

# 第1回 SAD ワークショップ講演記録集

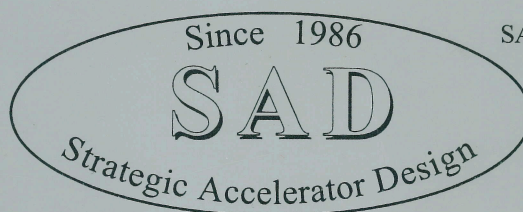
1998 年 7 月 7 日～9 日

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



**Nonlinear Analysis**  
Taylor map by automatic differentiation  
Lie algebraic map

**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)

高エネルギー加速器研究機構  
加速器研究施設



# 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



**Nonlinear Analysis**  
Taylor map by automatic differentiation  
Lie algebraic map

**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)

高エネルギー加速器研究機構  
加速器研究施設



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ンス計算がMAINレベルで動いていた。
- 1988 オプ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 周期的オプ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ったが、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ぞれ異なるために、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ン偏極の計算に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える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発揮することは無く、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向を指し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 KEBK 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 KEBK 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
福岡 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)

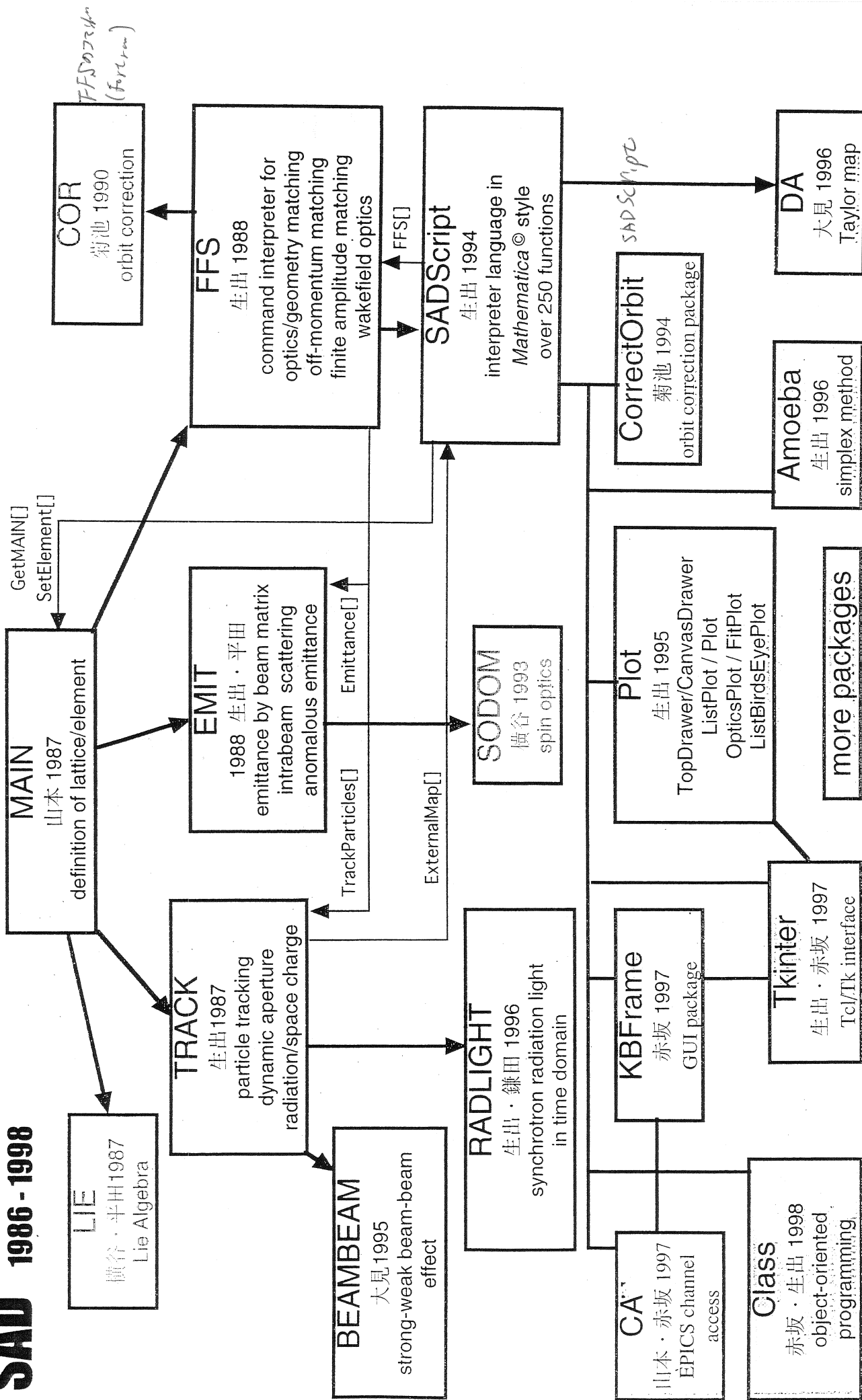
## SAD System Managers:

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



# Elements and Keywords

Definition Syntax:

Main Level:

$$\begin{aligned} \textit{element\_type element} &= (\textit{keyword} = \textit{expr.} \dots) \\ \textit{element1} &= (\textit{keyword} = \textit{expr.} \dots) \\ &\dots ; \end{aligned}$$

Example:

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

Function: (FFS ~~SAD~~ script) ~~SAD~~ script main ^ 入力子内数

$$\text{SetElement}[\textit{element}, \textit{type}, \{ \textit{keyword} \rightarrow \textit{value}, \dots \}]$$

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 K0 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 transforma- tion	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 K0 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: *head of Beamline と いう リスト*

```
BeamLine[element1, element2, ...]
```

Example:

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

*expand して いる。  
FFS して lattice を 作 成 する*

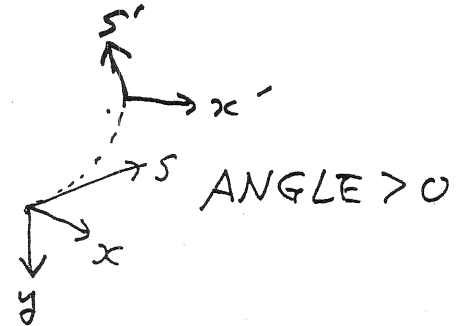
## construction of beam line

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  $(\text{DX}, \text{DY})$  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  $\chi_3$  (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  $(\xi, \eta, \zeta)$  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.

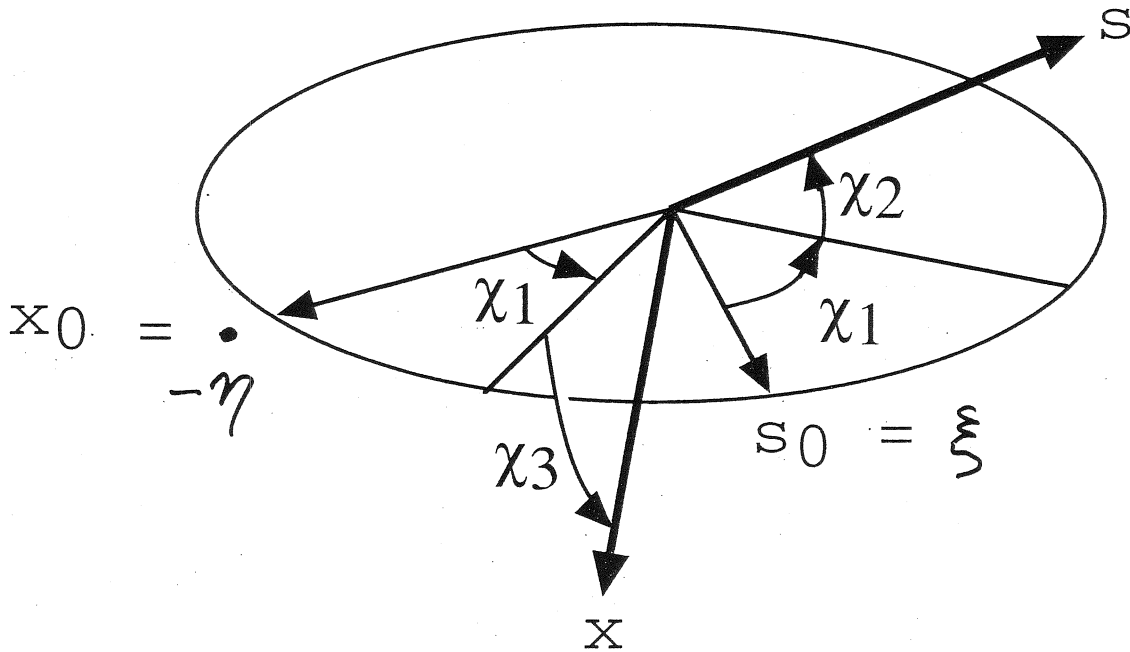


Figure 1: Rotation of the local coordinate is expressed by angles  $\chi_1$ ,  $\chi_2$ , and  $\chi_3$ .

## 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 (K1).

The entire transformation is:

( rotation *rotation* による )

(drift to the entrance face)

$$x2 = x1 / (\cos(\psi1) - \sin(\psi1) (px1/pz1))$$

$$px2 = px1 \cos(\psi1) + pz1 \sin(\psi1)$$

$$y2 = y1 + (py1/pz1) x2 \sin(\psi1)$$

$$z2 = z1 - (p1 / pz1) x2 \sin(\psi1) ,$$

$$\text{where } \psi1 = \text{ANGLE} * E1;$$

(linear fringe at entrance face)

$$x2 = x1 + dxfr (p1 - p0)/p1$$

$$py2 = py1 + dyfr y1/p1^2$$

$$z2 = z1 + (dxfr px1 + dyfr y1^2/(2 p1))/p1$$

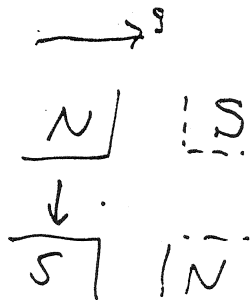
$$\text{where } dxfr = F1^2/(24 \text{ rhob}) ,$$

$$dyfr = F1/(6 \text{ rhob}^2) ,$$

$$\text{rhob} = L' / (\text{ANGLE} + K0) ,$$

$$L' = L - (\text{ANGLE} F1)^2 / (24 L)$$

$$* \sin(\text{ANGLE} (1 - E1 - E2)/2) / \sin(\text{ANGLE}/2)$$



(nonlinear fringe at entrance)

$$x2 = x1 + y1^2 p1^2 / (2 \text{ rhob} (p1^2 - px1^2)^{(3/2)})$$

$$py2 = py1 - px1 y1 / (p1 \text{ rhob} \sqrt{p1^2 - px1^2})$$

$$z2 = z1 - px1 y1^2 p1 / (2 \text{ rhob} (p1^2 - px1^2)^{(3/2)})$$

(body of bend)

$$\begin{aligned} px2 = & -\text{rho0}/\text{rhob} (\sin(\psi2) + \sin(\omega + \psi1)) \\ & + \sin(\omega) pz1 + \cos(\omega) px1 \\ & - x1/\text{rhob} \sin(\omega) \end{aligned}$$

```

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:

$$F1 = \text{SIGN}(\text{Sqrt}[a], a), \quad a = 24(I_0^2/2 - I_1),$$

$$F2 = I_2 - I_0^3/3$$

with

$$I_n = \text{Integrate}[(s-s_0)^n K1[s]/K1_0, \{s, -\text{Infinity}, \text{Infinity}\}],$$

(body of quad)

The body is subdivided in

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

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

then a transversely linear transformation  
exp(:H:) is done in each slice with

$$H = ((-p + (px^2 + py^2)/(2 p) + E/v_0) L + K1 (x^2 - y^2)/2)/n .$$

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

$$dH = (-\text{sqrt}(p^2 - px^2 - py^2) + p - (px^2 + py^2)/(2 p)) L/n .$$

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

(linear fringe at exit)

$$px_2 = \exp(a) px_1$$

$$py_2 = \exp(-a) py_1$$

$$x_2 = \exp(-a) x_1 + b px_1$$

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

(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

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

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

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

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  $L$ :

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

where  $,i$  represents the derivative by  $x$  or  $y$ .

We have also introduces 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” .

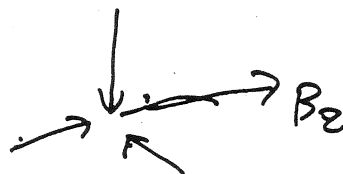


## MULT

- 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 BZ, 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	$\alpha_X$	AY	$\alpha_Y$
BX	$\beta_X$	BY	$\beta_Y$
NX	$\psi_X$	NY	$\psi_Y$
EX	$\eta_X$	EY	$\eta_Y$
EPX	$\eta_{PX}$	EPY	$\eta_{PY}$
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	$\Delta p$

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 dispresions are denoted by PEX, PEPX, PEY, PEPY, 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  $\beta_x$ .
- 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  $\Delta x_k$  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 beween 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

*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.

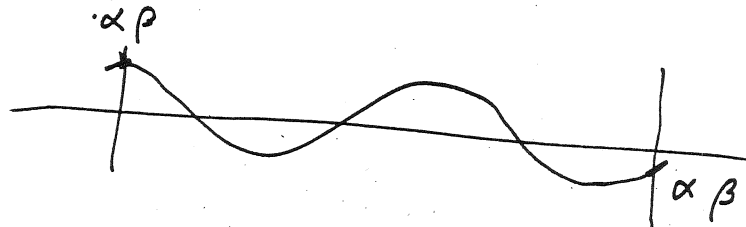
$$\text{MatchingAmplitude} = \{\{\Delta p_1, n_x, n_y\}, \dots\};$$

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.





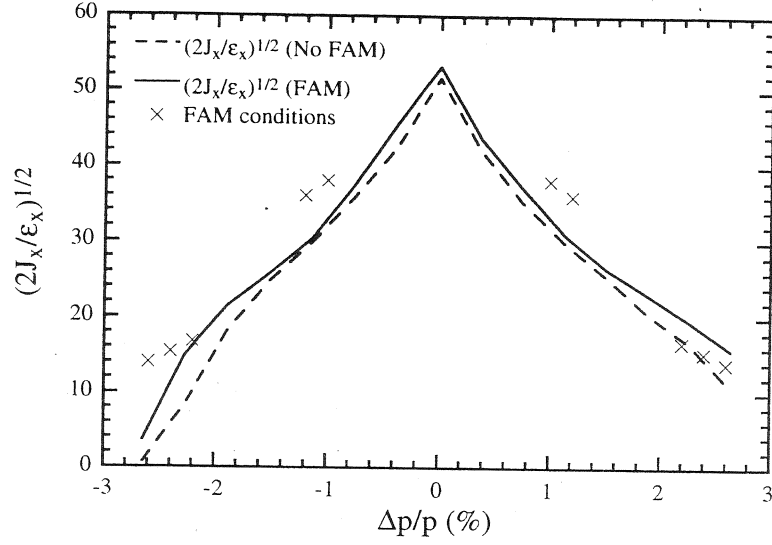


Figure 2: Effect of the finite-amplitude matching(FAM) method. The dashed and solid lines show the dynamic apertures, averaged over 100 samples, before and after FAM, respectively. The FAM orbits are shown by markers (Oide, Koiso, Ohmi, 1996).

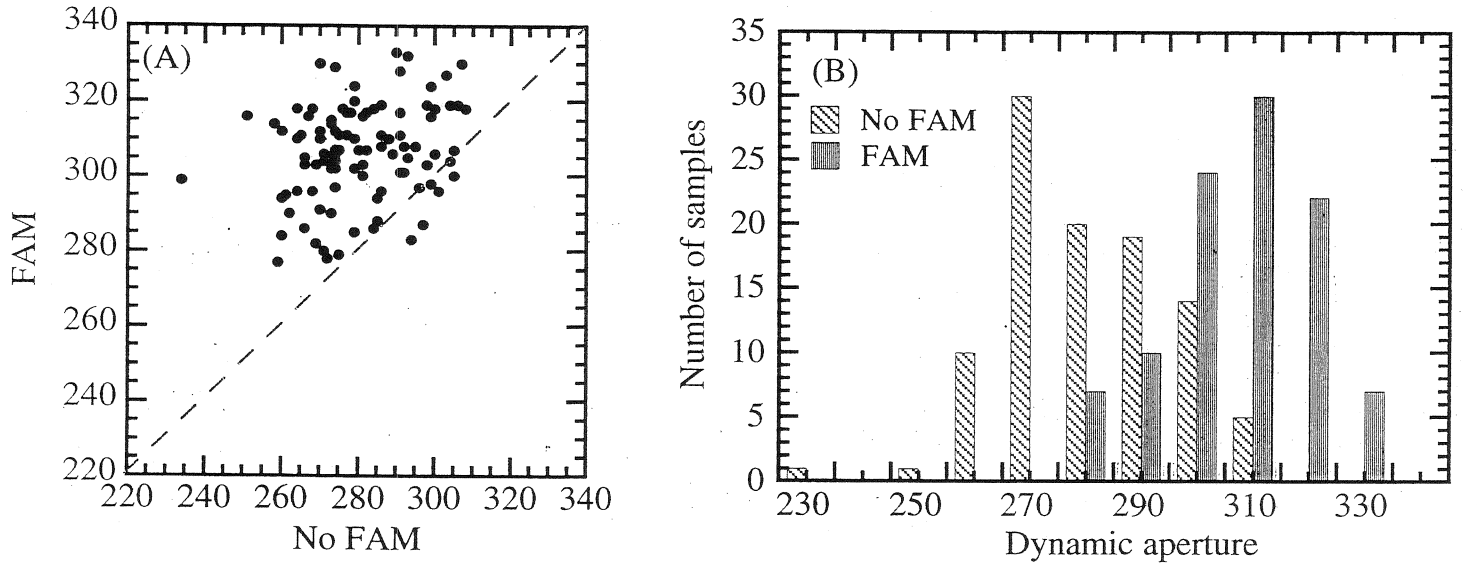


Figure 3: (A): Comparison of the dynamic aperture before/after FAM for 100 samples of sextupole settings. (B): Distribution of the dynamic apertures (Oide, Koiso, Ohmi, 1996).

# 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  $f(x)$  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。

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

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、 $f(x)$  を  $x$  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  $\mathbf{x}_0 = (x_0, p_{x0}, y_0, p_{y0}, z_0, p_{z0})$  とすると、別の時刻 ( $t = t$ ) での座標  $\mathbf{x} = (x, p_x, y, p_y, z, p_z)$  は初期値を使って、

$$x_i = f_i(\mathbf{x}_0) = a_i^0 + a_{ij}^1 x_{0,j} + a_{ijk}^2 x_{0,j} x_{0,k} \dots \quad (4)$$

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++を使うことで、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た 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&);
```

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

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

```
    friend da operator-(const da&, const da&);
```

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

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

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

da+da

da+double

double+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&);
friend da line_itg(const da&);
};

```

$[a, b]$   
 $\int a dx$

C++ではヘッダーファイルを見ればどのような関数を用意されているか、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;
```

10次 1変数  
↓ /

```
    InitializeDifferentialAlgebra(10,1);
```

```
    da x;
```

```
    x.dBase(0,1.);
```

$x = x \dots$  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, -0.1666666666666667},

{550, 0.008333333333333333},

{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 InitializeDifferentialAl 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に利用する。Sec.1 で述べたように、ある時刻  $t_0$  の正準変数  $\mathbf{x}_0$  から  $t$  での  $\mathbf{x}$  への map は da を使って表現できる。map に関係した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ち切っているため、その次数以上では正準的でなくなっている。しかしながら打ち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 Factorize していく。これを Dragt-Finn Factorization 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。とうぜ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、逐次正準不変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。

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

それにある 3 次の正準変換  $e^{i F_3}$  をおこなう。

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

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  $\frac{x_i^2 + p_i^2}{2} = J_i$  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。

$$f_3 = f'_3 + g_3(J) \quad (17)$$

$$F_3 = (R^{-1} - I)^{-1} f'_3$$

$(R^{-1} - I)^{-1}$  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、

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

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

$f'_3$  を  $R$  の固有ベクトルで表す  
For - 求める

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ない。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

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

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&);  $e^{f \cdot}$ 
map_da lie_exp(const da&);
da lie_exp(const da&, const da&);
map_da fac_map_type1(const da&);  $R e^{f \cdot} = e^{f \cdot} \dots$ 
map_da fac_map_type2(const da&);
map_da fac_map_type3(const da&);
da fac_drg_type1(const map_da&);
da fac_drg_type2(const map_da&);
da fac_drg_type3(const map_da&);
da fac_drg_type1(const map_da&, map_da&);
da fac_drg_type2(const map_da&, map_da&);
da fac_drg_type3(const map_da&, map_da&);
da can_perturbation(const map_da&);
da can_perturbation(const map_da&, da&);
c_da Normal_expression(const da&);
c_da Real_expression(const c_da&);

#endif
```



```
#include <sadplus.h>
```

*Sad+.NF a 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}, ←  $x^4$  の係数

{{4,2,0,2,0,0,0}, 8255.91631694457}, —  $x^2 y^2$

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

{{4,0,0,4,0,0,0}, -6344.60578111711}, —  $y^4$

{{4,0,0,2,0,2,0}, 31.5411021361129}, —  $y^2 z^2$

{{4,0,0,0,0,4,0}, -5.5479132439368}, —  $z^4$

{{4,2,2,0,0,0,0}, -5553.50583497557}, —  $x^2 p_x^2 = 2 \times x^4$  の係数

{{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／9 8.7.7

## 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



アライメントの場所	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														

遠藤さん 休み、

測量デー

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

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

y: Optics の目標値；

例 dx (水平軌道)、 $\eta_y$  (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 方向ミスアラインメント) . . . 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畳として解く。

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

日立電線株式会社

H10.4.16 現在

制 御 室 名	作 業 内 容	4 月							備 考
		20	21	22	23	24	25	26	
		月	火	水	木	金	土	日	
9 L C 5 (トンネル側)	1. ケーブル名称確認及び区分								9 D × 4 芯同軸ケーブル
	2. 被覆剥ぎ取り (外導体含む)								(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								
A R / B T 電源室	1. ケーブル名称確認及び区分								F H P X - 8 D 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								
A R / W S 電源室	1. ケーブル名称確認及び区分								F H P X - 8 D 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								
A R / S 電源室	1. ケーブル名称確認及び区分								F H P X - 8 D 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

$$K0(ZX.1) - 2K0(ZX.2) + K0(ZX.3) == 0$$

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: `K0` (キック角)

軌道条件: 軌道、ディスパージョン

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];
```

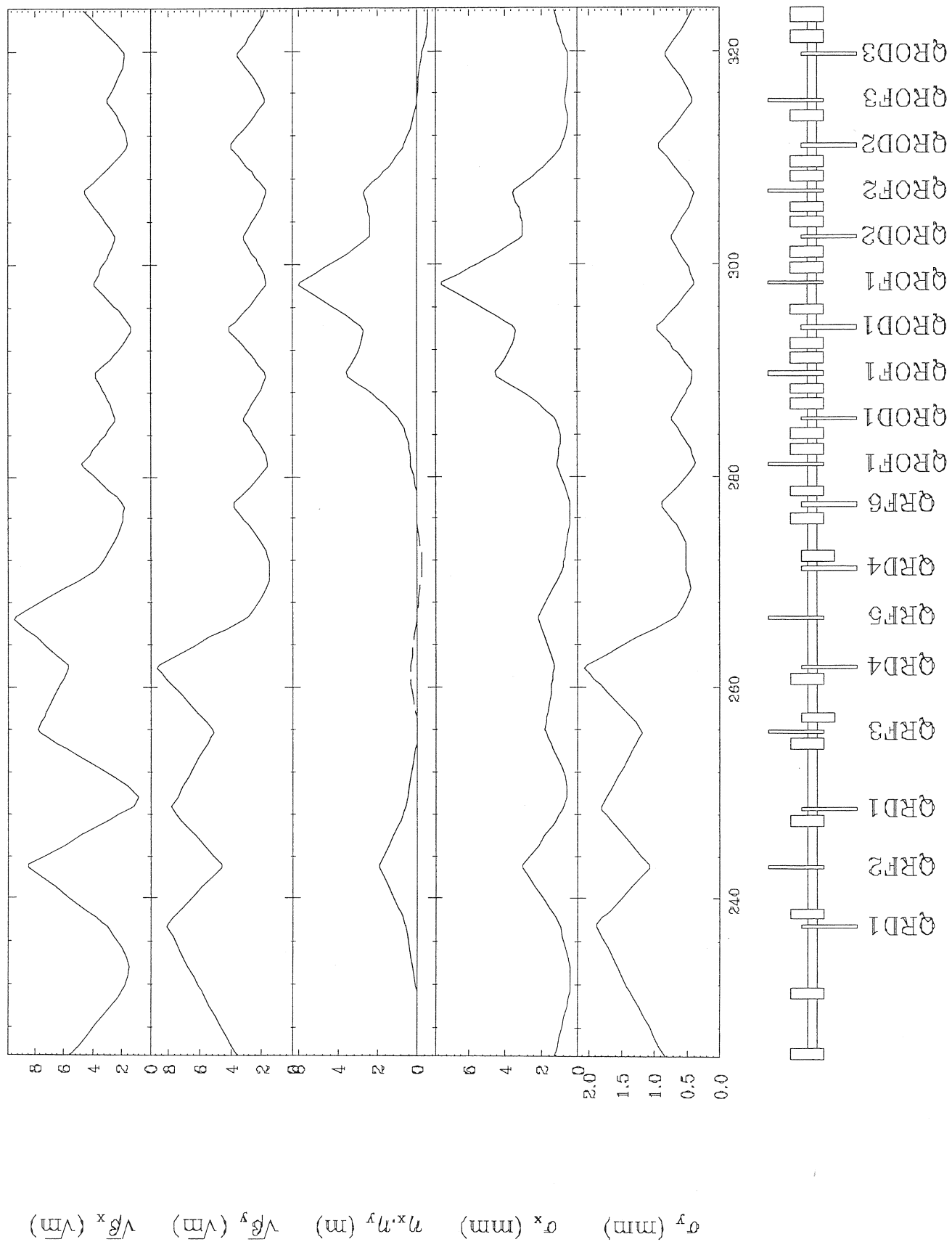
この例では `Q1` で  $x=1e-3$ 、`Q2` で  $PX=0$ 、かつ `Q2` で  $EX=0$  を軌道条件としている. `CorrectOrbit` と同様に未知変数の側に拘束条件をつけることも可能である. 閉軌道条件の場合にはより簡便な指定法として、

```
{{ "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



#### 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( $\{\{"Q2", "Y", \#\}, "QT", "Y", 6\}&$ )とを用いて、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. トリスタンで実証済み.

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ていない.

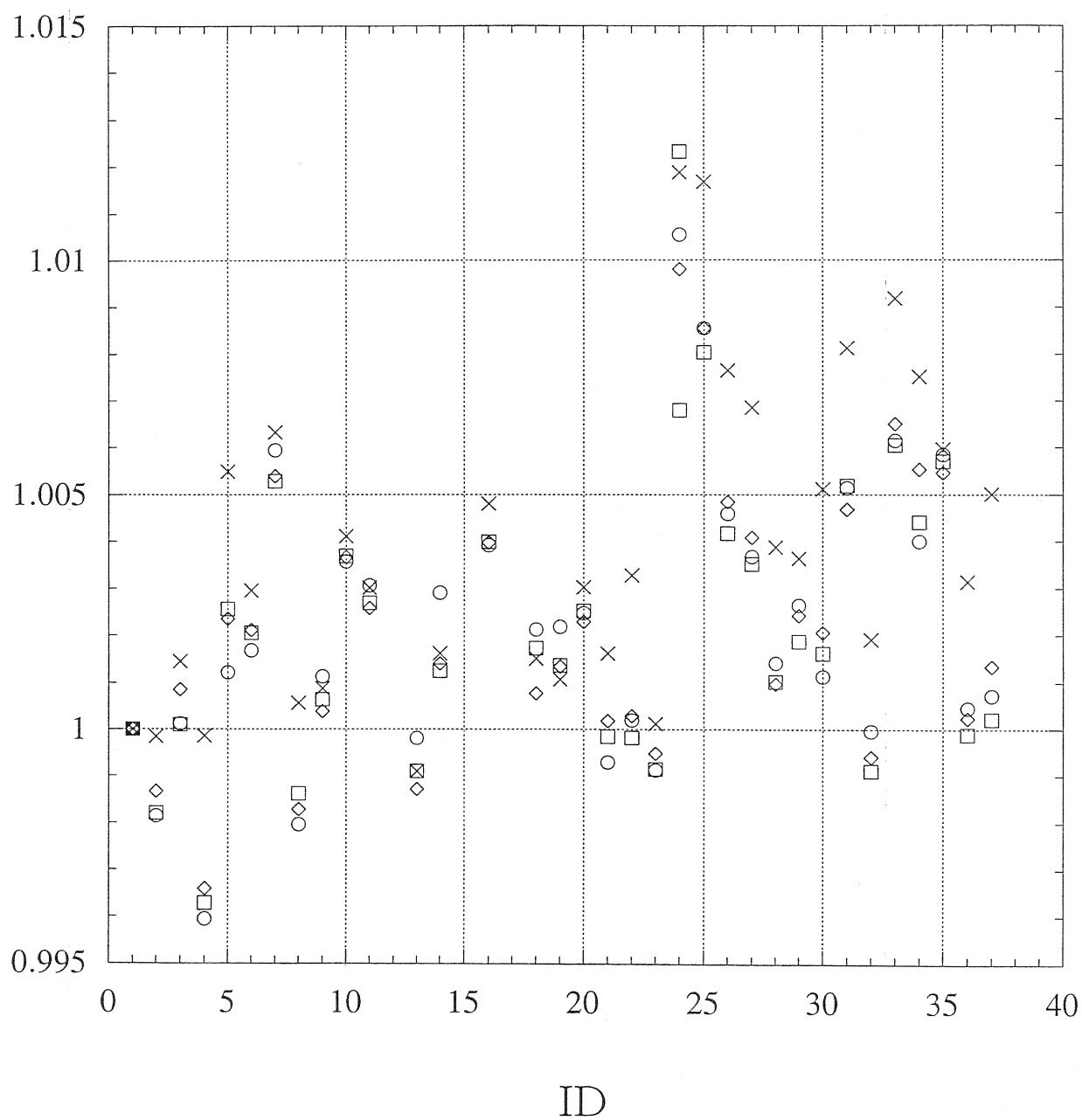
(アラインメントオフセット DX, DY、等)

B 2 .

dBL/dx@set-cur normalized 30A

- dBL/dx@set-cur normalized 30A
- dBL/dx@set-cur normalized 25A
- ◇ dBL/dx@set-cur normalized 20A
- × dBL/dx@set-cur normalized 10A

QNP excitation



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  $px$  方向のキックは  $x$  方向の変位、 $py$  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、

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

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

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

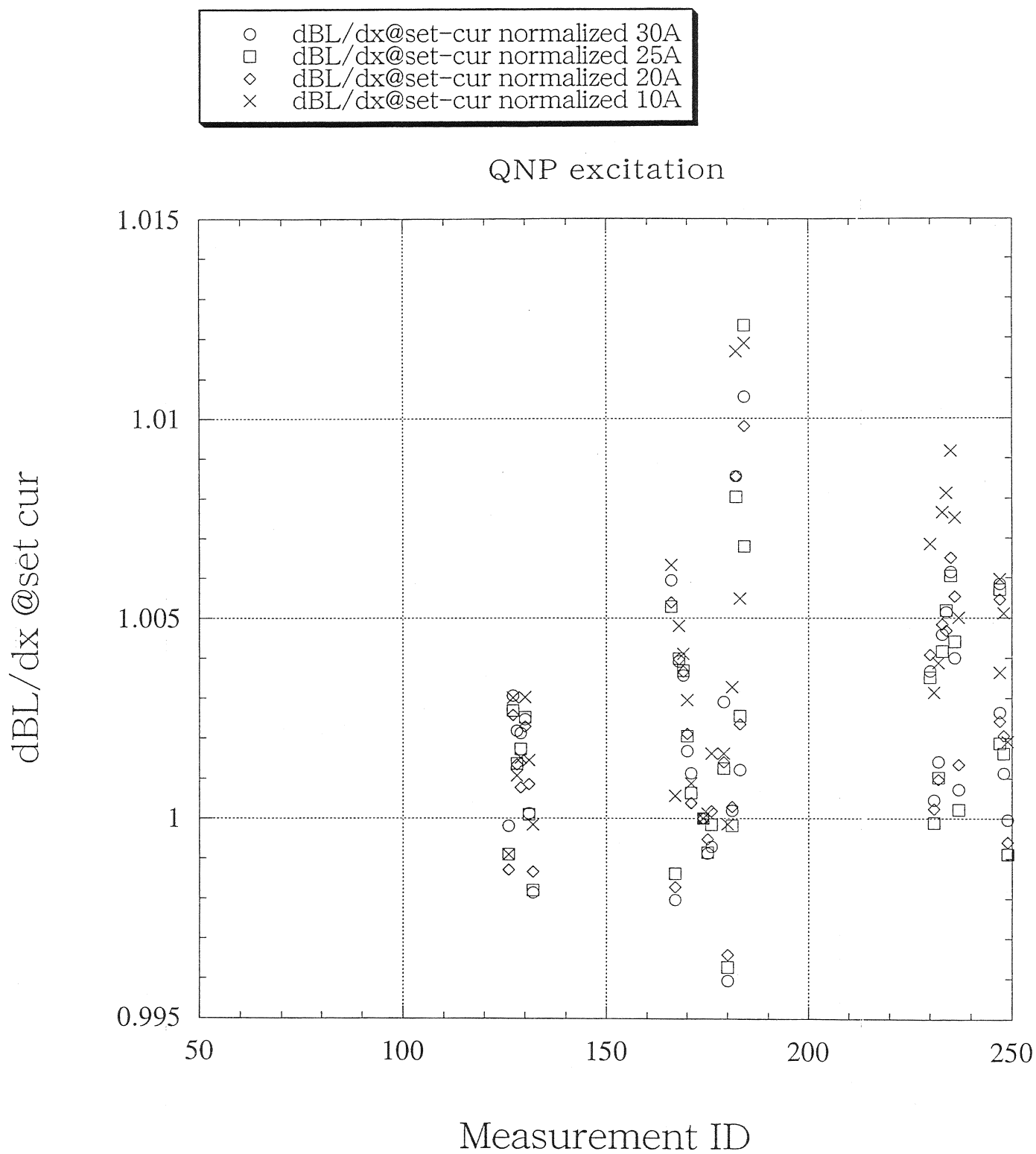
$$(x_2 | x_1) = \frac{1}{2 \sin \pi \nu_x} \sqrt{\beta_2 / \beta_1} \{ \text{sgn}(\psi_2 - \psi_1) S + \alpha_1 C \}$$

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

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

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

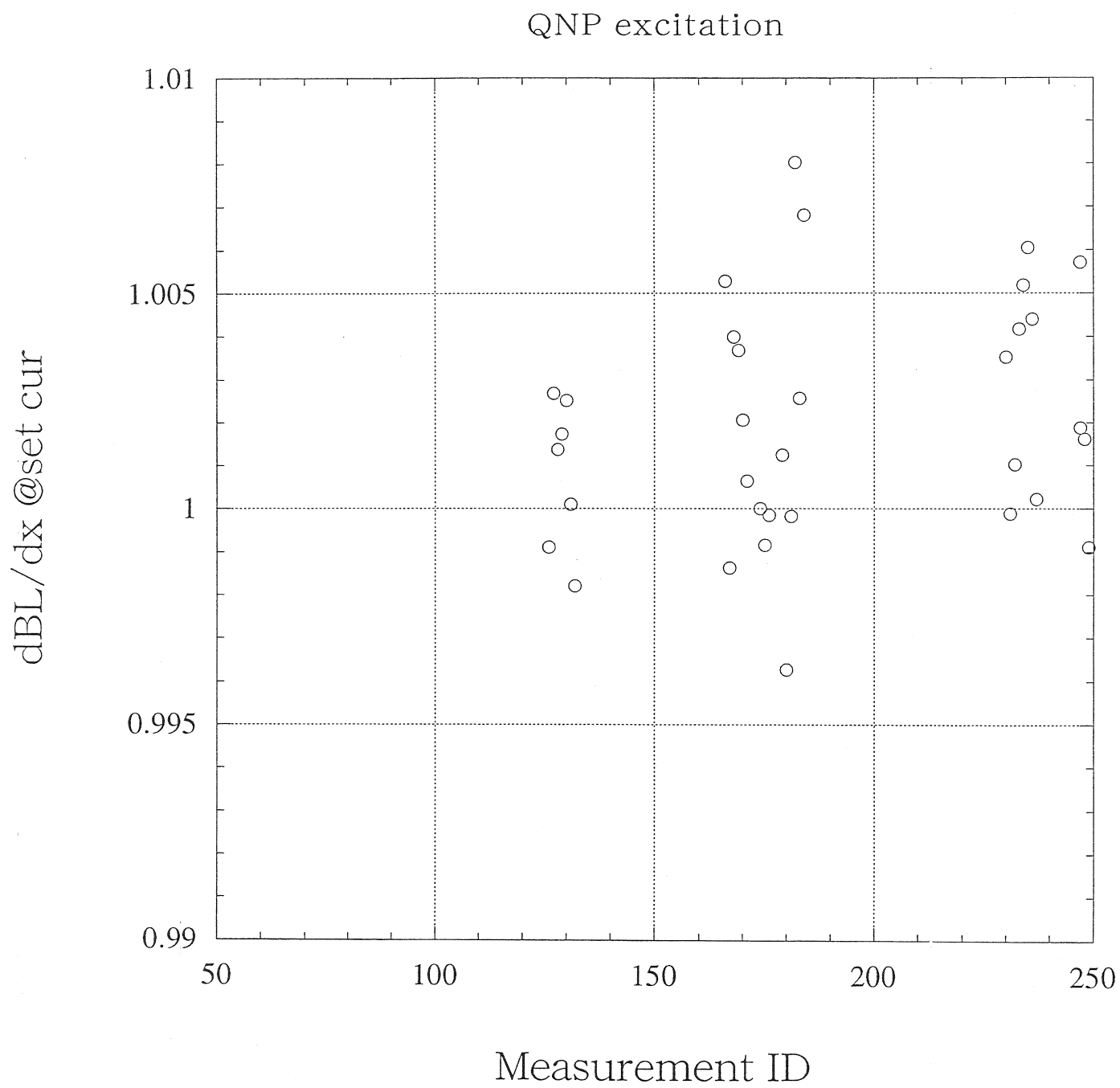




$$S = \sin(\pi\nu_x - |\psi_2 - \psi_1|)$$

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

○ dBL/dx@set-cur normalized 25A



# 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  $\psi_\infty$ .

$\psi$  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  $\psi$ .

**Accelerator Physicists:** Optimize your  $\psi$  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 Formalism<sup>1</sup> is the only reasonable and accurate one ( $\leftrightarrow$  radiation integrals by Sands et.al.)

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

---

<sup>1</sup>K. 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 $\Sigma$

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

$\bar{x}$  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  $\Sigma$  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  $\Lambda$  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  $\Sigma_\infty$  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  $\alpha_j$  gives the damping and  $\nu_j$  is the tune with damping effect.

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

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

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



When  $\Sigma$  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  $M^tJM = J$  was used. Thus

For non-radiating section,  $\epsilon$  are conserved.

Also

$\epsilon$  are (slightly)  $s$ -dependent.

The computer code **SAD** uses this method to calculate the “emit-  
tances”:

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,

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

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 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 process <sup>2</sup>. We can obtain (almost) exact formulae for  $\psi_\infty$ . If we concentrate on the vertical distribution only, we get

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

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

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

$$\hat{f}(u) = \int_0^\infty dt \int_0^{2\pi} \frac{d\phi}{2\pi} \left[ \tilde{f}(ue^{-t} \sin \phi) - 1 \right] = \frac{1}{\pi} \int_0^1 dx \frac{\tilde{f}(ux) - 1}{x} \cos^{-1} x.$$

$$f(\theta) = \frac{\theta_{min}^2}{(\theta^2 + \theta_{min}^2)^{3/2}}, \quad (\theta \geq 0), \quad \theta_{min} = Z^{1/3} \frac{\alpha}{\gamma}.$$

In this case, the central limit theorem does not apply: in particular  $\Sigma_\infty$  **diverges**. The asymptotic form

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

shows

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

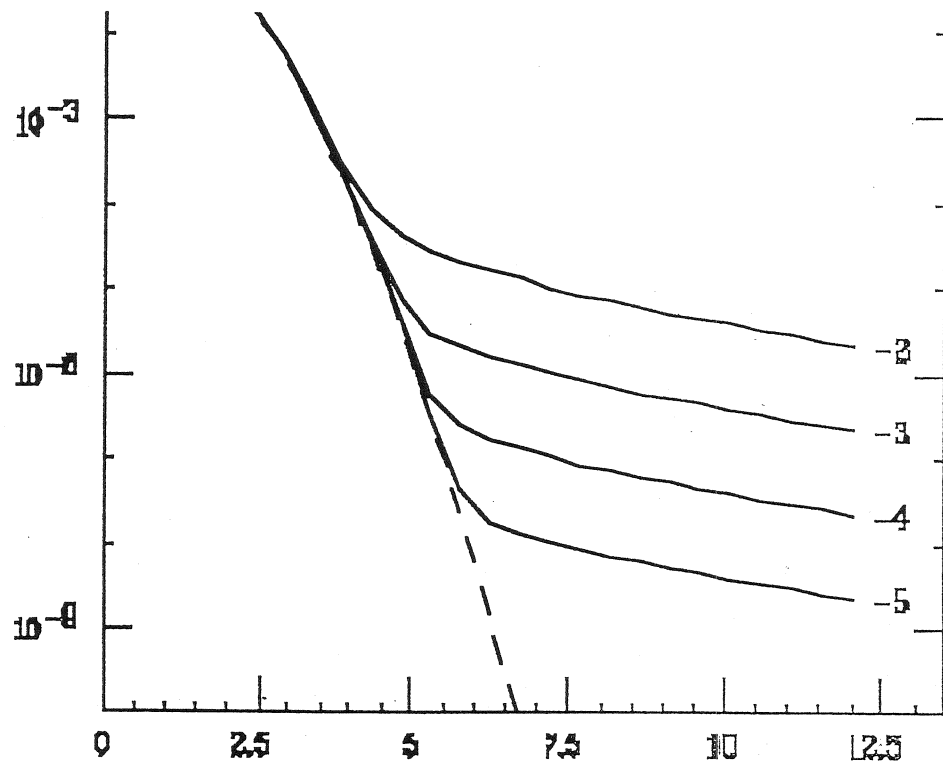
the emittances can diverge for certain processes

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

---

<sup>2</sup>K. 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.  $\left( \int u^2 f(u) du < \infty \right)$

## 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.

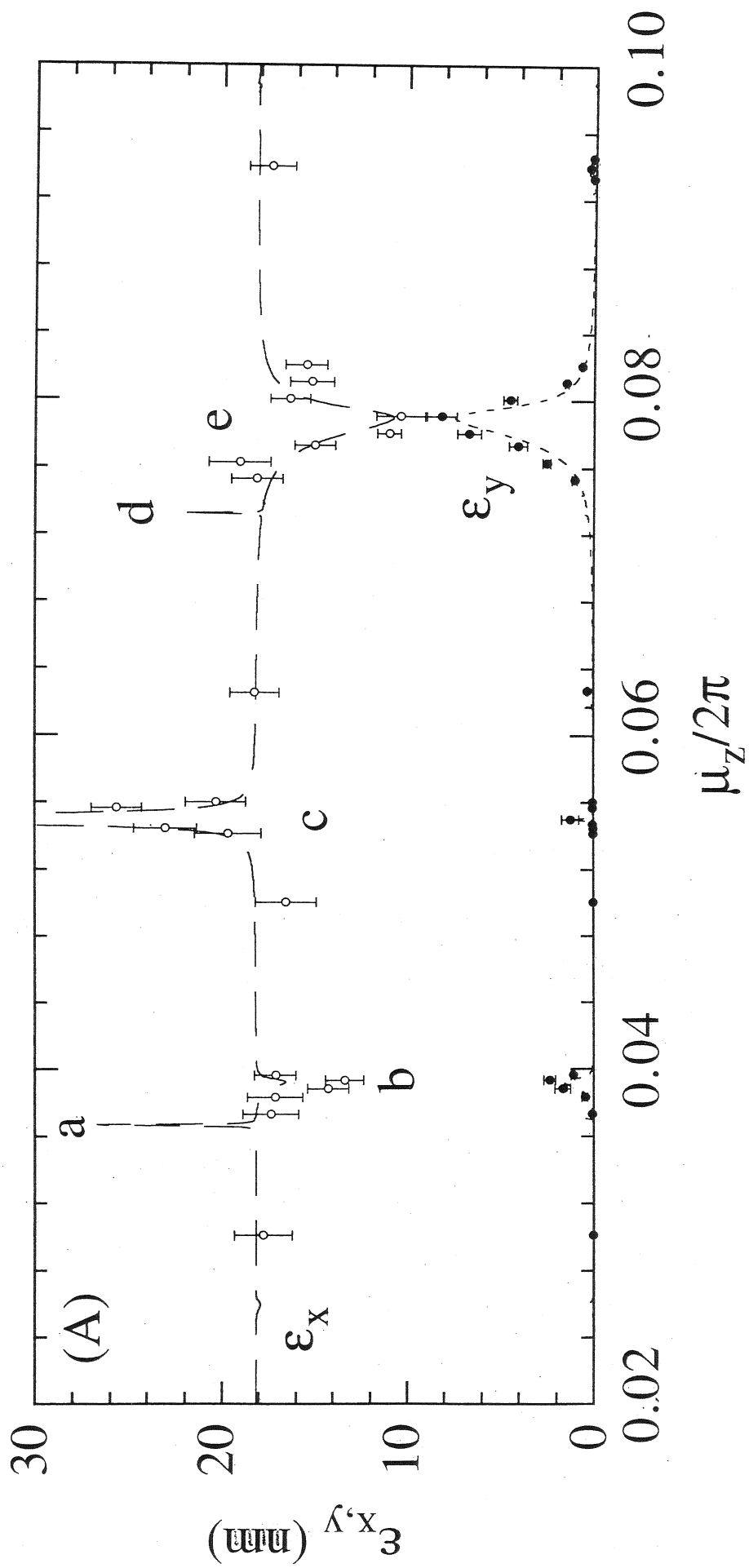
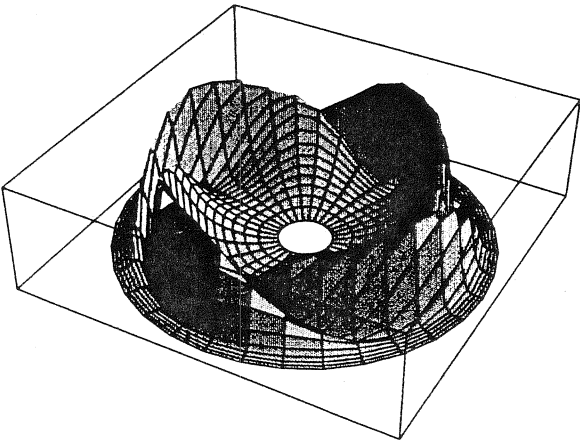


FIG. 1 (A)

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

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





Spin in SAD

K. Yokoya





# SPIN in SAD

K. Yokoya

SAD workshop. Jul. 7-9, 1998

## [1] Description of Spin

Orbit  $x, p_x, \dots$

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

$$\hbar \ll m c \epsilon$$

Compton ~~length~~  $\lambda_e \ll \epsilon$  ↑ normalized emittance

$4 \times 10^{-13} \text{ m}$   $3 \times 10^{-8} \text{ m (ATF)}$

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 各マクロ粒子に up-down state を assign する方法.

単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成分スピノル  $\varphi$  ( $\varphi^\dagger \varphi = 1$ ) で表わす方法.

$\vec{S} \equiv \varphi^\dagger \vec{\sigma} \varphi$  (3成分) を使うのと等価.

↑ Pauli 行列

(  $\varphi$  の回転 ... SU(2) 行列,  
 $\vec{S}$  ... SO(3) 行列 )

この場合 常に  $|\vec{S}| = 1$

(以下  $\hbar/2$  をつけて  $\vec{S}$  を定義する)

Classical 現象のみなら これで OK.

Quantum 現象の記述には なる.

- (c) 密度行列 (偏極ベクトル) を使う方法.

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

$\langle \rangle$ : ensemble 平均

マクロ粒子 = 実粒子の ensemble 平均

$\rho$  は  $2 \times 2$  Hermitian. Trace  $\rho = 1$

$$\Rightarrow \rho \equiv \frac{1}{2} (1 + \vec{S} \cdot \vec{\sigma}) \quad \dots \vec{S} \text{ の定義.}$$

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

$\delta$  と  $\rho$  は 一対一対応

- この証明法では 一般に  $|\delta| \leq 1$
- 古典的現象のみならず (b) と同じ
- 量子論的現象も取える.

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.

$\delta$  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 中での 古典的 precession

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

$$\vec{\Omega} = -\frac{e}{m\gamma} \left[ (\gamma a + 1) \vec{B}_\perp + (a + 1) \vec{B}_\parallel - \gamma \left( a + \frac{1}{\gamma + 1} \right) \frac{\vec{v} \times \vec{E}}{c^2} \right]$$

$\vec{v}$ : 速度

$\vec{B}_\parallel$ :  $\vec{B}$  の  $\vec{v}$  方向成分

$\vec{B}_\perp$ : transverse 成分

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

$a$ : 異常磁気能率係数

$$= 0.0011596 \quad (e^\pm)$$

$$= 1.7928 \quad (p)$$

(場が非常に強い時は)  
 $a$  は場の強さによります

- 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。

① 独立変数を  $s$  にする

$$\frac{d\mathcal{S}}{ds} = \frac{dt}{ds} \Omega \times \mathcal{S}$$

② 座標軸の回転を差しく。

座標軸を 単位ベクトル  $(e_x, e_y, e_s)$  と表わすと

$$\frac{de_i}{ds} = \Omega_0(s) \times e_i$$

$$(i=x, y, s, \quad \Omega_0 \cdot e_s = 0)$$

$$\left( \Omega_0 = -\frac{e_y}{\rho_x(s)} + \frac{e_x}{\rho_y(s)} \right)$$

BMT 方程式は

$$\frac{d\mathcal{S}}{ds} = \bar{\Omega} \times \mathcal{S}$$

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

となる。

- $|\mathcal{S}|$  は 保存される。

## Spin 運動の (古典力学的) 自由度

- 3成分あるが  $|\mathbf{S}|$  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 とれる.

e.g.  $|\mathbf{S}| = J$  なら

$$\begin{cases} S_x = \sqrt{1-J^2} \cos\psi \\ S_y = \sqrt{1-J^2} \sin\psi \\ S_z = J \end{cases} \quad \text{とすると}$$

$$\{S_i, S_j\} = \sum_k \epsilon_{ijk} S_k \quad \text{3次元完全反対称テンソル}$$

↑ Poisson 括弧,

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

しかし

- ①  $|\mathbf{S}|$  の変る現象 (quantum) のあふときは ズズイ.
- ② 運動方程式が見苦しくなる

BMT 方程式は  $\mathbf{S}$  について 線形 !!

## Stern-Gerlach Force

軌道・スピンを共に含む古典的ハミルトニアンは

$$H = H_{\text{orbit}} + \Omega \cdot \mathbf{S} \quad \leftarrow \text{ここは } \frac{1}{2} \text{ を含む.}$$

$$\downarrow$$

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

でいい.

$$\Rightarrow \frac{d\mathbf{S}}{dt} = \{\mathbf{S}, H\} = \Omega \times \mathbf{S}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\mathbf{p}}{dt} = - \frac{\partial H_{\text{orbit}}}{\partial \mathbf{x}} - \underbrace{\frac{\partial \Omega}{\partial \mathbf{x}} \cdot \mathbf{S}} \\ \frac{d\mathbf{k}}{dt} = \frac{\partial H_{\text{orbit}}}{\partial \mathbf{p}} + \underbrace{\frac{\partial \Omega}{\partial \mathbf{p}} \cdot \mathbf{S}} \end{array} \right\} \text{ Stern-Gerlach term}$$

- Stern-Gerlach term を含めれば

全体で symplectic になる. (spin を正準変数で表わして)

- 12-1 今のところ 必要は (ほとんど) ない.



### [3] Spin Tune. Resonance etc.

Spin closed solution  $n_0(s)$ .

閉軌道上の粒子に対して

$$\vec{s}(s+C) = \vec{s}(s) \quad \text{となる} \quad \vec{s} = n_0(s) \quad \text{を求める.}$$

各加速器要素のスピンの効果は回転  $R$ .

1 周の回転  $s \rightarrow s+C$

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

$R(s)$  の回転軸方向  $\equiv n_0(s)$

( $\pm n_0$  の不定性がある)

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

(mod 1 の不定性)

単純なリング (平面軌道. error なし. solenoid なし) の場合

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

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

$\uparrow$   
 $e_s$ : 進行方向.  $e_x$ : 外向.

$(e_x, e_y, e_s)$ : 右手系

の場合、不幸にして マイナスがつく.

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

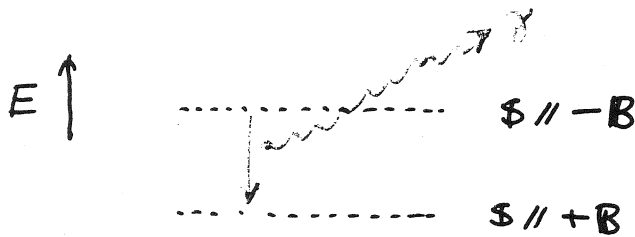
## 共鳴条件

$$V_{\text{spin}} = \hbar + \hbar_x V_x + \hbar_y V_y + \hbar_s V_s$$

$V_{\text{spin}}$  の係数は常に 1.

← BMT 方程式は 常に線型  
(Stern-Gerlach の実験は)

## [4] 輻射偏極.



Spin-flip 輻射により  $e^+$  は  $B$  方向,  $e^-$  は  $-B$  方向に自然偏極する.

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

↑  
通常のシンクロトロン輻射.

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

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

$$\approx \text{数分} \sim \text{数時間 (storage ring)}$$

⇒ 正直な Tracking は不可能.

平衡偏極度.

単純な平面リングでは

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

しかし depolarization 効果は大きい.

↑  
主に spin-nonflip 輻射  
による妨害.

# [5] Derbenev-Kondratenko の公式

平衡偏極方向は  $\approx n_0(s)$ .

偏極度の evolution は

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

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

$$C_+ = \frac{1}{I_3} \oint \frac{ds}{|p|^3} \left[ 1 - \frac{2}{9} (n \cdot e_v)^2 + \frac{11}{18} \left( r \frac{\partial n}{\partial s} \right)^2 \right]$$

$$C_- = \frac{1}{I_3} \oint \frac{ds}{|p|^3} e_b \cdot \left( n - r \frac{\partial n}{\partial s} \right)$$

D-K 公式は  
非線形軌道に  
ついても成り立つ。

$$R = C/2\pi = \text{average radius}$$

$$e_v = v/|v|$$

$$e_b = B_\perp / |B_\perp| \quad (\text{E がある時は要修正})$$

$n$  .... 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  $n \neq 0$ ,  $n \cdot e_v = 0$ ,  $\partial n / \partial \gamma = 0$

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

$$\tau_p = \tau_0 \approx 99 \frac{\rho_{[m]}^2 R_{[m]}}{E_{[GeV]}^5} \text{ (sec)}$$

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

## Vector $n$

一般に

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

( $A, B$  は 周期  $2\pi$  の関数)

の解の フーリエ スペクトルは 周波数  $1$  及び  $\pm \nu$  を持つ。

↑ 固有値  
↑ 運動方程式の右辺が持つ周波数。

周波数  $1$  のみ 持つ解 = 閉軌道。

$A(\theta), B(\theta)$  が更に 周波数  $\nu_x, \nu_y, \nu_z$  を持つ場合、

解の スペクトルは

$$1, \pm \nu_x, \pm \nu_y, \pm \nu_z \quad (\text{及び side bands})$$

$\pm \nu \leftarrow$  固有値。

を持つ。

Spin (輻射なし) の場合  $\nu = \nu_{\text{spin}}$ 。

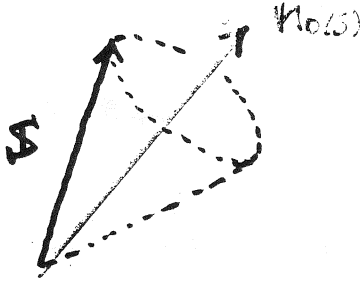
スペクトルに  $\nu_{\text{spin}}$  を持つ解  $\equiv n$

- 与えられた 外部電磁場・シンクロトロン放射 毎に  
れが存在する。

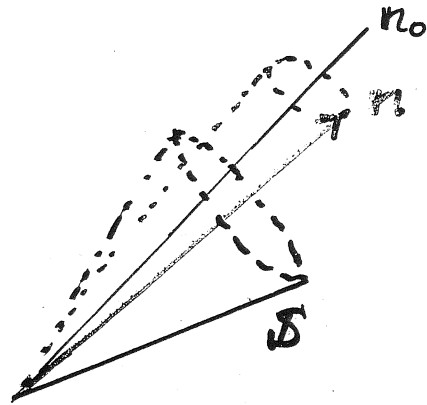
- 特に 閉軌道粒子に 対して  $n = n_0(s)$

## $n$ 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  $(l, m)$  をとって

$$\begin{cases} a) & l = \sqrt{1 - J^2} \cos \psi \\ b) & m = \sqrt{1 - J^2} \sin \psi \\ c) & n = J \end{cases} \quad S = al + bm + cn$$

とすると  $(J, \psi)$  は spin の作用変数・角変数である.

[6]  $n, m/\sigma$  の計算.

SLIM A. Chao NIM. 180 (1981) 29

線形軌道,  $\delta - n_0(s)$  についての線形近似.

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

線形軌道,  $m - n_0(s)$  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) 261  
非線形軌道,  $m - n_0(s)$  の振動展開

(任意次数ではない)

SODOM K. Yokoya KEK report 92-6, May 1992

↑  
Spin-Orbit  
Dynamics  
using  
One-turn  
Map

線形軌道.

 $m - n_0(s)$  について展開しない.

(tracking を用いる)

SAD に ばっている (と思われる)

## [7] Spin Matching

- 線形理論 (SLIMのレベル) の範囲で  
 $\partial n / \partial \gamma \sim 0$  にする (又は最小化する) ことを  
 spin-transparency と呼ぶ.
- "リズ" をいくつかの section に分けて これを表現する  
 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  $\alpha, \beta$  の線形の範囲のみ扱う.

軌道の 6 変数とあわせて 8 変数.

$$\left[ \begin{array}{c|c} 6 \times 6 & \begin{matrix} \pm \\ 0 \end{matrix} \\ \hline 2 \times 6 & 2 \times 2 \end{array} \right]$$

行列 formalism  
 積分形.

完全な spin transparency 条件は

- リング上の各点に対して
- 各軌道揺動成分 ( $\pm v_x, \pm v_y, \pm v_z$ ) に対して
- $(\alpha, \beta)$  に対応する 2 成分を 0 にする

$\Rightarrow 12n$  条件.

- しかし リングの構造を 5% 考慮すれば  
 少数の条件に帰着できる.



## Spin-Matching 用 計算機・コード

- 各 Lab で その場しのぎにやっている

- 一般的な物としては

SOM      K. Yokoya

(東京の  $\tau$ -charm 用に作ったもの)

ただ まだ SAD には入っていない。

# SAD 計算機に 入れるべきこと

## 1. Flag を立てると 粒子の変数

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

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

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  $V \wedge \tilde{V}$  ----  $8 \times 8$  行列

SODOM の  $V \wedge \tilde{V}$  ---- Tracking を使って spin-action variable を求める

## 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

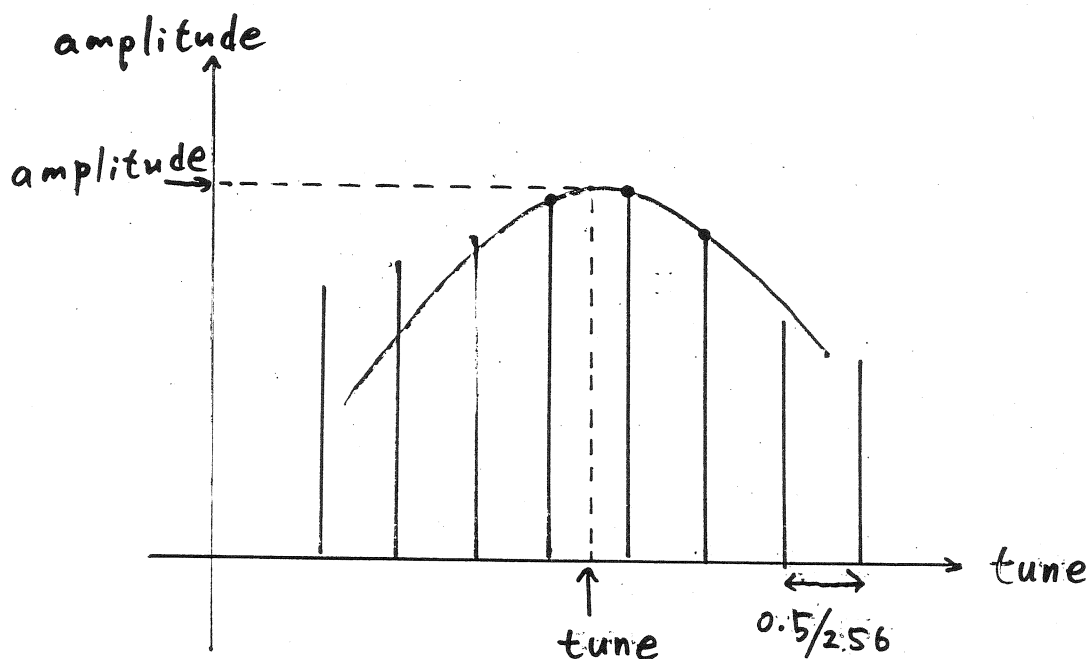
集団運動による限界

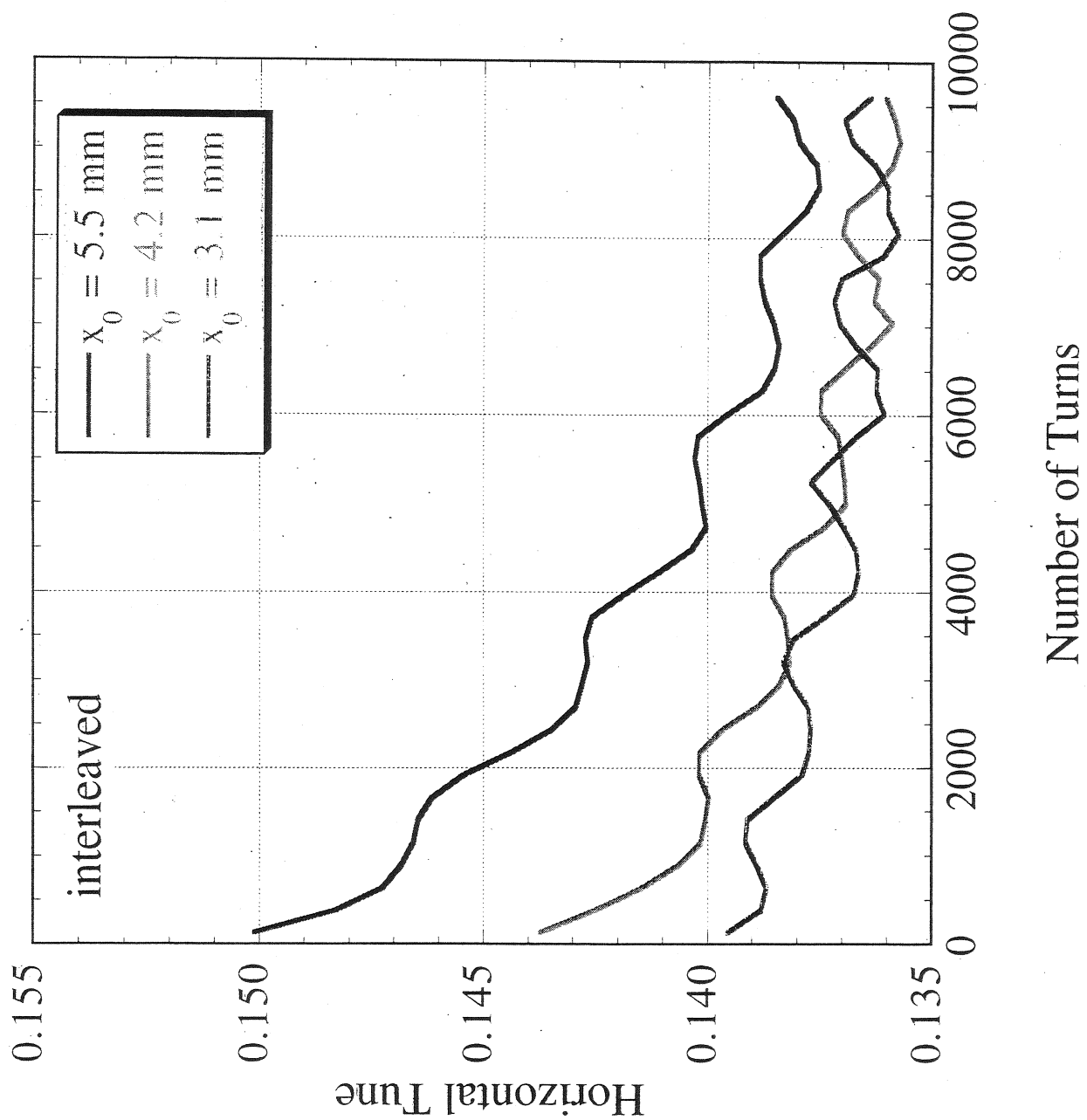
★ Precise Measurement of Instantaneous Tune is needed

- 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るベクトル振動数のズレ

ハミルトニアン

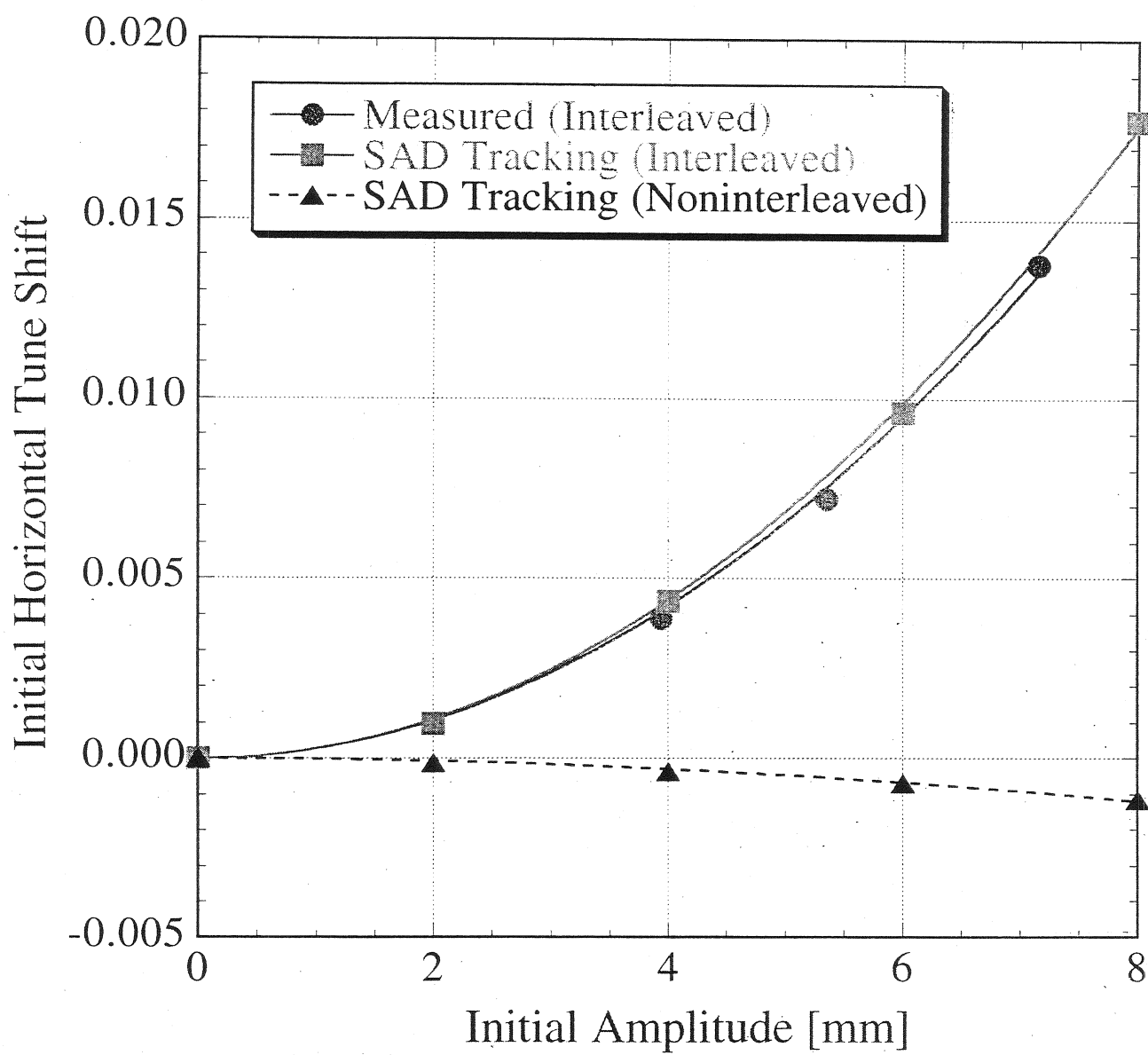
$$H = 2\pi\nu_y^0 J_y + a_{yy} J_y^2 + a_{xy} J_x J_y + a_{yz} J_y J_z$$

ベクトル振動数

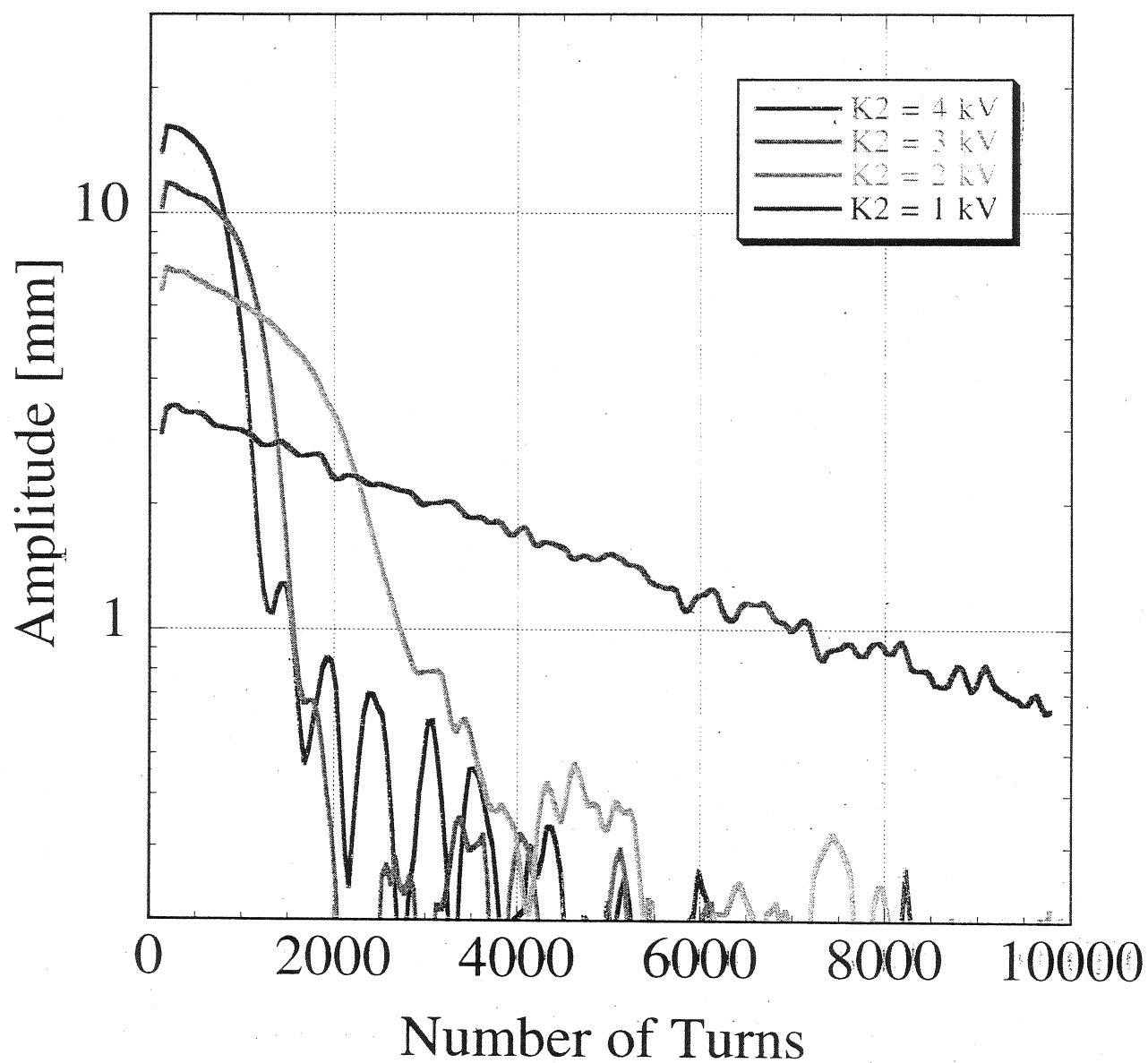
$$\begin{aligned}\nu_y &= \frac{1}{2\pi} \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{1}{2\pi} \frac{\partial H}{\partial J_y} \\ &= \nu_y^0 + \frac{1}{2\pi} (2a_{yy} J_y + a_{xy} J_x + a_{yz} J_z)\end{aligned}$$

粒子 A, B のベクトル振動数差

$$\begin{aligned}\Delta\nu &= \nu_y^B - \nu_y^A = \frac{a_{yy}}{2\pi} (2J_y^B - 2J_y^A) \\ &\approx \frac{a_{yy}}{2\pi} \frac{\Delta y}{\beta_y} 2\sqrt{\beta_y 2J_y^0}\end{aligned}$$

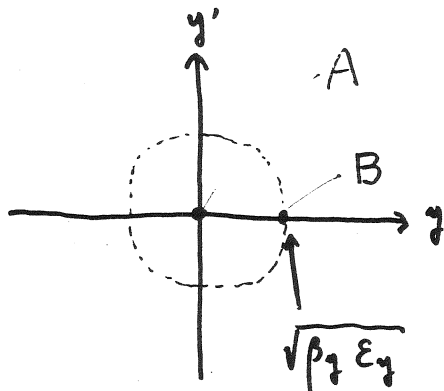


トリス 92MRにおけるコヒーレント振動  
Decay の実測例.

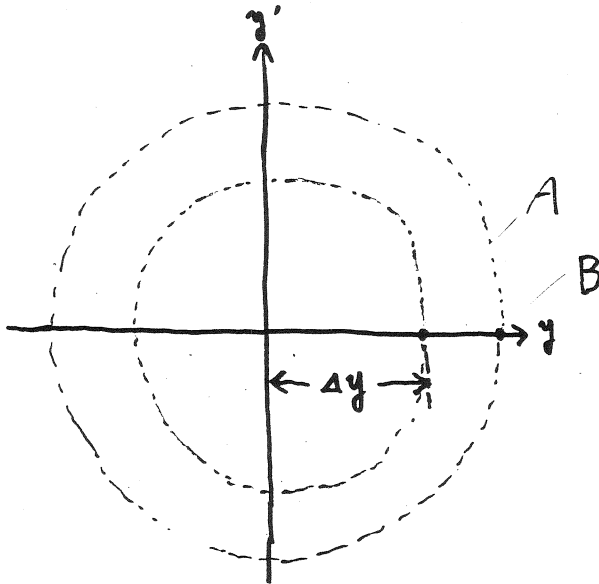


# コヒーレントキック (すなわち変位) による作用変数の増加

## 2 粒子モデル



$$\sqrt{\beta_y \epsilon_y}, \quad \epsilon_y = \kappa \epsilon_x = 2 J_y^0$$



$$\sqrt{2 J_y^A \beta_y} = \Delta y$$

$$\sqrt{2 J_y^B \beta_y} = \Delta y + \sqrt{\beta_y 2 J_y^0}$$

$$2 J_y^A = \frac{\Delta y^2}{\beta_y}$$

$$2 J_y^B = \frac{\Delta y^2}{\beta_y} \left( 1 + \frac{2 \sqrt{\beta_y 2 J_y^0}}{\Delta y} + \frac{\beta_y 2 J_y^0}{\Delta y^2} \right)$$

$$\approx \frac{\Delta y^2}{\beta_y} \left( 1 + \frac{2 \sqrt{\beta_y 2 J_y^0}}{\Delta y} \right)$$

コヒーレント変位がヒ-4+12より  
 充分大きいとき成立。

## $J_y$ Distribution

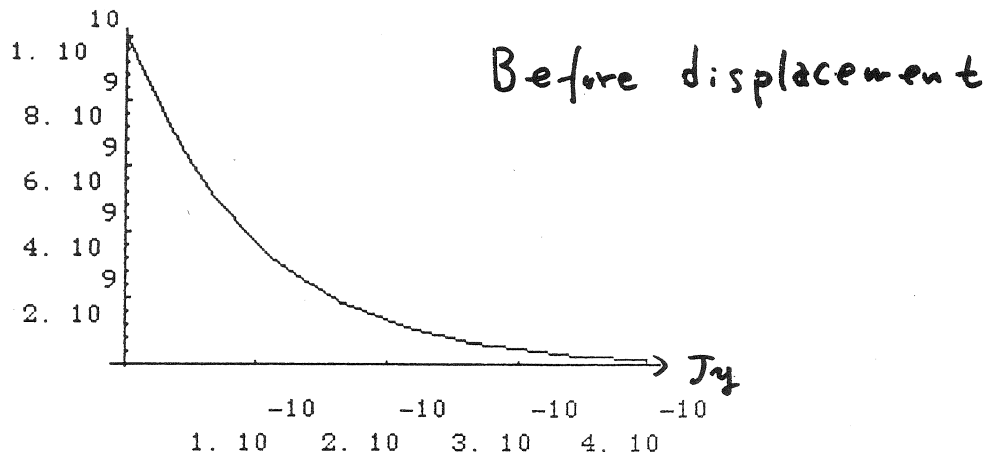


Figure 2: Action distribution by a zero displacement. Plot of  $f_{J_y}(J_y)$  when  $\varepsilon_y = 10^{-10}m$ ,  $\beta_y = 0.2m$  and  $\delta_y = 0$ .

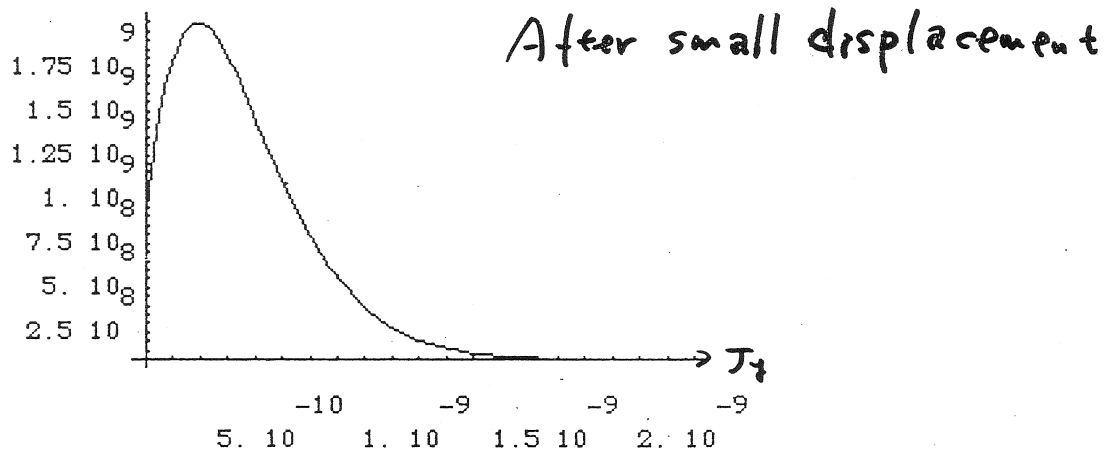


Figure 3: Action distribution by a smaller kick. Plot of  $f_{J_y}(J_y)$  when  $\varepsilon_y = 10^{-10}m$ ,  $\beta_y = 0.2m$  and  $\delta_y = 0.00001m$ .

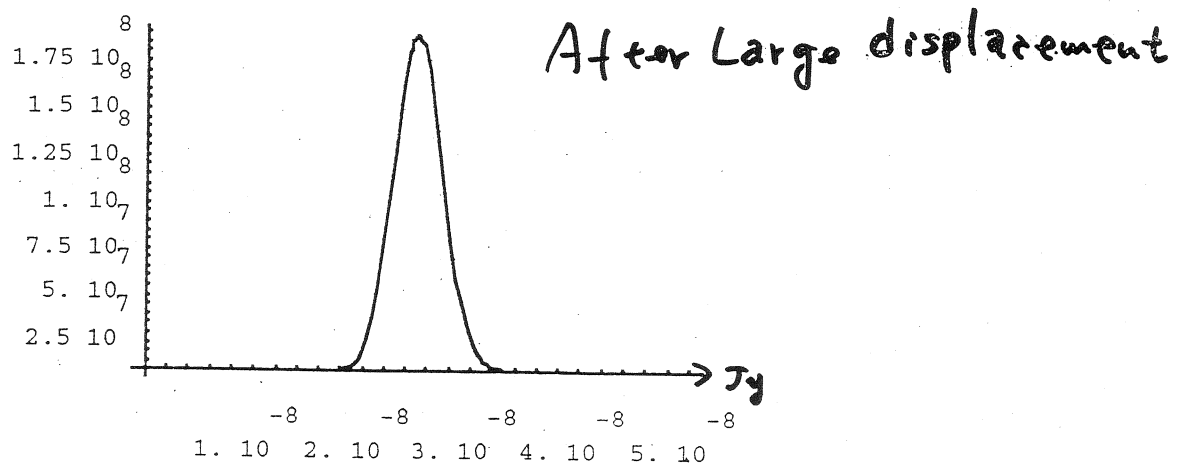


Figure 4: Action distribution by a larger kick. Plot of  $f_{J_y}(J_y)$  when  $\varepsilon_y = 10^{-10}m$ ,  $\beta_y = 0.2m$  and  $\delta_y = 0.0001m$ .

# Tune Distribution After Coherent Displacement

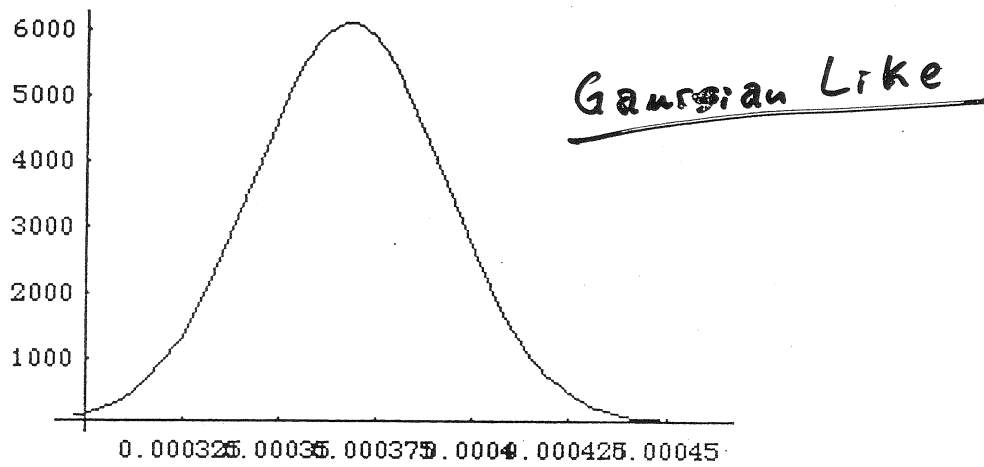
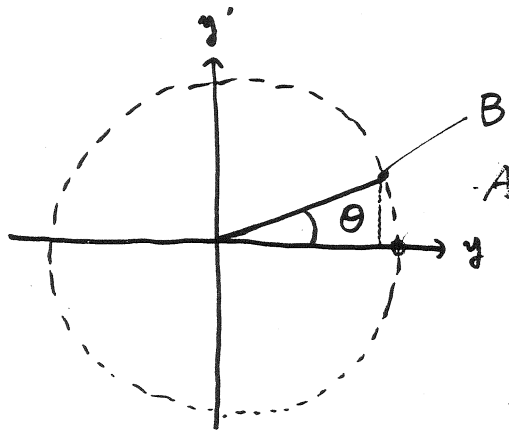


Figure 5: Distribution of tune caused by nonlinear tune shift after coherent displacement.  $a_{xy} = -9299$ ,  $a_{yy} = 47107$ ,  $a_{yz} = 152$ ,  $\varepsilon_x = 5 \cdot 10^{-9}$ ,  $\varepsilon_y = 5 \cdot 10^{-11}$ ,  $\varepsilon_z = 5 \cdot 10^{-7}$ ,  $\beta_y = 0.2$  and  $\delta_y = 0.0001$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

# コヒーレント振動の Decay パターン

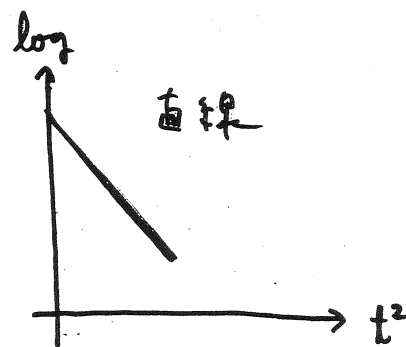
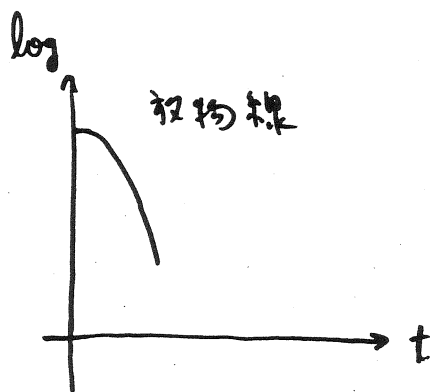


$$\theta = \Delta V \cdot t$$

実空間 ( $y$  軸上) における  $A, B$  の重なり

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

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

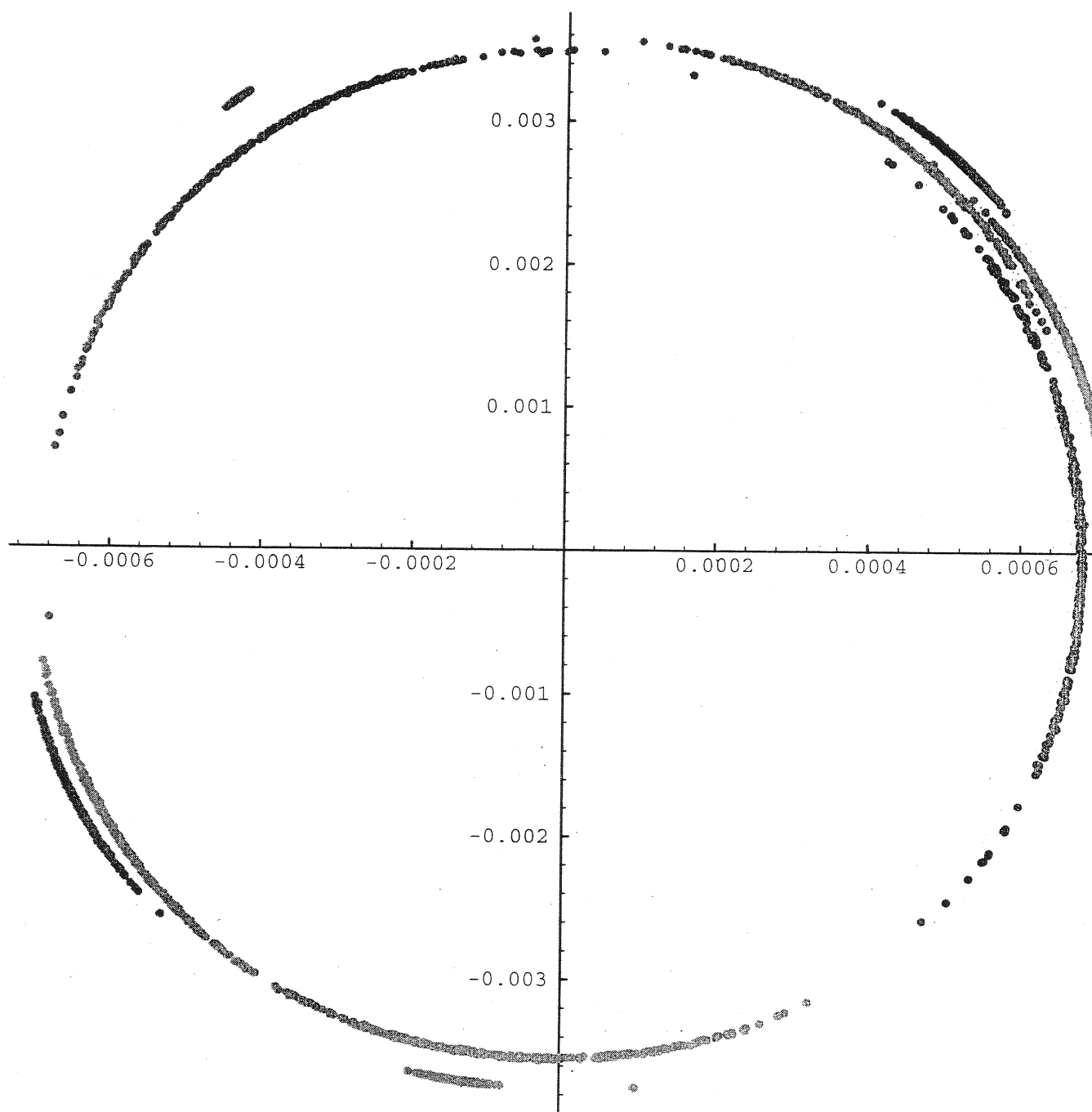


$$\begin{aligned}
\sqrt{J_y(n)/J_y(0)} &= \sqrt{\frac{1}{2} (\langle y \rangle^2 + \langle p_y \rangle^2) / J_y(0)} \\
&= e^{-\sigma_y^2/2} = e^{-\left(2\pi\sqrt{\langle \delta\nu_y^2 \rangle} n\right)^2/2} \\
&\equiv e^{-(n/n_{NF})^2}
\end{aligned} \tag{43}$$

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.

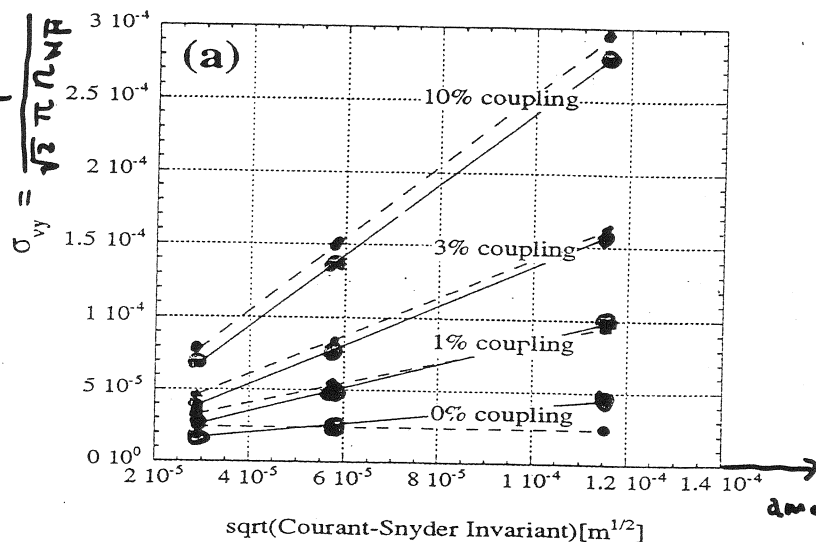
$$\begin{aligned}
(1/n_{NF}) &= \sqrt{2\pi\sigma_{\nu_y}} \\
&= \sqrt{2} |a_{yy}| \Delta y \sqrt{\epsilon_y/\beta_y}
\end{aligned} \tag{44}$$





TRISTAN  
Interleaved

Effective

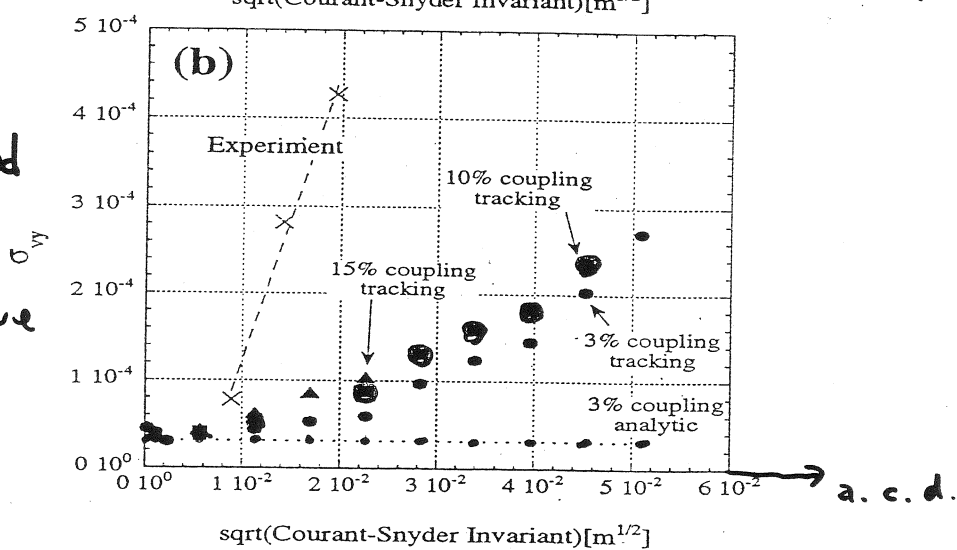


amount of coherent displacement

TRISTAN

Non-Interleaved

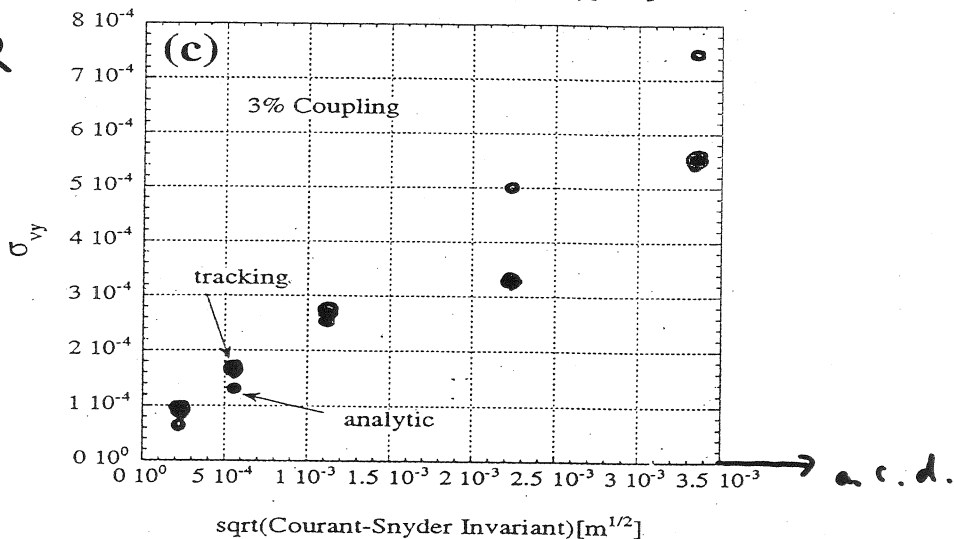
Not Effective



a. c. d.

KEK-B LER

Effective



a. c. d.

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

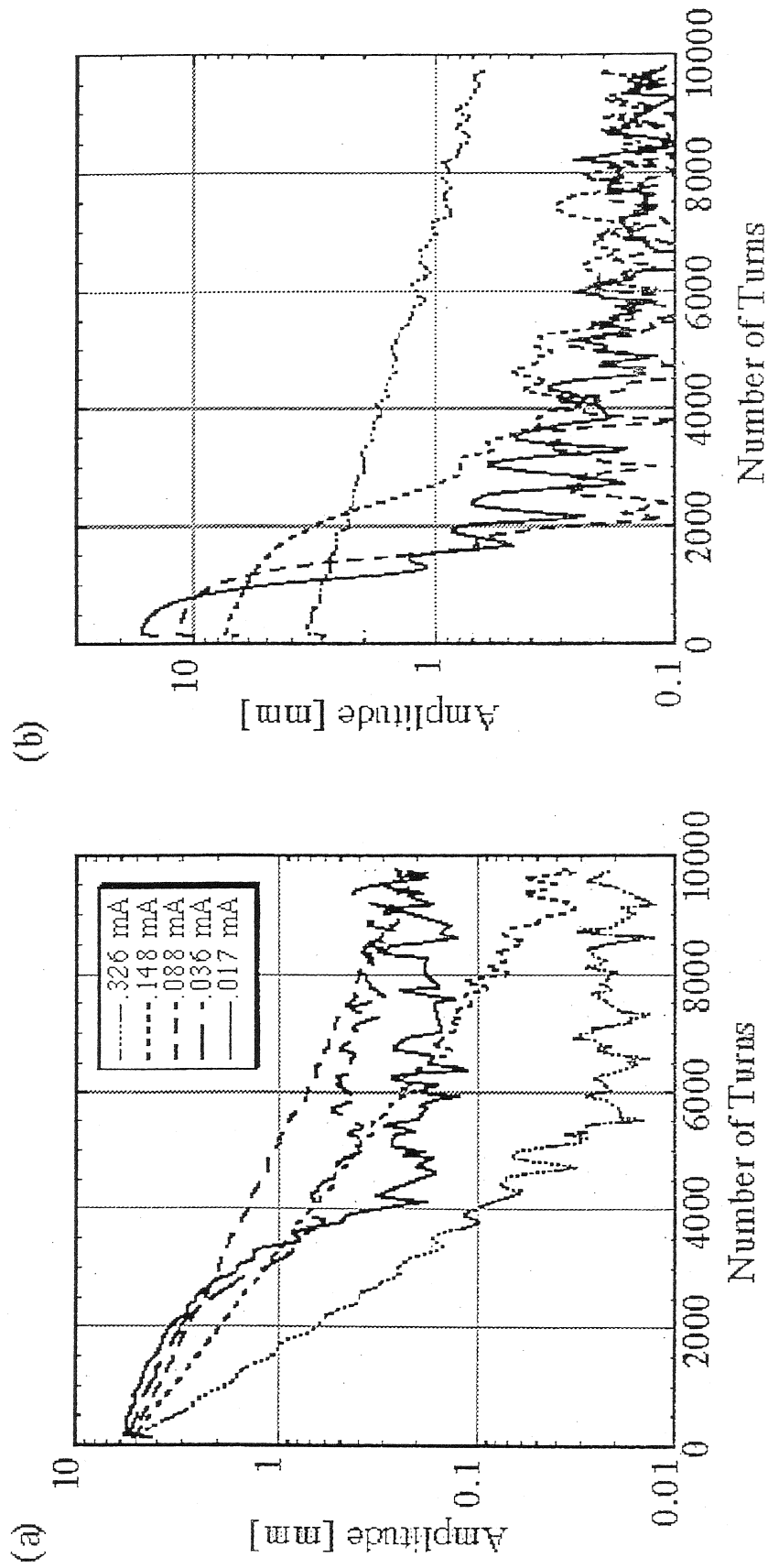
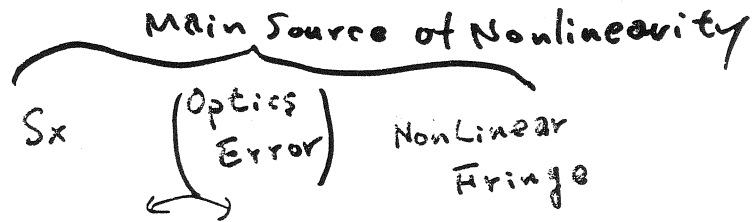


Fig. 3 The vertical oscillation decay. At low current or small initial amplitude, nonlinear filamentation is observed.

$$\text{Amplitude} \propto \text{Exp} \left\{ -n \left( \frac{1}{n_{\text{rad}}} + \frac{1}{n_{\text{headTail}}} \right) - \left( \frac{n}{n_{\text{NF}}} \right)^2 \right\}$$



given  
by DA  
module  
in SAD

	TRISTAN Interleaved	TRISTAN Non- interleaved	KEKB-LER Non- interleaved
$a_{xx} [m^{-1}]$	5356.91	52.28	5998.13
$a_{xy} [m^{-1}]$	-9299.00	44.493	13178.38
$a_{xz} [m^{-1}]$	88.86	728.87	87.86
$a_{yy} [m^{-1}]$	<del>47106.96</del>	-59.76	<u>29273.20</u>
$a_{yz} [m^{-1}]$	152.134	323.14	-16.45
$a_{zz} [m^{-1}]$	16.28	19.46	3.85
$\varepsilon_x [nm]$	4.66	4.77	19.04
$\varepsilon_z [nm]$	957.87	599.36	2431.12
$\alpha_{x,y}$	$0.91 \times 10^{-4}$	$0.91 \times 10^{-4}$	$1.29 \times 10^{-4}$

ATF-DR

1.3 GeV

-37721

101650

49.8

9176

-16.7

3.9

1.1

1700

$2.7 \times 10^{-5} / 1.7 \times 10^{-5}$

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 6 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

$$\mathbf{x}_{physical} = H R B \mathbf{x}_{normalmode} \quad (1)$$

ここで変換を表す  $6 \times 6$  matrix、 $B$ 、 $R$ 、 $H$  は

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

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

$$H = \begin{pmatrix} \{1 - |H_x|/(1+a)\} I & H_x S_2 H_y^t S_2 / (1+a) & H_x \\ H_y S_2 H_x^t S_2 / (1+a) & \{1 - |H_y|/(1+a)\} I & H_y \\ S_2 H_x^t S_2 & S_2 H_y^t S_2 & aI \end{pmatrix} \quad (4)$$

である。ここで使われている  $2 \times 2$  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

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

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

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 headon frame

ここまでくればあとは 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事で容易に実行できる。11 の exp の肩は

$$\mathbf{x}^* \Sigma^{*-1} \mathbf{x} = x_5 A x + 2 \mathbf{x} \cdot \mathbf{b} z + c z^2 \quad (13)$$

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  $\Sigma_5$  は  $z$  によらず、 $\langle x \rangle$  は  $z$  に対して 1 次である。

さらに  $\Sigma_5^*$  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。

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

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

$\Sigma_5^*$  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 毎の interaction は 6 次元で正準的な取扱いでその効果を評価する。

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

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  $\Sigma$  が  $z$  に依存しているので  $\delta$  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

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

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

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

ここで

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

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。

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

リングのパラメータ。

$\varepsilon_x$	$1.8 \times 10^{-8}$
$\varepsilon_y$	$3.6 \times 10^{-10}$
$\sigma_z$	4 mm
$\beta_x$	0.33 m
$\beta_y$	0.008 m
Half crossing angle	10 mrad
$N_-$	$1.4 \times 10^{10}$
$N_+$	$3.1 \times 10^{10}$

## 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 CMPLLOT;
TRACK USE=ASC NPART=nparticle TURNS=nturn
      NX=(1)
      NY=(0.14142)
      NZ=(1);
```

この例にはないが  $r1, r2, r3, r4, zx, zpx, zy, zpy$  も同様に  
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

betav = 3.296000D-01m betax = 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	5.75

sigma x=8.540848D-05m

sigma y=1.658915D-06m

sigma z=3.964198D-03m

Conventional 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	5.75934D-07

Its center of mass

9.99983D-03 .00000D+00 .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

```

      <x>          <y>          <xx>          <xy>          <yy>
1.70430E-08  4.87955E-08  3.30160E-09 -2.22299E-12  4.22392E-12

```

Averaged beam position and size between 101 200

```

      <x>          <y>          <xx>          <xy>          <yy>
-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

```

      <x>          <y>          <xx>          <xy>
-1.2644591E-07  6.0590985E-08  6.3775961E-09 -2.7333656E-12  9.00

```

## 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*

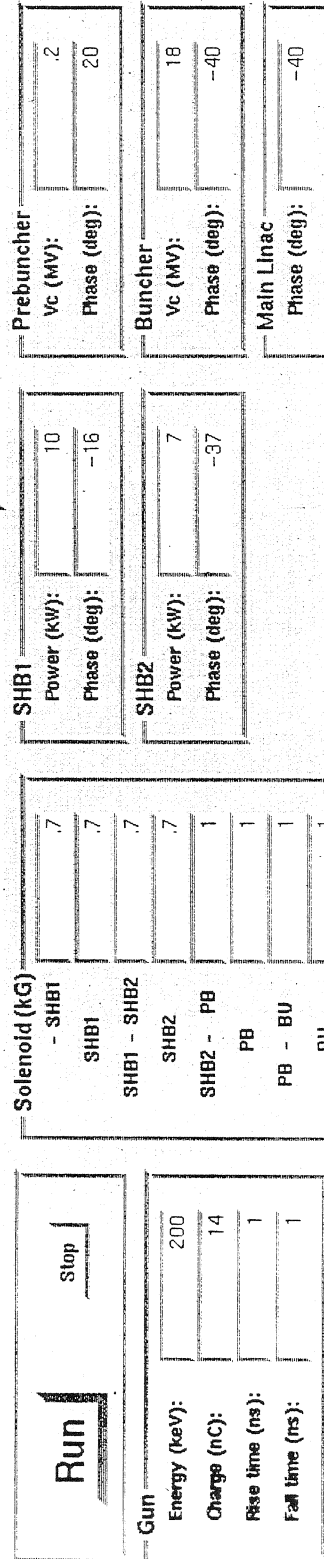
July 8, 1998

## 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.

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

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

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

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

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

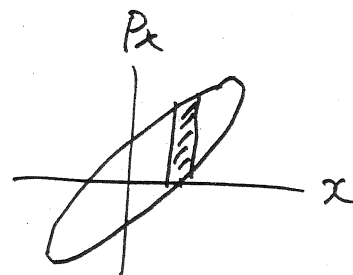
$$f_1 = \int_0^{\pi/2} \frac{2u_1 \sin^2 t \cos t dt}{\sqrt{(\sin^2 t + (u_1/u_2) \cos^2 t)(\sin^2 t + (u_1/u_3) \cos^2 t)}} ,$$

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

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

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  $\langle x_i x_j \rangle$ ,  $(\tau_x, \tau_y, \tau_z)$  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

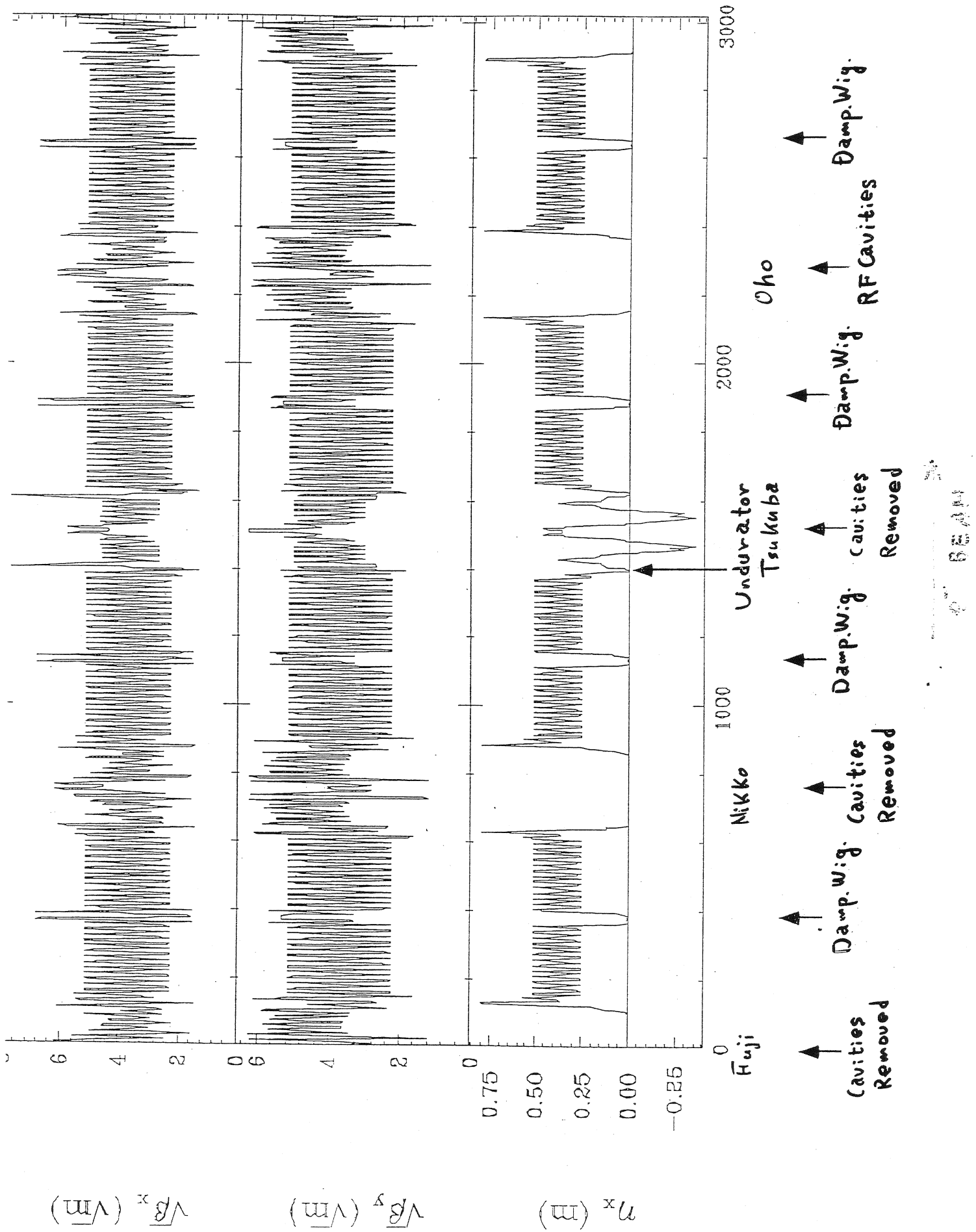
////////////////////////////////////  
MR放射光実験における問題提起

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





## Experimental Observations

(2) change of  $\sigma'_{\text{photon}}$  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  $\sigma'_{\text{photon}}$

by superimposing horizontal field

to correct the induced vertical kick

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

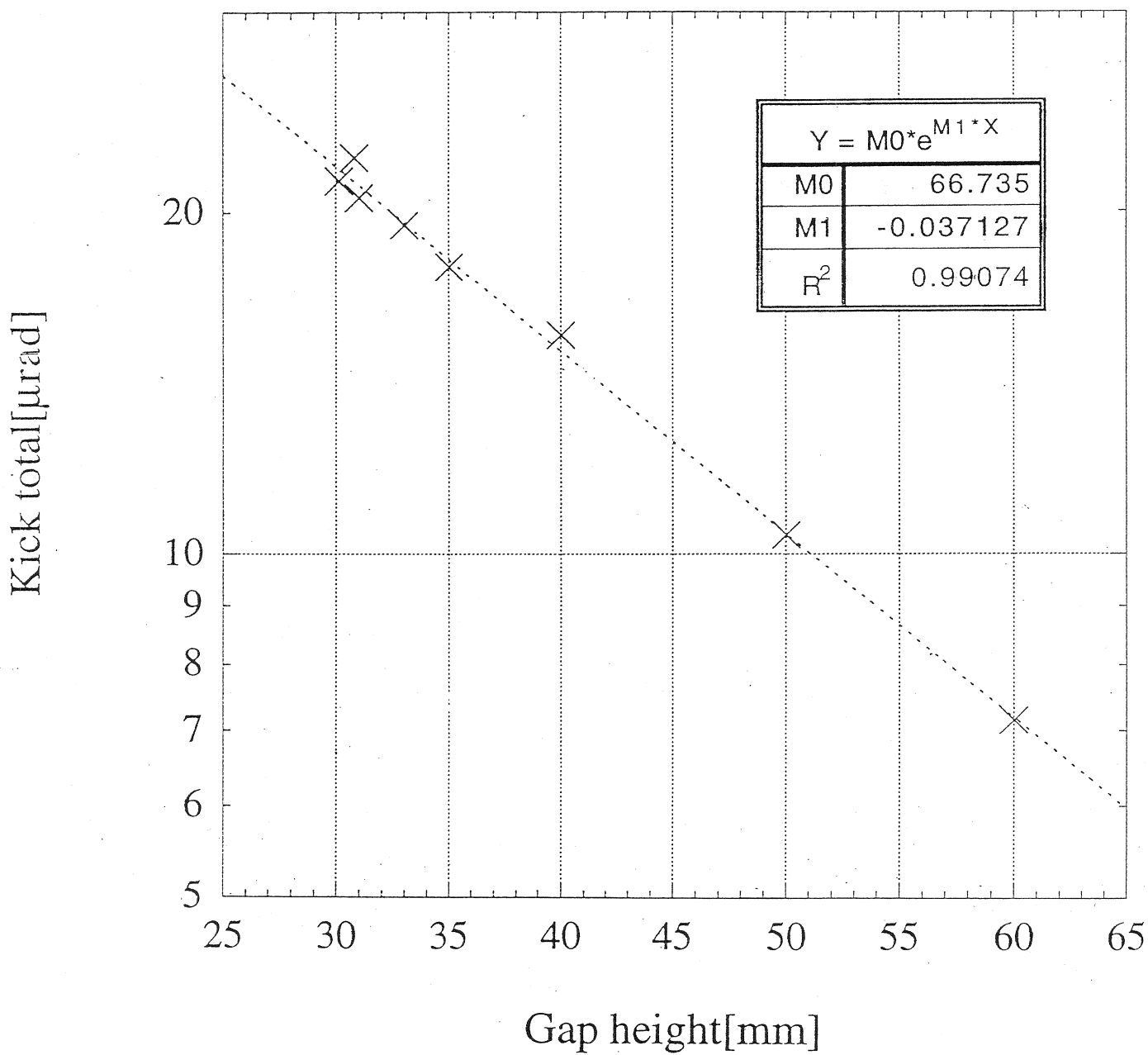
no further reduction by two pieces correction

(4) Spectrum flux

(5) light angular divergence with bunch current

× L

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

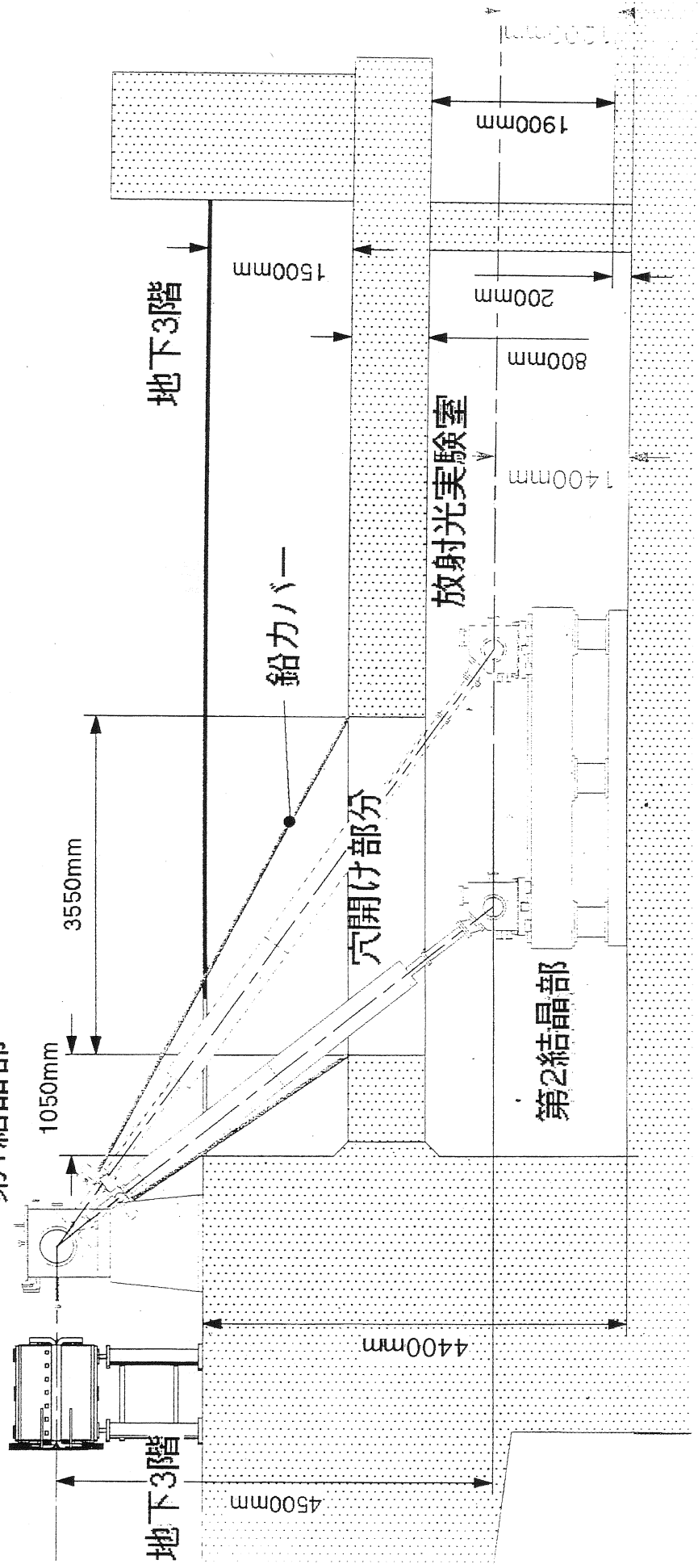


筑波地下室のリング中心から外側に向かって見た断面図.

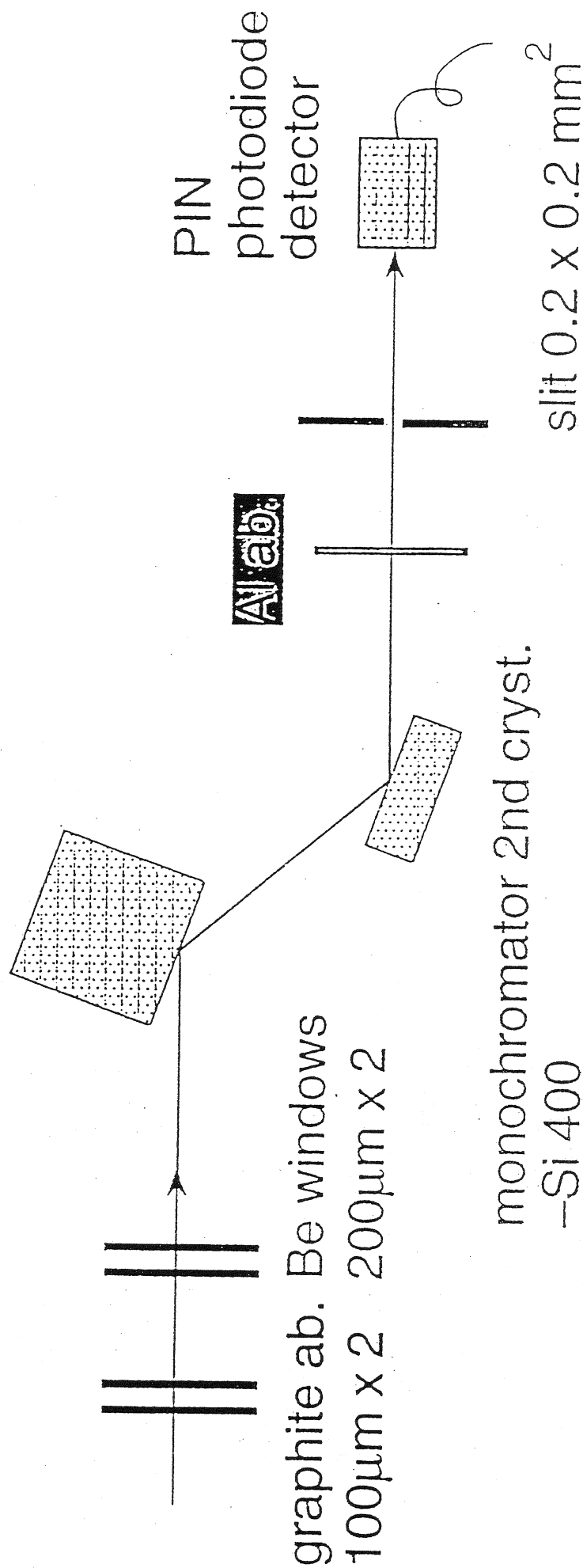
# トリスタン筑波実験室

放射光ビームラインモノクロメーター  
第1結晶部

MR電磁石

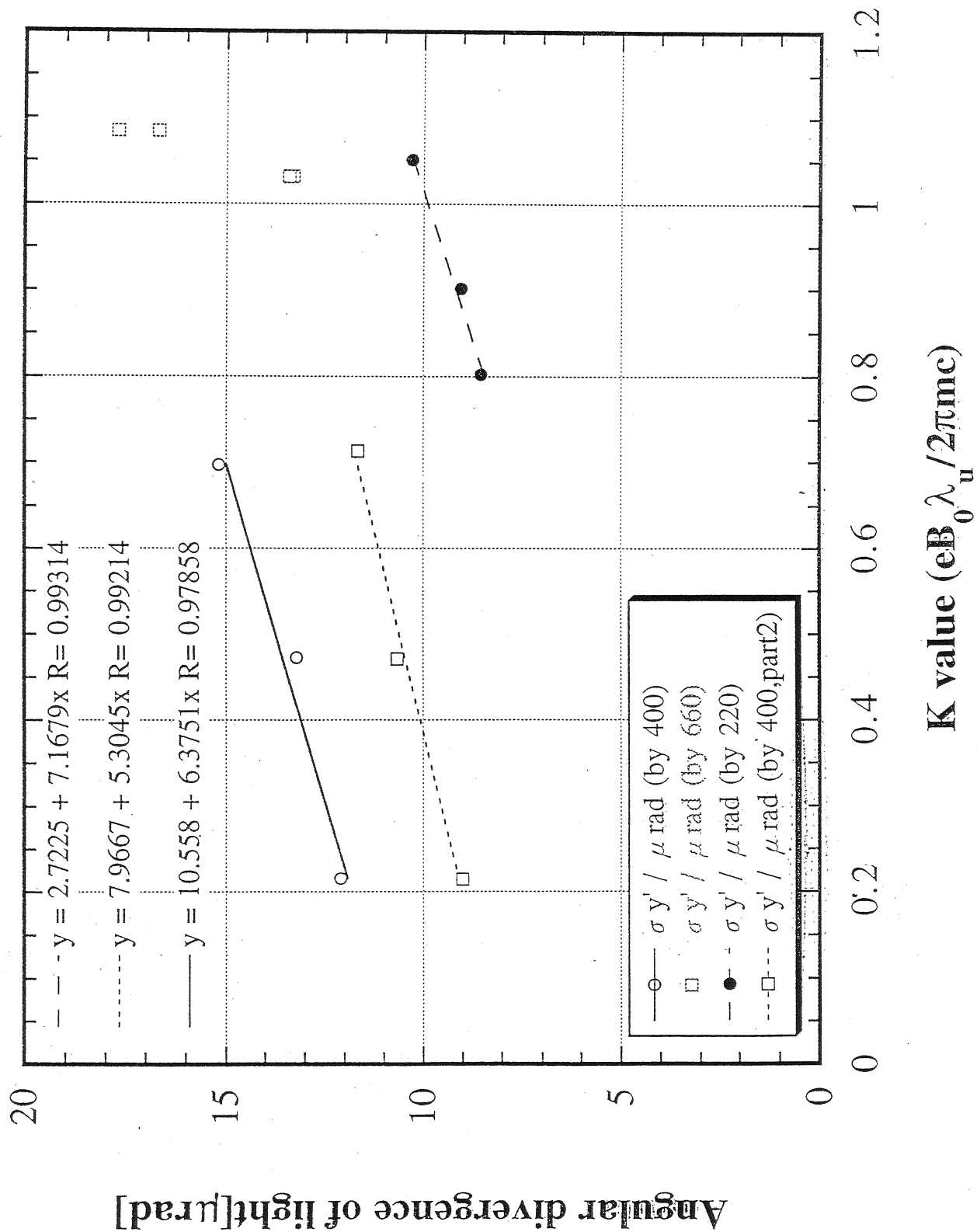


monochromator 1st cryst.  
+Si 400  
cooled by liq. N<sub>2</sub>

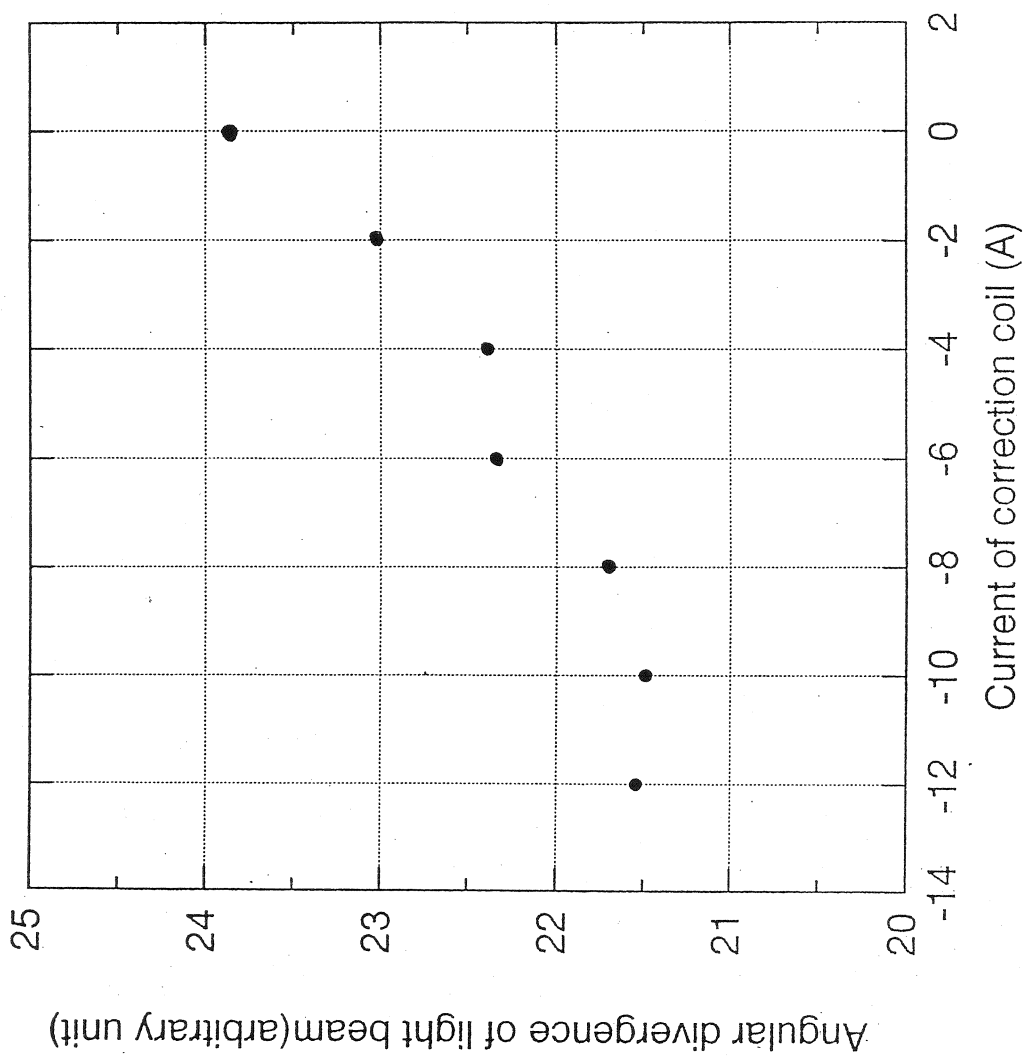


experimental arrangement for spectrum meas.

# Angular Divergence of Undulator Light vs. Undulator Field



# Effect of correction coil of undulator



One Piece Correction

No further Improvement  
by Two Pieces  
Correction

## Computing Algorithm (Oido)

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

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

$t$ : 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 coordinat {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 trajctry is obtained, one can calculate the field in time domain at any observation point. This is done by the new function RadiationFiled 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

{ {taul .. 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 field[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

シュミレーションモデル

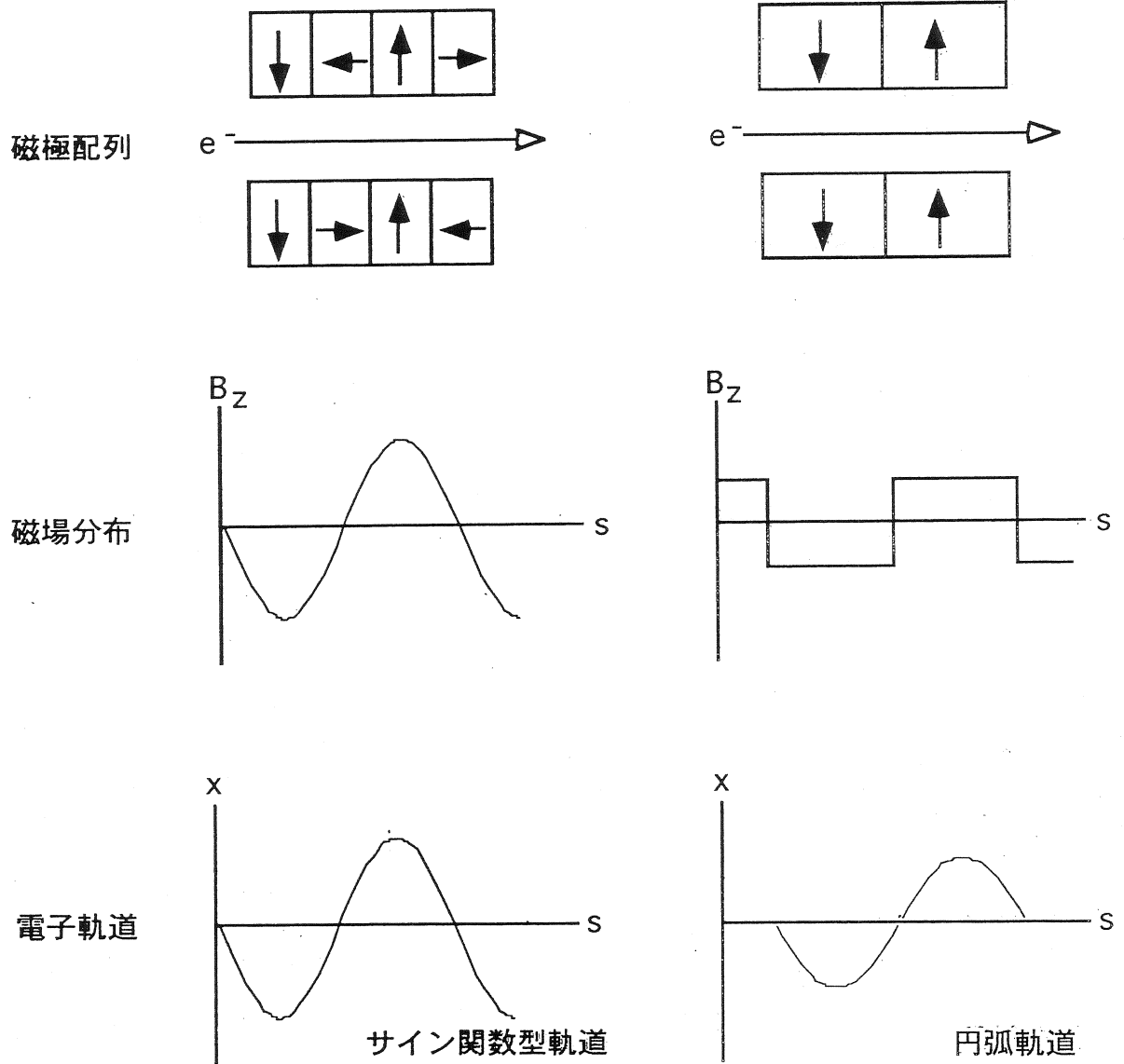
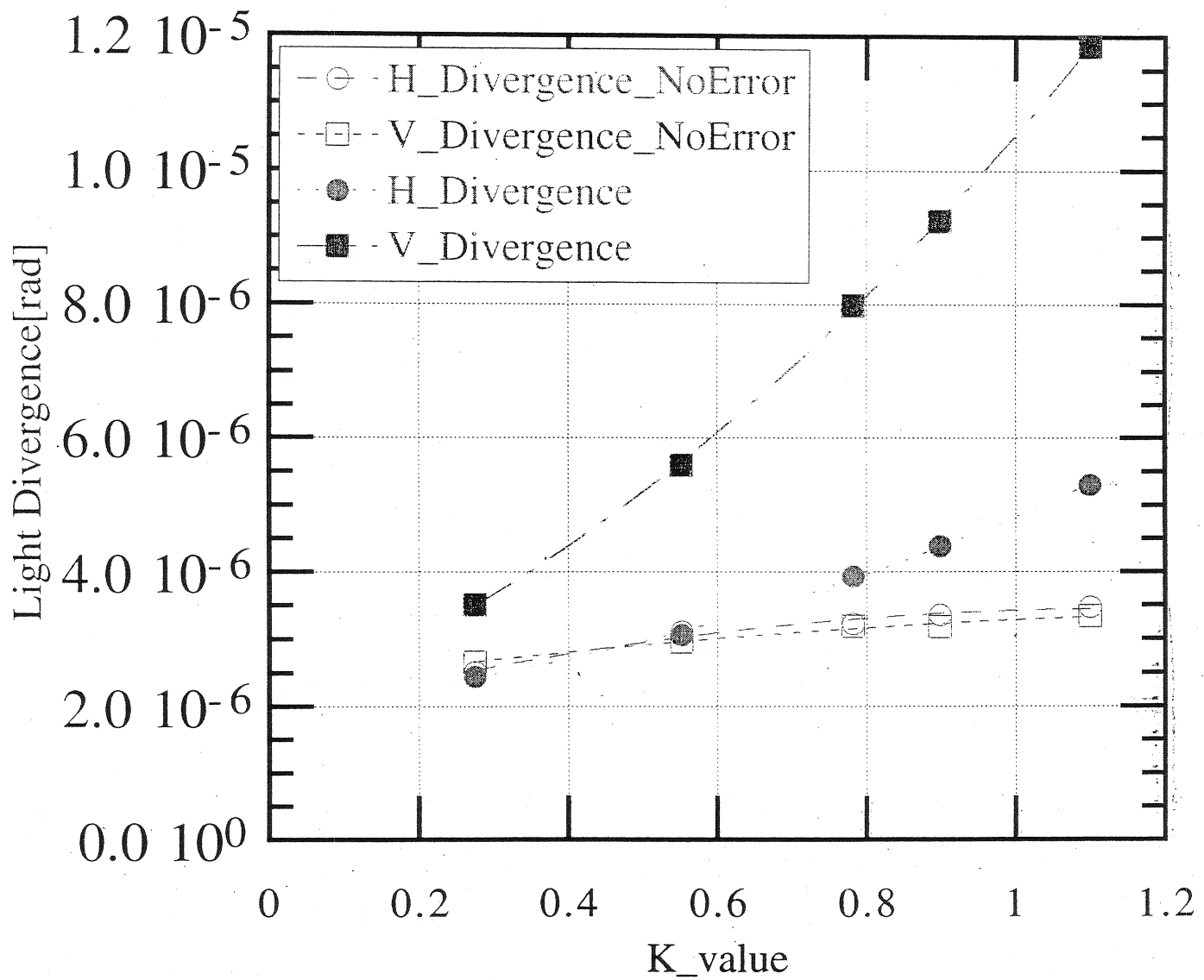
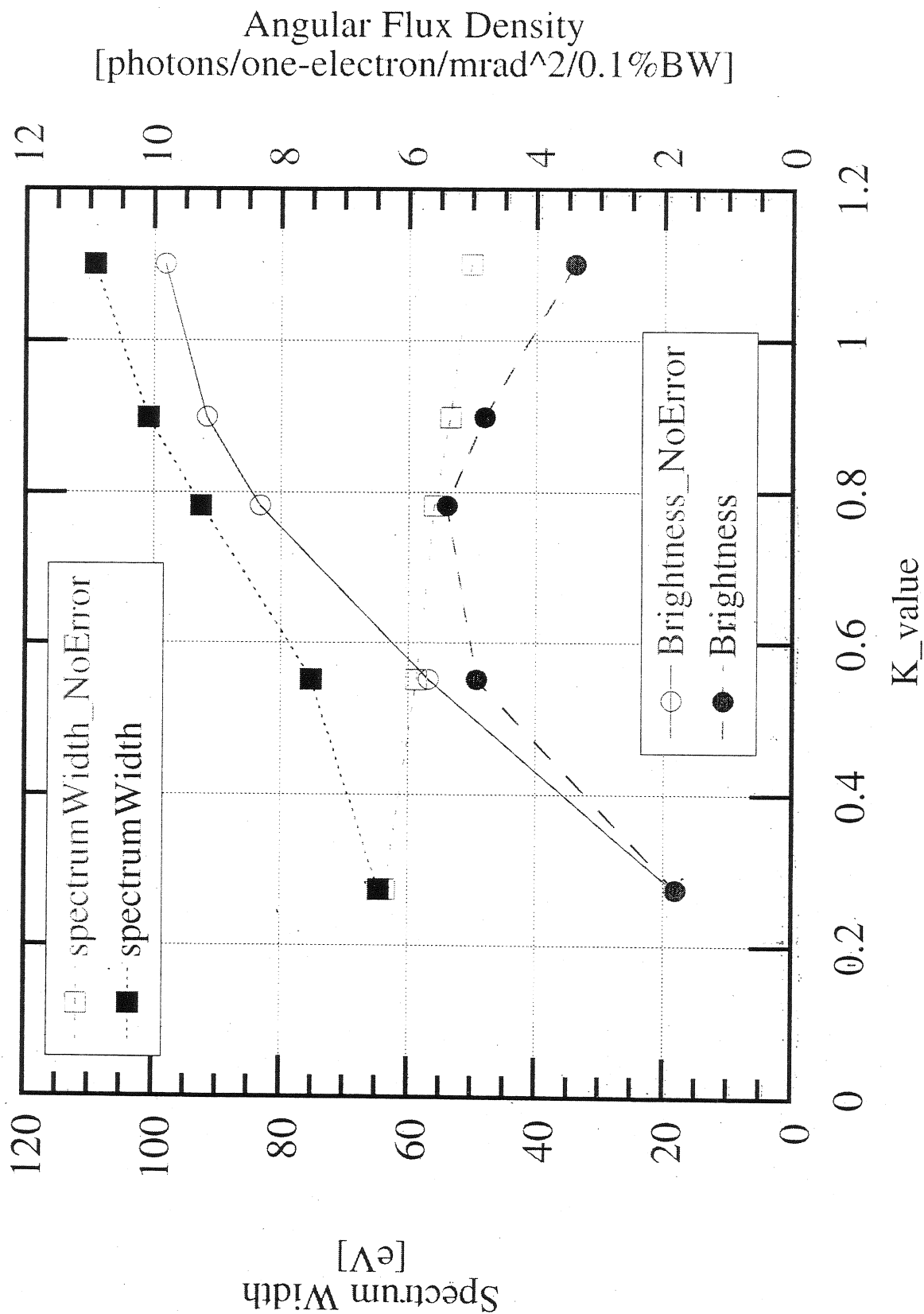


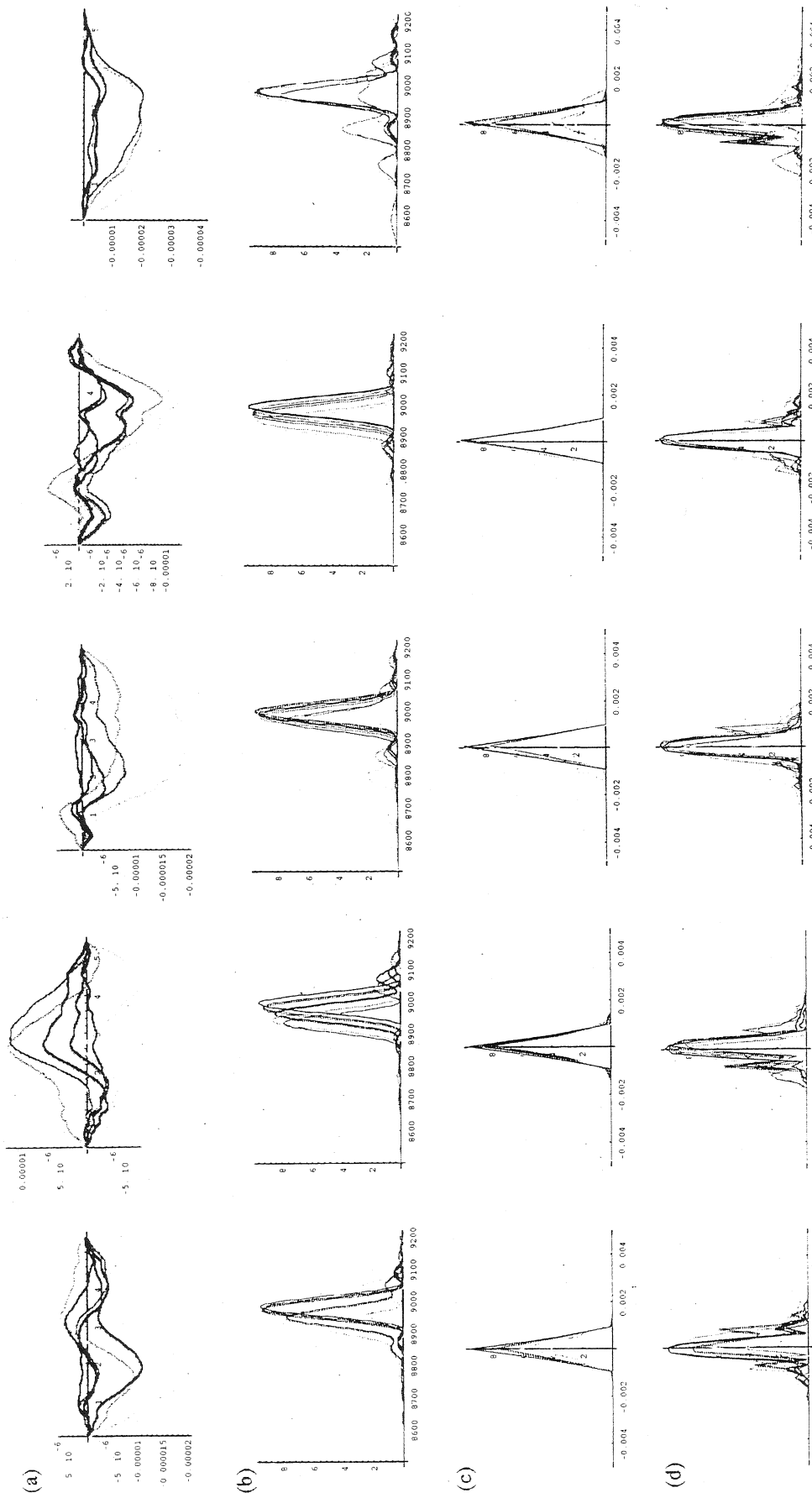
図4 アンジュレータ磁場の取り扱い

アレシエレータ不整磁場の有無による

光散角のK値依存性







補正による光ビームパラメータ改善のシミュレーション

(a) アンジュレータ内電子軌道垂直変位, 縦軸: 垂直電子軌道変位[m] 横軸: ビーム進行方向電子位置[m]

(b) 光子スペクトル 縦軸: 光束角密度[photons/one-electron-passage/mrad<sup>2</sup>/0.1%bandwidth] 横軸: 光子エネルギー[eV]

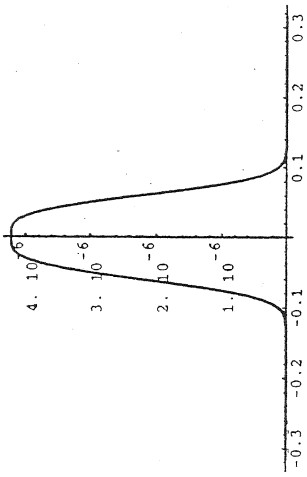
(c) 水平方向光分布 縦軸: 光束角密度[photons/one-electron-passage/mrad<sup>2</sup>/0.1%bandwidth] 横軸: 観測角度[10000 micro rad]

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

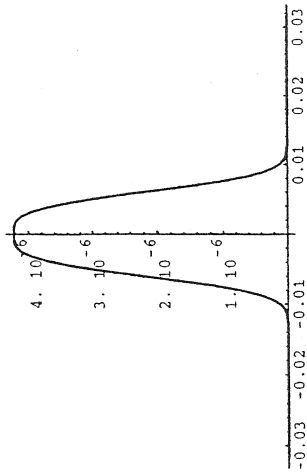
5分割補正  
4分割補正  
3分割補正  
2分割補正  
無分割補正  
無補正

図7 補正による光ビームパラメータ改善のシミュレーション

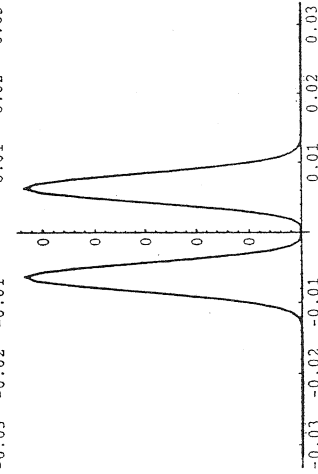
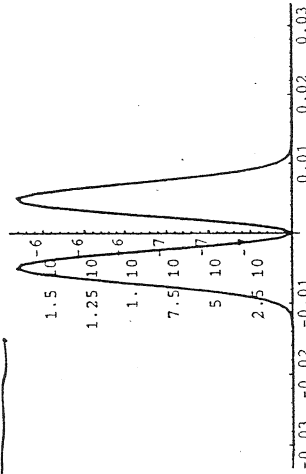
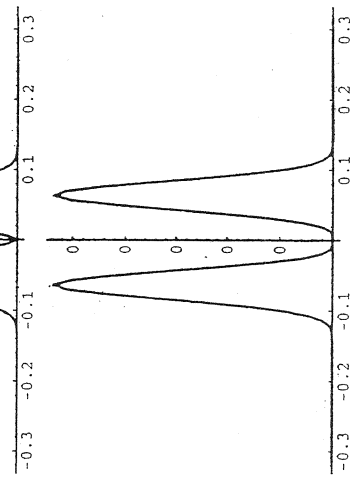
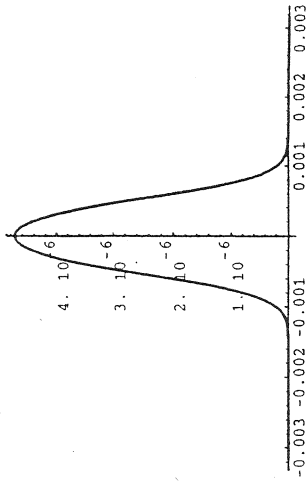


lx=100,

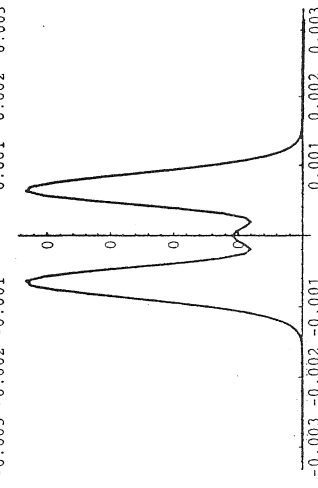
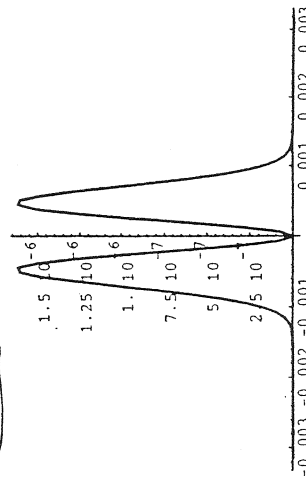
Out[11]=  
0.000407323

 $\sigma$ lx=10,

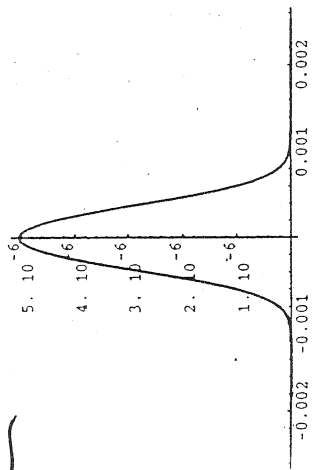
Out[23]=  
0.000407324

 $\pi$  $\rho$ lx=1,

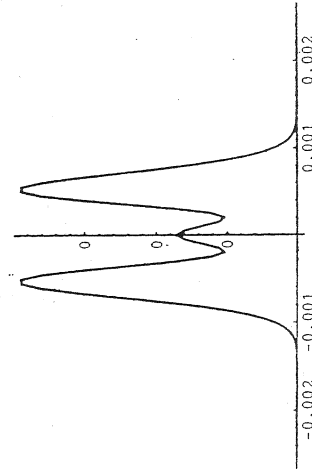
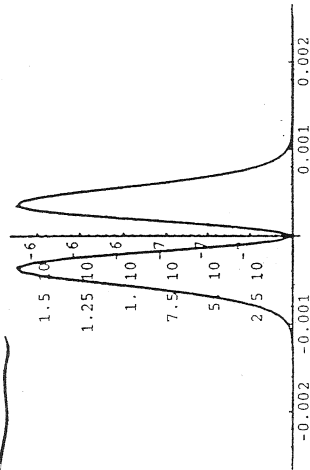
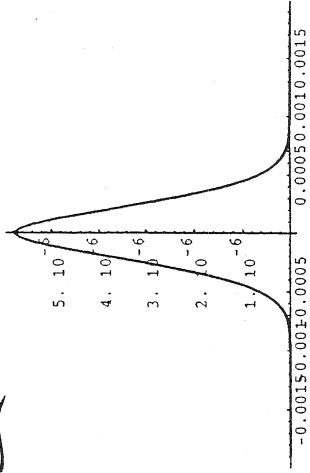
Out[35]=  
0.000406691



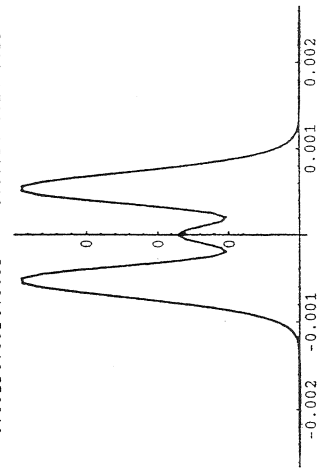
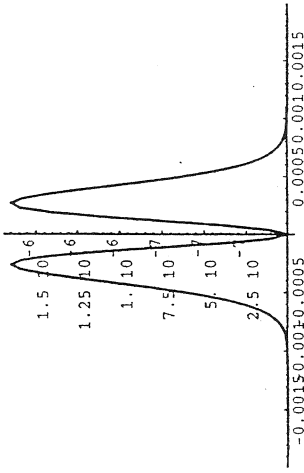
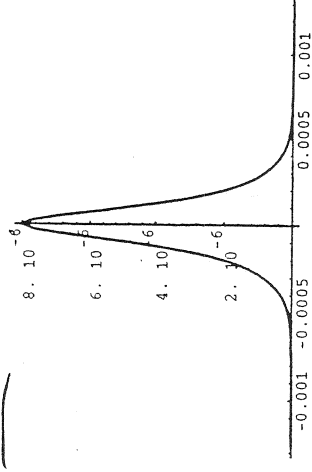
$8 \text{ GeV}, \quad f = 500 \text{ m}, \quad \lambda = 500 \text{ nm}$

$lx=0.8;$ 

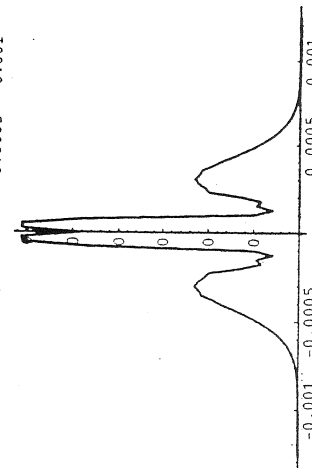
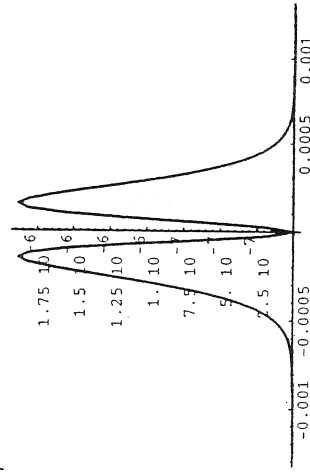
Out[47]=  
0.000405946

 $\pi$  $Q$  $lx=0.6;$ 

Out[59]=  
0.000403415

 $lx=0.4;$ 

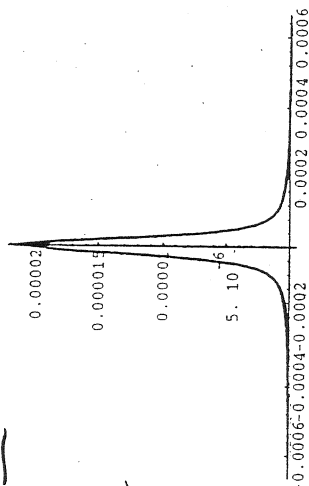
Out[71]=  
0.000393919



$860, \lambda = 500 \text{ nm}$

# Bend\_Light\_Summary

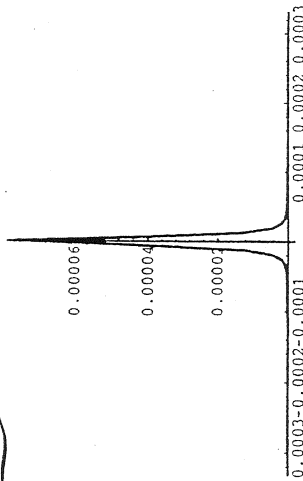
lx=0.2;



Out[83]=  
0.000355687

# Bend\_Light\_Summary

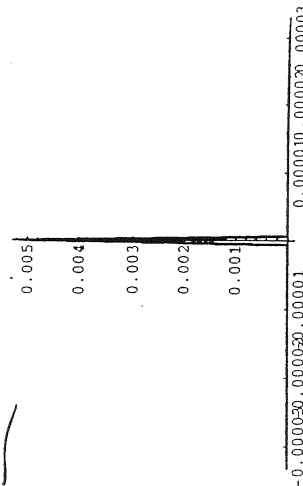
lx=0.1;



Out[95]=  
0.000274806

# Bend\_Light\_Summary

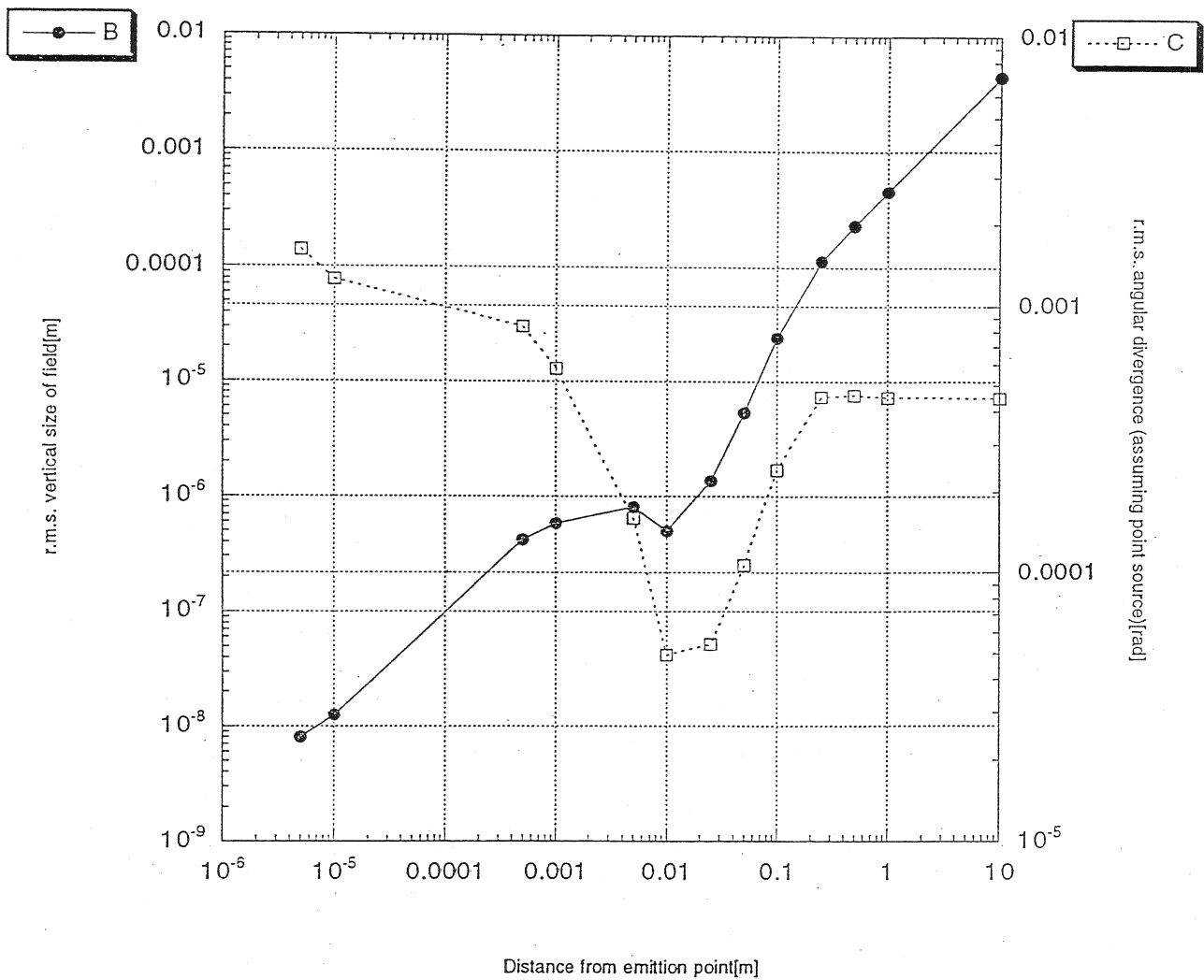
lx=0.01;



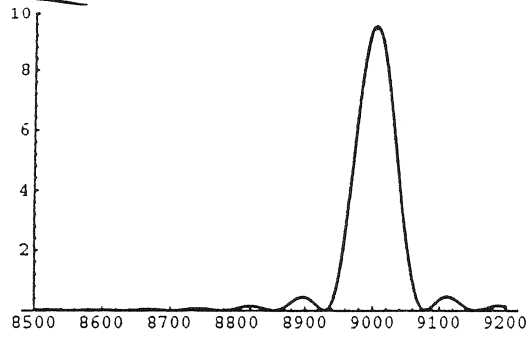
Out[107]=  
0.0000105017

$\gamma_{qed}, \rho = 500 \text{ nm}, \lambda = 500 \text{ nm}$

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



lx=100;



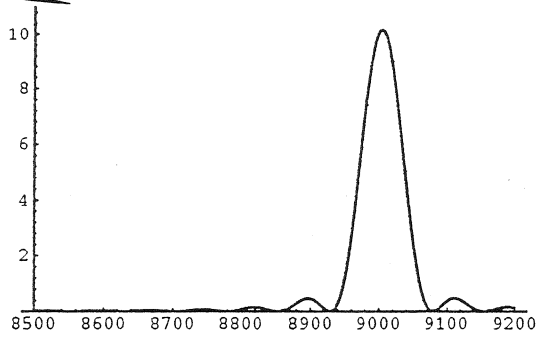
†GeV

MR-Undulator

Central Spectrum

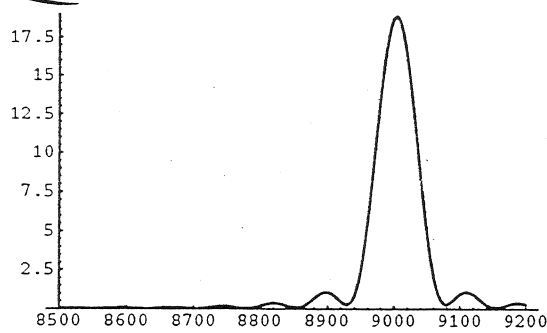
52.7314

lx=50;



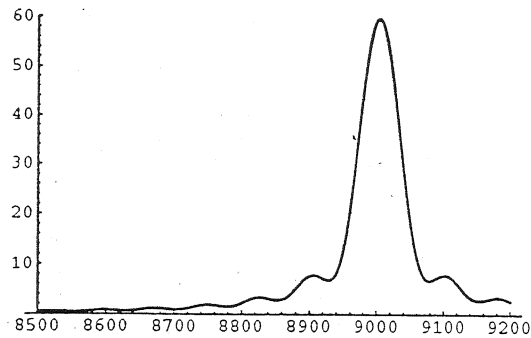
52.8356

lx=10;



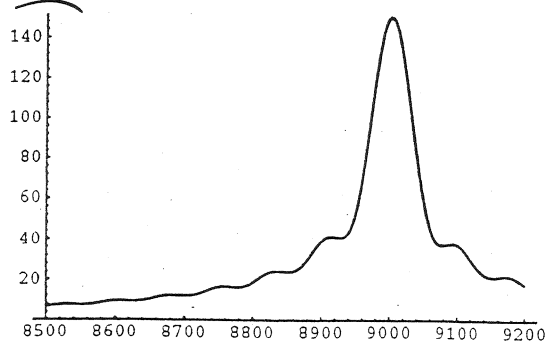
58.7481

lx=6;



95.1289

lx=5.5;



141.387

# SAD による KEKB 衝突リングの設計

H. Koiso



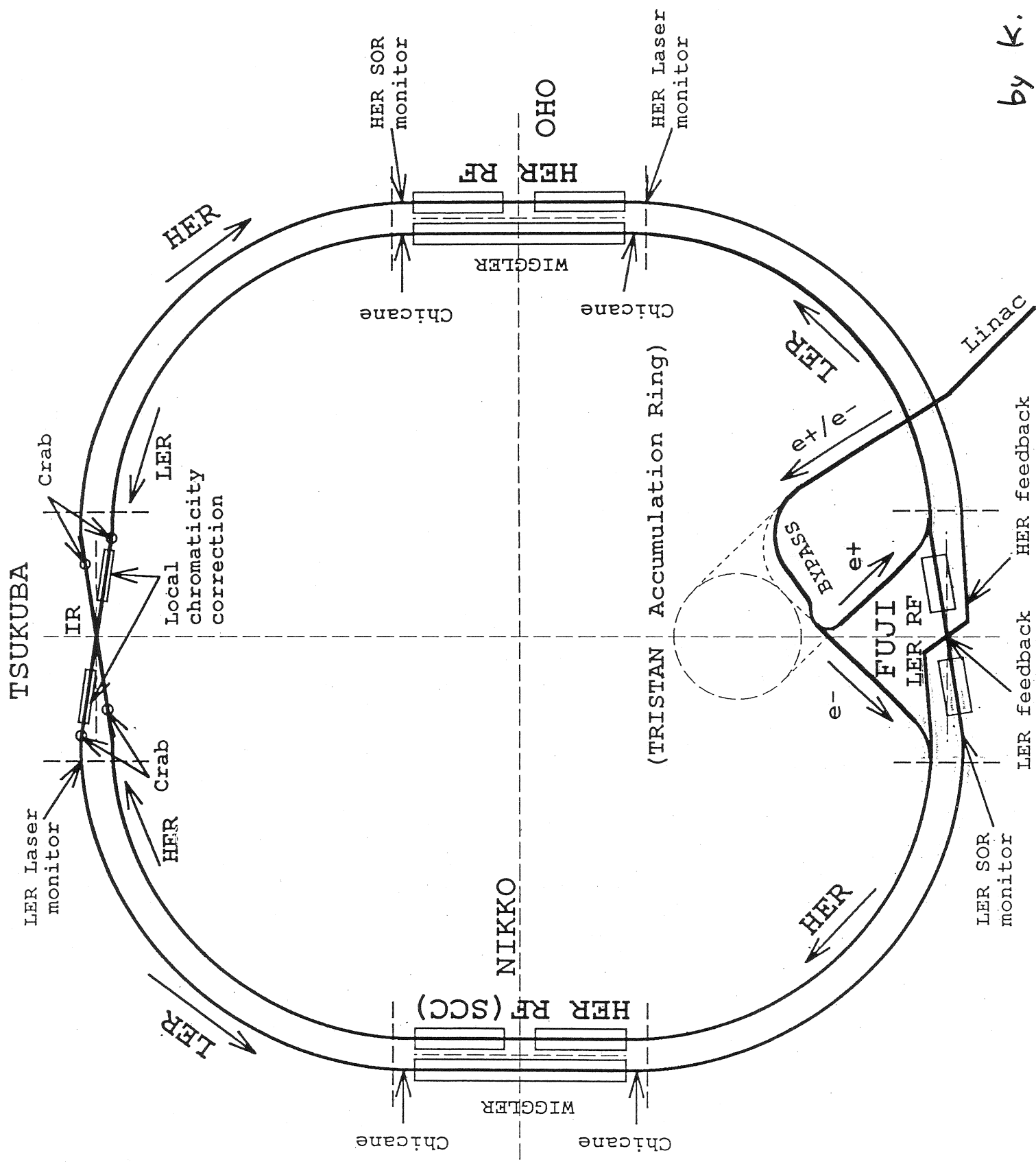
# SAD による KEKB 衝突リングの設計

H. Koiso, K. Oide

Jul.8.1998

- 概要
- $2.5\pi$  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	$\mathcal{L}$	$1.0 \times 10^{34}$		$\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
Luminosity Reduction Factor	$R_{\mathcal{L}}$	0.845		
Half crossing angle	$\theta_x$	11		mrad
Tune shifts	$\xi_x/\xi_y$	0.039/0.052		
Tune shift reductions	$R_{\xi_x}/R_{\xi_y}$	0.737/0.885		
Beta functions	$\beta_x^*/\beta_y^*$	<u>0.33/0.01</u>		m
Beam current	$I$	2.6	1.1	A
Bunch spacing	$s_b$	<u>0.59</u>		m
Particles/bunch	$N$	$3.3 \times 10^{10}$	$1.4 \times 10^{10}$	
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	$\sigma_z$	4		mm
Momentum spread	$\sigma_\delta$	$7.1 \times 10^{-4}$	$6.7 \times 10^{-4}$	
Synchrotron tune	$\nu_s$	0.01~0.02		
Momentum compaction factor	$\alpha_p$	$1 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-4}$		
Betatron tunes	$\nu_x/\nu_y$	45.52/46.08	47.52/43.08	
Circumference	C	3016.26		m
Damping time	$\tau_E$	44.9	22.5	ms

Table 2.2: Machine Parameters of KEKB.

## 2.5 $\pi$ cell

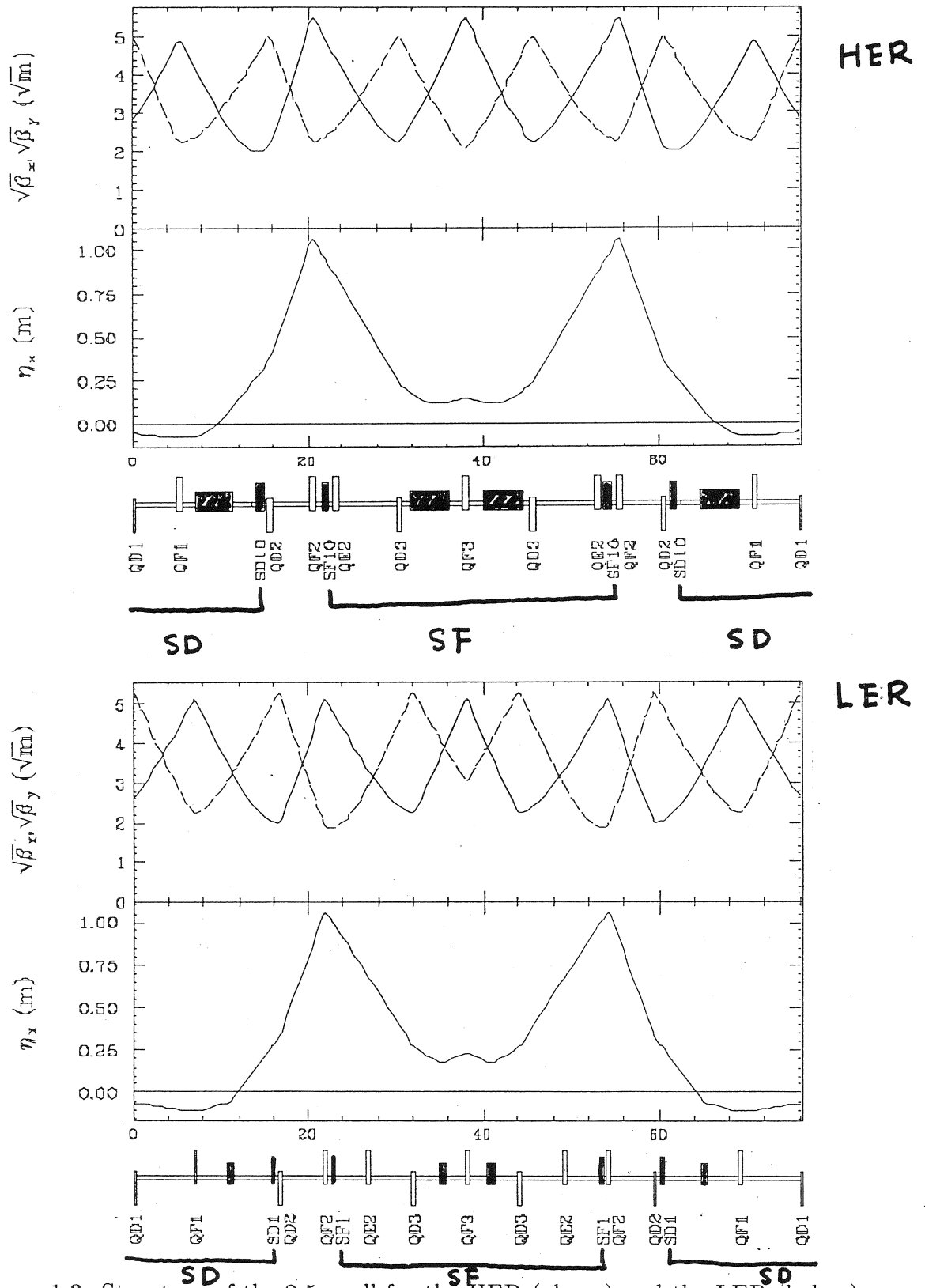


Figure 1.3: Structure of the 2.5 $\pi$  cell for the HER (above) and the LER (below).

LER 52 non interleaved sextupole pairs  
HER 50

# Emittance Control (LER)

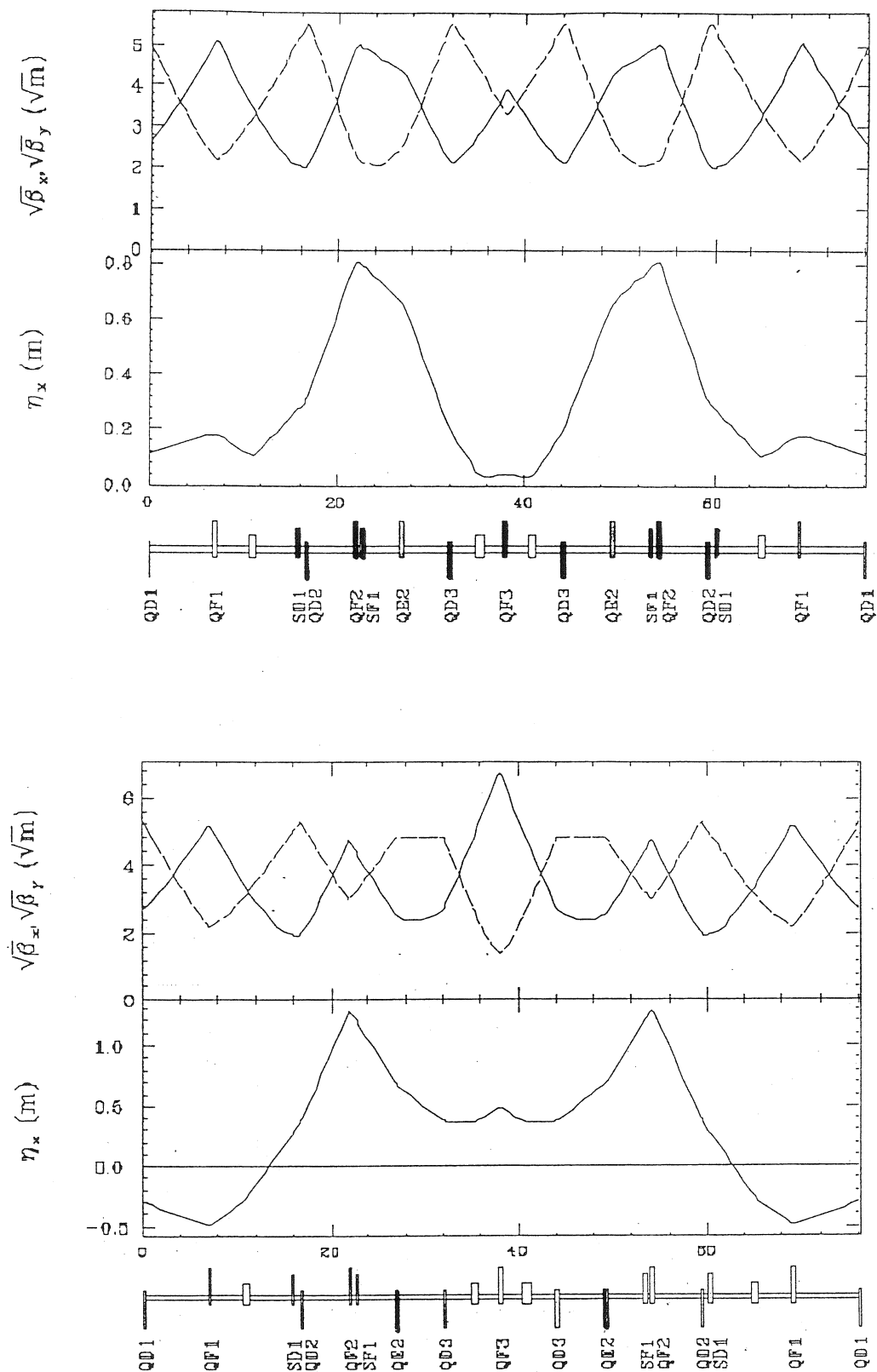


Figure 5.9: Examples of emittance control in LER;  $1.0 \times 10^{-8} \text{ m}$  (above) and  $3.6 \times 10^{-8} \text{ m}$  (below).

## 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	-1.000000E10	1.000000E10	<--	1.00000000
L1	L	6.43127952	!	6.43127952	6.43127952	.10000000	1.000000E10	<--	1.00000000
QF1	K1	.18059768	!	.18059768	.18059768	-1.000000E10	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	-1.000000E10	1.000000E10	<--	1.00000000
L4	L	4.75990428	!	4.75990428	4.75990428	.10000000	1.000000E10	<--	1.00000000
QF2	K1	.20751358	!	.20751358	.20751358	-1.000000E10	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	-1.000000E10	1.000000E10	<--	1.00000000
L6	L	2.64327471	!	2.64327471	2.64327471	.10000000	1.000000E10	<--	1.00000000
QF3	K1	.09996036	!	.09996036	.09996036	-1.000000E10	1.000000E10	<--	1.00000000

$$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ * & -1 \end{pmatrix}$$

matching conditions

In[71]:= show

!	component1	component2	fun	goal-value	np	scale	
	FIT SD1.2		NX	.250000000	1 ! *	6.283185307	} -I'
	FIT SD1.2		NY	.250000000	1 ! *	6.283185307	
	FIT SF1.2	SF1.4	NX	.500000000	1 ! *	6.283185307	
	FIT SF1.2	SF1.4	NY	.500000000	1 ! *	6.283185307	
	FIT B.2		EX	.214000000	1 ! *	1.000000000	} \epsilon_x \alpha
	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	10.00000000	1 ! *	1.000000000	
	FIT L1.1	QD2.1	BY	10.00000000	1 ! *	1.000000000	
	FIT L1.1	QD3.1	BY	10.00000000	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	L1.1/QD3.1f	BY	26.52738	1	26.527382
QF1.1/QF2.1	BX	24.16214	1	24.162139	SD1.2	NX	.25	1	.250000
SD1.2	NY	.25	1	.250000	SF1.2/SF1.4	NX	.5	1	.500000
SF1.2/SF1.4	NY	.5	1	.500000	B.2	EX	.214	1	.214000
\$\$\$	AX	#####	#	1.443E-15	\$\$\$	BX	#####	#	6.121904
\$\$\$	NX	1.25	1	1.250000	\$\$\$	AY	#####	#	-4.44E-15
\$\$\$	BY	#####	#	27.144213	\$\$\$	NY	1.25	1	1.250000
\$\$\$	EX	-.06	1	-.060000	\$\$\$	LENG	76.1482	1	76.148200



## Local Chromaticity Correction

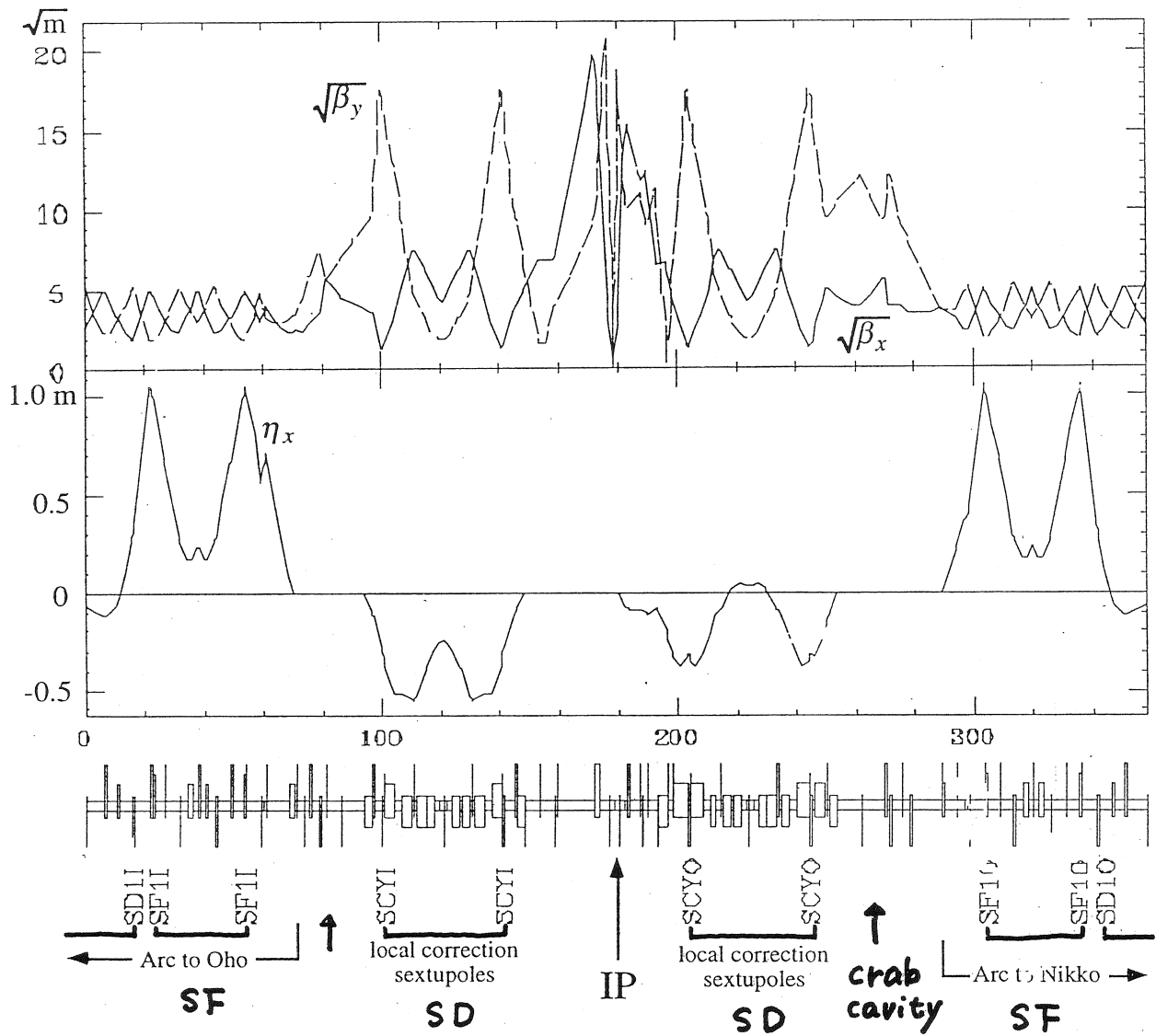
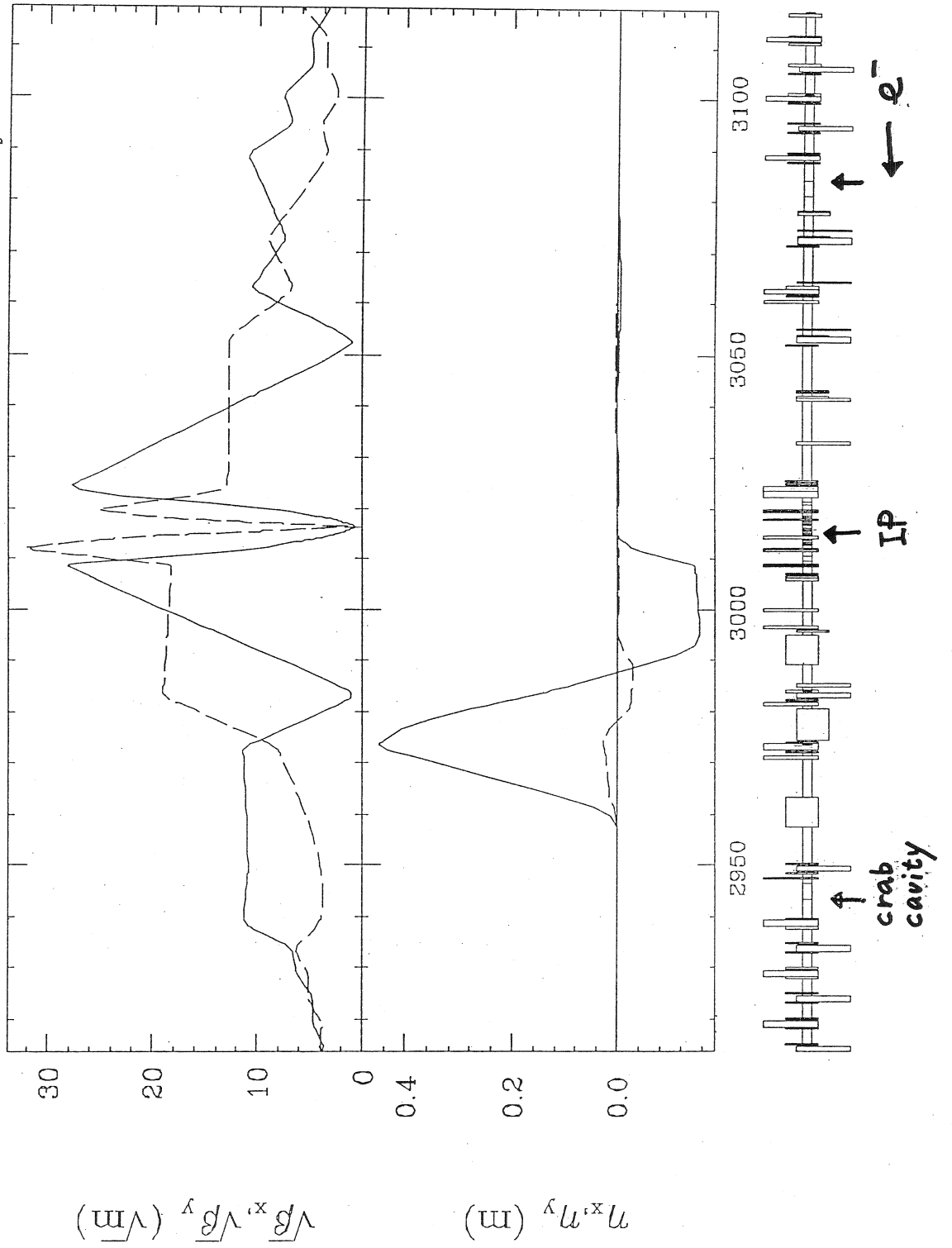


Figure 2.7: Optics of the local chromaticity correction for the LER. A pair of sextupoles for the vertical chromaticity correction is placed at each side of the IP.

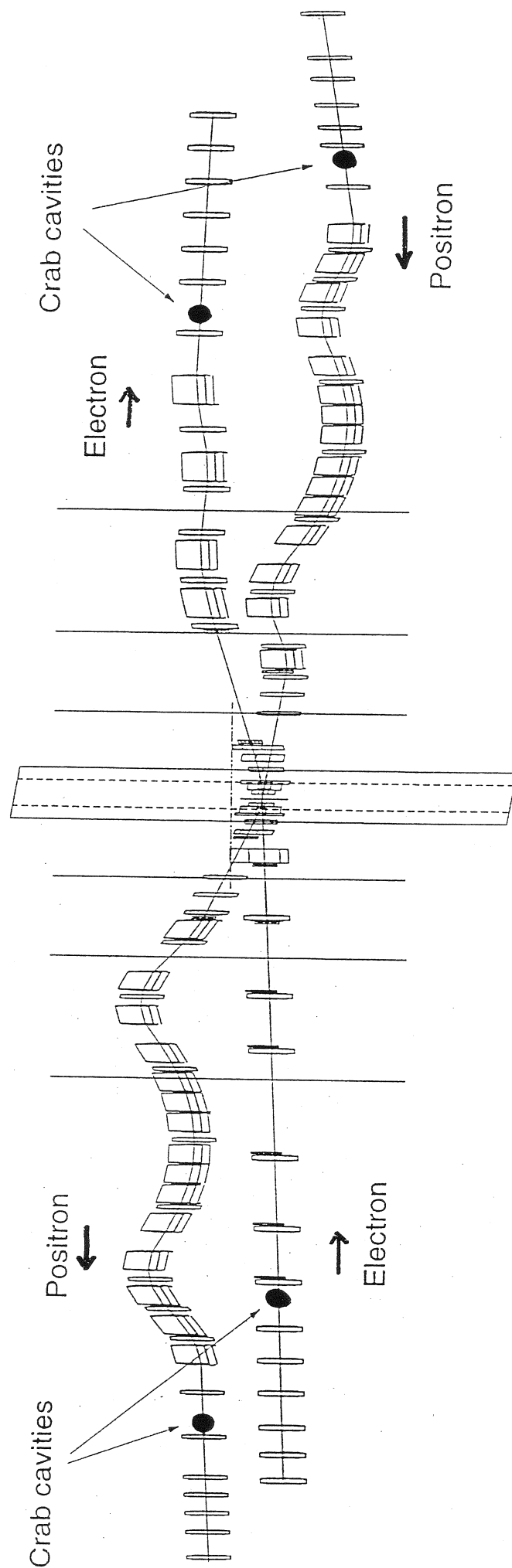
HER

06:06:16 Saturday 18-Oct-97



# Tsukuba Straight Section (Distorted View)

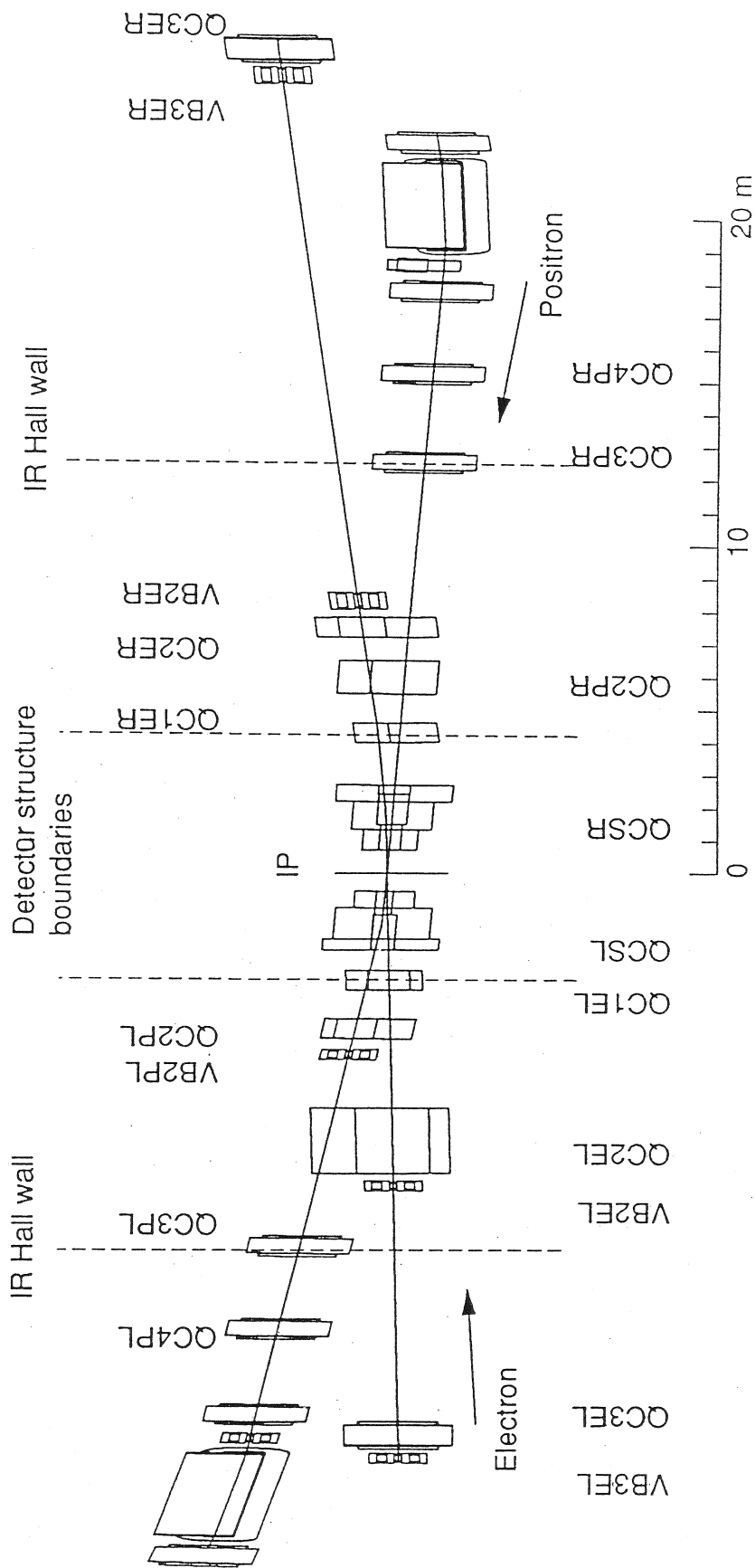
Detector



0 50m

Vertical = expanded by x10

by N. Toge



(Vertical scale: Expanded by x5)

A schematic diagram of the IR beam line.

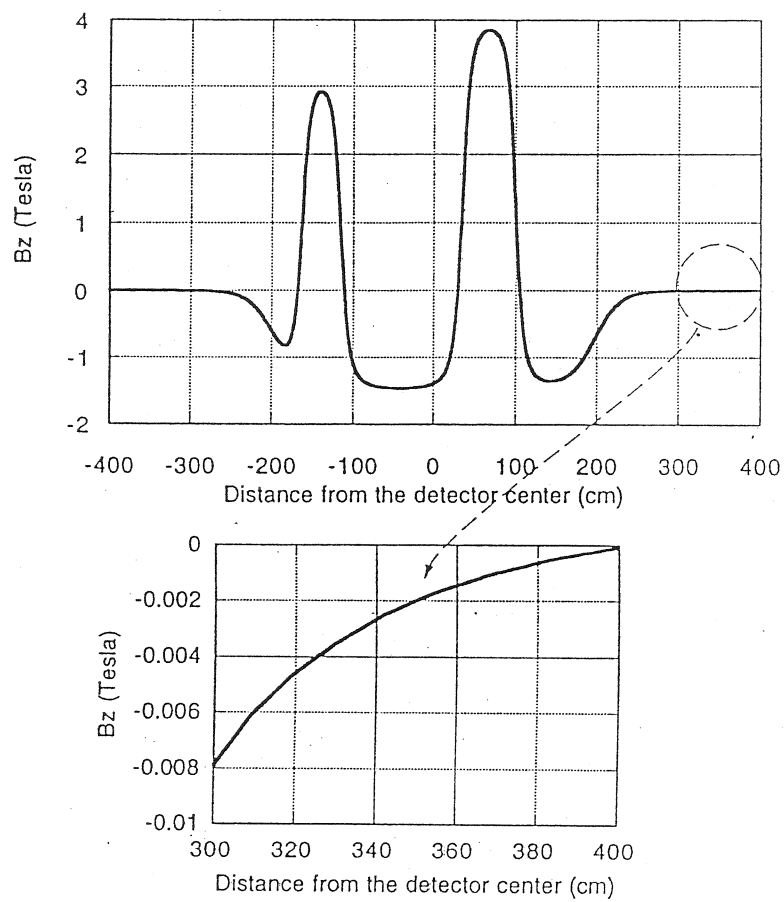


Figure 7.6: Distribution of the axial magnetic field  $B_z$  along the axis of the experimental facility.

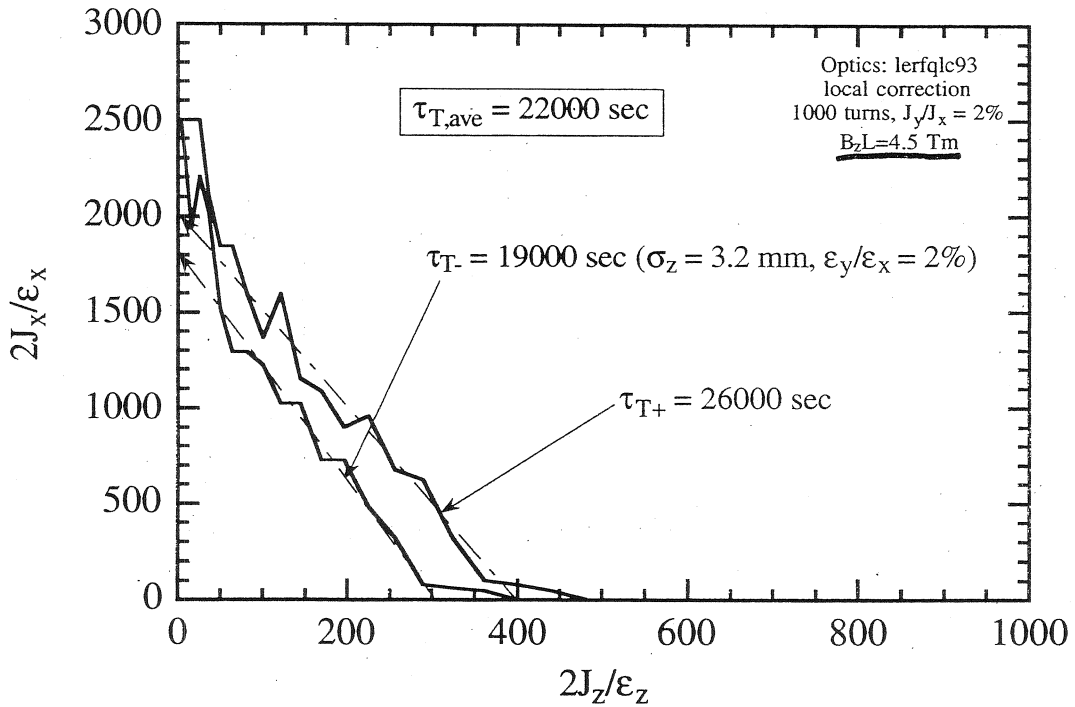
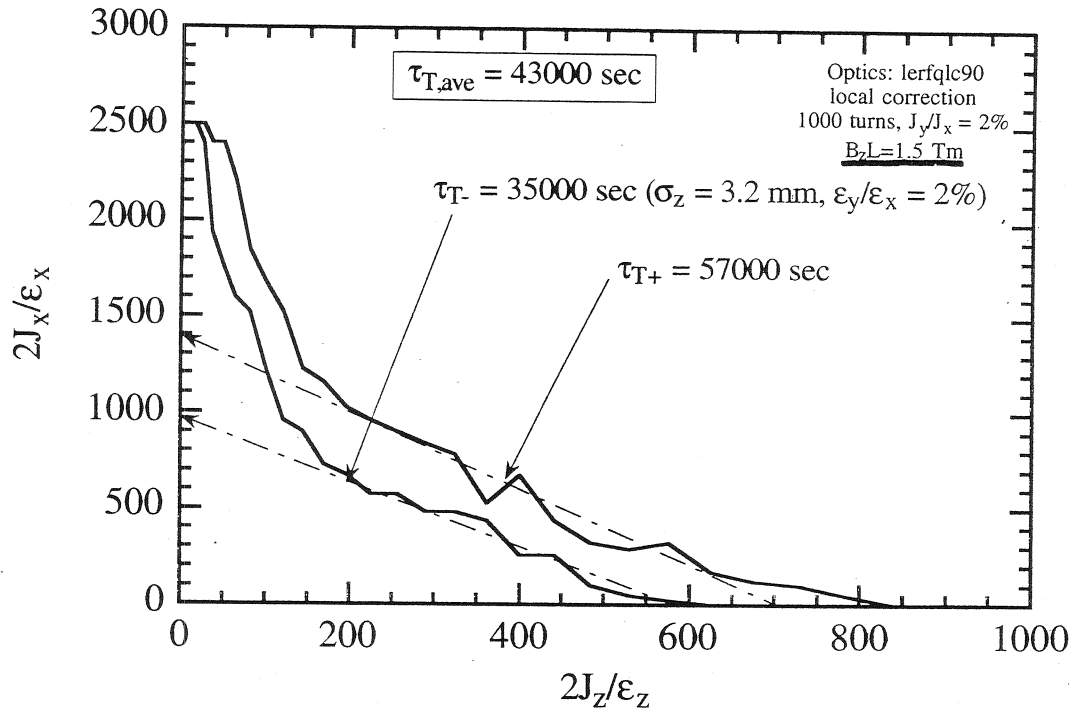


Figure 6.10: Dynamic aperture of the LER with an integrated solenoid field of 1.5 Tm (above) and 4.5 Tm (below).

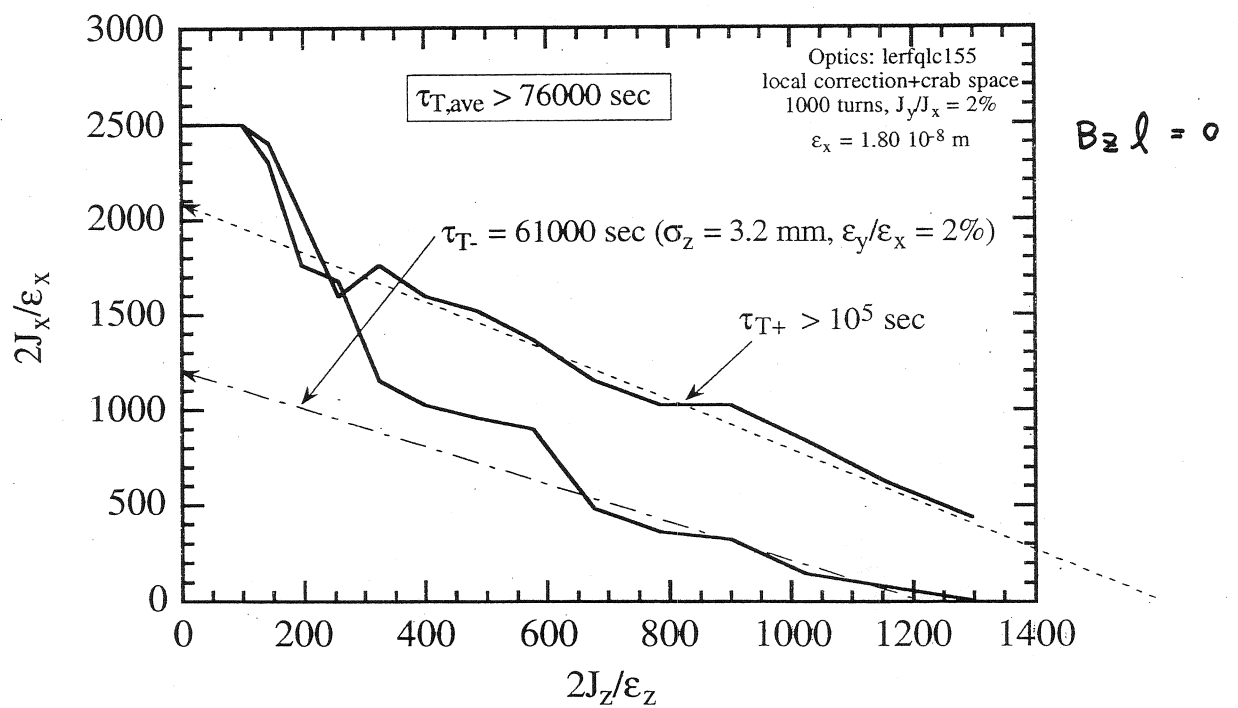
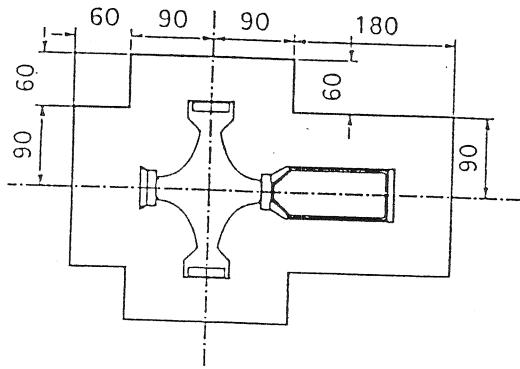


Figure 6.8: Dynamic aperture and Touschek lifetime of the LER with a local chromaticity correction.

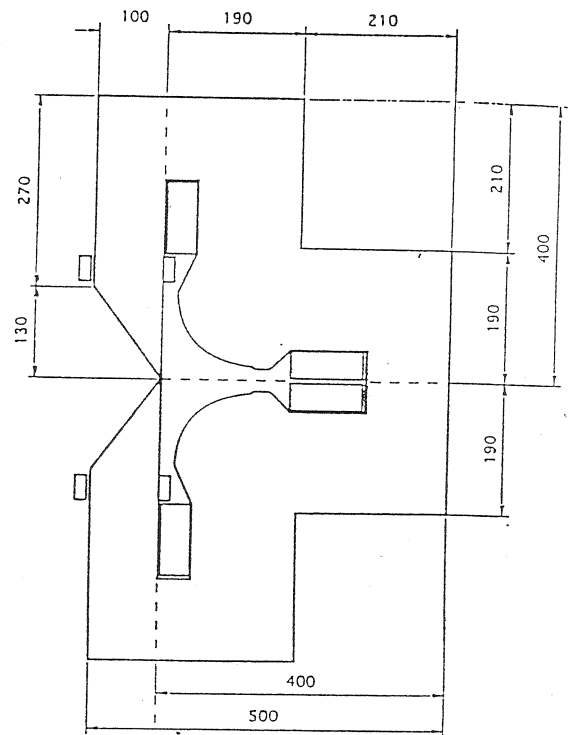
NEW QC1EL/1

(a = 38mm, L = 0.6m)



NEW QC1ER/1 (Half Quad)

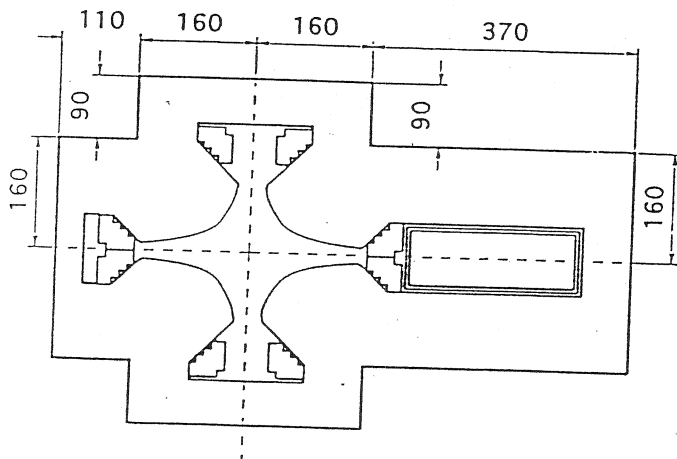
(a = 70mm, L = 0.6m)



## Special IR Quadrupoles

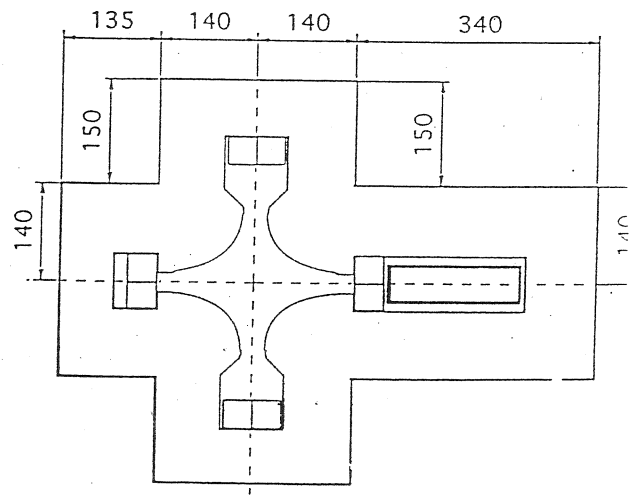
NEW QC2EL/1

(a = 60mm, L = 2m)



NEW QC2ER/1

(a = 60mm, L = 0.6m)





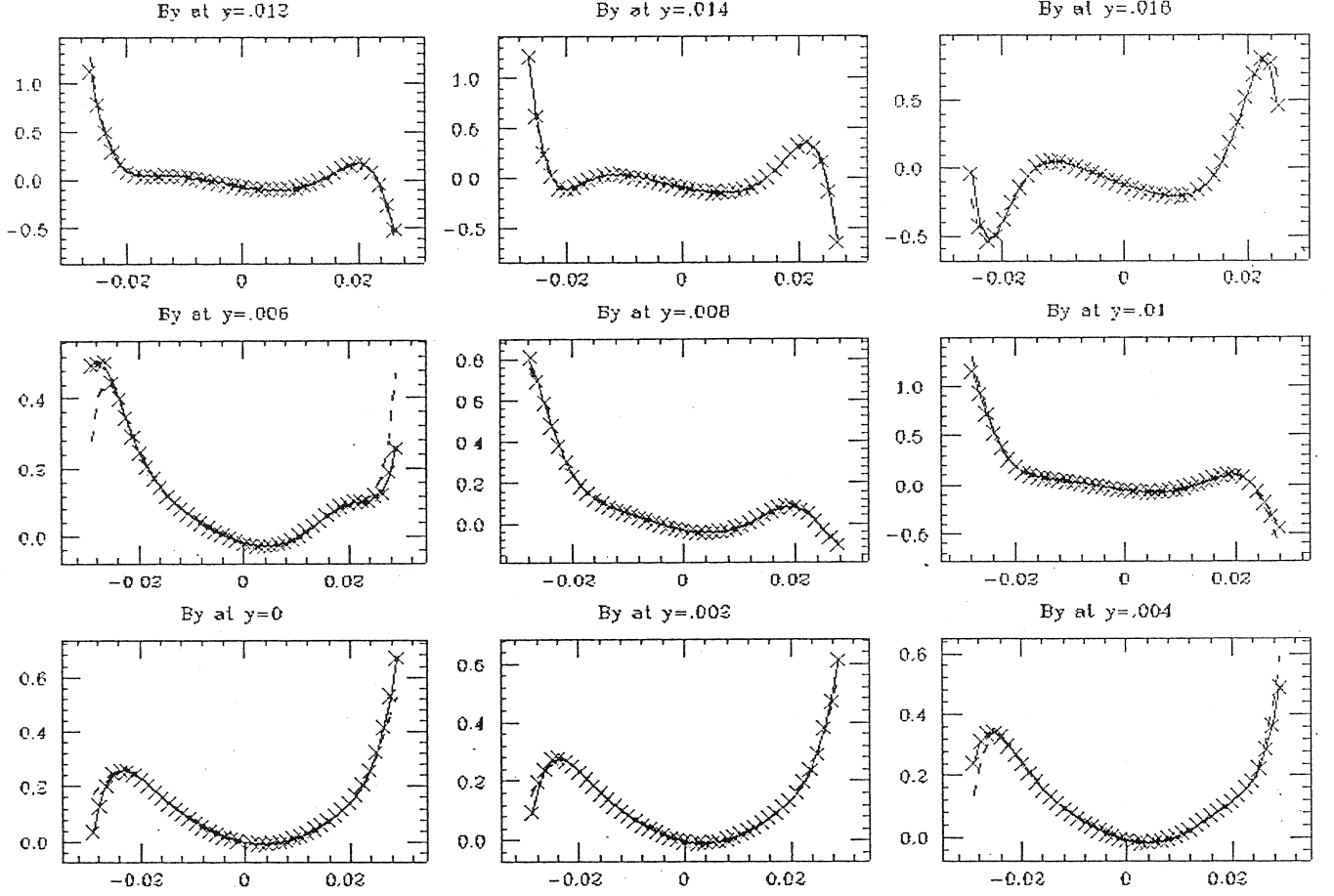


Figure 2: A part of the fitting results of the QC1LE multipoles. The crosses show the data obtained by OPERA-2d. The solid and dashed lines depict the fitting results with the multipoles up to  $n = 21$  and  $14$ , respectively. The dashed line deviates from the data near the edge of the fitting region ( $x^2 + y^2 < (0.03)^2$ ). 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	30.00000000	1 ! *	1.000000000
	FIT LX5AIP	IP.1	NX	1.250000000	1 ! *	6.283185307
	FIT LX5AOP		BX	30.00000000	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 ! *	1.0000000000
FIT QB3LP	GX	326.1142770	1 ! *	1.0000000000
FIT QB4LP	GY	-35.0342700	1 ! *	1.0000000000
FIT QC5LP	GY	-35.8890080	1 ! *	1.0000000000
FIT QC4LP	GX	271.9228980	1 ! *	1.0000000000
FIT QC3LP	GX	263.8193690	1 ! *	1.0000000000
FIT QC3RP	GX	229.6677700	1 ! *	1.0000000000
FIT QC4RP	GX	220.8677360	1 ! *	1.0000000000
FIT QC5RP	GY	-33.8698870	1 ! *	1.0000000000
FIT QB1RP	GY	-33.3184590	1 ! *	1.0000000000
FIT QB1RP	GX	173.3598670	1 ! *	1.0000000000
FIT QB2RP	GY	-33.1764390	1 ! *	1.0000000000
FIT QB3RP	GY	-33.0368420	1 ! *	1.0000000000
FIT QB3RP	GX	164.0490340	1 ! *	1.0000000000
FIT QA6RP	EX	.0000000000	1 ! *	1.0000000000
FIT QA6RP	EPX	.0000000000	1 ! *	1.0000000000
FIT PQD1C.4	GX	499.8638490	1 ! *	1.0000000000
FIT PQD1C.4	GY	-1.100000000	1 ! *	1.0000000000
FIT PQD1C.4	CHI1	25.71428571	1 ! *	.017453293
FIT PQD1C.4	CHI2	.0000000000	1 ! *	.017453293
FIT PQD1C.4	GZ	.0000000000	1 ! *	1.0000000000
FIT IP.1	GX	250.1741070	1 ! *	1.0000000000
FIT IP.1	CHI1	-1.00116200	1 ! *	.017453293
FIT IP.1	GY	-34.1762830	1 ! *	1.0000000000
FIT IP.1	<u>AX</u>	.0000000000	<u>11</u> ! *	1.0000000000
FIT IP.1	<u>AY</u>	.0000000000	<u>11</u> ! *	1.0000000000
FIT IP.1	<u>BX</u>	.3300000000	<u>11</u> ! *	1.0000000000
FIT IP.1	<u>BY</u>	.0080000000	<u>11</u> ! *	1.0000000000
FIT IP.1	EX	.0000000000	1 ! *	1.0000000000
FIT IP.1	EPX	.0000000000	1 ! *	1.0000000000
FIT IP.1	NX	3.7000000000	1 ! *	6.283185307
FIT IP.1	NY	3.7000000000	1 ! *	6.283185307
FIT IP.1	R1	.0000000000	1 ! *	1.0000000000

*off-momentum matching*

FIT IP.1	R2	.0000000000	1 ! *	1.0000000000
FIT IP.1	R3	.0000000000	1 ! *	1.0000000000
FIT IP.1	R4	.0000000000	1 ! *	1.0000000000
FIT LF02579.4	EY	.0000000000	1 ! *	1.0000000000
FIT LF02579.4	EPY	.0000000000	1 ! *	1.0000000000
FIT PQD1C.4	<u>AX</u>	1.47458E-16	<u>11</u> ! *	1.0000000000
FIT PQD1C.4	<u>AY</u>	5.33305E-16	<u>11</u> ! *	1.0000000000
FIT PQD1C.4	<u>BX</u>	6.095999987	<u>11</u> ! *	1.0000000000
FIT PQD1C.4	<u>BY</u>	26.58301296	<u>11</u> ! *	1.0000000000
FIT PQD1C.4	<u>NX</u>	5.0000000000	<u>11</u> ! *	6.283185307
FIT PQD1C.4	<u>NY</u>	5.0000000000	<u>11</u> ! *	6.283185307
FIT PQD1C.4	EX	-.0670000000	1 ! *	1.0000000000
FIT PQD1C.4	EPX	-2.0939E-17	1 ! *	1.0000000000
FIT PQD1C.4	<u>R1</u>	.0000000000	<u>11</u> ! *	1.0000000000
FIT PQD1C.4	<u>R2</u>	.0000000000	<u>11</u> ! *	1.0000000000
FIT PQD1C.4	<u>R3</u>	.0000000000	<u>11</u> ! *	1.0000000000
FIT PQD1C.4	<u>R4</u>	.0000000000	<u>11</u> ! *	1.0000000000

## results

In[226]:= cal

Residual = 4.718 DP = 0.02500 DP0 = 0.00000 ExponentOfResidual = 2.0

OffMomentumWeight = 1.000

on momentum

			<div><div>DP</div><div>Res.</div></div> <div><div>-.025</div><div>-.020</div><div>-.015</div><div>-.010</div><div>.000</div><div>.015</div><div>.020</div><div>.025</div></div>								
			<div><div>↓</div></div>								
			<div><div><div>.386</div><div>.278</div><div>.228</div><div>.164</div><div>2.570</div><div>.209</div><div>.300</div><div>.396</div></div></div>								
QA6RP	EX	0	1	.023	.023	.019	.013	-0.	-.008	-.006	-.002
QA6RP	EPX	0	1	.007	.004	.003	.001	-0.	4.E-4	.001	.002
LX5AIP	BX	30	1	27.90	24.85	22.66	21.20	20.07	22.57	24.61	27.36
LX5AIP/IP.1	INX	1.25	1	1.480	1.461	1.432	1.388	1.250	1.095	1.069	1.049
QB3RP	GX	164.04	1	164.05193	QB3RP		GY	-33.03	1	-33.03394	
QB2RP	GY	-33.17	1	-33.17343	QB1RP		GX	173.36	1	173.36276	
QB1RP	GY	-33.31	1	-33.31551							
PSL0TRC.1	BX	2.5	1	1.388	1.504	1.661	1.814	2.000	1.894	1.793	1.690
PSL0TRC.1	BYM	330	1	279.3	271.2	272.6	282.7	325.0	421.0	454.8	486.5
PSL0TRC.1/PBY		325.03	1	221.3	225.7	235.6	254.3	325.0	528.4	624.1	733.3
PQL1RC	AX	0	1	-.183	-.100	-.051	-.024	-0.	.035	.060	.096
PQL1RC	AY	0	1	3.919	2.996	2.213	1.495	8E-12	-3.05	-4.37	-5.83
PQL1RC	EPX	0	1	.002	.002	.002	.001	5E-14	-.001	-.001	-.001
PSL0TRC.2/PEX		-.307	1	-.073	-.175	-.235	-.271	-.307	-.352	-.374	-.400
QC5RP	GY	-33.87	1	-33.86874	QC4RP		GX	220.86	1	220.87067	
QC3RP	BYM	300	1	251.1	166.4	105.8	62.20	10.98	28.15	69.27	133.7
QC3RP	GX	229.66	1	229.67014	LC3I		LENG	M240.2	1	240.16448	
QC2RPH.1	BXM	550	1	653.1	550.6	480.5	434.2	391.7	418.2	449.1	492.2
IP.1	AX	0	11	-4.40	-2.86	-1.80	-1.05	5E-11	1.232	1.679	2.182
IP.1	BX	.33	11	2.796	1.601	.912	.535	.330	1.012	1.573	2.391
IP.1	NX	3.7	1	4.044	4.032	4.012	3.977	3.860	3.737	3.721	3.712
IP.1	AY	0	11	1.421	1.167	.894	.611	4E-12	-.978	-1.22	-1.34
IP.1	BY	.008	11	.028	.023	.018	.013	.008	.010	.011	.011
IP.1	NY	3.7	1	3.828	3.824	3.826	3.837	3.894	3.986	3.997	3.998
IP.1	EX	0	1	-.031	-.018	-.010	-.005	-0.	.008	.013	.020

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							

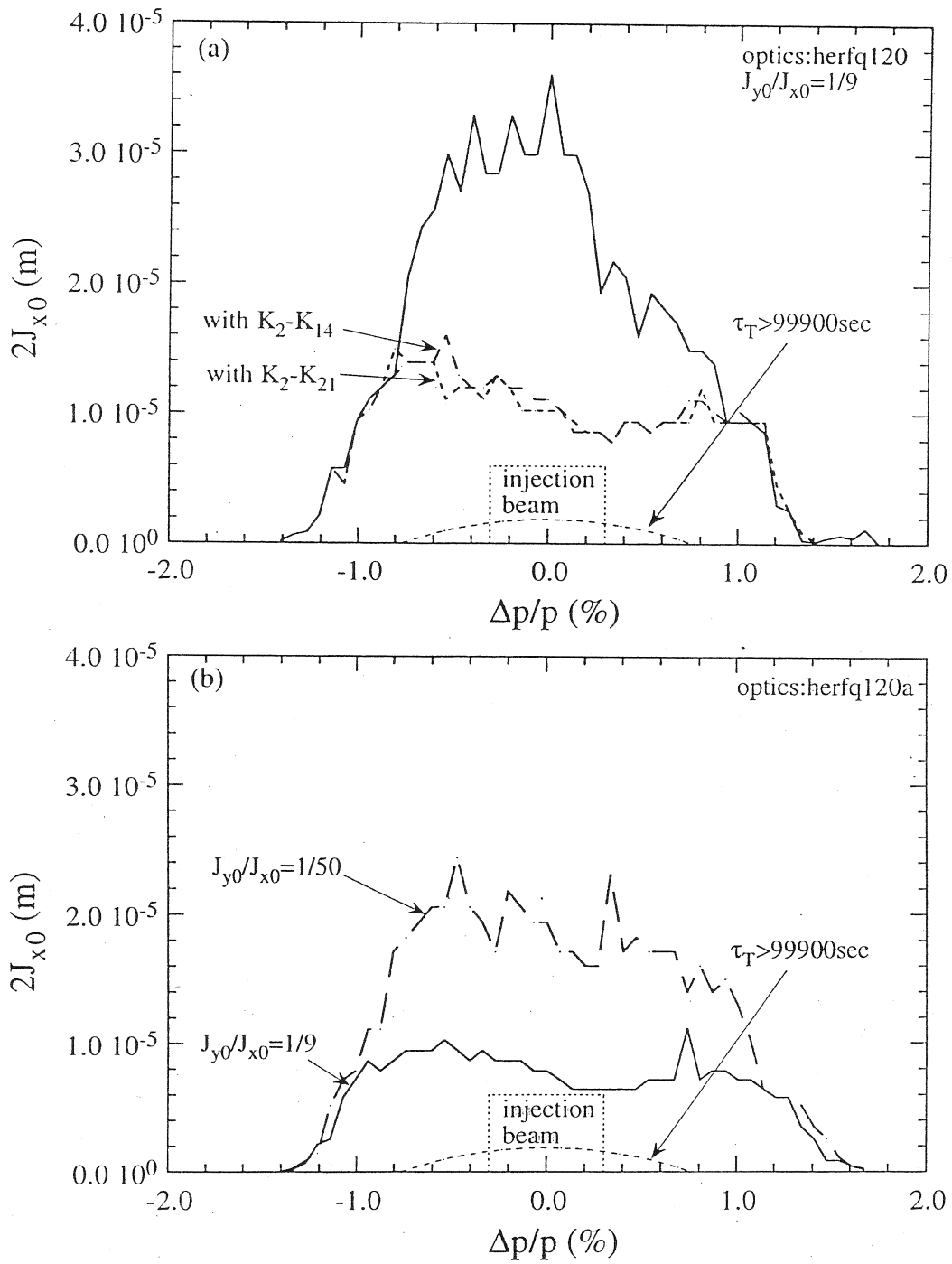


## SAD/FFS commands & SADScript

```

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

```



1000 turns

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.

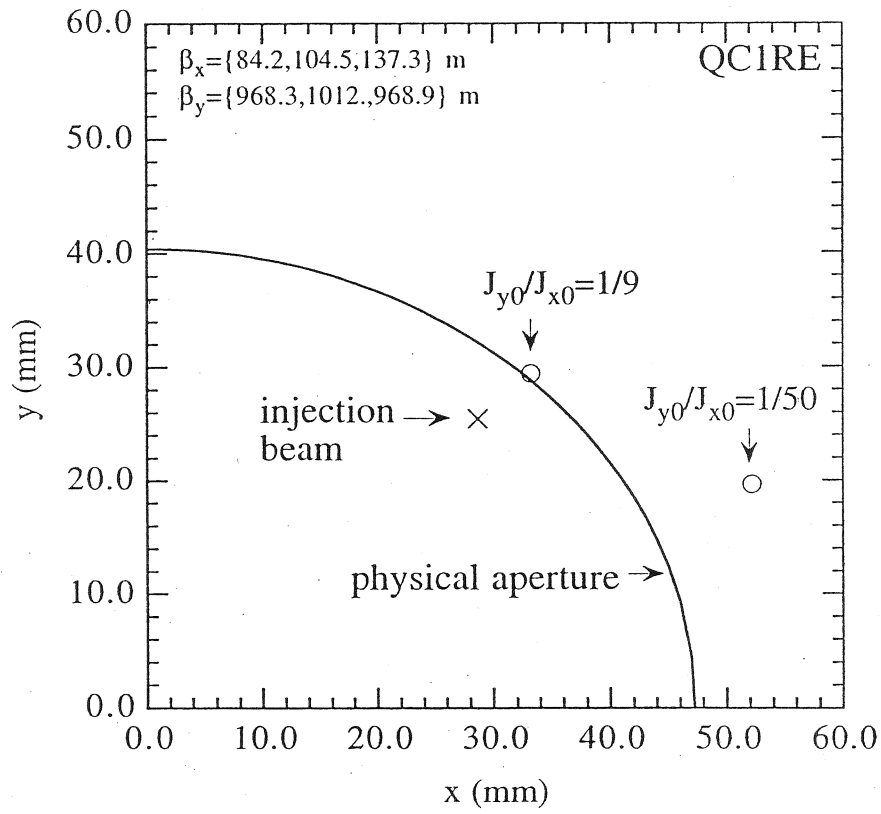
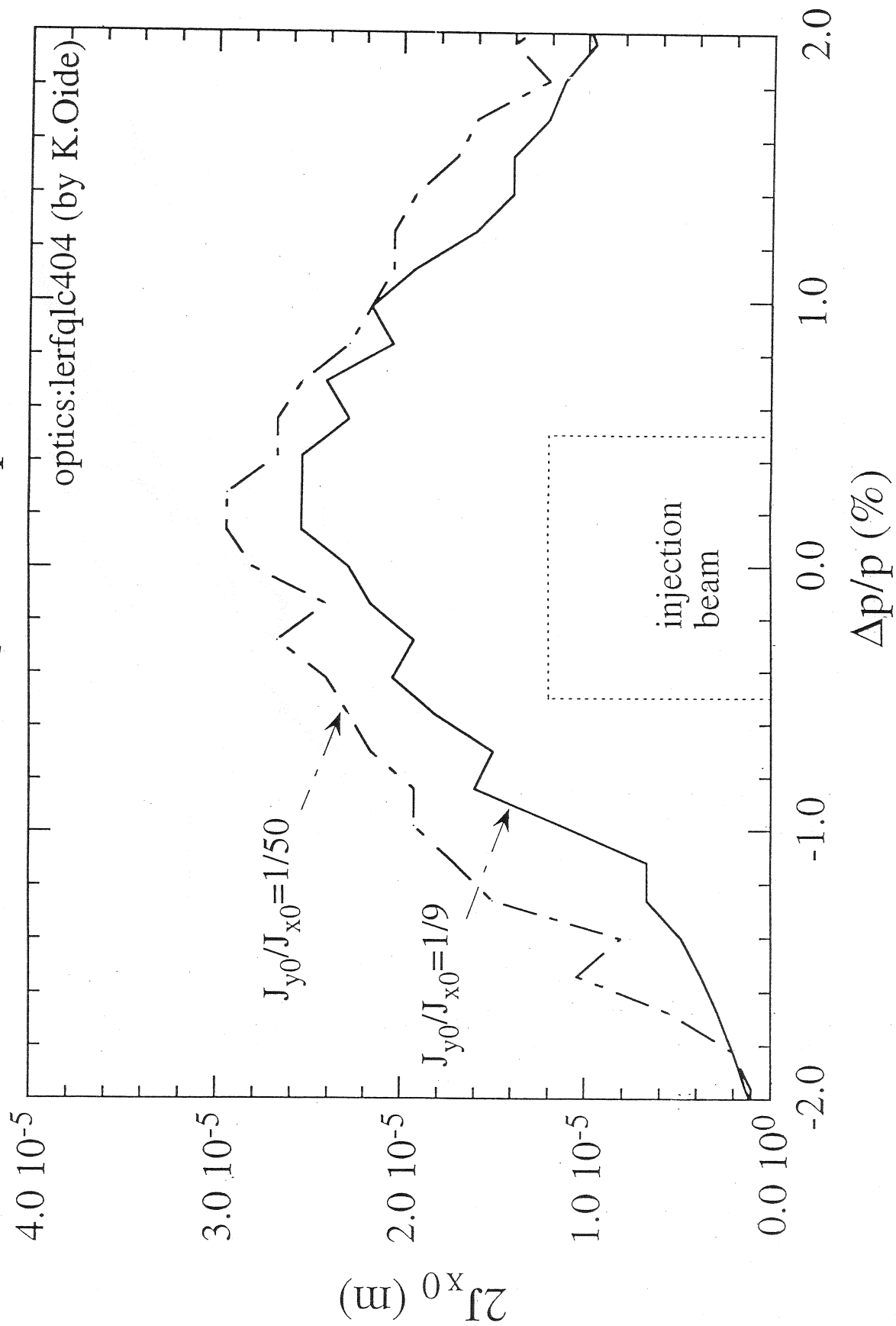


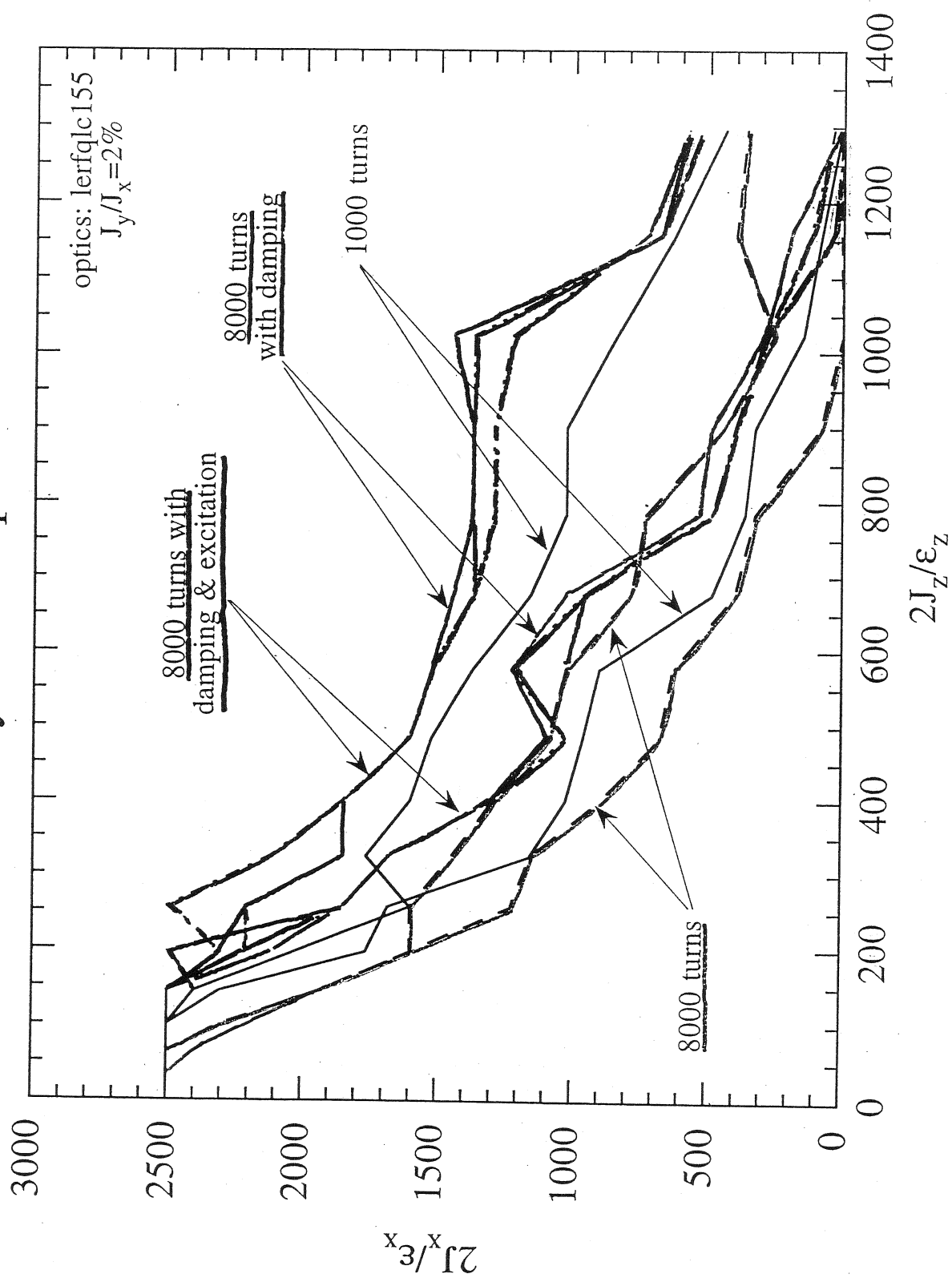
Figure 4: Physical and dynamic apertures at QC1RE. The origin is set at 44.55 mm from the center of QC1RE.

# LER dynamic aperture with QC2 multipoles



1000 turns

# 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 VUV and Soft X-Ray High Brilliant Light Source

Hi Takaki  
(ISSP, University of Tokyo)

### Contents

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



# 1. Introduction

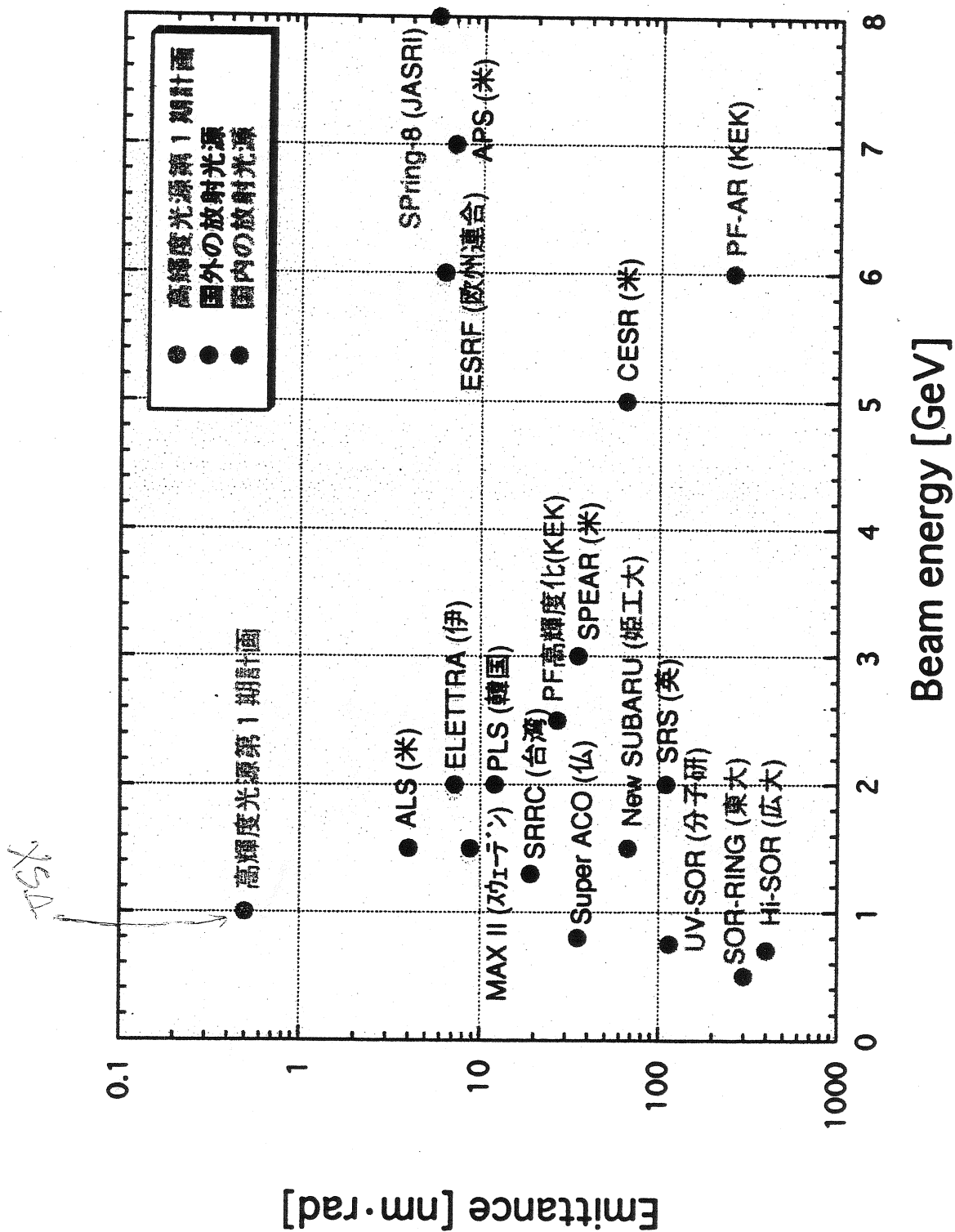
V SX

third generation Light Source

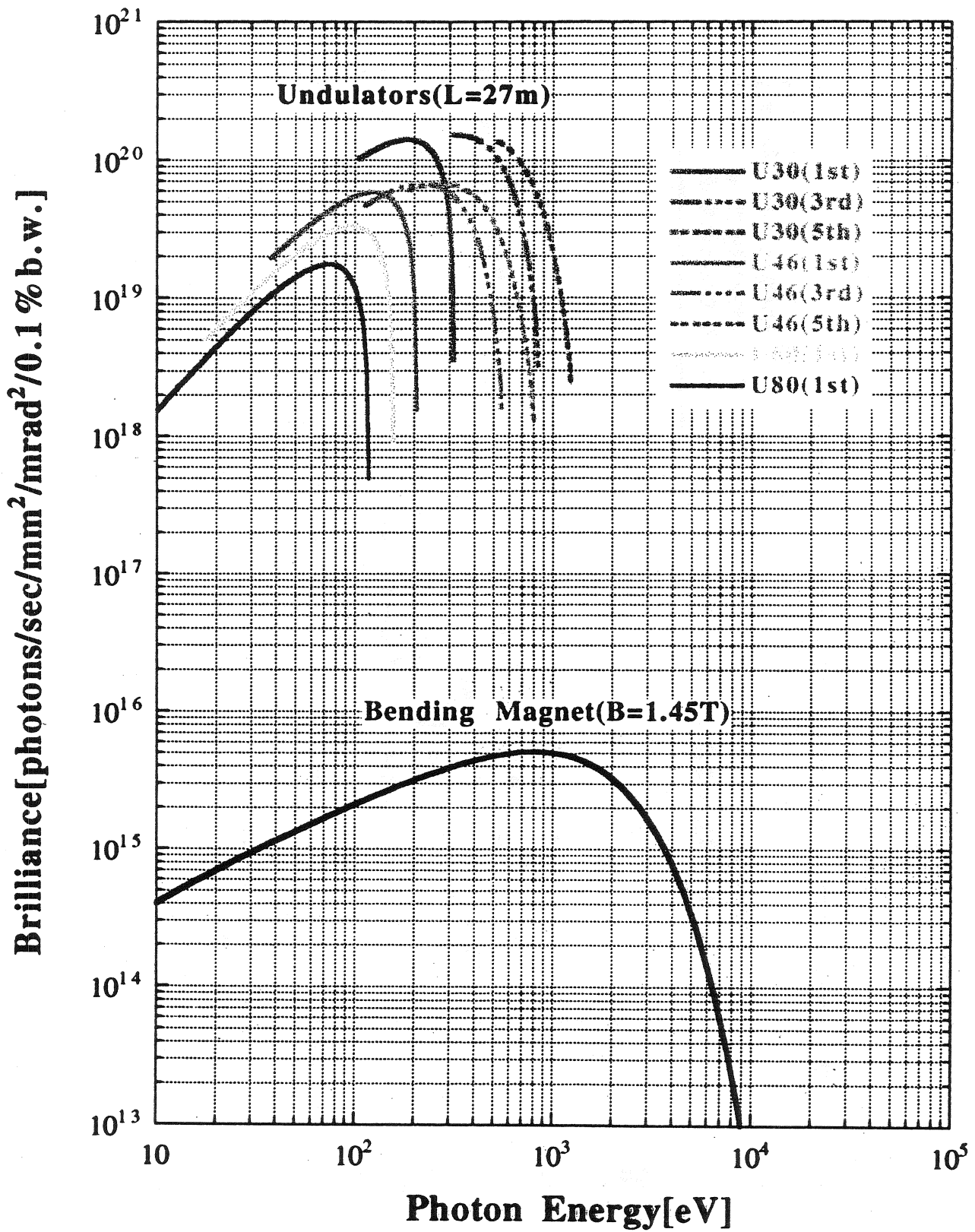


- Low Emittance
- Long Straight Sections for Insertion Devices

Brilliance  $\simeq 10^{20}$  [photons/sec/mm<sup>2</sup>/mrad<sup>2</sup>/0.1% b.w.]



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



柏キャンパス

至つくば  
↑

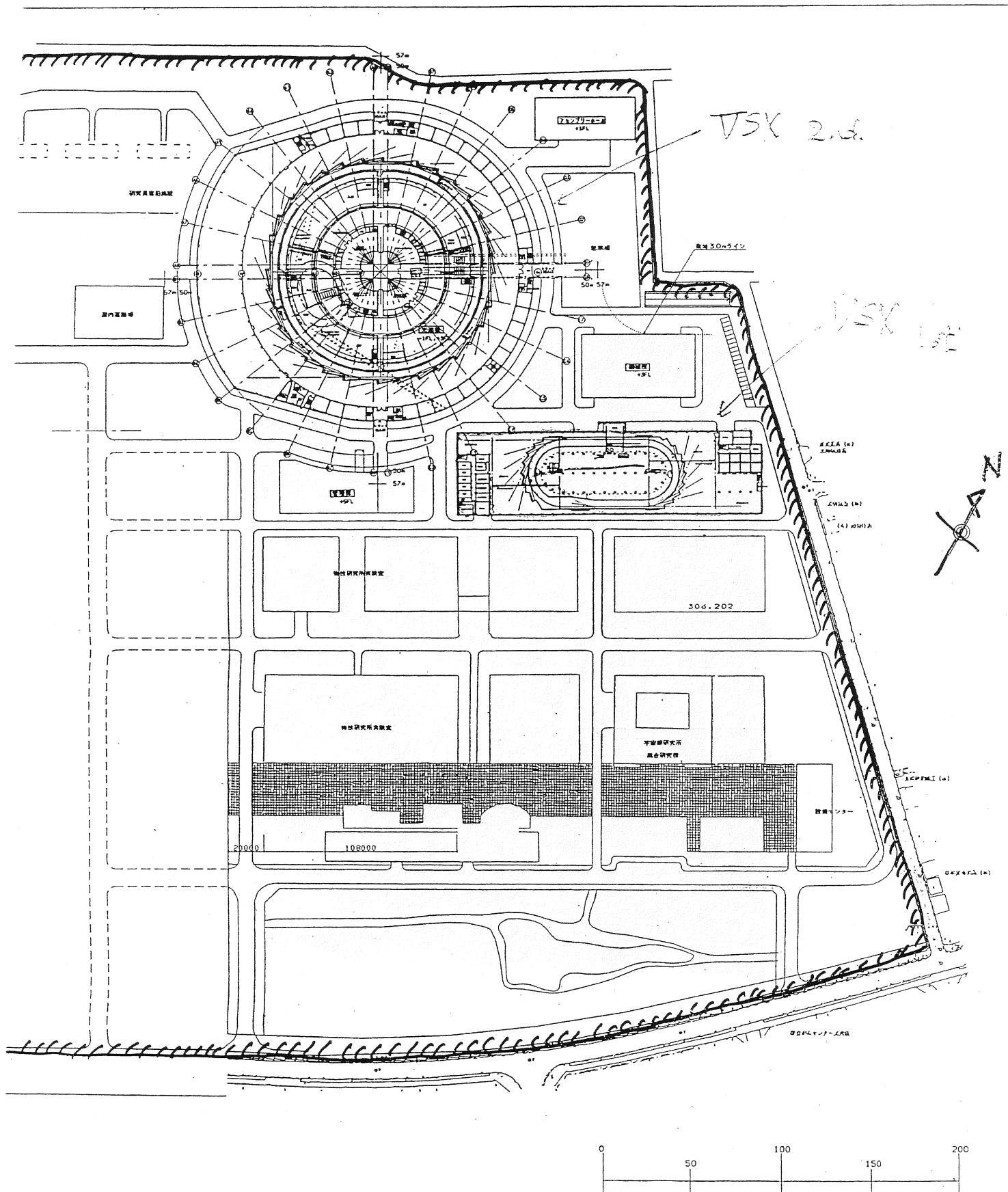


柏109-



↓  
至東京

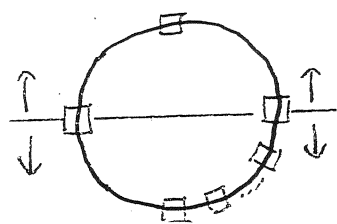
≒ 40ha  
(12 + 11.6 ha)



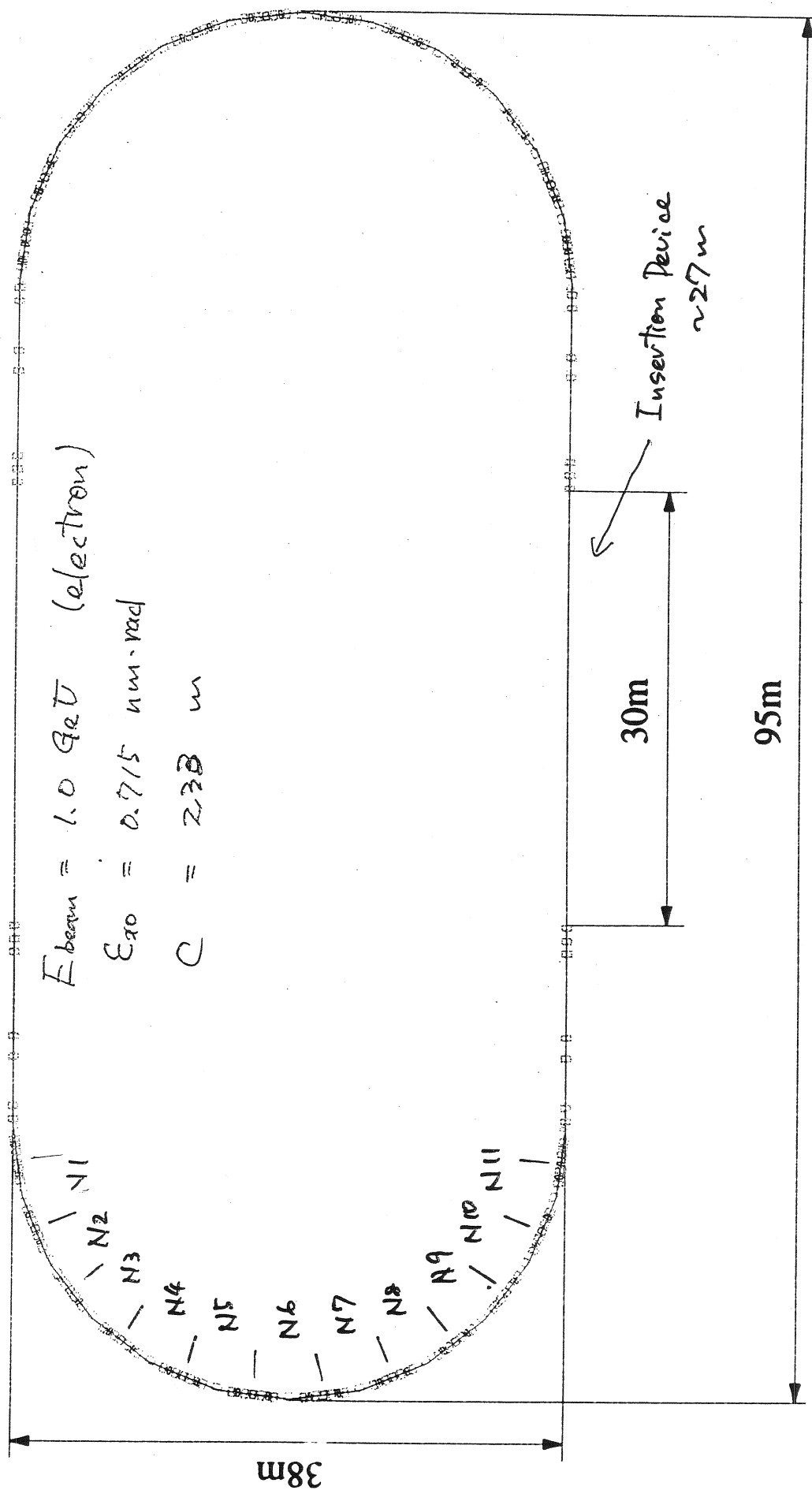
東京大学（柏）VUV計画

配置図

S=1/1000



# of bending Magnets = 24



$E_{beam} = 1.0 \text{ GeV}$  (electron)

$E_{x0} = 0.715 \text{ nm-rad}$

$C = 2.33 \text{ m}$

38m

30m

95m

VSX layout

Table 1: Fundamental parameters of the VSX.

Energy	E [GeV]	1.0
Lattice type		Theoretical Minimum Emittance
Superperiod	Ns	~22
Circumference	C [m]	233.2
Long straight section		30 m x 2
Natural emittance	$\epsilon_{x0}$ [nm•rad]	0.715
Energy spread	$\sigma_E / E$	$5.67 \times 10^{-4}$
Momentum compaction	$\alpha$	$3.11 \times 10^{-4}$
Horizontal tune	$\nu_x$	19.21
Vertical tune	$\nu_y$	8.15
Horizontal natural chromaticity	$\xi_x$	-37.4
Vertical natural chromaticity	$\xi_y$	-41.3
Horizontal damping time	$\tau_x$ [msec]	40.1
Vertical damping time	$\tau_y$ [msec]	40.3
Longitudinal damping time	$\tau_z$ [msec]	20.2
Revolution frequency	f <sub>rev</sub> [MHz]	1.286
RF voltage	V <sub>RF</sub> [MV]	0.4
RF frequency	f <sub>RF</sub> [MHz]	500.1
Synchrotron tune	$\nu_s$	0.0028
Bunch length	$\sigma_z$ [mm]	2.38
RF-bucket height	( $\Delta E/E$ ) <sub>RF</sub>	0.043

# of electrons/bunch

$2.5 \times 10^9$

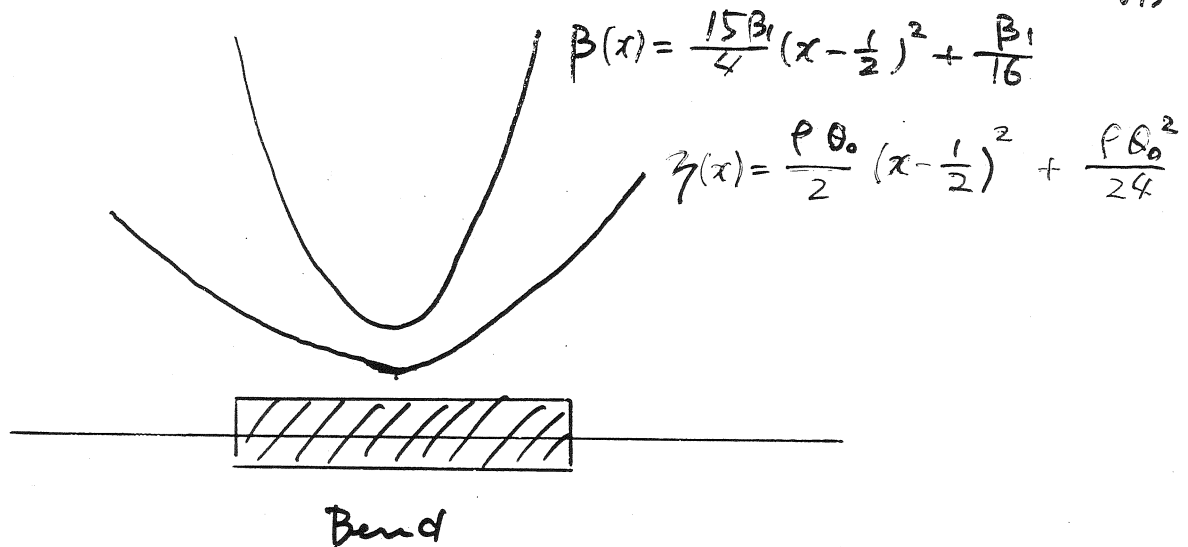
I<sub>max</sub>

200 mA

# Normal Cell

Lattice Type : Theoretical Minimum Emittance  
を實現する.

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



$$\epsilon_{x0} = \frac{1}{12\sqrt{15} J_x} C_8 \gamma^2 \left( \frac{2\pi}{N} \right)^3$$

$$E = 1.0 \text{ GeV } 2''$$

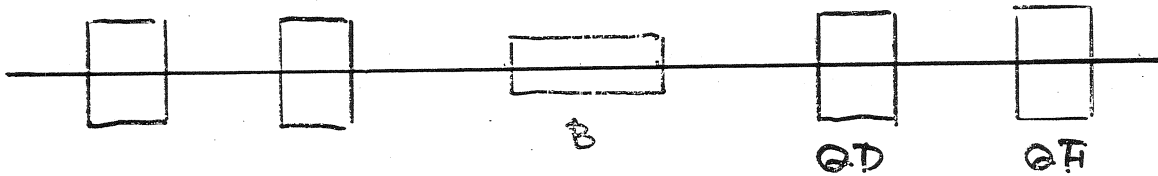
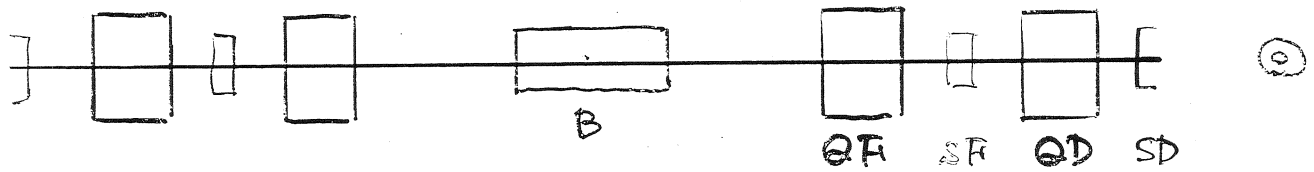
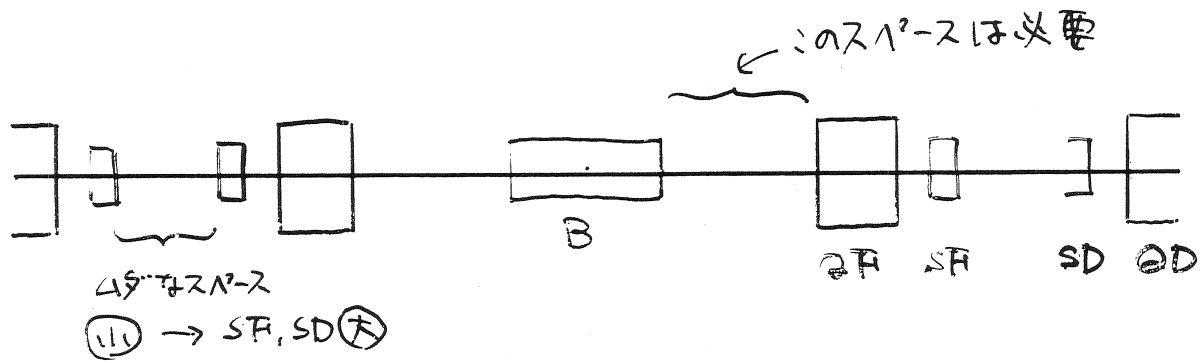
# of Bends	$\epsilon_{x0}$ [nm·rad]
20	0.98
22	0.74
24	0.56 $\Leftarrow$
26	0.44

diffraction limit

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



# Normal Cell



SLS

• Theoretical Minimum  $l = 2 \cdot 3 \cdot 11$ .

( $\beta \times \beta^m$  の  $\lambda^2 - 2$  は必要)



# Normal Cell

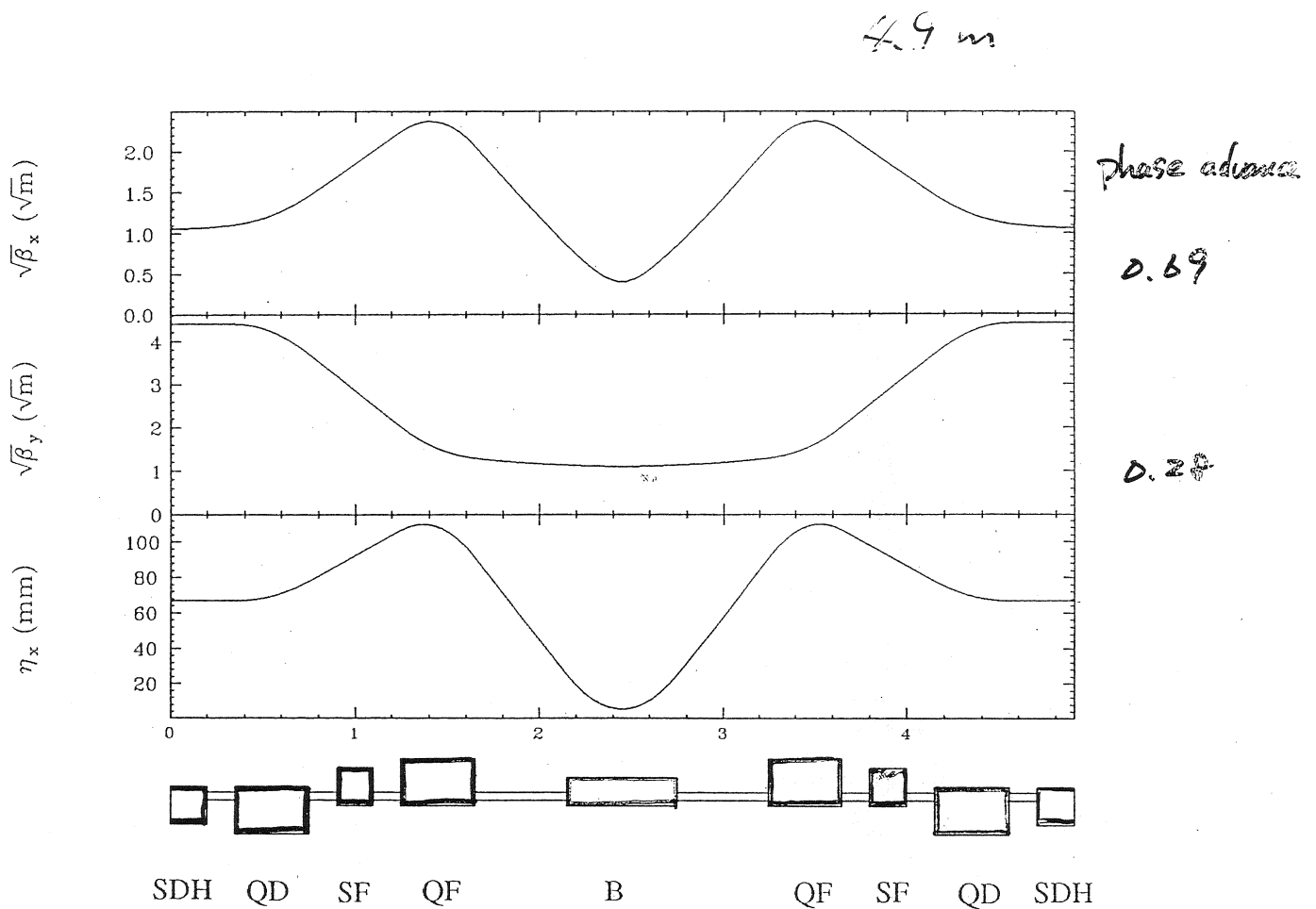
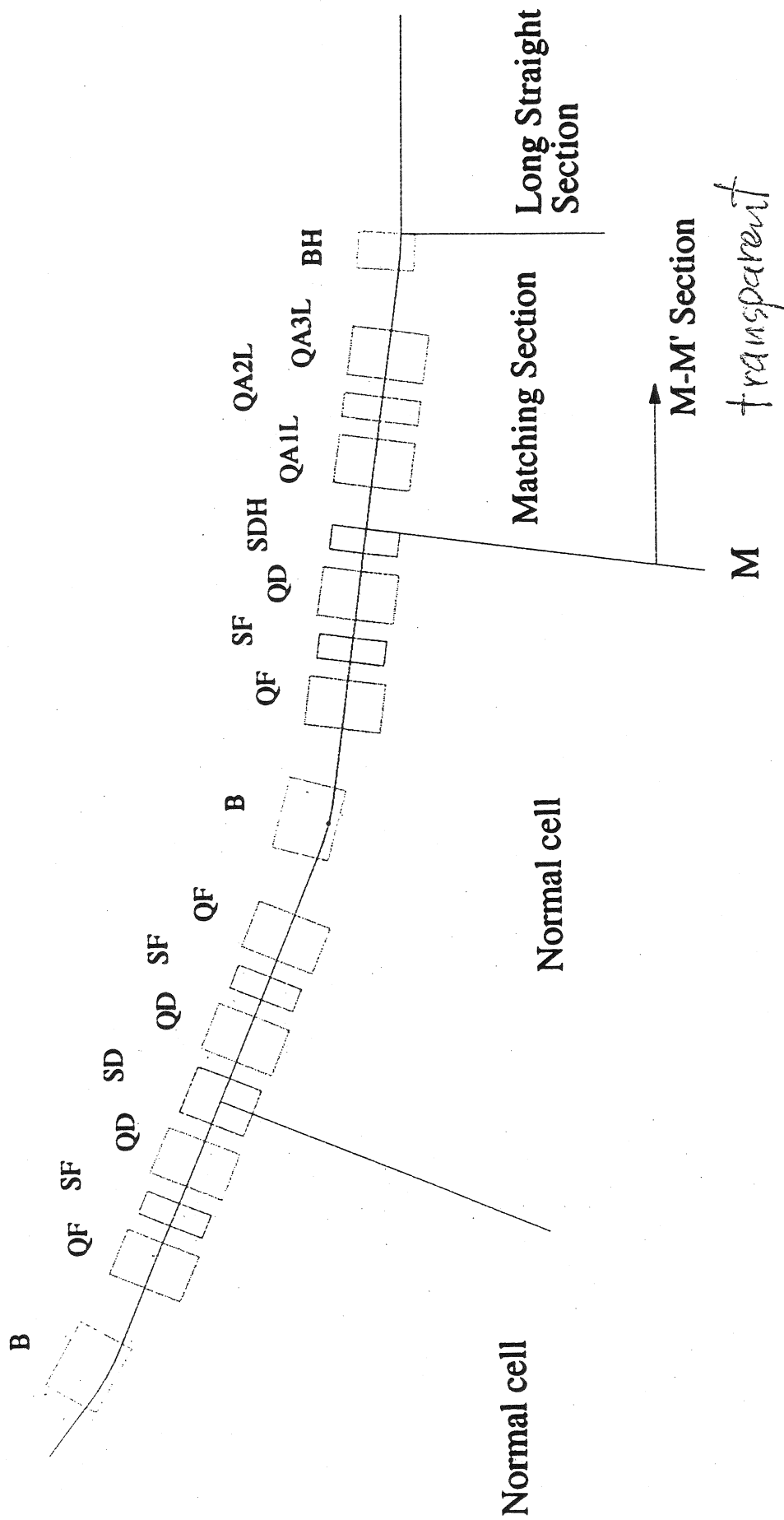


Fig. 5 The optics of the Normal Cell

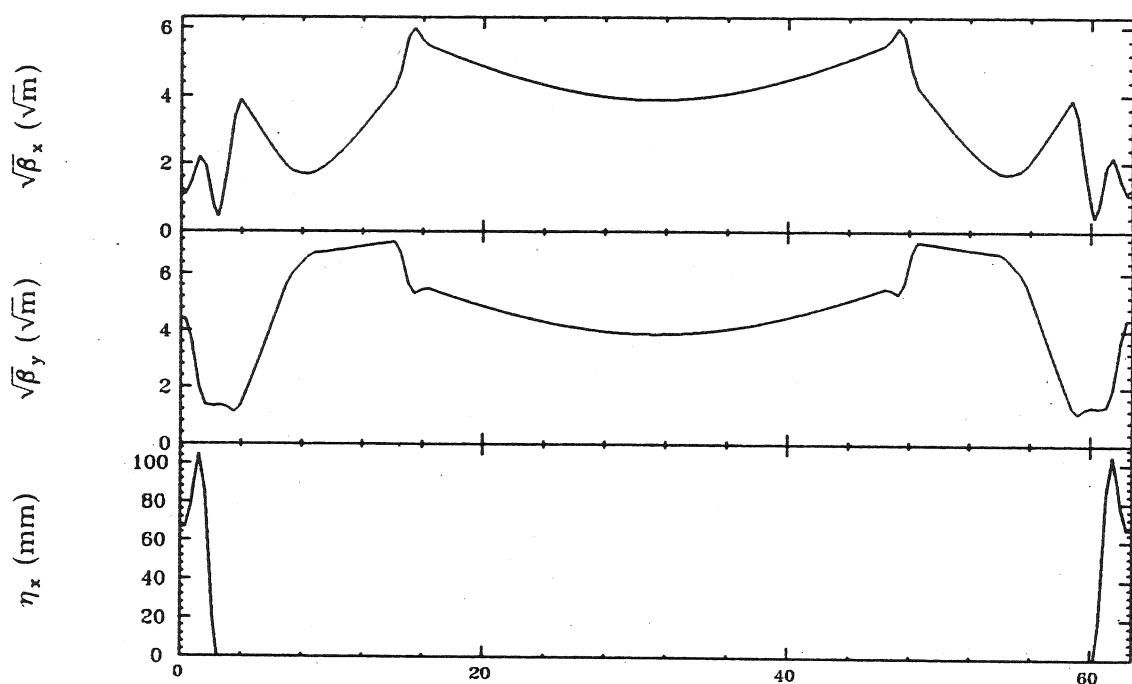


phase advance

H: 2.77 x 11

V: 77 x 11

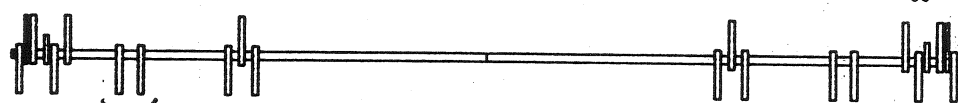
# Matching Section



phase adion

$4\pi$

$2\pi$



FEL

# Chromaticity Correction

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



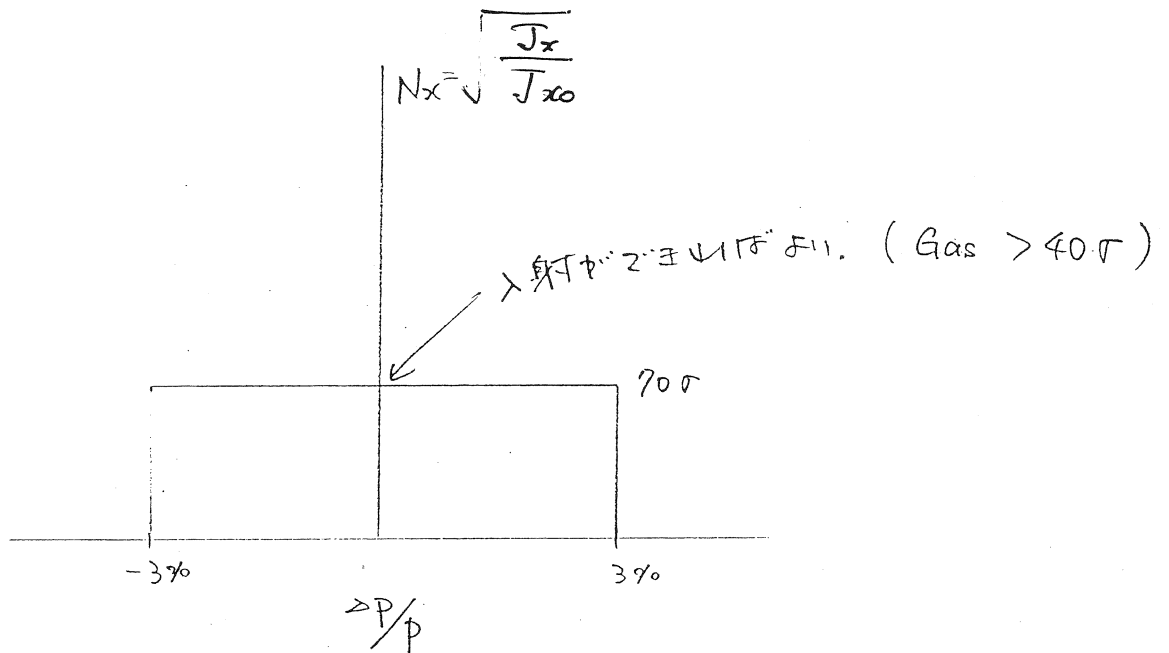
- Matching Section 2-発生した chromaticity は  
1-2 Normal Cell と背負う。
- 対称性の維持 → 2 fam. 2- correction (1-1)
- Harmonic Sextupole (C-G 型) は 1-2 だけ。



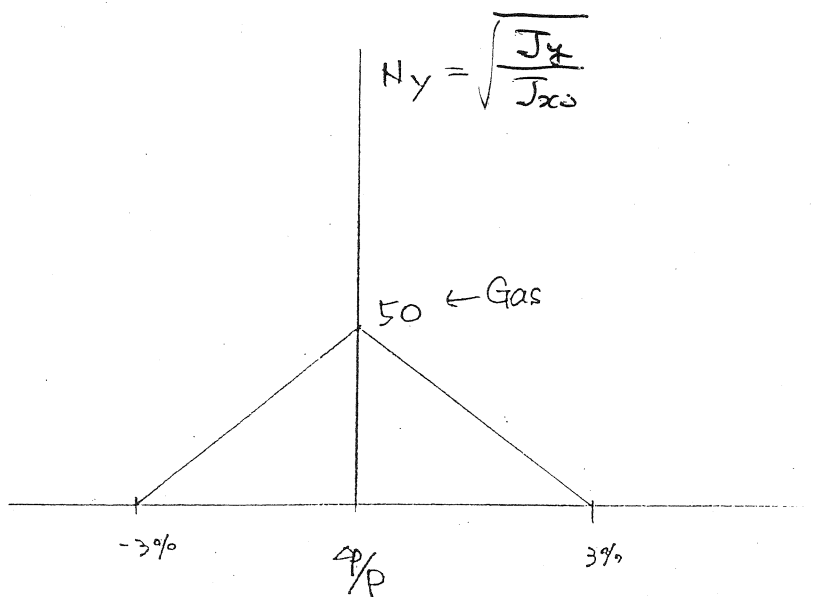
Dynamic Aperture は?

# 目標と Dynamic Aperture

Horizontal



Vertical



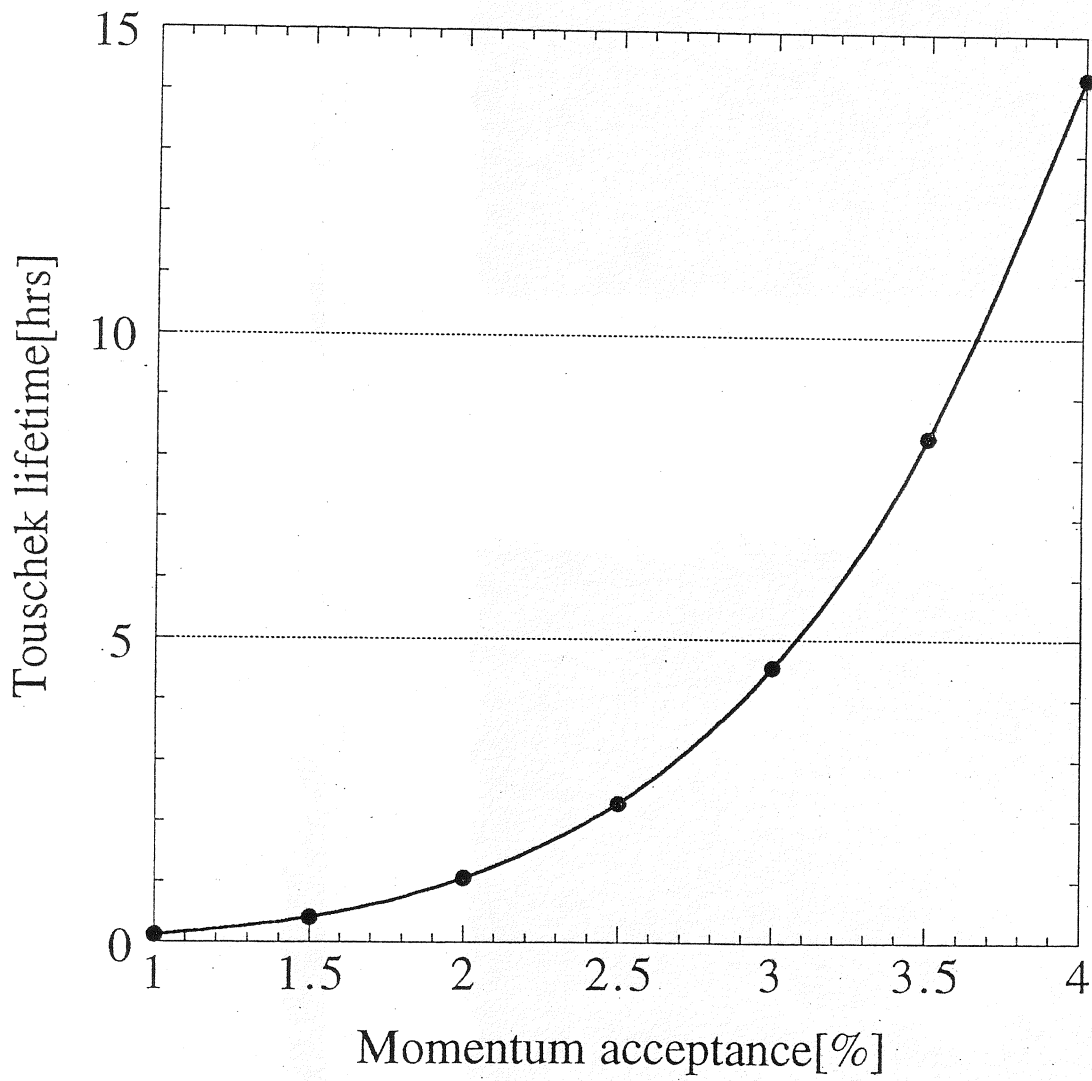


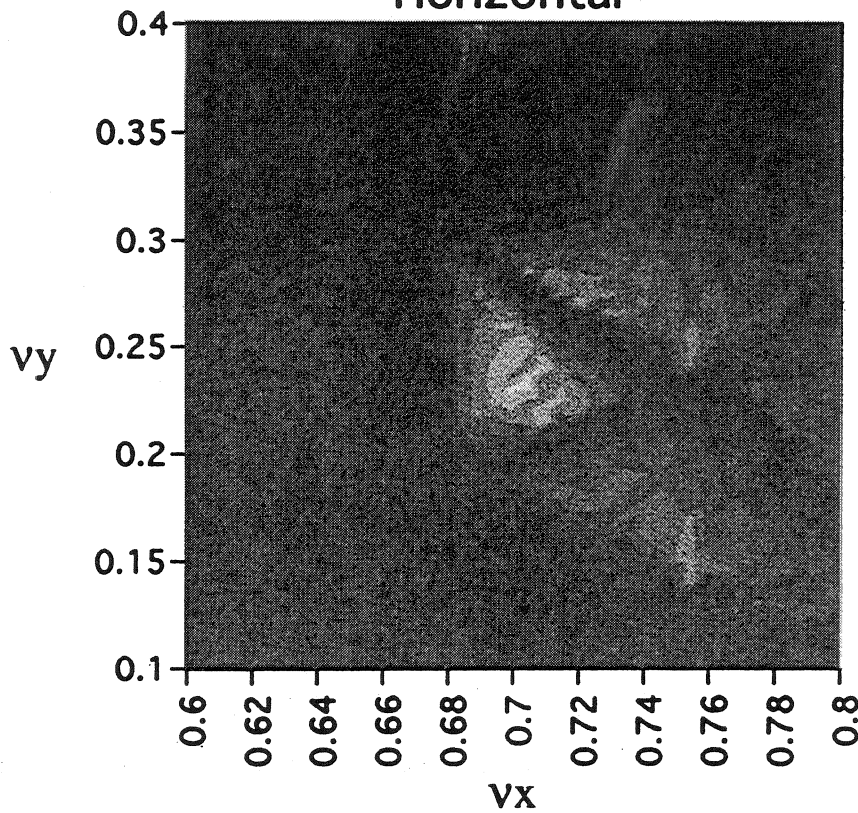
Fig. 8: The momentum acceptance vs. Touschek lifetime.



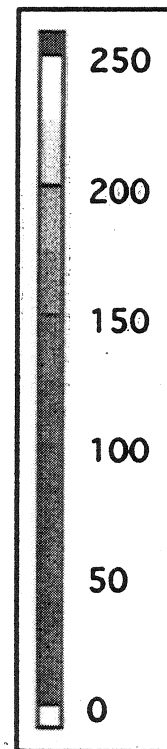
# Dynamic Aperture (1 Cell )

*with small Error*

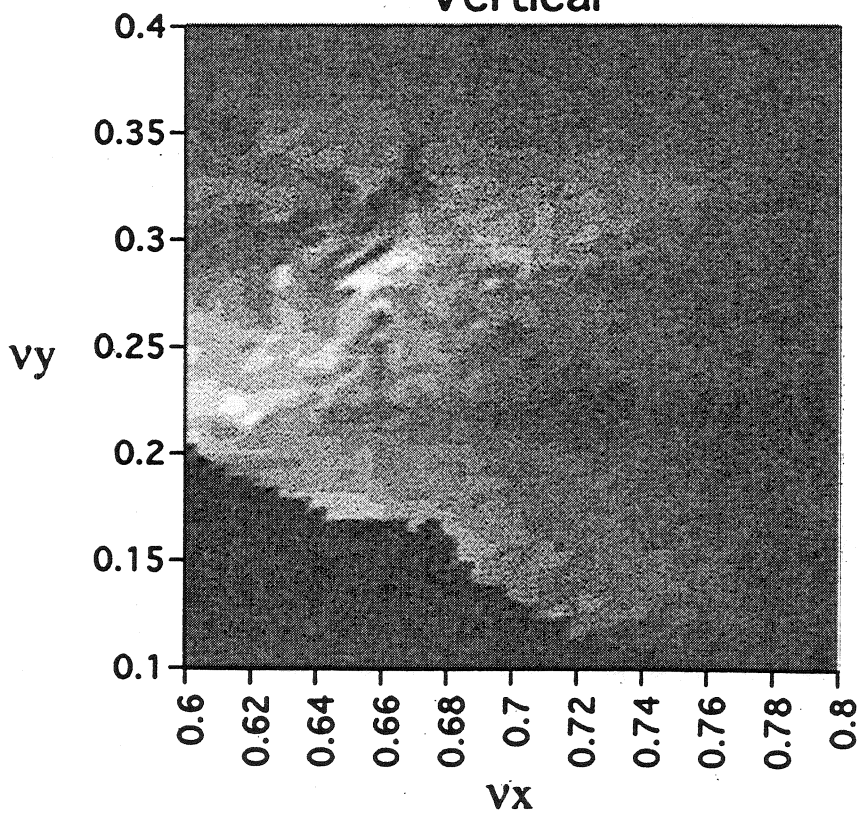
## Horizontal



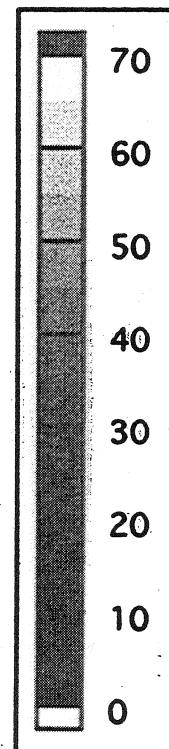
$\text{Sqrt}[J_x/J_{x0}]$



## Vertical



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

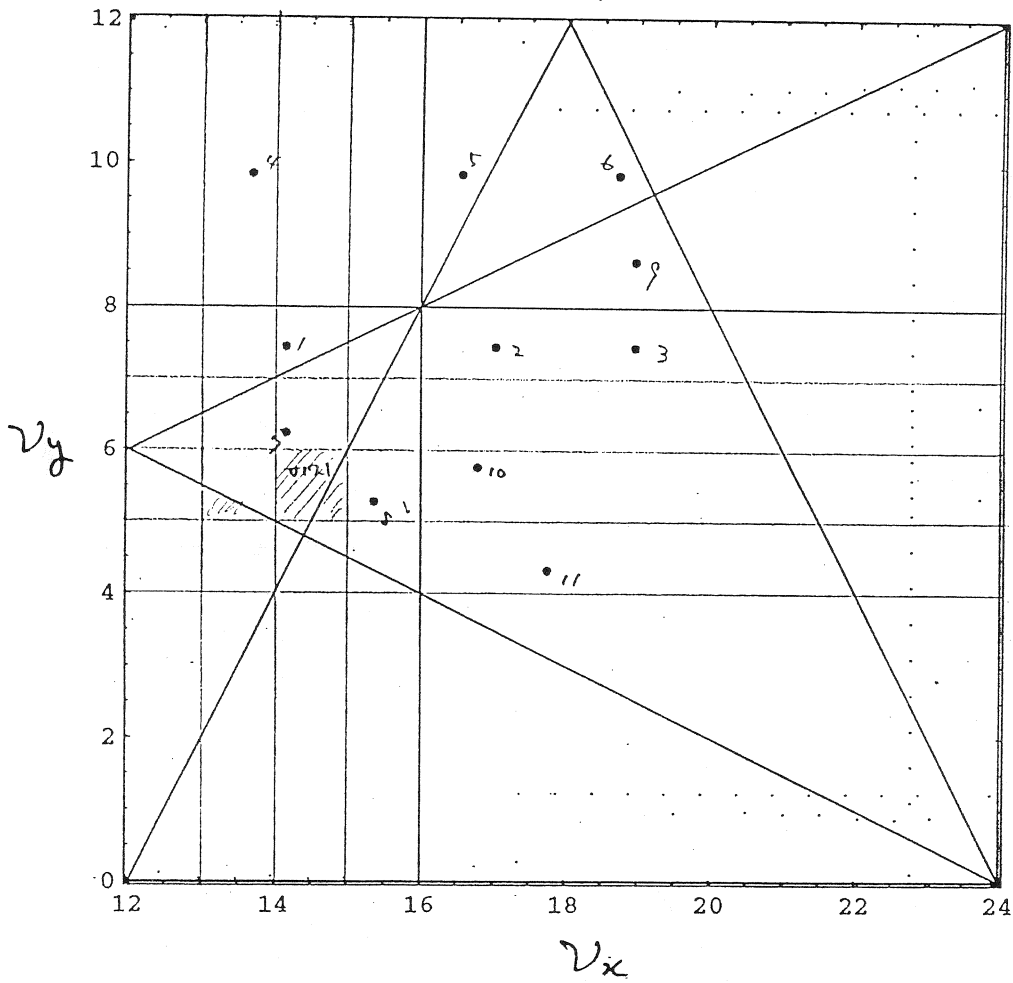


# Tune Survey

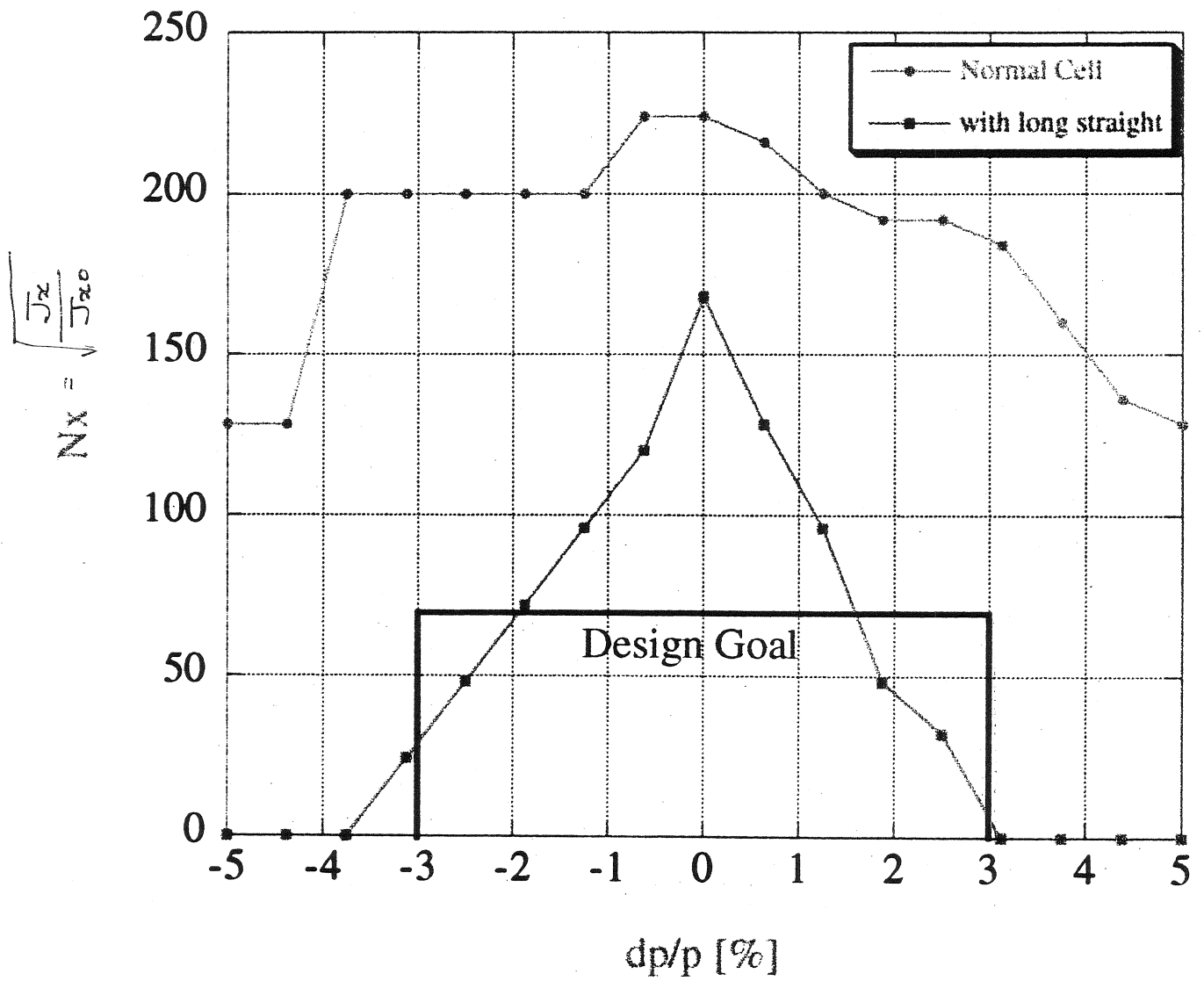
tune diagram (structure only)

1

24 CELLS.



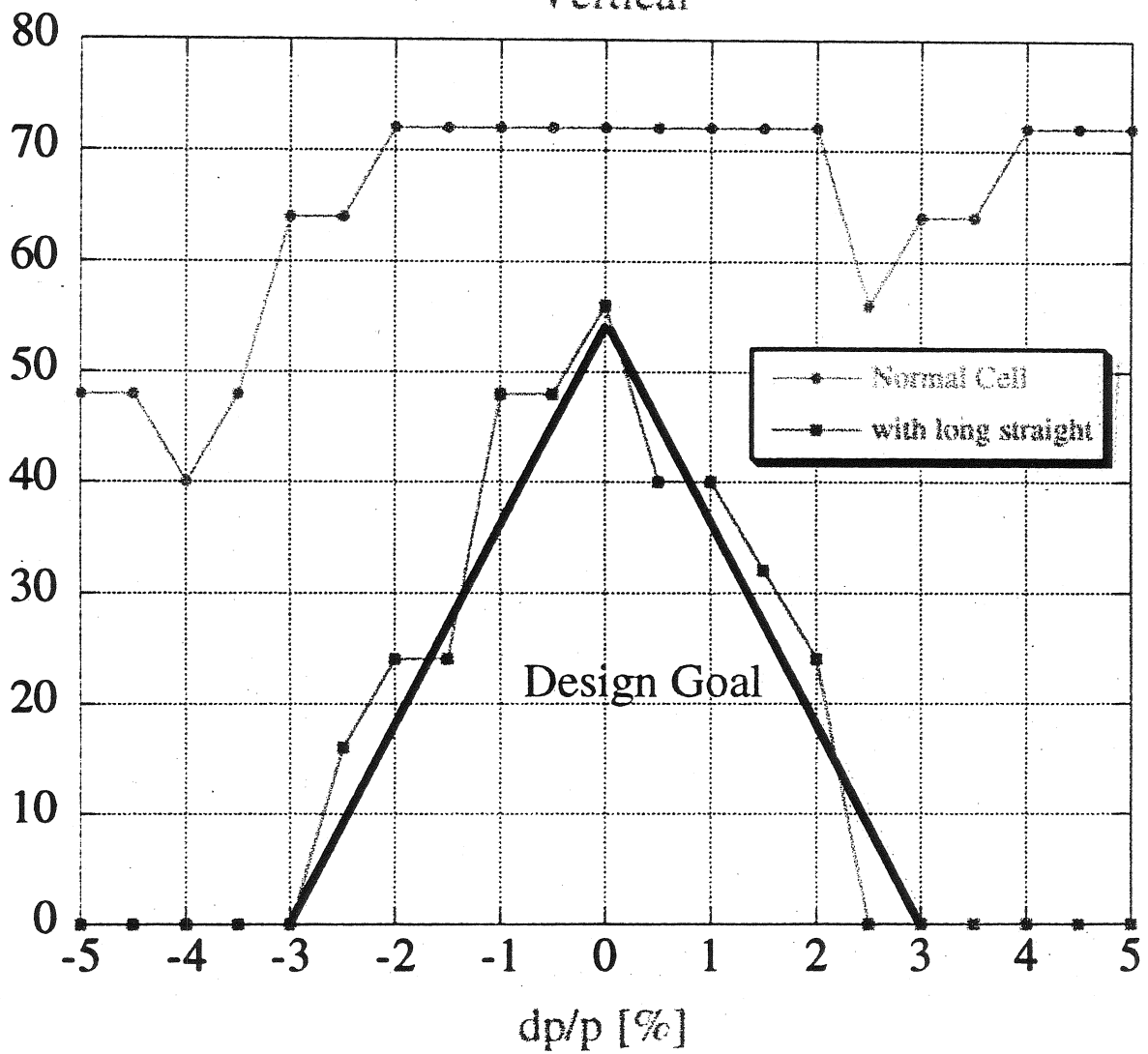
# Horizontal



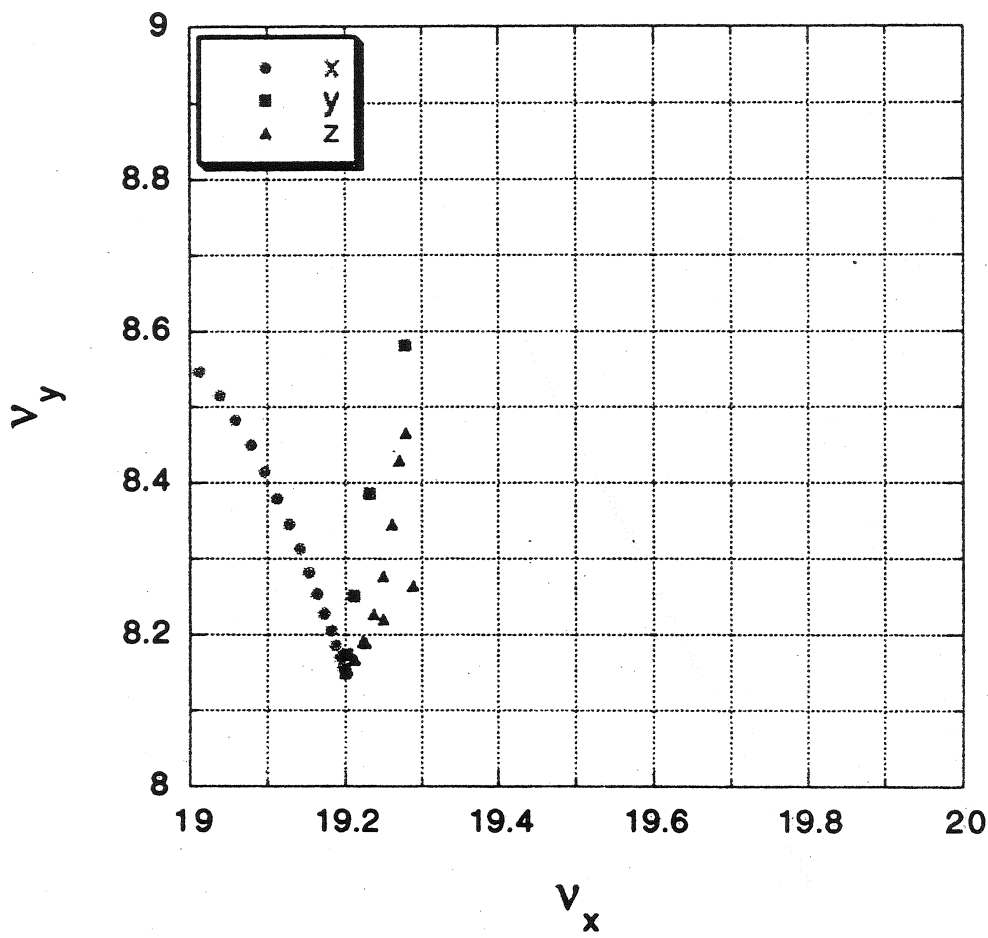
Touschek lifetime ~ 1 hour

# Vertical

$$Ny = \sqrt{\frac{-Jx}{-Jx_0}}$$



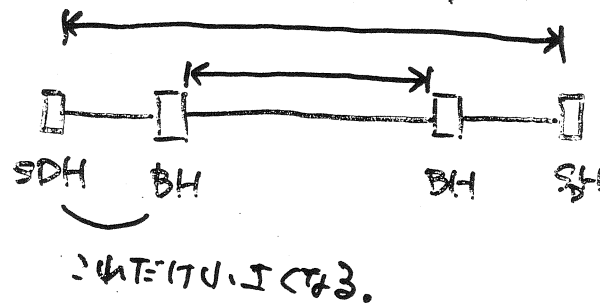
Tune Shift



どうする... (現在検討中)

★  $\epsilon$  による Chromaticity  $\epsilon$  local に  $\epsilon$  なる。

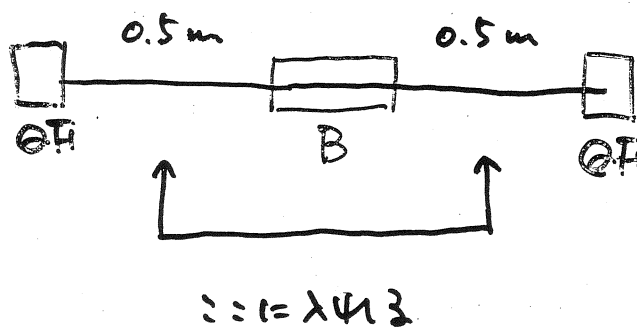
• BH - BH 間  $\epsilon$  transparent にする。

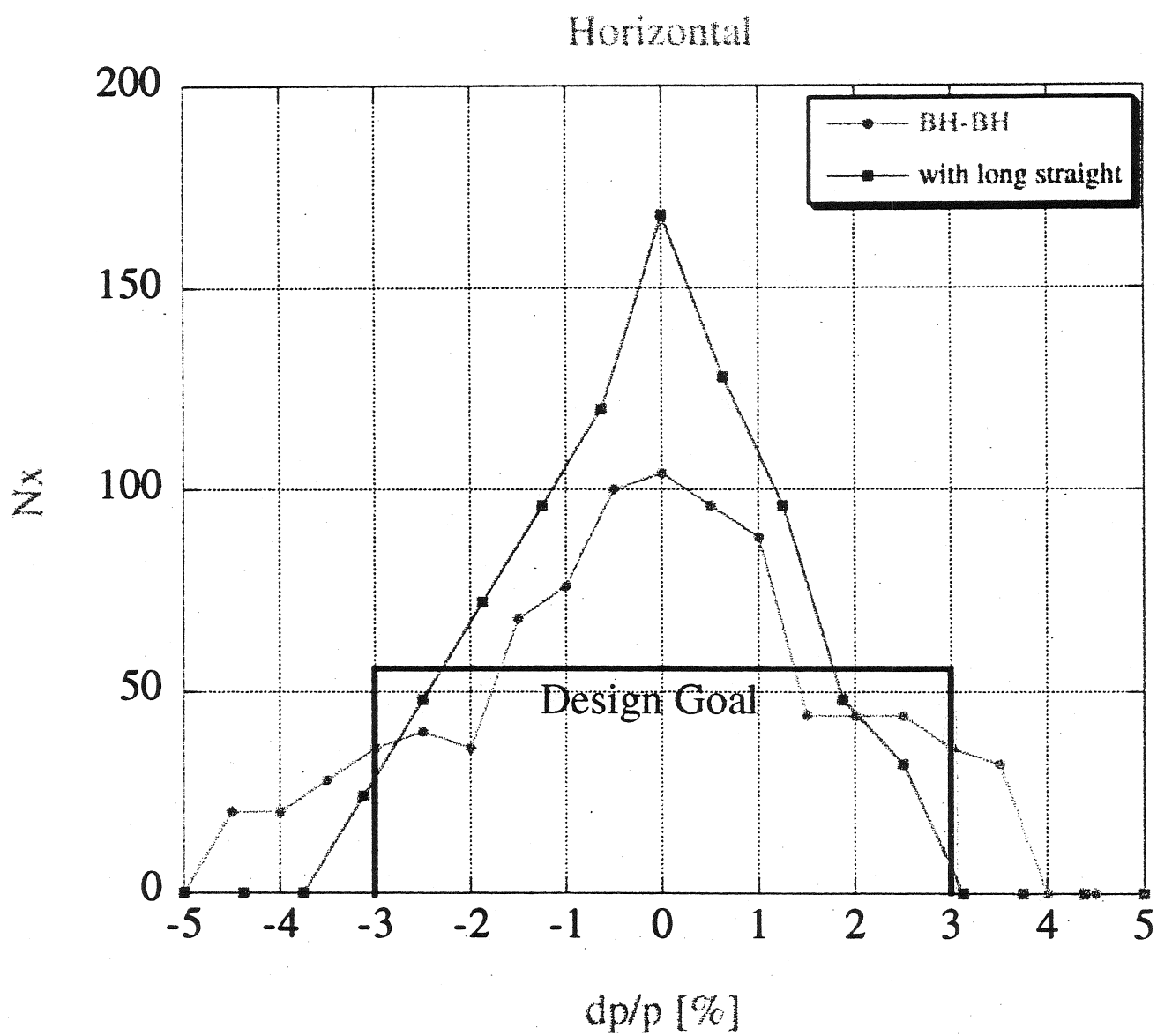


• Matching Section  $\epsilon$   $\eta \neq 0$  に  $1/2$

Chromaticity  $\epsilon$  local に補正する。

★ Harmonic Sextupole に相当する  $\epsilon$   $\lambda$  なる



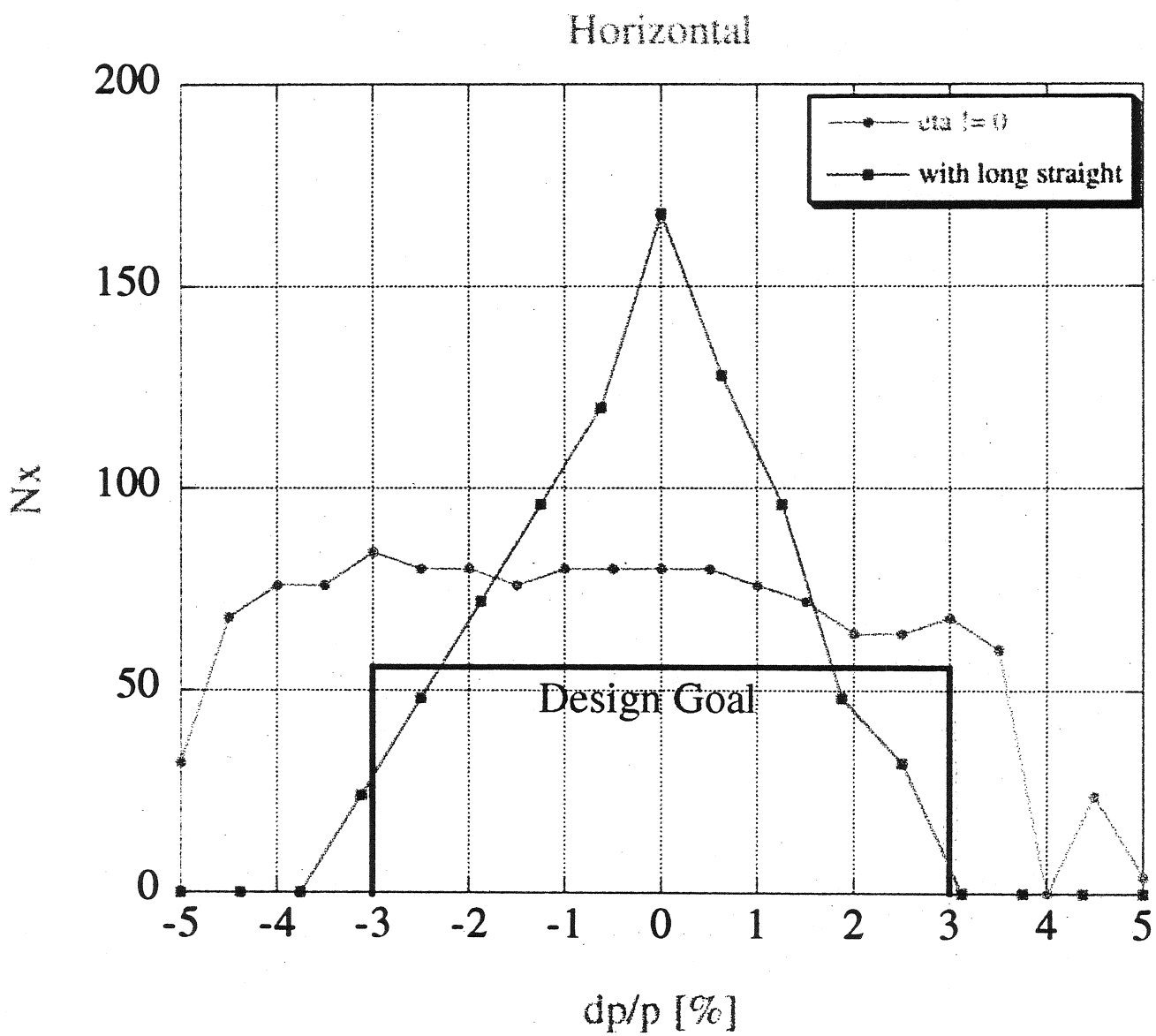


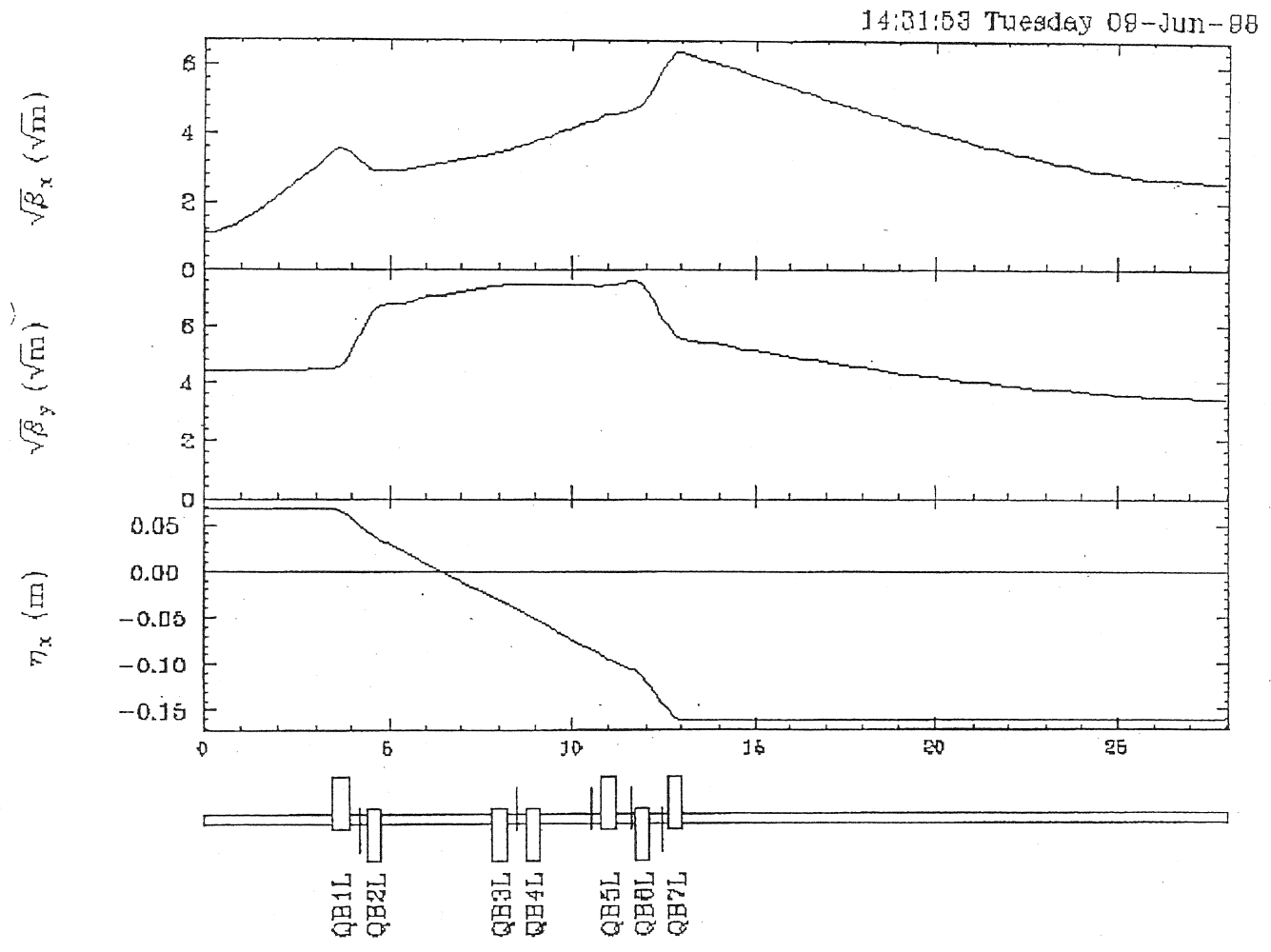
$$v_g = 7.10$$
$$\epsilon_{x0} = 7.2 \times 10^{-10} \text{ (m.rad)}$$

36

[illegible]







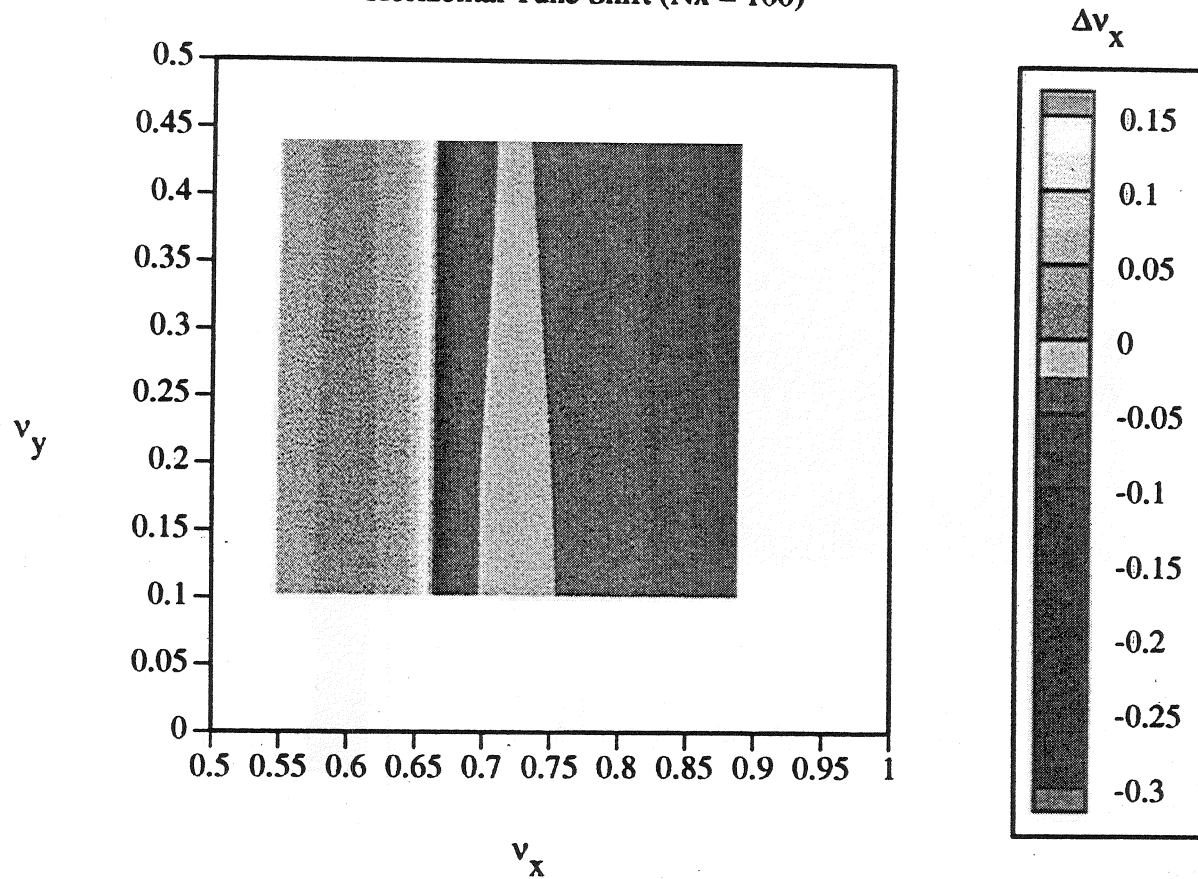
v15\_36

まとめ

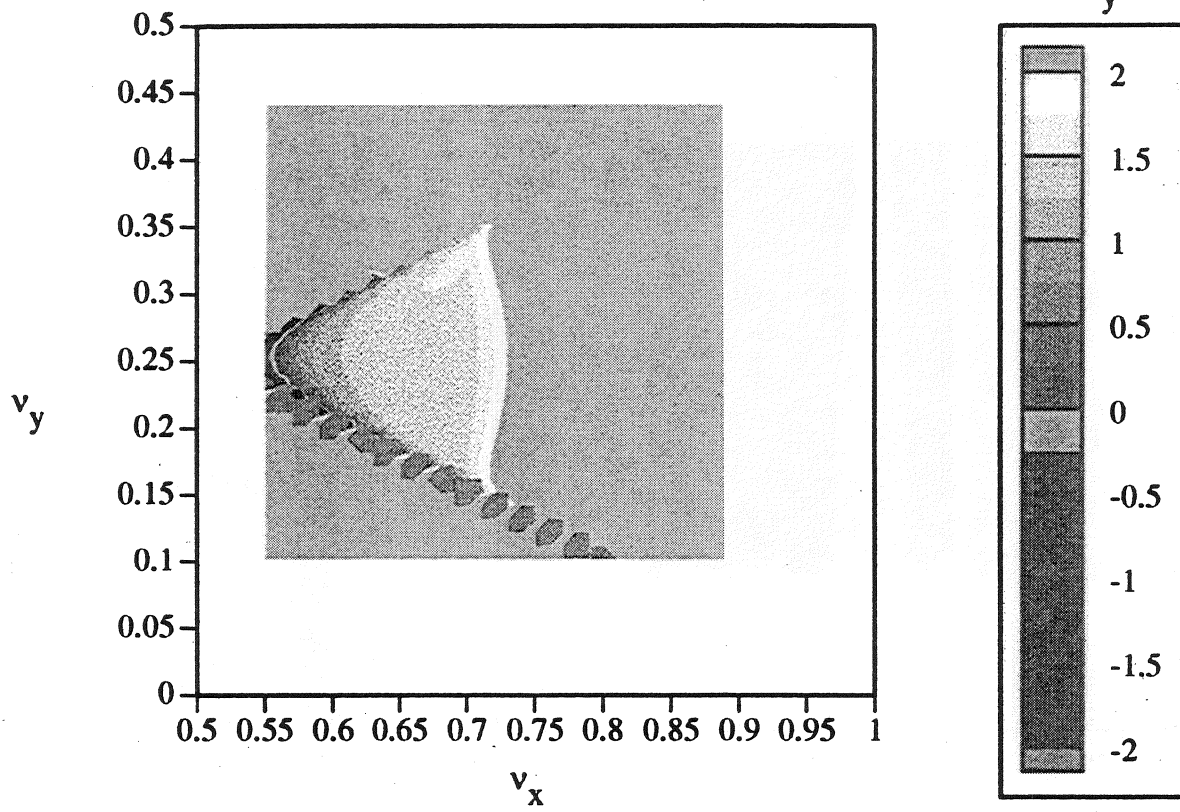
希望すること

- 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
- 他のコードとの比較
- SADの Class lib. 変化

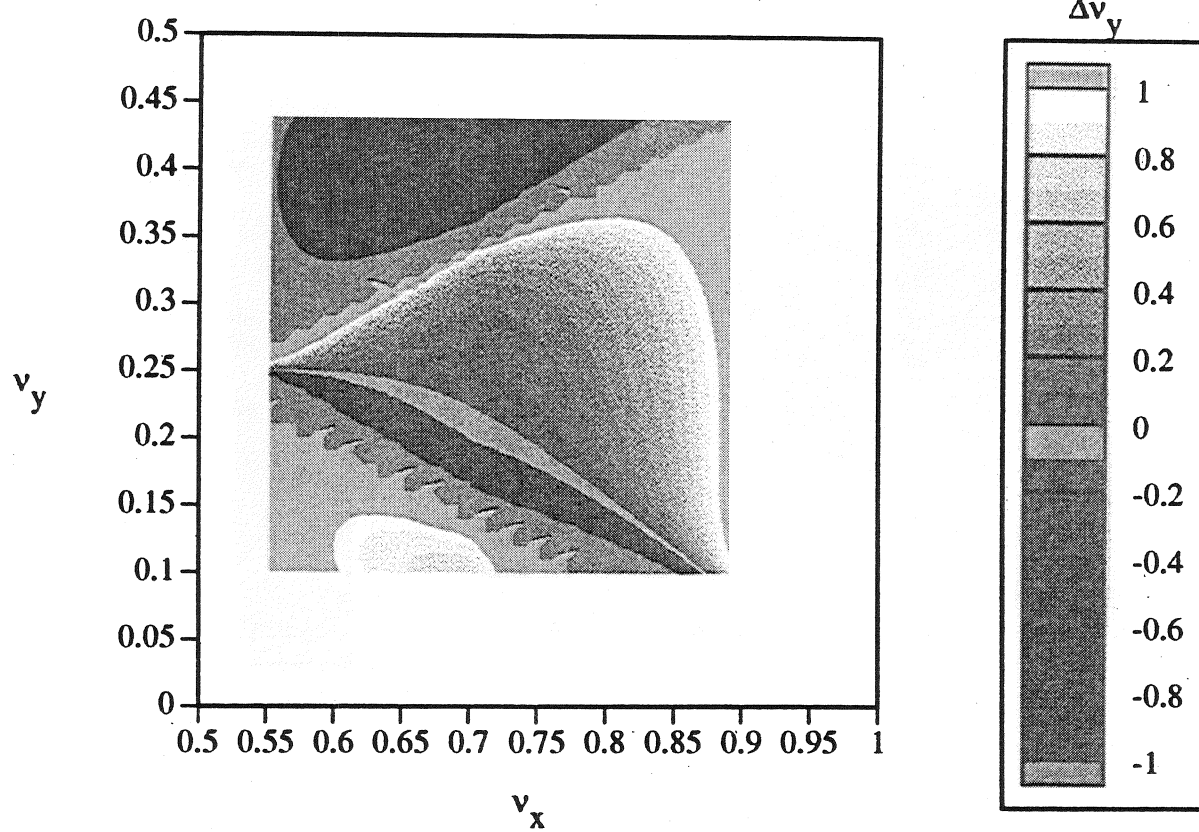
Horizontal Tune Shift ( $N_x = 100$ )



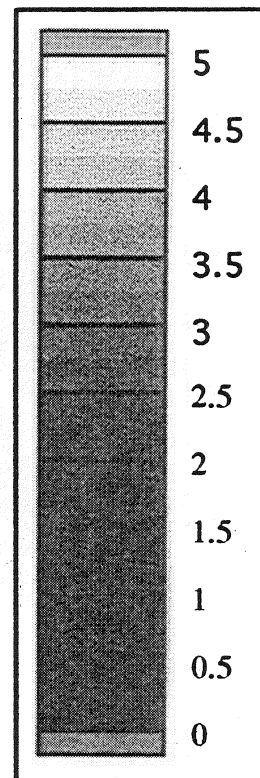
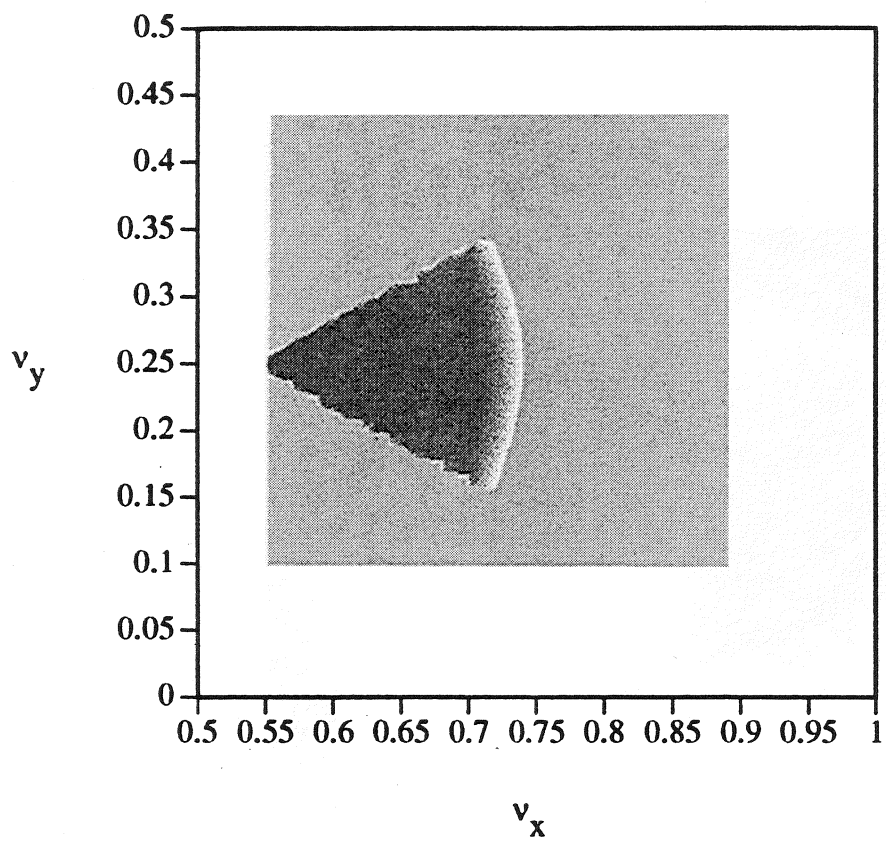
Vertical Tune Shift ( $N_y = 100$ )



Vertical Tune Shift ( $N_x = 100$ )



## 2 乗和



# Hadron Accelerators

S. Machida





# 1) ドロロン加速器

KEK-Tanashi 田田

SAD を JIL に使った ジ" ガイン 例

JHF synchrotrons

SAD で できる 範囲 が 限定 されている 例

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

- モーメントコンパクションが負かつ可変。
- 直線部の位相進みが $2\pi$  (水平) と $\pi$  (垂直)。

## 解法

- アーク部にはミッシングバンドを入れて  
 $r$  (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。

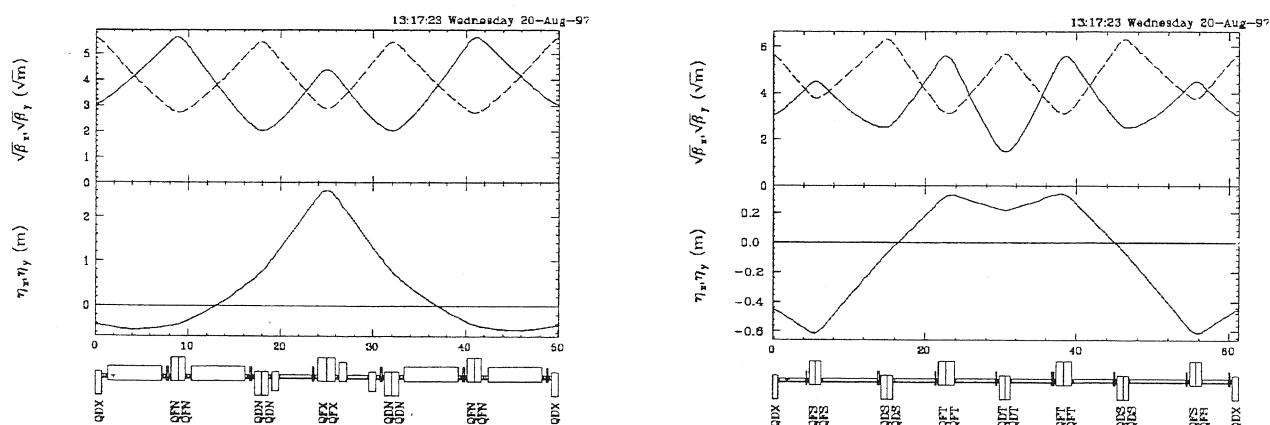


Fig. 2.1.2: Lattice functions of one module (left), which is one sixth of the arc. One insertion (right) is also shown.

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

最終的に

$$\alpha_0 = -1 \times 10^{-3}$$

とする場合

## 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 bound-
ary
!
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;
```

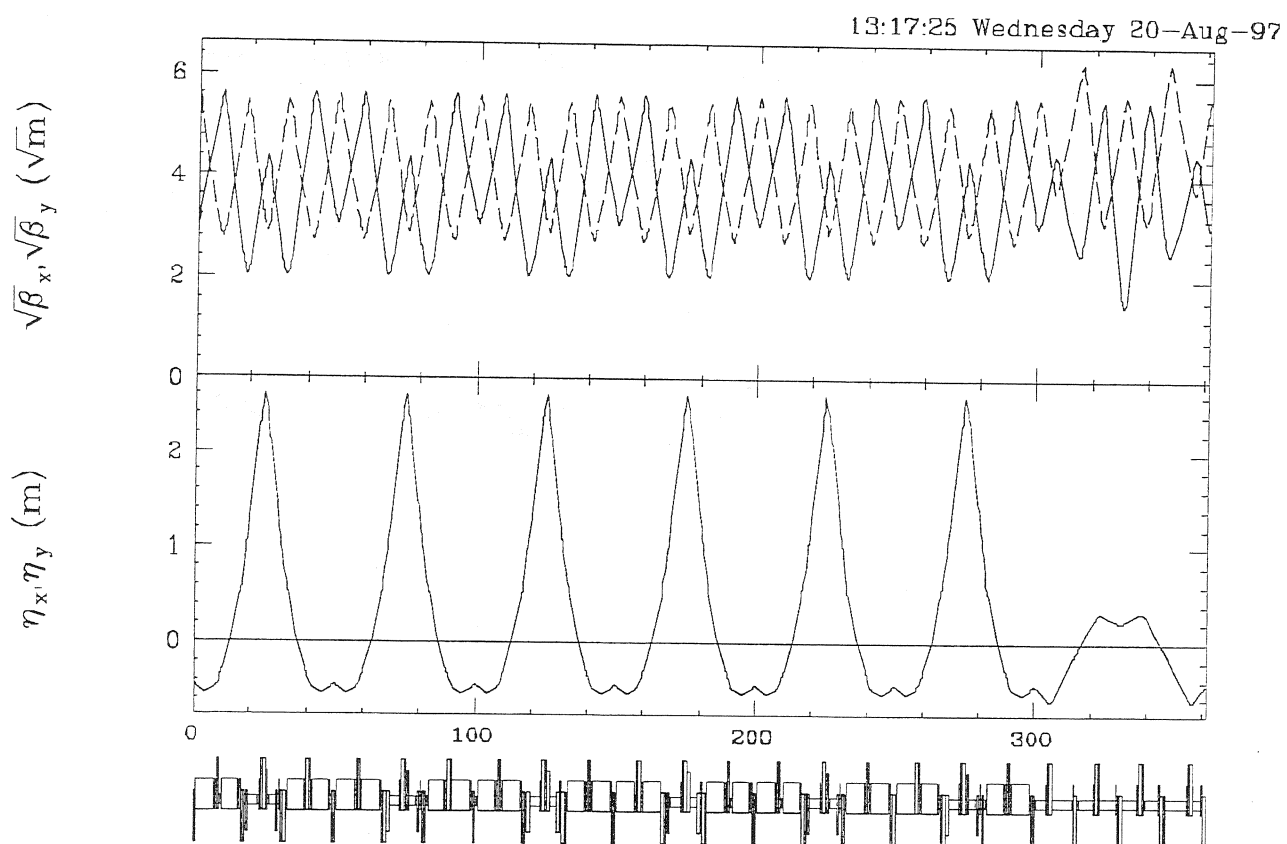


Fig. 2.1.3: Lattice functions of one superperiod, which is one quarter of the ring.



# Dynamic Aperture Survey

~~スーパースtructureと直線部をつなぎ1つのスーパースtructure  
を作る。同時に、Chromaticity補正のための  
Sextupole強さを決める。~~

2D チューン平面で 以上の

matching 条件を合わせ、かつ

dynamic aperture を求める。

```
!
! 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[" \
VISIT INSOLY; \
CONVERGENCE=1.0E-20; DP=1.0E-6; \
FREE QDS QDT QFS QFT; \
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; \
INS; FIT ARCST AX @ BX @ AY @ BY @ EX @ EPX @; \
NX 1.000 1 NY 0.500 1; \
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;

```

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

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;

加速

$f_{rf} \neq \text{constant}$

$V_{rf} \neq \text{constant}$

# FFAG Design and Tracking

## Fixed Field Alternating Gradient (FFAG) Synchrotron

### Radial sector type

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

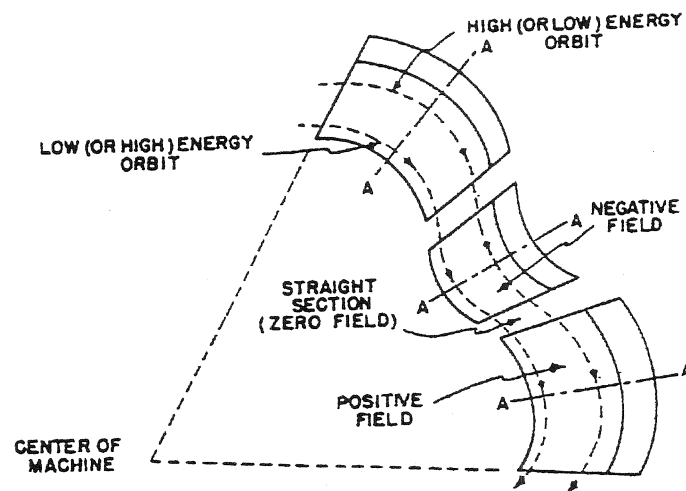


FIG. 2. Plan view of radial-sector magnets.

### Spiral sector type

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

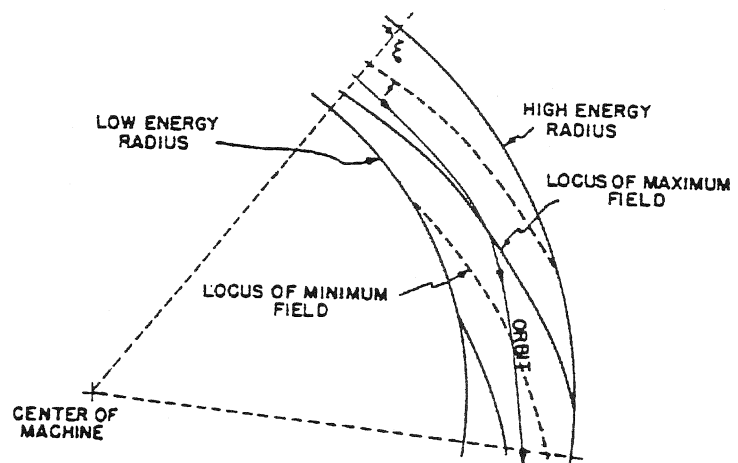


FIG. 3. Spiral-sector configuration.

# FFAG Characteristics

磁場の形が以下のようなものであるために、

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

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。

F magnet



$\oplus$  magnet



$E_1, E_2 > 0$   
(?)



# 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。

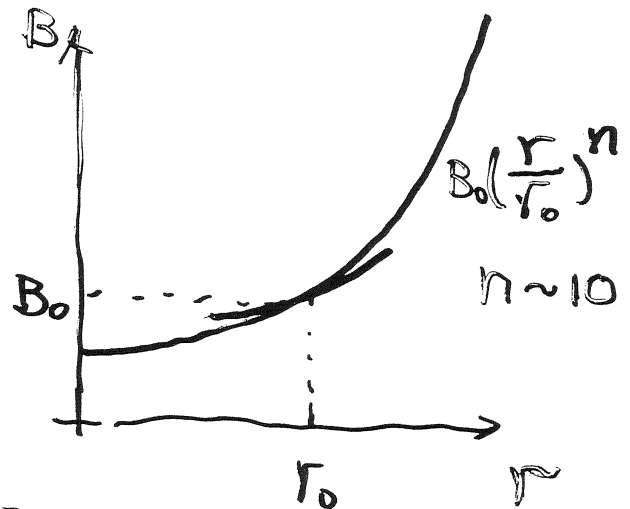
$$B = B_0 \left( \frac{r}{r_0} \right)^n$$

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

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

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

.....



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。

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

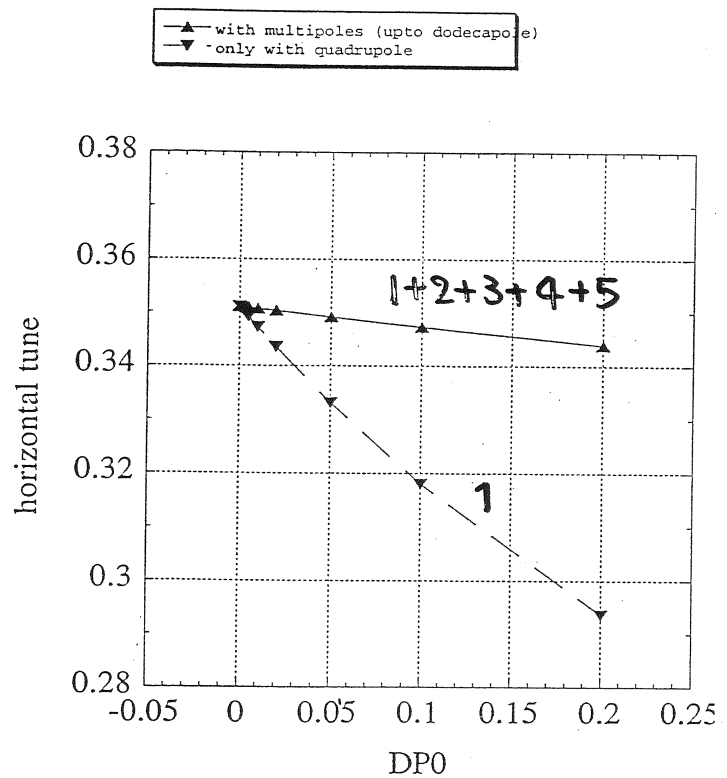
$$\text{BFNC} = (\text{BFNH MP BFNH})$$

エッジが正しく半径上にあるように E1 と E2 を計算する。

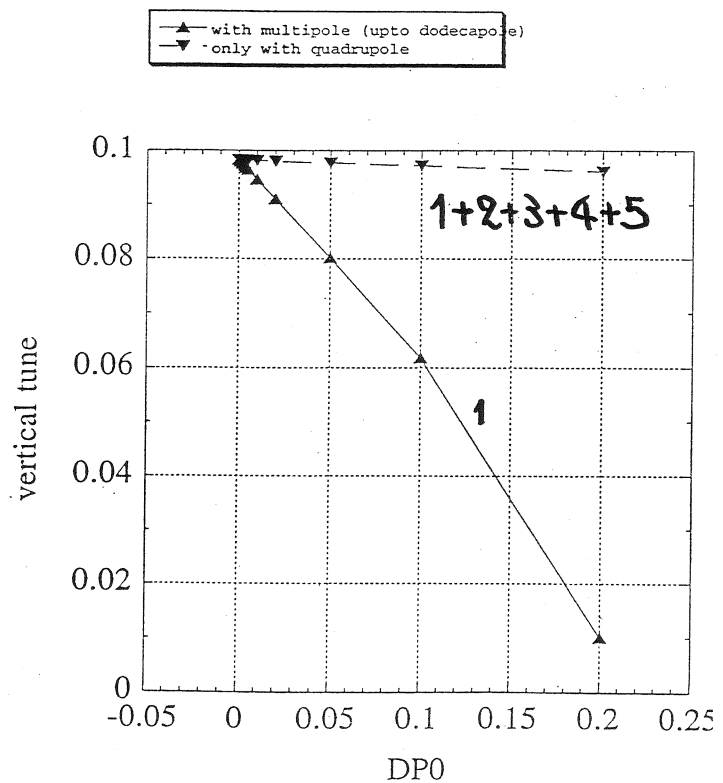
# Zero Chromaticity Check

Calculate tune with non-zero "DP0".

horizontal



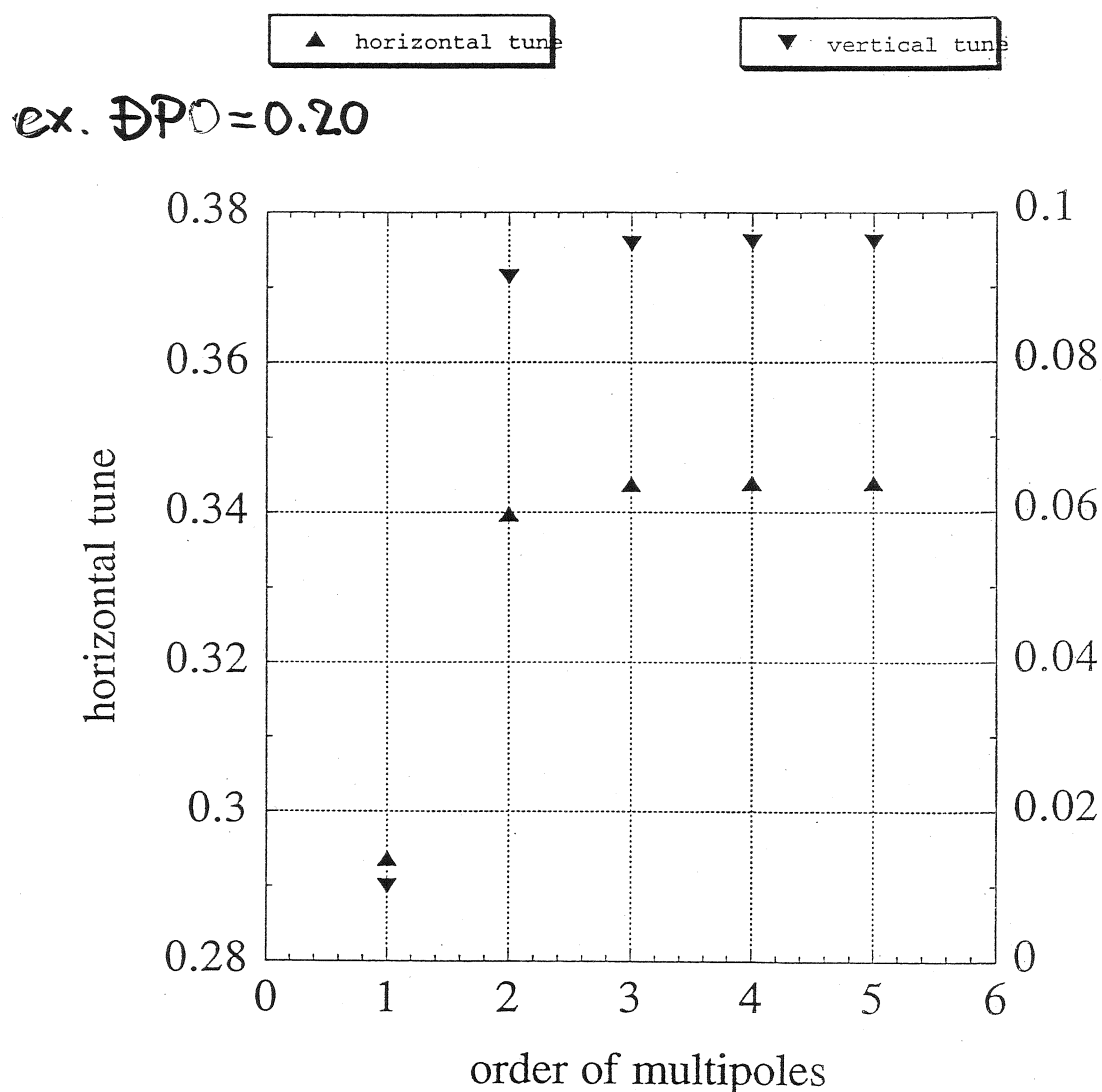
vertical



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

# How Many Multipoles are Necessary?

(depends on  $dp/p$  range)



$DP0=0.20$ 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 ( $DP0=4$ )。

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

rf frequency is not constant

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

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?

## multiparticle space charge tracking.

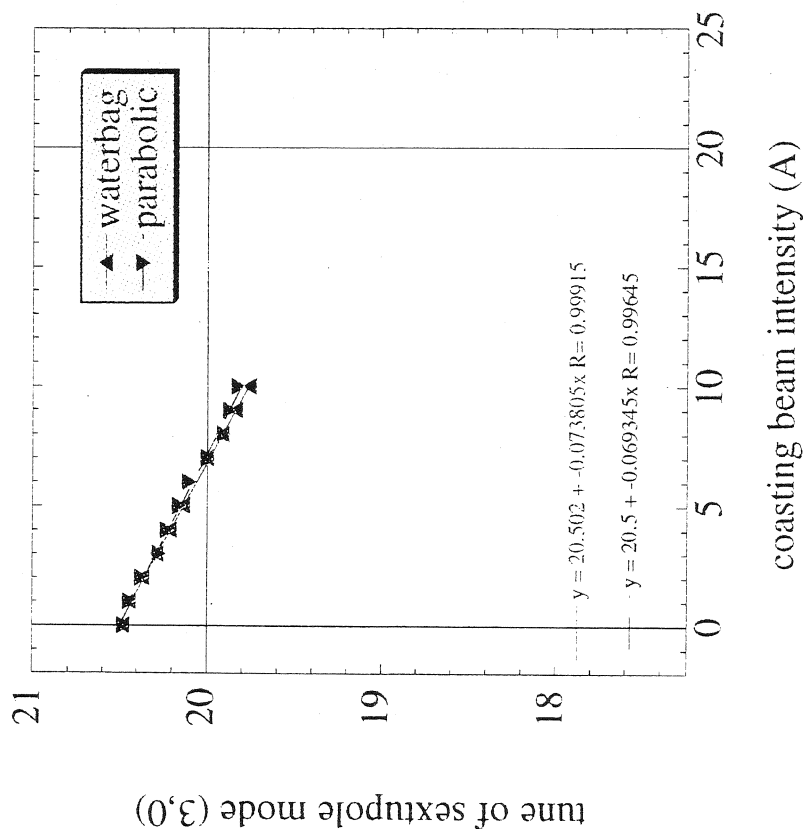
- noise 源をいかにおこすか!
- space charge kicks を外場としてはあつかえない。  
コヒ-レントモードが 問題
- matching with intensity effects  
rms matching.
- time consuming  
1 day ~ 1 month

# Sextupole Coherent Mode

coherent sextupole tune shift = 0.72 \* incoherent tune shift

$$\nu_0 = 88^\circ$$

It does not depend on detailed distributions.



# Emittance Growth in a Lattice with Sextupole Error (Horizontal)

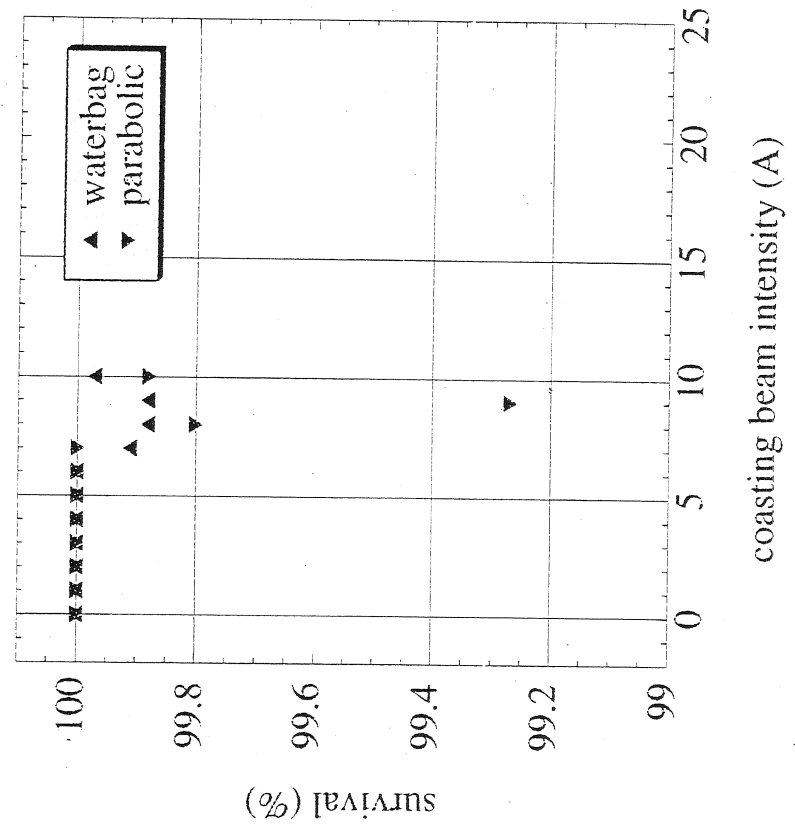
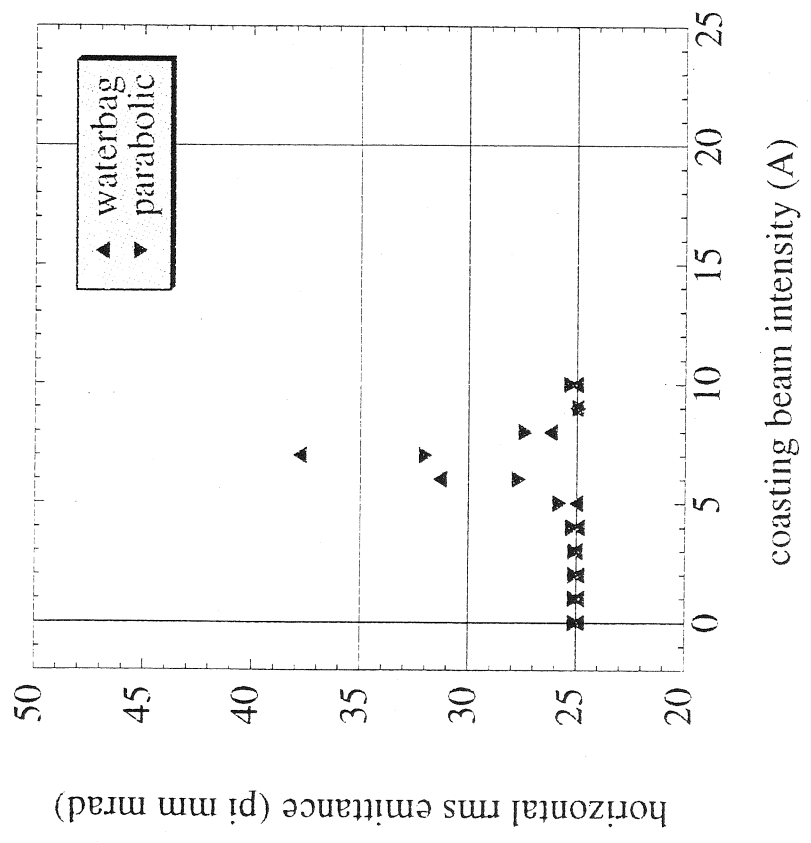
When the coherent sextupole tune satisfies resonance condition

$$3 \nu_{\text{coh}, x} = 20$$

rms emittance blows up and beam loss occurs.

$$\sigma_0 = 88^\circ$$

$$\sigma = 86^\circ$$



Simulation of space charge effects in a circular accelerator  
May 4, 1998, Shinji Machida (KEK)



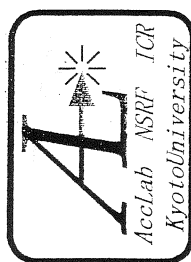


Study of 3D Laser Colling by SAD  
(SAD を用いた三次元レーザー冷却法の研究)

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

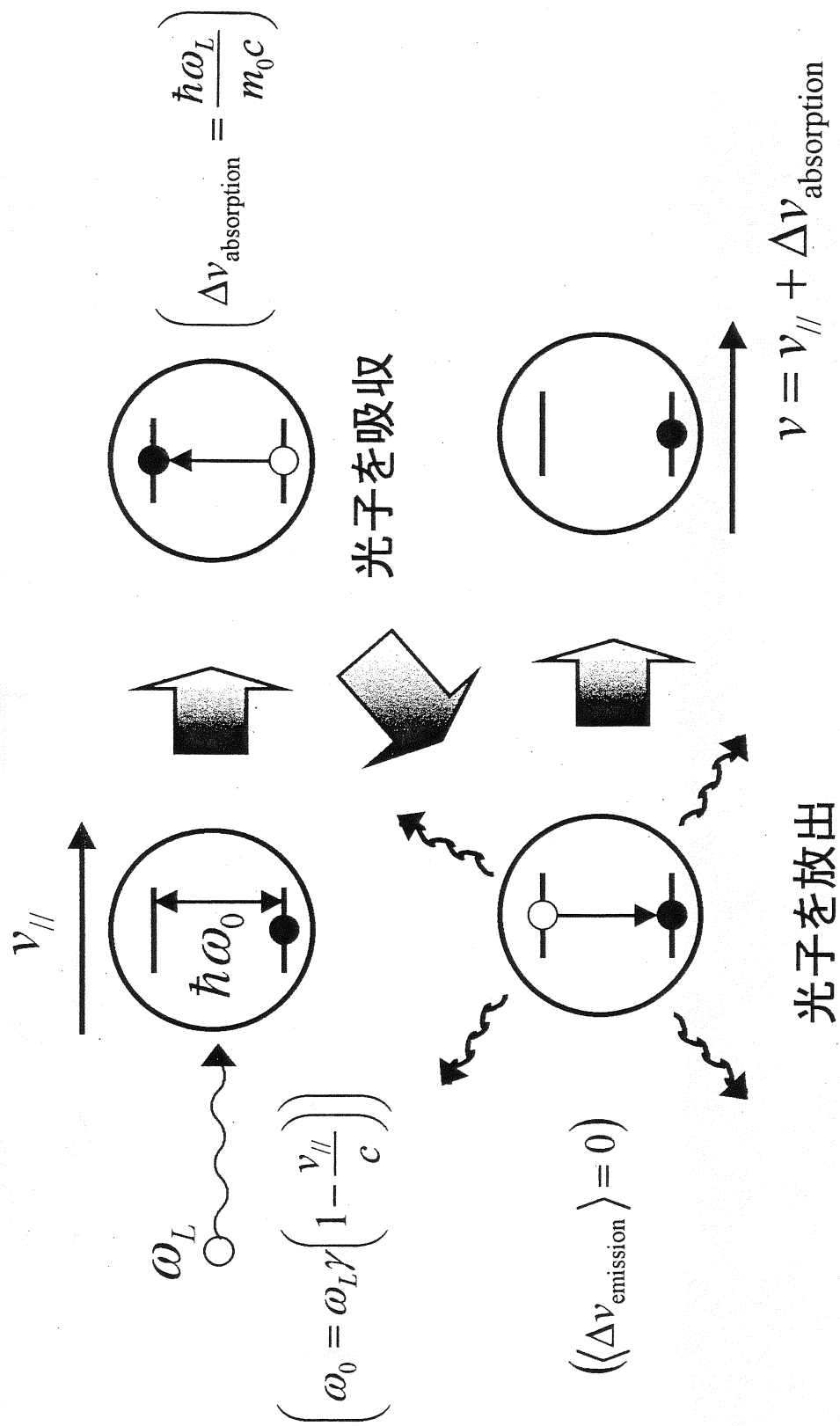
SADによる  
シミュレーション

まとめと現在の課題

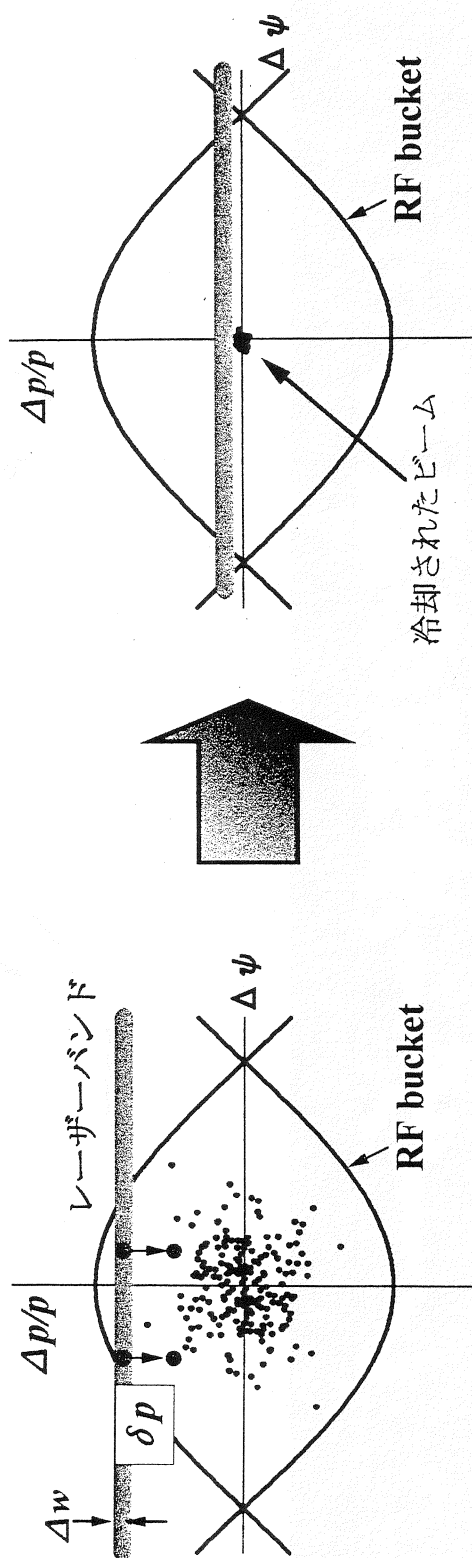
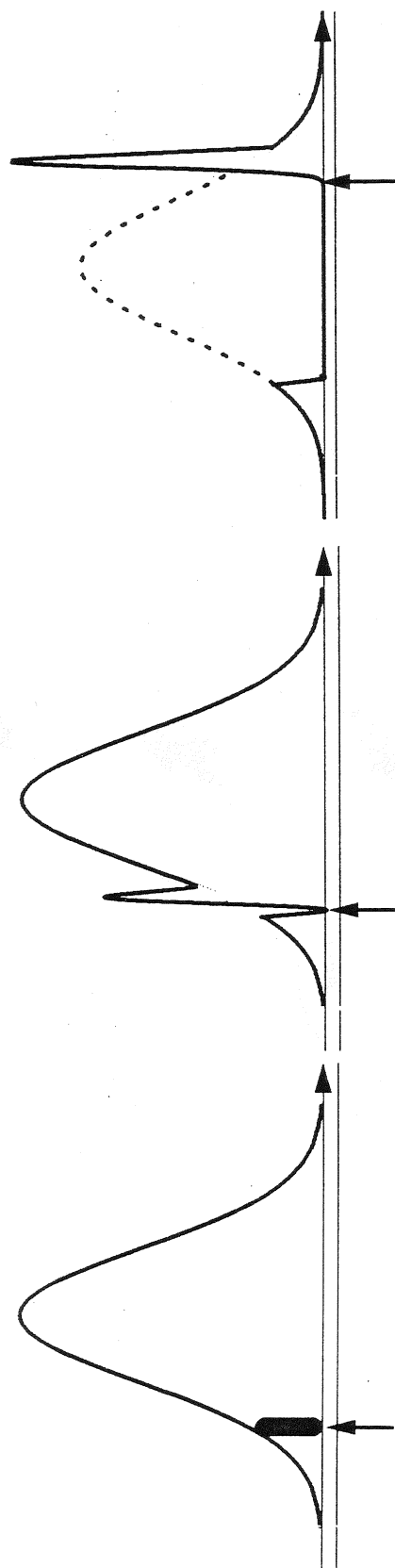
# ビーム冷却技術

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

# レーザー冷却の原理 (1)



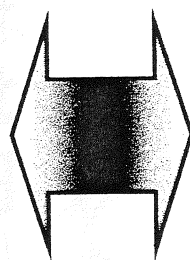
# レーザー冷却の原理 (2)



# レーザー冷却の特徴

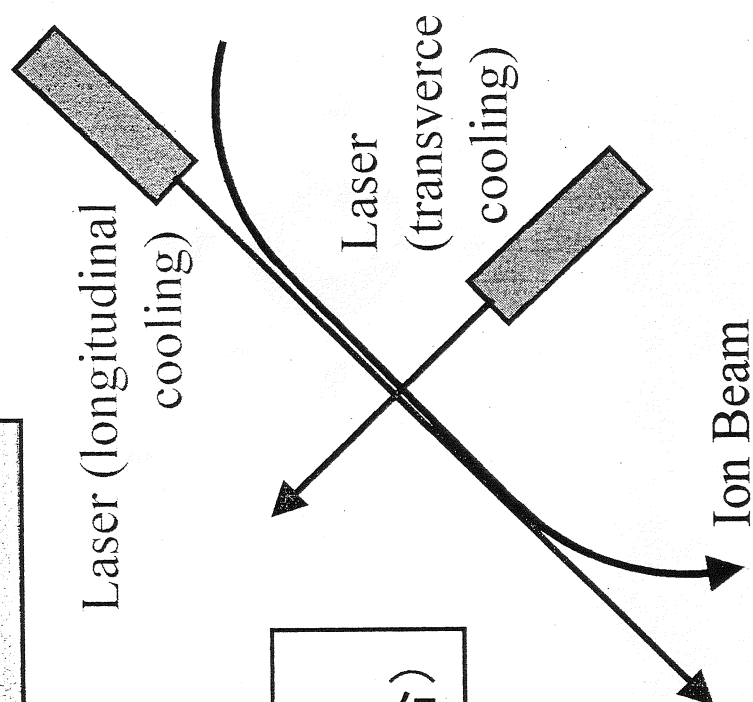
## ◎ 強力な冷却力

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

(高速イオンビームに対して適用した場合)

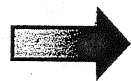




# 三次元レーザー冷却

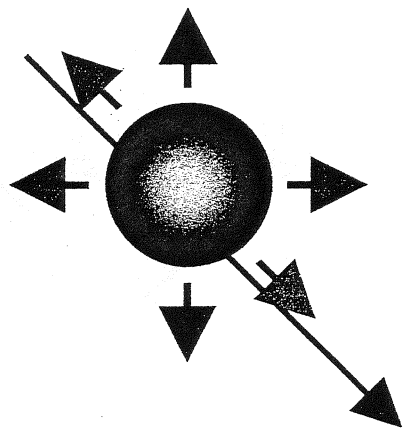
強制的共鳴結合 により、横方向の

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:  $\nu_x - \nu_z = \text{integer}.$

※ 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

# 結合高周波空胴 (1)

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、 $\omega_c$  : rf frequency

$V_c$  : constant  $\propto$  gap voltage

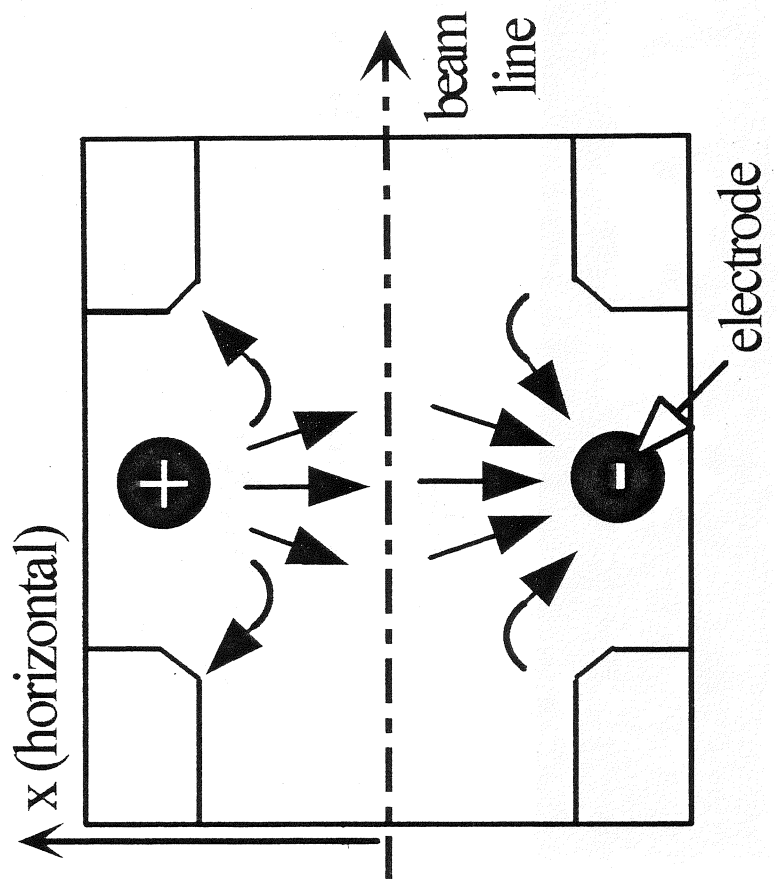
$x$  : horizontal coordinate

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

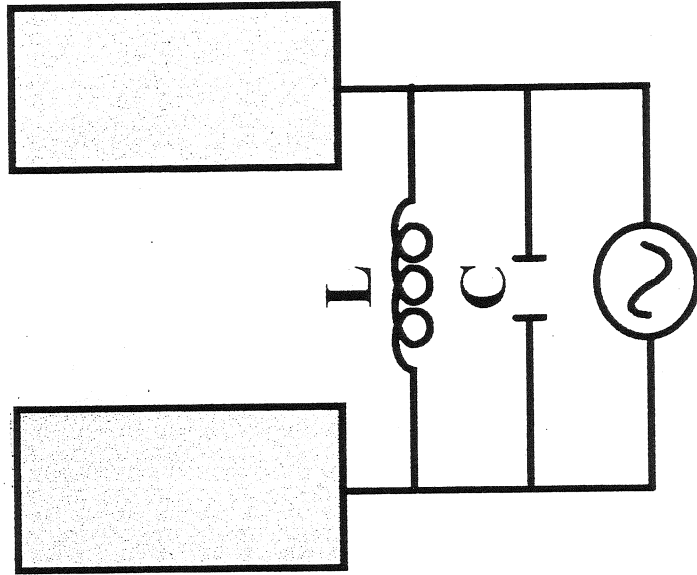
- サイズを考えると、lumped circuit のような構造が必要
- 以下のシミュレーションでは、線形成分のみ考慮

# 結合高周波空洞 (2)

## Coupling Cavity の概念図

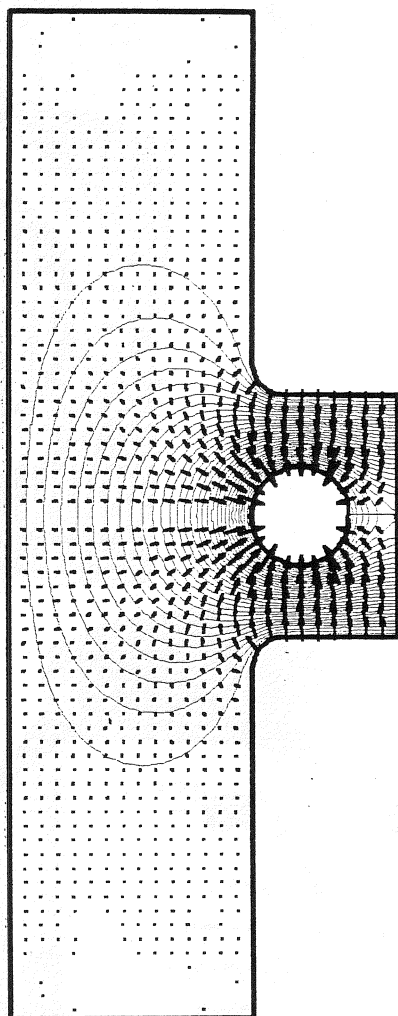


## 等価回路



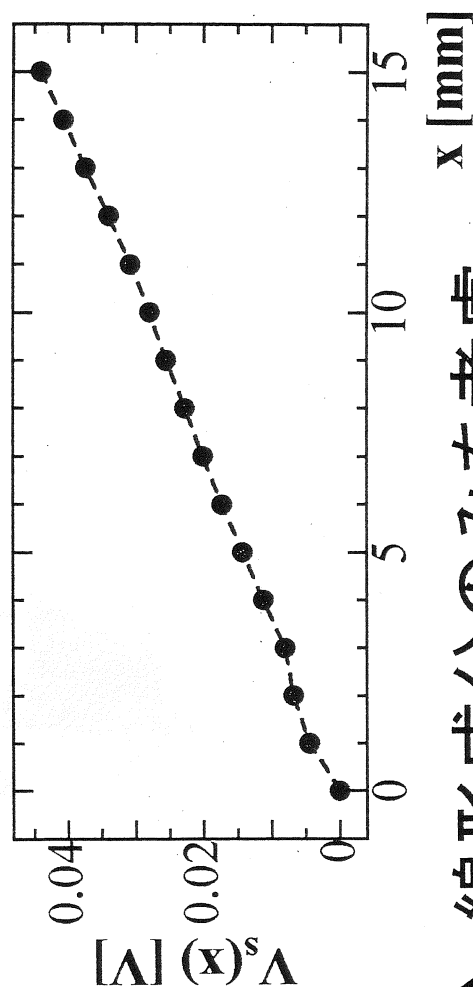
# 結合高周波空洞 (3)

電場分布

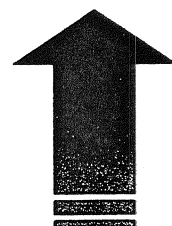


POISSONでの  
静電場近似の結果

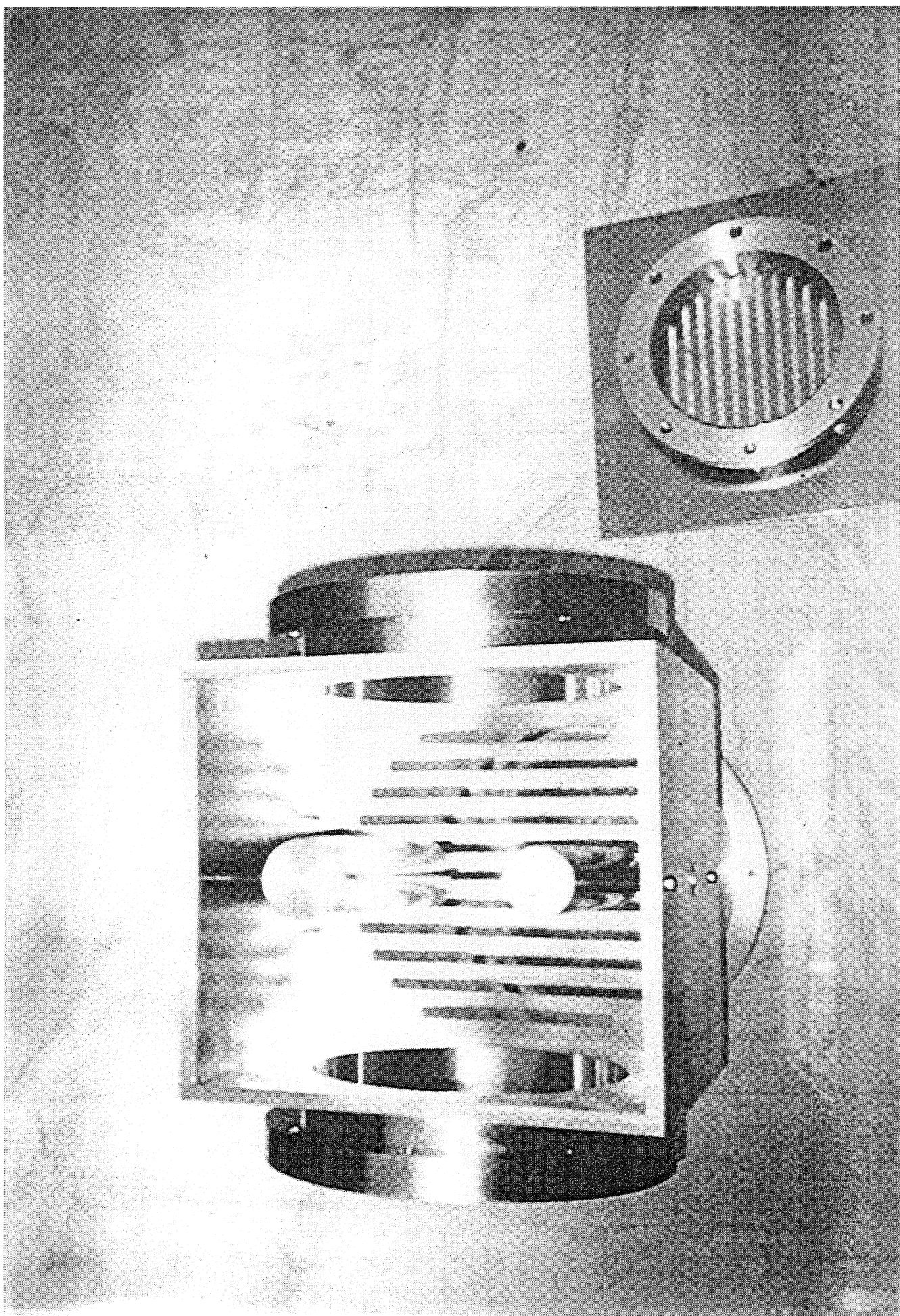
Z方向の電場  
分布の積分値



線形成分のみを考慮







# SADによるシミュレーション

現実のリング(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

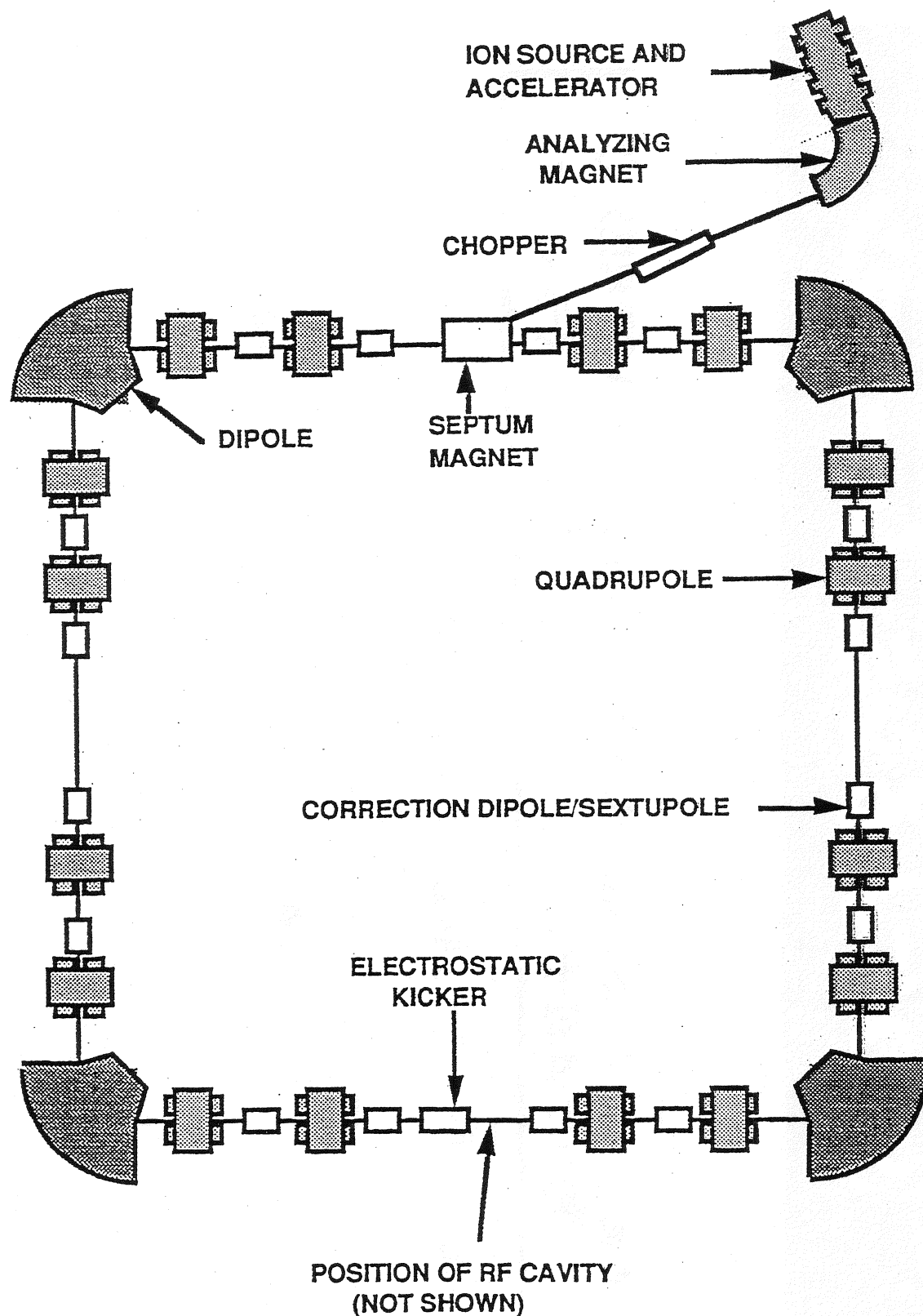


三次元レーザー冷却スキームの  
有効性を検証する

## ASTRID の パラメータ

周長	40 m
$\nu_x$	3.10
$\nu_y$	3.08
Skew-Q	あり
粒子	$^{24}\text{Mg}^+$
エネルギー	100 keV
$\gamma$	1.0000044
$\beta$	0.0029
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+hcdbd && #>wbn-hcbbd,#-cband,#]&,p];
  q=x[5];q1=Map[#-backetsize*Round[#/backetsize]&,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]];

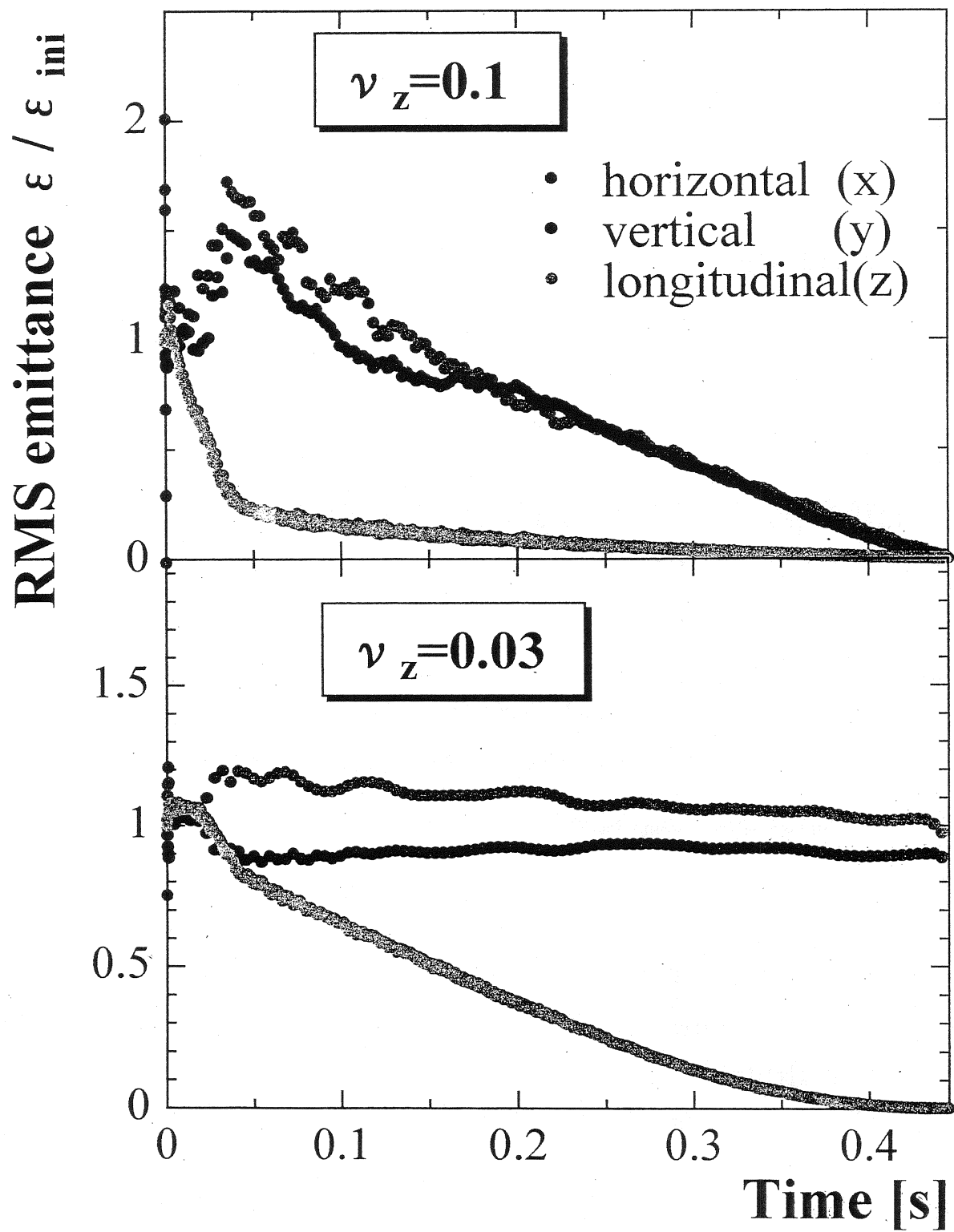
.....

Do[LINE["VOLT","CA1"]=V[n];d=TrackParticles[d,1],{nturn}];

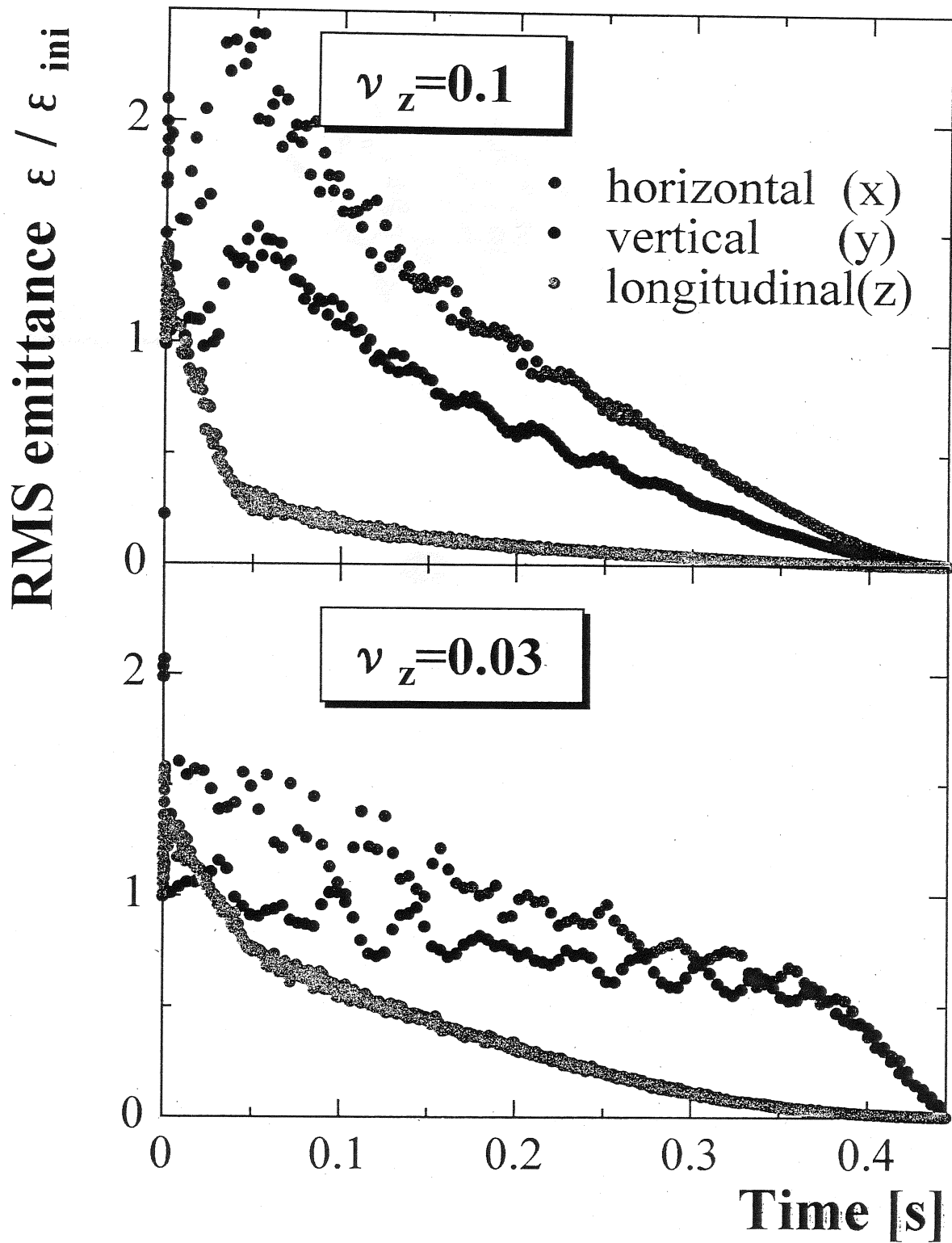
```



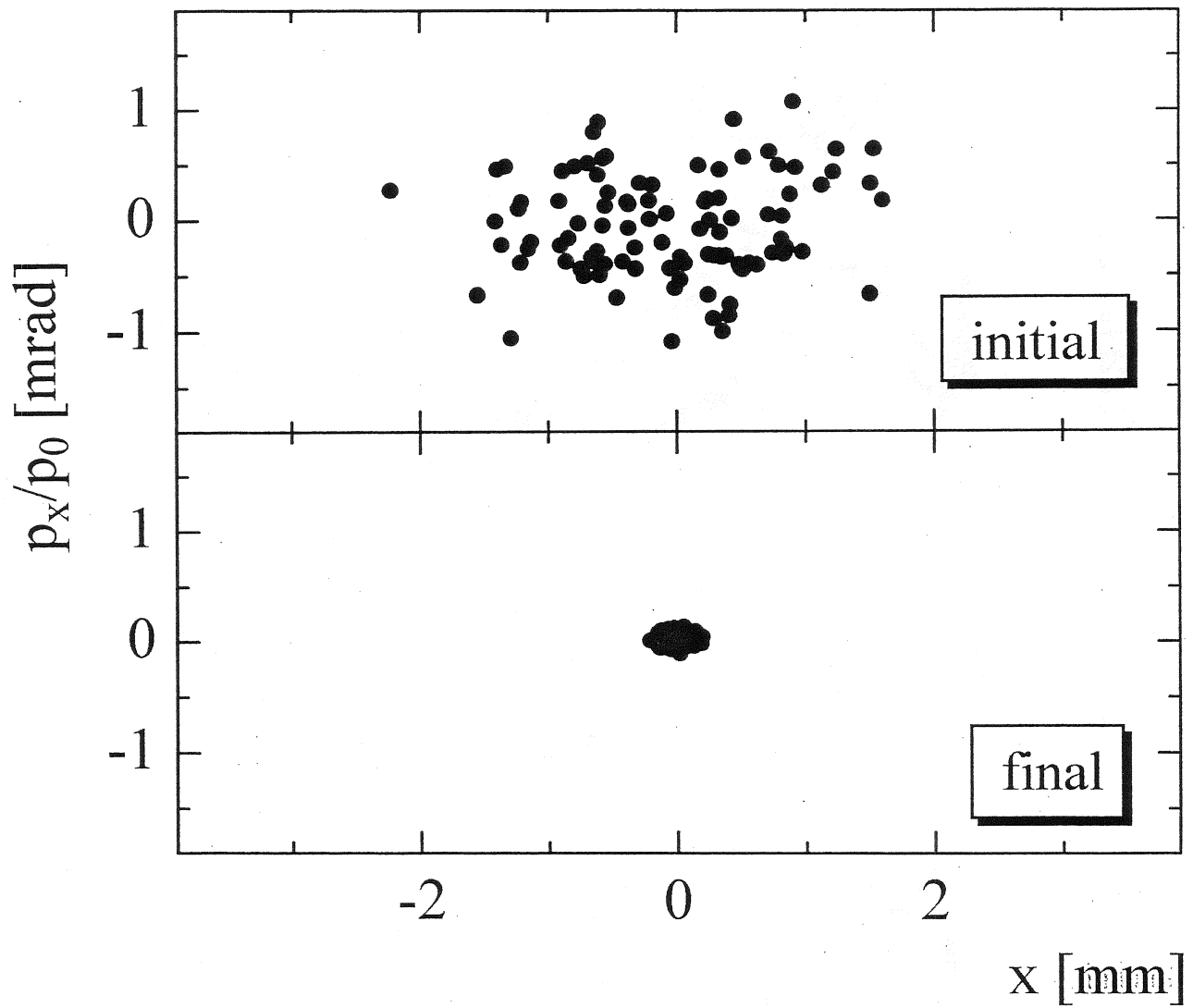
# 運動量分散によるスキーム



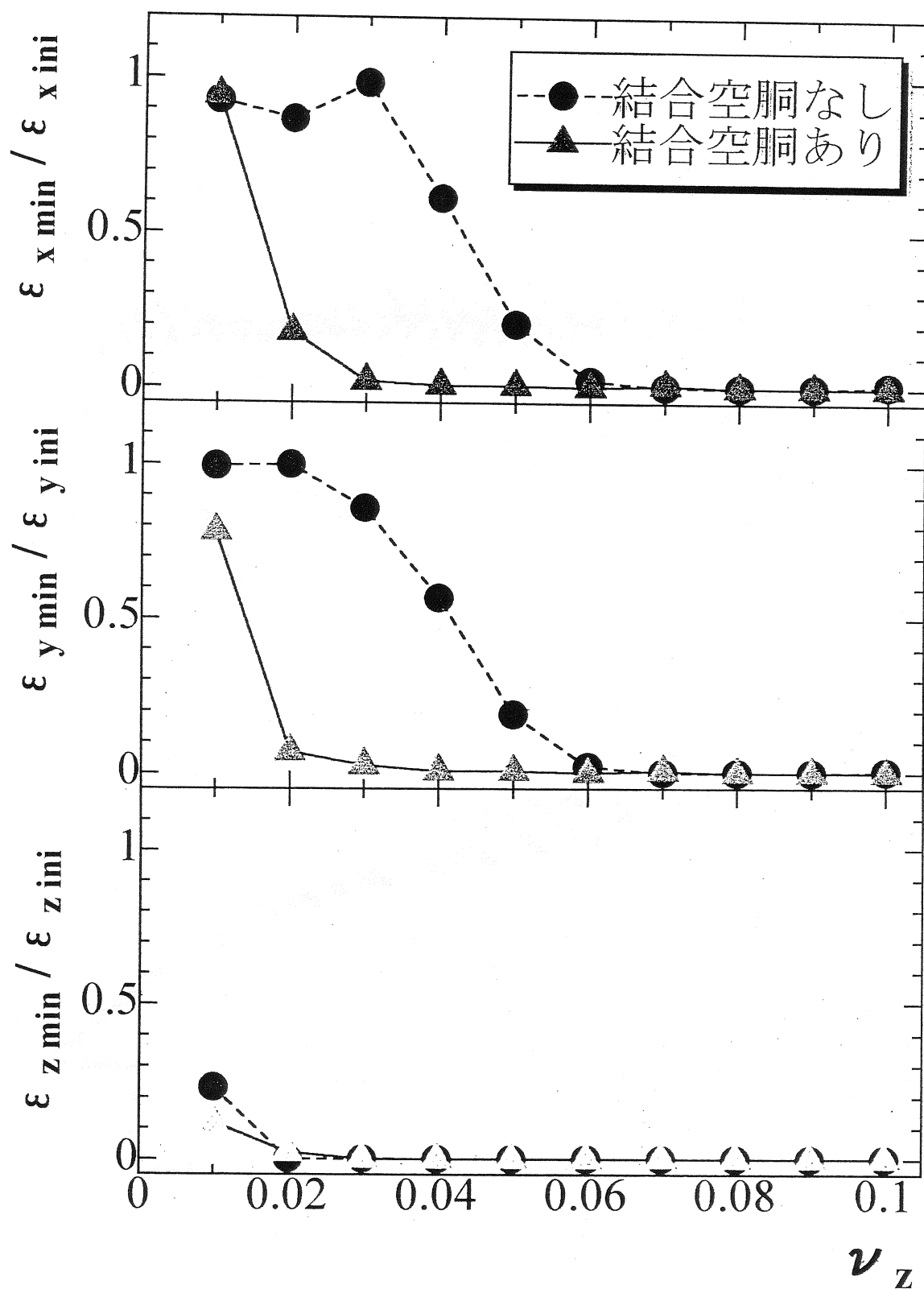
# 結合高周波空洞によるスキーム

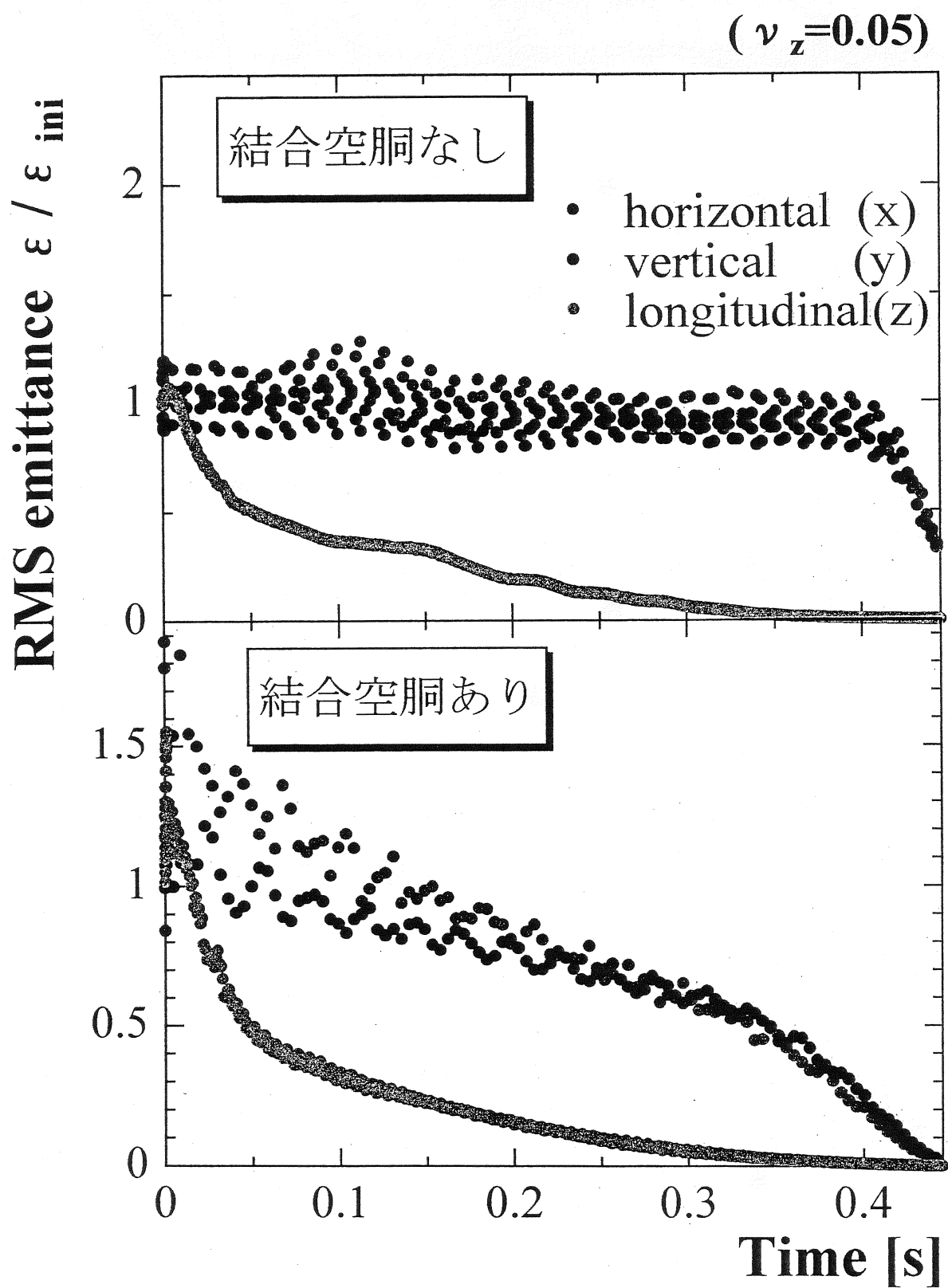


# *phase space の様子*



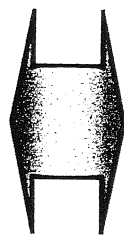
# *RMS emittance の最小値の比較*





## まとめと現在の課題

- 三次元レーザー冷却スキームが有効である
- 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.....  
粒子間相互作用が  
重要な役割を果たす  
Intra Beam Scattering } を  
Space Charge Effect }  
取り入れたシミュレー  
ションが不可欠

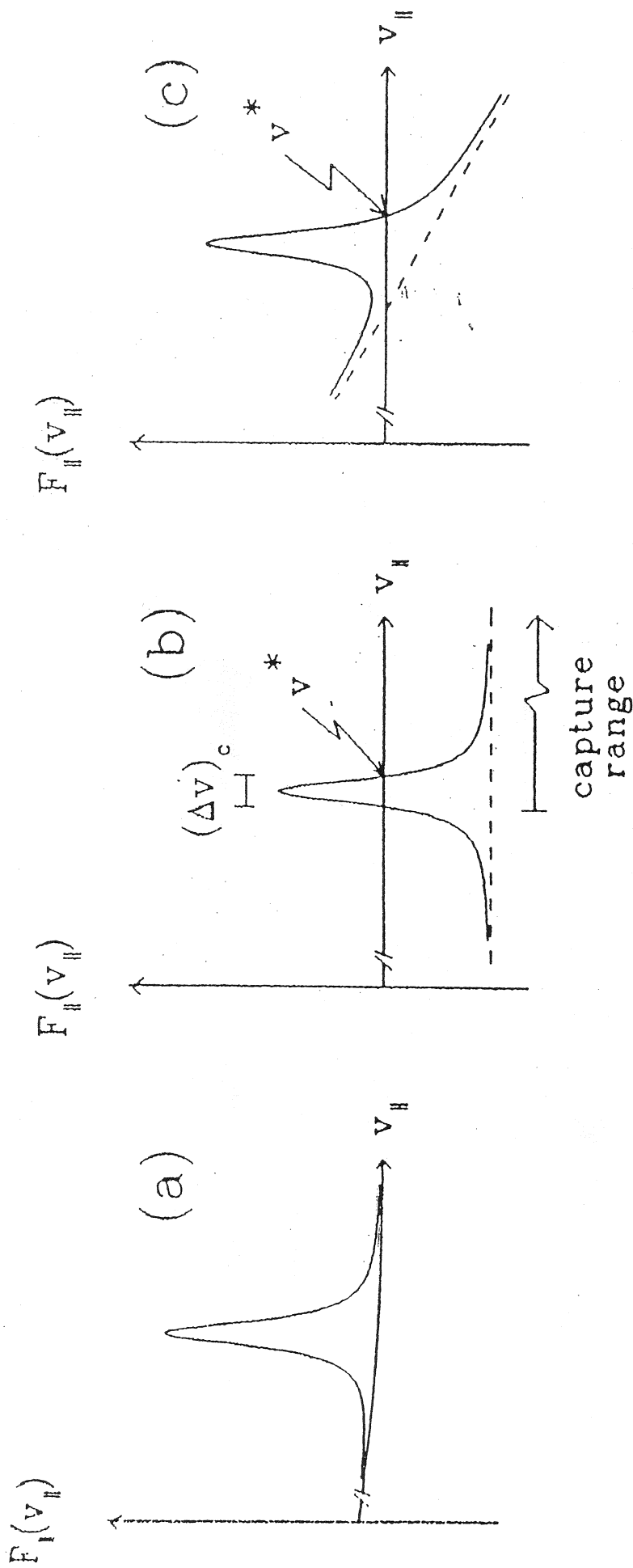


FIG. 2. (a) The spontaneous force itself has no stable point  $v^*$  [see Eq. (3)]. With the help of a (b) constant or (c) linear auxiliary force  $F_{aux}$  (dashed lines), such a point can be generated for the combined forces (solid line).

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<sup>の</sup>~~は~~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っ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) 縦方向

Wake関数

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

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

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

R : shunt impedance

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

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

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

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

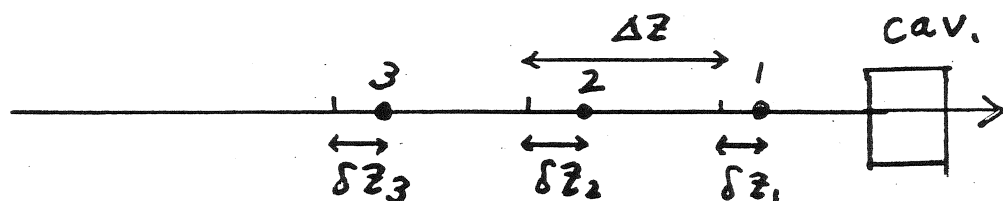
$$\begin{aligned} \tilde{V}_3 &= q_1 \cdot A \cdot \tilde{w}(2 \cdot \Delta z + \delta z_1 - \delta z_3) + q_2 \cdot A \cdot \tilde{w}(\Delta z + \delta z_2 - \delta z_3) \\ &= q_1 \cdot A \cdot \tilde{w}(\Delta z + \delta z_1 - \delta z_2) \cdot \tilde{w}(\Delta z + \delta z_2 - \delta z_3) \\ &\quad + q_2 \cdot A \cdot \tilde{w}(\Delta z + \delta z_2 - \delta z_3) \\ &= (\tilde{V}_2 + q_2 \cdot A) \cdot \tilde{w}(\Delta z + \delta z_2 - \delta z_3) \end{aligned}$$

⋮

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

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

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



ii) 横方向

Wake関数

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

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

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

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

## 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

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

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

#### 横方向

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

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

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

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

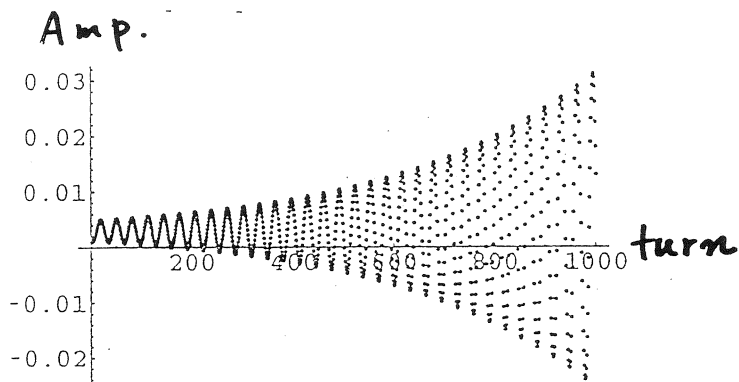
$\mu$ : モード数

$M$ : バンチ数、 $N$ : バンチ内粒子数、 $\alpha$ : モメンタムコンパクション



i) 縦方向

o 1 bunch 100mA



$$R = 0.8 M\Omega$$

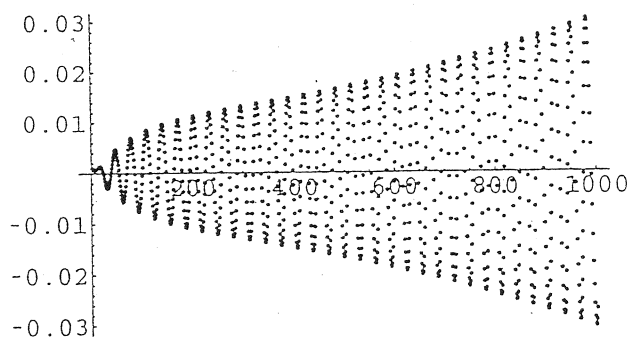
$$Q = 15000$$

$\tau$ :

Sim. 372 turn

Anal. 365 turn

o 64 bunch 10mA X 64



$\tau$ :

Sim. 804 turn

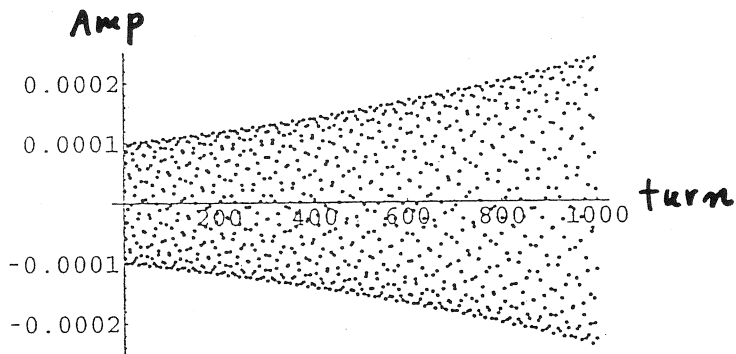
Anal. 766 turn

## ii) 横 方 向

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

$$Q = 37000$$

o 1 bunch 100 mA

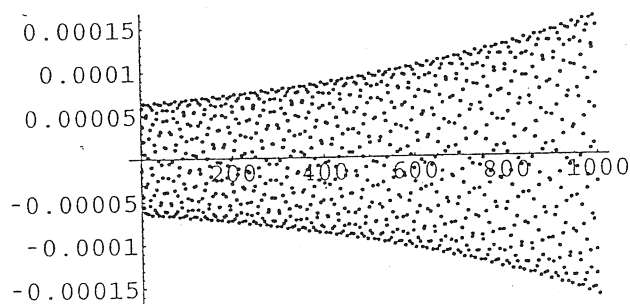


$\tau$  :

Sim. 1126 turn

Anal. 1295 turn

o 64 bunch 2 mA X 64



$\tau$  :

Sim. 1007 turn

Anal. 970 turn

AREF

SCC

monopole				
$f(\text{MHz})$	$R/Q(\Omega)$	$Q_L$	$(R/Q) \times Q_L (\Omega)$	
76.2	17.4	71.5	1243	
190	4.5	24.5	109	
662.6	2.8	25.4	72.2	
731.7	11.0	35.7	394	
821.8	7.9	22.7	180	
925.2	3.8	16.6	62.4	
1331.9	3.2	28.7	90.7	
1389.5	3.1	27.8	86.4	
dipole				
$f(\text{MHz})$	$R/Q (\Omega/m)$	$Q_L$	$(R/Q) \times Q_L (k\Omega/m)$	
275.4	50.7	63.4	3.21	
670.0	16.6	37.1	0.62	
766.2	167	50.9	8.51	
826.7	113	30.4	3.43	
905.8	109	20.5	2.23	
986.8	210	23.2	4.85	
1067.5	68.1	10.4	0.70	

monopole				
frequency (measured) <i>MHz</i>	mode	$R/Q$ (URMEL)	$Q$ (measured)	power <i>Watts</i>
783	LBP-TM01	0.12	132	-
834	LBP-TM01	0.34	72	-
1018	TM011	6.6	106	900
1027	TM020	6.4	95	201
1065	SBP-TM01	1.6	76	4
1076	LBP-TM01	3.2	65	6
1134	LBP-TM01	1.7	54	1

dipole			
frequency (measured) <i>MHz</i>	mode	$R/Q'$ (URMEL)	$Q$ (measured)
609	LBP-TE11	1.9	92
648	LBP-TE11	40.19	120
688	LBP-TE11	170.4	145
705	TM110	227.3	94
825	SBP-TE11	6.16	60
888	SBP-TE11	3.52	97
$R/Q' = (R/Q)_r / kr^2, \quad (r = 5\text{cm})$			

## 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





# 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

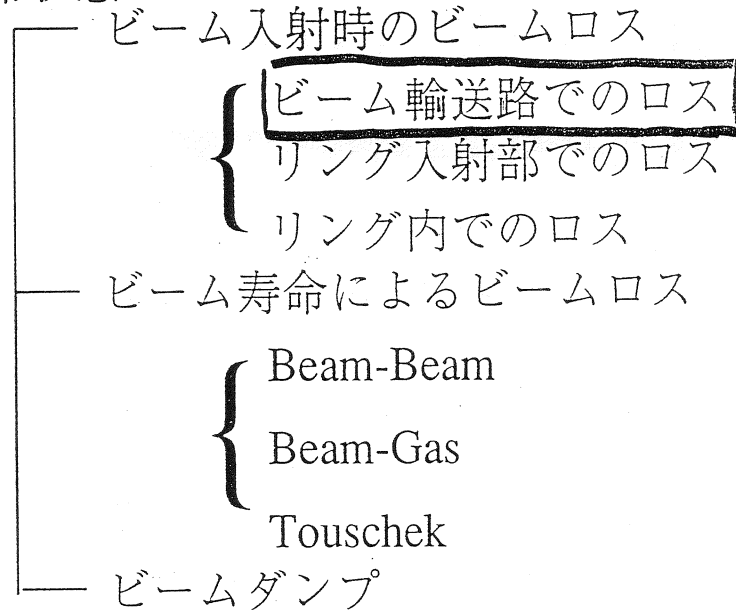
- ♣ Beam-Beam (Radiative Bhabha)
- ♣ Beam-Gas (Bremsstrahlung)
- ♣ Touschek Effect

## ■ Beam abort

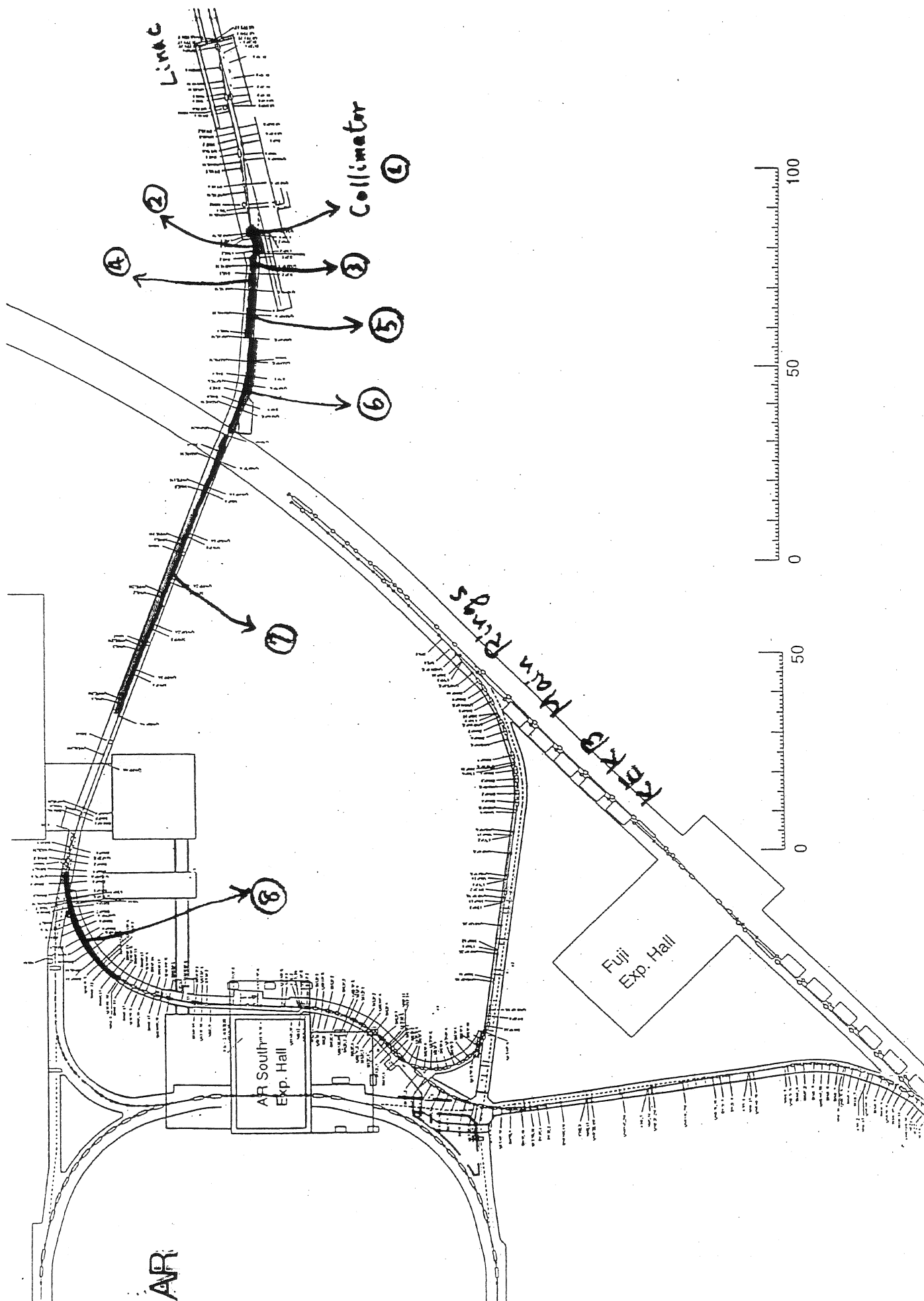
## ■ 事故によるビーム損失

## ■ ビーム不安定性

## 定常状態でのビームロス



← This  
talk





## 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。

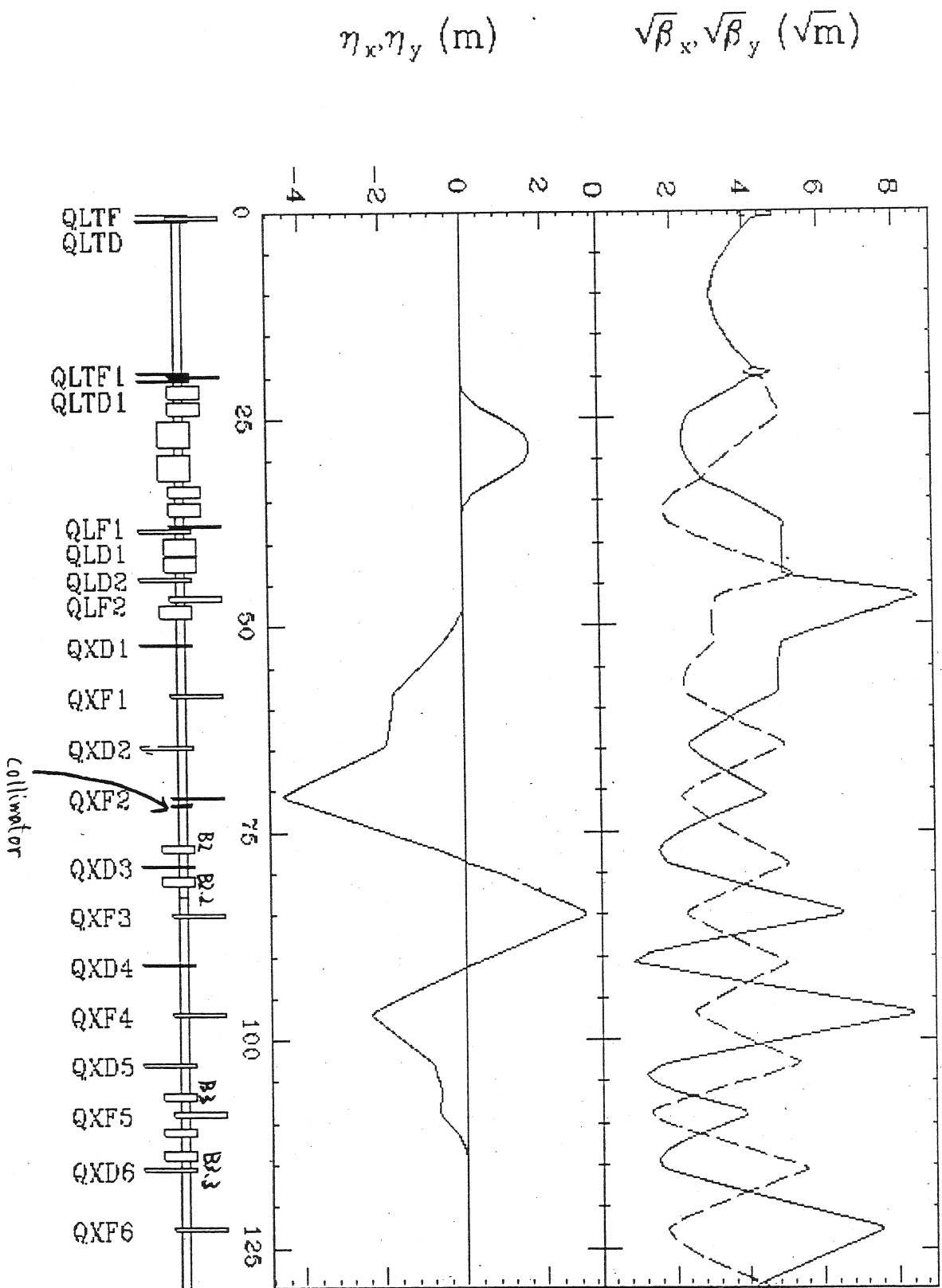
（３）ビームロスは、Linac Beam のエネルギー広がりによって由来する。このエネルギー広がりとして、シミュレーションのデータを用いる。

（４）Linac 終端〔第３スイッチヤードの最後〕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

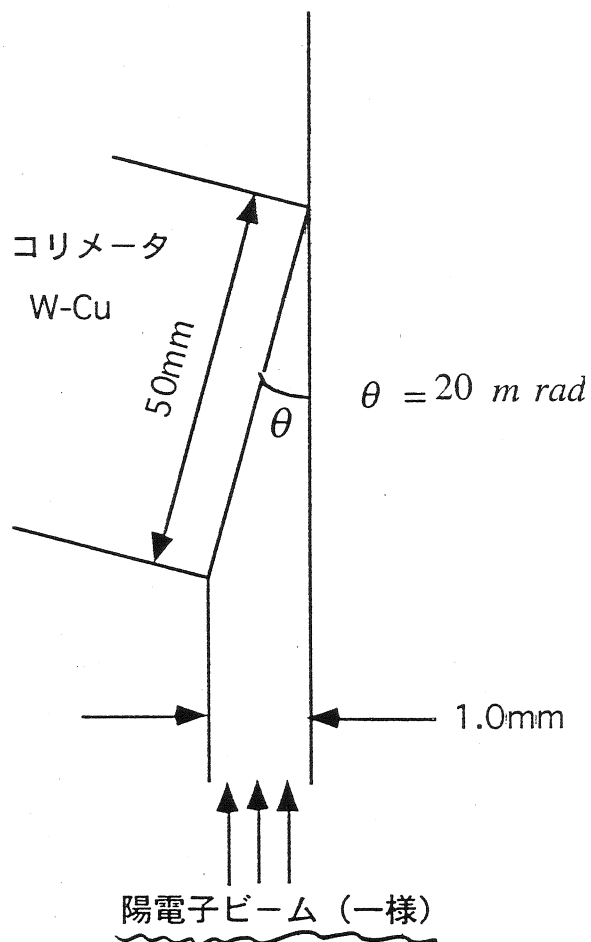
22:34:33 Saturday 01-Nov-97



## Linac からのビームの仕様

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

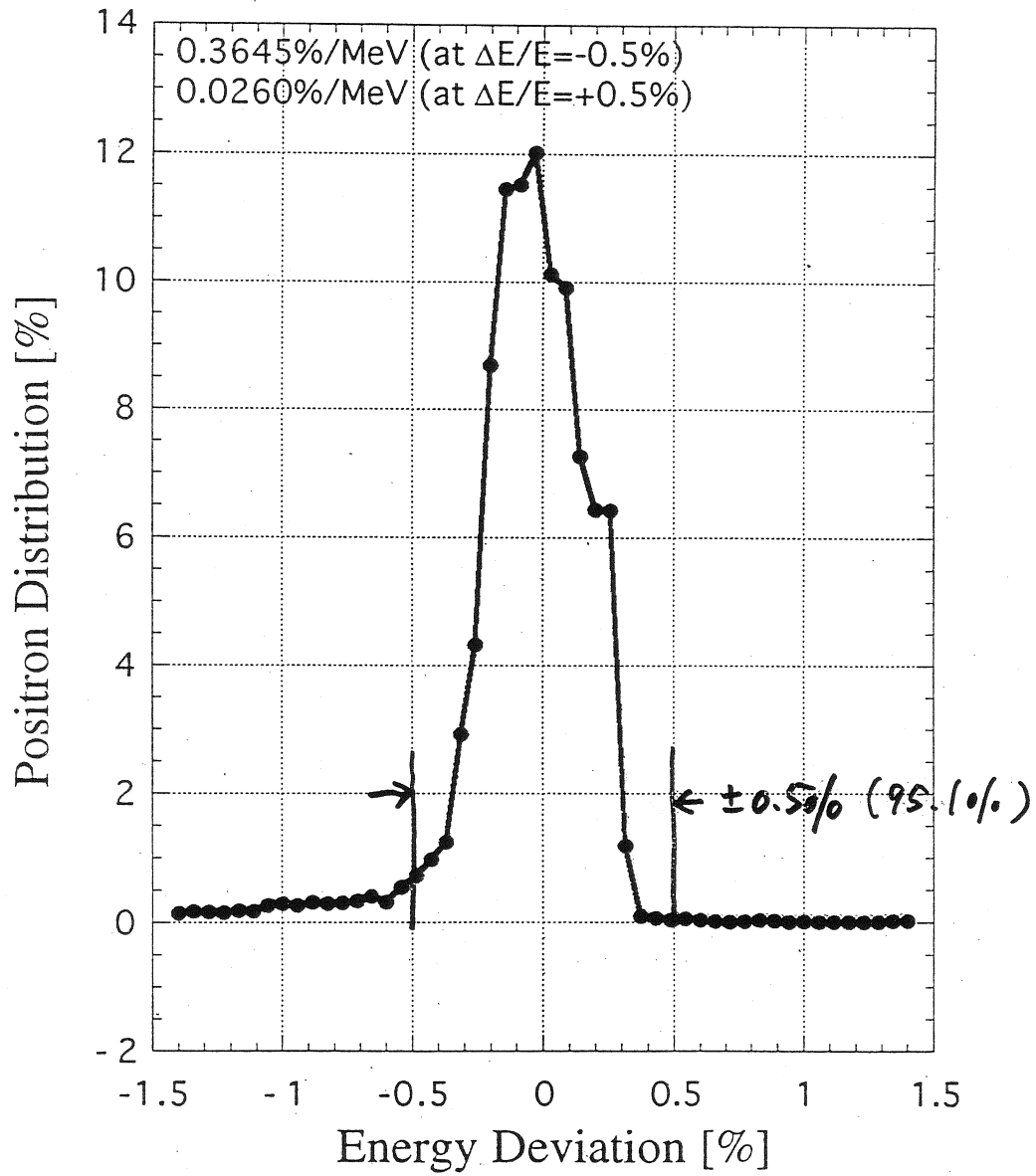




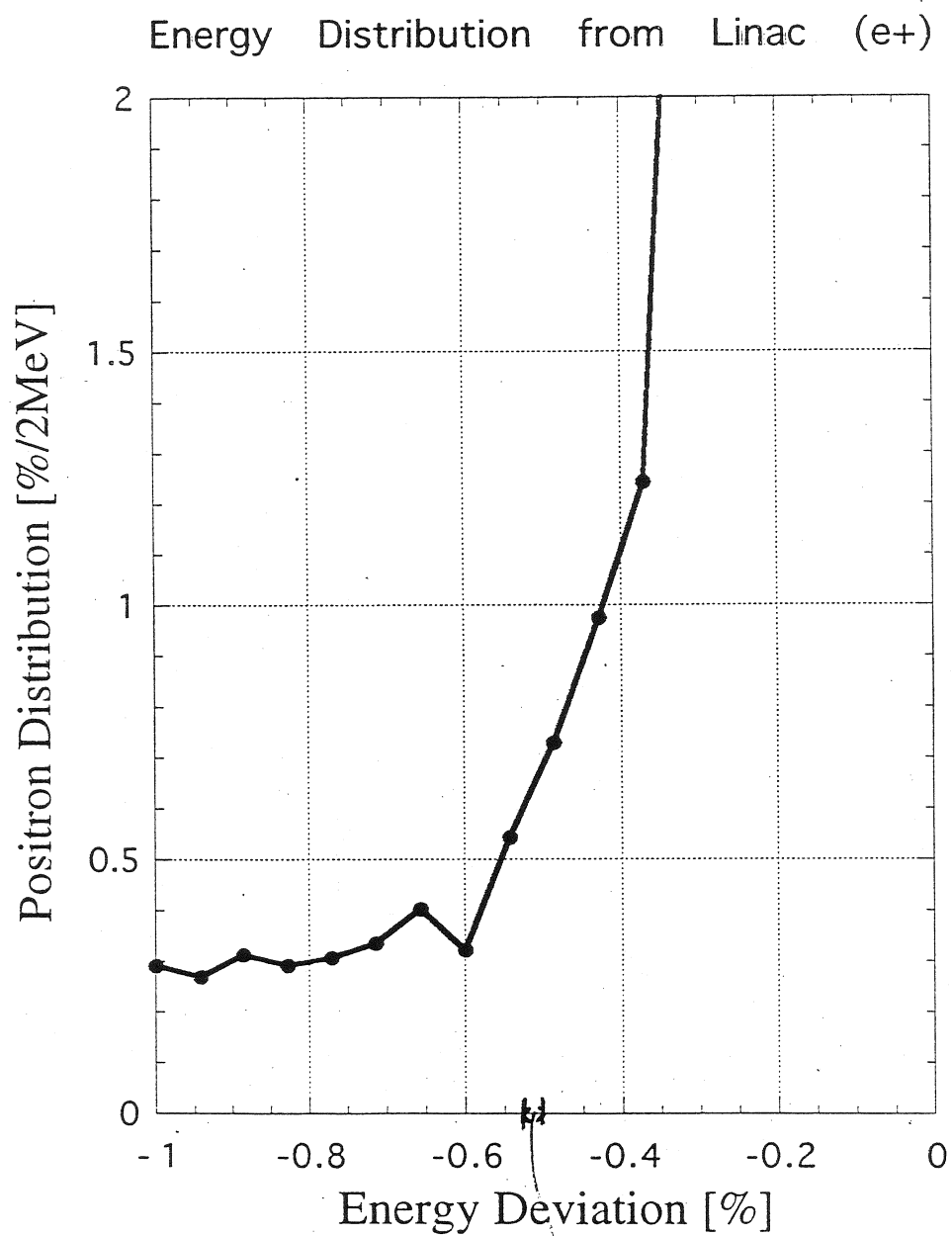
↑ ビーム全体の約 0.27%

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

# Energy Distribution from Linac (e+)



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



コリメータ 1mm 幅 ( $x \sim -4.13m$ )  
 $e^+$  全体の 0.25% 程度

図 1-2

## 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 が出力した粒子を SAD を用いてトラッキングして、BT ラインのどの場所で、どのぐ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  
Transmitted 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_,ienery_]:=Module[{},
x={};
yield=Table[0,{8}];
Do[ If[mat[istep,1] == 90, mat[istep,1]=5/180*3.14159265];
If[mat[istep,1] == 5, mat[istep,1]=1.5e-3];
If[mat[istep,3] == 0,Continue[]];
If[mat[istep,2] == 3500,dele=(mat[istep,2]+mat[istep-1,2])/2-3500)/3500,dele=(mat[istep,2]-3500)/3500];
delp=mat[istep,1]*Cos[2*Pi/idiv*(inum-1)];
delyp=mat[istep,1]*Sin[2*Pi/idiv*(inum-1)];
pari=(-1)^(ienery+1)/2);
! input0={ {pari*120.6535e-3},{-pari*3.2766e-3+delp},{0},{delyp},{0},{-pari*0.5e-2+dele},{1}};
input0={ {pari*20.6535e-3},{-pari*3.2766e-3+delp},{0},{delyp},{0},{-pari*0.5e-2+dele},{1}};
data0=input0;
data={pos,data0};
! nturns=100;
r={};
!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,data],{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->"Particle Loss Tracking",FrameLabel->{"[m]","x [m]",""" """}];
AppendTo[x,{mat[istep,1],mat[istep,2],mat[istep,3],dele,ilost}];
If[ilost < LINE["POSITION", "LCOL.2"]+3, yield[1]=yield[1]+mat[istep,3]/3500*mat[istep,3];
If[ilost > LINE["POSITION", "LCOL.2"]+2 && ilost < LINE["POSITION", "B2"]+1, yield[2]=yield[2]+mat[istep,2]/3500*mat[istep,3];
If[ilost > LINE["POSITION", "B2"] && ilost < LINE["POSITION", "B2.2"]+1, yield[3]=yield[3]+mat[istep,2]/3500*mat[istep,3];
If[ilost > LINE["POSITION", "B2.2"] && ilost < LINE["POSITION", "QXF3"]+1, yield[4]=yield[4]+mat[istep,2]/3500*mat[istep,3];

```

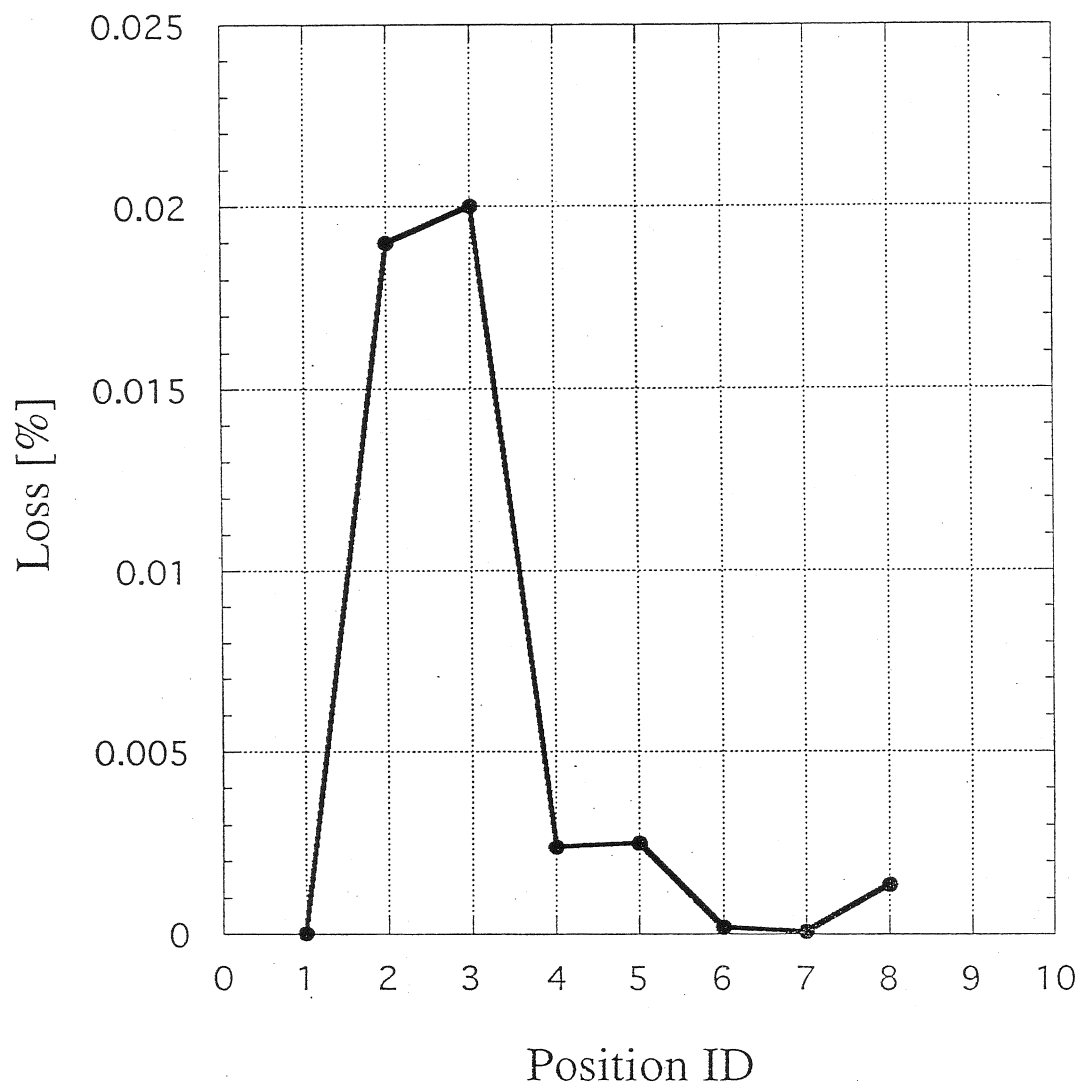
```

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","BH1AH.1"], yield[7]=yield[7]+mat[istep,2]/3500*mat[istep,3]];
If[ilost > LINE["POSITION","BH1AH.1"]-1, yield[8]=yield[8]+mat[istep,2]/3500*mat[istep,3]],
! {istep,1,804}
{istep,1,itrac}
];
];
yyy=Table[0,{8}];
iangmax=8;
!
Do[TrackBTLLine[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



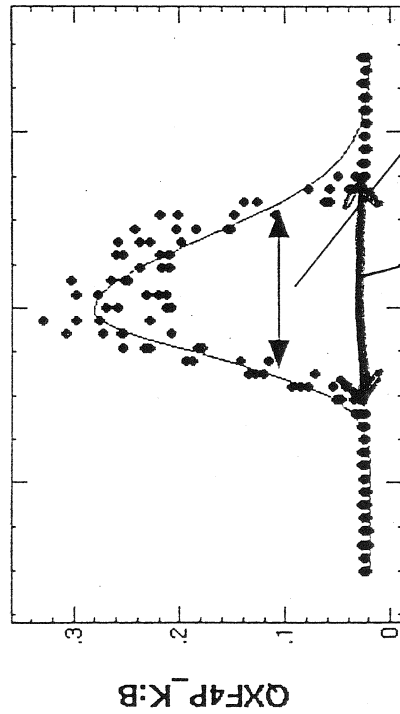
ECS ON

ECS OFF

File Edit Window

$a = .26193 \pm .00534$   $b = 3.49967 \pm 3.63E-4$   $c = .01866 \pm .00273$   
 $asym = .24196 \pm .04459$   $sigma = .00667 \pm 1.78E-4$   
 ChiSquare = .11361 Goodness = .48621

mons\_06\_13\_1998\_18:12:11.dat



Function =  $(c + (a \cdot \exp(-(x - (x + (-b))^2)) \cdot (2 \cdot \text{sign}(a) \cdot (1 + (asym \cdot \text{sign}(x + (-b)))^2))^{1/2}))$

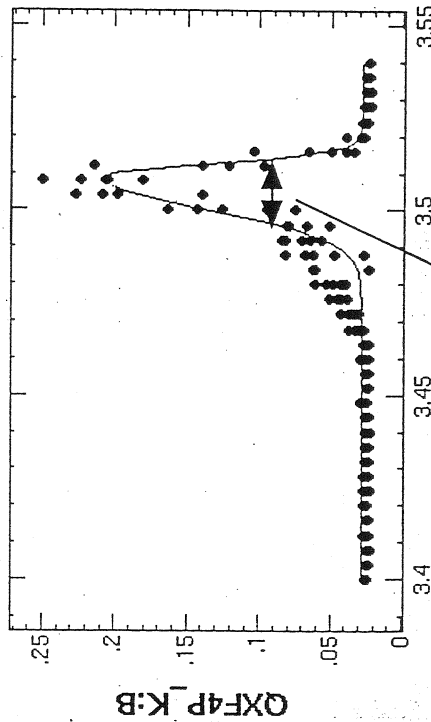
Main Application Area

$\pm 0.4\%$

File Edit Window

$a = .18005 \pm .00562$   $b = 3.50871 \pm 5.35E-4$   $c = .02801 \pm .00136$   
 $asym = -.39664 \pm .07126$   $sigma = .00613 \pm 2.26E-4$   
 ChiSquare = .04036 Goodness = .48536

mons\_06\_13\_1998\_18:37:28.dat



KEKB Momentum Acceptance

Main Application Area

$\pm 0.25\%$



表 10: 陽電子入射時の BT 地上部空間線量率

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 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
				コンクリ	土	
B2-B2.2	3	0.028	810	50	640	$1.8 \times 10^{-5}$ ( $1.6 \times 10^{-5}$ , $2.2 \times 10^{-6}$ )
B2.2-QXF3	4	0.0024	650	50	480	$2.1 \times 10^{-5}$ ( $1.8 \times 10^{-5}$ , $2.5 \times 10^{-6}$ )
QXF3-QXF4	5	0.0025	373	40	213	$3.6 \times 10^{-3}$ ( $3.0 \times 10^{-3}$ , $5.6 \times 10^{-4}$ )
QXF4-QXF6	6	0.00019	270	100	50	$2.3 \times 10^{-3}$ ( $1.6 \times 10^{-3}$ , $7.3 \times 10^{-4}$ )
QXF6-QWFH.3	7	$8.5 \times 10^{-5}$	270	60	90	$1.6 \times 10^{-3}$ ( $9.8 \times 10^{-4}$ , $6.0 \times 10^{-4}$ )
QAD3-QAF8	S1	0.00137	400	60	220	$9.7 \times 10^{-4}$ ( $8.4 \times 10^{-4}$ , $1.3 \times 10^{-4}$ )

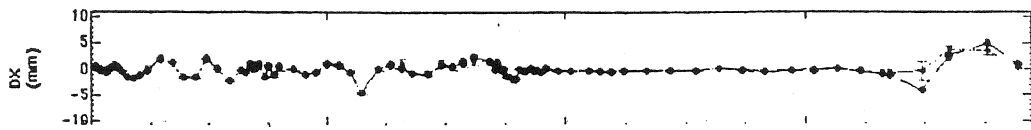
\*1: 括弧内の数値は線量率の内訳を中性子、 $\gamma$  線の順に記載。

File Edit Measurement Correction Steering Orbit Window

06/14/1998 20:44:11

measuring at intervals of 1 sec

measured 06/14/1998 20:44:09

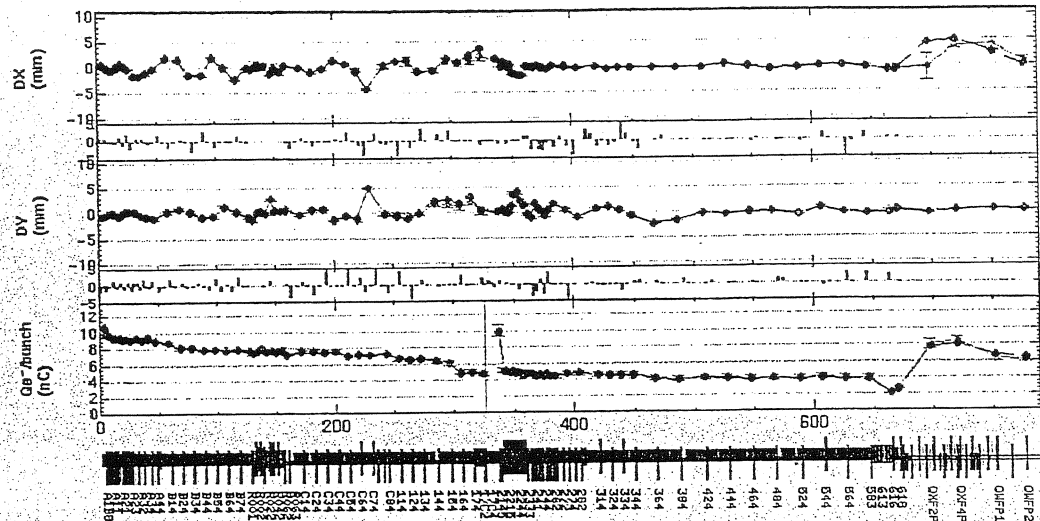


File Edit Measurement Correction Steering Orbit Window

06/14/1998 20:44:54

measuring at intervals of 1 sec

measured 06/14/1998 20:44:54



mode e' v s'

range DX Auto Fix (10) DY Auto Fix (10) Q Auto Fix (13) e' v s' 10

a b r c 1 2 3 4 5 6 pl p2

SX341

21:00  
21:01Beam wait (1-5-027-)  
Data save data so. main saved /@BT end  
0.6 nC x 0.

21:02

PT 入射開始 (tkBeamSwitch / start)

21:37

PT 入射終了.

21:38

tkBeam BT 再設定

data so. main load, tkBeam Switch, ok 37 (= 0N),

2

21:45

Beam ON

21:46

Beam wait / SLIT 閉 (標準値)

21:47

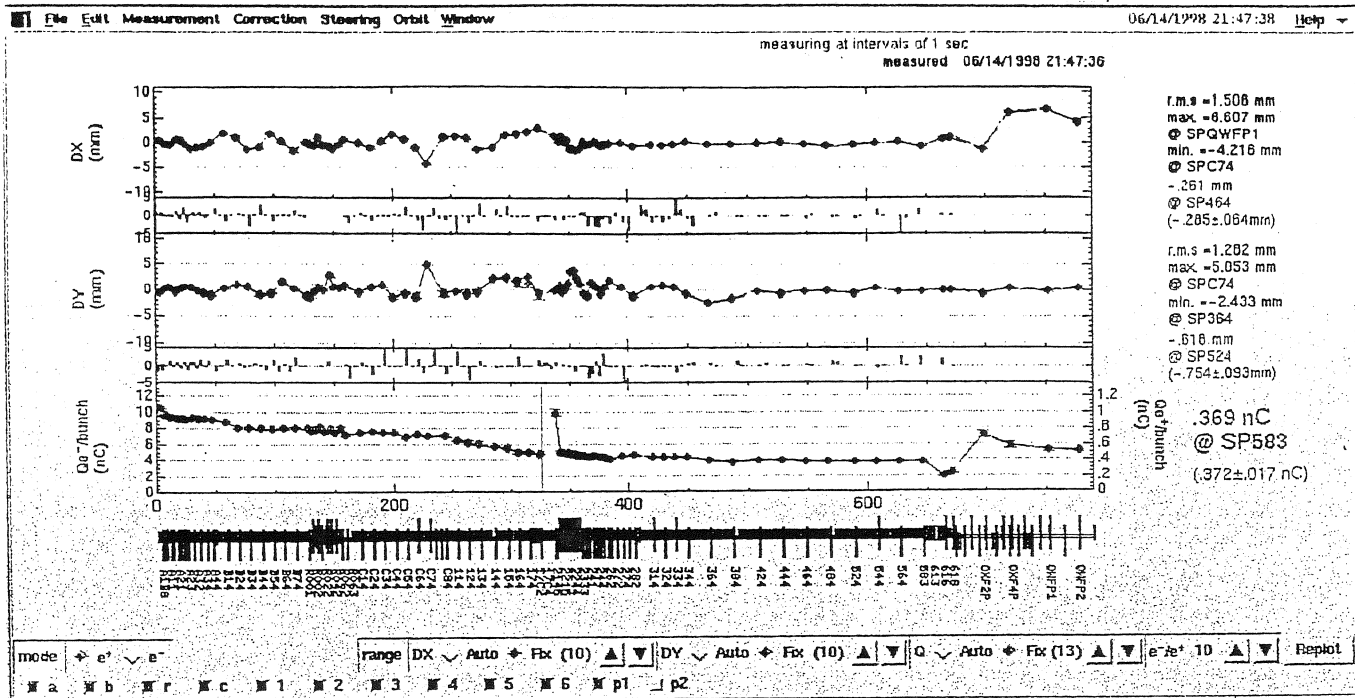
Beam ON

10 分間口入測定

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	0.7	0.1

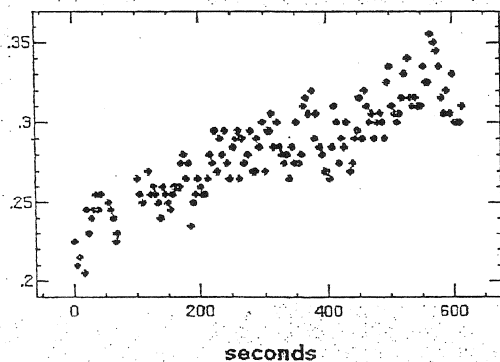
PF入射直後再現性はよい。

152



2mm ON (High Gain)

mons\_06\_14\_1998\_21:49:56.dat

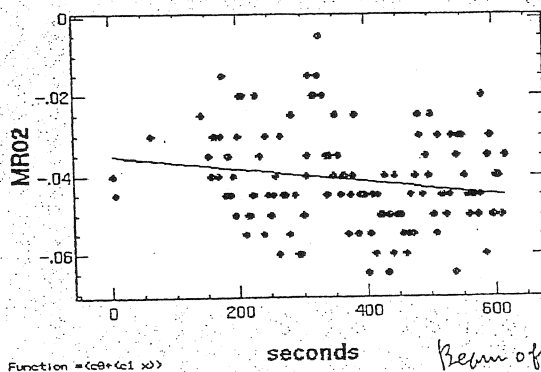


ChiSquare = .81745 Goodness = .48283

c1 = -1.6E-5 +/- 7.55E-6

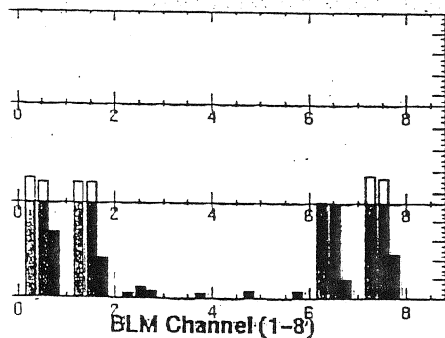
c8 = -.83491 +/- .08381

mons\_06\_14\_1998\_22:01:32.dat



06/14/1998 22:00:40 Help

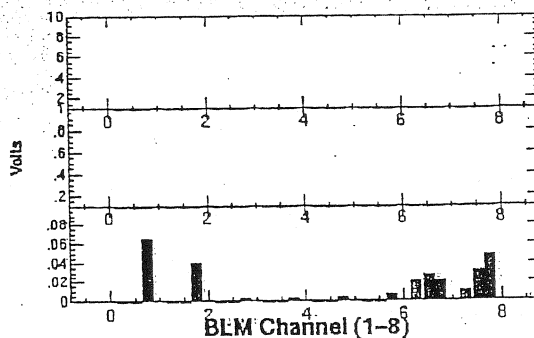
BT Beam Loss Monitors  
Current[5-min|1-hr Ave.



2:MR03 3:MR05 4:MR06 5:MR07 6:MR08 7:MR09 8:MR10

File Edit Window 06/14/1998 22:11:42 Help

BT Beam Loss Monitors  
Current[5-min|1-hr Ave.



Channels: 1:MR02 2:MR03 3:MR05 4:MR06 5:MR07 6:MR08 7:MR09 8:MR10

Main Application Area

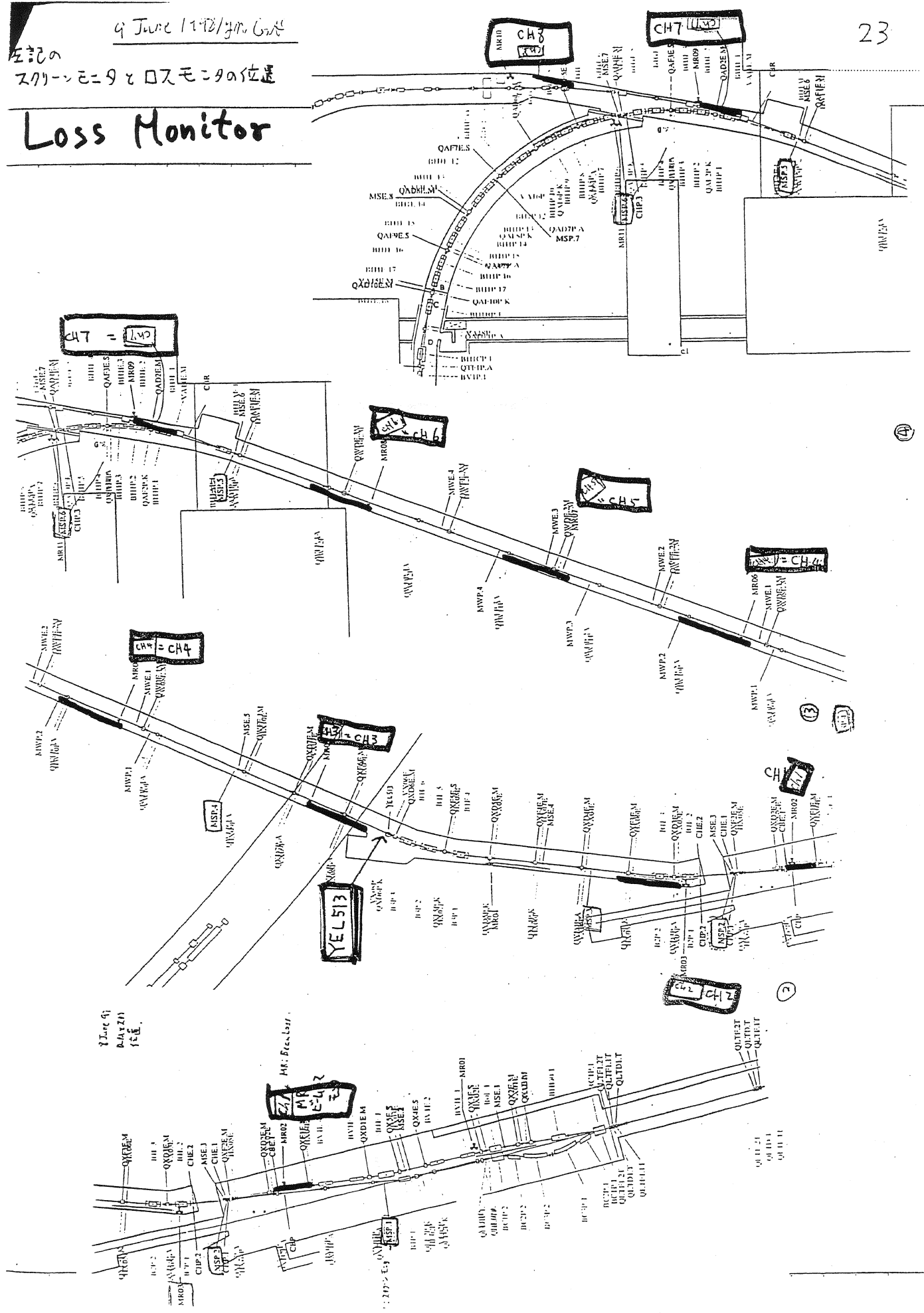
左記の

スクリーンモニタとロスモニタの位置

# Loss Monitor

9 June 1978/gmc Galt

23



# 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

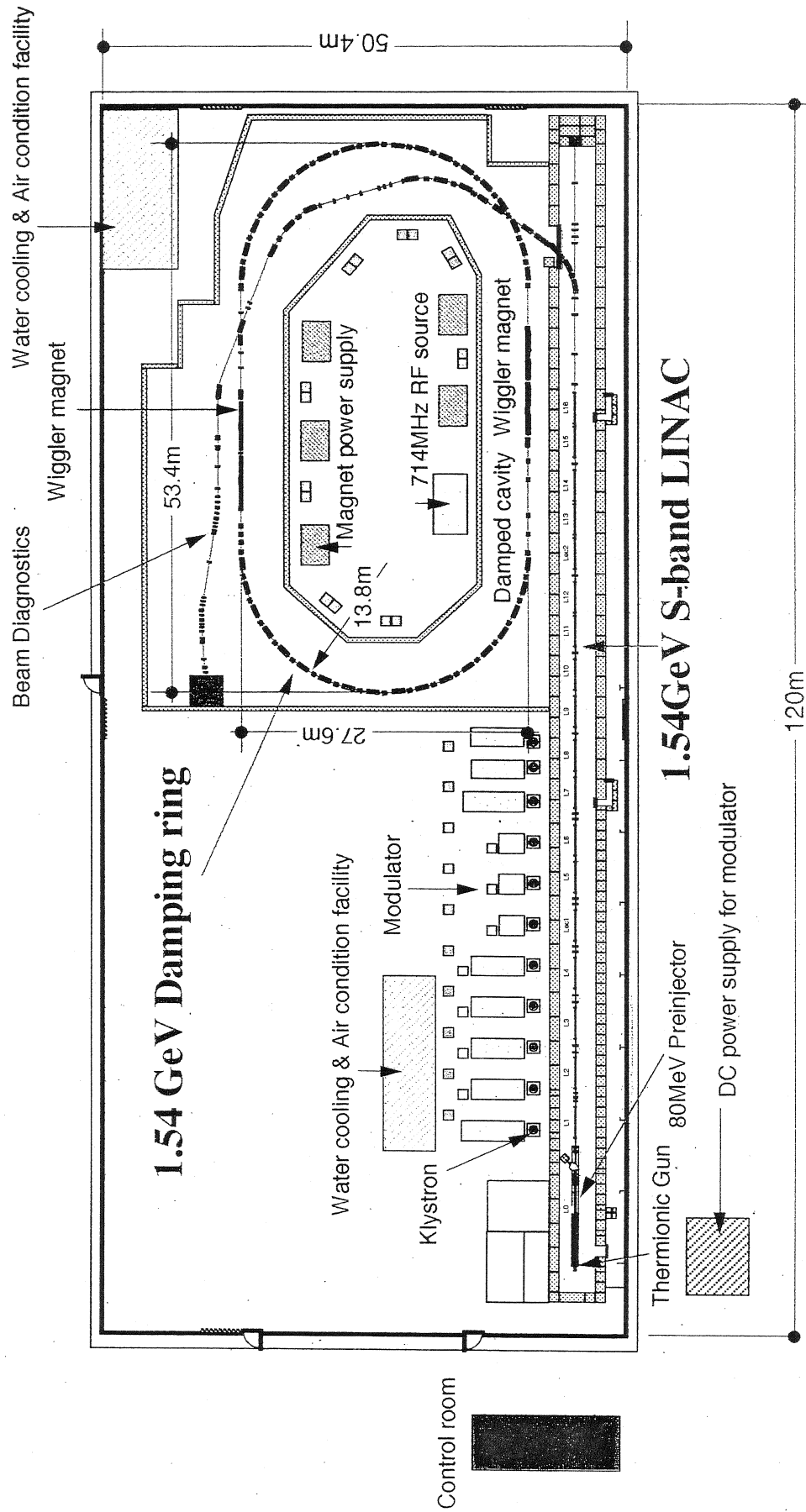
- Test and correction of optics model

- Emittance calc. from measured data

- Simulations . . . . .

- . . . . .

# Accelerator Test Facility for JLC



ATF consists of :

1.54 GeV S-band Linac,

Damping Ring

Extraction line

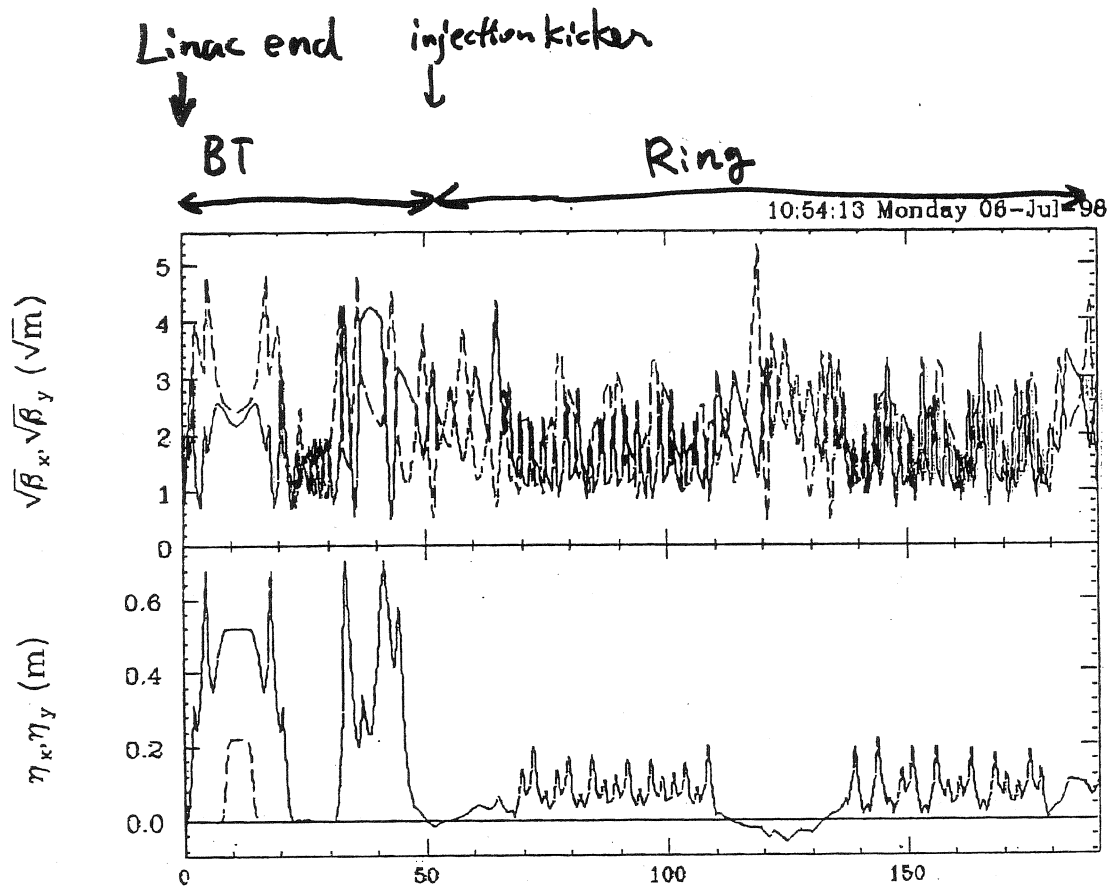
First target : Confirm the low emittance with single bunch and low repetition rate.

$$\epsilon_x = 1 \times 10^{-9} \text{ radm.}$$

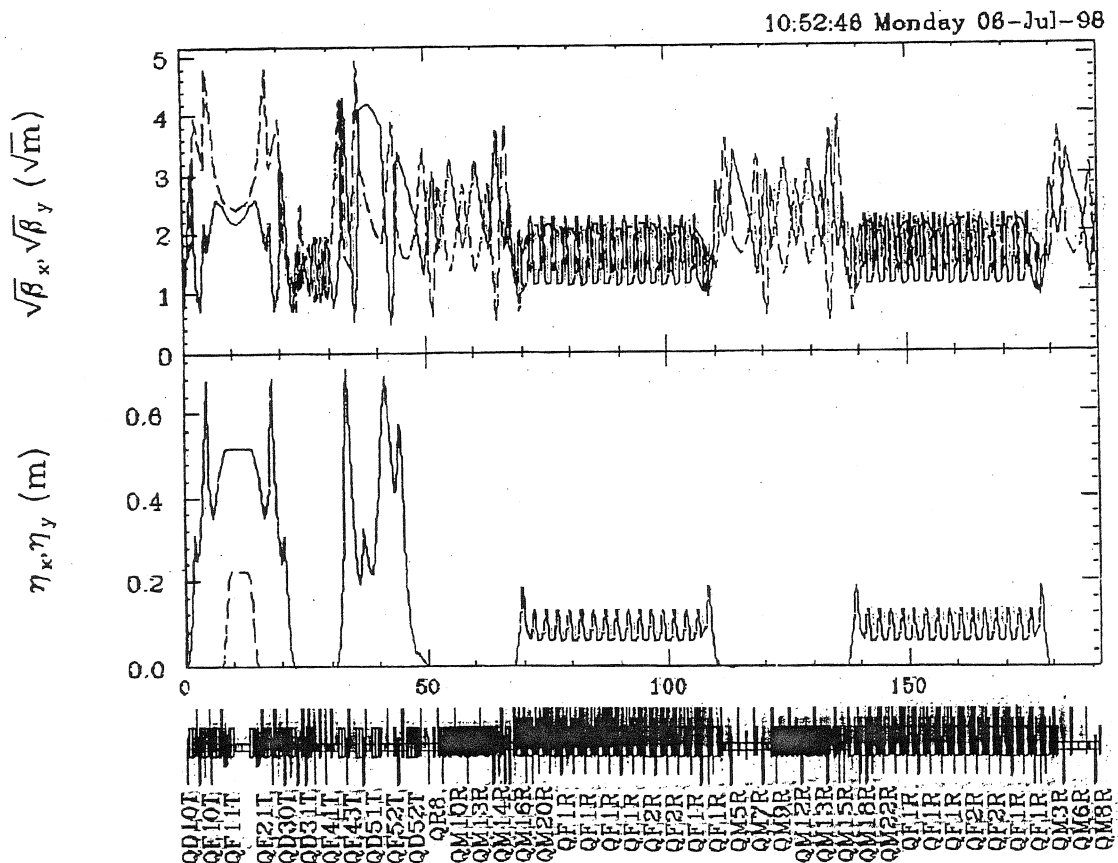
$$\epsilon_y = 1 \times 10^{-11} \text{ radm.}$$

Typical Operation Condition

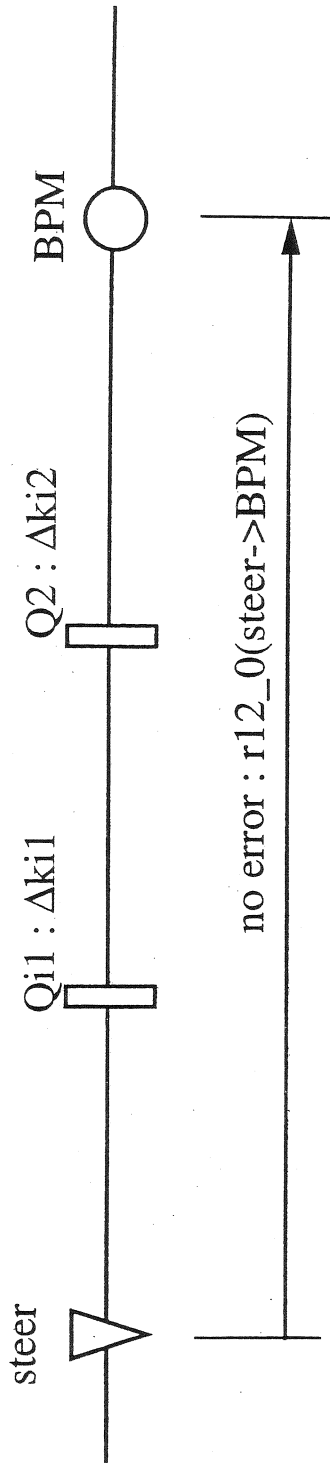
	Typical condition	Design
Beam Energy	1.29 GeV	1.54 GeV
Repetition Rate	0.78 Hz	25 Hz
Bunch trains	1	4
Bunch/train	1	20
Circulating time	640 msec	160 msec
Wiggler magnets	Off	On
RF voltage	~300 kV	~500 kV
Bunch Population	$6 \sim 8 \times 10^9$ e/bunch	$2 \times 10^{10}$ e/bunch



Injection Matching. Q. steers, septum



## Model correction from r12 measurement



Error of quads :  $\Delta k_1$  and  $\Delta k_2$  (up to 1st order)

$r12(\text{steer} \rightarrow \text{BPM}) - r12\_0(\text{steer} \rightarrow \text{BPM})$

$+ r12(\text{steer} \rightarrow Q_{i1}) * r12(Q_{i1} \rightarrow \text{BPM}) * \Delta k_{i1}$

$+ r12(\text{steer} \rightarrow Q_{i2}) * r12(Q_{i2} \rightarrow \text{BPM}) * \Delta k_{i2}$

N pairs of steer - BPM ( $j=1 \sim N$ )

M quads ( $i=1 \sim M$ )

----->  $R = MK$

vector  $R_j = r12$  measured - r12 model

matrix  $M_{ij} = r12(\text{steer} \rightarrow Q_{ij}) * r12(Q_{ij} \rightarrow \text{BPM}_j)$

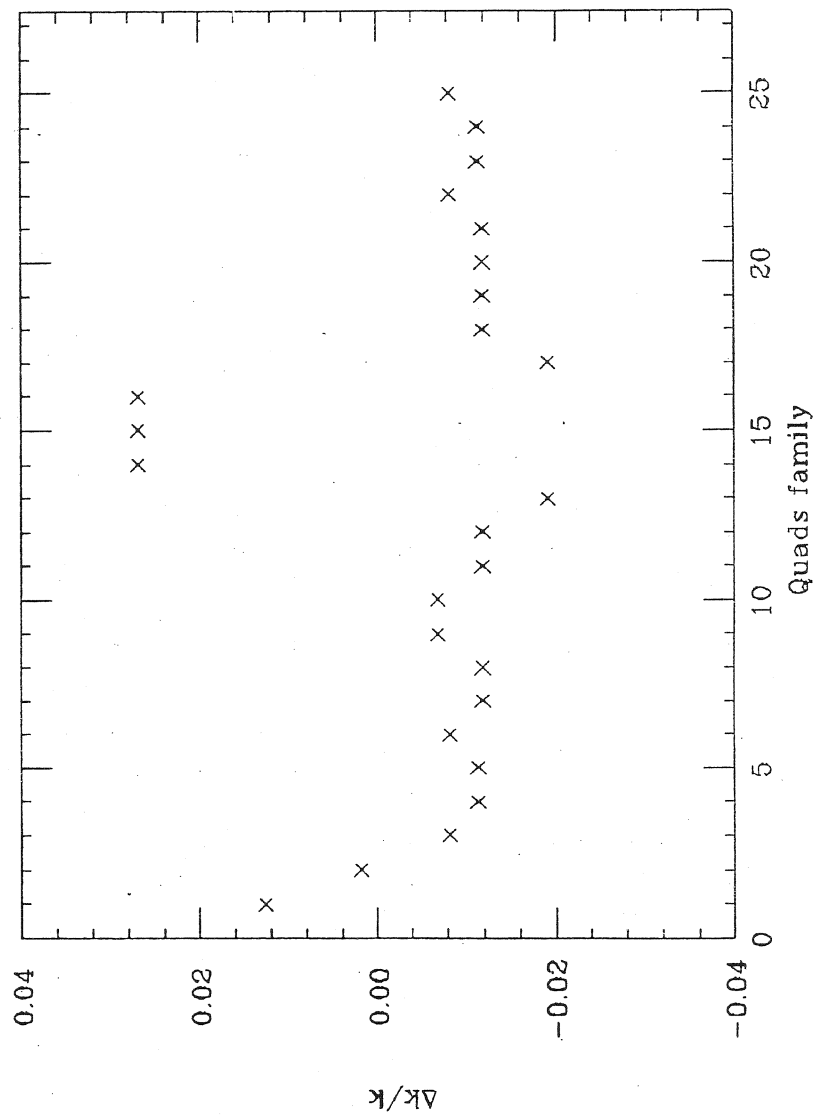
vector  $K_i = \Delta k_i$

----> Linear fitting ---->  $\Delta k$

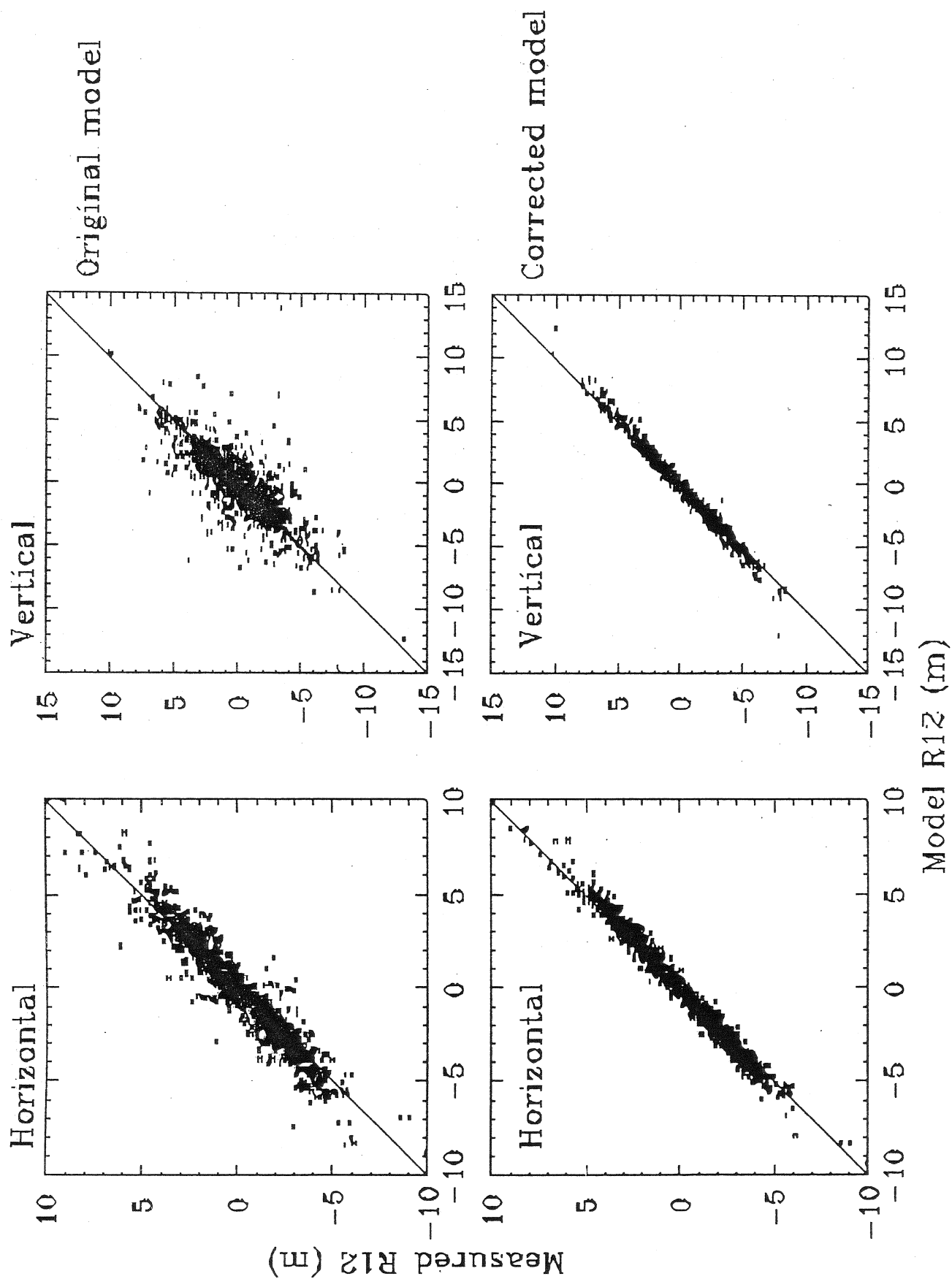
## Optics Test and Correction

Errors of Quads' Strength are fitted from single pass orbit response to dipole correctors.

Correction factors for Quads families from the fitting.



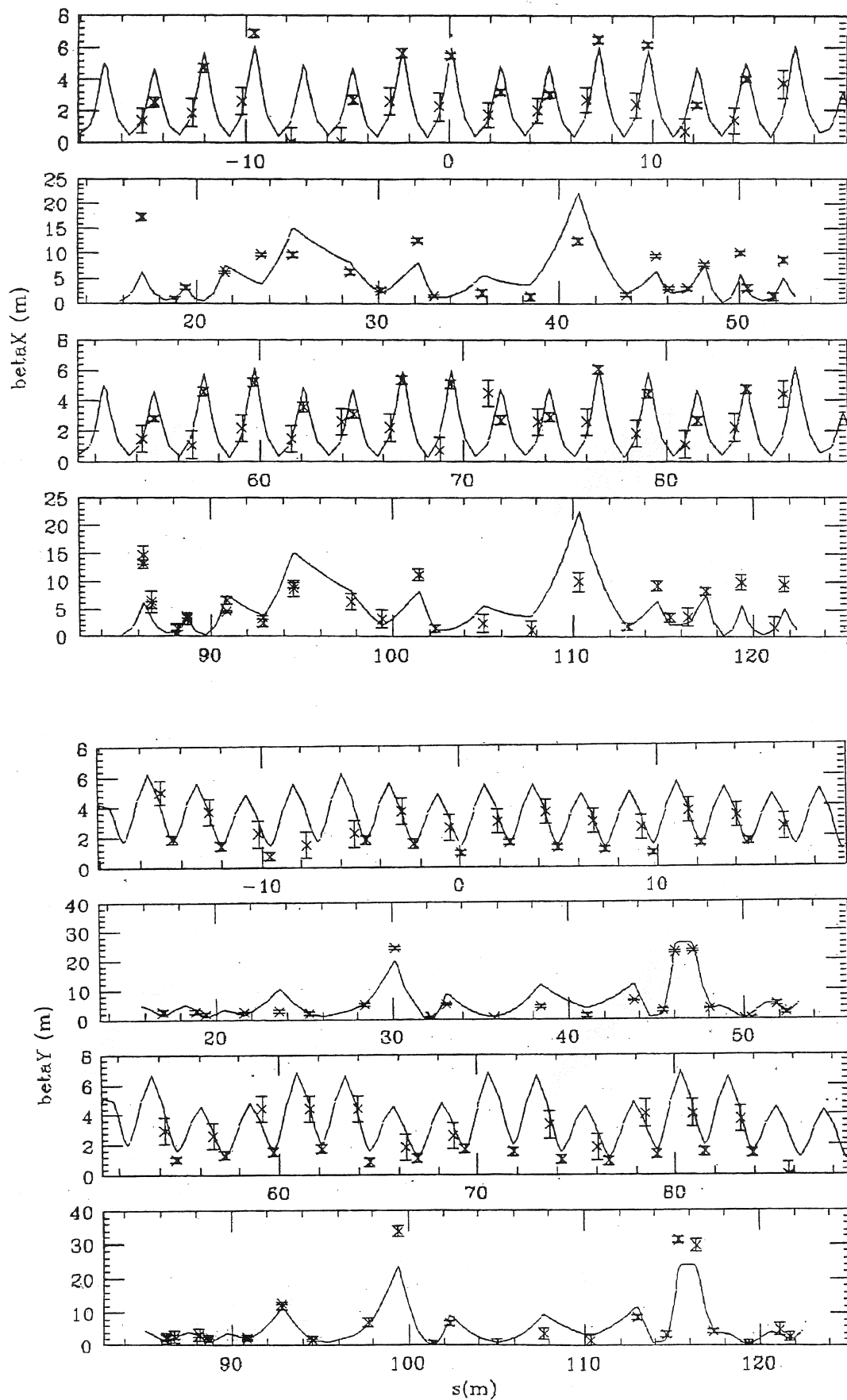
The Optics model improved after the correction.





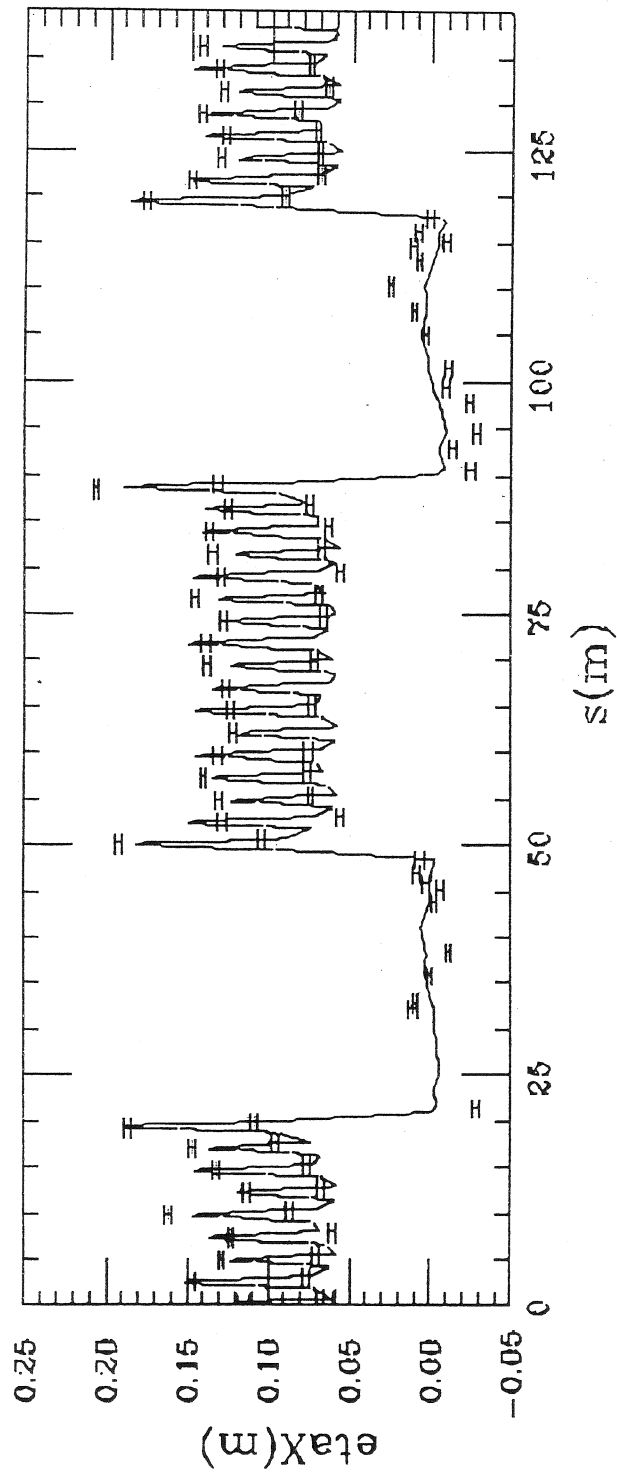
# Beta function measured at quads

From tune measurement changing quads. ( $\beta = 4\pi \Delta\nu / \Delta k$ )



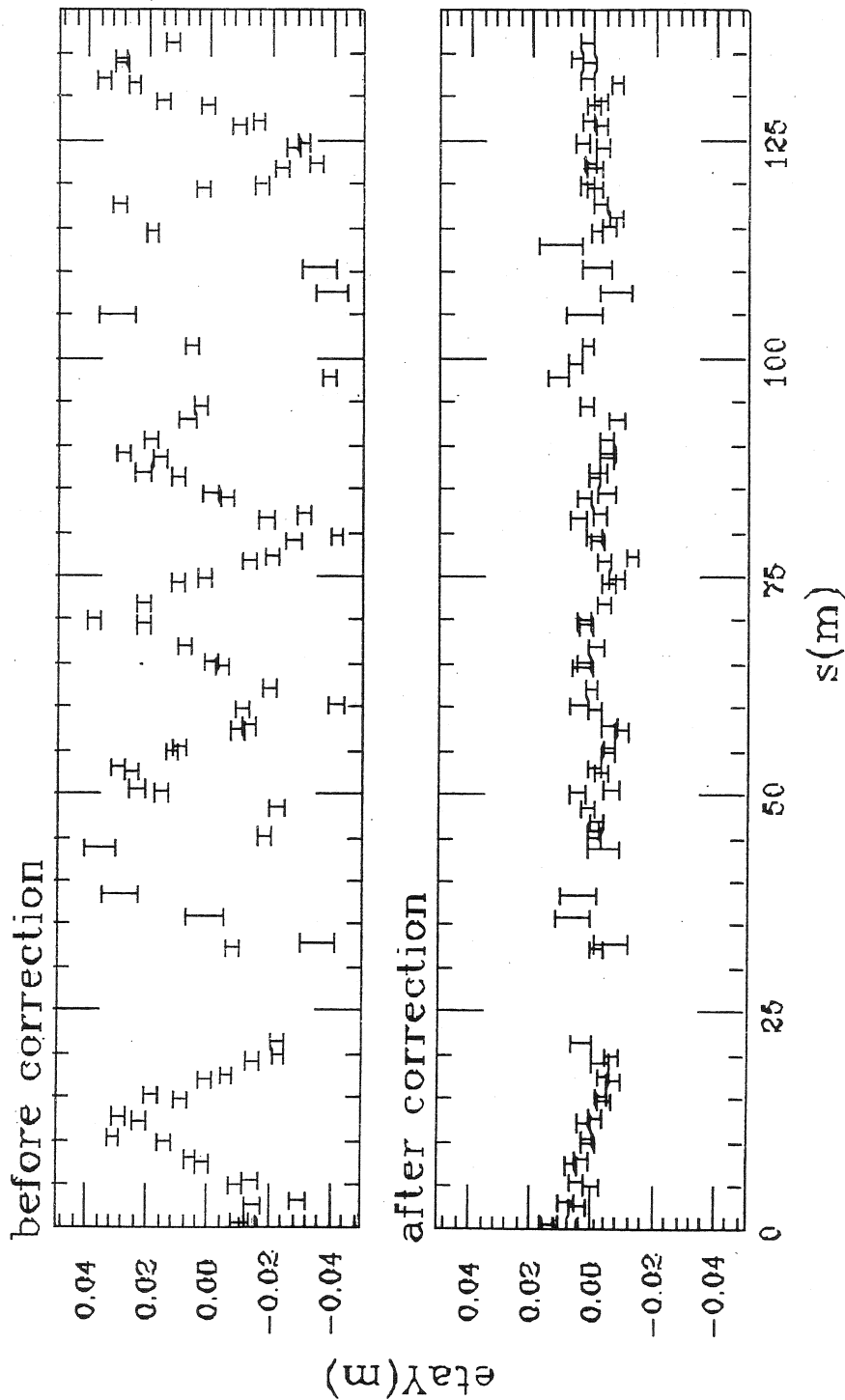
## Horizontal dispersion.

Measured (plots) and model calculation (line).



# Measured vertical dispersion.

Before and After dispersion Correction



Abs

BPM  $\eta_y$   $\Delta\eta_y$

FitFunction:=Map[(~~Set~~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

$$\text{Emittance : } \varepsilon = \left( \sigma^2 - (\eta \delta_E)^2 \right) / \beta$$

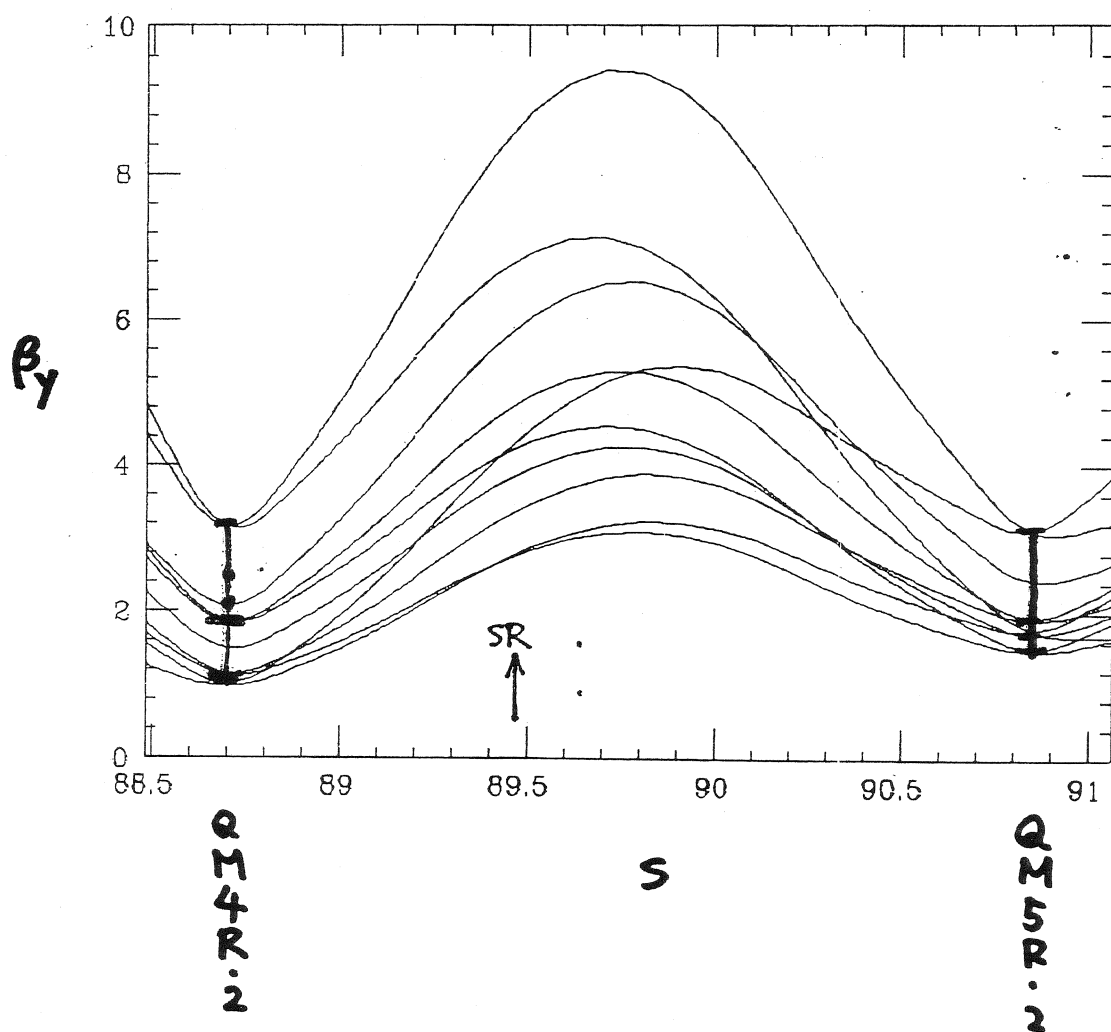
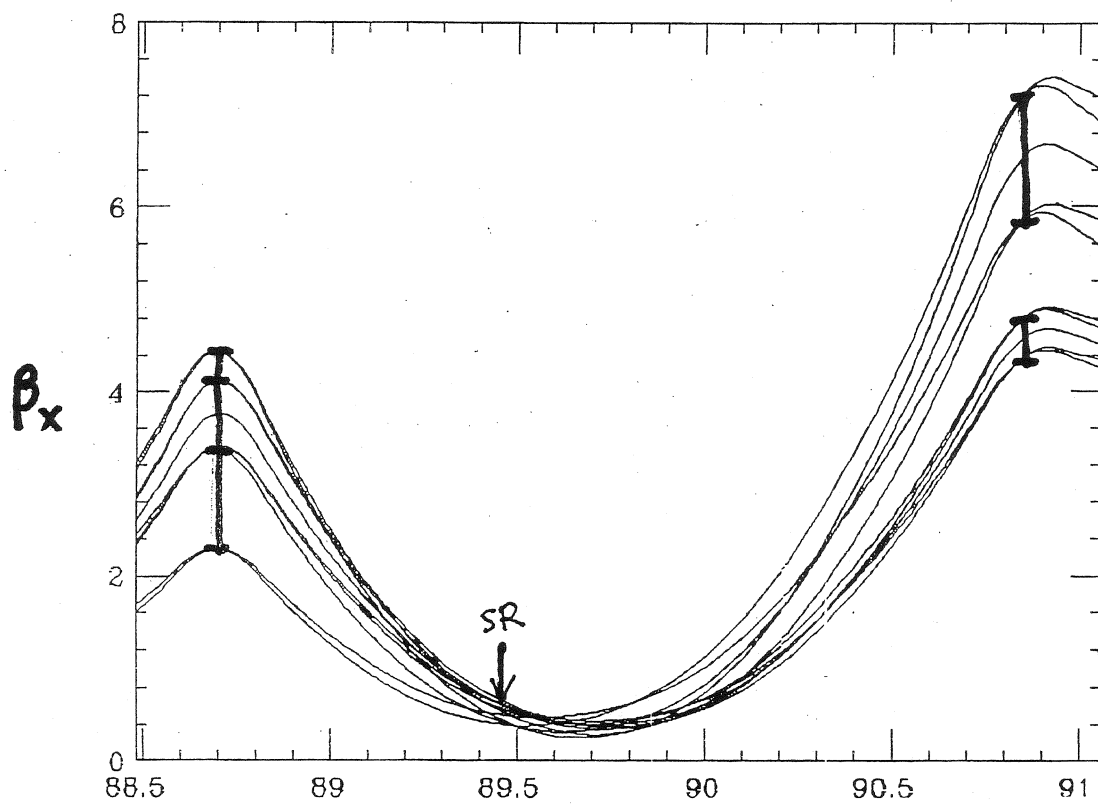
$\sigma$  : beam size from SR- Interferometer.

$\delta_E$  : energy spread from beam size in extraction line (at big  $\eta$ ).

$\eta$  : dispersion at SR source. Calc. from  $\eta$  at BPMs.

$\beta$  : beta at SR source. Calc. from  $\beta$  at Quads.

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &\sim 1 \times 10^{-9}, \quad \beta_x \sim 0.3 \text{ m} \rightarrow \sqrt{\beta_x \varepsilon_x} \sim 17 \mu\text{m} \\ \varepsilon_y &\sim 1 \times 10^{-11}, \quad \beta_y \sim 3 \text{ m} \rightarrow \sqrt{\beta_y \varepsilon_y} \sim \frac{0}{5} \mu\text{m} \end{aligned}$$

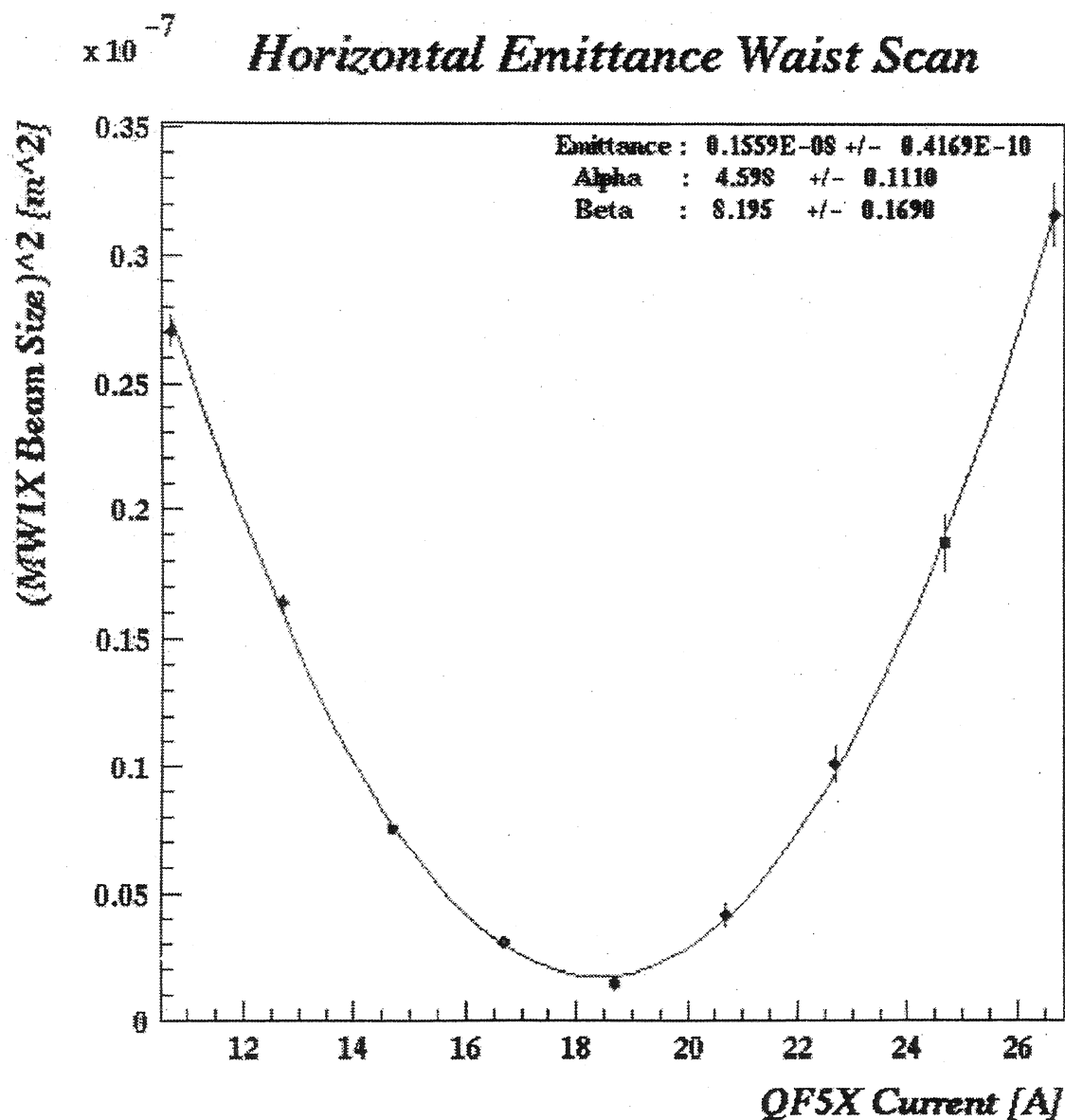


# Emittance of Extracted beam

## Beam size : Using Wire Scanners

2 methods for fitting emittance (and twiss parameters)

1. Changing Quad upstream of monitor.



## Evaluate emittance from beam sizes

Minimize  $\chi^2 = \sum_i (\sigma_i - \sqrt{\beta_i \varepsilon})^2 / \Delta_i^2$

$\sigma_i$  : measured beam size  $(\sqrt{Size^2 - (\gamma\delta)^2})$

$\Delta_i$  : error of  $\sigma_i$

$\beta_i$  : beta function at i-th wire

Twiss parameter at reference point :  $\alpha_0, \beta_0$

$\beta_i = \beta_i(\alpha_0, \beta_0)$  -----> 3 parameters  $\chi^2(\varepsilon, \alpha_0, \beta_0)$

$\frac{\partial(\chi^2)}{\partial \varepsilon} = 0$  can be solved ----->  $\varepsilon = \varepsilon(\alpha_0, \beta_0)$

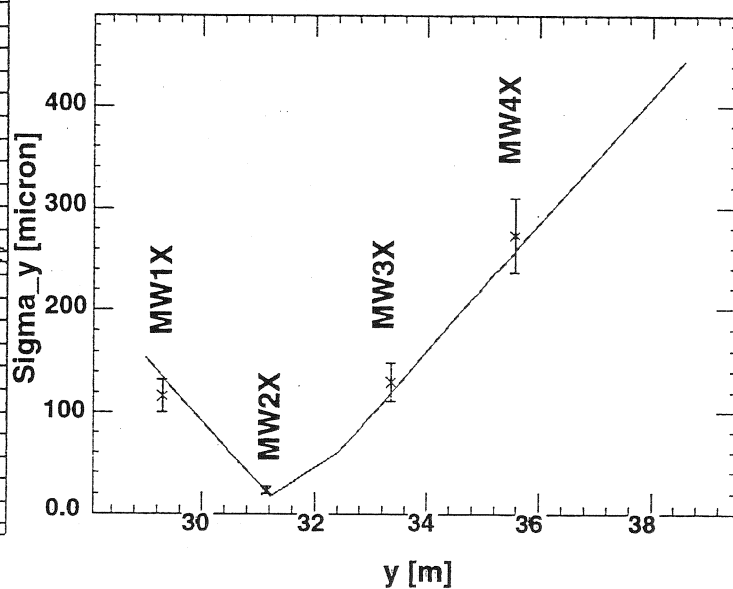
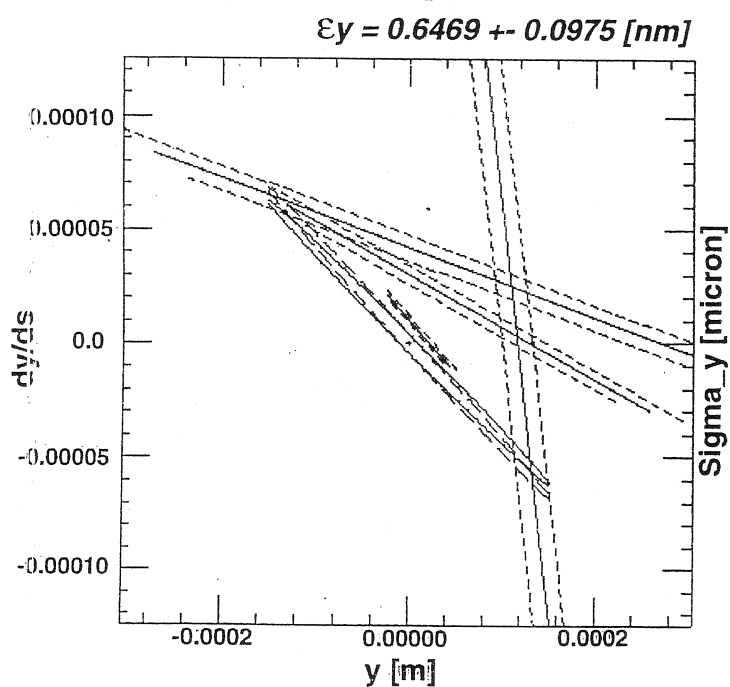
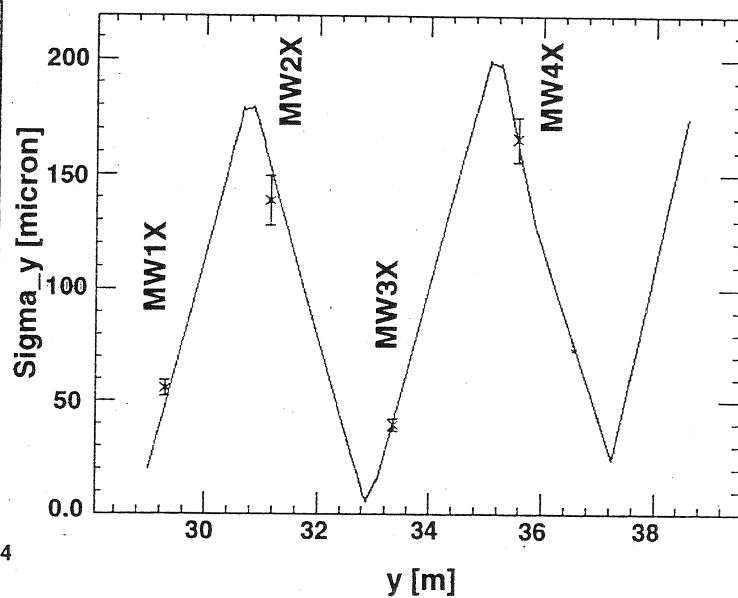
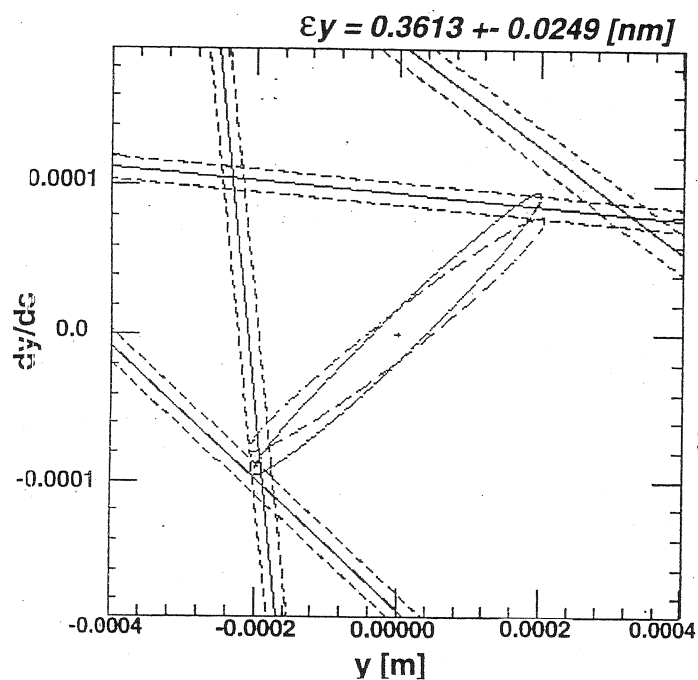
-----> 2 parameters  $\chi_{\min}^2(\alpha_0, \beta_0)$

Use matching :

FitFunction ----->  $(\sigma_i - \sqrt{\beta_i(\alpha_0, \beta_0)\varepsilon(\alpha_0, \beta_0)})^2 / \Delta_i^2$

Free  $\alpha_0, \beta_0$ ; 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	
$\sigma_z$ 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. Vc	$2.22 \times 10^{-3}$	$2.173 \times 10^{-3}$
Energy spread	Beam size at ext. line screen	$6.0 \pm 0.3 \times 10^{-4}$	$5.56 \times 10^{-4}$
$\epsilon_x$ measured in the ring extraction line ( $\times 10^{-9}$ radm)	SR interferometer Wire scanners	$0.9^{+1.8}_{-0.9}$ $1.3 \pm 0.2$	$1.08^{(1)} \sim 1.47^{(2)}$
$\epsilon_y$ 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

<sup>(1)</sup> Calculation without intra-beam scattering.

<sup>(2)</sup> With intra-beam scattering,  $N=8 \times 10^9$  and  $\epsilon_y = \epsilon_x \times 10^{-2}$ .

<sup>(3)</sup> Design value.

Detecion and Correction of Machine Errors by pi-bump  
( $\pi$ -bump によるマシンエラーの検出と補正)

S. Matsumoto



## $\pi$ -bump によるマシンエラー の検出と補正

KEK

木本 修二

- 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)

$\pi$ -bump とは ...

- 2つの steering 磁石 ( $ST1, ST2$ ) で作る local bump.  $ST1 \sim ST2$  間の betatron 位相が  $\pi$ .

$$x_{\text{bump}}(s) = \begin{cases} Z \beta^{1/2}(s) \sin \psi(s) & \text{bump region} \\ 0 & \text{outside} \end{cases}$$

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  $Z$  をかえること ( $ST1, ST2$  の kick 角をかえること) でできる。

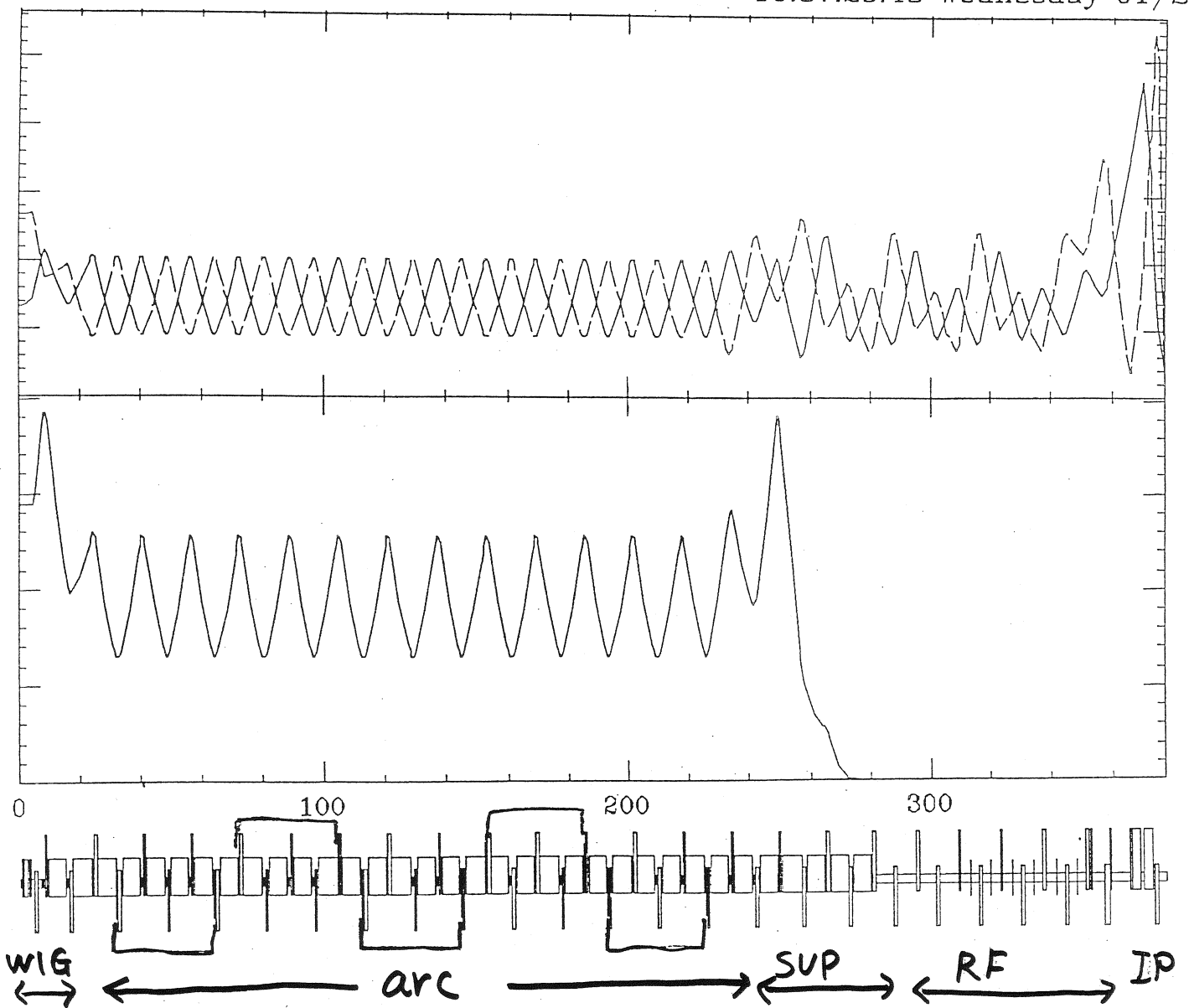
- bump region に focusing error ( $s=t$  にある局所的) があると bump の外に

$$x(\delta g, t | s)$$

$$= \delta g \frac{Z \beta^{1/4}(s)}{2 \sin \pi \nu} \{ w_c(t) \cos(\psi - \pi \nu) + w_s(t) \sin(\psi - \pi \nu) \} + O(\delta g^2)$$

なる orbit があらわれる。これを "leakage orbit" と呼ぶ。  
この軌道の振幅は  $w_c, w_s$  の関数で特徴づけられる。

10:37:29.48 Wednesday 01/20/



Fuji 衝突点、を12-24" octant

MR 高輝度放射光 Optics.  $90^{\circ}/90^{\circ}$  lattice (arc)

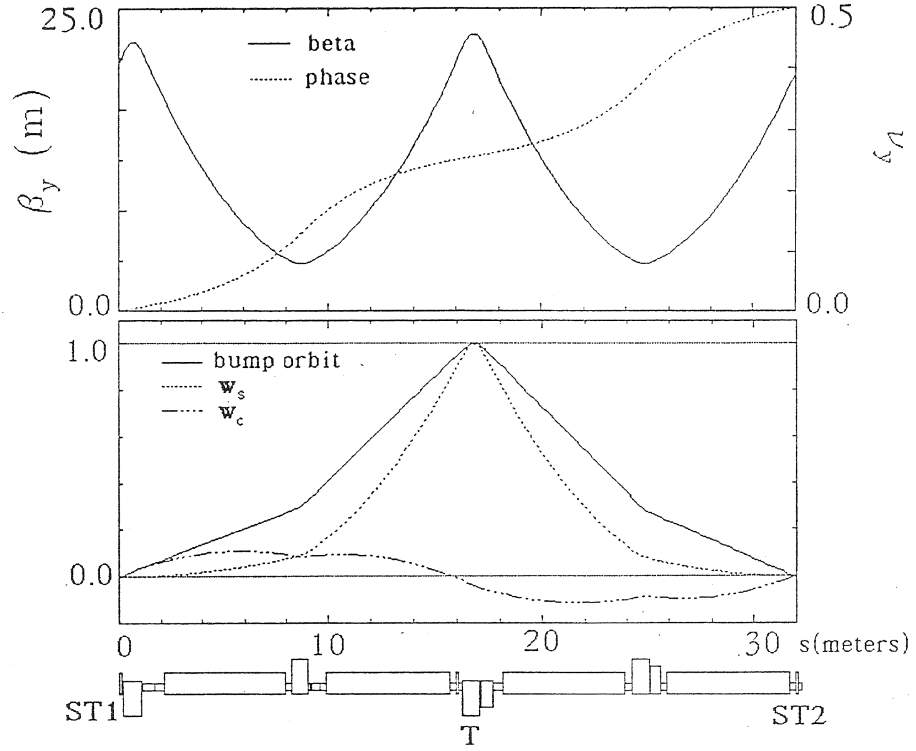


Figure 1: The vertical  $\pi$ -bump orbit in the arc of the TRISTAN MR. The lattice configuration (FODO) is given at the bottom. The phase advance of the unit cell is designed to be  $\pi/2$ . (Upper figure) The solid line is  $\beta^{1/2}$  and the dashed line is the phase advance  $\psi_{s1}(s)/2\pi$ . (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  $\pi$ .

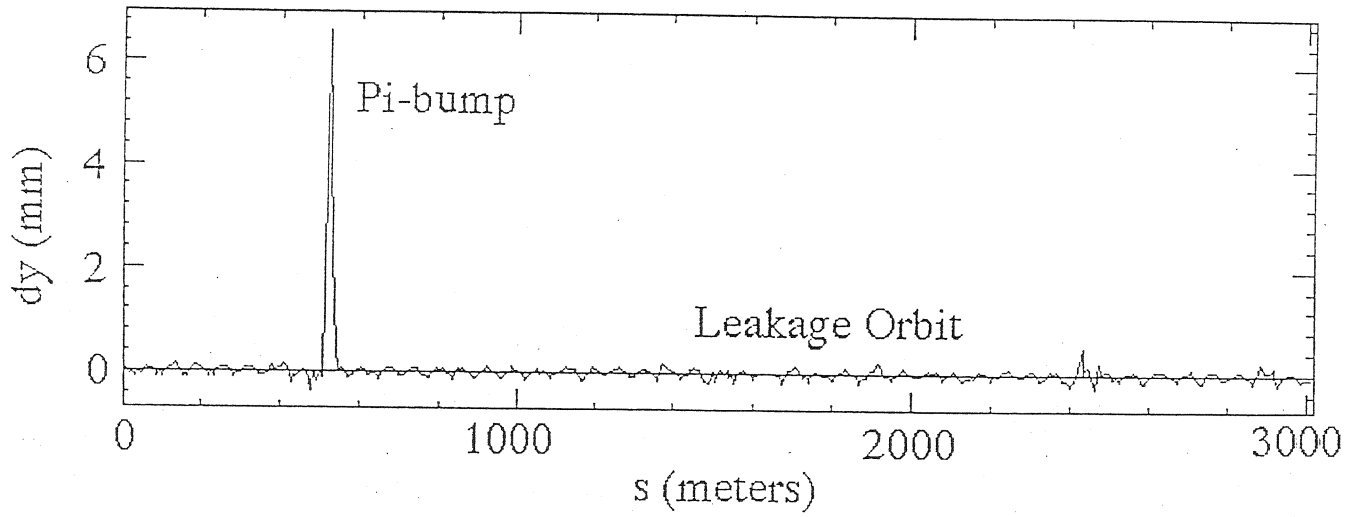


Figure 3: An example of the observed leakage orbit, obtained by subtracting *Orbit A* from *Orbit B*. In this example, we set a positive (upward) vertical bump. The bump height at the target is about 6 mm. The leakage orbit is clearly seen.



## Leakage orbit の解析

- Target Q のみ考慮。
- Target Q に 仮想ステアリングを付け SAD 軌道補正ルチンを使い 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 軌道と測定し、その差軌道と 仮想ステアリングで補正。

結果 55 samples ,  $std = 0.2 \mu rad$

測定中 全 Sext. off

⇒ Stored current  $\sim 100 \mu A$  程度.

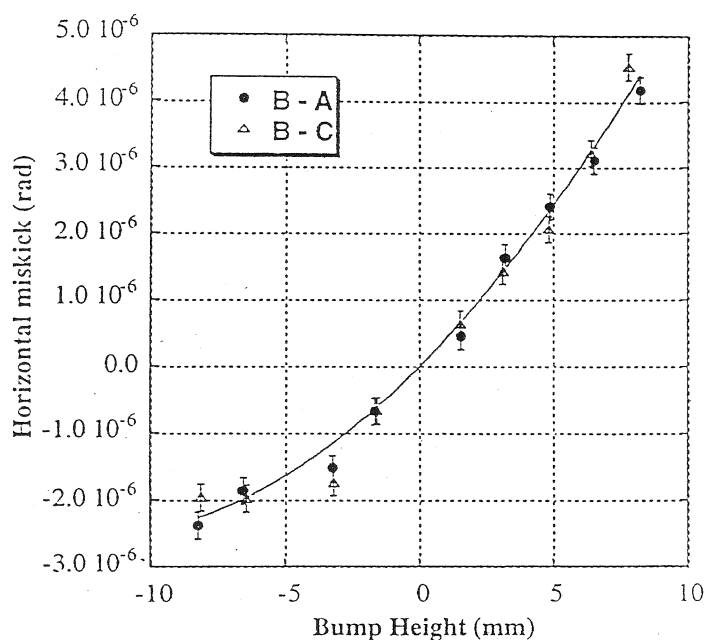


Figure 5: The plots of the miskick by a QF in the arc against the horizontal bump height. The data of *Orbit B-Orbit A* and *Orbit B-Orbit C* are shown. Some bad data were rejected. The error bars indicates the statistical error due to the noise in our orbit measurement system, discussed in the previous section. Due to the remnant field of SF next to the target, the miskick is not proportional to the bump height.

$$K_{2, SF}^{(rem)} = (3.2 \pm 0.3) \times 10^{-2}$$

⑤ 磁場測定で得た  $K_{2, SF}^{(rem)} = 2.9 \times 10^{-2}$ .

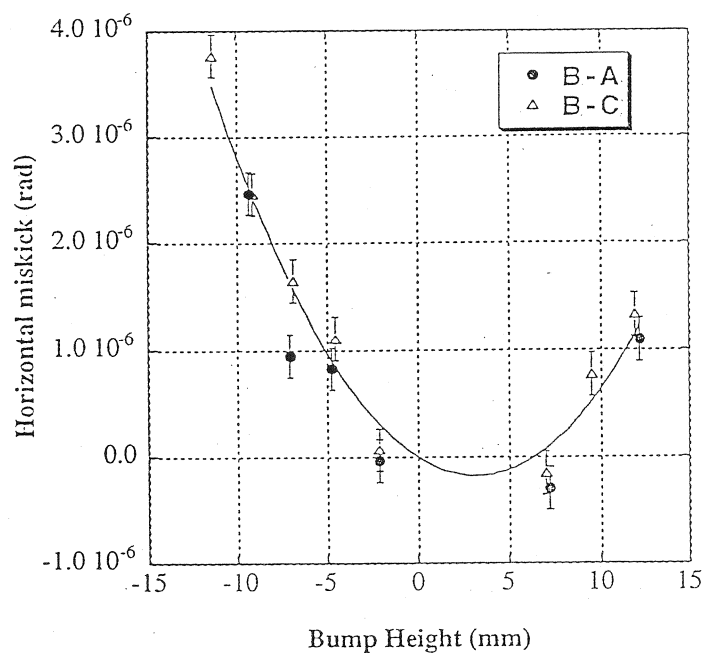
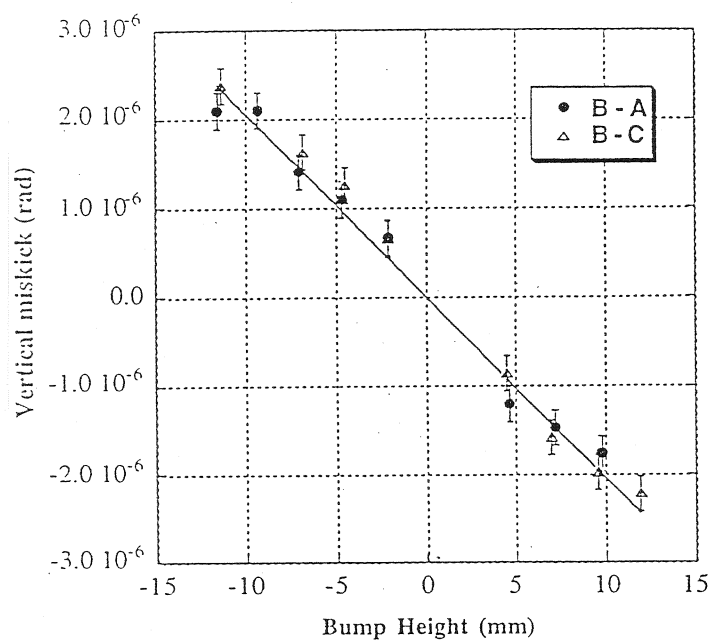
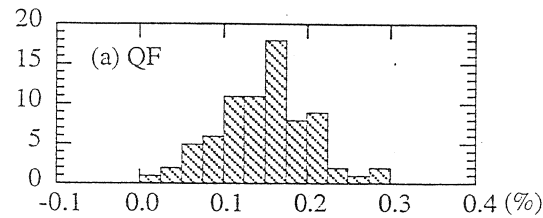
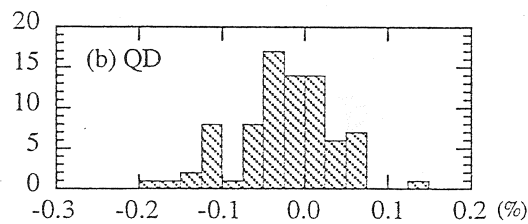


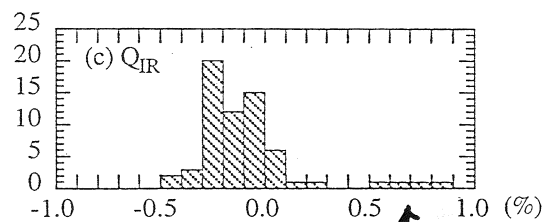
Figure 6: The miskick of a QD in the arc against the bump height. (Left) the vertical miskick. (Right) Horizontal kick. A possible source of the horizontal miskick is the sextupole magnet next to the target. The shift of the minimum of parabola from the origin indicates its misalignment.



std  
 $5.7 \times 10^{-4}$



std  
 $5.9 \times 10^{-4}$



↑ 弱い励磁のために

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。<sup>測定</sup>誤差 0.01% ぐらい。  
六極残留磁場の影響もきちんと見える。

六極磁石ミスマイメント

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

$x_b$  六極位置でのバンパ高さ

$x_c$  六極磁場中心位置

$x_r$  規準軌道.

同様に

miskick (vertical)

$$k_2 (x_b - x_r) (y_r - y_c)$$

$$\begin{cases} \Delta P_x = ax_b^2 + bx_b + c \\ \Delta P_y = dx_b + e \end{cases}$$

$$x_c = -\frac{b}{2a}$$

$$y_c = y_r - \frac{d}{a}$$

となる。

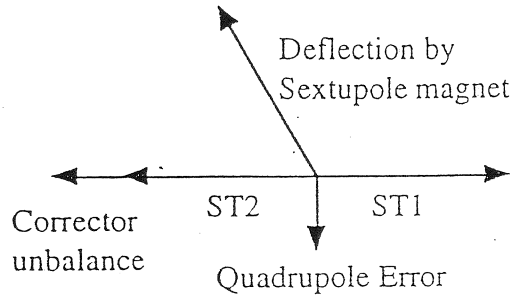


Figure 1: Deflection by a sextupole magnet can be separated from the strength unbalance of the corrector magnets using phase information of the betatron oscillation in a leakage orbit

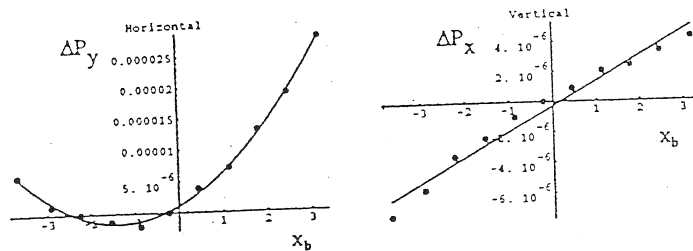


Figure 2: Deflection angle(radian) at the sextupole magnet as a function of the bump orbit at the sextupole magnet(mm). Results of fitting by quadratic and linear functions are also shown as solid curves.

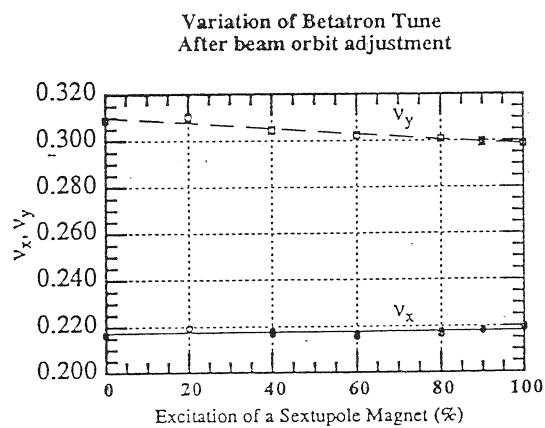
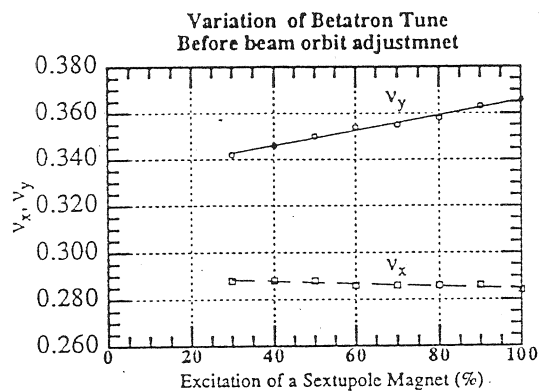


Figure 3: Betatron tune-variation as a function of excitation of sextupole magnets. The left figure shows the result of measurement before a beam orbit adjustment. The right figure shows the tune variation after a beam orbit adjustment.

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 $\mu$ m BPM read error  $\rightarrow$  50 $\mu$ m error in  $x_c, y_c$



ATF DR での  $\pi$ -bump による  $\Delta K$  in Q 検出.

"Beam Line" とした ring.

軌道

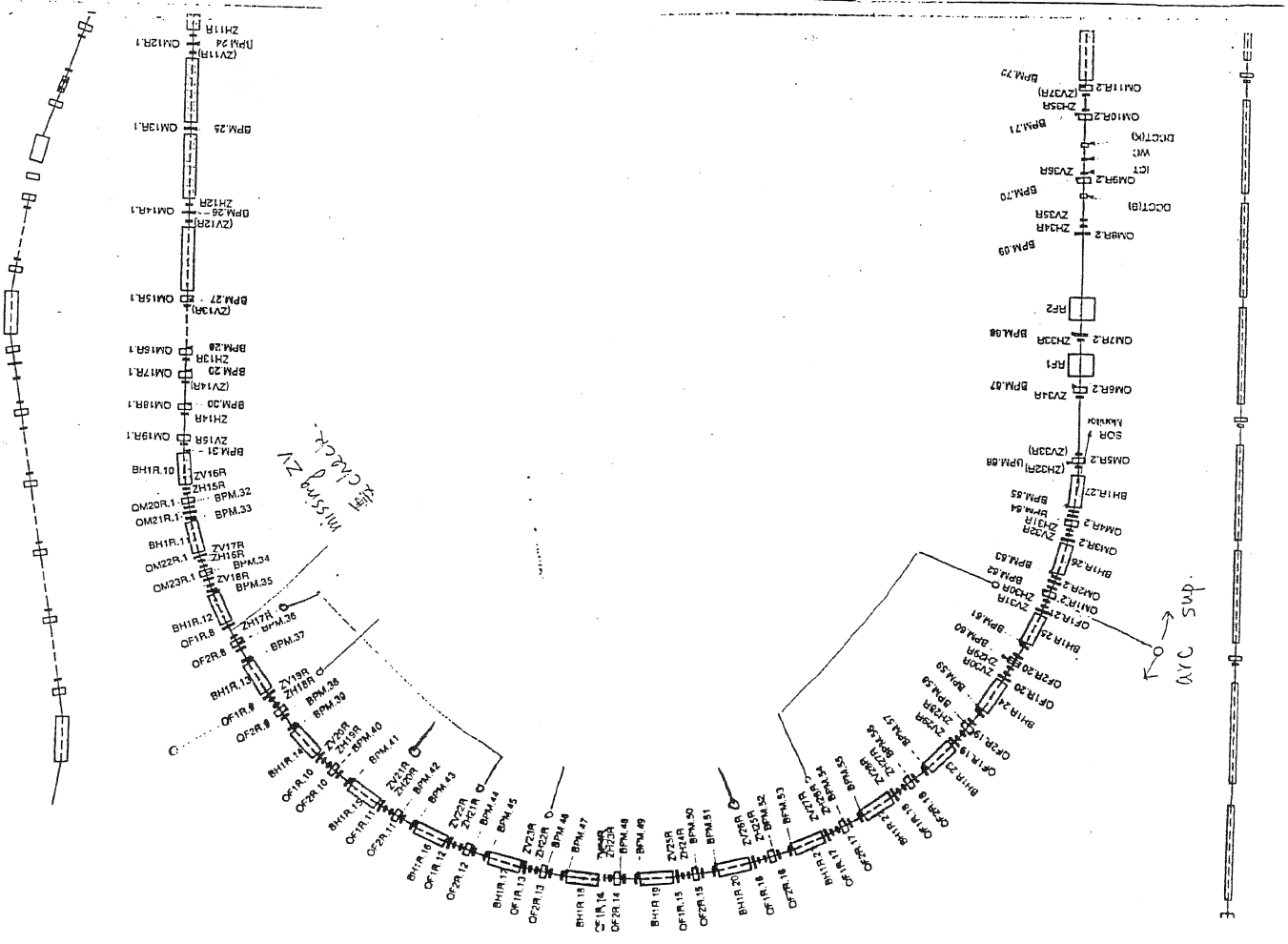
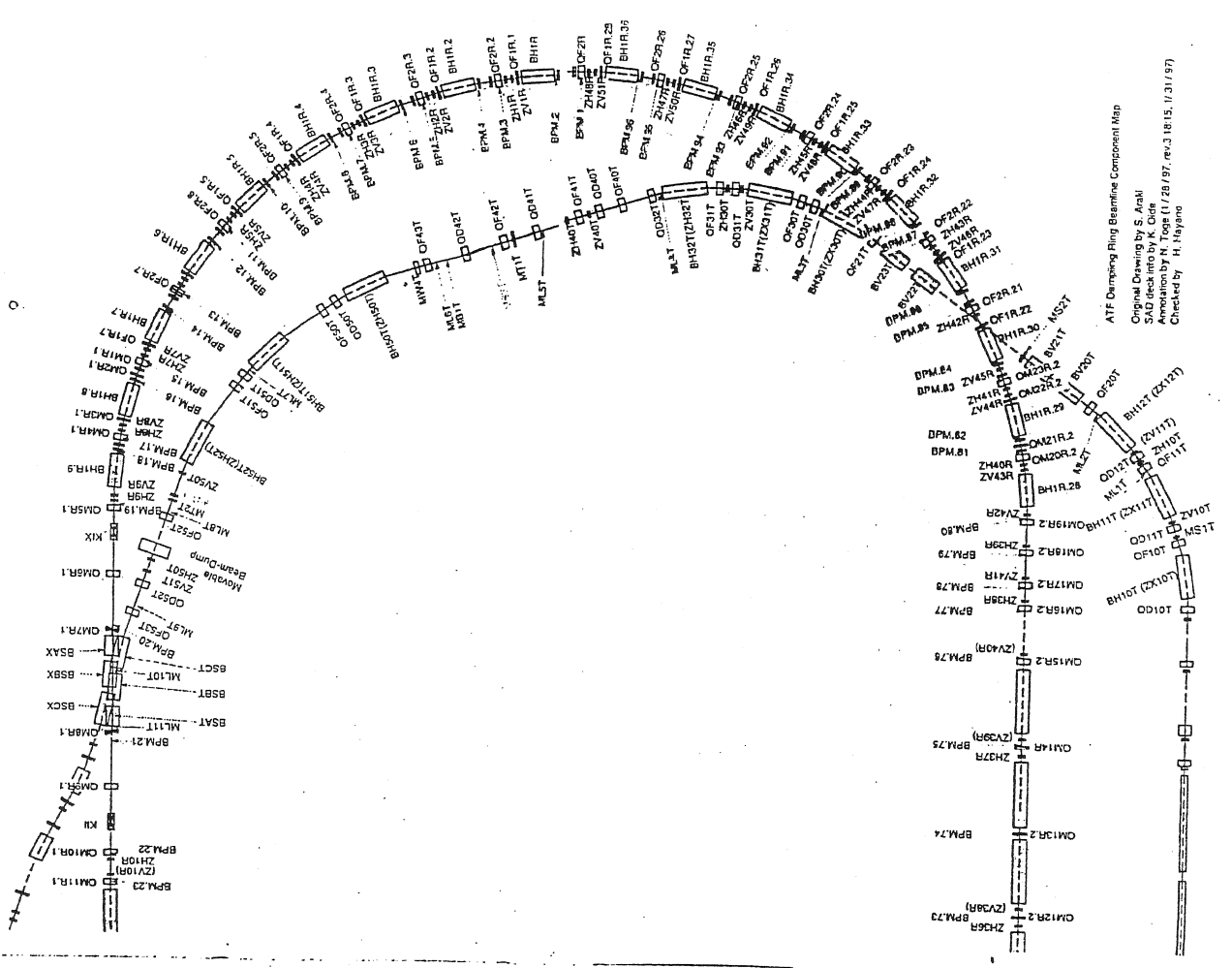
$$x(s) = K \sqrt{\beta(s)} \delta g \cdot \beta(t) \cdot \sin \psi(t) \sin(\psi(s) - \psi(t))$$

$$\equiv \sqrt{\beta(s)} (a \sin \psi(s) + b \cos \psi(s))$$

$$\begin{cases} a = K \delta g W_a(t) + \delta K \\ b = -K \delta g W_b(t) \end{cases}$$

$W$  の大きな場所にある  $\delta g$  が  $x(s)$  への寄与が大きい。

1st H Steering



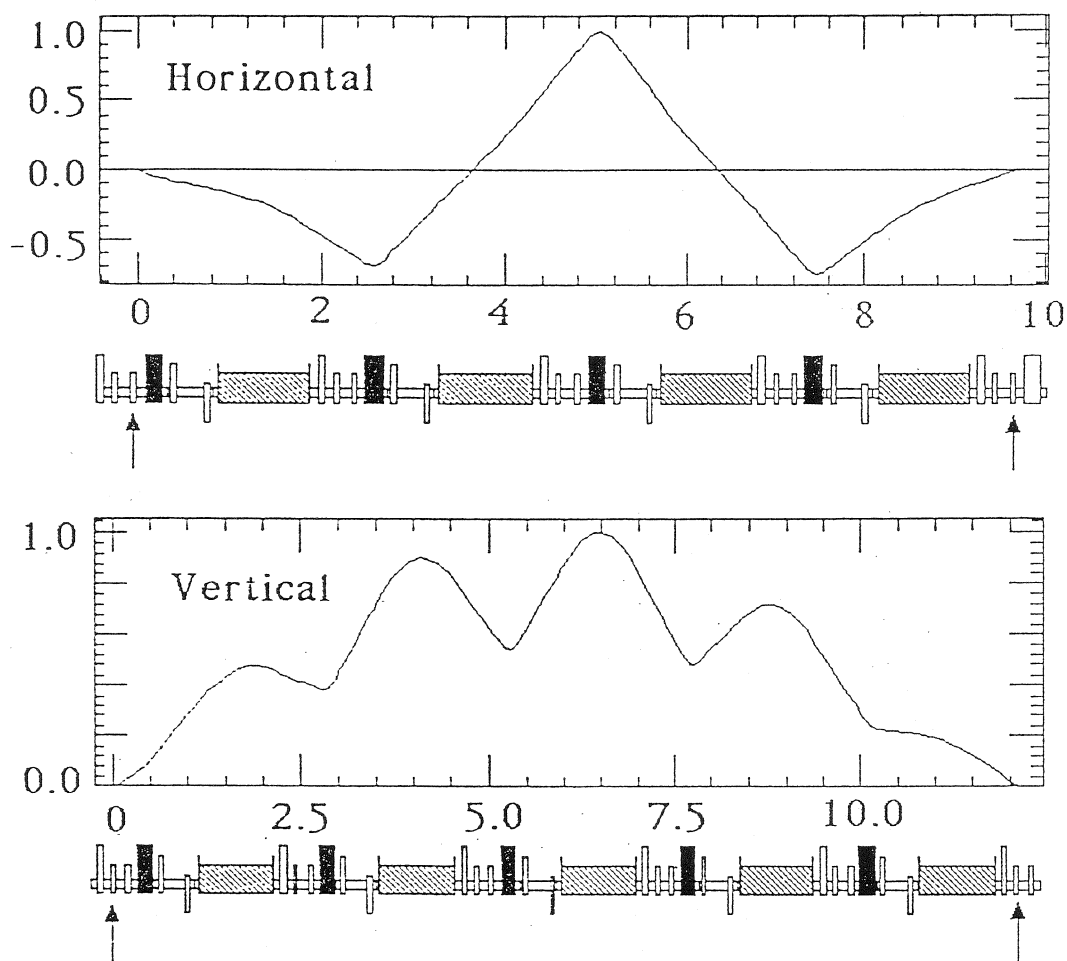
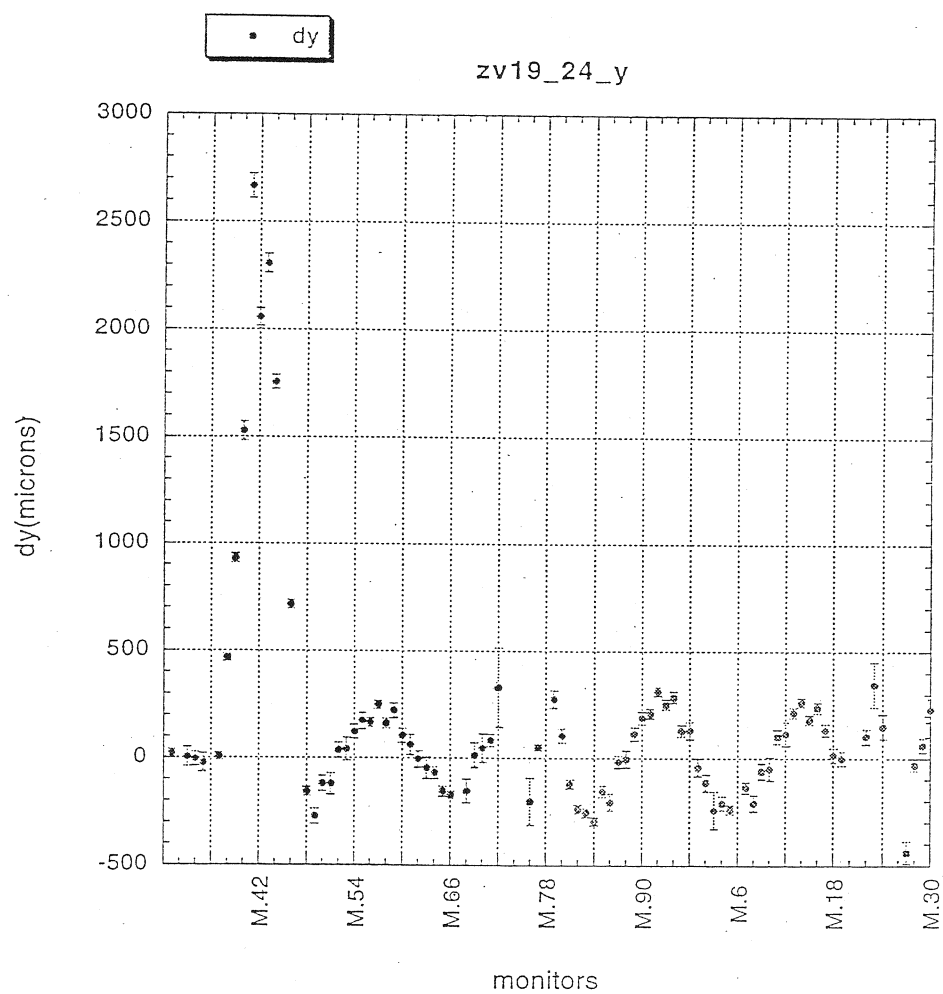


Fig. 1 Geometrical shape of a horizontal (upper figure) and a vertical (lower) bump orbit in the arc. The orbits are normalized by their maximum values. The abscissas are  $s$  (meters). The lattice configurations are shown in the bottom of each picture. The correctors to excite the bump are pointed 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

, 2A/2A

, 20 pulses.



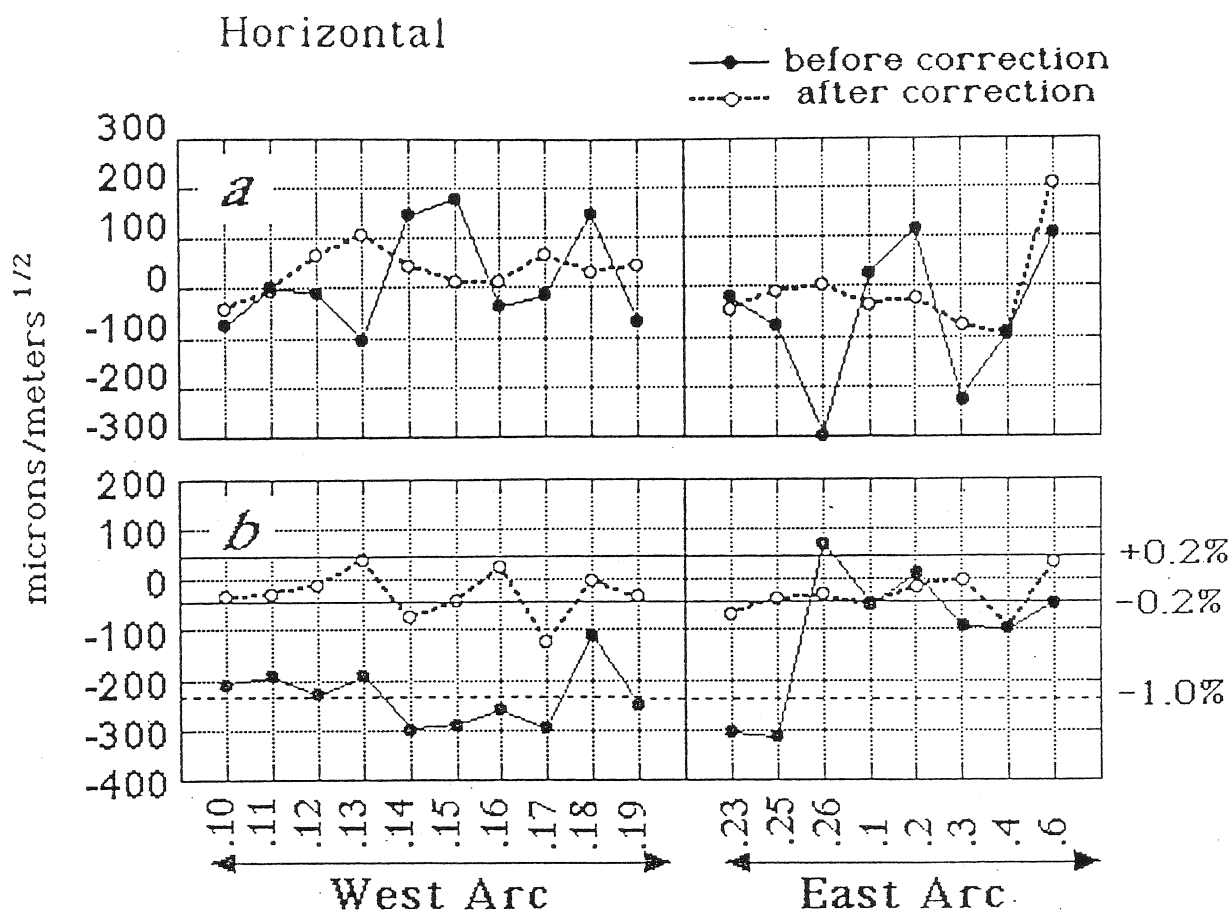


Fig. 6 The coefficients  $a$  and  $b$  of the fit for the horizontal leakage orbits of the first (before correction) and the second (after correction) measurement. The bumps are named by the target magnets. The strength of the targets was changed by the data fitted  $b$  of the first measurement. If the target deviates 0.2%, it produces  $b$  component leakage orbit of 50 microns/meter<sup>1/2</sup>. This and the level of 1% target error are shown as the horizontal line in the bottom figure.

Mini-beta/xy coupling compensation  
(Mini-  $\beta$  , x-y カップリング)

S. Kamada



# Mini- $\beta$ , x-yカップリング

S.Kamada

SAD Workshop

7~9 July 1998

////////////////////////////////////  
mini- $\beta$  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パーチャ

SADにおけるx-yカップリングの計算方法

Perfect Matchingとダイナミックアパーチャの回復



## Problems Encountered

### \* Rotational misalignment of QCS

- Too large emittance coupling for colliding beams ( $\gg 2\%$ )
- 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

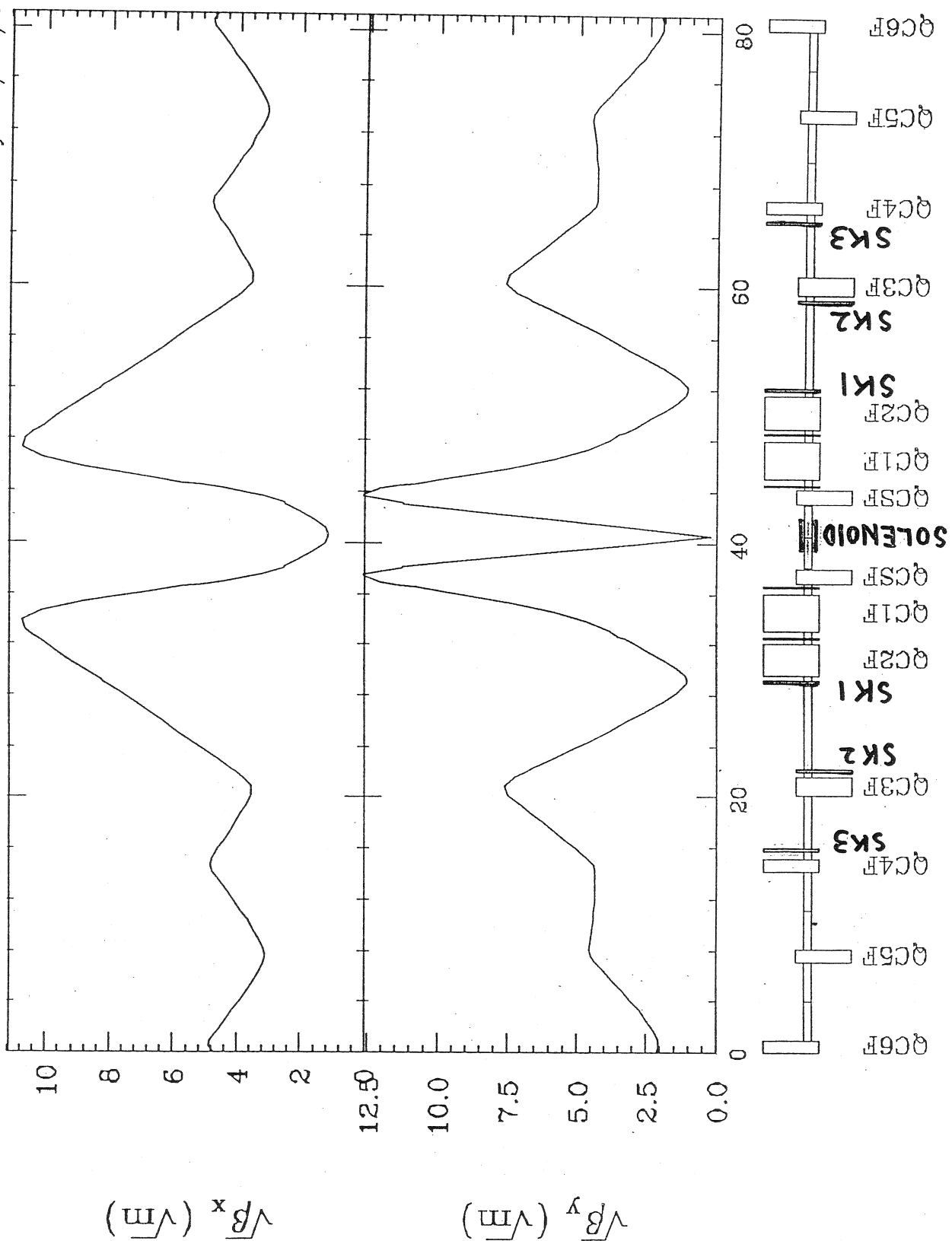
- High sensitivity to machine parameters
  - # narrow range of optimum  $V_c$ , closed orbit and tune
  - #  $e^+$  and  $e^-$  beams have different optimum values
  - # low and high intensity bunches have different optimum values

⊖ Degradation of storable bunch current  
(4.5mA  $\rightarrow$  2.5mA)

⊖ Poor efficiency of beam transfer from AR  
(50 ~ 70%  $\rightarrow$  30 ~ 45 %)

by  
smaller  
Dynamic  
Aperture

14:50:34.59 Friday 05/31/91





## SAD Parametrization of Coupled Motion

### Coupling Parameters

$$R \equiv \begin{pmatrix} R_{1,2} \\ R_{3,4} \end{pmatrix}$$

### 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

$$T(z) = \begin{pmatrix} \mu I, -SR'S \\ -R, \mu I \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A, 0 \\ 0, B \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mu I, SR'S \\ R, \mu I \end{pmatrix} = Q^{-1} \mathcal{Q}$$

$$|\mathcal{Q}| = 1 \rightarrow \mu^2 + |R|^2 = 1$$

### Unit Symplectic Matrix

$$S \equiv \begin{pmatrix} 0, 1 \\ -1, 0 \end{pmatrix}$$

### Transformation from Real Space to Normal Mode

$$V(z) \equiv \begin{pmatrix} u(z) \\ p_u(z) \\ v(z) \\ p_v(z) \end{pmatrix} = QX(z)$$

- 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

$$\alpha_x^* = \alpha_y^* = 0$$

$$R1^* = R4^* = R2^* = 0$$

◇Variables

SK1, SK2, SK3

QCS, QC1, QC3, QC4, QC5, QC6

$\Rightarrow$  Large DA by SAD tracking

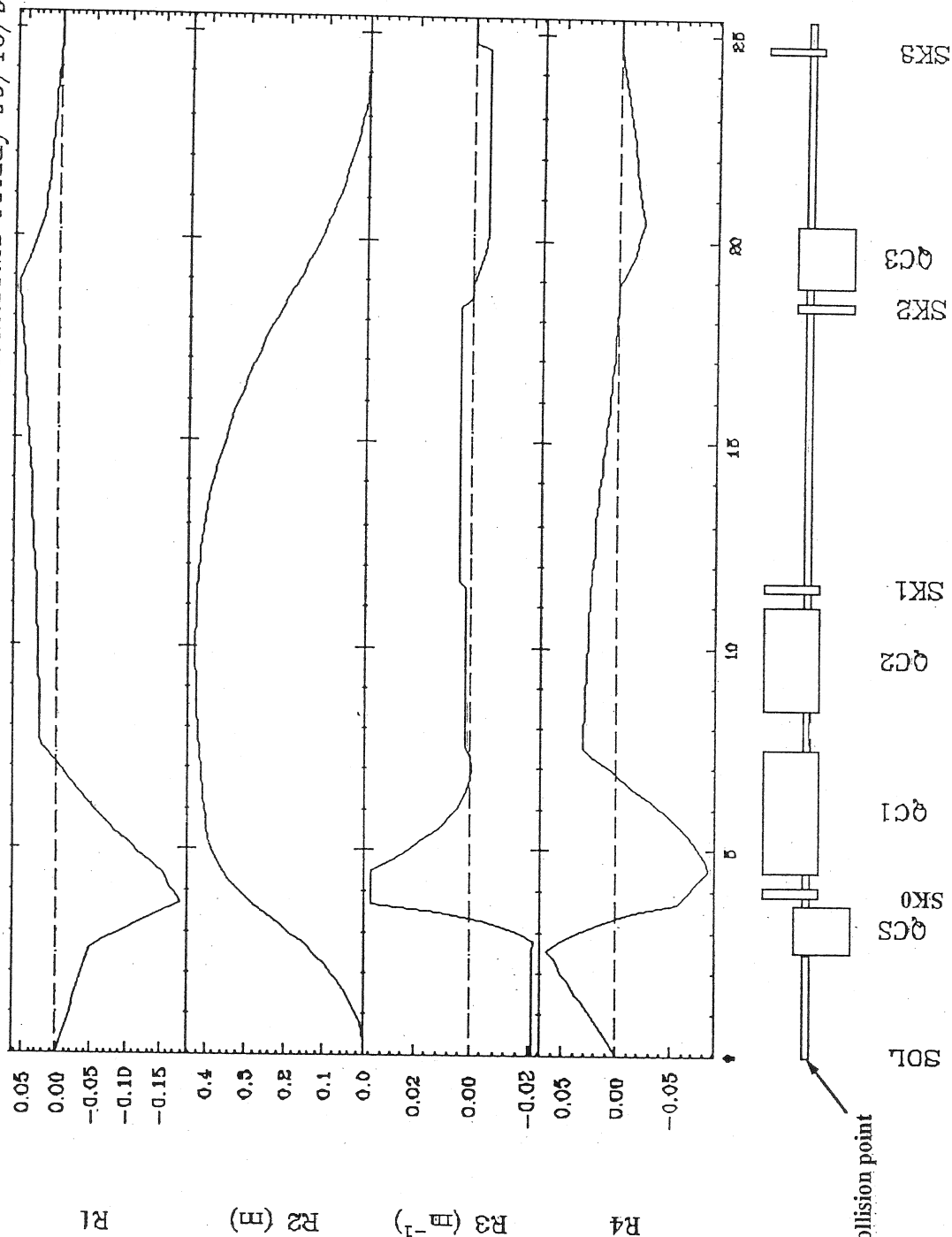
- Experiment of "Perfect Optics matching"

Injection efficiency  $\Rightarrow$  almost doubled

$\Rightarrow$  indicates large DA.

# Coupling Compensation at VENUS by the Perfect Matching

14:02:35.29 Friday 08/16/91



## Calculation of dynamic aperture by SAD

### ◇Method

Initial condition

Azimuthal : 0, 2, 4, 6  $\sigma_z$  ( $\sigma_z=1.3 \times 10^{-3}$ )

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	→ 117
off	176	New skew Q

Mini-beta (Perfect matching)

solenoids on	126	→ 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・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, ARCend, 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、ストリーク  
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  $K1$  求め、設計値  $K1_{\text{design}}$   
との比率  $K1_{\text{design}} / K1$  を補正する。(3~5%の補正になる。)

ローカルバンパによる軌道調整

加速管を MULT で表わし、 $W1$ (transverse dipole wake)を取り入れる  
必要がある。

$W1$  は HV 両方向に defocusing の効果をもつ。

$W1$  の値はバンパ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

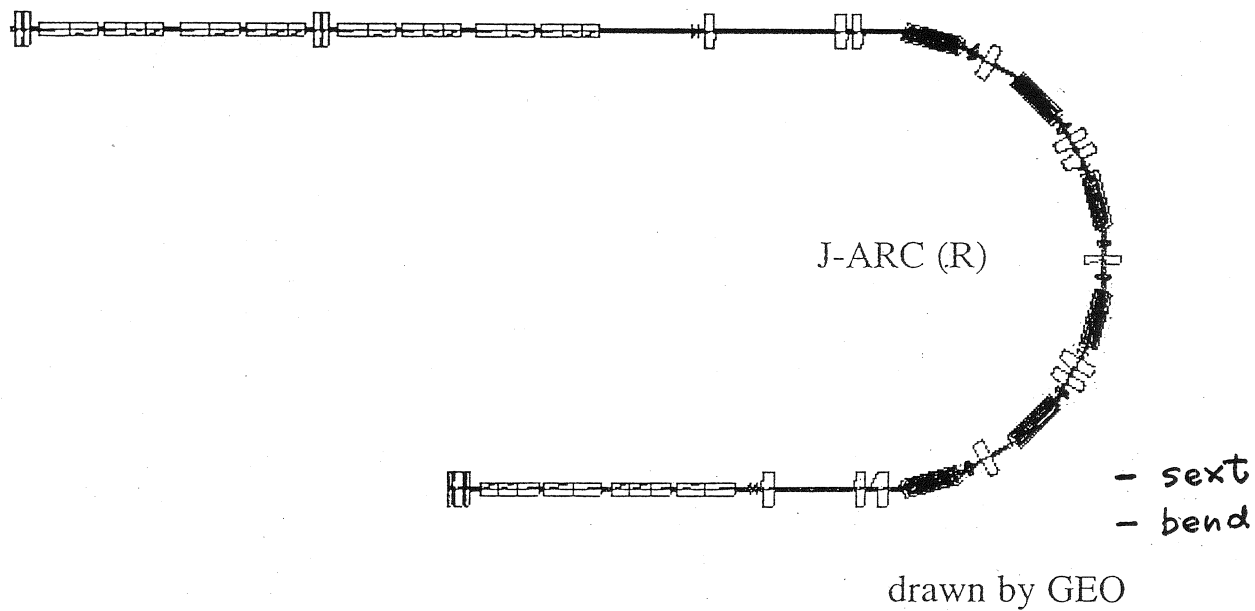
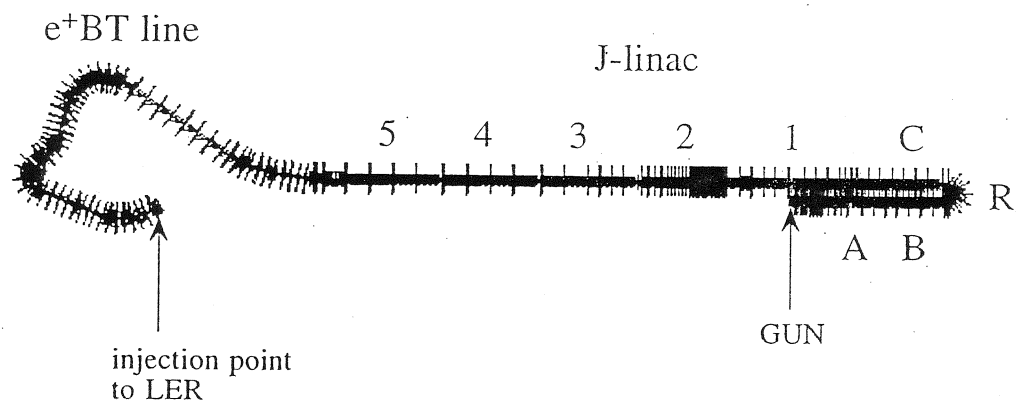
BPM オフセットの測定 (quad-BPM)

3-BPM / 4-BPM 相関法による位置測定精度の評価

$$x_3 = a x_1 + b x_2 + c$$

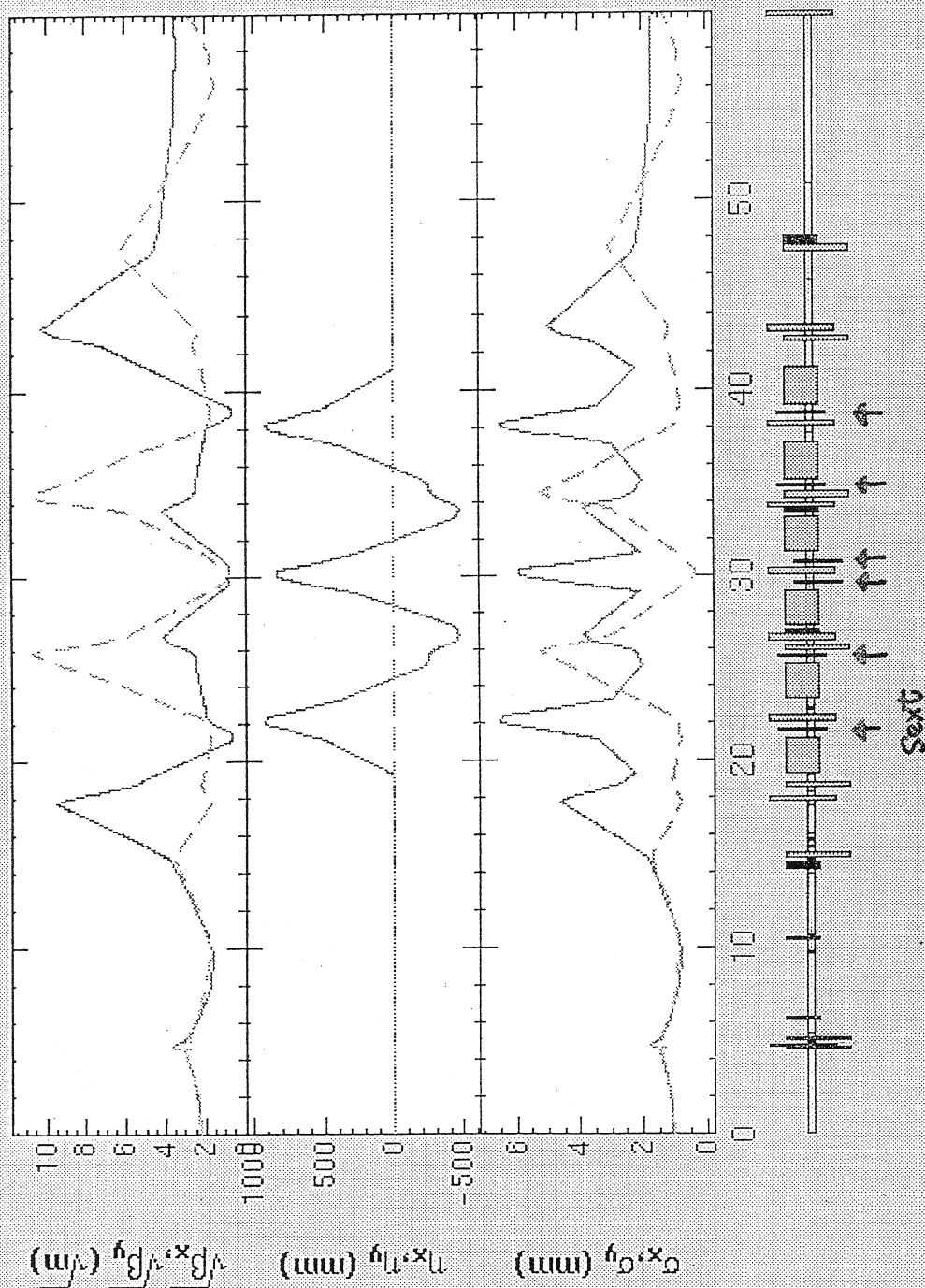
BPM beam-based calibration、steer-BPM 等  
オフライン解析用データ収集

wire scanner データのフィット



# Arc

— x —  
— y —



isochronous  
achromat

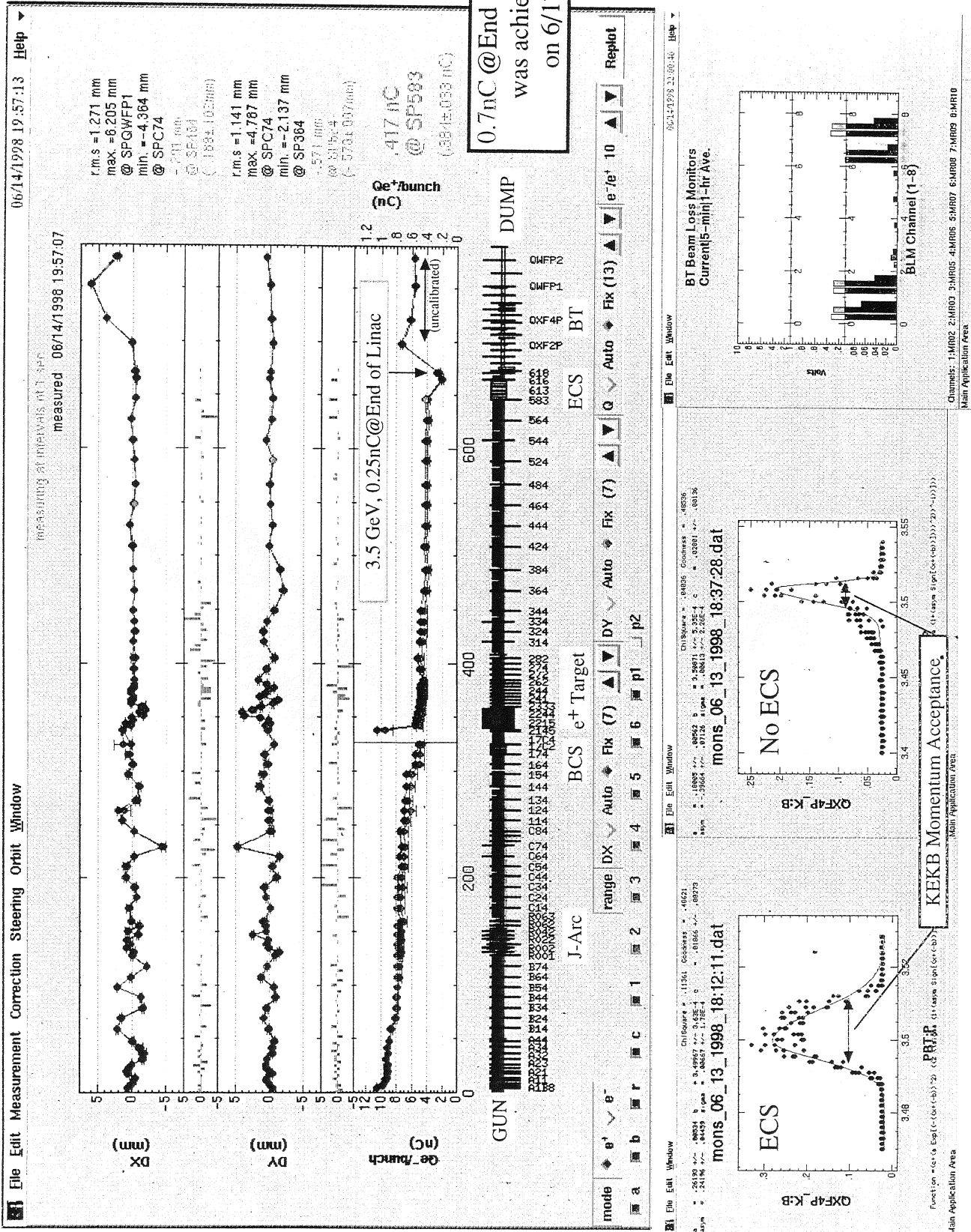
- off-momentum optics について  
Fit Function を用いてフィットする

- measure によってエミッタが拡大しないことを  
チェック

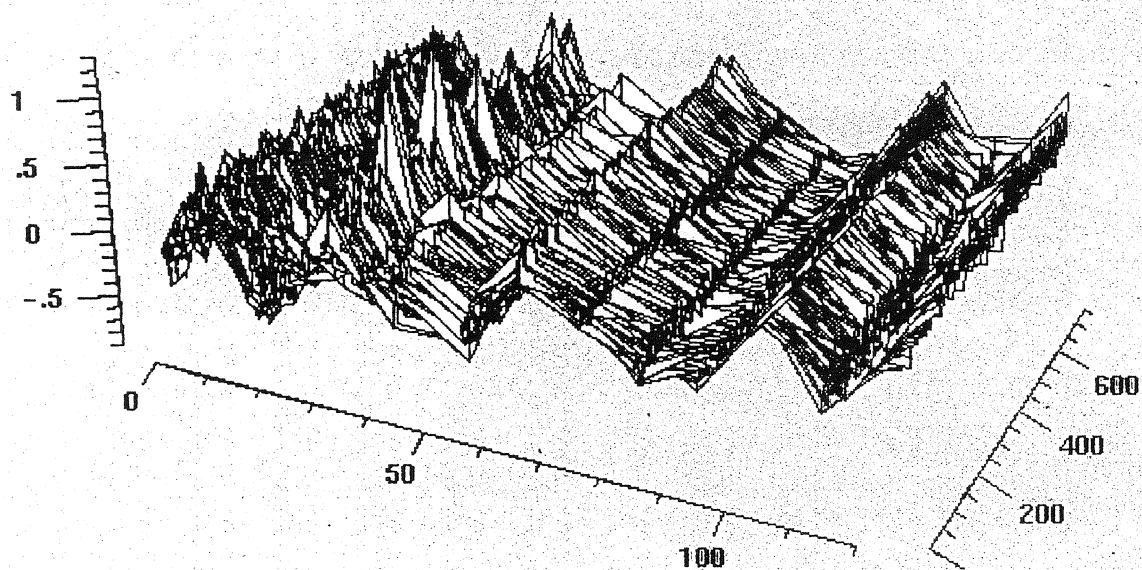
# Commissioning of positron beam in KEKB Linac/BT

by H. Koiso

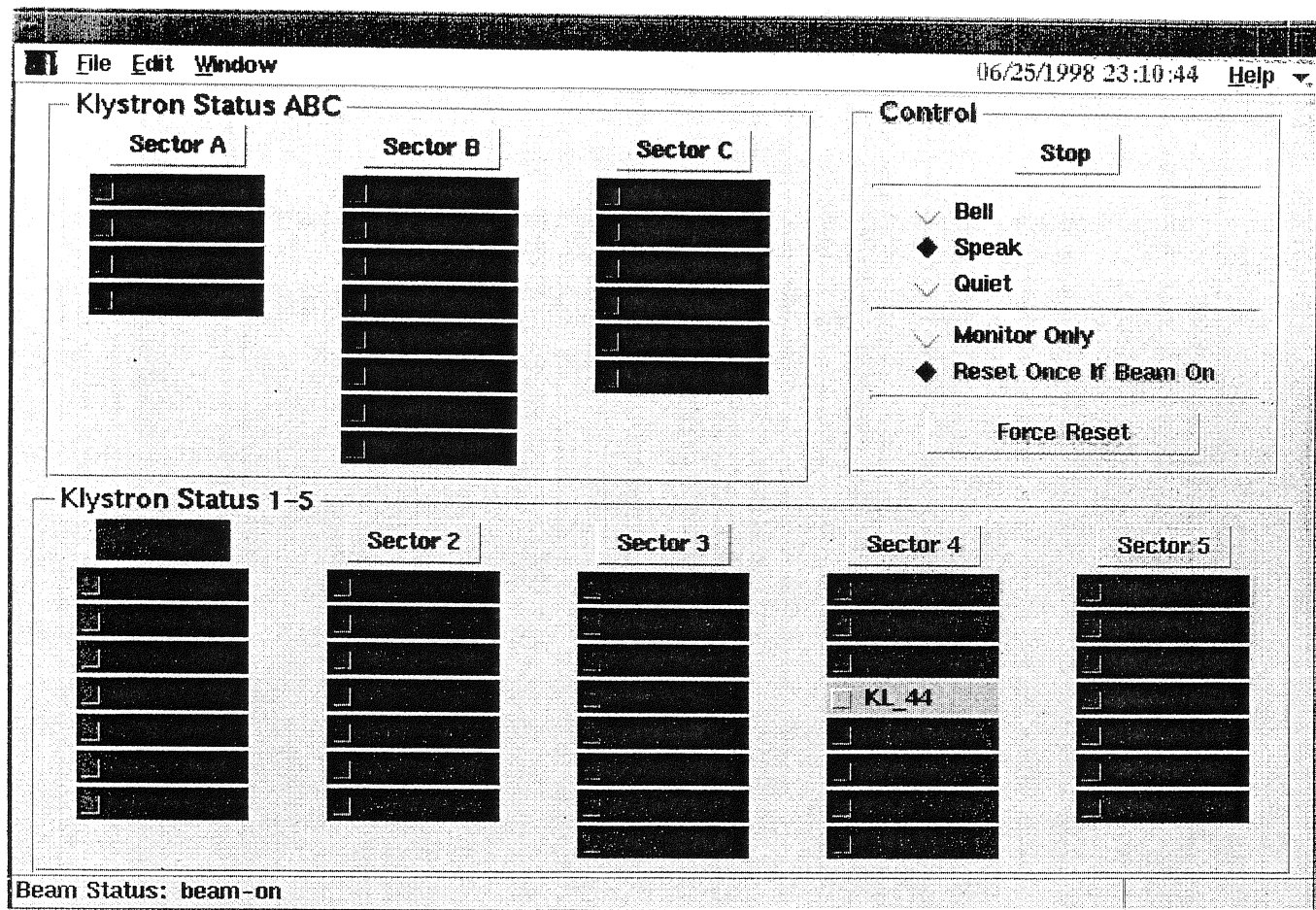
by J. Flanagan



## List Birds Eye Plot



( by K. Oide )

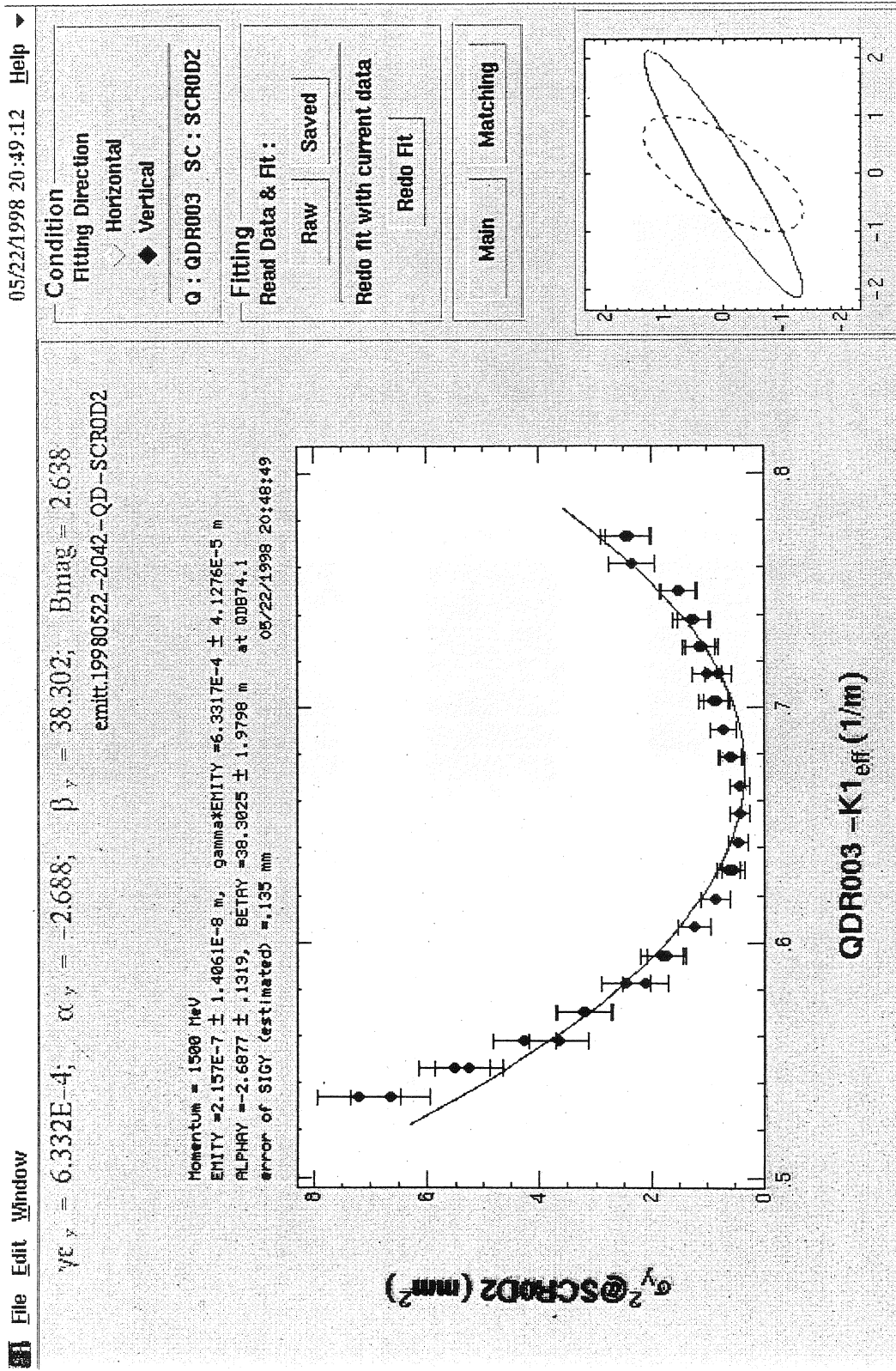


by J. Flanagan

音声に53アラム  
Speak [文字列]

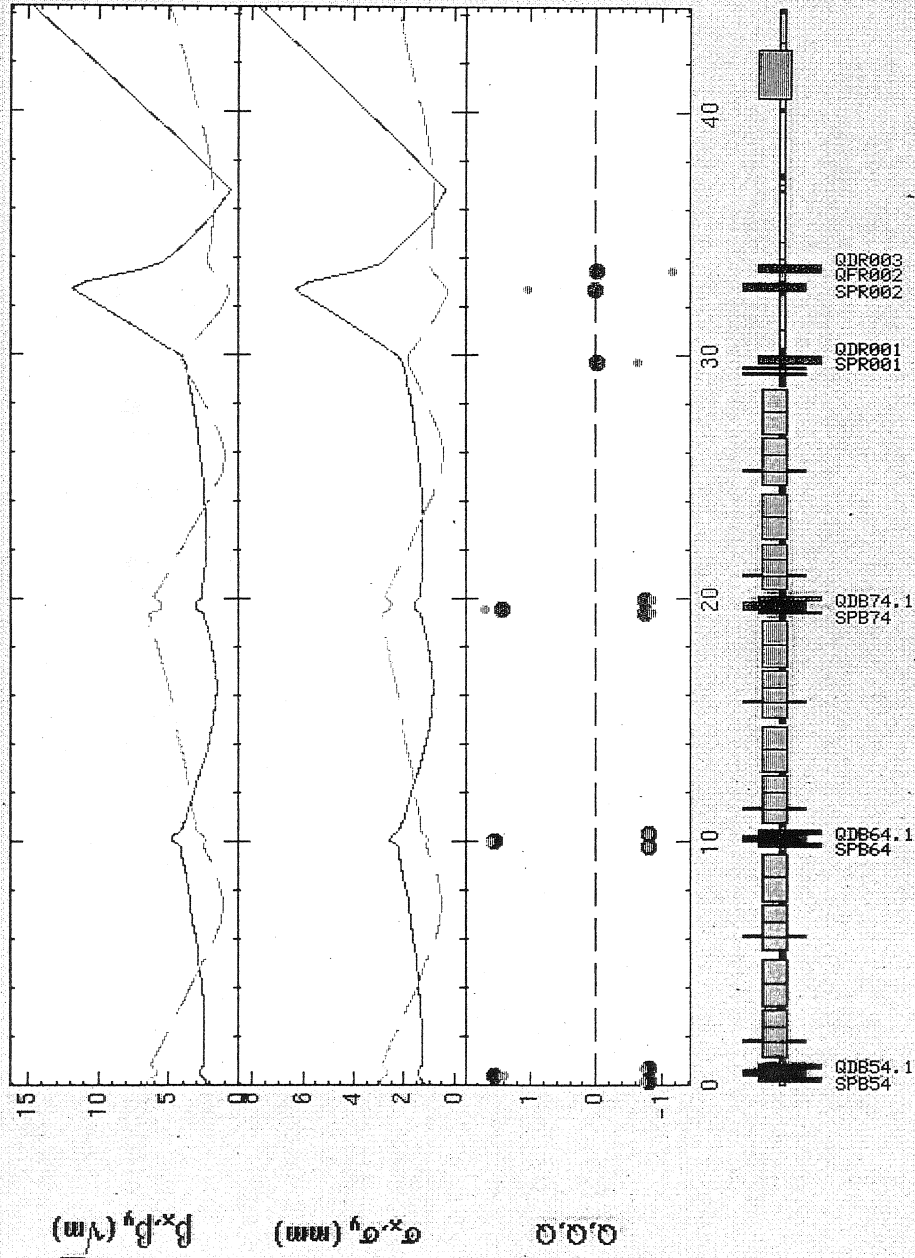
by N. Akasaka





by N. Akasaka

Matching Residual = 1.5904E-16



### Matching Condition

Target Parameters :

$\alpha x$  : 9.288  
 $\beta x$  [m]: 24.143999999999999  
 $\alpha y$  : .705  
 $\beta y$  [m]: 4.519

Current Value

Target Position :

SCR003  
 L1040  
 L1041  
 L1042

Prev

Next

Q's for matching :

QDB64  
 QFB64  
 QDB74  
 QFB74  
 QDR001  
 QFR002  
 QDR003

All

None

Additional Matching Condition :

Control

Execution :

GO

Set

Read

History Buffer :

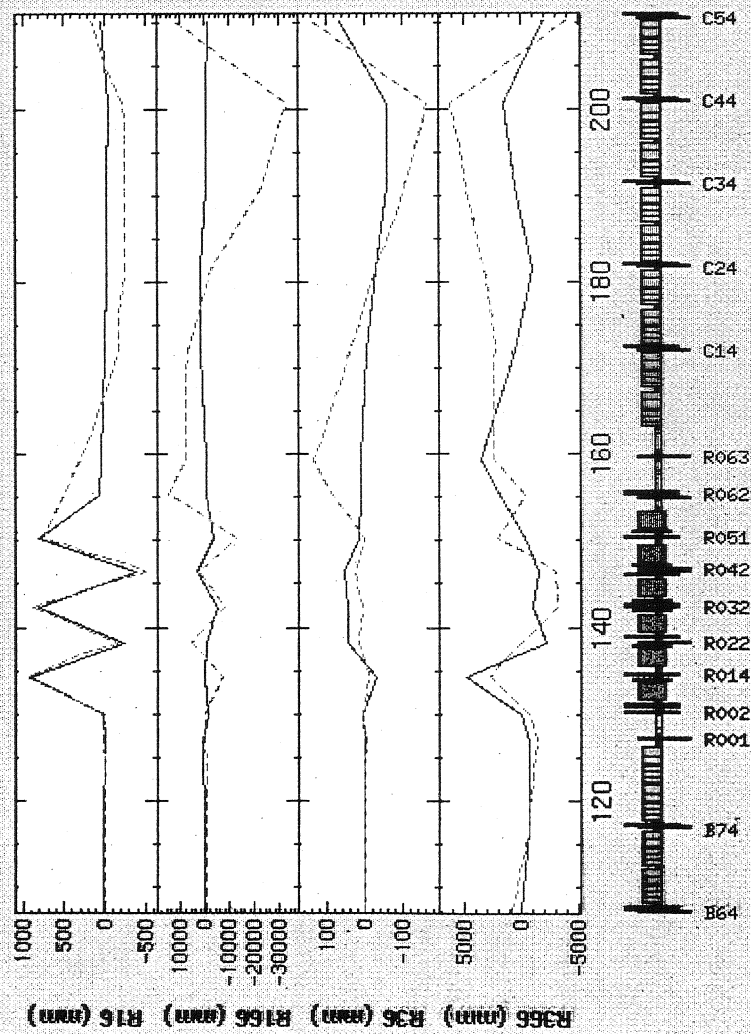
3 go 05/22 20:54

☐ Restore only Q magnets

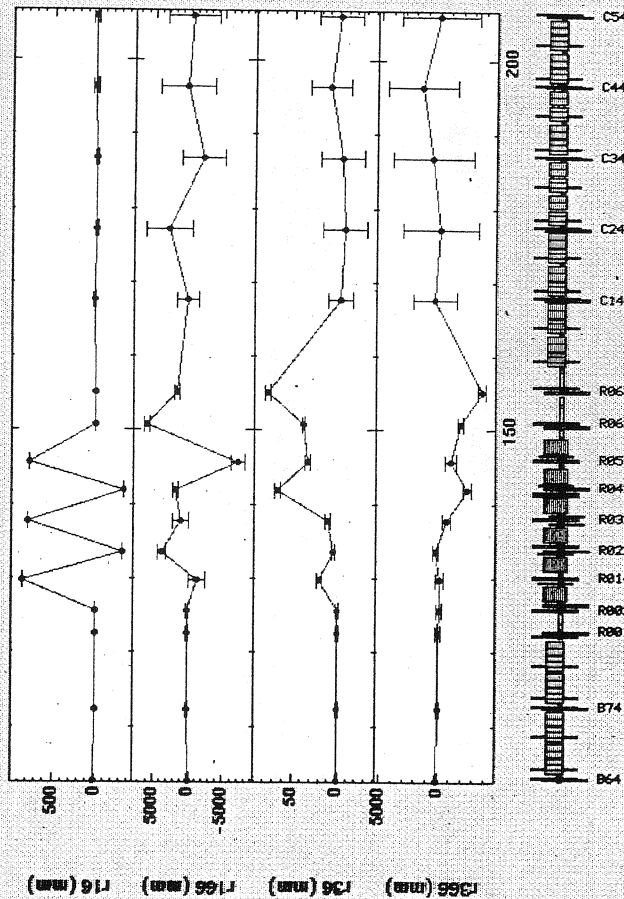
by N. Akasaka

# R16 & R36 correction

— after correction  
- - before correction



read\_04\_15\_1998\_20:08:34.dat



## Measurement

Low energy: 1.447

High energy: 1.462

Delta energy: 5E-4

Iterations/step: 10

Comments: &lt;none&gt;

☒ No Streak Camera☒ Use Streak Camera☒ Debugging Mode☐ Execution Mode

Go

## Data Files

## Data File

read\_04\_15\_1998\_16:02:36.dat

read\_04\_15\_1998\_16:14:10.dat

read\_04\_15\_1998\_16:30:54.dat

read\_04\_15\_1998\_16:51:16.dat

read\_04\_15\_1998\_20:08:34.dat

read\_04\_15\_1998\_20:33:15.dat

Load Raw Data File

Dispersion file: rmeas\_04\_15\_1998\_20:08:34.dat

Write Dispersion File

## Analysis

&lt;none&gt;

Drop streak points (1): 0

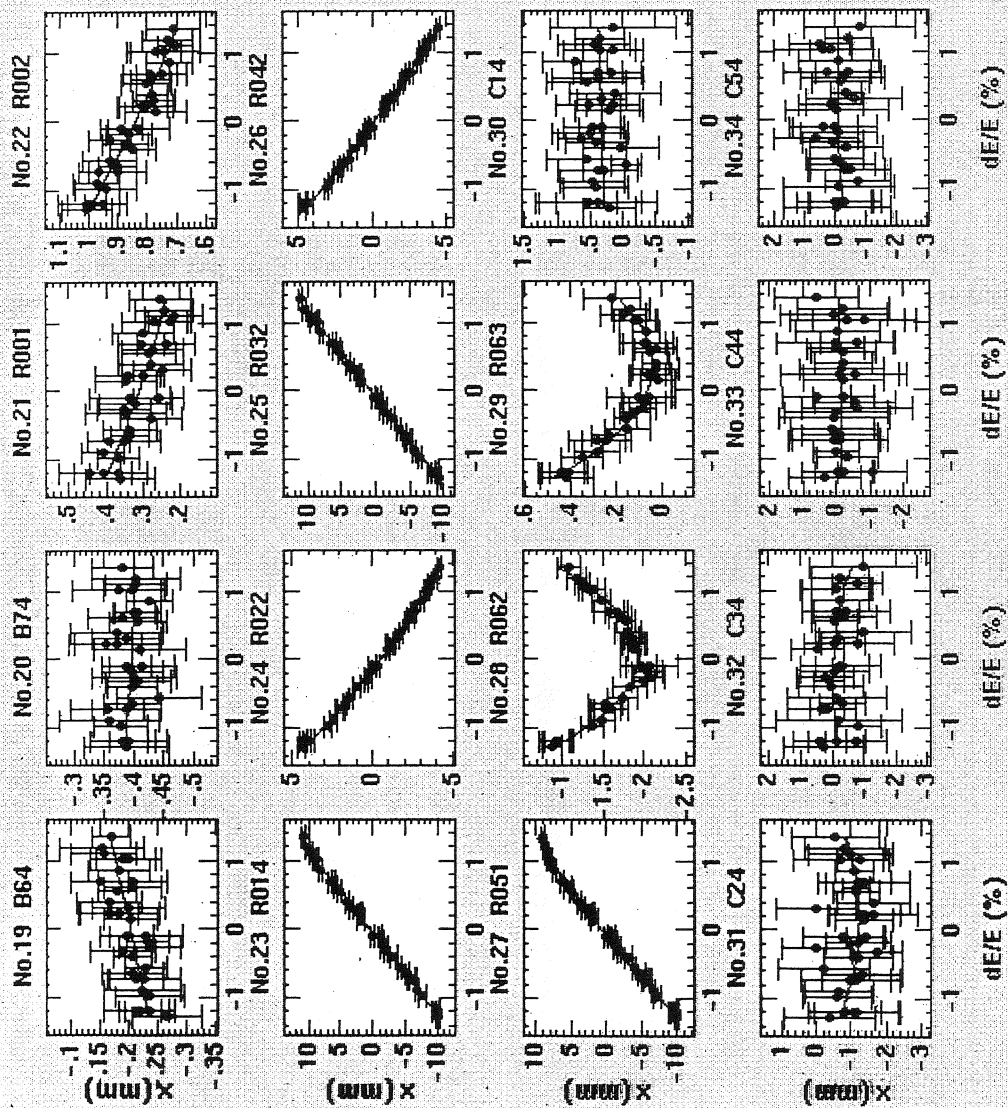
Drop streak points (2): 0

Energy Correction Factor (current): 2.56158076889722

Energy Correction Factor (replot): 1.000000011129551

Replot

by J. Flanagan



File name

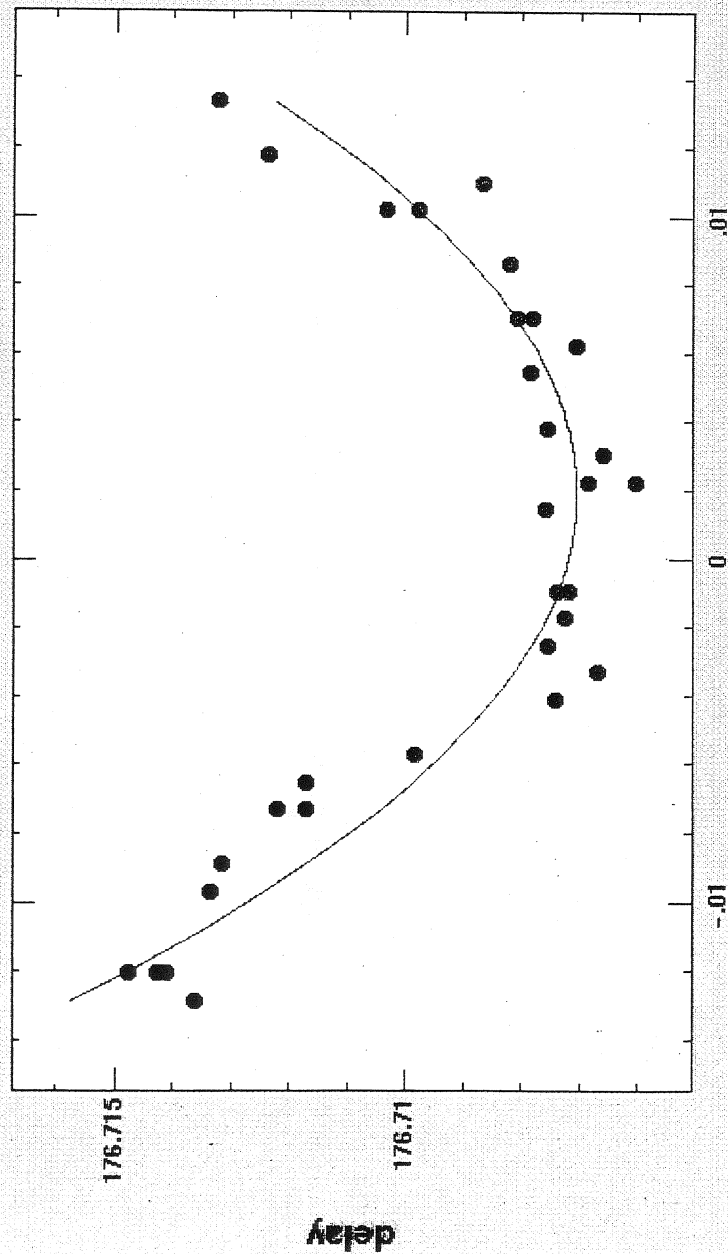
read\_04\_15\_1996\_20:08:34.dat

by J. Flanagan



$c0 = 176.707 \pm 2.75E-4$      $c1 = -.15255 \pm .02343$      $c2 = 39.9198 \pm 3.29874$   
 ChiSquare =  $2.93E-5$     Goodness = .46445

read\_04\_15\_1998\_20:08:34.dat



energy deviation

Function =  $(c0 + (c1 \cdot x) + (c2 \cdot x^2))$

File name

read\_04\_15\_1998\_20:08:34.dat

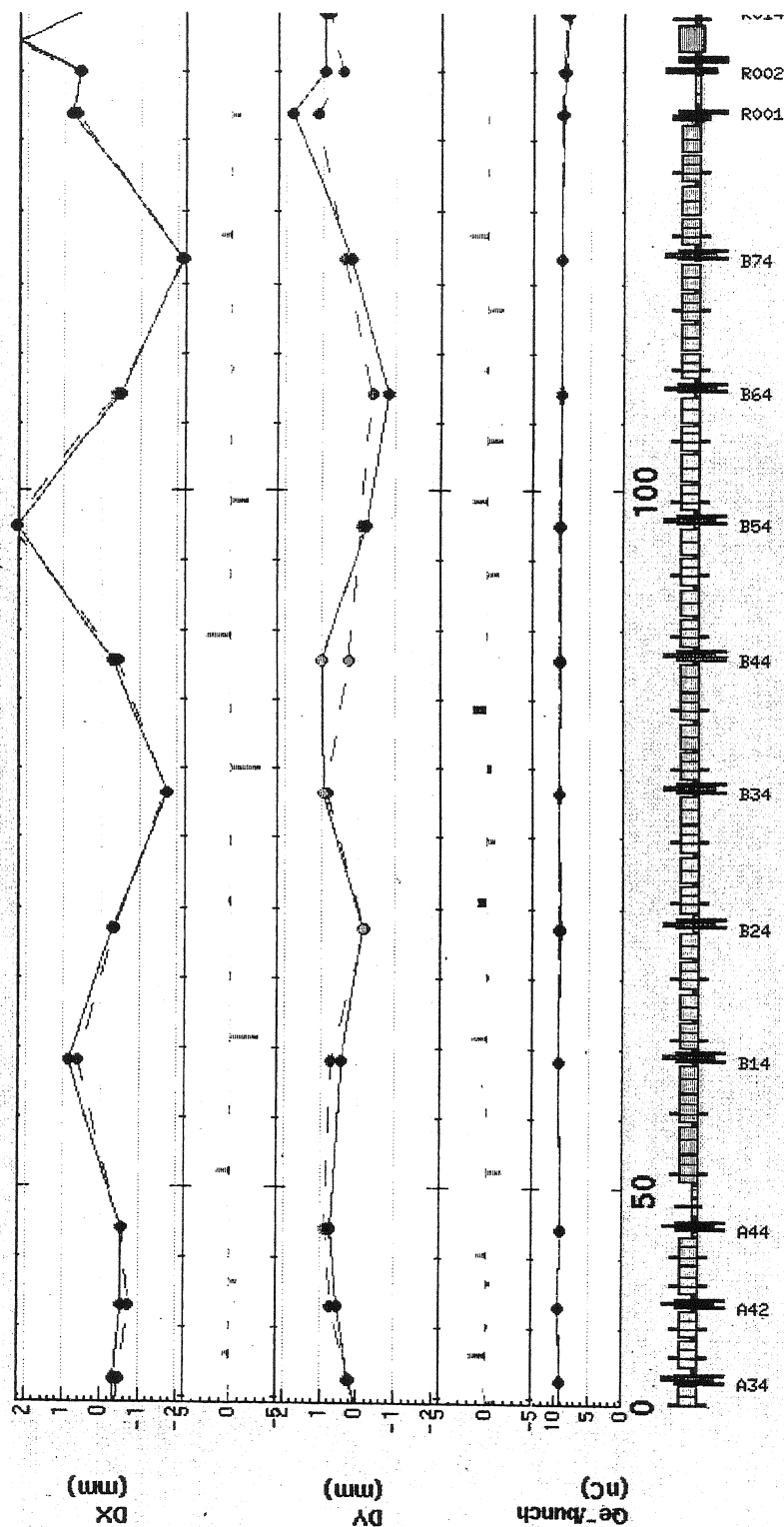
Fit results

R56 (m):	.04573315742867
R566 (m):	-11.96767458083E

ストリークカメラの delay 測定  
 Start Streak Meas[]  
 Get Streak Delay[]  
 by N. Akasaka

by J. Flanagan

measured 06/16/1998 13:38:00



mode  $\vee$   $e^+$   $\blacklozenge$   $e^-$  range DX  $\vee$  Auto  $\blacklozenge$  Fix (2)  $\blacktriangle$   $\blacktriangledown$  DY  $\vee$  Auto  $\blacklozenge$  Fix (2)  $\blacktriangle$   $\blacktriangledown$  Q  $\vee$  Auto  $\blacklozenge$  Fix (13)  $\blacktriangle$   $\blacktriangledown$   $e^-fe^+$  40  $\blacktriangle$   $\blacktriangledown$  Replot

a b r c 1 2 3 4 5 6

position	dx	dpx	ex	epx	dy	dpy	ey	epy
SPB24	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
SPB34	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
SPB44	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

del	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
del	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
del	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

Control

Read Orbit

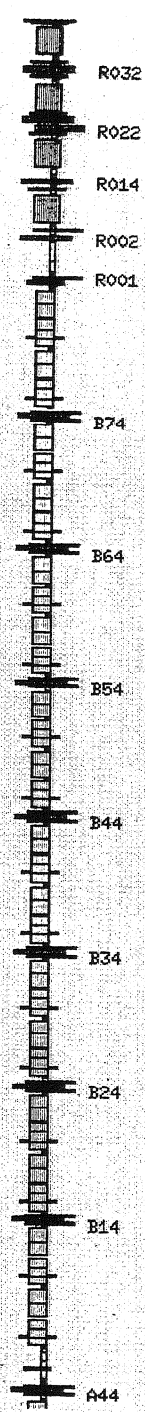
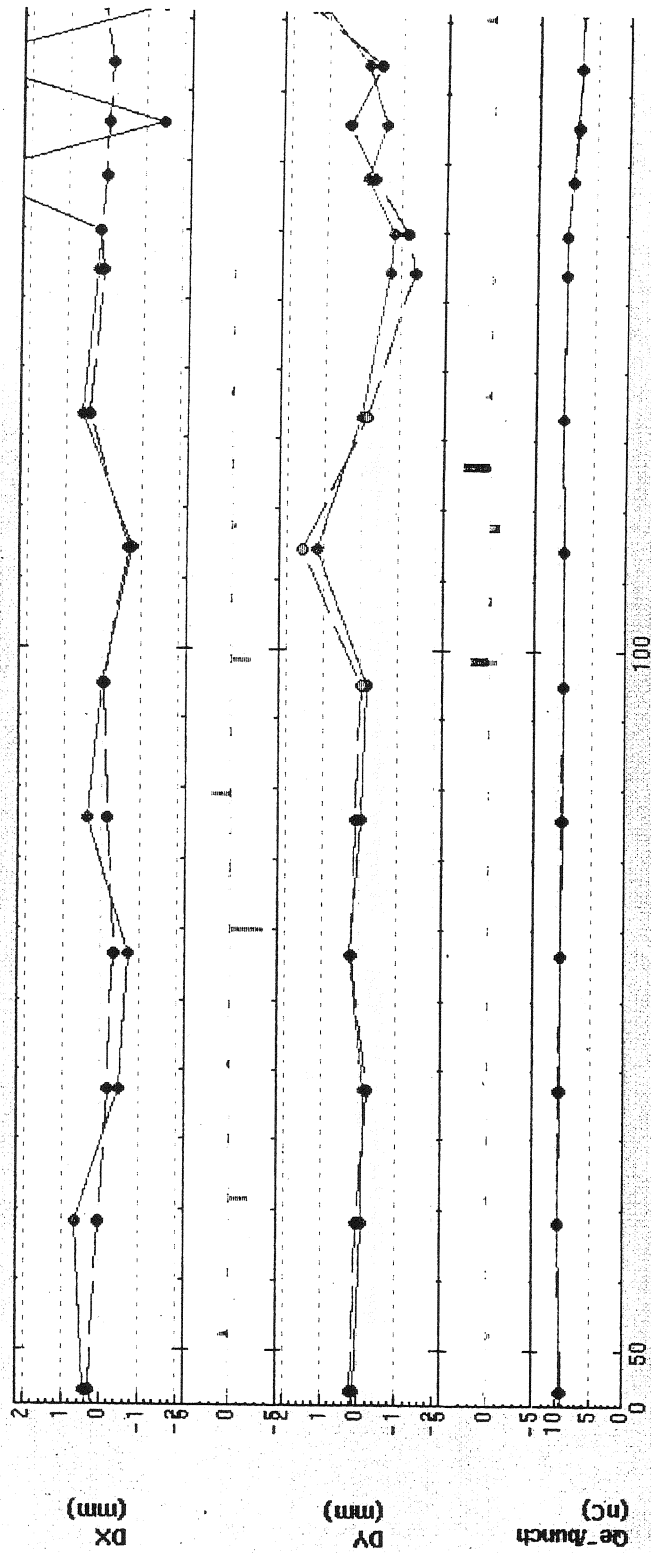
Calculate Bump

Set Steering

Reset Steering

Clear Conditions

measured 05/26/1998 00:34:07



mode ☐ e<sup>+</sup> ☒ e<sup>-</sup>

range ☐ DX ☒ Auto ☒ Fix (2) ☒ Fix (2) ☒ DY ☒ Auto ☒ Fix (2) ☒ Fix (13) ☒ e<sup>+</sup>/e<sup>-</sup> 40 ☐ Replot

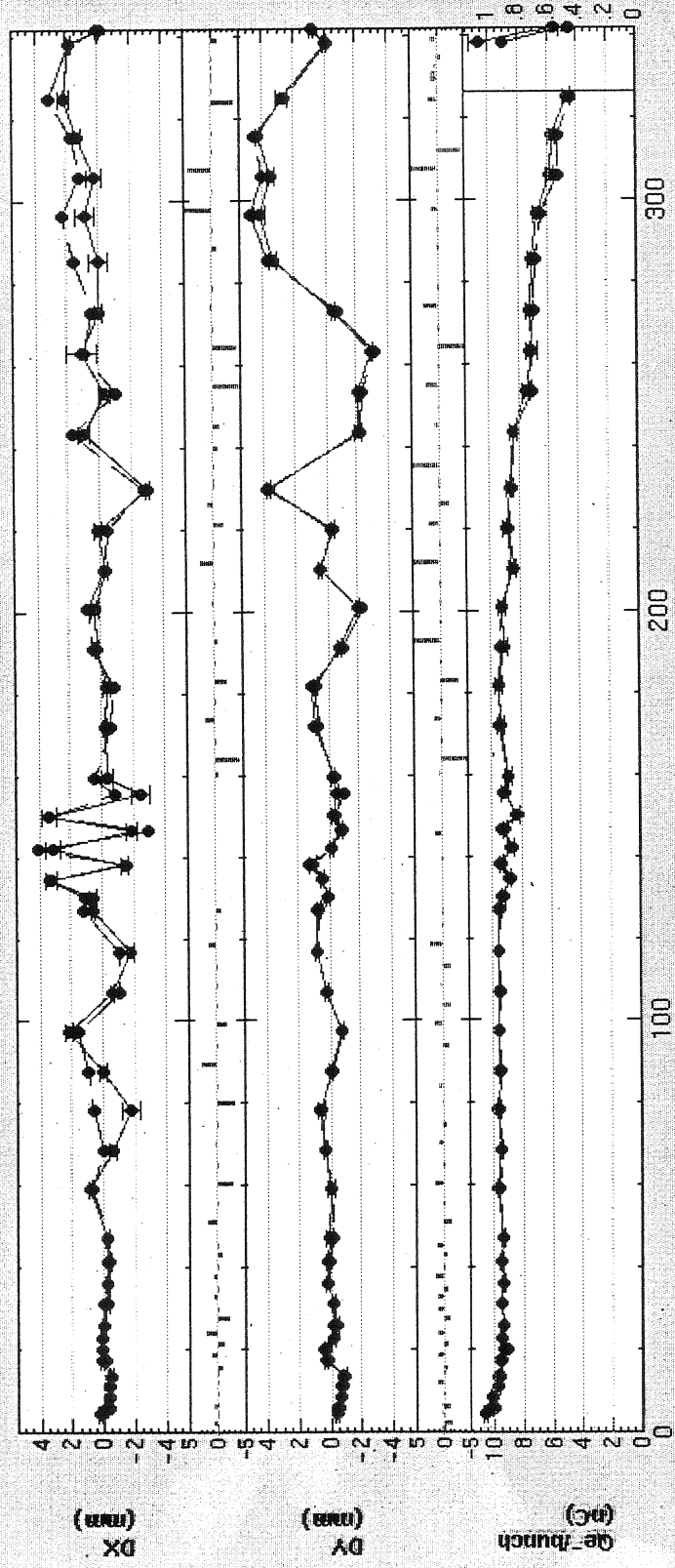
position	dx	dpx	ex	epx	dy	dpy	ey	epy	del
SPB54	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> del
SPB64	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> del	<input type="checkbox"/> del
SPB74	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> del	<input type="checkbox"/> del

Control

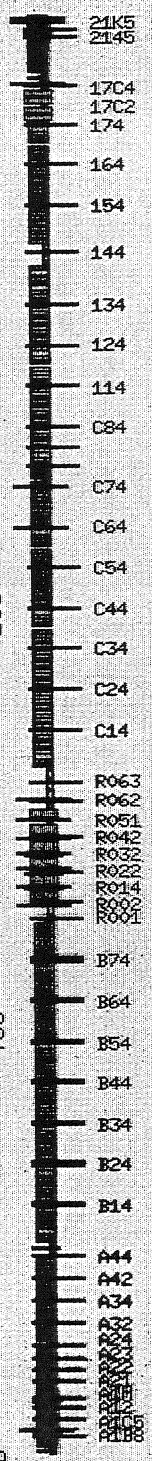
by H. Koiso



measuring at intervals of 1 sec  
measured 06/16/1998 16:25:27



r.m.s = 1.173 mm  
max = 4.049 mm  
@ SPR032  
min. = -2.933 mm  
@ SPR042  
0 mm  
@ SPQWFFP2  
(0±0mm)  
  
r.m.s = 1.454 mm  
max = 4.716 mm  
@ SP154  
min. = -3.187 mm  
@ SP124  
0 mm  
@ SPQWFFP2  
(0±0mm)  
  
Qe-bunch  
(nC)  
0 nC  
@ SP583  
(0±0 nC)



mode
e+ e-
a b r c 1 2 3 4 5 6 p1 p2
range DX Auto Fix (5) DY Auto Fix (5) Q Auto Fix (11)
Replot
Clear Statistics

Main Application Area

H 3/17 local bump a 131

by H. Koiso

local bump

FIT SPB34 DY 0.001

FIT SPB44 DY 0 DPY 0

FREE SK0 SYB21

:

G0

cavity  $\in$  MULT 2" 表現  $\underline{W1} \in 523$ .

( transverse dipole wake  
効果. HV  $\neq$  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_C8_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

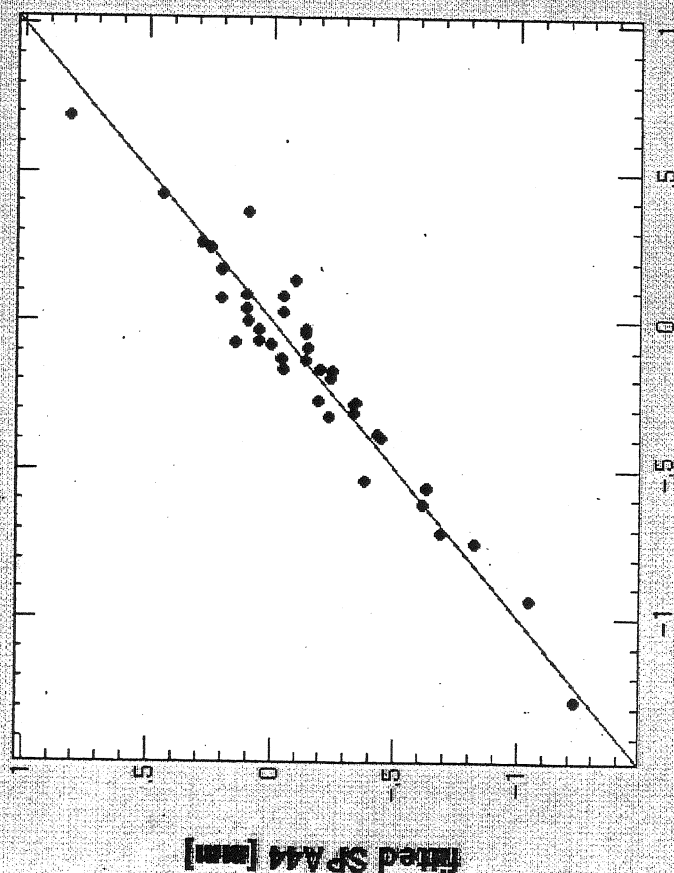
Resume

Main Application Area

downhill simplex 法 による  
optimization

by J. Flanagan

residual = 107 mm



measured SPA44 [mm]

fitted SPA44 [mm]

Condition  
BPM to be Calibrated : SPA34

Direction : ☒ Horizontal ☐ Vertical

Used Components :

BPM : SPA34

Steering : {{ "SYA32", 1 }}

from -4

to .4

number 4

Q magnet: QDA34

from -1

to 1

number 10

next remem. save

GO STOP READ

Display  
BPM : SPA44

Steering step : F10

Result

When the beam is at the Q center :

BPM reading [mm]: .32986

error [mm]: .00887

Last BPM taken into account :

SPB24

rel. curr. thresh. : .7

Fit Ok I Save

quad BPM

by N. Akasaka

st

beam → |

BPM

|

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

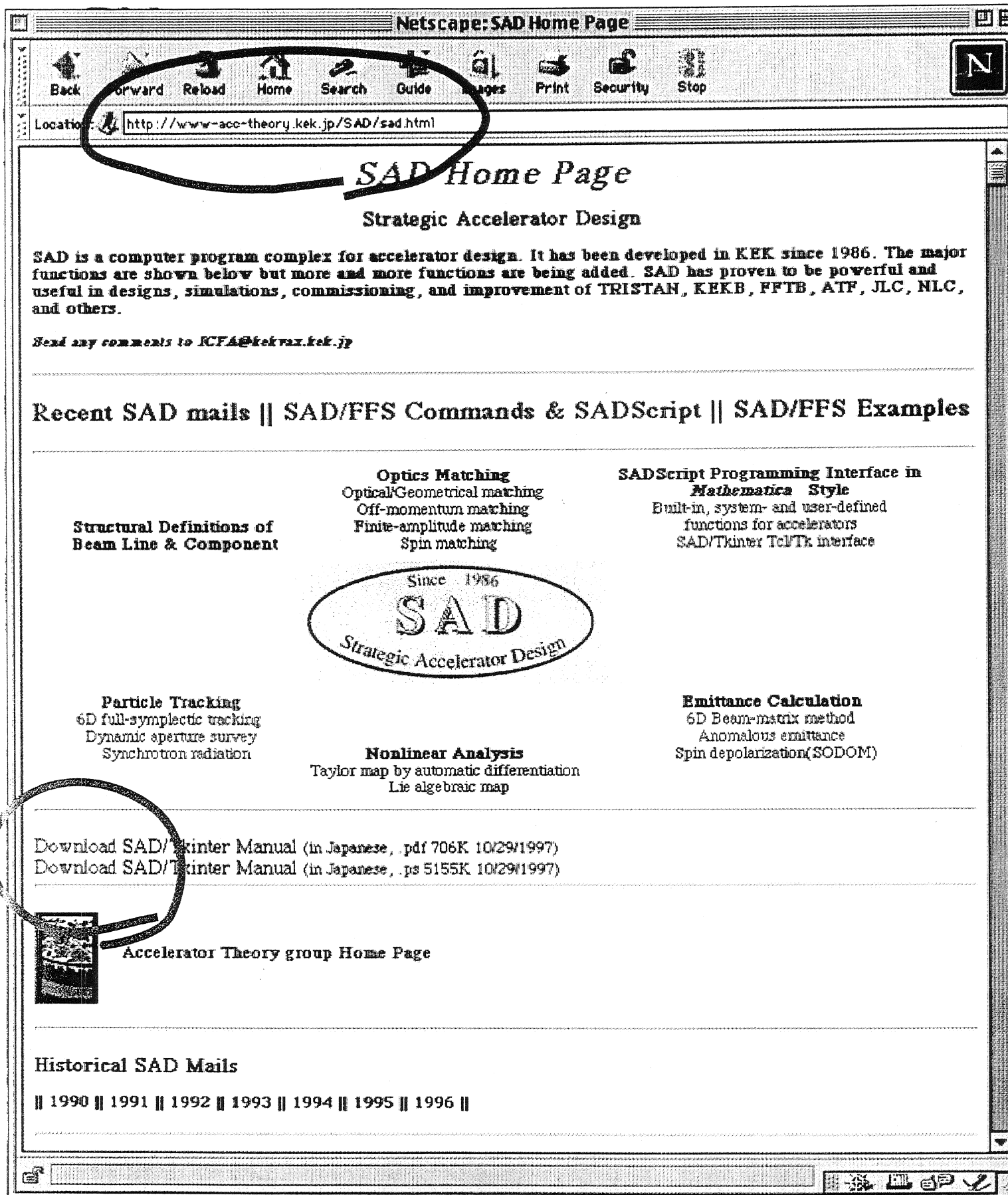
1997 年 10 月 29 日  
(SAD1.0.5.4.4b に対応)

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 インタプリータなどが組み込まれ、SADScript インタ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つつあります。SAD/Tkinter は SAD/FFS/SADScript インタプリータから、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。

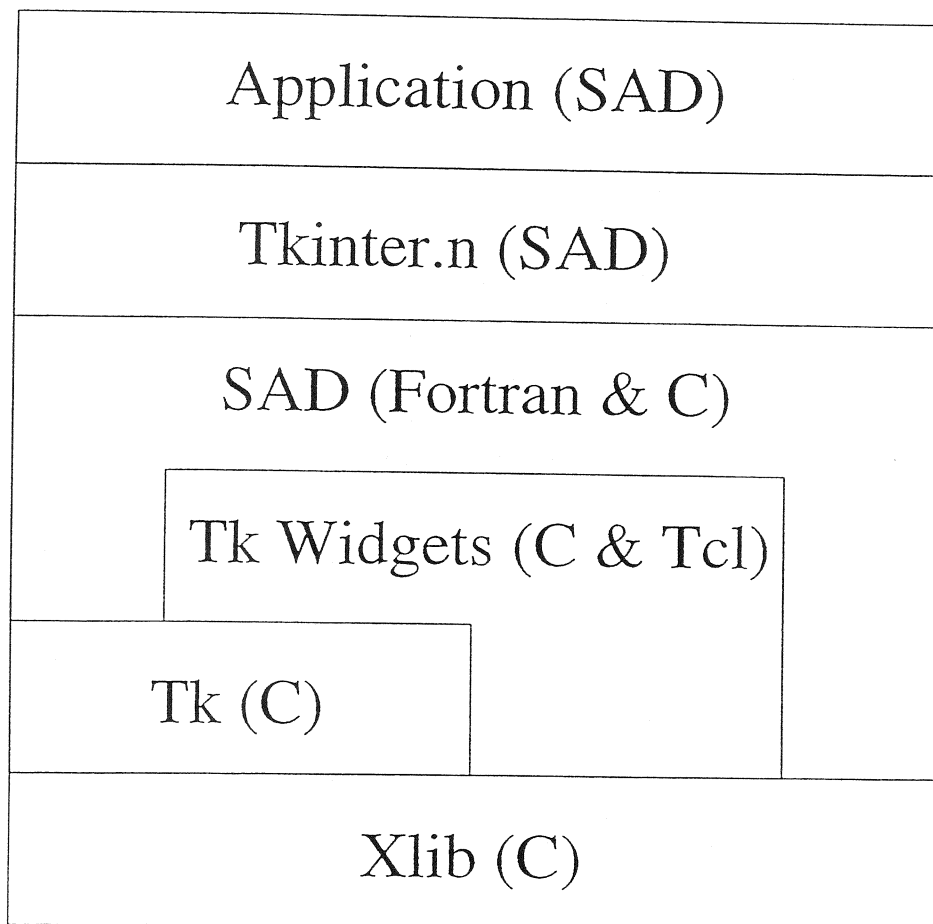
このマニュアルに書かれている内容、SAD のプログラム及びライブラリは、今後予告なく随時改編されます。このマニュアルの最新版は上記のホームページからいつでもダウンロードできます。

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。





# SAD/Tkinter



<http://faraday.kek.jp/KBFrame/contents.html>

目次 Hello, World!

---

## 始めに

---

K~~KB~~Frame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標としています。以下の説明では、SAD/Tkinter については既知に知っているものとして、特に説明はしません。

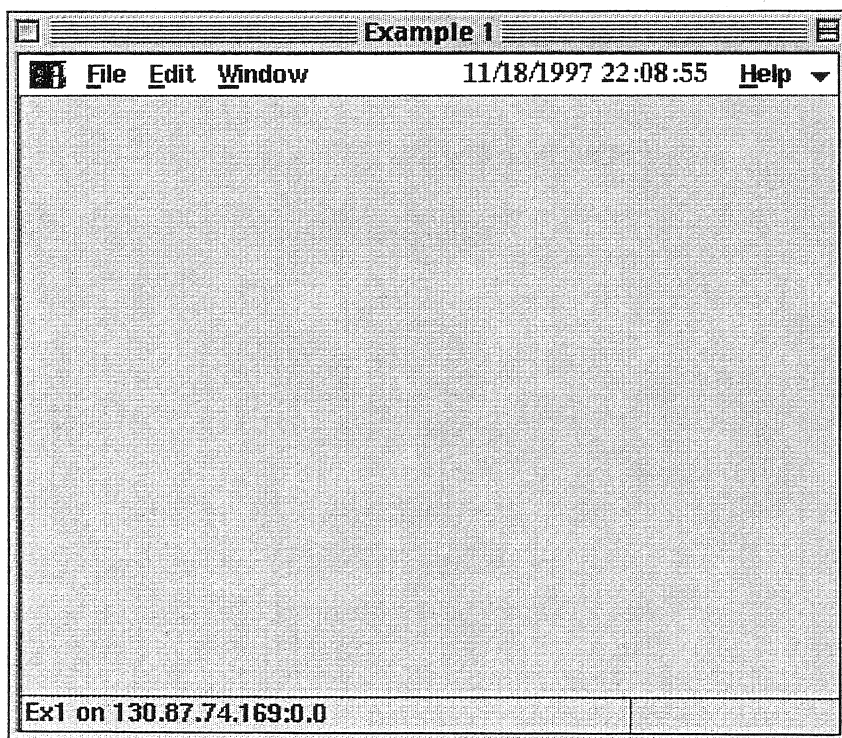
最も簡単な例としては、

```
FFS;
```

```
w = KKBMainFrame["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

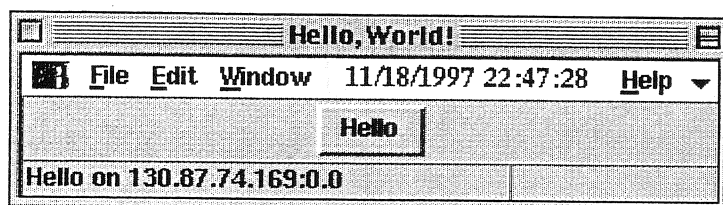
```
FFS;  
w = Window[];  
b = Button[w,  
    Text -> "Hello",  
    Command :> Print["Hello, World!"]];  
TkWait[];
```



をKEKBFrameを使って書くと、

```
FFS;  
w = KEBBMainFrame["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、KEKBMainFrame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](#)

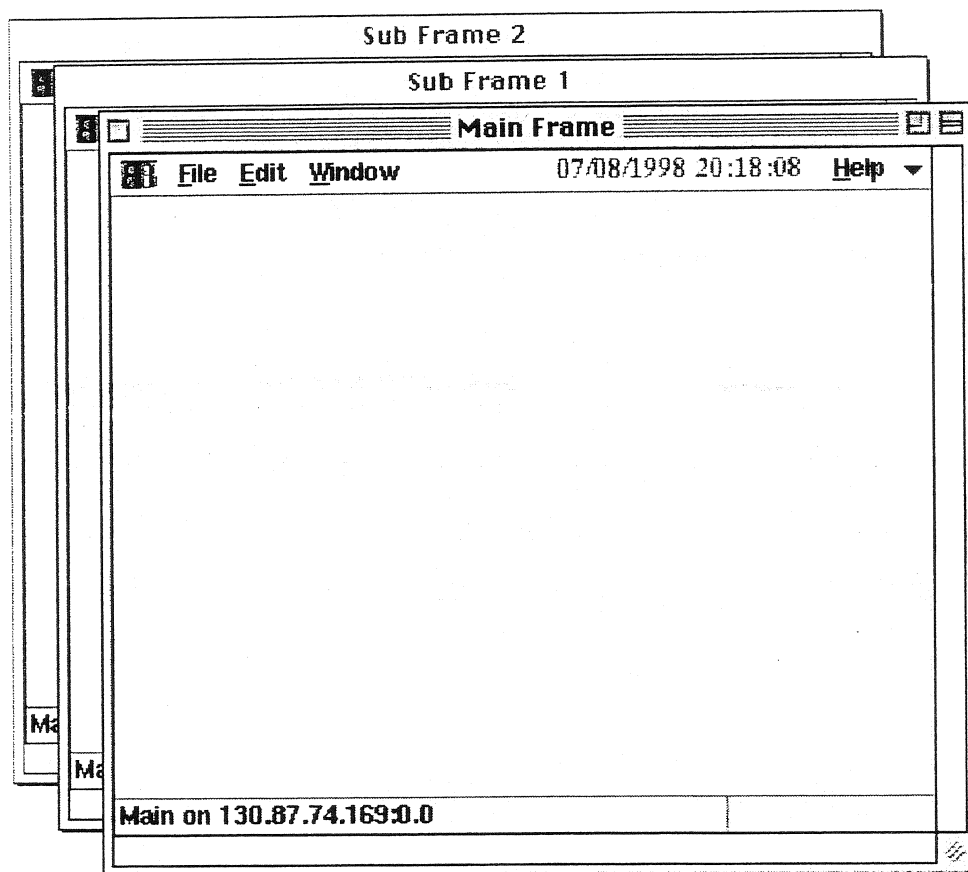
このページに関する御意見・質問は [N. Akasaka](#)まで。

## 複数のウィンドウ

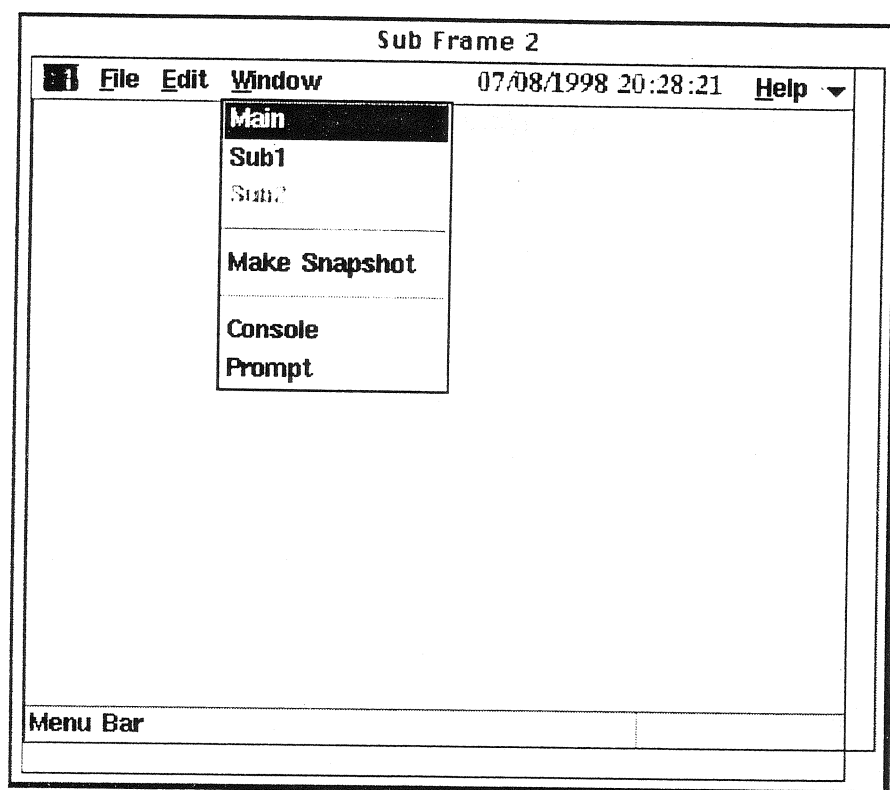
複数のウィンドウを開くには、初めのウィンドウをKBMainFrameで作り、残りをKBSubFrameで作ります。

```
FFS;  
w = KBMainFrame["Main", f, Title->"Main Frame"];  
s1 = KBSubFrame["Sub1", f1, Title->"Sub Frame 1"];  
s2 = KBSubFrame["Sub2", f2, Title->"Sub Frame 2"];  
TkWait[];
```

この時、必ず最初のウィンドウをKBMainFrameで、残りのウィンドウを KBSubFrameでそれぞれ作るようにしてください。



2つ目のKBSubFrame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ィンドウに対応しており、各ウィンドウを前面に持ってくる事が出来ます。Make Snapshotは、このウィンドウの静的なイメージを別の独立なウィ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、このウィンドウを作ったSADが走っているウィンドウ(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。

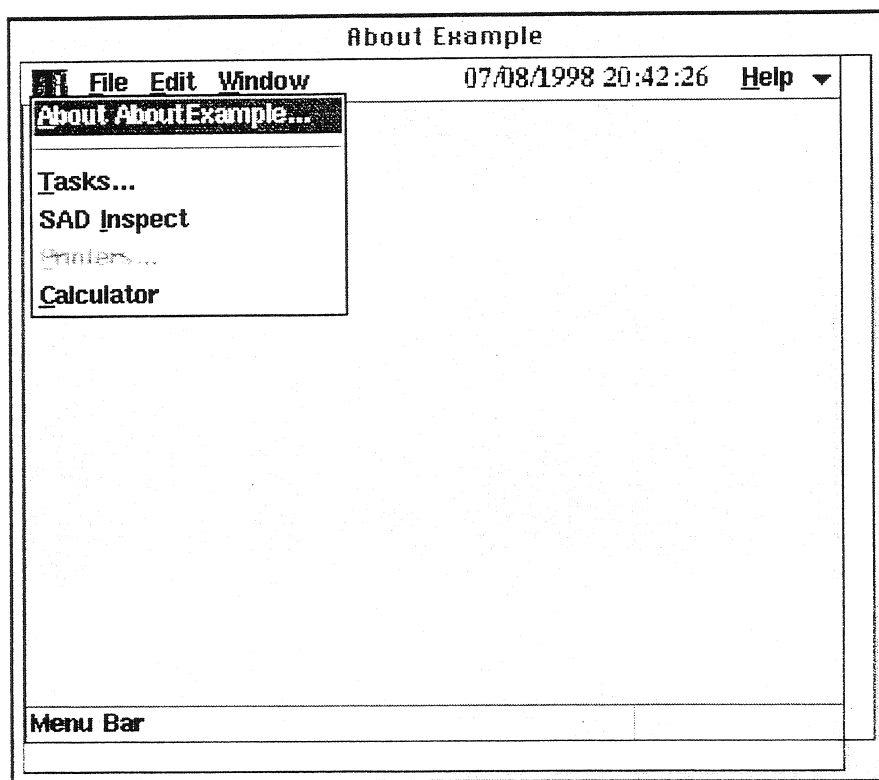
目次 複数のウインドウ メニューの作成

## About MessageBox

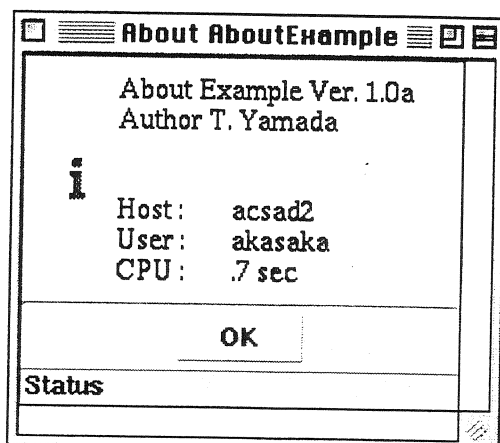
アプリケーションに作者のメッセージを表示させたい時は、まずw[AboutMessage]で表示する文字列を指定します。

```
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

---

---

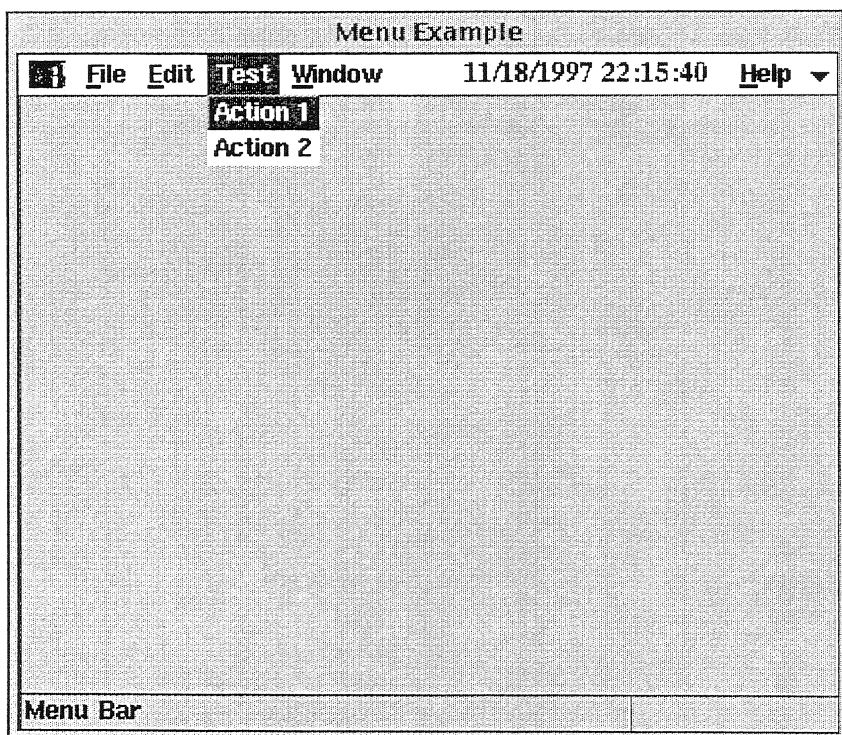
メニューの作成

---

メニューバーに新しくMenuButton□を作るには、

```
FFS;  
w = KKBMainFrame["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

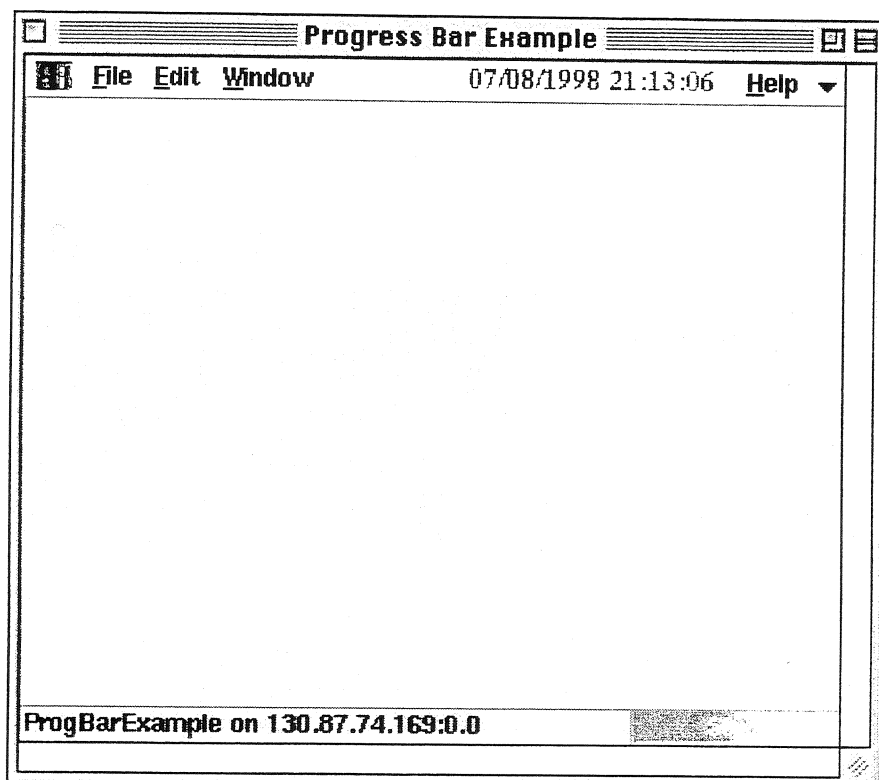
---

## 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。

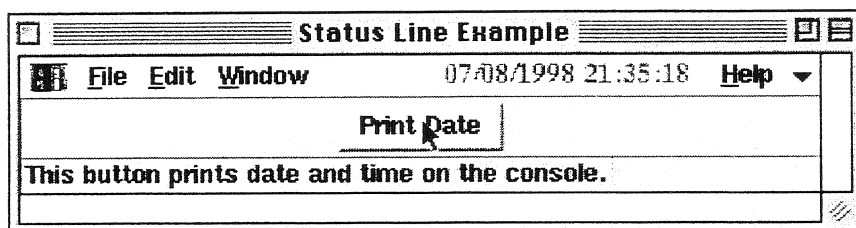
## 目次 Progress Bar 部品の配置

## 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。

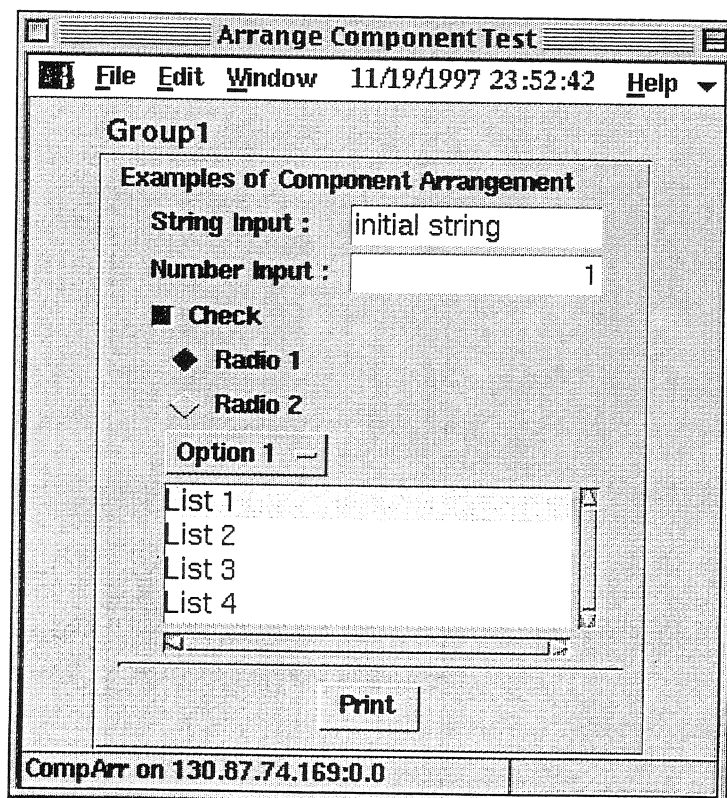
## 目次

## 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 = KEBMainFrame["CompArr", f, Title->"Arrange Component Test"];
s = "initial string"; n = 1; c = 1; r = 1; o = 1; l = 1;
KEBComponentFrame[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。



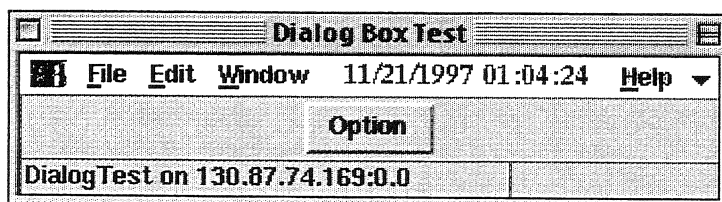
## 目次

## 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KEKBComponentFrame[]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(KEKBOptionDialogの戻り値が1)だけで、Cancelボタンを押した時(KEKBOptionDialog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 = KKBMainFrame["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 = KKBOptionDialog[
  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],
    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}]]
  ]
];
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、下のウィンドウが開きます。一番下のOkとCancelのボタンは自動的に作られます。

The image shows a Windows-style dialog box titled "Option Test". Inside the dialog, there is a section labeled "Group1" which contains a sub-section titled "Examples of Component Arrangement". This sub-section displays several UI components: a "String Input" field containing the text "initial string", a "Number Input" field containing the number "1", a "Check" checkbox which is checked, two radio buttons labeled "Radio 1" (selected) and "Radio 2", a dropdown menu currently showing "Option 1", and a list box containing four items: "List 1", "List 2", "List 3", and "List 4". Below these components is a "Print" button. At the bottom of the dialog are "Ok" and "Cancel" buttons. A "Status" label is located at the very bottom left of the dialog frame.

[top](#)

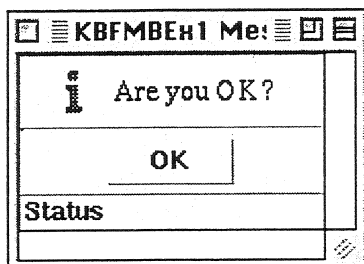
このページに関する御意見・質問は N. Akasaka まで.

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

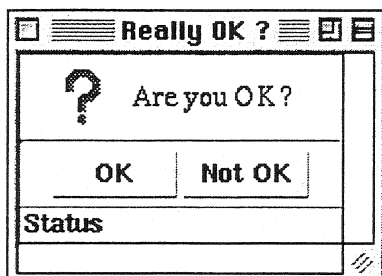
あるメッセージを独立したウィンドウに表示してユーザの注意を喚起するには、KBFrameMessageBoxを使用します。第一引数は表示する文字列です。

```
FFS;
w = KBMainFrame["KBFMBEx1", f, Title->"KBFrameMessageBox Example 1"];
b = Button[f, Text->" OK ? ", Command->KBFrameMessageBox["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。KBFrameMessageBox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オプションでウィ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->"KBFrameMessageBox Example 2"];
b = Button[f, Text->" OK ? ", Command->ask[]];
ask[] := (
  ans = KBFrameMessageBox["Are you OK ?", Buttons->{"OK", "Not OK"},
    Title->"Really OK ?", Bitmap->"question"];
  Print[ans];
);
TkWait[];
```



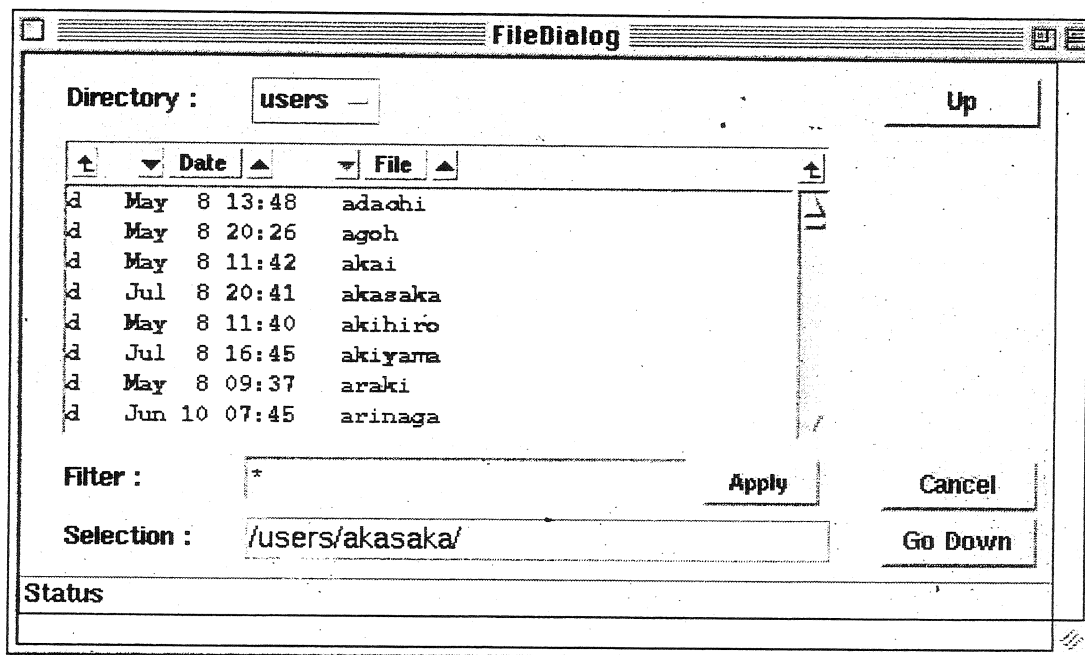
top

このページに関する御意見・質問は N. Akasaka まで。

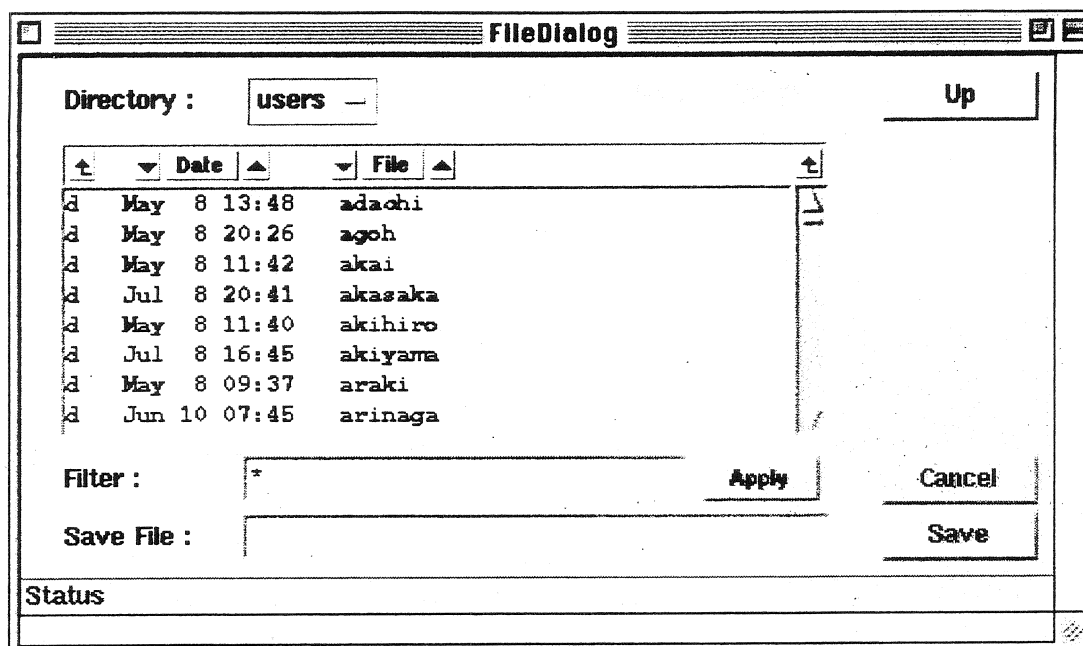
## ファイル選択用ダイアログボックス

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付けるフィルタです。戻り値は、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[];
```





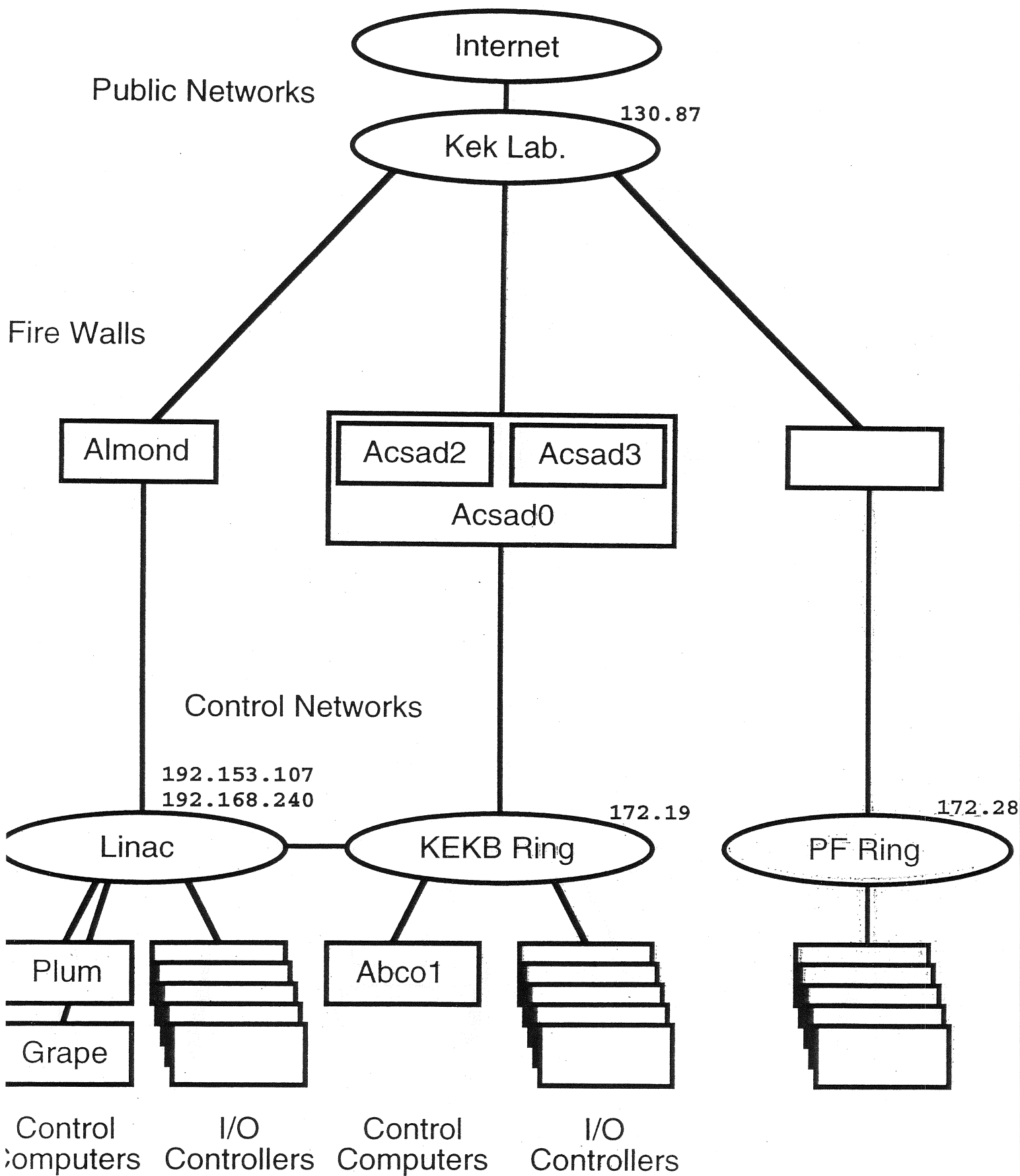
[top](#)

このページに関する御意見・質問は N. Akasaka まで。

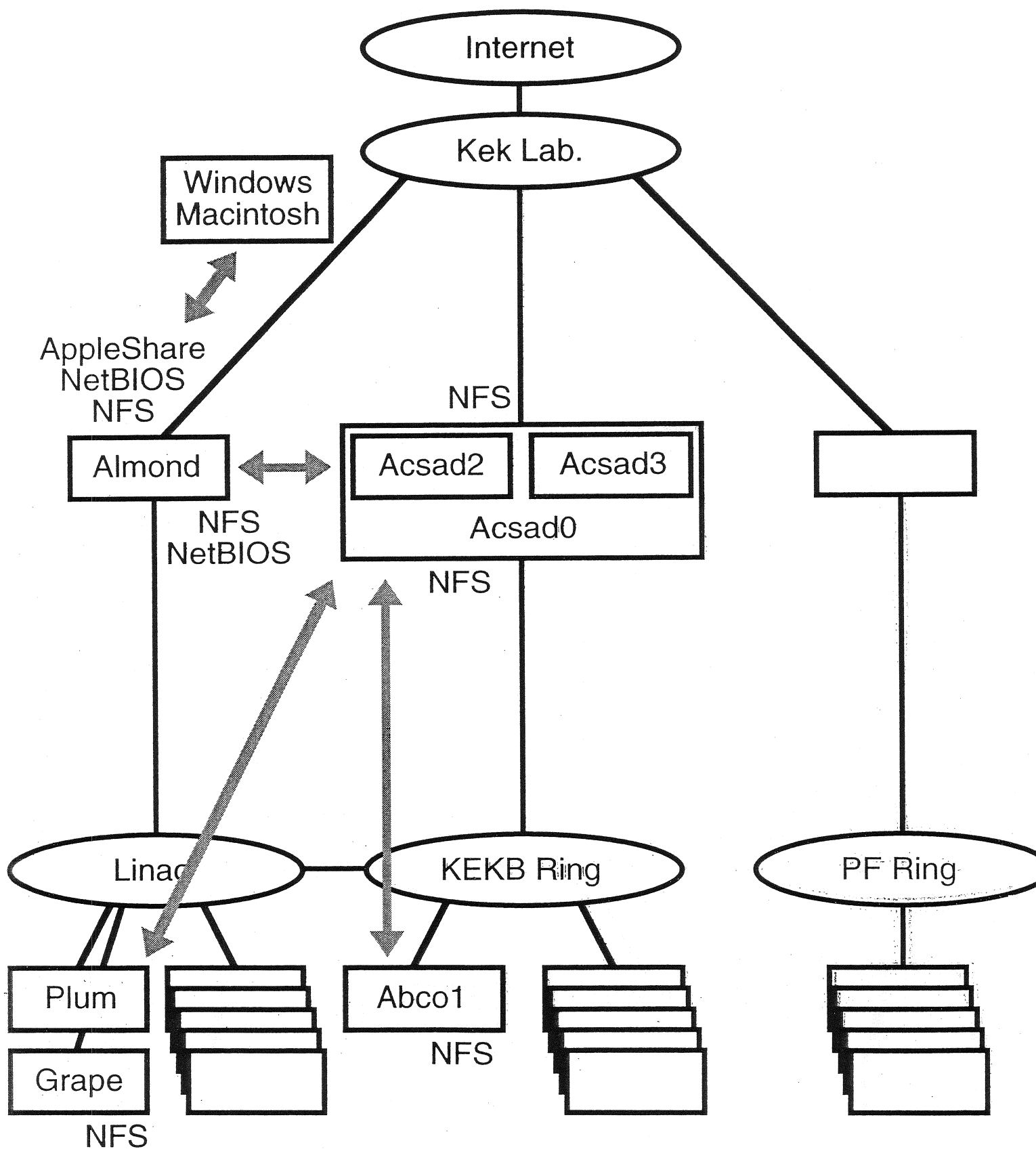
# User Remote Environment

K. Furukawa

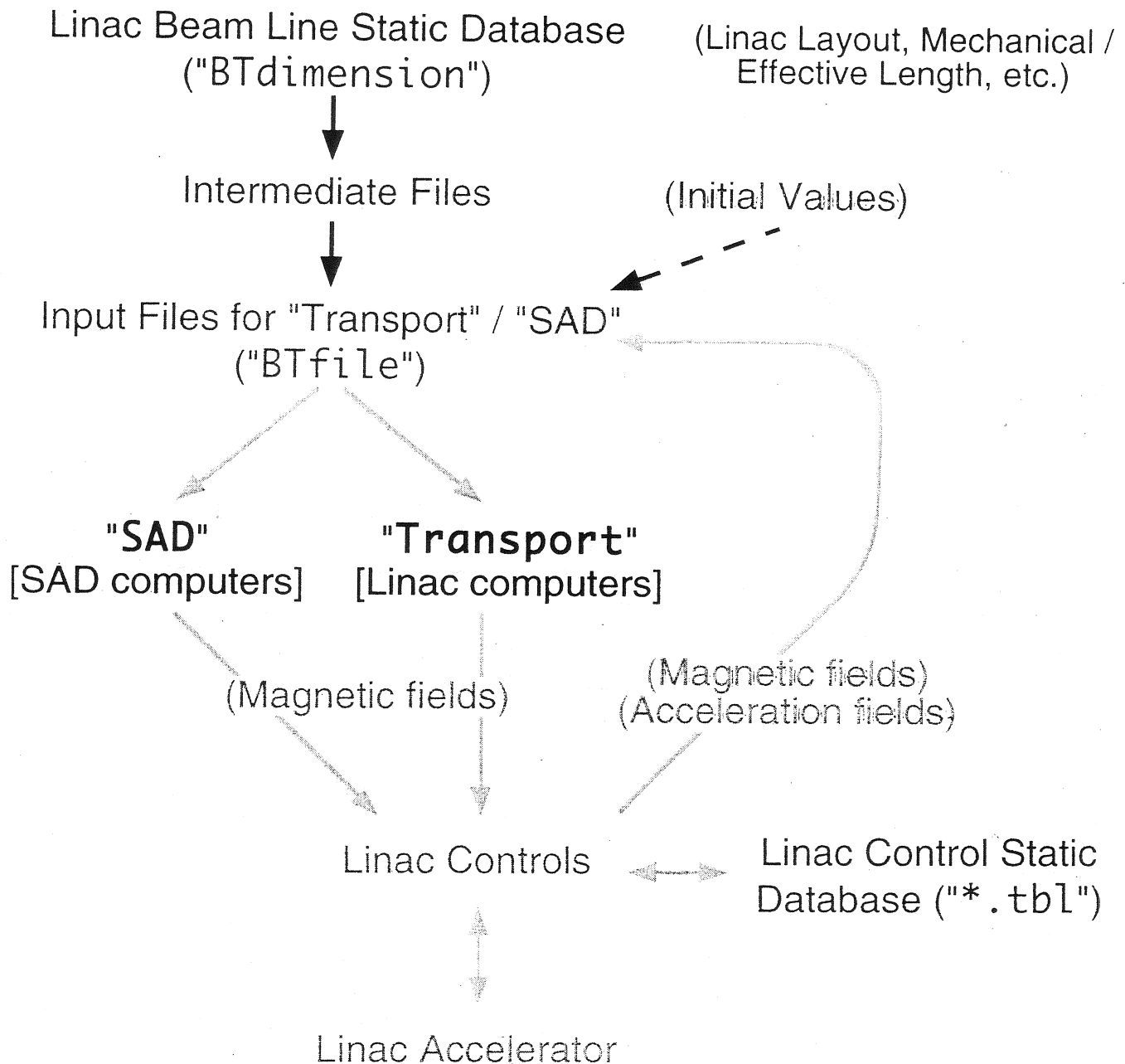




# File Sharing



# KEKB Linac Online Modeling Calculation

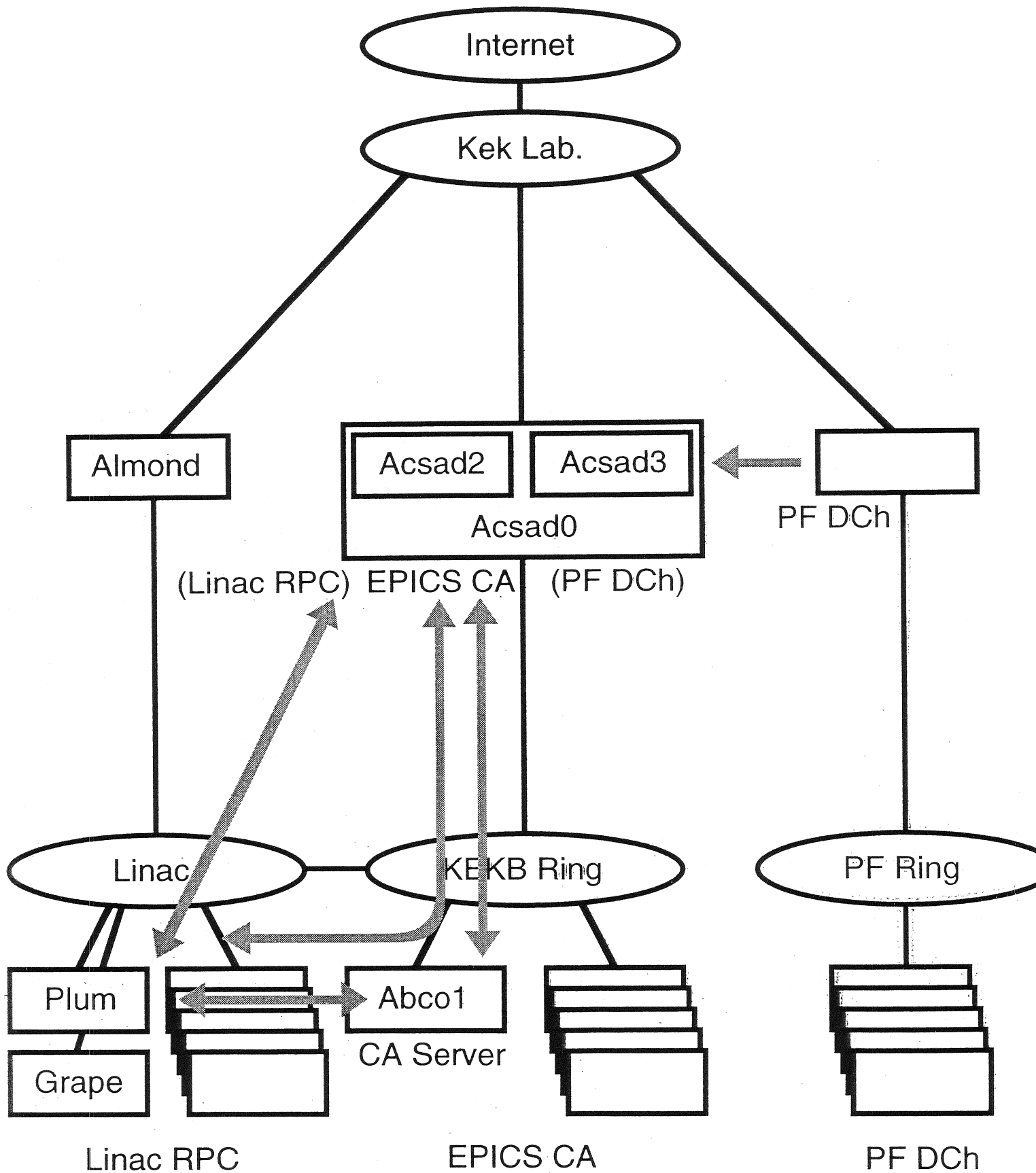


Database Files are Shared between  
Unix / Macintosh / Windows

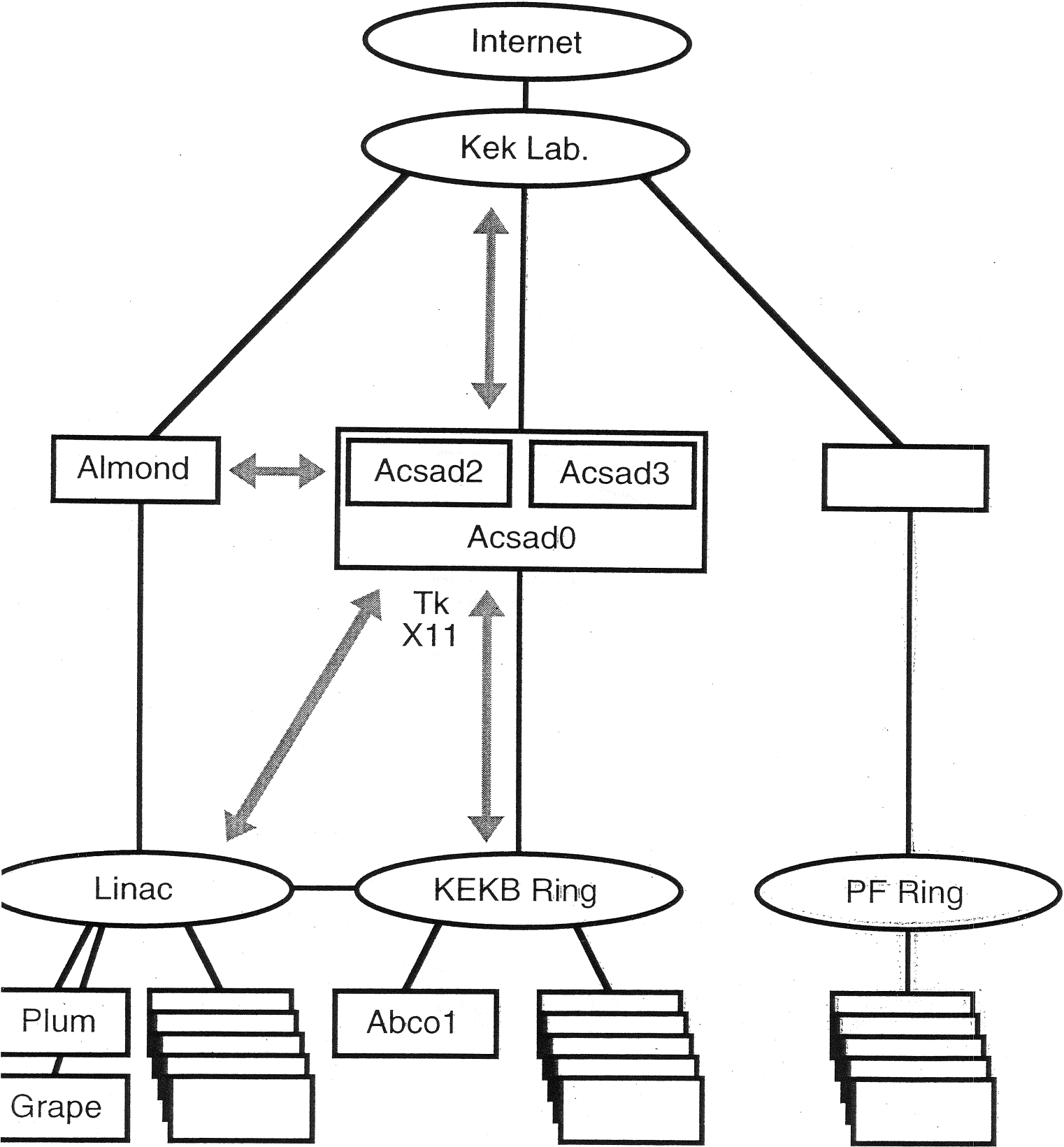
Magnetic Fields / Acceleration Fields are Passed between  
Modeling Programs (Transport/SAD) and Linac Controls  
(Acceleration Fields are Derived from Klystron Voltages)

Results from Transport / SAD are Consistent

# Control Protocol



Graphical User Interface

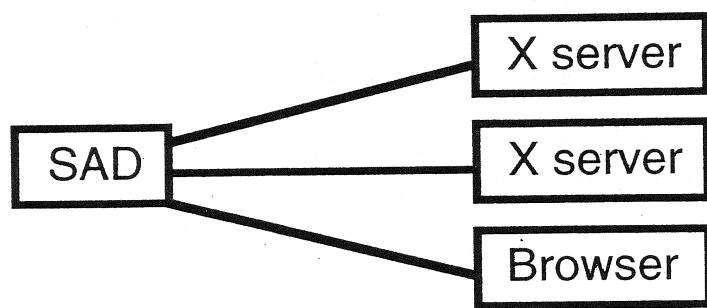




## TkInter – X11/Tk

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):  tcl_dch.o dch_shlib.o
    ${SHLIB_LD} -o $@ tcl_dch.o dch_shlib.o

tcl_dch.o: tcl_dch.c
    $(CC) -c $(SHLIB_CFLAGS) $(CFLAGS) -o $@ tcl_dch.c

du:
    $(MAKE) $(TARGET) "CC= cc -std1" "SHLIB_SUFFIX=.so" \
    'SHLIB_LD=ld -shared -expect_unresolved "*" "SHLIB_CFLAGS='

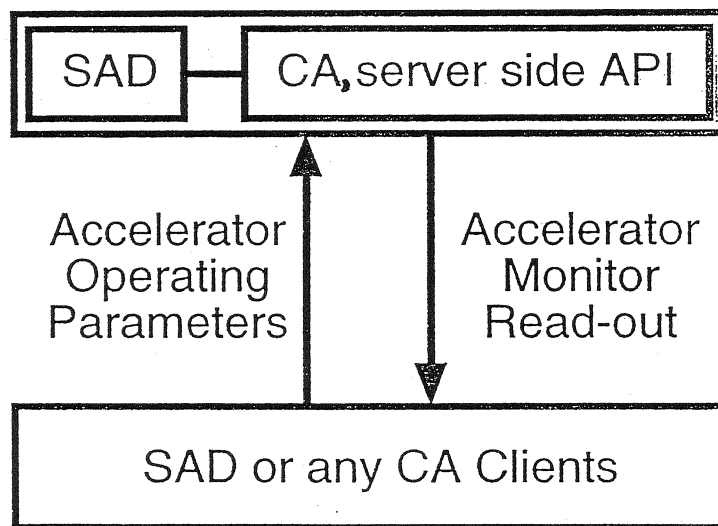
hp:
    $(MAKE) $(TARGET) "CC= cc -Aa -D_HPUX_SOURCE" "RANLIB= echo" \
    "SHLIB_SUFFIX=.sl" "SHLIB_LD=ld -b" "SHLIB_CFLAGS=+z"
```

## 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、pamel、  
trsim、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

ー>新製品も半年たったらもう売れない。

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、入札の手續きに1年かかる。

ー>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い。

ー>新製品発表の予定をあらかじめ調べる。

ー>新製品発表前に、SADのBench Markをする。

ー>短期間でできる入札の金額の範囲で入札の準備

ー>新製品発表と同時に入札、購入

ー>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ー>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ド？

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

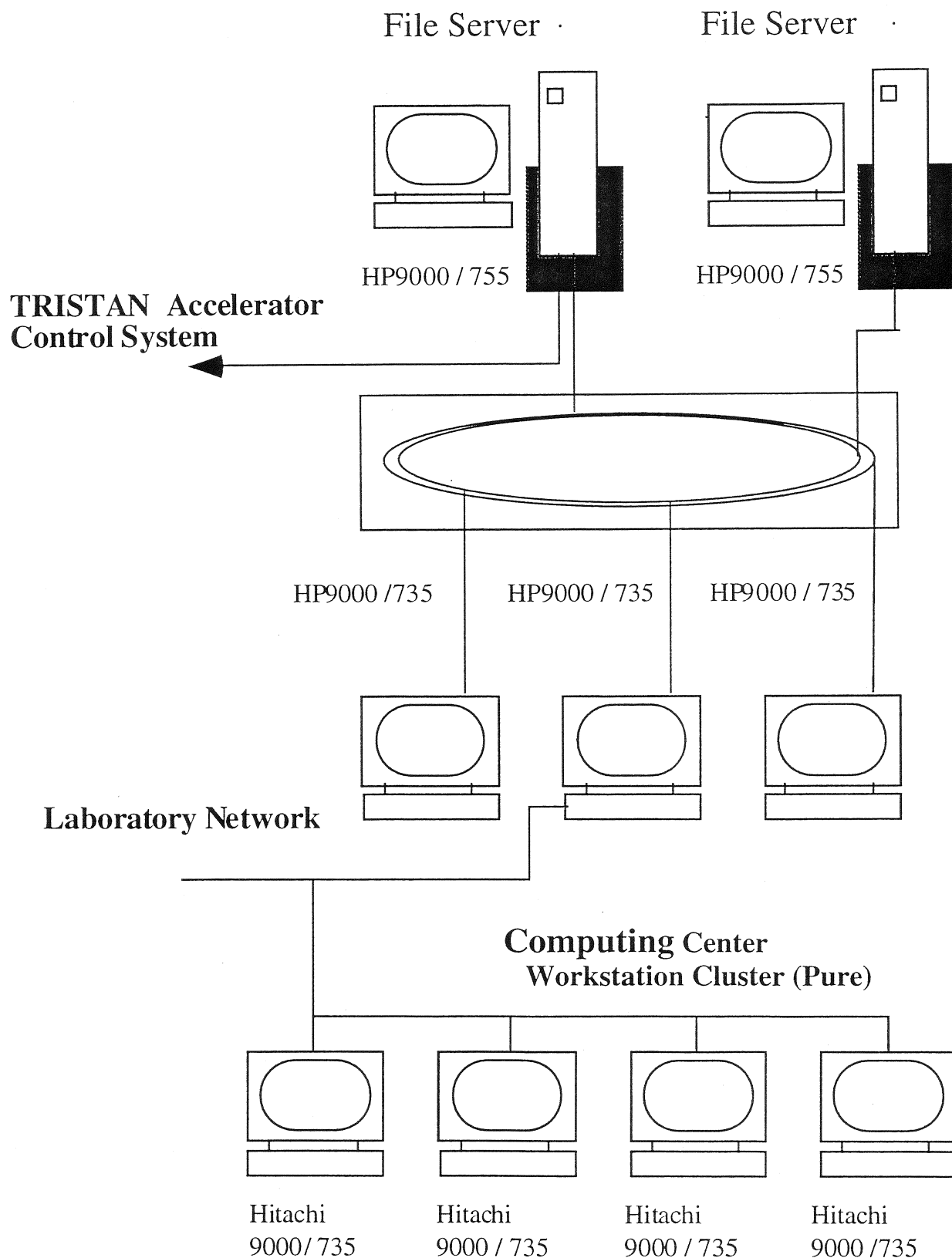
現在、SADのコードを機構外にコピーして、使用している団体は、3団体。  
今後、そのようなユーザーが増加していった場合どのような対応をとるか。

SADは、毎日の様にアップデートされている。

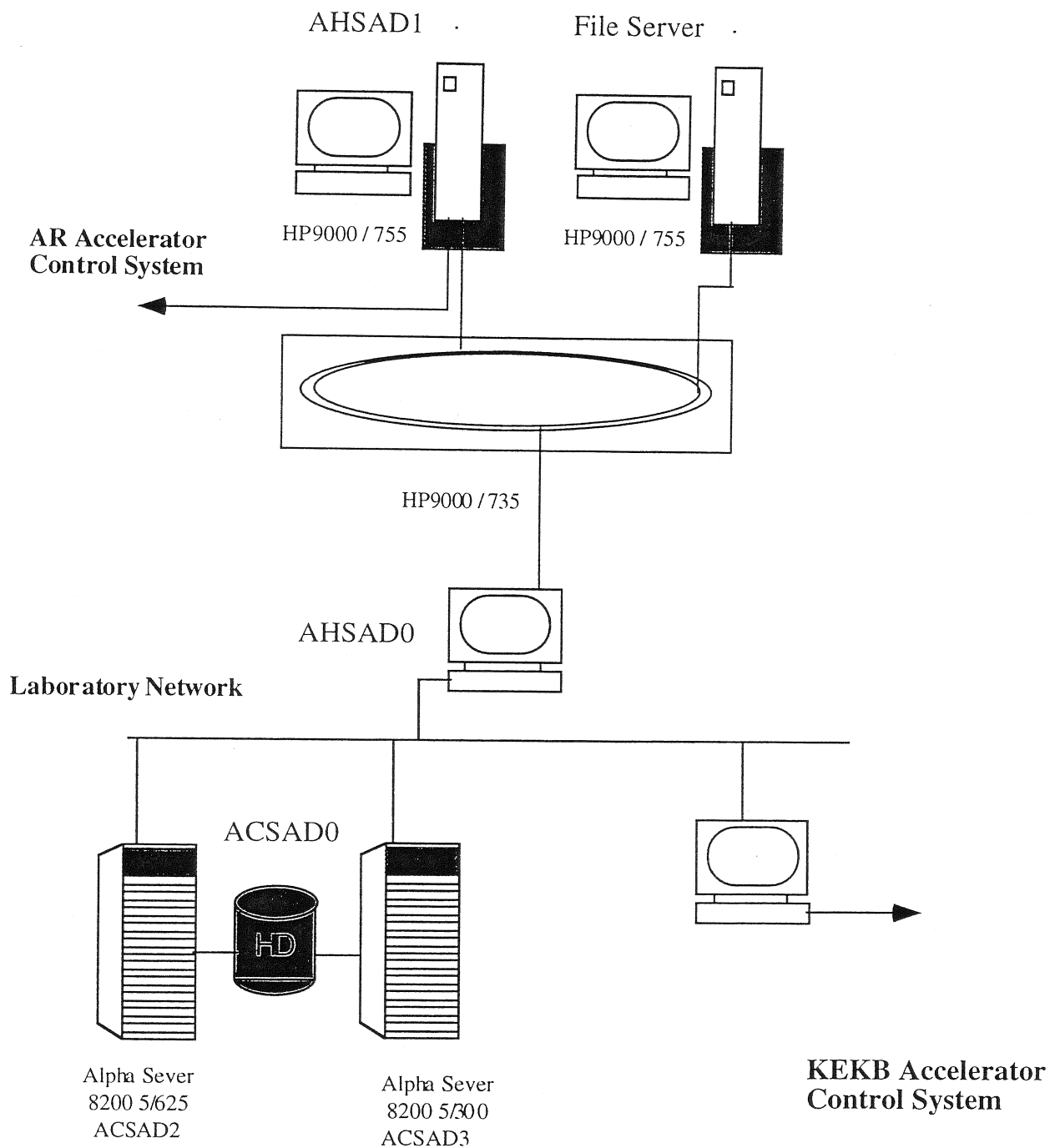
ー＞毎日BUGが、直される。

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

By Noboru Yamamoto

## 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



結論：

**Just Do it!**

**Market will make a choice!**

**Wanted:  
Good Hard working Programmers!**

## 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、 $a = \text{lambda } x, y: x + y$  となっている。



## Collaboration with other tools

» Pythonライブラ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/Posix 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。

ー＞ 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）

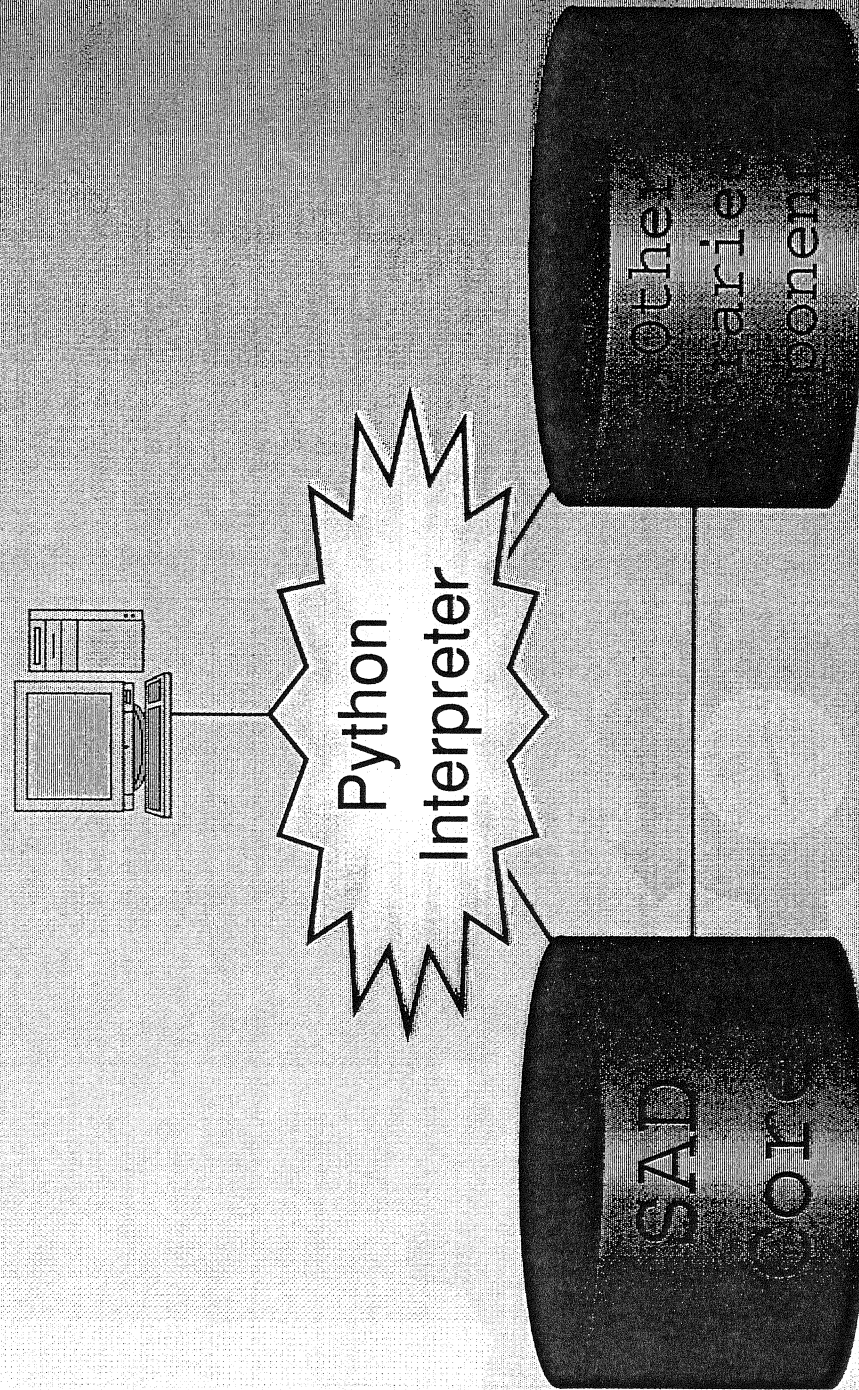
▶12年間の開発の成果をさらに継続させるために十分な構造をもっているか？



## 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)=UnitCell.Fit(
    {(NX,END):nxcell,(NY,END):nycell},
    "Q*")
#define dr as the drawing command
def draw(tiwss,names=()):
    plot((twiss.BX,twiss.BY),
         (twiss.ex,twiss.ey),names)
draw(UnitCell.Twiss)
print time.clock()
supp=Insertion(
    Line(QSF, 8*(L1,), QSD, 3*(L1,), B,
        3*(L1,), QRF, 3*(L1,), CA1, 3*(L1,), QRD)
    + UnitCell)
QRD.L= 0.5;      ! set the thickness of QD
fitCond={ (AY,END):0, (AX,END):0, (EX,END):0, (
PX,END):0}
map(lambda x:fitCond.update({(MIN,x):0}),
     supp.elements("Q*F"))
)
(conv, old_config) =
    supp.Fit(fitCond,("QS*","QR*"))
```

# 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

class IP1(MARK):
    BETAX = 10; BETAY =10;
    EMIX = 4.0E-7
    EMIY = 4.0E-7; DP = 0.01

class CA1(CAVI):
    L = 1; VOLT=1e6; HARM=100
```

# SAD Script Sample(2)

```

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;
B 2*Pi/nbends;  ! periodic condition
FIT;            ! setting bending angle to the BEND B
NX nxcell;      ! set fit point at end of line
NY nycell;      ! set fit condition NX
FREE Q*;        ! set fit condition NY
                ! set Q* (in this case QF and QD) as the matching
                ! variable
GO;            ! start matching
                ! define dr as the drawing command (needs X-Window)
dr:=FFS["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;               ! 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

```

```

! 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;
cell.Fit[];
cell.FitCondition["NX", nycell];
cell.FitCondition["NY", nxcell];
cell.Free["Q*"];
cell.Go[];
! or b.setangle[2*Pi/nbends];

```

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アクセス演算子の右側に適用される。

### メンバアクセス演算子 (.)

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)を実現するためにあつ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？

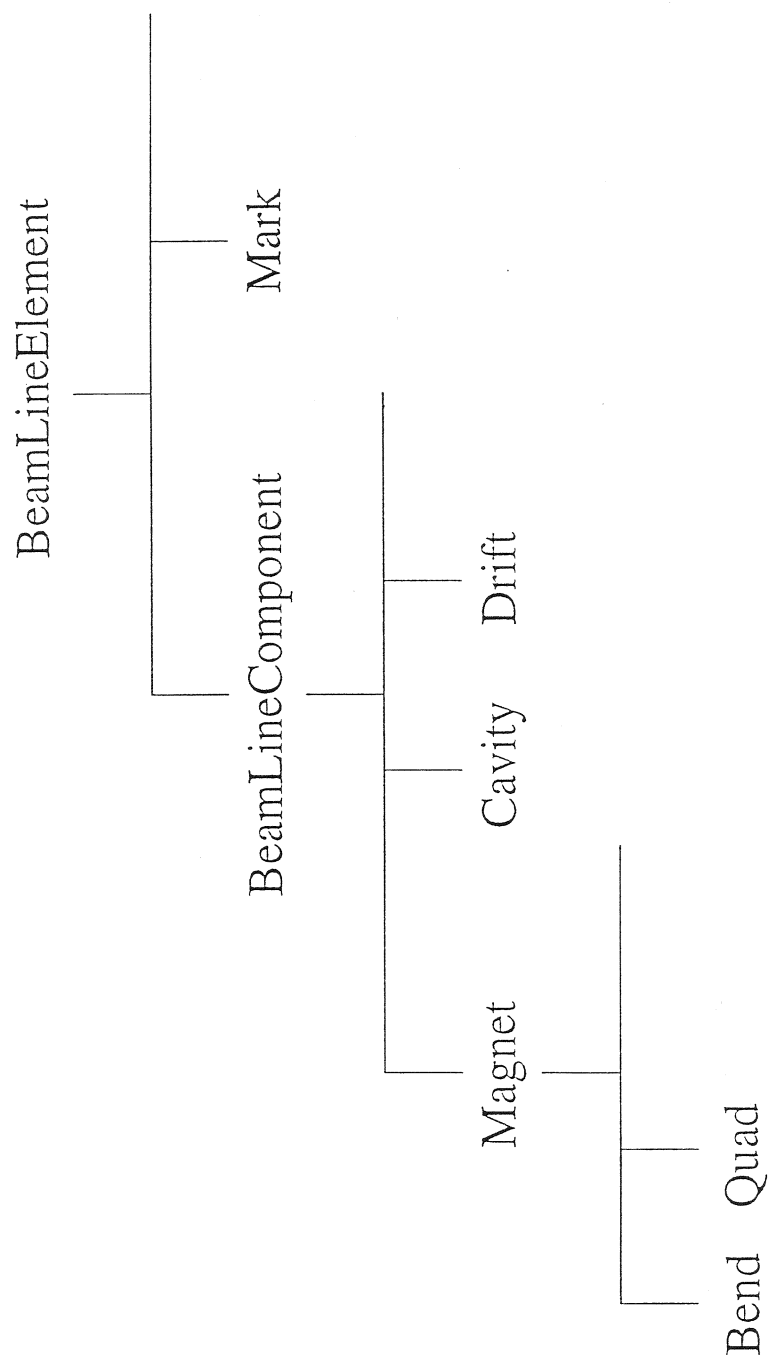
## オブジェクトへの参照

$a = b$ 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});
    ! Destruct[] := Scan[#>.,bl];
    Name[] := name;
    Print[] := PrintBeamLine[This];
    Use[] := If[This===currbl, FFS["use="//name];currbl = This);
    CurrentBeamLine[] := currbl;
    Write[];
    Go[];
];

BeamLine.Print[] := PrintBeamLine[This];

```



$\text{SAD} + \text{C}++ = \text{SAD}++?$

K. Ohmi



# SAD + C++ = SAD++ ?

K.OHMI

*National Laboratory for High Energy Physics,  
1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305, Japan*

平成 10 年 7 月 9 日

## 1 Introduction

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たり、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 の実体は以下にあるように、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である。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 Line\_List、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 K1,ds0,rk,sqrtk;
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=
    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ぞれに適切な方法で 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,strttmp); strcat(str,".f8"); ofstream trout(str,ios
strcpy(str,strttmp); strcat(str,".f9"); ofstream trout2(str,ios

cout << "\n*****"
    << " 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();  
}
```

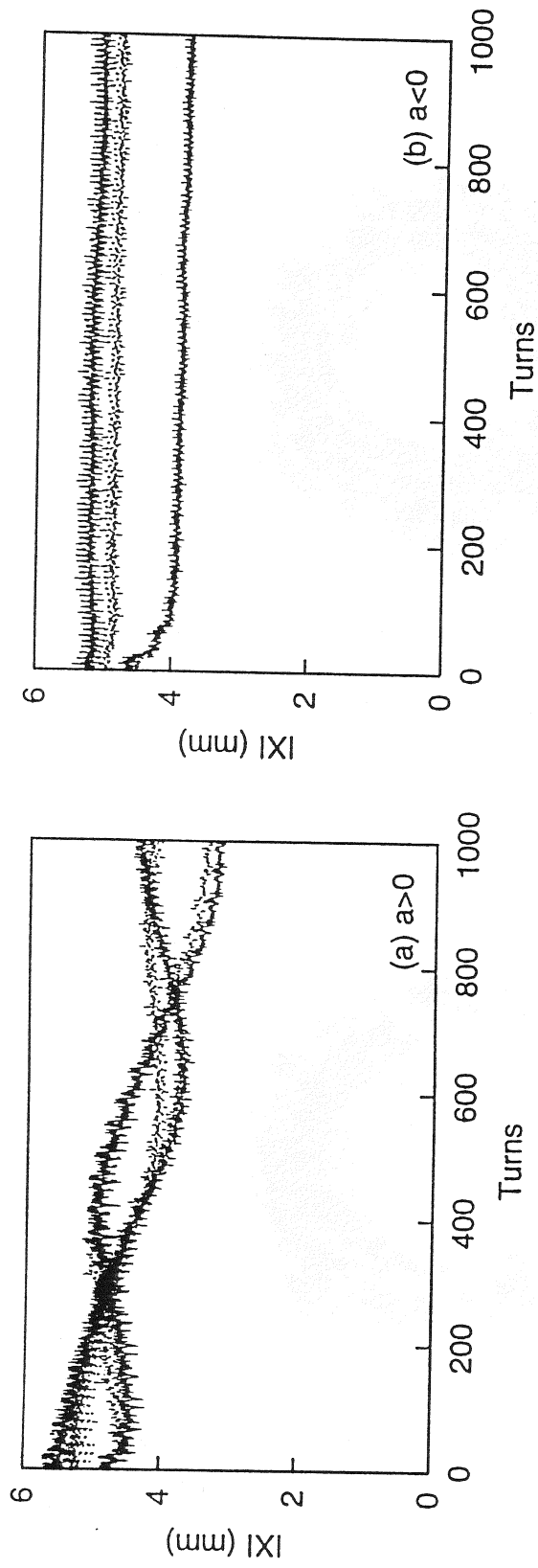


Figure 2: Evolution of  $|X| = \sqrt{2\beta J}$  for five macro-particles chosen arbitrary. (a) and (b) are evolution of  $|X|$ 's for a positive and negative amplitude dependent tune shift.

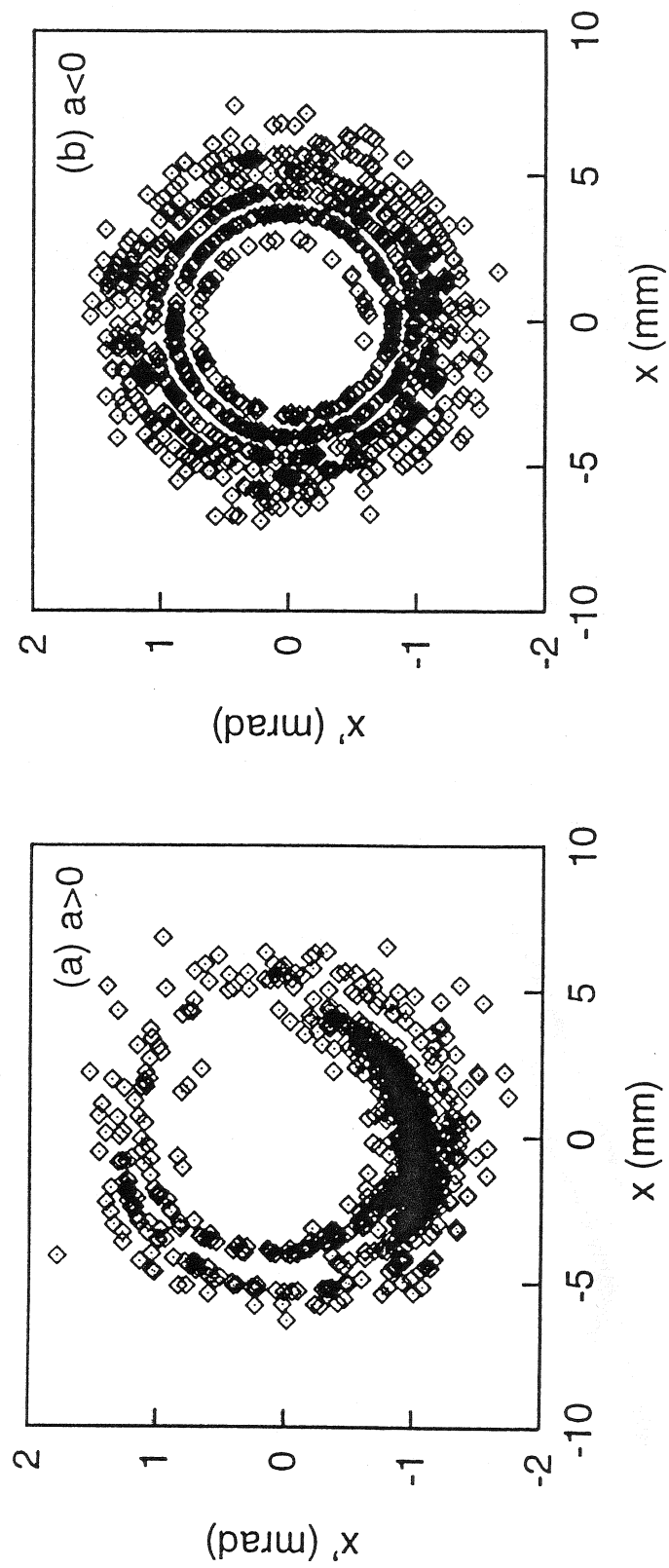


Figure 3: Phase space distribution of macro-particles after 500 revolutions. (a) and (b) are distributions for a positive and negative amplitude dependent tune shift.

oscillation for each sign of  $a$  completely coincided with the simulation. The echo was observed around  $\sim 550$ -th turn at the experiment. It is certain that the phenomenon discussed above actually comes into existence in the experiment.

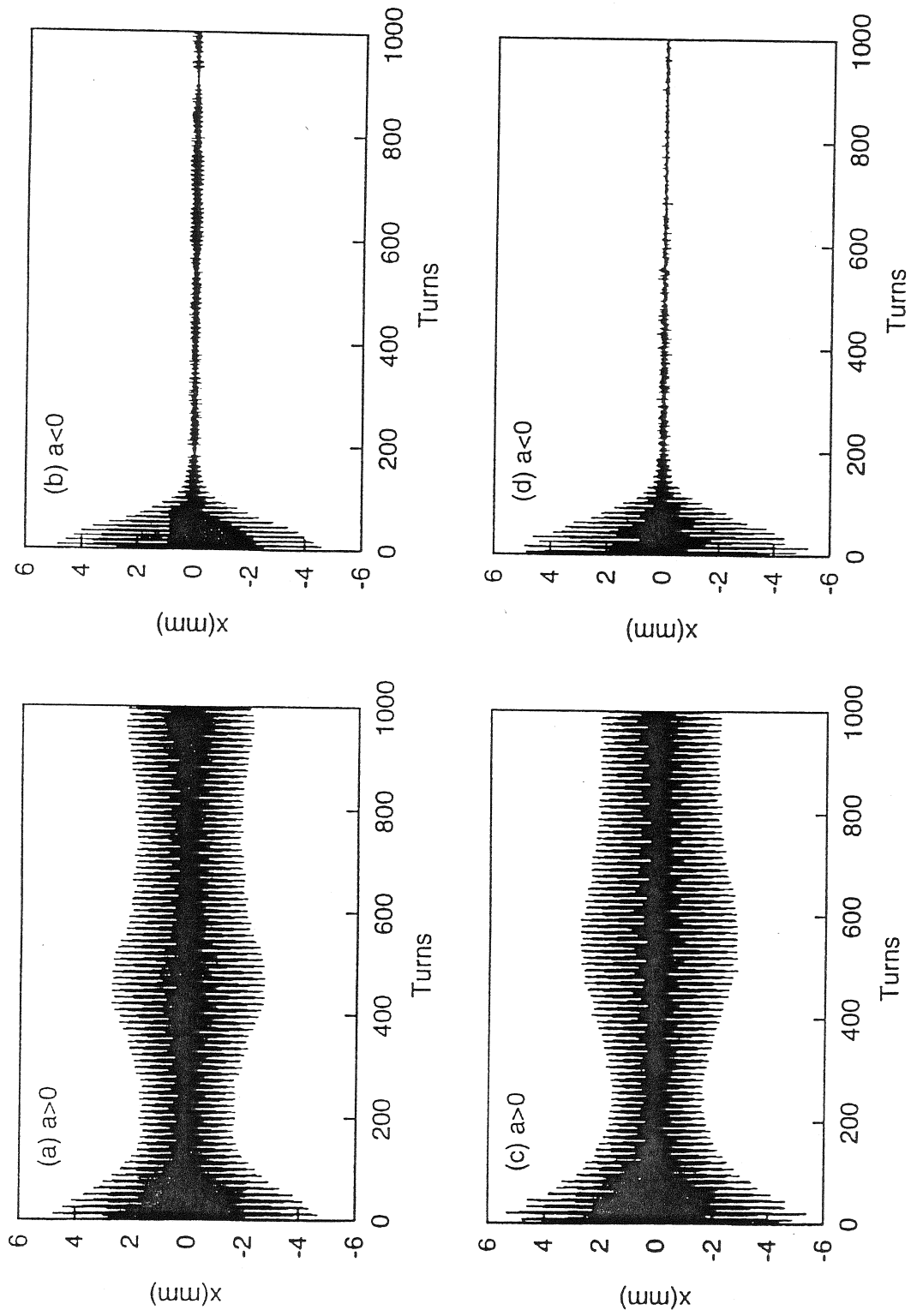


Figure 4: Betatron oscillation affected by the wake force. (a) and (b) show betatron oscillation obtained by the simulation for positive and negative amplitude dependent



# SAD Update V1.0.7.6.11b Accelerator Particles

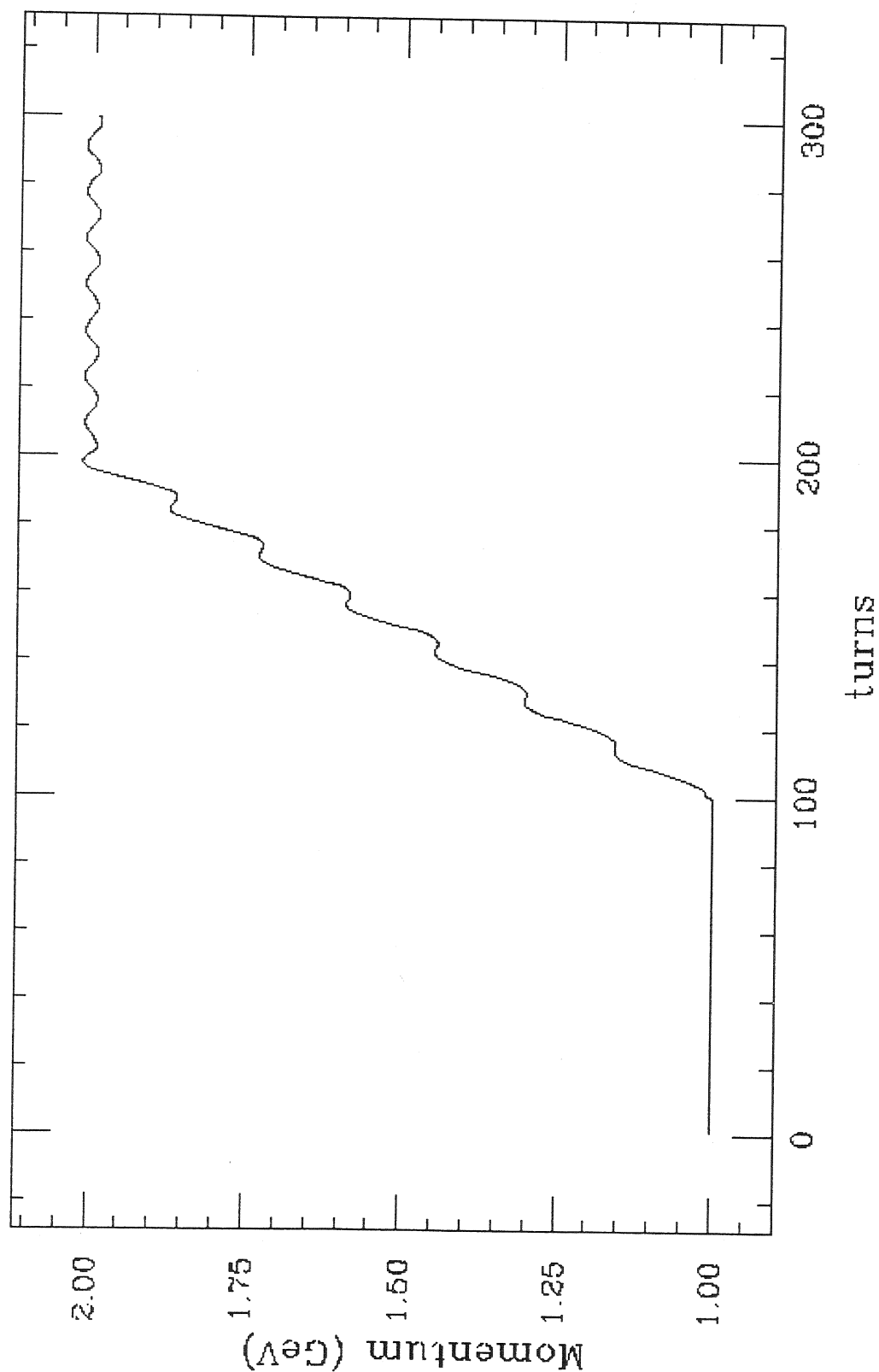
K. Oide



# AccelerateParticles

/users/oide/WORK/oldsad/sad/accel.sad

/SAD/share/Packages/dapert.n





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 での加速器の歴史 および経験の  
集大成 した

現在 進行型 ヲット

生み SAD

- ② 利用

・ 加速器 設計

→ 適用範囲?

・ " ビーム制御

- ③ 利用の拡大

SAD グループ (?)

ホーンズ & P



公 グループ へ



利用を 広げるために

user friendly な システム

・ マニピュレータの整備

・ 問い合わせの対応

# 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 ( $\mu, \nu, K, \pi$ , 中性子、不安定核)

多様性 (JHF,  $\mu$ -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  $\langle \gamma_t \rangle$

equilibrium?



