

# TROUBLE REPORT FOR J-PARC DTL AND SDTL

ITO Takashi<sup>1,A)</sup>, ASANO Hiroyuki<sup>A)</sup>,  
TANAKA Hirokazu<sup>B)</sup>, KUBOTA Chikashi<sup>B)</sup>, NANMO Kesao<sup>B)</sup>, NAITO Fujio<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> J-PARC Center, Japan Atomic Energy Agency

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

<sup>B)</sup> KEK

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

## Abstract

The J-PARC DTL and SDTL have been operated since 2006. These linacs accelerate an H- ion beam stably now. But we have ever suffered from some troubles. These are the vacuum, the cooling water and the RF trouble mainly. In this paper, these troubles that happened to the DTL and SDTL are reported.

## J-PARC DTL・SDTL空洞トラブル報告

### 1. はじめに

J-PARCリニアック部を構成しているDTL及びSDTLは、加速器トンネル内へのインストール後2006年10月から運転を開始し、2009年6月まで3年弱運転を行ってきた。現在DTL及びSDTLはほぼ安定に稼働しビーム加速を行っているが、これまでトラブルが皆無だったわけではない。メンテナンス期間中に判明し対策を行ったトラブルもあるが、ビーム加速中に発生したトラブルもある。後者の場合ビーム加速を停止してしまうため、ユーザーへのビーム供給時間を奪い多大な迷惑をかけることになる。

本稿では、これまでに起こったトラブルの中から主にDTL・SDTL空洞本体、及びその付属機器に起因して発生したトラブルについて報告する。

### 2. DTL及びSDTL構成機器概要

J-PARCのDTLは3空洞、SDTLは32台空洞から構成される。これらの空洞にはRFカプラーや周波数調整用チューナーなど空洞本体を構成する機器が取り付けられるだけでなく、真空ポンプや冷却水用流量計など加速器を運転する際に必要となるユーティリティ関係の機器類が多数装着される。表1にDTL及びSDTLの主要なパラメータ及び装着される機器類の一覧を示す。

### 3. 真空関係

真空に関連した。トラブル事例を以下に記載する。

#### 3.1 SDTL空洞端板部からの真空リーク

SDTL空洞端板部からのリークである。これまでS2A(上・下流)、S10A(下流)、S15B(上流)の4か所で発生した。

SDTL空洞では端板部の真空シールに金属シールの

表1. DTL & SDTL主要パラメータ及び装着機器類

	DTL	SDTL
空洞(含:デバンチャー)	3	32
運転周波数	324	324
ピークパワー	1~1.3	0.18~0.8
パルス幅	650	600
繰り返し	50	50
加速エネルギー	3~50	50~181
DT & HDT	149	192
収束用磁石台数	149	62
Tuner台数	[台/空洞] 10 or 12	3
Coupler台数	[台/空洞] 2	1
イオンポンプ台数	[台/空洞] 4	1 or 2
運転時真空度	[Pa] $1\sim3\times10^{-5}$	$0.1\sim1\times10^{-5}$
流量計台数	[台] 約500	約500
流量	[L/min]	
空洞	200	110~130
DT	8	8
Post, Tuner, Coupler	5	5
Q磁石	1	1.6
温度計個数	[個] 約350	約450

一種であるEシールを用いており(断面形状が"E"の形をしており、表面にインジウムメッキを施している)、このEシールからのリークが発生した。幸いなことに、ビーム加速が不可能になるほど一気に真空度が悪化するわけではないので、今までこのリークが原因でビームを停止したことはない。

対処法は二通りある。一つはEシールの交換であるが、相応の時間がかかるため(一端板につき約一週間)、実際に作業を行うのは長期間ビーム加速が行われない時に限られる。今までにS10A空洞でEシール交換を行っており、2009年8月にはS15B空洞で交換予定である。

S10A下流端板から取り外したEシールを観察したところ、一部潰れたようになっていた部分があった(図1)。恐らくここからリークしたのだと推測したが、指で潰れるような硬さではないため組み立て時に潰れたとは考えられず、また端板及び空洞側フ

<sup>1</sup> E-mail: itou.takashi@jaea.go.jp

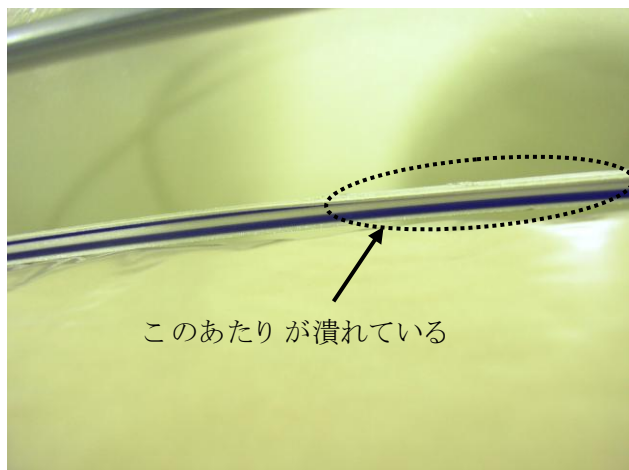


図1：リークしたEシール

レンジ面ともに凸となった部分は見つからないため、Eシールが潰れていた原因は今のところ良くわかっていない。またインジウムメッキが酸化し劣化したこともリークの原因ではないかと推測している。

もう一つは端板部を個別に真空引きすることである。端板部は二重シール構造になっているので（二つのシール間を真空引きできる）、ここにロータリーポンプあるいはスクロールポンプを接続し真空引きする。この時真空と大気を分けるのは二重シールの外側のシール（バイトンOリング）及びポンプであり、現在までリークは起きていない。

### 3.2 イオンポンプからのガス放出

これは特定メーカーのイオンポンプにのみ発生する現象で（20台使用）、真空度が急激に悪化し急速に回復する現象である。RF電力を供給できる真空度に回復するまでは長くても数分であるが、この間ビームは停止する。おおよその頻度は1ラン（約3週間）につき1~2回程度であるが、数ラン発生しないこともある。

図2はS10B空洞で起きたガス放出時の真空データである。横軸は時間、左縦軸がBAゲージの真空度、右縦軸はIPで測定している真空度（電圧）である。

真空度は通常 $10^{-6}$  Pa台であるが、IPからのガス放出により $10^{-3} \sim 10^{-2}$  Pa台まで急速に悪化する。実際

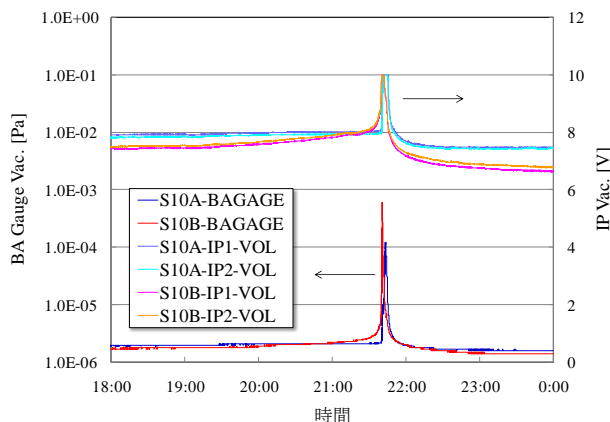


図2：真空度データ（S10A,B）

にガス放出が起きているのはS10B空洞であり、隣のS10A空洞の真空度に影響を与えていることがわかる。

なぜガス放出が起こるのか不明であり、今のところ対処法はなく、起こるに任せている状態である。

## 4. 冷却水関係

冷却水に関連したトラブル事例を以下に記載する。

### 4.1 冷却水流量低下

空洞機器への冷却水流量が低下する現象である。発生するのは運転開始から2~3週間で降が多い。

今まで発報したのは、冷却水供給側から見て末端にあるDTL1のみである。どの機器でも発生するが、DTとDTQの数が多いため大抵この二つが発報する。

原因は冷却水の流量バランスの崩れである。冷却水の流量は運転前に調整しているが、冷却水供給の末端部で流量が通常流量の6割程度まで低下してしまうことがあり、この時発報する。

このインターロックが発報するとビームを数時間停止することになる（トンネル内のラドン・トロン問題から、ビーム停止後すぐには入城の許可がない）。トンネル入城後の対処は単純に流量を再調整するだけであり、長くても10分程度である。

現在は運転スケジュールの中に予めトンネル入城日を設けてもらい、流量調整を行うことでトラブルをなくすよう努力しているが、調整日の前日に発報したこともあり完全にはなくなっていない。

### 4.2 冷却水温度異常

冷却水温度異常のインターロック発報によるものである。このインターロックは冷却水水量低下の時と同じ理由で数時間ビームを停止させる。

本来は冷却水の温度が異常に高くなった時に働くインターロックなのだが、現在までに発生した原因は温度計の故障及び信号線コネクタの接触不良（ピン抜け）によるものであった。

ピン抜けは機器設置時のミスであり、コネクタからのピン抜けのチェックを行った（見落としが判明したため、2009年9月に再度チェック予定）。

また、故障した温度計は交換しているが、故障率が高い（~5%）ため、製作メーカーに対し製作工程に不備がなかったかなど調査依頼中である。

### 4.3 流量計破損・漏水

DTL、SDTLでは内部が視認できるようガラス製の流量計を採用している。これは何らかの理由で冷却水が流れていないのにインターロックが発報しない場合、直接視認することでその部位を特定できるようにするためである。この流量計のガラス部分が破損し漏水するという事象が今までに2回発生した。幸いなことに、この事象が発生したのはトンネル内への加速器機器設置直後であり、ビームを一度も出してない時期であったため、本事象が原因でビームを停止する事態は起きていない。

本事象の原因は、A) 発生したのが加速器設置後

に冷却水の通水を開始した直後である、B) 破損した流量計を調査した結果によると破損の開始点が外部にある、の2点から、流量計設置時あるいは設置後にガラス管の外部つけた傷であろうと推測している。

念のため、同型同サイズの流量計を、より衝撃に強いタイプの流量計に交換した（ガラス管の製造方法、及びガラス管を流量計ボディーに組み込む方法が異なる）。交換以降、本事象は発生していない。

#### 4.4 流量計インターロック未動作

発報するはずのインターロックが発報しない事象である。最悪の場合機器を損傷する事態になりかねず、費用・時間ともに膨大な被害を被ることになる。

原因は二つある。一つは、フロート内蔵の磁石の減磁によるマグネットスイッチの未動作である。フロートのシール部分から水が浸入、磁石が腐食し減磁していた。これには水がフロート内に侵入しないよう改良したフロートに交換することで対処した。フロート交換を行った流量計では、その後未動作事象は発生していない。

もう一つは、フロートが傾きガラス管と接触して引っかかるためフロートが戻らないことである。これはフロートの移動にばねを利用していること、及びフロートとガラス管のクリアランスが狭い（ものがある）ことが原因である。同型流量計に交換しても同じことが起こる可能性があるため、ばねを利用しない別型の流量計に交換することで対処した。今まで5%ほどの流量計を交換している。今後も引っかかりの再発が頻発するものから順次交換予定である。

## 5. RF関係

RFに関連したトラブル事例を以下に記載する。

### 5.1 RFカプラーの放電

RFカプラーのセラミック窓付近を監視しているアークセンサーのインターロック発報事象である。

RF電力は空洞に取り付けたRFカプラーを通じて空洞内に供給される。空洞とRFカプラーとの真空の仕切りにはセラミック窓が用いられており、アークセンサーで監視している。セラミック窓近辺に光が発生するとアークセンサーが検知し、インターロックが働く。アークのインターロックは数台の空洞で発生しているが、頻発したのはS8A空洞1台である（多い時は一時間に数回）。なお、ビーム停止時間はインターロック発生1回につき数秒程度である。

インターロックが発生する原因、すなわちセラミック窓付近で光が発生する原因はセラミック窓部付近での放電だと考えられるため、S8AのRFカプラー交換を行った。取り外したカプラーを観察したが、放電痕などの異常箇所は見つからない（ただし、視認できる範囲が狭い）。今後、RFカプラー修理時に併せて窓部の調査を行う予定である。

RFカプラー交換後、S8A空洞はアークインターロックが発生することもなく順調に運転している。

### 5.2 同軸管損傷

同軸管の接続不良による同軸管の損傷事象である。S7A用同軸管で発生した。発見は全くの偶然であり、ビーム停止後に別作業でトンネル内に入った際、異臭を感じたため調査、同軸管が触れないほど発熱していたことによる。

クライストロンから出力されたRF電力は、加速器トンネル内では同軸管を用いて空洞まで供給するが、同軸管の接続部が発熱し、内部の架橋ポリエチレンサポートが損傷、同軸管内部もかなりすすけた状態となった（図3）。



図3： 損傷した同軸管

このような状態であったにもかかわらず空洞の運転は安定していたため、ビームを停止する事態は起こらなかった。

原因は内導体のコンタクター接触不良である。同軸管組み立て時の施工不良により、本来面当たりになるべきコンタクターが斜めになり、点接触（あるいは線接触）となってしまったためその部分が異常発熱を起こしたと推測される。

接触不良を起こした部分だけでなく、その前後にまで被害が及んでいたため、同軸導波管変換器からRFカプラーまでの同軸管を全て交換して対処した。

同軸管交換後は異常発熱は発生していない。また、その他の空洞でも同様の事象が起きていないか確認するため、接続部分にサーモラベルを貼り付け、その後最初のRF電力投入後に発熱箇所がないことを確認している。

## 4. まとめ

本稿では、2006年10月以降現在に至るまでのDTL及びSDTL部におけるトラブルの事象をいくつか紹介した。程度の差こそあれ、トラブルが生じるとビームを停止することに違いはない。後段の加速器施設や研究施設に、安定したビームを連続して送ることはリニアックの使命であり、ビーム停止時間を少なくするようトラブルを未然に防ぐことが求められる。今後とも、現在進行形で発生しているトラブルを解決すると共に、トラブルを起こさぬよう改善を進めていく所存である。