

リサーチユニット認定期間更新申様式3-3（事後評価用）

		※整理番号	
ふりがな	ないとうとしお	所属 職名 E-mail	所属：理工学研究科（理学系） 職名：教授 E-mail: tnaito@ehime-u.ac.jp
代表者氏名	内藤 俊雄		
リサーチ ユニット名称	日本語 エネルギーの高効率利用と貯蔵に関する材料開発研究ユニット （英語） Research Unit for Materials Development for Efficient Utilization and Storage of Energy (E-USE)		
組織 （※）任期付き教員が構成員にいる場合は、採用任期を記載してください。			
氏名(年齢)	所属・職名	主な研究テーマ	
（代表者） 内藤 俊雄(60)	理工学研究科（理学系） ・教授	固体の電気・磁気・光学物性と電子構造計算 （①「光貯蔵技術の実現」グループ）	
（構成員） 御崎 洋二(64)	理工学研究科（工学系） ・教授	有機電極材料合成 （②「有機二次電池開発」グループ）	
白旗 崇(51)	理工学研究科（理学系） ・准教授	有機超伝導体開発 （③「有機超伝導体開発」グループ）	
山本 貴(51)	理工学研究科（工学系） ・准教授	固体分子振動分光/高圧下の物性測定（③「有機超伝導体開発」グループ）【2024年10月7日まで】	
小原 敬士(60)	理工学研究科（理学系） ・教授	電子スピン共鳴、時間分解分光 （④「基盤技術協力」グループ）	
小西 健介(61)	理工学研究科（理学系） ・准教授	磁性、電気伝導性測定 （④「基盤技術協力」グループ）	
松本 圭介(38)	理工学研究科（工学系） ・准教授	電気・磁気物性測定（④「基盤技術協力」グループ）【2023年10月10日から】	
森 重樹(45)	理工学研究科（工学系） ・准教授 学術支援センター・特任講師	X線構造解析（④「基盤技術協力」グループ） 【2023年10月10日から】	
（連携研究者） 藤崎 真広(26)	理工学研究科（工学系） ）博士後期課程（3年）	有機ドナー分子合成 （③「有機超伝導体開発」グループ） 【2025年4月から本学理工学研究科 助教】 R07年度以降の本RU内での役割は相談中	
（研究支援者）			
計 8 名			

様式3-3（事後評価用）

1-1. 活動実績等（2頁以内）

認定期間中のリサーチユニットの活動実績等について具体的かつ明確に記入してください。

〔活動実績等（本学の研究活動の活性化につながった活動実績等について記載）〕

3年間で以下の実績を上げた。

RU主催の研究会開催：5回（参加人数のべ 約220名；海外からの招待講演者のべ3名）

高校生・中学生対象講義&実験、企業・一般社会人向け講演会（招待講演など）：12回

学会、研究会、会議での招待講演：（国内）8件、（海外）1件

学会発表：国内6件（R06）、国際会議3件（R06）

論文出版：6報（R06）（うち、オープンアクセス2報）（R06）

外部資金：9625万6千円（間接経費を含む）（R06）

社会実装（特許出願、企業との共同研究）：2件（R06）

〔活動計画の達成状況（申請時に設定した「3年後の達成目標」の達成状況を記載）〕

「光貯蔵技術の実現」 【3年間の目標】受光で得たエネルギーの10%以上を10週間（2か月半）貯蔵でき、その後発光する物質を見出す。

【R06（3年目）の成果】昨（R05）年度、受光で得たエネルギーの10%程度を室温で8か月半以上貯蔵できる物質を見出した。今（R06）年度の検討の結果、受光後600時間（常温常圧で約25日間）暗所で保存した試料で、ついに発光することを見出した（図1）。つまり3年間の目標を完遂した。

(単位) 任意単位

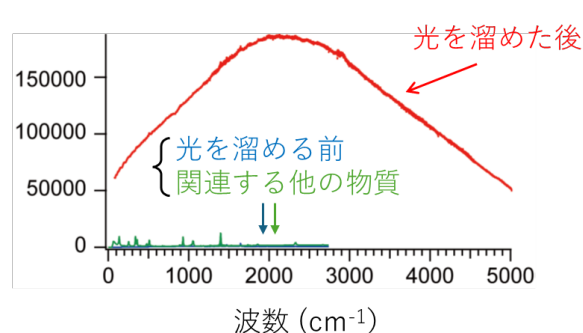


図1. 発光スペクトル

「有機超伝導体開発」

【3年間の目標】〔1〕常圧、または圧力下で超伝導を示す新規物質を1種類以上見出す。〔2〕①分子軌道の縮退が関与した相転移を見出す。②ヒメダイヤを使った超高圧試料における金属光沢の検出法を開発する。③圧縮により金属が超伝導になる現象が偶然ではないことを検証する。

【R06（3年目）の成果】昨（R05）年度、超伝導になりやすい結晶構造の物質の開発に成功していた。今（R06）年度、圧力下での電気伝導度測定を検討した結果、超伝導を示す新しい物質を2種類見出した。つまり3年間の目標の内の1つ〔1〕を達成しており、関連物質からさらなる超伝導体が見出されることが期待されている。

〔学術的、社会的波及効果〕

「光貯蔵技術の実現」 上述の光ストレージ物質（プロトタイプ）は、発光させることと並行してコストダウンにも取り組んで来たため、金をニッケルで代用している。これにより数割のコストダウンが見込まれる。またそれに伴って合成法もはるかに簡便になり、量産と実用化に向けて大きく前進した。また従来の常識で不可能と思われていた光を物質中に蓄えて、好きな時に発光させるということが可能であるということを示せたのは、学術的にも意義が深い。

「有機超伝導体開発」 上述の有機超伝導体は、超伝導転移温度（ T_c ）が10 Kに達している。有機超伝導体で10 K級の T_c をもつ物質の発見は約20年ぶりの快挙であり、学術的に意義が深い。今後、

水素冷熱利用ができる温度まで T_c を上昇させることができれば、近未来の水素利用社会で実用できる材料として期待が持たれる。

〔受賞歴（受賞名及び受賞年度）〕

（参考）最優秀ポスター賞（有機結晶シンポジウム）藤崎真広（連携研究者）、2023年度

〔アウトリーチ活動〕

2024年7月19日（金）キャノン「善き未来をひらく科学技術」シンポジウム2024（内藤）

2024年8月2日（金）出張講義（大洲青少年交流の家：内藤）

2024年8月26日（月）～30日（金）新居浜高専インターンシップ受入（御崎）

2024年8月29日（木）ICPAC Mongolia 2024（Ulaanbaatar）で招待講演（内藤）

2024年9月11日（水）愛媛県環境創造センター 報告会に参加（内藤）

2024年10月2日（水）～4日（金）東大物性研短期研究会で招待講演（白旗）

およびポスター発表（「光貯蔵技術の実現」グループ他）

2024年10月18日（金）RU講演会（参加者約20名；名古屋大、佐賀大、奈良女子大他）

2024年12月23日（木）～24日（金）松山南高校SSH（内藤）

2025年3月19日（水）RU講演会（参加者約30名；北里大、産総研、東北大他）

〔その他、当初の計画を超えた顕著な業績〕

〔1〕今年度は異なるRU間の共同研究も実施した。“円環型 π 電子系の分子性物質創成研究ユニット（高瀬雅祥RU長）”との共同研究である。この成果は論文として既に投稿しており、現在査読中である。またこの内容を日本化学会中国四国支部大会2024（岡山大会）で発表したところ、（RUメンバーとして登録されてはいないが）池田美沙子氏（本学理工学研究科（内藤研究室）博士前期課程1年）がポスター賞を受賞した（http://www.sci.ehime-u.ac.jp/study_info/4430/）。

様式3-3（事後評価用）

1-2. 研究業績

主要な論文、図書業績（3つ程度）について、その内容をそれぞれ3行程度で記載してください。

また、以下の項目に該当する活動期間内におけるRU活動に関連する研究業績、受賞実績等については、すべて記載してください。各項目内で通し番号を付してください。

- ①研究実績：学際的論文、国際共著論文、学術図書、教科書、学会発表（いずれも研究室を異にするRUの複数メンバーが連名に入った成果に限る）等
- ②広報実績：ストックサイト掲載、プレスリリース
- ③社会実装：国内・国際特許出願、企業との共同研究、製品等
- ④社会貢献：自治体からの受託研究、自治体や公的機関と連携した取組、地域の文化活動推進に関する取組等
- ⑤アウトリーチ活動：高大連携活動、講演会等

① 研究実績（下線はRUのメンバー、線種の違いは研究室の違い）

1. Nearly three-dimensional Dirac fermions in an organic crystalline material unveiled by electron spin resonance. R. Oka, K. Ohara, N. Tajima, T. Shimada, T. Naito, *Mater. Adv.* **5**(4), 1492—1501 (2024), DOI: 10.1039/D3MA00619K. 【Front Cover Picture & 2024 Popular Advances Collection】

IF = 5.2 被引用件数:0

2. Diverse charge distributions in the triangular lattice superconductor κ -(ET)₂Cu[N(CN)₂]I: infrared and Raman spectroscopic insights. T. Yamamoto, Y. Nakamura, T. Naito, K. Konishi, M. Uruichi, K. Matsushita, and Y. Nakazawa. *J. Phys. Soc. Jpn.* **93**(12), 124701(10 pages) (2024). DOI: 10.7566/JPSJ.93.124701.

IF = 1.828 被引用件数:0

3. テトラチアペンタレン系分子性導体研究の進展：新しい有機超伝導体の創成, 白旗 崇, 渡邊 結夏, 藤崎 真広, 山口 俊輔, 川相 義高, 田嶋 尚也, 内藤 俊雄, 御崎 洋二, 第 34 回基礎有機化学討論会, 2P129, 2024 年 9 月 11 日～13 日（札幌コンベンションセンター）
4. シクロヘプテン環が縮環した TTP 系導体の構造と物性：圧力効果を利用した新規有機超伝導体の創成, 渡邊 結夏, 青野 翔太, 藤崎 真広, 白旗 崇, 山口 俊輔, 川相 義高, 田嶋 尚也, 内藤 俊雄, 御崎 洋二, 第 18 回分子科学討論会, 3P013, 2024 年 9 月 18 日～21 日（京都大学 吉田キャンパス）

② 広報実績 （なし）

③ 社会実装 （なし）

④ 社会貢献

1. 愛媛県環境創造センター客員研究員（R06.6.1ー現在）愛媛県が管轄する、県の環境に関する様々な問題、課題を研究するセンターで、材料科学者としての視点で協力している（内藤）。

⑤ アウトリーチ活動（再掲）

1. 2024年7月19日（金）キャノン「善き未来をひらく科学技術」シンポジウム2024（内藤）
2. 2024年8月2日（金）出張講義（大洲青少年交流の家：内藤）
3. 2024年8月26日（月）～30日（金）新居浜高専インターンシップ受入（御崎）
4. 2024年8月29日（木）ICPAC Mongolia 2024（Ulaanbaatar）で招待講演（内藤）
5. 2024年9月11日（水）愛媛県環境創造センター 報告会に参加（内藤）
6. 2024年10月2日（水）～4日（金）東大物性研短期研究会で招待講演（白旗）

およびポスター発表（「光貯蔵技術の実現」グループ他）

7. 2024年10月18日（金）RU講演会（参加者約20名；名古屋大、佐賀大、奈良女子大他）
8. 2024年12月23日（木）～24日（金）松山南高校SSH（内藤）
9. 2025年3月19日（水）RU講演会（参加者約30名；北里大、産総研、東北大他）

様式3-4（継続申請用）

2. 継続目的等（4頁以内）

本リサーチユニットの継続目的等、活動計画、期待される効果、活動の公表方法、生命倫理・安全対策等（該当する場合のみ）について具体的かつ明確に記入してください。

〔継続目的等（背景、今後3年間の目的、認定期間を更新（継続）する必要性・重要性などについて記載）〕

【背景】物質の新しい機能や可能性を見出し、それを将来の社会実装につなげていくことは、大学で物質科学・材料科学の基礎研究（以下、まとめて物性研究）に携わる者の共通の使命であり、目標でもある。特に愛媛大学においては地球深部ダイナミクス研究センター（GRC）の高圧材料科学の研究成果が長年にわたって国内外から高く評価され、理学部本館や学術支援センター（ADRES）物質科学研究支援部門に物性研究のための最先端の設備が充実していることを鑑みても、本学がバイオや環境分野と並んで物性研究の重要な拠点であることを示している（図2、図3）。本RU（E-USE）の背骨に相当する学内共同研究体制は、2011年の研究活性化事業に採択されて以来10年以上継続しており、旧制度のRUが本学で始まった当初から継続的に活動してきた。最初は理工学研究科内の二、三の研究室、教員数名だけの体制から始まり、今では博士後期課程の学生も含めて10名前後の集団になった。それでも毎年（RU以外のテーマも含めて）メンバー全体で20報前後の論文を発表し、主だったメンバーは国内外の研究会や会議で招待講演、依頼講演、実行委員（長）などを務めてきた。

これまでの本RUの研究成果は、RUという契機がない限り共同研究を実施しなかったかもしれないほど背景や専門が異なる多様な組織で、初めて生まれる。各研究の進捗での必要に基づいた単発的な共同研究や、各教員が個別に研究を進めるだけでは得られなかったはずである。メンバーを学内に限定していることもRUの特徴だが、それは必要となればす



図2. 本RU長（内藤）が光貯蔵技術（“光ストレージ”）開発のクラウドファンディングを行った際のイメージ図



図3. 本RUが貢献する未来像（左：AI、右：自動運転）

ぐにメンバー同士が直接会って議論や協力ができるという機動力が備わり、学外の遠く離れた相手との共同研究とは進捗のスピードが全く異なる。こうしたRUのメリットを生かして、次の段階に研究を

進めたいと考えた。今回（R07—09年度）のRU認定更新ではこうした本学の物性研究の流れを将来に向けて長く発展させていくため、次の2点に留意した。(I) AIや無人運転などに代表される、高度で変化の激しい半導体技術の需要に対応していくため、有機超伝導体や有機二次電池の開発に特化せず、今後、エネルギー・環境保全および通信・情報処理分野で重要となると予想される新規な材料の開発を研究課題として、どこよりも早く広範囲に取り上げる。(II) 前回（R04—06年度）から取り組んできた若手教員や後継者の育成ということにも意を向ける。そこで次ページのような目的を掲げた。

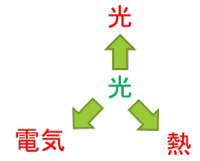
【今後3年間の目的】

「光貯蔵技術の実現」 （責任者：内藤） R04-R06での本RUの活動で残された課題は、(i)（今回観測された発光は赤外領域だが）赤外以外の波長の発光はできないか、(ii) どのくらい長く発光を継続できるのか、(iii) 最初に照射した光のエネルギーの何%ぐらいが取り出せるのかといった問題である。そこでこれらの課題を解決するために、本RUでの活動を継続する。

「新しい電子機能を示す物質の実現」 （責任者：白旗）

これまでの②「有機二次電池開発」グループと③「有機超伝導体開発」グループを統合し、これら2つの機能性物質以外にも、有機ディラック電子系開発、キラリティーを持った伝導体開発、プロトン伝導性多孔質材料の開発などに着手する。有機ディラック電子系とは光速で動く電子を含み、超高速の演算と超省電力を両立するCPUなどのデバイスへの応用が期待されている。キラリティーを持った伝導体は円偏光を使った高度な光通信技術などへの応用が期待されている。どれもまだ基礎研究が始まったばかりで、学術的にも実用的にも明らかにすべき課題が山積している。一方、プロトン伝導性多孔質材料は燃料電池の電解質膜に応用可能であり、既存のナフィオン膜の代替材料として注目されている。

光を直接蓄え
多様なエネルギーに
直接変換



〔3年後の達成目標〕

「光貯蔵技術の実現」 （責任者：内藤）

3年間で上述の(i)から(iii)の課題を並行して詰めていき、1つでも解決することを目標とする。

「新しい電子機能を示す物質の実現」 （責任者：白旗）

3年間で、対象の研究課題で得られた知見を相互にフィードバックし、以下の機能を有する新規材料を1つでも見出すことを目標とする。

有機超伝導体開発：常圧、または圧力下で超伝導を示す新規物質

有機二次電池開発：実用されているリチウムイオン電池の性能を上回る有機正極材料

有機ディラック電子系開発：新規有機ディラック電子系の候補物質

キラリティーを持った伝導体開発：キラリティーが関与する電子物性が発現する物質

プロトン伝導性多孔質材料の開発：ナフィオン膜の性能を上回る新規材料

RU全体としての目標

本RUの特徴を生かし、理学と工学、実験と理論、有機材料と無機材料など多様な観点や専門が融合し、本申請書冒頭に述べた時代の流れを先取りした電子材料の開発を目指す。それは例えば上で述べた「光速で動く電子を含み、超高速の演算と超省電力を両立するCPUなどのデバイスへの応用が期待される」新物質である。

〔活動計画〕

（全体計画）

「光貯蔵技術の実現」 （責任者：内藤） 【今後3年間の目的】に書いた残された課題 (i) - (iii) を克服するためには、以下のサブテーマが必要になる。

【サブテーマ1】最初5分間紫外光を照射した試料を暗所で一定期間保存しておき、いろいろな励起光で発光スペクトルを測って、光を溜めている時間と発光の関係を調べる。

【サブテーマ2】上記のテーマ1で発光スペクトルを測った試料に対し、継続的に同じ発光スペクトル測定を繰り返し、1回の発光が持続する時間や発光強度の減衰を調べる。

【サブテーマ3】上述の結果をフィードバックして、さらに周辺の関連物質（新規物質）を新たに合成し、光の貯蔵と発光に関してより優れた性能を示す物質を探索する。

「新しい電子機能を示す物質の実現」（責任者：白旗）【今後3年間の目的】に書いた各研究課題に於いて、以下の計画で研究を進める。

【有機超伝導体開発】すでに開発済みの有機超伝導体の対陰イオンを変えて、新しい有機超伝導体の開発を目指す。また、有機分子骨格内の硫黄原子をセレン原子に置き換える等の分子修飾を行い、常圧での超伝導の実現を検討する。

【有機二次電池開発】有機超伝導体開発で利用されている酸化還元系分子を、有機二次電池の新しい正極活物質として利用する研究を進める。

【有機ディラック電子系開発】すでに開発済みの有機超伝導体の関連物質にディラック電子系に類似する電子構造を持つ物質が得られている。この物質を基点として、新規有機ディラック電子系物質を探索する。

【キラリティーを持った伝導体開発】反転対称性が欠如したキラルな有機伝導体の開発指針は確立されているが、螺旋軸を持つキラル有機伝導体の開発は偶発的である。螺旋軸を持つキラル有機伝導体を得られやすい分子骨格を調べ、構成分子の設計指針を見出す。

【プロトン伝導性多孔質材料の開発】プロトン伝導性の共有結合性有機構造体(COF)のリンカーとして、アミノ基を持つ新規有機化合物を合成する。

基盤技術協力グループ

当グループのメンバーは、それぞれが管理する装置や専門性を通じて各研究課題をサポートすることで成果をあげてきた。新体制ではこれに加え、各研究課題の関連付け、連携強化のための横串組織としての機能も担う。

（2025年度）

「光貯蔵技術の実現」（責任者：内藤）

主に【サブテーマ1】を行う。試料の合成＝「新しい電子機能を示す物質の実現」グループとの共同研究、得られた新物質の各種物性測定＝「基盤技術協力」グループとの共同研究。

「新しい電子機能を示す物質の実現」（責任者：白旗）

年度毎の計画とせずに、RU内の3つのグループが協力し、下記の内容を並行して進める。

有機超伝導体開発、有機ディラック電子系開発およびキラリティーを持った伝導体開発について、新規物質の開発を行う。

（2026年度）

「光貯蔵技術の実現」（責任者：内藤）

主に【サブテーマ2】を行う。発光スペクトルの測定＝RUを超えた学内との共同研究、それ以外の各種物性測定＝「基盤技術協力」グループとの共同研究。

「新しい電子機能を示す物質の実現」（責任者：白旗）

2025年度に得られた知見に基づいて各研究課題を並行して進める。

(2027年度)

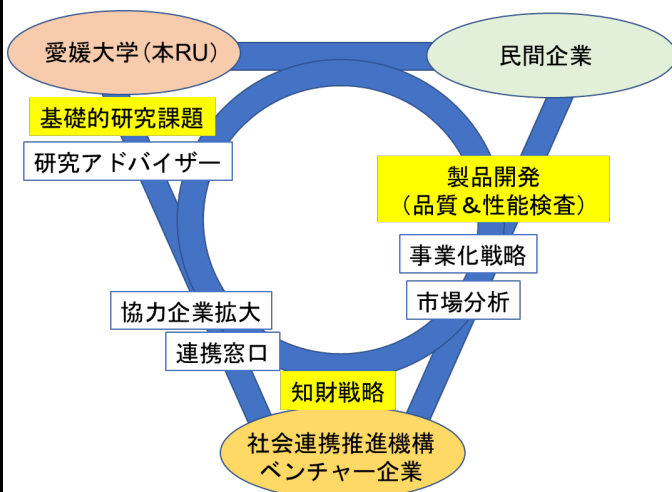
「光貯蔵技術の実現」 (責任者：内藤)

主に【サブテーマ3】を行う。試料の合成＝「新しい電子機能を示す物質の実現」グループとの共同研究、得られた新物質の各種物性測定＝「基盤技術協力」グループとの共同研究。

「新しい電子機能を示す物質の実現」 (責任者：白旗)

前年度までに得られた知見に基づいて各研究課題を並行して進めると共に、旧RUの成果とあわせて総括して、次のステージに向けた目標設定を行う。

〔将来構想〕



本RUの研究が順調に進み、その成果を積極的に発信すれば、必ず多くの民間企業が興味を示し、先方から連絡を取ってくると期待される。例えば「光貯蔵技術」に関して言うと、夜間や山間部での道路の白線の塗料にこうした機能性有機材料を混ぜたいという要望や、小型軽量が重要であるドローンの夜間飛行用の照明、住宅のガラス窓や、壁、屋根に塗布して夏場の遮光断熱材と自然光のエネルギー貯蔵の二重の効果を狙いたいなど具体的なビジネス案を多数いただいている。従って一日も早く基礎研究としての最終段階を突破し、民間企業がそれぞれ独自に

実用化を検討できるような産学連携の仕組みを確立したい。その場合、愛媛大学（本RU）は研究アドバイザーとして企業からフィードバックされた新たな基礎研究的課題の解決に協力し、企業は自分たちが主導で実用化に向けた開発や事業化戦略を進めて頂く。これをいろいろな業種の企業で同時に進めれば、急速に本RUの研究成果は社会に浸透していくと期待できる。

〔期待される学術的・社会的波及効果〕

これまでに“光ストレージ”（現在は未踏技術）に興味を示し、技術相談や共同研究のための打ち合わせを行った企業は60社を超える。同様にして「新しい電子機能を示す物質の実現」で目標としている種々の物質も我が国の科学技術政策として重要視され、文部科学省や日本学術振興会、NEDO、JSTなどが先導し、近年は特に多額の研究費が配分されている。本RUが次の3年間も順調に進展すれば、こうした物質が一気に社会実装に向けて加速すると期待される。

〔活動の公表方法〕

これまで通り、高大連携活動、出前講義などを通じて高校生や中学生に積極的にアピールし、一般の方に対してはホームページやプレスリリース、各種講演会を通じて発信していく。国内外の当該分野の専門家に対しては、オープンアクセスの論文や学会誌の解説記事などを通じて周知していく。また周辺分野の研究者に対しては、毎年（複数回）開催しているRU研究会に招待し、情報交換と新たな共同研究や研究テーマの可能性などを積極的に求めていく。

〔生命倫理・安全対策等（該当する場合のみ）〕 (該当しない)

様式 3－5

リサーチユニット長承諾書

愛媛大学長 殿

下記の者がリサーチユニット長になることを承諾します。

所属部局等の長：（役職・氏名）理工学研究科理学系長 高橋 亮治

記

リサーチユニット名称：エネルギーの高効率利用と貯蔵に関する材料開発研究ユニット

リサーチユニット長名： 内藤 俊雄