

第2回 将来計画委員会 議事録

日時：2016年6月26日(日) 13:00 - 16:00

場所：東大素粒子センター

出席（東大）：石塚、石野(雅)(委員長)、大谷、帯名、北口、佐貫、谷口
戸本、南條、松本（以上、将来計画委員）、寄田（以上、高エネルギー委員）
出席（Vidyo）：北野、阪井、中平、樋口、森山、吉岡（以上、将来計画委員）
岡田、久世（以上、高エネルギー委員）

欠席：石野(宏)
（五十音順、敬称略）

資料：

<http://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/~mishino/dokuwiki/doku.php?id=hepfuture2016>

以下、発表者以外のコメントを（C:）とし、発表内容については議論になった点を中心にまとめる（詳細については資料を参照）。

C（石野委員長）：今回の会合ではILCとLHC-ATLASについて、答申の2章の書き換えポイント、1章の書き換への提案を中心に報告を行う。加速器の将来計画については、個別に報告の機会を設けて改めて議論する。

1. ILCについての報告（大谷（発表）、佐貫、吉岡）

- ・ 前回答申発表後に質量125GeVのヒッグス粒子が発見され、ILCの最初の目標が確定、ILCの重要性・緊急性が明確となった。
- ・ ILCの最初の目標として、ヒッグス粒子の詳細研究（断面積、結合定数、自己結合）、トップクォーク精密測定、新物理探索などが挙げられる。
- ・ 新物理探索の戦略については「LHCで新物理の発見なし」、
「（ILCの重心系エネルギーよりも）軽い新粒子を発見」、
「重い新粒子を発見」の3つのシナリオに応じて検討している。
750GeVに見られる新粒子の兆候に対しても、重い新粒子発見のケーススタディーとして、ILCで可能な研究・検証についての議論を行っている。

C: 750GeVに新粒子があった場合、500GeVのILCで具体的にどのような検証が可能か？

C: モデルにもよっては新粒子の輻射が標準模型の過程に影響を与え、崩壊比率の精密測定などから新粒子の検証が進む可能性も考えられ、LHCと相補的な研究が期待される。

C: Belle IIでも同様に何か見える可能性はあるか？

C: 特にフレーバーが関係してくる場合、Belle IIでも新粒子の影響が見える可能性はある。

- ・ LCC発足により研究者による新しい国際推進体制が確立し、KEKでのILC推進体制についても更新された。

- ・日本学術会議の答申を受け、文部科学省が公式にILC実現の検討を開始している。
- ・実際にILCの開始が決定された場合の実施組織の立ち上げ、人材配置案などについてもKEKを中心に検討を開始している。
- ・ILCの運転計画（資料13ページ）の背景となっている意図について理解を深めた。

- ・ILCに関する各国政府間の取り決めについては、二国間での議論を進める方針をとり、現在は特に日米間での協議を中心に進めている（資料24ページ）。

C: ここでの協議とはどのレベルの話し合いなのか？

C: DOEや文科省レベルの話し合いになる。

- ・ILCで重要な課題となるクライオモジュール量産の目安として、DESYでのEuropean XFELの準備状況が説明された。当初はクライオモジュールの組み立てに時間を要していたが、10-20台程度製造後は4日に1台のペースで量産体制に入っている。また、加速勾配についても28-30MV/mの数字が出ている。

C: 4日1台というのは目標値か？

C: 500GeV加速器には2000台のクライオモジュール（16,000台の加速空洞）が必要になる。1ヶ所で組み立てを行うと30年かかるが、3ヶ所（日本・欧州・アメリカ）で組み立てると10年で製造可能という計算になる。人材育成・製造を請け負う企業体制も含めて3ヶ所の製造ラインをきちんと用意すること、組み立てのみでなく、他の作業（空洞の性能測定など）と並行して進められる設備を用意することがILCでの課題である。

C: 加速空洞の安定性などについても、今後のXFELでの運用状況が指針となりうる。また、加速勾配については実際の運用ではエイジングの影響で若干（1~2割り）下がる可能性があるため、その点も注意する必要がある。

C: 加速器製造の技術的観点および製造スケジュールを考慮すると、250GeV加速器の運用から開始して、実機での性能や安定を考慮した上で、アップグレードで500GeVを目指すのが現実的ではないか。

C: 製造スケジュールや人材育成については、有識者会議でも議論がされており、改めて答申に加える必要はないと考える。

C: 当初から議論され研究計画にも組み込まれているが、ILCの実現に際しては、日本に加速器・素粒子の研究者があつまる大規模な拠点を形成する必要がある。

C: ルミノシティを上げるためには陽電子を大量に生成する必要があり、ILCはアンジュレーター方式を中心に検討している。この方式は偏極陽電子が得られるという大きなメリットがある一方、150GeV以上に加速した電子からのガンマ線を利用して陽電子を生成するため加速器を作るまで実用試験ができないという懸念がある。電子偏極のみでも物理に対する基本的な要請の多くは満たされるため、従来方式で始めて将来的に偏極陽電子に移行するシナリオについての議論もある。

C: 従来方式では十分なルミノシティを得ることは難しいのか？

C: 十分なルミノシティ(単純長時間平均でSLCの65倍)を得ることはチャレンジングな

課題。ただし、チャレンジングという意味ではアンジュレータ方式も同様。
熱負荷対策のためのターゲット回転の速度は、アンジュレータ方式は従来方式に比べて20倍速く(接線速度100m/s)、より難しい。

C: レーザーコンプトンを用いた陽電子源については可能性が検討されているのか？

C: 十分なルミノシティを得るためには多数のレーザー光源を用意する必要があり、アンジュレータ方式や従来の方式に比べて難しいが、その点を克服するためのR&D(レーザー蓄積空洞など)が進められている。

- ・ ILC国内建設候補地を東北・北上山地で一本化した。現在は地質調査を進め、良好であるとの結果を得ている。
- ・ 検出器の設計・建設スケジュールについても調整を進めている。
- ・ 答申のアップデート案が報告された(資料47ページ参照)
 - ・ ILCの重要性は不変であり、125GeVにヒッグス粒子が発見されたことにより、ILCで最初に取り組むべき課題が明確になった。
 - ・ 前回答申直後に高エネルギー研究者会議から出された提案「ILCをグローバルプロジェクトとして日本がホストして建設する」と同様のものを今回の答申に組み込むことを検討したい。
 - ・ タイムラインについても更新する必要がある。

C: ヒッグス自己結合の測定が100事象程度となっているが、解析で制限されるのか？それとも断面積の問題か？

C: 断面積の問題で事象数が限られるが、双方のヒッグス粒子がbクォークへ崩壊するモードを選別できるので、生成事象を最大限に利用できる。自己結合定数はヒッグスポテンシャルの形状を決めるパラメータであり、標準模型の検証として特に重要な研究課題である。

C: 暗黒物質探索について、質量測定の精度はどの程度を見込んでいるのか？

C: mono-photonについては3%程度との見積もりがある。

C: ILCの予算の枠組みについて、これまでの実験とは異なる特別枠になるという認識だが、どのように考えて計画を進めているのか？

C: ILCは国際協力で行う計画であり、マスタープランの中には含まれるが、予算化については特別な議論が必要となる。

C: ILCの開始が決定された場合(建設に向けてのグリーンライトが出された場合)、どのような動きが予定されているのが。各国間の協議は決定が下される前に終える必要があるのか？

C: グリーンライトが出された場合、政府間交渉を正式に始め、実施組織の立ち上げを行うことになり、建設開始までには数年を要すると考えられている。各国が負担する予算などについても、下地となる議論を進めるが、開始の決定を受けてから交渉を進めることになる。

- C: 有識者会議の提言（資料17ページ）にある「新粒子発見の可能性について見通しを得るべき」という点については、ILCの動機としてヒッグス粒子の精密測定では十分ではなく、新しい物理発見の見通しが限られる限りは新しい動きはないというように読み取れる。この点については、今回の答申ではどのような方針をとるのか？
- C: この提言は、LHCでの新粒子探索で予想される結果に対応したILCでの新物理探索の見通しを明確にすべきというものであり、この点については回答を用意してある（資料10ページ）。答申に加えらるる要素として、ILCのリーチを超える重い粒子が発見された場合でも、精密測定による研究によりLHCとは相補的な知見が得られる、という点について言及できると考えている。
- C: ILCの国際協力に対して各国の状況はどのような感じか？
- C: ヨーロッパではアクティビティーがあるが、アメリカはニュートリノとLHCに予算と人員を割いているためかILCに積極的に参加するのが難しい状況である。
- C: ILC実現のためにクリアすべき課題とコミュニティからのお墨付きのようなものを答申の中に盛り込むことも検討すべきか？
- C: 答申の中ではコミュニティからのサポートを明確にすることが重要であり、技術的な保証などをコミュニティとして明言する必要はないのではないか。
- C: ILCはグローバルプロジェクトであり、国際協力のもとで推進する将来計画であることを明確にすべきである。

2. LHCについての報告（戸本（発表）、石塚、石野、南條（将来計画委員）、久世、花垣、寄田（高エネルギー委員））

- ・ LHC Run1で質量125GeVにヒッグス粒子を発見し電弱対称性の破れと質量の起源についての理解が進んだ。
- ・ Run2以降では重心系エネルギーとルミノシティを上げ、新粒子・新現象の発見、ヒッグス粒子およびその他標準模型の精密測定を課題とする。
 - ・ 2015年から重心系エネルギーを13TeVに上げてRun2が開始している。
 - ・ 2016年の6月のCERN理事会でLHCの高輝度化（HL-LHC）が正式決定された。
 - ・ さらにエネルギーを上げるために、FCCおよびLHCの高エネルギー化（HE-LHC）を検討している。
- ・ 16T双極超伝導磁石により、100kmの周長で重心系エネルギーが100TeV、27kmの周長で28TeV（HE-LHC）に到達する計算となる。
- ・ LHCでは2016年も順調にデータ収集が行われており、ガンマ+ガンマの不変質量分布の750GeV付近に確認された超過の兆候については、2016年内に決着がつく見通しである。LHCでは今後も人類未踏のエネルギースケールでの新物理探索を続ける。

- ・ HL-LHCでは10年程度で3000/fbのデータを集め、ヒッグス精密測定、SUSY・Exotic探索などを進める。
 - ・ HL-LHCおよびFCCの実現には超電導選材も含めた磁石開発が鍵となる。HL-LHCについては、開発の目星がついた状態にある。
 - ・ HL-LHCへ向けた加速器アップグレードのなかでKEKはビーム分離双極電磁石を担当し、試作機での通電に成功している。
 - ・ 検出機アップグレードについては、日本グループがシリコン半導体検出器（内部飛跡検出器）とミュオントリガーを中心に貢献している。
- ・ 現LHC、高輝度化（HL-LHC）、さらにその先にある高エネルギー化（FCC、HE-LHC）を含むタイムラインの図の更新案が提示された。（資料26ページ）
- ・ 1章でのLHC関連の記述について、以下の3点を盛り込む更新案が提案された。（資料28ページ参照）
 - ・ ヒッグスの発見を受け、HL-LHCによるヒッグス精密測定と新物理探索が今後の重要課題である
 - ・ より高いエネルギースケールでの新物理探索に向けてFCC/HE-LHCの開発研究を強化する
 - ・ LHCに日本が積極的に関与することを示す

・ その他2章の修正案が提示された。（資料29ページ参照）

C: LHCの研究者はの多くは、LHCの高エネルギー化（FCCおよびHE-LHC）を中心とすべき将来計画と捉えているのか？

C: 現在、日本では高エネルギー化へ向けた具体的な議論は始まっていないが、興味を持つ研究者が多く集まるようであれば、今後は日本の取り組みについても真剣に議論を始める必要がある。

C: 現在、FCCの実現に向けて、開発研究を進めている研究はどの程度いるのか？

C: 日本から積極的に参加している研究者は今のところいないと理解している。検出器の設計などについての会議はCERNで定期的に行われている。

C: CLICは開発研究を続けているのか？

C: 最近はアクティビティーが落ちているように見受けられる。

C: FCCについては設計の議論が始まった段階で、加速器開発の現場としては、まずはHL-LHCの開発の目処をつけるところが最優先であり、高エネルギー化についてはその後、という印象を受けている。

C: 28TeVと100TeVで期待される物理の測定感度の違いについて、議論はされているのか？

C: 同じ積分ルミノシティで比較した場合、14TeVの重心系エネルギーで不変質量5TeVのリミットが与えられていた新粒子に対し、重心系エネルギー28TeVでは8TeV、100TeVでは20TeV程度までの感度が期待できるという計算結果がある。（資料40ページ、41ページ参照）

- ・ヒッグス結合の測定に関連して議論がなされた（資料7ページ）

C: 根本的には力の大統一や階層性問題、電弱対称性の破れなどの物理に対する疑問があり、それらにアプローチする手法のひとつとしてヒッグス結合の測定を行う。LHCではさらに新粒子の直接探索が可能であり、一方、ILCではヒッグス精密測定による新物理探索が期待される。
