

環境報告 2023

KEK Environmental Report 2023



Photo : Yu MORIKAWA

大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構
Inter-University Research Institute Corporation High Energy Accelerator Research Organization

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、地球環境保全是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	2022年4月～2023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-anken@ml.post.kek.jp URL：https://rcwww.kek.jp/chem/
■ 公 開	2023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

KEK の役割と組織 3

- KEK の目指すもの
- 組織
- 基礎データ
- 実績データ

環境マネジメント 8

- 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
- 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
- 下水道
- 大気
- 環境会計
- 環境関連法規の遵守状況

環境関連トピックス 19

- 短寿命原子核研究用に開発された高分解能質量分光器を環境汚染物質等の化学組成分析に応用
- モーター用磁性材料の新たなエネルギーロス機構をマイクロ磁気シミュレーションにより解明
- 廃止加速器施設の放射性廃棄物の減量への取り組み
- J-PARC の電源の改良の取り組み
- 機構コロキウム「再生可能エネルギーの現在」の開催
- 環境に配慮した設備更新

社会との関わり 29

- 広報活動
- 地域との共生活動
- 安全・安心への取り組み

第三者意見 34

資料 35

- 環境データ集

用語等について

以下の Web ページをご覧ください。

- 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/>
- 用語解説
≫ <https://www2.kek.jp/ja/news/glossary/>

SDGs アイコンについて

環境マネジメント以降の各ページ右上に、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ください。

要覧

- ≫ [https://www.kek.jp/ja/publicrelations/digitallibrary/pamphlet/Annual Report \(英語のみ\)](https://www.kek.jp/ja/publicrelations/digitallibrary/pamphlet/Annual%20Report%20(英語のみ))
- ≫ <https://www2.kek.jp/library/ar/ar.html>
- KEK-PIP・KEK ロードマップ・国際諮問委員会
≫ <https://www.kek.jp/ja/assessment/roadmap/>



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

山内正剛

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。

しかしその一方では、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が完了し、試運転が進んでいます。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、ビームをより小さく絞る技術によって効率的に実験データを収集することなどで環境、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や医療につながり、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。

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き、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参ります。

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、幅広くまとめております。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 DEVELOPMENT GOALS



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 の目指すもの

KEK では、最先端の大型粒子加速器を用いて、宇宙創生の謎や物質や生命の根源など、人類の知に貢献する基礎研究を推進しています。

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—ある「クォーク」にたどり着きます。そうした素粒子や原子核などを調べるのに欠かせないのが、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高エネルギー加速器です。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。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、そのなかには、私たちのような生物も含まれます。加速器は、原子や分子レベルで物質の構造や機能を調べたり、また生命現象を解き明かしたりするうえでも強力な手段となります。

宇宙・物質・生命の研究

宇宙は約 138 億年前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。天文学では望遠鏡や人工衛星を使って天体を観測しますが、KEK は加速器を使って宇宙の初期状態を人工的に再現することで宇宙の起源に迫ろうとしています。

また、さまざまな物質・生命の構造や機能を原子や分子のレベルで詳細に観察するのに使われるのが、光速近くまで加速した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、高速の電子を金属標的に衝突させて発生させエネルギーを揃えた「低速陽電子」、加速した陽子を標的に衝突させ発生させる「中性子」や「ミュオン」などの量子ビームです。それによって、物理学、化学、生物学、地学、医学、薬学、歴史学（文化財）など幅広い分野の研究を行います。近年では、生命現象を知るための電子顕微鏡も活用されています。

日本原子力研究開発機構（JAEA）と共同で運営している J-PARC では、大強度陽子ビームを利用した素粒子・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進められています。

新しい加速器科学に向けて

欧州の大型ハドロンコライダー（LHC）で、素粒子に質量を与えるヒッグス粒子が見つかりました。質量の起源とされるこの粒子は、素粒子の「標準理論」を完成させる最後のピースになるはずでしたが、発見された粒子は標準理論だけでは説明できない性質を持っており、新しい物理の探索が求められています。

放射光分野では、異なるエネルギー領域、空間領域、時間領域の放射光を駆使して統合的に研究する時代が到来しています。一部の性能だけ先鋭化した加速器では物質に内在する情報の一部しか引き出すことができません。多様な情報を同時に得ることのできるような、新たな光源加速器技術が求められています。

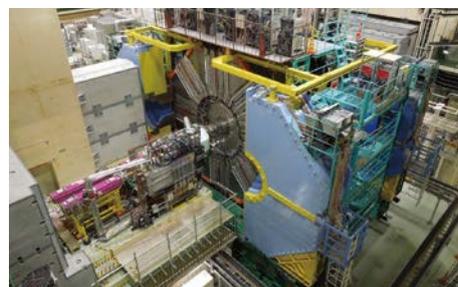
KEK は、これらに対応する研究計画を策定することを我が国の加速器科学の喫緊の課題と認識し、今後取り組むべき研究の指針である「KEK ロードマップ」の最新版を 2021 年に策定しました。それを具体的に進めるための実施計画としての「KEK Project Implementation Plan (KEK-PIP)」も策定し、2022 年度から 6 年間、その実現に向けての取り組みを進めます。

新物理探索に向けて大きな期待がかかる電子・陽電子衝突加速器である国際リニアコライダー（ILC）を国際協力で推進することや、次世代の放射光施設であるハイブリッドリング計画の実現などを目指します。

組織

素粒子原子核研究所

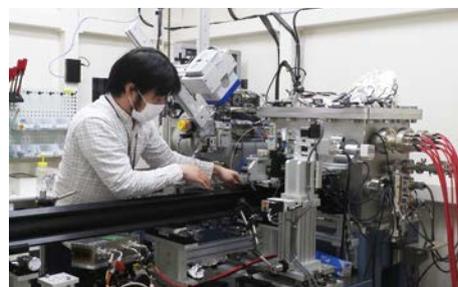
物質を構成する最小単位である素粒子や原子核のふるまいを探るため、素粒子物理学・原子核物理学の研究を実験、理論の両面から幅広く行っています。素粒子をはじめとした極微の世界の謎を解明するとともに、現在の宇宙がどのように生まれたのかという根源的な謎に、加速器など最先端技術を駆使して挑んでいます。



Belle II 測定器 (つくばキャンパス)

物質構造科学研究所

加速器から発生する放射光・中性子・ミュオン・低速陽電子を利用して、原子レベルから高分子、生体分子レベルにいたる幅広いスケールの物質の構造と機能を解明し、物質科学・生命科学の基礎から応用に至る研究をしています。複数の量子ビーム施設が連携することで、同じ物質を多角的に捉えることが可能なマルチプローブ研究を推進し、ビーム生成や利用技術などの開発研究を通して物質構造科学の発展に貢献しています。



放射光実験の様子

加速器研究施設

加速器研究施設は、KEKにおける研究の核心的な基盤である加速器の設計・建設・運転維持・性能向上を通じて、素粒子・原子核・物質・生命等に関する共同利用実験の場を国内外の研究者に提供しています。また、次世代の研究を担う最先端の加速器の開発研究を国際的に行うとともに、加速器の産業・医療等への応用、また超伝導技術など高度な加速器技術の一般産業への提供等、幅広い活動を推進しています。



J-PARCのH-リニアック (東海キャンパス)

共通基盤研究施設

加速器を使った研究に必要な様々な技術に関して、研究支援と研究開発を進めています。

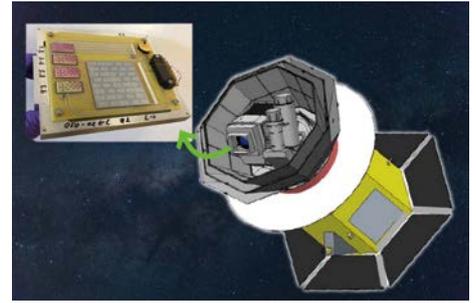
研究支援は放射線防護と環境安全、計算機・ネットワーク環境の整備・運用、液体ヘリウムの供給、装置部品の製作などについて、研究開発は、放射線・放射能測定、データ解析分散処理とソフトウェア、超伝導電磁石や超伝導加速空洞などの実験装置などに係わる開発研究を行っています。



中央計算機システム

量子場計測システム国際拠点 (QUP)

現代物理学では、粒子や準粒子と付随する物理量を持つ時空を「量子場」と呼びます。QUPは、様々な研究分野を融合し、量子場を計測する新しいシステムの発明・開発を行っています。新しい計測システムは宇宙観測や素粒子実験に革新をもたらし、時空と物質の真の姿を解明できると考えています。一つの例は LiteBIRD 衛星で宇宙の始まりを見る新しい眼の開発です。さらに、基礎物理学にとどまらず広い分野へ応用し、社会実装することを目指しています。



LiteBIRD 衛星のイメージと搭載する検出器の試作開発

J-PARC センター

J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex) は、KEK と日本原子力研究開発機構 (JAEA) が共同で運営する研究施設です。世界に開かれた多目的利用施設として、世界最高クラスの陽子ビームで生成する中性子、ミュオン、K中間子、ニュートリノなどの多彩な 2 次粒子ビームを利用して素粒子物理、原子核物理、物質科学、生命科学など幅広い分野の研究を行っています。



J-PARC の加速器施設と実験施設

総合研究大学院大学

総合研究大学院大学 (総研大) は、大学共同利用機関の優れた研究環境と人材を活用してトップクラスの研究者を養成する、世界でも類例のないコンセプトのもとに設立された教育機関です。

KEK には総研大先端学術院の 3 つのコース (加速器科学コース、物質構造科学コース、素粒子原子核コース) が設置されており、学術研究の新しい流れに先導的に対応できる、視野の広い創造性豊かな研究者養成の一端を担っています。

2023 年 4 月より、総研大は 6 研究科 20 専攻から、先端学術院先端学術専攻 20 コース体制へ移行しました。



総研大新入生ガイダンスの際の教職員との集合写真 (2023 年 4 月)

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 (2022 年及び 2023 年 4 月現在) [単位: 人]

年度		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
2022	役員・職員	1	5	2	329	0	0	150	161	648
	その他有期雇用職員	0	0	0	26	17	129	73	177	422
2023	役員・職員	1	5	2	331	0	0	153	161	653
	その他有期雇用職員	0	0	0	29	24	129	71	178	431

■ 総合研究大学院大学学生数 (2022 年及び 2023 年 4 月現在) [単位: 人]

年度	加速器科学*	物質構造科学*	素粒子原子核*	合計
2022	15	12	41	68
2023	14	8	47	69

* 2022 年度は専攻名
2023 年度からはコース名

■ 予算 (2022 年度計画) [単位: 百万円]

収入: 34,258	支出: 34,258		
運営費交付金	16,363	業務費(教育研究経費)	16,641
補助金等収入	10,694	補助金等	10,694
施設整備費補助金	5,116	施設整備費	5,150
産学連携等研究収入及び寄付金収入等	1,773	産学連携等研究経費及び寄付金事業等	1,773
自己収入(雑収入)	278		
大学改革支援・学位授与機構施設費交付金	34		

■ 施設 (2022 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	199,245
東海キャンパス	107,314	44,546

■ 沿革

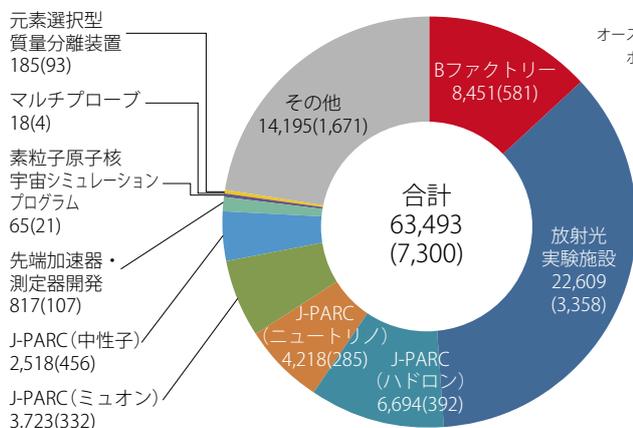
- 1955 年 7 月 東京大学原子核研究所設立 (東京都田無町 現: 西東京市)
- 1971 年 4 月 高エネルギー物理学研究所設立 (茨城県大穂町 現: つくば市)
- 1978 年 4 月 東京大学理学部附属施設中間子科学実験施設設立 (茨城県大穂町 現: つくば市)
- 1997 年 4 月 高エネルギー加速器研究機構設立 (上記の 3 つの組織を改組・転換)
- 2004 年 4 月 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構発足 (法人化)
- 2005 年 4 月 東海キャンパスの設置
- 2006 年 2 月 J-PARC センターを日本原子力研究開発機構と共同で設置

実績データ

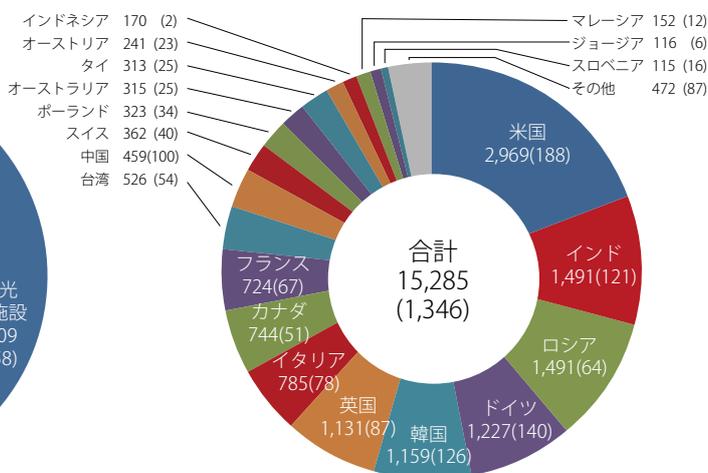
共同利用実験の申請・採択・実施状況

区分	項目	2022年度		
		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		338	329	720
中性子実験(J-PARC)		137	127	104
ミュオン実験(J-PARC)		109	102	75
ハドロン実験(J-PARC)		8	6	2
ニュートリノ実験(J-PARC)		1	0	1
マルチプローブ実験		4	2	2
素粒子原子核宇宙シミュレーションプログラム		7	7	7
元素選択型質量分離装置実験		2	1	5
合計		606	574	917

2022年度共同研究者等受入 〔単位：延人日(実人数)〕



2022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)〕



2022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	301
物質構造科学研究所	668
加速器研究施設	258
共通基盤研究施設	38
その他	9
合計	1,274

2022年度民間等との共同研究 〔単位：件〕

区分	件数
2022年度	70

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。

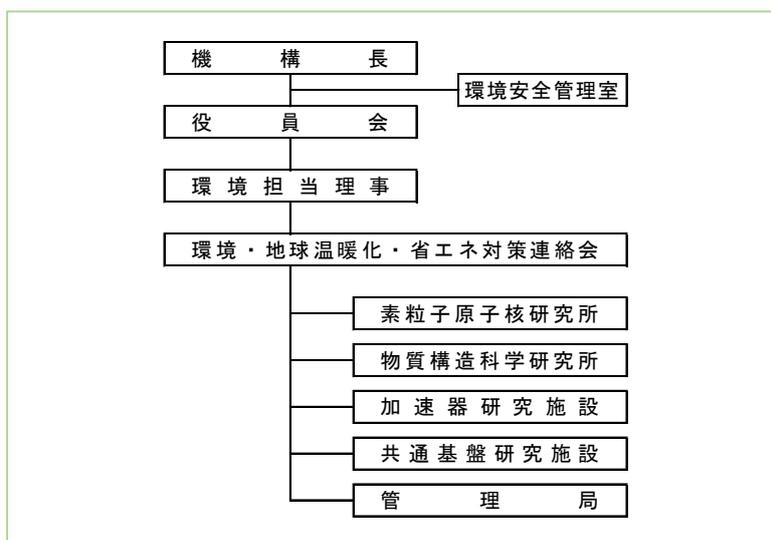
以上を念頭に置きつつ、研究・教育活動を積極的に推進するとともに、地球環境を維持・承継しつつ持続的発展が可能な社会の構築を目指します。

◆ 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

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	2022 年度温室効果ガス排出量上限値目標 : 260,262 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	○
建築物の建築、管理等にあたっての配慮	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	○
	敷地内の環境の維持管理	敷地内に生育する茅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	○
	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	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	○
	建設廃棄物等の適正処理		
	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	○
財やサービスの購入・使用にあたっての配慮	次世代自動車の導入に努める	公用車の更新時に配慮	○
	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	○
	省エネルギー型 OA 機器等の導入	環境物品等の調達推進 ・省エネ型機器の購入 ・コピー用紙、トイレトペーパーの再生紙利用 ・リサイクル可能製品の購入	○
	再生紙などの再生品や合法木材を活用		
	再生品等の活用		
	フロン代替物質を使用した製品等の購入・使用の促進等		
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			
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	○	
その他の事務・事業にあたっての温室効果ガスの排出の抑制等への配慮	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	○
	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	○
	地球温暖化対策への戦略的取組	省エネ対策について HP により職員への周知徹底	○
	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	○
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	環境配慮に関する研修への参加、省エネ対策に関する情報について HP での公表	○
	情報発信		
	省エネルギー等の教育啓発		
	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	○

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 2022

≫ https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2022/03/actionplan_2022.pdf

環境負荷の全体像

2022年度の環境負荷の全体像について以下に示します。

投入量

総エネルギー投入量	2,464 TJ
電力使用量	254 GWh
都市ガス使用量	177 千 m ³
石油燃料使用量	15 kL
印刷用紙購入量	14 t
水資源使用量	308 千 m ³

太陽光発電量 ヘリウム	73 MWh
----------------	--------

排出量

CO ₂ 排出量	84 千t-CO ₂
一般廃棄物排出量	88 t
産業廃棄物排出量	113 t
実験系廃棄物排出量	21 t
放射性廃棄物排出量	18 kL
下水道排出量	103 千 m ³

リサイクル	817 t
-------	-------

トップメッセージ

SDGsの役割と組織

環境マネジメント

環境関連トピックス

社会との関わり

第三者意見・資料

総エネルギー投入量

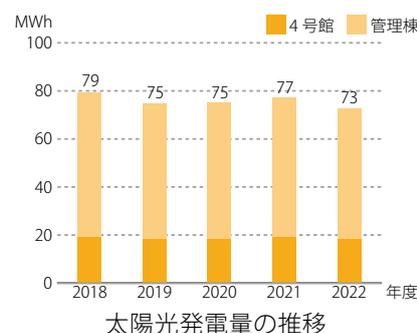
2022年度は、253,531 MWhの電力、177千m³の都市ガス、12 kLのガソリン、2 kLの軽油、0.66 kLのA重油を使用しました。これらのエネルギー投入量を熱量に換算すると2,464 TJ (T(テラ)は10¹²で、1 TJ = 1,000 GJ)であり、2021年度と比べ38%減となりました。つくばキャンパスでは40%減少し、東海キャンパスでは26%減少しました。総エネルギー投入量の99%以上を占める電力使用量が減少したためです。

換算係数については、p.36の環境データ集をご覧ください。



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。2022年度は、合わせて73 MWhを発電しました。



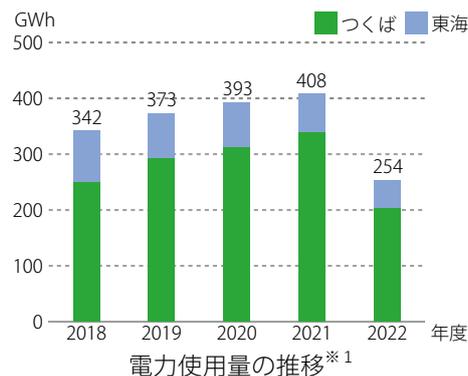
電力

2022年度は、つくばキャンパスにおいて、202,295 MWhの電力を使用しました。2021年度と比べ、40%減少しました。これは、7月からSuperKEKB長期運転停止期間に入り、改修作業を行っているためです。一方、東海キャンパスにおいては、51,237 MWhの電力を使用し、2021年度と比べ26%減少しました。これはMRの高度化とハドロン実験施設のメンテナンスによる運転停止期間があったためです。総エネルギー投入量に占める電力使用量の割合は99%以上になります。

一般家庭の年間電力使用量3,767 kWh^{*2}と比較すると、約67,000世帯分に相当します。

^{*1}J-PARCの電力使用量については、JAEAとの協議による負担分を記載しています。

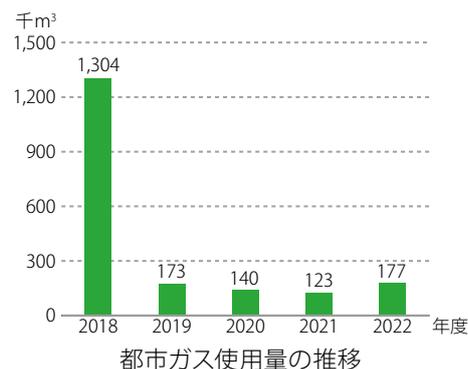
^{*2}環境省「令和3年度 家庭部門のCO₂排出実態統計調査(確報値)」
地方別世帯当たり年間電気消費量(固有単位): 関東甲信



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。2022年度は、2021年度と比べ43%増加しました。

2019年に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。2022年度は、2021年度と比べ9%減少しました。

なお、つくば—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。



印刷用紙

2022年度の印刷用紙購入量は13.9tと、2021年度と比べ6%減少しました。

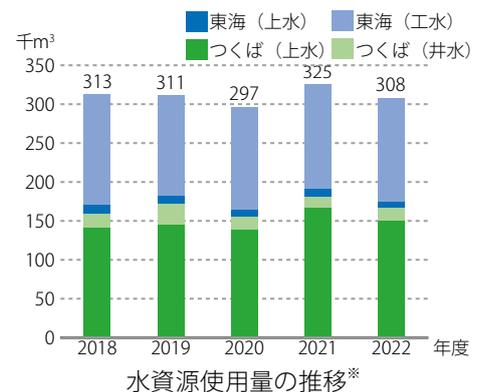
今後とも申請書等の電子化、ペーパーレス会議の効率的な開催、両面印刷の徹底など、紙の使用量削減に努めていきます。



水資源

KEKでは、上水のほかに、つくばキャンパスでは井水を、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。2022年度は、2021年度と比べ、つくばでは上水10%減少、井水21%増加、東海では上水34%減少、工水は増減なしでした。

* J-PARCの上水及び工水は、JAEAとの協議による負担分を記載しています。

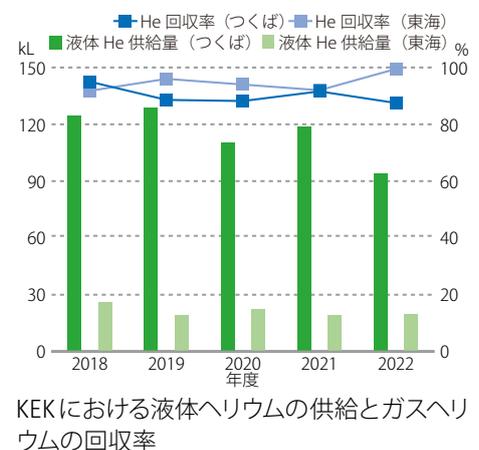


ヘリウム

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り、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、そ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での液体ヘリウムの需要は、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。

2022年度は、東海キャンパスでは例年通りの高い回収率でしたが、つくばキャンパスでは回収率が低下しました。回収率低下の主な原因はフォトンファクトリーの回収液化設備の老朽化であり、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。



トップメッセージ

KEKの役割と組織

環境マネジメント

環境関連トピックス

社会との関わり

第三者意見・資料

温室効果ガス

2022年度のエネルギー由来のCO₂排出量は83,701 t-CO₂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。

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CO₂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、2022年度は69%減となりました。

換算係数については、p.36の環境データ集をご覧ください。



廃棄物・リサイクル

一般廃棄物

2022年度は、一般廃棄物として85 tの可燃物、2 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) (単位: kg)

	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
可燃物	95,011	92,641	81,011	80,389	85,206
不燃物	5,675	2,641	2,687	2,615	2,342
合計	100,686	95,282	83,698	83,004	87,548

産業廃棄物

2022年度は、老朽化した施設の撤去や共同利用研究者宿泊施設の建て替えに伴う不用品の廃棄などにより、木屑やコンクリート、がれき類等を多量に排出した2021年度に比べ、大きく減少しました。また、2021年度は、高濃度PCB廃棄物のみを委託処理しましたが、2022年度は低濃度PCB廃棄物を多く委託処理したため、大きく増加しました。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）（単位：kg）

	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
プラスチック	26,513	37,435	12,055	21,350	6,730
木屑	24,380	28,487	11,200	131,110	52,670
金属屑	1,255	3,811	11,115	3,415	8,944
コンクリート、がれき類等	29,103	59,621	42,790	352,720	31,940
蛍光灯、水銀灯	274	2,732	1,986	266	2,794
蓄電池	288	20	300	2,835	59
PCB廃棄物	584	69,300	52,157	2	9,374
合計	82,397	201,405	131,603	511,699	112,511

実験系廃棄物

2022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20.8 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。2021年度に比べ、つくばキャンパスで、廃油を多く排出しました。また、一定量になるまで保管していた写真廃液を委託処理しました。

実験系廃棄物排出の推移（5年間）（単位：kg）

	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
無機廃液	3,476	4,424	1,369	3,572	1,898
有機廃液	10,911	24,048	9,219	9,220	7,868
廃油	3,421	7,129	4,682	2,623	9,737
写真廃液	0	0	0	0	852
廃水銀	0	0	3	0	0
固形物他	1,829	792	938	4,407	404
合計	19,637	36,393	16,212	19,823	20,759

放射性廃棄物

放射性廃棄物のうち、50 Lドラム缶に充填できるものは、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、協会へ引き渡せる放射性廃棄物の発生量が少なく、2022年度の引き渡しはありませんでした。東海キャンパスからは18,250 Lを協会に引き渡しました。2021年度に比べておおよそ2.5倍の量となっていますが、これは廃棄物処理の予算を例年より多く確保でき、これまで保管していた分も含めて引き渡すことができたためです。協会へ引き渡せないものも含めたKEK内での放射性廃棄物の保管については、p.17の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）（単位：L）

	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
つくばキャンパス	0	0	0	0	0
東海キャンパス (J-PARC)	4,724	11,568	6,802	7,182	18,250
合計	4,724	11,568	6,802	7,182	18,250



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9tに対し、767t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）（単位：kg）

	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
古紙(売却)	31,970	32,270	37,480	34,740	41,070
文書溶解処理	12,200	9,970	9,435	12,800	9,650
金属屑(売却)	335,271	466,545	132,402	660,697	766,770
合計	379,441	508,785	179,317	708,237	817,490

下水道

2022年度、つくばキャンパスからは、98千 m^3 の排水を公共下水道に排出しました。2021年度と比べ9%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は下水道に排出していますが、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.17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、真空温水発生機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は排出基準値150ppm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値0.05 g/m^3 を超えることはありませんでした。

環境会計

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以下に示します。

コストの分類・取組内容	2021年度*投資額(千円)	2022年度*投資額(千円)
地球環境保全コスト	109,221	102,823
フロンガスの回収・処理	3,402	3,327
ルームエアコンの更新	2,973	2,841
パッケージ型エアコン更新	53,812	82,340
照明器具の取替	14,725	6,446
変圧器の取替	10,835	6,732
網戸の取付	3,674	143
計量器の取付(建物毎の上水、井水、電力使用量の把握)	0	994
チラーユニット、ガスヒートポンプ	19,800	0
資源循環コスト	101,585	92,320
一般廃棄物処理	1,633	1,709
産業廃棄物処理	31,150	11,669
PCB 廃棄物処理	8,131	5,624
実験系廃棄物処理	38,771	37,735
放射性廃棄物処理	21,899	35,583
管理活動コスト	52,037	48,757
環境報告書作成	398	420
電子マニフェストシステム利用料金	2	3
冷温水発生機等ばい煙測定	463	463
植物管理	37,665	44,206
枯損木撤去	13,509	3,665
合計	262,843	243,900

*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、以下に示します。

実質的效果		2021年度(千円)	2022年度(千円)
収益	太陽光発電	1,167	1,693
	リサイクル	165,205	151,244
	古紙	342	788
	金属屑	164,863	150,456
推定的効果		2021年度(千円/年)	2022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	18,808	65,170
	エアコン等の更新	4,459	15,339
	冷却水関連機器の停止	9,443	32,219
	変圧器の停止	4,906	17,612

算定条件	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 x12ヵ月 x12時間/日 = 2,880時間/年
	3. 居室等の空調機器運転時間	冷房: 20日/月 x4ヵ月 x12時間/日 = 960時間/年, 暖房: 20日/月 x5ヵ月 x12時間/日 = 1,200時間/年 (圧縮機稼働率: 0.6)
	4. 実験室等の空調機器運転時間	制御室: 365日 x24時間/日 = 8,760時間/年, 実験室: 200日 x24時間/日 = 4,800時間/年 (圧縮機稼働率: 0.6)
	5. 変圧器の通電時間	365日 x24時間/日 = 8,760時間/年

環境関連法規の遵守状況

放射線管理 (放射性同位元素等の規制に関する法律・電離放射線障害防止規則など)

KEKの研究の基盤となる加速器では運転により放射線や放射能が発生します。この放射線や放射能が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ており、法令やKEKの規程に基づいて管理しています。

放射線・放射能は測定器を用いて連続的に集中監視しており、放射線量の増加を検知した際には自動的に加速器の運転を停止する信号を出します。測定器の測定値と機能の確認は毎年行っています。

KEKの施設からの放射線量は、敷地境界で自然の放射線による量を十分に下回るように設計しています。年間を通じて敷地境界での測定を行っており、実際に測定値は自然の変動の範囲内であることを確認しています。

高エネルギー加速器の運転に伴い放射能が生じた機器は、放射化物または放射性廃棄物として管理します。放射化物は法令に基づき指定した保管施設に台帳登録して保管し、放射性廃棄物も指定した保管廃棄施設で保管を行います。また、非密封放射性同位元素を扱う実験で生じた放射性廃棄物も同様に、保管廃棄施設で保管を行います。これらの施設では、定期的な出入口の汚染検査と周辺の線量率測定を実施しています。

その他に実験室から出る廃水や施設の作業環境についても、放射線・放射能の測定を実施し法令で定められた値よりも十分に低いことを確認しています。

排水管理 (水質汚濁防止法、下水道法、土壤汚染対策法、放射性同位元素等の規制に関する法律)

つくばキャンパスで発生する排水は、汚水排水槽から公共下水道に排出されます。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。

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、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。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、並びに有害物質貯蔵指定施設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、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、トイレ等の生活排水系統、雨水等の雑排水及び放射性排水の3系統があり、放射性排水は、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、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してから原科研内第2排水溝に放流しています。

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は、エネルギーの使用の合理化等のため「エネルギー管理組織」を設置しエネルギーの使用の合理化等に努めています。また、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。

温室効果ガス（地球温暖化対策の推進に関する法律）

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「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」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。

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、対象物質を年間 1 t（特定第一種指定化学物質は 0.5 t）以上取り扱う事業所に、その排出量・移動量の届出を義務付けています。KEK では 2022 年度に届出の対象となる量の取り扱いはありませんでした。

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 内で発生する廃棄物には、1) 廃プラスチック類、木屑、がれき類などの産業廃棄物、2) 研究活動で発生する廃油、有機系・無機系の廃液類、有害固形廃棄物などの実験系廃棄物、3) その他の一般廃棄物に大きく分類されます。実験系廃棄物の一部は、KEK 内の実験廃液処理施設において無害化処理を行い、その他は専門の産業廃棄物処理業者へ委託し、事業系一般廃棄物として適正に処分しています。

古いトランスやコンデンサ、安定器などの電気機器の中には、絶縁油中に有害な PCB（ポリ塩化ビフェニル）を含むものがあります。これらについては専用の保管庫で保管し、保管・処分状況を毎年茨城県に報告すると共に、2026 年度末の処分期限に向けて計画的に処分を進めています。

グリーン購入（国等による環境物品等の調達に関する法律）

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。

2022 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。2023 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。

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）

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、機器毎に簡易点検（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、フロン類の回収や処分については、第一種フロン類充填回収業者に委託し、適切に処理しています。

（事故報告）

2022 年 6 月、つくばキャンパス日光実験棟にて稼働しているスクリー冷却機から冷媒が漏洩する事故が発生しました。漏洩した冷媒はフロン R-134a で、漏洩量は 1,300 kg (1,859 t-CO₂) でした。定期点検時に空気熱交換器用（高圧）と冷水器用（低圧）の安全弁を取り違えて取り付けため、安全弁が脱落し冷媒が漏洩しました。再発防止対策の作成などを経て 2023 年 1 月より運転を再開しました。この影響で年間のフロン類の算定漏えい量が 1,000 t-CO₂ を超えたため、フロン類算定漏えい量報告・公表制度に従い、文部科学省に報告しました。また本事故は、高圧ガス保安法における事故事象に該当するため、茨城県へ適切に報告しました。

環境関連トピックス

短寿命原子核研究用に開発された高分解能質量分光器を環境汚染物質等の化学組成分析に応用

素粒子原子核研究所・和光原子核科学センター 和田 道治

素粒子原子核研究所和光原子核科学センターは、理化学研究所の加速器施設 RIBF 内に、KEK 元素選択型同位体分離装置 KISS を設置して、世界で唯一の中性子過剰な高融点元素のビームを共同利用実験に提供しています。また、KISS 及び RIBF の施設を利用して、広範囲の短寿命原子核の質量を網羅的に測定し、宇宙における金やウランなどの重い元素の期限を探索する研究を行っています。

この研究で用いている質量測定装置は、多重反射型飛行時間測定式質量分光器 (MRTOF-MS) (図 1) というもので、1980 年代末に H. Wollnik (現和光センター客員教授) によって発明され、2000 年ごろから理化学研究所及び KEK によって、高速の短寿命原子核ビームを測定できるよう開発が進められ、軽いリチウム同位体から超重元素ドブニウム同位体¹⁾まで 400 余核種の精密質量測定に成功しています。多年に渡る調整を経て、10 数ミリ秒の飛行時間で質量分解能^{*}100 万という世界一の性能を達成し、高周波カーペットと命名した高速イオンの捕集技術により、全効率 5% もの性能を得ています。

この理研 -KEK MRTOF-MS 装置は、正確に質量がわかっている原子や分子のイオンを目的のイオンと同時に測定することが可能なため、確度 (Accuracy)

の高い測定が可能です。それが顕著に見られた成果として、過去に他所で他の方法で質量測定した実験では、チタン・バナジウム同位体において、カルシウム同位体で発見されていた新中性子魔法数 $N=34$ の存在が示唆されていましたが、正確に測定するとそれが消失していることが確かめられました²⁾。また、正確な質量は、原子の固有な値であるという「指紋」として使った例として、ウランの新同位体の発見があります。KISS 装置において、ウランビーム (^{238}U) を白金標的に照射し、中性子 3 個相当を標的からビームに移行させて新同位体 ^{241}U を生成しました。MRTOF-MS の飛行時間 (ToF) スペクトル (図 2) の $^{241}\text{U}^{2+}$ に相当する位置にピークが観測され、新同位体の同定及び精密な質量の決定ができました³⁾。

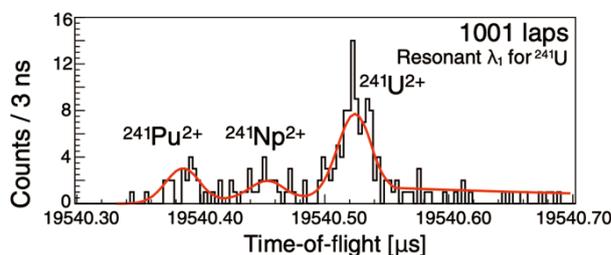


図 2. ウランの新同位体 $^{241}\text{U}^{2+}$ の ToF スペクトル

このような、高分解能・高確度・高効率の質量測定装置は、短寿命原子核ばかりでなく、汎用の質量分析器として、社会的課題の解決に活かすことが期待されています。

全ての原子は、その構成要素である陽子・中性子・電子をばらばらにして測定した合計質量に比べて 1% 程度軽くなっています。この「質量欠損」は、アインシュタインの質量とエネルギー等価の式 $E=mc^2$ で表される分が、結合エネルギーになっているためです。その結合エネルギーは全ての種類の原子で固有な異なる値を持っているため、原子を複数個合わせた分子においても、その精密質量から、多くの場合にお

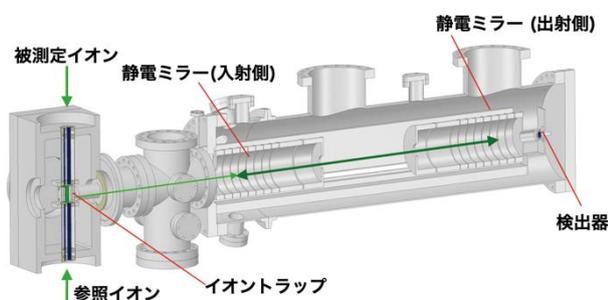


図 1. MRTOF 質量分光器。イオントラップで蓄積したイオンを一对の静電ミラーからなる飛行管に入射し、数 100 回往復させた後、検出器で飛行時間を測定する。

いてその元素組成を一意に決定することができます。例えば、真空装置の残留ガス分析でよく知られている窒素分子 (N_2) と一酸化炭素 (CO) の質量はそれぞれ、28.00615 u、27.99491 u であり、0.04% の質量差があるので、質量分解能 3000 程度あれば分離可能です。しかし、より重い大きな分子では、候補となる分子も多くなるため、正確に同定するには、より高い分解能と確度の高い測定が必要になります。

既にこのプロジェクトの初期の段階で、電子スプレー式の分子イオン源を用いて、分子の同定能力の試験を実施しました。

図 3 に示すスペクトルは、質量数 ($A=94$) のイオンに対して 413 周回させたタイミングで射出したもの

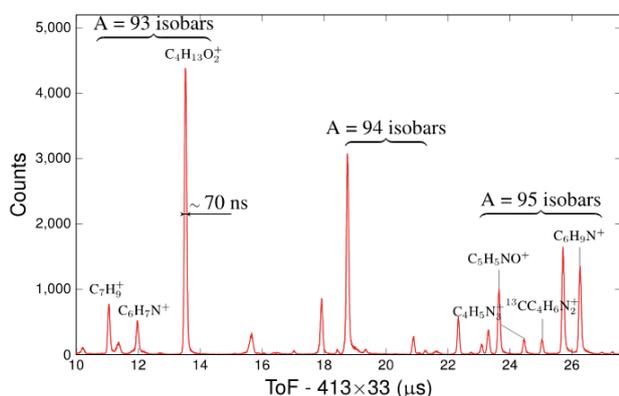


図 3. 分子イオンの飛行時間スペクトル例

で、 $A=95$ のイオンは 412 回、 $A=93$ のイオンは 414 回周回しています。この試験当時の質量分解能は高々 10 万でしたが、例えば $A=93$ のグループにある、 $C_7H_9^+$ 、 $C_6H_7N^+$ 、 $C_4H_{13}O_2^+$ の分子イオンが明瞭に同定できています。

一方、この例でわかるように、多重反射式の欠点は、周回遅れのピークが重なってしまうことです。膨大な種類の予期しない分子が含まれている環境試料

※1 質量分解能

質量スペクトルの半値全幅と質量の比で、大きいほど性能が高い。質量分解能が 100 万の装置でイオンを 100 個測定すると、質量を 0.1 ppm の相対精度で決定できる。

関連サイト

¹⁾2021 年 8 月 31 日 KEK プレスリリース 超重元素の初めての精密質量測定に成功

≫ <https://www.kek.jp/ja/press/202109010000/>

²⁾2023 年 1 月 6 日 KEK プレスリリース チタン・バナジウム中性子過剰同位体で新魔法数の消失を観測

≫ <https://www.kek.jp/ja/press/202301061400/>

³⁾2023 年 3 月 31 日 KEK プレスリリース 40 年ぶりに中性子過剰なウラン同位体を新発見

≫ <https://www.kek.jp/ja/press/202304010000/>

などでは、到る所にピークが絡み同定が困難になります。これを紐解くために、MRTOF の飛行管中に偏向電極を置き、指定した (複数の) 質量数のピーク群を選択し、スペクトル上に重ならないように配置できる新しい仕組み (飛行管内偏向器) を開発しました。

典型的な環境試料分析の測定手順は、まず試料 (液体、気体) をキャピラリーで電子スプレーイオン源に噴射し、イオン化した分子を真空中のイオントラップに捕集します。この大気圧と真空との効率良いインターフェースに高周波カーペットが有効です。イオントラップからは 50 Hz 程度の周期で MRTOF 装置に入射して飛行時間を繰り返し測定します。最初は低分解能の低周回数の測定を行い、注目する質量数を選び、次にその質量数のセットを飛行管内偏向器で選択して高分解能測定を実施します。必要に応じて別の質量数群でも繰り返すことにより、希望する全ての分子を分析することが可能になります。

分子分析用の質量分析器として、超伝導磁場中のサイクロトロン振動数を測る FT-ICR や、特殊な紡錘状の静電トラップ中の固有振動数を測る OrbiTrap が市販されており、広範囲の応用に使われています。これらの装置に対して MRTOF 法は、幾つかの相補的な特徴を持っています。検出はイオン計数法によるため極めて高感度で、少数のイオン蓄積で済み空間電荷効果の制限を排除できるため広範囲の質量範囲で高確度の測定が可能です。イオン化さえできれば原理的に分子量の大きさに制限がないため、前処理なしにタンパク質の直接分析も期待されています。

精密質量測定による分子の元素組成分析は、環境物質の分析ばかりでなく、呼気の実験による医療スクリーニング、資源探査、セキュリティにも応用が可能です。小型軽量低電力な MRTOF 装置は、宇宙探査にも期待されています。

モーター用磁性材料の新たなエネルギーロス機構をマイクロ磁気シミュレーションにより解明

物質構造科学研究所¹, 大阪大学², モナッシュ大学³ 塚原 宙^{1,2}, 鈴木 清策³, 小野 寛太^{1,2}

持続可能な社会の実現には CO₂ 排出量を削減することが不可欠です。日常生活での CO₂ の排出元として自動車があります。自動車を含む輸送部門は CO₂ 排出量で大きな割合を占め、現在排出量を削減するために電気自動車への置き換えが進んでいます。そこで問題になるのが電気自動車に使用される電動モーターの高エネルギー効率化です。

電動モーターには軟磁性材料が使用されています。軟磁性材料は磁場により簡単に磁化^{*1}し、磁気双極子^{*2}により大きな磁場を得ることができます。電動モーターは、コイルに電流を流すことで、この磁気双極子による磁場を発生させて強い回転力を生み出します。しかしながら軟磁性材料を磁化させる際にエネルギー損失が発生しエネルギー効率を下げてしまいます。よって電動モーターの高エネルギー効率化には軟磁性材料におけるエネルギー損失の削減が不可欠です。

これまで軟磁性材料におけるエネルギー損失の原因は保磁力^{*3}と渦電流と言われてきました。これらの要因を取り除くため軟磁性材料では低保磁力および高電気抵抗が求められてきました。ナノ結晶軟磁性材料は低い保磁力および高い電気抵抗を兼ね備える代表的な高性能軟磁性材料です。しかしこの材料において電気抵抗では下げられない奇妙なエネルギー損失が観測されています。このエネルギー損失は電動モーターの回転数が上がると急激に大きくなり高周波数帯でのエネルギー効率に大きな影響を及ぼします。

この従来のモデルでは説明できないエネルギー損失の原因として磁歪が挙げられていました。磁歪とは電子スピン^{*4}が起こす結晶格子の歪です。実際多くの軟磁性材料では磁化されると 10 ppm 程度の歪が発生します。しかしながら何故磁歪があるとエネルギー損失が発生するのかは解明されていませんでした。

そこで我々は正確に磁歪を計算できるマイクロ磁気シミュレーター^{*5}を作成し新たなエネルギー損失機構を明らかにしました。ナノ結晶軟磁性材料は粒

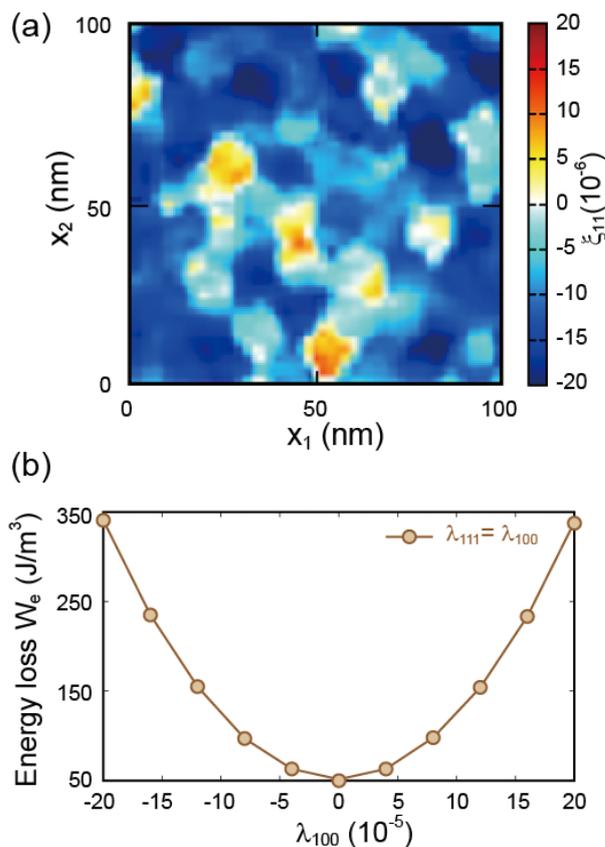


図 1. (a) ナノ結晶軟磁性材料における歪分布。各結晶粒において歪は同じ様な値を持つが一定ではない。(b) シミュレーションから求められたエネルギー損失。磁歪定数の増加と共に急激に増加する。Originally published in NPG Asia Materials 14, 44 © The Author(s) 2022. Published by Springer Nature. Licensed under CC BY 4.0. Modified from original.

径が 10 nm 程度である多数の結晶粒で構成されるので 1 辺 2 nm の小さな立方体でモデルを分割して精密なシミュレーションを実行しました。

図 1(a) に計算された磁歪分布を示します。磁歪は結晶粒内部においても一定でなく複雑な構造を持つことが初めて明らかになりました。さらに外部磁場を印加して磁化運動によるエネルギー損失を求めました。結果図 1(b) に示されるように磁歪の強さを表す磁歪定数の増加とともにエネルギー損失は急激に増加することが分かりました。磁歪が存在すると磁化の変化に伴い歪も変化します。磁歪により磁気工



エネルギーが歪みに変換され、歪が変化すると弾性エネルギーが散逸しエネルギー損失が発生します。こ

の新たなエネルギー損失機構の解明は軟磁性材料のさらなる高エネルギー効率化に大きく寄与します。

※1 磁化

磁性体に外部磁場を印加すると磁性体を構成する磁気双極子が同じ方向を向く。これを磁化と言い軟磁性体材料は磁化することで性能を発揮する。

※2 磁気双極子

非常に小さなN極とS極の対。磁性体は磁気双極子の集まりとして記述することができる。磁気双極子は磁場を発生するので磁化した磁性体は強い磁場を発生させる。この磁場は電動モーターの回転力を生み出す。

※3 保磁力

一度磁化した磁性体を磁化する前の状態に戻すためには、磁化方向と反対向きの磁場を外部から加える必要がある。この外部磁場の大きさを保磁力という。一般に保磁力が高い材料はエネルギー損失が大きく、保磁力の軽減も軟磁性材料には不可欠である。

※4 電子スピン

電子は自分自身の回転によりスピンと呼ばれる物理量を持つ。磁性体は電子スピンにより磁場を発生することができる。

※5 マイクロ磁気シミュレーター

磁性体内部の磁化を数値計算により明らかにするシミュレーター。磁性体を各原子やナノサイズの小さな領域で分割し、多数の磁気双極子の時間変化を計算し磁性体の磁化状態を明らかにする。

原著論文

H. Tsukahara, H. Imamura, C. Mitsumata, K. Suzuki, and K. Ono, Role of magnetostriction on power losses in nanocrystalline soft magnets. *NPG Asia Mater.* **14** 44 (2022).

≫ <https://www.nature.com/articles/s41427-022-00388-2>

関連サイト

2022年5月20日 KEK プレスリリース

エネルギーは、電流ではなく「摩擦」で失われていた ～電気自動車用モーターの効率化に向けた新発見～

≫ <https://www.kek.jp/ja/press/202205201330/>

トップメッセージ

SDGsの役割と組織

環境マネジメント

環境関連トピックス

社会との関わり

第三者意見・資料

廃止加速器施設の放射性廃棄物の減量への取り組み

共通基盤研究施設 松村 宏

加速器施設では、加速器運転中に加速粒子が標的やビームダクトに衝突して起こる核反応^{*1}により中性子が発生します。主にこの中性子がさらに加速器本体や周辺物に衝突して起こる核反応により、その物体は「放射化」と呼ばれる放射能を帯びた状態になります。加速器の使用が終了して廃止することになった施設では、放射化した物は放射性廃棄物となり、特別な処分を必要とします。負の遺産である放射性廃棄物の量はできるだけ少ない方が良いことは言うまでもありません。日本においては、加速器が普及して以来相当な年数が経過しており、耐用年数を迎え、廃止に至る加速器施設が増加しています。

放射化の原因となる中性子は、加速器運転時に発生量を測定しやすく、加速器室内の中性子分布は放射化分布の予測に役立ちます。加速器が現役時に放射化しない部位を特定しておく、廃止時に無用な放射性廃棄物を減らすことができます。また、加速器が引退後でも、放射化していないことを判定する測定法があれば、放射化部位の除去を最小化して、放射性廃棄物を減らすことができます。これらのことから、廃止に至る加速器施設が増加している近年において、発生中性子測定による放射化の実態把握と簡便な放射化の有無の判定方法の開発は急務で

した。放射線科学センターの放射化学グループでは、2017年より、これらの課題に対して原子力規制庁の事業として取り組みました。

加速器施設における放射化の実態把握のために、我々は、日本各地にある様々な加速器施設で運転中の中性子分布の測定を行いました。調査を行った加速器施設の種類は以下の通りです。

- ・ 静電加速器施設^{*2}
- ・ 放射光実験施設^{*3}
- ・ 陽子線治療施設^{*4}
- ・ 重粒子線治療施設^{*5}

図1に国立がん研究センター東病院の調査結果を例示したように、調査によって、これらの加速器施設の放射化していないところを特定し、余分な放射性廃棄物の発生を抑えることが可能になりました。

一方で、簡便な放射化の有無の判定方法の開発では、目的に最適化したサーベイメータを考案し、簡便な放射化判定測定法の開発に成功しました。

これらの研究成果は、2021年に「加速器施設廃止のための測定評価マニュアル」としてまとめられました。2022年11月に改訂版が発行され、現在は英文化を進めています。日本国内だけでなく、世界の加速器施設で役立つことが期待されます。

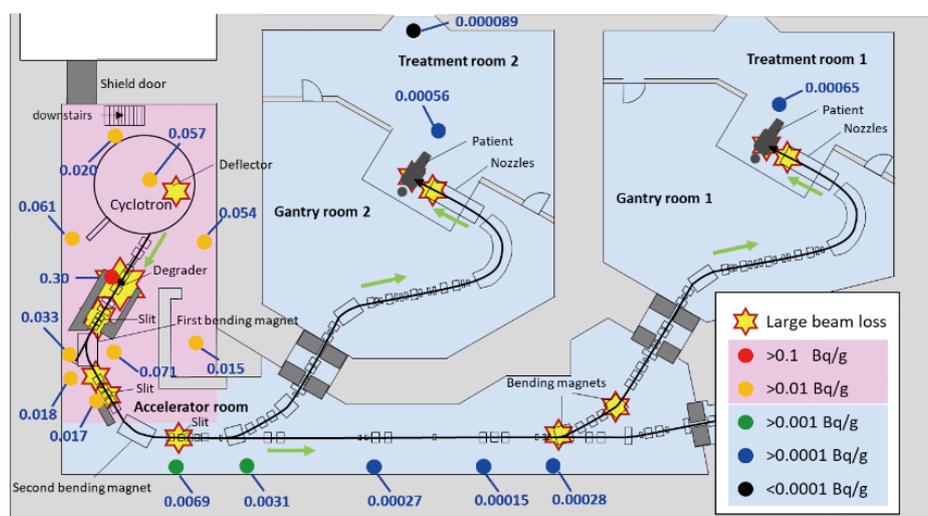


図1. 国立がん研究センター東病院陽子線治療施設の加速器運転中の中性子測定によるコンクリート床の放射化予測結果。ピンク色の領域を放射化の恐れがある、青色の領域を放射化していないと判断されると区分した。

(H. Matsumura et al., Radiation Management 21, 13-25 (2022) に基づき作成。)



※1 核反応

加速器により高エネルギーに加速した粒子と原子核が衝突したときに起こる現象。ここでは、特に原子核内の中性子の原子核外への放出を伴う反応を指す。

※2 静電加速器施設

高電圧の静電場で粒子を高エネルギーに加速する加速器を設置した施設。

※3 放射光実験施設

加速器により高エネルギーに加速した電子を磁場により曲げた時に発生する放射光を物質の構造等の研究に利用する施設。

※4 陽子線治療施設

加速器で加速した陽子線でがん細胞を破壊し、がん治療に使われる施設。

※5 重粒子線治療施設

加速器で加速した重粒子線でがん細胞を破壊し、がん治療に使われる施設。

原著論文

「加速器施設廃止のための放射化の測定と評価」, 松村宏, 榎本和義, 吉田剛, 豊田晃弘, 中村一, 三浦太一, 「加速器」, Vol. 18, No. 2, 63-71 (2021).

≫ https://www.jstage.jst.go.jp/article/pasj/18/2/18_180214/_article/-char/ja/

「放射線発生装置廃止のための放射化測定評価マニュアル (2022年11月改訂版)」, 松村宏, 榎本和義, 吉田剛, 豊田晃弘, 中村一, 三浦太一, KEK Report 2022-5, (2022).

≫ <https://lib-extopc.kek.jp/preprints/PDF/2022/2224/2224005.pdf>

関連サイト

2023年1月25日 KEK 共通基盤研究施設施設ハイライト

「放射線発生装置廃止のための放射化測定評価マニュアル」を改訂

≫ <https://www2.kek.jp/ar/hightlight/20230125/>

J-PARC の電源の改良の取り組み

加速器研究施設 森田 裕一

脱炭素社会の実現に向けて、電力貯蔵技術が注目を集めています。太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーは発電量が天候の影響を受けるといふ欠点があり、これが系統における電力変動の原因の一つになります。この変動の影響を抑え、安定した電力供給を望むためには、余剰電力を上手に貯蔵することが必要です。

J-PARC メインリング(以下、MR と表記します)では、MR に蓄積された陽子ビームを各実験施設へ供給することを目的に電磁石を一定のサイクルで励磁させ、そのビームを MR 外に取り出すように運転が行われます。このとき問題となるのが、この電磁石の動作に伴い発生する系統における電力変動です。既設の電磁石電源では、MR が目標としているビームパワーを達成する過程において、電力会社から提示された許容値を超える電力変動が発生してしまうことが予想され、その対策が求められていました。その対策のため 2021 年度にコンデンサを用いた電力貯蔵装置を導入し、電磁石電源によって生じる 1.36 秒サイクルの電力変動を大きく抑制することに成功しました。

MR はシンクロトロンと呼ばれる加速器です。電磁石で発生させる磁場を使うことで、陽子ビームを曲げたり、収束したりし、また、電磁石のコイルに流す励磁電流をコントロールすることでビームが要求する磁場の強さに調整します。シンクロトロンではビームが入射してから取り出されるまでのビーム加速に合わせて励磁電流を強め、ビームを閉じ込めています。大強度陽子シンクロトロンである MR は陽子ビームを曲げる偏向電磁石が 96 台、収束する四極電磁石が 216 台、色収差を補正する六極電磁石が 72 台設置されています。電力貯蔵装置導入前は、これらの電磁石群を 20 台の電源で励磁していました。

陽子ビームが供給される実験施設では、標的に陽子ビームを照射し、そこから発生する 2 次粒子を利用して様々な実験が行われています。2 次粒子の単位時間当たりの生成数が実験の効率に直結するため陽子ビームのパワーを可能なかぎり大きくすることが加速器運転の重要な目標の一つです。ビームパワーの段階的増強にあたり、MR のビーム取り出しの高繰

返し化が計画されました。そのために、ビーム入射から取り出しまでのサイクルにかかる時間を短縮することで、標的へのビーム頻度を高める方法を採用しました。2.48 秒サイクルだった繰り返し、現在では 1.36 秒と倍近い繰り返しとなっています。

既設の電磁石電源では、電力系統と電磁石の間で電力が往復する仕組みのため、サイクル毎に電力系統に大きな電力変動が発生します(図 1 上)。これはビーム加速中の電磁石は電力系統から電力を受けて磁場を強めていき、ビームを取り出してから次のビームが入射するまでの間に電磁石から電力系統へ電力を戻して磁場を弱めておかなければならないためです。既設の電磁石電源は半導体電力変換器^{*1} 1 台のみで励磁電流の波形を直接作り出せる方式であるため、電源自体はコンパクト且つ安価となったメリットがある一方で、電力系統と電磁石の間において電力が直接出入りするため、電力系統の変動が大きくなってしまふデメリットがあり、高繰り返し化によりその影響がより顕著に現れることが予想されました。大きな電力変動は周囲の機器の動作の安定性にも影響を与えてしまい、加速器運転を妨げる要因にも繋がります。

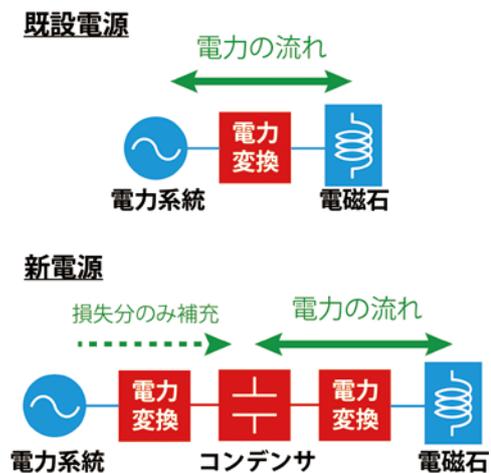


図 1. 既設電源と新電源の電力の流れの比較

この課題に対処するため、たくさんのコンデンサを並列に接続したコンデンサバンクで構築した電力貯蔵装置を導入しました(図 1 下)。この装置は電力

※¹ 半導体電力変換器

半導体スイッチを使って任意の電圧あるいは電流波形を作り出す装置。

※² CERN PS

スイス、ジュネーブにある欧州原子核機構 (CERN) の陽子シンクロトロン (Proton Synchrotron) の略称。

原著論文

Y. Morita *et al.*, "Capacitor bank of power supply for J-PARC MR main magnets", *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A* 901 (2018) pp. 156-163. doi:10.1016/j.nima.2018.06.002.

T. Shimogawa *et al.*, "Test demonstration of magnet power supply with floating capacitor method", *JPS Conf. Proc.* 8 (2015). doi:10.7566/JPSCP.8.012021.

Y. Morita *et al.*, "Upgrading magnet power supply system in J-PARC main ring", presented at IPAC'23, Venice, Italy, May 2023, paper WEPM082. doi: 10.18429/JACoW-IPAC2023-WEPM082.

機構コロキウム「再生可能エネルギーの現在」の開催

2022年11月4日(金)、12月7日(水)の2回にわたり、古谷博秀氏(産業技術総合研究所研究戦略企画部次長・福島再生可能エネルギー研究所所長代理)をお招きし、「再生可能エネルギーの現在」をテーマとした機構コロキウムを開催しました。両日とも対面及びオンラインのハイブリッド開催で行い、再生可能エネルギーに関する様々な課題についてご講演いただきました。11月4日(金)は約85名、12月7日(水)は約75名の役員が参加して、カーボンニュートラルを実現する上での日本の課題と再生可能エネルギーの主力電源化における諸問題について多彩な資料をもとに議論し、大型加速器施設のエネルギー問題をあらためて考える場とすることができました。



講演者の古谷氏

環境に配慮した設備更新

CO₂ 排出量削減の取り組みの一つとして、設備機器の更新にあたっては、高効率機器を採用し、消費電力の抑制を行っています。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、2022 年度の実績では CO₂ 排出量を 418.8 t^{*}、消費電力量を 1,414,811 kWh 削減しました。

電気設備の例

照明器具を LED 器具に更新することや、変圧器を高効率のものに更新することにより、消費電力を抑制しています。また、大型実験停止期間中は、特高変圧器を一部休止することにより、待機電力を抑える運用を行っています。下の写真は外灯器具を水銀灯器具から LED 器具に更新したものです。

これらの措置により、2022 年度は年間当たりの CO₂ 排出量を 243.2 t^{*}、消費電力量を 821,737 kWh 削減することができました。



更新前



更新後

機械設備の例

熱源機器の更新を行うことで、年間当たりの CO₂ 排出量を 175.5 t^{*}、消費電力量を 593,074 kWh 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。

下の写真はその一例で、計算機北棟第 5 マシン室等系統のパッケージエアコンを更新したものです。既存の機器よりもエネルギー効率が高いため、消費電力を減らすことができました。



更新前



更新後

*換算係数は電気事業者の値 0.296 t-CO₂/MWh を使用しました。

社会との関わり

広報活動

カーボンニュートラル小冊子を初めて発行

KEKでの研究では大型加速器の運用が中心になるため、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。KEKではこれまでも環境報告で毎年のエネルギー消費量などを公開してきましたが、よりわかりやすく情報発信を目指し、小冊子「カーボンニュートラル実現に向けたKEKの取り組み」を2022年6月に初めて発行しました。

この冊子では、主に物質構造科学研究所で行われている「社会の低炭素化に向けた基礎研究・応用技術開発」をまず紹介しています。情報通信機器で使われているランダムアクセスメモリの低消費電力化やリチウムイオン電池など2次電池の高効率化などです。また加速器など大型研究設備での省エネの取り組みも書いています。「加速器を使った研究ではどうしてもたくさんの電力を消費するのですか」「実験装置の冷却で発生する余熱をリサイクルして利用できないのですか」といったよく尋ねられる質問への回答も掲載しました。



つくばの技術イベントで環境にやさしい加速器技術を紹介

KEKは2023年1月、つくば国際会議場で開催されたSATテクノロジー・ショーケース2023に参加しました。「加速器だから見える世界」をテーマにした特別シンポジウムで、道園真一郎・KEK加速器研究施設・応用超伝導加速器イノベーションセンター長が「加速器とは何か？ 加速器研究開発が目指すもの、その面白さ 今後の応用、社会実装に向けて」と題し、電子線をタイヤに照射して強くする処理など、意外なところで加速器が使われている例を紹介しました。カーボンニュートラルに向けた取り組みとしては、消費電力が少ない超伝導加速器の話や、石油由来の化学品を置き換えられる可能性があるナノセルロースファイバーを加速器で効率よくつくる技術の話などをしました。また名古屋大学シンクロトロン光研究センターの梅名泰史准教授が「人工光合成のお手本となる天然の光合成タンパク質の構造を見る」と題し、環境負荷の少ない新しいエネルギー源として期待される人工光合成の実現につながる基礎研究について話しました。加速器から生まれる放射光を活用した研究です。

また、「SDGs カーボンニュートラルに関して加速器科学が貢献できること」をテーマにパネル討論を行いました。



パネル討論会の様子（写真提供：つくばサイエンス・アカデミー）

国際基礎科学年に日本唯一の創設パートナーとして参加

KEK は、2022 年 6 月 30 日に始まった国連の「持続可能な発展のための国際基礎科学年 (IYBSSD)」(The International Year of Basic Sciences for Sustainable Development) に日本から唯一の創設パートナーとして参加しました。

国際基礎科学年は、持続可能な発展のための基礎科学の重要性を認め、認識を高めるよう呼びかけるもので、2021 年 12 月 2 日の国連総会で決まりました。KEK は持続可能な社会づくりに貢献したいと考えており、その考え方に共鳴して参加を決めました。

関連イベントや情報発信が世界各地で開かれ、KEK でも PR に加わってきました。秋の一般公開のほか、上記 SAT テクノロジー・ショーケース 2023 もその一つです。また、当時の総合研究大学院大学学長であった長谷川真理子博士に自然人類学者の立場から現代社会の持続可能性を語っていただく動画 (<https://youtu.be/abO15mUX5Q4>) を制作して公開しました。

KEK 素粒子原子核研究所の野尻美保子教授も、日本学術会議の「持続可能な発展のための国際基礎科学年」連絡会議世話人として、国内の関連イベントをいくつもサポートしてきました。

国際基礎科学年は 2023 年 12 月 15 日にジュネーブである閉会式まで続き、翌 24 年からの 10 年間は "International Decade of Sciences for Sustainable Development" となります。



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会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。

2022 年度は、12 月 18 日、19 日 (半日)、24 日の 2.5 日間、やさと茅葺き屋根保存会とボランティアによって茅刈りが実施され、2.5 日間で延べ 68 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。



茅刈りの模様

安全・安心への取り組み

安全文化の醸成

安全・衛生週間

毎年、安全・衛生週間を実施し、職員の他、共同利用者、学生、委託業者の方の安全意識及び健康意識の向上に努めています。

2022年度は、11月の3日間、2月の2日間の2回に分けて開催し、電気、放射線、レーザー、化学の基本的な安全作業の教育のほか、法改正のあった石綿作業、KEKとして新たに取り入れた安全確認システムの説明を行いました。また、AED(自動体外式除細動器、構内各所に設置)の取り扱いを含めた普通救命講習会、つくば警察署員による交通安全講習会、産業医による健康講演会などの各種イベントを開催しました。

2022年度のトピックスとしては、外部講師による安全講演会として、「福島第一原子力発電所の事故から何を学ぶか ～人が作る安全、人が壊す安全～」のタイトルで、原発事故の収束活動という極限の状態での安全活動に関する講演を行いました。また、シートベルト体験車で事故の衝撃を体験し、交通事故時のシートベルト着用の大切さを学ぶイベントや、資格を取得できるイベントとして、石綿(アスベスト)取扱い作業従事者特別教育などを行いました。



普通救命講習会の模様



シートベルト効果体験の模様

クリーンアップ月間・キャンパスゴミ拾い

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。

11月の安全・衛生週間のイベントとして、キャンパスゴミ拾いを行いました。キャンパス内のほか、キャンパス周辺道路でも実施しました。多くの方が参加し、2トントラック1台分程度のゴミを拾いました。



ゴミ拾いの模様

業務委託者等への安全教育

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っており、そのほかにも、工事や役務等の業者の方も構内で作業を行っています。

業務委託業者等を対象とした安全教育を目的として、毎年、安全業務連絡会を開催しています。



安全業務連絡会の模様



ヒヤリハット収集

構内各所にヒヤリハット投書箱を設置し、日ごろの業務等におけるヒヤツとしたこと、安全について気がかりとなっていることを収集し、職場改善に生かしています。2022年度は、より投書がしやすいようにwebフォームから投書ができるようにしました。

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、衛生管理者等による巡視点検を両キャンパスともに法令遵守に加え重点項目を設定のうえ、あわせて179回(累計804棟)実施し、指摘事項は433件あり、82%が改善されました。内数として、コロナウイルス感染症予防対策の観点から、緊急事態対策本部と連携して行った、衛生管理者による機構主催のイベント会場の事前点検(10回、22か所)が含まれています。



巡視の様様

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による避難訓練及び火災発生を想定した防火訓練を実施しました。また、消防署員指導による消火訓練も併せて実施しました。

東海キャンパスにおいては、J-PARC物質・生命科学実験施設第2実験ホールにおいて大線量被ばく事象の発生を想定した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。



つくばキャンパスでの防災・防火訓練の様様



J-PARCセンターでの訓練の様様

J-PARC 安全の日

J-PARC センターでは、2013 年に J-PARC ハドロン実験施設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、職員一人ひとりが安全について考える機会としています。2022 年は、リモートライブ形式で 5 月 23 日に開催され、J-PARC センター構成員 (KEK/JAEA 職員) 及びつくばキャンパスに勤務する KEK 職員等、計 350 名が参加しました。

小林センター長からのあいさつに引き続き、新たな試みとして、J-PARC センターの各ディビジョンにおいて様々な面から長年にわたり安全活動に貢献された 4 名の職員の方々に対し、安全貢献賞が贈られました。また、多くの良好事例の報告を行った「物質・生命科学ディビジョン・中性子利用セクション / 共通技術開発セクション / CROSS 合同チーム」に対し、良好事例最多賞が授与されました。

引き続き、今回の安全の日の主講演として、安全環境衛生諮問委員会の委員として KEK の安全衛生活動に対し長年にわたり多くのご助言をいただいている、早稲田大学理工学術院・小松原明哲教授から、「マニュアルを通じて現場力を向上：安全人間工学の考え方」との演題でご講演をいただきました。規則やマニュアルが守られない背景は、主に「知らない」、「出来ない」、「やる気がない」の 3 つの状況に由来するものと考えられ、これらの状況は、認知バイアスや、詳細なマニュアルの整備によって作業者が自ら考えることが少なくなった状況、作業者のスキルや必要な人員数を超える業務内容等の様々な要因により生じていること、具体的な対応策として、自省する習慣、マニュアルの背後にある原理原則の理解、業務プロセスの見直し等が有効な取り組みになり得ることなどが紹介されました。

また、今回の新たな試みとして、加速器施設、物質・生命科学実験施設、ハドロン実験施設、ニュートリノ実験施設の 4 施設における安全に関する取り組みの状況等が紹介され、各報告内容を通じ全体での意見交換が行われました。

さらに、2013 年の事故後に作成し改訂を加えてきた記録映像「J-PARC 放射性物質漏えい事故 ～ハドロン実験施設の再生に向けて～」を全員で視聴し、2013 年の事故以降に J-PARC センターに着任した職員も含め、同事故の概要、教訓、再発防止のための取り組みなどを振り返り、理解を共有しました。最後に、宮本安全統括副センター長から、放射線事故に関わる解説、2022 年度の J-PARC センターの安全方針「安全ルールを守って、潜在リスクを共有リスクに」の考え方を説明いただき、参加者各自が安全への意識を新たにし、研修会を終わりました。



講演中の早稲田大学・小松原明哲教授



各施設の取り組みに関わる意見交換会

■ 第三者意見



いしぞね たかし
石曾根 隆 氏

東京工業大学
物質理工学院 教授

私は東京工業大学で、典型的な化学系の実験室において、高分子合成の研究を進めています。国立大学が独立行政法人化した前後から、学内では安全衛生管理を担ってきました。私は高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の利用者ではありませんが、研究者の視点で環境報告 2023 について感じた点について述べさせていただきます。

KEK に課せられた使命としては、特別な大型実験研究施設である大型加速器を、国内研究者のみならず国際的な共同研究に開放して、宇宙・素粒子・物質・生命などの謎に迫っていくことだと考えます。その中で、これだけの大規模施設を各種法令に基づき安全に運用しながら、省エネルギーと周辺環境にも配慮しつつ、着実に最先端の研究成果をあげていくことは大変なことだと感じました。今回の環境報告内でも、KEK の使命と世界に開かれた研究機関としての活動や研究成果が紹介された上で、廃棄物の効果的な減量やカーボンニュートラルに向けた取り組み、広報活動、地域貢献や教育・人材育成における成果についてもバランス良くまとめられていました。

環境マネジメントの章で 2021 年度と 2022 年度のデータを比較しますと、「環境負荷の全体像」の項で CO₂ の排出量が 155 千トンから 84 千トンに、電力使用量が 408 GWh から 254 GWh に大きく低下しています。これは効果的な環境対策がなされたようにも見えますが、2022 年度は二つの実験施設の長期運転停止期間があったことが原因であるとの説明が各論にありました。KEK の特徴として、実験施設の停止が組織全体の数値に非常に大きな影響を与えていることがわかります。こうした報告書内では、前年度比のエネルギー使用量全体が、なぜ、どのように

変動したのか、総論に相当する説明が最初にあると良いと考えます。一方、「外国機関共同研究者受入者数」は、2021 年度の 873 名から 2022 年度には 1,346 名に増加しており、活発な研究が戻りつつあるように感じました。国際的な共同研究設備として、コロナ禍の影響がどれくらいあったのか、今後はどれくらい回復、発展できそうなのか説明があると良いと考えます。また、環境管理体制の組織図が示されており、キャンパスに関わらず、一つの組織として構成されています。一方、安全衛生管理は、通常事業所ごとで行われるはずですが、KEK の安全衛生管理体制についても環境報告に示すことが望ましいです。施設の運転時の放射線管理はもとより、運転後に発生する放射化物や放射性廃棄物の管理も大変重要であり、研究の継続性、長期的視点に立った適切な維持管理を期待します。

近年、ヘリウム資源の枯渇が世界的に懸念されています。私の研究分野でも核磁気共鳴装置 (NMR) などで超伝導状態を維持するための冷媒として液体ヘリウムを使用していますが、KEK において、ヘリウムの使用量が非常に多いことがわかりました。KEK は大型実験施設ということもあり、ヘリウムの回収率を上げることは非常に重要です。2022 年度のつくばキャンパスでの回収率低下は、回収液化設備の老朽化が原因であると記載されていましたが、喫緊の課題として予算措置を行い設備更新することを強く期待します。

最後に、KEK のより一層の研究の進展を願うとともに、組織内の安全衛生管理、環境負荷低減対策に携わる方々の献身的な努力に敬意を払いたいと思います。

資料

環境データ集

	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	単位	記載
総エネルギー投入量 (合計)	3,371,712	3,618,041	3,813,872	3,959,175	2,464,006		
つくばキャンパス	2,475,405	2,830,867	3,021,664	3,285,623	1,967,394	GJ	p.10
東海キャンパス	896,307	787,174	792,208	673,552	496,612		
太陽光発電量 (合計)	79.3	74.8	75.1	77.2	72.7		
4号館	19.0	18.1	18.3	19.3	18.3	MWh	p.10
管理棟	60.3	56.7	56.8	57.9	54.4		
電力使用量 (合計)	342,032	372,715	393,075	408,238	253,531		
つくばキャンパス	249,465	291,457	311,321	338,676	202,295	MWh	p.11
東海キャンパス J-PARC,RNB	91,637	80,350	80,777	68,523	50,168		
東海キャンパス 東海1号館*	245	685	907	977	228	811	1,069
都市ガス使用量 (つくばキャンパス)	1,304	173	140	123	177	千m ³	p.11
石油燃料使用量 (合計)	23	20	17	16	15		
つくばキャンパス (合計)	8.4	8.3	7.6	7.2	7.3		
ガソリン	6.6	5.9	5.6	4.8	4.7		
軽油	1.2	1.8	1.5	1.7	1.9	kl	p.11
A重油	0.6	0.56	0.5	0.65	0.66		
東海キャンパス (合計)	15.0	12.0	9.4	8.9	7.3		
ガソリン	14.0	11.5	8.7	8.2	6.9		
軽油	1.0	0.5	0.7	0.7	0.4		
印刷用紙購入量	19	22	14	15	14	t	p.12
水資源使用量 (合計)	313	311	297	325	308		
つくばキャンパス (合計)	160	172	155	180	167		
上水	141	144	139	166	150	千m ³	p.12
井水	19	28	16	14	17		
東海キャンパス (合計)	153	139	142	145	141		
上水	11	9	9	11	7		
工水	142	130	133	134	134		
ヘリウム供給量 (合計)	150.4	148.1	132.4	138.4	113.7	kl	
供給量 (つくばキャンパス)	124.4	129.0	110.2	119.0	94.1	kl	
回収率 (つくばキャンパス)	95.0	88.6	88.2	91.6	87.5	%	p.12
供給量 (東海キャンパス)	26.0	19.1	22.2	19.4	19.6	kl	
回収率 (東海キャンパス)	91.8	96.0	94.0	92.0	99.5	%	

* 2018,2021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。

	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	単位	記載
CO ₂ 排出量 (合計)	156,222	174,867	179,990	155,047	83,701		
つくばキャンパス	112,211	136,810	142,606	123,911	60,293	t-CO ₂	p.13
東海キャンパス	44,011	38,057	37,384	31,136	23,408		
廃棄物 (合計)	202,721	333,080	231,513	614,525	220,818		
一般廃棄物 (合計)	100,686	95,282	83,698	83,004	87,548		
つくばキャンパス	74,540	70,040	60,880	58,630	60,520		
東海キャンパス	26,146	25,242	22,818	24,374	27,028		
産業廃棄物 (合計)	82,397	201,405	131,603	511,699	112,511	t	p.13
つくばキャンパス	80,065	198,045	123,839	506,722	104,877		p.14
東海キャンパス	2,332	3,360	7,764	4,979	7,634		
実験系廃棄物 (合計)	19,637	36,393	16,212	19,823	20,759		
つくばキャンパス	19,412	35,896	13,950	19,583	20,361		
東海キャンパス	225	497	2,262	239	398		
放射性廃棄物 (合計)	4,724	11,568	6,802	7,182	18,250	L	p.14
つくばキャンパス	0	0	0	0	0		
東海キャンパス	4,724	11,568	6,802	7,182	18,250		
リサイクル (合計)	379,441	508,785	179,317	708,237	817,490		
古紙	31,970	32,270	37,480	34,740	41,070	kg	p.15
文書溶解処理	12,200	9,970	9,435	12,800	9,650		
金属屑	335,271	466,545	132,402	660,697	766,770		
下水道排出量 (合計)	72	92	82	112	103		
つくばキャンパス	67	87	77	108	98	千m ³	p.15
東海キャンパス	5	4	4	4	5		

換算係数表

	2005年度 ^{*1}	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022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/千m ³
ガソリン	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	GJ/kL
軽油	38.2	37.7	37.7	37.7	37.7	37.7	
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	0.438	0.468	0.457	0.365	0.296	t-CO ₂ /MWh
東海 J-PARC,RNB	—	0.475	0.468	0.457	0.447	0.457	
東海 1号館 ^{*3}	—	0.502	0.475	0.457	0.447	0.473	
都市ガス	0.0506	0.0499	0.0499	0.0499	0.0499	0.0499	t-CO ₂ /GJ
ガソリン	0.0671	0.0671	0.0671	0.0671	0.0671	0.0671	
軽油	0.0686	0.0686	0.0686	0.0686	0.0686	0.0686	
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。）

^{*2} 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。

^{*3} 2018,2021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。

表紙写真



KEK かつていいもの選手権 2022 1位

アクリル中の放電痕 - リヒテンベルク像

加速器研究施設
応用超伝導加速器イノベーションセンター
森川 祐



高エネルギー加速器研究機構 環境報告 2023

本報告書はホームページでも公表しています。 アンケートも実施中です。

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

 KEK 環境報告 2023 で検索



■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