環境報告 2021 KEK Environmental Report 2021



編集方針

高エネルギー加速器研究機構(KEK)は大型の粒子加速器を建設・運転し、加速器科学の総合的発展の拠点として研究を推進し、国内外の共同利用者に研究の場を提供するという使命を有しています。研究活動を行うに当たり、地域、地球環境保全は不可欠であることを認識し、持続可能な社会の創造のため取り組んでいる活動について職員、共同利用者、学生、関連企業、地域住民など幅広い層の方々にご理解いただけるよう作成しました。環境という概念を広く捉え、KEKの社会的責任を念頭において教育、地域交流等の社会貢献活動、労働安全衛生管理の状況についても記載しました。

■対象期間	2020 年 4 月~ 2021 年 3 月 ※この期間以外はそれぞれに明記しています。			
■対象範囲	大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構 ・つくばキャンパス 〒 305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1 ・東海キャンパス 〒 319-1106 茨城県那珂郡東海村大字白方 203-1			
■作成部署	高エネルギー加速器研究機構 環境・地球温暖化・省エネ対策連絡会、 施設部施設企画課 施設企画係、環境安全管理室			
■問合せ先	環境安全管理室 〒 305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1 TEL:029-864-5498 FAX:029-864-5567 E-mail:k-anzen@ml.post.kek.jp URL:http://rcwww.kek.jp/chem/			
■公開	2021年9月			



■ つくばキャンパス

つくばエクスプレス「つくば駅」下車、路線バスで約20分常磐自動車道「桜土浦」インターより約30分

■ 東海キャンパス

JR 常磐線「東海駅」下 車、タクシーで約 10 分 常磐自動車道「那珂 IC」「日立南太田 IC」より約 20 分 東水戸道路「ひたちなか IC」より約 20 分

CONTENTS

トップメッセージ ・・・・1	環境関連トピックス ・・・ 30
KEK の役割と組織 ・・・・・3 •KEK とは •KEK の目指すもの ・組織 •基礎データ ・実績データ	 Belle II 実験のデータ収集高効率向上の取り組み ビーム強度増強による物理実験の効率化一 J-PARC ハドロン実験施設 ― 環境に優しい高効率冷却システムを実現する新酸化物エネルギー材料の発見 PF-AR放射光源加速器の 5 GeV エネルギー省エネ運転 試料交換ロボットが可能にした実験スタイルの変革 広報活動のオンライン化への取り組み 環境に配慮した設備更新と運用
環境マネジメント・・・・ 12	■ 環境に配慮した設備更新と連用● ESCO 事業による CO₂ 削減
 環境方針 環境管理体制 環境目標・計画と達成度 環境負荷の全体像 総エネルギー投入量 電力 都市ガス 石油燃料 	社会との関わり・・・・ 41 ・広報活動 ・教育プログラムの実施 ・地域との共生活動 ・産学官の連携活動 ・安全安心文化の醸成 ・職場環境の向上
印刷用紙水資源ヘリウム温室効果ガス廃棄物・リサイクル	資料・・・・・・・・ 52 •環境データ集 •用語集
下水道大気環境会計	第三者意見・・・・・ 57
•環境関連法規の遵守状況	■コラム 一般家庭と KEK の電力使用量・・・15

環境データ集について

環境データ集 (p.52-53) にはキャンパスごとの環境データと換算係数を一覧表で掲載しています。

用語・略語について

用語集 (p.54-56) に掲載している用語については、p.3 以降の本文中最初に登場した際に、「**加速器**」のように青太字で記載しています。また、略語については、本文中に登場する略語を記載しています。

SDGs アイコンについて

各ページ右上に、関連する SDGs アイコンを記載しています。 SDGs については p.2 をご覧ください。

KEK の研究活動についてもっと知りたい方は下記をご覧下さい。

要暨

 \gg https://www.kek.jp/ja/PublicRelations/DigitalLibrary/Annual Report (英語のみ)

>> https://www2.kek.jp/library/ar/ar.html





トップメッセージ



大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構 機構長

山内正别

高エネルギー加速器研究機構(KEK)は、大型加速器を中心施設とする国際的な共同利用及び共同研究の拠点であり、宇宙・物質・生命の謎を解明するための基礎科学やその応用研究を推進して人類の知的資産の拡大に貢献しています。

現在 KEK のつくばキャンパスでは放射光利用のための電子加速器である PFと PF-AR が稼働しており、物質構造の解明、材料科学や生命現象の理解などに貢献を続けています。SuperKEKBと呼ばれる電子・陽電子衝突型加速器は、2019年の運転開始以来順調に性能を上げており、近い将来素粒子物理学において新しい進展をもたらすと期待されています。また、東海キャンパスでは日本原子力研究開発機構(JAEA)との共同プロジェクトである大強度陽子加速器施設J-PARC において、素粒子から物質・生命科学に至る幅広い研究が行われています。これらはいずれも世界最高水準の性能を誇る加速器で、そこで行われる研究は世界の科学研究をリードすると同時に、国内における学術レベルの向上や、後進の育成にも大きく貢献しています。

一方、KEK における研究では大型加速器の運用が中心となるため、現状では大電力を消費し大きな環境負荷をもたらすことが避けられません。これまで

KEKでは加速器の運転においては実効性のあるエネルギー管理を行うことに加えて、エネルギー利用の高効率化を目指す基盤技術の開発と装置の改善にも特に力を入れてきました。例えば、J-PARC加速器においては、加速の際に用いた電力を回収して再利用する電磁石電源への置き換え計画が進んでいます。また、SuperKEKB加速器では粒子を加速するための高周波加速空洞に超伝導技術を多用すること、ビームの輸送路には超伝導電磁石を用いることなどで環境、エネルギー負荷の低減を図っています。一方、オフィスや基盤施設の一般需要については、省エネパトロールを実施するなど、教職員が一丸となって環境負荷低減に対する積極的な取り組みを進めています。

このところ世界中で各国政府のイニシアティブのもと、短い期間のうちにカーボンニュートラル社会を目指す動きが急速に高まっており、日本においても2050年までに温室効果ガスの排出を実質ゼロにするという目標が掲げられています。今後はKEKにおいても可能な限りエネルギー消費を抑制しつつ研究成果を上げ続けるための知恵と工夫が一層重要になると同時に、環境問題に寄与する研究成果を発信し続けることも重要な責務であると考えております。

また、KEK では学術研究に加えて、2019 年度から 応用超伝導加速器センターを設け、将来の半導体製 造のための光源、核医学製剤、道路のアスファルト 長寿命化を目的とした加速器など社会に役立つ加速 器の開発に力を入れています。これらは新しい産業 につながり、環境負荷の低減にも役立つ技術を社会 に提供するもので、KEK が担う新たな役割であると 考えています。また、新型コロナウィルス感染症の拡 大に関連してウィルスの性質を解明する研究、また 有効な薬の開発につながる研究などを開始し、KEK の能力を最大限に活かしてこの人類的危機の克服に 貢献することとしています。

これらの KEK で行っている科学研究は、国民の皆

様のご理解とご支持をいただいて、初めて成り立つ ものです。このことを深く心にとどめ、地球環境保 全の大切さを認識しつつ、今後も省エネルギー、省 資源、資源循環を推進します。安全の確保と法令遵 守に十分配慮し、これらに関する情報を積極的に開 示し、地域社会と連携した環境配慮活動に取り組み ながら研究を進めていきたいと考えています。

本報告書では、単に事業活動に係る環境配慮の内 容にとどまることなく、研究成果、安全への取り組 み、社会活動など KEK の CSR (社会的責任)活動全 般も含めて、取りまとめを行いました。本報告書によ り KEK の事業活動を地域社会の皆様はもとより、広 く国民の皆様にご理解いただければ幸いです。

SUSTAINABLE GALS DEVELOPMENT GALS





































SDGs とは 「持続可能な開発目標 /Sustainable Development Goals (SDGs)」 であり、2015 年 9 月の国連サミットで採択さ れた「持続可能な開発のための 2030 アジェンダ」 に掲載され、17 の目標と 169 のターゲット、232 の指標が決められてお り、国際社会全体で取り組むことが求められている。

KEK の役割と組織

KEK とは

(1) 人類の知的資産の拡大に貢献します

自然界に働く法則や物質の基本構造を探求し、人類の知的資産の拡大に貢献します。素粒子・原子核や牛 命体を含む物質の構造・機能に関して高エネルギー加速器を用いた実験的研究や、理論的研究を推進します。

(2) 大学共同利用機関法人です

国内外の研究者と共同研究を行うとともに共同利用の場を提供し、大学の高度な教育・研究を支え、加速 器科学の最先端の研究や、関連分野の研究を発展させます。

(3) 世界に開かれた国際的な研究機関です

国際共同研究を積極的に推進します。アジア・オセアニア地域に位置する研究機関として、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の中心的役割を果たします。

(4) 教育協力・人材育成を進めます

総合研究大学院大学の基盤組織として、加速器科学の推進およびその先端的研究分野の開拓を担う人材を 養成します。また、大学院などへの教育協力を行い、加速器科学分野の人材育成を行います。



KEK の目指すもの

KEKでは、最先端の大型粒子加速器を用いて、宇宙の起源、物質や生命の根源を探求しています。研究者の自由な発想による「真理の追究」を目指して研究開発を推進しています。

この世界にある物質は、分子や原子の組み合わせからできています。その原子は原子核と電子から、原子核は陽子と中性子から構成されています。さらに陽子と中性子の中を探ると、最も小さな構成要素 (素粒子)である「ウォーク」にたどり着きます。一方、分子や原子の無数の集まりは私達の周りの様々な物質を構成し、その最も進んだ一形態としての生命体にまで行き着きます。KEK は加速器を用いて、素粒子や原子核の研究から原子や分子レベルでの物質の構造や機能の研究、生命体の生命活動の研究まで、幅広い基礎科学の研究を行っています。

高エネルギー加速器とは、電子や陽子などの粒子を、ほぼ光の速さまで加速して、高エネルギーの状態を作り出す装置です。この高エネルギー状態から作られる素粒子の世界を研究すると、誕生直後の宇宙の様子を探ることができます。また、加速器が作る光や中性子、ミュオンなどの量子ビームは、倍率の高い顕微鏡として、これまでに見ることができなかった物質の構造や、生命活動の研究を行うことができます。

素粒子・原子核の世界の研究

宇宙は約137億年前(±2億年)のビッグバンによって始まったと考えられています。宇宙が出来た当初は素粒子の世界でした。望遠鏡や人工衛星で宇宙を眺めるのに対し、KEKは加速器を用いて宇宙の初期状態を再現することで宇宙の研究を行います。

物質の構造や機能の研究

電子加速器で電子の軌道を曲げたときに生じる「**放射光**」という強い光や、電子を金属標的に衝突させて発生させる「**陽電子**」、陽子加速器で陽子を金属標的に衝突させ発生させる「中性子」や「**ミュオン**」という粒子を試料に照射し、さまざまな物質の構造や機能を原子や分子のレベルでの詳細な観察をすることで、物理学、化学、生物学、工学、農学、医学、薬学など幅広い分野の研究を行います。

世界の加速器科学は今、転換期を迎えています。

日本原子力研究開発機構 (JAEA) と共同で建設を進めてきた J-PARC が完成し、大強度陽子ビームを利用した新しい時代の素粒子・原子核の研究、および中性子・ミュオンによる物質生命科学の研究が始まりました。また、KEKB 加速器は積分ルミノシティの目標値を達成し、宇宙の謎のさらなる解明のために SuperKEKB (スーパー KEKB) として生まれ変わろうとしています。

放射光を利用した研究分野では、全世界的にその中心が第三世代光源から新第三世代光源を用いたものに 移行しつつあり、次世代の光源の建設計画も検討されています。

海外では今後の素粒子物理の方向性を大きく左右する大型ハドロン衝突型加速器 (LHC) が本格稼働し、国際協力で進めている次世代の電子・陽電子衝突型加速器である国際リニアコライダー (iLC) のための研究開発も工業化を視野に入れた新たな段階に入ろうとしています。

KEK は、このような転換期における研究計画を策定することを我が国の加速器科学の緊急の課題と認識し、2009 年から 5 か年間の具体的な研究計画である「KEK ロードマップ」を策定し、その実現に向けて日々努力しています。

組織



素粒子原子核研究所

素粒子原子核研究所では、この世界にある物質を 構成する素粒子や原子核、さらにそれらに働く力の 性質などを明らかにするため、実験と理論の両面か ら研究が行われています。それにより、素粒子をはじ めとした極微の世界の謎を解明し、現在の宇宙がど のように生まれたのかという根源的な謎に挑みます。

つくばキャンパスには、B 中間子を詳しく研究する、 SuperKEKB 加速器と Belle II 測定器が設置されてい ます。これらは、小林誠・益川敏英両博士の2008 年ノーベル物理学賞受賞を導くなど、輝かしい成果 をあげた KEKB 加速器、Belle 測定器を大幅にグレー ドアップしたものですが、2018年4月には改造後初 めての電子・陽電子の衝突を達成し、2019年3月か らは本格物理運転を開始しました。世界最高となる ルミノシティ (衝突頻度) を活かし、Belle 時代の 50 倍に及ぶ大量のデータを蓄積し、高い感度で新しい 物理法則を探索します。また、理論センターには多 くの物理学者が所属し、素粒子、原子核、宇宙物理 学など幅広い理論研究が行われています。

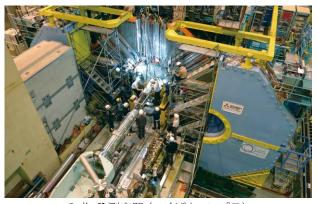
東海キャンパスでは、J-PARC の大強度陽子加速器 を利用した実験が行われています。

T2K 実験は、J-PARC のニュートリノ生成施設で作 り出した大強度ニュートリノビームを、J-PARC 敷地 内の前置検出器と 295 km 離れたスーパーカミオカ ンデに打ち込み、その振動現象の精密測定を通して

ニュートリノの謎に迫る国際共同研究です。また、ハ ドロン実験施設では、生成された多彩なハドロンか ら「強い力」に反応するハドロン・原子核の性質や構 造を調べる実験が行われているほか、ミューオンを 使った実験も準備されています。

理化学研究所 (和光市) にある和光原子核科学セ ンター(WNSC)では、元素選択型質量分離装置(KISS) が設置され、中性子が過剰な重い短寿命原子核の基 礎特性を調べる実験が行われています。また、最新 の多重反射型飛行時間測定式質量分析器 (MRTOF-MS) を用いた超ウラン元素の質量を直接測定するな どの実験も行われています。

一方、欧州合同原子核研究機関 (CERN)・大型ハ ドロン加速器(LHC)の ATLAS 実験、スイス・ポールシェ ラー研究所 (PSI)の MEG II 実験、南米チリで宇宙マ イクロ波背景放射 (CMB) の観測を行う POLARBEAR 実験、Simons Array 実験、カナダの TRIUMF 研究所 で超冷中性子 (UCN) を用いた電気双極子モーメント (EDM)の精密観測を行うTUCAN 実験など、海外が 拠点の実験にも参画しています。この他にも、国際 リニアコライダーの日本での実現を目指し、物理の 検討や測定器の建設準備研究を行っています。さら に、JAXA の CMB 観測衛星 LiteBIRD 計画に参画して います。



Belle II 測定器 (つくばキャンパス)



T2K 実験で使われる J-PARC の前置ニュートリノ検出器 (東 海キャンパス)

物質構造科学研究所

物質構造科学研究所では、電子加速器から発生す る放射光や低速陽電子、陽子加速器から作られる中 性子とミュオンを使い、物質・生命の構造とそのダイ ナミクスを分子や原子のスケールで解明する基礎研 究を行っています。

例えば、磁性や伝導性など、物質がもつ多彩な性 質を決定づける、原子の種類や並び、電子の振る舞 いを調べ、制御し、新しいテクノロジーの開発につな がる物質科学。また、資源・エネルギー源の乏しい 日本で求められる、太陽電池や燃料電池普及のため の水素貯蔵技術などの実現・普及、化学産業の低炭 素グリーンプロセス化(低環境負荷化)など、持続可 能な社会の実現を目指した研究を行っています。

そして、生命科学の分野では、生命現象を担う巨 大で複雑な分子であるタンパク質の立体構造を放射 光やクライオ電子顕微鏡によって解明しています。タ

ンパク質は、たった 20 種のアミノ酸が鎖のように つながり、折りたたまれて立体構造をとることによっ て、初めて多様な機能を発揮します。タンパク質の立 体構造を知ることは、その機能を見ることに等しく、 解明が進むことで病気発現の理解や、副作用の少な い新薬の開発へとつながります。

これらにより得られる機能発現に関する知見は、 新素材や新機能の開発など、私たちの生活をより快 適に、便利にする応用研究にもつながっています。

このような研究を推進するため、物質構造科学研 究所には、放射光実験施設および放射光科学研究 系、低速陽電子実験施設、中性子科学研究系、ミュ オン科学研究系という研究手法ごとのグループの 他、これらを横断的に活用する構造生物学研究セン ター、量子ビーム連携研究センターがあります。



ウォトンファクトリー実験ホール (つくばキャンパス)



J-PARC 物質・生命科学実験施設実験ホール (東海キャン パス)

加速器研究施設

加速器研究施設は KEK のすべての加速器の運転維持とビーム性能の向上を通じて、素粒子・原子核・物質・生命などの共同利用実験で用いられる多様なビームを、日本と世界の研究者に提供しています。また、さまざまな将来の加速器科学と関連技術の研究・設計・開発に取り組んでいます。

つくばキャンパスでは、シンクロトロン放射光利用の世界的パイオニアであるフォトンファクトリー (PFと PF-AR) などで共同利用実験を推進しています。また、2008年のノーベル物理学賞の受賞を決定づけた KEKB (電子陽電子リング及び線形加速器から成る Bファクトリー) の高度化計画である SuperKEKB の運用や、次世代放射光源のための研究開発にも取り組んでいます。さらに、国際リニアコライダー (ILC) の

ための技術開発を ATF、 STF などで行うとともに ERL 開発で培った技術を発展させるために、応用超伝導加速器センターが活動しています。

東海キャンパスでは、日本原子力研究開発機構と 共同で大強度陽子加速器施設 (J-PARC) を運用し、 物質・生命科学実験施設、ニュートリノ実験施設、 ハドロン実験施設に対して大強度陽子ビームを供給 しています。

また、加速器研究施設では米国(Fermilab、SLAC、Cornell 大学、JLab 等)、アジア(北京 IHEP、上海、浦項、台湾、BINP、RRCAT 等)、ヨーロッパ(CERN、DESY、INFN 等)などの世界の加速器研究者とさまざまな研究協力・交流を展開しています。



PF-AR 直接入射路(つくばキャンパス)



J-PARC RCS と取り出されたビームの分岐部(東海キャンパス)

共通基盤研究施設

大型加速器の開発・利用研究には、放射線防護、化学安全、コンピュータ・ネットワーク技術、超伝導・極低温技術、精密機械加工技術などの基盤技術が不可欠です。そのため、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並びに機械工学センターの4つのセンターが置かれ、これらの技術支援および開発研究が行われています。

放射線科学センターは、加速器の放射線防護・安全管理を行います。放射線検出法の技術開発や検出 器開発、放射線の挙動をシミュレーションし、遮蔽 や線量評価への応用を図る技術開発、加速器で生 成する放射化物の調査研究、環境放射能の分析など を行っています。また、加速器開発や実験に使用す る化学物質に関わる総合的な安全管理、分析法の 開発を行っています。

計算科学センターは、大型計算機システム、ネットワーク及びメールや Web サーバなどの KEK の情報環境の整備・運用を行うとともに、これに関連する開発・研究を行っています。大規模加速器実験におけるデータ解析や、スーパーコンピュータによる理論数値シミュレーション計算におけるデータ・計算資源を多国間、国内の研究機関の間で共有し、分散処理をするためのシステム開発・運用も行っています。

超伝導低温工学センターは、液体ヘリウムの供給 と極低温技術支援を行っています。また、加速器超伝 導電磁石の開発拠点の1つとして、欧州合同原子核 研究機関(CERN) に協力して、大型ハドロン衝突型加 速器(LHC)の高輝度化アップグレードのための超伝導 ビーム分離用大口径 2 極磁石の開発を進めるととも に、J-PARC においては COMET 実験用超伝導ソレノ



建設中の超伝導ビーム分離用大口径2極磁石

イドの建設を支援しています。

機械工学センターは、加速器・実験装置開発のた め、工作機械を使った製造と加工、組立、計測、設 計を行っています。超伝導加速空洞の製造技術の開 発、加速器でのロボット技術、低温環境での機器の 特性評価などの開発研究を行い、企業への技術移転 も進めています。



15,200 CPU コアを有する、中央計算機計算サーバ

J-PARC センター

大強度陽子加速器施設 J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex) は、KEK と日本原子 力研究開発機構 (JAEA) が共同で建設、運営する世 界最高クラスの大強度陽子ビームを生成する加速器 と、その大強度陽子ビームを利用する実験施設で構 成される最先端科学の研究施設です。高いエネル ギーまで加速された陽子を原子核標的に衝突させる と、原子核反応により、中性子、K中間子、π中間 子、ミュオン、ニュートリノ、反陽子などの多様な二 次粒子が生成されます。これらの二次粒子を利用し て、原子核物理、素粒子物理、物質科学、生命科学、 原子力工学の分野におけるさまざまな最先端の研 究を進めています。加速器はリニアック(LINAC)、3 GeV シンクロトロン (RCS)、30 GeV 主リング・シンク ロトロン (MR)で構成され、実験施設としては 3 GeV 陽子ビームにより生成される中性子とミュオンを利用 する物質・生命科学実験施設 (MLF)、MR からの陽 子ビームを利用するニュートリノ実験施設とハドロン 実験施設があります。

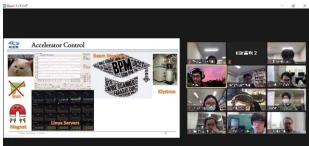
MLF では、中性子やミュオンを用いて物質の構造 や運動状態を解明し、新材料の開発などに役立てよ うとしています。ニュートリノ実験施設では、MRを 用いて発生させたニュートリノビームを射出し、295 km 離れた岐阜県神岡にある5万トンの水を水槽に ためた大型検出器スーパーカミオカンデで検出するこ とにより、ニュートリノの性質を解明するためのT2K 実験を進めています。ハドロン実験施設ではK中間 子、π中間子、ミュオンなどの二次粒子ビームを利 用して、物質の起源の謎に迫る様々な研究が進めら れています。



J-PARC の加速器施設と実験施設

総合研究大学院大学 高エネルギー加速器科学研究科 50 κ ε 50

加速器研究施設・共通基盤研究施設、物質構造 科学研究所、素粒子原子核研究所は総合研究大学院 大学(総研大)を支える基盤機関として、それぞれ、 高エネルギー加速器科学研究科加速器科学専攻、物 質構造科学専攻、素粒子原子核専攻の教育を担って います。本研究科では、KEK での研究活動を基礎に、 全専攻が緊密に協力して幅広い分野の大学院教育を 展開し新しい時代の研究者を養成しています。



2020 年度の「KEK スチューデント・デイ」。総研大生のほか、 各種制度により受け入れた大学院生がオンライン上で一堂 に会し、講演やグループ別発表を行った。

加速器科学専攻

加速器の原理研究や先端的加速器技術の開発な ど、理論・実験両面から加速器教育を実施していま す。放射線科学、コンピュータ・サイエンス、超伝導 技術、機械工学などの教育・研究を通じて、加速器 科学の将来を中心的に担う人材の総合的育成を行っ ています。

素粒子原子核専攻

素粒子および原子核物理学とその関連分野につい て、理論と実験の両面にわたる教育を行い、これら の分野の発展に貢献できる広い視野と高い専門性を 備えた人材を養成することを目指しています。

物質構造科学専攻

放射光・中性子・ミュオン・低速陽電子の4つの ビームプローブを用いて、物理・化学・生物・医学な どの様々な分野の物質構造科学研究を行っていま す。世界最先端のビームの発生と加工に関する学理 と応用開発研究、これらのビームプローブを用いた 物質構造と機能に関する基礎と先進的応用の研究を 行い、物質構造科学研究の将来を担う人材の養成を 目指しています。

KEK では、総研大における教育のほか、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 別共同利用研究員制度や連携大学院制度による大学 院生の教育にも協力を行っています。

基礎データ

■ 職員数 (2020 年 4 月現在) 〔単位:人〕

	機構長	理事	監事	研究教 育職員	特任 教員	研究員 等	技術 職員	事務職 員等	合計
役員・職員	1	5	2	347	-	_	152	165	672
その他有期雇用職員	-	-	-	22	14	130	72	179	417

■ 総合研究大学院大学学生数 (2020 年 4 月現在) 〔単位:人〕

加速器科学専攻	物質構造科学専攻	素粒子原子核専攻	合計
17	11	34	62

■ 予算(2020年度計画)〔単位:百万円〕

収入:33,929 支出:33,929

運営費交付金	18,710	業務費(教育研究経費)	16,389
補助金等収入	9,580	補助金等	9,580
産学連携等研究収入及び寄付金収入等	1,988	長期借入金償還金	2,614
施設整備費補助金	3,318	産学連携等研究経費及び寄付金事業等	1,988
自己収入(雑収入)	293	施設整備費	3,358

大学改革支援•学位授与機構施設費交付金 40

■ 施設 (2020 年 4 月現在) 〔単位: m²〕

	敷地面積	建物面積
つくばキャンパス	1,531,286	199,966
東海キャンパス	108,182	44,639

■沿革

1955 年 7月 東京大学原子核研究所設立(東京都田無町 現:西東京市)

1971年4月 高エネルギー物理学研究所設立 (茨城県大穂町 現:つくば市)

1978年4月 東京大学理学部付属施設中間子科学実験施設設立(茨城県大穂町 現:つくば市)

1997年4月 高エネルギー加速器研究機構設立(上記の3つの組織を改組・転換)

2004年4月 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構発足(法人化)

2005 年 4月 東海キャンパスの設置

2006 年 2 月 J-PARC センターを日本原子力研究開発機構と共同で設置

実績データ

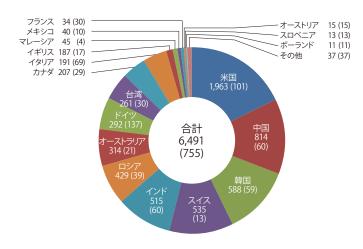
■ 共同利用実験の申請・採択・実施状況

項目	2020 年度			
区分	申請件数	採択件数	実施件数	
Bファクトリー実験	-	-	1	
放射光実験	323	312	590	
中性子実験(J-PARC)	97	90	71	
ミュオン実験 (J-PARC)	79	73	51	
ハドロン実験(J-PARC)	3	3	16	
ニュートリノ実験(J-PARC)	2	2	5	
マルチプローブ実験	0	0	1	
素粒子原子核宇宙シミュレーションプログラム	9	9	9	
元素選択型質量分離装置実験	2	2	2	
合計	515	491	764	

■ 2020 年度共同研究者等受入 〔単位:延人日(実人数)〕

先端加速器: 測定器開発 517 (50) Bファクトリ-4,753 (656) その他 6,327 (902) 合計 元素選択型 質量分離装置 13 (12) 34,255 (4,851)放射光 実験施設 15,147 マルチプローブ実験 41 (7) J-PARC (ニュートリノ) 1,020 (153) J-PARC (ミュオン) J-PARC (中性子) 1,072 (329) 934 (186)

■ 2020 年度外国機関共同研究者受入 (国·地域別)〔単位:延人日(実人数)〕



■ 2020 年度発表論文数 (共同利用・共同研究に基づくものを含む) 〔単位:本〕

区分	論文数
素粒子原子核研究所	416
物質構造科学研究所	769
加速器研究施設	179
共通基盤研究施設	52
その他	1
合計	1,417



環境マネジメント

環境方針

高エネルギー加速器研究機構 環境方針

◆ 基本理念

高エネルギー加速器研究機構は、研究・教育活動及びそれに伴うすべての事業活動において、地球環境の 保全を認識し、環境との調和と環境負荷の低減に努めます。

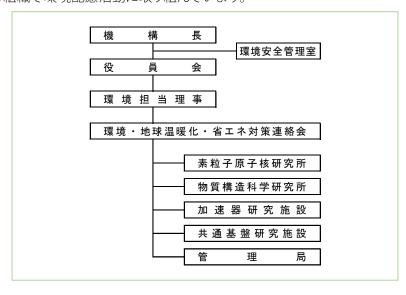
以上を念頭に置きつつ、研究・教育活動を積極的に推進するとともに、地球環境を維持・承継しつつ持続 的発展が可能な社会の構築を目指します。

◆ 基本方針

- 1. 省エネルギー、省資源、廃棄物の削減、放射線及び化学物質管理の徹底等を通じて、環境保全と環境 負荷の低減に努めます。
- 2. 環境関連法規、条例、協定及び自主基準を遵守します。
- 3. 環境配慮に関する情報公開を適切に行うとともに、地域社会の一員として地域の環境保全に貢献します。
- 4. 環境マネジメントシステムを確立し、継続的な改善を進めます。
- 5. 環境保全の目的及び目標を設定し、教職員の環境意識を向上させ、共同利用研究者、大学院生、外部関 連組織の関係者と協力してこれらの達成に努めます。

環境管理体制

KEK では、以下の組織で環境配慮活動に取り組んでいます。





環境目標・計画と達成度

KEKの 2020 年度環境目標・環境計画の達成度を以下に示します。達成度の評価基準は p.14 に示します。

環境保全と環境負荷の低減

環境目標	行動計画	主な取り組み	評価
温室効果ガス(CO ₂) 排出量の削減	2020 年度温室効果ガス排出量上限値目標: 265,741(t) 2005 年度排出量「273,960(t)」を基準とし、 毎年△1%	各項目による節減努力等により、目標 達成に貢献	0
	水の有効利用	感知式の洗浄弁・自動水栓等節水に有 効な器具の設置	0
建築物の建築、管理等に	敷地内の環境の維持管理	敷地内に生育するカヤを茅葺屋根の保 存用に提供するなど、廃棄物の排出削 減とともに文化財の保全等にも貢献	0
あたっての配慮	支障のない限りエネルギー消費量の少ない建 設機械の使用 建設廃棄物等の適正処理	エネルギー使用量の少ない建設機材の 使用等について仕様書への明記	0
	エネルギーの見える化による省エネ推進	分析結果等についての HP 等での公表	0
	次世代自動車の導入	公用車の更新時に配慮	0
	自動車の効率的利用	東海キャンパスとの往来(通勤含む) において、公用車の乗り合い、業務連 絡バスの利用促進	
	用紙類の使用量の削減	ペーパーレス会議の実施や両面コピー 等の継続した励行	0
	省エネルギー型 OA 機器等の導入		
財やサービスの購入・使用にあたっての配慮	再生紙などの再生品や合法木材を活用	 環境物品等の調達の推進	
/11/200/12 / 07出版	再生品等の活用	・省エネ型機器の購入	
	フロンの代替物質を使用した製品等の購入・ 使用の促進等	・コピー用紙、トイレットペーパーの再生紙利用	
	その他温室効果ガスの排出の少ない製品、原 材料等の選択	・リサイクル可能製品の購入	
	エネルギーを多く消費する自動販売機の設置 等の見直し	自販機の更新時において省エネ型機器 を導入	0
	エネルギー使用量の抑制	昼休みの消灯、人のいない場所の消灯 等の継続した励行	0
その他の事務・事業にあ	廃棄物の減量	トナーカートリッジの回収、書類等の溶解処理によるシュレッダー使用の抑制等 の実施	0
たっての温室効果ガスの 排出の抑制等への配慮	地球温暖化対策への戦略的取組	管理標準の改定、これらを含む省エネ対策について HP により職員への周知徹底	0
	一般需要以外の取り組み	休止期間における設備の経済的な運用、高効率機器への更新、ESCO事業の本格始動	0



環境目標	行動計画	主な取り組み	評価
ワークライフバランスの 配慮・職員に対する研修 等	職員に対する地球温暖化対策及び省エネル ギー対策に関する研修の機会の提供、情報提 供 情報発信		0
	省エネルギー等の教育啓発	情報について HP での公表	
	省エネルギー対策の推進		
その他	実験機器の省エネルギー、資源の有効活用 の推進	基盤技術の開発と装置の改善、将来型 加速器に向けた技術開発、実験材料や 機器の再利用	0

評価基準

- 目標を達成している
- △ 目標の達成するには更なる努力が必要
- 目標を達成できなかった

省エネアクションプラン 2020

 $\gg https://www.kek.jp/ja/disclosure/others/environment/media-environment/actionplan_2020.pdf$



環境負荷の全体像

2020 年度の環境負荷の全体像について以下に示します。 個別の項目の詳細については、次ページ以降に記載しています。 キャンパスごとのデータと換算係数については、p.52「環境データ集」をご覧ください。

投入量

総エネルギー投入量 3,814 TJ p.16

電力使用量 393 GWh ▶p.16

都市ガス使用量 140 千m³ p.17

石油燃料使用量 17 kL p.17

印刷用紙購入量 14 t p.18

水資源使用量 297 千m³ ▶p.18

太陽光発電量 75 MWh ▶p.17

ヘリウム **▶**p.18

排出量

CO₂ 排出量 180 ft-CO₂ **>p.19**

一般廃棄物排出量 84 t

産業廃棄物排出量 132 t ▶ p.20

実験系廃棄物排出量 16 t

放射性廃棄物排出量 7 kL ▶p.21

下水道排出量 81 千m³ p.22

大気中への排出 ばいじん、NOx、揮発性化学物質

>p.21

▶p.22

▶p.19

▶p.20

リサイクル

179 t

コラム

一般家庭と KEK の電力使用量

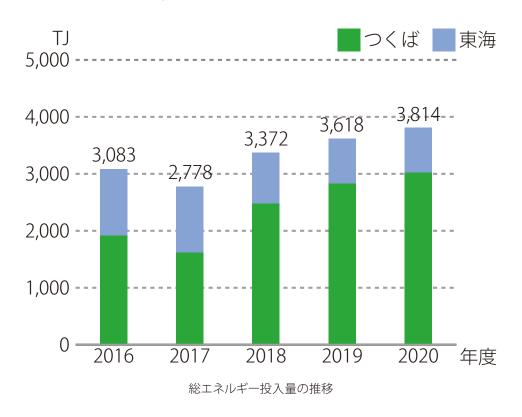
一般家庭1軒当たりの電力使用量は、1月当たり248.7 kWh(出典 東京電力、2015年)で、1年間では2,984 kWh(約0.003 GWh)です。KEKの電力使用量は一般家庭の約131,700軒分に相当します。





総エネルギー投入量

2020 年度は、393,075 MWh の電力、140 千 m³ の都市ガス、14 kL のガソリン、2 kL の軽油、0.5 kL の A 重 油を使用しました。これらのエネルギー投入量を熱量に換算すると 3,814 TJ(T(テラ)は 10¹² で、1 TJ = 1,000 GJ) であり、2019 年度と比べ 5% 増となりました。 つくばキャンパスでは 7% 増加し、東海キャンパスでは 1% 増加しました。換算係数については、p.53 をご参照ください。



電力

2020 年度は、つくばキャンパスにおいて、311,321 MWh の電力を使用しました。2019年度と比べ、7 % 増加しました。これは、SuperKEKB の本格稼働が 進み、運転時間が長くなったためです。一方、東海 キャンパスにおいては、81,754 MWh の電力を使用 し、2019年度と比べ微増しました。総エネルギー投 入量に占める割合は99%以上になります。

*J-PARC の電力使用量については、JAEA との協議による 分担分を記載しています。







都市ガス

都市ガスは主に実験室空調用及び実験冷却水用につくばキャンパスでのみ使用しています。2020年度は、2019年度と比べ19%減少しました。

ESCO 事業 (p.40 参照)で、PF エネルギーセンターではガス式冷温水機を電気式のターボ冷凍機へ更新し、4 号館では空調機をガス式から電気式へ更新したことによって、都市ガスの使用が大幅に減りました。



石油燃料

石油燃料は、公用車のガソリン・軽油及び自家発電に用いる A 重油が該当し、購入量を使用量としています。2020年度は、2019年度と比べ 16%減少しました。

なお、つくば一東海間を往復する業務連絡バスの 燃料は、請負業者の事業負担であるため含めていま せん。



太陽光発電量

つくばキャンパスでは、太陽光発電設備を管理棟 (50 kW) と 4 号館 (17 kW) の屋上に設置しています。2020 年度は、合わせて75 MWh を発電しました。





印刷用紙

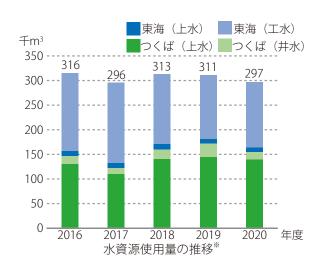
2020 年度の印刷用紙購入量は 14.3 t と、2019 年 度と比べ 34% 減少しました。

KEK ではペーパーレス会議の開催に努めており、こ れによる印刷用紙の削減量は年間約2.8tに上りま す。今後とも申請書等の電子化、ペーパーレス会議 の効率的な開催、両面印刷の徹底など、紙の使用 量削減に努めていきます。



水資源

KEK では、上水のほかに、つくばキャンパスでは 井水、東海キャンパスでは工水 (工業用水)を使用し ています。井水や工水は、実験装置冷却水や空調設 備のクーリングタワー (冷却塔)の循環水、便所洗浄 水等に使用しています。2020年度は、2019年度と 比べ、上水(つくば)は4%減少、井水は43%減少、 上水 (東海) は 3% 減少、工水は 2% 増加しました。 *J-PARC の上水及び工水は、JAEA との協議による分担分 を記載しています。



ヘリウム

ヘリウムは、元素中で最も低い沸点 (-269℃,1気 圧)を持ち、化学的にも放射線的にも非常に安定な 元素です。これらの性質故に、ヘリウムは、病院の MRI 等の超伝導機器、ガラスファイバーや半導体製 造などの先端技術に必要不可欠な元素となっていま す。このため、ヘリウムの消費量は年々増加する傾 向にあります。一方、ヘリウムは地球上において希少 な資源であるだけでなく、限られた天然ガス田から の副産物としてしか生産されないため、ヘリウムの 需給は不安定です。

KEK においてヘリウムは、極低温実験や超伝導技 術開発用の冷媒として非常に重要な役割を持ってい ます。超伝導技術は省エネルギー技術として重要な

環境技術の一つで、その開発は KEK の環境技術へ の貢献の一つの柱となっています。 KEK での液体へ リウムの需要は、次ページの図の通り、一研究機関 の需要としては非常に大きなものです。 このため KEK では、ヘリウムの循環再利用は大きな責務として捉 え、冷媒として供給した液体ヘリウムを使用後にガス ヘリウムとして回収し再利用しています。回収は比較 的高い割合で行われていますが、2020年度はつくば の富士実験室と放射光施設で回収率が下がっていま す。このためこれらの施設での回収率悪化の原因究 明を行うとともに、回収液化設備の改修・更新・拡 充やスタッフ・ユーザーへの教育を通して更なる回収 率の向上に努力しています。





KEK における液体ヘリウムの供給とガスヘリウムの回収率 2011 年における東海の回収率減少は東日本大震災の影響

温室効果ガス

2020 年度の CO_2 排出量は 179,990 t- CO_2 でした。 その内訳は電力使用量によるものが 99% 以上を占め ています。

2017年度までは、加速器施設などの運転以外に使用している研究棟、管理棟などの電力と都市ガス及び石油燃料等の"一般需要による CO₂ 排出量"について、「高エネルギー加速器研究機構における地球温暖化対策のための計画書」で 2008 年に設定した2006 年度比 5% 減の目標を維持してきました。

2018 年 3 月に「高エネルギー加速器研究機構における地球温暖化対策のための計画書」を 5 年毎の見直しにより改訂し、KEK 全体の CO_2 排出量の削減目標を、2005 年度比で 2030 年度までに 30% 減としました。なお、2018 年度 -2022 年度の 5 年間では 2005 年度比で 5% 減を新たな目標としました。 2005



年度の CO₂ 排出量 273,960 t-CO₂ と比べ、2020 年度は 34% 減となりました。

なお、 CO_2 換算係数は契約電気事業者の値を使用しました。換算係数については、p.53 をご参照ください。

廃棄物・リサイクル

一般廃棄物

2020 年度は、一般廃棄物として 81 t の可燃物、3 t の不燃物を排出しました。 つくばキャンパスからの不燃物については、 2019 年度から産業廃棄物として処

理しています。今後もゴミの分別やリサイクルに対する 意識の向上に努めていきます。



一般廃棄物排出の推移(5年間)

	2016年度	2017年度	2018年度	2019 年度	2020年度
可燃物	96,521	102,296	95,011	92,641	81,011
不燃物	8,966	5,923	5,675	2,641	2,687
合計	105,487	108,219	100,686	95,282	83,698

(単位:kg)

産業廃棄物

2020 年度の排出量は、台風の被害を受けたテント倉庫の処理などを行った 2019 年度と比べ、大きく減少しました。また、高濃度及び低濃度 PCB 廃棄

物のコンデンサ、トランス等を委託処理しました。今後も、廃棄物の内容を十分に把握し、適切な処理を行っていきます。

産業廃棄物排出の推移(5年間)

	2016 年度	2017年度	2018年度	2019 年度	2020年度
プラスチック	59,123	174,278	26,513	37,435	12,055
木屑	81,787	26,836	24,380	28,487	11,200
金属屑	4,585	8,541	1,255	3,811	11,115
コンクリート、がれき類等	32,860	1,988	29,103	59,621	42,790
蛍光灯、水銀灯	560	2,524	274	2,732	1,986
蓄電池	91	600	288	20	300
PCB 廃棄物	600	1,365	584	69,300	52,157
合計	179,606	216,132	82,397	201,405	131,603

(単位:kg)

実験系廃棄物

2020 年度は、無機系や有機系の廃液や廃油、廃 試薬類などの実験系廃棄物類を合計 16 t 排出しまし た。無機廃液と有機廃液の一部は KEK 内の実験廃 液処理施設で処理していますが、その他は外部の専 門業者に処理を委託しています。つくばキャンパスで、 強酸性の電解研磨液の交換作業がなかったことや、 防錆剤を含んだ冷却水の排出が少なかったことから、 2019 年度よりも大幅に減少しました。

実験系廃棄物排出の推移(5年間)

	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020年度
無機廃液	1,155	3,678	3,476	4,424	1,369
有機廃液	9,473	10,008	10,911	24,048	9,219
廃油	17,237	6,421	3,421	7,129	4,682
廃水銀	0	0	0	0	3
固形物他	6,911	5,411	1,829	792	938
合計	34,776	25,518	19,637	36,393	16,212

(単位:kg)

社会との関わり



放射性廃棄物

放射性廃棄物は、50 L ドラム缶に充填し、日本アイソトープ協会へ減容処理・保管を依頼しています。 つくばキャンパスでは、2020 年度も発生量が少なかったため、協会への引き渡しはありませんでした。また、東海キャンパスからは 6,802 L を協会に引き渡

しました。大規模なメンテナンス作業のあった 2019 年度と比べ、2017、2018 年度並みの搬出量に減少しました。KEK 内での放射性廃棄物の保管については、p.26 放射線管理をご覧ください。

放射性廃棄物搬出の推移(5年間)

	2016 年度	2017年度	2018 年度	2019 年度	2020年度
つくばキャンパス	5,104	0	0	0	0
東海キャンパス (J-PARC)	16,988	7,918	4,724	11,568	6,802
合計	22,092	7,918	4,724	11,568	6,802

(単位:L)

リサイクル

コピー用紙、新聞、雑誌を古紙として、専門業者 に売却しています。情報セキュリティのため売り払い できない文書は溶解処理を委託し、リサイクルされ ています。また、使用を終了した実験機器や部品、 工作加工に伴う金属材料の端材などの金属廃棄物の うち、鉄、銅、アルミニウム、鉛、真鍮、ステンレス を分別して回収し、専門業者に売却しています。産業廃棄物の金属屑が11tに対し、132tの金属屑がリサイクルのために売却されており、大部分が有効利用されています。

家電は家電リサイクル法に基づき、適切に処理しています。

リサイクルの推移(5年間)

	2016 年度	2017年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度
古紙(売却)	37,860	36,420	31,970	32,270	37,480
文書溶解処理	9,680	6,640	12,200	9,970	9,435
金属屑(売却)	871,350	447,900	335,271	466,545	132,402
合計	918,890	490,960	379,441	508,785	179,317

(単位:kg)



下水道

2020 年度、つくばキャンパスからは、77 千 m³ の 排水を公共下水道に排出しました。2019 年度と比べ 12% 減となっています。

東海キャンパスの東海1号館地区からの排水も下 水道に排出しています。排出量を計測していないた め、上水使用量を下水道排出量と見なしています。

J-PARC の排水については、原科研内第2排水溝より海域に放流しています。

排水管理について詳細は、p.26 をご覧ください。



大気

NOx、ばいじん

KEK では冷水の製造のために冷温水発生機を使用しています。燃料に都市ガスを用いるため、大気汚染物質の窒素酸化物 (NOx)及びばいじんが排出されます。つくばキャンパス PF エネルギーセンターの冷温水発生機 2 台について、10

月と3月に行った窒素酸化物の測定結果を以下に示します。測定結果は排出基準値150 ppm 以下で問題ありませんでした。ばいじんについては10月と3月に測定しましたが、いずれの発生機でも排出基準0.05 g/m³を超えることはありませんでした。

2020 年度窒素酸化物 (NOx)の排出濃度 (ppm) (PF エネルギーセンター)

	冷温水機 1	冷温水機 3	真空温水機 1	真空温水機 2
10月	27	24	63	66
3月	29	20	67	42

大気中への化学物質の排出

KEK で実験等に使用される化学薬品のうち、揮発性の有機溶剤については使用後にできるだけ回収しています。2020年度の調査で、KEK全体で最大1,206kgの有機溶剤が大気中に排出されたと考えられます。新型コロナウイルス感染防止対策にエタノールが多く使用された他、部品等の洗浄、器具の消毒・滅菌等の作業により放出されたものが多くを占めています。今後、大気中への排出を減らすため、作業方法の見直し、設備の整備などを行っていく予定です。特に、水質検査で使用されるノルマルへキサンは、有害大気汚染物質に該当する可能性がある化学物質

のひとつであり、排出量削減を目指して取り組みを 行っていきます。

2020 年度大気中への化学物質排出量

化学薬品名	排出量(kg)	作業内容
エタノール	1,069	消毒・洗浄・滅菌
ソルミクス	63	洗浄
アセトン	35	洗浄
ノルマルヘキサン	20	水質検査
その他	19	洗浄など
合計	1,206	



環境会計

KEK では環境保全活動の取り組みに対する費用対効果を把握するために、「環境会計」情報の集計を行っていますが、完全な情報収集には至っていません。現在、把握・集計しているデータは下記の通りです。

環境保全コスト

環境負荷の発生の防止、抑制又は回避、影響の除去、発生した被害の回復などへの取り組みのための投資額を環境保全コストとして以下に示します。

環境保全コスト

コストの分類・取組内容	2019 年度** 投資額(千円)	2020 年度* 投資額(千円)
公害防止コスト	105,862	0
基幹整備(RI 排水処理施設改修)	105,862	0
地球環境保全コスト	137,502	43,588
フロンガスの回収・処理	1,297	3,301
ルームエアコンの更新	2,907	4,233
パッケージ型エアコン更新	18,393	13,674
照明器具の取替	7,589	13,547
変圧器の取替	30,140	182
網戸の取付	0	2,815
計量器の取付(建物毎の上水、井水、電力使用量の把握)	1,346	396
チラーユニット、ガスヒートポンプ	75,830	5,441
資源循環コスト	102,709	86,256
一般廃棄物処理	1,972	1,659
産業廃棄物処理	10,077	9,453
PCB 廃棄物処理	25,810	16,680
実験系廃棄物処理	38,682	37,017
放射性廃棄物処理	26,168	21,448
管理活動コスト	43,230	46,471
環境報告書作成	372	403
電子マニフェストシステム利用料金	2	2
冷温水発生機等ばい煙測定	536	536
植物管理	38,937	38,741
枯損木撤去	3,383	6,790
合計	389,303	176,316

^{**}各項目の金額は、単位未満を四捨五入しているため、各コスト計及び合計と一致しない場合があります。



環境保全効果

KEK の研究活動等に伴う環境負荷の主な環境パフォーマンス指標について、環境保全効果を以下に示します。

環境保全効果

環境パフォーマンス指標(単位)	2019 年度*	2020 年度*	前年度比*
総エネルギー投入量(GJ)	3,618,041	3,813,872	105%
電力使用量(MWh)	372,715	393,075	105%
都市ガス使用量(千 m³)	173	140	81%
石油燃料使用量(kL)	20	17	84%
水資源使用量(千 m³)	311	297	95%
上水(千 m³)	153	148	96%
井水(千 m³)	28	16	57%
工水(千 m³)	130	133	102%
温室効果ガス排出量(t-CO ₂)	174,867	179,990	103%
廃棄物排出量(t)	333	232	70%
一般廃棄物(t)	95	84	88%
産業廃棄物(t)	132	79	60%
実験系廃棄物(t)	36	16	45%
PCB 廃棄物(t)	69	52	75%
放射性廃棄物排出量(L)	11,568	6,802	59%
下水道排出量(千 m³)	92	81	89%
大気への有害物質排出量			
有機溶剤の排出量(kg)	629	1,206	192%
NOx 排出平均濃度 (ppm)	41	42	102%

^{**}各項目は、単位未満を四捨五入しているため、各計や前年度比の値が一致しない場合があります。

- ■総エネルギー投入量および温室効果ガス排出量の換算係数について
 - 1. 2020年度の総エネルギー投入量の計算に使用した係数は以下の通りです。
 - ・電力: 9.97 GJ/MWh (昼間)、9.28 GJ/MWh (夜間)
 - ・都市ガス: 45.0 GJ/ 千 m³
 - ・石油燃料: (ガソリン: 34.6 GJ/kL・軽油: 37.7 GJ/kL・A 重油: 39.1 GJ/kL)
 - 2. 2020 年度の温室効果ガス排出量の計算に使用した係数は以下の通りです。

都市ガスおよび石油燃料は、エネルギー単位 (GJ) に換算した後、下記係数をかけて求めています。

- ・電力: 0.457 t-CO₂/MWh (契約電気事業者の排出系数)
- ・都市ガス: 0.0499 t-CO₂/GJ
- ・石油燃料:(ガソリン:0.0671 t-CO₂/GJ・軽油:0.0686 t-CO₂/GJ・A 重油:0.0693 t-CO₂/GJ)

2019 年度の換算係数については、p.53 をご参照ください。

環境関連トピックス





環境保全対策に伴う経済効果

リサイクルや自家発電による収益、環境保全対策等による費用節減について、環境保全対策に伴う経済効果を以下に示します。

環境保全対策に伴う経済効果

	実質的効果	2019 年度(千円)	2020年度(千円)		
収益	太陽光発電	1,205	1,061		
	リサイクル	61,495	18,539		
	古紙	344	159		
	金属屑	61,151	18,380		
推定的効果		2019年度(千円/年)	2020年度(千円/年)		
費用節減 省エネルギーによるエネルギー費の節減		13,196	10,940		
	エアコン等の更新	2,434	1,200		
	冷却水関連機器の停止	4,013	3,289		
	変圧器の停止	6,749	6,451		

	1. 光熱水費	各資源の年度単価による
	2. 居室等の照明器具点灯時間	20日/月×12ヵ月×12時間/日=2,880時間/年
算定条		冷房: 20 日 / 月×4ヵ月×12 時間 / 日=960 時間 / 年 (圧縮機稼働率を0.6 とする) 暖房: 20 日 / 月×5ヵ月×12 時間 / 日=1,200 時間 / 年 (圧縮機稼働率を0.6 とする)
条件	4. 実験室等の空調機器運転時間	制御室:365日×24時間/日=8,760時間/年(圧縮機稼働率を0.6とする) 実験室:200日×24時間/日=4,800時間/年(圧縮機稼働率を0.6とする)
	5. 変圧器の通電時間	365 日× 24 時間 / 日 =8,760 時間 / 年



環境関連法規の遵守状況

放射線管理 (放射線障害防止法・電離放射線障害防止規則など)

KEK における研究の基盤となる加速器では運転中に放射線や放射能が発生します。このため、放射線や放射能が外部に漏れることのないように、加速器はコンクリートや鉄などの厚い遮蔽体の中に設置し、遮蔽体の中の空気、水は厳重に測定、管理されています。

放射線・放射能を監視するための測定器は、つくばキャンパスで 211 系統、東海キャンパスで 162 系統あり、24 時間、室内外の中性子・ガンマ線、排水・排気中の放射能を測定し、集中監視しています。このうち放射線管理区域境界等に設置された測定器は、一定時間積算し自然の放射線の数倍程度の量を検出すると、自動的に加速器の運転を停止する信号を出す機能があります。測定器は測定値が適正であること、機能が正常に動作することについて毎年確認を行っています。

KEKでは、敷地境界での放射線の量が最大出力で運転しても年間積算で 0.05 mSv 以下になるように施設の設計・管理を行っています。この値は自然の放射線による量の約 1/10 という低い値です。敷地境界では 24 時間年間を通じて放射線測定を行っており、実際に測定されている値は更にその 1/10 以下の自然の変動の範囲です。

高エネルギーの加速器を運転すると、加速器自体や加速器周辺の機器に放射能が生じる事があります。これらの機器は加速器として使用している間は、放射線発生装置として管理されますが、その加速器の利用が終了した時や、機器の交換などで取り外しを行った場合は、放射化物または放射性廃棄物として放射線管理されることになります。放射化物は他の加速器での再利用や、修理や改造をすることによ

り再使用の可能性がある物品で、法令に基づき設定 した保管場所に台帳登録して保管します。KEK では 2,000 件超の物品について保管、管理をしています。 再利用の可能性のない放射能を持った物品について は、放射性廃棄物として管理を行っています。

KEKには非密封放射性同位元素を扱える実験室があり、実験によって生じた放射性廃棄物についても管理を行っています。放射性廃棄物についても法令に基づき設定した保管廃棄設備内で保管を行い、定期的な出入口の汚染検査、並びに周辺の線量率測定を行って管理をしています。

表面線量率が高い物品が保管される場合などは、 収納後周辺の線量率の測定を行い保管廃棄設備の ある管理区域の境界で線量率に問題ないかを確認し ています。放射性廃棄物のうち 50 L ドラム缶に収納 できる大きさ・重量のものについては、物品の種類 により、可燃物・難燃物・不燃物・非圧縮に区分し て収納し、適宜日本アイソトープ協会に引き渡しています。

ドラム缶に入らないサイズの物品も合わせて、50 L ドラム缶の数で換算するとおよそ 8 千本の放射性廃棄物が保管廃棄設備で保管されています。実験室から出る廃水については、排水前に放射能測定を行い法令の定める排水中濃度基準以下である事を確認した後、排水を行っています。

放射線作業を行う作業環境の測定は、先に述べた 放射線モニタリング装置や放射線測定機器を使用し て連続または定期的に行われています。測定された 値は、法令や KEK の規程で定められた値よりも十分 に低い値となっており、作業環境は極めて良好とい えます。

排水管理(水質汚濁防止法、下水道法、土壌汚染対策法、放射線障害防止法)

つくばキャンパスで発生する排水は、3ヶ所の汚水 排水槽から公共下水道に排出されます。排出時の水 質は条例で定める排出基準を満たす必要があり、毎 月1回水質検査を行い、排出基準値を超えないこと を確認しています。 つくばキャンパスにおいては、廃液を伴う実験研究は廃水貯留槽が設置された建物で行うこととしています。発生した廃液は専用の容器に分別回収、実験に使用した器具類を洗浄した廃水は廃水貯留槽に貯留し、それぞれ無害化処理を行った後に下水道に





放流しています。廃水貯留槽が設置されていない建物においても有害物質の漏洩を監視するため、主要な建物でとに12ヶ所の監視点を設けて定期的に採水を行い、厳しい排水管理を行っています。更に、周辺環境保全のため、敷地境界付近に掘削した4ヶ所の井戸から定期的に地下水を採水し、その水質を監視しています。

また、水質汚濁防止法における有害物質使用特定施設 (実験室の流し、ドラフトチャンバー、スクラバーなど)、並びに有害物質貯蔵指定施設 (廃水貯留槽)について定期点検を実施しています。

放射線管理区域内で発生する廃水については、2ヶ所の放射性廃水処理施設に集められ、放射能濃度 が濃度限度基準値の1/20以下であること及びその 水質が排出基準値を下回っていることを確認した上 で公共下水道に放流しています。

東海キャンパス (J-PARC) で発生する排水は3系統あります。

1つ目は汚水で、トイレ等の生活排水系統です。

この排水は、物質・生命科学実験棟の東側屋外にある合併処理浄化槽 (120 人槽)により処理を行い、中央制御棟北東側にあるポンドを経由して原子力科学研究所 (原科研)内第 2 排水溝に放流しています。なお、水質確認及び点検は原科研側にて行っています。

2つ目は雑排水で雨水、冷却塔オーバーフロー水 等です。この排水は物質・生命科学実験棟の東側屋 外にあるポンドに貯めて水質が基準値以下であるこ とを確認して中央制御棟北東側にあるポンドを経由 して原科研内第2排水溝に放流しています。

3つ目は RI 排水で、30 GeV シンクロトロントンネル等放射線管理区域で発生する実験冷却水、湧水等の排水で各機械室に設置されている RI 水槽に一時貯留されます。測定を行い排水の濃度限度未満のものは直接、放射線レベルが基準値より高い場合は、希釈等を行い安全なレベル以下に下げてから原科研内第 2 排水溝に放流しています。放射性排水は、放出基準を遵守するように管理し、測定の結果は関係行政庁等に報告しています。

エネルギー管理 (エネルギーの使用の合理化等に関する法律)

KEK のエネルギー使用量は、原油換算値で98,383 kL (つくばキャンパス 77,952 kL、東海キャンパス20,431 kL)*となっています。

この使用量から法律の定めるところにより、特定 事業者 (1,500 kL 以上) に指定され、つくばキャンパ ス及び東海キャンパスは各々、第一種エネルギー管 理指定工場等 (3,000 kL 以上) に指定されています。

KEK は特定事業者に指定されたことにより、エネルギー管理統括者とエネルギー管理企画推進者を選任し、①経営的視点を踏まえた取り組みの推進、②中長期計画のとりまとめ、③現場管理に係る企画立案・実務の統制を行うこと、が定められており、また、第一種エネルギー管理指定工場等に指定されたつくばキャンパスと東海キャンパスには、エネルギー管理員を選任し、現場管理を行うことと定められています。

これらを踏まえ KEK では、「エネルギーの使用の合理化に関する規程」を制定し、機構長の下、施設担当理事をエネルギー管理統括者、施設部長をエネルギー管理企画推進者に選任し、さらに各研究所

長や施設長等をエネルギー管理責任者、副所長、研究主幹、センター長等をエネルギー施設管理者に指定し、エネルギー管理組織を明確にした上でエネルギーの使用の合理化に努めています。

具体的な取り組みとしては、KEK内に各研究所施設等から選出された委員から構成する「エネルギー調整連絡会」を設置し、①エネルギー需要のピーク時の需要調整、②エネルギーの使用の合理化等に関する法律に基づく管理標準の作成について連絡・調整、を行っています。例えば、実験スケジュールを調整し、エネルギー需要(特に電力需要)を夏場の電力需要が高まる期間に KEKでは実験を控え、エネルギー需要を平準化する調整を本連絡会で取り決めています。

また、p.39 で紹介している「環境に配慮した設備 更新と運用」とエコアイディアにより、エネルギー使 用量の削減に繋がる活動も実施しています。

^{*}エネルギーの使用の合理化等に関する法律上の報告対象外であるため、 ガソリンと軽油を計算に含めていません。本報告書で公表している総エネ ルギー投入量を原油換算(0.0258 kL/GJ を乗じる)した値とは異なります。



エネルギー消費原単位

エネルギー消費原単位(以下「原単位」という。) とは、エネルギー使用量とそれに密接な関係を持つ 値の比率のことを言い、エネルギーの使用の合理化 等に関する法律(以下「省エネ法」という。)では、こ の原単位を年間平均1%削減することを努力目標と されています。

この原単位について、KEKではエネルギー使用に密接な関係を持つ値として、多くの大学等で用いられている「延べ床面積」を用いるのではなく、加速器

運転による大規模実験を行っている研究施設の特性を反映させるため、エネルギー消費の基準となる特定の加速器を設定し、これに対する加速器ごとのエネルギー消費量の比率を加速器の運転時間に乗じて補正するという算定方法を使用しています。

この様な原単位を設定することによって、大規模 実験の進行によるエネルギー消費量の変動が生じた 場合においても、適正なエネルギー管理を行うこと が可能な評価指標となっています。

エネルギー管理標準

エネルギー管理標準は、エネルギー使用の合理化 を図ること目的とした運転管理、計測・記録、保守・ 点検を行うためのマニュアルで、省エネ法により作成 が義務付けられています。

KEK では特殊な実験研究設備で構成されるため具

体的な設定が難しかった加速器についても各担当研究者と詳細な調整を行い、エネルギー管理標準を設定することで、より一層の省エネルギーに取り組んでいます。

温室効果ガス(地球温暖化対策の推進に関する法律)

KEK が排出する温室効果ガスの中で一番大きな影響力を持っているものは、エネルギーを起源とする CO_2 の排出で、179,949 t- CO_2 (つくばキャンパス 142,588 t- CO_2 、東海キャンパス 37,361 t- CO_2)*となっています。

地球温暖化対策の推進に関する法律では、原油 換算エネルギー使用量の合計量が1,500 kL 以上の 事業者を特定排出者として定め、毎年度、7月末日 までに事業所管大臣へ排出量の報告が義務付けられ ています。 KEK は、特定排出者に該当し、省エネ法に基づくエネルギー使用量の報告と合わせて、事業所管大臣である文部科学大臣へ CO₂ 排出量を報告しています。また、KEK では、文部科学省からの要請により2008 年に初めて後述する「大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構における地球温暖化対策のための計画書(以下「地球温暖化対策計画」という。)」を策定し、省エネルギー及びエネルギー起源 CO₂ の削減に取り組んでいます。

加えて KEK では、温室効果に影響のある冷凍機等からの漏洩等によるフロンガス(HFC 等) については、p.29 の「フロン類の使用の合理化及び管理の適正化に関する法律」に基づき取り組みを行っています。

*地球温暖化対策の推進に関する法律上の報告対象外であるため、ガソリンと軽油を計算に含めていません。本報告書で公表している CO_2 排出量の値とは異なります。

地球温暖化対策計画

これまで、地球温暖化対策計画に基づき、毎年度、 地球温暖化対策・省エネアクションプランを策定し、 p.13の「環境目標・計画の達成度」に示した通り毎年、 目標を達成しています。

2020 年度における温室効果ガス (CO₂) 排出量は 179,990 t であり、排出上限値目標 (265,741 t) を 大きく下回っていますが、これは主要加速器である SuperKEKB が本格稼働に向けた調整運転中であった

ことから、電力使用量が本格運転時よりも大幅に少なかったことによります。

化学物質管理 (PRTR 法)

PRTR 法 (特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律) は、政令で指定された物質 (462 種類) を年間 1 t (特定第一種指定化学物質 15 物質については 0.5 t) 以上取り扱う

事業所で、業種や従業員数などの要件に合致するものについて、その排出量・移動量を届け出ることを 義務付けています。KEK において、2020 年度は届出 の対象となる量の取り扱いはありませんでした。

フロン管理 (フロン類の使用の合理化及び管理の適正化に関する法律)

第一種特定製品の管理者の判断の基準を遵守し、 管理している業務用空調機や冷凍機などの第一種特 定製品に関して、機器ごとに簡易点検(3ヶ月毎に1回)及び定期点検(年1回)を確実に実施し、その記 録を保管しています。また、空調機の改修工事などに 伴うフロン類の回収や処分については、第一種フロン類充塡回収業者に委託し、適切に処理しています。

廃棄物管理 (廃棄物の処理及び清掃に関する法律、PCB 特別措置法)

KEKの研究活動で発生する廃棄物類は、1)一般廃棄物類、2)プラスチック、木屑類、がれき類などの産業廃棄物類、3)研究活動で発生する廃油類や有機系・無機系の廃液類、化学物質等を含む固形廃棄物類などの実験系廃棄物、に大きく分類されます。これらは廃棄物の種類に応じた廃棄物処理業者に委託し、適正に処理しています。また、実験系廃棄物類の一部は、KEK内の実験廃液処理施設において無害化処理しています。

1989 年以前に製造されたトランスやコンデンサ、安定器などの電気機器の一部には、絶縁油中に有害な化学物質の PCB (ポリ塩化ビフェニル)を含むも

のがあります。PCB を含む機器類は PCB 特別措置法 (PCB 廃棄物の適正な処理の推進に関する特別措置 法)により適切な保管と届出が求められ、KEK におい ても PCB 廃棄物専用の保管庫で厳重に保管すると共 に、保管・使用状況を毎年茨城県に報告しています。

2020 年度は、高濃度及び低濃度 PCB を含有する コンデンサ、トランス等を委託処理しました。 PCB 含有が疑われる機器については、PCB の分析を進め、 PCB 含有機器と判明した場合は順次処理計画に加え ています。今後も順次計画的に処理、保管を行って いきます。

グリーン購入 (国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律)

グリーン購入法 (国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律)を遵守し、環境負荷低減に資する製品・サービス (特定調達品目)などの調達を進め、毎年その実績を関係省庁に報告しています。

2020 年度における特定調達品目の調達率は 100% に近い割合を達成しました。2021 年度以降も引き続き KEK 内への周知徹底を図り、全ての調達において継続して適合商品を購入することに努めていきます。



環境関連トピックス

Belle II 実験のデータ収集効率向上の取り組み

素粒子原子核研究所 松岡 広大

宇宙から反物質が消え物質のみが残ったことな ど、宇宙の成り立ちにはまだ多くの謎が残っていま す。それを解明するには、宇宙初期にあった高エネ ルギーの素粒子に対する物理法則を解明する必要 があります。Belle II 実験では、その未知の物理法 則によって引き起こされると期待される極めて稀な 現象を SuperKEKB 加速器*によって再現し、それを 最新鋭の Belle II 測定器で捉え、人類が知らない素 粒子物理の描像を解き明かすことを目指しています。 SuperKEKB 加速器でいかに大量の粒子を生成し、 Belle II 測定器でいかに精度と効率良くその粒子の崩 壊事象を記録し、分散型計算機システムを駆使して 膨大なデータの中からいかに効率良く目的の事象の みを抽出するかが、実験成功の鍵となります。本稿 ではその内、データ収集効率向上の取り組みについ て紹介します。

Belle II 実験は、2021年6月現在、世界26の国 と地域から1,000人を超える研究者が参加する国際 共同実験です。Belle II 測定器は、図1に示すように、 7種のサブ検出器を層状に組み合わせた高さ約8m の汎用型スペクトロメータで、ビーム衝突により生じ る様々な粒子の飛跡やエネルギーなどを測定します。 2019年3月に本格的な物理データ収集を開始し、 今後約 10 年で前身の Belle 実験の 50 倍のデータを

収集することを目指しています。年間約8ヶ月の運 転で、運転中は昼夜問わずデータを収集し続けます。 その間、各サブ検出器の動作に問題がないか、デー タ収集が滞りなく行われているかなど、24時間体制 で監視しています。その運転シフトには研究者が交 代で当たっています。

どんなシステムでも、ソフトウェアやファームウェ アの軽微なバグ、ハードウェアの誤動作や故障など が付き物で、常に安定に動作させ続けることは容易 ではありません。この新しく巨大で複雑な Belle II 測 定器システムも同様で、バグ出し、誤動作を引き起 こすノイズの低減、不良機器の交換、検出器の較正、 そして加速器からの放射線により引き起こされる電 子機器のソフトエラーへの対処など、物理データ収 集の最中もシステムの調整を続けてきました。デー タ収集を止めてしまうエラーは様々ありますが、エ ラーの種類と頻度を正確に把握し、その原因を突き 止めて解消することと、エラーからいち早く復旧して データ収集を再開することの両側面から、データ収 集効率の向上を図りました。データ収集が止まると、 運転シフトの人がエラーを起こしたシステムの担当者 に連絡し、直ちに復旧作業に当たります。復旧にか かる時間を1分でも短くできるように、問題箇所の 特定方法や復旧の手順をマニュアル化、さらに自動

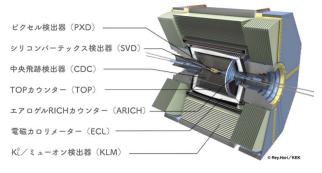


図 1. Belle II 測定器の模式図。実際は円筒形だが、内部 が見えるように半割で表示している。



図2. データ収集効率の推移。物理データ収集に割り当て られた時間の内でデータを収集できた時間の割合を示す。



化してきました。2020年からは、データ収集の状況とエラーをより詳細に監視・分析・可視化するツールを導入し、データ収集効率の向上を加速させました。その結果、図2に示すように、目標とする効率90%まで向上させることができました。2020年3月頃から、COVID-19の世界的感染拡大により、KEKに滞在して実験運転に携われる研究者が激減しましたが、リモートでシフトを遂行できる体制(ネットワークを介してのデータ収集の監視や操作、遠隔会議システムを用いたやりとり)を構築し、万全の感染防止対策

を講じながら、運転を継続することができました。

加速器の運転にはコストと労力がかかります。それを無駄にすることなく、高い効率で安定に運転しより多くのデータを収集することは本実験の使命です。データ収集効率の残り10%の内、エラーによりデータ収集が止まる時間がまだ約5%あり、今後も不断の努力によりできる限り削減していきます。また、約4%はビーム入射に同期した加速器からの大量のバックグラウンドを避けるための不感時間で、これをいかに抑えていくかも今後の重要な課題です。

*SuperKEKB 加速器

ほぼ光の速さまで加速させた 7 GeV (ギガ電子ボルト)の電子と、4 GeV の陽電子を衝突させ、B 中間子、D 中間子、タウレプトンなどを大量に作り出す装置。

関連サイト

2019 年 3 月 25 日 KEK プレスリリース Belle II 実験で本格的な物理解析のためのデータ取得開始 ≫ https://www.kek.jp/ja/newsroom/2019/03/25/2030/ 2020 年 6 月 26 日 KEK プレスリリース SuperKEKB 加速器が世界最高ルミノシティ (衝突性能)を達成しました ≫ https://www.kek.jp/ja/newsroom/2020/06/26/1400/

ビーム強度増強による物理実験の効率化— J-PARC ハドロン実験施設 —

素粒子原子核研究所 高橋 俊行

J-PARC ハドロン実験施設は、主リング加速器 (MR) で 30 GeV に加速された陽子ビームを二次粒子生成標的に当て、発生する K 中間子やπ中間子などの二次粒子をビームとして取り出し、素粒子物理・原子核物理などの基礎物理実験を行う研究施設です。実験が可能となる強度の二次粒子ビームを得るためには、(1)大強度の陽子ビームを損失なく、加速し、取り出し、ハドロン実験施設に輸送すること、(2) 大強度ビームに耐えうる二次粒子生成標的、(3) ビームを安全に吸収するビームダンプ、及び (4) 標的・ダンプやビーム輸送系で発生する放射線を遮蔽する十分な遮蔽構造、が必要です。大強度ビームを使う施設ということで、(3)、(4) については建設当初より対応がされています。

図1に、2009年2月17日のハドロン実験施設への初ビーム取り出し以来のビーム強度(kW)と積分強

度 (kW 日)の変遷を示します。運転開始当初は、ビーム強度は低く、例えば、K1.8 ビームラインでは、K⁻中間子より収量の多いπ中間子ビームを用いた実験が行われていました。強度が 20 kW を超えた 2015年に K⁻ビームを用いた実験が始まり、2016年からは、当初の目的であったストレンジクォーク*を 2 つ含む二重ストレンジネス原子核*の研究が本格的に始まりました。ビーム強度は順調に増加し、2018年には、(2)の生成標的が許容できる限界強度の 52 kW に到達し、新しい標的への入れ替えが必要となりました。

図 2 は新しい生成標的の写真です。これまでの生成標的と同様、陽子ビームが照射される金部分を銅の台座に埋め込み、銅台座に冷却水が配管されている間接冷却方式で、下部からのみ冷却するこれまでの生成標的とは違い、写真のように上下から冷却することにより、およそ倍の 95 kW ビームを受ける



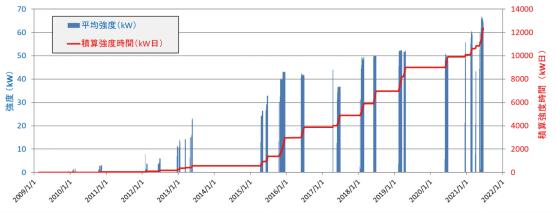


図 1. J-PARC ハドロン実験施設への取り出しビーム強度の変遷とその積分値

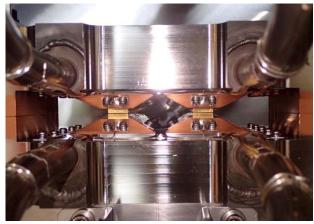


図 2. 95 kW 対応生成標的。左右に同じ構造の物が並んでいる。銅台座に埋め込まれた金標的を上下から間接的に冷却する。温度上昇に伴う膨張による熱応力を和らげるため、上下間には微小な隙間を設けている。

ことが可能です。新生成標的は、2018 年度に製作、2019 年秋に入れ替え作業が行われ、2020 年 5 月のビーム運転から使用されました。2021 年 2 月に 60 kW、2021 年 5 月には 64.5 kW とこれまでの 52 kW を超える運転を達成しました。今後は、(1)の課題を引き続きクリアしつつ、強度を上げていく予定です。

大強度陽子ビームが使えるようになると実験が可能になる研究対象が増えます。さらに、それだけでなく必要なデータを取得する実験期間が短くなる、あるいは、同じビーム運転時間でより多くのデータを貯める(例えば、20 kW では30日が必要なデータが60 kW では10日で取得できる)、または、多くの実験が実施できるなど、実験実施の効率化にもつながります。実際、MR の長期停止期間前の2020年12月から2021年6月にかけての累計93日間のハドロン実験施設へのビーム運転では、K1.8ビームラインで、ストレンジクォークを2つ含む多体系であるグザイ原子*のX線分光とHダイバリオン*探索という2つの大きな実験を完了し、さらにK1.8ビームラインで2つのテスト的な実験を行うことができました。

ハドロン実験施設では、2020 年度に MR からの一次陽子ビームの一部を切り出し輸送する新しいビームラインの運用を開始しました。今後、既存の二次ビームラインと合わせて、同時に 3 つの実験を実施できることになります。今後のビームの大強度化とあわせて、物理実験遂行の効率化が期待されます。

*ストレンジクォーク・二重ストレンジネス原子核・グザイ原子・H ダイバリオン

クォーク 3 つからなる陽子・中性子のような粒子 (バリオン)は、陽子・中性子以外にもいくつか存在する。例えば、アップ (u)、ダウン (d) クォークに加えて 3 番目のストレンジ (s) クォークを考えると s クォークを 1 つ含むラムダ粒子 (uds)、2 つ含む グザイマイナス粒子 (dss)、グザイゼロ粒子 (uss) がある。 ラムダ粒子が2つ、あるいは、グザイ粒子が1つ入った原子核(どちらの場合も 2 つの s クォークが含まれる)を二重ストレンジネス原子核と呼ぶ。 負電荷を持つグザイマイナス粒子は、電子と同じように電磁相互作用で原子核との束縛状態を作る。 そのような状態をグザイ原子(状態) と言う。 H ダイバリオンは、 uuddss と 6 つのクォークからなる粒子で、理論的にその存在は強く示唆されているが、実験ではまだ見つかっていない。

関連サイト

J-PARC ハドロン実験施設

- $\gg http://www.j-parc.jp/c/facilities/nuclear-and-particle-physics/hadron.html$
- 素粒子原子核研究所 2020 年 9 月の活動報告
- ≫ https://www2.kek.jp/ipns/ja/report/2020/09-2/

7 エネルギーをみんなに そしてクリーンに

環境に優しい高効率冷却システムを実現する新酸化物エネルギー材料の発見

物質構造科学研究所 齊藤 高志

社会の持続可能な発展のため電力消費量の低減 が求められていますが、一方で近年、熱に関する諸 問題がさまざまな形で顕在化してきており、地球温 暖化による冷房需要の増大や食料の冷蔵保管、高度 情報化社会を支えるコンピュータの発熱などのため、 世界の電力消費の25~30%が冷却に使われている とも言われています。このような問題の解決に向けて、 熱エネルギーを有効に利用し、高効率な熱制御を実 現する技術の一つに熱量効果*1があります。これを 使うと、圧力などの外場を加えることで熱を蓄えた り、取り出したりすることが可能となり、冷却などの 温度制御が可能となります。熱量効果を利用した冷 却は従来のガス圧縮式冷却と比べて効率が高く、機 器を小型化することも可能な上、ガス圧縮式冷却に おける冷媒であるフロンが不要であることから、環 境に配慮した次世代冷却方式として近年大きな注目 を集めています。しかしながら、高効率な冷却を実 現するほどの大きな熱量効果を示す固体材料が多く はありませんでした。

このような中で、KEK と京都大学、産業技術総合 研究所、国立台湾大学、台湾 National Synchrotron Radiation Research Center は共同で、Aサイト秩序 型ペロブスカイト構造鉄酸化物 NdCu₃Fe₄O₁, が巨大 な圧力熱量効果を示し、高効率な熱制御が可能なこ とを実証しました。NdCu₃Fe₄O₁₂は負の熱膨張を伴 うサイト間電荷移動転移*2を室温付近で起こします が、今回この1次相転移において25.5 kJ kg⁻¹ (157 J cc⁻¹) という巨大な潜熱*3 が生じることを見出しま した。この潜熱が生じる際のエントロピー*4変化は 84.2 J K⁻¹ kg⁻¹ に達する大きなものであり、これはこ れまでに報告されている無機固体材料での室温付近 でのエントロピー変化としては最高値に匹敵します。 J-PARC MLF に設置された特殊環境中性子回折装置 SPICA(BL09)を用いることで、この巨大なエントロピー 変化には鉄 (Fe) イオンのスピン整列による磁気エン トロピーの変化が大きく寄与していることが明らかに なりました。

この巨大な潜熱を有効に利用するためには、外場を加えて熱の出し入れ (蓄熱と放熱)を制御することが必要です。NdCu₃Fe₄O₁₂では圧力を加えることでサイト間電荷移動転移温度を変化させることができ、巨大な潜熱のほぼ全てを効率的に利用できることが実証されました。この圧力熱量効果により、室温付近では約5.1 kbar の圧力を加えることで約13.7℃の大きな断熱温度変化を達成できることが見積もられます。この材料を使うことで、環境に優しい高効率な冷却システムを構築することが可能となります。

NdCu₃Fe₄O₁₂では圧力熱量効果により室温付近で最も高効率に熱制御を行うことができますが、Ndを他の元素で置換することにより、圧力熱量効果が最も高効率となる温度範囲を調整可能であることも実証しました。これは、幅広い温度域で動作する冷却システムを構築することが可能なことを意味しています。今回の成果は、高効率な無機固体熱量効果新材料の開発に向けた新物質の設計指針を示したものと言えます。今後は、これらの材料を用いた冷却システムを構築し、実用的な冷却機器の試作へと展開していく予定です。

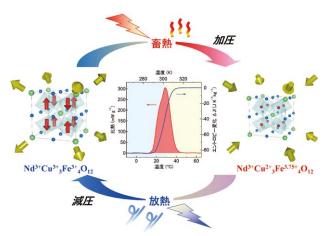


図. $NdCu_3Fe_4O_{12}$ のサイト間電荷移動転移に伴う結晶構造 とスピン構造の変化 (右、左)、並びに潜熱及びエントロピー変化 (中央)。



*1 熱量効果

外場を変化させることで、材料が蓄熱や放熱する現象。圧力により蓄熱や放熱が起こる現象を圧力熱量効果と呼ぶ。系のエントロピーが減ると放熱し、エントロピーが増加すると吸熱する。

※2 サイト間電荷移動転移

物質の結晶中で異なる原子サイト間で電荷状態 (イオン状態) が変化する転移。 $NdCu_3Fe_4O_{12}$ では、A サイトの銅 (Cu) と B サイトの鉄 (Fe) のイオン状態が変化し、高温での $NdCu^{2+}{}_3Fe^{3.75+}{}_4O_{12}$ から低温での $NdCu^{3+}{}_3Fe^{3+}{}_4O_{12}$ へと変化する。この時、低温相では Fe^{3+} イオンの磁気モーメントが反強磁性的に整列する。

*3 潜熱

物質の相が変化するときに必要な熱。良く知られているのは、氷が解ける際の融解熱や水蒸気となる際の蒸発熱 (気化熱) などがある。

*4 エントロピー

系の乱雑さを示す指標。熱力学、統計力学、情報理論などさまざまな分野で使われ、熱力学ではエネルギーを温度で割った単位で表される。

原著論文

Y. Kosugi, M. Goto, Z. Tan, A. Fujita, T. Saito, T. Kamiyama, W.-T. Chen, Y.-C. Chuang, H.-S. Sheu, D. Kan, and Y. Shimakawa, "Colossal Barocaloric Effect by Large Latent Heat Produced by First-Order Intersite-Charge-Transfer Transition", *Adv. Funct. Mater.* 31, 2009476 (2021).

関連サイト

2021年3月23日 KEK プレスリリース

環境に優しい高効率冷却システムを実現する新酸化物エネルギー材料の発見 ─巨大圧力熱量効果による熱制御の実証— >> https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2021/03/PR20210323.pdf

PF-AR 放射光源加速器の 5 GeV エネルギー省エネ 運転

加速器研究施設 満田 史織

現代科学では「光」の利用が科学や生活の進歩を支えているといっても過言ではありません。良い例として、顕微鏡では微生物を見ることに可視光が、レントゲンでは人の体内の病理を発見するために X 線が使われています。赤外光からガンマ線といった光の波長の長短を物質の構造のスケールに合わせて、非破壊に内部の様子を透視、未知の物質構造の解明、新しい物質の原子、分子配列の創生の極微の世界を見る「目」として利用しています。 KEK にある 2つの放射光源加速器 PF、PF-AR は、まさにその様々な光をリング型の加速器にて電子ビームを周回させることで放射光*1を生成し、ユーザーへ供給する巨大装置です(図1)。

電子ビームのエネルギーは生成される放射光の波 長や光の強度と密接に関係しています。極微の世界 をのぞく短い波長、構造解析の実験精度を上げるた めの眩い光、これらを得るには電子ビームのエネルギーを高くする必要があります。PF-ARではこのような動機から同様の加速器である PF よりも高いエネルギーの運転が行われているのです。そこで、課題となるのが運転に必要となる電力エネルギーと運転費用です。

電子ビームエネルギーがより高いことは、アインシュタインの相対性理論によれば、より質量の重い電子ビームを加速器リング中で周回させることに繋がります。すなわち、電磁石の磁場の強さを強くしていくことになり、結果、電磁石コイルに流す電流を増やす必要があります。また、放射光を放出することで失うエネルギーも電子ビームエネルギーが高いほど多くなり、これを補充するにあたり加速装置により多くの電力を供給する必要も出てきます。つまり電子ビームのエネルギーが高いことは、それだけ加速器



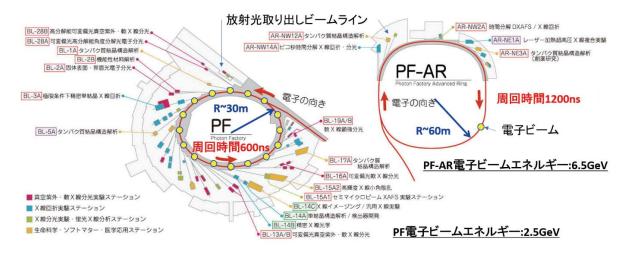


図 1. KEK における放射光源加速器 2 施設、PFと PF-AR

で必要な電力エネルギーも増加することを意味します。他にも、空調、冷却水装置などで必要とする施設設備の電力エネルギーも増加することに繋がります(図2)。

高い電子ビームのエネルギーは、光の利用価値と してはとても重要です。けれども加速器を運転する 電力エネルギーを工面することもまた重要です。近 年、基礎科学研究への研究費が削減傾向にあり、 放射光源加速器でもその例外ではありません。2009 年度に 5,000 時間の運転時間の確保が約束されて いましたが、2016年にはその半分以下となり、そし てその状況は今も継続しています。このことは、放 射光を使った物質構造科学の基礎研究において、こ れまで採択されてきた実験課題数が半減することで あったり、一つの実験を進める時間が半分しか確保 できなかったりと深刻な事態を引き起こしている運 転経費の削減です。そこで、本コラムのタイトル「PF-AR 放射光源加速器の 5 GeV エネルギー省エネ運転」 が検討されました。本来あるべき加速器の設計値で ある 6.5 GeV **2 の電子ビームエネルギーを 5.0 GeV

5.0 GeV という値は、見た目にはエネルギーは 5.0 GeV/6.5 GeV=77% にしか下がっていませんが、電磁 石、加速装置における電力消費の観点から見ると、 なんと54%の削減が見込まれるのです(表1)。電 力消費を約半分に抑えることで削減するしかなかっ た運転時間を回復させられると試算されました。実 際には、施設設備を維持する待機電力があり、加速 器施設全体でみると40%程度まで目減りしますが、 基礎科学研究の灯を消さないためには有効な手段 となります。最終的に、調整運転した結果、38.5% の電力消費の削減に成功しました。しかしながら、 加速器の設計、性能、運転・調整の点からみると、 「苦労をして省エネ運転を成功させた」というのが答 えです。加速器リングへ電子ビームを輸送する輸送 路、放射光を生成する加速器リングはもともとの電 子ビームエネルギーに対して最適化された建設がさ れています。そのため、電子ビームエネルギーが 5.0 GeV と設計値より低くなると加速器リングは、設計 時に想定されたものとは異なる振る舞いをします。

に下げ、光の質を少しだけ悪くして運用する方法です。



図 2. 放射光源加速器利用される加速器装置

表 1. PF-AR 省エネ運転による電力消費の改善期待値と実際 (括弧の値)

電力内訳 [MW]	6.5 GeV エネ ルギー運転	5.0 GeV 省エネ運転	電力効率 [%]
電磁石 電力	2.5	1.5	40
加速空洞 電力	2.0	0.4	80
施設他 電力	1.2	0.7	40
トータル	5.7 (5.24)	2.6 (3.22)	54 (38.5)



加速器はその電子ビームのエネルギーに応じて、装置が受け取る熱量が大きく変わります。熱量が低下することで加速器を構成する機器の熱膨張が小さくなり、結果、あらゆる形状に変化が起きます。一般に一定の熱量で装置が安定するように冷却されるため、時間が経てば形状の変化は落ち着きますが、落ち着いた先の形状は、当初設計したものとは異なります。また、周回する電子ビームのサイズも変わります。それにより装置が局所的に受ける熱量、電子ビームの密度および寿命の変化などが設計から離れたものになります。結果、調整運転にあたり、物理的な根拠に基づくもの、未知の振る舞いに対し我々研究者の経験に裏打ちされた洞察力に基づく最適化が新たに必要となるのです。

この新たな電子ビームエネルギーに対応する省エ

ネ運転の調整技術の確立への取り組みは、2018 年 秋から始まり周到な半年の練習準備と半年の実践に より2019 年冬に完成に至りました。実践段階から、 5.0 GeV 運転の放射光をユーザーが課題実験として 利用を開始しました。6.5 GeV 運転の光の強度も基 礎研究において非常に重要な実験パラメーターであ ることから全ての運転期間を省エネ運転へと置き換 えることはできません。このため、年間の総運転時 間の半分を5.0 GeV にて運用しています。運転経費 の削減が起因で生まれたこの苦肉の省エネ運転は半 分まで減少した運転時間をそこから1.5 倍ほど回復 させる結果をもたらしました。これは、放射光の質 の低下を犠牲にして、何とか実験時間を確保するた めの知恵として成功しています。

*1 放射光

ほぼ光速で直進する電子が、その進行方向を磁石などで変えられた際に発生する電磁波のこと。電子のエネルギーが高いほど指向性の良い明るい光となる。進む方向の変化が大きいほど X 線などの短い波長の光を含むようになる。
**2GeV

エネルギーの単位。電子1個をギガボルト(GV)の電圧で加速し電子が得るエネルギーを指す。

原著論文

S. Nagahashi, Proceedings of the 17th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, September 2 - 4, 2020, Online, "PF-AR における 5GeV 運転の状況 THE 5GEV OPERATION STATUS AT THE PF-AR"

試料交換ロボットが可能にした実験スタイルの変革

機械工学センター 平木 雅彦

構造生物学研究センター 松垣 直宏、山田 悠介、引田 理英、篠田 晃、千田 俊哉

新型コロナウイルス SARS-CoV-2 の表面に靴のスパイクのように飛び出している突起はその形の通りスパイクタンパク質と呼ばれており、このタンパク質の構造や構造変化を調べることで、新型コロナウイルス感染症 COVID-19 の発症メカニズムを理解したり、薬の開発が行われようとしたりしています。

タンパク質の構造を調べる方法の一つに X 線を用いた結晶構造解析があります。タンパク質の結晶に X 線を照射し、得られる回折データを解析することでタンパク質の立体構造を原子分解能で調べることができます。KEK フォトンファクトリーの 2 つの放射光リングには、主にタンパク質のX 線結晶構造解析

を行うための実験装置(ビームライン)が5つ設置されており、国内の大学、研究所、企業の研究者が日夜タンパク質の構造解析を行っています。

X線を用いて実験を行うため、試料(タンパク質結晶)にX線を照射する装置(回折計)はX線防護のための実験ハッチの中に設置されており、安全に実験を行うことができるようになっています。しかし、試料を交換するたびに実験ハッチに出入りをする必要があります。以前は、1つのタンパク質結晶から回折データを得るために数時間かかっていたので試料の交換はそれほど苦になりませんでしたが、放射光リングや実験装置をアップグレードすることで、今で

7 エネルギーをみんなに してクリーンに

は数分で回折データを得ることができるようになりま した。そのため、頻繁に試料を交換するために実験 ハッチに出入りする必要がでてきました。放射光リン グの稼働中は常に X 線が出ていますが、試料交換中 はX線を利用することができないので、せっかくの X線を無駄にすることになります。そこで、試料交換 を短時間で行い、無駄のない実験を行うために、ス タンフォード放射光研究所 (SSRL) の協力を得て、試 料交換ロボットの開発を行いました。試料交換ロボッ トは液体窒素中に保管している試料を取り出して回 折計に乗せ、実験が終わった試料を再び液体窒素中 に戻します。最初に大量の試料を液体窒素中に入れ ておけば、実験ハッチに出入りすることなく実験を継 続することができます。KEK では試料を2つ持つこ とができるロボットハンドを独自に開発したことによ り、交換作業を約10秒で行うことができるようにな りました。試料交換ロボットを用いることで、無駄の 少ない実験を行うことができる、つまり、同じ実験 時間でより多くの試料からデータを集めることができ ることになりました。



図. 開発した試料交換ロボット。2006 年からビームラインで稼働し始め、改良を重ねながら現在に至っている。

試料交換ロボットを動かすには実験ハッチの外から試料交換の信号を送りますが、KEKの外、例えば北海道からネットワーク経由でこの信号を送っても試料を交換することができます。同様にX線を用いた実験もネットワーク経由で行うことができるので、研究者はKEKに来る必要が無くなります。2020年には新型コロナウイルス感染症の影響で国内でも往来が制限されましたが、試料は宅配便等でKEKに送ることができたので、研究者はネットワーク経由でリモートから実験を行い研究を継続することができました。

また、あらかじめ実験の条件を決めておくことで、プログラムに従って自動的に実験を進めることもできるようにしました。研究者はやはり夜中になると効率が下がりますが、ロボットは昼夜を問わず黙々と実験を行ってくれます。試料にきちんと X 線を当てるように、画像を元に自動で位置合わせを行うソフトウェアも開発しました。全自動実験が可能になると、一人で何百というデータを得ることが容易になり、実験の進め方が大きく変わってきました。毎週データを集めて、実験条件を最適化することができるようになり、実験のスピードアップにもつながります。特に創薬の分野では膨大な数の試料を解析する必要があるため、KEKの X 線結晶構造解析ビームラインは強力な研究基盤になっています。

試料交換ロボットを開発したことで、タンパク質結晶構造解析実験のスタイルが大きく変わりました。 効率的な実験は加速器を稼働させるための電気代の節約につながりますし、リモート・全自動実験により研究者の移動が必要なくなるので、脱炭素化を推進することになります。効率的な実験を目指して開発した試料交換ロボットですが、環境にやさしく持続可能な研究の実現にもつながると期待しています。





広報活動のオンライン化への取り組み

2020年度は、新型コロナウイルス感染症の感染 拡大防止対策のために、メディア向けの記者会見や 勉強会、学生・一般向けの講演会や施設見学会、実 験教室、スクールなど、KEK の広報活動が大きく制 限されました。やむなく中止したり、イベント参加 者数を大幅に制限したケースが多数あったなか、こ の状態を「これまでリーチできなかった多くの人々に アウトリーチする絶好のチャンス」と前向きに捉え、 KEK の広報イベントのオンライン化に精力的に取り組 みました。この結果、日帰りで参加できる近隣の人々 しか集めることができなかったローカルなイベント を、全国から様々な人が参加する大規模イベントに 変化させることができました。オンライン化のメリッ トは大規模化だけでなく、多くの人が現地に集まる ための時間とエネルギーのロスを大幅に減らすこと ができただけでなく、イベント開催のためのポスター やチラシ、そして会場で配布する資料などの各種紙 資源の消費も大幅に減らすことができました。オン

ライン化によって、これまでなかなか難しかった各種 イベントのペーパーレス化も実現できたと思います。

もちろん face to face でなければ目的を達成でき ない広報イベントもたくさんあります。このためコロ ナ禍のため中止になったイベントは、コロナ終息後に は当然復活してきます。しかし、今回培ったオンライ ン化のノウハウを生かして、復活するイベントのいく つかは、オンサイトとオンラインの両方で行うハイブ リッドになるでしょう。たとえば、合宿型の「サイエ ンスキャンプ」には全国から多数の参加希望者があり ますが、参加できるのは選考で選ばれた一部の人だ けです。これをハイブリッド方式にすれば、さまざま な事情で応募できなかった人がオンラインではあり ますが参加できるようになります。また、不運にも選 考から漏れた人をオンライン参加で救済することも 可能になります。オンライン化の流れは、決してコロ ナ禍対策の一時的なものではなく、これからの KEK 広報の大きな方向になりつつあります。

KEK の 2020 年度のオンライン化の実績 (詳細は 「社会との関わり」 の広報活動、教育プログラム参照)

報道記者向け勉強会「KEK メディアサロン」 を Zoom で 4 回開催。 東京の新聞、 テレビ、雑誌記者など平均 30 人前後 が参加。

地域住民らに施設を公開する「KEK 一般公開」は9月6日にオンラインで開催、ニコニコ生中継で13,000人、 YouTube で 6,000 人の参加者。

理系女子高校生対象に 2 日間の科学合宿「TYL スクール理系女子キャンプ」 は 1 日のオンラインコースとなり 11 人が参 加。

高校生対象の 4 日間の科学合宿 「Belle Plus」 は年末年始の 4 日間のオンラインコースとなり 17 人が 3 つのコースに分 かれて参加。

高校生・高専生対象の3泊4日の「ウインター・サイエンスキャンプ」は1日のオンラインコースとなり7人が参加。

講師派遣授業「KEK キャラバン」を 21 件実施したが、うち 10 件はリモート授業で実施。

KEK 動画配信サイト 「KEK チャンネル」で動画数を 100 に増強、チャンネル登録者 3,200 人に。



環境に配慮した設備更新と運用

老朽化した設備の更新にあたっては環境に配慮した設備を導入しており、更新前より効率の良い機器を導入しています。また大型実験停止期間中は、不要な設備機器の停止や消費電力を抑える運用を行っています。これらの結果、2020年度の実績では CO₂ 排出量を 279.6 t^{*}、消費電力を 611,773 kWh 削減しました。

電気設備の運用例(特高変圧器の休止)

長期の実験停止期間中には電力の需要に合わせ、 構内に複数ある特高変圧器を部分的に休止すること で待機電力を抑制しています。

これらの措置により、2020 年度は年間当たりの CO_2 排出量 209 t^* 、消費電力 456,568 kWh を削減 することができました。



休止する特高変圧器の例 (中央変電所)

機械設備の例

KEK には熱負荷の大きい実験機器やサーバ等が設置されている部屋が多数あり、室内の温度は熱源機器 (パッケージエアコンやチリングユニット) によって適正な温度に保たれています。

これら熱源機器の多くは老朽化によってエネルギー効率が低下しているため、同等の能力の機器への更新であっても消費電力が減少しますが、熱負荷の計算や運用法の見直しを行い、適当な能力の機器へ更新を行うことで消費電力を大幅に削減することができます。

右の写真はその一例で、計算機室用のパッケージ エアコンを更新したものです。既存の機器よりも低 能力の機器を選定しましたが、エネルギー効率が高 いため、消費電力を減らし、空調条件も満たすこと ができました。

このような熱源機器の更新を行うことで、年間当たりの CO_2 排出量を $38.8 t^*$ 、消費電力を 84,942 kWh を削減することができました。

また、老朽施設再生事業費等を活用し、環境負荷の小さい冷媒を使用した熱源機器への更新を行うことで、オゾン層破壊及び温室効果ガス排出リスクの低減を図っています。



更新前



更新後

^{**}換算係数は電気事業者の値 0.457 t-CO₂/MWh を使用しました。



ESCO 事業による CO₂ 削減

KEK では、2018 年 5 月に ESCO 事業 (事業期間 7 年)を締結し、2019年2月より運用を開始しました。 ESCO (Energy Service Company)事業とは、省エネ ルギー化で削減できた光熱水費の中から設備更新や 維持管理費が賄われる仕組みです。

以下が今回の ESCO 事業で実施した設備更新の概 要です。

① PF エネルギーセンターのガス焚吸収冷温水機 2 台をターボ冷凍機2台に更新。

- ②実験室や電源室の高天井照明器具(水銀灯)を LED 照明器具に更新。
- ③ 3 号館 (EHP*1)と4 号館 (GHP*2)の空調設備を 更新するとともに、すべて EHP に変更。

その結果、ESCO事業を行うことによる省エネル ギー・環境負荷低減の効果としては、年間当たりの CO₂ 排出量 4,345 t (54% 削減)、消費電力 1,786,361 kWh (19% 削減)、ガス使用量 1,611,271 m³ (99% 削減)の削減効果がありました。

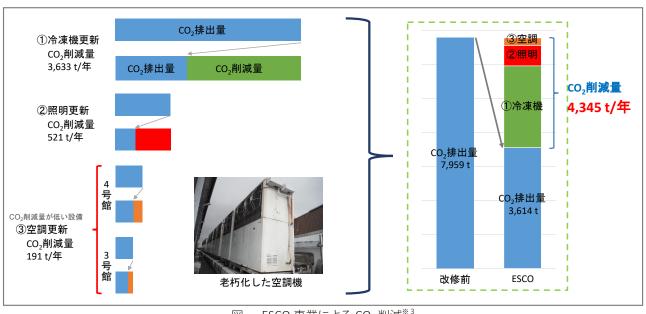


図. ESCO事業による CO₂削減^{※3}

^{*1}EHP:電気モータヒートポンプ空調機

^{**2}GHP: ガスエンジンヒートポンプ空調機

^{*3} 換算係数は電気事業者の値 0.457 t-CO₃/MWh、ガス事業者の値 0.00219 t-CO₃/m³ (都市ガスの構成比率より算出)を使 用しました。

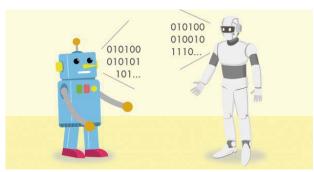


■ 社会との関わり

広報活動

KFK エッセイ

KEKのことを何も知らない人にも KEK に関心を持ってもらおうと、10人の研究者たちが KEK ホームページの顔となる随筆「KEK エッセイ」を 2018 年末から始めました。以降、ほぼ隔週ごとに 10人が交代で執筆しています。素粒子物理学の最先端の話題から、お茶の間の科学の話題、研究における驚きや喜び、研究生活の思い出などテーマはさまざまです。2020年度は 17 話掲載されました。



第 42 回 KEK エッセイの表紙絵

KEK チャンネル

KEK が所有する動画を一般に見てもらう「KEK チャンネル」を YouTube 内に 2014 年開設しました。当初、KEK の研究内容を紹介する動画が中心でしたが、その後少しずつ科学教育用動画なども増やしてきま



KEK チャンネルに登録された動画の数々

した。2020 年度には新型コロナ感染拡大で「KEKー般公開」がオンライン開催となったことがきっかけとなり、動画のライブ配信を強化しました。この結果、それまで配信していた動画数が 23 から 100 へと大幅に増加、チャンネル登録者数も 3,200 人に増えました。

メディアサロン

都内の科学記者に KEK の研究活動を取材・報道してもらおうと、2017 年末から記者向けの勉強会「KEKメディアサロン」を東京・秋葉原で開催しています。

2020年度は新型コロナ感染症の問題でやむなくオンライン開催として、Zoomを使って4回実施しました。これまでのメディアサロンの参加記者数はだいたい20人前後でしたが、オンラインにすると30人前後と大きく増えることが分かりました。ただし、質疑応答が盛り上がらず、記事化される確率も低くなるなど、その広報効果はリアルな記者会見・勉強会に劣る面もあることも分かってきました。しかし幅広いメディアにアプローチできるというメリットは重要なので、コロナ禍終息後は、リアルとオンラインのどちらか、または併用をうまく使い分けることが求められそうです。

施設公開

つくばキャンパスを一般に公開する「KEK 一般公開」は例年9月ごろ行われ、筑波実験棟やフォトンファクトリー (PF) など実験施設の見学、簡単な実験やクイズなどの体験型企画、研究者による科学講演、サイエンスカフェなどが行われていました。毎年、近隣住民中心に約4,000人の来場者でにぎわっていました。また、東海キャンパスでも同様の施設公開を実施していました。

しかし、2020 年度は新型コロナの影響で、いずれもオンラインでの公開となりました。2020 年 9 月 6



日に開かれた KEK 一般公開は、研究者トークを中心 としたライブ配信がメーンで、延べ視聴者数はニコニコ生放送で約 13,000 人、YouTube で約 6,000 人 に上りました。また、東海キャンパスの J-PARC オンライン施設公開は 10 月に行われ、約 5,400 人が参加しました。



研究者トークなど約20のライブ企画が組まれたKEK一般公開

科学技術週間

全国の研究機関や大学で科学技術に関するイベントが行われる「科学技術週間」の一環として、毎年4月につくばキャンパスで行われていた「キャンパス公開」は、2020年度は折からのコロナ禍のため中止になりました。

見学受入

つくばキャンパスには常設の展示ホール「コミュニケーションプラザ」があり、来構者に KEK の研究に



コミュニケーションプラザの入り口では名前・住所・電話番号の記入、体温の測定、手指の消毒、マスクの着用など新型コロナ予防対策の徹底を呼び掛けています。

ついて紹介しています。加速器が動く仕組みや素粒子について学んだり、宇宙から降り注ぐ宇宙線を観察したりできます。また 10 人以上で事前予約をすると敷地内の実験施設の見学もできます。

2019 年度の個人見学者は 7,052 人で、団体見学者は 5,787人でした。しかし 2020 年度は新型コロナ感染症対策で受け入れ中止や制限などを行ったため、個人見学者が 420 人で団体見学者が 434 人と大幅に減りました。

KEK 公開講座

KEK の加速器科学について興味を持ってもらおうと、つくばキャンパスの小林ホールで毎年春と秋に地域住民など対象に「KEK 公開講座」を実施しています。しかし 2020 年度の KEK 公開講座は春、秋ともに新型コロナ感染症対策のため中止になりました。2021 年度はオンラインで開催する計画です。

KEK サイエンスカフェ

はぼ毎週金曜日につくば駅前ビルにある「交流サロン」で KEK サイエンスカフェを開いていました。毎月1つのテーマを決めて、若手研究者に話題を提供してもらい、先端研究の面白さなど、お茶を飲みながら参加者と議論するイベントです。参加者は学校帰りの地元の中高生を中心とした約30人で、将来の物理学者を育てることが狙いです。

2015 年 11 月スタートした KEK の地域アウトリーチ活動ですが、2020 年 3 月以降、新型コロナ感染症対策のため中止せざるを得なくなりました。

日比谷カレッジ

千代田区立日比谷図書文化館は「日比谷カレッジ」と題して歴史、文化、芸術などの多彩なテーマで講演、セミナー、ワークショップなどを主催しています。 KEK はこの日比谷カレッジの中の「KEK 物理学シリーズ」として、2019 年 9 月に第1回で講演して以来、半年に1回くらいのペースで講演しています。

2020年10月は村上洋一教授が「電子の悩みが新材料を生み出す~量子ビームで見るナノ構造」を、2021年3月には中山浩幸助教が「宇宙誕生のナゾを探る巨大な粒子加速器」をテーマに講演しました。



いずれも新型コロナ禍のため、参加者数を大ホール 定員の4分の1に絞って実施しました。

力の入った講演を1回限りで終わらせるのはもったいないので、これから全国の KEK ファンに YouTube でも見てもらえるよう毎回の録画映像を KEK チャンネルに上げていく計画です。



定員を4分の1に絞った日比谷図書文化館の大ホール

KEK キャラバン

KEK の活動を全国の子どもたちに知ってもらおうと、KEK の研究者や職員を全国の学校や研修会、市民講座、日曜親子教室、実験教室などに講師として派遣する「KEK キャラバン」を 2010 年 4 月から行っています。加速器を用いた素粒子や物質、生命の研究、その研究を支える仕事などを紹介しています。

2019年度は、39件の出前授業を行いましたが、

2020 年度は新型コロナ禍で講師の派遣が難しくなったこともあり、2020 年度の実績は例年の半分の21件にとどまりました。ただし、21件のうち10件は講師派遣ではなくリモート授業の形で実施しました。新型コロナ禍が終息しても今後、どんな遠方でも簡便に実施できるリモート授業方式が主流になりそうです。

KEK コンサート

年に数回、国内外で活躍する演奏家を招いて、つくばキャンパスの小林ホールで音楽コンサートを開いています。2003年度からは地域との交流促進のため入場を無料にしました。ジャンルはバロックから現代までのクラシック音楽に加え、邦楽やラテン音楽など多様です。しかし2020年度は、新型コロナ禍のためすべて中止になりました。

科学と音楽の饗宴

「科学と音楽の響宴」は科学に関する分かりやすい 講演と、音楽コンサートを組み合わせたレクチャー& コンサートです。地域の文化活動の一環としてつくば 文化振興財団と共同で毎年、つくば市にある国内有 数の音響効果をもつ「ノバホール」で実施しています。 2020 年度は、コロナ禍のため中止になりました。

教育プログラムの実施

TYL スクール理系女子キャンプ

理系分野への進学を考えている女子高校生を対象に毎年全国から30人の女子高生・高専生を招いて、つくばキャンパスで2日間のサイエンスキャンプを開いています。TYL (Toshiko Yuasa Laboratory) は国際的に活躍した日本人女性物理学者・湯浅年子博士の偉業にちなんだ日仏共同研究事業です。

2020 年度の第 9 回 TYL スクール・理系女子キャンプはコロナ禍のため従来の滞在型スクールができなくなり、代わって 9 月 19 日の 1 日だけの Zoom を使ったオンライン形式で行われました。参加者は 11 人で、

先輩女性研究者からの講演と質疑応答などが展開されました。



第9回理系女子キャンプの様子





Belle Plus (ベル・プリュス)

全国の高校、高専生を対象にした、つくばキャンパスでの素粒子物理の体験型サイエンスキャンプです。 予備知識がなくても本格的な研究が体験できる4日間のコースで、奈良教育大学との共催です。2020年度はコロナ禍のため、12月から1月にかけて4日間のオンラインプログラムで実施され、17人の高校生が3つのコースに分かれて実習を体験しました。



Belle Plus 参加者とスタッフの集合写真

サマーチャレンジ

サマーチャレンジは大学 3 年生と高専専攻科 1 年生を対象にした、つくばキャンパスに約 1 週間滞在する研究体験型イベントで、基礎研究を担う若手研究者を育てることが目的です。2020 年度のサマーチャレンジは中止になりましたが、2021 年度はオンラインで開催する予定です。

ウインター・サイエンスキャンプ

高校生・高専生を対象とした科学技術体験の3泊4日の合宿プログラムで、測定機器の製作・調整からデータ取得・整理、成果発表に至るまでの一連の研究の進め方を学ぶのが目的です。2020年度はオンラインの1日コースとなり、12月25日に7人の高校生が3つの実習コースと1つの講義コースに分かれて参加しました。

高校生等実習受入

全国の中高生を対象に、KEKの研究の現場を肌で感じてもらおうと毎年、つくばキャンパスで実習の受け入れを行っています。2019年度は全国の17校から599人が丸一日かけて見学、講義、実習を体験しましたが、2020年度は3校から95人の参加にとどまりました。

職場体験

文部科学省が推進する中高生対象の学習活動プログラムです。生徒が働く人と接することで、学ぶことや働くことの意義を実感し、主体的に進路を選択、決定する態度や意志、意欲などを培うことを目指して行われています。2019年度は中高合わせて10校から25人がつくばキャンパスを訪れましたが、2020年度は1校から1人の参加でした。

地域との共生活動

茅葺き屋根保存会による茅刈り

つくばキャンパスは、実験施設周辺以外は自然の草地になっており、一部には良質の「茅」が群生しています。KEKでは地域社会への貢献として、2004年よりこの茅を茅葺き屋根保存のために提供しており、この茅場は、2013年3月に文化庁より文化財建造物の修理に必要な資材のモデル供給林及び研修林となる「ふるさと文化財の森」に設定されています。

2020年度は、12月19日、20日の2日間、やさ



茅刈りの模様





と茅葺き屋根保存会と日本茅葺き文化協会、ボランティアによって茅刈りが実施され、2日間で延べ約90名の参加者がありました。刈り取られた茅は、石

岡市などの茅葺き民家の葺き替えに利用されました。今後も茅場の保全に取り組み、このような地域 社会への貢献活動を続けていく予定です。

産学官の連携活動

オープンイノベーション拠点 TIA

TIA は、世界水準の先端研究設備・人材が集積するつくばにおいて、内閣府、文部科学省及び経済産業省からの支援を得て、産業技術総合研究所、物質・材料研究機構、筑波大学、KEK (2012 年 4 月参画)、東京大学(2016年4月参画)の5つが中核機関となり、産業界の協力を得て世界的な研究開発・教育拠点構築を目指すオープン・イノベーション拠点です。2020年 4 月からはさらに東北大学が TIA に参画し、つくばの枠を超え、活動分野もバイオ、医療、計算科学、IoT 等の新しい分野に拡大しています。

TIAでは 2016 年 4 月より参画機関が組織の枠を超えて連携する「TIA 連携プログラム探索推進事業(かけはし)」を開始しました。2020 年度の「かけはし」事業では、提案テーマ数は 75 件に上り、バイオ、計算科学、IoT、ビッグデータ解析などの新領域、融合領域を含む 52 件が採択され、このうち 20 件のプログラムに KEK の研究者が参画しました。KEK では、TIA が魅力ある世界的オープンイノベーション拠点となるよう連携・協力を進めています。



大学加速器連携協議会

大学共同利用機関法人である KEK の加速器研究施設と大学の加速器施設や加速器関連講座が共同して、大学や KEK の加速器研究を取り巻く難問題を打破し、加速器科学発展を推進する全国組織体「大学加速器連携協議会」を 2017 年 4 月に設立しました。

2020年3月現在、42の大学の加速器施設や講座が参加して次のような共同事業を行っています。

- (ア)大学加速器施設と KEK 加速器研究施設の情報 共有
- (イ)加速器技術向上や加速器科学の新展開に関する 検討(協働プラン策定等)
- (ウ)大学加速器施設の維持・管理・運用や機能向上に関する相互扶助・協力
- (エ)加速器関連の人材育成

2020 年 4 月には大学加速器施設一覧の第 2 版を 発刊しました。

また、大学の教職員・学生、大学の地元の自治体・企業に、加速器の先端性と将来性を発信するための 講演会・施設見学会も実施しています(2020年12月「広島大学・KEK-day~加速器のすすめ~」開催)。



大学加速器連携協議会への参加大学





先端加速器科学技術推進協議会

先端加速器科学技術推進協議会 (AAA: Advanced Accelerator Association) は、産学官政の連携により、次世代の加速器科学を担う技術開発を推進するための組織です。従来行ってきた現場担当者や研究者レベルでの様々な連携や協力、情報交換に加え、企業のトップレベルや有識者も含めた体制で加速器開発に必要となる技術開発を推進しています。

国際リニアコライダー (ILC)を中核モデルケースと定め、技術面のみならず、知的財産の取扱いや組織のガバナンスの検討、広報活動の実施等、様々な活動を展開しています。KEK は山内正則機構長が理事として参加しており、科学と技術の両面から協議会の活動に貢献しています。

また、超伝導加速器技術を応用した次々世代の 半導体微細加工技術で必要となる EUV (Extreme Ultraviolet) 光源開発等もサポートしています。



第5回 EUV-FEL ワークショップの案内

多企業参画ラボ

研究大学強化促進事業において制度設計を行い、 2016 年度末に多企業参画ラボ事業が制定されました。これは KEK から産み出される加速器技術やその 周辺技術を核として企業と様々な連携を推進するプ ラットフォームを形成することにより、継続的にイノベーションを創出するための事業です。2017 年度から、その中核に共創コンソーシアムを設置し事業を推進しています。共創コンソーシアムは、企業法人、その他の法人が参加する会員制とし、ニーズ・シーズのマッチングを進め、会員間の様々な連携を推進することにより、新たなテーマの発掘、発展を図ることを目指して活動を行っています。2019 年度からは、KEK の特定のシーズに基づく産学連携コンソーシアムとして、応用超伝導加速器コンソーシアム、CryoEM(クライオ電子顕微鏡) コンソーシアム、SOI 量子イメージセンサコンソーシアムを開設しました。2020 年度は、産学連携コンソーシアムに総数で企業 20 社、大学等公的機関 36 団体の参加がありました。



加速器技術と多企業参画ラボ

安全安心文化の醸成

つくばキャンパスにおける取り組み

KEKでは、毎年秋に安全・衛生週間を実施し、関連するイベントを集中的に開催し、職員の他、共同利用者、学生、委託業者の方に参加していただき、安全意識の向上に努めています。2020年度は11月24日(火)から11月27日(金)まで行い、新型コロナウイルス感染症に関連して機構産業医による講演

として「コロナストレスとその対処」と題して、健康講演会を行いました。また、機構の新型コロナウイルス感染対応について職員と機構長・理事や所長・施設長との意見交換会を併せて開催しました。さらに、レーザー安全、電気安全、薬品安全、放射線安全、安全全般の講習会、クレーン・玉掛けの実技リフレッ



シュ講習会、自分の所属する施設以外の施設を確認する安全視察を実施し、安全文化を醸成する取り組みなどを実施しました。安全・環境への取り組みや健康に関するパネル展示についても行いました。

また、ヒヤリハット投書箱を通してのヒヤリハット 事例の収集、「安全最優先」と大きく表記したポスターの掲示を継続して行っており、日常の中での安全衛生に関する意識の喚起に役立っています。さらに、火災、地震、ケガ、放射線事故、化学物質の汚染等の緊急時の対応を電話帳形式にまとめた緊急時対応手順書も日本語版と英語版を並べて掲示することも継続して行っており、いざというときに活用できるようにしています。



職員と機構長・理事や所長・施設長との意見交換会の模様

J-PARC センターにおける取り組み

J-PARC センターでは、職員及び関係者の安全意識を向上させるための取り組みを継続的に進めています。

(1) J-PARC 安全の日

J-PARC センターでは、2013 年に J-PARC で放射性物質漏えい事故が発生した 5月 23 日の前後に「J-PARC 安全の日」を設け、職員各自が安全について考える日としてきました。2020 年は、新型コロナウイルス感染症の拡大を受け、「安全の日」の開催を5月から延期することとし、感染の拡大状況と社会情勢などを踏まえ、9月9日午後にリモートライブ形式で開催することとなりました(参加者 249 名)。

齊藤センター長からの開会挨拶に続き、安全への 良好な取り組みに関わるセンター長表彰として、良



労働安全衛生総合研究所・北條理恵子先生の講演の様子

好事例の「最多賞」(2件)、「安全配慮賞」(1件)、「創意工夫賞」(2件)の各賞受賞グループが表彰され、受賞グループからは良好事例の内容が背景なども含め紹介されました。また、「J-PARCで働く全ての皆様」の「新型コロナウイルス感染予防対策」に対し、「衛生配慮賞」が授与されました。

引き続き、招待講演として、労働安全衛生総合研究所の北條理恵子先生から、「産業安全行動分析学への招待」と題した講演をいただきました。人間の行動を科学的に測定・評価し、周りの環境や行動を変化させることで好ましい状況を作り出していこうとする行動分析学の考え方を、産業現場での安全行動に応用する産業安全行動分析学の取り組みに関わる、興味深いお話を伺うことができました。

また、2013年の放射性物質漏えい事故に関する記録として、技術的側面に重点をおいて事故の発生状況を説明する記録映像を上映しました。最後に、石井・安全統括副センター長から「これまでの取り組みを振り返りつつ、将来に向かって」の講話があり、研修会を終えました。





(2) その他の取り組み

J-PARC センターでは、新構成員の配属時、及びユーザーの年度最初の来所時に、作業を安全に行うためのルールと注意事項、事故等が発生した場合の対応(避難・連絡)、安全に関する各種相談・連絡先などに関わる教育を行っています。これらの教育においては、センター長からの安全に関わるメッセージや、2013 年の放射性物質漏えい事故から学んだ教訓なども含めており、安全意識の向上と継続を図っています。

また、業務上の各種作業において責任者となる職員に対しては、外部機関を利用する「体感型安全教育」、及び「作業責任者の役割と事故・トラブル事例」に関わる教育を行っています。

作業責任者の役割 □ ストップワーク を徹底する。 □ 役割・分担が 決まっていることを 確認する。 □ KY・TBMで、気づきや ヒヤリハットを共有する。 □ 作業に潜む リスクを伝える。

作業責任者教育の受講者に発行される「作業責任者ライセンスカード」の記載内容

職場環境の向上

健康管理

年1回の一般定期健康診断と年2回の特殊定期健康診断(電離放射線、特定化学物質等)の他、子宮がん検診、大腸がん検診、胃がん検診をそれぞれ実施しました。2020年度は、新型コロナウイルス感染症対策も兼ねて、受診者の負担を減らすことを目的に、放射線被ばくのない人の電離放射線の特殊定期健康診断については、前期の1回分を検査項目の省略できる問診による健診方法に変更しました。このほか雇入時の健康診断及び長期海外渡航等に係る健康診断を随時実施しています。

健康相談室では、健康診断の結果に基づいて産業医等による保健指導を行うとともに、職員からの健康相談には随時対応してきました。また、職員の健康と健康意識の向上に向けた取り組みとして、「現在の状況下における健康維持について」と題して産業医による安全衛生講習会をつくばキャンパス及び東海キャンパスのそれぞれで開催しました。

KEKではこれらの取り組みを行い、職員の健康の維持・管理、増進に努めました。

巡視点検

法令等に基づき職場の安全衛生確保と職員の健 康障害を防止するため、産業医、衛生管理者による 巡視点検を両キャンパスあわせて 126 回 (累計 379 棟) 実施し、指摘事項は159件あり、87.4%が改善 されました。2020年度当初は、新型コロナウイルス 感染症予防対策が十分に確立されていないこともあ り、実験室等に関係者が一堂に集まっての従来型の 巡視点検を一時延期とし、巡視者を絞り、ごく少数 の担当者により管理棟や各研究所施設の事務室等、 多くの職員が執務する場所を中心に点検を行いまし た。特に換気による対策が効果的であるという知見 から空気環境測定による職場環境のアセスメントを するともとに、換気の方法をはじめとする感染予防 に有益な情報収集と、職員への情報展開に努めまし た。また、予防対策が定着した後も、年間を通して 「感染予防」をメインテーマに掲げ、巡視点検を再開 したところ、各研究所施設及び管理棟等において指 摘件数は少なく、感染予防対策がなされていたと考 えられます。





AED 設置と取扱訓練

AED(自動体外式除細動器)は、2021年3月末現在、つくばキャンパスに計10ヶ所、東海キャンパス(J-PARCを含む)に計15ヶ所、設置されています。

なお、2020 年度も、「安全・衛生週間」のイベントのひとつとして、東海キャンパスにおいては「AED 講習会」を開催し、9 名の職員等の参加があり、心肺蘇生法、AED 使用方法の訓練を受けました。つくばキャンパスでは「普通救命講習会」の開催を計画しましたが、新型コロナウイルス感染症が流行し、消防署からの講師派遣ができなかったことから、中止することにしました。



AED 講習会の模様 (J-PARC センター)

作業環境測定

労働安全衛生法に定める有機溶剤または特定化 学物質を取り扱う場合、作業場に対する作業環境測 定(当該化学物質の空気中の濃度測定)及び作業者 に対する特殊健康診断が義務付けられています。化 学実験棟水質検査室で委託業者が行っている水質 検査業務のうち、ノルマルへキサンを取り扱う検査、 及び STF 棟内電解研磨設備において電解液として硫 酸とフッ化水素酸の混酸を使用する作業が有害業務 に該当し、定期的に作業環境測定を行っています。 2020 年度は 9 月と 3 月にノルマルへキサンの作業環 境測定を、4 月と 10 月にフッ化水素の作業環境測定 を行いました。双方の作業場においていずれの測定 も第 1 管理区分(適切)に評価され、作業環境上問 題のないことが確認されました。

防災への対応

つくばキャンパス全体規模で大地震の発生から火 災に至るとの想定で防災・防火訓練に加え、逃げ遅れ者の救助を想定した緊急事態等対応訓練を計画しましたが、実施直前に新型コロナウイルス感染症の陽性者が発生したことから、中止することにしました。

東海キャンパスにおいては、J-PARCセンターによる計画外被ばく事象の発生を想定した訓練、事故発生時の対応に関する訓練や消火器取扱訓練等を行ったほか、JAEA 原科研が実施した大地震に続いて大津波が発生したとの想定による防災訓練に参加しました。



緊急時対応訓練の模様 (J-PARC センター

事故等

2020 年度、つくばキャンパス・東海キャンパス合わせて交通事故 14 件、発火発煙事故 1 件、傷病 2 件、その他事故 (作業中の物損やケガなど) 3 件がありました。特に交通事故の原因は、出退勤時での自動車等による接触事故 (2 件) や構内で車を操作する際の接触事故 (12 件)等の当事者の不注意や確認ミスによる物損事故、自転車による転倒事故等でした。このことから、職員の他、ユーザーや業者に対して、構内での交通ルールの遵守についてのメールを配信し、注意喚起を行いました。





業務委託業者等への安全衛生教育

KEKの加速器や関連施設等の運転維持には数多くの業務委託の作業員が携わっています。更に工事や 役務等の業者の方も構内で作業を行っています。

2020 年度に発生した事故の中には、業務委託の作業員の関わった事故も多く含まれています。 KEK では、業務委託業者等を対象として、毎年、安全業務連絡会を開催しています。 2020 年度は 2 月にリモートで開催し、つくばキャンパスの安全全般、構内での交通安全についての講演のほか、電気安全、化学安全についてビデオ視聴による講習を実施しました。

また、J-PARC においても、作業における安全情報を業者と職員が共有・意見交換する「J-PARC 請負業者等安全衛生連絡会」を 6 月にリモート開催し、毎月1回の頻度で J-PARC の状況をメールニュースとして配信・共有しています。



安全業務連絡会の模様

安全衛生講習会の実施

KEK では、業務上多数の職員が公用車(業務上における自家用自動車使用を含む)又は自家用自動車を運転している実態を踏まえ、自動車の安全な運転の確保を目的とし、KEK の業務に従事する運転者

に対して道路交通法に基づく交通安全教育を例年、 行っています。

2020 年度、つくばキャンパスにおいては、3月5日に安全運転管理者による構内での交通安全の講演と交通安全ビデオの視聴及び機構産業医の講師による健康講演を実施しました。東海キャンパスでは3月17日に、一般財団法人茨城県安全運転管理協会から講師を招いて「安全運転講習会」、1月28日に機構産業医を講師とした「安全衛生講習会」を実施しました。



「安全運転講習会」の模様

KEK クリーンアップ月間

KEKでは、12月1日から28日の1か月間、職場の整理・整頓作業を通じて職員の安全・衛生意識の向上を図るとともに、職場環境を改善し事故及び怪我を防止することを目的に、「KEKクリーンアップ月間」を実施しました。このキャンペーンでは、①各研究所・研究施設等で組織的に「整理・整頓・清掃・清潔」を実施する、②「整理」必要な物と不要な物を分け、不要な物を捨てる、③「整頓」置き場所、置き方を決め、表示を確実に行う、を重点目標にして取り組みました。



有志によるキャンパスゴミ拾い

クリーンアップ月間の期間中、有志によるキャンパスゴミ拾いを行いました。つくばキャンパスでは 12月 10日の昼休みに 35名が参加し、キャンパスの正門付近構外のゴミを拾いました。今回は、新型コロナウイルス感染症防止として、密になる車での移動は取りやめ、徒歩で拾える範囲としました。東海キャンパスでは 12月 2日昼休みに 25名が参加し、東海1号館周辺のゴミを拾いました。今後も継続して行っていきます。



多くの有志が参加したゴミ拾いの模様(つくばキャンパス)

育児・介護・女性教職員支援

KEKでは、男女共同参画社会の実現を目指し、仕事と家庭の両立や雇用環境の整備等に関して男女共同参画推進室を中心に活動しています。同室は、育児・介護及び女性教職員への各種の支援について、ホームページにて育児・介護のための休暇・休業制度や休業補償制度等に関する情報提供を行うとともに、大学共同利用機関法人4機構連携での男女共同参画講演会なども開催しています。その他、主な支援の状況は以下の通りです。



理系女子キャンプオンライン企画での様子

【育児支援】

- ・KEK ベビーシッター利用支援事業(費用補助等)
- ・公益法人全国保育サービス協会のベビーシッター派遣事業割引券の利用
- ・育児支援室の設置(常設)
- ・産前産後休暇及び育児休業中職員の代替要員に関する取扱いを制定
- ・産前産後休暇及び育児休業中の管理局職員の自宅における VPN 利用を可能に
- ・一般公開の出勤職員を対象に機構内で一時保育を実施

【介護支援】

・介護支援情報の提供

【女子教職員支援】

- ・女子休憩室 (搾乳室)の設置及び実験施設等への女子トイレの順次設置
- ・海外若手女性研究者受入事業 (アテナプログラム)の実施
- ・I-URIC/4 機構連携男女共同参画講演会の開催
- ・一般公開において「男女共同参画推進説明・相談コーナー」のブース開設
- ・育児・介護に携わる職員への在宅勤務制度導入(2020年10月)

【女性研究者の育成支援】

・TYL スクール理系女子キャンプの開催 (2020 年度はコロナ過を受けオンラインで開催)



環境データ集

	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020 年度	単位	記載
総エネルギー投入量(合計)	3,083,410	2,778,176	3,371,712	3,618,041	3,813,872		
つくばキャンパス	1,916,909	1,615,938	2,475,405	2,830,867	3,021,664	GJ	p.16
東海キャンパス	1,166,501	1,162,239	896,307	787,174	792,208		
電力使用量(合計)	312,611	281,093	342,032	372,715	393,075		
つくばキャンパス	191,298	160,264	249,465	291,457	311,321	MWh	n 16
東海キャンパス J-PARC,RNB	120,292	119,775	91,637	80,350	80,777	IVIVVII	p.16
東海キャンパス 東海1号館*	1,021	1,054	245 685	907	977		
都市ガス使用量(つくばキャンパス)	1,707	1,448	1,304	173	140	千m³	p.17
石油燃料使用量(合計)	26	24	23	20	17		
つくばキャンパス (合計)	9.2	8.5	8.4	8.3	7.6		
ガソリン	6.9	6.6	6.6	5.9	5.6		
軽油	1.6	1.5	1.2	1.8	1.5	kL	n 17
A 重油	0.66	0.48	0.6	0.56	0.5	KL	p.17
東海キャンパス (合計)	17.1	15.3	15.0	12.0	9.4		
ガソリン	16.2	14.7	14.0	11.5	8.7		
軽油	0.87	0.54	1.0	0.5	0.7		
太陽光発電量(合計)	79.3	81.0	79.3	74.8	75.1		p.17
4号館	18.8	18.9	19.0	18.1	18.3	MWh	
管理棟	60.5	62.0	60.3	56.7	56.8		
印刷用紙購入量	24	24	19	22	14	t	p.18
水資源使用量(合計)	316	296	313	311	297		
つくばキャンパス (合計)	146	122	160	172	155		p.18
上水	130	110	141	144	139		
井水	16	12	19	28	16	+m³	
東海キャンパス (合計)	169	174	153	139	142		
上水	10	10	11	9	9		
工水	159	164	142	130	133		
ヘリウム供給量(合計)	146.9	133.5	150.4	148.1	132.4	kL	
供給量(つくばキャンパス)	125.7	111.7	124.4	129.0	110.2	kL	p.18
回収率(つくばキャンパス)	96.4	91	95	89	88	% '	
供給量(東海キャンパス)	21.2	21.8	26	19.1	22.2		p.19
回収率(東海キャンパス)	93.6	94.4	94.4	96	94	%	

^{* 2018} 年度の東海 1 号館は 4/1-7/15 と 7/16-3/31 で契約電気事業者が異なる。

			/ -t-	/	/	N/ / I	
	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	単位	記載
CO ₂ 排出量 (合計)	160,177	139,906	156,222	174,867	179,990		
つくばキャンパス	99,501	81,158	112,211	136,810	142,606	t-CO ₂	p.19
東海キャンパス	60,676	58,748	44,011	38,057	37,384		
廃棄物(合計)	319,869	349,869	202,721	333,080	231,513		
一般廃棄物(合計)	105,487	108,219	100,686	95,282	83,698		
つくばキャンパス	79,430	83,220	74,540	70,040	60,880		
東海キャンパス	26,057	24,999	26,146	25,242	22,818		
産業廃棄物(合計)	179,606	216,132	82,397	201,405	131,603	_	p.19
つくばキャンパス	140,020	206,240	80,065	198,045	123,839	t	p.20
東海キャンパス	39,586	9,892	2,332	3,360	7,764		
実験系廃棄物(合計)	34,776	25,518	19,637	36,393	16,212		
つくばキャンパス	13,697	21,203	19,412	35,896	13,950		
東海キャンパス	21,079	4,315	225	497	2,262		
放射性廃棄物(合計)	22,092	7,918	4,724	11,568	6,802		
つくばキャンパス	5,104	0	0	0	0	L	p.21
東海キャンパス	16,988	7,918	4,724	11,568	6,802		
リサイクル (合計)	918,890	490,960	379,441	508,785	179,317		
古紙	37,860	36,420	31,970	32,270	37,480	l. =	p.21
文書溶解処理	9,680	6,640	12,200	9,970	9,435	kg	
金属屑	871,350	447,900	335,271	466,545	132,402		
下水道排出量 (合計)	121	84	72	92	82		
つくばキャンパス	117	79	67	87	77	+̃m³	p.22
東海キャンパス	4	5	5	4	4		

換算係数表

揆异馀致衣								
	2005年度*1	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	単位	
単位発熱量								
電力(昼間)	9.97	9.97	9.97	9.97	9.97	9.97	GJ/MWh	
電力(夜間)	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28	GJ/MWh	
都市ガス	45	45	45	45	45	45	GJ/ ←m³	
ガソリン	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6		
軽油	38.2	37.7	37.7	37.7	37.7	37.7	GJ/kL	
A 重油	_	39.1	39.1	39.1	39.1	39.1		
二酸化炭素換算係数								
電力 ^{* 2} つくば	0.555	0.500	0.486	0.438	0.468	0.457		
東海 J-PARC,RNB	_	0.500	0.486	0.475	0.468	0.457	t-CO ₂ /MWh	
東海1号館*3	_	0.480	0.476	0.502 0.475	0.468	0.457		
都市ガス	0.0506	0.0499	0.0499	0.0499	0.0499	0.0499		
ガソリン	0.0671	0.0671	0.0671	0.0671	0.0671	0.0671	t-CO ₂ /GJ	
軽油	0.0686	0.0686	0.0686	0.0686	0.0686	0.0686	1-002/03	
A 重油	_	0.0693	0.0693	0.0693	0.0693	0.0693		

^{**1「}大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構における地球温暖化対策のための計画書」における温室効果ガス排出削減基準年(2005年度はガソリン、軽油、A重油を算出に入れていない。)

**2005年度は地球温暖化対策の推進に関する法律に基づくデフォルト値、2015年度以降は契約電気事業者の値。

^{**32018} 年度の東海 1 号館は 4/1-7/15 と 7/16-3/31 で契約電気事業者が異なるため、排出係数も異なる。

用語集

略語

WNSC

Wako Nuclear Science Center

ATF Accelerator Test Facility 先	片端加速器試験施設
BINP Budker Institute of Nuclear Physics	コシア ブドカ原子核研究所
CERN Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire 欧	次州合同原子核研究機関
CMB Cosmic Microwave Background 宇	宇宙マイクロ波背景放射
CSR Corporate Social Responsibility 企	と業の社会的責任
DESY Deutsches Elektronen-Synchrotron	ドイツ電子シンクロトロン研究所
ERL Energy Recovery Linac	Cネルギー回収型リニアック
Fermilab Fermi National Accelerator Laboratory **	Kフェルミ国立加速器研究所
HFC Hydrofluorocarbon /\	\イドロフルオロカーボン
IHEP Institute of High Energy Physics, Chinese Academy 中	中国科学院高能物理研究所
of Sciences	
ILC International Linear Collider	国際リニアコライダー
INFN Istituto Nazionale di Fisica Nucleare	イタリア国立原子核研究機構
JAEA Japan Atomic Energy Agency	日本原子力研究開発機構
JLab Jefferson Laboratory **	Kジェファーソン研究所
J-PARC Japan Proton Accelerator Research Complex 大	大強度陽子加速器施設
KISS KEK Isotope Separation System 元	元素選択型分離装置
LINAC Linear Accelerator 線	泉形加速器
MLF Materials and Life Science Experimental Facility 物	物質・生命科学実験施設
MR Main Ring 30	0 GeV 主リング・シンクロトロン
NIMS National Institute for Materials Science 物	勿質・材料研究機構
PCB Poly Chlorinated Biphenyl ポ	ポリ塩化ビフェニル
PF Photon Factory 放	女射光実験施設
PF-AR Photon Factory - Advanced Ring 大	大強度パルス放射光専用光源
PSI Paul Scherrer Institute 7	スイス ポールシュラー研究所
RCS Rapid Cycling Synchrotron 3	GeV シンクロトロン
RI Radio Isotope 放	女射性同位体
RRCAT Raja Ramanna Centre for Advanced Technology \supset	ラジャ・ラマンナ先端工学センター
STF Superconducting RF Test Facility 超	23伝導リニアック試験施設
T2K Tokai to Kamioka 長	長基線ニュートリノ振動実験
UCN Ultra-Cold Neutron 超	22冷中性子

和光原子核科学センター

用語

用語	説明	頁数
ATF(先端加速器試験施設)	ILC 計画において重要な、ビーム径が非常に小さく平行性の良い電子ビームを生成するためのビーム測定装置やビーム制御装置の 先端的開発研究を行う施設。世界一質の高い電子ビームを生成	7
	する。	
B 中間子	クォークと反クォークが結合してできた粒子を中間子と言い、現	5
	在知られてる6つのクォークとその反粒子の任意の組み合わせで	
	作られる。B (ボトム) クォークを含む中間子を B 中間子と言う。	
B ファクトリー	電子と陽電子を衝突させることで、大量にB中間子・反B中間	7,11
	子対を生成させることから、KEKB 加速器は B ファクトリー (B 中	
	間子を作る工場)と呼ばれる。B中間子と反B中間子の崩壊の	
	違いを観測することで、CP 対称性の破れ (粒子と反粒子の本質	
	的な性質の違いのこと)を発見した。KEKBの高度化計画である	
	SuperKEKB では、B 中間子の CP 対称性の破れをさらに精密に測	
	定し、現在の宇宙に粒子ばかりが存在し、反粒子が消えてしまっ	
	た理由に迫る。	
ERL (エネルギー回収型リニアック)	電子ビームを楕円形のリングで一周させ、平行度や強度の高い放	7
	射光を得るための加速器。一周した電子ビームのエネルギーをリ	
	ニアックで回収し、別の電子ビームの加速に再利用することから	
	「エネルギー回収型」と呼ばれる。	
eV	電子ボルト。	8,9,
	1ボルトの電位差(電圧)で加速された電子の運動のエネルギー。	27,31, 34,35,
	エネルギーの一般的な単位である J (ジュール) で表すと、1 eV は	36
	1.6x10 ⁻¹⁹ J となる。	
	1 keV = 1,000 eV, 1 MeV = 1,000 keV, 1 GeV = 1,000 MeV	
ILC (国際リニアコライダー計画)	世界最高エネルギーの電子と陽電子を衝突させる実験を行う、国	1
	際共同研究計画。約30 km に及ぶ地下直線トンネル内に建設す	46
	る直線型の超伝導加速器を利用する。LHC 計画などで探索が進	
	められているヒッグス粒子の精密な調査や、超対称性粒子の発	
	見などを目指す。	
,	放射光を用いて、物理学、化学、生物学、工学、農学、薬学、	6,7, 36,41
験施設)	医学、産業応用など幅広い分野の研究を行っている共同利用研	30,41
	究施設。	
T2K(長基線ニュートリノ振動実験)	茨城県東海村の J-PARC でニュートリノビームを発生させ、295	5,6,8
	km 離れた岐阜県飛騨市神岡町の地下 1,000 m にあるスーパーカ	
	ミオカンデで検出することで、ニュートリノが飛行中に他の種類	
	のニュートリノに変わる「ニュートリノ振動現象」を調べる実験。	
STF (超伝導リニアック試験施設)	超伝導加速空洞システムの総合的試験を行う試験開発施設。冷	7,49
	却設備、大電力マイクロ波発生装置、空洞保冷装置(クライオス	
	タット)、試験用電子ビーム発生装置などを備える。	

用語	説明	頁数
クォーク	物質の最小単位と考えられており、アップ、ダウン、チャーム、ストレンジ、トップ、ボトムの 6 種類が知られている。	4,31, 32
シンクロトロン	円形軌道上で粒子を加速すると、偏向電磁石の強さが一定であれば、エネルギーに従って軌道半径が大きくなっていく。高エネルギー加速器では、軌道半径に伴って大型になるのを避けるため、一定の円形軌道の上を通るように磁場を強くして行く方式の加速器がシンクロトロンである。	7,8,9,
スーパーカミオカンデ	岐阜県飛騨市の神岡鉱山跡地下1,000 m に建設された、東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設の検出器で、T2K 実験に加えて、宇宙から到来するニュートリノの観測や、陽子が崩壊する現象を探索する実験を行っている。	5,8
ニュートリノ	原子よりも小さく電気的に中性で、最も軽いクォークや電子の 100万分の1以下の重さしか持たない素粒子。電子型、ミュー型、 タウ型の三種類がある。	5,6,7, 8,9, 11
ハドロン	陽子や中性子や B 中間子のように、複数のクォークからできている複合粒子の総称。	4,5,7, 8,9, 11,31, 32
ビッグバン	宇宙誕生初期に起こった、超高温・超高密度の火の玉状態からの大爆発のこと。	4
放射光	高エネルギーの電子等の荷電粒子が磁場中でローレンツ力により 曲がるとき、放射される電磁波(光)で、赤外線から X 線に至る 幅広いエネルギーを持つ。放射光実験施設におけるさまざまな 研究に利用される。	4,6,7, 9,11, 18,34, 35,36, 37
ミュオン (ミューオン)	電子の仲間であるレプトンの一種で、電子の約 209 倍の重さを持つ素粒子。	4,5,6, 8,9, 11
陽電子	陽電子は電子の反粒子で、電子がマイナスの電荷を持つのに対して、陽電子はプラスの電荷を持っている。	4,5,6, 7,9, 31

以下の Web ページもご覧ください。

やさしい物理教室

≫ https://www2.kek.jp/kids/class/

加速器ってナニ?

≫ https://www2.kek.jp/kids/accelerator/

カンタン物理辞典

≫ https://www2.kek.jp/kids/jiten/

第

第三者意見



大橋 朗 氏 茨城大学大学院理工学研究科 准教授 茨城県公害審査会・委員

おおはし あきら

高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 環境報告 2021への第三者意見を述べさせていただくことになりました茨城大学の大橋と申します。学生時代からお世話になっている文珠四郎先生よりお話をいただき、このような機会をいただけたことを大変光栄に存じます。また、私自身が衛生管理者として大学で安全衛生に関する業務に携わっていることもあり、今後の活動に役立つ情報が得られるのではないかと期待して引き受けさせていただきました。

さて、本報告書を大変興味深く読ませていただきました。まず全体を通して感じたのは、それぞれの項目に対し、非常に細かく丁寧に記載された報告書であるということです。逆に言うと一般の方が読むには分量が多いように感じました。一方で各ページの右上に関連する内容のSDGsアイコンが記載されており、何の達成目標に関する報告か分かりやすくなっていました。昨年度の報告書から始めた工夫のようですが、今後も続けていただければと思います。

「環境目標・計画と達成度」ではすべての目標について「達成している」の評価となっており、素晴らしいと感じました。KEKの構成員の方々が環境目標に対して適切な活動をなされたことの現れでしょう。ただ、過去の報告書を確認すると環境目標の評価はすべての項目でずっと「〇:達成している」になっており、あまりにも安易な目標設定になっているのではと危惧しました。KEKという国を代表する組織が目指す環境目標として現在のものが適切なレベルであるか

一度検討いただけたらと思います。

あと 2020 年度はプラスチックの産業廃棄物量を 大幅に減少することができていました。近年、海洋 プラスチック問題などでプラスチックごみ削減は関心 の高い事柄です。プラスチックごみ削減のために行っ た具体的な活動を報告できれば、他の研究機関に とって有用な情報になると思います。

また昨年度から続くコロナ禍のため様々な広報・教育活動が中止に追いやられるなかでも、オンラインを活用した活動がいくつか行われていました。今後数年は従来の対面型ではなくオンライン形式の活動が中心になると思われますので、より良い方法を模索・実施いただければ幸いです。

働き甲斐のある職場環境を作るためには、職員の良好な健康状態維持が重要です。「健康管理」の項で一般定期健康診断や特殊定期健康診断などによる職員の健康管理について述べられていましたが、メンタルヘルスケアに関しては記載されていませんでした。近年、肉体的健康と同様に心の健康の重要性が叫ばれています。メンタルヘルスケアに関する活動を行っているのであれば記載されてもよいと思います。

以上、思いつくままに雑多な感想を述べさせていただきました。KEKが、宇宙・素粒子・原子核・物質・生命の謎を解き明かすうえで、さらなる貢献をされることを心より期待しております。

編集後記

KEK の環境報告 2021 をお読みいただきありがとう ございます。

KEKでは2006年度より、正確で、わかりやすい報告書を目指して毎年環境報告を公開しています。 KEKにおける環境活動はもちろんのこと、教育活動、また社会活動を広く記載し、ステークホルダーの皆様にKEKの活動をより深くご理解いただけるよう心がけましたが、どのように感じていただけたでしょうか。今年度は、茨城大学の大橋朗先生に第三者意見をいただきました。本報告及びKEKにおける環境活動全般に関して好意的な評価をいただきましたが、ご指摘いただいた環境目標設定の見直しや、掲載する情報量など、今後の環境活動に生かすとともに、さらに読みやすい報告書に改善していきたいと考えています。

KEK では、つくばキャンパスの SuperKEKB 加速器 の本格稼働で大幅な電力使用量の増加が見込まれています。大電力を消費する加速器施設を運営しなが

ら、温室効果ガス排出の削減目標を達成するのは容易なことではありませんが、KEK 構成員が一丸となって様々な省エネルギー対策を実施し、達成に向けて努力します。また KEK では今後も環境コミュニケーションの促進に加え、SDGs を強く意識した活動を幅広く展開していく所存です。

本報告書が、地域社会や関係者の皆様、広く国民の皆様とKEKとの親密なコミュニケーションツールになればと願っています。今後とも読者の皆様のご意見をお聞きし、報告書をさらに充実したものにしていきたいと考えています。

最後になりましたが、本報告の作成に当たり、編集作業を担当していただいた環境安全管理室の室員、環境・地球温暖化・省エネ対策連絡会の委員の皆様、データや原稿をお寄せいただいた方々、また、お忙しい中、本報告書の第三者意見を快く引き受けてくださった大橋先生に深く感謝致します。

2021年9月

高エネルギー加速器研究機構 環境安全管理室 室長 文珠四郎 秀昭

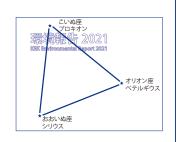
表紙写真



KEK フォトコンテスト 2020 「KEK Picture of the year 2020」 受賞 KEK つくばキャンパス 3 号館と冬の大三角形

共通基盤研究施設機械工学センター

佐藤 伸彦



表紙の冬の大三角形の位置



高エネルギー加速器研究機構 環境報告 2021

本報告書はホームページでも公表しています。

URL: https://www.kek.jp/ja/assessment/lreport/

Q KEK 環境報告 2021 で検索



環境安全管理室 〒 305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

TEL: 029-864-5498 FAX: 029-864-5567 E-mail: k-anzen@ml.post.kek.jp





