

第 29 回リニアコライダー計画推進委員会議事要録

日 時：平成 27 年 2 月 19 日(木)13:00-17:00

場 所：3 号館 1 階セミナーホール

出席者：岩下、川越、栗木、駒宮、佐貫、山内、伴、山本(明)、幅、野尻、藤井、田内、横谷、赤井、
榎本、小林、早野、岡田、佐々木、萩津、山中各委員
(TV 会議出席)山下委員
(欠席者)相原、山本(均)、村山、山田、生出、徳宿、田中、山口、照沼、根本、峠、金子
各委員

議 事：

1. はじめに

山本委員長より下記の報告があった。

- 文部科学省が野村総研と行っている国際サーベイの進捗状況を、川越委員より追加報告する。
- 前回議事録にリモート参加者を追記する。

2. 国際・国内情勢について・報告

岡田理事より下記の報告があった。

- 2014 年 5 月に、文部科学省の ILC に関するタスクフォースへ input を行う組織として、ILC に関する有識者会議が設置された。有識者会議は現在までに 2 回開催されており、2015 年 4 月 21 日開催予定の有識者会議(第 3 回)では、両作業部会からの報告を受け、中間報告を行う予定である。
- 文部科学省は独自の予算を獲得し、海外を含む HEP 研究所の状況、及び ILC の技術スピノフを調査している。調査内容は有識者会議(第 3 回)において報告される。
- 有識者会議委員が 2015 年 1 月 9 日に KEK を視察した。つくばキャンパスのほとんどすべての加速器を見学した。また、鈴木機構長、岡田、山内、徳宿との懇談の場を持った。
- ICFA は 2014 年に 3 回開催され(2 月、7 月、10 月)、2014 年 2 月と 7 月に ILC に関する statement を提出した。2014 年 2 月の statement では、ILC に対する supportive な表明を行い、また国際的にどのような人材が available かの調査に協力する旨、表明した。2014 年 7 月の statement では、2014 年 5 月の P5 レポート(米国)、2012 年の高エネルギー小委員会レポート(日本)、および 2013 年の European Strategy(欧州)の 3 種類のレポートを受けて、HEP に対する ICFA の立場を表明した。また、技術が mature な ILC と、今後国際的に study を開始する将来の PP 円形加速器の立ち位置の違いを明言し、ILC に対する supportive な表明を再度行った。さらに、2014 年 7 月の議事録に、ILC 建設に対するホスト国のコスト分担に関する事項が記載された。ホスト国 50%負担モデル(ホストが civil engineering を全額負担、SCRF は 3 極で分担=最終的にホストが 50%負担)に基づいた議論の開始を LCC が提言し、LCB が支持表明を行った。
- LCB の Governance subcommittee では ILC 研究所の運営方法、およびプロジェクトの進め方に

ついて議論している。建設候補地(北上)を念頭に置いて TDR 中の PIP (Project Implementation Planning)のところをアップデートし、2015 年 2 月に開催予定の ICFA/LCB 会議で報告する予定である。

- FALC は年 2 回開催されており、2014 年は 5 月、及び 10 月に開催された。10 月開催の FALC では、文部科学省・素粒子原子核研究推進室の嶋崎室長が有識者会議の状況、および文部科学省の ILC に対する立場を説明し、意見交換を行った。2015 年 6 月に CERN で次回 FALC を開催予定。有識者会議等の日本の状況を伝え、情報共有を行う予定である。
- LCG directorate が 2015 年 1 月に北上を訪問した。また、ILC 議員連盟や文部科学省等と meeting を行った。
- 2015 年夏に ILC 議員連盟が米国を訪問する予定である。
- LCG の下、国際チームで Site specific design および加速器 R&D の検討を行っている。2015 年 5 月に Jefferson lab で開催予定の IPAC において、次のステップの為の方策を議論する。
- ATF では国際協力に基づく研究が行われている。ヨーロッパのグループは加速器 R&D の為の horizon2020(EU)の予算を獲得した。これに伴い、ヨーロッパから多くの研究者が KEK で共同研究を行う予定。海外、特にヨーロッパでは ILC に関する新たな予算の獲得が成功し始めている。
- ILC のための国際ワークショップは年に 2 回開催されており、2014 年は 5 月(AWLC2015)、及び 10 月(LCWS2015) に開催された。2015 年 4 月に KEK で ALCW2015 を開催する予定。4 月 22 日は東京大学伊藤国際謝恩ホールで開催し、午後は独立したイベントとして、東京イベントを行う予定。東京イベントは、ポリシーメーカー、メディア、一般人、産業界の人を含む、オープンなイベントとして LCG と AAA が主催する。ILC 計画に直接関係が無い研究者も含めて、多くの HEP 関係者の東京イベント参加を歓迎する。

3. Linear Collider Board からの報告

駒宮委員より下記の報告があった。

- 日本は LHC13TeV run が終了する 2018 年までに、(ILC 計画実施に対する)action を段階的に起こす必要がある。Action が無い場合、海外諸国は待てない状況になっている。LHC から得られる最終結果を待って、ILC 計画実施の可否判断を行う考え方もあるが、13TeV の最初の RUN 以降の結果を待つことは望ましくない。リン・エバンス氏も同様の危機感を抱いている。
- 駒宮、山下、森の 3 人で 2015 年 2 月 13 日に CERN を訪問し、欧州の high level scientists (Heuer, Gianotti, Mnich, Elsen, Foster, Le Diberder) と ILC に関して話し合う機会を持った。山下より日米の状況、日本の政産の説明を行った。相手側より、ドイツは FAIR 計画(GSI で行われている高エネルギー重イオン衝突実験)が進捗していないこと、また UK は 2015 年 6 月に選挙があることから、ILC 計画推進活動をドイツ・UK で行うことは難しいことが指摘された。そこで、先ず、フランスから始めることとした。
- 2015 年 2 月 26-27 日に ICFA が Jefferson Lab で開催される予定。2 月 26 日には LCB も開催され、ILC 研究所の在り方を検討した PIP が報告される。鈴木機構長の発案で ICFA の下に設置された Green ILC に関するパネルについては、もっと活発に活動してほしい。2015 年 4 月 13-14

日、PAC meeting が LAL で開催される予定。TDR 完成後米国では予算不足により R&D の進捗が遅かったこともあり、その進捗状況を評価する PAC を先延ばしにしていたが、これまでの総括を行うことになった。実際には米国以外では R&D はかなり進捗しており、4 月 13 日に Oliver Napoly 氏 (Sacray, France) が XFEL における cavity 製作状況を説明する。また、Jim Brau 氏 (米国、オレゴン大学) により ILC Energy Phasing and Running Scenarios が報告される。並びに、4 月 14 日は CLIC および physics detector に関する議論も行われる予定である。Physics detector の speaker は今のところ未定。議長は Norbert Holtkamp 氏 (SLAC) が行う。

コメント

- (藤井) PAC meeting の ILC Physics Case は Christophe Grojean 氏 (CERN) がおそらく発表者となる。
- (山本) PAC meeting の ILC SRF は、都合がつけば global leader として早野に説明をお願いしたい。都合がつかない場合は山本が発表する。

4. 戦略会議からの報告

山下委員より下記の報告があった。

- 今まで米国議会ねじれ構造の為に、DOE 内で ILC に関して議論できる high level position がなかったが、現在その position が出来た。2014 年 10 月および 12 月に米国の Undersecretary が決定したため、事務次官レベルで日本と議論をしたいとの申し入れがあった。日本側は文部科学省・政府・ILC 議員連盟が協力して会合実現に向けた準備を行っている。
- 2014 年 11 月開催の ILC 議員連盟総会において、7 月に開催された日米欧会合の内容が報告された。
- ILC 議員連盟のメンバーが、2015 年春に訪米、秋以降に訪欧を検討している。
- 2014 年 12 月に AAA が一般社団法人化され、設立総会が東京で開催された。設立総会では、土屋文部科学審議官、リン・エバンス氏、村山齊氏が講演を行った。今後は産業界と学際連携により、先端的な加速器技術を起業する為の活動を広げてゆく予定。AAA は、2015 年 4 月 22 日午後の東京イベントの企画を LCC と連携して詰めている。海外研究者・産業界・ポリシーメーカーの方々と交えた会合を東京イベントで行う予定。

5. 文科省:素粒子原子核物理作業部会からの報告

駒宮委員より下記の報告があった。

- 有識者会議(第 2 回)開催までに、作業部会は 5 回開催された。サイエンス、および ILC と LHC の関係についてある程度の consensus が得られたため、「有識者会議(第 2 回)への進捗報告」には、「LHC の結果に関わらず ILC は重要である」と記載することが出来た。上記記載は、今後とも固持すべきである。
- 2015 年 1 月 8 日に第 6 回、2 月 17 日に第 7 回作業部会が開催された。作業部会(第 6 回)で提示された議論項目、「投資に見合う科学的意義」は、consensus を得ることが難しい。作業部会(第 7 回)の資料 3、4 において、記載を変更・追記すべき点が多数存在し、「有識者会議(第 3 回)

への作業部会報告」を全面改定する必要がある。3月30日開催予定の作業部会(第8回)において上記報告書の記載内容を議論し、最終提出版を作成する。

- 有識者会議(第2回)では、一般人に分かりやすく報告書を作成するように指摘があった。サイエンスの consensus を分かりやすく記載する努力を行っている。

コメント

(山本)ILC 計画実施の可否判断時期が遅くなると投資効果が下がることを書き加えることが重要。アップグレード後の LHC が稼働している 2030 年に ILC が稼働し、相乗的な結果を出す方式が最も投資効果が高い方法である。

→(駒宮)その通りだと思う。どのようにしたらサイエンスとして効果を出す時期を逸さないかを記載するべき。

6. 文科省:TDR 検証作業部会からの報告

山本委員長より下記の報告があった。

- 2015年1月26日開催の作業部会(第5回)では、“人材確保・育成について”を山本から、“メインライナックと土木以外の ILC 加速器概要”を横谷から説明した。
- 有識者会議(第2回)への作業部会報告では、リスク要因や技術上の課題が指摘されたが、EXFEL では、設計加速勾配が約 20%低く、それをもって「技術力の乖離」と述べることは、誤解を生じやすい表現となっている。有識者会議(第3回)への報告では修正できるよう、事実確認の立場から作業部会に要請する。
- ILC 研究所人数は 1,000 人レベルを想定している。全世界で HEP 研究者・技術者は 10,000 人以上存在し、ILC 研究所は国際協力により十分に成り立つ規模である。建設期の人数については TDR に記載されているが、準備期間の人数は TDR に記載されていないため、検討していた案を、新たに文部科学省へ提示した。建設開始時に、将来サブリーダーとなる人材、約 100 人が必要と想定されるため、準備期間中にその育成を行う必要がある。現在、STF、ATF には職員 25 名、業務委託 17 名が勤務しており、年間 20%^{※注}ずつ人数を増強すると建設開始時の必要人数に達する計画となる。LCLS や EXFEL と同様に、KEK が将来ハブラポとして機能できるように、今後 ATF と STF を充実させる必要がある。ILC 建設開始時には、LCLS や EXFEL が既に稼働していると想定すると、ILC 建設の為に人数は、国際的には存在すると考えられる。

※注:準備期間 5 年間で、人数を約倍増する指針としての 20%

7. LC 計画推進室からの報告

山本委員長より下記の報告があった。また、山本委員長の報告後、川越委員より文部科学省が行っている国際サーベイについて紹介があった。

- 2015年1月に CLIC workshop が開催され、CLIC の実現を前提とした CLIC test facility、CTF3 の運転を 2016 年末に終了することが報告された。今後、CTF3 の resource をどの様に使うのか、CERN で今後検討される。CERN は今後の方向性を強く示していると考えられる。
- 予算を STF に重点的にあて、平成 27 年中にクライオモジュールのビームを出す予定である。

- 未来エネルギーフォーラムシンポジウム(3月2日)、SRF材料研究会(3月5日)、ALCW2015(4月20日～24日)の開催予定を説明。
- 8. 電子・陽電子源技術開発の進展:『GaAs/GaAsP 歪み補償超格子構造による高量子効率・高スピン偏極度フォトカソードの開発』**
- 金 秀光氏(KEK 加速器研究施設 特別助教)より下記の報告があった。
- 電子源の歪み超格子バンド構造により、片方のスピン電子を選択的に励起することが出来る。GaAs 基板上 GaAs/GaAsP 歪み超格子構造は、92%の高スピン偏極度、及び0.5%の量子効率を達成している。
 - 歪み超格子構造の問題点は、歪みの緩和により超格子層に欠陥が導入する。従来型歪み超格子構造では、層厚が薄い場合にも歪みの緩和により、結晶性が悪化し、量子効率が低下していた。新型歪み補償超格子構造では、圧縮歪みと引張歪みを生じる超格子を交互に積層させることにより、超格子全体の歪みをなくし、歪み緩和を抑制することが出来た。
 - X. G. Jin *et al.*, APEX 6 (2013) #015801 に記載した方法で歪み補償超格子を作製した場合、90周期(720 nm)の歪み補償超格子の TEM 像において、歪み緩和による欠陥の導入が観察されなかった。また、層厚増加によるスピン偏極度の低下を大きく抑制することが出来た。さらに、量子効率が超格子の層厚の増加により線型に増加した。24周期の歪み補償超格子において、世界最高である1.6%の量子効率と92%のスピン偏極度を達成することが出来た。この結果はX.G. Jin *et al.*, APL 105 (2014) #203509 に掲載されている。
 - 今後、500KV 電子銃を用いた大電流(1mA)測定、Cleaning におけるフォトカソードの寿命測定、および NPES3 における超格子の層厚と量子効率の依存性の測定を予定している。

コメント・質疑応答

- (大森)“歪みはスピン偏極電子の生成に不可欠”との記載は誤りではないか。超格子構造のみ、または歪みのみでも偏極電子の生成は可能である。
→“高い”スピン偏極電子の生成の為には、“超格子と歪み”が不可欠である、と記載する。
- (山本)歪みが生ずる原因は何か。
→格子定数が異なる材料を重ねて結晶を成長させる際に、歪みが生じる。Coherent に結晶は成長する為、下層にあわせて上層の格子が歪む。
→(大森)下層の小さな格子に合わせて、上層の大きな格子が成長する為歪みが生じる。
- (山本)何故材料として GaAs/GaAsP を用いているのか。
→どの材料でも作製可能だが、GaAs/GaAsP は3原子であるため結晶が成長しやすい。
- (宮本)ILC ではマルチバンチを作る必要がある。量子効率が高い場合、最後のバンチでも高いスピン偏極度を保つことが出来るのか。
→最後のバンチでは、量子効率が低下するかもしれないが、スピン偏極度は変わらない。
- (駒宮)電子・陽電子リニアコライダーの life time は2週間以上で、電子・イオンコライダーの life time は長いと記載されているが、何故か。
→要求としての life time を示している。

- (栗木)マルチバンチ生成については10年以上前に報告されており、原理的に2バンチまで量子効率が維持される。
→(横谷)当時はバンチ間隔がナノ秒である。ILCでのバンチ間隔は300nsecであるため、要求は低くなっている。
→(栗木)ILCの偏極度80%という目標設計値に対する制限があるとは考えていない。
- (山本)この結果を持って、ILCの目標設計値を達成するための見通しを得たと考えてよいのか。
→(栗木)例えば、量子効率1.6%を限界パラメータとして採用するかどうかは再現性を含めて今後議論する必要がある。ただし、偏極度80%は、達成可能との見通しが立ったと考えている。

9. 地下トンネル技術の蓄積・進展:『青函トンネル建設の経験、ILCトンネルへの展望』

秋田勝次氏(鉄道建設・運輸施設整備支援機構 新幹線部 参与/KEK 先端加速器推進部 客員教授)より下記の報告があった。

- ILCトンネルの概要(地質、建設期間、工法、搬入法)の説明を行った。また、世界、及び日本の長大トンネルの概要説明を行った。ヨーロッパの長大トンネルは、単線トンネル2本で構成される場合が多いが、日本の長大トンネルは複線トンネル1本で構成される。上記デザインの違いは、安全性に対する考え方の違いに由来すると考えられる。また、日本は複雑な地質に対応する為、山岳トンネル建設に多彩な工法を有しており、特にシールド工法に関しては世界屈指の技術力がある。
- 日本の長大トンネルの代表例として青函トンネルを取り上げ、英仏海峡トンネルとの比較を交え青函トンネルの概要、地質、特性、計画のコンセプト、建設技術、及び建設によって得られた技術革新・波及効果の説明を行った。青函トンネルは認可前に地質調査、及び新規の技術導入に対する検討等を行い、建設を遅滞なく進めるための努力を行った。ILC建設の際にも、事前に精度の高い地質調査等を行い、最適なルートを選択した後に建設を開始することは、経費圧縮の上でも、ILC建設計画成功のために重要であると考えられる。
- ILCトンネルと長さが相似する八甲田トンネル(全長26km)を取り上げ、実績工程表、斜坑実績、掘削実績、湧水量等の説明を行った。斜坑掘削には時間がかかるため、工期短縮のためには、斜坑周辺の地質を確認した上で掘削することが重要である。
- 日本の長大トンネルの湧水量の実績、及び青函トンネルの異常出水事例を説明した。恒常湧水量は工事中の湧水量の半分程度である事例が多く、また、恒常湧水量は地震により一時的に増大する。異常出水が生じた場合、7-8か月の復旧作業が必要となり、工期の遅れを招くため、先進ボーリングによって地質を良く確認することが重要である。また、トンネル崩落を未然に防ぐためにも、先進ボーリングによる地質確認は重要である。
- ILCトンネル計画における今後の課題を説明した。新幹線は軽微なルート変更が可能だが、ILCは直線である必要上ルート変更が出来ないため、ルート公表前にアセスメント、地質特性把握を含んだ綿密な調査が必要となる。新幹線トンネルの斜坑は工事費を抑制する為、長さ1km、トンネル被り100mを超えないように設計しており、ILCの斜坑も同基準が効率的であると考えられる。現在計画中のILC加速器トンネル断面は一般の山岳トンネルに比べて、蒲鉾型であり特に天端や

下半部の安定性に乏しいため、地山不良部においては設計変更(隔壁の縮小、インバート付加)を再検討する必要性が生じる可能性がある。

- トンネル建設における最近の情勢を説明した。工事費の嵩高、入札不調、品質確保への留意が必要になると考えられる。

コメント・質疑応答

- (川越)先進ボーリングにより、崩落事故は防げるのか。
→完全に防げるとは言い切れないが、地質に応じた細やかな先進ボーリングは事故防止に効果がある。北陸新幹線の飯山トンネルの場合、長い先進ボーリングだけではなく、短い先進ボーリングも30-50mおきに行った結果、崩落を確実に防いだ。
→(川越)飯山トンネルの地質が悪いことは、事前に分かっていたのか。
→事前調査で全体的に地質が悪いことは分かっていた。トンネル掘削前は500mごとに先進ボーリングを行い、掘削後は地質に応じてさらにボーリングを行った。本当に悪い地質の場合、コアを採取する水平ボーリングも併せて行った。
- (山本)ILC計画では5年間でトンネル掘削を終了させる予定だが、工期としては短いのか。
→隔壁の幅をより小さくすることで断面を円形化することと隔壁のコンクリート打設に出来るだけ時間をかけないように配慮することが可能で、地質も想定どおり良好で急速施工も考え順調に掘削が進んだ場合(異常出水や崩落等がなかった場合)、5年で掘削終了できるのではないか。
- (栗木)欧州では2本の単線トンネルが主だが、安全への考え方の違いに由来するのか。
→そのように感じる。欧州では長大トンネルに貨物列車を混在させるケースが多いため、複線では対向線路からの風圧等によって貨物列車から荷物が落下し、事故を起こす可能性がある。また、事故があった際に、サービストンネルや対向単線トンネルに避難・誘導することが可能なので、安全性が高い。
- (栗木)単線トンネルと複線トンネルのコスト差はどの程度か。
→断面積の比較から考えると、単線トンネル1本は複線トンネル1本の約7割の建設工事費で掘削出来ると考えられるので、数割の工事費の増が考えられる。
- (横谷)トンネル掘削後、線路を引くまでどの程度時間がかかるのか。
→線路の下回りを安定化させるためにコンクリートで固め、軌道用のスラブをセットする。これには1年~1年6か月かかる。鉄道などのトンネルにとって下回りを安定化させることは非常に重要であり、多少時間がかかってもしっかり対処すべき事項である。
- (幅)トンネル断面設計を変更すると、どの程度建設工事費が高くなるのか？
→例としてインバートを付加した3種類のトンネル断面図を示したが、いずれも隔壁を3.5mから2.5mへ変更することで掘削面積を増やさずに(コストを増やさずに)トンネル断面設計を変更している。隔壁を薄くする知恵を絞ってはどうか。
→(山本)宮原氏がトンネル断面設計変更による建設工事費を試算している。隔壁を3.5mから1.5mに変更した場合、トンネルの建設工事費は約10%減少する。建設費全体で考えた場合、トンネル設計変更による経費減は1%弱ではないか。
→ILCトンネル断面の現標準図は、経費および工期がかかる。

→(山本)安全性を考えて、隔壁は3.5mを確保している。もし、ビームが出ている際に人が立ち入らない場合、隔壁を薄くしても安全上の問題はなくなる。安全性と建築工事費の間で、どこに折り合いをつけるかは、今後検討する予定である。

→(宮原)放射線シールド性能も含めて、隔壁の技術検討を進めている。

→(佐波)建設後に、放射線シールドをやはり厚くしとけばよかった、と後悔することはあり得る。いつお金をかけるのか等を含め、総合的に考えて放射線シールドの厚みは決めるべきでは。

- (岩下)ILCトンネル建設に際し、複線トンネルではなく単線トンネル2本は考慮しないのか。

→日本では、単線トンネル2本の建設工事費は、複線トンネル1本の建設工事費よりも高い。欧州の様に地質が良好で、掘削機で早く掘り進める(TBM工法)ことが出来る場合には、単線トンネル2本を掘削してもコストを抑えることが出来る。然しながら、ILC建設候補地の花崗岩は固い地盤で湧水が多いと想定されるため、TBM工法は適さない。また、TBM工法の場合、一気に掘り進めるため、地質の変化が多く破碎帯を探りつつ掘るような掘削には向かない。

→(岩下)ILCトンネル建設では、かまぼこ型トンネルの断面(横幅)を縮めることが、現在考え得る最良策なのか。

→かまぼこ型トンネルの断面を縮めることにより、応力に対する抵抗性を上げ、地質が悪いトラブルにも対処できるようになる。

→(山本)トンネルの断面積のみで建設工事費は試算すべきではない。トンネルの横幅が9mの場合、トラック2車線が保てるため、土砂の搬出がスムーズに進み、結果的に掘削が早く進むため建設工事費を抑えることが出来る。

→複線トンネルの隔壁が3.5mを超える場合、複線トンネル1本の建設工事費よりも単線トンネル2本の建設工事費の方が、安くなるのではないか。隔壁が2m-2.5mの場合には、複線トンネル1本の方は単線トンネル2本よりも安価になる。

10. 次回のスケジュール

5月最終週、6月第1週を候補として調整を行う。