

X-BAND RF電子銃の シミュレーション

秋田工業高等専門学校

山本昌志

東京大学 原子力工学研究施設

上坂充

加速器開発用コードの開発

秋田工業高等専門学校

山本昌志 研究室の学生

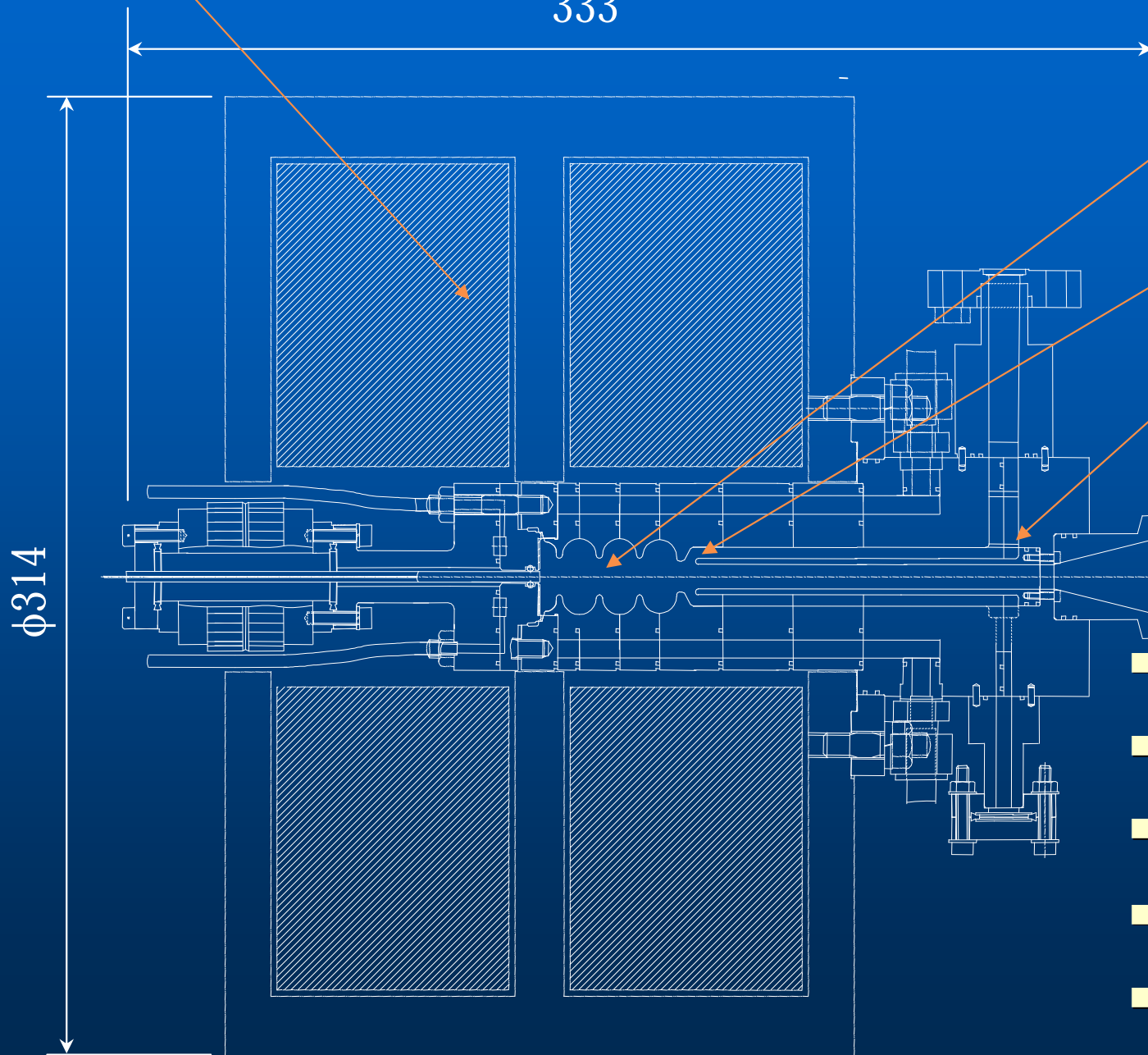
Part 1

X-BAND RF電子銃のシミュレーション

POISSON

RF電子銃の設計に用いたコード

333



SUPERFISH

CFISH

MW-Studio

ビームシミュレーション

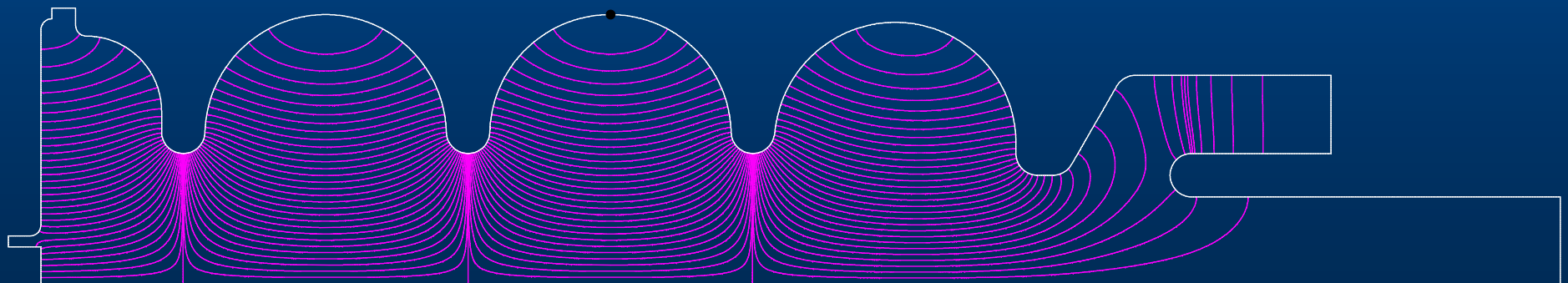
GPT

- 11.424GHz
- 3.5セル
- π モード加速
- 同軸カップラー
- 熱カソード

加速モード

周波数	11.424 GHz
Q値	9342

RF電力	5.5 MW
カソード面電場	158 MV/m
最大電場	244 MV/m
最大磁場	334654 A/m



ビームトラッキング

■ 計算条件

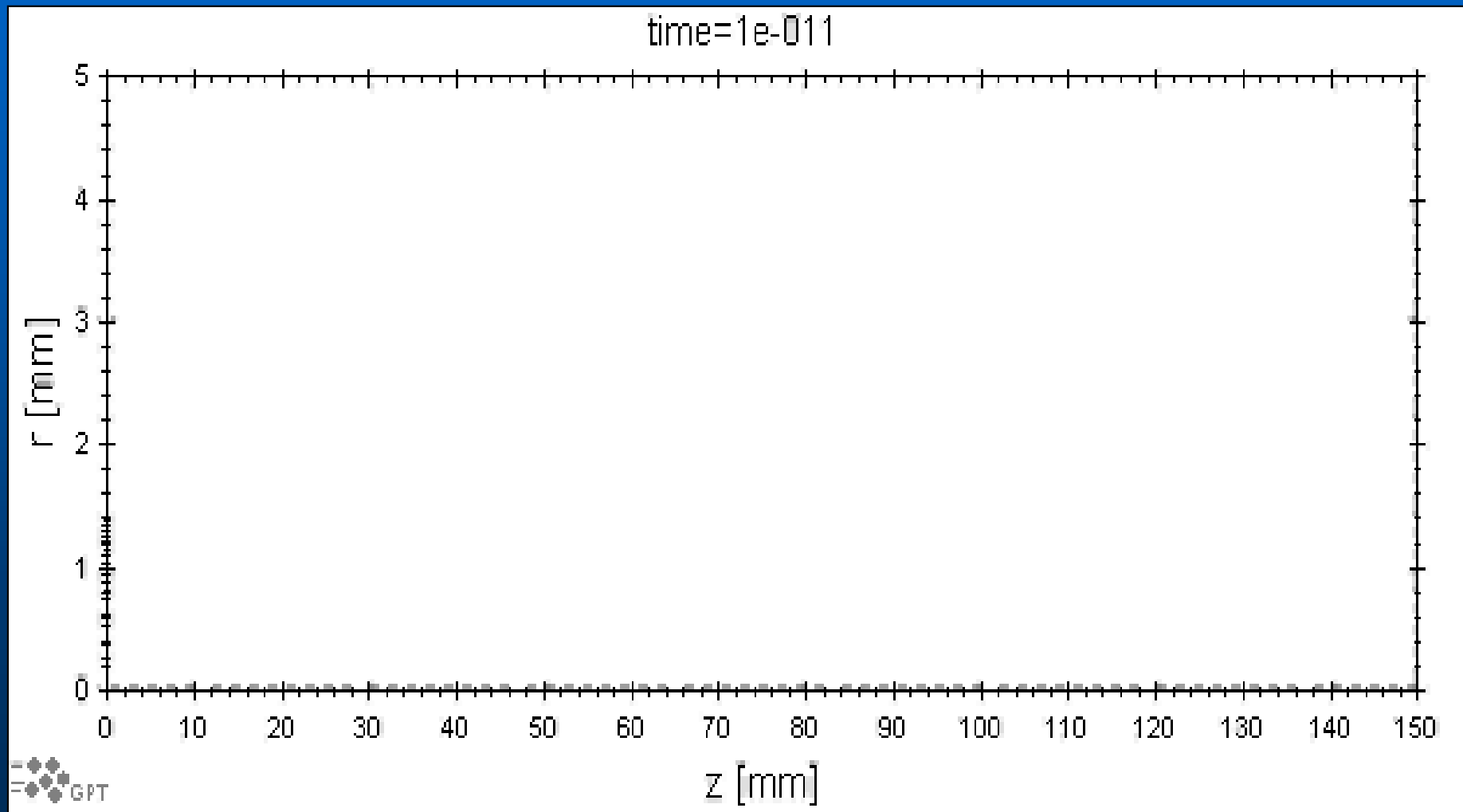
- カソード $\phi 3.4$ mm 20 pC/bunch
- 空洞入力電力 6.0 MW
- 集束磁石は、ピーク0.36 T

■ General Particle Tracer (GPT)

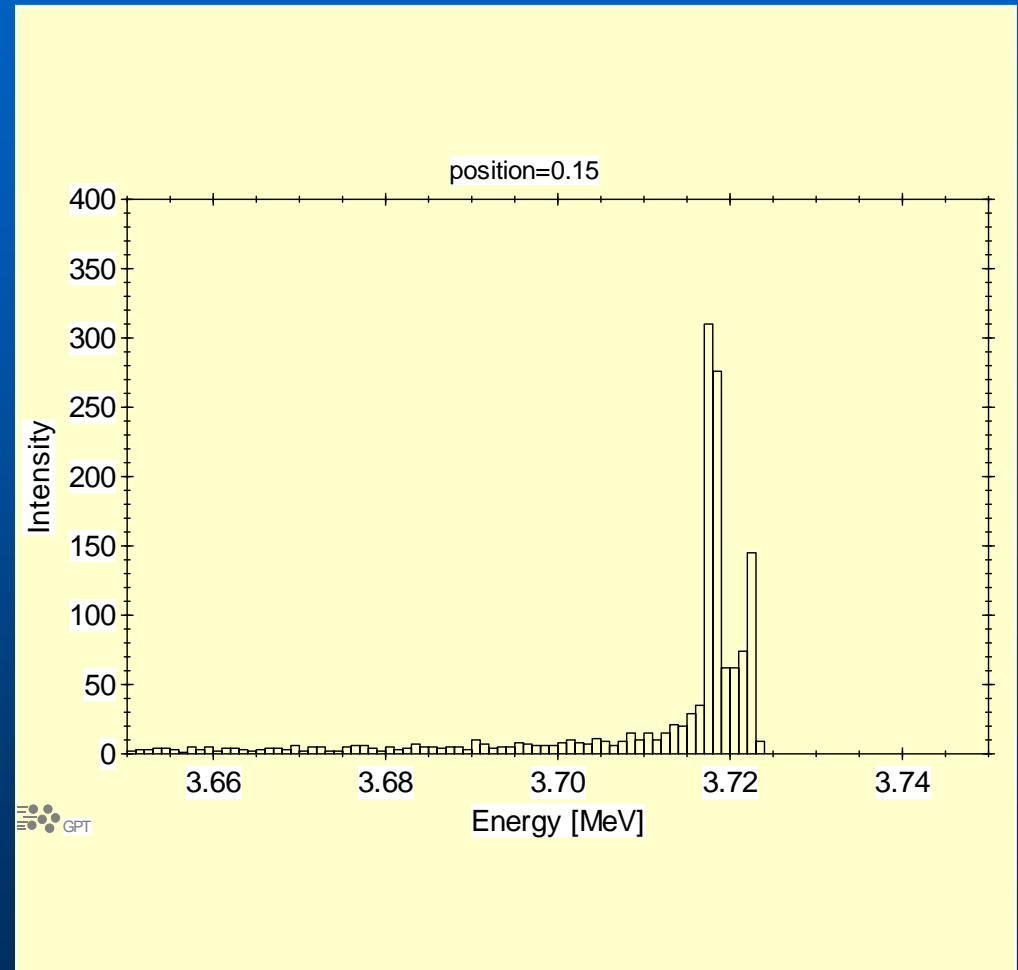
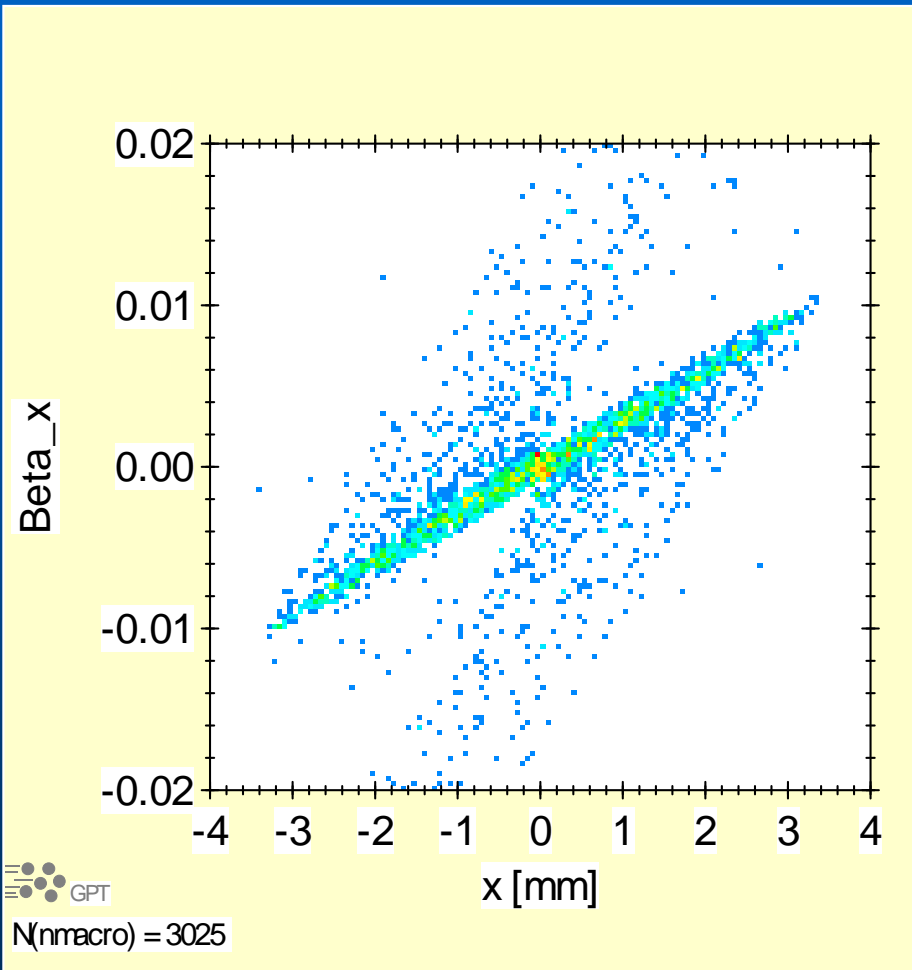
- 粒子トラッキングは、3次元。粒子数は、10000個。
- 空間電荷効果は、メッシュを使った方法(PICではない)。
- 電磁場は、POISSON/SUPERFISHの結果を取り込む。
- アルファ磁石やスリットのエレメントを追加

加速の様子

下記をクリックすると再生されます

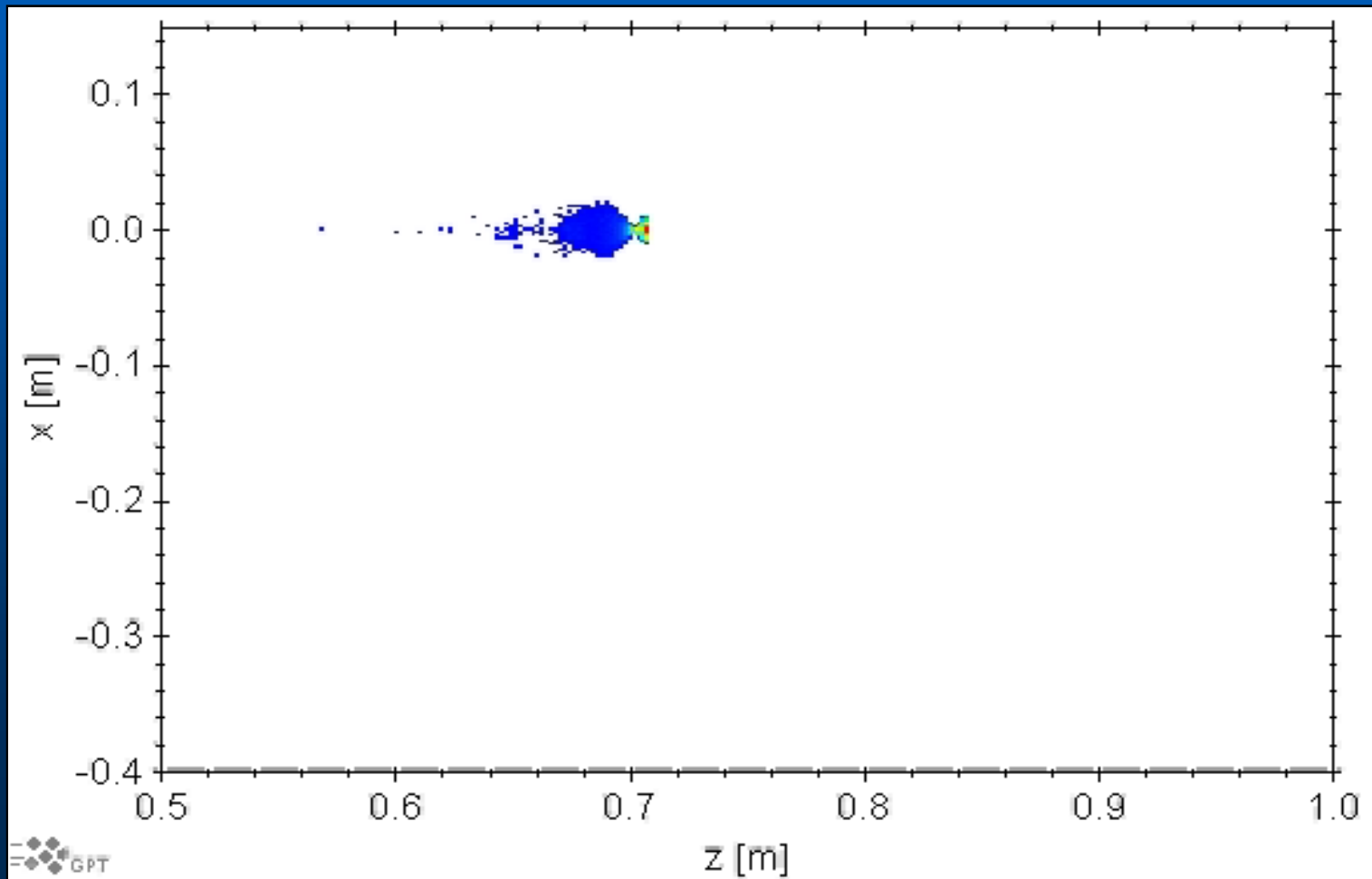


RF電子銃出口の様子(150mm)



アルファ磁石内の軌道

- GPTにアルファ磁石とスリットのエレメントを追加
- シングルバンチ 下記をクリックすると再生されます



GPTの特徴

- 電磁場は他のコードから
- 空間電荷効果(二次元, 三次元)
- ユーザー定義のエLEMENTと解析を追加することが可能
- GUIを用いた計算結果のグラフ化

通常的设计であれば, PARMELAよりも
使いやすい

GPTの問題点

■ 空間電荷効果

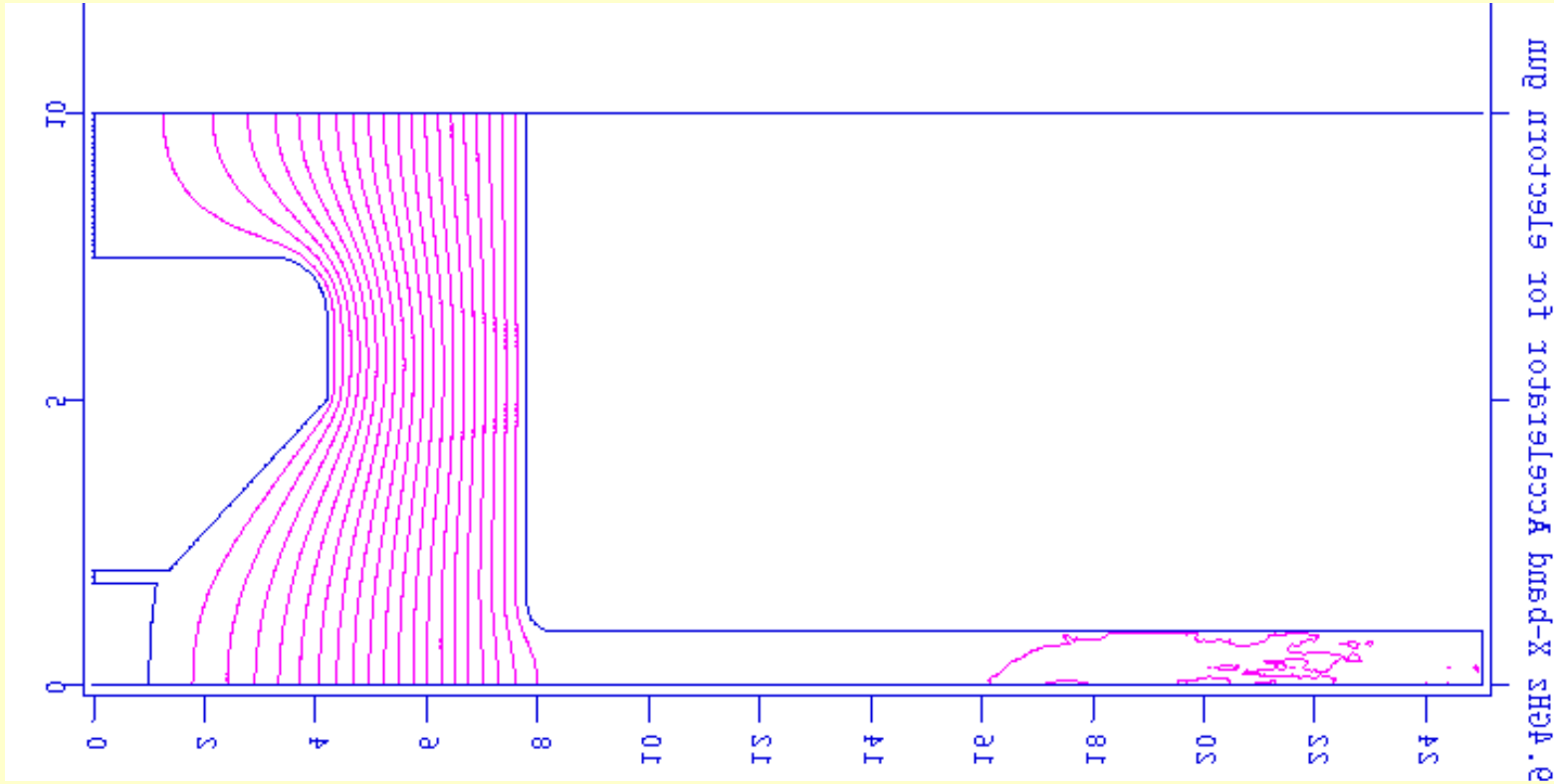
- point to point method
 - 計算時間がかかる
 - 境界条件が設定できない(現在は無限に広い空間)
- mesh method (PIC法ではない)
 - 空洞形状に応じた境界条件が設定できない。
 - 構成するバンチの粒子のエネルギーが大きく異なる場合, 誤差が大きい。

■ ウェークフィールドの計算ができない。

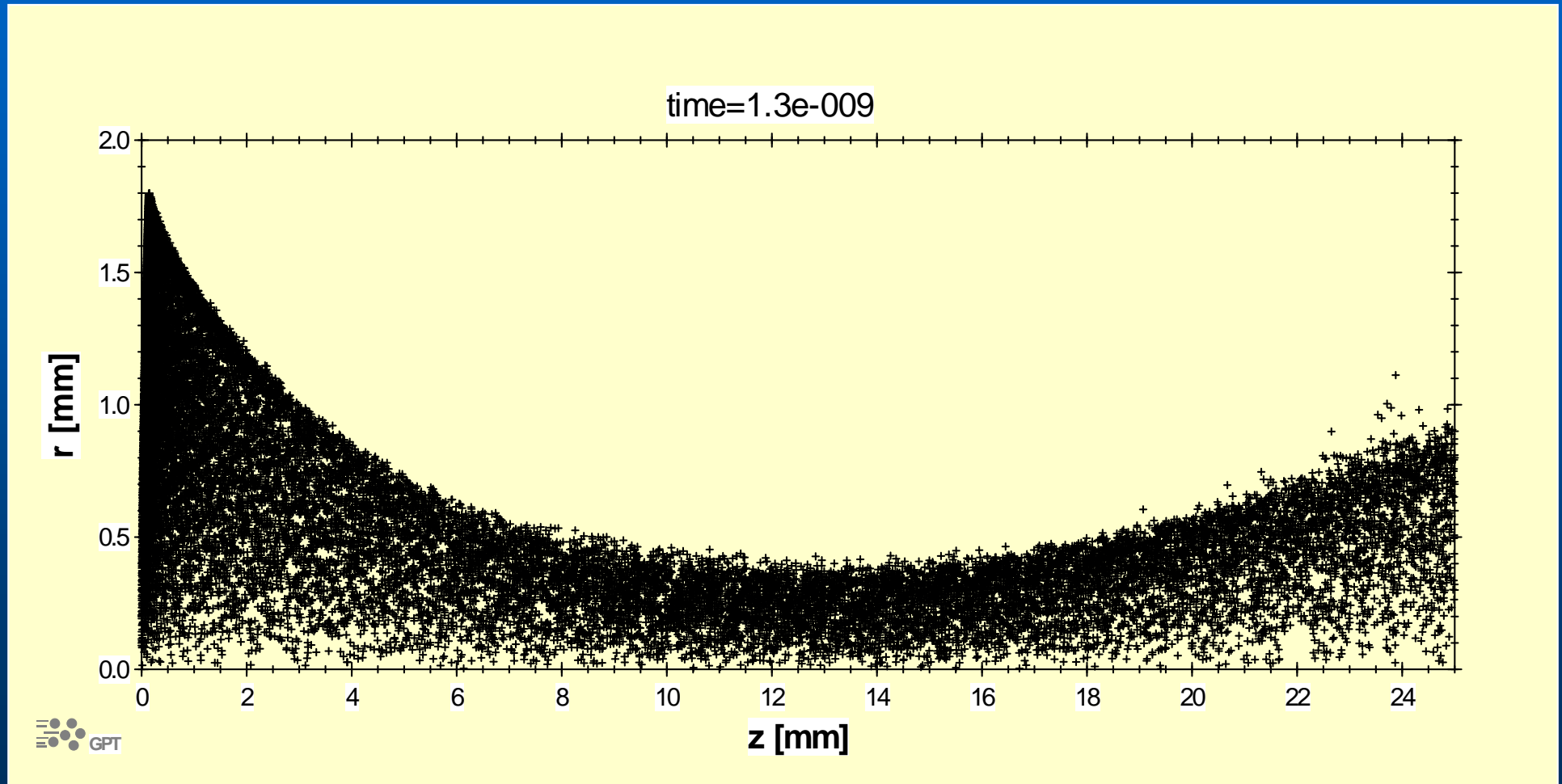
- ビームローディング
- その他

おまけ

DC電子銃のシミュレーション



GPTの計算結果



まとめ

- GPTとSUPERFISHを使って、RF電子銃のかなりのシミュレーションは可能。
- GPTでPIC法の計算ができると、満足できるビームトラッキングができる。
- 次の組み合わせで、リニアック全体のシミュレーションが可能。
 - GPT SUPERFISH POISSON

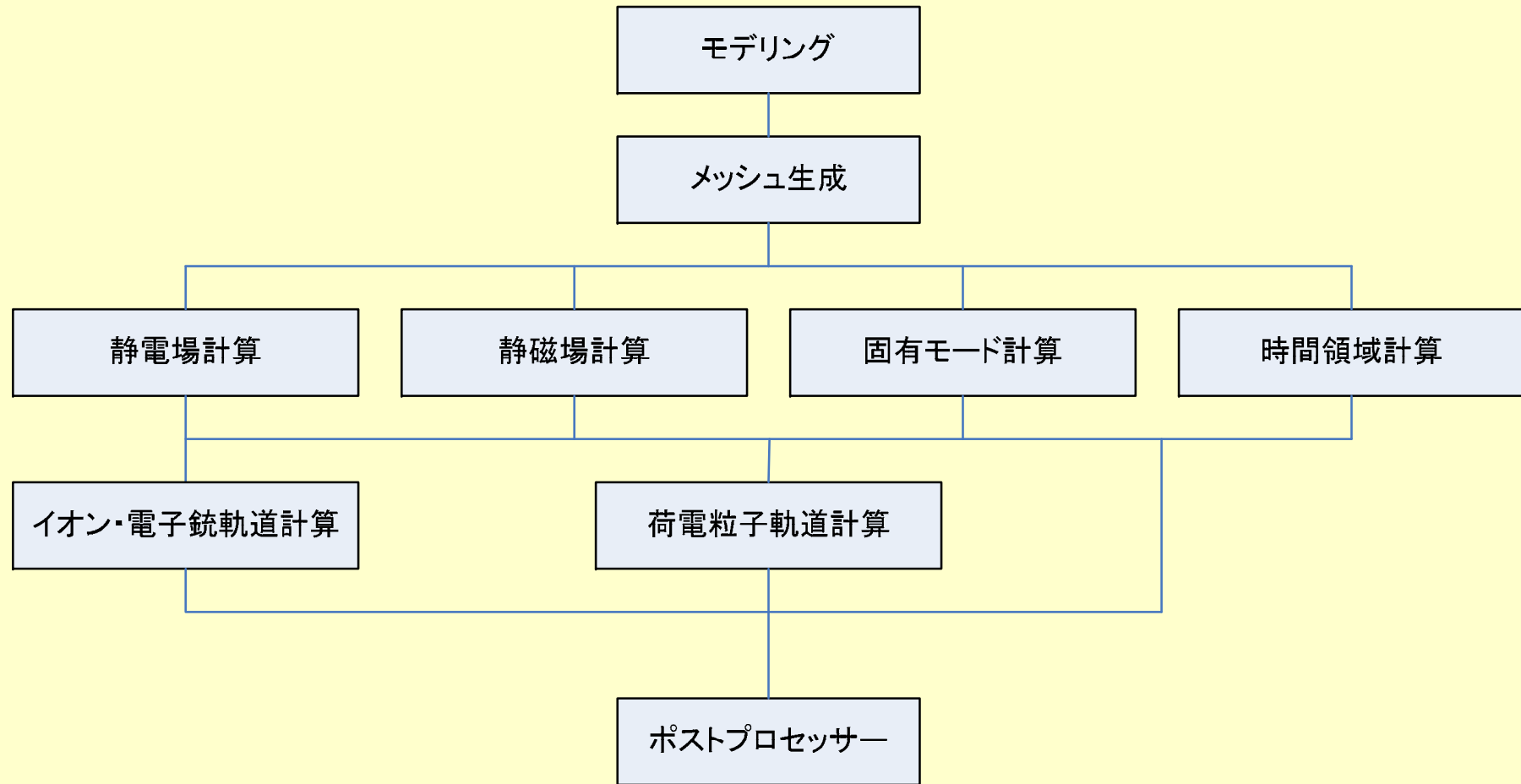
Part 2

加速器開発用コードの開発

なぜ、プログラムを作っているか？

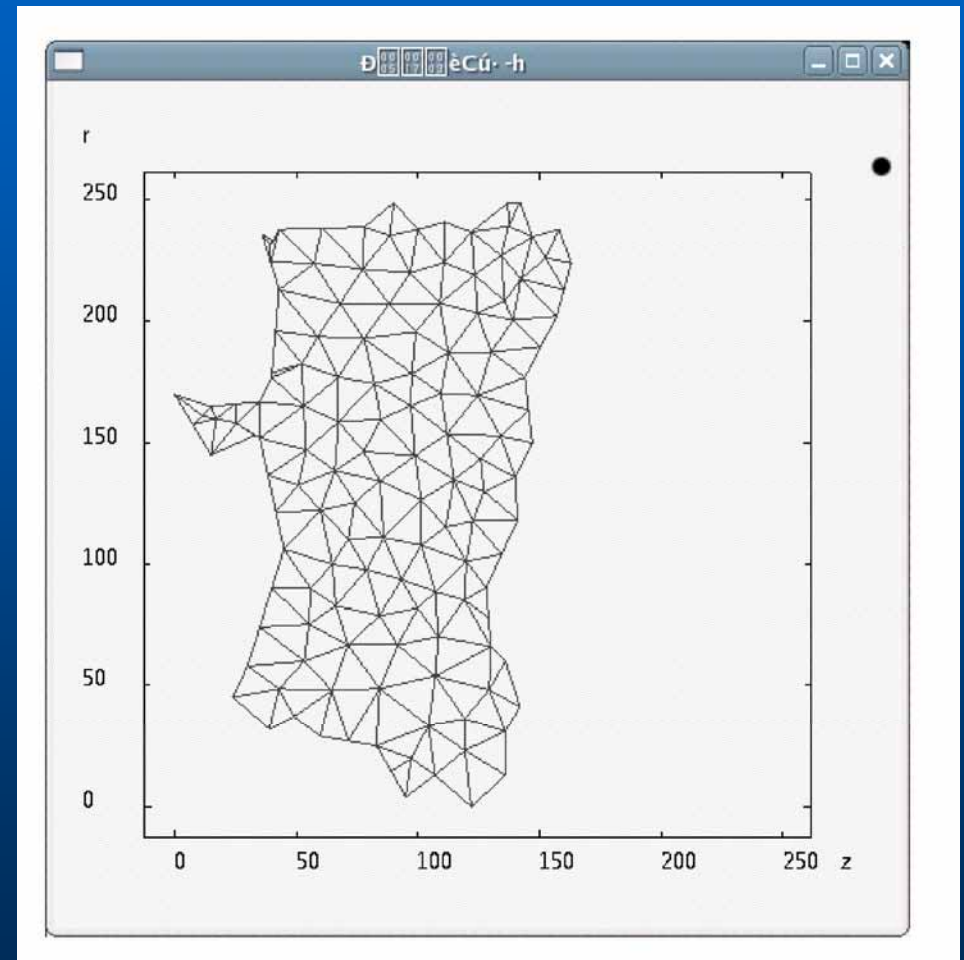
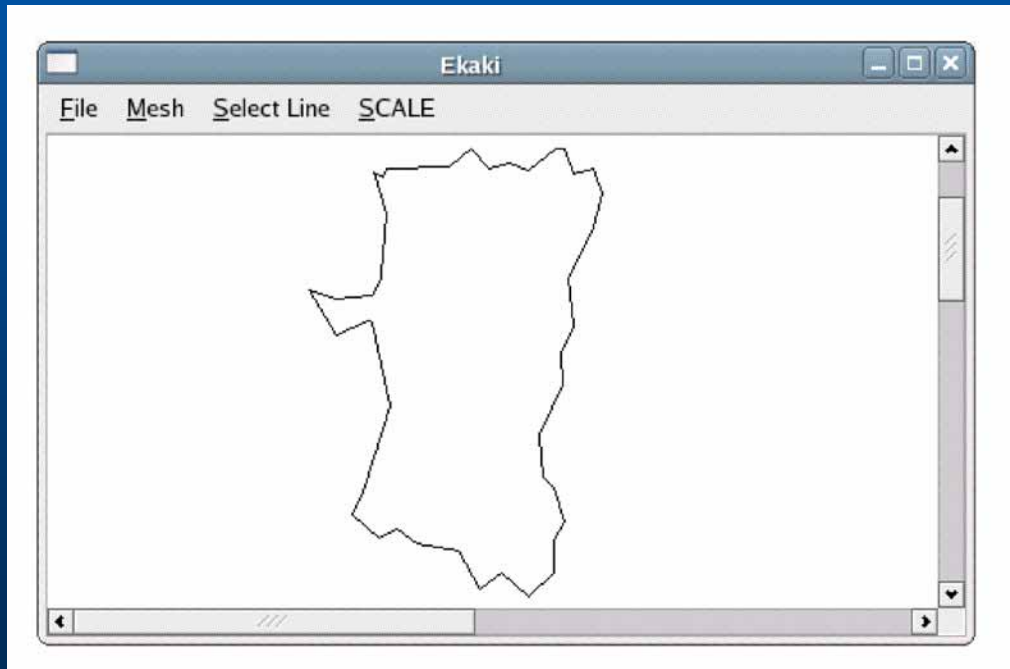
- 作成しているプログラム
 - 静電場解析
 - 静磁場解析
 - 高周波電磁場解析(時間領域、周波数領域)
 - ビーム軌道解析
- 面白そうなので、勉強をかねて作成している
- 学生の卒業研究のテーマに適當
- 誰かの役に立てば、うれしい

プログラムの体系

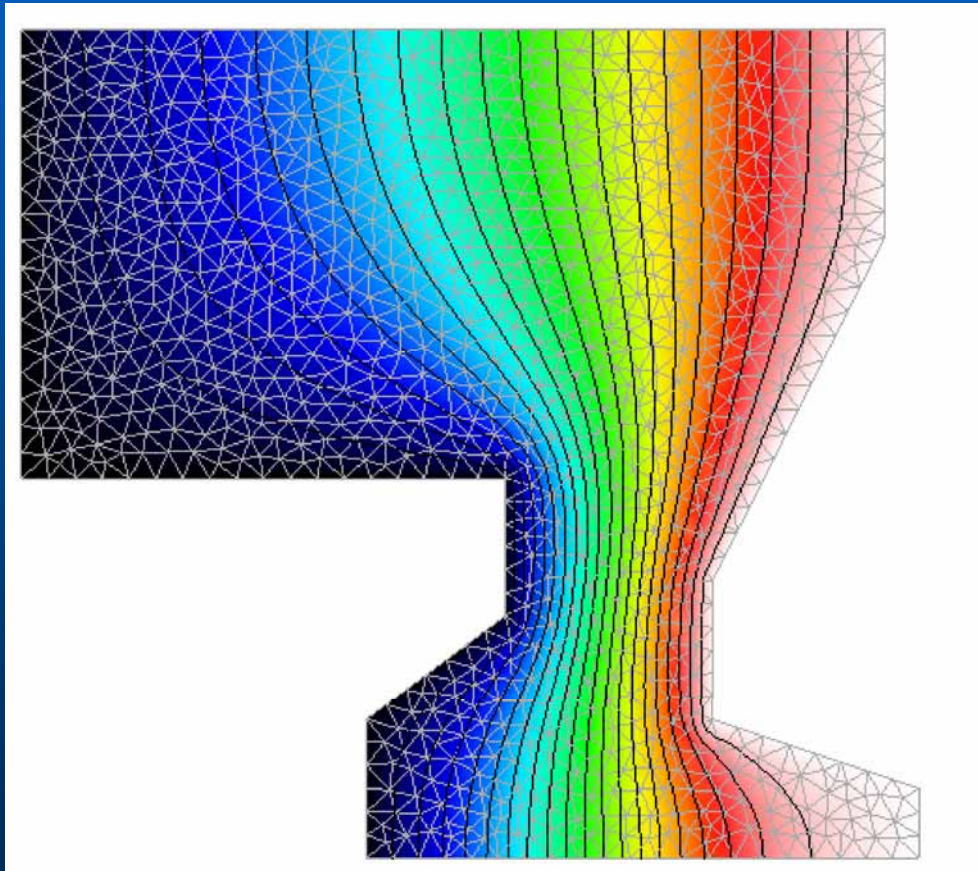


モデリング・メッシュ生成

- Qtを使ってGUIを作成
- 絵はOpen GLを使用
- メッシュは、ドローネ三角分割



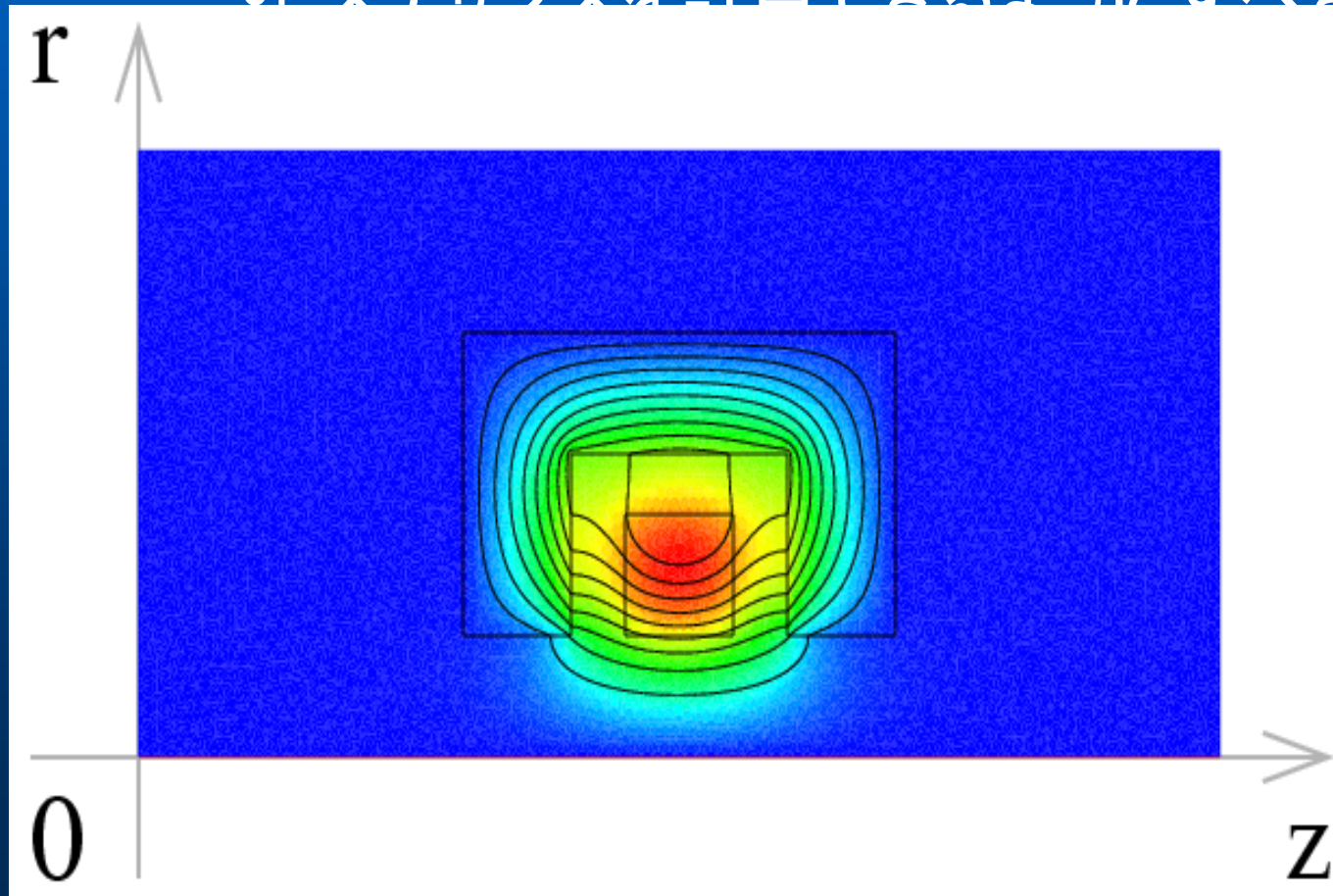
電子銃・静電場計算



- 有限要素法
- 一次要素、直線要素
- ビーム軌道計算は、PIC法の予定

静磁場計算

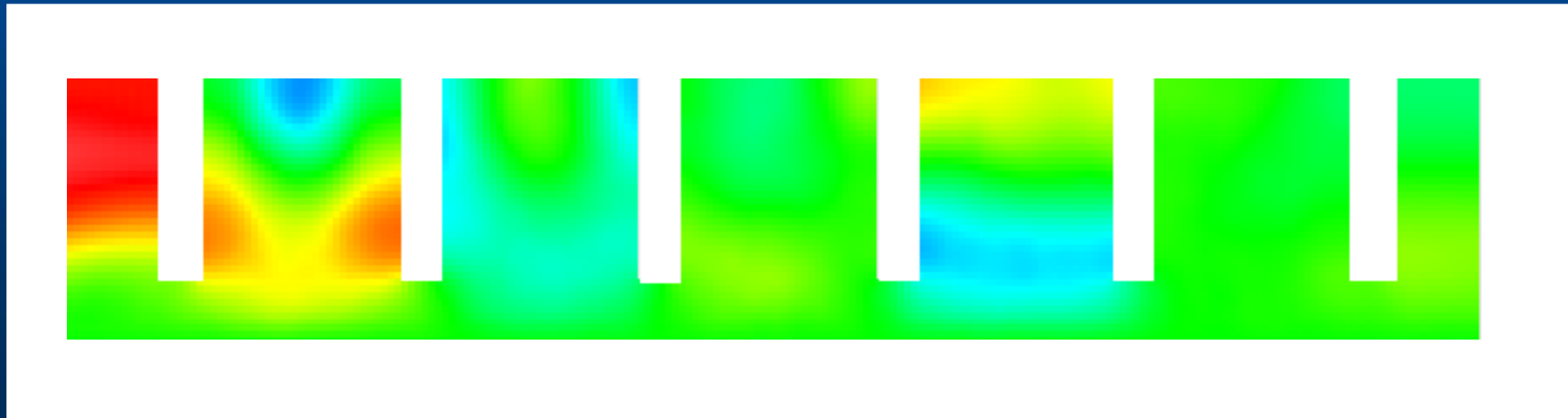
- 有限要素法
- 二次要素、直線要素
- ヒステリシスを計算できるようにすべきか？



時間領域でのRFシミュレーション

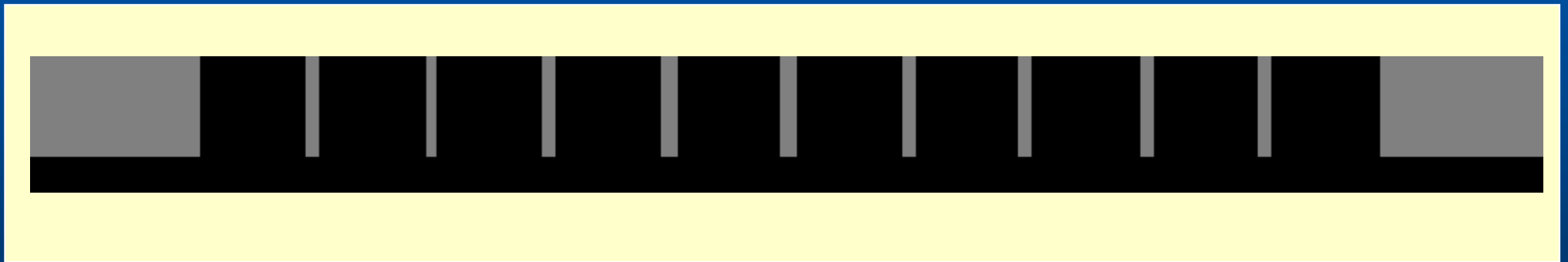
- ・有限積分法
- ・正方形メッシュ

■ 高周波(8000MHz)

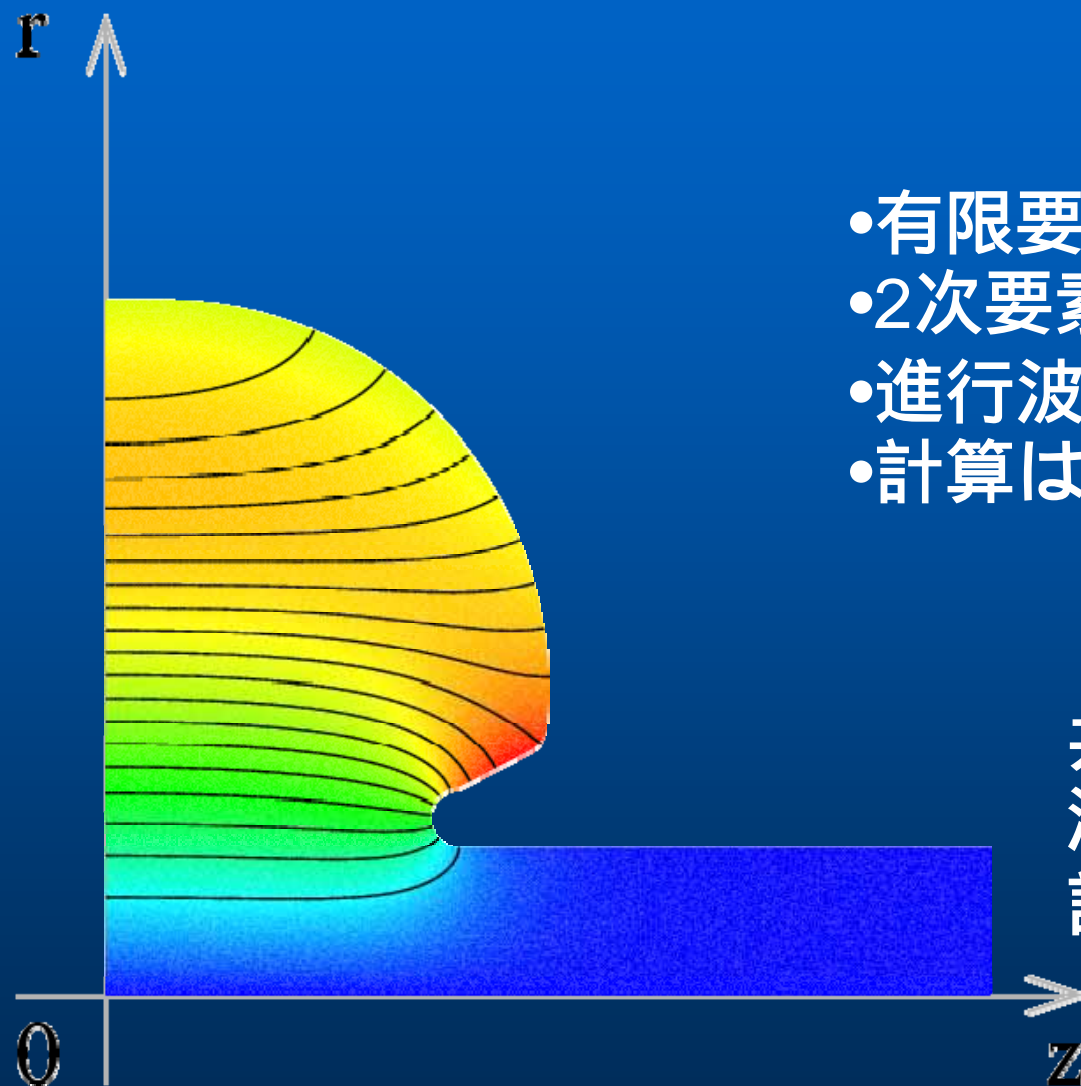


ビームと空洞の相互作用

- ・電磁場とビームの作用をきちんと計算している
- ・Particle In Cell法
- ・正方形メッシュ



共振モード解析



- 有限要素法
- 2次要素、曲線要素
- 進行波の取り扱い可能
- 計算は、 TM_{0n} モードのみ

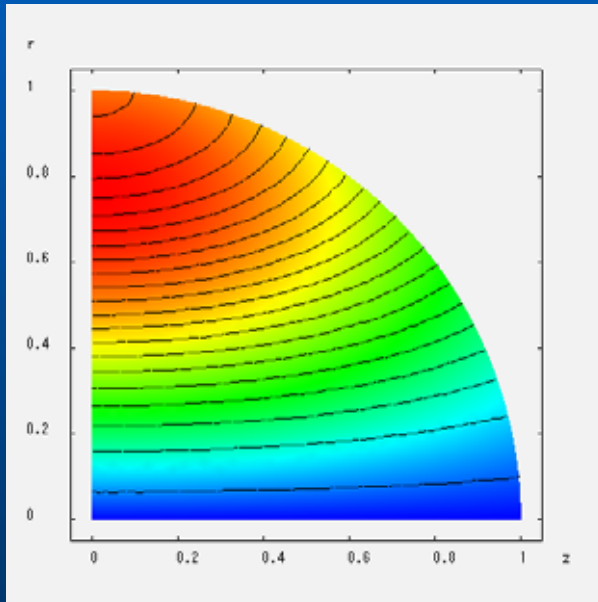
共振周波数

測定値：499.5 MHz

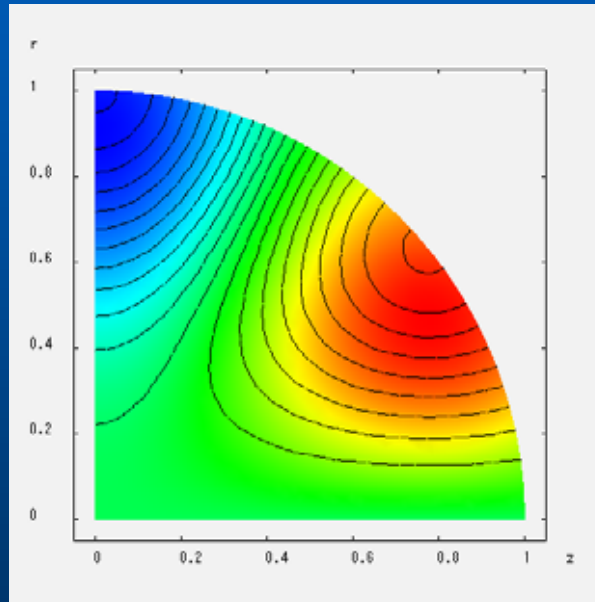
計算値：499.557 MHz

PFの空洞の計算結果

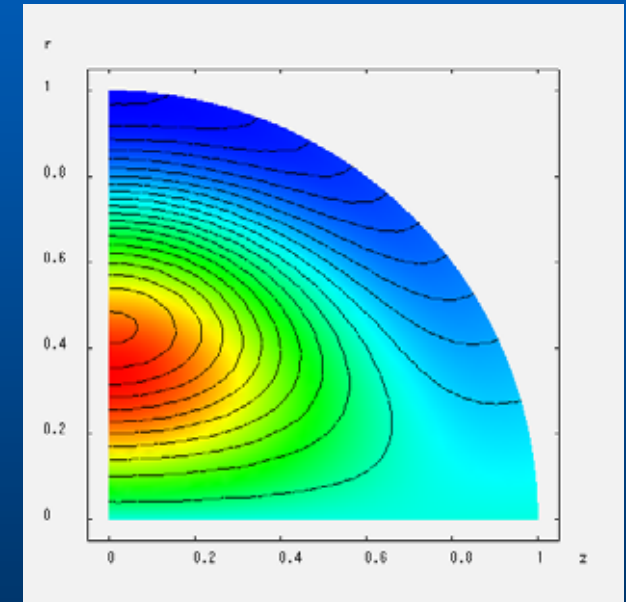
計算精度の検証



$f_1=130.91174401\text{MHz}$

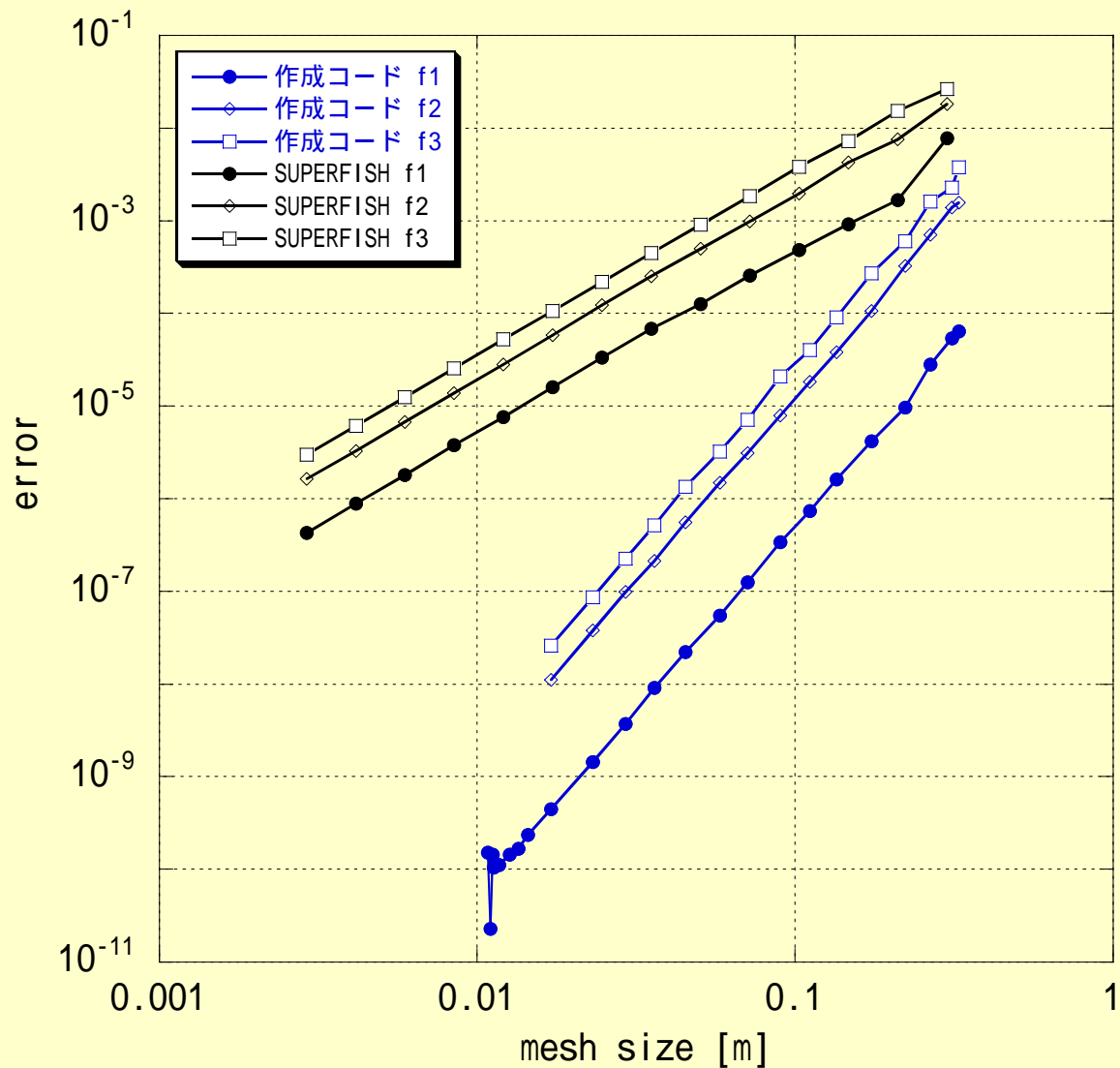


$f_2=237.29905116\text{MHz}$



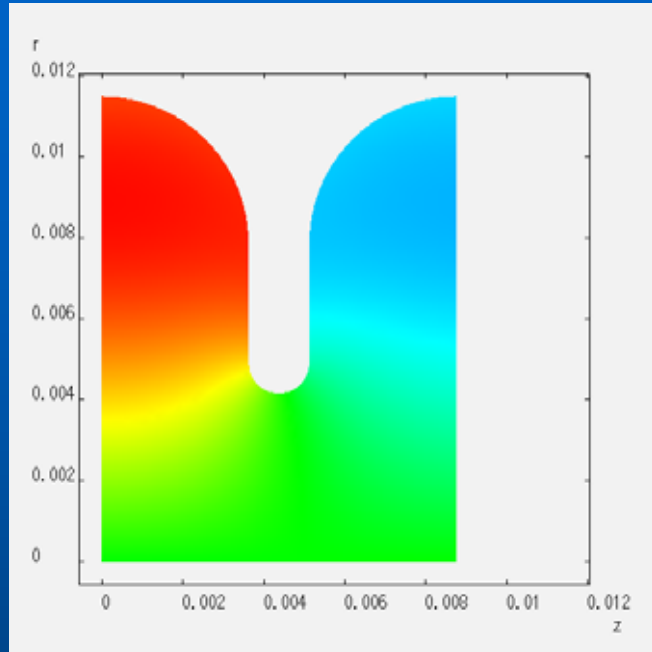
$f_3=291.85193563\text{MHz}$

SUPERFISHとの比較



誤差のグラフ

進行波の計算



Q_0 : Q値

R : ショントインピーダンス

K : ロスパラメータ

	作成コード	SUPERFISH
Q_0	7775.0	7715.3
R [M /m]	99.272	98.422
K [V/pC]	2.0038	2.0025

まとめ

- 何とかプログラムは動いているが、実用にはいろいろいと改良が必要である。
- 共振モードの解析プログラムは、いい線を行っている。SUPERFISHより、良い部分もある。
- 今後、少しずつ改良を重ねたい。