

TUPS149

J-PARCリニアックチョッパー空洞の検討

平野耕一郎¹、伊藤崇¹、千代悦司¹、
久保田親²、南茂今朝²、小林鉄也²、内藤富士雄²、
1日本原子力研究開発機構、
2高エネルギー加速器研究機構

1. はじめに

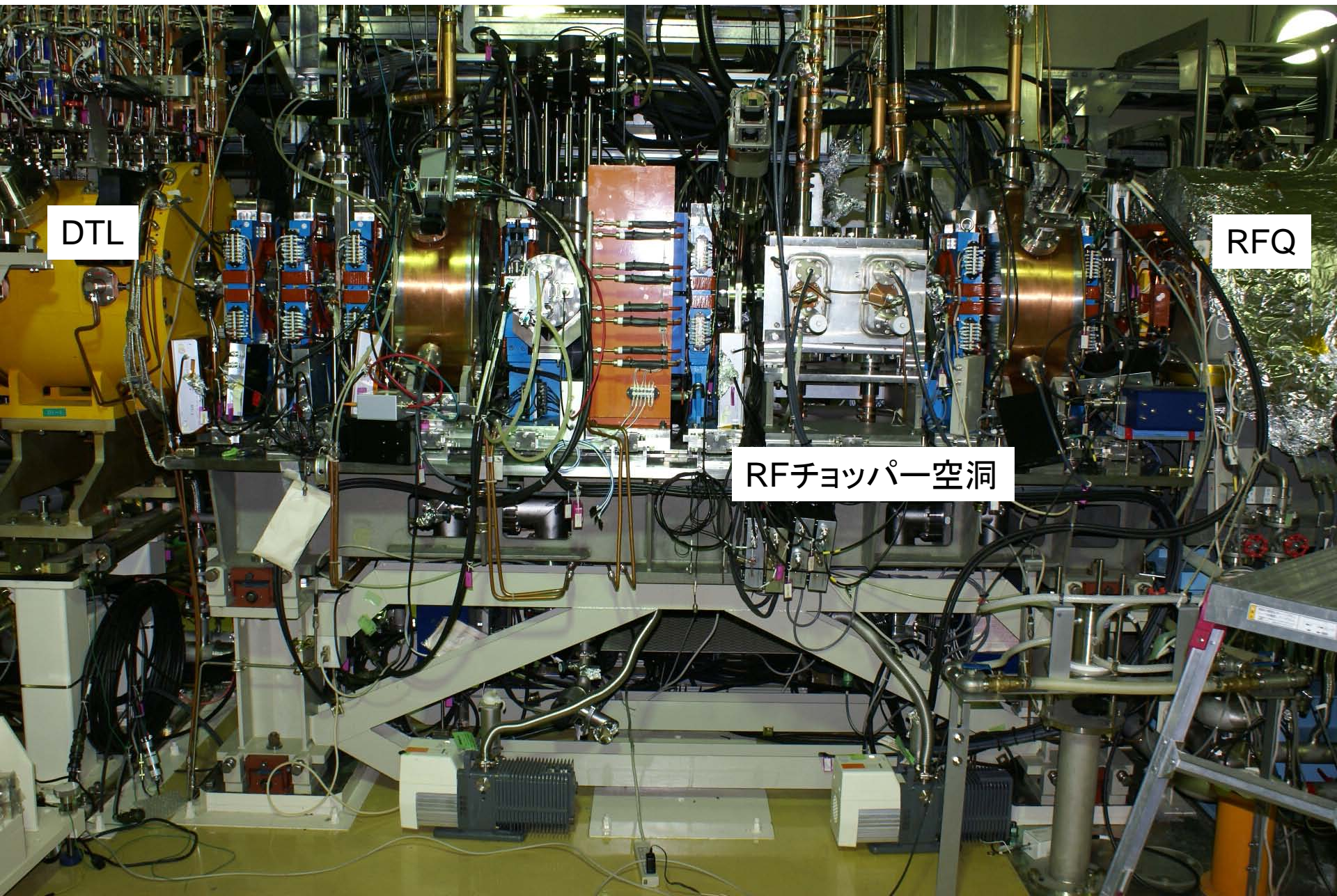
J-PARCリニアックでは、ピーク電流15mA(将来的には50mA)、マクロパルス幅500 μ s、繰り返し周波数25Hzで運転している。

RCSに入射するビームを整形するため、RFQとDTLの間のビーム輸送系(MEBT1)にRFチョッパー(以下、RFDという。)を設置している。RFチョッパーを用いて、マクロパルスから楕円構造を持つパルス幅数百nsの中間バンチ(中間パルス)を作り出している。この中間パルスは、RCSの高周波位相に同期した周期を持ち、リニアックで加速された後、RCSに入射される。

中間バンチの過渡領域のビームは、加速器下流部にビーム損失を引き起こす可能性がある。このため、過渡期がより短いパルスを作り出すことが求められている。

今回、RFチョッパーのローレベルでの測定及びHFSSを用いた過渡領域の解析を行い、RFチョッパーの特性を確認するとともに、過渡期の短いRFチョッパーの解析を行ったので報告する。

1. 1 RFチョッパーが設置されているMEBT1ビームライン



DTL

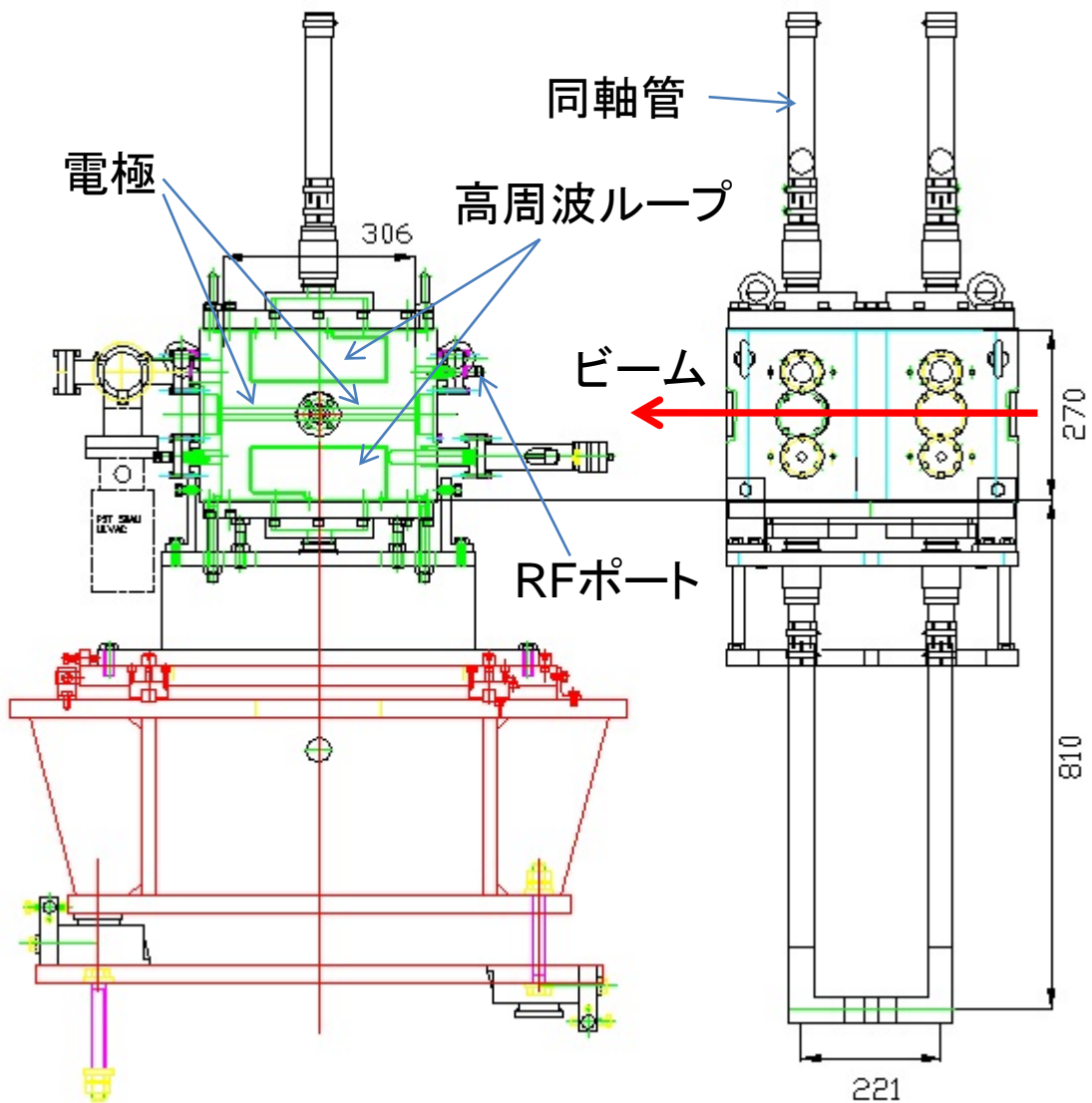
RFQ

RFチョッパー空洞

2. 1 RFチヨツパー(RFD)の特徴

- ・TM11モード励起
- ・大きなカップリング係数を持つ入出力用の2本の高周波ループを持つ
- ・2台のRFDを $2\beta\lambda$ の長さを有する同軸管で直列に接続している
- ・2台のRFDの間隔: $3\beta\lambda$
- ・Q値:11
- ・RFDギャップ電界の設計値:1.6MV/m@入力電力22kW
定常ビームから4mm以上離れているという条件のもとで求められた。
(S. Fu, T. Kato. NIM A 457 (2001) 423-437)
- ・空洞入力電力
最大電力36kW
通常電力32kW(ギャップ電界1.9MV/m)
パルスの立ち上がり15nsの半導体増幅器を使用
ビーム電流24mA、入力電力36kWで空洞内で安定動作確認。
(S. Wang. Et al., NIM A 547(2005)302-312)
- ・ビームスクレーパ
2番目のRFDから70cm下流に設置。

2. 2 RFチョッパー外観図

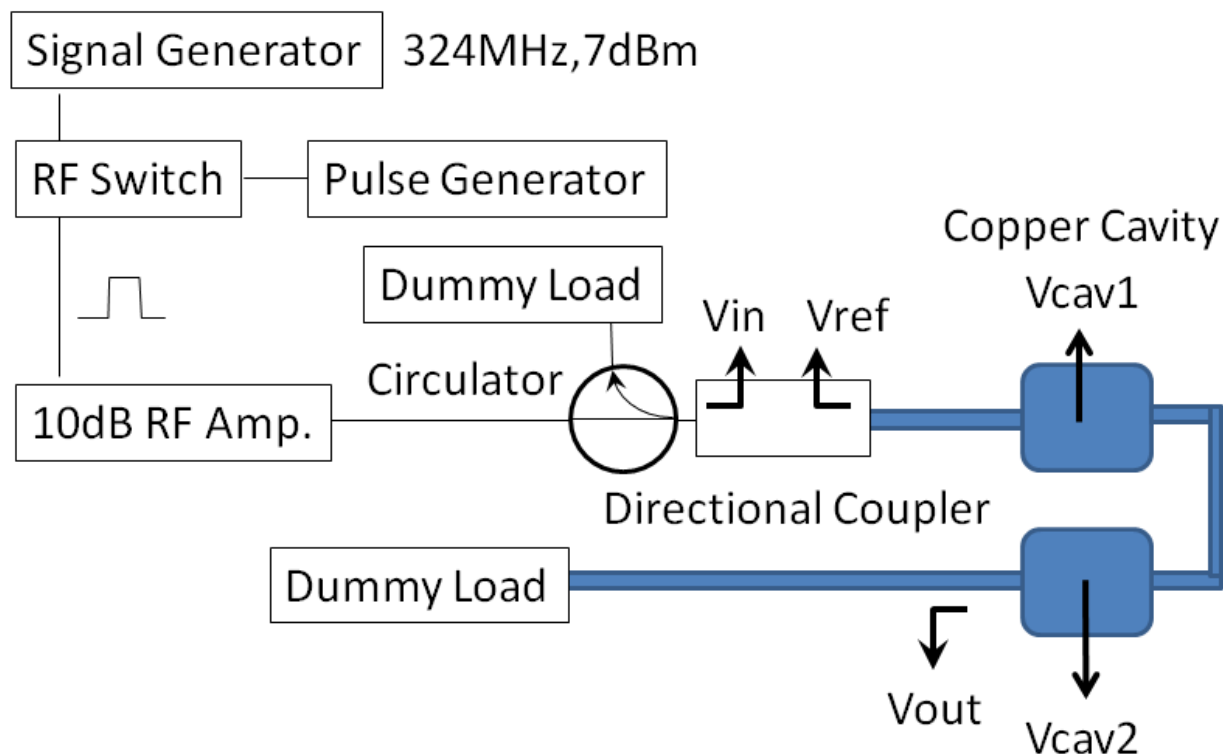


空洞間距離: $3\beta\lambda$

2. 3 RFチョッパー高周波測定

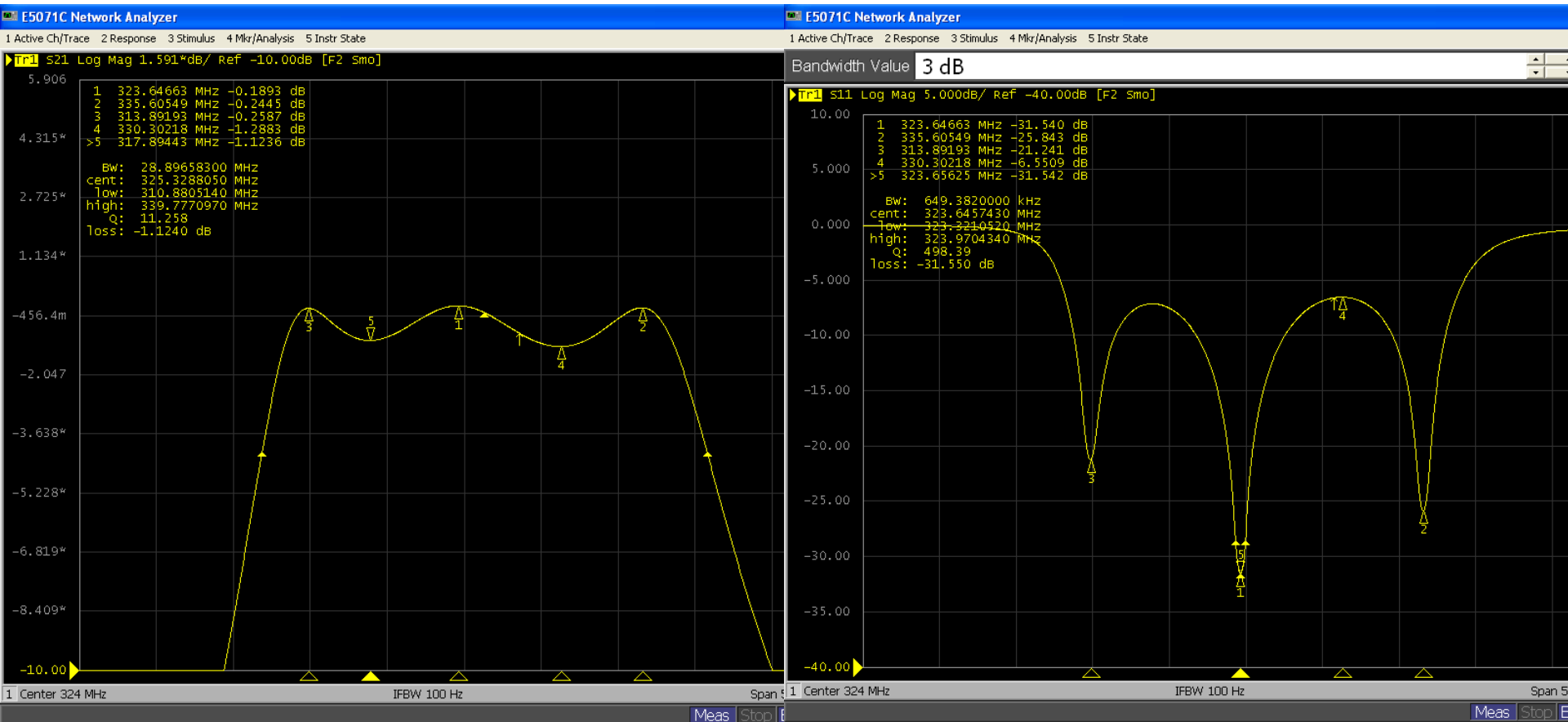
- ・ネットワークアナライザを使用して、 S_{21} , S_{11} を測定した。
- ・RFスイッチを使用してパルスを作り出し、入力波形 (V_{in})、反射波形 (V_{ref})、出力波形 (V_{out})、上流側空洞波形 (V_{cav1})、下流側空洞波形 (V_{cav2}) について、デジタルオシロ (Tektronix, DP07354, 3.5GHz, 40GS/s) を用いて測定した。

○測定体系

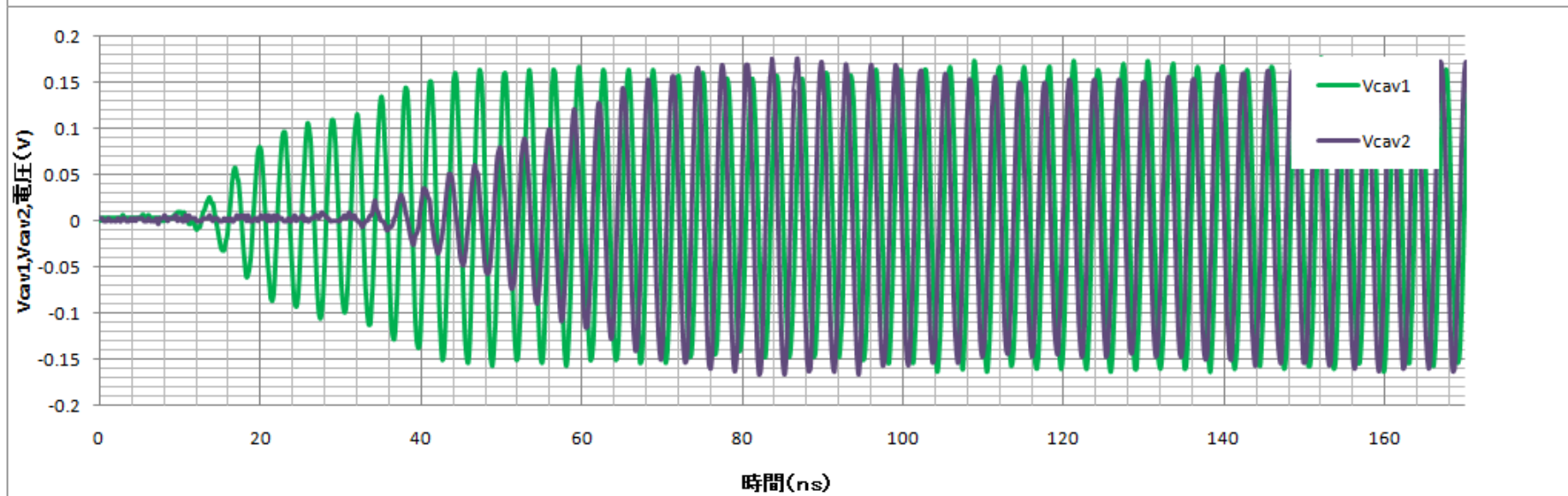
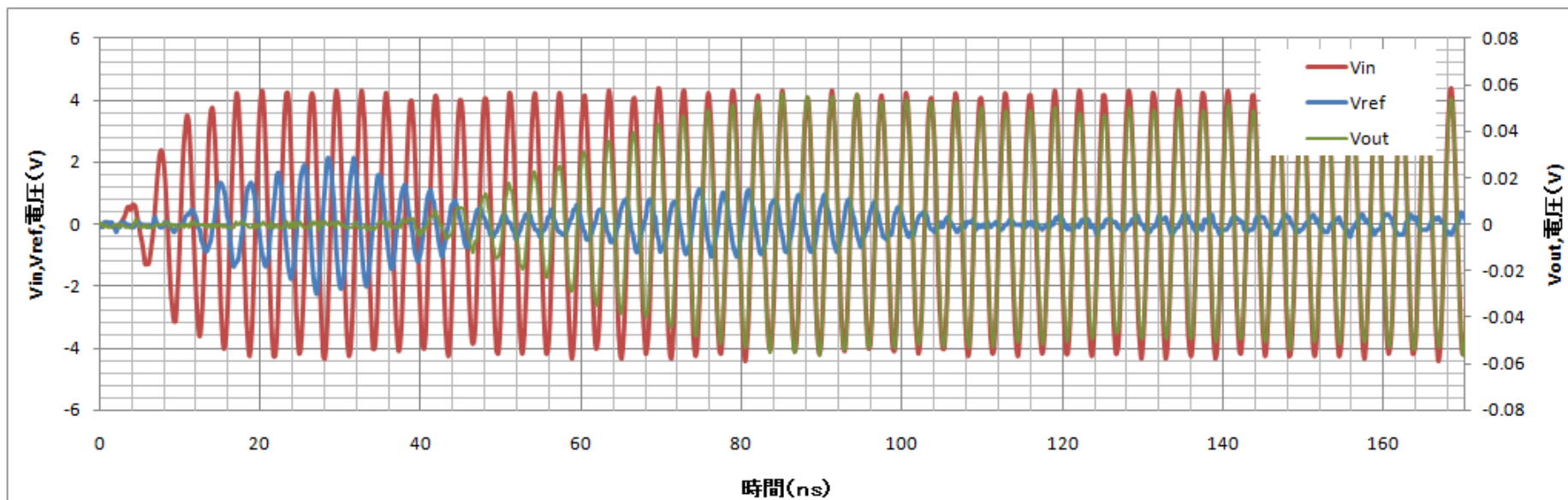


2.3 S21, S11の測定

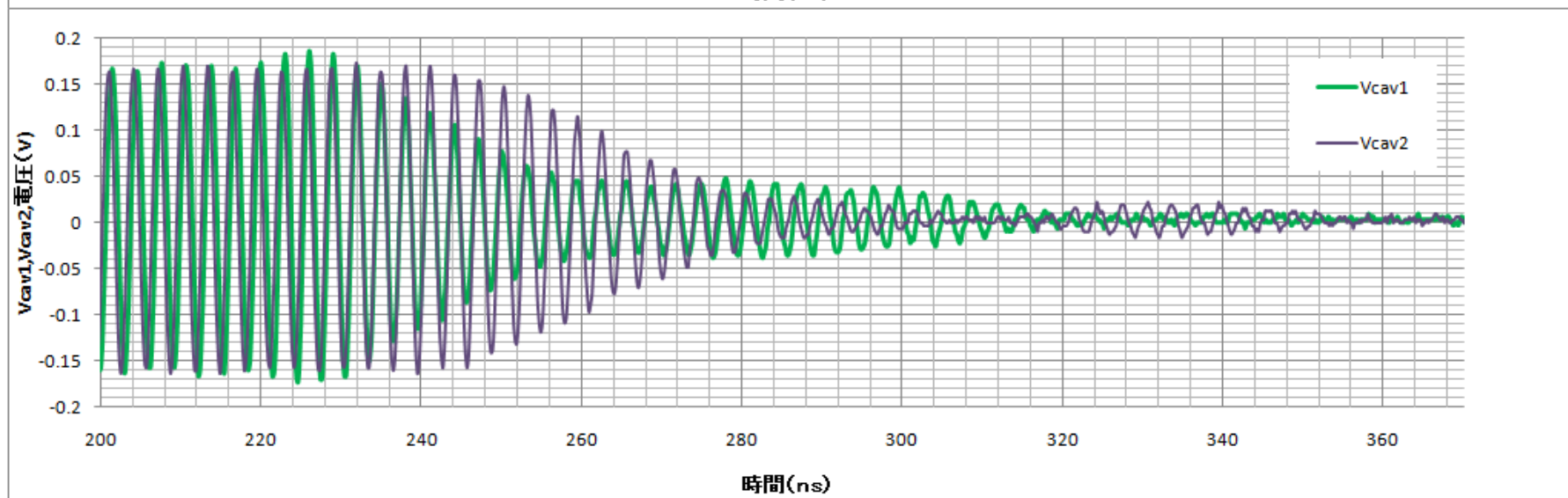
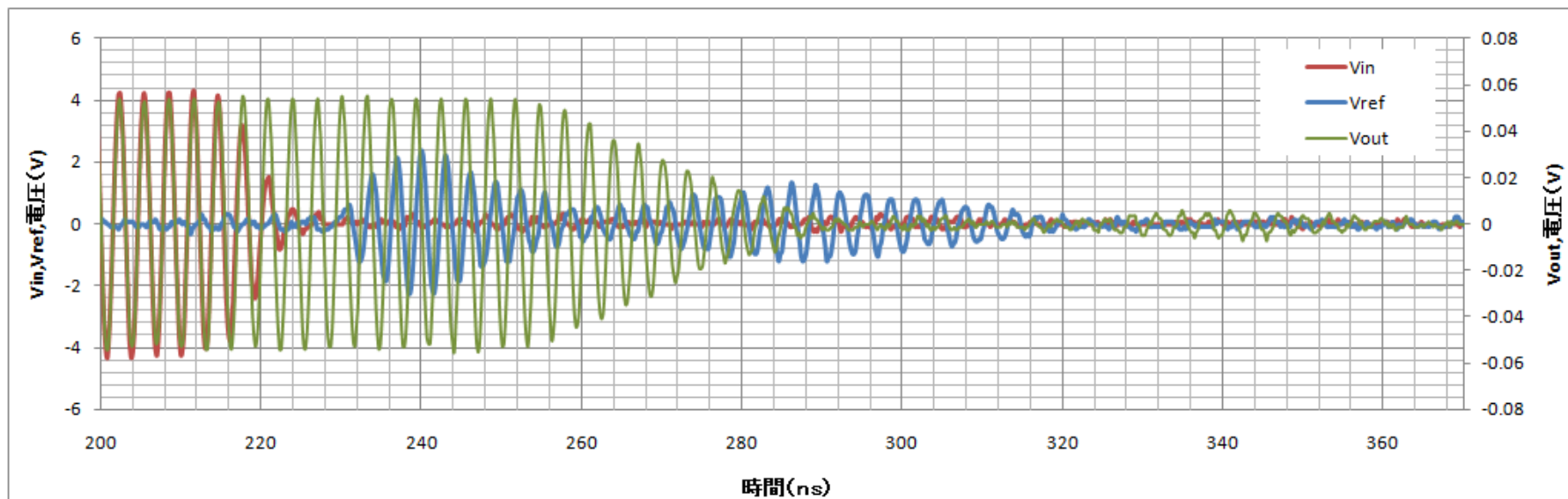
Q値: 11.3、df=28.9MHz



2.3 波形測定



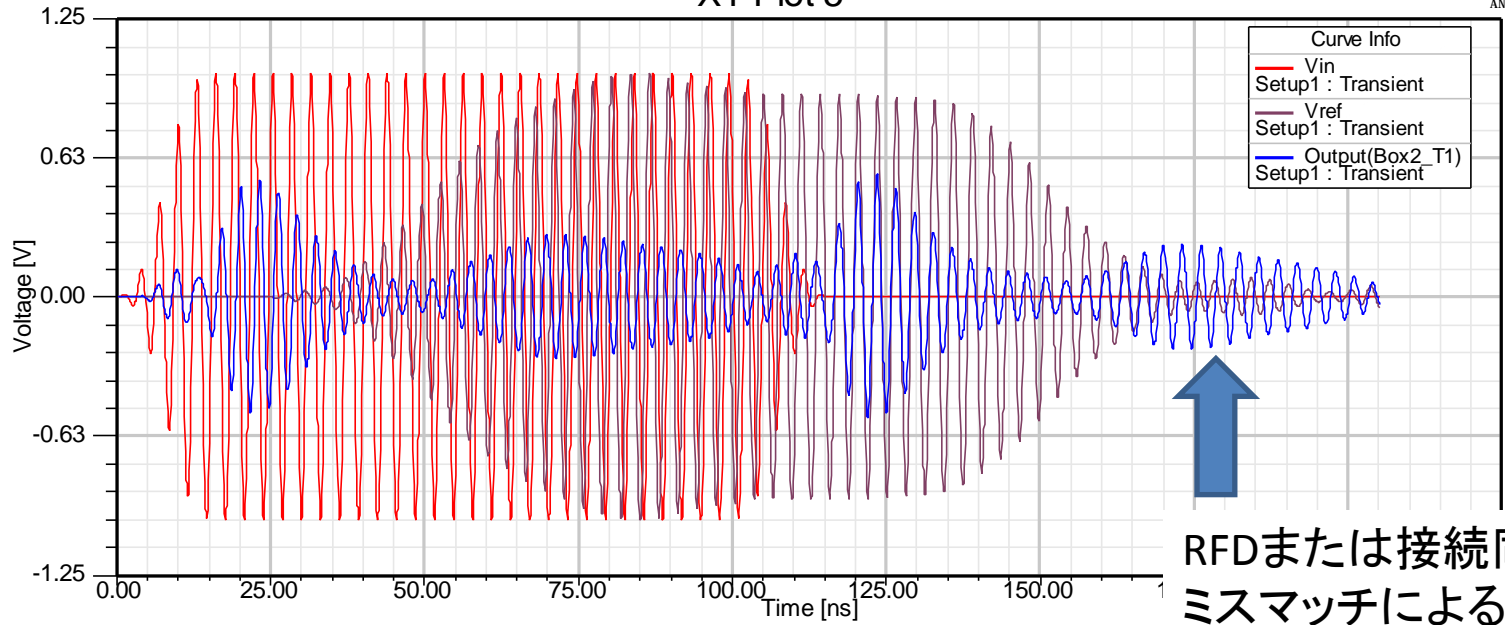
2.3 波形測定



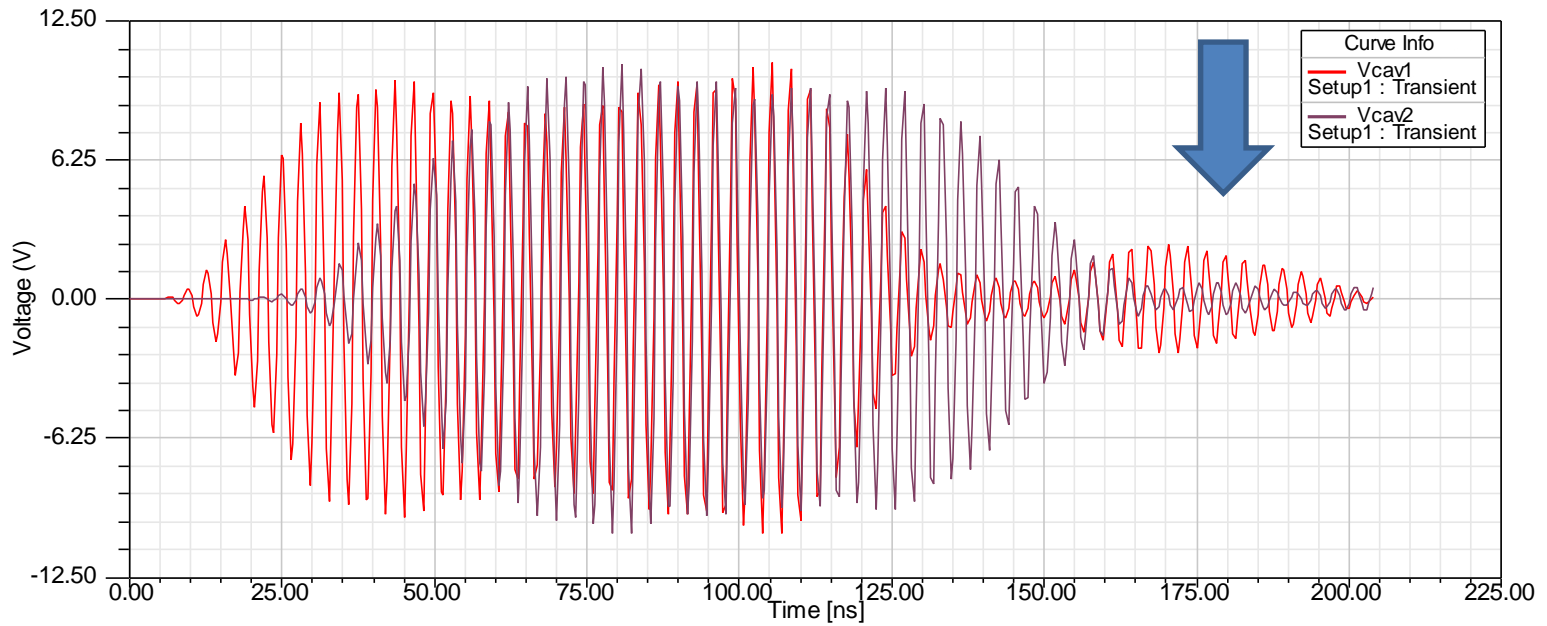
2.4 HFSSによる過渡領域の解析

XY Plot 5

ANSOFT



RFDまたは接続同軸管の
ミスマッチによる波形

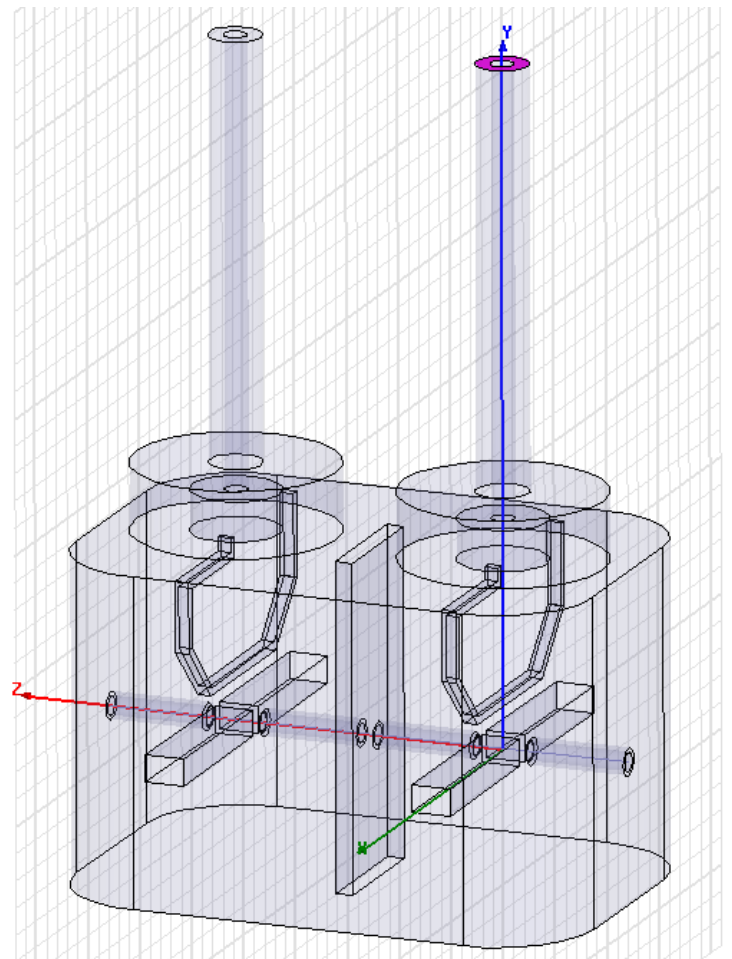


3 新しいRFチヨツパーの解析

- ・波形測定の結果、空洞1と空洞2の波形の差は、6ランプあることを確認した。
- ・測定値とHFSSの計算結果を比較した結果、よく再現していることがわかった。
- ・Transient Solverを用いて、1空洞2ギャップ型のRFDについて解析し、過渡期が短くなるか検討した。

計算条件:

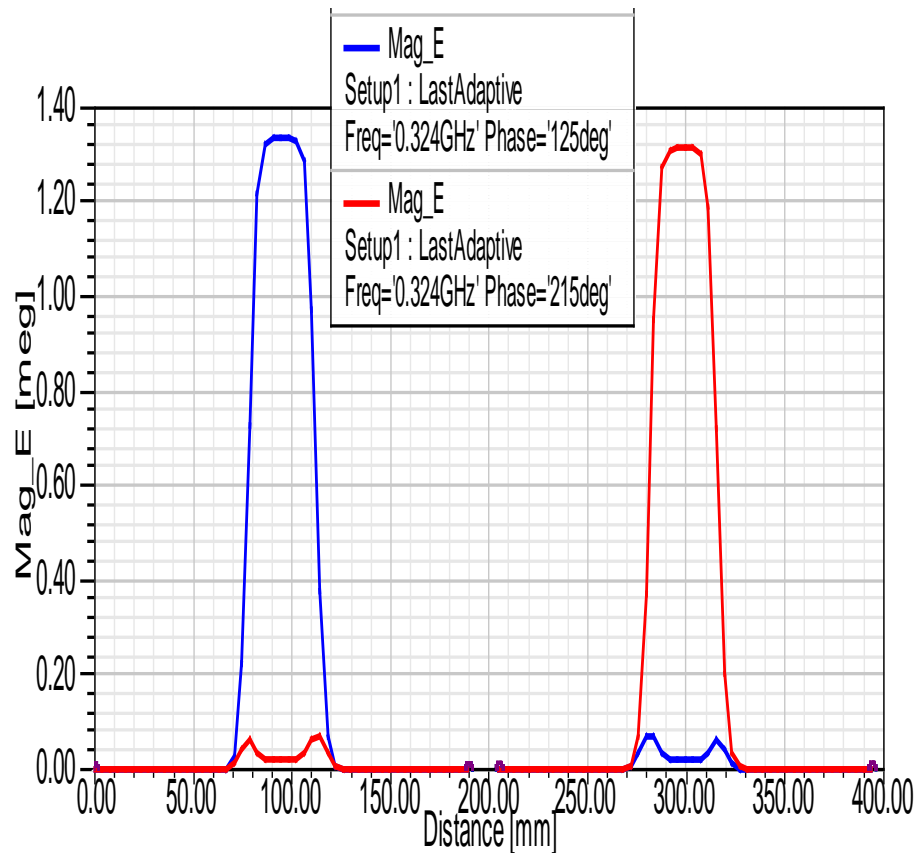
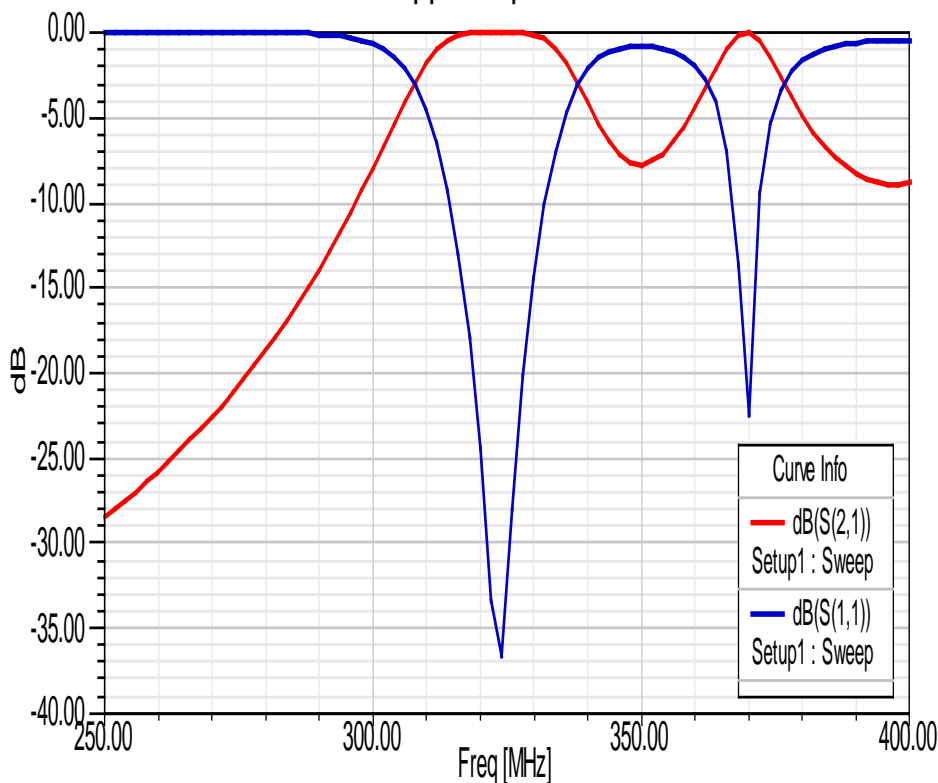
- ・Q値は11.3以下
- ・ギャップ電界1.6MV/m@22kW(目標)
- ・空洞形状は、現状位置に収まること



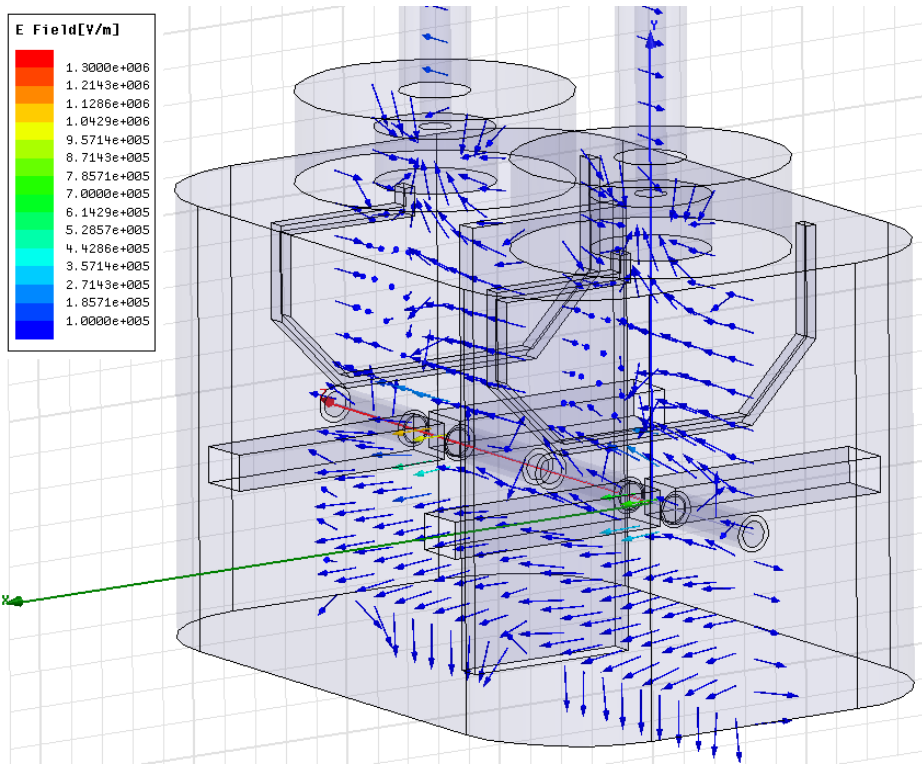
3. 1 解析結果

- Q値 : 10.8、df=30MHz
- 上流側最大ギャップ電界 : 1.31MV/m@22kW、1.6MV/m@33kW
- 下流側最大ギャップ電界 : 1.33MV/m@22kW、1.6MV/m@32kW
- 2つのギャップ電界の位相差が90度になったため、ビームとの位相を合わせるため、90度に相当する分の距離を縮めて、ギャップ間距離を $2.75\beta\lambda$ とした。
ただし、空洞ビーム軸方向の寸法は同じ。

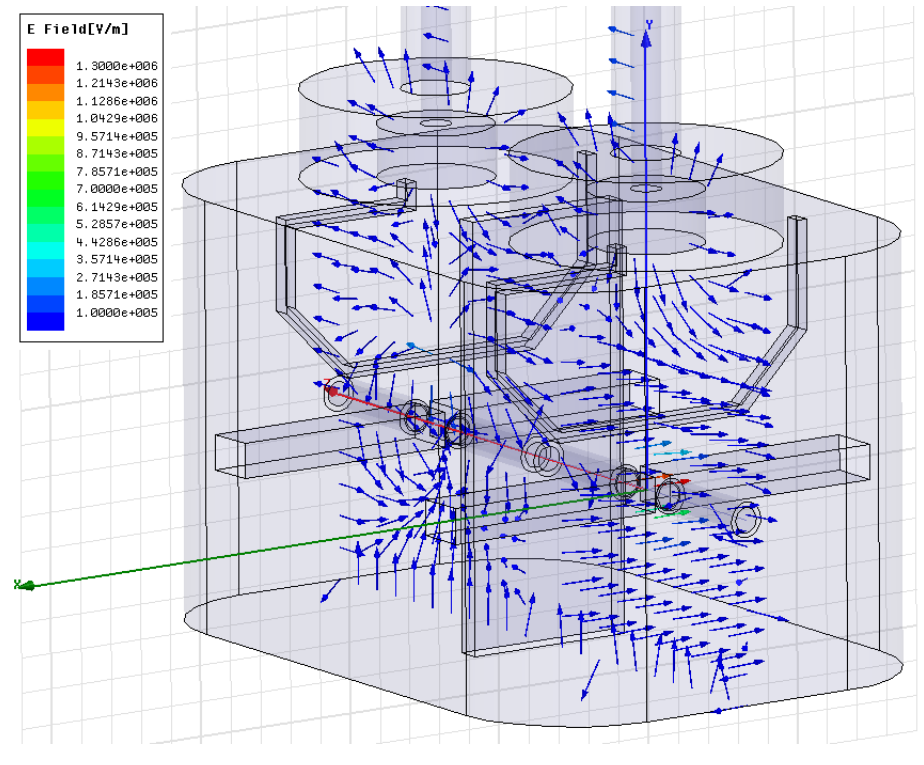
New Chopper S-parameter



0deg

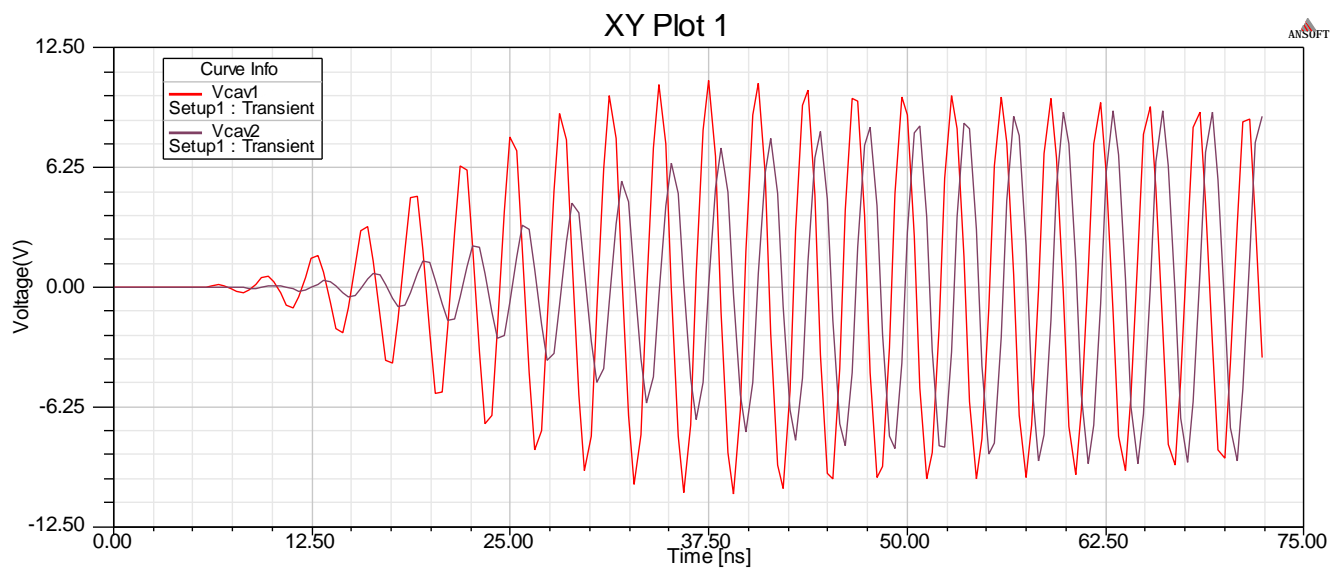
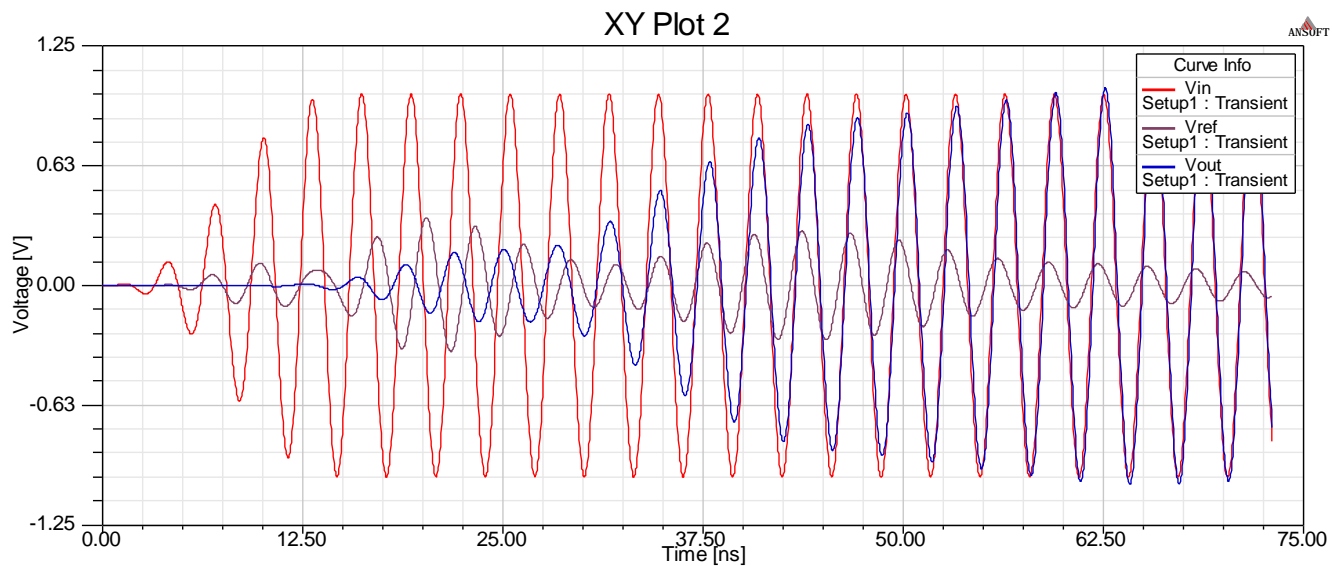


127deg



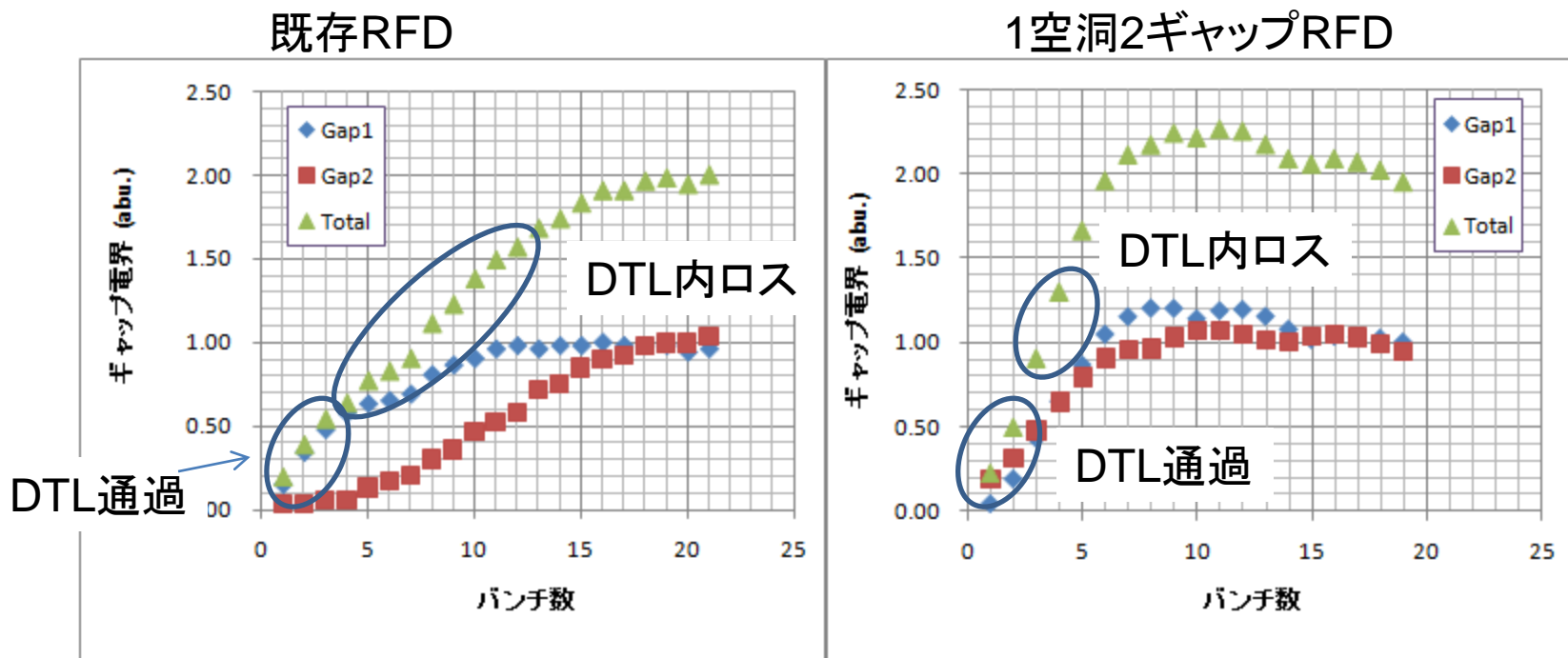
3. 2 立ち上がり波形

- ・空洞1と空洞2の波形の差は、2ランプとなった。



3. 2 立ち上がり波形

- ・ビームは1.6MV/mの80%以上の時、スクレーパーで止まる。30%未満では、DTLを通り抜けるという解析結果が得られている。(NIM A 457 (2001) 423-437)
 - ・第1空洞のギャップ電界を受けたバンチは、3ランプ後に第2空洞の電界を受けて、ビームラインから逸らされる。
 - ・バンチが空洞電極から受ける電界を定常状態のギャップ電界で規格化し、バンチ毎のギャップ電界の合計値を求めた。
- ・1空洞2ギャップRFDでは、DTL下流部のビームロスが2/3になり、DTL内ロスが2/9になる。



4. まとめ

(1) RFチョッパー波形の測定、及び、HFSSによる解析を行い、RFDまたは接続同軸管のミスマッチによると思われる波形が発生することが分かった。

(2) 1空洞2ギャップRFDの解析を行った。

- ・ Q値は10.8であり、既設のRFDより低い。
- ・ ギャップ電圧は同じ電力を投入した場合、17%低い、既設の既存半導体増幅器の最大電力の範囲内で、設計ギャップ電界を発生できることが分かった。
- ・ 第1ギャップと第2ギャップの電界の位相差が90度となったので、ビームと位相を合わせるため、ギャップ間隔を $2.75\beta\lambda$ とした。
- ・ 過渡領域の解析を行い、既存RFDより立ち上がり早いことを確認した。
- ・ 1空洞2ギャップRFDにより、ビームロスを低減できると思われる。
DTL下流部のビームロスが2/3、DTL内ロスが2/9。