

RF Source of Superconducting RF Test Facility (STF) in KEK

S. Fukuda¹, M. Akemoto, H. Katagiri, T. Shidara, T. Takenaka, H. Nakajima, K. Nakao, H. Honma, S. Matsumoto, T. Matsumoto, H. Matsushita, T. Miura, S. Michizono, Y. Yano, M. Yoshida, S. Kazakov, H. Hayano

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801, Japan

Abstract

Superconducting RF Test Facility (STF) for the Phase-1.0 is being developed in KEK this year. For HLRF, we have been operating two RF-power sources. Two power distribution systems (PDS) are completed and one is installed to the cryomodule for the STF-1.0. Many waveguide components for these PDS are developed for this year. LLRF achieved the stability of amplitude and phase of 0.01%rms and 0.02 deg. respectively. Some studies related to the LLRF are reported here. After the STF-1.0, we have a plan of S1-global and STF-2.0, in 2010 and 2012 respectively. RF source are also preparing for these two projects. This report describes the recent status of the RF source of STF in KEK and our preparation for the future S1-global and STF-2.0 project.

KEK超電導RF試験装置 (STF)のRF源の開発

1. はじめに

前前回[1]、前回[2]に引続き、KEK超電導RF試験装置(STF)のRF源についての現状を報告する。KEKではSTF-0.5計画が終了し、現在超伝導空洞4台が収納されたクライオモジュールにRF電力を供給するPhase-1.0計画が進行中である。最近更にここ1~2年の間にS1-Global計画という、アジア、欧州、米国で製作された超伝導空洞を組み込んで評価試験を行う計画が予定されている。更にその後、従来から計画されていたILCのRFユニット一台分(26空洞；3クライオモジュール)へ電力を供給するPhase-2.0が控えており、これに対する準備も平行して進行中である。図1にレイアウトを示した。

本稿ではPhase-1.0及びS1-Globalに対するパルス電源、電力分配系、LLRFの現状及びSTF計画の予定、ILCにおけるHLRF等の設計とSTFの間の関連性についても報告する。

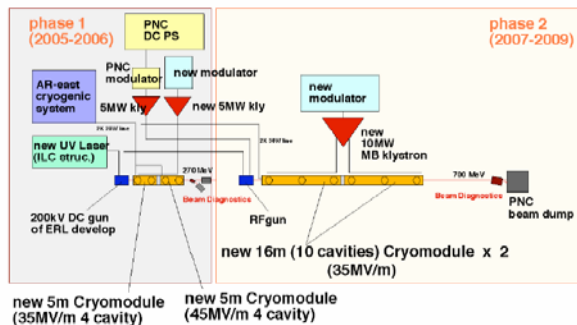


図1 STFレイアウト

2. 大電力STFパルス源

大電力STFパルス源(電源とクライストロン)に関しては昨年の報告の通りである。STF Phase-1.0の

RF供給にはSTF#1号機(MELCO-動燃を改造)が使用されている。供給RF電力は3MW近い出力であり当面の試験にはOKである。定格の5MWを得るためにはIGBTの増強が必須であるが予算上の問題から実現に至っていない。

STF#2号機(ニチコン)は抵抗負荷によるパルス電源の試験後[2]、新旧2本のThales Lバンド・クライストロンTH2104C(A)を負荷にした試験を行った。高圧印加試験中、水漏れが発生、それと付随して

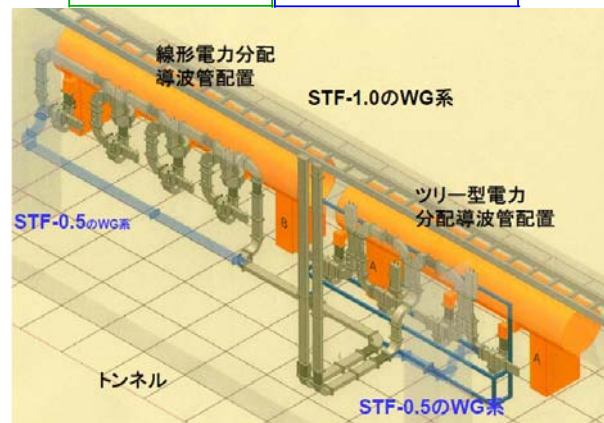
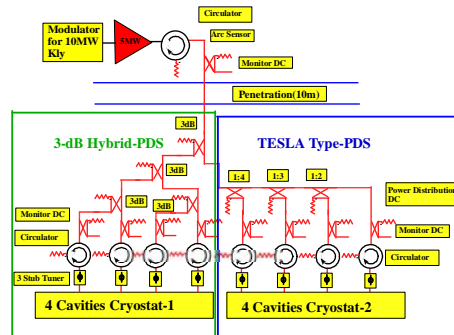


図2: 上: 信号分配系の模式図。下: トンネル内の鳥瞰図

¹ E-mail: shigeki.fukuda@kek.jp

PTタンク内放電、IGBTの破損というトラブルが発生した。タンク内の放電に対してIGBTの速遮断が効かなかったことを重視して現在放電対策、IGBTの速い遮断に対するシーケンスの見直し等が進行中である。水漏れを起こしたThales-TH2104Cは仏国へ送り返し、修理後Diode運転をThales社で行って管の破損が無いことを確認して再納入された。#2号機が稼動した際にはクライストロンからの5MW出力を確認し、WGコンポーネント試験等に供する予定である。



図3：日本高周波製500kWアイソレータ

3. WG系：PDS(Power Distribution System)

STF-1.0で使用するLバンド(1,300MHz)PDSのレイアウトは図2に示す通りである。線形分配方式とツリー型分配方式を併用するのはそれぞれの方式の評価を行いたいからである。特にサーキュレータを省略した場合の効果は後者でないと試験出来ない。今夏から秋にかけての試験では空洞4台(35MV/m型)しか試験しないので当初ツリー型で電力を供給し、一連の試験終了後線形分配系に変更して試験を行う予定である。昨年度からの進展としては導波管コンポーネントの幾つかを製作し評価したことである[3]。それらは400kWアイソレータ(日本高周波)、500kWアイソレータ(ロシア・フェライト社/日本高周波)、移相器(ロシア・SPA社/KEK自作)、分岐比可変3dBハイブリッド、4.7及び6dBハイブリッド(日本高周波)、モニター用方向性結合器、Lバンドピルボックス窓等である。また製作したそれぞれのコンポーネントの大電力試験後、図2

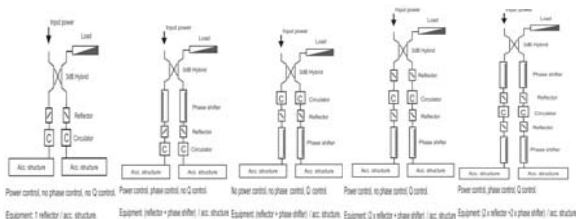


図4：Reflector と移相器の組合による可変性



図5：左より移相器、リフレクター、及びマジックティーとレフレクター組合せによる移相器

に示したような4連化したPDSを構築し総合試験を行い、STF棟トンネルに移動しクライオモジュールに取り付け、空洞のカップラー試験待ちである。

ロシア・フェライト社で製造された500kWアイソレータ及び移相器はDESYのXFELで使用されているものと同じであるが、日本でもアイソレータについては同程度の価格で性能を満たすものを開発することとし、同等の500kWアイソレータが日本高周波で製作された。

S1-Global計画、STF-2や将来のILC計画において性能のそろった均一の超伝導空洞の製造は難しいために、それぞれの空洞に最適な電力やLoaded-Qに整合させるコンポーネントの使用が要望されつつある。これを安価に実現することが課題である。分岐比可変3dBハイブリッドはこの要請から導入されたものである。電力やLoaded-Qを変えるには3-Stub TunerやE-H Tuner等があるが、基本的には空洞の入力回路で反射を立てて位相器で調整すれば良い。これらの組合せで電力、位相、Loaded Q等が可変となる[4]。図式的に示すと図4のようになる。

この考えを基本にして簡単なReflectorや移相器がKazakovにより提案されKEKで試作された。これに関しても大電力試験は完了し性能は確認した。移相器及びReflectorに関する模式図を図5に示す。

これらのコンポーネントを一部図2のシステムに組み込んでSTF-1.0及びS1-Globalで使用することを検討している。図6にSTF-1.0のためにクライオモジュールに取付けられた4連のPDSを示す。



図6：クライオモジュールに組み込まれたPDS

4. LLRF[5]

LLRFの評価等に空洞シミュレータ等を利用してきたが昨年7月から超伝導空洞を利用した高周波運

転が始まった。これSTFの実空洞を使用した種々のStudyが行われた。又空洞担当者からのプロセッシングと関連した要請で、供給される電力がステップ関数的に変わるフィードフォワード補償等も行った。デジタルLLRFの性能に関しては、ILCでは空洞加速電界の安定度として振幅安定度0.07%、位相安定度0.24%が要求されている。図7に現状でのフィードバックの際の状況を図示した。振幅のサグを含めたパルス内安定度は0.05%rms、0.02度rms程度、30秒間のパルスの振幅及び位相のパルス内平均のドリフトは図7から分かるように0.01%、0.02度程度であった。

LLRF関係での幾つかのスタディが行われた。先ず、If-Mix法は多チャンネルの信号を、例えば1/4のADCで計測出来るものであるが、今回、1空洞の信号を4分割したうえでIf-Mix法を使ったフィードバックが問題なく動作することが実証された[6]。IFが高くなると、 π モード以外の空洞のモードもデジタルKKRF系に混入し、フィードバックの条件によっては不安定になる。そこで、STFにおける π モード以外の TM_{010} のパスバンドによるRF不安定性の測定が行われた[7]。その他、1.3GHz迄帯域のある高速ADCを高速処理可能なFPGA評価ボードに接続し、1.3GHzの信号を直接ADCに入力するダイレクトサンプリングの試験も行われている[8]。

今秋のSTF-1.0では4空洞の試験が行われる予定であり、ベクターサム制御などの試験が行われる。

5. S1-Global、STF-2.0 及びILC

今秋のSTF-1.0が終了後、2010年度4~9月にかけてS1-globalが予定されている。STF-1.0では先に述べたように2種類のPDSを順次試験する。ツリー型PDSでは、アイソレータを撤去した場合の影響、LLRFのフィードバックの制御性等も試験する予定である。これはILCでアイソレータの除去がコスト的に大きなインパクトがあるからである。現在課題の空洞のばらつきに関しては、STF-1.0及びS1-

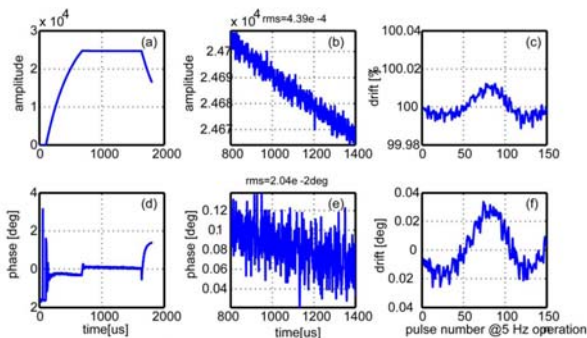


図7 システムの安定度。(a)振幅、(b)振幅(拡大)、(c)振幅の150パルスの平均値のドリフト、(d)位相、(e)位相(拡大)、(f)位相のパルス内平均値のドリフト

Globalにおいて、第3節で述べた可変3dBハイブリッド又は反射器、位相等等の組合せで最適な空洞の動作になるようにRF源側で調整することを考えている。

STF-2.0は2012年完成させ運転に入る予定である。ILC計画の1-RFユニット(3台のクライオモジュール、26台の超電導空洞)からなる大規模なシステムである(図1参照)。これに向けた準備態勢を現在議論中である。ILCの設計チーム(GDE)ではコスト削減のためにR&D的な要素を色々検討しているために、当初予定していたDESYタイプのBCD案(Basic Design Configuration)から違う仕様になる可能性もある。投入する予算規模からして、早めに仕様を固める必要がある。

6. まとめ

KEKで展開されているSTF装置は建設が始まってから4年目に入る。RF源は2台の装置が現在稼働中である。HLRFは、現状では必ずしも当初の仕様の通りに出来上がっていないが、STF-1.0及びS1-Globalの遂行には支障がない。ILCの設計に反映すべく、パルス電源やPDSでコストインパクトがあるR&Dを取り込みつつ、STF-2.0に向けての準備を行いつつある。LLRFはデジタル制御が必須の技術として現在進行中であるが概ね順調に推移している。マイクロフォニックへの補正やピエゾによるチューニング、STF-2.0でビーム加速等が行われた時にベクターサム制御がうまく進むか等が今後の大きなステップである。

参考文献

- [1] 福田茂樹, 他「KEK超電導RF試験装置(STF)のRF源の開発」第3回加速器学会, pp. 130-132(2006)
- [2] 福田茂樹, 他「KEK超電導RF試験装置(STF)のRF源の開発」第4回加速器学会, pp. 67-69(2007)
- [3] 竹中たてる, 他「導波管主要コンポーネントの大電力テスト(KEK STF)」, 本研究会
- [4] S. Kazakov, Private Communication
- [5] 道園真一郎, 他「STFにおける低電力高周波源の性能」, 本研究会
- [6] 松本利広, 他「複数の中間周波数を用いたデジタル低電力RF制御系」, 本研究会
- [7] 三浦孝子, 他「KEK-STFにおける TM_{010} モードのパスバンドによるRF不安定性」, 本研究会
- [8] 片桐弘明, 他「LLRF計測制御の為にFPGAを利用した高速データ収集」, 本研究会