

GLC XバンドRFシステム開発の現状

明本 光生、荒木 栄、浦川 順治、榎本 収志、神谷 幸秀、設楽 哲夫、高田 耕治、
陳 栄浩、照沼 信浩、峠 暢一、徳本 修一、中島 啓光、早野 仁司、肥後 寿泰¹、
福田 茂樹、本間 博幸、松本 修二、両角 祐一
高エネルギー加速器研究機構
〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1

概要

最近、JLCリニアコライダーは国際協力の下に建設するに相応しい名称GLCに改名された。早期建設開始に向けて、メインライナックに用いるXバンドRFシステムは実証試験段階に入ってきている。本稿では、これに関連したコンポーネント、特に加速管の開発状況を述べ、SLACとともに進めているRFシステム試験と平行して開始したKEK内での試験装置GLCTAの計画と現状に関して述べる。

1. はじめに

2000年あたりまで、リニアコライダーの主線形加速器としてXバンドの開発は特に各主要コンポーネントに集中して行ってきた^[1]。最近では、クライストロンや加速管等の主要ハードウェア開発が実機レベルに近づいて、RFシステムとしての実証を目指すべき段階に入ってきた^[2]。プロジェクト推進やラボの国際化に向けての活動も積極的に行われ、名称もACFAのもとにJLCからGLCに変更した^[3]。国内サイトの検討も進めており^[4]、全体システムの検討やコスト評価等も行っている^[2]。

この状況下で、TESLAプロジェクトとの技術的比較検討を行い、世界的に最良の条件で建設すべく、TRC委員会の第2次答申が出版された^[5]。GLCの立場はXバンド加速器ベースであるが、国際的コンセンサスを得て進めるにはこの答申を受けて立つ必要がある。TRC答申には、優先度1～4まで記述されているが、最優先項目（R1：方式の技術的可能性の実証）及び次優先項目（R2：最終設計を進めるにあたり必要となる技術の実証）をまずクリアすべきであり、最近はそこに集中して開発を進めている。

Xバンド技術は、同じ技術に立脚して設計開発を進めているSLACとの共同開発をできるだけ進めてきたが、前出のR1、R2の実証にはこの体制を増進して実現すべく進めている。具体的には、加速管R1対応の高電界試験をSLACの施設であるNLCTAで積極的に進めており、KEKからは加速管セルの供給を主に行っている。また、SLED-IIのR1対応としてSLACで「8パック計画^[6]」が進んでおり、KEKは導波管コンポーネントのバックアップを担っている。また、PPMクライストロンのR2実証と、8パック計画で使用できる可能性を見極めるためにKEK製クライ

ストロンPPM#2を現在SLACに送ってテスト中である。また、8パック計画では、IGBT素子を用いたインダクションタイプのモジュレータを採用している。このRF源システムが動いて、RFユニットを構成する加速管を架台にセットして運転することにより、R2対応のシステム試験が可能となる。このようにSLACでの試験ですすめることが、最も早くTRC答申のR2までを実証することができる。

しかしGLCを推進するためには、自前の高電力試験を行って経験を積むことが必要であり、KEK内に試験設備「GLCTA」を立ち上げることにした。GLCの早期実現タイミングを考慮して、H15年度からまず3年の予定で進める。本稿では、GLCTAに関連する状況と計画を報告する。

2. KEKでのコンポーネント開発現状

RFシステムは、主要素としてモジュレータ、クライストロン、SLED-II、加速管で構成されるが、これらの国内の開発現状を下記に述べる。

2.1 RF源

モジュレータには、IGBT素子をスイッチングに用いたインダクション型を想定している。現在そのドライブモジュールを開発中で、クライストロンをドライブできる装置を1年程度で開発予定である。

クライストロンは、PPM#2でほぼ仕様の75MW、1.6μsecを達成し、TRCのR1は達成したと判断している。このクライストロンは現在SLACにて、高繰り返し試験を継続しており、実現できればR2の実証となるとともに、SLACでの8パック計画のシステム試験に供される予定である。現在、冷却性能を増強したPPM#4をKEKにて試験しており、短パルスでは予定していた特性を確認でき、フルパルス幅へ向けてのエイジング中であるが、これもその後SLACでの試験に供される予定である。冷却を更に強化した150Hz対応のPPM#5の製作も現在進めている。

2.2 パルス分配・圧縮

昨年、SLED-IIベースにRFシステムを構成するべくベースライン設計を変更した。理由は、今までのDLDSベースのデザイン^[7]を実証するためには8台

¹ E-mail: toshiyasu.higo@kek.jp

の75MWクライストロンが必要であり、これに象徴される膨大なシステムを組む必要があり、TRC要求のR1、R2級の実証試験を1～2年程度で完成することは現状不可能と判断したためである。KEKではこれまで培ってきたDLDSの設計製作測定技術を生かして、SLACで展開される「8パック計画」のSLED-II部分でいくつかのキーコンポーネントのバックアップを設計・製作している。

2.3 加速管

2000年までに、減衰と周波数離散で長距離ウェーク場の抑制は可能であることを実証したが、光速の10%を超える群速度の加速管では、高電界運転での放電による銅表面の浸食が激しく、10年に及び安定運転は不可能であることが判明した^[8]。これは、図1の加速管比較で1型加速管に対応し、1.8m長である。

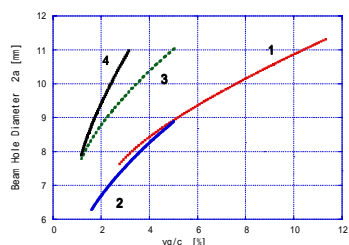


図1 加速管高電界特性向上のための設計進展

これを克服するために、1 2 3 4の変遷をたどり、現在は60cm長で群速度が光速の3%で始まる4型加速管をベースラインとした。このスタディを始めた当初、KEKでは高電界試験設備^[9]のフル運転が人的にも難しかったため、KEKは試験セルの製作を担当し、SLACのNLCTAを用いて高電力試験を遂行した。この一連の試験から得られた知見は主に以下のようなことである。

1. 群速度を遅くすることで放電による銅表面へのダメージを抑制できる。光速の5%程度以下が望ましいようだ。
2. 3 μm級のエッチングによる加工変質層排除で性能が向上するようだ。
3. 磁界を横切るシャープリッジは局所的パルス内温度上昇につながり放電を誘発するが、丸みをつけることで抑制できる。
4. 低群速度を実現するため、セル間の位相進みを150度に増しても放電特性は大きく変わらない。そこで、大きなビームホールを有したまま群速度を抑制することができる。
5. 高次モードの減衰のために必要な3D形状を有するHDDSセルは2Dのみのセルに比べて放電頻度に大きな違いはない。
- 6.

図2に、4型で中央部にHDDSセル数個を擁する加速管のプロセッシング例を示した。このように、60Hz、数十時間で実機仕様の400nsec、65MV/mは達成され、放電頻度は数百時間のプロセッシングによ

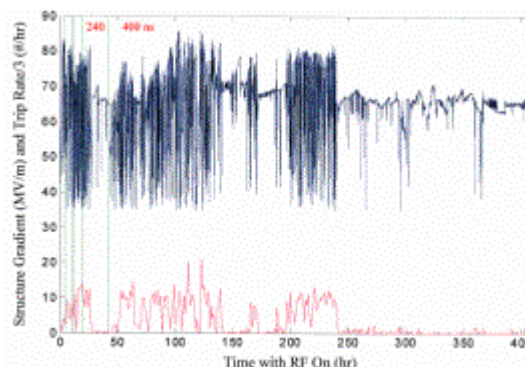


図2 2型加速管プロセッシング例^[10]

り百万パルスに1回程度の放電頻度におさまるところまで達成している。

3. GLCTA

3.1 目的

2節の状況判断より、TRCのR1対応の実証は、SLACとの共同試験に集中して進めることで速やかにクリアすべきであると考えている。しかし、日本でGLC計画を進めるためにはまず自前での高電力運転経験が不可欠であり、最終的には、RFシステムとしての運転試験が必要であって、これに対応できる設備とすることが重要である。最低限、ビーム無しであってもシステムテストまでは行うべきである。

また、リニアコライダー相当のバンチトレンを加速する時のシステムの安定運転ができることが重要であるが、幸い当施設はATFの下流に接続できる位置に設置するので、Sバンド加速管とシケーンによって1mm程度に圧縮されたバンチを加速管にうちこむことができる。

特に加速管の安定運転に関しては、100万パルスに1回程度のレートに抑える必要があり、また放電による銅の浸食に対する評価は10年分を数ヶ月以内で評価することを要求される。そこで、長期運転安定性を正確に把握できるような運転記録を行い、また加速管あたりの総位相シフト量では数ヶ月の運転を挟んで、前後の変化を1度より十分よい精度で測定する必要がある。これらの精度の高い測定を実現すること、また放電そのものをあらゆる角度から評価し、抑制対策を練ることが、GLCTAによって進めるべき重要な課題の一つである。

4.2 計画全般

計画の概略を図3に示した。まずは平成15年度～17年度の3年の計画で進める。

最初に、これまでKEK内の別の場所に展開していた高電力試験のセットアップを移して最短時間での再立ち上げを行う。図4の左半分に見える電源やモジュレータはこれにあたり、これでソレノイド収束クライストロン2台をドライブしてその出

力を合成することにより、加速管 1 台に必要な電力、400nsec幅でピーク電力、数十MWを十分上回る電力供給が可能になる。右端に見える積みかけのシールドルームが加速管の入る場所である。

これと並行して、1.6μsec・75MWのPPMクライストロン 2 台とそれをドライブするモジュレータを新規に製作しており、来年度にはそのRF源を稼働させる。モジュレータはPFNタイプを採用し、リニアコライダーで目指すタイプとは異なるが、RF源仕様を満たすRFを最短時間で立ち上げることを目指しているためである。

最終段階では、RFシステムとしての高電力試験を行うが、その折り必要となるパルス圧縮又はDLDSに関しては今後決めていくこととして、現状では2クライストロンRF源の確保を目指して進めている。

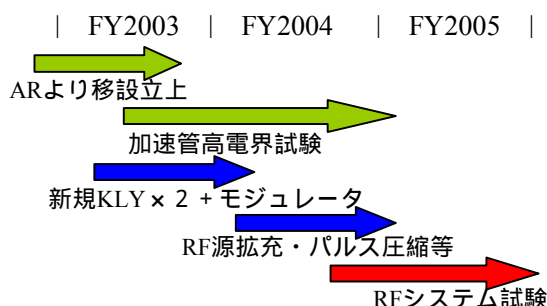


図3 GLCTA計画

4.3 場所・現状

KEKアセンブリーホール内でATFに隣接するエリアに、現在、図4の写真のようにARから移設が始まっている。写真奥は、ATFの引き出しラインで、将来GLCTAにビームを引き込むことが可能な場所としてある。

5.謝辞

高電界試験をはじめ、Xバンド開発の多くの部分でSLACとの共同開発が関与しており、多くの



SLAC/NLCメンバーに感謝致します。また、高電力試験に関して既に国内の大学からの参加があり、今後の進展に大きく寄与するものと期待するとともに感謝致します。

参考文献

- [1] International Study Group Progress report, KEK Report 2000-7 and SLAC R-559, April 2000.
- [2] GLC Project Report (Road Map), <http://lcdev.kek.jp/ProjReport/>
- [3] ACFA答申, <http://lcdev.kek.jp/NewName/>
- [4] サイトスタディグループ報告書, KEK Report 2002-10, Jan. 2003.
- [5] International Linear Collider Technical Review Committee, Second Report, SLAC-R-606, 2003.
- [6] The NLC 8-Pack Project, <http://www-project.slac.stanford.edu/lc/local/Projects/8Pack/8Pack.html>
- [7] JLC Design Study, KEK Report 97-1, Apr. 1997.
- [8] C. Adolphsen et al., ISG-8, http://www-project.slac.stanford.edu/lc/ilc/ISG_Meetings/ISG8/nlcisg8.htm
- [9] T. Higo et al., "High Field Experiment of 1.3m-long X-band Structure", KEK Preprint 98-11, 1998.
- [10] RF Processing and Breakdown Meeting at SLAC, http://www-project.slac.stanford.edu/lc/local/notes/rf_process/RF_Processing_Breakdown.htm

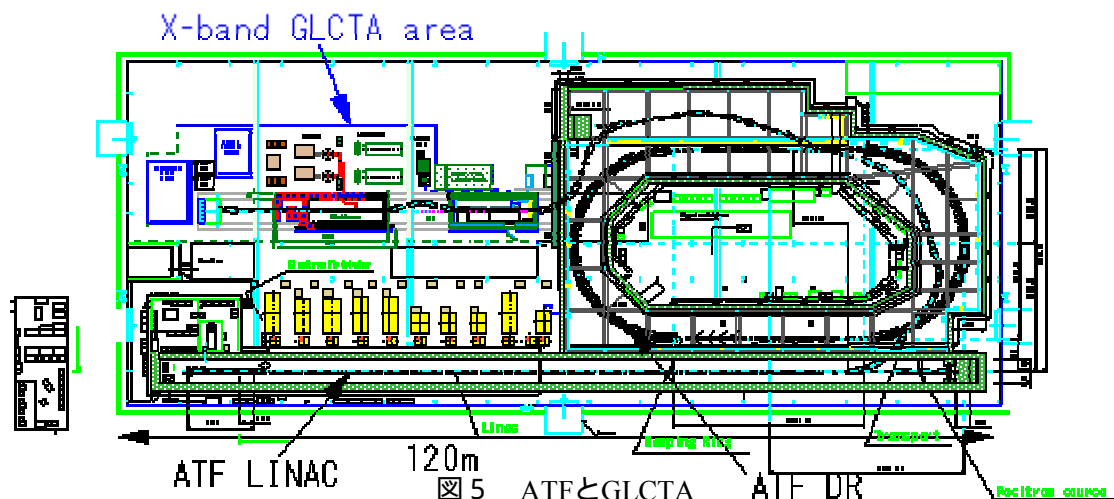


図5 ATFとGLCTA