

第7回 リニアコライダー加速器レビュー委員会

評価報告書

2014年2月24日

2014年2月7日に行われた標記委員会の評価報告を、各発表に即して以下に記述する。なお、本報告は委員が特に気づいた点のみを列挙しており、順調に進行している部分（本アクティビティの大部分）には触れていない。

委員会メンバー等は末尾参照。

加速器ビームオプティクス・ダイナミクス [久保浄]

・ Damping Ringより下流部について、垂直方向低エミッタンスおよびルミノシティ保持の観点から、系統的・総合的な誤差・補正方法・調整方法の評価が行われている。各機器のアライメントについては、独立な正規分布の誤差だけでなく現実のアライメント方式を考慮したモデルの構築を目指すことが提案されており、今後の成果に期待する。

・ ルミノシティを確保するためのエラーの評価が示された。RF空洞については、空洞の電磁場中心のアライメントの変動成分が0.3mm以内、またmulti-bunch wake対策としてHOM周波数の2~3MHzのrandomizeを要求しているが、これらを技術的にどのように実現するかは今後の課題であろう。

・ 12mのクライオモジュール全体に対して10 μ mピッチ、0.3mmの微調機能を要求しているが、実現性は要検討である。

・ X線FELや放射光リングにおいて、バンチコンプレッサーや周回部でのCSR micro bunch instabilityが観測されており、プロファイルモニターへの悪影響のみならず、エミッタンスの増大を招くため、その対策が重要となっている。X線レーザーの分野では、フェムト秒の極短バンチが利用実験に最適であり、さらに電荷量も初期の設計より10分の1程度と低い値でも必要なX線強度が得られるために、CSR instabilityは実際の運転条件にて回避できている。しかし、リニアコライダーでは電荷量を下げるとルミノシティの低下に直結するので問題になりうる。

・ 衝突点ビーム調整方法は、パルス内のビーム位置を変化させてルミノシティの位置依存性を調べる等高度な方法が提案されており、引き続き詳細な検討を期待する。また、ATF IIにおけるビーム現象の解明（小バンチ電荷での目標ビームサイズを達成、ビームサイズのバンチ電荷依存性の原因究明）はFinal Focus Designの実現可能性を示す上で必須である。

・クラブ交差に関しては言及されていないが、特に大きな課題は無いのだろうか。また、交差角度の選択（14 or 20mrad）はプロジェクトの全体構想にかかわる重要な案件と思われる。今後の十分な議論を期待する。

超伝導空洞・企業との協力による開発 [山本康史]、超伝導空洞・KEK でのIn-House開発 [佐伯学行]

・空洞の性能は着実に向上しており、その努力は素晴らしい。ここでその成果を分析し、企業側の努力による向上分とKEK側の貢献分とを区別して見るべきではないだろうか。空洞欠陥の場所の特定やグランドなどの対処、表面処理と高圧洗浄の工程などを通じて、KEKがこれまでに企業側へ行ってきた指示や指導は、第1回目の縦測定結果に反映していると考えられる。例えばこのような観点から2012年の結果を分析してみてはどうだろうか。性能向上に対する「KEKの寄与」「企業の寄与」を分析しておくことが、今後の研究展開を図る上で貴重なデータとなるだろう。

・特に、電子ビーム溶接に関する丁寧な実験が行われており、研究開発の確かな手応えを感じる。電子ビーム溶接の条件出し試験は、それ自体が貴重なデータであるが、さらに一歩進めて、企業と差別化するKEKらしい研究のアプローチが必要ではないだろうか。例えば、材料の不純物分析、溶接のシミュレーションなどを検討してほしい。企業との開発協力の現状と成果が示されたが、企業側への要求項目あるいは開発分担が明確でないように思われる。加速電圧とQ値、その歩留まりだけの評価で良いとは思えない。ここまで性能や歩留まりが向上した主たる理由が企業側の技術向上に依るのであれば、逆にKEKから企業への技術移転には相当な時間がかかることになる。

・電子ビーム溶接については、溶接ビードの形状評価だけでなく、溶接熱影響部の結晶構造や結晶粒界に含まれる不純物、応力分布などからの評価もできるのではないか。溶接ビードの端に欠陥が出るのであれば、入熱分布を変えるなどして、その成因や発生確率を比較調査してみてはどうだろうか。また、電子ビーム真空溶解のニオブ材料を使っているのにも関わらず、溶接ビードからの吹出しがあるとのこと、圧延プロセス等で不純物をニオブ母材に巻き込んでいる可能性を感じる。圧延プロセスなどの清浄化が必要ではないだろうか。

・これまでに企業側が開発してきた空洞製作工程を追跡している段階であるが、量産に必要な技術を見渡し、具体的な目標を定めて、KEKらしいやり方で追求することが必要である。溶接姿勢や収束系などの条件試験においては、ビードの良否や作業効率ではなく量産時の信頼性や許容誤差の大小を比較評価すべきである。またアライメント精度の観点から歪みの少ない溶接条件を探すなど他に追求すべきことは多い。一度に何個、連続何個などという条件や治具の開発は今行うべき試験とは思えない。

・これまでのCFFにおける空洞量産化を目指した研究は正しい試みである。ここで得られた知見が企業に共有されることを期待する。また、産学連携のさまざまなチャンネル（競争的資金含む）にて、企業との連携を深め、企業側にも先行投資を促す方策を探る必要がある。その点では、単にILCのみならず、超伝導空洞を利用したいいくつかの産業応用の途との連携をはかる必要がある。

・歩留りの改善とコストダウンは大きな課題である。当面大量の空洞が生産・試験される機会はEuro XFELしかなく、ILCスペックを満たす空洞の量産の歩留まりは、現時点および今後のEuro XFELのデータを仮定せざるをえない。しかし、今後数年でKEKが製作する空洞の数は多くはないが、少しでも歩留りの改善を見通せる成果を得るために、緻密なノウハウの積み上げが必要である。また、量産やコストダウンを図るのであれば、周波数、電場平坦度、HOMのQ値や周波数の分布、アライメントなどの要素も含めた製造過程が評価されるべきであろう。

・ラージグレイン空洞は性能向上の可能性があるものの、現行のファイングレイン空洞と異なる製造工程となることから、慎重な見極めが必要である。他の研究所でも研究が行われており、KEKであえて研究に取り組む意義・優先度は大きくない。

・HOMの深絞り成型加工の成功は重要な成果であるが、ウォータージェットを採用した理由や放電加工との違いを説明して欲しかった。

・1990年代はじめに当時の日本鋼管（NKK）社において、半導体装置向けのステンレスとしてクリーンZステンレスが開発された。これは、圧延プロセス等を見直して清浄なステンレスを開発したというものであった。おそらく、この手法がニオブ材料に適用されれば混入不純物の少ない超伝導材料が得られ、高いQ値、高い放電限界が安定に達成される可能性がある。ぜひご検討いただきたい。参考論文は、

A. Tohyama, “Ultra-clean Stainless Steel Development for Extreme-High Vacuum”, Bulletin of the Japan Institute of Metals, Vol. 29 (1990) No. 4, P 253-255

高周波技術 [松本利広]

・特に指摘すべき大きな問題はない。順調に進行していると見受けられる。

クライオモジュール・クライオジェニクス [仲井浩孝]

・クライオジェニックスの構成と開発現状および課題が示された。小型2K冷却システムの独自開発は素晴らしい成果である。大型2K冷却システム構築に向けて

低温圧縮機を導入しその機能を実証しておくことは、正当な方向であると考え
る。

- ・ ILCモジュールの熱遮蔽を精査し、5Kシールドを省くことができると結論し
たことは評価できる。一方でS1グローバルの実測値が2Kのところでは大きな隔
たりがある。さらに入熱評価をしてその原因を明確にしておく必要がある。

- ・ モジュールとしては、XFELのものをベースにしているとはいえ、熱負荷だけ
でなく、ビームダイナミクスが要求しているアライメント精度 (0.3mm) や空
洞傾き対策 (3mrad) 、モジュール微調機能などの技術についても独自に追求
をしておく必要があろう。計測するだけでも難しい筈である。

- ・ 154 mをユニットとするシステムをどのように保守するかを検討して欲し
い。空洞性能の劣化だけでなくカプラやチューナーなど周辺部品の故障など
で停止した空洞やモジュールの復旧をどうするかである。ラインオフするの
か、大気開放した空洞には再処理をするのかなどは、モジュールの基本設計
に関わる問題である。

STF-II (ERL-SCRF 技術開発連携含む) [加古永治]

- ・ 空洞モジュールについてこれまで行われてきた開発の歴史とその目的が示
された。STF-1では各コンポーネントの開発とその性能確認を行い、S1-
GlobalでDESY、FNALのモジュールとの性能比較と8台空洞の同時運転を行
い、現在はSTF空洞12台を収容するSTF-2を建造し、400MeVリニアックと
して長期安定運転の実証を計画している。

- ・ 長期運転に向けて、十分に配慮された種々のモニター系をクライオスタッ
ト内に配置し、空洞やコンポーネントの性能評価や経年劣化などを精密に捉
えることを期待する。

- ・ 多目的横型クライオスタットでは、具体的な開発項目と目標・期間を設定
してひとつひとつを丹念に達成してゆくことを提言する。

- ・ High Q空洞はその製作法に大きな変化があるのか、量産する場合の製造
工程はこれまでの工程とは違うものになるのか、要検討である。

- ・ 量産工程・歩留まりの評価や運転技術の習得のためには、多数の超伝導空
洞を備えた実機の建設運転が必須である。この点、他極にはEuro XFELや
SLAC LCLS-IIがあり、それらに量的に匹敵する計画 (例えば3 GeV ERL)
の実現はILCにとっても望ましいものである。

STF-COI 設備開発、及びSTF 総合的展望 [早野仁司]

- ・建設される施設・設備の有効活用のためには、「アースクリーナー」の縛りを脱して他の計画との統一的総合的な計画進行が計られることを望む。

ATF II [奥木敏行]、ATF総合的展望 [照沼信浩]

・ATF IIのGoal-1（垂直方向ビームサイズ37 nmの実現によるFinal Focus Systemの技術検証）については、2012年2月に160nm、2012年12月に70nm、2013年3月に65nmと徐々にではあるが目標に近づいている。現状の非常に限られたリソース（予算と人員）でここまで達成できたことは高く評価できる。また、2014年1月から再開された調整運転で、目標の37nmを目指して最終収束Opticsを確立するという方針は支持したい。Goal-2（数ナノメートルでのビーム位置安定化技術の確立）についても、その実現に向けてハードウェアの準備を進めてきていることから、その目標を達成するという方針は支持したいが、マイルストーンをよく吟味しリソースを集中して着実に進めていくことを期待する。

・スポットサイズでは、とにかく小電流での37nm実現を最優先するべきである。その際に、基礎となるビーム光学系の補正が十分行われることが必要である。最終収束磁石の磁場精度（多重極磁場の大きなものは交換したと聞いているが現在は問題ないのか）、ビーム光学系のモデルとの適合度、6極位置によるビームサイズ調整ノブ・waist調整ノブの応答、等は想定の内かどうか、再確認して欲しい。

・スポットサイズモニタのレーザーの安定性が悪いと報告された。ある程度、大きな出力を要求するパルスレーザーにおいては、購入品の装置でそのまま安定した出力が得られることは皆無である。担当者1名または2名が、レーザー装置の詳細を理解し、チューニングを繰り返し、癖を読んでチューニングし続ける必要がある。少々忍耐を要するが、やればやっただけの結果となり、真正面から取り組んでいただきたい。

・ビーム電流依存性については、現実的にすぐ交換・対処できないものも含めて原因となりうるものの洗い出しを十分に行うことを期待する。例えば、電子バンチが長いので、わずかの head-tail instabilityにてエミッタンスが大きくな

る恐れがある。このチェックにはベータ関数の小さなところに設置したCavity-BPMが最適である。Head-tailの成分はBPM-cavityの出力に90度位相差をもった成分として出てくるので、IQ検出のQ出力を検出すれば判別できる。これを見ながら、上流のチューニングを行えば、head-tailの発生箇所が特定可能となる。

- ・ ATFの性格上、多くの研究課題が錯綜し、スケジュール調整が難しいことは十分に理解できる。可能な限り基本方針に沿って、集中的にFinal Focus Designの原理検証実験が進むことを期待する。また、これまでATFで行ってきた加速器の若手人材育成の役割は大変重要であり、国内外の協力により、これからの開発研究と教育のバランスを考えて取り組んで行かれることを期待したい。

陽電子源 [大森恒彦]

- ・ 常伝導リニアックを用いた旧来型の陽電子源は、偏極が得られないものの、確実性の高い方式である。
- ・ ターゲット厚さと電子エネルギーの設計点の選び方に自由度があるので、キャプチャの効率まで含めた設計の最適化を進めてほしい。
- ・ 旧来型では、ダンピングリングの電流を一定に保てなくなり、発熱の変化によるリングのビームパイプ・電磁石・軌道の変動が予想され、要検討である。

施設設計 (土木・建築・設備) [宮原正信]

- ・ 候補サイトの一本化により、北上サイトが日本の候補サイトとなった（2013年8月公表）ことで、そこに建設することを想定して、土木・建築・設備の検討を着実に進めていることが報告から伺え、また検討されてきた内容は妥当と推察する。
- ・ 報告では、ILCの国内建設へ向けて、今後の課題や調査業務等これから数年間の計画が提案されている。これらの内容自体も妥当であろうと思われるものの、現状の限られたリソースと加速器開発とのバランスを考えると、直ちにKEKがこれらの課題に優先的に取り組むことは困難なのではないかと推察する。

第7回 リニアコライダー加速器レビュー委員会

2014年2月7日 4号館セミナーホール

主催／共催：先端加速器推進部・LC計画推進室／加速器研究施設

趣旨：TDRの完成、LC技術開発の現状を踏まえ、LC準備段階における、KEK／国内における技術開発、展望を評価する。

評価委員：生出勝宣（委員長）、小磯晴代、小林幸則、古屋貴章、内藤富士雄（欠席）（以上 KEK）、新竹積（OIST）、羽島良一（JAEA）

プログラム・発表ファイル等は以下を参照：

<http://kds.kek.jp/conferenceDisplay.py?confId=14598>