

RF SOURCE DEVELOPMENT OF SUPERCONDUCTING RF TEST FACILITY (STF) IN KEK

Shigeki Fukuda¹⁾, Mitsuo Akemoto, Hiroaki Katagiri, Tesuo Shidara, Tateru Takenaka, Hiromitsu Nakajima, Katsumi Nakao, Hitoshi Hayano, Hiroyuki Honma, Syuji Matsumoto, Toshihiro Matsumoto, Shinichiro Michizono, Yoshiharu Yano, Mitsuhiro Yoshida, Andrei Lounine^{*)}

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

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

Abstract

Since ITRP chose a superconducting accelerator as the LC's technology, KEK made a plan for the super-conducting rf test facility (STF) at KEK. STF comprised phase-I and phase-II; the former is a plan for two years from FY2005, and is aimed at the quick construction of a test facility to evaluate 4-35MV/m cavity structures and 4-45 MV/m cavity structures with a beam. Phase-II is the next plan of the test facility to extend two 16m cryomodels. RF source of the STF will start operating from November of 2005 to evaluate the coupler of the superconducting cavity. In this paper, phase-I status of the rf source including the a modulator, a klystron, a power distribution system and a low level rf system is described.

KEK超電導RF試験装置(STF)のRF源の開発

1. はじめに

KEKでは、リニアコライダー(LC)技術としてXバンドを採用して長年R&Dを行ってきたが、2004年にITRP(国際LC技術勧告委員会)がLCとして超電導技術を選択したことに伴い、超電導技術に基いたLCの開発に方向転換した。KEKではトリスタン・KEKB・J-PARCと超電導技術を用いた加速器の実績があることが背景にある。2004年度後半にKEKでの取組みについて議論した結果、KEKでは超電導RF試験装置(STF)を立ち上げることを決めた。このSTFは2期計画からなっており、Phase-1では2005年から2006年にかけて、2個の5mクライオモジュールを作り、一方には4台の35MV/m空洞を、もう一方には4台の45MV/m空洞を組込む計画である。Phase-2はその後2007年から2009年にかけて、2台のフルサイズ(16m)クライオモジュール(各々35MV/mの空洞10個から成る)を製作する[1]。

このSTF計画に対して要求されるRF源としては、

Phase-1に対しては、5MWのクライストロン(周波数1.3GHz、rfパルス幅1.5ms、繰返し5Hz)2台、Phase-2に対しては10MWのクライストロン(同)1台である(図1)。当面の課題としては、超電導空洞のカップラーの評価試験が2005年末から予定されているためにRF源としては早い立上を要求される。しかしながらRF源をすぐ立上るのは技術的にも費用的にも困難である。又、年度を跨ぐために予算執行上も困難な面が大きい。Phase-1を立ち上げる際に念頭に置いたのはKEKが持っているLバンド関係の資産である。具体的には10年前に展開されたJ-PARCの前身であり周波数1.296GHzを採用していたJHPの資産[2]、及びKEKに移管された核燃料サイクル機構(PNC)の加速器資産(周波数1.25GHz)[3]である。

Phase-1のモジュレータの最初の一台はPNCのモジュレータを改造し、クライストロンは10年以上倉庫入りしていた旧トムソン社のTH2104Aを再利用することにした。Lバンド導波管系は両計画で使用されたWR650導波管コンポーネントを全面的に利用することとした。又、低電力系の半導体増幅器などもJHPのものを利用することで費用的・期間的問題を少なくすべく試みた。一方この方針は、TESLA装置等と比較して最適化した設備からは程遠く、試験装置立ち上げと同時に2台目のRF源をなるべく最適な設計にすることも平行して要求される。

RF源を立ち上げる母体となるのは、KEKB入射器ライナックのRFグループである。現在パルスRF源を担える部門として指名されているが、複数の業務を抱えているので計画的に仕事を遂行する必要がある。ここでいうRF源には低電力RF(LLRF)も含まれる。超電導加速器では長パルスであることからフィード

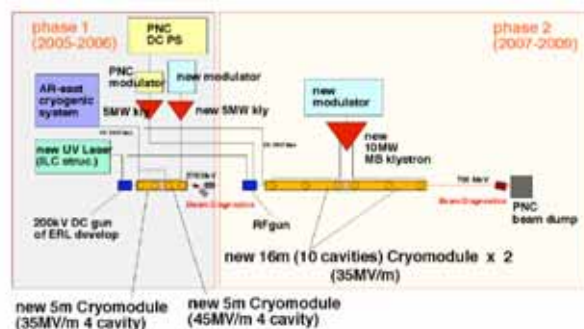


図1 STFレイアウト

¹⁾ Shigeki.fukuda@kek.jp

*) 現在 PSI in Switzerland

表 1 Specification of Modulator

Item	Unit	Phase-I-1	Phase-I-2	Phase-II
Modulator No		TH2104A	TH2104C	MBK
Klystron		TH2104A	TH2104C	MBK
Klystron applied voltage	kV	140	130	115
Klystron beam current	A	107	96	132
Pulse width(70%-70%)	ms	1700	1700	1700
Rise time	ms	200	200	200
Pulse flat top(90%-90%)	ms	1370	1370	1370
Flatness within pulse duration	%	0.5	0.5	0.5
Repetition	Hz	5	5	5
duty		0.0085	0.0085	0.0085
Step-up Ratio of PT		1:6	1:12	1:12
Primary Voltage	kV	23.3	10.8	9.58
Primary Current	A	642	1152	1584
Primary Impedance	Ω	36	9.4	6.05
Peak Power of Modulator	MW	15	12.5	15.2
Average Power of Modulator	kW	128	106	129

バック技術が重要な位置を占める。特に現在はデジタルフィードバックが主流となっておりこの方面の成否が加速運転の死命を制する。ここではJ-PARCで成果を上げた技術を取り込んで構築することを考えている。

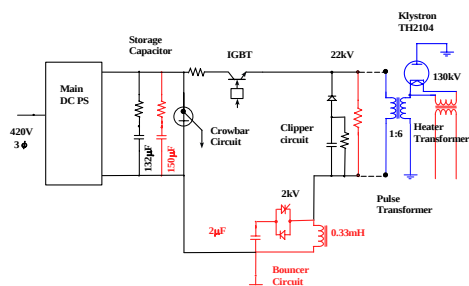


図2 改造モジュレータ・ブロック図

2. Phase-1計画のRF源

前述の通り、Phase-1の最初のRF源は2005年末にはカップラー試験に供されるために早い立上りが要求されている。その為にKEKの手持ちの資産を利用する方針は前に述べた通りである。2台目は2006年度末のビーム試験に間に合わせる必要があるが、最適化した設計による新規製作を考えている。特にモジュレータは重要な部分である。なお、表1にPhase-1とPhase-2で用いられるRF源をまとめた。



図3 PNC電源(左)及びJHPパルストランス(右)

2.1 モジュレータ[4]

最初の電源はPNCのモジュレータを改造する。この電源は3つのモード(DC60kV、90kV・4msパルス、140kV・100μsパルス)からなるが負荷クライストロンがModulating Anode型であり、又電圧やパルス幅等

が合わないのかかなりの改造が必要である。図2に改造電源のブロック図を示す。赤色部分は新規追加部、青色部分は変更して使用する部分である。一次側電圧が22 kV なのでパルス幅1.7ms(Max)にするためにはStorage Capacitorの容量を増加する必要がある。150μF追加しても1.7msのパルス幅内でのサグは15%にもなるので、そのサグの補正はBouncer回路で行い最終的に1%程度のサグに抑制する。SW素子のIGBTは元のものを使用する。Crowbar回路のIgnitronは電圧が下がるので、元の6直列を2直列にして使用することを考えている。SWやKlystronの保護シーケンスは現在再検討中である。

この電源に用いるPulse TransformerはJHPで使用した140kV 600μsのもの(昇圧比1:12)を鉄芯を増強して昇圧比を1:6にして使用する。鉄芯は25個から39個に増加する。旧鉄芯を流用するため必ずしも設計上最適化されておらず、長さ1.7m、重量4トンぐらいになる。

2台目の電源は新規として、現在DC電源部、SW部、Crowbar回路の有無等について検討中である。一次側はTESLA設計と同様11 kV程度として、Pulse Transformerの昇圧比は1:12にする予定である。

2.2 クライストロン

Phase-1では2台のクライストロンが使用される。1台はJHPで使用されていたTH2104A(運転周波数1.296GHz)であり、もう1台は新規購入のTH2104Cである。前者は15年前に購入したものであり、周波数が異なるので短パルスにて評価試験を行った。その結果ヒーター特性は正常であり、RFパルス2μs・135kV前後の電圧において5 MW出力(1.3GHz)を確認した[5]。この試験によりソケット関係や励振系の基本的な評価も無事終了した。2台目は納期11カ月なので先行的手配をかけ試験時まで間に合わせる予定である。



図4 クライストロン(左)、ソケット(中央)及び短パルス試験風景(右)

2.3 電力分配系(立体回路システム)[6]

図1からも分る通りPhase-1とPhase-2で電力分配系は異なる。ここではPhase-1に限って説明する。費用節約のためにこの部分は基本的に前述のKEKの資産を最大限利用する。各コンポーネントの周波数測定を行い、使用できるもの、改修が必要なものを調査中である。2005年末から予定されているカップラーの試験は最大1 MW程度の出力RF電力をカップ

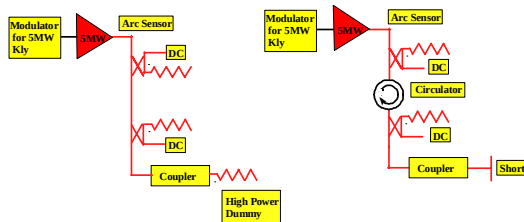


図5 カップラー試験のレイアウト

ラーを通して整合負荷に供給する試験と、可変短絡端で反射させてカップラーの耐性を見る試験を予定している(図5)。後者の場合は大電力サーキュレータが必要であり、TESLAと同様に5MW、1.5msのRF幅に耐えうる低損失サーキュレータ(ロシア・フェライト社)を使用する。

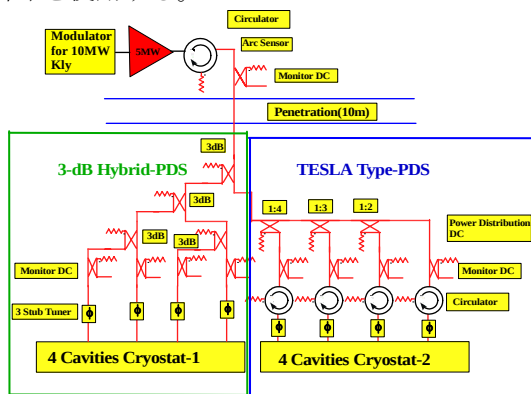


図6 クライオモジュール電力分配系ブロック図

クライオモジュールへの電力分配系は図6に示すように2種類の分配系(3dBハイブリッドを用いた分配系とTESLA同様の線形分配系)を併用する。これで同じ3dBハイブリッドだけの系でサーキュレータを使用しない場合のクロストーク等の影響を調べる予定である。超電導空洞ではパルスの立上りと立下りでrfが全反射され、更に空洞をOvercoupleで動作させると常時一定の反射が存在するのでこの問題は重要である。その他3スタブチューナ型の移相器の使い勝手、SF6ガス使用が要求されている導波管系の雰囲気に関しても調査する必要がある。

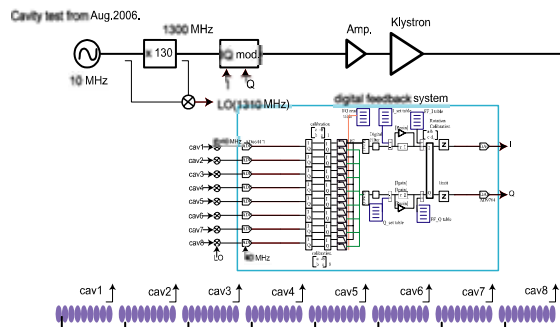


図7 LLRFのブロック図

2.4 LLRF(低電力RF系) [7]

2004年末に予定されているカップラー試験に対するLLRFは発振器、500Wパルス増幅器等最低限のシステムで行う予定である。VSWR及びアークセンサーは速い制御でパルス内でrfをoffするように考えている。この準備と同時にデジタルフィードバックを含めたLLRFを準備している。2005年はデジタルLLRFを空洞模擬器で試験する。2006年末のビーム試験までに完成を目指している。デジタルLLRFのブロック図を図7に示す。

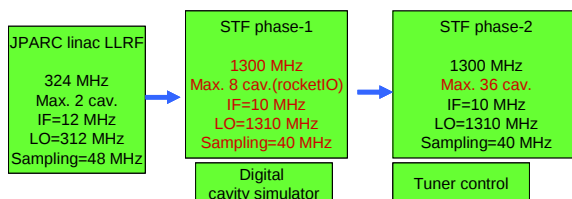


図8 J-PARCからSTFへのLLRFの技術的流れ

KEKでは周波数が324MHzであるJ-PARC陽子ライナックのデジタル制御LLRFを進めてきた[8]。この経験を最大限取り入れることは効率的である。図8にJ-PARCからSTFへの技術的応用の道筋を示した。これらは3段階からなっている。コンパクトPCI、RFクロック、ミキサー及びIQ変調器はJ-PARC LLRFを改造する。制御IOとDSPはJ-PARC LLRFを元に製作する。空洞数などが両者で違うのでFPGAボードは新規に開発する。このシステムでの目標は振幅及び位相の安定度がそれぞれ $\pm 0.1\%$ 及び ± 1 度である。

6. まとめ

KEKにおけるSTF計画Phase-1は2005年度から始まり2年間で4つの35MV/m空洞と4つの45MV/m空洞を持ったクライオモジュールを開発しビーム試験で行う計画である。この計画に要求されるRF源についての現状を述べた。現在2005年末に予定されるカップラーの試験に向けて準備中である。

参考文献

- [1] H.Hayano, "Superconducting RF Test Facility (STF) for ILC", presented in this meeting.
- [2] JHP Design Report, JHP-10/KEK Internal 88-8(1988)
- [3] T. Emoto et al., "PNC high power CW electron linac status", Linac1994, KEK, Tsukuba, Japan, pp.181-183, (1994).
- [4] M.Akemoto, et al., "Pulse Modulator Development for L-band Klystron in the Superconducting RF test Facility (STR) at KEK", presented in this meeting.
- [5] K.Nakano, et al., "High Power Test of L-band Klystron in KEK klystron Test Hall", ibid.
- [6] T. Takenaka, et al., "Plan of the Power Distribution System for KEK Superconducting RF Test Facility(STF)", ibid
- [7] T. Matsumoto, et al., "Low Level RF System in KEK-STF", ibid.
- [8] S. Michizono, et al., "Digital LLRF Feedback Control System for the J-PARC Linac", ibid.