

10月11日付け追加質問に対する回答

平成30年10月15日

KEK ILC推進準備室

10月11日付けで受け取りました追加質問5件について、以下のように回答いたします。囲みの部分が今回の回答部分です。

(1) ズレが見えなかった場合

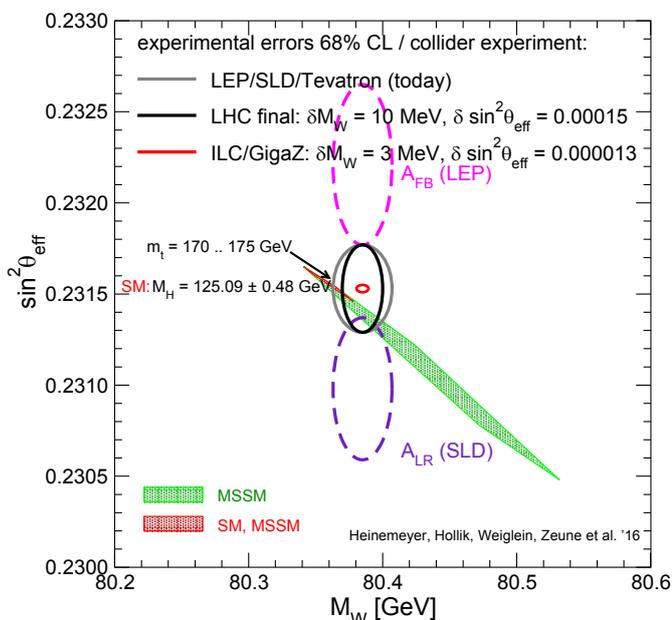
ズレが見えなかった場合、ズレが本当はないことを確かめるため、エネルギーを下げ LEP/SLC で行われた Z や W の精密測定を1000倍の統計でやり直しズレを探す。

「ZやWの精密測定」とは、具体的に何を測定し、LEP2の結果に比べてどういう違いが表れる／現れないことを想定して実験するのか説明していただければ幸いです。

ILCにおけるヒッグスの精密測定において標準模型からのズレが見られなかった場合、次の段階では ILC のエネルギー拡張性を活かして ILC のエネルギーを増強し、まだ行われていないトップクォークの精密測定やヒッグスの自己結合の測定を行い、ズレを探すことが最も重要である。LEP/SLC で行われた W/Z の精密測定を 1000 倍の統計でやり直すのは、それでもズレが見えない場合の最終確認である。

W/Z の精密測定では、電弱精密測定量 (EWPO) と呼ばれる一連の物理量を測定する。EWPO には W/Z の質量、W/Z の全崩壊幅、トップ質量、電子・陽電子衝突でのレプトンおよびクォーク対生成断面積およびそのビーム偏極依存性、ワインバーグ角等がある。標準理論を超える物理の効果は EWPO の測定値を標準理論でフィットした際の、フィットと測定値のズレとして現れる。

図は、横軸 W 質量、縦軸ワインバーグ角 (の sin の自乗) で、2016 年時点での状況 (グレーの楕円)、中心値が動かないとの仮定のもとに、HL-LHC 終了時点に期待される状況 (黒の楕円)、さらに ILC で Z ファクトリー実験を LEP の 1000 倍の統計で行な



った場合の状況（赤の楕円）を表す。緑の領域は最小超対称性理論（MSSM）の場合の許される領域、赤の細い線に見える領域は標準理論（SM）とMSSMが重なる領域である。この例では、標準理論も最小超対称性理論も排除されることになる。中心値が動いて緑の領域に入ってくれば、MSSMの理論パラメータに関する情報が得られる。

(2) 技術的困難やトラブルの可能性に関する考察

建設や製作途上での技術的困難が生じることは、これまでの加速器でも経験されている。すべてを網羅的に事前に予測するのは困難で、想定外の問題についてはその都度検討を進めて工期の短縮とコストの削減を図ることになる。その際に重要なのは過去の経験・蓄積であり、ILCでの15年の開発研究とEuro-XFELやLCLS-IIでの経験や規模が同程度のLHCの経験も大いに助けになると考えている。

「すべてを網羅的に予測せよ」などという無茶なことを言うつもりはありません。TDRのシナリオの中で達成に困難が伴う箇所は、推進者が一番よく知っているはずであるし知っていなければならぬと思います。その検討状況を知りたいのです。

ILC-TDRは、建設地などの基本条件が決まっていない段階、そして、実現に向けた準備期間に入る前の段階で、国際協力によって、技術的に建設可能であることを示す為にまとめられている。実現に向けた政府の方針が示された後、TDR後の4~5年間に準備期間に予算を伴って詰められるべき課題も明記されている。この点については、過去の国際的な技術レビューやコストレビューでも議論が重ねられており、これまでビームダンプ、陽電子源、SRF工業化準備などが課題として挙げられている。

ビームダンプ：これまでビームダンプの設計が進み、ビーム窓の厚みや冷却水の条件などについて250GeV ILCにあわせてシミュレーションで最適化を行っている。準備期間には、ビーム窓の設計試作、加圧試験やビーム窓の遠隔操作による作業設計などを進める予定である。

陽電子源：ベースラインとしてアンジュレータ型をバックアップとして電子駆動型を検討してきた。両者で共通の要素である回転ターゲットについて研究開発を行っているが、準備期間では回転ターゲットのプロトタイプ作成と陽電子源直後の磁場による収束系の開発を進めるとともに、準備期間の2年目までにはどちらの方式を採用するか技術選択を行う。

SRF工業化準備：現在はコスト削減のための研究開発を進めており、来年度までに効果を見定める。そのうえで、準備期間には空洞などの量産技術の確立、ハブラボ機能の整備などを進める。（9/13の資料1、P. 86~94）

(3) 緊急時の対応について

地震については、9/13分科会資料1P. 2に記載した通りであるが、緊急地震速報を用いた時

の自動停止などを組み込むことでさらに安全性に配慮していきたい。

停電・地震等のトラブル発生時の対策はタイムスケールに応じて

- (1) 瞬時（マイクロ秒～ミリ秒）： ビームの緊急自動停止、
- (2) 即時（数分～数時間）： 作業員の安全確保、火災発生防止、真空劣化対策
- (3) 次の段階（数日間）： ヘリウム蒸発対策、漏水対策

となると思われます。

種々のモニターや安全装置は、「電力で作動するもの」と「停電時に圧空で作動するもの」に大別されると思います。多重の安全装置が必要ですが、安全システムが複雑多重になればなるほど誤報や誤動作が起こる可能性も増します。実際、大きなプラントで、誤報が頻発することを厭って作業員が安全装置を手動で止めてしまって大きな事故につながったケースも耳にします。どのような安全システムを設計しているのかを知りたいと存じます。コンピューター制御で自動停止等を行うもの、運転員の判断によるもの、圧空等による自動作動によるもの、の区別を含めて。

「緊急地震速報」を利用するのは結構だと思いますが、そのみに頼るのでは脆弱なので、地震で地震速報が届かなかった場合の緊急停止も必要でしょう。

ビームを出すための状況がすべて整っている時（ビーム許可状態）のみ、加速器を運転することが可能である。これは、すべての安全にかかわる条件を満足（たとえば加速器トンネルが無人かつドアが閉状態など）しビーム運転をするための機器や緊急停止するための機器が健全である場合に相当する。機器やドアからの健全信号 ON（停電の時は OFF となる）の論理積で、停電の際にはビーム不許可状態となる。

また、各機器には電源を維持するための電圧信号が中央制御室から与えられている。この印可電圧をゼロとすることで機器を停止することができる（緊急停止）。加速器制御室等に設けられた緊急停止ボタンを押した場合だけでなく、停電により中央制御室から電圧信号が出力できなくなった場合も全機器が停止する。（安全方向の自動停止）

ビームラインの真空バルブ、高圧ガス機器の配管バルブ、安全弁のように圧空あるいは機械ばねで動作するものは、停電時あるいは異常時に機器の安全を確保するために閉まる（または開く）。全て、停電時は安全を確保すべく動作する。（これらは自動復帰しない。）

運転員が変更できるのは機器の安全動作範囲に限られる。機器異常の状態になるような操作を運転員が行っても、変更は受け付けられない。また、放射線安全インターロックの変更は審査許可が必要であり、かつ定期的に動作検査が義務づけられており、安全教育の徹底にも務める。全ての異常は記録されるため、その都度、症状と対応について安全部門に報告を義務づけることで不適切な対応は避けられる。

停電時は、非常用電源が自動的に始動。重要機器（非常灯、排水、ヘリウム回収）のための

通電を自動的に開始する。長期停電時、湧水は排水路水位の上昇に伴い自然流となって測定器ホール到達し、安全担当責任者が安全を確認の上、下流河川に自然排水される。

機器の動作については、10/2分科会資料4のP.8,9、10/2分科会に提出の追加説明にまとめられている。大規模加速器における安全設計は30年以上の経験と実績に基づいており、LHCやJ-PARC、SuperKEKBなどでも同様の設計となっている。

	ビーム・放射線	制御機器	高圧ガス設備	排水
地震*・停電時 アクション	ビーム機器停止 放射線発生停止	安全確保	安全確保 He 資源保全	安全確保 排水
直後	非常電源(UPS)	UPS 及び 圧力空気	同左	同左
数分～数時間又 はそれ以上	非常発電機	同左	同左	同左
非常電源の燃料 が枯渇した場合	停電時・機械パネ の初期状態	同左	He 保全後、ガス として備蓄	自然排水

ノート：

地震対応*：

・ILC 安全制御システム内モニターで、一定の震度レベル（例として震度 ≥ 4 ）を検出した場合には、安全制御インターロックとして、ビームを自動停止する。基本的には、停電時と同様の対応となる。地震速報は、様々な安全に関する電子情報の一環として受信することから、上記のハードウェアロジックを補完し対応するアクションとなる。

電気/圧力空気によるアクション：

ビーム ON/OFF、対応可能なシステムには電気信号で対応する（単純な機械式パネ対応の安全弁などを含む）。真空システム・ゲートバルブ、ヘリウム冷凍機、排水ポンプなどにおける制御弁などについては、停電時（数時間）にも、備蓄されている圧力空気によって、安全確保を最優先とする開閉制御を行う（大型プラント機器設計の基本に沿う）。また圧力空気も枯渇した状況も想定し、全ての電力、圧力空気が喪失した状態として、制御弁の ON/OFF が安全サイドとなるように究極の初期状態を、設定する。

自動/手動アクション：

・加速器ビームは電気信号によって自動的に停止され、結果としてビームに伴う放射線発生は自動停止する。高周波電源、磁石電源、高圧ガス設備・冷凍機システム、排水システム・ポンプなどの電力機器は電磁開閉器などを介して、自動停止となる。運転員の判断によるハードウェアロジックによる機器停止は常時対応可能。瞬時電圧降下・停電（ ~ 0.2 秒程度）を超える停電時には、これらの機器は一旦自動停止する。

・復帰は運転員による安全確認（必要に応じて現場での安全確認を含む）を経て、手動復帰する。

(4) 予算に計上されていないもの

TDRで具体的な経費がされていないものは、土地取得経費、海外研究者の生活環境の整備、アクセス道路、建設廃棄物処理、湧水処理設備、電力引込みや受変電設備のES事業

化、低圧電源設備（中間変電設備の一部）、ライフライン等のインフラ、物理解析用計算機センター等の経費である。

TDRにリストアップされていなくても、計画の実施に必ず必要になる諸事項を具体的にリストアップし、経費の見積もりとそれらを負担するセクターに関する情報を提示したうえで誘致候補地域における合意形成に臨むべきではないかと考えます。

ここに挙げられた事項について、諸経費の算定が行われているのであれば、示していただければ幸いです。

上記の項目のうち、サイトに依存する部分については、モデル地区が確定したのちにしか算定できないものも多い。算定可能なものについては、8月20日分科会の資料7（非公開資料）のP. 21、及び10月2日分科会の資料1-1のP. 45にて報告されている。

(5) 必要人員について

KEKのILCアクションプランでは日本で加速器人員を122名にする想定で、毎年15-20名程度の人員増に相当する。KEKでは1980年代に毎年50名規模で職員数が増加していた。

「KEKのILCアクションプランでは日本で加速器人員を122名にする想定で、毎年15-20名程度の人員増に相当する。」というのはどういう意味か分かりませんでした。ILCの実施の際には、1980年代のような大幅人員増を前提としているのでしょうか。

KEKアクションプランでは、加速器研究者・技術者について現有の42名から徐々に増やし準備期間の4年目には122名とする、すなわち計80名の増員を図る提案となっている。この増加分のうち50-60名はKEKにおける現行の高エネルギー物理学研究プロジェクトから段階的に移行して行くことが可能で、残る20-30名は新規雇用、企業への業務委託などによる増員が必要である。（10月1日山内参考人説明資料3-1 P. 16参照）