

## PLAN OF THE POWER DISTRIBUTION SYSTEM FOR KEK SUPERCONDUCTING RF TEST FACILITY (STF)

T.Takenaka<sup>1</sup>, K.Nakao, M.Yoshida, A.Lunin, S.Fukuda, S.Aizawa<sup>A)</sup>

KEK, High Energy Accelerator Research Organization 1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801, Japan

<sup>A)</sup>Nihon Koshuha Co., LTD. 1119, Nakayama-Cho, Midoriku, Yokohama, Kanagawa, 226-0011, Japan

### Abstract

The power distribution system (PDS) which feeds rf power to the superconducting cavities for the KEK Superconducting RF Test Facility (STF) and related rf waveguide components are reported. The STF plan will be performed in the building that was used for the test of the J-PARC proton linear accelerator. A cryomodule has four superconducting cavities in it, and two cryomodules are fed by a 1.3GHz klystron with a 5MW output. This report also describes a proposal of electric power distribution system.

## KEK—超電導テスト装置 (STF) における電力分配系の試案

### 1. はじめに

2004年のITRPの勧告によりILCは超電導技術により進めることになり、KEKでも超電導による技術開発が進められることになった。同時に超電導RF試験装置(STF)のPhase1・2計画[1]が立案された。STF計画は大強度陽子リアック棟で展開され、周波数1.3GHz、出力5MWのクライストロンから2つの4空洞内臓クライモジュールに電力を供給し、2年間でビーム試験まで行う。

このSTF-Phase1のRF源[2]に関しては2005年末までにカップラー試験(RF電力1MW程度)を、2006年末までにはクライモジュールまで建設およびRF試験を終えることが要求されている。続いて2007年3月にビーム試験を行う予定である。RF源は電子陽電子入射器のRFグループでローパー、ハイパー、制御、PDSまで受け持っている。ここではSTF-Phase1で行うカップラー試験及びクライモジュール試験の電力分配システム(PDS)について記述する。

表1: PDSに用いる代表的なコンポーネント高周波特性 (NKK測定)

品名	VSWR
イベント	1.02
イベント覗穴付	1.05
Hイベント	1.03
Hイベント覗穴付	1.03
フレキシブル導波管	1.06
ウォーターロッド(ハリアン)	1.02~1.06水温30~40°C
ウォーターロッド(NKK)	1.21~1.26水温30~40°C
方向性結合器 Pf	結合度 59.8dB/ 方向性26dB
方向性結合器 Pr	59.6dB/ 方向性36dB

### 2. PDSのコンポーネントと移管品利用

RF源の建設に際して、予算的な問題や時間的制

約を考慮しKEKにある資産の活用を行っている。これらの資産とは過去に行われたLバンド関連の計画、即ちJHP[3]と核燃料サイクル開発機構[4]からの移管品である。PDSの導波管コンポーネントに関してかなりの部分が2つの計画で使用されたWR650規格のもの(写真1,2)を再利用している。移管品の使用周波数は1.25GHz(サイクル機構)と1.296GHz(JHP)であったので、コンポーネントの何がILCの周波数1.3GHzで使用できるかを確認するために高周波特性を測定した。表1の様に殆どVSWRは1.06以下で、挿入ロスも少なく、今回のSTF-Phase1計画に使用できることが分った。一部補正が必要なものはウォーターロッドで、セラミック窓の前でポストにより整合を取っている構造のもので、VSWRが1.26ありポスト部分の改造を要するものがあつた。方向性結合器も比較的広帯域で、較正值を利用すると十分使用できることが確認された。参考までに60dB方向性結合器の測定結果を示す(図1)。

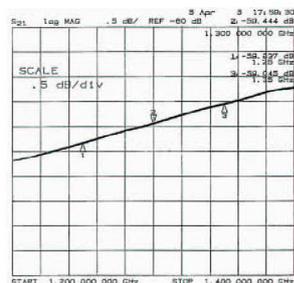


図1: 60dB方向性結合器の周波数特性

移管品のコンポーネントは、直管、Hイベント、Eイベント、3dBハイブリット、60dB方向性結合器、フレキシブル導波管、3スタブチューナー、ダミーロッド、可変短絡板、ガス導入管など309点がある(表2)。大電力水負荷(ハリアン製、日本高周波製)は平均電力75kW、先頭値2.5MWでの使用実績がある。可変短絡板はクライストロンの出力特性

<sup>1</sup> E-mail: tateru.takenaka@kek.jp

表2 PDSに使用する移管品コンポーネントリスト

品名	員数	品名	員数
直管(100~3000mm)	107	60dB方向性結合器	14
フレキシブル導波管	37	水負荷(中電力)	20
Eベント	50	水負荷(大電力)	4
Hベント	52	3スタブチューナー	3
3dBハイブリッド	12	可変短絡板・他	10
		合計	309

を測定する目的で製作されたもので、最大5MWで使用できるように設計されている。フランジはCPR650FまたはCPR650Gであり、その組み合わせによりフラット板がスクット又は片面溝がスクットを使用する必要がある。

### 3. STFのPDSに対する検討事項

STFにおけるPDSは3dBハイブリッドによる電力分配と比例配分的結合度をもつ方向性結合器で電力を分配するTESLA方式による2つの方法を併用し比較検討をする予定である。超電導加速器では定在波型なのでrfパルスの立ち上がりと立下りは全反射である。また空洞との結合をオーバーカップリングにするため、常時一定の反射があるので、3dBハイブリッドを介したクロストークの影響が問題である。又反射があるのでサキユレーターを使用したくなるが各空洞に付けるとILCでは膨大な数になる。もしSTF-Phase2でTESLA方式を採用すると36個のカップラーに電力を供給するために35種類の結合度を持つ電力分配ハイブリッドが必要である。クライストロン出力部からハイパワーサキユレーターまではSF6ガスを使用するようにクライストロンメーカーから要求されているが、SF6ガスを使用しない場合の耐圧評価の試験が必要である。



図2 移管導波管の例。右上より3dBハイブリッド、フレキシブル導波管、3スタブチューナー、可変短絡板、方向性結合器とHベント。

### 4. カップラー大電力テストのPDS

当面2005年末に行なわれるカップラー試験では15年ほど前にJHPで購入したTH2104Aクライストロンを使用する。10年以上倉庫に保管されていたのと使用周波

数が若干異なるので、チェックのためにTH2104Aクライストロンの出力特性試験を電子陽電子入射器クライストロン準備室において行った。Sベント試験装置のモジュラータとパルストランスを利用し5.34MWの出力を得た。その時のパラメータはパルス幅2 $\mu$ s、繰り返し1Hz、マイクロベアンス2.30であった[5]。

STFのカップラー試験におけるクライストロンの後のPDSの順序は方向性結合器、ガス導入バルブ、大電力サキユレーター、rf窓、方向性結合器、アーケンサー、パワー切り替えスイッチ、ビューポート、試験カップラー、方向性結合器、可変短絡板、大電力ダミポート等で構成される。大電力サキユレーターは購入品で、最大出力5MW/平均85kW/パルス幅1.7ms/繰り返し10Hzの仕様でSF6ガスを用いるロシア・フェライト社製である。この特徴は非常に低損失で挿入損失は0.1dBである。

カップラー試験では整合負荷による透過試験の他に、全反射などを想定して可変短絡板で全反射の場所を変えて起こし、セラミック上での耐電圧性を調べることも試験項目に入っている。この試験では出力1MW程度を想定している。全反射させて試験をするのでクライストロン保護のためにも大電力サキユレーターが必要である。アーケンサー・VSWR等は制御に組み込まれ高周波出力のパルス間でrfを止める早いインターロックを採用する。

パワー切り替えスイッチはUリンク導波管を手動で付け替えて電力の流れを変えるものである。大電力ダミポートはJHPにおいて600 $\mu$ s、50pps、5MW試験に使用した水負荷タイプのもので(図2)があるのでそれを使用する。ダミポートの窓が破損し水が漏れた場合も想定し仕切り板付導波管(既に所有)を付ける必要があることを考えておく。この辺の鳥瞰図的な配置は図4に示した。

### 5. STFクライモジュール・大電力テストのPDS

次のSTFクライモジュール・大電力試験の時はRF源から途中で給電の切り替えを行い、長い直管により大強度陽子ライナック棟の地下部へ導かれる。地下のビームライン内に設置されたクライモジュールに組み込まれている8個の超伝導空洞に高周波結合器を通して給電を行い、ビームを加速する。2つの4空洞内臓クライスタットに電力を供給する方法は3節で述べた通り2通り考えており、5MWのクライストロン出力を35MV/m4空洞用と45MV/m4空洞用に3dBハイブリッドで2分割した後の1系統は3dBハイブリッドを3個用いる方法で、まず2分割し、再度それぞれを2分割し、4個のカップラーに500kWを入力し空洞を励振する。もう1系統は、1:2、1:3、1:4の3種類の電力分配器を用いてカップラーに500kWを供給するTESLA方式である。RF源の高周波のパラメータは周波数1.3GHz、出力5MW、繰り返し5Hz、パルス幅1.5msである。

位相調整はTESLAと同じように3スタブチューナーを用いて行なうがQeを変えてしまうので大幅な位相調

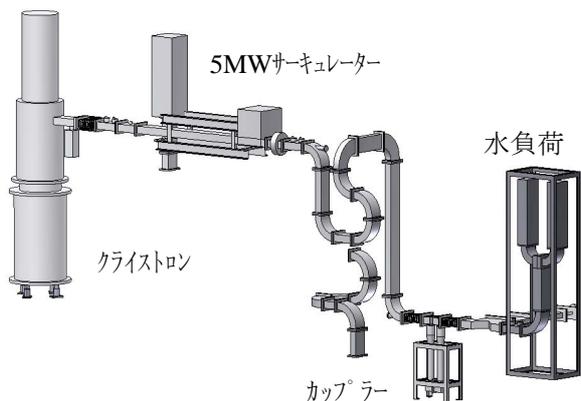


図3: RF源とカップラー大電力テストのPDS

整は望ましくない。そのために第0近似として必要な位相は導波管のライン長であわすことが出来るようにUカップル部を作っている。ここに短い2本の直管を挿入することで大きな位相のずれは合わせ込み、前述のように空洞からの反射が無視できないので、それを上流に戻さない簡単な手段として500kWクラスのサーキュレーターを4および8個用意する予定である。が、将来的なILCを考えるとサーキュレーターを用いない工夫が必要かもしれない。WR650導波管系からへは同軸導波管変換機(トリアップ)を介して行なわれるが、機械的なストレスからカップラーを保護するためレキシブル導波管を介して結合する。全体で8個の空洞が配列されるので電力を8分配された後、全て同じコンポーネントがその数だけ必要になる。

## 6. 陽子リニアック棟におけるPDS配置

陽子リニアック棟では地上部のクライストロンギャラーでクライストロン試験とカップラー評価を行う。このレイアウトを図3に示す。地下部に設置されたクライモジュールまでのPDSは図

4に示す。トンネル部は地上から下床まで9000mm、横幅は5000mmである。ビームセンターは横2600mm/2400mmの振り分けで、床から1200mmの位置である。

ビームライントンネルには約12000mmのクライモジュールが据え付けられ、ビームセンターが導波管側壁から2400mmのところを設定され、8個のトリアップに導波管が結合される。8本並んだ導波管の上にはアルミ製のフリーアクセスが置かれ自由な往来と作業性を考えている。サーキュレーターなどの設置も考慮するとこのアクセス通路の床高は400mm位が必要と思われる。

## 7. おわりに

今回のSTF-Phase1計画におけるPDSは移管品の利用と陽子リニアック棟の冷却水・設備等が利用できるため安価で早い立ち上がりが可能である。3dBハイブリッドを用いて電力分配を行う方法とTESLA方式で電力分配を行うことで利点・欠点を明らかにし、PDSパーツに何が必要か評価をすることが出来る。

## 参考文献

- [1] H. Hayano, "Superconducting RF Test Facility(STF) for ILC", presented in this meeting.
- [2] S. Fukuda, et. al., "RF Source Development of Superconducting RF Test Facility(STF) in KEK", presented in this meeting.
- [3] JHP Design Report, JHP-10/KEK Internal 88-8(1988)
- [4] T. Emoto et. al., "PNC high power CW electron linac status", Linac1994, KEK, Tsukuba, Japan, pp.181-183, (1994).
- [5] K.Nakao, et. al., "High Power Test of L-band Klystron in KEK Klystron Test Hall", presented in this meeting.

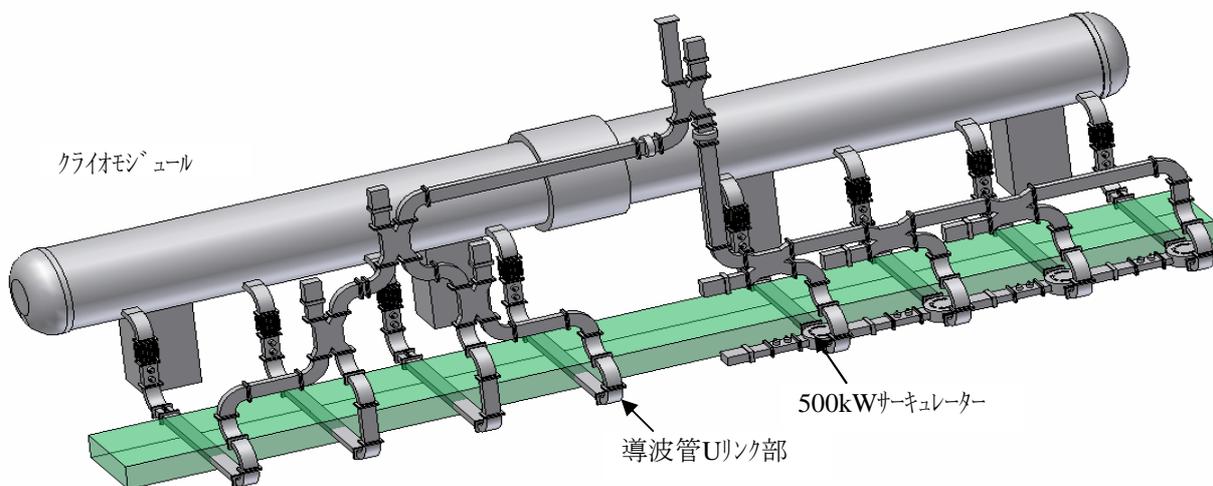


図4:クライモジュール用大電力テストのPDS