

1A重陽子線形加速器の ビームシミュレーション状況

(株) 日立製作所 研究開発グループ
電磁応用システム研究部
足利沙希子 青木孝道 西田賢人

本研究は、JST【ムーンショット型研究開発事業】【JPMJMS24A1】の支援を受けたものです。

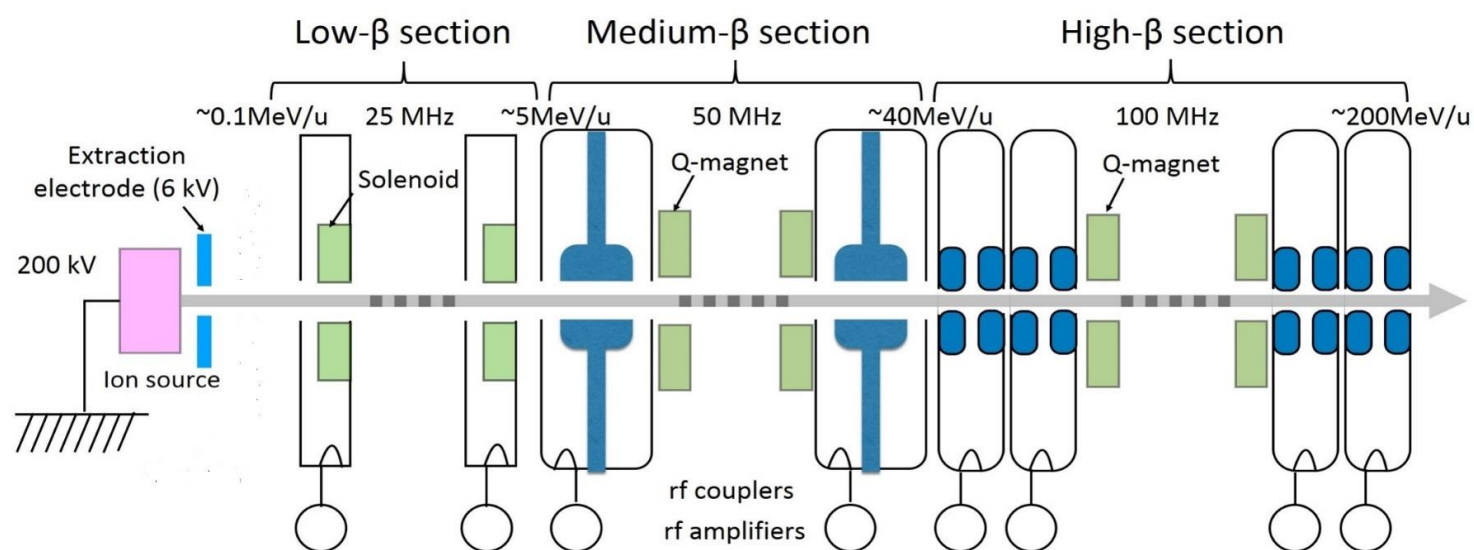
本日の内容

1. 1 A重陽子線形加速器の概要と光学設計方針
2. 中速部の光学計算結果
3. 低速部の光学計算結果
4. まとめ

1. 1 A重陽子線形加速器の概要と光学設計方針

1. 1 1 A重陽子線形加速器

1 A重陽子線形加速器の基本アイディアはOkuno[1]らによって提案されている。
空間電荷効果緩和のための大口径ビームとセルごとに電圧・位相制御可能な
単胞型セルの連結によって加速を実現



本研究の重陽子線形加速器基本スペック

	入射E [MeV/u]	出力E [MeV/u]	周波数 [MHz]	基本ラ ティス
低速部	0.1	5	36.5	ソレノイド
中速部 前半	5	20	73	FODO
中速部 後半	20	80	146	FODO
高速部	80	200	219	FODO

[1] Proposal of 1-ampere class single cell linac

1. 1 A重陽子線形加速器の概要と光学設計方針

1. 2 1 A重陽子線形加速器の光学設計手順

大電流加速器のビーム光学的な成立性を確認するために以下の検討が必要

- ビーム電流 0 Aでの線形光学による成立性確認
- 空間電荷効果を考慮した光学的成立性確認
- 構成機器への仕様反映
- 構成機器の 3 次元電磁場計算結果との連携・仕様修正

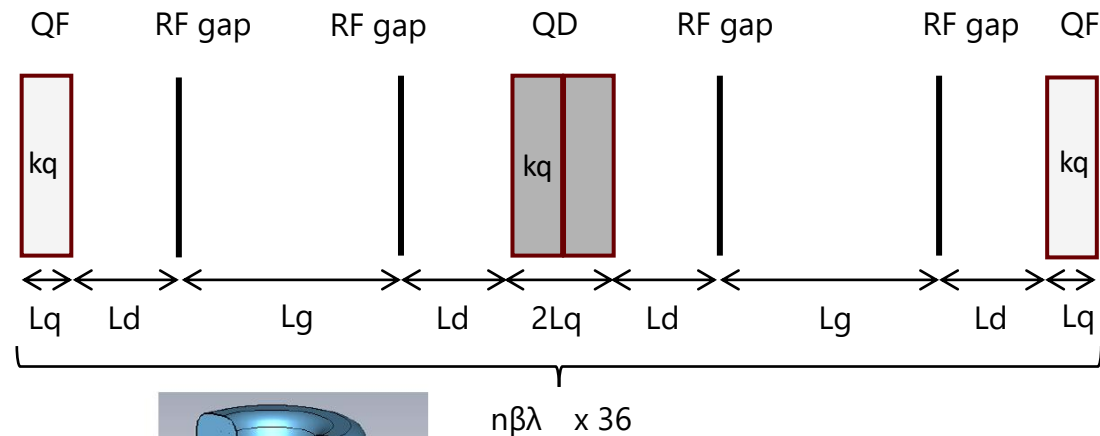
「成立性確認」とは

- ビームの通過領域が機器のアパーチャに対して余裕をもって小さいこと
- バンチ長・エネルギー幅が要求範囲内であること
- 部分的なビームロスが生じる場合はその場所とロス量が見積もれること

1. 1 A重陽子線形加速器の概要と光学設計方針

1. 3 線形光学による光学設計

中速部後半のFODOセルを例にとって光学設計手法を示す



Structure of the cavity[1]
(quarter-wave resonator)

セルの配置検討における拘束条件として、
全長を65.9m、
キャビティの設計で決まる L_g は0.308mと仮置き

L_g と k_q をパラメータとして最適化
空間電荷の影響を抑え、エミッタンス増大を防ぐために、
 β 関数の最大値・変調幅に着目

輸送行列 M を通過後の分散共分散行列 Σ' を

$$\Sigma' = M \Sigma M^t$$

として各位置でのTwissパラメータを算出

1セルの輸送行列 M_{cell} からマッチする β を計算

1. 1 A重陽子線形加速器の概要と光学設計方針

1. 4 空間電荷の取り扱い手法

空間電荷起因の発散力を抑えるため四極電磁石のk値に β, γ 依存性を追加

$$k = k_0 + \frac{k_{sc}}{\beta^2 \gamma^3}$$

Ref: Gerigk, Frank & Henke, H & Hofmann, Ingo.
(2006). Beam Halo in High-Intensity Hadron Linacs.

光学計算にはTRACK（アルゴンヌ国立研究所(ANL)開発の6次元ビームダイナミクス解析コード）を使用

V.N. Aseev et. al, Proceedings of 2005 Particle Accelerator Conference,
Knoxville, Tennessee

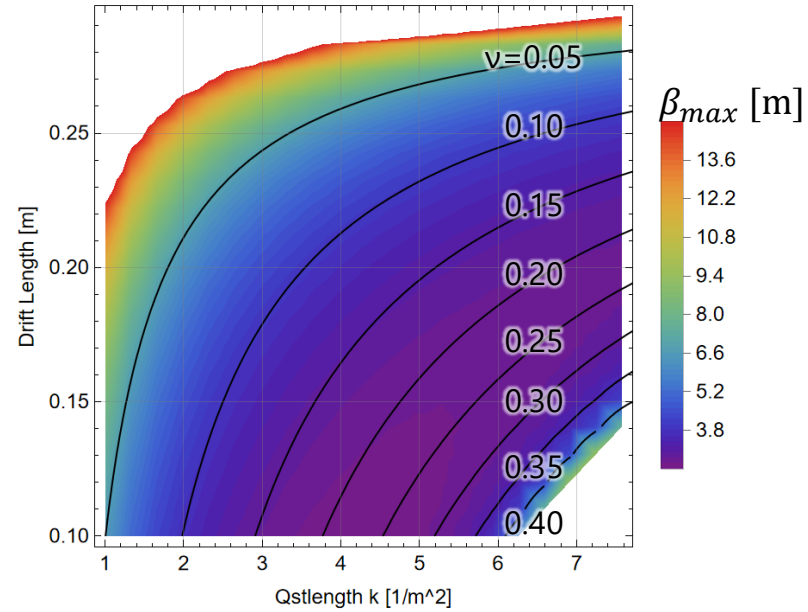
入力条件

電流: 1A
トラッキング粒子数: 10000
加速周波数: 36.5 MHz
ハーモニクス: 4
加速セル: ~1MV/ gap
アパーチャ: 100 mm

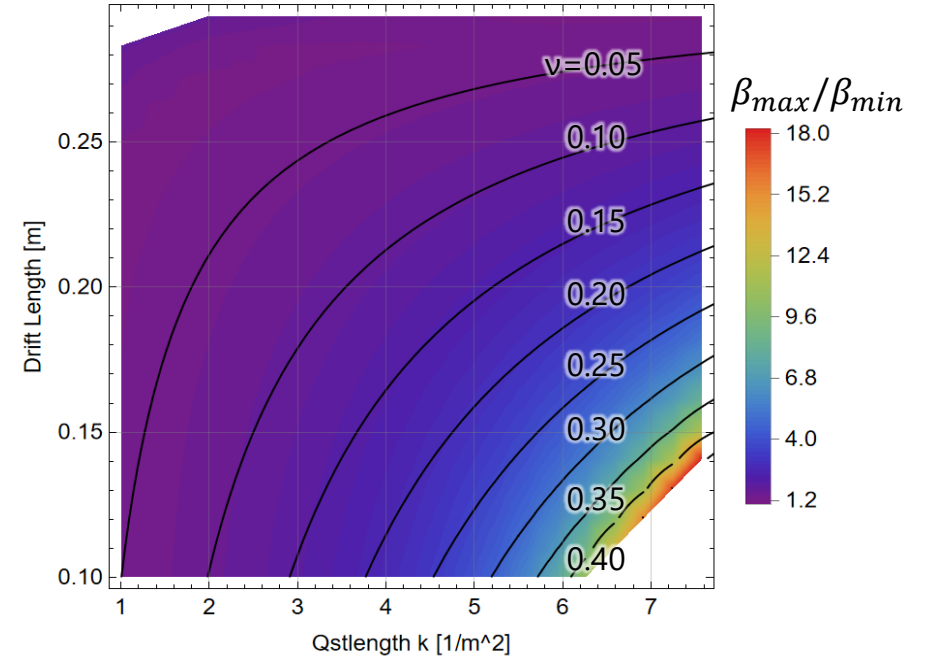
2. 中速部の光学計算結果

2. 1 中速部後半の β 関数計算結果 (0 A)

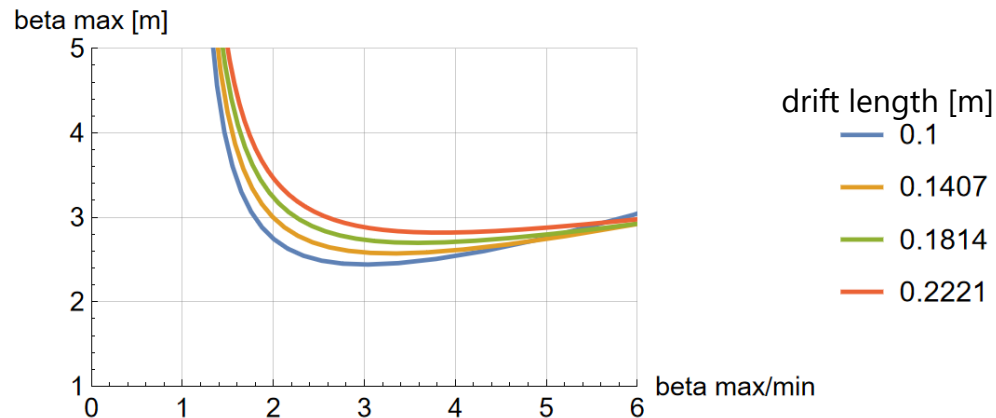
β 関数最大値のQ磁場 k_q 、ドリフト長さ L_d 依存性



β 関数変調のQ磁場 k_q 、ドリフト長さ L_d 依存性

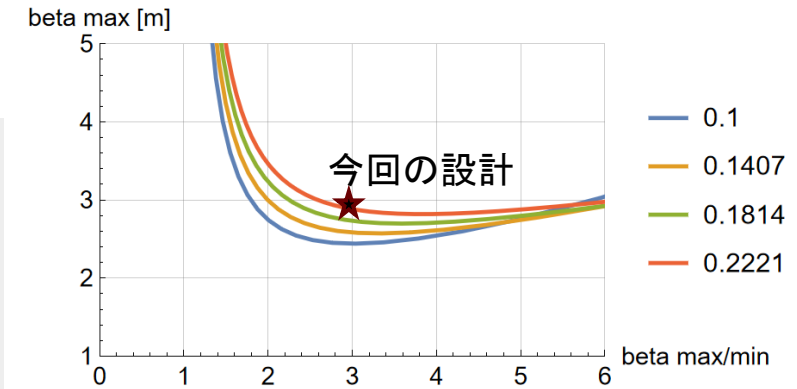
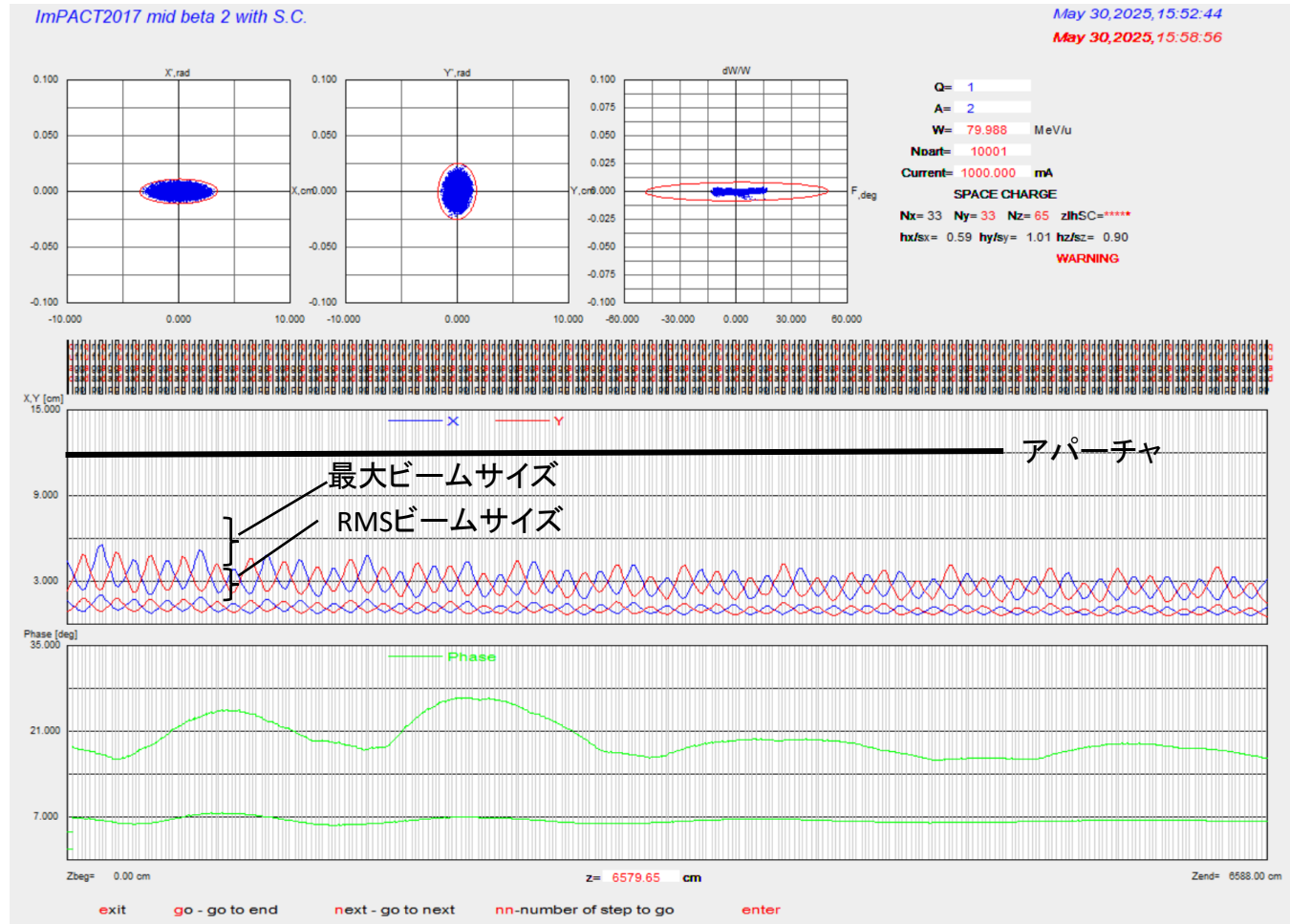


β 関数最大値と変調の関係

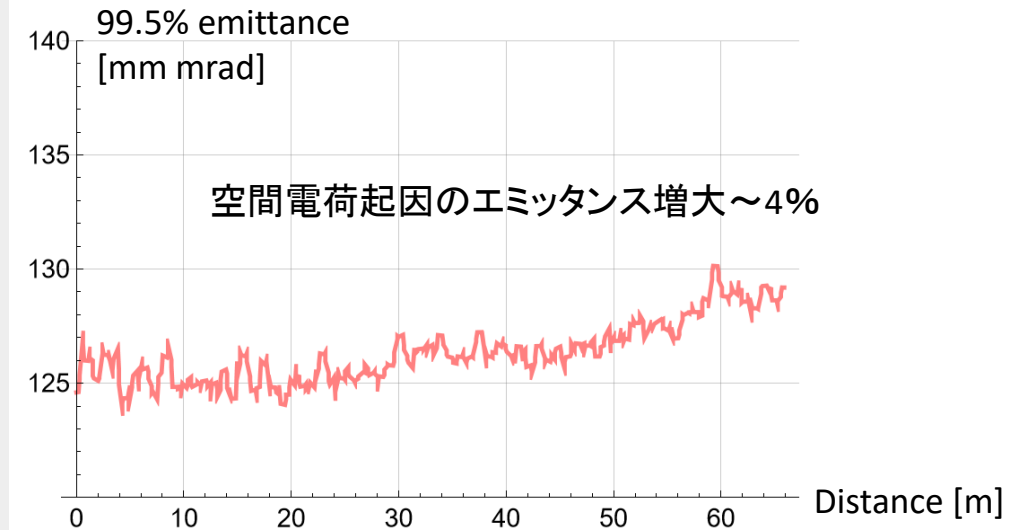


2. 中速部の光学計算結果

2. 2 20-80MeV/u加速領域の光学設計 四極強さ $k = 8.00 + 0.075/\beta^2\gamma^3$



エミッタンス変動

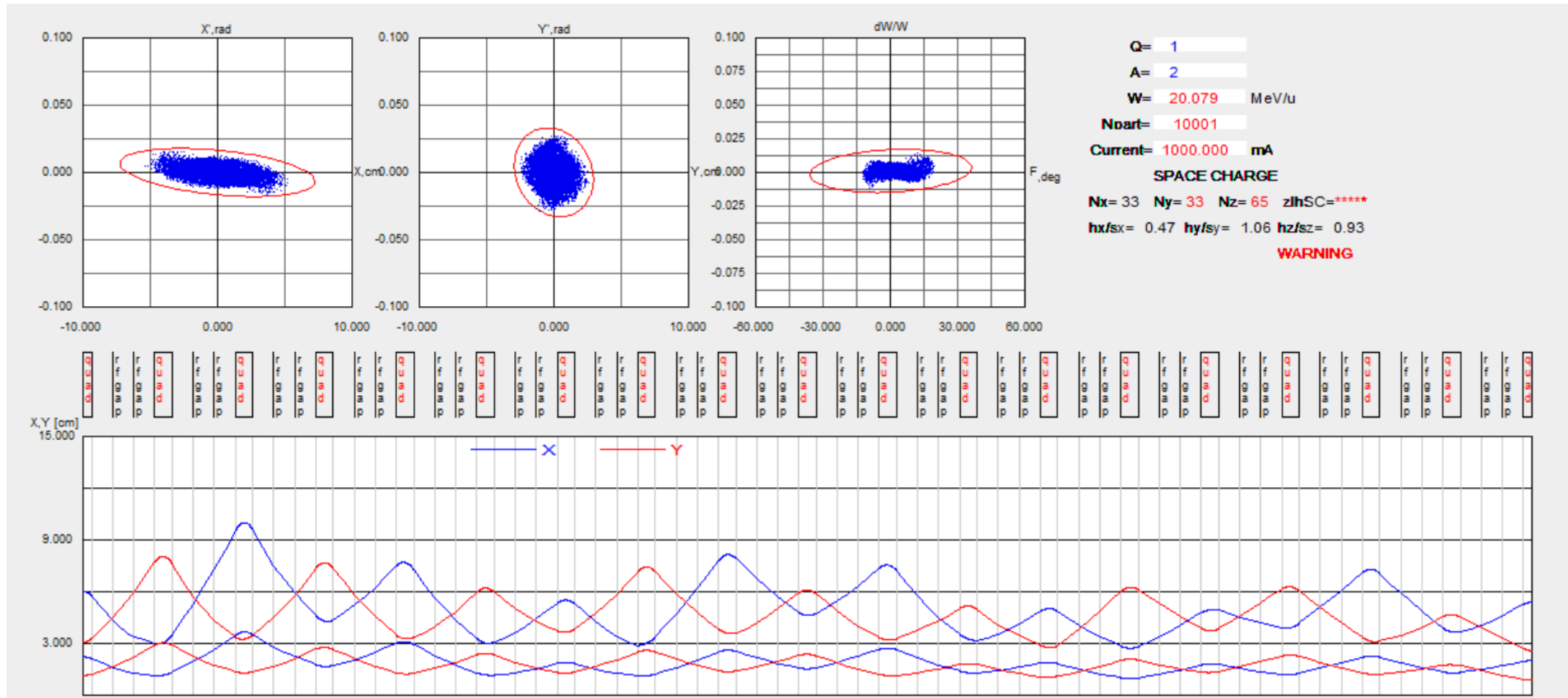


アパーチャに対し余裕のあるビームサイズを実現し、エミッタンス増加を抑える光学設計が可能

2. 中速部の光学計算結果

2. 1 5-20MeV/u加速領域の光学設計

同様の手順で光学設計を実施

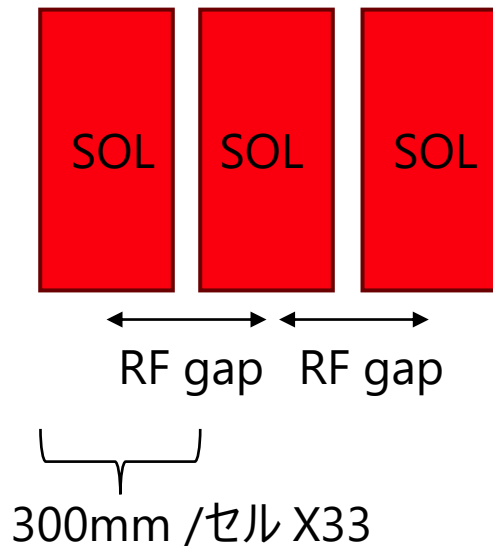


3. 低速部の光学計算結果

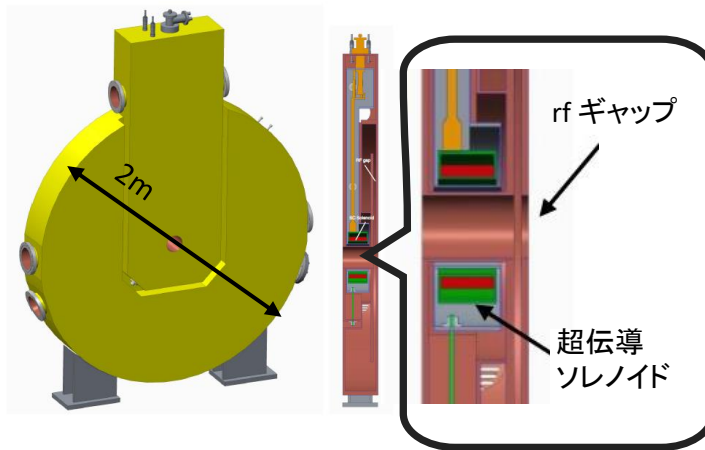
3. 1 低速部の機器配置

低速部ではイオン源からのCWビームをバンチ化する必要あり。

キャプチャ領域(<800keV)



90 cells
(Single gap with S.C. solenoid)

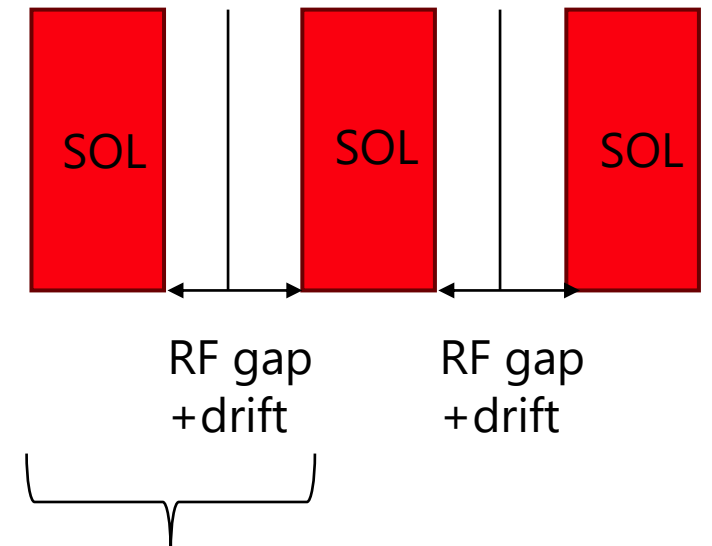


ソレノイド磁場とRF電場のオーバーラップあり

加速位相：0~-45°

加速電圧：0~0.4 MV

低エネルギー加速領域(>800keV)



~ $\beta\lambda = 431$ mm @1.3 MeV

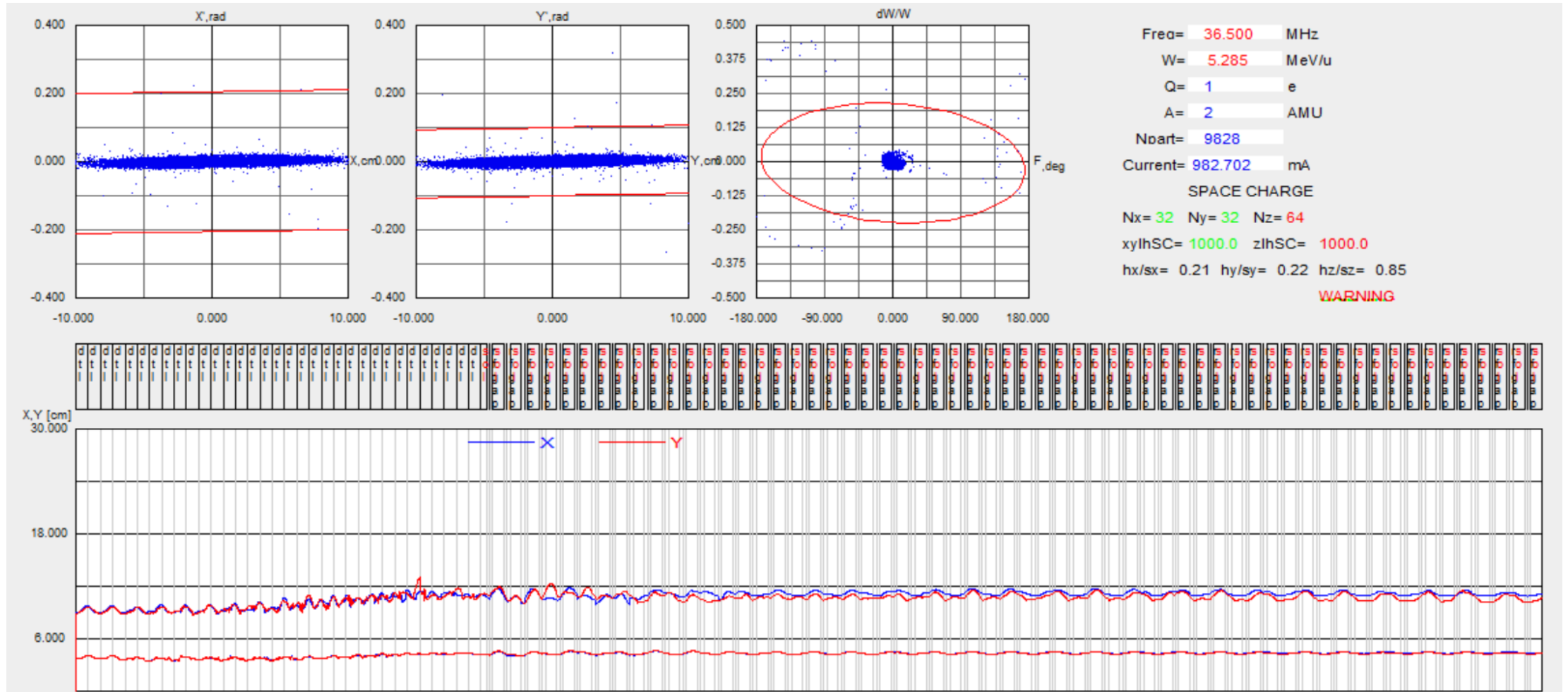
加速位相：-60°

加速電圧：0.3 MV

3. 低速部の光学計算結果

3. 2 低速部の光学計算

低速部でも同様の計算を実施。



4. まとめ

4. 1 まとめ

- 1 A重陽子線形加速器の成立性確認のための光学計算が進行中
- 中速部および低速部では空間電荷効果込みの光学計算においてもビームサイズを所定の値以下に抑制可能
- 比較・検証のためにTRACK以外での計算も必要

以下付録

HITACHI