

## High Power Test of the DTL Hot Model in JAERI

H. Ino\*, N. Ito, Y. Touchi\*\*, K. Hasegawa,  
J. Kusano, H. Oguri, K. Mukugi\*\*\*, and M. Mizumoto

Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI)  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-11, Japan

### ABSTRACT

The R&D works for a 10 MeV/10 mA proton linear accelerator are being continued as a part of the OMEGA project. For the Drift Tube Linac (DTL), a 9-cell hot model was fabricated and the high power test was carried out to examine the cooling capability. In this report, the results of the high power test are described.

## 原研DTLホットモデルのハイパワーテスト

### 1. はじめに

原研では、OMEGA計画や基礎研究への利用を目的として、加速エネルギー10MeV、平均電流10mAの技術開発用加速器の要素技術開発(R&D)を実施している[1]。このうち、RFQについてはビーム加速試験を実施しており、現在までにピーク電流70mA、デューティ5%を達成している[2]。DTLに関しては、Qマグネットの開発[3]、RF特性試験[4]、及び発熱/除熱特性の試験を目的とした9セルのホットモデルを製作した。表1.にホットモデルのパラメータを示す。今回は、発熱/除熱特性試験として、所定のRFパワー(デューティ20%、128kWピーク)をホットモデルに投入するハイパワー試験を実施し、高デューティでの安定運転を実現した。

ここでは、DTLハイパワー試験として、各要素の発熱量の測定、Qマグネット冷却性能評価、ドリフトチューブ(DT)の温度-周波数変化量特性の測定、X線スペクトルの測定、及び連続運転実績結果について報告する。

### 2. ハイパワー試験概要

図1.にハイパワー試験のセットアップを示す。DTLに投入されるRFパワーを評価するために、RF源とDTL間にある方向性結合器と、DTLピックアップからの信号をモニタした。また、DTの温度上昇やタンク内の発熱量の測定を行うために、各DTには熱電対を、各冷却系統には測温抵抗体を取り付けた。さらに、高感度CCDカメラを取り付け、タンク内の放電の様子を観察した。また、ギャップ間電圧を評価するために、ギャップからのX線エネルギー

をHP-Ge検出器を用いて測定した。

表1. DTLホットモデルのパラメータ

キャビティ	
共振周波数	: 201.25 [MHz]
平均電場強度	: 2 [MV/m]
RFデューティ・ファクタ	: 20 [%]
Q値 (Exp/Cal)	: 42000 (83%)
タンク直径	: 893 [mm]
タンク長	: 1005.5 [mm]
DT直径	: 200 [mm]
DTホール直径	: 20 [mm]
Q マグネット (DT#0,1のみ)	
ホールコンタクト型 (5×5mm <sup>2</sup> )	
磁場勾配	: 80 [T/m]
磁化電流	: 780 [A] (DC)
ターン数	: 5.5
ホール&ヨーク材質	: Fe-Co合金

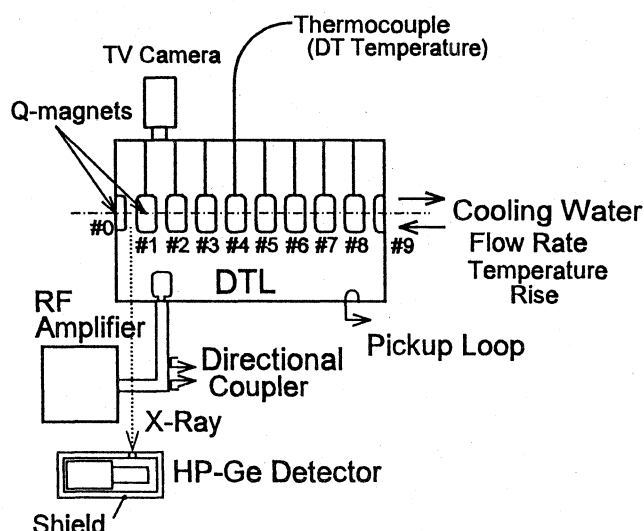


図1. ハイパワー試験セットアップ

\*)MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.  
\*\*)SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES, LTD.  
\*\*\*)MITSUBISHI ELECTRIC CORP.

### 3. ハイパワー試験

#### 3. 1 発熱量測定

所定のRFパワー（デューティ20%、128kWピーク）におけるDTL内の各要素（DT、端板、チューナー、タンク壁）の発熱量を測定した結果を図2.に示す。測定値は、冷却水の流量と冷却水温度上昇より導出した。図のエラー・バー（測定誤差）は流量について±5%、冷却水温度について±0.05°C、及びRFパワー測定機器について±1%を考慮して求めた。

二次元電磁場計算コードSUPERFISHによる計算値と測定値を比較すると、全発熱量（Total）では、約5%で一致している。各要素では、DT（DT#0～DT#9）において測定値が計算値に対して約10%（DT#0とDT#9は45～70%）高い値を示している。これは、DTとステムの溶接部の表面抵抗やステムとタンクのRFコンタクト部の接触抵抗が原因で発熱が増加したためと思われる。そして、DTでの発熱が増加した分、タンク壁（TANK）では測定値が計算値に対して約30%低い値となっている。DTLのQ値はSUPERFISHによる計算値に対し83%（約42000）であるが、このQ値低下の主な原因は、これらの抵抗に起因していると思われる。

#### 3. 2 Qマグネット冷却性能

Qマグネットは上流側の2つのDT（DT#0、DT#1）に実装されており、ホローコンダクター型で磁場勾配80T/m（DC励磁）を実現する[3]。このQマグネットの冷却性能を評価するために、RFパワーを投入した状態で、Qマグネットのon及びoff時におけるDTハウジング部の発熱量を測定した。

図3.に示すように、Qマグネットのon/offでDT（DT#0&DT#1）のハウジング部の発熱量に変化はほとんどない（Qマグネット入熱8kWに対し、いずれも50～100W程度の増加）。従って、Qマグネット通電によりホローコンダクターで発生する熱のほとんどは、その中を流れる冷却水によって除熱されており、Qマグネットの冷却性能が良好であることが分かる。

#### 3. 3 DT温度-周波数変化量特性

ホットモデルのDT#3～DT#9は無酸素銅と冷却水路のみからなるダミーDTである。このうちDT#8について、一つのDTの温度上昇（熱膨張）が、モデル全体の共振周波数に与える影響を測定した結果を図4.に示す。実測値は、DT#8の冷却水量を変化させることによりDT#8の温度を変化させ、そのときのチューナーの挿入距離の変化から実効的な周波数変化量を求めている。また計算値は、3次元構造解析コードABAQUSにより流量を変化させたときのDT#8の熱による変位

量を求め、その変位量に対する周波数変化量をSUPERFISHコードより求めている。

計算値と測定値はほぼ一致しており、ABAQUSによる熱解析、及びSUPERFISHによるRF解析が妥当であることを示している。

#### 3. 4 X線スペクトルの測定

HP-Ge検出器により、DT#0とDT#1の間のX線スペクトルを測定した結果を図5.に示す。入力RFパワーが増加するに従い、ギャップ間の加速電場で加速された電子による制動X線ピークは、強度が急激に増加すると共に高エネルギー側に移っていくことが分かる。このピークエリアの最高エネルギーがギャップ間電圧に相当する。図より所定のRFパワー（128kW）におけるX線エネルギーは約195keVとなるが、これはSUPERFISHコードによるギャップ間電圧の計算値（197kV）と良く一致している。

#### 3. 5 連続運転

所定のRFパワー（デューティ20%、128kWピーク）を投入し、且つQマグネットを通電した状態で24時間の連続運転を実施したが、大きな放電、真空悪化等もなく、DTLの耐久性、安定性が良好であることを確認した。

### 4. まとめ

DTLホットモデルについて、所定のRFパワーにおける安定運転を実現し、耐久性も良好であることを確認した。また、DT温度変化に対する周波数変化、及びX線スペクトルの測定も計算との良好な一致を得、設計の妥当性を確認した。今後はこれらの成果を基に、技術開発用加速器のDTLの開発を行う予定である。

#### 参考文献

- [1] J.Kusano et al., "R&D WORKS ON JAERI BTA" Proc. of the 19th Linear Accelerator Meeting in Japan, 1994, Tokai, Japan, p.69-71
- [2] N.Ito et al., "The R&D Works on the High Intensity Proton Accelerator for Nuclear Waste Transmutation", Proc. of The 1995 Particle Accelerator Conference and International Conference on High-Energy Accelerators, to be published.
- [3] K.Hasegawa et al., "R&D WORKS OF THE DTL FOR THE BTA IN JAERI", Proc. of the 18th Linear Accelerator Meeting in Japan, 1994, KEK, Tukuba, Japan, p173-175.
- [4] N.Ito et al., "FABICATION AND TEST OF DTL HOT MODEL IN THE R&D WORKS FOR THE BASIC TECHNOLOGY ACCELERATOR (BTA) IN JAERI", Proc. of the 1994 International Linear Conference, 1994, Tukuba, Japan, Volume 1 p.119-121.

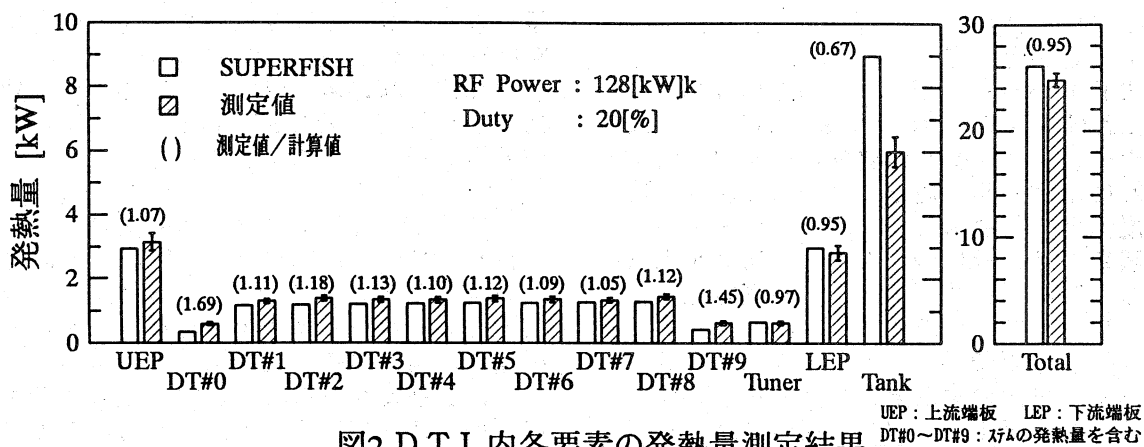


図2.DTL内各要素の発熱量測定結果

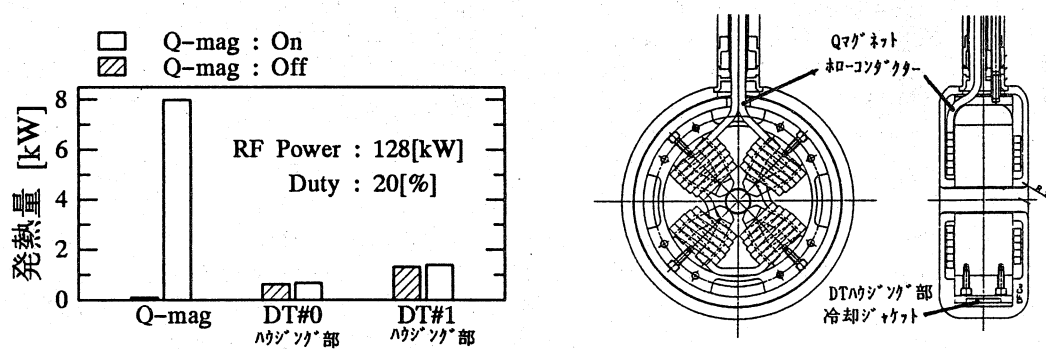


図3.Qマグネット冷却性能

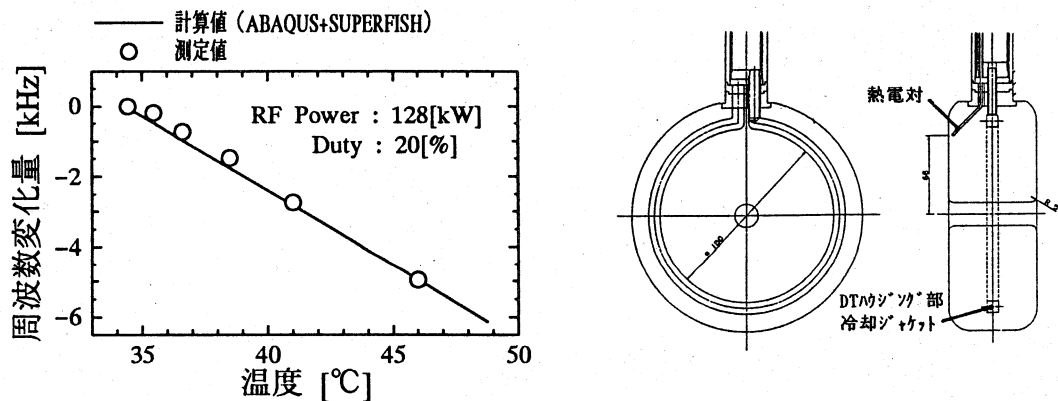


図4.DT#8温度-周波数変化量特性

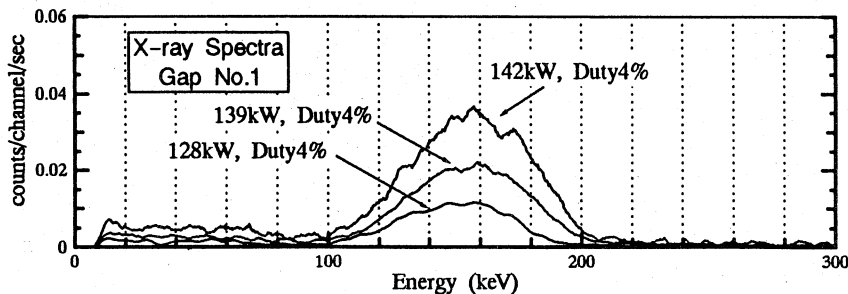


図5.DT#0-DT#1間X線スペクトル