

有識者会議の提言への対応

2015年7月10日

山内

3. 提言

これまでの作業部会での検討・報告、有識者会議での議論を踏まえ、ILC計画に関して有識者会議として以下を提言する。

提言1 ILC計画は巨額の投資が必要であり、一国のみで実現することはできず、国際的な経費分担が必要不可欠な計画である。巨額の投資に見合う科学的成果が得られるべきであるとの観点から、標準理論を超える新展開のために、ヒッグス粒子及びトップクォークの精密測定のみならず、新粒子の発見の可能性についても見通しを得るべき

○ ILC計画はヒッグス粒子、トップクォークの精密測定及び新粒子の探索により標準理論を超える物理を探索する計画であり、標準理論を超える物理の発見があった場合、素粒子物理学上の科学的意義は大きい。

御意

○ ILC計画が巨額の投資が必要な計画であることに鑑み、その実施の前提として、欧米等の具体的な参画及び経費分担について明確な見通しを得ることが必要不可欠。

欧米の研究者がそれぞれの政府に対してILCへの参加の意思を表明し、政府としての参画と経費分担を求めるアクションが必要。日本政府からの働きかけに加えて各国でボトムアップ的に政府に「条件付き認可」を求めるべき。

○巨額の投資に見合う科学的成果が得られるべきとの観点から、標準理論を超える素粒子物理学の新展開のために、ヒッグス粒子及びトックオークの精密測定のみではなく、暗黒物質の候補となる超対称性粒子などの標準理論を超える新粒子の探索についても、見通しを得ることが必要。

何をもって見通しが得られたとするのかが不明。LHCの結果からILCの新粒子探索について何が言えるのか理論的考察を深める余地があるか？

○国際協力における経費負担の在り方については、従前のCERNの方式だけでなく、国際熱核融合実験炉(ITER)、国際宇宙ステーション(International Space Station、ISS)等のこれまでの国際大型プロジェクトの事例及びILCを巡る国際動向を踏まえて検討を進めることが適当。

我々の側でも国際プロジェクトにおける経費分担の事例を整理し、ILCに適用する際のメリット、デメリットを整理すべし。

提言2 ILCの性能、得られる成果等については、2017年末までの計画として実施されているLHCでの実験結果に基づき見極めることが必要であることから、LHCの動向を注視し、分析・評価すべき。併せて、技術面での標題の解決やコスト面でのリスクの低減について、明確にすることが必要

○ ILCの性能や得られる成果等については、2017年末を目途として実施されている13TeV運転によるLHC実験の結果によって異なってくる。特に、新粒子が発見されるか否か、また新粒子が発見された場合はその質量が重要な判断材料となる。

LHCの結果からILCの新粒子探索について何が言えるのか理論的考察を深める余地があるか？当初のILCのエネルギー範囲について幅を持たせておくことは可能か。“500GeVを基本とするがLHCの結果次第では〇〇〇GeVでスタートすることが可能”という言い方ができるか。

○作業部会等で、指摘された技術面及びコスト面での課題については、その解決に向けた取組により、より明確な見通しを得ることが必要。

その解決に向けた取組をぜひ進めましょう。

(2) 技術設計報告書（TDR）の検証

- TDRを踏まえた総コストの全容について、本体建設費は9,907億円、測定器関係経費は1,005億円（計1兆912億円）、年間運転経費は491億円と算定された²。
- TDRにおいては不定性相当経費として建設経費の約25%が見込まれているが、これはコスト見積りの精度に関するもののみが対象であり、技術リスク、工事期間の延長リスク、市場リスク等に伴うコスト増加分は含まれないことに留意が必要である。
- コスト増加のリスクとしては、現時点での最適な状況を選択した場合の見積りとなっており、結果として見積りに余裕が少ないこと、建設等における不測の事態や人材の雇用等に関する検討が不足しており、コスト増の要因になりうること、等が挙げられる。
- また、技術上の課題としては、過去の実績値により必要な性能が達成されるという前提での設計となっており、設計に尤度が少ないこと、まだ大規模システムとしての性能確認についての検討がなされていないこと、複数の拠点で分散して同じ品質のコンポーネントを製作するための性能再現化技術の確立に向けた見通しを得ることが必要であること、等が挙げられる。
- 過去の事例からの教訓として、特定材料の供給源が限られることによるコストアップへの対応、量産化に伴うさらなる製作コストの低減、トンネルへの環境水の流入などインフラ工事における不測の事態発生リスクの検討、対応策、TDRの見積りでは考慮されていない項目及び想定外項目のリストアップとコスト増への対応策の検討が必要。
- ILC計画は建設・運転等が長期間にわたるものであり、想定される地震の規模に応じた耐震設計及びそれに伴ったコスト検討等のリスクの検討、対応策等の検討を詳細に行うことが必要。
- ILC計画の特徴は、加速空洞や高周波加速装置等の構成品を非常に多数必要とすることであり、国際的に複数の拠点で同品質の構成品を製作した上で、組み上げた後の加速器等の性能について信頼性を確保することが重要である。このため、個々の構成品の性能再現化技術の確立及びシステムとして組み上げる際の課題の解決について見通しを得ることが必要。

○また、加速器性能の高度化につながる技術開発の成果を最大限取り入れる努力を強化すべき。

御意

提言3 提言1及び提言2に関する事項を含めて計画の全体像を明確に示しつつ、国民及科学コミュニティの理解を得ることが重要

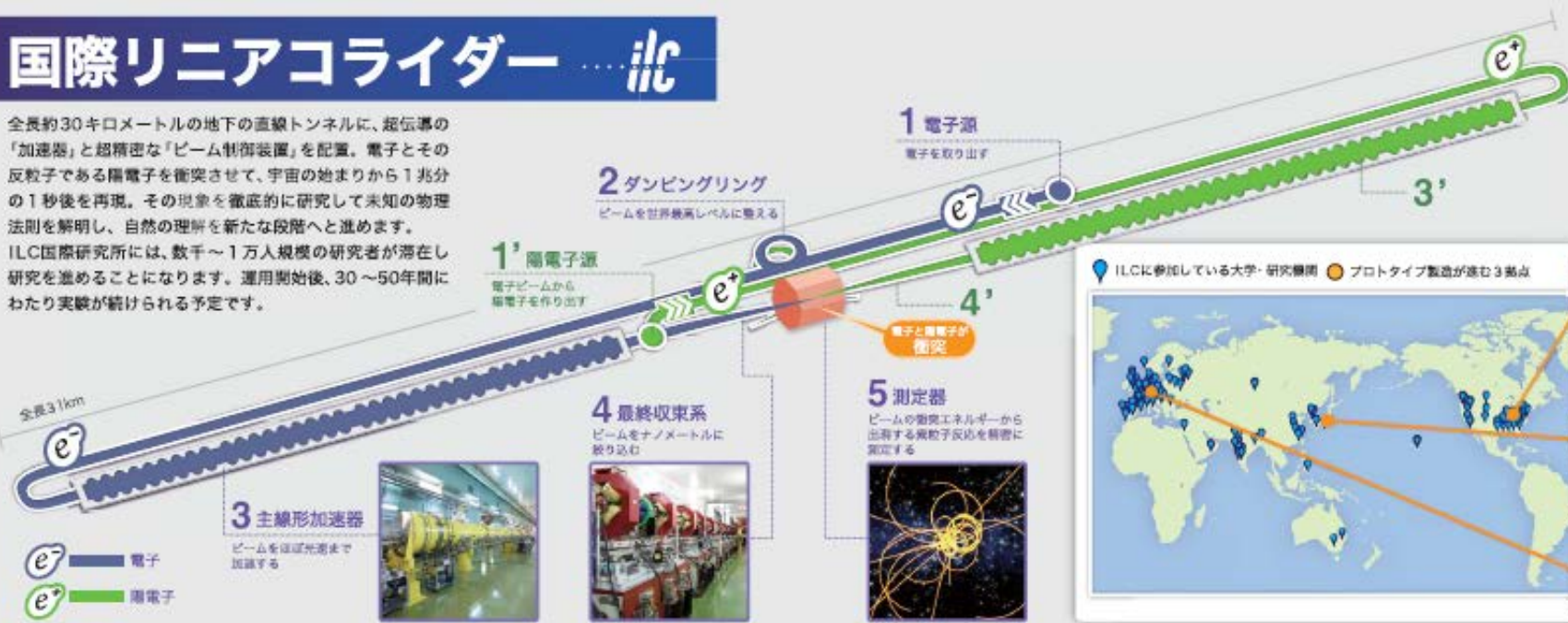
御意

有識者会議の提言への対応

- 欧米の研究者がそれぞれの政府に対してILCへの参加の意思を表明し、政府としての参画と経費分担を求めるアクションが必要。日本政府からの働きかけに加えて各国でボトムアップ的に政府に「条件付き認可」を求めるべき。→ ICFA/LCBでの議論
- 何をもって新粒子発見の見通しが得られたとするのかが不明だが、LHCの結果からILCの新粒子探索について何が言えるのか理論的考察を深める余地があるか？
- CERN、ISS、ITERなどの国際プロジェクトにおける経費分担の事例を整理し、ILCに適用する際のメリット、デメリットを整理すべし。
- 残された技術的、コスト的課題の解決に向けた取組を進める。
- 社会や学術コミュニティの理解を得る努力。

国際リニアコライダー *ilc*

全長約30キロメートルの地下の直線トンネルに、超伝導の「加速器」と超精密な「ビーム制御装置」を配置。電子とその反粒子である陽電子を衝突させて、宇宙の始まりから1兆分の1秒後を再現。その現象を徹底的に研究して未知の物理法則を解明し、自然の理解を新たな段階へと進めます。ILC国際研究所には、数千～1万人規模の研究者が滞在し研究を進めることになります。運用開始後、30～50年間にわたり実験が続けられる予定です。



世界に開かれた史上最大規模の基礎科学プロジェクト

- 設計の初期段階から国際協力で推進されている初の束流加速器計画
- 技術設計には49カ国/地域の約400機関から2400名を超える研究者が参加
- 計画が動き出せば、それをやるかにかかると懸念する人数の参加は確保
- 世界を代表する機関と、最高のテクノロジーをもった企業が集結し、21世紀の科学をリードする国際科学拠点が誕生

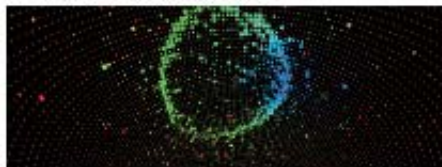
日本の実力

- 日本は世界の素粒子物理学研究を牽引
- 加速器分野でも、世界最高性能やハイレベルな研究成果を達成
- 各国での加速器研究に日本人研究者が大きく貢献し、世界も日本の実力を評価
- 宗教・人権を踏まえ、世界に門戸を開くことができる、寛容な平和国家「日本」
- 世界の文化・技術の発展に寄与することは、世界の素粒子物理学/加速器科学をリードする日本の責務

これまでの主な実績

Bファクトリー実験(KEK)
CP対称性の破れを検証し、2008年ノーベル物理学賞に貢献

ニュートリノ実験(カミオカンデ, スーパーカミオカンデ, K2K, T2K)
ニュートリノ振動現象を発見し、詳細に研究



プロジェクト概要

建設コスト
加速器本体工事8309億円、測定器766億円、人件費1837億円を、米欧アジアの3地域で分担。

建設期間
約10年

電力
16万kW

技術設計(2013年)以降の状況
2013～14年
米欧アジアの各研究コミュニティ、国際研究者組織でILC計画の実現と、日本での立地への支持のコンセンサスがまとまる。

2015年現在
日本国内では、文科省有識者会議で検討中。
国際研究組織では、技術設計の最適化、詳細設計を推進。
プロトタイプとなる大型超伝導放射光施設がドイツ、米国で建設中。

類似の規模の国際科学プロジェクト

- 国際熱核融合実験炉 (ITER)
- 大型ハドロン衝突型加速器 (LHC)
(欧州合同原子核研究機関 (CERN) の円形電子加速器)

加速器仕様

電子エネルギー	5000 兆電子ボルト (500GeV = 250GeV × 250GeV)
ルミノシティ	2 × 10 ³⁴ / 平方センチメートル / 秒
電子束	200 束
陽電子束	1312 束
電子束長	944 ナノ秒
陽電子束長	約 7000 psec / 束
注高(電子) 繰り返し	5 回 / 秒
手動の注高調整範囲	3150 万ボルト / メートル
衝突点ビームサイズ	幅: 1474 ナノメートル 高さ: 1.5 ナノメートル
電子束の長さ	19224 枚
電子束のエネルギー	1896 枚
陽電子束の長さ	426 枚
電子束のエネルギー	約 1 メートル、長さ 12 メートル
陽電子束の長さ	約 2 メートル
衝突点	3.2 キロメートル 11.4 キロメートル



測定器仕様 (ILD の例)

測定器	検出器の大きさ	25 × 142 × 421 立方メートル
測定器	検出器の長さ	約 16 メートル
検出器	長さ	約 16 メートル
検出器	質量	約 14000 トン



上野 浩一 藤田 昌一 小泉 昌宏 南郷 隆一郎 藤川 敏夫 小林 肇

ILC技術の応用

医療	安全	宇宙開発
生命科学	計量/計測	情報/通信
エネルギー/環境	新機能材料/部品創出	

4次元PET/CT	災害予知	宇宙アプリ開発
小惑星探査機	X線造影装置	超真空技術
X線自由電子レーザー	大出力高周波クライストロン	次世代消費機器
次世代放射線FRIL	次世代カメラ	新交通システム
超高速タンパク質構造解析	新電子回路	精密加工技術
新薬	新光学素子	新素材開発
病気の早期発見	核廃棄物分離処理技術	高感度半導体デバイス
超高速通信伝送装置		

イノベーションの源泉

ILC建設に必要とされる技術

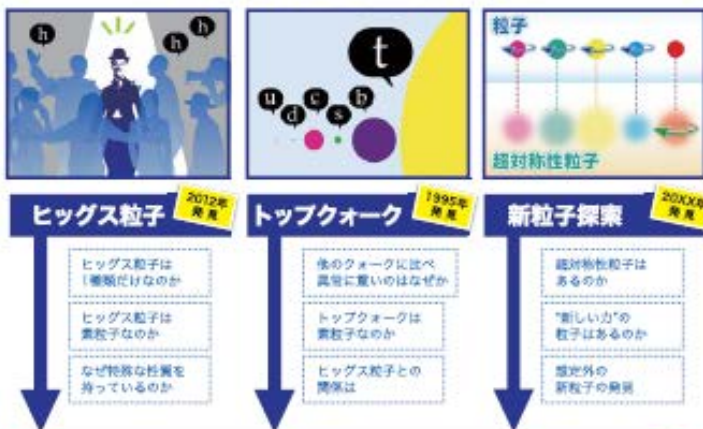
高精度プレス技術	高精度/高精度データ解析
高精度メッキ技術	高精度コンクリート技術
リモートセンシング技術	セキュリティ技術
ナノメートル制御技術	高度土木/建設技術
大電力(200MW)輸送技術	高度炭化技術
遠隔操作ロボットシステム	高度溶接技術
表面処理技術	高度トンネル掘削技術
スーパーコンピューティング技術	

これまでの実績

加速器を使った素粒子物理学研究からは、私たちの暮らしに役立つ様々な技術が生まれてきました。

粒子線がん治療	
PET診断	
創薬(インフルエンザ特効薬)	
減農	
WWW	
GRID	
ラジアルタイヤ強化	
品種改良(病害に強いコメ)	

ILCによる徹底研究



未知の物理法則の解明

次のステージへ



標準理論の素粒子

物質をつくる素粒子(フェルミオン)	力を伝える素粒子(ボソン)																							
<table border="1"> <tr> <th>第1世代</th> <th>第2世代</th> <th>第3世代</th> </tr> <tr> <td>u (アップ)</td> <td>c (チャーム)</td> <td>t (トップ)</td> </tr> <tr> <td>d (ダウン)</td> <td>s (ストレンジ)</td> <td>b (ボトム)</td> </tr> <tr> <td>e (電子)</td> <td>μ (ミューオン)</td> <td>τ (タウ)</td> </tr> <tr> <td>ν_e (ニュートリノ)</td> <td>ν_μ (ニュートリノ)</td> <td>ν_τ (ニュートリノ)</td> </tr> </table>	第1世代	第2世代	第3世代	u (アップ)	c (チャーム)	t (トップ)	d (ダウン)	s (ストレンジ)	b (ボトム)	e (電子)	μ (ミューオン)	τ (タウ)	ν _e (ニュートリノ)	ν _μ (ニュートリノ)	ν _τ (ニュートリノ)	<table border="1"> <tr> <td>γ (光子)</td> <td>W⁺ (Wボソン)</td> <td>W⁻ (Wボソン)</td> <td>Z⁰ (Zボソン)</td> </tr> <tr> <td>g (グルオン)</td> <td>φ (ヒッグス)</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	γ (光子)	W ⁺ (Wボソン)	W ⁻ (Wボソン)	Z ⁰ (Zボソン)	g (グルオン)	φ (ヒッグス)		
第1世代	第2世代	第3世代																						
u (アップ)	c (チャーム)	t (トップ)																						
d (ダウン)	s (ストレンジ)	b (ボトム)																						
e (電子)	μ (ミューオン)	τ (タウ)																						
ν _e (ニュートリノ)	ν _μ (ニュートリノ)	ν _τ (ニュートリノ)																						
γ (光子)	W ⁺ (Wボソン)	W ⁻ (Wボソン)	Z ⁰ (Zボソン)																					
g (グルオン)	φ (ヒッグス)																							

素粒子物理学では、これまでの研究の成果から「標準理論」と呼ばれる理論体系が確立されています。標準理論は、17種の素粒子の働きによって、知られている物理現象をほぼ正しく記述する優れた理論です。しかし、標準理論に含まれる粒子の中にも、詳しい性質が未解明のものが含まれています。例えば、2012年に発見されたヒッグス粒子や、電子の34万倍もの質量を持つトップクォークなどの性質にはまだまだ多くの謎があります。また、標準理論では説明できない現象や物質の存在も確認されています。ILCでこれら未解明の謎を解明することにより、より本質的な物理法則が明らかになると考えられています。

様々な分野の拠点に

国際的地位	教育
科学分野全般における日本の国際的地位や影響力を大きく向上させます。	未来を担う子どもたちの科学に対する関心が高まります。
文化	産業振興
欧州では文化として認識されている科学技術。日本でも科学を身近な日常の話題に。	ILCを核とした国際学術的拠点を形成し、世界の国際的拠点となる科学の国際拠点に。

知の創成における超一流国へ

科学外交	競争力
積極的平和外交の重要な柱として、ILCの科学技術のシフト・パワーを活用。	日本の国際競争力向上の重要な役割を果たすこととなります。

世界の科学者が、日本でのILC建設を支持する公式声明を発表しています。

米国：素粒子物理学プロジェクトの優先順位付けを行う「P5報告書」でILCの科学的意義を再確認し、日本のILCホストの意思表明を高く評価。日本での建設が確定すれば、ILCへの本格的参加を推進。

欧州：素粒子物理学の推進計画(欧州戦略)で、ILCの日本における取組みを歓迎し、欧州研究者の強い参加意欲を表明。日本からのプロジェクトに関する積極的参加の提案を待望。

将来加盟国国際委員会(ICFA)：日本におけるILC実現にむけた取組みの目覚ましい進捗を歓迎する声明を発表。ILCの国際研究所の組織・運営等を検討する委員会を設置。

アジア地域高エネルギー物理委員会(Asia HEP) / アジア地域域際加盟国委員会(ACFA)：日本の高エネルギーコミュニティによる日本におけるILCホストの提案を歓迎し、日本政府からの提案を期待。

インド：超対称性粒子探索を推進。ILC計画への参加を強く希望。

中国：ILC建設費の1割の拠出が出来よう。政府に賛同することを表明。