

HIGH POWER TEST OF S-BAND WAVE GUIDE SYSTEM FOR THE SPring-8 INJECTOR LINAC

K.Satoh, S.Suzuki*, T.Taniuchi*, A.Mizuno*, H.Yokomizo*, K.Mashiko, O.Takeda, H.Kamikubo, Y.Ohnishi, Y.Ohkubo, H.Yonezawa, T.Miyano** and K.Suzuki***

Toshiba Corporation
 2-4 Suehiro-cho, Turumi-ku, Yokohama, 230 Japan
 * JAERI-RIKEN SPring-8 Project Team
 SPring-8, Kamigori, Hyogo, 678-12 Japan
 ** Sumitomo Electric Industries
 1-1-3 Shimaya, Konohana-ku, Ohsaka, 554 Japan
 *** Nihon Kohshuha CO., LTD.
 1119 Nakayama-cho, Midori-ku, Yokohama, 226 Japan

ABSTRACT

A high power test of a S-band wave guide system for the SPring-8 injector linac has been performed. A large RF power up to 80MW-4microsec-60pps shall pass through the wave guide system. Critical components such as ceramic-RF-windows and a phase-shifter are adopted in this high power system. After 420-hours aging process a stable operation with the maximum RF power was realized. The system configuration and the process of the high power test are described.

SPring-8線型加速器立体回路の大電力試験

1. はじめに

SPring-8のSバンド入射線型加速器では東芝製E3712クライストロンを用いパルス電力80MW-4 μ s-60pps(平均19.2kW)という大電力の高周波を分岐して2本の加速管に投入する構成を12ユニット持つ¹⁾。このような大電力(特に平均電力はパルス運転としては世界最大級になる)を伝送する立体回路についてもKEK-ATF²⁾、POSTECH³⁾での例があるだけで、更に今回はこれらのシステムでは用いられていないセラミックRF窓と大電力移相器を含む構成となっている。

そこで、立体回路部品のほぼ1ユニット分を先行製作し、その大電力性能を検証する試験を行った。試験は東芝の工場において実際にE3712クライストロンを用い1995年1月に実施し目的の電力80MW-4 μ s-60ppsでの運転を実証することができた。以下に試験の概要を報告する。

2. 試験レイアウト

図1に試験レイアウトを、図2に導波管を組み上げた様子を示す。単純な直線導波管を除き実機の構成要素の全てを含んでいる。

クライストロンの出力は2本の出力窓から40MWづつ出力され、出力合成器で80MWに合成される。加速管の直前で3dB方向性結合器により再び2分岐し、40MWづつ2本の加速管に投入される。試験では導波管終端に加速管の替わりにダミーロードを取り付けた。

以下に主な構成要素の特徴を示す。

(1) RF窓：クライストロンの交換時に加速管の真空を破らずに済むようにクライストロン出力の直後にセラミック製のRF窓を設置している。通過電力は40MWでその構造は実績のあるE3712クライストロンの出力窓と同一である。クライストロンの出力窓とRF窓の間は定在波が立ちにくい距離としている。

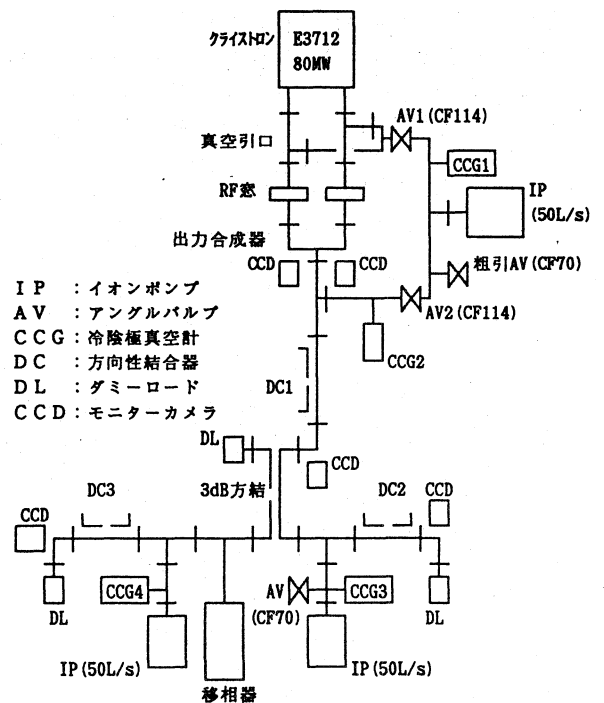


図1 大電力試験系統図

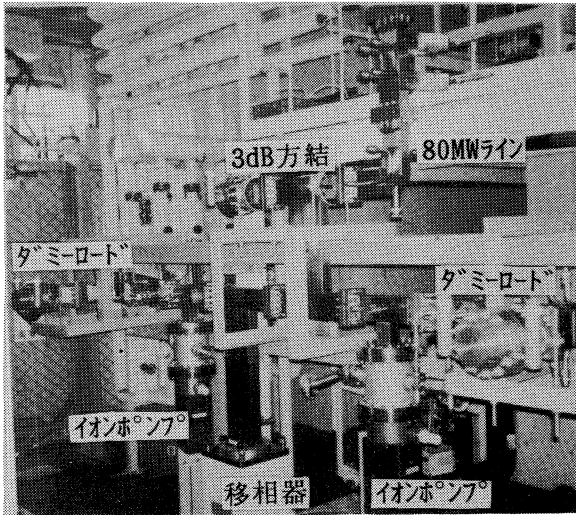


図2 組み上げた立体回路

(2) 大電力移相器：2本の加速管の位相差を調整するために電力分岐後に設置し、360°の位相調整が可能である。大電力での使用を考慮しショート板は接触部を持たないチョーク構造として電解研磨を施している。更に駆動軸を通しての水冷も行っている。

(3) ダミーロード：冷却水で直接RF電力を吸収するウォーターロードタイプである。セラミック製真空窓の冷却水耐圧は1MPaで、真空側にはTiNコーティングが施してある。

(4) 各種導波管：無酸素銅製のWR284導波管にSLACタイプのSUS製フランジをロー付している。電解研磨は施していない。自然冷却では温度上昇が50℃以上と予想され、外面に冷却水パイプをロー付し冷却を施している。

(5) 真空排気系：ピーク電力が高いために導波管内は高真空に保たなくてはならない。試験時には3台の50L/sイオンポンプを用いて排気を行った。モニターには4台のCCG(冷陰極真空計)を用い、真空度によりインターロックをかけた。インターロックの反応時間は約50msecであった。

3. 試験結果

試験中には真空度、方結の検波出力、導波管の温度、水温等をモニターした。セラミック窓や導波管内の様子は5台のCCDカメラで観察した。主なモニターの位置は図1に示した。

(1) 大電力入力の詳細

図3に試験の経過を示す。夜間、休日は低めのレベルで一定に保ち自動運転した。図の横軸は試験開始からの単純な経過時間である。真空

インターロックのレベルは 1.3×10^{-4} Pa以下として、徐々に入力を増していった。

最初は繰り返しを10Hz以下と低くしたままピーク電力とパルス幅を交互に上げていったが、50MW以上はパルス幅も $0.5 \mu\text{s}$ と短く保ったままピーク電力だけを上げていった。その結果195h目に80MW- $0.5 \mu\text{s}$ -10ppsを達成した。その後繰り返しを低く抑えたままパルス幅を長くしてゆき341h目に80MW- $4 \mu\text{s}$ -10ppsを達成した。最後に繰り返しを上げてゆき、380h目に最終目標の80MW- $4 \mu\text{s}$ -60ppsに達した。この直後は30分程度すると導波管の温度上昇とともに真空度が徐々に悪化しインターロック(放電は伴わない)でダウンしていた。その後25ppsで休日をはさみ37hキープした後、60ppsでの安定な運転が実現した。

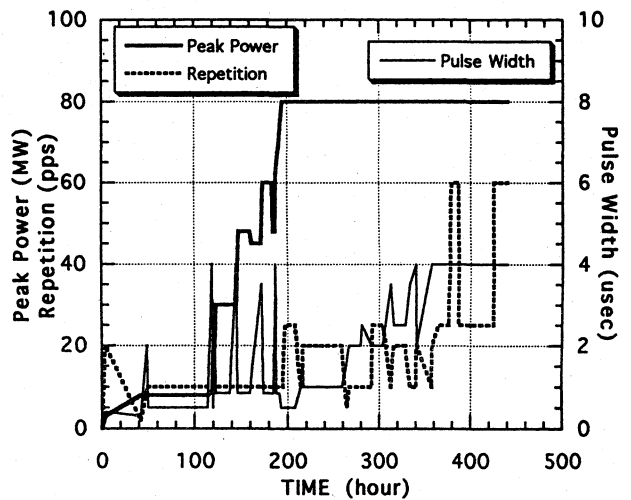


図3 大電力試験の経過

(2) 真空度

表1に試験前後のベース真空度および定格電力(80MW- $4 \mu\text{s}$ -60pps)入力中の真空度を示す。試験終了後のベース真空度は開始前より1桁近く改善されており、入力時の圧力上昇もわずかである。上流側の圧力が高いのは、長い真空配管による実効排気速度の減少と、セラミック窓がクライストロンの出力窓を含めて4枚あることによると考えられる。

表1 試験前後の真空度($\times 10^{-5}$ Pa)

| | 試験前 | 試験後 | 入力中 |
|-------|-----|-----|-----|
| CCG 1 | 8.0 | 1.2 | 1.9 |
| CCG 2 | 8.6 | 1.1 | 2.5 |
| CCG 3 | 2.1 | 0.4 | 0.9 |
| CCG 4 | 1.6 | 0.3 | 0.8 |

(3) 内部観察の様子

導波管内での放電、セラミック窓 (RF窓及びダミーロード) のマルチパクタリングによる発光や放電が観測された。パルス幅が2 μ sを越えると放電発生頻度が増し、パルス幅を延ばすのに時間を要した。マルチパクタリングの発光は窓当たり25MW以下で強く、真空度が改善されると共に発光強度は弱くなっていった。

TVモニタ、真空度、方結の波形を同時に観測することでおよその放電位置が推定できる。試験後半では主に80MWラインで放電が発生した。

(4) 移相器の大電力性能

移相器内での放電が2回観測されたが特に問題はなかった。大電力入力状態で移相器を動かした際、移相器付近での真空度の悪化は認められなかったがRF窓付近の真空度が影響を受けた。これは反射波の位相変化によると考えられる。

(5) 導波管の温度

表2に導波管を水冷 (~3L/min) している場合と冷却水を止めた場合の導波管 (80MWラインの方結) 各部の温度を示す。表示の電力は平均電力である。冷却を行わない場合は定格19.2kWの36%の電力で導波管の温度が上昇し真空度も悪化してそれ以上の入力ができなかった。

表2 80MWラインの導波管の温度

| | 水冷有:19.2kW | 水冷無:7kW |
|-------|-------------------|-------------------|
| フランジ | 46.6 $^{\circ}$ C | 45.0 $^{\circ}$ C |
| 導波管H面 | 38.0 $^{\circ}$ C | 42.6 $^{\circ}$ C |
| 導波管E面 | 38.2 $^{\circ}$ C | 43.8 $^{\circ}$ C |
| 水温/室温 | 24.1 $^{\circ}$ C | 20.5 $^{\circ}$ C |

(6) ダミーロードの水量

40MW入力で30L/min、20MW入力で15L/minという定格水量での運転を行い、過度の温度上昇、冷却水の気泡等の異常の無いことを確認した。

(7) アンゲルバルブでの放電

試験開始後350時間目頃真空度の振れが大きくなり、調査の結果AV2の開度と真空度の振れに相関があることが判明した。この後真空度が振れないバルブ開度として試験を続けた。

試験終了後AV2内部を観察した結果、放電痕が認められ、Oリングの一部が侵食されていた。同サイズのAV1にもやはり薄く放電痕が認められたが、サイズの小さい粗引きバルブには放電痕は認められなかった。これより、放電は真空引きスリットからの漏洩電力にバルブの構造が共振したことにより発生したと考えられる。基本波

(2856MHz)のスリットよりの漏洩レベルは約-70dBで、その先の真空ダクトは基本波が伝播する太さである。放電が基本波によるものか、高調波によるものかは明らかになっていない。

(8) 解体時の内部観察

解体時に導波管内部の様子を観察したが、アンゲルバルブの放電以外、観察し得る範囲では明確な放電痕は認められなかった。

4. まとめ

立体回路はRF窓、移相器も含め定格の80MW-4 μ s-60ppsに耐える性能を有していることが実証された。エージングに要する時間は、今回は夜間、休日は低レベルでキープしたこと、アンゲルバルブの放電という問題を抱えていたことを考えればより短いものと推測できる。

実機ではバルブでの放電の問題を避け、またセラミック窓部と80MWラインの排気を強化するために図4の構成とする予定である。

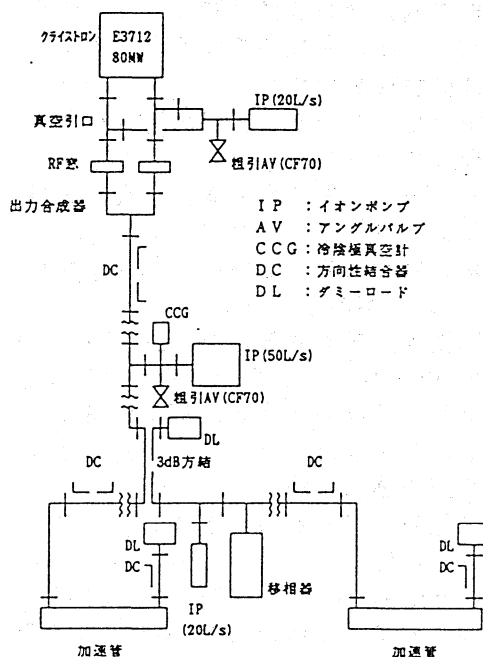


図4 SPring-8実機の系統

5. 謝辞

本試験の実施に当たり、KEK ATF 松本先生より貴重な助言を頂きましたこと深く感謝致します。

参考文献

- 1) H. Yokomizo et al., Proc. of the 19th Linear Acc. Meeting in Japan, (1994) 16-18.
- 2) S. Morita, Proc. of the 19th Linear Acc. Meeting in Japan, (1994) 166-168.
- 3) W. Namkung, PLS/LN-94-03.