

(案)

回答

国際リニアコライダー計画の見直し案  
に関する所見



平成30年（2018年）○月○日

日本学術会議

この回答は、文部科学省研究振興局長からの審議依頼を受けて、日本学術会議に設置した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及び同委員会技術検証分科会が中心となり審議を行ったものである。

#### 日本学術会議 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

委員長	家 泰弘	(連携会員)	日本学術振興会理事、東京大学名誉教授
副委員長	米田 雅子	(第三部会員)	慶応義塾大学先導研究センター特任教授
幹事	西條 辰義	(第一部会員)	高知工科大学経済・マネジメント学群教授、 総合地球環境学研究所特任教授
幹事	田村 裕和	(第三部会員)	東北大学大学院理学研究科教授
	小林 傳司	(第一部会員)	大阪大学教授・理事・副学長
	梶田 隆章	(第三部会員)	東京大学卓越教授、特別栄誉教授、 宇宙線研究所所長
	上坂 充	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
	杉山 直	(連携会員)	名古屋大学大学院理学研究科教授
	永江 知文	(連携会員)	京都大学大学院理学研究科教授
	平野 俊夫	(連携会員)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構理事 長

#### 日本学術会議 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

委員長	米田 雅子	(第三部会員)	慶応義塾大学先導研究センター特任教授
副委員長	嘉門 雅史	(連携会員)	一般社団法人環境地盤工学研究所理事長、 京都大学名誉教授
幹事	西條 辰義	(第一部会員)	高知工科大学経済・マネジメント学群教授、大学 共同利用機関法人総合地球環境学研究所特任教授
幹事	中静 透	(連携会員)	大学共同利用機関総合地球環境学研究所プログラ ム・ディレクター・特任教授
	家 泰弘	(連携会員)	日本学術振興会理事、東京大学名誉教授
	望月 常好	(連携会員)	一般財団法人経済調査会理事長、公益社団法人日 本河川協会参与
	田中 均	(特任連携会員)	理化学研究所放射光科学研究センター副センター 長

本回答の作成にあたり、以下の方々にご意見をいただいた。

千原 由幸	文部科学省大臣官房審議官（研究振興局担当）
中田 達也	スイス連邦工科大学ローザンヌ校教授

中野 貴志		大阪大学核物理研究センター長
藤井 恵介		大学共同利用機関法人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		大学共同利用機関法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
横溝 英明		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
近久 博志		株式会社地盤システム研究所所長
宮原 正信		大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構加速器研究施設研究支援員
矢島 大輔		株式会社野村総合研究所社会システムコンサルティング部上級コンサルタント
観山 正見	(連携会員)	広島大学学長室特任教授
山内 正則	(連携会員)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構長
神尾 文彦		株式会社野村総合研究所社会システムコンサルティング部部長
熊谷 教孝		公益財団法人高輝度光科学研究センター名誉フェロー
佐竹 繁春		株式会社野村総合研究所社会システムコンサルティング部上級コンサルタント
相原 博昭	(連携会員)	東京大学大学執行役・副学長、大学院理学系研究科教授
羽島 良一		国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構上席研究員、日本加速器学会会長
浅井 祥仁	(連携会員)	東京大学大学院理学系研究科教授
細谷 裕		大阪大学名誉教授
中家 剛		京都大学・大学院理学研究科・教授

本回答の作成にあたり、以下の職員が事務を担当した。

事務局	犬塚 隆志	参事官 (審議第二担当)付参事官
	高橋 和也	参事官 (審議第二担当)付参事官補佐
	小河原啓介	参事官 (審議第二担当)付審議専門職
	大澤 祐騎	参事官 (審議第二担当)付審議専門職付





## 目 次

1	はじめに.....	1
(1)	審議の背景.....	1
(2)	審議に際しての基本的考え方.....	2
2	ILC が目指す物理.....	3
(1)	高エネルギー加速器実験の発展.....	3
(2)	13 TeV LHC の結果を踏まえた ILC 計画の見直し.....	4
(3)	250 GeV ILC 計画の目標.....	5
3	ILC 実験設備.....	5
(1)	ILC 加速器の構成.....	5
①	超伝導高周波加速管.....	6
②	陽電子源.....	6
③	ビーム収束と位置制御.....	6
④	検出器.....	6
⑤	ビームダンプ.....	7
⑥	総合システムとしての ILC.....	7
(2)	土木工事.....	7
(3)	人員・人材、運営体制、国際協力.....	8
(4)	安全性、環境への影響.....	8
(5)	技術的・経済的波及効果.....	9
(6)	必要経費、国際経費分担、予算の仕組み.....	10
(7)	「マスタープラン 2017」との関係.....	10
4	所見.....	11

## 1 はじめに

### (1) 審議の背景

国際リニアコライダー (International Linear Collider: ILC) 計画は、高エネルギー電子・陽電子衝突実験のための直線状加速器 (線形加速器) を建設して素粒子の研究を進める、素粒子物理学分野の国際プロジェクトである。ILC 計画は、現在、欧州合同原子核研究機構 (CERN) で稼動している大型ハドロンコライダー (Large Hadron Collider: LHC) と相補的な位置づけにあるレプトンコライダーの次期計画として構想されてきたものである。

国際将来加速器協議会 (International Committee for Future Accelerator : ICFA) のもとでの全体設計活動(Global Design Effort: GDE)によって2013年に取りまとめられ発表されたILCの技術設計報告書 (Technical Design Report: TDR) では、最高衝突エネルギー500 GeVで設計がなされていた。

国際リニアコライダー計画に関して、日本学術会議が文部科学省から審議依頼を受けて審議を行うのは今回が2度目である。前回の審議について簡単に復習しておく。平成25年5月27日付で文部科学省研究振興局長から日本学術会議会長宛てに審議依頼が寄せられた。これを受けて「日本学術会議国際リニアコライダー計画に関する検討委員会」が設置された。7回の審議を経てとりまとめられた回答は、幹事会における承認手続きを経て、平成25年9月30日に会長から研究振興局長に手交された。

回答『国際リニアコライダー計画に関する所見』(以下、「前回回答」)では、その時点で存在した多くの不確定要素について、可能な限り明確にしていくことが必要との観点から、「ILC 計画の実施の可否判断に向けた諸課題の検討を行うために必要な調査等の経費を政府においても措置し、2～3年をかけて、当該分野以外の有識者及び関係政府機関も含めて集中的な調査・検討を進めること」を提言した。特に検討すべき重要課題として以下の項目を挙げた。

- 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

「前回回答」では結語として、「国際リニアコライダーを我が国に誘致することの是非を判断する上で、これらの課題について明確な見通しが得られることが必要である。」としたうえで、「日本学術会議は、上記の調査・検討を踏まえて、改めて学術の立場からの見解を取りまとめることにより、政府における最終的判断に資する用意がある。」と表明したところである。

文部科学省においては、この「前回回答」を受けて、平成26年5月に「国際リニアコライダー (ILC) に関する有識者会議」(以下、「有識者会議」)を設置し、そのもとに

「素粒子原子核物理作業部会」、「技術設計報告書（TDR）検証作業部会」、「人材の確保・育成方策検証作業部会」、「体制及びマネジメントの在り方検証作業部会」の4つの作業部会を設けて審議を進めるとともに、関連事項に関する委託調査事業を実施した。

一方、その間に、欧州合同原子核研究機構（CERN）の大型ハドロン衝突型加速器（LHC）においては、衝突エネルギーを13 TeVに増強した実験が進められ、ヒッグス粒子の発見という画期的な成果が挙げられた。LHCにおける実験結果を踏まえて、当該分野の国際的な研究者組織の一つであるリニアコライダー・コラボレーション（LCC）において「ILC計画の見直し」が行われた。ILCの初期研究課題を「ヒッグス粒子の精密測定」に特化するという戦略が立てられ、その目的に最適化する観点からILCの衝突エネルギーを当初計画の 500 GeV から 250 GeV に変更するという選択がなされた。この方針変更は、リニアコライダー国際推進委員会（LCB）における審議を経て国際将来加速器委員会（ICFA）において承認された。

このILC計画の見直しを受けて、有識者会議における審議が改めて行われ、平成30年7月4日に、報告書「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」として取りまとめられた。

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、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（以下、「検討委員会」）、ならびに、「技術検証分科会」（以下、「分科会」）が設置された。

## （2） 審議に際しての基本的考え方

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（是認・支持）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、国際協力による学術研究の推進も奨励しているところである。

日本学術会議は、声明「日本の科学技術政策の要諦」（平成17年4月2日）以降、多くの提言や報告等で、大型科学研究設備は、①計画を国際的に開かれた共同研究の場として提供することによって、人類の新しい知の創造に貢献するとともに世界の次世代人材育成に貢献するものであること、②そのことが国家の信頼を構築し、ひいては国家安全保障の根幹となり、国家基盤形成への「投資」という認識が重要であること、また、③透明で適切かつ公平な科学的評価と審査を経て着実に進めてゆくことが重要であること、を指摘してきた。

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や技術的実現性はもとより、それを日本に誘致するに際して、建設ならびに維持・運転に要する経費とその負担のあり方、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。検討委員会ならびに分科会としては、「現在提示されている 250 GeV ILC計画が、多様な分野の研究者を代表する組織たる学術会議としてエンドースできるものであるかどうか」という観点から審議を行った。

検討委員会においては主として、素粒子物理学ならびに関連分野におけるILC計画の位置づけ、ILCが目指す物理の学問的意義、ILC計画の実施可能性、運営体制および人的資源、国際協力、等について審議を行った。技術検証分科会においては主として、ILC加速器の技術開発、土木工事、安全対策、環境影響、技術的・経済的波及効果、等について審議を行った。審議に際しては、TDRなどこれまでの関連資料、文部科学省有識者会議報告書およびその審議資料を参照するとともに、適宜参考人の出席を求めてヒアリングを行うなどして、必要な情報の収集に努めた。また、審議期間中に、学術会議会長宛てないしは検討委員会委員長宛てとして、さまざまな意見書等が学術会議事務局に届いた。それらの意見書等は、その都度、検討委員会・分科会の参考資料として委員間で共有して審議に役立てた。

## 2 ILC が目指す物理

### (1) 高エネルギー加速器実験の発展

素粒子物理学実験は、19世紀末の電子や放射線の発見に始まり、1930年代からの加速器の発達によって、より高エネルギー領域へと探索範囲を拡張してきた。この間、その時代における最高エネルギーを実現する加速器を用いることで、次々に新たな素粒子の発見がなされた。初期の加速器実験装置は、加速ビームを固定ターゲットに入射させる方式であったが、より高いエネルギー領域にアクセスするためには、加速粒子を正面衝突させる衝突型加速器のほうが、ビームエネルギーをより有効に利用できることから、最近では衝突型加速器が主流となっている。

加速器ベースの素粒子物理学実験は、その時点で到達し得る最高エネルギー領域での新現象を探究するエネルギー・フロンティアのアプローチと、事象の観測頻度を上げて統計的精度を増すことによってより精密な物理の議論を展開するインテンシティー・フロンティアのアプローチとが相俟って発展してきた。前者としては近年のヒッグス粒子の発見に至るまで多くの新粒子の発見がなされたことからその有効性はあきらかである。後者としてはK中間子やB中間子の精密測定によるCPの非保存の研究などが良い例である。なお、加速器ベースの実験と並んで、非加速器実験も独自の発展を遂げて素粒子物理学の発展に貢献してきたことは、古くは宇宙線による陽電子やミュオンの発見、最近では地下でのニュートリノ研究などの事例が示すとおりである。

上述のように、近年のエネルギー・フロンティアの実験的探究には、加速ビームのエネルギーが素粒子反応に最も有効に使われる衝突型の加速器（コライダー）がもっぱら用いられる。衝突型加速器はその形態によってリングコライダー（円形衝突加速器）とリニアコライダー（線形衝突加速器）とに大別される。また、衝突させる粒子の種類により、陽子などのハドロンを加速ビームとして用いるハドロンコライダーと、電子などのレプト

ンを用いるレプトンコライダーとがある。ハドロンコライダーの場合は、以下に述べるシンクロトロン放射によるエネルギー損失がほとんど問題とならないため、エネルギー・フロンティアの開拓に適している。一方では、複合粒子であるハドロン衝突事象であるため、素過程であるクォークなどの素粒子の衝突としては実質的な衝突エネルギーがイベントごとにまちまちで、バックグラウンド事象が非常に多いという問題があり、実験データの解析が複雑となる。それに対して、レプトンコライダーは、素粒子である電子と陽電子の衝突であることから、反応がクリーンで解析に曖昧さが少ないという特徴を有する。さらに、加速粒子のエネルギーのすべてが反応に使われることや、バックグラウンド事象が少ないことなどの利点がある。

電子や陽電子をリング加速器で加速する場合、シンクロトロン放射によるエネルギー損失が大きな障害となる。1周回あたりの放射エネルギー損失は、ビームエネルギー  $E$  と加速粒子の質量  $m$  の比 ( $E/m$ ) の4乗に比例し、リングの半径  $R$  に反比例する。レプトンコライダーのエネルギー・フロンティアとしては、CERNのLEP2において達成された 209 GeVがこれまでの最高である。LEP2のトンネル(周長27 km)は、実験終了後ハドロンコライダーに転用されてLHCとなった。LEP2の衝突エネルギーを大幅に超えるような電子・陽電子コライダーを実現するには、たとえば周長100kmといった巨大リングを作るか、リニアコライダー方式を採るかという選択になる。

ハドロンコライダーとレプトンコライダーの上記のような特性の違いに鑑み、エネルギー・フロンティアを追究しているLHC(およびその将来のアップグレード版)と相補的な役割を担うハイ・ルミノシティで素粒子の詳細な研究に適しているレプトンコライダーが世界のどこかに実現することは一般論としては重要かつ望ましいことである。

## (2) 13 TeV LHCの結果を踏まえた ILC 計画の見直し

13 TeV LHCにおける実験で 125 GeV にヒッグス粒子が発見されたことを踏まえて、ILCの研究目標をヒッグス結合の精密測定に絞り、その目的に最適化するために、当初の 500 GeV計画を見直して250 GeV計画としたことは妥当な戦略と考えられる。この選択により、当初の500 GeV ILC計画の中核をなしていた下記3つのシナリオのうち、2)と3)はスコープから外れることとなった。また、13 TeV LHCの実験結果を見ると、250 GeV ILCでの直接的な新粒子発見の可能性は大幅に縮小することとなった。

- 1) 250 GeV における  $Zh$  随伴生成過程の研究
- 2) 350 GeV 付近の  $tt$  対生成, および  $WW$  融合過程によるヒッグス生成の研究
- 3) 500 GeV でのヒッグス自己結合とトップ湯川結合の直接測定

見直し後の 250 GeV ILC は、ヒッグス・ファクトリーを主用途とする実験装置という位置づけになった。なお、LHC では観測の死角にある事象、たとえば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が 250 GeV ILC において発見される可能性は排除されないものの、それらは 250 GeV ILC 建設を正当化する主たる根拠とはなりえない。

電子・陽電子コライダーで 250 GeV というのは、リニアコライダーでも、リングコライダーでも実現可能という意味で微妙なエネルギー領域である。現時点での加速器技術を前提とするなら、前者としては ILC のような全長 20 km 程度の線形加速器、後者としては周長 100 km 程度の円形加速器が想定される。100 km リングコライダーの場合は、かつて CERN において LEP2 から LHC に転換されたように、レプトンコライダーとしての実験終了後に、トンネルを再利用してハドロンコライダーに転換し、さらなるエネルギー・フロンティア（たとえば 100 TeV）を狙うというシナリオが描かれる。リニアコライダーはトンネルの延長もしくは高周波加速管の画期的性能向上によって、さらなる高エネルギーのレプトンコライダーとするポテンシャルを有している。ただし、もしも 250 GeV までの電子・陽電子衝突実験や今後 LHC をアップグレードして作られるハイ・ルミノシティ LHC（HL-LHC）における陽子陽子衝突実験において、標準模型を超える新物理の兆候が見出されない場合、ILC の 250 GeV 超への拡張のインセンティブは薄れることになる。

### (3) 250 GeV ILC 計画の目標

250 GeV ILC 計画における実験の主たる目標は、ヒッグス粒子と種々の素粒子との結合定数を精密に測定し、標準模型の予測からのズレの有無を検証することにある。標準模型は素粒子の世界で言う「低エネルギー領域」の事象を極めてよく記述する理論体系であるが、さまざまな実験・観測的証拠により標準模型を超える物理が必須であることが知られている。標準模型ではヒッグス結合定数は各素粒子の質量に比例することになっているが、もしそこからのズレが見いだされれば、そのズレのパターンによって、標準模型を超える「新物理」の方向性が示唆されるとされている。250 GeV ILC では、建設後コミッションングを経て約 20 年間の運転で、積算ルミノシティ 2000 fb<sup>-1</sup> を得ることを計画している。それだけのデータ量によって、1 パーセント・オーダーの精度（不確かさの数値の詳細はそれぞれの素粒子によって異なる）で結合定数が決定されると見込まれている。

標準模型からのズレがどの程度になるかは、当然ながら実際に測定をしてみなければわからない。仮に標準模型からのズレが見い出せないあるいは非常に小さい場合には、「新物理」が、TeV スケールよりも遥かに高いエネルギースケールにあることが示唆される。その場合には、より高エネルギーへと加速器をアップグレードするインセンティブが薄れることになる。一方、標準模型からのズレが予想よりもずっと大きい場合には、ILC よりも先に HL-LHC においてそれが見出される可能性もある。

## 3 ILC 実験施設

### (1) ILC 加速器の構成

ILC 加速器の主要構成要素として、電子源、陽電子源、ダンピングリング、超伝導加速管と高周波電源、最終ビーム収束部、検出器、ビームダンプなどがある。それらの個別要素とともに、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

に亘る安定的な運転を担保するためのハード・ソフト両面の総合システムが必須である。未踏領域への挑戦であるILC計画のようなプロジェクトに不確実性が伴うことは十分に理解するものの、巨額の予算投入を前提とした計画である以上、計画段階において考えうる限りのシナリオを周到に描き、「積算ルミノシティ2000 fb<sup>-1</sup>のデータ蓄積」という実験目標の完遂を担保するように万全を期すべきである。しかしながら、TDRならびに今回の審議におけるヒアリングでは、技術開発や製造工程が計画通りに進まない可能性の検討とその対策、すなわち、プランA（計画通り）を補完するプランB、プランCの検討状況が見え難かった点が懸念されるところである。

以下、主要構成要素ごとに所見を述べる。

### ① 超伝導高周波加速管

全体経費の相当部分が、超伝導高周波加速管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。超伝導高周波加速管の加速勾配の設計基準値は、現時点での達成可能な技術レベルに基づいて 35 MV/m とされている。これを確実に歩留まり良く実現することは必須であり、さらなる性能向上も望まれるところである。また、数多くの超伝導高周波加速管が、参加各国の分担によりイン・カインド（現物供給）で供給されることが想定されていることから、それらの整合性の担保を含む品質管理は重要なポイントとなろう。

### ② 陽電子源

陽電子生成の方法として、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。前者は偏極陽電子ビームが得られるメリットがあるが、技術的に未経験で多くの開発要素を含んでいる。後者にしても所定のビーム強度を安定的に得ることは決して容易な達成目標ではない。現段階では、ベースラインとしてアンジュレーター型、バックアップとして電子駆動型が検討されており、両者に共通の要素である回転ターゲットについて研究開発が行われている。準備期間において、回転ターゲットのプロトタイプ作製と陽電子源直後の磁場による収束系の開発を進め、準備期間の2年目までにはどちらの方式を採るか技術選択を行う必要があるとしているが、開発コストも考慮して方針を明確にすべきであろう。なお、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陽電子ビームは必ずしも必須ではないとの説明であった。

### ③ ビーム収束と位置制御

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。現在までに多くの技術開発がなされているものの、目標とするルミノシティを確実に達成するためには、ビーム収束および位置制御に関するフィードバック系に関する技術見通しや、衝

突点サイトにおける常時微細動の許容レベルに関する定量的評価など、さらなる検討が必要であろう。

#### ④ 検出器

検出器については、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の2種類が提案されている。LHCのようなリングコライダーでは複数の衝突点に設置された検出器で同時かつ互いに独立に実験を進行させることができるのに対して、リニアコライダーの場合、衝突点は1つなので、検出器をプッシュプル方式に入れ替えることが想定されている。2台の検出器のマシントイム配分やデータ共有の在り方に関するマネジメントの工夫が必要となる。

#### ⑤ 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、ビームダンプに入射する。ビームダンプは、沸騰抑制のために圧力を高めた水で満たされている。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掃引する設計となっている。ILCの運転に伴う放射化によって、ビームダンプにはトリチウム等の放射性物質が蓄積される。窓材の健全性モニタリング、遠隔操作による交換作業システムの具体的設計、高エネルギービームと水との反応で起こる事象の詳細検討については、準備期間に十分な検討が進められなければならない。特に、トリチウムその他放射性物質の（万が一の）漏出事故等に備えた安全対策を含む、不測の事態や長期的な消耗に対する備えについてより丁寧な説明が必要であろう。

#### ⑥ 総合システムとしての ILC

250 GeV ILC は、システムを構成するすべての要素が長期にわたって安定的に稼働することによってはじめて、積算ルミノシティ  $2000 \text{ fb}^{-1}$  という実験目標を達成することができるものである。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に支配される。TDR には、目指す物理や ILC 加速器の主要部分である超伝導高周波加速管、陽電子生成装置、ダンピングリング、ナノビーム制御などについて詳しい記述がある一方、それらを支える設備であるところのビームダンプや、安全装置、放射化物処理、万が一の事故対策などに関する記述が少ないことは懸念材料である。

### (2) 土木工事

ILC 関連施設のほとんどが地下に設けられるトンネル空洞内に収納されることから、トンネル空洞の建設と、関連装備の搬入・設置には必然的に多大の経費を要することになる。今回の検討においては、具体の建設サイトが特定されていないという前提条件での議論であることから、一般論に終始せざるを得ないという大きな制約の下で、250 GeV ILC 計画に必要とされるトンネル空洞建設と施設搬入、装備組上げ、運転管理など、多彩な工種ごとに計画内容の技術的検証を行った。

ヒアリング時に質問した事項や指摘した問題点については推進者側から回答が寄せられたものの、「今後準備期間に十分対応を検討する」「地元の自治体や市民との協議を深める」「課題遭遇時に十分に配慮する」といった回答が多かった。課題に対処して改善施策を実施するとすれば経費が増大する可能性があるが、経費算定を伴った対応案等は提出されなかったところから、経費についてどこまで具体的に見積もられているか、明確な情報は得られなかった。

250 GeV ILC 建設にあっては5本のアクセストンネルと2本の立坑の建設が計画されており、それらのアクセストンネルと立坑からは掘削によって発生する大量の掘削土砂が搬出される一方、建設資材および加速器関連装置等が搬入されることになる。加速器関連装置の多くは、参加国からのインカインド・サプライ（現物支給）となることが想定されるが、それらの搬入のスケジュール調整や、トンネル内の狭い空間の中での据付け・調整作業が円滑に進むよう十分に計画を詰めておく必要がある。

トンネル空洞への地下水の浸水については、最新のトンネル建設技術をもってすれば、ほぼ完全に防水することも可能であるが、建設現地の状況によってコストに跳ね返る程度は異なる。しかし、計画では、空洞内へトンネル裏面の地下水が浸水し得る構造となっているので、さまざまな場合を想定した対策が必要である。地震や火災発生時など不測の事態への対処、安全策について、経費算定も含めた計画立案が必要である。

### (3) 人員・人材、運営体制、国際協力

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。ILC加速器の建設に関する人材構想について、250 GeV ILCへの計画の見直し後のTDRでは、準備期間の4年間の後、建設期間9年間に必要となる人材数は、建設関係約830人、据付関係約380人（3～9年次の7年間の平均）とされている。それに対して、KEKアクションプランでは、加速器研究者・技術者について現有の42名から徐々に増やして準備期間の4年目には122名にまで増員するとされているが、増員分をどのように確保するかについて具体的見通しは述べられていない。さらに、建設段階における日本国内からの加速器研究者・技術者の大幅な増員、および海外からの参加の見通しについても、その現実味を判断できるだけの資料は提示されていない。

そもそもILC計画は、その準備段階から建設を経て物理学的成果が創出されるまでの時間スケールが極めて長いため、研究者のキャリアパスとのマッチングに困難が伴うことも予想される。若手・中堅の研究者にとっては、自らの研究者人生をこれに賭けるかどうか難しい判断を迫られる意味合いがあるものと推察される。特に、加速器関連の人材に関しては、さまざまな加速器関連プロジェクトが現在および将来実施される中で、ILC計画にコミットする人材を長期間にわたり十分な人数確保できるかが課題である。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。

仮にILCを日本がホストする場合、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、システム全体で設計性能を達成するという視点で俯瞰できる総合指揮する加速器のリーダーとなる研究者の具体的な存在が不可欠である。

#### (4) 安全性、環境への影響

ILCは最先端科学の国際共同研究施設であり、計画によれば少なくとも2050年代まで稼働ということを見ると、その時点で想定される国際的環境基準を満たしていることが望まれる。例えば、地球温暖化への対策として2050年時点で二酸化炭素の排出量をゼロにすることが国際機関で議論されている。また、ヨーロッパなどでは、開発によって損なわれる生物多様性をオフセットする考え方が市民権を得つつある。したがって、ILC計画を進める上では、単に「現行の法アセスメントにかからない計画であるものの自主アセスをする」という程度にとどまらず、2050年時点における国際的な環境問題の観点からも誇れる施設として計画することが望ましい。環境アセスメントは具体的な建設候補地が特定されないと進まないが、現時点においてこうした基本的方向性を明確にすることは重要である。

建設候補地に関する議論が具体化する時点では、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。その際の観点としては、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が挙げられる。特に、トリチウムに関しては、その処理や、万が一の事故の対策などについて明確な方針を示す必要がある。ILCの運転に伴う放射化物生成の問題や、立地周辺の環境への影響等に関する正確な情報を地元へ伝えた上で、地域住民との対話を進めることが必要不可欠である。

#### (5) 技術的・経済的波及効果

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」の技術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に拘わらず、他の加速器施設の関連で相応の発展を遂げることが想定されるものである。ILC計画における超伝導加速器技術は特殊性が高く、一般民生分野への応用にはハードルが高い。また、超伝導高周波加速管をはじめとして、ILC加速器に使用される技術は成熟したものである必要があることから、ILC建設の過程で技術的飛躍を伴うイノベーションが多く創成されることは想定し難い。また、成熟した技術に基づく要素機器の量産が民間の新たな技術開発を誘発する可能性も高くないと考えられる。

文部科学省からの調査委託によって実施された経済波及効果の評価報告書では、「ILC予算が純増で措置される」という前提に立って、2兆数千億円という数字を出している。ILC計画の実施に必要と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ならば、経済波及効果の議論はまた別のものになるであろう。その他にも、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、議論の余地のある算定になっている。

また、ILC 建設地に海外から多くの研究者とその家族が定住して国際科学都市が実現するというシナリオが描かれているようである。ILC の建設期間にはそれなりの作業人員が地域に常駐することが想定されるものの、稼働段階に入れば現地に必ず常駐するのは加速器の運転保守に携わる人員などが主となることが想定される。データ解析がオンラインでできる今の時代に素粒子物理研究者が現地に常駐する必然性は乏しい。

#### (6) 必要経費、国際経費分担、予算の仕組み

250 GeV ILC 計画は巨額の経費を要するプロジェクトである。文部科学省有識者会議で聴取した本体建設費と測定器関係経費は 7,355～8,033 億円（本体建設費 6,350～7,028 億円、測定器関係経費 1,005 億円）と算定されている。これに加えてコストの見積もりの精度に関する不定性相当経費（約 25%）による追加的な経費が発生する可能性があるとされている。また、年間運転経費は 366～392 億円と算定され、その他付随経費として、準備経費 233 億円、その他具体的に算定されていないものの計上が必要となる経費（具体的な立地に関わる経費等）、コンテインジェンシー経費（プロジェクト経費（本体及び測定器関係経費＋運転経費）の約 10%）、実験終了後の解体経費（年間運転経費の 2 年分程度）等が必要となる。

巨大プロジェクトにおいてすべてが予定通りに進むことはむしろ例外的であり、過去には様々な原因により当初計画より進行が遅れ、経費も大幅に膨らむ結果となったケースは少なくない。建設開始から実験完遂まで 30 年間という長期間にわたって上記のような巨額の経費の投入を必要とする ILC 計画は、一国の経済では支えることのできないものであることは明白である。適正な国際経費分担の見通しなしに日本が誘致の決定に踏み切るのは危険である。仮に、なんらかの意志表明を行う際にも、諸要件が整わない場合には計画を撤回すべきである。

建設費には計上されていない経費として、土地取得経費、海外研究者の生活環境の整備、アクセス道路や港湾の整備、トンネル掘削土処理、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が想定される。それらの算定や経費負担のあり方については、建設予定サイトが特定されないということもあって具体的検討が進んでいないが、建設に関して地域コミュニティの合意を得る上で、環境影響や安全性の問題と並ぶ重要課題であることから、曖昧なままでは禍根を残すことになる。

環境関連のコストの算定では、生物多様性オフセットやミチゲーションをどの程度行うかなど、どのような方針で環境問題に対処するかによって、建設および維持コストに影響が及ぶ可能性がある。

なお、ILC 計画への予算投入が他の科学技術・学術分野に影響を及ぼさないように、「別枠の予算措置とする」との議論があると聞いている。ILC 計画全体（準備期間、建設期間、運転・実験期間、廃止措置等）に必要な経費を「別枠の予算として措置する」と



ということが具体的にどういうことを意味するのかは不明であるが、国家予算である以上、最終的には国民の税金が原資となることに変わりはない。仮にも「別枠予算」という位置づけが、学術コミュニティにおける批判的検討の機会をバイパスするようなことにつながるとすれば、日本の学術全体にとって、そして ILC 計画自体にとっても不幸なことである。

#### (7) 「学術の大型研究計画に関するマスタープラン」との関係

「第 22 期学術の大型研究計画に関するマスタープラン (マスタープラン 2014)」(以下、「マスタープラン 2014」という。)では重点大型研究計画の評価の対象から ILC は除外された。それは当時「マスタープラン 2014」の検討と並行して、「国際リニアコライダー計画に関する検討委員会」において ILC 計画に関する検討が進められていたこと等に鑑み、「マスタープラン 2014」としての評価の対象とはしないという判断であった。また、「第 23 期学術の大型研究計画に関するマスタープラン (マスタープラン 2017)」検討の時点では、前回回答を踏まえて文部科学省の有識者会議における ILC 計画の検討が進行中であったこと、および、前回回答に至った条件および状況にその時点では変更がなかったことから、学術会議のマスタープランの検討対象からは外すこととされた。

今般、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審議依頼が寄せられたことを受けて、検討委員会および分科会での審議を経て本回答を手交することになる。今後、ILC 計画について学術会議としてさらに検討するとすれば、マスタープランの枠組みで行なうのが適切であろう。

## 4 所見

「1-(2) 審議に際しての基本的考え方」に記したごとく、学術会議は知の開拓への挑戦を奨励し国際協力による学術研究を促進することを基本スタンスとしている。しかしながら、ILC のような長期に亘る巨額の資金投下と国際協力を必須とする超大規模国際プロジェクトに関しては、その計画内容および国際協力も含む準備状況を踏まえて特に慎重な検討が求められる。検討委員会ならびに分科会は、250 GeV ILC が目指す物理の学術的意義や学術研究全体における位置づけ等について審議を行った。以下、審議依頼に記された 4 点の各々に対する所見を述べた上で、総合所見を述べる。

### ● ILC 計画 (見直し案) における研究の学術的意義、ILC 計画 (見直し案) の素粒子物理学における位置づけについて

ILC 計画は素粒子物理学分野の先端的研究計画である。計画が 500 GeV から 250 GeV に見直されたことにより、ILC の目的はヒッグス結合の精密測定に絞られることとなった。現在の素粒子物理学において、「標準模型を超える新物理」の追究が最重要課題であることに異論はない。しかしながら、「標準模型を超える新物理」の探索には加速器・非加速器ともにさまざまな実験的アプローチがある。その中で、ヒッグス結合の精密測定という研究課題が極めて重要なものの一つであることは認められるものの、素粒子物理

学の他の研究課題に比して突出した優先性を有するかという点について、当該分野の研究者コミュニティにおいてさえコンセンサスが形成されている状況にはない。

● ILC 計画（見直し案）の学術全体における位置づけについて

ILC 計画は素粒子物理学分野の純学術的な実験研究計画という位置づけである。ILC 加速器施設は高エネルギー素粒子実験に特化された設計であり、他の用途と共有できるようなものではない。学術会議のこれまでのマスタープラン策定において提案され検討された数々の大型研究施設計画と比べても所要経費が格段に大きく、かつ、建設開始から研究終了までの期間が 30 年という長期にわたる超大型計画である。こうした計画を国民に提案するには学术界全体の理解や支持が必要と思われるが、ILC 計画について言えば、これまで隣接分野をはじめとする諸分野の学術コミュニティとの対話が不足していたことは明らかであり、さらに丁寧かつ継続的な説明と意見交換が不可欠である。

● ILC 計画（見直し案）を我が国で実施することの国民及び社会に対する意義について

他の純学術的研究と同様、知の探究という意味で、国民の知的関心を喚起するものである。基礎科学分野の国際共同研究に日本が貢献することの意義は大きいものの、日本がその経費の相当部分を負担してホスト国となるべきかどうかは、持続可能性も含めた諸要件を勘案した上での判断ということになる。

一方、学術的意義以外の技術的・経済的波及効果については、ILC によるそれらの誘発効果は限定的と考えられる。ILC 計画に関して、地域振興の文脈で語られている事項、および、土木工事や放射化生成の環境への影響に関する事項について、国民、特に建設候補地と目されている地域の住民に対して、科学者コミュニティが正確な情報提供を行い、対話を行うことが肝要である。

● ILC 計画（見直し案）の実施に向けた準備状況と、建設及び運営に必要な予算及び人的資源の確保等の諸条件について

ILC 計画はその実施に必要な予算および人的資源の規模からして、従来にない強固な国際協力によらなければ実施可能なものでないことは明白である。現時点では、資金面での適正な国際経費分担の見通しは得られていない。また、ILC 加速器施設の建設に必要なとされている人的資源の確保に関する見通しは明らかでない。特に加速器関係の人材は日本の現状では全く不足しており、新たな人材育成や海外からの参画によって賄うと説明されているが、不確定要素が大きい。

30文科振第157号  
平成30年7月20日

日本学術会議会長  
山 極 壽 一 殿

文部科学省研究振興局長  
磯 谷 桂 介



国際リニアコライダーに関する審議について（依頼）

国際リニアコライダー（ILC）については、平成25年5月の文部科学省からの貴会議への審議依頼への回答として、平成25年9月に貴会議より「国際リニアコライダー計画に関する所見」をまとめていただきました。

所見では、「本格実施を現時点において認めることは時機尚早」であり、「ILC計画の実施の可否判断に向けた諸課題の検討を行うために必要な調査等の経費を政府において措置し、2～3年をかけて当該分野以外の有識者及び関係政府機関を含めて集中的な調査・検討を進めること」と提言されていることから、平成26年5月より当省の下に「国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議」（以下「有識者会議」という。）を設置し、ILC計画の科学的意義やコスト等の検証を行い、平成27年6月に「これまでの議論のまとめ」を取りまとめるなど、調査検討を進めてきたところです。

このような状況下、ILC計画の見直し案がILCに関する国際的な研究者組織の一つであるリニアコライダー・コラボレーション（LCC）でまとめられ、リニアコライダー国際推進委員会（LCB）における審議を経て、国際将来加速器委員会（ICFA）において承認され、平成29年11月に公表されました。この見直しにおいては、欧州合同原子核研究機関（CERN）における大型ハドロン衝突型加速器（LHC）実験の結果を踏まえた上で建設に必要なコストを引き下げることとも考慮して、ILCの衝突エネルギーを500GeVから引き下げて250GeVのヒッグスファクトリーとする提案（以下「250GeV ILC」という。）に変更されました。

この見直しを受け、有識者会議においては、ILC計画（見直し後）の科学的意義やコスト等の再検証のために再度設置した作業部会における検討、さらに経済的波及効果等の再検証結果などを踏まえ、別添の通り平成30年7月4日に



「ILC計画の見直しを受けたこれまでの議論のまとめ」を取りまとめたところで  
す。

一方、貴会議における ILC 計画の取扱いについては、平成 25 年の所見以降、  
「第 22 期学術の大型研究計画に関するマスタープラン(マスタープラン 2014)」  
(平成 26 年 2 月)、「第 23 期学術の大型研究計画に関するマスタープラン(マ  
スタープラン 2017)」(平成 29 年 2 月)が提言として取りまとめられ、学術大  
型研究計画として掲載されているものの、別紙 1 のとおり、課題別委員会として  
設立された「国際リニアコライダー計画に関する検討委員会」において別途所見  
がまとめられ、その後も所見時の条件及び状況に変更がないことから、重点大型  
研究計画の評価の対象としないとされています。

そのため、昨年貴会議によるマスタープラン 2017 の策定を受けて、当省の科  
学技術・学術審議会学術分科会研究環境基盤部会学術研究の大型プロジェクト  
に関する作業部会において審議が行われ策定される「学術研究の大型プロジェ  
クトの推進に関する基本構想ロードマップ」については、ロードマップ 2017 が  
策定されているものの、別紙 2 のとおりロードマップでは主としてマスタープ  
ランにおける重点大型研究計画を選定対象としていることから、現在、ILC 計画  
についてはロードマップに掲載されていない状況です。

当省においては、学術の大型プロジェクトの推進方策として、推進対象をロー  
ドマップに掲載された優先度の高い計画とし、大規模学術フロンティア促進事  
業として推進する仕組みとしております。現在、厳しい財政環境下、これまでロ  
ードマップを踏まえ新規着手をした計画を含め 10 計画を進めており、これら既  
存事業に加え、今後はロードマップ 2017 を踏まえた計画の推進が必要と考えて  
おります。

現在、ILC 計画については、昨年 11 月の ILC 計画(見直し後)の公表に際し、  
国際的な研究者組織が、日本における高エネルギー物理学研究者会議(JAHEP)  
による 250GeV ILC を日本に建設するという提案を強く支持し、時宜を得た決定  
に向け、日本政府が当該提案を本格的に検討するよう推奨し、主要な費用負担を  
含め、日本がホスト国として明確に意思表示することを求める声明を発表して  
います。

当省としては、平成 25 年の所見以降、有識者会議における検討を進め、この  
度議論を取りまとめたところであり、さらに日本政府の判断を求められている  
ILC 計画を巡る動向を踏まえて、今後の政府の判断に資するものとして、貴会議

において改めて学術の立場から見解を取りまとめていただく時機にあると考えております。

現状においても ILC の建設及び運営には巨額の経費を要することから、特に我が国でこれを実施する場合には、マスタープラン及びロードマップの推進など学術研究全体に大きな影響を与えることも想定されます。

つきましては、国際協力の枠組みの中で ILC 計画に取り組む意義について速やかに判断することができるよう、学術に関する各分野の専門家で構成されている貴会議において、ILC 計画に関する下記の事項及びその他貴会議において必要と判断される事項について、広範な分野の研究者を交えて早期にご審議いただき、ご回答くださるようお願い申し上げます。

## 記

- ILC 計画(見直し後)における研究の学術的意義、ILC 計画(見直し後)の素粒子物理学における位置づけについて
- ILC 計画(見直し後)の学術研究全体における位置づけについて
- ILC 計画(見直し後)を我が国で実施することの国民及び社会に対する意義について
- ILC 計画(見直し後)の実施に向けた準備状況と、建設及び運営に必要な予算及び人的資源の確保等の諸条件について