

学部・研究科等の現況調査表

研 究

平成28年6月

高エネルギー加速器研究機構

目 次

1. 素粒子原子核研究所	1 - 1
2. 物質構造科学研究所	2 - 1
3. 加速器研究施設	3 - 1
4. 共通基盤研究施設	4 - 1

1. 素粒子原子核研究所

I	素粒子原子核研究所の研究目的と特徴	1 - 2
II	「研究の水準」の分析・判定	1 - 3
	分析項目 I 研究活動の状況	1 - 3
	分析項目 II 研究成果の状況	1 - 5
III	「質の向上度」の分析	1 - 8

I 素粒子原子核研究所の研究目的と特徴

- 1 物質の最も根源的な物理法則を研究するのが素粒子物理学や原子核物理学であり、素粒子原子核研究所は、主に機構内の加速器研究施設を用いてその研究を行うことが中心的な目的である。
- 2 上記の実験的研究の基盤技術となる測定器の開発、データ収集・解析手段の開発及び低温技術の開発などが上記の実験活動を支える研究として重要な位置を占める。
- 3 素粒子物理学及び原子核物理学の理論的研究も実験的研究と不可分であり、平行して遂行する。
- 4 諸外国にも同分野の研究所があり、そこの共同利用実験に参加することも研究形態の一つである。
- 5 国内の研究者コミュニティを代表する委員会に Ex Officio として研究所長が参加し、意見の共有を図るとともに、将来計画の策定等では、研究所の研究計画委員会で国内のコミュニティからの委員を加えて議論する。
- 6 近年では、ヨーロッパの CERN、アメリカのフェルミ国立加速器研究所等と並び、この分野の世界的研究拠点である。これらの研究所との連携を進めて、国際的なネットワークを構築するとともに、近隣のアジア諸国との連携を深めるために、アジアにおける国際スクールの企画・支援を進める。
- 7 次世代の素粒子原子核研究者を養成するため、総合研究大学院大学等と連携し、大学共同利用機関としての特徴を活かした大学院教育を行う。また、特別共同利用研究員等の制度に基づき、要請に応じて諸大学の教育に協力する。研究会、スクールなどの開催を通じて、素粒子原子核物理学の普及と研究者の育成に努める。

[想定する関係者とその期待]

想定される関係者は、国内外の素粒子物理学や原子核物理学分野の実験・理論研究者であるが、近年の研究分野の多様化により、宇宙・宇宙線等近隣分野の研究者との連携も強まっている。これらの関係者に先端的研究の展開をもたらす研究機会を提供することが期待されている。また、研究を更に進展させるためには、新しい実験技術の開発等が必要であり、それを中心になって進める役割を担っている。

II 「研究の水準」の分析・判定

分析項目 I 研究活動の状況

観点 研究活動の状況

(観点に係る状況)

研究活動は、(1) 本研究所が実施する共同利用実験による研究、(2) 外国の研究所などの他の共同利用機関の実験への参加、(3) 将来プロジェクト、(4) 測定器開発、(5) 理論的研究、の5つの研究形態がある。(1) から (5) の主な項目について実施状況を示す。

また、論文の出版、国際会議等への参加、特許の出願・取得・保有、受託研究・民間企業との共同研究などが活発に行われ(別添資料1-1~1-6)、外部資金として、寄付金や科学研究費補助金など多額の競争的資金も受け入れている(別添資料1-7~1-9)。

(1) 本研究所が実施する共同利用実験

・Bファクトリー実験

Bファクトリー実験は、大型測定器「Belle」を用いた大規模な素粒子物理学の国際共同実験であり、本機構の衝突型加速器「KEKB」で平成11年から平成22年6月末まで、データ収集を行い約8億のB中間子対の崩壊現象を記録した。その後、加速器高度化のための改造を開始し、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、測定器の改造が行われている。

・J-PARC 実験

J-PARCでは、陽子加速器によって加速された陽子を標的に当てて生成される種々の二次粒子を使いニュートリノやハドロン実験を行っている。

T2K実験は、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検出する国際共同実験で、世界11か国58機関から約500名が参加する。平成22年に測定を開始し、平成27年度末までに390kWに陽子強度を上げ、積算 1.3×10^{21} 個の陽子を標的に照射した。

ハドロン実験施設では、初期は荷電 π/K 中間子の2本のビームライン、平成25年からは中性K中間子ビームラインで実験を開始した。平成25年5月の放射性物質漏えいによる2年間の運転休止中には、再発防止策として施設改修等を行い、平成27年4月に運転を再開した。

・短寿命核実験

短寿命核分離加速実験装置(TRIAC)では、平成22年度に星の中での元素合成過程で鍵となる $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)$ 反応断面積の測定に成功した。元素選択型質量分離器(KISS)の開発研究において、0.1cpsの低バックグラウンド測定環境を実現した。

・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)の提案も進展している。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。

(2) 海外の研究所などの他の共同利用機関の実験への参加

・ATLAS 実験

ATLAS実験は、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)実験の一つで、世界中の研究者からなる国際共同実験である。本研究所からは約15人の研究者が参加し、検出器の運用保守、物理解析、検出器の技術開発を行っている。また、ATLAS国内グループの取り纏め役を行っている。

・MEG 実験

ポールシェラー研究所（スイス）にて実施されてきた荷電レプトンのフレーバー数保存を破るミュオンの稀崩壊過程の探索実験（MEG 実験）に参加し、検出器の主要構成要素の運転に関して多大な貢献をした。

（３）将来プロジェクト

国際リニアコライダー（ILC）は、LHC と相補的な次世代のエネルギーフロンティア加速器であるとの国際的な共通認識の基に、将来加速器国際委員会（ICFA）による国際設計チームとリサーチディレクトレートの指揮下で加速器の研究開発・設計と最先端測定器の開発研究が進められ、平成 25 年に技術設計報告書（TDR）にまとめられた。本研究所と加速器研究施設はこれらの国際共同研究の中核として、設計の最適化、コスト削減、工業化に向けた研究を推進している。

（４）測定器開発

測定器開発研究は、機構が推進する研究を支える基盤技術の一つである測定器技術の先鋭化を目指すものであり、共同研究として 7 つの開発プロジェクトを推進しており、そのためのファシリティの提供も行ってきた。測定器開発セミナーや研究会を開催し、国内の関連分野の育成と拡充を行った。

（５）理論的研究

理論研究では、量子重力を含む基礎理論の探究、量子基礎論の研究、標準模型を超えた物理、量子色力学のシミュレーション、ハドロン原子核の多様な存在形態と性質、高エネルギー宇宙現象の各分野に関する研究会を毎年開催して研究者の交流を促進し、新たな研究の発端となる機会を全国の研究者に与えた。

（水準）

期待される水準を上回る。

（判断理由）

- ・ 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ともに、加速器及び測定器高度化が順調に進み、加速器の試運転を開始した。
- ・ ニュートリノ実験とハドロン実験も 世界を主導する研究成果を上げている。
- ・ ATLAS 実験は順調に進み、ヒッグス粒子発見などの大きな物理成果があり、本研究所グループは検出器の運用保守に中核的な役割及び日本チーム支援の役割を果たした。
- ・ 理論センターを設け、全国の理論研究の共同利用機能を強化した。
- ・ ILC は基本的な技術的課題が達成され、TDR を完成し、文部科学省有識者会議による日本誘致の可否判断に向けた検討が行われるまでに至った。
- ・ 先端的な中性子検出器、X 線検出器などの実用化に大きな成果が上がった。

観点 共同利用・共同研究の実施状況

（観点に係る状況）

・ B ファクトリー実験

B ファクトリーの高度化計画が開始され、国際的な関心が高まり、多数の外国の研究機関・大学が新たに実験に参加し、実験グループ（Belle II）は、研究所の職員を含む国内外の 600 名以上による国際共同研究組織となった。このうち 7～8 割が外国人である（別添資料 2-1 参照）。本研究所の職員は、この一員として研究を行い同時に実験装置の建設・運転・維持に責任を持つ（別添資料 2-2 参照）。

・ J-PARC 実験

J-PARC の実験では、研究テーマに応じて必要とするビームを共同利用実験に提供する。

測定器は各実験グループが製作するが、実験に必要な特殊技術は、本研究所が提供し必要に応じて運転などを行う（別添資料 2-1、2-2 参照）。東日本大震災や放射性物質漏えいにより施設の運転を休止した期間があったが、施設の復興と安全対策を適切に行い共同利用実験を進めた。

・短寿命核実験

和光原子核科学センターを設置し、共同利用を開始した。KISS の共同利用については、平成 27 年度に初めて開かれた課題審査委員会において 3 件の実験課題が採択された。

・測定器開発

共同利用研究として機構外研究者も多数開発プロジェクトに参加しており、必要な施設を提供し共同利用を進めている。

(水準)

期待される水準を上回る。

(判断理由)

日米の B ファクトリー加速器の運転が終了した後、米国やイタリアでの加速器の高度化計画が中止となり、本機構の加速器・測定器が世界で唯一の「スーパー-B ファクトリー」施設となり、米国やイタリアから Belle II 実験への参加者があり、研究者数は 600 人以上に増加した。

J-PARC のユーザー数は、施設の整備に伴って増え、期待される水準にある。

分析項目Ⅱ 研究成果の状況

観点 研究成果の状況

(観点に係る状況)

(1) 本研究所が実施する共同利用実験 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。代表的なものを以下に示す。

- ・ボトムやチャームクォーク対を含む 4 クォークより成る新粒子の発見・展開（業績番号 89-01-2、89-01-14）。
- ・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（業績番号 89-01-11）。
- ・B 中間子系における小林・益川行列の精密測定（業績番号 89-01-13）。
- ・日米の B ファクトリー実験の研究成果のまとめ（業績番号 89-01-12）。

J-PARC 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を発見し（業績番号 89-01-1）、ニュートリノの第 2 と第 3 世代の混合を世界最高精度で測定した（業績番号 89-01-15）。
- ・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、ハイパー核における荷電対称性の破れを発見した（業績番号 89-01-7）。
- ・ヘリウム 3 原子核に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決定し、荷電対称性の破れを発見した（業績番号 89-01-7）。

短寿命核実験

- ・TRIAC では、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。

高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所

- ・KISS 共同研究では、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。

CMB 実験

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（業績番号 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、それらの物理から生じる宇宙論的複屈折効果と原始磁場の強度について、これまでで最も厳しい制限をつけることに成功した。

(2) 海外の研究所などの他の共同利用機関の実験への参加

ATLAS 実験

本研究所は検出器運用や物理解析で不可欠な役割を果たし、平成 24 年のヒッグス粒子発見（業績番号 89-01-3）をはじめ、超対称性粒子の探索（業績番号 89-01-18）やクォーク-グルーオンプラズマの探索（業績番号 89-01-19）などに大きく貢献した。

MEG 実験

平成 21-25 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、 $\mu \rightarrow e + \gamma$ 崩壊分岐比に対して、これまでより 4 倍厳しい上限値を得た（業績番号 89-01-10）。

(3) 将来プロジェクト

ILC

- ・国内の大学及び欧米諸国の研究機関との共同提案である International Large Detector (ILD) 測定器の設計を進め、平成 25 年に詳細基本設計書 (DBD) を完成した。本研究所は、物理検討、測定器設計最適化、計算機・ソフトウェア開発等で中心的な役割を果たした。
- ・バーテックス検出器開発では、検出素子としてファインピクセルの動作実証に成功し、薄肉化を達成した。

(4) 測定器開発

先端的な中性子検出器、X線検出器などの実用化に大きな成果が上がった。特に SOI (Silicon on Insulator) 技術を活用したピクセルチップの開発においては、放射光科学、X線天文学、工業計測など関連分野でも着々と試作チップが開発されており、連携が評価され科研費の新学術領域として採択された。

(5) 理論的研究

理論研究に関して以下の代表的結果を得た。

- ・プランクエネルギースケールで平坦なポテンシャルから輻射補正で対称性が破れる機構を使えば、ヒッグス場の階層性と真空の安定性の二つの問題が解決可能なことが示された（業績番号 89-01-4）。
- ・行列を用いた新しい定式化に基づき超弦理論の数値シミュレーションを進め、宇宙の始まりやブラックホールの内部構造を解明する重要な手がかりを得た（業績番号 89-01-6）。

(水準)

期待される水準を上回る。

(判断理由)

素粒子の基本法則の解明につながる研究が多角的に推進され、B 中間子崩壊によるクォーク混合の精密測定や標準理論を超える現象の探索、ボトムやチャームクォークを含む新しいハドロン束縛状態の発見及び展開等の特筆すべき成果がもたらされ、フレーバー物理

の研究で世界をリードした。

T2K 実験における上限値に近いニュートリノ変化確率発見の成果は、素粒子物理の分野において将来の方向性を決める極めて大きなものであった。

ATLAS グループ内における、本研究所及び日本グループの存在感は大きく、検出器運用や物理解析で不可欠な存在となっている。

Ⅲ 「質の向上度」の分析

(1) 分析項目Ⅰ 研究活動の状況

KEKB 加速器の衝突性能を 40 倍に向上させる B ファクトリー高度化計画の正式な予算措置が行われ、加速器及び測定器の高度化に向けた建設が始まり、5 年の建設期間を経て加速器の試運転が始まった。

J-PARC ハドロン実験施設での放射性物質漏えい事案を契機に、再発防止のための改修を実施するとともに、実験施設の安全な運転のためのハードウェア、ソフトウェア両面にわたる様々な取組がなされている。運営体制と安全管理体制の強化も行われた。

ATLAS 実験に参画する日本人研究者が、過去 10 年間で 2 倍程度になった。この中核的な役割を担ったのが本研究所であり、これにより日本グループ全体のアクティビティを底上げし、国際共同実験における存在感の向上に繋がった。

(2) 分析項目Ⅱ 研究成果の状況

B ファクトリー実験では、新しいエネルギーでのデータ収集及び改善された再構成手法による全データの解析により、次々と新しい現象を捉えることに成功した。

T2K 実験では、ミュー型ニュートリノが僅かに電子ニュートリノへ変化していることが分かり、ニュートリノにおける粒子反粒子の対称性 (CP 対称性) の破れの測定の可能性が高まった。

ハドロン実験施設では、ビーム強度が次第に向上し、平成 25 年頃から、大強度 K 中間子ビームを用いた実験が可能となり、K 中間子原子核の形成の兆候やストレンジ粒子により原子核の荷電対称性を破る現象が見出された。

ATLAS 実験では、素粒子の質量生成機構の鍵を握るヒッグス粒子を発見し、素粒子物理学の標準模型を完成させるに至った。

2. 物質構造科学研究所

I	物質構造科学研究所の研究目的と特徴	・ 2 - 2
II	「研究の水準」の分析・判定	・ ・ ・ ・ ・ 2 - 3
	分析項目 I 研究活動の状況	・ ・ ・ ・ ・ 2 - 3
	分析項目 II 研究成果の状況	・ ・ ・ ・ ・ 2 - 5
III	「質の向上度」の分析	・ ・ ・ ・ ・ 2 - 7

I 物質構造科学研究所の研究目的と特徴

- 1 物質構造科学研究所は、機構内に設置された加速器から得られる放射光・中性子・ミュオン・陽電子（以下総称して「量子ビーム」と称する）をプローブとし、構造生物研究及び構造物性研究を基軸に物質の構造・機能に関する実験的・理論的研究を推進することを目的としている。
- 2 上記研究の推進のために、加速器を始めとした大規模な施設・装置等の設計・建設・装置維持・性能向上・共同利用支援（量子ビーム利用研究を専門としない研究者を含む）などを大学共同利用機関として遂行することにより、関連分野の研究の進展を図ることも具体的な目的のひとつである。
- 3 物質構造と機能の解明という学術的な視点とともに、産業材料の解析など社会的に応用可能な研究技術開発に貢献する。
- 4 次世代研究者を養成するため、総合研究大学院大学と連携し、大学共同利用機関としての特長を活かした物質構造科学専攻の大学院教育を行う。また、特別共同利用研究員等の制度に基づき、要請に応じて諸大学の教育、人材育成に協力する。

[想定する関係者とその期待]

想定される関係者は、国内外の物質科学、生命科学をはじめとする広汎な研究分野の研究者であり、先端的研究の展開をもたらす研究機会の提供と有意の成果を生み出す研究支援が期待されている。実績で年間 3,200 人以上の共同利用者がいる。この共同利用者には、産業界など量子ビームを活用して材料等の解析等を行う研究者・技術者も含まれる。当該分野の学協会の会員数等から推測すると、潜在的な共同利用者は1万人超規模であると推測される。

II 「研究の水準」の分析・判定

分析項目 I 研究活動の状況

観点 研究活動の状況

(観点に係る状況)

本研究所は、物質構造を探るプローブに対応して、放射光科学研究系、中性子科学研究系、ミュオン科学研究系の3つの研究系及び構造生物学研究センター、構造物性研究センターから成っている。研究成果の発表状況を別添資料 1-1～1-3 に示す。本研究所の共同利用に供される装置を使った研究については、所員も外部の共同利用研究者と同様に事前評価を受けている(別添資料 2-1～2-2)。

放射光科学研究系では、直線部増強計画をもとにして高輝度な挿入光源を活用するビームラインの整備を、また、中性子科学研究系及びミュオン科学研究系では J-PARC 物質・生命科学実験施設(MLF)における装置建設を進めた。これらは長期にわたる当該部門の開発研究の成果である。3つの研究系及び研究系横断的な2つのセンターにおいて、共同利用実験を基盤とするボトムアップ的研究と外部資金を基盤とするトップダウン的研究の両面から研究活動を推進している。それぞれの研究活動について以下に記述する。

外部資金を積極的に獲得しており、年間 20～30 件(約 3～8 億円)の共同研究を民間企業と行ない、年間 10 件以上(約 3～6 億円)の受託研究を生命科学分野を中心に行なうほか、科学研究費補助金以外の外部資金は年間 1～12 億円程度、科学研究費補助金は年間 3～4 億円程度獲得した(別添資料 1-4～1-5)。

【放射光科学研究系】

PF 及び PF-AR の挿入光源ビームラインに資源を集中し、競争力のある利用装置の開発、整備を進めた。PF リングにおいては、中長直線部 4 本の VSX ビームライン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た。新しいビームラインを整備する一方で、引き続き、研究アクティビティの評価を進め、ビームライン更新と統廃合計画の立案を進めた。また 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を進めた。

【中性子科学研究系】

MLF に中性子実験装置の建設を進めた。5 台の実験装置でビーム受入れが完了し、共用実験を開始した。更に 2 台でもビーム受入れが完了し、1 台の建設を進めた。これらのうち、3 台は大学連携で建設され、建設が完了した 1 台は連携により運営されている。そのほか 1 台が科学研究費補助金、1 台が ERATO、2 台が NEDO の競争的資金で建設された。建設後も大強度化、高分解能化のため機器開発や装置整備を進めている。

【ミュオン科学研究系】

MLF に 3 つのビームライン整備を進めた。D ラインでは、建設が完了し共用実験を開始した。U ラインでは、ミュオンスピン回転実験のための超低速ミュオンの取り出しに成功した。S ラインは、ミュオンスピン緩和実験を目標としたものであり、そのうち S1 エリアでミュオンの取り出しに成功した。

【構造生物学研究センター】

「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、CREST やさきがけ等の外部資金を獲得し、インハウス研究を発展させた。

【構造物性研究センター】

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、このグループ間の協力により、9つのボトムアップのプロジェクトを推進してきた。

（水準）

期待される水準を上回る。

（判断理由）

- ・放射光科学研究系では、直線部増強計画をもとにして高輝度な挿入光源を活用するビームラインの整備を戦略的に進めることにより設備の高度化を図り、バランスよく研究を推進した。
- ・中性子科学研究系では、MLF 供用開始の時点（平成 20 年）でわずか1台の実験装置しか保有していなかった。その後、大学連携や競争的資金等の外部資金が導入され、8台を運営するに至り、成果につながる研究が推進できた。
- ・ミュオン科学研究系では、MLFに3ラインの整備を進めた。うち、Dラインは、成果につながる研究を推進できた。また、Uラインでは、科研費の新学術領域のプロジェクトとして建設が進められた。

観点 共同利用・共同研究の実施状況

（観点到に係る状況）

放射光共同利用では、光熱水料の高騰等の影響により、後年度にかけて共同利用実験時間の確保が困難となった（別添資料 2-1）。それにも関わらず、共同利用課題申請数はほぼ同水準を維持しており、PF 及び PF-AR を利用した放射光共同利用への高い需要を示している。

平成 27 年度の放射光の共同利用課題の有効課題数は 1,051 件、施設利用数は 33 件、民間等との共同研究は 30 件であり、利用者数は 2,777 名であった。そのため、特に需要の高いビームラインでは、希望したビームタイムの半以下にしか配分されない状況が生じている。

中性子科学研究系では、MLF に実験装置の建設を進め、5台の実験装置で共同利用実験を進め、2台でビーム受入れが完了し、1台の建設を進めた。S型課題（装置建設及びこれを用いた利用研究、新規1件継続7件）及び一般課題を採択して共同利用実験を進めた。

ミュオン科学研究系では、MLFに3ラインの整備を進め、1ラインで共同利用実験を進めた。S型課題では、S1型課題（装置建設及びこれを用いた利用研究）が5件、S2課題（高度の学問的重要性を持つ研究で長期間の利用計画を必要とするもの）が1件、採択されている。

マルチプローブ課題制度を設け、放射光・低速陽電子・中性子・ミュオンとの相補利用研究を開始した。一般課題採択数は資料 2-2 のとおりである。中性子源（JAEA 所掌）のトラブルやミュオンの電源焼損のため、平成 27 年度下期の一般課題公募は実施しなかった。

これらの共同利用実験を実施し、年間合計約 600 報を超える論文が発表されている（別添資料 1-1）。

各施設では、全国組織である日本放射光学会、日本中性子科学会、日本中間子科学会を

通してユーザーコミュニティとの連携を図っている。また、任意加入のPF懇談会を改組して、全ユーザーから組織されるPFユーザーアソシエーションを組織し、ユーザーの声を反映した施設運営・設備の整備を行っている。MLFでは、MLF利用者懇談会が組織されている。

放射光科学研究系では、毎年PFシンポジウムを開催して、ユーザーとの交流・意見交換を行うと共に、PF研究会をユーザーの提案を基に随時開いている。また中性子科学研究系及びミュオン科学研究系ではJ-PARCセンター及び一般財団法人総合科学研究機構と共同で毎年MLFシンポジウムを開催している。物構研では、成果報告と研究推進のために物構研シンポジウムを毎年開催していたが、PFシンポジウム、MLFシンポジウムと統合して平成25年から物構研サイエンスフェスタを毎年開催し、平成27年度からは量子ビームサイエンスフェスタに改称して実施している。

(水準)

期待される水準にある。

(判断理由)

放射光関係では、予算が限られる中、様々な外部資金を獲得することで、ビームライン、実験装置の高度化を進めてきた。また、第二期後半における共同利用時間の大幅縮小にも係わらず、相当の研究成果を創出してきた。

MLFでは、様々な外部資金を獲得することで、ビームライン、実験装置の整備を進めてきた。また、J-PARCハドロン実験施設における事故に由来する運転停止期間を最短にとどめ、早期再開を実現した。

有意の運転時間の減少を余儀なくされ、その面では関係者の期待に十分に答えられていないが、積極的に外部資金を獲得して実験装置類の整備を進め、共同利用に供してきた事で期待される水準にあると判断する。

分析項目Ⅱ 研究成果の状況

観点 研究成果の状況

(観点に係る状況)

放射光科学研究系における、挿入光源ビームラインの整備により、また、中性子科学研究系及びミュオン科学研究系におけるMLFに建設した実験装置により、以下の研究成果が得られた。

1) 物質中での水素の存在状態の解明

クロムが7個もの水素と錯体化合物を形成することを、理論的に予測し、中性子回折により確認し、水素の高密度化を理論予測に基づいて進める指針を得ることに成功した(業績番号 89-02-10)。

2) 電池材料の高性能化

放射光、中性子などのプローブの活用手法の発展により、次世代電池材料の高性能化につながる原子配置の決定やイオン伝導機構の解明が進み、その一端が一流学術誌に報告されている(業績番号 89-02-9)。

3) 強相関物質が持つ新しい電子相の創生・発見

鉄系超伝導体及びその関連物質において、ミュオン、中性子、放射光を相補的に利用して、新たな物性の出現を明らかにし、マルチプローブ研究の有用性を明快に示した(業績番号 89-02-2)。

強相関電子を2次元空間に閉じ込める量子井戸構造を作り出すことに世界で初めて成功し、放射光角度分解光電子分光法により、量子井戸構造内の電子が示す複雑な相互作用

用を反映した量子現象を明らかにした（業績番号 89-02-3）。

4) 生体防御機構の解明とその応用研究

自然免疫の分子レベルでの仕組み解明に迫る研究成果として、放射光を用いた Toll-like 受容体の立体構造解析に成功した。また生体防御に関わる CRISPR の立体構造に基づいた分子機構の研究は、人に対する次世代の遺伝子治療への道を開くものとして極めて高い注目を浴びている（業績番号 89-02-11）。

神経細胞、骨、心臓等の形成に重要な役割を果たすセマフォリン等の立体構造解析に成功した。また花成ホルモンは正体不明の幻のホルモンと言われていたが、その複合体構造を解明することで、細胞内での作用や花を咲かせる仕組みを明らかにした（業績番号 89-02-12）。

5) 分子系材料・有機エレクトロニクス材料の設計と高性能化

分子系材料では、金属原子と有機分子を組み合わせたフレームワークやグラフェン、金属クラスターなど、注目を集めている分子系を対象として、放射光による精密な分子構造解析、電子状態解析結果に基づく先端研究成果が得られた（業績番号 89-02-7）。

また、有機エレクトロニクス材料分野では、有機結晶中における電子のガラス状態の解明といった基礎的な研究から、有機プリントエレクトロニクス材料の構造解析といった実用材料の研究まで、幅広い研究成果が得られた（業績番号 89-02-4）。

6) 小惑星由来物質の非破壊 X 線元素分析

小惑星イトカワから探査機はやぶさが持ち帰った岩石試料の解析が放射光を用いて行われ、大きな話題となった（業績番号 89-02-5）。

7) ソフトマターにおける階層構造と物性の解明

有機 EL 膜の塗布法において、安価な大面積有機 EL 製造につながる指針を得た（業績番号 89-02-8）。

8) 高強度・高輝度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などの研究が進められた（業績番号 89-02-1）。

9) 物質・材料における超高速現象の解明

放射光の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計測する研究成果が得られた（業績番号 89-02-6）。

(水準)

期待される水準を上回る。

(判断理由)

放射光科学研究系においては、施設・実験設備の更新・改良を積み重ね、現在でも第一線級の性能をもつ実験施設を維持している。また、J-PARC/MLF に、中性子・ミュオンの先端的な実験装置を新たに建設し、共同利用を開始した。これらの実験施設を用いてなされた研究は、物質・生命科学などのそれぞれの研究分野の中心的な課題に取り組んだものであり、優れた研究結果をもたらしている。主要な論文はインパクトファクターの高い雑誌に掲載されている。

Ⅲ 「質の向上度」の分析

(1) 分析項目Ⅰ 研究活動の状況

放射光科学研究系では、高輝度な挿入光源を活用するビームラインの整備を戦略的に進めることにより設備の高度化を図り、構造生物学研究センター、構造物性研究センターと有機的に連携しつつ、バランスよく研究を推進した。

中性子科学研究系では、多様な外部資金を利用して、中性子実験装置を建設し、共同利用実験を開始した。性能向上をすすめ、高度な実験環境を整備し、大強度高性能の中性子実験装置を実現し、成果につながる研究を進めた。

ミュオン科学研究系では、MLFにD-ライン、Uライン、Sラインの整備を進めた。Dラインでは、共同利用実験を開始し、成果につながる研究を進めた。

(2) 分析項目Ⅱ 研究成果の状況

外部資金等を活用することにより、施設・実験設備の更新・改良を積み重ね、第一線級の性能をもつ実験施設を建設、維持している。これらの実験施設を用いてなされた研究は、各研究分野の中心的な課題に取り組んだものであり、優れた研究結果をもたらしている。

3. 加速器研究施設

I	加速器研究施設の研究目的と特徴	・・・	3-2
II	「研究の水準」の分析・判定	・・・	3-4
	分析項目 I 研究活動の状況	・・・	3-4
	分析項目 II 研究成果の状況	・・・	3-5
III	「質の向上度」の分析	・・・	3-8

I 加速器研究施設の研究的特徴

- 1 加速器研究施設は、本機構で共同利用に供される加速器施設等の設計・開発・建設・運転・維持・性能向上の任を負うとともに、我が国を代表する加速器科学の総合的発展の拠点として、また世界に開かれた国際的な研究機関として、近未来、将来の加速器施設の建設に資することを目的とする多様な開発研究を主導する。そのために、次項に掲げる加速器について、加速器物理学及び加速器工学に関する理論的、実験的双方の研究及び、多岐な基盤技術の総合的开发を行い、将来の研究プロジェクトに対応するための技術開発と人材育成を行う。
- 2 共同利用に供する加速器
 - ・電子（8GeV）・陽電子線形加速器（LINAC）
 - ・放射光用電子加速器における PF リング（PF 2.5GeV）及びアドバンスリング（PF-AR 6.5GeV）
 - ・電子陽電子衝突型加速器（KEKB 及びその高度化された施設である SuperKEKB）
 - ・大強度陽子加速器施設（J-PARC）
 - ・低速陽電子実験用加速器
 主に将来加速器の基盤技術の総合的開発のために建設・運転する加速器
 - ・先端加速器試験施設（ATF）
 - ・超伝導リニアック試験施設（STF）
 - ・コンパクト ERL（cERL）
 この他、加速器の先駆的技術開発設備として、静電貯蔵リング、誘導加速、固定磁場強集束型加速器（FFAG）等の実験的研究を進めている。また、医療、工業等、加速器に対する社会的な要請に応えるため、加速器の小型化や高効率化などの技術に関する様々な研究、技術開発の推進も図っている。
- 3 共同利用推進と研究開発実施の双方に適した体制の整備を進める。機構の基盤設備・技術として組織の枠を越えた柔軟でかつ適切な人員配置や推進体制の整備など、効率的な組織運営を行う。また、高い技術力と経験を持つ人材（退職者、企業の技術者など）を活用するための措置を講ずるとともに、次世代の研究者・技術者の育成を図る。
- 4 我が国最大の加速器専門家組織として、国内の大学、研究機関、民間企業における加速器関連の研究者との共同研究を促進し、必要な研究体制の整備に努める。また、国外の研究機関との共同研究を積極的に主導し、加速器の開発研究に必要な基盤整備の充実を図り、加速器科学の世界的拠点としての役割を果たす。更に、国際会議、国際研究集会等を開催し、関連研究分野の国際的な学術関連団体・組織・機関への活動に積極的に貢献する。
- 5 次世代研究者を養成するため、総合研究大学院大学と連携し、大学共同利用機関法人の研究施設としての特長を活かした加速器科学専攻の大学院教育を行う。また、特別共同利用研究員等の制度に基づき、要請に応じて諸大学の教育に協力する。セミナー、スクールなどの主催・共催を通じて、加速器物理学、加速器工学及び加速器技術の普及と企業等の加速器関連技術者の育成に努める。

[想定する関係者とその期待]

本研究施設においては、機構の共同利用に供される加速器設備の開発・建設・運用を担当することから、本機構に所属する二つの研究所及び共通基盤研究施設の研究・技術職員等がまず直近の「想定する関係者」であるとともに、機構が運営する共同利用実験のために来訪する広範な研究コミュニティのメンバーも、当然「想定する関係者」となる。本研究施設は、将来の加速器施設の建設に資することを目的とする多様な開発研究を主導することから、これら本機構内外の研究者との関係は、現在進行中の具体的研究トピックスにおける協力関係を超越、長期研究戦略の俯瞰や立案を関係者全体と一体となって行う要素を強く内包する。更に、加速器科学の世界的拠点である本研究施設では、欧米やアジアの加速器研究者・技術者や、加速器及びそれに関係する機材を製造・販売する国内外の企業

高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設

等も「想定する関係者」に含まれる。このように、本研究施設の担当業務は、関連分野における世界規模の研究戦略の実施、形成と直結している。本研究施設は、これらの「関係者」のすべてから、日本における加速器関連の代表的な研究開発拠点としての主導的役割を果たすことが期待されている。

II 「研究の水準」の分析・判定

分析項目 I 研究活動の状況

観点 研究活動の状況

(観点に係る状況)

本研究施設は、国内外の関係研究者に共同利用・共同研究の場を実現、提供を行うため、大型加速器施設の開発、建設、運転、維持、改良、高度化を総合的に推進している。現有加速器の運転と開発、また将来加速器に関する研究と現有加速器の高度化は、相互に強い連携のもとに推進され、研究開発に従事する教員と技術職員間の情報交流は非常に積極的に行われている。研究活動全般の生産性については、分析項目 II に述べる研究成果に見ることが出来る。内外に向けた情報発信については、国内シンポジウム等の開催状況（別添資料 1-1）、国際会議の開催状況（別添資料 1-2）、国際会議への参加状況（別添資料 1-3）を添付する。内外への貢献については、海外研究所諮問委員会、国際会議プログラム委員会等への貢献状況を添付する（別添資料 1-4）。

科学研究費補助金の獲得状況、寄付金の受け入れ状況、受託研究及び共同研究の実施状況を示す（別添資料 1-5～1-8）。

また、研究活動の一環として、高エネルギー加速器セミナーOHO、総研大の高エネルギー加速器科学セミナー、サマーチャレンジ実習等を実施し加速器科学分野の人材育成を行うとともに、加速器科学総合支援事業等を通じて大学等に対して技術支援や教育への協力を行っている（別添資料 1-9～1-10）。

(水準)

期待される水準を上回る。

(判断理由)

現有及び将来加速器の開発、建設、運転、維持、改良、高度化における研究活動の生産性は極めて高く、共同利用・共同研究の場としての加速器性能の改善も著しい。また、国際会議や教育的セミナーを積極的に主催若しくは共催し、並行して国内企業や国内外研究機関への加速器に関する支援も積極的に展開している。これらのことを総合し、関連コミュニティの期待に十分応えており、上記の水準に相当すると判断した。

観点 共同利用・共同研究の実施状況

(観点に係る状況)

加速器研究施設が運転を行っている種々の加速器の運転時間を別添資料 2-1 に示す。つくばキャンパスにおける素粒子原子核研究所の B ファクトリー実験(Be11e)、物質構造科学研究所の放射光科学研究施設、東海キャンパスで日本原子力研究開発機構(JAEA)と共同運営する J-PARC における長基線ニュートリノ実験(T2K 実験)、ハドロン実験、物質・生命科学研究所(MLF)における中性子やミュオンを利用する実験等に安定なビームを供給することにより、共同利用、共同研究の推進に貢献している。加速器の安定度は非常に高く、別添資料 2-1 に見られるように低い故障率を維持している。B ファクトリー実験を可能とする KEKB 加速器については、平成 22 年度よりその高度化を目指す改造作業を実施し、平成 27 年度終わりに予定通り調整運転を開始した。

(水準)

期待される水準を上回る。

(判断理由)

安定な加速器運転により、幅広い分野の研究者による共同利用・共同研究の場の提供に大きく貢献し、特に B ファクトリー実験での世界最高水準のビームルミノシティや T2K 実験のための大強度ニュートリノビーム等の世界的研究プラットフォームを展開しているこ

と、放射光科学研究施設と MLF では、国内トップレベルの水準の研究を支えることができていること、KEKB 加速器の高度化について予定通りの進捗を見ることができたなどの状況を総合的に踏まえ、上記の水準と判断した。

分析項目Ⅱ 研究成果の状況

観点 研究成果の状況

(観点に係る状況)

研究成果全般に係る関係資料として、論文の出版状況(別添資料3-1)、特許権の出願・取得・保有状況(別添資料3-2)を付す。

KEKB 加速器は平成 22 年 6 月に運転を停止したが、平成 23 年 2 月の B ファクトリーレビュー委員会より、それまでの傑出した運転・開発実績とその後の展望について資料 1 のような評価を受けた。この KEKB の実績については、関係する物理研究者と協力し、成果まとめを出版した(89-03-4)。

資料 1 B ファクトリー加速器レビュー委員会(平成 23 年 2 月 7 日～2 月 9 日)【報告書結語部概要】

KEKB は、積分ルミノシティ 1 ab^{-1} の目標達成という史上初の偉業を成し遂げ、その運転を平成 22 年 6 月 30 日に終了した。KEKB チームにとって、このことは大きな誇りとするに値する。引き続き、SuperKEKB のための予算承認を得ることができた機構長にたいして、委員会は多大な祝意を表するものである。

KEKB 加速器に関する研究成果は 89-03-1、2、3 等の論文に出版され、全体として世界的に極めて高い評価を受けるとともに、89-03-12 の業績は国内賞の受賞対象となった。

資料 2 研究業績説明書より【概要】

業績番号 89-03-1～3: KEK が建設した衝突型加速器 KEKB では、ビーム制御、超高真空システム、大電流ビームの加速システム、ビーム貯蔵用の複数のリングへの同時入射等の分野で継続的に実施された性能改善研究の結果、10 年余りの運転期間中に大きな性能向上を遂げた。

業績番号 89-03-12: KEKB でのルミノシティ性能向上のため、二つのビームをカニの横ばいのような状態で衝突させる「クラブ衝突」を世界で初めて実現させたことについて、折戸賞が授与された。

KEKB 加速器の高度化を図る SuperKEKB 計画においては、上記の KEKB での経験を踏まえつつ、新たな加速器システムの総合分析研究を実施し、総合的な装置と施設立ち上げ手順を立案した(89-03-11)。約 5 年を費やした改造作業を経て、SuperKEKB は平成 27 年度(平成 28 年 2 月)にビーム調整運転を開始、年度末までに電子ビーム 150mA、陽電子ビーム 200mA の蓄積に成功し、現在、諸要素部品の性能確認と加速器システムの総合調整を順調に進めている。

資料 3 研究業績説明書より【概要】

業績番号 89-03-11: 粒子加速器の専門家が参集して毎年回される世界最大規模の国際学術会議(IPAC と略称)において、平成 27 年に SuperKEKB の状況についての招待講演を二件行い、SuperKEKB に期待する世界の研究者からの幅広い専門的見地での質疑に対応した

電子・陽電子線形加速器については、一基の線形加速器から、KEK 内の四つのビーム貯蔵リング(KEKB 電子、KEKB 陽電子、PF、PF-AR)に能率よくビームを入射する機構の開発を確立した(89-03-5)。引き続き、SuperKEKB の運転で必要となる電子ビーム陽電子ビーム双

方の大電流化、運転の効率化等を図る作業を実施し、平成 28 年 2 月にはこの電子・陽電子線形加速器で放射光源リングへのビーム入射を行いつつあるなか、並行して SuperKEKB の調整運転をスムーズに開始することができた。

資料 4 研究業績説明書より【概要】

業績番号 89-03-5：素粒子実験や放射光施設で用いられる大型円形加速器（主にシンクロトロン）では、あらかじめあるエネルギーまで加速した粒子を入射し、それを加速あるいは加速せずそのまま蓄積する実験方法がとられる。この研究では一基の線形加速器から、KEK 内の四つのビーム貯蔵リングに能率よくビームを入射する複雑な機構の開発研究を行った。

放射光実験を行うための PF リング、PF-AR リングについては、リング加速器にビーム入射する際の新しい方式の実証的研究(89-03-6)を行った。また、コヒーレントシンクロトロン放射に関して行われたビーム力学の理論的・実験的研究が世界的評価を受けたことから、筆頭著者が平成 23 年に第 7 回日本加速器学会奨励賞(平成 22 年度)を受賞した(89-03-15)。

資料 5 研究業績説明書より【概要】

業績番号 89-03-6：大規模な円形加速器（シンクロトロン）ではあらかじめ加速した粒子を入射し、これを更に加速又はエネルギーはそのまま蓄積する。その際、既に蓄積されたビームに対する攪乱を最小限に抑えることが求められるが、従来に比較して飛躍的に攪乱を減らす方法を考案し、実際の加速器でその方法の有効性を実験で示した。

J-PARC に関しては、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。3GeV シンクロトロン (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 (89-03-7)。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 (89-03-14)。

資料 6 研究業績説明書より【概要】

業績番号 89-03-7：陽子シンクロトロンにおいてバンチあたり世界最高の粒子数 4.2×10^{13} を極めて低いビームロス（粒子数で 0.2% のロス）で安定に加速したことについて、更なるその結果が空間電荷効果を含む計算機シミュレーションとよく一致していることについて、高い評価を得た。上記国際学会において招待講演として報告した。

業績番号 89-03-13：J-PARC リニアックで、Annular-ring Coupled Structure 型空洞を用いて大強度負水素イオンビームの 400 MeV 加速に世界で初めて成功し、高い評価を受けた。この成果について、第 10 回加速器学会技術貢献賞と平成 26 年度 JAEA 理事長表彰の特別賞を受賞した。

業績番号 89-03-14：J-PARC 主リング (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、それぞれ現在世界記録を保持し、性能記録を更新している。

資料 7 J-PARC 国際諮問委員会及び加速器技術諮問委員会【答申抜粋】

平成 26 年度国際諮問委員会答申（平成 27 年 2 月 16 日～2 月 17 日）より：

安全問題に取り組むなか、J-PARC が達成した重要なマイルストーンとして、陽子線形加速器の大電力アップグレード、物質・生命科学実験施設 (MLF) への 300kW のビーム電力供給と 1MW パルス等価値の達成、また、ニュートリノ実験施設 (NU) への 240kW ビーム電力の供給と同施設による反ニュートリノビームを用いた運転開始が挙げられる。

平成 27 年度加速器技術諮問委員会答申（平成 28 年 2 月 25 日～2 月 27 日）より：

J-PARC 加速器はその設計ビーム強度に着実に近づいている。RCS は設計強度 1MW の試験運転に成功し、MR においてはニュートリノ実験に最大 394 kW のビームを、ハドロン実験施設には最大 42 kW のビームを供給している。

リニアコライダーに関しては、加速器試験施設 (ATF) での先端的研究が国内外の研究機関・大学等との共同研究として実施され、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 を記録した。

資料 8 研究業績説明書より【概要】

業績番号 89-03-9: 将来のリニアコライダーでは、これまでの加速器では到達できなかった細いビームをつくることによって高い素粒子反応頻度を得る必要がある。ATF2 の国際共同研究において、直線ビームラインで記録されるビーム垂直方向サイズとして世界最小の 44nm を実現し、その再現性が良いことについて、加速器に関する主要な国際会議二つで高い評価を得た。

エネルギー回収型加速器については、そのシステム概念を実証する試験加速器 (cERL) を建設のちその運転に成功し、国際ワークショップで発表するとともに、高エネルギー加速器奨励会による諏訪賞を受賞した。

資料 9 研究業績説明書より【概要】

業績番号 89-03-8: 物性実験のための X 線源としての放射光生成施設としては、多くの国で GeV オーダーのエネルギーの円形加速器が稼働している。KEK では、円形加速器では実現できない、細く短い X 線を得る装置としてエネルギー回収型線形加速器 (ERL) の基礎研究を行い、その試験加速器 (cERL) の運転に成功、ICFA のもとの二つの国際ワークショップ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。

(水準)

期待される水準を上回る。

(判断理由)

組織を代表する優れた業績として選定した 15 件は、国内外において高い評価を得ているが、その他にも加速器の関連する分野で世界をリードする成果を多数出しており、加速器研究施設の活動全般で高い水準の研究成果が得られている。特に、機構の基盤的施設の中核をなす KEKB 加速器の高度化施設である SuperKEKB の立ち上げと J-PARC の大ビーム電力化において順調な進捗を見せると同時に、PF、PF-AR リングでは、その運転・維持・改良を通して極めて安定的なビームタイムを運転経費の許す範囲で最大限に提供し、共同利用・共同研究の遂行に決定的に貢献した。更にリニアコライダーや ERL 等、将来型加速器の技術開発とその実証でも世界をリードする業績を挙げた。これらのことを総合的に吟味の結果、本研究施設の研究成果の状況は、関連する研究者コミュニティの期待に大きく応えるものであり、上記の水準と判断した。

Ⅲ 「質の向上度」の分析

(1) 分析項目Ⅰ 研究活動の状況

加速器研究施設は、共同利用実験にビームを提供するために機構が保有する加速器を維持・運転しつつ、現有及び将来の加速器の高度化・開発において「分析項目Ⅱ 研究成果の状況」にまとめた研究成果を得た。これらのことにより、本施設は、加速器の研究と建設・運転を総合的に推進する世界的にも最高水準の研究施設の一つとして、その存在感を内外において一層高めている。

(2) 分析項目Ⅱ 研究成果の状況

加速器研究施設は、共同利用実験にビームを提供する現有加速器では KEKB 加速器の高度化に要する研究開発とその実装を経て電子陽電子衝突型加速器として世界最高のビーム衝突ルミノシティを狙う SuperKEKB の調整運転を開始し、PF リング・PF-AR リングについてはビーム入射の新しい方式の実証的研究等で高い評価を受け、J-PARC ではビーム強度の増強に伴うリニアックの高度化と RCS、MR の運転開発を通して世界レベルのビーム電力での加速器運転を達成・維持した。また、先端加速器の開発では ATF での世界最小ビームサイズの実現し、エネルギー回収型線形加速器の試験加速器の運転に成功した。

4. 共通基盤研究施設

- I 共通基盤研究施設の研究目的と特徴・・・4－2
- II 「研究の水準」の分析・判定・・・4－3
 - 分析項目 I 研究活動の状況・・・4－3
 - 分析項目 II 研究成果の状況・・・4－5
- III 「質の向上度」の分析・・・4－7

I 共通基盤研究施設の研究目的と特徴

1 共通基盤研究施設は、本機構における加速器科学研究の基盤を支え、共同利用研究の推進に不可欠な全体に共通する研究支援並びに関連する開発研究を行うことを目的とし、放射線科学、計算科学、超伝導低温工学及び機械工学の4センターから成る。

広範に展開する共同利用研究や新たな研究プロジェクトに対して要求される高度な研究支援は多彩な内容を含み、解決の必要な未知の問題も発生する。これに対応すべく、関連する分野の基盤かつ基礎的研究を主体的に推進し、積極的に人材育成、国際協力を進め、先端基盤科学研究の拠点としての役割を果たすことを目指している。

次世代研究者を養成するため、総合研究大学院大学と連携し、大学共同利用機関としての特長を活かした加速器科学専攻の大学院教育を行う。また、特別共同利用研究員等の制度に基づき、要請に応じて諸大学の教育に協力する。セミナー、スクールなどの主催・共催を通じて、加速器科学における共通基盤技術の普及と企業等の技術者の育成に努める。

2 放射線科学センター

機構における放射線安全、化学安全の責任を担い、その達成のために必要な研究支援と開発研究を行う。研究支援の実務を行うため放射線及び環境安全の2管理室を設置し、機構全体に及ぶ一元的な安全管理体制をとる。加速器放射線防護研究の中核的施設として開発研究が行われ、その裾野は広く医学、宇宙利用分野まで及ぶ。

3 計算科学センター

共同利用・共同研究の実施のために必要な、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・共同研究に必要な情報基盤に関する研究支援を行う。また、スーパーコンピュータを用いた共同利用「大型シミュレーション研究」を実施している。同時に、広域分散システム、データ収集、計算機シミュレーション、計算アルゴリズム等の基礎的あるいは応用的技術開発を推進している。

4 超伝導低温工学センター

高エネルギー加速器科学、物理実験の基盤技術となる超伝導・低温技術に関する開発研究を担い、同分野の国際的中核として諸外国の研究機関と連携し、機構の推進する研究計画に貢献し、研究支援として機構内実験への液体ヘリウム供給を行っている。超伝導・低温技術を基盤に素粒子物理学、加速器科学、宇宙科学、物質生命科学から、産業分野にまで応用できる技術開発を特徴とする。

5 機械工学センター

機構が推進する計画や実験装置開発に対して、製造及びエンジニアリング支援を行っている。また、基盤技術となる加工、設計、計測、メカトロニクス、材料等の機械工学分野における研究開発を行っている。

[想定する関係者とその期待]

機構内で研究活動をする全ての研究・技術職員と共同利用研究者を含む国内外の加速器に関連する研究者・技術者が想定される関係者であり、更には最終的に公共の安全を担保することに責任を有する点から一般公衆も含めて、各センターに関連する研究支援と関連する研究開発を進めることが期待されている。

II 「研究の水準」の分析・判定

分析項目 I 研究活動の状況

観点 研究活動の状況

(観点に係る状況)

教員は、技術職員と協力して支援業務を担当しながら、開発研究に従事している。支援業務の状況に応じて必ずしも開発研究のための定常的活動が保証されている訳ではないが、別添資料 1-1～1-3 の論文出版数並びに講演発表数等が示すように、着実な活動が行われている。開発研究は高度な研究支援を実現するためにも不可欠であり、分野は加速器関連の理工学研究にとどまらず、放射線関連では、放射線物理、放射化学等の基礎科学から、遮蔽、放射線防護及びその宇宙・医学応用へと広がり、計算科学では、今後大規模加速器実験に不可欠となるデータグリッド技術、素粒子反応のシミュレーションソフトウェア Geant4 及びその医療への応用、素粒子反応の自動計算、統計的データ解析のためのアルゴリズム、格子 QCD に関する研究など、幅広い。超伝導技術に関しては、国内外の高エネルギー加速器等に用いられる超伝導磁石及び超伝導材の開発研究が行われ、材料の極低温での熱伝導やそれに対する磁場や放射線損傷による影響といった低温技術に関する研究活動が進む。機械工学では、加工製造、計測、制御技術等に関わる基礎開発研究が中心に置かれ、特に超精密加工、超精密形状測定技術の開発を推進している。

別添資料 1-4～1-6 に示すように、国等の外部委員会への貢献、国内外機関との協力研究も積極的に推進している。特許や外部資金等研究費受入れに関しては別添資料 1-7～1-9 に示す実績がある。

(水準)

期待される水準を上回る。

(判断理由)

別添資料で示したように、全般にわたり非常に活発な研究活動が行われた。また、安定した支援活動により本機構が推進するプロジェクトの推進に大きく貢献した。このことから、研究活動の実施状況は、上記の水準と判断した。

観点 共同利用・共同研究の実施状況

(観点に係る状況)

放射線科学センター

本センターの研究支援には、放射線関連として、放射線施設等の安全設計評価、放射線(能)レベルの測定監視、放射性物質の管理、個人被曝管理と教育、出入管理、使用許可申請等法的手続き業務があり、環境化学関係では、実験系廃棄物管理と処理、排水管理、化学分析依頼対応、周辺環境監視、作業環境管理等がある。

これらの支援業務は、対象となる施設が大規模で区域が広く、作業者が多いこと、機構の研究計画の進展に伴い放射線施設の新設・変更が頻繁に行われるなど、他にはない特徴がある(別添資料 2-1-1～2-1-7 参照)。先端的大型加速器施設であるため、安全達成には新規の技術開発や知見等の集約が必要となることも多い。現行施設への支援業務ばかりでなく、運転を終了した陽子加速器施設の廃止処理、J-PARCにおける放射線安全の構築等に取り組んでいる。

計算科学センター

対外ネットワークとして、国立情報学研究所の提供する国際ネットワークサービス及び SINET を基本として、国際的には独自の日露回線を運用、国内では民間の広域ネットワー

高エネルギー加速器研究機構 共通基盤研究施設

クサービスの利用に加え国内の研究機関間で独自のネットワーク HEPnet-J を構築し運営保守している。機構内では、機構 LAN 及び対外接続基盤を提供している。情報環境の基礎となる電子メール、Web サーバ、TV 会議等の情報サービスは、機構内及び可能な限り共同利用研究者に対してもサービスを行っている。計算・ストレージ資源としては、共通計算機システムと B ファクトリー計算機を平成 24 年に中央計算機システムに統合した。J-PARC における研究を支えるために、東海キャンパス内のネットワーク JLAN 及びつくばキャンパスとの接続、対外接続を運用している（別添資料 2-2-1～2-2-6 参照）。

本機構の共同利用の 1 つとして、大型の数値シミュレーションによる広い意味の加速器科学の研究の実施を目的とした「大型シミュレーション研究」を本センターが中心となり実施しているが、そのためのスーパーコンピュータシステムを平成 23 年に機器更新した（別添資料 2-2-7～2-2-8 参照）。

超伝導低温工学センター

本センターは、年間を通じた冷却用液体ヘリウムの供給を基盤業務とし、液体ヘリウムを利用した開発研究の推進を支援している。貴重な資源の循環利用に基づいた液体ヘリウムの供給実績を別添資料 2-3-1 に示す。法定定期点検と季節休暇以外の期間、連続して供給できる体制を整えている。

機構内のみならず外国も含む機構外の様々なプロジェクトに対して、以下に示すように超伝導・低温技術を基盤とした開発協力を行った。

- ・ 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
- ・ 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
- ・ 粒子線癌治療装置用の超伝導磁石に関する研究開発

また J-PARC においては、ニュートリノビームラインを始めとする J-PARC における大型超伝導極低温設備の運転運用の支援を行い、J-PARC での共同利用に貢献している（別添資料 2-3-2 参照）。

機械工学センター

本センターには、機械工学を専門とする教員と技術職員が配置されている。所有する種々の工作機械を使って、各種部品の製作、測定、組立、設計等の製造支援と各研究プロジェクトに参加し、装置・設備の設計、製作及び実験などを行うエンジニアリング支援を行っている。工場の工作機械と測定器の一部は、共同利用者に開放している。また、最新の工作機械、3D プリンタなどの新しい加工機及び加工技術の導入も積極的に行い、高度な支援体制を整えている。最新の 3D-CAD も導入し、広く機構の教職員に利用してもらえるよう運用している（別添資料 2-4-1～2-4-2）。

(水準)

期待される水準を上回る。

(判断理由)

別添資料で示したように、全般にわたり非常に活発な研究活動が行われた。また、安定した支援活動により本機構における共同利用・共同研究の推進に大きく貢献した。このことから、研究活動の実施状況並びに共同利用・共同研究の実施状況ともに、国内外の関連コミュニティの期待に十分応えており、上記の水準と判断した。

分析項目Ⅱ 研究成果の状況

観点 研究成果の状況

(観点に係る状況)

放射線関連では、放射線物理・検出器、遮蔽工学、加速器安全研究等の分野で大きな成果があった。陽子加速器施設や宇宙環境における放射線の物質・生体影響に関する研究では、測定方法の開発、系統的なデータ取得、モデル開発による現象の理解など多くの点で大きな進展があった。汎用放射線輸送計算コード PHITS を完成させた。福島第一原子力発電所事故の影響調査、復旧に取り組み、重要な社会貢献を行った(資料1参照)。

資料1 優れた研究業績より抜粋

業績番号 89-04-8: 中高エネルギー陽子による核破砕片の系統測定に関する研究

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と系統測定を行った。

業績番号 89-04-9: 陽子加速器施設や宇宙環境における放射線の物質・生体影響に関する研究

陽子加速器施設や宇宙環境における半導体機器のソフトエラー(放射線入射によりメモリーの記録内容が変わること)や材料損傷の発生機構の解明や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。

業績番号 89-04-10: 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

長年にわたる多様な放射線に適用可能な国産の放射線輸送計算コードが望まれる中で、従来の国産コードを統合し、その性能を飛躍的に向上させることにより、新たな国産モンテカルロコード PHITS を完成させた。

業績番号 89-04-11: 福島第一原子力発電所事故の影響調査、復旧に関わる共通基盤研究施設・放射線科学センターの取組

原発事故直後の放射線測定に関する研究である。福島県内の高速道路上の随所で放射能測定を行い、放射能飛来の状況や汚染の状況を直接明らかにした。KEK つくばキャンパスでは、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行い、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た。

計算科学分野では、測定器シミュレーションの改良及びその医療分野への応用、自動理論計算 GRACE システム、格子 QCD、J-PARC 中性子実験用共通ソフトウェア開発基盤、省消費電力小型スーパーコンピュータの開発の各テーマにおいて成果をあげた。「大型シミュレーション研究」の共同利用では、素粒子・原子核・物性物理・加速器科学の分野で幾多の世界最高水準の研究成果が得られた(資料2参照)。

資料2 優れた研究業績より抜粋

業績番号 89-04-3: 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

従来は原子核の性質を説明するために仮定しなければならなかった核力の様々な性質を、量子色力学という基本法則に基づく「格子量子色力学の大規模数値シミュレーション」によって、導き出す道を開いた。

業績番号 89-04-2: 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

ストレンジネスを持つハイペロンを含むハイパー核について、独自に提唱・開発した「無限小変位ガウス・ローブ法」を用いて精密計算を行い、実験結果の理論的理解が可能となった。

超伝導低温工学分野では、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、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、粒子線癌治療装置用の超伝導磁石に関する研究開発において優れた業績を上げた (資料3 参照)。

資料3 優れた研究業績より抜粋

業績番号 89-04-1: 急熱急冷変態 (RHQT) 法による超伝導線の開発

KEK では、将来の加速器用高磁場超伝導磁石のため、NIMS と共同で急熱急冷変態 (RHQT) 法 Nb3Al 超伝導線を開発してきた。

業績番号 89-04-4: 超伝導磁石を利用した重粒子線がん治療用の回転ガントリーの開発

KEK で開発された結合機能型を含む加速器用超伝導磁石設計技術を小型冷凍機を用いた伝導冷却超伝導磁石に応用し小型軽量でかつ運用が簡便な重粒子線がん治療用の回転ガントリーを実現した。

業績番号 89-04-5: 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

日本のオリジナル技術である重力波検出器の極低温鏡システムの開発及び製造を実施した。

KAGRA に関連した基盤研究のなかでは高純度アルミに関して民間との共同研究を進め幾つかの重要な特許も取得している (資料4 参照)。

資料4 優れた研究業績より抜粋

業績番号 89-04-7: 6N 超高純度アルミニウムに関する特許

6N 超高純度アルミニウムを用いた極低温用伝熱材を開発し小型軽量化を要求される装置で効率的な冷却を可能とした。また、6N 超高純度アルミニウムを用いた磁気シールド材も開発した。

また、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においても超伝導磁石の耐放射線性という新しい研究分野を切り開き、高放射線環境下でも利用できる超伝導磁石の可能性を開いた。機械工学センターでは、年間約 500 件の製造支援、20 件程度のエンジニアリング支援を行っている。エンジニアリング支援は3年以上の長期にわたる場合が多く、プロジェクトの推進に貢献し成果を挙げている。

(水準)

期待される水準を上回る。

(判断理由)

本施設の専任教員数は42名であり必ずしも多くはないが、各センターはそれぞれの分野で世界的な成果を挙げた。このことは、資料1～4に示した優れた研究業績からも明らかで、それぞれの国内外の関連分野から高い支持があり、加速器科学の向上と、技術支援業務の改善に強く寄与し、共同利用・共同研究の遂行や新規プロジェクトの進展に大きく貢献したことが示されている。

本研究施設の研究成果の状況は、関連コミュニティの期待に十分応えており、この状況を総合的に判断し、上記の水準と判断した。

Ⅲ 「質の向上度」の分析

(1) 分析項目Ⅰ 研究活動の状況

以下の事例において第1期終了時と比較して研究活動の質の向上があった。

①事例：放射線管理業務の高度化・効率化について

放射線管理業務において、業務従事者数の増大や放射線施設の広域化等に対応するため、放射性物質の登録のデータベース化を進めている。第1期終了時点では、対象が放射性同位元素と核燃料物質のみであったところ、第2期には新たに放射線障害防止法の規制対象となった放射化物のデータベース化を行った。また、WEBを介した業務従事者登録システムを第1期から運用しており、第2期にはセキュリティー強化を行った。化学安全管理業務については第1期終了時点で、毒劇物と危険物のバーコード管理の導入、データベース化を行っており、第2期には要管理物質についてもバーコード管理・データベース化を行い、研究支援の効率化を図っている。いずれも少ない人員を補い、業務の効率化に必須のことである。

②事例：省消費電力小型スーパーコンピュータの開発

民間企業との共同研究により、小消費電力型の小型スパコンの開発・検証を行った。これらの機器は、低電力型メニーコアプロセッサと液浸冷却システムを組み合わせ、コンパクトかつ低消費電力システムを実現するものである。これらの機器のうち本機構に設置されたものは、スパコンの消費電力あたりの性能ランキングである Green500 リストにおいて、平成26年には世界第2位、平成27年には世界第2、3位に位置づけられた。

③事例：冷媒供給業務の高度化・効率化について

冷媒供給業務においてオンライン化を推進し業務の効率化を図った。第1期終了時点では、東海キャンパスの一部においてのみ進められていた供給申し込みのオンライン化をつくばも含めて完全に遂行した。また、第1期終了時には、職員が個別に対応していたユーザーに対する安全教育も、e-learningによるオンライン化を実現した。これによりユーザーの利便性を計りながら供給申し込みや安全教育が効率的にできるようにした。

④事例：超伝導加速空洞の製造技術開発

ILC計画の実現のためには、高性能の超伝導加速空洞を低コストで大量に生産する技術が必要である。この生産技術研究を行うために第2期に空洞製造技術開発施設(CFF)を設置した。ここには、大型の電子ビーム溶接機などの空洞製造に必要な設備が配置させている。機械工学センターの工作機械と合わせて、機構内で ILC 用 9 セル超伝導加速空洞が完全に内製できるようになった。STF棟で電界性能試験を行ったところ、最大加速勾配 36 MV/m が得られ、ILC仕様を満たす空洞の製造が実現できた。

(2) 分析項目Ⅱ 研究成果の状況

共通基盤研究施設においては、第一期中期目標・中期計画期間に引き続き、優れた研究成果を挙げていることから、研究成果において継続して卓越した高い質を保持していると分析される。