

国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議  
高エネルギー加速器研究機構視察 概要

日 時：平成 27 年 1 月 9 日（金）10：00～15：50

場 所：高エネルギー加速器研究機構 つくばキャンパス

出席者：平野委員（座長）、大町委員、梶田委員、京藤委員、徳宿委員（KEK 側として）、観山委員、山内委員（KEK 側として）

K E K：鈴木機構長、岡田理事 他

概 要：

1. KEK の概要について、鈴木機構長から説明。

- ・中性子やミュオン等の多様な分野の実験を 1 か所で行うことができるのは、世界でも KEK のみと KEK の国際評価委員会で大きな評価を得ている。
- ・ PEP-II の中止により研究者が流出し、米国の素粒子実験分野は衰退の傾向にある。そのため、西の CERN、東の KEK と 2 極化しており、ILC に対する我が国への期待も高い。
- ・ PF にはインド政府が設置したビームラインがあり、インドの研究者が実験している。また、アダ・ヨナット教授が PF で 10 年間実験し、ノーベル賞を受賞している。
- ・ 東日本大震災の影響は、地上では大きな被害が出たが、地下では漏水等があったものの、加速器本体に大きな被害はなかった。

2. 施設見学

(1) 「入射器棟（LINAC 加速器）」

- ・ 東日本大震災では施設の想定値（500 ガル）を超える約 1000 ガルの揺れであったため、架台の変形や真空ベローズの破壊、電磁石の落下等の被害が出た。今年度中に完全復旧予定。これまで柔構造で作られていた部分は、他の施設同様、剛構造に変更しつつある。
- ・ 現在では、剛構造でも大丈夫であることが分かったため、問題無いと考

えている。約 40 年前の施設建設時は、加速器装置の設置前に、架台上に装置を乗せた上で、別の場所の専用の測定器具で装置の配置を精度よく測定した。同じ手法が取れないのは痛手だが、測定技術の進歩を利用できる部分もある。工事は入射運転と並行しながら 4 年間徐々に進めてきた。加速器のずれの測定は、性的には従来の長期線レーザーに加え、水管傾斜計や可動架台を準備し、また針金を用いた測定なども検討している。ILC においても、基本的な技術は一緒である。



- ・トンネル内の室温は $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ で調整している。米国の SLAC では空調を整備しておらず、特にギャラリーの室温が大きく変化するので、加速器の調整技術でカバーしている。
- ・東日本大震災時の 1000 ガルの揺れは気象庁のつくば市内観測器の情報。KEK 内の実際の値は不明。
- ・LINAC のクライストロンは 60 本。ILC でも同様にクライストロンを使用する。パルス幅は当施設の圧縮後の  $14\mu\text{s}$  から ILC では ms 単位と 1000 倍のオーダーとなり、また、平滑なマイクロ波パルスを作らなければならない。当施設と ILC とでは重視される仕様は異なるが、マイクロ波発生技術は一緒である。
- ・規模が大きくなると、電源系だけでも建設、調整が困難になる。

## (2) 「富士実験棟 (KEKB 加速器)」

- ・KEKB は B 中間子対を大量に生成するため、ビームエネルギーとしては B 中間子対の共鳴状態のエネルギーに設定された加速器である。これまでも衝突型加速器として世界最高のルミノシティ（衝突性能を表す）で運転してきたが、さらにルミノシティを飛躍的に高めるため、電磁石やビームパイプ等の交換により高度化を進めている。
- ・電磁石等の搬入は、地上部からトンネルへは搬入口からクレーンで降ろす。トンネル内では、エア台車と手動の小型クレーン等を用いて移動・

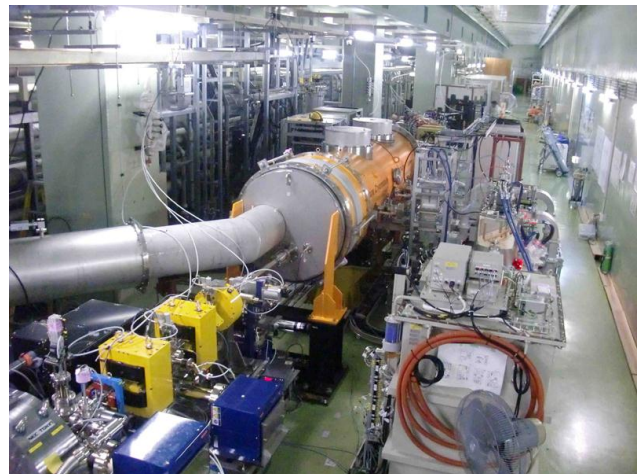
設置する。なお、冷却水パイプの交換の際には、スライド工法を採用し、できるだけ電磁石等の一時撤去をしないですむようにした。

- ・ 実験棟や直線部は岩盤にくいを打っており比較的頑丈であるが、曲線部は約 50 個のセクションが連結したような構造であり、東日本大震災の際は接合部分に最大 4mm のずれが生じた。また、トンネル内に地下水の漏水があった。地上部はさらに揺れが大きく、各種設備の被害を受けた。
- ・ 東日本大震災の際は高度化工事中だったため、ビームパイプ等はずでに大気開放していた区間が多く、揺れによる破損等の被害はあったが、真空が急激に破れることによる被害の拡大には至らなかった。
- ・ 活断層の有無については不明である。
- ・ ビーム運転中は人が入ることはない。万が一、トンネル内へのドアが開いたら、ビームは自動停止する。



### (3) 「超伝導リニアック試験施設 (STF)」

- ・ ヘリウムガスの流動を良くするために、ヘリウムガス・リターンパイプの口径を大きくし、そこに超伝導加速空洞をつり下げている。断熱のためクライオモジュール内で宙吊りとなり、その部分は全体で振り子のようになるが壊れない構造になっている。震災の際でもクライオモジュールは壊れなかった。

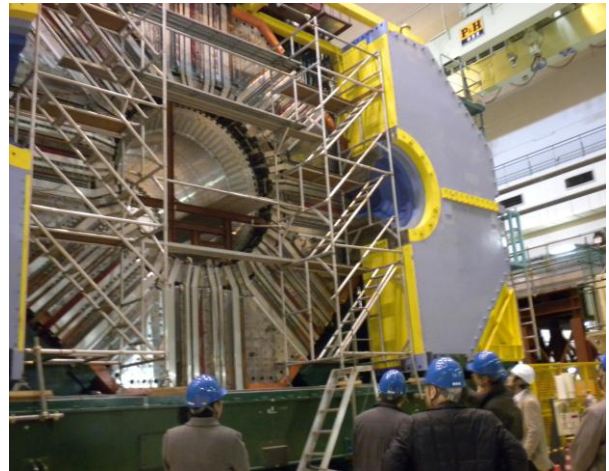


- ・ RF パワーを供給するクライストロンとクライストロン電源は 7~80メートルに 1 台設置することになるが、クライストロン電源は既存のタイプでは大きいので、SLAC において小型化が進められている。
- ・ クライオモジュールの設置において 0.01mm レベルの精度で個々を調整し、最終的に並べたものすべてが設計値から 0.3mm 以内にはいるように調整をしている。これらは地震で動かないように床に固定される。加速空洞本体は特に精密な調整をしていない。通常、加速器はミクロン単位の精度で製作するが、ILC の加速空洞はコストダウンのため 1 枚板をプレスし張り合わせて電子ビーム溶接をし、最終的に軸進捗度と共振周波数のみを専用の調整装置で調整している。
- ・ 調整装置本体は DESY、オペレーションソフトは FNAL で技術開発が行われている。
- ・ 加速空洞は、三菱重工が最も多く製造でき、東芝、日立も製造できる。その他、米国、ドイツ、イタリアで各 1 社ずつ製造できる企業があり、既に工業化が進んでいる。
- ・ 加速空洞の性能試験は各施設で 1 週間に 8 台程度までなので、全世界で共同して行う ILC の加速器製造には 10 年かかる。超伝導加速空洞の製造に必要なキーテクノロジーは、電子ビーム溶接技術、電界研磨技術及びクリーンルームでの無塵組立て技術。
- ・ クライオモジュールの組立て場所は ILC 建設地の近隣が良い。海外からは組立て後のクライオモジュールが持ち込まれるので、クリーンな保管場所が必要になる。
- ・ クライオモジュールは 1 台 10t、12m で 1700 台設置する。トンネルは幅 5m、高さ 5m 程度。大型冷凍機ステーション 1 台で 2.5km の長さのクライオモジュールを冷却し、10 か所に冷凍機ステーションを設置する。液体ヘリウムの使用量は約 63 万リットルで、LHC の 63%。これは LHC が質量の大きい超伝導磁石の冷却であるのに対して、ILC が質量の小さい超伝導空洞の冷却であるため、使用量を抑えることができるためである。



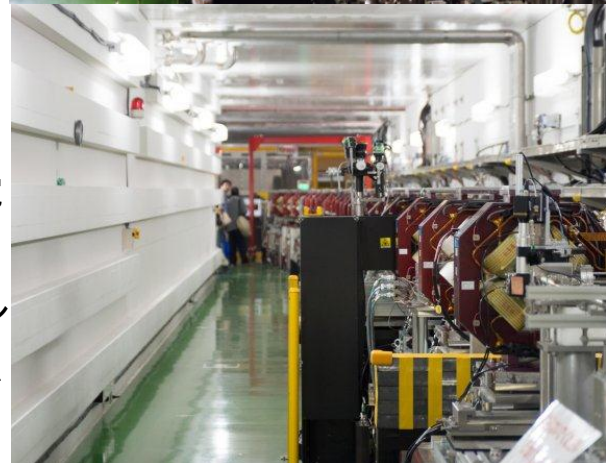
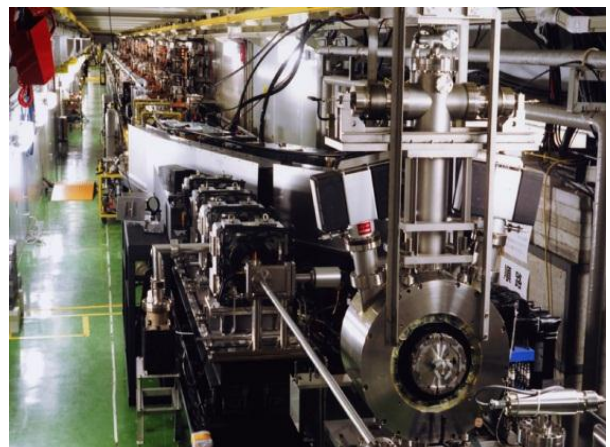
#### (4) 「筑波実験棟 (B ファクトリー)」

- ・ 来年度よりビーム運転の第 1 フェーズを開始。その間に Belle II 測定器を最内部の検出器を除いて完成させる。
- ・ 震災時は測定器が台車ごと移動し、台車と床を固定していたボルトが破損したが、測定器本体は無事だった。
- ・ 測定器は各パーツを世界中で製造し、KEK で組み立てている。
- ・ 高度化後の測定データは KEKB の 40 倍で、現在の ATLAS と同程度である。



#### (5) 「先端加速器試験施設 (ATF)」

- ・ ATF では、10 年前にダンピングリングの研究開発により ILC に必要なレベルの低エミッタンスの高品質ビームを実現した。この高品質ビームを利用し、ILC のみならず他にも応用できる加速器技術を開発している。また、国際協力で設計・製造した ATF2 においてはナノメートルビーム絞り込みの技術開発を行っている。
- ・ ILC でのナノメートルの電子・陽電子ビームの衝突を維持するために、地盤振動などによるビーム位置ズレの補正が必要になる。ILC のビームは約 2000 個のバンチからなる。ビームは光速で進み地盤振動の周期より早いため、バンチ列全体がほぼ一様の揺れを受ける。先頭のバンチ位置からズレを検出し、後続のバンチ



を電磁場で補正する。これをバンチ間隔（300ns）で高速に行う実証試験が進められており、現在までに応答時間 140ns でバンチ位置のズレを 1/5 に低減する技術を実現している。

- ・ ATF2 の最後、ILC 衝突点に相当する場所ではレーザーの干渉縞を利用して、絞り込んだビームの大きさを測定している。最終目標の 37nm（ILC では 6nm に相当）に対して 44nm まで実現している。
- ・ ATF を運転しているのは年に半分。運転していないときは開発しているビーム診断・制御装置の組み込み、改造および調整を行っている。

#### (6) 「フォトンファクトリー (PF)」

- ・ 年間約 3,000 人（27,000 人日）が利用しており、最近では産業利用が増えてきている。X 線なら非破壊で物質を観測することができる。
- ・ 学術利用は無料、非公開の産業利用は 1 時間約 2.7 万円、高性能ビームラインの場合は 1 時間約 5.4 万円。



- ・ SPring-8 と両方使う人もいるが、互いに波長領域が異なる。なお、SPring-8 は狭い範囲に多くの放射光を当てることを得意としており、X 線の総量としては PF の方が上である。
- ・ 初めて利用する人には講習会を開いている。利用者は昔は放射光そのものの研究をする人が多かったが、最近はツールとして放射光を利用する人が多い。

### 3. 意見交換

- ・ ILC を既存の科学技術予算の枠内で行うのは不可能である。必ず他の研究者の反発を招くことになる。
- ・ OECD の GSF においては、LHC と ILC を同時に実施すべきと発表している。ILC では追加で予算が増えないように、ITER の例を踏まえて 2012 年に TDR を作成している。
- ・ 企業における加速器の製造ラインの設備投資が難しいことが懸念されて

- いる。KEKが中心となって、共同製造組織を作ることも考えている。
- ・震災の際の漏水で高アルカリ性だったのはJ-PARC。原因は海水が流入したためである。
  - ・FAIRにおいても、技術が確立する前に事業を始めたことが原因で事業が止まっている。
  - ・最近の企業は投資回収のスパンが早く、長期展望に立つ開発研究が難しい。企業における中央研究所の廃止は日本、米国共通である。このため、KEK内に複数企業の分室を設置して、KEK職員と共同で技術開発を行う多企業参画ラボを立ち上げた。
  - ・ILCは第一フェーズが30年、第2フェーズが30年で計画されており、約1世紀のプロジェクトと言える。
  - ・30年後、日本の経済がどうなっているかは分からない。人口の減少も考えられる。
  - ・海外からの人材登用も考えるべきである。
  - ・国際共同研究が増えるなかで、政府間交渉においては国際的なコーディネーターが必要になる。KEK等において人材を育成すべきである。
  - ・研究開発力強化法の、年間3億円の支援で人材育成を進めている。
  - ・ヨーロッパでは、ファンディング・エージェンシーのトップが研究者である。また、米国では政府職員に研究者がいる。
  - ・文科省が国際的にアピールするために、ILCの準備のための予算をいくらかつけるべきである。

以 上