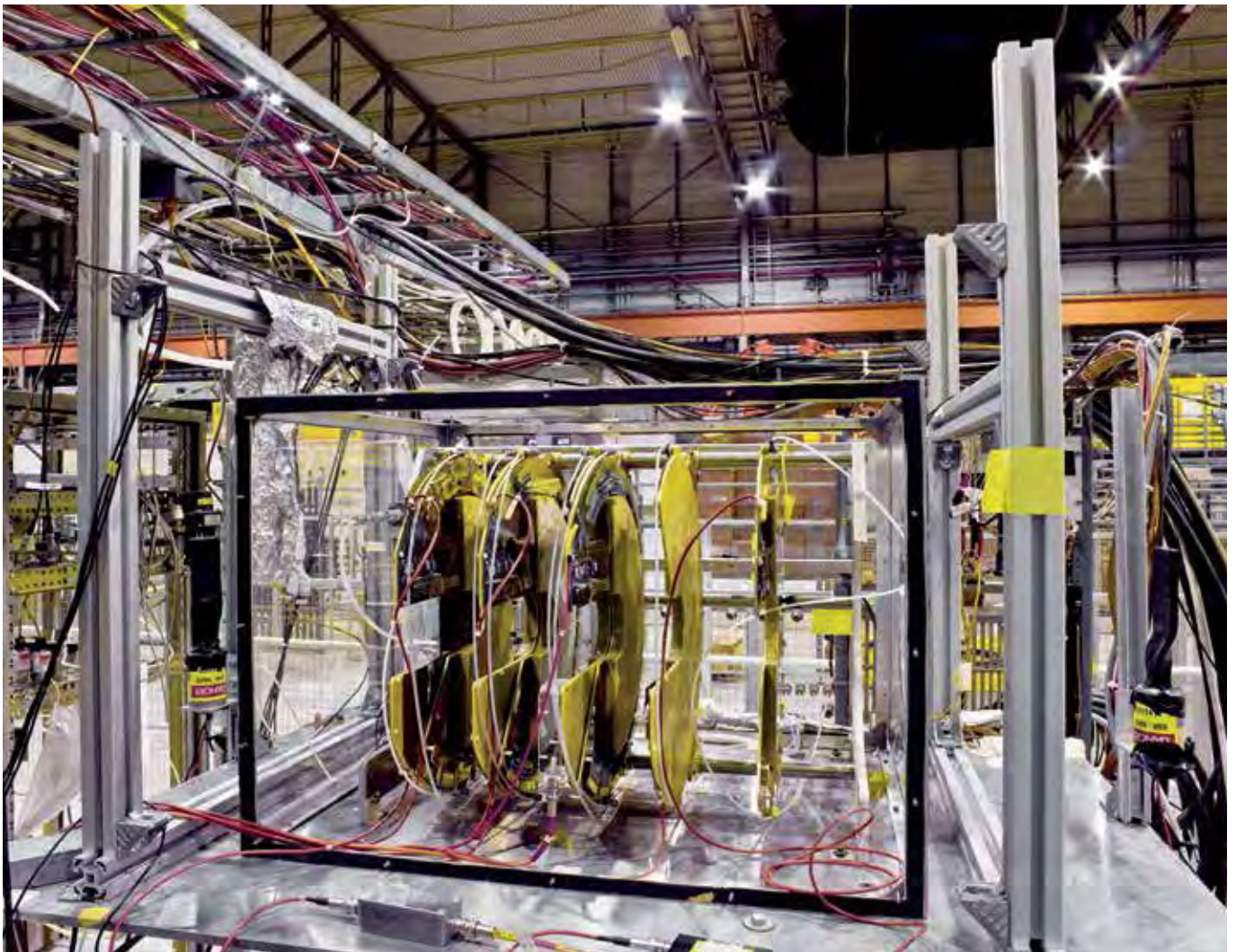


ここでのチャレンジは、それを経済的に行うことだ。液体二酸化炭素を使う実験では、LHCb測定器のバーテックス検出器を安定的にマイナス30°Cに、国際宇宙ステーションで行われたアルファ磁気分光器(AMS)実験では、0°Cに保つためのシステムが開発された。この技術の5つのプロトタイプが、工業化に向けた準備が整っている。CERNで開発されたガス電子倍增管(GEM)は、医療イメージング、宇宙物理学、構造解析、またその他多くの分野で応用されている。その一例は、1キロ先から、森林火災の出火を検知できる装置である。これは、既存の紫外線センサーの100倍の感度を持つ。森林火災は、時には分速100メートルという速さで燃え広がるため、出火の早期発見は極めて重要である。2003年、欧州は記録的な熱波による連日の猛暑で、50万ヘクタールもの森林を失い、数十億ユーロの経済的被害を被った。GEMは、CERNが産業界や他の研究所にライセンス供与ができる、約40の技術(エレクトロニクス、測定装置類、冷凍装置、磁石、加速器等)のうちの一つだ。それらの技術は、精密研究における問題解決の一環で考案されたものだ。しかし、これらの全てが、まだ想像もできないような方法で、欧州の様々な分野の経済を発展させる可能性を持っているのだ。

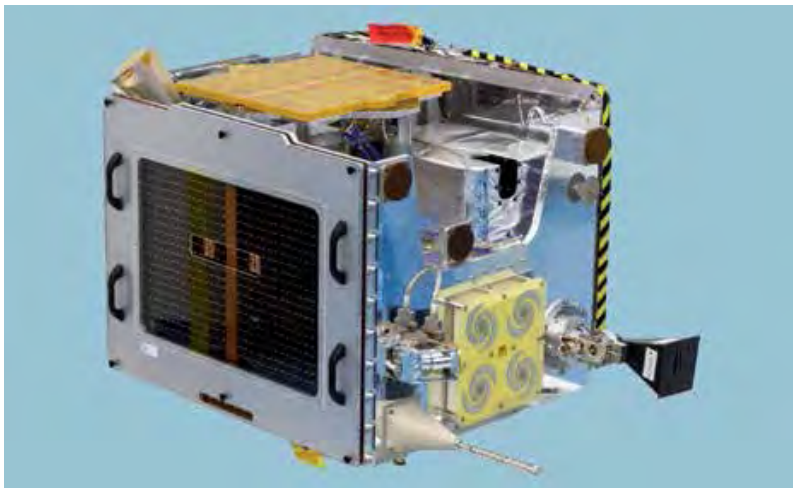
CERNのTOTEM実験で使われているガス電子倍增管(GEM)の技術は、森林火災の検知や医療画像処理等に使われている



社会とスキル

パワー・トゥ・ザ・ピープル — 民衆に力を

素粒子物理学は次世代の子どもたちの関心をかき立て、教育者に情報を提供し、生徒たちを刺激し、欧州全土の熱意に火をつけた。そして、高校生が地球低軌道実験に挑戦するきっかけにもなった。さらに、私たちの宇宙に関する常識をも変えて来たのである。



英国の学校で開発されたTechDemoSat1衛星は、CERNの技術を使っている。（2014年第2四半期に打ち上げ予定）



チェコ共和国の企業が、同じ技術を使って学校教育用の教材を開発した

学校での素粒子物理

「教室での物理」を軽く見てはいけぬ。LUCIDは英国の人工衛星「TechDemoSat-1」用に設計された実験である。LUCIDは「Langton Ultimate Cosmic-Ray Intensity Detector (ラングトン遠方宇宙線強度測定器)」の頭文字で、「Langton」は英国カンタベリーのサイモン・ラングトン・男子グラマースクールの略記である。LUCIDは、同校の生徒が2007年にCERNに見学に行った際に研究者が行った、LHC実験の粒子測定を行うマイクロチップのデモンストレーションに端を発したプロジェクトである。このマイクロチップは、Medipixの医療イメージング・診断技術にも採用されているものだ。サイモン・ラングトン・男子グラマースクール(学校名に反して、この学校には女子も在籍している)の進取的な教員が、生徒たちが宇宙研究の実験に参加することを奨励した。

50名の生徒が早速構内にミニ研究所「ラングトン・スターセンター」を設立し、LUCID計画に取り組み始めた。この活動に対する熱意は、スターセンターの設立以降も継続している。生徒たちはロールスロイス社との協力で、同じ技術を使った軽量環境放射線計測器を開発したのだ。それと同時期に、チェコの企業Jablotron社が学校教育用にMedipixの半導体をパッケージ化している。素粒子物理は新しいスキル訓練の場を提供し、子どもたちや教員、学生の「ワクワク感」の源泉となり、大学院生やポスドクに刺激を与える。また、多数の商業的な応用が可能となる新技術を完成させ、災害研究グループが人工衛星のモニターを行うためのプログラム運用データに関する、比類なき経験にもなった。素粒子物理研究から生まれた測定器技術はさらに、優れた芸術や空港警備にも活用されている。それだけではなく、若い世代への計画的な投資を通じて、次世代の物理学者・エンジニアの研究意欲をかき立てることに貢献し

ている。CERNは高校教師向けのプログラムを提供しており、フランス、スイスの小学生向け国家プログラムもある。また、素粒子物理研究者コミュニティによる、高校生向け上級プログラムも実施されている。Discover the CosmosやGo-Labといったプログラムでは、eラーニングを使って欧州各国の学生に高度な授業を提供し、先端科学と教室を新しい方法でつないでいる。CERNはまた、メンバー国の物理の教員向けのプログラムも企画実施している。欧州の枠組みを超えた取組みも行われている。ポルトガル教育・科学省と物理実験の研究機関ではブラジル、アンゴラ、モザンビーク等のポルトガル語圏の国から物理の教員を招き、科学の面白さを、途上国へと普及する活動を行っている。CERNはユネスコと共同で、デジタルライブラリを開発するとともに、アフリカの研究者向けに無料のソフトウェアを提供している。CERNはまた、欧州連合のマリー・キュリー・ネットワークやフェローシッププログラムのホスト研究機関となり、若手研

今後の数十年にわたって、大きな技術的課題に挑戦できる人材を確保する

究者が様々な最先端技術、例えば、放射線および重イオンガン治療の最先端装置や先端加速器技術、核施設や宇宙、深海等の極限環境で使用するための仮想現実(VR)や拡張現実(AR)技術等々へ触れる機会を提供して来た。こういった取組みの推進は、今後の数十年にわたって、大きな技術的課題に挑戦できる人材を確保するとともに、エネルギー不足や人口爆発といった問題を抱える未来の、知られざるニーズに立ち向かうための知力や知識力を養うことを目的に行われているのだ。

セネガル、ダカールで行われた第3回CERN-UNESCOデジタルライブラリ・スクールの参加者たち

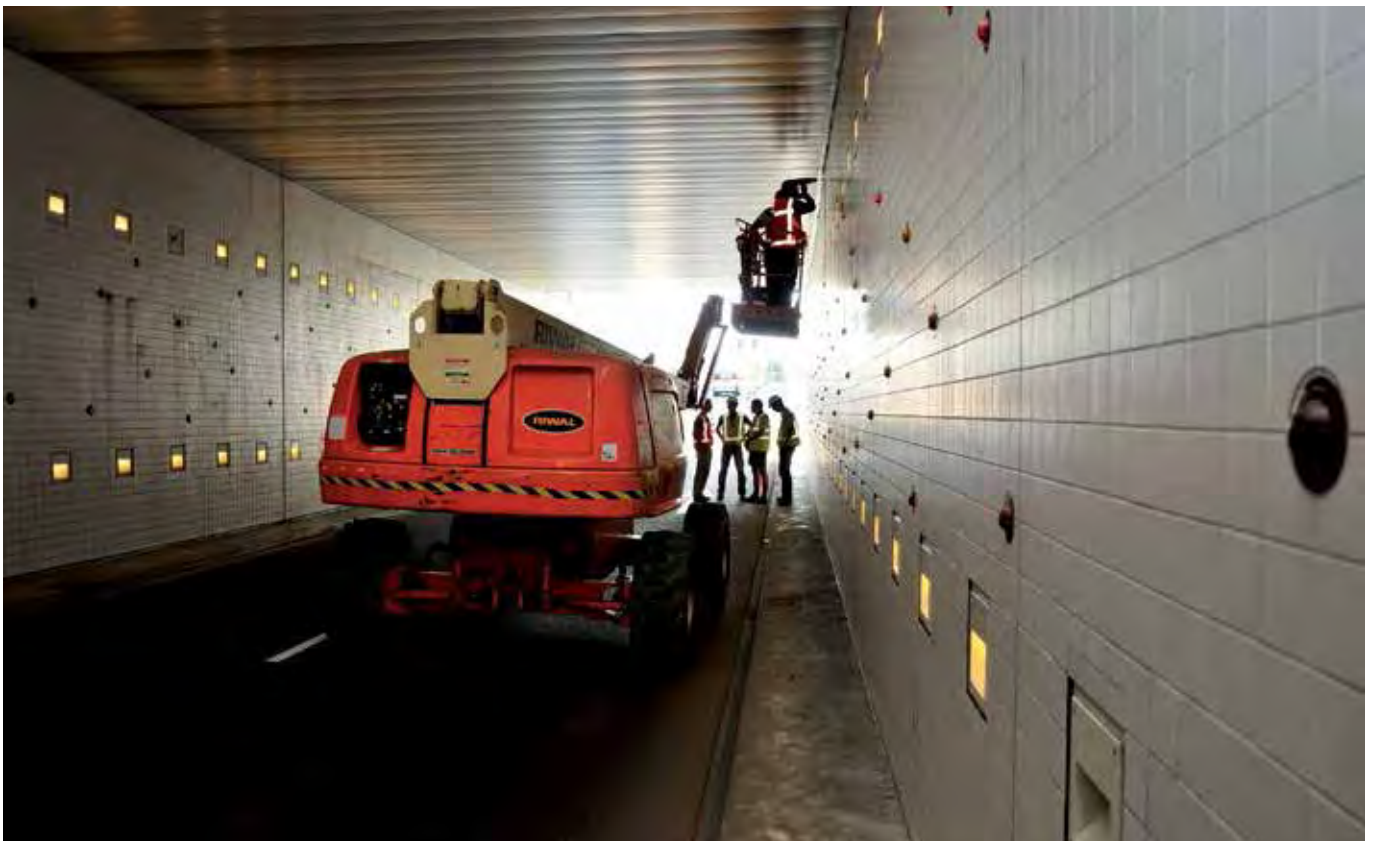


世界には、約1万5千人の素粒子物理学者が研究に勤しんでいる。それよりもはるかに多数の素粒子物理を学んだ人々が、ビジネスや金融、医療、教育、通信、宇宙産業といった業界で活躍している。複雑な工学的要求を満たし、技術的問題を解決するために新しい装置を開発した研究者が、その装置を他の用途に応用し、起業したケースもある。その一例を挙げてみよう。それは単純な測定に関する問題であった。高エネルギー衝突反応において、粒子の軌跡を精密に知るためには、研究者は、測定器がどこに設置されていて、どのように位置合わせがなされているか、また、ほんのわずかでもその位置が動いていないか、正確に知る必要がある。オランダの国立原子核物理研究所であるNikhefでは、Rasnikと呼ばれる位置合わせシステムを開発した。このシステムでは、100万分の一の精度で計測が出来る。その系列会社となるSensiflex社は、大規模土木構造物の崩壊や、トンネル・ビル・橋梁などの沈下につながるような、わずかな変形も超精密に検知できる改良型装置を開発した。

粒子測定器の位置合わせのために開発されたransnik位置決めシステムは、ロッテルダムトンネルの変形検査に用いられている。

高エネルギー物理分野の研究は、これまでは予想もできなかったような方法で、社会の保全にも役立っている。加速器を使った質量分析測定は、十数年前から、考古学者が壊れやすく貴重な発掘物の年代を調べるためのお気に入りのツールとなっている。例えば、聖骸布や1991年にアルプスで見つかった、青銅器時代のミイラ「アイスマン」は、加速器を使って年代測定が行われたものだ。この測定法では、ほんの少しのサンプルさえあれば、測定可能だ。PIXEは陽子ビーム測定器で、まったく材料を破壊すること無く、顔料や合金の鉱物的・有機的な組成を特定することができ、作者がどんな材料を使ったのか、さらにその作品の正贋をも見極めることができるのだ。

素粒子物理研究への投資からの、最も大きな社会的恩恵は、もしかすると全く金銭的な価値を持たないかもしれない。超微小な世界を知ろうとする試みは、私たちの宇宙の深遠なる謎に光を差した。私たちの宇宙の見方を大きく変革し、物質と宇宙がどのように生まれたのか、まだ完全ではないが、説明することができるようになっている。しかしこれは、実のところ、人類にとっての一番大きな恩恵なのかもしれない。



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、素粒子物理学の主要目標である「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ねばならない。
- 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ル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ねばならない。

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にアップグレードし、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。
- 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に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。

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。
- 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学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、準メンバー国、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。

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。

欧州戦略グループ

メンバー国名	氏名	メンバー国名	氏名
Member States		Director General CERN	Prof. R. Heuer
Austria	Prof. A. H. Hoang	Invited	
Belgium	Prof. W. Van Doninck	Former President of Council	Prof. M. Spiro
Bulgaria	Prof. L. Litov	President of Council	Prof. A. Zalewska
Czech Republic	Prof. J. Chyla	Major European National Labs	
Denmark	Prof. J.J. Gaardhøje	CIEMAT	Dr M. Cerrada
Finland	Prof. P. Eerola	DESY	Prof. J. Mnich
France	Prof. E. Augé (until 11.2012) Prof. J. Martino (from 12.2012)	IRFU	Dr Ph. Chomaz
Germany	Prof. S. Bethke	LAL	Dr A. Stocchi
Greece	Prof. P. Rapidis	Nikhef	Prof. F. Linde
Hungary	Prof. P. Levai	LNF	Dr U. Dosselli
Italy	Prof. F. Ferroni	LNGS	Prof. S. Ragazzi
Netherlands	Prof. S. De Jong	PSI	Prof. L. Rivkin
Norway	Prof. A. Read	STFC-RAL	Prof. J. Womersley
Poland	Prof. A. Zalewska (until 12.2012) Prof. J. Królikowski (from 1.2013)	Strategy Secretariat Members	
Portugal	Prof. G. Barreira	Scientific Secretary (Chair)	Prof. T. Nakada
Slovakia	Dr L. Sandor	SPC Chair	Prof. F. Zwirner
Spain	Prof. F. del Aguila	ECFA Chair	Dr M. Krammer
Sweden	Prof. B. Åsman	Repres. EU Lab. Directors' Mtg	Dr Ph. Chomaz
Switzerland	Prof. K. Kirch	Scientific Secretary Assistant	Prof. E. Tsesmelis
UK	Prof. J. Butterworth		

オブザーバ国名	氏名	オブザーバ国名	氏名
Candidate for Accession		Observer States	
Romania	Dr S. Dita	Russian Federation	Prof. A. Bondar
Associate Member States		Turkey	Prof. Dr M. Zeyrek
Israel	Prof. E. Rabinovici	United States	Prof. M. Shochet
Serbia	H.E. Amb. U.Zveki	EU	Dr R. Lecbychová
Observer States		ApPEC	Dr S. Katsanevas
India	Prof. T. Aziz	Chairman FALC	Prof. Y. Okada
Japan	Prof. Sh. Asai	Chairman ESFRI	Dr B. Vierkorn-Rudolph
		Chairman NuPECC	Prof. A. Bracco
		JINR, Dubna	Prof. V. Matveev

準備グループ

メンバー国名	氏名	メンバー国名	氏名
Strategy Secretariat Members		ECFA	Prof. C. De Clercq
Scientific Secretary (Chair)	Prof. T. Nakada		Prof. K. Desch
SPC Chair	Prof. F. Zwirner		Prof. K. Huitu
ECFA Chair	Dr M. Krammer		Prof. A.F. Zarnecki
Repres. EU Lab. Directors' Mtg	Dr Ph. Chomaz	CERN	Dr P. Jenni
Scientific Secretary Assistant	Prof. E. Tsesmelis	ASIA/Americas	
SPC	Prof. R. Aleksan	Asia	Prof. Y. Kuno
	Prof. P. Braun-Munzinger	Americas	Prof. P. McBride
	Prof. M. Diemoz		
	Prof. D. Wark		



European Strategy
Update