

令和8年度 研究開発等計画

先端量子マテリアルが拓く生体の精密計測および機能向上

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
												○	

1. 社会実装に向けた施策・取組等の全体俯瞰

① 全体概要

① 解決すべき社会課題

日本は急速な高齢化に直面しており、「①健康寿命の延伸」と「②生活の質 (QOL)の維持」が重要課題である。「①健康寿命の延伸」に資する技術として、iPS細胞の移植などの先端医療技術の発展が著しい。しかしながら、移植した細胞がどのように振る舞うかを判断したり、移植した細胞が期待通りに生体内で機能を維持しているかを評価する手法は数少ない。現在、様々な蛍光色素や発光性量子ドットが開発され、これを用いる生体イメージング技術が発達しているが、**移植細胞の生体内での挙動を観察できるほど、長期間安定なものは皆無**である。「②生活の質の維持」を阻害するものとして、紫外光曝露による傷害（皮膚ダメージ、慢性炎症、老化加速）があり、医療・介護負担や生活機能低下の要因となっている。この対策として**近赤外光による細胞の賦活化技術が有効であるが、高コスト、特殊装置が必要などの課題があり、日常利用は十分でない状況である**。ごく最近、環境負荷の高い重金属元素を含む従来の二元素量子ドットの代替材料として、**低毒性な化合物半導体からなる多元素量子ドットが開発され、生体イメージングへの応用が期待されている（現状）**。これら多元素量子ドットは、高機能な生体プローブになると期待されるものの、**その光安定性は未だ低いままであるという課題がある**。従って上記社会課題に対して難易度の高い開発が必要となっており、企業による実用化が進んでいない。これらの状況を打開するために、**多元素量子ドットの耐久性向上のための安定化手法の開発が求められている**。

量子技術に関して現在進んでいる施策として、Q-LEAP、CREST「量子フロンティア」、SIP第3期「先進的量子技術基盤」、ムーンショット6の推進がある。しかし、**生体計測の実用化や生体機能向上を目指す施策はほとんどなく、量子マテリアルの実用化に向けた本施策は極めて重要である**。

② 提案施策

本施策では、**光学特性を維持しつつ、高い耐久性をもつ低毒性量子ドットの開発を行うとともに、その発光特性を利用する生体機能の計測・制御する量子プローブへの実用化を目指す**。現状では、**低毒性な多元素量子ドットの開発に成功し、生体イメージング応用が期待されるものの、光安定性は未だ低い**。まず、(1) 低毒性元素からなるI-III-VI族半導体などの量子ドットをコアとし、その粒子表面を化学的に安定な材料で被覆することでコア・シェル構造量子ドットを作製する。そして、**半導体コアとシェル材料のナノ界面の原子配列と元素組成を空間的に変調する技術を確立し、得られるコアシェル構造量子ドットの発光特性と光安定性を向上させる**。これにより従来の有機色素プローブ（ICGなど）では生体中で数分～数時間しか安定に機能しなかったものを、計測に十分な2週間以上の耐久性を実現し、一分子（粒子）あたりの感度を100倍以上にする。これを利用し、細胞や生体の微小領域の温度など、**生体に大きく影響を与える物理パラメータの高速・高精度計測技術を確立する**。さらに民間企業とともに、実用化に必要な材料合成と安定性評価技術を確立する。続いて、(2) コアシェル構造量子ドット（特に多元素量子ドットコア）の表面を有機分子で化学修飾することによって細胞特異性を付与する。これを幅広く実現するために、量子ドット表面の精密表面機能化法の開発を行う。**細胞特異的に送達するためには、量子ドットに細胞表面分子を認識する機能性分子を導入する必要があり、その合成技術を確立する**。そして、標識技術の開発に留まらず、民間企業に品質管理も含めた技術移転を行う。更に、(3) **高安定なコアシェル構造量子ドットの光波長変換特性を利用し、有害な紫外光を有用な赤色光に高効率変換して皮膚細胞の賦活化効果を実現する**。このような光機能材料はこれまでは全くなく、優位性の高い材料である。民間企業とともに医療用ではないコンシューマー向けセルフヘルスケア製品プロトタイプを開発し、市場への社会実装を目指す。**これらの取り組みにより、量子マテリアルによる細胞の高感度な量子センシングを達成し、【量子エコシステム構築に向けた推進方策】に貢献する**。

本施策では、**基礎的な研究だけではなく、これまでに蓄積された研究成果を基に参画企業による実用化に向けた開発を加速するものとして推進する**。

③ 成果の社会実装

参画企業との連携により、**コアシェル構造量子ドットの開発とその細胞特異性・生体機能改善特性は2028年度までに開発を終え、2030年度に量子ドットを用いた製品の販売等による社会実装を目指す**。

1. 社会実装に向けた施策・取組等の全体俯瞰

② 全体俯瞰図

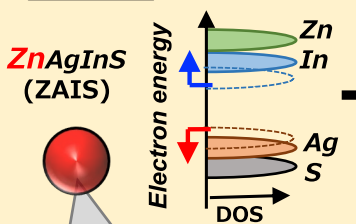
① 解決すべき社会課題

「健康寿命の延伸」「生活の質 (QOL)の維持」に貢献する量子マテリアルの実用化の課題である生体適用性や長期安定性など、企業による実用化に向けた難易度の高い技術開発が必要となっている。

先端量子マテリアル
で解決へ

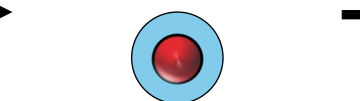
② 提案施策

現状

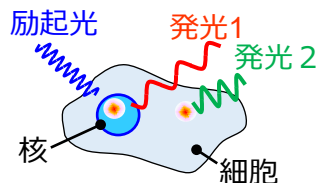


低毒性な多元素量子ドットの開発に成功した。生体イメージングやMRI診断などへの利用が期待される。
しかし、光安定性は低い。

コアシェル構造量子ドットの精密構造制御と、発光特性および光安定性・耐久性の向上



高安定な低毒性コアシェル構造量子ドット
(コア：低毒性元素からなる多元素量子ドットなど)

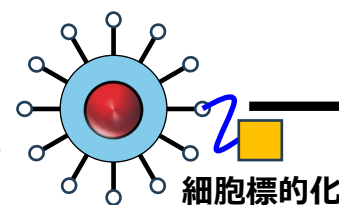


生体物理パラメーターの高速／高感度計測

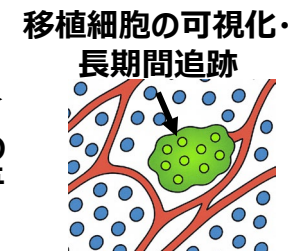
精密表面機能化による生体適合性付与

波長変換による皮膚細胞の賦活化

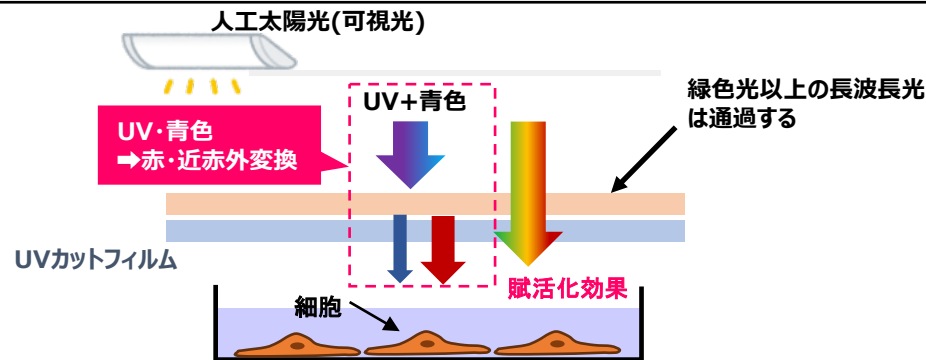
生体精密計測：量子ドットへの細胞移行性の付与および計測



「健康寿命延伸」につながる長期細胞計測の実現



生体機能向上：量子ドットの波長変換機能による細胞賦活化



生体計測と生体機能向上という従来材料では達成困難な新技術の創出、非医薬品市場への社会実装

③ 成果の社会実装

参画企業との連携により、コアシェル構造量子ドットの開発とその細胞特異性・生体機能改善特性は2028年度までに開発を終え、2030年度の量子ドットの販売、さらに量子ドットを用いた製品（BRIDGE終了後には医療用マーカー）、および一般消費者に向けた外用による身体ケア品（非医薬品）として販売等による社会実装を目指す。

2. 研究開発等の具体的な内容・社会実装の目標

① 研究開発・社会実装の目標

異なる材料で低毒性量子ドット表面を被覆することで、高機能な光学特性と高い耐久性をもつコアシェル構造量子ドットを開発し、発光特性と光安定性・耐久性を向上させる。さらにその表面を化学修飾することにより細胞特異性を付与する。また、コアシェル構造量子ドットの光波長変換特性を利用する細胞の賦活化効果を実現する。2028年までにこれら開発を終え、参画企業との連携により2030年度の社会実装を目指す。量子材料による新たな生体機能制御技術の開発により、細胞計測技術および細胞賦活化ヘルスケア市場を創出し、健康維持や生活機能改善、さらにそれらのコスト削減に寄与する。

② 研究開発等の具体的な内容

コアシェル構造量子ドットの精密構造制御と、発光特性および光安定性・耐久性の向上 (a)

低毒性な化合物半導体からなる多元素量子ドットの開発に成功し、生体イメージングへの応用が期待されるものの、**現状の量子ドットの光安定性は未だ低い**。そこで、量子ドットの表面を異なる材料で被覆してコアシェル構造体を作製することで、**高機能な光特性を保ちつつ高い耐久性と光安定性を併せ持つ量子ドットを開発する**。ZnAgInS、AgGeSなどの銀カルコゲドをベースとする高発光性・低毒性な多元素半導体などからなる量子ドットをコアとして用い、異なる半導体シェルを被覆して、多元素量子ドットコア・シェル構造体を作製する。半導体コアとシェル材料のナノ界面の原子配列と元素組成を空間的に変調する技術を確認し、コアシェル構造量子ドットの発光特性および耐久性の向上を目指す。更に、量子ドットの発光特性を用い、細胞や生体微小領域の温度など、生体に大きく影響を与える物理パラメータの高速・高精度計測技術を確認する。

参画企業との連携により、材料合成と安定性評価技術を確認する。

生体精密計測：量子ドットへの細胞移行性の付与および計測 (b)

コアシェル構造量子ドット（特に多元素量子ドットコア）の表面を有機分子で化学修飾することによって細胞特異性を付与する。これを幅広く実現するために、量子ドット表面の精密表面機能化法を開発する。細胞特異的に送達するためには、量子ドットに細胞表面分子を認識する機能性分子を導入する必要があり、その合成技術を確認する。

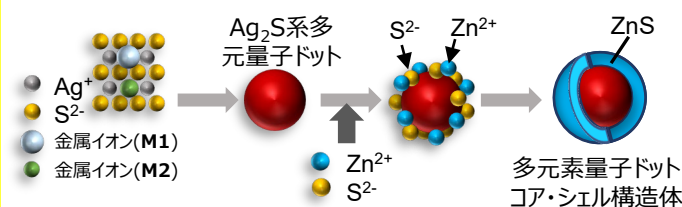
参画企業との連携により、標識技術の開発を行い、品質管理も含めた技術移転を行う。

生体機能向上：量子ドットの波長変換特性を利用する細胞の賦活化特性の発現 (c)

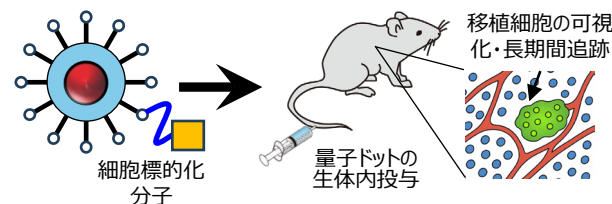
コアシェル構造量子ドットのナノ構造（粒子形状・サイズ、二次粒子形成、表面化学状態など）が紫外光の赤色・近赤外光への波長変換特性に及ぼす影響を調査する。そして、赤色・近赤外光を利用するコラーゲン産生などを志向した皮膚細胞・組織の賦活化特性を評価する。

参画企業との連携により、ストレスケア向け製品プロトタイプを開発し、ヘルスケア製品などの非医薬品市場への社会実装を目指す。

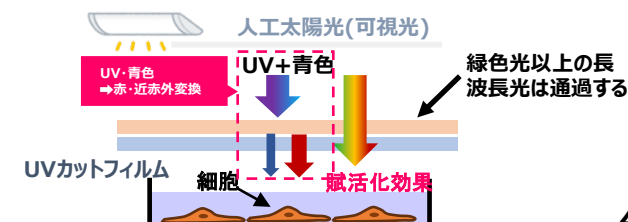
(a) 低毒性元素からなるコアシェル構造量子ドットの作製と安定性向上



(b) 生体精密計測：量子ドットへの細胞移行性の付与および計測



(c) 生体機能向上：量子ドットの波長変換特性を利用する細胞の賦活化特性の発現



3. 年度別の実施内容・到達目標 (KPI)

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)	R10年度実施内容 到達目標 (KPI)
① コアシェル構造量子ドットの精密構造制御と、発光特性および光安定性・耐久性の向上	量子ドットの表面を異なる材料で被覆してコアシェル構造体を開発する。コアとなる量子ドットの光特性は、コアとシェルの界面の接合によって大きく変化するため、適切なシェル材料、合成条件、ナノ構造を解明し、高機能な光特性を保ちつつ高い耐久性と光安定性を併せ持つ量子ドットを開発する。	低毒性な多元素半導体などをコアとして用い、半導体シェルを被覆して、コアシェル構造量子ドットを開発する。コア/シェル界面の原子配列・組成を空間的に変調する技術確立し、光特性に及ぼす影響を評価する。一分子(粒子)あたりの感度を、ICGプローブの100倍以上にする。(TRL4)	コアシェル量子ドットの光キャリアダイナミクスを解明し、コア/シェル界面構造が、光安定性・耐久性に及ぼす影響を解明し、1週間以上の長期間の安定な発光特性を達成する。さらに、細胞や生体の微小領域の温度など、生体物理パラメータの計測に応用し、高速度・高精度で計測する技術確立し、ICGの100倍以上の耐光性を達成する。(TRL5)	低毒性量子ドットをコアとするコアシェル構造量子ドットの光安定性・耐久性を長期間にわたって評価し、実用化に向けた製品安定性向上の指針を得る。製品の歩留まりは、70%以上を目指す。参画企業との連携により、材料合成と安定性評価技術確立する。(TRL7)
② 生体精密計測：量子ドットへの細胞移行性の付与および計測	多元素量子ドットの表面を有機分子で化学修飾することによって細胞特異性を付与する。これを幅広く実現するために、量子ドット表面の精密表面機能化法の開発を行う。細胞特異的に送達するために、量子ドットに細胞表面分子を認識する機能性分子の導入技術確立する。	多元素量子ドットの表面を改変して水溶性を付与する。得られた量子ドットをマウス体内に投与して、表面修飾した多元素量子ドットが生体内で1週間安定に振る舞うことを確認する。(TRL4, BRL4) ※非臨床における挙動・計測性能の確認(診療判断に用いない評価)	細胞表面認識能を有する機能性分子を水溶性量子ドットに導入する技術確立する。得られた量子ドットをマウス体内に投与して、移植した細胞を認識する(1週間以上の長期間)。(TRL5, BRL5) ※非臨床における挙動・計測性能の確認(診療判断に用いない評価)	体内適応性量子ドットの細胞およびマウス体内での毒性試験を行い、従来のCd系量子ドットと比較して1/10以下の低毒性を達成し、実用性の確認を行う。非医薬品としての実用化に向けた製品の品質チェックを行い(歩留まり70%以上)、参画企業との連携により、技術移転を進める。(TRL7, BRL6)
③ 生体機能向上：量子ドットの波長変換特性を利用する細胞の賦活化特性の発現	細胞賦活化に係る評価系の構築と評価を実施する。まず、一般的に知られる細胞賦活化の評価系は確立されていないため、適切な賦活化システムを構築する。得られる結果をもとに、製品プロトタイプを開発する。	人工太陽光を用いた評価系の構築を行う。コアシェル構造量子ドットが細胞賦活化(20%)を促進するためのコアシェル構造量子ドット評価用フィルムを作製する。得られたフィルムを人皮膚由来細胞に対して使用し賦活化効果を検証する。(TRL4, BRL3)	太陽光中の紫外光の波長変換効率30%以上、2週間以上の安定性を達成し、製品プロトタイプを作製する。二次元培養・三次元培養ヒト皮膚モデルに対して、代謝活性効果のマクロを用いた定量解析を実現する。免疫染色による細胞応答を確認。(TRL5, BRL4)	製品プロトタイプの実装に向けて安全性試験を行う。実用化に向けて、参画企業との連携により、量産化への指針を確立する。製品の歩留まりは、70%以上を目指す。非医薬品市場への社会実装を目指す。(TRL7, BRL6)

4. 工程表

テーマ名	R8年度	R9年度	R10年度
① コアシェル構造量子ドットの精密構造制御と、発光特性および光安定性・耐久性の向上	低毒性量子ドットを用いるコアシェル構造量子ドットの開発	半導体コアの光キャリアダイナミクスの解明	高耐久性量子ドットの作製技術の参画企業への技術移転
	光特性に及ぼす粒子ナノ構造の影響評価	生体物理パラメータの高速・高精度計測技術の確立	実用化に向けた製品品質評価
		量子ドットのナノ構造が及ぼす光安定性・耐久性への影響評価	
② 生体精密計測：量子ドットへの細胞移行性の付与および計測	表面を改変した水溶性量子ドットの開発	細胞表面認識能を有する水溶性量子ドットの開発	実用化に向けた品質評価
	動物（マウス）個体内での安定性評価※	細胞移植マウスを用いた移植細胞の可視化確認※	
	マウスへの細胞移植技術の確立※		粒子表面修飾技術の参画企業への技術移転
③ 生体機能向上：量子ドットの波長変換特性を利用する細胞の賦活化特性の発現	人工太陽光を用いた評価系の構築	ヒト皮膚モデルを用いた定量解析※	製品プロトタイプ作製の参画企業への技術移転
	コアシェル構造量子ドットのフィルム開発	特定マーカーに基づく細胞群の解析と細胞応答の評価※	製品プロトタイプの安全性評価
	ヒト皮膚由来細胞を用いた評価測定※	製品プロトタイプ作製	

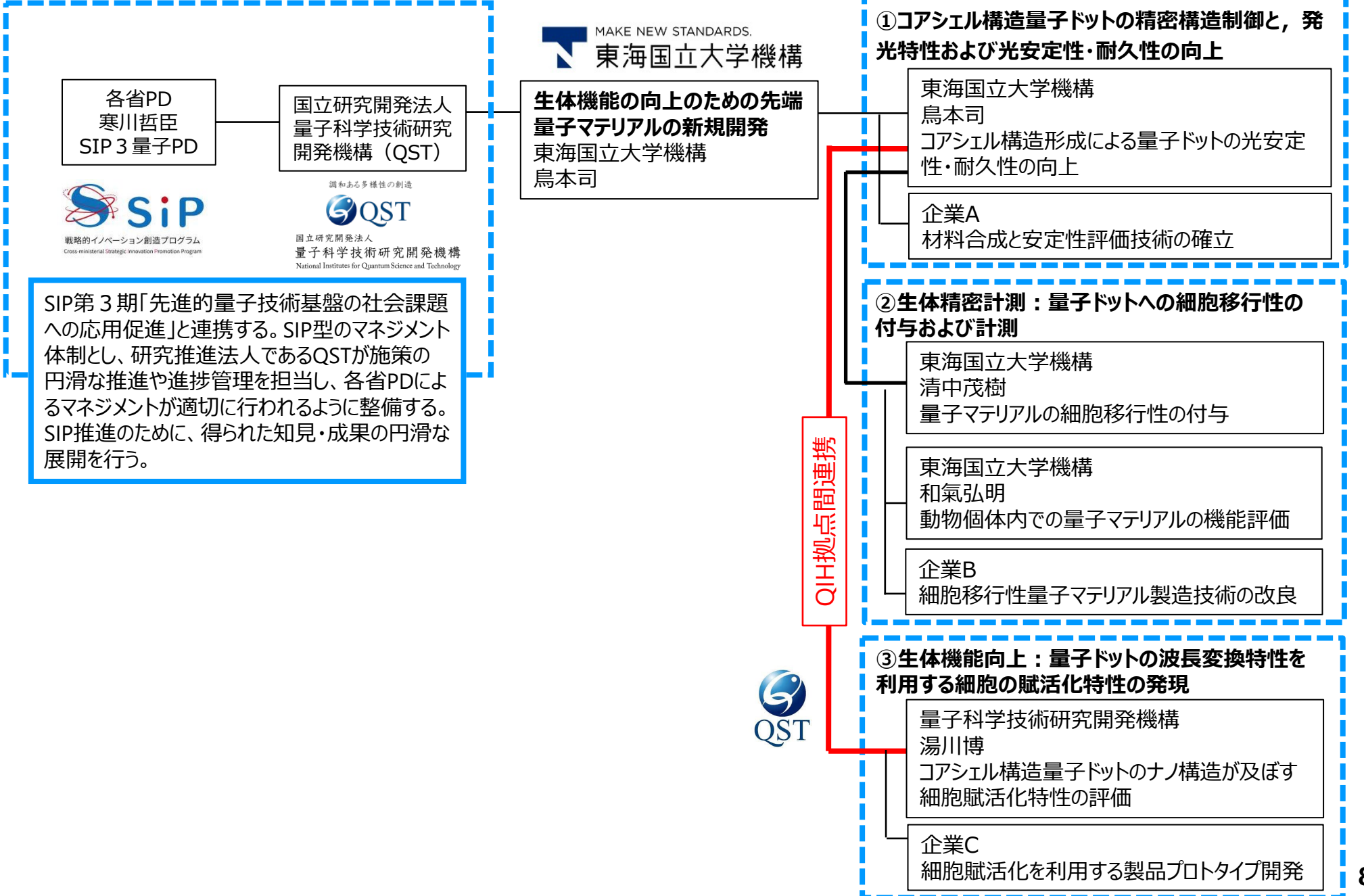
※非臨床における挙動・計測性能の確認（診療判断に用いない評価）

4. 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
<p>①コアシェル構造量子ドットの精密構造制御と、発光特性および光安定性・耐久性の向上</p> <ul style="list-style-type: none"> 多元素半導体などの低毒性量子ドットに金属カルコゲニドシェルを被覆し、コアシェル構造多元素量子ドットを作製する。 粒子ナノ構造が光特性に及ぼす影響を評価する。 	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 70%;">低毒性量子ドットを用いるコアシェル構造量子ドットの開発</div> <div style="width: 25%; text-align: right;">▶</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 60%;"></div> <div style="width: 35%; text-align: right;">▶</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 65%;"></div> <div style="width: 30%; text-align: right;">▶</div> </div>											
<p>② 生体精密計測：量子ドットへの細胞移行性の付与および計測</p> <ul style="list-style-type: none"> 多元素量子ドットの表面を改変して水溶性を付与する。 表面修飾した多元素量子ドットが生体内で安定に振る舞うことを確認する。 移植細胞への量子ドットの移行性を評価するためのマウス樹立 	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 75%;">表面を改変した水溶性量子ドットを開発</div> <div style="width: 20%; text-align: right;">▶</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 55%;"></div> <div style="width: 40%; text-align: right;">▶</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 65%;"></div> <div style="width: 30%; text-align: right;">▶</div> </div>											
<p>③ 生体機能向上：量子ドットの波長変換特性を利用する細胞の賦活化特性の発現</p> <ul style="list-style-type: none"> 人工太陽光を用いた細胞賦活化評価系を構築する。 コアシェル構造量子ドットのフィルムを作製する。 ヒト皮膚由来細胞を用いた細胞賦活化を評価する。 	<div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 70%;"></div> <div style="width: 30%; text-align: right;">▶</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 60%;"></div> <div style="width: 40%; text-align: right;">▶</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 65%;"></div> <div style="width: 30%; text-align: right;">▶</div> </div>											

※非臨床における挙動・計測性能の確認（診療判断に用いない評価）

5. 実施体制及び実施者の役割分担



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。

6. BRIDGE終了後の出口戦略

1. 社会実装に向けた施策・取組等の全体俯瞰、研究開発等の具体的な内容・社会実装の目標

量子ドットの発光特性が、周囲環境の温度や吸着化学種などの物理化学的要因によって変化するので、得られるナノ構造体を用いて新規な高機能生体センサを開発する。これによって、多元素量子ドットコア・シェル構造体の発光特性と化学安定性を利用する比較的長期間の生体モニタリングが可能となる。

下記に示す通り、参画企業との連携により、**コアシェル構造量子ドットとその細胞特異性・生体機能改善特性は2028年度までに開発を終え、2030年度の社会実装を目指す。**（医療向けの開発はBRIDGE終了後にAMED等又は民間資金で実施する）



2. 想定するビジネスモデル

企業A

コアシェル量子ドットの精密合成による高機能化を行い、発光特性と光安定を向上させ、材料メーカーに販売する。

企業B

コアシェル量子ドットに生体標識機能を付与し、商品化する。各種試薬メーカー・医療診断メーカーに販売する。（BRIDGE期間中には医療向け開発は行わない）

企業C

コアシェル量子ドットの生体安全性を確認し、ヘルスケアメーカーへのライセンス提供や共同開発を行う。一方で、自社販売ルートを活用し、消費者に直接販売を行う。

（BRIDGE期間中には医療向け開発は行わない）

3. BRIDGE終了時点で社会実装に向けて残る可能性のある課題

制度・規制関連：人に対する安全性評価への対応遅れ。

量産スケールのさらなる拡大：年間数十kg規模での供給には工場設備拡張やプロセス安定化が必要

長期安全性・効果検証：日常使用を前提とした長期曝露データ、生活者実証データの蓄積

7. 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

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

- 量子ドットの世界市場は2025年82億米ドルから、2032年には255億米ドルへと成長すると予想されており（Fortune誌）、量子ドットの新規材料開発と応用は、今後、多額の投資が期待される分野である。
- 細胞医療に関しては、国策として「再生医療等安全性確保法」の制定され、研究開発から実用化、産業化まで進んでおり、国内の経済規模2024年時点で約1,100億円（世界規模：約4,000億円）である。また、2033年には、約3,000億円規模（世界規模：約2兆円）になると推察されている。従来は、治療効果のみで評価してきたが、本提案（量子技術）により、細胞機能自体が評価できるようになるため、その開発速度が劇的に加速することが期待され、この分野で日本が世界を先導できる可能性を秘める。
- 低毒性量子ドットの細胞治療技術を活用したストレスケア製品の開発・販売に向け、製薬・ヘルスケアメーカーによる研究開発投資が誘発される。年間数百グラム～数キログラム規模の安定供給体制が確立されることで、初期試作・評価コストの低減が可能となり、民間投資効率が向上。定量例として、ヘルスケアメーカーのR&D投資規模（年間数十億円）に対して、BRIDGEによる技術基盤整備が10～20%の追加投資誘発効果をもたらす可能性がある。
- BRIDGEでの成果を活用し、規制適合・安全性評価手法の標準化が促進され、他素材・技術への応用も加速すると期待される。政府の健康寿命延伸・セルフケア推進施策と連動し、政策的支援や補助金制度の効率的活用を通じた民間投資のレバレッジ効果が期待される。以上より、BRIDGEによる低毒性量子ドット技術基盤整備は、民間研究開発投資の誘発だけでなく、医療・介護コスト削減に向けた新規市場創出、国際競争力向上といった社会的・経済的インパクトを同時に創出することが見込まれる。

② 民間からの貢献度（マッチングファンド）の見込み

本施策当初から、民間企業から研究員9名の参画を予定し、自社での当該研究開発費（人件費、消耗品購入、機器購入費）を合わせて、年度あたり40,000千円を予定しており、**民間企業から十分な貢献が見込まれる**。これらの経費は、実用化を目指した研究開発費用の投入を含む。