

MEASUREMENT OF Q FACTOR OF J-PARC SDTL CAVITIES AT HIGH POWER

Hirokazu Tanaka¹, Kesao Nanmo
High energy accelerator research organization (KEK)
1-1 OHO, Tsukuba, Ibaraki, Japan, 305-0801

Abstract

J-PARC linac consists of ion source, RFQ, DTL, SDTL. Whole cavities are operated with the pulsed RF power. Thus we have estimated the Q-values of all SDTL cavities during the beam operation by the measurement of the dumping time constant of the falling edge of the RF pulse in each cavity. The measured Q-values are consistent with the results taken by the network analyzer. The measurement scheme and the results are discussed in detail.

大電力におけるJ-PARCリニアックのSDTL空洞のQ値測定

1. はじめに

J-PARCリニアックは図1のように、イオン源、RFQ、DTL、SDTLとそのビームトランスポートからなり、安定な運転を通じて、J-PARC全体の調整の進展に寄与している。

空洞およびビームトランスポートは、運転中、強い放射線を発するため、地下の加速器トンネル内に設置されていて、地上のクライストロンギャラリーより電力などの供給を受けている。

SDTLの空洞は、全部で32空洞あり、うち2空洞がデバンチャーとして下流のビームトランスポートで使用されており、加速空洞としては、SDTL空洞は50MeVから181MeVまでの加速を担っている。SDTL空洞の大電力運転時のQ値については、参考文献^[1]によって報告されているが、低電力での測定値と異なっている。その後、一部のSDTL空洞を低電力で再測定したが、設置直後の低電力測定と比べて、大きな変化は見られなかった。そのため、今回、空洞の立ち下り時定数の測定方法を変えて、再度、大電力でのQ値の測定を行った。

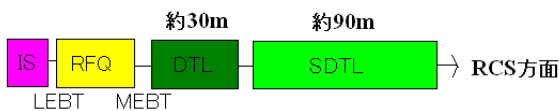


図1：J-PARCリニアックの構成

2. SDTL空洞

SDTL空洞は、アルバレ型DTL空洞と同様の加速原理により加速する空洞で、収束電磁石を図2のように空洞の外部に出すことにより、ドリフトチューブの設計自由度が増し、アルバレ型空洞の加速効率を

向上させることができる加速空洞である。^[2]

J-PARCのSDTL空洞の共振周波数は324MHzであり、約600usのパルス幅で、繰り返し25Hzで運転されている。定格投入電力は加速用空洞では170kw~640kwである。

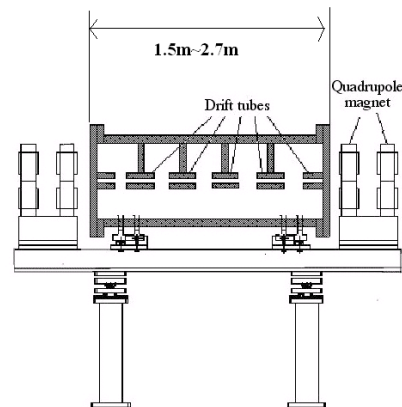


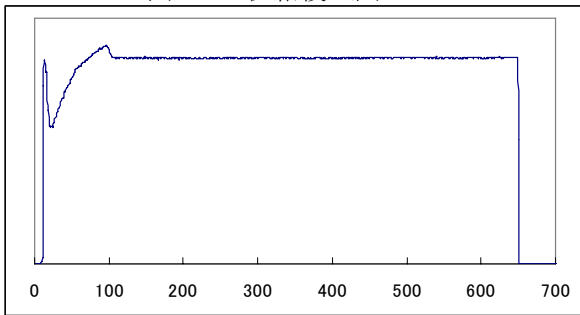
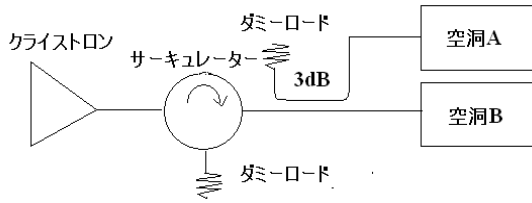
図2：SDTL空洞模式図

デバンチャーとして使用されている2空洞を除き、1台のクライストロンで2空洞が駆動されていて、それぞれにユニット番号 (S1~S15) がつけられている。なお、空洞番号S32が、デバンチャー1号機(DB1)、S31がデバンチャー2号機(DB2)として使用されている。

クライストロン出力は、サーキュレーターを通じてデバイダーで分岐され、空洞からの反射はすべてデバイダーおよびサーキュレーターに接続されたダミーロードが吸収するようになっている。(図3)

パルスの立ち上がりは、500us幅のビームに対して十分なフラットトップを持つよう、LLRFによって制御されている。それに対し、立ち下りは、制御の必要がないことから、RF入力十分短い時間で、ほぼステップ状に停止する。(図4)このときの、空洞のタンクレベルの立ち下り時定数を測定することにより、SDTL空洞のQ値を測定した。

¹ E-mail: hirokazu.tanaka@kek.jp



3. 測定

SDTL空洞に設置されている複数のRFピックアップからの信号が、加速器トンネルから同軸線によりクライストロンギャラリまで導かれており、RFのフィードバックなどの制御に用いられている。参考文献^[1]で用いたRFの制御用の測定器での測定では、ノイズと見られる減衰の重畳があったため、データの使用範囲を限定せざるを得なかった。そのため、今回は、制御に使っていないRFピックアップの信号を、直接、リアルタイムスペクトラムアナライザー(Tektronix製RSA2208A型)で測定した。図5にそのデータを示す。

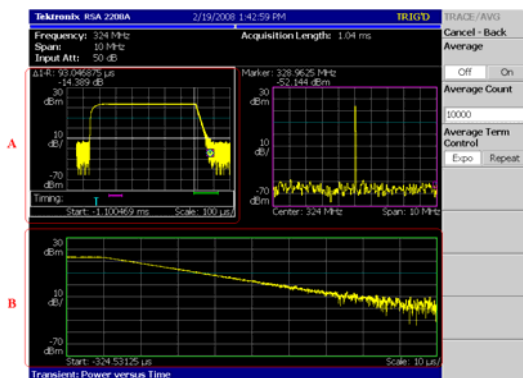


図5の左上(A部)は、時間軸でのRFパルス全体のシグナル強度を示しており、下(B部)に、立下り部分であるA部の下部に緑色で示された区間での時間軸での強度が拡大して示されている。このB部を読み取って使用した。

図5に示されたとおり、ノイズはあるものの、片対数グラフ上でほぼ直線状に落ちていることから、指数減衰をしていることがわかる。これを直線でフィットし、その係数から時定数を算出し、周波数

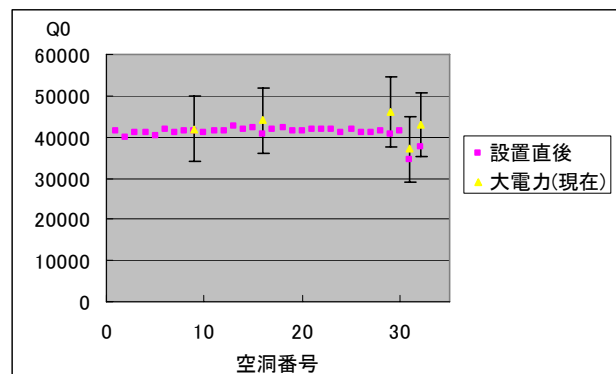
324MHzとVSWRメーターのVSWRを用いて、無負荷Q値(Q_0)を計算した。結果を表1に示す。

4. 測定結果の検討

表1の設置直後の Q_0 の値は、参考文献^[3]にまとめられている値で、ネットワークアナライザーを利用した低電力試験で測定されたものである。大電力の値が今回測定した値で、それを図6にプロットした。

表1：測定結果

ユニット番号	空洞番号	計算値	設置直後	大電力(現在)	
		Q_0	Q_0	Q_0	設置直後との比
S5A	S9	42210	41400	42000	101%
S8B	S16	41670	40500	44000	109%
S15A	S29	40740	40800	46000	113%
DB2	S31	40620	34580	37000	107%
DB1	S32	40570	37600	43000	114%



なお、測定誤差は、結合度の大きいデバンチャーを除き、主にVSWRメーターの電力測定器の精度に依存している。デバンチャーでは、負荷Q値(Q_L)の低下により、時定数が短くなるため、ノイズの影響が大きく、VSWRメーターの誤差と同程度ある。

図6をみると、測定誤差が大きいと、ややばらついているものの設置直後の低電力試験での Q_0 と測定誤差の範囲内で一致していることが分かる。

VSWRの誤差が大きいことから、 Q_L について、図8に参考文献^[1](2007)および参考文献^[3](2006)の時と今回(2008)の値を示す。 Q_L であるため、結合度の変更を受けた空洞については、前回の測定との比較はできない。今回について言えば、S31(DB2)空洞は、結合度を変更したため、大きく Q_L が変化している。他の空洞については、結合度の測定誤差は大きい、J-PARCのSDTL空洞では結合度半固定型の入力カップラーを使用しているため、入力カップラーの取り外し

がなければ、結合度そのものはほぼ変化していないものと期待できる。

図8をみると、結合度を変更した空洞を除き、設置直後の小電力の測定とほぼ一致している。ただし、他の条件(空洞の共振周波数の調整の仕方など)の影響も調べなければ、断定はできない。

結合度の変更ない空洞については Q_L の測定を続けることにより、運転中の空洞特性の変化の傾向を調査することができるものと思われる。

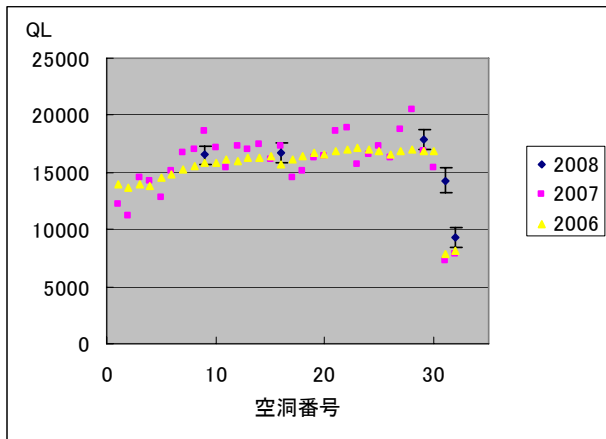


図8 負荷 Q 値

6. 結論

今回測定した空洞では、無負荷 Q 値は、変化を測定できなかった。誤差の小さい負荷 Q 値も、結合度を変更する作業を行っていない空洞では、変化はなかった。

結合度の変更がないと仮定できる空洞について、今回の負荷 Q 値の測定方法は、空洞特性の変化の傾向を見つけるのに有効と思われる。また、本測定は大掛かりな測定準備を必要とせず、運転中に測定できることも、利点である。

今後も、 Q 値の測定を継続していく予定である。

参考文献

- [1] F. Naito, et al., "J-PARC用DTL及びSDTL空洞のRF特性測定", proceedings of the 32nd Liner Accelerator Meeting in Japan, Wako, Aug 1-3, 2007, URL: [http://www.pasj.jp/web_publish/pasj4_lam32/PASJ4-LAM32%20\(D\)/contents/PDF/TP/TP04.pdf](http://www.pasj.jp/web_publish/pasj4_lam32/PASJ4-LAM32%20(D)/contents/PDF/TP/TP04.pdf)
- [2] T. Kato, "Proposal of a Separated-type Proton Drift Tube Linac for a Medium-Energy Structure", KEK Report 92-10(1992)
- [3] H. Tanaka, et al., "J-PARC リニアック用SDTL 空洞の設置後のRF 特性試験", proceedings of the 31st Liner Accelerator Meeting in Japan, Sendai, Aug. 2-4, 2006, URL: http://www.pasj.jp/web_publish/pasj3_lam31/Proceedings/W/WP38.pdf