

HIGH POWER TEST OF WAVEGUIDE COMPONENTS FOR KEK STF POWER DISTRIBUTION SYSTEM

Tateru Takenaka^{1A)}, Hideki Matsushita^{A)}, Toshihiro Matsumoto^{A)}, Mitsuo Akemoto^{A)}, Hiroaki Katagiri^{A)},
Katsumi Nakao^{A)}, Hiromitsu Nakajima^{A)}, Yoshiharu Yano^{A)}, Shinichiro Michizono^{A)}, Hiroyuki Honma^{A)},
,Shuji Matsumoto^{A)}, Mitsuhiro Yoshida^{A)}, Tetsuo Shidara^{A)}, Sergei Kazakov^{A)}
,Shigeki Fukuda^{A)}, Shuichi Aizawa^{B)}, Yusuke Kawane^{B)}, Shinji Okamoto^{C)}

High Energy Accelerator Research Organization(KEK)^{A)} 1-1,Oho,Tsukuba,Ibaraki,305-0801,Japan
Nihon Koshuha Co.,LTD^{B)} 1119,Nakayama-cho,Midoriku,Yokohama,Kanagawa,226-0011,Japan
Furukawa C&B Co.,LTD^{C)} 3-1-47,Nishi,Fukami,Yamato,Kanagawa,242-0018,Japan

Abstract

The major components of PDS used by STF-1.0 were made, and the high power test of them has been done. Waveguide components described here were a 400kW and a 500kW isolator, a 3dB hybrid (with variable tap-off of ± 0.5 dB), a 6dB hybrid, a 4.7dB hybrid, a vein type Phase Shifter (six-rotary veins), a magic tee, a single vein type phase shifter, and so on. PDS for 4 superconducting cavities installed in the cryomodule are assembled and tested with the short terminated plate instead of the cavities. These high power test results were also reported in this paper.

導波管主要コンポーネントの大電力試験(KEK STF)

1. はじめに

現在、STF-1.0計画^[2]は35MV/mの4連空洞に6月から10月まで高周波電力を給電し空洞の試験を行っている。

ここで使用するWR-650導波管系の電力分配システム(PDS)は3dBを3個使用して、1/2ずつ分けていくトーナメント方式で行い、また12月には1/4、1/3、1/2と分配する比例配分方式のPDSの使用を検討している^{[1][3]}。

昨年来、STF-1.0で使用するPDSの主要コンポーネントを製造し大電力試験を行ってきた。製造したものは400kWおよび500kWアイソレータ、3dBハイブリッド(可変調整機能付3dB \pm 0.5dB 耐圧0.3MP)、6dBハイブリッド、4.7dBハイブリッド、羽根型移相器(6枚回転羽)、マジックT、ベイン型移相器、4連空洞用に組み立てた4連化トーナメント方式のPDSなどである。それらの大電力試験を行ったので報告する。

アイソレータの大電力試験では直管を短絡し、また電気長を変えて、入力電力500kW時にアイソレータ本体で定在波電圧が最大になった時にも放電しないかどうかを調べた。又、ハイブリッドの試験は1号機電源の出力が最大で2.9MWであることから今後の空洞への試験も考慮し2.5MW程度で行った。羽根型移相器、マジックT、ベイン型移相器などは製作者の意向もあり2.9MW前後の電力試験を行った。

2. PDSの現状

1号機の高周波源は3MW近い出力を確保しており、昨年から空洞、空洞窓、導波管の各コンポーネント、4連化したPDSのテスト等を行い秋までフル稼働の状態である。尚、ここ1年は電源、PDSでの大きな故障はない。一方2号機の高周波源は昨年組み上げ電力試験を行う予定であったが電源とクライストロンのトラブル(水漏れ、IGBTの破損など)により、進捗状況が半年以上遅れている。クライストロン(TH2104C)は冷却パイプから水漏れを起したので調査後に製造元に送り返し修理が完了している。IGBTの大半が破損した2号機電源は放電の原因調査やノイズ対策を行っており夏以降の再立ち上げを目指している。

2号機のPDS [図1] の組み上げはクライストロンのテストが単独で行えるように5MWサーキュレータの後に5MWダミー(水負荷)を設置している。

この高周波源は定格が5MWなのでPDSの放電対策にSF₆が封入できるように漏れテストも行っている。また、2号機からの電力を有効に使用するため1号機横のカップラーテストスタンドにも電力が分配できるように導波管の切り替えを設けた。同時に2号機からも地下のビームラインに電力が分配できるようになっている。

¹ E-mail:tateru.takenaka@kek.jp



図1：2号機PDS（左上が5MWサーキュレータ、中央が切り替え部、右上が1号機側への導波管）

3. PDSコンポーネントの大電力試験[表1]

STF-1.0で使用するコンポーネントの試験はアイソレータ、ハイブリッド、昨年STF-1.0用に組み上げ4連化したPDS(トーナメント方式)などを行った。

PDS全体の大電力試験は周波数1300MHz、パルス幅1.5ms、繰り返し5Hzの条件で、各超伝導空洞に必要な最終パワーを、超伝導空洞の代わりに終端を短絡して投入された。電力のパルス幅は500 μ s、1ms、1.5msと3段階で行い、放電など様子を見ながらエージングを兼ね徐々にあげて定格迄行った。

3.1 400kWおよび500kWアイソレータ^[4]

ピーク電力400kWのアイソレータの試験は負荷条件として短絡板を取り付け全位相、全反射で行い放電の有無を確認した。最初は、370kWで放電を起こした。このアイソレータは本体とダミー間で放電し、放電痕も散見された。これはスタブの位置を取り直すことで解決した。フェライトのダミーも白く放電痕が残り改修が必要であった。以前に購入したロシア製アイソレータと同じ仕様にすべく、ダミーロードを更に改造して500kW定格に作り直した。これを併用した500kWアイソレータの電力試験を行ったが放電はなく500kWのアイソレータとして充分使用できることを確認した。



図2：500kWアイソレータ

500kWアイソレータ [図2] は(1):負荷に整合負荷を取り付けた透過電力試験、(2):短絡板を取り付

け全反射させた試験及び(3):(2)の状態に225mmまたは245mmの直管を挿入した全反射試験を行った。この直管の長さはHFSSを用いたシミュレーションから、アイソレータに対して耐電力的に一番厳しくなる電気長を求めて試験したもので、超伝導空洞に500kW入れても十分使用できることが確認された。

3.2 3dB(可変型)、4.7dB、6dBハイブリッド

ハイブリッドの試験は通過・結合出力双方に5MWのダミーロード(水負荷)を取付けて行った [図4]。3 \pm 0.5dB(\pm 8mm)の可変型の試験は、電力分割面の上部にあるボタンの挿入長を \pm 0mmから \pm 8mmまでを \pm 0,4,8と変えて電力を投入した。0mmにおいては2.94MWの入力で各出力は1.50MW、1.49MWと分割され放電はなかった。その時の反射電力は28kWであった。そしてボタンの挿入長が最大の-8mm可変では2.0MWで単発的な放電を起こしコンディショニングして2.2MWまで電力を投入してきた。挿入範囲が-4mm,+4mm,+8mmでは2.45MWで放電はなかった。試験後ハイブリッドの目視点検をしたら-8mmで放電を起こした時の放電痕がスタブに残っていた。今後2MWを超えた電力透過運転にはガスの封入が必要になる。



図3：3dB可変型ハイブリッドの電力透過試験

4.7dB、6dBのハイブリッドの2.5MW透過電力試験を行ったが放電は起こさず特に問題はなかった。これらのハイブリッドはガス導入の3k/cm²加圧になっている。

3.3 STF-1.0用4連化PDS

STF-1.0用に組み立て4連化したPDS(トーナメント方式) [図4] は端末を短絡した状態で1.6MWで電力透過試験を行った。この試験は4空洞に300kW前後の高周波を給電するので、全反射の一番厳しい状態である1.2MW前後において放電がないことが条件となる。4系統に400kW2台と500kW2台を用いているので1.6MWまで電力を投入したが400kW定格の1台が375kWで放電を起こした。秋迄は1空洞が370kWを越える運転は無いのでこのまま使用する。この400kWアイソレータのダミーは

500kW定格（既に500kW電力試験を行ったものが複数ある）に製造し直し秋には交換する予定である。このPDSの電力試験は放電が起こると音が共鳴して場所が特定しにくく何箇所かの方向性結合器のPf、Prの波形から放電箇所を絞込んだ。また、放電音は経験的にこもった音がすれば電力分配後の末端に近く、高く響く音がすれば電力を分配する以前であることが多く、ある程度類推が可能であった。



図4： STF-1.0用4連化PDS(トーナメント方式)

3.4 移相器（Kzakov氏設計）



図5：ベイン型移相器

羽根型移相器、ベイン型移相器 [図5]、マジックT（羽根付）この3台の移相器はKzakov氏設計でKEK工作センタおよびI製作所で製作した。S1-Global計画やSTF-2計画でQや最大電界にばらつきのある多空洞に電力を給電する際に空洞を最大効率で稼働させることを考え準備したものである。

表1：導波管主要コンポーネントの大電力試験

各種コンポーネント	仕様等	電力	放電状況
400kW アイソレータ		370kW	反射板のみのテストで370KWで放電
500kW アイソレータ		500kW	HFSS 使用 225mm、245mm の直管付反射板
4.7dB,6.0dB ハイブリッド	3k g/cm ² 加圧対応	2.5MW	放電なし
3.0dB ハイブリッド	±0.5dB 可変型加圧対応	2.45MW	-8mm2.2MW 放電,-4,0,4,8mm2.5MW 放電なし
羽根型移相器	6枚羽根	2.65MW	2.45MW 音あり、2.65MW 放電
羽根型マジックT	数枚の羽根	3.1MW	角度により2.3MWで放電
ベイン型 移相器	1枚ベイン	2.9MW	電波法を越える洩れ有り密閉度を上げる改修
4連化トーナメント方式	可変型 3.0dB ハイブリッド 3個	1.6MW	アイソレータの放電により1.6MW 定格まで

この移相器の電力透過試験（表1）は3MWまでの透過電力で放電は起こしていない。ベイン型移相器の初回の電力透過試験では導波管からベイン挿入機構部にわたる穴から電波法を越える高周波洩れがあり、密閉度を上げる改修を行った。

4. おわりに

現在行われている試験では、1空洞に対して最大でも350kWの高周波電力を給電すればよい。また、1.6MWあれば4空洞のテストは可能で、ガス封入なしでも充分対応できる。

しかし、今後はS1-Global計画による8空洞運転（各国の空洞を持ち寄って試験）等が予定されており、クライストロンの出力は5MWが要求される。クライストロン出力から電力の分配がある所までのコンポーネントはガスの封入など放電に対する準備がきちんとされなければならない。

これはガス導入バルブとガス加圧からの縁切り用導波管窓の適切な配置を必要としており、ガス導入バルブは既に用意してあるので、今回新規に製造した導波管窓などの耐電力試験を行い挿入する考えである。PDSに導波管窓を挿入するスペースさえ確保できれば核燃料サイクル機構からの移管導波管窓が使用可能なので当面は対応できる。

また、カップラー直前までガス封入が必要な場合はFCB製造の0.2mm厚フレキシブル導波管がネックなので(肉薄管の溶接等の歩留まりの悪さ)、その肉厚を0.3mmにする必要がある。

参考文献

- [1] T. Takenaka, 他, “KEK STF Phase0.5とPhase1における導波管の現状”, 第4回加速器学会, pp79(20076) .
- [2] H. Hayano, 他, “超伝導RF試験設備(STF)の現状”, 本研究会 .
- [3] S. Fukuda, 他, “KEK超伝導RF試験装置(STF)のRF源の開発”, 本研究会
- [4] Y.Kawane,他, “Lバンド500kWアイソレータ”, 本研究会 .