

RF characteristics of J-PARC DTL3 cavity

ITO Takashi^{1,A)}, ASANO Hiroyuki^{A)}, MORISHITA Takatoshi^{A)},
KATO Takao^{B)}, TAKASAKI Eiichi^{B)}, TANAKA Hirokazu^{B)}, YOSHINO Kazuo^{B)}, NAITO Fujio^{B)}

^{A)} Japan Atomic Energy Research Institute

Shirakata Shirane 2-4, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki-ken, 305-0801

Abstract

The third Drift Tube Linac (DTL3) is adopted for 37MeV-50MeV part of high intensity proton linac for Japan Proton Accelerator Research Complex(J-PARC). DTL3 consists of 26 full drift tubes, 2 half drift tubes and 26 post-couplers. As a result of tuning of the accelerating field of the DTL3, the resonant frequency was adjusted to 324MHz and the average accelerating field distribution was adjusted within 1%.

J-PARC DTL第3空洞の高周波特性試験

1. 概要

日本原子力研究所と高エネルギー加速器研究機構(KEK)が共同で進めている大強度陽子加速器計画(J-PARC)では、3MeV~50MeVまでのH-イオンの加速に、ドリフトチューブリニアック(Drift Tube Linac: 以下DTL)が用いられる。

DTLは全3空洞から成り、それぞれの空洞は3台のユニットタンクを結合することで構成される。DTL第一空洞(DTL1)は、KEKにおいて組立て、設置、及び加速試験までが行なわれ、各種ビーム特性測定が行なわれた。また、DTL2及びDTL3は、組立て終了後、各空洞の電場分布調整・周波数調整等、RF特性試験を行なった。

ここでは、DTL第三空洞の電場分調整など、rf特性測定の結果について報告する。

2. はじめに

図1にJ-PARCリニアック部の概略図を示す。

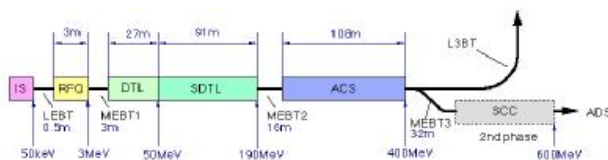


図1. J-PARCリニアック部の概略図

J-PARCのリニアック部では、3MeVまでの加速に対しRFQが、3~50MeVまでの加速にはDTLが、そして50MeV~191MeVまでのビーム加速のためにSDTL空洞が用いられる。その後400MeVまでの加速

には環状結合構造空洞(ACS)が用いられ、ビームラインを通じて3GeVシンクロトロンに入射される[1]。

DTL空洞には、加速電極としてのドリフトチューブ(DT)が、端板にはハーフドリフトチューブ(HDT)が装着される。また、このDT(HDT)にはビーム収束用電磁石(DTQ)が内蔵されている。DTL部は全146セルであり、各DTLタンク毎に76セル、43セル、及び27セルという構成になっている。

現在までに、DTL1空洞を用いたビーム加速試験が行われ、各種ビーム特性の測定が行なわれた。また、DTL2及びDTL3の組立てが終了し、RF特性試験終了後、DTL1と共にユニットタンクの状態に分解され、原研東海研究所に建設中のJ-PARCリニアック棟加速器トンネル内に搬送予定である。

3. DTL3空洞の構造

DTL3は、負水素イオンをおよそ37MeVから50MeVまで加速する。表1にDTL3空洞の主なパラメータを、図2にDTL空洞概略図を示す。

DTL3は3台のユニットタンクを結合する構造であり、ユニットタンク内径は約560mm、ユニットタンク長は約2200mm~2700mm、3ユニットタンクを連結させると約7300mmとなる。セル数は28であり、空洞にはDT26本、上・下流の端板にはHDTが1個ずつ装着され、これらDT及びHDTは、外形140mm、ボア径26mmであり、内部には電磁石(DTQ)が内蔵されている。DT及びHDT取付け精度は、トランスバース方向50μm以内、加速軸方向100μm以内となっている。またその他に、電場分布及び周波数調整用の固定チューナー10台、ハイパワー運転時の周波数調整用自動チューナー2台、電力投入用RFカブ

¹ E-mail: itou@linac.tokai.jaeri.go.jp

ラー2台、及び、電場分布安定化のためのポストカプラー26本が取り付けられる。

空洞は中空鍛造の鉄製である。空洞内壁面は周期反転銅電鍍（PR銅電鍍）により銅の層を形成させ、機械加工後（内径加工後）に電解研磨による仕上げを行っている。また端板表面及びDT（含：ステム）、HDT表面には、空洞部同様PR銅電鍍が施されている。

表 1. DTL3主要パラメータ

空洞内径	561 mm
空洞長	2190.47 mm
	2713.36 mm
	2419.01 mm
セル数	27
ポストカプラー	26 (8, 10, 8)
固定チューナー	8 (3, 2, 3)
自動チューナー	2 (0, 2, 0)
RFカプラー	2 (1, 0, 1)
運転周波数	324 MHz
DT外径（直径）	140 mm
Bore直径	26 mm
ステム直径	34 mm
入射エネルギー	36.7 MeV
出射エネルギー	50.0 MeV
平均電場強度	2.9 MV/m
投入電力	1 MW (Peak)

※ポストカプラー～RFカプラーの括弧内の数字は、それぞれのユニットタンクへの装着数

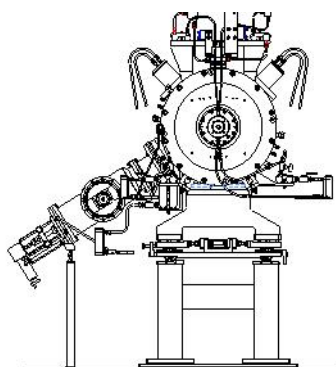
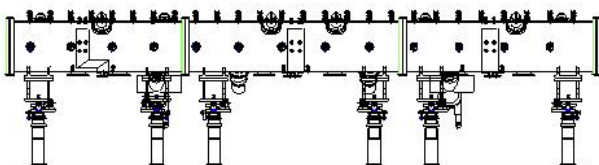


図 2. DTL空洞概略図

3. 電場分布調整

3.1 チューナー調整

自励振系を構築し、ビーズ摂動法により加速軸上の電場分布調整を行った。図 3 に電場分布調整前の電場分布（左図）及び各セルの平均電場分布（右図）を示す。

左図の横軸はビーム軸に沿った位置（点）、縦軸はレファレンス信号との周波数差を表す数値（ E^2 に比例）、また右図の横軸はセル、縦軸は電場分布のデータから計算した平均電場強度を示す。

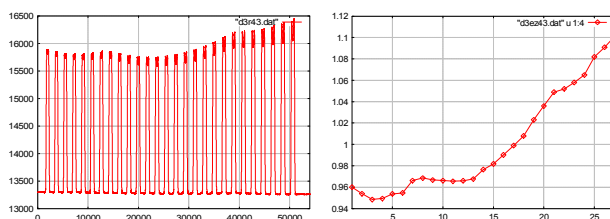


図 3. 電場分布（左）及び各セルの平均電場強度（右）

調整前のチューナー及びポストカプラーは、全て空洞壁面に位置している。この状態での電場分布は上流側が低くなる偏った分布をしている。共振周波数は323.09MHzである。

ポストカプラーを挿入した際の周波数変化を考慮し共振周波数は約323.66MHz（ポストカプラー挿入後は323.91MHzが目標）、また、要求される加速ビームの条件を考慮し、電場分布のばらつきは全幅で±1%以内に納める事を目標に行なった。

まず始めに、チューナー挿入量の調整のみで、電場分布を約1%以内に調節したものの、共振周波数が設計値よりも低くなった。このためポストカプラーの根本を太くすることで（チューナーと同等の役割をさせ）共振周波数を上昇させることとし、再度チューナー挿入量を変化させ、電場分布の調整を行なった[2][3]。

その結果、ほぼ目標通りの共振周波数及び電場分布を得た。この時のチューナー挿入量と平均電場分布を図 4 に示す。

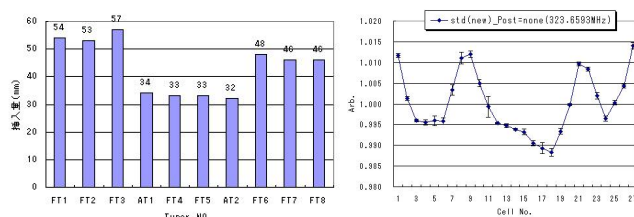


図 4. チューナー挿入量（左）と平均電場分布（右）

3.2 ポストカプラー調整

次に、電場分布の微調整及び、電場分布を安定化させるために、ポストカプラーの挿入を行い、最適な挿入量及びポストカプラー回転角度の調整を行なった。図5にポストカプラーの概略図を示す。

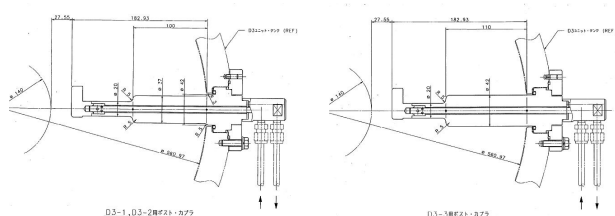


図5. ポストカプラー概略図
左図：D3-1, 3-2用 右図：D3-3用

ポストカプラーの根元は、周波数調整のため太くなっており、先端は電場分布微調整用のタブがついている。

ポストカプラーは、電場分布が最も安定化するよう挿入される。測定では、3.1項で挿入したチューナー挿入量をスタンダードな状態とし、空洞に対し摂動を与え（チューナーの挿入量を変化させる）、その時の電場分布の変化を測定する。摂動を与えた時の測定例を図6に示す。

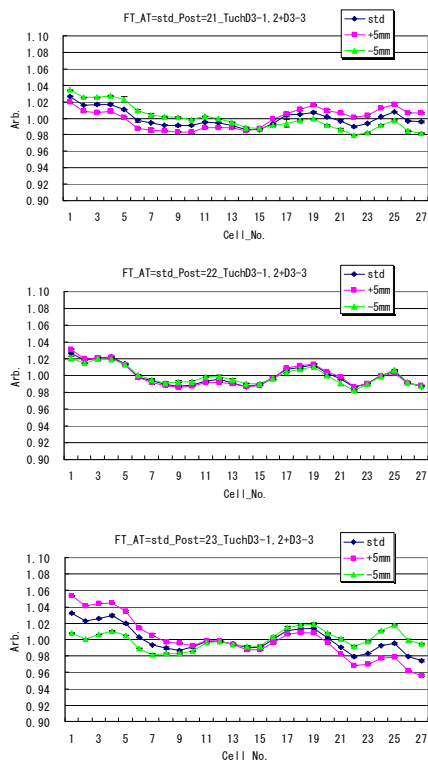


図6. 摂動を与えた時の電場分布測定
上からポストカプラー挿入量21, 22, 23mm
凡例の+5mmは上流側チューナーを5mm挿入した
(下流は抜いた)時、-5mmはその反対の状態

図に見られるように最も安定した電場分布は挿入量22mmの時であり、この値を挿入量と決定した。

ポストカプラー挿入量決定後、ポストカプラーのタブ回転を行い、電場分布の微調整を行なった。その結果、電場分布のばらつきは±0.8%以下となり、当初の目標を達成した。またこの時の共振周波数は323.914MHzとなり、ほぼ目標の周波数となった。

図7に調整前、チューナーのみの調整及び最終的な電場分布の測定結果を示す。

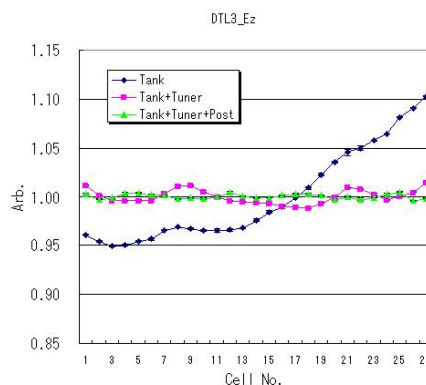


図7. 平均電場分布測定結果
凡例上から、調整なし、チューナー調整、
チューナー+ポストカプラー調整

図から明らかなように、調整前には全幅で15%以上あった電場分布のばらつきが、各調整の段階を経て最終的に大きく改善し、1%以下となっていることが分かる。

4. 結論

DTL第三空洞 (DTL3) の高周波特性試験を行なった。チューナー及びポストカプラーの調整を行い、共振周波数323.914MHz、各セルの平均電場分布のばらつき±0.8%以下という値を得た。

現在DTL3はユニットタンクに分割されており、J-PARC加速器トンネル内への設置の準備が整い次第、原研へ搬送予定である。9月からはDTL1からの設置が行なわれ、本年中にはDTL3までの設置が終了する予定である。

参考文献

- [1] “Accelerator Technical Design Report for J-PARC”, KEK Report 2002-13; JAERI-Tech 2003-044.
- [2] F. Naito, et al., “TUNING OF THE RF FIELD OF THE DTL FOR THE J-PARC”, Proc. of PAC 2003, Portland, OREGON, 2835(2003)
- [3] 田中宏和, et al., “J-PARC用第2及び第3DTLのローレベル測定と調整”, Proceedings of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Funabashi, JAPAN, 215 (2003)