

## MEASUREMENT OF THE RF PROPERTIES OF THE DTL AND SDTL CAVITIES FOR J-PARC

Fujio Naito<sup>1,A)</sup>, Shozo Anami<sup>A)</sup>, Masato Kawamura<sup>A)</sup>, Chikashi Kubota<sup>A)</sup>, Hirokazu Tanaka<sup>A)</sup>, Kesao Nanmo<sup>A)</sup>, Zhigao Fang<sup>A)</sup>, Yuji Fukui<sup>A)</sup>, Seiya Yamaguchi<sup>A)</sup>, Hiroyuki Asano<sup>B)</sup>, Takashi Itou<sup>B)</sup>, Hiroyuki Suzuki<sup>B)</sup>, Tetsuya Kobayashi<sup>B)</sup>, Etsuji Chishiro<sup>B)</sup>, Toshihiko Hori<sup>B)</sup>, Masayoshi Yamazaki<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0801

<sup>B)</sup> Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

1-1 2-4 Shirane, Shirakata, Tokai-mura, Ibaraki, 319-1195

### Abstract

The rf properties of the DTL and SDTL cavities which are main component of the linac of J-PARC have been measured with low and high power rf signal. For the high-power measurement of the Q-value of the cavity, the rf pulse shape in the cavity was used. The results show some discrepancy between the high-power and low-power data. During the summer maintenance period we are going to check the origin of the discrepancy.

## J-PARC用DTL及びSDTL空洞のRF特性測定

### 1. 序

大強度陽子加速器計画 (J-PARC) はKEKと原子力科学研究機構 (JAEA) が共同で東海村のJAEA敷地内に建設している大型加速器システムである。J-PARCの第一期計画での線形加速器部構成は上流からH<sup>-</sup>イオン源、RFQ、DTL (3台)、SDTL (30台) である。なおSDTLの31番と32番は当初デバンチャーとして下流ビームラインで使用されている。[1] 従ってJ-PARCリニアックの主要部分はDTLとSDTLで成している。

DTLの各空洞長はおよそ10mであり、各空洞は3m程度のユニットタンクを3本連結してRF的に1空洞にしてある。空洞内径は561mm、周波数は324MHzである。内部につり下げられているドリフトチューブ (DT) には4極電磁石が内蔵されている。

SDTLは5ギャップの短い加速空洞である。DTは磁石を内蔵しておらず、その代わりに図1に示すように空洞間に4極電磁石のダブレットを設置している。空洞内径は520mm、周波数は324MHz、空洞長は1.5m~2.5mである。(図1は偶数番の架台が描かれている。奇数番の架台は短くて空洞のみ乗せる。)

各空洞に高周波電力を供給する入力結合器 (入力カプラー) はDTL用の可変結合度型と、SDTL用の固定式 (結合度を変更するには入力結合器を空洞から外す必要有り) の2種類ある。なお両者は互換である。

結合度固定式の入力カプラーは装着時にその結合度を決めて調整してから固定する。SDTLの場合は1本のクライストロンが2つの空洞に電力を供給するため、結合度を隣接空洞で合わせる事が重要になった。DTLの場合は、結合度が可変なので初期は結合度はほぼ1にそろえて高周波大電力による空洞コンディショニングを行った。

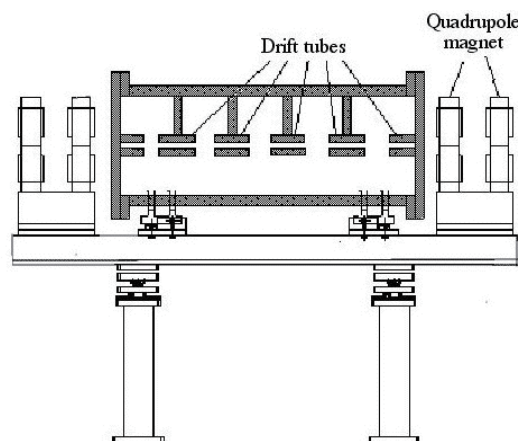


図1. SDTL模式図

以下の章ではSDTLに関してはカプラーの調整結果及びDTLとSDTLの低電力と中、高電力でのQ値測定の結果の比較検討を報告する。

### 2. SDTL入力結合器の結合度設定

入力結合器はループによる磁気結合型であり、ループの角度を変更することで結合度を変えることができる。ただしループ回転の作業は空洞から入力結合器を外して行う必要があるため、空洞の真空を破ることになる。SDTL空洞は全て寸法が異なるが、入力結合器は同一型を使用する。したがって最大結合度は全ての空洞でことなるが、最も長いS32で最大結合度は3.4 (実測) であった。従って他の空洞では (Q値が大幅に悪くない限り) 同程度以上の結合度がとれる。

SDTLの入力結合器の結合度の値を定める基準は

<sup>1</sup> E-mail: fujio.naito@kek.jp

以下の通り：

1. 同一クライストロンに接続している2空洞の結合度をそろえる；
2. オーバーカップリングにする；
3. ビーム電流が50mAになってもアンダーカップリングにならない事。
4. 50mA加速時でもクライストロンが十分に電力を供給できる；（結合度をむやみに大きくしない）
5. 3と4の条件から約60mAで臨界結合になるような結合度にする。但しクライストロンを共有する空洞間で、この電流値はなるべく近い値にする；
6. クライストロン出力の分割比を1：1に近づける

図2に実際に調整した結合度を示す。青い丸が初期にネットワークアナライザで測定した値であり、赤い丸は定格電力（200～900kW）を投入した時の値（チューナー調整後のVSWRメータの読み）である。

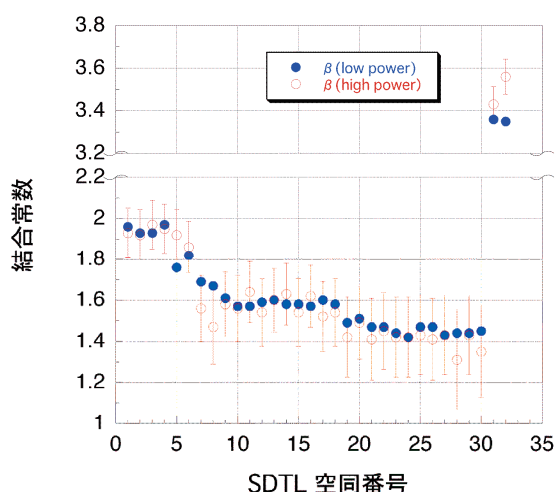


図2. SDTL入力結合器の結合度実測

赤丸の誤差が大きいのはVSWRメータ内蔵の電力計の精度による。またS31, 32の結合度が極端におおきいのは、前述したように、この2台がデバンチャー用に使用されているため別の条件で設定されているためである。

### 3. 高電力でのQ値と結合度測定

#### 3.1 RFパルス波形による測定

空洞は繰り返し25Hzのパルス高周波で駆動されている。パルス幅は本来は650μ秒である。したがってパルス形状が矩形ならば空洞内の高周波レベルの立ち上がり立ち下りは空洞のQ値で決る時定数で変化する。我々が現在使用しているRFパルスは立

ち上がり部を少し鈍らせてあるため、Q測定に簡単に利用できるのは立ち下りの部分のみである。図3に測定した空洞内のRFレベルの1例を示す。（この時のパルス幅はコンディショニングが不十分で660μ秒に対応できない空洞があったため、短めの330μ秒であった。）

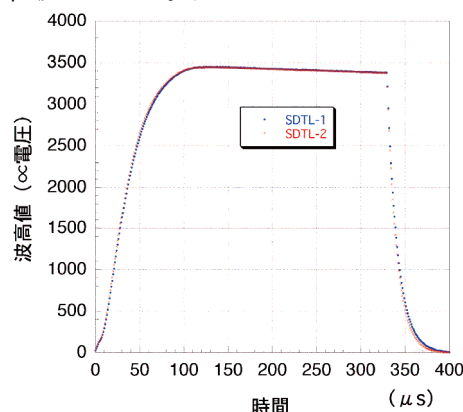


図3. SDTL1と2の空洞内高周波レベル

この波形の立ち下り部分（立ち上がりから330～400μ秒後の部分を主に使用。但し、データの質に応じて多少使用範囲は変更した。）の減衰率から $Q_L$ を求め（図4は1例）、別個に求めた入力カップラーの結合度から $Q_0$ を算出した。結果を図5にまとめる。なお $Q_0$ は数値計算値結果で規格化してある。

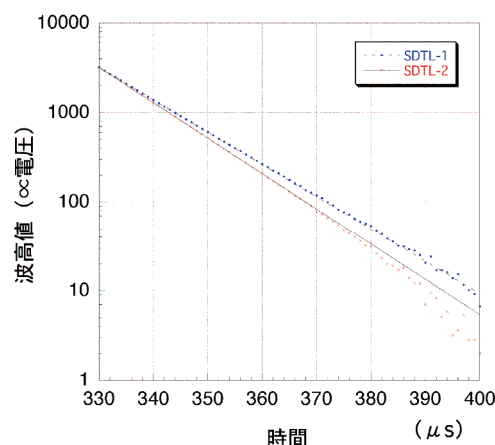


図4. パルス立ち下り部の例 (SDTL1,2)  
線はフィットさせた（指数的な）関数

図5には空洞設置直後にネットワークアナライザで行ったよる低電力測定での結果（青丸、全空洞）と次節で述べる30kW程度の中電力での測定（緑四角、4空洞のみ）結果も示してある。高電力での測定結果の誤差は主に結合度を求めるのに利用したVSWRメータの精度に由来する。

そして図6は同様に求めたDTLの結果である。高電力時のDTL-1の結果が低めである。

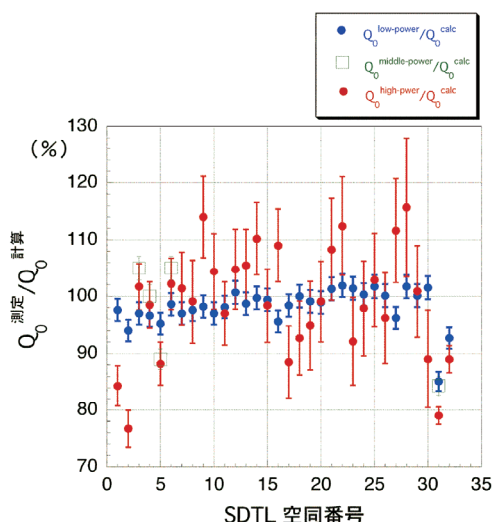


図5.  $Q_0$ 実測値 (SDTL)  
青丸:低電力、緑四角:中電力、赤丸:高電力

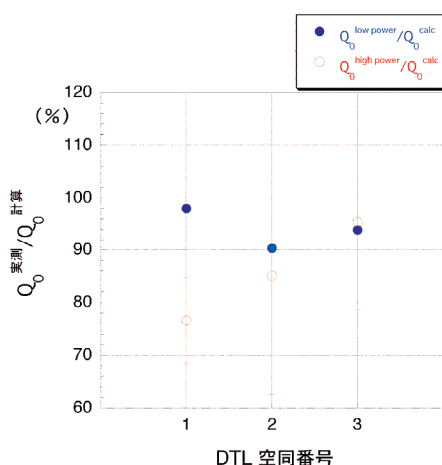


図6.  $Q_0$ 実測値 (DTL)  
青丸:低電力、赤丸:高電力

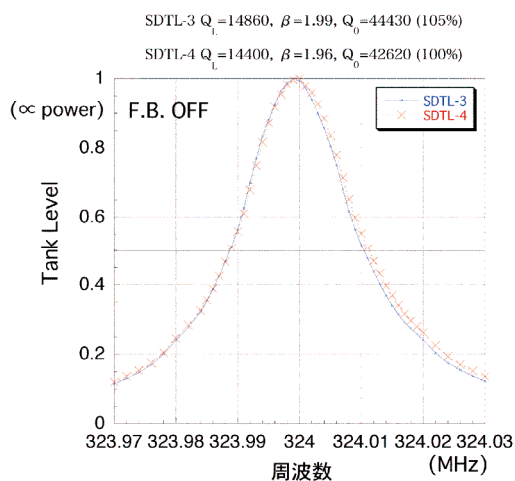


図6. SDTL-3,4のQ測定 (中電力)  
空洞当り約30kWの入力

### 3.2 クライストロン出力の周波数走査による測定

空洞に電力を供給するクライストロンは通常は制御系回路からの324MHz基準信号で駆動されている。この基準信号の変わりに別の信号発生器を接続し入力周波数を変えながら空洞のRFピックアップモニターからの透過信号を測定して、 $Q$ 値を求めた。この時空洞への入力電力は約30kWとした。測定はS3~6の4空洞について行った。図7にS3とS4の結果を示す。縦軸は電力レベルなのでピークの半値幅が $Q_L$ に対応する。まとめた結果は前述したように図5に記してあり、高電力の結果とは良く一致している。なお測定時はRF制御のフィードバックは切っている。

## 4. 考察

高電力での $Q$ 値測定はバラつきが大きいのが、当初はバラつきの範囲内で全体的に低電力時の測定結果と矛盾していないと判断していた。しかしその後行った4空洞に対する中電力での測定結果が前述の如く高電力の結果と比較的良く一致しているのが判明した。従ってこの4点のみを小電力での測定結果と比較した場合、例えばS5の $Q_0$ が少し電力を投入すると悪化している可能性が図5から示唆される。この場合、内部でマルチパクター等が定常的に生じている可能性がある。

更に(中電力での測定はないが)S1, 2も見積もられた誤差以上に高電力で測定された

$Q$ 値が低下している。こういった事項の原因を突き止めるため、この夏のシャットダウン中に一部のチューナーやカップラー等の周辺器材を外して内部の様子を確認する予定である。

更に9月以降に再開される試験時に中から高電力での測定を全ての空洞に関して再度行う予定である。

## 5. まとめ

DTLとSDTLの空洞の $Q$ 値をいろいろな電力レベルで測定した。高電力時の結果は誤差やバラつきが大きいのが、その後行った中電力での測定結果(4空洞のみ)は高電力とは比較的良く一致しており、それは一部の空洞内で定常的にマルチパクターが生じている可能性を示唆していた。

夏期の点検期間中に周辺器材を外して空洞のRF特性を再確認を予定している。

## 参考文献

- [1] Y. Yamazaki, "STATUS OF THE J-PARC LINAC, INITIAL RESULTS AND UPGRADE PLAN", Proc. of LINAC 2004, Lübeck, Germany (2004) 554