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の技術スピンオフを調査している。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 Implemetation 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。
* LCC 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。
* LCC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LCC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がない場合、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 Undersecretory 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、村山斉氏が講演を行った。今後は産業界と学際の連携により、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を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しないかを記載するべき。

1. **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、新たにを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が将来ハブラボ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建設の為の人数は、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%

1. **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。

1. **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セコンドである。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%を限界パラメーター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。

1. **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砕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。

1. **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。