

7/3/2003

To: LC 推進委員会
From: 榎本收志、久保 浄、田内利明、陳 栄浩、峠 暢一（責任編集）、肥後寿泰、横谷 馨
Subject: ISG-10 報告（一部、第7回 NLC MAC からの情報を含む）

1. 全体

概要: 第10回 KEK-SLAC International Study Group Meeting (ISG-X)は2003年6月17日より20日まで SLAC で開催。日本側からの参加者は14名。今回合は、ISG と米国 NLC 加速器 collaboration meeting を統合する形で運営、SLAC のほか FNAL, BNL, LLNL, LBNL からの参加も含めた登録者総数は50を超えた。ただし、UCSB で開催中の LC 加速器 Summer School とちょうど日程が重なったこともあり、実働常時参加者はこれより少なかったように感じられる。関連情報は

http://www-project.slac.stanford.edu/lc/ilc/ISG_Meetings/ISG10/nlcisg10.htm
を参照。

目標: ISG-X / NLC Collab Meeting の全体目標は以下のとおり。

1. Discuss technical issues, progress, and plans toward meeting TRC R1 demonstration requirements.
2. Discuss technical issues, progress, and plans toward meeting TRC R2 demonstration requirements.
3. Prepare for the international technology selection process that is expected to occur in 2004. Discuss how we best present the case for the X-Band collider technology.

構成: ISG-X の Working Group (WG) 構成および世話人名は以下のとおり。

WG1 (Accelerator Design)	T.Raubenheimer, K. Yokoya
Beam Dynamics (BD) Subgroup:	K.Kubo, N.Solyak
Interaction Region (IR) Subgroup:	T. Markiewicz, T.Tauchi, Parker
Ground Motion (GM) Subgroup:	J. Gronberg, A. Seryi, T. Tauchi
WG2 (Power Sources and SLED-II)	Y.H. Chin, S.Tantawi, A. Vlieks
WG3 (Structures)	H. Carter, T. Higo, J.Wang
WG4 (Conventional Facilities)	C. Corvin, A. Enomoto, V. Kuchler

Plenary Talk から: ISG-X 初日 Plenary Talks の中で、SLAC 所長 J.Dorfan は 戸塚 KEK 機構長の6月 SLAC 訪問について触れ、Dorfan 自身は9月に KEK 訪問する予定であると述べた。ILCSC と US / Asia / Europe 各領域の LC steering groups との連携関係について述べ、LC 主線形加速器技術にかんする warm vs cold の議論について、2004 年夏に Wise-Persons 委員会の答申をもとに ILCSC で決着する見通し、とした(この Timeline の妥当性については、ISG-X の次の週に開かれた NLC Machine Advisory 委員会でも論点になったが、Dorfan は見解として「2004 年夏」を繰り返した)。なお、PEP-II のルミノシティ強化のために SLAC では NLC 関係人員の一部を一時的(6ヶ月程度と言う)に PEP-II に振り向けることになった。この件について、Dorfan は MAC では事情説明したが、ISG-X

席上では深くは触れなかった。

同じく ISG-X 初日 Plenary で、G.Dugan (Cornell) は USLCSG の中での加速器技術検討にかんする諸活動を概説した。USLCSG のもとに加速器小委員会(委員 8 名)が結成され、国際協力に基づく LC を米国内に建設するさいの、技術的オプションについての検討を指示されている、という。このため、小委員会のもとに、さらに

- Accelerator Physics and Design
- Site-Specific Civil (CA and IL) Design
- Cost and Schedule
- Availability Design and Specifications

の 4 つの Taskforces を結成し、作業を進めている。まず、 $E_{CM} = 500 - 1000$ GeV の LC (warm/cold を問わず) のルミノシティ(ピーク、積分の両方)、Energy リーチ、電子偏極度、陽電子偏極オプション、2IR、などの基本暫定仕様を決め、これを満たすような LC レイアウトを warm/cold の双方について Accelerator Phys/Design TS が作成中。周知のとおり、TRC-II の議論では、TESLA デザインは Hamburg site に分ちがたく結びついたものとして提示されたため、まだ site-specific 設計の段階にいたっていない GLC/NLC との自由な比較が困難になる事態が頻出した。今回の USLCSG の作業方針は、技術比較上のこうした制約を取り除くもの。これまでに、cold option layout はほぼ完成、warm option layout (NLC とは完全には同一でない) は作業中。これをもとに、Site TS, Cost TS Availability TS などが作業を始めている。Availability TS は所与の LC レイアウトに対応し、各部品の MTBF/MTTF などどの程度の数値を前提条件と期待される運転効率の関係をシミュレーションで評価(含: 1-tunnel vs 2-tunnel オプションの比較)。全報告書の完成と USLCSG への提出は今年(2003)9月を予定。

2. WG1(Accelerator Design) まとめ

Beam Dynamics (BD)、Ground Motion (GM)、Integraction Region (IR)の 3 つのサブグループの実際のセッションは WG1 内ではすべて合同。さらに、ATF での nano-BPM、および衝突点 feedback についての集中的な討論あり。

GM: WG4 と合同会議。田内・山岡が最近の KEK 内での地盤振動測定結果を紹介、松田が筑波および阿武隈サイトを例にして civil engineering について議論。SLAC 側からは Los Angeles の地下鉄トンネルでの測定、linac RF 源系からの振動伝播、linac の girder にかんする研究などを報告。地下鉄の上り下りの 2 本のトンネル間(芯間隔 40feet)の振動伝播測定では、この間の減衰がほとんどないことが示された。

IR: NLC では“Big bend”を経由する 2 つの衝突点用の Beam Deliver System (BDS) の設計の更新・最適化を行っている。これまで、NLC では「高エネルギー IR」と「低エネルギー IR」の二 IR 方式を考えてきたが、物理グループとの協議の結果、「エネルギー差別」は止めることにしたという。すなわち、二つの IR でのエネルギーリーチは同等とし、また、ルミノシティなど実験条件もなるべく等しくする。ただし、GLC と異なって主線形加速器が完全対向でない事情は従来のままのため、二つの FFS 出発点における Big Bend 角度は同じではなく、従って、ルミノシティ性能も二つの IR でまったく同等にできている訳ではない。また、超電導リニアコライダー(cold option)用の BDS 設計が行われている。特に、最

終収束用電磁石として外径 11.4cm のコンパクトな超電導 4 極磁石の開発が BNL で行われている。この磁場の振動の制御が今のところ最大の課題。

衝突点でのビーム安定化すなわち最終収束電磁石の振動安定化の R&D が集中討議された。山岡氏が “Support tube R&D for Final Quad” として support tube プロトタイプの開発研究、特に振動特性測定と ANSYS 計算の現状と今後の予定について報告。SLAC からは、J.Frisch が “Overview of SLAC R&D on Inertial Stabilization”、E.Doyle が “Next Generation Sensor” を報告。これまで、KEK では support tube による 2 つの 4 極磁石の安定化を保証する、いわゆる静的制御に重点を置いてきた。SLAC では inertial sensor (加速度計) による動的フィードバックによる安定化の R&D を行ってきた。今後は、KEK でも SLAC の inertial sensor を利用する可能性も含めて動的フィードバックによる安定化の R&D を SLAC と協力して行いたい。

BD: ATF の現状について、BPM electronics および laser wire の改良により約 5pm-rad の emittance が達成されていることを久保・Woodley が報告。

Damping ring における dynamics に関して、Fast ion instability, coherent synchrotron radiation, および intrabeam scattering の評価についての報告があった。これらは GLC/NLC の damping rings で(致命的ではないが) 顕著な効果をもたらす可能性がある。最近の改良された ATF (multibunch, diagnostics) でこれらを観測する可能性について議論。陽電子リングにおける Electron cloud 問題はより深刻であるが、今回、報告無し。

Linac での軌道補正方法に関して、久保と Raubenheimer が最近のシミュレーションの説明を行い、日米間の方法の差異について議論。日本側の方法は筑波候補地のような noisy な場所も念頭におき、すべての 4 極磁石を同時に動かす方法をとっている。静かな場所では米国側の方法のほうが安全と考えられる。久保のシミュレーションは、最近の KEK での地盤測定の結果を preliminary であるが取り入れている。

このほかに、陽電子生成の標的に液体金属を用いた、Logatchov による実験の報告が Dolgashev からなされた (NLC 用に BINP で開発中)。

nanoBPM/FEATHER/FONT: NanoBPM は ATF 取り出しビームラインに設置された 3 個の c-band cavity BPM によるナノメートルレベルの位置分解能の測定を目指す。M.Ross と S.Smith が ATF 実験結果について現状報告 (本 ISG10 会議の直前まで実験が行われていたため内容は非常に Preliminary)。本実験の最大の問題は、数 μm のビームジッターの下での BPM シグナル較正。これらビームジッターの原因の追及といくつかの改良を行い 10 月からの再実験に備える。秋の再実験では、Livermore グループの制作する BPM サポートシステムが導入予定。P. Fitsos (LLNL) がこのサポートシステムについて報告し、それに対して山岡がコメント、ANSYS 解析に必要なデータの提供を受けることになった。

このセッションの最後に、これら 3 つの BPM の位置安定化を LLNL システムでどのように行うかの議論を行った。LLNL の J.Gronberg らは、Metrology フレーム (全体を覆うチューブ) を提案しているが、ナノメートルレベルの位置安定性を実現する具体的な方法などが不明瞭であることなどが指摘された。これに代わるものとして、J.Frisch らの開発している inertial sensor を用いた active feedback system が有力候補であることも指摘された。この

議論を受け、J. Gronberg が LLNL で support system の見直しも含めて次年度（今年 10 月～）の R&D 計画を決めることになった。KEK では独自のサポートシステムの検討を行っているが、inertial sensor の使用可能性も共通の安定化システムとして考えたい。

衝突点でのビームトレイン内のフィードバックシステムとして、N.Delerue (KEK) が FEATHER の紹介と可変ギャップを持つキッカーの設計を報告。また、P.Burrows が NLCTA で行われた FONT 実験について報告。FONT 実験で基本的な性能が実証されたが、さらに応答時間の短縮の改良を計画中。ATF は NLCTA に比べて、エネルギーが高く、ビームサイズが小さく、ビーム強度もより安定したビームが使用できるため、ATF での FONT 実験の可能性も話題となった。また、nanoBPM と組み合わせることによって、フィードフォワードシステムの可能性も nanoBPM 実験の将来計画として議論。

10 月の ATF 運転再開の直前に、KEK で nanoBPM と FEATHER/FONT に関するコラレーション会議 (KEK, SLAC, LBL, Oxford, Queen Mary など) を行うことが合意された。将来計画についての集中的議論を期待。

追記(MAC review より): SLAC では fixed target 実験 E166 を立ち上げ、50GeV 電子ビーム/ Helical Undulator \rightarrow 10MeV γ \rightarrow 偏極陽電子生成の実証研究を行う(目標: 2005 年はじめ)。 DESY、CERN ほか、日本から KEK、都立大が協力。

3. WG2 (Power Sources and SELD-II) まとめ

クライストロン: SLAC で試験中の PPM 2 号機の南側窓付近で起こる真空バーストの原因を調べるために南側導波管系と北側導波管系を入れ替えて試験を行った結果、真空バーストの原因は南側窓ではなく、南側導波管及び負荷にあることが判明。この報告を受け、SLAC は問題の導波管及び負荷を取替え、PPM 2 号機の再試験を行うことに同意。

SLAC が製作した XP3-3 は試験の結果、300ns 以上のパルス幅でパルス欠けが起こるために試験は中断、原因を調査中。クライストロン内で放電が起きている模様。音波センサーを使って放電の場所を特定しようとしている。最終的にはクライストロンを空けて目視で場所の特定を計画。10 月に試験再開の予定。

変調器: SLAC 製の誘導型 IGBT 変調器は 400kV で 1% 程度のフラットなパルスを作ることに成功。ただし、回路の発熱問題のため (5 月 LC 推進委報告で既出) 繰り返しは 30Hz に限定されている。繰り返しを 60Hz に上げるためには IGBT モジュールを増設する必要があるが、財政的に簡単ではないようで、時期については明確な予定がない。

KEK 製の誘導型 IGBT 変調器については電氣的及び構造的設計がほぼ完了し、現在実機の製作中、2003 年秋ごろまでの完成を目指している旨を報告。

SLED-II: SLED-II の大電力試験開始の予定が更に遅れ、現時点では 9 月 4 日からになった。SLED-II head のカバーを誤って落として、曲げてしまったり (修理して使用することを検討中) と、製作は当初スケジュール通りには進んでいない。

KEK 製シングルモード SLED-II 電力結合部及び SLED-II head の製作プランやスケジュールに関し SLAC 側と検討し、同意にいたった。大電力モデルは 10 月中旬には加工が完了し、その後 SLAC において表面処理を行ったのち、他の SLAC 製の部品と一緒にロウ付けされる。11 月末までには完成の予定。

また、来年予定されている 8 パック Phase2 に於ける加速管への電力分配装置のスキームに関して議論。その結果、SLED-II から来る電力は 8 台ある加速管の最初の加速管から順次入れ始めるのではなく、5 台目の加速管から入れ始めることが決まった。これは前者の場合、6dB 方向性結合器の開発が必要であるが、来年 2 月ぐらいまでに開発が完了する見込みが少ないためであることと、後者の場合、KEK が現在製作しているシングルモード SLED-II 電力結合部が必要な 3 dB 方向性結合器としてそのまま転用できるからである。このスキームでは TRCR2 の要求を満たすことにならないので、順次、加速管の上流側に電力を分配するスキームに移行していく予定。その他、SLAC 製のマルチモードテーパーの低電力試験結果について報告が会った。2 本ある delay line の内 1 つはほぼ設計通りの低損失であったが、他方は損失が大きい(効率が低い)とのこと。実際には 2 つの delayline から出て来る電力はその後 3 dB 方向性結合器で結合されるので、損失の大きい(効率の低い)方の delayline がパルス圧縮の効率を決めてしまう。

4. WG3 (Accelerator Structures) まとめ

最近の試験加速管と実機加速管への進展を下記表に簡単にまとめる。

	H60VG3N-6C	H60VG3S18	H60VG3S17	H60VG4S17
セル	中央部 HDDS	全セル HDDS	全セル HDDS	全セル HDDS
a/λ	0.18	0.18	0.17	0.17
アイリス	円	楕円	楕円	楕円
加速分布	ILT	DS	DS	上流抑制
製作	SLAC/KEK	SLAC/KEK	FNAL	SLAC/KEK
試験	5 月終了	6 月開始	今年末まで	来年 1 ~ 2 月
目的	H 型	フル HDDS		ベースライン

H60VG3N-6C: 最近テストを終えた。damping slot を導入した 6 セルについて、特に大きな放電レートは観測されず、最新のセル構造設計による基本的めどはついたと考えられる。ただし、これまでも観測されていたことであるが、最上流 2-3 セルにおける放電が加速管全体の放電レートをほぼ決めている状況は改善されなかった。

H60VG3S18: H60VG3N-6C に一部導入した damping slot つきセルですべてを構成した試験加速管。大電力試験は ISG-X 前日ごろから開始。ISG-X 次の週の MAC review 時点では 55-60MV/m で ageing 運転中。本体中流部で、とくに「hot」なセルは見出されていない。ここでも最上流 2-3 セルにおける放電が目立つ。

上記、およびこれ以前の試験加速管の振る舞いと、これに関する諸考察の結果をまとめると、最新状況は以下のようである：

1. モード変換器型、導波管型などの変種はありうるが、入力カプラー自体における放電現象は基本的に押さえ込むことができる。
2. Damping slot 付き標準セルの設計で、高電界運転上の基本運転仕様を満足することはできそうだ。
2. ショットインピーダンスを稼ぎ、少ない入力電力で所要の加速勾配を得るためには a/λ を小さくするのが有効であるが、短距離ウェーク場を制御可能な強さに押さえるためには $a/\lambda \sim 0.17$ が下限と考えられる。
3. Ageing が進んだ加速管の場合、放電レートは加速勾配を 5MV/m あげる毎に放電レートは約 5 倍になる。
4. これまでの H60 タイプ試験加速管だと、入力カプラー直後の上流端セル 2-3 個に放電が集中する傾向があり、これに dominate されて放電レートは一時間あたり 0.5 - 1.5 回の程度である。R1 の目標は 放電頻度 0.1 / hr (60cm 管、60Hz 運転時で換算)。
5. 上の状況を改善するためには、最上流数セルでの電界強度を軸上でなら 10MV/m 程度、表面でなら 20MV/m 程度下げてやるのが有効、と推測される。

ISG-X 協議と今後の方針: ISG-X 直前までのベースライン(H60VG3S17)では、 $a/\lambda = 0.18 \sim 0.17$ として短距離ウェーク場制御上許容できる範囲でショットインピーダンスを回復し、放電問題に対処すること、としてきた。

しかし、上記のように、これまでの 60cmH 型加速管では、ビーム無し加速電界 65MV/m での運転において上流部数セルの放電レートが高いため、このままでは安全運転上のマージンが小さすぎるのが危惧される。そこで、上流の加速電界を抑制してその分下流での電界を増加させるパラメータを採用して放電頻度を抑える方針をとるようにした、H60VG4S17 の設計検討を行った。協議の結果、現時点の知見の限りではこの新設計(H60VG4S17)の加速管を試験することが最善、という結論に達した。そこで、これを R1 をクリアすべき加速管実機の新たなベースラインとして最速の試験に向かうこととし、日米協力プログラムの中では、KEK グループはこの H60VG4S17 加速管 2-3 本分のセル製作に今夏秋のあいだ全力を注ぐこととなった。

H60VG4S17 の大電力試験は 2004 年 1 月を予定。これ以前には、H60VG4R17 (H60VG4S17 と電気パラメータは基本的に同一であるが damping slot がついていない)、H60VG3S17 (ISG-X 以前のベースライン設計で、FNAL 製作による) の大電力試験を行う。

5. WG4 (Conventional Facilities) まとめ

KEK からは日本サイト、KEK サイトにおける施設の検討(以上は WG1 との合同セッション)、日本サイト公表後の社会的反響と今後の施設検討計画について報告。米国側からは現在進行中の warm 施設と cold 施設の検討状況の報告と議論があった。FNAL はイリノイのサイト DeKalb で cold と warm、SLAC はカリフォルニアのサイト Copper Mountain で warm、Logan ridge で cold の検討を行っている。今回の ISG で DeKalb の cold と Copper Mountain の warm について基本設計、図面、コスト見積りを含む報告書のまとめの作業を行った。8 月中旬にイリノイの warm、カリフォルニアの cold についてのまとめを行う予定。設計に関しては煮詰められていない部分もあるが、共通の仕様と方法論による検討に留意しているようである。9 月の USLCSG への報告にむけての意気込みが感じられた。

6. Warm vs Cold 技術選択にむけた動きほか

Technology 選定のための準備作業: 前述のように、NLC グループでは、warm vs cold 技術選択にむけて、以下を行っている:

1. TRC-II R1 / R2 項目を実現実証するための実験的研究を行うと同時に、
2. USLCSG 傘下の活動として、Warm / cold reference design レイアウトの作成、
3. Warm / cold CF 評価、
4. Warm / cold コスト評価、
5. Warm / cold 加速器 availability 評価、

加えて、NLC グループでは主線形加速器において、Energy availability だけではなく、Luminosity availability の観点から(エミッタンス保存に帰着する)warm machine の基本的 feasibility について「一般人」にわかりやすい文書を作ることが議論されており、日本グループにも協力を求めてきている。たとえば、1MHz 程度の精度のセル共振周波数制御、数十 μm 程度の精度での加速管設置、加速管ムーバによるエミッタンス制御などがどのようにして可能であるか、といったことについて、I&C-intensive でない加速器しか知らない人たちに納得してもらうことが目標。

第7回 MAC (Machine Advisory Committee)について: ISG-X の次の週、6月23日から26日にかけて SLAC で開催。日本からの委員としては、KEK から生出と峠が出席。Web site は

http://www-project.slac.stanford.edu/lc/local/MAC/June2003/MAC_June-2003.htm

を参照。MAC で提示された資料は基本的に ISG-X のものとほぼ同一だが、加速管など1週間の展開を反映して多少の最新更新が加えられているものもあるので注意。現在、Review 報告書は委員によって起草中。

Technology 選定の時期について: 現在、GLC/NLC の R1 デモ試験は、SLED-II については2003年9月、加速管について「自信のあるモデル」の試験は2004年1月にずれこんでいる。R2 デモ試験のうち、PPM クライストロンは2003年中の実現を目指しているが、SLED-II + 加速管の「ストリングテスト」はやはり2004年春以降となる見通し。同様に、TESLA グループでは9-セル空洞単体での横置き試験で35MV/m を実現しているが、これを組み込んだ cryomodule の製作、運転については予算制約のため、スケジュールめどが立っていない。これら R&D に携わる現場は全力で努力するにしても、ILCSC / Wise-Persons 委員会が十分な技術的 input のもとに真に健全な技術選定決定を行うには、2004年夏、という時期は尚早ではないのか、の指摘が MAC 委員会席上、複数の委員によってなされた。また、SLAC 指導部は懸念を否定しているが、PEP-II への NLC 人員の「一時的出向」のインパクトについても、MAC 委員会席上、懸念が指摘された。

KEK-SLAC ISG MOU の更新について:9月の SLAC Dorfan 所長来訪の時期ころまでに、ISG MOU の更新文面を整備するため、Burke - 峠 間で折衝を始めた。内容は、

- 現行 ISG MOU の精神を継承し、当面 X-band ベースの LC 設計開発を引き続き行う、
- Global LC の技術選定において、warm 技術の推進に向けた開発および準備活動で協力、
- Global LC の技術確定後の協力体制については、将来、別途協議のうえ適宜整備、などを骨子とし、文案の作成を始めることとした。

以上、