

# ERLバンチャー空洞の入力カップ ラー関連の計算

2009年9月1日

ERL-ビームダイナミクスWG打合せ

梅森 健成

## はじめに

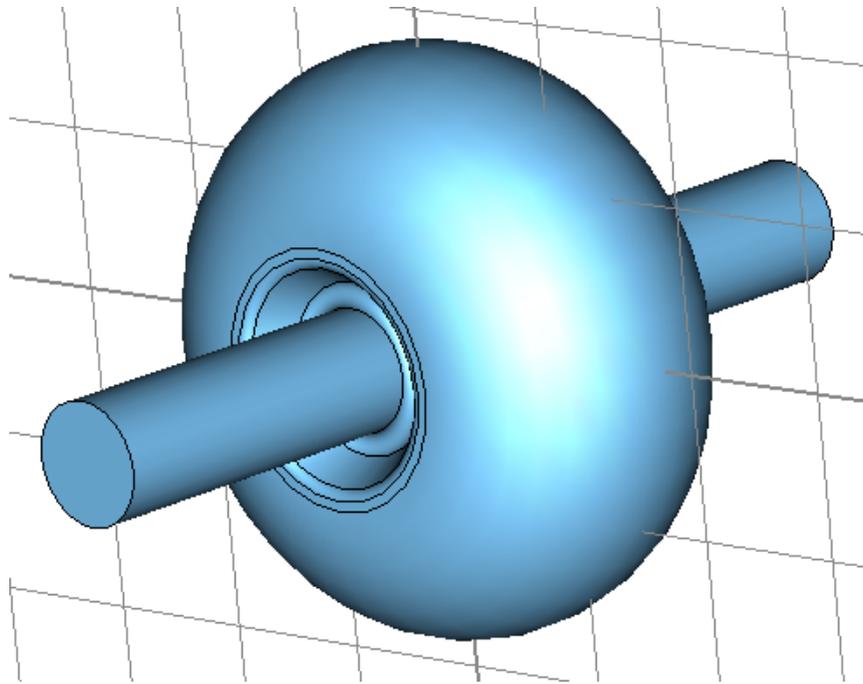
- バンチャー空洞の入力カップラーについての調査
- 目的のひとつは $Q_{ext}$ の計算(カップラーの突き出し量を求める)
- もう一つの目的は、入力カップラーによる横方向キックの効果を検討すること。
- このキックをキャンセルできるような真空ポートの設計を検討する。

[お断り] 発表中の数値は具体的な横方向のキック量にはなっていません。現段階では、横方向電場や磁場の大きさを評価しています。

# 今回のMW-studioでの計算について

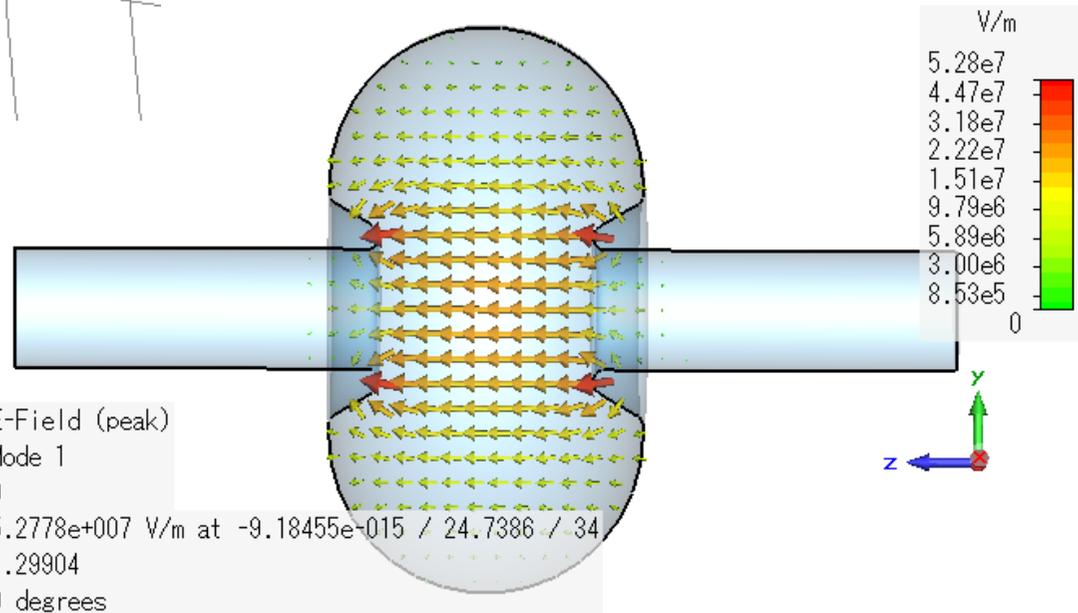
- MW-studioはTotal energy(Stored energy)を1Jに規格化して計算する。この発表資料での数値は全て、この1Jでの数値なので気をつけてください。
- Qextは固有値計算のソルバーで評価した。
  - 固有値計算をした後、再度Qext評価のために複素数計算をしている様子。たぶん正しくポートとして扱われている。
  - 以前行ったアンテナ型カップラーでの計算では、S-para計算の結果と非常に良く一致した。実機ともだいたい一致。
- 入力ポートの終端はMagnetic境界としている。
  - 結果はだいたい正しいと思われるが、Magnetic境界とするのが本当に正しい選択かどうかは、要確認。
- 位相は電場最大が0度。本資料中の電場分布は電場は0度の時の分布、磁場は90(270?)度の時の分布を示している。
  - 実際には、MW-studioのポストプロセッサでの処理において、電場はReal, 磁場はImgで値を取ってきている。

# ERLバンチャ空腔 (ポート無し)



Frequency	1299.04MHz
R/Q( $\beta=1$ )	232.5
R/Q( $\beta=0.863$ )	194.7
R/Q( $\beta=0.8$ )	173.4
Unloaded Q	25102
Total(stored) energy	1 J
Voltage (Vo)	1.77 MV
Cavity loss	325 kW

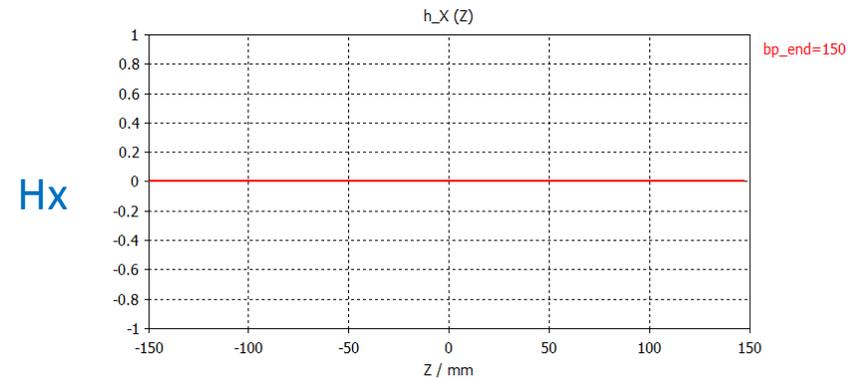
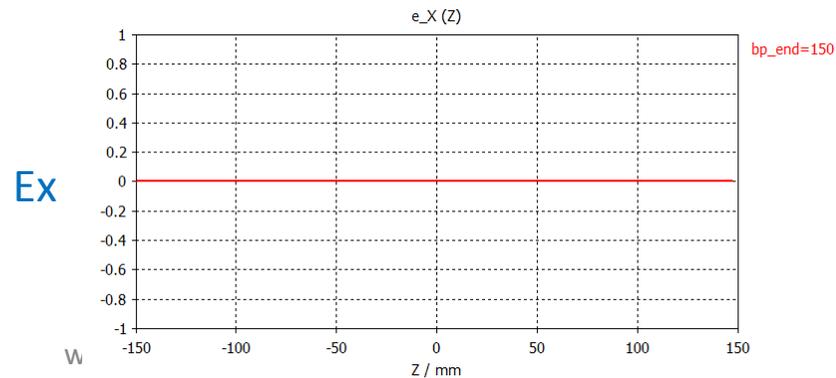
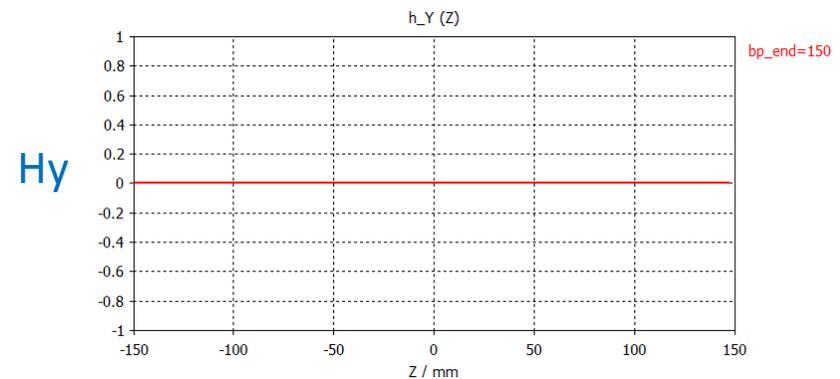
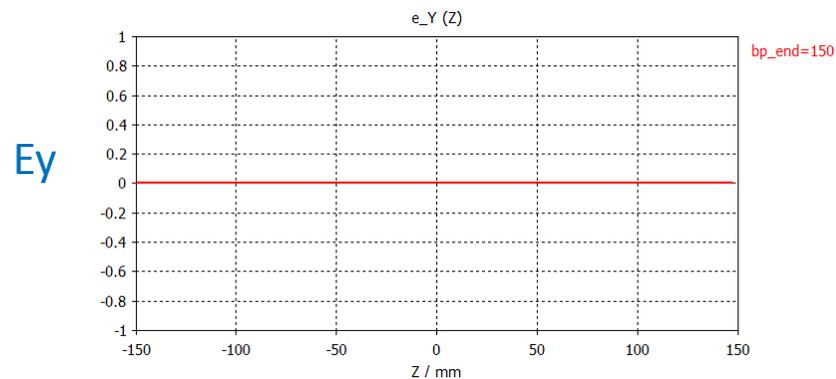
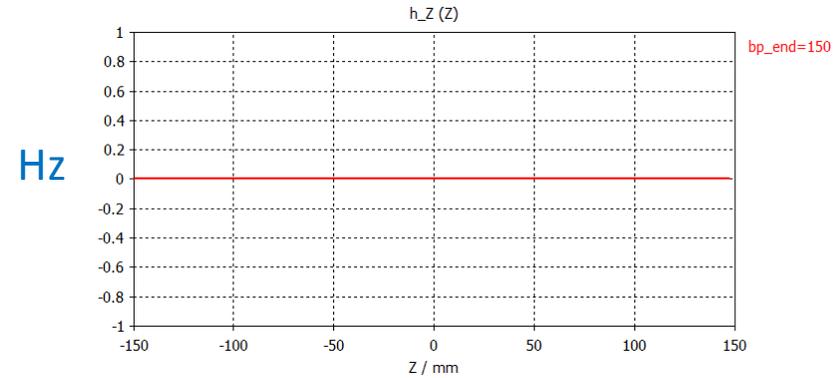
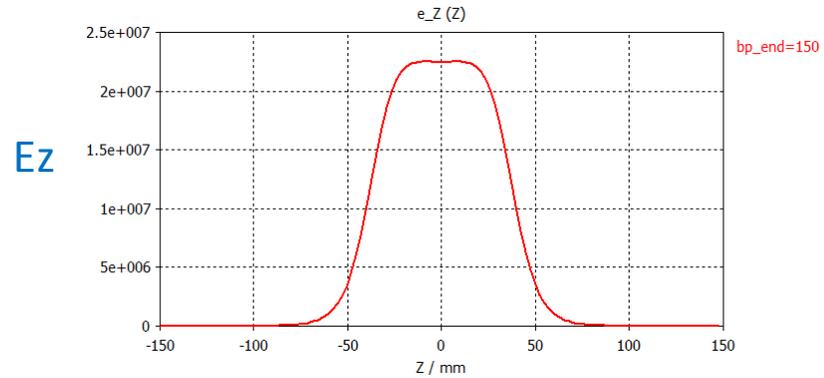
※ 高橋さんの設計値とほぼ一致  
 ※ MW-studioは1Jに規格化して計算するので、数値には注意



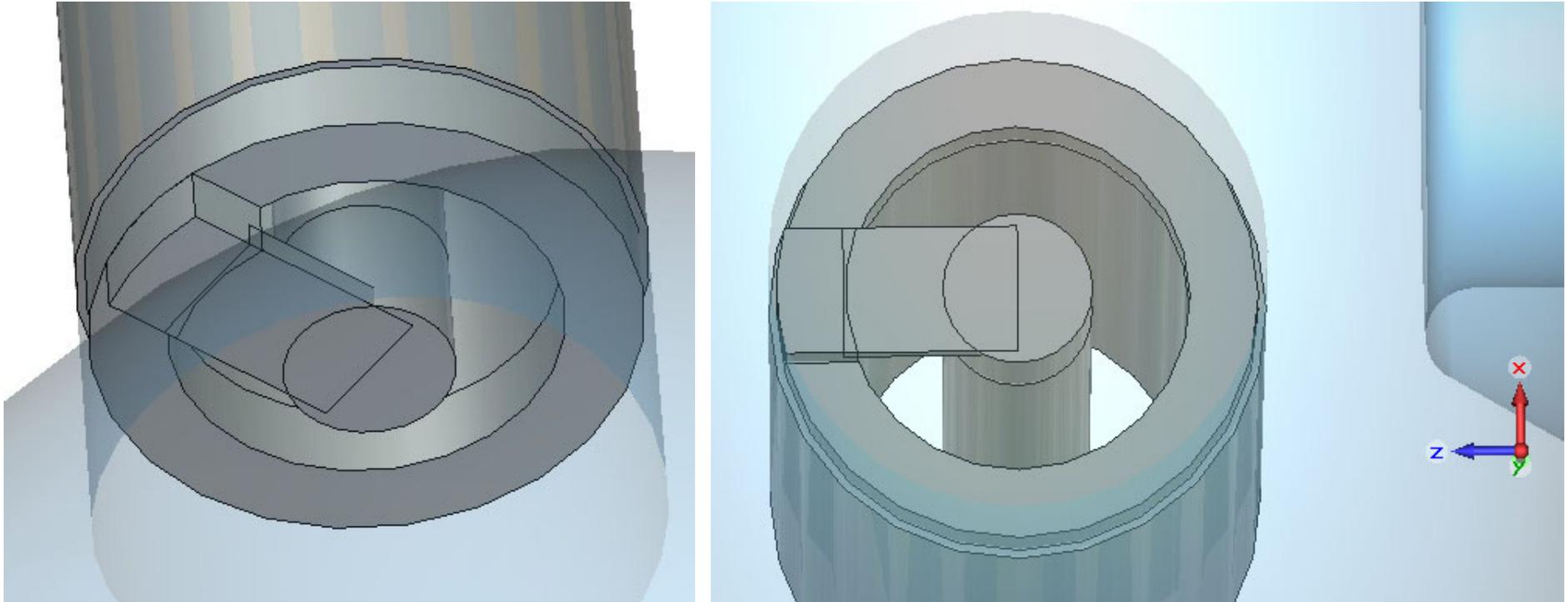
Type E-Field (peak)  
 Monitor Mode 1  
 Plane at x 0  
 Maximum=2d 5.2778e+007 V/m at -9.18455e-015 / 24.7386 / 34  
 Frequency 1.29904  
 Phase 0 degrees

# ビーム軸上 ( $X=0, Y=0$ )でのE, Hの分布

[単位] 縦軸:[V/m]または[A/m] 横軸:[mm]



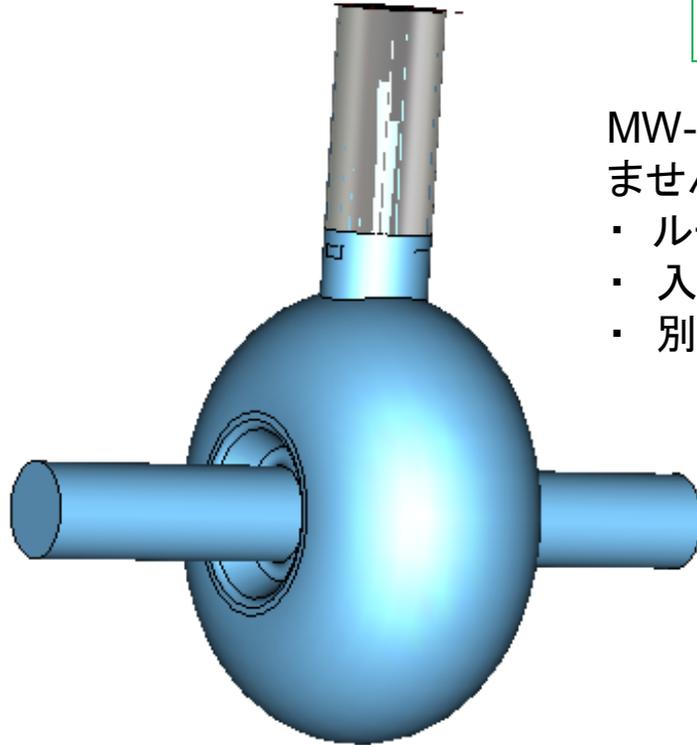
# Loop couplerのシミュレーション



- ・ 7/27の打ち合わせの際にいただいた図面を元にして、ループカップラーの形状を入力
- ・ 内導体から外導体に渡っている板(図面に寸法記入無し)は、高橋さんと相談の上、幅10.8mm、厚さ2mmとしてある。

# まず最初に... Input port長さを確認

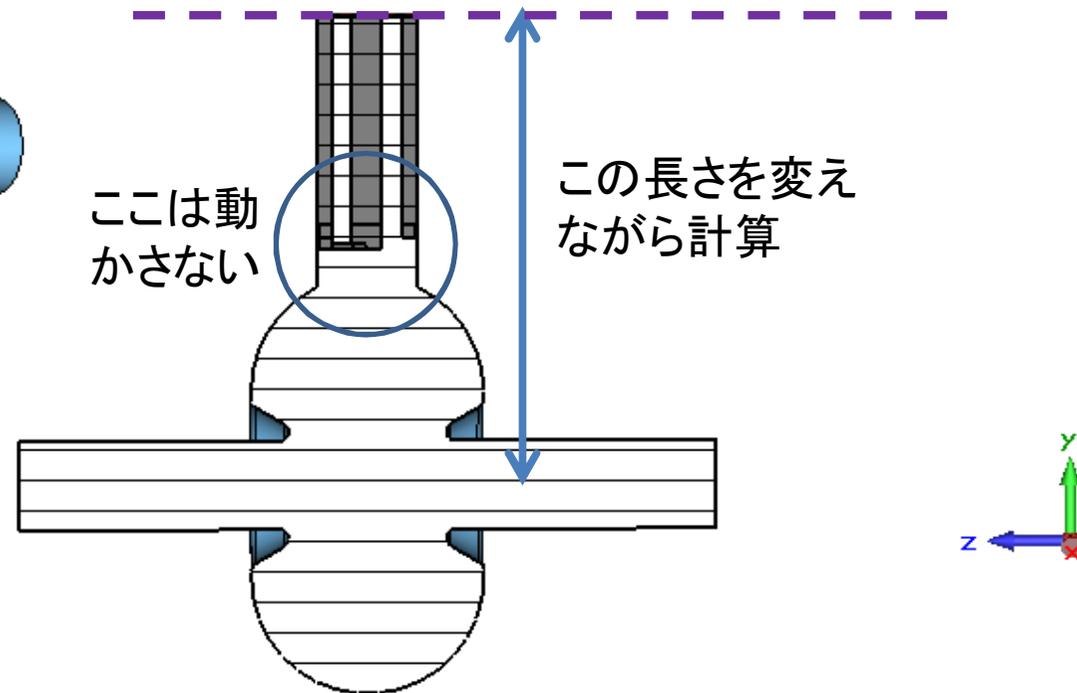
Coupler先端を適当な位置に固定して、入力ポートの長さを変えてみるとQextへの依存性が見られる。



Z軸:ビーム方向  
Y軸:入力カップラー方向  
X軸:Z, Y軸に垂直な方向

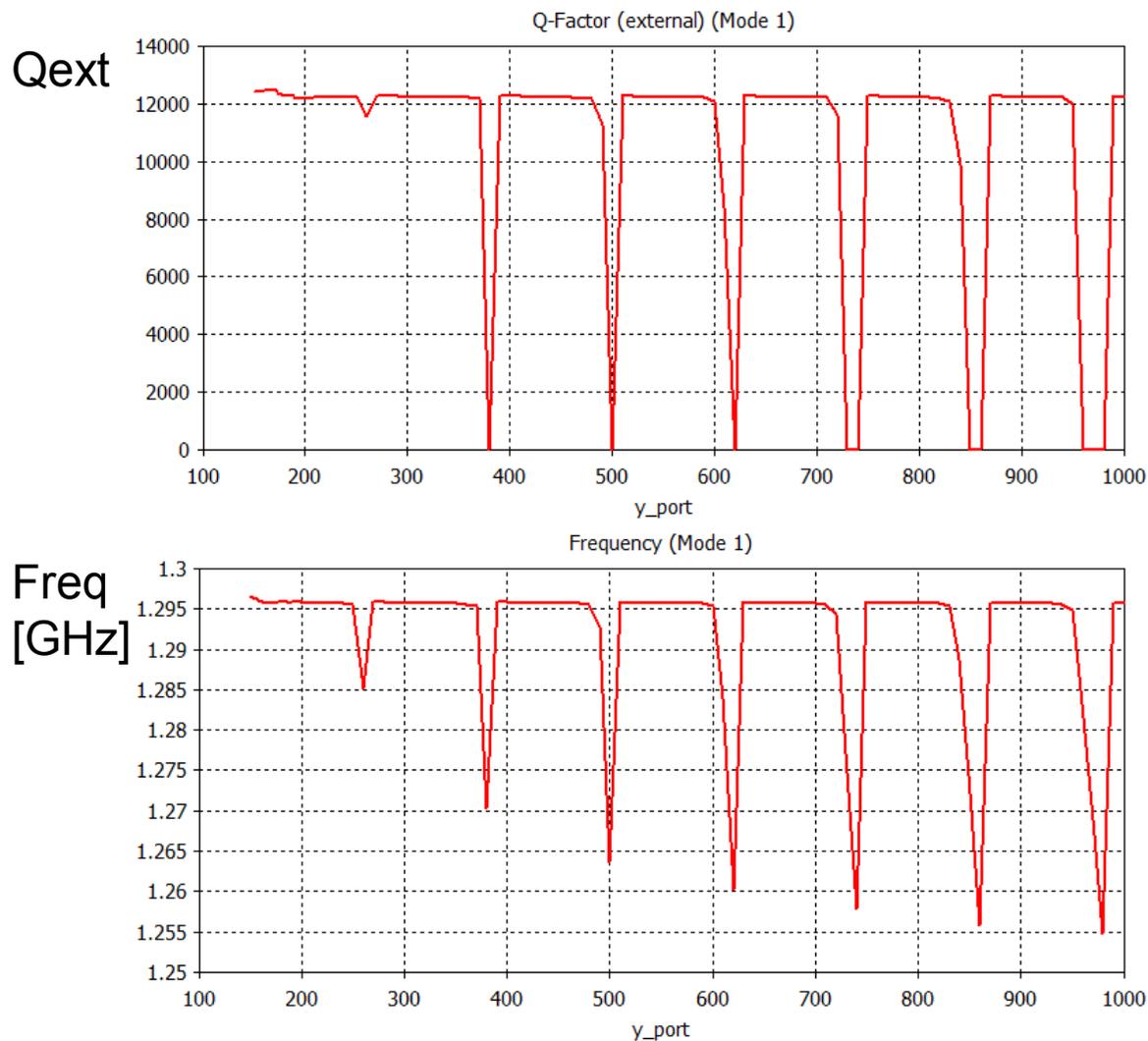
MW-studioの理解の浅いところで、原因の詳細はまだ調査できてませんが、想像では...

- ・ ループで乱されたフィールドがきれいなTEMになっていない??
- ・ 入力ポート終端をMagnetic境界にしているのが良くない??
- ・ 別の伝送モードによる入力ポート部での共振モード??



# Qextと周波数の入力ポート長への依存性

Coupler位置は-15.9mm、ループはビーム軸方向(Maximum coupling)で計算

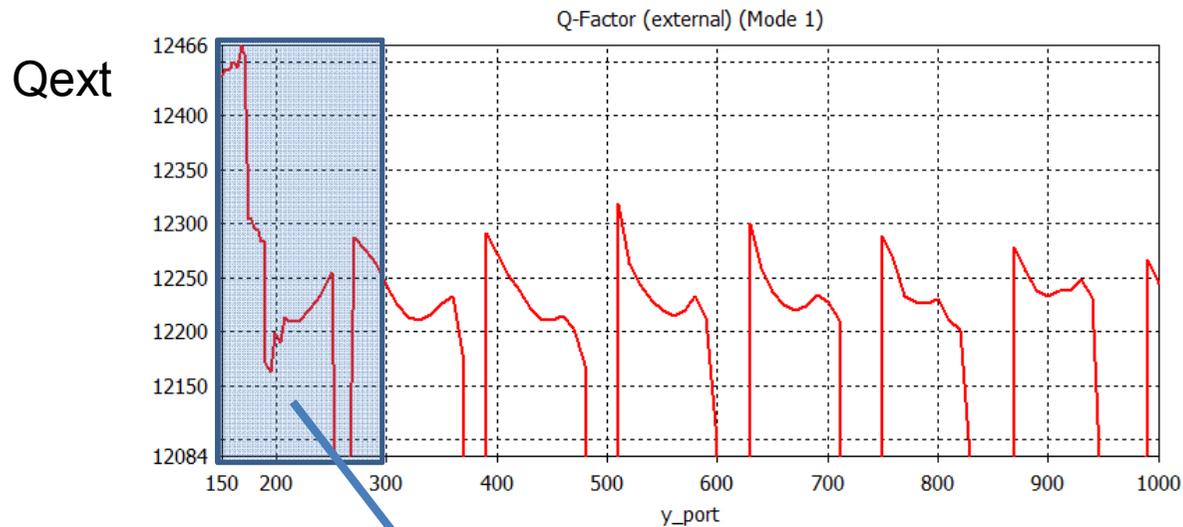


半波長ごとにQextと周波数が大きく変化している。

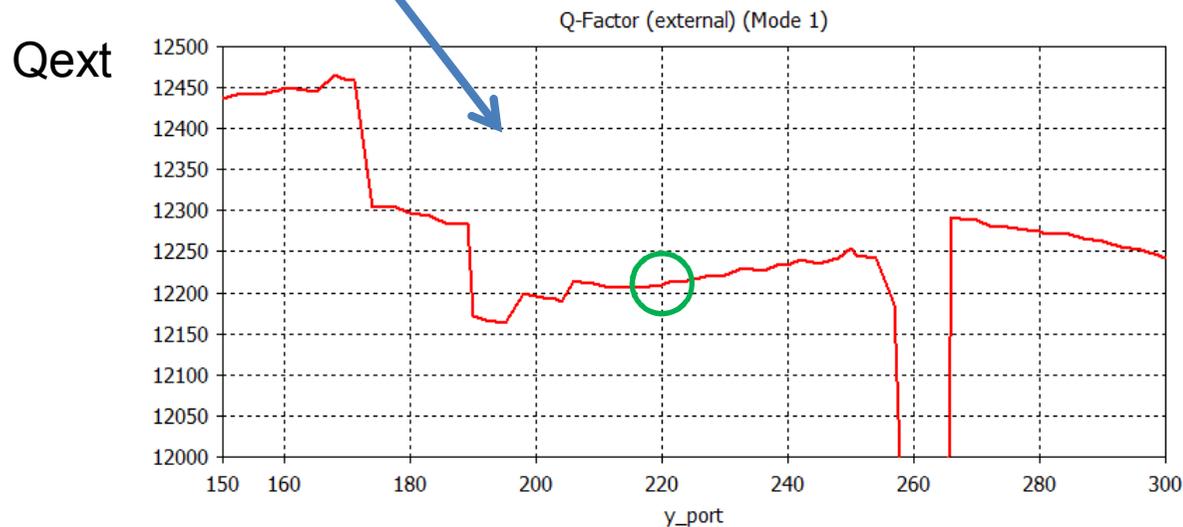


境界の選び方の問題??  
ポートのところに定在波が立っている??

横軸: 空洞中心から入力ポート終端までの長さ[mm]



前ページ上図の拡大図  
 半波長毎のドロップを除けば、  
 $Q_{ext}=12500\sim 12200$ ぐらい。  
 ポート長を選べば数%程度  
 の誤差では計算できそう。

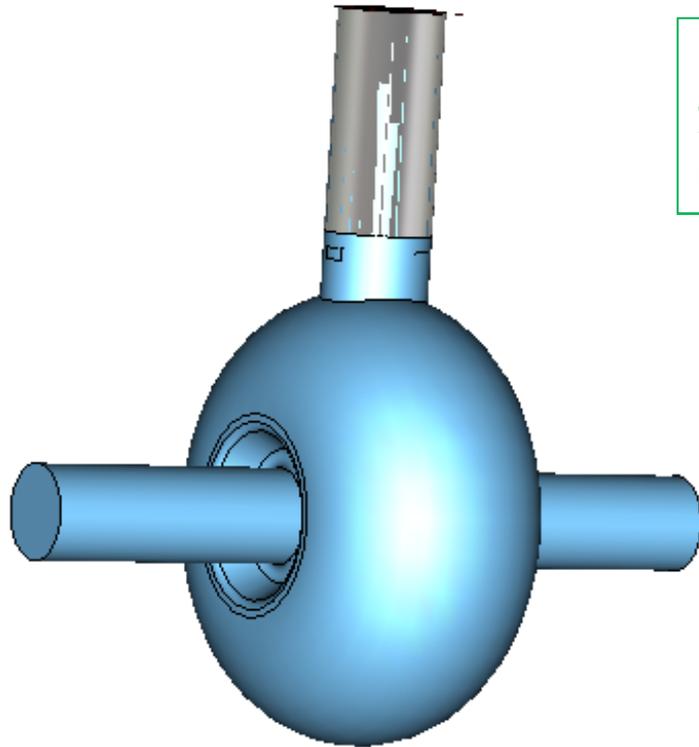


上図の拡大図

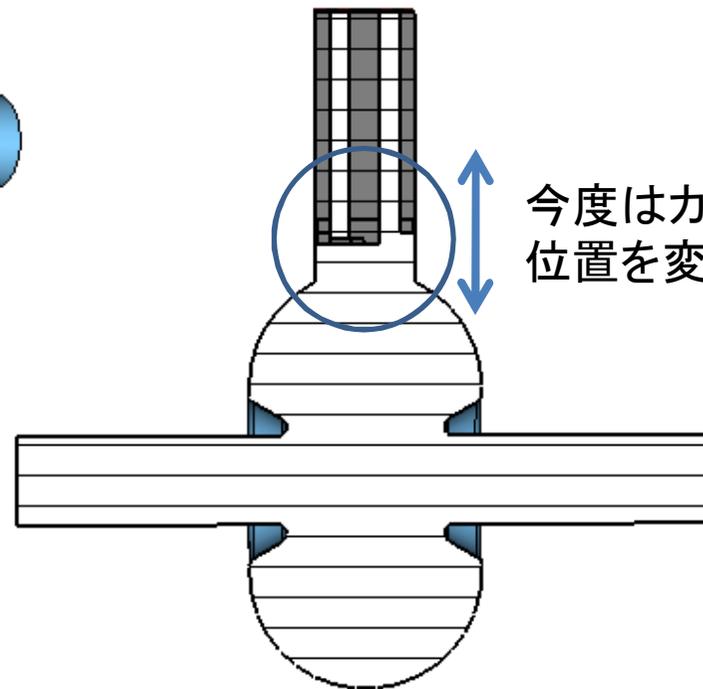
比較的安定な220mmを入力  
 ポート長さとして、これ以降の  
 計算を進めることにする。

横軸：空洞中心から入力ポート終端までの長さ[mm]

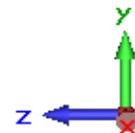
# 次に... Qext vs Couplerの突き出し量



空洞のunloaded Qが約25000なので、ループの  
カップリング最大の時に $Q_{ext} \sim 12500$ となるcoupler  
の突き出し量(引っ込み量)を求める

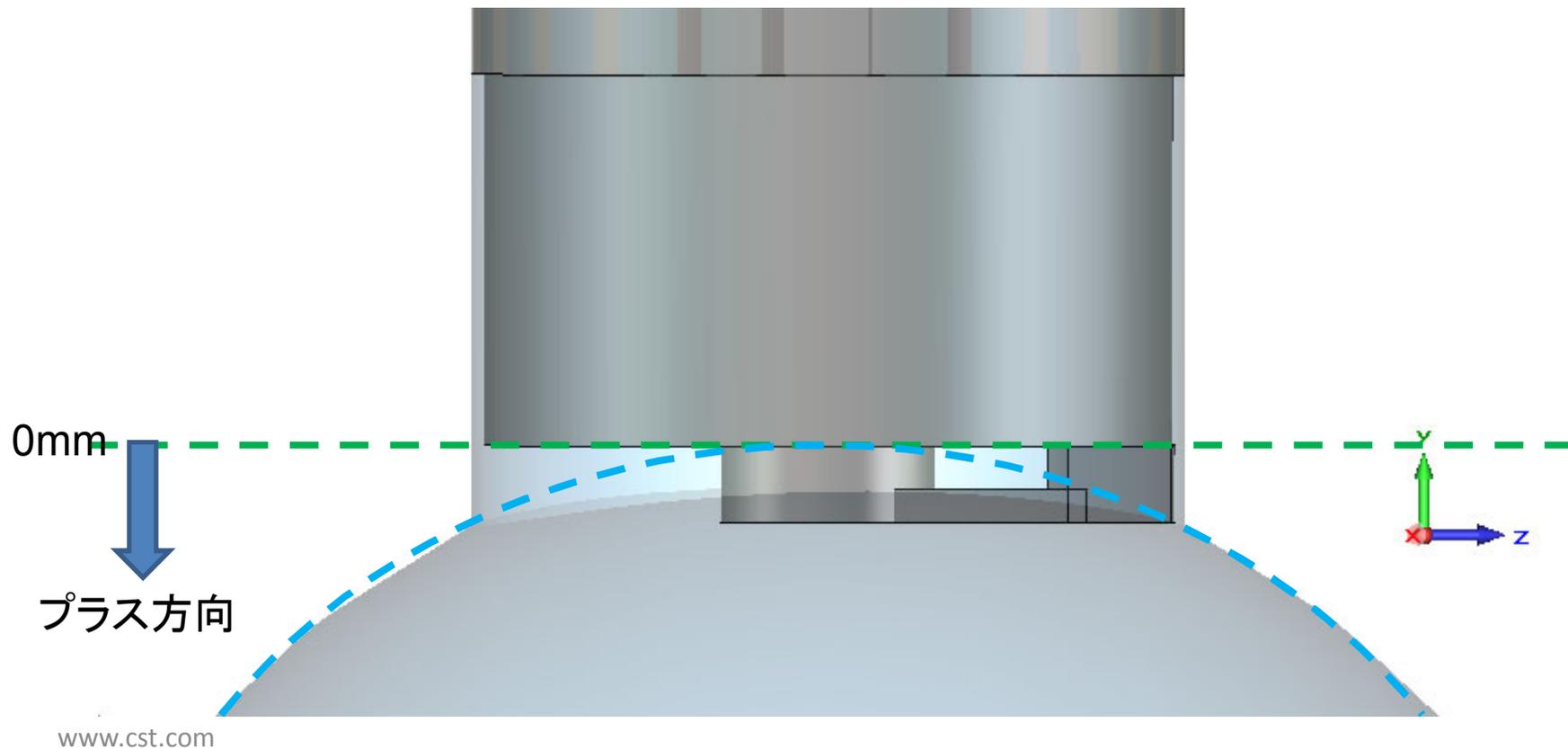


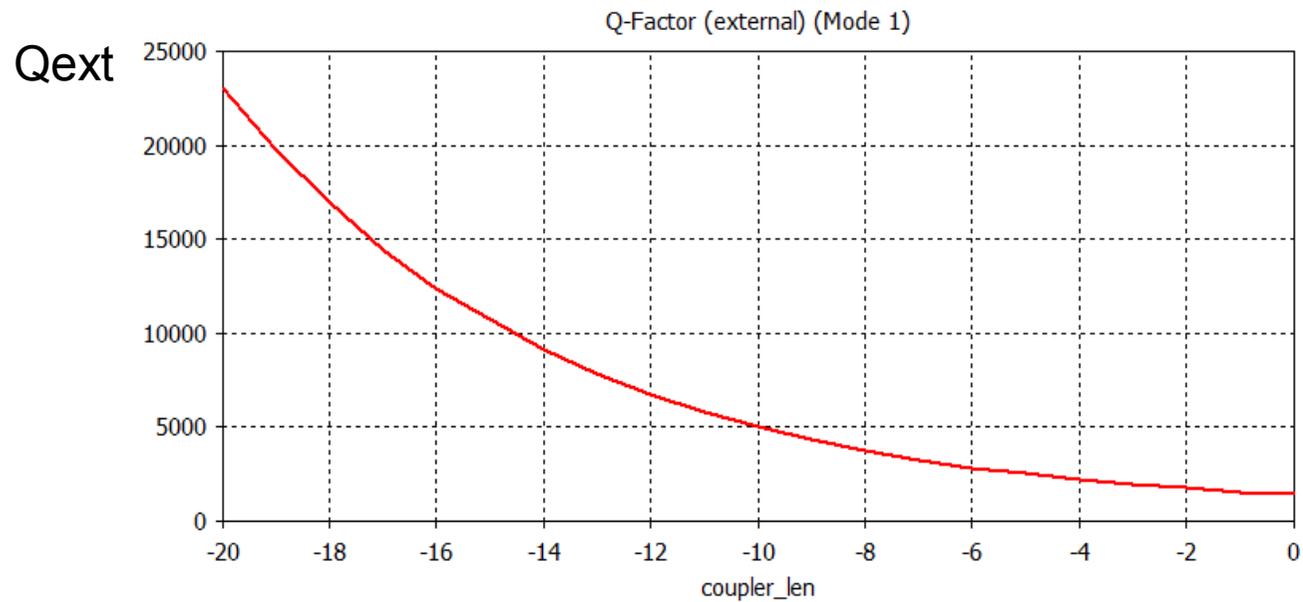
今度はカップラー先端の  
位置を変えながら計算



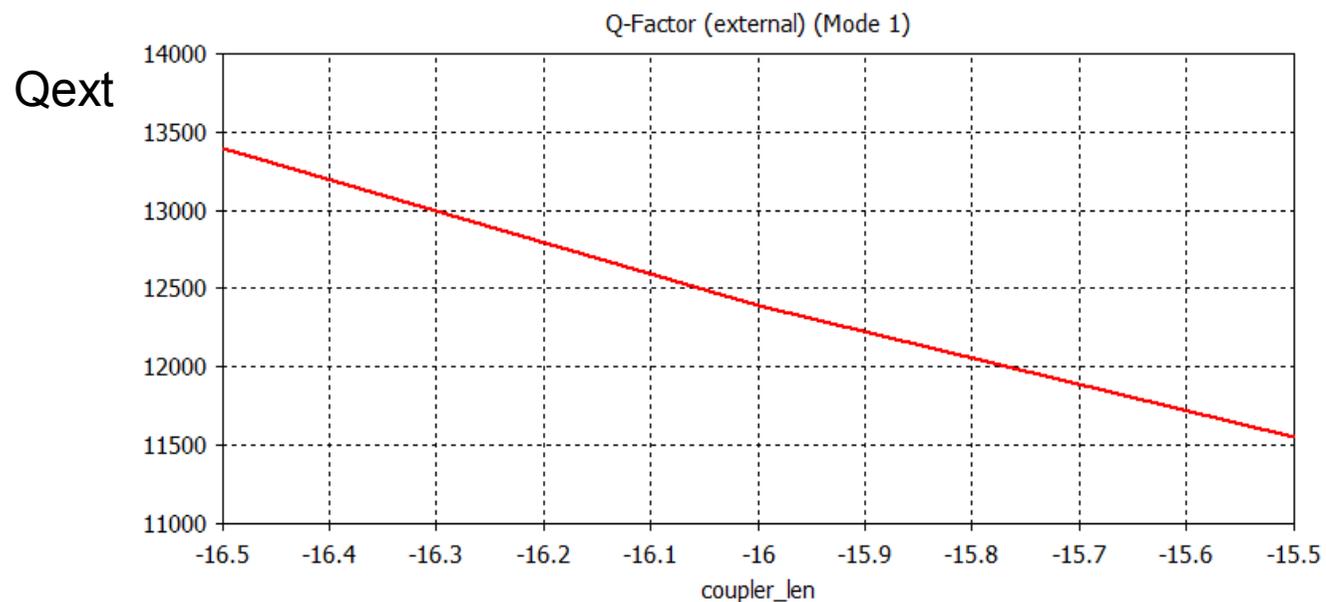
# Coupler突き出し量の定義

- ※ 下図の緑の点線位置が空洞中心より90mm(=ポート無しの場合の空洞外周に接する位置)の位置をCoupler突き出し量0mmと定義する。
- ※ プラス方向は空洞中心側へ突っ込んでいく方向
- ※ マイナス方向は引き抜いていく方向





Qext vs  
Coupler突き出し量



上図の拡大図

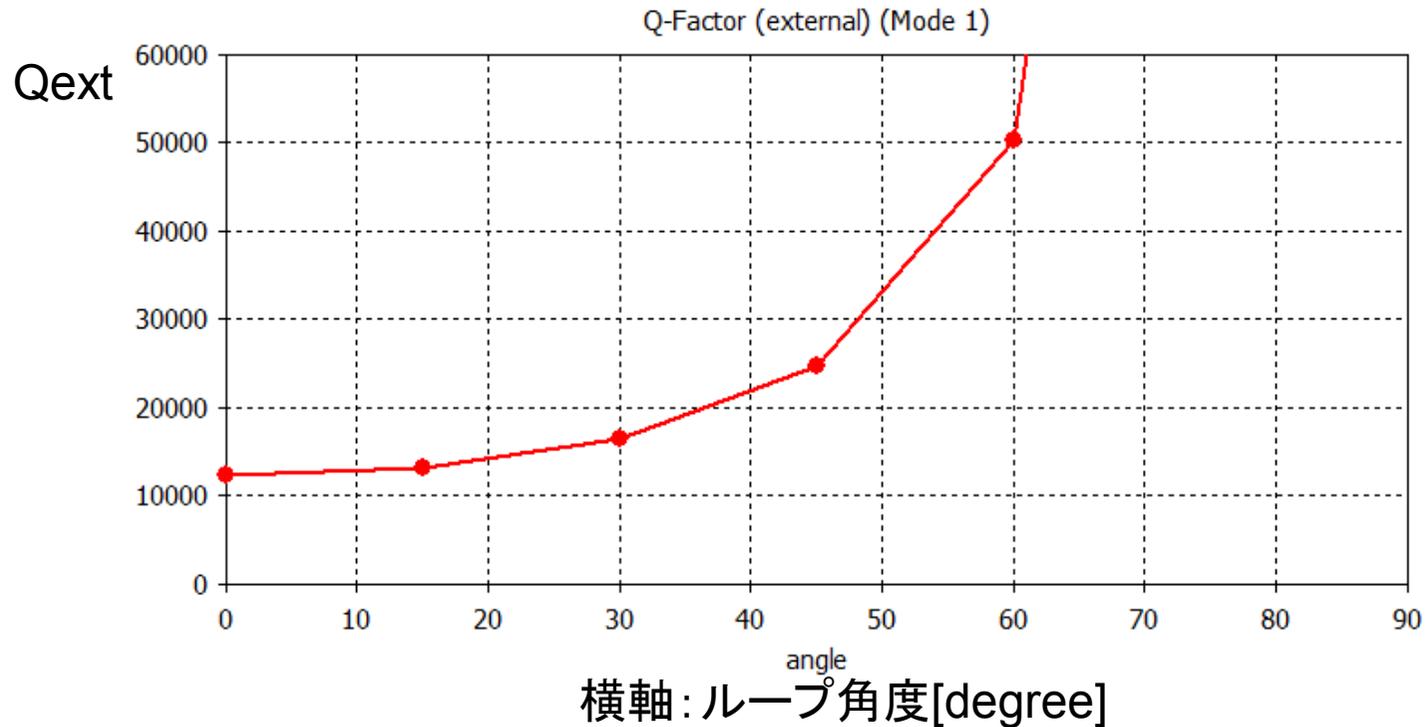
-16mmでQext=12392

ちなみに  
-20.5mmでQext~25000  
-20.0mmでQext~23000

横軸: カップラー突き出し量[mm](マイナスは引っ込み側)

# Qextのループ角度への依存性

ループ角度は、ビーム軸方向(=Z軸方向)を0度とした  
0度の時、Max. Couplingになる

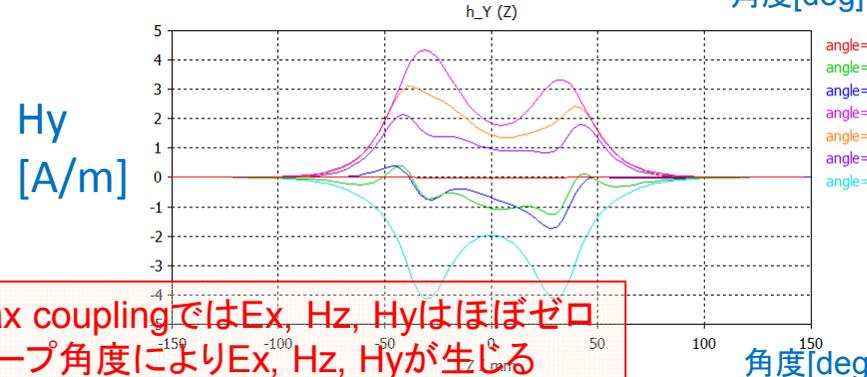
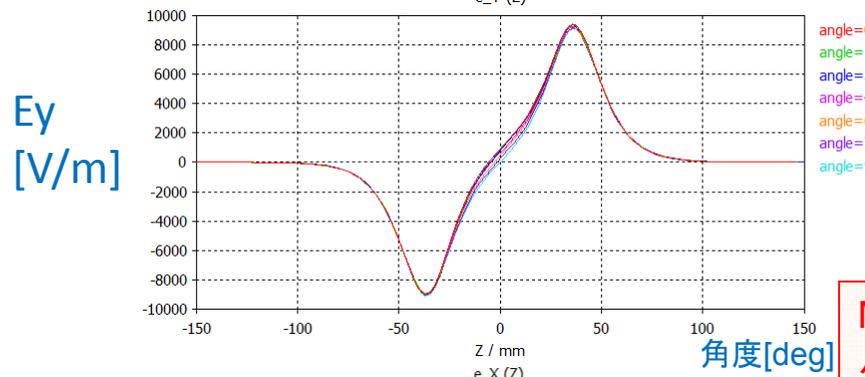
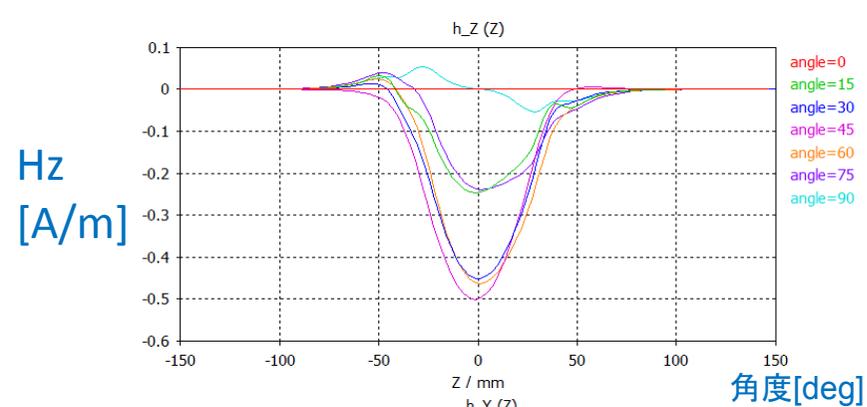
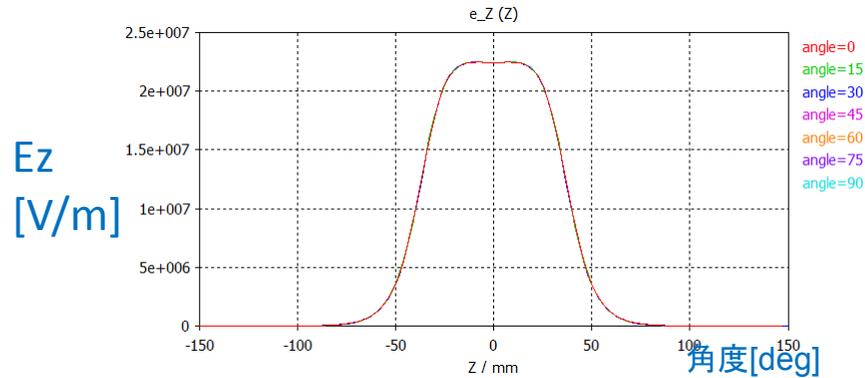


Couplerのループ角度を45度にすれば、 $Q_{ext}=24780$  ( $\beta \sim 1$ )となる

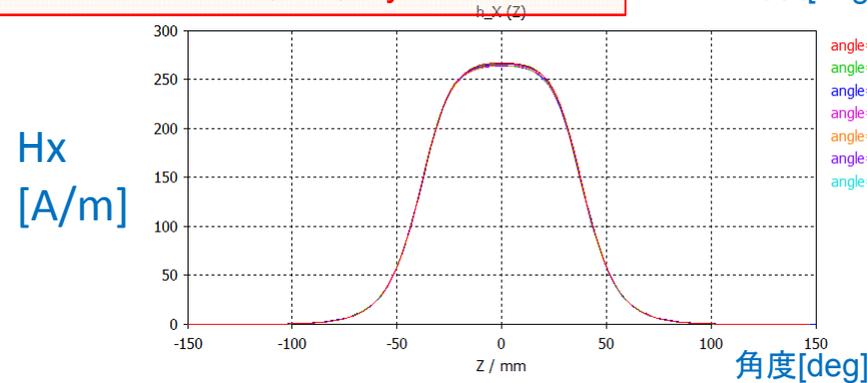
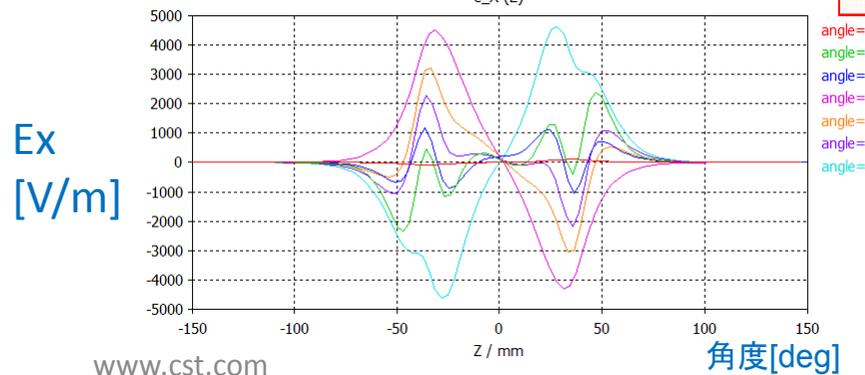
# ビーム軸上 (X=0, Y=0)でのE, Hの分布

[単位] 縦軸:[V/m]または[A/m] 横軸:[degree]

ループ角度依存



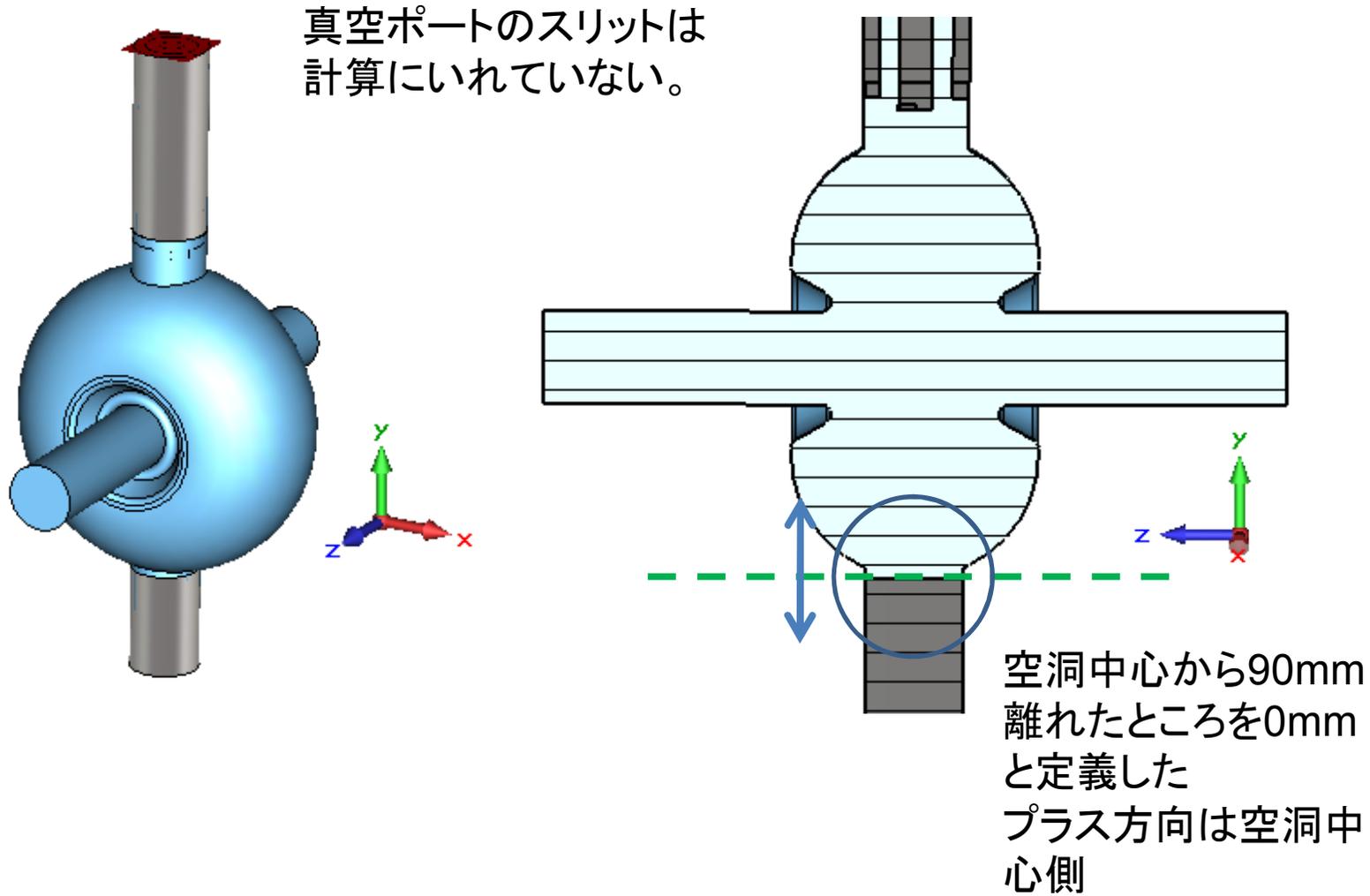
Max couplingではEx, Hz, Hyはほぼゼロ  
ループ角度によりEx, Hz, Hyが生じる



## 議論(ループ角度による横方向キック)

- Max coupling(ループ角度がビーム軸=Z軸に平行)の場合、 $E_y$ 、 $H_x$ 成分を作る。
  - Y軸は入力カップラーの方向
  - この成分は真空ポートの設計により、(ある程度は)キャンセル可能。
- ループ角度を持たせた場合には、 $E_x$ 、 $H_y$ 、 $H_z$ 成分が生じる。
  - この成分は、Y軸上にある真空ポートでは対処できない。
  - X軸上に2か所あるチューナーの非対称によっては、ある程度は対処可能。ただしチューナー制御の自由度が失われる。
- また、ループ角度を変えた場合に、角度に応じてキック力が変わることになる。
- ちなみに、45度ループの場合の $E_x$ 成分は、チューナーの突っ込み量で3.6mm相当の振幅を持っている。
- ただし $H_y$ 成分が小さいので、影響は少ないのかも??
  - 横方向のキック力として数値あたります。(次の課題)

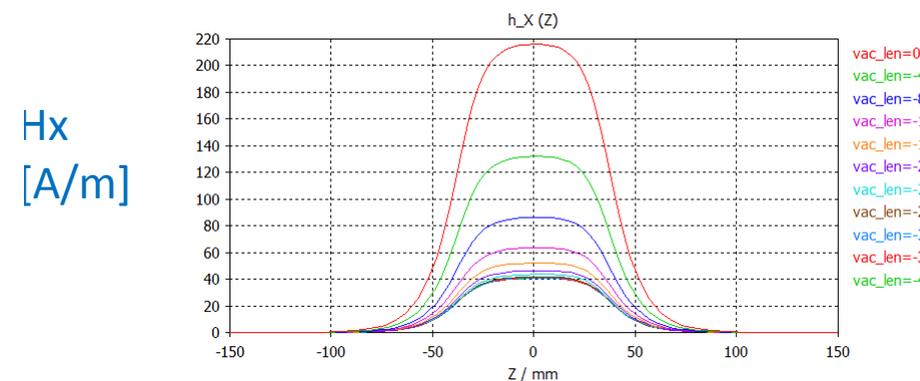
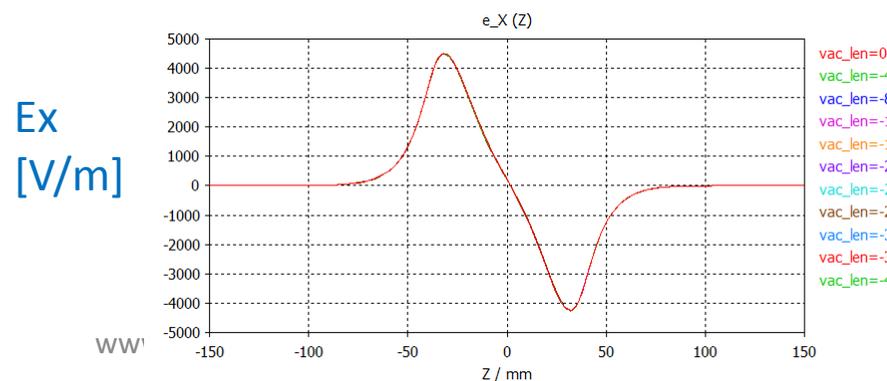
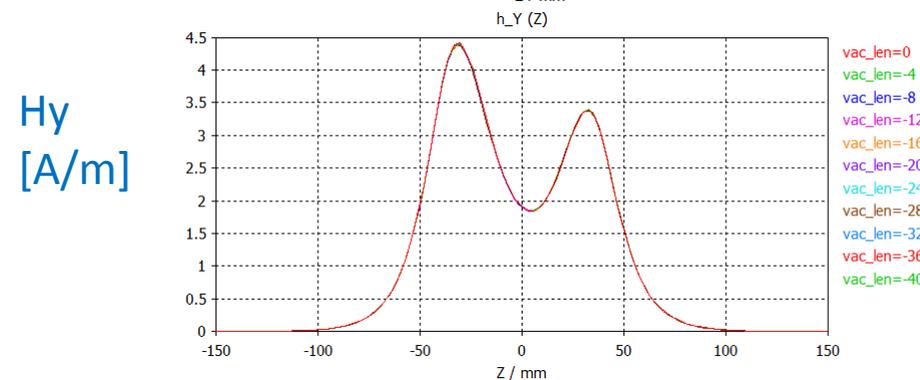
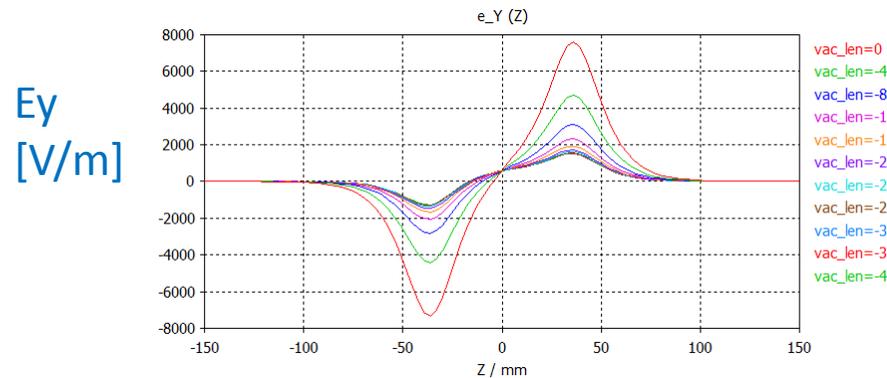
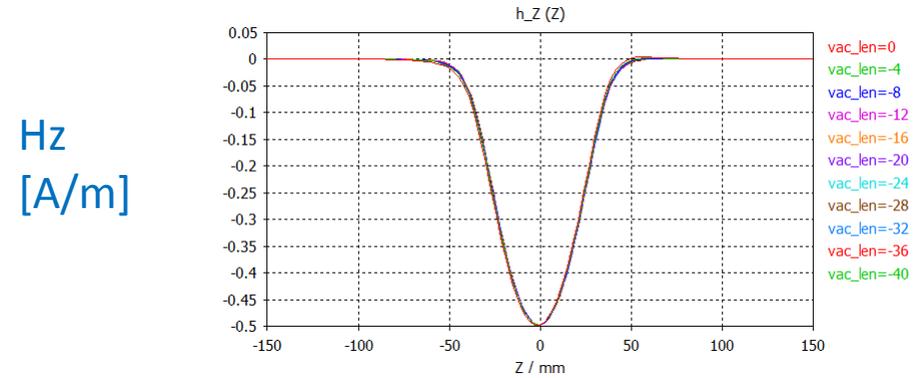
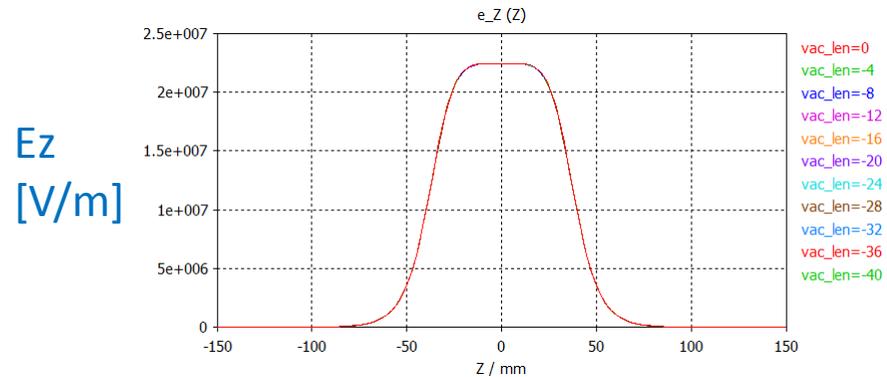
# 真空ポートを取りつけて、キックをキャンセル



# ビーム軸上 ( $X=0, Y=0$ )でのE, Hの分布

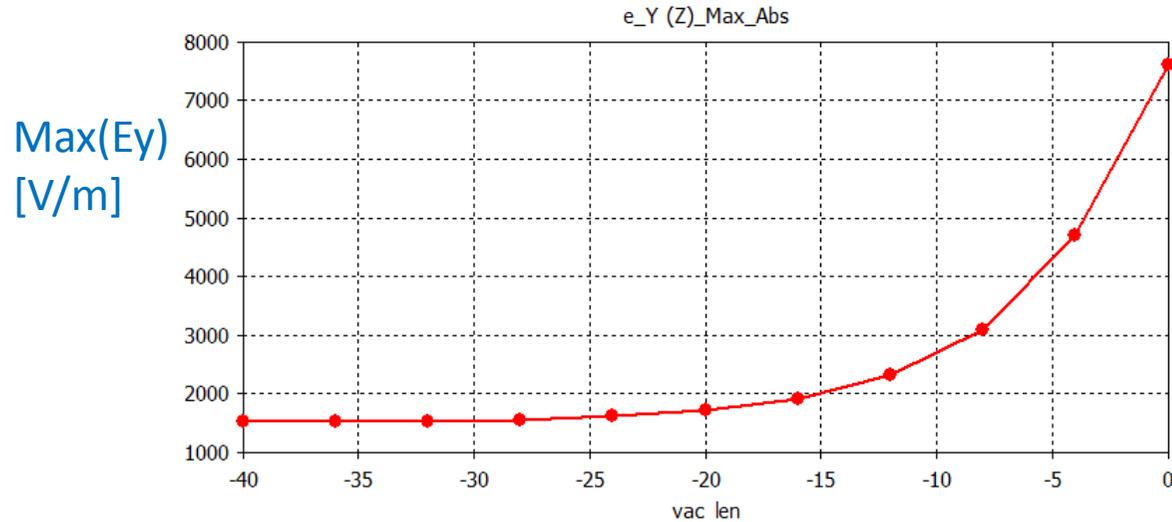
[単位] 縦軸: [V/m]または[A/m] 横軸: [mm]

真空ポートへの依存性

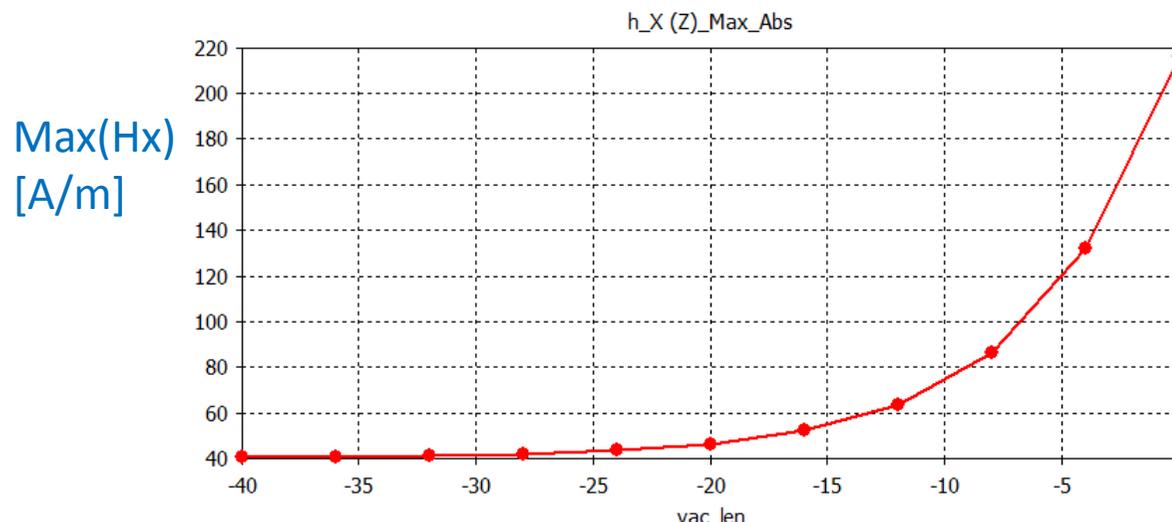


# Ey, Hxの最大値の真空ポートへの依存性

[単位] 縦軸:[V/m]または[A/m] 横軸:[mm]



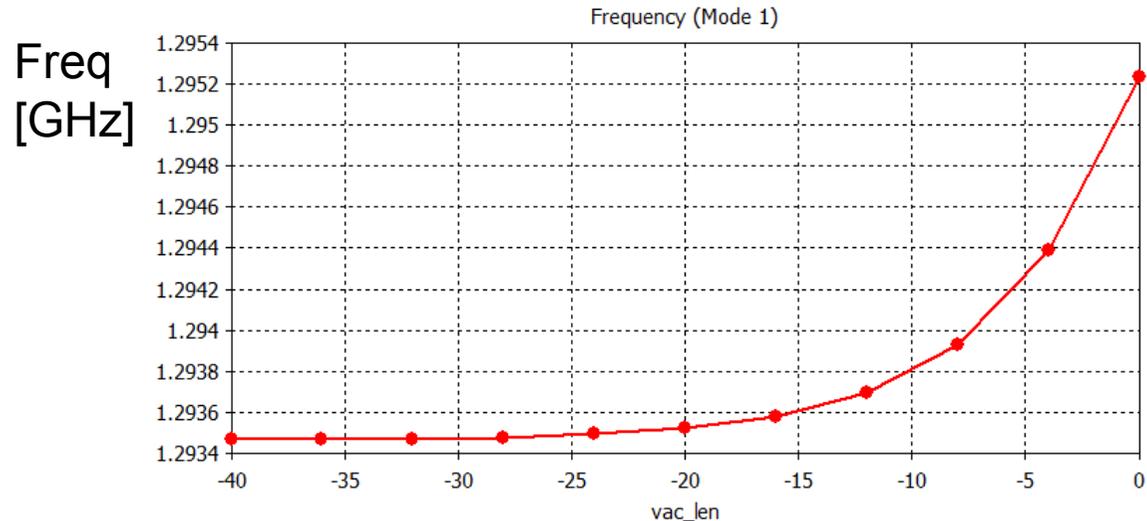
真空ポートをへこませていくと、 $E_y$ ,  $H_x$ の値は次第に小さくなっていくが、-20mm程度のところでサチる。



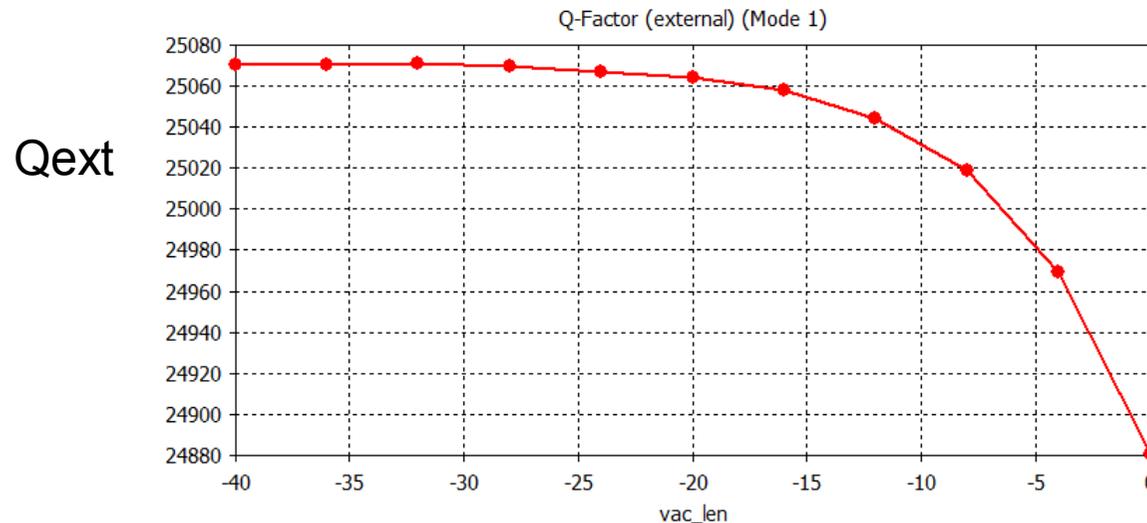
カップラーポートに比べ、 $\Phi 40$ mmの真空ポートでの摂動が小さいため、完全にキャンセルするところまでは持って行けていない。

横軸: 真空ポート突き出し量[mm](マイナスは引っ込み側)

# 真空ポートの周波数、 $Q_{ext}$ への影響



真空ポートをへこませると (=チューナーと同じ) 周波数は2MHz程度ずれる。もともと入力カップラーポートの影響で1.3GHzからずれていたことにも注意



$Q_{ext}$ への影響は1%程度なので無視できる。

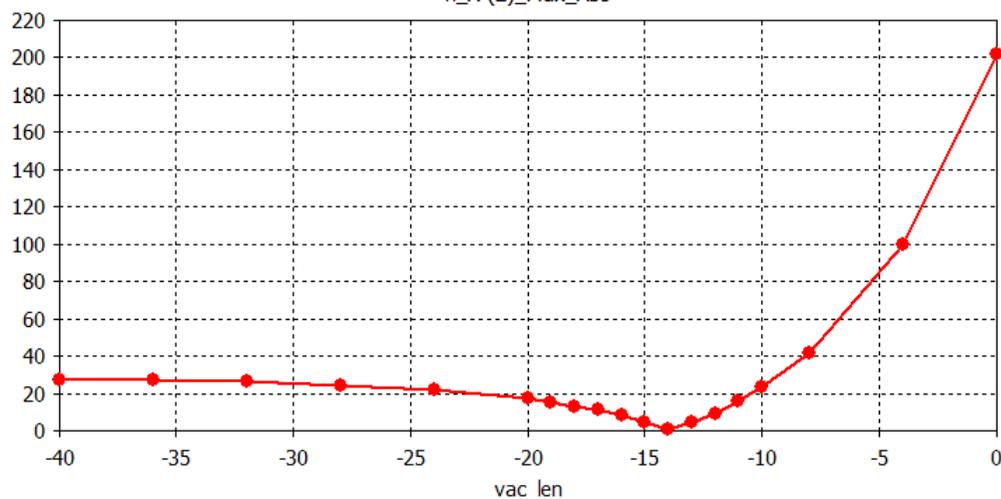
横軸: 真空ポート突き出し量[mm](マイナスは引っ込み側)

## 議論(真空ポートによるキックのキャンセル)

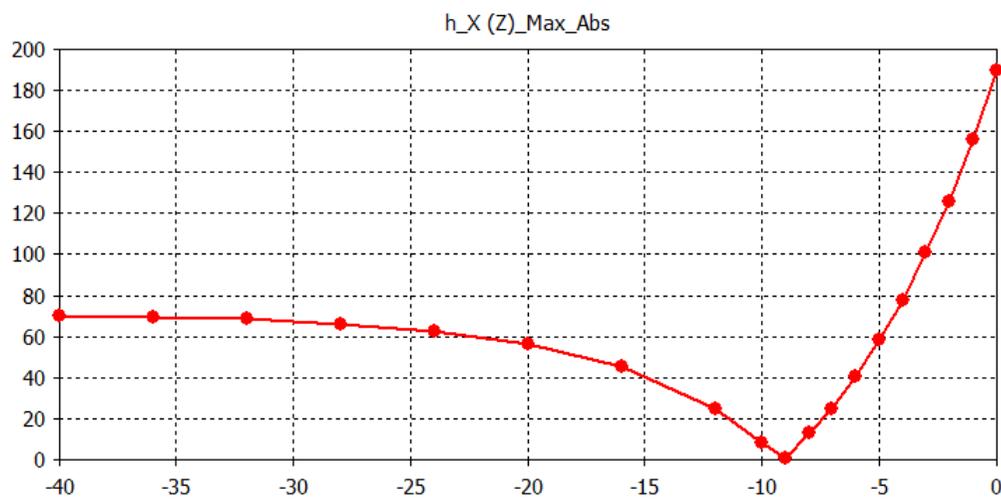
- 真空ポートをへこませることにより、 $E_y$ ,  $H_x$ 成分を1/5程度に減らすことは可能
- 真空ポートのない場合(つらいちの場合)のキック
  - $E_x$ 成分:チューナー突き出し量3.6mm相当
  - $E_y$ 成分:チューナー突き出し量6.2mm相当
- 真空ポート(径 $\Phi 40$ mm)をへこませた場合のキック
  - $E_x$ 成分:チューナー突き出し量3.6mm相当
  - $E_y$ 成分:チューナー突き出し量1.6mm相当
- 真空ポートの径を大きくして摂動を大きくすれば、 $E_y$ ,  $H_x$ についてはほぼキャンセルすることは可能。
- ただし、 $E_x$ ,  $H_z$ ,  $H_y$ のTransverse成分が存在するので、そちらが問題。
- 横方向キックをどこまで許容できるのか？

# 真空ポートの直径を広くしてキャンセルを試みる

縦軸: ABS(Hx)の最大値 [A/m]



真空ポート Φ44mm



真空ポート Φ46mm

横軸: 真空ポート突き出し量[mm](マイナスは引っ込み側)

## まとめ

- ERLバンチャー空洞入力カップラーの $Q_{ext}$ , 横方向キックについて計算
- 空洞表面から16mm(定義は資料中を参照)引き抜いたところで、45度Couplingで $Q_{ext} \sim 25000$ となる
- 真空ポートで横方向キックをキャンセルするためには、スリット面をできるだけ奥にした方がよいが、20mm以上は効果が変わらない。とりあえず20mm程度奥にするのが良いかと思われる。
- 真空ポートの直径を大きくするのも効果あり。
- 上記方法で、 $E_y$ ,  $H_x$ は弱くできるが、45度Couplingの場合に生ずる $E_x$ ,  $H_z$ ,  $H_y$ には無力。この方向のキックに対してどのように対処するかが検討課題。

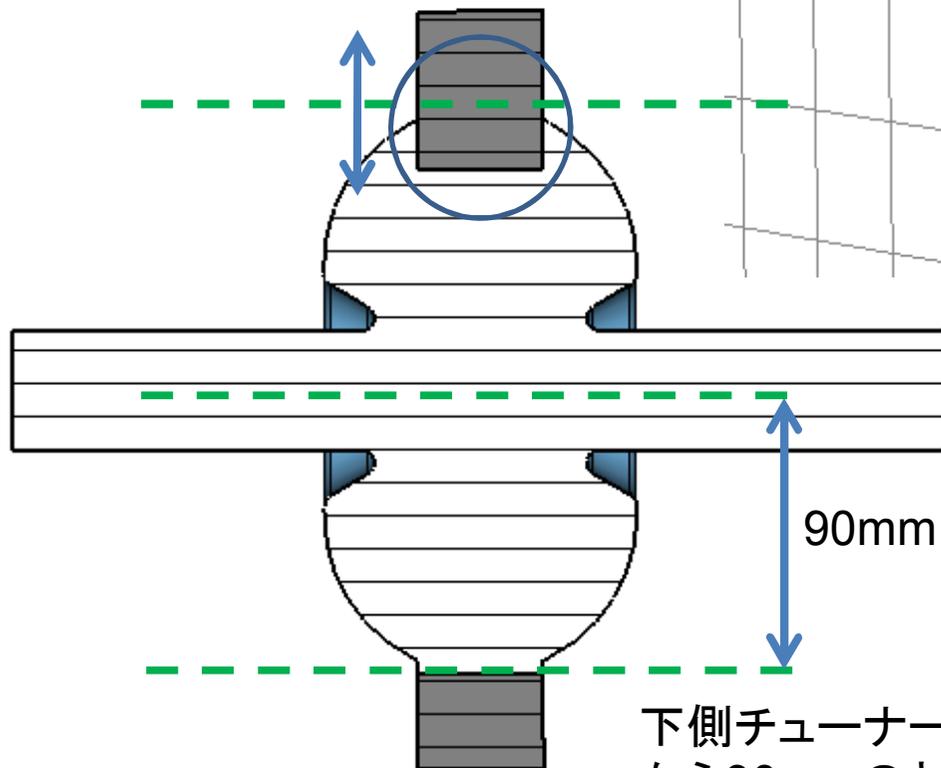
[参考]

チューナーによる横方向キック

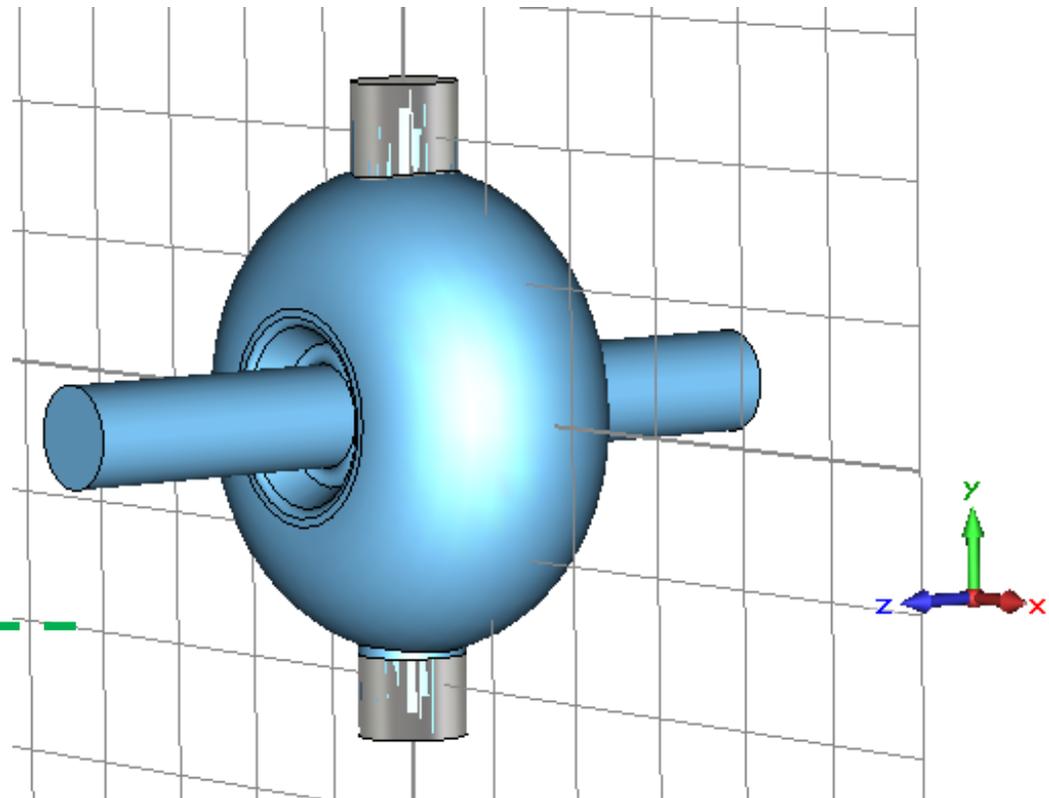
# 上下チューナー の場合を計算

下側fixで、上側のみ動かす

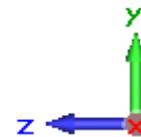
上側チューナーは、面が空洞中心から90mmのところを0mmと定義  
プラスが空洞中心の向き



下側チューナーは、面が空洞中心から90mmのところ固定



チューナー径は $\Phi 40\text{mm}$ で計算

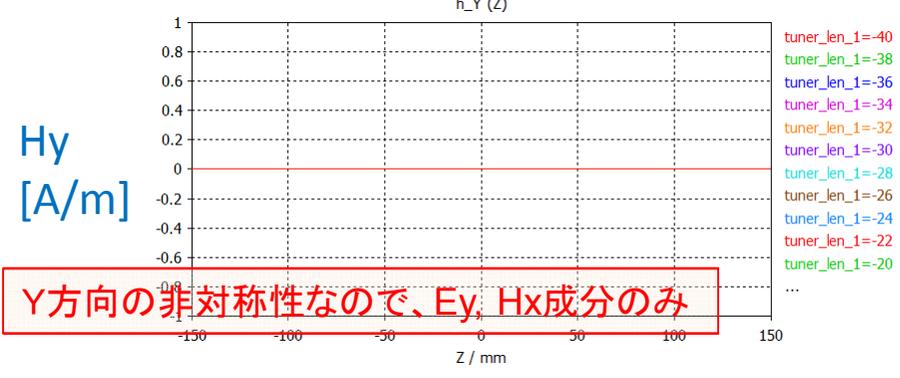
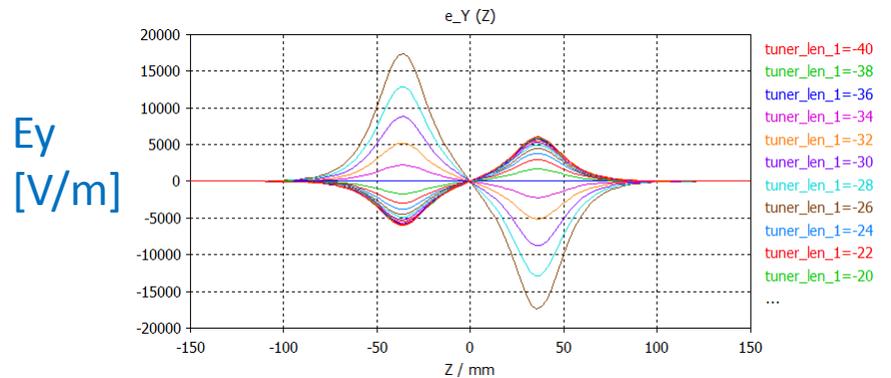
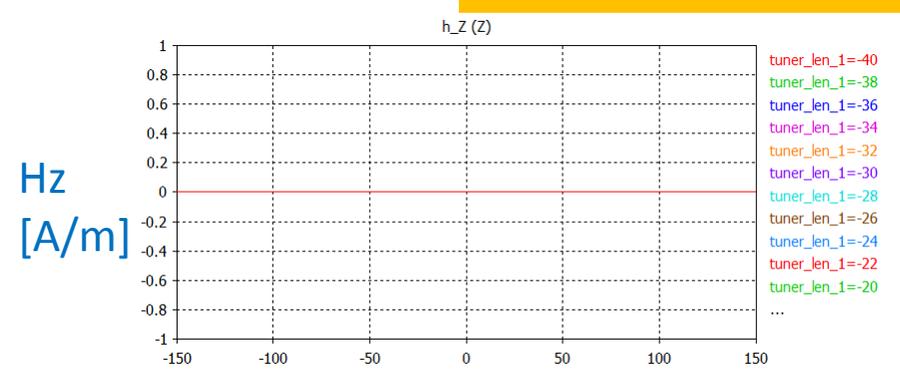
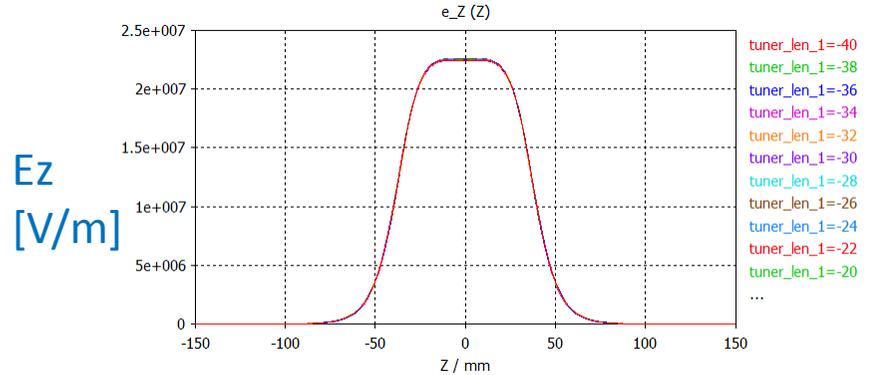


# ビーム軸上 (X=0, Y=0)でのE, Hの分布

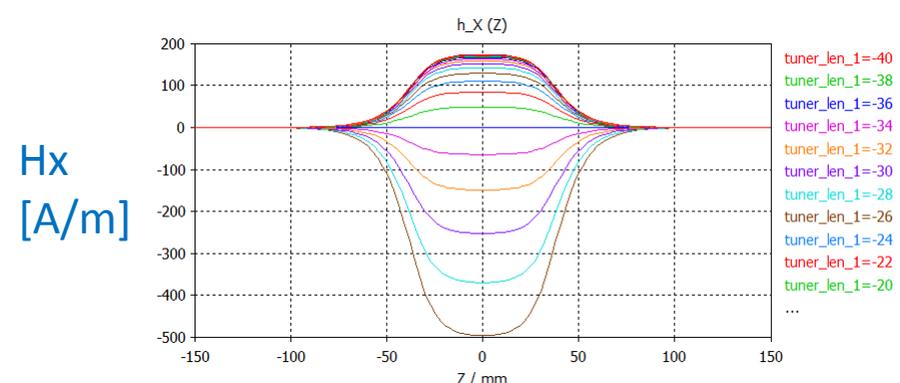
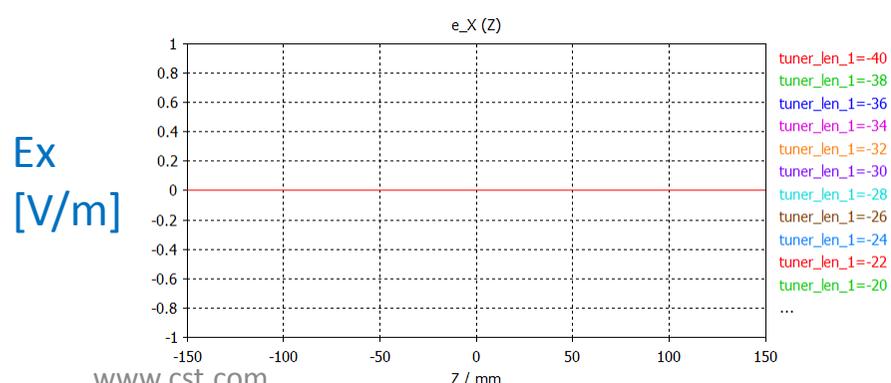
[単位] 縦軸:[V/m]または[A/m]

横軸:[mm]

チューナーへの依存性

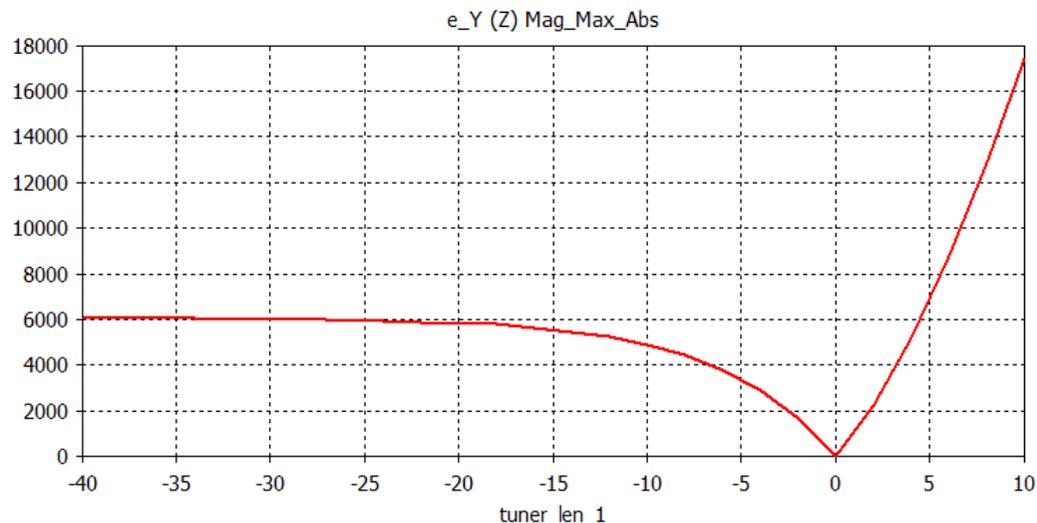


Y方向の非対称性なので、 $E_y$ ,  $H_x$ 成分のみ



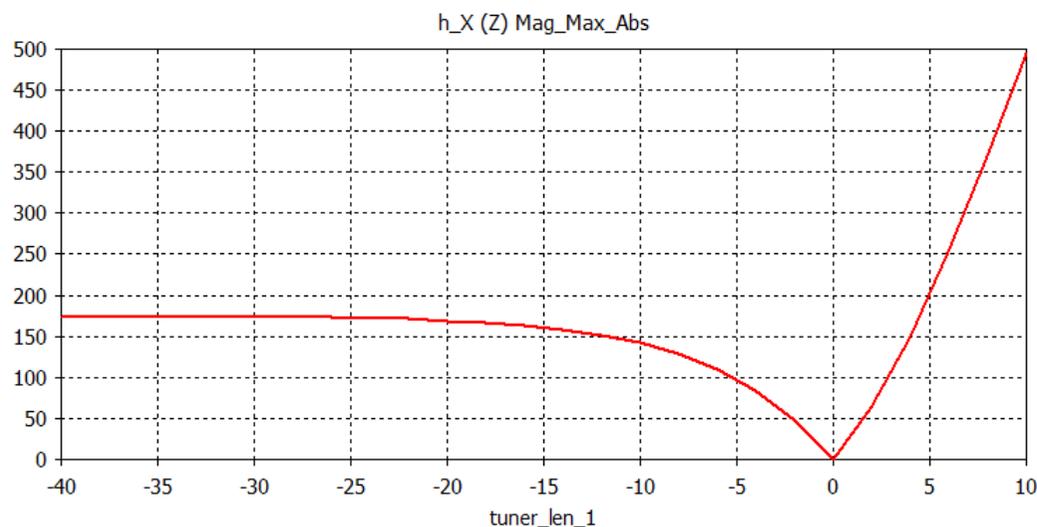
# Ex, Ey成分のチューナー突き出し量への依存性

Max(Ey)  
[V/m]



引っ込み側は、フィールドが減衰するため-20mmあたりでサチる

Max(Hx)  
[A/m]



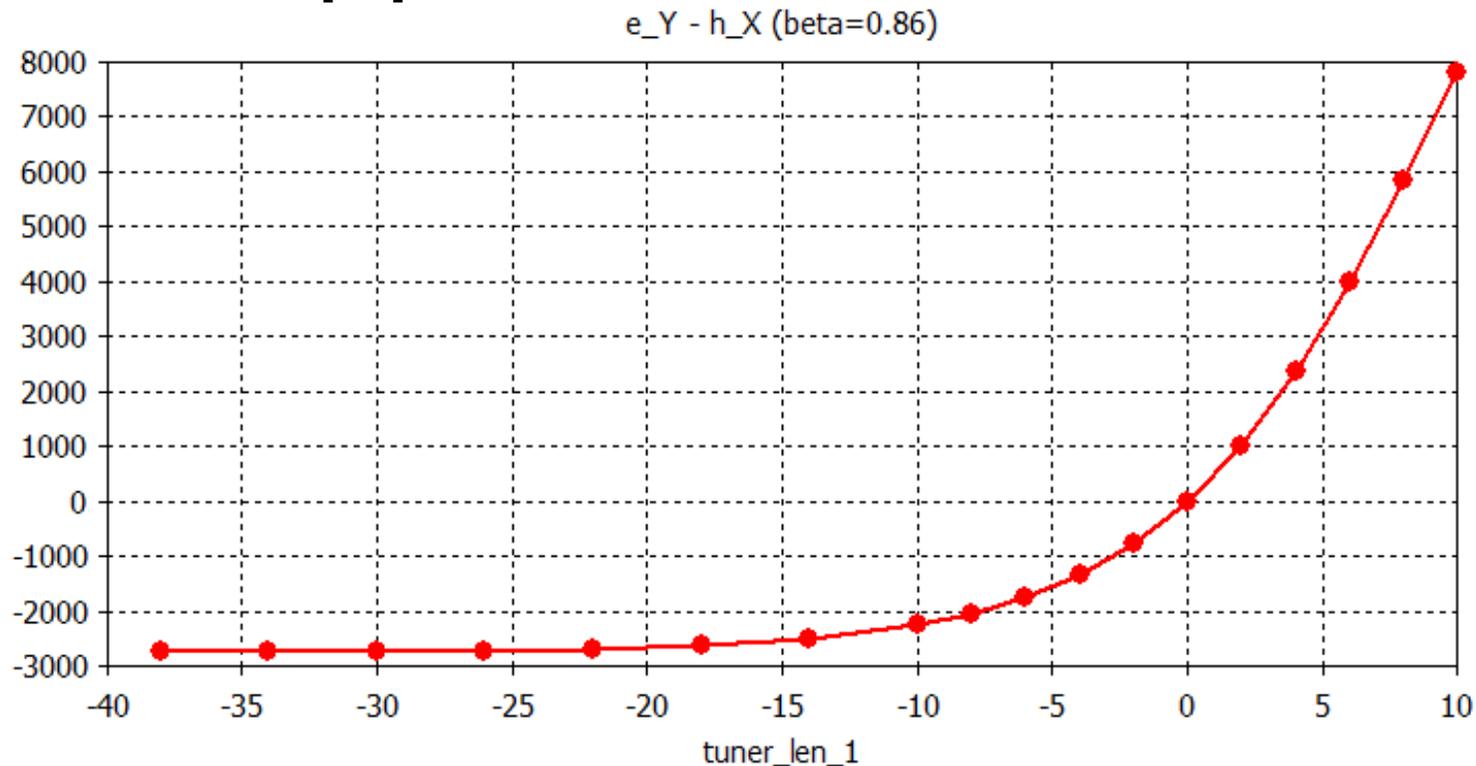
↓  
ポート引っ込みによる横方向キックのキャンセルには限界がある。

横軸: チューナー突き出し量[mm](マイナスは引っ込み側)

# Tables > 0D Results > e\_Y - h\_X (beta=0.86)

※ ただし蓄積エネルギー1Jで規格化

縦軸: 横方向キック[eV]



横軸: チューナー突き出し量[mm](マイナスは引っ込み側)