

量子スピンのセンサのμモジュール化による 新規ユースケースの創出

研究開発とSociety 5.0との橋渡しプログラム (BRIDGE)

令和6年度研究開発計画

【応募様式】

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	SIP/FS等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）

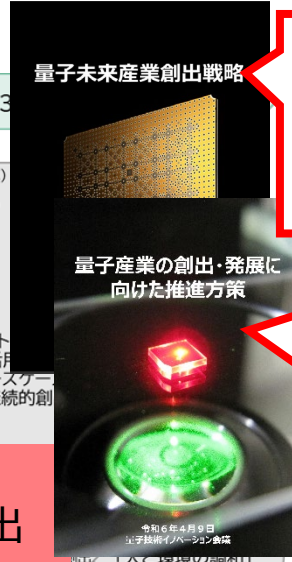
持続可能なフードチェーン	統合型ヘルスケア	包摂的コミュニティ	学び方・働き方	海洋安全保障	スマートエネルギー	サーキュラーエコノミー	防災ネットワーク	インフラマネジメント	モビリティプラットフォーム	人協調型ロボティクス	バーチャルエコノミー	先進的量子技術基盤	マテリアルの事業化・育成エコ
												○	

1. 「量子スピンスンサのμモジュール化による新規ユースケースの創出」位置付け

SIP第3期「先進的量子技術基盤の社会課題への応用促進」の量子センサの社会実装を加速

量子スピンスンサの飛躍的高感度化が著しく、SIPで設定したユースケース創出に向けた取り組みに加え、早急に新たな市場を開拓していく必要がある。SIP第3期研究開発計画にある「量子センシング」の研究開発の内、3年で実用化のめどが付く「量子スピンスンサのμモジュール化」の開発を先駆けて行い、早期の社会実装まで一気通貫で行う。

SIP第3期における本施策の関係 BRIDGE成果の事業化



【量子未来産業創出戦略】(R5年4月)
 ✓幅広い産業界に対する量子センシング技術・利活用に関する積極的な情報提供、技術開発・事業化支援

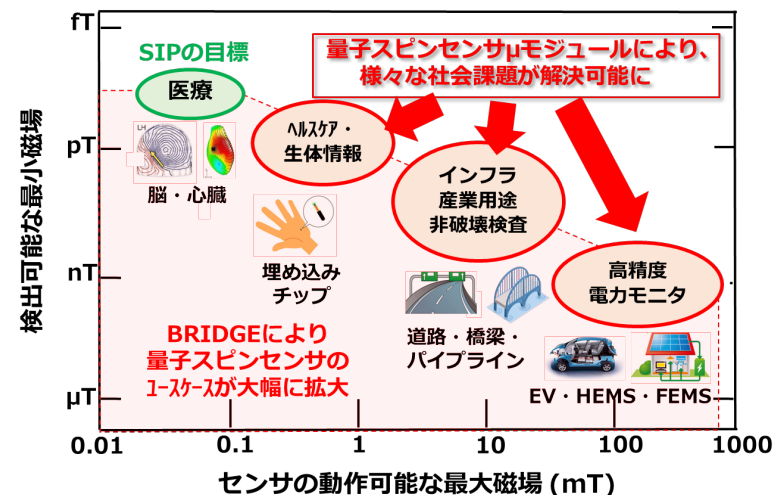
【量子産業の創出・発展に向けた推進方策】(R6年4月)
 ✓実環境も想定したテストベッドの構築や利用窓口の整備など環境づくりを推進

SIPでは、微弱な生体磁場を検出可能な高感度な量子スピンスンサの実現と、それを利用した心磁計・脳磁計の実現を目指している。本施策ではSIPに先んじて現時点で有する技術を用いて、**量子スピンスンサの小型化・低価格化を目指し、さらなるユースケースの拡大を狙う**。本施策で得た知見はSIPに還元し、その開発加速に貢献する。

2. 解決する社会課題・背景／現状

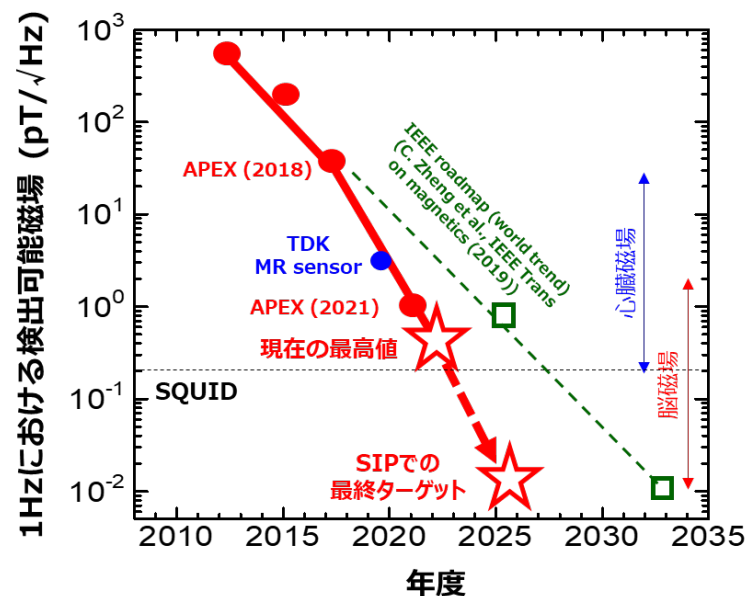
<社会課題>

SIPプロジェクトでは、微弱な生体磁場を検出可能な量子スピンのセンサの実現と、それを利用した心磁計・脳磁計の実現を目指している。一方、**量子スピンのセンサの小型化・低価格化が実現すれば、ユースケースが格段に広がる**。例えば、生体チップ、インフラ検査、エネルギーマネジメント、産業生産現場での様々な部材や装置管理など、応用可能な領域は極めて広く、市場規模も巨大である。また、SIPプロジェクトで目指す心磁計・脳磁計のコンパクト化にも有用となる。右図に、**BRIDGEで実現する量子スピンのセンサのμモジュール化**によって、カバー可能な応用領域を示す。



<背景／現状>

- 量子スピンのセンサの飛躍的高感度化が進んでおり(右図)、室温下で超伝導量子干渉計(SQUID)と同程度の感度を達成
- SIPプロジェクトにおいて、量子スピンのセンサのさらなる高感度化と、それを利用した脳磁計・心磁計の開発を推進中
- 生体磁場測定用のセンサモジュールは、 $> 10\text{cm}^2$ と大きいですが、これを小型化・低価格化することで、ヘルスケア・インフラ・エネルギー・セキュリティ等の分野で様々な新規ユースケースの創出に期待
- 量子スピンのセンサの飛躍的な普及のためには、小型化・低価格化に加えて素子の信頼性・耐久性向上が必須



3. 研究開発等の内容・社会実装の目標

●提案内容

BRIDGEプロジェクトでは、従来の生体磁場計測用の**量子スピンセンサモジュールを1/10程度に小型化**する。同時に、現在のセンサモジュールの**販売価格(数100万円)についても、1/10以下に低減**可能になる。これらによって、ヘルスケア・インフラ・エネルギー・セキュリティなど様々な分野において、**量子スピンセンサの新規ユースケースを創出し**、広範な普及を目指す。小型化・低価格化を実現するために、センサチップ自体の小型化に加えて、センサチップ製造プロセス開発による歩留まり改善、量子スピンセンサ用の半導体集積回路の開発を行う。従来の製造プロセス最適化により、チップサイズの大きな生体用では4inchφウエハ内で90%程度の歩留まりが得られており、本研究ではその技術をさらに発展させて、3mm以下の微小チップサイズで同程度以上の歩留まり実現を目指す。また、半導体集積回路の開発に関しては、磁気抵抗型センサの回路開発で実績のある企業と連携して開発を進める。また、普及のためには、モジュールの信頼性・耐久性確保(耐温度・耐電圧性能)が重要であり、これらを詳細に評価しながら、モジュールの堅牢性を高め、様々なユースケースに適用可能であることを示す。

<研究実施内容・目標>

項目1: 量子スピンセンサチップの小型化

量子スピンセンサチップを、現状の10mm角から3mm角以下に性能を維持したまま小型化する。チップ内には素子がアレイ状に配列されており、性能が揃った素子を集積する必要がある。小型の3mm角以下のチップで、現状と同等性能を実現するために、4inchφシリコンウエハ内に90%以上の歩留まりで、安定に製造可能な加工プロセスを確立する必要がある。

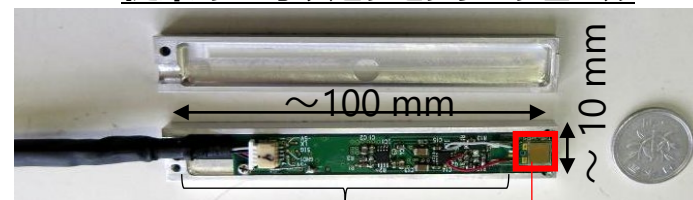
項目2: 種々のユースケースに対応可能な半導体ICの開発

種々のユースケースに対応可能な量子スピンセンサ用のアンプ・フィルタ・AD変換機能を持つ半導体ICを開発する。想定ユーザー企業とセンサ仕様に関する議論を行い、ユースケースに応じたアンプゲイン・周波数帯域・AD変換分解能を決定する。また、量子スピンセンサは微弱な磁場を検出するため、回路に流れる電流もノイズとして検出するため、センサ素子への影響を最小限にする回路設計が必要である。

項目3: 種々の量子スピンセンサμモジュールの試作と評価

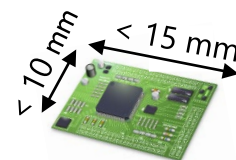
項目1, 2のセンサチップと半導体ICとを一体化した小型の量子スピンセンサμモジュールを制作する。制作した量子スピンセンサμモジュールの性能を評価し、様々なユースケースに対して優位性を明確化する。また、量子スピンセンサμモジュールの信頼性・耐久性向上のため、温度特性試験、耐電圧試験、保護層開発等を行う。さらに、開発した量子スピンセンサμモジュールの製造・販売計画を研究期間内に明確にする。

従来の量子スピンセンサモジュール



アンプ+フィルタ回路 センサチップ

約1/10に小型化



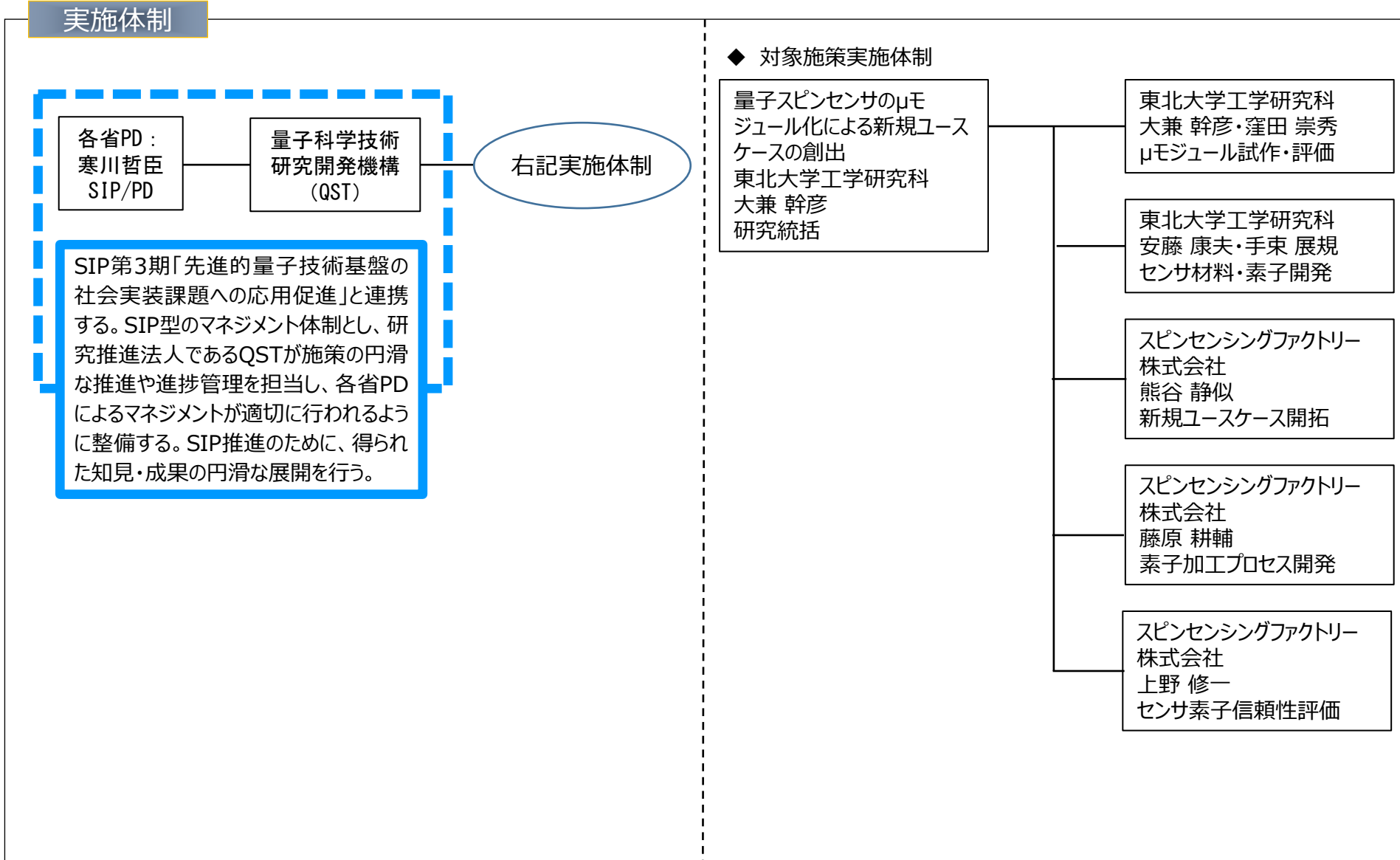
アンプ+フィルタ+
AD変換回路を
μモジュール化

開発する量子スピンセンサμモジュール

3. 研究開発等の内容・社会実装の目標

テーマ名	実施内容概要 到達目標 (KPI)	R6年度実施内容 到達目標 (KPI)	R7年度実施内容 到達目標 (KPI)	R8年度実施内容 到達目標 (KPI)
量子スピンセンサのμモジュール化による新規ユースケースの創出	<p>目標TRL:7 現状の1/10程度のサイズと価格の量子スピンセンサμモジュールを試作する。試作したμモジュールが、新規ユースケースに対して実環境下において有用であることを示す。加えて、製造工程の確立と生産計画の策定を行う。</p> <p>目標BRL:7 有望な新規ユースケースに対して、想定顧客と綿密に連携し、要求仕様を決定する。また、実際に試作したμモジュールがユースケースに対して有用なことを実証する。さらに、期間内に事業計画の策定を完了する。</p>	<p>目標TRL:5 センサチップと試作半導体回路を接続した小型モジュールを作製し、模擬試料で評価を実施して、いくつかのユースケースに対して要求性能を満たすことを確認する。</p> <p>目標BRL:5 いくつかのユースケースについて、想定顧客へのヒアリングを実施し、要望を満たす機能・性能を決定する。また、設計事業モデルの妥当性を確認する。</p>	<p>目標TRL:6 R6年度の結果をフィードバックしてμモジュールを試作する。実使用環境下において、試作したμモジュールが、要求仕様(耐温度・耐電圧)を満たすことを確認する。</p> <p>目標BRL:6 想定する初期顧客に試作したμモジュールを提供して、評価を行う。評価結果から、事業モデルの成立性や高い顧客満足度を実証する。</p>	<p>目標TRL:7 前年度までの試作と性能・信頼性評価結果を反映し、信頼性の高いμモジュールを安定に製造する工程を確立する、また、μモジュールの生産計画を策定する。</p> <p>目標BRL:7 前年度までの評価結果を反映した事業モデルを基にして、事業ロードマップ、投資計画、収益予測等を含む事業計画を策定する。</p>

4. 想定する実施体制及び実施者の役割分担



5. BRIDGE終了後の出口戦略

●SIPおよびBRIDGEの出口戦略

SIPプロジェクト: センサの50倍の高感度化とインパクトの大きな医療機器(心磁・脳磁計)への応用

BRIDGEプロジェクト: 感度を維持したまま小型・低価格化することによる新規ユースケースの創出

