

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

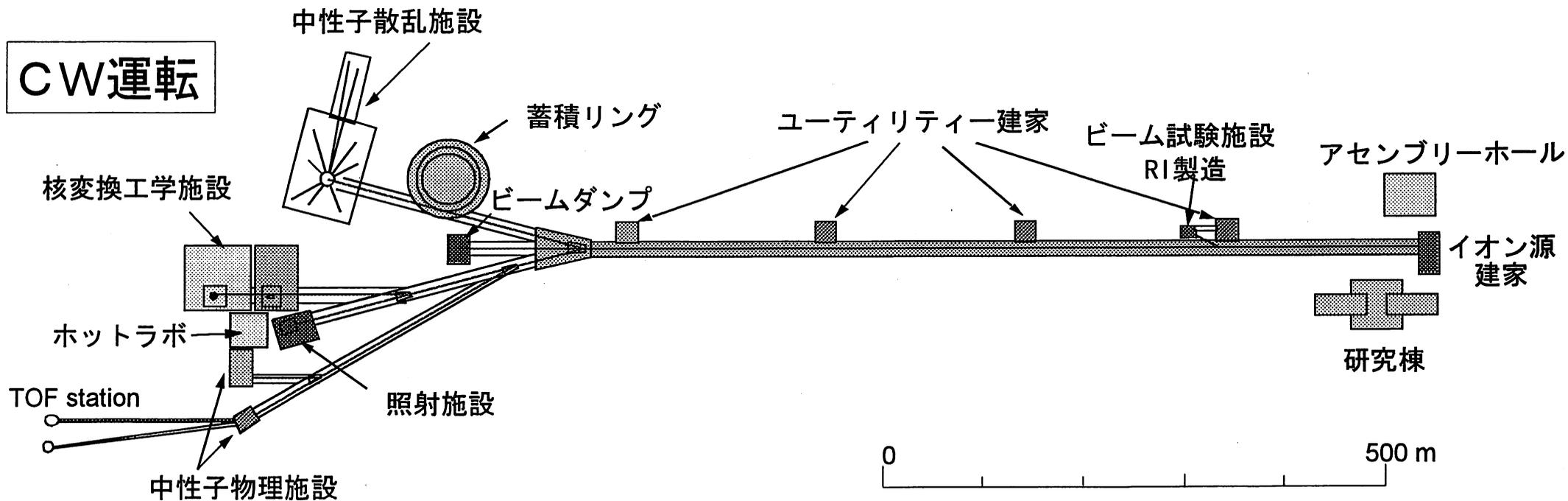
加速器計画の概要

日本原子力研究所
東海研究所
陽子加速器研究室

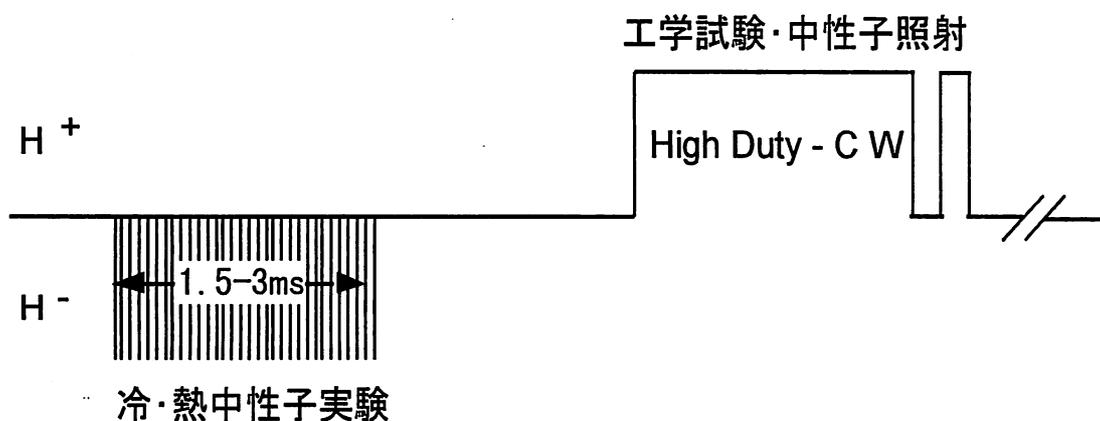
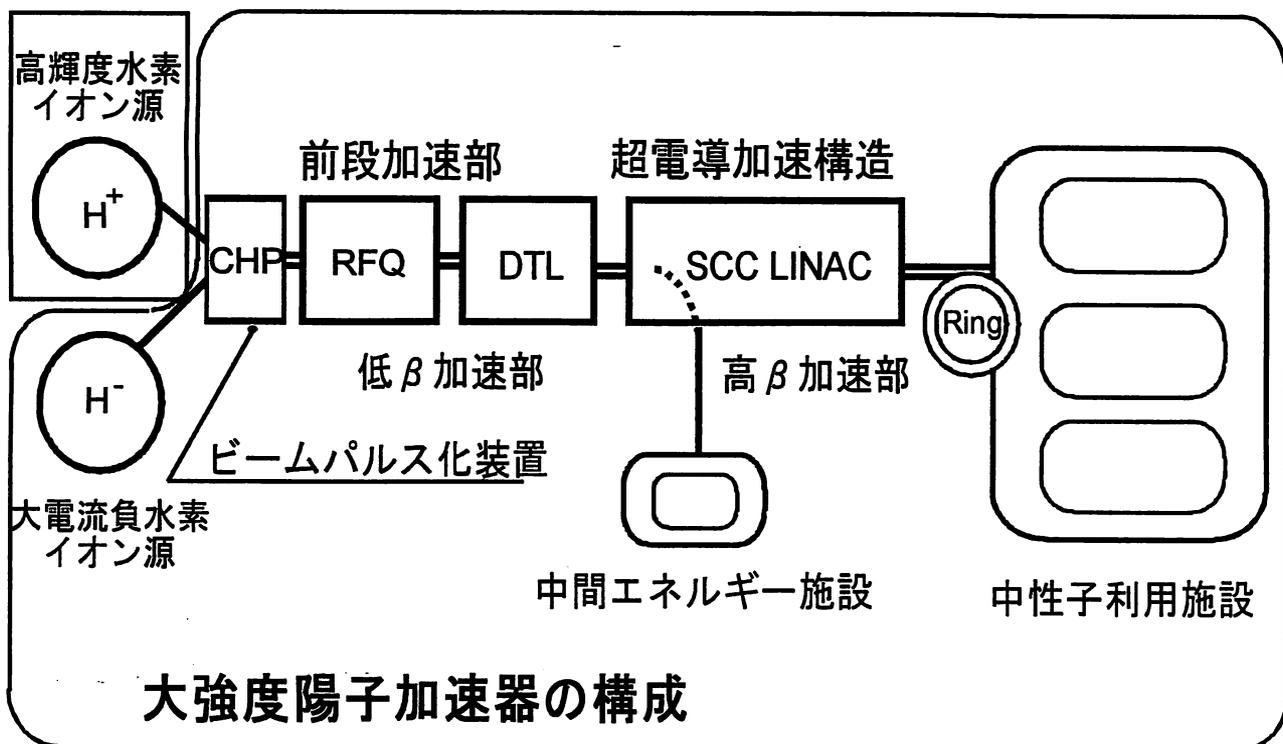
水本元治

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 μ 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 π 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 (LaB₆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

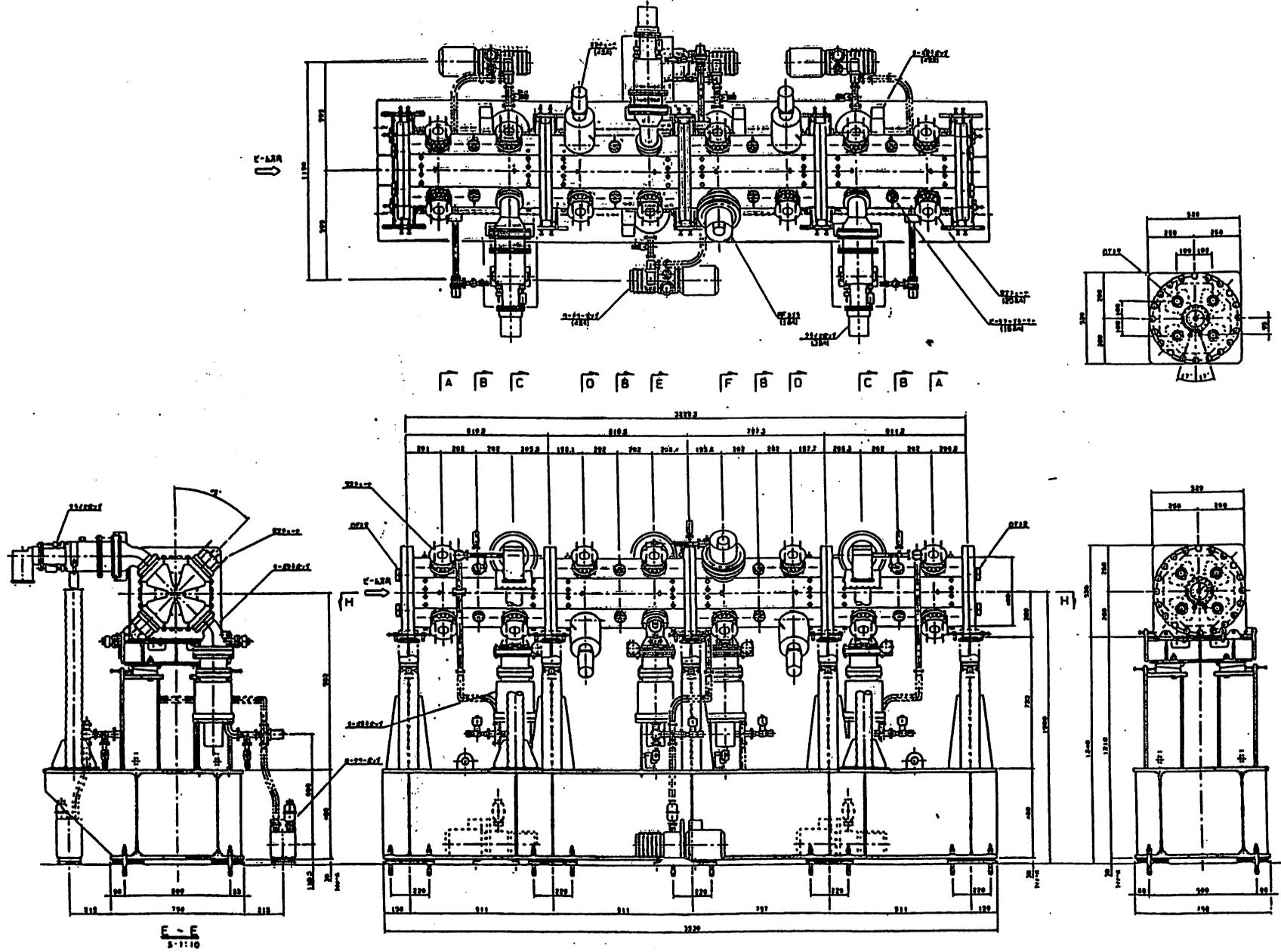
CW-RFQホットモデルの製作とハイパワー試験

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

[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

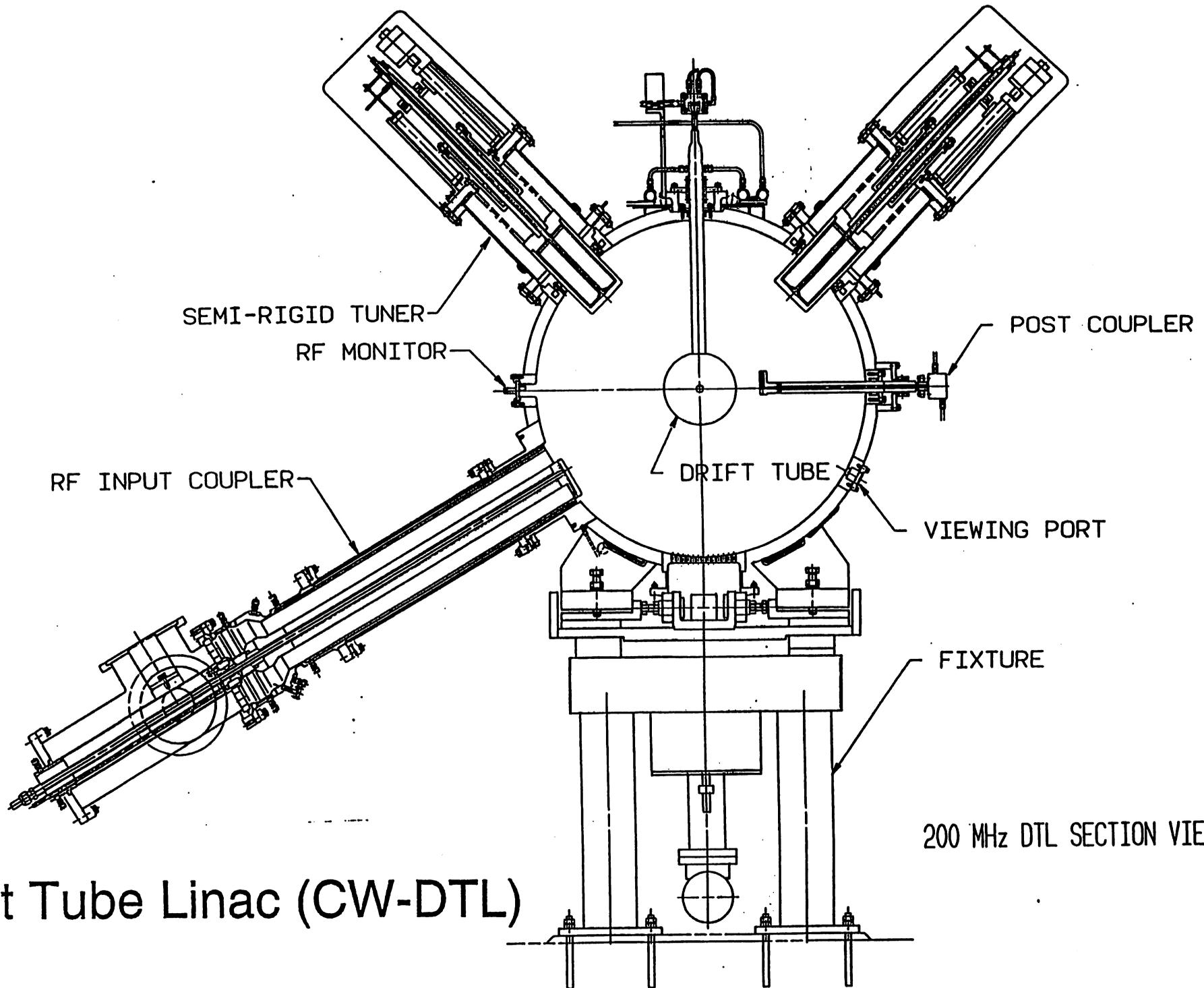
フィードフォワード制御方式の有効性の確認

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 β 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

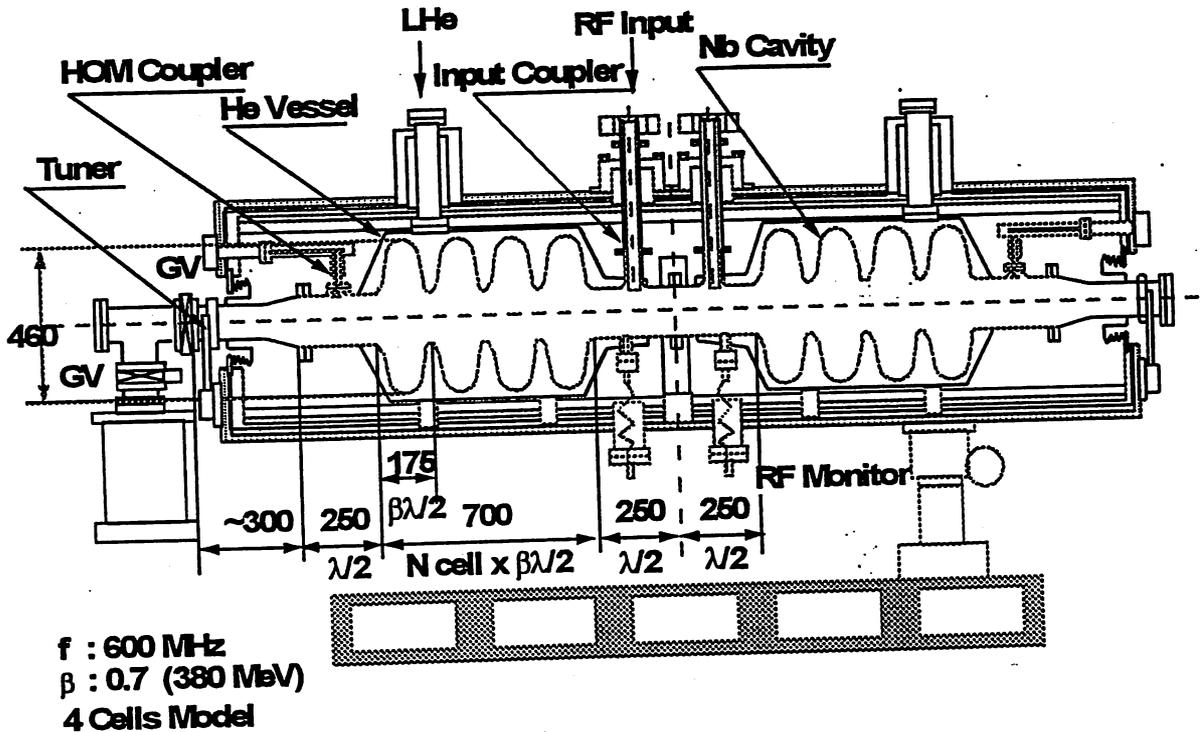
高純度ニオブ板による単空洞の試作・縦測定

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



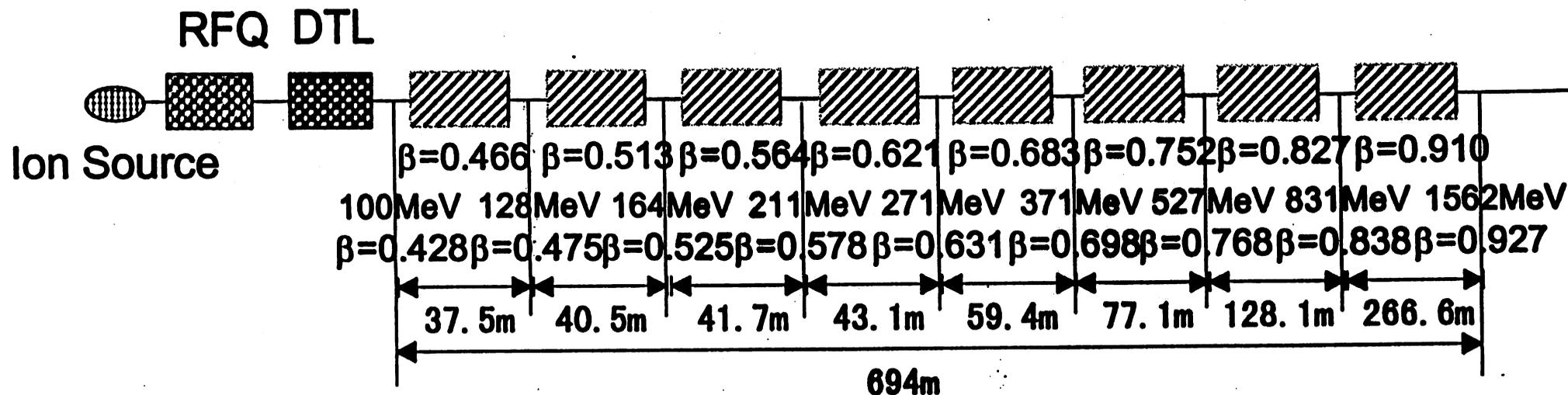
加速空洞

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

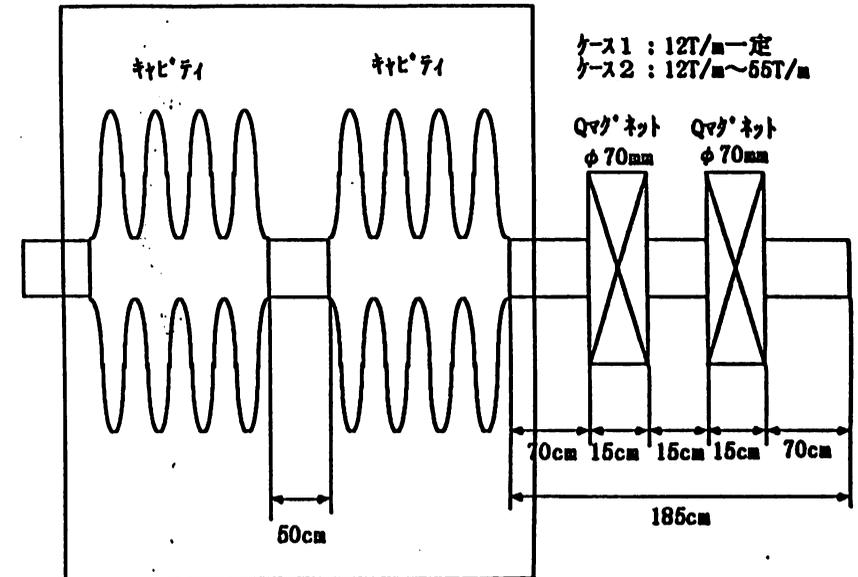
Total number of Cavities: 360
(24, 24, 24, 24, 32, 40, 64, 128)
Number of Cryostats: 180
Bore Radius: 7.5 cm
Cavity Wall Loss: 23.4 kW (4K)
Focusing Strength: 12-54 T/m

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。

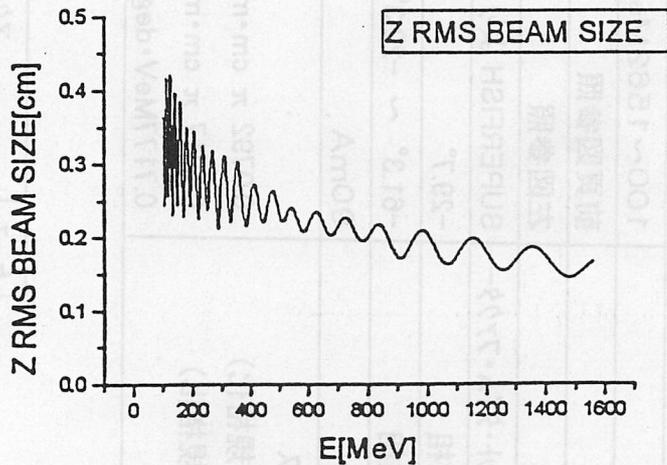
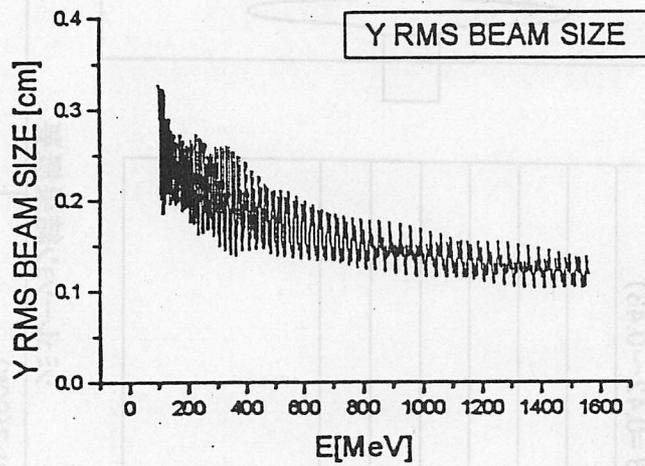
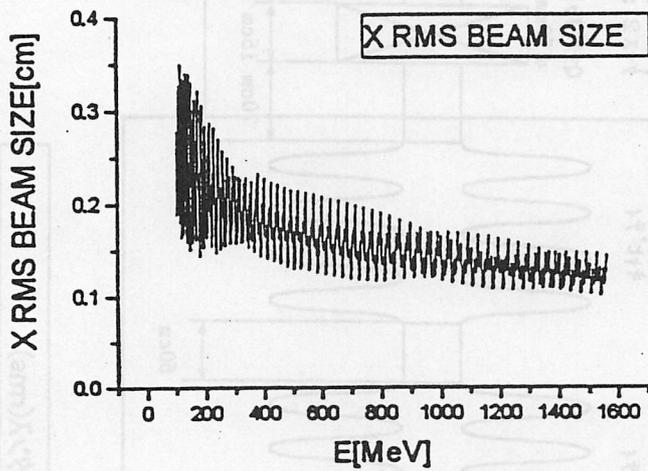
基本パラメータ

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°
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)	$0.7177 \text{ MeV}\cdot\text{deg}$

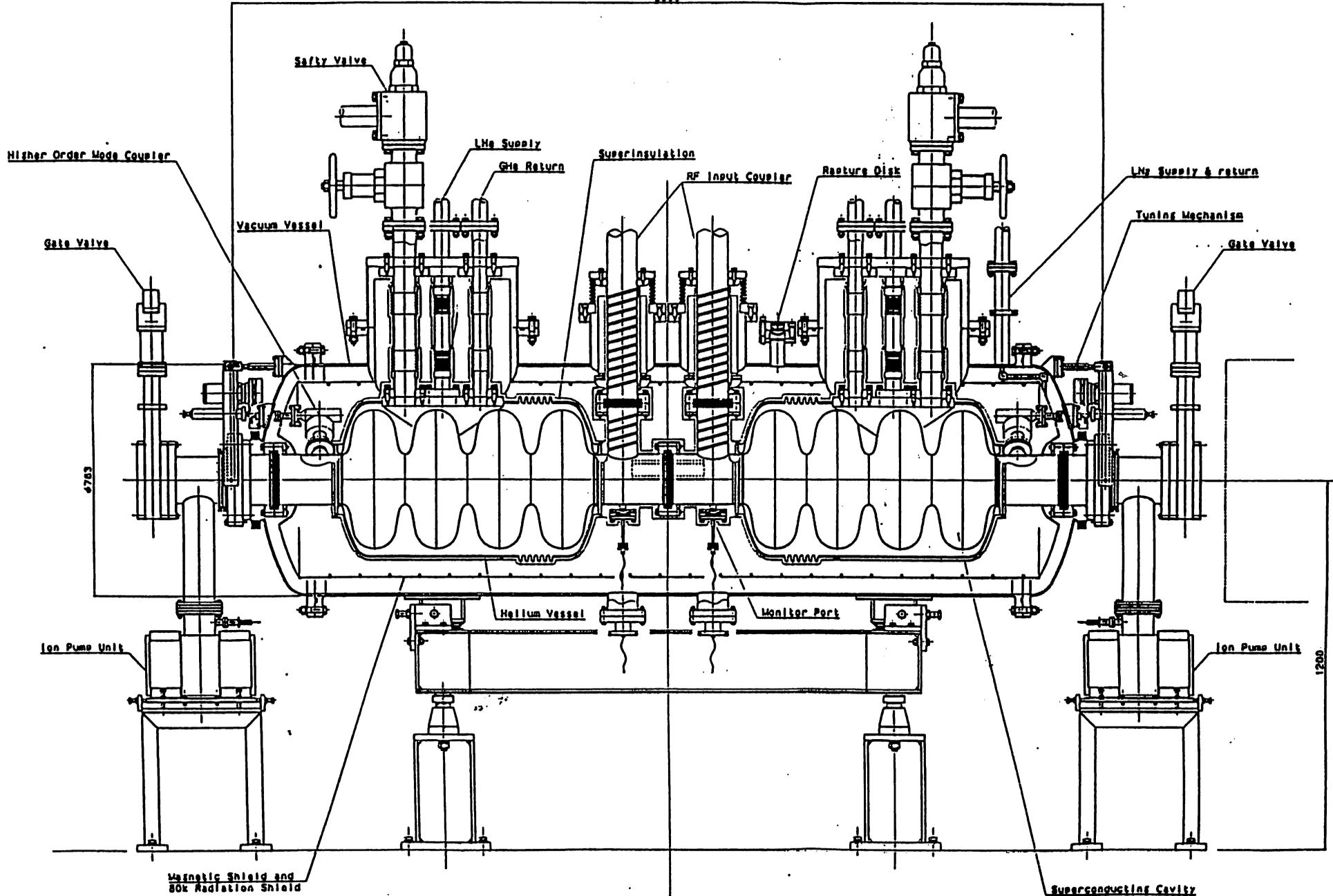


シミュレーション結果概要

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: $0.9450 \pi \text{ MeV}\cdot\text{deg}$

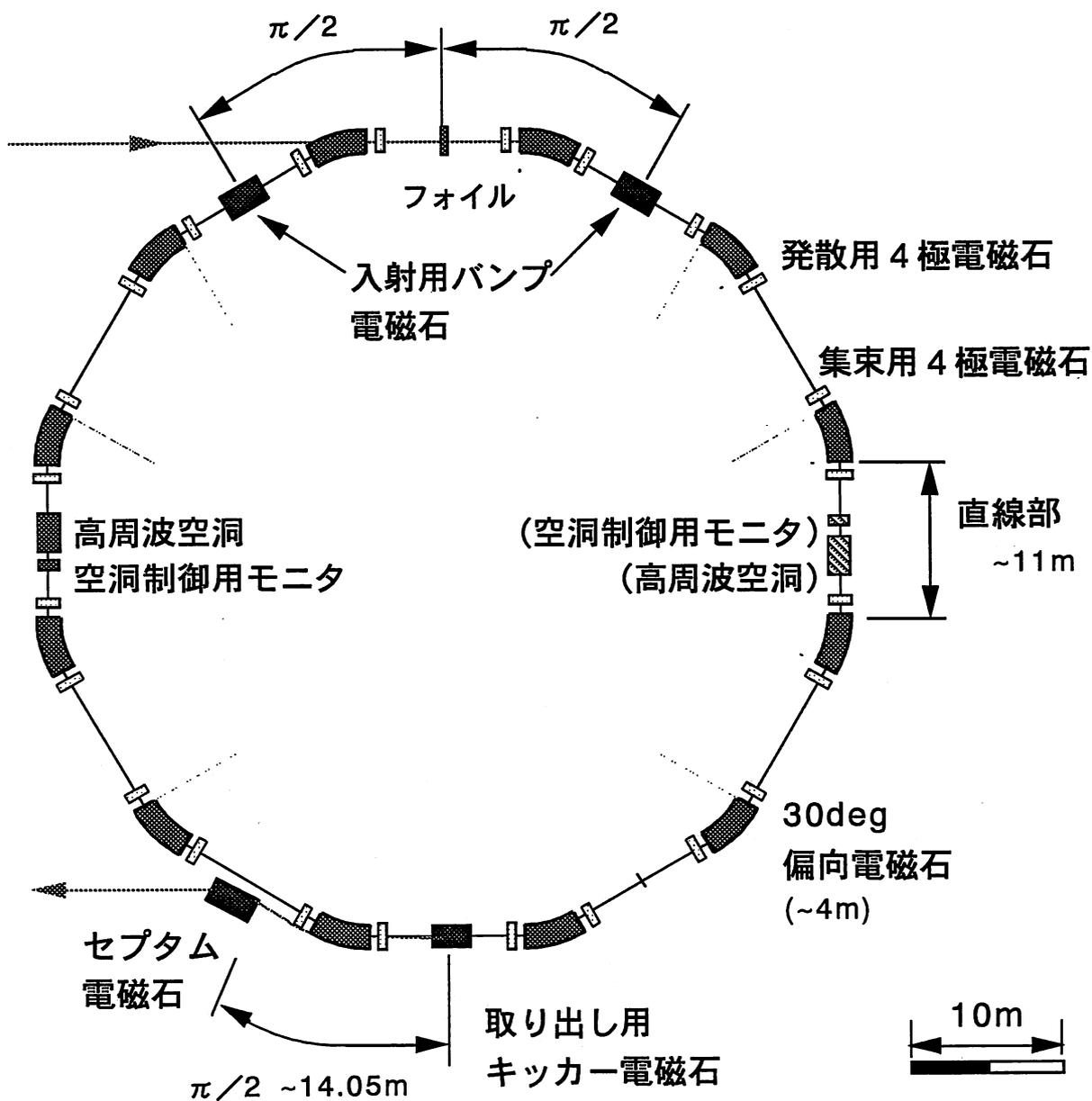


The rms beam size for 8 different β sections and $E_p=16\text{MV/m}$ ($Q=12-55\text{T/m}$)



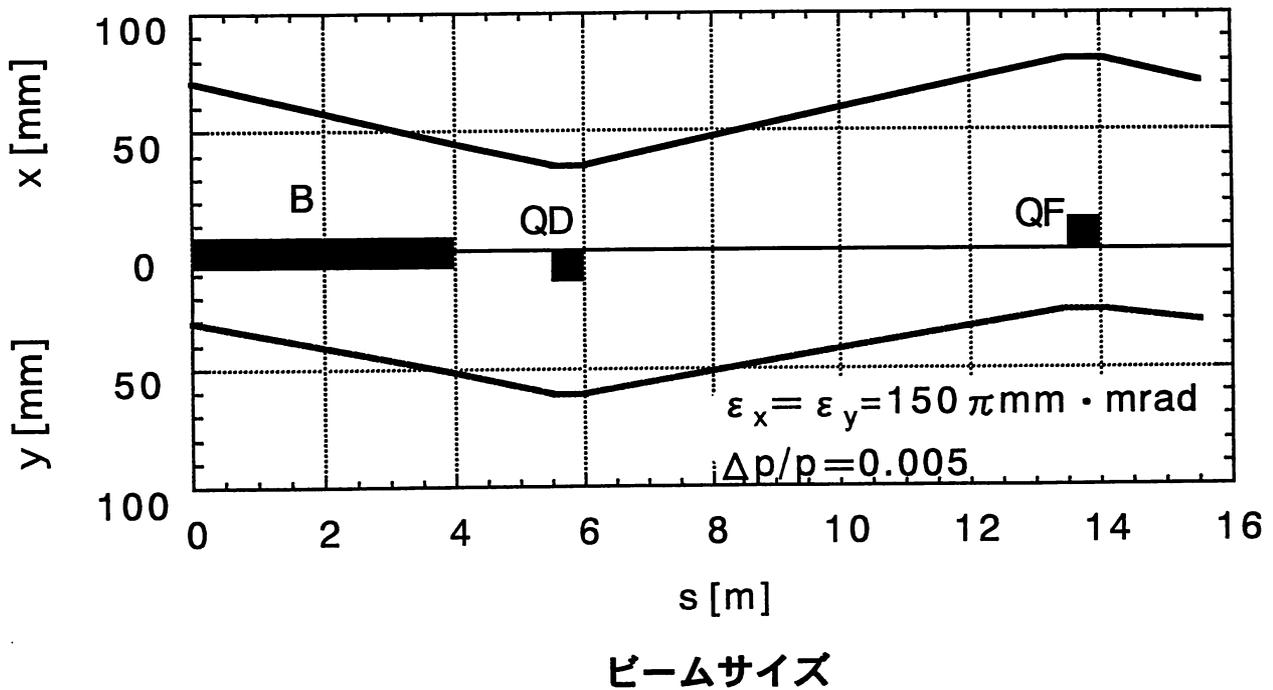
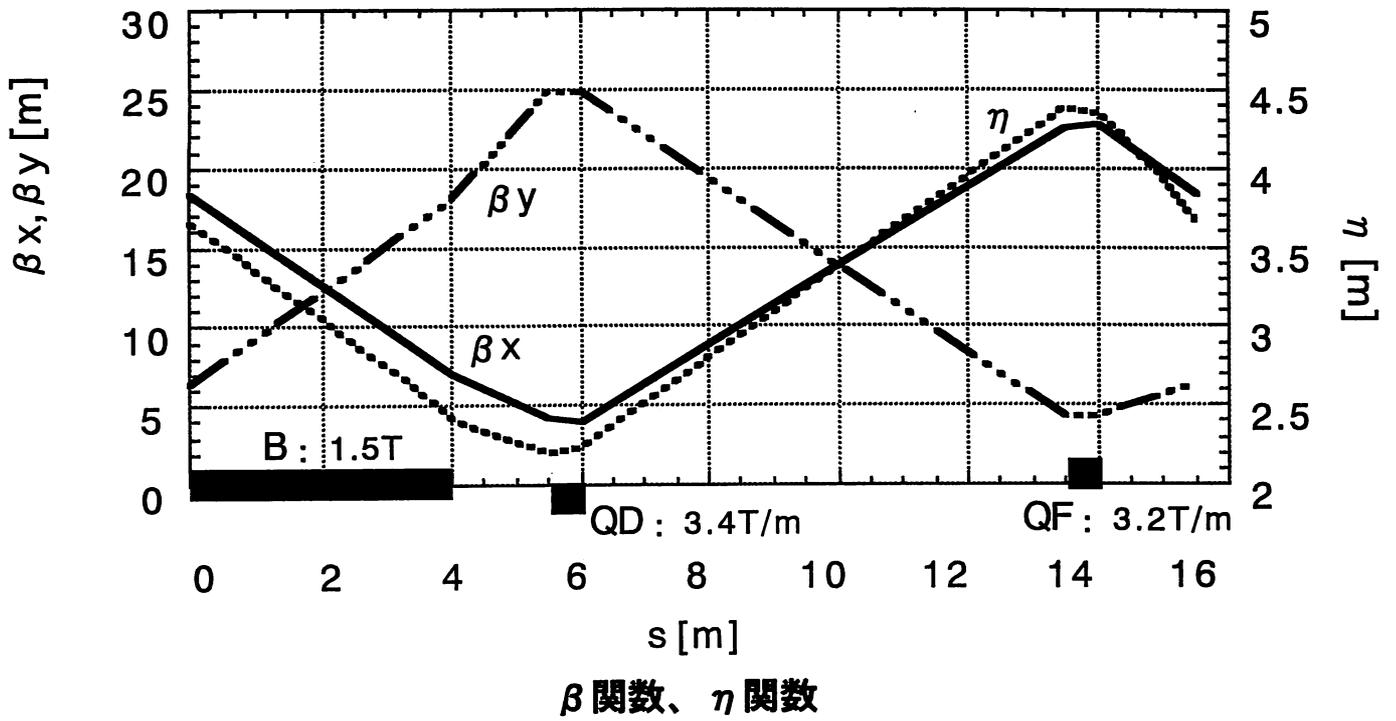
Superconducting(SC) Linac ($\beta=0.83$)

◆1.5GeV リングの構成



リング		入射	
周長	185	H-荷電変換入射	
スパーペリトド	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	4.17×10^{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
入射部のストリッピングフォイルの開発
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