

TRANSPORTATION OF THE DTL CAVITIES FOR THE J-PARC

Fujio Naito^{A)}, Hiroyuki Asano^{B)}, Norrihiko Ina^{C)}, Takashi Itoh^{B)}, Zensaburo Kabaya^{D)},
Shinji Kakizaki^{D)}, Takao Kato^{A)}, Kazuhiko Kohno^{E)}, Motoaki Ozaki^{D)}, Eiichi Takasaki^{A)},
Hirokazu Tanaka^{A)}, Kazuo Yoshino^{A)}, Yoshiaki Washida^{F)}

^{A)} KEK, 1-1 Oho, Tsukuba-shi, 305-0801

^{B)} JAEA, 2-4 Shirakata-shirane, Tokai-mura, Naka-gun, 319-1195

^{C)} Iwase Transportation Inc., 4-2-1 Rinkai-cho, Edogawa-ku, Tokyo, 134-0086

^{D)} MHI, Nagoya Aerospace Systems Works, 10 Ohe-cho, Minato-ku, Nagoya-shi, 455-8515

^{E)} Tokyo Packaging Lab. Co., 2-10--57 Wakamatsu-cho, Fuchu-shi, 183-0005

^{F)} APC Aerospecialty Inc., 1-9-10 Uchi-kanda, Chiyoda-ku, Tokyo, 101-0047

Abstract

Since all tanks of the DTL and the SDTL for the J-PARC were assembled in the KEK, these had to be transported to the J-PARC building in the Tokai campus of the Japan Atomic Energy Agency from the KEK. It was able to happen that the vibration of the tank during the transportation made the shift of the position of the DTs, which were precisely aligned in the tank. In order to avoid the position shift of the DTs, we carried out the test transportation with the test cavity. The results of the test showed us the sufficient conditions (the route of the transportation, type of the transporter, and the upper limit of the allowable acceleration for the tank with DTs) for the transportation of the tank without the shift of the DT position in the tank. The transportation of the whole tanks was done in conformity with the conditions. The acceleration of the trailer has been measured also during the each transportation of the tanks. Furthermore the position of the DT was confirmed in the tunnel of the J-PARC building after the transportation. Since the results showed no evidence of the shift of the position of the DT in the tank, all tanks have been aligned in the tunnel without readjustment of the position of the DT.

J-PARC用DTL空洞の輸送

1. 序

大強度陽子加速器計画 (J-PARC) は高エネルギー加速器研究機構 (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⁻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。そして各空洞長はおよそ10mである。なお各空洞は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。図1にそのDTLの内部を示す。

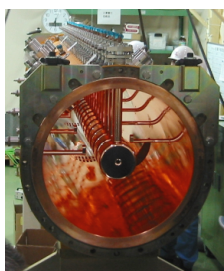


図1 : DTL内部

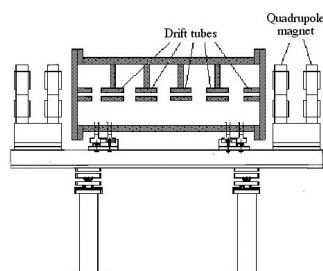


図2 : SDTL模式図

SDTLは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、その代わりに空洞間に4極電磁石のダブレットを設置している (図2)。空洞内径は520mm、周波数は324MHz、空洞長は1.5m~2.5mである。(図は偶数番。奇数番の架台上は空洞のみで磁石はない。)

各空洞中のDTは設計位置からのずれが水平と垂直方向は±50 μm以下、ビーム軸方向は±100 μm以下の高い位置精度で (ステムを介して) 機械的に空洞中央部に固定されている。DT組み込み作業はDTLとSDTLの全空洞に関しKEK内で行われた^[2,3]。しかしながら空洞を実際に使用するのはJAEA東海研究所内のJ-PARC建屋である。本来ならば空洞の組立は、最終的に設置される場所に可能な限り近いところで行い、移動距離を最小限にするのが最適である。なぜなら移動中に起こりえる振動により、空洞内部のDTの位置がずれてしまう可能性があるからである。

事情によりJ-PARCの建屋建設が始まった頃にはDTLの一部は完成していた。そしてJ-PARC建屋の完成を待って空洞組立を開始したのでは工程が間に合わないし、かつ部品の完成から間が空き過ぎてしまうのも明らかであった。従ってKEKで空洞を組立てて調整と試験も行った後に、完成形状のまま東海村のJ-PARC加速器建屋まで輸送することにした。

そこで事前に完成空洞の輸送の可能性を調査する走行試験を行った^[4]。この試験は人工衛星等の大

型超精密機器国内走行輸送用特殊サスペンショントレーラとその輸送経験及びその走行振動計測、解析に関わる既存技術の存在が実現を可能とした。そして空洞に組み込まれたDTがずれないための十分条件（主に使用経路と車両の特定及び荷物に加わる加速度の上限）を確認することができた。空洞実機の運搬はその条件に準拠して行った。当然ながら運搬時も加速度計でモニターを行っている。更に搬入後には簡易的な方法で各空洞のDTの位置を再測定した。そして異常な位置ずれの無いことを確認してから、ビーム軸上への設置を行った。

2. 実機輸送

空洞（DTLユニット空洞9台、SDTL空洞32台、計41空洞）は基本的には長短混ぜて4空洞を1回で輸送した。（図3）輸送は1日に1回、初期以外は週1回のペースで行った。（最初1日2往復を試みたが、運転手への負担が大き過ぎた。）輸送試験は深夜に行った。しかし実機ではJAEAで荷降ろし作業を行う都合上、午前10時KEKを出発し午後2時頃にJAEA内J-PARC建屋着とした。



図3：空洞実機運搬風景

(a) 荷台上の空洞（4台）、(b) トレーラー全景

実機輸送時はトレーラーの荷台上に加速度計を置き、輸送中の加速度測定を行った。全輸送で最大加速度は1G未満であった。（加速度は2ミリ秒毎に測定し、5秒～1分毎に最大値を記録した。）図4に2006年1月27日にSDTL-27, 29, 32の3台を運搬した時の加速度データを示す。z軸は空洞ビーム軸方向でありトレーラーの進行方向でもある。Xは左右方向、Yは上下である。殆どが上下動であることが分かる。

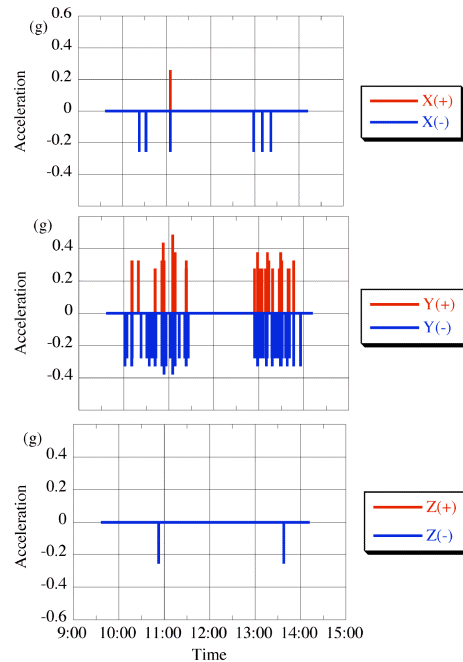


図4：実機運搬時の荷台加速度データ
(途中に到着時刻調整を兼ねた休憩がある。)

2.1 空洞内DT位置の確認測定

輸送された空洞を地下トンネルに移動した後、DTの位置確認測定を行った。DT装着作業時にはボアにぴったりはめ込まれる形式の光学標的を用いた。しかしDTの整列後は空間がせまく、その標的を差し込むのが難しかった。そこで図5に示す様な長い円筒型標的（直径はボア径-0.5mm、長さはギャップ長の約2倍）を複数（DTL用6種類、SDTL用3種類）用意して、ヒモで引っ張り次々にDTを移動させながらその中心をアラインメントテレスコープで測定した。

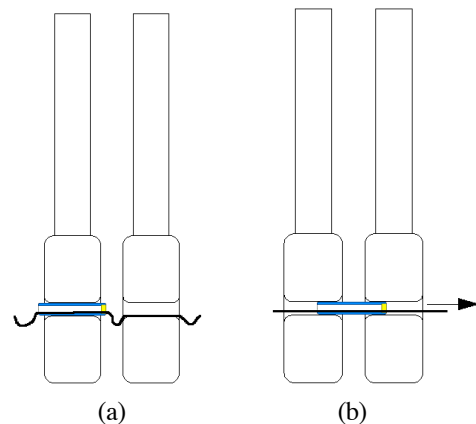


図5：運搬後のDT位置測定用光学ターゲット

(a) 位置測定時のターゲットの位置
(b) 測定後のターゲット移動。外から引っ張る。

但し、水平方向位置に関してはボア内面と標的外面の面粗度や摩擦等のため測定精度は $\pm 0.1 \sim 0.2 \text{mm}$ であった。DTLの最上流ユニット空洞のデータ(図6)とSDTL-1,2のデータ(図7)を例として示す。(Y方向のオフセット値は差し引いてある。)誤差を考慮すれば、X, Y共にずれている様子はない。

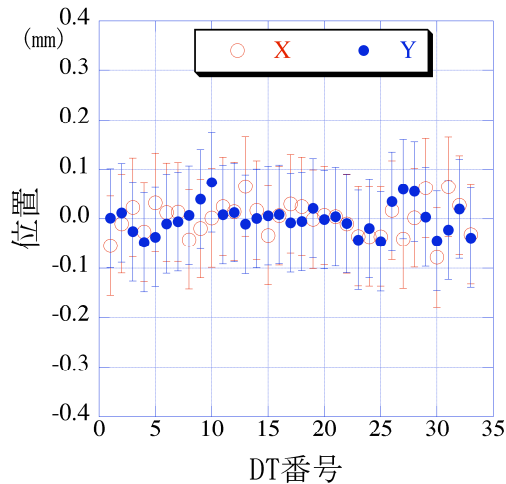


図6 : 図5のターゲットを用いて測定した結果 (DTL1-1ユニット空洞)

2.2 DT位置の高精度再測定

輸送後のDT位置確認測定は前述のように精度の低い方法で行ったが、DTL 2 に関しては全DT位置を(実際の組み立て時に仕様した光学ターゲットを用いて)高い精度で測定することができた。ターゲットはチューナーポートから手を差し込み、DTのボアに挿入した。この測定の精度は約 $\pm 50 \mu\text{m}$ である。結果は図8に示されているように、ずれもバラつきも十分小さく、DT位置再調整の必要性はなかった。

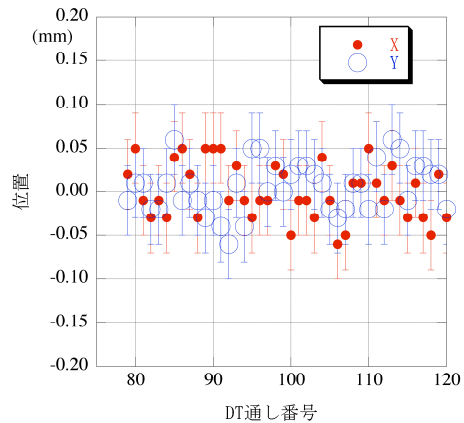


図8 : DTL-2のDT位置高精度測定結果 (3ユニットタンク分をまとめてプロット)

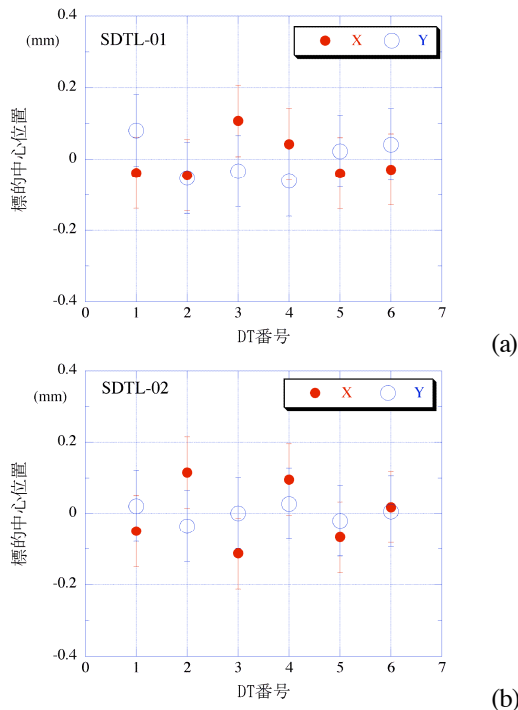


図7 : SDTL 1 と 2 のDT位置確認測定結果 (a) SDTL-1、 (b) SDTL-2

3. 結論

J-PARC用DTL (9ユニットタンク) とSDTL (32タンク) はKEKで組み立てられた後、東海村のJ-PARCの加速器建屋まで組み上がった形状のまま輸送された。その輸送時の振動によりDTがずれてしまわないように、以前確認した条件(主に使用経路と車両の特定及び荷物に加わる加速度の上限)を守り運搬を行った。更に、JAEA搬入後には簡易的な方法で各空洞のDTの位置を再測定し、位置ずれの有無を調べた。測定結果からは(測定誤差範囲内で)DTの輸送による位置ずれは観測されなかった。よって空洞はそのままトンネル内に設置された。

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] F. Naito, et al, "MECHANICAL AND RF PROPERTIES OF THE DTL FOR THE JAERI/KEK JOINT PROJECT", Proc. of LINAC 2002, Gyeongju, Korea, 1(2002) 359
- [3] F. Naito, et al, "HIGH-POWER TEST OF THE SDTL FOR THE JAERI/KEK JOINT PROJECT", Proc. of LINAC 2002, Gyeongju, Korea, 1(2002) 425
- [4] S. Kakizaki, et al 「ホットモデルタンクを用いたDTL輸送試験」, Proc. of the 28th LINAC Meeting in Japan, Tokai (2003) 270