

STUDY FOR RF CHOPPER CAVITIES AT J-PARC LINAC

Koichiro Hirano^{1,A)}, Takashi Itou^{A)}, Etsuji Chishiro^{A)},
 Chikashi Kubota^{B)}, Kesao Nanmo^{B)}, Tetsuya Kobayashi^{B)}, Fujio Naito^{B)}
^{A)} Japan Atomic Energy Agency,
 2-4 Shirakata-shirane, Tokaimura, Ibaraki, 319-1195
^{B)} High Energy Accelerator Research Organization,
 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

Two RF-deflecting cavities as the chopper have been used in the MEBT between a 324MHz RFQ and a 50-MeV DTL of the J-PARC Linac. A fast rise/fall time of the pulse is a fundamental requirement to minimize any beam losses due to insufficient deflection to some beam bunches during the transient time. We have studied the RF chopper cavity to speed up the transient time. This paper describes the design of the new RF chopper by using HFSS code.

J-PARCリニアックチョッパー空洞の検討

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。RFチョッパー (以下、RFDという。)を用いて、マクロパルスから楕円形構造を持つパルス幅数百nsの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。中間パルス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、RFD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、RFDの特性を確認するとともに、過渡期の短い空洞の解析を行ったので報告する。

2. RFチョッパー (RFD)

RF Deflector (RFD)は、図1に示すように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は、 $3\beta\lambda$ の間隔で設置している。上流側のRFD1と下流側のRFD2は、 $2\beta\lambda$ の長さを有する同軸管で直列に接続されている。RFDのギャップ電界の設計値^{[1][2]}は、入力電力22kWで1.6MV/mであり、定常ビームから4.4mm離れるという条件のもとで求められた。RFDで蹴られたビームは、RFD2から70cm下流側のビームスクレーパーで止められる。最大電力36kWの半導体増幅器を用い、運転時の入力電力は32kWである。

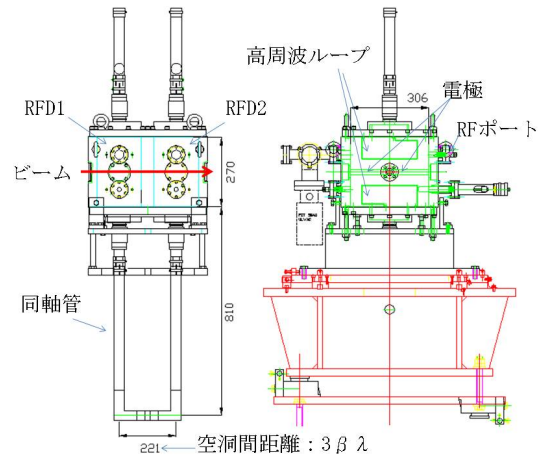


図1: RFチョッパー外観図

3. 高周波測定

ネットワークアナライザを用いて空洞のQ値を測定した結果、図2に示すように11.3となった。この値は、設計値 $Q=11$ に一致した。

図3に示すような体系で、RFスイッチを用いて矩形パルスを作り、デジタルオシロ (Tektronix, DP07354, 3.5GHz, 40GS/s)を用いて、入力波形 (Vin)、反射波形 (Vref)、出力波形 (Vout)、RFD1波形 (Vrfd1)、及び、RFD2波形 (Vrfd2)を観測した。

波形の立ち上がり及び立ち下りの様子を図4及び図5に示す。RFD2波形はRFD1波形より6RF周期分遅れていた。波形の立ち下り部分にテールを長くしているリップルが観測された。これは、反射による影響や波形スペクトル内に存在する0

¹ E-mail: hirano.koichiro@jaea.go.jp

モードや π モード成分が影響しているものと考えられる。

HFSS（高周波三次元電磁界シミュレータ）のTransient Solverを用いて過渡期の電磁場数値解析を行った。図6に示す計算結果と測定波形とを比較した結果、RFD2波形はRFD1波形より5RF周期分遅れていたが、全体的にほぼ再現していることが分かった。

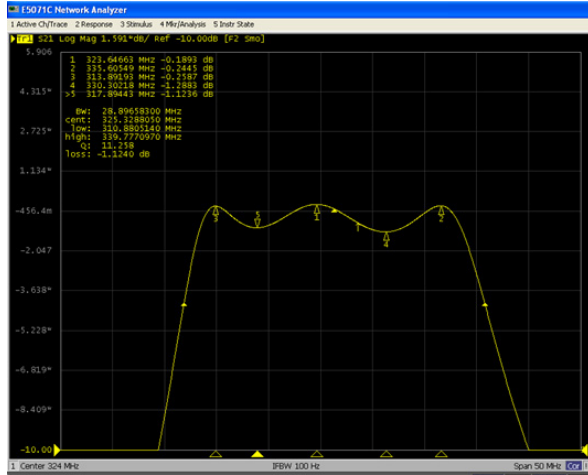


図2：チョッパー空洞Q値

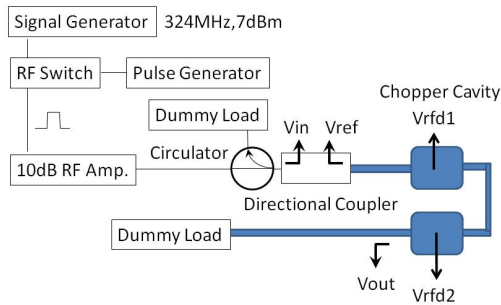


図3：RF波形測定体系

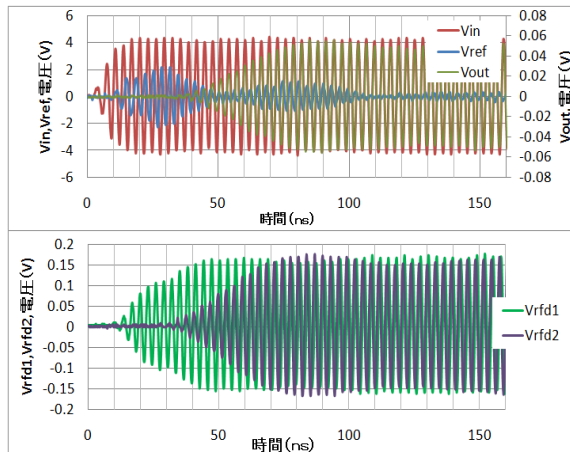


図4：立ち上がり波形の測定

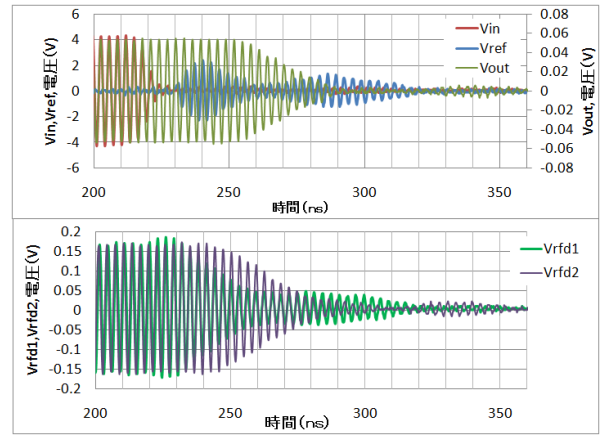


図5：立ち下がり波形の測定

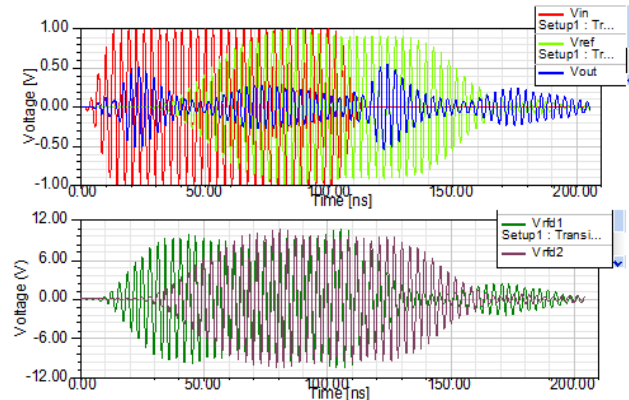


図6：HFSSによる過渡期解析結果

4. 1 空洞 2 ギャップ型RFチョッパー

過渡領域の改善には、各空洞にRF電力を供給する方法や、入力電力を増加させる方法などがあるが、今回は、図7に示すような1つの空洞内に2か所のギャップを有する空洞について検討を行った。

HFSSを用いて解析を行う場合、空洞のQ値は11以下で、現状のビームラインに設置できる大きさであることを前提とし、電極形状やRF導入部の形状変更は行わなかった。まず、ビームライン方向の大きさを変えずに、空洞の横幅、底、天井、及び高周波ループの形状を変えて、マッチングを取ることを試みた。形状の違いにより、RFD1とRFD2のギャップ電界の位相差は $50^\circ \sim 130^\circ$ となった。ビームとRFの位相を合わせるため、2つのギャップ間隔は $3\beta\lambda$ から 90° に相当する分を差し引いた $2.75\beta\lambda$ とした。2つのギャップ電界の位相差が 90° となったとき、最大電界が得られた。この時のSパラメータを図8に示す。Q値は10.8、 $df=30\text{MHz}$ となった。既存チョッパー空洞と同じ入力電力 22kW の時、第1ギャップ電界は 1.31MV/m 、第2ギャップ電界は 1.33MV/m となった。ビーム軸上の電界分布を図9に示す。2つのギャップ電界の位相差が 90° であることが分かる。入力電力 33kW の時、ギャップ電界は設計値の 1.6MV/m に達する。

1空洞2ギャップ型チョッパーの過渡解析を行った結果、図10に示すようにRFD2波形はRFD1波形より2RF周期分の遅れとなり、過渡期の遅延は既存RFチョッパーの1/3になることが分かった。

5. ギャップ電界とビームロス

RFD1のギャップ電界を受けたバンチは、3RF周期分後、RFD2のギャップ電圧をさらに受けて、ビームラインから逸らされる。ここで、ギャップ電界1.6MV/mの80%以上の時、ビームはスクレーパーで止まり、30%未満では、DTLを通り抜けるという解析結果^[1]が得られている。そこで、図11に示すように、過渡期のギャップ電界を定常状態のギャップ電界で規格化し、RFD1のギャップ電界 (Gap1) 及びRFD2のギャップ電界 (Gap2) によってバンチが受ける合計値 (Total) からビームロスを推測した。バンチがDTLを通過し、下流部のビームロスとなる割合は、既存RFチョッパーと1空洞2ギャップ型RFチョッパーは同じであるが、1空洞2ギャップ型RFチョッパーのDTL内部のロスは、既存RFチョッパーの1/2になると推測される。

6. まとめ

1空洞2ギャップ型RFチョッパー設計を行い、第2ギャップ波形の遅延は既存のRFチョッパーの1/3になることが分かった。これにより、DTL下流のビームロスは低減できないが、DTL内のビームロスは半分になると期待される。今後、現状のビームロスの把握、過渡期のビームロスの低減方法、他のRFD方式などを検討していきたい。

参考文献

- [1] S. Fu, T. Kato, "Design study on a medium-energy beam-transport line for the JHF proton linac", NIM A 457 (2001) 423-437.
- [2] S. Wang, S. Fu, et al., "The development and beam test of an Rf chopper system for J-PARC", NIM A 547 (2005) 302-312.

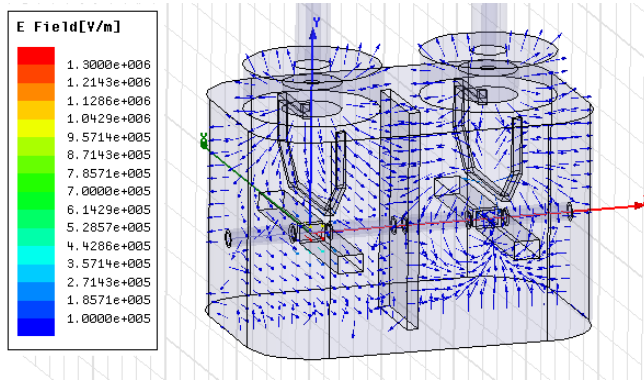


図7：1空洞2ギャップRFチョッパーの電界分布 (ギャップ電界の位相差が90度の場合)

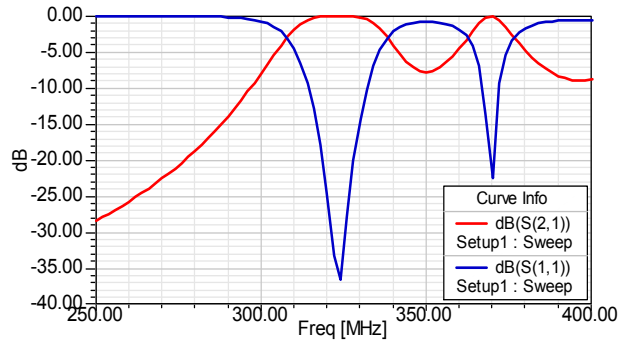


図8：Sパラメーター

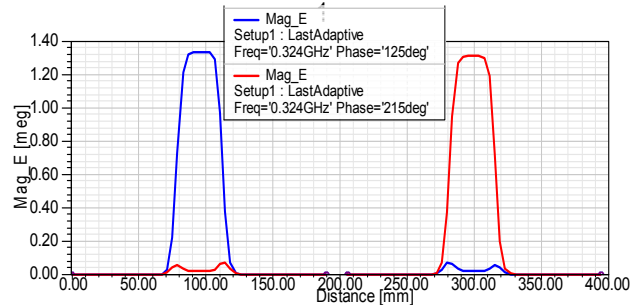


図9：ビーム軸上電界分布 (左:RFD1、右:RFD2)

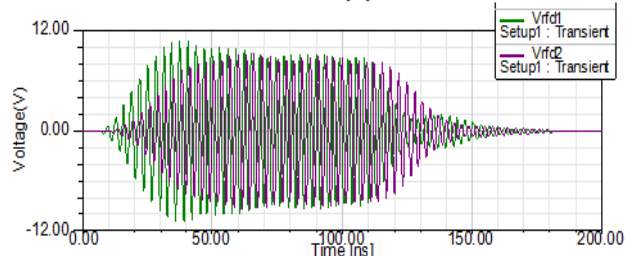
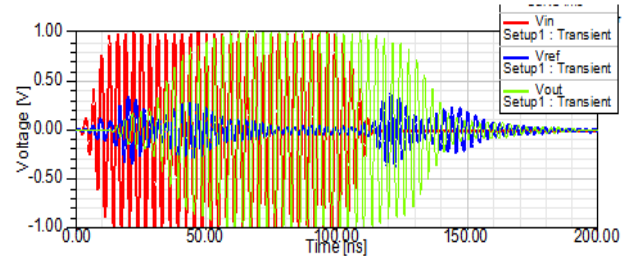


図10：1空洞2ギャップ型チョッパーの過渡解析

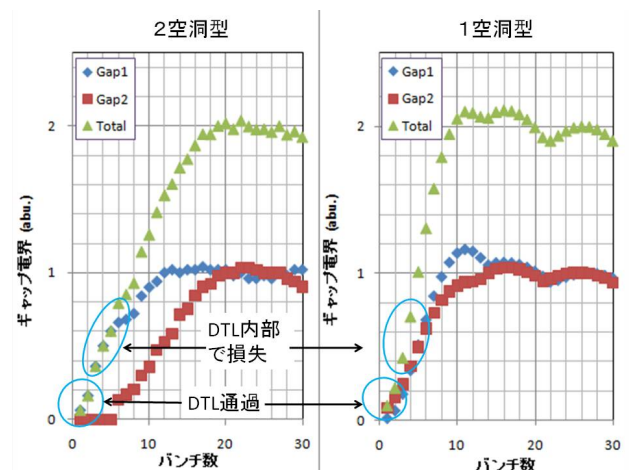


図11：バンチが受けるギャップ電界