

J A E R I - M
90-124

小型電子ストレージリング(J S R) ラティスの設計

1990年8月

原田 俊治・横溝 英明・柳田 謙一

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
人手の問合せは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）
あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター
(〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内) で複写による実費領布をおこなって
おります。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1990

編集兼発行 日本原子力研究所

印 刷 粕高野高速印刷

小型電子ストレージリング（ J S R ） ラティスの設計

日本原子力研究所大型放射光施設計画推進室

原田 俊治・横溝 英明・柳田 謙一

（ 1990 年 7 月 10 日受理）

本報告は、小型電子ストレージリング（ J S R ）を建設する際に比較検討した、数種類のラティスタイプに対する検討結果をまとめたものである。

小型電子ストレージリングを構成する電磁石・電源系、真空系、ビーム診断系、高周波加速系の各機器の仕様及び性能は別の報告に譲る。

Design of a Lattice for JAERI Storage Ring (JSR)

Shunji HARADA, Hideaki YOKOMIZO and Kenichi YANAGIDA

Office of Synchrotron Radiation Facility Project
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received July 10, 1990)

The new 8GeV synchrotron radiation facility (SPring-8) is planned to be constructed in Japan, and our institute (JAERI) are involved in this project with RIKEN. A compact electron storage ring JSR has been constructed in JAERI in order to study various kind of accelerator technologies, to test some devices such as the insertion devices and the beam monitors, and to train young researchers. The ring size is limited by the available space of a linac building, so that the circumference of JSR becomes 20.546 m. However, even in this small ring, one straight section with the length of ~1.5 m, where the dispersion is free, is provided for the insertion device study. JSR takes Chasman-Green lattice with a superperiodicity of three. JSR is possible not only to suppress the dispersion but also to leave it on the long straight section. An electron beam from a linac is accepted into JSR in any operating modes.

Keywords: JSR, Synchrotron Radiation, Electron, Storage Ring, Injection System, Lattice

目 次

1.はじめに	1
2.ラティスの設計条件	1
3.各ラティスの比較	3
3.1 n値付8角形ラティス	3
3.2 C-G型8角形ラティス	3
3.3 C-G型エッジ付8角形ラティス	3
3.4 C-G型6角形ラティス	3
3.5 TBA型ラティス	4
4. C-G型6角形ラティスについての検討	22
4.1 漏れ磁場によるチューンの変化	22
4.2 漏れ磁場による偏向部での軌道のずれ	22
4.3 各種運転モード	23
5. C-G型6角形ラティスの入射系	44
5.1 ダブルアクロマティックモード	44
5.2 η1/2モード	44
5.3 ηフルモード	45
6.まとめ	54
参考文献	54

Contents

1. Introduction	1
2. Design conditions of a lattice	1
3. Comparison of each lattice	3
3.1 Octagonal lattice with n-value	3
3.2 Octagonal C-G lattice	3
3.3 Octagonal C-G lattice with edge angle	3
3.4 Hexagonal C-G lattice (Superperiodicity of three)	3
3.5 TBA lattice	4
4. Investigation of the hexagonal C-G lattice	22
4.1 Tune shift by a fringing magnetic field	22
4.2 Orbit distortion through a bending section by a fringing magnetic field	22
4.3 Operating modes	23
5. Injection system of the hexagonal C-G lattice	44
5.1 Double achromatic mode	44
5.2 $\eta_{1/2}$ mode	45
5.3 η -full mode	54
6. Conclusion	54
References	

1. はじめに

小型電子ストレージリング(以下JSRと略す)^{1)~6)}は、次世代高輝度光源施設である大型放射光施設(Spring-8)^{7)~9)}の研究・開発を補助する目的で建設されたテ스트リングである。JSRにおいて円形加速器の設計、製作、据付及び運転に関する基礎技術を得ると共に、挿入光源装置、ビーム制御技術及びビーム診断技術等の研究開発を行う予定である。

本報告は、JSR完成までに得られた結果をラティス設計、電磁石・電源系、真空系、ビーム診断系、高周波加速系にそれぞれ分けてまとめたものの中でラティス設計に関するものである。本報告では、JSRのラティスを決定する際に検討した事項の中で、比較検討したラティスの特性、採用したラティスにおける入射系、漏れ磁場による影響、運転モードについて述べる。

2. ラティスの設計条件

ラティスを設計する上で与えられた条件を表2.1に列挙する。列挙した条件以外に、コストを抑えることも念頭において設計した。

(1) 入射・蓄積エネルギー

JSRへの電子ビームの入射は、東海研にある既設のライナックを入射器として使用して行う。このため、入射エネルギーは最大150MeVに制限される。入射後300MeVまで加速する。電子ビームは、スイッチング電磁石で5度偏向され、さらに45度偏向されてJSRに導かれる。45度偏向した後、途中までは既設のビーム輸送系を利用し、不足部分を新設する。

(2) JSRの大きさ

JSRの設置場所は東海研リニヤック棟の北ターゲット室とする。これから、JSR本体の大きさは最大で8m×8m、SRの利用・計測機器の設置を考慮すれば6m×6m程度が妥当と考えられる。

(3) 挿入光源装置

アンジュレータやウィグラーを将来設置できるように分散が零の直線部を1.5m程度確保する。アンジュレータやウィグラーによるSR利用のため、ビームラインの方向にできるだけ広い空間を確保する必要がある。

(4) 電磁石

積層タイプはコストアップとなるので、ブロックタイプとする。電子ビームの加速は、電磁石

1. はじめに

小型電子ストレージリング(以下JSRと略す)^{1)~6)}は、次世代高輝度光源施設である大型放射光施設(Spring-8)^{7)~9)}の研究・開発を補助する目的で建設されたテ스트リングである。JSRにおいて円形加速器の設計、製作、据付及び運転に関する基礎技術を得ると共に、挿入光源装置、ビーム制御技術及びビーム診断技術等の研究開発を行う予定である。

本報告は、JSR完成までに得られた結果をラティス設計、電磁石・電源系、真空系、ビーム診断系、高周波加速系にそれぞれ分けてまとめたものの中でラティス設計に関するものである。本報告では、JSRのラティスを決定する際に検討した事項の中で、比較検討したラティスの特性、採用したラティスにおける入射系、漏れ磁場による影響、運転モードについて述べる。

2. ラティスの設計条件

ラティスを設計する上で与えられた条件を表2.1に列挙する。列挙した条件以外に、コストを抑えることも念頭において設計した。

(1) 入射・蓄積エネルギー

JSRへの電子ビームの入射は、東海研にある既設のライナックを入射器として使用して行う。このため、入射エネルギーは最大150MeVに制限される。入射後300MeVまで加速する。

電子ビームは、スイッチング電磁石で5度偏向され、さらに45度偏向されてJSRに導かれる。45度偏向した後、途中までは既設のビーム輸送系を利用し、不足部分を新設する。

(2) JSRの大きさ

JSRの設置場所は東海研リニヤック棟の北ターゲット室とする。これから、JSR本体の大きさは最大で8m×8m、SRの利用・計測機器の設置を考慮すれば6m×6m程度が妥当と考えられる。

(3) 挿入光源装置

アンジュレータやウィグラーを将来設置できるように分散が零の直線部を1.5m程度確保する。アンジュレータやウィグラーによるSR利用のため、ビームラインの方向にできるだけ広い空間を確保する必要がある。

(4) 電磁石

積層タイプはコストアップとなるので、ブロックタイプとする。電子ビームの加速は、電磁石

や真空ダクトに生じる渦電流が問題とならない範囲で行うこととする。

(5) 高周波加速システム

J S R はビームエネルギーが低く、放射損失が小さいため、大型放射光施設（Spring-8）を想定した高周波加速システムのR&Dは行えない。したがって、電源に半導体や3/4極管が使用できてコストパフォーマンスのよい120MHz帯を使用する。これは、500MHz帯を使用するより装置が大きくなるが、加速空洞本体の長さに大きな差異がないのでリング構成上は特に問題とならないと考えられる。

(6) 建屋・ユーティリティ等

冷却水量は300ℓ/S程度利用できる。電力は200V 3φ 100Aを4個利用できる。これで不足の場合は、300kVAの電力を利用することができる。

床荷重は10t/m²、クレーンは10tが使用できる。床は遮蔽ブロックを積んである場所が沈みこんでいるため、幾分傾きがある。

実験室はスレートぶきであるため、空調は入らない。

表 2.1 ラティスの設計条件

リ ン グ 能 の 性 能	入射エネルギー	150MeV以下
	蓄積エネルギー	300MeV以上
	周長	約20m (□6m程度)
	挿入光源用の無分散の直線部	約1.5m
	加速周波数	約120MHz
ユ ー リ テ リ テ イ イ	冷却水	300L/S
	電力	200V-3φ-100A×4 300kVA
	床荷重	10t/m ²
	クレーン	10t
	建屋	スレート構造

3. 各ラティスの比較

J S R のラティスを決定するにあたり、 n 値付 8 角形、C-G型 8 角形、C-G型エッジ付 8 角形、C-G型 6 角形、T B A型の 5 種類のラティスを比較検討した。この他にも初期には C-G型 4 角形も検討したが、分散が大きくなることや四極電磁石が強くなること等あまり良い特性が得られなかったのでここでは割愛する。本章では、それぞれのラティスの基本性能について述べる。表 3.1 に 5 種類のラティスについての諸元を示す。今回は以下の理由から C-G型 6 角形を選択した。

- ① n 値やエッジがなく、各電磁石の機能が分離されているため、各電磁石のビームに対する影響が把握し易い。
- ② 八角形に比べてコンパクトにできる。
- ③ 無分散の直線部が 3 本あり、それぞれ入射用、高周波加速空洞用、挿入光源装置用と機能を分散することができる。
- ④ σ_x' , σ_y' が小さいので、挿入光源装置を入れ易い。

3.1 n 値付 8 角形ラティス

本ラティスの寸法を図 3.1 に示す。図 3.2 にリニヤック棟への配置案を示す。図 3.3 に β 関数と分散のグラフを示す。図 3.4 にビームサイズのグラフを示す。

3.2 C-G型 8 角形ラティス

本ラティスの寸法を図 3.5 に示す。図 3.6 にリニヤック棟への配置案を示す。図 3.7 に β 関数と分散のグラフを示す。図 3.8 にビームサイズのグラフを示す。

3.3 C-G型エッジ付 8 角形ラティス

本ラティスの寸法を図 3.9 に示す。図 3.10 にリニヤック棟への配置案を示す。図 3.11 に β 関数と分散のグラフを示す。図 3.12 にビームサイズのグラフを示す。

3.4 C-G型 6 角形ラティス

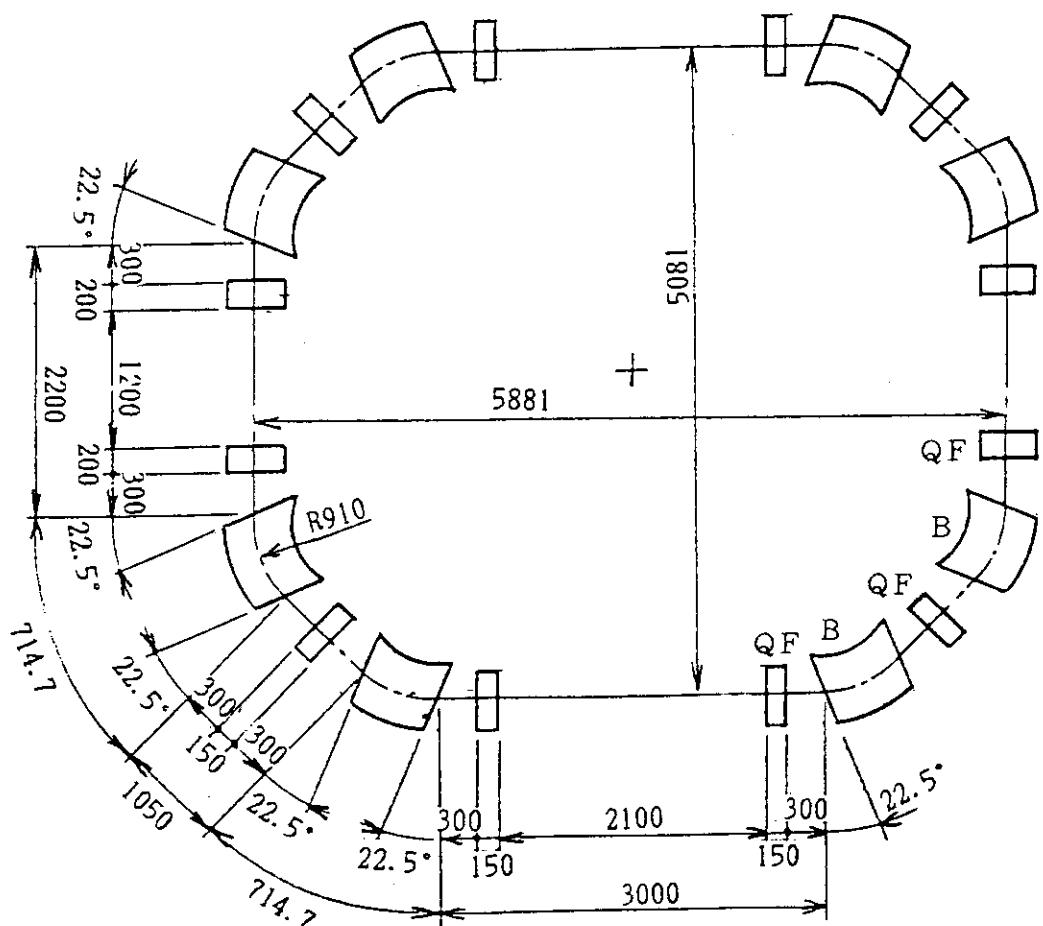
本ラティスの寸法を図 3.13 に示す。図 3.14 にリニヤック棟への配置案を示す。図 3.15 に β 関数と分散のグラフを示す。図 3.16 にビームサイズのグラフを示す。図 3.17 にタイダイヤグラムを示す。四極電磁石の強さの点からビームエネルギーが 300 MeV の時の運転領域は $v_x/v_y = 2.9 / 1.5$ 以下とする。

3.5 TBA型ラティス

本ラティスの寸法を図3.18に示す。図3.19にリニヤック棟への配置案を示す。図3.20に β 関数と分散のグラフを示す。図3.21にビームサイズのグラフを示す。図3.22にタイダイヤグラムを示す。

表3.1 各ラティスの比較

	n値付8角形	C-G型8角形	C-G型エッジ付8角形	C-G型6角形	TBA型
選択可能なn u-v vx/vy	1.75/1.75 2.25/1.25 2.25/0.75	2.75/1.25 2.25/1.25 2.25/0.75	2.25/0.75 2.25/1.25 2.25/1.75	2.25/0.75 2.25/1.25 2.25/1.75	2.25/0.75 2.25/1.25 1.75/1.25
タクシック寿命 (at 150MeV)	5min.	0.5hr	0.5hr	7min.	16min.
減衰時間 τ_X (at 150MeV)	1.1秒	0.4秒	0.4秒	0.5秒	1.4秒
ナチュラル ϵ_X イミッタンス ϵ_Y (at 300MeV)	1.0×10^{-7} 1.0×10^{-8}	1.6×10^{-7} 1.6×10^{-8}	1.3×10^{-7} 1.3×10^{-8}	1.1×10^{-7} 1.1×10^{-8}	1.2×10^{-6} 1.2×10^{-7}
ナチュラル x クロマティティ y	-1.96 -1.12	-3.51 -9.20	-5.57 -2.68	-1.10 -3.14	-1.36 -0.66
BM数	8	8	8	6	6
QM数	1 2	1 2	1 2	1 5	1 2
QM電源の種類	3	5	5	3	3
$\gamma=0$ の直線部	2.1m、2本 1.15m、2本	1.9m、2本 1.15m、2本	1.9m、2本 1.15m、2本	1.7m、3本	1.7m、2本
σ_x' σ_y'	1.9×10^{-4} 1.5×10^{-4}	1.8×10^{-4} 0.7×10^{-4}		0.7×10^{-4} 0.2×10^{-4}	10.7×10^{-4} 1.5×10^{-4}

図3.1 n 値付8角形ラティス

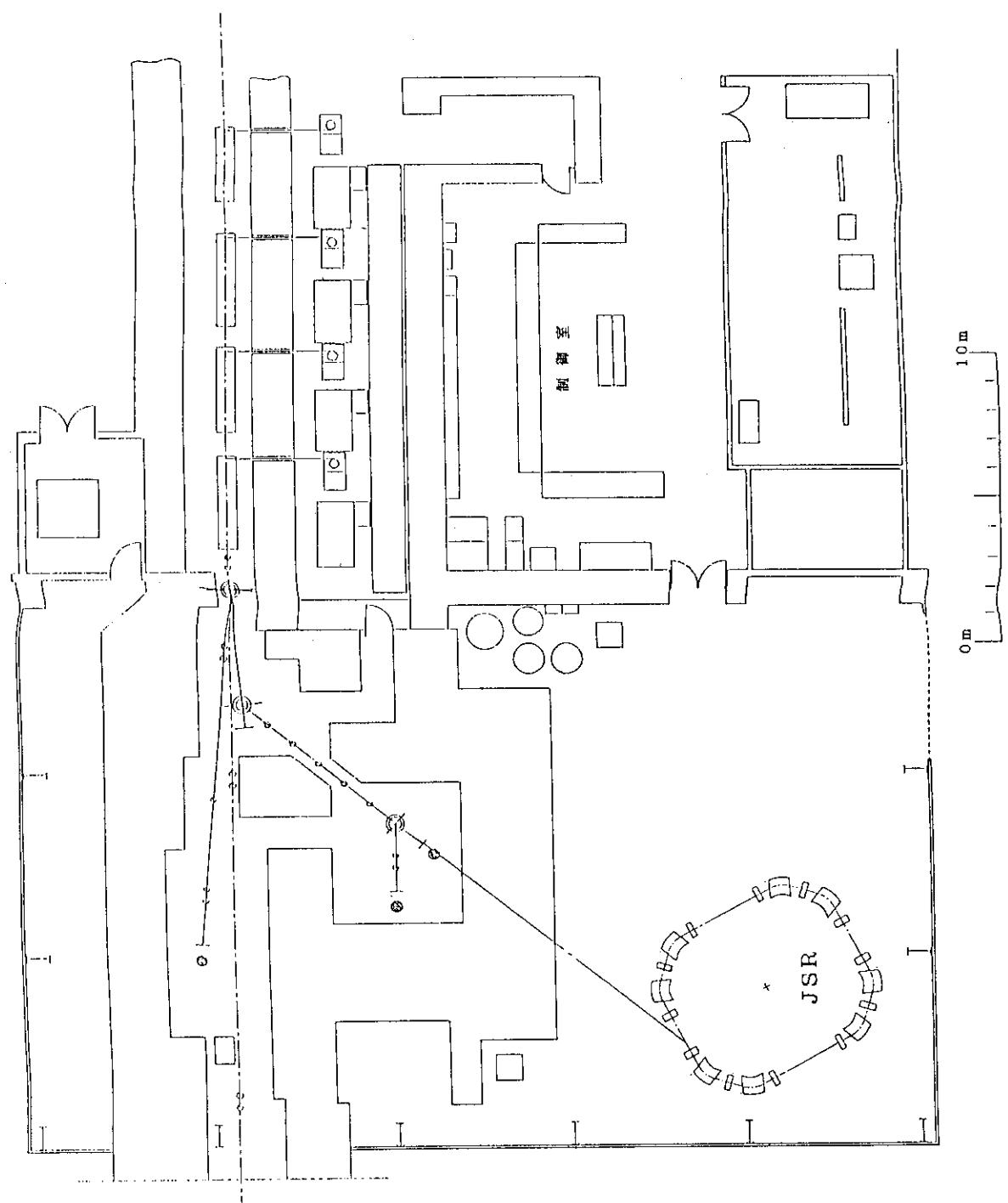
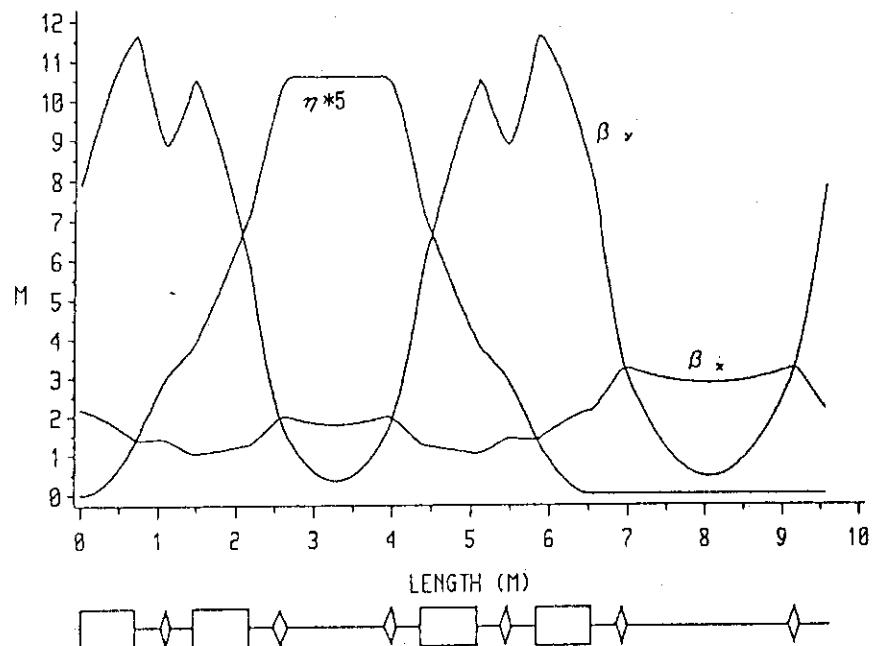
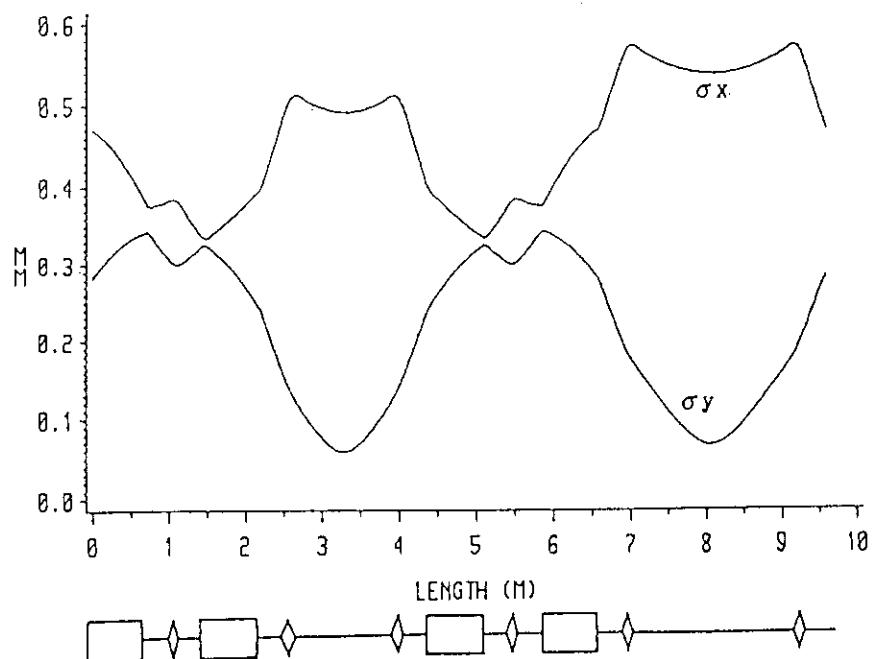


図 3.2 n 値付 8 角形 ラティスの配置案

BETA AND DISPERSION FUNCTIONS

図 3.3 n 値付 8 角形ラティスの β 関数と分散

BEAM SIZE

図 3.4 n 値付 8 角形ラティスのビームサイズ

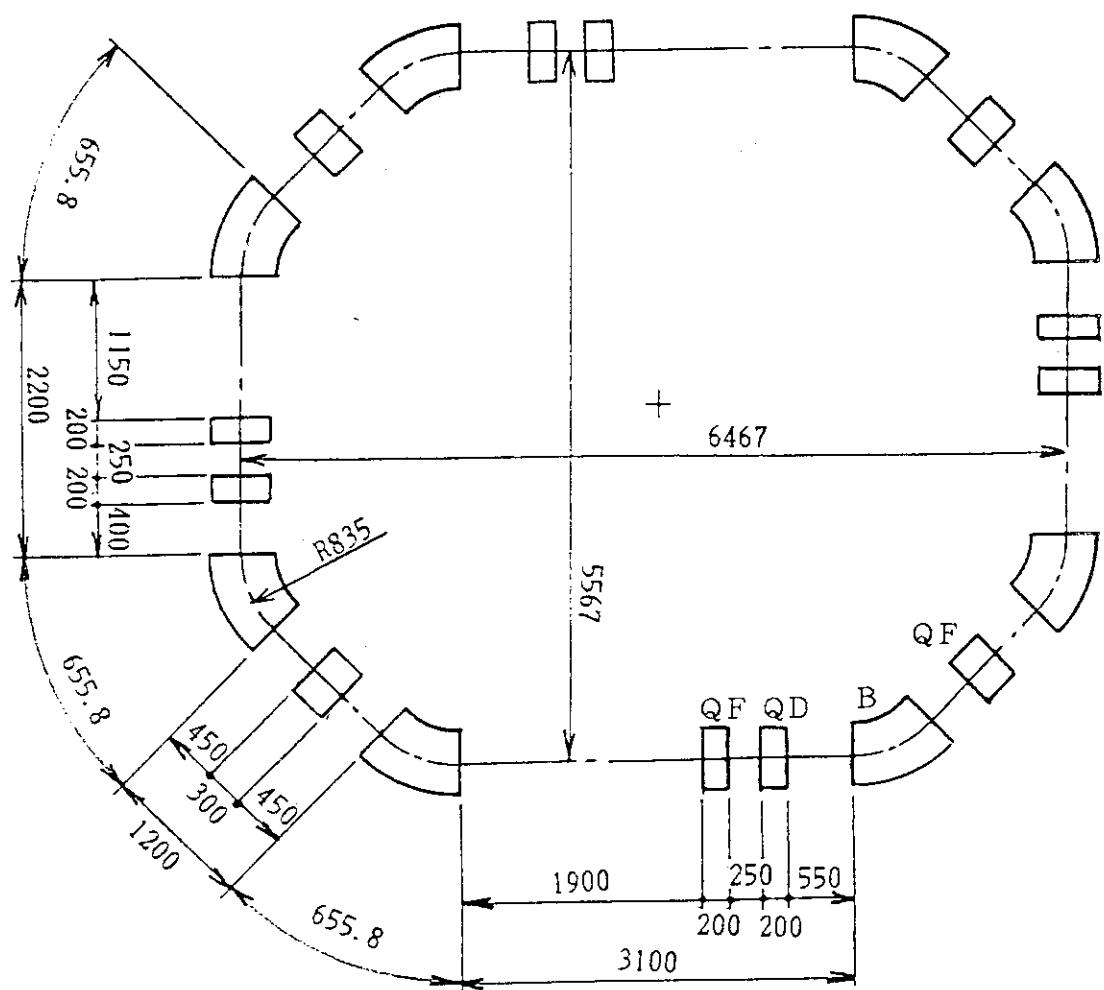


図 3.5 C-G型 8 角形ラティス

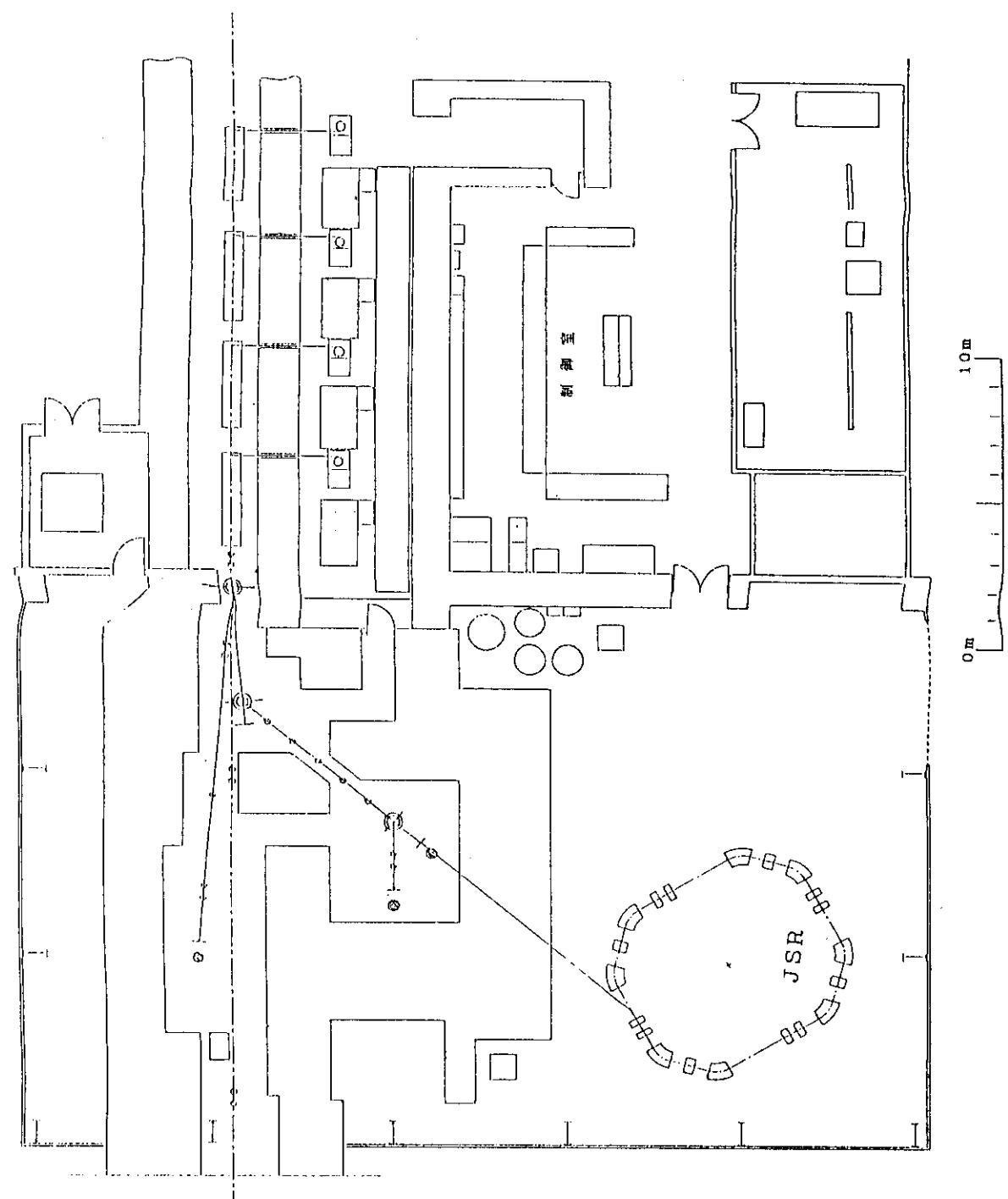
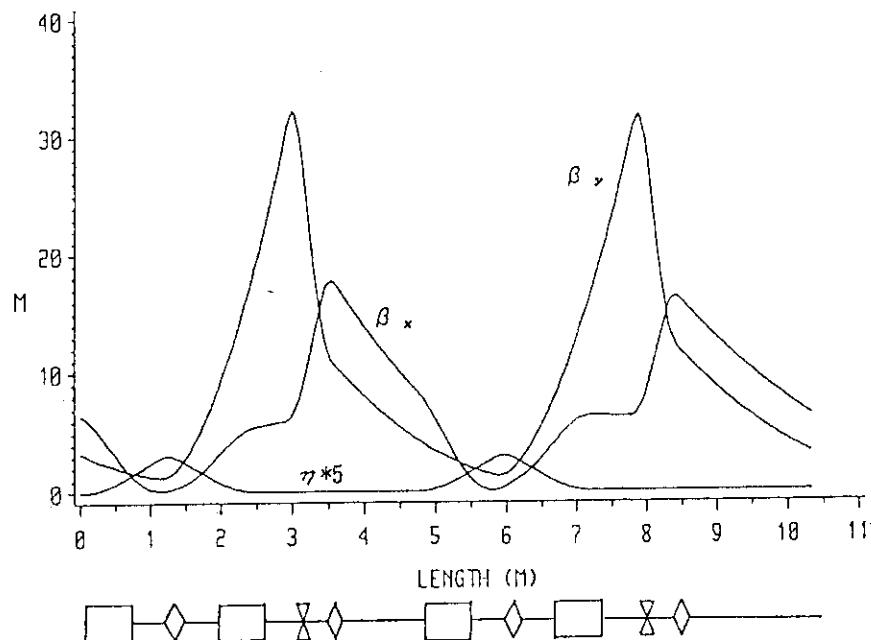


図 3.6 C-G型 8角形ラティスの配置案

BETA AND DISPERSION FUNCTIONS

図 3.7 C-G型 8 角形ラティスの β 関数と分散

BEAM SIZE

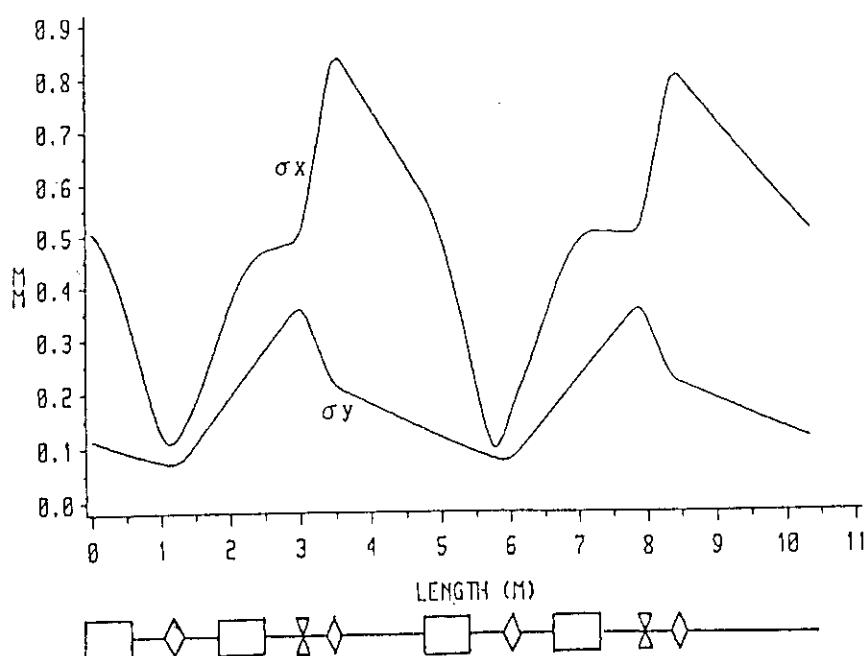


図 3.8 C-G型 8 角型ラティスのビームサイズ

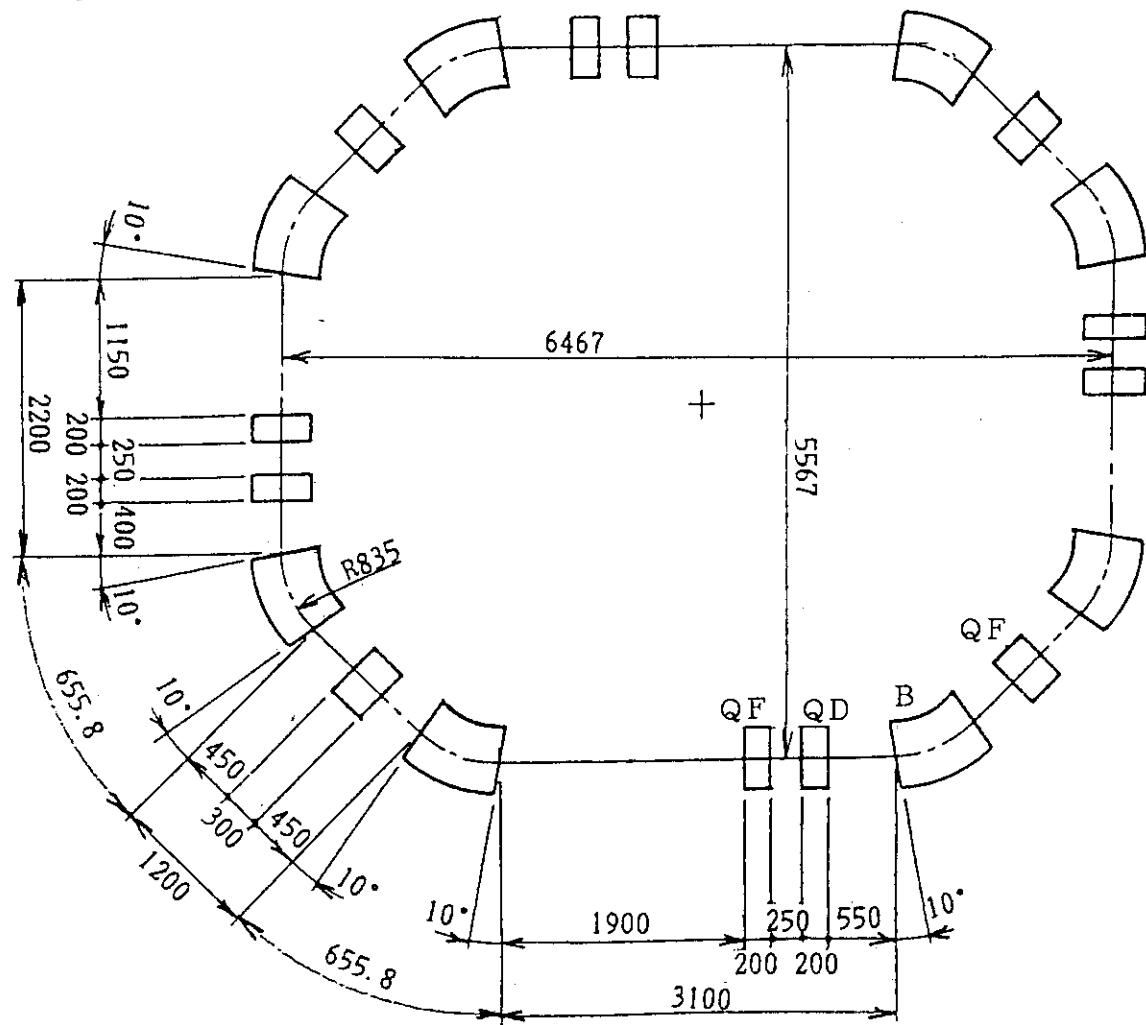


図3.9 C-G型エッジ付8角形ラティス

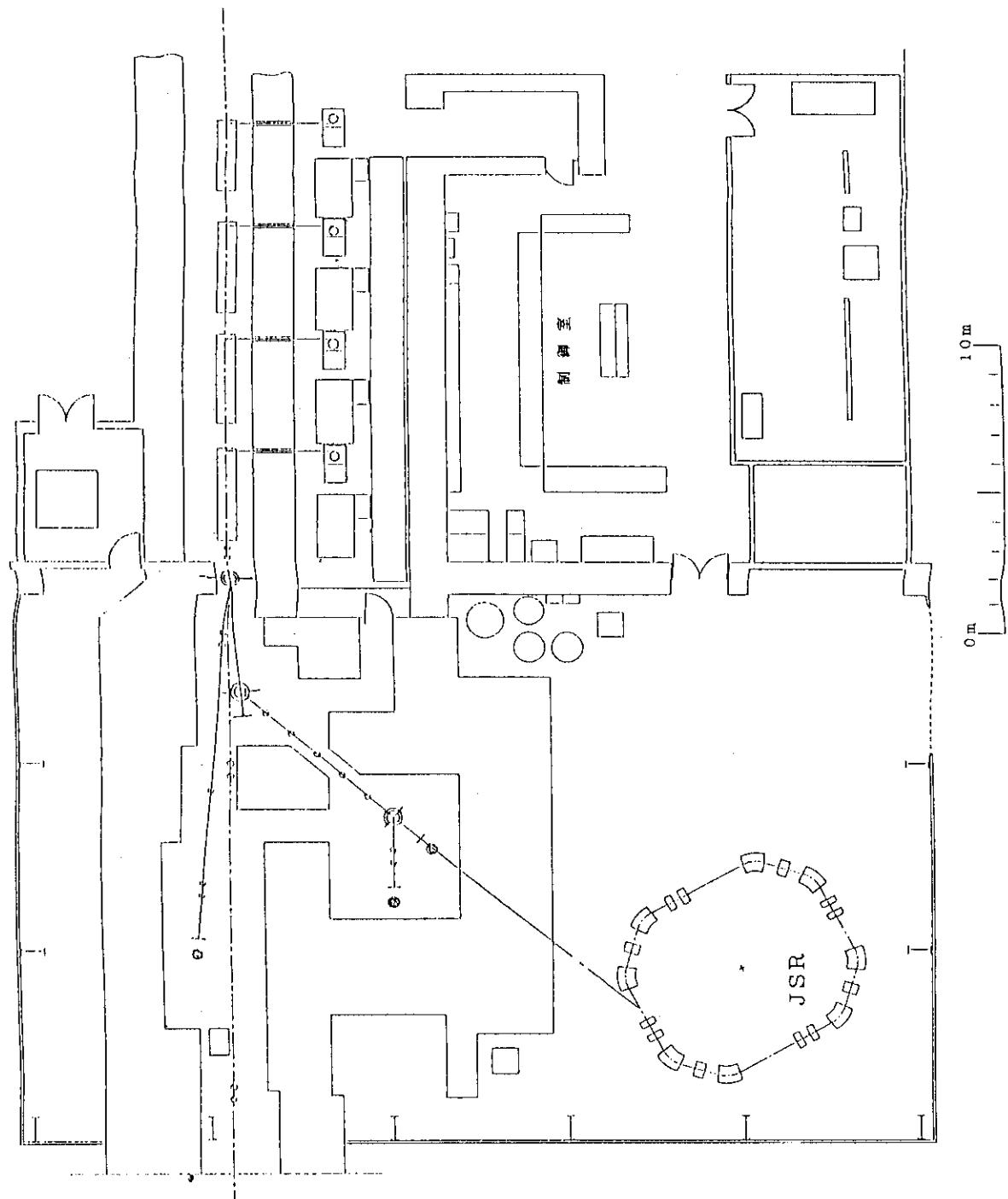
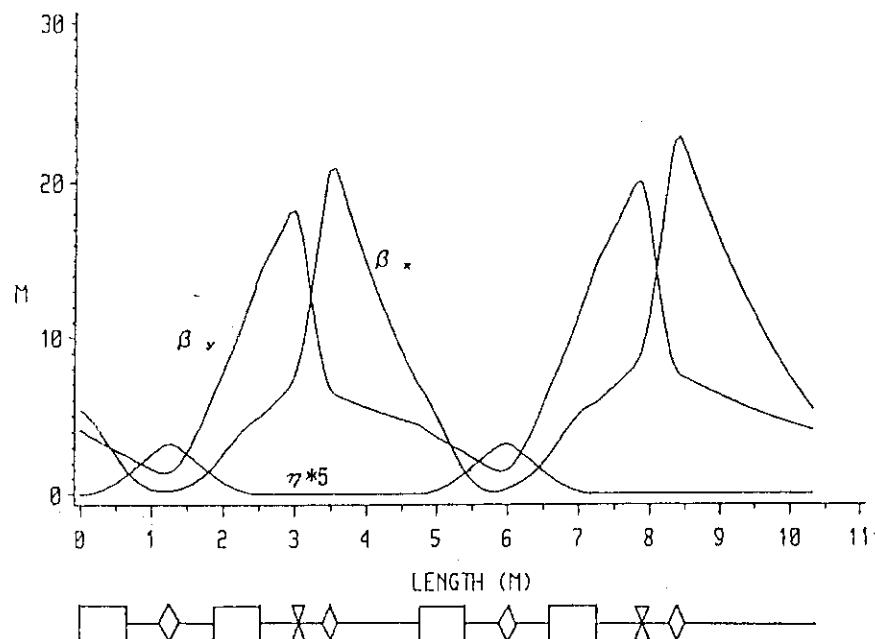


図3.1.0 C-G型エッジ付8角形ラティスの配置案

BETA AND DISPERSION FUNCTIONS

図 3.1 1 C-G型エッジ付 8 角形ラティスの β 関数と分散

BEAM SIZE

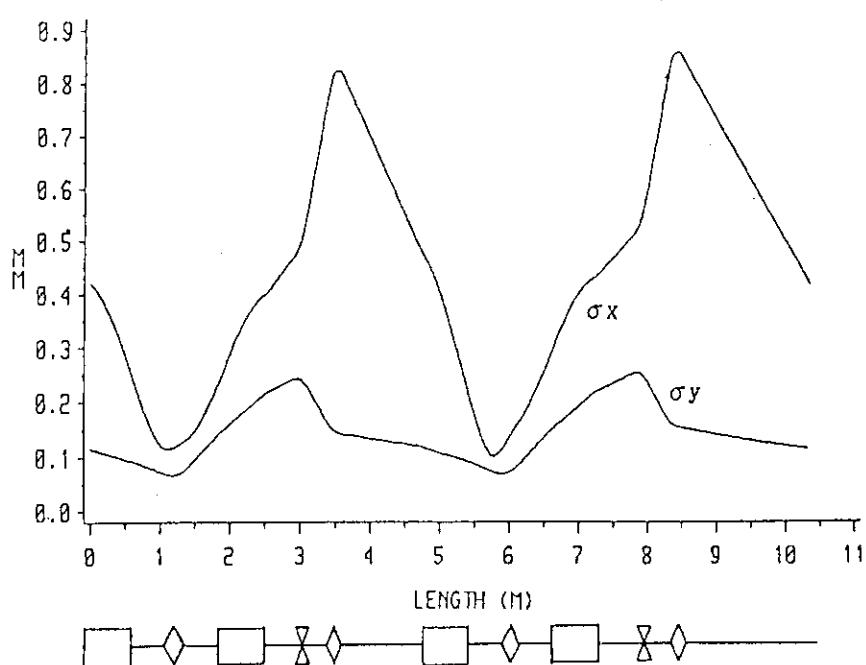


図 3.1 2 C-G型エッジ付 8 角形ラティスのビームサイズ

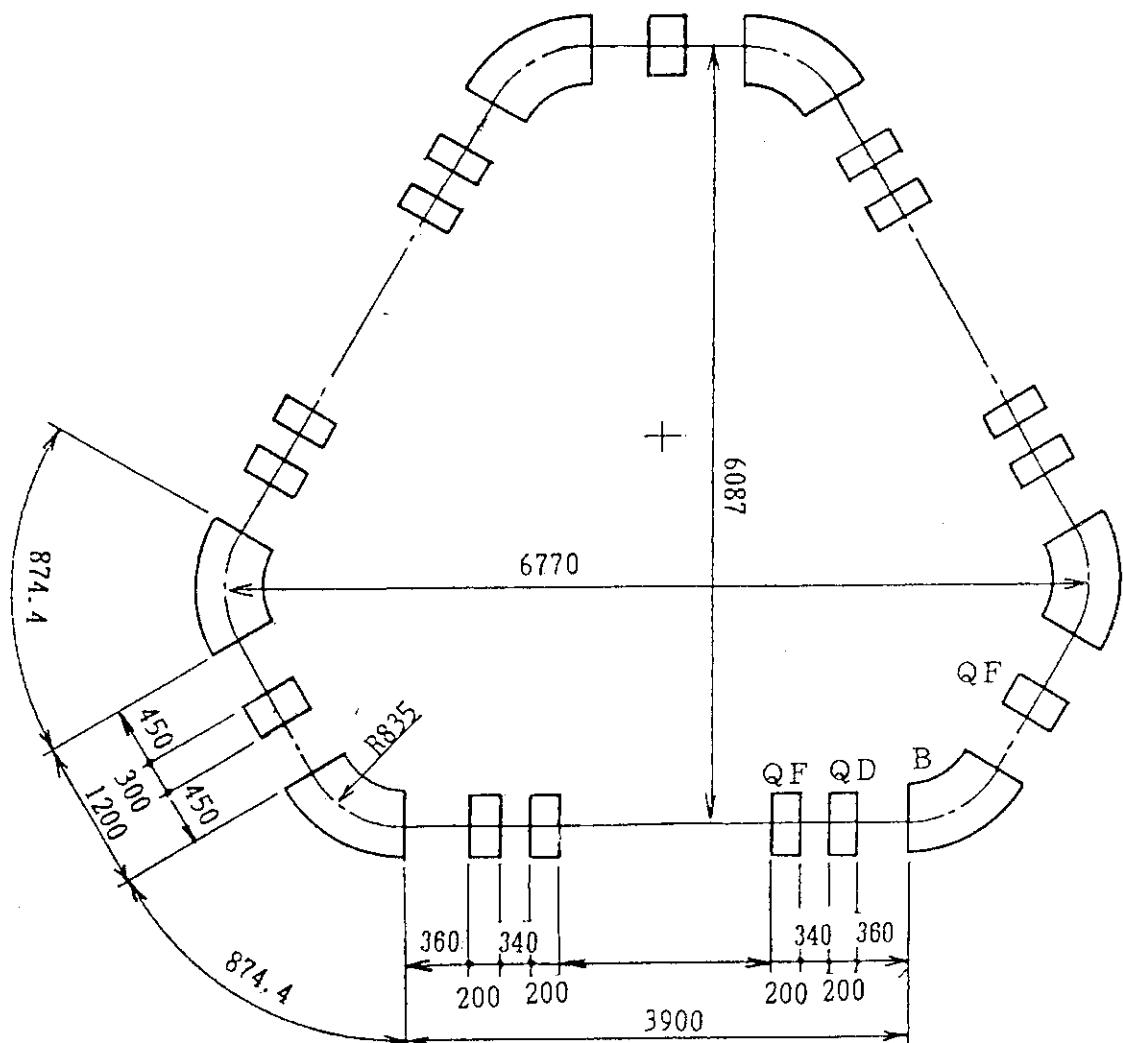


図 3.1.3 C-G型 6 角形ラティス

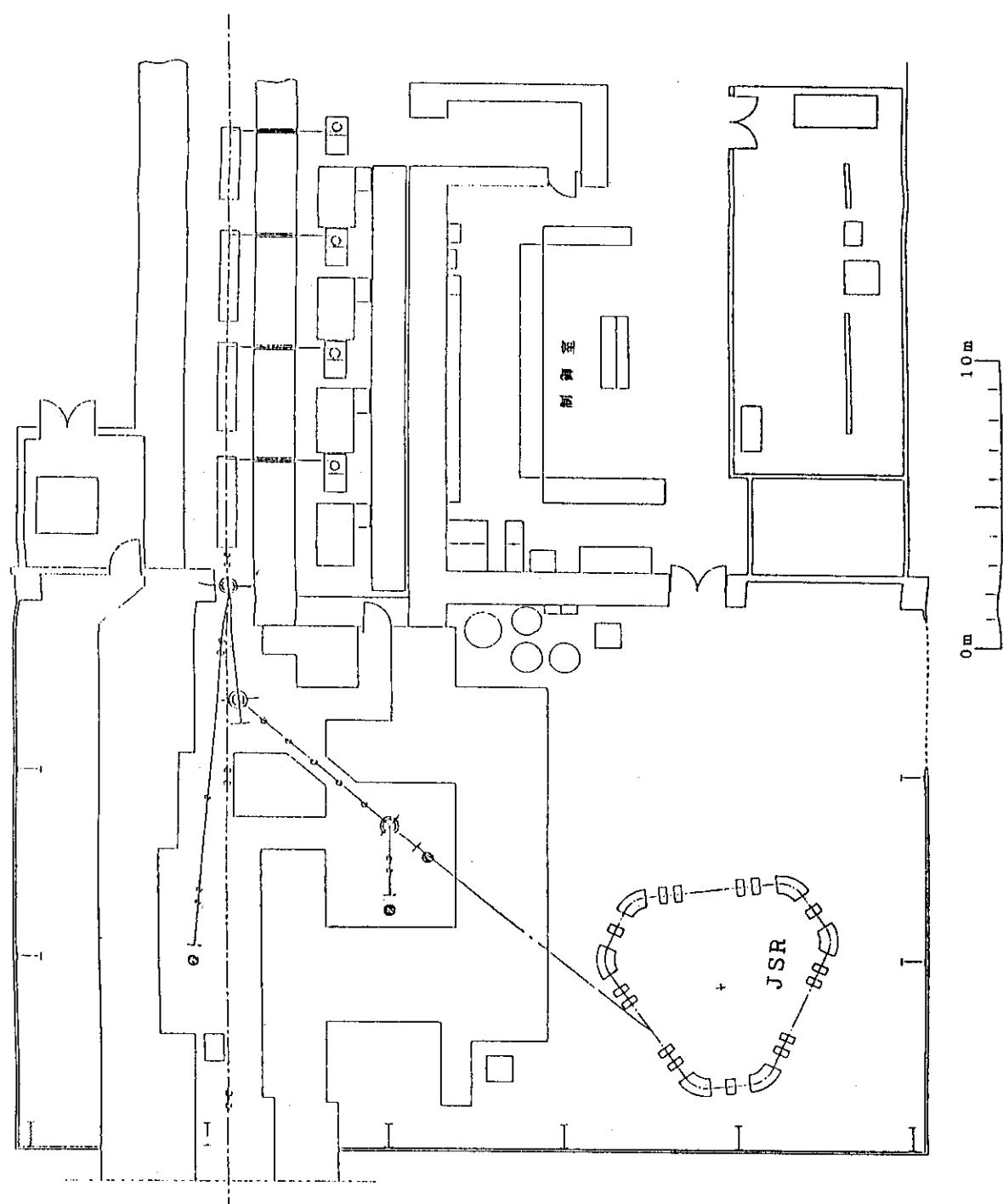
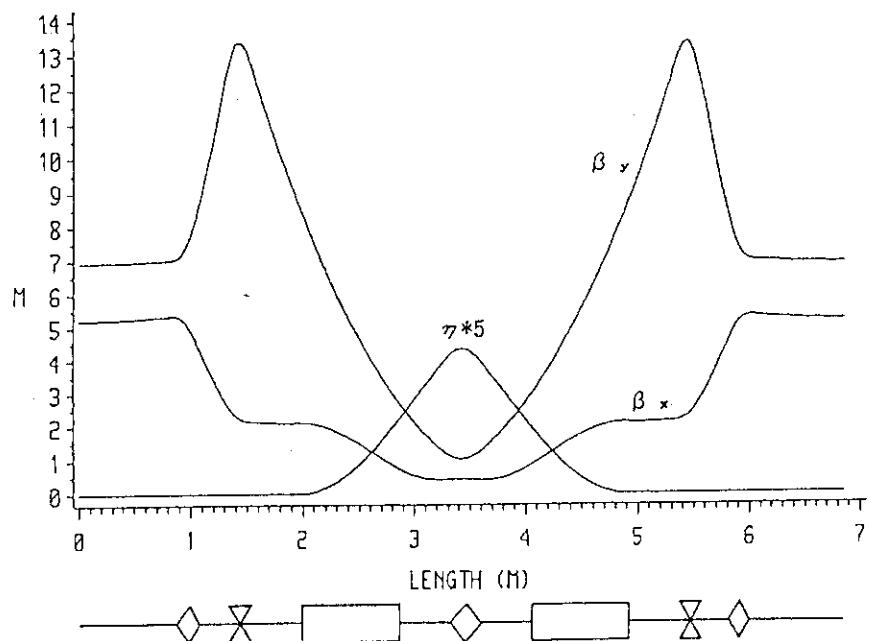


図 3.14 C-G型 6角形ラティスの配置案

BETA AND DISPERSION FUNCTIONS

図 3.1 5 C-G型 6 角形ラティスの β 関数と分散

BEAM SIZE

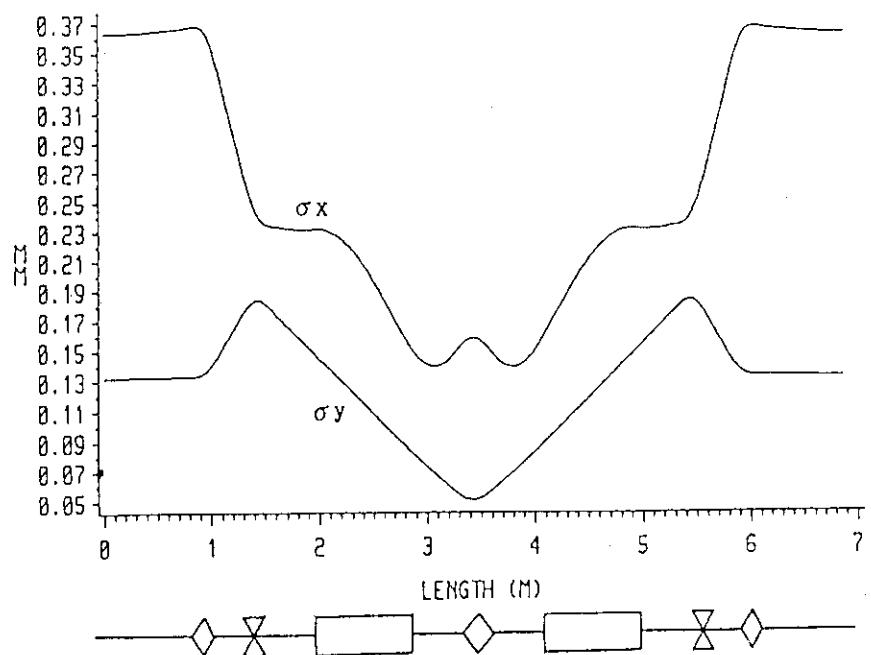
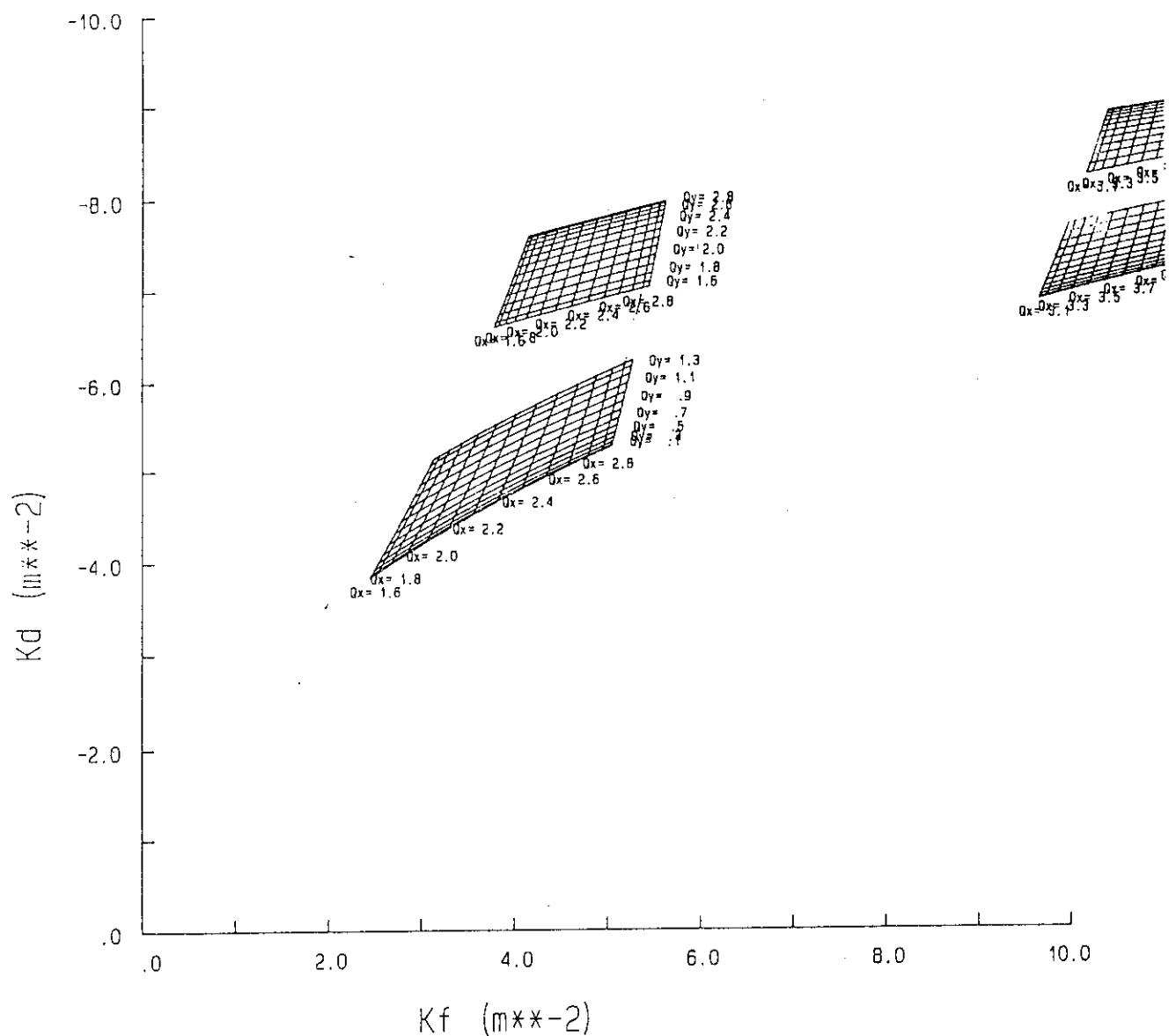


図 3.1 6 C-G型 6 角形ラティスのビームサイズ



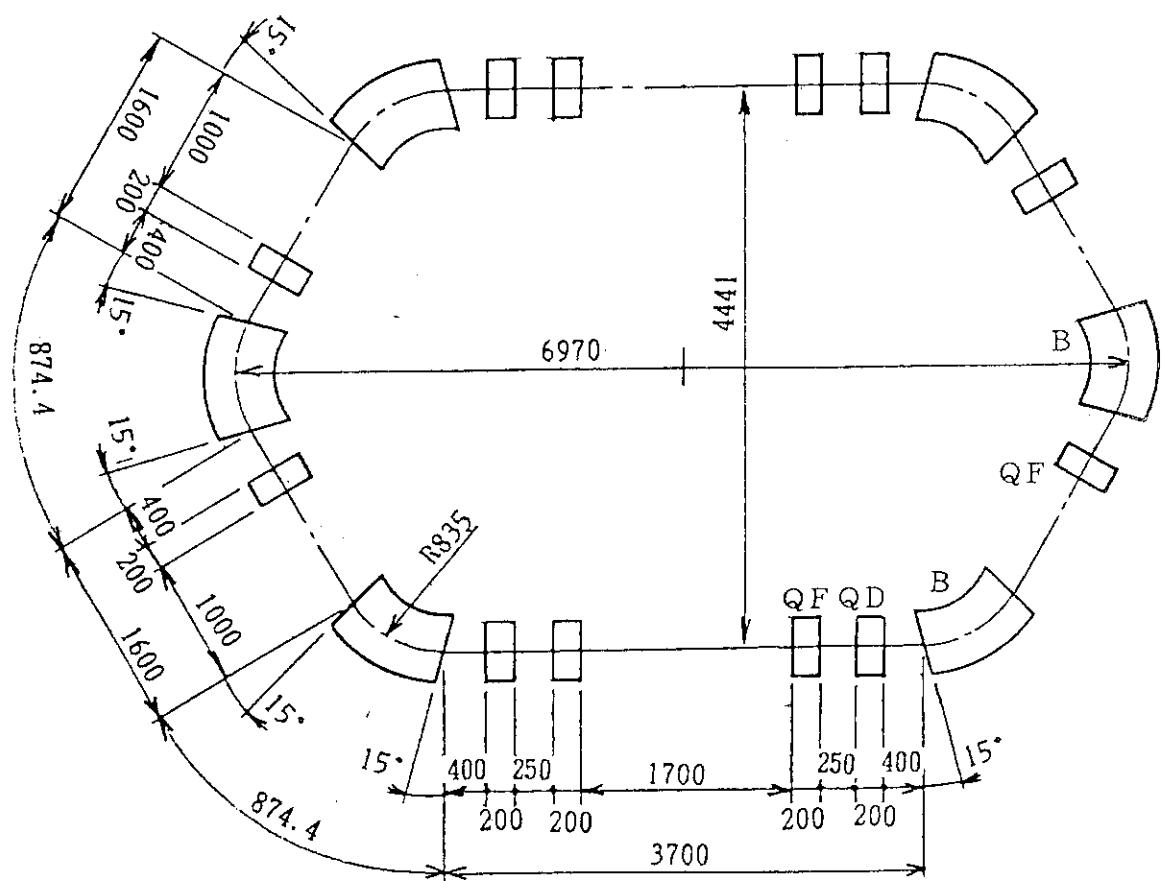


図 3.1.8 T B A型ラティス

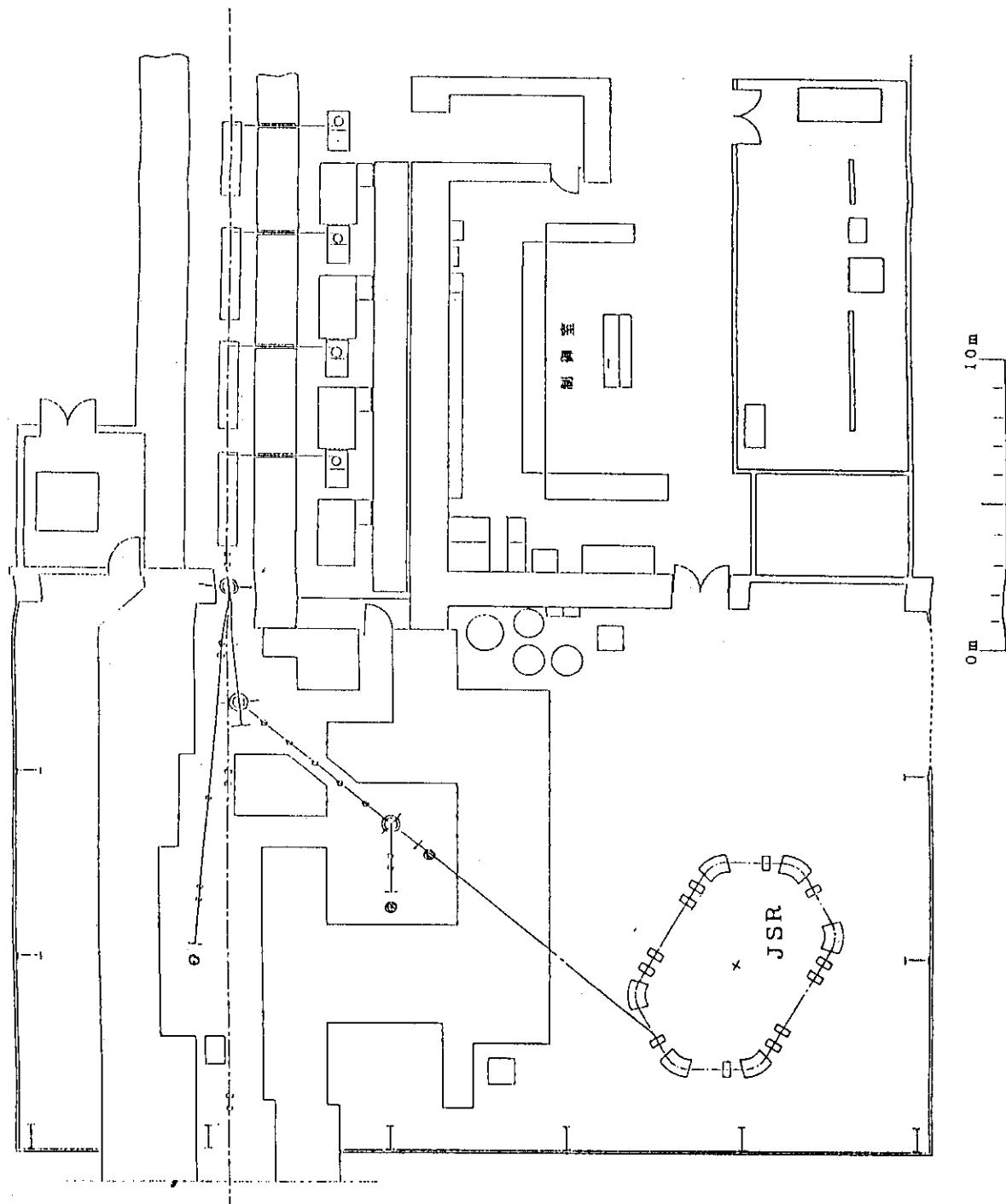
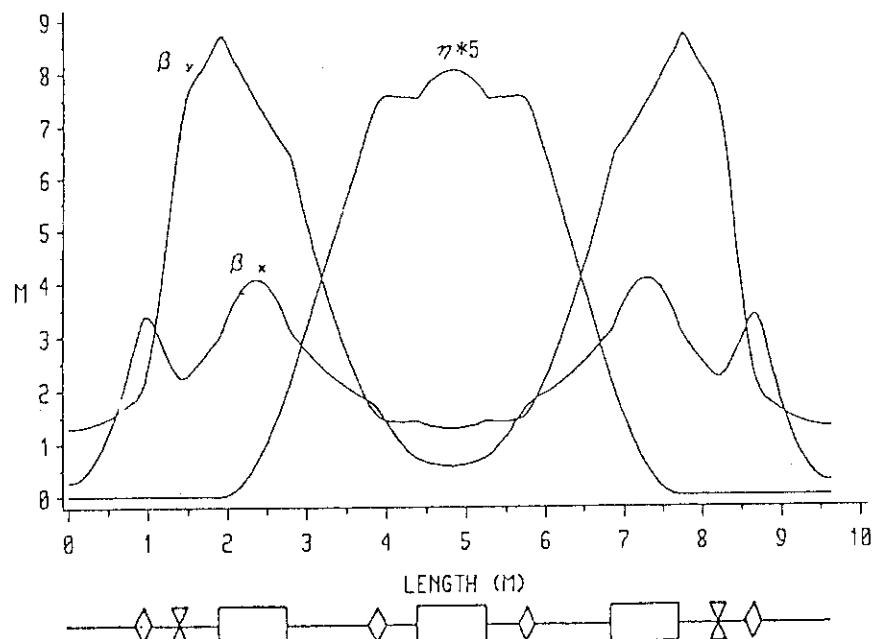


図3.1.9 TBA型ラティスの配置案

BETA AND DISPERSION FUNCTIONS

図 3.2 0 TBA型ラティスの β 関数と分散

BEAM SIZE

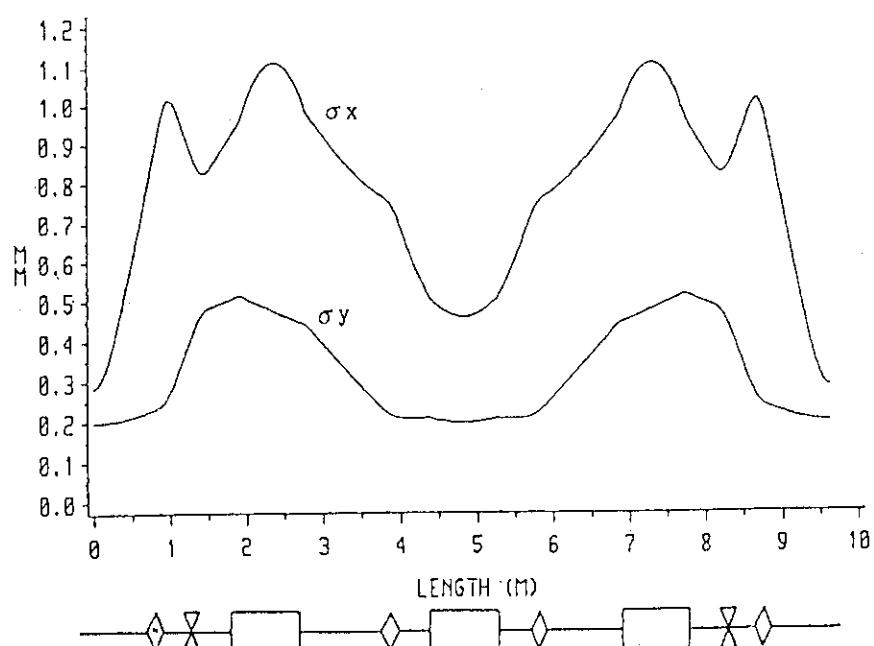


図 3.2 1 TBA型ラティスのビームサイズ

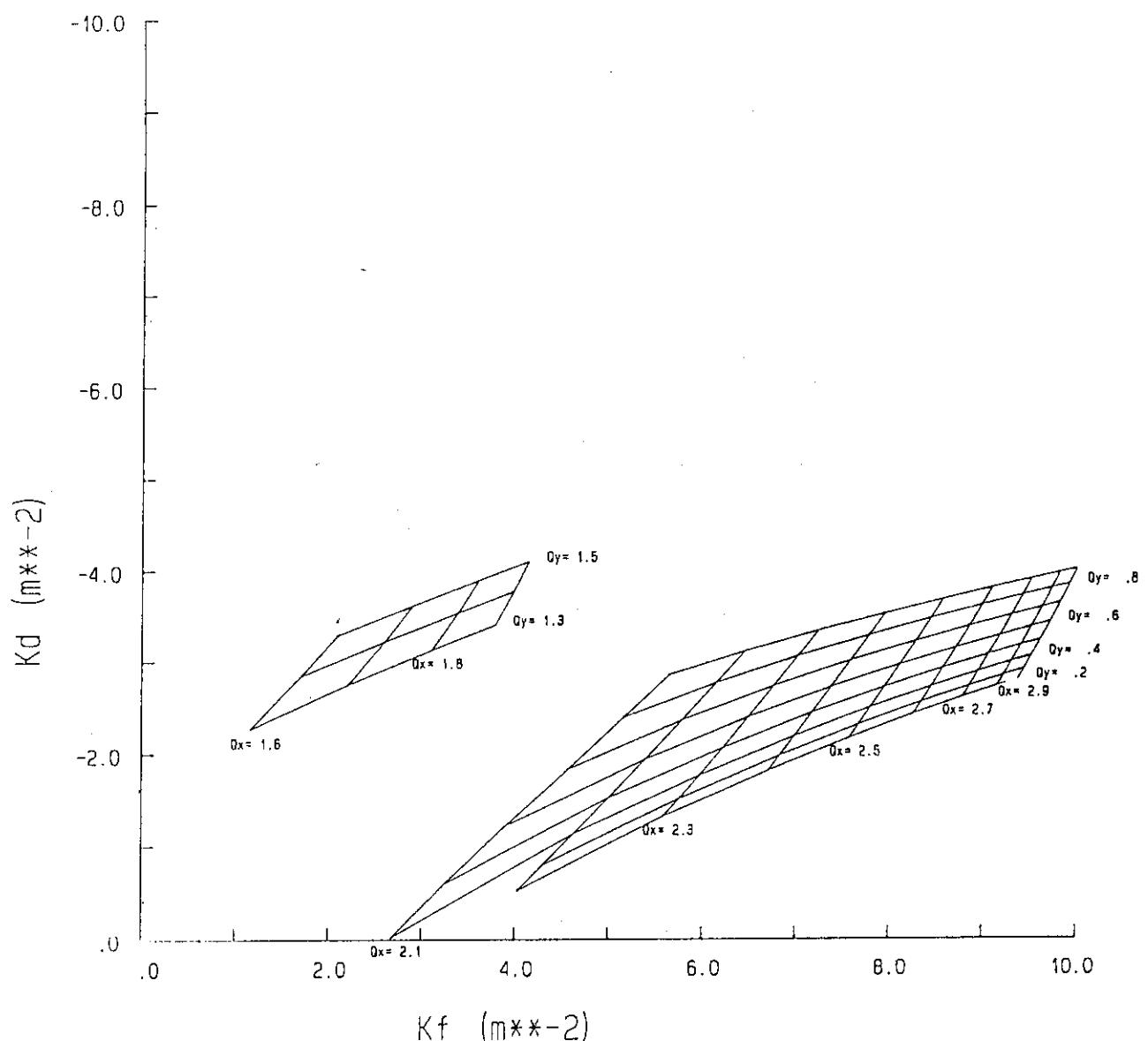


図 3.2.2 TBA型ラティスのタイダイヤグラム
(漏れ磁場を無視, ダブルアクロマティックモード)

4. C-G型 6 角形ラティスについての検討

本章では、3章で選択したC-G型 6 角形ラティスについて、漏れ磁場の影響及び3種類の運転モードについて検討した結果について述べる。図4.1に全体配置図を、図4.2に実験室内配置図を示す。

4.1 漏れ磁場によるチューンの変化

3章では、磁場を理想化してラティスの計算を行っていた。そこで、本節では、偏向電磁石の漏れ磁場、四極電磁石の有効長を考慮に入れてラティスの計算を行った結果について述べる。偏向電磁石及び四極電磁石の誤差磁場によって生じる多極成分については無視する。

偏向電磁石の漏れ磁場は計算式に盛り込む方法と、漏れ磁場を階段状に近似して計算する方法がある。今回は、後者の方法を用いた。図4.3に計算に用いたラティスを示す。図4.4に漏れ磁場を考慮した場合と考慮しない場合のタイダイヤグラムを示す。 v_x , v_y がずれる分を四極電磁石で補正してやれば問題はないと考えられる。四極電磁石の有効長を補正した場合は、四極電磁石の有効長が伸びるのでタイダイヤグラムの目がつまつたようになっている。四極電磁石に対して敏感になるが、大きな問題とはならないと考えられる。

4.2 漏れ磁場による偏向部での軌道のずれ

図4.5に偏向部の軌道を計算するために使用した簡易モデルを、図4.6に軌道計算に使用した偏向電磁石の磁場分布を示す。図4.5において(x_{1n} , y_{1n})と(x_{2n} , y_{2n})の距離は次のように求められる。

$$\begin{cases} x_{21} = x_{011} + \rho_1 \sin \theta \\ y_{21} = x_{011} + \rho_1 \cos \theta \end{cases}$$

したがって、

$$\begin{cases} x_{22} = x_{21} + \ell \cos \theta \\ y_{22} = x_{21} + \ell \sin \theta \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_{01j} = x_{01(j-1)} + (\rho_{(j-1)} - \rho_j) \sin \left(\sum_{i=1}^j d\theta_i \right) \\ y_{01j} = y_{01(j-1)} + (\rho_{(j-1)} - \rho_j) \cos \left(\sum_{i=1}^j d\theta_i \right) \quad (j = 2, 3, \dots, n) \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{ij} = x_{0ij} + \rho_j \sin \left(\sum_{i=1}^j d \theta_i \right) \\ y_{ij} = y_{0ij} + \rho_j \cos \left(\sum_{i=1}^j d \theta_i \right) \end{array} \right. \quad (j = 2, 3, \dots, n)$$

これから、

$$\delta = \sqrt{(x_{22} - x_{1n})^2 + (y_{22} - y_{1n})^2}$$

上の式に図4.5及び図4.6に示す数字を代入して計算すると、 $\delta = 2.1 \text{ mm}$ となる。

一方、文献[10]によれば、漏れ磁場によるビーム軌道のずれ δ は、

$$\delta = I_1 \cdot D^2 / R$$

$$I_1 = \iint ((B_0 - B(s)) / B_0) \cdot ds \cdot ds$$

ここで、Rは曲率半径（835 mm）、Dは電磁石のギャップ長（55 mm）、 I_1 は通常0.3～0.85である。今、 $I_1 = 0.473$ であるから、 $\delta = 1.7 \text{ mm}$ となる。

したがって、偏向電磁石の漏れ磁場により実際のビーム軌道は設計軌道に対して約2 mmずれることになる。

直線部での軌道を一定とすると偏向部で軌道が内側に入ることになる。これから周長が短くなるが、周長の変化分は高周波加速空洞の加速周波数を変化させることにより対応できる。S Rの発光点も内側にずれることになるが、J S Rの場合2 mm程度なら問題はない。

4.3 各種運転モード

J S RはC-G型ラティスであり、短直線部の四極電磁石により、分散を零にしたダブルアクロマティックな運転が可能であるように設計されている。この他にも分散を打ち消す四極電磁石の励磁量を1/2にしたモード（以下1/2モードと呼ぶ）、分散を打ち消す四極電磁石を励磁しないモード（以下フルモードと呼ぶ）等を考えている。

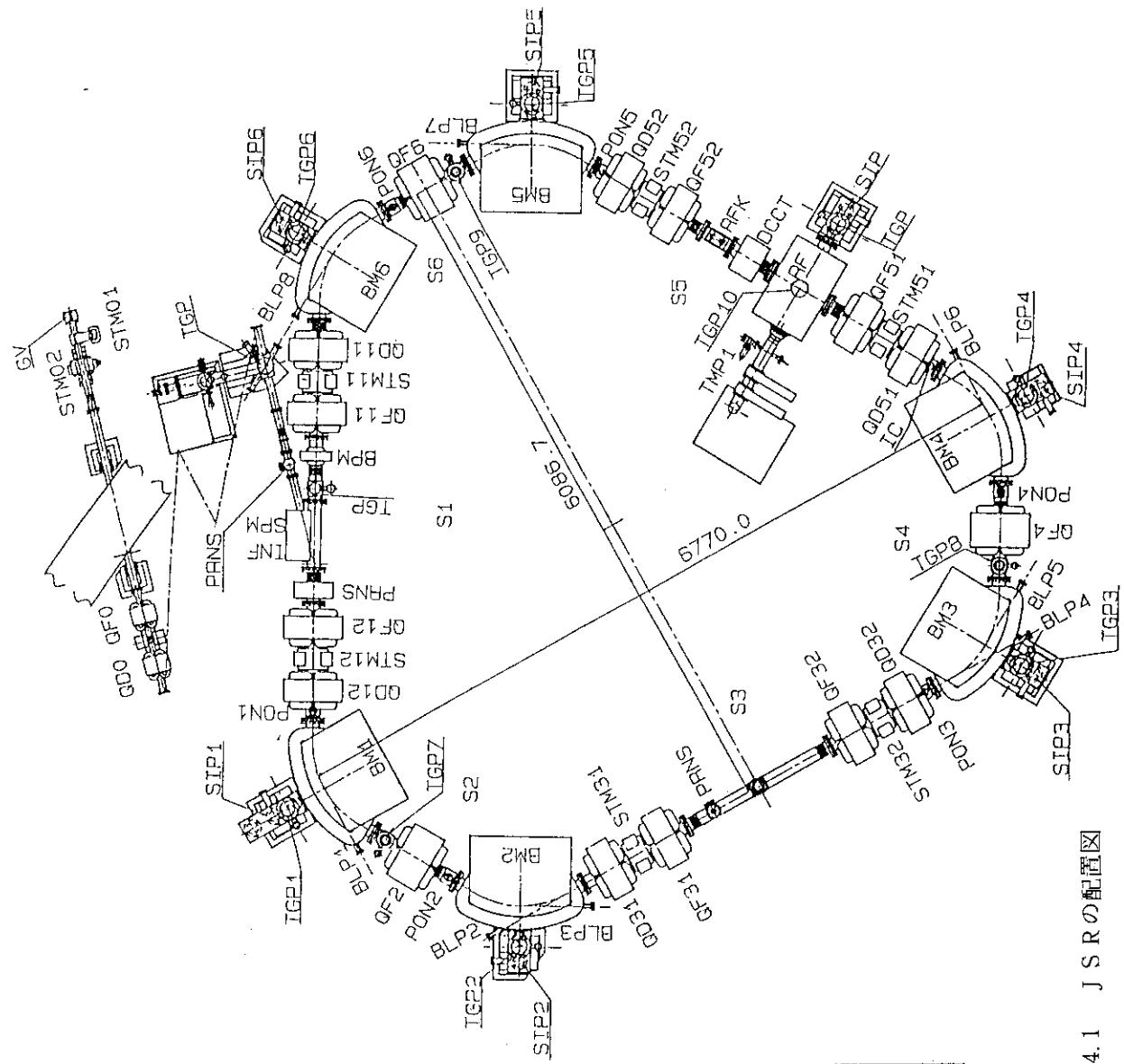
表4.1に3種類のモードにおける主なリングパラメータを示す。各パラメータはSynchコードで計算したものである。

ダブルアクロマティックモードでの β 関数、分散関数を図4.7に、ビームサイズを図4.8に、タイダイヤグラムを図4.9に示す。1/2モードでの β 関数、分散関数を図4.10に、ビームサイズを図4.11に、タイダイヤグラムを図4.12に示す。フルモードでの β 関数、分散関数を図4.13に、ビームサイズを図4.14に、タイダイヤグラムを図4.15に示す。3種類の運転モードのタイダイヤグラムを重ね合わせたものを図4.16に示す。

表4.1 主なリンクハラメータ

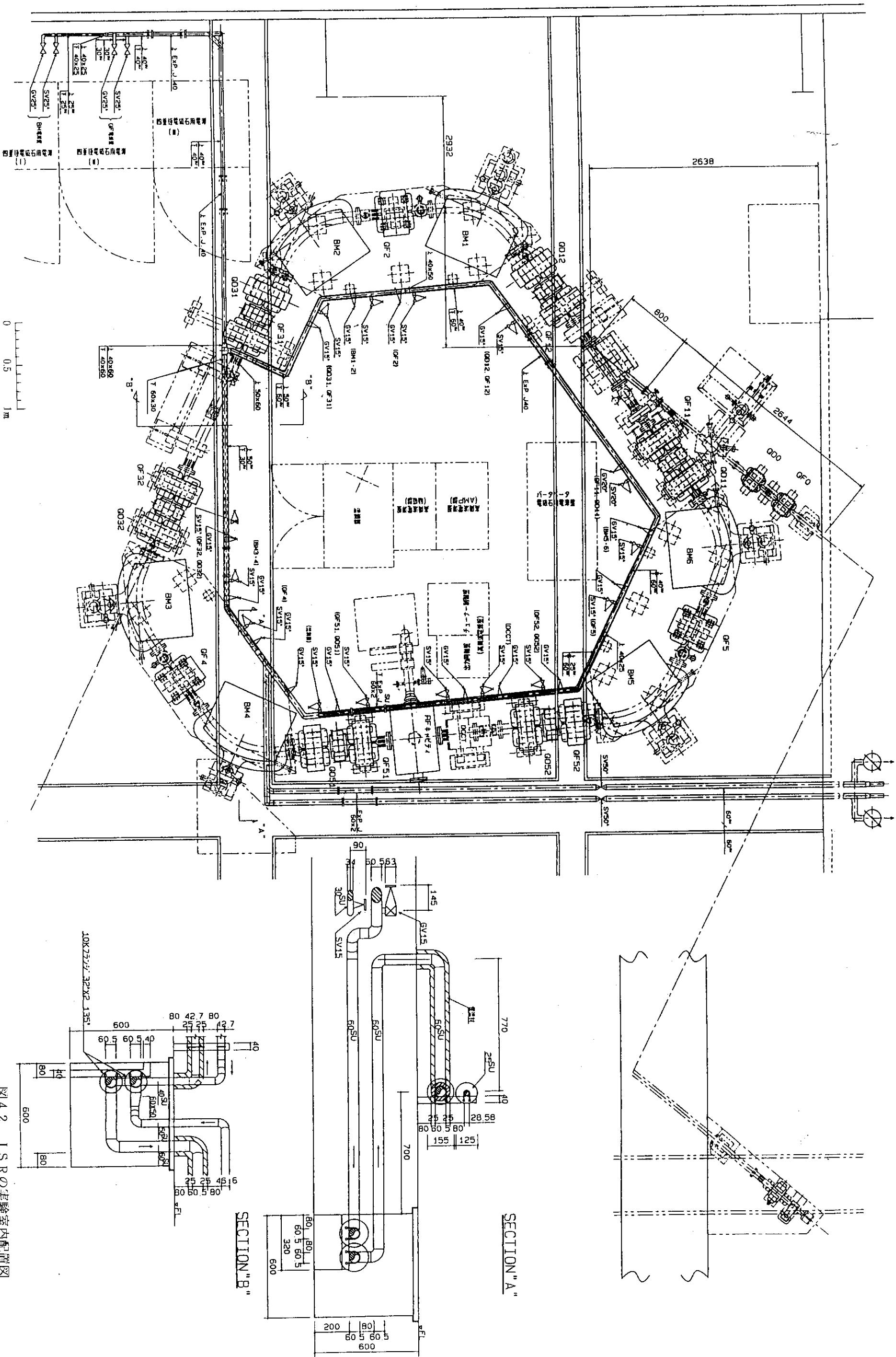
運転モード	ダブルアクロマティックモード	$\eta 1/2$ モード	η フルモード
周長	20.546 m	300 MeV / 150 MeV	
ビームエネルギー(蓄積/入射)	0.835 m	1.2 T	
偏向半径	116.73 MHz		
偏向電磁石の磁場強度	8	2.23 / 0.83	
加速周波数	79.5 keV/turn		
ハーモニック数	6台	15台	
チーン v_x/v_y			
放射損失			
偏向電磁石の台数			
四極電磁石の台数			
四極電磁石のK値	+ 5.990 m ⁻² + 3.302 m ⁻² - 4.462 m ⁻²	+ 2.995 m ⁻² + 3.477 m ⁻² - 4.293 m ⁻²	$\pm 0.000 \text{m}^{-2}$ + 3.695 m ⁻² - 3.541 m ⁻²
ナチュラルエミッタанс ε_x	$1.13 \times 10^{-7} \text{m} \cdot \text{rad}$	$0.74 \times 10^{-7} \text{m} \cdot \text{rad}$	$0.98 \times 10^{-7} \text{m} \cdot \text{rad}$
ε_y	$1.13 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{rad}$	$0.74 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{rad}$	$0.98 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{rad}$
ダンピングタイム τ_x	63.7 msec	108.2 msec	87.7 msec
τ_y	51.7 msec	51.7 msec	51.7 msec
τ_s	23.6 msec	20.5 msec	21.5 msec
モードスイッチング時間 α	0.0456	0.124	0.0977

注) 表中の数値でビームエネルギーに依存するものは300 MeV時のものを示す。



BM1~6	Dipole magnet
QD0	Quadrupole magnet(defocus)
QD11,12,31,32,51,52	Quadrupole magnet(defocus)
QF0	Quadrupole magnet(focus)
QF11,12,31,32,51,52	Quadrupole magnet(focus)
STM01,02	Steering magnet
STM11,12,31,32,51,52	Steering magnet
BFM	Kicker magnet
SPM	Septum magnet
INF	Inflector
RF	RF cavity
BLP1~8	Beam port
PON1~8	Position monitor
PRNS0,1	Profile monitor
DCCT	D.C. current transformer
RFK	RF knockout electrode
IC	Ion clearing electrode
TGP0~10	Titanium getter pump
SIP1~6	Sputter ion pump
TMP1	Turbo molecular pump
CV	Gate valve
S1~6	Straight section

図 4.1 J S R の配置図



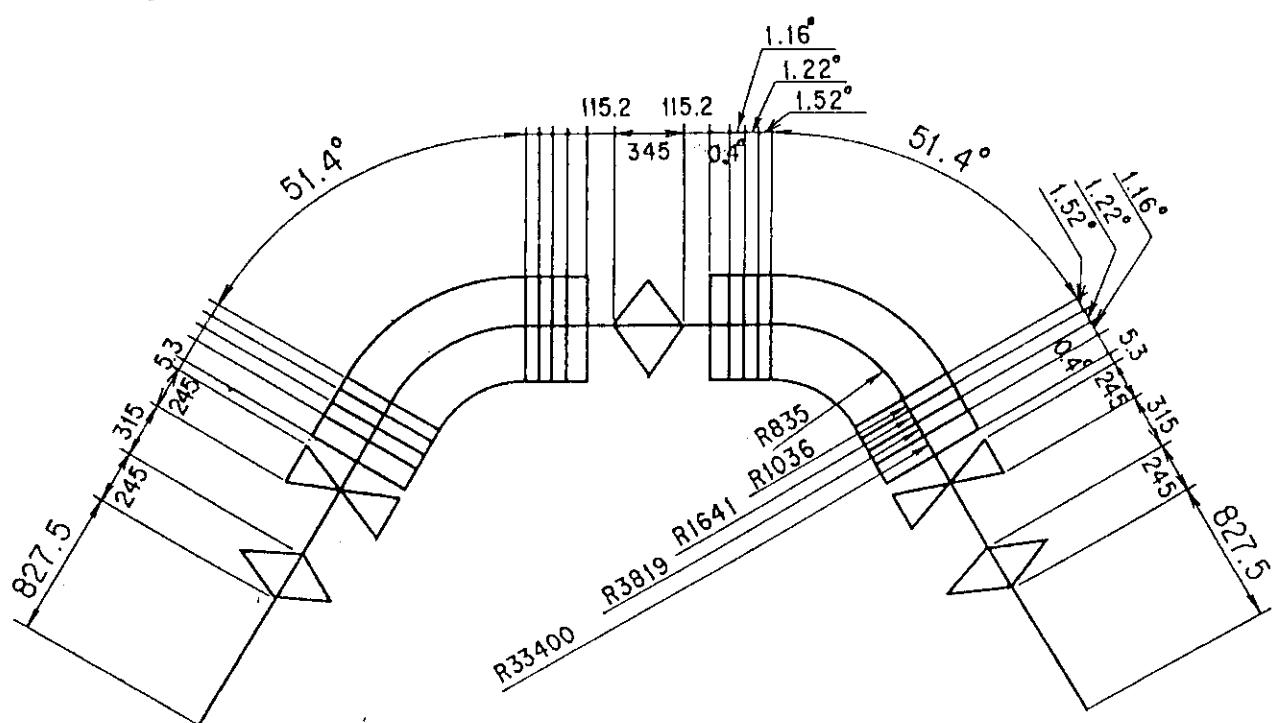


図 4.3 偏向電磁石の漏れ磁場と四極電磁石の有効長を考慮したラティス

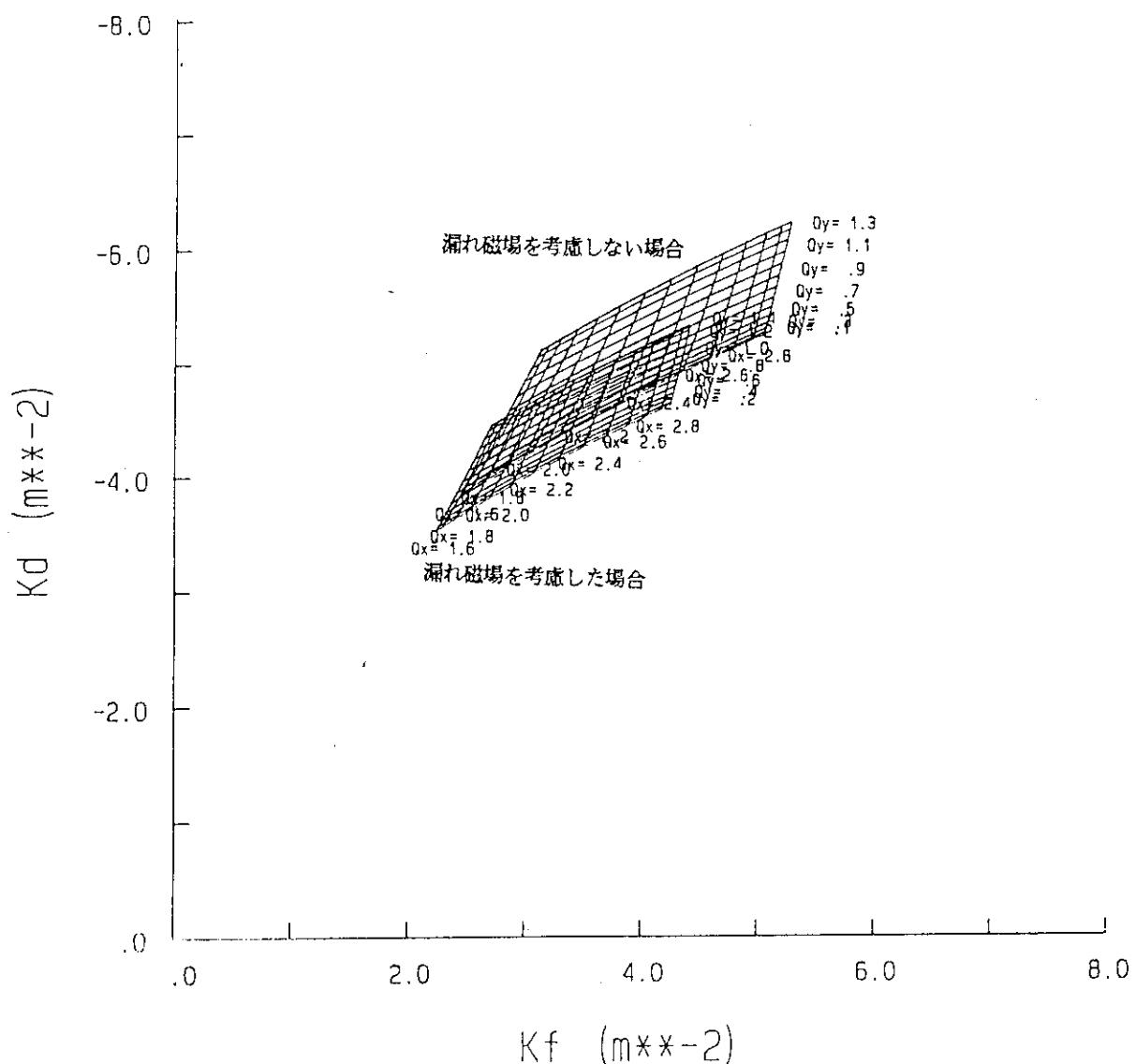
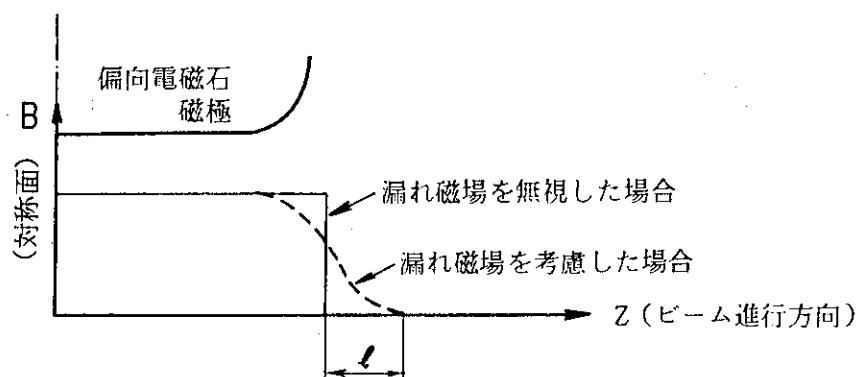
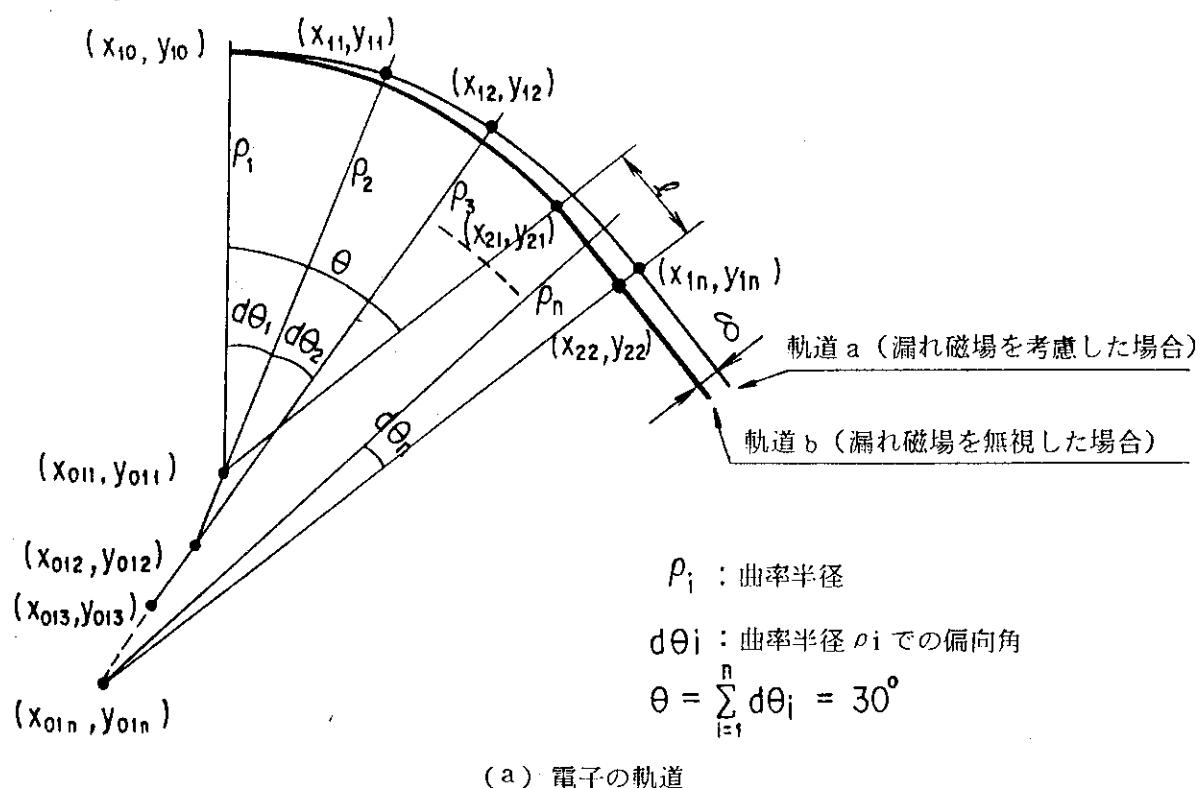


図 4.4 漏れ磁場を考慮した場合と考慮しない場合のタイダイヤグラム
(ダブルアクロティックモード)



(b) ビーム進行方向の磁場分布

図 4.5 電子軌道の計算モデル

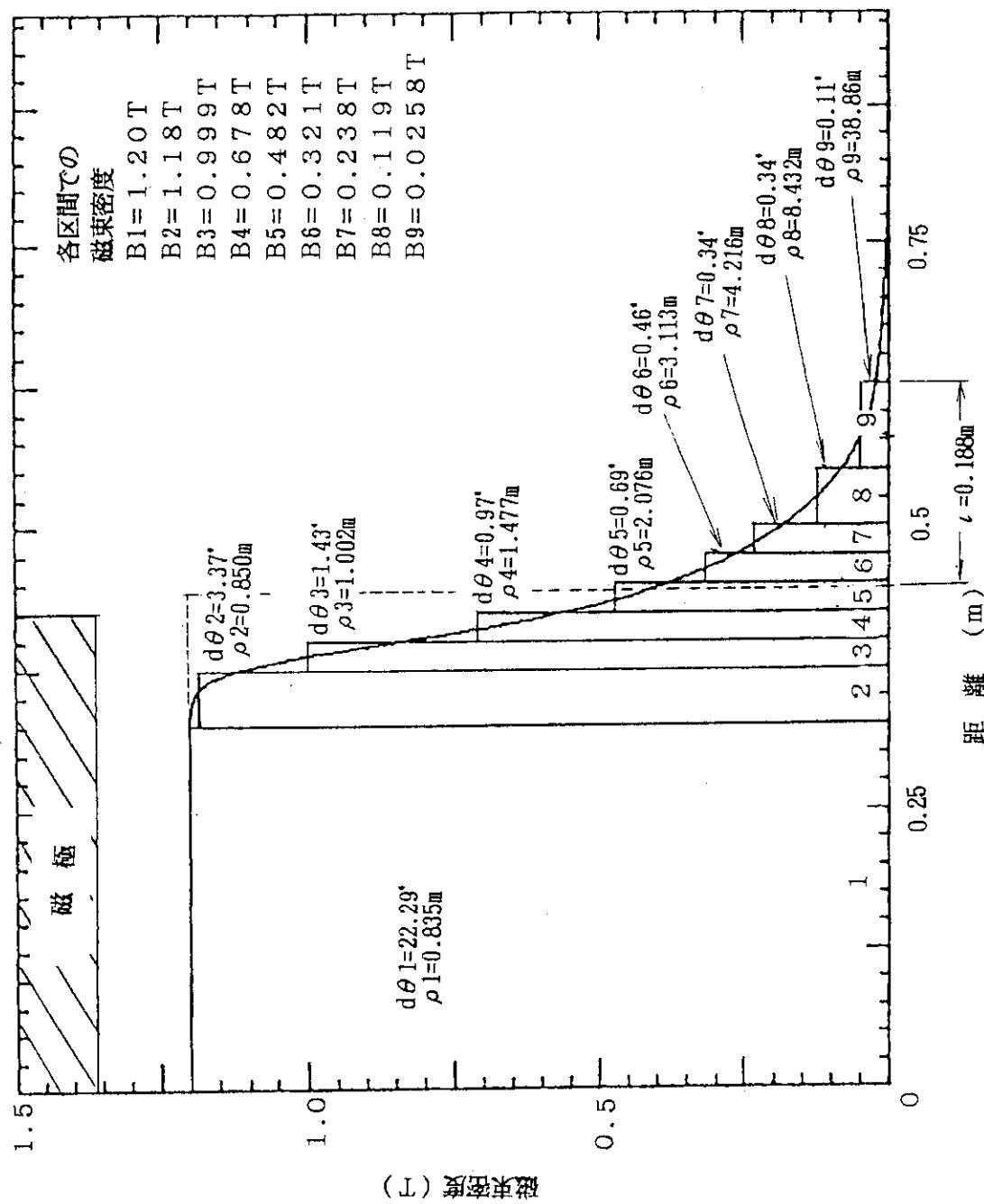
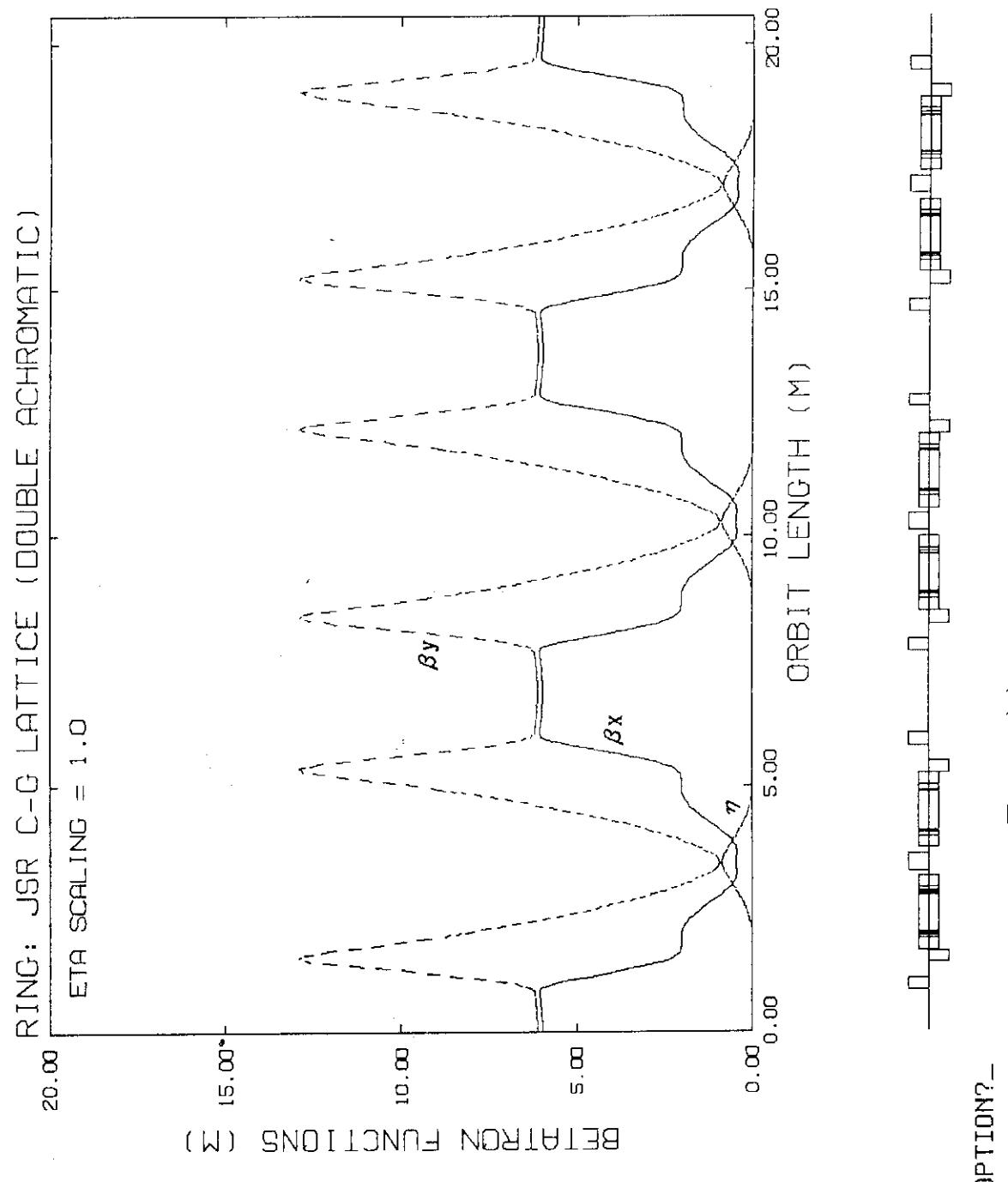
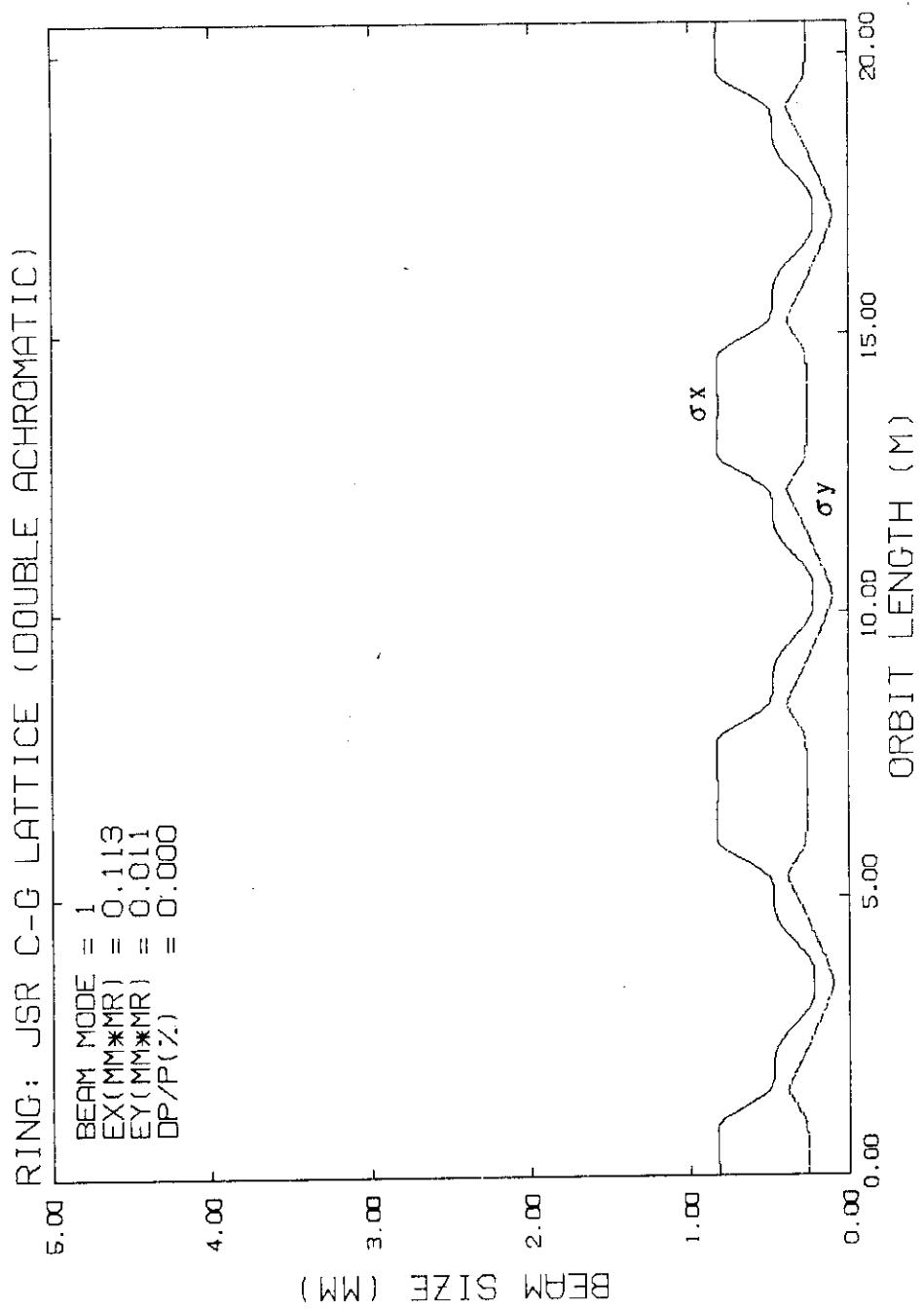


図 4.6 ビーム進行方向の磁場分布

図 4.7 ダブルアクロマティックモードにおける β 関数と分散



OPTION? -

図 4.8 ダブルアクロマティックモードにおけるビームサイズ
(at 300 MeV, $\Delta P / P = 0$)



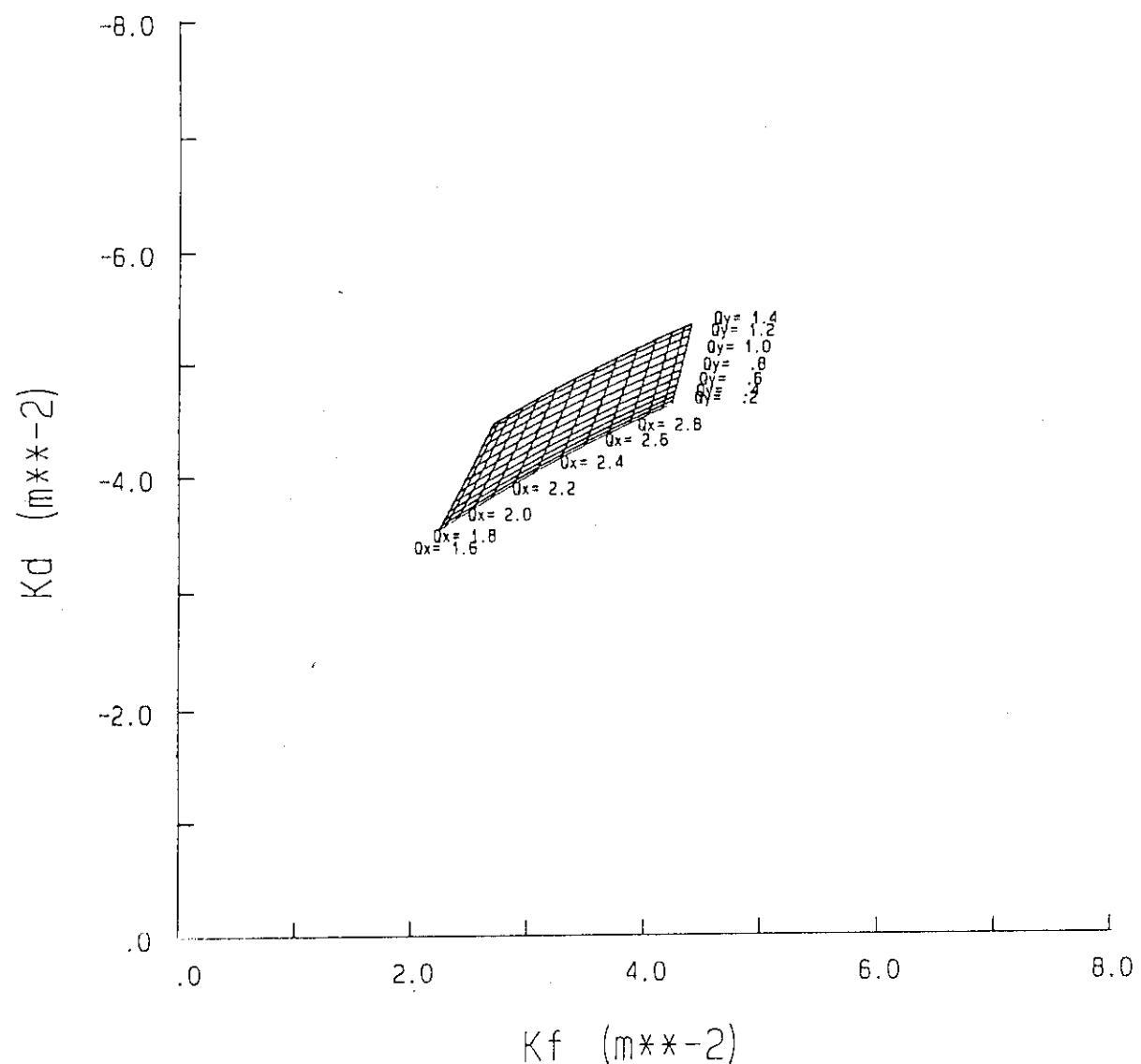
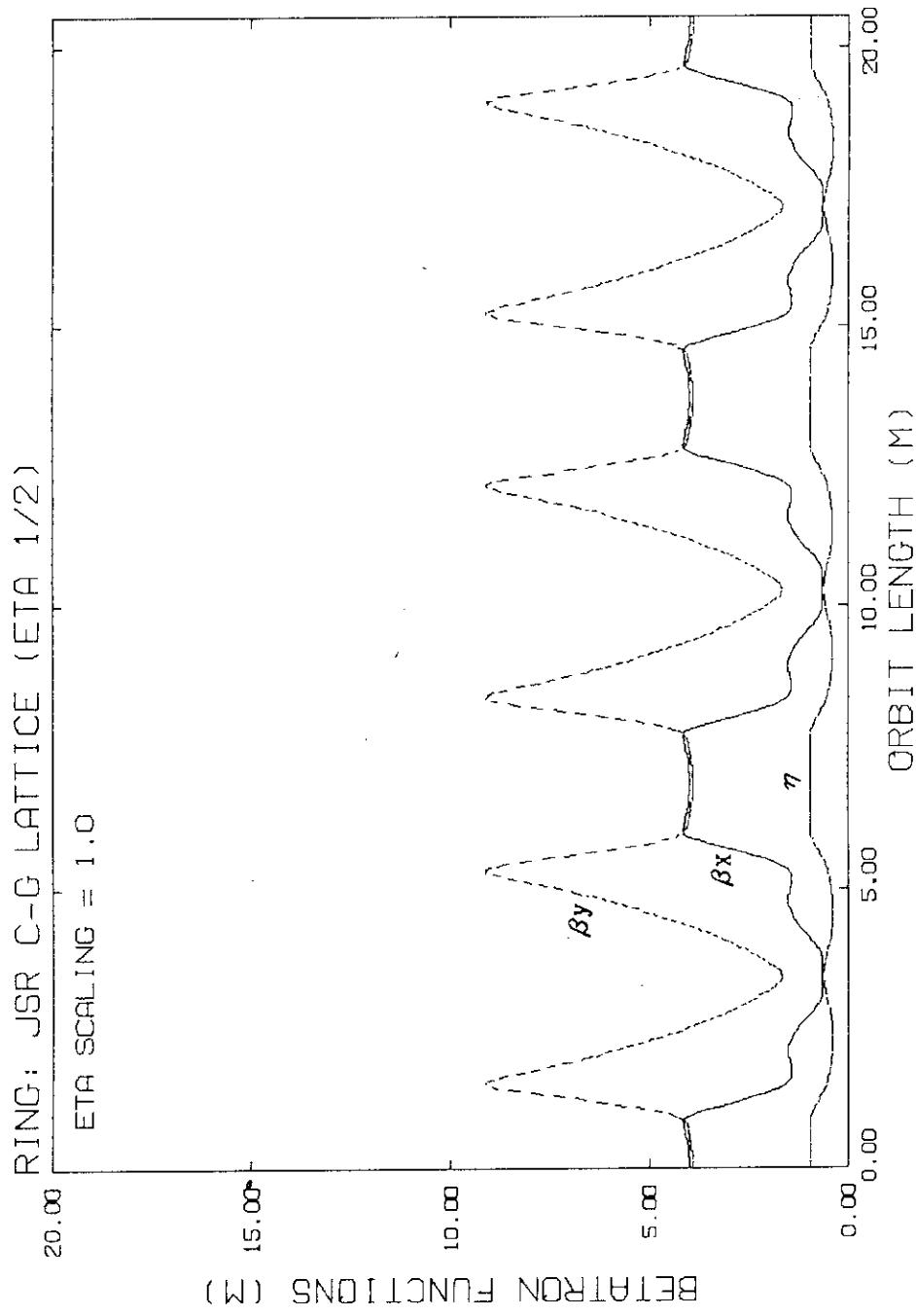


図 4.9 漏れ磁場を考慮した場合のタイダイヤグラム
(ダブルアクロマティックモード)



OPTION? -

図 4.1.0 $\eta_{1/2}$ モードにおける β 関数と分散

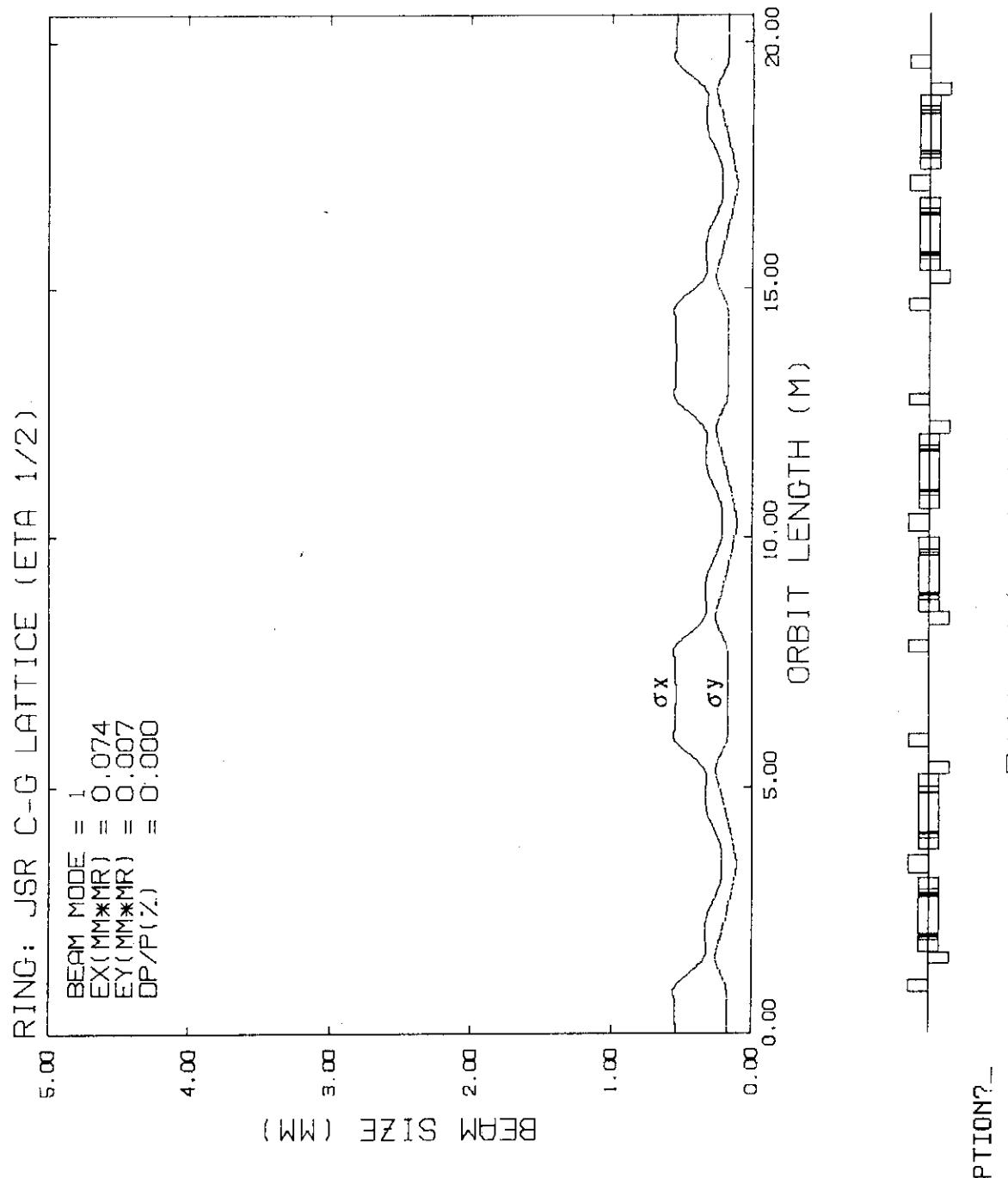


図 4.1.1 $\eta 1/2$ モードにおけるビームサイズ
(at 300 MeV, $\Delta P / P = 0$)

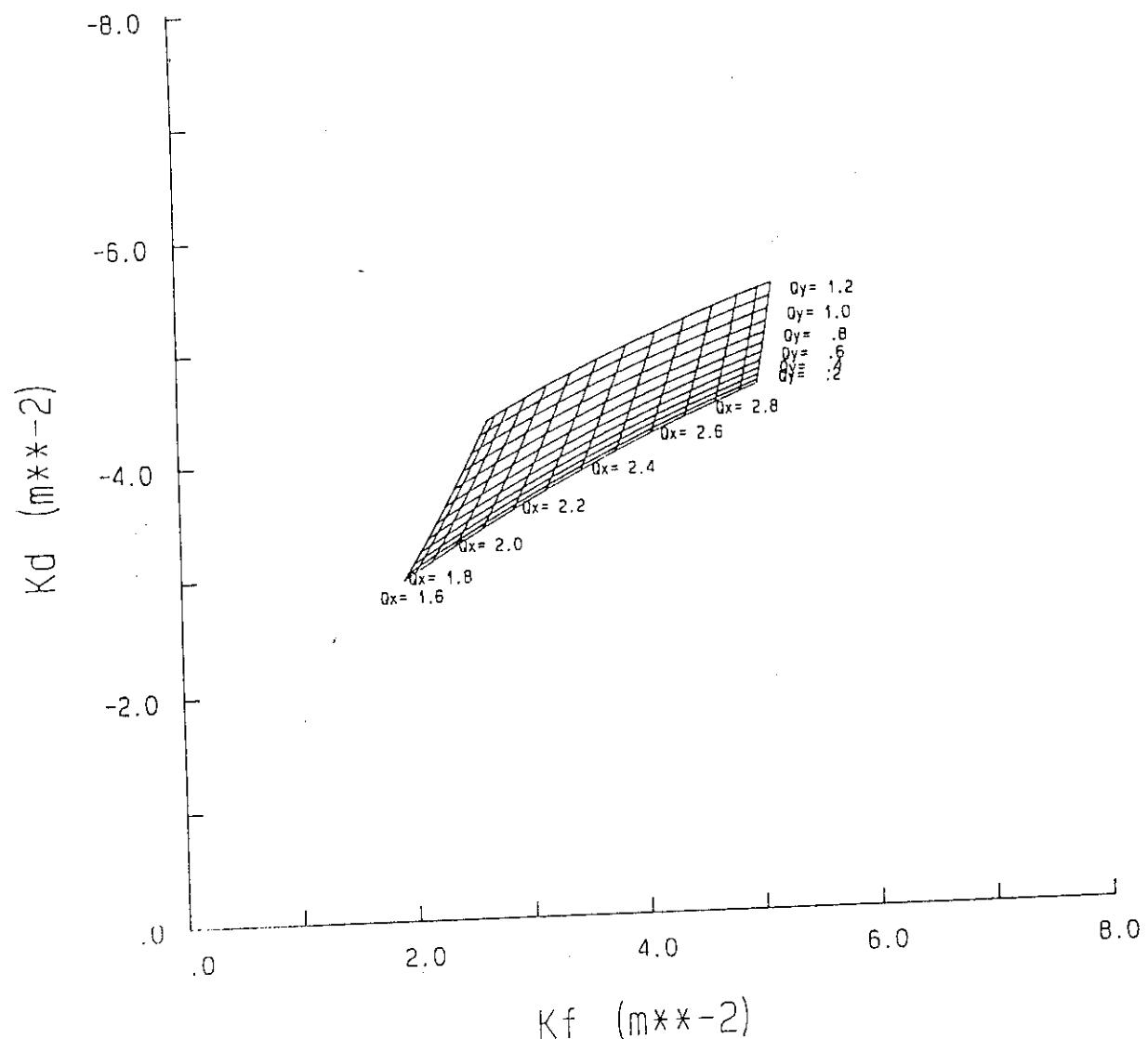
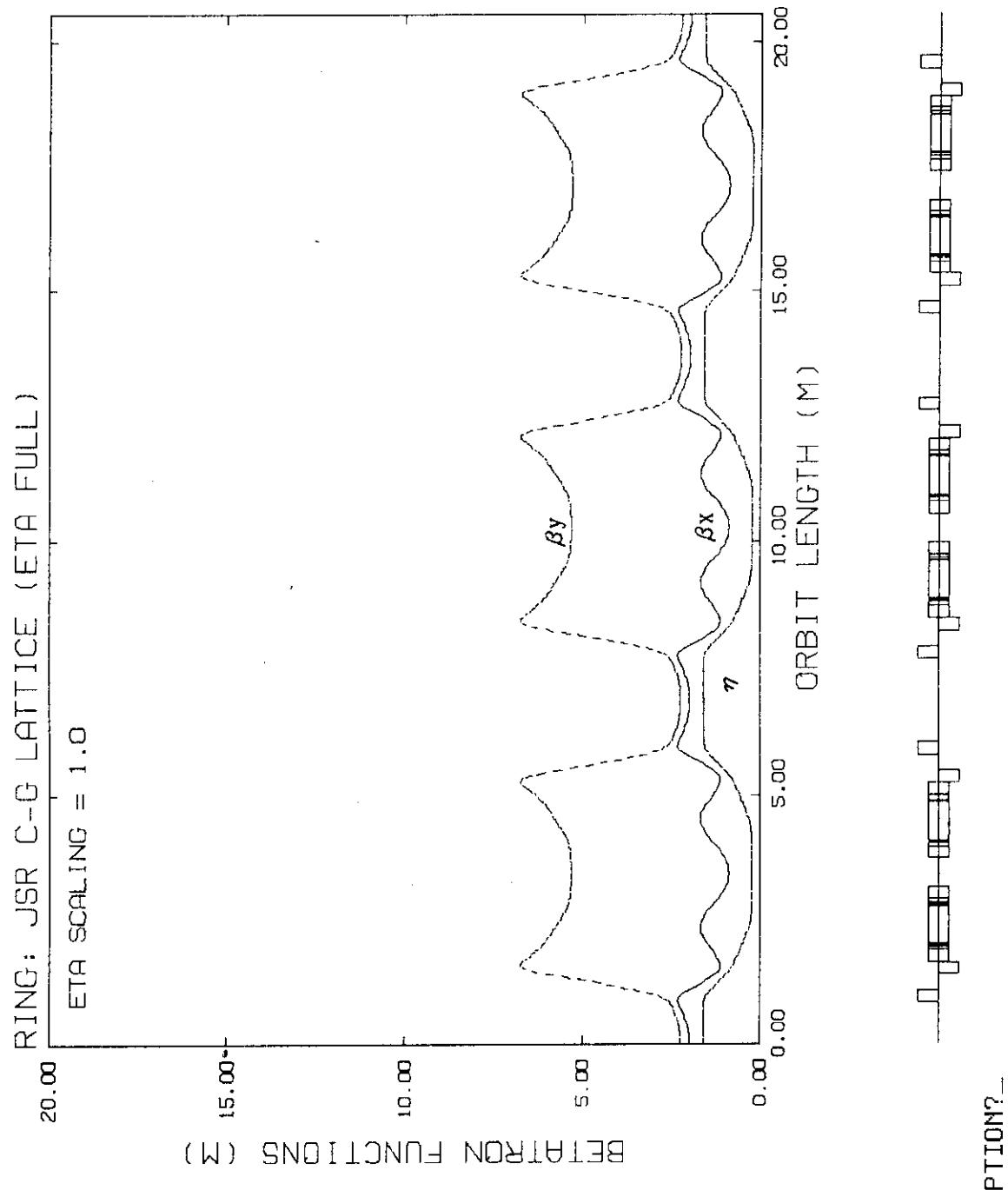


図 4.1.2 漏れ磁場を考慮した場合のタイダイヤグラム
($\eta 1/2$ モード)

図 4.1 3 η フルモードにおける β 関数と分散

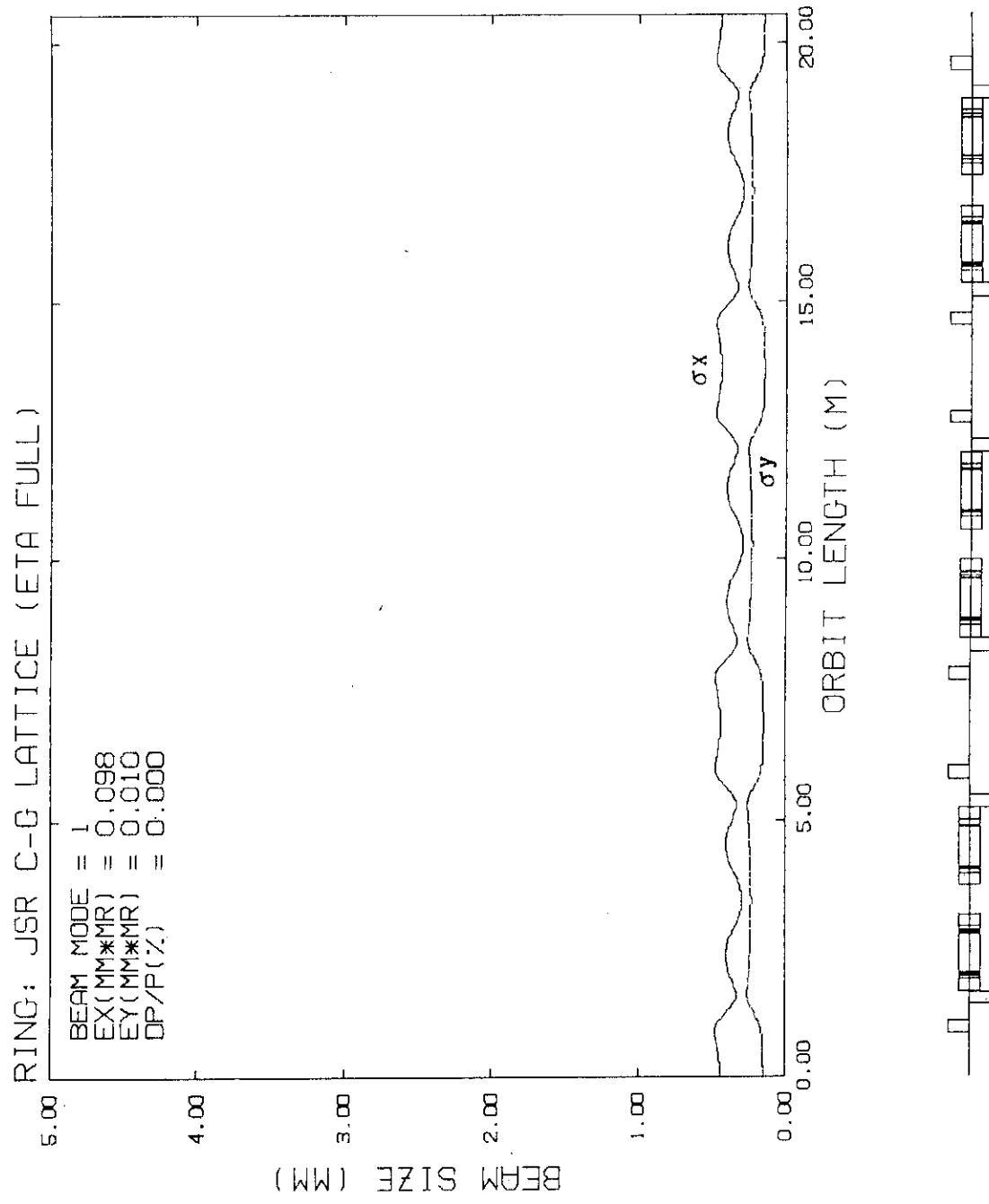


図 4.1.4 (a) フルモードにおけるビームサイン
 (at 300 MeV, $\Delta P / P = 0$)

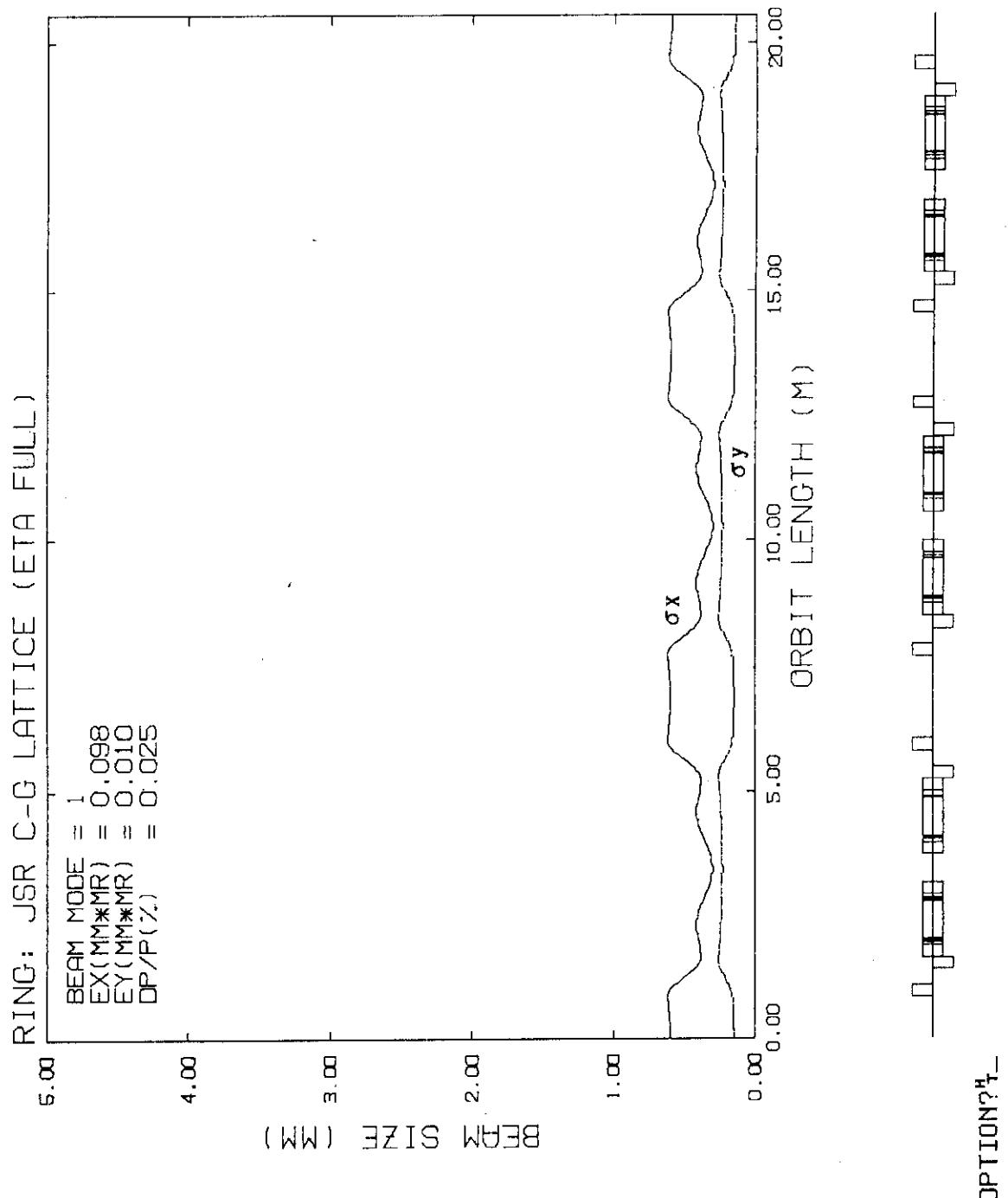


図 4.14 (b) η フルモードにおけるビームサイズ
 (at 300 MeV, エネルギー振動を考慮した場合)

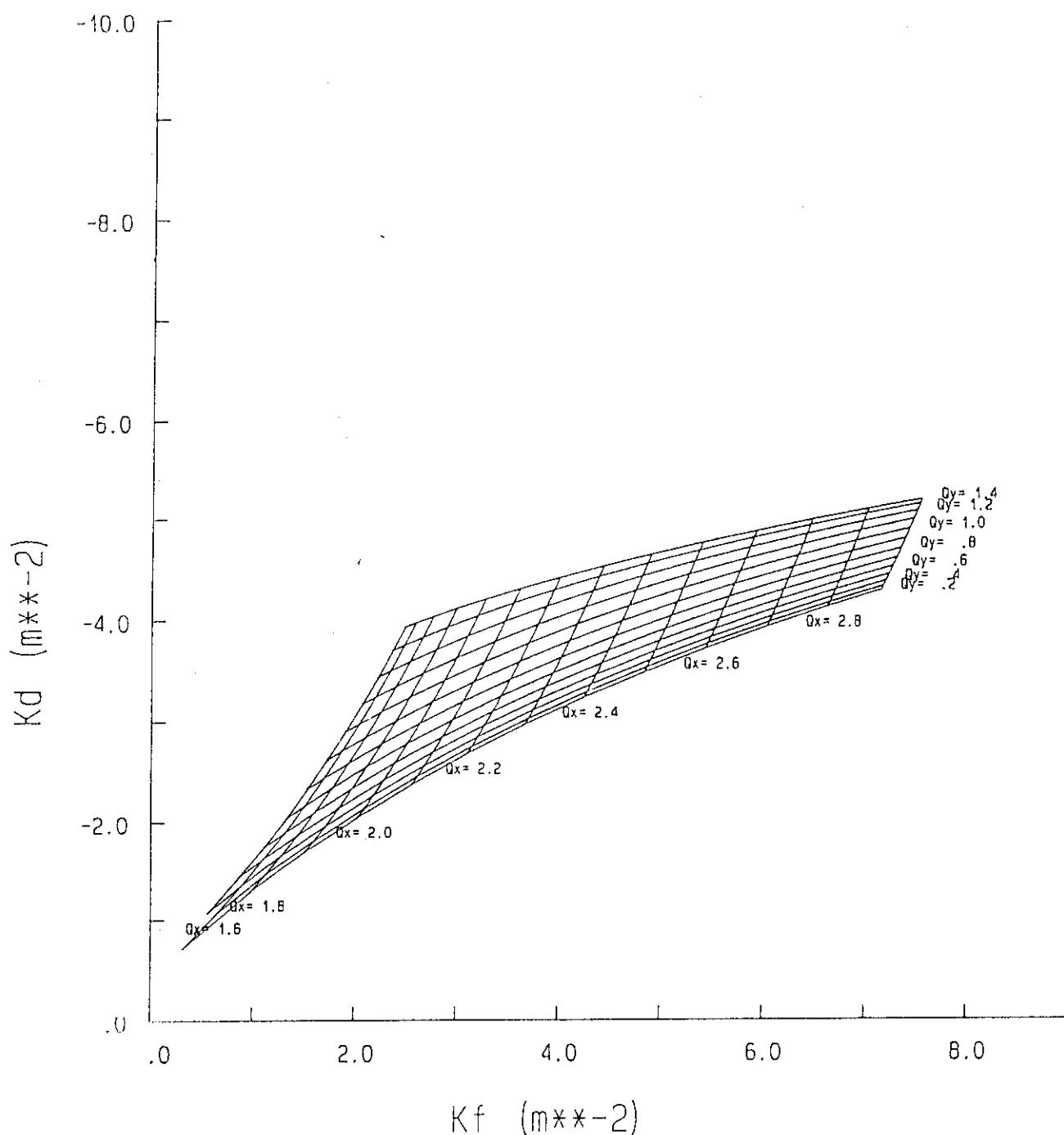


図 4.1.5 漏れ磁場を考慮した場合のタイダイヤグラム
(η フルモード)

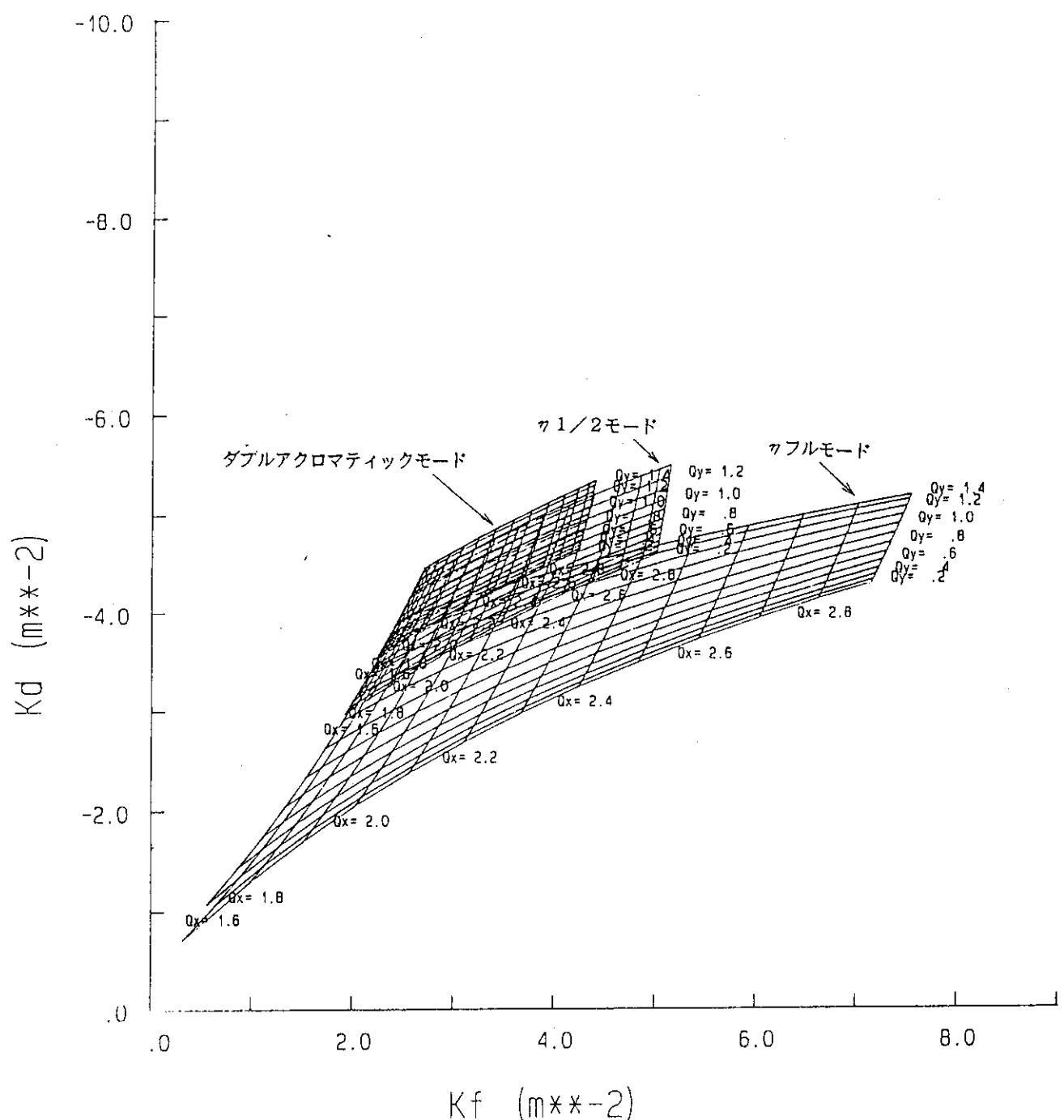


図 4.1.6 3種類の運転モードのタイダイヤグラムを重ね合わせたもの
(漏れ磁場と考慮)

5. C-G型 6 角形ラティスの入射系

図4.1に示したように、JSRではライナックからの電子ビームを入射するために、S1セクションに配置された1台のセプタム電磁石と1台のキッカーディフラクター電磁石を使用する。入射時にセプタム電磁石はパルス幅 $250\ \mu\text{sec}$ の正弦半波で励磁を行いそのフラットトップ部を使用し、キッカーディフラクター電磁石はセプタム電磁石のフラットトップと同期をとってパルス幅 $630\ \text{nsec}$ の正弦半波で励磁を行う。ライナックからは $1\ \mu\text{sec}$ のビームが、キッカーディフラクター電磁石と同期をとめて入ってくる。これらのパルスで駆動する機器の同期はライナックのタイミングジェネレータを基準として行う。入射系のタイミングチャートを図5.1に示す。JSRのダンピングタイムは $150\ \text{MeV}$ で約 $0.6\ \text{sec}$ であるので、 $1\ \text{Hz}$ の繰り返しでビームを入射する。

電子ビームはJSRの平衡軌道に対して $3\ \text{mrad}$ の角度を持って入射してくる。この角度は、ダブルアクロマティックモードの時の入射点でのバンプ軌道の傾きに相当する。図5.2にセプタム電磁石出口の断面図を示す。

以下の節に、3種類の運転モードについて入射効率をそれぞれ計算した結果を示す。チューンは $\nu_x/\nu_y = 2.23/0.83$ とする。本計算ではC.O.Dを零として扱った。当然C.O.Dが存在する場合は、その大きさに応じて入射効率が悪化する。

5.1 ダブルアクロマティックモード

図5.3にキッカーディフラクター電磁石の蹴り角を横軸にとり、縦軸にビームの入射量と蓄積ビームの残存率をとったグラフを示す。これから、 $6.5\ \text{mrad}$ 以上ビームを蹴ると蓄積ビームが失われることがわかる。また、入射ビーム量は蹴り角が $4\sim 8\ \text{mrad}$ の間では大きく変わらないことがわかる。蹴り角が $9\ \text{mrad}$ で入射効率が落ちているのは、ビームの蹴り過ぎで入射ビームが真空ダクトに当たって失われるためである。

図5.4にキッカーディフラクター電磁石の励磁を始めた時刻を0として時間を横軸にとり、縦軸に各時刻に入射してきたビームの入射効率をとり、キッカーディフラクター電磁石の蹴り角をパラメータとしたグラフを示す。グラフの面積が1回の入射で入ってくるビームの量である。

図5.5に、入射ビームのエネルギー分散が入射効率に与える影響を示す。これから、 $\Delta E = \pm 0.5\%$ のエネルギー分散では入射効率に大きく影響しないことがわかる。これは、JSRではクロマティシティ補正のために六極電磁石のようなビームに対して非線形な運動を与える電磁石を置かないためと考えられる。

5.2 $\pi/2$ モード

図5.6にキッカーディフラクター電磁石の蹴り角を横軸にとり、縦軸にビームの入射量と蓄積ビームの残存率

をとったグラフを示す。これから、9.4 mrad 以上ビームを蹴ると蓄積ビームが失われることがわかる。また、入射ビーム量は蹴り角が大きくなる程増加する傾向にあることがわかる。

図 5.7 にキッカーの励磁を始めた時刻を 0 として時間を横軸にとり、縦軸に各時刻に入射してきたビームの入射効率をとり、キッカーの蹴り角をパラメータとしたグラフを示す。グラフの面積が 1 回の入射で入ってくるビームの量である。

図 5.8 に、入射ビームのエネルギー分散が入射効率に与える影響を示す。これから、 $\Delta E = -0.5\%$ のビームの入射効率が少し悪くなっていることがわかる。

5.3 クフルモード

図 5.9 にキッカー電磁石の蹴り角を横軸にとり、縦軸にビームの入射量と蓄積ビームの残存率をとったグラフを示す。これから、16.8 mrad 以上ビームを蹴ると蓄積ビームが失われることがわかる。また、入射ビーム量は蹴り角が大きくなる程増加する傾向にあることがわかる。

図 5.10 にキッカーの励磁を始めた時刻を 0 として時間を横軸にとり、縦軸に各時刻に入射してきたビームの入射効率をとり、キッcker の蹴り角をパラメータとしたグラフを示す。グラフの面積が 1 回の入射で入ってくるビームの量である。

図 5.11 に、入射ビームのエネルギー分散が入射効率に与える影響を示す。これから、 $\Delta E = -0.5\%$ のビームがほとんど入ってこないのがわかる。

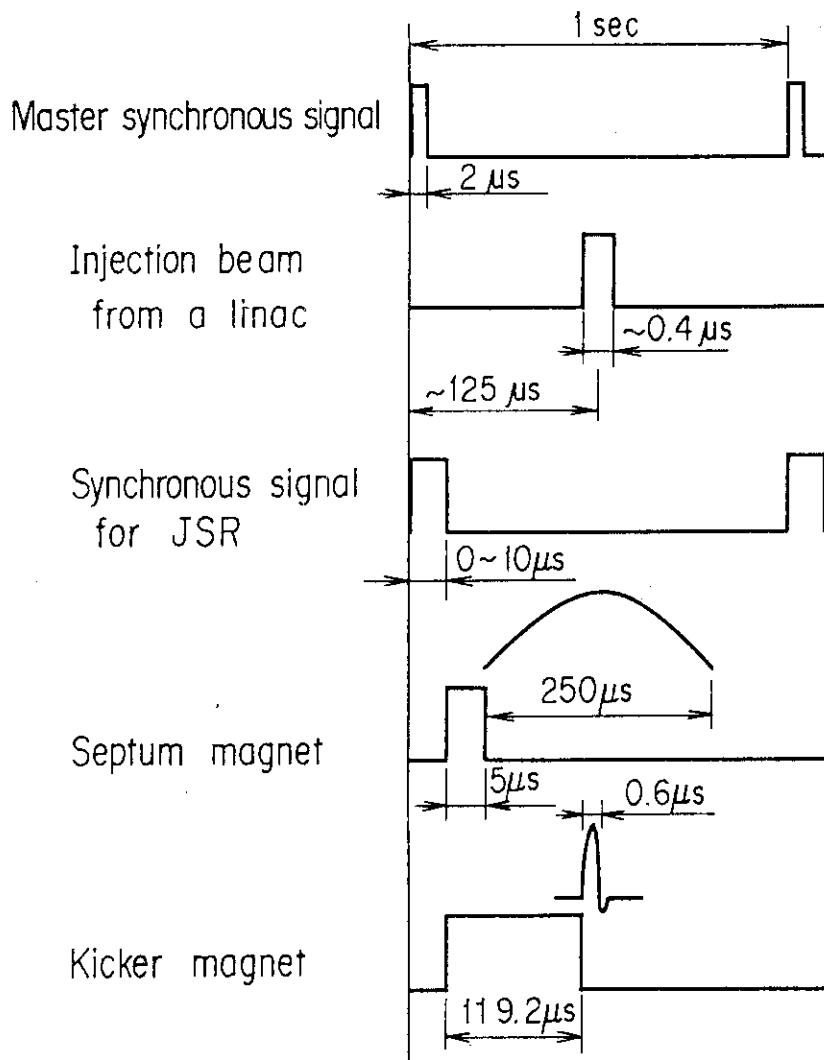


図 5.1 J S R における入射系のタイミングチャート

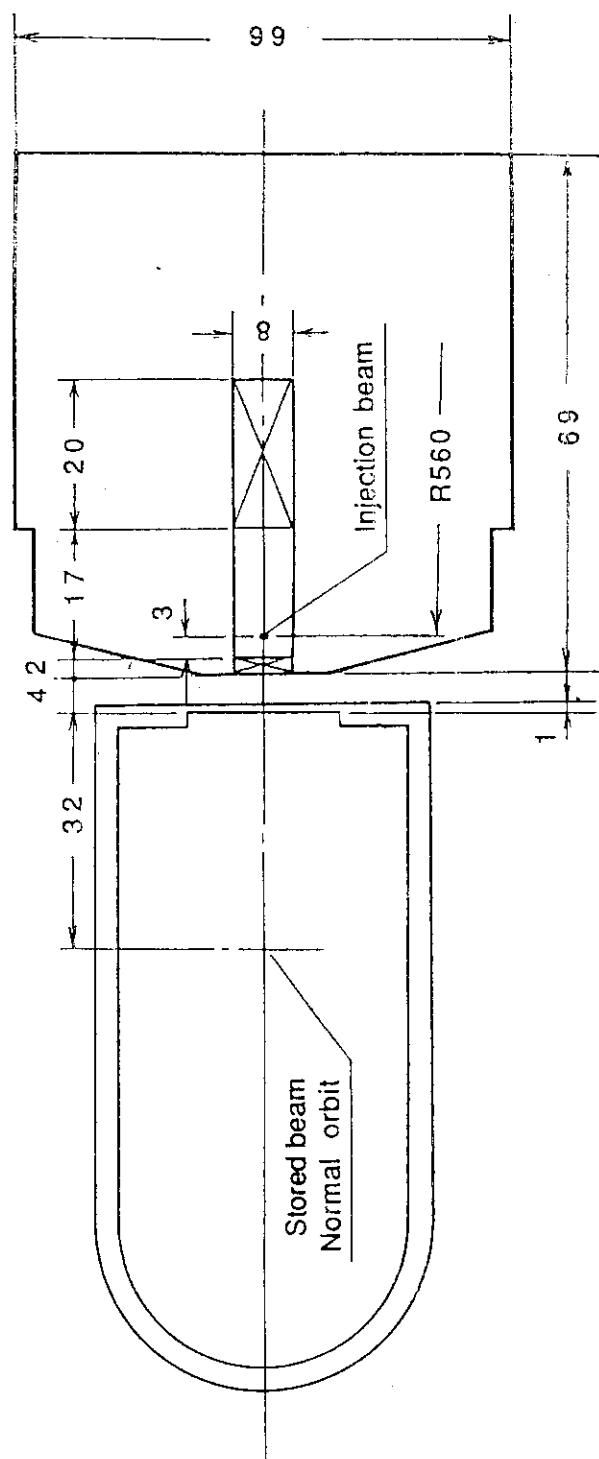


図 5.2 セブタム電磁石断面

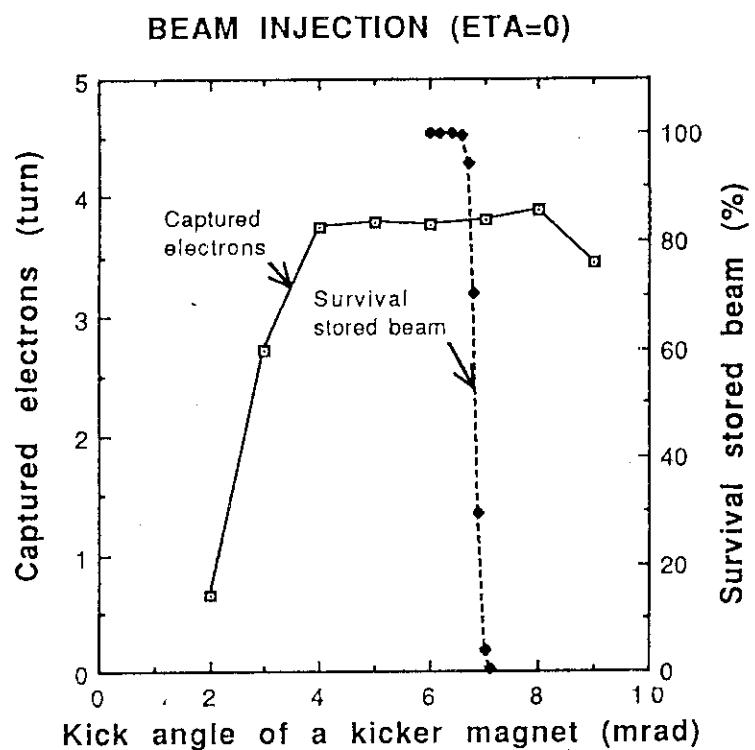


図 5.3 キッカー電磁石の蹴り角に対するビームの入射量と蓄積ビームの残存率
(ダブルアクロマティックモード)

INJECTION EFFICIENCY (ETA=0)

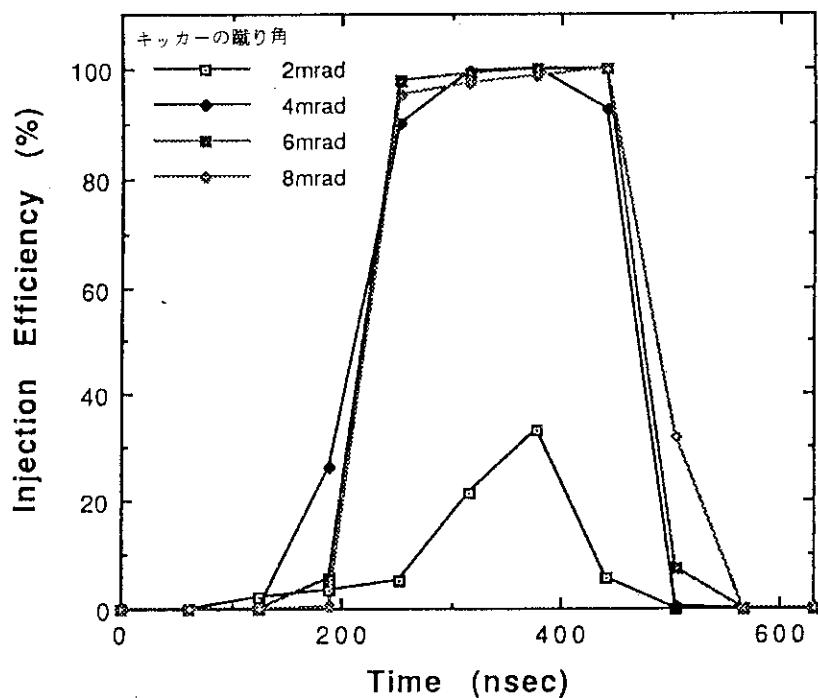


図 5.4 キッカー電磁石の励磁位相に対する入射効率, $\Delta E = 0$
(ダブルアクロマティックモード)

INJECTION EFFICIENCY (ETA=0)

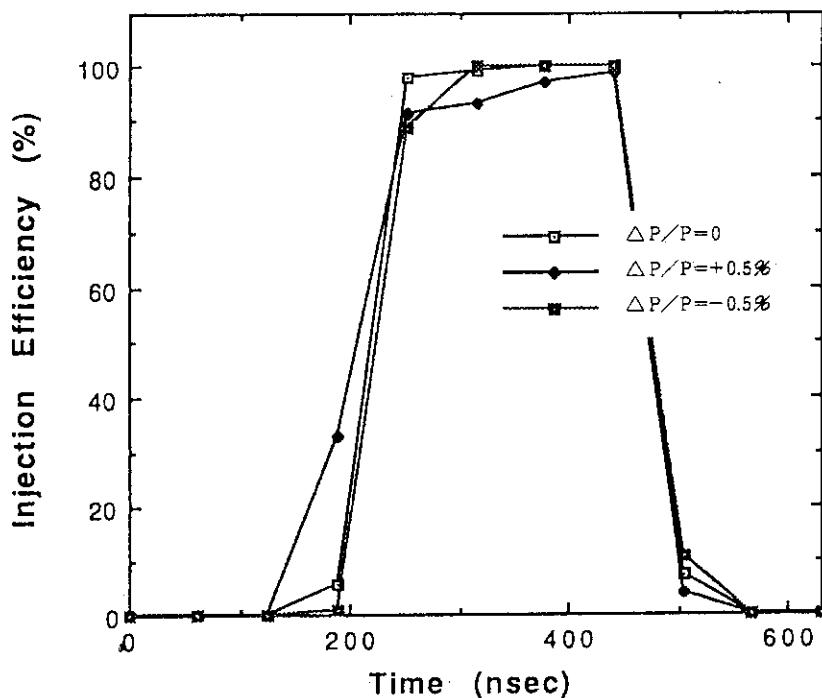


図 5.5 入射ビームのエネルギー分散に対する入射効率の変化
(ダブルアクロマティックモード, キッカーの蹴り角は 6 mrad)

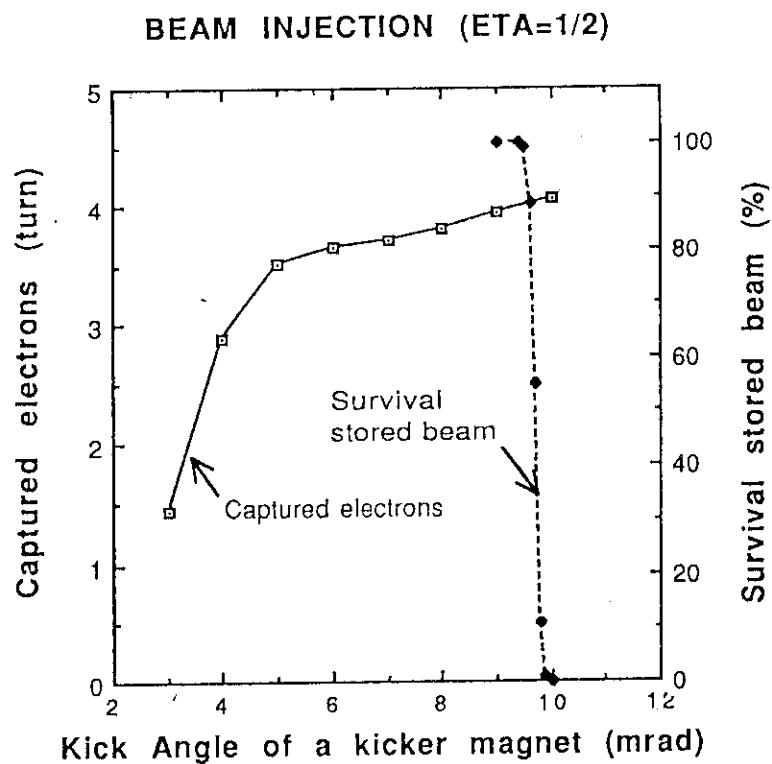


図 5.6 キッカー電磁石の蹴り角に対するビームの入射量と蓄積ビームの残存率
(η 1/2 モード)

INJECTION EFFICIENCY (ETA=1/2)

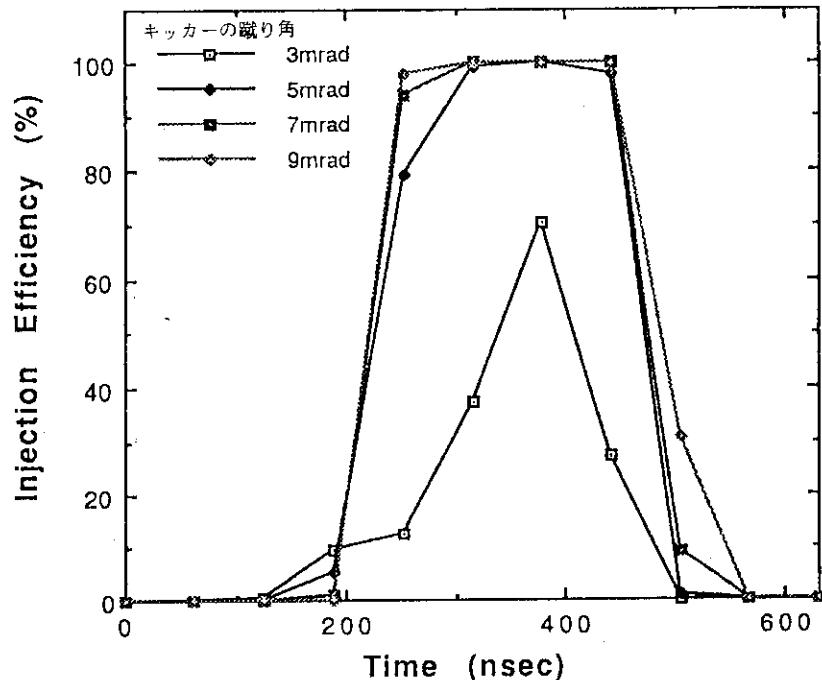


図 5.7 キッカー電磁石の励磁位相に対する入射効率, $\Delta E = 0$
($\eta 1/2$ モード)

INJECTION EFFICIENCY (ETA=1/2)

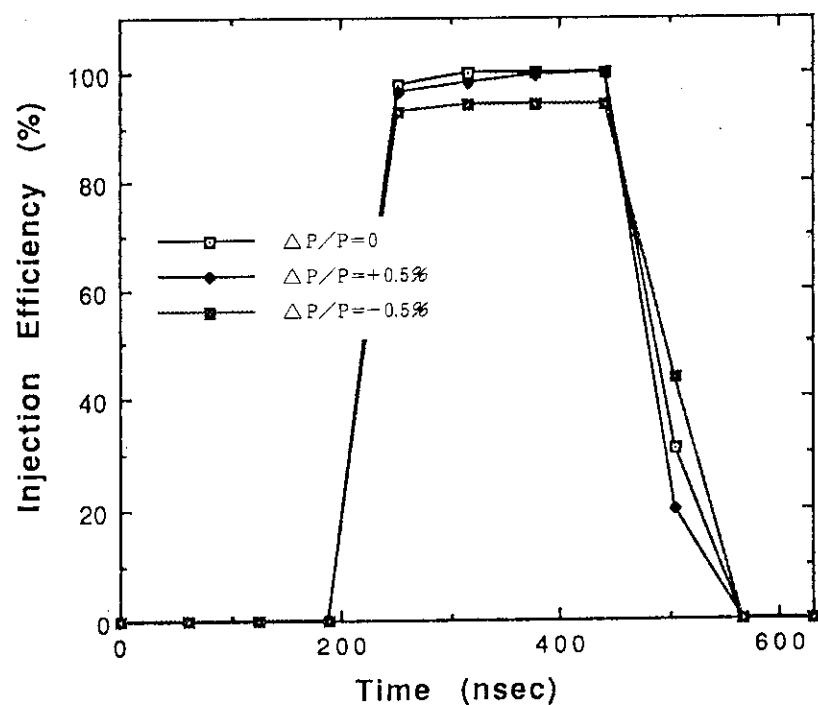


図 5.8 入射ビームのエネルギー分散に対する入射効率の変化
($\eta 1/2$ モード, キッカーの蹴り角は 9 mrad)

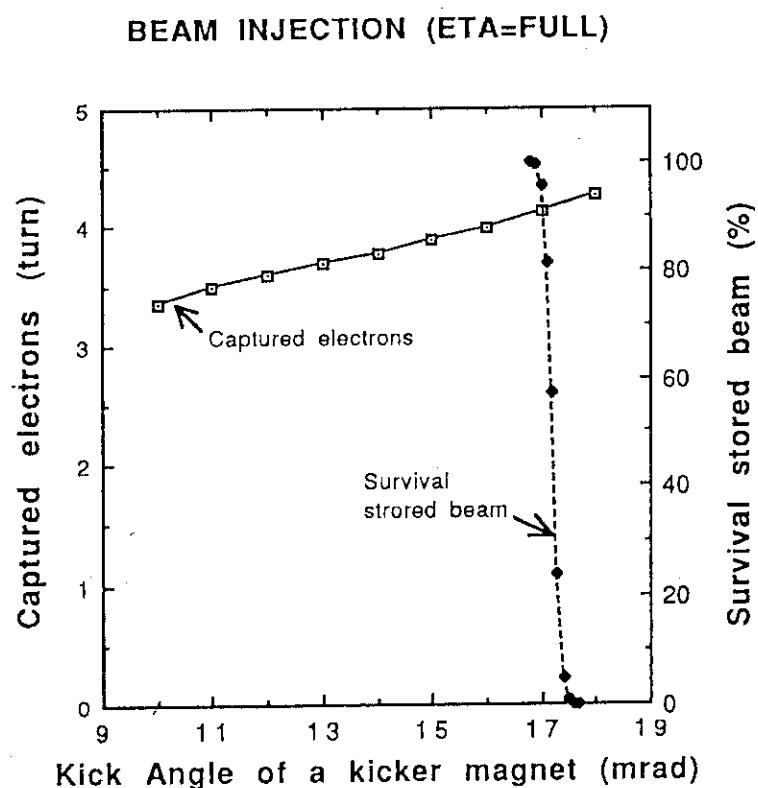


図 5.9 キッカーマグネットの蹴り角に対するビームの入射量と蓄積ビームの残存率
(η フルモード)

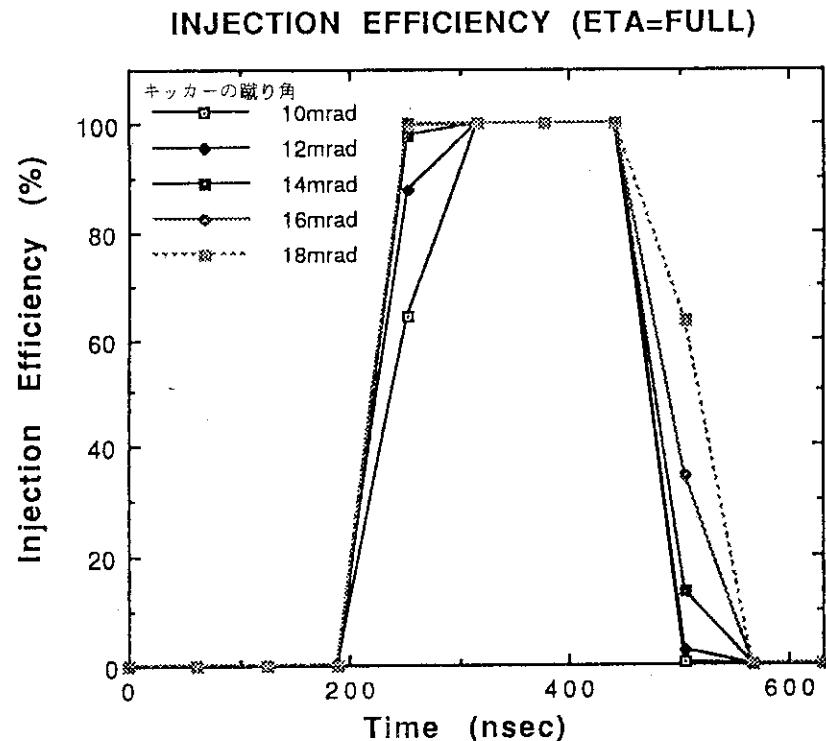


図 5.1.0 キッカー電磁石の励磁位相に対する入射効率, $\Delta E = 0$
(η フルモード)

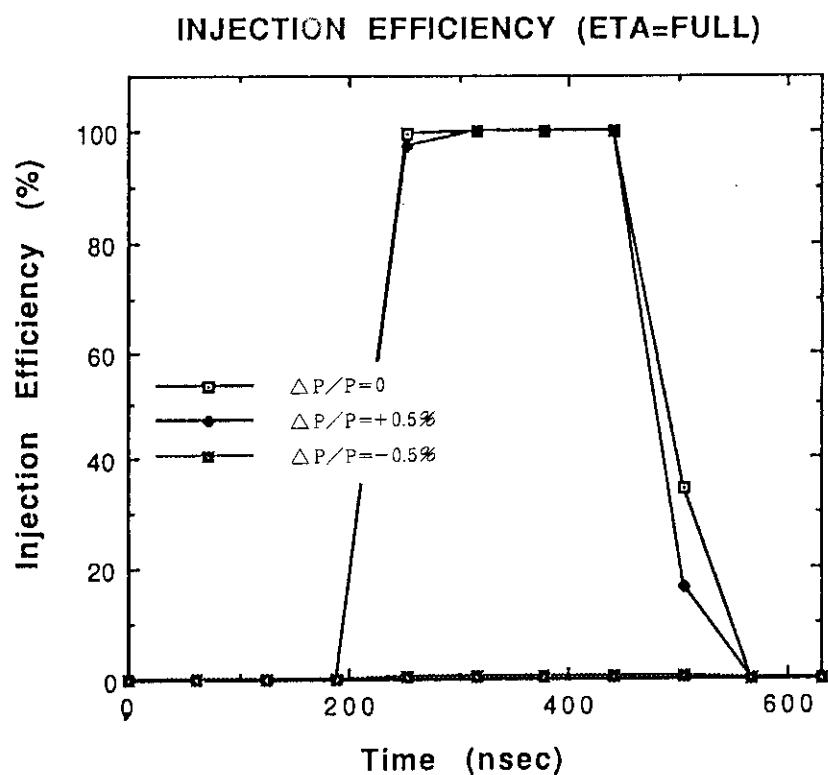


図 5.1.1 入射ビームのエネルギー分散に対する入射効率の変化
(η フルモード, キッカーの蹴り角は 16 mrad)

6. ま と め

J S Rのラティスは、以下の理由からC-G型六角形ラティスに決定した。

- ① n 値やエッジがなく、各電磁石の機能が分離されているため、各電磁石のビームに対する影響が把握し易い。
- ② 八角形に比べてコンパクトにできる。
- ③ 無分散の直線部が3本あり、それぞれ入射用、高周波加速空洞用、挿入光源装置用と機能を分散することができる。
- ④ σ_x' , σ_y' が小さいので、挿入光源を入れ易い。

偏向電磁石の漏れ磁場によりチューンやビームの軌道が変化するが、共に補正が可能な範囲に収まる。

運転モードとしてダブルアクロマティック、 $\pm 1/2$ モード、フルモードを想定し、どのモードでも問題なくビームが入射できることがわかった。

今後、本報告では取り扱わなかった入射時におけるイントラビームスキャッタリングの影響や、ビーム不安定性について検討を進める必要がある。

参 考 文 献

- 1) H. Yokomizo, et al. : Proc. of European Particle Accelerator Conf. 1 (1988) 445.
- 2) H. Yokomizo, et al. : Rev. Sci. Instrum. 60(7) (1989) 1724.
- 3) H. Yokomizo, et al. : To be published proc. Int. Conf. on Synchrotron Radiation Instrumentation SRI-89 (1989).
- 4) S. Harada, et al. : Particle Accelerators 33 (1990) 1729.
- 5) K. Yanagida, et al. : Proc. of the 7 th Symposium on Accelerator Science and Technology (1989) 4.
- 6) H. Yokomizo, et al. : Proc. of 2nd International Symposium on Advanced Nuclear Energy Research (1990) 273.
- 7) H. Kamitsubo, et al. : Proc. of European Particle Accelerator Conf. 1 (1988) 374.
- 8) M. Hara, et al. : Particle Accelerators 33 (1990) 1741.
- 9) T. Harami, et al. : Particle Accelerators 33 (1990) 1753.
- 10) H. A. Enge : Rev. Sci. Instrum. 35 (1964) 278.

6. ま と め

J S Rのラティスは、以下の理由からC-G型六角形ラティスに決定した。

- ① n 値やエッジがなく、各電磁石の機能が分離されているため、各電磁石のビームに対する影響が把握し易い。
- ② 八角形に比べてコンパクトにできる。
- ③ 無分散の直線部が3本あり、それぞれ入射用、高周波加速空洞用、挿入光源装置用と機能を分散することができる。
- ④ σ_x' , σ_y' が小さいので、挿入光源を入れ易い。

偏向電磁石の漏れ磁場によりチューンやビームの軌道が変化するが、共に補正が可能な範囲に収まる。

運転モードとしてダブルアクロマティック、 $\pm 1/2$ モード、フルモードを想定し、どのモードでも問題なくビームが入射できることがわかった。

今後、本報告では取り扱わなかった入射時におけるイントラビームスキャッタリングの影響や、ビーム不安定性について検討を進める必要がある。

参 考 文 献

- 1) H. Yokomizo, et al. : Proc. of European Particle Accelerator Conf. 1 (1988) 445.
- 2) H. Yokomizo, et al. : Rev. Sci. Instrum. 60(7) (1989) 1724.
- 3) H. Yokomizo, et al. : To be published proc. Int. Conf. on Synchrotron Radiation Instrumentation SRI-89 (1989).
- 4) S. Harada, et al. : Particle Accelerators 33 (1990) 1729.
- 5) K. Yanagida, et al. : Proc. of the 7th Symposium on Accelerator Science and Technology (1989) 4.
- 6) H. Yokomizo, et al. : Proc. of 2nd International Symposium on Advanced Nuclear Energy Research (1990) 273.
- 7) H. Kamitsubo, et al. : Proc. of European Particle Accelerator Conf. 1 (1988) 374.
- 8) M. Hara, et al. : Particle Accelerators 33 (1990) 1741.
- 9) T. Harami, et al. : Particle Accelerators 33 (1990) 1753.
- 10) H. A. Enge : Rev. Sci. Instrum. 35 (1964) 278.