

SuperKEKB 国内レビュー

2017年9月8日 @ KEK

総論

今回SuperKEKBのいくつかの部分について詳細かつ率直な報告が行われた。SuperKEKBはKEKつくばキャンパスにおける最大のプロジェクトであり、単に担当グループにとどまらず、KEKの総力をあげてその完成と性能達成を図らなければならない。このような大きなプロジェクトは入射器・リング共に非常に広範囲の部分から成り立っており、相互の不断の情報交換と議論は絶対に欠かせないものである。その意味でグループ外の人も含めた今回のような取り組みは極めて有効であると信ずる。

以下、本レポートでは、委員の目から見て気になった点を列挙するが、短時間の発表と質疑では委員にとっても十分に理解できなかった点もあるかもしれないことをご承知願いたい。

各論

概要

論評：

- ・ Belle II測定器を含めた計画全体での最適化が必要。
- ・ ルミノシティ以外のPhase 2からPhase 3への移行可能条件はいかなるものか、バックグラウンド、衝突調整の調整能力などを明示し、Belleも含めた共通認識にしておく方が良い。
- ・ 細かい話だが、提示されたPhase 2のパラメータ表で、LER/HERの垂直ビームサイズが大きく異なるのはどういうわけか？ルミノシティやビームビームパラメータはconsistentか？
- ・ Phase 2, Phase 3を通じて目標達成に必要な入射器性能（ e^+/e^- の強度とエミッタンス）の改善のタイムラインを明示すべきである（追加報告があった）。

陽電子源

報告：

- FCの構造紹介の中でパルスソレノイドと陽電子生成時の電子軌道の説明があった。陽電子収集用のLASのコンディショニングで定格電場までのあげるのが難しく、SLEDをOFFして運転している。FC用パルス電源は初期にトラブル（電源ケーブル焼損、抵抗器発熱）があったが現在は12kAまで運転できる。しかしFC#1は6 kAで損傷した。銅の加工硬化（hardening）の必要性がSLAC等の経験から分かった。損傷したFC#1の交換作業を行った。LAS直前で残留線量は600 $\mu\text{Sv/h}$ で、遮蔽等で対処可能。
- 交換したFC#2でも放電。FCheadの2箇所が損傷。原因究明中。振動特性測定を実施したが、50 Hzに機械共振のピークはなかった。低い電流で運転を継続する。
- パルス電源の定格で運転できるFC#3を製作中。
- 今後の目標は以下の通り；電流は7 nCを10 nCへ1.4倍、熱電子銃の出力を1.1倍、LASの加速電場を10 MV/mから14 MV/mへ、FCの電流を6 kAから12 kAへ上げる。

論評：

- FCの交換は作業者の被ばくを下げるため、壊れなくても定期的に行うことも検討して欲しい。
- FCは素材の検討のやり直しもあり得る。素材選定は過去データの再評価でも可能であろう。
- より広いギャップのコイルの可能性もあるのではないか。
- FCが事前のテストにもかかわらずビームラインに入れてから放電が生じている。電流波形がビームラインとテストスタンドで異なっていないか？
- コンディショニングは実電流より例えば20%程度高い電流で行うべきである。
- LAS加速管の放電が、陽電子生成系に置いたために生じたものか？あるいは、そもそも加速管単体でもSLED運転が難しいか、きちんとした切り分けが必要であろう。テストスタンドでの試験を行ったほうが良い。
- Hardeningの効果の有無は、その診断法も含めて開発検討の余地がある。Hardeningの操作は本当に弾性を改善したのか、それとも単に面を当てて表面状態を変えたことになっているのではないか。
- 現在の6 kAが12 kAに改善すると、約20%の電荷量向上となることが見込まれている。マンパワーと予算配分から、この20%にどれだけ努力をつぎ込む必要があるか、ほかの致命的、手薄な箇所と優先度を考えた方がよいのではないか。
- FC以外の方式の可能性も再検討してもいいのではないか。

勧告：

放電に対するインターロック系に関しては、1パルスで停止するように実際に動作していたか再度調べておくべきであり、今後も正確な動作に注意すべき。

RF電子銃

報告：

- QTW、CDSの2種類のRF電子銃が設置されている。CDSは90度ラインに設置しレーザーを正面から入射できる配置である。CDSはカソード部にトラブルがあるが、QTWに入れ替えるか、または一時的にダミーロードを接続するかは9月11日の週に判断する予定。
- これまで問題が多かった発振器は3台を立ち上げる予定。
- プロファイルの改善が最初の課題である。空間フィルタを導入することでガウス型のプロファイルに改善されると期待している。

論評：

- RF電子銃の問題ではないが、リニアック及びビーム輸送路でのビームジッターを含むエミッタンス増大が重大な問題として浮かび上がっている。この問題の現状整理・原因解析・人員の再配置なども含めた対策が早急に求められる。
- (本テーマとは異なるが) 陽電子生成用の熱電子銃の保守などにも十分な手当が必要。
- R&Dを並行して行き最新のものを使うという意図はわからないではないが、レーザー、カソードなどR&Dが多岐にわたりすぎている。
- IrCeカソードの量子効率 10^{-4} 以上と称しているが、テストベンチではクリアしているものの、RF電子銃に組み込んだ状態では実現されていない。実際の真空の条件では理想的な性能は出ないと考えられている。QTW電子銃に交換して真空を強化すると改善すると期待されているが、本当か。
- レーザーパワーのマージンはどのくらいあるのか。Nd固体増幅器でいくらでも上げられるというが、プロファイルの質と安定性を保っていくらでもいけるのか。
- 長期運転での安定性は引き続き挑戦しなければならない課題である。
- Phase3では必要となる時間整形に対応するため、Yb系のシステムに変更されとのことである(要検討)。Phase2を運転しながら、全く新しいシステムの立ち上げを進める余裕があるのか。開発項目の積み残しが多い。

- 積分luminosityを最大にするという観点で、担当グループだけでなく、広い範囲のメンバーで今後の仕事のpriorityを早急に決定すべきである。

勧告：

- すぐに新技術、置き換えを行う傾向にあるように思われるが、既存設備の詳細な検討や、多数のメンバーによる深い議論・情報交換などが不十分ではないか。（レビューではなく、部署内の議論。）
- 電子銃が止まった場合にすべての実験が止まることを考慮すると運転には現在の技術で可能な方策を考えたいほうが良いのではないか（開発と実用運転の分離）。

加速管

報告：

- 標準ユニット：42 kV, 40 MW, 20 MV/m, 160MV/m。Esが全体的に下がっている。平均38 kV 必要。現状は老朽化で余裕がない。今後10年の運転は厳しい。
- KEKB建設の80本は新しい。古い加速管は160本。利得低下のほか水漏れもある。年間2本更新したい。ラインオフ加速管20本（問題がある可能性もあり）。新規製作が必要（2018-2020に20本程度、ろうづけ管）。製造方法を開発中。夏の保守期間に交換する。
- 余裕を取るため電子エネルギーを8GeVから7GeVに下げた。
- 電鍍管の新規製作は不可能。今後の製作は全て口付け製になる。価格は大量に製作すれば1000~1500万 / 本にできるかも。
- 1ユニット4本のうち1つを同定して交換。音響センサーを使う。

論評：

- 加速位相を考慮したエネルギー利得。新しい加速管では利得があがる可能性がある。対策シナリオの優先度が不明瞭。新加速管の配置を考慮してはどうか。6S運転では後半が重要？
- Es 42kVでもクライストロンの出力にはばらつきがある。実際のクライストロンの出力に合わせて加速管の運転可能電界を表示するべき。
- 性能の良い加速管はどこまで使用できるかを確認するべきでは？
- 不良加速管の同定方法、必要な期間、確実性を確立するべき。
- 良好な加速管の抜本的なリアレンジをすることで、全体の安定な到達エネルギーを最適化できないか？
- 予算マンパワーの範囲内で継続的・計画的に遂行されるべき課題である。

パルスマグネット

報告：

- 全数をパルス化する必要はなく、1, 2セクターはポジトロンに合わせたオプティクス（一部のステアリングのみをパルス化する）
- 3 ~ 5セクターがエネルギーの違うビームを取り扱うためQ,ステアリング磁石をパルス化する。
- 電子銃部分もパルスマグネットを入れている。
- 66台の置き換えで後戻りは出事実上不可能。マグネット、電源、制御系、インターロックなどすべて交換。
- 設定精度0.1% 目標0.1%に対して0.0026%のばらつき（300 Aに対して8 mA）。

論評：

- パルス電磁石の強さや安定性には、タイミングシステムが非常に重要である。イベントシステムの加速器システム全体として信頼度、動作確認等はどのレベルまで来ているのか？ 機構内加速器全体に対する非常に重要な役割を担う割に、人員配置が手薄ではないか。LINAC制御グループ、下流のリングの担当者含めて全員で一丸となって進めるべきではないか。
- ハードウェアについては比較的完成しているように見える。
- ただし、Localには高速データ処理を行なうデータ設定・収集系を新規に稼働させるため、66台のパルスマグネットをイベント同期で同時に動かすかどうかについては早期に試験することが望まれる。
- パルスマグネット系については順調に設置調整が進んでいることは評価できる。
- パルス電源とモニター設定機器が別々であるので、故障時に校正などが必要と思われる。故障時の交換手順なども含めて運転に備えた準備が必要。
- 運転開始時にはビームを使ったパルスマグネット系の調整期間を十分にとることが必要。特に、極性などの基本的な部分については、現地での磁場測定だけでなくビームを使った確認が望ましい。
- 自ら残りの課題としている、低い電流値での安定性、異なる電流値を繰り返したときの再現性、ST電源の長期試験について、今後1か月の間に計画的に進める必要がある。

DRタイミング

報告：

-7つの課題について、Technology Readiness Level 1 ～ 9 にランク付けを行い、課題についての説明がなされた。

論評：

- TRL3からTRL9までの実現タイムライン、マイルストーンを明確にしてほしい。
- 7つの課題についてランク3のものも含めて12月からのDR運転に合わせて実用化させる（ランク9）にするためのスケジューリングが必要。
- これが動作しない場合にDRコミッションingの遅れにつながるのであれば、リニアック、リングを合わせた統合的な環境で早急に進める必要がある。
- ダンピングリングだけでなく、入射器（および入射器の高周波源のタイミング自由度）、メインリングを含めた入出射について、仕様を再度確認し実現する努力が必要ではないか。
- 今回はDRに絞った話だが、SuperKEKBだけではなく、PF入射、AR入射でも同じシステムが用いられる。10月に間に合うのか？

QCS

論評：

- 強磁性体によるシールドの効果について、磁場計算だけではヒステリシスに起因する不安があったが、磁場測定結果によって有効性が確認された。後はコイルの電流分布で決まることになるので、期待された磁場分布が達成されているであろうと考えられる。
- 全体としては順調に進んでおり、致命的な問題があると思われない。
- 冷凍機が片側トリスタン時代からの再利用とのことだが、老朽化等の問題は大丈夫か？
- 高次モードを正確に測定することは難しいが、バックリングコイルで主成分を打ち消すなどして、ノイズの影響を低減し、正確に測定が行われている。
- 紹介された6極成分の測定値がソレノイドのフリンジなどモデル上で説明できるものかどうか、要解析。
- 磁石の進行方向のずれなどは、測定結果の確認後はオプティクスモデルに反映させるべきである。

ルミノシティ調整

報告：

最初に、Phase2, Phase3 においてトップアップに必要なLINACのチャージ量について、説明があった。Commissioning における衝突調整についての構想が報告された。垂直方向はbeam-beam deflectionにより、水平方向は、Ditheringによりluminosity maximumを追尾する方法を使う。後者はSLACで開発された手法。このためにはFast luminosity monitorが重要となる。シミュレーションでは、Phase3のbetaでは20ミクロンの変位で50%のルミノシティ変動が見えるはず。

論評：

- ditheringはPEP-IIで利用し実績があるものと思われるが、SuperKEKBでの新しい試みであるので、シミュレーションと一致しているかなどを含めたスタディをPhase2にて計画的に進める必要がある。
- 海外で開発されたもの (Luminosity monitorやdithering)があるため、衝突調整の段階でこれらの海外の関係者も含めたチームでのコミッショニングを行う期間を計画的に組み込むことが望ましい。
- Flip-flopを考慮した、両ビームのバンチ電流の不均衡の許容度をシミュレーションで求めておくべきである (結果によっては現状の入射シナリオは成り立たない) 。
- Fast luminosity モニターの確立が重要。仏グループとのコラボをルミノシティ測定を超えて行うのどうか？
- INFNとのコラボレーションはどうなっているのか？

電子雲

論評：

- 電子雲の発生のメカニズムが、理論と実験の両面からよく理解されるようになっていいると考えられる。この理解を元に、合理的な対策が立てられており、期待されるような効果が達成されることが考えられる。

MDI

論評：

- phase 2 で可能なphase 3で重要なバックグラウンドのソースを徹底的に研究する。
- 効率の良いコミッショニングや安全なオペレーションの際に必要なマシンと計測器のコントロールルーム同士で分け合う情報を話し合い、それに必要なハードウェアの準備を始める必要がある。
- phase 2 でも小電流 (場合によっては単ビーム) でbeta*をphase 3の値まで絞ってみるという試みはオプティクスとバックグラウンドの理解にとって有意義ではないか？
- Interlockその他のモニター情報を加速器に送ることは重要。そろそろシステムティックに整理しておく必要がある。
- IR 直上流のコリメータからのscattering をsimulateすることは重要かもしれない。
- 入射効率が低いとき、そのロスがIRへどうこぼれてくるか？それをPhase2で把握できるか？
- QCS内のコイルミスアラインメントが及ぼす影響を評価すること。

プロジェクト全体に関すること

報告：1996-9年当時のKEKB初期と比べてリングでは10%程度の現役人員減、6歳程度のリニアックを含むコミッショニング人員の平均年齢増加が報告された。

- Phase 2は、その後にBelle IIのバーテックスデテクターをインストールしてビームの元に安全に操作できるようなレベルに達してから終了させる。

論評：

- 陽電子源、電子銃とも、電荷半分でも当面（数年）は問題なさそうに思える。また、ゼロからの積み上げ時とトップアップ的運転時とで必要電荷は異なるはずで、影響はさらに小さいかもしれない。リングの衝突性能向上を優先させる考えもある。開発ものを少し停止し、従来技術に対する手当を少し優先するべきではないか。

- 人手と予算が足りないという話であるが、部署内の偏在が一因であるのではないか。開発課題に対する手厚さに比べると、従来技術に対する手薄さの格差が大きいように思える。従来技術も運転や安定性に非常に重要であるので、もう少し格差を減らすべきではないか。

- デザインレポートがない中でプロジェクトが走っている。デザインレポートをきちんと整えるべきではないか。

- 運交金による人員の拡大について、効率や定着性を考慮して、より柔軟な人員確保を考えてみてはどうか。

- 一時的な負の面をも乗り越えうる国際協力の拡大を機構の協力も仰ぎつつ推進して欲しい。

- Phase 2で6Sでの早期物理runは、ユニークな領域であり、国際的な物理成果になりうる。

- コミッショニングは極めてエキサイティングな仕事である一方、過酷であり体力とモチベーションを必要とし、また長期にわたることであろうから、世代交代を考慮した組織を立ち上げることが望まれる。運用に関して、コミッショニングメンバーの中核となる数人のグループは、他のメンバー及び加速器をサポートする全メンバーと情報と課題を常に共有し、また浮き上がらないようにする配慮が執行部にも求められる。全メンバーがSuperKEKBへの寄与を自覚でき、モチベーションを持続できるような運営を期待している。

日時：2017年9月8日 9:00 – 18:15

プログラム：<http://www-kekb.kek.jp/MAC/2017/>

委員：榎本収志、生出勝宣（委員長）、佐藤康太郎、内藤富士雄、中田達也、幅淳二、原田健太郎、本田洋介、道園真一郎