

中期目標の達成状況報告書

平成28年6月

高エネルギー加速器研究機構

目 次

I. 法人の特徴	1
II. 中期目標ごとの自己評価	5
1 研究に関する目標	5
2 共同利用・共同研究に関する目標	29
3 教育に関する目標	40
4 その他の目標	46

I 法人の特徴

大学の基本的な目標（中期目標前文）

国立大学法人法第30条の規定により、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構が達成すべき業務運営の目標を定める。大学共同利用機関法人である高エネルギー加速器研究機構（以下「本機構」という。）は、我が国の加速器科学（以下では、高エネルギー加速器を用いた素粒子・原子核に関する実験的研究及び理論的研究並びに生命体を含む物質の構造・機能に関する実験的研究及び理論的研究も包含した、広義の加速器科学を指す。）の総合的発展の拠点として、国内外の関連分野の研究者に対して研究の場を提供するとともに、国内・国際共同研究を先導して加速器科学の研究を推進する世界に開かれた国際的な研究機関である。

本機構の基本的な目標は、以下の事項である。

- 高エネルギー加速器を用いた素粒子・原子核に関する実験的研究及び関連する実験的・理論的研究並びに生命体を含む物質の構造・機能に関する実験的研究及び理論的研究を行い、自然界に働く法則や物質の基本構造を探求することにより、人類の知的資産の拡大に貢献する。
- 大学共同利用機関法人として、国内外の研究者に上記の研究分野に関する共同利用の場を提供し、加速器科学の最先端の研究及び関連分野の研究を発展させる。
- 世界の加速器科学研究拠点として、国際共同研究を積極的に推進して、素粒子、原子核、物質、生命に関する科学研究を発展させる。
- 開かれた研究組織として、国内外の大学・研究機関及び民間企業と加速器科学の諸課題について、共同研究を積極的に行い、加速器科学の発展に貢献する。
- 研究領域及び研究の方向性については、関連分野のコミュニティからのボトムアップ的な提案を基に、機構全体としての位置付けを行い、それに機構が一体として取り組む。
- 共同利用の基盤施設である加速器の性能向上に関する研究及び加速器に関連する基盤的技術の向上に関する研究を推進する。
- アジア・オセアニア地域に位置する研究機関として、特にアジア・オセアニア地域の諸機関との連携協力を重視し、同地域における加速器科学研究の中心的役割を果たす。
- 大学院等への教育協力を行うとともに、加速器科学分野の人材育成の活動を行う。
- 上記の目標を達成するために、機構長のリーダーシップの下に、教員、技術職員、事務職員が一体となった運営を行う。
- 研究成果を積極的に社会に公開し、加速器科学に対する社会の要請に応えるとともに、研究者間の交流、国民の理解の促進に努める。
- 国民と社会から委託された資産を有効に活用し、世界水準の研究を行っていくために、共同利用、研究及び業務等に関する自己評価及び外部委員による評価（外部評価）を実施し、評価結果を公表する。

1. 本機構は、我が国の加速器科学（高エネルギー加速器を用いた素粒子・原子核に関する実験的研究及び理論的研究、並びに生命体を含む物質の構造・機能に関する実験的研究及び理論的研究も包含した、広義の加速器科学を指す。）の総合的発展の拠点として、国内外の関連分野の研究者に対して研究の場を提供し、共同研究を行う大学共同利用機関法人である。世界に開かれた国際的な研究機関であるという理念の下で、長期的な視野に立った活動を行っている。
2. 高エネルギー加速器からのビームを用いる研究組織として、大学共同利用機関である

- 素粒子原子核研究所と物質構造科学研究所を設置している。また、これら研究所と同等に重要な機構長直属の組織として加速器研究施設及び共通基盤研究施設を設置している。
3. 上記の二つの研究所の最大の関係者は、共同利用研究を遂行する研究者たちである。国内に限らず、海外からも、多くの研究者が共同利用研究者として研究に従事している。物質構造科学研究所においては、産業界の研究者等も関係者に含まれる。
 4. 加速器研究施設の最も重要な関係者は、機構内の二つの研究所である。共同利用の基盤施設である加速器を安定的に運転し、良質なビームを届けることが使命である。
 5. 共通基盤研究施設の重要な関係者は機構内の全ての研究に携わる職員であり、放射線科学の研究、計算科学（コンピュータを使った研究と管理）、特殊工作、超伝導を主体とする低温研究などがこの分野に存在する。
 6. 高エネルギー加速器の寿命は一般に十年あるいはそれ以上である。大きな改造を施し、この何倍もの寿命を保つものもある。また、加速器科学の研究施設の建設・運転・改良には多額の資金が必要となる。この様な環境下で、本機構の実験計画が遂行されるため、中期目標期間と加速器を用いた研究活動のリズムは一致しないのが通例である。

(別添資料 1～4 参照)

[個性の伸長に向けた取組]

本機構は、高エネルギー加速器を用いた素粒子・原子核並びに生命体を含む物質の構造・機能に関する研究を行い、自然界に働く法則や物質の構造・機能発現機構を探究することにより、人類の知的資産の拡大に貢献してきた。また、大学共同利用機関法人として、国内外の大学・研究機関及び民間企業との共同利用、共同研究を積極的に推進し、加速器科学及び関連分野の最先端の研究と技術開発の発展に貢献してきた。

- 第2期中期目標期間においては、主要三共同利用実験(Bファクトリー、放射光、J-PARC)を国内外の大学等との協力の下で着実に進め、様々な研究成果を上げたほか、CERNのATLAS実験など機構外における実験研究も推進した。
 - ・ Bファクトリー実験においては、衝突性能を40倍に向上させるBファクトリー実験の高度化計画を進め加速器・測定器の改造を行い、平成27年度末には加速器の試験運転を開始するなど、加速器、測定器の設計・製作・据付調整を順調に進めた。また、Belle実験において収集した大量のデータを解析して小林・益川理論の精密検証を行い、世界最高精度のCP非対称性の測定結果と、B中間子の崩壊測定による新しい物理の探索に成果を上げた。
 - ・ 放射光利用実験においては、フォトンファクトリー(PF及びPF-AR)の挿入光源ビームラインを中心として、引き続き競争力のある利用装置の開発、整備を進めた。また、新しいビームラインを整備する一方で、研究アクティビティの評価を進め、ビームラインの更新と統廃合計画の立案を進めた。更にPF将来計画の一環として、高輝度中型放射光源計画の動向調査及び光源の基本設計の検討を進めた。
 - ・ J-PARC実験においては、平成20年に物質・生命科学実験施設(MLF)が共用を開始しており、更に平成22年からニュートリノ実験施設、ハドロン実験施設が本格的に物理測定を開始した。東日本大震災や放射性物質漏えいなどにより施設の運転休止を余儀なくされたものの、施設稼働中は、ビーム強度増強を進めながら物理測定を行い、国際的に高い水準の研究成果を挙げた。
- これまでの研究開発プロジェクトで培われた技術に基づき、今後も国内外の加速器科学分野を牽引していくため、将来のための技術開発として先端的開発研究に注力している。機構の将来計画の一つでもあるリニアコライダーに関する開発研究では、世界最小の垂直ビームサイズを達成した。また、国際協力により目標とする物理、加速器、測定器の詳細をまとめたILC技術設計報告書(ILC TDR)を完成させた。その他、エネルギー

回収型線形加速器（Energy Recovery Linac : ERL）の開発研究、先端的測定器に関する開発研究などに積極的に取り組んだ。

- 大学共同利用機関法人として、国内外の研究者に共同利用の場を提供し、加速器科学の最先端の研究及び関連分野の研究を発展させるため、研究実施体制の整備、共同利用・共同研究の推進に注力し、柔軟で効率的な組織運営や共同利用研究者受入体制の充実などに取り組んだ。とりわけ、本機構では国際的な共同研究・共同利用や外国機関が実験装置を設置・運用することが多く、多数の外国人研究者を受け入れる体制の整備を進めている。

（関連する中期計画）

計画 1-1-1-1～1-1-1-4、計画 1-1-2-1、計画 1-2-2-1

計画 2-1-1-1～2-1-1-2、計画 2-2-1-1～2-2-1-3

計画 4-2-1-1～4-2-1-3、計画 4-2-2-1～4-2-2-2

[東日本大震災からの復旧・復興へ向けた取組等]

(1) 環境放射線・放射能の測定と公開

本機構は、原発事故直後から原発事故の影響調査、復旧に関わる社会活動を行ってきた。共通基盤研究施設・放射線科学センターでは、原発事故発生直後の3月14日に福島県庁からの要請により、現地へ放射線測定器や防護服等の緊急物資を送るとともに測定支援として2名の研究者を派遣した。2名の研究者は、警護車両に同伴された物資運搬の途中、高速道路上の随所で放射能測定を行い、福島県における高速道路上の放射能飛来の状況や汚染の状況を直接明らかにした。一方、つくばキャンパスでは、同日から停電を免れた放射線監視装置を用いて原発事故由来の放射線の連続測定を開始し、ホームページを通してリアルタイムに線量率変化を公表して一般公衆への線量率データの提供の先駆けとなった。測定された結果には、気体状放射性物質（RI）やその崩壊娘核である放射性ヨウ素やセシウムが認められており、プルームの移動、降雨による放出RIの沈着の様子がリアルタイムで観測された。これらについては論文やホームページでその内容を公開している。この他、国立環境研究所と協力して空気中の放射性同位元素（放射能）の種類と濃度の測定を継続して行っている。これらの測定結果についてもホームページで公開している。

(2) 学校等への測定協力や、政府機関並びに自治体等からの測定依頼への対応

共通基盤研究施設・放射線科学センターでは、文部科学省、厚生労働省、環境省等の政府機関から水道水や避難区域の井戸水等の飲用水の放射能濃度測定に関する協力要請を受け、2011年4月から1年程度の期間にわたり、多数の試料に対してゲルマニウム検出器による核種分析測定を実施した。福島県農業総合センター、林業研究センター、内水面水産試験場等の自治体関連組織からは、地表における放射能分布を調査するための土壌サンプルの測定、農産物や水産物の放射能測定を依頼され、これらの測定も半年から1年にわたる長期間のものとなったが、機構内から測定協力志願者の参加を募り完了させた。これらは居住住民の安全を確認するための大きな寄与となった。

本機構の所在地であるつくば市からは、避難者のスクリーニング測定への協力要請や、市内の小中学校、高校、幼稚園、保育園の線量率測定を依頼され、線量計を持参して測定を行い、市内の線量マップの作成に寄与した。

この他に、政府機関並びに自治体等へのアドバイザー業務、自治体や各機関主催の講演会・研修会での講演、並びにマスコミ等への取材協力やの放射線安全教育に関わる啓発活動等、多岐にわたり震災以来100件を超える。

(3) 福島支援：飯舘村との放射線測定協力協定

本機構では福島県飯舘村と放射線測定に関わる協力協定を結び、村内の複数の箇所に機構で使用している固定式の放射線モニターを設置し、定点による連続測定を継続して行っている。また、直径及び長さが5インチ(12.5cm)の大型 NaI(Tl)シンチレーション検出器を用いた車両搭載用放射線測定器(高感度ガンマ線車載型モニター)を新たに開発し、定期的な村内の放射線レベル分布の測定を村民と協力して行っている。このモニターは車両に搭載し走行しながら線量率の測定が可能で、付属のGPS装置を用いて位置情報を線量率等のデータとともに記録することができる。取得したこれらの情報データは携帯電話回線を通して本機構まで送られ解析される。車載型モニターを用いて測定した飯舘村の線量分布の結果はウェブ上に公開され、誰もが閲覧することができる。一回の測定における車両の走行距離は200kmにも及ぶ。これらのデータは、定点観測のデータとともに、現在の線量レベルを知るためばかりでなく、また線量の動的变化を連続して記録することで、地域復興のために有効なデータとして活用されることが期待される。

この他の取組として、田畑土壌中の放射能の簡易測定、放射線放射能の基礎知識や対応についての住民説明会、村民の個人線量測定方針案立案への協力等、広範な援助協力活動を行っている。

(4) 宇宙線ミュオンを利用した福島第一原子力発電所における燃料デブリの存在位置の確認

本機構では宇宙線ミュオンが高い透過性を持つことを利用して、火山や溶鉱炉などの透視を行い、検出器の改良等を進めていた。東日本大震災後、運転休止中の東海第二発電所で予備的な測定を行った上で、本機構と国際廃炉研究開発機構のグループは、宇宙から降り注ぐ素粒子のミュオンを利用して福島第一原発1号機を調査し、原子炉内の核燃料が殆ど溶解落ちていることを確認した。

II 中期目標ごとの自己評価

1 研究に関する目標(大項目)

(1) 中項目 1 「研究水準及び研究の成果に関する目標」の達成状況分析

①小項目の分析

○小項目 1

「高エネルギー加速器を用いた加速器科学の諸分野(素粒子・原子核に関する研究分野、生命体を含む物質の構造・機能に関する研究分野、加速器の性能向上に関する研究分野及び関連する基盤技術研究分野)における国際的に高い研究成果を追求する。」の分析

関連する中期計画の分析

計画 1-1-1-1

「素粒子・原子核物理学の分野では、「標準模型」の理論を含む、より大きな枠組みの構築を目指し、B ファクトリー実験(強度フロンティア)とその高度化の推進、並びに ATLAS 実験(エネルギーフロンティア、欧州合同原子核研究機関)を推進するとともに、J-PARC において、K 中間子、ニュートリノ等の二次粒子による素粒子・原子核実験を推進することにより、国際的に高い水準の研究成果をあげる。[共同利用・共同研究(本機構においては、「共同利用」を指す。)として実施]」に係る状況 **【★】**

素粒子原子核研究所の活動は、本機構つくばキャンパス内の電子・陽電子衝突型加速器 KEKB 内に設置された Belle 測定器を用いた B ファクトリー実験、東海村の大強度陽子加速器研究施設 J-PARC を用いた実験、機構外の同種施設を利用した実験、これらの実験に使用される測定器の開発研究がある。機構外の代表的な実験として、欧州合同原子核研究機関(CERN)の大型ハドロン衝突型加速器 LHC に設置された ATLAS 測定器を用いた実験、理化学研究所の RI ビームファクトリーを用いた短寿命核実験などがある。さらに、これら実験プロジェクトに関連する素粒子原子核分野の理論研究、大型計算機を用いたシミュレーション研究がある。

B ファクトリー実験

これまでに収集した約 8 億の B 中間子発生事象の解析により本中期目標期間に 150 編近い論文を発表した。これらは B 中間子などの重い粒子の崩壊に関わるもので、素粒子の「標準模型」の検証、「標準模型」を超えた新しい物理、未発見の新しい共鳴状態の発見に分類される。これらのうち代表的なものは以下のとおり。

- ・ ボトム・反ボトムクォーク対を含む 4 クォークより成る新粒子の発見[89-01-2]
- ・ B ファクトリーにおける、素粒子物理学の標準理論を超える現象の探索[89-01-11]
- ・ B 中間子系における小林・益川行列の精密測定。これらの成果により折戸賞(2016 年 3 月)を受賞するなど、高い評価を得た。[89-01-13]
- ・ チャーム・反チャームクォーク対を含むエキゾチック粒子のさらなる発見及び展開[89-01-14]
- ・ Belle と米国の競争施設である BaBar との共同による B ファクトリー実験の研究成果の集大成本編纂は、新聞や科学誌に取り上げられるなど、注目を浴び高く評価された。[89-01-12]

B ファクトリー実験は、平成 22 年に加速器高度化のための改造を開始し、約 5 年の期間を経て平成 27 年度末に加速器の試運転を開始した。また、測定器の改造も並行して行い、超伝導ソレノイドの立ち上げや新しく組み込まれた検出器を用いて宇宙線データの収集に成功するなど順調に進んでいる。

資料1 Bファクトリー実験専門評価委員会 報告書より

評価内容の概要

Belle の既得データの解析や、Belle II 測定器全体の建設状況、ソフトウェア・計算機の準備状況など、Bファクトリーのプロジェクト全体の評価を行った。

会期中に陽電子ビームの初周回があり、進捗が印象的な審査委員会となった。

運転予算の不足により、phase 2 運転の開始が遅延すること、その後の運転予算が十分に見込まれていないことに対し懸念が示された。長期的運転計画を持つことが、特に外国にとって重要であり、本機構執行部のさらなる努力が求められた。

Belle のデータ解析を継続し、23 編の論文を発表したことが評価された。(H28. 2. 7-9)

J-PARC 実験

J-PARC では、平成 22 年から本格的に物理測定を開始、平成 23 年 3 月の震災によるほぼ 1 年間の休止、平成 25 年 5 月 23 日のハドロン実験施設の放射性物質漏えいによる施設の運転休止（ニュートリノ施設が H26 年 5 月まで約 1 年間、ハドロン施設は平成 27 年 4 月まで約 2 年間）を余儀なくされたものの、施設稼働中は、ビーム強度増強を進めながら物理測定を行い、以下のような国際的に高い水準の研究成果を挙げた。

- ・ ビーム強度は、平成 30 から 31 年度に当面の目標である 750kW/100kW(ニュートリノ/ハドロン)実現を目指し着実に増強し、世界最大級の約 400kW/42kW を達成した。[89-03-14]
- ・ ニュートリノ振動実験 T2K が世界に先駆けてミュー型ニュートリノから電子ニュートリノへの振動現象(電子ニュートリノ出現)を発見した。これは、ニュートリノにおいて未知の性質である CP 対称性の破れを測定することが可能であることを初めて示した大きな成果である。平成 23 から 26 年に発表した一連の 3 論文の被引用数は約 1,600 である。さらに、この成果は Physics World 誌(英)で TOP10 Physics Breakthroughs for 2011、Discover Magazine 誌(米)による 2013 年の科学記事 TOP100 に選ばれたほか、国内では仁科記念賞、読売テクノ・フォーラムのゴールドメダル、海外では Breakthrough Prize を受賞するなど、国内外で高い評価を得た。[89-01-1]
- ・ 5つのクォークからなる新しい物質形態の探索実験を行い、生成率に強い制限を与えた。
- ・ 陽子 1つ、中性子 4つ、 Λ 粒子 1つからなる少数多体のハイパー核の探索を行った。
- ・ 陽子 2つと K 中間子 1つから構成される“K 中間子原子核”の形成を示す観測データを得た。[89-01-21]
- ・ 陽子 2つ、中性子 1つからなるヘリウム 3 原子核に、ストレンジクォークを含むラムダ重粒子を結合させた“ハイパー核”のエネルギー準位をガンマ線分光により高い精度で決定した。この束縛状態は電荷を一つ入れ替えた状態(3H とラムダ重粒子の結合した原子核)と大きく異なるという、ハイパー核における荷電対称性の破れを発見した。この成果は Physical Review Letter 誌 2015 年 11 月 27 日号の EDITORS' SUGGESTION に選ばれた。[89-01-7]

短寿命核実験

TRIAC 実験で以下の成果を得た。

- ・ 天体における重元素合成過程でキーとなる $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)$ 反応断面積の低エネルギー領域での測定に成功した。
- ・ 核偏極した ^8Li 短寿命核ビームによる時間反転性対称性試験の基礎実験を行い、その実効性を示した。
- ・ 従来の短寿命核プローブによる電池材料などの物質内不純物元素の直接的拡散測定法を改良し、ナノメータの拡散現象を測定可能にした。

KISS 実験で以下の成果を得た。

- ・ KISS による天体の重元素合成過程研究遂行上必要となるタンタル、タングステン、レニウム、イリジウム、白金元素のレーザー共鳴イオン化経路の探索に成功した。

ATLAS 実験

LHC(CERN)の ATLAS 実験で以下の成果を得た。

- ・ 重心系エネルギー 7 TeV と 8 TeV での陽子陽子衝突データを使い、2012 年にヒッグス粒子を発見した。この発見により、2013 年のノーベル物理学賞を Englert と Higgs が受賞した。これにより、素粒子物理学の標準模型は完成に至り、今後は標準模型では説明できない謎を解き明かすことが主要なテーマとなる時代へと移った。[89-01-3]
- ・ 標準模型を超える新物理の代表格である超対称性によって予言される新粒子の探索では、陽子陽子衝突の重心系エネルギーを上げるごとにその探索領域を広げ、重心系エネルギー 13 TeV のデータでは、スクォークとグルイーノ質量が等しいと仮定した場合、それらの質量に関して約 1.7 TeV 程度以下を棄却した。[89-01-18]
- ・ その他、トップクォークや W あるいは Z ボソンの詳細研究や、超対称性以外の様々な模型によって予言される新粒子探索も継続的に精力的に推進している。また、原子核原子核衝突では、クォーク・グルーオンプラズマの研究が進み、ジェット消失現象などを観測した。[89-1-19]

本機構は、検出器の保守運用と物理解析双方に多大な貢献をしており、ATLAS 実験の推進に不可欠となっている。

MEG 実験

ポールシェラー研究所 (PSI : スイス) において、2009～2013 年の間に収集された高統計データを解析することにより、 $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ 崩壊に対してこれまでより 4 倍厳しい崩壊分岐比の上限値を得て、標準模型を越える新物理に対して大きな制限をかけた [89-01-10]。

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) 実験

チリ、アタカマ高原で行っている CMB の偏光を観測する POLARBEAR 実験で観測を継続し、宇宙論的複屈折効果と原始磁場の探索結果を発表した。[89-01-5] 重力におけるパリティの破れなど、標準宇宙論を超えた新しい物理の探索を行い、これまでで最も厳しい制限をつけることに成功した。CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD は 2015 年に JAXA 宇宙科学研、NASA の双方で第一次審査を通過し、宇宙科学研戦略的研究経費や科研費新学術「加速宇宙」などに基づき概念設計を進行させた。その他、POLARBEAR のアップグレードである POLARBEAR-2、地上で大角度相関観測の実現を目指す GroundBIRD の開発も科研費 (双方とも基盤 S) により進めた。

理論的研究

弦理論・場の理論・素粒子現象論、原子核理論、量子重力を含む基礎理論の探究 及びその理論の帰結を明らかにする研究を行い、500 編を超える報文を出版した。次の様な代表的な成果を得た。

- ・ 電弱スケールがプランクスケールと比較して何故 17 桁も小さいのか、という問題を、古典的な共形不変性の帰結として理解する研究を行った。特に、標準模型に新しいゲージ粒子を加えて Coleman-Weinberg 機構を考えることにより、現象論的に望ましい結果が得られることを示した。[89-01-4]
- ・ 超弦理論に関連した数値シミュレーションによりゲージ/重力対応の検証を行い、超弦理論の予言する (9+1) 次元の微視的な時空から、(3+1) 次元の膨張時空が表れることを示唆する結果を得た。[89-01-6]
- ・ ミューオン異常磁気能率の理論値と実験値の乖離を、ヒッグスセクターの拡張によって説明する可能性を調べ、説明可能なパラメータ領域を絞り込むことに成功した。

(素粒子メダル奨励賞)

- ・ 超弦理論に基づくラージボリュウムシナリオにおける暗黒物質と暗黒輻射について調べ、プランク衛星実験結果との整合性から模型に厳しい制限がつくことを指摘した。
(素粒子メダル奨励賞)
- ・ 高エネルギー宇宙物理学に関する最先端の教科書を発表し[89-01-20]、本機構が主導するCMB B-mode 観測と水素を起源とする波長 21cm の電波観測の組み合わせにより、ニュートリノの質量階層性構造を決定する可能性を指摘した。

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

- ・ B 中間子の様々な崩壊モードの検出によるクォーク混合パラメータの精密測定、B 中間子の稀崩壊等による標準理論を超える現象の探索、ボトムクォークを含む新しいハドロン束縛状態の発見及びチャームクォークを含むエキゾチック粒子研究の展開等、フレーバー物理の研究で世界をリードした。
- ・ J-PARC においては、放射性物質漏洩のため、期間中 1 年間(ニュートリノ施設)ないし 2 年間(ハドロン施設)の休止を余儀なくされたものの、休止期間中にそれ以前の取得データの迅速な解析、測定装置の準備、高性能化のために充てたため、成果の創出の遅延は最小限に抑えることができた。本期間中に得られた研究成果の中でも、T2K 実験における電子ニュートリノ出現の発見は、その被引用数から見てわかるように極めて重要な成果である。また、休止期間が長かったハドロン施設においても、大強度施設ならではの K 中間子を用いた高い水準の研究成果が上がり始めている。
- ・ ヒッグス粒子発見という物理的に大きな意義のある結果を得た。加えて、超対称性粒子探索等の未知重粒子の探索をこれまでにない感度で行い、エネルギーフロンティア加速器の存在意義を内外に強くアピールした。本機構の ATLAS 実験グループは、エンドキャップミュオントリガー検出器やピクセル検出器の運用と整備、物理解析等で不可欠な役割を担い、約 3,000 人からなる ATLAS 実験グループ内において、その存在感を強く発揮している。
- ・ MEG 実験では、平成 21～25 年の間に安定してデータ収集を遂行し、その後、検出器の特性に関する系統誤差を多角的に検証することに成功した。これにより取得した全データを使用した探索に成功した。平行して次期実験において実験感度を向上するための検出器開発を効率的に推進した。
- ・ チリ、アタカマ高原で行っている CMB の偏光を観測する POLARBEAR 実験から新しい結果を発表した。また、将来計画 (CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD) の提案も進展しており、外部資金の獲得 (科研費新学術「加速宇宙」、科研費基盤 S など) も順調である。
- ・ 理論研究では 500 編を超える論文が発表され、素粒子原子核及び関連する宇宙物理分野で活発な研究活動を展開した。素粒子メダル奨励賞や木村利栄理論物理学賞を受賞した。

[関連する研究業績]

素粒子原子核研究所 業績番号 89-01-1～21

加速器研究施設 業績番号 89-03-04

[現況調査表に記載のある箇所]

素粒子原子核研究所

分析項目 I 研究活動の状況	観点	研究活動の状況	P. 1-3～1-4
	観点	共同利用・共同研究の実施状況	P. 1-4～1-5
分析項目 II 研究成果の状況	観点	研究成果の状況	P. 1-5～1-7

計画 1-1-1-2

「放射光、低速陽電子、中性子及びミュオンビームをプローブとして用い、構造生物研究及び構造物性研究を基軸に物質の構造・機能に関する研究を推進し、広範な学問分野で高い水準の研究成果を上げる。(共同利用として実施)」に係る状況 【★】

物質構造科学研究所の研究活動は、電子加速器から発生する放射光や陽子加速器でつくられる中性子やミュオンを用いて行われている。物質の構造とその機能を、分子や原子のスケールで解明するための研究を推進している。

放射光科学研究施設

PF リングにおいては、中長直線部 4 本の真空紫外・軟 X 線 (VSX) ビームラインの挿入光源を中心に整備を進め、既設挿入光源、ビームラインの立ち上げ調整を進めるとともに、新規挿入光源を追加設置した。これらのビームラインは、基礎研究から応用研究まで幅広いユーザーに利用され、新規な電子材料、エネルギー材料などの電子状態研究推進に大きく寄与している。また短直線部 4 か所については、3 本の硬 X 線ビームラインの整備を完了し、構造生物学研究、構造物性研究関連の共同利用が活発に行われている。これらのビームラインも、幅広いユーザーに利用され、物質の構造と電子状態に関する先端的な研究に利用されている。また世界的に非常にユニークな PF-AR のシングルバンチ運転や、世界最高クラスの低速陽電子ビームを生かした特徴ある研究を推進している。これらのうち代表的なものは以下のとおりである。

- ・ 新規に設置された VSX ビームラインを利用し、酸化物エピタキシー法を駆使して、伝導性酸化物を原子レベルで制御した量子井戸構造を作製し、強相関電子を 2 次元空間に閉じ込められていることを世界で初めて実証した。[89-02-3]
- ・ レアメタルを必要としない二次電池用電極として開発された新規鉄系層状酸化物の原子構造を解明した。[89-02-9]
- ・ 家庭用燃料電池の効率向上に寄与する白金原子とルテニウム原子が完全に混ざり合った新規合金触媒の反応機構を解明した。[89-02-9]
- ・ 梯子型構造をもつ鉄系化合物において、高圧下で超伝導を示すことを発見し、鉄系の超伝導体に共通してみられた鉄の正方格子をもつ物質系とは異なる構造での超伝導発現を初めて示した。[89-02-2]
- ・ 新規に設置された VSX アンジュレータを有効に活用して、外場によって可逆的に変化するグラフェンの電子状態の計測に成功した。グラフェン基板を用いた高速で薄型軽量なフレキシブル電子デバイス開発に役立つことが期待される。[89-02-7]
- ・ 有機材料の導電性、誘電性などの特性を分子構造、結晶構造から解明した。[89-02-4]
- ・ 小惑星イトカワの表面から持ち帰ったサンプルについて、蛍光 X 線測定による組成分析と、X 線回折実験による構造解析を行い、小惑星イトカワの物質構成と形成の歴史を世界で初めて解明した。[89-02-5]
- ・ 世界最高クラスの低速陽電子ビームを用いて、全反射高速陽電子回折による結晶最表面及び表面直下の構造解析、ポジトロニウム負イオンの分光とそれを用いたエネルギー可変ポジトロニウムビームの生成、及びポジトロニウム飛行時間法による表面科学を推進した。[89-02-1]
- ・ PF-AR の放射光パルス特性を、レーザー励起や電場印加などの外部刺激と組み合わせ、短寿命でしか現れない過渡的な物質構造と電子状態を時間分解計測する研究を推進した。[89-02-6]

資料 2 放射光科学研究施設諮問委員会 報告より

評価内容の概要

PF は共同利用開始から 30 数年を経て、引き続き多くの利用ユーザーと高い研究アクティビティを維持していることについて高い評価を受ける一方で、光源の老朽化対応の必要性

について指摘を受けた。この時期に本機構の次期放射光源計画を推進することは時宜を得ており、本機構として高い優先順位で積極的に推進すべきであるとの提言がなされ、特に新光源の加速器に関する諮問委員会（MAC）を早期に開催すべきとの提言がなされた。

(H28. 3. 29-30)

○ J-PARC 物質・生命科学実験施設

J-PARC 物質・生命科学実験施設内に中性子実験装置の建設を行い、中性子光学基礎物理実験装置 (BL05)、超高分解能粉末中性子回折装置 (BL08)、高分解能チョッパー分光器 (BL12)、高性能試料水平型中性子反射率計 (BL16)、高強度全散乱装置 (BL21) のビーム受入れを完了し、いずれも平成 22 年度までに一般課題を受け入れて共用実験を開始している。この他、特殊環境中性子回折装置 (BL09) とスピンエコー分光器群 (BL06) のビーム受入れが完了した。また、偏極中性子非弾性散乱測定装置 (BL23) の建設を進めている。このうち、BL12、BL06 は、それぞれ、東京大学、京都大学との連携で建設され、建設が完了した BL12 では、引き続き連携により運営されている。BL05 は科学研究費補助金、BL16 は ERATO、BL21 と BL09 は NEDO の競争的資金で建設が進められた。

中性子偏極散乱装置で目指す熱中性子を超えるエネルギー領域の偏極中性子を得るための偏極技術として、 ^3He フィルターを用いたスピン交換光学ポンピング (SEOP) 技術と物質の核偏極を利用した動的核偏極 (DNP) 技術の開発を行っている。新型中性子検出器として光検出素子を応用した検出器の開発を進展させ、BL06 の分光器の検出器として開発を継続した。また、高計数率型中性子検出器としてマルチアノード型光電子増倍管を応用した検出器の開発を行い高分解能化に成功した。

J-PARC 物質・生命科学実験施設内にミュオン実験装置の建設を行った。D ラインでは、建設が進み、共同利用実験を開始したが、更に超伝導ソレノイドの更新を行い、低運動量ミュオンビームの収率の飛躍的増大が期待される。U ラインでは、超低速ミュオン発生装置を設置して、超低速ビーム用のミュオンスピン回転 (μSR) 実験装置を整備した。S ラインは、ミュオンスピン緩和法の実験を主目標として最適化されているビームラインであり、最終的に 4 か所の実験エリアを設け、それぞれにシングルパルスビームを効率よく配ることにより先端的な研究の同時多角的な展開・推進を目指すものである。これまでに最初の実験エリアとなる S1 エリアでミュオンの取り出しに成功した。

- ・ 物構研の量子ビーム施設の中でも、とりわけ J-PARC 物質・生命科学実験施設の中性子施設は水素の検出に優れており、水素化物の構造解析に基づく水素貯蔵材料開発の成功例が報告された。[89-02-10]
- ・ Cr 系の水素化物を新規に合成し、中性子により原子配置構造を決定した。[89-02-10]
- ・ ランタン二水素化物が、13 万気圧という高圧下でランタン-水素化物 (LaH(D)) を形成することを初めて見出した。[89-02-10]
- ・ 全固体電池への応用に繋がる世界最高のイオン導電性を持つ物質を開発し、導電性の原因を解明した。[89-02-9]
- ・ 鉄系超伝導体である LaFeAsO で O-H 置換により実現された高濃度キャリアドーピング領域 ($x > 0.4$) において、新たな磁性相が出現することをミュオンスピン回転法により明らかにし、当該物質のドーピング相図を確立した。[89-02-2]
- ・ イトカワ II 計画で持ち帰る予定の隕石試料を想定して、負ミュオン X 線分析法により、微小隕石試料の非破壊分析を行えることを示した。[89-02-5]
- ・ 水と 3 メチルピリジン混合液に塩を加えた溶液が透明から青、緑、黄色、赤と変化することを発見し、周期構造の温度変化に起因することを明らかにした。[89-02-8]
- ・ 次世代ディスプレイである有機エレクトロルミネッセンス (EL) 膜のコストダウンと大面積化に繋がると期待されているインクジェットを利用した塗布法を用いた場合の性能劣化の原因が、界面構造が不明瞭になることであることを解明し、安価な大面積有機 EL 製造に繋がる指針を得た。[89-02-8]

資料3 国際アドバイザー委員会 報告より

ハドロン事故以来の安全に対する J-PARC の取組が高い評価を受けるとともに、引き続き安全を最優先する文化を職員や利用者全員に根付かせる努力を継続するよう提言された。また、MR において電源の増強をスケジュール通りに実施してビーム強度を増強することが、ニュートリノ研究において J-PARC が引き続きリーダーシップを発揮するためには不可欠であるという提言がなされた。(H27. 2. 16-17)

平成 27 年度に J-PARC センターが実施した安全に関する取組や業者を含む構成員等への安全文化醸成活動が高い評価を得た。また RCS や MR のビーム性能がスタディの進捗や MR の電源増強の予算措置により仕様値の達成に向け大きく前進していることが評価される一方で、水銀標的の問題をはじめ 2015 年度は施設の安定性の低下が目立ったことが指摘され、施設の稼働率及び科学の成果を最大にする戦略を検討すべきことが提言された。特に、科学的成果に主眼をおいた計画を策定し、安全を維持しつつ目標として定めた成果の達成に注力すべき、という提言を受けた。(H28. 2. 29-3. 1)

資料4 ミュオン科学研究施設諮問委員会 報告書より

評価内容の概要

OD ライン分光器の高度化、U ラインにおける超低速ミュオン実験装置の整備、及び S ラインの建設が順調に進んでいること、更にハドロン事故にともない、ミュオン生成回転標的についての安全性再評価が行われたこと、MLF 実験室の安全性向上が図られたこと等が評価された。先に指摘されたスタッフの増強についても、特別教員の採用が評価された。将来計画では H ラインの必要性が再度強く答申された。大学共同利用では、D ラインでの限られた利用時間にもかかわらず重要な研究成果が挙げていること、S 型課題が順調に発展している点が評価された。(H26. 2. 27-28)

○構造生物学研究センター

構造生物学研究センターでは「創薬等支援基盤技術プラットフォーム」(文部科学省)のプロジェクトを基盤とし、既設のビームラインを高度に利用したタンパク質の構造・機能研究を展開してきた。また当該プロジェクトでは、ビームライン及び結晶化スクリーニングの高度化を推進し、測定最適化を図るとともに、プログラム研究者及びその他研究者の利用促進を行ってきた。特に、低エネルギー X 線を用いた位相決定法(SAD法)の開発を、ハードウェア、ソフトウェアの両面から進めた結果、幾つかの成功例を報告し、方法論として実用段階に入りつつある。また、CREST やさきがけ等の外部資金を獲得し、インハウス研究を進展させた。

- ・ タンパク質の立体構造に基づいて生体防御の分子機構を解明した。生体防御機構の中でも、自然免疫に関する研究は、獲得免疫が作動するまでの間、どのようにして生体が感染などの攻撃に対処しているかを明らかにするという科学的な興味のみならず、医療に対する応用と言う観点からも注目されている。[89-02-11]
- ・ 細胞が外の環境を探り、望みの方向へ誘導する際に使われるシグナルとセンサーの相互作用の分子機構をタンパク質の構造研究を基盤として解明した。[89-02-12]
- ・ 細菌からヒトまで多くの生体膜中に存在し、ATP のエネルギーを使って水素イオンを運ぶことで膜内外の pH を調整する働きを持つ V 型 ATPase の構造解析に成功した。[89-02-13]
- ・ 光合成の際に光エネルギーを集めて光合成を行うための、集光アンテナと光合成反応中心の複合体である LH1-RC 複合体の構造解析に成功した。[89-02-13]
- ・ 細胞内エネルギー分子である GTP のセンサータンパク質を発見し、その立体構造に基づく生体代謝機能研究を推進した。[89-02-13]

構造物性研究センター

構造物性研究センターでは、マルチプローブ研究を軸として4つの研究グループ(強相

関電子系G、表面界面系G、極限環境下物質G、ソフトマターG)を組織し、これらグループ間の協力により9つの提案型プロジェクトを推進してきた。特に、国の政策課題の解決を目指す受託型プロジェクトとして推進している「元素戦略」電子材料及び磁性材料プロジェクト、並びに「光・量子融合連携研究開発プログラム」の下での研究課題「中性子とミュオンの連携による摩擦と潤滑の本質的理解」については、マルチプローブ研究の拠点として研究を推進した。

- ・ ミュオン、中性子、放射光という三つのプローブを活用して、従来の常識に反し、高ドーピング域で鉄系超伝導体の新たな磁性相の発現を明らかにした。[89-02-2]

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

放射光、中性子、ミュオン及び陽電子をプローブとして使用する「物質の構造と機能に関する研究」、「生体物質の構造、機能、ダイナミクスに関する研究」等において、先端の実験設備を用いて、物質構造科学に関する実験研究を進め、世界をリードする以下に示すような成果が得られている。

- ・ 放射光実験では、PFリングに新規に設置された真空紫外・軟X線ビームラインを利用して、2次元空間に閉じ込められた強相関電子の観測や外場によって可逆的に変化するグラフェンの電子状態の計測に世界で初めて成功するなど、世界をリードする研究成果が得られた。
- ・ 硬X線ビームラインにおいては、レアメタルを必要としない二次電池、新規合金触媒、梯子型構造をもつ鉄系超伝導体など、社会的に注目される機能性材料の構造研究を推進し、国内における機能性材料の開発に貢献した。
- ・ 小惑星イトカワから持ち帰ったサンプルの蛍光X線測定による組成分析と、X線回折実験による構造解析を行い、小惑星イトカワの物質構成と形成の歴史を世界で初めて解明した。
- ・ 世界最高クラスの低速陽電子ビームが利用可能な施設を整備し、全反射高速陽電子回折による結晶最表面及び表面直下の構造解析、ポジトロニウム負イオンの分光とそれを用いたエネルギー可変ポジトロニウムビームの生成、及びポジトロニウム飛行時間法による表面科学などの先端研究を推進した。
- ・ 中性子実験では、水素化物の中性子線構造解析に基づいて水素貯蔵材料の開発を推進した。
- ・ 中性子回折実験による構造解析結果に基づいて、全固体電池への応用に繋がる世界最高のイオン導電性を持つ物質を開発し、導電性の原因を解明した。
- ・ 構造生物学研究センターでは「創薬等支援基盤技術プラットフォーム」(文部科学省)のプロジェクトを基盤とし、既設のビームラインを高度に利用したタンパク質の構造・機能研究を展開した。このリソースを利用して、大学共同利用のみならず産業利用についても大規模に展開している。
- ・ タンパク質の立体構造に基づいて生体防御の分子機構、シグナル伝達機構、生体代謝機能の制御機構などに関する優れた研究成果を報告した。
- ・ 構造物性研究センターでは、マルチプローブ研究を軸として、ミュオン、中性子、放射光を複合的に利用することにより、鉄系超伝導体であるLaFeAsOでO-H置換により実現された高濃度キャリアドーピング領域($x > 0.4$)において、新たな磁性相が出現することを見出した。

[関連する研究業績]

物質構造科学研究所 業績番号 89-02-1~89-02-13

[現況調査表に記載のある箇所]

物質構造科学研究所

分析項目Ⅰ 研究活動の状況 観点 研究活動の状況 P. 2-3～2-4

観点 共同利用・共同研究の実施状況 P. 2-4～2-5

分析項目Ⅱ 研究成果の状況 観点 研究成果の状況 P. 2-5～2-6

計画1-1-1-3

「機構の研究活動の基盤となる加速器について、ビーム物理、加速器運転技術等の研究を行い加速器の性能向上に取り組むとともに、日本の加速器技術全体の向上に貢献する。」に係る状況 【★】

加速器研究施設が運転を行っている PF、PF-AR、電子陽電子線形加速器、J-PARC 他の加速器は、共同利用、共同研究の実験にたいして安定的にビームを供給するとともに、多様な性能向上を実現した。

電子と陽電子それぞれのための周長約 3 km の貯蔵リング二基を組み合わせることでビーム衝突を行う KEKB 加速器については、その高度化事業である SuperKEKB 計画が本中期目標期間の初年度に開始された。SuperKEKB においては、KEKB に比較してルミノシティ性能で 40 倍の向上を実現することとし、そのためリングでの貯蔵ビーム電流は KEKB の二倍に、ビーム衝突点でのビーム絞り込みの指標である β^* 値は 1/20 に、という世界でも類例を見ない運転仕様の高度化が決定された。この方針に従い、平成 22 年度よりビーム衝突点直近傍の超伝導電磁石の新規製作、ビーム衝突点付近の装置の新規製作と全面改装、陽電子リングの大部分の電磁石と真空システムの更新、加速空洞の再配置、ビーム診断装置の大幅な更新等を含む大規模な改造作業を実施した。これらの作業は、全て平成 23 年の東日本大震災による被害からの復旧と並行して行われた。また、同時に加速器の装置制御及びビーム調整技術等の多岐にわたる研究を展開し、高度化後の加速器全体のシステム立上げのシナリオを構築した。蓄積ビームの寿命が数分に留まることが想定されることから、SuperKEKB では頻繁なビーム入射が必要とされるが、電子陽電子線形加速器ではそのために良質で大電流の電子ビームを効率的に生成するレーザー光陰極 RF 電子銃を開発新設し、従来からの熱電子銃との併用を可能とするとともに、大電流の陽電子ビームを生成するための陽電子生成標的と周辺機器の製作と設置を行った。これに伴う電子陽電子線形加速器の改造は、放射光科学研究施設の運転のための PF と PF-AR の二つの既存リングへのビーム入射のスケジュールを縫って実施され、新設のレーザー光陰極 RF 電子銃では 0.9nC の電荷の電子ビームを生成しこれを加速することに成功、また、熱電子銃での陽電子生成では約 2nC の電荷の陽電子ビームを入射器下流端まで到達させることに成功した。これらの準備を経て、平成 28 年 2 月には SuperKEKB の調整運転を開始し、平成 27 年度末までに両リングでのビーム周回及び蓄積貯蔵に成功、引き続き、加速器システムの動作確認及び真空系のエイジング等を順調に実施している。

本機構が日本原子力研究開発機構と共同運営する J-PARC は、平成 23 年の東日本大震災によりトンネル変形や屋外受電ヤードの損傷等に大きな被害を受けたが、平成 23 年 12 月にシングルショット或いは 2.5Hz 以下という低い繰り返しではあるものの物質・生命科学実験施設 (MLF) 及びニュートリノ実験施設 (NU) までのビーム調整を開始した。続く平成 24 年 1 月のビーム調整では更に 25Hz でのリニアック及び 3GeV シンクロトロン (RCS) の運転を開始、RCS では 300kW 相当の調整を行い、平成 24 年 3 月までに MLF 及び主リング (MR) にある NU、ハドロン実験施設 (HD) へのビーム利用運転を再開するに至った。震災前に策定された加速器開発計画については、並行して可能な範囲でこれを行い、リニアックの 400MeV 増強に向けた施設整備、RCS の可変偏向電磁石電源整備、MR リングコリメータの放射線遮蔽増強など性能向上に向けた各種の施策もあわせて実施した。とくに、リニアックにおいて世界で初めて ACS (Annular-ring Coupled Structure) 空洞を実装し、ビーム

エネルギーを 400MeV に増強することに成功した。RCS では入射エネルギー400MeV でビーム電力を増強することに備えるビーム損失低減の研究等を実施し、1MW という世界水準の大ビーム電力の陽子ビームを共同利用のために安定的に生成する目処をつけた。主リング (MR) シンクロトロンにおいては、長基線ニュートリノ振動実験 T2K でビーム強度 390 kW (パルス当たり陽子数 2.0×10^{14} は世界最大) を達成した。現在、MR は速いビーム取り出しではパルス当たりの粒子数で、遅いビーム取り出しではその効率で、それぞれ世界記録を保持し、性能記録の更新を続けている。これらの実績は各加速器の機能増強と加速器ビームの解析に基づく調整運転の積み重ねによって実現された。中期的には、ニュートリノ実験用のビーム強度の倍増を目指してビーム加速の繰り返し周期を現行の 2.48 秒から 1.3 秒に短縮するため、高繰り返しに対応する電磁石電源、高勾配加速空洞、入出射用電磁石とその電源などの開発を行っている。例えば新電磁石電源の試作機において、要求されている高繰り返しかつ高安定な性能を達成できる見通しを確認しているなど、順調に進展している。

これらの成果及び途中経過の逐一については国内外の多数の会議で紹介するとともに、多数の学術出版物で報告し、国内外の関係学界においてその知見を共有している。更に国内外の研究機関・大学・企業等との関係では、多数の共同研究及び受託研究並びに加速器科学総合支援事業 (別添資料 5 参照) を実施した。

資料 5 Bファクトリー加速器レビュー委員会 報告書より

評価内容の概要

- ・プロジェクト全体として建設が非常に進歩していることが大きく評価された。主リングの各種装置製作と設置、ダンピングリングの設計、入射器のアップグレードは順調である一方で、Belle II 検出器、衝突点の建設状況、入射器及び主リングのアライメントに多少の懸念があることが指摘された。平成 26 年度のビームの立ち上げを目指した運転計画は非常に緻密であり、信頼に足るとの評価を得た。(H25.3.4-6)
- ・SuperKEKB の建設は既に 3 年目に入り、トンネル内の装置の整備も順調に進み、入射器のアップグレードが非常に順調に進んでいること、及びダンピングリングの設計の完了といった、確実な進展について委員会から賞賛を受けた。その反面、課題も多く残っており、非常に高いルミノシティを達成・維持するために様々な努力がなされているところであるが、物理の困難さだけでなく、予算の削減による運転開始時期の遅れが懸念される、との指摘があった。(H26.3.3-5)
- ・SuperKEKB 加速器の建設は概ね順調であり、主要な装置の製作・据付がほぼ予定通り進んでいる点は評価された。一方、衝突点の超電導電磁石、入射器の高周波電子銃などに課題があることが指摘された。運転開始が 1 年弱遅れる (フル装備の Belle II 運転開始は 2 年遅れ) ことになったが、LHCb よりも先に物理成果を出すために、あらゆる努力が払われるべきであることが強調された。そのためにも、加速器と Belle II との密接な協力が必要との提言があった。(H27.2.23-25)

資料 6 J-PARC 加速器テクニカルアドバイザー委員会 報告書より

評価内容の概要

- ・2014 年夏にリニアック初段部 (イオン源から RFQ) を大強度用に交換し、ピーク電流 50 mA を達成したこと、並びに増強されたリニアックビームを入射して RCS において設計仕様値である 1 MW の試験運転に成功したことに対し高い評価が与えられた。MR については高繰り返し電源を早期に導入し設計仕様値 750 kW を実現することが最優先課題であるという提言がなされた。(H27.2.5-7)

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

PF、PF-AR、電子陽電子線形加速器、J-PARC 他の加速器の性能向上に関する研究成果は国内外の論文誌・学会等で発表され、大きな注目を集めるとともに非常に高い評価を受けている。J-PARC の大電力ビーム運転と、SuperKEKB の調整運転は現在順調に進行しつつある。

[関連する研究業績]

加速器研究施設 業績番号 89-03-1~15

[現況調査表に記載のある箇所]

加速器研究施設

分析項目Ⅰ 研究活動の状況 観点 研究活動の状況 P. 3-4

観点 共同利用・共同研究の実施状況 P. 3-4~3-5

分析項目Ⅱ 研究成果の状況 観点 研究成果の状況 P. 3-5~3-7

計画1-1-1-4

「放射線及び化学安全、データ及び情報処理システム、低温・超伝導及び精密加工・計測等の基盤技術により加速器や測定器の運転を支えるとともに、それら基盤技術に関する研究を推進する。」に係る状況 【★】

共通基盤研究施設には、放射線科学センター、計算科学センター、超伝導低温工学センター、機械工学センターの4センターがあり、それぞれが関連する基盤技術に関する開発・支援を行うことにより、共同利用を含む機構の研究活動に貢献するとともに、関連する分野の基盤的研究を推進した。

放射線科学センター

- ・ 加速器を用いたがん治療等の放射線の高度利用を進めるための基礎データとなる、中高エネルギー陽子による核反応からの核破砕片の生成機構を解明するため、核破砕片の高効率測定法の開発を行った。[89-04-8]
- ・ J-PARC などの陽子加速器施設での材料損傷や半導体機器のソフトウェアの発生機構の解明、被ばく線量評価に重要な数 10MeV 核子に対するフラグメント生成の核反応断面積を世界で初めて系統的に取得した。照射量と放射線影響の関係を微視的にとらえ、物理過程に基づく評価モデルを構築するため、本実験値を基にフランス原子力庁(CEA) サクレ研究所と共同で核反応モデルの開発を行った。[89-04-9]
- ・ 放射線に関する総合的なシミュレーションコードを国産のものとして構築する研究を行った。[89-04-10]

計算科学センター

加速器科学に関連し、下記のような研究開発を行った。

- ・ 素粒子実験の解析に必要な広域分散計算機システムに関する開発研究
- ・ 素粒子反応シミュレータ Geant4 に関する開発及びその日仏共同研究による医学・生物学の応用を目指した Geant4-DNA に関する研究
- ・ 素粒子反応の理論的解析に関わる自動計算及び高次ループ計算アルゴリズムに関わる研究開発
- ・ 多倍長制度積分専用アクセラレータの研究開発
- ・ 格子 QCD に関わる数値計算アルゴリズムとシミュレーション手法の研究開発
- ・ 高エネルギー実験のデータ収集システムの開発
- ・ J-PARC 実験に関わるデータ解析フレームの研究開発

超伝導低温工学センター

J-PARC、LHC 等での将来計画用超伝導磁石システムの開発及びそれに付随する基盤技術の研究、J-PARC で稼働中の超伝導システムの運転データの解析、重力波探索(KAGRA) 実験のための極低温技術開発等を通して下記のような超伝導技術や低温工学の開発研究、技術協力を行った。

- ・ 将来加速器計画のための急熱急冷変態(RHQT)法による超伝導線材の開発[89-04-1]
- ・ LHC 高輝度化アップグレードのための大口径超伝導二極磁石の開発
- ・ J-PARC におけるミュオン物理のための高耐放射線超伝導磁石の開発
- ・ 大型低温重力波望遠鏡計画(KAGRA 計画)における低温システムの開発研究[89-04-5]
- ・ KAGRA 関連で開発された極低温伝熱材用 6 N 高純度アルミニウムの特許取得[89-04-7]
- ・ 粒子線癌治療装置用の超伝導磁石に関する研究開発[89-04-4]

機械工学センター

加速器科学に貢献する、機械工学分野の先進的な研究開発及び新しい加工技術、要素技術の調査を行った。

- ・ トラクションドライブに用いるローラの疲労寿命をシミュレーションにより高精度に推定できるようになった。[89-04-6]
- ・ 空洞製造技術開発施設に導入した電子ビーム溶接機を用いた最新の溶接技術の習得。
- ・ 3D プリンターを新しく導入し、用途開発を行った。実際の加速器や測定器では、特殊な材料を使用するケースが多く、設計時の組立性や機能確認には樹脂製の部品で足りるケースが多いことがわかった。
- ・ X バンド加速管に用いる超精密加工技術の進展を図った。また加速管を組み立てるための拡散接合技術、前処理の洗浄技術などを自前で開発し、加速管の一貫製造を可能にした。
- ・ ジャイロを使った新しい測定原理を提案し、リニアックのアライメントに適用することを目的として測定システムの開発を行った。
- ・ ILC 用の超伝導空洞本体の製造技術として、電子ビーム溶接を用いない液圧成形による製造技術開発に取り組み、ニオブシームレスパイプを用いて 1 セル空洞の製造に成功した。
- ・ 放射光施設で用いる試料交換ロボットの高度化に取り組み、ビーム照射位置をヘリウムチャンバーで覆うビームラインに対応した、新しい試料交換システムを開発した。

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

放射線及び化学安全、データ及び情報処理システム、低温・超伝導及び精密加工・計測等の基盤技術に関して先端的な研究が進められその成果は国内外で高い評価を得ている。またその基盤技術を用いて機構の加速器や関連設備の運転を支えるとともに新しいプロジェクトに対する支援を積極的に行っている。

[関連する研究業績]

共通基盤研究施設 業績番号 89-04-1、89-04-4～89-04-10

[現況調査表に記載のある箇所]

共通基盤研究施設

分析項目 I 研究活動の状況 観点 研究活動の状況 P. 4 - 3

○小項目2

「関連するコミュニティの意見も踏まえ、機構長のリーダーシップの下に、新たな研究プロジェクトの実現に向けた開発研究等の取組を進める。」の分析

関連する中期計画の分析

計画1-1-2-1

「新たな研究プロジェクトの実現等に向けて、機構のロードマップに沿って以下の分野について要素技術を含めた開発研究を推進する。

- ・リニアコライダーに関する開発研究
- ・エネルギー回収型線形加速器 (Energy Recovery Linac) の開発研究
- ・「先端的測定器に関する開発研究」に係る状況 **【★】**

リニアコライダーに関する開発研究

機構の将来計画の1つであるリニアコライダー計画の関係では、国際的な協力体制の下で、加速器の技術設計書 (TDR) とともに TDR の中核となる測定器詳細基本設計書 (DBD) が完成し、TDR 及び国内候補地の想定を踏まえ、加速器及び測定器の設計最適化を進めた。

ナノビーム技術開発では、ATF2 国際共同研究において直線ビームラインで記録されたビーム垂直方向サイズとして世界最小の 44nm を実現し、その再現性が優れていることを示した。[89-03-9]

測定器開発においては、Particle Flow Analysis (PFA) を設計原理とし、全ての終状態を基本粒子レベルで再構成することを目指した最先端測定器 (International Large Detector: ILD) コンセプトの設計を進めており、その要となる反応点検出器 (VTX)、中央飛跡検出器 (TPC) の研究開発を行っている。

- ・ VTX 開発では、検出素子として Fine Pixel CCD 開発を進め、6 ミクロン角ピクセルの動作実証に成功した。また、薄肉化においても 50 ミクロン厚を達成した。また、優れた冷却特性を持つ 2 相 CO₂ 冷却システムのプロトタイプを開発し冷却運転に成功した。
- ・ Gas Electron Multiplier (GEM) 読み出し TPC 端部検出器 (アジア GEM モジュール) を国内大学、中国清華大学等と共同開発した。これを国際協力で電子シンクロトロン研究所 (DESY: ドイツ) に整備・設置した TPC 大型プロトタイプ (LP1) 試験施設を用いてビーム試験を行い、目標位置分解能を達成した。また、LP1 試験施設のために本機構が DESY に提供していた超伝導ソレノイドを DESY と本機構との共同研究の枠組みで無冷媒化し運転操作性を大幅に改善した。TPC の GEM 型陽イオンゲート開発において、実機大試作機の製作に成功し、目標の 80% 電子透過率を達成した。
- ・ 平成 25 年、ILD 測定器の基本設計と要素技術の詳細を記述した詳細基本設計書 (DBD) を国際協力により完成した。本機構は、物性性能評価の基準となる物理検討、物性性能を基準とする測定器設計最適化、そのための非均一磁場中で動作する汎用飛跡再構成プログラムの開発、GRID を用いた大規模 MC データ生成などで中心的な役割を果たした。現在はさらなる測定器設計の最適化と工学設計に向けた研究を進めている。

エネルギー回収型線形加速器 (Energy Recovery Linac: ERL) の開発研究

ERL の開発研究では、小型試験加速器 cERL を建設し、平成 25 年に最大平均電流 10 μA でビーム運転を開始した。その後、電流を毎年 10 倍ずつ増強していくことで、平成 27 年に平均 1 mA でのエネルギー回収運転に成功した。鍵となる開発要素の一つである光陰極直流電子銃については、cERL の運転を通して世界最高電圧となる 450kV での電子銃の安定

な運転を実証し、もう一つの重要要素である超伝導加速空洞では、冷凍機等の付帯設備を含めた超伝導空洞の安定な運転とビーム加速を達成した。さらに、ERL の生み出す高輝度かつ大電流の電子ビームの研究ツールとしての利用に関係しては、レーザーコンプトン散乱による高エネルギー光子の生成試験に成功した。これらの成果について、国際将来加速器委員会（ICFA）が主催するワークショップ等で招待講演を行うとともに、公益財団法人高エネルギー加速器奨励会による「諏訪賞」を受賞した。[89-03-8]

先端的測定器に関する開発研究

先端的測定器開発の関係では、測定器開発室において開発している中性子検出器、X線検出器などの実用化に大きな成果を上げ、J-PARC の MLF 中性子ビームラインのプロファイルモニターの高度化などに貢献がなされている。素粒子原子核実験はもとより、放射光科学、X線天文学、赤外線天文学、質量分析科学、材料工学などの革新を目指す研究グループとの新学術領域が発足し、その開発研究を多彩なコラボレーションとして推進している。こうした進展の中で放射線耐性に見通しがついたことから、素粒子原子核研究所のいくつかの将来計画においても、崩壊点検出器の有力な技術オプションとして取り上げられるに至っている。

- 量子ビームを利用するサイエンスでは、2次元中性子検出器イメージング Micro Pattern Gas Detector (MPGD) システムについて、最後の課題であるイメージ収集の高速化についてもほぼ開発を完了し、実用化のレベルに達した。また、フォトンサイエンスに向けて、超高精細のピクセルイメージング検出器を次世代半導体技術である SOI (Silicon On Insulator; 高性能プロセッサや電波時計等で使われ始めた次世代半導体技術) による実用チップを実現し、これを利用したプロトタイプ X線カメラを開発した。
- 素粒子実験向け粒子崩壊点検出器に向けても、大きな課題であったクロストークと放射線耐性についてめどが立ち、計数型高機能 SOI チップの設計が完了、試作チップの製造と評価作業まで到達している。
- SOI ピクセル技術を多彩な研究・応用分野で展開するために新学術領域のプロジェクトが平成 24 年に採択され、それぞれの分野において実用化に向けた開発研究が本格化した。また超伝導技術を用いた超高感度量子センサーの技術を宇宙背景輻射観測、原子核物理学用高分解能 X線分光、暗黒物質探査などに活用するための開発プロジェクトが、初期の試作から実用へと向けて展開を始めている。
- 次世代の先進技術要素として超伝導検出器開発応用の取組を始め、頭脳循環プログラムなどの外部資金により海外との技術交流も推進しながら、広範囲の基礎科学研究にとって強力な共通基盤となる技術の新たな開発研究の学術領域として確立すべく展開を行っている。

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

リニアコライダーに関する開発研究における ATF2 のビーム垂直方向サイズの世界記録と良好な再現性は、基本的な技術目標の一つを達成したものとして関係学会で高い評価を受けた。

小型試験加速器 cERL において高輝度電子ビームのエネルギー回収運転に成功したことは、エネルギー回収型線形加速器の原理を実証したものとして、関係学会で高い評価を受けた。

先端的測定器に関する開発研究では、分野を超えたコミュニティの広がりが実現しつつあり、その成果が新学術領域の外部資金獲得等にもつながって来ている。そのため、各種分野での実用化に向けた開発研究が着実に進行している。

[関連する研究業績]

加速器研究施設 業績番号 89-03-8、9

[現況調査表に記載のある箇所]

素粒子原子核研究所

分析項目Ⅰ 研究活動の状況 観点 研究活動の状況 P. 1-3～1-4
 観点 共同利用・共同研究の実施状況 P. 1-4～1-5
 分析項目Ⅱ 研究成果の状況 観点 研究成果の状況 P. 1-5～1-7

加速器研究施設

分析項目Ⅰ 研究活動の状況 観点 研究活動の状況 P. 3-4
 観点 共同利用・共同研究の実施状況 P. 3-4～3-5
 分析項目Ⅱ 研究成果の状況 観点 研究成果の状況 P. 3-5～3-7

②優れた点及び改善を要する点等

(優れた点)

1. B ファクトリー Belle 実験はボトムクォークを含む新しいハドロン束縛状態の発見や B 中間子の様々な崩壊モードによるクォーク混合パラメータの精密測定等、フレーバー物理の研究で世界をリードした。(計画 1-1-1-1)
2. ニュートリノ振動実験 T2K が世界に先駆けてミュー型ニュートリノから電子ニュートリノへの振動現象(電子ニュートリノ出現)を発見した。(計画 1-1-1-1)
3. LHC の陽子陽子衝突データを使い、2012 年にヒッグス粒子を発見した。この発見により、2013 年のノーベル物理学賞を Englert と Higgs が受賞した。(計画 1-1-1-1)
4. 放射光、中性子、ミュオン及び陽電子をプローブとして使用する「物質の構造と機能に関する研究」、「生体物質の構造、機能、ダイナミクスに関する研究」等において、先端の実験設備を用いて、物質構造科学に関する実験研究を進め、世界をリードする研究成果が得られている。(計画 1-1-1-2)
5. 東日本大震災で装置に多くの損害を被りながら、世界的に注目を浴びている J-PARC 陽子加速器のビーム電力増強と KEKB 加速器の高度化事業 (SuperKEKB) の二つで、当初目標の想定通りの計画進捗を達成した。(計画 1-1-1-3)
6. 放射線及び化学安全、データ及び情報処理システム、低温・超伝導及び精密加工・計測等の基盤技術に関して先端的な研究が進められその成果は国内外で高い評価を得ている。(計画 1-1-1-4)
7. リニアコライダーとエネルギー回収型線形加速器の双方の先端加速器技術の開発で、世界で初めて高い性能を実現し、再現性よく実証的成果を挙げた。また、先端的測定器に関しても、高性能の検出系を開発し、広い分野への展開を進めている。(計画 1-1-2-1)

(改善を要する点)

該当無し

(特色ある点)

1. SuperKEKB、J-PARC、LHC における ATLAS 実験のいずれも最先端の性能を有する加速器及び実験施設を開発し、先端的な研究成果を上げている。(計画 1-1-1-1、1-1-1-2、1-1-1-3、1-1-1-4)
2. 放射光関係の加速器は 30 年以上経年しているが、先端的な研究成果を上げている。また、J-PARC の MLF においても装置整備を進め、先端的な研究成果を上げている。

- (計画 1-1-1-2)
3. リニアコライダー関係、ERL 関係、先端的測定器関係の技術開発、いずれにおいてもこれまでにない性能を実現している。(計画 1-1-2-1)

(2) 中項目2「研究実施体制等の整備に関する目標」の実施状況分析

①小項目の分析

○小項目1

「共同利用機能の向上や最新の学術動向への対応等の観点から、研究者コミュニティの議論も踏まえつつ、機構及び各研究所等のプロジェクトの進展に対応した組織の在り方等について不断の検討を行い、必要に応じて見直しを行う。」の分析

関連する中期計画の分析

計画1-2-1-1

「最新の学術動向への対応、大規模プロジェクトの構想・推進等のため、機構全体の観点から必要な組織を機構長直轄の組織として設置する。」に係る状況

研究プロジェクトの推進や最新の学術動向への対応などのために必要となる組織については、役員及び各研究所・研究施設の長等で構成する所長会議等で検討を行い、機構長直轄の組織として設置した。

- ・ 機構全体として必要な組織を機構長の下に設置することにより、機構における研究活動等を推進するため、国際協力推進室、共同利用研究推進室を設置し、機構における国際連携の推進、国際的な共同利用研究者の受入態勢の強化の取組を実施した。
- ・ 機構で開発した加速器技術や測定器技術、量子ビームを用いた分析技術を社会へ還元していくことを目的に、ナノテクノロジーの産業化と人材育成を一体的に推進するつくばイノベーションアリーナナノテクノロジー拠点（TIA-nano）に参画するとともに、つくばイノベーションアリーナ推進室を設置した。TIAにおける共同研究を通して、大型外部資金の獲得による研究進展、高性能加速器制御電源の開発等に繋がった。
- ・ 機構の研究環境改革の取組として、研究支援戦略推進部（研究支援企画室、国際連携推進室、大学・産業連携推進室及び知的財産室）を設置し、機構の研究力を強化するための支援事業を開始した。

(実施状況の判定)

実施状況がおおむね良好である。

(判断理由)

機構全体の観点から必要な組織を機構長直轄の組織として設置し、国際的な研究の連携、共同利用機能の向上や研究機関間の連携による研究推進に対応した組織体制について検討し、見直しを行った。

各室は上記の様に、国際共同研究、国際連携の推進、国際的な共同利用者の受入体制の整備、「構造材料の未活用情報を取得する先端計測技術開発」（内閣府戦略的イノベーション創造プログラム：SIP）などのつくば地区における機関横断型の共同研究の推進、産学連携推進を行った。

計画1-2-1-2

「各研究所等の内部組織については、関連研究コミュニティの外部研究者を構成委員を含む各研究所等の運営会議での検討に基づいた組織とし、各研究所等の研究プログラムやプロジェクトの進展に対応した柔軟で効率的な運営を行う。」に係る状況

素粒子原子核研究所は、運営会議での議論を経て、研究主幹を廃し、所長・副所長からなる所長室に多様な研究グループが直接繋がるというフラットな組織で運営を行っている。ほぼ2週に1度の割合で、グループ責任者の集まる会議を行い、その場で主な方針を決めるオープンな運営を進めた。一方で、研究の多様化・研究場所の多様化等に対応するため、

平成 27 年 4 月からは、和光原子核科学センター、平成 27 年 11 月からは理論センターを研究所内の下部組織として設置した。

物質構造科学研究所では、将来計画に関する技術開発を速やかに進めるために、平成 21 年度に所内の研究組織である光源研究系を加速器研究施設の加速器第 7 研究系へ組織替えを行ったが、この改組が次世代の放射光源にも応用可能な cERL の開発、性能実現に結びついた。[89-03-8]

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

素粒子原子核研究所では、研究グループが直接所長室に繋がる組織で、グループ責任者の集まる会議で主な方針を決めるオープンな運営が機能している。和光原子核科学センターの設置により、理化学研研究所の加速器からのビームを使った原子核実験装置を、国内外の大学の研究者の共同利用に供することができた。理論センターを設置することにより多様な専門分野の理論研究者が総体となり研究、若手研究者教育、共同利用を進めることで、国内外の大学の研究者の研究推進に寄与することができた。

また、研究プロジェクトの進展にあわせ研究所等をまたぐ改組を行った結果、cERL の開発・性能実現に成功した。

計画 1 - 2 - 1 - 3

「独立行政法人日本原子力研究開発機構 (JAEA) との共同事業である大強度陽子加速器施設 (J-PARC) を運用する組織として、JAEA と共同で J-PARC センターを設置し適切な運営を行う。」に係る状況

JAEA との共同事業である J-PARC の運営については、JAEA と共同で設置した J-PARC センターにおいて、両機関から配置された職員が連携・協力して業務を行うとともに、J-PARC の運営、利用、施設整備に関する重要事項の決定に当たっては、両機関のメンバーで構成する運営会議での審議を踏まえるなど、両機関の緊密な連携・協力による一体的な運営を行った。

大学共同利用に基づく大学共同利用を行う本機構と特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律に基づく共用を行う JAEA では利用制度が異なるが、J-PARC センターを核として、利用者が施設の利用根拠の違いを殆ど意識せずに利用できるようになった。また、放射性物質漏えい等の困難に対しても、J-PARC センターとして組織が協力して、一体的に運営することで、乗り切ることができた。平成 23 年 4 月より、特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律で定める登録機関として一般財団法人総合科学研究機構 (CROSS) を含めて、一体的に共同利用を受け入れ、共同利用実験者に対する支援を進めている。(別添資料 6 参照)

資料 7 J-PARC 運営会議開催状況

平成 22 年度：4 回 (4/20, 7/29, 10/1, 12/21)

平成 23 年度：6 回 (4/22, 11/22, 12/13, 12/20, 2/2, 3/19)

平成 24 年度：5 回 (4/23, 6/12, 10/17, 2/6, 3/11)

平成 25 年度：7 回 (5/22, 6/10, 9/11, 1/21, 2/5, 3/13, 3/19)

平成 26 年度：5 回 (5/9, 6/10, 10/15, 1/28, 3/26)

平成 27 年度：4 回 (6/11, 10/23, 2/5, 3/31)

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

JAEA 及び本機構職員が連携・協力して業務を遂行するとともに、J-PARC の運営に関わる重要事項については運営会議において審議し、両機関で一体的な運営を行い、種々の困難を克服した。

放射性物質漏えい等を契機に、安全管理体制の見直し等再発防止策を講じ、運転を再開したことで、実施状況が良好と判断した。

○小項目 2

「加速器科学分野の世界の研究拠点として、国内外の大学、研究機関等との連携・協力の下、共同研究を積極的に推進する。大学における加速器科学分野を支援するとともに、民間企業との研究連携を強化する。」の分析
関連する中期計画の分析

計画 1-2-2-1

「先駆的で国際的な研究課題に積極的に取り組み、機構の研究レベルを発展させ、世界の加速器科学分野の発展に寄与するために、国内外の大学、研究機関等との協定に基づく共同研究を積極的に推進する。」に係る状況 (★)

国内外の大学・研究機関と協定等を締結して研究推進の協力体制を強化した。

資料 8 国内外協定等の締結状況

	H22 年度	H23 年度	H24 年度	H25 年度	H26 年度	H27 年度
国内機関	87 件	128 件	93 件	107 件	119 件	122 件
国外機関	91 件	95 件	101 件	96 件	116 件	109 件

B ファクトリー国際共同実験では、平成 23 から 25 年度の間新たに 8 か国の参加があり、23 か国 98 大学・機関よりなる国際的な研究拠点として国内外の研究者と協力して研究活動を進める環境を整備している。また、測定器の高度化のために、民間企業と連携し研究開発・建設を進めている。

J-PARC においては、T2K 実験で 11 か国の国際共同実験で、そのうちフランス、イタリア、ロシア、スペイン、米国、カナダなどと MoU を交わして研究を進めてきている。また g-2/EDM 実験グループは 9 か国の国際共同研究で、そのうちブドカ原子核物理研究所 (BINP: ロシア)、トライアンフ研究所 (TRIUMF: カナダ) とは (包括的 MoU の一部として) 協定を交わし、COMET 実験は 15 か国 33 研究機関で構成されており、BINP、JINR (Joint Institute for Nuclear Research: ロシア) とは MoU を結んでいる。それぞれ年に 2、3 回のコラボレーションミーティングを J-PARC で開くなど、国際的な研究拠点として国内外の研究者と協力して研究活動を進めている。ハドロン実験施設で実施されている実験にも、国外から 22 か国 98 研究機関の研究者が参加している。

ATLAS 実験は国内外の大学等の研究機関による協定に基づく国際共同研究であり、本機構は ATLAS 実験に参画し、大きな貢献をしてきた。また、ATLAS 実験に対する国内研究機関の取りまとめの役割も果たし、検出器の保守運転や物理解析、検出器アップグレードのための技術開発などを国内の大学と共同で行った。

海外研究機関とのコラボレーションミーティングでは、B ファクトリー国際共同実験、T2K 実験、COMET 実験など、日本がホストする国際共同実験について、相手国研究チームとの共同研究の進捗状況が報告、議論され、相手研究機関から継続的に相手国研究チームが実験に参画することへの支持を取り付けることにより、これらの実験の国際展開に寄与した。また、CERN と TRIUMF とは覚書に基づき、相互に分室を設け、共同研究や研究者の支援を行う体制を整えた。

フランス国立科学研究センター (CNRS) 及びフランス原子力庁宇宙基礎研究所 (CEA/IRFU)、高能物理研究所 (IHEP: 中国) 及びロシア BINP とコラボレーションミーティングを開催し、

機関間で推進する共同研究や将来計画について議論を行った（平成 24 年度）。IHEP、CNRS 及び CEA/IRFU、CERN とそれぞれコラボレーションミーティングを開催し、機関間で推進する共同研究や将来計画について議論を行った（平成 26 年度）。また、フランス国立科学研究センター・原子核素粒子研究所(CNRS/IN2P3)及びCEA/IRFU、CERN、IHEP、BINP、TRIUMF、DESY とそれぞれコラボレーションミーティングを開催し、機関間で推進する共同研究や将来計画について議論を行った（平成 27 年度）。

理論センターでは、フェルミ国立加速器研究所（FNAL：米国）理論部との協定を締結し、両者の協力関係を強化した。

フランス線形加速器研究所（LAL）との共同研究により、チャネリング放射を利用した陽電子生成装置の可能性に関する実験的研究を行っている。チャネリング放射とは、単結晶素材の結晶面に沿って電子ビームを入射したとき大きな強度の光放射が発生する現象で、これにより将来加速器における大電流の陽電子源が実現されることが期待されている。

IN2P3、IRFU 及び本機構は覚書に基づき、日仏素粒子物理ラボ（Toshiko Yuasa Laboratory）を設立し、共同研究のための研究者交流などを支援している。日仏の合同研究チームの提案に基づき、素粒子物理、測定器開発、加速器開発などの分野の 20 程度の研究プロジェクトをサポートするとともに、毎年合同ワークショップを開催している。

日米科学技術協力事業（高エネルギー物理分野）は、昭和 54 年に日米エネルギー協定の下での協力事業として開始されたが、現在では、日米科学技術協定の下での事業として続けられている。毎年開催される同事業の日米合同委員会で、日米合同チームによるプロジェクト提案の採否、及び研究費の配分を決定し、共同研究を推進している。この枠組みにより、FNAL のテバトロン実験やブルックヘブン国立研究所のフェニックス実験への日本チームの参加、本機構の B ファクトリー実験や J-PARC における国際共同実験のための日米協力、加速器共同研究開発などで大きな成果をあげることができた。

機構の先端加速器試験施設（ATF）では、国際研究協定の下で年に 1 回執行委員会を開催するとともに、年に 1～2 回程度のプロジェクトミーティングを関係研究機関で開催し（平成 22 年から平成 28 年 1 月の期間に 10 回）、先端加速器の装置開発とビーム制御に関する多様な加速器レビュー委員会を進めている。

高エネルギー陽子加速器の遮へい実験を FNAL、JAEA、京都大学等と共同で、ミュオン相互作用、中性子測定に関する研究を行ってきた。加速器や宇宙環境で使用可能な位置有感比例電離箱（PSTPC）の開発のため JAXA と共同研究を推進してきた。

ワールドワイドな共同研究として Geant4 研究の実施、及びフランスボルドー・グラディニャン原子核研究センター（CENBG）との共同研究によるその医学応用研究、分散計算機システムに関するフランス素粒子原子核研究所計算センター（CC-IN2P3）との共同研究等を実施してきた。

台湾放射光施設（NSRRC）の 3 GeV 蓄積リング TPS に、本機構で開発された超伝導加速空洞技術を提供し、短期間の内に所定の性能を実現した。

アジア・オセアニア地区の研究機関とのミーティングの議論から、加速器と測定器技術及びその応用に関するワークショップ Asian Forum for Accelerators and Detectors（AFAD）を定期的を開催することを決め、それ以降インド、ロシア、オーストラリア、台湾、日本で AFAD を開催した。

インド政府科学技術局（DST：インド）と本機構間の共同研究契約に基づき、放射光科学研究施設に設置されたインドビームラインを用いた共同研究を進めた。

北海道大学と本機構との連携協力協定に基づき、加速器科学を基盤とした相互連携研究の推進を目的とした北海道大学・KEK 連携シンポジウムを 5 回（平成 23～27 年度）開催し、平成 23 から 26 年の間、機構内に北大分室を設けた。

平成 23 年度より平成 25 年度にかけて、理化学研究所との研究連携・共同研究の下に、KISS 装置を理化学研究所 RIBF 施設に設置、装置の開発・性能試験を行い、平成 27 年度からの KISS 共同利用開始を実現した。

大学等との連携により、J-PARC 物質・生命科学実験施設内に中性子実験装置の建設を進

めている。東京大学との連携により、高分解能チョッパー分光器(BL12)を建設し、共同で運営している。東北大学との連携により、偏極中性子非弾性散乱測定装置(BL23)の建設を進めている。九州大学との連携により、高性能試料水平型中性子反射率計(BL16)を建設した。京都大学との連携により、スピネコー分光器群(BL06)の建設を進めている。物構研として分担しているNEDOプロジェクトにより、高強度全散乱装置(BL21)において燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する研究開発と特殊環境下回折装置(BL09)を建設した。

炭化ケイ素(SiC)製高耐压半導体を、加速器の運転に必須であるパルス電源の実装に適用する研究を、産業技術総合研究所(以下「産総研」、筑波大、長岡技術大、岩手大と共同で行っている。SiC半導体は、TIAの一環として産総研が所掌するつくばパワーエレクトロニクスコンステレーションズ(本機構は研究・学術機関として参加)が開発しているものである。加速器電源の小型化、省電力化を大幅に推し進める可能性があり、現行や将来の諸加速器での高電圧電源への適用が期待される。

加速器用先進超伝導磁石開発のために東北大学、大阪大学、京都大学、物質・材料研究機構、日本原子力研究開発機構、放射線医学総合研究所等と共同研究を推進し、先進的超伝導線材の開発、超伝導磁石の放射線による影響の研究、次世代の粒子線治療システムの開発などに貢献してきた。

大阪大学と連携協定により、共同研究、人材交流、人材育成などについて連携協力を進めているが、平成27年度には、東海キャンパス内に大阪大学の分室を設け、J-PARCにおける共同研究の推進への便宜を図った。

大学の研究基盤の整備等に対する専門的な技術を支援する取組(戦略性が高く意欲的な取組)として、本機構が持つ加速器関連の基盤技術を、大学等が推進するプロジェクト等に対して技術支援を積極的に行うことで大学等のプロジェクト推進に貢献している。

・東京大学宇宙線研究所が中心に建設を進めている大型低温重力波望遠鏡(KAGRA)では、このプロジェクトで用いる重力波望遠鏡の実現には、本機構のこれまでの加速器の研究開発で得られた超高真空、極低温冷却並びに機械構造設計等の特異な先進技術が必要不可欠であり、これまでに長さ3kmの2本の真空ダクト、鏡懸架用超高真空容器、断熱真空装置並びに断熱真空装置用冷凍機ユニット等の設計・製作を進め、KAGRAの完成に向け貢献した。

・筑波大学が中心となって進めている、次世代がん治療であるBNCT(ホウ素中性子捕捉療法)の装置開発において、本機構は陽子加速器及び中性子発生用標的の設計・建設など、J-PARCにおける経験をもとに技術協力を行っている。特に中性子発生用標的に関しては、関連する複数企業と連携し開発を行っている。これまでに、必要な殆どの機器を製作し、設置・調整を行い、最終的にビーム加速を実施し、実際のビーム加速で機器の問題がないことが確認された。

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

・多くの外国人研究者が、資金拠出を含めて、Belle II 実験に参加し、研究者数は600人以上に増加し、真に国際共同研究となっている。

・J-PARCにおいては、先駆的で国際的な研究課題に、国内外の機関との国際共同グループとして取り組み、世界的に高い水準の研究成果をあげている。

・FNAL 理論部と理論センターメンバーの合同検討会を開催してお互いの理解を深め、研究協力を進めた。

・北海道大学との連携協定に基づき、平成23～26年度の間、北海道大学の分室が設置され、共同研究を実施した。

・インドビームラインは科学技術セミナー(平成26年1月、デリー)において安倍首相よ

り期待が述べられ、首脳会談の折のファクトシート等にも記述されている。
 等多くの研究分野において、国際的な協力関係を築いた上で、共同研究を進めている。
 ・アジアの加速器科学の拠点として、各国の関係機関と協定を結び、先端的な加速器関連技術の展開を進めている。特に、台湾 NSRRC の 3 GeV 蓄積リング TPS に、本機構で開発された超伝導加速空洞技術を提供し、短期間の内に所定の性能を実現した。
 ・機構が持つ加速器関連の基盤技術を生かし、大学の研究基盤の整備等に対する専門的な技術支援を積極的に行い、大学等のプロジェクト推進に貢献している。

[関連する研究業績]

共通基盤研究施設 89-04-1、89-04-4、89-04-5、89-04-7

[現況調査表に記載のある箇所]

素粒子原子核研究所

分析項目Ⅰ 研究活動の状況 観点 研究活動の状況 P. 1-3～1-4
 観点 共同利用・共同研究の実施状況 P. 1-4～1-5
 分析項目Ⅱ 研究成果の状況 観点 研究成果の状況 P. 1-5～1-7

物質構造科学研究所

分析項目Ⅰ 研究活動の状況 観点 研究活動の状況 P. 2-3～2-4
 観点 共同利用・共同研究の実施状況 P. 2-4～2-5
 分析項目Ⅱ 研究成果の状況 観点 研究成果の状況 P. 2-5～2-6

加速器研究施設

分析項目Ⅰ 研究活動の状況 観点 研究活動の状況 P. 3-4
 観点 共同利用・共同研究の実施状況 P. 3-4～3-5
 分析項目Ⅱ 研究成果の状況 観点 研究成果の状況 P. 3-5～3-7

共通基盤研究施設

分析項目Ⅰ 研究活動の状況 観点 研究活動の状況 P. 4-3
 観点 共同利用・共同研究の実施状況 P. 4-3～4-4
 分析項目Ⅱ 研究成果の状況 観点 研究成果の状況 P. 4-5～4-6

計画 1-2-2-2

「大学における加速器科学分野の研究を支援し、我が国全体の底上げを図る観点から、研究交流の場の提供やサバティカル制度の活用など、大学の研究者の参画を促進するプログラムを検討・実施する。」に係る状況

大学等が実施する加速器科学に関する教育研究事業について、本機構が連携支援するプログラムとして、「大学等連携支援事業」を実施した。(別添資料5参照)

具体的には、大学等における加速器科学に関わる教育、研究等で、以下に示すような事例について連携し支援するもので、機構の技術、能力等と連携・協力することで、大学等で行われている事業が更に我が国の加速器科学の発展につながるものである。

(事業の例)

- ・大学等における加速器の建設、加速器の性能向上への支援
- ・大学等との加速器の利用技術の支援、利用促進
- ・研修、講習会等の開催
- ・大学院教育に関する連携・支援
- ・学部学生への授業、実習協力(加速器インターンシップ等)

資料9 大学等連携支援事業の実施状況

年度	H22年度	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度	H27年度
大学数	19大学	16大学	19大学	16大学	16大学	19大学
実施件数	23件	20件	24件	20件	24件	26件

この他にも、クロスアポイントメント(CA)制度を活用し、大阪大学・核物理研究センター(RCNP)ミュオン発生装置 MuSIC で得られる新しい DC ミュオンビーム利用に向けて、ミュオン生成技術を助言し、 μ SR 実験装置等の立ち上げに協力した。DC ミュオンの特性を生かした新しい測定手法を開発し、ユニークな実験を展開することで、物質科学、原子核物理だけではなく、希少試料の非破壊元素分析を必要とする考古学や天文分野の飛躍的な発展が期待される。

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

大学等連携支援事業や CA 制度等を活用しながら、大学の機能強化を進めている。

計画 1-2-2-3

「機構の研究活動を推進・発展させていくためには、民間企業の最先端の技術力の向上が不可欠であるため、関連分野の民間企業における研究の発展・人材の育成を含めた民間等との共同研究、受託研究等の研究連携を今後とも積極的に推進する。」に係る状況

民間企業の最先端の技術力の向上に寄与するため、機構の産学連携制度や提供可能な技術・装置について、各種展示会やホームページ等にて紹介した。

近年、企業が基礎から製品開発までを一貫して進めることが困難になってきており、加速器科学に関連する基礎的・共通的な技術開発を進める場として多企業参画ラボの立ち上げを目指し、その組織・機能を検討した。多企業参画ラボを本機構の加速器科学技術に集うコンソーシアムからなるプラットフォームと定義し、平成 27 年度には超伝導加速器利用促進化推進棟(COI 棟)を基盤とした企業 8 社と 1 企業集団が参加する「国際科学イノベーションセンター」を設置した。

本機構内で行くば市内の企業組合 Mot' s の技術展示会及び茨城県内の企業組合 IRDA とのイノベーション対話の会を実施し、機構から技術情報を提供するとともに企業の技術ニーズ等に関する意見交換を実施した。また、機構と地域企業 11 社、県、支援機関等から構成される「GNT (グローバルニッチトップ) 輩出を目指すオール茨城連携コンソーシアム」(略称: G コン) を立ち上げた。G コンにおいて、各種セミナー (G コン MOT セミナー、加速器技術セミナー等) やイノベーション対話の実施、小型加速器実習プログラムの実施、産学連携によるプロジェクトメイク、外部資金申請企画等機構における技術のイノベーション化に資する取組を実施した。

放射光、中性子、ミュオンは物質開発や創薬にとって不可欠のプローブであり、これらを活用した多くの共同研究を進め、これらのプローブを活用できる産業界の人材を育成してきた。特に、放射光分野では、この前段階として先端研究施設共用促進事業、先端研究基盤共用・プラットフォーム形成事業によるトライアルユースを進め、新規利用者の開拓に努めた。これらの活動を通して、施設利用 (有償、成果非公開利用) も拡大し、産業界の課題解決に寄与するほか、自己収入の増加にもつながった。

平成 24 年度から参画した TIA-nano では、TIA 公開シンポジウムやナノテク展で研究紹介を行っているほか、TIA を形成する 4 機関 (筑波大、産総研、物材機構、本機構) が連携して立ち上げた TIA 光・量子計測領域で、協働して計測技術・科学の高度化を進め、産業界への見える化を図っている。また、ナノテク CUPAL 事業で人材育成を進めている。

加速器放射化物に関するクリアランスに関して民間企業と共同研究を実施し、研究成果の一部を国際会議で発表するとともに、日本放射線安全管理学会が整備中の「放射線施設の廃止にかかる測定マニュアル」に反映させる予定である。

低消費電力型小型スパコンに関して民間企業と共同で開発・検証を実施した。本機構に設置したこれらの機器は、Green500 で平成 26 年に世界第 2 位及び平成 27 年に世界第 2、第 3 位を獲得した。

加速器科学に関連した超伝導磁石技術や極低温技術の開発を民間企業と共同で取り組み、回転ガントリーの開発や 6N 超高純度アルミニウムなど重要な成果を上げた。超精密加工及び超伝導加速空洞の製造技術について、民間企業への技術指導を行っている。また、超伝導加速空洞に用いる高純度ニオブ材の製造技術開発を民間企業との共同研究により行い、相手企業がニオブ材の販売を開始するに至った。

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

産業界による放射光施設の利用を促進し、地元をはじめとする種々の企業との技術交流・対話を進めた。また様々な特注品の開発を企業とともに進めるなどの活動を通して、企業の技術力向上に貢献している。

[関連する研究業績]

共通基盤研究施設 業績番号 89-04-4、89-04-7

[現況調査表に記載のある箇所]

共通基盤研究施設

分析項目 I	研究活動の状況	観点	研究活動の状況	P. 4-3
		観点	共同利用・共同研究の実施状況	P. 4-3～4-4
分析項目 II	研究成果の状況	観点	研究成果の状況	P. 4-5～4-6

②優れた点及び改善を要する点等

(優れた点)

1. 組織の見直しを適宜行い、研究活動を効果的に進めた。(計画 1-2-1-1、1-2-1-2)
2. JAEA と連携して、利用者が運営母体の違いを意識せずに J-PARC を利用できる運営を行った。(計画 1-2-1-3)
3. 国内及びアジアを中心とする国際的な共同研究等を進め、先端的な研究成果を上げるとともに、関係機関の技術水準の向上に寄与した。(計画 1-2-2-1)
4. 産業界による放射光施設の利用を促進し、種々の企業との技術交流を進めることで企業の技術力向上に貢献している。(計画 1-2-2-3)

(改善を要する点)

該当無し

(特色ある点)

上記のほか、日常的な特注品の発注自体が企業の技術力向上に貢献していること。(計画 1-2-2-3)

2 共同利用・共同研究に関する目標（大項目）

（1）中項目1「共同利用・共同研究の内容・水準に関する目標」の実施状況分析

①小項目の分析

○小項目1「高エネルギー加速器を用いた素粒子・原子核に関する研究及び生命体を含む物質の構造・機能に関する研究について、国内外の大学をはじめとして、研究機関、民間企業を含む研究者による共同利用を推進する。」の分析
関連する中期計画の分析

計画2-1-1-1

「高エネルギー加速器を用いた素粒子・原子核に関する研究及び生命体を含む物質の構造・機能に関する研究について、共同利用実験を推進する。

主な共同利用実験として、

- (1) Bファクトリーでの共同利用実験
- (2) 放射光を用いた共同利用実験
- (3) J-PARC における共同利用実験
ニュートリノ実験
原子核・素粒子実験
中性子、ミュオンを用いた実験
- (4) スーパーコンピューターを用いた加速器科学に関連する大型シミュレーション研究を実施する。」に係る状況 【★】

高エネルギー加速器を用いた素粒子・原子核に関する実験的・理論的研究及び生命体を含む物質の構造・機能に関する実験的・理論的研究を行う共同利用の場を国内外の研究者に広く提供した。

第二期期間中において、各年度、別添資料4及び7に示す通り、共同利用を行い、様々な成果を上げた。

(1) Bファクトリーでの共同利用実験

Bファクトリーでは、世界最高強度のビームによる共同利用実験を平成22年6月まで行った。収集されたデータは、世界一の量と質を誇り、物理解析が行われ、世界で最も精度のよい測定結果を得、ボトムクォークを含む新種のエキゾチックハドロンの発見等の成果を上げた。

高度化された加速器・測定器による共同利用実験に向けて、加速器及び測定器改良のための作業が本格的に始まった。共同研究先と協力・分担することで、試作機による性能評価や、シミュレーションによる研究が大いに進展した。

平成22年から27年度の間新たに9か国の参加があり、23か国98大学・機関の研究者・技術者・学生約600名による国際共同研究組織となった。このうち約3分の2が国外からの参加である。また、概ね40人ほどの機構外の研究者が機構に常駐し、年3回のグループ会議には200名ほどが来訪する。また、グループ会議の間に行う年3回の全体解析会議には、約40名が来訪する。これらに加えてデータ解析や測定器の開発・建設に関わる打ち合わせなどにはビデオ会議が多用されており、その回数は一ヶ月平均20回に達する。このように当該グループは完全に共同利用者による研究グループとして運営されており、実験データへのアクセスも共同利用者全員に公平に割り当てられている。

これまでに収集した約8億のB中間子発生事象の解析により本中期目標期間に150編近い論文を発表した。これらはB中間子などの重い粒子の崩壊に関わるもので、素粒子の「標準模型」の検証、「標準模型」を超えた新しい物理、未発見の新しい共鳴状態の発見、に

分類される。これらのうち代表的なものは、

- ・ボトム・反ボトムクォーク対を含む4クォークより成る新粒子の発見 [89-01-2]
- ・Bファクトリーにおける、素粒子物理学の標準理論を超える現象の探索[89-01-11]
- ・B中間子系における小林・益川行列の精密測定[89-01-13]
- ・チャーム・反チャームクォーク対を含むエキゾチック粒子のさらなる発見及び展開 [89-01-14]
- ・Belle と米国の競争相手である BaBar との共同による B ファクトリー実験の研究成果の集大成本編纂[89-01-12]

である。これらの成果は、新聞や科学誌に取り上げられ、折戸賞(平成 28 年 3 月)を受賞するなど、高い評価を得た。平成 22 年に加速器高度化のための改造建設を開始し、約 5 年の建設期間を経て平成 27 年度末に加速器の試運転を開始した。また並行して、測定器の改造も超伝導ソレノイドの立ち上げや新しく組み込まれた検出器の宇宙線データの収集に成功するなど順調に進んでいる。

(2) 放射光を用いた共同利用実験

共同利用課題の新規採択件数は 6 年間で約 2,600 件であり、大型外部資金に基づく優先利用制度を実施し、研究を加速している。そのほか、施設利用、民間等との共同研究、先端研究施設共用促進事業に基づくトライアルユース等主に産業界による利用を対象とした課題が実施されている。年間 3,000 名超の実験者を受け入れている。

放射光共同利用では、後年度にかけて共同利用実験時間の確保が困難な状況に至っている。平成 22 年度の PF 及び PF-AR の共同利用実験時間はそれぞれ 4,050 時間及び 4,096 時間であったのに対し、平成 26 年度には、2,317 時間及び 1,955 時間と激減し、平成 27 年度には、幾分回復したものの、過去最低の水準が続いている。共同利用の需要に応えるため、直線部増強計画をもとにして挿入光源ビームラインを中心に整備を行った。また、実験装置の性能向上を進め、競争力のある利用装置の開発、整備を進めた。これらの整備の相当部分は創薬等支援基盤技術プラットフォーム、元素戦略、先端研究基盤共用・プラットフォーム形成事業等の外部資金及び日立製作所からの出資に基づき進めた。それにも関わらず、平成 22 年度から 27 年度にかけて、毎年約 400 件の共同利用課題申請があり、登録された論文は 600 件、学位論文は約 200 件とほぼ同水準を維持した。

低速陽電子の共同利用実験については、放射光共同利用実験の枠組みの中で実施可能な体制を構築した。世界最高クラスの低速陽電子ビームが利用可能な施設を整備し、先端研究を推進した。

PF 将来計画の一環として、高輝度中型放射光源計画の動向調査(世界における最新の放射光源及びビームライン技術の調査と利用研究ニーズ)及び光源の基本設計の検討を進めた。

資料 10 放射光科学研究施設諮問委員会 報告書より

- 1) 震災復旧予算及び補正予算を財源として、PF 及び PF-AR の復旧及びアップグレードが適切に進められている。
- 2) PF-AR の直接入射路改造は SuperKEKB の運転との両立のために不可欠であり、プロジェクトを強く支持する。
- 3) PF ユーザーアソシエーションの発足を支持する。
- 4) コンパクト ERL の開発は順調に進行しており、運転開始が期待される。コンパクト ERL を用いた放射光実験を展開し、研究成果を産み出すことが重要である。

(H25.2.7-8)

5) PF は共同利用開始から 30 数年を経て、引き続き多くの利用ユーザーと高い研究アクティビティを維持していることについて高い評価を受ける一方で、光源の老朽化対応の必要性について指摘を受けた。この時期に本機構の次期放射光源計画を推進することは時宜を得ており、本機構として高い優先順位で積極的に推進すべきであるとの提言がなされ、特に新光源の加速器に関する諮問委員会 (MAC) を早期に開催すべきとの提言がなされた。

(H28. 3/29-30)

代表的な研究成果は以下の通りである。

- ・ 新規に設置された VSX ビームラインを利用し、酸化物エピタキシー法を駆使して、伝導性酸化物を原子レベルで制御した量子井戸構造を作製し、強相関電子を 2 次元空間に閉じ込められていることを世界で初めて実証した。[89-02-3]
- ・ レアメタルを必要としない二次電池用電極として開発された新規鉄系層状酸化物の原子構造を解明した。[89-02-9]
- ・ 家庭用燃料電池の効率向上に寄与する白金原子とルテニウム原子が完全に混ざり合った新規合金触媒の反応機構を解明した。[89-02-9]
- ・ 梯子型構造をもつ鉄系化合物において、高圧下で超伝導を示すことを発見し、鉄系の超伝導体に共通してみられた鉄の正方格子をもつ物質系とは異なる構造での超伝導発現を初めて示した。[89-02-2]
- ・ 新規に設置された VSX アンジュレータを有効に活用して、外場によって可逆的に変化するグラフェンの電子状態の計測に成功した。グラフェン基板を用いた高速で薄型軽量なフレキシブル電子デバイス開発に役立つことが期待される。[89-02-7]
- ・ 有機材料の導電性、誘電性などの特性を分子構造、結晶構造から解明した。[89-02-4]
- ・ 小惑星イトカワの表面から持ち帰ったサンプルについて、蛍光 X 線測定による組成分析と、X 線回折実験による構造解析を行い、小惑星イトカワの物質構成と形成の歴史を世界で初めて解明した。[89-02-5]
- ・ 世界最高クラスの低速陽電子ビームを用いて、全反射高速陽電子回折による結晶最表面及び表面直下の構造解析、ポジトロニウム負イオンの分光とそれを用いたエネルギー可変ポジトロニウムビームの生成、及びポジトロニウム飛行時間法による表面科学を推進した。[89-02-1]
- ・ PF-AR の放射光パルス特性を、レーザー励起や電場印加などの外部刺激と組み合わせ、短寿命でしか現れない過渡的な物質構造と電子状態を時間分解計測する研究を推進した。[89-02-6]

(3) J-PARC における共同利用実験

J-PARC 敷地内には共同利用実験を行う施設として、物質・生命科学実験施設 (MLF)、ハドロン実験施設 (HEF)、ニュートリノ (NU) 実験施設が運用されている。MLF ではミュー粒子、中性子を利用する実験研究が展開される。

ニュートリノ実験 (NU)

T2K ニュートリノ振動実験は、つくばの 12GeV PS 加速器で実施された K2K 実験の後継で、11 か国 58 機関約 500 人の共同研究者で構成される国際共同利用研究である。ニュートリノ実験施設で生成し発射したニュートリノビームを 295km 離れたスーパーカミオカンデでとらえ、飛行中にニュートリノの種類が変化する「ニュートリノ振動現象」を測定することにより、ニュートリノの性質を解明する。平成 22 年から測定を開始し、平成 28 年 3 月現在、陽子ビーム強度 390kW の安定運転を実現し、累積標的照射陽子数 1.3×10^{21} 個に達している。

平成 23 年には、世界に先駆けてミュー型ニュートリノから電子ニュートリノへの振動現象(電子ニュートリノ出現)の兆候(2.5 シグマ)をとらえ、平成 25 年には存在を決定づける「測定」(observation)をなしえた(7.3 シグマ)。これは、ニュートリノにおいて未知の性質である CP 対称性の破れを測定することが可能であることを初めて示した大きな成果である。平成 23 年から平成 25 年に発表した一連の 3 論文の被引用数は 1,600 近い。さらに、この成果はイギリスのフィジックス・ワールド誌で TOP10 Physics Breakthroughs for 2011、米雑誌「Discover Magazine」による 2013 年の科学記事 TOP100 に選ばれたほか、国内では仁科記念賞、ゴールドメダル、海外では Breakthrough Prize を受賞するなど、内外で高い

評価を得た。[89-01-1]

また、ミュー型ニュートリノが減少するミューニュートリノ消失の精密測定も行い、世界最高精度で、2番目と3番目の世代のニュートリノの関係を決定した。さらに、平成26年からは、ミュー型ニュートリノビームから反ミュー型ニュートリノビームに切り替えて測定を進めており、反電子ニュートリノ出現現象の高感度探索を進めており、1、2年のうちにはこちらでも世界に先駆けて発見できる可能性が高い。反ミュー型ニュートリノ消失現象はすでに高い確度で検出されており、反ニュートリノにおいても世代間の関係を世界最高精度で測定しつつある。[89-01-15]

原子核・素粒子実験

ハドロン実験施設では、大強度の中間子ビームを用いた原子核・素粒子実験を国際共同実験として行っている。施設の利用運転開始時はパイ中間子ビームによる実験を行い、5つのクォークからなる新しい物質形態の探索や陽子1つ、中性子4つ、 Λ 粒子1つからなる少数多体のハイパー原子核の探索、陽子2つとK中間子1つから構成される“K中間子原子核”の形成の結果が得られた。[89-01-21]

引き続き、負の電荷を持つK中間子を用いた原子核ハドロン実験や、中性K中間子の稀崩壊探索実験、正の電荷を持つK中間子の崩壊分岐比の精密測定実験を行っている。平成25年5月の放射性物質漏えいによる約2年の運転休止の間も、データの解析や装置の研究開発などを精力的に継続した。利用運転再開直後に収集したデータから、ストレンジ粒子により原子核の荷電対称性を破る現象を発見した。[89-01-7]

ミューオンを用いた新しい素粒子実験（COMET 実験）の準備のため、国際共同実験グループが大幅に強化され（15ヶ国、約180人）、実験施設の設計、開発、建設を共同作業で進めている。

J-PARC の物理に関係した理論研究を実験研究者と緊密に連携しながら推進するために、東海キャンパスに理論センターの研究者が赴き、研究会や滞在型の共同研究を行っている。

中性子・ミュオンを用いた実験

J-PARC 物質・生命科学実験施設（MLF）では、中性子実験装置及びミュオン実験装置の建設を進め、共同利用を推進している。中性子実験装置では、これまでに5台の実験装置でコミッショニングが終了し、一般課題を受け入れて共用実験を開始している。更に2台の実験装置でコミッショニングを実施中であり、もう1台の実験装置で建設を進めている。ミュオン実験装置では、Dライン、Uライン、Sラインの整備を進め、Dラインで一般課題を受け入れて共用実験を開始している。Uライン、S1エリアでのミュオンビームの引き出しに成功した。中性子実験装置及びミュオン実験装置において、マルチプローブ課題を採択し、放射光・低速陽電子・ミュオンとの相補利用研究を開始した。

共同利用実験を実施し、以下の代表的な成果を得た。

- ・ 水素化物の構造解析に基づく水素貯蔵材料開発に成功した。[89-02-10]
- ・ 全固体電池への応用に繋がる世界最高のイオン導電性を持つ物質を開発し、導電性の原因を解明した。[89-02-9]
- ・ 鉄系超伝導体であるLaFeAsOでO-H置換により実現された高濃度キャリアドーピング領域において、新たな磁性相が出現することをミュオンスピン回転法により明らかにし、当該物質のドーピング相図を確立した[89-02-2]。
- ・ ミュオンでは、イトカワ II 計画で持ち帰る予定の隕石試料を想定して、負ミュオン X 線分析法により、微量隕石試料の非破壊分析を行えることを示した。[89-02-5]。
- ・ 水と3メチルピリジン混合液に塩を加えた溶液が透明から青、緑、黄色、赤と変化することを発見し、周期構造の温度変化に起因することを明らかにした[89-02-8]。
- ・ 次世代ディスプレイである有機エレクトロルミネッセンス（EL）膜のコストダウンと大面積化に繋がると期待されているインクジェットを利用した塗布法を用いた場合の性能劣化の原因が、界面構造が不明瞭になることであることを解明し、安価な大面

積有機 EL 製造に繋がる指針を得た[89-02-8]。

資料 11 中性子アドバイザー委員会 報告より

MLF 中性子ターゲットのリカバリー計画は妥当との評価が与えられたが、ターゲット製造期間に十分な裕度を持たせることや、低い陽子パワーでも安定的なビーム供給を実現するべきであるとの提言があった。ターゲット故障により利用時間が削減されている現状においては、一般ユーザーの利用を優先すべきであるとの指摘があった。また、これまでの成果を分析して、更にわかりやすく成果が出やすい利用制度を目指すべきとの指摘がなされた。中性子実験装置の整備状況は高く評価されたが、将来計画についてはコミュニティの意向やサイエンスのインパクトを考慮して検討すべきとの提言を受けた。(H28. 2. 23-24)

(注記：中性子ターゲットは JAEA の所掌であるが、大強度の陽子を受けるため、技術開発課題も多く、微量の冷却水漏れ等の故障が発生し、ターゲットの交換に時間を要していることに対する提言である。)

資料 12 ミュオンアドバイザー委員会 報告より

平成 27 年度は、ミュオン D ラインでの電源火災、中性子源の 2 度にわたるトラブルにより、MLF の運転を殆ど行うことができず、ユーザー実験は大きな影響を被った。作業安全向上に向けての取組が行われていること等が評価されるとともに、そのような試練の時を利用して、多くのエリアで施設整備が進められ、無事にビーム復旧させたことが大いに評価された。また、マンパワーの問題、平成 28 年度の安定なユーザービームタイムへ提言がなされた。(H28. 2. 14-15)

(4) スーパーコンピューターを用いた加速器科学に関連する大型シミュレーション研究

スーパーコンピューターを用いた加速器科学に関する大型シミュレーション研究を実施した。平成 24 年にはシステムを更新し、計算能力を大幅に向上して運用を行った。採択した課題は、素粒子原子核物理学、物質構造科学、加速器研究をカバーしている。そのうち大規模研究グループは、格子量子色力学の大規模シミュレーションによる素粒子現象論に関わる精密計算や、ハドロン間相互作用の研究などに関する成果を得た。

代表的な共同利用研究の成果

- ・ スーパーコンピューターを用いた、宇宙の起源などの物理現象のシミュレーションを用いて行う研究 (研究業績番号 89-01-6)
- ・ 本機構の共同利用である「大型シミュレーション」で採択された研究 (研究業績番号 89-04-2、3)

(5) その他の共同利用・共同研究

短寿命核実験

平成 23 年度まで東海キャンパスで行われた短寿命核分離加速実験装置 (TRIAC) の大学間共同利用では、宇宙における元素合成過程や、短寿命核ビームプローブによる電池材料開発などを中心に、低エネルギー短寿命核ビームによる研究が促進された。

平成 22 年度に発足した KISS プロジェクト研究では、理化学研究所仁科研究センターとの共同研究として、翌年度に元素選択型質量分離器 (KISS) の同研究所への設置・開発を開始した。平成 27 年度には KISS による理化学研究所での共同利用実験を支援するために和光原子核科学センターを発足させた。

理論的研究

平成 27 年 11 月 1 日より、素粒子原子核研究所理論部門を、素粒子、原子核及び関連する周辺分野の理論的研究と大学共同利用としての国際的共同利用機能をより強化するため、「理論センター」として発足させた。

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

KEKB 加速器による Belle 実験は、米国の同様施設の実験の約 1.5 倍のデータを収集し成功裏に運転を終えると同時に、間をおかず加速器及び測定器高度化を開始した。加速器は、5 年間にわたる建設を順調に終え試運転を開始した。測定器の改造も順調に進んでいる。

放射光利用実験では、大幅な運転時間の削減を余儀なくされたにもかかわらず、外部資金を獲得して実験装置等の整備を進め、共同利用件数、研究成果数を維持している。

J-PARC では、MLF、ハドロン、実験施設及びニュートリノ実験施設ともに、共同利用実験が進められており、電子ニュートリノ出現の発見など、多くの成果を上げてきている。また、MLF では多額の外部資金を投入して整備した実験装置が共同利用に供されている。

[関連する研究業績]

素粒子原子核研究所 業績番号 89-01-1~4、6、7、9~17、21

物質構造科学研究所 業績番号 89-02-1~13

共通基盤研究施設 業績番号 89-04-2、3

[現況調査表に記載のある箇所]

素粒子原子核研究所

分析項目 I 研究活動の状況	観点	研究活動の状況	P. 1-3~1-4
	観点	共同利用・共同研究の実施状況	P. 1-4~1-5

分析項目 II 研究成果の状況	観点	研究成果の状況	P. 1-5~1-7
-----------------	----	---------	------------

物質構造科学研究所

分析項目 I 研究活動の状況	観点	研究活動の状況	P. 2-3~2-4
	観点	共同利用・共同研究の実施状況	P. 2-4~2-5

分析項目 II 研究成果の状況	観点	研究成果の状況	P. 2-5~2-6
-----------------	----	---------	------------

加速器研究施設

分析項目 I 研究活動の状況	観点	研究活動の状況	P. 3-4
	観点	共同利用・共同研究の実施状況	P. 3-4~3-5

分析項目 II 研究成果の状況	観点	研究成果の状況	P. 3-5~3-7
-----------------	----	---------	------------

共通基盤研究施設

分析項目 I 研究活動の状況	観点	研究活動の状況	P. 4-3
	観点	共同利用・共同研究の実施状況	P. 4-3~4-4

分析項目 II 研究成果の状況	観点	研究成果の状況	P. 4-5~4-6
-----------------	----	---------	------------

計画 2-1-1-2

「共同利用を実施するために必要な加速器施設等の運転・維持管理を行うとともに、関連する分野の技術支援を行う。」に係る状況 **【★】**

共同利用を実施するために必要な加速器の運転や各種実験に関連した施設等の維持管理を行った。東日本大震災では装置に多くの損害を被りながら、共同利用のために本機構が保有する全ての加速器について迅速にこれを復旧し、安定的なビーム供給を維持した。

電子・陽電子入射器から、KEKB 及び放射光関係 4 蓄積リングへ、エネルギー等の異なるビームの入射を高速で切り替えることで、実験を停止する時間を短縮し、蓄積電流値を一定に保つことで信頼性の高いデータの測定を可能にするなど利用実験条件を改良した。放射光関係のリングでは、30 年を超える経年にも関わらず、PF、PF-AR それぞれにおいて約 0.5%、約 1% という低い故障率で、ユーザーの計画的な実験を支えて来た。また、SuperKEKB

に関しては、震災があったにも関わらずほぼ計画通りに建設・立ち上げを進めた。

J-PARC の加速器は、震災の被害にも関わらず、出力の増強を進めて来た。また、ハドロン実験施設における事故や中性子ターゲットの損傷に関する技術的対応に全力で臨むとともに、ハードウェアの整備や増強とビーム力学的検討に注力し、ビーム強度の着実な増強を実現した。

J-PARC においてニュートリノビームライン超伝導磁石システムなど超伝導極低温装置の運転維持管理や、COMET 実験用超伝導磁石などの超伝導極低温システムの建設支援を行った。

また、放射線防護、環境保全、コンピュータ、超伝導・低温技術、精密加工技術等の技術支援及び運用支援を行った。特に、放射線施設変更申請、職員や共同利用者等の放射線安全管理の業務、化学薬品や環境中の化学物質監視の業務を通して共同利用実験を支え、実験遂行のために不可欠なセキュアネットワーク基盤、情報環境基盤及び計算機システムを整備運用し、国内外の共同利用・研究に必要な情報基盤に関する研究支援を行った。

(別添資料 8、9 参照)

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

共同利用実験に対する安定的なビーム供給及び J-PARC のビーム強度の増強と KEKB 加速器の高度化が順調に進捗している状況から、計画の実施状況は良好であると判断した。

[関連する研究業績]

加速器研究施設 業績番号 89-03-1～7、11～14

[現況調査表に記載のある箇所]

加速器研究施設

分析項目 I 研究活動の状況	観点	研究活動の状況 P. 3 - 4
	観点	共同利用・共同研究の実施状況 P. 3 - 4 ~ 3 - 5
分析項目 II 研究成果の状況	観点	研究成果の状況 P. 3 - 5 ~ 3 - 7

共通基盤研究施設

分析項目 I 研究活動の状況	観点	研究活動の状況 P. 4 - 3
	観点	共同利用・共同研究の実施状況 P. 4 - 3 ~ 4 - 4
分析項目 II 研究成果の状況	観点	研究成果の状況 P. 4 - 5 ~ 4 - 6

②優れた点及び改善を要する点等

(優れた点)

1. 電子・陽電子入射器から四つの蓄積リングへの高速入射切り替えを実現し、放射光関係の加速器を安定に運転し、SuperKEKB 関係の加速器をほぼ計画通りに立ち上げ、J-PARC 関係の加速器の出力増強を進めて来た。(計画 2-1-1-2)
2. B ファクトリー、J-PARC のニュートリノ、原子核・素粒子実験では国際的な共同研究・共同利用を進め、各分野で優れた研究成果を上げた。(計画 2-1-1-1)
3. 放射光、J-PARC の中性子、ミュオン実験では、広い研究分野の多くの研究者と共同研究・共同利用を進め、各分野で優れた研究成果を上げた。(計画 2-1-1-1)
4. 積極的に外部資金を獲得することにより、実験装置の建設、改良を進め、共同利用に供してきた。(計画 2-1-1-1)

(改善を要する点)

経年した加速器、実験装置に対する対策が十分に進んでいないところがある。また、共同利用を行うための運転時間が十分に確保できていない。(計画2-1-1-1)

(特色ある点)

素粒子・原子核分野では国際的な共同研究・共同利用が進められている。物質構造科学分野では、産業界を含む広い研究分野に対する、大規模な共同利用が行われている。

(計画2-1-1-1)

(2) 中項目2「共同利用・共同研究の実施体制等に関する目標」の実施状況分析

① 小項目の分析

小項目1「大学共同利用機関として、高い水準の研究成果を上げるための共同利用体制を確保する。」の分析関連する中期計画の分析
関係する中期計画の分析

計画2-2-1-1

「共同利用研究者等のニーズや外部評価の結果を踏まえて共同利用実験のための研究環境や生活環境に関する支援・便宜供与等の充実に努めるなど、共同利用研究者等の受入体制を充実する。」に係る状況 【★】

つくば、東海ともユーザーズ・オフィスで、ホームページを用いた共同利用者向けの各種案内、ユーザー登録や宿泊施設の予約等、自転車やPHSの貸与、外国人ユーザーに対する変圧器等の貸与など様々な生活支援等の活動を行っている。

共同利用実験のための研究環境や生活環境の更なる充実のため、共同利用研究者等から要望のあった事項の改善について検討を行い、可能なものから逐次実施した。

- ・ 共同利用の在り方やユーザーの支援等について検討するため、アンケートによる意向調査や外国人ユーザー等との情報交換会を実施した。(平成22年度)
- ・ ユーザーズ・オフィスに外国人研究者支援窓口を設け、機構に滞在する外国人研究者及び留学生への生活支援として、ビザ申請に係る諸手続きや外国人登録手続き、銀行口座開設などの支援を行った。(平成23年度)
- ・ 外国人研究者の緊急時連絡体制の構築など支援体制の強化による生活支援強化を開始した。(平成25年度)
- ・ 外部委託による外国人生活支援員を活用し、急病や事故発生時の対応や病院への付き添い、銀行口座の開設補助、行政サービス申込み補助、民間アパートへの転居支援等、外国人研究員の生活支援を更に強化した。(平成27年度)
- ・ J-PARCセンターにおいて、ユーザー用宿泊施設の不足を補うため、近隣にある他大学宿泊施設を利用できるように交渉し、平成24年11月から利用可能となった(平成24年度)
- ・ 東海ユーザー宿泊施設を51室増設し、100室とし滞在環境を整備した。(平成26年度)

放射光科学研究施設では試料の調整等に必要な準備室を整備している。特に、構造生物学研究においては、共同利用者が利用できる生理試料準備室、結晶準備室、低温室の他、インハウス研究を推進するために構造生物実験準備棟の整備を行い、タンパク質の発現から結晶化のみならず、タンパク質の性状解析を目的とした物理化学実験や生化学実験まで行える体制を整えている。放射光ユーザーコミュニティであるPFユーザーアソシエーション(PF-UA)と連携を取りながら、共同利用研究の推進に関して、情報共有、議論を進めてきた。

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

東海ユーザー宿泊施設を増築するとともに、外国人研究者に対する支援、共同利用実験者等の研究・生活環境の改善を進めている。

計画 2-2-1-2

「共同利用の公募に関する情報及び共同利用に関する技術資料等を広く国内外の大学や研究機関の研究者に提供する。」に係る状況 【★】

共同利用実験を行うための実験施設の紹介や利用手続きの流れなど研究者が事前に必要とする情報を機構及び各部局のホームページで提供するとともに、各種共同利用実験の課題の公募を機構ホームページ、関連学会誌・ホームページ等で広く広報した。また、外国人ユーザーを対象に、機構のホームページで英語での情報提供も行っている。

共同利用実験の研究成果等は、機構ホームページで情報を提供した。また、関連研究者に機関誌やメール等を利用して案内した。（別添資料 10 参照）

（実施状況の判定）

実施状況が良好である。

（判断理由）

必要とする研究者が応募しやすいように、日英両語で、広く課題募集が行われている。

計画 2-2-1-3

「共同利用の課題採択は、外部委員を含めた課題採択審査委員会において、公平・公正な審査により実施する。」に係る状況 【★】

機構で実施している共同利用の課題採択は機構内外の有識者で構成される各実験審査委員会では審査された後、関係する運営会議等において決定される。各研究分野の特性を反映して、共同利用実験の期間等も異なり、以下の様な運用がなされている。

Bファクトリー実験では、毎年2月にBファクトリー実験専門評価委員会による（中間）評価を受け、研究成果、活動方針、運営体制など多岐にわたる項目について、第三者的立場からの助言を受け、その後の研究活動に反映した。それらに加えて、平成22年10月、平成23年11月、平成24年10月、平成25年9月と12月、平成26年11月、平成27年6月と10月に特別評価委員会を開催し、委員に加え特定の検出器の専門家を招いて集中した評価を行い助言・勧告を得た。

J-PARCで行う素粒子原子核実験（ハドロン、ニュートリノ）は、大強度陽子加速器における原子核素粒子共同利用実験審査委員会（PAC）で採否が審議される。この委員会は分野的にも地域的にもバランスが考慮された国内、国外の研究者約15名で構成され、任期は4年とし、2年ごとに約半数を改選することで、継続性を保ちつつも、リフレッシュし健全性を保っている。

元素選択型質量分離器（KISS）による共同利用実験課題は、理化学研究所仁科加速器研究センター・東京大学大学院理学系研究科附属原子核科学研究センター・素粒子原子核研究所の三機関が連名で募集を行い、審査は、理化学研究所仁科加速器研究センターの原子核課題採択委員会にて行い、三機関の連名で採否の通知を行っている。

大型シミュレーション研究についても、大型シミュレーション研究審査委員会で審査された後、加速器・共通基盤運営会議において採否が決定される。

放射光を用いた共同利用では、原則的に半年毎に課題の申請を受け付けており、共同利用実験課題は、書面または面接審査の後、放射光共同利用実験課題審査委員会（PF-PAC）で審議され、物質構造科学研究所運営会議において採否が決定される。一般利用者のためのG型課題の他に、装置整備や長期のビームタイムを必要とする高度な研究（S1、S2型）、緊急に実施する課題（U型）、初心者や予備的実験のための課題（P型）、大学院生のための課題（T型）など様々な利用者のニーズに合わせて特色のある申請課題カテゴリーを準

備しており、このうち、U型とP型は随時受け付け、PF-PAC委員長が採否を決定し、PF-PAC等へは事後報告としている。

J-PARCのMLFを利用して行われる中性子・ミュオンの共同利用実験のうち、装置の建設、維持、開発、一般課題の支援を行うS型課題は、物質構造科学研究所中性子共同利用実験審査委員会及びミュオン共同利用実験審査委員会、更に物質構造科学研究所運営会議により、大学共同利用実験課題として審査・承認される。一般課題は、半年毎に申請を受け、外国人委員を含むJ-PARCの中性子課題審査部会及びミュオン課題審査部会で審議し、採否案とマシンタイム配分案を作成し、それらについて物質・生命科学実験施設利用委員会で承認を得る。さらに、その後、物質構造科学研究所中性子共同利用実験審査委員会及びミュオン共同利用実験審査委員会を経て物質構造科学研究所運営会議により、大学共同利用実験課題として審査を行い、採否が決定される。

また、物質構造科学研究所の放射光、低速陽電子、中性子、ミュオンの4つの量子ビームのうち、2つ以上を用いて研究を行うことが必要な研究を、マルチプローブ共同利用実験課題として、申請のあった課題毎に当該課題に関するプローブを用いる共同利用実験審査委員会の委員を1名以上含めた5名からなるマルチプローブ共同利用実験課題審査会を設置し、審査を行った後、関係する共同利用実験審査委員会の審議を経て、物質構造科学研究所運営会議において採否の決定を行っている。（別添資料11参照）

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

いずれの課題審査も機構外の有識者を多数含む課題審査委員会等で審議され、その後各運営会議等で採否が決定されている。

②優れた点及び改善を要する点等

(優れた点)

1. 外国人を含む共同利用研究者等の研究・生活環境を整備し、特に外国人ユーザーに対する支援体制を整備している。（計画2-2-1-1）
2. 国内外に対して、広く共同利用課題の募集が行われている。（計画2-2-1-2）
3. 多くの外部有識者を含む課題審査委員会等で、研究分野のニーズに対応して、公正な課題審査がなされている。（計画2-2-1-3）

(改善を要する点)

該当無し

(特色ある点)

該当無し

3 教育に関する目標（大項目）

（1）中項目1「大学院等への教育協力に関する目標」の実施状況分析

①小項目の分析

○小項目1「総合研究大学院大学の基盤組織として、加速器科学の推進及びその先端的研究分野の開拓を担う人材を養成する。」の分析

関連する中期計画の分析

計画3-1-1-1

「総合研究大学院大学の基盤組織として、当該大学との緊密な連係・協力により、機構に設置された高エネルギー加速器科学研究科において、大型研究施設を有する大学共同利用機関としての特徴を生かした特色ある大学院博士課程教育を行うとともに、構成する組織が地理的に集中しているメリットを生かし、専攻間の交流を行うことなどにより学際的な視点での指導を行う。」に係る状況

・総合研究大学院大学の基盤機関として、「高エネルギー加速器科学研究科」の3専攻（加速器科学専攻、物質構造科学専攻、素粒子原子核専攻、5年一貫制博士課程（入学定員9名）と博士後期課程（若干名））において、一般の大学では為し得ない最先端の大型研究施設を利用した大学院教育を行った。

・素粒子原子核専攻では、平成24年度に素粒子原子核物理学の基礎を体系的に学べるよう授業プログラムの大幅改正を行った。

・平成22年度に、加速器科学と社会の相互作用について、広い立場から考えるための基礎を学ぶ研究科共通科目「高エネルギー加速器科学セミナー」を新設し、毎年度開講しており、平成25年度からは研究科以外からの受講も可能とした。平成26年度には新たに「計測と制御」を共通科目として設置、集中講義として開講した。「高エネルギー加速器科学セミナー」及び「計測と制御」の2科目は、所属研究科・所属専攻に関わらず受講可能な共通科目として提供することで、他大学や一般からも多数の受講者・聴講者があった。

・総合研究大学院大学物理科学研究科との連係・協力により平成24年度から開始した「広い視野を備えた物理科学研究者を育成するためのコース別大学院教育プログラム」において、物理科学に関する幅広い知識と高い専門性を身に付けることを目的としたラボローテーションや学生セミナー、先端研究志向コースで実施する海外インターンシップや海外学会への派遣などを実施した。

・専門や身分の異なる大学院生の交流の場として、平成26年度よりスチューデント・デイを開催し、他専攻や特別共同利用研究員、連携大学院生など総研大以外の院生等の研究交流を図り、研究活動の活性化を図っている。

・総合研究大学院大学の私費外国人留学生を対象とする奨学金制度を設け、平成26年度より支給を開始した。

資料13 高エネルギー加速器科学研究科（在学生数及び博士号取得者数）

年度	H22	H23	H24	H25	H26	H27
素粒子原子核専攻	43	45	40	40	39	39
物質構造科学専攻	10	9	6	6	6	4
加速器科学専攻	14	15	12	9	11	7
博士号取得者						
学術	0	0	1	1	0	0
理学	7	10	13	5	8	9
工学	2	2	3	1	3	3

（実施状況の判定）

実施状況が良好である

(判断理由)

3専攻がつくば・東海地区に集中しているメリットを生かした「高エネルギー加速器科学セミナー」等を通じて、専攻間交流が促進された。また、物理科学研究科と共同で実施した「物理科学コース別教育プログラム」により、広い視野と国際性を身につけた人材を養成する取組を積極的に行っている。

○小項目2「大学との連携を強化し、大学における加速器科学関連分野の教育に協力する。」の分析
関連する中期計画の分析

計画3-1-2-1

「大学における加速器科学関連分野の教育を支援するため、特別共同利用研究員、連携大学院等の制度に基づき大学における教育に積極的に協力するとともに、機構の施設・設備の活用に加え、人的交流を含めた新たな教育プログラムを大学と共同で検討・実施する。」に係る状況

特別共同利用研究員制度を活用し、北海道大学、弘前大学、岩手大学、東北大学、山形大学、茨城大学、筑波大学、宇都宮大学、東京大学、東京学芸大学、東京工業大学、東京電機大学、東京都市大学、東京理科大学、立教大学、信州大学、長岡技術科学大学、金沢大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、広島大学、九州大学、九州工業大学、宮崎大学の25大学の特別共同利用研究員を受け入れ、多くの大学に所属する大学院生を対象に、機構の先端的な施設・設備を活用した教育を実施した。

大学における加速器科学関連分野の教育を支援するため、特別共同利用研究員のほか、東京大学大学院理学系研究科学際理学講座、同学新領域創成科学研究科、東北大学大学院理学研究科、北海道大学大学院工学研究科、筑波大学大学院数理物質科学研究科、東京理科大学理工学研究科及び基礎工学研究科、東京都市大学大学院工学研究科と連携・協力して、159名の大学院生を受け入れ、機構の施設・設備を活用した教育を連携大学院制度に基づき行った。

筑波大学大学院数理物質科学研究科との間では、加速器科学研究を推進する人材育成と研究拠点形成を目的に、機構の最先端加速器を用いた加速器科学及び次世代の加速器開発の教育研究を行う「高エネルギー加速器科学教育プログラム」について協定を締結し、大学院生の指導を行った。また、平成25年度より開設された筑波大学総合科目「加速器と最先端科学」において、本機構教員6名を筑波大学非常勤講師として派遣し、講義を行った。

放射光分野の若手研究者の育成を目的として、放射光科学研究施設(PF)を高度に活用した優れた研究を主体的に推進する大学院生を、大学とPFが共同してそれぞれの専門性を生かした教育、指導を行い、放射光科学の将来を担う人材の育成を行う大学院生奨励課題(T型)制度を共同利用制度の一つとして創設し、推進している。(再掲)

PFにおいては、共同利用の結果として、1,100報以上の学位(博士、修士)論文が登録されており、広く国内外の大学院教育に貢献している。

専門や身分の異なる大学院生の交流の場として、平成26年度よりスチューデント・デイを開催し、総合研究大学院大学生、特別共同利用研究員、連携大学院生などの院生等の研究交流を図り、研究活動の活性化を図っている。(再掲)

大学院教育における新たな連携を目指した東京大学大学院新領域創成研究科と本機構と

の連携シンポジウムを開催した。(平成 25 年 11 月)

資料 14 特別共同利用研究員受入状況 (単位:人)

	素粒子原子核研究所		物質構造科学研究所		加速器研究施設		共通基盤研究施設	
	修士	博士	修士	博士	修士	博士	修士	博士
H22 年度	0 人	1 人	2 人	2 人	1 人	4 人	0 人	0 人
H23 年度	2 人	1 人	1 人	2 人	1 人	2 人	1 人	0 人
H24 年度	2 人	0 人	1 人	2 人	1 人	2 人	2 人	1 人
H25 年度	1 人	3 人	2 人	1 人	1 人	1 人	1 人	1 人
H26 年度	0 人	4 人	3 人	2 人	0 人	2 人	1 人	2 人
H27 年度	0 人	2 人	0 人	3 人	3 人	3 人	2 人	1 人

資料 15 連携大学院大学受入状況

	素粒子原子核研究所		物質構造科学研究所		加速器研究施設		共通基盤研究施設	
	修士	博士	修士	博士	修士	博士	修士	博士
H22 年度	6 人	8 人	1 人	0 人	2 人	1 人	0 人	1 人
H23 年度	9 人	9 人	1 人	0 人	3 人	1 人	1 人	1 人
H24 年度	10 人	10 人	0 人	1 人	4 人	0 人	2 人	1 人
H25 年度	9 人	14 人	0 人	1 人	2 人	2 人	0 人	0 人
H26 年度	6 人	15 人	0 人	1 人	2 人	3 人	0 人	0 人
H27 年度	14 人	3 人	0 人	2 人	4 人	3 人	0 人	0 人
合計	54 人	62 人	2 人	5 人	17 人	13 人	3 人	3 人

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

連携大学院、特別共同利用研究員制度を活用して、多くの大学の大学院生に対して、先端的な教育を行っている。また、放射光施設では共同利用制度の中に大学院生奨励課題 (T 型) 制度を設け、人材育成に努めている。

②優れた点及び改善を要する点等

(優れた点)

1. 海外インターンシップを実施し、若い内から国際性を持った院生を育てている。(計画 3-1-1-1)
2. スチューデント・デイという所属にとられない大学院教育を実施している。(計画 3-1-1-1、計画 3-1-2-1)
3. 共同利用制度の中に大学院生を教育する仕組みを設けている。(計画 3-1-2-1)

(改善を要する点)

該当無し

(特色ある点)

1. 共同利用自体が多くの大学院生の教育の場となっている。(計画 3-1-1-1、計画 3-1-2-1)

(2) 中項目2「人材育成に関する目標」の実施状況分析

①小項目の分析

○小項目1「加速器科学の国際的な拠点の一つとして、国内外の諸機関との交流などを通じて国内外の若手研究者を育成する。」の分析
 関連する中期計画の分析

計画3-2-1-1

「国内外の研究機関、大学及び産業界等と人材の交流、研究の交流を活発に行い、加速器科学の諸分野における研究教育の拠点として加速器科学諸分野の人材を育成する。特に、先端加速器技術に関する分野の人材養成を推進する。」に係る状況

加速器科学分野における中核的研究機関として、同分野の人材育成に寄与することを目的に、国内外の大学、研究機関、産業界等との人材交流、研究交流を行うため、2名の教員がCA制度を活用し、当該大学の人材育成に貢献している。

国内外で大学・研究機関と多数の研究協力協定を結び、これらに基づき加速器科学に関する共同研究、人材育成を進めている。国内の機関としては、東京大学宇宙線研究所との「ハイパーカミオカンデ計画における協力についての覚書」や筑波大学、北海道大学、日本原子力研究開発機構、茨城県との「ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)の研究開発・実用化に関する協力合意書」、東京大学宇宙線研究所、自然科学研究機構国立天文台との「大型低温重力波望遠鏡計画(KAGRA)の推進についての覚書」などの協力協定を結び、その中でもKAGRAの干渉計を構成する超高真空ビームパイプ等の超高真空機器や低温機器の設計と製作を通じて、同分野の人材育成に貢献している。

海外の機関としては、中国 IHEP、台湾 NSRRC、浦項工科大学(POSTEC：韓国)、大学共同利用機関加速器センター(IUAC：インド)、インド DST、インド原子力庁(DAE：インド)、カナダ TRIUMF、コーネル大学加速器利用研究教育機関(CLASSE：米国)、米国 FNAL、SLAC 国立加速器研究所(SLAC：米国)、CERN、ドイツ DESY、スイス PSI、ロシア BINP など、世界の主要加速器関係機関等と国際交流協定に基づく共同研究・研究交流を進めている。

資料16 大学・研究機関との協力協定の状況(再掲)

	H22年度	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度	H27年度
国内機関	87件	128件	93件	107件	119件	122件
国外機関	91件	95件	101件	96件	116件	109件

放射光科学研究施設では、大学との協定による教育用ビームライン制度を東京工業大学、弘前大学とともに実施し、これに伴う教育用ビームタイムが実施された。

国際的な協力関係については計画4-2-1-2に記す。

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

CA制度の活用や国内外の多数の研究協力協定に基づき、共同研究、人材育成を進めている。

計画3-2-1-2

「加速器科学分野で生まれた研究成果や新しい技術を研究会・出版物などにより広く公開するとともに、講習会やスクールの実施等を通じて、広く加速器科学の諸分野における人材育成を行う。」に係る状況

世界の第一線で活躍する研究者との生きた交流経験を通して、新しい知の枠組の構築に挑戦する次世代の基礎科学を担う若者たちの育成を大きな目標とし、1週間強にわたり合宿形式で、全国の大学等の学部学生（主に3年生）に講義、見学、実験、検証そして発表といった研究の流れを体験してもらう「サマーチャレンジ」を毎年実施した。

将来の女性研究者を育成する観点より、平成24年度から、高校生を対象に、数日間の合宿形式で、理系女子キャンプを開催した。

Bファクトリーでは実験データを公開し、高校生などにそのデータ分析を体験してもらうB-Labを平成16年より継続して実施している。現在までに約1,400人（個人、グループ）がこのプログラムに参加し、中には本当の研究者でもなかなか発見できない粒子を「発見」した参加者もいる。

また、高校生を対象にB-Labを使ってBelle実験を体験するための「素粒子サイエンスキャンプ・Belle Plus（ベル・プリウス）」（約4日間開催）を毎年実施した。毎回20人以上が参加し、実際に実験現場に触れる見学、実習と講義を行った。

以下の各種スクール、セミナー、トレーニング等を実施した。特に、「高エネルギー加速器セミナー-OHO」は、大学生、大学院生、大学の教員・技術職員のほか民間企業等の研究者・技術者も対象として、種々の加速器の動作原理やその要素技術等を数日間にわたって泊まり込み形式で教育するものであり、毎年開催した。

- ・ 高校生を対象とした合宿プログラム「ウインター・サイエンスキャンプ」を平成18年度から科学技術振興機構主催の下で開催し、平成27年度からは機構独自で実施した。
- ・ 総合研究大学院大学と連携し、国内及びアジア地域の若手研究者を対象に、素粒子物理学と宇宙物理学の境界領域における最先端の研究成果を紹介する「Asian Winter School on Cosmology, Particle Physics and String Theory」（2010～2012年度）、
- ・ 加速器科学及び関連分野の計測装置開発セミナー及びトレーニングコース、例えば、ICFAのDetector Panelが推進する国際検出器スクールEDIT2013
- ・ 先端エレクトロニクスDAQセミナーやFPGAなど各種のトレーニングコース
- ・ 放射光分野では、X線吸収微細構造（XAFS）や小角散乱など、新しく解析技術を身につけたいユーザー向けの講習会・実習等を行っている。
- ・ 平成24年に、TIA-nanoに中核機関として参画し、共同研究を進めるとともに、ナノテクCUPAL事業において、主に放射光利用人材の育成を進めている。

国際的視野持つ若手研究者の育成への取組として、スイス・ジュネーブにあるCERNに滞在し、世界各国から約200人の学生とともに、最先端の素粒子・高エネルギー物理、粒子加速器、宇宙物理、データ処理に関する一連の講義を受講するCERNサマースチューデントプログラムに毎年度大学院生を派遣している。

資料17 高校生、大学生向けスクールの開催状況

	H22年度	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度	H27年度
サマーチャレンジ	90人	87人	89人	90人	78人	79人
理系女子キャンプ	—	—	30人	29人	33人	30人
ウインター・サイエンスキャンプ	20人	20人	20人	20人	24人	24人
CERNサマースチューデントプログラム	5人	5人	5人	5人	5人	5人

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

高校生、大学生や企業の研究者・技術者を対象として、将来の加速器科学を担う人材育成を積極的に行っている。

②優れた点及び改善を要する点等

(優れた点)

1. 国内外の多数の機関と研究交流協定を結び、共同研究・研究交流を進めている。(計画3-2-1-1)
2. 各種のスクール、トレーニングコースを開催し、特に高エネルギー加速器セミナー OH0、サマーチャレンジ、理系女子キャンプ等合宿形式の集中的な教育、実習を実施している。(計画3-2-1-2)

(改善を要する点)

該当無し

(特色ある点)

該当無し

4 その他の目標（大項目）

（1）中項目1「社会との連携や社会貢献に関する目標」の実施状況分析

①小項目の分析

○小項目1「研究を推進するための諸事業及び成果の公開を行い、広く社会に機構の活動を知らせるとともに、社会的要請に積極的に応じる。」の分析
 関連する中期計画の分析

計画4-1-1-1

「機構の活動に関する広報体制を強化し、一般公開・公開講座やホームページ上での機構の研究活動の分かり易い紹介等の活動を通じて、機構の活動を広く社会に公表するとともに、大学生、中高校生、教員等に対する様々な研修の受入れ等を通じて、機構の研究活動だけでなく、科学一般の理解を広める活動を行う。」に係る状況

- ・ 機構及び各研究所・施設・研究プロジェクト等のホームページにおいて、機構の活動や研究成果を紹介し（年間約170～180件）、特に重要な研究成果等についてはプレス発表を行っている（年間約25件）。また、「カソクキッズ」という科学連載漫画で、本機構で行っている研究活動を小中学生にも親しみやすく紹介している。「カソクキッズ」は機構のホームページからも閲覧可能としてある。
- ・ SNSを活用した情報発信を随時行っている。

（1）Twitterの活用

機構の活動状況をタイムリーに知らせるために、次の目的を持つ3つのTwitterアカウントを運用している。

- (a) 機構ホームページ日本語版 (www.kek.jp/ja/) から発信された情報を国内に向けよりタイムリーに知らせる。
- (b) 機構ホームページ英文版 (www.kek.jp/en/) から発信された情報を世界に向けよりタイムリーに知らせる。
- (c) 一般公開等機構が主催するイベントの実施状況を参加者にタイムリーに知らせる。

（2）Facebookの活用

Twitterと同様に、機構ホームページ日本語版 (www.kek.jp/ja/) から発信された情報や、機構が関係するイベント情報を国内に向けよりタイムリーに知らせる目的で運用している。

- ・ 毎年、一般公開を夏季の日曜日に開催し、展示や講演のほか機構内のほぼ全施設を見学可能としており、各年約4,000人の来訪者がある。このほか、毎年の科学技術週間には一部の施設を公開している。常設の展示ホールを設け、広く団体見学、個人見学を受け入れており、平成27年度は約16,000人（つくばキャンパス）、3,000人（J-PARC）に上っている。
- ・ J-PARCにおいても平成22、24年度に施設公開を行い、展示や講演のほか施設を見学可能とした（平成25年度は事故のため中止し、その後はJAEA敷地内の安全管理の観点から行っていない）。
- ・ 公開講座を年2回開催する他、大学共同利用機関シンポジウムへの出展・講演、平成27年からは、ほぼ毎週つくば市の中心部等でサイエンスカフェを開催している。また、多摩六都科学館ほかの科学館等でのチョコレートサイエンスも開催している。その中では、放射光利用研究の成果である結晶形によりチョコレートの味が変わることを説明する等、分かり易く、親しみ易いアウトリーチ活動にも努めている。
- ・ つくば科学フェスティバル、SAT（つくばサイエンスアカデミー）、サイエンスアゴラ等の他、各種の展示会等にも出展している。
- ・ 「一家に1枚」ポスターに「水素」をテーマとした提案が採択され、全国の学校等へ配布されることとなった。

高エネルギー加速器研究機構

- ・ 一般の方も参加できる KEK コンサート（年数回）やつくば市と共催する「科学と音楽の饗宴」（年1回）は、科学と音楽を組み合わせた文化事業として開催している。
- ・ 職員が各地の学校等へ出向いて講演や実験を行う「KEK キャラバン」を年間約 60 回行っている。

資料 18 見学・生涯学習実施状況

内容	単位	H22 年度	H23 年度	H24 年度	H25 年度	H26 年度	H27 年度
見学							
団体見学者	人	5,973	4,368	6,524	7,311	7,430	8,345
うち（小中学生）	人	(208)	(330)	(390)	(542)	(288)	(614)
うち（高校生）	人	(3,000)	(2,437)	(3,693)	(4,525)	(4,042)	(4,694)
うち（大学生、一般）	人	(2,765)	(1,601)	(2,441)	(2,244)	(3,100)	(3,037)
展示ホール来場者	人	4,314	4,625	6,564	6,400	6,747	8,067
一般公開来場者	人	3,300	3,536	4,563	4,317	3,482	4,108
合計（つくば）	人	13,587	12,529	17,651	18,028	17,659	20,520
J-PARC 団体見学者	人	6,806	2,725	3,816	2,154	3,136	3,023
J-PARC 施設公開見学者	人	3,800	-	2,100	-	-	-
公開講座	件	2	2	2	2	2	2
（件数・参加者数）	人	314	355	330	288	245	372
KEK キャラバン	件	24	69	57	59	59	58
（件数・参加者数）	人	2,204	7,383	8,833	5,880	3,812	4,306
実習受入	件	14	16	21	16	18	17
	人	425	464	534	454	550	620

（実施状況の判定）

実施状況が良好である。

（判断理由）

ホームページを用いた情報発信のほか、一般公開、KEK キャラバン、サイエンスカフェなど、非専門家が参加しやすい多様な広報活動が行われている。

計画 4-1-1-2

「政府・大学・各種研究機関等との連携を重視し、各種審議会や委員会委員の就任要請に応えるとともに、機構の個々の構成員が加速器科学の各分野の専門家として、政府、地方公共団体、学協会等の活動に積極的に貢献する。」に係る状況

文部科学省科学技術・学術審議会専門委員、茨城県科学技術振興会議委員、文部科学省国際リニアコライダー（ILC）に関する有識者会議委員、茨城県中性子ビームライン運営委員会委員、原子力規制委員会、原子力安全技術センター、日本アイソトープ協会など政府や地方公共団体、大学、各種研究機関、学協会などからの各種審議会、委員会等委員への就任要請に積極的に応じ、加速器科学の各分野の専門家としてそれらの活動に貢献した。

各種学会の委員、幹事、代議員、部会長、会長などには多数の職員が就任している。特に福島第一原子力発電所事故の影響調査や燃料デブリの存在評価など、復旧に関して政府、自治体、各種機関に協力を行った。

資料 19 各種審議会や委員会への委員の派遣状況

高エネルギー加速器研究機構

	H22年度	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度	H27年度
国の機関	12	18	16	19	20	13
大学等その他の機関	167	186	213	217	196	204
学協会	54	47	49	42	48	38
合 計	233	251	278	278	264	255

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

多数の職員が政府・地方自治体、関連学協会の委員として公的活動を行っている。

[関連する研究業績]

共通基盤研究施設 業績番号 89-04-11

○小項目2「産学公連携の活動、知的財産の創出、取得、管理、活用に取り組む。」の分析

関連する中期計画の分析

計画4-1-2-1

「民間企業等の技術力向上に貢献するため、外部機関との連携、民間等との共同研究・受託研究の促進及び機構の施設・設備を利用して研究・試料解析を行う機会を提供するとともに、知的財産の創出、取得、管理及び活用に取り組む。」に係る状況

近年、企業が基礎から製品開発までを一貫して進めることが困難になってきており、加速器科学に関連する基礎的・共通的な技術開発を進める場として多企業参画ラボの立ち上げを目指し、その組織・機能を検討した。多企業参画ラボを本機構の加速器科学技術に集うコンソーシアムからなるプラットフォームと定義し、平成27年度には超伝導加速器利用促進化推進棟(COI棟)を基盤とした企業8社と1企業集団が参加する「国際科学イノベーションセンター」の設置を支援した。(計画1-2-2-3の再掲)

本機構内でつくば市内の企業組合 Mot' s の技術展示会及び茨城県内の企業組合 IRDA とのイノベーション対話の会を実施し、機構から技術情報を提供するとともに企業の技術ニーズ等に関する意見交換を実施した。また、機構と地域企業11社、県、支援機関等から構成される「GNT(グローバルニッチトップ)輩出を目指すオール茨城連携コンソーシアム」(略称:Gコン)を立ち上げた。Gコンにおいて、各種セミナー(GコンMOTセミナー、加速器技術セミナー等)やイノベーション対話の実施、小型加速器実習プログラムの実施、産学連携によるプロジェクトメイク、外部資金申請企画等機構における技術のイノベーション化に資する取組を実施した。(計画1-2-2-3の再掲)

毎年度約60件程度の共同研究を民間企業と実施したほか、JST等の資金を活用して超伝導技術の加速器応用等の技術開発に関して産学公連携を進めてきた。また、革新型蓄電池先端科学基礎研究事業(NEDO)に基づき中性子を用いた蓄電池研究を進めるなど、企業を含む共同研究も多数行われた。これらの共同研究のほか、機構からの発注に基づき開発した技術が企業に蓄積され、国内外の研究機関等で活用されている例も多数ある。

放射光科学研究施設では、施設利用制度を用いた民間企業による放射光利用(毎年約30社)、共同研究による放射光を用いた研究活動を進めるとともに、補助金に基づきトライアルユース制度を設けて産業界の新しい利用者開拓、人材育成に努めた。また、「光ビームプラットフォーム」の代表機関として、企業等が最も適した放射光施設・大型レーザー施設を利用するための支援を行った。

新たな知的財産の創出や活用に取り組み毎年度、以下の通り特許を取得した。

資料 20 特許取得件数の状況

	H22 年度	H23 年度	H24 年度	H25 年度	H26 年度	H27 年度
件数	16	16	17	21	15	13

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

多くの産学共同研究が行われているほか、機構の施設を産業界が活用する制度が整備され、活用されている。

[関連する研究業績]

共通基盤研究施設 業績番号 89-04-7

[現況調査表に記載のある箇所]

物質構造科学研究所

分析項目Ⅰ 研究活動の状況 観点 研究活動の状況 P. 2-3~2-4
 観点 共同利用・共同研究の実施状況 P. 2-4~2-5
 分析項目Ⅱ 研究成果の状況 観点 研究成果の状況 P. 2-5~2-6

共通基盤研究施設

分析項目Ⅰ 研究活動の状況 観点 研究活動の状況 P. 4-3
 観点 共同利用・共同研究の実施状況 P. 4-3~4-4
 分析項目Ⅱ 研究成果の状況 観点 研究成果の状況 P. 4-5~4-6

②優れた点及び改善を要する点等

(優れた点)

1. Web の他、一般公開、公開講座、サイエンスカフェなど多様な方法を活用して広報活動を行っている。(計画 4-1-1-1)
2. 多くの産学連携研究が行われ、産業界が放射光等を利用しやすくする努力がなされている。(計画 4-1-2-1)
3. 地元企業を中心に技術情報の交換等が積極的になされている。(計画 4-1-2-1)

(改善を要する点)

該当無し

(特色ある点)

1. 上記のほか、日々の機器製作を通して、受注企業に技術の蓄積がなされている。(計画 4-1-2-1)

(2) 中項目2「国際化に関する目標」の実施状況分析

①小項目の分析

○小項目1「国際的に開かれた機関として、国際的な共同研究等を活発に行うことを通じて、世界における加速器科学の諸分野における中核的センターとしての役割を果たす。特に、アジア・オセアニア地域におけるセンター的役割を担う。」の分析
関連する中期計画の分析

計画4-2-1-1

「研究活動を推進する上で国際的な取組は重要であるとの認識のもとに、国際的な活動に積極的に取り組む。」に係る状況【★】

大型加速器に関する情報交換の場として関連各国の関係者が集まる財政当局者会合(FALC)において、議長国として議論を主導した。また、将来加速器国際委員会(ICFA)やアジア地域将来加速器委員会(ACFA)に参加し、日本国内コミュニティの意向の伝達や情報収集などの国際的な活動を行うとともに、ACFAでは議長機関として意見集約等を主導した。

日米科学技術協力事業の関係では、事業運営を決定する日米合同委員会において、当該事業で推進する共同研究や日米両国間における高エネルギー物理学の将来計画等について検討を行った。2013年度には5年に1度の事業に対する外部評価を開催した。別添資料12に総括と提言を引用するが、一般的に高い評価をいただいている。若い世代の育成にさらなる努力が必要であることが指摘された。

Belle II、T2K等の実験においては、コラボレーションミーティングを開催し、測定器系の開発・建設・運転等を国際共同研究として、各国からの負担の上進めている。

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

FALC、ICFA等の場で、加速器科学の将来に関して議論をリードし、国際協力関係を構築している。

上記の活動に関連して、各国の大臣、駐日大使等海外の要人が多数来所し、研究協力等について議論を進められてきた。

[現況調査表に記載のある箇所]

素粒子原子核研究所

分析項目Ⅰ 研究活動の状況 観点 研究活動の状況 P. 1-3~1-4
観点 共同利用・共同研究の実施状況 P. 1-4~1-5

分析項目Ⅱ 研究成果の状況 観点 研究成果の状況 P. 1-5~1-7

物質構造科学研究所 P. 2-3~2-6

分析項目Ⅰ 研究活動の状況 観点 研究活動の状況 P. 2-3~2-4
観点 共同利用・共同研究の実施状況 P. 2-4~2-5

分析項目Ⅱ 研究成果の状況 観点 研究成果の状況 P. 2-5~2-6

計画4-2-1-2

「機構の研究活動に関連する様々な分野での国際組織・国際機関の活動へ協力するとともに、国際会議・国際シンポジウム・国際研究会等を開催する他、国際協定、覚書等に基づく共同研究等を推進する。特に、アジア・オセアニア地域の研究機関との連携を強化し、

機構が中心となって共同研究等を積極的に推進するなど、同地域の加速器科学諸分野の発展を目指す。」に係る状況【★】

- ・ 前記の FALC、ICFA、ACFA 等における活動、日米協力事業のほか、CERN、TRIUMF、IHEP、をはじめとする世界の多数の行政機関、大学、加速器科学関係機関との協定・覚書を結び、国際的な共同研究、協力、人材の受入れを進めている。
- ・ CERN で推進されている LHC の高輝度化に技術的な協力を行うほか、技術課題を解決するために、CERN の費用負担で本機構の ATF を使った協力研究もなされている。
- ・ アジア・オセアニア放射光科学協会 (AOFSTR)、アジア・オセアニア中性子散乱協会 (AONSA) に主体的に参加し、同地域における放射光科学、中性子科学の普及・発展に取り組んだ。
- ・ 世界加速器会議 (IPAC' 10) 国際リニアック会議 2010 (Linac10)、ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High-Intensity and High-Brightness Hadron Beams (HB2010)、計算粒子物理学国際研究集会 (CPP2010)、偏極陽電子源 WS (POSIPOL)、HEAP2011、ERL に関する先端ビームダイナミクスワークショップ (ERL2011)、ニュートリノ・宇宙物理国際会議 (Neutrino2012)、放射線遮蔽国際会議、ハドロンコライダーの物理シンポジウム 2012 (HCP2012)、アジア加速器・測定器フォーラム (AFAD)、ニュートリノ望遠鏡国際ワークショップ、将来型線型加速器国際ワークショップ (LCWS2013)、CHEP2015、アジア地区リニアコライダー国際会議 (ALCW2015)、日仏/仏韓物理学研究所合同ワークショップ (2015 TYL/FJPPL and FKPL)、素粒子原子核物理のための大強度陽子加速器の将来性に関する国際 WS (HINT2015)、など多数の国際会議、研究会、ワークショップ等を主催・共催するほか積極的な協力を行った。
- ・ アジア・オセアニア地区を中心に、リニアコライダーのための国際加速器スクール、ニュートリノ国際サマースクール、アジアオセアニアフォーラム放射光科学学校—ケイロンスクール— (AOFSTR School (Cheiron School))、高エネルギー物理学スクール、東南アジア素粒子物理スクール (インドネシア)、Asian Winter School on Strings, Particles and Cosmology、加速器スクール (インド)、アジア学術セミナー (インド)、SESAME スクール (エジプト、トルコほか)、東南アジア素粒子物理スクール (ベトナム)、加速器スクール (インド)、AONSA スクール等を開催した。
- ・ ヨルダンに建設している中東放射光施設 (SESAME) の関係では、各国関係者が集まる理事会において情報収集を行うとともに、同施設の若手研究者育成のため、現地でスクールを開催したほか、研究者を受け入れた。
- ・ 本機構で開発し、大電流蓄積に適した高周波減衰型超電導空洞の技術支援を台湾 NSRRC に対して行い、運転開始後 4 か月で 520mA の蓄積に成功した。
- ・ オーストラリア、インドの放射光利用研究者のためのビームラインを各国との協定の下、建設・設置し、それぞれの国の研究推進、人材育成を進めた。日印科学技術セミナー (H26/1) において安倍首相から期待が述べられたほか、DST の大臣、駐日大使等の要人が頻繁に来所する等インド側の関心が高い。オーストラリアについては、その成果の上で、自国に放射光施設を建設したため、本機構からは平成 25 年に撤退した。
- ・ 韓国の放射光施設 PLS の改造期間中 (平成 22~24 年)、韓国の放射光利用研究者を可能な範囲で受け入れた。

資料 21 外国機関との学術協定の数 (単位: 件)

	H22 年度	H23 年度	H24 年度	H25 年度	H26 年度	H27 年度
アジア	27 (1)	29 (2)	33 (5)	31 (0)	36 (1)	30 (2)
アメリカ	14 (1)	13 (1)	13 (0)	11 (0)	11 (0)	11 (1)
欧州	40 (2)	42 (2)	44 (4)	44 (2)	60 (14)	59 (3)
多国籍間	10 (2)	11 (1)	11 (0)	10 (2)	9 (0)	9 (1)

() は、新規協定の数

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

アジア・オセアニア地区を中心に、多数の国際関係を築き、学会、スクール、協定等に基づく共同研究や関係諸国の研究推進・人材育成に積極的に貢献している。これを反映して、各国の閣僚、大使等が来所している。

[現況調査表に記載のある箇所]

素粒子原子核研究所

分析項目 I	研究活動の状況	観点	研究活動の状況	P. 1-3 ~ 1-4
		観点	共同利用・共同研究の実施状況	P. 1-4 ~ 1-5
分析項目 II	研究成果の状況	観点	研究成果の状況	P. 1-5 ~ 1-7

物質構造科学研究所

分析項目 I	研究活動の状況	観点	研究活動の状況	P. 2-3 ~ 2-4
		観点	共同利用・共同研究の実施状況	P. 2-4 ~ 2-5
分析項目 II	研究成果の状況	観点	研究成果の状況	P. 2-5 ~ 2-6

加速器研究施設

分析項目 I	研究活動の状況	観点	研究活動の状況	P. 3-4
		観点	共同利用・共同研究の実施状況	P. 3-4 ~ 3-5
分析項目 II	研究成果の状況	観点	研究成果の状況	P. 3-5 ~ 3-7

共通基盤研究施設

分析項目 I	研究活動の状況	観点	研究活動の状況	P. 4-3
		観点	共同利用・共同研究の実施状況	P. 4-3 ~ 4-4
分析項目 II	研究成果の状況	観点	研究成果の状況	P. 4-5 ~ 4-6

計画 4-2-1-3

「また、国際協力実験プログラムの遂行においては、国内グループのコーディネーターの役割を果たす。」に係る状況【★】

CERN の ATLAS 実験では、CERN 理事会等への出席、CERN-KEK 委員会の開催や職員（含む事務職員）を CERN に常駐させ、ATLAS 実験に関して国内 17 グループのコーディネーターの役割を果たす他、ATLAS の高度化などにおいても国内グループの取りまとめをした。また、CERN が実施する人材育成事業のひとつであるサマースチューデントプログラムについて、日本国内参加者の選考のとりまとめを行った。

B ファクトリー国際実験のホスト研究機関として、国内外の開発グループを統括し、活動の中核としての役割を果たした。

J-PARC におけるニュートリノ、ハドロン、ミューオン実験においては、ホスト機関として、国内外からの研究者を組織し、ビームラインや検出器の建設と運転、計算機・ソフトウェア開発、及び物理解析において主要な役割を果たした。また年に数回開かれる全体会議の運営も本機構の研究者が中心となって行っている。

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

高エネルギー加速器研究機構

LHC の ATLAS グループ (CERN) では国内の研究グループを取りまとめて、研究成果を上げたほか、B ファクトリー、J-PARC 等でも国際共同研究を進めるための、国内グループのコーディネーターの役割を十分に果たした。

[現況調査表に記載のある箇所]

素粒子原子核研究所

分析項目 I 研究活動の状況 観点 研究活動の状況 P. 1-3 ~ 1-4
 観点 共同利用・共同研究の実施状況 P. 1-4 ~ 1-5
 分析項目 II 研究成果の状況 観点 研究成果の状況 P. 1-5 ~ 1-7

物質構造科学研究所

分析項目 I 研究活動の状況 観点 研究活動の状況 P. 2-3 ~ 2-4
 観点 共同利用・共同研究の実施状況 P. 2-4 ~ 2-5
 分析項目 II 研究成果の状況 観点 研究成果の状況 P. 2-5 ~ 2-6

○小項目 2 「国際共同研究を受け入れる体制を強化するとともに、職員の国際性向上に関する研修の充実等を通じて機構全体の国際化を推進する。」の分析
 関連する中期計画の分析

計画 4-2-2-1

「大型プロジェクトを国際共同研究で実施することが可能な受入体制を含め、国際的な共同利用、共同研究の支援体制の強化に機構横断的に取り組む。」に係る状況【★】

国際的大型プロジェクトの管理・運営方法、海外研究機関の動向及び各国における関連分野の情勢に関する調査・情報収集・分析を行うとともに、国際連携推進室において海外研究機関との新たな連携方策を検討した。特に URA 等を活用し、海外研究機関と多国籍参画ラボ構想の実現のための準備を進めた。平成 26 年度には、多国籍参画ラボ構想の一環として、CERN と本機構双方にそれぞれの分室を設置するための協定を締結し、平成 27 年度には CERN 内に本機構分室を、本機構内に CERN 分室をそれぞれ開設した。また、TRIUMF とも協定を締結しそれぞれの分室設置について合意を得た。海外研究機関からの研究資金の受入制度を設け、平成 24 年度から国際共同研究である Belle II 及び T2K 実験について、コモンファンドの受入れを行った。

資料 22 コモンファンドの受入状況

単位：千円

入金年度	コラボレーション の年度	T2K コモンファンド		Belle II コモンファンド		合計	
		件数	金額	件数	金額	件数	金額
H24 (2012)	FY2012	6	36,936			6	36,936
H25 (2013)	FY2012	2	15,719			52	87,548
	FY2013	8	48,322	25	4,479		
H26 (2014)	FY2014	1	4,949	16	14,079	34	83,736
	FY2013	2	5,448	0	0		
	FY2014	8	40,459	13	19,487		
H27 (2015)	FY2015	1	5,225	10	13,117	50	98,841
	FY2014	1	2,738	0	0		
	FY2015	12	60,453	21	13,633		
	FY2016	0	0	16	22,017		
合計		41	220,249	101	86,812	142	307,061

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

測定系の建設・運転に関して、海外からの出資を受け入れ、国際共同研究を推進する制度を設けた。また、2国間でそれぞれの分室を設置するための協定を締結し、共同利用、共同研究の支援体制の強化を図った。

[現況調査表に記載のある箇所]

素粒子原子核研究所

分析項目Ⅰ 研究活動の状況 観点 研究活動の状況 P. 1-3～1-4
 観点 共同利用・共同研究の実施状況 P. 1-4～1-5
 分析項目Ⅱ 研究成果の状況 観点 研究成果の状況 P. 1-5～1-7

計画4-2-2-2

「共同利用研究者を含む外国人研究員に対する支援を行う体制を強化するとともに、機構職員の国際化を推進するため、語学研修、職員の海外派遣等により、語学力の強化と国際的視野を備えた人材の育成に努め、機構全体の国際化を図る。」に係る状況【★】

外国人ユーザー等の滞在環境整備の一環として、休日等も対応可能な緊急時連絡先を確保し、近隣病院との連携による問診表の英訳、銀行等口座開設のための様式の英訳等を行った。また、外部委託による外国人生活支援員をつくばキャンパス及び東海キャンパスにそれぞれ週1日常駐させ、病院への付き添いや銀行口座の開設補助、市役所での行政サービス申込み補助、民間アパートへの転居支援等、外国人研究員の生活支援を強化した。

資料23 ユーザーズオフィスにおける外国人研究員に対する支援実績

	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度	H27年度
つくばキャンパス	3,828件	4,337件	4,634件	4,327件	5,649件
うち外部委託による外国人生活支援件数			45件	96件	320件
東海キャンパス	835件	1,272件	1,004件	1,209件	1,394件
うち外部委託による外国人生活支援件数			8件	50件	73件

※外国人研究員に対する支援実績の調査は、平成23年度から開始

※平成25年12月から外部委託による外国人生活支援を開始

機構職員の国際化を推進するため、語学研修やTOEICテストを実施するとともに、国際的視野を備えた人材の育成を目的として、事務・技術系を含め職員を海外の機関に中長期に派遣する海外派遣研修を実施した。

機構から職員への連絡等にも英語併記や英文版事務手続き書類の整備を進めた。

資料24 研修実施状況

	H22年度	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度	H27年度
英語研修初級	12名	—	13名	8名	2名	4名
英語研修中級	—	6名	—	5名	9名	3名
他機関英語研修へ参加	15名	13名	11名	8名	10名	18名
TOEIC試験	45名	25名	41名	28名	30名	30名
長期海外派遣研修	1名	4名	3名	3名	5名	5名
うち(事務職員)	(1)	(3)	(2)	(3)	(3)	(3)
(技術職員)		(1)	(1)		(2)	(2)

(実施状況の判定)

実施状況が良好である。

(判断理由)

中長期的に海外で業務を実施した経験を有する事務・技術系職員が多数おり、また日常生活を含め、外国人研究者やその家族に対する支援体制を強化できた。

②優れた点及び改善を要する点等

(優れた点)

1. FALC、ICFA、日米科学技術協力事業など、国際的な将来計画の検討や国際共同研究を推進している。(計画4-2-1-1)
2. 海外機関等と多くの共同研究を進めるほか、多数の国際会議等を開催し、アジア・オセアニア地区を中心に人材育成に努めている。(計画4-2-1-2)
3. 事務系・技術系職員を含め中長期に海外経験を有する職員が多数おり、外国人研究者や家族に対する支援を行える体制整備を進めている。(計画4-2-2-2)

(改善を要する点)

1. 機構の規程類等について、更に英語化を充実する必要がある。(計画4-2-2-2)

(特色ある点)

1. 事務系・技術系職員に対する中長期の海外経験を積む機会を設け、実施している。(計画4-2-2-2)

正誤表 中期目標の達成状況報告書

高エネルギー加速器研究機構

	頁数・行数等	誤	正
1	3 頁 42 行	…並びにマスコミ等への取材協力やの放射線安全教育に関わる啓発活動等…	…並びにマスコミ等への取材協力や放射線安全教育に関わる啓発活動等…
2	6 頁 13 行	…(ニュートリノ施設が H26 年 5 月まで約 1 年間、…	…(ニュートリノ施設が平成 26 年 5 月まで約 1 年間、…
3	6 頁 36 行	…この成果は Physical Review <u>Letter</u> 誌 2015 年 11 月 27 日号の…	…この成果は Physical Review <u>Letters</u> 誌 2015 年 11 月 27 日号の…
4	8 頁 22 行	…加えて、 <u>超</u> 対称性粒子探索等の…	…加えて、 <u>超</u> 対称性粒子探索等の…
5	15 頁 39 行	・多倍長 <u>制度</u> 積分専用アクセラレータの研究開発	・多倍長 <u>精度</u> 積分専用アクセラレータの研究開発
6	41 頁 32 行～33 行	…主体的に推進する大学院生を、 <u>大</u> 学と PF が共同してそれぞれの専門性を生かした教育、指導を行い、…	…主体的に推進する大学院生を、 <u>大</u> 学と PF が共同してそれぞれの専門性を生かした教育、指導を行い、…
7	44 頁 33 行	国際的 <u>視野持つ</u> 若手研究者の育成への取組として、…	国際的 <u>視野を持つ</u> 若手研究者の育成への取組として、…
8	44 頁 35 行	…宇宙物理、 <u>デー</u> タ処理に関する一連の講義を受講する…	…宇宙物理、 <u>デー</u> タ処理に関する一連の講義を受講する…
9	51 頁 15 行	…(<u>Neutorino</u> 2012)、放射線遮蔽国際会議、…	…(<u>Neutrino</u> 2012)、放射線遮蔽国際会議、…