

第5回 リニアコライダー加速器レビュー委員会 レポート

2010年3月31日

序

このレポートは2010年2月12日にKEKで開催された第5回リニアコライダー加速器レビューについての委員会の評価・勧告である。今回のレビューの主題はAccelerator Test Facility(ATF)とSuperconducting Accelerator Test Facility(STF)の高周波(高周波発生源 High Level RF: HLRFと高周波制御 Low Level RF: LLRF)であり、前回第4回のレビューとは相補的な関係にある。

このレビューはKEKのリニアコライダー推進室の求めに応じて行われているもので、委員はリニアコライダーに直接関わっていないKEK加速器メンバーと国内の有識者で構成されている。発表や質疑はすべて日本語で行われた。

なお、言うまでもないことであるが、このレビューレポートは、あくまでも外部的視点からの評価・勧告であり、それに沿った何らかの意思決定を意味するものではない。研究の方向性は、実際に研究に携わっている者が主体的に決定しなければならない。

ATF/ATF2

概要

ATFは1990年から設計・建設が開始された、リニアコライダーのための試験加速器であり、TESLA Test Facility(TTF)などに匹敵する大規模な装置である。ここでは以下のような、世界最先端の加速器技術・ビーム物理の成果が達成されている：

- 垂直方向世界最小エミッタンス (4 pm)。
- レーザー・ワイヤーなど、先進的なビーム診断装置群。
- ビーム内粒子散乱 (Intra Beam Scattering: IBS) によるエミッタンス増大や高速イオン不安定性 (Fast Ion Instability: FIS) の観測。

- ILC 対応の速いパルス幅 (± 3 ns) の取り出しキッカーの実証。
- π -mode キッカーによる電源ジッターの補償。

これらの成果は当然 ILC にとって必要不可欠のものであるが、ATF が ILC 以前に開始されたことでもわかるように、決して ILC に限定されるものではなく、あらゆるリニアコライダーに直ちに適用可能なものである。また、放射光リングや ERL、Super B ファクトリーなどあらゆる低エミッタンスビームへの応用可能性を含んでいる。今後 ILC という特定の計画がどのような運命をたどるかは不明であるが、ATF は ILC に制約されない存在意義と発展の潜在力を持つものである。

(評価と勧告) 2012 年までの R&D 計画目標 (リングで垂直方向実エミッタンス 1 pm、ATF2 で $\sigma_y \lesssim 37$ nm & 2 nm の安定性) は、それ自身としては概ね妥当である。現状で計画されている方法で、ILC の最終収束光学系のモデルの実証可能性が疑われるような難点は見つかっていない。どのような結果であれ、その理由が十分に解析・理解できる態勢で R&D を 2012 年まで継続・発展させるべきである。ただし、超伝導最終磁石については、後に述べるように別途検討が必要である。

2013 年以降の R&D 計画については、今回は一部の言及はあったものの、十分な発表・提案はなされなかった。今後然るべき機会での提案・検討が必要である。具体的な目標の提示と検証なしに ATF/ATF2 の運転が 2013 年以降、自動的に継続されるものではない。

ATF は一旦は世界最小エミッタンスを達成したものの、その後多くの放射光リングでは ATF リングと同等またはそれ以下のエミッタンスが実現されている。また、ビーム診断・補正技術において ATF リングは、現状では決して世界最先端ではない部分がある。この点では turn by turn BPM の活用など、他の加速器で実証済みの方法を積極的に適用すべきである。また、他の加速器との経験交流・人材交流が必要である。

なお、委員の間から、ATF/ATF2 の全体像を説明した、50 ページ程度の文書があればいい、という希望が出ている。

リング・チューニング

(報告内容)

低エミッタンスビームの実現、測定、維持、安定化等に関する R & D について、シングルバンチ、マルチバンチに分けて、以下のようにそれぞれ具体的な説明がなされた。

- 低エミッタンスビームの実現に向けたビーム診断技術の開発において、ATF は優れた実績を有する。フレネル・ゾーン・プレート (FZP) を用いた XSR モニター、SR 干渉計、レーザーワイヤー(LW) の 3 種は、ATF スタッフおよびその共同研究者等によって開発されたオリジナルなプロファイルモニタであり、いずれも継続的に改良を重ねた結果、数 μm のビームサイズの測定が可能なシステムになっている。
- 2012 年までのエミッタンスの目標値は、ATF2 からの要請値は 12 pm 以下、ファーストイオ

不安定性の研究のためには5 pmとなっている。一方、ILCのダンピングリングデザインと同程度を目指すならば、2 pm(久保)、1 pm(照沼)と両者は異なる値を示した。

- 低エミッタンスの再現と測定について：2003年に4 pmを実現して以後、再現しない時期が続いた。最近の調整により10 pm以下まで回復して来たが、3種類のビームサイズモニターによるエミッタンスの測定値が大きく異なる。X線放射光と干渉計モニターはほぼ同じ8 pmの値を示しているが、レーザーワイヤーによる測定では測定誤差が大きく正確な値が求められていない。後者についてはレーザー強度をあげて測定を行う予定と聞く。したがってエミッタンス測定の大きなバラツキの解消についてはその結果に期待したい。
- 5 pm以下のエミッタンスの実現について：高分解能のBPMを開発し、ビームベストアライメントによりオフセット、校正を行い、それを用いて軌道、オプティクス(非線形、 x - y 結合、色収差)補正等を重ねて5 pm以下のエミッタンスを目指す道筋が示された。高分解能BPMについては、広帯域ターンバイターンモード10 μm 以下、狭帯域高分解モードで100 nmを目標としており、現在のところ200 nmまで実現しているようである。
- マルチバンチビームについて：バンチ強度が増えると後方バンチのエミッタンスが増えることが2004年に示されたが、その後の進展はないようである。また、シングルバンチに比べてジッターが大きい、その原因特定を行っている最中である。

(評価と勧告)

- 最終的な5 pm以下のエミッタンス実現の暁にはX線放射光と干渉計を用いた測定が主要となるが、中程度のエミッタンスでのこのような複数の方法による測定比較は大変有意義であると考えられる。積極的に推進されたい。参考までに、委員の一人(上坂)は、10年程前、ストリークカメラの公称精度200フェムト秒程度の電子バンチ長の計測を行って論文を書いた際、ストリークカメラ、コヒーレント放射干渉法、ポリクロメータ、インコヒーレント放射光フラクチュエーション法を比較しながら、実態と精度を論じている。
- ビーム取りだしモードでのプロファイル測定を可能にするために計画されているLWのレーザー大出力化は、ぜひ推進すべきである。
- シミュレーションによると、ATFが目指す1 pmエミッタンスを実現するには、BPMのオフセットエラーを0.1 mm以下にすること、および電磁石のアライメントエラーを30 μm 以下にすることが必要であり、さらにCOD補正、ディスパージョン補正、coupling補正を高精度で行う必要がある。したがって、Turn-by-turn測定で10 μm 、COD測定で0.2 μm を目指して進められているBPMエレクトロニクスの高度化は極めて重要であり、SLAC、FNALとのコラボレーションも含め、重点的に取り組んでいる点は評価できる。なお、BPMの精度については、達成された値で十分なのか、更なる改善が必要なのか、その場合はBPMのエレクトロニクスのアップグレードで可能なのか、開発の道筋と目標分解能を明らかにすることが望まれる。
- 低エミッタンスビームのチューニングには、coupling補正を行うためのスキュー四極が必要となる。提案されている六極電磁石の補助コイルを用いてスキュー四極磁場を得る方法は、新規にスキュー四極を導入する必要もなく、作業量やコストの削減の観点から合理的である。

- 報告を聞いた印象では、系統的なオプティクスの評価が、やや不十分である。低エミッタンスをねらうリングなので、 β 関数などの基本的な光学パラメータを正確に、しかも誰にでも容易に把握できるようにすることが必要である。実際には正確な光学測定が高い頻度で行われているのかもしれないが、例えば低エミッタンスを回復するために「Opticsをresetした」という説明からは、運転状態のオプティクスの理解が必ずしも十分ではないような印象を受けた。
- 低エミッタンスを維持するためには、ビーム軌道やオプティクスの変動に関する連続的なデータ収集および補正が有効と思われる。オプティクス補正直後の軌道を基準軌道とし、基準軌道からのずれを連続的に補正する。あるいは、ずれがある限度を超えたら補正する、運転の区切り毎(例えば、金曜のビーム運転停止前)に、オプティクス診断を行う、BPMのconsistencyの変動を監視し、劣化した場合は電極毎のゲイン較正を行う、チューン調整等で、オプティクスを変更する場合はマッチングをとって行う、などの方策を取り入れるべきである。
- ビームジッターについては、報告されたように系統的なデータの取得を行い、低エミッタンスの実現とジッターの抑制の研究を遂行することが肝要である。ビームの安定性については、パルスごとのジッターがビームサイズより小さいこと(ATF2のIPで垂直方向に 0.3σ 以下)、バンチごとのジッターがビームサイズより十分に小さいこと(ATF2のIPで垂直方向に 0.05σ 以下)が目標とされている。これまでのところ、シングルバンチ運転における安定性には問題がないことがすでに確認されている。
- 一方、マルチバンチでは、まだ系統的なデータがほとんど無いとのことである。現状では、シングルバンチよりジッターが大きいことがわかっているようであるが、もしもマルチバンチでの不安定性が問題になるような場合は、その対策には時間とマンパワーが必要なので、マルチバンチ不安定性の系統的なスタディは早急を実施する必要がある。ATFは当初より高次モード減衰型空洞を採用しており、空洞に起因する不安定性は生じにくいと予想されるが、現状ではマルチバンチでの安定性が実際のビームで定量的に評価されているわけではない。万が一にも不安定性が無視できない場合には、2012年までに決着すべき課題であるATF2のbunch-by-bunch feedbackによるビームの安定化の実証、Fast kickerによるビーム取り出しの実証、さらにfast ion instabilityの研究などの進展に、影響が及ぶ可能性もある。
- 高速キッカーや通常キッカーの長期運転に対する耐久性、特にATF2の運転に持ちこたえられるのかどうかは重要である。また、取り出し電荷量もILC仕様を満たさなければならないので、入射アクセプタンスの確保が重要である。

運転計画と人的資源

(報告内容)

以下の諸点が報告された。

- リニアックとリングの運転の安定性がATF2にとって最重要である。
- 年間でテーマごとに概略のマシントイムを決め、2か月ごとに詳細を決めている。

- ビーム時間割り当ては、ほぼ ATF:ATF2 = 50:50 である。
- 人手の関係で 12 シフト / 週が限界で、週末は調整もある。
- 週単位で実験計画を行っている。

(評価と勧告)

- 現在の運転形態 (月曜深夜から金曜まで) は長年の経験から最適とのことであるが、週末に運転を休むことによる、ビーム性能のロスが検証されなければならない。例えば週末明けのビームパラメータの変動を調べるべきである。
- ATF のスタッフの数が十分であるとは言わないが、他の KEK の加速器と比べて極端に少ないとも思われない。ATF/ATF2 の運転形態の最適化、長期間連続のランにより、マシン調整、利用にとってさらに安定かつ効率的な運転が可能ではないか、検討を求めたい。
- 業務委託運転員にビーム運転の知識・技術を習得してもらうのは極めて有効である。実際 KEKB のリニアックとリングの運転において、調整方法がある程度確立した部分の操作は、ほとんど運転員に委ねられ、確実に実行されている。さらに、運転員によって自主的に調整法の改良・考案もなされている。
- 大学や外国人にもビーム調整の機会を与えなければならない。また、そのための制御・データ収集システムの整備・公開が求められる。業務委託や外部研究者の活用を進めるには、制御システムや操作パネルの整備が重要である。調整法が確立した部分を順次操作パネルに実装し、直接の担当者でなくとも簡単に操作できる環境を整えることが望まれる。また既に備えているとは思うが、オフライン解析用のデータ・アーカイバーも必須である。

電子源・陽電子源の開発

(評価と勧告)

- RF ガン用レーザーの、さらなる R&D 項目を明らかにしてほしい。
- RF ガンの光陰極は Cs₂Te・ロードロック型で完成としてよいかどうか検討すべきである。例えばマルチアルカリ型等をトライして、長寿命化・レーザーの小型化や、安定化のための長波長駆動のための仕事関数低下などを検討すべきである。
- 陽電子源について、ヨーロッパ主導アンジュレータを使用する偏極陽電子源に対する、バックアッププランの仕様、R&D 計画、年次計画、ロードマップをしっかりと示すべきである。アンジュレータを使用しない無偏極陽電子源について、電子のマイクロバンチ、マクロバンチの強度、時間間隔、繰り返し、陽電子収率、ターゲットオプション (複数・液体鉛・ハイブリッド)、熱設計などの諸点、さらに今後の R&D 項目について、アンジュレータ型との優劣を対比検討してほしい。ヨーロッパグループは、アンジュレータ型を他の開発機器と同じレベルのものと考え、特にここに危機感を持っていないように感じられる。アンジュレータ型が他の開

発機器と比しても、律速段階であるのか否か、ヨーロッパグループも納得できるような説明が求められる。ちなみに、以上の諸点について、今回のレビューではほとんど説明がなかった。

- コンプトン陽電子源の開発について、アンジュレータ型の代替になる可能性を定量的に論じてほしい。そのためには、4ミラーレーザー空洞のR&Dの展望を明らかにすべきである。

ATF2

(報告内容)

ATF2はILCの最終収束システムのビームラインを模擬するものであり、国際協力により進められていることが強調された。目標は、仮想衝突点での垂直ビームサイズ37 nmの実現とその維持・制御、および精密軌道制御であり、1990年代にSLAC/FFTBで実施された実験における光学系との比較を示し、それとは異なる、よりコンパクトで優れた色収差補正を持つ光学デザインであることが、ATF2計画の妥当性の根拠であるとしている。最終光学系のパラメータについてはILC、SuperKEKBとの比較表が示され、特徴として低エミッタンスであること、色収差の程度がILCと同等であること等が強調され、光学系のデザイン、レイアウトが紹介された。さらに、床の補強を含めたインストールの様子、コスト、コミッショニングの進捗状況が報告された。

ATF2の光学系は、色収差が発生する電磁石の直近で色収差補正を行う光学系を採用している。過去にFFTBで採用された光学系と比較すると、ATF2の場合は、最終収束系から衝突点までの距離を長くでき、エネルギーアクセプタンスが大きく、ビームテールが小さいなどの利点がある。また、光学系の全長も短い。ただし、垂直水平方向のビームサイズ調整を同じ電磁石で行うため、調整自体は難しい。ATF2のビームラインは、ILCの最終収束系と同じラティス配列になっており、色収差の強さもほぼ同じである。さらに、各電磁石の磁場誤差の許容値、振動誤差の許容値もILCとほぼ同じである。したがって、ATF2において展開されるビーム調整の技術開発は、ILCにおける最終収束系で必要とされる技術に、直接、適応できることが期待される。また、ATF2では、すべての軌道調整を電磁石ムーバーで行うとともに、ビーム位置モニタには空洞型BPMを採用している。これも、ILCのBeam Delivery Systemで想定されていることと全く同じである。このように、ATF2は実際のILCにおけるナノメートルレベルでのビーム制御を出来る限り実際に近い形でスタディできるように配慮された設計となっている。

ATF2のビームコミッショニングは2009年秋より開始された。開始当初のオプティクスとしては、IP-BSMのバックグラウンドが低く、運転が容易なhigh- β opticsが採用されている。2009年秋から2010年1月までの運転で、取り出しラインのオプティクスの補正、エミッタンス測定、IPでのビームサイズ調整、およびIP-BSMによるビームサイズの測定などが行われており、その順調な立ち上がりは高く評価できる。

まだ本格的な調整が始まったばかりなので、モデルと実際のオプティクスとの一致が不十分な点があるのはやむを得ないが、電磁石によっては誤差が許容範囲かどうかの評価が必ずしも十分でないのは気になる点である。特に、最終収束ダブレットの2台の四極電磁石(FFTBの最終磁石群以外の四極を、ボア径を拡大するためポール面を維持し、リターンヨークにシムを入れるなどの改造をしたもの)において、skew 12極成分が問題になっている。これは、場合によっては目標値の達成に

深刻な障害となる可能性もあり、早急に対応を検討する必要がある（後述のようにこのレビューの直後に再評価がなされた）。

2009年秋の運転では、high- β optics において IP-BSM での測定器のバックグラウンドが問題にならないことが確認され、今後は、さらにビームサイズを絞る調整に移行する予定である。その準備として、オプティクスを変えながら IP-BSM でのバックグラウンドを評価するスタディが行われ、その結果から 2010年2月以降の運転に用いるオプティクスも決定されている（ $\beta_x^* = 40$ mm, $\beta_y^* = 1$ mm）。

光学系およびビームラインにおいて上記のほかに特記すべきは、電磁石の設置精度、架台の振動許容値が ILC 仕様であること、BPM が全て空洞型（C および S バンド）であること、軌道調整は補正磁石でなくムーヴァーで行うことであることが示された。また、具体的な色収差調整方法の特徴、および 2009年春までのビーム調整の結果が説明された。最初のビーム調整は仮想衝突点におけるビームサイズモニターへのバックグラウンドの問題のために衝突点 β 関数を緩めた（80 mm/10 mm）光学系を使用し、軌道補正、光学系の各種補正、衝突点へのマッチングおよびワイヤスキャナーと新竹モニターによるビームパラメータ（エミッタンス、サイズ等）の測定等を行ったことが報告された。測定結果とともに問題点もあわせて議論された。今後さらにビームサイズを絞らなければならないが、そのために、3つの光学系候補を作り、実際にバックグラウンド測定の比較を行った結果が示された。その結果、次のステップとして可能な光学系（ β 関数 40 mm/1 mm：デザインの 10 倍）を選択し 2010年2月からビーム調整を開始することが明らかにされた。ファーストキッカーの実験とのビームタイムの調整などを含めたスケジュールが示された。そこでは、新竹モニターの有効利用、六極ムーヴァーを用いたサイズ調整、衝突点用 BPM の導入、衝突点 β 関数を目標値に近づける等の項目が列挙されている。さらに次のステップとしてナノ秒での軌道フィードバック（FONT）の実験などが実施できるような安定なビーム運転を目指している。

また、やや唐突に（山本明氏のコメントは頂いたが）2012年以降 GDE のタイムラインに超伝導最終収束ダブレットを ATF2 に設置する案が紹介された。

（評価と勧告）

- 目標設定：ATF2 と 1990 年代の FFTB 実験との比較は、エネルギーの大きな違い、ビームタイムの制約などを考慮したものではなく、必ずしも正当なものではないと思われる。ATF2 の目標は ILC 最終収束系の模擬であることが重要との認識は衆目の一致するところであって、FTTB との比較は必ずしも必要ない。
- ビームライン：床補強工事、アライメント、架台（石）等を含めて周到に検討の上でインストールおよび初期コミショニングが行われたことは高く評価する。ただし、ダンピングリングからビームを取り出したあと、最終収束系に進むところでマッチングをとる際、上流、下流が区分的に調整可能となっていないのは改善したほうがよいと思う。設置スペースの問題もあるだろうが、検討の余地があると思う。
- ビーム調整について：仮想衝突点でのバックグラウンドの問題から β 関数を緩めた光学系を用いてビーム調整を開始したのは妥当であり、早急に目標の β に近づける方策もよいと思う。ただし、バックグラウンドの評価が六極補正をしない状態で行われているために、 β を絞ると急

激にバックグラウンドが増える (悪く評価することになる) のではないか。この意味では、示された計画に従って早期に六極補正を導入すれば、目標値は達成可能であると期待される。目標ビームサイズを早期に達成するとともに、ビームの安定度の測定、各モニターの評価・問題点の洗いだしを行い、その結果に基づき、軌道の高速フィードバック (FONT) などの実験を進めることを望む。

- 6極位置調整ノブがモデル計算どおりに作用するには、線形オプティクスが十分な精度で補正されている必要がある。現状では、水平ディスパージョンの残差が ~ 500 mmと非常に大きいなど、オプティクス補正はまだ不十分な状態であると思われる。マッチング・セクションで補正するだけでなく、ローカルバンプ法、Orbit Response Matrix解析などにより、6極ノブを触る以前に、ビームライン全体のオプティクス診断／補正の精度を向上させる必要がある。
- マッチング・セクションにおける、カップリング・垂直ディスパージョン補正は、コレクター数と条件数が同数となっているが(垂直ディスパージョン補正には垂直バンプも併用している?)、コレクター数にゆとりがあった方が良いのではないか。
- 報告された最終磁石の不良高次磁場は ATF2 の目標達成に致命的な障害となる恐れがあるが、このレビューの直後に、skew 12 極の効果は主にビームハローの増大であって、コアのサイズ測定には影響しにくいというシミュレーション結果が出された。その通りならば問題は少ないかもしれないが、今後も注意すべき項目である。ちなみに FFTB で用いられた最終磁石は磁極の加工精度 $\pm 2 \mu\text{m}$ で製作されており、ATF2のものよりもはるかに高精度であった。それでも残存 skew 6 極成分が問題とされていたことを考えると、磁場精度の問題は軽視出来ない。
- IPでの β 関数を緩めることは、バックグラウンドを緩和する過程の方策としては正しいと思われるが、報告の際に議論になったように、バックグラウンドを低減するためのもう一つのシナリオとして、コリメータを導入することは、ぜひ検討するべきであろう。コリメータを設置することで、必要なデータをより高い信頼性で得られると考えられる。
- 超伝導最終収束ダブレットの導入：唐突な提案であり、ATF2の2012年までのタイムラインには到底乗らないものである。導入の理由として山本氏から指摘された課題は、超伝導電磁石の安定性の問題、とくに振動がビームに及ぼす影響の調査であるが、ビームを用いて調べる以前にできることがあるのではないか。例えば単純な電磁誘導による起電力の測定でもコイルと磁場の振動は検出可能ではないだろうか。また例えば低温重力波検出器のエキスパートなどの協力を仰いで、振動および磁場測定・解析を行ってみてはどうか。ビームテストはそれらにより簡便な方法の検討後に考えるべきことである。また、日米間で開発目標の食い違いがないように十分に議論をしてほしい。

ATF2 ビームサイズモニタ

(報告内容)

新竹モニターを FFTB から ATF2 に移設した経緯と主な改良点が示された。レーザーを更新し、波長を 1064 nm から 2 倍高調波 532 nm に変更するとともにパルスエネルギーを 400 mJ(バックアッ

プとして使用予定) から 1400 mJ に上げた。またレーザー交差角として、これまでの 174°、30° 以外に 2-8° の浅い交差角モードを導入している (試験中)。その結果、測定レンジが 20 nm から 6 μm まで拡大することになる。また、安定性向上および電子ビームとの衝突手順の確立のためにいくつか工夫をしている。光学アライメントを容易にするためアライメントターゲットを設置したり、光学可変遅延器を光路に挿入し干渉縞の位相制御を可能とした。これらにより精密かつ簡便なアライメントができるようになり、また、必要に応じた位相安定化フィードバックを行うことができるようになった。検出器としては、多層γ線検出器を用い信号測定精度の向上、測定時間の短縮を目指している。試験的なビームサイズ測定の結果をワイヤスキャナーの結果と比較すると、系統的な差が見られ、新竹モニターの方が大きな (約 1.5 倍) ビームサイズを与える。その原因として位置のジッターなどいくつかの点が挙げられているが、まだ特定されていない。最後に、これらを解決した暁に、どのように最終目標である 37 nm のビームサイズ測定を行うか、検討結果が示された。

(評価と勧告)

- レーザー干渉を用いたスポットサイズモニターは、注意深い設計がなされ、適切な性能試験が実施されており、大きな技術的問題は見られない。担当者のこれまでの大変な努力の結果と推察され、賞賛の言葉を惜しまない。
- レーザーおよび光学系の変更：レーザーの更新と新しい浅い交差角モードの導入は妥当であるが、光学可変遅延器の導入についてはやや疑問がある。アライメントの簡便化、干渉計の位相制御の可能性につながるものであるとは思いますが、現在の位相安定度 (約 0.3 rad) が 37 nm のビームサイズ測定にとって十分小さいならば、余計な光学系を光路に導入してビーム品質の劣化を招くことをしないほうがよいのではないかと。現在問題となっているワイヤスキャナーとの測定との系統的な食い違いの原因の一つかもしれない。
- 多層γ線検出器：衝突点では様々な理由でバックグラウンドが増える恐れがあるので、シャワー発展を利用した解析は有効であり、大きな改善となると思われる。また、測定時間が短縮されることにより、衝突点ビームサイズモニターとしての使い勝手が飛躍的に上がると期待される。ATF2 の電子ビーム調整では本モニターを使いながら行うことが肝要なので、これを含めたシステム運用の簡便化を追究するべきである。
- ビームサイズモニターの担当者も直接ビーム調整に参加し、ビームとモニターの調整開発を一体で進めるべきである。報告内容からの推察では、現状は妙に「分業」が過ぎているのではないかと危惧を感じる。ATF2 は、既に費やしたマシンタイムが FFTB を上回るにもかかわらず、ビームサイズも大きいままである。もちろん上流のビームの調整具合などにも大きく依存するので単純ではないが、このような開発チームのあり方に一因はないだろうか。

STFの高周波

HLRF

(報告内容)

- RDRは2トンネル案をベースとしたHLRFで、1台の10 MWクライストロンが26空洞をドライブする。その後、1トンネル案が浮上し、Klystron Cluster System(KCS) および分布RF源 (DRFS) が提唱された。DRFSは8000台の750kW変調アノード付きクライストロンを使用し、各クライストロンは2台の空洞をドライブする。DRFSはRDR案やKCSよりもシステムの単純さ、制御性や運転のフレキシビリティの点で優れている。
- 推進室の議論で、KEKとしてはDRFSをHLRFの中心スキームとしてR&Dに力を注ぐという方針が出された。現在のSTFはRDR base line式であるが、STF-2.0ではDRFSを採用する方針である。そのために、早い段階でクライストロン並列運転を行う必要がある。
- DRFSでは1台のDC高圧電源と変調アノードパルス変調器から13台のクライストロンへ高電圧が供給される。異常時の高圧遮断にはCrowbar回路か高速スイッチを検討する。パルス平坦部のサグ補正のためのバウンサー回路を持つ。高アイソレーション Magic-Tで電力を分配し、サーキュレータはおかない。導波管は乾燥空気雰囲気を使用する。クライストロンはプロトタイプの試作が進行中である。
- S1-Globalにおいて、パルス内で平坦なフィールドを得るために、チューナまたは移相器+リフレクタにより空洞負荷Q値調整を行う。また、空洞毎の最大フィールドに合わせたパワー分配調整のために、SLACのVTOまたは可変Hybridを用いる。S1-Globalの最後の1週間がDRFSの試験のために与えられた。しかし現在の予算案では、1台の電源による複数台のクライストロンの運転の実証試験は、この時点ではできない。2台のクライストロンDRFS並列運転試験は2011年度の計画とされているが、是非前倒しで行いたい。

(評価と勧告)

- STFのHLRFの計画はSTF-IIのphase-Iまでの開発計画に沿ったものであり、概ね妥当である。
- KEKにおいて、DRFSをHLRFの中心スキームとしてR&Dを進めるという方針を支持する。その重要な鍵となる、1台の電源で複数台のクライストロンを運転する実証試験は、是非早期に行なうことが望まれる。
- DRFSはILCのコストダウンや立地条件の緩和に大きく貢献する可能性があり、開発の意義はきわめて大きい。しかし、そのスケジュールの優先度はSTF計画全体の流れを考慮して決定されなければならない。また、2012年までにどこまで到達可能かを見定めてほしい。
- バウンサー電源：STF用としては、平坦度などの要求性能を満足している。DRFS用としてはマルクス型が提案されているが、本委員会としては試作を支持するものの、より具体的かつ理論的な解析と計画を望む。

- 高圧電源については、異常時の負荷の短絡および短絡負荷の切り離し技術の開発が重要である。電力分配系については、サーキュレータなしのシステムで2空洞間のアイソレーションが十分か、特に RF ON/OFF に対するトランジェントな挙動、空洞のクエンチや放電などの異常時の影響について、詳細な検討が必要である。
- 高周波電源 (バウンサー電源) では、すべての関係スタッフが、その技術的な詳細を知り尽くす必要はないが、採用する技術に関しては、現状の正しい把握・他の類似の技術との比較と独自性・技術開発の見通し・プログラム変更などの理由と適正な方針について、「担当者が明確な判断をもっている」こと、場合によっては「どの点が不明であるかという明確な認識」をスタッフが共有できるように十分な情報交換や勉強会を行うことが必要である。

LLRF

(報告内容)

- FPGA および DSP のボードを cPCI クレートに実装したデジタル制御の J-PARC ライナック用 LLRF をベースにして、STF 用 LLRF を構築した。また、複数の中間周波数をアナログ合成して1つの ADC に入力し、デジタル的に分離する IF mixture の手法を開発した。FLASH において STF-LLRF システムの試験を行ない、ベクターサム制御での良好な制御、IF mixture による合成波からの各信号の分離、DESY システムとの比較においても優れた振幅と位相の制御精度を得た。また、今年度からはソフトウェアの EPICS 化に取り組んでいる。
- S1-Global に向けた LLRF の整備を行っている。DRFS の R&D への対応として、放射線下での安定性、信頼性の検証、サーキュレータを排除した影響の評価、RDR よりも相対的に高くなる LLRF のコストの削減などが課題である。
- ベクターサム制御で複数の空洞を制御するため、空洞フィールドのパルス内での平坦性からのずれ、空洞毎の最大電界を考慮した電圧配分などを考慮しなければならない。また、この影響はビーム無しとビーム負荷条件下で異なる。対策として、負荷 Q 値の適切な設定、パワー分割比の調整、特性の近い空洞のグルーピングなどが検討されている。いずれにしても、空洞の個性のばらつきがある限り、効率の低下は避けられない。
- FLASH でのビームスタディでは、パルス内のビームエネルギーと LLRF ベクターサム加速電界との不一致が見られた。このように、必ずしもシミュレーションでは予測できないこともあるので、総合システムとしての LLRF の性能検証のためには、ビームを用いた試験を行うことが望ましい。

(評価と勧告)

- J-PARC ライナックで実績のあるシステムをベースに STF 用 LLRF が構築されており、FLASH 実験でも良好な結果が得られた。S1-Global に向けて、また DRFS への対応も着実に進められている。今後は、さらなるソフトウェアの充実、サーキュレータ無しのシステムについての妥当性の検討、ビーム負荷条件下での最適な制御方式についての詳細な検討が望まれる。

- LLRFのビーム試験は有意義であるが、他の開発項目との優先度については今後議論されなければならない。この点で、量子ビームやcERLの利用が追求されるべきではないか。
- これは必ずしもRFだけの問題ではないが、研究系横断型の活動を行っている職員について、その業績評価が不十分になることがないように、また、個人の過剰な負担が生じないように、加速器指導部は配慮しなければならない。進行中の加速器施設人的資源配分の検討の成果に期待する。また、この問題は加速器施設にとどまらず、機構全体でのロードマップの順位付けなどの取り組みが必要である。

第5回 リニアコライダー加速器レビュー委員会

2010年2月12日 KEK4号館セミナーホール

<http://kds.kek.jp/conferenceDisplay.py?confId=4094>

09:00	委員による打合せ	
09:15	ATF	照沼
10:00	ATF2	田内
10:45	休憩	
11:00	ATF DR ビーム調整	久保
11:45	昼休み	
13:15	ATF2 ビーム調整	奥木
14:00	ビームサイズモニター	神谷 (東大)
14:30	STF HLRF	福田/明本
15:20	休憩	
15:35	STF LLRF	道園
16:15	全体に関する討論	
16:45	委員会協議	
17:10	講評	

レビュー委員:

赤井 和憲	KEK
岩下 芳久	京都大学
小磯 晴代	KEK
小関 忠	KEK
生出 勝宣	KEK (委員長)
小川 雄二郎	KEK
新竹 積	理化学研究所
上坂 充	東京大学