

# 自己検証結果報告書

令和2年8月

大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構

共通基盤研究施設

## 目次

全体概要	1
Ⅰ. 運営面	4
Ⅱ. 中核拠点性	6
Ⅲ. 国際性	14
Ⅳ. 研究資源	17
Ⅴ. 新分野の創出	20
Ⅵ. 人材育成	23
Ⅶ. 社会との関わり	26
自由記述	30

## 全体概要

### I. 運営面

- ・大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構(KEK)に属する共通基盤研究施設では、施設長の諮問に応じて重要事項を審議する会議体として、加速器・共通基盤研究施設運営会議(以下「運営会議」という。)を設置している。運営会議は、KEK 外 11、KEK 内 15、共通基盤研究施設4の委員から構成され、KEK 外委員は関連コミュニティの代表者である。会議は、通例年4回以上開催される。
- ・不正防止コンプライアンス体制は機構長を責任者とする機構全体で構築され、その下に共通基盤研究施設長を責任者とする施設内のコンプライアンス対策体制を構築している。

### II. 中核拠点性

共通基盤研究施設は、「KEK 全体の共通的基盤となる研究支援業務を行うとともに、研究支援に必要となる基盤技術の開発研究を行う」ことをミッションとし、その遂行のために、放射線科学、計算科学、超伝導低温工学、機械工学の4つのセンターを有して、KEK のプロジェクト、研究計画、共同利用実験を技術・研究面から推進し、KEK の国際中核拠点としての機能並びに活動を支え、活性化に貢献してきた。同時に、共通基盤研究施設並びに4つのセンターは、展開する各分野における卓越した学術研究、高度化された技術支援や開発研究において、日本、アジア、世界的規模での中核拠点として存立している。

放射線科学センターは、機構の放射線安全、化学安全、環境保全に対して責任を担い、機構が国際研究拠点として機能するよう放射線防護の立場から研究支援を行い、必要な技術開発を行っている。支援の規模や施設基盤の大きさ、活動の多様性や卓越性から、日本における加速器放射線防護の中核拠点である。研究面でも、放射線物理、放射線計測、放射線遮蔽、放射化学、環境計測の分野で拠点的活動を行っている。加速器放射化の研究、放射線輸送計算コードの研究、線量計の開発研究は特に重要な成果を上げている。また、関連する研究会を主催するなど、学術コミュニティの活性化や発展に大きな役割を果たしている。

計算科学センターは、大強度陽子加速器施設(J-PARC)を含む機構全体の計算機資源、ネットワーク・情報環境基盤、国際共同利用実験 Belle II 実験に対して中核となる国際解析センターとして実験解析環境を提供している。また、スーパーコンピュータ(スパコン)利用大型シミュレーション研究に関する大規模共同利用研究拠点、放射線シュミレーションコードの国際開発拠点など、中核拠点としての活動を行っている。

超伝導低温工学センターは、大規模な液体ヘリウム供給を実現し、大型超伝導低温設備の運用拠点として、LHC アップグレード用の大口径偏向電磁石を開発するなど、超伝導電磁石開発の世界的拠点となっている。

機械工学センターは、機構が推進するプロジェクトや装置開発に対して、機械工学の立場から支援活動を行い、将来計画に必要な研究開発・技術開発を行っている。例えば、超

伝導加速空洞の製造研究、試料交換ロボットの開発研究、LHC アップグレード用超伝導電磁石の開発支援、陽子飛跡検出器開発、高精度大規模アライメントの応用技術開発など、日本では他に類を見ないユニークな加速器機械工学の拠点として活動している。

### Ⅲ. 国際性

・共通基盤研究施設における国際連携、共同研究の概要は以下のとおりである。

放射線科学分野： 欧州原子核研究機構(CERN)との連携による加速器二次粒子生成に関する国際共同研究の実施、国際会議の主催や貢献、EGS や PHITS、並びに Geant4などの放射線輸送計算コードの国際共同開発の中核拠点としての活動。

計算科学分野： Belle II 実験のデータ解析における国際分散計算機環境(Grid)の日本における唯一の拠点。国際的に利用される J-PARC 実験のデータストレージの管理運用。

超伝導低温工学分野： J-PARC における超伝導電磁石システムの開発・建設、LHC アップグレード用大口径超伝導電磁石の開発、大型低温重力波望遠鏡(KAGRA)の建設支援、将来加速器のための超伝導電磁石材料や電磁石開発などを国際協力・連携で実施。

機械工学分野： 超伝導空洞製造技術(コストダウン、製造工程の見直し、性能向上)に関する国際連携を実施。

・米国 IEEE などの国際学会においてプログラム委員、編集委員等を輩出。

・外国人共同利用者に対する、申請書類・各種マニュアル、安全標識等の英語化、英語による放射線教育の実施などを進め、作業の安全確保やセキュリティの向上を推進。また事務室等には英語による対応が可能な職員を配置するなどしている。

・機構における研究支援が主たるミッションであるので国際共同利用については限定的で、独自の海外アドバイザー等の導入もあまりない。海外との共同研究は積極的に推進し、また国際諮問委員会等の KEK 全体に関わるものについては参加し評価を受けている。

### Ⅳ. 研究資源

共同利用に直接供するものではないが、その推進に必要な施設設備を維持運用している。

放射線科学関連： 放射線安全の推進と共同利用支援の高度化のための設備の開発と運用。

例えば、多彩な放射線標準照射・校正設備の開発と運用、大規模連続放射線集中監視装置、集中出入監視システム、放射線従事者登録システムの開発と運用。

計算科学関連： 中央計算機の運用と国際的分散計算機環境の構築。情報通信基盤の提供(つくばキャンパス及び東海キャンパス)。スーパーコンピュータの運用。

超伝導低温工学関連： 大規模ヘリウム冷凍機及び利用済みヘリウム循環回収装置、並びに研究開発用大型極低温システムの運用と維持、超伝導電磁石試験設備や超伝導材料引張試験機をはじめとする大型試験設備の運用とユーザー利用のために開放。

機械工学関連： 空洞製造技術開発施設(CFF)の加速器研究施設との共同運用。

## V. 新分野の創出

学際的・融合的研究として以下の研究実績があり、成果を上げている。

- ・新型放射線線量計による新放射線量計測システムの確立と、その宇宙線量計への適用（放射線科学分野、放射線生物分野、宇宙利用分野における学際的研究）
- ・Geant4や PHITS などの放射線輸送計算コードの粒子線治療、放射線生物学への応用（放射線科学分野、計算科学分野、医学分野、生物分野における学際的研究）

## VI. 人材育成

- ・総合研究大学院大学（以下「総研大」という。）の基盤機関（加速器研究施設と共同で高エネルギー加速器科学専攻科を運営）の取り組みとして、英語並びに日本語による大学院講義（加速器概論、各授業科目）、大学院生への研究指導並びに学位論文指導（本研究施設には 2016～2019 年度間で 26 名が在籍）を実施し、同期間に4名が学位を取得した。修了後の進路は企業の研究職、量子科学技術研究開発機構（QST）及び KEK の研究員として全員が研究活動に従事しており、若手人材育成としても機能した。留学生延数は 16 名で在籍学生の6割強を占める。博士研究員として在籍した5名は日本原子力研究開発機構（JAEA）研究員や KEK 助教として採用され、キャリアパスとして機能した
- ・特別共同利用研究員（東大等の他大学からの受託大学院生）への研究指導並びに学位論文指導も積極的に行われた（2016 年度～2019 年度で在籍数 16 名）。
- ・教員及び技術職員における女性比率は、それぞれ 2.5%、15%である。KEK では、技術職員は教員と協働して支援業務ばかりでなく研究開発にも従事しており、比率を比べた。

## VII. 社会との関わり

- ・放射線物理や放射線計測の専門家として、原子力発電所事故対応における技術指導並びに助言（原子力規制庁、東京電力）、加速器廃止措置に関する全国調査と手法開発（原子力規制庁）、福島県飯館村における放射線測定協力・指導（自治体）を実施。
- ・PHITS などの放射線輸送計算コードの医学利用への貢献とコード普及のための研究会の開催。コミュニティを対象にした学術研究会の定期開催、及び国際会議の主催。
- ・Grid 解析拠点としての委員会活動、及び国内研究機関への普及の推進。
- ・特許、要素技術を通して社会貢献。空洞製造技術や試料交換ロボットシステム製作にかかわる企業との連携。
- ・放射線や超伝導に関する知識の普及のためのアウトリーチ活動（放射線に関する一般向け解説書の作成・配布、超伝導コースター実演など）。

## 自由記述

自己検証にあたり、共通基盤研究施設における研究活動状況について、意見聴取を国内外の研究者に実施し、検証内容に反映した。

## I. 運営面

開かれた運営体制の下、各研究分野における国内外の研究者コミュニティの意見を踏まえて運営されていること

### 【主な観点】

- ◎① 共同利用・共同研究の実施に関する重要事項であって、機関の長が必要と認めるものについて、当該機関の長の諮問に応じる会議体として、①当該機関の職員、②①以外の関連研究者及び①②以外でその他機関の長が必要と認める者の委員で組織する運営委員会等を置き、①の委員の数が全委員の2分の1以下であること
- ◎② 上記の体制が、国内外の研究者コミュニティの意向を把握し、適切に反映できる人数・構成となっていること
- ◎③ 研究活動における不正行為及び研究費の不正使用への対応に関する体制が整備される等、適切なコンプライアンスが確保されるための体制が実施されていること
- ◎④ 共同利用・共同研究の課題等を広く国内外の関連研究者から募集し、関連研究者その他の当該機関の職員以外の者の委員の数が全委員の数の2分の1以上である組織の議を経て採択が行われていること

### 【自己検証結果】

#### 【検証する観点】

①、②、③、④

#### 【設定した指標】

- A 共通基盤研究施設長の諮問に応じる会議体の外部構成員の数・割合、開催実績
- B 関連する学術コミュニティの要請を実現するために必要な体制の整備状況
- C 研究活動における不正行為等への対応など、コンプライアンス確保に向けた必要な体制の整備状況
- D 共同研究・共同利用研究の課題の募集・採択の状況

#### 主な観点①（指標 A）

共通基盤研究施設長の諮問に応じる会議体として、加速器・共通基盤研究施設運営会議が、加速器研究施設と共同して設定されている。委員構成は、①共通基盤研究施設4名、②加速器研究施設7名、素粒子原子核研究所2名、物質構造科学研究所2名、機構外11名である。当該機関の職員の割合は15.4%である。会議は通例、年4回開催される。

#### 主な観点②（指標 B）

機構外委員(11名)は、素粒子原子核関連(3名)、物質構造科学関連(3名)、加速器関連(3名)、共通基盤関連(2名)の関連コミュニティからの代表者であり、さらに機構の2研究所及び加速器研究施設からの委員が入り、コミュニティ並びに機構の意見が反映される構成になっている。現在、議長は加速器研究施設委員、及び副議長は共通基盤研究施設関連の機構外委員が務める。

#### 主な観点③（指標 C）

機構長を最高管理責任者とした不正防止計画推進室を設置し、不正防止計画の策定や研究費等の不正使用防止のための KEK 全体の取り組みを実施している。その下に、施設長を責任者とする共通基盤研究施設内における不正防止対策体制及びコンプライアンス推進体制を立ち上げ、推進している。

#### 主な観点④（指標 D）

KEK のスーパーコンピュータを利用して行う「大型シミュレーション研究」は、KEK の研究に関わる分野の共同研究、並びに素粒子・原子核物理学に関連する分野の共同利用研究として、公募して実施される。「大型シミュレーション研究」審査委員会は KEK 外7名、KEK 内5名(内、共通基盤研究施設1名)の計 12 名の委員で構成され、審査の後、採択がなされる。共通基盤研究施設から選出の委員比率は 8.3%である。

## Ⅱ. 中核拠点性

各研究分野に関わる大学や研究者コミュニティを先導し、長期的かつ多様な視点から、基盤となる学術研究や最先端の学術研究等を行う中核的な学術研究拠点であること

### 【主な観点】

- ◎① 当該機関の研究実績、研究水準、研究環境、研究者の在籍状況等に照らし、法令で規定する機関の目的である研究分野において中核的な研究施設であること
- ◎② 対象となる当該研究分野において先導的な学術研究の基盤として、国内外の研究者コミュニティに必要不可欠であり、学術コミュニティ全体への総合的な発展に寄与していること
- ◎③ 当該機関に属さない関連研究者が当該機関を利用して行った共同利用・共同研究等による研究実績やその水準について、研究分野の特性に応じ、当該研究分野において高い成果を挙げていること
- ◎④ 研究者コミュニティの規模や施設の規模等に対応して、共同利用・共同研究に国内外から多数の関連研究者が参加していること

### 【自己検証結果】

#### 【検証する観点】

①、②、③、④

#### 【設定した指標】

- A 共通基盤研究施設のミッションに沿った研究活動(研究支援、開発研究)の状況
- B 共通基盤研究施設における共同利用研究への研究支援、推進の状況
- C 共通基盤研究施設に所属しない関連研究者による本施設を利用して行った研究とその業績
- D 共通基盤研究施設との共同研究における国内外からの関連研究者の参加状況

#### 主な観点① (指標 A 及び B)

共通基盤研究施設については法令による規定はないため、KEK 共通基盤研究施設組織規則第3条の1の記載「共通基盤研究施設は、KEK 全体の共通基盤となる研究支援業務を行うとともに、研究支援に必要となる基盤技術の開発研究を行う。」を組織のミッションとする。共通基盤研究施設は、ミッション遂行のために、放射線科学、計算科学、超伝導低温工学、機械工学の4つのセンターを有して、KEK の将来計画を含むプロジェクト、並びに共同利用実験を技術・研究面から推進し、KEK の国際中核拠点としての機能並びに活動を支え、活性化に貢献してきた。同時に、共通基盤研究施設並びにセンターは、展開する各分野における卓越した学術研究、高度化された技術支援や開発研究において、日本、アジア、世界的規模での中核拠点として存立している。共通基盤研究施設の人員、活動状況を、それぞれ図1、

及び表1にまとめた。(指標 A)

・放射線科学センターは、機構の放射線安全、化学安全、環境保全に対して責任を担い、KEK が国際研究拠点として機能するよう放射線防護の立場から支援を行い、必要な技術開発を行っている。研究支援の規模、施設基盤の大きさ、活動の多様性や卓越性から、日本における加速器放射線防護・環境安全の中核拠点である。つくばキャンパスでは、大型放射線発生装置 18 台、多数の二次ビームライン及びX線発生装置 15 台が設置され、また、密封・非密封放射性同位元素、放射化物及び核燃料物質が多数保有される。一方、東海キャンパス J-PARC には、大規模放射線発生装置4台と物質・生命科学、ハドロン、ニュートリノの3つの実験施設がある。同センターはこれらに対する放射線安全を一元的に担う。その推進のため、多様な放射線標準照射・校正設備や大規模連続集中放射線監視システムを開発、運用している。つくばキャンパスでは約 5,000 名の共同利用者等が、東海キャンパスでは約 2,700 名が、放射線業務従事者として登録され、彼らに対する放射線管理や安全教育を行うため、集中出入監視システムや被曝管理システムなどを開発し、運用を行っている。図2に、つくばキャンパスにおける放射線従事者数の年間推移を示す。また、同センターは、放射線安全とともに加速器に関わる化学安全・環境保全も推進している。その状況を毎年環境報告書としてまとめ公表している。昨年度公表された「環境報告 2019」は環境省「令和元年度環境コミュニケーション大賞優良賞」を受賞した。

[\(https://www.kek.jp/ja/newsroom/2020/02/26/1900/\)](https://www.kek.jp/ja/newsroom/2020/02/26/1900/)

・計算科学センターは、J-PARC を含む KEK 全体の計算機資源、ネットワーク・情報環境基盤を提供するとともに、KEK の主要なプロジェクトである Belle II 実験のデータ解析のための国際分散計算機環境(Grid)の中心拠点としての役割を果たしている。Belle II では、世界 18 カ国以上のデータ解析センターが協力して計算機資源を供出し実験データ解析を行うが、KEK は実験ホスト国として最も重要な一次データの保存・分配を担い、各国計算機拠点をネットワークで結び協調して実験データ解析を行うために必要な Grid Computing サービスと Grid 認証局としての証明書発行、Grid 内の主要な計算機資源の提供を行っている。このために、国内有数のストレージサーバーによる中央計算機システムを構築・運用し、計画的に更新を実施している。また、KEK に来訪する国外研究者を含む共同利用者及び職員に対して、ネットワーク、TV 会議、Web サーバーサービスなどの様々なサービスも提供している。2017 年までは国内有数の性能を有する 1Peta FLOPS 規模のスーパーコンピュータを有し、Belle 実験、J-PARC 実験に対して理論数値計算の基盤を提供するとともに、主に国内の素粒子、原子核、宇宙物理理論数値計算コミュニティに対して共同利用を行い、特に格子 QCD 計算において貢献した。(表2～表4参照)

・超伝導低温工学センターは、国内最大クラス量の液体ヘリウムの供給及び回収・再利用を行い、それを利用する KEK の各種開発研究を支援している(図3参照)。J-PARC においては、ニュートリノビームライン超伝導電磁石システムなどの大型超伝導極低温設備の建設、運用支援を行っている。その業績が認められ、令和2年度科学技術分野の文部科学大臣

表彰研究支援賞を受賞した。(https://www.mext.go.jp/content/20200402-mxt\_sinkou02-00187\_004.pdf) また、COMET 実験のための大型超伝導ソレノイド磁石システム、g-2/EDM 実験のミュオン蓄積用超精密磁場超伝導ソレノイド磁石の開発を行っている。つくばキャンパスでは、CERN の Large Hadron Collider (LHC) 計画並びに大型低温重力波望遠鏡 (KAGRA) 計画において超伝導磁石や極低温装置の開発や建設を主導している。LHC は、現在高輝度化アップグレード(HL-LHC)を行っており、そのために必須となる大口径超伝導二極磁石の開発を推進している。KAGRA の建設においては、感度向上の鍵となる低温鏡懸架システムの開発に大きく貢献し、関連した複数の論文が被引用回数上位5%以内に入り、Nature (D. Castelvecchi, doi: 10.1038/d41586-018-07867-z) や新聞各社の記事で紹介された。

- ・機械工学センターでは、KEK が推進するプロジェクトや装置開発に対して、機械工学の立場から支援活動を行うとともに、将来計画に必要となる研究開発・技術開発を行っている。支援活動は、持ち込まれた図面に沿って部品を製作する比較的単純なものから、装置の設計や製作、KEK のプロジェクトメンバーとしてその遂行の一部を担う高度なものまで様々であり、年間約 300 件の支援を行っている。加速器だけでなく、加速器をベースとした素粒子物理実験施設、放射光・中性子・ミュオン・低速用電子実験施設における実験装置・測定装置等、非常に幅広い分野のアクティビティの支援を行っているところは、我が国には機械工学センターにおいて他になく、中核拠点といえる。

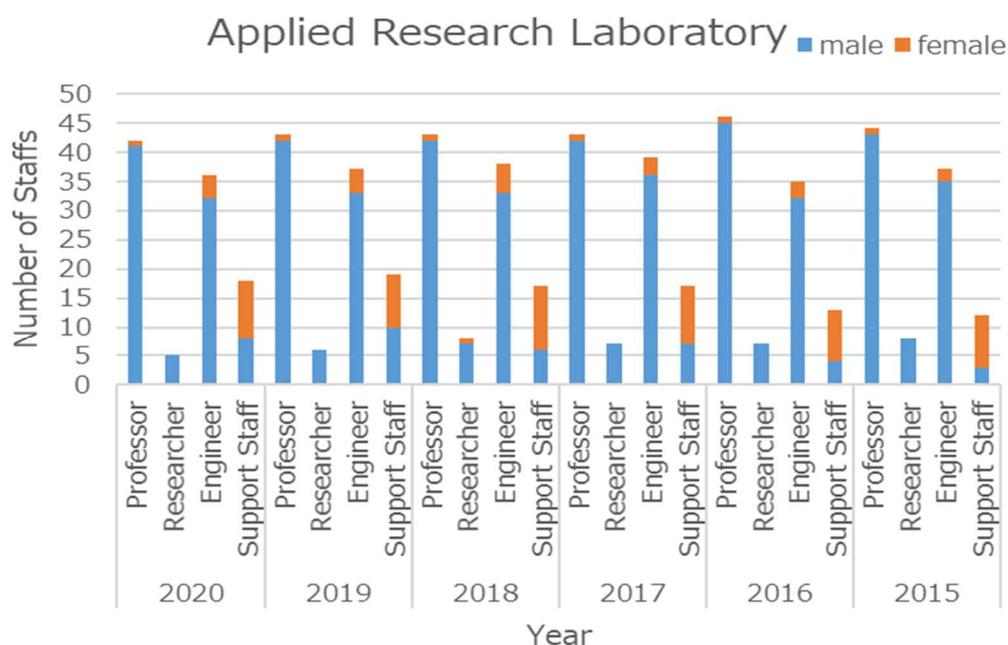


図1 共通基盤研究施設における人員の推移  
(各年1月1日現在、単位:人)

表1 研究活動状況に関するデータ（教員数、著書等件数）

		2016年度	2017年度	2018年度	2019年度
専任教員 <sup>*1)</sup> [人]		39(44)	39(42)	37(41)	39(42)
著書数	日本語	0	2	1	2
	外国語	0	0	0	0
学術論文、プロシーデ ィングス(査読付) <sup>*2)</sup>	日本語	0	0	1	2
	外国語	195	157	186	144
学術講演等	国内会議	64	113	102	59
	国際会議	75	63	87	56
	招待講演	7	5	9	9

\*1) 専任教員数は各年度の5月1日現在で所属する専任教員(教授、准教授、講師、助教)の人数。括弧内は再雇用教員、博士研究員等を含む常勤教員数。

\*2) 大規模共同研究を含む。(IR 推進室・評価情報データベースより)

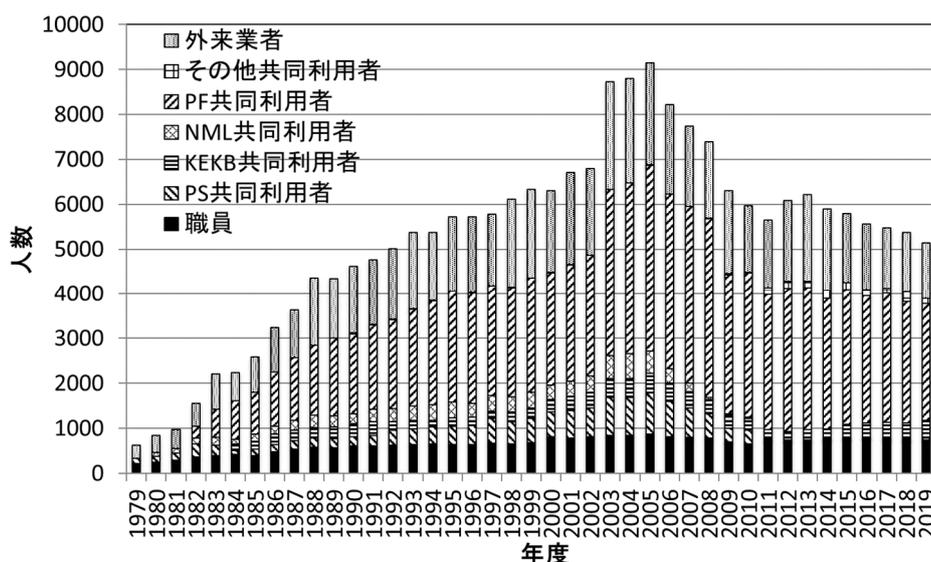


図2 放射線業務従事者の登録数の推移（つくばキャンパス）

表2 Belle II 各国の計算機資源の供給割合<sup>\*</sup>

	Japan	Australia	Austria	Canada	Czechia	France	Germany	India	Israel
CPU	31.3%	0.5%	0.3%	13.0%	1.6%	0.8%	17.4%	0.2%	0.2%
Storage	52.0%	0.5%	0.1%	3.0%	0.9%	0.0%	11.4%	0.0%	0.1%
	Italy	Korea	Mexico	Poland	Russia	Slovenia	Taiwan	Turkey	USA
CPU	9.7%	0.3%	0.3%	6.8%	1.1%	6.3%	1.7%	0.6%	7.8%
Storage	9.3%	0.9%	0.0%	0.1%	0.0%	4.6%	2.1%	0.1%	14.9%

\* ) 平成 30 年 10 月-令和元年 10 月 (Belle II Funding Oversight Panel 資料より)

表3 中央計算機における利用者数とCPU利用率（指標 B）

年度	国外機関所属	国内機関所属
2016年	451	903
2017年	583	1,101
2018年	588	1,073
2019年	570	1,060

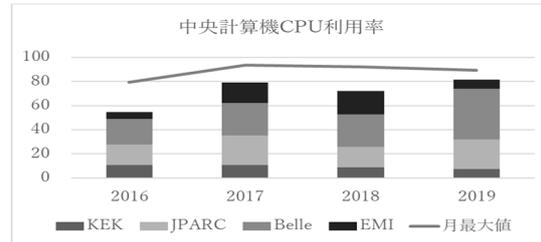


表4 スーパーコンピュータシステム共同利用研究の採択・実施状況（指標 B）

	採択状況			実施状況			
	応募数	採択数	採択率(%)	新規	継続	計	国際共同研究
2016年	53	53	100	25	28	53	4
2017年	25	25	100	0	25	25	2

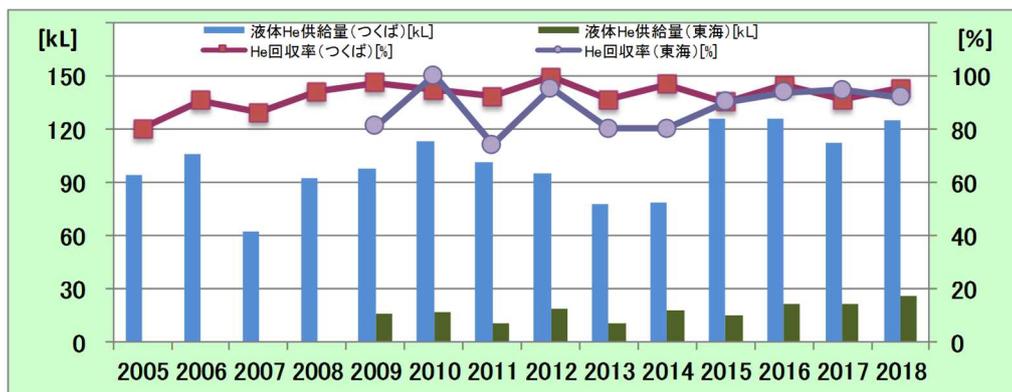


図3 液体ヘリウムの液化、供給、回収の状況(指標 B)

主な観点②（指標 A 及び B）

共通基盤研究施設は、その放射線科学分野、計算科学分野、超伝導低温工学分野、機械工学分野において、それぞれ特徴のある研究開発を行い、加速器科学並びにそれを支える基盤科学を中心とした研究コミュニティの発展に寄与している。

- ・加速器放射化の研究では、加速器の廃止措置を見据え、加速器施設及び同構造物の放射化の実態調査を KEK の旧 12GeV 陽子加速器施設をはじめとして全国の加速器施設を対象に、その連携のもとに行っている。その種類は、静電加速器施設、放射光実験施設、陽子線治療サイクロトロン施設、陽子線治療シンクロトロン施設、重粒子線治療施設、PET 用 RI 製造サイクロトロン施設と多岐にわたり、各々の放射化の実態を明らかにした。この中では、放射化測定・判定法の開発も行い、全国の施設でその手法が使えるように一般化を進

めている。本研究は原子力規制庁の受託研究としても展開されおり、将来の国の加速器廃止措置の基準となるものである。

- ・共通基盤研究施設は世界的に主要な3つの放射線輸送計算コードを国際機関との連携により開発、運用、改良しており、多くの放射線関連コミュニティの研究基盤となっている。放射線輸送計算コード EGS(連携先: 米・ミシガン大学、米・スタンフォード線形加速器センター(SLAC))と PHITS(同: JAEA、理化学研究所(理研)、九州大学、スウェーデン・チャルマー工科大学など)は、物質中の放射線の挙動を計算するコードとして、理学、工学、医療などの広い分野で使用される。Geant4(同: CERN など)は、粒子の飛跡を模擬するためのソフトウェアで、Belle 実験、T2K 実験をはじめとする高エネルギー素粒子・原子核実験における検出器開発に不可欠なツールとして世界的に普及し利用される。Geant4の最近の論文は被引用数が 465 で、関連分野での被引用回数は上位 0.06%に含まれるほど広く利用され、生物・医療、宇宙分野への利用が拡大している。前述の PHITS も関連論文の引用が上位 0.1%以内に入る。
- ・共通基盤研究施設における計算資源(計算機資源、ストレージ資源)の運用は、Belle 実験、ハドロン実験等、「主な観点①」に記載した実験解析基盤としての役割を果たし、その研究コミュニティにとって必要不可欠なものである。(表3参照)
- ・「主な観点①」に記載したように、2017 年まではスーパーコンピュータの共同利用を行い、京(R-CCS) 計算機と相補的に使用された。特に素粒子・原子核、宇宙物理理論数値計算において多く利用され、同コミュニティに対し大きく貢献した。計算基礎科学連携拠点(Joint Institute for Computational Fundamental Science、JICFuS)(2008 年に KEK、国立天文台、筑波大学が中心となり素粒子・原子核・宇宙物理分野のスーパーコンピュータを使った計算基礎科学を推進する目的で設置され、連携拠点の理化学研究所計算科学研究機構の計算資源の有効活用、計算基礎科学の研究体制充実を目指す活動をしている)の中核として、国内8拠点を直接ネットワークで結び、データグリッド技術を用いて計算結果、ツールを共有し国内の理論計算コミュニティの総合的発展に寄与している。(表4参照)
- ・技術支援、開発研究を通して培った先進的な超伝導技術をさらに発展させ、将来の加速器科学に貢献するために、先進超伝導材料を用いた技術開発を推進している。例えば、CERN が計画する将来のエネルギーフロンティア加速器である Future Circular Collider(FCC)で必須になる高磁場超伝導磁石のための基盤技術となる高磁場高臨界電流密度 Nb<sub>3</sub>Sn 超伝導線材を CERN や日本の大学、民間企業と共同で開発を行っている。また、J-PARC の MLF で検討されている第2標的用のミュオン捕獲ソレノイドや FCC の衝突点領域の超伝導磁石など、将来の加速器計画で必須となる高放射線環境で効率的に高磁場を発生させる超伝導磁石技術として高温超伝導材料を用いた高耐放射線超伝導磁石の技術などの開発研究を推進している。このように KEK のプロジェクトに必要な基盤技術を確認するため、国内外の研究機関と連携しながら、超伝導極磁石技術及び低温工学の加速器応用

における研究開発を進めており、その能力及び成果はアジアにおいては唯一無二のものであり他の追随を許していない。

- ・機械工学分野は、加速器の構成機器の設計・製作及びそれに関連する精密加工技術等の研究開発における国内では先導的な研究開発の基盤として、主に加速器を中心とした研究コミュニティの発展に寄与している。他機関の技術職員の研修受け入れ、国外研究機関をはじめとする機構外からの製作の依頼、公的機関や企業への技術指導など、拠点の一つとして機能している。

### 主な観点③（指標 C）

共通基盤研究施設は機構の共同利用を推進するための研究支援が主たるミッションで、共同利用の直接的な実施という面では限定的になるが、本研究施設に属さない研究者が、共同研究並びに共同開発研究を通して、以下の様な成果をあげた。

- ・超伝導磁石の応用に関連して、京都大学などが高温超伝導磁石の加速器応用などで高い成果を上げている。また Nb<sub>3</sub>Sn 超伝導線材の開発では共同研究を実施する民間企業が高い成果を上げている。
- ・複数の大学ならびに研究開発法人の研究者が参加する機構独自の仕組みである共同開発研究により実施された宇宙線量計の開発研究は、2016 年～2018 年にわたって行われた国際宇宙ステーション(ISS)における測定実証実験を経て、月火星探査の次期有人飛行計画へとつながる高い成果を得た。
- ・共同利用者・共同研究者への支援という点では、放射線をはじめとする安全な作業環境の構築、ネットワーク環境やセキュリティ等の提供、限られた共同利用実験時間内の装置故障に対応した部品の急遽製作や装置改造等の迅速な部品供給などを通して、関連研究者の高い成果につながっている。
- ・2017 年度まで実施された公募型研究制度大型シミュレーション研究は、本研究施設における唯一の共同利用であるが、課題採択を受けた機構以外の組織の研究者により、特に素粒子・原子核、宇宙物理理論数値計算において成果があがっている。(表4参照)

### 主な観点④（指標 D）

共通基盤研究施設は、機構の共同利用を推進するための研究支援が主たるミッションで、共同利用の直接的な実施という面では限定的になるが、例えば、放射線輸送コードの開発、スーパーコンピュータを利用した連携研究、先進超伝導磁石技術や先端的な極低温技術の開発、加速空洞の製造技術開発、自動制御ロボット技術の開発等に関連して国内外の大学研究機関と積極的に共同研究を推進している。共通基盤研究施設における共同研究等には以下の研究機関の研究者が参加している。

< 国外機関 >

- ・米国及びカナダ

フェルミ国立加速器研究所(FNAL)、アルゴンヌ国立研究所(ANL)、スタンフォード線形加速器センター(SLAC)、ローレンス・バークレイ国立研究所(LBNL)、ブルックヘブン国立研究所(BNL)、国立高磁場研究所(NHMFL)、ミシガン大学、カナダ放射光施設(CLS)、など

・欧州

欧州原子核研究機構(CERN)、ドイツ電子シンクロトロン(DESY)、チャルマース工科大学、仏原子力・代替エネルギー庁(CEA)、ローマ大学、など

・アジア・その他

中国科学院高能物理研究所(IHEP)、国立中央大学(台湾)、台湾國家同步輻射研究中心(NSRRC)、オーストラリア放射光施設(ALS)、など

<国内機関>

・国立大学

九州大学、東京大学、神戸大学、京都大学、広島大学、東北大学、など

・私立大学

東海大学、慶応大学、早稲田大学、など

・研究開発法人

日本原子力研究開発機構(JAEA)、量子科学技術研究開発機構(QST)、理化学研究所(理研)、産業技術総合研究所(産総研)、国立天文台、物質材料研究機構(NIMS) 宇宙航空研究開発機構(JAXA)、など

・国内企業

### Ⅲ. 国際性

国際共同研究を先導するなど、各研究分野における国際的な学術研究拠点としての機能を果たしていること

#### 【主な観点】

- ◎① 国際的な調査・研究活動について、当該研究分野における国際的な中核的研究施設であると認められること
- ◎② 海外の研究機関に在籍する研究者をアドバイザーや外部評価委員、運営委員会等の委員に任命するなど、当該研究分野の国際的な動向を把握し、運営に反映するために必要な体制が整備されていること
- ③ 研究者の在籍状況や外国人の共同研究者数・割合等について、当該研究分野において、国際的に中核的な研究施設であると認められること
- ④ 国際的な学術研究拠点として多様で優秀な人材を獲得するため、外国人研究者など人材の多様性や流動性の確保のための支援・取組が行われていること
- ⑤ 外国人研究者に向けた共同利用・共同研究体制の整備が十分に行われていること

#### 【自己検証結果】

##### 【検証する観点】

①、②、⑤

##### 【設定した指標】

- A 国際的な調査研究活動の状況
- B 国際連携、国際共同研究の実施状況
- C 海外研究者の評価、運営委員会への状況
- D 共同利用・共同研究に参加する外国人研究者に対し、申請施設の利用に関する技術的支援、必要な情報の提供その他の支援を行うために必要な体制の整備状況

#### 主な観点①（指標 A 及び B）

共通基盤研究施設における国際的調査研究活動については、分野により状況は異なるものの、以下のような活動をあげることができる。

- ・加速器安全研究で重要な加速器二次粒子生成に関する国際的な共同研究を CERN において主導して行っている。2015 年から、CERN・放射線安全グループの要請に基づき、CERN 高エネルギー二次粒子照射施設での中性子エネルギー分布測定に係わる研究を開始した。この施設では、高エネルギー陽子により二次粒子を大量に発生させ、様々な機器に対する照射影響調査が行われている。本研究では、中性子エネルギー分布測定だけでなく、高エネルギー加速器遮蔽のためのデータの取得を目的とし、CERN、広島大学、九州大学、京都

大学、清水建設、産業技術総合研究所等の機関と連携して実験を主導した。成果は、国際学会や学術論文として公表され、2編の学位論文にもまとめられた。この中には、経済協力開発機構・原子力機関(OECD/NEA)遮蔽専門家会合での発表も含まれ、別途この会議で共通基盤研究施設が主導する加速器遮蔽に関する放射線輸送コード間のベンチマーク試験に利用されるなど、この分野における拠点研究機関としての機能を国際的に示した。

- ・計算科学分野では、Belle II 実験における国際的なデータ解析分散計算機環境において共通基盤研究施設が中核拠点となっている。計算機の国際的な分業展開に関する運用指針について、22 カ国以上と協定を取り交しながら実施している。各国の資源提供の割合義務等については、毎年行われる Belle II 実験グループの国際会議において現状の報告及び次年度以降の状況を議論し決定している。Geant4 の開発においては、11 以上の国際研究機関及び国が参加しているが、中核施設として、その oversight board にメンバーを出すとともに、tracking WG のリーダーを務めている。
- ・超伝導低温工学分野では、ほぼ全ての研究開発が国際協力で行われているが、高強度アルミ安定化超伝導線材による COMET 及びミュオン  $g-2$ /EDM 実験用超伝導磁石開発のための FNAL との共同研究や、重力波望遠鏡 KAGRA 用の極低温鏡懸架システムを海外の重力波計画へ適応を目指した伊・ローマ大学などとの共同研究のように、日本及び KEK の特徴的な技術を生かした国際共同研究が多く推進されている。またアジアでは唯一 HL-LHC へ貢献する大口径超伝導二極磁石のレベルの大型加速器超伝導磁石の開発経験及び能力を有する。
- ・機械工学分野では、DESY、CERN、FNAL と連携して、超伝導加速空洞の製造方法について開発研究を行っている。ニオブ・インゴット(鑄塊)をスライスした円盤状材料(ラージグレインニオブ材料)を用いた空洞製造やレーザー溶接技術の導入など製造工程について研究が行われ、空洞製造に関するコストダウンや空洞の性能向上に大きく寄与することが期待される。また、自動試料交換システムに関しては、放射光研究施設(PF)と同様のシステムを用いているスタンフォード放射光研究所(SSRL)、台湾國家同步輻射研究中心(NSRRC)、カナダ放射光施設(CLS)、オーストラリア放射光施設(ALS)のタンパク質構造解析ビームラインの研究者と連携を諮り、過去に2回合同ワークショップを開催した。これらの拠点ではベースとなる試料交換システムは同じであるが装置改良は個々に行われ、特に共通基盤研究施設の開発したシステムはトップクラスの試料交換速度と安定性を実現しており、海外機関への装置導入の支援した実績がある。この分野の中核機関として、ヨーロッパの放射光施設とも試料交換システムに関して情報交換を行い、世界中の試料交換システムの互換性についての議論を主導している。

#### 主な観点② (指標 C 及び指標 A)

機構における研究支援が主たるミッションであるために、独自に海外研究者によるアドバイザーや外部評価委員を設置することはしていない。機構が設置する国際諮問委員会による

評価は実施されている。

分野別では、例えば中央計算機の構築・運用にあたっては国際的な実験グループである Belle II 実験グループと常に連携・協調して行っている。Belle II 実験のデータ解析のための計算機環境は、CERN LHC のために開発された WLCG(Worldwide LHC Grid)の枠組みを利用するために、関連する国際会議、委員会等に参加し関与・貢献を行っている。また、Belle II 実験に計算機資源を提供する各国の計算機拠点と MoU を結び必要な体制を整えている。

欧米を中心とした主要な加速器研究所とは常に共同研究を推進するなどして情報収集を行っている。また、主要な国際学会などの各種委員を数多く積極的に引き受けることで能動的に国際動向の収集を行っている。(表5参照)

表5 機構外の研究機関(国内、国外)への貢献状況<sup>\*1)</sup> (件数)

年度	国内研究機関	海外・国際研究機関
2016 年度	57	19
2017 年度	57	19
2018 年度	66	26
2019 年度	50	24
計	230	88

\*1) 国際会議の運営委員、レビュー委員、並びに学会の役員などの数

#### 主な観点⑤ (指標 D)

- ・放射線施設利用に関わる申請書は英語版を用意し、直接受付をしている。放射線業務従事者教育訓練(対象は新規者及び継続更新者。更新者については毎年実施)を日本語と英語の両方で実施し、外国人研究者が無理なく放射線作業に従事できるようにしている。放射線障害予防規程などの放射線関連規則を英訳し、また放射線関連の標識にも英語表記を付加するなどして、外国人研究者が機構内で放射線作業に従事する場合の安全確保に努めている。
- ・中央計算機利用者のおおよそ 1/3 が国外機関の外国人研究者である。計算機利用に関する案内、申請及びマニュアルについては英語記載のものを用意し、提供している。
- ・事務業務においては英語対応が可能な職員を、各事務室に配置している。実験グループの職員及びユーザズオフィスの協力を得て、外国人からの施設利用に関する問い合わせにも対応している。
- ・共通基盤研究施設のホームページでは英語版コンテンツを提供し、共通基盤研究施設の情報発信ばかりでなく、申請や利用方法等の周知に関して、海外研究者に対して支援を行う体制を整えている。

## IV. 研究資源

最先端の大型装置や貴重な学術資料・データ等、個々の大学では整備・運用が困難な卓越した学術研究基盤を保有・拡充し、これらを国内外の研究者コミュニティの視点から、持続的かつ発展的に共同利用・共同研究に供していること

### 【主な観点】

- ◎① 共同利用及び共同研究のために保有している施設、設備、学術資料、データベース等の研究資源が、仕様、稼働状況、利用状況等に鑑み、当該研究分野における国際的な水準に照らして、卓越したものと認められること
- ◎② 施設、設備、学術資料、データベース等の研究資源を保有し、学術研究基盤として外国人研究者を含め、共同利用・共同研究に活発に利用されていること
- ③ 国内外の大学（共同利用・共同研究拠点を含む。）や研究機関等と連携してネットワークを形成し、施設、設備、学術資料、データベース等の研究資源の整備や共同運用に取り組んでいること
- ④ 共同利用・共同研究に参加する関連研究者に対する支援業務に従事する専任職員（教員、技術職員、事務職員等）が十分に配置されていること

### 【自己検証結果】

#### 【検証する観点】

①、②、③、④

#### 【設定した指標】

- A 保有している施設、設備、学術資料、データベース等の研究資源による共同利用・共同利用研究の状況
- B 共同利用・共同利用支援体制の整備状況

#### 主な観点①（指標 A 及び B）

共同利用・共同研究に直接供するものではないが、その推進を支えるために重要な、以下の施設や設備を備え、維持運用している。いずれの施設及び設備も大規模かつ卓越した機能を有し、国際的に見ても限られた研究所にしかない特徴有るものである。

これらの施設設備は老朽化が顕著になりつつあったが、機構の継続的な支援により、現中期計画期間中に更新や改修等の整備が進み、本来の機能を維持向上させている。

・中央計算機： Belle II における計算機資源は国際的な分散計算機環境により提供し合うが、国際データセンターとして中央計算機の主要部分を提供する。巨大な加速器を利用し、複雑な検出器から取得された多量な実験データを安全に保存する国内有数のデータストレージシステムを有する。（表2参照）

- ・放射線同位元素取扱施設及び保管設備： 取扱施設は非密封・密封放射性同位元素や核燃料物質等の放射性物質、及び加速器の運転により発生する大量の放射化物の使用のための施設で、保管設備はそれらの保管を目的とし、放射線発生装置や取扱施設に付随して設置される。保有する発生装置や放射性同位元素等が多種多様になるため、これらの施設設備は国内加速器施設では最大規模となる。
- ・放射線標準照射・較正設備： 測定器開発や性能維持並びに新規開発を目的に、中性子、X線、ガンマ線などの多様な放射線を広いエネルギー範囲で照射することが可能な放射線標準照射・較正設備を整備運用している。特に、黒鉛パイルを用いた熱中性子照射設備は国内では共通基盤研究施設のほか産総研及びJAEAが保有するのみで、加速器関連施設では本研究施設以外にない。
- ・連続放射線集中監視システム： 加速器周辺や敷地境界において、200台以上の放射線モニターを用いて中性子や光子などの放射線や排気・排水中放射能を連続監視する放射線集中監視装置を維持運用し、加速器の安全な運転に供している。
- ・放射線安全管理システム： 職員、共同利用者並びに外来業者等の放射線業務従事者登録システム、管理区域出入監視システム、放射化物管理システム、化学薬品取扱管理システムなどの多種多様なシステムの開発と運用を行っている。さらに、化学分析のための種々の分析装置を保有し、大型加速器運転維持に必要な分析に使用している。
- ・スーパーコンピュータ： 1Peta FLOPS級のスーパーコンピュータを有し共同利用に供した。また、企業との共同研究により、新しい技術を用いた液浸冷却によるメニーコア型スパコンシステムを開発、素粒子・原子核数値理論計算における効率的利用について研究している。(表4参照) 同システムは、2017年にその低消費電力及び高密度実装が評価され、世界第2位を受賞した。(https://www2.kek.jp/arl/index.html#topics-20171121-suiren2)
- ・大型極低温システム： つくば及び東海両キャンパスに、大型のヘリウム液化機とキャンパス内に張り巡らされたヘリウム回収ラインによる利用済みヘリウムの回収、再利用ができる液化回収設備を設置している。回収率は90%を超える。(図3参照) つくばキャンパスには7mクラスの大型加速器超伝導磁石の試験が極低温(1.8K)で効率的にできる世界最大クラスの超伝導磁石試験設備がある。この試験設備はJ-PARCやLHCにおける超伝導磁石開発に利用されている。また超伝導線材試験用として15Tの磁場中で超伝導線材に応力を加えた状態での臨界電流測定が可能な装置があり、これはこれからの高磁場超伝導磁石開発には必須な装置である一方、世界的にまだこれを整備する機関は少なく貴重な実験設備である。
- ・空洞製造技術開発施設(CFF)： 加速器研究施設・応用超伝導加速器センター(CASA)と共同して運用している施設で、クラス100,000のクリーンルーム内に大型電子ビーム溶接機、プレス機、化学研磨設備などを配備し、すべての空洞製造工程が実施可能である。国際リニアコライダー(ILC)をはじめとする先端加速器で必要とされる超伝導加速空洞について、実際の加速器に組み込まれる9セル空洞の製造技術の開発だけでなく、空洞材料の選定

に関わる材料試験や加速性能評価試験用空洞を様々な条件で製造し、これらの製造技術の確立と、高効率化、低コスト化の実現を目指している。

#### 主な観点②（指標 A 及び B）

機構における研究支援を目的としているために、上記の保有施設の共同利用・共同研究への利用は限定的である。ただし、SuperKEKB、J-PARC、PF、コンパクト ERL 等 KEK プロジェクトへの貢献、あるいは KAGRA や LHC など他の機関と協力して推進する KEK 外プロジェクトに対して、「主な観点①」で述べた研究資源を活用して、主体的かつ多大な貢献をしている。

#### 主な観点③(指標 A 及び B)

・有形な施設・設備ではないが、同等の研究資源である放射線輸送計算コードの開発・維持並びに整備改良を、以下の機関との国際共同研究を通して行っている。

EGS: ミシガン大学、スタンフォード線形加速器センター(SLAC)

PHITS: JAEA、理研、九州大学、スウェーデン・チャルマース工科大学、  
仏原子力・代替エネルギー庁(CEA)など

Geant4: CERN など

・超伝導電磁石の開発を CERN や米国のフェルミ国立研究所(FNAL)、ローレンス・バークレイ国立研究所(LBNL)、ブルックヘブン国立研究所(BNL)、国立高磁場研究所(NHMF)と共同研究を戦略的に展開することによって国際的なネットワークを構築、またこれらの共同研究の中に京都大学、東北大学、物質・材料研究機構(NIMS)などを取り込むことによって国内的にもネットワークを広げ施設設備の共用化や実験環境に応じた研究分担などを戦略的に行なっている。

#### 主な観点④(指標 B)

共通基盤研究施設における専任の教員数は 40 名前後、技術職員は 35 名前後であり、全員が基本的に研究支援業務を担う。加えて事務や研究補助を担当する非常勤職員が 12～15 名程度配置されている。人的資源について、同分野の海外の拠点となる研究所・研究機関と比較すると極端に少ないレベルであり、実際に充分とはいえないが、効率化や集約を工夫し支援業務をこなしている。今回行った意見聴取においても、人員確保への取り組みの努力が必要である点が指摘されている。(図1及び表1参照)

## V. 新分野の創出

社会の変化や学術研究の動向に対応して、新たな学問分野の創出や展開に戦略的に取り組んでいること

### 【主な観点】

- ◎① 学際的・融合的領域における当該機関の研究実績やその水準について、研究分野の特性に応じ、著しく高い成果を挙げていると認められること
- ◎② 学際的・融合的領域において当該機関に属さない関連研究者が当該機関を利用して行った共同利用・共同研究による研究実績やその水準について、研究分野の特性に応じ、著しく高い成果を挙げていると認められること
- ◎③ 研究の進展に応じた異分野の融合と新分野の創出のため、他の大学（共同利用・共同研究拠点を含む。）や研究機関等との連携について、研究組織の再編等の必要性を含め定期的に検討を行っていること

### 【自己検証結果】

#### 【検証する観点】

①、②、③

#### 【設定した指標】

- A 学際的・融合的領域における成果。(加速器、放射線、宇宙開発、生物、医学治療など複数の領域に関連する学際的・融合的領域の創出、応用展開に向けて取り組んでいるもの)
- B 他の大学(共同利用・共同研究拠点を含む。)や研究機関等との連携について、研究組織の再編等の必要性を含め定期的に検討の状況

#### 主な観点①（指標 A）

共通基盤研究施設のミッションが研究支援であることから、新分野創出・分野融合に関わる研究は限定的である。しかしながら、以下に挙げるような、研究支援に関連する開発研究をベースにした学際的研究や分野をまたぐ応用・利用研究が行われている。

・宇宙利用分野並びに生物分野と連携して、宇宙における放射線量測定システムの確立を目指した研究が行われている。先に受動型線量計として開発した PADLES は、現在国際宇宙ステーションにおいて宇宙飛行士用個人線量計や船内環境モニターとして使用されるなどの卓越した実績がある。開発が進む位置有感生体組織等価比例計数箱 (PS-TEPC) は、加速器放射線測定技術や高エネルギー物理学実験の検出器技術を生かし、地上とは全く様相の異なる荷電粒子や中性子が主体の宇宙放射線場において、入射放射線の飛跡、吸収エネルギー、及び放射線種による人体影響と関連付けられる LET (線エネルギー付与)

を直接測定し、線量をその定義に忠実に評価可能な能動型実時間線量計として、共通基盤研究施設が主導して開発しているものである。生体組織等価物質を用いた線量計は、人体に対する放射線の影響を模擬できるため線量計測において多くの利点を持つ。特に、高エネルギーかつ幅広い種類の荷電粒子が飛び交う宇宙環境ではリアルタイムに入射粒子毎に LET を測定することが肝要であることから、将来の有人宇宙飛行の際の線量計として PS-TEPC への期待は極めて大きい。これは世界各国の宇宙機関が将来計画として有人宇宙長期滞在を計画、推進していることに対応するもので、理想的な宇宙放射線線量計測システムを確立することで将来の宇宙開発に資することが目標である。2016 年には実際の宇宙放射線環境における実証試験として PS-TEPC を国際宇宙ステーション (ISS) へ打ち上げ、船内での試験運用を行った。同年 12 月から 2018 年 3 月に至る 1 年 4 か月の運用で多くの試験データを取得、宇宙放射線による線量評価を行う上で PS-TEPC が十分な性能を有することを実証した。また、船内の LET 分布を導出した世界初の事例となった。この実証試験は、運用終了後、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) による審査を受け、装置開発・技術実証に関わる成功基準を十分に満たしたとして「フルサクセス」の評価を受けている。本研究は JAXA 並びに (財) 日本宇宙フォーラムとの共同研究で行われており、また慶応大学医学部や神戸大理学部、JAXA 有人宇宙センターなど、広い分野の大学及び研究機関の研究者が参画した KEK 共同開発研究として遂行されている。

- ・放射線輸送計算コードの生物応用や医学治療分野への応用が進む。特に、Geant4においては、粒子線治療シミュレーションを行うためのフレームワーク PTSim とシミュレーション結果の三次元可視化ツール gMocren が開発され、PTSim は放射線医学総合研究所、国立がん研究センター、兵庫県立がんセンターなどの国内の粒子線施設でのシミュレーションに実際に利用されている。海外での利用としては、北米での粒子線シミュレーションのグループとの研究協力も行っている。また、gMocren のソフトウェアを公開し、放射線医学応用のユーザーに利用してもらい、機能改善を継続的に行っている。さらに、生物学への応用として DNA の放射線損傷メカニズムの解明に関連した研究も進めている。放射線を細胞にあてるとラジカル等の活性種が生じ、それが DNA 分子と反応してダメージを与えるが、シミュレーションで DNA 損傷を見積もることができれば、低線量被曝による人体への影響をより定量的に評価でき、がんの放射線治療の高度化に向けた発展的研究にも繋がると期待できる。従来このような精密なシミュレーションには、膨大な計算時間が必要でありシミュレーションを行うことが現実的でないこともあった。並列計算技術活用やもともとはグラフィック描画を高速化するために開発された GPGPU を利用するなどにより、千倍以上の高速化を図るなどの開発も併せて行っている。
- ・機械工学をベースにした異分野への技術支援が進められている。例えば、液圧成形による超伝導加速空洞の製造に関する研究、タンパク質結晶交換システムを用いるための試料準備協働ロボットの開発、ジャイロを用いた高精度な方位角検出に関する研究などである。また、AI を用いた画像処理、データ処理に関する研究も行っており、本機構・物質構造科学

研究所・構造生物学研究センターと連携して行ったタンパク質の結晶成長のスコアリングに関する研究、素粒子原子核研究所と連携して行った宇宙背景放射の技術を用いたゲリラ豪雨の予測に関する研究につながっている。タンパク質の結晶の有無を画像から判断する研究は多く行われているが、本研究では結晶成長途中の画像を用いて、将来結晶ができやすいかどうかを予測するために深層学習を用いて取り組んだ。宇宙背景放射の測定装置は大気中の水蒸気を検出しないような周波数を用いて測定を行うが、逆にその周波数帯を用いて大気中の水蒸気を検出し、降雨の予測につなげる研究が素粒子原子核研究所で行われており、得られた水蒸気データと実際の降雨データとを結びつけることができるかどうか AI を用いて検討している。

#### 主な観点②（指標 A）

共通基盤研究施設は機構における研究支援が主たるミッションであるために、学術的・融合的領域での共同利用・共同研究は限定的であるが、以下の実績がある。

- ・高エネルギー物理学実験や X 線天文学の分野で開発された微細電極構造二次元検出器や Time Projection Chamber (TPC) の技術を生かし、位置有感生体組織等価比例計数箱の開発を JAXA、慶応大学、神戸大学などの研究者が KEK 共同開発研究に参加して実施、ISS での実証実験を行い、宇宙利用の領域で高い成果を上げた。

#### 主な観点③（指標 B）

先に述べた、宇宙線量計並びに放射線輸送計算コードに関する研究においては国内外の研究機関、大学等との共同研究などの連携で行われている。その形態については、研究の進展を見ながら、連携の内容や方法、要員の確保等について検討が常時なされている。

## VI. 人材育成

優れた研究環境を活かした若手研究者の育成やその活躍機会の創出に貢献していること

### 【主な観点】

- ① 総合研究大学院大学の基盤機関として、大学と協力し、大学共同利用機関の優れた研究環境を活用して主体的に当該分野の後継者の育成等に取り組んでいること
- ② 連携大学院制度等を活用し、国内外の大学院生を受け入れ、共同利用・共同研究に参加させるなど大学院教育に積極的に関与していること
- ③ ポストドクター等の時限付き職員の任期終了後のキャリア支援に取り組むなど、若手研究者の自立支援や登用を進め、研究に取り組みやすい環境を整備していること
- ◎④ 若手研究者（海外研究者を含む。）の採用や育成に積極的に取り組んでいること
- ◎⑤ 女性研究者を含めた人材の多様化に取り組んでいること
- ◎⑥ 先端的・国際的な共同研究等への大学院生の参画を通じた人材育成に取り組んでいること

### 【自己検証結果】

#### 【検証する観点】

- ①、②、③、④、⑤、⑥

#### 【設定した指標】

- A 総合研究大学院大学の基盤機関としての取組状況（学生数、学位授与数等）とその卒業後支援
- B 特別共同利用研究員（受託大学院生）の受入状況
- C ポストドクターを含む若手研究者の採用・支援の取組状況
- D 女性研究者等の人数・割合

#### 主な観点①（指標 A）

大学院教育に積極的に関与し、また外国人留学生も極めて積極的に受け入れている。

総研大加速器科学専攻では、「加速器概論」において毎年前・後期に日本語と英語による「放射線の相互作用と検出」、「加速器用超伝導磁石技術」、「加速器科学に関連する機械工学」の講義を実施しているほか、「放射線計測特論」「放射線防護特論」「素粒子反応の自動計算システム」、「計算科学概論」「データ収集法特論」「超伝導・低温技術概論」「低温技術特論」などの授業を日本語あるいは英語で開講している。2020年度からは「データサイエンス入門」を新規に開講する。また、「加速器工学特別演習」において在学生に対する学位論文指導を行っている。2016年度～2019年度までの期間（「当該期間」という）、本機関に在籍した総研大加速器科学専攻の博士後期課程学生の延べ数は26名で、このうち外国人留学生が

16名で6割以上を占める。(表6参照) 当該期間に、社会人学生1名が在学し、これを含む4名が学位を取得した。学位取得後は研究者、技術者として加速器科学関連分野で活躍している。

表6 共通基盤研究施設における大学院生及び博士研究員の在籍数(人)

年度	総合研究大学院大学	特別共同利用研究員	博士研究員
2016年	4(3)[-]	3(1)	4
2017年	7(3)[-]	6(2)	1
2018年	8(5)[2]	6(1)	2
2019年	7(5)[2]	4(0)	1

\*( )は外国人留学生数、[ ]は学位取得数

#### 主な観点②(指標B)

国内外の大学から大学院生を受入、大学院教育に積極的に取り組んでいる。

同期間において延べ16名の東京大学をはじめとする大学院学生を特別共同利用研究員として受け入れ、学位論文指導や研究指導を行った。その中には海外からの留学生も含まれる。(表6参照)

#### 主な観点③(指標C)

任期付き職員をはじめとする若手研究員の育成に積極的に取り組み、そのキャリアパス形成に寄与した。

課程を修了し博士号を取得した4名のうち、社会人学生1名は自社の研究職として、他の3名はQST及びKEK研究員として活躍している。また、共通基盤研究施設で博士研究員(任期付)として勤務した5名全員は、研究職(JAEA研究職、企業研究職、KEK助教)に採用され、キャリアパスとして十分機能した。

#### 主な観点④(指標A及びC)

将来国際的なネットワーク形成の中核となることが期待される留学生、若手研究者の採用や育成に積極的に取り組んでいる。

共通基盤研究施設在籍の総研大学生のうち6割強が留学生であり、彼らは将来国際的な研究ネットワークの中核となることが期待される研究者である。また、当該期間に助教として採用された者は計6名、博士研究員が6名採用されており、若手研究者の採用や育成に配慮して取り組んでいる。令和2年度より外国籍の博士研究員並びに研究員が各1名採用された。外国籍職員の採用が進まないのは、支援業務の関連から国内法による申請や検査などの対応が必要で、日本語能力が必須という面があることは否定できない。

#### 主な観点⑤（指標 A 及び C）

女性研究者数増大への取り組みを、若年層を中心として積極的に行っているものの、女性教員比率は 2.5%で十分とはいえない。共通基盤研究施設における技術職員は教員と協働して研究開発、支援業務に当たっており研究者と見なせるが、その女性比率は 15%程度である。技術職員については応募もあり、適材適所で女性を積極的に採用するよう取り組んでいる。（図1参照）

女性研究者数については、共通基盤研究施設が展開する研究分野に女性が極端に少ないため苦戦しているが、JST 女子中高生の理系進路選択支援プログラムや女子中高生夏の学校に実行委員として参画し育成に協力している。また、機構が実施する海外若手女性研究者受入事業（アテナ）プログラムにより海外女性大学院生を継続して受入れ、総研大への入学になっている。当該期間に在籍した総研大の女子学生は3名で、すべて留学生である。

#### 主な観点⑥（指標なし）

大学院生は個々に研究テーマが与えられるので、すべてが国際共同研究には結びつかないが、一部は関連したテーマで研究を行なった。

当該期間に総研大に在籍した9名のうち2名、特別共同利用研究員の3名は、KAGRA 等の先端的・国際的な共同研究に密接に関連したテーマで研究を行った。また、国際的に活躍する訓練として、すべての大学院生は在学期間中に自身の研究テーマに対して国際会議等における講演発表を行うように指導される。

## Ⅶ. 社会との関わり

広く成果等を発信して、社会と協働し、社会の多様な課題解決に向けて取り組んでいること

### 【主な観点】

- ① 産業界等にも開かれた研究機関として、利用可能な研究設備、研究成果、研究環境等の大学共同利用機関が持つ機能を社会へ提供し、また、分かりやすく発信していること
- ② 地域社会や国全体の課題の解決に向けて貢献できる分野や内容について、それらの課題解決に取り組み、情報発信していること
- ◎③ 研究成果を広く社会と共有し、社会との協働・共創を通じて、新たな研究の展開につなげるとともに、社会の諸活動の振興に寄与していること
- ④ 研究成果を公開し、研究者のみならず広く社会における利活用に積極的に取り組むとともに、論文及び論文のエビデンスとしての研究データ等を公開・保存していること

### 【自己検証結果】

#### 【検証する観点】

- ①、②、③、④

#### 【設定した指標】

- A 研究成果、研究設備の社会への提供状況
- B 国や地域社会との連携状況
- C 情報発信・情報公開状況(シンポジウム、講演会・セミナー、研究会・ワークショップの実施状況等)
- D 産業連携の状況
- E 研究成果の公開状況

#### 主な観点① (指標 A)

共通基盤研究施設で開発、高度化された、放射線輸送計算コード、加速空洞製造技術、超伝導低温技術は、社会に公開され利用されている。またその普及も積極的に行っている。

・放射線輸送計算コード 放射線輸送計算コード EGS、PHITS 並びに Geant4を社会に公開している。PHITS は JAEA などと開発を進めているあらゆる種類の放射線を扱う汎用物理コードで、国内外の放射線研究並びに加速器施設の放射線評価に多く利用され、国内の粒子線治療や BNCT 施設の設計に利用された。定例の講習会のほか、マレーシア原子力研究所における PHITS 講習会を通じて東南アジアの加速器放射線研究の発展にも貢献して

いる。EGS の主な利用先は放射線検出器などの物理学の種々の分野で、最近ではがん放射線治療のシミュレーションを行う放射線医学分野に広がっている。社会的要請に応じて、EGS を用いて国際放射線防護委員会(ICRP)勧告に対応した3mm 線量等量の計算を行った。Geant4は、検出器シミュレータとして国内外の学術組織を中心として広範な利用があるが、最近では生物分野並びに医療分野への普及が広がり、それに伴う改良が進む。共通基盤研究施設発祥の3つのコードにおいては、それぞれ定期的に講演会、ワークショップなどを開催し普及に努めている、特に2019年に開催したEGS/Geant4/PHITS 合同の医学放射線シミュレーション研究会は、医学物理士認定機構から認定研修課程、講習会として単位が認定されるものとなり、多くの医療関係者の参加があった。

・超伝導加速空洞製造技術 空洞製造技術開発施設(CFF)では、施設が有する電子ビーム溶接機、プレス機、化学研磨設備等を産業界にも開放しており、蓄積したノウハウを学術指導契約により社会に提供している。

・超伝導低温工学技術 これまでに培った超伝導低温工学技術をより幅広く展開するために官民連携も含めた研究協力を様々な形で行い、その中でいくつかの重要な特許が取得されてきた。特筆すべきなのは、「荷電粒子線ビームの制御用電磁石及びこれを備えた照射治療装置」の特許で、QST・放射線医学総合研究所で現在稼働中の炭素線がん治療装置・超伝導ガントリー実現のための重要な要素技術となっている。同様の装置は、今後、山形大学のがん治療装置にも実装される予定で、開発した技術が重要な社会貢献となっている。

## 主な観点②（指標 B）

加速器施設廃止に伴う関連研究を国・原子力規制庁と連携して実施、福島原発事故に関連して国や自治体に対する協力・支援、事故処理に伴う東京電力への学術指導、技術提供などの貢献を行っている。

・加速器廃止関連研究 先に述べたように、2017年より、原子力規制庁放射線安全規制研究戦略的推進事業「加速器施設の廃止措置に係わる測定評価手法の確立」に取り組み、医療用を含む全国の加速器施設の放射化調査を実施している。加速器施設の廃止措置において、施設の取り扱い並びに放射化の判定は現行未確定な課題であり、重大かつ喫緊の課題である。本研究は、「放射性同位元素等の規制に関する法律」を踏まえながら、対象をPET用RI製造サイクロトロン施設、静電加速器施設、放射光実験施設、陽子線治療施設、重粒子線治療施設などの加速器施設とし、実際に廃止措置を進めるうえで必要な課題の抽出、放射化物の評価手法の確立を行い、全国の施設への普及をめざしている。

・福島原発事故に関連する協力と研究 福島原発事故の影響調査、収束に向けての対応並びに廃炉に関連して、放射線測定や自治体で開催される放射線関連教育の実施、原発サイト内での放射線測定手法開発など広く協力を行っている。100万トンにおよぶ汚染水のトリチウム以外のベータ線放出核種の推定など、汚染水の処理技術に関して重要な活動を行い学術論文として公開している。放射線測定や安全管理の専門家として、東京電力福島

第一原子力発電所事故対応のため環境放射能の調査に協力した。つくばキャンパスでは、震災直後から放射線測定を行い、現在も機構 HP を通じて線量率変化を公表している。原子力規制委員会の技術参与として、本研究施設の職員2名が原発サイト内での放射能の測定技術向上や作業員の被曝軽減に貢献した。廃炉に向けた作業を行う上で重要なことは、放射線作業環境を改善し作業員の被ばくを低減させ、経験を積んだ作業員が長期の作業を継続することができるようにすることである。そのために重要な放射線場の状況を把握する方法及び被ばく軽減法を提案し、放射線作業環境の改善に貢献した。また、線量率低減対策を立てる上で重要な主要な放射線同位元素(Cs-137)の強度を知るため、ガンマカメラを活用した手法を開発し実際にサイト内で使用した。福島県及び福島県飯舘村において、測定協力協定を結び、環境放射線の測定を継続して行い、住民に対する放射線(能)測定に関する技術指導に協力し、復興に向けての活動に寄与した。

### 主な観点③ (指標 C)

研究会の開催、アウトリーチ活動などを通して、得られた成果や分野の動向を広く認知してもらう活動を積極的に展開している。

・研究会の開催 共通基盤研究施では、放射線遮へい、放射線検出器、環境放射能という三つのコミュニティに対してそれぞれ、EGS 研究会、研究会「放射線検出器とその応用」、「環境放射能」研究会の 3 つの学術研究会を毎年主催し、各コミュニティの発展に貢献している。このうち、検出器に関する研究会は、応用物理学会や日本学術振興会の専門委員会との共催で開催され、2016 年及び 2018 年に国際会議として開催された。環境放射能研究会は、原発事故直後より放出された放射能の動態を測定・研究する研究者の標準的な発表の場となり、議論と連携を提供する場として周知されるようになった。研究会で発表された関連研究をまとめた冊子(KEK Report 2016-3)を刊行し、公表された研究成果の集約が行われている(Web 上でも公開されており、2020 年 3 月末までに 7349 件のアクセスがある)。このほかに EGS 研究会では普及のための講習会も兼ねており、同コードの放射線物理、測定器開発、線量評価、医療応用等への利用を広げている。2019 年には EGS、PHITS、Geant4 の合同で重要な医学分野に着目した「医用シミュレーション研究会」を実施し、コミュニティの活性化に貢献した。

これ以外にも、機械工学をキーワードとして大学・企業の最新の研究成果を発表するメカ・ワークショップ、大学院修士課程の学生を対象にしてコンピューティングの最新技術の講義やプログラム開発の実習などを行う「粒子物理コンピューティングサマースクール」などを毎年開催し、研究成果の公表や情報発信に努めている。表7に、本研究施設における研究会等の開催状況をまとめた。

表7 シンポジウム、セミナー、ワークショップ等の主催数（件数）

年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	計
国内会議件数	10	9	10	11	40
国際会議件数	3	5	3	1	12

・アウトリーチ活動 KEK 広報室と連携して、共通基盤研究施設で培われた技術のデモンストレーションや一般向けの講演などを通して広報活動を行っている。特に、超伝導技術のデモンストレーションである超伝導体の磁気浮上実験は非常に人気があり、毎年開催されているつくば市の科学フェスティバルや2009年、2010年に開催された宙博などでKEKブースの主要な展示となっている。近年ではKEKの一般見学においても主要な展示の一つとして年10回程度のデモンストレーションを行っている。

放射線に関する知識を平易に解説した「暮らしの中の放射線」と題した冊子を作製、改定を維持している。元々この冊子は放射線安全教育における新人教育用として企画されたが、制限なく広く公開しており、一般の方が放射線の知識を得る手段として広く活用されるようになった。また、大学や企業における放射線安全教育の教材としても頻繁に利用されている。

・産業連携 共通基盤研究施設では、地元企業と協力し、「ものづくり・商業・サービス新展開支援補助金」を獲得し、タンパク質結晶構造解析ビームラインにおける試料交換ロボット、ユーザー向けの試料準備システムを開発し、共同で特許出願を行った。さらに茨城県内の企業と協力して、いばらき産業大県創造基金を獲得し、同様のシステムを開発した。

「主な観点①」で述べた超伝導空洞製造に関しては、ニオブ材からの空圧加工成形技術に関する企業への技術指導や技術移転、表面処理技術に関する技術協力などにより、いくつかの地域企業への貢献がある。

#### 主な観点④（指標 E）

研究成果を、論文などで積極的に公開している。（表1参照） その研究成果についてはホームページなどを通じて紹介し、その解説を積極的に行っている。

## 自由記述

自己検証に当たり、共通基盤研究施設が関わる各分野における研究活動状況について、特に中核性や国際性を中心として、意見聴取を国内外の研究者（国内2名、国外4名）に対して実施した。国内を含めたのは、共通基盤研究施設が、「KEKの共同利用に対する研究支援と関連する開発研究の遂行」をそのミッションとして活動しているため、実際の支援対象となる機構内を含む国内のコミュニティや大学・研究機関からの大多数の国内研究者を代表する意見も重要と考えたからである。先の2017-2018年に実施した共通基盤研究施設外部評価の委員長には、今回あらためて本研究施設についての総合的な意見を求めた。その中で指摘されたのは、主に「人員確保に向けてのより一層の努力」と「定常的研究支援業務における効果や貢献の見える化への努力」の2点であった。極めて重要な指摘である。特に後者の点は、支援業務が必ずしも研究論文や外部資金獲得につながらない現状があることを考えると、課題として重く受け止め取り組んでいく必要がある。