

## VACUUM CHARACTERISTICS OF THE DTL AND SDTL CAVITIES FOR J-PARC EXCITED WITH HIGH-POWER RF

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

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

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

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

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

### Abstract

The main component of the linac of J-PARC consists of three DTL and 32 SDTL cavities. Therefore the stability of the linac system strongly depends on the property of the cavities. As far as we know, the vacuum level of the tank is one of a good measure of the cavity condition. Since the variation of the cavity vacuum level is caused by the cavity structure and also the RF power level supplied to the cavity, we have measured the power dependence of the vacuum level of the cavity systematically after the basic conditioning for the cavities.

## J-PARC用DTL及びSDTL空洞の高電力投入時の真空特性

### 1. はじめに

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> イオン原、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る。[1]

DTL は DT 内部に 4 極電磁石を組み込んである。各空洞長はおよそ 10m である。空洞内径は 561mm、周波数は 324MHz である。そして DTL の後に続くのが分離型 DTL (Separated DTL, 以下 SDTL と略) である。SDTL は図 1 に示されるように 5 ギャップの短い加速管である。DT は磁石を内蔵しておらず、その代りに空洞間に 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 は偶数番の例。奇数番の架台上は空洞のみで磁石はない。)

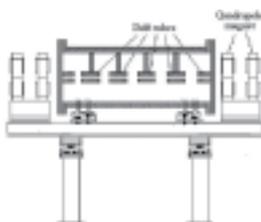


図 1. SDTL

(左) 設置後の様子。青は Q 磁石 (右) 内部模式図

空洞を駆動する高周波電力はクライストロンから供給される。DTL は各空洞に 1 本のクライストロン

が対応するが、SDTL は隣接する 2 空洞に 1 本のクライストロンの出力を 2 分割して供給する。

以上のように J-PARC リニアックの主要部分は DTL と SDTL で構成されている。従ってリニアック全体の安定性はそれら空洞の特性に依存する。そして DTL と SDTL は共に

(1) 各加速ギャップ毎に寸法が変化している、

(2) 供給される高周波電力が空洞毎に異なる、  
ため、運転条件に由来する真空度のバラつきが大きい。それに対処するため、ある程度ビーム実験も進み (十分ではないが) それなりにコンディショニングも済んだ状況で投入電力に対する空洞の真空度の依存性を系統的に調査した。以下で測定結果の詳細を報告する。

### 2. 空洞状況

J-PARC リニアックに於ては、昨年 (2006 年) 10 月より地下に設置した全空洞の RF コンディショニングを開始した。その後 12 月にビーム試験を開始し、今年に入ってから 2 週間連続運転、2 週間保守の繰り返しで試験を行ってきた。連続運転中は日中はビーム試験を行い、夜間はコンディショニングを行った。初期の頃はビーム加速時も空洞のコンディショニングが不十分で頻りにインターロック (主に RF の反射による) が作動していたが、今年の春頃には空洞によっては全くインターロック動作なしで 2 週間運転できるようになるまでコンディショニングが進んできた。しかし、投入電力レベルによっては依然として空洞内部の真空度は悪化する事がわかっていたが、系統的に調査はされていなかった。

そこで空洞のコンディショニングの時間帯に J-

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

PARCリニアックのRFグループと空洞グループが共同で全空洞（但しデバンチャーとして使用している2台を除く）の真空度を投入RF電力をパラメーターとして測定した。

### 3. 真空度測定結果と考察

測定は各クライストロンの出力パワーを50kW程度ずつ上昇させ、上昇後10~20分間そのパワーを維持して真空度の改善を待ち、その後またパワーを増やして行った。図2はDTL-1の、そして図3はSDTL-1と2の測定結果である。SDTL-1と-2は、同じクライストロンから電力を供給されている。DTL-1では開始から30分後（ $\sim 50$  kW）と200分後（800 kW）に一時的に真空悪化が観測されている。SDTLの場合も同様に何箇所か真空悪化があるのが図から見て取れる。

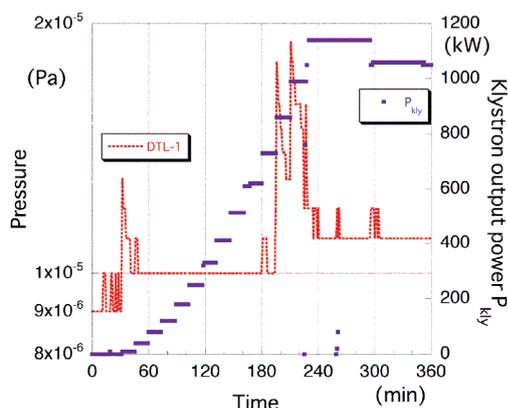


図2. DTL-1の真空度測定結果

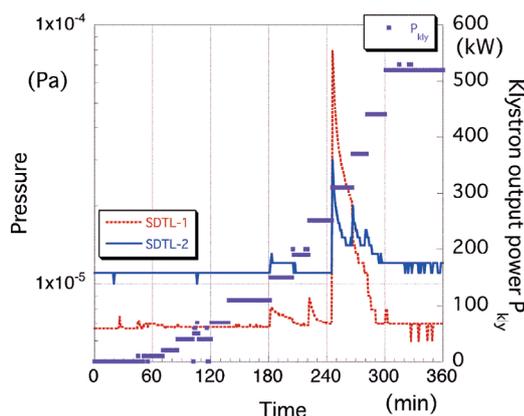


図3. SDTL1と2の真空度測定結果

#### 3.1 DTL

この測定結果から各入力電力とその電力での最大圧力の関係を調査した。図4がDTLの場合の結果である。D1では入力電力が0.1MW以下と0.8~1.1MWの範囲で真空悪化が観測されている。D2でも0.1MW以下と0.7~0.9MWで真空悪化領域がある。但しD1より

はパワーが大きいところでの真空悪化の帯域幅は狭く、かつパワーその物も多少低めである。D3では更に低めで、0.4~0.6MWの領域で真空が悪い。設定された運転電力はD1=0.9MW, D2=1.1MW, D3=1.0MWと多少真空悪化の領域に含まれているが、図2から分かるように、短時間で回復するので実際上の問題にはなっていない。

図4の横軸を加速電場にして書き直したのが次の図5であり、全DTLで $E_0=2\sim 2.5$  MV/mの範囲で真空が悪化している。また電場が低めの $E_0=0.5$  MV/m近傍にも真空悪化が生じる領域がある。

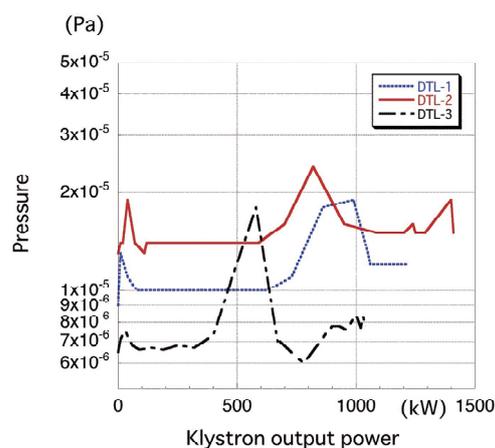


図4. DTLの真空特性  
(横軸: クライストロン出力)

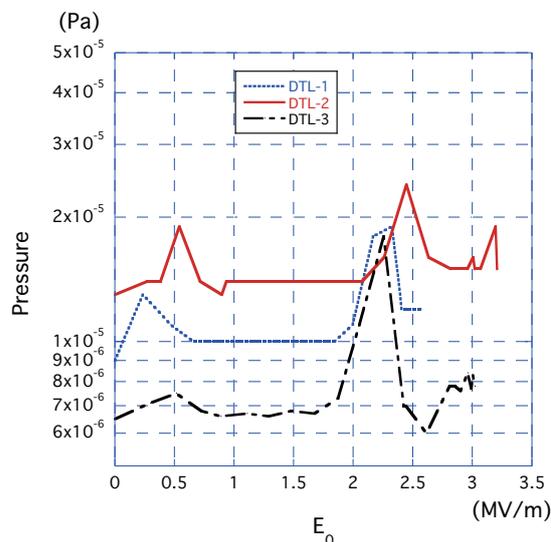


図5. DTLの真空特性 (横軸: 加速電場)

ドリフトチューブの加速ギャップを平行平板電極と仮定して、マルチパクターの条件[2]を当てはめた場合、 $E_0 < \sim 0.5$  MV/mの領域が該当する。 $E_0 > 2.0$  MV/mの領域はギャップ間のマルチパクター条件を満たす電圧を越えているため、別の原因が真空悪化を引き起こしていると推測される。しかしまだ

原因は同定されていない。現時点で考えられている要因は空洞内部への突起物（チューナー、ハーフチューブ、ポストカップラー）の根元付近と壁面間、もしくは端板と空洞側壁の間でのマルチパクターである。これを調べるには空洞を開けて壁面を観察するのが最も直接的であるが、可能な限り避けたい作業なので別の間接的な確認方法を検討する必要がある。

### 3.2 SDTL

SDTLの真空特性の全体像を把握するため、図4に対応するSDTLの結果を鳥瞰図的にまとめたのが図5である。悪い真空度領域を表す山が、投入電力が100~200kWの間に（殆ど空洞で）存在する。さらにパワーの高いところに小さな山があるがこれは下流の空洞ほど高い入力電力側にずれている。

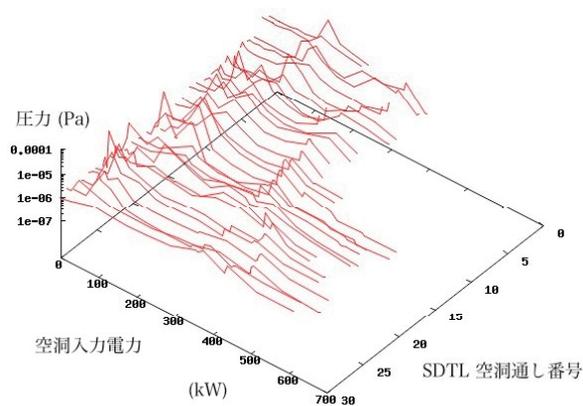


図6. SDTLの真空特性（入力電力依存性）

この図6を図5と同じように軸上の電場に対して描き直したのが図7である。この図の場合、パワーが高い時に起こっていた真空悪化はどの空洞でも3~3.5MV/mの範囲で生じているのが分かる。

投入電力が100~200kW領域での真空悪化はDTLの場合と同様にドリフトチューブ間のマルチパクター条件よりも既に電場が高い所である。この真空悪化は入力カップラーの同軸部が原因と推測される。以下、この点について述べる。

DTL、SDTL共に入力カップラーは磁気（ループ）結合であるが、少し構造が異なる。DTLの場合、入力カップラーのループまでは大気側で、空洞壁面にセラミック窓が装着されている。しかしSDTLの場合は、入力カップラー同軸の途中にセラミック窓があり、同軸の一部と磁気結合用ループが空洞に直接さらされて真空になっている。そのためSDTLでは真空中の同軸部でマルチパクターが起こりえる。

簡単のために同軸導波管（外形152mm、内径66mm）を間隔43mmの平行平板電極と単純化し、更に電極間電圧Vと入力電力Pの関係を $P[w]=V^2/Z$  ( $Z=50\Omega$ )で表して、マルチパクター条件を求めると最低次のモードはないが次のモードが $P=110\sim 500kW$ の範囲で起こり得る。詳細は円筒モードの電磁場で数

値計算する必要があるが、SDTLの電力100~200kW領域での真空悪化は入力カップラーが原因である可能性が高い。幸いな事に、セラミック窓部での放電等によりまで発達することは観測されていない。

次に軸上電場が3~3.5MV/mの範囲の真空悪化の原因はまだ特定されていないが、DTLの場合と同じようにチューナー等の根元で起こっている可能性がある。

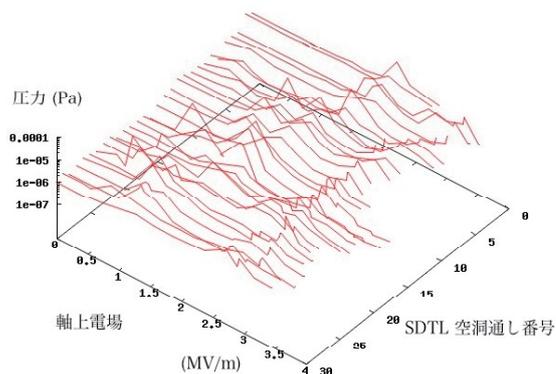


図7. SDTL真空特性（軸上電場依存性）

## 5. まとめ

J- PARCリニアックの主要部を構成するDTLとSDTL空洞の真空特性を入力電力レベルを変えながら測定した。DTLの軸上電場が2.0~2.5MV/m近傍での真空悪化の要因はチューナー等の空洞内への突起物根元と推測されており、現在調査中である。SDTLの真空悪化は入力電力レベル一定で生じるものと、軸上電場の特定の値で発生するものの2種が観測された。前者は入力カップラー内、後者はDTLの場合と同様のチューナー根元近傍が原因と推定されているが、同じく原因追及中である。

## 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
- [2] Albert J. Hatch and H. Bartel Williams, "Mulipecting Modes of High-Frequency Gaseous Breakdown", Phys. Rev. Vol. 112 (1958) 681.