

令和7年度の実績
令和8年度 研究開発等計画

量子トレーサビリティが確保された ワイドレンジ電流計測技術の開発

令和8年4月
文部科学省

- 実施する重点課題（特に該当するものには◎、そのほかで該当するものがあれば○（複数可）を記載）

SIPや各省庁制度による研究開発成果の社会実装・市場開拓の加速化	他の戦略分野等との技術の融合による研究開発	スタートアップによるイノベーションの創出・促進	産学官を挙げた人材の育成・確保	グローバルな視点での連携強化
○				

- 関連するSIP課題（該当するものに○を記載）

持続可能なフードチェーン	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	マテリアル事業化・育成エコ
												○	

令和7年度の実績

1. 社会実装に向けた施策・取組等の全体俯瞰の中での成果（進捗の説明）

① 全体概要

① 解決すべき社会課題

パワー・エレクトロニクスの応用分野が広がり、**微小電流から大電流を同時に計測する**問題を克服する必要がある。高性能な市販品としてpA（ピコ： 10^{-12} ）からmA（ミリ： 10^{-3} ）の計測が可能とする電流計が販売されている。しかし、感度は高いものの、**計量トレーサビリティがなく不安定**であり、広範な電流範囲を計測することは**従来技術では困難**である。SIPプロジェクトでは、電流比の技術開発を行っており、最大10 A程度の電流比を高精度に計測可能な量子ダイヤモンド電流センサの実現を目指している。一方、より広い電流範囲をカバーすることができれば、ユースケースは格段に広がる。医療・環境放射線計測、環境中汚染物質の計測、蓄電池評価など、電流センサが利用可能な市場は巨大である。また、信頼性の評価を進めることで、SIPプロジェクトの電流センサの開発も加速する。

② 実施施策

本事業の基盤技術に関しては、SIP 第3期において NV ダイヤモンド電流比較器の高感度化、Q-LEAP において電流比測定の特許化が進み、東京大学・東京科学大学・AIST等では SEP（単電子ポンプ）、QHR（量子ホール抵抗）を用いた微小電流の精密評価が確立されつつある。さらに、電池産業や電気計測機器メーカーでは、精度向上や微小電流の安定校正のニーズが高まり、量子計測の社会的受容性が増している。このように関連施策が整備されつつあるが、**個別技術は未だ統合されておらず、「量子トレーサブルな電流計」としての形にまとめる工程こそが残された最後の課題**である。

本 BRIDGE 施策は、この統合工程を担い、量子技術を実用計測器へ橋渡しする「最後の一押し」として位置付けられる。本年度は特に、企業が実装可能なレベルまで抵抗素子を搭載した電流計の設計を確立し、性能・安定性の基礎技術を整備した点が大きな成果である。これにより、3年目に予定されるプロトタイプ電流計の実現に向け、良いスタートを切ることができた。また、量産化を見据えた要素部材の評価法、信頼性試験の基盤も構築し、企業が合流するための技術条件も明確化された。これらは省庁横断で蓄積されてきた量子技術を、計測産業に実装するための重要な橋渡しである。

③ 成果の社会実装

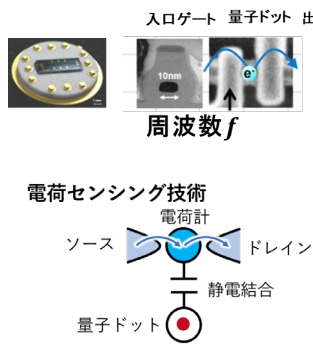
社会実装の観点では、本事業により実現される**ワイドレンジ電流計測技術（pA～10 A）を基盤とした量子トレーサブルな電流計**が、放射線・環境モニタリング（230億円市場）、蓄電池・電子部品評価（2600億円市場）など大規模な産業領域に対して直接的な価値を提供する（2023年統計データ | JEMIMA 一般社団法人 日本電気計測器工業）。さらに、AISTの依頼校正・評価サービスに組み込むことで、国内産業が量子基準に適合した電流計測を手軽に活用できる基盤が整備される。これらにより、電力品質管理や再生可能エネルギー分野にも波及効果が期待される。最終的な社会的ゴールは、量子トレーサビリティを基盤とした**「電流の絶対単位」への広範なアクセスを可能にする社会インフラの確立**である。これにより、電流計測の信頼性が飛躍的に向上し、日本発の量子計測技術を基軸とした新産業創出、国際標準化への貢献、電力・環境・医療分野の高信頼化に寄与することが期待される。

1. 社会実装に向けた施策・取組等の全体俯瞰の中での成果（進捗の説明）

② 全体俯瞰図

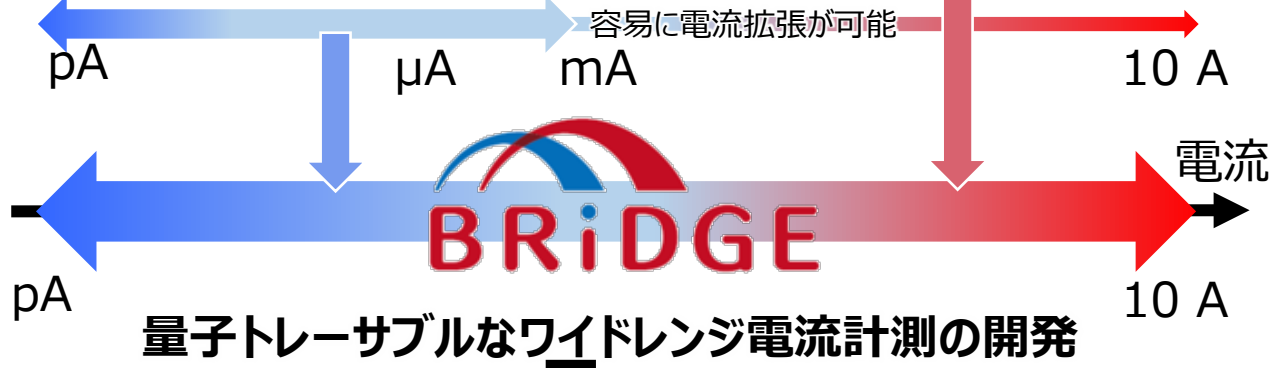
① 微小電流範囲 (pA~μA)
 電荷センシング技術 + 単電子デバイスの自動安定化技術
 ・長時間積算動作での安定性確保低周波雑音の影響を低減
 (電荷信号の安定化)

② 標準電流範囲 (mA~10A)
 NVダイヤモンドセンサを用いた電流比較測定システムの開発
 ・10 Aまでの電流拡張技術の確立
 ・NVダイヤモンド材料の信頼性評価 (温度試験条件の検討)



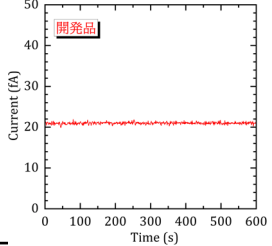
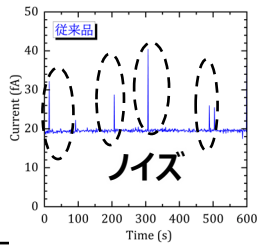
微小電流範囲(SEP-QHR/
DC絶対電流測定)
NEDO先導/科研費

標準電流範囲 (NVダイヤモンド/AC+DC電流)



③ 電流計の開発

参画企業と連携し、微小領域の電流計のキーデバイスとなるプロトタイプ評価開始高抵抗素子 (1 TΩ) の製造プロセス確立
 丸棒抵抗器で低ノイズ化の成果を得た。(放置試験で低周波ノイズ低減)



2. 研究成果及び出口戦略、達成状況（1年目）

① 研究成果及び達成状況

R7年度は「量子トレーサブル電流計測の基盤整備」を目的とした初年度計画をすべて達成した。SEP-QHRによる微小電流計測では、**長時間安定動作が可能な計測系を構築**し、量子基準に基づく評価手法を確立した。NVダイヤモンド電流比較器では、DC/ACとも 10^{-8} レベルの高い比較安定度を実証し、入力ラインの巻き線数を最適化することで**10A級の電流過倍動作が可能な比較器を試作**した。引き続き、高精度測定の実証を行う予定である。また、**電流計の中核である高抵抗素子**については、製造プロセスの最適化により特性ばらつきを大幅に改善し、量産化に向けた**品質の基盤を整備**した。さらに、SEP・QHR・NVセンサを統合するための設計要件を整理した。これらの成果により、次年度以降に予定されるワイドレンジ電流計の統合実証に向けた技術基盤が確立した。

② 出口戦略・研究成果の波及

R7年度に構築した最大の成果は、**SEP-QHR、NVダイヤモンド比較器、高抵抗素子評価を統合した「量子トレーサブルな計測・評価技術体系」**である。本研究では、まず電流計そのものを開発するのではなく、量子基準に基づき、構成部材や電流値を正しく評価できる評価インフラの確立を主眼に置いた。R8年度以降は、この量子評価体系を用いて、高抵抗素子や巻線構造を量子基準で事前に評価し、その“評価済み部材”を用いて**電流計プロトタイプを試作**する。これにより、従来にはなかった**「評価に裏付けられた電流計」**の実証が可能となる。

BRIDGE施策としては、R7、R8で整備した評価技術を、R9の実環境試験に適用することで、**研究段階の技術を製品化可能な形に橋渡し**する。また、省庁施策（SIP）に対しては、本評価体系を量子計測産業の基盤技術として提供し、その一部を**国際標準化（ISO/IEC JTC-3）における技術エビデンスとして活用**する。

民間研究開発投資誘発効果として、評価技術の確立により部材性能・計測誤差に関する技術リスクが大幅に低減し、企業は安心して試作・量産工程に投資できる環境が整った。R8での試作機開発、R9でのフィールド試験に向け、企業側の部材製造・工程最適化・品質管理への投資が見込まれ、最終的に25%以上のマッチングファンド率達成が可能な体制が形成されている。

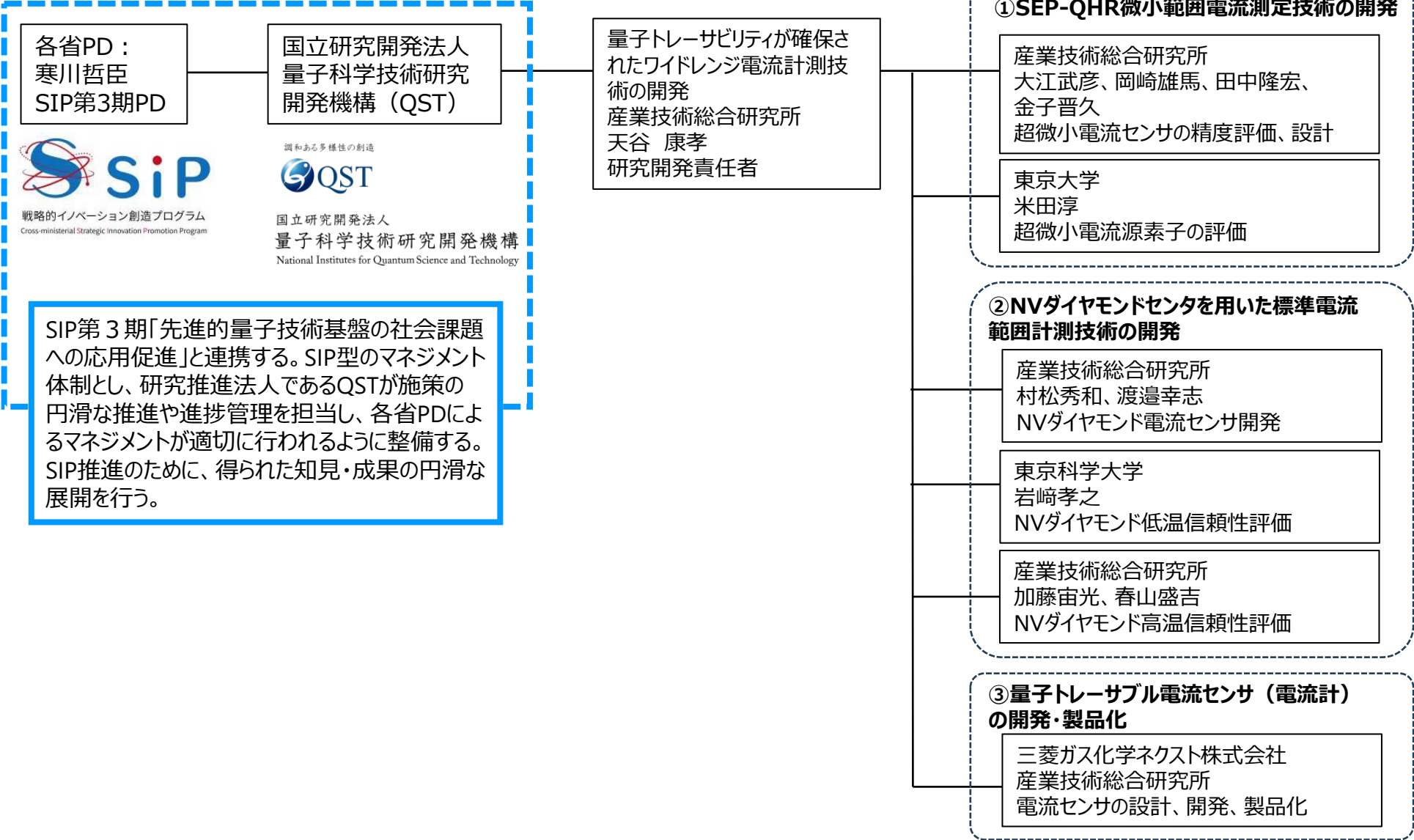
③ 目標達成状況等の特記事項

- ・ 目標の達成にあたって問題となった点はございません。
- ・ 予算は予定どおり使用しており、次年度の繰り越しは発生しておりません。

3. 実施内容・到達目標に対する実績

テーマ名	実施内容の概要 到達目標 (KPI)	R7年度実施内容 到達目標 (KPI)	R7年度実施内容 到達実績
<p>①SEP-QHR微小範囲電流測定技術の開発</p> <p>担当 産業技術総合研究所 東京大学</p>	<p>SEP、QHRに基づく量子技術を融合し、微小電流測定技術を確立する。</p> <p>KPI目標値</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術開発をTRL6へ進める。 ビジネス成熟度をBRL5へ進める 	<p>SEP、QHRをベースとする微小電流範囲での評価技術を開発する。</p> <p>年度目標</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術開発をTRL4へ進める。 ビジネス成熟度をBRL3へ進める 	<p>SEP、QHRをベースとする微小電流範囲での評価技術を開発した。</p> <p>年度目標</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術開発：TRL4 ビジネス成熟度：BRL3
<p>②ダイヤモンドNVセンタを用いた標準電流範囲計測技術の開発</p> <p>担当 産業技術総合研究所 東京科学大学</p>	<p>ダイヤモンドNVセンタを用いた電流比較測定システムで10 Aまでの電流拡張技術を確立する。NVダイヤモンド素材の信頼性評価を行う。</p> <p>KPI目標値</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術開発をTRL6へ進める。 ビジネス成熟度をBRL5へ進める 	<p>ダイヤモンドNVセンタを用いた電流比較測定システムの電流範囲の拡張を行う。</p> <p>年度目標</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術開発をTRL4へ進める。 ビジネス成熟度をBRL3へ進める 	<p>ダイヤモンドNVセンタを用いた電流比較測定システムの電流範囲の拡張を行った。</p> <p>年度目標</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術開発：TRL4 ビジネス成熟度：BRL3
<p>③量子トレーサブル電流センサ（電流計）のプロトタイプ開発・要素部品の製品化</p> <p>担当 三菱ガス化学ネクスト株式会社 産業技術総合研究所</p>	<p>電流センサの要素部品となる高抵抗素子の製作技術を確立し、電流センサのプロトタイプ機を開発する。</p> <p>KPI目標値</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術開発をTRL6へ進める。 ビジネス成熟度をBRL5へ進める 	<p>電流センサの要素部品（高抵抗素子）の製造プロセスを確立するため、組成の最適化や再現性確認を行う。</p> <p>年度目標</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術開発をTRL4へ進める。 ビジネス成熟度をBRL3へ進める 	<p>電流センサの要素部品（高抵抗素子）の製造プロセスを確立するため、組成の最適化や再現性確認を行った。</p> <p>年度目標</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術開発：TRL4 ビジネス成熟度：BRL3

4. 実施体制及び実施者の役割分担 (令和7年度)



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)

量子トレーサビリティが確保されたワイドレンジ電流計測技術の開発
産業技術総合研究所
天谷 康孝
研究開発責任者



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。

①SEP-QHR微小範囲電流測定技術の開発

産業技術総合研究所
大江武彦、岡崎雄馬、田中隆宏、金子晋久
超微小電流センサの精度評価、設計

東京大学
米田淳
超微小電流源素子の評価

②NVダイヤモンドセンタを用いた標準電流範囲計測技術の開発

産業技術総合研究所
村松秀和、渡邊幸志
NVダイヤモンド電流センサ開発

東京科学大学
岩崎孝之
NVダイヤモンド低温信頼性評価

産業技術総合研究所
加藤宙光、春山盛吉
NVダイヤモンド高温信頼性評価

③量子トレーサブル電流センサ (電流計)の開発・製品化

三菱ガス化学ネクスト株式会社
産業技術総合研究所
電流センサの設計、開発、製品化

5. 民間研究開発投資誘発効果及びマッチングファンド（令和7年度）

① 民間研究開発投資誘発効果（財政支出の効率化）

微小電流が必要な放射線測定器・環境計測機器などの市場規模は増大しており、2022年の国内売上と輸出額は、230億円である。プロジェクト終了後、2030年までには市場投入し、当初はシェア5%程度を目標とすると、年間で12億円に相当する。また、蓄電池などの電子部品の評価に用いられる電気測定器の我が国の市場規模（売上と輸出額）は約2600億円である。こちらもシェア5%程度を目標とすると、年間で130億円に相当する。

2023年 統計データ | JEMIMA 一般社団法人 日本電気計測器工業会
<https://www.jemima.or.jp/statistics/index.html>

② 民間からの貢献度（マッチングファンド）

R7年度は本事業の初年度であり、量子トレーサブルな計測・評価技術体系の確立を中心とした基盤整備のフェーズであるため、現時点で民間企業による金額換算可能な人的・物的貢献（設備利用、試作製造、人件費換算等）はまだ発生していない。そのため、**R7年度のマッチングファンド率は0%であり、未計上が妥当な状況**であると考えている。

一方で、R7年度の段階で企業連携（高抵抗素子製造・設計レビュー・市場性検討・量産工程の事前議論等）が進んでおり、R8年度以降に予定されるプロトタイプ試作、量産プロセス検討、フィールド評価においては、民間側の人的・設備的・材料的貢献が本格的に発生する見込みである。これらは新規購入設備、保有ラインの利用、人件費などが金額換算対象となる。R8年度には高抵抗素子の製造、評価ライン整備が開始され、**年間1,000～1,500万円規模の貢献**を見込む。

令和8年度 研究開発等計画

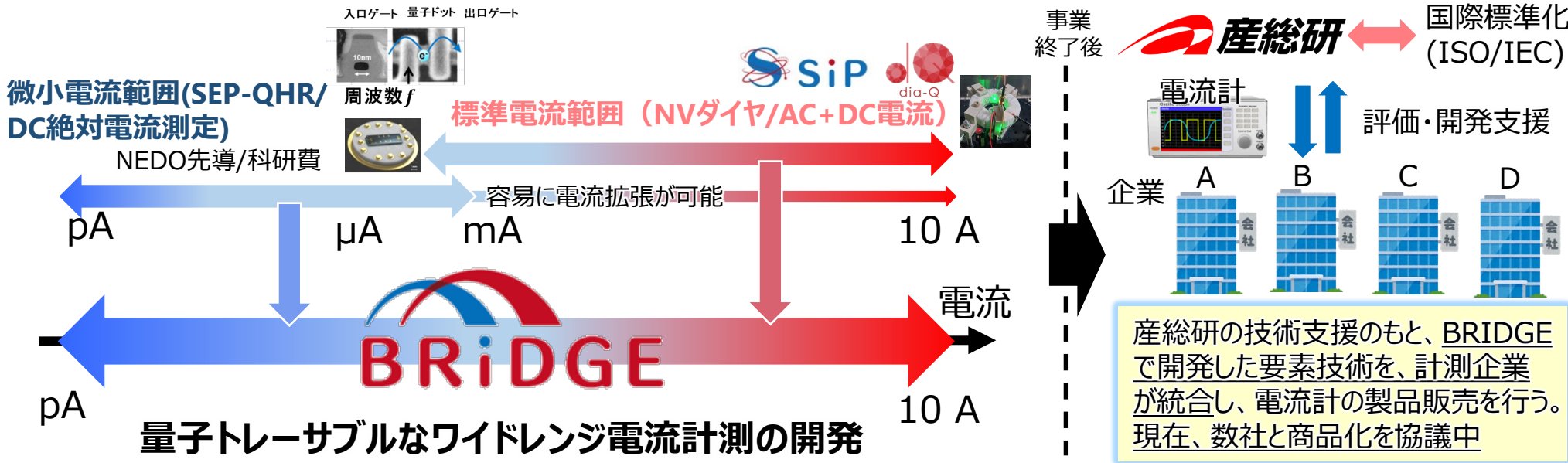
6. 研究開発等の具体的な内容・社会実装の目標（令和8年度）

① 研究開発・社会実装の目標

NVダイヤモンド量子センサ、量子ホール抵抗素子(QHR)、微小量子電流源(SEP)に基づく量子技術を融合し、量子トレーサブルなワイドレンジ電流計測技術を開発する。BRIDGE事業期間は企業などでの事業化に向けた助走期間と位置付けており、事業終了後には、標準をもとに、企業が開発した電流センサを評価・試験するサービス体制を構築し、量子トレーサブルな電流センサの事業化・製品化を企業と連携して行う。また、本事業で開発した技術のうち、有用なものはSIP第3期事業へも水平展開して両事業を加速させることを目指す。

② 研究開発等の具体的な内容

量子ホール効果に基づき基準となる電流値を定め、NVダイヤモンド型電流比較器を用いて逡倍（電流値を正確にN倍）し、10 Aまで拡張する。微小電流領域は、単電子ポンプ技術を用いた微小量子電流源による精度評価を実施する。これにより、量子技術をベースとしたpAから10 Aの広い範囲をカバーできる電流の絶対的な計測技術を確立する。シームレスな接続を実現するため、NVダイヤモンド電流比較器の電流比較が可能な範囲を拡大する。また、製品化のため、NVダイヤなどの信頼性評価の開発に一気通貫で取り組む。これにより、微小電流計測を必要とする医療用・環境放射線計測、環境中汚染物質の計測、また、標準範囲の電流計測を要する蓄電池や電力計などの産業分野において、新規ユースケースを創出し、量子技術の広範な社会普及を目指す。



7. 年度別の実施内容・到達目標 (KPI) (次年度以降)

テーマ名	実施内容の概要 到達目標 (KPI)	R8年度実施内容 到達目標 (KPI)	R9年度実施内容 到達目標 (KPI)
<p>①SEP-QHR微小範囲電流測定技術の開発</p> <p>担当 産業技術総合研究所 東京大学</p>	<p>SEP、QHRに基づく量子技術を融合し、微小電流測定技術を確立する。</p> <p>KPI目標値</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術開発をTRL6へ進める。 ビジネス成熟度をBRL5へ進める 	<p>課題②と密接に連携し、QHR、SEPをベースに決定した電流値をNVダイヤモンド型電流比較器で拡張する。</p> <p>年度目標</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術開発をTRL5へ進める。 ビジネス成熟度をBRL4へ進める 	<p>企業で試作する電流センサの評価を行う。また、企業と密接に連携して電流センサの設計を行う。</p> <p>年度目標</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術開発をTRL6へ進める。 ビジネス成熟度をBRL5へ進める
<p>②ダイヤモンドNVセンタを用いた標準電流範囲計測技術の開発</p> <p>担当 産業技術総合研究所 東京科学大学</p>	<p>ダイヤモンドNVセンタを用いた電流比較測定システムで10 Aまでの電流拡張技術を確立する。NVダイヤモンド素材の信頼性評価を行う。</p> <p>KPI目標値</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術開発をTRL6へ進める。 ビジネス成熟度をBRL5へ進める 	<p>課題①と密接に連携し、QHR、SEPをベースに決定した電流値をNVダイヤモンド電流比較器を用いて拡張する技術を実証する。</p> <p>年度目標</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術開発をTRL5へ進める。 ビジネス成熟度をBRL4へ進める 	<p>ダイヤモンドNVセンサや電流比較器の再現性など信頼性評価を行う。</p> <p>年度目標</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術開発をTRL6へ進める。 ビジネス成熟度をBRL5へ進める
<p>③量子トレーサブル電流センサ（電流計）のプロトタイプ開発・要素部品の製品化</p> <p>担当 三菱ガス化学ネクスト株式会社 産業技術総合研究所</p>	<p>電流センサの要素部品となる高抵抗素子の製作技術を確立し、電流センサのプロトタイプ機を開発する。</p> <p>KPI目標値</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術開発をTRL6へ進める。 ビジネス成熟度をBRL5へ進める 	<p>前年度の製造条件を踏まえて、高抵抗素子を製作する。また、課題①と連携して電流計を設計する。</p> <p>年度目標</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術開発をTRL5へ進める。 ビジネス成熟度をBRL4へ進める 	<p>前年度までに開発した技術を基にして、量子トレーサブルな電流センサ（電流計）のプロトタイプ機を試作する。</p> <p>年度目標</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術開発をTRL6へ進める。 ビジネス成熟度をBRL5へ進める

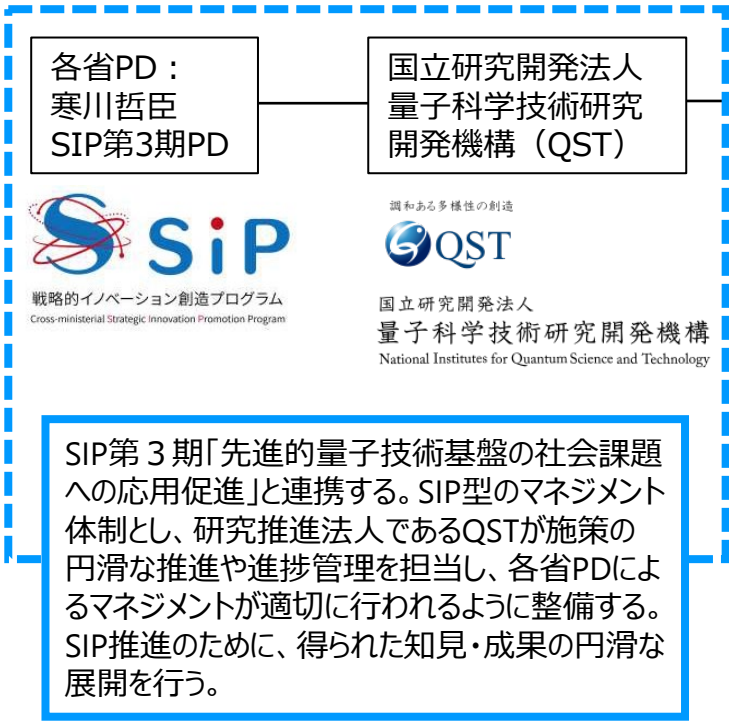
8. 工程表 (次年度以降)

テーマ名	R7年度	R8年度	R9年度
<p>①SEP-QHR微小範囲電流測定技術の開発</p> <p>担当 産業技術総合研究所 東京大学</p>	<p>微小電流計測技術の開発</p>	<p>微小電流計測技術の開発・電流計設計</p>	
<p>②ダイヤモンドNVセンタを用いた標準電流範囲計測技術の開発</p> <p>担当 産業技術総合研究所 東京科学大学</p>	<p>電流の拡張技術の開発</p>	<p>ワイドレンジ計測技術の実証</p>	<p>ワイドレンジ計測技術の信頼性評価</p>
<p>③量子トレーサブル電流センサ（電流計）のプロトタイプ開発・要素部品の製品化</p> <p>担当 三菱ガス化学ネクスト株式会社 産業技術総合研究所</p>	<p>電流センサ要素部材（抵抗）の最適化</p>	<p>量子トレーサブルな電流センサの設計・製造</p>	<p>量産化に向けた指針・工程表の作成</p>

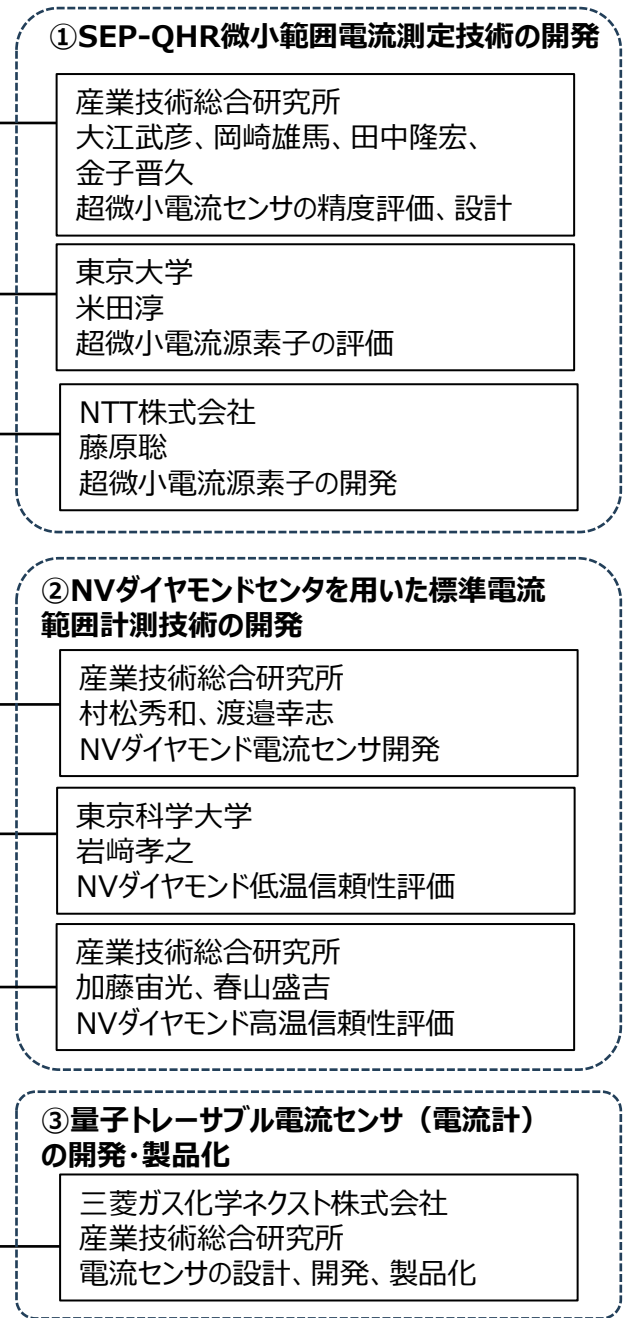
8. 工程表（令和8年度の詳細）

内容	令和8年度											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
① SEP-QHR微小範囲電流測定技術の開発 (1) 微小電流測定系の開発・性能評価 (2) 超抵抗素子を用いた電流計の設計	微小電流測定系の開発・性能比較					超高抵抗素子を用いた電流計の設計 前半：要素技術・評価基盤整備						
② ダイヤモンドNVセンタを用いた標準電流範囲計測技術の開発 (1) 電流比較器の改良・範囲拡張 (2) 光検出磁気共鳴装置装置によるNVダイヤモンドの信頼性評価						標準電流範囲統合技術の開発 NVダイヤモンドの信頼性評価 中盤：統合評価・設計確定						
③ 量子トレーサブル電流センサ（電流計）のプロトタイプ開発・要素部品の製品化 (1) 電流計の要素部品（超高抵抗素子）の製造条件最適化・工程表の作成 (2) プロトタイプ電流計の試作						電流計の要素部品の製造条件最適化・工程表の作成 プロトタイプ電流計試作 後半：抵抗の工程表作成・電流計の試作						

9. 実施体制及び実施者の役割分担 (令和8年度)



量子トレーサビリティが確保されたワイドレンジ電流計測技術の開発
 産業技術総合研究所
 天谷 康孝
 研究開発責任者



* 実施体制の一層の強化を図るため、①の課題においてR8年度からは新たにSEP開発を担うNTTが参画する予定である。

10. 民間研究開発投資誘発効果及びマッチングファンドの見込み（令和8年度）

① 民間研究開発投資誘発効果（財政支出の効率化）の見込み

微小電流が必要な放射線測定器・環境計測機器などの市場規模は増大しており、2022年の国内売上与輸出額は、230億円である。プロジェクト終了後、2030年までには市場投入し、当初はシェア5%程度を目標とすると、年間で12億円に相当する。また、蓄電池などの電子部品の評価に用いられる電気測定器の我が国の市場規模（売上与輸出額）は約2600億円である。こちらもシェア5%程度を目標とすると、年間で130億円に相当する。

2023年 統計データ | JEMIMA 一般社団法人 日本電気計測器工業会
<https://www.jemima.or.jp/statistics/index.html>

② 民間からの貢献度（マッチングファンド）の見込み

参画している民間企業や連携を協議している企業の人件費、共同研究費等として、1250万円以上を予定しており、最終的にマッチングファンド率25%以上を目指す。