

RF SOURCE OF COMPACT ERL (cERL) IN KEK

S. Fukuda¹, T. Miura, M. Akemoto, H. Katagiri, T. Shidara, T. Takenaka, H. Nakajima, K. Nakao, H. Honma, S. Matsumoto, T. Matsumoto, H. Matsushita, S. Michizono, Y. Yano, M. Yoshida, S. Kazakov, T. Takahashi, S. Sakanaka, KEK, Ibaraki, 305-0801, Japan

Abstract

ERL of 5GeV energy is a future plan in KEK and in order to study the technical feasibility, construction of a compact ERL machine (cERL) is considered. Beam energy and current of cERL are 245MeV and 100mA, respectively. As 1.3 GHz frequency and super conducting cavity are chosen for the RF system, similar technology with KEK STF is employed. In this report, recent RF source development of cERL is described. From 2008, KEK started the preparation of cERL and one RF unit of injector linac is introduced in this fiscal year. We will start coupler test of the injector linac cavity in PF preparation hall. Layout of the east counter hall, where cERL is constructed, is progressed and shown in this report.

KEKにおけるcERLシステムのRF源

1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構 (KEK) では将来計画として5GeVのERLを検討している。この種の加速器は技術的に難しい要素が多いために、当面コンパクトERL(cERL)という試験機を作り技術的な検討とERL原理の実証性を探ることになった。cERL加速器のビームエネルギーは35~245MeV、平均電流が10~100mA、規格化エミッタンスが0.1~1mm・mrad等といったパラメータを有する[1]。このERL加速器では非常に高い安定度(0.01%rms振幅、0.01度rms位相)が要求される。RF源の使用周波数は1.3GHzで、加速空洞としては超電導空洞を用いるためにKEKで進められているILC-STFと共通の技術要素がある。空洞を含めたRF関係はSTFと重複したメンバーが参加している。検討は2007年ごろから進められ、2009年始めにCDR[1]が出版された。

cERLのRF源の構成はCDRによれば以下の通りである。入射器ライナックはビーム電流10mAを5MeV迄加速する。必要なRF電力は500kWである。2セル空洞からなるクライオモジュール3台からなり、それぞれ120kW、190kW、190kWのRF電力が必要である。安定度はcERLでは本番よりゆるい安定度(0.1%rms振幅、0.1度rms位相)が要求されているが、

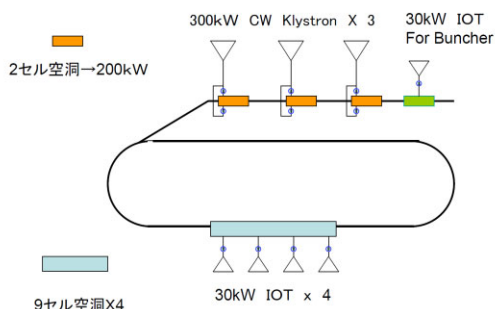


図1 cERLにおけるRF源のレイアウト

それでもLLRFのフィードバックによる安定化が必須である。このフィードバックはRF源の入出力特性が線形的な所を利用して行われる。この動作点を、RF源の印加電圧における飽和出力の75%に設定すると、RF源に要求される必要な飽和出力は250kW、更にマージンを含めて300kW程度の電力が必要と決めた。これはクライストロンを用いて行うが、これを満足するものは市販されていないので、新たに開発することとした。

主ライナックは9セル空洞4台を当面考え、そのRF源としては、IOT(別名クライストロード)を使用する予定である。25kW~30kW出力のものを検討中である。RF源の構成は図1に示した。本報告ではこのcERLのRF源に関する開発状況を説明する。

2. 入射器用RF源の構成と現状

2.1 300kW クライストロン系

3台の大電力系空洞は2セル空洞からなるが電力が大きいためカップラーを2つにして半分ずつの電力を1台のカップラーが受け持つ。空洞からの反射を考慮してサーキュレータが必要であるがこれもカップラー1台に対応して1台のサーキュレータを考える。これらを考慮すると1空洞に対するRF源の構成は図2のようになる。図2にはRF源のブロックダイアグラムと現在考えている構成を3次元で示したものを同時に示した。

以上から入射器用RF源で開発すべきものは、300kW・CWクライストロン、このクライストロン用DC電源、大電力サーキュレータ(定格は150kW)、LLRFシステムである。LLRFについては別の節で述べるのでここではHLRFの3つのコンポーネントの開発状況について述べる。300kWクライストロンの仕様については表1に示した通りである。設計は昨年度完了し昨年度中に構造体部分を製作した。今年度は真空管化とプロセッシングを行い9月には納入予定

¹ E-mail: shigeki.fukuda@kek.jp

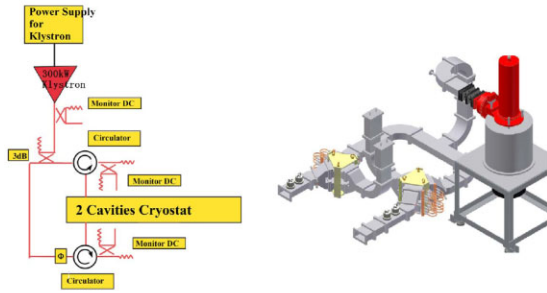


図2：入射器RF源の構成。左図はブロック図。右図は現在想定している3次元配置図。

である。直流電源の仕様は最大電圧52kV、出力電流11A、リップル0.5%(p-p) (リップル等の安定度は本来であれば0.3%(p-p)が必要) である。設置場所の制限等から1筐体に主要電源構成部が収まる構造となっている。入力電圧は紆余曲折したが6.6kVとし、施設側にVCBを有している。電源への高調波フィルターについての仕様を詰めている。回路の方式については特に指定しなかったがサイリスター位相制御方式である。クライストロン電子銃での放電時の許容注入エネルギーは20J以下という仕様で、放電時にはクローバーではなく速やかにIGBTを遮断する方式を取る予定である。2009年7月に入札が行われIDX社が受注をしている。2010年3月納入予定である。

1台のサーキュレータの電力仕様は透過電力150kWである。安価でコンパクトな3端子型(Y型)を開発することとした。電力が大きいののでフェライト部分が4段構造にした設計となっている。但しフェライト部の発熱条件の制限から、100kW時は任意の位相での全反射に対してOKであるが150kW全反射時は速やかに(数秒以内)インターロックでRFを停止するとしている。導波管系のレイアウトはやはり図2に示されているが最終案ではない。CWなので導波管の発熱が無視できず水冷管付き導波管を使用する。フレキシブル導波管も熱冷却を考慮したものを導入する。

表1 300kW クライストロンの仕様

<ul style="list-style-type: none"> ■ 電子銃仕様: ■ バービアンズ ■ カソード(ビーム)電圧 ■ カソード(ビーム)電流 ■ カソード ■ 電極構造 ■ 本体仕様: ■ 周波数 ■ 出力電力(飽和出力) ■ 空洞数 ■ 飽和出力時効率 ■ 飽和時利得 ■ コレクター損失 ■ コレクター冷却方式 ■ 機械的仕様: アクセサリー仕様 ■ クライストロン配置姿勢 ■ 架台 	<p>0.89±0.9 μA/V^{2/3}</p> <p>52kV (Max)</p> <p>11A (Max)</p> <p>バリウム含浸型カソード</p> <p>2極管</p> <p>1300MHz</p> <p>270kW以上(目標300kW)</p> <p>5</p> <p>50%以上(目標60%)</p> <p>37dB以上</p> <p>500kW(Max)</p> <p>水冷</p> <p>縦置き</p> <p>電子銃部分絶縁油に浸す</p>
---	---

2.2 バンチャー部のRF系

入射部にはバンチャーが必要である。CDRでは特に明記されていなかったが、離調時の動作も含めると15~20kW程度のRF源が必要である。既に30kWクラスのCWクライストロンがcERL用に開発されていたが、効率が良いことからIOT(Inductive Output Tube又はクライストロード)の使用が検討されている。IOTは利得が悪いので前段アンプを含めるとコスト的にはクライストロンと同等であるが本番用ERLで使用する同クラスのRF源は台数が多いので効率が良いことはIOTのメリットである。今現在IOTの出力としては1.3GHzで最大の30kWクラスのCPI社・IOTを候補として考えている。このIOT用の50kVA電源は2009年夏の入札が予定されている。この電源は30kWクライストロンにも使用できる。

バンチャー空洞に使用されるサーキュレータはSTFで用いられているロシアフェライト社の5MW・4端子型(位相差形)サーキュレータを考えている。これは平均電力40-80kWで使用可能で比較的安価である。

3. 主ライナックのRF系

主ライナック系のRF源に関してはまだ具体的な予算措置がなされていないので具体的な仕事は行われていない。しかしながらRF電力の定格などは入射部バンチャーのRF源と同等であるので同じ構成を考えている。30kWのIOT、直流電源、サーキュレータなどは主ライナックのRF源の先行的な技術的な役割を占めるものである。

4. LLRF

LLRFの全体の構成は図3に示した通りである。デジタル制御系、高周波増幅系、高周波モニター系、チューナ制御系、機器安全系(MPS)からなるが今現在、当面の試験のために整備しているのは高周波増幅系、モニター系、MPSである。MPSはJ-Parcと同じものを使用し、速いアークの検出はφ0.6mmの光ファイバーとフォトダイオード/光電子増倍管を使用している。デジタル制御系は2009年度に制御用ボードを製作する。筐体には電話通信業界で幅広く

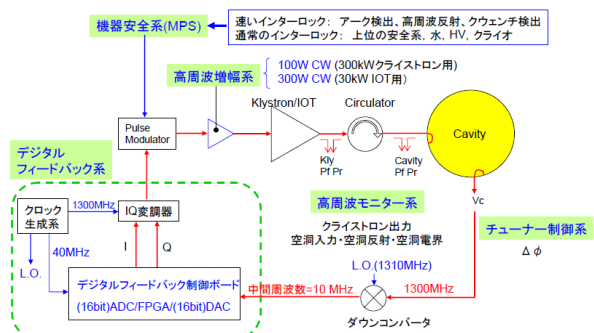


図3：LLRFの構成図

使用されているAMCモジュールを予定している。チューナ制御系も上記デジタルボードを使用したデジタル制御を検討中である。

5. 入射部カップラー用試験ベンチ

入射部空洞に使用される大電力空洞用カップラーは6台あるが2010年には発注されるのでその前に評価をすることが必須である。そのためにKEKのPF実験準備等に暫定的なカップラー試験ベンチを2009年秋から展開しようとしている。300kWクライストロンはこの予定に合わせて納入されるが、直流電源は間に合わない。一方でPFの200kW・クライストロン用の予備電源があるのでそれを再利用してこの試験ベンチで使用することが提案された。現在図4にあるような配置で入射部カップラー試験ベンチをPF実験棟へ展開する準備を行っている。インターロック、暫定的なLLRF（フィードバックは無し）等を作り9月中旬からの試験開始に向けて準備を行っている。

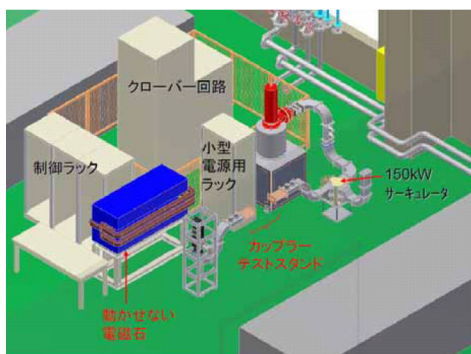


図4：PF実験準備等におけるカップラー試験ベンチのレイアウト

6. CERLの東カウンターホールでの展開

cERLの実証器を展開する場所はKEKの東カウンターホールと決まり、シールドの撤去、床整備など行われ一部冷凍機の設置工事などが始まった。ここでのRF関係の展開するプランを検討中である。図5にcERLの全体のレイアウトを示した。赤く塗りつぶされた場所がRF関係のスペースである。特に入射部(青丸の部分)については具体的な機器の配置プランの検討が進んでおり、3次元の配置図は図6に示された通りである。電源、クライストロン、導波管系の配置が大体決まり又LLRFの機器をなるべく近くに置くために中2階構造にし、古いプレハブを利用してLLRF室、RF測定室などに使用する。又プレハブの横には将来のカップラー試験ベンチ用空間も確保した。入射部は非常に狭いところにカップラー、低温配管がひしめくので合理的な配置を検討すべきであるがまだ完成していない。又バンチャー関係のRF源を近くに配置したいがその合意はまだ出来て

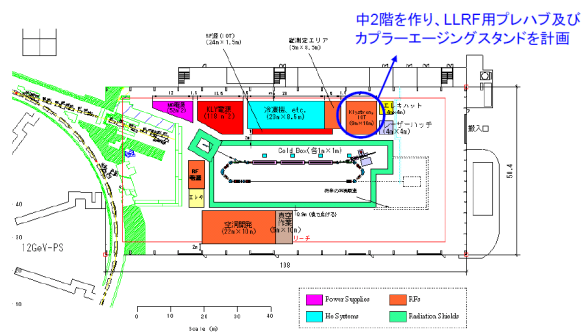


図5：東カウンターホールにおけるcERL実証機のレイアウト

いない。RF源の具体的な設置は2010年3月末から始まる予定である。



図6：東カウンターホールでのRF源(特に入射器)のレイアウト

7. 今後の予定

HLRF関係は300 kW・クライストロンの最初の評価(150 kW-200 kW)を9月に行い、その後カップラー試験を10-11月に行う。東カウンターホールでは(2010年4月より300kWクライストロン試験(電源、立体回路系、LLRFを含む)が始まる予定である。30 kW・バンチャー系RF源1式の試験は2010年4月よりAR南棟で展開される。

LLRF関係はPF実験準備棟でのカップラーテストスタンドのための準備が進行中でアナログ・安全系を使ったものが9月より試験可能である。デジタルフィードバック系は2009年度に試作、2010年度に評価の予定で進んでいる。

参考文献

- [1] 羽島良一、中村典雄、坂中章悟、小林幸則，“コンパクトERLの設計研究”， KEK Report 2007-7, 2008.