

会議報告

IRENG'07 (ILC Interaction Region Engineering Design Workshop) 会議報告

榎本 収志*2・佐貫 智行*3・末次 祐介*1・土屋 清澄*2・山本 均*1

Report on IRENG'07 (ILC Interaction Region Engineering Design Workshop)

Atsushi ENOMOTO*2, Tomoyuki SANUKI*3, Yusuke SUETSUGU*1,
Kiyosumi TSUCHIYA*2 and Hitoshi YAMAMOTO*3

1. はじめに

IRENG'07 (ILC Interaction Region Engineering Design Workshop) は、本年 (2007 年) 9 月 17 日から 21 日まで SLAC にて開催された。ILC の衝突点付近のサブシステム設計の現状を把握し、EDR (Engineering Design Report) に向けて議論を進めることが主目的である。サブシステムと言っても、衝突点ホールの設計、安全システムの構築から、プッシュプル方式の確立、光学設計、冷凍機の配置、果てはビームパイプの接続まで、実に様々な要素が含まれる。本ワー

クショップは、これまで個々に議論され概念設計が進んでいたものについて、初めて各専門家が一堂に会して議論をする場となった。各サブシステムがお互い干渉する部分も多々あり、活発な意見交換がなされた。WebEx での参加も含め、約 100 名が参加した。

本ワークショップは大きく 4 つのワークグループに分かれて進められた。すなわち、ワークグループ A: 測定器全体設計、組み立て、移動、シールドなど (議長 佐貫智行ら)、ワークグループ B: 電磁石設計および冷凍機システム設計 (同 土屋清澄ら)、ワークグループ C: 衝突点ホール、外部設備などの在来建



参加者集合写真 (WEB より)

*1 高エネルギー加速器研究機構
(E-mail: yusuke.suetsugu@kek.jp)

*2 高エネルギー加速器研究機構

*3 東北大学



会議風景

物設計 (同 榎本收志ら), そして, ワークグループ D: 加速器および物理からの要求 (同 山本均ら) である. お互い関連する話題については適宜合同の会議が開かれた. 本報告は, この枠組みに従い, 各ワークグループの議長が分担して執筆した. なお, 本ワークショップのホームページは <http://www-conf.slac.stanford.edu/ireng07/> である.

2. ワークグループ A

本ワークグループに課されたテーマは, 測定器や放射線シールドの全体設計, 組み立て方法, メンテナンス方法, 移動方法などをエンジニアリングの観点から議論することであった.

ILC の測定器は, 大きさは $15\text{ m} \times 15\text{ m} \times 15\text{ m}$ 程度, 重量は 10,000 トン程度が見込まれる巨大なシステムである. 組み立てるためには, 当然のことながらクレーンが必要だが, 地下の実験ホールに設置できるクレーンは大きさが限られてしまう. したがって, 地上で巨大クレーンを駆使して組み立てる方が効率的だが, 地上で組み立て済みの測定器を地下の実験ホールへ降ろすためには, 測定器の全重量に耐えられる非常に巨大なクレーンと大きな縦坑が必要になり, コストを押し上げてしまう. 反対に, 地下の実験ホールで全ての組み立て作業を行うためには, 十分な広さの実験ホールを造る必要があり, やはりコストを押し上げて

しまう. おそらく, 途中まで組み立てた測定器を地下の実験ホールへ降ろして組み上げるというのが現実的な方法だが, 地上の作業のどの程度まで組み立てればよいのかは自明ではない. また, 実験を開始した後も, 測定器のメンテナンスやアップグレードのために分解作業をすることもありうる. 分解作業にも十分な広さと重量物をつり上げるためのクレーンが必要だが, これらはコストを押し上げてしまう. したがって, 実験ホールの構造やコストのことも考慮しながら, 測定器の設計を進めることが非常に重要となる.

ILC では, コスト削減のために, 1 つの実験ホールを 2 つの測定器が共有し, 1 ヶ月に 1 回程度の頻度で 2 つの測定器を交互にビームライン上に設置することになっている (プッシュプル方式). 入れ替え作業後は速やかに実験を始める必要があるため, 組み上げた測定器をそのまま移動させることが検討されている. 測定器は巨大でありながら, 非常に精緻なシステムである. 測定器を分解することなく静かに動かすために, 巨大なプラットフォームに載せてプラットフォームごと動かしてしまう方法が検討されている. しかし, 数百マイクロンの精度で位置合わせをした測定器を移動させても狂いが生じないのか, 何らかの方法で検証する必要があると感じた.

今回の研究会に参加して, 加速器実験は総合技術であり, 種々多様な分野のエキスパートが協力し合いな

から設計を進める必要があると痛感した。この点で、欧米は組織作りが上手だと思う。国内では、物理屋は物理屋同士で、加速器屋は加速器屋同士で議論しており、両者が入り乱れて議論するという場合は限られているように思われる。ましてや、土木の専門家と議論するチャンスは特定のミーティングに限られているのではないだろうか。ILC という巨大プロジェクトを成功させ、我が国も大きな貢献をするためにも、分野を超えた議論を進める必要があると強く感じた。

3. ワークグループ B (最終収束用超伝導磁石および冷却システム関連)

ILC 衝突点の最終収束用磁石は検出器のソレノイド磁場の中に設置される。このため、非常にコンパクトで且つソレノイド磁場との干渉が少ない磁石が必要で、超伝導磁石と永久磁石が候補に挙がっている。現時点では、その磁場の調節性が高いことから超伝導磁石が主に検討されている。この磁石およびその冷却システムに関連して数件の発表があった。主に BNL の Parker 達が検討を進めている。この磁石の特徴は、BNL が長年開発してきた Multi-wiring technique を用いるもので、比較的小電流のコイル設計であること、アクティブシールドコイルにより磁石外部への漏れ磁場を小さく抑えていること、衝突点で発生する多数の粒子の放射線照射によるコイル温度上昇を抑えるために熱伝達特性の良い超流動ヘリウムにより冷却することなどが挙げられる。磁石本体の設計についての報告は従来の発表とあまり変わらず、大きな進展は感じられなかった。2次元計算は行われているが、アクティブシールドの場合に重要となるコイル端部の3次元磁場計算がまだほとんど手つかずの状態であり、電磁力の検討もまだ初歩的段階であった。また、漏れ磁場や電磁力を小さくするためコイルの数を増やし、全体を複雑化している感じがした。アクティブシールドコイルでは計算上は良い磁場特性が得られるが、現実のものでそれを実現するには、かなりの試行錯誤が必要と思われる。冷却系に関しては、2台の検出器のプッシュプル配置に、この最終収束四極磁石及びその冷却機器をどのように対応させるかについての案、および冷却システムフローや機器 (Service cryostat) の初歩的設計が示された。冷却系においても、Service cryostat に 12 本の 1000 A 電流リードと 24 本の 100 A 電流リードが必要であったり、2 K 領域でセラミックのフィードスルーを 36 個使ったり、ガス冷却方式でない電流リードの設計となっていたり、非常に複雑で、リスクの高いものが考えられている。

BNL の磁石設計に対して、FNAL が大電流超伝導ケーブルを用いた磁石設計を提案した。大電流磁石はこの衝突点用磁石としてはあまり望ましいとは思えないが、BNL にとって、このような提案が出ることはかなりの衝撃であったようである。全体の印象としては、早くから手を付けて、仕事を確保しておきたい BNL、それに待ったをかけようとする FNAL という構図が見られたワークショップであった。また、磁石も冷却系も種々な可能性の検討を行うことが要求されているが、検討費用が無く、今後どのように検討を進めるのかが大きな課題として残った。

4. ワークグループ C

ILC 国際設計チーム (Global Design Effort, 略称 GDE) の中に、加速器の敷地と施設 (Conventional Facility and Siting, 略称 CFS) を設計するグループがあり、今回のワークショップで本ワークグループを担当した。CFS グループは、2005 年 8 月、GDE が結成されたとき、GDE の一グループとして結成された。このとき、施設エキスパートとして、アジア、アメリカ、ヨーロッパ 3 地域から一人ずつ、榎本、Kuchler, Baldy の 3 名が選ばれた。Kuchler はアメリカのフェルミ国立加速器研究所 (FNAL) の施設エンジニア、Baldy はヨーロッパ合同原子核研究所 (CERN) の施設エンジニアである。事情があってアジア代表の私 (榎本) は KEK の電子陽電子入射器を担当する「加速器屋」である。CFS グループでは、FNAL 7-8 名、SLAC 3 名、CERN 3-4 名、KEK 3 名の常連メンバーが、毎週 1 回 1 時間の TV 会議と年 3 回の ILC ワークショップで成果をまとめながら設計作業を行っている。

今回は非定例の会議で、今年 3 月北京の ILC ワークショップで発表された RDR (Reference Design Report) の中で設計が最も遅れている衝突点の部分についての検討を加速させようというものであった。昨年 7 月、バンクーバーの ILC ワークショップで初めて ILC のコストが積算され、コスト削減のために、衝突点が 2 箇所から 1 箇所に削減され、2 台の検出器を交互に使用するプッシュプル方式が採用された。ところが現在、検出器は 4 台提案されていて、検出器グループでは来年までに 2 台に検出器をまとめることになっている。これと平行して、CFS 側としては、検出器の仕様を把握して実験ホールの検討を進めるために、検出器側に施設設計の現状を知ってもらい、また、施設側の要求について問題意識を喚起してもらって情報を収集し議論する体制をつくるのが、今

回の会議の課題であった。

初日と翌日、施設設計の現状として、CFS から、以下の4件の報告を行った。

Civil Engineering Works for the Interaction Region:
John Andrew Osborne (CERN)

Utilities requirements, introduction & discussion:
Tom Lackowski (FNAL)

Life safety constraints and requirements: Atsushi
Enomoto (KEK)

Seismic requirements: Fred Asiri (SLAC)

また、水曜のWG-AとWG-Cのジョイントセッションでは、CFSグループからIRの設計グループに何を要求するか報告し、議論を行った。実験ホールの大さを決定するため検出器に必要なZ(ビーム軸)方向の必要スペース、検出器組立てに必要なクレーンの大きさ、フック先端の必要走行範囲について議論を行った。検出器がまだ絞られていない状況でCFSが検討を急ぐのは無駄のようでもあるが、全ての検出器に対応しうる最大仕様の合意をとった。このように、検出器側の報告だけになることを避けるため、発表中心のプログラムの一部を本来のワークショップ型の作業セッションに変更してもらった。その結果、現時点でホールサイズなど一部の基本仕様の確認ができ、残りの仕様を今後詰めていくための手がかりが得られたと考えている。

5. ワークグループD

ビームバックグラウンドについては、真空度要求の見地からビームガスシミュレーションの発表が行われ(Keller)、また、ビームダンプからの中性子のバーテ

ックス検出器への影響の研究(Maruyama)が発表された。IPから1.5 km以内のビームガスシミュレーションによると真空が10 nTorrの場合、バーテックス検出器に影響のあるIP付近3.5 m以内のヒットは約100 GeVの粒子がGEANT4(TURTLE)の結果で3.2(6.4)/160パンチと予想され、できれば1 nTorr程度にする事が望ましい。ただし、IP領域の真空はほとんどここでは関係しない。IP領域の真空の研究(Suetsugu)によると、10 nTorr程度ならポンプなしで可能で、それ以下ならNEGポンプが必要、更に1 nTorrならベーキングが必要だが、少なくともベーキングは必要なさそうである。

ビームダンプからバーテックス検出器にヒットする中性子は、コリメータ、BCAL、トンネルをシミュレーションに含めると、1 MeV相当の中性子で約 $1 \times 10^9/\text{cm}^2/\text{yr}$ でCCD検出器に問題が起こる量の1割程度である。ビームダンプがIPから直接見えないようにすれば更に減ると考えられる。測定器のシールドに関しては「4th」以外は問題がないようである。

FDマグネットの振動は、ファストフィードバック(FFB)が付いていけなくなるとルミノシティー劣化につながるが、発表された研究(White)によるとSD0/QD0の振動が200 nmの時、約4%のルミノシティー劣化がある。FFBキッカーの長さはさほど関係しないようである。IPにおけるHOMロスは解析的手法(Yamamoto)でビームあたりBCAL面のみで約6 Wとなった。数値計算では約100 Wとなったが(Suetsugu)これは計算に用いたグリッドがパンチ長に比べて大きすぎる為のようである。