

RF measurements of DTLs for the J-PARC linac after the installation

Hirokazu Tanaka^{1,A)}, Hiroyuki Asano^{B)}, Takashi Ito^{B)}, Takao Kato^{A)}, Eiichi Takasaki^{A)}, Fujio Naito^{A)},
Takatoshi Morishita^{B)}, Kazuo Yoshino^{A)}

A) High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 OHO, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

B) Japan Atomic Energy Agency (JAEA)
2-4, Shirakata-Shirane, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1195

Abstract

There are three DTLs in J-PARC linac. All DTL cavities were already aligned on the beam line in the linac tunnel of J-PARC at the JAEA in Tokai. Although the RF properties of the cavities were measured and adjusted at KEK in Tsukuba a few years ago, the properties have been measured again in the tunnel after the installation of the tanks in order to confirm that the tanks keep their original RF properties against the mechanical vibration by the transportation of them from KEK to JAEA.

J-PARC リニアック用DTL 空洞の設置後のRF 特性試験

1. はじめに

J-PARC リニアックの3MeVから50MeVへの加速に用いられる三台のDTL加速空洞は、KEKで組み立てられ、そこで高周波特性の測定と調整が行われた^{[1][2][3]}。その後、J-PARCの建設地であるJAEAへの輸送のためそれぞれ三つのユニットタンクに分割し、移送した^[4]。そして、J-PARC加速器トンネル内に設置し、ユニットタンクを再結合した^[5]。

そのため、KEKで測定したRF特性が維持されているかを確認する必要があり、今回、測定を行った。その結果について報告する。

2. J-PARC用DTL空洞について

J-PARC リニアックは、イオン源で生成したH⁺ビームをRFQで3MeVまで高周波加速し、MEBTでビームの診断および調整を行いDTLに入射する。そして、DTLで50MeVまで加速した後、SDTLなどの後段の加速器で加速する構造になっている。DTLは低速からビームを加速するため、ビームの品質に与える影響がおおきい。ゆえに、J-PARCのような大強度で高品質なビームを加速するためには、DTLには均一な加速電場とその安定性が必要とされる。

J-PARC用DTL空洞^[7]の概要は空洞内径561mm、ドリフトチューブ外径140mm、ビーム孔直径13~26mm、共振周波数324MHzである。全長は第一タンクが9.9m、第二タンクが9.4m、第三タンクが7.3mでそれぞれ、三つのユニットタンクから構成されている。加速セル数は第一タンクが76セル、第二タンクが43セル、第三タンクが27セルある。

3. 測定

測定は、空洞のRF特性にかかわるすべての付属品を設置した後、それぞれの空洞に二つある入力カプラーに、同軸管-N型コネクタ変換器を付け、ネットワークアナライザーに接続して行われた。そして、加速モードの共振周波数およびQ値と反射係数を測定した。また、加速モード近傍のモードの共振周波数を測定し、分散曲線も得た。なお、KEKでの測定ではbead摂動法で、軸上の電場分布を測定したが、参考文献^[6]で述べられているように、設置後は各空洞間の間隔が極めて狭く、beadを保持するための糸を張るアームの設置が難しいため、軸上電場分布は、測定は行わなかった。(図1)しかし、参考文献^[4]でDTの位置変化がないことが確認できていることから、今回の測定項目が一致すれば、RFの状態が変わっていないと考えてよい。

加速モードの測定結果を表1に示す。表1の括弧内は、移送前との差を示している。

それぞれの空洞の分散曲線を図2から3に示す。PC-xはポストカプラーモードで加速モードに近い順に番号をふったものである。さらに、影響の大きいTM011モードとPC-1モードの周波数を表にした(表2)。

これを見ると、移送前後の結果はほとんど重なっており、よく一致している。

表1 加速モード

	移送前		設置後	
	補正後周波数	Q0	補正後周波数	Q0
	MHz		MHz(kHz)	
DTL-1	324.0293	46400	324.0275(-1.8)	48000(+3%)
DTL-2	324.0133	50300	324.0275(+14.2)	49900(-1%)
DTL-3	324.0308	51900	324.0193(-11.5)	51700(<1%)

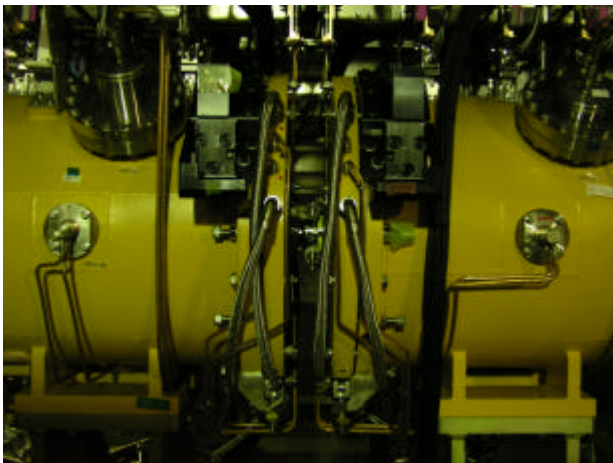


図1
DTL1とDTL2の間の空間

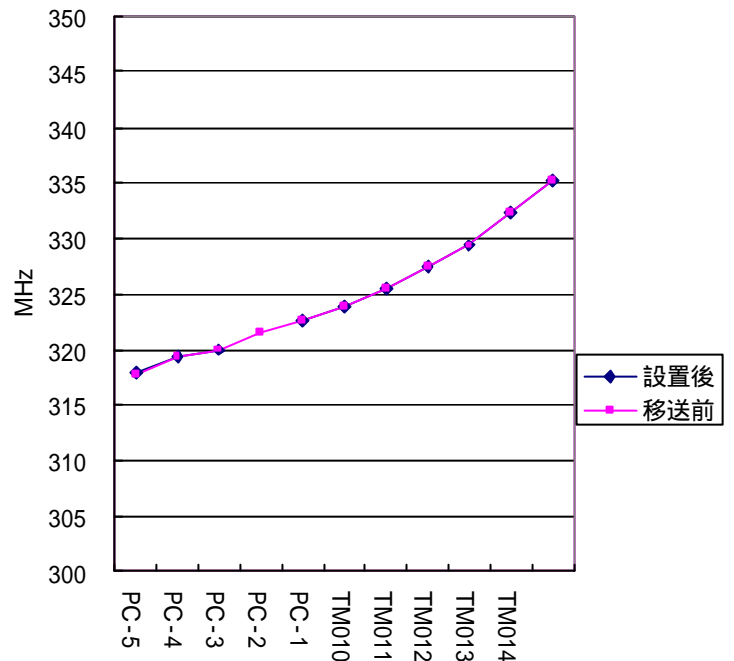


図2 DTL-1の分散曲線

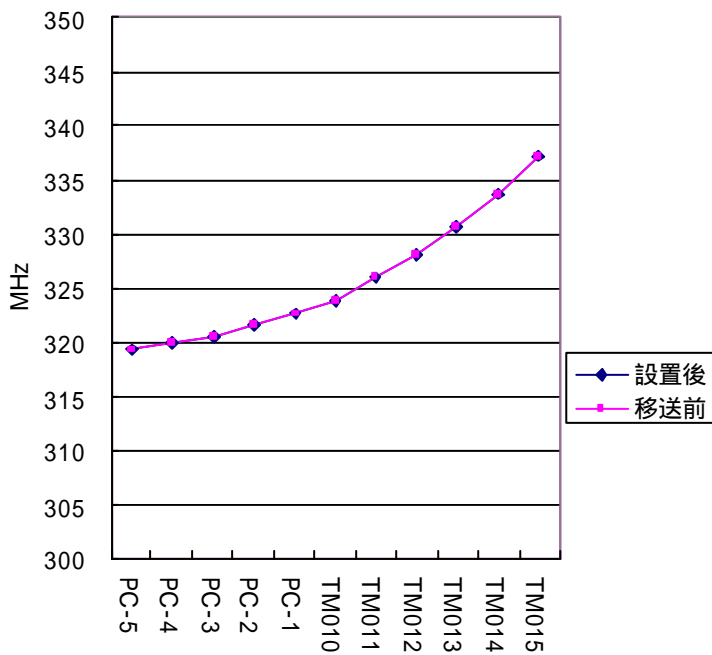


図3 DTL-2の分散曲線

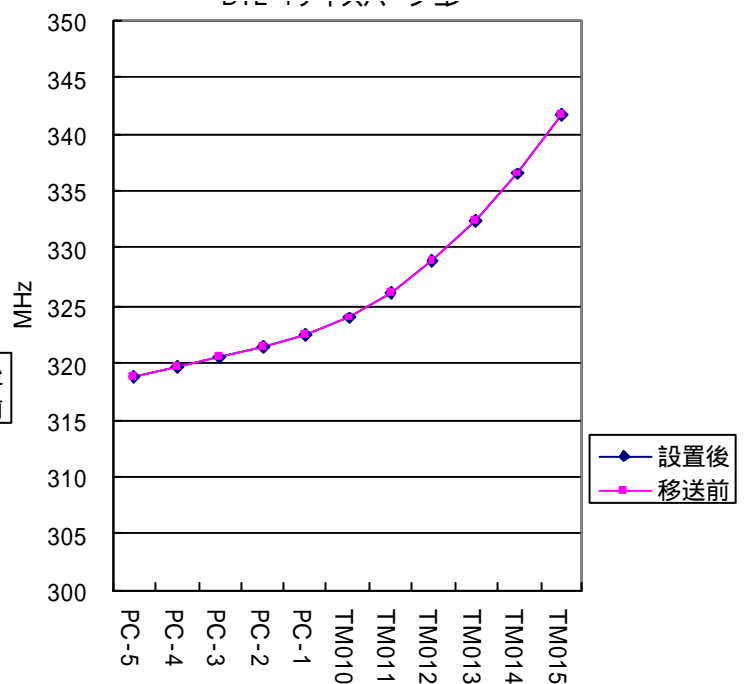


図4 DTL-3の分散曲線

表2 隣接モード

DTL-1	移送前[MHz]		設置後[MHz]		差の変化量 [MHz]
	周波数	加速モードとの差	周波数	加速モードとの差	
PC-1	322.5884	-1.3523	322.5876	-1.3603	-0.0080
TM010	323.9407	---	323.9479	---	---
TM011	325.455	1.5143	325.4476	1.4997	-0.0146

DTL-2	移送前[MHz]		設置後[MHz]		差の変化量 [MHz]
	周波数	加速モードとの差	周波数	加速モードとの差	
PC-1	322.6776	-1.2419	322.6991	-1.2465	-0.0046
TM010	323.9195	---	323.9456	---	---
TM011	325.8843	1.9648	325.9024	1.9568	-0.0080

DTL-3	移送前[MHz]		設置後[MHz]		差の変化量 [MHz]
	周波数	加速モードとの周波数差	周波数	加速モードとの周波数差	
PC-1	322.3560	-1.5735	322.3668	-1.5729	0.0006
TM010	323.9295	---	323.9397	---	---
TM011	326.0685	2.1390	326.0717	2.1320	-0.0070

表1をみると、Q0は測定誤差の範囲内で変化がない事が分かる。しかし、周波数は十数kHz変化があるものがある。これには、いくつか理由が考えられる。主なものを以下にあげる。

1. 空洞内には乾燥窒素を入れているが、外気との混合が存在し、10kHz程度のばらつきがある。27で324MHz付近では湿度1%につき0.4kHz程度の周波数変動があるためである。
2. 測定時に、空調の気流や水銀灯の明かりによる温度勾配が0.2~0.5程度あったことから空洞全体が均一な温度であるという仮定をして補正したことによるエラーも入り込んでいる。内部の温度は測れないため、この影響を見積もることは難しいが、27付近では空洞が均一に1下がると4kHzあがる。
3. 位置空洞あたり二台ある自動チューナーの位置は目視で設定しており、その誤差が1kHz程度存在する。
4. RF入力カプラーの構造が低電力試験用と大電力用のものが異なる。

以上の結果、20kHz程度の誤差を見積もった。そのため、これらの測定値は十分誤差の範囲内である。そして、この程度の周波数変化は、KEKでの測定結果より可動チューナーで補正が可能である^{[1][2][3]}ことがわかっているため問題がない。

表2を見ると、特に隣接モードとの差は1~2MHzに対して10kHz程度の差であり、ポストカプラーの挿入量が0.1mm変わった場合よりも小さい。よって、参考文献^[2]によるとKEKでの調整と測定の結果に影響を及ぼすような程度ではない。

4. 結論

ユニットタンクへの分解と移送および設置によるRF特性変化は、観測されなかった。KEKで調整した状態が、設置後も再現されていることが確認された。

参考文献

- [1] F.Naito, et al., "TUNING OF THE RF FIELD OF THE DTL FOR THE JPARC", Proc of PAC'03, Portland, Oregon, USA, 2003 May 12 - 16, URL <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/p03/PAPERS/RPAB049.PDF>
- [2] H.Tanaka, et al., "Tuning of the RF field of 2nd and 3rd DTL for the JPARC", Proc of 1st annual meeting of particle accelerator society of Japan, August 4-6, 2004, Funabashi Japan, URL <http://lam29.lebra.nihon-u.ac.jp/WebPublish/4P05.pdf>
- [3] Takashi Ito, et al., "J-PARC DTL第3空洞の高周波特性試験", Proc of 2aand annual meeting of particle accelerator society of Japan (p242), 2005 July 20 - 22
- [4] Fujio Naito, et al., "J-PARC用DTL空洞の輸送", Proc of 3rd annual meeting of particle accelerator society of Japan (WP28), Sendai, Japan, 2006 Aug 2-4
- [5] Takatoshi Morishita, et al., "J-PARCリニアックにおけるDTL/SDTLのアライメント", Proc of 3rd annual meeting of particle accelerator society of Japan (WP36), Sendai, Japan, 2006 Aug 2-4
- [6] Hirokazu Tanaka, et al., "J-PARC用第1DTLの軸上加速電場測定", Proc of linear accelerator meeting meeting in Japan. URL <http://www-linac.kek.jp/mirror/lam28.tokai.jaeri.go.jp/proceedings/TB-3.pdf>
- [7] 池上雅紀, "線形加速器(II)", OHO '01, URL <http://acphysic.kek.jp/OHO/OHO01/home.html>