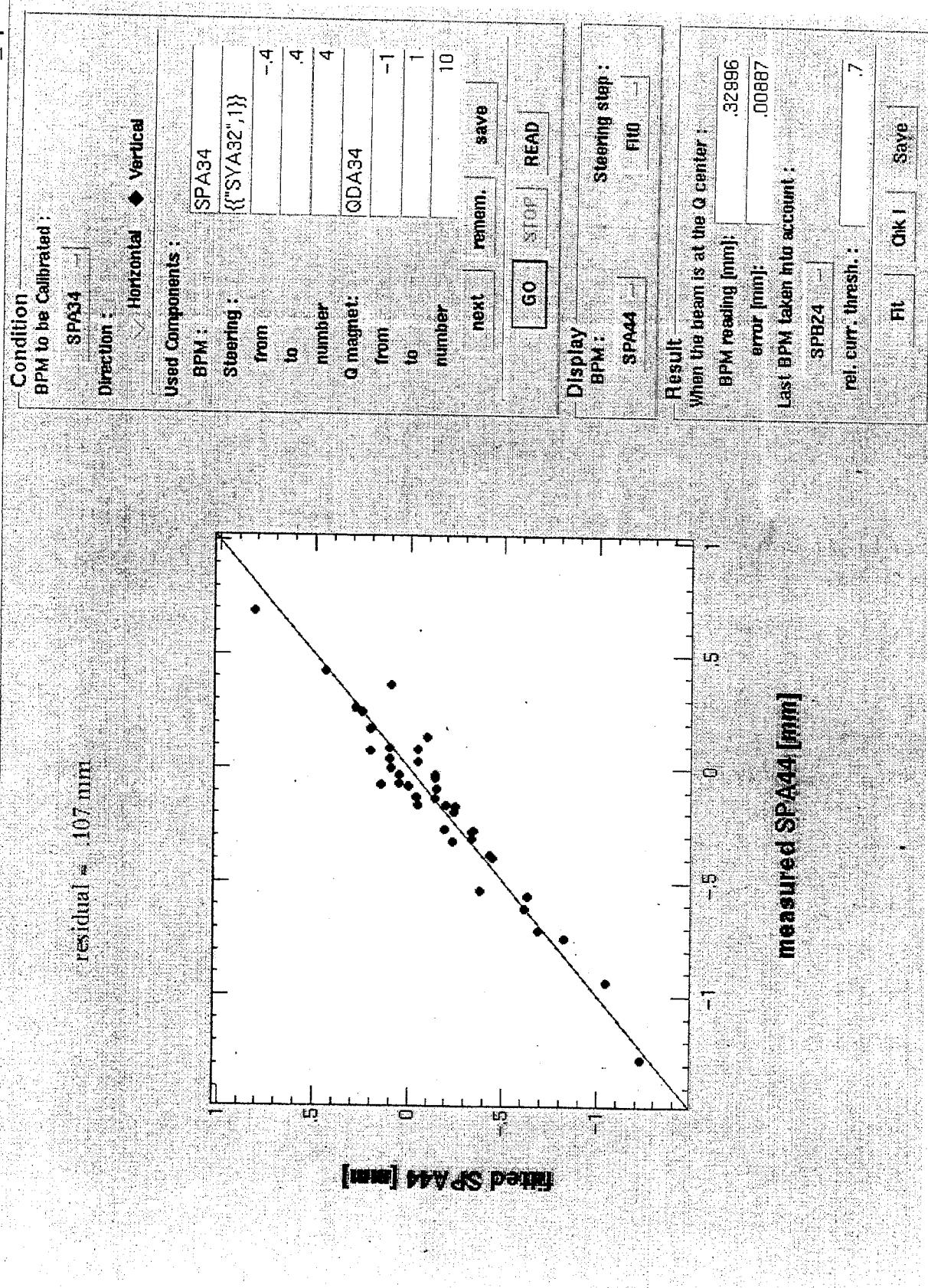
SX_A1_G0 val:	.07	min:	-5	max:	5
SY_A1_G0 val:	.043	min:	-5	max:	5
SX_A1_S6 val:	.805	min:	-5	max:	5
SY_A1_S6 val:	-1.879	min:	-5	max:	5
SX_R0_01 val:	-.851	min:	-5	max:	5
SY_R0_01 val:	-.04	min:	-5	max:	5
SX_R0_63 val:	-.731	min:	-5	max:	5
SY_R0_63 val:	.331	min:	-5	max:	5
SY_C3_3 val:	.021	min:	-5	max:	5
SY_C5_1 val:	-3.923	min:	-5	max:	5
SY_C6_3 val:	2.419	min:	-5	max:	5
SY_C7_3 val:	.026	min:	-5	max:	5
SX_CB_1 val:	-1.83	min:	-5	max:	5
SX_11_1 val:	3.347	min:	-5	max:	5
SX_14_1 val:	3.498	min:	-5	max:	5
SX_14_3 val:	-.018	min:	-5	max:	5
SX_15_1 val:	-2.553	min:	-5	max:	5
SX_15_3 val:	.021	min:	-5	max:	5
SY_15_1 val:	-5	min:	-5	max:	5
SY_15_3 val:	-5	min:	-5	max:	5
SX_17_C4 val:	-3.013	min:	-5	max:	5
SB_A val:	288.7	min:	-1000	max:	1000
SB_B val:	242.1	min:	-1000	max:	1000
SB_C val:	352.1	min:	-1000	max:	1000
SB_1 val:	375.1	min:	-1000	max:	1000

Optimize**Pause****Halt****Resume**

Main Application Area

downhill simplex $\Sigma = 58$
 optimization

by J. Flanagan



by N. Akasaka

St C

beam → | | |

BPM

SAD/Tkinter, KB Frame

N. Akasaka

DRAFT

SAD/Tkinter の使い方

生出勝宣

KEK, Oho, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

oide@acsad1.kek.jp

1997 年 10 月 29 日
(SAD1.0.5.4.4b に対応)

SAD は加速器の設計コードとして1986年からKEKで開発され現在に至っています(その概要はホームページ <http://www-acc-theory.kek.jp/SAD/sad.html> を参照)。最近では EPICS チャネル・アクセスや Python/Tkinter、Tcl/Tk インタープリータなどが組み込まれ、SADScrip インタープリータ言語とあわせて、単に加速器の設計やシミュレーションに限らず、汎用のシステムとして利用可能なものになります。SAD/Tkinter は SAD/FFS/SADScrip インタープリータから、Xウインドウのアプリケーションを書く道具、Tk tool kitを使うためのライブラリです。

このマニュアルに書かれている内容、SAD のプログラム及びライブラリは、今後予告なく隨時改編されます。このマニュアルの最新版は上記のホームページからいつでもダウンロードできます。

なお、このマニュアルは SAD/Tkinter のすべてをカバーできていません。その理由は筆者自身がその全機能を経験・把握していないためです。そこで読者の皆様には Brent Welch: *Practical Programming in Tcl and Tk*, 1995, for *Tcl7.4 and Tk4.0* を併読されることをお願いします。このマニュアルに説明がなくても、Tcl/Tk に備わっている機能は必ず利用可能です。

Netscape:SAD Home Page

Back Forward Reload Home Search Guide Pages Print Security Stop

Location: <http://www-acc-theory.kek.jp/SAD/sad.html>

N

SAD Home Page

Strategic Accelerator Design

SAD is a computer program complex for accelerator design. It has been developed in KEK since 1986. The major functions are shown below but more and more functions are being added. SAD has proven to be powerful and useful in designs, simulations, commissioning, and improvement of TRISTAN, KEKB, FFTB, ATF, JLC, NLC, and others.

Send any comments to ICFA@kek.vax.kek.jp

Recent SAD mails || SAD/FFS Commands & SADScript || SAD/FFS Examples

Structural Definitions of Beam Line & Component

Optics Matching
Optical/Geometrical matching
Off-momentum matching
Finite-amplitude matching
Spin matching

SADScript Programming Interface in Mathematica Style
Built-in, system- and user-defined functions for accelerators
SAD/Tkinter Tk/VTk interface



Particle Tracking
6D full-symplectic tracking
Dynamic aperture survey
Synchrotron radiation

Nonlinear Analysis
Taylor map by automatic differentiation
Lie algebraic map

Emittance Calculation
6D Beam-matrix method
Anomalous emittance
Spin depolarization(SODOM)

[Download SAD/Tkinter Manual \(in Japanese, .pdf 706K 10/29/1997\)](#)
[Download SAD/Tkinter Manual \(in Japanese, .ps 5155K 10/29/1997\)](#)

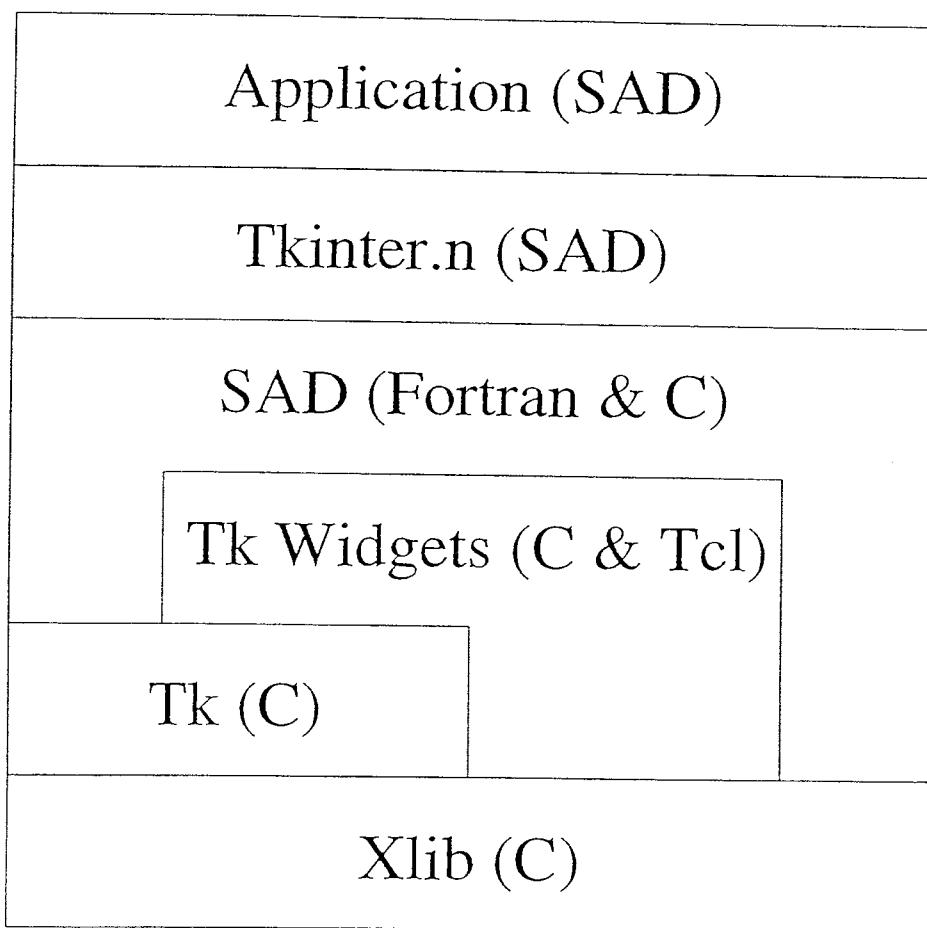


[Accelerator Theory group Home Page](#)

Historical SAD Mails

[|| 1990 || 1991 || 1992 || 1993 || 1994 || 1995 || 1996 ||](#)

SAD/Tkinter



http://faraday.kek.jp/KEKBFrame/contents.html

目次 Hello, World!

始めに

KEKBFrameは、SAD/TkinterでGUIを作成しようとする時に、Window[]のかわりに用いて、

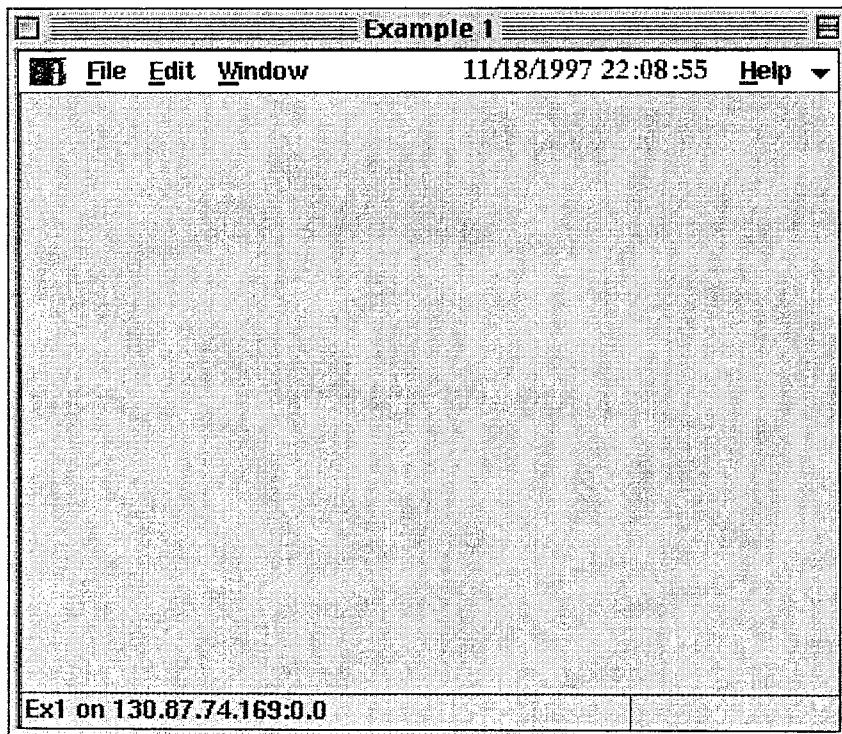
1. アプリケーション間の切替え等の共通機能の提供、
2. 共通のlook&feel、
3. 部品の配列の簡単化、

等を実現することを目指しています。以下の説明では、SAD/Tkinterについては既に知っているものとして、特に説明はしません。

最も簡単な例としては、

```
FFS;  
w = KEKBMainFrame["Ex1", f, Title->"Example 1"];  
TkWait[];
```

を実行すると、下のようなウインドウが開きます。



top

このページに関する御意見・質問は N. Akasakaまで

目次 始めに複数のウインドウ

Hello, World!

SAD/Tkinter のマニュアルに載っている最初の例

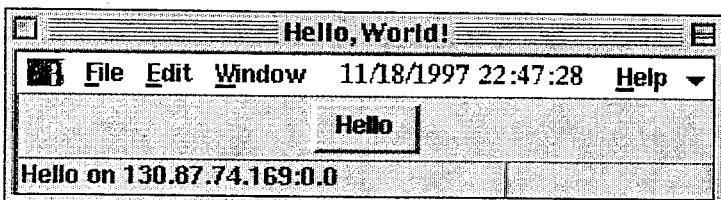
```
FFS;
w = Window[];
b = Button[w,
    Text -> "Hello",
    Command :> Print["Hello, World!"]];
TkWait[];
```



をKEKBFMを使って書くと、

```
FFS;
w = KEKBFM["Hello", f, Title->"Hello, World!"];
b = Button[f,
    Text -> "Hello",
    Command :> Print["Hello, World!"]];
TkWait[];
```

となります。その結果は



このようになります。この例ではメニューバーがこれ以上横方向に縮めないため、Buttonの両端にスペースが空いてしまいます。これからわかるように、KEKBFMの第2引数の変数名でFrameが作られ、このFrameを親として様々な部品を並べていくことになります。

[top](#)

このページに関する御意見・質問は [N. Akasaka](#)まで。

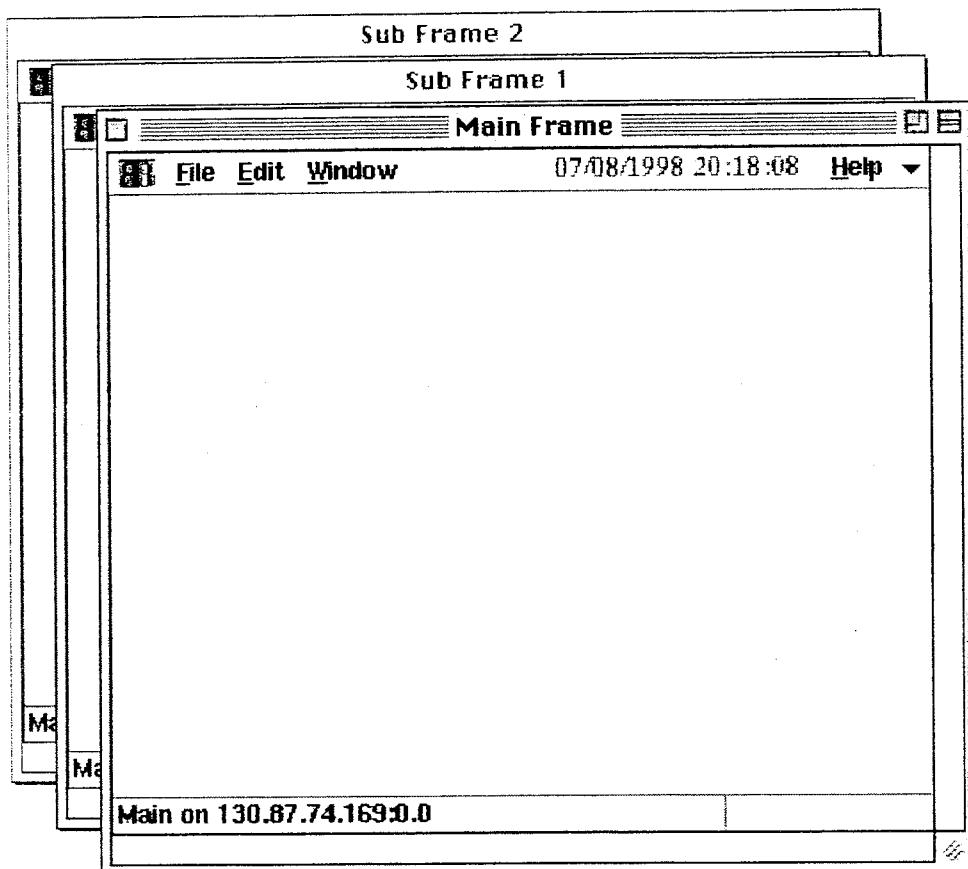
目次 Hello World! About MessageBox

様数のウインドウ

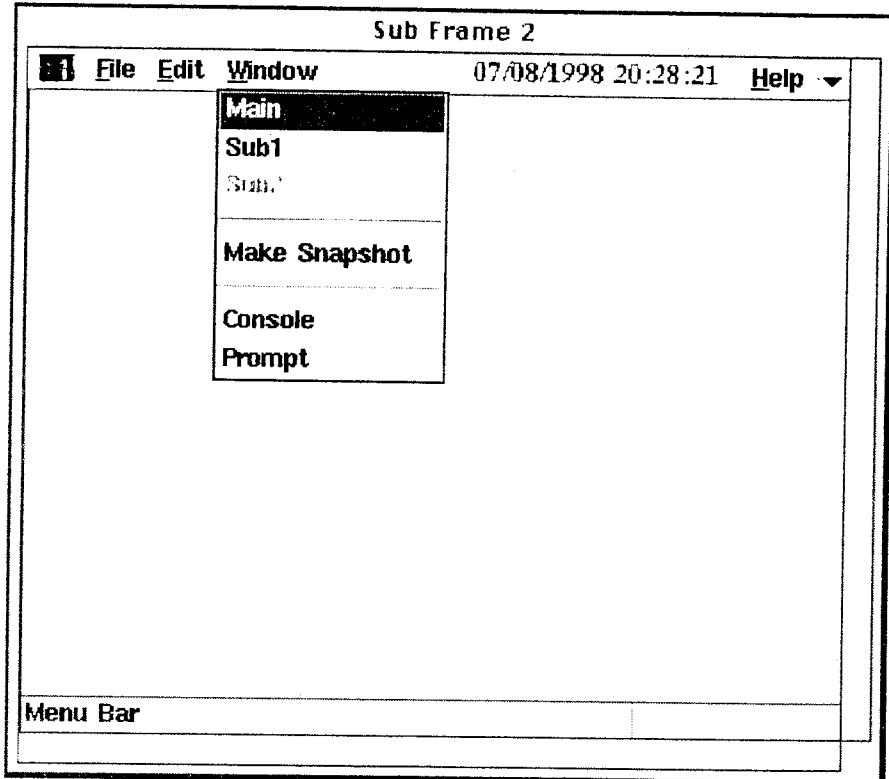
様数のウインドウを開くには、初めのウインドウを KBMainFrameで作り、残りを KBSelFrameで作ります。

```
FFS;  
w = KBMainFrame["Main", f, Title->"Main Frame"];  
s1 = KBSelFrame["Sub1", f1, Title->"Sub Frame 1"];  
s2 = KBSelFrame["Sub2", f2, Title->"Sub Frame 2"];  
TkWait[];
```

この時、必ず最初のウインドウを KBMainFrameで、残りのウインドウを KBSelFrameでそれぞれ作るようにしてください。



2つ目のKBSelFrameのWindowメニューは、下のようになります。メニューの上3つはそれぞれ作ったウインドウに対応しており、各ウインドウを前面に持ってくることが出来ます。Make Snapshotは、このウインドウの静的なイメージを別の独立なウインドウ内に表示します。一番下のConsoleとPromptは、これらの項目が無効になっていなければ、このウインドウを作ったSADが走っているウインドウ(例えばxterm, emacs等)を前面に持ってきて、さらにPromptの場合にはTkWait[]のループから抜けてキーボードからの入力が可能な状態になります。



top

このページに関する御意見・質問は N. Akasakaまで。

目次 複数のウインドウ メニューの作成

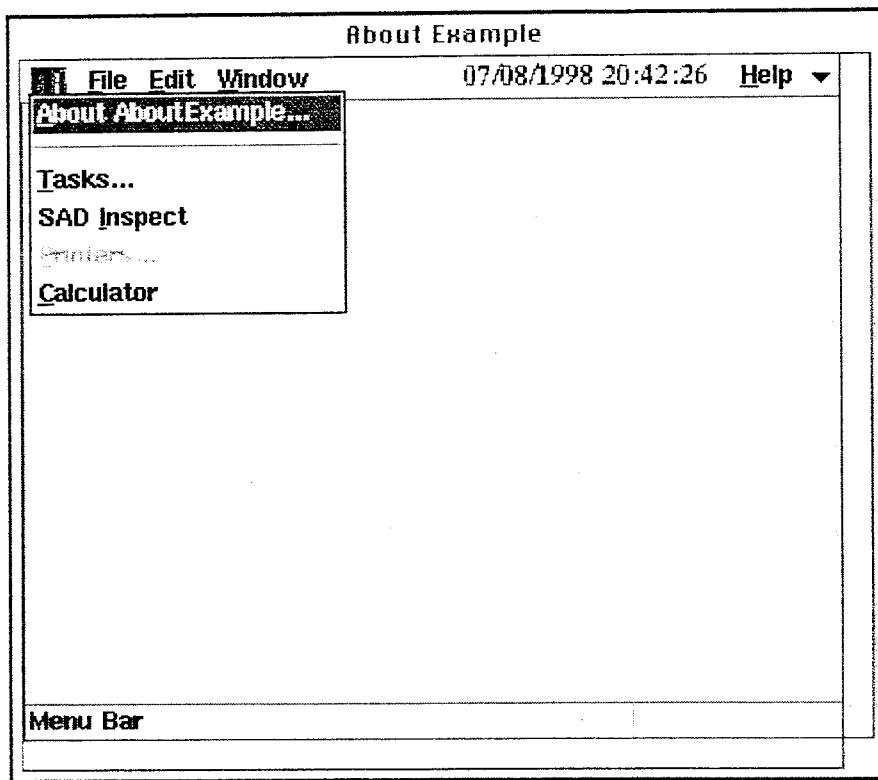
About MessageBox

アプリケーションに作者のメッセージを表示させたい時は、まずw[AboutMessage] で表示する文字列を指定します。

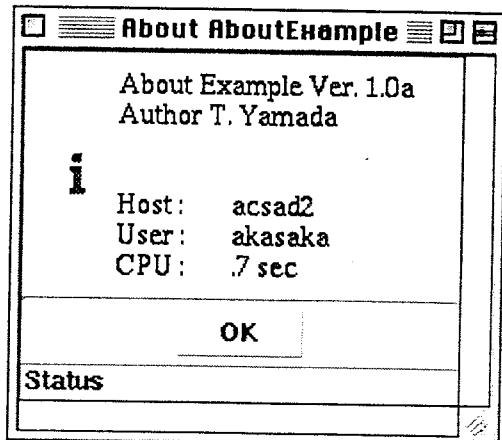
FFS:

```
w = KBMainFrame["AboutExample", f, Title->"About Example"];
w[AboutMessage] = "About Example Ver. 1.0a\nAuthor T. Yamada";
TkWait[];
```

このメッセージを表示するには、■またはHelpメニューの "About XXXXXX..."を選んで下さい。



現れるMessageBoxには、指定した文字列の他にそのアプリケーションが走っている Host、User名、CPU時間が表示されます。



[top](#)

このページに関する御意見・質問は [N. Akasaka](#)まで。

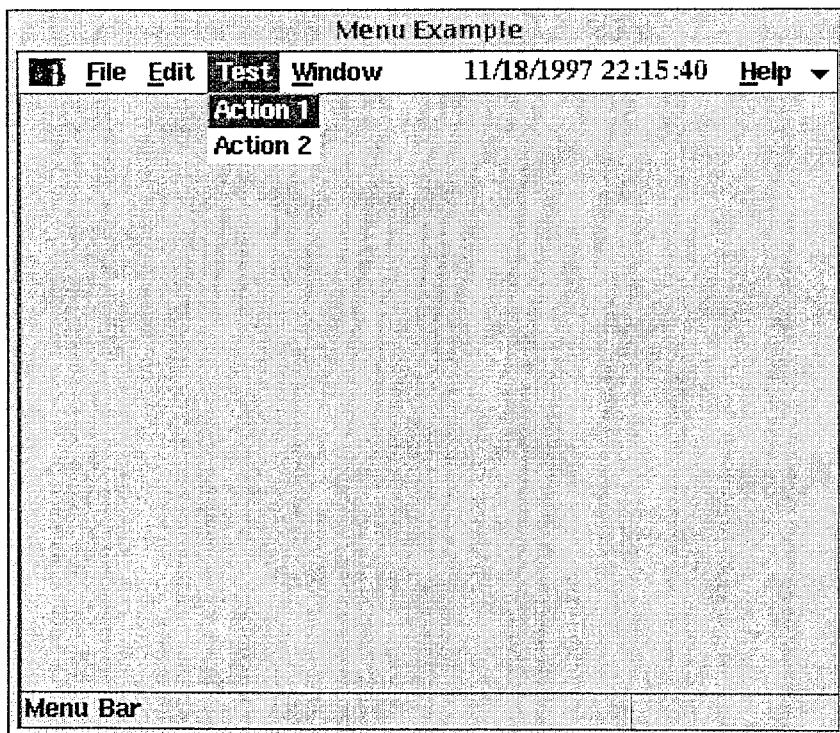
目次

メニューの作成

メニューバーに新しくMenuButton[]を作るには、

```
FFS;
w = KEKBFMainFrame["MenuEx", f, Title->"Menu Example"];
w[AddMenuButton] == {mb, Text->"Test"}; mb = KBFAddMenuButton[w, Text->"Test"];
m = Menu[mb, Add->{
    Button[Text->"Action 1", Command:>Print["1"]],
    Button[Text->"Action 2", Command:>Print["2"]]];
TkWait[];
```

のようにします。w[AddMenuButton]の右辺はリストで、リストの1番目は MenuButton[]の変数、2番目以降はMenuButton[]のオプションです。一旦MenuButton[]が出来ると、それに付随する Menu[]は普通に作れます。新しいMenuButton[]の位置は、EditメニューとWindowメニューの間です。



top

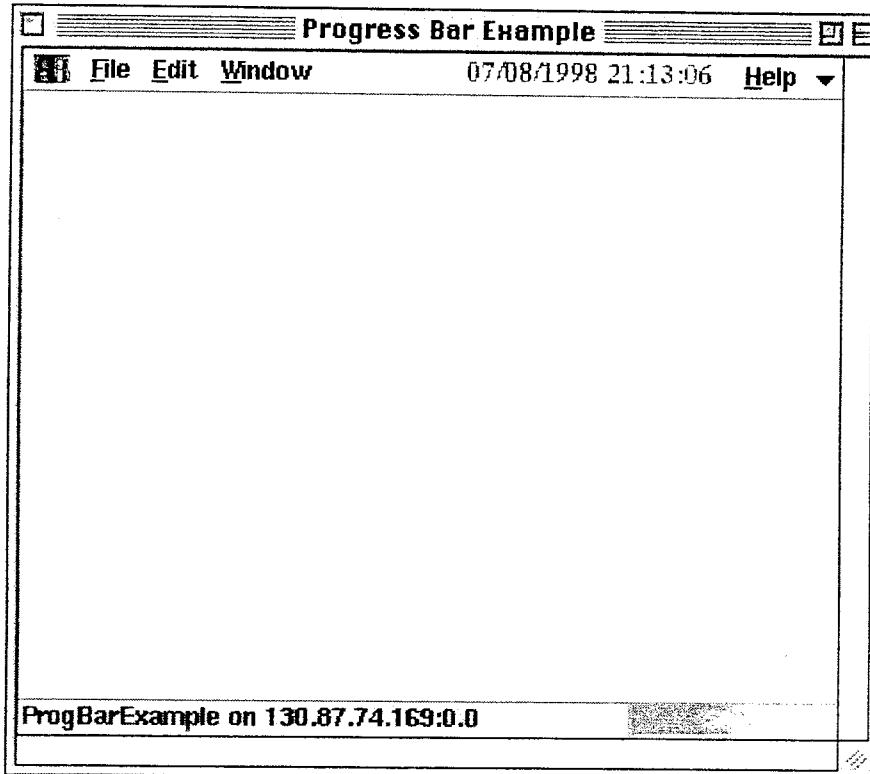
このページに関する御意見・質問は N. Akasakaまで。

目次 メニューの作成 Status Line

Progress Bar

時間のかかる処理を実行中に、その処理の進行状況を表示したい時は、w[ProgressBar]を使います。w[ProgressBar] = v は、vとして(0から1までの)実数が与えられた時は、ウインドウの右下にProgress Barを表示します。vとして Null が与えられた時は、Progress Barは非表示状態になります。以下のコードは、FrameをマウスでクリックするとProgress Barを0%から100%まで変化させます。

```
FFS;  
w = KBMainFrame["ProgBarExample", f, Title->"Progress Bar Example"];  
Bind[f, "<Button-1>", Do[w[ProgressBar]=i/100, {i, 0, 100}]; w[ProgressBar]=Null];  
TkWait[];
```



[top](#)

このページに関する御意見・質問は [N. Akasaka](#)まで。

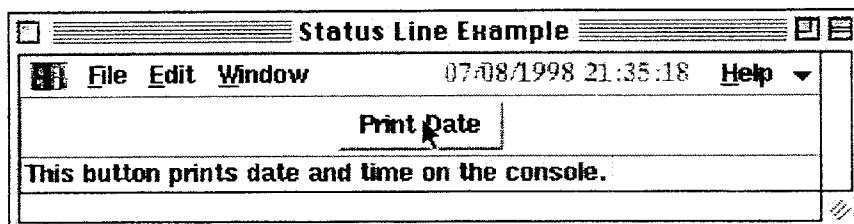
目次 Progress Bar 部品の配置

Status Line

KBFrame下のステータスラインにメッセージを表示するには2つの方法があります。まず、マウスポインタがあるWidgetの上を通った時にメッセージを表示するには、w[StatusLine] = の右辺にWidgetのシンボルとメッセージを要素とするリストを与えます。これは簡易ヘルプにも使用できます。

```
FFS;
w = KBMainFrame["StatLineExample1", f, Title->"Status Line Example 1"];
b = Button[f, Text->"Print Date", Command:>Print[DateString[]]];
w[StatusLine] = {b, "This button prints date and time on the console."};
TkWait[];
```

上の例では、bに対して指定した文字列が長過ぎたので、マウスポインタがbの上を通る時はWindowが横に広がってしまいます。



もう一は、ステータスラインに固定のメッセージを表示する方法で、w[StatusLine] = の右辺に文字列を与えます。w[FreeStatusLine]は表示されたメッセージの固定を解除します。

```
FFS;
w = KBMainFrame["StatLineExample2", f, Title->"Status Line Example 2"];
b1 = Button[f, Text->"Fix Status Line", Command:>(w[StatusLine] = "Status line fix");
b2 = Button[f, Text->"Free Status Line",
            Command:>(w[StatusLine] = "Status line freed."; w[FreeStatusLine])];
TkWait[];
```

[top](#)

このページに関する御意見・質問は [N. Akasaka](#)まで。

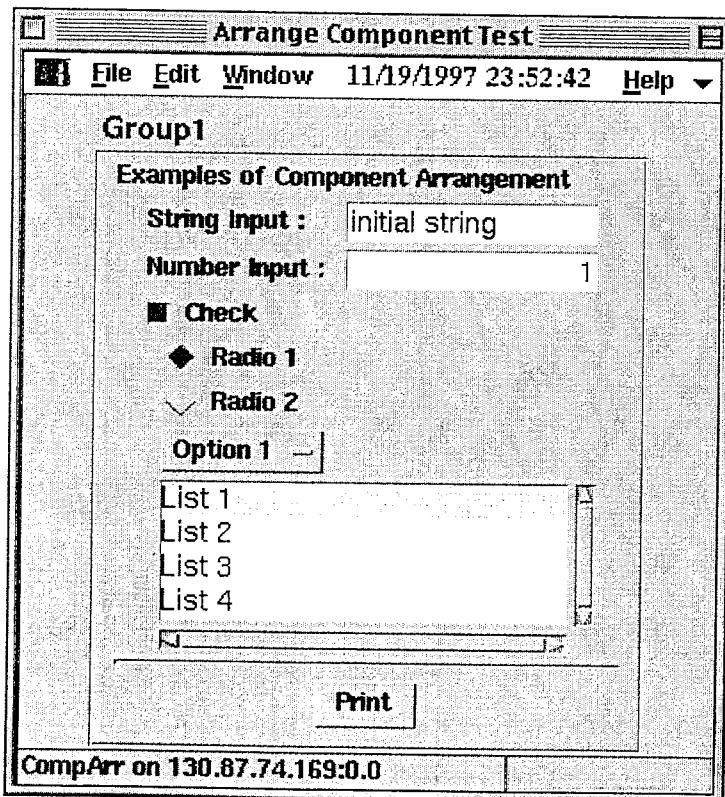
目次

部品の配置

Frame[]の中に部品を思い通りに配置するには、ある程度の工夫が必要になります。そのような工夫無しで、最低限の部品配列を実現するには、KEKBArrangeComponentを使用します。

```
FFS;
w = KEKBMainFrame["CompArr", f, Title->"Arrange Component Test"];
s = "initial string"; n = 1; c = 1; r = 1; o = 1; l = 1;
KEKBComponentFrame[f,
Add->{
  KODGroup[Text->"Group1"],
  KODText[Text->"Examples of Component Arrangement"],
  KODString[Text->"String Input :", Variable:>s],
  KODNumber[Text->"Number Input :", Variable:>n],
  KODCheckButton[Text->"Check", Variable:>c],
  KODRadioButton[Items->{"Radio 1", "Radio 2"}, Variable:>r],
  KODOptionMenu[Items->{"Option 1", "Option 2", "Option 3"}, Variable:>o],
  KODListBox[Items->{"List 1", "List 2", "List 3", "List 4"}, Variable:>l],
  KODSeparator[],
  KODButton[Text->"Print", Command:>Print[{s, n, c, r, o, l}]]
}
];
TkWait[];
```

上のコードを実行した結果は下のようになります。



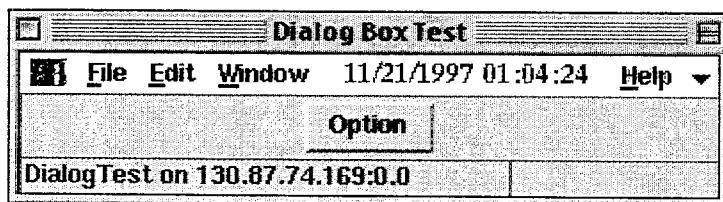
目次

入力用ダイアログボックス

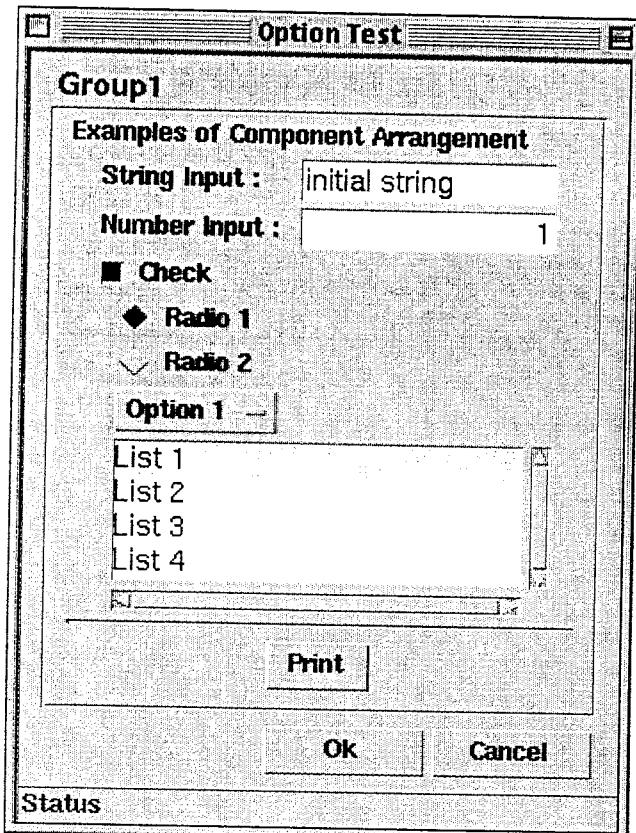
ダイアログボックスの作成にもKEKBCComponentFrame[]と同じような書式が使用できます。ただし、Variable:>で指定した変数に値がsetされるのは OKボタンを押した時(KEKBOptDialogの戻り値が1)だけで、Cancelボタンを押した時(KEKBOptDialogの戻り値が0)には値はsetされません。また、WidgetVariable:>オプションは使用できません。

```
FFS;
w = KEKBFMainFrame["DialogTest", f, Title->"Dialog Box Test"];
b = Button[f, Text->"Option", Command:>ot];
s = "initial string"; n = 1; c = 1; r = 1; o = 1; l = 1;
ot := (rc = KEKBOptDialog[
    Title->"Option Test",
    Add->{
        KODGroup[Text->"Group1"],
        KODText[Text->"Examples of Component Arrangement"],
        KODString[Text->"String Input :", Variable:>s],
        KODNumber[Text->"Number Input :", Variable:>n],
        KODCheckButton[Text->"Check", Variable:>c],
        KODRadioButton[Items->{"Radio 1", "Radio 2"}, Variable:>r],
        KODOptMenu[Items->{"Option 1", "Option 2", "Option 3"}, Variable:>o],
        KODListBox[Items->{"List 1", "List 2", "List 3", "List 4"}, Variable:>l],
        KODSeparator[],
        KODButton[Text->"Print", Command:>Print[{s, n, c, r, o, l}]]}
    }
];
Print[{rc, s, n, c, r, o, l}];
);
TkWait[];
```

上のコードを実行した結果は下のようになります。



Optionボタンを押すと、下のウインドウが開きます。一番下のOkとCancelのボタンは自動的に作られます。



[top](#)

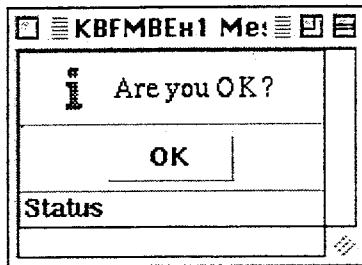
このページに関する御意見・質問は [N. Akasaka](#)まで。

目次 入力用ダイアログボックス ファイル選択用ダイアログボックス

メッセージボックス

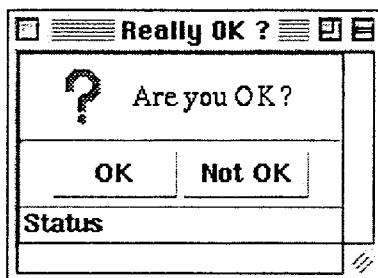
あるメッセージを独立したウインドウに表示してユーザの注意を喚起するには、
KBFMessageBoxを使用します。第一引数は表示する文字列です。

```
FFS;
w = KBMainFrame["KBFMBEx1", f, Title->"KBFMessageBox Example 1"];
b = Button[f, Text->"OK?", Command:>KBFMessageBox["Are you OK?"]];
TkWait[];
```



いくつかのボタンの中からユーザに選択させるには、Buttonsオプションでボタンのラベルをリストとして与えます。KBFMessageBoxはどのボタンが押されたかをリスト中のラベルの順番として返します。また、Titleオプションでウインドウのタイトルを、Bitmapオプションでメッセージの左側に表示されるビットマップを指定できます。

```
FFS;
w = KBMainFrame["KBFMBEx2", f, Title->"KBFMessageBox Example 2"];
b = Button[f, Text->"OK?", Command:>ask[]];
ask[] := (
  ans = KBFMessageBox["Are you OK?", Buttons->{"OK", "Not OK"},
    Title->"Really OK?", Bitmap->"question"];
  Print[ans];
);
TkWait[];
```



[top](#)

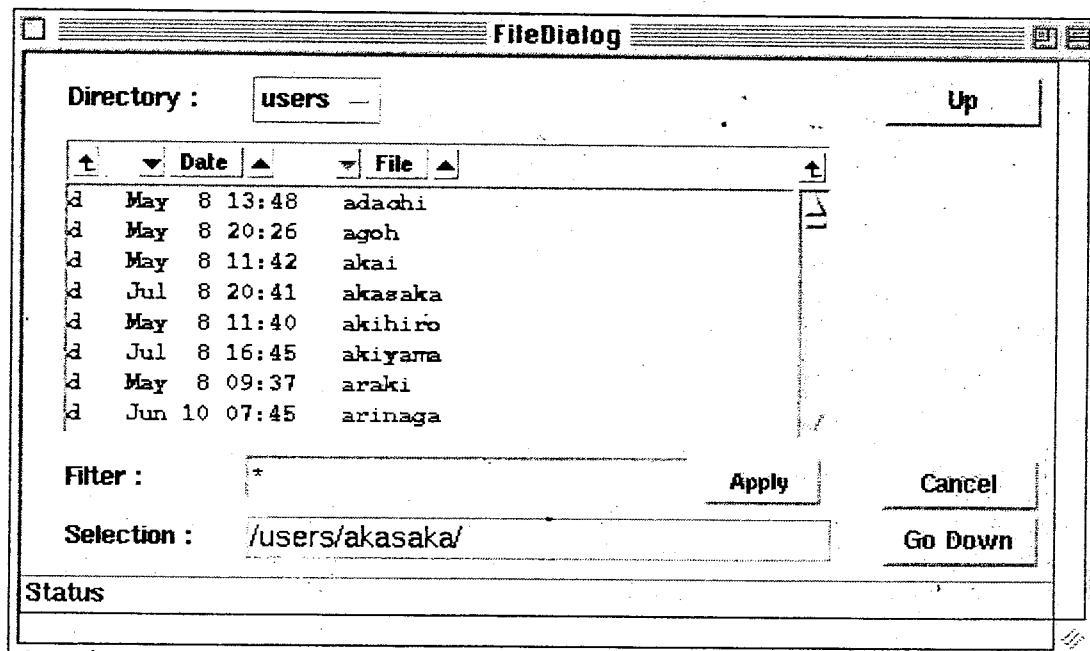
このページに関する御意見・質問は [N. Akasaka](#)まで。

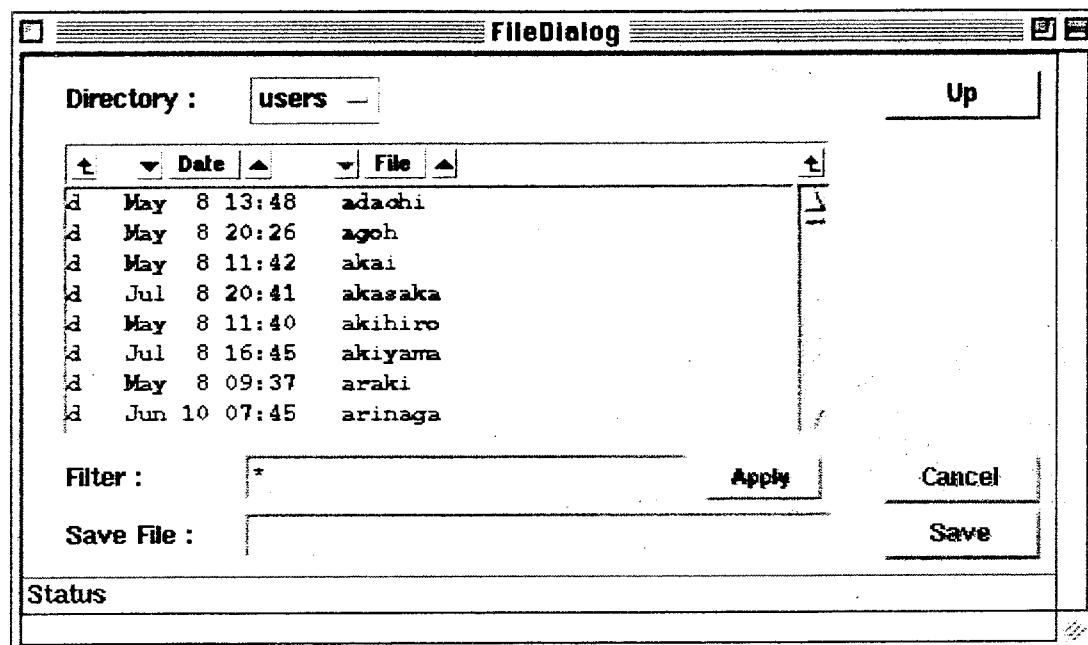
目次 メッセージボックス

ファイル選択用ダイアログボックス

KBFOpenDialogとKBFSaveDialogは、ファイル名を選択・指定するために使用します。どちらも第一引数が初期ディレクトリの絶対パス、第二引数はリストボックスに表示するファイル名にかけるフィルタです。返り値は、Cancelボタンが押された時はNull、それ以外はファイル名が絶対パスで返ります。

```
FFS;
w = KBMainFrame["FileDialogExample", f, Title->"File Dialog Example"];
bo = Button[f, Text->"Open", Command:>of[]];
bs = Button[f, Text->"Save", Command:>sf[]];
of[] := (
  fn = KBFOpenDialog["/", "*"];
  If [fn <= Null, Print["Open file is "//fn]];
);
sf[] := (
  fn = KBFSaveDialog["/", "*"];
  If [fn <= Null, Print["Save file is "//fn]];
);
TkWait[];
```



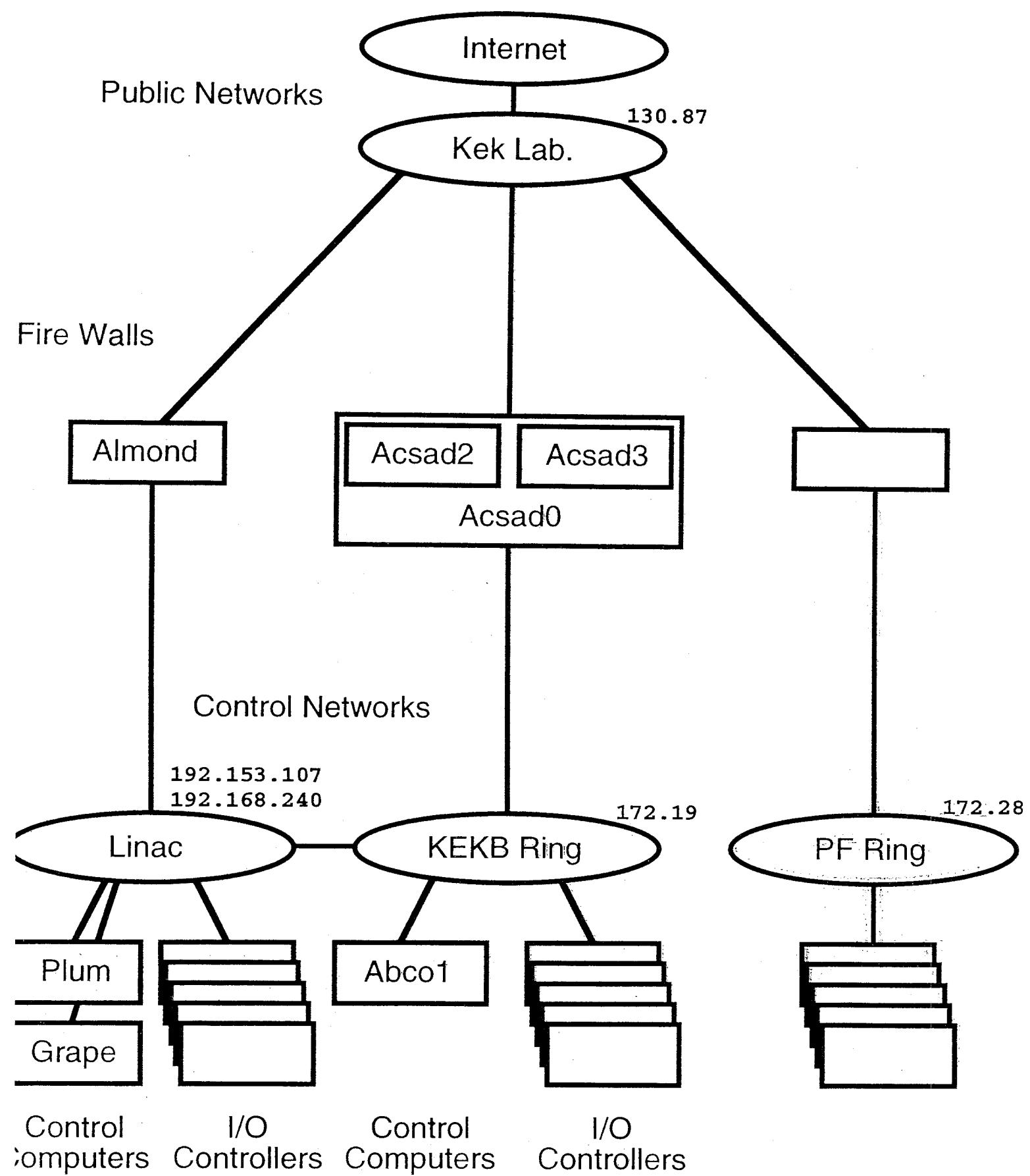


[top](#)

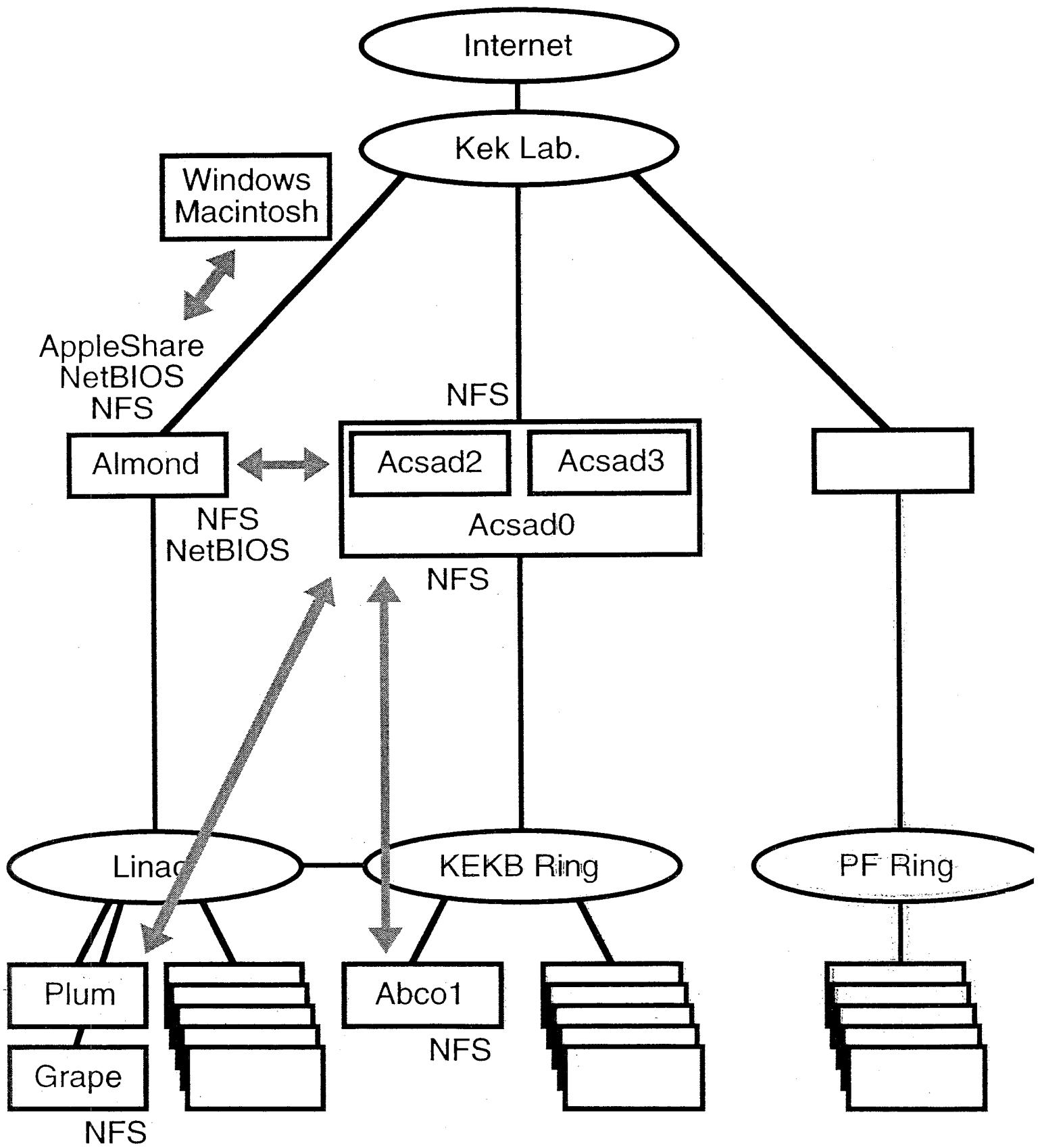
このページに関する御意見・質問は [N. Akasaka](#)まで。

User Remote Environment

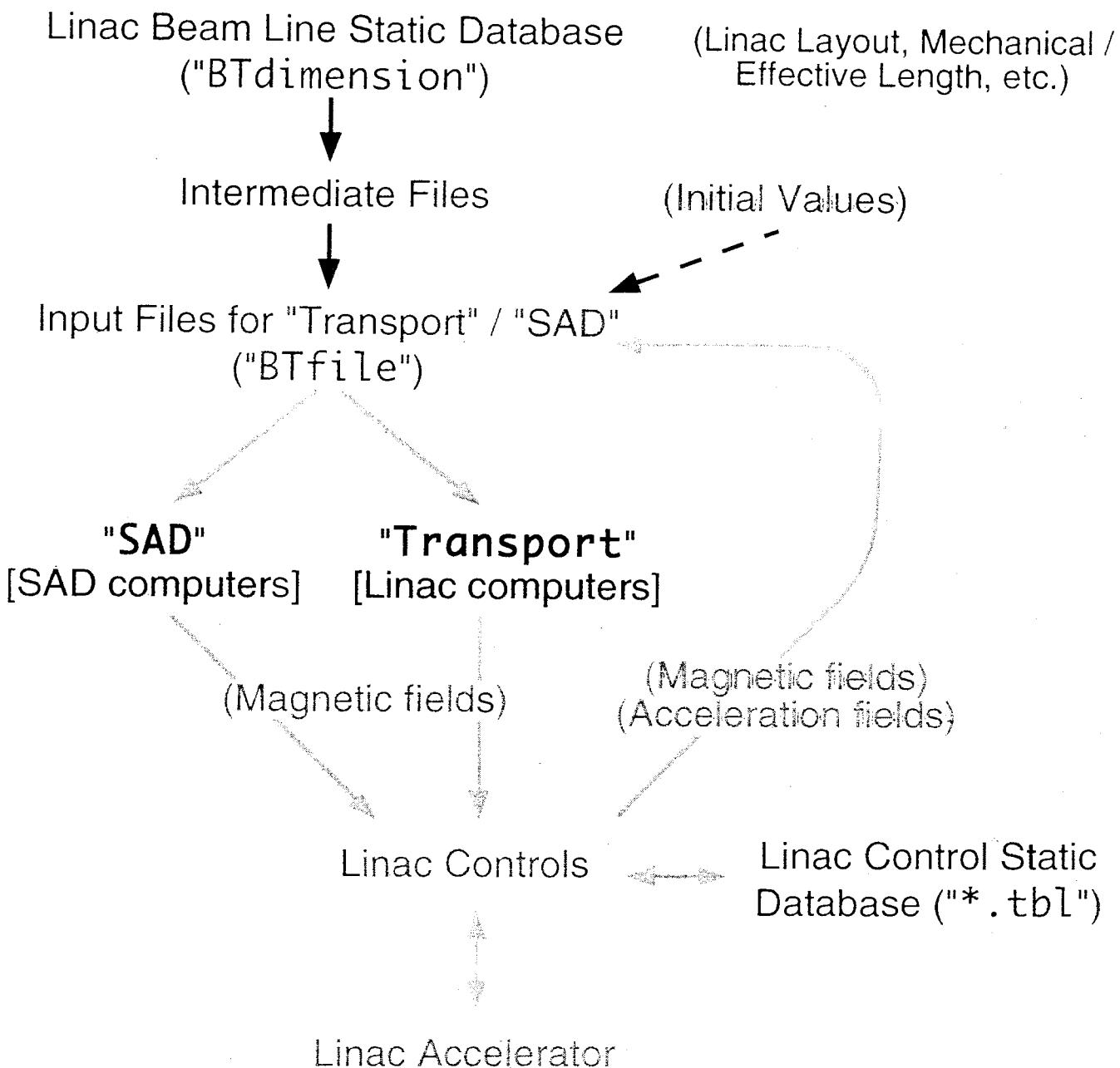
K. Furukawa



File Sharing



KEKB Linac Online Modeling Calculation

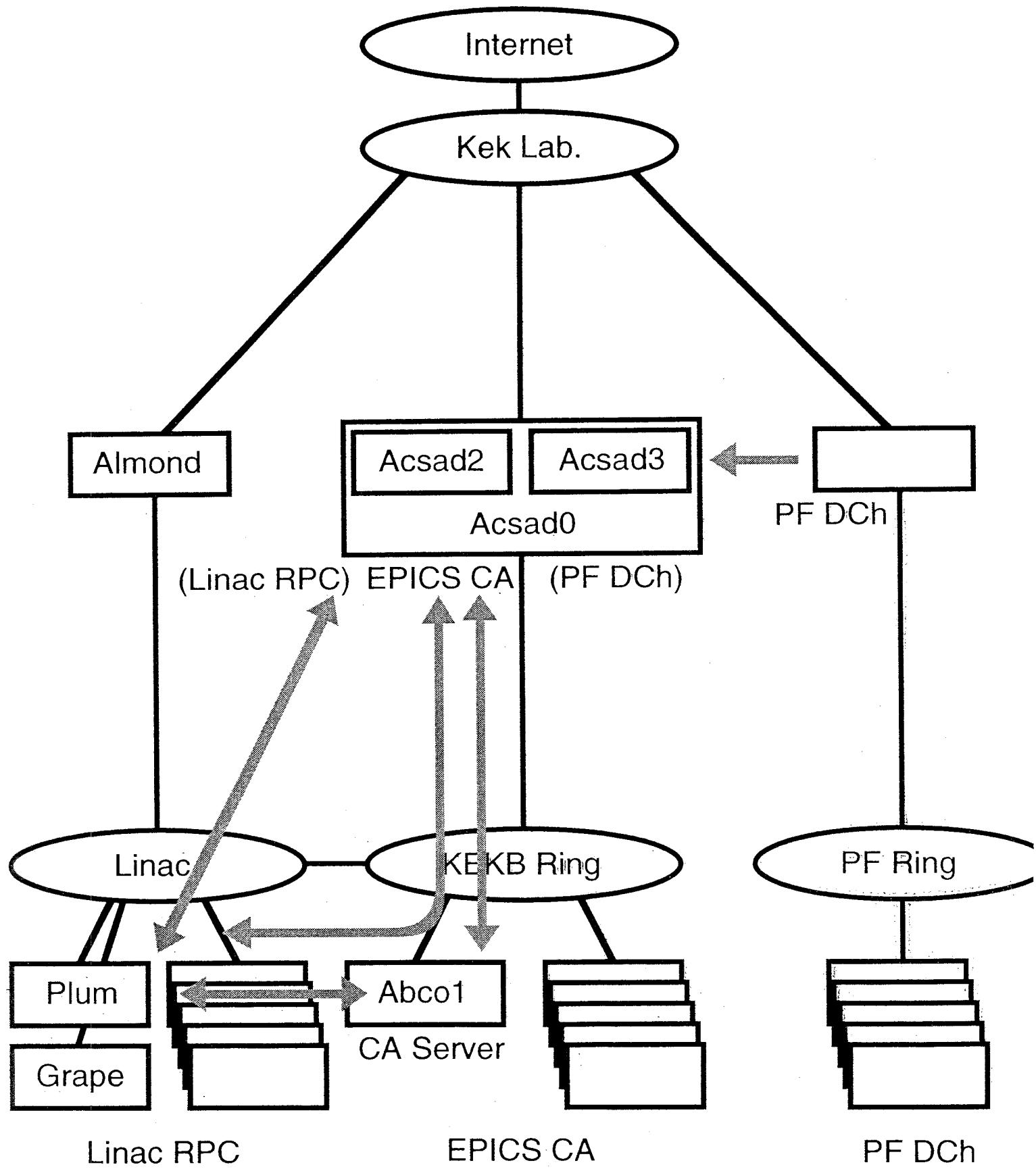


Database Files are Shared between
Unix / Macintosh / Windows

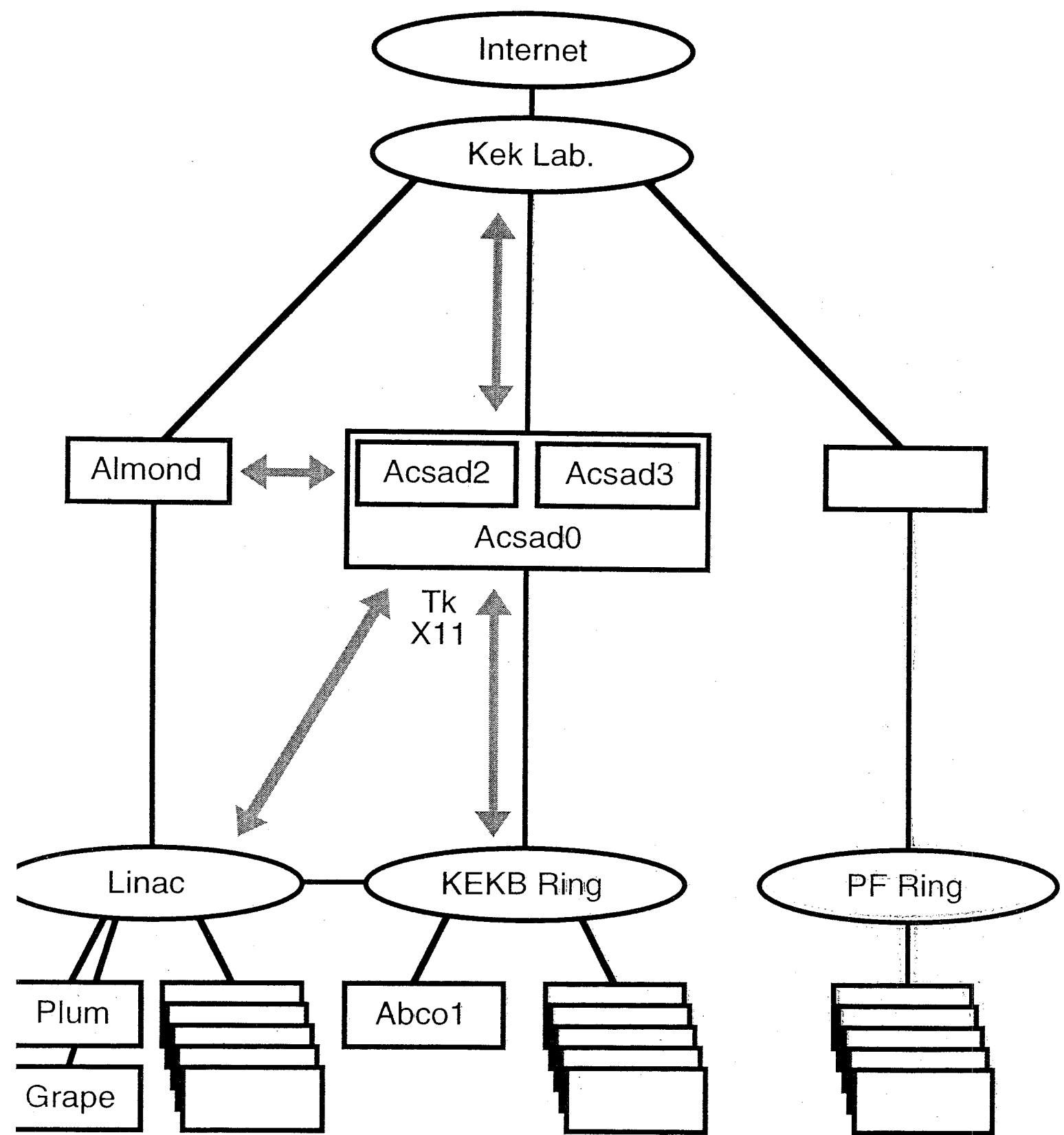
Magnetic Fields / Acceleration Fields are Passed between
Modeling Programs (Transport/SAD) and Linac Controls
(Acceleration Fields are Derived from Klystron Voltages)

Results from Transport / SAD are Consistent

Control Protocol



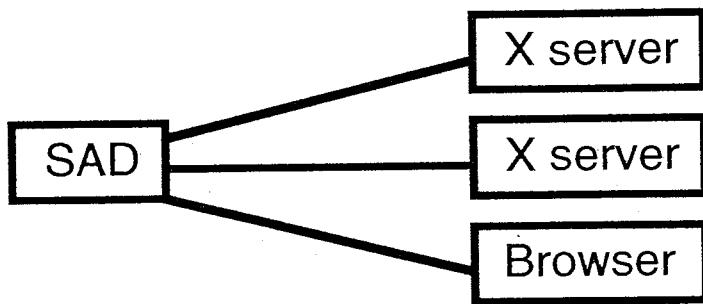
Graphical User Interface



TkInter – X11/Tk

On any X server
(X-Terminal, Macintosh, Windows, NC)

X multiplexer
single sad process to multiple display
xmx, vnc

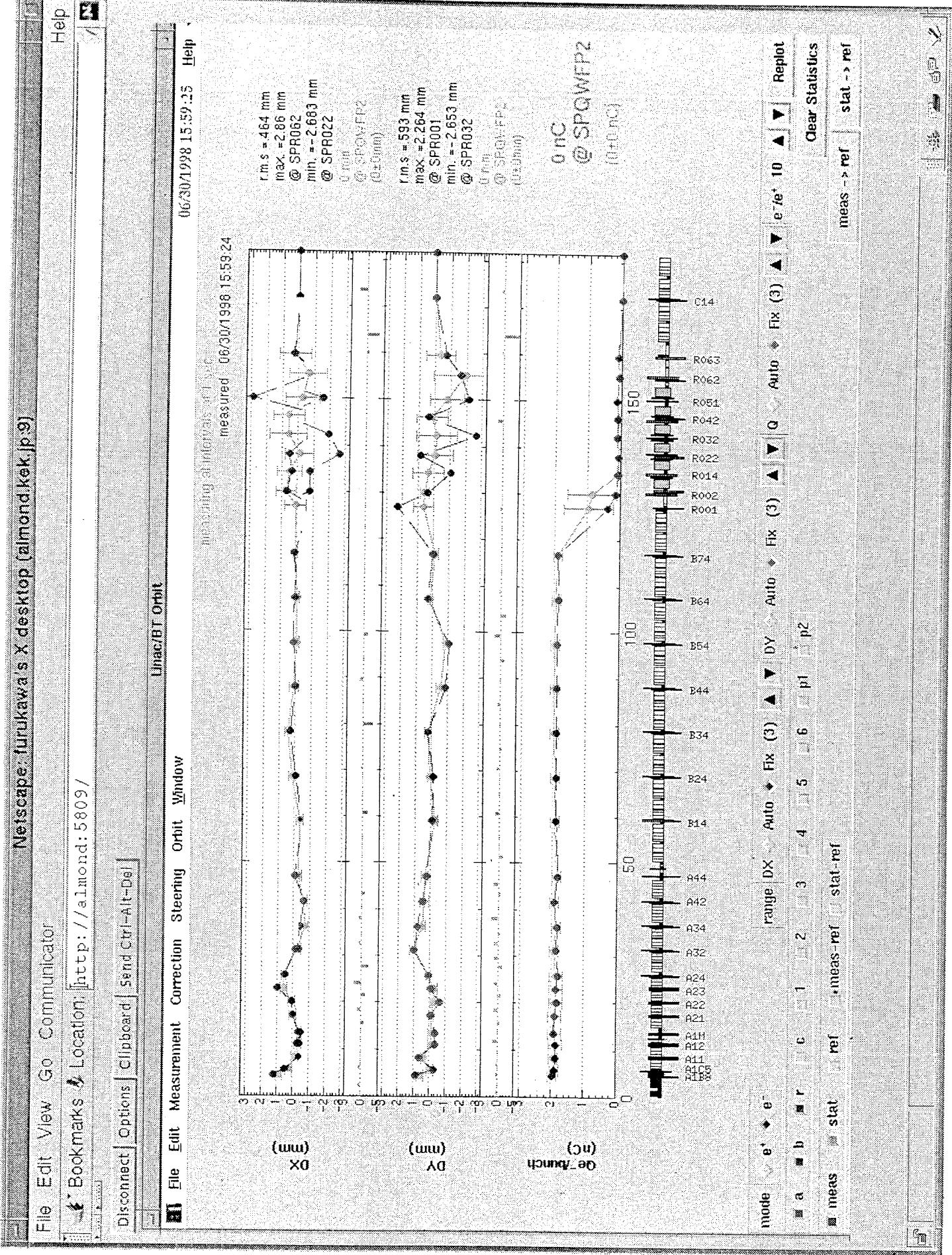


Some of CATV channels may be replaced?

Keymap
to use Oide-san's Classic Emacs env.
vt220 style keymap is necessary
(keypad & function keys)

xmodmap {setup-file}

Font
Font server



Adding External Commands to SAD Script

Pipe

```
fin=OpenRead["! Unix Shell Command "]
Read[fin]
```

Tcl Loadable Commands

```
w=KBMainFrame["DchTest",fmain,Title->"DchTest"];
$DisplayFunction=CanvasDrawer;
w0=Frame[fmain];
c1=Canvas[w0,Width->700,Height->500,Side->"top"];
Canvas$Widget=c1;
```

```
TclEval["load /users/furukawa/lib/OSF1/libdch.so"];
x={};
For[i=0,i<10,i++,
x=Append[x,{i,
TclReturn["Dch_dch general Life float 1 1",Real]
}];
Sleep[2]
];
ListPlot[x];
TkWait[];

Exit[];
```

Any C functions/Fortran subroutines (with cfortran.h) could be added to SAD script.

Source File

```
#include "tcl.h"
static int
Dch_DchCmd(dummy, interp, argc, argv)
    ClientData dummy;           /* Not used. */
    Tcl_Interp *interp;        /* Current interpreter. */
    int argc;                  /* Number of arguments. */
    char **argv;               /* Argument strings. */
{
    ...
    sprintf(interp->result, "%s", dchresult);
    return TCL_OK;
}

int
Dch_Init(interp)
    Tcl_Interp *interp;        /* Interpreter in which the package is
                                * to be made available. */
{
    code = Tcl_PkgProvide(interp, "Dch", "1.0");
    Tcl_CreateCommand(interp, "Dch_dch", Dch_DchCmd, (ClientData) 0,
                      (Tcl_CmdDeleteProc *) NULL);
    return TCL_OK;
}
```

Makefile

```
LIBTCLF = libdch${SHLIB_SUFFIX}

$(LIBTCLF): tcldch.o dch_shlib.o
    ${SHLIB_LD} -o $@ tcldch.o dch_shlib.o

tcldch.o: tcldch.c
    $(CC) -c $(SHLIB_CFLAGS) $(CFLAGS) -o $@ tcldch.c

du:
    $(MAKE) $(TARGET) "CC= cc -std1" "SHLIB_SUFFIX=.so" \
    'SHLIB_LD=ld -shared -expect_unresolved "*" "SHLIB_CFLAGS='

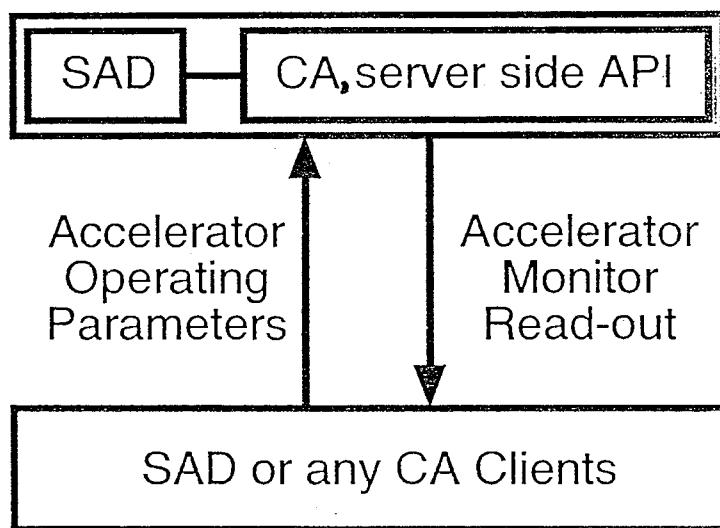
hp:
    $(MAKE) $(TARGET) "CC= cc -Aa -D_HPUX_SOURCE" "RANLIB= echo" \
    "SHLIB_SUFFIX=.sl" "SHLIB_LD=ld -b" "SHLIB_CFLAGS=+z"
```

Accelerator Simulator with CA (Channel Access) Server

CA Server:

Provides Unix (NT) resources to Channel Access Client

Possibility to combine built-in CA server in SAD
accepts magnet fields, klystron fields, etc.
provides beam monitor read-outs



SAD computer system

T. Mimashi

SAD計算機システム

1998年7月8日

三増俊広

1：SADからの要求

ささやかな量のメモリー

ささやかな量のDISK

ささやかなソフトウェア環境

ささやかなI/O Speed

ささやかなサポート体制

+

速いCPU

2：現在のシステム

ハードウェア環境

ACSAD1

機種：DEC Alpha Workstation

OS OpenVMS AXP

ACSAD2

機種：DEC Alpha Server 8200 5/625 4 CPU

性能：SPECint95=18.4 /SPECfp95=20.8

Memory=1.5Gb

OS 日本語DigitalUNIX V3.2C

ACSAD3

機種：DEC Alpha Server 8200 5/300 4 CPU

性能：SPECint95=7.43 /SPECfp95=12.4

Memory=1Gb

OS 日本語DigitalUNIX V3.2C

AHSAD1、AHSAD5

機種：HP 9000/755

Memory=192MB

OS HP-UX 10.2

性能：SPECint95=3.27 /SPECfp95=3.98

AHSAD3

機種：HP 9000/735

Memory=128MB

OS HP-UX 10.2

性能：SPECint95=3.27 /SPECfp95=3.98

User DISK

/users : user directory

/ldata : data from accelerators and simulation

/proj : application software

/SAD : SAD

/scratch :scratch

/users + /ldata => 44GB /proj + /SAD + /scratch => 16GB

ソフトウェア環境

C、C++、FORTRAN、SAD、Mathmatica、ABCI、Mafia、parmela、
trisim、Topdrawer、CERNLIB（PAW等）、Latex、ghostview、GKS、
emacs、EPICS、NODAL etc

基本方針：使いたいソフトは、使いたい人がインストールする。

3：システムの過去、未来

<KEKの計算機システムの問題点>

コンピュータは、生鮮食料品の様なもの

→新製品も半年たつたらもう売れない。

CPUの計算速度の急速な進歩

DISK、メモリー、ストレージシステムの急速な進歩

KEKの計算機システムは、入札の手続きに1年かかる。

→機種が決まったころには、もう旧機種？！

SADが、要求する計算機の規模は大きくなない。

→新製品発表の予定をあらかじめ調べる。

→新製品発表前に、SADのBench Markをする。

→短期間でできる入札の金額の範囲で入札の準備

→新製品発表と同時に入札、購入

→比較的小規模なシステムでスタートして、ボードアップグレードしながらCPUの性能を保つ。

1993年4月

HP Workstation 4台からなるSAD計算機システム運用開始

1994年度

HP Workstation 1台を追加

データ処理センターのHP Workstation 1台にバッチジョブを
流せるように設定

1995年 ACSAD2運用開始

1996年1月 ACSAD3運用開始（4年間のレンタル）

1997年 ACSAD2メモリー増設 500MB→1.5GB

ACSAD2 CPUボードアップデート

今後の動向：

1999年？ ボードアップグレート？

現在の性能：SPECint95=18.4 /SPECfp95=20.8

新しいボード(EV6)：SPECint95=40 /SPECfp95=60

(EV67)：SPECint95=50? /SPECfp95=75?

(EV68)：SPECint95=80? /SPECfp95=?

2000年1月 ACSAD3入れ替え

ユーザー数：

1993年7月

KEK 46名

総研大学生 4名

その他 3名

1998年7月

KEK加速器 約100名

KEK加速器以外 約15名

総研大学生 10名

外部の大学等 36名

企業 約10名

外国人研究者 約35名

Dead User 14名

4：運営方針

いい・かげんな運営 (いいかげんな運営ではない。)

ユーザー アカウント：加速器研究のため（非営利目的）に使用すること
(基本的には、KEKが関係するプロジェクト)

5：論点

- 1 >今後、大量に出てくると思われるKEKB加速器からのデータのストレージは、どうするか。
- 2 >KEKのコンピュータセンターは、セキュリティの関係から、高エネ研内のコンピュータに対する外部からのアクセスを制限する。
 - 1) No Access: 機構外とのネットワークアクセスを行わない。
 - 2) Outgoing only : このクラスの計算機から、機構外の計算機を Telnet, FTP, WWWなどのアプリケーションで利用することが出来る。逆に、機構外から直接にこれらの計算機を Telnet, FTP, WWWなどで利用することはできない。次の incomingクラスの計算機にいったんログインすれば、これらの計算機を機構外から利用することは可能。
 - 3) Incoming : 機構外からのこのクラスへの計算機利用を許可する。利用できるサービスは, telnet, FTP, WWW, X, talk等に制限する。PCなどでも WWWやFTPのサービスを行うにはこのクラスへの登録が必要。クラッカーの攻撃の対象となりうるため、セキュリティ対策を施す必要がある。
- 3 >計算機保守は、ボランティアによる時間外労働によって支えられている。システムの規模、ユーザーの数が年々多くなり、いろいろな面で困難に直面している。

6：その他

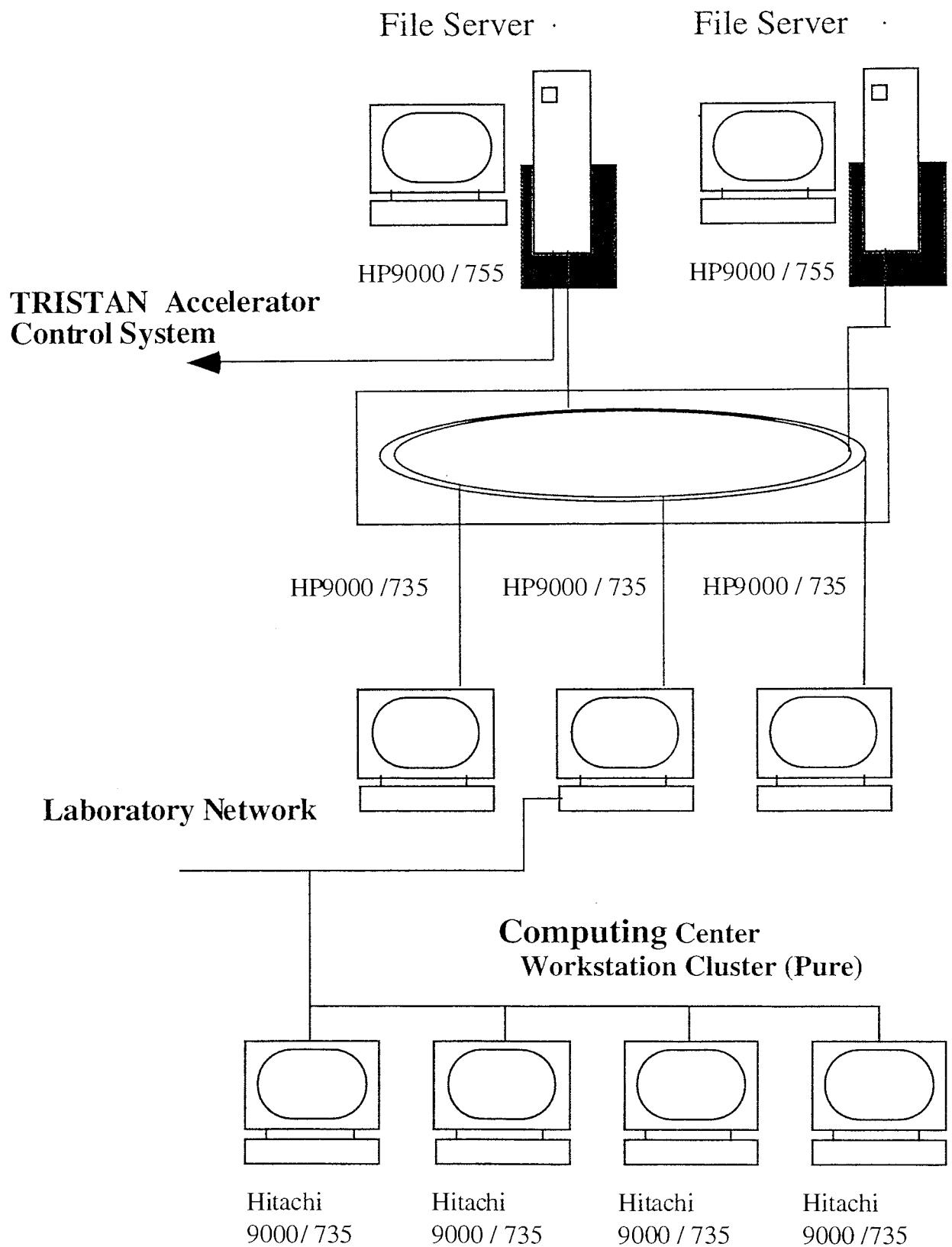
現在、SADのコードを機構外にコピーして、使用している団体は、3団体。今後、そのようなユーザーが増加していく場合どのような対応をとるか。

SADは、毎日の様にアップデートされている。

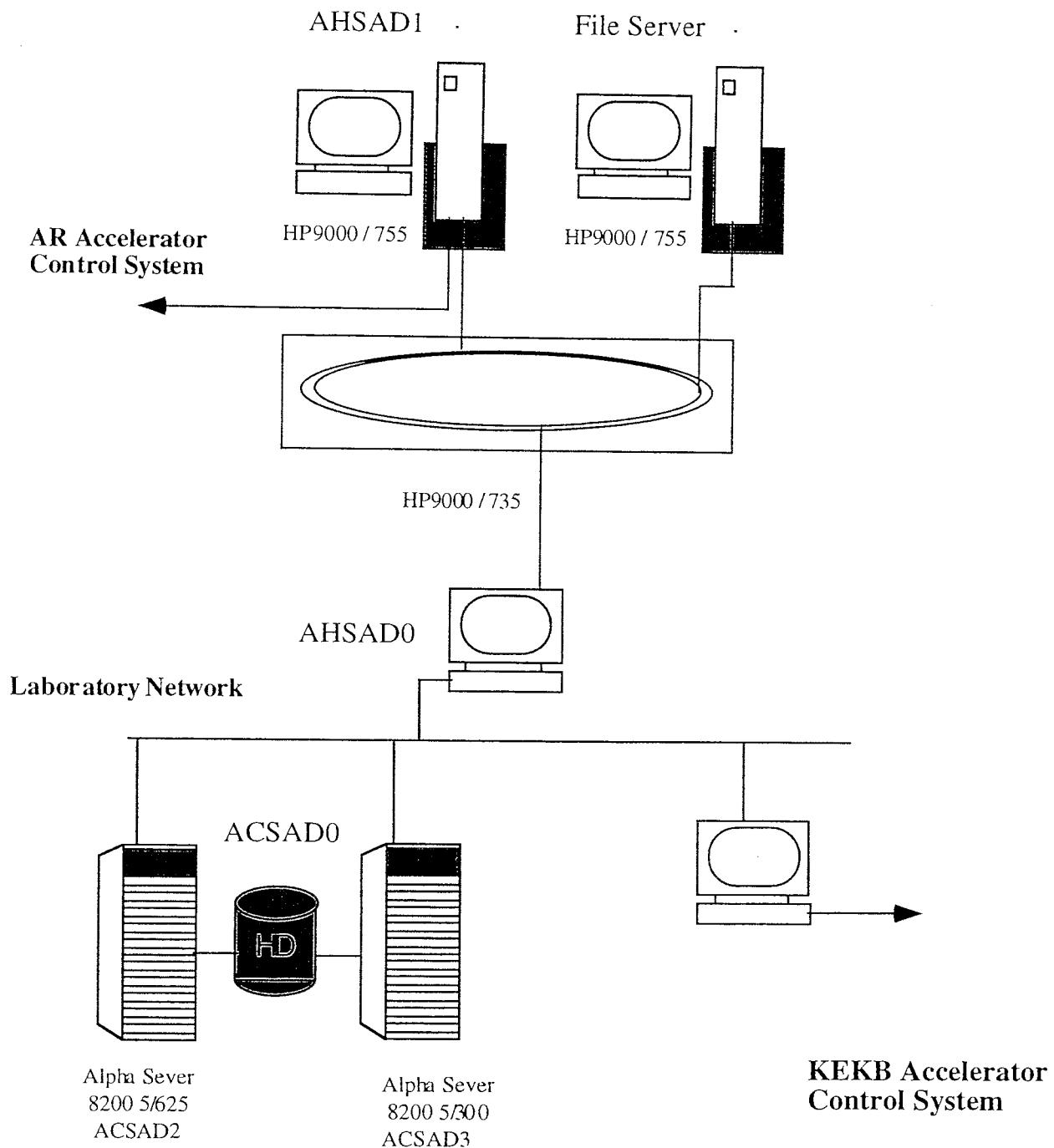
- ー>毎日BUGが、直される。
- ー>毎日別のBUGが作られる。

August 1994

SAD Workstation Cluster



July 1998 SAD Cluster



SAD in Python

N. Yamamoto

SAD in Python

What is "SAD in Python"

- SAD Scriptの機能をPython(FreeなObject oriented Scripting Language)によって代替えしようとの提案。

Benefit

- Portable SAD
- Reduced Cost for Development/Maintenance
- Collaboration with other tools

BY Noboru Yamamoto

Wanted:
Good Hard working Programmers!

Market will make a choice!

Just Do it!

結論

Demerit

- ▶ SAD Script Packageの移植が必要
- ▶ いくつかのSAD/SAD scriptの表現を失う。

☑ Unitの使用。(%、GeV, Deg, ...)

☑ DelayedSet [eg. A:=X+Y] 等の表現が使えなくなってしまう。

Pythonでこれに近いものとしては、`a=lambda x,y:x+y`となったりする。

Collaboration with other tools

» Python ライブリとして世界各 地で開発され
たツールを利用することが可能

↳ Numerical Python (Including LINPACK, FFTPACK)

↳ Graphics (BLT, Gnuplot)

↳ Tkinter

↳ Image Lib

↳ Unix/Psix Library.....

↳ Multi Thread

» Python 自体を、Module, Object 等を追加する
ことで、拡張可能

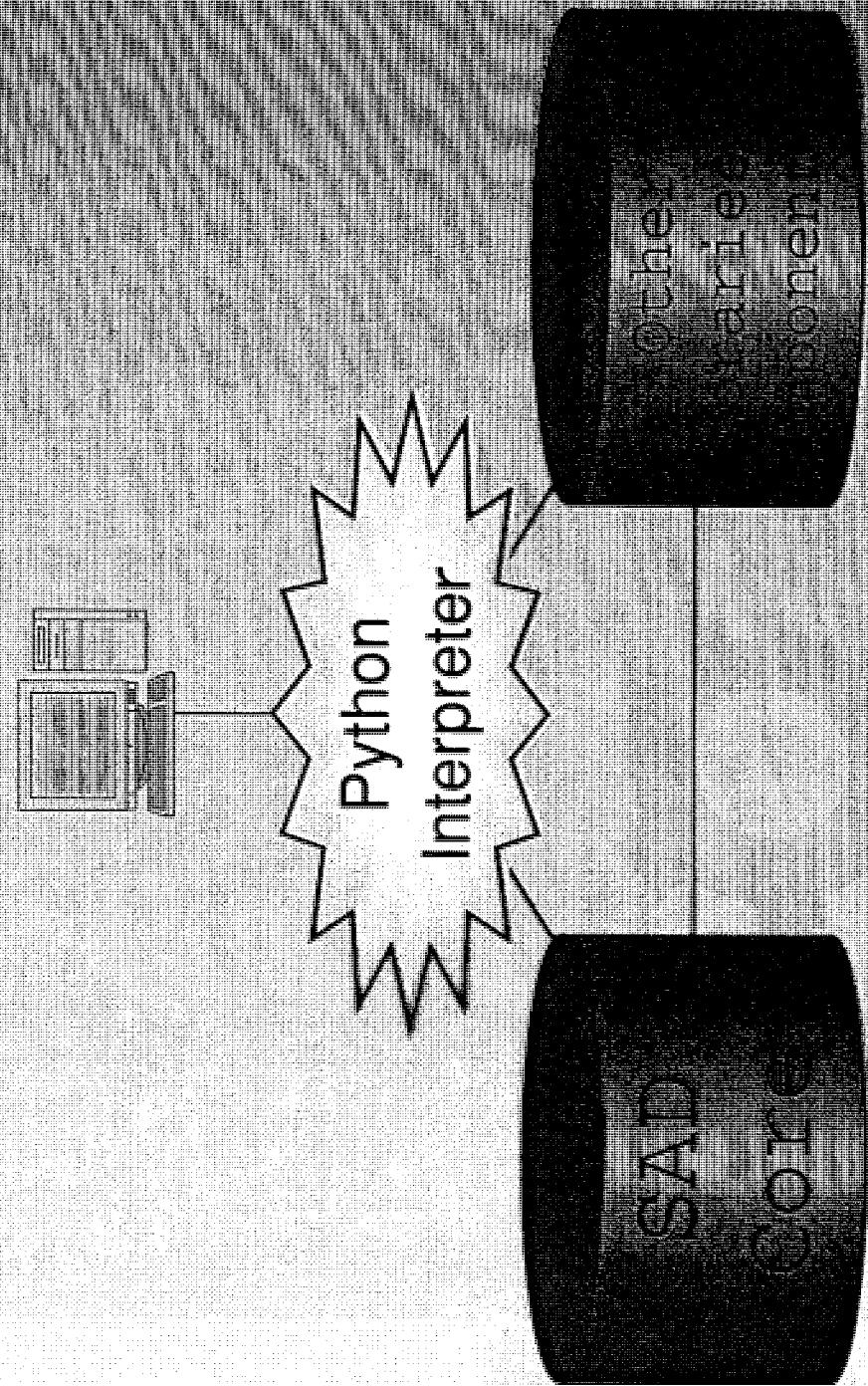
Reduced Cost for
Development/Maintenance
► SAD: SAD 計算機での実行に高度に最適化され
ている。

- 将来の環境変化についていけない可
能性がある。(環境への過適応)
- 12年間の開発の成果をさらに継続させるために
十分な構造をもつていいか?

Portability

- ☑ SAD/SAD script DEC-Fortran に特有の機能を 利
用 し て い る た め 、 他 の 機 種 へ の 移 植 が 困 難 。
- ☑ PythonはC言語で開発。標準的な Unix, Windows,
Mac, … の上 で稼働 し て い る 。
- ☑ SAD/FFSのPackage機能だけ であれ ば 、 標準的 な
Fortran でサポート出 来 る 。

SAD in Python - Architecture



PySAD Sample(2)

```
# # **** DEFINITION OF UNIT CELL #
#
Ncell=LINE(IP1,QF,L1,SF,L1,B,
            3*(L1,) , QD,L1,SD,L1,B,3*(L1,))
#
import time
#
UnitCell=CELL(Ncell)
#
print time.clock()
from math import pi
#
nbends=24          # number of bends per ring
nxcell=0.25        # horizontal tune/cell
nycell=0.25        # vertical tune/cell
#
print time.clock()
#
# ***** UNIT CELL MATCHING *****
#
B.angle=2.*pi/nbend
#
# setting bending angle to the BEND B
(conv, old_config) =
    (conv, old_config)=UnitCell.Fit(
        conv, old_config) =
```

PySAD sample

```
from PySad import  
Drift,Bend,Quad,Sext,MARK,CAVI  
  
MOMENTUM= 1E9;  
class L1(Drift) : l=1  
class B(Bend) : l=2  
class QF(Quad) :  
    l=1;k1=0.1  
class QD(QUAD) :  
    l=1;k1=0.1  
class QSF(QF) : pass  
class QSD(QD) : pass  
class QRF(QF) : pass  
class QRD(QD) : pass  
class SF(Sext) :  
    l=1;k2=0.1  
class SD(Sext) :  
    l=1;k2=-0.1
```

SAD Script Sample(2)

```

LINE CELL = (IP1 QF L1 SF L1 B 3*L1 QD L1 SD L1 B 3*L1)
;
EFS USE=CELL;
Print[TimeUsed[]]; ! CPU Time used so far.

!
! Defining parameters:
!

nbends=24; ! number of bends per ring
nxcell=0.25; ! horizontal tune/cell
nycell=0.25; ! vertical tune/cell
Print[TimeUsed[]]; ! CPU Time used so far.

!
**** UNIT CELL MATCHING ****
!

CELL; ! periodic condition
B 2*Pi/nbends; ! setting bending angle to the BEND B
FIT; ! set fit point at end of line
NX nxcell; ! set fit condition NX
NY nycell; ! set fit condition NY
FREE Q*; ! set Q* (in this case QF and QD) as the matching
           ! variable
GO; ! start matching
dr:=EFS["OUT 'a' DRAW BX BY & EX EY {BQ}*; TERM OUT; TDR 'a'; "];
dr; ! draw optics of unit cell
SAVE; ! save the matching result (values of QF, QD) to
      ! keep them after switch the beam line.
Print[TimeUsed[]]; ! CPU Time used so far.

```

Sample Sad Script

```
! This is an example of SAD/FFS to design a positron ring
! with unit cells and dispersion suppressors. Chromaticity correction
! and also a survey of dynamic aperture are also done.
! The result of execution of this example is available in
! /SAD/doc/design_example.sad.result

MOMENTUM= 1 GEV;
ON ECHO;OFF CTIME;
! **** DEFINITION OF ELEMENTS IN MAIN LEVEL ****
;

DRIFT L1 = (L = 1)
;
BEND B = (L = 2)
;

QUAD QF = (L = 1 K1 = 0.1 )
QD = (L = 1 K1 = -0.1 )
QSF = (L = 1 K1 = 0.1 )
QSD = (L = 1 K1 = -0.1 )
QRF = (L = 1 K1 = 0.1 )
QRD = (L = 1 K1 = -0.1 )
;

SEXT SF = (L = 1 K2 = 0.1)
SD = (L = 1 K2 = -0.1)
;

MARK IP1 = (BETAX = 10 BETAY = 10 EMIX = 4.0E-7
EMIY = 4.0E-7 DP = 0.01 )
```


Object Oriented Programming is SAD Script

N. Akasaka

Object-Oriented Programming in SAD Script

KEK N. Akasaka

```

DRIFT L1      = (L = 1)
;
BEND B       = (L = 2)
;
QUAD QF      = (L = 1 K1 = 0.1 )
QD      = (L = 1 K1 = -0.1 )
QSF     = (L = 1 K1 = 0.1 )
QSD     = (L = 1 K1 = -0.1 )
QRF     = (L = 1 K1 = 0.1 )
QRD     = (L = 1 K1 = -0.1 )
;
SEXT SF      =(L = 1 K2 = 0.1)
SD      =(L = 1 K2 = -0.1)
;
MARK IP1     =(BETAX = 10    BETAY =10    EMIX = 4.0E-7
            EMIY = 4.0E-7   DP = 0.01 )
;
CAVI CA1 = (L = 1 VOLT=1 MV HARM=100)
;
!
! ***** DEFINITION OF UNIT CELL IN MAIN LEVEL *****
!
! You need at least one LINE to start FFS, but
! other lines can be created in FFS.
!
;
LINE CELL = (IP1 QF L1 SF L1 B 3*L1 QD L1 SD L1 B 3*L1)
;
FFS USE=CELL;
Print[TimeUsed[]];! CPU Time used so far.
!
! Defining parameters:
!
nbends=24;           ! number of bends per ring
nxcell=0.25;          ! horizontal tune/cell
nycell=0.25;          ! vertical tune/cell
Print[TimeUsed[]];! CPU Time used so far.
!
! ***** UNIT CELL MATCHING *****
!
CELL;                 ! peridic condition
B 2*Pi/nbends;        ! settin bending angle to the BEND B
FIT;                  ! set fit point at end of line
NX nxcell;             ! set fit condition NX
NY nycell;             ! set fit condition NY
FREE Q*;              ! set Q* (in this case QF and QD) as the matching
                      ! variable
GO;                   ! start matching

```

```

! Element Instantiation

l1 = Drift[l->1];
b = Bend[l->2];

qf = Quad[l->1, k1->0.1];
qd = Quad[l->1, k1->-0.1];
qsf = Quad[l->1, k1->0.1];
qsd = Quad[l->1, k1->-0.1];
qrf = Quad[l->1, k1->0.1];
qrd = Quad[l->1, k1->-0.1];

sf = Sext[l->1, k2->0.1];
sd = Sext[l->1, k2->-0.1];

ip1 = Mark[betax->10, betay->10, emix->4.e-7, emiy->4.e-7, dp->0.01];
cal = Cavity[l->1, volt->(1 MV), harm->100];

! Create BeamLine object
cell = BeamLine[ip1,qf,l1,sf,l1,b,3*l1,qd,l1,sd,l1,b,3*l1];

nbends = 24;
nxcell = .25;
nycell = .25;

cell.Cell[];
b.angle = 2*Pi/nbends;                                ! or b.setangle[2*Pi/nbends];
cell.Fit[];
cell.FitCondition["NX", nycell];
cell.FitCondition["NY", nxcell];
cell.Free["Q*"];
cell.Go[];

```

SADでOOP(オブジェクト指向プログラミング)を実現するためには必要と思われる機能

名前空間 (name space)

Global, local以外に、Class内に閉じた名前空間が必要。クラス定義や下のメンバーアクセス演算子の右側に適用される。

メンバーアクセス演算子 (.)

オブジェクトのメンバ(データまたは関数)をアクセスする。

継承 (inheritance)

関数定義の再利用。

コンストラクタ、デストラクタ (Constructor[], Destructor[])

オブジェクトの生成・消滅時に自動的に処理を行う関数。

自分自身への参照 (This)

メンバではない関数に自分自身を渡す場合等。

SADでOOP(オブジェクト指向プログラミング)を実現するためには
た方が良いと思われる機能

Class[]外でのメンバ関数定義

Classの構造をソースコードから読み取るにはこの方が良い?
キーワードによるオブジェクトの初期化
Beam Line Elementの生成時に便利か?

クラス定義

```
ClassName = Class[ { ParentClassName } ,  
                    { ClassVariableName } ,  
                    { InstanceVariableName } ,  
                    FunctionDefinitions  
                ] ;
```

オブジェクトの作成 (instantiation)

```
InstanceName = ClassName[ ConstructorArguments ] ;
```

メンバのアクセス

```
InstanceName. MemberName
```

その他：

アクセスコントロール (access control)

全てのメンバがどこからでもアクセスできることになる。

静的メンバ関数の区別

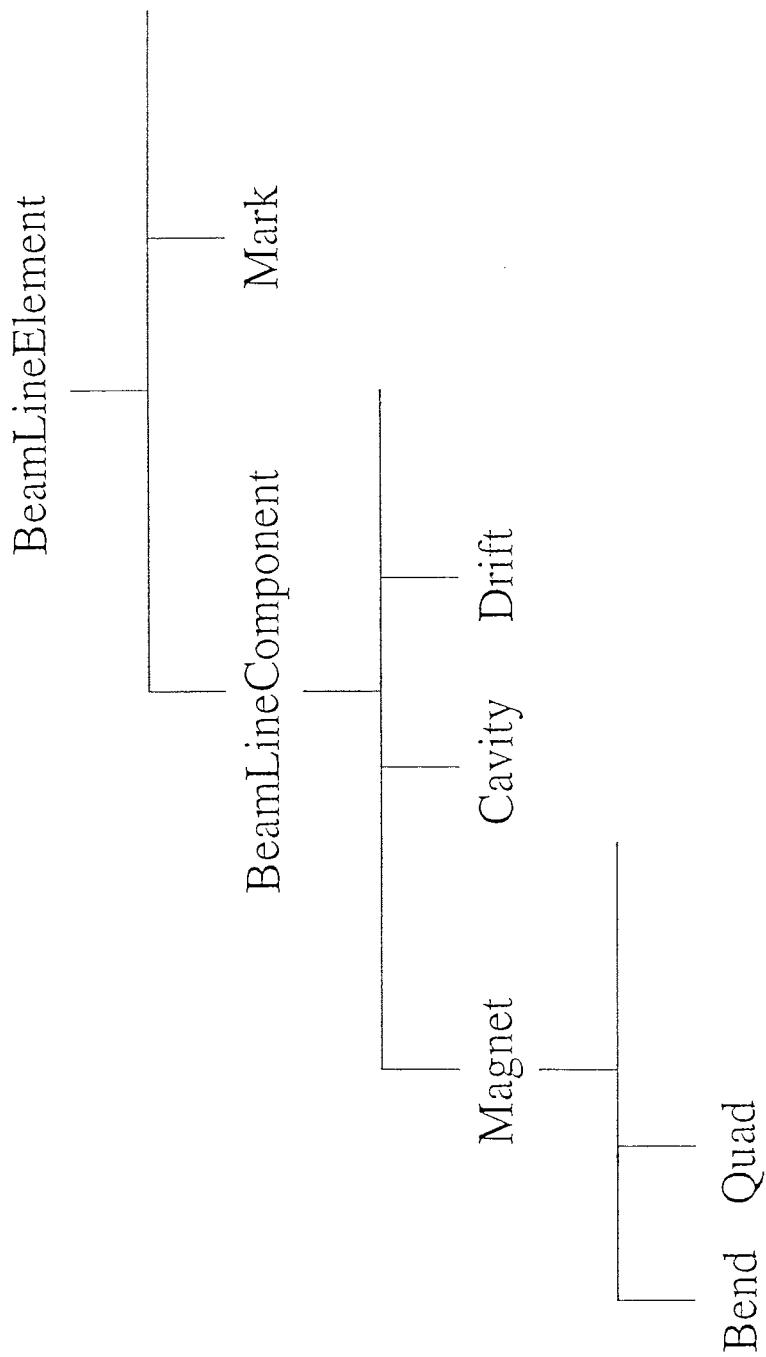
静的でないメンバ関数をクラス名で呼ぶとどうなるか？

オブジェクトへの参照

$a = b$ は同一オブジェクトへの新しい参照になるのかそれとも新しいオブジェクトがコピーによって作られるのか？ また $a == b$ や $a == b$ の値はどう定義するか？

速度

十分に早い実装が可能か？



```

BeamLineComponent = Class[{BeamLineElement},
  {},
  {ax,bx,ay,by,.....,
   l=0,dx=0,dy=0,rotate=0,el=Null,name},
  Constructor[n_] := (name = n);
  Name[] := name;
];

Magnet = Class[{BeamLineComponent},
  {},
  {fset,disfrin,disrad,.....},
  Set[fv_] := (fset = fv; LowLevelSetField[This,fv]);
  Set[] := LowLevelSetField[This,fset];
  SetValue[] := fset;
  Get[] := LowLevelGetField[This];
  DeGauss[];
];

Bend = Class[{Magnet},
  {},
  {angle,k0,.....},
  Constructor[n_,v_] := (BeamLineComponent.Constructor[n]; angle = v);
];

Quad = Class[{Magnet},
  {},
  {k1,.....},
  Constructor[n_,v_] := (BeamLineComponent.Constructor[n]; k1 = v);
];

BeamLine = Class[{},
  {currbl=Null},
  {bl,name},
  Constructor[bll_List] := (bl = bll);
  Constructor[blc___] := (bl = {blc});
! Destructor[] := Scan[#=.,bl];
  Name[] := name;
  Print[] := PrintBeamLine[This];
  Use[] := If[This==>currbl, FFS["use="//name]; currbl = This];
  CurrentBeamLine[] := currbl;
  Write[];
  Go[];
];

BeamLine.Print[] := PrintBeamLine[This];

```


SAD + C ++ = SAD++?

K. Ohmi

SAD + C++ = SAD++ ?

K.OHMI

*National Laboratory for High Energy Physics,
1-1, Oho, Tukuba, Ibaraki, 305, Japan*

平成 10 年 7 月 9 日

1 Intoduction

7 日の DA library を含むコード (sad+) では多項式、
map をオブジェクトとして扱っていた。sad+は加速器
についてもオブジェクト化されているので、それについて
紹介する。

2 Virtual accelerator model

この Section では加速器やそれを構成する要素をオブジェクトとして捉え、それを C++ のクラスで実現させる。ここまで扱ってきたオブジェクトは抽象的な概念からきたものであったが、ここでは現実的なオブジェクトを扱う。ここでの加速器の構成要素はあくまでも力学系を扱うためのオブジェクト化で、また違った観点に立てば別のオブジェクト化になるであろう [?].

まず加速器をビームライン上に粒子の運動に対して作用を与える、運動を測定する要素の集まりと考え、基本クラスとして class Element を作る。Element の実体はビーム方向の長さだけとする。もちろんフィジカルアパーチャとして横方向のサイズを入れることも考えられる。

次に実際の構成要素である、偏向磁石、収束磁石、RF Cavityなどを Element から派生させる。偏向磁石は Element の持つ長さという量に加えて、偏向角、エッジ角を持つ。その他の要素も同様に考える。これらは以下の element.h を見ることでわかる。これらのオブジェクトは単品としての性質を持たせてある。そしてこれらの要素を加速器に組み込むわけだが、並んだ状態のオブジェクトを class Line_element で表す。Line_element の実体は以下のように、Element のポインタと据付誤差、つぎの Element までの距離と計算機上での address である。ここで Element のポインタを使ったのは、いろいろな種類の Element オブジェクトを入れるためにある。このポインタの示す先には、偏向磁石等の実際のオ

プロジェクトが入れられる。そして Line_element をつなげたオブジェクトを LineList、はたまた加速器 class Accelerator と考える。

```
#ifndef ELEMENT_H
#define ELEMENT_H

#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <iostream.h>
#include "map_double.h"
#include "map_da.h"
#include "track.h"

class Element
{
protected:
//    enum eltype { Drift=1, Bend, Quad, CBend, Thin };
//    eltype type;
    double length;
public:
    // Constructor

    Element(void) {}
    Element(double* K) { length=K[0]; }
```

```

Element(const Element&);

Element& operator=(const Element&);

double get_length(void) { return length; }

virtual void print(void)
    { cout<< "length= " << length << '\n'; }

virtual void mapping(map_double& x);
virtual void mapping(map_da& x);
virtual void mapping(pBeam& x);

};

class Drift : public Element
{
public:
    Drift(double* K)
        : Element(K) {}

    void print(void) { Element::print(); }

    void map_double mapping(map_double&);

    void map_da mapping(map_da&);

    void mapping(pBeam&);

};

class Bend : public Element
{
    double phi_0,e1,e2,phi,omega,rho_0,rho;
    double sin_e1,sin_e2,cos_e1,cos_e2;

```

```

double sin_omega,cos_omega,sin_om_e1,cos_om_e1;

public:
Bend(double* K)
    : Element(K) {
    phi=K[1];
    phi_0=K[2];
    e1=K[3];
    e2=K[4];

    omega=phi-e1-e2;
    rho=length/phi;
    rho_0=length/phi_0;
// .....

    cout<< "initialize Bend\n";
}

void print(void) { Element::print();
    cout<< " phi,e1,e2=" << phi << " " << e1 << " " <<

void mapping(map_double&);
void mapping(map_da&);
void mapping(pBeam&);

};

class Quad : public Element
{
int N_div;

```

```

double K1,ds0,rk,sqrk;
double a11,a12,b11,b12,a11h,a12h,b11h,b12h;

public:
    Quad(double* K) : Element(K)
    {
        N_div=(int)K[1];
        K1=K[2];
        // .....
    }

    void print(void) { Element::print();
        cout<< " K1=" << K1 << '\n';}

    void mapping(map_double&);
    void mapping(map_da&);
    void mapping(pBeam&);

};

class Line_element
{
public:
    Element* M;
    double dx,dy,dtheta;
    double DR_space;
    double entrance,exit;

```

```

Line_element* next;
void print(void);
void mapping(map_double&);
void mapping(map_da&);
void mapping(pBeam&);
// Line_element(void) {
};

class Line_list
{
    Line_element* first;
    Line_element* last;
    double length;
public:
    Line_list(void) {first=last=new Line_element; length=0.0}
    void clear() {last=0;}
    Line_list& insert(Line_element* a);
    Line_list& append(Line_element* a);
    friend int input(Line_list&);
    void print(const char* );
    void mapping(map_double&);
    void mapping(map_da&);
    void mapping(pBeam&);
};

class Accelerator: public Line_list
{
    double* rmu;

```

```
public:  
    Accelerator(void): Line_list() {}  
    void mapping(map_double&);  
    void mapping(map_da&);  
    void mapping(pBeam&);  
};  
  
#endif
```

3 mapping

各クラス、各要素は mapping という関数を持っている。引数は map_double, map_da, pBeam のいずれかである。Element その要素に対応した変換則を用い、map を変換していく。よって以下のような書き方はすべて有効でそれに適切な方法で map を求めてくれる。

```
Bend B1("ANGLE=1e-2, L=1.2, E1=0.5, E2=0.5");
Quad Q1("L=0.5, K=0.8");
Accelerator PF=B1+Q1;

map_da x_in,x_out;
map_double y_in,y_out;

.....(Initialize).....



x_out=x_in;
B1.mapping(x_out);
Q1.mapping(x_out);
x_out=x_in;
PF.mapping(x_out);

y_out=y_in;
B1.mapping(y_out);
Q1.mapping(y_out);
y_out=y_in;
PF.mapping(y_out);
```

もう少し本格的な例として Tracking program を示す。

```
#include <sadplus.h>

void main(int argc,char* argv[])
{
    int i,j;

    EMIT SAD;
    Beam BEAM;
    Accelerator PF;
    int nturn,np;
    double xinit,yinit;
    char str[256],strtmp[256];

    strcpy(strtmp,argv[1]);  strcpy(str,strtmp);  strcat(str,".in")
    cout << "Input File =" << str << "\n"; cout.flush();
    np=atoi(argv[2]);  nturn=atoi(argv[3]);
    xinit=atof(argv[4]);  yinit=atof(argv[5]);
    cout << "np= " << np << ",  nturn= " << nturn << ",  xinit="
        << xinit << ",  yinit=" << yinit << "\n\n";
    cout.flush();

    OperatingParameterSet(str,BEAM,SAD,PF);
    cout << "Circumference = " << Length(PF) << '\n';
    cout << SAD;

//-----
// pBeam
//-----

    cout.flush();
    pBeam xx(np);
    matrix Benv(6,6);
    double orbit[6],Jx,Jy,Jz;

    cout.flush();
    xx.SetNdump(10);
```

```

xx.Initialize("Gaussian", *SAD.Beam_envelope);
for(i=0;i<np;i++) {
    xx[0][i]+=xinit;
    xx[1][i]+=yinit;
}

strcpy(str,strtmp);  strcat(str,".f8");  ofstream trout(str,ios::out);
strcpy(str,strtmp);  strcat(str,".f9");  ofstream trout2(str,ios::out);

cout << "\n*****";
cout << " Turn      np      <x>          <px>        <y>        <p>
<< "<z>      <delta>""
<< "      <xx>      <yy>          <zz>        <xz>        <yz>
cout << "Tracking_start\n";

for(i=0;i<nturn;i++) {
    PF.Mapping(xx);
    //    SAD.SynchrotronRadiation(xx);
    trout << "TURN"; trout.width(5); trout.fill('0');
    trout << i+1 << "\n";
    trout.fill(' '); trout << xx;
    if(i==500) {
        xx.SetNdump(1000);
        trout2 << xx;
        xx.SetNdump(10);
    }
    is_survive(xx);
    BeamSizeMonitor(xx,orbit,Benv);
    //    Jx=0.23455*orbit[0]*orbit[0]+4.26348*orbit[1]*orbit[1];
    //    Jy=0.20432*orbit[2]*orbit[2]+4.89436*orbit[3]*orbit[3];
    cout.width(5); cout << i << ' '; cout.width(6); cout << xx.np;
    cout.setf(ios::scientific);
    cout.precision(4);
    for(j=0;j<6;j++) {
        cout.width(11); cout << orbit[j] << ' ';
        cout << Benv[0][0] << ' '<< Benv[2][2] << ' '<< Benv[4][4] <
        << Benv[0][4] << ' '<< Benv[2][4] << '\n';
    }
}

```

```
    cout << "Tracking_end      Turn=" << i << "\n";
    trout.close();
    trout2.close();
}
```

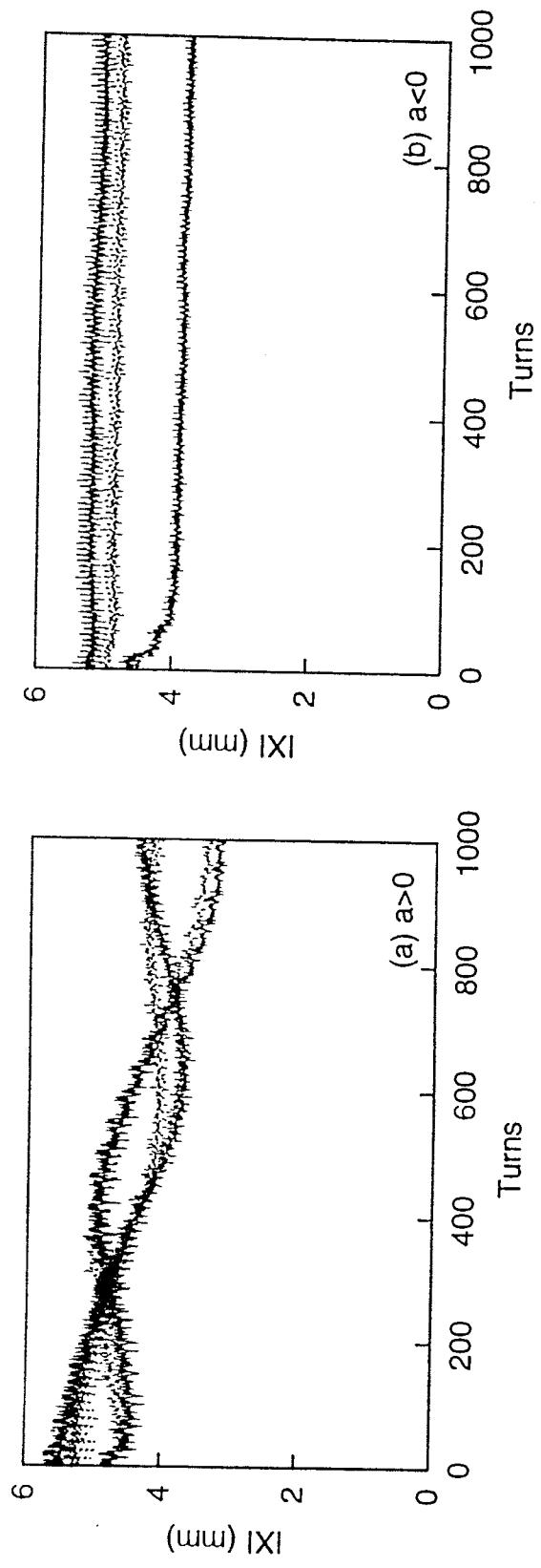


Figure 2: Evolution of $|X| = \sqrt{2\beta J}$ for five macro-particles chosen arbitrary. (a) and (b) are evolution of $|X|$'s for a positive and negative amplitude dependent tune shift.

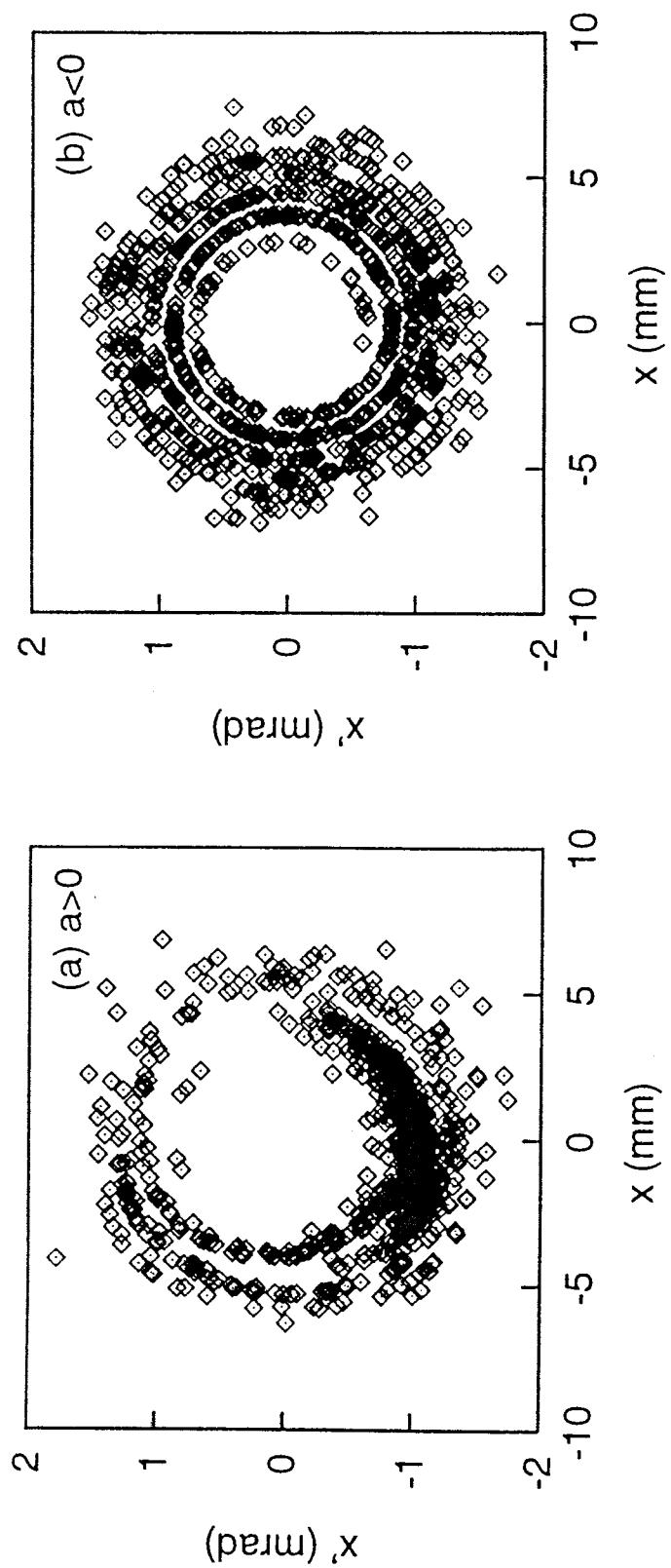


Figure 3: Phase space distribution of macro-particles after 500 revolutions. (a) and (b) are distributions for a positive and negative amplitude dependent tune shift.

oscillation for each sign of a completely coincided with the simulation. The echo was observed around ~ 550 -th turn at the experiment. It is certain that the phenomenon discussed above actually comes into existence in the experiment.

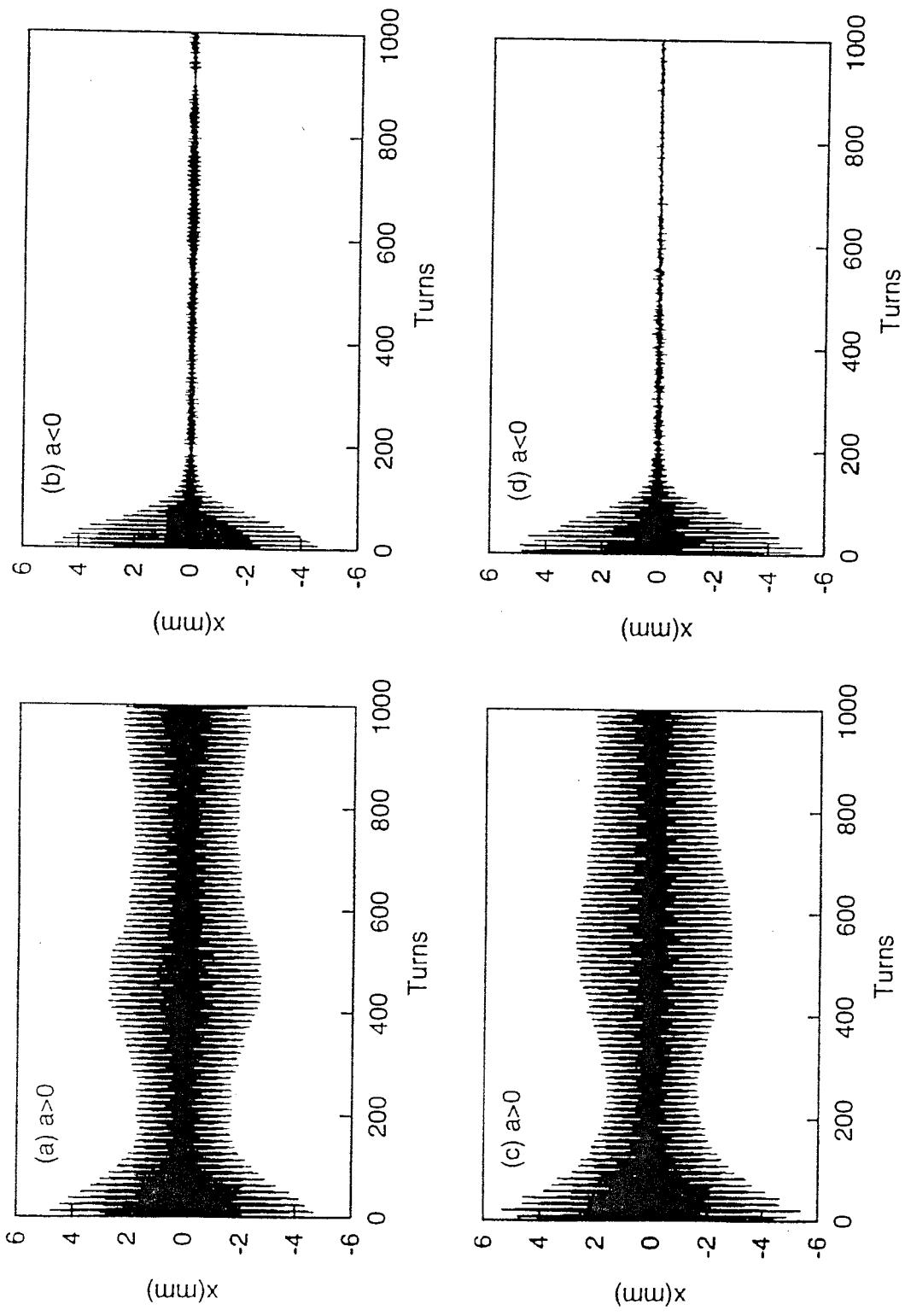
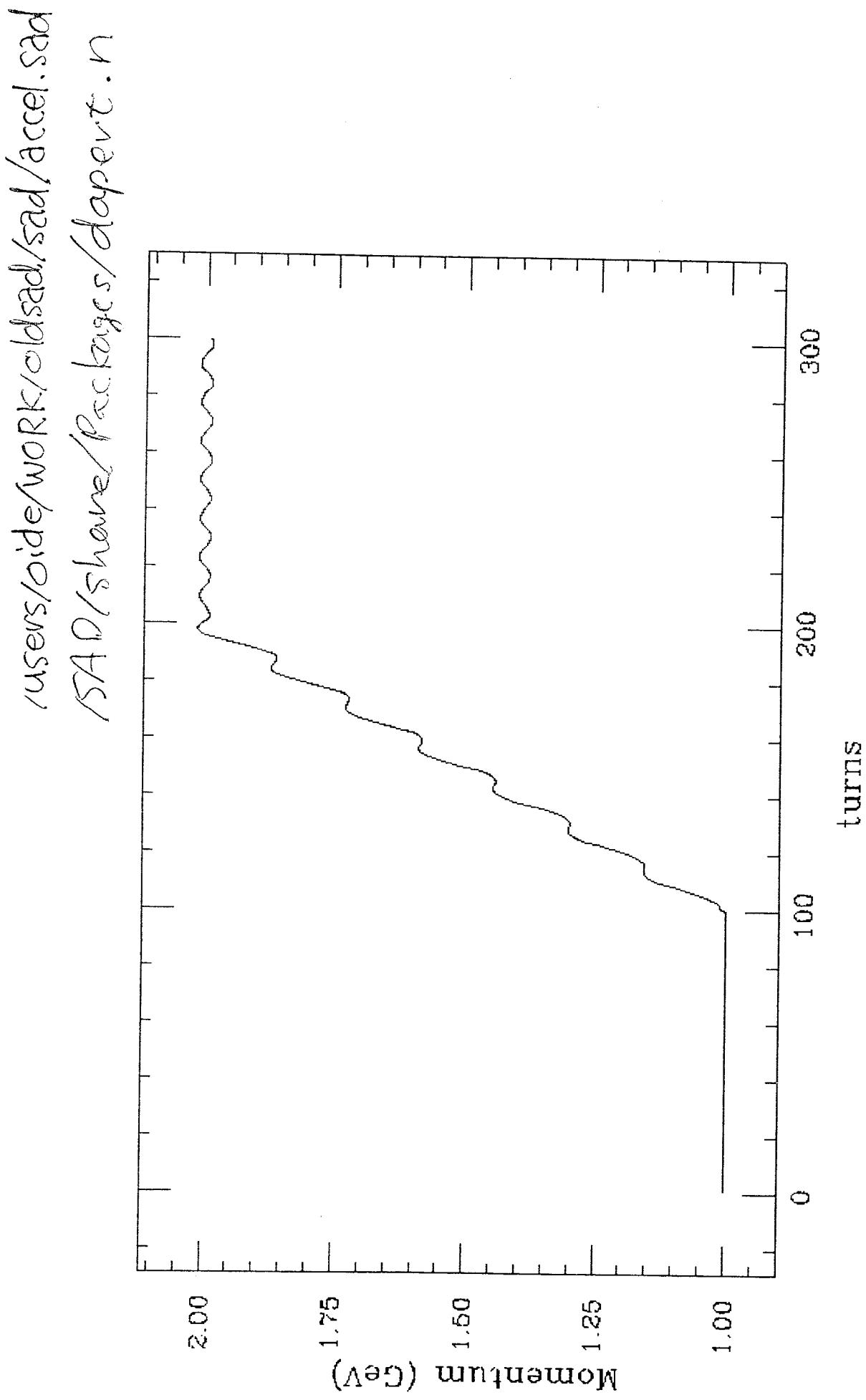


Figure 4: Betatron oscillation affected by the wake force. (a) and (b) show betatron oscillation obtained by the simulation for positive and negative amplitude dependent

SAD Update V1.0.7.6.11b Accelerator Particles

K. Oide

AccelerateParticles



From: KEKVAX::OIDE
To: @SADUSERS.
CC: OIDE
Subj: SAD Update. V1.0.7.6.11b. AccelerateParticles.

Dear Users:

1. A new function AccelerateParticles has been introduced to simulate an acceleration in a storage ring. This is just the ver trial version, so please try it and send me your feedback about it.

Usage: beam1 = AccelerateParticles[
 beam,
 momentum,
 {n, nturn},
 options];

where

beam: initial particles data, in the same format as TrackParticles:
 {1, {{x1,...},{px1,...},{y1,...},{py1,...},{z1,...},{dp1,...},{flag1,...}}}.
beam1: final beam data.
momentum: an expression which contains n to give the MOMENTUM at
 the n-th turn.
n: a symbol to represents the turn number.
nturn: total number of turns.
options:
 If Synchronize:>fun is specified, fun[n, beam] is called just before
 the n-th turn. This is useful to set various rf parameters or to
 monitor the particles at each turn.

Remarks:

1. MOMENTUM is set to the new value at the beginning of line, in every turn.
2. Coordinates of particles are renormalized at the beginning of line.
 according to the new MOMENTUM.
3. MOMENTUM remains at the flat-top on exit of AccelerateParticles.

Example:

```
beam = AccelerateParticles[beam, 1e9+n*1e7, {n, 100},  
                          Synchronize:>(Print[{#, #2[[2, {5, 6}], 1]}]&)];
```

K. Oide

Summary Talk

N. Kumagai, Y. Mori

SAD

① KEK の加速器の歴史 および 経験の
集大成 (た)

現在 進行型 ヨット

生山 SAD

② 利用

- ・ 加速器 設計 → 適用範囲?
- ・ " ヒーメル 御

③ 利用の拡大

SAD $\pi^+ \rightarrow \emptyset (?)$ ホーリンテック



π⁺ $\pi^+ \rightarrow \emptyset \uparrow$



利用を進めるために

user friendly な インターフェース

・ $\pi^+ \rightarrow \pi^+$ の整備

・ 開発中の課題

ハドロン加速器

加速されたハドロンビームの利用

一次ビーム (陽子、重イオン)

限定的 (医学利用、LHC、RHIC)

brightness

二次ビーム (μ, ν, K, π , 中性子、不安定核)

多様性 (JHF, μ -collider, SNS)

high current

not necessary "high intensity"

* 数 GeV~10GeV

* rapid cycling

*compact machine:

sector magnet -->higher order
fringing field
測定磁場から

*acceleration : rapid cycling

*beam loss

slow loss : space charge, halo
intrabeam $<\gamma_t$
equilibrium?

