

Spoke空洞multipactor解析 その5

2014.7.1

高エネルギー加速器研究機構 久保毅幸

京都大学化学研究所 岩下芳久

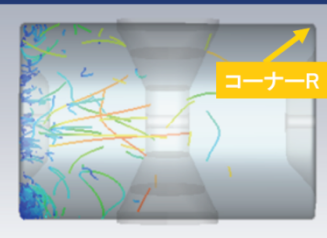
これまでの復習 (藤澤さんのスライドから抜粋)

モデルと計算条件

fo	326.86MHz
Cavity length	0.922m
Cavity diameter	0.608m
Eacc	1.081MV/m
Epeak	4.047MV/m
Hpeak	6.174KA/m
R/Q	484Ω
mesh cell数	~ 11万
1次電子の数	108 ~ 109
放出面	Endplate1の外縁
エネルギー	0 ~ 8 eV, 均一分布
2次電子放出	Furmanモデル
放出面	全ての面(PEC)
TRK最大ステップ数	3万

* 加速管のパラメータは後述のモデル#1のものを例示。1次電子の数はコーナーRを可変すると形状が変わることにより若干動いてしまう。

モデルの定義

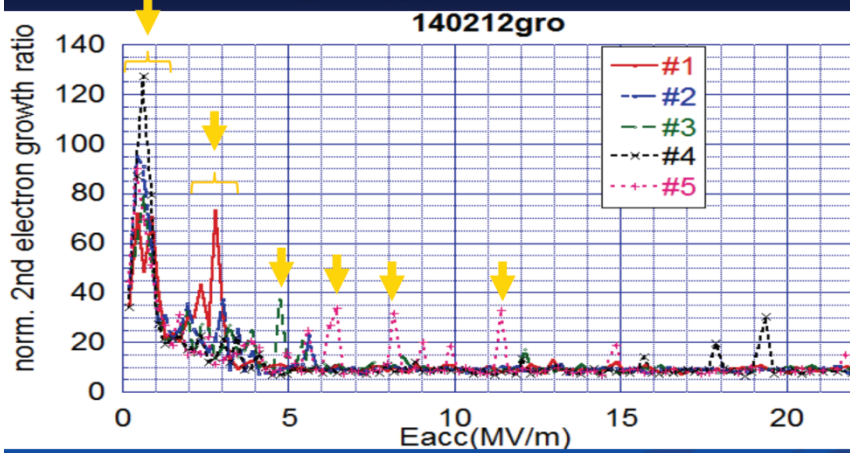


モデル	コーナーR(mm)	fo(MHz)	1次電子の数
#1	2.8	326.9	108
#2	10.0	327.0	108
#3	15.0	327.1	108
#4	20.1	324.5	109
#5	25.2	324.5	109

モデル#3を例示

- ・コーナーRはモデル#1から#5に向けて徐々に大きくなっていく。
- ・1次電子の数は一定ではない。モデルの形状が変わるとメッシュで設定可能な数が決まってしまうため。

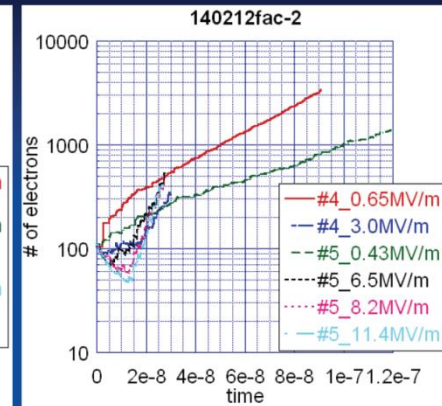
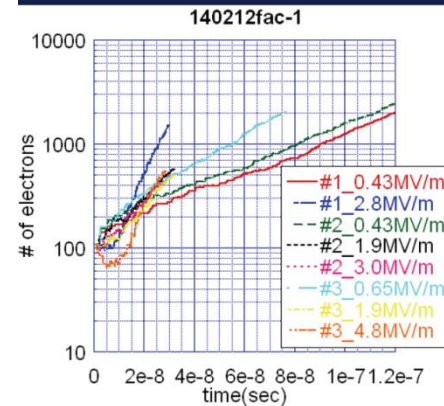
2次電子数 vs. Eacc



縦軸は、タイムステップの終点までに発生した2次電子の総数を1次電子の数で割った値 = “2次電子増殖率”

低いEaccで増殖率が高いのは前報告と同じ。↓で示す比率の高い条件で詳細確認

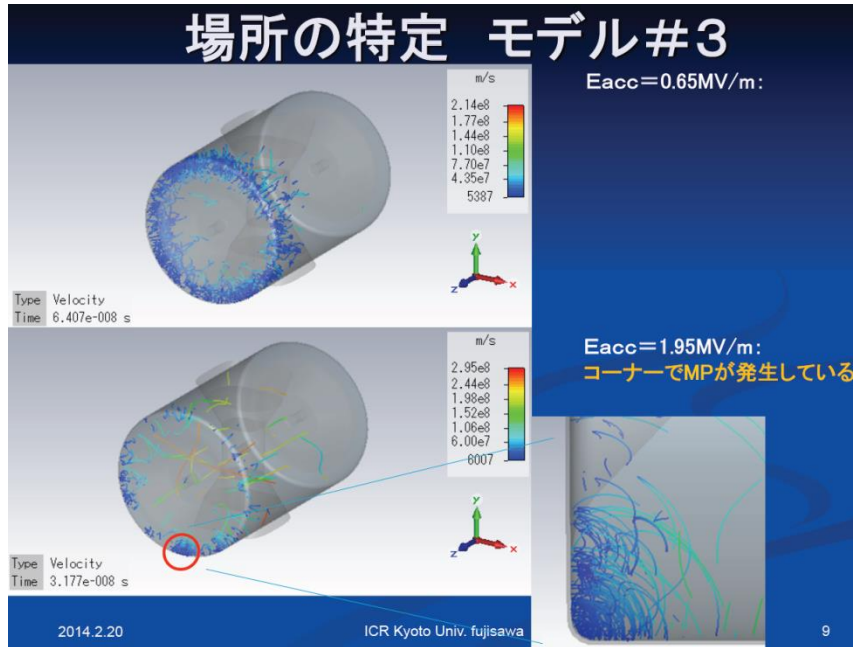
電子数 VS. time



縦軸は、トラッキングしている電子の数(1次+2次)、横軸は1次電子を放出してからの経過時間

・フィールドが高くなるほど電子の増殖が速いのも前報告と同じ。
・増殖速度が高いものについてはタイムステップ数をさらに増やして計算する必要があるかもしれない。

これまでの復習(藤澤さんのスライドから抜粋)(続)



結果

モデル	コーナーR(mm)	1次電子の数	MPが確認できた Eacc(MV/m)	コメント
#1	2.8	108	2.8	-
#2	10.0	108	1.9、3.0	-
#3	15.0	108	1.95、4.8	-
#4	20.1	109	3.0	-
#5	25.2	109	6.5、8.2、11.4	1次電子の数を103個にすると左記3条件全てにおいてMPの発生はなくなる

2014.2.20 ICR Kyoto Univ. fujisawa 14

・前述した2次電子増殖率もそうだがここでも各モデル間で顕著な差が認められない。結果は1次電子数のわずかな差でも変わってしまっているため、1次電子数を増加させたうえでタイムステップ数を増やして(少なくとも100周期分)統計的に安定な結果が得られるようにする必要がありそう。
 ・さらにメッシュ数を増やしてモデルの精度をあげることも必要とおもわれる(コーナー部などでメッシュが若干凸凹している)。

今後の予定

- 今月中に引き継ぎ
 - 材質変更(PEC→ニオブ)など新たな解析条件を試す
 - マクロに機能追加し作業効率向上
 - 処理能力向上させた新計算環境による解析開始
- 後任の選定
- 今年度中にはMP解析の手法の確立
- JAEAと協力して空洞製作工程の最適化
- 表面観察の方針(どこをどの様に見るか)を立てる

引き継いだ主な課題

【藤澤さんがやったこと】

- 一次電子源をend_capの周囲の円環上に配置
- 一次電子数 $N_0 \sim 10^2$ 、Mesh cell数 $m \sim 10^5$ 、tracking時間 $T \sim 10^2 \text{ns}$
- 異なる多数の E_{acc} でtrackingを自動的に行うマクロを作成
- E_{acc} ごとのMPの有無を調査

【主な課題】

1. 粒子数が爆発すると手動で停止させる必要があり、これが自動化を阻んでいる。→**Macroの改良**
2. 一次電子数の僅かな違いでもMPの振る舞いが変わるなど、結果が安定しない。→**MPの評価方法**

(1) Macroの再構築

(1) Macroの再構築

【Macroの簡単な作成方法】

cstで実行したことの多くは”History List”にVBAの言葉で記録される。これをコピーして自分のmacroに貼り付ければ良い。

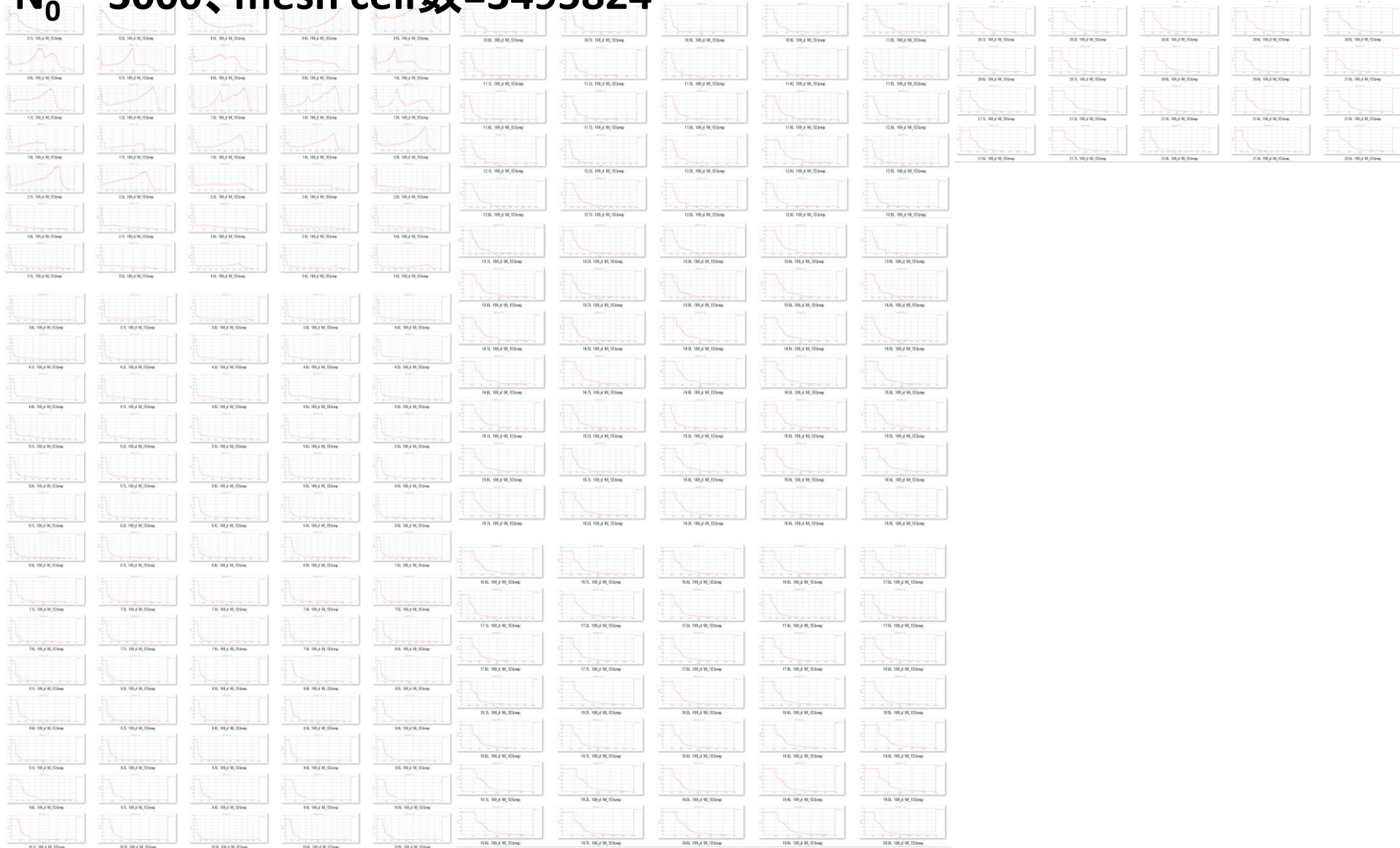
【Macro(現時点版)の機能】

- ニオブのSecondary Emission Yield (SEY)をMaterial Libraryからloadし、**空洞材量を全てニオブに置き換える**。
- End_cap全体を粒子源とする(初期粒子数、エネルギー、角度はinputで設定)。
- Mesh(hexahedral)を切ってfieldを計算(mesh数はinputで設定)。
- **二次電子の世代数(SeMaxGenerations)に上限を課した上でTracking(粒子数爆発の問題は一応避けられる)**。
- N(t)プロット及びtrajectory(3Dプロット)をbmpで保存、それぞれのASCIIファイルも保存。
- Eaccを変えてtracking(**Eaccの刻み幅は任意の幅に設定可**)。

(1) Macroの再構築(続): model1の計算例

$E_{acc}=0.1$ から22.0 MV/mまで0.1MV/m刻みでシミュレーション

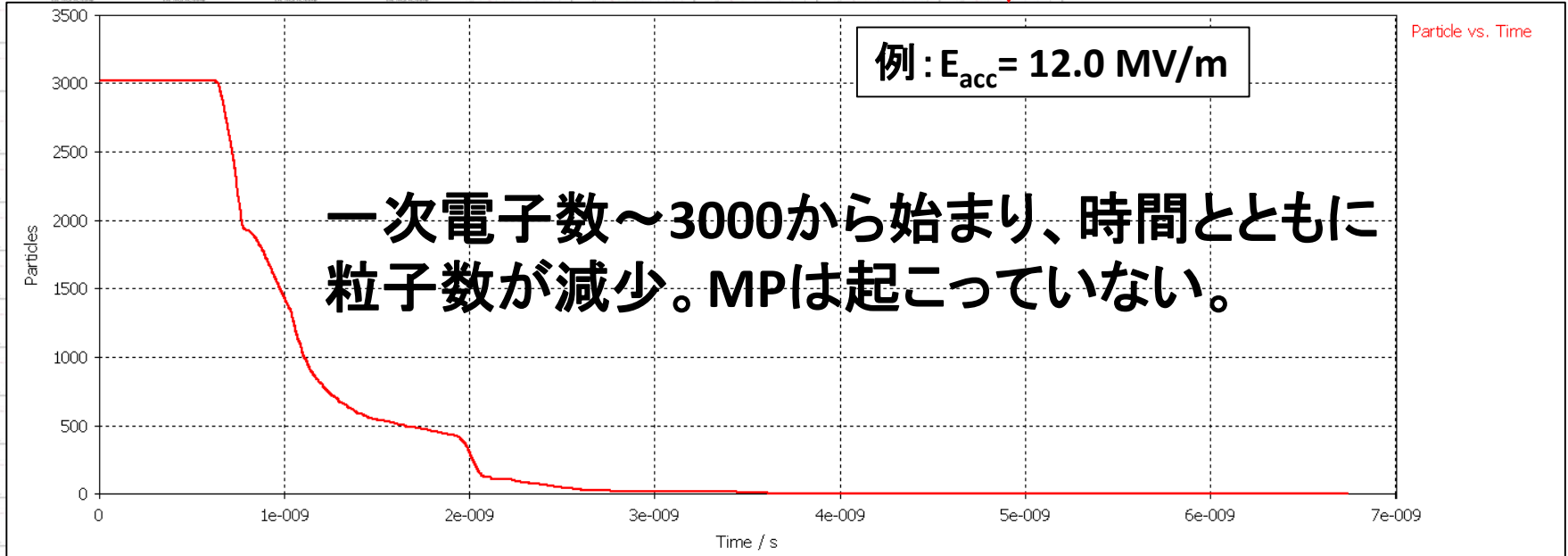
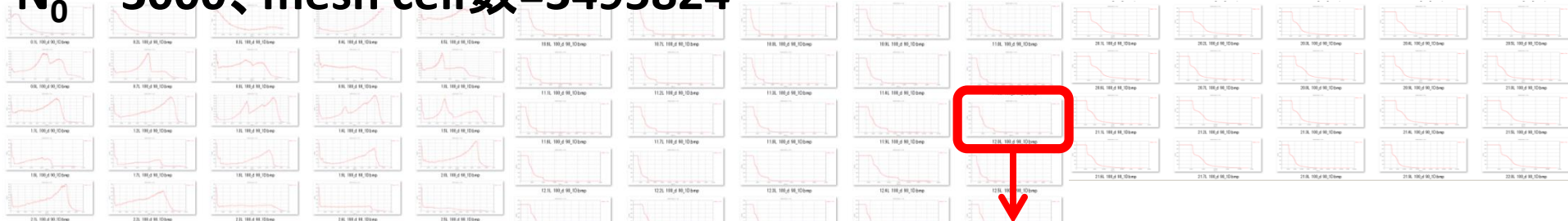
$N_0 \sim 3000$ 、mesh cell数=3495824



(1) Macroの再構築(続): model1の計算例

$E_{acc}=0.1$ から22.0 MV/mまで0.1MV/m刻みでシミュレーション

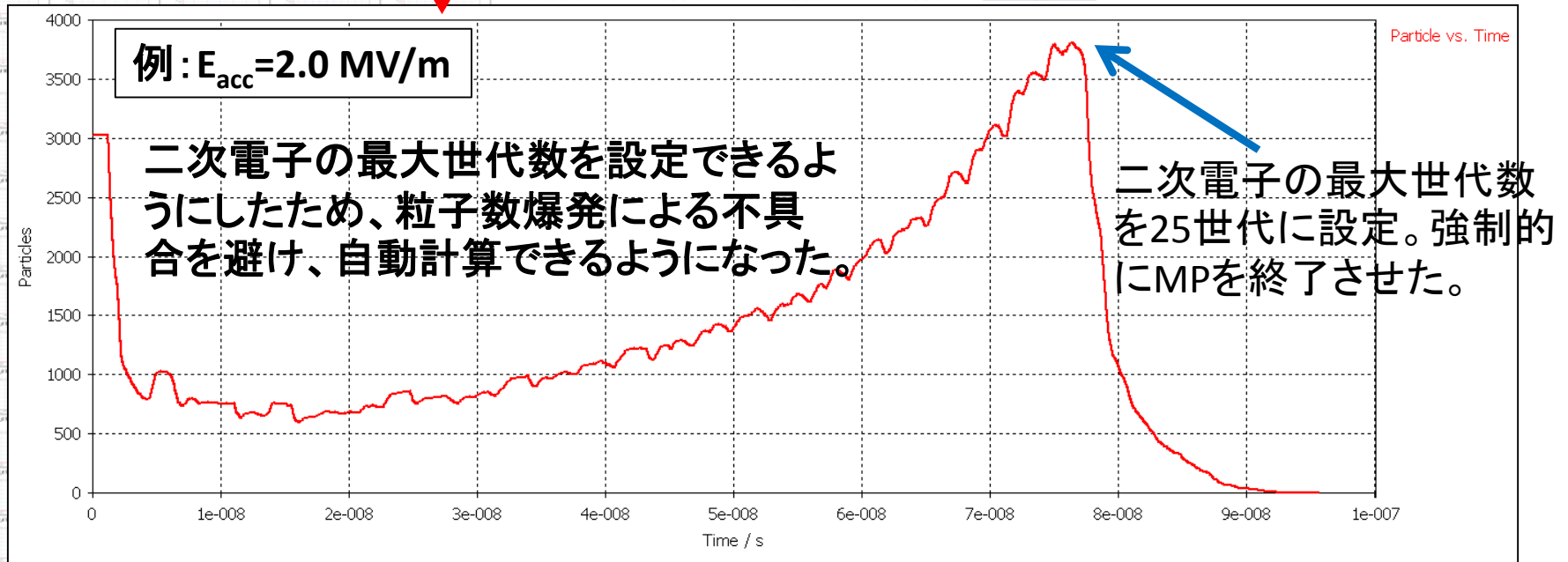
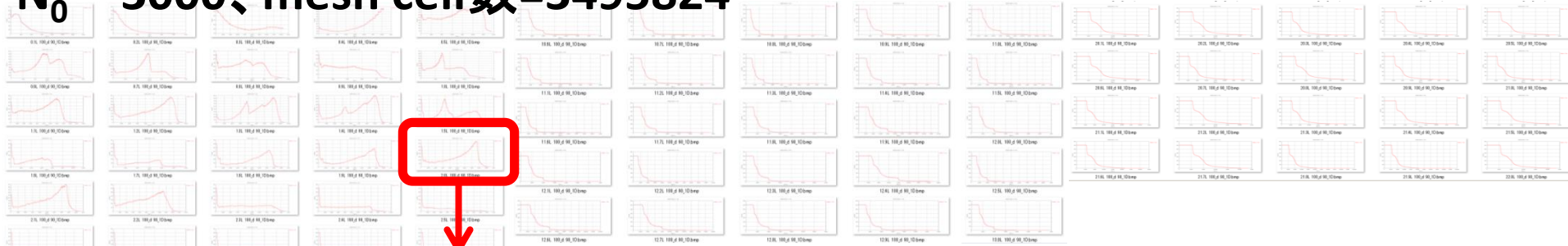
$N_0 \sim 3000$ 、mesh cell数=3495824



(1) Macroの再構築(続): model1の計算例

$E_{acc}=0.1$ から22.0 MV/mまで0.1MV/m刻みでシミュレーション

$N_0 \sim 3000$ 、mesh cell数=3495824



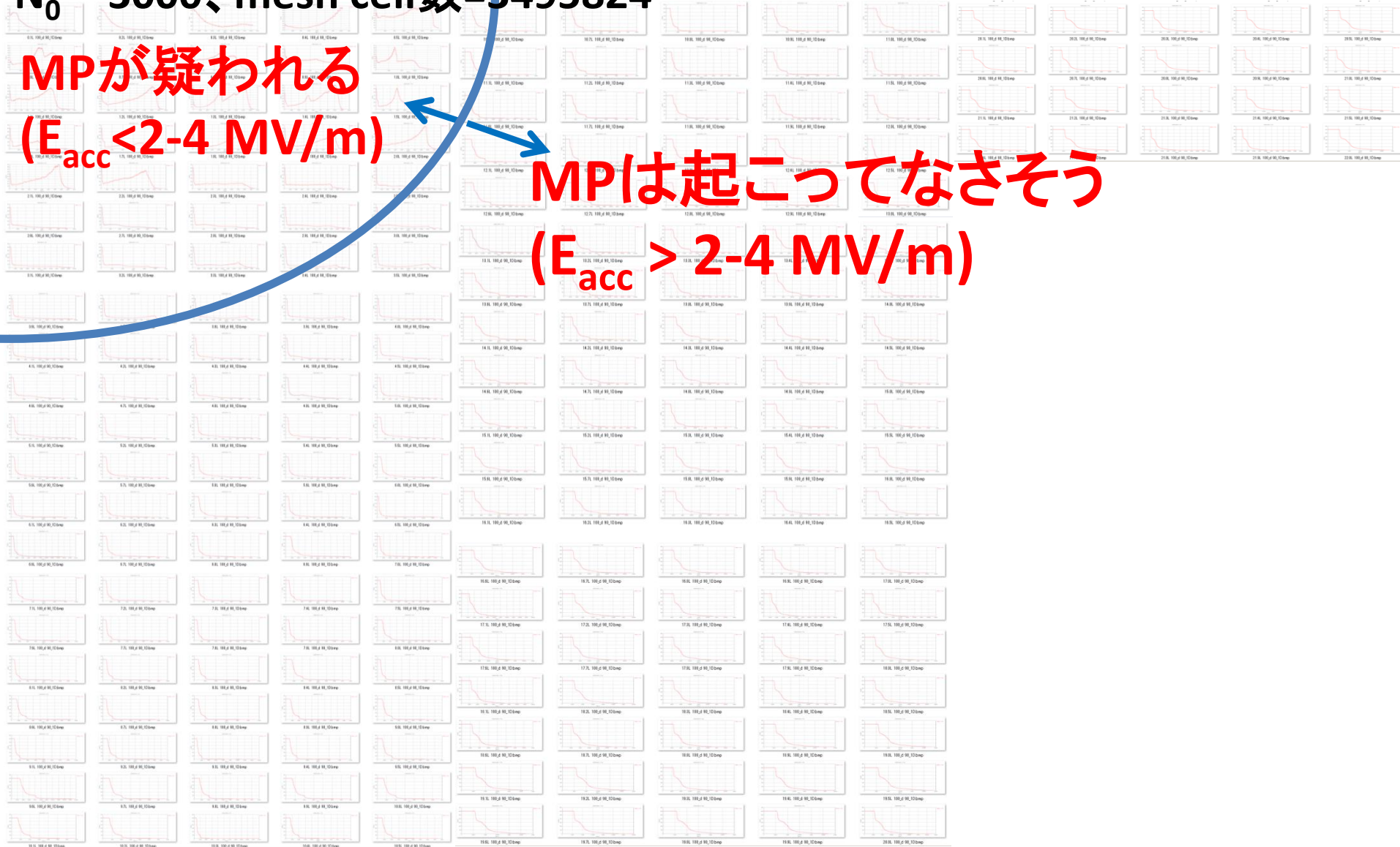
(1) Macroの再構築(続): model1の計算例

$E_{acc}=0.1$ から22.0 MV/mまで0.1MV/m刻みでシミュレーション

$N_0 \sim 3000$ 、mesh cell数=3495824

MPが疑われる
($E_{acc} < 2-4$ MV/m)

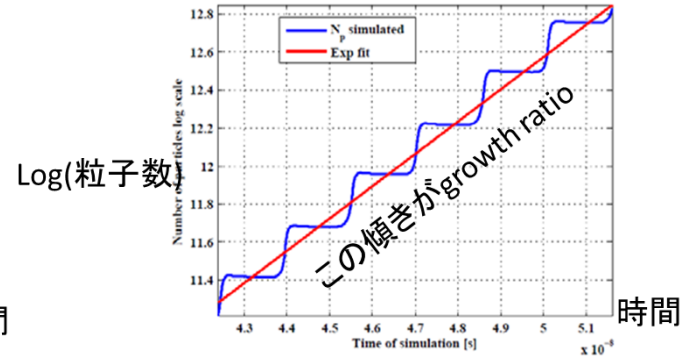
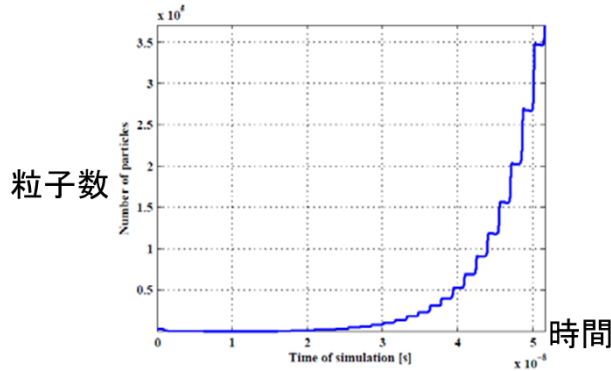
MPは起こってなさそう
($E_{acc} > 2-4$ MV/m)



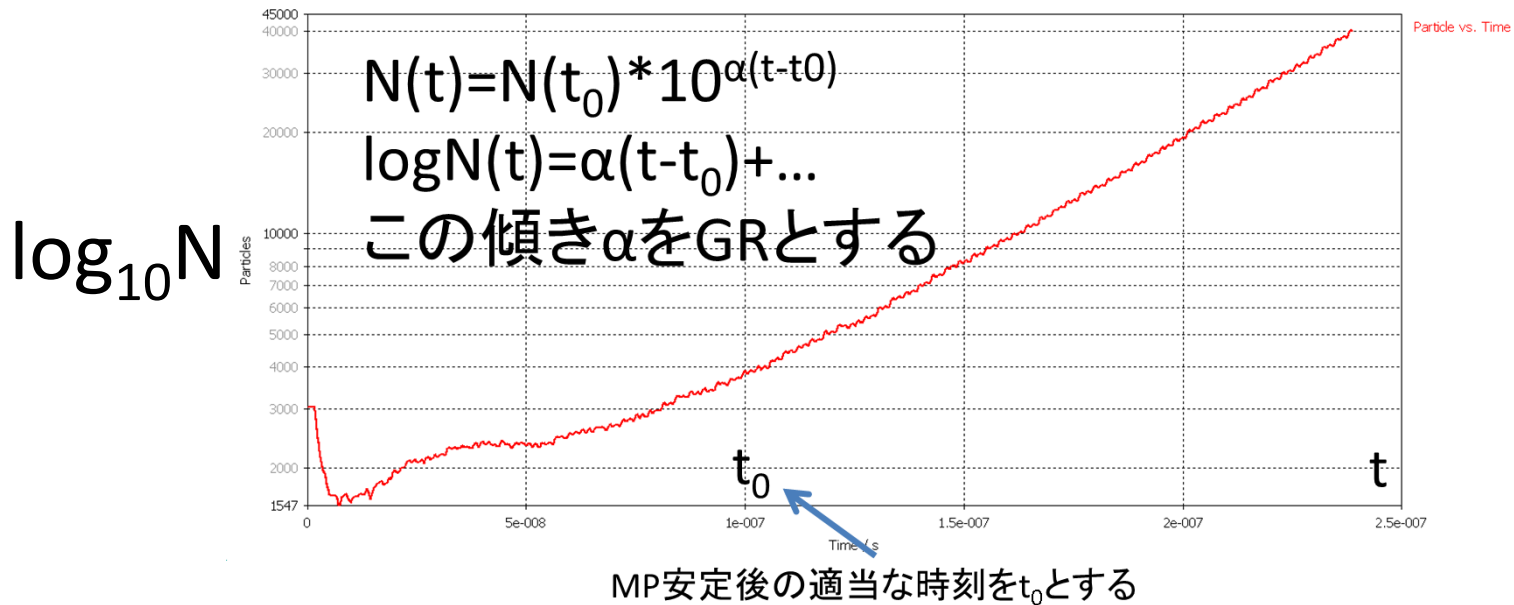
(2) MPの定量的な評価

(2) MPの定量的な評価

MPの指標として **growth ratio (GR)** を採用する。

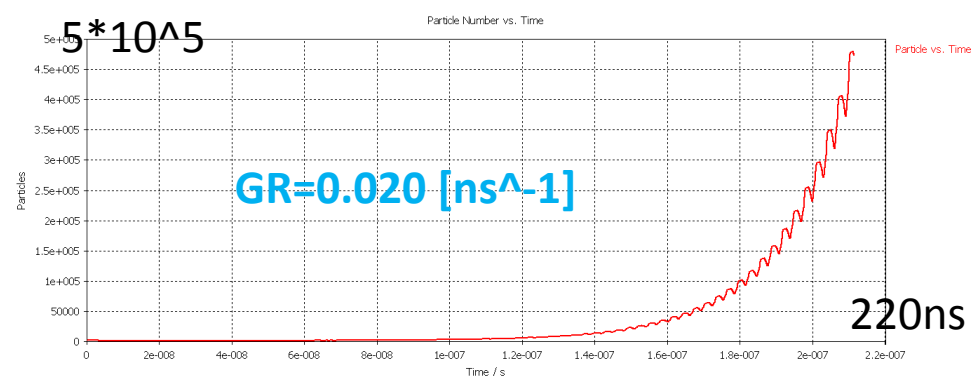
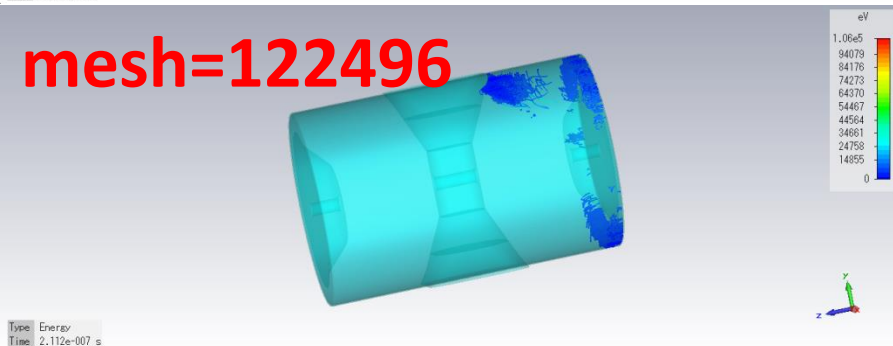
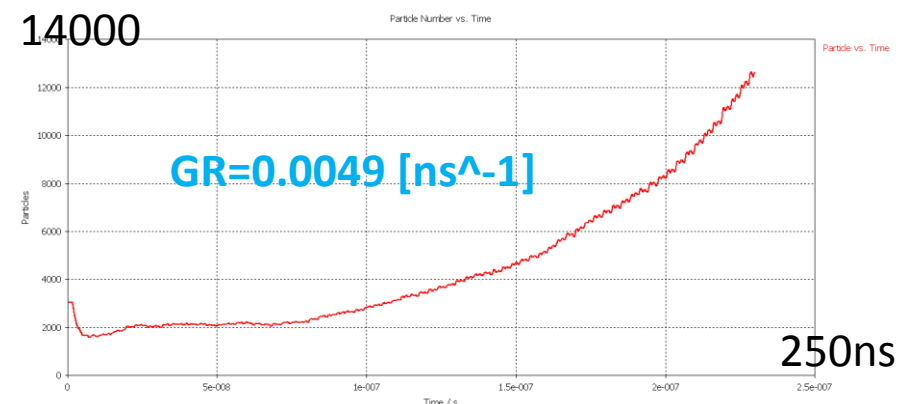
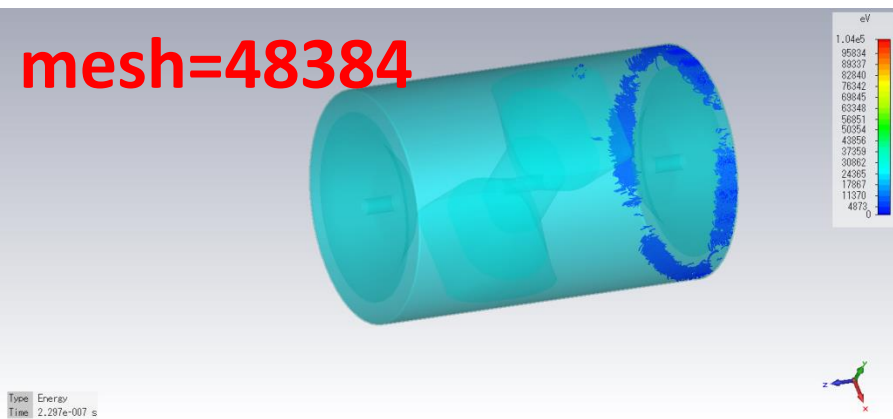
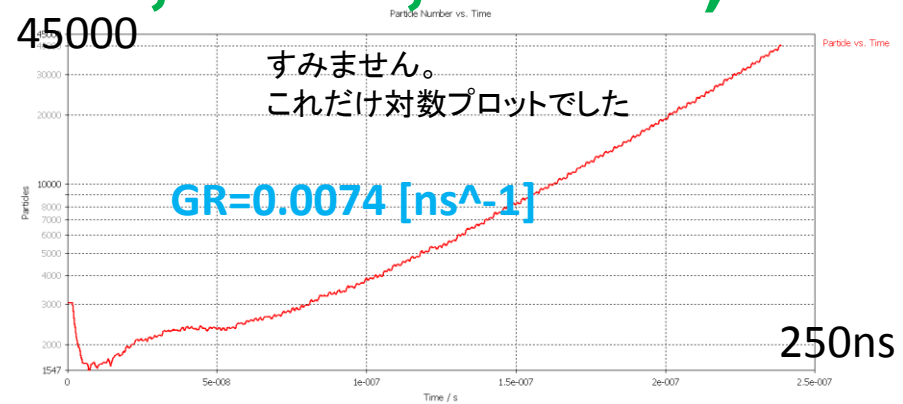
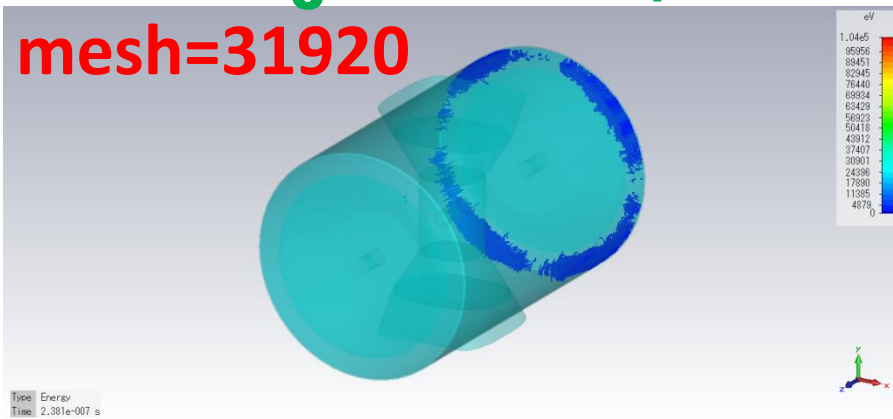


P. Berrutti, T. Khabiboulline, L. Ristori, G. Romanov, A. Sukhanov, V. Yakovlev, in proceedings of PAC2013, Pasadena, CA, USA (2013), P. 838



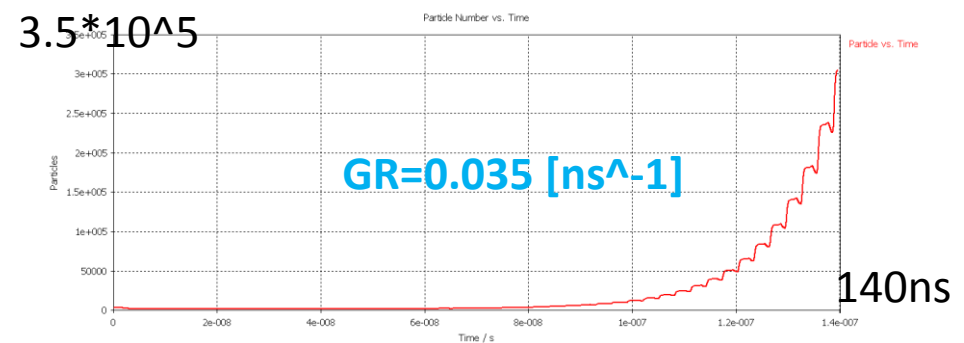
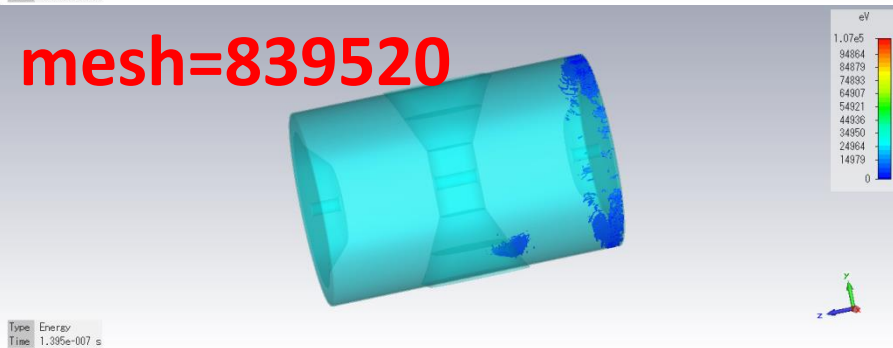
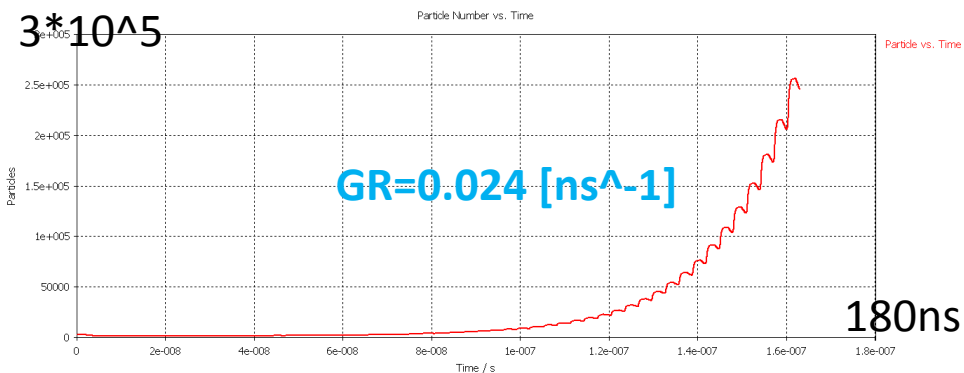
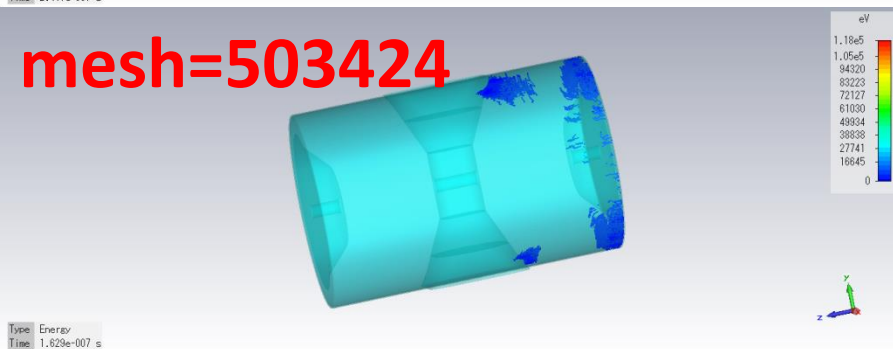
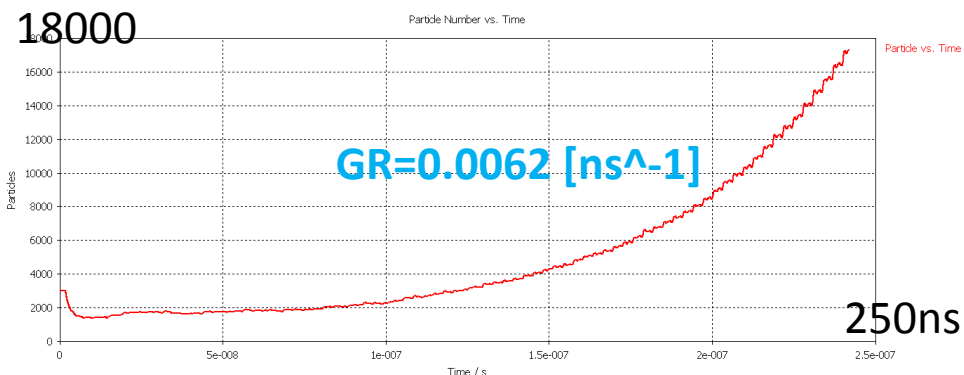
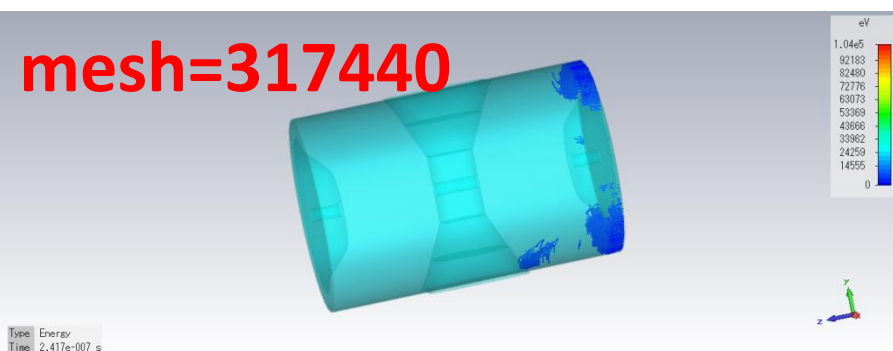
(2) MPの定量的な評価(続)

$N_0=3024$ (mesh=31920, 48384, 122496)



(2) MPの定量的な評価(続)

$N_0=3024$ (mesh=317440, 503424, 839520)

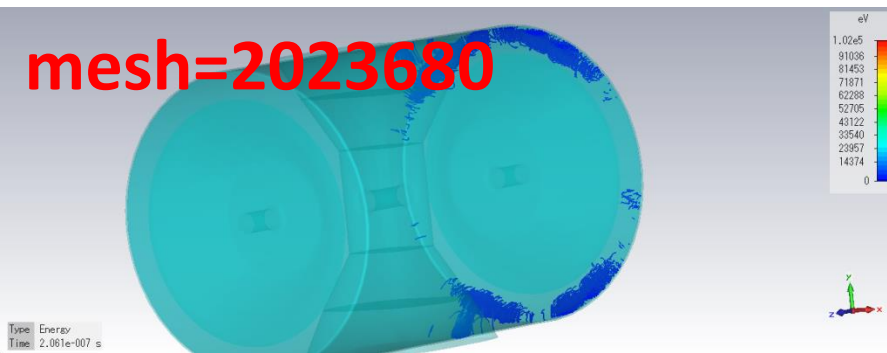
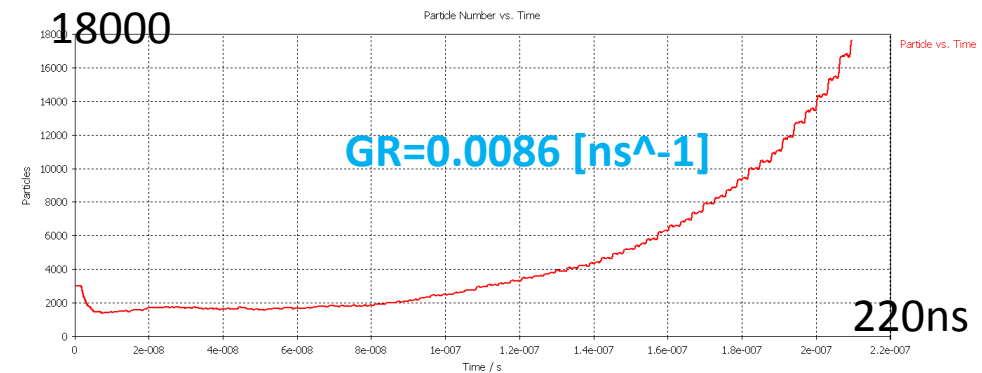
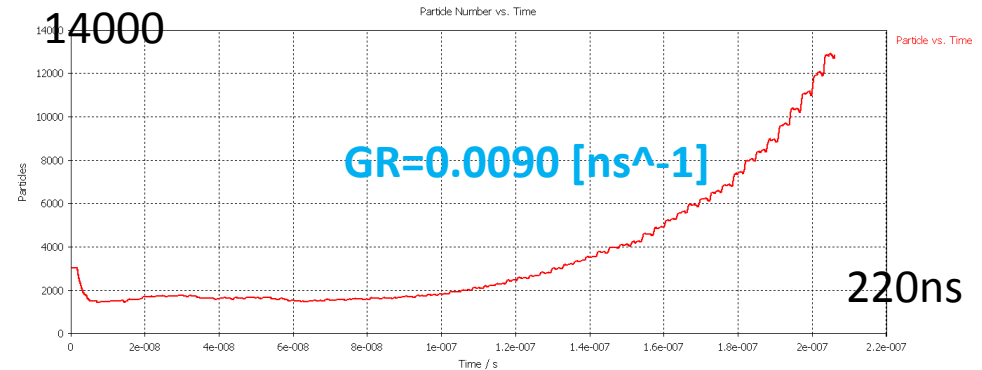
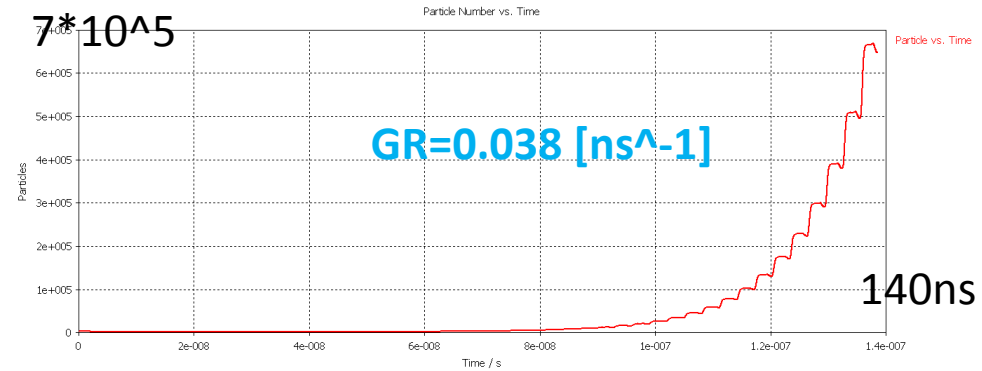


(2) MPの定量的な評価(続)

$N_0=3024$ (mesh=1370304, 2023680, 2538496)

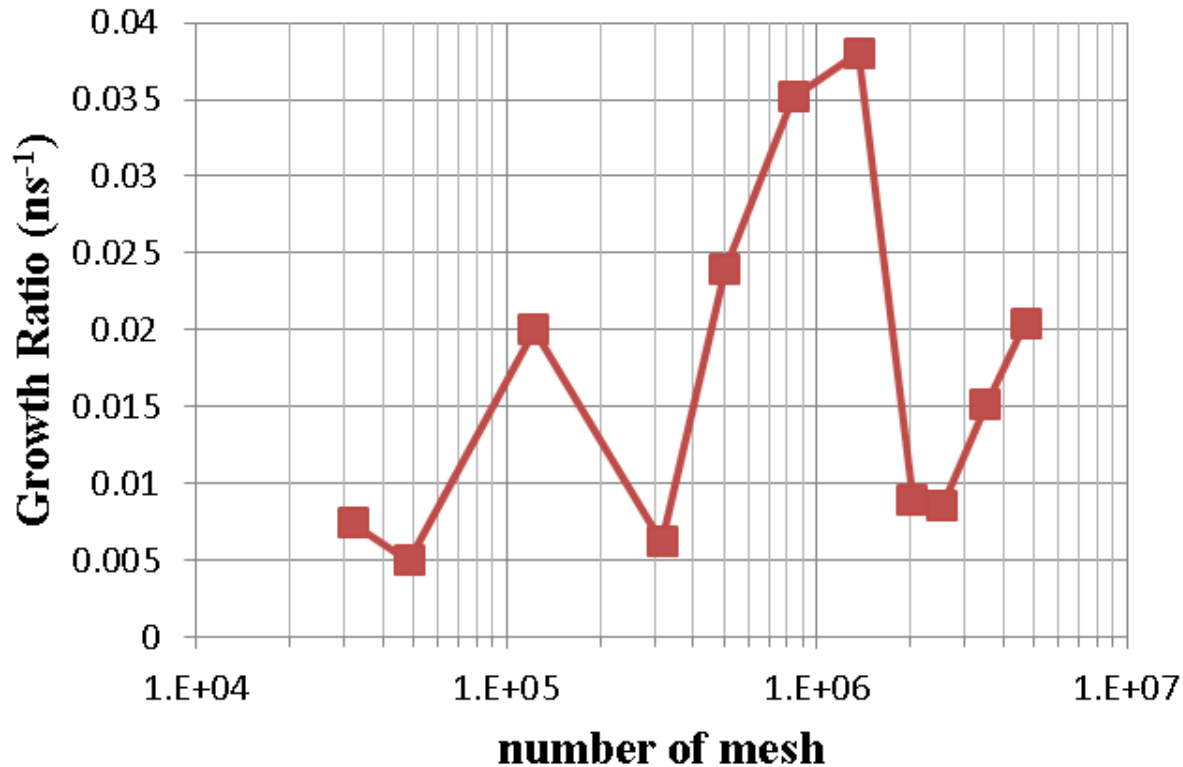
mesh=1370304

画像が保存されず



(2) MPの定量的な評価(続)

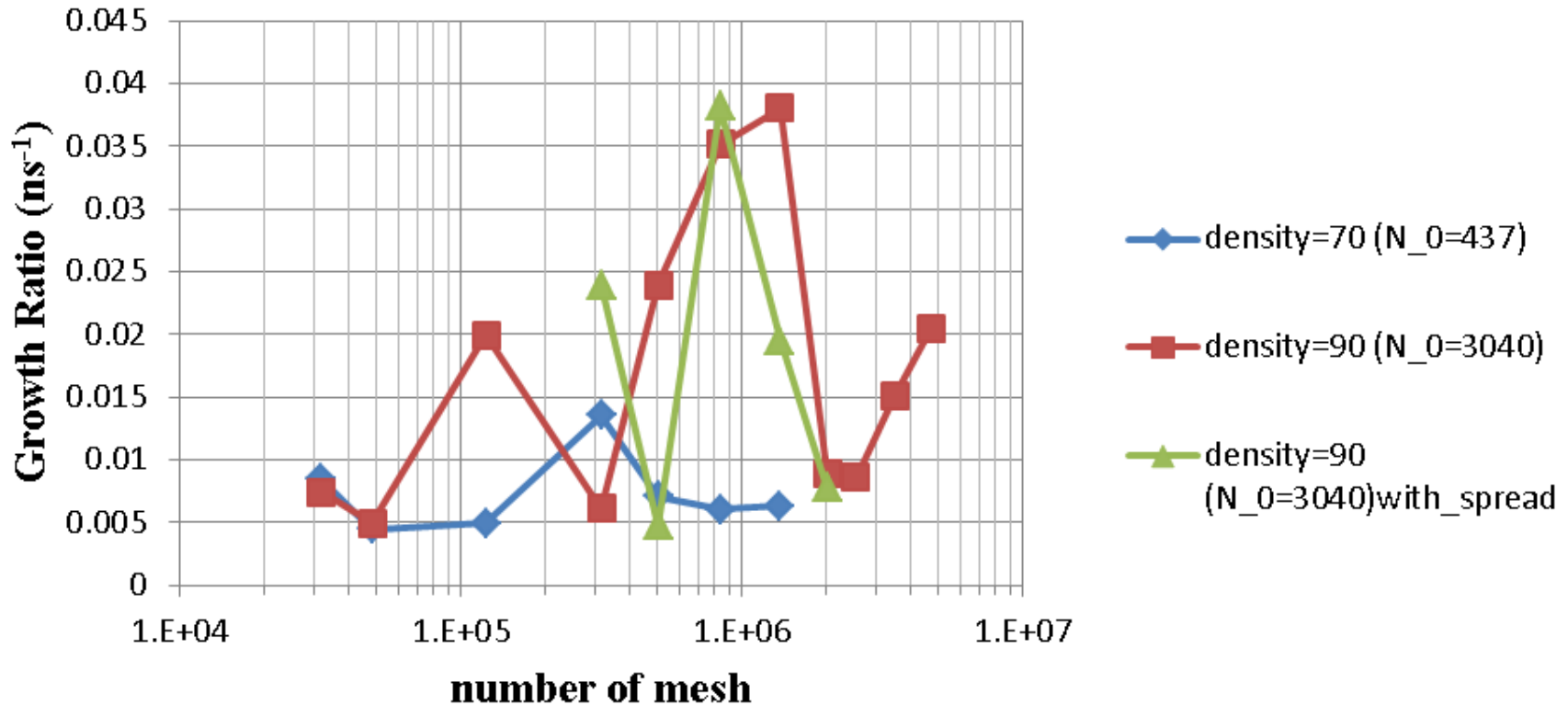
$N_0=3024$ の場合のGRまとめ



Mesh cell数を変えるだけでGRが一桁変わる。もっとmeshを増やせば収束する？

(2) MPの定量的な評価(続)

$N_0=437$, 3024(w/o E spread)のGRまとめ



Mesh cell数を変えるだけでGRが一桁変わる。もっとmeshを増やせば収束する？

まとめ

Macro

- 空洞材量を全てニオブに置き換えるようにした。
- SeMaxGenerationsをinputで設定できるようにし、二次電子の世代数に上限を課した上でTrackingできるようにした（粒子数爆発の問題は一応避けられる）。

MP評価方法

- growth ratio (GR)を使ってMPを定量的に評価しようと試みた。
- GRはMesh数に大きく依存する。
- もう少しmesh数を増やし、GRが収束するか見る必要がある。

IPAC14で仕入れた情報(1)

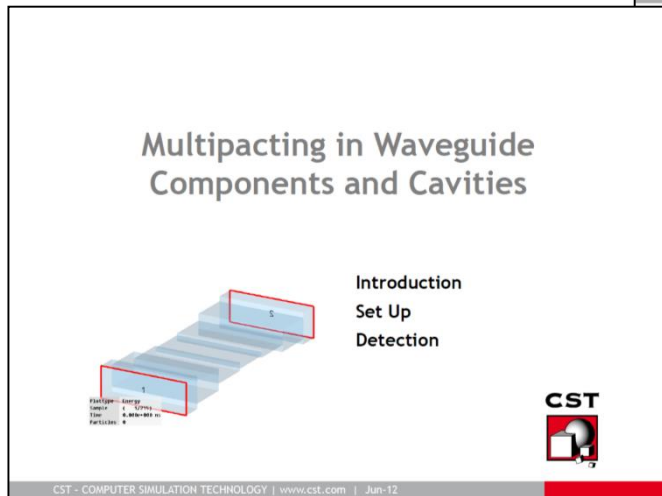
IPAC14でRomanovさん(FNAL)と会い、CSTによるMP simulationについて教わった。以下はRomanovさんの手順。

- ◆ MW studio (MWS)を使い、**tetrahedral mesh**でfieldを計算。2D/3D plotの電場or磁場を表示させ、post processingタブのImport/ExportからfieldのAsciiデータをexport。**fieldのAsciiデータをParticle studio (PS)に取り込む**。
- ◆ PSで壁のmaterialを設定する。Romanovさんの場合、materialはCu、sourceはuniformでK=4eV、primary electronは~1000個。Mesh cell数は $O(10^6)$ 。
- ◆ Trk solverで粒子をtrackingする。Max time stepは10万程度に設定すること。**Temporal sampling rateを50に設定することで、trackingの記録を50stepに1回に減らすことができる**(つまり記録されるのは10万/50=2000だけで済む)。
- ◆ Navigation treeの**collision information table**を使って**平均SEYと平均collision energyを算出する**。 $\langle SEY \rangle = SEY \text{ current} / \text{current}$ 。 $\langle E \rangle = \text{power} / \text{current}$
- ◆ Cstで計算されたfieldは空洞内エネルギーが1[J]になるように規格化されている。これは“factor”という量を変化させることでスケールできる(これは藤澤・久保もやっている)。これにより E_{acc} ごとの $\langle E \rangle$ と $\langle SEY \rangle$ が計算できる。
- ◆ fieldごとに $\langle SEY \rangle$ をplotし、 $\langle SEY \rangle$ が1を超えるfieldをmultipactorが起こるfieldとする。

上記の方法も試してみる必要がある。

IPAC14で仕入れた情報(2)

IPAC14期間中、フランスにいる**Enrico Cenniさん(藤澤さんの後任)**とSkypeでmeeting。CSTによるMP simulation tutorialについての情報提供があった。



Obtaining the Threshold

4. Switch on automatic detection of exponential increase

Visualization of the multipacting detection scheme

- Detection of the exponential increase of secondary electrons leads to solver stop
- Saves time & memory

Source Settings

Mode could be loaded from separate MWS Simulation

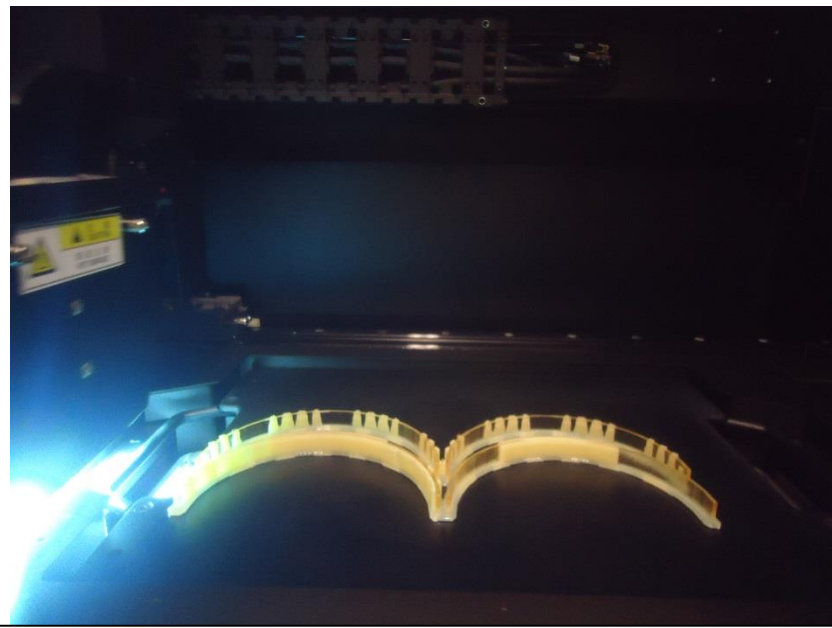
- No recalculation for each parameter run is necessary
- Significant speed up dependent on Mode calculation time
- Initial Phase can be defined in Predefined Field Dialog

Parametric amplitude and initial phase in order to sweep those values to find the threshold for multipacting.

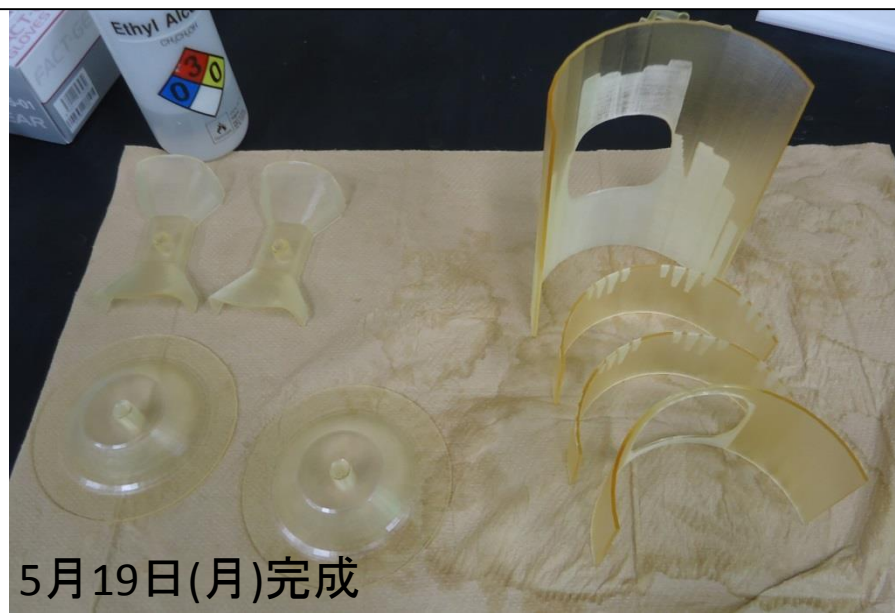
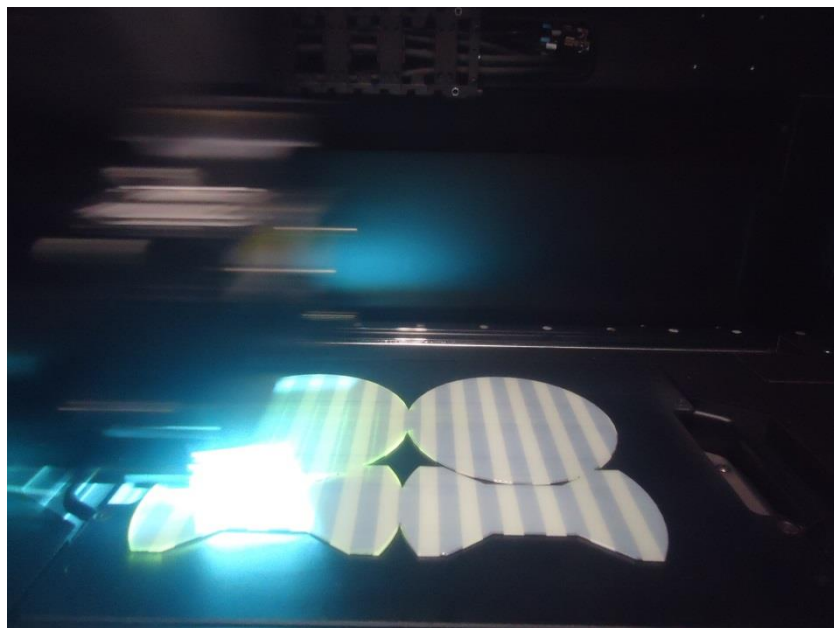
- ◆ MPの計算は、Particle studioのTRK solverだけでなく、PIC solverも使える(Romanov, 藤澤・久保はTRK solverを使用)。
- ◆ 上記のtutorialによると、**PIC solverには粒子数の指数関数的増大を検知して計算を止める機能があるらしい。**
- ◆ PIC solverを使ったMPの計算は既にEnrico Cenniさんが開始している。TRK solverによる結果と比較する予定。

空洞製作関連

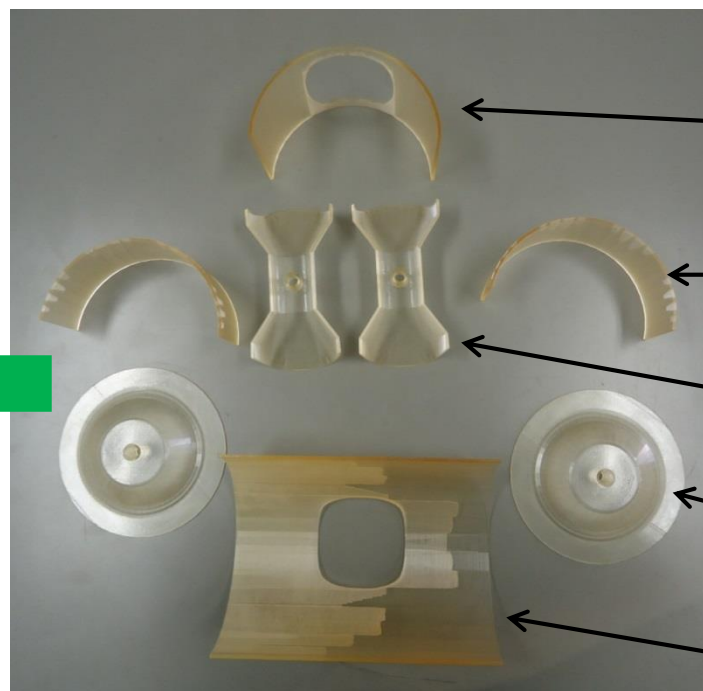
3Dプリンタによるspoke空洞模型(5分の1)の作成



スケールは1/5倍。ただし厚みについてはスケールすると薄くなり過ぎるので2mmとした。



5月19日(月)完成



Half tank (3分割版)
中央部

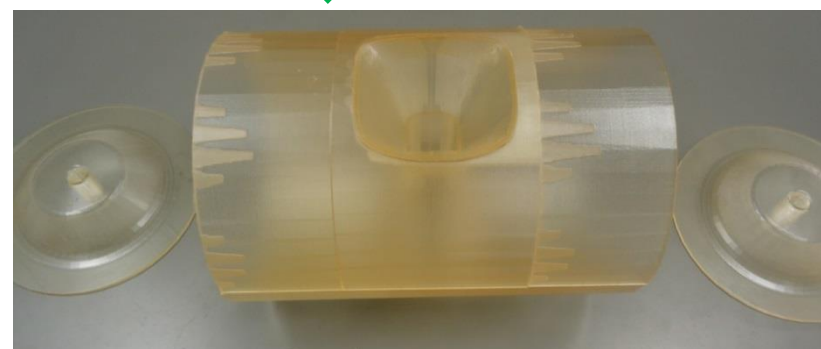
Half tank (3分割版)
端部

Half spoke

End plate

Half tank

※Half tankについては、一枚のものと3分割したものを作ってみた



別の角度から見ると



空洞製作工程を考える際に役立つ予定

今後の予定

- 藤澤さんの後任Enrico Cenni氏が7/1に着任
- 今年度中にMP解析の手法を確立する
- JAEAと協力して空洞製作工程の最適化
- 表面観察の方針を立てる