

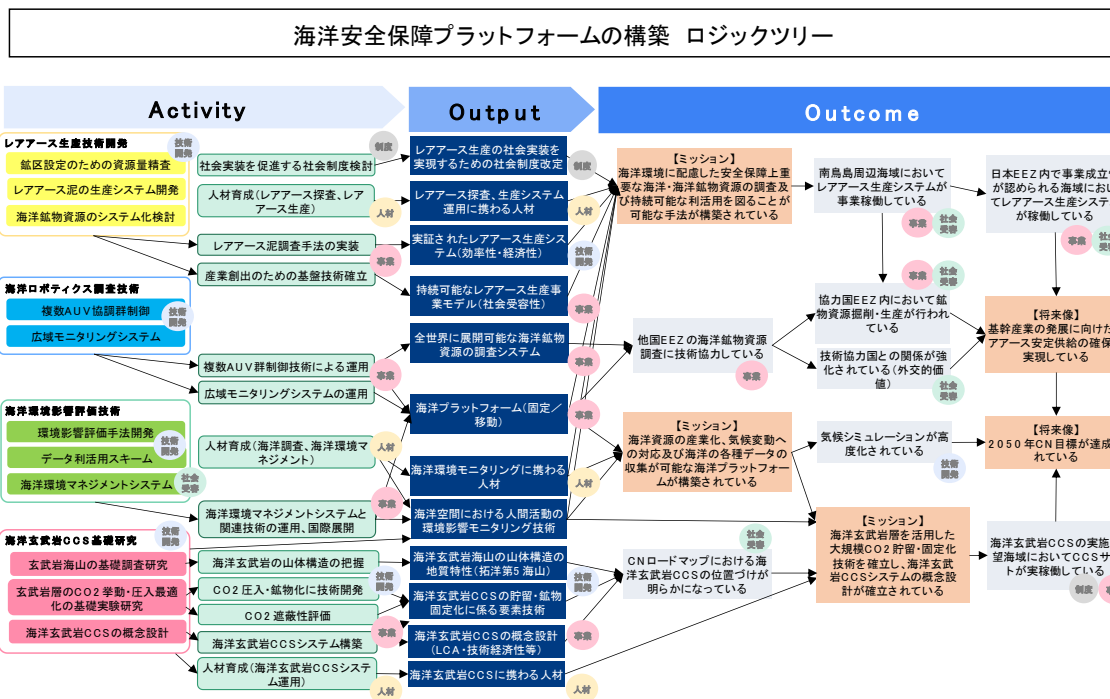
図表 II-5. 5つの視点での取組



図表 II-6. SIPでの取組の位置づけ

(2) ミッション達成に向けたシナリオ

ミッション達成に向けたシナリオを図表 II-7 に示す。



図表 II-7. ミッション達成に向けたシナリオ(ロジックツリー)

4. SIP での取組(サブ課題)

第 1 期 SIP 海洋課題「次世代海洋資源調査技術」(以下、「SIP 第 1 期」という)においては、海洋鉱物資源としての海底熱水鉱床、コバルトリッチクラスト、マンガンジュール、レアアース泥を対象として研究開発をスタートし、3年目からは主たる研究開発対象を水深 2,000m 以浅の潜頭性海底熱水鉱床に絞り込み、研究開発を推進した。

一方、海洋鉱物資源は、水深 2,000m 以深においても大量に賦存することが確認されており、南鳥島海域のレアアース泥は、賦存海域が水深 5,000~6,000m の海底下に位置し、開発に際しては、現状の海洋石油・天然ガスの産業規模 3,000m の水深を遥かに超える世界初のブレイクスルーの技術開発が必要となる。

第 2 期 SIP では、レアアースの賦存が確認されていた南鳥島海域のレアアース概略資源量評価に必要な調査を行うとともに、水深 6,000m の深海からのレアアース泥の生産が可能なシステム開発及び設計に関する検討を進め、解泥・採泥・揚泥システムを構築し、解泥・採泥プラントや付帯機器、揚泥管 3,000m を製作した。製作したツールズを使用して、2022 年 8 月の茨城沖の水深 2,470m の海底からの海底堆積物の解泥・採泥・揚泥試験に成功し、70トン/日の船上での揚泥量を確認した。

2018 年に策定された第 3 期海洋基本計画では、海洋鉱物資源の開発及び利用の促進が掲げられ、海洋鉱物資源の研究開発及び産業化に向けて、政府一体での取組が謳われている。

深海域に賦存する海洋鉱物資源開発の推進のために SIP 第 2 期は、自律型無人探査機(以下、「AUV」という)の複数機運用技術の更なる技術開発、海域での AUV の運用効率を上げるための船上に AUV を回収することなく、海中での電源供給や取得データの格納を可能とする深海ターミナル技術の研究開発を行った。

第 2 期 SIP の環境影響評価技術開発では、SIP 第 1 期で行った ISO 国際標準規格の発行を継続的に働きかけ 4 年半の年月をかけて ISO4 件の発行を実現した。

また、世界初の 2 年間の長期にわたる 6,000m 深海での深海環境のベースライン調査観測に成功し、水深 6,000m 環境と生物多様性に関する大量の海洋環境データを収集し、公表に向けての整理を行いつつある。

2022 年 8 月の茨城沖の 2,470m の海域での解泥・揚泥試験に際しては、発行した ISO 規格の 3 件を使用した環境モニタリング手法を検証し、解泥・採泥作業の周辺海洋環境への影響を、海底面と共に船上でもリアルタイムに評価できる手法であることを確認した。

このような海洋環境評価技術は、島嶼国の研究者などを対象にした国際セミナーを開催して、技術の普及促進と情報発信を 4 年にわたり実施してきている。

本課題では、世界有数の海洋国家である我が国にとって安全保障上重要な海洋の保全や利活用を進めるため、海洋鉱物資源の開発と海洋環境の保全との両立を可能とする海洋環境に関する各種海洋環境データを収集し、海洋の地球温暖化の影響などを把握する海洋調査観測プラットフォームを構築するため、以下のサブ課題 A~D に取り組む。

サブ課題 A:レアアース生産技術開発

サブ課題 B: 海洋環境影響評価システムの開発

サブ課題 C: 海洋ロボティクス調査技術開発

サブ課題 D: 海洋玄武岩 CCS 基礎調査研究

サブ課題 A:レアアース生産技術開発

SIP 第 2 期で有望とされた南鳥島 EEZ におけるレアアース資源について、資源エネルギー庁の鉱業法に基づく鉱区設定に必要となる資源データ取得調査を、有望開発候補エリアで完了する。

また、地球深部探査船「ちきゅう」を用い、水深 6,000m からのレアアース泥の採鉱・揚泥試験を実施し、産業的規模の開発に向けた課題抽出を行う。

これにより世界初の連続採鉱技術を確立し、深海レアアースの開発に向けての検証データ・指標の提供を行う。

また、新しい視点での選鉱・製錬プロセスの研究・実証を行う事で、レアアースの採鉱から最終製品までの供給システムを完成させ、レアアースの生産システムとしての社会実装に目処をつける。

加えて、深海域における調査機会に乏しかった我が国の民間海洋調査企業への技術移転を図り、海洋産業の活性化に寄与する。

5 つの視点での取組との対応関係(取組 A-1、A-2、A-3、A-4、A-6、A-7、A-9、A-11、A-12)

サブ課題 B: 海洋環境影響評価システムの開発

これからの海洋鉱物資源開発のみならず、持続可能な海域利用、海洋保護区、水産業、災害調査等においては、海洋環境と生物多様性のデータ収集が必要とされている。

そのため海洋環境モニタリングの有用性を海洋鉱物資源開発の現場で実証し、環境影響評価システムとデジタル海洋モデルを組み込んだ海洋環境マネジメントとしての有効性を発信し、普及促進を図る。

環境と社会生活を支える海洋の安全保障に対しては開発した海洋環境の調査観測、広域モニタリングおよび影響評価の手法による技術支援で貢献する。

また、海洋鉱物資源開発を含む多様な条件にも対応可能な環境マネジメントの産業化モデルを作成して、民間への普及に努める。

海洋環境ベースラインデータの国際データベースでの公開、学術論文での成果公表、国際機関や島嶼国を対象にした技術セミナーなどにより情報発信を図り、国際的に認知されるベストプラクティスを目指す。

5 つの視点での取組との対応関係(取組 B-1、B-2、B-3、B-5、B-7、B-9、B-10)

サブ課題 C: 海洋ロボティクス調査技術開発

広大な我が国の EEZ の海洋鉱物資源を効率的に調査することを目的に、AUV、深海ターミナル等を高機能化するとともに、広域モニタリングシステムを構築し、海洋鉱物資源開発や海洋玄武岩への大規模 CO₂ 貯留・固定化に伴うモニタリングへの展開を実証する。

具体的には、水深 6,000m レアアース泥調査、CCS 等の環境モニタリング等に資する技術開発として、水深 2,000m までの複数 AUV 協調群制御による海底地盤調査実海域試験を実施する。さらに、ホバリング型 AUV「ほぼりん」を使った小型ドッキングシステム、音響灯台として活用する定点環境影響評価システム「江戸っ子 1 号」および深海ターミナルの高速データ通信技術等の高機能化、廉価 AUV 開発等を進め、海洋資源・環境広域モニタリングシステムの実運用を目指す。

その他、広範囲にユーザーが利用可能なシステムを構築し、技術の民間移転を促進する仕組みづくりや国産 AUV を大量に生産することが可能となるよう省庁間連携、産学官連携を強化し、社会実装に向けた取組を進める。

5 つの視点での取組との対応関係(取組 C-1、C-2、C-3、C-5、C-8、C-9)

サブ課題 D: 海洋玄武岩層を活用した大規模 CO₂ 貯留・固定化技術に関する基礎調査研究

海洋玄武岩 CCS システムの社会実装を目指し、南鳥島 EEZ の拓洋第 5 海山の玄武岩を利用した大規模 CO₂ 貯留・固定化技術に関する基礎調査研究を実施する。

拓洋第 5 海山への 2 次元弾性波探査により地質構造を把握するとともに、経済産業省・資源エネルギー庁とも連携し実施の在り方について今後協議する調査井の掘削により採取する岩石コアや検層データ等の詳細分析により、当該玄武岩海山の物理特性や地質構造を明らかにする。

また、海洋玄武岩への大規模 CO₂ 貯留・鉱物固定化技術に関し、CO₂ 挙動・圧入最適化に関する技術開発と各種シミュレーションを進め、海洋玄武岩 CCS システムの概念設計を提示する。

5 つの視点での取組との対応関係(取組 D-1、D-2、D-4、D-5、D-7、D-8)

(1) 背景(グローバルベンチマーク等)

- 我が国は、船舶やブイによる地球環境変動の観測、有人・無人による深海潜水調査、地球深部探査船「ちきゅう」による地震発生帯や海底下生命圏の掘削調査、海底ケーブルを活用した地震・津波観測監視システム(DONET)の敷設など、世界トップクラスの海洋調査能力の涵養に注力してきた。(サブ課題 A、サブ課題 B、サブ課題 C、サブ課題 D)
- 今後の海洋調査において主役を担うと期待される AUV については、本体技術では欧米が一步先んじているが、海洋環境影響評価と海洋環境広域モニタリングも含めた様々な観測技術を組み合わせた調査システムでは前例がなく、SIP 第 2 期の成果を更に高度化することにより、世界に誇る海洋環境調査サービスを提供することができる。(サブ課題 C)

- 世界初の水深 2,000m 以深に存在するレアアースを始めとした海洋鉱物資源に焦点を当てて、集中的に研究開発及び技術の実証を実施することにより、我が国の技術力を発展させることができる。(サブ課題 A、サブ課題 B、サブ課題 C)

(2) 社会実装に向けた SIP 期間中の達成目標

各サブ課題における社会実装に向けた SIP 期間中の達成目標を以下に示す。本課題では、前述の 5 つの視点それぞれに対し成熟度レベル(XRL)を定義し、目標値を設定している。社会実装に向けたロードマップ及び 5 つの成熟度レベル(XRL)の定義については「Ⅱ章 5. 5つの視点でのロードマップと成熟度レベル」に示す。

① サブ課題 A:レアアース生産技術開発

1) 探査

- レアアース泥 AUV 調査に関する調査機器試験【TRL6】
- 南鳥島 EEZ 内の既存コアデータの統合【TRL6】
- レアアース泥調査手法の詳細検討、精査【TRL7】
- レアアース泥調査手法の実証【TRL7】
- 資源量の高精度三次元マッピング、資源量評価補正手法の確立、検証【TRL8】

2) 探鉱

- 下部揚泥管製作(3,000m 分)、水深 6,000m 技術課題抽出/改良、船上機器技術課題抽出/改良【TRL5】
- 産業化に向けた探鉱技術の改良【TRL6】

3) 製錬

- レアアース泥からのレアアース元素の効率的な抽出・分離手法の開発【TRL2-3】
- 実試料への適用手法開発【TRL3-4】
- 大規模製錬に向けたプロセス検討、開発【TRL4】
- 産業化へ向けた製錬技術検証【TRL5】

4) 生産システム

- 南鳥島沖レアアースを対象とした一貫生産システムの概念設計及び効率化検討【BRL2-6】
- レアアースの探鉱・選鉱・製錬・輸送プロセスにおけるコスト、CO₂ 排出量削減検討【BRL2-6】
- 廃棄物(選鉱後の残土)の利活用ビジネス検討【BRL2-6】
- 開発に関する法令・ガイドライン整備、整備検討に資する各種データの取得【GRL2-6】
- 国内外への情報発信と社会実装による理解促進【SRL2-5】
- 研修等を通じた人材育成(若手研究者・技術者・専門家の育成)【HRL1-5】

② サブ課題 B: 海洋環境影響評価システムの開発

1) 海洋環境影響評価の手法改良

- 技術の導入による調査観測手法の効率化【TRL5】
- 海洋環境モニタリング手法の確立【TRL7】
- AUV による海洋環境広域モニタリングシステムを利用した手法の運用試験【TRL5】
- 海洋環境影響評価システムの技術プロトコル作成【TRL7】

2) データ利活用スキームの構築

- 海洋環境でのデジタルモデルの概念設計、AI による情報収集法の確立【TRL3】
- 深海と海山のデジタル海洋モデルの考案【TRL4】
- 南鳥島沖の環境データによるデジタル海洋モデルの構築、データリンクの試験【TRL5】
- デジタル海洋モデルの試験運用【TRL6】

3) 産業化モデルと国際展開

- 海洋環境マネジメントの概念設計【TRL4】
- 海洋環境マネジメントの試作、試験運用【TRL5】
- 海洋環境マネジメントの改良【TRL6】
- 1)、2)により開発した海洋環境影響評価システムとデジタルモデルを組み込んだ海洋環境マネジメントの試作と産業化モデルの考案【TRL7】
- 海洋環境マネジメントの民間への普及【BRL1-4】
- 海洋での環境影響評価や環境モニタリングに関する法制度やガイドラインに関わる情報の整理【GRL2-6】
- 国内外への情報発信と社会実装による理解促進【SRL2-5】
- 研修等を通じた人材育成(若手研究者・技術者・専門家の育成)【HRL1-5】

③ サブ課題 C: 海洋ロボティクス調査技術開発

1) 複数 AUV 協調群制御技術の開発

- 協調群制御システム構築、通信測位装置搭載改造(「通信」とは水中音響による情報送受信をいう)、地盤調査用観測システム開発【TRL4】
- 水深 1,000m 以浅の地盤調査用受信システム単独試験、航行型 AUV2 機の協調群制御実証試験【TRL5】
- 水深 2,000m 以浅での複数 AUV 協調群制御による地盤調査実海域試験、技術課題抽出/改良、データ解析手法の開発、及び社会実装試験の実施【TRL6-7】

2) 海洋環境広域モニタリングシステムの開発

- 海洋環境広域モニタリングシステムの設計・試験(江戸っ子 1 号、深海ターミナル及び関連

AUV の改良、廉価 AUV 開発)、光通信、音響通信、測位装置方式検討【TRL4-5】

- 水深 2,000m 以浅での海洋環境広域モニタリングシステムの実証試験(深海ターミナル及び関連 AUV による実海域試験)、及び社会実装試験の実施【TRL6-7】

3) 社会実装の検討

- 廉価 AUV 普及に向けた取組【BRL3-6】
- AUV サプライチェーンの確立のための制度検討【GRL2-6】
- 研究開発等を通じた人材育成(若手研究者・技術者・専門家の育成)【HRL1-5】

④ サブ課題 D: 海洋玄武岩層を活用した大規模 CO₂ 貯留・固定化技術に関する基礎調査研究

1) 海洋玄武岩 CCS を想定した拓洋第 5 海山の地質構造に係る基礎調査研究

- 2 次元弾性波探査の実施、既存データの再解析【TRL1-2】
- 地質形成モデルの構築、2 次元弾性波探査データ解析、掘削調査準備【TRL2】
- 調査井の掘削調査を想定(経済産業省・資源エネルギー庁とも連携し実施の在り方について協議中)、岩石コア記載・検層データ解析【TRL3-4】
- 調査井での取得データの評価、コア分析、貯留性評価【TRL4-5】

2) 海洋玄武岩 CCS の CO₂ 挙動評価・圧入最適化に関する基礎実験研究

- 玄武岩海山の CO₂ 挙動・圧入最適化に係る技術開発【TRL3-4】
- 岩石試料を用いた室内実験やフィールド試験等による海洋玄武岩 CCS 基幹技術の有効性の評価【TRL5-6】
- 貯留層シミュレーションによる CO₂ 圧入性・鉱物化・遮蔽性の評価【TRL6】

3) 海洋玄武岩 CCS の CO₂ 輸送・洋上圧入等を含む概念設計と国際共同研究

- 海洋玄武岩 CCS に係る国内外動向の把握【TRL1-2】
- 国際プロジェクト等への参加・共同研究【TRL2-3】
- 拓洋第 5 海山への海洋玄武岩 CCS システムの概念設計の提示【TRL5-6】【BRL1-3】
- 研修等を通じた人材育成(若手研究者・技術者・専門家の育成)【HRL1-5】

(3) ステージゲート等による機動的・総合的な見直しの方針

- レアアース生産技術開発については、2025 年度第 1 四半期に実施を予定している地球深部探査船「ちきゅう」を用いた、水深 6,000m からのレアアース泥採鉱・揚泥実証試験の結果を踏まえ、スケールアップの方向性、その後の戦略の妥当性を評価する。
- 海洋玄武岩 CCS 基礎調査研究においては、初年度に 2 次元弾性波探査を行い、2024 年度にその結果を分析する計画とする。この分析結果を踏まえ、必要に応じてシミュレーション、実験等の計画を見直し、調査井の掘削計画の具体化等を検討する。

(4) SIP 後の事業戦略(エグジット戦略)

① サブ課題 A:レアアース生産技術開発

- レアアース泥調査手法の実装(システム構築、手法確立)
- 鉱業法に基づくレアアース鉱区の設定
- 民間が産業化を検討するに資する採鉱技術、製錬技術、検証データ・指標の提供

(民間との連携)

- 製錬技術は、5年間の研究プロセスで参入企業を模索する。

② サブ課題 B:海洋環境影響評価システムの開発

- 海洋環境マネジメントによる産業化モデルの民間普及(2028年以降)
- 研究機関が海洋環境ベースラインデータを保管し、広く利用できるシステムとして公開

(民間との連携)

- 研究機関が、民間企業による手法の改良、製品化、規格化、データ解析、論文作成などを支援する(2028年以降)

③ サブ課題 C:海洋ロボティクス調査技術開発

- 複数 AUV 調査技術の運用(2028年以降)
- 海洋環境広域モニタリングシステムの運用(2028年以降)
- AUV の産業化モデルの構築
 - 技術の態様等に応じて戦略的に技術移転
 - 海洋鉱物資源産業への貢献
 - 洋上風力発電での海底送電ケーブルのルート調査やメンテナンス等のユーザーが使用可能なシステムの提供
 - オープン・クローズ戦略に基づく海洋環境広域モニタリングシステムにかかる知財の特許化や国際標準化を推進
 - 海洋環境モニタリング産業を民間との連携にて育成し、SIP のマッチングファンドにも貢献

(民間との連携)

海洋関係組織・企業等の関連業界と協力しながら、民間企業やベンチャー企業への技術移転を進める。

また、内閣府総合海洋政策本部で検討中の「国産 AUV に係る官民協議会」等とも連携しながら、確実な社会実装を推進していく。

④ サブ課題 D: 海洋玄武岩層を活用した大規模 CO₂ 貯留・固定化技術に関する基礎調査研究

- 海洋玄武岩 CCS の CO₂ 挙動・圧入最適化に資する地質情報の提供
- CO₂ 鉱物固定評価に基づく技術ガイドラインの策定
- 民間企業が海洋玄武岩への大規模 CO₂ の貯留を検討するための技術データ等の提供

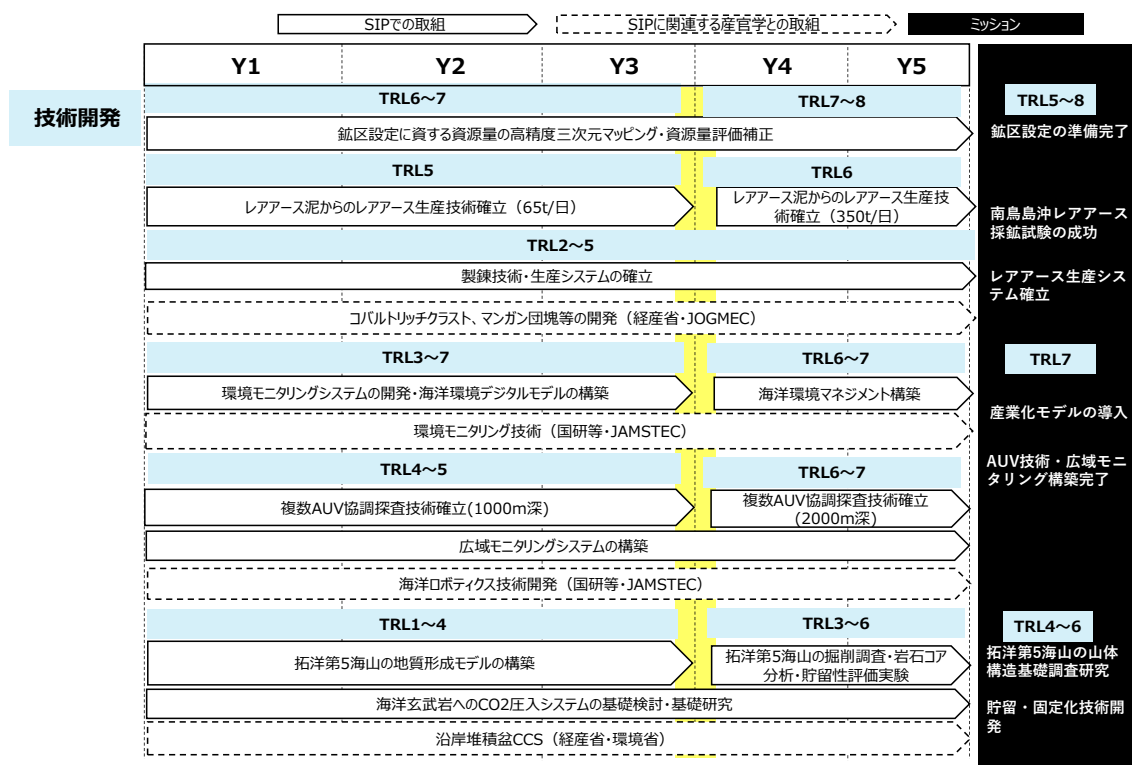
(民間との連携)

- 大規模海上 CO₂ 輸送や洋上 CO₂ 圧入システム等の技術情報に基づく海洋玄武岩 CCS の概念設計
- 拓洋第 5 海山の基礎調査研究を通じて、2050 年カーボンニュートラル目標に貢献

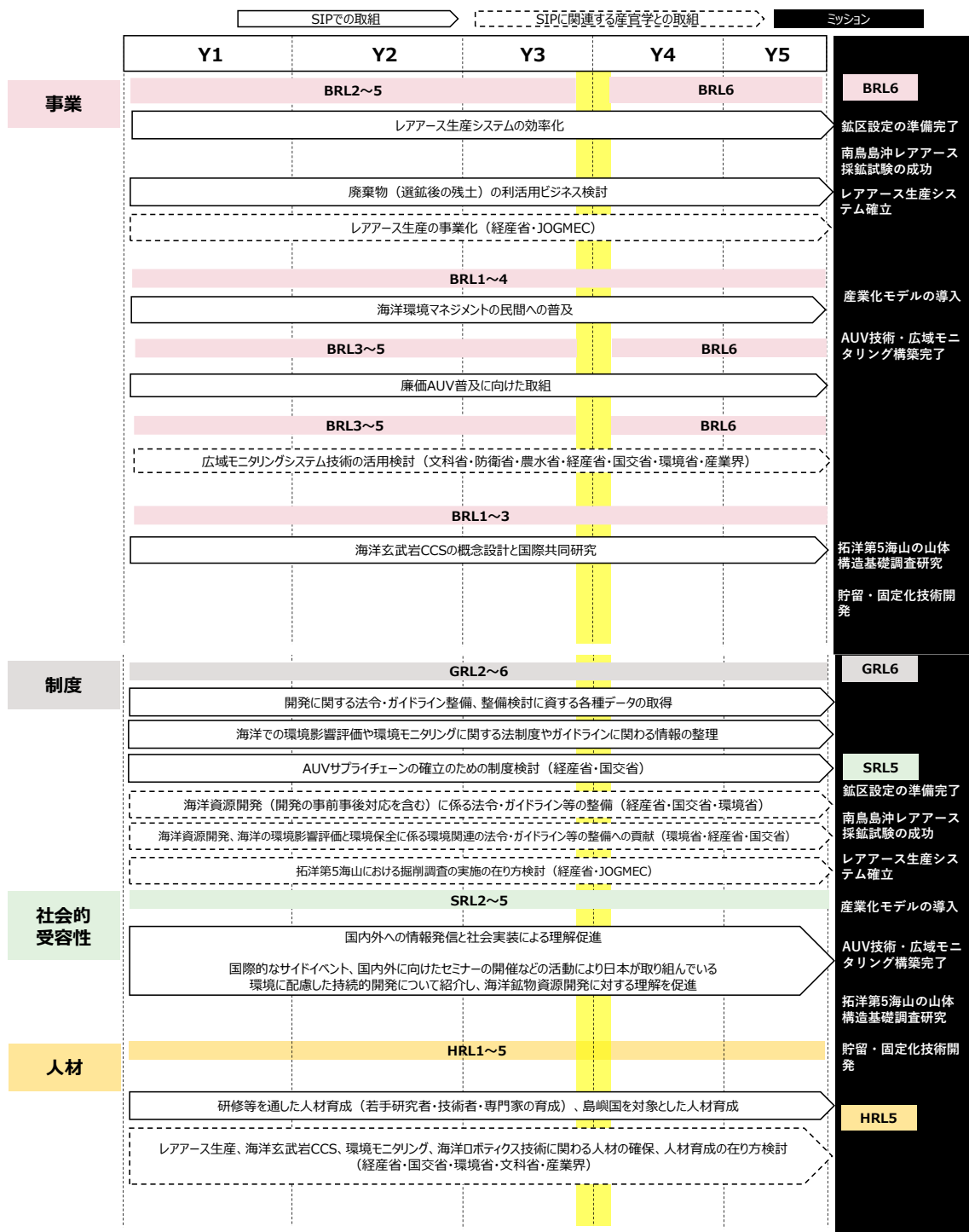
5. 5つの視点でのロードマップと成熟度レベル

(1) ロードマップ

5つの視点でのロードマップを以下に示す。



図表 II-8. 5つの視点でのロードマップ(技術開発)



図表 II-9. 5つの視点でのロードマップ(事業・制度・社会的受容性・人材)

(2) 本課題における成熟度レベルの整理

SIP が目指すべき社会実装について関係者の認識を一致させる取組として、本課題では前述した 5 つの視点それぞれに対し成熟度レベル (XRL) を設けた。具体的には TRL (Technology Readiness Levels)、BRL (Business Readiness Level)、GRL (Governance Readiness Level)、SRL (Social Readiness Level)、HRL (Human Readiness Level) の 5 つの成熟度レベルを設定し、それぞれレベル 1 から 8 又は 9 までの複数の段階を以下の図表のとおり定義した。

図表 II-10. 本課題における TRL の定義

TRL			
基礎	1	基礎研究	基礎技術開発の調査・机上試験等を実施している段階。
	2	仮説	応用的な研究を通じて、技術コンセプトや実用的なユースケースに関する仮説が立てられ、機能の試作や解析的・実証的検証が行われている段階。
	3	検証	技術コンセプトの実現可能性や技術用途の実用性が、実験、分析、シミュレーション等によって検証された状態。実用性が確認されるまで仮説と検証が繰り返されている状態。
応用 (次期の 主対象)	4	研究室レベルでの 初期テスト	システム試作機(プロトタイプ)が作られ機能試験や信頼性試験により要素技術の基本的な機能・性能が実証された状態。
	5	想定使用環境での テスト	システム実証機(デモ・モデル)が作られ設計・製作システムの環境試験等が行われ、要素技術が満たすべき機能・性能が実証された状態。
	6	実証 (システム)	運用機(プロダクションモデル)が作られ設計・製作・改良、I/F 試験等が行われ、実運用環境下において、要求水準を満たすシステム*の機能・性能が実証された状態。 *システム: 要素技術以外の構成要素を含む、サービスや製品としての機能を完備した要素群
	7	生産計画	運用機(プロダクションモデル)が作られ実環境と同等の試験(海域試験等)が行われ、全体システムに係る全ての詳細な技術情報が揃い、生産計画が策定された状態。(生産ラインの諸元、設計仕様等)
実装	8	スケール (パイロットライン)	運用機(プロダクションモデル)によるサービスや製品供給が開始された段階。
	9	安定供給	全ての想定顧客の要望を満たす、サービスや製品を安定的に供給することが可能な状態。

図表 II-11. 本課題における BRL の定義

BRL			
基礎	1	基礎研究	潜在的課題、想定顧客、解決方法等が発見された状態。
	2	仮説	課題と想定顧客が明確化され、提供価値(解決策の優位性)、リターン・コスト等の事業モデルに関する仮説が立てられている状態。(ビジネスモデルキャンパス等)
	3	検証	事業モデルの仮説が想定顧客にとって有望であることがプレゼンテーション、インタビュー、アンケート等のテストで検証された状態。価値が確認されるまで仮説と検証が繰り返されている状態。
応用 (次期の 主対象)	4	実用最小限の初期テスト	一部で旧技術を使用した限定的な機能を有する試作品を用いた疑似体験によって、提供価値が想定顧客にとって有用であることが実証された状態。価値が確認されるまで仮説、検証、初期テストが繰り返されている状態。
	5	想定顧客のフィードバックテスト	想定顧客からフィードバックを得ながら、要望を満たす機能・性能が定義・設計され、その設計条件で事業モデルの妥当性が実証された状態。
	6	実証	サービスや製品が実際に提供され、設計した条件で事業モデルの成立性、想定顧客の高い満足度が実証された状態。
	7	事業計画	上記の事業モデルを基にした、事業ロードマップ、投資計画、収益予測等を含む事業計画が策定された状態。
実装	8	スケール	想定顧客から定期的なフィードバックを受け、サービスや製品が改善されている状態。サービスや製品が、新規顧客に展開可能な根拠がある状態。
	9	安定成長	プロダクト及び提供者が良く知られ、売上高等が健全に成長する状態。

図表 II-12. 本課題における GRL の定義

GRL			
基礎	1	基礎検討	海洋安全保障プラットフォームの公共性の有無が検討され、影響が及ぶ範囲を特定した状態。
	2	制度に求める性質のコンセプト化	ガバナンスに関する検討チームが形成され、現実的な制約(安全性、国際基準、法規等に加え社会・業界通念等)を踏まえて、制度に求める性質(効率性、公平性、インセンティブ条件)が整理された状態。
応用 (次期の 主対象)	3	評価	制度に求める性質を現制度が満たしているかを評価している状態。
	4	制度のコンセプト化	現制度で不十分な場合、レベル2で求める性質を満たす制度(法制度の解釈変更・規制改革、規格化・標準化、ガイドライン等)を考案できた状態。
	5	実証	実証実験(フィールド実験、被験者実験、シミュレーション実験等)を通して、レベル2で求める性質に適った制度が特定された状態。制度の有効性が確認されるまで、仮説と実証が繰り返されている状態。
	6	導入計画	上記の実験結果を基に、省庁・自治体・民間企業等を含む関係機関が具体的な導入計画を策定できた状態。
実装	7	展開と評価	上記ガバナンスに係る内容が実際に導入され、データに基づいて評価・改善されながら、段階的に展開されている状態。
	8	安定運用	上記ガバナンスに係る内容が社会全体に周知され、運用とチェック機能が適切に機能している状態。

図表 II-13. 本課題における SRL の定義

		SRL	
基礎	1	基礎研究	海洋安全保障プラットフォームによって実現される社会像やその意義が示され、全ての人々に直接的に与えるリターン・コスト(倫理性・公平性を含む)が金銭・非金銭の両面から検討された状態。
	2	仮説	海洋安全保障プラットフォームが与えるリターンへの理解度、コストの許容度、実装の実現可能性を高めるための施策について仮説が立てられている状態。
応用(次期のCSO主対象)	3	検証	想定顧客にとって、上記の施策が有効であることが、プレゼンテーション、インタビュー、アンケート等で検証されている状態。施策の有効性が確認されるまで、仮説と検証が繰り返されている状態。
	4	初期検討	想定顧客のリターンへの理解度、コストへの許容度を高める施策(消費体験、消費疑似体験、説明会等)が検討された状態。
	5	実証	上記の施策を実施・検証し、人々がリターン・コストを含めて海洋安全保障プラットフォームの受け入れを許容した状態。
	6	普及計画	実証から得たフィードバックやデータを検証し、施策を改善しながら、より一般的に想定顧客が海洋安全保障プラットフォームを許容するための普及計画が策定された状態。
実装	7	スケール	上記の普及計画が実行され、海洋安全保障プラットフォームが、コミュニティに合わせて修正・再発明されながら、海洋安全保障プラットフォームの受け入れが許容される範囲が拡大している状態。
	8	市場への浸透	海洋安全保障プラットフォームが、最終的に目標とするスケールで受容され、継続的に運用されている状態。

図表 II-14. 本課題における HRL の定義

		HRL	
基礎	1	基礎研究	海洋安全保障プラットフォーム構築に必要なコア人材に求めるスキル要素が検討された状態。
	2	仮説	コア人材のスキル要素に加え、事業モデルの実施に必要なスキル要素群の仮説が立てられた状態。目的に賛同し、スキル要素群や事業領域に精通した人材等でのチームング、育成(学びなおし)等の対応策の仮説が立てられた状態。
応用(次期のCSO主対象)	3	検証	シミュレーションや実業務(OJT)等を通じて、上記の仮説や対応策(スキル要素群の過不足、チームングの適正等)が検証されている状態。有効性が確認されるまで仮説と検証が繰り返されている状態。
	4	初期テスト	初期テストの実施を通して、上記の仮説や対応策が検討され、必要に応じて実装に重要な人材が補充された状態。育成(学びなおし)等の対応策が上記に連動して実施されている状態。
	5	実証	実証試験の実施を通して、上記の仮説や対応策が検討され、必要に応じて実装に重要な人材が補充された状態。育成(学びなおし)等の対応策が上記に連動して実施されている状態。
	6	実施計画	当該領域において必要な人材のスキル要素群と必要量、教育方針と手段、マッチング手法が明らかになり、実施に向けた計画が策定された状態。
実装	7	スケール	当該領域において必要な人材の教育環境の整備が進むとともに、それら人材が社会で最適にマッチングされながら活躍の場が広がる状態。
	8	安定的な人材輩出	当該領域において必要な人材の輩出が社会全体で行われ、適切な活用がなされている状態。また、スキル要素群の高度化が図られている状態。

6. 対外的発信・国際的発信と連携

- 本プログラムにおける技術開発の成果については、オープン・クローズ戦略に配慮しつつ、実用化を目指した幅広い活用が可能となるよう仕組みを整備する。
- AUV の通信、制御等に関する技術開発に当たっては、関連機関と連携しつつ、プロトコル等の共通化等、内外の知見を取り込み、かつ、より広範なユーザーが使用可能なシステムを検討する。
- レアアース泥の採鉱技術については、特許化を目指し、核心的な部分は知的財産権を押さえつつ、当該手法の実施手順書等は整備し、幅広く民間企業で実施できるようなアウトプットを作成する。
- ISO 国際規格などを組入れた環境マネジメントについては、産業化モデルを作成して民間への普及を図り、国際機関でのサイドイベントや島嶼国などを対象にした国際セミナーにより情報発信を行い、ベストプラクティスとして認知されることを目指す。
- 世界に向けて未来社会の姿をアピールするための科学技術を集結した展示会が内閣府主催で開催されるので、内閣府と連携してこの展示会に主体的に参画して、深海資源調査技術をはじめとする未来の社会に貢献する日本の最先端海洋技術を世界に向けて発信することにより、海洋技術の社会実装に向けた機運を醸成する。

III. 研究開発計画

1. 研究開発に係る全体構成

本課題では、世界有数の海洋国家である我が国にとって安全保障上重要な海洋の保全や利活用を進めるため、海洋の各種データを収集し、海洋鉱物資源の確保、気候変動への対応などを推進するプラットフォームを構築する。

主要目標は、①有望と目されるレアアースを対象として、世界初の生産技術開発や社会実装に向けた探査・採鉱・製錬という効率的な一貫生産システムの検討②南鳥島 EEZ に位置する拓洋第 5 海山の玄武岩層への大規模 CO₂ 貯留・固定化技術に係る基礎調査研究とする。

目標のレアアース資源開発と海洋玄武岩 CCS 基礎調査研究では、海洋での環境影響評価と広域モニタリングシステム技術が必要とされている。

については、これまでの環境影響評価手法に改良を加えると共に、AUV や江戸っ子 1 号を利用した広域海洋モニタリングや AI 解析などの技術を導入した環境影響評価システムの開発、海洋環境のデータベース化と公開、さらに現場環境の可視化を目指したデジタルモデルを組み込んだ海洋環境マネジメントを試作し、海洋鉱物資源開発のみならず、日本を含む世界の海洋保護区での調査保全事業への普及を目指す。

このような技術情報の国際機関や島嶼国などへの発信を精力的に行い、海洋環境への取り組みでの世界の先導的な役割を果たす。

サブ課題 A: レアアース生産技術開発

研究開発テーマ 1: 有望エリア資源量精査及び鉱区設定のため基礎データ収集(探査)

研究開発テーマ 2: レアアース泥採鉱技術の改良(採鉱)

研究開発テーマ 3: レアアース製錬技術の開発(製錬)

研究開発テーマ 4: 生産システムの検討

サブ課題 B: 海洋環境影響評価システムの開発

研究開発テーマ 1: 海洋環境影響評価の手法改良

研究開発テーマ 2: データ利活用スキームの構築

研究開発テーマ 3: 産業化モデルと国際展開

サブ課題 C: 海洋ロボティクス調査技術開発

研究開発テーマ 1: 複数 AUV 協調群制御技術の開発

研究開発テーマ 2: 海洋環境広域モニタリングシステムの開発

研究開発テーマ 3: 社会実装の検討

サブ課題 D: 海洋玄武岩層を活用した大規模 CO₂ 貯留・固定化技術に関する基礎調査研究

研究開発テーマ 1: 海洋玄武岩 CCS を想定した拓洋第 5 海山の地質構造に係る基礎調

査研究

研究開発テーマ2: 海洋玄武岩 CCS の CO₂ 挙動・圧入最適化に関する基礎実験研究

研究開発テーマ3: 海洋玄武岩 CCS の CO₂ 輸送・洋上圧入等を含む概念設計と国際共同研究



図表 III-1. 本研究課題におけるサブ課題の構成

2. 研究開発に係る実施方針

(1) 基本方針

オープン・クローズ戦略を基本に、原則、公開可能な情報については特許化、論文化、国際会議やセミナー等での講演や発信を積極的に行う。

特に、環境ベースライン調査によるデータや環境影響評価システムの手法については、広く情報を公開し、海洋環境産業の活性化及び温暖化影響の調査観測に資する。

社会実装に向けては、各サブ課題の研究開発を 5 つの視点(「技術開発」「事業」「制度」「社会的受容性」「人材」)にて、研究開発目標、実施内容、達成基準を設定する。

(2) 知財戦略

オープン・クローズ戦略に基づくノウハウ蓄積、特許化、国際標準化を目指すサブ課題毎の考え方を次に示す。

① サブ課題 A: レアアース生産技術開発

レアアース生産技術開発に関しては、探査、採鉱、製錬技術の全てについて原則クローズドとする。

公開可能な情報は、適宜、論文化のうえ公表するが、秘密特許制度の整備に伴い、適切な時期に特許化、秘密特許化への対応も検討する。

② サブ課題 B: 海洋環境影響評価システムの開発

環境ベースライン調査に基づく取得データは、データベース等にて公開し、将来の資源開発及

び温暖化影響の調査観測に資する。

解析結果は、論文等にて公表し、サンプル類はオープンシェアとする。

論文では、水深や位置などの環境情報と海域名が必要となるが、鉱区設定に関わる情報については特段の制限を加える。

海洋環境影響評価システムの運用ノウハウは、技術書やビデオマニュアルにてデジタルアーカイブなどで公開を検討する。

③ サブ課題 C: 海洋ロボティクス調査技術開発

技術ノウハウは、原則クローズドとするが、オープン部分は特許化し、民間企業の利用を想定する。

ソフト(協調群制御のソフト等)、AUV ドッキング、廉価 AUV による簡易的な調査手法技術を中心に、ノウハウを蓄積し、SIP 第 3 期終了後はベンチャー企業、研究開発法人等に技術、ノウハウを移転する。

特許を最優先しながら、論文を出すスキームを想定しているが、特許以外の技術開発については、開発者の意向を尊重する。

④ サブ課題 D: 海洋玄武岩層を活用した大規模 CO₂ 貯留・固定化技術に関する基礎調査研究

要素技術開発は特許化を優先とするが、掘削調査結果については、関係省庁との合意の下で国際連携を視野に入れての論文等での公表も検討する。

(3) データ戦略

- サブ課題間のデータ連携により、各サブ課題の研究開発の効率化を図る。
- 既存データベースとのデータ連携により、Society5.0 実現に向けた取組に貢献する。

(4) 国際標準戦略

- 環境影響評価技術に関し、研究機関が民間での手法の改良、製品化、規格化、データ解析、論文作成などを支援して、国際的にも先導的な役割を果たす。
- 海洋ロボティクス調査技術は、オープン・クローズ戦略を基本に、知財の特許化、国際標準化を目指す。

(5) ルール形成

- 海洋鉱物資源開発により発生する海底堆積物の拡散状況についての予測手法や解泥・揚泥方式に対応した環境影響評価のガイドライン策定に貢献する。
- 国際海洋法条約(UNCLOS)を始めとする国際的な海洋環境動向を踏まえつつ、海洋環境の保全と海洋鉱物資源の開発の両立を目指した課題の調査・検討を行い、対応を検討する。
- 持続可能な海洋の利用を巡る国際会合で、我が国が国際的な海洋環境への取り組み姿勢をアピールし、必要とされる科学的根拠・データを提供する。

(6) 知財戦略等に係る実施体制

知財委員会

- 課題または課題を構成する研究項目ごとに、知財委員会を研究推進法人等または選定した研究責任者の所属機関(委託先)に置く。
- 知財委員会は、研究開発成果に関する論文発表及び知財権の権利化・秘匿化・公表等の方針決定等のほか、必要に応じ知財権の実施許諾に関する調整等を行う。
- 知財委員会は、原則としてPDまたはPDの代理人、主要な関係者、専門家等から構成する。
- 知財委員会の詳細な運営方法等は、知財委員会を設置する機関において定める。

知財及び知財権に関する取り決め

- 研究推進法人等は、秘密保持、バックグラウンド知財権(研究責任者やその所属機関等が、プログラム参加前から保有していた知財権及びプログラム参加後にSIPの事業費によらず取得した知財権)、フォアグラウンド知財権(プログラムの中でSIPの事業費により発生した知財権)の扱い等について、予め委託先との契約等により定めておく。

バックグラウンド知財権の実施許諾

- 他のプログラム参加者へのバックグラウンド知財権の実施許諾は、知財の権利者が定める条件に従い((注)あるいは「プログラム参加者間の合意に従い」、知財の権利者が許諾可能とする。
- 当該条件などの知財の権利者の対応が、SIPの推進(研究開発のみならず、成果の実用化・事業化を含む)に支障を及ぼすおそれがある場合、知財委員会において調整し、合理的な解決策を得る。

フォアグラウンド知財権の取扱い

- フォアグラウンド知財権は、原則として産業技術力強化法第17条第1項を適用し、発明者である研究責任者の所属機関(委託先)に帰属させる。
- 再委託先等が発明し、再委託先等に知財権を帰属させる時は、知財委員会による承諾を必要とする。その際、知財委員会は条件を付すことができる。
- 知財の権利者に事業化の意志が乏しい場合、知財委員会は、積極的に事業化を目指す者による知財権の保有、積極的に事業化を目指す者への実施権の設定を推奨する。
- 参加期間中に脱退する者に対しては、当該参加期間中にSIPの事業費により得た成果(複数年度参加の場合は、参加当初からのすべての成果)の全部または一部に関して、脱退時に研究推進法人等が無償譲渡させること及び実施権を設定できることとする。

- 知財の出願・維持等にかかる費用は、原則として知財の権利者による負担とする。共同出願の場合は、持ち分比率及び費用負担は、共同出願者による協議によって定める。

フォアグラウンド知財権の実施許諾

- 他のプログラム参加者へのフォアグラウンド知財権の実施許諾は、知財の権利者が定める条件に従い（(注)あるいは「プログラム参加者間の合意に従い」、知財の権利者が許諾可能とする。
- 第三者へのフォアグラウンド知財権の実施許諾は、プログラム参加者よりも有利な条件にはしない範囲で知財の権利者が定める条件に従い、知財の権利者が許諾可能とする。
- 当該条件等の知財の権利者の対応が、SIP の推進（研究開発のみならず、成果の実用化・事業化を含む）に支障を及ぼすおそれがある場合、知財委員会において調整し、合理的な解決策を得る。

フォアグラウンド知財権の移転、専用実施権の設定・移転の承諾

- 産業技術力強化法第 17 条第 1 項第 4 号に基づき、フォアグラウンド知財権の移転、専用実施権の設定・移転には、合併・分割による移転の場合や子会社・親会社への知財権の移転、専用実施権の設定・移転の場合等（以下、「合併等に伴う知財権の移転等の場合等」という。）を除き、研究推進法人等の承認を必要とする。
- 合併等に伴う知財権の移転等の場合等には、知財の権利者は研究推進法人等との契約に基づき、研究推進法人等の承認を必要とする。
- 合併等に伴う知財権の移転等の後であっても研究推進法人は当該知財権にかかる再実施権付実施権を保有可能とする。当該条件を受け入れられない場合、移転を認めない。

終了時の知財権取扱いについて

- 研究開発終了時に、保有希望者がいない知財権等については、知財委員会において対応（放棄、又は、研究推進法人等による承継）を協議する。

国外機関等(外国籍の企業、大学、研究者等)の参加

- 当該国外機関等の参加が課題推進上必要な場合、参加を可能とする。
- 適切な執行管理の観点から、研究開発の受託等にかかる事務処理が可能な窓口又は代理人が国内に存在することを原則とする。
- 国外機関等については、知財権は研究推進法人等と国外機関等の共有とする。

3. 個別の研究開発テーマ

(1) レアアース生産技術の開発

① 研究開発目標

これからの社会の重要な鉱物資源とされるレアアースの供給は、特定国への依存度が極めて高い状況にある中で、我が国の南鳥島 EEZ 海域には、産業化が期待されるレアアース資源が存在しており、有効活用の道が開かれるならば、特定国に依存した我が国のレアアース供給からの脱却を図る事が出来る。

本課題では、SIP 第 2 期調査で有望とされた南鳥島 EEZ のレアアース資源について、鉱業法に基づく鉱区設定が可能となる基礎資源データ取得の調査を完了させる。

また、地球深部探査船「ちきゅう」を用い、水深 6,000m からレアアース泥を採鉱・揚泥し、製錬する実証試験を実施し、産業化に向けた課題抽出を行う。

世界に先駆けて連続的な採鉱・揚泥・製錬技術により、深海レアアースの開発産業創出のための検証技術データ・指標の提供を行う。

また、選鉱・製錬・製品化プロセスでも、新しい視点にてより経済性のあるレアアースの一貫供給システムを開発・実証することにより、レアアース生産システム社会実装を促進する。

加えて、深海域における調査機会の乏しかった我が国の民間海洋調査企業への技術移転を図るとともに、海洋資源産業の活性化に寄与する。

以下に具体的な研究開発目標を示す。

サブ課題 A(レアアース生産技術の開発)の研究開発目標及び実施内容

5つの視点	目標	実施内容	達成基準
技術開発	鉱区設定に資する海洋鉱物資源量データの取得・整理	「見つける(探査)」: 鉱区設定のための有望エリア資源量精査	2027年度末に鉱区設定に資する資源量の高精度三次元マッピング手法が確立されている。
	南鳥島沖レアアース泥採鉱実証試験の成功	「取り出す(採鉱)」: 採鉱システムの開発	2026年度第4四半期に水深6,000mから350t/日の採鉱効率が達成されている。
	選鉱・製錬プロセスの確立	「製錬する(製錬)」: 製錬技術の開発	2027年度までに産業化に向けた生産システムの製錬プロセス技術実証試験に成功している。
事業	レアアースの生産システムにおけるコスト削減、廃棄物(選鉱後の残土)の利活用ビジネスの検討	ビジネスモデルの構築に向けた評価	南鳥島におけるレアアース生産ビジネスモデル検討に資する評価がなされている。
制度	法令・ガイドライン調査及び要件整理	海洋鉱物資源開発(開発の事前事後対応を含む)に係る法令・ガイドライン等の整備	関係府省等と連携し法令・ガイドライン等整備の方針が定まっている。
社会的受容性	社会的理解の促進	国内外での情報発信	国際会議等での発信、セミナー開催等を開催している。
人材	必要人材の確保・教育	必要人材の要件整理	関係府省と連携し人材育成プログラム等の具体的施策が検討されている。

② 実施内容

1) 有望エリア資源量精査及び鉱区設定のため基礎データ収集

有望エリア選定のための追加コア採集・分析を行い、調査手法の精緻化とその確立を目指す。
最終的には、鉱区設定に資する高精度三次元マッピングの完成を目指す。

- レアアース泥 AUV 調査に関する調査機器試験及び分析
- レアアース泥調査手法の実証
- 鉱区設定に資する資源量の高精度三次元マッピング手法の確立

2) 採鉱システムの開発

レアアース泥の採鉱システムを開発し、レアアース泥採鉱技術の実証を目指す。

下部揚泥管 3,000m の製作を完了させると共に、実証試験サイトの選定等を行う。

- レアアース泥採鉱・揚泥実証試験サイトの選定
- レアアース泥採鉱システムの改良
- レアアース泥採鉱システムの実証試験

3) 製錬技術の開発

新たなるレアアース製錬技術の開発を目指して、レアアース元素の効率的な抽出・分離手法の開発を行い、将来の産業化に向けた大規模製錬プロセスの開発を検討する。

- レアアース泥からのレアアース元素の効率的な抽出・分離手法の開発
- 大規模製錬プロセスの検討
- 産業化に向けた製錬技術の実証



図表 III-2. レアアース生産技術開発のイメージ

③ 実施体制

研究開発責任者	国立研究開発法人海洋研究開発機構
研究推進法人が研究開発責任者である理由	本課題の遂行において、探査、採鉱、製錬という異なる専門性を有すること及びそれらを一連のシステムとして効率的かつ効果的に構築していく必要がある。海洋研究開発機構は、個々の専門性を有し、異なる専門性を横断的にマネジメントする能力と経験を有しており、第2期までのSIPにおいてもその能力を発揮し開発目標達成に貢献している。加えて、設備と施設面において、探査に関しては、複数の研究船や水深6,000m対応可能な地層サンプル採取装置やAUV等の探査機を、採鉱に関しては、6,000mの揚泥管の吊り下げ能力を有する地球深部探査船「ちきゅう」を、製錬に関してもその性能実証に欠かせない微量元素分析機器を有し、かつそれらのオペレーションに習熟している。

(2) 海洋環境影響評価システムの開発

① 研究開発目標

本研究開発は、海洋の環境影響評価とモニタリングの技術を開発し、環境マネジメントを構築することで海洋産業の育成・成長を促進するとともに温暖化影響の調査観測に貢献する。具体的には、海洋鉱物資源開発等の活動による環境影響評価の手法及びデータ利活用スキームの構築という基盤技術の研究開発、その成果を組み込んだ海洋環境マネジメントによる産業化モデルの作成、さらには国際展開に向けた活動により構成されている。

基本となる環境影響評価とモニタリングの手法は、第 1 期と第 2 期の SIP 海洋プログラムにおいて ISO 国際規格として発行し、国際海底機構が作成した探査における指導書において実用に適した技術プロトコルであると評価され、すでに水深 6,000m の深海環境での2年間にわたる海洋環境観測とデータベース公開に向けての準備、更には採鉱作業の現場試験において海洋環境モニタリングの検証などの成果を出している。これらの実績をベースに、新たな手法、例えば長期の定点観測ができる江戸っ子 1 号と広い範囲を短時間で調査できる AUV が連携する4次元広域観測や AI 解析などを導入し、多様な海洋環境の課題への貢献と技術の社会実装に向けて海洋環境影響評価システムを開発する。以下に具体的な研究開発目標を示す。

サブ課題 B(海洋環境影響評価システムの開発)の研究開発目標及び実施内容

5つの視点	目標	実施内容	達成基準
技術開発	環境影響評価手法の改良	<ul style="list-style-type: none"> 環境 DNA や画像データなどによる生物多様性調査手法の確立 江戸っ子 1 号、AUV、環境計測センサー、バイオアッセイなどを利用した環境モニタリング手法の確立 	<ul style="list-style-type: none"> 2024 年までに環境影響評価手法のレアアース採鉱試験への適用を検討する。南鳥島沖にて環境ベースライン調査を実施し、南鳥島沖での環境影響評価システムの試験運用及びデータをデジタルモデル構築に提供する。
	海洋環境のデジタルモデルの開発	<ul style="list-style-type: none"> 南鳥島沖のデジタル海洋モデルの作成 AI を利用したデータ解析 モニタリングデータとのリンク 	<ul style="list-style-type: none"> 2025 年までに海洋環境デジタルモデルの構築とデータリンク試験を行い、2026 年までに海洋環境デジタルモデルの試験運用を行う。
事業	海洋環境マネジメントの試作産業化モデルの考案	<ul style="list-style-type: none"> 民間の技術者を交えたワークショップなどの開催 環境影響評価手法とデジタルモデルによるマネジメントの試作 民間での運用を想定した産業化モデルの考案 	<ul style="list-style-type: none"> 2025 年までに民間と協働して海洋環境マネジメントの試作と産業化モデルの構築を進め、改良を重ねて 2026 年に試験運用を行う。
制度	法令・ガイドライン整備に資する情報の発信	海洋環境影響評価に係る法令・ガイドライン、海外事例等の情報の収集と整理	<ul style="list-style-type: none"> 2027 年までに制度設計に資する報告書として公表する。
社会的受容性	環境マネジメントの情報発信 環境ベースラインデータの保管と公開	<ul style="list-style-type: none"> 国際セミナーの開催 国連機関等の会議にてサイドイベントの開催 データベースでの公開方式の検討 	<ul style="list-style-type: none"> 2027 年まで海洋環境影響評価と環境保全に関わる技術情報の発信と現状把握のため国際機関でのサイドイベントや国際セミナーを継続して開催する。
人材	技術セミナー 事例とノウハウの教材化	<ul style="list-style-type: none"> 島嶼国などを対象とした技術セミナーの開催 SIP での事例をもとに運用技術を文書化 	<ul style="list-style-type: none"> 2027 年までに技術セミナーの内容と運用技術の教材を国際アーカイブなどで公表し、人材育成に貢献する。

② 実施内容

1) 環境影響評価の手法改良

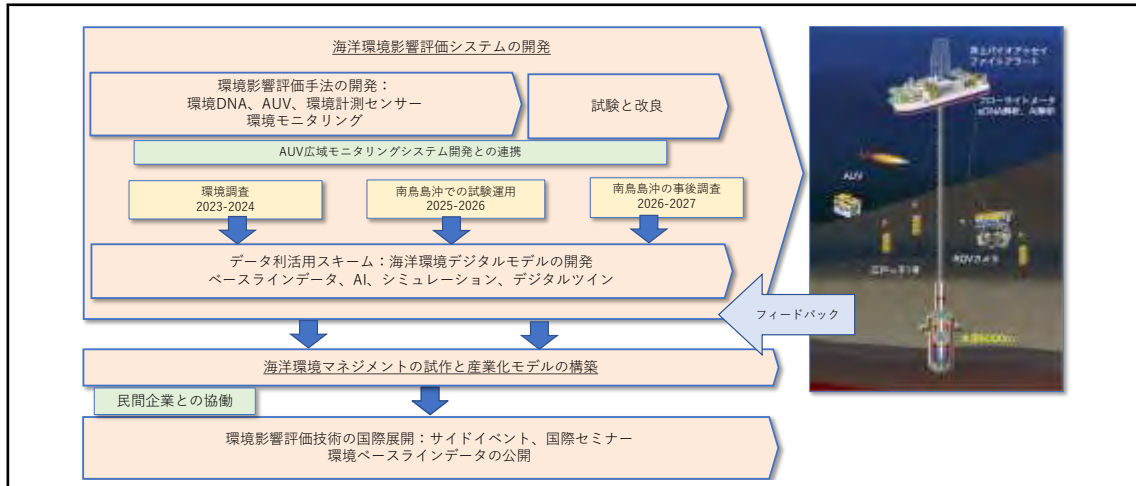
- 生物多様性調査: 高解像度カメラ、フローサイトメータ、環境 DNA と遺伝子解析など
- 環境計測: 現場計測センサーの実用化、江戸っ子 1 号による定点観測と複数 AUV による環境調査による4次元広域観測の技術検討
- 海洋環境モニタリング: 洋上バイオアッセイ、ファイトアラート、海底観測など
- レアアース泥採鉱試験での海洋環境モニタリングの試験運用と事後の海洋環境調査
- 国際データベースネットワーク BISMAL/OBIS を利用した情報公開
- 国際会議や学術論文等による成果の公表

2) データ利活用スキームの構築

- AI によるデータ解析
- 時空間データの収集: 地形、物理化学環境、生物分布、生態系
- 海洋環境のモデルをデジタル空間に構築
- 南鳥島沖の海洋環境データを利用したデジタル海洋モデルの運用試験
- 国際会議や学術論文等による成果の公表

3) 産業化モデルと国際展開

- 海洋環境影響評価とデジタル海洋モデルを組み込んだ海洋環境マネジメントの試作
- 海洋環境に応じたマネジメント構成の検証
- 民間でのデータ利活用と海洋環境マネジメントの運用を想定した産業化モデルを考案し、運用試験により実用性を検証
- 太平洋島嶼国を中心とする国際セミナー、国際機関でのサイドイベントなどによる技術情報の発信と現地情報の収集を継続する。



図表 III-3. サブ課題 B(環境影響評価システムの開発)

③ 実施体制

研究開発責任者	国立研究開発法人海洋研究開発機構
研究推進法人が研究開発責任者である理由	開発課題である海洋環境影響評価システムには、調査航海と環境モニタリングによるデータ収集、環境と生物多様性を記録するデータベースの管理、表層から深海までを再現するデジタルモデルと変動解析のシミュレーションなどの複数の技術が必要である。海洋研究開発機構には、これらの課題に対応できる設備と施設があり、これまでの SIP において海洋環境影響評価に関わる手法の確立、4件の ISO 規格の発行および多くの基礎データを収集してきた。この設備と実績を活用することで、個々の技術要素をシームレスに組み合わせたシステムの開発を効率よく進めることが可能になる。

(3) 海洋ロボティクス調査技術開発

① 研究開発目標

生物多様性条約 COP15 に基づく「30by30」目標達成にむけ広大な海洋保護区の海洋環境モニタリングのため、複数 AUV 協調群制御技術を用いた広域海洋モニタリングシステムが求められている。運用効率を上げるため、複数 AUV による調査技術の開発が重要であり、連携機能も含め高度なモニタリングシステムの構築を行う。

SIP 第 2 期では、AUV による観測・調査のための運用効率を上げるため、複数 AUV の隊列制御技術の開発を行ってきた。1 機の洋上中継機(ASV)で 10 機の AUV を統括監視するシステムを構築し、実海域で詳細な海底地形データの取得に成功し、海上に浮上することなく長期間電源補給及びデータ転送を可能とする深海ターミナル技術の研究開発を行った。

第 3 期では、海洋ロボティクス調査技術として発展させることで、海洋産業の育成・成長に貢献する。具体的には、新たに AUV 間の通信測位技術を用いた複数 AUV 協調群制御技術による海底地盤調査のための技術開発を行うと共に、深海ターミナルのドッキング精度向上による汎用化を行いながら、ホバリング型 AUV と音響灯台としての役割を担う定点環境影響評価システム江戸っ子 1 号と深海ターミナルの連携による広域モニタリングシステム技術に関する研究開発を推進し、AUV 利活用の汎用化を目指す。また、より発展的な課題として、航行型 AUV による深海ターミナルへのドッキング技術開発も行う。目標とする海洋環境広域モニタリングとは、定点海洋環境モニタリングではなく、複数モニタリングシステムと環境計測 AUV を連動させるシステムであり、レアアース泥の開発で必要となる 1km 程度のエリアでの観測範囲を想定する。

本研究では、ロボティクス関連のハード開発に加えて、ソフト面(AUV 協調群制御、深海ターミナルのドッキングソフトの高度化、廉価 AUV の汎用制御技術開発、音響灯台としての江戸っ子 1 号等)の開発を実施し、得られた成果を社会実装に直結させる。

また、AUV の産業化モデルの構築では、商品化を念頭に置いた廉価 AUV 等の開発を推進し、ノウハウ・技術を戦略的に民間移転することで、海洋鉱物資源産業の育成、洋上風力発電の送電線メンテナンスや海底送電ケーブル調査への AUV の活用を目指す。

さらに、取得した知財、ノウハウは、オープン・クローズ戦略を基本に、特許化、国際標準化を目指すと共に、海洋産業を育成する視点で民間企業との連携、マッチングファンドの対象とすべく検討する。

全体として開発する技術の適用、実証は 2,000m までの深海を基本とするが、水深に制約のない技術開発を行い、得られた成果の社会実装を実施する。

以上の通り、本研究では、複数 AUV 協調群制御技術及び海洋環境広域モニタリングシステムの 2 つの技術を中心とした研究開発を推進する。具体的な研究開発目標及び実施内容を次に示す。

サブ課題 C(海洋ロボティクス調査技術開発)の研究開発目標及び実施内容

5つの視点	目標	実施内容	達成基準
技術開発	複数 AUV 協調群制御技術開発 広域モニタリングシステム開発	<ul style="list-style-type: none"> ・複数 AUV 協調群制御による地盤調査技術開発とその実証 ・ホバリング型、航行型両 AUV の汎用的深海ターミナルの開発 ・定点環境影響評価システム江戸っ子 1 号、深海ターミナルと AUV の連携運用を活用した広域モニタリングシステムを開発、及びその実証 ・民間移転対応が可能な廉価 AUV の開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・水平方向地盤調査用受信センサーにより海底地盤調査が可能となる。 ・汎用的深海ターミナルが完成し、AUV ドッキングが可能。ホバリング型 AUV への充電が可能となる。 ・江戸っ子 1 号等と AUV の連携運用(音響灯台として等)を活用し、水上へのデータ転送も含めた広域モニタリングシステムを完成する。 ・廉価 AUV を完成させ、ノウハウの民間移転を行い、民間による商品化を実現する。
事業	複数 AUV 協調群制御技術、広域モニタリングシステム技術の民間移転 廉価 AUV の民間移転	<ul style="list-style-type: none"> ・実施方策、ノウハウの民間移転 ・廉価 AUV の民間移転を実施 	<ul style="list-style-type: none"> ・実施方策、ノウハウの民間移転が完了している。 ・廉価 AUV の民間移転、商品化が完了している。
制度	法令・ガイドライン等規格統一化	・国内外規格の統一化、機器汎用化に向けて方向性を検討	・官民協議会等を通じて、企画連携に向けた対応を実施している。
社会的受容性	技術開発事項の社会実装	・技術開発事項の社会実装を実施	・技術開発事項の社会実装が完了している。
人材	AUV 開発対応人材育成	・民間調査会社、開発業者と共に事業を実施することにより、人材育成に寄与	・民間調査会社、開発業者と共に事業を実施している。

1) 複数 AUV 協調群制御技術

- 2023 年度までに協調群制御アルゴリズムを開発し、システム搭載準備、及び AUV 間通信測位方式の検討、搭載と地盤調査用受信システムの開発を行う。(TRL4)
- 2024 年度までに技術課題抽出、システムを改良し、水深 500m 以浅での地盤調査用受信システムの単独実海域試験を実施し、航行型 AUV2 機の協調群制御の実海域試験を実施する。(TRL5)
- 2025 年度までに技術課題抽出、改良を実施し、水深 1,000m 以浅で航行型 AUV2 機の協調群制御を実海域で行い、地盤調査技術の実証試験を実施する。(TRL5)
- 2026 年度までに水深 2,000m 以浅での航行型 AUV3 機の協調群制御による地盤調査技術の実証試験を通じて、社会実装への対応を行う。(TRL6)
- 2027 年度までに社会実装試験を実施する。(TRL7)

2) 広域モニタリングシステム

- 2023 年度までに、海洋環境広域モニタリングシステムとして、AUV に搭載する高速光通信技術の検討・システム開発や充電可能汎用型深海ターミナルの試作、ホバリング型 AUV「ほぼりん」のドッキング及び通信装置改造、定点環境影響評価システム「江戸っ子 1 号」の光通信装置の搭載を検討し、取得データの海上 ASV への高速音響通信方法の検討を実施する。
また、航行型 AUV のドッキング手法のシミュレーション等による検討を行う。
同時に、簡易的に運用可能で廉価な AUV の設計・試作を実施する。(TRL4)
- 2024 年度までに高速光通信技術の改良・システム開発、深海ターミナルの改良(高速音響通信装置搭載等含む)、「ほぼりん」のドッキング及び通信装置改良、「江戸っ子 1 号」への光通信装置の搭載を実施する。
航行型 AUV のドッキングターミナル試作を実施する。
簡易的に運用可能で廉価な AUV の試作を行い、屋内水槽等での試験を実施する。(TRL5)
- 2025 年度までに海洋環境広域モニタリングシステム全般の改良、100m 以浅において実証試験を実施する。
航行型 AUV のドッキングターミナルの改良・水槽試験を実施する。
簡易的に運用可能で廉価な AUV の実海域での全体システム検証を行う。(TRL6)
- 2026 年度までに 1,000m 以深において海洋環境広域モニタリングシステムを実証し、技術課題を抽出・改良する。
航行型 AUV のドッキングターミナルを改良し、100m 以浅の実海域試験を実施する。
簡易的に運用可能で廉価な AUV の民間活用を踏まえた改良を行う。(TRL6)
- 2027 年度までに海洋環境広域モニタリングシステムの社会実装試験を実施する。
前年に引き続き、簡易的に運用可能で廉価な AUV の民間活用を踏まえた改良を行う。(TRL7)

② 実施内容

本研究開発では前述のように、複数 AUV 協調群制御技術及び AUV 等を用いた海洋環境広域モニタリングシステムの 2 つの技術を中心とした研究開発を実施する。

具体的には、AUV をコントロールするための複数の AUV 相互通信による最適な調査行動を実現する協調群制御技術を開発し、地盤調査用の小型センサーを搭載した 3 機の AUV と水中で曳航する音源による地質調査技術を実証する。今次の対応は 3 機の AUV による調査技術であるが、このような AUV 間の間隔が制御された複数 AUV のよる実証試験を成功させる事で、より多くの AUV を活用した短期間で広範囲な地質調査が可能となる技術が確立できる。

また、AUV への海中での電源の長期供給運用を目指して、システム汎用化を目的としたホバリング型 AUV のドッキングが可能となる深海ターミナルを開発し、実用化を目指す。

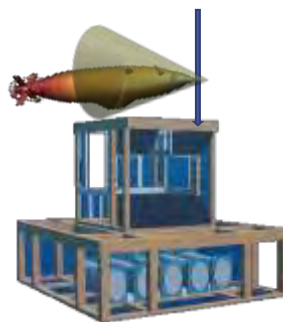
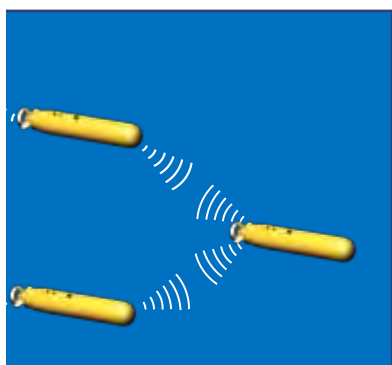
加えて、定点環境影響評価システム「江戸っ子 1 号」に、海洋での位置基準の発信的役割を担う音響灯台としての役割を持たせ、ホバリング型 AUV が江戸っ子 1 号に集められた大量の海洋

環境データを光通信等により収集しながら海洋環境調査が実現できるシステムを構築する。この技術により、複数機の AUV が精度の高い海底設置型座標に基づいた海洋環境調査航行を行うことが可能となる。海洋環境データはホバリング型 AUV により深海ターミナルに集約され、深海ターミナルからは、開発する高速音響通信装置により、海面上の ASV 等の基地局(データ経由点、または拠点)にデータ転送を可能とする海洋環境広域モニタリングシステムを完成させる。

さらに、社会実装のために開発する AUV は、高価な慣性航法装置の搭載ではなく、安価な MEMS(Micro Electrical Mechanical System)系ジャイロを活用するなど、水深 100m 以深での対応が可能なシステムに簡素化させ、少人数で可搬できる簡易的に運用可能で商品化可能な価格帯、さらに量産化を念頭においた仕様の AUV を開発する。

研究開発要素と AUV 協調群制御及び深海ターミナルのイメージを次に示す。

- 複数 AUV 間での音響通信技術(AUV 間水平方向通信)
- 効率的なミッション遂行のための群制御アルゴリズムの開発
- ホバリング型、航行型 AUV への長期電源供給のための深海ターミナル技術の開発
- 深海ターミナルからの効率的データ転送のための光通信技術、音響データ転送技術開発
- 社会実装を容易にする簡易的に運用可能で商品化可能な AUV の開発



図表 III-4. (左)複数 AUV 協調群制御及び(右)深海ターミナルへの AUV ドッキングのイメージ