

# J-PARC用第1DTLの軸上加速電場測定

田中 宏和<sup>1,A)</sup>、内藤 富士雄<sup>A)</sup>、池上 雅紀<sup>A)</sup>、加藤 隆夫<sup>A)</sup>、高崎 栄一<sup>A)</sup>、伊藤 崇<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> 高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設  
〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1

<sup>B)</sup> 日本原子力研究所 大強度陽子加速器施設開発センター  
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方2-4

## 概要

日本原子力研究所東海研究所内に建設が進んでいる大強度陽子加速器施設(J-PARC)の線形加速器で、3~50MeVの加速に用いるドリフトチューブ線形加速器(DTL)の第1DTL(DTL1)の軸上加速電場を測定し調整した。

DTLは3台作製される予定であるが、現在、DTL1の組み付けが完了し、高エネルギー加速器研究機構(KEK)の地下にある加速テストラインに設置されている。DTLの加速セルは大部分がDTL1に入っており、DTL1の加速電場分布の調整は安定したビーム加速のために重要である。今回の測定および調整により、DTL1の各セルの平均加速電場のばらつきは  $\pm 0.64\%$  という良好な結果を得た。その測定および調整結果を報告する。

## 1. はじめに

J-PARCの入射器は、181MeVの直線加速器でイオン源、RFQ、DTL(アルパレ型リニアック)、SDTL(分離型DTL)およびそれらのビームトランスポートからなる。

DTLは3つあり、それぞれは3つのユニットタンクで構成される。このうち、現在、最初のDTLであるDTL1の組み付けが終了し、KEKにある加速テストラインに設置された。DTLの過半数の加速セルがDTL1に集中しており、DTL1の加速電場の調整はきわめて重要である。地上にある空洞調整室において固定チューナーおよびポストカプラーの調整が行われ、ユニットタンク毎に切り離し地下に移設した。その後、地上での加速電場に復元している事を確認した。調整および確認のための測定にはbead-pull perturbation法を用いた。

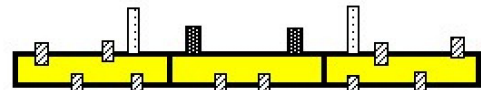
## 2. DTL1の構造

DTL1は3MeV~20MeVまでの加速を担当し、約10mである。また、75個のフルドリフトチューブ(DT)と2つのハーフDTが内蔵されており、76個の加速セルで構成されている。DTの低エネルギー側は13mmのビーム孔直径であり、57番目のDTで18mmのビーム孔直径に変わる。

入力カプラーおよび、チューナーの位置を図1に示す。DTLは2本の入力カプラーと10本の固定チューナー、2本の可動チューナー、およびDT一つおきに37

本のポストカプラーが付けられている。

固定チューナーは80mmの直径で、挿入量を設置前に調整する事によりDTLの共振周波数を調整できるようになっている。負荷がかかった時には可動チューナーにより共振周波数を調整する。そして、ポストカプラーによって加速電場を安定化している。また、入力カプラーが2つ取り付けられているのは入力カプラーの負担を軽減するためであり、位置は両端から4分の1の点である。これは、 $TM_{011}$ モードの励起を抑えるためである。



Input couplers Fixed tuners Movable tuners

図1: 入力カプラーおよびチューナー配置図

## 3. DTL1の調整

### 3.1 固定チューナー調整

まず、固定チューナーの長さの調整をし、加速電場の平均化と加速モードの共振周波数調整を行った。加速電場の測定はbead-pull perturbation法により測定された。固定チューナーは大気圧、低電力試験のみができる調整用可動チューナーに置き換え調整が行われた。

チューナーおよびポストカプラーを挿入していない状態で測定を行うとタンク後半の電場がかなり強く、大きな調整を必要とした。また、平均的に空洞の周波数がやや低かったため、平坦な電場を保持するという条件下では後半のチューナーの挿入量が有効最大量まで挿入しても、真空やポストカプラーの挿入などの補正を行った後の調整目標値より100kHzほど低い323.72MHzにまでしかすることができなかった。ここで、それを補正する方法には3つほど考えられた。1)第3ユニットタンクの直径を小さくする。2)チューナーの直径を大きくする。3)ポストカプラーの柄の根元を太くする。1)および2)が標準的な方法である。しかし、組み立てまで終了した状態からでは非常に

<sup>1</sup> E-mail: hirokazu.tanaka@kek.jp

困難であるため、3)の方法が選択された。後半の13個のポストカプラーの根元から80mmを直径20mmから直径35mmに変更した。これにより323.81MHzにする事ができた。

### 3.2 ポストカプラー調整

二種類のポストカプラーの長さおよびタブの回転を調整し、加速電場の微調整と安定化を行った。挿入量を同一にして調整した場合には、外乱に弱く、チューナーの挿入量を変化させる摂動を加えると、大きく変動し安定化がほとんど成されていない事が分かった。隣接モードである $TM_{011}$ および最も周波数の高いポストカプラーモード( $PC_1$ )を測定したところ、ビーム軸における電場がそれぞれのモードで大きく異なっている事が分かった。これをそろえると安定化できる事が予想された。そのため、ポストカプラーを形状の違い、およびそれらの中で上下流で分け、計4グループに分けた。挿入量をグループごとに変化させ、 $TM_{011}$ および $PC_1$ をそろえる事を行った。

それにより、安定化された加速電場を作る事ができた。

さらに、タブの回転により各セルごとの細かい平均加速電場の調整を行い、 $\pm 0.64\%$ と良い結果を得る事ができた。(図2)

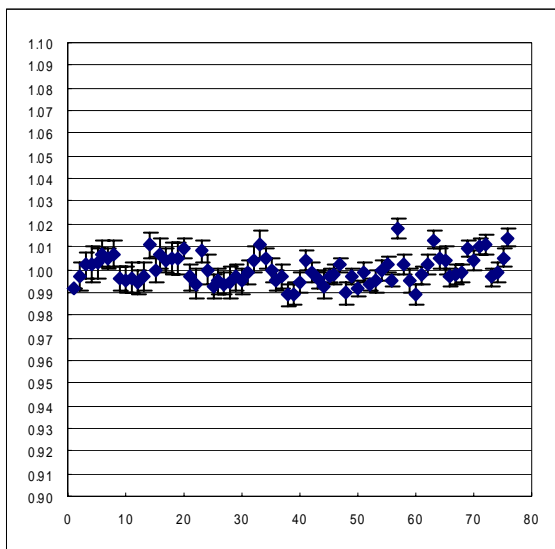


図2：地上でのDTL1の平均加速電場  
(平均値を1に規格化してある)

### 3.3 BEAD-PULL PERTURBATION法

ビーム軸上の電場の測定はbeadつまり小さい金属球をビーム軸に沿って移動させ、共振周波数の変化を測定する事により行った。この手法は参考文献[2]に詳しい。

実際には、その金属球をタンクの中で支持し、移動させるために、ビーム軸に糸を通し、治具によってその糸を図3のように一周させ支持した。その糸に金属球を固定し、その糸を駆動モーターによって動

かし測定した。今回の測定ではタンクが10mと長かったため、糸の振動防止のために20kg程度とかなり強いテンションを糸にかけ測定した。

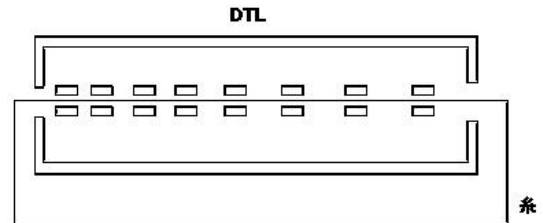


図3：糸の配置(概念図)

## 4. 地下加速電場測定

動かすことのできる調整用の固定チューナーとポストカプラーから、真空とハイパワーに耐えうるものに変え、地上で再測定したところ、調整用の物で測った結果と良く一致したため、地下の加速ラインに移動し、設置した。このとき、DTLは10mと長いので3つのユニットタンクに分割され、地下に下ろされた。地下でアライメントをし、再結合された。ここで、地上と同等の分布を持っている事や、移動中の振動などでDTが動いてしまい電場分布が変化する現象が起きていないことを確認するために、地下で再測定をした。

それに当たり、地下に設置後は地上と違いDTLの上下流にビームダクトなどがあるため、スペースが狭く、地上でのbeadの支持治具が使えない事が分かった。特にDTL上流部にはRFQからのビームトランスポート(MEBT)があり極めて狭いため、上流部は滑車で糸をガイドする機能のみとし、下流部にテンションの調節機構を移動させた。(図4)下流部は、地上と同様にステッピングモーターによる駆動機構と上流部から移動したテンションの調整機構をつけた。(図5)また、DT上部に電極がつくため、糸の位置も上部は通すことができず、横に通すようにした。

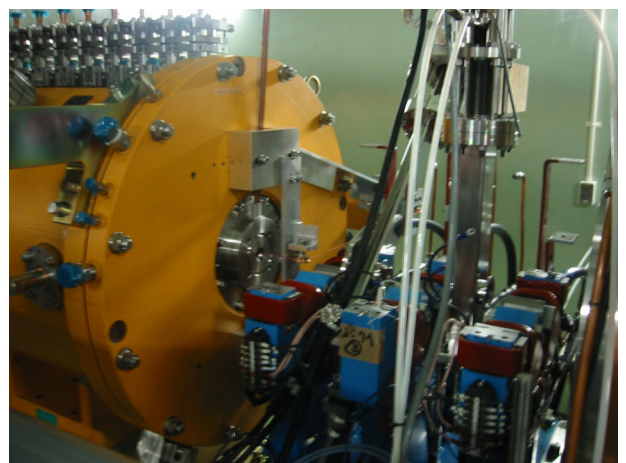


図4：上流部治具  
(手前に見える青い物はQ磁石である。)

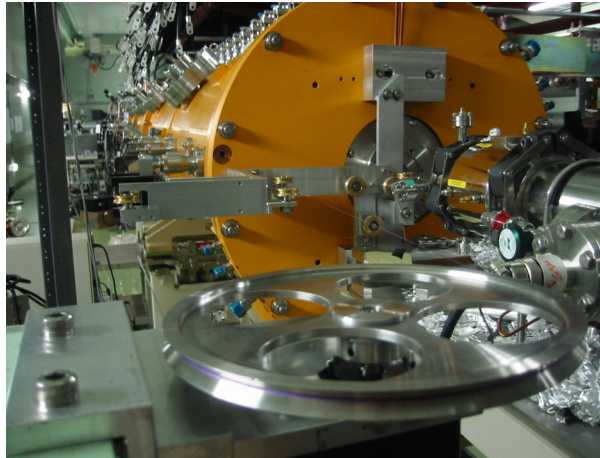


図5：下流部治具

(手前に見える大きなプーリーが駆動プーリー、中央右付近に見える3つかたまったプーリーがテンション調整機構である)

これにより、測定が可能になり、測定の結果、地上とほぼ変わらない  $\pm 0.85\%$  という性能が得られている事が分かった。(図6)ここで、ピーク変位はほぼ変わっていないが、エラーバーが大きくなっているのは、地下の方が電氣的やその他のノイズが大きいため、測定そのものの精度が上げられなかった事が原因だと考えている。

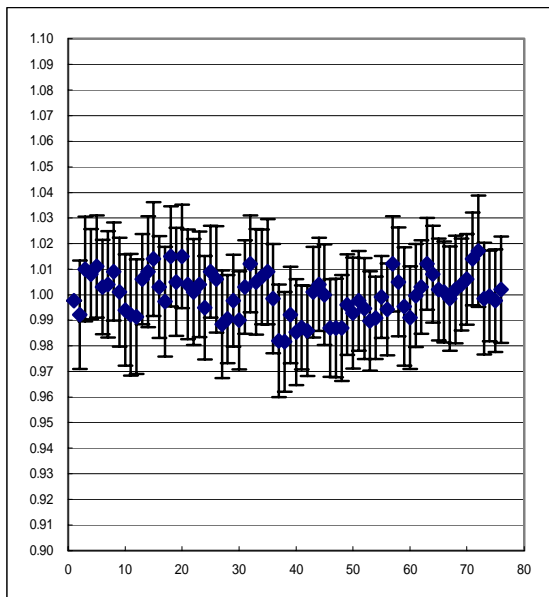


図6：地下でのDTL1の平均加速電場

(平均値を1に規格化してある)

これでDTL1は測定できたが、次のDTLであるDTL2はDTL1との隙間が今回のDTL1の上流部の隙間よりも狭いため、DTL1の設置後に設置されるDTL2の設置後の測定用にはより薄型の上流部を持つbead支持治具を作る必要がある。

## 5．結論

J-PARC用DTL1のポストカプラーおよび固定チューナーの調整は、ポストカプラー形状変更などはあったものの、地下に設置後においても加速電場のばらつきが  $\pm 0.64$  で安定化されると言う良い結果を得る事ができた。

## 参考文献

- [1] F.naito, et al, "Tuning of the RF field of the DTL for the J-PARC", PROCEEDINGS OF THE 2001 PARTICLE ACCELERATOR CONFERENCE.
- [2] S.Okumura and A.Swenson, "Bead perturbation measurement for the KEK linac cavity", KEK-report, KEK-74-15(1975)