

国際リニアコライダー計画の見直し案に関する検討委員会（第1回）
国際リニアコライダー計画の見直し案に関する検討委員会 技術検証分科会（第1回）
合同会議
議事録

日時： 平成30年8月10日（水）10:00～16:15

会場： 日本学術会議 大会議室（2階）

出席者： 小林委員 上坂委員 梶田委員 家委員会委員長 米田委員会副委員長・分科会委員長 西條委員会幹事・分科会幹事 田村委員会幹事 永江委員 嘉門分科会副委員長 田中委員 中静分科会幹事 望月委員

参考人： 藤井恵介参考人（リニアコライダー・コラボレーション(LCC)物理作業部会共同議長・高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所教授）

道園真一郎参考人（高エネルギー加速器研究機構加速器研究施設加速器第六研究系主幹）

中田達也参考人（リニアコライダー国際推進委員会(LCB)議長・スイス連邦工科大学ローザンヌ校教授）

千原由幸参考人（文部科学省大臣官房審議官（研究振興局担当））

中野貴志参考人（大阪大学核物理研究センター長）

横溝英明参考人（一般財団法人総合科学研究機構理事長兼中性子科学センター長）

事務局： 犬塚参事官ほか

議題1. 委員長・副委員長・幹事の選出

- ・事務局より定足数の確認が行われた。
- ・席順に各委員の自己紹介が行われた。
- ・委員会委員長の選出が行われ、家委員が委員会の委員長に選出された。家委員会委員長から、委員会の副委員長に米田委員、幹事に西條委員、田村委員が指名された。
- ・委員会の議事録については事務局が作成し、委員長確認の後、各委員に送付し、次回委員会で承認することとなった。
- ・分科会委員長の選出が行われ、米田副委員長が分科会の委員長に選出された。米田分科会委員長から、分科会の副委員長に嘉門委員、幹事に西條委員、中静委員が選出された。
- ・分科会の議事録については事務局が作成し、委員長確認の後、各委員に送付し、次回委員会で承認することとなった。

議題2. 委員会・分科会の設置理由説明

・資料1～3に基づき、事務局から説明が行われた。

議題3. 参考人ヒアリング

(1) 「250GeV ILC の物理の意義」(藤井参考人)

・資料4に基づき、藤井参考人から説明が行われ、その後、次のとおり意見交換が行われた。

家委員会委員長: LHC の実験を踏まえて設計変更されたということで、プライマリーには、ヒッグスファクトリーとして標準理論からのズレを検出するというのがターゲット。17 ページに質量とヒッグス結合の比例関係の図があり、それが一番大事な図かと思うが、この点線はどうやって決めたものか。

藤井参考人: 計算というか、標準理論の予言。

家委員会委員長: 比例係数は、計算でどこまで出ているのか。

藤井参考人: 比例係数というのも決まっている。ヒッグスが真空中にどれくらい充満しているかという量に対応するもの。

家委員会委員長: 不確かさはどれくらいあるのか。

藤井参考人: それは非常に高い精度の数値。

家委員会委員長: 「全体に下にズレる場合」という説明があったが、それがどのようなことを意味するのかがわからない。比例係数が決まっていない場合、全体に下にズレたら0%の線そのものが下にズレるのではないかと思うが。

藤井参考人: 今日説明できなかったが、ILC のヒッグス結合の測定の非常に強力な点というのは、結合定数の(相対値でなく)絶対値が測定できるということ。(ILC で使うのは)電子と陽電子がぶつかってZ とヒッグスができるという反応だが、一般にLHC でやっていることはヒッグスを探すこと。ヒッグスを探すということは、ヒッグスを見ようとするということだが、ヒッグスを見ようとするということは、例えば、ヒッグスが暗黒物質に崩壊してしまったりするとその部分は見えなくなってしまう。そうすると、その分結合定数を絶対的に測定するということができなくなってしまうわけだが、ILC の場合は見えない崩壊モード等も含めて、結合定数の絶対値を全部決めることができる。

家委員会委員長：そこは理解しているつもりだが、比較の対象となる「標準理論の予想」という部分で、0%のラインは計算で決まっているのか。

藤井参考人：計算、実験というか、これまでの標準理論を確立する過程で決まっている真空中に凝縮しているヒッグス密度。これはヒッグスの発見前からわかっていたこと。

家委員会委員長：そこには不確かさはどのくらいあるのか。

藤井参考人：先ほどの1%の精度よりもはるかに良い精度。

家委員会委員長：図のエラーバーは、積算ルミノシティで2,000 インバースフェムトバーン (fb^{-1}) の場柴で、積算ルミノシティの量に対して square root で変化するという理解でよいか。

藤井参考人：そうだ。あるところまで行くとシステムティックス（系統誤差）が効いてくるが、まだ2,000 インバースフェムトバーンの段階では、統計がドミナントなので、そこは square root に効いてくる。

永江委員：ここでは3つのパターンが示されているが、3つしかありえないと思われているか。ここに描かれてないパターンになった時には、この実験でそれをつきとめることができるということか。

藤井参考人：これはジェネラルに、この絵（一番左の図）は超対称性の場合で、ボトム（b）とタウ（ τ ）が同じ割合でズレている例をあげているが、このズレのパターン、ズレの絶対値が微妙に違うというのにはあり得る。それはモデルのパラメータの詳細な違いによる。大きな特徴として超対称性の場合には、ボトムやタウなどいわゆるダウンタイプの物質粒子といわれているものだけに上向きのズレが期待される、そういう特徴を持っている。複合ヒッグスの場合にも、ズレる量というのはモデルパラメータを変えると変化するが、一般に全部下がるという特徴を持っている。そういう意味において、大きく3つの道がわかる。その上で細かいパターンが見えてくると、さらに細かくそういうタイプの模型の中でどういう模型かということまでわかる。これは説明が難しいのでお見せしなかったが、バックアップの中にあるこの絵は、いくつかLHCでは見えないという模型を先ほどの3種類のタイプから選んできて、その3種類のタイプから選んできた9つのモデルに対して、そういうものがILCで区別できるかということを表した図。わかりにくいですが、ここに書いてある数値は、縦軸横軸が各々モデルに対応していて、お互いに何シグマで分離できるかを示したものであり、250GeVのILCでも、ところどころ3シグマ以下でしか分離できないところもあるが、

ほとんどの場合、LHC で探索できないような新しい物理に対して、模型の特定までやれるということが言える。

杉山委員:3つの可能性のうち超対称性と複合ヒッグスの2つは標準理論からのズレが見えるので確かにノーベル賞級の発見だが、最後のズレが見えなかった場合、「複数宇宙」というのは人間原理の話だと思うのだが、これは標準理論がもうそれでいいということにこれだと見えてしまうが、そうすると、例えば将来100TeVの加速器を作る必要はなくなるという話ではないのか。あくまでもこれで測れるレベルの中で標準理論が正しいということに過ぎないのではないか。

藤井参考人:それはもちろんそうだと思う。ただし、もしILCの測定精度をもってしても、一切標準理論からのズレが見えないというような事態が起きた場合には、例えば見るべきところは、標準理論が実際どのくらい高いエネルギーまで成り立ち得るのか、そういうようなことを調べることになると思う。その時に重要なのがトップクォークの質量ということになる。それに関しては、やはりこれもLHCでの研究の進展が大きいのだが、トップクォークの質量がLHCでもかなりいい精度で測れるようになってきたということがあり、真空の安定性が判定できる。標準理論の宇宙というのは完全に安定ではない可能性があり、それがトップクォークの質量を測定することで判定できるということが知られているので、それを測定する。それで標準理論があるところで不安定になり破綻することがわかれば、それは標準理論がずっと究極理論のところまでつながっているわけではないことがわかる。そうではなくて、安定と準安定のギリギリのところにはびったり合うという場合には、そのことを確かめる測定をすることになるだろう。それから、何もヒントが得られない場合には、わかっている粒子に関してもっと詳細に調べるということになると思うので、W粒子とかZ粒子については以前CERNでも実験したが、千倍のルミノシティがあるので詳細研究をやるなど、とにかく基本的なスタンスとしては、標準理論の破れをできる限り探すということになると思う。

杉山委員:私が聞いたかったのは、標準理論とのズレがないというのは一番つまらない結果かもしれないが、その結果が素粒子実験の将来に対して大きな影響を及ぼし得るのかという点。

藤井参考人:私としては、ズレが見えないというのは一番驚くべき結果。例えば、ILCでのニューフィジックス(新しい物理)への感度というのはモデルによるが、見えないということでもって、ニューフィジックスに対するリミットが得られる。(新しい物理のエネルギー)スケールのローワーリミット(下限)がつけられる。典型的な複合粒子模型だと、例えば、3TeVから、模型によっては10TeVとか15TeVまでのリミットがつけられるので、逆にい

うと、もし次の加速器を作るとすると、そのエネルギーを設定する際に重要な役割を果たすと思う。

田村委員会幹事：聞きたいことはだいたい今の話で聞けたが、私もやはりそこが一番気になる、わかりにくいところ。例えば 17・18 ページの図表で、これくらいの精度で今の典型的なモデルだとズレが見えるでしょうという話だが、モデルも色々なパラメータで色々あり得ると思う。藤井先生は、ILC の精度でも全くズレが見えないパターンはないだろうとおっしゃったが、それが何でそうなのかというところが一番わからない。どんなに理論の方が頭を悩ませ考えても、超対称性だったら必ずこの程度はズレが発生するはずだという感覚があって、それを圧倒的に超える精度で ILC では測るので、もしズレがなかった場合、もうそういう超対称性といっている今までの考え方はダメであるということがいえるといってしまってよいのか。

藤井参考人：超対称性がそもそもどういう経緯で考え始められたかということ、非常に強い動機のひとつが、ヒッグスがなぜ宇宙に充満したかということと、それが宇宙誕生から 100 億分の 1 秒後、エネルギーでいうと 250GeV、(さらに正確には) 246GeV という密度で真空中に充満したかというその理由を説明するというのがひとつの大きな動機だった。それをうまく説明するためには、超対称性粒子の質量があまりに大きいと、説明できなくなるということが理論的に知られていて、例えば LEP を作れば、必ず超対称性粒子は見つかるだろうと思われていた。超対称性理論というのは非常に美しい理論なので、昔からファンが多かったが、LEP を作ったけれども見つからなかった。さすがに LHC を作れば見つかるだろうと思われたが、まだ見つからなかった。ということで、一部の人たちは超対称性に対する信念が揺らぎかけているが、まだヒッグスの質量が 125GeV だったということをうまく説明できるような超対称性モデルは残っていて、それがまさに先ほど説明した、私個人の信念だが、LHC の死角にあるヒグシーノが一番軽い超対称性粒子である暗黒物質であるような超対称性理論。その場合には、ヒグシーノの質量は高々 300GeV 程度までであると考えられていて、その場合には、250GeV ILC で直接生成できなかったとしても、物質粒子の対生成みたいなものの中にその効果が見えると考えられる。なので、特に超対称性で自然さというか、100 億分の 1 秒後にヒッグスが宇宙に充満したことを自然に説明できる理論の場合には、ズレるだろうという確信がある。複合粒子の場合には必ずしもそうは言い切れない部分があるが、超対称性の場合にはかなりそういうことが言える。

田村委員会幹事：逆にいうと、超対称性でない場合、全然別の考え方ということで複合ヒッグスもある。あるいは、まだ理論家の方が思いついていないような全く違う理由で起こっていることももちろんあり得る。そのような場合には、標準理論からのズレがものすごく小さいかもしれない。ここに出てきているモデルは今既に挙がっているモデルなわけだが、今ま

でも、あるだろうと言われてきたものを探したが見つからなかったということがあって、そもそも自然・サイエンスはそういうものなので、探しても見つからないということもあるかと思う。人によってあると思って探しているわけで、探してもない可能性というのをどの程度考えているのか。

藤井参考人：この分岐は、ある程度論理的な分岐というか、「時空概念の拡張」と書いてあるもの（第1の道）はヒッグスが素粒子である場合に対応する。素粒子は全て、コマみたいに自転する性質を持っているが、ヒッグスだけは自転していないという特別な粒子。その自転していない、スピンのゼロであるというのが、ここでいう超対称性。世の中にはスピンゼロの素粒子がたくさんあるという場合だが、それに対して、本当は自転しているが、余剰次元の方向にスピンしているので、普通の四次元時空から見るとスピンしていないように見えるだけなのだというのが、この余剰次元の考え方。そうすると、素粒子であるというのがこのケース（第1の道）になって、そうでない（素粒子でないという）のがこのケース（第2の道）。この場合（第1の道の場合）には素粒子であってしかもスピンゼロの粒子がたくさんある、ヒッグスに他の仲間粒子がたくさんあるというケース。残りのケース（第3の道）はそれ以外の場合、つまり、素粒子なんだけれどもヒッグスがひとつしかないように見えるケースということ。

米田委員会副委員長・分科会委員長：9頁・10頁だが、日学で前回審議した時は30kmの長さで500GeVという形で審議されたとうかがっている。その時は目的が「新素粒子の発見」といった言葉が並んでいたと思うが、まだ5年しか経っていないのに、見直し案が提示された時には、赤い文字で「LHCで探索領域に簡単に見つかる新粒子はない。500GeV ILCでの新粒子発見の可能性は下がった。」と結論づけられている。5年前にこうだといったものが5年後に修正されているわけだが、たった5年間でこうも変わってくるのであれば、これからILCを作っていくのに建設10年、運転20年といわれているが、また5年経てば今の話が実は調べるとこういうことが違っていたということが起こることがあり得るのではないか。

藤井参考人：この5年というのは非常に違っており、LHCでヒッグスを見つけるまでの実験というのはエネルギーが低かった。それが8TeVから13TeVに大幅にエネルギーが上がったことで、そこで新粒子が発見されることを皆期待した。おそらくこの段階で、多くの人は超対称性粒子が見つかるだろうと思っていたが、そういう意味では5年やってみたものの、LHCの実験で期待に反して超対称性粒子は出てこなかった。これはものすごく大きなこと。ネガティブな結果というのは世間受けは悪いが、科学的には理論の可能性の方向が絞られてくることを意味している。素粒子物理学全体にとっては見つけれなかったことを残念に思うが、もし超対称性粒子がLHCで見つかったとすると、見つかったということだ

3つの道については超対称性で決まり。ということは3つのうちどれに行くか、その最も重要な課題を解決するという榮譽をLHCに持っていかれてしまい、ILCはさらにその方向で新しいものをもっと詳しく決めていくという作業になるが、ILCの推進者としては、いい方には語弊があるものの、見つからなかったのはある意味ビッグチャンスといえる。これでもし(ILCでズレが)見つかってそのパターンから超対称性だとか、あるいはもっと深い解答があるのだということがわかれば、その道を決める一番大きな課題に答えるという大きな榮譽が転がり込んでくるというビッグチャンスになり得ると思っている。

嘉門分科会副委員長：全く素粒子の枠外の者だが、今日の話を知ると、ILCの肝の成果は、そこに書いてあるようなヒッグス粒子の精密測定をやること理解了。そのためには、21頁にあるように、運動量の分解能の精度を高める、それから細密度を100倍から1,000倍に引き上げる、そういう高性能測定ができるので今の成果が出るということだが、そこに書いてあるように、開発設計が今進行中だと。ILCができなければこの測定器はいらないということかもしれないが、ILC計画というのは20年、30年近くが経過していて、今もこの測定器の開発が進行して、(進行し)なければ、今の精度がズレる、ズレないという、精度そのものが保証されないのではと思う。開発・建設に10年としても、その間にできる保証はあるのか。

藤井参考人：測定器の開発には段階がある。最初は原理実証の段階があり、次にある程度大型のプロトタイプを作って、その性能実証をするという段階がある。最終的にほとんど実機に近いサイズの大きなプロトタイプを作って、完全に建設する段階に至る。その最後の段階というのが、基本的にできるということは全部クリアした上で、いかに安くローコストで作るとか、エンジニアリングの部分を主にした最後の詰めのような設計をやって、まさに設計図を見せてすぐにできるという段階に持っていくというレベルになるわけだが、我々がやっているのはその最後の段階。測定器の技術という意味では既に実証され、お金をいただければ必ず作ることができる。

嘉門分科会副委員長：測定器の開発というのは、そういうスケジュール通りに行くとはとても思えない。それが最終段階に至っているという理解でよろしいか。

藤井参考人：そう。技術上はできる。測定器がショーストッパーになることはない。

家委員会委員長：別のことで、陽電子生成に関して、アンジュレータ方式とコンベンショナル方式とどちらにするかということだが、仮にアンジュレータ方式がうまくいかなくて、偏極ビームが得られないという場合には、物理として何を諦めることになるか。

藤井参考人：250GeV で一番大事なのは、ヒッグスの精密測定ということになる。ヒッグスの精密測定に対して、陽電子の偏極がないということのインパクトはほとんどないということ。仮にアンジュレータ方式が最初に間に合わなくて、最初は普通のコンベンショナルな陽電子源でスタートすることになったとしても、ヒッグスの精密測定に関しては支障ない。ほかのほとんどのものに対しても支障はない。陽電子の偏極が本当に重要になるのは、いったん新粒子が見つかって、それを特に超対称性粒子を調べようという時。その理由は、電子と陽電子が消滅するという反応の場合には、電子の偏極を決めてしまうと、そういう電子と消滅できる陽電子の偏極は自動的にひとつに選ばれてしまうから。仮に電子を 100% 偏極させることができたとする、反応する時の陽電子の偏極というのは自動的に決まってしまう。その場合の陽電子が偏極しているかしていないかの違いというのは、もし偏極していないとすると、例えば右巻きに偏極しているものと、左巻きに偏極しているものと半々陽電子がいたとすると、そのうちの半分は衝突に使えないという、そういう意味でビーム強度は損するが、測れる反応そのものに差はない。

梶田委員：申し訳ないが、ヒッグスを測って標準理論からのズレがなかった場合、それが何で「複数宇宙」なのかというのがわからない。そこらへん教えてもらえるか。

藤井参考人：それが唯一の可能性ではないが、ひとつの可能性として、全然ズレがないということの説明する可能性として、複数宇宙があるということ。もし標準理論がこのままずっと宇宙誕生の瞬間、究極理論に直結しているとする、ヒッグスの質量が 125GeV である、あるいは宇宙誕生から 100 億分の 1 秒後にヒッグスが宇宙を満たしたということの説明するのが物凄く難しくなるというか、凄まじい偶然の下にそれが起こったと考えざるを得ないということになる。その凄まじい偶然が実際に起こっているということの説明するために、宇宙が無数に存在して…。

梶田委員：そうはいつでも、別に他の道だからといって宇宙が複数あるということの否定はできないような気がするが。

藤井参考人：それはもちろんそう。ほかの道でも宇宙が複数ある可能性はあるが、とりわけこの場合（第3の道の場合）には、人間原理的なものを持ってこない、ファインチューニング（微調整）という微妙なバランスを説明する方法がない。一方この道（第1の道、第2の道）とかの場合は微妙なバランスは必要ない。ある意味で人間原理を、ヒッグスがなぜ宇宙を満たしたかという質問の答えには使う必要はない。それは理論で答えが示せるということになる。

家委員会委員長：私もそのところは一番引っ掛かっていて、第三の道の時に人間原理を持

ち出してくるとというのは、何かもうお手上げということにならないのか。次にどこに進むのか。先ほど出たトップクォークはどのくらいのエネルギーで、どのくらいの精度で測れば、次の何かがいえるのか。

藤井参考人：今は資料を持ってこなかったので説明できないが、トップクォークの質量が標準理論の真空が安定かそうでないかということを決める重要なパラメータになっていて、今現在トップクォークの質量というのは準安定、つまり完全に安定ではないが十分長く宇宙が崩壊せずに残るという場所にあり、今のトップクォークの質量の測定精度だと、それが完全に安定なのかもしれないし、準安定状態にあるかもしれないという微妙な所にあるというのが現状。それが今後 LHC でトップクォークの質量測定の精度が上がってくると、今の中心値のままだとすると、準安定であることが確定できるという状況にある。ところが、精度が上がってきた時にトップクォークの質量の中心値が安定と準安定の境界に近づいてきたりすると、LHC では判定ができなくなる。そういう事態が起こった時に、ILC でトップクォークの質量をもっと精密に測りたいというモチベーションが出てくる可能性はある。そういう場合にはもう一桁上の精度で測るということになる。

梶田委員：もう一点、18 頁で超対称性の場合ということで、この絵を描く際に「 $\tan=5$ 」とか「 $M_A=700$ 」とか書いてあるが、これは多分 3 シグマを 2 つ合わせると超えていると思うが、やはり 3 シグマ以下になるとはっきりしたことをいえなくなると思う。それは今 $M_A=700$ だったらいいが、これがどのくらいまでいくとはっきりしたことがいえなくなってくるのか。

藤井参考人：実はここに書いてある以外のパラメータもあり、それによってこれが違ってズレたりするような場合もある。確かに超対称性であってもパラメータをチューニングすればその精度では（ズレが）わからないというケースはあり得るが、超対称性というのは元々自然にヒッグスの質量を説明しようというモチベーションで導入されたものなので、これが見えなくなる方向は、そのモチベーションが薄れていく方向のモデルになる。

梶田委員：そうだが、LHC の結果、モチベーションは薄れる方向に行っており、単に興味として「 $M_A=700$ 」、「 M_A 」というのは何か。

藤井参考人：「 M_A 」というのは、超対称性の場合にはヒッグスがひとつではなく、複数いるような状況でヒッグスも複数出てくるが、複数出てくるヒッグス粒子のひとつの質量である。

梶田委員：それでは、「 M_A 」だけを変えていったら、どのへんで 3 シグマで見えなくなるのか。

藤井参考人：その数字はいますぐいえませんが、質量とズレの関係というのは、 $1/M^2$ 。

上坂委員：エネルギーのチョイスだが、500 から 250 に落ちたのは、例えば 16 頁にあるヒッグス生成断面積が 250GeV がピークというのが大きかったと思うが、他のチョイスはなかったのか。

藤井参考人：例えば、CLIC（クリック）という計画がある。そこでは 380GeV というエネルギー値をとっており、それは 350GeV より上に行くと、トップクォークが生成できるということで、380GeV というエネルギーを CLIC の人たちは選んでいるわけだが、実はヒッグスの精密測定をやるためには、単にたくさんできるから 250GeV でやるわけではなくて、250GeV でやるのが先ほどの結合定数の測定などに一番精度が出る場所だから。その意味で、500GeV の ILC の時にも実は 250GeV で、今 250GeV ILC でいっている 2,000 インバースフェムトバーンのデータを取るという計画に元々なっていた。最初は 500GeV で走るのだけでも、500GeV のデータを取り終わった後に、やはり 250GeV にエネルギーを落として、ここが一番いいエネルギーなので、一番大事な反応を 250GeV で測るという計画になっていた。なので、その部分はどのみちやらなければいけないエネルギーということで、250GeV。

上坂委員：CLIC は、ILC が行った場合、その次にあるのか。

藤井参考人：CLIC は、最終的には ILC より高いエネルギーに到達できる可能性を持っている。一方 ILC が仮に建設されると決まった場合は、CLIC がすぐにできるという可能性は限りなくゼロに近くなると思う。ILC のトンネルがあつて、将来 ILC の 250GeV の成果を踏まえて、どこにエネルギーを持ってくべきかがはっきりわかった場合には、CLIC のテクノロジーを使って将来的に（ILC の）アップグレードするという可能性は十分あると思う。

家委員会委員長：まだ色々と質問はあろうかと思うが、もしどうしても聞きたい質問があれば最後のところだろうかということにする。

（２）「国際リニアコライダー加速器のステージングに関する報告書」（道園参考人）

・続いて、資料 5 に基づき、道園参考人より、ILC の加速器施設について説明が行われ、その後、次のとおり意見交換が行われた。

田中委員：ひとつ確認。候補地が 2013 年に北上に決まったといわれていたが、それはオフ

イシヤルなものか。

道園参考人：オフィシャルではない。これはリニアコライダー・コラボレーションで承認した、国際研究者団体に承認したということ。

田中委員：候補地はそういう意味では決まっていないということによろしいか。

道園参考人：そういう意味では決まっていない。

田中委員：候補地ディペンデントな色々な設計検討というのは、そういう意味ではジェネラルなコンディションを仮定したものとなっていて、例えばトンネルとかはまさにそうかどうか。

道園参考人：そうである。

田中委員：2つ目、ナノビーム、超電導は、かなり精力的にやられているということで、そこに進展はあって、特に超電導のコストダウンのところは、色々と頑張られているなという印象を受けたが、もちろんそれもシステムの中の重要なコンポーネントだが、トータルとして他にもいくつか重要なコンポーネントがあって、実はそれらがすべて、ある一定の性能をクリアしないと、システム性能は出ないということになっている。今後検証というところで、さらっと陽電子生成とかビームダンプ、多分、長期的信頼性とか安定性に関しては電子源も同じだと思うが、いくつかの残された課題については準備期間で詰めていくというシナリオと受け取った。陽電子源に二つのオプションがあって、特にアンジュレータのシステムというのは、私が理解する限り、あまり R&D が現時点で進んでいるようには思えない。その部分も一応オプションのひとつでまだディシジョンはされないということなのか。

道園参考人：アンジュレータに関しては、試作のアンジュレータがひとつできた段階。ターゲットに関しては、今設計を行っている段階だが、まだ実物はない。ただこちらは偏極ができるということ、物理の方からすると魅力がある。ただし、もちろんどこかで決めなければならないということで、できるだけ R&D を続けてできればこれを探り入れたい。ベースラインとなっているが、例えばいつ何をやりなさいということが決まると、逆にいつまでに何を決めないといけないというのが決まってくるため、その中で技術判断になる。

田中委員：二つのタイプのどちらもターゲットのところはかなり厳しいということなので、少し心配している。その開発が、タイムラインが設定されていないので何ともいえないということはあるだろうが、結構クリティカルかなと。実際に間に合うのかなというのがひと

つの懸念材料としてあると思う。続いて、ビームダンプに関しても、全く同じことがネックになっていて、やはり窓のところはかなり厳しいので。スタンフォードのダンプのデザインも、設計値としてはおっしゃる通りだが、現実に使って入ったパワーがかなり小さい（実績 750kV）ということになっているのでやはり懸念材料だと思う。そのところも、短期間動くかもしれないが、本当に長期的にちゃんと動くかどうかのきちっとした検証がまだ少し足りないかなとの印象を受けた。4 番目に、電子ビームのナノビームの制御は、KEK に業績が現時点であるが、先ほど SuperKEKB でとおっしゃったのは、多分まだ達成されていない、これからのことか。

道園参考人：まだ。これから。それはゴールである。

田中委員：ATF でやられているという、ダンピングリングから出たビームをナノビームにフォーカスするというテストだと思うが。

道園参考人：そうである。

田中委員：それで実際問題として、フィードバックをして 40 ナノを下回るくらいまで達成できているというお話があったが、フィードバックの応答に比べて早い遅いという摂動の種類が大きく 2 つに時定数で分けられると思う。非常にゆっくりしていれば、多分かなり制御ができると思うが、ランダムである意味で個別の機器から入ってくるようなそういうものがどこまで抑えられるかなという懸念がひとつあって、ATF では、ダンピングリングの後のドリフトスペース、その間に本当の ILC では、RF が並んでいるということになるわけで、ダンピングリングの下流はかなりの数の機器が入ってくると思うので、その影響がどのくらいあるのかなというのがひとつの懸念材料。

道園参考人：フィードバックをかけるのは、ビームの後ろ、衝突した後のビームのところなので。

田中委員：それが、厳密な意味でのフィードバックでなく、多分パルストレインのコリレーションを使ったフィードバックだろう。パルストレインの中での、ある意味きれいな相関があることを利用していて、一発一発をそのまま測ってダイレクトに返すというものではないから、その条件がループの時定数に対して十分にゆっくりした形で起きる変化、前後の時間のバーストの中に、そういうものだったらある程度は可能だと思うが。

道園参考人：色々な要素があるが、パルスで 1,300 バンチある。加速するエネルギーの安定度とかいろいろなところは、パルスの中では安定化されている。いわゆるパルス内のビーム

バンチが並んでいるところに関しては、それほど違っているとは想定していない。

上坂委員：今のナノビームだが、当たっている時の変動が短時間、長時間の変動があると思うが、その要因と対策はどうなっているか。

道園参考人：細かい数値は持っていないが、比較的これは安定していると聞いている。どちらの方が、ビームサイズの方が。

上坂委員：横方向のズレ。ポジションのズレ。

道園参考人：これはエレクトロンだけで、衝突型ではないので、そう。何かそんなに調整が難しいとは聞いていないが。

上坂委員：ミリとか数十マイクロンとかはいいが、ナノビームとか我々の考えられない変動が出てしまうので。

道園参考人：これは電子ビームしかないものを見ているわけだが、実際の ILC の場合には電子と陽電子がやってきて衝突すると、相互作用を下流側の位置モニターで見るので、ここで測っているいわゆる絶対値とは異なる。

上坂委員：どちらにしても、変動要因は同じだと思う。要するに電源の変動とか、RF の変動とか、環境の影響とかがあって。

道園参考人：それはおっしゃる通り。ATF の場合、まず少なくとも運転開始の時には季節の変動があるから、その最初の調整は大変。

上坂委員：短時間の変動ということか。電源の変動とかパワーの変動とか。

道園参考人：季節による変動が一番大きく、一番最初の調整が大変なのだと思います。

上坂委員：電界強度だが、今 31.5MV/m 達成で目標 35MV/m だけど、これがまさに長さに影響するということか。そうすると達しない場合、トンネルが長くなってしまうわけか。

道園参考人：そうである。

上坂委員：そこのバックアップも入ってくるのか。35MV/m に達しない場合の。

道園参考人：今アンジュレータ型のことを話しているが、アンジュレータ型の場合は、電子源で陽電子を作るために、タイミングの制約というのがある。そのために長さが一定の関係を持っていかなくてはならないので、実はドリフトスペースがトンネルの中に入っている。ドリフトスペースの中に性能が出ない場合にはクライオモジュールを足すことは可能。それからもうひとつ、本質的にその用途で使うわけではないが、マージンとしては6%とっている。1%足りない場合には、建設を増やすのではなくてマージンを削るという可能性もある。

上坂委員：もう一点、ビームダンプは水か。

道園参考人：ウォーターダンプ。

上坂委員：そうすると、一番気になるのがトリチウムで、それは外に放出できないものだと思うが。量にもよるが。

道園参考人：閉鎖系である。

上坂委員：トリチウムはどのくらいの生成量か。例えば福島は1,000兆ベクレルを保管している。レベルは違うと思うが。トリチウムは水と分離できないので、評価して、封じ込めだろうが、その量は評価しておいた方がいいと思う。

望月委員：今の質問に関連して、資料を読んで、実際に作ろうとすると、地域の方々の合意を形成することは非常に重要で、それがなければ一步も前進できない。その時には安全安心ということがベースになると思う。ビームダンプの話も全てお話した上で合意をとらないといけない。ビームダンプの窓、ビームダンプがもし壊れたら、その時にはどうなるんだとか、色々なことを考えておかなければならないと思う。資料を読んだ限りでは、こうした地域の方々の合意形成に関係する部分が非常に弱くて、難しいなど。それから、コストの話があったが、北上と脊振と、誰がどういうふうに決めるかということとは相当きちんとした体制をとらなければできない。どちらかになった時に、20 kmで終わるのか30 kmになるのか、20 kmで終わるにしても、そのルートをどこにするかということになると、長大トンネルで、かつ水平で直線という事例はないので、よほどしっかりルート選定しないと難しい。そのためには、よほどの体制を組まないと無理だと思う。その上で地域の合意形成に入っていくとか、アセスメントをすることになるが、その時に「(放射線など) どうなるかはわからない」ということでは、とても合意形成にはいたらないのではないかと思うので、その辺をお考えいただいた方がいい。

上坂委員：誤解なきようにしたいが、トリチウムができてはいけないといっているのではなくて、量の問題。しっかり量を把握して、ほかの事例の量と比較すればご理解が得られると思う。

道園参考人：ビームダンプの放射化については、検討はしている。一番放射化するのはビームダンプ。ビームダンプでいわゆる原子力規制法に基づく基準でいくと、一番放射化する部分でレベルとしては、L3で、コバルト60の10ギガベクレル/トンというのが基準になっている。20年 ILC を 250GeV で運転した場合は、だいたいビーム運転が終わった当初で5から10ギガベクレルくらい。トレンチ処分相当、原子炉の廃棄物で一番軽いところである。

望月委員：合意形成について。住民の皆さんは非常にセンシティブだと思う。こうなるだけの説明では難しい。従って、ビームダンプはこういうものができるというものができていないと、かつ、それについて何らかの形でどの程度放射線が出るということができていないと、なかなか合意形成は難しいのではないかなというのが実感としている。その上でということだから、どこにするかという議論は。

道園参考人：ビームダンプの場合、ビームを入れないと実際の評価は難しい。

望月委員：そこが問題。住民の方々はずっと不安を抱えることになる。だからもしだめだったらどうするか。夢に向かって進んでおられるのは非常に素晴らしいが、これだけのプロジェクトになると、かつ、地域の合意を得なければならないという話になると、ダメだったらどうするかを含めて説明しないと、簡単に合意は得られないと思う。

家委員会委員長：コバルトはできても地中深く留まっていると思うが、トリチウムはやはり気になるので、運転期間に総量としてどの程度のトリチウムが生成されるかは是非数値で示していただきたい。それから、陽電子源に関して先ほど質問したら、ヒッグスカップリングの測定にはあまり関係ないというお話だったので、とりあえず 250GeV でやる時にかなり技術的に難しいアンジュレータ方式をやるのかなと疑問に思った。

藤井参考人：少し補足すると、最終的にはシステムティックエラー（系統誤差）が、どんどん統計をためていくと、システムティックエラーが効いてくる段階に到達するが、そういう時には陽電子の偏極というのは、システムティックエラーのコントロールには役立つということはある。

田村委員会幹事：20頁の加速勾配、電界だが、赤い線と青い線があるが、現在も電界はどんどん向上しているのか。ILCは35MV/mでやるとのことだが、今後さらに向上が見込ま

れるということか。

道園参考人：引用文献が 2015 年なのでここで止まっているが、それ以降がどうなっているかという、多分、実際としては例えば窒素インフュージョンをやったといった時にどの程度までいくかといえば、45 MV/m いくのがあるかどうかという話だと思うが、チャンピオンデータなので、そうなのかなと思う。チャンピオンデータがこの後どうなっているのかはわからないが、現在の技術としては窒素インフュージョンができる前のもの。窒素インフュージョンがあって、ただ 2 割上がったかという 2 割まではいかないと思うので、このレベルから 10%位は上がるのではと思うが、そういう感じ。

田村委員会幹事：この図だけ見るとすごい傾きで最後に上がっているように見えるが、そういうものではないということか。

道園参考人：そういうものではない。

田村委員会幹事：今後その窒素インフュージョンのような何かブレイクスルーでさらに上がる可能性のあるものはあるか。

道園参考人：いくつか多分あると思うが、ブレイクスルーになるかどうかというところまできちんと、国際的に皆さん興味をお持ちなので、国際協力でいろいろな用途を皆さんお持ちでやっており、それを見ながらということになる。

家委員会委員長：この図のカーブで性能が急激に上がっているところがあるが、2000 年あたりに、どのようなブレイクスルーがあったのか。

道園参考人：これは処理の話だと思う。色々な段階を経て何か表面処理をうまくすることによって性能が上がったというのは確かにある。

家委員会委員長：これはチャンピオンデータか。ばらつきはどのくらいあるのか。

道園参考人：それは XFEL が 800 台あったのがいいばらつきになっていると思う。あれはだいたい 20%位、性能が中心値に対してばらついている。

家委員会委員長：加速器の中にあまりうまく動かないものがある場合、全体としての悪影響はいかがか。

道園参考人：ILC の場合は元からプラスマイナス 20%許容することになっている。

家委員会委員長：全く動かなくなった場合は。

道園参考人：その場合はその加速に使うのを止める、調整を外してそこで加速しないことにする。

米田委員会副委員長・分科会委員長：6 頁に「なぜ線形加速器？」とあるが、そんな小さいものが当たるのはすごい技術だと思うが、飛んでくるものの中で当たるものと当たらないものがあるはず。CERN は円形なので、くるくる回っているうちにまた当たることもあると思うが、今回は直線の一発勝負で、はい、さようならということになるわけで、当たらないものがほとんどということか。

道園参考人：そうである。

米田委員会副委員長・分科会委員長：その時に当たってもすごいエネルギーが出るし、当たらなかったものがビームダンプに入る時も物凄いエネルギーが出ると思うが、エネルギーが出るということは熱くなると思うが、どう冷却するのか。

道園参考人：水の中にビームを通すことによって、そこでエネルギーを失いながら、エネルギー自身は水の温度上昇に変わる。

米田委員会副委員長・分科会委員長：大量に水を使うのか。

道園参考人：水を循環させる。2.6 メガワットというのがビームが持っているエネルギー。それがビームダンプの所で水にエネルギーを渡し水が温度上昇する。

米田委員会副委員長・分科会委員長：大変な熱が出るとか、冷やさなければいけないとか、その熱が循環するとはいいながら、結構長い距離になるが、そこでどうやって地下の水が。

道園参考人：ビームダンプについては閉鎖系で、近くに熱交換機がおかれて、ビームダンプの水と熱を取るための水は別になっている。いわゆる汚染水というのは、ビームダンプの近くで循環することになる。

米田委員会副委員長・分科会委員長：汚染水はビームダンプのそばで循環するのか。そこで受ける汚染のことの危険性について、先ほどから議論されているのか。

道園参考人：先ほどご指摘あったのは、そのトリチウムのこと。

中静分科会幹事：冷却水はどの程度の温度、量なのか。

道園参考人：デルタ T が 20 度。50 度の水を利用する。ビームが入ったところが一番高いところは 155 度位になる想定。

中静分科会幹事：冷却水は外に排出するという事か。

道園参考人：このビームダンプの水は熱交換器を通してずっと常に循環している。外には出ない。熱だけをとる。

家委員会委員長：10 気圧の容器ということなので、仮に結構長い年月を運転した後に、ピンホールでも生じた場合に、人が立ち寄れる放射化のレベルなのか。

道園参考人：どの程度運転したかにもよるが、多分ビームダンプのところには 1 週間か 2 週間ではダメ。まずこういったものを取り扱う時はリモートハンドルを考える。ビームダンプ自身は冗長化を考える、というのが今我々の考えているところ。

家委員会委員長：補修とか交換の設備を予め組み込んでおくのか。

道園参考人：これは TDR にある図だが、基本的にはここにビームダンプがあって、ビームは衝突点に向かうビームと衝突点からビームダンプに行くものがあるが、基本的にはこのシールドを局所的に厚くしておくということ。それからリモートで交換するべきものはここにおくが、熱交換に関しては外側において、近くまでは行けるが、ここにアクセスするには時間をもたないといけない可能性はある。

上坂委員：地震はあると思うが、超伝導空洞の耐震性は確認したのか。

道園参考人：これについては、振動解析を行っており、2 つある。ひとつは、低温の装置として全体が大丈夫かというのと、空洞自身がクライオモジュールに入っているが、その耐震については、振動解析を行なった上で脚の部分が若干弱い所があるということがわかったので、それについては耐震強化を行うということに変更した。

家委員会委員長：どのレベルの地震を想定されているか。

道園参考人：私の記憶だと、大震災の時の振動を地表で受けた時のことを検討。実際には地下なので振動はもう少し緩和されるであろうという話。

米田委員会副委員長・分科会委員長：地震でない時も常微動というのはあって、それに対する対策はいかがか。

道園参考人：それについても振動を測っており、横軸が周波数で振動レベルを測ったものがあり、一応候補地として必要な場所としては、花崗岩というか安定な岩盤の上というところだが、そういうところで測った測定データを見ると、ゆらぎの積分値は ILC のナノビームの試験に対して安定であることは確認している。

家委員会委員長：予定の時間はあと 5 分程度だが、藤井参考人への質問も含めていかがか。

田中委員：藤井参考人に確認。先ほど陽電子の偏極度は（ヒッグスに関しては）ほとんど無視できるというお話があったが、その時に電子ビームの偏極に関する精密実験の観点から、偏極が少なくともここまで安定に提供できないといけないというクリティカルラインというのがどの辺にあるのか、ないのか。もうひとつ、同様の視点で今デザインのルミノシティが定義されているが、そのデザインがゆっくり立ち上がって行って、最終的にはどの位のタイムスケールでそこに届くかわからないが、アベレージとしてどの程度、例えばターゲットに対する 10 分の 1 位で仕事ができるのかとか、その辺の半定量的なコメントがいただければ。

藤井参考人：偏極に関していうと、電子の偏極は一般に断面積を変え得るが、この反応によって電子の偏極がプラスの時とマイナスの時、左巻きの時と右巻きの時で、ものすごく断面積が変わってしまう場合には、電子偏極が非常に高い安定性を要求される。例えば断面積が 0.5%、1% だったら 1% を切って測定しなければならないので、それに見合った偏極の安定度が必要になるが、右巻き左巻きであまり断面積が変わらないという反応に関してはそれが緩和されることがあり、ヒッグスの場合は若干右巻きと左巻きで断面積が変わるが、それほど大きな差ではないので、想定しているのは 0.25% の程度の偏極度の精度。

田中委員：25% ± 1% 位で出てくれば良いということか。

藤井参考人：電子の場合は $80\% \times (1 \pm 0.01)$ 以下程度が必要。電子偏極の偏極度が、目標は 0.3% 位で測れるということ。

田中委員：わかった。ということは、80%位の高い絶対値の偏極度の周りで、かなり安定に偏極度を提供することが精密測定において鍵となるということか。

藤井参考人：偏極測定器で測れば良い。

田中委員：偏極測定器の解像度はどのくらいか。

藤井参考人：それは今 0.25%位だと思う。

田中委員：ギリギリだ。

藤井参考人：その精度というのは、右巻き、左巻きでものすごく断面積は違うという想定の下での値なので、右巻きにしても左巻きにしても断面積はあまり変わらないという反応に関していうと、それは緩和されて、ヒッグスの場合には 0.25 は、少なくともヒッグスの測定に関しては、今後統計を溜めて行き、2,000 インバースフェムトバーンを超えてさらにデータを溜めていく状況になっていくと、どこかで系統誤差が上限に達するという事にはなると思うが、少なくとも当初の実験においては、そこが上限に達することはない。

家委員会委員長：全体のコストの点からも、超電導加速度の性能向上は鍵だと思うが、窒素インフュージョンの話はまだかなりわからない点があるかと思う。あれは実機に近いものを作ってみないと性能評価はできないということなのか。なにかテストピースとの性能での相関とか、物性的な研究はどの程度行われているのか。

道園参考人：世界的に物性との関係について研究はやっているが、まだ成功例と失敗例と、それぞれに対する物性の対応がついていない。成功したのはなぜかという物性との関連づけがまだできていないという状況。一応 ILC の R&D は、2019 年度までを目途に、ひとつの結論を得たいと思っていて、その時までには何らかの形でレシピを確立するか...

家委員会委員長：その時点での技術レベルで全体の仕様を決めるということか。

道園参考人：そういうことである。

家委員会委員長：加速器技術というのは円熟した技術だという話があったが、円熟というのはいい意味もあるし、これから伸びしろがあまりないという意味もあるが、その辺はどうなのか。どの時点の技術を使って全体の設計をするのが良いのか。

道園参考人：R&Dに関しては、来年度までというのが日米の合意事項。その時までには何らかのメッセージを出さざるを得ない。できれば、窒素インフュージョンがちゃんとできるということを頑張っでやりたいと思っている。

嘉門分科会副委員長：コストの話が出ていたが、どの程度までコスト概算に入っているのかわかりにくいのでたずねたい。ここにある TDR のビームダンプの設備構成は、全体計画の中でも非常に重要な設備だろう。こういうものの熟度というか実行性はこれから確証されるというか、これは既にできている装置と考えて、この加速器の建設費用の中にはそれも全部取り込まれた値として入っているのか、このコンティンジェンシーの 10%の中に入っているのか。

道園参考人：TDR では技術的には問題ないと考えて書いてあるが、次のステップとしてはエンジニアリングデザインという詳細設計の段階が入る。詳細設計の段階で例えば我々の理解だと、SLAC の技術者が設計したものでこれを基に見積もりを行なっている。次にエンジニアリングレポートを作るためには、ある程度次の更に R&D が必要などころがあつて、それについては準備経費の中に含まれる。準備経費をもって詳細設計ができるようになって、その後建設が行われる。

嘉門分科会副委員長：そうすると、変更に伴うコスト低減というのも、非常に未確定な要素も含めたコスト削減にしかならないのか。

道園参考人：現段階ではそうである。

嘉門分科会副委員長：加速器の費用としては、ほぼほぼ大体この程度だが、周辺の議論としては、まだまだ 30%、40%以上増加するという危惧がある。例えばこのビームダンプにしても、それぞれの入射窓の交換システムがひとつできなければ進まない。そういうリスクを含めた上で積算をしているということか。

道園参考人：建設コストの中はそうなる。詳細の部分については更に準備経費としてその中で開発を進め、完成度を上げていくということ。

嘉門分科会副委員長：開発を進めるということだと、開発期間は 4 年なり 5 年なりの間で本当にできるのかというのは、確証はどの程度あるのか。

道園参考人：コンポーネントのレベルでは大丈夫だと思うが、ご質問はそれを複合せた時にシステムとしてどの程度完成させるのかということだと思うが、組み合わせについては

準備期間 4 年と想定しているが、4 年間の中でできると考えている。

永江委員：詳細設計ということになると、この研究所全体での安全基準をどうするかという議論がないと詳細設計に入れないと思う。研究所として、どういう安全基準で物を設計して建設するかを決める必要がある。

道園参考人：今検討しているのは KEK の放射線の基準で考えている。

(3) リニアコライダー国際推進委員会と国際将来加速器委員会の 250GeV ILC に対する見解 — 国際的な視点について (中田参考人)

中田参考人からリニアコライダー計画に関し国際的観点から説明が行われた。説明の主な内容は次の通り。

- ① リニアコライダーの推進組織
 - ② ヒッグス粒子発見に伴う国際素粒子コミュニティの結論
 - ③ コライダー建設の国際化と資金的な協力の推進
 - ④ 日本による、250GeV「ヒッグス・ファクトリー」の ILC 立ち上げに対する期待
- その後、意見交換が行われた。

永江委員：16 頁に過去のコライダー建設のことが書かれていて、エキスパートは米国、欧州、そして日本にいるという感じだが、大体の数字で、各々の地域に最先端のコライダー建設に関わるような専門家は、米国や欧州にどのくらいいるとお考えか。

中田参考人：人数を聞かれても、正確な数は頭には入っていない。欧州が一番多いとは思う。道園さんの方がわかるかな。

道園参考人：厳密な数字は覚えていないが、KEK の規模は約 700 名、CERN や Fermilab だと 2,000 名程度はいると思う。大体 3 分の 1 程度が加速器担当だとすると、各々 700 名くらいの規模がいると思う。

中田参考人：私が知っている CERN の場合には、幅の厚い加速器関連の物理学者、エンジニアがいるが、加速器建設のピーク時になると他の研究所の人が入ってくる。プロジェクトアソシエイトといってよその加速器屋さんがある時期 CERN に来て、CERN で給料の補填をしてもらって開発、建設に参加し、それが終わったらまた自分の研究所へ戻っていく。ピーク時に加速器関係の任期付きの職員を増やすこともある。

永江委員：中田先生が関わった欧州のストラテジーという時に、そういう加速器のマンパワ

一というか、そういうことも議論されているのか。例えば日本で ILC が動いたとすると、何百人か 1,000 人近い新たな人を日本に引き寄せる。その場合は、その分、米国や欧州で何か新しいことがやりにくくなるかと思うが、そういうことは議論されているか。

中田参考人：正式に議論はされていないが、非公式な形で話をしている。例えば最近 CERN が始めたのは、LHC のハイルミアアップグレード。ハイルミ運転の為に必要な物の建設もう始まって大体 2026 年位にその運転が始まる。Fermilab は LBNF 建設をやっており、そこで必要なリソースは 20 年の後半から落ちていく。これらを考えて、2025 年から 30 年あたりまでに、どこかで新しい計画があがった場合に、今分かっている中でそれと重なるような大きな計画はない。だから ILC を建設するには良い機会ではないかことにはなる。人材が集まる可能性は十分にあるという意味で。

道園参考人：有識者会議の資料に人材見積もりというのがあり、ILC250GeV だと、800 人規模の人が必要ということになっている。特に超伝導のところでは、ハブラボのモデルを考えていて、欧州、アジア、米国の各々で超伝導加速器をある程度組み立てて、それを日本、ホストの所に持ってくる、そういうことになっている。この 800 人というのは、研究所事務なども全部入れて 800 人ということであり、その人数のうちいくばくかは各々の地域のハブラボに所属する、そういうイメージ。

田中委員：ある時点で米国が ILC の R&D から撤退したように見えるが、その理由は何か。かつまた、現時点で米国が返り咲くということだが、それはただ単に実験としてなのか、その辺はどう考えているのか。

中田参考人：特にこの 2、3 年のところで米国が ILC のための R&D から落ちていったというのは、R&D のための R&D をいつまでも研究としてやってられないということでしょう。ILC ができるとわかっているならば、実験と加速器建設に対してそれなりの協力をしていくし、お金も付けていくのだが、今の段階で ILC ができるかできないかわからないのいつまでも R&D をやっていくことはできないというのが一番強い理由と思う。それは欧州でも同じ状況になるので、今年の終わりまでに日本からメッセージが出るのが大切だというのは、そうでないと欧州も同じような状態に陥ってしまう危険があるから。今のところ欧州では ILC に対し結構 R&D が行われているが、いつまでも R&D で終わってしまうのでは仕方ないから止めることになる。そのためには、日本から ILC をホストしたいというポジティブな形のメッセージがないと、いろいろな所の研究所の所長もこのままお金を出し続けられないという状況。

杉山委員：今のお話を聞いていると、「なぜ日本か」というのがもうひとつ、要するに他が

やらないから日本がやるという図式なのか。米国の P5 レポートの文章を読むと、金は出さないけど実験では主導的な立場に立つという都合のよい書き方に見えるが、その辺りで日本が多額の金を出して日本に建設する必要があって、他がやらないのか。

中田参考人：P5 レポートは米国は口は出して金は出さないとは言っていないし、最近の DOE の高エネルギー関係の人の話を聞いてみると、今やっている計画に必要なリソースが減っていくような時に、タイミングを合わせればお金も出せるし、出すつもりもあるという話をしている。いわゆる現金ということではないが、モノで収めることが中心。特に RF では、Fermilab などで開発が進み、Fermilab 自身も SLAC に対して超伝導空洞を作っている、米国はそういう形で参加することはできると思っているし、実際に始まればお金は出さずに口だけ出すということだとは思っていない。また、どこの国もやりたくなくて日本にやらせればいいと考えられるとのことだが、そう見えるのかもしれないが、実際問題として各国・各地域で前もってやろうと思ったことがまだ終わっていない。CERN としては LEP 建設の時から LHC がその後に来ると考えながらトンネルを作って、長期的な計画でやってきた。LHC が今走っていて、さらに LHC を使えるだけ使いきらないといけない。そこで今すぐ電子・陽電子の建設を始めると言うわけにはいかない。米国の場合にも、ニュートリノという形ですべて整えてしまった段階で、今リニアコライダーに行くわけにはいかない。そういう理由が一番強いのではないかと思う。

杉山委員：今欧州、米国、日本という比較になっているのだが、どう見ても欧州全部がまとまっているのに、日本は米国、欧州に比べて経済的にも小さく、日本が東アジアなどで他と組んで、欧州のような形で連携を組んで日本単独の負担を減らすという考えはでてこないのか。

中田参考人：国際将来加速器委員会（ICFA）の中には中国も韓国も入っている。これは政治家でなく学者の話だが、例えば中国科学院高能物理研究所（IHEP）の所長は「日本が ILC をやるなら中国は当然参加する」といっている。韓国も、学者のレベルであるが、「日本がもし ILC をやるなら韓国もそれなりに参加したい」という発言はどんどん出てくる。ただ、これを政治や政府のレベルに持っていくにはそれなりの準備が必要で、その段階である程度の日本政府からの意思が表に出ない限り、具体的に話を進めるのは難しいというふう考えられている。

家委員会委員長：今の話の関連で、中国にリングコライダーの計画があると承知しているが、それは ICFA ではどのような扱いになっているのか。

中田参考人：その話は確かに出ていて、ICFA としては、各国、各地域のアイデアに対して

やめろとはいわない。今の段階で重要だと感じられるのは、リニアコライダーは非常に微妙な時にあるということ。先ほど言ったヒッグスファクトリーの重要性の結論として、ヒッグスファクトリーを今つくとすると、ILC が一番近道で確立しているものであるという認識のもとに今の段階ではリニアコライダーを推している、中国のリングコライダーについては、今のところは明確なコメントは遅らせるとしている。

家委員会委員長：ヒッグス精密測定は、今の素粒子物理学において最重要課題だという認識があるのであれば、LEP2 レップ 2 で 209GeV までいったので、250GeV にするためにあとエネルギーで 20%アップ、必要電力がエネルギーの 4 乗に比例だとすると、加速器を 2 倍位に増強する。そう考えられるが、それは全く技術的にダメなのか。トータルコストを考えて、LHC を再びレプトンコライダーに改造する。つまり LEP3 をつくるというアイデアはないのか。

中田参考人：LEP3 を作るというアイデアはあった。LEP3 で一番問題になるのが電気代。というのは、まず、おっしゃる通りエネルギーは 20%アップだが電気代はそうではなく 4 乗に比例する。放射光を失うのを入れないといけないので。さらに、LEP2 をそのまま元に戻せばいいというわけではなく、LEP2 自身のルミノシティが 10^{32} だったので、それに対してヒッグスファクトリーとなる為には、コライダーの中に貯める電子と陽電子の数を増やして 100 倍、200 倍にルミノシティをあげないといけない。その分さらに電気代が上がる。だから、そんな簡単に LEP3 を作ってヒッグスファクトリーとしてやろうとしても、できるものではない。新物理がどこかにあるということがわかっていることからして、ヒッグスの精密測定をしてそこで物理が終わるとはみんな思っていない。その先に何かがあるはずで、何かがあると分かった時に、その先に行こうとしても LEP3 だったらそれで本当に終わりになる。エネルギーを上げることができないので。リニアコライダーだったら、その段階でどこのエネルギーまで行く必要があるのかを考える。もしリニアコライダーで行けるエネルギーだったらトンネルを延長したり、新しい加速技術を取り入れることでそこに行ける。この様な将来性を考えてしまうと、単に LHC のトンネルに LEP3 作って無理やりエネルギーをあげて、それこそ原子炉作るくらいの電力を使うのが本当に正しい解かという、そうではない。リングコライダーならば、27 km の LEP のトンネルはやめて、新しい 100 km のトンネルを作ってやりましょうというのが、中国の案でもあるし、CERN の FCC でもある。そうすると今度は桁の違う計画になる。

米田委員会副委員長・分科会委員長：新しい物理学を作るためには、理論を一生懸命考える方が論文を書かれて新しい可能性を提示された後は、巨大な施設を作って実験をして見つかった、見つからないという話になる。私の感覚ではリニアコライダーは物凄く巨大。先生のお話を聞いていると、さらに次の段階にいこうとすると 100 km いるという話になってく

ると、そもそもこういう物理学は持続可能ではないのではないかと思えてくるが、いかがか。

中田参考人：実験物理研究者から見てみると、今の素粒子物理は色々な理論を考えて、色々な方向があるが、ある意味分岐点にあるというのは、どちらの方向に行ったらいいのかわからなくなったからだという感じがする。今までは超対称性理論がいい方向だったので、多くの人々がその方向に行くと思っていて、LHCが稼働する前から、ヒッグスよりも新しい粒子が先に見つかるかもしれないなどと考えられたりしていた。それが実際実験をしてみると、そうではなくて、ヒッグスしか見つからないし、ヒッグスの性質も標準理論に非常に合っている。それにもかかわらず、宇宙観測などの結果を考えると新しい粒子がなくてはいけない。その色々ある理論の中でどの方向に行かなければならないかを決めるのは実験。実験がこちらの方向に新しい物理がありそうだという兆候がわからない限り、次のステップに行けなくなっている。まず ILC250GeV で 20 km のトンネルを掘って、ヒッグスをたくさん作ると、その精密測定結果を見ることによって、どちらの方向に新物理がありそうだとわかる。さらにその新物理がどのような形で現れるかもわかる可能性がある。それによって次の一歩が進められる。その一歩が、100 km になるか、35 km で済むかは今はわからない。100 km というのも、今の技術を使えば 100 km 必要かもしれないが、将来に可能化される新しい技術を使うことによって、もっと小さく済むこともある。

米田委員会副委員長・分科会委員長：大変いいにくいですが、科学は別に物理学だけではない。色々な科学技術が進展している。標準理論を超える新物理の重要性はわかるが、それを叶えるために巨額の資金を次から次へと投入するという学問の進め方が続けられるとは限らないのではないか。地球にも限りがあり、財源にも限りがある中で、それを前提として新物理の次のステップを考えていかれるというのは、他分野から見ると違和感がある。

中田参考人：素粒子物理が進歩してきた中、最初の頃は、どこの国も加速器を作ってきた。それでは長続きしないので、欧州では CERN という形でみんなでお金を出し合って大きな加速器を作るということで、最終的には LHC ができた。ある意味では ILC というのも、リニアコライダーを 1 つの国で作るのとはできなくなっているの、国際協力で皆さんで協力して作っていきましょう。そういうようにやり方自身も変わってきていると思うし、次のプロジェクトもそういう世界での経済状況とか国、地域の経済状況に合うような形の協力体制を作ってやるということになると思う。簡単に自分たちだけで何かやるということではない。

道園参考人：加速器の拡張性については、私の最初のスライドで紹介したが、色々な加速器がある。例えば SLAC は 1960 年代にできたが、形を変えてどんどん残っている。CERN の場合も、今は LHC だが、その前は LEP だった。KEK の場合も最初 TRISTAN から始まったが、必ずしもエネルギー拡張が先にあるのではなくて、今ある既存の例えば加速器の場合

は例えばトンネルというのは非常に大きな財産。それを使って新たな物理をやるとか、そういった拡張性もあって、それは必ずしも延長だけがすべてではないと思う。

田中委員：今の米田先生の話とも関連するが、巨大化する高エネルギー物理のツールに対し、逆に世界中の高エネルギー物理の先生方が非常に強い危機感を持っているのかなと思い、それが CERN 所長のステートメントになっていると理解している。つまり、純粋に学問的な究極を目指すためにどれだけのコストを投入できるのかというのは、常に説明責任があって、科学的なリターンと投入した資金、人のリソースを含む全ての資源が、バランスの下に成り立っていると思う。それが現状分岐点に近い段階にきているという危機感を持っていると思う。今問題なのは、次のフェーズに移行するための技術的な進展が追い付いていない点、そこが厳しいところ。多分誰しもが既存のテクノロジーでこのまま永遠に高エネルギーフロンティアを追求できるとは思っていない。今のテクノロジーの最後のマシンが LHC なのか ILC なのかはわからないが、どこかでテクノロジーのドラスティックな変化がないと実験も今のスタイルでは続けていくことができないと理解している。そういう観点で、ILC の 250GeV を見たときに、サイエンティフィックなアウトカムと投入する日本・世界のリソースのバランスはどうなるのかというのが、非常に重要なポイントになる。

西條委員会幹事・分科会幹事：先ほどの議論を考えると、物理学の中で、今回のリニアコライダーの研究が一番重要であるとの合意ができているのかどうか。環境関係とか自然科学系の中で、例えば気候変動とか生物多様性の崩壊があり、地球そのものが危ないのだという研究分野もある。そういう分野と比較してこちらの方が非常に重要なのだという議論をどこかでやっていただかないと、多分自然科学者の間でも合意できないのではないかと感じているが、いかがか。例えば、この研究が物理学者 100 人集まると 95 人くらいが合意するのだという感覚はないのでしょうか。

中田参考人：定量的にどうしたらいえるのかなというのが難しい。言える範囲というか、関係する範囲というと、素粒子、高エネルギーの原子核、そのくらいになるが、そのところで話し合いである程度プライオリティを付けるが、ヒッグスが重要ということについては、結構みんなそれは重要だとわかっている。

杉山委員：梶田先生にうかがいたいですが、先ほど「米国はニュートリノに舵を切ったから、主導的に ILC に参加できない」との話があったが、日本もニュートリノの将来計画があるなかで、そちらのコミュニティは ILC にプライオリティを与えることに対して納得はしているのか。

梶田委員：つまり日本のニュートリノ・コミュニティという意味か。日本でそういう議論は

やっていないと思うが、日本でニュートリノをやりたい人というのは、それを一番やりたいからニュートリノをやりたいと思っているのだと思う。

杉山委員：リソースには限りがあるわけで、人的資源も資金も。プライオリティを付けていかなければならないという話の関連だと思っていたが、少なくとも素粒子のコミュニティの中でのプライオリティとかそういう話がないと、他の分野の方を納得させるのは難しいと思う。

中田参考人：日本の物理全体でどうかについてはコメントはできないが、リニアコライダー国際推進委員会（LCB）としては、日本の高エネルギー物理学会が正式な声明を出したのであって、我々はそれを高エネルギー物理学者が話し合った結果それでよろしいといったのだ、と判断している。それが実際とは違うか否かというのは、我々が口を挟むものではないと考えている。

藤井参考人：高エネルギー物理学会というものが、加速器を使った実験とか、いわゆる素粒子の実験に関する日本のコミュニティで、そこで昨年7月22日にコミュニティの総意としてILCにプライオリティをおくということを決定した。もちろん個人をあたっていくと、100%ILCをやると、そういう人ばかりでないと思うが、高エネルギー物理学はやりたいことが全部できるという性質のものではないので、コミュニティとしてのプライオリティはそういう形でつけた。

家委員会委員長：今のプライオリティは加速器実験に限った話か、それともハイパーカミオカンデとかの非加速器実験も含めた高エネルギー物理学の話か。

藤井参考人：ハイパーカミオカンデに入っている人もいる。全員かどうかは存じ上げない。

小林委員：先ほど杉山委員から「どうして日本なのか」という問いかけがあった。結局これはプライオリティ問題で話が進んでいると思う。研究者というのは自分のやっている分野が投資に値しないとは口が裂けてもいわない存在なので、当然当事者から見て大変重要だと仰るのは、非常によく理解できる。先ほどILCに科学的意義があると説明していただいたが、おそらくそうなのだろうと思う。ただ、そうだとすると、もし、「ごめんなさい、日本はちょっときついです」といったら、世界のサポートしているコミュニティは、「仕方がないね、俺たちの方で何とかする。それくらい大事。」という議論になるのか、それとも、日本がそういったらどうなってしまうのかという、そういう意味でのプライオリティはどんな感じなのか。

中田参考人：それが実は 2019 年にヨーロッパで始まる素粒子戦略議論になる。ひとつのシナリオとしてあるのは、2020 年に決まる素粒子戦略には CERN が LHC の次に具体的に何をやるとはいえないにしても、ある程度将来計画の為の R&D を絞っていかなければならないという可能性がある。リニアコライダーとしては、ILC と CLIC がある。多分シナリオとしてあるのは、日本が ILC をホストしたいから国際協力の話し合いを始めたいといえば、LCB としてもリニアコライダーの人はみんな ILC について一生懸命やりなさいとなる。日本から何も表示がなかったとすると、色々な面で今まで ILC をやっていた人たちが、例えば米国のサポートの問題もあるし、欧州のサポートの問題もあるし、だんだん活動が続けられなくなってくる。そうするとどうしようかと、いろいろと考えなければならない。ただ、はっきりいえるのは、ILC を欧州や米国がホスト国としてやろうということは今出てこないと思う。個人的な感じではあるが、ILC を今やろうという国はない。そういう状況で 2019 年にヨーロッパの将来計画をどのようにしたらよいかということを考えていくことになる。

西條委員会幹事・分科会幹事：CERN は、CLIC はやり続けるのか。その辺はどのような見通しを考えているのか。

中田参考人：CERN の考えはいくつかあり、ひとつは円周 100 km のリングトンネル。LHC のトンネルは円周 27 km だが、これを 3 倍にして 100 km のトンネルを掘ったら、今までの 13TeV が、マグネットを改良すれば 100TeV くらいまで行くだろうという案が一つ。それに対して、最初から 100TeV には行かなくて、マグネットがうまくいけば、そのマグネットをそのまま今の LHC のトンネルに入れて、持ち合わせの物をできるだけ使ってやっという形にすると、今の 3 倍くらいのエネルギーにはなるかなというアイデアもある。それに対抗したのが CLIC。線形加速器を超電導でなく常電導の加速方式で 380GeV にする案。将来の R&D を考えた時に、R&D をマグネットを中心としたリング加速器用に絞るか、CLIC を残したまま R&D をしていくことになるか。そこが多分議論の分かれ目になるところ。

嘉門分科会副委員長：中田先生が LCB の議長をされているお立場なので、日本が ILC をやらなかったら他はどこもやらないと思えるといわれたので、大変意外な気がした。ILC のプロジェクトというのはそんなものなのか。世界で物理を追求しようという場合には、わからないことをやるわけだから、アウトカムが出てくるかはわからない。そういいながら、世界の高エネルギー物理学者としては、是非 ILC をやりたいといっているのだから、例え日本がいわなくてもどこかが出てくる、あるいは出てくるようにする、とおっしゃるかと思ったが、そうではなかった。これだけの高額の金がかかるプロジェクトを遂行するには、関係する学者、技術者、研究者だけではなくて、各国政府がどこまでそれを支援するかというのが一番

重要。そうすると、素粒子の高エネルギー分野の学会の課題とそれをサポートする各国政府がどこまで支援するかが重要で、例えば日本の場合でも、科学技術分野の予算を超越するような金をかけないと、ホスト国としてのタスクは果たせない、そういうプロジェクトであるからには、各国の政治情勢が変わったとしても、それを超えるくらいの努力はしないと成り立たないプロジェクトだと思う。中国、韓国も入っている ICFA では、学者は入っているが、研究の遂行を支援する政府はどうかかわからないということであると、政治の問題だから必ずしもどうか推定はできないと思うが、そういうところのバランスの見込みは、どういう風に関与されているグループとしてはお考えになっているのか。

中田参考人：どこの国でも ILC ができるわけではない。インフラがあって、技術を持った人がいて、ハイテク工業があって、そういう科学レベルが整っているところでない、ILC をホストすることはできない。従って、ILC をホストする国は限られる。できるのは、CERN としての欧州、米国。中国もやれる可能性はあるかもしれない。それと日本、それしかないと思う。それ以外のところを探してもあまり可能性はない。それらの国が今何をやっているかという、CERN がうちは LHC やめて ILC やるとするのは現実的ではない。Fermilab が今の段階でニュートリノをやめて ILC に行くとは言えない。前に SCC をやめてしまって問題になったこともあるし。中国の場合は、我々は判断できない。そのように考えると、私は簡単に他の国はやりたいと言える状況ではないと思う。

(4) 文部科学省に設置された有識者会議の検討について①(千原参考人、中野参考人)

千原参考人から、資料7に基づき、「国際リニアコライダー (ILC) に関する有識者会議」について説明が行われた。説明の主な内容は次の通り。

これまでの検討結果の概要：科学的意義、コスト、人材確保、マネジメント、国際協力 ILC 計画の見直しを除いたこれまでの議論のまとめ

続いて、中野参考人から、資料(17頁から34頁)に基づき、ILC の科学的意義について説明が行われた。説明の主な内容は次の通り。

- ① ILC 計画の見直し、衝突エネルギーを 250GeV に落とすことの科学的意義
 - ② 必要経費と成果のバランス
 - ③ 13TeV LHC の成果を踏まえた ILC のシナリオ
- その後、次のとおり意見交換が行われた。

田村委員会幹事：精密測定が 500GeV でなくても 250GeV でできるということが、新粒子がないことによって理論的にできることがわかったということだが、それは 100%大丈夫なことなのか。つまり、「新粒子がない」ということが、おそらくないだろうという段階で確定したわけではない。そこは間違いなくいえることなのか。

中野参考人：まず、「ない」と仮定した場合、理論といってもかなり一般的な理論で、新粒子がなければその方法自体は確かだろうといわれている。作業部会の中にも、素粒子の理論だけでなく原子核の理論の方もいらして、そういう方から大丈夫なのかという指摘があって、ちゃんとした議論を行って大丈夫であろうということになった。そうはいつでも新粒子はあるのではないか、これもよくあることで、作った時は精密測定といていたのだが、作ってみたら新粒子が見つかるということはある。その場合は、新粒子が見つければそれはよいし、あるのだがなかなか見つけにくくても影響があった場合はわかる。どちらにせよ、新粒子がある場合は、大きくズレることが予想されると考えてよい。

家委員会委員長：精密測定の結果によって 3 つの道に分かれるという説明だったが、どれがどういう確率かというか、可能性としてどれが高いというようなことは、今の段階で言えるか。

中野参考人：多数決はとれると思うが、たくさんの人が信じているからといって正しいとは限らないので、測ってみなければわからない。

永江委員：結局有識者会議の結論としては、500GeV から 250GeV に下げたことはよろしいという結論なのか。

中野参考人：科学的意義としてはそうだ。極端なことをいうと、500GeV の ILC を作って 250GeV でオペレートするのは可能なので、500GeV と 250GeV を資金関係なくいずれでも作ってよいと言われれば、500GeV を作ることになると思うが、まずは 250GeV で断面積を最大のところで測って、次の手を考えるということに対し賛同するというのが焦点を絞った計画ということ。

家委員会委員長：かつての 500GeV の時は、オペレーションの順番として、500GeV、350GeV、250GeV と行う計画だったが、あれはどういう考えに基づくものか。

藤井参考人：新粒子発見ということが、新しい物理の存在をいうために最も直接的な方法。それで早い段階で見つかることを期待して、まず一番高いエネルギーで新粒子があるかないかを見る。500GeV でもヒッグス測定はやれるから、これだけ探してもないだろうというところまでやって、その上で当時は 500GeV をやらないと、ヒッグス結合はモデルインディペンデントには決められないと信じられていたので、250GeV に戻って 2,000 インバースフェムトバーンのデータをためて、両方のデータを使って、ヒッグスの結合定数を精密測定して、それから新しい物理を見つけるというストラテジーだった。

中野参考人：多分 13TeV の LHC の結果を 1 年でいいから見ろというのと同じ理由だと思う。新粒子を探索する時は、統計でなくエネルギーなので、まず 500GeV をやるのがストラテジーだった。

家委員会委員長：そういう意味で言ったら、500GeV の ILC があつたら最初は高いエネルギーで走ってみようということになるのか。

藤井参考人：どんなマシンを作っても、まず一番高いエネルギーで走る。

米田委員会副委員長・分科会委員長：これは 250GeV が科学的に最も意義があるレベルだから 250GeV としたという意味か。しかし、世の中の方は予算を削減して 250GeV にしたと、あべこべに理解している人も中にはいるようだ、それに対する反論はあるか。

中野参考人：マスコミの方にはきっちり報道していただきたい。我々は 250GeV に下げる時にコスト削減のモチベーションもあつたと思うが、科学的意義を検証する上で 250GeV で走ることにしては、焦点を絞ったいい計画だと考えている。LHC の結果を踏まえて、今できるベストのことは何かと。それは必ずしも初めの松コースではないが、今ある方法の中では王道であろうというのが我々の結論。

家委員会委員長：真空の安定性を判定するトップクオークの質量測定は、LHC でかなりできるという話だった。多分 LHC も走り出したところに比べて解析能力も随分上がっていると思うが、今後その手のことで、昔はレプトンコライダーでないが無理だと思っていたことが LHC でもできそうだということはないか。

中野参考人：一番競合するのは、ヒッグス粒子の結合定数の精密測定で、ハイルミノシティ LHC のひとつのメインテーマになっている。どちらが有利かについては各々の粒子によって違うと思うが、例えばトップクオークだと LHC でしかできない。

藤井参考人：250GeV の ILC だと、トップクオークに関しては直接作れないから、そういう意味では、LHC の結果と ILC の結果を併せて精度を上げる。

中野参考人：ただし、かなりの測定モードに関して、バックグラウンドの少なさから ILC の方が最終的には有利である。

家委員会委員長：午前中に見せていただいた図にはエラーバーがあつて、どちらにズレるかを判定するという話だった。それとの比較いうと、将来の話かもしれないが LHC ではどの

程度まで判定できるのか。

藤井参考人：あの図もそうだが、当然理論も進歩するだろうし、今考えている精度がよくなることが考えられるわけだが、プロジェクションなので仮定をおかずに予測することはできない。例えば、今考えている系統誤差というのが、系統誤差ではあるが統計に従ってルート n 分の 1 で減っていく。それから今考えている理論の誤差が半分になる。それを仮定した場合、どの程度（誤差が）減るか、ある程度そこでインプルーブするということを想定して、それでもこれくらいだろうという LHC 予測との比較を見せた。

田村委員会幹事：今のことをもう少し詳しく聞きたい。赤い線と緑の線の意味が、ハイルミノシティ LHC の赤い線は何年間走ったと考えているのか。

藤井参考人：フル（の実験）であり、3,000 インバースフェムトバーン。

田村委員会幹事：3,000 インバースフェムトバーンは何年間か。それは走ると決まっている分ということか。

藤井参考人：走ると決まっている分だ。その後さらにというと、あり得るけど入っていない。あくまで 3,000 インバースフェムトバーンという今いわれているハイルミノシティ LHC の最終到達データ量を書いた。先ほどの家先生の質問に補足すると、よく見ていただくとわかるが、ILC は「プラス ILC」と書いてある。LHC 実験というのはヒッグスのできる量という意味でいうと、ILC よりたくさんできるので、信号がすごくクリアで簡単に探せる崩壊モードであれば、ILC より感度が高い。ヒッグスが $\mu + \mu$ みたいなものに崩壊する、ヒッグスの崩壊というのは軽い粒子へはなかなか崩壊しないという性質があるので、ヒッグスの軽い粒子への崩壊というのは、LHC の方が見やすいということがあり、ヒッグスが μ 粒子に崩壊するとか、ヒッグスが光子 2 つに崩壊するとか、そういう反応に関していうと LHC の方が見やすいが、それを絶対的な確率に焼き直そうとすると分母がわからない。ILC で分母を決めてあげて、LHC と ILC の結果を組み合わせると、例えば光子に崩壊するような、光子への結合定数というのは、合わせ技で LHC と ILC のシナジーで精度が非常に高まるということもある。

（5）文部科学省に設置された有識者会議の検討について②（中野参考人、横溝参考人）

中野参考人により、資料（35 頁から 54 頁）に基づき、技術設計のコスト検証について、説明が行われた。説明の主な内容は次の通り。

- ① ILC 計画見直し後の計画見積もり
- ② コスト面のリスク要因や技術的な課題

③ 人材等リソースの収集に関する国際協力の方向性

続いて、横溝参考人より、資料(54頁から62頁)人材の確保・育成方策の検証について、説明が行われた。説明の主な内容は次の通り。

① 大型加速器プロジェクトをめぐる人材確保の状況：大学、研究所、企業、海外

② 人材育成の課題と海外からの人材供給

その後、次のとおり意見交換が行われた。

家委員会委員長：確認だが、最後の表というのは、アドミニストレーションのスタッフ、事務組織の人員は入っているのか。

中野参考人：入っている。

中静分科会幹事：環境についてはあまり大きな配慮がされていないと感じた。全体を通じてどの程度環境に配慮するのかという方針が全くない。10年後は今よりもっと厳しくなっているはずで、そのことを考えたり、欧州はもっと厳しい環境基準を持っているので、国際的にこういう研究をする時にどのくらいそれを考えるかについては方針を持つべきだと思う。例えば、エネルギーもCO₂をどの程度排出しているかが問われる時代になっているので、それをどの程度か推計するとか、再生可能エネルギーをどの程度入れるとかということも考えておくべきだし、色々な物品調達も調達業者のリスクもあるので、グリーン調達をどうするかは基本的に考えておくべき。それからアセスメントのことが書いてあったが、15行くらいで。本体の工事以外のアセスメントにはいっぱいかかると思うが、最近土砂の捨て場の災害はもちろんだが、最近の新しい傾向としては、土砂を堆積したところをどうやって元の生態系に戻すかとか、そういうミティゲーションだとか、壊した場所をどうオフセットするのかとか、そういうことが問われている。米国も欧州も多く行われていること。そのようなものをどのように考えていくのかという基本的な方針を出すべきだし、例えば北上を考えるのであれば、私に関わったある企業のアセスメントは、猛禽類の生息環境をアセスメント実施前に何年もかけて復元したりしている。それをやると工期に物凄く影響するから、そういうことをリスクとして考えるべき。あと、リニアコライダーの特殊性としては、トリチウムの処理を最終的にどうするのかということも、環境問題としてとらえられていないのかなと思っていて、環境部門の配慮は非常に大きな方針を欠いている。

梶田委員：中野先生の人材の話をお聞きして、明らかに日本だけでは人材が足りないと説明されているが、具体的にはILCのコラボレーションとしては、どのような感じで世界的に人材を集めるかについて、どういう検討が行われているのか。

中野参考人：まずは、国際連携は非常に重要と考えており、日本でだけでILCのために人

材を育てて働いてもらって、できたら「はい、さよなら」というのも難しいので、これは CERN のように、連携していく国から人材の面でも貢献していただく。製造工場は日本だけでなく海外にも拠点ができると考えており、そこで貢献していただく。日本にきていただく場合も、言葉の壁とか住環境とかもあるので、それを整備して、なおかつ CERN ようにブランド力を高めて、日本に来てこのプロジェクトに関与するということが、各々の国に帰った後でのキャリアパスにつながると。そういうことを今から考えておかなければいけない。

道園参考人：まず建設期間の 800 人という人数は、ホスト国もあるが各拠点で、例えば超伝導の場合だと、空洞を受け入れてクライオモジュールまでを作るというのが各拠点、欧州とか米国で行った上で、12m 程度のクライオモジュールを日本に、ホストの所に持ってきて組み立てる、という前提なので、建設期間の 800 人という人数のうち、各拠点でもそれなりの人数を確保すると。人材育成に関しては、「準備期間」とあるが、これには 2 つ意味合いがあり、準備期間にやるべき詳細設計の部分と人材育成という 2 つの観点からスムーズに建設まで移れるようにということで考えている。

家委員会委員長：そうすると、現地に滞在する人はだいたいどのくらいか。建設時、運転時にどのくらいか。

道園参考人：手元に数字がない。

家委員会委員長：建設時にはかなりの人数が必要だと思うが、定常的な運転となったら、最近ではデータのリモート解析もできることから、現地にどの程度の常駐の人が必要なのか。

道園参考人：運転時についても手元に資料がないが、運転時も、メインキャンパスにどの程度の人がいるかということか。

家委員会委員長：訪問される研究者もたくさんいるかとは思いますが、ILC のオペレーションに最低限必要な人員はどの程度か。

道園参考人：正確に覚えてはいないが、600 人とかそのくらいの規模だと思う。

中野参考人：資料の 70 頁の ILC 人口推計データ。次の頁にグラフがでているので、だいたいの規模はわかると思う。

望月委員：今の人員の話は、トンネルの建設関係は入ってないと思う。20 km のトンネルの

施工事例はあるが、水平で直線というのはなかなかない。道路のトンネルだと、ちょっと地質が悪くなったら、ルートを少し曲げてしまうという事例はあるが、今回はそうはいかない。また、水平だと工事中に水が出た時に困る。もちろん工事が終わった後もそうであるが。そのあたりを考えると、どこのルートにするかというのは非常に重要な問題。調査検討を十分にやってもこうしたトラブルはまだ起こり得る。まず徹底的にいい場所を選ばなくてはならない。今の状況は、北上と脊振の両方の手は上がっているが、どちらにするかは決めていない。まず決めるために何をやるかという話がある。それからどういう段取りで進めていくかを考えておかなければならない。何と何と何の調査をして、ルートをいくつ設定しておくか、その辺まで進んでから費用をはじく。しかもその時には実験をする上で必要な要素が入ってくる。それからメンテナンスをどうするかとか、トラブル時にどのようにトンネル自体を補修するか、そのスペースをどう確保するのかとか、色々なことを考えて設計に反映していかなければならない。何がしたいかという、まず時間が相当かかる。環境アセスメントの関係もあるから、工事を始める前に4年(準備期間)というのはあまりにも短い。合意形成もしなければならぬ、用地も買わなければならぬ。次に申し上げたいのは体制。今の人員には、トンネルの建設、土木の関係が入ってない。まず工事を発注する発注者として技術力のある人間をどれくらいまず集めるか、地元の説明しに行く人間が合意をとって用地買収しないとイケないが、どの程度の体制を組むか、アクセス道路の検討もあるが、位置決めの際にそういう条件を全部加味して考える必要がる。海外から現物でくるものが、軽いものならいいが、重いか嵩張るものとかであると、どういう車両で現地まで運ぶのか、ここの橋梁は直さないといけないとか。それらを行う体制をどう作るかという問題がある。今の段階で費用はこうだといっても、相当危ない。リスク、リスクといってもまずい。事前の調査なりでリスクを減らして、それでも残るかもしれないリスクに対してこんな大工事の場合には、もしあったらこう対応しよう、そうしたらそれを事前にどう設計に織り込むかということくらいまでいかなければならない。その他要求性能なども整備する必要もある。人の体制と時間、それに要する費用。そういうことを対外的に説明しておかないと大変だと思う。場所決めについても、最初の北上と脊振をどうするのかという話にしても、きちっと整理してものが言えるようでない、後で、地元、用地担当者なりが説明できないようでは、話にならない。午前中申し上げた安全安心の絡みについても答えが入っていないと合意形成は難しい。何れにしても、体制と時間と、それに要する費用(全体の費用ではなく)もかなりかかるのではないかと。

中野参考人：確かにそのような検討や、そのような時間はかかると個人的に考えている。加速器の人材育成の観点から見ると、そのような時間も貴重な時間だから有効に使えばいい。4年という期間で加速器の人材を集めるのはかなりチャレンジなので、環境アセスメントや土木に要する時間も有効に使って人材育成するのもある。

家委員会委員長：物理やマシンのことは検討は十分されていると思うが、指摘があったようなことを検討する体制というのはどうなっているのか。

道園参考人：立地に関しては研究者組織で、2013年に脊振と北上を評価したことがあるが、そういった資料は活用していただけるのではないかと。

嘉門分科会副委員長：資料7のまとめというのは、技術的成立性、人材育成についていろいろ踏み込んでいただいていると理解。必要性は書いてあるが、これの実現性をどうするのかは書かれていない。準備期間4年という期間についても、トンネルという受け入れ施設を作るための準備期間、設備や機械の開発の準備期間、国際共同研究をやるための組織を作るための期間、それをひっくるめて4年でできるのか。日本に施設を設置すると決定してから4年ということかもしれないが、それにしても、日本に施設を設置するとなると諸々のサイトを建設するための時間・期間、準備や人が全部必要なわけで、そういう組織的なものはKEKでできるとはとても思われないうし、そういう組織をきちっと設置した上でできない話。そういう意味ではサイト特性は早く決められて、日本が設置をするということについては、それに基づいた実際の、例えばトンネルづくりであれば土木業界含めてこれまで踏み込んだ調査・計画されていると聞いているので、そういう実績を踏まえた実現可能性を、どういう組織体でやるのか、それを決めないと実現性は難しいと思う。

中野参考人：個人的な意見になるが、全くその通り。実現可能性ということ考えた時に、ここに書かれたことがすべてだとは思ってなく、多くのやるべきことがあり、それをやれる人材を集め、やれる組織を作らないといけないというのはその通り。有識者会議及び作業部会では、我々は当事者としてILCをやるならどうやるかという議論でなく、既に計画があって、その計画について内容が内容的にどうかということ議論したわけで、重要度が低い状況の中での議論になってしまった。人材育成についても、人数的には事実だろうが、それを実現するにはかなり戦略的にやっていかなくてはならないし、企業の側も協力する気があったとしても、急にはできないということもある。そのようなことは、問題点、課題としてあげた。ただし、それより大きな問題、それを実現するための前段階をどう実現するかという議論はなされている。

横溝参考人：今日報告したのは、TDR検証作業部会というのができて、TDRというデザインレポートがあって、それに関してある意味その範囲で意見をいうという形で議論を進めた。具体的にどの場所でどのようなことをやるかについては、議論の範囲を超えていかなか議論できなかつたのが実態。例えば環境の調査でも、消滅危機の鳥、大鷹の子どもが育つまで木を切ってはいけないとか、地面を掘ると遺跡が出てきて調査が終わるまでそれを崩してはいけないとか、私自身実際に経験している。ただ今具体的にこのサイトだという

議論はしていないのが、この部会の範囲であった。

西條委員会幹事・分科会幹事：資料の 85 頁から 86 頁までに、研究者コミュニティにおいて想定される研究者の周辺環境状況についてかなり詳しく書かれているが、先ほどのコスト金額に入っているのか。つくるところの市長と相当連携を取りつつ何らかの対策をうっていかないといけないと考えるが、先ほどのコスト金額に入っているのか。

横溝参考人：ほとんど入っていない。

小林委員：議論の関係性をもう一度確認したいが、有識者会議の先生方の意見は、コライダーを実現するために自分たちがどう考えているかというスタンスではなくて、推進して実現したいという人たちの提案に対し、有識者としていわばアセスメントしていると理解した。そうすると、議論の前提は提案されたものの範囲に閉じられていて、それをアセスするところという点の問題があり、考えるべきことがあると、そういうことを指摘しているペーパーであると。それを紹介していただいたと。そしてさらに足りないぞというのが今回の議論だと、そういう整理と理解した。その上でお聞きしたいのが、環境問題のところで、放射性廃棄物が出るとのことだが、どういうレベルの放射性廃棄物がどの程度の量出るかは見積もられているのか。

横溝参考人：検討されている。これは加速器施設なので、原発ほどひどくはない。しかし、L3 に相当するものが出てくる。それは、ビームダンプ、ターゲットで当たっている部分。それでも入っている成分によって結構早く放射線量が落ちていくので、10 年程度で L2 レベルのものも L3 に下がるという評価は既にされている。

小林委員：でもその処分の問題は出てくる。原発ほどひどくはないにしても。その合意形成系の話がでてくると考える。

横溝委員：最終処分に関しては、国のサイトがどこになるかということも影響してくるかと思う。

小林委員：人材が足りないということで、今からでも少しでも国内での人材を作らないといけないというのは、その通りかと思う。その人材育成というのは、先程のコストの議論の中に入っているのか。このコストは相当限定されたコストということか。

中野参考人：入っていない。ただし、建設に係るコストの中の人件費は入っている。建設に入る前にそういう人材を育てるためのコスト等は入っていない。

道園参考人：準備期間に必要な人件費等は、準備期間のコスト 233 億円の中に入っている。

永江委員：46 頁の見積もり表で、今は見積もりを行ってないものに計算機センター等もあるが、ILC でプロデュースされるデータの量はそれほど大したことないのか。どの位のデータ規模となるのか。

道園参考人：KEKB の Belle2 並みに必要。

米田委員会委員長・分科会委員長：資料の 114 頁に CERN と ILC が書いてあるが、CERN は様々な成果を出したような話があったかと思う。多くの方が ILC でまた新たな地平をひらこうという話が、中田先生、道園先生、藤井先生のお話にあったかと思う。CERN に比べて ILC がなぜ必要なのか、それが世界に必要なのか、もう一度ピーアールを聞きたい。

中野参考人：科学的意義は高いと思う。現在色々なところで手詰まり感がある。あると思っている新粒子がなかなか見つからない。次どうしようかという時期にさしかかっていると思う。新粒子を直接作るのは簡単でなく、すぐには実現しない。間接的、あるいはヒッグスの詳細測定がでているが、新粒子を直接作るのではないが、量子力学的な不確定性の範囲内だけ新粒子をつくって、その効果を見るという物理自体に色々注目が集まっていて、その中でも ILC というのは、そこで出てくる結果の解釈のクリアさという点で他よりはるかに優れている。そのような意味では、いろいろな問題はあがるが、そのような問題がなければこういうものを作って研究する意義は十分ある。それが科学的意義の面での検証結果。それをどう実現するかに関しては、先程の国際貢献、特にお金の面、人材育成、地域の理解等々課題があるので、それを解決していかなければならない。

中田参考人：学者は本質的に、何でも全部やりたいし、一度にやりたい。それはできないということはわかるので、まずやるものを決める。決めたものでも、全部一緒にやるのは当然無理なので、どこで、どれを、どういう順番でやるかを決めよう。それが今行なっている戦略とかプランニングとかにあたる。世界的に見ても、レプトンとプロトンの 2 つがあることは非常に重要だと理解されている。欧州ではハドロンをやっている真っ最中で、それをやめて ILC をやりなさいというのは無理だと思う。その時に欧州以外にリソースを見つけて、レプトンをやれるとしたら、という意味で日本に対する期待は高いというのが、欧州から見ても米国から見ても、そういう状況だと思う。欧州もアメリカも、自分たちのメインプロジェクトがあるにもかかわらず、日本が ILC をやると言った場合にはどの様に協力できるか話し合いたいと言っている。世界的に見てリソースがあって、それをどうやって、どこで使ったら一番効果的にできるかを考えたうえで、ICFA、LCB が出した結論だと思う。

藤井参考人：サイエンスの意義に関しては、中野先生もいわれたように、今の現状の LHC を見た限りは 250GeV の ILC をやるのが次の加速器として最適な選択。新粒子が見つからなかったのは素粒子物理学の業界としては残念だったと言える。しかし、ILC を進めている立場からいうと、仮に新粒子が見つかったら、これほどヒッグスの精密測定に対する期待度も高まらなかったらうし、仮に ILC で LHC で発見された新粒子に関連したもう一つの新粒子が見つかったとしても、それは非常に大きな成果になるが、最初に言った「道を決める」という観点でいうと、既に道が決まった上で、さらにその道をしっかり舗装していくということになるので、そういう意味ではまさに「道を切り開く」それができるチャンスがころがってきた、ビッグチャンスである。そういう意味で非常に大きい科学的な貢献がまさに ILC を作ればできる。このチャンスを逃すのはもったいないと思う。もうこういうチャンスは二度とはこない。

道園参考人：欧州で今 LHC が動いていて、プロトン、プロトンであるが、アジアでエレクトロンのマシンが、ある意味分業のような形ではあるが、それができれば、今後も大型加速器の拠点として日本にあれば、加速器は色々なものを複合的に使っているので、もちろん基礎科学に貢献できるというのは嬉しいことだが、それだけではなくて様々な波及効果があるということ、建設に 10 年かかりその後 20 年程度運転するというので、次世代にも基礎科学の目を残しておくということで、広い意味で ILC はいいプロジェクトであると考え

家委員会委員長：問題は多岐にわたっているので、引続き委員会、分科会で議論いただきたいと思う。

議題 4. 今後の審議スケジュールについて

- ・委員会では、家委員会委員長より、資料 8 に基づき、委員会のスケジュールについて説明が行われ、今後参考人として誰を招くかについて役員間で調整する旨伝えられた。
- ・分科会では、米田分科会委員長より、資料 8 に基づき、委員会のスケジュールについて説明が行われ、今後参考人として誰を招くかについて役員間で調整すること、説明に機微な情報が含まれる場合は、議事の一部を非公開とすることが伝えられた。

議題 5. 今後の審議スケジュールについて

- ・家委員会委員長より、委員間のメールアドレスを共有することに関し確認が行われた。

(閉会)