

多元素活用を基盤とした生体イメージング技術革新 研究開発とSociety 5.0との橋渡しプログラム (BRIDGE)

研究開発等計画書 (令和5年度様式)

令和6年4月
文部科学省

○実施する重点課題に○を記載（複数選択可）

| 業務プロセス転換・政策転換に向けた取組 | 次期SIP/FSより抽出された取組 | SIP成果の社会実装に向けた取組 | スタートアップの事業創出に向けた取組 | 若手人材の育成に向けた取組 | 研究者や研究活動が不足解消の取組 | 国際標準戦略の促進に向けた取組 |
|---------------------|-------------------|------------------|--------------------|---------------|------------------|-----------------|
| | ○ | | | | | — |

○関連するSIP課題に○を記載（主となるもの）

| 持続可能なフードチェーン | ヘルスケア | 包括的コミュニティ | 学び方・働き方 | 海洋安全保障 | スマートエネルギー | サーキュラーエコノミー | 防災ネットワーク | インフラマネジメント | モビリティプラットフォーム | 人協調型ロボティクス | バーチャルエコノミー | 先進的量子技術基盤 | マテリアルの事業化・育成エコ |
|--------------|-------|-----------|---------|--------|-----------|-------------|----------|------------|---------------|------------|------------|-----------|----------------|
| | | | | | | | | | | | | ○ | |

SIP第3期の量子マテリアルの社会実装を加速

SIP第3期研究開発計画にある「量子マテリアル」の研究開発の内、3年で実用化のめどが付く「多元素を用いたイメージング技術」の開発を先駆けて行う。量子フロンティア産業創出拠点で社会実装まで一気通貫で行う

量子未来社会ビジョン

「量子拠点の体制強化」
「量子技術による社会課題解決」



量子フロンティア
産業創出拠点（追加候補）



多元素を活用する化学で量子生命・量子マテリアルの社会実装・産業創出を目指す

SIP第3期における本施策の関係



SIP/PDの提案・意見

本施策では、量子マテリアルの中でも量子化学に関する技術を活用し、創薬や医療分野での社会実装を目指すものであり、SIP第3期の量子センシング・マテリアル分野の中でも、3年間程度で成果の創出が期待できるものであるため実施する意義があるものである。同時に、本施策では量子化学を活用した技術を社会実装する上でのテストベッドとしての機能も同時整備されるものであるから、SIP第3期の他研究開発課題の加速にもつながるものと考えている。

【背景・現状・課題】

- 1) 量子ドット：量子ドットは粒径がナノサイズの半導体粒子であり、量子サイズ効果によってバルク材料や分子とは全く異なる特性を示す。現在、CdSeなどの二元素からなる量子ドットが活発に研究されているが、高毒性元素を含むため実用システムへの応用は進んでおらず、その代替手段が求められている。
- 2) 光学技術による生命現象の解明：光技術を用いた生命科学研究により、ミクロからマクロまで様々な階層での新規生命現象の発掘が進んでいる。しかし生命現象を理解するための計測・操作の時空間的分解能は未だ十分でなく技術的制限も多く、実用化のための研究開発を加速する必要がある。

【施策内容】

次期SIPの課題No. 13「先進的量子技術基盤の社会課題への応用促進」を基礎として、量子フロンティア産業創出拠点（追加候補）において多元素を活用した量子技術の革新を行う。具体的には以下の2項目を中心に検討を進める。

1) 多元素量子ドットの光特性活用

原子配列制御と元素組成の空間変調技術を確立して、高精度に制御されたヘテロ接合を粒子内部にもつ多元素量子ドットを創製し、これを用いたバイオイメージングの実用化を目指す。

2) 光学技術による量子計測・操作からヒトへの応用まで

これまでの生体2光子ホログラフィー計測・光刺激装置を搭載するデジタルホログラフィー顕微鏡をさらに高性能化し、量子センサーを用いて光学計測・操作を動物モデルで行い、これをMRI計測に応用する。さらにヒトに活用し、光学計測・MRI計測を目指す。

【研究開発等の目標】

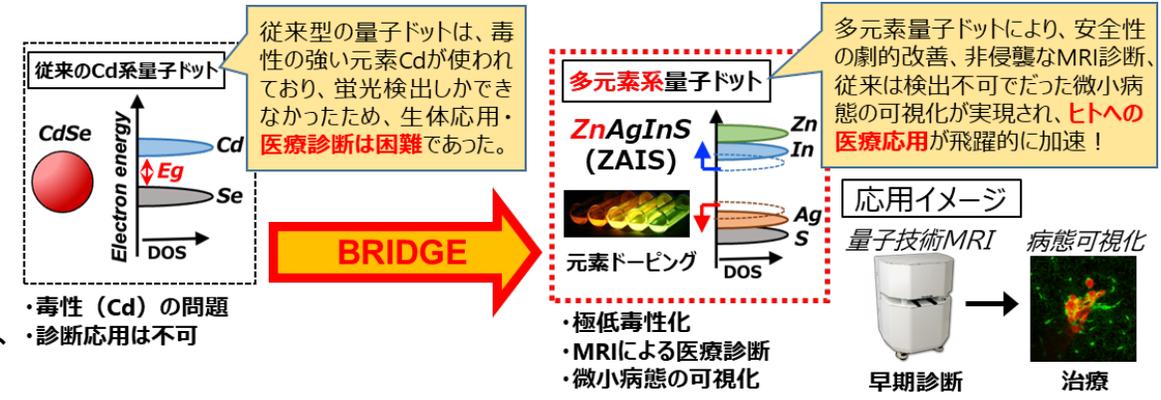
- ・多元素量子ドットを用いたバイオイメージングの適用範囲を開拓し、企業との連携を通して材料の市販化を目指す。
- ・既に市販化に成功したデジタルホログラフィー顕微鏡の超解像化を行い、動物モデルでの量子センサーの動作確認を行い、MRI計測まで行うと共に、ヒトへの適用を目指す。

【社会実装の目標】

- ・多元素量子ドットの市販化を通じた新たなバイオイメージング市場の開拓
- ・高性能化したデジタルホログラフィー顕微鏡の市販およびヒトのイメージングによる医療の革新

【対象施策の出口戦略】

- ・実証した成果は、連携先企業での実用化を前提として、他省庁の施策（SIP第3期へのテストベッド提供等）との連携を図り、事業規模のさらなる拡大を後押しする。



生体の深部イメージングによりこれまで不可能であった早期診断・治療の実現へ！

資料3 「多元素活用を基盤とした生体イメージング技術革新」のBRIDGEの評価基準への適合性

○統合イノベーション戦略や各種戦略等との整合性

量子技術は、我が国及び世界の社会、経済、産業、安全保障に大きな変革をもたらす可能性を秘めた革新的な技術である。このため、「量子技術イノベーション戦略」に基づき、量子計測・センシング等をはじめとする主要技術に関する研究開発の抜本的強化、量子技術イノベーション拠点の形成、優秀な人材の育成に加え、量子技術の産業・社会での利活用の促進等、基礎基盤的な研究開発から社会実装に至る幅広い取組を、我が国の産学官の総力を結集して強力に推進する。（「統合イノベーション戦略2022」より抜粋）

○重点課題要件との整合性

「統合イノベーション戦略2022」において、戦略的に取り組むべき基盤技術は、AI技術、バイオテクノロジー、量子技術と明記されている。中でも、量子技術は「量子技術による新産業創出協議会」が設立されるなど、戦略を踏まえた産学官の動きが本格化している。また次期SIP第3期の研究開発計画において、量子マテリアルの利活用による新産業創出を目指すこととなっているが本施策はそれを加速するものである。

○SIP型マネジメント体制の構築

本プログラムにおいては、進捗確認と連携を推進する運営委員会（仮）を設置し、ピアレビューおよび自己点検により、レビュー結果を推進方針に反映する体制とする。また、得られる研究成果に関しては、知財のオープン・クローズ戦略策定なども含め、運営委員会（仮）での検討に加え、委託先機関での産学官連携担当部署が関わることで専門的な視点からの支援も加わる体制とする。

○民間研究開発投資誘発効果、財政支出の効率化

量子ドットは、バイオイメージングだけでなく、エレクトロルミネッセンスおよび光起電デバイスとしても着目されており、世界市場規模は2021年の5,000億円から、2026年までに1.1兆円に達すると予測される。AI化も含めた医療画像診断の世界市場規模は、2021年の1,500億円から、2026年までに1.6兆円に達すると予測され、いずれも世界規模で大きな成長が見込まれている。

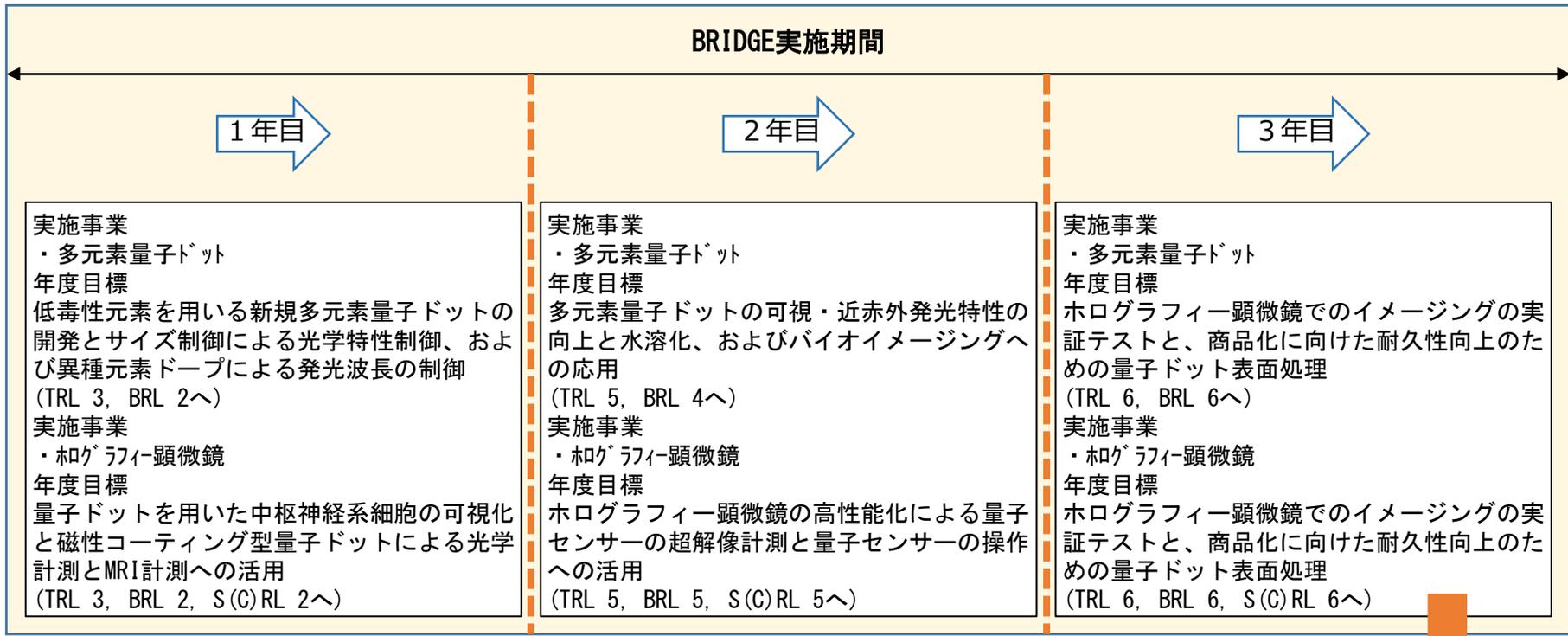
○民間からの貢献額（マッチングファンド）

本施策当初から、多元量子ドットを共同開発するA社からは、研究員3名（エフォート20%）の参画を予定しており、研究費も含めて5,000万円を予定する。ホログラフィー顕微鏡を共同開発するB社からは、研究員3名（エフォート20%）の参画を予定しており、5,000万円を予定する。その他、研究開発2年次からは、交渉中のC社からも、研究員2名（エフォート20%）の参画が見込め、研究費も含めて2,500万円を予定する。計1.25億円となり、申請額（3.0億円）の40%を超える。

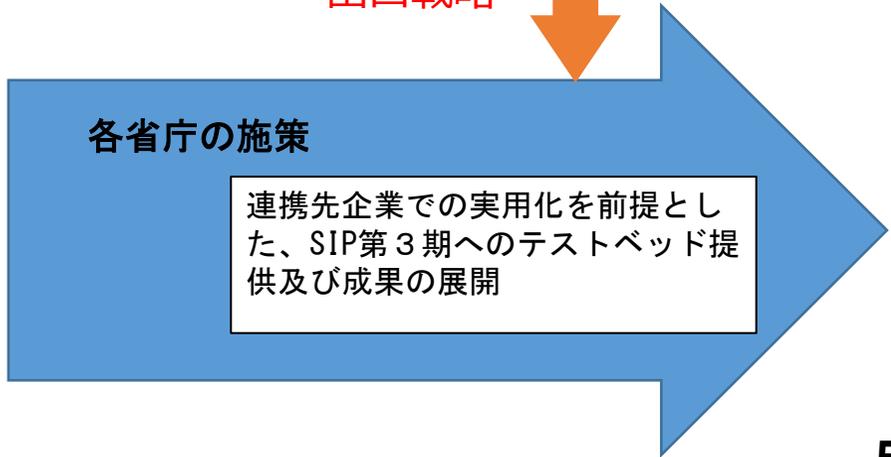
○想定するユーザー

高精度生体2光子ホログラフィック顕微鏡のヒトへの応用、医療応用可能な蛍光色素のヒトへの応用、量子ドットを用いる発光検出型バイオマーカー、理論限界を超える変換効率を目指した量子ドット太陽電池、量子ドットの量子効果を利用する近赤外発光検出センサーの開発を行う複数企業

資料4 イノベーション化に向けた工程表



出口戦略



実施体制

各省PD：
寒川哲臣
SIP第3期PD



国立研究開発法人
量子科学技術
研究開発機構
(QST)



東海国立大学機構

量子化学分野において、これまでに多くの研究実績及び産学連携実績を有し、量子ドット・イメージングに特化した研究開発を推進することが可能である東海国立大学機構で推進する。

SIP第3期「先進的量子技術基盤の社会課題への応用促進」と連携する。SIP型のマネジメント体制とし、研究推進法人であるQSTが施策の円滑な推進や進捗管理を担当し、各省PDによるマネジメントが適切に行われるように整備する。SIP推進のために、得られた知見・成果の円滑な展開を行う。

資料6 「多元素活用を基盤とした生体イメージング技術革新」の目標及び達成状況(1年目)

○施策全体の目標：次期SIPの課題No. 13「先進的量子技術基盤の社会課題への応用促進」を基礎として、量子フロンティア産業創出拠点において多元素を活用した量子技術の革新を行う。

1) 多元素量子ドットの光特性活用：原子配列制御と組成の空間変調技術を確立して、高精度に制御されたヘテロ接合を粒子内部にもつ多元素量子ドットを創製し、これを用いたバイオイメージングを行う。

2) 光学技術による量子計測・操作からヒトへの応用まで：参画研究者が既に開発した生体2光子ホログラフィー計測・光刺激装置を搭載するデジタルホログラフィー顕微鏡をさらに高性能化し、量子センサーを用いて光学計測・操作を動物モデルで行い、これをMRI計測に応用する。さらにヒトに活用することで、ヒトでの光学計測・MRI計測を目指す。

| テーマ等（※個別に目標を設定している場合） | 当年度目標 | 目標の達成状況（年度末報告） |
|---------------------------|---|---|
| ①多元素量子マテリアルの光特性活用 | <ul style="list-style-type: none"> ・低毒性元素からなる多元素量子ドットの液相化学合成法の開発 ・多元素量子ドットのサイズ・組成制御による量子サイズ効果の発現と光学特性制御 ・多元素量子ドットのナノ構造制御によるヘテロ接合形成と、粒子内部電場の評価 ・透過型電子顕微鏡導入による量子ドットのサイズ・形状の迅速な評価と、量子ドット化学合成法開発の高効率化 | <ul style="list-style-type: none"> ・銀元素を含む新たな低毒性量子ドットの作製に成功 ・新たな量子ドットの光学特性を評価した ・量子ドットのサイズ、形態を評価した ・透過型電子顕微鏡の導入手続きを進めた。政府調達に時間が必要なため、導入は来年度になるが、納期の遅れは事前に想定しており、本年度の研究に関しては、共用の顕微鏡を利用して予定通りに研究を遂行できた。来年度以降は、顕微鏡導入により、研究の加速が期待される。 |
| ②光学技術による量子計測・操作からヒトへの応用まで | <ul style="list-style-type: none"> ・量子ドットの高効率な細胞内導入 ・量子ドットの細胞毒性評価 ・量子ドットを用いたマウス脳内中枢神経系細胞の可視化 ・磁性コーティング型量子ドットによる光学計測とMRI計測への活用 ・顕微鏡システムセットアップ | <ul style="list-style-type: none"> ・これまでに開発した量子ドットを使い、マウス脳内において、血管からの導入による量子ドットの脳内ミクログリア導入に成功した。 ・新たな多光子顕微鏡セットアップに向けて、顕微鏡本体の導入手続きを行なった。次年度に予定する予算と併せて、セットアップが完了予定。 |

資料6 「多元素活用を基盤とした生体イメージング技術革新」の目標及び達成状況(2年目)

○施策全体の目標：次期SIPの課題No. 13「先進的量子技術基盤の社会課題への応用促進」を基礎として、量子フロンティア産業創出拠点において多元素を活用した量子技術の革新を行う。

1) 多元素量子ドットの光特性活用：原子配列制御と組成の空間変調技術を確立して、高精度に制御されたヘテロ接合を粒子内部にもつ多元素量子ドットを創製し、これを用いたバイオイメージングを行う。

2) 光学技術による量子計測・操作からヒトへの応用まで：参画研究者が既に関発した生体2光子ホログラフィー計測・光刺激装置を搭載するデジタルホログラフィー顕微鏡をさらに高性能化し、量子センサーを用いて光学計測・操作を動物モデルで行い、これをMRI計測に応用する。さらにヒトに活用することで、ヒトでの光学計測・MRI計測を目指す。

| テーマ等（※個別に目標を設定している場合） | 当年度目標 | 目標の達成状況（年度末報告） |
|---------------------------|--|----------------|
| ①多元素量子マテリアルの光特性活用 | <ul style="list-style-type: none"> ・異種元素ドーピングによる量子ドットの電子エネルギー構造の変調と、発光特性の制御 ・コア・シェル構造形成によるType-Iヘテロ接合量子ドットの作製と、電荷キャリアの高効率な閉じ込めによる発光特性の向上 ・異方性結晶成長によるType-IIヘテロ接合量子ドットの作製と、内部電場を利用する電荷キャリアの高効率分離による光触媒特性の向上 ・粒子表面化学修飾による量子ドットの水溶化 | (一) |
| ②光学技術による量子計測・操作からヒトへの応用まで | <ul style="list-style-type: none"> ・ホログラフィー顕微鏡の高性能化による量子センサーの超解像計測 ・マウス脳内における細胞種選択的な受容体の細胞操作 ・多光子顕微鏡のシステムセットアップおよび量子ドットのin vivo導入評価 | (一) |

資料6 「多元素活用を基盤とした生体イメージング技術革新」の目標及び達成状況(3年目)

○施策全体の目標：次期SIPの課題No. 13「先進的量子技術基盤の社会課題への応用促進」を基礎として、量子フロンティア産業創出拠点において多元素を活用した量子技術の革新を行う。

1) 多元素量子ドットの光特性活用：原子配列制御と組成の空間変調技術を確立して、高精度に制御されたヘテロ接合を粒子内部にもつ多元素量子ドットを創製し、これを用いたバイオイメージングを行う。

2) 光学技術による量子計測・操作からヒトへの応用まで：参画研究者が既に開発した生体2光子ホログラフィー計測・光刺激装置を搭載するデジタルホログラフィー顕微鏡をさらに高性能化し、量子センサーを用いて光学計測・操作を動物モデルで行い、これをMRI計測に応用する。さらにヒトに活用することで、ヒトでの光学計測・MRI計測を目指す。

| テーマ等（※個別に目標を設定している場合） | 当年度目標 | 目標の達成状況（年度末報告） |
|---------------------------|--|----------------|
| ①多元素量子マテリアルの光特性活用 | <ul style="list-style-type: none"> ・細胞・生体中での量子ドットの光安定性の評価と、表面化学修飾による光耐久性向上および実用性評価 ・水溶性量子ドットの生体イメージングへの応用と、高精細画像取得のための粒子分散性の評価 ・多元ナノダイヤのプロトタイプ作製 | (一) |
| ②光学技術による量子計測・操作からヒトへの応用まで | <ul style="list-style-type: none"> ・水溶性量子ドットによる細胞染色と細胞毒性の評価 ・量子ドットの光触媒活性を利用する光化学的細胞破壊特性の評価 ・脳での機能評価に適した多元量子ドットの獲得 ・細胞操作を利用した量子ドットの非侵襲脳内導入 ・ホログラフィー顕微鏡の超解像計測の実用性評価 | (一) |