

J-PARC用SDTLの大電力試験

内藤 富士雄^{1,A)}、田中 宏和^{A)}、伊藤 崇^{B)}、五十嵐 前衛^{A)}、池上 雅紀^{A)}、加藤 隆夫^{A)}、川村 真人^{A)}、久保田 親^{A)}、高崎 栄一^{A)}、長谷川 和男^{B)}、福井 祐治^{A)}、山口 誠哉^{A)}、吉野 一男^{A)}

A) 高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設
〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1

B) 日本原子力研究所 大強度陽子加速器施設開発センター
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方2-4

概要

日本原子力研究所の東海研究所内に建設が進んでいる大強度陽子加速器施設 (Japan Proton Accelerator Research Complex) の線形加速器中流部を構成する分離型ドリフトチューブ線形加速器 (Separated Drift Tube Linac) の大電力試験を行った。SDTLは32台製作される。現時点で上流側から3台目までの組み立てと大電力試験が終了している。いずれも比較的短時間で定格よりも十分高い電力まで試験を行い、空洞の高い耐電力性能を確認することができた。その実験結果を報告する。

1. 序

日本原子力研究所の東海研究所内に建設中の大強度陽子加速器施設 (Japan Proton Accelerator Research Complex, 以下「J-PARC」) の入射器となる線形加速器はRFQ (3 MeV), アルバレ型DTL (50 MeV) と分離型DTL (180 MeV, Separated DTL, 以下「SDTL」) で構成される。400 MeVまでのエネルギー増強は環状結合構造空洞 (ACS) をSDTLの下流に増設することで行われる予定である^[1]。

SDTLは32台の空洞で構成される。現時点で12号機までの部品がすでにKEKに納入されており、そのうちの3台 (1~3号機) までの組み立てが終了している。組み立てられた空洞はKEK内の大電力試験区画に設置され排気後に大電力試験が行われた。

後述するように、いずれも定格よりも十分高い電力まで試験を行い、空洞の高い耐電力性能を確認することができた。要した時間も比較的短く済んでいる。

2. SDTLの構造

SDTLの構造を図1に示す。収束用Q磁石は空洞と空洞の間に設置され、空洞内のドリフトチューブ (以下「DT」) は磁石を内蔵していない。1空洞は5セルである。即ち4つのフルサイズのDTと端板用のハーフサイズのDTがある。空洞寸法は以下の通り：

空洞内径：520mm
DT外径：90mm

ボア径：34mm

なおチューナーは3台 (固定2、可動型1台) である。空洞全長は1.48m (1号機) から2.56m (32号機) まですべて異なっている。

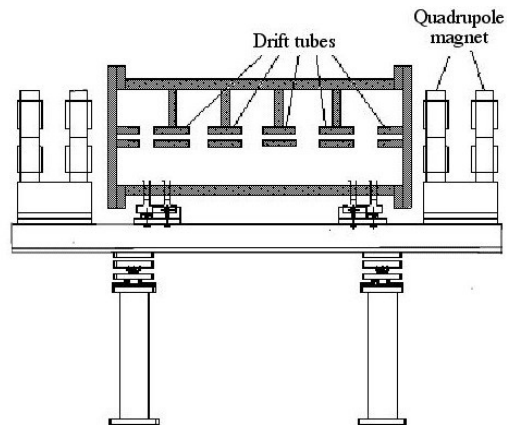


図1：SDTLの断面図。
Q磁石は空洞間に設置される。

空洞は中空鍛造した鉄製であり、内面は周期反転銅電鍍により0.5mmの銅の層を形成している。電鍍後に内面を機械加工し寸法を出し電解研磨で仕上げている。本空洞の電鍍銅は不純物が非常に少なく通常のOFC並みの特性が得られている。また初期放電電圧は光沢めっきで形成された銅よりも非常に高く、ダイヤモンドバイトで加工されたOFCと同程度であることも実験的に確認されている^[2,3]。

さて現時点では最初の3台のSDTLが組みあがっている。2号機まではKEKで先行して製作していたものである。そして3号機以降は原研での使用を前提に一部構造を変えている。それは端板の真空シールをバイトン-Oリングから金属シールに変更したことである^[4]。それに伴いシールの当たり面を鉄鍛造品に銅めっきしたものから、SUSに銅めっきしたものに変更している。当然その部分の冷却水路も変えてある。メタルシールにした効果は到達真空度の改善につながった。具体的にはSDTL-2号機の到達圧力は約 1×10^{-5} [Pa], SDTL-3は約 2×10^{-6} [Pa]と改善している。

¹ E-mail: fujio.naito@kek.jp

3 . 大電力試験

図2にビーズ摂動法で測定したSDTL-3のビーム軸上の電場分布を示す。この結果からシャント抵抗は $53 \pm 3 \text{ M} / \text{m}$ であった。空洞長は1.54mなので軸上電場を2.5MV/mとすると必要電力は約180kWとなる。SDTLは上流の空洞では2.5MV/mの加速電場で、最下流は3.7MV/mまで増加する。空洞の基本構造は上流も下流も変わらないので、大電力試験では上流部空洞でも3.7MV/mまで確認しておく。SDTL-3の場合では2.2倍の400kWの電力投入となる。投入する高周波パルスのデューティは最大で3% (幅600 μ 秒、繰り返し50Hz)である。

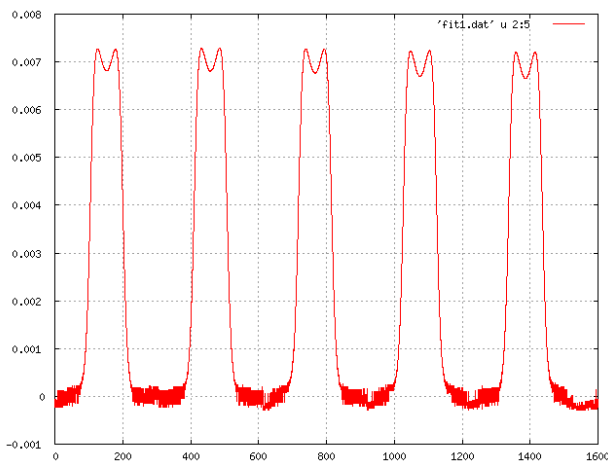


図2：SDTL3の軸上電場分布。
横軸はZ軸 (mm)、縦軸は電場強度に比例。

図3と4は先行して行っていたSDTL-1,2の大電力試験の結果である。(実際はSDTL-2を最初行った。次いでSDTL-1の順である。)横軸は試験時間である。実際は数日かけて行っているが、停止期間は除いている。どちらも比較的短時間で500kWまで到達している。この値は定格の約3倍である。

試験初期は短パルスで、かつ繰り返しも数Hzまで下げて行っているため平均電力は小さい。ピーク電力が定格を越えてから徐々にパルス幅を広げ、最後に繰り返しを50Hzまであげている。

次の図5はSDTL-3の結果である。前述したようにSDTL-3からは端板の真空シールが金属になった効果で到達真空度が改善されている。結果として大電力投入時の真空バーストや入力カプラーの窓の輝き具合等は、大きな違いはなかった。これは空洞そのものではなく、入力カプラーの特性が試験時に大きく影響しているためと推測される。

SDTL-3に関しては最大投入電力が600kWとSDTL-1,2に比べて100kWほど増やしてある。これはダミー負荷が以前より性能の良いものに変更されたため、クライストロン出力が増やせた結果である。

図6は図5のピークパワーを軸上の電場強度に換算したグラフである。最大約4.7MV/mまで試験をしたことになる。

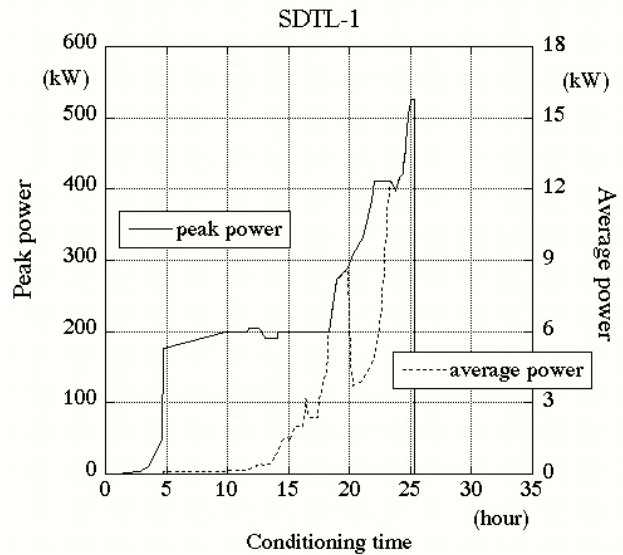


図3：SDTL1の大電力試験結果。
横軸は経過時間、実線は投入したピーク電力、点線は平均電力。

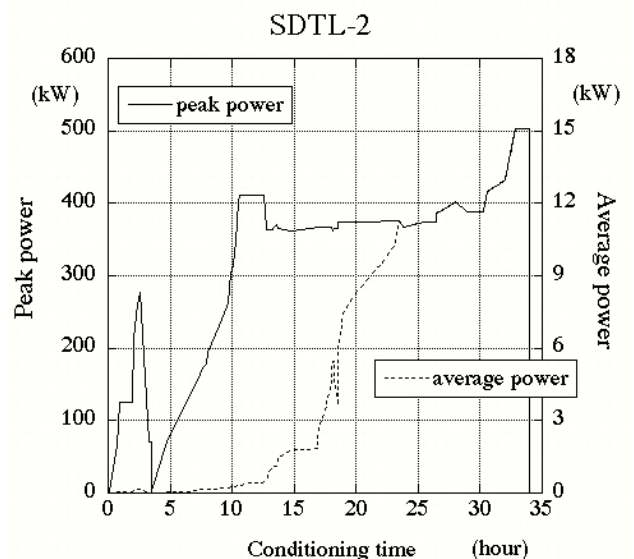


図4：SDTL2の大電力試験結果。
横軸は経過時間、実線は投入したピーク電力、点線は平均電力。

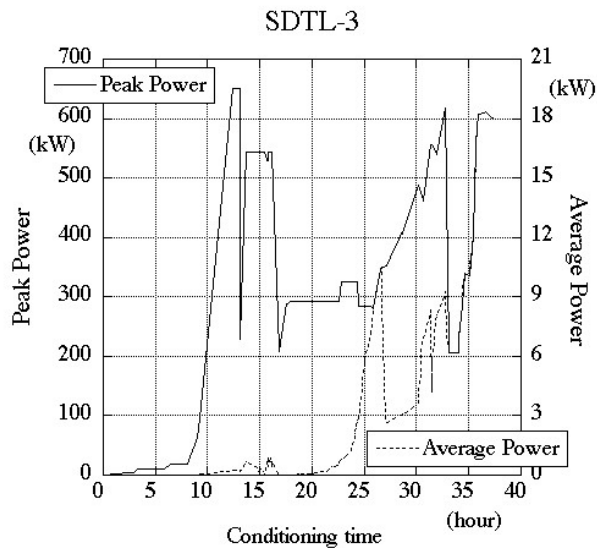


図5：SDTL 3の大電力試験結果（1）。
横軸は経過時間、実線は投入したピーク電力、点線は平均電力。

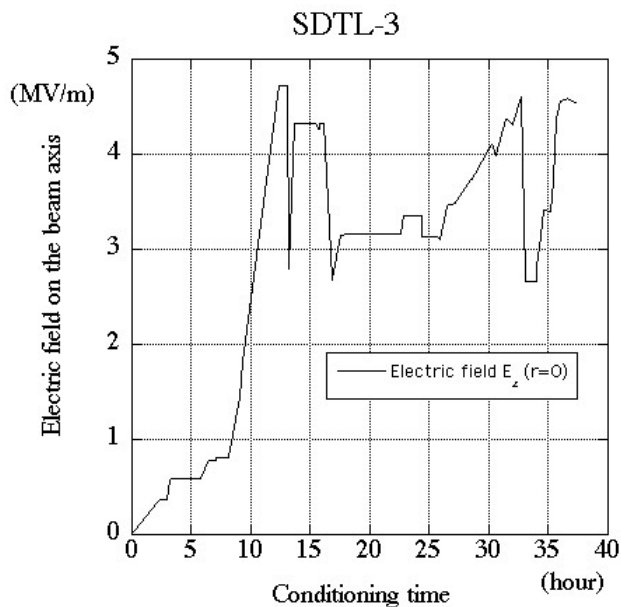


図6：SDTL 2の大電力試験結果（2）。
横軸は経過時間、縦軸は軸上の電場強度。

4. 結論

J-PARC用の分離型DTL (SDTL) は3号機まで組み立てと大電力試験が終了した。3台とも定格の3倍以上までのパワーを問題なく投入できた。最下流のSDTLの必要電場の20%以上の値でもある。SDTL構造体の耐電力性能がきわめて高いことが一連の試験で実証できた。

参考文献

- [1] “Accelerator Technical Design Report for J-PARC”, KEK Report 2002-13; JAERI-Tech 2003-044.
- [2] H. Ino, et al, “Advanced copper lining for accelerator components”, Proc. of LAC2000, California, USA, 1015 (2000).
- [3] F. Naito, “Development of the 50-MeV DTL for the JAERI/KEK joint project”, Proc. of LAC2000, California, USA, 563 (2000).
- [4] 柿崎慎二、他. “SDTL用タンク - 端板金属シール”, 本会議 (WP-48).