

2. 加速器技術の発展性等に関するインタビュー現地調査

ILC 実現で用いられる個々の技術及びそれを用いて新たに製作される加速器の需要について、加速器研究に知見のある専門家に同行いただき、国内外の企業及び研究機関等に出向き、当地でインタビュー調査を実施した。

1) インタビュー対象機関

調査対象は、日本国内はもとより、米国、ドイツ、フランスを含む加速器の製造・利用が盛んな国における主要研究機関及び加速器関連企業を対象とした。

【加速器関連企業】

国名	企業名	主製品・事業(加速器関連)
ドイツ	RI Research Instruments GmbH	常・超伝導加速空洞、加速器システム、ビームライン
	Babcock Noell GmbH	常・超伝導電磁石、超伝導アンジュレータ
フランス	Thales Electron Devices	クライストロン、カプラー、RFステーション
	Air Liquide	クライオジェニックプラント
	ALSYMEX	クライオモジュール組立
米国・カナダ	Communications & Power Industries, LLC	クライストロン
	Pavac Industries Inc.	超伝導加速空洞、クライオモジュール
日本	三菱重工株式会社	常・超伝導加速空洞、放射線治療装置
	三菱電機株式会社	常・超伝導磁石、超伝導加速空洞 粒子線治療装置
	日本高周波株式会社	クライストロン用電源、導波管 サーキュレータ
	株式会社アルバック	高純度ニオブ材、超伝導加速空洞

【主要研究機関】

国名	機関名
ドイツ	■ドイツ電子シンクロトロン研究所 DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron)
スイス	■欧州合同原子核研究機関 CERN (European Organization for Nuclear Research)
フランス	■線形加速器研究所 LAL (Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire)
	■宇宙基礎科学研究所 IRFU (Institute of Research into the Fundamental Laws of the Universe)
英国	■コッククロフト研究所+ジョンアダムス研究所 Cockcroft Institute, John Adams Institute
米国	■フェルミ国立加速器研究所 FNAL (Fermi National Accelerator Laboratory <Fermilab>)
	■SLAC国立加速器研究所 SLAC National Accelerator Laboratory
	■アルゴンヌ国立研究所 ANL (Argonne National Laboratory)
カナダ	■TRIUMF国立研究所 TRIUMF (Canada's national laboratory for particle and nuclear physics)
中国	■中国科学院高能物理研究所 IHEP (Institute of High Energy Physics)
日本	■高エネルギー加速器研究機構 KEK (High Energy Accelerator Research Organization)

2) インタビュー調査項目

(1) 加速器及び加速器構成部品の製造を行っている企業へのインタビュー調査項目

- ①過去 10 年間に使われた加速器又は加速器構成部品製造の特徴的な技術は何か。
また、その技術の開発の経緯、その技術の現在の使用状況について
- ②10 年前から現在までの加速器又は加速器構成部品等の販売数・販売額の推移について
- ③国内外を問わず、大型加速器の製作・建設による産業への技術移転(スピノフ)の事例の内容について
- ④ILC 製作・建設のために新たに開発・導入されると考えられる技術分野、製品分野について
- ⑤新たに開発された製品が商品として販売される可能性と売上規模の見通しについて
- ⑥新たに開発された技術が、他の製造品又は製造工程等に使用される見込み(実用化の時期等)について

(2) 主要研究機関(加速器実験を行なっている)へのインタビュー調査項目

- 【A: 研究計画調査】 (後述)
- 【B: 加速器関連調査】
- <加速器の技術的波及効果>
- ①大型加速器の製作・建設のために新たに開発・導入された技術分野や製品
 - ②大型加速器の製作・建設の過程でサプライヤー契約を結んだ企業数、業種分野、契約額
 - ③大型加速器の製作・建設による産業への技術移転(スピノフ)の事例の有無。事例有りの場合、企業名、製品名、新たに創出された市場規模等
 - ④ILC 製作・建設のために新たに開発・導入されると考えられる技術分野、製品分野
 - ⑤上記④の新たに開発された技術が、有効に利用されると予想される産業分野、製品分野
- <加速器の利用>
- ①加速器の需要(直近 5 年の利用実績、直近 5 年の購入状況、今後の利用見込み、必要とされる加速器の性能等)
 - ②過去 10 年間の加速器を利用した研究活動内容とその成果
 - ③過去 10 年間で加速器を導入したことによる研究活動内容等の変化
 - ④過去 10 年間で加速器を利用した際の問題点(コスト、性能等)
 - ⑤加速器の利用の需要が増えていく分野、有効な分野についての見通し

3) インタビュー調査結果

	フランス	フランス
	THALES	ALSYMEX
1. 過去10年間に使われた加速器又は加速器構成部品製造の特徴的な技術は何か。また、その技術の開発の経緯、その技術の現在の使用状況について	<p>(1) 科学分野マーケットの主な製品</p> <p>①クライストロン</p> <ul style="list-style-type: none"> ・UHF、VHFバンドからXバンド、Cバンド、Lバンドのクライストロン ②大規模科学研究施設へのサブシステム ・供給可能なのは、高周波・超短波、真空システム、高電圧パワー、冷却システム、指令・制御システム、機械エンジニアリング及び生産 ・素粒子加速器、核融合炉に対する高周波源(RF Sources)の装置・サブシステムの供給に蓄積と実績あり ・超伝導加速空洞の生産、及びクライオモジュールの組立は手掛けている <p>(2) 大規模科学プロジェクトへのT社の貢献</p> <p>①XFEL(DESY)へのマルチビームクライストロンの供給</p> <ul style="list-style-type: none"> ・T社は、23のRFステーション(各5.2MW)をXFELに供給 ・特徴は、マルチビームクライストロン(電子源7ビーム)。T社が20年前に最初にプロトタイプをつくり商業化に成功 ・XFELの経験を通して、サプライチェーンマネジメントとテストングのノウハウを蓄積。その結果、DESYへの供給能力は、12~15ユニット/年 ・現在、マルチビームクライストロンの効率性やビームパービュアンスの向上を目指し、CERNと技術開発中 <p>②LAL-Orsayへのカプラー、RFステーションの供給</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高い技術力を背景に、330のカプラーをLALに供給(計画では650以上) ・カプラーの商業ベースでの生産・供給体制を構築済み ・LALへはRFステーションも供給(クライストロン+高周波電源) 	<p>(1) 企業・事業概要(ALSYMEX社)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・A社は、ALCENグループ内のALSYMOM、SEIV、SIRA Aquitaineの3企業グループの会社として設立。従業員は270人(25%はエンジニア及び高スキル技能者)、売上は45百万€。5つの生産サイト(生産施設20,000㎡以上)を保有 ・主なマーケットは、航空宇宙、防衛、原子力エネルギー、研究施設(Research Infrastructures) <宇宙、加速器、核融合、高パワーレーザー> ・事業内容は、デザイン、エンジニアリング、製造、インテグレーション、サービスであり、特に、インテグレーションが得意 ・インテグレーションは、チームマネジメント、アセンブリー、機械制御(コントロール)、ハイパワーレーザー、クライオシステム、オプティクス、真空技術等に及ぶ。 <p>(2) EXFELへのALX社の貢献(クライオモジュールの組立)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・フランスはEXFELにインカインドで、カプラー製造、クライオモジュールの組立の2つに協力。カプラーはCNRS(LAL研究所)、クライオモジュールはCEA-Saclay研究所で実施。 ・また、CNRS(LAL)は、THALES社及びRI社と契約し、カプラーの生産供給を受けている。CEAは、A社と契約し、クライオモジュールの組立を委託。 ・DESYとCEAが共同でつくった手順書にしたがって、A社がオンサイト(20~30名のチーム)で組立作業を実施。A社は、加速空洞は生産していない。 ・A社は、キャビティ、クライストロン、カプラー等のコンポーネントをもとにクライオモジュールを、CEAのXFELプラント内のクリーンルームで組立している。 ・A社は、現時点での素粒子加速器に係る機器を製造・供給していないが、将来の加速器の性能要求に対しては、経験・専門性・技術力の点で、グループ企業を含めて対応可能
2. 10年前から現在までの加速器又は加速器構成部品等の販売数・販売額の推移について	<ul style="list-style-type: none"> ・総売上高は、2013年でトータル530百万€ ・分野別売上構成は、衛星通信37%、放射線医療35%、防衛17%、科学8%、産業/放送3% ・科学分野の売上は、2013年で40百万€(クライストロン、カプラー、パワーサプライ、インテグレーション等) ・科学分野の売上はここ10年間ほぼ一定。しかし、構成には変化あり。かつては、医療用Xバンドクライストロンを販売していたが現在は停止、代わって、科学分野(加速器物理、核融合分野等)でのクライストロンの需要が増加。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ALCENグループ全体で、2013年で205百万€の売上
3. 国内外を問わず、大型加速器の製作・建設による産業への技術移転(スピノフ)の事例の内容について	<ul style="list-style-type: none"> ・LHCでは、SC磁石に関連する新技術が産業(Alystom社等)に移転 ・DESY(XFEL)では、カプラーの基本的デザインを開発。それを設計・製品化したのはTHALES社 ・ITERでは、SCマグネット、ヘリウムフリーマグネットの新技術が開発され産業へ移転 	<ul style="list-style-type: none"> ・特に回答無し
4. ILC製作・建設のために新たに開発・導入されると考えられる技術分野、製品分野について	<p>(1) ILCに必要な技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・XFELを通して、ILCへのRFパワー関連技術は質的には新規開発の余地は少ない。むしろRFの量の生産が問題 ・ILCでは、機器のサプライチェーンマネジメントと大量生産による工業化(インダストリアルイゼーション)が重要 ・なお、ILCに必須のクライストロンには、「バキュームポンピング」とRFコンディショニングの2つのボトルネック解消が必要 <p>(2) ILCへのクライストロン供給能力の限界と対応</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ILCでは、80ユニット/年(フェーズ1)のクライストロンの生産が必要。 ・現在の世界でのクライストロンの生産能力は、全体で50ユニット/年以下と判断。現状の生産能力では、ILCの需要に対応できず。 ・T社がクライストロンの生産能力(現在の3~4倍)を高めるためには、15~20M€の投資が必要。それには数年(5~6年)必要 ・企業が生産能力を増強するためにはILCのスケジュールを早く知ることが重要 ・ILCのクライストロンへの要求水準がXFELより高まれば、生産能力向上以外の技術開発が必要。例えば、電力変換効率を63%(XFELレベル)から67%に高めるためにはRFソースに関する追加的技術開発が必要 <p>(3) ILCに対するT社の強み</p> <ul style="list-style-type: none"> ・T社は、XFELの経験をとおり、RFソース関連コンポーネント(クライストロン、カプラー、RFステーション等)を自社で生産できる技術を蓄積 ・ILCはビッグプロジェクトであり、多くの需要が発生。T社には、必要機器やシステムを供給できる能力あり ・しかし、スケジュールやファンディング等が明確でないため、「ウオッチング」している(せざるを得ない)状況 	<p>(1) 加速器のインテグレーション技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・これまでの大規模科学プログラムのやり方は類似。各プログラムのコアは、小さなチームで運営。このため、統合化されたソリューションを必要とする。 ・CERN、XFEL、ESS、ITER等幅広い範囲から機器を調達し組立てる。このため、インテグレーションの能力、インテグレーションワークが非常に重要。大規模加速器プロジェクトであるILCにおいても同様の技術が必要 ・アウトサイドインテグレーションがうまくいくためには、プロジェクトが立地するローカルな基準(コード)、ルール、実現方法を熟知している人と、別の国で同様のプロジェクトを実現した経験のある人がコラボすることが重要 ・例えば、ILCを想定すると、ヨーロッパでのXFELを経験した企業(技術者)が日本に行き、日本での基準ややり方を知った日本企業(技術者)とコラボするのが望ましい姿。フランスと日本のコラボプロジェクトである六ヶ所村のIFMIFはその典型例、
5. 新たに開発された製品が商品として販売される可能性と売上規模の見直しについて	<ul style="list-style-type: none"> ・特に回答無し 	<ul style="list-style-type: none"> ・特に回答無し
6. 新たに開発された技術が、他の製造品又は製造工程等に使用される見込み(実用化の時期等)について	<ul style="list-style-type: none"> ・特に回答無し 	<ul style="list-style-type: none"> ・A社の加速器(クライオモジュール)のインテグレーション技術は、レーザードメインの技術の応用によるもの。このインテグレーション技術は、例えば、宇宙物理学の大きなテレスコーププログラムに応用できる。

	フランス	ドイツ
	Air Liquid Advanced Technologies	RI (Research Instruments)
1. 過去10年間に使われた加速器又は加速器構成部品製造の技術は何か。また、その技術の開発の経緯、その技術の現在の使用状況について	<p>(1) 企業・事業概要 (Air Liquid Advanced Technologies)</p> <ul style="list-style-type: none"> AT社は、Air Liquidグループ全体の技術革新を先導する目的で、1962年に設置。サイトの全従業員は700人、世界に4つの拠点(ドイツ、米国、日本、上海) 技術革新分野は、ガス分離、ガス冷凍、ガス液化(液体ヘリウム等)、ガス分析と質制御、ガス処理、ガス貯蔵・輸送など 同社のビジネスは、ガス関連のデザイン、テスト、工業化、製造、サービス・保守 同社のマーケット分野は、民間・軍事航空機分野、海軍分野、宇宙分野、分散エネルギー分野、科学研究分野(ガス液化システム、冷凍機器、冷却剤等の製造) 特に、過去50年以上にわたるクライオジェニクス分野における産業経験蓄積あり。 <p>(2) AT社の大規模クライオジェニックプラントの実績</p> <ul style="list-style-type: none"> JT-60SA 核融合炉(トカマク型)、CERN-LHCのクライオジェニックプラント、ITERのヘリウムクライオプラント、カタールのRasgas1、Rasgas2(ヘリウム精製・液化プラント) <p>(3) AT社の技術的特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 同社は、加速器の冷却系のシステムにフォーカスしてきた。冷凍系システムの技術は、20年前に確立され、ここ10年は技術改善はあったが、新しい技術の開発はない。加速器を冷やすクライオジェニクス系の技術は成熟した技術であり、TDRに示される仕様をILCへ導入しても何も問題はない。 20年前に同社はLHCプロジェクトへの参画を通して、冷凍圧縮器を新開発し、それが現在では市場化(製品化)している。 	<p>(1) 事業の概要</p> <ul style="list-style-type: none"> RI社の前身は、シーメンスの原子力実験炉の研究所。研究所に蓄積されていた加速空洞関連の技術をベースにビジネス展開 RI社は、2009年4月に設立。従業員数は190人 RIは原則、製品を持たない。RF、SCの技術をつかってコンポーネンツシステム(リニアック加速器、加速器モジュール、RF加速空洞、粒子発生源<電子、陽子ソース>)を提供。核融合技術分野にも進出 RI社のマーケットは次のもの。 <ul style="list-style-type: none"> ■大規模科学プロジェクト分野 KEK、DESY、CERN、ブルックヘブン等へSCRF加速空洞、クライオジェニクス、直線加速器システム、フoton関連装置、ビームラインなどを供給 ■医療分野 粒子線治療装置へのRFコンポーネンツの提供等(パリアンが主要顧客) ■エネルギー/核融合分野 ■先端技術分野(ライフサイエンス、バイオ) <p>(2) SCRF加速空洞</p> <ul style="list-style-type: none"> RI社は、420のRF空洞を製作しDESYに納入。空洞の生産能力は、16台/月 マテリアル(素材)は、顧客から提供され、RIは空洞の機械的な製作、クライオジェニックテストなどの垂直試験を実施。合格した空洞をDESYに納品。 <p>(3) 技術開発を推進する上での研究機関と企業の関係</p> <ul style="list-style-type: none"> ドイツでは、研究所から企業へ人が動くことが基本。その際には、研究者としてはなく、ビジネスを起こす(起業)のために移る。 RI社は他企業と自由競争。蓄積されたノウハウにより、結果としてRIは契約を獲得。研究所や連邦政府から、戦略的な企業支援を目的として受託を促進されているわけではない。 DESYとRI社は、全て契約ベースで協働メカニズムが確立。契約に当たりDESYはRIに、空洞の製作や表面処理等に関する手順(プロセス)を与える。RIは手順に従い、独自のノウハウを加えて質の高い空洞をDESYに納入
2. 10年前から現在までの加速器又は加速器構成部品等の販売数・販売額の推移について	<p>①AT社の売上構成</p> <ul style="list-style-type: none"> 2013年の年間売上構成は、宇宙61%、航空、海軍・防衛15%、科学研究12%、分散エネルギー7%、エレクトロニクス&オプトエレクトロニクス4% <p>②マーケット規模</p> <ul style="list-style-type: none"> クライオプラントの分野では、世界で200人(うち同社は100人)程度が関わっているにすぎない。マーケット規模は、年間数千万円程度 クライオプラントの需要は、加速器のプロジェクトに依存。過去10年はITER、FAIR、LCLS II、ESS等プロジェクトがあったおかげで、クライオプラントへの需要もあった。サイエンスプロジェクトが今後どうなるかは見通せない。 世界のサイエンスマーケットは小さいので、同社のライバル企業はLinde社ぐらいしかいない。 	
3. 国内外を問わず、大型加速器の製作・建設による産業への技術移転(スピノフ)の事例の内容について	<ul style="list-style-type: none"> 同社については、加速器のクライオプラントの技術は、ヘリウムガスのプラントにも使用。カタールのヘリウム精製・液化プラントに導入している技術は、LHCで培った技術 加速器用のクライオプラントの基本的技術は、CERNのLEPの時に開発しているが、プラント技術の大型化という点ではLHCの時に対応 サイエンスマーケットに供給するクライオプラント関連の製品は、カスタマーマーケットへの製品とは全く異なる。したがって、クライオプラント技術から派生する日常生活へのアプリケーションの展開はない。 科学向けのクライオジェニック機器は、ニッチマーケットで規模は非常に限定。クライオプラントのコンポーネンツで、例えば、冷凍コンプレッサーは、昔からの技術を応用しており同社が開発した技術ではない。 	<ul style="list-style-type: none"> LHCでは、SC磁石の例がある。SCワイヤのR&DがCERNで行なわれ、それが産業へ移転した例は聞いたことがあるが、詳細は不明 SC空洞関連については、実際に技術移転した例はないのではないかと
4. ILC製作・建設のために新たに開発・導入されると考えられる技術分野、製品分野について	<ul style="list-style-type: none"> 同社がILCに関与する場合、ILC向けの特別な技術開発は必要無し。ただし、ある程度の改善は必要 ILCでは、10~14のクライオプラント(各々20~25KW@4K)の設置が想定されるが、これはLHCやITERのクライオプラントと構造的には同じ。LHCの18KWに比較して、ILCでは20~25KWとクライオプラントには多少高い性能が求められるが、技術的には問題なく達成できる。実際、カタールやITERのプロジェクトでは、25KWクラスのシステムを供給済み なお、ILCの冷却系の必要量は、全体で200kw@4.5K程度と考えられる。これは、LHCの10倍以上の水準。クライオジェニクスの視点からみると、ILCはLHCの2倍以上、ITERの3倍以上の大規模プロジェクトになる。 	<p>(1) ILCのSC加速空洞の生産上の課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ILCのRF空洞製作には技術面で革新的な変化は起こらない(XFELの技術で対応可能)。 しかし、ILCの多数(2,000台程度)のクライオモジュールを、世界で1カ所だけで製作しようとする投資は莫大になる。3地域(日本、ヨーロッパ、米国or中国)に分散して、製作することが望ましい。 分散するにしても、クライオモジュールの生産能力は、現状(RI+他企業)の4倍程度に上げる必要あり。その場合の投資額は、これまでの投資の2倍。 一方で、1カ所当たりの生産量が現在の4になると、何らかの生産革新(レポリューション)を起こす必要が出てくる。 <p>(2) SC加速空洞の生産効率を高めるための手法</p> <ul style="list-style-type: none"> 現在のSC空洞は、20~30のパーツから構成され、人の手で組立・調整されている。ロボット化により効率性とコストパフォーマンスが格段に向上 全ては難しいが、特定のパーツ・範囲の中では、自動車の生産ラインのようにロボット化は可能。ただし、ROI等の点ではILCのSC加速空洞16,000台は十分ではない。 <p>(3) ILCに対するRI社のスタンス</p> <ul style="list-style-type: none"> RIにとって、ILCは良いものとして評価しているが、まだビジネスプラン(3~5年)には入っていない。 RIがILCに参入した場合、最終的組立のサイトを、日本に設置する可能性はある。
5. 新たに開発された製品が商品として販売される可能性と売上規模の見直しについて	<ul style="list-style-type: none"> 大規模加速器やILCにより開発されたわけではないが、クライオジェニックのコンポーネンツのうち、冷却コンプレッサーは、広く食品業界等に利用されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 特に回答無し
6. 新たに開発された技術が、他の製造品又は製造工程等に使用される見込み(実用化の時期等)について	<ul style="list-style-type: none"> 特に回答無し 	<p>(1) RI社の蓄積技術の他分野への展開について</p> <ul style="list-style-type: none"> 現在RI社は、XFELの技術を他の産業アプリケーションに応用する段階にあると認識。アプリとしては、次の2つ ①産業への応用 SCRF加速器技術は、より良い質のビームを出すため、産業のツールとして有効。例えば、ケーブル製造業の生産ラインの一部に電子線ビーム加速器の導入など 消費者向けのマス製品を生産している企業は、競争が激しいため、SC加速器の技術を応用しているか否かの情報は開示しない。 ②生産技術の他産業への応用 XFELを通して、ユニークなクリーンルーム環境の技術を開発し蓄積。クリーンルームでの組立が必要な製品の生産には、利用可能 <p>(2) RI社の今後の事業戦略</p> <ul style="list-style-type: none"> 今後の事業戦略は、現在のDESY等研究機関向けビジネスを維持しながら、産業向けビジネスを展開していくこと。民間企業のプロジェクトベースで、XFELの技術を応用した製品開発を推進中。 大規模科学マーケット市場において、安定的に推移又は成功する可能性が高い企業は、中規模企業(メディアムサイズ)。ただし、日本だけは例外。

		ドイツ															
		Babcock Noell															
1. 過去10年間に使われた加速器又は加速器構成部品製造の技術は何か。また、その技術の開発の経緯、その技術の現在の使用状況について		<p>(1) 企業・事業概要</p> <ul style="list-style-type: none"> ・B社の事業は4つの分野から成る。 ■原子力サービス: 原発のメンテナンスサービス ■原子力技術: 新原発建設、EPR(フィンランド)など ■磁石(マグネット)技術: ■環境技術: 石炭火力発電所の排煙浄化等 <ul style="list-style-type: none"> ・ドイツのWürzburg には、B社の本社、及び2カ所の加工組立拠点(ワークショップ、2,100㎡と1,000㎡)がある。 <p>(2) 大規模科学プロジェクトへのB社の関与</p> <ul style="list-style-type: none"> ・B社はこれまで、次の大規模プロジェクトに関わり、超伝導磁石等を供給 <p>①FAIR(GSI)</p> <p>②Wendelstein 7-X(IPP): 50個の非平面型超伝導コイルを納入</p> <p>③LHC(CERN): 416個の2ビーム穴2極磁石を供給</p> <p>④HERA(DESY): 122個のquadrupoles - 233デカポール補正コイルを組立てた。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・B社は顧客企業には、コンセプトデザイン、エンジニアリングデザイン、プロトタイプ製作、製品化を提供。これによって生まれた主要製品として、超伝導アンジュレータ(フレキシブルビームパイプ等の特別な技術導入)がある。 ・B社は、サポートサービスとして、DESY、CERNに対して、次の調査を実施 <p>①XFELプロジェクトでDESYから受託した調査</p> <ul style="list-style-type: none"> ・XFEL用の加速器クライオモジュールの生産調査、クライオモジュールの輸送方法調査 <p>②ILCプロジェクトに関してCERNから受託した調査</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ILC用のクライオモジュールの組立に関する調査 →この調査では、ILC用クライオモジュールの製造フロー、製造期間、製造コスト、製造スケジュール等を調査。結果は、ILCのTDRに反映 															
2. 10年前から現在までの加速器又は加速器構成部品等の販売数・販売額の推移について		<ul style="list-style-type: none"> ・2009年～2012年の売上及び従業員数の推移は、次のとおり。 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><売上: 百万€> <従業員数: 人></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2009年</td> <td>65.5</td> <td>325</td> </tr> <tr> <td>2010年</td> <td>76.0</td> <td>330</td> </tr> <tr> <td>2011年</td> <td>75.2</td> <td>337</td> </tr> <tr> <td>2012年</td> <td>94.9</td> <td>340</td> </tr> </tbody> </table>	<売上: 百万€> <従業員数: 人>			2009年	65.5	325	2010年	76.0	330	2011年	75.2	337	2012年	94.9	340
<売上: 百万€> <従業員数: 人>																	
2009年	65.5	325															
2010年	76.0	330															
2011年	75.2	337															
2012年	94.9	340															
3. 国内外を問わず、大型加速器の製作・建設による産業への技術移転(スピノフ)の事例の内容について		<p>(1) 核融合技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・核融合技術と加速器技術は密接な関係。大型加速器の技術は核融合分野へ波及 <p>(2) SCアンジュレータ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・B社は、LHC等からSC技術を学びSCアンジュレータを開発製品化 ・学んだSC技術は、エネルギー蓄積(Storage)にも応用中(未製品化) <p>(3) コンピュータサイエンス</p> <ul style="list-style-type: none"> ・CERNでは、大検出器の製作により多くの新しいコンピュータチップが生み出された。 <p>(4) がん治療用粒子線加速器</p> <ul style="list-style-type: none"> ・がん治療用粒子線加速器は、大規模加速器開発から生まれたスピノフの良い例 ・がん治療用粒子線加速器は、商業ベース化に困難が伴う。ただし、ヨーロッパでは陽子線がん治療装置を建設し成功している企業あり 															
4. ILC製作・建設のために新たに開発・導入されると考えられる技術分野、製品分野について		<p>(1) 総論</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ILCでは非常に特殊な製品が多いため、スピノフは限定的 ・XFELの技術で産業応用できるのは、電子溶接、空洞表面処理(treatment)などの分野ではないか。 <p>(2) SCアンジュレータ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・SCアンジュレータは、ILCのダンピングリングや陽電子ビームの生成に必要な。 ・B社のライトソース用のSCアンジュレータの技術は既に開発済みであるが、ILC向けは違うアプリケーションとなる。 <p>(3) 磁石</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ILCでは、小さな磁石は必要とされるが技術は既に確立。コスト削減に向けた技術開発の余地はあるが、それほど重要ではない。 <p>(4) ソフトウエア(コントロールシステム、EDMS)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ILCのマシンコントロール等のシステムは開発が必要 ・DESYは、10年前にEDMSというデータ管理システムを開発し、クライオモジュールの検査環境を大きく改善、同様の新システムはILCでも不可欠 															
5. 新たに開発された製品が商品として販売される可能性と売上規模の見直しについて		・特に回答無し															
6. 新たに開発された技術が、他の製造品又は製造工程等に使用される見込み(実用化の時期等)について		・特に回答無し															

	アメリカ	カナダ
	CPI	PAVAC
1. 過去10年間に使われた加速器又は加速器構成部品製造の技術的な特徴的な技術は何か。また、その技術の開発の経緯、その技術の現在の使用状況について	<ul style="list-style-type: none"> ・クライストロンのメーカーであり、Sバンド、Cバンド、Xバンド用の製品を製造している。マルチビームクライストロン、マルチビームILT、誘導出力管を作っている。 ・主なカスタマーはCERN、ESS、中国IDP、PSI、ドイツHCB、SLAC、Fermi、Brookhaven等の国際的な公的研究機関。 ・DESYには今日の担当部隊とは別の部隊が、常温電導のRF用の製品を販売している。 ・クライストロンの製造、販売については、Jefferson Labsやロスアラモス等、30-40年以上の歴史がある。 ・クライストロンのコンペティターというと、ターレス(最も競合)、東芝、三菱あたりであり、ロシアのGyconや米国L3が続く。米国においては、当社が独占的な最大手である。 	<p>(1)企業・事業概要</p> <ul style="list-style-type: none"> ・PAVACの主な顧客は、研究機関とエンドユーザー(企業)の両方である。 ・PAVACは元々TRIUMFのスピンオフとして2004年に創業したが、現在はFNALを初のTRIUMF以外の外部クライアントとしている。 ・PAVACにとって一番重要なのは、超伝導RFクライオモジュール技術を産業レベルにすることである。 <p>(2)CIP社の加速器関連技術</p> <p>①PAVAC社の事業ドメイン</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当社の事業ユニットは大きく以下の三つに分かれる。 ・顧客の研究開発のサポート事業。クライオモジュールや超伝導加速空洞(SRF)ほかSRF関連部品の製造はここに入る。他に航空関連部品も扱う。 ・電子ビームシステム: LASTRON™という製品を有し、低コストでの様々な材料物質の電子溶接など可能にしている。 ・化学分野のための電子事業: NOx、SOxの除去やCO2分解など、flue gas treatmentの技術に関係した事業展開を行う。
2. 10年前から現在までの加速器又は加速器構成部品等の販売数・販売額の推移について	<ul style="list-style-type: none"> ・カスタマー向けにカスタマイズした特注の製品を製造しているため、その製造量については、サイズや仕様・要求度により、月に3つ程度から、月に40個まで、製造量はまちまちである。 	<ul style="list-style-type: none"> ・先の3事業の売上比率は、現状では応用研究サービスと電子ビームシステムが50%ずつである。化学分野のための電子事業は、現在は売り上げに貢献できていない。 ・応用研究サービスの中では、研究機関相手の業務が60%、企業向けのテスト支援が40%である。企業としてはアイシン精機、EBW gears等が顧客である。 ・電子ビームシステムの中では、70%が加速器等の高度な科学技術分野向け、30%は航空産業、自動車産業等の企業向けである。
3. 国内外を問わず、大型加速器の製作・建設による産業への技術移転(スピンオフ)の事例の内容について	<ul style="list-style-type: none"> ・近年の目覚ましい技術の発展について一つに絞るのは難しいが、そのひとつは、200MHzのクライストロンの大型化である。 ・近年の技術的なチャレンジは、高効率と低電圧である。つまり、経済性をカスタマーがより重視している。これまで様々な顧客で培ってきた技術の応用が一層求められている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ILCのような大型プロジェクトは様々な研究開発インフラや人材の開発・育成に役立つ。これによるスピンオフも大いに期待される。
4. ILC製作・建設のために新たに開発・導入されると考えられる技術分野、製品分野について	<p>(1)ILCのスピンオフ技術・波及効果について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ILCのような大規模施設にはクライストロンが汎用求められるが、サイズを大まかに見積もっても月に10個ペースくらいでないとい、全体で7000個という要求にはかなわないのではないかと考えている。また、その実現のためには、大規模な投資が必要。 ・スピンオフで最も考えられるのは、クライストロンのマルチビーム技術について、技術精度を予測するためのシミュレーション技術の発展である。コンピュータリング分野に活用できるものがこれまでもあったが、ILCもそういう奇貨をすするであろう。 ・大量生産技術も重要。 ・ILC特有のスピンオフと言われると、今はクライストロンのスペックがはっきりしないので、何とも言いえない。しかし、モデルシミュレーションの高度化が一番、副産物になると思う。 <p>(2)ILC建設の課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ILCで最も大きな障壁は製造プロセスの再整備である。求められる製造量が通常のペースではないと考えられるため、製造プロセス及び工場等の施設について新規で検討しなければいけない。 ・当社は日本を含む世界120社から原材料や部品(銅やセラミックなど)を購入しており、これについてはILCにおいても心配していない。 ・問題は脱ガス熱処理とテストの箇所である。脱ガス熱処理については、ILCのクライストロンとなる程度の大きさが必要になると考えられるため、現在の設備では、ひとつしかない真空容器をひとつのクライストロンで使うことになる。脱ガス熱処理の作業に2週間要するため、月に2つが限界である。サイズが小さければ、もっと短時間で沢山作ることができる。 ・テストについても月3-4個が限界である。ひとつのテストには3週間程度かかる。 ・もし月16個まで製造量を上げたとして、7000ユニット中の2000を当社で作るとすれば10年かかる。その場合、施設やプロセス改善の検討に2年、事前に要する想定なので、合計12年になる。 ・重要なのは、製造プロセスの各部分を他の企業にアウトソースすることである。日本政府なりILCのコンソーシアムでリーダーシップを振る機関と役割分担を議論し、製造の効率化を図る必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・スピンオフは次の二段階で波及していくと考えられる。 ・研究所のサブシステムへの貢献。クライオモジュール技術が超伝導線型加速器のビームライン技術を開発させる。 ・医療用加速器のイノベーション機会を提供し、また放射光リソグラフィを通じて半導体製造(スマートフォンの部品等)に貢献するであろう。
5. 新たに開発された製品が商品として販売される可能性と売上規模の見通しについて	<ul style="list-style-type: none"> ・特に回答なし 	<ul style="list-style-type: none"> ・新しい分野に出るのはリスクが伴う。大きなインパクトがあり、かつリスクが比較的小さいのは、半導体分野だと考えている。物質の変質を可能にし、長寿命バッテリーが製造できるようになれば、そのインパクトは非常に大きい。 ・スピンオフについては、スピード感はとても重要だと考えている。早くビジネスとしての成果を出すことは重要である。
6. 新たに開発された技術が、他の製造品又は製造工程等に使用される見込み(実用化の時期等)について	<ul style="list-style-type: none"> ・小型の加速器が普及することで貢献できるのは医療機器分野。当社の親会社であるVarianは医療機器メーカー。Varianは主要顧客であり、製品を多く納品している。 ・他に副次的な分野としては、癌発見・治療、アイソトープによる放射線検知、のような、スキャニング技術への応用が有望である。 ・レーザーや各種衛星(放送、気象、通信)などの分野にも貢献できるであろう。 	<ul style="list-style-type: none"> ・スピンオフを整理する時は、時間的な整理も必要である。 ・クライオモジュール技術の発展であれば3-4年で効果が出てくる。 ・一方で、機器や技術だけではなく産業プロセスのイノベーションまで巻き込むようなスピンオフは10年程度の時間を要する。食品分野や医療分野に貢献できるようになるまでには、それくらいかかる。航空宇宙分野にも5年くらいかかるであろう。

	日本	日本
	三菱重工業	三菱電機
1. 過去10年間に使われた加速器又は加速器構成部品製造の技術的な経緯、その技術の現在の使用状況について	<p>(1) MHIの加速器関連事業の概要</p> <ul style="list-style-type: none"> M社は、線型加速器をキーテクノロジーとして、加速器製品を製造・販売 もとは常伝導加速管(Cバンド、Sバンド)が得意分野、最近では超伝導加速空洞(Lバンド)を手がけている。 <p>(2) 常伝導Cバンド加速管の開発・販売</p> <ul style="list-style-type: none"> 常伝導Cバンド(6GHz)加速管の高い技術を保有(SACL Aへ導入)。常伝導加速管は、質の面で国際競争力を維持 <p>(3) Cバンド加速管技術を応用した放射線治療装置の開発・販売</p> <ul style="list-style-type: none"> M社は、Cバンド加速管技術を応用した、軽量・コンパクトな放射線治療装置を世界で初めて開発。これまで、20~30台程度の販売実績あり。 Cバンドの加速管技術は、1980年代から90年代のJLCプロジェクトを通して開発され、SACL AのXFEL(世界トップレベル)につながる。 <p>(4) 超伝導高周波加速空洞の開発・販売</p> <ul style="list-style-type: none"> SC加速空洞は、KEKのTRISTAN加速器において世界で初めて採用。M社が設計・製造を担当 その技術をもとに、KEKB加速器向けの超伝導クラブ空洞、ILC用SC加速空洞(30台)を納入 <p>(5) 超伝導加速空洞を巡る世界の動向、ILCの位置づけ</p> <ul style="list-style-type: none"> 歴史的にみると、加速器は日本、米国、ヨーロッパで独自の進化 ヨーロッパは、域内で加速器技術や産業を育てることを重視 日本はこれまで常伝導中心であったため、超伝導の面でヨーロッパに若干遅れている面あり 	<p>(1) 加速器関連事業の概要</p> <ul style="list-style-type: none"> 同社の加速器なし加速器関連部品の分類は、以下の3つ。 ■研究用加速器: KEK、JAEA、SPRING-8に納品。主な機器は、超・常伝導の電磁石、加速空洞(キャビティ)などである。 ■医療用加速器: 粒子線治療装置。 ■応用分野としてMRIの超伝導マグネット。MRIシステムメーカーに納品。 ・1960年代から研究用加速器を発祥として展開。発電機、モーター等の巻線技術等から派生して加速器のコンポーネントを製作。超伝導関連の技術もあり、加速器の検出器用の磁石、集束用の超伝導磁石などへ応用展開 <p>(2) 超伝導磁石</p> <ul style="list-style-type: none"> 超伝導マグネットは多くの納入実績あり、それから派生してMRIの超伝導マグネットもビジネスとして展開中。スーパーKEKBの衝突点の最終収束用超伝導マグネットも製作中。国内で水平型MRI用のマグネットを量産できるのはM社のみ 磁石の線材は、外部から調達。磁石の巻線加工・組立・試験がM社の領域。MRI用の超伝導磁石は、研究をやる過程の派生で社内開発した。もともと巻線技術に長じておりその応用として、MRIの超伝導マグネットのソレノイドを巻いた。 <p>(3) 超伝導加速空洞、クライストロン</p> <ul style="list-style-type: none"> 超伝導キャビティは作っているが、国内ではあまり需要がない。国内で稼働中の超伝導加速空洞は殆どがM社製。クライストロンもやっている。KEKの入射器のSバンドクライストロンも過半はM社製。最近では、SACL AにCバンドクライストロンを納入 <p>(4) 医療用粒子線治療装置</p> <ul style="list-style-type: none"> 医療用の粒子線治療装置(陽子と炭素)の装置を供給。現在、建設中も含め国内で19の粒子線治療施設(シンクロトロン)があり、うち10施設はM社製。加速器からコントロールシステム、治療計画システムまでをシステムインテグレーションとして展開
2. 10年前から現在までの加速器又は加速器構成部品等の販売数・販売額の推移について	<ul style="list-style-type: none"> M社は、大型加速器プロジェクトに加速空洞を供給してきた。SACL Aは400億円、J-PARCは1,500億円の規模であるが、加速空洞はパラメータとなるためそれほど大きな販売額とはならない。 M社の高周波加速空洞の売上高は、年によって山・谷はあるが、平均すると年間20~30億円程度 Cバンド加速管技術を応用した放射線治療装置の販売実績は、世界で20~30台、日本では10~15台程度 	<ul style="list-style-type: none"> 年度で売上変動。直近数年(5年)は100億円/年前後の範囲で推移(MRI用マグネット、粒子線治療装置システム全体、研究用加速器の合計) ・10年前は50億円程度。MRI用のマグネットが増えてきた。粒子線治療装置(10年間で7施設)も増加した。全国10施設うち、建設中は2施設。10年間でカウントされているのは7施設。
3. 国内外を問わず、大型加速器の製作・建設による産業への技術移転(スピノフ)の事例の内容について	<p>(1) 米国Varian社の医療用電子加速器開発</p> <ul style="list-style-type: none"> 医療用電子線加速器で世界の6割以上高いシェアを持つVarian社は、昔はクライストロンや加速管のメーカーであり、その高エネルギー加速器の技術をビジネスにした成功例である。 <p>(2) 日本MHIのCバンド加速管技術を応用した放射線治療装置の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> M社は、蓄積してきたCバンドの加速管技術を応用した、軽量・コンパクトな放射線治療装置を世界で初めて開発 	<p>(1) CERNのGeant</p> <ul style="list-style-type: none"> M社は医療用粒子線治療装置には、CERNが開発したGeantというコード(ビームと物質の相互作用をシミュレーションするコンピュータプログラム)を使用。使人の治療をするのに高エネルギー物理学のコントロールのシミュレーション・コードが役に立っている。
4. ILC製作・建設のために新たに開発・導入されると考えられる技術分野、製品分野について	<p>(1) 検査技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ILCでは、加速空洞の内部表面検査用の「京都カメラ」が開発された。 京都カメラは、ミクロン単位で表面の不具合を検査できる、ハレーションを起こさずCCDをキャッチできるなど非常に高性能 <p>(2) 溶接技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 加速空洞の溶接の一部には高いレベルのレーザー溶接技術を使用 9連加速空洞では電子ビーム溶接技術を使用 <p>(3) プレス加工技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 加速空洞のお椀をつくる際には、純ニオブ板(2.8mm)のプレス加工技術(深絞り)を使用 現在では普及技術であるが、当初は米国のジェファソンラボの指導を受けた <p>(4) 電解研磨技術</p> <ul style="list-style-type: none"> SC加速空洞の加速勾配を高めるために重要なのが空洞内の電解研磨 ILCの要求性能31.5 MV/mで高い歩留まり率を達成するためには電解研磨が不可欠 現在日本では、KEKに電解研磨装置があるが、量産段階では、生産現場に近いところに電解研磨装置が必要 また、量産段階では大量のキャビティの内面検査・表面処理・性能試験のフィードバックを何回もかけて、量産用のプロセスをつくりあげていく必要あり <p>(5) 真空技術</p> <ul style="list-style-type: none"> クライオモジュールの組立はクリーンルームで行う必要がある。現在、MHI社内にはクライオモジュールを組立てるクリーンルームはなく、KEK(STF棟)で組立をやっている。もし社内であれば、イタレーション(検査・製造のフィードバック)が早くなる。 ILCのクライオモジュールの特徴は、チタンヘリウム容器(チタンジャケット)と加速空洞が溶接一体型の構造となっている点。チタンヘリウム容器の中の加速空洞内は超高真空技術が必要 	<p>(1) ILCの超伝導マグネットについて</p> <ul style="list-style-type: none"> ILCの超伝導マグネットはクライオモジュール(各々につき1台)、最終収束点に必要。最終収束点の超伝導マグネットは、米国で開発。 では性能が出ているが、1万数千台が全部同じ性能(31.5MV/m)になるかという点、ベンダーも分かれるので品質管理も重要課題。空洞の要求性能は出ているが、それでR&Dが終わったということではない。 ILCのエネルギーアップには、トンネルの伸長、加速勾配の向上が必要。加速勾配の数字は高ければ、空洞の長さを短縮できる。加速勾配を上げる手段は、クライオモジュールの中の加速空洞を取り替えること。しかし大投資が必要になり、別プロジェクト(現計画の後)になる。ただし、こうした見直しを取込んでプロジェクトを進めることが重要。 <p>(2) ILCの超伝導加速空洞(キャビティ)について</p> <ul style="list-style-type: none"> 大量の加速空洞を、同じ性能を保持したまま製造する生産技術が重要。R&D(少数)では性能は出ているが、1万数千台が全部同じ性能(31.5MV/m)になるかという点、ベンダーも分かれるので品質管理も重要課題。空洞の要求性能は出ているが、それでR&Dが終わったということではない。 ILCのエネルギーアップには、トンネルの伸長、加速勾配の向上が必要。加速勾配の数字は高ければ、空洞の長さを短縮できる。加速勾配を上げる手段は、クライオモジュールの中の加速空洞を取り替えること。しかし大投資が必要になり、別プロジェクト(現計画の後)になる。ただし、こうした見直しを取込んでプロジェクトを進めることが重要。 <p>(3) ILCの陽電子源、電子銃、ビーム制御について</p> <ul style="list-style-type: none"> ILCの陽電子源については、まだR&Dが必要。 スピンの揃った、電子と陽電子をぶつけるのが理想なので、それに向けた技術開発は要所が必要。ILCでは、TDRはあり単品の性能は出ており実現に近いところにはいるが、マスプロダクションの技術や細部の技術にはもう少しR&Dが必要 <p>(4) ILCのクライストロンについて</p> <ul style="list-style-type: none"> 東芝電子管デバイスとTHALES(仏)は、ILC用のクライストロンの開発に成功。ただし、電力エネルギー変換効率が6割程度で効率が悪い。変換効率を上げると省エネにつながる。ILCの仕様を満たす、クライストロンはあるが、それで満足するか否かは別問題 RFは強いほど、(加速勾配が一定とすれば)1台のクライストロンでRFを供給できるクライオモジュールの台数が増え効率的。ただし、1台での供給モジュールが増えると、1台がダメになった場合、死ぬモジュールも増えるので、冗長性との関係性を考慮した設計ポリシーに関わる問題となる。
5. 新たに開発された製品が商品として販売される可能性と売上規模の見直しについて	<ul style="list-style-type: none"> 上記のカメラ技術や溶接技術について、商品及び売上規模イメージはあまりない。 小型、軽量な放射線治療装置については、現在販売中である。 	<ul style="list-style-type: none"> M社がILCに関わることによって、画期的な製品ができるかは、現時点では全く予言ができない。予言ができないから画期的なものとなる。
6. 新たに開発された技術が、他の製造品又は製造工程等に使用される見込み(実用化の時期等)について	<p>(1) カメラ技術の応用</p> <ul style="list-style-type: none"> ILCで開発された京都カメラは性能が高すぎるため他産業分野での適用や応用は限定的。航空機分野(機体、燃料タンク等)やロケット分野は若干あるかもしれない。 <p>(2) 溶接技術の応用</p> <ul style="list-style-type: none"> 加速空洞のセルとセルの間の「強め輪(スティフナー)」の溶接に使われる、中が見えない部分で可能なレーザー溶接技術は、他の産業分野でも使える可能性あり 加速空洞本体の溶接に必要な電子ビーム溶接技術は、高度技術ではあるが、真空中の溶接が求められる分野はほとんどないため応用範囲は限定 <p>(3) 加速管技術の応用</p> <ul style="list-style-type: none"> M社は、大規模加速器プロジェクトを通して蓄積したCバンドの加速管技術を応用して、従来の約半分長さの加速管を適用することによって、軽量・コンパクトな放射線治療装置を世界で初めて開発 	<p>(1) 加速器技術の応用</p> <ul style="list-style-type: none"> ILCで加速勾配をより高める技術が開発されれば、加速器が短くなり(小さくなり)エネルギーの高い電子線が得られようになる。小さくなると加速器が企業の工場等に入る。例えば、製造ラインの溶接検査用、港湾施設のX線非破壊検査用、放射光装置など。特に光を用いる分析装置(小型加速器からの電子→アンジュレータ→光の発生)を各企業単位で持つようになれば、日常的な分析等は企業内で行えるようになる。 なお、加速器の小型化(又は周波数を上げる)のためには加速空洞、クライストロン、導波管、カプラ等の全体のサイズを小さくすれば良いが、工的に小さいものを作るのは技術的に非常に大変。新たな開発要素(真空、絶縁など)が山積 <p>(2) ナノビーム技術の応用</p> <ul style="list-style-type: none"> ILCのナノビームの制御技術は、将来応用されるかもしれない。 <p>(3) 超伝導技術の応用</p> <ul style="list-style-type: none"> 液体ヘリウムの扱い関連で何かあるかも。また、ソフトウェア技術(コントロールシステム等)の可能性あり 超伝導のマグネットの応用分野を拡大することは難しい。現在、超伝導マグネットで商用ベースになっているのはMRIぐらい。後はNMR用や研究用のマグネットに限られる。

	日本	日本
	日本高周波	アルバック
1. 過去10年間に使われた加速器又は加速器構成部品製造の特徴的な技術は何か。また、その技術の開発の経緯、その技術の現在の使用状況について	<p>(1) 日本高周波の加速器関連事業の概要</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 放送やマイクロ波通信向けの導波管 ② 半導体製造装置用製品(マイクロ波電源等) ③ 加速器用機器(大電力を必要とする加速器、プラズマ核融合等で使用する特殊な機器) <p>・加速器関連事業(直近10年間)はJ-PARC、SACLA、Spring-8、KEKにおいて、導波管、高電圧・高周波電源、低電力高周波制御システム等の機器開発、製造を、各要求仕様に応じてカスタムメイド。</p> <p>・その他、中部シンクロトロン、BNCT、佐賀県放射光等国内の加速器施設はほぼ全てに關係。</p> <p>(2) J-PARCセンターでの実績</p> <ul style="list-style-type: none"> ・J-PARCには50 GeVメインリングとリニアック。メインリング向けに、高電圧電源として、ビームを蹴り出す「MRキッカー電源」10台、ミュオンキッカー電源1台(物質生命科学研究)、30kAの電磁ホーン電源1台(ニュートリノ実験)を納入。 ・リニアック向けには、324MHzクライストロン出力回路システム(導波管)20セット、972MHzクライストロン出力回路システム(導波管)、これらの制御システム、位相検出器等を納入。 <p>(3) SACLA、Spring-8での実績</p> <ul style="list-style-type: none"> ・Spring-8では、Sバンド真空導波管、切替器、サーキュレータ、508MHz大電力導波管、SACLAでは、SバンドCバンド真空導波管、高精度充電器(クライストロン回りの電源)、密閉型変調器電源、高周波増幅器を開発。 <p>(4) KEKでの実績</p> <ul style="list-style-type: none"> ・STFやC-ERL向けには、Lバンド1300MHzに対応した導波管、長パルスクライストロン電源等を納入。KEKBリングやPF(放射光科学研究施設)には、508MHz大電力ウォーターロード導波管を開発。入射器リニアックでは、Lバンド、Sバンド、Cバンド、Xバンドの真空導波管、Sバンドクライストロン電源、充電電源、2856MHz小型励振器を開発。 	<p>(1) アルバックの加速器関連事業の概要</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2009年にILC用の高純度Nb材の開発を開始した。 ・マーケット上の狙いとしては、ILC加速器空洞市場の日本分の中の半分～1/3程度のシェアを当社で確保することを目指している。 <p>(2) 高純度Nb材精製(EB溶解によるインゴット精製)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・アルバックで製造した高純度のNb製パイプを、KEKのバジ成形成加工機で成形して9連加速器空洞にする手法を取ることで、コストを通常の0.4倍程度まで下げることが目標に、2010年から開発に着手し、KEKとの共同研究を2011年4月に開始した。 ・RRR(残留抵抗比)は、金属の純度を測る重要な指標である。超電導状態を作る上で、残留物の少ない高純度な素材がパイプに使われていること重要である。RRRが300より大きいものが良いとされる。 ・当初、当社が製造したNbの溶解インゴットは、自社にRRR測定器がないために、都度、他社に持ち込んでいた。その後、アルバック社内にRRR測定器を設置、KEKで測定した値と比較検証するのがスムーズにできるようになった。 ・当社では600kWEB溶解炉を保有している。高純度インゴット製造のためにはこのレベルのものが必要である。 ・成形する際、熱を加えるとRRRが低下してしまう。それについては、RRRが落ちないような技術的な工夫を施している。 <p>(3) パイプ成形(ただしKEKの設備で実施)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・技術的な困難は、Nb製パイプを作った後の成型段階で9連のセルを作るプロセスである。ドイツの企業でもトライして上手くいかなかったと聞いている。昨年(2014年)12月にKEKで、ようやく一つのセルを成形することに成功した。 ・Nb製の加速器空洞の業界ではMHIがリードしているが、MHIもコスト低減のためにダンベルのシームレス化を検討している当社のシームレス管の特性の高さが上手く見せられれば、低コストで歩留まりのいいものができることのアピールになり、後発の当社でも、加速器業界に太刀打ちできると考え、また、MHIに協力する方向性もあり得る。
2. 10年前から現在までの加速器又は加速器構成部品等の販売数・販売額の推移について	・年間売上高30億円の約1/3が加速器関連の売上となる。過去10年間の販売額の推移では、全体的な傾向はない。プロジェクトがあれば伸び、無ければ落ちるといふ状況。	(アルバックはILCから加速器関連事業に参入したため、本質問は該当せず)
3. 国内外を問わず、大型加速器の製作・建設による産業への技術移転(スピノフ)の事例の内容について	<p>(1) 当社の実績</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)は、加速器を用いた医療機器であり、当社のJ-PARC向けのRFのシステムを架台から何からみんなそのまま使用。 ・重粒子線治療装置には加速器を使うが、当社はシンクロトロンのRFで得た技術である小型励振器を納入。 ・過去には医療機関で使用する電子滅菌装置の納入実績がある。この装置にはSバンドのリニアックを使用し、高エネ研でつくったSバンド導波管やクライストロン電源を使用。 ・数は少ないが、非破壊検査装置でも加速器(3GHzのRF)を使用するため、納入実績。 	<ul style="list-style-type: none"> ・基本的には、加速器を用いた研究開発(国プロジェクト等のアカデミックなもの)への参画をイメージしている。 ・(1)高純度インゴット・パイプ製造技術 ・ImPACTについては、(4)核変換システムの要素技術最適化に参画する計画である。パイプ製造技術を応用することで要素技術確立に貢献していく。 ・また、スポーツ空洞の開発に従事しており、ILCで開発した高純度インゴットによるパイプ製造技術を転用している。
4. ILC製作・建設のために新たに開発・導入されると考えられる技術分野・製品分野について	<p>(1) 量産のための技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当社が今までにILC関連に携わったのは、KEKのSTFであり、主にLバンド導波管素子の製作。今後、特に量産のための技術開発が必要と思われる。 ① 短期間に量産するので生産性の大幅な向上(製造用のロボット開発、溶接でなく鋳物で製造等) ② コスト低減の要求に対する構造簡略化及び無調整化 ③ メンテナンスフリー、信頼性、品質の向上によるトラブルの低減 <p>(2) 導波管素子</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ILCに向けて技術開発、改善はおそらく今後必要。コストダウンをしなければならない。 ・ダミーロードの場合、コストダウンするためには、中に使っている電波吸収体を極端に減らす必要。 <p>(3) ILCのTDRへの対応</p> <ul style="list-style-type: none"> ・導波管素子のように実際の現場で寸法が決まらないと製造方法が決まらない。 ・開発が終わる個々のコンポーネント単位の製造図面があれば決められた時間で大量生産可能だが、粗々製造して現場で調整する方式では、コストがかさみ、6年以内に製造するという事も守れない。 <p>(4) 全体マネジメントの重要性</p> <ul style="list-style-type: none"> ・KEKがクライストロンからクライオモジュール迄の接続方法を試行しているが、クライストロンギャラーと加速管はフロアが違う。実際のILCでは狭いかまぼこ型空間で隣接するため、レイアウトが恐らく変更になる。パラ発注だと現場での設置の調整がかなり大変になる。 ・ILCは、個々の技術に劣らず組織づくり等全体マネジメントが大変重要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ILC需要は一過性であり、開発した技術を応用し、それ以外の分野・市場を開拓していくことが重要である。今後考え得る分野としては、地球浄化システム、国際エネルギーネットワークシステム、新資源物質創製、オゾン層生成装置等があり、これらに関わるメーカーに素材・部品を納入して行くのが当社の戦略になる。 (1) ADS(加速器駆動核変換システム) ADSにより、プラチナのような希少金属の再利用が効率的になることも期待されている。また、原発の近隣にADSを設置できれば核廃棄物処理の時間も大幅に軽減される。海外諸国では原発からの破棄物処理への利用を見据えた開発を行っている。 ・ADSという単語は二重の意味で使われており、やや混乱を招いている。一つは原子炉のひとつで、発電システムの意味合いである。もうひとつは、前述の通り核変換システムであり廃棄物処理の意味合いで使われる。(後者の場合でも、最終的には核変換で生じた熱を電力に変換するので、廃棄物を燃料とした発電とも言え、発電自体は行われる) (2) ERL計画 ・ERL計画(放射光計画)にも参画を予定している。3年後の実現を目指して開発中。リニアックベースであり、放射光生成に使用して性能が劣化したビームからエネルギーのみ加速器空洞に回収しビーム自身は捨て、電子銃から新たに性質の良いビームを取り出し加速に使用する。放射光発生用加速器。 (3) 他社を含めた企業のILC・加速器関連動向について ・キャビティの内面処理については、当社はKEKの早野先生のところに持ち込んで処理を依頼している。アルバックとしてはどこまで設備投資をしていくかを見極める必要がある。 ・内面処理については、エネルギー関連企業等他社に連携しないかと声をかけたが、企業としては確実にマーケットが取れると言う展望がないと手を出さずいたため、ILCに進出しようとする企業は少ない。 ・アルバックのILC関連事業は、現状ではNb材のみである。低温系冷凍機やポンプ等もアルバッククライオという子会社が製造している。
5. 新たに開発された製品が商品として販売される可能性と売上規模の見直しについて	下記参照	・当社が考え得るILC関連技術の転用先は他の研究開発プロジェクトであり、今回の開発で得た技術をもとにして、新たな市場に参入することを考えている。
6. 新たに開発された技術が、他の製造品又は製造工程等に使用される見込み(実用化の時期等)について	・産業用途を考えると、Lバンドが一つのネックとなる。電源装置ではビジネス機会はあるかもしれないが、Lバンドをそのまま他に使うのは難しい。製造するための技術を他に転用することはあるかも知れない。	・産業への技術移転を検討中である。

	スイス	ドイツ
	CERN (European Organization for Nuclear Research) 欧州合同原子核研究機関	DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron) ドイツ電子シンクロトロン研究所
【加速器技術の技術的波及効果】 1. 大型加速器の製作・建設のために新たに開発・導入された技術分野や製品	(1) 超伝導磁石関連技術 ・LHC加速器の実現には9T(テスラ)の強力な超伝導磁石を開発する必要があった。これはNb-Tiという素材と付随する新技術の開発によって達成 ・将来加速器のHL-LHCでは11Tの二重極磁石、13Tの四重極磁石、FCCでは16Tの磁石が必要になる。Nb3Snという新素材と関連技術の発展が、今後の高磁場磁石開発の鍵 (2) 大量生産に関連するノウハウ ・LHCでは装置・設備の大量生産、例えば二重極磁石1,232個、四重極磁石400個を4年間で製造する必要があった。これらの大量生産のための技術・契約のシステム作りが行なわれた。 (3) その他 ・加速器のコリメータ(ビーム絞り)のための新材料が開発された ・磁石で新規性の高い開発が展開された一方で、RF技術については、LEPで採択された技術ほぼそのまま使用し、大きな技術開発の必要はなかった。	(1) 加速器関連技術 ・HERAのための超伝導電磁石 ・EXFELのためのクライストロン開発 ・加速器制御システム: ATCAシステムを業界で初めて導入し、高可用性を実現 (2) 測定器関連技術 ・ハドロン・カロリメータに用いるシリコン光電子増倍管(SiPM)は2000年頃にロシア企業により開発。現在は、浜松ホトニクスが開発したSiPMが大成功を収め、様々な応用が展開 ・DESYとハンブルク大学の共同研究で、SiPMの医療応用としてPET装置への搭載を開発。数年以内での実用化の期待 ・CERNで開発されたマイクロパターンガス検出器(MPGD)を、DESYが初めてILC測定器に用いた。MPGDはセキュリティ分野において、人間や貨物等を対象とした大型検査装置にも応用 ・ILC用のビームのパルス動作に対応した測定器が開発されている。そのため大容量コンデンサが開発されているが、他分野での多くの応用が期待される。 (3) XFELにおける応用技術の例(調査結果) ・冷却装置: ガス精製、ガス液化技術、超伝導磁石冷却 ・加速空洞: ニオブおよび他の非鉄金属の製造、短波長光源 ・高周波発生装置: レーダー、衛星、通信、特殊設備建設、機械工学 ・高周波分配装置: 医療用設備、電子管 ・低電力高周波: NMR、高周波工学 ・電磁石: 磁気共鳴トモグラフィ ・施設: 化学処理施設
2. 大型加速器の製作・建設の過程でサプライヤー契約を結んだ企業数、業種分野、契約額	(1) 契約数、契約額 ・主要な契約が約90件、100万スイスフランを越える規模の契約が約200件 ・二重極・四重極磁石、クライオジェニクス(ヘリウム圧縮機・冷凍機・輸送ライン、クライオスタート等含む)、ケーブルなど (2) 企業との契約形態 ・リスク分散のため同じ事業を必ず複数企業に委託("+1 strategy") ・コスト削減のために業務を細分化して企業に委託、大元の設計・監督はCERNが行うという方針 ・産業界と共同推進という哲学を持ち、その上で、発注業務の遂行能力・適性は慎重に見極め ・中規模企業(200~500人)は、市場の新規開発やCERNからのノウハウの吸収に意欲的。このため中規模企業との契約が多い。 ・CERNが管理監督の主導権を持つために、2次以上の下請けは原則禁止	(1) 主な契約企業と分野 ・WTM社 → トンネル掘削 ・Zanon社およびRI社 → 加速空洞とモジュール ・スピンオフ企業 → イメージング検出器技術 ・その他企業 → 半導体センサー
3. 大型加速器の製作・建設による産業への技術移転(スピンオフ)の事例の有無。事例有りの場合、企業名、製品名、新たに創出された市場規模等	・様々な例あり。特に超伝導磁石、超伝導線材、高精度変圧計などが医療機器製造分野に転用	・超伝導高周波加速技術が先端加速器技術のスタンダードとなっている。 ・2社のスピンオフ企業が起業、イメージング検出器。
4. ILC製作・建設のために新たに開発・導入されると考えられる技術分野、製品分野	(1) ILCの技術に関する見解 ・現在の加速器技術はILCを十分やれるレベルに達している(EXFELを通して) ・ILCではビームの制御(emittance, luminosityの制御)の方が問題ではないか。ビーム衝突を行わないEXFELの運用を通じて解決される問題でもない。 ・LEPの頃からILCのためのR&Dが既に多く実施されてきたが、まだ新技術導入の可能性も考えられる。 ・米国のSCSL2の加速器ではFNALで報告された窒素処理の新技術の導入が決定。ILCへの導入も可能性としてある。	・費用効率を高めた超伝導高周波加速技術 ・トンネル内におけるビーム伝達システム ・高精度コントロールおよびフィードバック ・ビーム安定化システム ・高精度測定器システム ・新たな光子および粒子のイメージング検出器システム ・加速空洞の表面処理技術 ・既にILCの要求仕様を超える空洞は生産できているが、仕様を満たさない加速空洞もある。表面処理等の作業過程における品質管理を上げていくことで平均性能の向上が期待される
5. 上記の新たに開発された技術が、有効に利用されると予想される産業分野、製品分野	・加速空洞等の大量生産に関するノウハウからのスピンオフが主に予想される(加速器の基礎開発からのスピンオフはLHCなどである程度達成済み) ・超伝導の製造に関するあらゆる領域がスピンオフに寄与するであろう。	・医療分野での応用。 ・加速器駆動システム(核変換技術への応用) ・原子構造解析 ・先端レーザー光の応用 ・大規模データ処理 ・安全性の高い遠隔操作技術

	スイス	ドイツ
	CERN (European Organization for Nuclear Research) 欧州合同原子核研究機関	DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron) ドイツ電子シンクロトロン研究所
【加速器の利用】 1. 加速器の需要(直近5年の利用実績、直近5年の購入状況、今後の利用見込み、必要とされる加速器の性能等)	(1) CERNの今後の加速器プログラム ・2015年の3月からビームを、また5月から衝突を再開 ・2015年～2023年: 設計値である重心系エネルギー14TeVで運転 ・2020年～2023年: HL-LHCに向けたアップグレード ・2023年～2032年: HL-LHC運転 ・この間の開発としては、新素材Nb3Snに対する理解を深め、関連技術を熟練することが最大の目標 ・その後の計画として、CLICとFCCのR&Dが遂行中 ・RFIに関する開発は最低限で留めておく予定	・世界的に見て加速器ブームが起きている。 ・DESYではPETRA IIIの第二次および第三次拡張計画が完成間近。FLASHが現在FLASH IIIに拡張中。XFELの建設が進行中など
2. 過去10年間の加速器を利用した研究活動内容とその成果	・特に言及なし	・DESYには、量子科学および素粒子物理で多くの実績あり
3. 過去10年間で加速器を導入したことによる研究活動内容等の変化	・特に言及なし	・物質構造、化学、生物などにおいて光源施設が利用 ・医療における応用
4. 過去10年間の加速器を利用した際の問題点(コスト・性能等)	・加速器の維持・保守が非常に重要。 ・特に、放射線による損傷が深刻な部位の部品の交換(電子回路等)、クライオスタット容器内の不純物の除去などのメンテナンスのため一定の運転期間後に装置を全て停止させて総点検を行うことが必要 ・LHCでは、将来は総点検を行うために新技術開発が必要になることも想定(以下事例): ■加速器トンネル内の線量を無人で測定するシステム整備(運搬用モノレールに線量計を実装) ■ビーム収束磁石周り等の高線量区域におけるネジ締め等の作業を行うロボット開発 ■加速器の電子回路の地上移転を可能にする高性能ケーブルなどの開発	・光源施設の可用性が顕著に高まった。費用の算定は概ねよくできている。運用費用はそれなりにかかる。 ・インカインド(現物出資)による研究協力は柔軟な対応が必要 ・技術移転は困難を伴う
5. 加速器の利用の需要が増えて行く分野、有効な分野についての見通し	・医療分野など	・光源施設の応用。自由電子レーザーをもちいた新しい応用。加速器駆動システム。

	フランス	フランス
	LAL (Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire) 線形加速器研究所	CEA/Irfu (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives / Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers) 原子力・代替エネルギー庁 宇宙基礎科学研究所
【加速器技術の技術的波及効果】 1. 大型加速器の製作・建設のために新たに開発・導入された技術分野や製品	<ul style="list-style-type: none"> 超伝導RFカブラー(XFEL, ILC) 電子入射器の研究開発 レーザー輸送光学系、光共振器 (ELI-NP, THOMX, ATF) 逆コンプトン散乱によりガンマ線(X線)を発生させる技術の開発 革新的なビーム装置の開発: プラズマ加速、ダイヤモンド検出器等 	<p><以下はEuropean XFELへの貢献に基づくリスト></p> <ul style="list-style-type: none"> クライオモジュール実装 (ISO4級クリーンルーム、アライメント、クライオスタック) 磁気シールド (絶対温度2Kで動作) 超断熱ブランケット クリーンかつ非磁性体の締め付け具(特殊なステンレスチール合金を仕様) フェロシアン化銅(CuFC)およびアルミ材質のシールド 超伝導温度で動作する高分解能ビーム位置モニター 品質制御と品質管理のシステム
2. 大型加速器の製作・建設の過程でサプライヤー契約を結んだ企業数、業種分野、契約額	<ul style="list-style-type: none"> Thales & RI: 1600万€, カブラー Alsyom: 500万€, optical recirculator Amplitude Technologies: 800万€, レーザー REOSC: 13万€, 光学用ミラー Onefive: 12万€, laser oscillators SIGMAPHI: 135万€, 磁石、電源、キッカー Instrumentation Technologies: 22万€, ビーム位置モニター PMB: 20万€, 加速器部分 	<p><以下はEuropean XFELへの貢献に基づくリスト></p> <ul style="list-style-type: none"> Alsyom社: ~1000万€ (クライオモジュール実装作業) MecaMagnetic-Aperam社: ~100万€(磁気シールド) Jehier社: ~100万€(超断熱ブランケット) 40-30社: ~50万€(真空部品、クリーン部品、銅・アルミのシールド) Entegris Cleaning Process社: ~20万€(特殊ステンレスチール) SGS社: ~30万€(超伝導加速空洞溶接部のX線検査) Zanon社: ~100万€(超伝導加速空洞: XFEL, IFPIF, ESS, SPIRAL2) RI社: 契約額は回答無し(超伝導加速空洞: XFEL, IFPIF, ESS, SPIRAL2) SDMS社: 契約額は回答無し(容器、ステンレスチール)
3. 大型加速器の製作・建設による産業への技術移転(スピノフ)の事例の有無。事例有りの場合、企業名、製品名、新たに創出された市場規模等	<ul style="list-style-type: none"> THOMX コンパクトX線源 (建設中) ELYSE (Paris-Sud大学)、LALが建設を担ったピコ秒分解能を持つパルス電子ビーム施設。化学分野での利用。 発展途上国における加速器計画の建設・利用 (ヨルダンのSESAME計画など) 	<ul style="list-style-type: none"> Accel社 (現在はRI社): 超伝導四極磁石 Pantechnik社: 大強度陽子源、中国とインドに二施設 Alsyom社: XFELのためのクライオモジュール実装。DESYからCEAを経由してAlsyom社に技術移転が行われた。
4. ILC製作・建設のために新たに開発・導入されると考えられる技術分野、製品分野	<ul style="list-style-type: none"> 超伝導高周波技術 (高出力カブラー) 省電力型クライストロン 高出力ビーム制御の安全手順確立: 10 MWビームダンプ、ビーム収束等 ナノメートルの位置分解能を持つビーム位置測定装置 大規模な多層・連結フィードバック制御ループ 	<ul style="list-style-type: none"> 超伝導高周波技術 (高加速勾配空洞)、磁場シールド表面膜を含む 絶対温度2度で動作するマイクロン分解能のビーム位置モニター RFエレクトロニクス 検出器技術 チューニングシステム
5. 上記の新たに開発された技術が、有効に利用されると予想される産業分野、製品分野	<ul style="list-style-type: none"> 電子デバイス産業 電磁波技術 イメージング 重機工業および精密機械工業 機械部品と電子部品の大規模統合 大規模計算機制御システム 	<ul style="list-style-type: none"> クライオモジュール実装技術 測量システム実装技術 真空システム実装技術 (ISO4級クリーンルーム対応) チタン溶接技術・検査技術 X線検査 超純度金属製品 (ステンレスチール、銅、アルミ等) の大量生産技術

	フランス	フランス
	LAL(Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire) 線形加速器研究所	CEA/Irfu(Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives / Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers) 原子力・代替エネルギー庁 宇宙基礎科学研究所
【加速器の利用】 1. 加速器の需要(直近5年の利用実績、直近5年の購入状況、今後の利用見込み、必要とされる加速器の性能等)	(1) 現在進行中の契約 ・XFELカプラー: 品質を重視 ・ELI-NP: ビーム性能を重視 (2) 今後の見込み ・LCLS IIカプラー(LALは参加しないが、Thales社は入札に参加中) ・ナノビーム等のビーム制御技術 ・超コンパクトX線源: 医療への応用 ・高強度・低エミッタンス電子・陽電子源 ・高周波技術の試験設備 ・パラメータ可変の電子ビーム: 検出器校正および研究開発、医療	①SPIRAL2 (GANIL): ・1個 電子サイクロトロン共鳴型(ECR)重水素イオン源(電流5 mA) ・1個 高周波四極線形加速器(RFQ) ・12個 低β 重水素イオン加速用クライオモジュール ②IFMIF (六ヶ所村) ・1個 ECR重水素イオン源(電流140 mA) ・1個 低β 重水素イオン加速用クライオモジュール、8個 加速空洞 ③XFEL (DESY) ・103個 クライオモジュール実装 ・各クライオモジュールに8個の超伝導加速空洞(加速勾配25 MV/m搭載) ④ESS (スウェーデン) ・1個 陽子加速用RFQ ・10個 中間β 陽子加速用クライオモジュール ・20個 高β 陽子加速用クライオモジュール ⑤LHC高輝度化アップグレード ・ニオブスズ(Nb3Sn)高磁場超伝導磁石(磁束密度15テスラ)の研究開発
2. 過去10年間の加速器を利用した研究活動内容とその成果	(1) 素粒子・原子核分野 ・ヒッグス粒子の発見と付随する研究成果 ・原子核物理・ハドロン物理 (2) 加速器分野 ・光ビーム施設(シンクロトロン放射施設、自由電子レーザー-FEL施設)の多分野における利用: 固体物理、表面物理、物質科学、化学、生物、医療等 ・核廃棄物の取り扱いに関する研究: 長寿命元素の核変換、加速器駆動未臨界炉	・LHCの物理結果を出すに当たり、CEAで製作に貢献した加速器部品 →450個 超伝導四極磁石(two-in-one型) →CMS測定器: ソレノイド超伝導磁石(磁束密度3.5テスラ) →ATLAS測定器: トロイド超伝導磁石
3. 過去10年間で加速器を導入したことによる研究活動内容等の変化	・当初はLAL敷地内で加速器を建設し研究できたが、近年はLHC等、外部施設で主な研究を実施。今後は超コンパクトX線源等、敷地内に小型の加速器の新たな建設によって再活性化を図る ・加速器物理・技術を重要な学術分野であると捉え、人材育成の取組みを開始	・超伝導技術が高磁場磁石およびRF加速空洞に特化
4. 過去10年間の加速器を利用した際の問題点(コスト・性能等)	・近年の計画の大規模化に伴い、予算規模も拡大している中で、大規模計画に参加し続けることで最先端技術を保つ必要 ・それと同時に、若手研究者の育成と技術の継承のためには、小規模計画も必要で、中規模な研究所であるLALは両者のバランスが重要 ・国内の研究所や大学に立地する小規模加速器において、最先端技術を保ち続けるには人材交流、意見交換を大規模計画も含めて続けていくことが必要	・遅い繰り返し加速器における、超伝導RF加速の経費対運用柔軟性 ・高電界超伝導加速空洞の性能劣化
5. 加速器の利用の需要が増える分野、有効な分野についての見通し	・有効な分野は、医療(様々なガン治療)、食品へのガンマ線照射、物質科学、生物学、化学、固体・表面物理、核廃棄物処理、新たなビームをもちいた検出技術	・超伝導ガントリーの医療分野における応用 ・大強度陽子源および入射器のエネルギー分野における応用 ・他の物理分野における超伝導磁石および超伝導加速空洞の応用

	イギリス	イギリス
	Cockcroft Institute コッククロフト研究所	John Adams Institute ジョンアダムス研究所
【加速器技術の技術的波及効果】 1. 大型加速器の製作・建設のために新たに開発・導入された技術分野や製品	<ul style="list-style-type: none"> ・Daresbury Laboratoryにおいてビームダイナミクス・磁石・真空技術・超伝導加速の各分野で様々な技術開発が行われている。 ●超伝導加速空洞のためのマテリアル開発、超伝導薄膜研究、レーザー・アブレーション技術(表面処理) ●クラブ空洞: LHC, CLIC ●四極電磁石 (JLabと共同) ●ビーム位置モニター 	
2. 大型加速器の製作・建設の過程でサプライヤー契約を結んだ企業数、業種分野、契約額	<ul style="list-style-type: none"> ・セキュリティ・イメージング分野: Rapiscan Systems社、e2v社 ・放射線による水処理技術: Siemens社 ・クラブ空洞プロトタイプ製作: Shakespeare Engineering社 	<ul style="list-style-type: none"> ・Shakespeare Engineering社: クラブ空洞製作, その他特殊な加速空洞の製作 (single unit / low volume)
3. 大型加速器の製作・建設による産業への技術移転(スピノフ)の事例の有無。事例有りの場合、企業名、製品名、新たに創出された市場規模等	<ul style="list-style-type: none"> ・技術波及の例として、放射線による水処理技術の研究開発を進めている。Oxford大学/Bristol大学/Siemens社の予算による共同開発。 ・逆コンプトン散乱イメージングによる貨物検査技術(UCL大学/Rapiscan社) 	<ul style="list-style-type: none"> ・基本的に加速器技術は工業化・商品化されている。 ●レーザーをもちいた大規模アライメントシステム(ETALON社) ●ILCビーム計装技術の光源施設への技術移転(FMB Oxford社: スクリーンモニター、ビーム位置モニター、ビームライン診断装置、高周波増幅器、フィードバックシステム等を商品化) ●逆コンプトン散乱ガンマ線による貨物検査(Cockcroft Instituteと共同) ●医療応用: 陽子線治療用加速器施設が2つ建設中。重粒子線治療(Gray Institute, Oxford)も開発中 ●常伝導電磁石製作(技術移転済み) ●Energy Recovery Linac をもちいた逆コンプトン散乱による高輝度パルスX線生成技術(研究開発中)
4. ILC製作・建設のために新たに開発・導入されると考えられる技術分野、製品分野		ILC関連技術についてはビームライン、磁石、アライメント関連を中心に技術移転が行われている。
5. 上記の新たに開発された技術が、有効に利用されると予想される産業分野、製品分野		クライオジェニクス、超伝導技術は、医療用加速器への応用が期待される。

	イギリス	イギリス
	Cockcroft Institute コッククロフト研究所	John Adams Institute ジョンアダムス研究所
【加速器の利用】 1. 加速器の需要(直近5年の利用実績、直近5年の購入状況、今後の利用見込み、必要とされる加速器の性能等)	<ul style="list-style-type: none"> ・Energy Recovery Linacは過去数年で年間3ヶ月程度の運転実績あり ・VELAは運転開始から1年だが、ERLと同程度の運転を見込む ・購入状況については、基本的に内部調達するため購入品はレーザー等の一部の部品に限られる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・基本的に加速器ビームタイムの需要は供給を常に上回る状況である。
2. 過去10年間の加速器を利用した研究活動内容とその成果		
3. 過去10年間で加速器を導入したことによる研究活動内容等の変化		
4. 過去10年間の加速器を利用した際の問題点(コスト・性能等)		
5. 加速器の利用の需要が増えて行く分野、有効な分野についての見通し		

	アメリカ	アメリカ
	FNAL (Fermi National Accelerator Laboratory) フェルミ国立加速器研究所	SLAC National Accelerator Laboratory SLAC国立加速器研究所
【加速器技術の技術的波及効果】		
1. 大型加速器の製作・建設のために新たに開発・導入された技術分野や製品	<ul style="list-style-type: none"> ・FNALは超伝導RF技術に長けている。ILCやXFEL、TTC (Tesla Technology Collaboration)に取組む中で高度化されてきたもの。 ・FNALで製造したクライオモジュールの超伝導加速電場は31.5 MV/m、とQ値(約10^{10})が、世界記録を示している超伝導加速空洞(SRF)のQ値を向上するために、窒素ドーピング制御技術は重要である。 ・SRF関連の高度な設備(テスト、組み立て)を有している。 	<ul style="list-style-type: none"> ・SLACは世界初のX線自由電子レーザーLCLSを運用しており、現在LCLS-IIを建設中。 ・LCLS-IIIについては、クライオモジュールの50%をFermilabを中心としたコンソーシアムが、Jefferson Labが残りの50%を製造し、Berkeleyがアンジュレーター、電子銃とインジェクターを、Argonneがアンジュレーター真空室を製作し、コーネル大学が高Q空洞の試作とプロセッシング、電子銃オプション等の製造を担当している。
2. 大型加速器の製作・建設の過程でサプライヤー契約を結んだ企業数、業種分野、契約額	<ul style="list-style-type: none"> ・FNALで建設した最後の大型加速器は1990年代半ばのMain Injectorであり、その際の契約情報は入手困難である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・SLACは9連セルのニオブ超伝導キャビティの開発を、民間企業と行ってきた。以降に示す企業の半数はILCの技術要求を満たすものである； 日本：MHI、日立、東芝 中国：Ningxia Orient Company 欧州：EZANON、Research Instruments 北米：NIOWAVE、SEA、PAVAC
3. 大型加速器の製作・建設による産業への技術移転(スピノフ)の事例の有無。事例有りの場合、企業名、製品名、新たに創出された市場規模等	<ul style="list-style-type: none"> ・Tevatron (FNALの大型加速器。LHC以前は世界最大だった)の超伝導線材と超伝導磁石技術がMRI磁石に転用。 ・FNALで陽子線治療用加速器を製造し、カリフォルニアのLoma Linda Medical Centerに納品した。 ・FNALでPET・アイトープ検査用のRFQ加速器を製造、ルイジアナにある病院に納品した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・SLACの施設の一つにSSRLがある。これは最先端の第3世代シンクロトロン光源であり、現在米国内で運転されている5機のシンクロトロン光源の一つ。SSRLでの研究は、医薬品の開発からエネルギー、化学反応、触媒、新規なコンピュータ技術等の幅広い分野に貢献している。 ・LCLS-IIIに急速に予算がつき、台頭してきた背景には、DOEによる産業への技術移転への期待がある。企業にR&Dのチャンスを提供することによって、加速器に関する技術力を全体的に高める狙いがある。
4. ILC製作・建設のために新たに開発・導入されると考えられる技術分野、製品分野	<ul style="list-style-type: none"> ・国際レベルで行うプロジェクトだからこそ、大きな予算がつき、企業も巻き込みやすい。小さなプロジェクトでは難しい。ILCくらいの規模になることで、ビジネス事業化を見込んだ体制が構築できるし、イノベーションに繋がる。 ・中でも、超伝導空洞の開発とそこから生まれる波及はその好例になり得る。 ・高エネルギーで高出力のビームは物質の特性を変える性質を持ち、これもILC特有の効果が期待できる。 	<ul style="list-style-type: none"> SLACの強みであり関心のある領域は高出力RFであり、当該技術の発展を見込んでいる。
5. 上記の新たに開発された技術が、有効に利用されると予想される産業分野、製品分野	<ul style="list-style-type: none"> ・ビッグデータ、安全保障、コンピューティング等、様々な分野の企業がILCの波及技術に関与したビジネスを展開できる可能性がある。 ・ビームによって物質の特性を変えることができる特徴は、道路の路面材質や下水処理に使える。 ・ILCについては、これらのうち高出力(high power)または高エネルギーが必要になるものほど関係性が高くなると考えられる。 環境・エネルギー 工業 医療 安全保障 	<ul style="list-style-type: none"> ・上記高出力RFにより、産業、医療、通信分野での加速器関連設備の発展が促進すると考えている。

	アメリカ	アメリカ
	FNAL (Fermi National Accelerator Laboratory) フェルミ国立加速器研究所	SLAC National Accelerator Laboratory SLAC国立加速器研究所
【加速器の利用】		
1. 加速器の需要(直近5年の利用実績、直近5年の購入状況、今後の利用見込み、必要とされる加速器の性能等)	<ul style="list-style-type: none"> ・現在、FNALでは新しい線形加速器を建設予定である。 ・2019年まで:LCLS-II(電子線型加速器)へのクライオモジュール提供 ・2019年~2022年: FNALの陽子線型加速器(PIP-III)建設 ・ILCへのクライオモジュール提供は、2022年以降になると考えている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・現在、SLACではLCLS-IIの建設を予定している。既往の2マイル加速装置の先頭の1キロをILC技術を使って超伝導RF空洞に変える超伝導加速器である。軟X線領域により関連する施設になる。
2. 過去10年間の加速器を利用した研究活動内容とその成果	<ul style="list-style-type: none"> ・特に言及なし (ただし、Tevatronや他の加速器実験からの研究成果は多大) 	<ul style="list-style-type: none"> ・特に言及なし。
3. 過去10年間で加速器を導入したことによる研究活動内容等の変化	<ul style="list-style-type: none"> ・超伝導RF空洞が電子陽電子衝突型加速器や放射光施設に貢献した。 ・SASE - Self-Amplified Spontaneous Emission Free Electron Lasers (FEL) ・SNS - Spallation Neutron Source ・反陽子ビームの冷却 : FNALでSergei Nagaitsev が陽子反陽子衝突型加速器のルミノシティを増強した。 ・FNALのProton Improvement Plan (PIP)はニュートリノ実験のため陽子ビームのパワーを増加した: 250 KW (prior) => 350 KW (now) => 700 KW (^ 1 year from now)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・特に言及なし。
4. 過去10年間の加速器を利用した際の問題点(コスト・性能等)	<ul style="list-style-type: none"> ・リスクとコストの問題が常に初期段階の問題として、つきまとう。 ・FNALは主としてDOE予算で運営されている。この予算では、公にスピノフなどの貢献をすることができなかった。 ・FNALはイリノイ州の予算を使って、JVになるIllinois Accelerator Research Center (IARC)という施設を準備している。企業や大学と連携しながら、新しい加速器技術とその産業転用について研究をすることを目的としている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・特に言及なし
5. 加速器の利用の需要が増えて行く分野、有効な分野についての見直し	<ul style="list-style-type: none"> ・環境・エネルギー、工業、医療、安心・安全分野など。 ・高エネルギーのビームでの物性変化は展開可能性が大きい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・特にコスト削減が重要であり、削減が実現すれば各分野での需要は増える。

	アメリカ	カナダ
		ANL (Argonne National Laboratory) アルゴンヌ国立研究所
【加速器技術の技術的波及効果】 1. 大型加速器の製作・建設のために新たに開発・導入された技術分野や製品	<ul style="list-style-type: none"> ANLではこれまで大型加速器に関連して、以下の技術・設備の開発をしてきた。 超伝導RF空洞の製作技術 超伝導RF空洞の研磨洗浄技術 CW(Continuous Wave)連続時間構造の超伝導加速技術 電子・イオン源 クライオジェニック設備 	<ul style="list-style-type: none"> 超伝導RF ILC超伝導加速空洞 窒素ドーピングをした超伝導ニオブ空洞はRFの表面抵抗を低減する(Q値を上げる)。これはLCLS-IIでも使われる。 高精度の四重極磁石 ボジトロン源として想定される高エネルギーターゲット 高精度のRFコントロールシステム 高出力カクライストロン(CPI社の300kVのもの)
2. 大型加速器の製作・建設の過程でサプライヤー契約を結んだ企業数、業種分野、契約額	<ul style="list-style-type: none"> Argonne Materials Ordering System (AMOS)というANLから民間企業への発注システムがあり、ここには15-20社のベンダーが登録している。主にAMOSを通じて、主要な部品類の調達をしている。 過去5年間では、40-50社との契約をしている。物理学部門での企業との契約金額は年間\$4M程度である。 	<ul style="list-style-type: none"> 2007年~2013年までの間で\$250K以上の金額の案件として、30件強の契約を締結。 ホットセル、クライストロン、ニオブ9連空洞、RFシステム、RF変換機等の発注をしている。
3. 大型加速器の製作・建設による産業への技術移転(スピノフ)の事例の有無。事例有りの場合、企業名、製品名、新たに創出された市場規模等	<ul style="list-style-type: none"> 超伝導RF開発が主な技術移転である。当該領域においてANLの技術移転により発展したのは、以下の企業である。特に、2番目のAES社はANLからの純スピノフ企業で、その他の企業は、ANLからの技術移転によって会社規模を大きくした企業である。 Meyer Tool and Manufacturing, Oak Lawn, IL Advanced Energy Systems, Medford, NY MPF Products, Gray Court, SC Saporito Finishing, Cicero, IL MDC Vacuum Products, Hayward, CA Sciaky, Chicago, IL California Brazing, Newark, CA: 	<ul style="list-style-type: none"> PAVAC社 当社とTRIUMFは2004年以降、密接な関係にある。最先端の超伝導加速器の部品製造を共同で行っている。現在、超伝導RF空洞製作については国際市場をリードする立場の企業となっており、カナダを、超伝導RF空洞を工業的に製造できる、世界でたった6つの国の一つとする要因となっている。 D-pace社 TRIUMFでトレーニングを受けたスタッフに依り運営されている企業である。当社はTRIUMFの技術について、ライセンス化、R&Dの引受け、市場化する役割を担っている。2014年には以下の製品について世界の顧客を相手とした事業を展開している。
4. ILC製作・建設のために新たに開発・導入されると考えられる技術分野、製品分野	<ul style="list-style-type: none"> クライオジェニック技術、低コストの超伝導加速構造、超伝導加速空洞の電解研磨洗浄装置、窒素ドーピング装置、クライオスタートが期待される。 ILCの特徴は超伝導RFであり、高出力の設備を実現することに伴う周辺技術の高度化が期待できる。他にも、アイソトープ製造、リアクター、核融合・核分裂に関する技術への影響があり得る。 上記の超伝導RF空洞に関して、電解研磨技術の発展も重要となる。電解研磨の高度化は重要である。 さらに、上記の超伝導RF空洞に関して、窒素をドーピングすることにより加速空洞のQ値が改善されることが発見された(TRIUMFの学生だった人による)。このドーピングをANALで行っている。 クライオジェニックシステムはヘリウムが高価なために、コストがかかるのがネックとなっている。歩留まりも良くなく、もっと改善できるはずであり、高効率化が求められる。 ArgonneではILC用のダンピングリングの開発も行っている。 	<ul style="list-style-type: none"> コスト効率の良い超伝導RF技術 Nb3Snコーティング 四重極磁石 高精度のコントロールとフィードバック
5. 上記の新たに開発された技術が、有効に利用されると予想される産業分野、製品分野	<ul style="list-style-type: none"> 放射性医薬品(医療用アイソトープ) 加速器技術ではなく測定器技術の開発から、以下のような分野の開発も期待される。 がん診断に使える陽電子トモグラフィー(PET)の高度化 地質学(火山内部のイメージング)でも利用できる時間射影チェンバー(TPC)の開発 高分解能のエネルギー測定器カロリメーター 	<ul style="list-style-type: none"> 医療用アイソトープ 加速器駆動未臨界システム 自由電子レーザー 中性子源 巨大データ解析 AAAPSという、TRIUMFの技術移転・産業化を担う民間企業を2005年に設立した。企業はTRIUMF所有の形を取っているが、TRIUMFの本業の妨げにならないよう、商業活動に関わる業務をAAAPSが一手に引き受けている。

	アメリカ	カナダ
	ANL(Argonne National Laboratory) アルゴンヌ国立研究所	TRIUMF TIRUMF
【加速器の利用】 1. 加速器の需要(直近5年の利用実績、直近5年の購入状況、今後の利用見込み、必要とされる加速器の性能等)	<ul style="list-style-type: none"> ANLのArgonne Tandem Linac Accelerator System (ATLAS)はCoulombノバリアの低エネルギー領域の重イオン加速器では、世界初の超伝導リニアックである。原子核や星のエネルギー源について研究するために最も適した施設である。ATLASはプロトンからウランまでの安定したアイソトープを加速することができる。超伝導技術が活かされている。 	TRIUMFとして: <ul style="list-style-type: none"> 過去5年間で500MeVサイクロトロンは年間平均5000時間稼働してきた。 ISACは年間3000時間以下の時間アイソトープビームを製造してきた。 将来展望としては、医療用アイソトープ製造用のTR-24サイクロトロン、500kWビーム出力のARIEL電子線形加速器へのニーズがある。 グローバルな動向: <ul style="list-style-type: none"> 欧州においては大型プロジェクトが継続している(XFEL、FAIR、Spiral-II、SARAF、ESS) 北米の大型プロジェクト(FRIB、LCLS-II) アジアの大型プロジェクト(RISP、C-ADS、CSNS、KXFEL) 医療用アイソトープ製造のための小型加速器へのニーズ 小型ERLや単一パス電子源/光源(ベルリン、マイツ、トルコ、KEK、ARIEL、PKU等) 材料検査、アイソトープ製造、食品照射等ができる工業施設の建設(KOMAC(韓国)、IFMIF(日本)等) 医療治療用の加速器(カーボン、プロトン)
2. 過去10年間の加速器を利用した研究活動内容とその成果	・特に言及なし	<ul style="list-style-type: none"> 希少同位体に関する科学 パイオンとミュオンの崩壊を用いた、標準モデルの高精度検査 PETレーザーを用いたパーキンソン病の研究 α線内用癌治療法のための、α線放出重原子核(211At、225Ac等)の開発 ミュオン、希少同位体を用いた材料科学:表面の磁性と埋もれた界面の磁性に関する研究によって、電子工学からエネルギー貯蔵デバイスにまで影響を及ぼした。 加速器に関する科学技術:最新の超伝導RF等
3. 過去10年間で加速器を導入したことによる研究活動内容等の変化	・特に言及なし	<ul style="list-style-type: none"> α線内用癌治療法のための、α線エミッタの開発 ニュートロン・リッチな原子核を通じたプロセスの解明 ハロー原子核の研究(ISAC-II)
4. 過去10年間の加速器を利用した際の課題点(コスト・性能等)	・特に言及なし	<ul style="list-style-type: none"> 高磁界マグネットの開発、インストール済み空洞のパフォーマンス、高出力ビームに対する高次モード 初期投資およびオペレーションコスト 技術移転と産業化
5. 加速器の利用の需要が増えて行く分野、有効な分野についての見通し	・超伝導RFを使った高パワー加速器製作への応用	・医療用アイソトープ製造、卓上用(小型)光源、材料検査、医療治療

	中国
	Institute of High Energy Physics, CAS 中国科学院高能物理研究所
【加速器技術の技術的波及効果】	
1. 大型加速器の製作・建設のために新たに開発・導入された技術分野や製品	・ IHEPの加速器は海外のものに比べるとそれ程規模は大きくない。これらの製作・建設には研究所挙げて取り組んだが、海外で既に導入されていた技術に比べて特に際立ったものはない。
2. 大型加速器の製作・建設の過程でサプライヤー契約を結んだ企業数、業種分野、契約額	・各加速器の製作・建設に当たり企業と提携しているが、中国には、加速器の製作において、例えば、日本の三菱重工のような大企業はなく、IHEPが常に特定の企業と共同開発することはない。プロジェクト毎にサプライヤーを決めている。 ・IHEPから転職した研究者が企業を立ち上げて商業化を目指すことは理論上考えられるが、実際にIHEPを辞職する研究者は非常に少ない。
3. 大型加速器の製作・建設による産業への技術移転(スピノフ)の事例の有無。事例有りの場合、企業名、製品名、新たに創出された市場規模等	「中国科学院高能物理研究所ANNUAL REPORT2013」では、以下のような科学技術のスピノフ事例が紹介 ・加速器の応用(産業用加速器) ・精密計測と安全検査(X線フラットパネルディテクタ、CT) ・核医学撮像(全身PETシステム、乳腺PET、乳腺SPECT)
4. ILC製作・建設のために新たに開発・導入されると考えられる技術分野、製品分野	・(再掲) ILCは世界で20年前から議論されている。中国も自分らの役割を果たしたいと思うが、現時点では明確な目標は持っていない。
5. 上記の新たに開発された技術が、有効に利用されると予想される産業分野、製品分野	—
【加速器の利用】	
1. 加速器の需要(直近5年の利用実績、直近5年の購入状況、今後の利用見込み、必要とされる加速器の性能等)	・ 加速器はメンテナンス期間以外は実験に使用している。2017年にCSNS(China Spallation Neutron Source)を稼働させる予定。
2. 過去10年間の加速器を利用した研究活動内容とその成果	—
3. 過去10年間で加速器を導入したことによる研究活動内容等の変化	—
4. 過去10年間の加速器を利用した際の問題点(コスト・性能等)	—
5. 加速器の利用の需要が増えて行く分野、有効な分野についての見通し	—

3. 経済波及効果の推計

1) 経済波及効果推計の枠組み

(1) 経済波及効果推計の前提

- ① ILC を効果発生源とする ILC 固有の経済波及効果を算出する。
- ② ILC 建設の日本負担額（本調査で想定）を前提とした、日本国内（産業）へ及ぶ経済波及効果を算出する。
- ③ ILC の効果発生源となる支出額は、原則、TDR に示される数字を前提とする。
ただし、ある程度の確度をもって、定量的に推計が可能な支出は一部対象とする。
- ④ ILC 経済波及効果（発生額）の計測期間は、建設期間 10 年＋運用期間 10 年の 20 年間とする。
- ⑤ ILC の「建設」の経済波及効果については、TDR に未掲載、かつ ILC 固有に発生するものの現時点で前提条件が未確定な以下の経費（投資的支出）は、効果発生源の中に含めない。
 - 準備経費：
詳細設計、量産技術検証、公的 R&D 支出、人材育成・技術移転関連経費等
 - 共通基盤経費：
土地取得費、アクセス道路・ライフライン等のインフラ整備費、計算機環境整備、安全整備等に関わる経費
 - 主要研究施設建設費：
「ILC 国際研究所（仮称）」の研究棟・実験施設等の建設費
（世界各国研究機関等の ILC への出先オフィス等の施設含む）
- ⑥ ILC の「活動」の経済波及効果については、TDR に未掲載、かつ ILC 固有の支出として発生するものの現時点で前提条件が未確定な以下の支出は、効果発生源の中に含めない。
 - 参加立地研究機関の運営費支出：
「ILC 国際研究所（仮称）」以外に ILC への立地が想定される、世界各国研究機関（出先オフィス）の運営支出
 - ILC 関係の来訪者・会議参加者による消費支出：
ILC 施設の見学者、ILC 関連の国際会議（素粒子物理、加速器等）への参加者の消費支出

(2) 経済波及効果推計の対象、項目、方法

① ILC の「建設・活動による経済波及効果」

ILC の推進母体（「ILC 国際研究所（仮称）」）が、ILC の建設・活動にともなう外部に支出する金銭（調達発注、職員給与支払等）を源泉として、産業へ波及する経済効果（生産額や所得額の増加）のことである。

② ILC の「技術開発による経済波及効果」

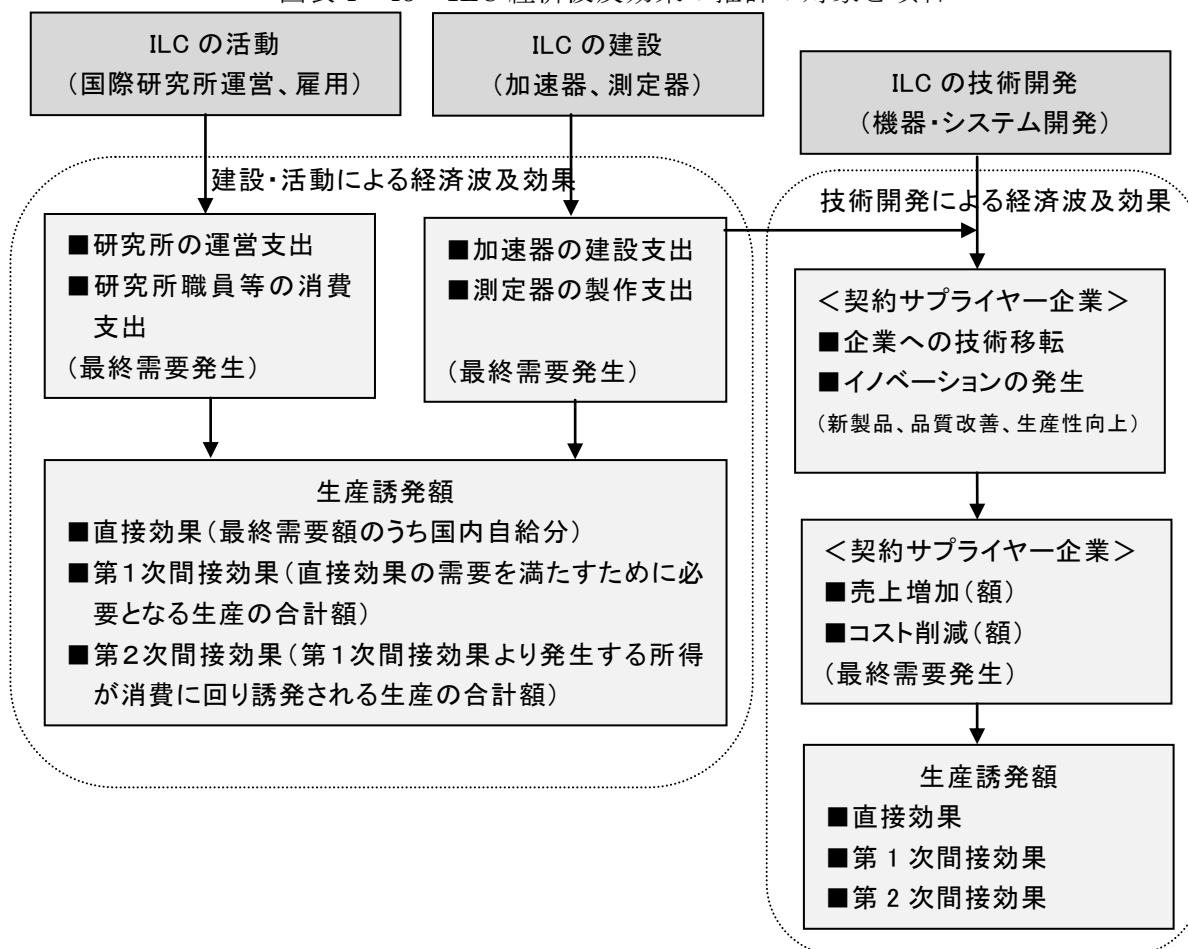
「ILC 国際研究所（仮称）」や研究機関（KEK 等）が、ILC の事前研究実証及び建設段階で実施する技術開発（新規・改善）を源泉として、ILC 国際研究所（仮称）の「契約サプライヤー産業」に技術面・製品面でのイノベーションが起これ、売上（収入）の拡大がもたらされる経済効果のことである。

③ 経済波及効果の推計項目

経済波及効果は、上記①及び②の支出額を「最終需要額」として、そこから発生する「生産誘発額」を次の3つの効果の合計として推計する。

- 直接効果（最終需要額のうち国内自給分）
- 第1次間接効果（直接効果の需要を満たすために必要となる生産の合計額）
- 第2次間接効果（第1次間接効果より発生する所得が消費に回り誘発される生産の合計額）

図表 I - 49 ILC 経済波及効果の推計の対象と項目



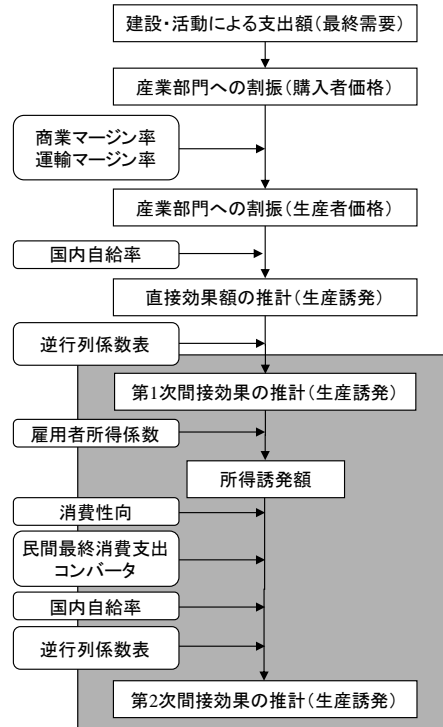
図表 I - 50 経済波及効果の推計項目の説明

- 最終需要：ある産業に追加的に新たな需要が生じた場合の需要の合計額
- 生産誘発額：以下の「直接効果」と「間接効果（第1次間接効果＋第2次間接効果）」の合計額
- 直接効果：最終需要額から海外消費分を除いた金額。なお、最終需要額（総消費額）は、購入者価格からマージン分（商業マージン＋運輸マージン）を差し引いて、生産者価格に相当する部分を当該部門に配分し、マージン分は商業部門と運輸部門に配分
- 間接効果：「第1次間接効果」（直接効果の需要を満たすために必要となる生産の合計）、及び「第2次間接効果」（第1次間接効果によって誘発される所得の一定割合が消費に回ることによって喚起される需要を賄うために発生する生産の合計）

（出所）野村総合研究所作成

④経済波及効果の推計方法

- 建設：ILC 建設期間 10 年における、ILC 装置・施設の製作及び建設投資による経済波及効果を推計
- 活動：ILC 運用期間 10 年＋建設期間 10 年（一部活動）における、「ILC 国際研究所（仮称）」の運営支出、研究者・技術者等の消費支出による経済波及効果を推計
- 平成 17 年（2005 年）産業連関表＜全国：34 部門＞を使用（確定値として最新）。逆行列係数は、 $[I - (I - \hat{M}) A]^{-1}$ を使用



2) ILC の「建設・活動による経済波及効果」の推計

ILC の「建設・活動による経済波及効果」は、ILC の「建設」及び ILC 国際研究所の「活動」による「支出」からもたらされる、関連産業の生産額や所得額の増加効果である。

(1) ILC の「建設」に伴う支出額の想定

① ILC の建設費

ILC の「技術設計報告書 (TDR : Technical Design Report)」によれば⁷、ILC の加速器建設費は、約 8,309 億円と見積もられている。その内訳は、加速器本体建設費 (超伝導加速空洞、加速器要素等) が 5,708 億円、土木・建築工事費が 1,600 億円、施設整備費が 1,001 億円 (基幹部整備費 370 億円、加速器付帯部整備費 631 億円) となっている。

また、測定器建設費は、2つの国際的研究グループで合せて2台の建設が提案されており、総額 766 億円と見積もられている。

以上を合計すると、ILC の建設投資額は 9,075 億円 (加速器+測定器建設) となる。そのうち、日本における定量的な経済波及効果の対象となる建設投資額は、土木・建設工事は日本国内への発注、加速器本体建設費、加速器付帯部整備費、測定器建設費は、日本・米国・欧州で等分に発注 (ILC 建設投資額の負担割合を各 33% と想定) と想定すると、全体で約 4,315 億円になると推計される。

なお、TDR には未掲載のその他附随経費として次の経費 (投資的支出) が想定されるが、上記の建設投資額には含まれない。

■ 準備経費 :

詳細設計、量産技術検証、公的 R&D 支出、人材育成・技術移転関連経費等

■ 共通基盤経費 :

土地取得費、アクセス道路・ライフライン等のインフラ整備費、計算機環境整備、安全整備等に関わる経費

■ 主要研究施設建設費 :

「ILC 国際研究所 (仮称)」の研究棟・実験施設等の建設費
(世界各国研究機関等の ILC への出先オフィス等の施設含む)

⁷ 文部科学省に設置されている「技術設計報告書 (TDR) 検証作業部会」の「国際リニアコライダー (ILC) に関する有識者会議」への進捗報告資料等に示される経費額を参照

図表 I - 51 ILC 建設投資額の想定

(単位:億円)

	ILC建設費 【TDR見積】	日本負担額 【想定】	日本負担割合 【想定】(注3)
■加速器建設費	8,309	4,062	
●土木・建築工事費	1,600	1,600	100%
●施設整備費	1,001	578	
- 基幹部整備費	370	370	100%
- 加速器付帯部整備費	631	208	33%
●加速器本体建設費(注1)	5,708	1,884	33%
■測定器建設費(注2)	766	253	33%
合計	9,075	4,315	

(注1) 超伝導加速空洞、加速器要素等

(注2) 測定器2台 (SiD, ILD)

(注3) 土木・建築工事、基幹部整備費は、日本が全負担(100%)と想定

加速器本体建設費、加速器付帯部整備費、測定器建設費は、日・米・欧で等分に負担する(各33%)と想定

(出所) 文部科学省「技術設計報告書(TDR) 検証作業部会」の「国際リニアコライダー(ILC)に関する有識者会議」への進捗報告資料等に示される経費額をもとに想定

ILCの建設投資による経済波及効果推計の精度を上げるために、建設投資の産業別内訳を想定する。日本におけるILC建設投資額約4,315億円のうち、土木・建築工事1,600億円を除く2,715億円(施設整備費+加速器本体建設費+測定器建設費)の産業別需要額を、既存の大型加速器建設事例⁸を参考に想定すると、下図表のとおりとなる。

図表 I - 52 ILCの施設・機器建設費の産業業種分類別内訳(想定)

	ILC	
	金額(億円)	構成比(%)
一般機械	169	6.2%
精密機械	98	3.6%
鉄鋼	843	31.1%
電気機械	1,022	37.6%
電子部品	453	16.7%
非鉄金属	130	4.8%
合計	2,715	100.0%

(出所)「大強度陽子加速器建設に係る最終需要」資料より構成比想定

⁸ CERNのLHC建設の詳細内訳に係る情報は入手できないため、ここでは日本の大強度陽子加速器(J-PARC)の建設に係る部門別最終需要額の数字を事例として利用した。

(2) ILC の「活動」に伴う支出額

① 研究機関等の運営費支出

ILC 国際研究所（仮称）の運営費用（職員人件費除く）は、「技術設計報告書（TDR）」において年間約 390 億円（電気代、メンテナンス・保守代、委託費等）と見積もられている。したがって、運用期間 10 年の累積では、3,900 億円になる。

また、建設期間において ILC 国際研究所（仮称）は設置され、ILC 建設に向けた運営を一部行なうことが想定される（建設期間の運営支出は、運用期間の 50% と想定）。その支出を加えた、ILC の建設期間＋運用期間 20 年間の累積運営費支出額は、約 5,850 億円になると推計される。

一方、経済波及効果を捉えるためには、「技術設計報告書（TDR）」には明示されていない、運営費用の内訳を想定する必要がある。CERN の運営費支出（Materials Expenses:年間 345 億円）の内訳を参考に、ILC 国際研究所（仮称）の運営費支出の業種分類別の構成を想定すると、下図表のとおりとなる。

図表 I - 53 ILC の研究機関等の運営費支出額の推計結果

分野	建設期間(10年)		運用期間(10年)		建設+運用 20年間 累積額	算出の方法
	年間 支出額	10年間 累計額	年間 支出額	10年間 累計額		
	(億円)	(億円)	(億円)	(億円)	(億円)	
研究機関 運営費支出	195	1,950	390	3,900	5,850	<ul style="list-style-type: none"> ●ILCのTDRIに示される年間運転経費額、390億円を前提。なお、運転経費には職員人件費は含まれない。 ●建設期間の活動支出は、運用期間の50%(注1)を想定

(注1) ILC 国際研究所の運用期間の年平均職員数(1,200人)に対する建設期間の年平均職員数(914人)の比率76%。運用期間の運転経費から、機器等除く支出割合は69%(機器調達は建設投資に含まれる)。
⇒76%×69%≒50%と想定

図表 I - 54 CERN の運営支出内訳
(Material Expenses 2013 年)

費目	金額	構成比
	(千CHF)	(%)
■物品、消耗品、機器	89,149	31.0%
建物、土木機器	16,473	5.7%
電気・電子機器	23,043	8.0%
IT機器	12,267	4.3%
機械機器	13,310	4.6%
真空・素粒子検出機器	5,736	2.0%
実験用クライオジェニクス及びガス	2,512	0.9%
輸送・搬送機器	1,648	0.6%
その他	14,856	5.2%
棚卸増減額	-696	-0.2%
■電気・ガス・水道	40,758	14.2%
■対事業所サービス	85,776	29.9%
専門サービス	51,264	17.8%
修繕・保守	30,325	10.6%
臨時雇用	4,187	1.5%
■アシエートメンバー人件費	32,061	11.2%
■その他経費	39,463	13.7%
コンサルティング料	4,882	1.7%
共同事業(Collaborations)出資	5,505	1.9%
機器賃借	2,089	0.7%
保険料	5,004	1.7%
図書購入	2,912	1.0%
訪問・会議	2,309	0.8%
出張・接待	8,923	3.1%
交通	1,735	0.6%
教育研修	4,135	1.4%
通信	1,206	0.4%
その他	763	0.3%
合計	287,207	100.0%
(円換算: 1CHF=120円) 億円	345	

(出所) "Financial Statements 2013" CERN

図表 I - 55 ILC の運営支出構成 (想定)
(産業連関表 34 部門別)

コード	部門	構成比
01	農林水産業	0.0%
02	鉱業	0.0%
03	飲食料品	0.0%
04	繊維製品	0.0%
05	パルプ・紙・木製品	0.0%
06	化学製品	1.0%
07	石油・石炭製品	0.0%
08	窯業・土石製品	0.0%
09	鉄鋼	0.0%
10	非鉄金属	0.0%
11	金属製品	0.0%
12	一般機械	12.1%
13	電気機械	4.7%
14	情報・通信機器	5.0%
15	電子部品	4.7%
16	輸送機械	0.7%
17	精密機械	2.3%
18	その他の製造工業製品	6.0%
19	建設	0.0%
20	電力・ガス・熱供給業	16.6%
21	水道・廃棄物処理	0.0%
22	商業	1.2%
23	金融・保険	2.0%
24	不動産	0.0%
25	運輸	4.3%
26	情報通信	0.5%
27	公務	0.0%
28	教育・研究	1.7%
29	医療・保健・社会保障・介護	0.0%
30	その他の公共サービス	0.0%
31	対事業所サービス	36.0%
32	対個人サービス	0.9%
33	事務用品	0.0%
34	分類不明	0.3%
	合計	100.0%

②ILC 関連研究者、建設従事者等の消費支出

ILC に関わる研究者・技術者・職員・従業者による消費支出を推計するに当たって、まずそれらの人数を想定し、その後に消費額を推計する。

(ア) ILC 国際研究所（仮称）職員、実験参加研究者等の人数想定（国際総数）

ILC 関連の人口想定は、「国際リニアコライダープロジェクト立地に関わる調査検討報告書」（高エネルギー加速器研究機構、2014年2月）において詳細に行なわれている。本調査における ILC 関連の人口想定は、これを前提とする。以下に、その概要を記載する。

ILC 国際研究所（仮称）の職員は、建設スタート時から雇用され、ILC 建設ピーク時（8年目）には1,600人程度になると想定する。その時点での全職員のうち常雇職員は1,000人程度、残り600人程度はポスドク研究者を含む期限付き職員を想定する。

ILC で想定されている測定器関連の実験グループ（ILD、SiD）への実験参加研究者等（研究者・技術者、学生・院生）及び支援者等（サブコントラクター）は、測定器が組み立てられる建設後7、8年目に急増し、その後も本格的な実験が開始されるとともに増加していく。ILC 運用開始時の11年目には約1,000人、20年目には約1,500人の断面滞在者数を想定する（なお、登録研究者等の数はこの3倍程度の人数になると推測される）。

以上を合計すると、ILC 関連の職員・研究者等の総数は、ILC 運用開始時（11年目）に2,200人程度、運用定常時（20年目）に概ね2,700人程度になると想定する。

なお、以上の想定のうち建設期間については、ILC の TDR に示される ILC 国際研究所職員数をベースに、CERN、ITER の実態を参考にして実験参加研究者等及び支援者等の比率を推定して行った。また、運用期間の推移は、CERN の LHC や過去の大型実験等の実態を参考に想定した。

図表 I - 56 ILC 国際研究所職員及び実験参加研究者等の人数想定（幅を持った概数）

（建設開始以降年数→）	ILC 建設ピーク時 （8年目）	ILC 運用開始時 （11年目）	ILC 運用時 （15年目）	ILC 運用定常時 （20年目）
ILC 国際研究所職員 （常雇職員+臨時職員）	1,600人	1,200人	1,200人	1,200人
実験参加研究者等 （断面滞在数）	500人	700人	800人	1,000人
支援者等 （断面滞在数）	300人	300人	400人	500人
合計	2,400人	2,200人	2,400人	2,700人

（注1） ILC 国際研究所職員のうち、常雇職員は、研究系職員（研究者等）、技術系職員（技術職、技能職等）、管理系職員（管理職、事務職等）を想定。臨時

職員はポスドク研究者等を想定

(注 2) 実験参加研究者等は、ILC で計画されている 2 つの実験 (ILD、SiD) に参加する研究者や技術者、学生・院生等を想定。実験支援者等は、主に各種専門家 (サブコントラクター) を想定

(出所) 「国際リニアコライダープロジェクト立地に関わる調査検討報告書」(高エネルギー加速器研究機構、2014 年 2 月、野村総合研究所受託)

(イ) ILC の日本サイト (想定) における全人口の推計

前記 (ア) の人口は、国際総数 (世界全体での総数) である。ILC の日本サイト (想定) で想定される全人口は、国際総数とは若干異なる。特に、建設期間 (プロジェクトの初期) では、加速器等の要素製作等が世界で分散して行われるため、ホスト国 (日本を想定) に集まる人口は限定される。この点を考慮して、ILC の日本サイトにおける全人口を推計すると以下のとおりである。

【ILC 「建設期間」における人口推計】

■研究者・技術者、事務従事者、工事・保守運用従事者

ILC の建設期間は約 10 年、工事内容は以下を想定する。

- 土木工事関係
 - －加速器トンネル、アクセスホール (トンネル含む)、実験ホール (トンネル含む)、ダンピングリング
- 設備工事関係
 - －電気工事、機械工事
- サイト、建屋関係
- 機器インストール関係
 - －加速器、実験装置 (測定器等) のインストール

ILC の建設工事及び保守運用 (建設期間) に必要な従業者の総数は、ピーク時で 3,700 人程度になると見込まれる。また、建設期間から多数の ILC 国際研究所職員、実験参加研究者等が関わり、現地に滞在居住することになる。建設のピーク時 (7 年目) では、それらの人数は約 1,800 人になる。

なお、人口推計にあたっては、ILC 国際研究所職員 (常雇+臨時<有期>) を、国際総数に対して、建設 1 年目で 0.2 (20%) とし、以後、毎年 0.1 (10%ポイント) ずつ増加、建設 9 年目で 1.0 に達すると想定した。

■付帯家族を含む全人口

ILC に従事する研究者・技術者、事務従業者、保守運用従業者の一部は、付帯家族を持ち ILC の通勤圏内に居住することになる。

これらの付帯家族の人数を主に CERN や KEK における実態を参考に想定すると、建設期間のピーク時 (7 年目) で約 2,600 人程度になる。

以上の研究者・技術者、事務従事者、工事・保守運用従事者及び付帯家族を含めた全人口は、建設ピーク時 (7 年目) で約 7,700 人と推計される。

【ILC「運用期間」における人口推計】

■研究者・技術者、事務従事者、保守運用従事者

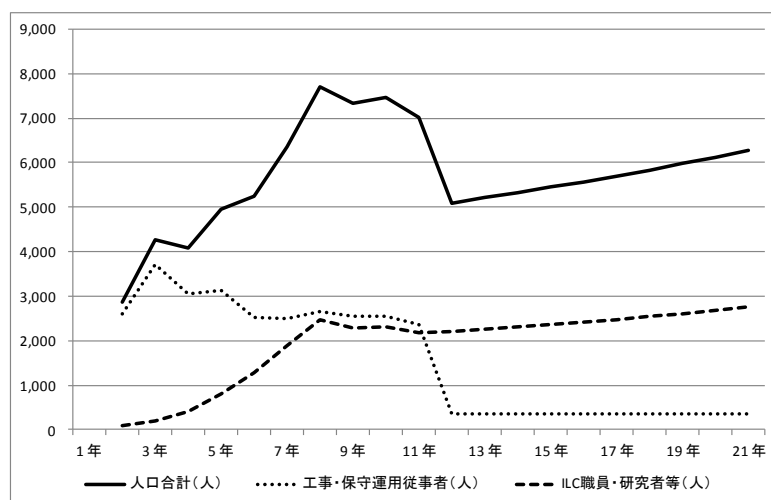
ILCの運用開始は11年目である。11年目にはILC国際研究所職員1,200人、実験参加研究者等1,000人、両者を合わせて2,200人の研究者・技術者、事務従事者が、常駐すると想定される。また、ILCの保守運用外部委託従業者（主に民間企業）が360人ほど常駐すると想定される。

■付帯家族を含む全人口

ILC運用期間に滞在する研究者・技術者、事務従業者、保守運用従業者の一部は付帯家族を持つ。運用期間におけるILCの付帯家族数を推計すると、運用開始年（11年目）では約2,500人、20年目には約3,200人になると推計される。

以上の研究者・技術者、事務従事者、保守運用従事者及び付帯家族を含めた全人口は、運用開始年（11年目）では約5,100人、20年目には約6,300人になる。

図表 I - 57 ILCの日本サイトにおける全人口の推計結果

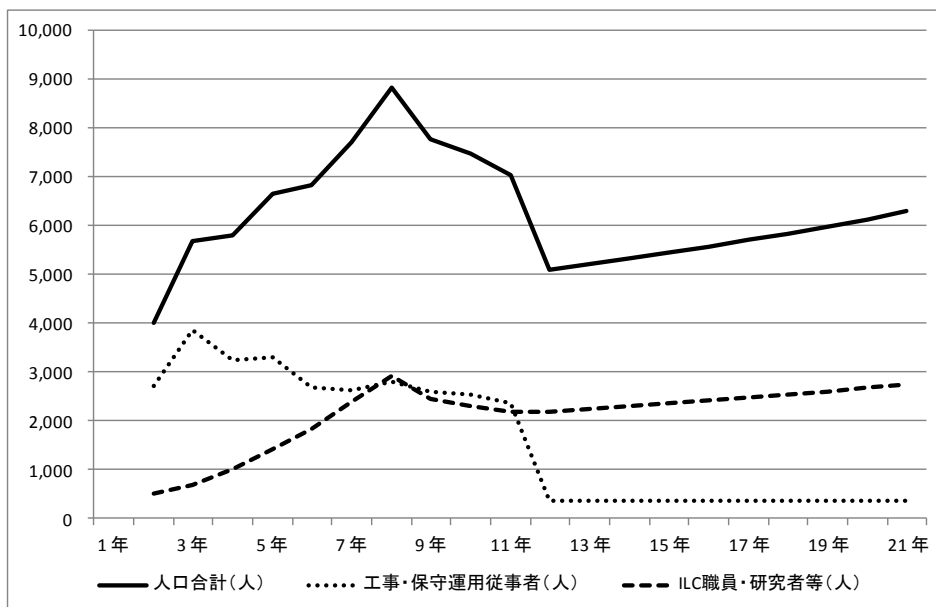


(単位:人)

	建設期間					運用期間				
	1年 2015年	5年 2019年	7年 2021年	8年 2022年	9年 2023年	11年 2025年	13年 2027年	15年 2029年	17年 2031年	20年 2034年
■研究者・技術者・事務従事者 小計	100	1,278	2,481	2,291	2,318	2,200	2,303	2,416	2,540	2,751
(1)ILC国際研究所職員(常雇+有期)	100	840	1,760	1,440	1,400	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
(2)実験参加研究者等 <2実験グループ>		284	467	551	618	700	772	851	938	1,086
(3)支援者等 (サブコントラクター等)		154	254	300	300	300	331	365	402	465
■工事、保守運用従事者 小計	2,610	2,522	2,658	2,562	2,550	360	360	360	360	360
(4)建設工事従事者(監理、発注者含む)	2,580	2,270	2,130	2,130	2,130	0	0	0	0	0
(5)保守運用外部委託従業者	30	252	528	432	420	360	360	360	360	360
■付帯家族 小計	156	1,459	2,552	2,471	2,598	2,536	2,662	2,796	2,939	3,176
(1)ILC国際研究所職員の家族数	142	1,128	1,952	1,845	1,936	1,844	1,897	1,949	2,001	2,079
(2)実験参加研究者等の家族数	0	136	224	269	305	356	404	457	518	623
(3)支援者等の家族数	0	74	122	146	148	153	173	196	222	267
(4)建設工事従事者の家族数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(5)保守運用外部委託従業者の家族数	14	121	253	210	208	183	188	194	199	206
■合計	2,866	5,259	7,691	7,324	7,465	5,096	5,324	5,571	5,840	6,287

(出所)「国際リニアコライダープロジェクト立地に関わる調査検討報告書」(高エネルギー加速器研究機構、2014年2月)

<参考図表> ILCに係る全人口（国際総数）の推計結果



(単位:人)

	建設期間					運用期間				
	1年	5年	7年	8年	9年	11年	13年	15年	17年	20年
	2015年	2019年	2021年	2022年	2023年	2025年	2027年	2029年	2031年	2034年
■研究者・技術者・事務従事者 小計	500	1,838	2,921	2,451	2,318	2,200	2,303	2,416	2,540	2,751
(1)ILC国際研究所職員(常雇+有期)	500	1,400	2,200	1,600	1,400	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
(2)実験参加研究者等 <2実験グループ>		284	467	551	618	700	772	851	938	1,086
(3)支援者等 (サブコントラクター等)		154	254	300	300	300	331	365	402	465
■工事、保守運用従事者 小計	2,730	2,690	2,790	2,610	2,550	360	360	360	360	360
(4)建設工事従事者(監理、発注者含む)	2,580	2,270	2,130	2,130	2,130	0	0	0	0	0
(5)保守運用外部委託従業者	150	420	660	480	420	360	360	360	360	360
■付帯家族 小計	782	2,292	3,103	2,699	2,598	2,536	2,662	2,796	2,939	3,176
(1)ILC国際研究所職員の家族数	710	1,880	2,440	2,050	1,936	1,844	1,897	1,949	2,001	2,079
(2)実験参加研究者等の家族数	0	136	224	269	305	356	404	457	518	623
(3)支援者等の家族数	0	74	122	146	148	153	173	196	222	267
(4)建設工事従事者の家族数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(5)保守運用外部委託従業者の家族数	72	202	317	234	208	183	188	194	199	206
■合計	4,012	6,820	8,815	7,760	7,465	5,096	5,324	5,571	5,840	6,287

(出所)「国際リニアコライダープロジェクト立地に関わる調査検討報告書」(高エネルギー加速器研究機構、2014年2月)

図表 I - 58 ILC 日本サイトの人口推計結果 (全人口)

(単位:人)

	ILC建設期間										ILC運用期間									
	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年	11年	12年	13年	14年	15年	16年	17年	18年	19年	20年
	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年
■研究者・技術者・事務従事者 小計	100	210	400	819	1,278	1,890	2,481	2,291	2,318	2,173	2,200	2,250	2,303	2,358	2,416	2,476	2,540	2,607	2,677	2,751
(1)ILC国際研究所職員(常雇+有期)	100	210	400	600	840	1,190	1,760	1,440	1,400	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
①常雇職員	80	180	320	450	600	700	800	900	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
-研究系職員	40	90	160	225	300	350	400	450	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
-技術系職員	28	63	112	158	210	245	280	315	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
-管理系職員	12	27	48	68	90	105	120	135	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
②有期雇用職員(組込・試験・支援等)	20	30	80	150	240	490	960	540	400	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
(2)実験参加研究者等 <2実験グループ>				142	284	454	467	551	618	673	700	735	772	810	851	893	938	985	1,034	1,086
①研究者				85	170	272	280	331	371	404	420	441	463	486	511	536	563	591	621	652
②学生・院生				57	113	181	187	221	247	269	280	294	309	324	340	357	375	394	414	434
(3)支援者等 (サブコントラクター等)				77	154	247	254	300	300	300	300	315	331	347	365	383	402	422	443	465
■工事、保守運用従事者 小計	2,610	3,718	3,060	3,120	2,522	2,487	2,658	2,562	2,550	2,360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360
(4)建設工事従事者(監理、発注者含む)	2,580	3,655	2,940	2,940	2,270	2,130	2,130	2,130	2,130	2,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(5)保守運用外部委託従業者	30	63	120	180	252	357	528	432	420	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360
■付帯家族 小計	156	339	626	1,016	1,459	1,971	2,552	2,471	2,598	2,487	2,536	2,598	2,662	2,728	2,796	2,866	2,939	3,015	3,094	3,176
(1)ILC国際研究所職員の家族数	142	309	568	825	1,128	1,463	1,952	1,845	1,936	1,818	1,844	1,871	1,897	1,923	1,949	1,975	2,001	2,027	2,053	2,079
<家族付常雇職員数>	64	144	256	360	480	560	640	720	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
<家族付常雇臨時職員数>	7	11	28	53	84	172	336	189	140	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
(2)実験参加研究者等の家族数	0	0	0	68	136	218	224	269	305	338	356	379	404	430	457	487	518	551	586	623
<家族付常雇実験参加研究者数>	0	0	0	34	68	109	112	132	148	162	168	176	185	194	204	214	225	236	248	261
(3)支援者等の家族数	0	0	0	37	74	118	122	146	148	150	153	163	173	184	196	209	222	236	251	267
<家族付常雇支援者数>	0	0	0	19	37	59	61	72	72	72	72	76	79	83	88	92	96	101	106	112
(4)建設工事従事者の家族数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(5)保守運用外部委託従業者の家族数	14	30	58	86	121	171	253	210	208	181	183	186	188	191	194	196	199	201	204	206
■合計	2,866	4,267	4,086	4,955	5,259	6,348	7,691	7,324	7,465	7,020	5,096	5,208	5,324	5,445	5,571	5,703	5,840	5,982	6,131	6,287

【想定根拠・方法等】

■研究者・技術者・事務従事者	
(1)ILC国際研究所職員(常雇+有期)	KEKによる設定：建設期間は積上げ人数。運用開始時(11年目)で1,200人程度。運用定常時(15年目、20年目)で1,200人程度
①常雇職員	KEKによる設定：建設期間は国際総数に地域割合を乗じて算出(1年目20%、以降毎年10%ポイントずつ増加、9年目で100%に達すると想定)。以降は、国際総数1,000人と同数を想定
-研究系職員	常雇職員の50%と想定(CERN、KEKの実態より) 50% ※研究系職員は、CERN<研究物理学者、科学エンジニア>、KEK<教員>が該当
-技術系職員	常雇職員の35%と想定(同上) 35% ※技術系職員は、CERN<技術職(テクニシャン)、技能職(クラフトマン)>、KEK<技術職員>が該当
-管理系職員	常雇職員の15%と想定(同上) 15% ※管理系職員は、CERN<管理事務職>、KEK<役員、所長・施設長、事務職員等>が該当
②有期雇用職員(組込・試験・支援等)	KEKによる設定：建設期間は国際総数に地域割合を乗じて算出(1年目20%、以降毎年10%ポイントずつ増加、9年目で100%に達すると想定)。以降は、国際総数と同じ 20%
(2)実験参加研究者等 <2実験グループ>	KEKによる設定：建設4年目から増加、運用開始時(11年目)→700人、運用定常時(20年目)→1,000人程度、各年の対前年増加率を以下のように想定
	(年次) 5年 6年 7年 8年 9年 10年 11年 12年~20年目
	(対前年増加率) 2.00 1.60 1.03 1.18 1.12 1.09 1.04 1.05 ⇒対前年増加率は、7年目以降はCERNの実態より想定
①研究者	全参加研究者等の60%と想定(CERNのATLASの実態より) 60%
②学生・院生等	全参加研究者等の40%と想定(同上) 40%
(3)支援者等(サブコントラクター等)	KEKによる設定：建設4年目から増加、建設ピーク時(8年目)から運用開始時(11年目)→300人、運用定常時(20年目)→500人程度、各年の対前年増加率を「実験参加研究者等」と同じに想定
■工事、保守運用従事者	
(4)建設工事従事者	別途KEKと協議の上想定
(5)保守運用外部委託従業者	ILC国際研究所職員数の30%と想定(KEKの実態より想定)
■付帯家族	
(1)ILC国際研究所職員の家族	常雇職員の家族付帯率80%、臨時職員の家族付帯率35%と想定(CERNの実態より) 80.0% 35.0%
	職員の家族付帯数 → (CERNの実態をもとに想定)
	1~6年 7年 8年 9年 10年 11年 12年 13年 14年 15年 16年 17年 18年 19年 20年
	2.00 2.00 2.03 2.06 2.09 2.12 2.15 2.18 2.21 2.24 2.27 2.30 2.33 2.36 2.39
(2)実験参加研究者の家族	実験参加研究者等の長期滞在比率30%(ATLAS参加日本人研究者の長期滞在比率)、家族付帯率80%(ILC職員と同様に設定) 30.0% 80.0%
(3)支援者等の家族	長期滞在比率30% × 家族付帯率80%と想定(実験参加研究者の比率と同様に設定) 30.0% 80.0%
(4)建設工事従事者の家族	長期滞在比率0% × 家族付帯率0%と想定 0.0% 0.0%
(5)保守運用外部委託従業者の家族	長期滞在比率30% × 家族付帯率80%と想定(実験参加研究者の比率と同様に設定) 30.0% 80.0%

<参考図表> ILCに係る全人口の推計結果（国際総数）

（単位：人）

	ILC建設期間										ILC運用期間									
	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年	11年	12年	13年	14年	15年	16年	17年	18年	19年	20年
	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年
■研究者・技術者・事務従事者 小計	500	700	1,000	1,419	1,838	2,400	2,921	2,451	2,318	2,173	2,200	2,250	2,303	2,358	2,416	2,476	2,540	2,607	2,677	2,751
(1)ILC国際研究所職員(常雇+有期)	500	700	1,000	1,200	1,400	1,700	2,200	1,600	1,400	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
①常雇職員	400	600	800	900	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
-研究系職員	200	300	400	450	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
-技術系職員	140	210	280	315	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
-管理系職員	60	90	120	135	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
②有期雇用職員(組込・試験・支援等)	100	100	200	300	400	700	1,200	600	400	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
(2)実験参加研究者等 <2実験グループ>				142	284	454	467	551	618	673	700	735	772	810	851	893	938	985	1,034	1,086
①研究者				85	170	272	280	331	371	404	420	441	463	486	511	536	563	591	621	652
②学生・院生				57	113	181	187	221	247	269	280	294	309	324	340	357	375	394	414	434
(3)支援者等(サブコントラクター等)				77	154	247	254	300	300	300	300	315	331	347	365	383	402	422	443	465
■工事、保守運用従事者 小計	2,730	3,865	3,240	3,300	2,690	2,640	2,790	2,610	2,550	2,360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360
(4)建設工事従事者(監理、発注者含む)	2,580	3,655	2,940	2,940	2,270	2,130	2,130	2,130	2,130	2,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(5)保守運用外部委託従業者	150	210	300	360	420	510	660	480	420	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360
■付帯家族 小計	782	1,131	1,564	1,928	2,292	2,671	3,103	2,699	2,598	2,487	2,536	2,598	2,662	2,728	2,796	2,866	2,939	3,015	3,094	3,176
(1)ILC国際研究所職員の家族数	710	1,030	1,420	1,650	1,880	2,090	2,440	2,050	1,936	1,818	1,844	1,871	1,897	1,923	1,949	1,975	2,001	2,027	2,053	2,079
<家族付帯常雇職員数>	320	480	640	720	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
<家族付帯臨時職員数>	35	35	70	105	140	245	420	210	140	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
(2)実験参加研究者等の家族数	0	0	0	68	136	218	224	269	305	338	356	379	404	430	457	487	518	551	586	623
<家族付帯実験参加研究者数>	0	0	0	34	68	109	112	132	148	162	168	176	185	194	204	214	225	236	248	261
(3)支援者等の家族数	0	0	0	37	74	118	122	146	148	150	153	163	173	184	196	209	222	236	251	267
<家族付帯支援者数>	0	0	0	19	37	59	61	72	72	72	72	76	79	83	88	92	96	101	106	112
(4)建設工事従事者の家族数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(5)保守運用外部委託従業者の家族数	72	101	144	173	202	245	317	234	208	181	183	186	188	191	194	196	199	201	204	206
■合計	4,012	5,696	5,804	6,647	6,820	7,711	8,815	7,760	7,465	7,020	5,096	5,208	5,324	5,445	5,571	5,703	5,840	5,982	6,131	6,287

【想定根拠・方法等】

■研究者・技術者・事務従事者	(1)ILC国際研究所職員(常雇+有期)	KEKによる設定：建設7年目で2,200人、8年目で1,600人程度。運用開始時(11年目)で1,200人程度。運用定常時(15年目、20年目)で1,200人程度																			
	①常雇職員	KEKによる設定：建設ピーク時(5~8年目)→1,000人、以降も1,000人程度を維持																			
	-研究系職員	常雇職員の50%と想定(CERN、KEKの実態より) 50% ※研究系職員は、CERN<研究物理学者、科学エンジニア>、KEK<教員>が該当																			
	-技術系職員	常雇職員の35%と想定(同上) 35% ※技術系職員は、CERN<技術職(テクニシャン)、技能職(クラフトマン)>、KEK<技術職員>が該当																			
	-管理系職員	常雇職員の15%と想定(同上) 15% ※管理系職員は、CERN<管理事務職>、KEK<役員、所長・施設長、事務職員等>が該当																			
	②有期雇用職員(組込・試験・支援等)	KEKによる設定：建設7年目で1,200人、8年目で600人程度を想定。運用開始後には常雇職員の20%の有期雇用職員を想定(CERNの実態より低めに想定) 20%																			
	(2)実験参加研究者等 <2実験グループ>	KEKによる設定：建設4年目から増加、運用開始時(11年目)→700人、運用定常時(20年目)→1,000人程度、各年の対前年増加率を以下のように想定																			
		(年次)	5年	6年	7年	8年	9年	10年	11年	12年~20年目											
		(対前年増加率)	2.00	1.60	1.03	1.18	1.12	1.09	1.04	1.05	⇒対前年増加率は、7年目以降はCERNの実態より想定										
	①研究者	全参加研究者等の60%と想定(CERNのATLASの実態より) 60%																			
	②学生・院生等	全参加研究者等の40%と想定(同上) 40%																			
	(3)支援者等(サブコントラクター等)	KEKによる設定：建設4年目から増加、建設ピーク時(8年目)から運用開始時(11年目)→300人、運用定常時(20年目)→500人程度、各年の対前年増加率を「実験参加研究者等」と同じに想定																			
■工事、保守運用従事者	(4)建設工事従事者	別途KEKと協議の上想定																			
	(5)保守運用外部委託従業者	ILC国際研究所職員数の30%と想定(KEKの実態より想定)																			
■付帯家族	(1)ILC国際研究所職員の家族	常雇職員の家族付帯率80%、臨時職員の家族付帯率35%と想定(CERNの実態より) 80.0% 35.0%																			
		職員の家族付帯率 ⇒ (CERNの実態をもとに想定)	1~6年	7年	8年	9年	10年	11年	12年	13年	14年	15年	16年	17年	18年	19年	20年				
			2.00	2.00	2.03	2.06	2.09	2.12	2.15	2.18	2.21	2.24	2.27	2.30	2.33	2.36	2.39				
	(2)実験参加研究者の家族	実験参加研究者等の長期滞在比率30%(ATLAS参加日本人研究者の長期滞在比率)、家族付帯比率80%(ILC職員と同様に設定) 30.0% 80.0%																			
	(3)支援者等の家族	長期滞在比率30% × 家族付帯比率80%と想定(実験参加研究者の比率と同様に設定) 30.0% 80.0%																			
	(4)建設工事従事者の家族	長期滞在比率0% × 家族付帯比率0%と想定 0.0% 0.0%																			
	(5)保守運用外部委託従業者の家族	長期滞在比率30% × 家族付帯比率80%と想定(実験参加研究者の比率と同様に設定) 30.0% 80.0%																			

(ウ) ILC 研究者・技術者等の消費支出

以上のとおりに推計される ILC 関連の研究者・技術者、事務職員は、建設期間から運用期間にかけて消費支出を発生させる。また建設期間では建設関連従業者による消費支出、さらに運用期間では ILC 国際研究所から委託される保守運用外部委託サービス従業者による消費支出も発生する。

これらを合算した、建設期間+運用期間 20 年間の研究者等の累計消費支出額は約 2,775 億円 (1,666 億円+1,109 億円) になると推計される。

なお、ILC の TDR では、金額換算はしていないが「労務費」が積算されている。文部科学省「技術設計報告書 (TDR) 検証作業部会」の検討資料等では、建設期間の労務費として 1,837 億円 (加速器 1,598 億円、検出器 239 億円)、運用期間の労務費として 101 億円/年 (加速器関連の運用のみ) と想定されている。

これらの労務費の額と、ここで推計した ILC 研究者・技術者等の消費支出額は、数字の意味が異なるため⁹一致しておらず、また、推計プロセスの中で直接的には連動していない。ただし、消費支出算出の基礎となっている関連人口 (ILC 国際研究所職員数等) の想定は、TDR の前提に概ね合致している。

図表 I - 59 ILC 研究者・技術者等の消費支出

分野		建設期間(10年)		運用期間(10年)		建設+運用 20年間 累積額 (億円)	算出の方法
		年間 支出額	10年間 累計額	年間 支出額	10年間 累計額		
		(億円)	(億円)	(億円)	(億円)		
研究者等 消費支出	■研究者・職員等消費支出 (ILC関連研究者、技術者、事務 職員の世帯消費支出)	70	703	96	963	1,666	●ILC国際研究所職員(建設期間年平均914人、運用期間年平均1,200人)の平均年収(注2)×平均消費性向(注3)により算出 ●実験参加研究者等+支援者等のうち家族附帯者(建設期間年平均58人、運用期間年平均151人)の平均年収(注4)×平均消費性向(注5)により算出
	■工事・保守運用従事者消費支出 (建設工事従業者、保守運用従 業者の世帯消費支出)	97	970	14	139	1,109	●建設工事従事者(建設期間年平均2,491人)の平均年収(注6)×平均消費性向(注7)により算出 ●保守運用従業者(建設期間年平均274人、運用期間年平均360人)の平均年収(注8)×平均消費性向(注9)により算出
合計		167	1,673	110	1,102	2,775	

(注2) ILC 国際研究所職員(研究者、技術者、事務職員等)の平均年収は、CERNの2013年の俸給額実績をもとに、1,080万円/人・年と想定

(注3) ILC 国際研究所職員の平均消費性向は、0.681。2009年「全国消費実態調査」より、年間所得階級1000~1250万円の2人以上勤労者世帯の消費支出を勤め先収入で除した数字

(注4) 実験参加研究者等の平均年収は、KEKの2013年度の役職員給与額の実態をもとに690万円/人・年と想定

(注5) 実験参加研究者等の平均消費性向は、0.771。2009年「全国消費実態調査」より、年間所得階級650~700万円の2人以上勤労者世帯の消費支出を勤め先収入で除した数字

(注6) 建設工事従事者の平均年収は、「賃金構造基本統計調査報告」(H25年度)より、410万円/人・年と想定
金属・建築塗装工、機械製図工、建設機械運転工、電気工、配管工、土工の給与+賞与の平均額

(注7) 建設工事従事者の平均消費性向は、0.846。2009年「全国消費実態調査」より、年間所得階級400~450万円の2人以上勤労者世帯の消費支出を勤め先収入で除した数字

(注8) 保守運用従事者の平均年収は、「賃金構造基本統計調査報告」(H25年度)より、470万円/人・年と想定
機械検査工、機械修理工の給与+賞与の平均額

(注9) 保守運用従事者の平均消費性向は、0.822。2009年「全国消費実態調査」より、年間所得階級450~500万円の2人以上勤労者世帯の消費支出を勤め先収入で除した数字

⁹労務費には、職員への給与、福利厚生費等が含まれると推測される(内訳、額は不明)。一方、本調査で推計の対象としている消費支出は、職員への給与のうち、消費に回される分のみである。

<消費支出推計のための参考資料>

図表 CERN の職員俸給額 (2013 年)

雇用ステータス	俸給額 (Remuneration)	人数 (人)	一人当たり俸給額	
	(千CHF)		(CHF)	(万円)
正職員 (Staff members)	226,597	2,513	90,170	1,082
フェロー (Fellows)	35,416	566	62,572	751
実習生 (Apprentices)	284	21	13,524	162
合計	262,297	3,100	84,612	1,015

(注) 為替レート: 1CHF(スイスフラン)=120円で計算

(注) 正職員は、研究物理学者、エンジニア職、技術職、管理事務職等から構成される。

(出所) 俸給額: "Financial Statements 2013" CERN

人数: "CERN Personnel Statistics 2013"

図表 KEK の役職員の給与額 (2013 年度)

区分	報酬又は給与額	支給人員 (人)	一人当たり額 (千円)
	(千円)		
常勤(役員+教職員)	5,352,568	771	6,942
非常勤(役員+教職員)	470,633	216	2,179
合計	5,823,201	987	5,900

(注) 支給人員数は、年間平均支給人員数

(出所)「財務諸表等」平成25年度、高エネルギー加速器研究機構

図表 ILC 日本サイトにおける人口の建設・運用期間における年間平均人数

(単位: 人)

	建設段階											10年間平均
	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年		
	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年		
■研究者・技術者・事務従事者 小計	100	210	400	819	1,278	1,890	2,481	2,291	2,318	2,173		1,396
(1)ILC国際研究所職員(常雇+有期)	100	210	400	600	840	1,190	1,760	1,440	1,400	1,200		914
(2)実験参加研究者等 <2実験グループ>				142	284	454	467	551	618	673		319
(3)支援者等 (サブコントラクター等)				77	154	247	254	300	300	300		163
■工事、保守運用従事者 小計	2,610	3,718	3,060	3,120	2,522	2,487	2,658	2,562	2,550	2,360		2,765
(4)建設工事従事者(監理、発注者含む)	2,580	3,655	2,940	2,940	2,270	2,130	2,130	2,130	2,130	2,000		2,491
(5)保守運用外部委託従業者	30	63	120	180	252	357	528	432	420	360		274
■付帯家族 小計	156	339	626	1,016	1,459	1,971	2,552	2,471	2,598	2,487		1,567
(1)ILC国際研究所職員の家族数	142	309	568	825	1,128	1,463	1,952	1,845	1,936	1,818		1,199
(2)実験参加研究者等の家族数	0	0	0	68	136	218	224	269	305	338		156
(3)支援者等の家族数	0	0	0	37	74	118	122	146	148	150		80
(4)建設工事従事者の家族数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
(5)保守運用外部委託従業者の家族数	14	30	58	86	121	171	253	210	208	181		133
■合計	2,866	4,267	4,086	4,955	5,259	6,348	7,691	7,324	7,465	7,020		5,728

(単位: 人)

	運用段階											10年間平均
	11年	12年	13年	14年	15年	16年	17年	18年	19年	20年		
	2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年		
■研究者・技術者・事務従事者 小計	2,200	2,250	2,303	2,358	2,416	2,476	2,540	2,607	2,677	2,751		2,458
(1)ILC国際研究所職員(常雇+有期)	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200		1,200
(2)実験参加研究者等 <2実験グループ>	700	735	772	810	851	893	938	985	1,034	1,086		880
(3)支援者等 (サブコントラクター等)	300	315	331	347	365	383	402	422	443	465		377
■工事、保守運用従事者 小計	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360		360
(4)建設工事従事者(監理、発注者含む)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
(5)保守運用外部委託従業者	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360		360
■付帯家族 小計	2,536	2,598	2,662	2,728	2,796	2,866	2,939	3,015	3,094	3,176		2,841
(1)ILC国際研究所職員の家族数	1,844	1,871	1,897	1,923	1,949	1,975	2,001	2,027	2,053	2,079		1,962
(2)実験参加研究者等の家族数	356	379	404	430	457	487	518	551	586	623		479
(3)支援者等の家族数	153	163	173	184	196	209	222	236	251	267		205
(4)建設工事従事者の家族数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
(5)保守運用外部委託従業者の家族数	183	186	188	191	194	196	199	201	204	206		195
■合計	5,096	5,208	5,324	5,445	5,571	5,703	5,840	5,982	6,131	6,287		5,659

図表 ILC 日本サイトにおける「外国人」の建設・運用期間における年間平均人数

(単位:人)

	建設期間											10年間平均
	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年		
	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年		
■研究者・技術者・事務従事者 小計	50	105	200	409	639	945	1,241	1,146	1,159	1,087	698	
(1)ILC国際研究所職員(常雇+有期)	50	105	200	300	420	595	880	720	700	600	457	
(2)実験参加研究者等 <2実験グループ>				71	142	227	234	276	309	337	159	
(3)支援者等 (サブコントラクター等)				39	77	123	127	150	150	150	82	
■工事、保守運用従事者 小計	15	32	60	90	126	179	264	216	210	180	137	
(4)建設工事従事者(監理、発注者含む)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(5)保守運用外部委託従業者	15	32	60	90	126	179	264	216	210	180	137	
■付帯家族 小計	78	170	313	508	730	985	1,276	1,235	1,299	1,243	784	
(1)ILC国際研究所職員の家族数	71	155	284	413	564	732	976	923	968	909	599	
<家族付常雇職員数>	32	72	128	180	240	280	320	360	400	400	241	
<家族付帯臨時職員数>	4	5	14	26	42	86	168	95	70	35	54	
(2)実験参加研究者等の家族数	0	0	0	34	68	109	112	134	153	169	78	
<家族付帯実験参加研究者数>	0	0	0	17	34	54	56	66	74	81	38	
(3)支援者等の家族数	0	0	0	19	37	59	61	73	74	75	40	
<家族付帯支援者数>	0	0	0	9	19	30	31	36	36	36	20	
(4)建設工事従事者の家族数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(5)保守運用外部委託従業者の家族数	7	15	29	43	60	86	127	105	104	90	67	
■合計	143	306	573	1,008	1,494	2,109	2,781	2,597	2,668	2,510	1,619	

(単位:人)

	運用期間											10年間平均
	11年	12年	13年	14年	15年	16年	17年	18年	19年	20年		
	2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年		
■研究者・技術者・事務従事者 小計	1,100	1,125	1,151	1,179	1,208	1,238	1,270	1,304	1,339	1,376	1,229	
(1)ILC国際研究所職員(常雇+有期)	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	
(2)実験参加研究者等 <2実験グループ>	350	368	386	405	425	447	469	492	517	543	440	
(3)支援者等 (サブコントラクター等)	150	158	165	174	182	191	201	211	222	233	189	
■工事、保守運用従事者 小計	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	
(4)建設工事従事者(監理、発注者含む)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(5)保守運用外部委託従業者	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	
■付帯家族 小計	1,268	1,299	1,331	1,364	1,398	1,433	1,470	1,508	1,547	1,588	1,421	
(1)ILC国際研究所職員の家族数	922	935	948	961	974	987	1,001	1,014	1,027	1,040	981	
<家族付常雇職員数>	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	
<家族付帯臨時職員数>	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
(2)実験参加研究者等の家族数	178	190	202	215	229	243	259	275	293	311	240	
<家族付帯実験参加研究者数>	84	88	93	97	102	107	113	118	124	130	106	
(3)支援者等の家族数	76	81	87	92	98	104	111	118	126	133	103	
<家族付帯支援者数>	36	38	40	42	44	46	48	51	53	56	45	
(4)建設工事従事者の家族数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(5)保守運用外部委託従業者の家族数	92	93	94	95	97	98	99	101	102	103	97	
■合計	2,548	2,604	2,662	2,723	2,786	2,851	2,920	2,991	3,066	3,143	2,829	

③ILCの「活動」に伴う支出額の合計（まとめ）

ILCの「活動」により発生する関連支出額は、建設期間（10年間）と運用期間（10年間）の総合計で約8,625億円になると推計される。

図表 I - 60 ILCの「活動」に伴う関連支出額の推計

分野		建設期間(10年)		運用期間(10年)		建設+運用
		年間 支出額	10年間 累計額	年間 支出額	10年間 累計額	20年間 累積額
		(億円)	(億円)	(億円)	(億円)	(億円)
研究機関 運営費支出	■ILC国際研究所(仮称)運営費 (水道光熱費、維持管理費、調達 費等)	195	1,950	390	3,900	5,850
研究者等 消費支出	■研究者・職員等消費支出 (ILC関連研究者、技術者、事務 職員の世帯消費支出)	70	703	96	963	1,666
	■工事・保守運用従事者消費支出 (建設工事従業者、保守運用従 業者の世帯消費支出)	97	970	14	139	1,109
合計		362	3,623	500	5,002	8,625

(出所) 野村総合研究所推計・作成

なお、ILCの「活動」により発生する経済波及効果の対象となり得る支出としては、上記以外にも以下が想定されるが、不確定要素が大きいため、本調査では計測の対象から除外している。

■参加立地研究機関の運営費支出：

「ILC国際研究所(仮称)」以外にILCへの立地が想定される、世界各国研究機関(例えば、CERN、DESY、FNAL、SLAC等の出先オフィス、サテライト研究施設等の立地が想定される)の運営に伴う支出

■ILC関係の来訪者・会議参加者による消費支出：

ILC施設の見学等に訪れるビジターの消費支出、及びILC関連の国際会議等(素粒子物理学、加速器等のテーマ)への参加者の消費支出

(3) ILCの「建設」及び「活動」による経済波及効果の推計

前記の ILC の「建設」及び「活動」による経済波及効果を、全国産業連関表を用いて推計すると以下のとおりとなる。

- ILC の建設期間（10 年）における「建設」に係る最終需要（購入者価格ベース建設額）は、合計で 4,315 億円である。
- 建設期間（10 年）及び運用期間（10 年）を通じた、「活動」による最終需要（購入者価格ベース消費支出額）は、8,625 億円である。
- 以上の最終需要 1 兆 2,940 億円(4,315 億円+8,625 億円)の発生により誘発される生産誘発額は、約 2 兆 8,100 億円になると推計される。
- ILC から発生する最終需要金額 12,940 億円に対して、経済波及によって誘発される国内生産額 28,136 億円は、2.17 倍（乗数）となる<ILC 建設は 2.41 倍、ILC 活動は 2.06 倍>。

なお、ILC による乗数 2.17 倍を他の最終需要項目と比較すると、「国内総資固定資本形成（公的）」は 1.90 倍、「輸出」は 2.17 倍となっており、数値的には ILC がそれら以上になっているが、ILC の生産誘発額には第 2 次間接効果分も入っていること（乗数 2.17 倍は産業連関表上の生産誘発係数とは意味が異なっているため）、また今回用いた産業連関表の部門分類が粗く評価に限度があることなどから、単純な比較はできない。

【最終需要項目別生産誘発係数（34 部門）：2005 年産業連関表】

- ・ 民間最終消費 1.53
- ・ 国内総固定資本形成（民間） 1.84
- ・ 国内総資固定資本形成（公的） 1.90
- ・ 輸出 2.17

図表 I - 61 ILC の「建設」及び「活動」による経済波及効果（全国ベース）

	ILC建設	ILC活動	合計
最終需要 (億円)	4,315	8,625	12,940
生産誘発額 (億円)	10,389	17,747	28,136
直接効果	4,012	8,172	12,184
第1次間接効果	4,090	5,798	9,888
第2次間接効果	2,287	3,777	6,064
(内)粗付加価値誘発額 (億円)	4,620	9,431	14,051
(内)雇用者所得誘発額 (億円)	2,672	4,721	7,393
誘発雇用者数 <総数> (千人)	54.7	104.4	159.1
誘発雇用者数 <年平均> (千人・年)	5.5	5.2	5.3

(出所) 野村総合研究所推計・作成

図表 I - 62 経済波及効果の推計項目の説明

■最終需要：

ある産業に追加的に新たな需要が生じた場合の需要の合計額

■生産誘発額：

以下の「直接効果」と「間接効果（第1次間接効果＋第2次間接効果）」の合計額

■直接効果：

最終需要額から海外消費分を除いた金額。なお、最終需要額（総消費額）は、購入者価格からマージン分（商業マージン＋運輸マージン）を差し引いて、生産者価格に相当する部分を当該部門に配分し、マージン分は商業部門と運輸部門に配分

■間接効果：

「第1次間接効果」（直接効果の需要を満たすために必要となる生産の合計）、及び「第2次間接効果」（第1次間接効果によって誘発される所得の一定割合が消費に回ることで喚起される需要を賄うために発生する生産の合計）の総合計

■粗付加価値誘発額：

ある産業が生産する財サービスから、当該産業の生産に必要な財やサービスの購入分を差し引いた残りの分。粗付加価値を構成する主な項目は、「雇用者所得」「営業余剰」「資本減耗引当金（減価償却費）」

■雇用者所得誘発額：

上記の粗付加価値誘発額の構成要素。直接効果、第1次間接効果、第2次間接効果の発生に伴い誘発される雇用者所得額

■誘発雇用者数：

直接効果・間接効果を通じて増加する雇用者所得で賄うことができる新規の雇用者数と、直接効果・間接効果を通じて増加する営業余剰に応じて増加する個人事業主等の合計。なお、雇用者は、有給役員、常用雇用者、臨時・日雇からなり、個人事業主等は、個人事業主、家族従業者を指す。誘発雇用者数＝雇用者所得誘発額×雇用者係数

（出所）野村総合研究所作成

3) ILC の「技術開発による経済波及効果」の推計

上記1. 及び2. の調査結果を踏まえ、ILC を実現した際における技術波及効果が生じた際の経済波及効果について、以下の項目に従って検討する。

(1) ILC の実現のために開発（新規・改善）される技術・製品分野

前述した ILC の技術・機器等の今後の開発課題に対応して、ILC の実現のために新たに開発されると予想される技術・製品分野を抽出する。結果は、次頁の図表に示す通りである。抽出にあたっては、主に国内外の主要研究機関及び加速器関連企業へのインタビュー調査の結果を重視した。

技術・製品分野を概観すると、以下の特徴がある。

- ①全体として、加速空洞の「超伝導技術」及び「製作技術」、「大電力高周波技術」、「ビーム発生・制御・収束技術」、「検出技術」、「ソフトウェア技術」において、新たに開発される工業化（量産化）技術・製品要素が多くなっている。
- ②超伝導加速器技術では、ILC の超伝導加速空洞の電界（加速勾配）性能向上、及び量産化（生産工程効率化に向けたロボット導入等）に関わる分野の技術開発が今後中心となる。
- ③上記②を達成するために、超伝導加速空洞の製作技術、特に空洞の溶接や表面処理技術（電解研磨、ドーピング、コーティング等）において、新たな技術開発の要素が多い。
- ④大電力高周波技術では、クライストロンの性能向上（電力変換効率改善、RF コンデューションの時間短縮、超高真空技術等）及び量産化技術の開発テーマが多くなっている。また、カップラー、導波管、導波管素子（ダミーロード、サーキュレーター等）の性能向上と量産化技術の開発も必要とされる。
- ⑤ビーム発生・制御・収束技術では、陽電子・電子ビーム発生技術、ILC 固有のナノ・ビームの制御・安定化、高精度タイミング技術、精密計測に関わる技術開発が主要な分野となっている。
- ⑥以上の他、検出器（測定器）の高性能化に関わる技術、大量に発生する粒子衝突情報の処理技術、ILC 全体の高精度のマシンコントロールとフィードバックシステム、エンジニアリング・データマネジメントシステムなどのソフトウェア技術の開発も、新たな技術開発の分野として挙げられている。

図表 I・63 ILC 実現のために開発（新規・改善）される技術・製品分野＜主にインタビュー調査結果より＞

技術分野		ILC製作のために開発（新規・改善）されると考えられる技術・製品分野 （主に国内外研究所・企業へのインタビュー調査より）	想定応用分野例 （同左）	
ILC加速器システム 技術	超伝導加速器技術	超伝導技術	費用効率の高い超伝導高周波加速技術（全般）	医療分野での応用
			超伝導加速空洞の工業化（量産化）技術（低コスト化、一部工程ロボット化等）	他の精密機器等の製造ラインへの応用
			超伝導加速空洞の電界性能向上技術（高加速勾配空洞等）	加速器の小型化→工場製造ラインの溶接検査、 港湾施設等のX線非破壊検査、企業内放射光施設（光を利用する分析装置）等
			超伝導加速空洞製作技術	ニオブおよび他の非鉄金属の製造技術、短波長光源技術への波及
			加速勾配計測技術の工業化	
		超伝導磁石の低コスト量産技術（自動生産技術等）		
		電磁石技術	磁気共鳴トモグラフィー	
		低温技術	クライオエレクトロニクスの高効率化技術（冷却装置技術等）	ガス精製、ガス液化技術、超伝導磁石冷却
			クライオモジュールの工業化（量産化、コストダウン、インテグレーション）技術	インテグレーション技術→宇宙物理学（テレスコープ）
		製作技術	電子ビーム溶接技術（施設、技術のレベルアップ）	産業への応用可能
	レーザー溶接技術		他分野で応用の可能性あり	
	チタン溶接技術・検査技術（ヘリウムタンクの溶接）			
	空洞表面処理技術（全般）		産業への応用可能	
	電解研磨技術・装置（危険なフッ酸を使用しない技術等）			
	検査技術	空洞ドレーピング技術（窒素ドレーピング等）		
		空洞コーティング技術（多層薄膜、Nb3Sn膜、磁場シールド表面膜等）	薄膜技術はイノベティブな技術であり産業への応用範囲広い	
		高純度ニオブインゴット、シームレスパイプ製造技術（超伝導加速空洞用）	超純度金属製品の大量生産技術	
		空洞内面検査装置（京都カメラ）	航空機分野、ロケット分野への若干の応用可能性	
		内面検査・表面処理・試験のフィードバック技術		
	高周波技術	大電力高周波技術	クライストロンの量産化技術（脱ガス熱処理技術、耐久性テスト技術等）	
クライストロンの電力変換効率の向上技術（省電力型クライストロン）				
クライストロンのRFコンディションング時間短縮技術				
クライストロンの高電圧超真空技術				
クライストロンのマルチビーム化技術			レーダー分野への応用可能性大	
RFエレクトロニクス技術				
高周波発生装置			レーダー、衛星、通信、特殊設備建設、機械工学	
高周波分配装置			医療用設備、電子管	
高出力RF技術（クライストロン、高出力カプラ、マルチインジャンクソールズ等）			産業、医療、通信分野での展開	
導波管・導波管素子（タミーロード、サーキュレータ等）の量産化技術			通信機器、無線機器用の導波管の低価格化実現	
絶縁部品の絶縁性能向上技術（フィードスルー、電磁波窓、セラミック加速管等）	絶縁部品の絶縁性向上と小型化の実現→加速器・電子銃の小型化進展→卓上電子顕微鏡、CTやMRI、重粒子線施設の小型化・低価格化実現			
低電力高周波制御技術	NMR、高周波工学			
ビーム発生・輸送技術	ビーム発生技術	陽電子ビーム発生（陽電子源）技術	大強度陽子源及び入射器のエネルギー分野への応用	
	ビーム輸送技術	偏極RF電子銃によるビーム生成技術		
ビーム制御・収束技術	ビーム制御技術	トンネル内におけるビーム輸送システム		
		ビーム安定化システム		
	ビーム制御技術（エミッタンス、ルミノシティの制御）			
	ビーム計測技術	高速キッカー技術 ダンピングリングのSCアンジュレータ技術 高出力ビーム制御の安全手順確立（10 MWビームダンブ、ビーム収束等）	ナノビーム制御技術の産業への応用可能性大 （例：粒子線治療装置等の病巣照射精度の飛躍的向上）	
粒子検出器システム 技術	半導体デバイス技術	高精度測定器システム	原子構造解析 PET等の医療機器の性能向上・低価格化・小型化実現	
	検出データ読み出し技術	新たな光子および粒子のイメージング検出器システム	先端レーザー光の応用	
情報処理・ソフトウェア技術	大容量データ処理技術	マイクロパターンガス検出器（MPGD）※DESYがILC測定器に応用	人間・貨物を対象とした大型検査装置	
	ソフトウェア技術	粒子衝突情報の高度な情報処理技術	高度情報処理技術・計算技術の社会への転用可能性大	
情報処理・ソフトウェア技術	ソフトウェア技術	高精度コントロール及びフィードバックシステム	大規模データ処理、巨大データ解析	
		大規模な多層・連綿フィードバック制御ループ	安全性の高い遠隔操作技術	
		全体マシンコントロールシステム	大規模計算機制御システム	
		エンジニアリング・データマネジメントシステム（EDMS）	マシンコントロールシステムの他分野への応用可能性あり EDMSの他分野への応用可能性あり	

<参考図表> ILC で開発された技術が有効に利用されると予想される産業分野・製品分野
 <インタビュー調査結果のまとめ>

回答機関	ILCで新たに開発された技術が有効に利用されると予想される産業分野・製品分野
CEA/Irfu	クライオモジュール実装技術
	測量システム実装技術
	真空システム実装技術 (ISO4級クリーンルーム対応)
	チタン溶接技術・検査技術
	X線検査
	超純度金属製品 (ステンレススチール、銅、アルミ等) の大量生産技術
CERN	加速空洞などの大量生産に関するノウハウからのスピノフが主に予想される
DESY	医療分野での応用
	加速器駆動システム (核変換技術への応用)
	原子構造解析
	先端レーザー光の応用
	大規模データ処理
LAL	電子デバイス産業
	電磁波技術
	イメージング
	重機械工業および精密機械工業
	機械部品と電子部品の大規模統合
	大規模計算機制御システム
John Adams	クライオジェニクス、超伝導技術は、医療用加速器への応用が期待
FNAL	ILCは高出力 (high power) を必要とする加速器の応用に役立つ可能性がある。しかし、ILC級の大型設備を一般企業向けの設備に技術移転していくのは大きな課題あり。また、加速器の医療利用では高出力ビームは必要ないことが多いので医療分野での展開も限定的
	■環境・エネルギー
	・ガス漏洩対策技術
	・ガス液化技術・ガス燃焼リカバリ技術
	・重油精製技術
	・超伝導風力発電
	・放射性廃棄物処理技術
	・加速器駆動型システム (ADS)
	・下水・汚泥処理技術
	■工業:
・次世代半導体製造	
・食品保存・安全	
・高度鑄造 (金属の3Dプリンティング等)	
・高速道路の建設技術高度化	
・物性変化	
■医療:	
・加速器による医療用アイソトープ製造	
・粒子線がん治療	
■安全保障:	
・非接触・遠隔型の検査	
SLAC	高出力RFにより、産業、医療、通信分野での加速器関連設備の発展促進
ANL	放射性医薬品 (医療用アイソトープ)
	測定器技術の開発から、以下のような分野の開発も期待される。
	・がん診断に使える陽電子トモグラフィー (PET) の高度化 ・地質学 (火山内部のイメージング) でも利用できる時間射影チエンパー (TPC) ・高分解能のエネルギー測定器カロリメーター
TRIUMF	医療用アイソトープ
	加速器駆動未臨界システム
	自由電子レーザー
	中性子源
	巨大データ解析

(2) ILC のために開発（新規・改善）される技術・製品の市場規模の推計

①推計対象とする市場規模（ビジネス規模）

以上のように想定した「ILC 実現のために開発（新規・改善）される技術・製品分野」の市場規模（ビジネス規模）を次の考え方によって推計する。

推計対象とする市場規模（ビジネス規模）は、設立が想定される「ILC 国際研究所（仮称）」と調達契約を結び、ILC 実験に関連する機器等（ソフトウェア含む）を供給する企業（ここでは、契約サプライヤー企業と呼ぶ）の、調達から派生する「新製品開発販売、品質改善、生産性の向上」による「売上増加及びコスト削減」の総額とする。

<参考>

- ・「LHC プロジェクトのハイテク産業へのインパクト調査」では、定量化できる経済インパクト（2次的経済効果）として、CERN との調達契約の結果発生した「新製品開発販売、品質改善、生産性の向上」による「売上増加+コスト削減」の金額をあげている。
- ・「ヨーロッパ XFEL の建設による経済効果に関する一連の調査研究」では、TTF（TESLA Test Facility）の「供給効果（supply effects）」について、TTF に機器を供給した企業を対象に調査している。

②市場規模（ビジネス規模）の推計方法

上記の市場規模（ビジネス規模）を推計するにあたり、個々の技術・製品分野の市場規模を推計し積み上げることは、技術的側面及び信頼性の側面から判断して適切な方法とはいえない。

「ILC 国際研究所（仮称）」と調達契約を結び、ILC 実験に関連する機器等（ソフトウェア含む）を供給する契約サプライヤー企業全体として、発注額に対してどれくらいのビジネス規模が拡大するかを、大局的に捉えることが適切であると判断する。

以上を踏まえて、本調査では「ILC 実現のために開発（新規・改善）される技術・製品分野」の市場規模（ビジネス規模）を次の考え方によって推計する。

CERN の実施した経済効果調査（“Particle physics, a key driver for innovation Facing Europe’s socio-economic challenges” CERN,2011）において報告されている次の効果をベースに ILC の効果を推計する¹⁰。

¹⁰ ここで報告されている効果は、1973 年～1987 年の期間（SPS 建設期間）に CERN と調達契約を結び、ハイテク機器を納入した 519 企業のうち、160 企業への経済的利益に関するインタビュー調査の結果に基づいている。詳しくは、本調査報告書 p21 に記載の“The impact of CERN on high tech industry developments Focus:The construction of the LHC”の結果を参照のこと。

「CERN の直接経済効果を定量化する調査によれば、CERN（機関）との契約の結果として発生する売上増加及びコスト削減による経済効果として、企業への発注額1ユーロは3ユーロ分の付加的ビジネスを発生させたことが示されている」

CERN's direct economic impact

Studies quantifying the direct economic impact of CERN, in terms of increased turnover plus cost savings resulting from contracts awarded by the Organization, show that every €1 paid to industrial firms generates €3 of additional business.

また、こうしたビジネス拡大は、契約サプライヤー企業における新製品開発（イノベーション）等が主な要因となっており、CERN や DESY での実態（以下、再掲）を踏まえると、契約サプライヤー企業（ハイテク系）の概ね4割弱がそうしたイノベーションを展開すると予想される。

■CERN-LHC プロジェクトのハイテク産業へのインパクト調査

【アンケート調査対象：154社（CERN と契約した技術集約的企業）】

①38%が、サプライヤー（供給者側）の直接成果として新製品を開発した。

■DESY-TTF の供給効果についての調査結果

【アンケート調査対象：57社（DESY と契約した TTF への機器供給事業者）】

①38%：X線レーザーの建設に協力することによって、少なくとも1つの製品範囲において「重要な」または「非常に重要な」イノベーションがあったと回答

③ILC 建設に伴う契約サプライヤー企業の推計結果

CERN の LHC における実態を参考に、ILC 建設に伴う契約サプライヤー企業数を推計すると、全体で約 11,900 社（うちハイテク企業 1,100 社）、日本負担分については約 5,650 社（うちハイテク企業約 520 社）になると推計される。

日本負担分 4,315 億円の調達によって、何らかの新製品開発等のイノベーションが起る企業は、CERN の LHC と同程度のインパクトと考えると 200 社程度になる（522×38%）。ただし、157 社から 240 社まで誤差がある（95%信頼区間は、0.30 から 0.46 まで）。

図表 I - 64 ILC における契約サプライヤー企業数の推計

項目	計算式	単位	LHC	ILC	
				全体	日本負担分 (想定)
全体調達額(建設費)	①	億円	5,198	9,075	4,315
LHCサプライヤー数(実績1)	②	社	6,364		
LHCサプライヤー数(実績2)	③	社	6,806		
うち技術集約的企業	④	社	629		
技術集約的企業の割合	⑤=④/③	%	9.2%		
1サプライヤー当り調達額	⑥=①/③	億円	0.76		
ILCサプライヤー数(推計)	⑦=①/⑥	社		11,881	5,649
ILC技術集約的企業(推計)	⑧=⑦×⑤	社		1,098	522

(注1) 為替レート: 1CHF(スイスフラン)=120円で計算

(注2) LHC建設の全体調達額 4,332 (百万CHF)

(注3) LHCサプライヤー数(実績1):

“The Large Hadron Collider: A Marvel of Technology” Lyndon R. Evans 編集 より

(注4) LHCサプライヤー数(実績2):

“The impact of CERN on high tech industry developments Focus:The construction of the LHC”より

④ILCの技術開発により創出される技術・製品の市場規模及び経済波及効果

上記の CERN での調査結果を用いて、ILC による契約サプライヤー産業の技術革新を通じた、単位受注額当りの市場（ビジネス）拡大係数を「3」と想定する。この係数を用いて、ILC の市場拡大額を推計すると、建設期間（10 年間）の調達総額 2,715 億円（4,315 億円のうち土木・建築工事費 1,600 億円を除く加速器建設費及び測定器建設費の合計額）に対して、約 8,145 億円の付加的ビジネス（生産コスト削減含む）が発生すると推計される。また、これらの ILC からの付加ビジネス発生額がもたらす、経済波及効果は生産誘発額で約 1 兆 6,470 億円程度になると推計される。

図表 I - 65 ILC 契約サプライヤー産業のビジネス拡大額及び経済波及効果

	ILC建設	ILCによる 付加ビジネス 発生額
最終需要 (億円)	4,315	8,145
生産誘発額 (億円)	10,389	16,470
直接効果	4,012	6,966
第1次間接効果	4,090	5,978
第2次間接効果	2,287	3,526
(内)粗付加価値誘発額 (億円)	4,620	7,975
(内)雇用者所得誘発額 (億円)	2,672	4,535
誘発雇用者数 <総数> (千人)	54.7	95.6
誘発雇用者数 <年平均> (千人・年)	5.5	

(注) ILC の総建設費（日本負担分）4,315 億円のうち、工事費（1,600 億円）を除く加速器建設費及び測定器建設費の合計額（2,715 億円）を、CERN での付加ビジネス拡大係数（=3）を乗ずる対象とした（CERN の付加ビジネス拡大係数には土木建設工事は含まれていないため）。

なお、以上のような CERN のビジネス拡大係数「3」を採用する基本的な考え方と前提は、次のとおりである。

■CERN の付加ビジネス拡大係数は、次の前提のもとに観測され、実現されている。

- (a)CERN との調達契約の結果としてもたらされた、企業の「新製品開発販売、品質改善、生産性の向上」による「売上増加額」と「コスト削減額」の合計金額を、2次的経済インパクト (the “secondary” economic impact of CERN) として定義し、その額を捉えたものである (CERN へ加速器関連のハイテク機器を納入した企業へのインタビュー調査により把握)。
- (b)CERN は LHC の建設が始まった 1990 年代後半より以前の SPS の建設段階から以上のような契約企業によるビジネス拡大が確認されるとともに、LHC の建設過程においてはそれ以上に活発な技術移転とそれによるイノベーションの加速が起こったと報告されている。例えば、ある調査では「大規模な物理研究プログラム <LHC> は、イノベーションを加速する」「LHC は、多様性に富んだ技術・ノウハウを育成してきた」などの知見が示されている。こうした報告をもとに類推すると、CERN においては、一貫してビジネス拡大係数 3 は維持されていると推測される。
- (c)このようなイノベーションを創出する源となった、CERN から民間への技術移転の主要分野は、「IT & ソフトウェア」(31%)、「加速器」(29%)、「検出器」(20%)、「エレクトロニクス」(20%) であり、これらの分野で新しい装置や製品が多数生みだされていった。例えば、LHC の真空を作る断熱技術は、高性能太陽光パネルの生産につながった。また、精密測定技術は、物体内部の 3D 構造を画像化する測定装置 (Medipix) の開発に結びついた。LHC では、こうした重要な技術移転が、LHC の建設時期には年間 15~20 件程度発生した。
- (d)以上のように、CERN の技術移転によってビジネス拡大がもたらされた大きな要因としては、CERN の技術・ノウハウの大部分が特許要件を備えていなかったことが指摘されている。すなわち、民間企業は、CERN の開発した技術を自由に利用でき、それを活用した企業独自の技術・製品開発が促進されたということである。

■CERN のビジネス拡大係数「3」を ILC に適用する妥当性、必要条件及び限界は、次の通りである。

- (a)CERN の LHC と ILC では、加速器の基本構造や導入される技術体系は異なっている部分があるものの、本調査で明らかになったように ILC においても超伝導加速技術、ナノ・ビーム発生・制御・収束技術、高周波/ハイパワー技術等を中心とした新規の技術開発や既存技術の改善は、ILC 建設前の開発実証段階から建設段階に至る過程において不可欠となっている。したがって、設立が想定される ILC 国際研究所 (仮称) による技術開発 (新規・改善) の成果が、民間へ技術移転されるというシステムが整っていれば、CERN の LHC と同様な「大規模な物理研

究プログラムによるイノベーション」が ILC においても、いくつかの条件を満たせば、起こる可能性が高いと考えられる。

(b)民間企業への技術移転による付加ビジネスの拡大（イノベーション）を、ILC において現実のものとしていくためには（＝ビジネス拡大係数 3 を実現するためには）、以下の条件を満たしていることが望ましいと考えられる。これらの条件は、CERN の実態を参考に類推したものである。

- ILC 国際研究所（仮称）自らが、技術開発（新規・改善）を行い、契約サプライヤー企業に技術移転する体制が整っていること
- ILC 国際研究所が、技術移転を行いつつ製品調達をするための契約サプライヤー企業への発注を多く行うこと。
- ILC 国際研究所の契約サプライヤー企業の中に、技術集約的企業が多く含まれること（CERN を参考にすると全契約企業数の 10%程度以上）。
- ILC 国際研究所から民間企業への価値の高い技術移転が、建設期間 10 年間で年平均 15～20 件程度発生すること（CERN の LHC での実績と同レベルを想定）
- ILC 国際研究所からの技術移転には特許がなく、民間企業が自由に当該技術を活用できること。
- ILC 関連の R&D からビジネスへのブリッジに対する支援体制が充実していること。

しかしながら、CERN の技術移転によるビジネス拡大係数 3 の根拠や達成条件（必要条件や十分条件）は、正確には把握できないことから、ILC が上記の条件を満たしたとしても、必ずしもビジネス拡大係数「3」を達できるとは限らないことに留意する必要がある。

4) ILC の経済波及効果推計結果のまとめ

「建設・活動による経済波及効果」及び「技術開発による経済波及効果」を合せた、ILC による経済波及効果（建設期間 10 年＋運用期間 10 年の 20 年間に発生すると推測される ILC 固有の効果）は、最終需要額約 2 兆 1,000 億円の発生に対して、生産誘発額約 4 兆 4,600 億円であり、乗数は 2.12 倍となる。

なお、ILC による乗数 2.12 倍を他の最終需要項目と比較すると、「国内総固定資本形成（民間）」は 1.84、「国内総資固定資本形成（公的）」は 1.90 倍となっており、数値的には ILC が上回っているが、ILC の生産誘発額には第 2 次間接効果分も入っていること（乗数 2.12 倍は産業連関表上の生産誘発係数とは意味が異なっているため）、また今回用いた産業連関表の部門分類が粗く評価に限度があることなどから、単純な比較はできない。

【最終需要項目別生産誘発係数（34 部門）：2005 年産業連関表】

- ・ 民間最終消費 1.53
- ・ 国内総固定資本形成（民間） 1.84
- ・ 国内総資固定資本形成（公的） 1.90
- ・ 輸出 2.17

図表 I - 66 ILC の経済波及効果（まとめ）

	ILC建設	ILC活動	ILCによる 付加ビジネス 発生額	合計
最終需要 (億円)	4,315	8,625	8,145	21,085
生産誘発額 (億円)	10,389	17,747	16,470	44,606
直接効果	4,012	8,172	6,966	19,150
第1次間接効果	4,090	5,798	5,978	15,866
第2次間接効果	2,287	3,777	3,526	9,590
(内)粗付加価値誘発額 (億円)	4,620	9,431	7,975	22,026
(内)雇用者所得誘発額 (億円)	2,672	4,721	4,535	11,928
誘発雇用者数 <総数> (千人)	55	104	96	255
誘発雇用者数 <年平均> (千人・年)	5.5	5.2		

なお、以上の ILC の経済波及効果は、次の条件前提にもとづく推計額である。

- ① ILC を効果発生源とする ILC 固有の経済波及効果を算出する。
- ② ILC 建設の日本負担額（本調査で想定）を前提とした、日本国内（産業）へ及ぶ経済波及効果を算出する。
- ③ ILC の効果発生源となる支出額は、原則、TDR に示される数字を前提とする。
ただし、ある程度の確度をもって、定量的に推計が可能な支出は一部対象とする。
- ④ ILC 経済波及効果（発生額）の計測期間は、建設期間 10 年＋運用期間 10 年の 20 年間とする。
- ⑤ ILC の「建設」の経済波及効果については、TDR に未掲載、かつ ILC 固有に発生するものの現時点で前提条件が未確定な以下の経費（投資的支出）は、効果発生源の中に含まない。
 - 準備経費：
詳細設計、量産技術検証、公的 R&D 支出、人材育成・技術移転関連経費等
 - 共通基盤経費：
土地取得費、アクセス道路・ライフライン等のインフラ整備費、計算機環境整備、安全整備等に関わる経費
 - 主要研究施設建設費：
「ILC 国際研究所（仮称）」の研究棟・実験施設等の建設費
（世界各国研究機関等の ILC への出先オフィス等の施設含む）
- ⑥ ILC の「活動」の経済波及効果については、TDR に未掲載、かつ ILC 固有の支出として発生するものの現時点で前提条件が未確定な以下の支出は、効果発生源の中に含まない。
 - 参加立地研究機関の運営費支出：
「ILC 国際研究所（仮称）」以外に ILC への立地が想定される、世界各国研究機関（出先オフィス）の運営支出
 - ILC 関係の来訪者・会議参加者による消費支出：
ILC 施設の見学者、ILC 関連の国際会議（素粒子物理、加速器等）への参加者の消費支出

5) 先端加速器技術が社会・産業全体にもたらす効果の検討

過去から将来までの先端加速器技術が社会全体にもたらす効果の事例等（加速器製作で使われた技術が社会でどのように活かされているか）を、文献調査によって整理する。また、国内外の研究機関や企業へのインタビュー結果をもとに、「加速器の利用の需要が増えていく分野・有効な分野」を整理する。

(1) 加速器の社会・産業への貢献





米国エネルギー省(U.S. Department OF ENERGY、以下「DOE」)の資料に示される、高エネルギー物理学研究や加速器の社会への貢献の分野と内容を、以下の図表に整理する。

図表 I - 67 高エネルギー物理学研究や加速器の社会への貢献

	医療	最初に高エネルギー物理学研究のために開発された粒子加速器や検出器は、今やほとんどの主要医療機関で何百万人と言う患者の治療や診断のために使用されている。
	国土安全保障	港湾などにおけるコンテナの検査から放射性核廃棄物の監視に至るまで、物理学研究者が素粒子解析に使用していたのと同じ先進的な検出器が国民を守るために使用されている。
	産業	素粒子物理学者は、実験において必要とされる何百万の最先端の部品の生産を産業界に依存している。そのため、企業を急速に発展する新製品や生活を変革するような技術に向かわせようとしている。
	コンピュータ	素粒子衝突で発生するかつてない量のデータ記録や解析するために素粒子物理学者は最先端のコンピュータ技術を開発し、計算科学の最前線における解に重要な貢献をしている。
	科学	素粒子物理学者は最先端のツールを必要としており、シンクロトロン光源のようなこれら多くは他の科学領域に貢献する。
	人材育成	素粒子物理学で PhD を取得した大多数の学生は、ハイテク企業、金融機関、IT 企業などに就職する。

(出所) 「Benefits of HEP」, DOE Office of Science, <http://science.energy.gov/hep/benefits-of-hep/>, 2015.1.28

図表 I - 68 高エネルギー物理学研究や加速器の産業への貢献

	<p>送電</p>	<p>超伝導材料で作られた送電線は従来の物と比べて最少のロスで遥かに多くの送電を行うことができる。更なる素粒子物理学における超伝導技術の発展はこの初期段階にある産業の社会に対する貢献を助ける。</p>
	<p>輸送</p>	<p>磁気浮上式高速鉄道(Mag-lev)は列車を浮上し推進させるため強力な超伝導磁石を使用する。Mag-lev は従来の車輪の付いた大量輸送システムと比べて高速で静かで、速度はジェット旅客機に匹敵する能力を持つ。素粒子物理学のために開発された超伝導磁石の技術は、このような高速移動の将来に重要な役割を担う。</p>
	<p>生物医学・創薬</p>	<p>生物医学者は、生物学的プロセスの理解や病気の治癒の重要な情報である蛋白質の構造解読に素粒子物理学の技術を使用する。蛋白質の構造決定のためにシンクロトロンからの光を蛋白質結晶に照射する。結晶は検出器上に光を散乱させる。散乱パターンから原子の位置を計算し分子の3次元画像を構築する。蛋白質のよりクリアな構造は効果的な新薬の開発を可能にする。</p>
	<p>乱流解析</p>	<p>乱流は流体力学や工学のあらゆる分野における課題である。素粒子物理学のために開発された技術と乱流に問題に対する応用は、この理解困難な現象についての理解を10倍以上深めたと言える。シリコンストリップ検出器と低雑音増幅器は、乱流における微細なトレーサ粒子からの光の散乱を検出されるために使用される。</p>

(出所) 「Benefits of HEP」, DOE Office of Science, <http://science.energy.gov/hep/benefits-of-hep/>, 2015.1.28

欧州 TIARA(Test Infrastructure & Accelerator Research Area)の「Accelerator for Society」に記載された産業への貢献の記載を下図表に示す。

図表 I - 69 産業への貢献-TIARA(1/2)

	<p>イオン注入(半導体)</p>	<p>http://www.casetechnology.com/links.html 代表的な IC で 25 回のイオン注入工程がある。</p>
	<p>イオン注入 (表面硬化)</p>	<p>http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=552 耐食性、摩擦・摩耗特性など機械的性質の向上などの機能付加をすることができる。</p>
	<p>電子線溶接</p>	<p>http://www.tecomet.com/laser-e-beam-welding-capabilities-vacuum-brazing.html 真空中で溶接を行うため大気汚染がなく、薄板から厚板まで溶接が可能。溶接部への入熱量が少ないため、歪が少なく深い溶け込みが得られる。</p>
	<p>電子線機械加工</p>	<p>http://www.messer-cs.com/us/processes/laser-cutting/ 1 秒間に 3,000 カ所の穿孔が可能。</p>
	<p>電子線熱処理 (表面硬化)</p>	<p>http://www.ptr-gmbh.de/en/application-areas/surface-treatment.html 真空中で電子ビームを被処理物の表面上を走らせながら加熱し、自己冷却によって焼入れることができる。酸化や脱炭がなく、熱効率も良い。</p>
	<p>電子線材料照射 (高分子架橋・重合)</p>	<p>http://www.accelerators-for-society.org/industry/index.php?id=8#electronics 重合開始剤が不要なため毒性がなく安全な硬化が得られる。</p>

(出所) 「Accelerators for Society」, TIARA

<http://www.eu-tiara.eu/Communication/index.php?id=63.2015.1.28>

図表 I - 70 産業への貢献-TIARA(2/2)

	<p>電子線材料照射 (架橋) (熱収縮チューブ等)</p>	<p>http://www.symmetrymagazine.org/article/april-2010/accelerator-apps-heat-shrink-tubing http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_Key=08-04-02-01 高分子に電子線を照射すると分子鎖の間の結合反応である架橋を利用すると力学特性や耐熱性を向上することができ、熱収縮性の機能を付与することができる。</p>
	<p>電子線照射 (食品保存、滅菌 ・殺菌)</p>	<p>http://www.accelerators-for-society.org/industry/index.php?id=8 低エネルギーの電子線、X線は大腸菌、サルモネラ菌、リステリア菌に対して殺菌効果があり、電子線照射により食中毒を防ぐことができる。</p>
	<p>ADS (Accelerator Driven System)</p>	<p>http://www.accelerators-for-society.org/prospects/index.php?id=10 原子力発電所から出た使用済核燃料を燃料/標的として大強度の陽子線を照射し中性子を発生させ長寿命核の半減期を短期化処理を行うと共に発電を行う。</p>
	<p>中性子資源探査 (天然ガス・原油等)</p>	<p>http://www.accelerators-for-society.org/energy-environment/index.php?id=6#oilExploration http://www.suncoh.co.jp/tech_topics/technology/info2/neutron-gamma01.pdf 中性子を照射し、核反応により発生したγ線のエネルギースペクトルを測定することで地層内の元素を分析することができる。</p>
	<p>電子線材料照射 (バイオ燃料前処理)</p>	<p>http://www.accelerators-for-society.org/energy-environment/index.php?id=6#oilExploration http://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/kadai/syuryo_report/pdf/K112007.pdf 電子線による前処理により酵素処理と併せて効率良く単糖類に分解、エタノール発酵と乳酸発酵を行い、高効率でバイオエタノールを生産することができる。</p>
	<p>電子線照射 (環境保全)</p>	<p>http://www.accelerators-for-society.org/energy-environment/index.php?id=6#oilExploration 火力発電所から出る煤煙から NO_x や Sox を取り除き、CO₂ からメタノールを生成する。</p>

(出所) 「Accelerators for Society」, TIARA

<http://www.eu-tiara.eu/Communication/index.php?id=63.2015.1.28>

(2) 加速器の利用の需要が増えていく分野・有効な分野

主に海外研究機関へのインタビュー結果により得られた「加速器の利用の需要が増えていく分野・有効な分野」についての知見をまとめると、下図表のとおりとなる。

医療分野の指摘が最も多い。医療以外の分野として、物質・材料、核廃棄物、検査・検出、光源、物理等の分野が挙げられている。

図表 I - 71 加速器の利用の需要が増えていく分野・有効な分野
 <インタビュー調査結果より>

分野	加速器の利用の需要が増えていく分野・有効な分野	回答機関
全体	コスト削減が重要課題、それが解決されればあらゆる分野で需要増大	SLAC
医療	超伝導ガントリーの医療分野における応用	CEA/Irfu
	医療分野など	CERN
	医療(様々なガン治療)	LAL
	医療用アイントープ製造	TRIUMF
	医療治療	TRIUMF
物質・材料	物質科学	LAL
	固体・表面物理	LAL
エネルギー	大強度陽子源および入射器のエネルギー分野における応用	CEA/Irfu
食品	食品へのガンマ線照射	LAL
生物	生物学	LAL
化学	化学	LAL
核廃棄物	加速器駆動システム	DESY
	核廃棄物処理	LAL
検査・検出	新たなビームをもちいた検出技術	LAL
	材料検査	TRIUMF
光源	光源施設の応用	DESY
	卓上用(小型)光源	TRIUMF
物理	他の物理分野における超伝導磁石および超伝導加速空洞の応用	CEA/Irfu
	自由電子レーザーを用いた新しい応用	DESY
加速器	超伝導RFを使った高パワー加速器製作への応用	ANL

Ⅱ. 世界各国における素粒子・原子核物理学分野の将来構想等の調査・分析

加速器を用いた素粒子・原子核物理学分野において中心的な役割を果たしている世界各国において、今後 20 年間に向けて、どのような成果を目指して、どういった研究計画が構想されているか、また、その研究計画の実現可能性及び ILC 計画との関係などについて、政府関係機関や主要研究機関等に出向き、当地でインタビュー調査を行い、検討委員会の意見を踏まえつつ、内容を取りまとめた。

1. 素粒子・原子核物理学分野の研究を所管する各国政府機関への調査

加速器の形状や大小にとらわれず、日本、米国、ドイツ、フランスにおける加速器について、現地研究機関実施の既往調査や統計等の文献等により、以下の項目について情報を整理し、調査・分析する。

1) インタビュー対象機関

調査対象は、日本を除く各国（ドイツ、フランス、英国、米国、カナダ、中国）の素粒子・原子核物理学分野の研究を所管する政府機関とした。

国名	政府機関名
ドイツ	■連邦教育科学研究技術省 BMBF: Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie
フランス	■CNRS/IN2P3 国立科学研究センター/国立原子核・素粒子物理研究所 CNRS: Centre national de la recherche scientifique IN2P3: National institute of nuclear and particle physics
	■CEA/IRFU 原子力・代替エネルギー庁/宇宙基礎科学研究所 CEA: Commissariat à l' énergie atomique et aux énergies alternatives
英国	■科学技術施設庁 STFC (Science and Technology Facilities Council)
米国	■エネルギー省科学局 DOE: U.S. Department of Energy Office of High Energy Physics
カナダ	■カナダ自然科学・工学研究会議 NSERC: Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada

2) インタビュー調査項目

- ①現状における各国の素粒子・原子核物理学分野の予算総枠
 - a) 予算総額(最新)
 - b) 項目別予算額(最新)
- ②既に認可している計画の概要・仕組み・予算の見通し等
 - a) 既に認可している計画の概要
 - b) 計画の体系・意思決定・評価の仕組み
 - c) 計画に対する人的貢献、国内産業による貢献の内容
 - d) 今後の予算の見通し
- ③上記の計画で求めている成果(計画の認可のポイント)
 - a) アカデミックな成果(素粒子・原子核物理学面での成果)
 - b) 技術的な成果(加速器等の技術開発面での成果)
- ④今後予定している中長期的な構想・研究計画の概要
- ⑤ILC との関連についての見解・情報
 - －現在実施中の計画、検討中の構想・計画の内容と、ILC 計画との関連性や補完性についての見解・情報

3) インタビュー調査結果

	ドイツ	フランス
	BMBF (Federal Ministry of Education and Research) 連邦教育科学技術省	CEA/Irfu (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives / Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers) 原子力・代替エネルギー庁 宇宙基礎科学研究所
1. 現状における国の素粒子・原子核物理学分野の予算総枠	(1) 予算総額(最新) ・BMBFの2012年～15年の予算額 ①ハドロン・原子核物理学分野 55百万€ (うちFAIR40%、ALICE20%) ②素粒子物理学分野 65百万€ (CERNのLHCへ拠出年4.6百万€が最大) (2) 項目別予算額(最新) ①ヘルムホルツ協会への補助 ・素粒子・原子核物理学分野の研究マテリアルへ135百万€ ・加速器研究開発 (ARD)に70百万€(2011～2014年) ・検出器技術開発へ30百万€(2012～16年)。 ②CERNへの直接資金拠出 ・ドイツからCERNへは180百万€/年支出 ③大規模研究施設 (large research infrastructures) への補助 ・国家的利益になると判断された場合に、大規模研究施設 (FAIR、ESS、CTA等) への直接補助あり。 ④追加的 科学コミュニケーションへの支援 ⑤大学のプログラムへの直接補助 ・大学等の純粋科学研究分野への資金は、「ドイツ研究振興協会」(DFG)より供給。DFGの資金の58%はBMBFから拠出。	(1) 職種別職員数・総数(最新) ・スタッフの内訳は、以下のとおり 一 研究者、技術者: 約800人、うち終身雇用は600人 一 技術者、エンジニア: 終身雇用約400人に加えて、短期雇用30～40人(プロジェクトのフェーズにより変動) 一 ボスドク、大学院生: 約140人 (2) 項目別予算額・総額(最新) ・フランスのCERN予算: 約1.4億€ ・CEA/Irfu総予算: 約8,600万€(人件費含む) 一 人件費(終身雇用): 約5,100万€ 一 人件費(上記以外): 約400万€ 一 その他(プロジェクト予算含む): 約3,100万€
2. 既に認可している計画の概要・仕組み・予算の見通し等	(1) 既に認可している計画の概要 ・政府の大規模研究施設への支援の全体像を示すのが「Roadmap for research infrastructures – A pilot project of the Federal Ministry of Education and Research(BMBF)」。	(1) 現在実施中の計画の概要・目標 ・計画の基本方針は欧州委員会の策定したEuropean Strategy for Particle Physicsを踏襲 ■ LHCのアップグレード ■ CERNの将来を見据えた新しい加速器計画の研究開発 (FCC、CLIC等) ■ ILCは大きな科学的意義があり、研究者コミュニティは日本の動向を見極め、日本からの提案に備える。 ■ 次世代ニュートリノ実験 (2) 現在実施中の計画の人員・予算配分状況 ① 大規模プロジェクトの政府予算状況 ・ LHC+LHCアップグレード: 今後2年間で780万€の予算確保。Phase 1 & 2のためにその後数年間年間400～500万€/年が必要ため政府と交渉中 ・ 重イオン加速器施設GANILにおけるRIビームを使用した物理とその応用を推進するSPIRAL2: Phase 1建設のために2億€。Phase 2については今後検討 ・ 地上におけるガンマ線天文学を開拓するCTA: 次の重要プロジェクトであり、これから予算要求 ② CEAが参加するプロジェクトと人員について ・ 素粒子物理実験計画: ATLAS、CMS、ニュートリノ実験 ⇒ 研究者: 100人 ・ 暗黒物質、暗黒エネルギーに関する研究: ⇒ 研究者: 120人 ・ 宇宙の構造形成に関する研究: ⇒ 研究者: 110人 ・ 核物理: ALICE、COMPASS2等 ⇒ 研究者: 90人 ・ 超伝導電磁石の開発: LHC高度化 ⇒ 研究者: 70人 ・ 加速器の研究開発: EXFEL、ESS、IFMIF 等 ⇒ 研究者: 90人 予算はフランス全体で7,500万€相当、主にin-kind contribution (部品、人件費)による。 ③ 予算の決定プロセスについて ・ 個々の小規模プロジェクトについては所内、フランス国内、欧州内の戦略に照らしあわせて決定 ・ LHCアップグレード、およびCTA等の大規模プロジェクトはCNRSとCEAによる事前協議を行い、推進するプロジェクトを決定。その後政府(国民教育・高等教育・研究省)に予算請求。科学的意義について検討する諮問委員会の助言を受けた上で政府決定がされる。
3. 上記の計画で求めている成果(計画の認可のポイント)	・ロードマップ掲載の大規模研究施設は、最終的には国益にプラスになることが条件	(1) 素粒子物理学分野 ・ LHC Run 2がもうすぐ開始され、多くの新しい結果が出るものと期待 ・ ニュートリノ実験にも多くの結果が期待 ・ 暗黒物質探索実験は、2年程で最初の結果が出るものと期待 ・ CTAのためのカメラの製作準備をCEA/Irfuで進めており、政府予算が決定すれば取りかかれる状況。 (2) 核物理学分野 ・ GANILの最初のビームが2014年12月に出、今年から試運転開始。多くの結果が期待 (3) 検出器分野 ・ シリコン・ピクセル飛跡検出器、マイクロメガス・ガス検出器 ・ マイクロエレクトロニクスの研究開発計画: ピコ秒タイミング、アナログ・デジタル混在回路 ・ ソフトウェア開発: 再利用性を重視した設計
4. 今後予定している中長期的な構想・研究計画の概要	・現在のロードマップ策定は、これまでにないドイツ初の試み。見直しは数年後(未定)	
5. ILCとの関連についての見解・情報	・現在のロードマップの大規模研究施設にILCは含まれず、BMBFはILCについて何ら意思決定無し。 ・ドイツのILCへの支援は、ロードマップへの掲載が前提。ロードマップへの掲載には、ドイツの素粒子物理学のコミュニティの要請が必要(現時点では要請無し) ・BMBFはILCについての議論に参加し一部は準備しているが、決定はこのロードマッププロセスを通す必要あり	・研究者コミュニティによるボトムアップのアプローチで、ILCに関する研究開発が進められてきた。 ・XFELはILCのスピノフであり、ILCの実証機でもある。 ・この開発・製作を担当してきたおかげで研究所にスキルを集めることができた。 ・技術的にはILC計画がどのような形になるか確たるイメージがある反面、日本からの計画の具体的な提案がないため予算分担状況やガバナンスに関する不透明さがある。 ・ILC計画に対する学生の興味は高い。

	フランス	イギリス
	CNRS /IN2P3 (Centre national de la recherche scientifique/ National institute of nuclear and particle physics) 国立科学研究センター/国立原子核・素粒子物理研究所	STFC (Science and Technology Facilities Council) 科学技術施設庁
1. 現状における国の素粒子・原子核物理学分野の予算総枠	<p>【CNRSについて】</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) 職種別職員数・総数 (最新) ・ CNRSのスタッフ総数は34,000人 (研究者、エンジニア、技術者含む) (2) 項目別予算額・総額 (最新) ・ CNRSの総予算は33億€ <p>【IN2P3について】</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) 職種別職員数・総数 (最新) ・ IN2P3のスタッフ総数は3,100人 (研究者、エンジニア、技術者を含む。うち、終身雇用は2500人) (2) 項目別予算額・総額 (最新) <予算総額・項目別予算額> ・ 予算総額: 年間約6,500万€ (人件費は含まない)。内訳は以下の通り。 <ul style="list-style-type: none"> ー CNRSからの予算: 年間3000万€ ー 省庁からの大規模施設への投資: 年間1500万€ ー その他のプロジェクト予算: 年間2000万€ ・ 人件費総額は年間約2億€ <予算の支出状況> ・ CNRSからの予算年間約3,000万€の支出は以下のとおり。 <ul style="list-style-type: none"> ー IN2P3所属研究所のインフラ設備・光熱費等: 1000万€ ー IN2P3所属研究所へのプロジェクト予算: 1000万€ ー 研究施設・設備: 1000万€ (CERN運輸経費300万€、計算機施設600万€) ・ 省庁からの大規模施設への投資: 年間1500万€の支出は以下のとおり <ul style="list-style-type: none"> ー GANIL (重イオン加速器施設): 400万€ ー VIRGO/EGO (重力波観測): 500万€ ー XFEL (DESY)/FAIR (GSI): 300万€ (2015年現在) ー LHCアップグレード: 300万€ 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 職種別職員数・総数 (最新) (2) 項目別予算額・総額 (最新) ・ STFC年間予算総額5.63億ポンド。英国のCERN予算もこれに含む。内訳は以下の通り。 <ul style="list-style-type: none"> ー プロジェクト予算 66% (国際プロジェクト出資金) ー 国立研究所: 18% (Rutherford Appleton Laboratory, Daresbury Laboratory等) ・ 最近のSTFC予算総額は増減なし (flat cash) の状態が続いている。ただし分野別予算は毎年変動 ・ プロジェクト予算は国際プロジェクト出資金でまかなわれている。 ・ 2014/2015期の国際プロジェクトへの出資は以下のとおり。 <ul style="list-style-type: none"> ー 総額: 1.50億ポンド ー CERN: 1.05億ポンド ー ESO (欧州天文研究機関): 1880万ポンド ー ILL (中性子散乱研究施設): 1530万ポンド ー ESRF (欧州放射光施設): 790万ポンド ・ 2014/2015期のプロジェクト助成金の内訳は以下のとおり。 <ul style="list-style-type: none"> ー 素粒子物理学分野: 4800万ポンド ー 宇宙素粒子物理学分野: 320万ポンド ー 核物理学分野: 700万ポンド ー 天文分野: 5800万ポンド ー 加速器研究開発: 1400万ポンド ー 人材育成: 2400万ポンド
2. 既に認可している計画の概要・仕組み・予算の見直し等	<ul style="list-style-type: none"> (1) 現在実施中の計画の概要・目標 ① IN2P3の研究分野 <ul style="list-style-type: none"> ・ 素粒子物理、核物理、ハドロン物理 ・ 宇宙物理、ニュートリノ物理 ・ 理論物理、検出器、計算機グリッド、加速器研究開発 ・ 原子力、医療応用 ② 素粒子物理学分野における優先度の高いプロジェクト <ul style="list-style-type: none"> ・ LHCフェーズ1アップグレード: ATLAS, CMS, LHCb, ALICEへの貢献 ・ LHCフェーズ2アップグレード: ATLAS, CMSへの貢献 ・ Belle 2実験への参加を検討中 ③ ニュートリノ物理学分野における優先度の高いプロジェクト <ul style="list-style-type: none"> ・ T2K (東海/神岡): ニュートリノ実験、長基線ニュートリノ実験 ・ ニュートリノの質量階層性に関する実験: JUNO, LBNx (Fermilab)/ハイパーカミオカンデ等を検討中 ④ 核物理学分野における優先度の高いプロジェクト <ul style="list-style-type: none"> ・ ALICE (LHC/CERN): 重イオン衝突実験、陽子構造に関する実験 (JLab, 米) ・ SPIRAL2 (GANIL, 仏): 重イオン加速器施設、RIビーム ⑤ 加速器分野に関するプロジェクト <ul style="list-style-type: none"> ・ 超伝導加速空洞および超伝導冷却技術、イオン源および電子源 ・ 放射性原子核ビームの生成用ターゲット、ビーム・ダイナミクス ・ MYRRHA計画 (ベルギー): 加速器駆動型未臨界炉、レーザー加速技術 ⑥ 宇宙物理学、検出器技術、原子力、医療、計算機等の分野で多数のプロジェクト (省略) <p>(2) 現在実施中の計画の人員・予算配分状況</p> <p><LHC実験について></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ IN2P3のLHC貢献は7500万€ (測定器建設のみ、人件費は含まず) ・ 実験グループに参加する研究者は250人、大学院生は80人 ・ 6~8年間以上における建設期間に毎年500人以上のエンジニア・技術者を派遣 ・ 加速器建設には106人・年の貢献 <p>(3) 構成・計画の意思決定プロセスおよび評価法について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 超大規模計画については以下のプロセス <ul style="list-style-type: none"> ー フランス研究省内の大規模研究施設部門との議論 ー 大規模施設高等評議会による評価 ー 研究者による決定 <p>(4) 現在実施している計画の予算についての今後の見直し</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ フランスの予算は厳しいため、最善のケースでも研究予算は横ばいと考えられる。 	<p><素粒子物理学分野における研究開発項目と英国の貢献></p> <ul style="list-style-type: none"> ① LHCを最大限活かすのが最優先事項。LHCアップグレードへのサポートは以下の通り。 <ul style="list-style-type: none"> ー ATLAS, CMSのPhase-1アップグレードおよび建設 (3400万ポンド)、およびPhase-2研究開発 (200万ポンド) のための出資 ー ATLAS, CMSのPhase-2建設の参加を準備中 ー LHCbアップグレードの建設 (現時点で9200万ポンドまで出資) ② ニュートリノ物理に関しては、STFCはAPPEC (宇宙素粒子物理欧州委員会) の声明支持 <ul style="list-style-type: none"> ー 長基線ニュートリノ実験を強くサポート (T2K, MINOS+) ー LBNE/LBNF, T2HK、およびCHIPSについては現在検討中。 ー 二重ベータ崩壊実験をサポート: SuperNEMO, SNO+ ③ ILCについては、英国研究者が研究に再参入する準備のための予算がついた (3年間で15万ポンド、おもに旅費) ④ FNAL ミューオン g-2 実験のサポート <p><加速器分野における研究開発項目と英国の貢献></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 加速器分野は2004年に2つの主要研究所が発足した (Cockcroft Institute 及び John Adams Institute) ・ STFCからの拠出予算は年間~1400万ポンド。予算配分項目は以下の通り。 <ul style="list-style-type: none"> ー Cockcroft Institute 及び John Adams Institute への助成金。 ー プロジェクト予算 <ul style="list-style-type: none"> MICE ミューオン冷却実験 (RAL) AWAKE プラズマ加速研究開発 (CERN) FETS フロントエンド試験施設 (Imperial College London) ハイパワービーム標的研究 (J-PARC ニュートリノ) ASTeC: 加速器科学技術研究グループ 国内施設: ISIS, Diamond シンクロトロン光源 <p><宇宙素粒子物理学分野における研究開発項目と英国の貢献></p> <p>(省略)</p> <p><核物理学分野における研究開発項目と英国の貢献></p> <p>(省略)</p> <p>(2) 現在実施中の計画の人員・予算配分状況 (別途記載)</p> <p>(3) 構成・計画の意思決定プロセスおよび評価法について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ STFCの基本方針は4年毎に行われる計画評価プロセス (Programmatic Review: PR) の結果にもとづく ・ 新しい計画の立上げは、コミュニティの総意が前提。科学諮問委員会、計画ピアレビュー諮問委員会において、計画の科学的意義、必要予算、リスク、タイムライン等について綿密な検討が行われる

	フランス	イギリス
	CNRS /IN2P3 (Centre national de la recherche scientifique/ National institute of nuclear and particle physics) 国立科学研究センター/国立原子核・素粒子物理研究所	STFC (Science and Technology Facilities Council) 科学技術施設庁
3. 上記の計画で求めている成果 (計画の認可のポイント)	(1) 素粒子物理・核物理分野 ・標準理論を超える物理の探索、ヒッグス粒子の理解、標準理論の理解(トップ物理、ボトム物理、QCD) ・原子核構造 (2) 加速器分野 ・超伝導加速空洞技術: ESS, SPIRAL2等の大規模計画に貢献するプラットフォームになる ・高周波カブラーの設計とコンディショニング ・高強度ハドロン源、電子源 (PHIL), レーザー技術 (THOMX, ELI-NP) ・最終収束系(ATF2および機械的安定化、LAPP研究所) ・加速器駆動型未臨界炉の安定性 ・放射性イオンビーム (ALTO, SPIRAL2, EURISOL)	
4. 今後予定している中長期的な構想・研究計画の概要	(1) フランス国内プロジェクト <IN2P3内で検討しているプロジェクト> ・モダナ地下研究施設の拡張、KM3NeT/ORCA(ニュートリノ観測所) <IN2P3の管轄外のプロジェクト> ・ILL中性子源およびESRF電子シンクロトロンアップグレード ・SOLEIL 施設(フランス・シンクロトロン施設)のアップグレード (2) 国際プロジェクト ・LSST (チリ): 可視光赤外線望遠鏡 ・LISA衛星: 宇宙重力波望遠鏡 ・EUCLID衛星: 暗黒エネルギーに関する実験 (2020年打ち上げ予定)	
5. ILCとの関連についての見解・情報	(1) 人員・予算 ・フランスの研究者コミュニティはILCの初期段階から参加 ・研究開発フェーズでは100人体制であったがここ数年で30人程度に減少 ・過去10年の研究開発予算は総額5億€以上。加えて、欧州予算及びフランスANRのプロジェクト予算が総額200万€以上。 (2) 研究開発分野 ・カロリメーター研究開発、シリコン飛跡検出器 (CMOS) ・加速器研究開発: XFELへの大きな貢献 (3) ILC計画への参加者数の見込み ・フランス国内のILCコミュニティによる見込みは、スタッフ60-80人+大学院生 → コラボレーション全体の6-8%を構成(全体で1000人と仮定)。IN2P3予算100万€に相当 (4) 加速器建設 ・CEAとCNRSは、XFELでの経験から、カブラーとクライオモジュール製作の専門技術の蓄積あり ・ILC加速器技術は欧州産業界へ多くの波及効果があった。 ・ただし予算については研究所で対応できるレベルでないため、政府の判断が必要。 ・LHCの場合はCERN予算から捻出される。ILCの場合は予算分担・法令・ガバナンス・条約等について政府間での検討が必要。 ・運用に関する予算・人員はまだ検討されていない。 (5) 測定器建設 ・測定器は、総コストの6-8%程度の負担を想定。 ・運用に関する予算・人員はまだ検討されていない。	(1) 英国のILCコミュニティ ・英国のILCコミュニティは、加速器分野についてはCockcroft InstituteとJohn Adams Instituteが主要拠点。 ・測定器の研究開発は主に大学にて。反応点検出器と電磁カロリメーターのグループあり ・2003年に加速器分野も含めILCコミュニティが拡充、しかし2007年にLHC計画の遅延に対応するためにILCから撤退。当時のILCコミュニティの多くはLHCやミューオン実験等、他の計画に移動 ・ILC建設の機運が高まってきている中で、2015年1月に英国のILCコミュニティに対するサポートが再開 (2) ILC加速器関連の技術蓄積 ・加速器についてはビーム輸送、最終収束系、フィードバック制御等の技術の蓄積あり ・これらの技術は、現在、他のプロジェクトに応用: (例1) クラブ空洞はILCのために開発されたが、現在LHCアップグレードへの応用を検討 (例2) シンクロトロン光施設にも技術の応用あり (3) ILC計画が実施される場合の予算 ・プロジェクト予算から拠出 ・新計画への予算は、通常はボトムアップ型で決定。研究者コミュニティの総意を得て、諮問委員会での議論を経てロードマップへ ・政府により特定の計画を推進する、トップダウン型もあり(例: スウェーデンのESS)

	米国	カナダ
	DOE (Department of Energy) 米国エネルギー省	NSERC (Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada) カナダ自然科学・工学研究会議
1. 現状における国の素粒子・原子核物理学分野の予算総枠	(1) 予算総額(最新) ・HEPは2014年5月に公表されたParticle Physics Project Prioritization Panel (P5)レポートに示された基本戦略に従い、国際的な視野に立った計画と予算方針を検討している。 ・HEPの予算総額(単位は全て1000ドル)は774,920(FY2014執行中)、765,000(FY2015確定予算)、788,000(FY2016予定)。P5の計画のお蔭でFY2016の予算総額が増えた効果があった。 (2) 項目別予算額(最新) ・P5は研究プロジェクトの予算割合(研究、施設、プロジェクト、その他の4分類で考えた場合)を、20-25%程度にするように提案している。 ・FY2016予算額の内訳は、研究44%、施設34%、プロジェクト22%となっている。その内プロジェクトの内訳は、Energy Frontier Projects 3%、Intensity Frontier Projects 4%、Cosmic Frontier Projects 8%、プロジェクト関連工事費 7%、となっている。	・NSERCはカナダ政府機関。カナダの科学技術政策はボトムアップ方式であり、学術コミュニティの意見が政策の方向性を決定づける。 ・大学を所管するのがNSERCであり、TRIUMF等の公的研究機関を所管するのはNRC(国家研究会議)である。国の素粒子物理学分野および加速器関連の方針を決める力を有しているのはNSERCの方である。 ・NSERCは5年計画で予算を実施している。現在は2011-2016年度の予算枠の執行中である。NSERCの所管する大学研究向けの予算は年間\$23M(以下、すべて\$はカナダドル)である。 ・予算のうち\$6MについてはCERNのLHC実験であるArgonne Tandem Linac Accelerator System(ATLAS)に割り当てられるという優先権がある。 ・NSERCの素粒子物理学分野での助成金の金額と種別において、最も多いのは、研究プロジェクトへの補助金である。
2. 既に認可している計画の概要・仕組み・予算の見直し等	(1) 既に認可している計画の概要 ・P5レポートは米国の素粒子物理学コミュニティが数年かけて検討し作成した計画である(発行主体はDOE) ・20年先のグローバルな視点に立った、10年計画である。 ・P5では5つの"science drivers"を設定しており、これらが今後の米国の研究計画の骨格を作ることになっている。 (2) P5レポートにおけるILCの位置づけ ・P5レポートでは、どの予算シナリオも今後5年の間のどこかの意思決定のタイミングでILCへのサポートをある程度のレベルで組み込む想定をしている、とされている(現段階で決まっているわけではない)。 ・予算シナリオは10年間のタイムスパンで想定され、大きく3種類に分かれる。 ・シナリオA: 最も予算が少ないシナリオ ・シナリオB: やや予算が多いシナリオ ・シナリオC: 予算のキャップがない自由なシナリオ(ただし、無限ではない) ・米国がILCに参画する上では、世界をリードする役割を担うことが前提になる。 (3) 計画の体系・意思決定・評価の仕組み ・DOEのプロジェクトマネジメントには、CDプロセスと呼ばれる評価システムがある。DOEではなく、NSFによってシステムは運用される。 ・評価体制は、自己評価及びピアレビュー。下記に示す各プロセスで、それぞれプロポーザルを提出する。 ・5段階の評価となっており、CD-0~2はプロジェクト開始前、3がプロジェクト初期段階、4がプロジェクト完了時。 (4) 今後の予算の見直し ・P5レポートはHEPが認可したものであるが、その上のDOE本体、OMB、議会に予算案が承認されなければ、予算は確定しない。HEPのメンバーは関係各所の説得やロビーイングの役割を担っている。	(1) 既に認可している計画の概要 ・研究開発は国、教育は州政府という役割分担があるが、カナダにおいてはボトムアップで政策が決まるため、NSERC、CFI、NRCがそれぞれ異なる独自の計画・方針を有している。 ・NSERCはThe Subatomic Universe: Canada in the Age of Discoveryという2011-2016年の計画を策定している。これは、米国DOEのP5レポートのようなものである。NSERCは内容には関知せず、研究者間で議論して優先度(priority)と予算計画を決める。これは現状の素粒子物理学分野ではカナダで最も有力な計画であり、CFIやNRCにも強い影響を与えているため、基本的にはこれを押さえていればカナダの方針を捉えていると言える。 (2) The Subatomic UniverseにおけるILCの位置づけ ・以下の研究テーマが素粒子物理学の柱となっており、2011年の策定になっているために、ILCはここでは挙がっていない。 ・ATLAS(ヒッグス粒子) ・SNOLAB、T2K(ニュートリノ) ・加速器全般 ・TRIUMF(アイソトープ) ・暗黒物質探索(SNOLAB) (3) 計画の体系・意思決定・評価の仕組み ・基本的に学術分野の計画を策定する機関であり、策定にあたっては研究者コミュニティからの意見収集と、NSERCが任命した学術界の有識者によるPeer Review Committeeが検討の方向性を定める力を持っている。 (4) 計画に対する人的貢献、国内産業による貢献の内容 ・上記のように、Peer Review Committeeが検討の方向性を定める力を持っており、学術的要素が強い。
3. 上記の計画で求めている成果(計画の認可のポイント)	・DOE内の評価については以下の点が重要になる。 ・5つのscience driversに適合するものであること ・CDプロセスの各基準を満たしていること ・OMBからの評価の一つで重要なことは、国際的な展開に合致していること: 例えは国際連携プロジェクトだとして、MEXTの評価基準とCDプロセスの基準が近ければ、OMBの関心が高くなる。	・特に言及なし
4. 今後予定している中長期的な構想・研究計画の概要	高いリミノシティのLHC実験(HL-LHC)が実現すれば、その次の段階としてILCへの関心が高まるはずだと考えている。陽子ではなく電子陽電子衝突型加速器を使つての精密研究が必要になるからである。米国の科学者コミュニティにおいては、現在ヒッグス粒子の研究が最も重視されている。 ・また、より高いエネルギーさらにより高いリミノシティの実現も重要であり、関連事項に予算がついていく可能性がある。	・次期計画にあたる、2016年以降の計画も議論されており、その柱は以下のものになる予定である。 ・ARIEL(TRIUMF) ・XFELであるLCLS-II ・ILC ・ILCについては、日本政府の意思決定を待つというスタンスになるのではないかと。
5. ILCとの関連についての見解・情報	米国の素粒子物理学コミュニティの中では米国政府に対してILCに予算を付けて欲しいという意向は未だに強い。2008年に米国はILCをホストしないと決めた後、公式にはILCの予算は大幅に削減された。現在、ILCのR&D費用をどうにか獲得しようとして、今はホワイトハウスから潰されないようにILC関連の活動を続けている。 ・FALC(Funding Agency for Large Collider)は、現在もILC予算の問題についてグローバルに取組んでいる。 ・ただ、結局のところ一番有効なのは政治的な動きで、首脳間でILCについて議論があって、日本の首相からの働きかけでオバマ大統領がILC参画を決断する、というのが一番望ましいシナリオだと考えている。	・特段、ILCに対しては見解は持っていない。

2. 素粒子・原子核物理分野における各国主要研究機関への調査

1) インタビュー対象機関

調査対象は、素粒子・原子核物理分野の研究が活発な日本、米国、カナダ、ドイツ、スイス、フランス、英国、中国における主要な研究機関とした。

【主要研究機関】

国名	機関名
ドイツ	■ドイツ電子シンクロtron研究所 DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron)
スイス	■欧州合同原子核研究機関 CERN (European Organization for Nuclear Research)
フランス	■線形加速器研究所 LAL (Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire)
	■宇宙基礎科学研究所 IRFU (Institute of Research into the Fundamental Laws of the Universe)
英国	■ Cockcroft 研究所+ジョンアダムス研究所 Cockcroft Institute, John Adams Institute
米国	■フェルミ国立加速器研究所 FNAL (Fermi National Accelerator Laboratory <Fermilab>)
	■SLAC 国立加速器研究所 SLAC National Accelerator Laboratory
	■アルゴンヌ国立研究所 ANL (Argonne National Laboratory)
カナダ	■TRIUMF 国立研究所 TRIUMF (Canada's national laboratory for particle and nuclear physics)
中国	■中国科学院高能物理研究所 IHEP (Institute of High Energy Physics)
日本	■高エネルギー加速器研究機構 KEK (High Energy Accelerator Research Organization)

2) インタビュー調査項目

①最新の組織(機関)の人員、予算構成
a) 職種別職員数・総数(最新)
b) 項目別予算額・総額(最新)
②現在実施中の計画の概要・目標、人員・予算の配分状況
a) 現在実施中の計画の概要・目標
b) 現在実施中の計画の人員・予算配分状況
③現在実施中の計画で想定している成果
a) アカデミックな成果(素粒子・原子核物理学面での成果)
b) 技術的な成果(加速器等の技術開発面での成果)
④今後実施を検討している構想・計画の概要及び検討の進捗状況
⑤ILC との関連についての見解・情報
ー現在実施中の計画、検討中の構想・計画の内容と、ILC 計画との関連性や補完性についての見解・情報

3) インタビュー調査結果

	スイス	ドイツ
	CERN (European Organization for Nuclear Research) 欧州合同原子核研究機関	DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron) ドイツ電子シンクロトロン研究所
1. 最新の組織(機関)の人員、予算構成	<p>(1) 職種別職員数・総数(最新)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・正規スタッフ総数: 約2,500人 <ul style="list-style-type: none"> －管理・運営: 約1,000人 －研究者: 約500人 －加速器・エンジニア: 約1,000人 <p>(2) 項目別予算額・総額(最新)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2014年CERNの総予算は1,205百万スイスフラン ・CERNの予算に占める人件費の割合は、50%程度 	<p>(1) 職種別職員数・総数(最新)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・DESYの正規スタッフはおよそ2,300人 <ul style="list-style-type: none"> －研究者: 約700人 －技術者: 約600人 ・未訪研究者は、約3,000人。 ・1955年ドイツで発の加速器を建設し、その後多数の加速器を建設、運転してきた。強力な加速器グループを持つ ・2007年ラボが放射光施設へと方針転換し、粒子加速器科学者の多くが、現在は放射光を利用した光子科学のための施設建設・運転に従事 <p>(2) 項目別予算額・総額(最新)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・DESYの予算総額は2億€。うち、90%は連邦政府予算より、10%は州政府予算より拠出。加えて、研究参加国からの寄与もあり ・素粒子物理、光子科学、加速器科学、測定器開発
2. 現在実施中の計画の概要・目標、人員・予算の配布状況	<p>(1) 現在実施中の計画の概要・目標</p> <ul style="list-style-type: none"> ・PS, SPS, LHC, ADの加速器を有し、これらの運転を行うとともに、これらを利用した素粒子原子核の実験を遂行 ・また、関連する加速器技術、検出器、計算機技術の開発も実施 ・素粒子原子核実験の検出器技術を駆使して、暗黒物質探索など加速器を使用しない宇宙・素粒子実験にも注力 ・上記の実験的研究に加えて、理論研究も実施 <p>(2) 現在実施中の計画の人員・予算配分状況</p> <ul style="list-style-type: none"> ・CERNのリソース(人員・予算)の約80%はLHC関連のプロジェクトに充当 ・FCCやCLICなど、将来計画に関する予算割合は少ない ・しかしながら、現在のHL-LHC (High-Luminosity LHC) 向け基礎研究で、将来FCC・CLICに活用される部分もあるので、額面以上の寄与あり 	<p>(1) 現在実施中の計画の概要・目標</p> <ul style="list-style-type: none"> ・DESYはHelmholtz協会傘下の18機関のひとつ。同協会によりProgramme Oriented Funding 及び5カ年計画が承認 ・計画の中で、原子核物理、宇宙物理、素粒子物理は「Matter and Universe」、技術開発(加速器および測定器)は「Matter and Technologies」として記述 ＜EXFEL＞ ・DESY内に建設中のX線自由電子施設。2016年後半に運転開始を予定。参加国はドイツ、ロシア、フランス、スペイン、イタリア、ポーランド ・ILCと同じ超伝導加速技術を用いるためILCのプロトタイプという位置付け。EXFELでの大量生産・輸送・試験・運用の経験がILC建設の際に生かすと想定 ・加速空洞の製造は各国で分担して行っており、DESYで最終試験を実施 ・EXFELは有限会社、DESYは筆頭株主。DESYは加速器コンソーシアムを主導 ・EXFELは総計800個のSC加速空洞を必要とする。生産目標8個/週を達成 <p>(2) 現在実施中の計画の人員・予算配分状況</p> <ul style="list-style-type: none"> ・EXFELの建設に加速器セクションの多くのリソースが割かれており、特別予算が使用。高エネルギー物理学セクションではILC実験も含めた多くの国際共同実験に参加。光子科学セクションではDESYの施設を使って研究が進行中
3. 現在実施中の計画で想定している成果	<ul style="list-style-type: none"> ・LHCは2012年までの運転においてHiggs粒子の発見とその崩壊モードの測定という目覚ましい成果を達成 ・今後も引き続き世界最高の衝突エネルギーを誇るエネルギーフロンティアマシンとして、超対称性粒子の探索などの新物理探索を実施 	<ul style="list-style-type: none"> ・LHC実験および将来のILC計画において電弱対称性の破れの構造を解明。標準理論を超える物理現象の発見 ・高性能の超伝導加速技術の開発。TESLA計画の提唱から現在のILC計画に至る技術はEXFELにて実装中 ・素粒子物理実験の測定器(LHC実験及びILC等の将来加速器実験計画)、EXFELのための革新的新技術の開発。特に物質科学及び医療等、広範囲に活用できる放射線を利用した画像分析装置 ・ILC加速器で使用されるようなHigh Capacitance Switching技術を利用したエネルギー蓄積技術の開発もあり得る
4. 今後予定している中長期的な構想・研究計画の概要	<p>CERNは、2013年の欧州素粒子物理戦略(European strategy for particle physics)に沿って以下の中長期計画を実行</p> <ul style="list-style-type: none"> ■High Luminosity Large Hadron Collider (HL-LHC) 計画(2023-2032年) ・LHCのビームのルミノシティ(輝度)を上げる計画。加速器電磁石・検出器のアップグレードのための準備研究が進行中 ・HL-LHCは、将来計画の中では最優先テーマ ■次世代の大規模加速器実験の計画 ・国際協力のもと、The Compact Linear Collider (CLIC)やFuture Circular Collider (FCC)の基礎設計・開発の展開 ■ILC計画への参加 ・ILCの建設開始を2020年前後に想定。日本がこれまで行ってきた取り組みを高く評価 ・日本の素粒子物理コミュニティが主導するILCの実現は大いに歓迎 ■米国や日本が主導する国際的な長基線ニュートリノ実験への参加 ・CERNは今後自前で大規模長基線ニュートリノビームラインを建設することは行わないという方針を決定 ・ただし、FNAL(米国)やKEK(日本)等における長基線ニュートリノ実験計画への貢献は行う 	<ul style="list-style-type: none"> ・Programme Oriented Fundingに関する検討プロセスが終了したばかり。ILC計画を含む素粒子物理の計画は高く評価された。 ・これにより今後5年間の加速器の研究開発および測定器開発の予算が承認された。

	スイス	ドイツ
	CERN (European Organization for Nuclear Research) 欧州合同原子核研究機関	DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron) ドイツ電子シンクロトロン研究所
5. ILCとの関連についての見解・情報	<p>(1) ILCとLHCの関係について</p> <ul style="list-style-type: none"> ①学術的な観点では、ILCとLHCは相補的な関係にある。 ・陽子衝突型加速器であるLHCは最高衝突エネルギーを生かした新物理・新粒子の直接探索を遂行 ・電子・陽電子衝突型加速器であるILCは、Higgs粒子や電弱理論等の精密測定を主なアプローチと設定。加えて、電弱セクターの超対称性粒子探索、Higgsの消失崩壊幅や自己結合の測定等、LHCでカバーできない物理の研究がILCでは可能。両者は相互にカバーし、両方が存在する意義は大 ②ILCは筆頭国際プロジェクトとして、LHCが果たしている役割を継ぐ形が望ましい。 ・LHCとILCの間に空白期間を作らないことが重要(次世代の物理学者・加速器研究者の養成の観点等) ・HL-LHC計画は2032年に終了するため、今から数年以内にILC計画の実施決定が下されることが望ましい。 <p>(2) ILC計画の意義・重要な事実について</p> <ul style="list-style-type: none"> ①円形加速器に代わる次世代の電子陽電子衝突実験である ・円形加速器ではビームのエネルギーに大きな制限がある。 ②LHCでは得られない学術的成果が確実に得られる ・ILCは「失敗しない」実験。Higgs粒子の性質の詳細な探索は、成果が完全に保証されている研究課題 ③国際的な合意の上でR&Dが既に建設可能な水準に達している ・最初から国際的合意のもとでR&Dが進み、数年のうちに建設開始可能な唯一の加速器プロジェクト。 ・R&Dは高水準であり、技術的困難はほぼ克服済み。TDRで設定したベースライン通りにやるなら、特に技術的な問題は無し。 ・新技術の導入によってさらに優れたもののできる可能性もあり。 ④最先端の情報処理・計算機技術を社会へ転用できる ・ILCは検出器がトリガーを持たず粒子衝突情報を全て記録するため、高度な情報処理技術開発が必要 <p>(3) 日本がILCを主導する意義について</p> <ul style="list-style-type: none"> ①学術的な価値だけでなく、日本が大規模国際協力プロジェクトを遂行できるということアピールできるという点で重要 ②国際的オープンな環境が日本に整備され、ILCが日本と世界の双方向の窓口としての機能を果たすことが期待可能 <p>(4) ILCが今直面している困難について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・人材の不足。研究者のコミュニティ全体がILCへ参加するコンセンサスと十分な能力を持つことが必要 ・予算とマンパワーの目的が完全に立って後、ILCの実施を宣言するのは、あまり良い戦略ではない。実施するとの機運が高まれば金も人も自然についてくるのが期待できるため、日本がILCを実施したいのであれば、この方法で人材不足の問題を解決することが望ましい ・現在はいっその決定が下されるかを各自が様子を見ている状態。この状態が長く続くのは望ましくない。日本がそれを破る役割を果たすことに期待 ・日本でILCが決定した場合、欧州からは予算(10億米ドル)の拠出と研究者の参加が見込まれる ・米国は複雑であるが、昨年のP5にて日本でILCが実施された場合にはそれに参加し、関連予算の削減は行わず上乗せもするという決定が下されたことは重く受け止めるべき <p>(5) 欧州素粒子物理コミュニティ・CERNからILCへの参加について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・現在、欧州素粒子実験コミュニティでILCに強い関心を持っている実験研究者は数100人規模で存在。今後増える可能性が大 ・ILCでは大規模実験の初期立上げに携われるので、自身の実力を証明したいという(特に若手の)研究者を引き寄せる魅力あり ・加速器研究者では、20~30人のキーパーソンと100人前後の技術者がILCへの参加に興味を持っていると推測 ・ただし、2017年のEXFEL運転開始までは集中的にILCに参加できる加速器研究者はそれほど多くないと推測 	<p>(1) ILCの必要性(科学的意義)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ILCは標準理論を超える新物理の発見を目指す。特にヒッグス粒子を精密に調べるためにILCは必要 <p>(2) ILCの測定器</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ILC測定器は17カ国の研究機関で、ILCに必要な粒子のエネルギー分解能を達成するために、共同研究開発を推進中 <p>(3) ILCの加速器(加速空洞、関連機器)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・EXFELはILCのプロトタイプ(ILCの10%に相当)。 ・DESYはSCRF加速空洞等の検査用の大規模設備を保有。この分野で高度な専門技術を保有。ILCのTDRIに大きく貢献(TDR作成に、約800万€および約200人・年を投下) ・DESYは、空洞の他、電磁石、真空装置、ビーム加速・制御技術、モニター・制御装置、専用計算機システム等の研究開発を実施 ・ここ数十年の研究開発により、加速空洞の加速勾配あたりのコストを90年代初頭と比較して15~20倍に下げることを実現。EXFELはこれにより実現可能。ILCも実現可能の見込み。 ・今後ILCが実現した場合、DESYの加速器建設への貢献は、クワイオモジュール製造の欧州担当分(CERN主導)の一部担、様々な加速器開発サポート等が想定 ・EXFELの経験を最大限生かすため、EXFELの空洞生産終了の頃に、ILCの加速空洞の生産開始ができることが理想 <p>(4) 加速空洞の生産方法(性能保証の有無)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・加速空洞の生産を企業に任せる場合性能保証をつけることは望ましくない。性能保証義務をつけると、性能試験施設を企業で導入する必要があり、生産コストが上昇するため。 ・EXFELではDESYが二オブ調達を履行。企業が調達する場合、調達コストにリスク分を20~30%上乗せする必要がある。 <p>(5) ILC正式決定後のドイツからの予算拠出</p> <ul style="list-style-type: none"> ・DESYは、ドイツ政府から大きな予算の寄与があることを希望している。 ・ILCの進展に伴い、参加研究者は増えていく。そのためにはエキストラな予算が必要。この場合、ある程度の予算は、従来どおりHelmholtz協会の枠組みで獲得することは可能と考えている。

	フランス	イギリス
	LAL(Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire) 線形加速器研究所	Cockcroft Institute コッククロフト研究所
1. 最新の組織(機関)の人員、予算構成	<p>(1) 職種別職員数・総数(最新)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・スタッフの内訳は、以下のとおり <ul style="list-style-type: none"> －研究者: 約120人 (70%が素粒子物理学分野、30%が宇宙物理学分野) －エンジニアおよび技術者: 約180人 (加速器25、管理35、計算機30、エレクトロニクス40、インフラ10、メカニクス40) －合計約300人 ・85%の人員は終身雇用(技術者に限ると95%) <p>(2) 項目別予算額・総額(最新)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・LALの年間予算は約850万€。人件費は別に約2,000万€ ・IN2P3/CNRSが決定する大実験への大型投資の方針によって予算は1年毎に増減 ・2014年の「プロジェクト」予算は約400～500万€、そのほとんどが加速器分野 	<p>(1) 職種別職員数・総数(最新)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・総人員は120人。5割は、3大学(Liverpool, Manchester, Lancaster)からの研究者と大学院生。 ・残りの5割はDaresbury Laboratoryの加速器グループ(ASTeC) ・3大学の人員内訳は、教員: 20人、博士研究員と大学院生: 35/40人 <p>(2) 項目別予算額・総額(最新)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・STFCより配分される中核研究予算は~1,700万ポンド(2009年から8年間の総額) ・研究予算の用途は、研究員の雇用、旅費、装置購入、運転資金等 ・大学教員は大学予算による雇用。加速器グループは、STFCによる雇用(~60人) ・その他の研究助成金: Engineering and Physics Sciences Research Council (EPSRC)、欧州予算等
2. 現在実施中の計画の概要・目標、人員・予算の配布状況	<p>(1) 現在実施中の計画の概要・目標</p> <ul style="list-style-type: none"> ・LALは1956年の発足以来、素粒子実験と加速器研究開発の双方に携わる。1990年からは宇宙物理学分野に参画 ・LALは欧州の8主要国立研究所のひとつとして、欧州将来計画(European Strategy)の次の方向に従う <ul style="list-style-type: none"> ■LHC加速器の利用、高輝度化アップグレード計画 ■エネルギーフロンティア加速器の研究開発 ■ILCの物理的意義の重要性の認識に基づく計画への参加 ■長基線ニュートリノ計画 ・LALが参加する現在進行中のプロジェクト <ul style="list-style-type: none"> ●LHC実験: ATLAS, LHCb ●ニュートリノ実験: NEMO ●理論: 素粒子論および現象論 ●宇宙物理学実験: Planck-HFI(建設のみ)、BAO-radio, JEM-EUSO, VIRGO ●加速器: XFEL(ドイツDESY), ATF2(日本KEK), ThomX(LAL), PHIL(LAL), ELI-NP(ルーマニア), ETALON <p>(2) 現在実施中の計画の人員・予算配分状況</p> <p>①XFEL用ケーブルの製作とコンディショニング(LAL)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・現在640個のケーブル製作を達成(ILC用は30個の試作)。製作はThales社とRIT社に発注(2000万€) <p>②ThomX(LAL)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・LAL内に建設中のコンパクトX線源(高強度X線)。2016年に運用開始予定。物質科学、医療、美術品分析等分野での応用が計画。予算は1200万€ <p>③PHIL(LAL)、UA9(CERN)、FCC-hh収束システム(CERN)、SuperKEKB & Belle II(KEK)、ATF2(KEK)、ILC加速器関連(LAL)、ELI-NP(ルーマニア)、TALON(LAL)</p>	<p>(1) 現在実施中の計画の概要・目標</p> <ul style="list-style-type: none"> ・国内: 主にASTeCによるDaresbury Laboratoryで運用中の計画 <ul style="list-style-type: none"> ●ALICE: Energy Recovery Linacの研究 - 現在資金難で停止中 ●CLARA: 自由電子レーザー(FEL)の研究 ●VELA: 電子加速の研究 ・国際: ASTeCおよび大学 <ul style="list-style-type: none"> ●LHCアップグレードのためのクラブ空洞の研究(Lancaster) ●ELI-NP光施設(ルーマニア) ●ESS(スウェーデン): 政府予算1.65億ポンド ●FAIR/GSI(ドイツ) ●Fermilabの陽子ビーム加速施設、ミュオン_{g-2}実験等 ・大学による研究活動 <ul style="list-style-type: none"> ●プラズマ加速実験計画AWAKE(CERN) ●レーザープラズマ加速の研究(Strathclyde大学) <p>(2) 現在実施中の計画の人員・予算配分状況</p> <ul style="list-style-type: none"> ・特に言及無し
3. 現在実施中の計画で想定している成果	<p>(1) これまでの成果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ATLASにおいて電磁カロリメータの設計/建設を主導、LHCb測定器への貢献 ・SuperB測定器の設計、その他の測定器への貢献: BaBar(SLAC)、D0(Fermilab)、H1(DESY)、ALEPH/DELPHI(CERN) ・データ解析における成果: ヒッグス粒子、Wボソン、トップクォーク、標準理論を超える物理、フレーバー物理等。 ・加速器への貢献: CERN・LEP入射器、SuperB加速器の設計、ILC加速器設計に寄与、レーザーと光共振器を用いた偏極度計、陽電子源、RF電子銃 <p>(2) 想定している今後の成果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・XFELに参加することで、ILC建設のための技術を蓄積 ・PHIL, ThomX, ELI-NP: 技術の維持と蓄積、人材育成を目的 	<ul style="list-style-type: none"> ・Fixed-Field Accelerator Gradient加速方式に関する研究論文(Nature誌) ・Energy Recover Linacに関する研究
4. 今後予定している中長期的な構想・研究計画の概要	<ul style="list-style-type: none"> ・LHCでエネルギーフロンティアの物理プログラムを遂行。ATLAS、LHCbグループは継続してデータ解析に携わる。 ・LALはILCの建設と実験に対して貢献する準備を推進中 ・ILC測定器の研究開発予算は、欧州委員会の研究助成金によりサポート。現在、AIDA 2020(Horizon 2020)を申請中 ・LALはBelle II実験に参加し、フレーバー物理のプログラムに実験初期段階から貢献 <p><LALが参加の準備を進めている将来プロジェクト></p> <ul style="list-style-type: none"> ・LHC加速器の高度化、ATLAS実験とLHCb実験 ・SuperKEKB加速器、Belle II実験 ・ILC, CLIC, FCC ・LSST(Large Synoptic Survey Telescope) 	

	フランス	イギリス
	LAL (Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire) 線形加速器研究所	Cockcroft Institute コッククロフト研究所
5. ILCとの関連についての見解・情報	<p>(1) ILCでやるべき研究項目</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ LHC (ATLAS) & ILCは、ヒッグス精密測定と新粒子探索 ・ LHC (LHCb) & Belle IIは、フレーバー物理 ・ これらを通して電弱対称性の破れの起源に迫る <p>(2) ILCの検出器開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ LHCとILC、それぞれに特化した研究開発 ・ PHILを検出器試験に利用する計画が進行中 ・ PHILとThomXをILCで用いる真空システムの試験に利用するための検討中 <p>(3) ILCに必要なデータ解析技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 高精細検出器のための新しい解析技術の開発が必要 ・ 素粒子物理学分野にとどまらず、大規模データ解析を行う科学分野グループとの協力・貢献 <p>(4) LALの研究者がILC実験に参加する可能性</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ LALの研究者の中に、ILCに興味を持つ者は潜在的に多い。参加は十分ありえる。 <p>(5) 欧州のFCCとILCの関係</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 欧州戦略の示す通り、LHCのアップグレードをやり、次にILC建設、FCC建設と順にやるのがベスト ・ 科学的意義の点で、次のエネルギースケールが決定しない状況ではFCCは建設できない。LHCのRun 2とILCの結果を見て、FCCの方向を判断すべき ・ 技術的に見ても、FCC加速器の研究開発遅れており、特に高勾配電磁石の研究開発、大量生産のための工業化プロセスの開発が必要 ・ ILCはこれまでの研究開発とXFELの建設で、課題は解決済。ILCは技術的には現時点で建設可能 <p>(6) ILCの人員を増やす方法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ILCに従事できる研究者はすぐには増やすことはできないため、分野内外での人材育成が急務。他の加速器実験や光源施設からの人材の移籍が想定される。近年の大規模計画の国際化は著しく、分野全体で人材は流動的になっている。 <p>(7) 欧州でのILC建設に向けた予算確保の見通し</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ フランス国内(IN2P3)及び欧州レベル(EUDET, AIDA)のこれまでのILC関連研究予算は、測定器プロトタイプ製作に対して提出。次の段階では実機製作への予算が期待される。 ・ ILC建設が現実化すれば新たな予算はつくが、それまでは必要最低限の予算しかつかないのが現状見通し 	<p>(1) 英国のILC関連予算と研究状況の実態</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ Cockcroft InstituteとJohn Adams Instituteの両機関は、ILCを中心的な研究計画に位置付けて創設 ・ 2008年にSTFCによるILC研究開発予算の中止が決定。以降、研究活動は大幅な縮小 ・ 予算のない状況下でも、専門性の高い特定の技術・ノウハウは維持しており、英国のILC予算が再開されればすぐに参加できる準備態勢にあり ・ 将来、ILCに参加する英国研究者の人数を推定するのは難しいが、40～50人は超えると思われ。ただし、他の計画のタイムラインにも影響される。 ・ 2014年にSTFCに対して、研究者がILCに参加する意思表示を示すStatement of Interestを提出。以後、STFCからILC関連の旅費が配分されることとなった。 <p>(2) ILCに対する加速器／素粒子物理コミュニティの声</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ STFCの加速器コミュニティは要望の多い加速器計画を実現することを使命と認識。重要になるのが素粒子物理コミュニティの意思。ILCに参加したいというコンセンサスがあれば、加速器コミュニティはこれに必ず応えようとする。

	イギリス
	John Adams Institute ジョンアダムス研究所
1. 最新の組織(機関)の人員、予算構成	<p>(1) 職種別職員数・総数(最新)</p> <ul style="list-style-type: none"> John Adams Instituteは3大学機関(Oxford, Imperial College London, Royal Holloway)から構成 構成員数は、教員: 25人、博士研究員と大学院生: 58人 <p>(2) 項目別予算額・総額(最新)</p> <ul style="list-style-type: none"> STFCより配分される中核予算は、1,100~1,200万ポンド(2009年より8年間総額)。中核予算の約2倍の追加研究予算あり Higher Education Councilより配分される人件費予算: 年間150万ポンド Cockcroft Instituteにある加速器機関ASTeCはJohn Adams Instituteではない。
2. 現在実施中の計画の概要・目標、人員・予算の配布状況	<p>(1) 現在実施中の計画の概要・目標</p> <ul style="list-style-type: none"> John Adams研究所はRutherford Appleton Laboratoryと強い協力関係あり John Adams研究所の設立当初より、ILCとCLICのグループあり。分野は、先端計装技術、ビーム診断装置、ビームダイナミクス等。KEKのATF、CERNのCTFに参加 主な参加プロジェクト・研究開発は以下のとおり <ul style="list-style-type: none"> ●シンクロトロン光施設: DIAMOND ●ミューオン・イオン冷却実験: MICE (RAL) ●高出力陽子入射器テスト施設: Front End Test Stand ●LHC測定器内の荷電粒子背景事象に関する研究開発 ●LHCアップグレードに関する研究開発(Cockcroftと共同) ●ESS(スウェーデン)におけるハードウェアの貢献を交渉中 ●レーザープラズマ加速の研究開発: Oxford/Imperial College <p>(2) 現在実施中の計画の人員・予算配分状況</p> <ul style="list-style-type: none"> 現在はCERNからのCLIC予算により、ILCの研究開発がサポートされている。
3. 現在実施中の計画で想定している成果	
4. 今後予定している中長期的な構想・研究計画の概要	
5. ILCとの関連についての見解・情報	<ul style="list-style-type: none"> John Adams研究所には、現もILC計画の加速器・測定器・物理解析に深く関わるキーメンバーが在籍し、ILC関連の国際会議にも多く参加。ILC予算がつけばすぐに活動を強化できる体制にあり 現在のILC研究開発はCLIC予算(年間100万USD規模)でサポートされている。CERNは英国に技術があると認識し、ILC/CLIC関連技術を継続的に支援する姿勢を保持 将来ILCに参加希望を持つ英国研究者は潜在的に多い。2013年にOxford大学で開催のILC関連の会合に、素粒子物理分野の研究者約80人の参加あり。 FCC-hhの設計スタディには参加しているが、FCC-eeはリスクが高いため、参加したいと考える英国研究者は少ない。

	アメリカ	アメリカ
	Fermi National Accelerator Laboratory フェルミ国立加速器研究所	SLAC National Accelerator Laboratory SLAC国立加速器研究所
1. 最新の組織(機関)の人員、予算構成	<ul style="list-style-type: none"> ・FNALの正規スタッフ全体はおよそ1,745人(2014年12月現在)。正規スタッフの内訳は、以下のとおり 16% 研究(理学系)者 3% 研究補助者 17% 技術者(工学系) 22% 技術スタッフ 16% 計算機担当 26% 事務スタッフ ・2014年FNALの総予算は428百万USDドル。内訳は以下の通り \$ 317 M 施設運用 \$ 64 M 設備・施設投資 \$ 46 M 建設工事 \$ 1 M その他 予算のほとんどは、米国連邦政府エネルギー省(DOE)の科学局(Office of Science)の下にある高エネルギー物理学(Office of High Energy Physics、以下HEP)から来ている。 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 職種別職員数・総数(最新) ・2013年度のデータでは、SLAC全体に約1600人が勤務。うち約300人はポストドクと大学院生。 ・その他に、年間約3400人の世界の研究者がSLACの施設を利用する。 (2) 項目別予算額・総額(最新) ・年間総額約 \$270M~\$280Mレベルの予算で運営されている。予算シェアとしてはDOEのOffice of Scienceからの基本エネルギー科学分野(BES=Basic Energy Science)と高エネルギー物理学分野(HEP=High Energy Physics)が最も多い。 ・予算のソースとしては、4分の1がHEP、3分の2がBESから来ている。 ・DOEの予算でエネルギー科学関連の主要設備を2つ運用しており、これが予算の大半、63%を占めている。 ・DOEの予算総額は毎年ほとんど変わらずフラットであるが、直近ではSLACの予算としてはBESのシェアが増えている。
2. 現在実施中の計画の概要・目標、人員・予算の配布状況	<ul style="list-style-type: none"> ・基本的にDOEのHEPが任命したParticle Physics Project Prioritization Panel (P5)委員会が作成した答申(P5 report)に沿って研究計画を立てている。 ・FNALの将来加速器設備のR&D ・LHCに関わる研究の推進と更新: CMS研究グループの運営責任を負う ・ミューオン物理学の研究プログラム ・暗黒エネルギー、暗黒物質、宇宙マイクロ波背景放射の宇宙物理学の促進 ・科学及び社会の利益に資する加速器の応用とインフラの発展: LCLS-IIへの貢献等 ・それぞれのプログラムは数10M~数100MD(1億ドル)の規模。 	<ul style="list-style-type: none"> 宇宙を取り巻く物質として、素粒子の性質、あるいは、暗黒物質が関わる相互反応を解明することが重要と高めている。さらには宇宙のエネルギー密度の約70%を形成する暗黒エネルギーについても着目している。 ・素粒子天文学と宇宙科学を大きな目標に据えつつ、大きく4つの柱に沿って将来の戦略的方向を定めている。 ・加速器としては、現在、SLACではLCLS-IIの建設を予定している。既往の2マイル加速装置の先頭の1キロをILC技術を使って超伝導RF空洞に変える超伝導加速器である。軟X線領域の光源を発生する施設になる。 ・LCLS-IIIについては、2014年に\$85M、2015年に\$130M(予定)の建設費使途の予算を獲得している。いずれ、上限の年間\$200Mレベルに到達すると言われている。 ・LCLS-II予算は一年半前、最先端FELを作るためにDOEが10億ドルの投資をしたことで急速に進展。
3. 現在実施中の計画で想定している成果	<ul style="list-style-type: none"> ・ニュートリノ質量の序列、ニュートリノ混合行列要素であるθ_{23} octantの特定、原子核とニュートリノの相互作用、ニュートリノセクターでのCP非対称性の破れ、核子崩壊、超新星爆発ニュートリノ、暗黒物質、暗黒エネルギー等の解明。 	<ul style="list-style-type: none"> ・創設当時から現在まで当研究所の基幹であった主加速装置ベース設備を革新し、運用すること。 ・材料科学、生物化学等の、施設整備に依り促進する研究分野への連携、貢献。 ・特にスタンフォード大学と共に成長させたいと願っている分野として、エネルギー分野に関連する異分野融合研究がある。スタンフォードの工学分野での地力を活かした連携を、長期戦略として検討している。 ・宇宙分野におけるフロンティアプログラムの追及。
4. 今後予定している中長期的な構想・研究計画の概要	<ul style="list-style-type: none"> ・直近ではP5に沿った計画を今後も継続・展開していく。 ・ヒッグス粒子・クォークおよびレプトンの精密測定の向上は大きなテーマである。 	<ul style="list-style-type: none"> ・SLACでの非加速器素粒子実験のひとつは、ニュートリノを放出しないダブルベータ崩壊の発見を目指す地下実験である。濃縮キセノン実験装置の建設と運用に從事している。これによって、最先端の成果を出すべく3年前よりニューメキシコで運用されている。 ・この5-10年程度で大学と研究所の接点となる3つの研究所と1つの研究センターを設立した。今後、これらの拠点の拡充を計画している。Kavli素粒子天文学宇宙科学研究所、材料・エネルギー科学研究所、The Photon Ultrafast Laser Science and Engineering Institute (PULSE)、Center for Interface Science and Catalysis (SUNCAT: Sustainable eNergy through CATalysis)がある。
5. ILCとの関連についての見解・情報	<ul style="list-style-type: none"> (1) ILCの特性について ① ILCの特性は既往にない大規模であることである。 ・学術的な効果で言うと、その価値は、既往の衝突エネルギーを超え、レプトンコライダーの特長であるクリーンな環境で電子陽電子衝突型の精密実験、特にヒッグス粒子を通した精密実験、ができることに意味がある。 (2) ILC計画の意義・重要な事実について ① 素粒子物理学分野の人材育成へのインパクトが非常に大きい CERNのような学術都市としての環境が日本に実現すれば、そこに世界の研究者、学生が集まることになり、学生にとっては非常に良い教育と研究の機会になる。 ② 産業界への波及効果が大きい ・ベンチャーのような小規模ビジネスの創出効果も非常に重要であり、その意味ではILCはインキュベーション拠点としても機能し得る。 ・技術的な波及効果だけでなく、建設・インフラ分野へのインパクトも大きい。 (3) 米国政府のILCへの関与について ・これまでのILC関連予算の規模はおよそ1億ドル。クライオモジュールの開発などに使われてきた。 ・日本がILC招致を決定すれば、米国政府からも予算がつくだろうという期待はあるが、DOE単体で意思決定できる問題ではない。首脳会談のレベルで大きな動きが必要になる。 (4) ILCに関するFNALでのR&D ・平均加速電場勾配が約31.5 MV/mを超えるILCに特化した8空間のクライオモジュールの開発を行ってきた。 ・ILCの加速技術の波及効果としてLCLS-IIの開発が進行している。LCLS-IIのために、ILCと同じスペックの超伝導加速空洞とクライオモジュールの組み立てやテストを実施している。 	<ul style="list-style-type: none"> (1) ILCの特性について ・これにより高出力RFの需要があり、それがもたらす学術・技術・産業界の波及効果は大きいと考えている。 (2) ILC計画の意義・重要な事実について ・SLACは、研究所の研究方針の二軸として、ひとつはILCを利用した研究、もう一つとしてはニュートリノ質量とニュートリノでのCP対称性の破れの起源を発見することを目指している。ILCへの期待は大きく、設備開発も独自に進めている。 ・高出力RF実現すれば、それを高出力で小型な加速器に転用する等、リニアックに限らずあらゆる加速器関連のソリューションへの活用が考えられる。産業用、医療用、通信用などでの用途がある。 (3) 米国政府のILCへの関与について ・ブッシュ政権時にILC誘致を検討し、その取り組みが失敗に終わって以来、ILCについては政府としては積極的には誘致しない方針となってしまった。 ・しかしエネルギー分野の新技術研究の必要性は社会的に認めざるを得ないことであり、ILCはその一角を担うため、特に研究者で重視する関係者は多い。 (4) ILCに関するSLACでのR&D ・ILC向けの超伝導キャビティの研究開発を、LCLS-IIIに転用している。 ・SLACにはFACETという高エネルギー研究施設があり、そこでは23GeV級の高エネルギー電子を作ることができる。これがILCの出力へ貢献できるだけではなく、長期的には今後のリニアックの技術基準に変化をもたらすR&Dだと考えている。 ・ILCの建設費用の高さは大きな障壁であり、SLACとしては、高出力RFの開発において、できるだけ安価に高いパフォーマンスが出せるソースの開発に注力している。コスト削減のためのR&DというのがSLACの命題になっている。

	アメリカ	カナダ
	Argonne National Laboratory アルゴンヌ国立研究所	TRIUMF TRIUMF
1. 最新の組織(機関)の人員、予算構成	調査対象外	(1)職種別職員数・総数(最新) ・70%が非カナダ人の、国際的な構成である。 ・TRIUMFのスタッフ全体はおよそ502人(2015年2月現在) ・正規スタッフの内訳は、以下のとおり ホードメンバー 54人 研究者・技術者 163人 技師・補助者 189人 ポストク・学生等 96人 (2)項目別予算額・総額(最新) ・TRIUMFの総予算は82Mカナダドル(通貨単位は以下\$)。内訳は以下の通り: 給与人件費 \$40M 設備備品 \$17M 消耗品費等 \$12M 建物 \$4M その他 ・予算のおよそ半分強は、NRCから出ている。
2. 現在実施中の計画の概要・目標、人員・予算の配布状況	調査対象外	(1)現在実施中の計画の概要・目標 ・TRIUMF Five Year Planという5ヶ年計画があり、この3月31日にその最新版である2015-2020の計画が公表される。これは主としてNRCに対する予算計画である。現在は、2010-2015年計画の最終年度。 ・この5ヶ年計画の策定にあたっては、TRIUMFの活動の経済効果の分析も行っている。 ・その中の原子核・素粒子プログラムは、基本的にはNSERCのLong Range Plan in Subatomic Physicsとは独立であるが、概ねその内容に従っている。 (2)現在実施中の計画の人員・予算配分状況 ・素粒子分野21人(うちTRIUMF正規スタッフ13人、大学職員2人、外部兼任研究者6人)、原子核物理9人(うち全員TRIUMF正規スタッフ)。 ・素粒子分野\$125K、原子核物理\$810K
3. 現在実施中の計画で想定している成果	調査対象外	(1)学術的成果について ・原子核について予測フレームワークの開発 ・重元素を生じる天体物理のプロセスの解明 ・標準モデルを越えた物理法則の発見(LHC, ISAC) ・CP非対称性の破れを含むニュートリノの混合パラメータとニュートリノの質量ヒエラルキーの決定(T2K, HyperK) ・素粒子物理実験における測定器の新技術の開発と実践(ATLAS/LHC, T2K/HyperK) (2)技術的成果について ・high intensity target technology ・高分解能質量分析 ・イオンと原子のコントロールとトラッピング ・イオン化と偏極のためのレーザー技術 ・高性能の超伝導加速器技術の開発。高出力の電子源、最新の四極子、ILC型超伝導RF空洞を含む。 ・高性能グリッドコンピューティング技術 ・冷却技術
4. 今後予定している中長期的な構想・研究計画の概要	調査対象外	・HL-LHC向けのATLAS測定器のアップグレード(カナダのATLASチームは、取り得る選択肢と優先度について検討中) ・ILC測定器の開発(開発中。ILCに関する決定待ち) ・T2K測定器のアップグレードとHyperK向け測定器技術の開発
5. ILCとの関連についての見解・情報	・米国高エネルギー分野では5年おきのP5委員会からのレポートが素粒子物理分野の今後の国家計画の骨子となっている。2008年頃までは、米国でのILCの占める重要性は大きく技術開発を進めていたが、巨額の投資が必要なことから、その後、縮小されている。現状では、米国政府としてはILCをホストするという立場には今ない。 ・SLACのLCLS-IIは、過去のILCの超伝導技術開発のスピンオフのような位置づけになるため、ILCの効果を評価する意見もある。ANLはLCLS-IIのクライオモジュールの製作も請け負うことになるということである。 ・ILCにより期待される学術的な意義というのは、ヒッグス粒子の超精密測定による新物理現象の発見ではあるが、それ自体は非常に大きなインパクトを持つ。 ・また、ILC実験では計測装置の高度化が期待されるが、これからもスピンオフが期待できるかもしれない。	(1)ILCとTRIUMF等の研究計画との関係性 ・測定器に関する研究やILC向け測定器の技術開発はカナダ国内の複数の研究開発グループによって行われている。 ・ILCの超伝導RF技術の経験をARIELのe-リニアックに活用すること (2)カナダ政府としてのILCへの関わり方 ・LHCの際には、Industry Canadaから10年間で\$42Mの出資があった。理由付けとして、カナダ国内で建設予定していたが廃止になったTRIUMF KAON factory研究施設用の予算を、LHCにあて、企業の活性化を促す、ということだった。 ・ILCの場合にも同様のアプローチで予算が検討されることになると考えられる。

	中国
	Institute of High Energy Physics, CAS 中国科学院高能物理研究所
1. 最新の組織(機関)の人員、予算構成	<p>(1) 職種別職員数・総数(最新)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・IHEPの職員数は1,508名(2013年末)。約1,249人が科学者と技術者、259人が科学的支援人材。 <p>(2) 項目別予算額・総額(最新)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・計画書は一部を公開することもあるが、予算は公開しない方針で進めている。予算を公開して民間企業に知られると困る為。
2. 現在実施中の計画の概要・目標、人員・予算の配布状況	<p>(1) 現在実施中の計画の概要・目標</p> <p>1)</p> <p>現在、高能物理研究所「一三五」戦略計画が実行されている。その中では三つの重要突破目標が設定されている。</p> <p>①素粒子物理研究で重要な成果を獲得(チャーム粒子、ニュートリノ)</p> <p>②国の重要な設備を完成(核破砕中性子源施設、硬X線望遠鏡、大型高高度空気シャワー観測施設)</p> <p>③研究成果の産業化において重要な進展を獲得(医療画像生成診断、工業用画像生成、低毒性腫瘍ナノ薬物等)</p> <p>2) 実験施設の概要</p> <p>①稼働中の加速器実験施設</p> <ul style="list-style-type: none"> ・BEPC & BEPCII(Beijing Electron Positron Collider) ・BESIII(Beijing Spectrometer) ・BSRF(Beijing Synchrotron Radiation Facility) <p>②稼働中の加速器以外の実験施設</p> <ul style="list-style-type: none"> ・Daya Bay Neutrino Experiment ・YBJ International Cosmic Ray Observatory <p>(2) 現在実施中の計画の人員・予算配分状況</p> <ul style="list-style-type: none"> ・(再掲)計画書は一部を公開することもあるが、予算は公開しない方針で進めている。予算を公開して民間企業に知られると困る為。
3. 現在実施中の計画で想定している成果	<p>a) アカデミックな成果(素粒子・原子核物理学面での成果)</p> <p>より高エネルギーの加速器を作ること。また、加速器を用いない測定では宇宙に関する研究、すなわち、宇宙線やニュートリノをより一層研究し、宇宙の創生、ビッグバン直後の状況の解明に当たりたい。</p> <p>b) 技術的な成果(加速器等の技術開発面での成果)</p> <p>加速器及び測定器の精度を向上させ、電子及び陽子に関する分析を精度高く進めたい。非加速器は1000トン規模からより大きな規模なものとしたい。</p>
4. 今後予定している中長期的な構想・研究計画の概要	<ul style="list-style-type: none"> ・計画されている加速器施設は、2018年前後に広東省東莞市で稼働予定の中国核破砕中性子源CSNS(China Spallation Neutron Source)。 ・2013年、BEPCIIの後継版として円形電子・陽電子衝突型加速器(Circular Electron Positron Collider)+プロトン衝突型加速器CEPC-SppCに関する研究プロジェクトが始動。 ・加速器以外の施設は、次の二つを建設予定。 <ul style="list-style-type: none"> －ニュートリノ実験施設: Jiangmen Underground Neutrino Observatory(JUNO) －宇宙線観測施設: 四川省稻城地域に第二期の大型高高度空気シャワー観測施設(LHAASO)建設予定
5. ILCとの関連についての見解・情報	<ul style="list-style-type: none"> ・ILCは世界で20年前から議論されている。中国も自分らの役割を果たしたいと思うが、現時点では明確な目標は持っていない。

3. 各国の素粒子・原子核物理分野の将来構想等の取りまとめと ILC への示唆

以上の 1. 及び 2. の調査結果を総合的に踏まえて、欧州（ドイツ、フランス、スイス、英国）、北米（米国、カナダ）、中国における、素粒子・原子核物理分野の将来構想等の概要を取りまとめるとともに、ILC との関係性を整理し示唆とする。

1) 各国の素粒子・原子核物理分野の将来構想等の取りまとめ

1. 及び 2. に示したように、各国政府機関及び主要研究機関へのインタビュー調査にて、素粒子・原子核物理分野の現在実施中の計画、今後実施を検討している構想・計画について把握した。

これらは、①原子核物理、②素粒子物理、③素粒子天文学（ニュートリノ）、④加速器技術、⑤加速器技術応用（医療等）、⑥理論物理、⑦計算機に大別される。

本節では、加速器を用いた①原子核物理及び②素粒子物理、また、④加速器技術そのものに関する欧州、北米、中国における将来構想等について取りまとめる。

(1) 欧州

欧州調査対象国における計画のベースには、「The European Strategy for Particle Physics Update 2013」（欧州の素粒子物理学戦略 2013 年改訂版）がある。

本戦略は、2006 年に制定され、今回改訂が行われ、2013 年 5 月に CERN 理事会の欧州戦略のための特別会合で承認されたものである。3 ページ程度の短い文章にまとめられており、その中で最優先事項（High priority large-scale scientific activities）として以下の 4 つが示されている。

- ① High Luminosity Large Hadron Collider (LHC が最優先事項。HL-LHC 計画 (2030 年頃迄に加速器及び検出器の高輝度化により 10 倍のデータを集める事を目指す)
- ② 次世代の大規模加速器実験の計画 (ポスト LHC 計画の必要性。欧州の次の計画を出すために R&D を実施。CLIC (Compact Linear Collider) や Future Circular Collider (FCC) を想定)
- ③ ILC 計画への参加 (日本主導による ILC 計画を最も歓迎)
- ④ アメリカや日本が主催する国際的な長基線ニュートリノ実験への参加

欧州調査対象国は、基本的に上記の欧州戦略に従い、LHC での研究を重視した計画や取組みを策定・実行している。各国別に動向をみると、次のような特徴がみられる。

- ・ドイツでは、BMBF（連邦教育科学研究技術省）が、政府の大規模研究施設への支援の全体像を示したロードマップ “Roadmap for research infrastructures” を作成し、掲載プロジェクト (FAIR、ESS、EXFEL、CTA 等全 27 プロジェクト) への補助を行なっている。なお、ドイツ政府の ILC への支援は、ロードマップへの掲載が前提となる。
- ・フランスでは、CEA（原子力・代替エネルギー庁）、CNRS（国立科学研究センター）が連携して、優先度の高い計画プロジェクト (LHC アップグレード、重イオン加速器施設 GANIL、EXFEL、FAIR、VIRGO<欧州重力波観測所 EGO>) 等へ予算

配分している。次の重要大規模プロジェクトとして CTA (Cherenkov Telescope Array) が位置づけられている。

- ・イギリスでは、STFC (科学技術施設庁) が素粒子物理や核物理分野の研究開発項目を示した基本方針を示している。素粒子物理分野では、LHC を最大限活かすことが最優先事項となっている。また、ILC については英国研究者の研究再参入への予算がついた (2025 年より 3 年)。基本方針は 4 年毎に行われる計画評価プロセスの結果にもとづいて決定される。

図表 II - 72 欧州における現在実施中の計画、今後実施を検討している構想・計画

国・地域	現在実施中の計画、今後実施を検討している構想・計画
欧州	<p>The European Strategy for Particle Physics Update 2013</p> <ul style="list-style-type: none"> ① High Luminosity Large Hadron Collider ② 次世代の大規模加速器実験の計画 ③ ILC 計画への参加 ④ アメリカや日本が主催する国際的な長基線ニュートリノ実験への参加
ドイツ	<p>現在実施中の計画</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 連邦教育科学研究技術省：BMBF (Federal Ministry of Education and Research) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Roadmap for research infrastructures -A pilot project of the Federal Ministry of Education and Research(BMBF) ・政府の大規模研究施設への支援の全体像を示す。 ・ロードマップには 27 のプロジェクトが掲載。ヨーロッパの戦略 “Strategy Report on Research Infrastructures Roadmap 2010” (ESFRI) と整合 ● ドイツ電子シンクロトロン研究所：DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Programme Oriented Funding (及び「5 年計画」) ・ Programme Oriented Funding に関する検討プロセスが終了。ILC 計画を含む素粒子物理の計画は高く評価され、これにより今後 5 年間の加速器の研究開発および測定器開発の予算が Helmholtz 協会より承認された。 <p>今後実施を検討している構想・計画</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 連邦教育科学研究技術省： <ul style="list-style-type: none"> 現在のロードマップ策定は、これまでにないドイツ初の試み。見直しは数年後 (未定) ● ドイツ電子シンクロトロン研究所：EXFEL <ul style="list-style-type: none"> DESY 内に建設中の X 線自由電子施設。2016 年に運転開始を予定。
フランス	<p>現在実施中の計画</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 原子力・代替エネルギー庁 宇宙基礎科学研究所：CEA/Irfu (Commissariat à l' énergie atomique et aux énergies alternatives / Institut de recherché sur les lois fondamentales de l' Univers) <ul style="list-style-type: none"> 計画の基本方針は欧州委員会の策定した European Strategy for Particle Physics を踏襲 ● 国立科学研究センター/国立原子核・素粒子物理研究所：CNRS /IN2P3 (Centre national de la recherche scientifique/ National institute of nuclear and particle physics) <ul style="list-style-type: none"> <素粒子物理分野における優先度の高いプロジェクト> <ul style="list-style-type: none"> ▪ LHC フェーズ 1 アップグレード: ATLAS, CMS, LHCb, ALICE への貢献

国・地域	現在実施中の計画、今後実施を検討している構想・計画
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ LHC フェーズ 2 アップグレード: ATLAS, CMS への貢献 ▪ Belle 2 実験への参加を検討中 <p><ニュートリノ物理分野における優先度の高いプロジェクト></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ T2K (東海/神岡): ニュートリノ実験、長基線ニュートリノ実験 ▪ ニュートリノの質量階層性に関する実験: JUNO, LBNX (Fermilab), ハイパーカミオカンデ等を検討中 <p><核物理分野における優先度の高いプロジェクト></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ ALICE (LHC/CERN): 重イオン衝突実験、陽子構造に関する実験 (JLab, 米) ▪ SPIRAL2 (GANIL, 仏) <p><加速器分野に関するプロジェクト></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 超伝導加速空洞および超伝導冷却技術、イオン源および電子源 ▪ 放射性原子核ビームの生成用ターゲット、ビーム・ダイナミクス ▪ MYRRHA 計画 (ベルギー): 加速器駆動型未臨界炉、レーザー加速技術 <p>● 線形加速器研究所: LAL (Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire)</p> <p>欧州の 8 主要国立研究所のひとつとして、欧州将来計画 (European Strategy) の方向性に従う</p> <p><LAL が参加する現在進行中のプロジェクト></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ LHC 実験: ATLAS, LHCb ▪ ニュートリノ実験: NEMO ▪ 理論: 素粒子論および現象論 ▪ 宇宙物理実験: Planck-HFI, BAO-radio, JEM-EUSO, VIRGO ▪ 加速器: XFEL (ドイツ DESY), ATF2 (日本 KEK), THOMX (LAL), PHIL (LAL), ELI-NP (ルーマニア), ETALON <p>今後実施を検討している構想・計画</p> <p>● 国立科学研究センター/国立原子核・素粒子物理研究所: CNRS /IN2P3 (Centre national de la recherche scientifique/ National institute of nuclear and particle physics)</p> <p><フランス国内プロジェクト: IN2P3 内で検討></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ モダナ地下研究施設の拡張、KM3NeT/ORCA (ニュートリノ観測所) <p><フランス国内プロジェクト: IN2P3 の管轄外></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ ILL 中性子源および ESRF 電子シンクロトロン of アップグレード ▪ SOLEIL 施設のアップグレード <p><国際プロジェクト></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ LSST (チリ): 可視光赤外線望遠鏡 ▪ LISA 衛星: 宇宙重力波望遠鏡 ▪ EUCLID 衛星: 暗黒エネルギーに関する実験 (2020 年打ち上げ予定) <p>● 線形加速器研究所: LAL (Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire)</p> <p><LAL が参加の準備を進めている将来プロジェクト></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ LHC 加速器の高度化、ATLAS 実験と LHCb 実験 ▪ SuperKEKB 加速器、Belle II 実験 ▪ ILC, CLIC, FCC ▪ LSST (Large Synoptic Survey Telescope)
イギリス	<p>現在実施中の計画</p> <p>● 科学技術施設庁: STFC (Science and Technology Facilities Council)</p> <p><素粒子物理分野></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ LHC を最大限生かすのが最優先事項 ▪ ニュートリノ物理に関しては、STFC は APPEC(宇宙素粒子物理欧州委員会)の声明支持

国・地域	現在実施中の計画、今後実施を検討している構想・計画
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ILCについては、英国研究者が研究に再参入する準備のための予算がついた ▪ FNAL ミューオン g-2 実験のサポート <p><加速器分野></p> <p>2004年に2つの主要研究所が発足（Cockcroft Institute 及び John Adams Institute）</p> <ul style="list-style-type: none"> ● コッククロフト研究所 <ul style="list-style-type: none"> <国内: 主に ASTeC による Daresbury Laboratory で運用中の計画> <ul style="list-style-type: none"> ▪ ALICE: Energy Recovery Linac の研究 - 現在資金難で停止中 ▪ LARA: 自由電子レーザー(FEL)の研究 ▪ VELA: 電子加速の研究 <国際: ASTeC および大学> <ul style="list-style-type: none"> ▪ LHC アップグレードのためのクラブ空洞の研究 (Lancaster) ▪ ELI-NP 光施設 (ルーマニア) ▪ ESS (スウェーデン): 政府予算 1.65 億ポンド ▪ FAIR/GSI (ドイツ) ▪ Fermilab の陽子ビーム加速施設、ミューオン g-2 実験等 <大学による研究活動> <ul style="list-style-type: none"> ▪ プラズマ加速実験計画 AWAKE (CERN) ▪ レーザープラズマ加速の研究(Strathclyde 大学) ● ジョンアダムス研究所 <ul style="list-style-type: none"> <主な参加プロジェクト・研究開発> <ul style="list-style-type: none"> ▪ シンクロトロン光施設: DIAMOND ▪ ミューオン・イオン冷却実験: MICE (RAL) ▪ 高出力陽子入射器テスト施設: Front End Test Stand ▪ LHC 測定器内の荷電粒子背景事象に関する研究開発 ▪ LHC アップグレードに関する研究開発 (Cockcroft と共同) ▪ ESS (スウェーデン) におけるハードウェアの貢献を交渉中 ▪ レーザープラズマ加速の研究開発: Oxford/Imperial College <p><u>今後実施を検討している構想・計画</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 科学技術施設庁: STFC (Science and Technology Facilities Council) <p>STFC の基本方針は4年毎に行われる計画評価プロセス(Programmatic Review: PR)の結果にもとづく</p>

(2) 北米

米国における計画のベースには、「Report of the Particle Physics Project Prioritization Panel (P5) (2014年5月、DOE)」がある。

P5は米国の素粒子物理学コミュニティが検討したものをDOEとNSFがHigh Energy Physics Advisory Panel (HEPAP) にP5を最新の戦略計画として取りまとめるよう指示し作成した、20年先のグローバルな視点に立った、10年計画である。

P5では5つの“science drivers”を設定しており、これらが今後の米国の研究計画の骨格を作ることになっている。

- ①ヒッグス粒子を発見の新しいツールにする
- ②ニュートリノ輸送に関する物理学の探究
- ③暗黒物質に関する新しい物理学の確率
- ④宇宙加速の究明：暗黒エネルギーと宇宙膨張
- ⑤未解明の物質の探究：新粒子、相互作用、物理原則

P5の中には、「日本がILCのホスト国になることに対する関心を示していることは、胸を踊らせるような進展である」という記載がある。

米国がILC計画に関わるかどうかは様々な要因に依って決まるが、予算の想定シナリオは今後の見通しを決める要因の一つである。P5では、どの予算シナリオも今後5年間のどこかでILCへのサポートをある程度のレベルで組み込む想定をしている。

P5に示された予算シナリオは10年間のタイムスパンで想定され、大きく3種類に分かれる。

- ・シナリオA：最も予算が少ないシナリオ
- ・シナリオB：やや予算が多いシナリオ
- ・シナリオC：予算のキャップがない自由なシナリオ（ただし、無限ではない）

シナリオCはDOEがカバーできる予算を大きく超過している予算を使う想定シナリオであり、ILC計画が進んだ際に米国が積極的に世界のリーダー役を担う想定がされている。

カナダでは、NSERCがThe Subatomic Universe: Canada in the Age of Discoveryという2011-2016年の計画を2011年に策定している。これは、カナダの素粒子物理学分野の研究者がボトムアップで作りに上げた指針である。これとは別にNRCから資金をもらっているTRIUMFの別に5年計画を立てている。この中では以下の研究テーマが素粒子物理学の柱となっており、2011年計画策定のために、ILCは挙がっていない。

- ①ATLAS（ヒッグス粒子）
- ②SNO、T2K（ニュートリノ）
- ③加速器全般
- ④TRIUMF（アイソトープ）
- ⑤Snolab（暗黒物質）

図表 II - 73 北米における現在実施中の計画、今後実施を検討している構想・計画

国・地域	現在実施中の計画、今後実施を検討している構想・計画
<p>米国</p>	<p>現在実施中の計画</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 米国エネルギー省：DOE (Department of Energy) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Particle Physics Project Prioritization Panel (P5) レポート “Building for Discovery : Strategic plan for U.S. particle physics in the Global Context” ▪ 2014年5月に公表された、米国の素粒子物理学コミュニティが数年かけて検討し作成した計画（発行主体はDOE）。 ▪ 20年先のグローバルな視点に立った、10年計画。 ▪ P5では5つの“science drivers”を設定しており、これらが今後の米国の研究計画の骨格を作ることになっている。 ▪ P5では、どの予算シナリオでも、ILCに関する意思決定がされる今後5年の間は、適度・適切なレベルでILCのサポートを行い、ILC計画が承認されれば、さらに高いレベルでの協力を想定する、とされている。 ● フェルミ国立加速器研究所：Fermi National Accelerator Laboratory <p>基本的にDOEのHEPが任命したParticle Physics Project Prioritization Panel (P5)委員会が作成した答申(P5 report)に沿って研究計画を立てている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ FNALの将来加速器設備のR&D ▪ LHCに関わる研究の推進と更新: CMS研究グループの運営責任を負う ▪ ミューオン物理学の研究プログラム ▪ 暗黒エネルギー、暗黒物質、宇宙マイクロ波背景放射の宇宙物理学の促進 ▪ 科学及び社会の利益に資する加速器の応用とインフラの発展：LCLS-IIへの貢献等 ● SLAC国立加速器研究所：SLAC National Accelerator Laboratory <ul style="list-style-type: none"> ▪ 素粒子天文物理学と宇宙科学を大きな目標に据えつつ、大きく4つの柱に沿って将来の戦略的方向を定めている。 ▪ 加速器としては、現在、SLACではLCLS-IIの建設を予定している。既往の2マイル加速装置の先頭の1キロをILC技術を使って超伝導RF空洞に変える超伝導加速器である。軟X線領域の光源を発生する施設になる。 ▪ LCLS-IIについては、2014年に\$85M、2015年に\$130M（予定）の建設費使途の予算を獲得している。いずれ、上限の年間\$200Mレベルに到達すると言われている。 ▪ LCLS-II予算は一年半前に、最先端FELを作るためにDOEが10億ドルの投資をしたことで急速に進展。 ▪ SLACは、濃縮キセノン天文台の建設と運用に従事（ニュートリノフリーダブルベータ崩壊の発見を目指す地下実験。3年前よりニューメキシコで運用） <p>今後実施を検討している構想・計画</p> <ul style="list-style-type: none"> ● フェルミ国立加速器研究所：Fermi National Accelerator Laboratory <p>直近ではP5に沿った計画を今後も継続・展開していく。ヒッグス粒子・クォークおよびレプトンの精密測定の上は大きなテーマである。</p> ● SLAC国立加速器研究所：SLAC National Accelerator Laboratory <p>この5-10年程度で大学と研究所の接点となる3つの研究所と1つの研究センターを設立した。今後、これらの拠点の拡充を計画している。Kavli素粒子天文物理宇宙科学研究所、材料・エネルギー科学研究所、The Photon Ultrafast Laser Science and Engineering Institute (PULSE)、Center for Interface Science and Catalysis (SUNCAT: SUstainable eNergy through CATalysis)がある。</p>
<p>カナダ</p>	<p>現在実施中の計画</p> <ul style="list-style-type: none"> ● カナダ自然科学・工学研究会議：NSERC (Natural Sciences and Engineering

国・地域	現在実施中の計画、今後実施を検討している構想・計画
	<p>Research Council of Canada)</p> <p>研究開発は国、教育は州政府という役割分担があるが、カナダにおいてはボトムアップで政策が決まるため、NSERC、CFI、NRC がそれぞれ異なる独自の計画・方針を有している</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ The Subatomic Universe: Canada in the Age of Discovery <ul style="list-style-type: none"> ・ NSERC が策定する 2011-2016 年の計画。 ・ これは、研究者の間でボトムアップで優先度を決定した指針である。大学の研究者の研究資金の分配に使用される。 ・ この中では以下の研究テーマが素粒子物理の柱となっており、ILC は挙がっていない。 <ul style="list-style-type: none"> ✓ ATLAS (ヒッグス粒子) ✓ SNOLAB、T2K (ニュートリノ) ✓ 加速器全般 ✓ TRIUMF (アイソトープ) ▪ TRIUMF Five Year Plan <ul style="list-style-type: none"> ・ 5ヶ年計画。この3月31日にその最新版である2015-2020年の計画が公表される。現在は、2010-2015年計画の最終年度。 <p><u>今後実施を検討している構想・計画</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● カナダ自然科学・工学研究会議：NSERC (Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada) <p>次期計画にあたる、2016年以降の計画も議論されており、その柱は以下のものになる予定である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ ARIEL (TRIUMF) ▪ XFEL である LCLS-II ▪ ILC ● TRIUMF <ul style="list-style-type: none"> ▪ HL-LHC 向けの ATLAS 測定器のアップグレード (カナダの ATLAS チームは、取り得る選択肢と優先度について検討中) ▪ ILC 測定器の開発 (開発中。ILC に関する決定待ち) ▪ T2K 測定器のアップグレードと HyperK 向け測定器技術の開発

(3) 中国

中国における素粒子・原子核物理学研究のベースには、中国科学院高能物理研究所「一三五」戦略計画があり、三つの重要突破目標が設定されている。

- ①素粒子物理研究で重要な成果を獲得（チャーム粒子、ニュートリノ）
- ②国の重要な設備を完成（核破砕中性子源施設、硬 X 線望遠鏡、大型高高度空気シャワー観測施設）
- ③研究成果の産業化において重要な進展を獲得（医療画像生成診断、工業用画像生成、低毒性腫瘍ナノ薬物等）

中国の加速器実験施設は、1980年代後半より、電子・陽電子衝突実験施設 BEPC、電子陽電子衝突スペクトロメーター-BES、放射光施設 BSRF を中心に発展してきており、2013年には BESIIIにてチャーモニウム粒子 $Z_c(3900)$ の生成が観測されている。

また、稼働予定の施設としては、2018年前後に広東省東莞市で稼働予定の中国核破砕中性子源 CSNS、2020年に広東省江門で稼働開始のニュートリノ実験施設 JUNO、四川省稻城地域に第二期の大型高高度空気シャワー観測施設 LHAASO 建設予定と加速器実験施設及び加速器以外の実験施設の建設が進みつつあり、「一三五」戦略計画が実行されていることが分かる。

一方、まだ研究段階であるが、BEPCIIの後継版として円形電子・陽電子衝突型加速器（Circular Electron Positron Collider）+プロトン衝突型加速器 CEPC-SppCに関する研究が始動しており、同じトンネルにおいて、フェーズ1で電子・陽電子衝突、フェーズ2でプロトン・プロトン衝突実現を目指そうとする構想がある。

中国が ILC 計画に関わるかどうかに関する点は、中国科学院高能物理研究所の王所長に対するインタビューでは、「中国も役割を果たしたいと思うが、現時点では明確な目標は持っていない」と回答を得ている。

図表 II - 74 中国における現在実施中の計画、今後実施を検討している構想・計画

国・地域	現在実施中の計画、今後実施を検討している構想・計画
中国	<p><u>現在実施中の計画 (IHEP)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 現在、高能物理研究所「一三五」戦略計画が実行されている。この中では三つの重要突破目標が設定されている。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 素粒子物理研究で重要な成果を獲得（チャーム粒子、ニュートリノ） ➢ 国の重要な設備を完成（核破砕中性子源施設、硬 X 線望遠鏡、大型高高度空気シャワー観測施設） ➢ 研究成果の産業化において重要な進展を獲得（医療画像生成診断、工業用画像生成、低毒性腫瘍ナノ薬物等） ● 稼働中の加速器実験施設 <ul style="list-style-type: none"> ➢ BEPC & BEPCII (Beijing Electron Positron Collider)、BESIII (Beijing Spectrometer)、BSRF (Beijing Synchrotron Radiation Facility) ● 稼働中の加速器以外の実験施設 <ul style="list-style-type: none"> ➢ Daya Bay Neutrino Experiment ➢ YBJ International Cosmic Ray Observatory <p><u>今後実施を検討している構想・計画</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 計画されている加速器施設は、2018 年前後に広東省東莞市で稼働予定の中国核破砕中性子源 CSNS (China Spallation Neutron Source)。 ● 2013 年、BEPCII の後継版として円形電子・陽電子衝突型加速器 (Circular Electron Positron Collider) + プロトン衝突型加速器 CEPC-SppC に関する研究プロジェクトが始動。 ● 加速器以外の施設は、次の二つを建設予定。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ ニュートリノ実験施設：Jiangmen Underground Neutrino Observatory (JUNO) ➢ 宇宙線観測施設：四川省稻城地域に第二期の大型高高度空気シャワー観測施設 (LHAASO) 建設予定

2) 各国政府・研究機関へのインタビュー調査から得られる ILC への示唆

各国政府機関及び主要研究機関へのインタビュー調査にて、ILC プロジェクトの位置づけに対する評価、各国による貢献等について把握した。その結果から浮かび上がる ILC プロジェクトの特徴について示すと以下のとおりとなる。

- ①円形加速器ではシンクロトロン軌道放射による粒子エネルギーの損失があり、より一層の学術研究の推進のためには線形加速器 (ILC) が必要であること、また、ILC の実現に必要な技術はこれまでの R&D の成果によって既に高い水準に達していることが、高エネルギー物理学分野の研究者の世界的コミュニティにおいて認識されている。。

欧州は、現在世界でトップレベルにある LHC (CERN) の、2025 年以降に向けたアップグレードを最優先事項として注力するという方向にある。その流れの中で、高エネルギー分野の素粒子物理研究者の世界的コミュニティ (以下、研究者コミュニティ) においては、電子・陽電子衝突型の線形加速器という特長をもつ ILC が、より高エネルギーに到達する LHC で発見された新粒子の精密測定ができるという点において、LHC と双璧をなしながら高エネルギー分野での学術研究を牽引していくという認識、及びそれが早期に実現していくことへの期待が高まっていることが分かった。

欧州調査の対象であるスイスの CERN やフランスの LAL では、ILC は当初から国際連携によって R&D が進み、その進捗は極めて高水準に達しており、TDR (Technical Design Report) で設定したベースライン通りに ILC の建設を実施するなら、特に技術的な問題はないと見解が示された。

米国の素粒子物理分野では、米国内の研究として、ニュートリノ質量とその CP 対称性の破れの起源の発見が 2 大テーマとなっている。ILC との関係では、米国で最大の加速器を有していた FNAL では、ILC が電子陽電子衝突というクリーンな実験環境下で実現できるヒッグス粒子の精密測定などの学術的価値を強調している。FNAL、SLAC、ANL とともに ILC 用設備の研究開発を進めており、技術的には実現可能な水準まで来ているという認識である。SLAC においては、ILC 向けの研究開発で得た空洞技術を、LCLS-II に転用している。

カナダの TRIUMF においてもその点について同様であり、既に ILC 向けの研究開発に従事している。

- ②大規模加速器建設に伴う悩みは「巨額な投資の一方で確実な成果を予測しきれない」点にあるが、LHC がヒッグス粒子を発見した今、ILC はヒッグス粒子の研究を深められるという点で一つの大きな成果は約束されていると認識されている。

LHC を所有する CERN の見解では、陽子・陽子衝突型加速器 LHC でカバーできない物理研究を電子・陽電子衝突型加速器 ILC で相補していく事が期待されている。すなわち、ヒッグス粒子を発見した LHC を受け、ILC では、ヒッグス粒子の精密測定 (崩壊分岐比や自己結合の測定等) で確実に成果を出し、更に超対称性粒子の探索、標準理論を超える新物理の発見等の研究が実施できると指摘している。

- ③以上のように ILC の必要性や効果、技術的実現可能性は研究者コミュニティで認識されているが、各国の現行の計画や予算は、自国（地域）の大規模研究施設の利用・更新・新設や、海外の既存大規模研究プロジェクトへの参加に対してのものであり、ILC については明確な位置づけはまだほとんどなされていない。

欧州調査対象国においては、①ドイツ：ILC は大規模研究施設であり、ロードマッププロセスを経て実施の意思決定がされる必要があるが、現時点では、ILC はロードマップに記述がない。②フランス：ILC については計画の具体的な提案が無いため、ロードマップに含まれていない。ILC 測定器の研究開発に助成金が出ているが、建設が現実となるまでは、必要最低限の予算しか拠出されない。③イギリス：2007 年 LHC 計画の遅延に対応し ILC から撤退したが、ILC 建設の機運が高まってきている中で、2015 年 1 月に英国の ILC コミュニティに対するサポートが再開された。ただし、英国研究者が研究に再参入する準備のための予算（主に旅費）に限定されている。

米国の P5 レポートにおいては ILC について言及されており、今後の計画に組み込まれている。DOE によれば、米国の素粒子物理コミュニティの中では米国政府に対して ILC に予算を付けて欲しいという意向は未だに強い。研究者としては、ILC の R&D 費用を獲得する方策を模索しつつも、今は政府とは距離を置いて ILC 関連の活動を続けている状況である。

カナダにおいては NSERC の The Subatomic Universe: Canada in the Age of Discovery が国の素粒子物理分野の指針となっているが、前述の通り、2011 年に策定された計画には、柱となる大方針の中に ILC の記述はない。一方で、TRIUMF においては、余剰金は LHC 参加に充てられている。SCRF の開発は NRC の予算で行われ、ILC の設備開発に充てられている。

- ④欧州及び米国の主要研究機関では、ILC プロジェクトは日本が牽引するものと期待されており、現在、日本からの能動的な提案がなされていない点を疑問視する、あるいは提案や意思決定を早期に求めるという見方が多い。また、日本からの提案が無いため、現時点で各国の関係政府機関は、計画や予算に明確に反映できないという状況を指摘している。

欧州調査対象国では、①CERN では、ILC の実施の決定が下されるのかを各国が様子を見ている現在の状態が長く続くのは望ましいことではなく、日本がそれを破る役割を早期に果たせることを期待しているとしている。また、日本が担う意義は、学術的な価値だけでなく、日本が大規模な国際協力プロジェクトを遂行できるということをアピールできるという点で重要とコメントしている。②フランス CEA/Irfu では、技術的には ILC 計画に確たるイメージがある反面、日本からの計画の具体的な提案がないため予算分担状況やガバナンスに関する不透明さがあるとコメントしている。

米国内においても同様の受け止め方をしており、DOE や FNAL 等においても、基本的なスタンスは日本の意思決定を待つ、というものである。ただし、研究者や関係者の中には米国政府の翻意による積極的参画を未だに強く望み、日本政府に対して自国政府に働きかけて欲しいという声も複数聞かれた。

また、CERNのような研究者や研究施設が集約する環境を ILC が作る事ができれば、日本のみならず世界中の原子核・素粒子物理分野の研究者、特に若手研究者や学生にとって良質な教育、人材育成の場を提供できる効果に FNAL は着目している。一方、TRIUMF では本調査の背景を説明したところ、日本が ILC に能動的な提案をしない理由についてはじめて納得のいく説明を受けたとの反応があった。日本から情報発信がないという印象を持っているようである。

- ⑤ ILC プロジェクトの実現に向けた超伝導加速空洞技術等の基本的な技術の研究開発や実証、ILC の実現につながる EXFEL (欧州 X 線自由電子レーザー) 等のプロジェクトは先行実施されており、これらの研究開発の成果を活用して、ILC プロジェクトに参画し貢献することは可能であると多くの研究機関は認識している。

欧州では、①ドイツ DESY を中心に国際プロジェクトとして進められている EXFEL では、ILC と同じ超伝導加速技術が用いられており、使用される超伝導加速空洞 (TESLA キャビティと呼ばれる) は ILC のプロトタイプとして位置づけられている。②フランスの CEA-Saclay や LAL では、EXFEL 向けのクライオモジュールやカプラーを製作・供給しており、そうした技術蓄積によって ILC に貢献できるとしている。③イギリスには ILC 関連技術としてビーム輸送、最終収束系、フィードバック制御等の技術蓄積があり、これら分野での ILC への貢献が可能であるとしている。

米国 FNAL では ILC 向けの超伝導空洞やクライオモジュール、測定器の開発を行っている。LCLS-II 向けの設備開発と並行して行い、双方の間で技術移転をしながら開発を続けている。SLAC では LCLS-II の建設を進めている。ここに利用されている超伝導 RF 空洞とクライストロンの技術は、ILC の技術開発から派生したものである。SLAC の強みは高出力 RF 関連技術であり、自らの ILC への貢献度が高くなることを自負している。かねてから、SLAC 主導で 9 連セルのニオブ超伝導キャビティの開発を、米国内の他の研究機関や、日本企業を含む世界中の民間企業と行ってきており、技術的には ILC を実現するに足る水準まで高まってきているという実感を持っている。

- ⑥ ILC プロジェクトは国際協調プロジェクトであり、特定の国、研究機関、企業だけで実施する性格のものではない、また日本もその一構成員であることは間違いないと認識されている。しかし、仮に日本で ILC を実現するとなれば、ILC をイニシアティブを持って推進する立場に立ち、大規模プロジェクトマネジメント、組織設計・管理、資金管理、リスク管理等をリードしていく必要性が生じてくるが、その十分な実施能力の獲得は日本にとって大きな課題であるとの声が多い。

※本考察は、国内企業インタビューも踏まえたものである。

<参考資料>

欧州の素粒子物理学戦略（2013年改訂版）

The European Strategy for Particle Physics Update 2013

本改訂版の最終稿は、2013年3月22日の第15回評議会戦略会合において承認され、2013年5月30日にブリュッセルで開催された評議会欧州戦略特別会合に提出され正式に採択された。

序文

「欧州の素粒子物理学戦略」が2006年に採択されて以来、素粒子物理学の主目標である「自然の究極法則の解明」に向けて非常に大きな進展があった。これまで研究されてきたエネルギー領域を超えた領域における標準模型の正しさを確認する多くの実験結果とともに達成された一大飛躍「ヒッグスボソンの発見」である。これらの結果に基づいて、素粒子の質量の起源や、標準模型を超えるより基本的な理論におけるヒッグスボソンの役割に関してさらなる疑問が提起されている。そのような理論には、TeV エネルギー領域において発見されると予測される新たな素粒子が含まれる可能性がある。現在の宇宙における粒子・反粒子非対称性や謎のダークマターの正体などの積年の難題の解明を目指して重要な進展がなされつつある。新しいタイプのニュートリノ振動が観測されたことにより、ニュートリノセクターにおける粒子・反粒子非対称性の研究に対する扉が開かれた。宇宙素粒子物理学や宇宙論と重なる領域における実験に魅力的な可能性が生まれてきている。科学が描く展望に対する理解度の目覚ましい発展を背景に、来る時代における素粒子物理学コミュニティの方向性を策定し、素粒子物理学の長期未来展望を見定めた上で準備を行うために、欧州グループは「欧州の素粒子物理学戦略」を改訂した。

総括

- a. LHC の成功は、CERN メンバー各国および CERN と密接に共同研究を行っている各国の研究機関、研究所、大学などからの長期の持続的貢献に基づいた素粒子物理学における欧州組織モデルが有効であることを証明している。欧州は、素粒子物理学におけるその主導的役割を堅持し、素粒子物理学の成功を持続させ、より幅広い社会に素粒子物理学から得られる恩恵を還元するために、この欧州組織モデルを維持していかなければならない。
- b. 素粒子物理学が必要とする施設の規模は、この分野におけるグローバリゼーションとして結実しつつある。「欧州の素粒子物理学戦略」では、素粒子物理学における全世界的展望および関連分野における諸発展が考慮されており、そのような考慮は今後も引き続き継続していかなければならない。

総括最優先されるべき巨大科学研究分野

多くの資源、多大な協力活動、および持続的な貢献を必要とする、多くの有力な巨大科学研究を注意深く調査した結果、以下の 4 つの研究分野を最優先にすべきとの結論に至った。

- c. ヒッグスボソンの発見により我々は、この粒子の性質を可能な限り高い精度で測定することによって標準理論の正しさを検証し、エネルギーフロンティアにおいてさらなる新しい物理を探究するという主要プログラムの出発点に立つことになった。LHC はこのプログラムを遂行しうる世界で唯一の実験装置である。欧州における最優先計画は、2030 年頃までに初期設計値の 10 倍のデータを収集することを目標として、加速器および測定器を高ルミノシティに対応できるようアップグレードし、LHC の持てるポテンシャルを最大限に利用することである。このアップグレード計画は、フレーバー物理およびクォーク・グルーオンプラズマ研究に対しても非常に興味深い機会を提供するであろうと期待される。
- d. 欧州が素粒子物理学の最先端を走り続けるために、LHC の 14TeV での運転から物理結果が得られた際に予定されている次回の戦略更新までに、CERN における野心的なポスト LHC 加速器計画を提案する必要がある。CERN は、高エネルギーフロンティアにおける陽子・陽子および電子・陽電子加速器に重点を置き、世界的視野に立脚して加速器開発・設計計画に取り組みねばならない。これらの開発・設計計画は、世界中の国々の研究機関、研究所、大学と協力することによって、高磁場磁石や高加速勾配構造などの開発を含む精力的な加速器 R&D と統合して遂行する必要がある。
- e. ヒッグスボソンや他の素粒子の性質をこれまでにない高精度で研究することが可能で、段階的にエネルギーを増強できるという科学的優位性を持つ電子・陽電子衝突装置は、LHC とは相補的役割を果たす加速器である。国際リニアコライダー (ILC) の技術設計書が、欧州からの幅広い協力を得て完成した。日本の素粒子物理学コミュニティの主導による ILC の日本への誘致活動はおおいに歓迎されており、欧州グループも積極的に参加する意向である。欧州は、可能な参加形態を議論するために日本からの提案を期待している。
- f. ニュートリノ振動研究は欧州の多大な貢献により急速に進展しており、CP 対称性の破れやニュートリノセクターにおける質量の階層性の究明を目指す長基線ニュートリノ研究の科学的重要性が明確になってきた。CERN は、ニュートリノ研究を推進し、将来の長基線ニュートリノ実験において欧州が重要な役割を果たす準備を押し進める必要がある。欧州は、米国および日本における先進的な長基線ニュートリノ計画への積極的な参画の可能性を検討しなければならない。

素粒子物理学計画に必須となるその他の科学研究

- g. 素粒子物理学において理論は強力な推進力であり、本質的に重要な情報を実験にもたらす。それは、最近のヒッグスボソンの発見において理論が果たした役割、つまり標準理論の基礎から始まって、実験的探究を先導する詳細な計算に至るまでの重要な役割をみれば一目瞭然である。欧州は、理論と実験との密接な協力関係の下、宇宙素粒子物理学や宇宙論などの隣接分野にまでその範囲を広げることにより、基礎から応用までを網羅する幅広い分野の活力に溢れた理論物理学研究を支援しなければならない。さらに、高性能コンピュータやソフトウェア開発にも支援の手を延ばす必要がある。
- h. クォークフレーバー物理に関する実験、双極子モーメント研究、荷電レプトンフレーバーの破れの探索、および中性子、ミューオン、反陽子などの粒子の低エネルギー領域での精密実験は、直接素粒子を生成する実験よりも高いエネルギー領域へのアクセスを可能にし、また基本的な対称性の検証を可能にする。そのような実験は、各国の研究所において中規模の予算と小規模の協力によって遂行可能である。欧州内での実験だけではなく、世界の他の地域における実験への参画も支援する必要がある。
- i. 高ルミノシティ LHC に対して要求されるような素粒子物理学実験を成功させるには、革新的な実験装置、最先端の基幹設備、大規模大量データ計算が必要である。CERN、および各国の研究組織、研究所、大学において測定器 R&D 計画を強力に支援しなければならない。測定器 R&D 計画や大型測定器建設に必要な基幹設備や工学力に加えて、データ解析、データ保存、分散型大量データ計算に対して必要となる基幹設備を維持しさらに開発する必要がある。
- j. 陽子崩壊、ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊、およびダークマター探索、さらに高エネルギー宇宙線研究などの一連の重要な非加速器物理実験が、素粒子物理学と宇宙素粒子物理学の共通領域において遂行されている。これらの実験は、素粒子物理学の標準理論の枠を超えた基本的問題に取り組んでいる。CERN と ApPEC 間の情報交換が 2006 年から続けられ実績を上げてきている。今後 CERN は、測定器 R&D に関して ApPEC との密接な共同作業を押し進め、この分野特有のプロジェクトに関わる関係組織の能力の維持に努める必要がある。
- k. 素粒子物理学と原子核物理学の境界領域におけるさまざまな研究には、それらの各々に特化した実験が必要である。CERN はユニークな実験を遂行する能力を維持し、NuPECC と共通の関心分野における物理に関する共同研究を続けていく責務を負っている。

組織に関する問題

- l. 欧州およびその他の地域における将来の主要な研究施設においては、世界的規模での協力が必要である。CERN は欧州における国際的素粒子物理学加速器プロジェクトを取りまとめる基本的組織である必要があるとともに、世界の他の地域における国際的素粒子物理学加速器プロジェクトの欧州における主導的パートナーである必要がある。欧州における CERN メンバー国家および準メンバー国家発のプロジェクトに対して行い得る追加的貢献は、CERN が取りまとめなければならない。
- m. CERN と欧州委員会との間で覚え書きが調印され、多くの共同活動が進行中である。研究基盤設備に関する欧州戦略フォーラム (ESFRI) との交渉により、CERN が関連 ESFRI 戦略ワーキンググループに参画する旨の同意に至った。欧州の素粒子物理学コミュニティは、欧州連合の枠組みでの諸計画に積極的に参画してきている。CERN および欧州の素粒子物理学コミュニティは、これまで以上に欧州研究圏の発展に関与するために、欧州委員会との連携を深める必要がある。

素粒子物理学のより広範囲な影響力

- n. 科学的発見の魅惑的素晴らしさを一般市民と共有することは、研究者としての我々の責務の一つである。多くのグループが、コミュニケーションの専門家が集うネットワーク (EPPCN) や国際アウトリーチグループ (IPPOG) からの支援を受けながら、積極的に社会に働きかけている。一例としては、世界中の人が LHC の立ち上げやヒッグスボソンの発見に至る経緯に大いに注目し興味をもってもらえるような活動の積極的な支援が挙げられる。素粒子物理学における一般社会への広報活動や情報発信活動には適切な予算を割り当てる必要があり、そのような活動は科学研究活動の重要な一要素であると理解しなければならない。EPPCN と IPPOG は共に評議会に報告することになっている。
- o. 素粒子物理学研究のために構築された知識や開発された技術は、持続的なインパクトを社会に与えてきている。これらの技術は他の分野においても開発が進められており、各分野相互に恩恵をもたらしている。知識と技術の移転は多くの国々で強力で押し進められている。これらの活動を推進し、欧州の産業界に恩恵をもたらすために、HEPTech ネットワークが立ち上げられた。HEPTech はその活動を続行、拡大していく必要がある。また HEPTech は評議会に継続的な報告をおこなうことになっている。
- p. 素粒子物理学研究には幅広い技能や知識が必要である。多くの若手物理学者、技術者、教師たちが、CERN および各国の研究所や大学で訓練を受けている。このような訓練を受けた人達は、その後、身につけた専門性を社会や産業界に還元している。鍵となる重要な技術に対する教育や訓練は素粒子物理においても強く必要とされている。CERN は、各国の資金提供機関、研究組織、研究所、大学などとの協力に基づき、教育と訓練に対

して組織化された計画を引き続いて支援し、さらに発展させる義務がある。

結語

- q. 本文書は「欧州の素粒子物理学戦略」の第 1 改訂版であり、CERN メンバー加入候補国、准メンバー国、傍聴参加国、その他の組織の代表者の参加を得て予備審査グループが提出した科学的意見に基づき、欧州戦略グループによって作成された。このようなほぼ 5 年に一度の定期的改訂は必須である。今回適用された原則に従って更新を続けていく必要がある。欧州戦略問題を議論する委員会会合に対する組織体系、および本戦略の履行やフォローアップ方法を、2006 年以降得られた経験に鑑みて再検討する必要がある。

(出典)

“Accelerating science and innovation Societal benefits of European research in particle physics”

Produced by the European Particle Physics

Communication Network for the CERN

Council, May 2013

ワシントン研究連絡センターによる P 5 レポートの概要説明

米国学術研究の動向

P5、米国の素粒子物理学研究の戦略計画をまとめた報告書を発表（5月22日）

エネルギー省（Department of Energy）の高エネルギー物理学諮問団の一部である素粒子物理学プロジェクト優先順位決定委員会（Particle Physics Project Prioritization Panel：P5）は5月22日、米国における素粒子物理学研究の戦略計画をまとめた報告書「発見のための構築～世界的状況における米国素粒子物理学の戦略計画～（Building for Discovery：Strategic plan for U.S. particle physics in the Global Context）」を発表した。本報告書は、米国が欧州原子核研究機構（CERN）の大型ハドロン衝突型加速器（Large Hadron Collider：LHC）を利用した研究における中心的存在であり続けることの重要性の他、LHCの後継機となる国際リニアコライダー（International Linear Collider）構想を支援することの必要性を強調している。

さらには、フェルミ国立加速器研究所（Fermi National Accelerator Laboratory：Fermilab、イリノイ州）における長基線ニュートリノ施設（Long Baseline Neutrino Facility：LBNF）に関する提案を再考して投資するよう進言している他、同研究所における「Mu2e」実験を支持している。但し、オバマ大統領による2015年度予算案でのエネルギー省高エネルギー物理学予算は、2014年度比6.8%減の7億4,400万ドルで、これはP5が予想した最悪の予算規模をさらに下回ることから、エネルギー省が同報告書を予算配分の再考のために活用することと、議会が大統領の要求額以上の予算を高エネルギー物理学に割り当てることを期待すると、カリフォルニア大学アーバイン校（University of California, Irvine）所属の物理学者でP5委員長のアンドリュー・ランクフォード氏（Andrew Lankford）は述べている。

なお、本報告書の草稿は、以下からダウンロード可能。

Nature Publishing Group, US physics strategy collides with budget

<http://www.nature.com/news/us-physics-strategy-collides-with-budget-1.15284>

（出典）

米国学術研究の動向（<http://jspsusa.org/us-science/FY2014/20140522.pdf>）