

2018年9月18日

2018年9月27日 KEK ILC 推進準備室による説明 追加版

## 国際リニアコライダー計画の見直し案に関する論点メモ

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  
同 技術検証分科会

KEK ILC推進準備室による説明追記部分

KEK ILC推進準備室

日本学術会議は日本の科学者コミュニティの代表機関として、あらゆる学問分野における知の探究を奨励するとともに、学術の振興ならびに知の普及や成果の社会還元に資する施策を検討し、提言等を発出している。知のフロンティア開拓に挑戦する研究計画についてはその学術的意義や実施可能性が認められればそれをエンドースするのが基本的スタンスである。さらに、学術には人類共通の目標にむかって、国の枠を越え、多様性を活かした協同作業により世界平和に貢献できる力があることから、国際共同研究の推進も奨励しているところである。

しかしながら、本件(国際リニアコライダー計画)のような巨大研究施設建設を伴う国際プロジェクトに関してはその学術的意義はもとより、建設ならびに維持・運転に要する経費、国際協力も含めた計画実施の見通し、関連学術コミュニティの合意状況、設置候補サイト周辺への影響、等の諸条件を特に慎重に精査することが求められる。

学術会議は平成25年に文部科学省研究振興局からの審議依頼を受けて、回答『国際リニアコライダー計画に関する所見』を取りまとめた。その中で、検討すべき重要課題として、

- (1) 高度化されるLHCでの計画も見据えたILCでの素粒子物理学研究のより明確な方針
- (2) 国家的諸課題への取り組みや諸学術分野の進歩に停滞を招かない予算の枠組み
- (3) 国際的経費分担
- (4) 高エネルギー加速器研究機構(KEK)、大学等の関連研究者を中心とする国内体制の在り方
- (5) 建設期及び運転期に必要な人員・人材、特にリーダー格の人材

を挙げた。

上記の「回答」を受けて文部科学省に設置された「国際リニアコライダー(ILC)に関する有識者会議」において審議が行われ、一連の報告書が取りまとめられた。

平成30年7月20日付で、文部科学省研究振興局長より日本学術会議会長あてに「国際リ

ニアコライダーに関する審議について(依頼)」が寄せられたことを受けて、本委員会ならびに分科会が設置された。

委員会ならびに分科会では上記「有識者会議報告書」をもとに、適宜参考人のヒアリングを行うなどして審議を進めている。この「論点メモ」は審議途中の論点整理の意味で作成したものである。

なお、以降では主として本検討委員会において検討された項目に「(委)」、主として技術検証分科会において検討された項目に「(分)」を付している。

〈ILCが目指す物理〉(委)

○レプトンコライダーの必要性

ハドロンコライダーでエネルギーフロンティアを追及するLHCと相補的な役割を担うハイルミノシティのレプトンコライダーが世界のどこかに実現することは必要かつ望ましいことである。

○ 250 GeV ILCの研究目標

13 TeV LHCの実験結果を踏まえて、研究目標をヒッグス結合の精密測定に絞ったことは妥当な選択である。その目的に最適化するために、500 GeV計画を見直して250 GeV計画としたことも肯けるものである。

一方、この選択により、見直し後の250 GeV ILCは、ほぼ単一目的のヒッグス・ファクトリー(ヒッグスの精密測定)という位置づけになり、500 GeV計画の中にあったトップクォークに関する実験はスコープから外れることとなった。また新粒子探索の可能性も大幅に縮小した。

[説明]

a) 「ほぼ単一目的のヒッグス・ファクトリー」との位置づけについて：

電子・陽電子の消滅反応では、ヒッグス粒子生成以外にも、非常に多くの反応(素過程)が起こる。ヒッグスの精密測定が最重要課題であるが、他にも多くの研究課題があり単一目的の加速器ではない。(8/10 資料4 p.25)

b) トップクォークの研究について：

最近の研究の進展により、LHCでのトップクォーク質量測定の精度が、理論予測や標準理論真空の安定性の判定に十分であることが明らかになってきた。また、トップクォーク結合の精密測定は、複合ヒッグスの場合に特に重要となるので、250 GeVでのヒッグスの精密測定の後でも遅くない。以上のことからトップクォークの精密測定は緊急性が下がった。

c) 新粒子発見の可能性について：

13 TeV LHCで新粒子の兆候がなかったことで、LHCで発見が期待されていた強い相互作用をする超対称性粒子の発見の可能性は下がった。一方、LHCの死角にあるヒッグスの暗黒物質への崩壊、暗黒物質の対生成、ヒッグシーノ等の質量差の小さい超対称性粒子の生成などについては状況は変わっておらず、250 GeV ILCで発見される可能性は十分ある。特に13 TeV LHCで超対称性が見つからなかったことにより、ヒッグス粒子の「見えない」崩壊モードへの関心が高まっている。(8/10 資料4 p.13、22、23)

○ ヒッグス結合の精密測定で想定される結果

建設後約20年間の運転で積算ルミノシティ $2000\text{fb}^{-1}$ のデータを蓄積し、各粒子のヒッグス結合定数を精密に決定して、標準理論で予想される「質量との比例関係」からのズレの有無を検出することとしている。統計的に有意なズレが見いだされた場合にはそのズレのパターンによって、ヒッグスが複合粒子であることが示唆されたり、超対称性粒子や余剰次元の存在が示唆されたりすることとなり、素粒子物理学研究の方向性を示すこととなる。

問題は、標準理論からのズレが見い出されない場合である。標準理論が高精度で成立していることが確認される一方、なぜ成立するか理由は不明で250 GeV ILCで探索可能なエネルギー領域よりも高いところに新物理があるはずという帰結、あるいは、「人間原理」のような説明を持ち出すことになるともいう。

より問題なのはルミノシティが上がらなかつたり稼働時間が不足したりすることにより積算ルミノシティが予定に達せず、標準理論からのズレに関して明確な結論に至らない場合である。

[説明]

SLCでルミノシティが設計の半分までしか行かなかったのは、ビーム不安定性が主な理由。これはATF等での技術開発で克服できている(9/13分科会資料1 P.99、100)。リング加速器は周回するので衝突調整を重ね易く、線形加速器は一度しか衝突しないため、より高度な調整技術が必要との指摘もあるが、衝突点での機器が振動した場合の衝突調整については円形も線形も影響は同じである。ILCの場合、ルミノシティが万が一設計値に達しない場合でも、国際合意に基づく無理のない範囲の運転期間の延長により、目標積算ルミノシティを達成できると考えている。

未踏の領域への挑戦なので「やってみなければわからない」という側面があることは十分に理解するものの、巨額の予算を投入することを前提とした計画である以上、計画段階で考えうる限りのシナリオを周到に描き、それぞれの場合の行動計画を立てることが求められる。「準備期間に検討する」、「結果が出てから考える」では説得力に欠ける。」

[説明：物理に関する部分]

ILCによるヒッグス結合の精密測定は、結果によらず、素粒子実験におけるランドマー

クとなる。質量対結合定数のプロットは素粒子物理の教科書に載る。三つの道のどれが選ばれても、その後の素粒子物理、宇宙物理に多大な影響を与える。250 GeV ILC 実験のシナリオには以下の場合が考えられる。

- d) 標準理論からのズレが見えた場合 (1) : 「新しい物理の方向とスケールの決定」  
ズレのパターンから素粒子物理学の方向と、新しい物理のエネルギースケールが決まり、次世代加速器に必要なエネルギーと技術が決まる。そのエネルギーに向け必要な ILC 増強あるいは次世代加速器のための研究開発を行い、新しい物理の全貌を明らかにする。
- e) 標準理論からのズレが見えなかった場合 (1) : 「電弱バリオン数生成の棄却」  
電弱バリオン数生成のシナリオが否定され、高いエネルギースケールでのレプトジェネシスが強く示唆される。 (8/29 相原高エネルギー委員長)
- f) 標準理論からのズレが見えなかった場合 (2) : 「W/Z、トップの精査」  
ズレが本当はないことを確かめるため、SLC/LEP で行われた W や Z の精密測定を 1000 倍の統計でやり直しズレを探す (8/10 藤井)。
- g) 標準理論からのズレが見えなかった場合 (3) : 「新しい原理の存在」  
ヒッグスが宇宙を満たした理由を自然に説明できなくなる。これは非常に大きなことである。不自然な微調整を説明するため、複数字宇宙+人間原理のような可能性も考える必要が生じる (8/10 藤井)。
- h) 標準理論からのズレが見えなかった場合 (4) : 「究極理論と直結」  
標準理論真空が安定と準安定の境界近くにあることが分かった場合、350 GeV にエネルギーを増強しトップクォーク質量の精度を一桁あげ、真空の安定性問題に決着をつける (8/10 藤井)。誤差の中でぴったりと境界にあることが判明した場合、標準理論が究極理論に直結している可能性が高まる。これは、高エネルギー衝突型加速器による素粒子物理の終焉を意味し、素粒子物理の研究方法がボトムアップからトップダウンへと大転換する契機となる。 (8/29 相原高エネルギー委員長)

[説明：加速器に関する部分]

- i) コスト増への対応について：  
当該事態が発生した際に設計見直し等により（コスト削減の可能性を探すなどにより）単純なコスト増にならない対応を行うものとする。これまでは限られた予算の中で研究開発を進めてきたが、現在よりさらに詳細な検討を行うには、環境アセスメント等を含めてある程度の予算が必要 (8/29 相原高エネルギー委員長) である。
- j) 「準備期間に検討する」、「結果を見てから考える」では説得力にかけるとの指摘について：  
これまでの予備的な準備期間に、すでに可能な限りの検討を重ねている。「準備期間には、実現に向けた技術検証および候補地の特性を踏まえた具体的設計」を行うと報

告している。(単純に「準備期間に検討する」という考えではない。)(9/13分科会資料1P. 25、P. 86、P. 88)

#### ○ 高エネルギー加速器物理学の限界

LHCやILC計画の予算規模を見ると、高エネルギー加速器物理学は持続性の限界に達しつつあるとの印象を拭えない。より高いエネルギーの加速器を次々に建設しなければ研究が進まないとすれば、そのような研究戦略が有限のリソースしかないこの世界で早晚行き詰まることは必至である。LHCやILCの先に何を構想するのか、高エネルギー物理学コミュニティは巨大化路線からの転換を含む将来構想を真剣に検討すべきであろう。

#### [説明]

高い衝突エネルギーの粒子ビーム、即ち加速器の開発研究とそれらの建設は、素粒子物理学において画期的な発見を導き、人類の物質観宇宙観に大きな変革をもたらしてきた。この研究の中心にある幹がエネルギーフロンティア(最高エネルギー)のコライダーである。さらに当該学問分野には目的を特化した加速器実験や非加速器実験などの広い裾野があり、多様性を産んでいる。

素粒子物理学分野の支柱であるエネルギーフロンティア実験では、加速器技術を開発してエネルギー効率を上げ、かつ建設費が1国の範囲を超える場合にはCERNのLEPのようにヨーロッパ地域で共同出資し、それを超えるLHCのような場合には地域以外からの援助を得て建設してきた。ILCの場合には、ホストとなる国に世界が協力して出資し1基を建設する段階となっている。もはや世界で1基の段階に来ているので、今後は加速勾配を画期的に上げて効率の良い加速器を建設することが必要になる。高いエネルギーに効率よく加速は出来ても、エネルギーが揃って空間密度の高いビーム(高ルミノシティ)を得られなければ実験に使えない。そこで、実用的に加速勾配を1桁以上上げるためには恐らく数十年程度の研究開発が必要だと推察される。しかし、高エネルギー加速器には、これまで何度も技術革新により限界を乗り越えてきた歴史がある。静電加速から高周波加速、弱収束から強収束、固定標的実験から衝突型加速器実験等の技術革新は、その顕著な例である。リニアコライダーも電子・陽電子衝突エネルギーの限界を突破するため考案された。既存技術をさらに磨き上げる努力と並行して、長期的な視野に立って、加速勾配を画期的に向上させる革新的な加速方式の開発研究を着実に続けて行く。

#### <ILC加速器> (委、分)

#### ○ ILC加速器の構成

ILC加速器において乗り越えるべき技術的挑戦課題として、陽電子源、ダンピングリン

グ、ビーム制御、超伝導加速空洞、ビーム集束、検出器、ビームダンプ等がある。それらの個別要素の信頼性ととも、異常事態に対処するインターロックなど事故を未然に防ぎ長期に亘って安定的な運転を担保する巨大総合システムとしての十全性が必須である。

[説明]

加速器は放射線発生装置として原子力規制委員会に申請され、安全系を含めて審査される。実際の運転の前にも安全ロジックの実地検査など適切な審査を受ける。状態を監視し、異常時はビームを停止する。直接ビームが当たる機器は密閉構造とする。停電時はビームは停止し新たな放射化は生じない。(9/13分科会資料1P. 9)

超伝導加速器部および測定器の超伝導磁石部分は高圧ガス施設として、ILCを設置する県に申請され審査される。高圧ガス施設の建設段階から完成を経て運転に至る過程で適切な安全審査を受け、安全が確保される。(9/13分科会資料1P. 15)

○ 陽電子源

ヘリカルアンジュレーター方式と従来型ターゲット方式の2案が併記されている。前者は偏極ビームが得られるというメリットがあるが技術的に未経験であり多くの開発要素を含んでいる。後者にしても所定の強度を得るのは決して容易な達成目標ではない。

250 GeV ILCの主目的であるヒッグス結合の精密測定には偏極ビームは必ずしも必須ではないとの説明であった。後者を前者のバックアップと位置付けて2案並立で開発を進めるのか、適切な時点でどちらかの方式に絞るのか、開発コストも考慮して方針を明確にすべきであろう。

[説明]

陽電子源の開発要素は、回転ターゲットのプロトタイプ化と、ターゲット直後のビーム捕獲用の磁気回路（アンジュレータータイプではQWT、電子駆動方式ではFlux Concentrator）である(9/13分科会資料1P. 25、P. 89)。トンネルと設備詳細設計のために準備期間2年目頃までに結論を得ることを目標にしている。準備期間にかかる費用は同程度。また、建設コストについても同程度（総建設費の1/20程度）と見込まれている。

○ ビーム集束と位置制御

衝突のルミノシティを上げるために、ダンピングリングで電子および陽電子ビームのエミッタンスを十分に小さくし、それぞれを主加速管で加速した上で、ビーム径を絞ってナノメートル精度で正面衝突させることが想定されている。所定のルミノシティを達成するためのビーム集束および位置制御に関するフィードバック等に関する技術見通し、衝突点サイトにおける常時微細動としてどの程度までが許容範囲か定量的評価が必要である。

[説明]

ILC では電子と陽電子のビーム対ビーム偏向 (beam-beam deflection) があるので計測は

容易である。ビーム間に1nmのズレがあると、ビーム対ビームのキック角が100 micro-rad 発生し、下流で100 ミクロンの大きな位置信号として計測される。(9/13分科会資料 1P. 26) バunchを小さくするためのバunchコンプレッサーについてはすでに高周波系の安定度(8/23分科会資料 1P. 100)はEuro-XFELやKEKのSTFで実証されている。

#### ○ 超伝導加速器

全体経費の相当部分が、超伝導加速空洞およびそれらを収めたクライオモジュールの製作費である。超伝導加速管の加速勾配として現時点での技術レベルに基づき35 MeV/mを基準としているが、技術開発によってこれが大幅に向上する余地はないか。

##### [説明]

加速器建設の際には、その時に実現可能な仕様での製造を行う。LCLS-IIで採用された窒素ドープ(8/23分科会資料 1P. 18)のように、製造の際までに新しい技術が確立されればその技術によるコスト削減を試みる。

一方、超伝導加速空洞の大量生産計画が材料のニオブの価格高騰を招くリスクもある。

##### [説明]

9,000空洞製造に必要なニオブの量は約210トンであるが、ブラジルのニオブ鉱山では年間9万トンの鉄鋼添加剤用のFeNbが、また、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>が年間1万トン生産されており(8/20分科会資料6 P. 46)、ILCの空洞生産によるニオブ材高騰は考えにくい。さらにNbの供給は、5年間で調達するため、年間必要量は、40トン程度であることにも留意されたい。

#### ○ 検出器

2種類の検出器(シリコントラッカー方式のSiDと、タイムプロジェクションチェンバー方式のILD)が提案されている。異なるコンセプトの複数の検出器で互いに検証することの意義は理解するものの、衝突点に設置できるのは1台のみなので、タイムシェアリングが行われることになる。ヒッグスファクトリーと位置付けられることになった250 GeV ILCのミッションを踏まえて、それぞれの検出器の特徴や役割の違い並びにタイムシェアリングの計画などについてより詳細な検討を行う必要がある。

##### [説明]

ILCは、高エネルギー加速器実験の伝統に従い、加速器建設への貢献度に関わらず世界中の研究者に広く解放される。ILC実験に興味を持つ研究者が自発的にグループを形成し、ILC計画承認後に想定される実験提案公募に応募する。現時点では2つの測定器案が存在するが、新たなグループが提案を行う可能性もある。提案は、プログラム諮問委員会(Program Advisory Committee: PAC)により、各案の特徴、実験プログラムや測定器設計の成熟度、実験グループの組織編成や財政基盤などの観点から総合的に審査され、2台の提案が採択されることを想定している。ただし、合格をつけられる測定器提案がスター

ト時には2台に満たないことも論理的にはあり得る。

測定器を2台建設し、1つの衝突点で交互に実験を行う方式（push-pull方式）をベースラインとすることには、1台の測定器のみを建設する場合に対し、明確な利点がある。予期せぬ結果が得られた場合の相互検証、異なる特徴を持つ測定器の相補性、両実験グループ間の競争による研究の促進、参加を希望する研究者の受け入れ能力の拡大、片方の測定器保守期間中もう片方の測定器で実験を続けることによる加速器の効率的運用等である。測定器を1台のみとする選択はあり得なくはないが、これらの利点を考慮し、測定器2台の交互実験方式を採用した。

タイムシェアリングは高エネルギーの加速器実験では日常的に行われている。具体的な時間の割り振りは物理の成果を最大化するように専門のレビュー委員会で、加速器や測定器の状況、実験グループの要望等を加味して随時議論され決定される。

2台の測定器間で不公平が生じないようにするためには、1台の連続実験期間を数ヶ月以内に制限する必要がある。そこで、入れ替えによる時間ロスを避けるため、24時間以内に測定器を入れ替えられる移動装置が必要となるが、移動装置の技術仕様や技術課題の検討がなされており、移動に適応する配管やケーブル等の検討も行われている。その概要はTDRに記載されている。また、最初に実験を行うグループより2番目に実験を行うグループの実験期間を長くするなど、平均すると実験期間が公平になるような工夫をすることも想定される。(10/2 分科会 資料)

TDRの段階では1 TeVまでの実験を視野に入れた設計がなされていたと思われる。ヒッグス結合の精密測定という主目的に照らして最適の選択が何かについて改めて検討が必要であろう。

[説明]

現在提案されているような汎用測定器の場合、要求される性能は250 GeVでも1 TeVでも大きな違いはない。これは、いずれのエネルギーでもヒッグス結合測定が重要で、それが測定器性能を決める主な基準となっているためである。シミュレーションによる測定器最適化の研究は現在も精力的に続けられているが、250 GeVでの性能を維持したまま500 GeVや1 TeVでの性能で妥協したり、250 GeVでのヒッグス結合測定の性能のみを改善できるような例はない。

なお、仮に検出器を1台に絞るような選択をする場合、国際協力体制に影響が及ぶ可能性にも留意する必要がある。

[説明]

過去の円形コライダー計画でも、衝突点の数を上回る実験提案が提出された事例は複数ある。そうした場合、PACの指導のもと、グループ再編が起こり、不採用になったグループのメンバーが採用されたグループに移動したり、測定器提案自体の再編が行われるなど、物理に興味を持つ大多数が計画に留まることが通例である。

#### ○ ビームダンプ

高エネルギーに加速された電子および陽電子ビームは衝突点を通過した後、ビームダンプの窓を通して10気圧の水に入射する。窓材や水ダンプへの局所的負荷を分散するためにビーム入射点を高速で回転する設計となっている。不測の事態や長期的な消耗に対する備えが十全であるかさらに検討が必要である。特に、窓材の健全性モニタリングと遠隔操作による交換作業の詳細や、高エネルギービームと水との反応で起こる事象について、これまでの説明では不安を拭えない。

##### [説明]

250 GeV ILCに最適化したビームダンプの検討を進めており、水圧は通常の加速器と同程度のゲージ圧で2気圧程度での運用としたいと考えている(9/13分科会資料1P. 6等)。ビーム入射点は電氣的に走査され、使用する機器もLHCなどと同様に多重化されているため安全性は高い(9/13分科会資料1P. 34)。キャビテーション(圧力差により泡が発生する現象)については、シミュレーションでは発生しないと評価されているが、水圧を上げる、ビームサイズを大きくするなどにより尤度を上げることが可能である。また、ビームダンプの振動や外部温度をモニターすることで事前に異常を察知し、ビーム停止および安全対応策を徹底する。(10/2分科会資料 論点メモについての回答P. 2-3)

#### ○ 巨大総合システムとしてのILC

ILCは、そのすべての構成要素が長期に亘って安定的に稼働しなければ初期の目的を達することのできない実験装置である。巨大総合システムの信頼性はその構成要素のうち最も脆弱な部分で決まる。TDRには、目指す物理やILCの「主役」たる超伝導加速空洞やダンプリングやナノビーム制御などについては詳しい記述がある一方、ビームダンプなどの「裏方」の部分に関する記述が極めて少ないことに不安を覚える。

##### [説明]

TDR以降、有識者会議などでの指摘を受け、ビームダンプ、陽電子源などの設計作業、技術開発への取り組みが強化され、技術検討が深められている。ビームダンプについては、250 GeV-ILCに特化した仕様の見直しが進められており(9/13分科会資料1P. 5、P. 31等)、技術的な見通しを得て、詳細設計の前段階には到達していると考えている。

〈計画遂行に必要な人材〉(委)

○ 計画推進に必要な人員

ILC計画を10年20年スケールで担ってゆく人材が質・量ともに必要である。日本の高エネルギー物理コミュニティ、加速器科学コミュニティの現状では、必要人員を満たすことは極めて難しいように思われる。特に加速器については、さまざまな加速器プロジェクトがある中で、大学等および産業界にどのような人材が居り、あるいは新たに育成しなければならないのか、具体的で実現可能な人材育成プランが必要である。

[説明]

ILCでの人材育成についてはKEKが2016年にまとめたILCアクションプランがある。ここでは、準備期間に行う人材育成について、各分野ごとの課題と人員についてまとめられている。250 GeV ILCに合わせて改訂がなされているが、準備期間の人材育成についてはこれまでと同じ方針を堅持している (9/13分科会資料1P. 88)。

KEK-ILCアクションプラン: <https://www.kek.jp/ja/newsroom/2018/04/24/1200/>

一方で、ILC計画のために動員・育成した人材のその後の活躍の場についてどのような図を描いているのか。種々の加速器関連プロジェクトを担って行く人材配置の全体像が見えない。

[説明]

ILC研究所では、管理局職員を含めて640名程度を想定している (現在のKEKの職員数とほぼ同等) (「国際リニアコライダー(ILC)に関する有識者会議ILC計画の見直しを受けたこれまでの議論のまとめ」P. 44)。このうち、加速器は400名超 (外国からの貢献を含む) となる見込みである。物品供与品については各国での保守などを見込むためこのうちの日本人は200名弱のレベルとなる。建設期ピークは企業からの出向などを加えて対応するが、それらの人材は様々な加速器のみならず近隣分野の大型プロジェクトなどで活躍可能な重要な人材となることが期待される。

○計画全体を俯瞰するマネジメント体制

大規模国際共同プロジェクトで建設・実験が進められるILC計画の全体をコーディネートする指導的人材、特に、巨大システムであるILC加速器の建設から運転を総合指揮する加速器研究者が見えない。ILCは、全体装置が一体となって稼働して初めて所期の研究が可能となるものであるが、全体マネジメント体制の準備状況が見えない。

[説明]

30年以上前からリニアコライダーに関わっている研究者だけでなく、40代、50代の研究者として経験豊富な人材も多い。ILC建設にあたっては、過去のLC研究をリードしてきた方々から研究を引き継ぎ、これらの研究者が中核を担うことができる。さらにILC運転に向けては、国内ではSuperKEKB, J-PARCなどでの実務経験を経た20代、30代の研究者・技術者を育成していくことが重要である。また外国からは、CERN-LHC, 欧州Euro-XFEL, 米

国LCLS-IIなどの建設、運転を経験した若手研究者が、ILCに参画していくことが十分に想定される。

○ ILCと他のプロジェクトとの人材配置

素粒子物理学のコミュニティだけを見ても、研究者はそれぞれが様々なプロジェクトにコミットしており、コミュニティを挙げてILC計画を遂行する体制になるとは考えにくい。推進研究者たちは「ILC計画がスタートすれば自ずと人が集まる」と楽観しているようである。素粒子物理研究者についてはあるいはその通りかもしれないが、加速器研究者・技術者を結集できるかについては見通しが甘いのではないか。

[説明]

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。加速器コミュニティ指標として加速器学会の正会員数は最近6年間で35% (230名) 増加していて、加速器科学の応用分野が広がっている。大学院修士学生や、企業連携により若手エンジニアの育成は十分可能と考えている (9/13 分科会資料1P. 95)。SuperKEKBやJ-PARCでの実地教育により全体を俯瞰した研究者の教育も可能である (8/29 山内KEK機構長)。

〈必要経費と他分野への影響〉(委)

○ ILC計画実施に必要な予算

ILCに必要な予算は、既存の文部科学省予算(例えば学術研究の大型プロジェクトに係る年間予算額(補正予算を含む)は、326億円~526億円)では到底カバーし得ない規模である。現在の科学技術関連予算を大幅に増やすか、現在の科学技術予算の枠外の予算を投入しないかぎり、実施は不可能である。「別枠の予算」という言説もあるが、国民の理解を求めらるればその具体的な展開方策が早急に明らかにされることが、喫緊の課題ではないかと考える。

[説明]

他分野を圧迫しない予算措置の仕組みは、ILC実現の必須条件であると考えている。それには国際経費分担、別枠予算の確保が不可欠である。特に枠外予算に関しては、立法府の立場から「リニアコライダー国際研究所建設推進議員連盟(ILC議連)」(2006年設置、現在130名超の超党派の議員が参加)に検討頂いている。また、つい最近、「自民党ILC誘致実現連絡協議会」が設置され、そこで採択した決議文が公表されたが、そこには「ILC実現のための財源(オリンピック以降)については、通常の科学技術・学術・大学予算の枠外で措置すること」とある。正式な参加国の招致や正式な国際分担交渉、別枠予算による予算措置については、今後の政府による交渉に委ねることになる。

○ 学術全体への影響

ILC計画の必要経費が、素粒子物理学分野の既存の予算規模に収まる程度であれば分野内の議論に任せることも考えられるが、その場合でも非加速器実験も含めた素粒子物理学全体の将来計画に基づいたものでなければならない。

[説明]

「高エネルギー物理学研究者会議」(JAHEP)は、非加速器実験を含む素粒子実験に携わる全ての研究者からなる組織である。(宇宙線分野はこれとは異なる分野で宇宙物理・天文分野に属している。)高エネルギー物理学研究者会議メンバーから選挙で選ばれた約10名のリーダーとKEKの執行部からなる「高エネルギー委員会(相原博昭委員長)」は、分野の代表として、必要な勧告および意見表明を行う。(8/29 資料2-3 P. 4、5) 分野内でのコンセンサス形成のため、高エネルギー委員会のもとに設置された比較的若い世代からなる将来計画検討委員会で、長時間をかけて各プロジェクトの代表研究者を呼んで議論しており、ILCに関するコンセンサスはここで十分に強固なものに鍛えられている。また、重要な判断や答申を出す際には必ず、「拡大高エネルギー委員会」を開催して広くコミュニティ全体から分野の意見を聞いている。2012年、2017年の将来計画検討委員会の答申(8/29 資料2-3 P. 7、8)は、いずれもILC計画を将来計画の第1番目に掲げているが、これらの手続きを経て、コミュニティの総意として承認されている。年2回、物理学会ごとに総会を開いており、また、各物理に特化したタウンミーティング等も開いている。

ILCのエネルギーを500 GeVから250 GeVにしてヒッグス・ファクトリーとする際には、高エネルギー委員会が先導して、ILCに直接関わっていない研究者が中立の立場からその物理的な意義を検討することを目的に、「ILC 250 GeV Higgs Factory の物理的意義を検証する委員会(浅井祥仁委員長)」を組織して250 GeV ILCの物理的な意義を検証した。委員会は、その物理的意義を高く評価する答申を出した。(8/29 資料2-3 P. 7、8) 委員会報告をもとに、2017年7月に拡大高エネルギー委員会を開催し、高エネルギー物理学研究者会議の総意として「LHC Run II のこれまでの結果を踏まえたILCの科学的意義とILC早期実現の提案」の声明を採択し、発表した。(8/29 資料2-3 P. 9) 250 GeV ILCの科学的意義は国際的なILCの組織である「Linear Collider Collaboration=LCC(Lyn Evans 議長)」のもとに設置されている物理作業部会でも議論され報告書にまとめられた。これらの答申および報告書は、LCCの監督組織である「Linear Collider Board(中田達也委員長)」で議論され、それを承認する声明が出され、昨年11月にはオタワでの素粒子物理学分野の最高議会である「International Future Accelerator Committee: ICFA(Goeff Taylor 議長)」においても、それを承認する声明が出された。このように国際的にも高いレベルで、また草の根でも分野内でのコンセンサスは十分に取れている。

ましてや、それを大幅に超える規模の投資を要するものである以上、他の学術分野コミュニティからも支持される計画でなければならない。特に、原子核、天文宇宙、物性など物理学の隣接分野からの支持・理解がどれだけ得られているのか、また今後得られる見通しなのかは明らかでない。これまで、「別枠予算」という前提を立てることによって、他分野の将来計画とのバッティングも視野に入れたギリギリの議論を先送りしてきたことは問題である。

[説明]

近隣分野からの支持・理解は取り分け重要なものと認識しており、これまでも様々な機会を作り、理解促進のための努力を続けてきた。具体的には、高エネルギー物理学以外の研究者や学生も対象に含めたILCに関する講演会を2011年以降81回、応用物理学会を含む近隣分野学会等での会合を2016年以降8回、物理学会でのシンポジウム、企画講演を2014年以降11回開催した。また、産業界においても同様な講演会を行っている。このように近隣分野に対しても様々な働きかけを行ってコンセンサス醸成の努力を続けている。(10/1 参考資料 山内KEK機構長)

○ KEKのミッションとILC計画

ILC計画を実施するにあたり、KEKが大学共同利用機関としてこれまで担ってきた機能をどうするのか。ユーザーコミュニティとの話し合いはできているのか。KEK教育研究評議会がILC計画へのコミットメントは承認されているのか。KEKの中期計画にはどのように書き込まれているのか。ILC研究所への人材供給等、KEKとしてのスタンスはどのようなものか。これらの点についてKEKの方針とコミュニティのコンセンサス形成状況を確認する必要がある。

文部科学省所轄の大学共同利用機関であるKEKと、新たに国際研究機関として構想されるILC研究所との関係について、法的位置づけも含めた議論が必要であろう。

[説明]

KEKでは、5年ごとに、関連研究者コミュニティの将来計画の検討およびそれに関する意見をもとに、機構の全研究分野の委員からなる研究推進会議で審議し、KEKロードマップを策定し、研究の指針としている。KEKロードマップ2013および現在進行中の改訂案では、日本がホストするILC計画を推進し国際協力による建設の早期着手を目指すことが明記されている。また、研究計画を具体的に進めるための実施計画(KEK-PIP)では、ILC実現までのステップを明示した。教育研究評議会では、ILC計画について、KEKロードマップやKEK-PIPの審議に加え、ほぼ毎回、研究開発状況が報告されている。

KEKの中期計画では、KEKのロードマップ、プロジェクト実施計画(KEK-PIP)に基づき、リニアライダーに関する開発研究を推進することを明記している。

KEKがILC実現のために準備期間に何をすべきかについては、人材育成計画を含めてKEK-ILCアクションプランにまとめて公表している。KEK-PIPでは、アクションプランの方針に基づき計画を実施するとしている。

KEK-ILCアクションプランおよび、LCBによるILC Project Implementation Planning (2015年)では、ILC国際研究所設立のまえに、各国の研究機関の合意に基づくILC pre-labを設立して、準備を進めることを想定している。ILC pre-labの段階では、KEKがILC計画を中核となって推進することを想定するが、その後のILC研究所とKEKとの関係や法的位置づけは、政府間交渉で決められることである。

KEKは、現在高エネルギー物理学、原子核物理学、物質・材料科学、構造生物学など幅広い分野の研究を支えている。このうち高エネルギー物理学分野はすでに従来の大学共同利用の枠を超えた国際共同研究を担う役割を果たしている。ILCが実現すると、高エネルギー物理学分野はその形態に発展するのが自然である。一方で、その他の分野では、引き続き現在の大学共同利用の役割を果たしていく。(10/1 参考資料 山内KEK機構長)

#### 〈国際協力と経費分担〉(委)

##### ○ 国際協力体制

ILCが一国の経済では支えることのできない規模の計画であることは明らかである。国際共同事業として進める場合、まずもってそれを推進する国際的研究者コミュニティの熱意が、計画実現に際しての種々のハードルを乗り越えることができるほどに高いことが必要不可欠である。欧州や米国の姿勢は、日本の動きを模様見している状況である。適正な国際分担の見通しなしに日本が誘致を決定すべきではない。

##### [説明]

国際研究者コミュニティが電子陽電子リニアコライダーをLHCに次ぐ大型加速器計画として推進してきたことには長い歴史がある。ICFAは1993年に声明を発表し、そのことを明言した。ICFAは、2004年にそれまでアジア、北米、欧州の三極で別々に研究開発が進んでいた加速器の基幹技術を超伝導加速方式に一本化し世界的枠組みでILC計画を推進することとで合意した。2012年ごろに、CERNでのヒッグス粒子の発見、TDRの完成によりILCの科学的意義が明確になり、技術的な成熟度とコスト見積りの信頼性が高まり、国際研究者コミュニティは計画実現に向けた具体的な段階を迎えたとの認識に至った。そのような状況のもと、2012年の日本の高エネルギー物理学コミュニティのILCをホストしたいとの声明について、ICFAやアジアの委員会や欧州や米国の長期戦略において、強い支持が表明された。(8/29 資料1 P. 14、資料2-3 P. 10、11) 一方、各国コミュニティにとっても、ILCの経費負担の国際合意を得るためには、初めから各国政府関係者が関与することが必要で

あるとの認識を持っており、ILC計画が始まった2003年、欧州、北米、アジアの政府関係者・資金配分機関関係者の間で意見交換の場として*Funding Agencies for Large Colliders (FALC)*が設けられた。この会合は年2回、現在も続いており、LCB/LCCや文部科学省から定期的な報告を受けILCの進捗状況を確認することが、主要な役割の一つとなっている。また、2国間でILCについての議論をする場として、2016年には文部科学省と米国DOE間で*Discussion Group*が設立された。日仏、日独については2018年に政府間の議論の場が設定された。(出典：有識者会議報告書)

このように欧州や米国では、日本政府からILCをホストすることについての方向性の表明があれば、組織、人的資源や経費の分担について正式に話し合いを始める準備が整っている。

#### ○ アジアという視点

米国、欧州、日本、という三極の構図は、近年の科学の水準や国力の状況からしても適切な見方ではない。アジア諸国も視野に入れた国際協力のスキームを積極的に考えるべきではないか。

科学技術外交の観点も加味し、物理学の持つオープンで自由な相互批判を旨とする科学的文化がアジアの国々に根付いていく効果も含めて、オールアジアないしは東アジア(中国・韓国・台湾・シンガポール等)との連携も視野に入れるべきではないか。

LHCと補完的なレプトンコライダーという原点に戻って、最適な候補地、経費分担のあり方、更には本当にリニアコライダーであるべきなのか等、国際的にベストの選択を目指すべきではないか。

#### [説明]

アジア地区はILC計画以前からまとめてリニアコライダー計画を推進してきた。2003年にはACFA(*Asian Committee for Future Accelerators*)の下でアジアからの提案として*GLC Project*を提案した。2004年の技術選択の後には、ACFAはすぐにその決定を支持し、以降アジア諸国は世界的な枠組みのもとで、ILCの物理・測定器の検討、加速器の設計・研究開発に貢献している。ACFAは、2013年と2016年の2度にわたり、日本でILCを実現することに強い支持を表明している。また、ACFAが主催するLC国際会議は、1998年の第1回北京会議から2018年の福岡会議まで14回を数える。(10/1 参考資料 山内KEK機構長)

国際研究者コミュニティーが電子・陽電子リニアコライダーを次期高エネルギー物理学実験施設として研究開発を進めるべきとの合意に至ったのは、1993年の*International Committee for Future Accelerators (ICFA)*の声明にさかのぼる。ICFAは2004年には加速器の技術選択を行い、超伝導加速器技術を基本とした世界で統一したプロジェクトとしてILCを推進することとした。2017年のICFA声明で、日本がホストする国際プロジェクトと

してILCを実現することを強く支持したように、科学的意義、技術的成熟度、将来性の面から、次に実現すべきコライダーとしてILCがベストであるという国際的な合意は変わっていない。(10/1 参考資料 山内KEK機構長)

#### 〈ILC計画の説明〉(分)

##### ○ 国民への説明

ILCは純学術的な研究施設であり、巨額を要する計画である一方、特段の社会経済的価値創成は期待できない。その推進には、国民に事実を正確に伝えた上で、その学術的意義の理解と支持を得なければならない。しかしながら、計画推進を主張する科学コミュニティの取組は従前の啓蒙モデルに基づく科学コミュニケーションと、経済波及効果や地域振興の文脈のプロパガンダにとどまっている印象である。

##### ○ 建設サイト候補地域への説明

特に、ILCの建設候補地とされている地域の自治体や住民には、正確な情報を提供してコミュニケーションを図るべきである。経済効果、環境影響等に関して、適切な情報提供がなされるべきではないか。

##### [説明]

KEKでは、学術的な意義の理解と支持を頂くことが最も重要であるとの認識のもと、様々な手段を講じて努力している。社会的効果や経済効果を中心とする広報は行っていない。素粒子物理学は、高校で理系に進み物理を選択した人以外は、人生の中で触れる機会がほとんどない分野であるため、「どんな研究分野なのか」、「何のために研究するのか」、「加速器とは何か」等、ILC自身の広報活動に先立って伝えねばならない情報が多く、双方向コミュニケーションの下地を作る所から始める必要がある。そこで、従来型の講演会やシンポジウムの他に、まずはILCという計画の存在を知ってもらうことを目的に人が集まる場所でILCの周知を行う「イベント」、先方の希望に沿った内容で講師を派遣する「KEKキャラバン」、既にILCを知っている層、あるいは科学に興味がある層を対象にし双方向コミュニケーションを目的とした「サイエンスカフェ」、さらには、ILC実験開始時に主役となるであろう現在の小・中学生とその保護者を対象とする「サイエンスショー」等の活動をほぼ週1回のペースで行っている。芸術家とのコラボによるイベント開催などの工夫をしている所であるが、さらなる改善に努めたい。また、リスク要因についても正確な情報の提供に務め、計画の全体像について正確に知って頂いた上でのコンセンサス形成に向け、双方向コミュニケーションの機会を増やし質を向上させたいと考えている。

#### 〈実施計画〉(委、分)

○ 進捗評価と軌道修正

実施計画にはすべてのことが予定通り順調に進行した場合のシナリオしか書かれていない。設備建設、装置開発・製作の過程において深刻な技術的困難に遭遇することや、国際協力に関して人的貢献や経費負担が当初の取決めと異なる事態となる事など、想定し得るリスクをリストアップしてその対策を練っておかなければならない。巨大プロジェクトの実施においてすべてが予定通り進むことはむしろ例外的であることを思えば、プランA（当初計画通りの順調な進捗）だけでなく、プランB、プランC、すなわち種々の困難に遭遇した場合の代替案や迂回策の検討もなされるべきである。さらには、計画にいくつかのチェックポイントを設け、それらの時点でしかじかの条件がクリアされていなければ計画中止に向かうという「撤退シナリオ」もあってしかるべきではないか。

[説明]

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縮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。

<トラブル・災害対策> (分)

○ 運転時のトラブル対策

運転中の非常事態の予防措置や、トラブル発生時の被害食止め策に関して十分な記述がなく、どの程度の検討が行われているのか不明である。

[説明]

地震（別項）、停電（別項）、火災について、これまでの加速器での経験から検討が進められている。火災については、人命第一として隔壁で隔てられている加速器トンネル・サービストンネルを利用して避難する（9/13分科会資料1P.10）。避難距離は最長で3.5kmとなるが、LHCでの避難距離とほぼ同等である。（10/2分科会資料 大型加速器システムの安全P.8）

トラブルの可能性として、ビームダンプあるいは陽電子ターゲットへの過負荷（冷却不調）、ビーム制御外れ、クライオジェニクスシステムのトラブル、応力腐食割れ（放射線を受けて水から分解した、酸素、過酸化水素などの酸化種の濃度がビームダンプの構造材の溶接の残留応力と材質劣化が重畳することによって生じる）、トリチウム（試算によると100兆ベクレル（飽和））水漏れ、などが考えられる。

[説明]

ビームダンプおよび陽電子ターゲットについては、特に密閉環境での運用として一次冷

却水などの飛散を防ぐ (9/13分科会資料1P. 10)。ビームダンプ循環水施設室の一次冷却水を取り扱う区域に堰を設け、万一漏水が起こった場合にも、一次冷却水が堰の中に留まるようにする。この一次冷却水は回収し、保管する。水の放射線分解物による応力腐食割れ対策については原子炉などでの経験を活かすことができる。低温関係については国内ではSuperKEKBやJ-PARCでの経験、規模が同程度のものであればLHC (9/13分科会資料1P. 23) での経験があり、十分安全運用に反映できると考えている。

そのほかにも、停電や地震発生時の緊急停止装置など多重の安全対策が必要と考えられる。

[説明]

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地震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。

○ 放射線管理区域

運転開始から時間が経過してある程度の放射化が進んだ時点でのトラブルや故障を想定して、人が立ち入って作業できる区域と立ち入れない区域を明確に区分し、後者での作業方法をあらかじめ十全に検討しておくべきである。

[説明]

人が立ち入れない区域としてビームダンプ近傍などを想定している。ビームダンプに係る故障としてビーム窓損傷が考えられるため、その遠隔での交換システムを採用する予定である。なお、ビームダンプには局所遮蔽が設置されるので、ビームダンプ循環水施設室への立ち入りは可能である。 (9/13分科会資料1P. 5)

○ 地震対策等

建設から運転まで20～30年スパンのプロジェクトであることから、その間に大規模な地震に見舞われることを想定しておくべきである。さまざまな規模の地震などの災害時を想定した多重防護の仕組みを組み込んでおくべきである。工事中や保守点検時などトンネル内に人が居る状況での地震や火災発生時の避難路および避難方法を確立しておく必要がある。緊急のビームシャットダウンとその後の安全停止、重大破損予防策が重要である。

[説明]

ILC機器は、100年に一度の規模の地震の加速度を想定した設計がなされている (9/13分科会資料1P. 70)。さらに地下トンネル内では振動振幅が地上部の1/2から1/5に減少する (9/13分科会資料1P. 72) ため尤度が増す。地上部に大規模に設置されるヘリウム施設は、高圧ガス設備であり、その設置には耐震設計が義務づけられており、その指針に沿って適切な耐震性をもって建設される (9/23分科会資料1P. 70)。

○ 停電対策

様々なパターンの電源喪失を想定して、緊急ビームシャットダウンをはじめとする、インターロックシステムの作動シーケンスとそれによって発生する状況を検討しておくべきである。

無停電電線の適切な配置とともに、ある程度の期間(例えば数日間)にわたる停電を想定して、非常用電線(自家発電装置)等の維持装置を配することが必要である。その際、土砂災害等を考慮した非常用電源の配置場所についても検討しておくべきである。また、蒸発ヘリウムガスの回収や湧水の排水を担保しておかなければならない。

[説明]

停電時はビームは停止し、新たな放射化は生じない。また、継続的な冷却を要する放射化物もない(9/13分科会資料IP.13)。非常電源が分散配置され、緊急避難、地下水排水、ヘリウムの回収に充てられる(9/13分科会資料IP.16)。また、特に重要な機器(ビームダンプなど)では安全を確認するためにも局所的な停電に備えた非常電源も検討している(9/13分科会資料IP.8)。非常電源は東日本大震災での停電経験から72時間を想定している。(10/2分科会資料 論点メモについての回答P.54-56)

<土木工事等> (分)

○ 土木工事

20kmわたって精度高く直線性を維持したトンネルを掘る工事が通常の土木工事と比べてどの程度の技術的課題があるのか。

[説明]

ILC規模に類似した長大トンネルの施工は、国内の道路・鉄道トンネル建設等で多数行われており、実験装置の直線性保持に支障をきたさないトンネル線形・所要断面の確保は、在来の土木技術にて適切に対応可能と考えられる。

工事途中で活断層や破砕帯など工事困難箇所に遭遇した場合の対策及び追加費用について予算計画に組み込んでおく必要があるのではないか。

[説明]

候補サイトは、計画ラインを活断層が横断しないこと、破砕帯など不良地山の出現の可能性が低いこと等の厳しい条件をクリアして評価・選定されている。また、断層等の地質不良部に対する対策費としては、既往の工事实績に基づいた相応の工事費を想定し予算に計上している。(10/2分科会 資料)

○ 建設候補サイト

地下空洞建設工事に関する検討事項は、対象サイトが特定されない(明示されない)こと

が前提となれば経費算定の適否の判断等は一般論に終始せざるを得ない。日本の山岳地域を想定した建設コストの算定は概ね妥当なものと考えられるが、一直線からのズレが許されない設計であることから、活断層や破砕帯に遭遇した場合に想定以上の経費がかかることもあり得る。

**[説明]**

山岳トンネルの計画・設計は、事前の地質調査資料などに基づいて実施されるが、施工段階においても、掘削工事中のトンネル現場内で実施する水平長尺ボーリングによる前方地質探査のデータを収集・分析しながら施工が進められる。そのため、仮に予期しない脆弱層に遭遇した場合でも、止水処理や地盤補強等の対策を臨機応変に図ることによって、地質条件によるリスクを大幅に軽減することができる。

(検討項目から除外されている)建設に当たっての事前準備費用や所要の時間は、サイト条件によって大きく変動するものである。すなわち、建設に当たっての地元了解、ならびに必要とされる土地取得や、環境アセスメント、建設現場への周辺アクセス道路整備等は、当然事業主体が実施すべきものである。いずれも費用と時間を要するだけでなく難しい交渉を乗り越えることが求められるものであるにもかかわらず、準備期間4年で可能という想定は極めて危ういものと考えられる。

**[説明]**

準備期間4年は確かに厳しい条件ではあるが、事前直前の予備的準備期間（現在の状況）において可能な地質調査・環境調査を実施すると共に、地元自治体の協力を得ながらプロジェクト準備体制の構築を図ることにより、限られた本準備期間内での設計業務等を円滑に遂行可能できるものと考えて想定している。総合的には、予備的準備期間、本準備期間、建設期間を合わせた約15年計画を俯瞰している。(10/2分科会資料 ILC準備・アクションプランP.6)

大型重量物の搬入が必要となることを考慮すると、既存の道路では建設サイトへ近づくことができないであろう。アクセス道路や、海外からの施設搬入港湾の改修整備費用は特に高額になることが予想されるので、現状で想定されていない費用の明示は不可欠であろう。

**[推進側からの説明]**

想定されている有力な候補サイトは、概ね既存の幹線道路沿線に近接して立地できる見通しを得ており、アクセス道路建設のための山林開発の規模は比較的小さいものとなる見通しを得ている。(10/2分科会資料 論点メモについての回答P.4-9、参考資料)

〈環境アセスメント〉(分)

- 環境影響評価

大規模トンネル工事の環境アセスメントを地域住民が納得する形で行う必要がある。生態系への影響、放射化物の生成とその処理ないしは保管方法、地下水の放射化の可能性とその対策、掘削に伴って発生する土砂(ズリ)の保管および再利用法、ならびに掘削土砂に含まれる重金属類が基準値以上の場合の処理など。

[説明]

環境影響評価法に示される内容に準拠した自主アセスメントを行い、地域住民の理解を得ながら必要な環境保全対策を図る。掘削残土(ズリ等)については、工事管理用地内での仮置きを前提に計画している。掘削ズリは路盤材・コンクリート骨材としての活用のほか、周辺地域での防災基盤整備用の資材としての活用等も模索する。最終的な処分については、土壌汚染対策法などに則して土壌汚染調査の上で適切な処理を行い、活用・処分する。なお、これらの土砂が安全基準を満たし良質である(主として良質な花崗岩)と認定された場合は、様々な目的に循環再利用可能な貴重な資源ともなる。このため、土砂を工事管理用地内または、使用権を持った近隣箇所に保全することも長期的に大切な展望である。(10/2分科会資料 論点メモについての回答P.10-15、参考資料)

○ 放射化物生成とその対策

ILCの運転に伴う放射化物の生成の問題や、立地周辺の環境への影響について、正確な情報を地元伝えることが必須。

[説明]

現在は、ILCの建設についてもきちんと決まっていない状況で、研究者が候補地を検討し自主的に立地調査などを行っている段階である(8/20分科会資料2P.29-P.33)。環境アセスメントは建設には必須と理解しているが、相応の費用が必要であり、本格的な実施は準備期間の中で適切な経費を充ててきちんと行うべきものとする。放射化物生成への対応を含め、建設候補地の方々のご理解が得られるよう、十分慎重に進めていきたい。

○ プロジェクト終了後の処理計画

プロジェクト終了後のことを推進者は真剣に考えるべきである。ILCの特性からして、他の用途に転用することは困難と思われる。廃止措置も含むプロジェクト最終処理の点も計画に含めるべきである。

[説明]

廃止措置については、4年間をかけて行うことを考えている(9/13分科会資料1P.102)。一般的には、現物供与されたものは、所有権の移転(また寄付)手続きがされない限り、貢献者(国)に帰属する。このため、保守・維持および撤去についても、所有者の責務となる。ただし、実質的には、貢献(納入)後に、貢献国・ホスト国の協議に基づき負担を話し合い、定めることになる。また科学の進歩に伴い、自然科学研究の新たな拠点としての展開の可能性について、視野に含めておくべきである。

SLACの事例を引き合いに、ILCを原子核や物性など他分野の研究に利用する可能性にも言及されているが、リップサービス以上のものがあるのか疑問である。そもそも大深度地下に設置された加速器を他の目的に転用することは極めて困難であろう。

[説明]

SLAC以外でもCERNのLEP（電子・陽電子衝突型加速器）はLHC（陽子・陽子衝突型加速器）に再利用された。KEK-TRISTANはKEKB、SuperKEKBに再利用されている。近隣分野の実験としては、中性子やミュオン生成利用などの検討が始まったところで、加速器学会誌でも報告がされている（加速器学会誌 Vol14, No. 4 (2017) 236-242）。これまでの所、大深度地下であることで利用に問題があるとは考えていない。

<波及効果> (分)

○ 技術波及効果

加速器技術が多方面に応用されていることは事実であるが、ILC計画の実施に伴う技術波及効果を論ずるうえでは、「ILCプロパー」技術の応用と「加速器一般」技術の応用とを明確に区別した形で社会に伝えるべきである。後者は、ILC計画が実施されるか否かとは無関係である。「加速器」や「超伝導」に関わる技術を見境なく「技術的波及効果」にカウントするような言説は慎むべきである。

ILC計画における超伝導加速器技術は特殊性が高く、一般の民生分野への応用にはハードルが高い。大きな波及効果を期待しないほうが良いだろう。そもそもILCで使用される諸技術は建設開始段階で成熟したものである必要があり、ILC建設過程で技術的イノベーションを想定する開発研究に依存するようなシナリオでは計画自体が成り立たない。また、要素機器の量産が民間の新たな技術開発を誘発する要素も少ないと考えられる。

[説明]

「ILCプロパー」な技術と「加速器一般」の技術の間に明確な境界線を引くことは困難である。特定の目的で開発された技術が汎用性を持ち当初目的以外に応用され成功した事例は数多く知られている。素粒子物理学のために米国SLACで開発されたSバンド加速管は、その後、全世界の様々な目的の加速器に応用され普及した。また、SACLAIに採用されたCバンド加速管も、欧州Euro-XFELのLバンド超伝導加速管も、リニアコライダーのため技術開発の成果であるが、それ以前の加速器科学の積み上げの成果でもある。いずれも総体としての加速器科学への投資による技術の波及効果である。ILCの実現は、より高いエネルギーを目指すより高勾配の加速空洞開発のインセンティブとなり、加速器科学全体を前進させ、新たな応用の道を開くと考える。

○ 経済波及効果

野村総研による経済波及効果のレポートにはミスリーディングな表現が散見される。経済効果を論ずるには、ILCで想定される国家予算が、ILCに投入された場合と、他の事業に振り向けられた場合との比較で論ずるべきと思われるが、レポートでは「ILC予算が純増で措置され、他の予算が削られることはない」という前提に立っているが、経済波及効果を論じる上でも具体的にどのような措置を講じればそのようなことが実現できるのかがまず明らかにされることが肝要であると考ええる。また、日本の予算で製作される物品をすべて国内メーカーが受注すると想定している点や、2次的波及効果の増強因子としてCERNの場合の係数3.0を機械的に用いている点など極めて荒っぽい算定になっている。

その他にも、根拠に乏しい経済波及効果の数字が流布し、地域振興の文脈でサイト候補地の地元で過剰な期待を抱かせている。このことにより、ILC誘致に関する議論が歪められている。

**[説明]**

野村総研による経済波及効果算定の結果は、その算定方法より、原理的に他の公共事業と大きな違いが生じ得ないとの指摘には同意する。しかし、ILCの先端科学技術の世界拠点としての価値は、この算定には含まれていない容易に数値化できないところにあると考える。がん治療、医療・産業イメージング技術、エレクトロニクス、各種測定器、情報技術等、様々な領域でイノベーションが起こり得ることは、CERNのワールド・ワイド・ウェブの例が端的に証明している。(8/29 資料3) 国際科学技術拠点には人材が集まり、新しい基盤技術を創造できる人材が育つ。

○ 経済活性・地域振興

土木工事については地域への投資投下がある程度見込まれるが、加速器本体の建設は国際的経費負担で、多くがイン・カインド(現物支給)方式での供給となり、また国際入札となるため、必ずしも国内の産業が受注できるとは限らない。CERNの事例を確認する必要がある。

**[説明]**

ILCではTDR当初から、インカインド方式であっても、各地域での国際入札となることを前提としている。日本においては、公共の入札で一定額以上は国際入札とすることが義務付けられており、発注側、受注側ともにこの基準を遵守し、それに備え、自主的な準備(コスト効果の高い製造技術の準備)を整えることが大切な規範となる。この努力を通して、健全に各地域でバランスのとれたインカインド貢献の実現を追求する。

建設時・運転時に地域に定住ないし長期滞在する研究者およびその家族の人数見込みについて1万人といった誇大な数字が流布している。建設が完了して運転フェーズになれば施設の維持・運転を行うスタッフは必要であるが、物理研究者はデータ解析がリモートで

行えるので現地に滞在するインセンティブは高くない。この点はSPRING-8やJ-PARCのような実験施設に入れ替わり立ち替わりユーザーが訪れるのとは大きく異なる。仮に、構想されているような国際研究都市の構築を目指すのであれば、そのインフラ、すなわち公共施設や商業施設のハード、および外国語対応サービスのソフトの両面にわたる環境整備に相当の経費を要することになるが、その経費負担について関係セクター間で協議が必要となる。

**[説明]**

一例として、CERNでは大型素粒子実験の推進を積み重ねているが、特に、LHC 計画の完成後の運用においても、科学実験訪問者は増加を続けている。さらに一般市民、学校関係者の見学来訪は、さらに増加を続け、12万人／年を超えるに至っている。これだけ計算機によるコミュニケーション技術が発展しても、学術的メッカへの来訪者が増加し続けている。

\*参考として、ITER計画に係る閣議了解(平成14年5月31日)においては、政府として、以下の点に留意するものとされている。

- ITERの建設・運転等に対し立地促進のために特段の財政措置は講じないこと。
- ITER計画の実施に関連する公共事業については、その規模を通常の公共事業費の中での優先的配分により対処し得るものにとどめ、国庫補助負担率引き上げ等の国による特別の財政措置は講じないこと。
- 国は、ITER計画に関し、安全確保を図るとともに、国民への情報提供等を通じて一層の理解が得られるよう努めること。
- また、誘致に当たっては、関係地方公共団体に対して、ITER計画の円滑な実施を実現するため、所要の措置を講ずるよう要請すること。

**【さらに確認すべき点】**

〈物理〉

- 実験の結果、標準理論からのズレが見い出されない場合の研究戦略。

**[説明] : 本資料〈ILCが目指す物理〉の部分の説明も参照のこと**

ヒッグス精密測定で探するのは、電弱対称性の破れの謎（なぜヒッグスが宇宙誕生後約100億分の1秒後に全宇宙を満たしたのか）を解く新しい物理に起因するズレである。

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。また、（社会情勢が許すことが前提だが）国際分担でエネルギーを500 GeV領域やさらに高いエネルギーに増強し、トップクォークの精密測定やヒッグスの3点自己結合の測定を行いズレ

レを探す（エネルギー増強は、線形加速器部のみの延長に必要なコストですみ、将来の技術進展を踏まえれば、国際分担で実施可能と考える。）。並行して、新しい加速技術の開発に継続的に取り組む。

トップクォーク質量が、標準理論真空の安定と準安定の境界近くにあることが判明した場合は、350 GeVにエネルギー増強して、トップクォーク質量の精度を1桁改善し、真空の安定性問題に決着をつける。標準理論が究極理論と直結していることが示唆された場合には、高エネルギー衝突型加速器による素粒子物理の終焉を示唆し、素粒子物理の研究手法として、ボトムアップアプローチからトップダウンアプローチへの大転換への契機になると考えられる。

- ・ ヒッグス結合の精密測定が、素粒子物理学の最重要課題と言えるか、標準理論からのずれの検出には様々なアプローチがあるのでは。

[説明]

ヒッグスは特別な粒子である。標準理論の中で唯一スピンがゼロで、宇宙をくまなく満たしている。そもそもヒッグス粒子が宇宙を満たしていないと、我々の体は10億分の1秒で蒸発してしまう。そこまで大事な働きをしながら、その正体は不明である。電弱対称性の破れの謎を解く鍵を握っており、その解明は今後の素粒子物理学の方向を決める。そして、どの道が選ばれるかにより、TeV以上の新物理と宇宙初期のシナリオに多大な影響を与える。ILC実験は、この謎の中心であるヒッグスを直接、詳細に調べる。

ヒッグス結合の精密測定は、結果によらず素粒子実験におけるランドマークとなる。質量対結合定数のプロットは素粒子物理の教科書に載る。ズレが見えなければ、電弱対称性の破れを自然に理解することができなくなり、パラダイムシフトの契機となる。また、電弱バリオン数生成のシナリオが排除される。

電弱対称性の破れの謎に関連する標準理論からのズレが全くないと結論する際には、他の全ての実験で優位なズレがないことが前提となる。様々なアプローチを組み合わせる標準理論を追い込むことになる。しかし、上に述べたように、ヒッグス粒子は、電弱対称性の破れの謎を解く鍵を握っている粒子である。仮に他の実験でズレが見つかったとしても、ヒッグス結合の精密測定を抜きにして、素粒子物理の方向をクリアーに決めることは困難である。

ヒッグスの精密測定の重要性は、2012年の高エネルギー物理学研究者会議（JAHEP）のもとに設置された将来計画検討委員会の報告でも、2013年の欧州戦略でも、2014年の米国のP5報告でも、そして2017年のJAHEPの将来計画検討委員会の答申でも、ヒッグス物理が

第1番目に据えられていることにも現れている。それは、2017年のICFA声明でも確認されている国際高エネルギー物理学者コミュニティのコンセンサスである。

- ・ もし最重要課題と誰もが認めるなら、国際的な声が挙がってしかるべきでは。

[説明]

電弱対称性の破れの謎の研究方法としては、ヒッグスの精密測定と謎に関連する新粒子探索の二つの方法があり、いずれも巨大加速器を要する。前者の方法を主とする計画がILCであり、後者の方法を主とするのがLHCである。LHCは建設され、世界中の研究者が参加している。

LHCはヒッグス発見という偉業を成し遂げたが、それに続く新粒子の兆候は得られていない。当初の新粒子探索領域の大部分がすでに探索済みとなった。LHC推進者の間でも別の方法の必要性が広く認識されるようになってきている。しかし、一旦一つの選択をしたら、容易には別の選択へと鞍替えできない。一旦一つの実験施設に巨額の投資を決めたら、それを最大限利用することになる。

巨大実験施設の建設は、国際協力なくして成し得ない。また、大型施設建設を実行できる国/地域は限られている。素粒子実験分野では、グローバルな議論と合意に基づく分担と調整の伝統がある。米国は、国内では国際協力によるニュートリノ施設に重点をおきつつLHCに大規模参加をし、また日本がホストするILCへの期待を寄せている。欧州は、LHCを最優先としつつ日本がホストするILCへの期待を表明、ニュートリノは欧州外の実験に参加するとしている。(8/10 資料6 P.19)

ILCのTDR公表後の過去5年間、ヒッグス結合の精密測定を目的とする巨大円形電子・陽電子加速器の提案が2件あった(CERNのFCC-eeと中国のCEPC)。ヒッグス結合の精密測定の重要性が国際的に共有されている証左である。これらは、将来の陽子・陽子コライダーへの転用を念頭においた計画である。円形であるため電子・陽電子コライダーとしての拡張性は極めて限定的である。一方、ILCは電子・陽電子コライダーとしての将来性を念頭におく。技術的に最も成熟しており、250 GeV実験の結果必要となれば、350 GeV、1 TeV程度までのエネルギー増強は現在の技術で可能である。

欧州の場合、CLIC計画もあるので、二つの可能性を検討していることになるが、円形加速器について言えば本命は陽子・陽子衝突であり、技術的課題を克服した後の遠い将来の計画である。中国は、これまでの円形コライダーの経験との連続性、将来の陽子・陽子コライダーへの展開を念頭に円形コライダーを選択しているが、欧州同様、陽子・陽子衝突への展開は遠い将来の計画である。

2017年のICFA声明にあるように、これらの中で、計画として最も成熟しており、最も早期に実現できると期待されているのがILCである。(8/10 資料6 P.7, P.23) 現在、政治的、歴史的な理由でILCの誘致に立候補しているのは日本のみという状況にあるが、むしろ好機と捉えている。

- ・ ILCは20年後にも魅力ある装置であり続けることができるか。

[説明]

すでに述べたように、250 GeV ILCは、電弱対称性の破れの謎に直接切り込み、素粒子物理学の方向を定める。それをホストするILC研究所は、建設期間中であっても、実験のみならず、技術革新、そして理論物理の国際共同研究のセンターとして、CERNに匹敵する世界の最先端研究所になる。

250 GeV ILCの結果は、ズレが見つければ、そのズレの背後にある新物理のエネルギースケール、そうでなければ上に述べたシナリオのように、次に目指すべき加速器の性能について指針を与える。それが既存技術の延長で実現可能であれば、新しい技術を要するものであれば、250 GeV ILCのために整備されたトンネルを含む加速器施設はその基盤となる。

こうして、250 GeV ILCは、電子・陽電子コライダーとして、250 GeVをはるかに超えるエネルギーへと展開する将来性を備え、20年をはるかに超え将来の長きに渡って国際的に魅力的な施設であり続ける。(8/10 資料4 P.28)

#### <加速器>

- ・ 陽電子源の選択はどの時点でどのような基準でなされるのか。

[説明]

準備期間の2年目までには陽電子源の選択をする必要がある。陽電子は必ず出る必要があるため、その際に（コストではなく）技術的に確実な方法を選択する。ただし、建設コストはほぼ同じ（総建設費の1/20程度）であることが分かっている。(10/2分科会資料 論点メモについての回答P.16-18)

- ・ 2つの検出器が本当に必要か。それらのタイムシェアリングはどうするのか。

[説明]

2つの検出器が必要な理由：

特に予想外の結果が得られた際の実験の相互検証、1台の保守作業中にも別の1台が実験を続行できることによる利用効率の向上、競争の存在による研究促進、より多くの参加

者を取り込む受け入れ能力の拡大等のメリットがある。また、仮に実験開始時に1台で実験を始めたとしても、実験の推移により、将来的に国際分担による2台目の建設の提案が出てくることは十分考えられる。その空間を確保しておく必要がある。(10/2分科会資料 論点メモについての回答P. 19-22)

タイムシェアリングの方法：：

具体的なスケジューリングは、専門のレビュー委員会で科学的成果を最大化するよう決める。基本方針として、実験時間を公平に分配する。先に実験を行うグループが有利にならないように、連続実験期間を単独論文発表ができない程度(数ヶ月以内)に制限する。また、後発グループの最初の実験を長めにするなどの工夫を行う(10/2分科会資料 論点メモについての回答P. 19-22)

- ・ ビームダンプの健全性のモニター、遠隔操作による窓の交換はどのようにするつもりか。

[説明]

ビームダンプの内側へのモニター設置は避け、外部に振動センサーや温度モニターを設置する、循環水の水質をモニターすることなどが検討されている。窓の交換については、J-PARCのビーム標的交換などの遠隔操作で実績のあるシステムを参考にして、窓を組み込んだ真空パイプを交換するなど、工程の最適化を検討している。(10/2分科会資料 論点メモについての回答P. 23-26)。

- ・ 第2ビームダンプは有効か。

[説明]

メインダンプに関しては、ビーム衝突の際に発生する光子を受けるためビーム進行軸に合わせた設計が必要である。設置しているビームダンプは250 GeV ILCでは尤度もあり運転に問題ないと考えているが、TDR以降、ビームダンプへの懸念が多く寄せられる中、放射化した状態で想定しないビームダンプ故障があった場合に備えて上流側にビームダンプを置く場所を確保するのはさらに尤度を高めるうえで重要と考えている。(10/2分科会資料 論点メモについての回答P. 27-28)

- ・ ビームダンプ異常時のセパレーションのためのゲートバルブが誤作動して閉まった場合、ビームが直撃することになるが、その場合に何が起こるか。

[説明]

ゲートバルブが閉まるには数十msの時間が必要である。ゲートバルブが動き始めた時点で接点信号が異常を検知し、ビーム取り出しを停止する。ビームは200ms毎に1ms程度の幅を持つ(9/13分科会資料1P. 33)が、閉まり始めてビームを止めればビームがバルブに当

たことはない。また、SuperKEKBでは入射器などで100台以上のゲートバルブが（30年以上）運用されているが、バルブの誤作動によりビームが当たったという事例はない。

（10/2分科会資料 論点メモについての回答P. 29-30）

- ・ 巨大総合システムとしてのILC。

〔説明〕

ILCは電子・陽電子を5 GeVダンピングリングで周回させ、直線加速器で125 GeVまで加速するシンプルな構造である。LHCでは線形加速器、シンクロトロンブースター、SPSを経てLHCに入射される複雑な構造を取る。J-PARCでもミューオン・中性子、原子核・ニュートリノ実験用にビームを振り分ける複雑な構造である。LHCやJ-PARC、SuperKEKB（9/13分科会資料1P. 98）の運転経験から加速器システムとしては問題ないと考えている。（10/2分科会資料 論点メモについての回答P. 31-36）

- ・ インターロックの体系と、それらの相互タイミング設定。

〔説明〕

加速器は放射線発生装置として原子力規制委員会に申請され、安全系を含めて審議される。インターロックの種類によって、ビーム停止、機器停止などがある（9/13分科会資料1P. 13）が、実際の運転の前にも安全ロジックの实地検査など厳しい審査を受ける（9/13分科会資料1P. 9）。（10/2分科会資料 論点メモについての回答P.31-36）

- ・ トリチウム等放射性物質を含む一次冷却水の漏水が起こった場合の対処法。

〔説明〕

ビーム窓破損の際には一次冷却水はビームパイプ中に漏れるが、上流側に多重化されたゲートバルブで遮断する（9/13分科会資料1P. 7）。ビームダンプ循環水施設室の一次冷却水を取り扱う区域には堰を設け、万一漏水が起こった場合にも、一次冷却水が堰の中に留まるようにする。一次冷却水は回収し、保管する。室内空気の放射能濃度が高い場合は除湿器により回収し、立入り前のモニタリングで安全を確保する（9/13分科会資料1P. 8）。

（10/2分科会資料 論点メモについての回答P. 37-38）

- ・ 周囲の地下水の放射化の可能性とその対策。

〔説明〕

周囲の地下水の放射能濃度が、放射線障害防止法で定められている排水中濃度限度を十分下回るように設計される（9/13分科会資料1P. 10）。ビームロスが大きい部分（ビームダンプ等）には局所遮蔽を施す。加速器の大部分を占める主線形加速器では、暗電流を考慮に加えても排水中濃度限度より十分低いレベルにある（9/13分科会資料1P. 42）。

（10/2分科会資料 論点メモについての回答P. 39-40）

- ・ ILCを他の用途にも使うということをどの程度本気で考えているか。廃止措置経費も国際分担としないのか。

[説明]

廃止措置については、4年間をかけて行うことを考えている (9/1313分科会資料 P.102)。一般的には、現物供与されたものは、所有権の移転(また寄付)手続きがされない限り、貢献者(国)に帰属する。このため、保守・維持および撤去についても、所有者の責務となる。ただし、実質的には、貢献(納入)後に、貢献国・ホスト国の協議に基づき負担を話し合い、定めることになる。ILC後について、現時点で見通しを示すのは困難だが加速器施設の有効利用はオプションとして検討するべきである。(10/2分科会資料 論点メモについての回答P.41-42)

<人材>

- ・ 巨大総合システムとしてのILC全体を俯瞰する指導的人材。

[説明]

30年以上前からリニアコライダーに関わっている研究者だけでなく、40代、50代の研究者として経験豊富な人材も多い。ILC建設にあたっては、過去のLC研究をリードしてきた方々から研究を引き継ぎ、これらの研究者が中核を担うことができる。さらにILC運営に向けては、SuperKEKBなどでの実務経験を経た20代、30代の研究者・技術者を育成していくことが重要である。また、外国からもLHC、欧州Euro-XFEL、米国CLS-IIなどで、経験を重ねた中堅、若手研究者が、指導的な役割を担う人材として、参画することが十分に想定される。

<経費>

- ・ 予算計上に含まれていない項目およびその必要額のリストアップ。

[説明]

TDRで具体的な経費が算定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、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。(8/20分科会資料P.21)

(「国際リニアコライダー(ILC)に関する有識者会議 ILC計画の見直しを受けたこれまでの議論のまとめ」P.44) (10/2分科会資料 論点メモについての回答P.44-45)

- ・ コンティンジェンシーの考え方。

[説明]

予期せぬ出費のための予備費である。国際プロジェクト建設において、予備費

は、各参加国・機関における予算システム、技術状況に応じ、夫々の責任において個別に定めるべきものである。特に、現物出資（インカインド）を主体とした国際協力・貢献において留意すべきである。コンティンジェンシーについては ILC-PIP\*に記載されている。（「国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議 ILC計画の見直しを受けたこれまでの議論のまとめ」P. 42）

\*「プロジェクト実施計画(Revised ILC Project Implementation Planning, Revision C)」(2015年7月LCB)

#### <コンセンサス>

- ・ 素粒子物理学コミュニティにおいてどのようなコンセンサスができていますか。

##### [説明]

2017年7月24日に発表された「LHC Run II のこれまでの結果を踏まえたILCの科学的意義とILC早期実現の提案」は、高エネルギー物理学研究者会議（JAHEP）の意思決定手続きに基づき、その総意として決定合意された（8/29 資料2、P. 9）。また、2012年、2017年の将来計画検討委員会の答申でも ILC早期実現を将来計画の第1の柱として掲げているが、これもJAHEPの総意として承認されている（8/29 資料2、P. 8）。

- ・ KEKの中で、将来計画と優先プロジェクトについてどのような検討がなされているか。将来計画は教育研究評議会に諮られているか。

##### [説明]

KEKの将来計画と優先プロジェクトの検討は、KEKロードマップおよびKEKプロジェクト実施計画（KEK-PIP）の策定を通じて行われている。ILC計画については、KEKロードマップでは、国際協力による建設の早期着手を目指すことが明記されている。教育研究協議会では、これらの策定について諮られていることに加え、随時研究開発の進捗状況を報告している。

- ・ 物理学コミュニティに対する説明と支持要請はなされているか、それに対する反応は？

##### [説明]

物理学学会、関連学会などでセミナーやシンポジウムを開催し、近隣分野の研究者を含めて ILCを説明し、理解を得る活動を進めている。近隣分野学会等の会合は2016年以降8回、物理学学会のシンポジウム、企画公演を2014年以降11回開催した。高エネルギー物理学以外の研究者や学生も含めて ILCを紹介するために大学や研究所でのセミナーを2011年以降81回開催した。

文部科学省の ILCに関する有識者会議の素粒子原子核作業部会では、高エネルギー物理学分野以外の近隣分野の委員を含めて、ILCにおける物理を深く議論していただき、250 GeV

ILCの科学的意義について理解していただけたと考えている。

#### 〈国際協力〉

- ・ 国際連携に関して、欧州や米国のグループはそれぞれの政府にどの程度の働きかけをしているのか。日本が誘致を宣言してから始めるということか。

##### [説明]

日本の研究者コミュニティがILCをホストしたい意向を表明して以降、欧州や米国の研究者は政府関係者、政治家、資金配分団体の担当者に対して様々な働きかけを行っている。米国とは2013年より政産官学が協力してILCに関する連携を構築する活動を続けている。フランスやドイツとは欧州研究者の多大な努力により政産官学各レベルで議論を進める枠組みを作ることができた。スペイン、イタリア、英国などとも研究者や資金配分団体の関係者と連携して、同様な枠組みを構築する努力を続けている。

- ・ アジア諸国、特に中国の研究グループとの話し合いは行われているのか。

##### [説明]

アジア諸国、特に中国とは、超伝導加速器技術の研究開発でKEK-IHEPを中心に長く協力を続けている。また、インドや韓国もこの技術には強い関心があり、加速器研究開発、人材育成プログラムなどで連携協力を進めている。中国は2013年に政府レベルで今後の高エネルギー物理学分野の基本路線が議論されたが、その中で、中国で将来、大型円形電子陽電子コライダーを実現するための研究開発を進めるとともに、ILCに参加することがうたわれている。

#### 〈土木工事〉

- ・ 地下水の出水とその対策。

##### [説明]

トンネル外周部は、掘削した岩盤表面にコンクリート吹付けで一次止水処理後、防水シートを貼り付け、その内側に鉄筋コンクリート躯体が構築される。地下水は床下に設けた排水トレンチに集水し、揚水ポンプでリレーし地上に送水するシステムである。揚水ポンプは予備機を設置すると共に、停電時には非常電源でバックアップされる。(9/13 分科会資料 IP. 51-56、10/2 分科会資料 論点メモについての回答 P. 47-50)

- ・ 活断層や破砕帯など工事困難箇所に遭遇した場合の対策と追加費用。

##### [説明]

活断層や破砕帯を有しないサイトが選定されている。その経過は東北で検討された参考資料に詳細にまとめられている。ILC施設は全長20kmに及ぶ長大な線状構造物であるため、着工後に脆弱な地質部に遭遇した場合には、止水注入や地盤補強などの対策工事を臨

機応変に行うことになる。トンネル工事費の算定では、このような不良地質部分が一定の割合で分布することも見込み計上されているが、想定を超えた追加コスト、契約方法については現在検討中である。(10/2分科会 資料)

- ・ ILCのトンネルには、通常のトンネル工事より厳しい仕様が求められる点がないか。

[説明]

ILCトンネルは道路・鉄道等の一般トンネルに比べ、止水性・防水性の確保が厳しく求められる。加速器装置や電源機器を防護する観点から、トンネル上部からの漏水・滴水を防止する必要がある。加速器機器据付の際に位置調整を行うため、トンネルの幾何学的な配置は10cm程度ずれても問題ない。(10/2分科会資料 論点メモについての回答P. 52-53)

<不測の事態>

- ・ 電源喪失が生じた場合の対策。非常用電源の持続時間。

[説明]

停電時はビームは停止し、新たな放射化は生じない。また、継続的な冷却を要する放射化物もない(9/13分科会資料IP. 13)。非常電源が分散配置され、緊急避難、地下水排水、ヘリウムの回収に充てられる(9/13分科会資料1資料P. 16)。また、特に重要な機器(ビームダンプなど)では局所な停電に備えた非常電源も検討している(9/13分科会資料IP. 8)。非常電源は東日本大震災での停電経験から72時間を想定している。(10/2分科会資料 論点メモについての回答P. 54-56)

- ・ 電源喪失や誤作動が起こった場合に安全サイドに流れるか。

[説明]

(ヘリウムについて)

ヘリウムは気体容器と液化設備で蓄えられる(9/13分科会資料IP. 49)が、非常用電源が長期に使えなくなった場合、液化分が少しずつ蒸発することになる。そのガスを資源として循環再利用するため、非常発電機にサポートされた小型液化機を定期的(1週間に1日程度)に稼働し、蒸発ヘリウムガスの液化を行い、貴重な資源を保持する。

(地下水について)

地下水の排水に非常用電源を使う予定であるが、これ以外に、ILC候補地ではILCが海拔100m程度であることから自然排水による排水も可能(オプション)とすべく設計・検討されている。(9/13分科会資料、ILC施設・電気設備と非常時安全対策の検討～北上山系をモデルとした検討～)。(10/2分科会資料 論点メモについての回答P. 57-58)

〈地域住民への説明〉

- ・ リスクとその対策、経済効果等について正確な情報を伝えているか。

[説明]

KEKとしては、潜在的なリスクと対策に関する技術情報を、候補地地元自治体等の要請に応じて提供している。KEKは、科学的意義と技術に重点をおいて広報を行っており、経済波及効果の広報は行っていない。

- ・ 土地収用の方法と権利関係。

[説明]

坑口に関してははずらすことが可能である。中央キャンパスについても、形、面積も含めて高い自由度がある。(10/2分科会資料 ILC準備・アクションプランP. 6)

- ・ 生態系も含む周辺環境への影響評価。

[説明]

モデル候補地域において、研究者サイドで予備環境調査が実施されており、検討を深めている(8/20分科会資料2P. 29-33、9/13分科会資料1P. 14)。本準備期間開始後に実施することを予定している。(9/13分科会資料1P. 18) (10/2分科会資料 ILC準備・アクションプランP. 6)

- ・ 放射化物の生成とその処理法。

[説明]

ビームダンプ循環水については、 $^{15}O$ 、 $^{13}N$ 、 $^{11}C$ の半減期が2~20分で数時間で無視できるまで減少する。 $^7Be$ はフィルターで除去され、 $^3H$ については、循環水として閉鎖循環とする。その他、鉄、ステンレス、コンクリート遮蔽体等については、放射化しても素材内部にとどまり拡散の恐れはない。(9/13分科会資料 1P. 12) 再利用が難しいもののうち、放射化が認められるものは、国で計画されている「研究施設等廃棄物の埋設事業」が扱う低レベル放射性廃棄物の中でも、低いレベルの廃棄物だけを収める施設(上記埋設事業の第一期事業で計画されている施設)に処分する。(8/20分科会資料 1P. 16) (10/2分科会資料 論点メモについての回答 P. 60-66)

- ・ プロジェクト終了後の処理とその経費。

[説明]

廃止措置については、4年間をかけて行うことを考えている(9/13分科会資料 1P. 102)。一般的には、現物供与されたものは、所有権の移転(また寄付)手続きがされない限り、貢献者(国)に帰属する。このため、保守・維持および撤去についても、所有者の責務となる。ただし、実質的には、貢献(納入)後に、貢献国・ホスト国の協議に基

づき負担を話し合い、定めることになる。ILC後について、現時点で見通しを示すのは困難だが加速器施設の有効利用はオプションとして検討すべきである。(10/2分科会資料  
論点メモについての回答P. 41-42)