

平成9年1月21日(火)  
第1回中性子科学研究計画検討委員会  
加速器専門部会  
資料 No. 1-4

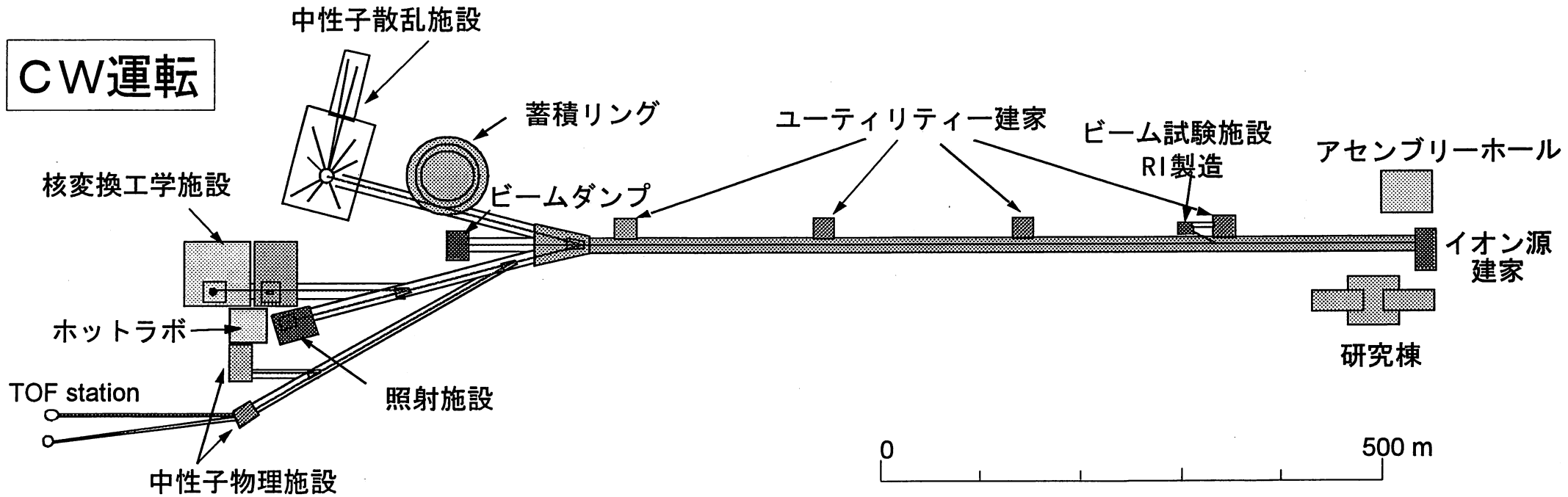
# 加速器計画の概要

日本原子力研究所  
東海研究所  
陽子加速器研究室

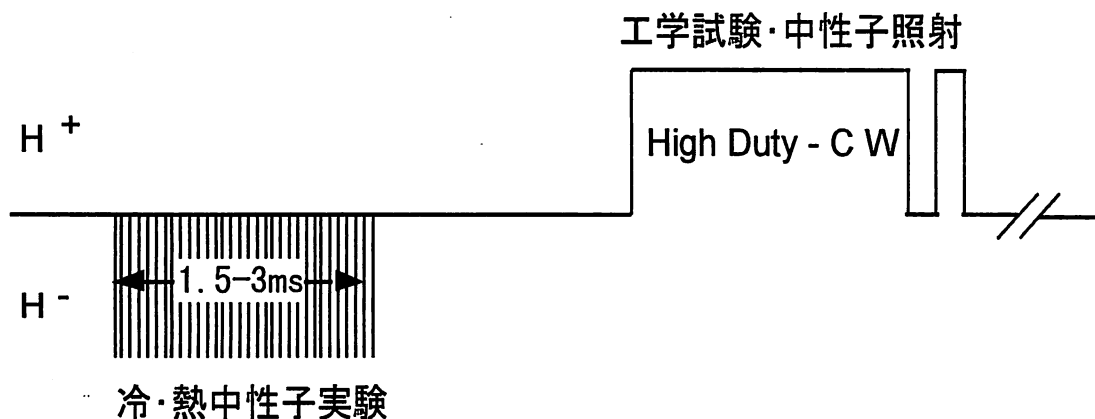
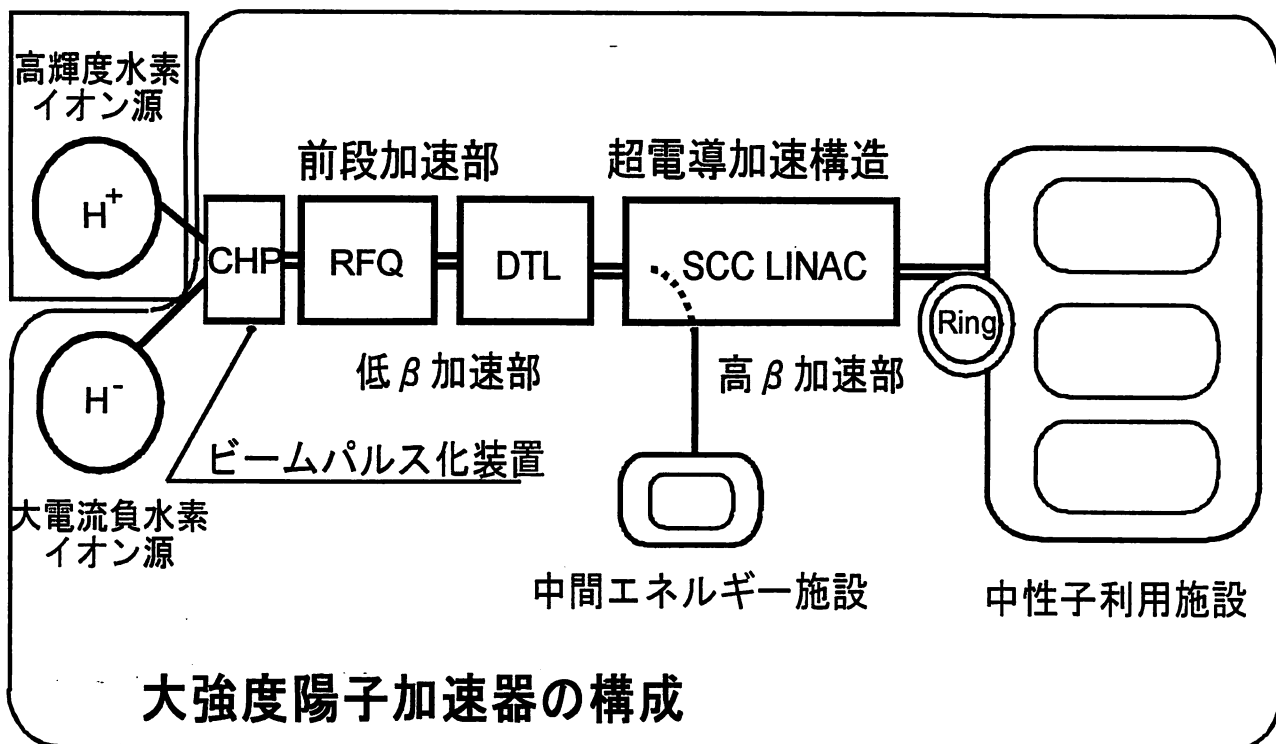
水本元治

# パルス運転

# CW運転



# 中性子科学計画加速器施設



### 正負イオン同時加速とビーム時間構造

1. 大電流化
2. 長期安定運転
3. 超伝導加速器
4. 実証された技術の採用
5. 将来の工学的な利用

## 開発方針

## 基本仕様

- ・エネルギー： 1.5GeV
- ・加速粒子： 負水素イオン、正水素イオン
- ・平均電流： 5.33mA ← CW
- ・ピーク電流： 30mA
- ・ビーム時間構造： パルスモードまたはCW運転
  - パルス繰り返し： 50Hz+50Hz またはそれ以下
  - 加速マクロパルス幅： ~2ms
  - 中間パルス幅： ~400ns、間隙~270ns
  - チョッピング率： 60%
  - 出力パルス幅： 単パルス 1 $\mu$ s 以下  
長パルス 2ms

## 機器詳細

( $n \times 3.7ms \times 50Hz$   $\times 1.5A$   
chupz 60% ~5MW)

### イオン源 (正負イオン共通)

- ・引き出し電圧： 70kV
- ・引き出し電流： 50mA
- ・規格化エミッタンス： 0.1 $\pi$ mm.mrad(rms)
- ・運転モード： 連続 (CW)

### RFQ

- ・タイプ： 4 ベーン型
- ・加速電流： ピーク 30mA
- ・運転モード： 2ms/50Hz ~ 連続 (CW)
- ・加速共振周波数： 200MHz
- ・加速エネルギー範囲： 70keV ~ 2MeV
- ・ベーン間電圧： 88kV 1.4 kV
- ・平均ボア半径： 5.93mm
- ・全長： 3.3m
- ・最終同期位相： -30°
- ・透過率： 97%

## DTL

- ・タイプ：ドリフトチューブリニアック
- ・加速電流：ピーク 30mA
- ・運転モード：2ms/50Hz～連続 (CW)
- ・加速共振周波数：200MHz
- ・ビーム集束系：DT 内蔵 4 極電磁石
- ・入射エネルギー：2MeV
- ・出射エネルギー：100MeV
- ・平均加速電場勾配：1.5MV/m
- ・ビームポア直径：20mm
- ・位相進み：65°
- ・同期位相：-30°
- ・集束磁場強度：60～25T/m

## 超伝導リニアック

- ・タイプ：純ニオブ製楕円空洞
- ・加速電流：ピーク 30mA
- ・運転モード：2m/50Hz～連続 (CW)
- ・加速共振周波数：600MHz
- ・ビーム集束系：4 極電磁石
- ・入射エネルギー：100MeV
- ・出射エネルギー：1.5GeV
- ・平均加速電場勾配：～7.5MV/m
- ・ビームポア直径：150mm
- ・モジュール間距離：～185cm  
(含む集束要素間距離：45cm)
- ・キャビティー長：<1m
- ・キャビティー内の最大セル数：<10
- ・最大表面磁場強度：<16～20MV/m
- ・最大高周波カップラー入力：100kW～200kW

# 大強度陽子加速器の開発

H9/1/21

項目	年度													
	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16
低エネルギー部	イオン源 RF源		RFQ	DTL	ビーム試験			計測法開発						
						負イオン源 CW-RFQ CW-DTL		モックアップ						
						概念設計			設計					
											製作			
高エネルギー部						システム設計			設計					
						超伝導テストスタンド			空洞試験					
												製作		
						蓄積リング 概念検討			設計					
建家								開発工						
								設計						
											建設			

# 【今後の展開】

## [1] イオン源の展開

### 正イオン源

フィラメントの長寿命化 (LaB<sub>6</sub>系の試験、ECRタイプの試作)

エミッタンス低減 加速特性最適化

現状イオン源特性の確認から次期装置設計条件への反映

### 負イオン源

現リアック棟に於ける負イオン加速試験の開始

負イオンビームのエミッタンス測定、LEBTのビーム透過率測定

長寿命化、ECR方式の検討は正イオン源と同様

残留ガスによる中性化の影響と対策検討

## [2] RFQの開発

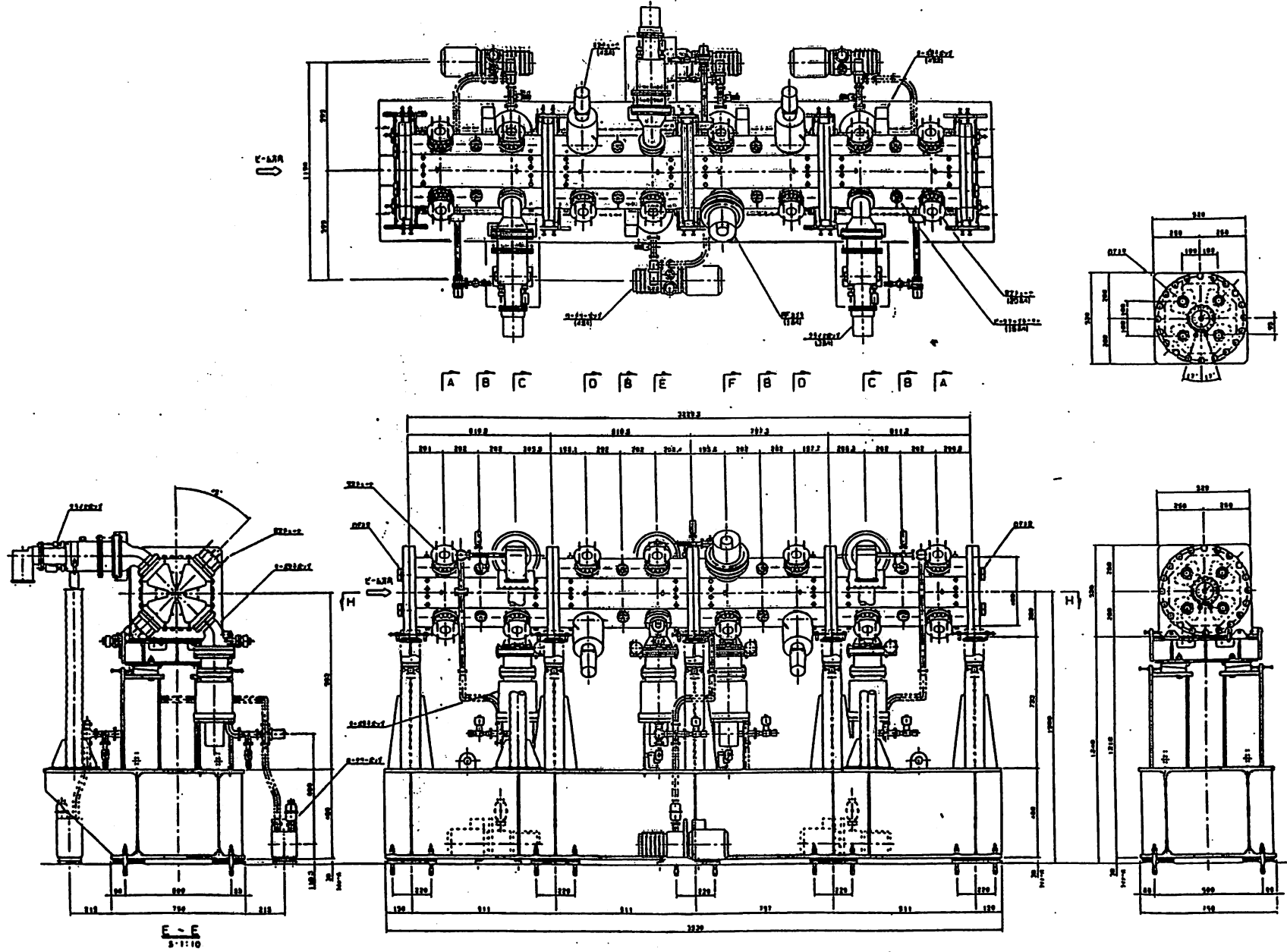
CW-RFQホットモデルの製作とハイパワー試験

現RFQの負イオン加速試験 (100kVの制限条件)

イオン源からのセリウム拡散効果 (放電限界低下の可能性)

RF入力カップラ改良・高デューティ試験

タンク内電場分布平坦化とビーム透過効率



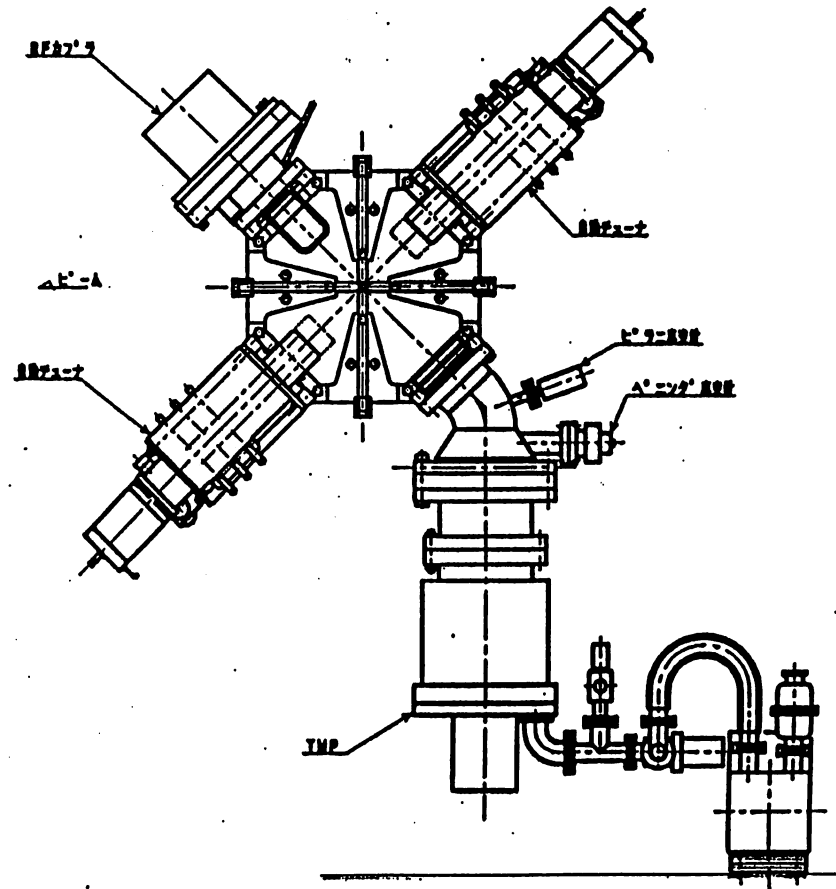
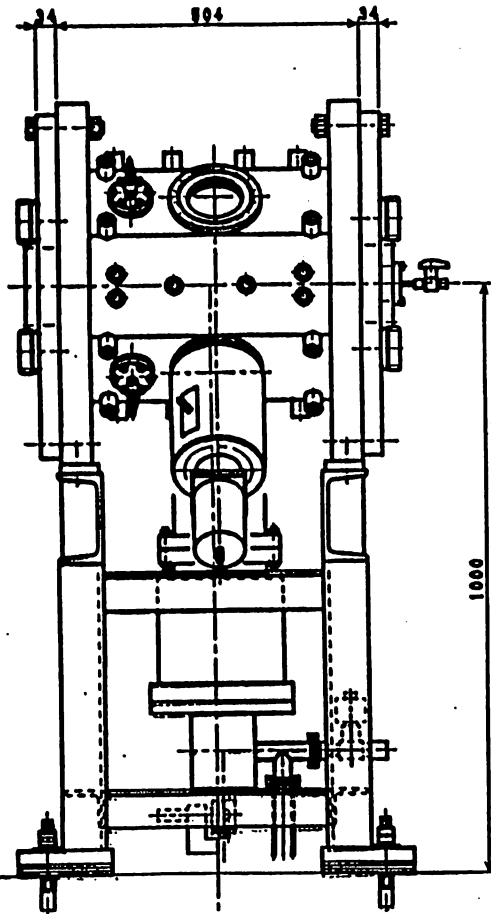
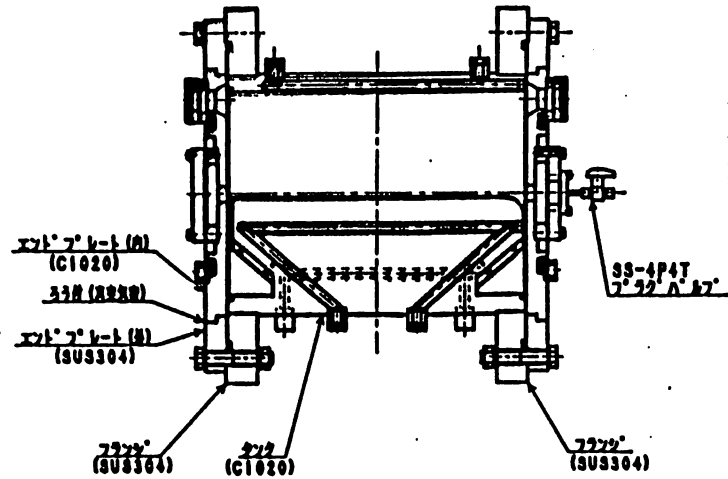
CW-RFQ



# CW-RFQハイパワーモデル

## 主要仕様

- |   |        |              |
|---|--------|--------------|
| 1 | 共振周波数  | 200MHz       |
| 2 | ベーン間電圧 | 88kV (1.375) |
| 3 | ベーン長さ  | 50cm         |
| 4 | Q値     | 13100        |
| 5 | 壁面ロス   | 35kW (80%Q)  |



## [3] DTLの開発

CW-DTL 1/3 コールドモデルの製作とコールド試験

CW-DTL ポストカップラー効果測定：タンク内電場分布

平均加速電場強度の最適化（ $\sim 1.5\text{MV/m}$ ）とビームダime  
ミックスの対応

CW-DTL ハイパワー試験

CW-RFQ & CW-DTLビーム加速試験（ $\sim 10\text{MeV}$ ）

## [4] RF源の開発

高デューティー運転対応

同上RF給電方式：冷却型同軸管方式の検討

4極管または改良型4極管方式の検討

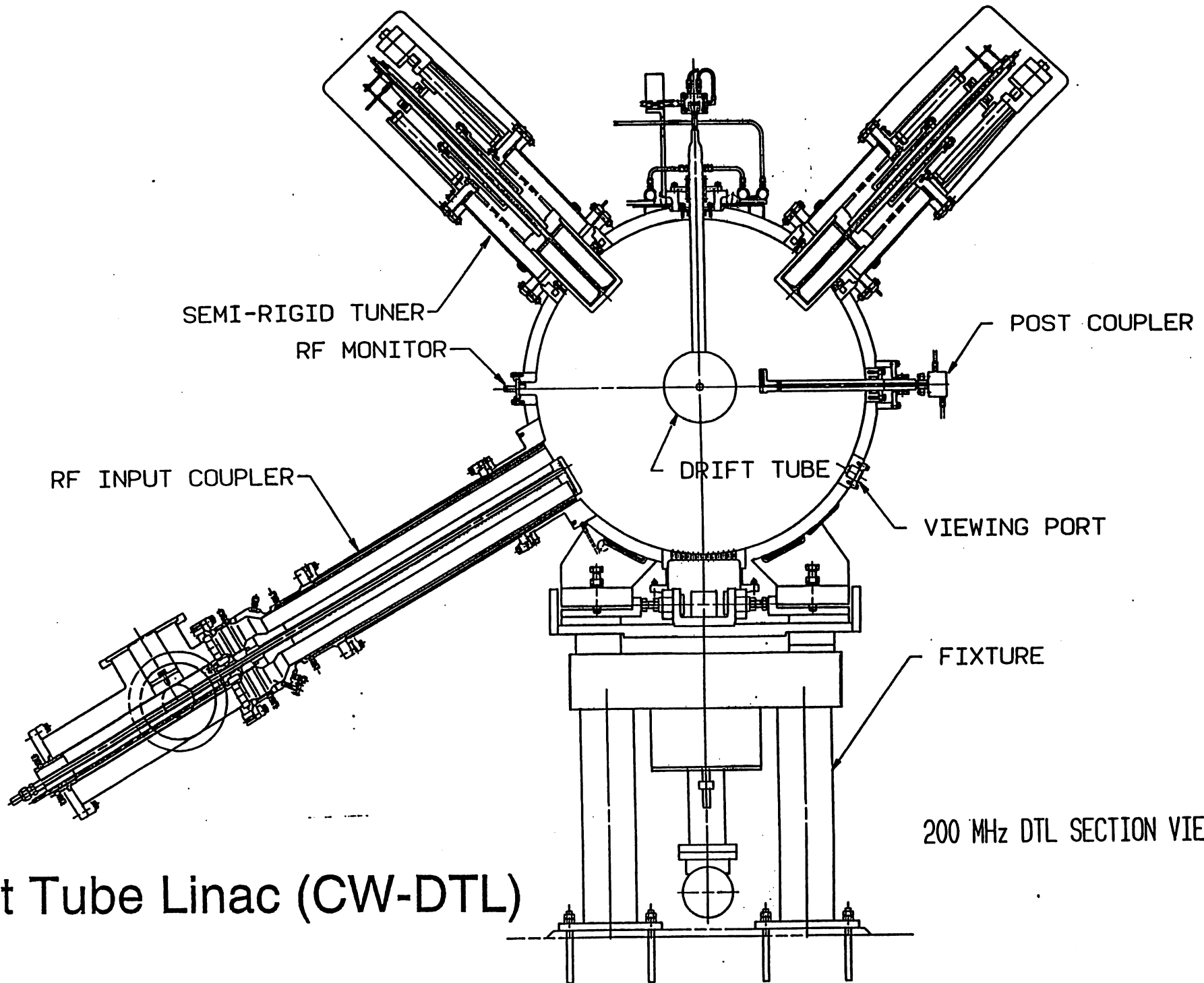
フィードフォワード制御方式の有効性の確認

クライストロンの開発（クライストロード等改良型クライストロンの検討）

508 MHz での実績からの外挿

700 MHz 構想の装置との関連検討

出力分割方式、立体回路、サーキュレーター、建家検討



Drift Tube Linac (CW-DTL)

# 高エネルギー加速部

## [1] 高 $\beta$ リニアック加速構造の検討

システム設計の推進

LANLの協力によるビーム計算解析コード整備

高エネルギー物理学研究所(KEK)との共同研究によるビーム  
ダマックスの検討

所内 ダンテム・FEL超伝導加速装置担当者との連携

## [2] 超伝導空洞

超伝導空洞テストスタンドの整備

超伝導空洞実験

KEKのバント空洞特性試験に参加：実験手法の学習

600MHz空洞実験用測定回路系の整備：KEK方式踏襲

超伝導空洞製作・試験

空洞形状の検討：特に低エネルギー部の構造強度評価

銅板による模擬単空洞の試作

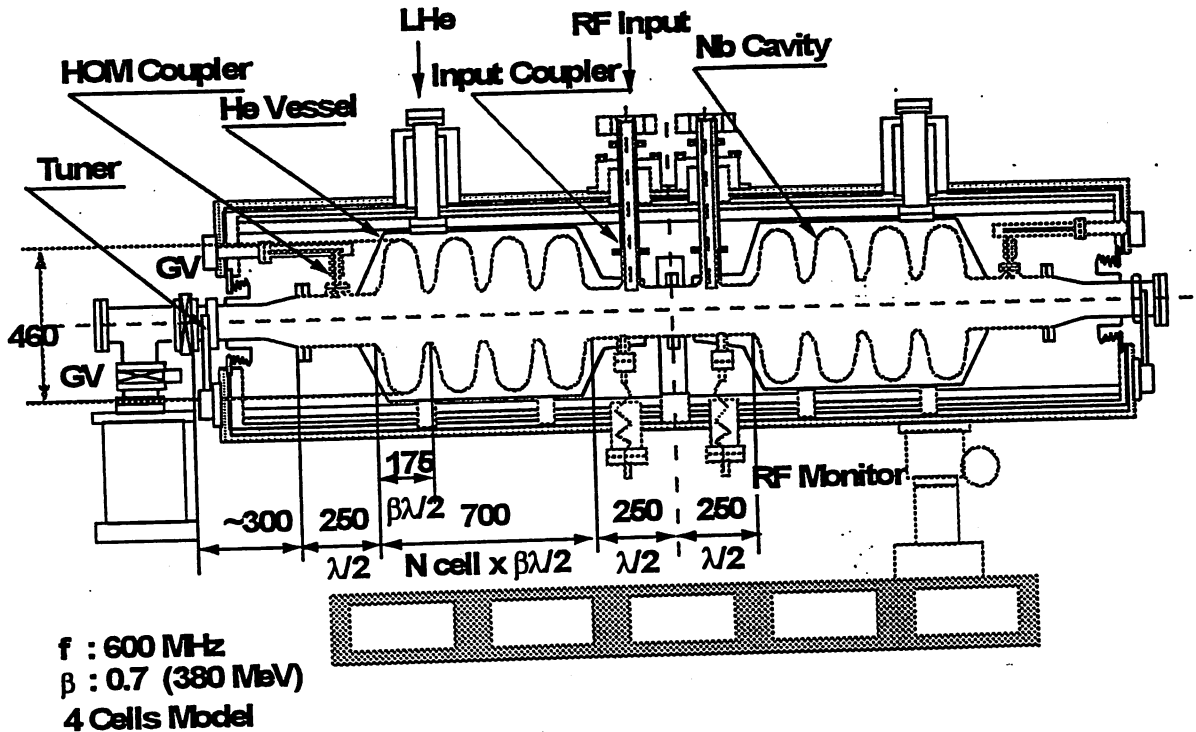
高純度ニオブ板による単空洞の試作・縦測定

多連空洞の試作・縦測定

クライモジュール設計・製作・横測定

ビーム負荷試験対応

# 原研リニアック用 超電導加速空洞



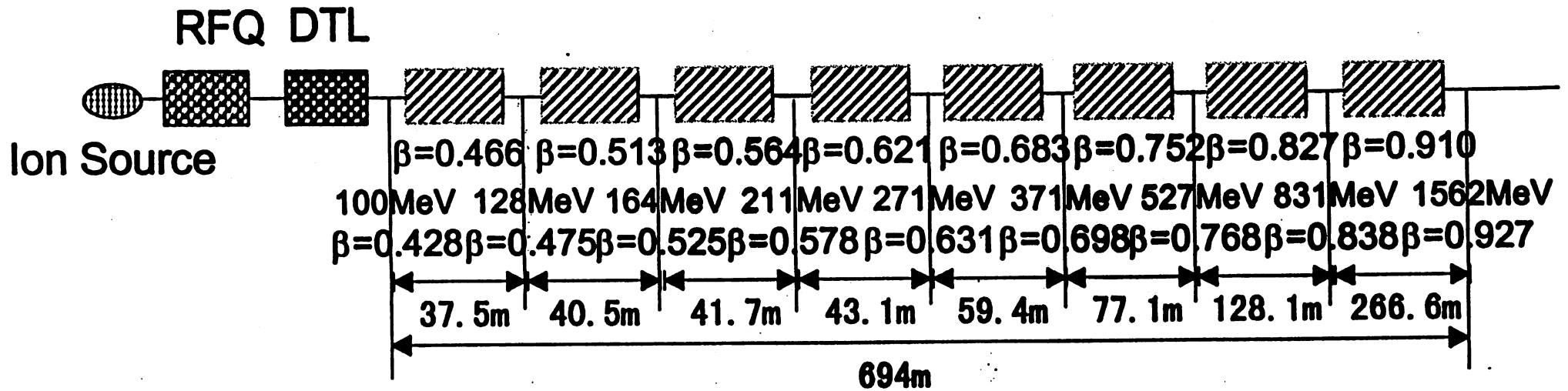
## 加速空洞

空洞長	<1m
ビームチューブサイズ	15cm
セル間の結合定数	4.7~2.1%
加速勾配 (Eacc)	2.9~7.2MV/m
ZTT/Q	89.5~398

## クライオモジュール

空洞間距離	~50cm
クライオモジュール間距離	~185cm
(集束要素間距離)	5cm)

# Basic Parameters for Superconducting Accelerator (600MHz)



**Energy Region: 100 - 1562 MeV**  
**Average Gradient (E0T): 6.17 MV/m**  
**Length of Accelerating Part: 273 m**  
**Average accelerating Phase: -29.7 deg**  
**Interval between Cryomodules: 185 cm**  
**Interval between Cavities: 50 cm**

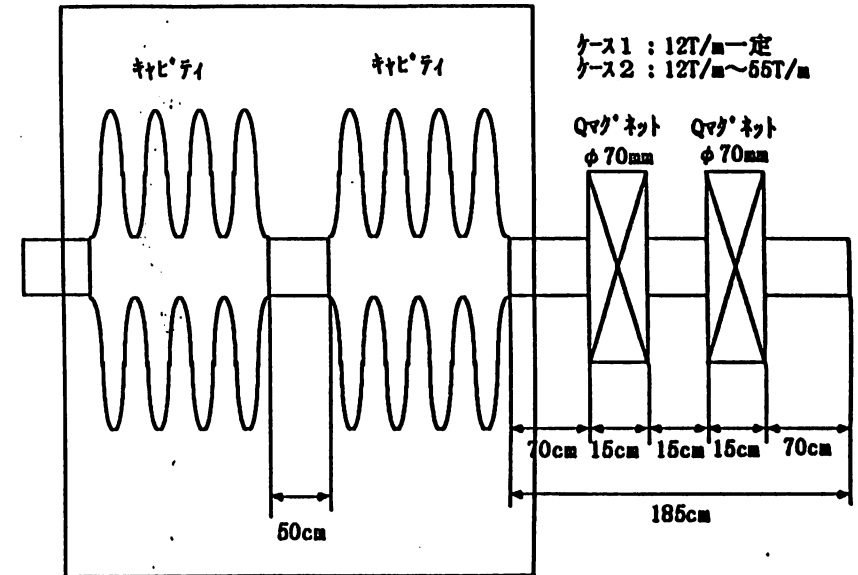
**Total number of Cavities: 360**  
**(24, 24, 24, 24, 32, 40, 64, 128)**  
**Number of Cryostats: 180**  
**Bore Radius: 7.5 cm**  
**Cavity Wall Loss: 23.4 kW (4K)**  
**Focusing Strength: 12-54 T/m**

### 超伝導加速空洞ビーム軌道計算

PARMILAを改修し、超伝導加速空洞ビーム軌道計算を行った。計算の基本パラメータは以下のとおり。

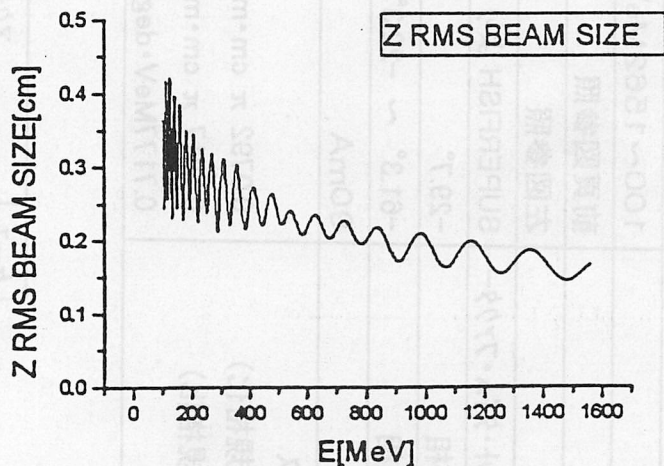
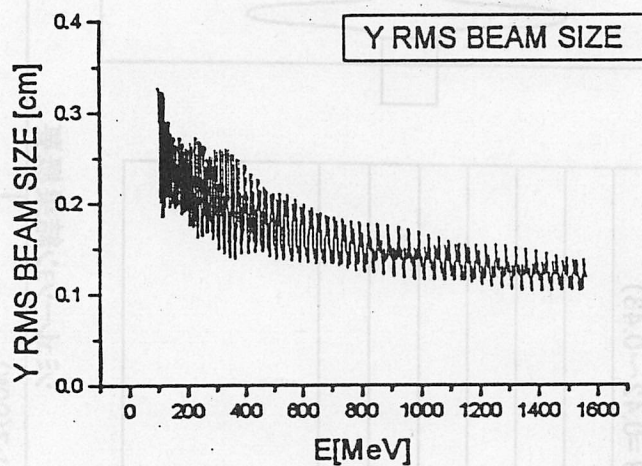
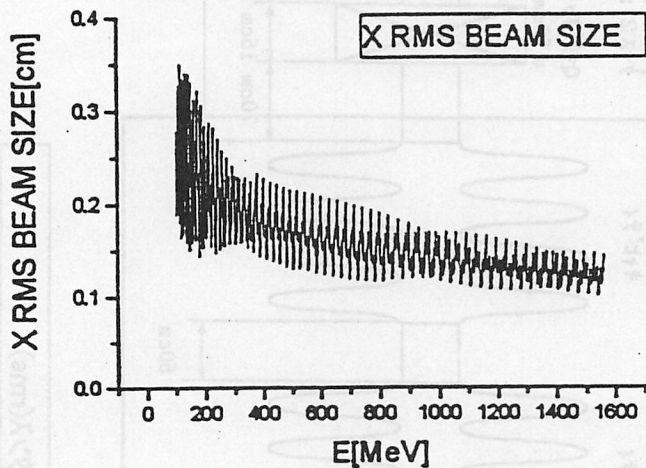
#### 基本パラメータ

周波数	600MHz
エネルギー	100~1562MeV ( $\beta=0.42\sim0.43$ )
加速器構成	前頁図参照
収束系構成	左図参照
セルのトランジット・タイム・ファクター	SUPERFISH より
平均加速位相	$-29.7^\circ$
空洞入射位相	$-61.3^\circ \sim -22.3^\circ$
パンチ電流	90mA
入射エミッタンス	
X-Xp(rms 規格化)	$0.0792 \pi \text{ cm}\cdot\text{mrad}$
Y-Yp(rms 規格化)	$0.0817 \pi \text{ cm}\cdot\text{mrad}$
PHI-E(rms)	$0.7177 \text{ MeV}\cdot\text{deg}$



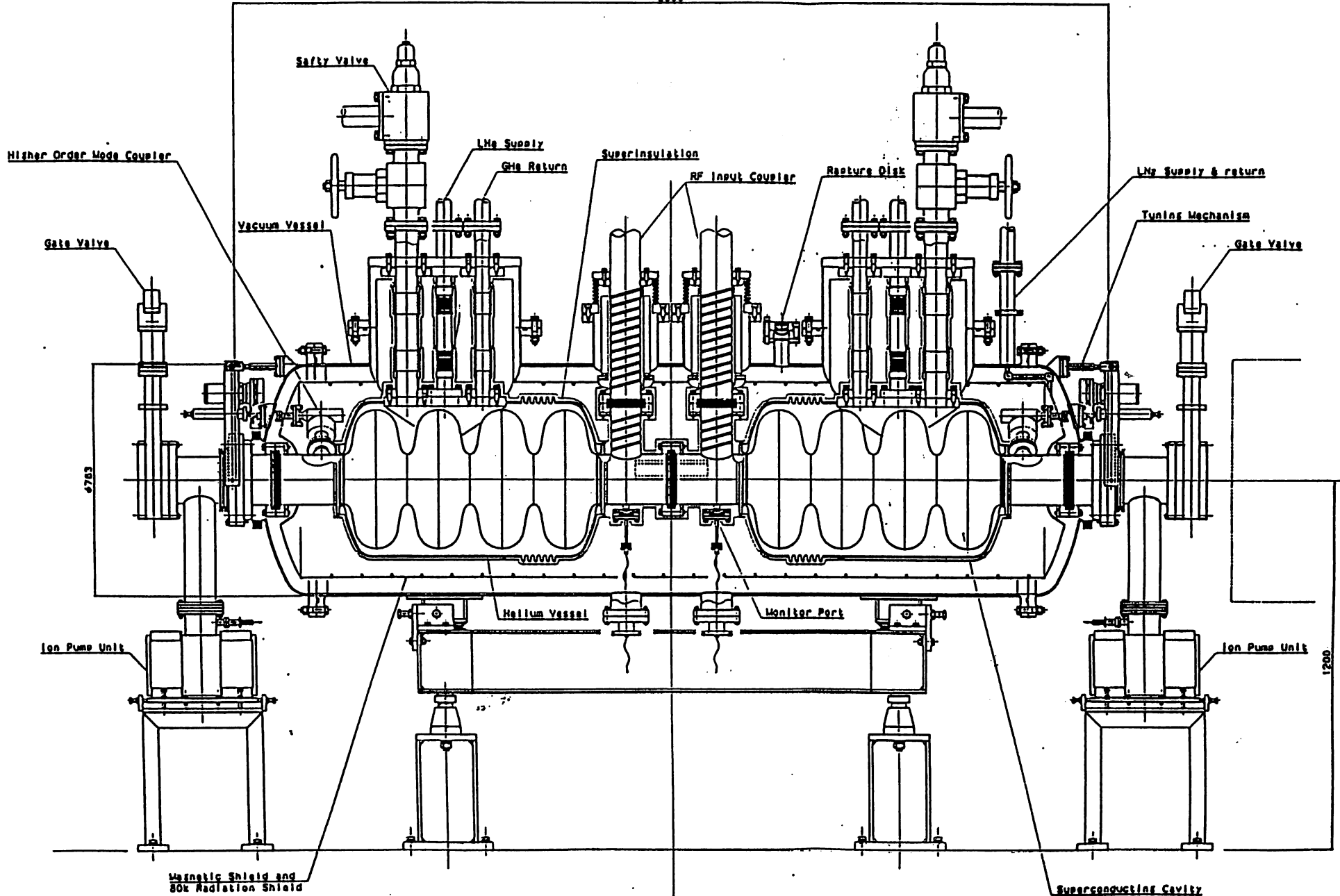
#### シミュレーション結果概要

ケース	アクセプタンス(90%)	エミッタンス(rms)
1	X(規格化): $9.0 \pi \text{ cm}\cdot\text{mrad}$ Y(規格化): $8.8 \pi \text{ cm}\cdot\text{mrad}$ Z: $59.3 \pi \text{ MeV}\cdot\text{deg}$	X(規格化): $0.0947 \pi \text{ cm}\cdot\text{mrad}$ Y(規格化): $0.0942(\text{rms}) \pi \text{ cm}\cdot\text{mrad}$ Z: $0.9008 \pi \text{ MeV}\cdot\text{deg}$
2	X(規格化): $12.5 \pi \text{ cm}\cdot\text{mrad}$ Y(規格化): $11.6 \pi \text{ cm}\cdot\text{mrad}$ Z: $61.6 \pi \text{ MeV}\cdot\text{deg}$	X(規格化): $0.0903 \pi \text{ cm}\cdot\text{mrad}$ Y(規格化): $0.0887 \pi \text{ cm}\cdot\text{mrad}$ Z: $0.9450 \pi \text{ MeV}\cdot\text{deg}$



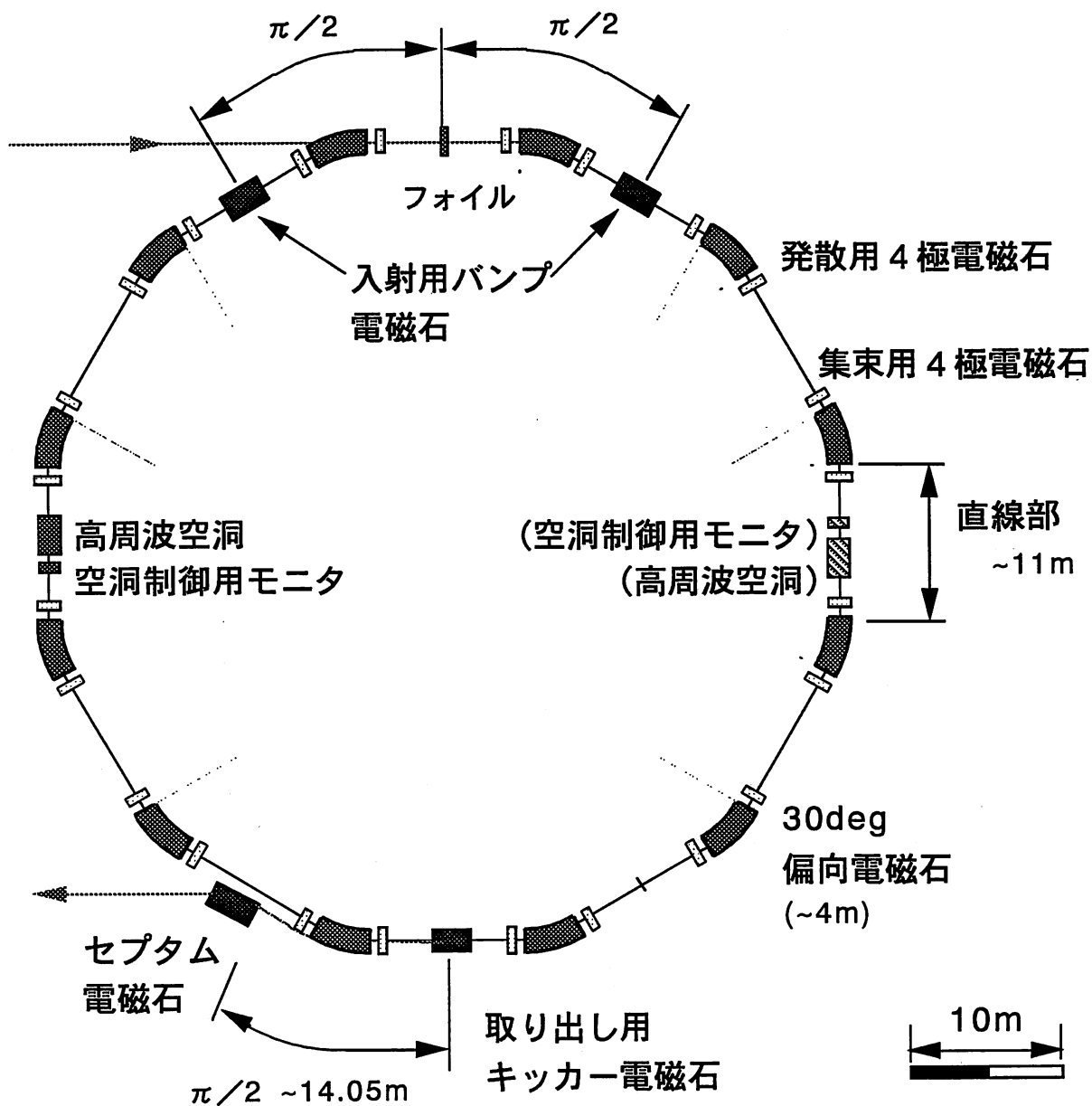
The rms beam size for 8 different  $\beta$  sections  
and  $E_p=16\text{MV/m}$  ( $Q=12-55\text{T/m}$ )





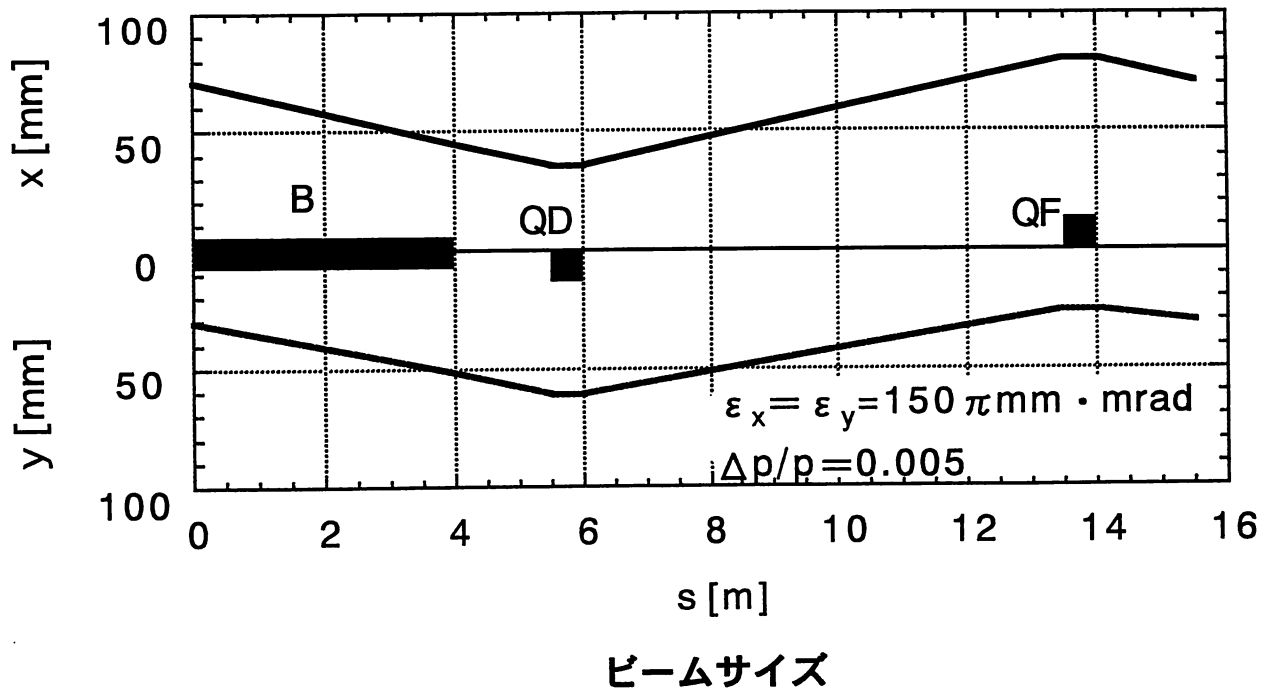
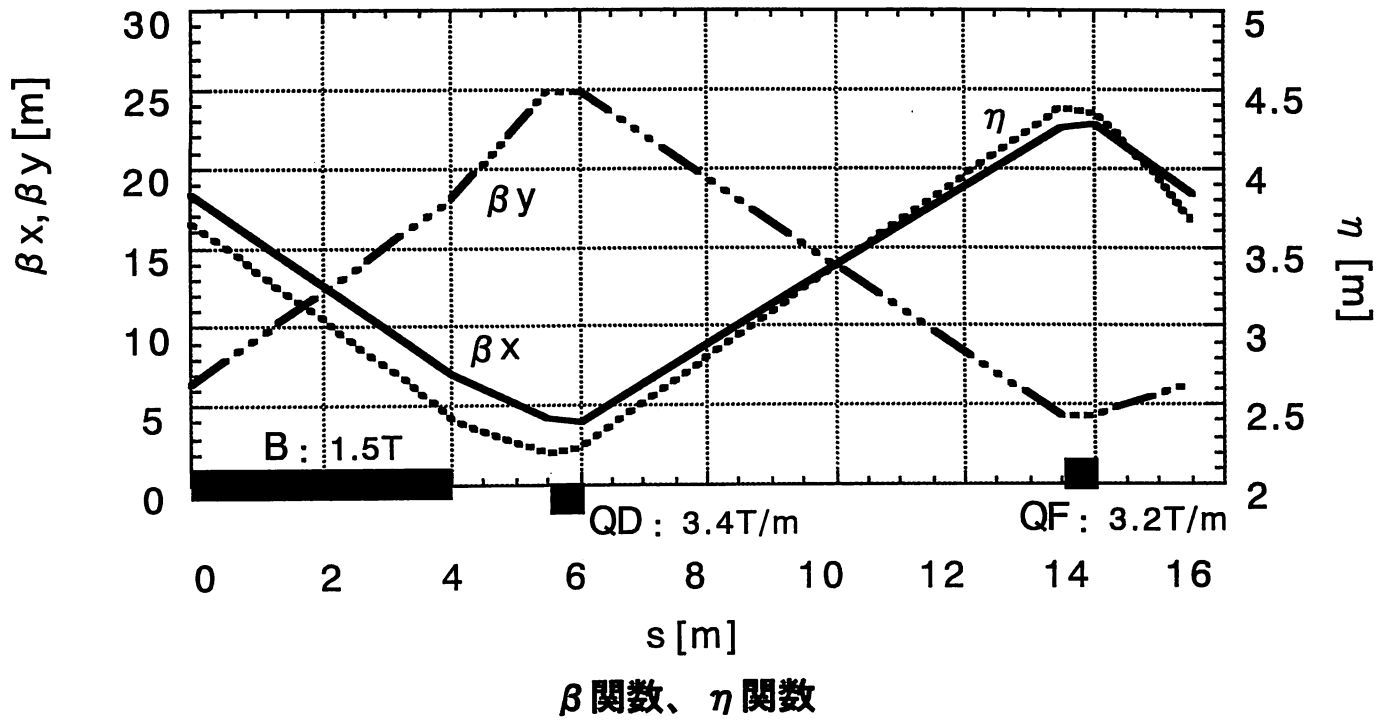
Superconducting(SC) Linac ( $\beta=0.83$ )

# ◆1.5GeV リングの構成



リング		入射	
周長	185	H-荷電変換入射	
スパーペリオド	12	エネルギー	1.5GeV
偏向半径	7.51m	運動量拡がり	$\pm 0.3\%$
偏向電磁石強度	1T	蓄積粒子数	$4.17 \times 10^{14}$
チューン	(3.4、3.25)	周回周波数	1.49MHz
トランジションガンマ	3.18	周回電流値	100A

# ◆ラティス解析コード「MAD」の計算結果



# 開発項目

## イオン源

大電流負水素源の開発  
Csの影響評価  
水素イオン源の低エミッション化  
CW運転モードの実現  
長時間安定性

## RFQ

CW運転：RF発熱対策  
加速構造と加速効率の最適化  
ビーム透過率の向上

## 超伝導加速空洞

構造強度  
空洞形状のグループ化  
高出力RFカップラー開発  
断熱構造改良  
空洞冷却効率向上  
パルスモード対策

HOM/パワー対策

## ビーム蓄積リング

最大蓄積電流の影響評価  
ビーム径と偏向マグネット  
ビームの安定性向上  
入射部のstrippingフォイルの開発  
キッカー電磁石

## マクロパルス生成系

パルス化部位置  
正負イオン交互パルス加速機構

## チョップパルス生成系

高速パルス化装置開発

## DTL

CW運転：RF発熱対策  
QMゲの方式検討（内蔵・外付）  
加速構造と加速効率の最適化

## RF源

周波数の選択（低・高エネルギー）  
高出力増幅器の開発  
位相調整機構  
CW対策（直流電源、耐久性）

## ヘリウム冷凍設備

超大型He冷凍設備の開発  
LHe移送・回収方式の検討  
2K運転モードの効率化  
大量LHe取扱安全性

## 制御系

ビーム計測装置と信号処理

## 安全系

検出系とビームダンプ  
ビーム非常停止系