

【令和5年度実績】

1. サイクロtronセンターとの組織統合による新しいサイエンスの展開

「研究」

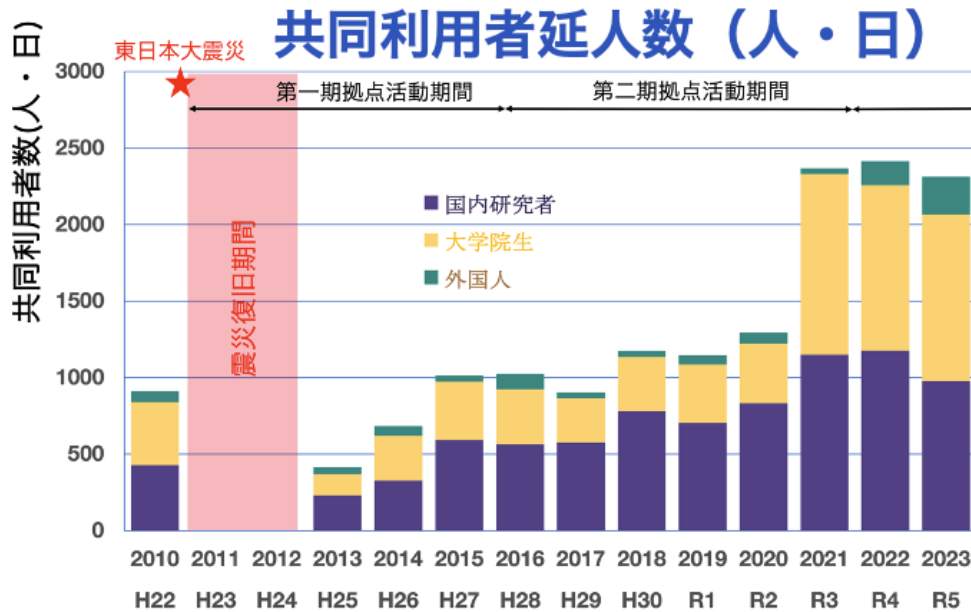
No.29 (2)-2 大型研究施設等を積極的に活用した戦略的研究連携の推進, No.28 (2)-1 国際共同利用・共同研究拠点及び共同利用・共同研究拠点の機能強化, No.23 (3)-2 卓越した研究を基盤とした産業界等との共創教育の展開, No.32 (3)-2 新規医療イノベーションの創出

実績報告

東北大学が有する大型電子加速器並びに大型サイクロtronからの良質で大強度の量子ビームを利用し生成される、

- ① 多種多様な短寿命 RI の利活用を通じた、基礎科学から医学応用まで広い学術分野研究、異分野連携研究並びに人材育成に貢献、
- ② 電子ビーム並びにイオンビームで生成される多様な RI の安定供給通して、科研費「短寿命 RI 供給プラットフォーム」をその中核研究機関として強力に推進、
- ③ 短寿命 RI による基礎研究にとどまらず、癌をはじめとする疾病の診断・治療用の短寿命 RI 薬剤開発など RI の有用利用に関する開発研究拠点形成
- ④ 国内随一の RI 利用環境提供による有用人材育成並びに新しい放射線科学分野の開拓を主導

の4つの課題の実現を目指し、R6 概算要求「多種多様な RI 供給能力強化・利用拡大による新たな学術研究・教育システムの構築～先端量子ビーム科学研究センターの設置～」を文部科学省に提出した。本事業が認められ、令和6年4月から電子光理学研究センターとサイクロtron・ラジオアイソトープセンターを統合した先端量子ビーム科学研究センターが発足することとなった。

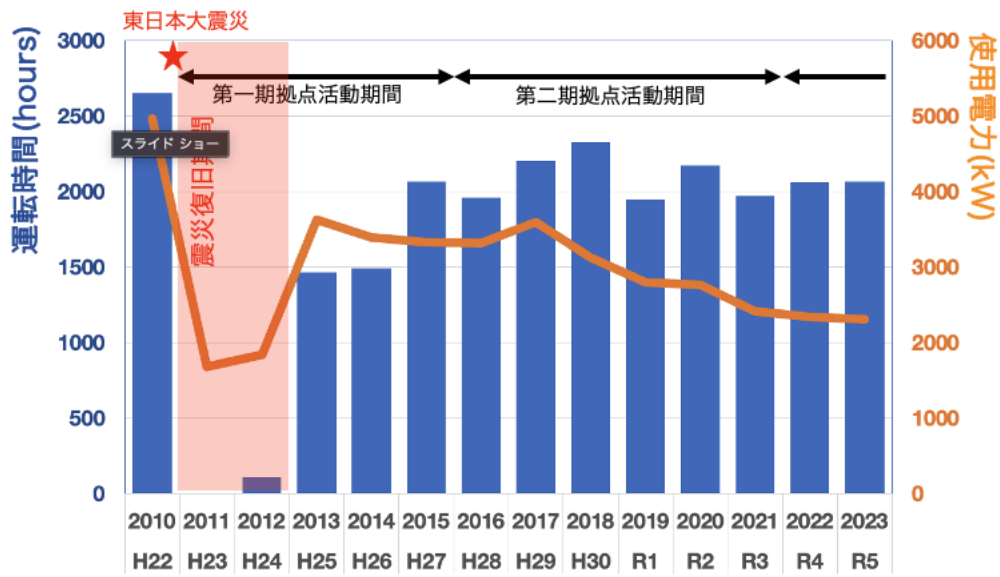


1966年開設当初から当センターは電子加速器を国内外研究者に開放し実質的に共同利用を実施してきたが、長年の共同利用の経験に基づくきめ細やかな当センターの共同利用・共同研究支援体制は外部利用者大変好評を博している。原子核・素粒子分野では、KEKやJ-PARC、理研、ILC等の大型加速器施設やSuperKamiokande等の日本が誇る先端研究施設で使用される検出器は、ほぼ例外なく当センターの電子光ビームを利用した開発研究が行われており、若手研究者育成を始め我が国が牽引する素粒子原子核研究を支えている。これは本学が誇るべき実績である。

【加速器運転時間と消費電力】

震災以降からの電気料金高騰傾向に加え2022年のロシアによるウクライナ侵攻の影響で電気料金は急騰し、大電力を消費する大型加速器の運転時間確保は大変困難になっている。下図は年間の加速器の総運転時間(青棒)と総消費電力(オレンジ線)を表している。近年はほぼ年間2000時間の運転時間を確保しつつ、使用電力は減少傾向にある。これは、後で述べる2台の加速器の運転時間割合の変化とともに、さまざまな節電努力によって実現している。

日常的な節電努力に加え、ここ数年センター内のすべての機器の消費電力を徹底的に調査し最も効率的な動作条件での運転を心がけるようにした。この努力と国並びに大学からの光熱水料補助もあり、今年度はほぼ予定通り共同利用を実施できた。今後も大電力消費の加速器だけでなく、さらに研究室等での節電対策も進め、加速器の共同利用を滞りなく推進できる環境を整えている。



【異分野融合を目指した拠点シンポジウムの開催】

共同利用・共同研究者の異分野間の交流を更に推進するために、毎年拠点シンポジウム(共同利用成果発表会)を開催している。令和5年度は、3月1日に対面+リモートのハイブリッド形式で開催し、96名のセンター利用者が集った。企画講演は、東北大学金属材料研究所の佐々木孝彦センター長、立教大学の瀧 雅人准教授にお願いした。

佐々木先生は、令和5年度の国立大学附置研究所・センター会議議長という立場から、大学附置研究所・センターの期待されている役割や今後の政策動向について、及び佐々木先生が展開されてきた有機物質中パイ電子が織りなす物理についてご講演いただいた。瀧先生には最近話題となっている deep learning の基礎から、応用、特に基礎科学分野における応用についてご講演いただいた。



2023 年度 電子光物理学研究拠点共同利用成果報告会

ELPH symposium 2024

Research Center for Electron Photon Science, Tohoku University

2024
3/8 Fri.
(オンライン & 現地)

東北大学電子光物理学研究センター 三神峯ホール
(宮城県仙台市太白区三神峯 1-2-1)
登録締切: 2024.2.29 THU (参加無料)

■特別講演① 10:50 ~

 **佐々木 孝彦**
東北大学金属材料研究所 所長
有機物質中バイ電子の優柔不断な集団運動
—共同研究と施設利用におけるポストとゲスト—

■特別講演② 13:20 ~

 **瀧 雅人**
立教大学 人工知能科学研究科 准教授
基礎科学における deep learning の利用

■プログラム

9:30 拠点シンポジウム
一般講演 (RI 利用、原子核実験)
特別講演①
特別講演②
一般講演 (加速器、素粒子実験)
ポスターセッション (成果報告)

16:40 利用者の会 総会
17:30 意見交換会 (要 事前申し込み)

ELPH シンポジウム実行委員会
Email: elphsympo@ins.tohoku.ac.jp
TEL: 022-743-3400

▶右記の QR コードまたは下記 URL からご登録ください
<https://indico.ins.tohoku.ac.jp/e/elphsymposium2024>

主催 東北大学 電子光物理学研究センター 共催 ELPH 利用者の会

 [ELPH-SYMPO-2024.png](#),  [運転時間.png](#),  [共同利用者3.png](#)

3. 国際共同研究の推進

「研究」

No.28 (2)-1 国際共同利用・共同研究拠点及び共同利用・共同研究拠点の機能強化
実績報告

①「クォーク核物理研究」: ハドロン光生成に関する共同研究 SPring-8/LEPS2 実験を継続している。現在、科学研究費補助金(基盤研究(S),(A))を受け、センター保有の大型電磁カロリメーターの整備を進め、物理データ収集準備を進めた。また、科学研究費補助金(新学術領域)の支援を受け建設した大型スペクトロメーターの建設が終了、物理データ取得が開始した。J-PARCにおけるハドロン物理の共同研究を推進している。当該年度、J-PARC おいて4AH の高精度寿命測定に成功、学術論文として公表した。現在、原子核物理学において大問題になっているハイパータリトン寿命高精度測定の準備を進めている。またイタリア・フラスカティ DAΦNE 加速器における反 K 中間子原子脱励起 X 線精密測定を新たに開始した。

共同利用・共同研究による国際的にも優れた研究成果等
 東北大学電子光物理学研究センター（電子光物理学研究拠点）

世界最高精度で ${}^4\Lambda\text{H}$ の寿命測定に成功

概要

J-PARCハドロン施設でこれまで誰も行っていない、Kビームを使った、飛行 $\text{K} + {}^4\text{He} \rightarrow \Lambda^4\text{H} + \pi^0$ 反応を使った ${}^4\Lambda\text{H}$ ハイパー核の寿命の測定に成功した。この研究成果は ${}^3\Lambda\text{H}$ の寿命パズルと呼ばれている現在のハイパー核物理学研究において一大問題をこれまでと違う形で検証するための第一歩となる成果です。

具体的な成果・効果

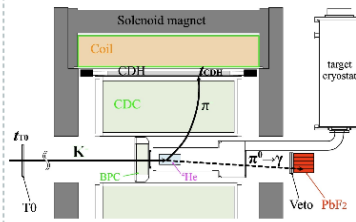
ハイパートリトンとは、重水素原子核とラムダ粒子（ Λ 粒子）から構成された原子核です。ハイパートリトンの束縛エネルギーは1970年代までの測定結果が約50年にわたり信じられてきました。しかし、近年の実験でハイパートリトンの生成から崩壊に至るまでの寿命が束縛エネルギーから予測される値よりも有意に短い可能性が示されました。これはハイパートリトンパズルと呼ばれ、原子核物理の大問題になっています。この問題を解決するための強力な手法はこれまでとは違う方法での寿命測定です。

我々はJ-PARCにおいて全く新しい手法でハイパートリトンの寿命測定を提案している。その第一段階として、すでに寿命が知られている ${}^4\Lambda\text{H}$ を同様の手法で測定を試み、これまでより高精度で寿命を決定した。本研究はハイパートリトン寿命精密測定、すなわちハイパートリトンパズル解決への道を開いた重要な成果です。

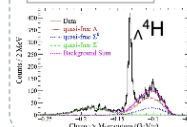
この研究成果は、東北大学電子光物理学研究センター、大阪大学核物理研究センター、高エネルギー加速器研究機構、理化学研究所、日本原子力研究開発機構、J-PARCセンター、イタリア国立原子核研究所、ステファンメイヤーサブアトム物理学研究所他からなる研究グループで実施した国際共同研究です。

イメージ図

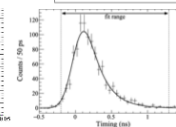
図A: 実験装置概要



図B: ${}^4\Lambda\text{H}$ の同定



図C: ${}^4\Lambda\text{H}$ の寿命



②「不安定核物理研究」: オンライン生成の不安定核を標的とした世界初の電子散乱成功並びに論文発表した。現在更なるルミノシティ増強を目指し以下の研究を進めている。1) 電子入射器のパワー増強による不安定核生成能力向上、2) 蓄積電子ビームの一層の安定化のため新キャビティ導入

共同利用・共同研究による国際的にも優れた研究成果等
 東北大学電子光物理学研究センター（電子光物理学研究拠点）

世界初の電子散乱による不安定核の構造研究

概要

電子散乱は原子核の内部構造研究のための最強の測定方法である。天然に存在しない不安定核で次々と奇異な内部構造が発見されているが、未だに電子散乱による研究はない。不安定核は、核反応を利用して人工的に生成する必要があり、しかも短寿命で崩壊する。それゆえ分厚い標的が用意できず電子散乱は不可能と考えられてきた。私たちは、その着想から実用まで長い時間（約20年）を要したが、SCRIT法と呼ぶ革新的な標的作成技術により、電子散乱実験に必要な標的原子核数を約100億分の1（ 10^{-10} ）にすることに成功し、史上初の電子散乱による不安定核研究を実現した。

具体的な成果・効果

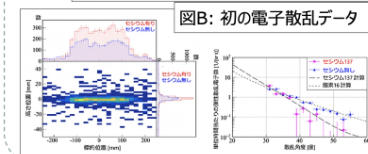
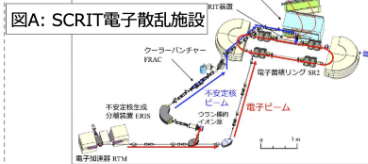
理化学研究所仁科加速器科学研究所RIビームファクトリーに建設した世界初の不安定核研究専用のSCRIT電子散乱施設（右図A）で、核反応を利用して生成した 10^7 ケの不安定核を標的に、電子散乱測定を行い標的不安定核の電荷密度分布を決定した（右図B）。

原子核物理研究者の「夢」であった電子散乱による不安定核研究は、大きなニュースとして取り上げられた。例として

- 1) 米国物理学誌（Physics Today）3ページの解説記事
- 2) 米国物理学会のオンライン記事（Physics Magazine）

論文発表後のこの半年で、10を超える国際会議への招待が来るなど、大きな反響を呼んでいる。また、欧米ではこの手法を取り入れた新しい加速器施設の検討が始まっている。

イメージ図



用語解説

電子散乱：標的原子核によって散乱された高エネルギー電子を観察することで核構造を決定する。
 不安定核：陽子・中性子の数バランスが崩れている天然には存在しない原子核。固有の時間で崩壊する。

③「高精度原子核物理研究」

陽子並びに中性子電荷半径：史上際低エネルギー電子散乱による陽子半径測定を継続するとともに、重陽子半径測定を開始する。データ解析を進め陽子半径と重陽子半径値を組み合わせることで、最も信頼度の高い中性子電荷半径値の決定に挑んでいる。また、原子核の中性子分布半径決定：われわれが発見した低エネルギー電子散乱による原子核の中性子分布測定方法を²⁰⁸Pb核に適用し中性子分布半径の目指した研究を開始した。並行して、理研SCRIT施設での中性子過剰不安定核との電子散乱実験による中性子分布半径決定に向けた検討を進めている。

共同利用・共同研究による国際的にも優れた研究成果等

東北大学電子光物理学研究センター（電子光物理学研究拠点）

電子散乱による陽子の大きさ（荷電半径）研究

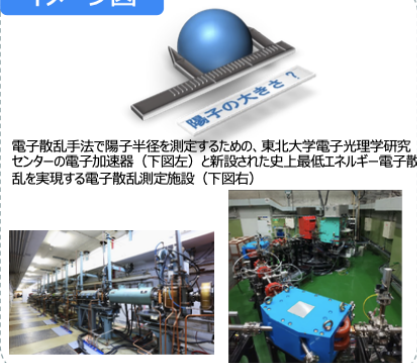
概要

水素の原子核である陽子の大きさ（荷電半径）の不定性が問題になっています。電子で測定した陽子の大きさと μ 粒子と呼ばれる電子の仲間（質量は200倍重い）で測定した大きさに深刻な不一致が報告されました。陽子は内部にクォークを含んでおりその大きさは質量同様に陽子の重要な物理量です。したがって、大きさの不定性は素粒子や原子核物理学にとって重要な問題ですが、この不定性は最も精度が高く測定されている基礎物理定数であるRydberg定数（リュードベリ定数）の不定性に直結するため原子物理を含む広い学術分野に影響します。したがって、この不定性が明らかになって以降、世界各地でさまざまな測定方法により陽子の大きさをめぐる鏝を削る研究が展開されています。

具体的な成果・効果

電子散乱という手法で陽子半径を測定するには、その定義より電子ビームのエネルギーは低いほど高精度測定が可能です。しかしながら、世界の素粒子原子核研究用電子加速器は全て高エネルギー化（ \sim GeV領域）されてきました。このような研究環境下で、電子光物理学研究センターのRI生成用の60 MeV低エネルギー電子加速器は大変ユニークであるため、新たに新しいビームラインと測定器を建設しました。史上最低エネルギーの電子散乱測定を実現することで、世界で最も信頼度高く高精度の陽子半径測定が可能です。全ての装置建設は終了し本格的な実験データ収集が開始されました。電子光物理学研究センターでの低エネルギー電子散乱による陽子半径測定は、国内外の高い注目を集めており、国内外の研究者、大学院生による共同利用・共同研究の形で研究を進めています。宮崎大教員がクロスアポイントメントで参加している他、京都大、ハンプトン大（米）、ヨハネスブルグ大（南ア）の研究者が参加し、また京都大や宮崎大の大学院生に加えてグランゼコール（仏）、イーストアングリア大（英）の大学院生も研究に参加し研究を推進しています。陽子半径に関する世界唯一の研究手法のため、国内外で開催される関連国際会議全てから招待を受けており、現状を含め報告しています。

イメージ図



[SCRIT2.png](#), [proton.png](#), [JPARC.png](#)

4. 大強度電子加速器で生成する短寿命RIの核医学への応用

「研究」

No.29 (2)-2 大型研究施設等を積極的に活用した戦略的研究連携の推進, No.28 (2)-1 国際共同利用・共同研究拠点及び共同利用・共同研究拠点の機能強化, No.23 (3)-2 卓越した研究を基盤とした産業界等との共創教育の展開, No.32 (3)-2 新規医療イノベーションの創出

実績報告

短寿命RIを利用する研究は、がん治療への応用をはじめとする核医学分野、医療診断のためのイメージング技術への応用など幅広い分野に必要とされているものの一つです。電子光物理学研究センターは、センター保有の大強度電子加速器を利用し近年核医学分野において重要視されているアクチニウム225の安定的な生成技術確立のための基礎研究やテクネチウム製造・利用等に関する研究を共同研究事業として継続してきた。令和5年度、大強度電子線形加速器を使ったアクチニウム225の安定的な製造に向けた日立製作所との共同研究の継続のみならず、電子

線形加速器及び活性炭クロマトグラフィー装置を用いて製造したテクネチウム製剤「過テクネチウム酸ナトリウム」の薬効を証明することに成功、プレスリリースを行なった。この成果は電子加速器で生成するテクネチウムの医療利用に向けた第一歩を踏み出した。

共同利用・共同研究による国際的にも優れた研究成果等

東北大学電子光理学研究センター（電子光理学研究拠点）

電子線形加速器・活性炭法由来テクネチウム製剤の薬効を証明

概要

電子線形加速器及び活性炭クロマトグラフィー装置（以下、「電子線形加速器・活性炭法」という）を用いて製造したテクネチウム製剤「過テクネチウム酸ナトリウム」の薬効を証明することに成功した。電子線形加速器・活性炭法で製造したテクネチウム製剤の薬効が証明されたのは初めてであり、本方法を実際の医療現場で利用するための科学的エビデンスの一つが得られたと言える。さらに、電子線形加速器・活性炭法は国内設備のみでも運用が可能のため、本方法の医療現場への展開によるテクネチウム製剤原料の国産化も期待される。

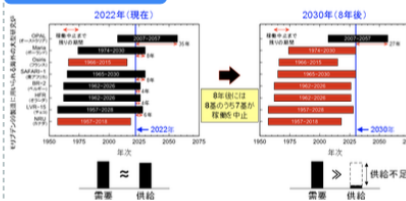
具体的な成果・効果

国内加速器設備と国産化学分離装置を組み合わせてモリブデン 99-テクネチウム 99m を製造する「電子線形加速器・活性炭法」を 2015 年に提案し、産学連携を通して研究開発を進めてきた。これまで主としてモリブデン 99 及びテクネチウム 99m それぞれの製造収率を向上させるための研究開発を行ってきたが、本方法で製造したテクネチウム製剤の薬学的有効性を調べることまでは検討できておらず、本方法が実際の医療現場で利用できるかについては明らかになっていない。そこで本研究では、最も一般的に使われるテクネチウム製剤である「過テクネチウム酸ナトリウム」を電子線形加速器・活性炭法を用いて製造し、マウスによる体内分布試験を行うことでその薬効を調べた。

東北大学電子光理学研究センターの大強度電子線形加速器を用いてモリブデン 99 を製造した。次に、共同研究グループの株式会社化研が開発した活性炭クロマトグラフィー装置を用いてモリブデン 99 からテクネチウム 99m を抽出し、過テクネチウム酸ナトリウムを調製した。その後、過テクネチウム酸ナトリウムを健康なマウスに投与し、体内分布試験を行った。最後に、市販の研究用由来の過テクネチウム酸ナトリウムを用いて同様のマウス体内分布試験を行い、電子線形加速器・活性炭法のマウス体内分布試験結果との比較分析を行った。その結果、合わせて 6 つの組織・臓器（血液、心臓、肝臓、腎臓、甲状腺、唾液腺）での過テクネチウム酸ナトリウムの摂取率について、全ての組織・臓器において両方法の摂取率がほとんど変わらないことが分かった。電子線形加速器・活性炭法で製造した過テクネチウム酸ナトリウムが、従来の研究用由来の過テクネチウム酸ナトリウムと同様の薬理効果を有することを示した。

本研究成果は、2022年4月14日（日本時間）に米国放射線医薬品学会（Society of Radiopharmaceutical Sciences）の科学誌「Nuclear Medicine and Biology」オンライン版に掲載されました。

イメージ図



このままでは2030年にモリブデン99供給不足が発生し、テクネチウム製剤による診断ができなくなる

- 海外研究用へ代わり、電子線系加速器等の加速器を用いてモリブデン99または、テクネチウム99mを製造し病院に供給する「国産モリブデン99-テクネチウム99m サプライチェーン」構築することが喫緊な課題
- 本研究は、電子線系加速器および活性炭装置を用いて製造したテクネチウム製剤が従来の海外研究用由来テクネチウム製剤と同等の薬効を有することを明らかにし、「国産モリブデン99-テクネチウム99m サプライチェーン」構築の科学的エビデンスを得た



5. 大型科研費を含む科研費の採択実績の学内トップクラスの維持・更なる向上

「研究」

No.18 (1)-1 自由な発想に基づく基礎研究の推進および新興・分野融合研究の開拓, No.22 (3)-1 優秀な若手研究者の活躍促進

実績報告

令和5年度、継続中の基盤(S)2本に加え、基盤(A)2件、その他基盤(B)が2件、挑戦的研究(萌芽)2件に加え、基盤(A)1本、挑戦的研究(開拓)1件、挑戦的研究(萌芽)1件等が採択された。現在、教員のほぼ全てが科研費の交付を受け独自の研究を展開している。令和5年度の直接経費受け入れ総額は9,350万円であった。この金額は、当センターが受け入れている運営費交付金のほぼ半分の額である。今後も研究力アップのためにセンター構成員の研究時間確保等の取り組みを進めています。

6. 教員の研究時間確保の取組

「教員の研究時間確保」

No.21 (2)-2 多様な研究力を引き出す研究支援機能の充実・強化, No.46 (1)-2 全学 DX によるデジタル・キャンパスの推進

実績報告

・放射線作業従事者登録に必要な放射線安全教育資料の充実、教育ビデオを作成することにより、安全教育担当教員の負担を低減した。また、共同利用者にとっても受講時間に対する制約を低減することになり、時間的余裕を持って共同利用実験を実施できる環境を提供できた。

・加速器運転状況等、放射線管理区域内への入域状況を現場に来なくても確認できるよう、管理システムをオンライン化した。

・研究支援の面においては、委託研究契約等において会計実績報告書を事務的に作成することにより、教員の委託研究契約等に係る事務手続きを大幅に削減し、教員の研究時間確保に大きく貢献。また、科研費アプリを活用することにより、教員自身が使用金額を登録する手間がなくなり、会計実績作成について大いに効率化した。

・対面で行う必要の無い会議・打合わせは積極的にオンラインで実施している。また、運営に関わる会議での報告事項の簡素化により、会議の時間の大幅な圧縮が実現できた。

以上の取り組みの結果、教員の研究時間確保に繋げることができた。