

戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)
海洋安全保障プラットフォームの構築
社会実装に向けた戦略及び研究開発計画

令和7年6月26日

内閣府

科学技術・イノベーション推進事務局

目次

I.	Society5.0 における将来像	1
II.	社会実装に向けた戦略	1
1.	ミッションと SIP での取組	1
(1)	ミッション	1
(2)	SIP におけるサブ課題の構成	3
(3)	ミッション達成に向けた取組	4
2.	現状と問題点	6
(1)	ミッション達成に向けた現状及び問題点の整理	6
3.	ミッション到達に向けた5つの視点での取組とシナリオ	8
(1)	5つの視点での取組	8
(2)	ミッション到達に向けたシナリオ	11
4.	SIP での取組(サブ課題)	12
(1)	背景(グローバルベンチマーク等)	15
(2)	社会実装に向けた SIP 期間中の達成目標	15
(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	17
(4)	SIP 後の事業戦略(エグジット戦略)	18
5.	5つの視点でのロードマップと成熟度レベル	20
(1)	ロードマップ	20
(2)	本課題における成熟度レベルの整理	21
6.	対外的発信・国際的発信と連携	24
III.	研究開発計画	25
1.	研究開発に係る全体構成	25
2.	研究開発に係る実施方針	26
(1)	基本方針	26
(2)	知財戦略	26
(3)	データ戦略	27
(4)	国際標準戦略	27
(5)	ルール形成	28
(6)	知財戦略等に係る実施体制	28
3.	個別の研究開発テーマ	30
(1)	レアアース生産技術の開発	30
(2)	海洋環境影響評価システムの開発	34

(3)	海洋ロボティクス調査技術開発(海洋環境広域モニタリングシステムの構築)	38
(4)	海洋玄武岩層を活用した大規模 CO ₂ 貯留・固定化技術に関する基礎調査研究	45
IV.	課題マネジメント・協力連携体制	49
1.	実施体制と役割分担(2025.06.16 時点)	49
(1)	内閣府	50
(2)	研究推進法人・PM (担当・履歴を含む)	52
2.	府省連携	52
3.	産学官連携、スタートアップ	52
(1)	マッチングファンドに係る方針と内容	52
(2)	スタートアップ企業との連携	53
4.	研究開発テーマ間連携	53
5.	SIP 課題間連携	53
6.	データ連携	53
7.	業務の効率的な運用	53
V.	評価に係る事項	54
1.	評価の実施方針	54
(1)	評価主体	54
(2)	実施時期	54
(3)	評価項目・評価基準	54
(4)	評価結果の反映方法	56
(5)	結果の公開	56
(6)	課題評価に向けた自己点検及びピアレビュー	56
(7)	自己点検・ピアレビュー及び評価の効率化	57
VI.	その他の重要事項	58
1.	根拠法令等	58
別添	SIP の要件と対応関係	58

I. Society5.0における将来像

我が国は、四方を海に囲まれ、排他的経済水域 (EEZ) を含めると世界第 6 位の海域を有する海洋国家であり、その恩恵を活かし享受すべき立場にある。国土面積の約 12 倍もの海域を活用し管理することは、我が国の文化や経済を深化発展に寄与する一方で、海洋資源の開発と海洋環境の保全是、持続可能な海洋の利活用として極めて重要な課題となっている。

水産資源を含め、様々な海洋資源がある中で、新たな視点として我が国の EEZ に賦存する海洋鉱物資源が開発できる事になれば、経済安全保障の観点で問題視されている特定国に依存しない新たな必須・重要鉱物資源のサプライチェーンとしての役割を担う事ができ資源ナショナリズムが台頭する昨今、とりわけ鉱物資源に乏しいと言われる我が国にとっては大きなメリットとなりうる。また、海底下の空間を有効利用するという点では大規模な海底 CO₂ 貯留・固定化についての基礎研究を行うことで、2050 年カーボンニュートラルを目指す我が国の CCS 技術の普及促進にも大いに役立つ事になる。

加えて、今後の海洋開発と保全において重要な役割を果たす海中ロボット AUV 等による海洋ロボティクス(海のドローン)を活かし例えば海洋環境広域モニタリング¹やそこから得られる海洋観測データにアクセスし利活用するための技術は、持続可能な海洋開発と環境保全の両立の視点で、世界をリードする先導的な技術としての役割を果たすことにつながり、その先には我が国の新たな海洋産業の創出・育成・発展にも貢献が期待できるものとなる。

II. 社会実装に向けた戦略

1. ミッションと SIP での取組

(1) ミッション

Society5.0 のデジタル社会、脱炭素社会を目指すため地球環境に優しい SDGs を実現するため不可欠となる鉱物資源の海洋での開発と環境保全との調和を図る取組を推進する必要がある。

開発と保全を両輪とする海洋産業の創出と育成は、引いては我が国の広大な海洋の安全保障にもつながり、世界の海洋鉱物資源開発における新たな開発モデルとしての我が国の国際的なプレゼンスの向上にもつながる。

そして、これらを実現するためには、以下に示す 3 つのミッションを本課題において達成する必要があると考える。

① ミッション1: 国産レアアース・サプライチェーン検討

産業に不可欠とされるレアアースの我が国における安定供給に貢献するため、最終年度までには、南鳥島海域でのレアアース泥の探査、採鉱、分級、分離・精製・製錬の実証試験

¹・環境モニタリング: 環境条件、生物群集、生態系などを包括した環境情報の把握を目的とした活動。データ収集に使用する方法(江戸っ子 1 号、AUV、ROV、船舶など)には拘らない。

・広域モニタリング: 移動に優れた自律型探査機(AUV や ASV など)と長時間観察に優れた観測装置「江戸っ子 1 号」の機能を組み合わせて空間変動と時間変動を並行して観測する活動。広義には、調査船や人工衛星などによる広域モニタリングも含む。

・海洋環境広域モニタリング: 環境モニタリング及び広域モニタリングの双方を含む活動。

を完了させることで、海洋環境と共存した新たなレアアース・サプライチェーン構築へ向けた取り組みを加速する。

具体的には、2023年4月に施行された鉱業法に基づき、レアアース鉱区設定に必要とされる候補海域における様々な鉱物資源の基盤情報及びコア資料の取得と保管管理を図り、更に民間開発企業の参入に必要となる効率的・効果的な採鉱・分離・精製技術の開発を進めるとともに製錬に関しては既存企業・組織との連携のもと、必要なノウハウを整備管理し、我が国のレアアース・サプライチェーンの産業化に貢献する基盤構築を図る。

② ミッション2: 海洋鉱物資源・海洋環境広域モニタリングシステム構築

これまで海洋や深海での環境モニタリングの技術開発とその実践におけるノウハウの蓄積は学術の分野で進んできた。しかしそれも必ずしも十分でなく、例えば、海洋においては、アルゴフロートなどにみられる様に漂流ブイを使った観測に留り、長期的な定点での環境モニタリング網に至ってはその実証例も少ない。また、観測地点においても学術目的に沿った場所以外ないのが現状であり、我が国の広範なEZZを把握するには未だ不十分とは言わざるを得ない現状にある。

本プログラムでは深海を含め海洋の環境や漁場、更に生態系を含む海洋環境情報について、海洋ロボティクスの新たな技術を用い、深海での定点観測網と移動式観測を統合的に把握する海洋環境広域モニタリングシステムを世界に先駆けて構築し、これを実証することで、海洋環境の保全や地球温暖化の観測に必要な海洋情報を高効率に取得し、地球規模の問題である海洋の環境変動をより正確に観測・把握でき「海洋の見える化」に貢献する。

最終年度までに、海洋ロボティクスとして、定点観測の為に「江戸っ子1号」と移動式観測の為にAUVさらに深海ターミナルなどを音響通信網で結ぶことでのIoT化を図ることでレアアース泥採鉱試験などの海洋鉱物資源開発への適用や「ポスト2020生物多様性枠組」に謳われる30by30目標達成とそれに伴う海洋保護区や生物多様性保存に資する海域の拡張とその監視などにおいて海洋ロボティクスによる監視・観測機能の有用性を実証するとともに、そのほかにも海洋監視と観測に向け開発技術の社会実装化までの道筋をつける。

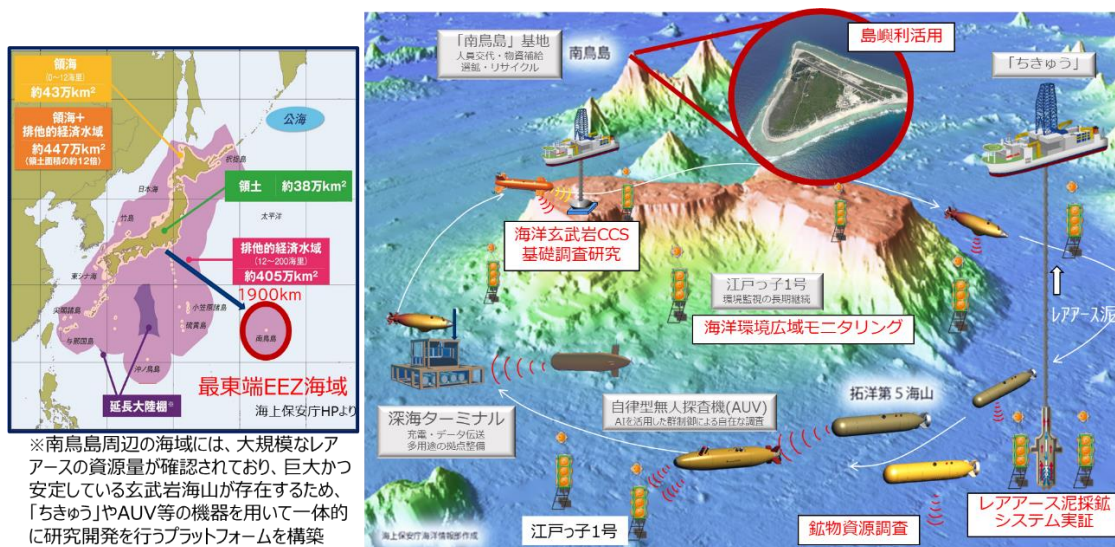
最終年度以降には、このような海洋環境広域モニタリングシステムによる海洋資源探査と海洋環境調査事業を海洋産業として発展させることを目指す。

③ ミッション3: 海洋玄武岩 CCS 基礎調査研究

政府が掲げる2050年カーボンニュートラル実現に貢献することを目的として、新たに、海底下空間利用の一環として海洋玄武岩CCSに係るCO₂玄武岩貯留に関する基礎調査研究を進める。

具体的には、最終年度までに南鳥島EEZに位置する拓洋第5海山の地質構造に関する基礎調査研究を完了するとともに、海洋玄武岩への大規模CO₂貯留・固定化に係る要素技術を確立する。最終年度には、海上CO₂輸送・洋上圧入等を含む各種シミュレーション結果

に基づく概念設計を示し、我が国における CCS 事業の普及促進に貢献する。



図表 II-1. 海洋安全保障プラットフォームの構築の全体像

(2) SIP におけるサブ課題の構成

前述のミッションを達成するため、本研究課題では以下に示すサブ課題を設け、各サブ課題では複数の研究開発テーマを設定する構成を図表 II-2 に示す。

尚、各サブ課題の詳細については後述する。

① 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: レアアース分離・精製技術の開発
- 研究開発テーマ4: 生産システムの検討

② サブ課題 B: 海洋環境影響評価システムの開発

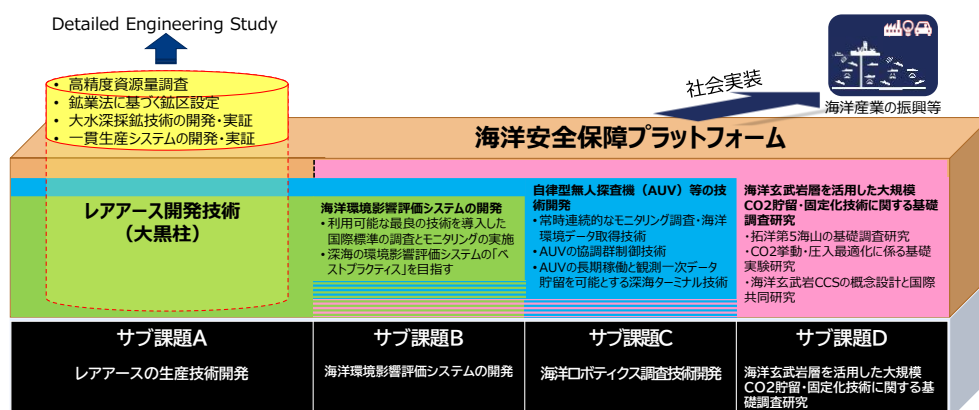
- 研究開発テーマ1: 海洋環境影響評価の手法改良
- 研究開発テーマ2: データ利活用スキームの構築
- 研究開発テーマ3: 産業化モデルと国際展開

③ 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: 海洋環境広域モニタリングに資する複数 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に資する深海ターミナル技術の開発
- 研究開発テーマ3: 社会実装の検討

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
(略称で示す場合は「海洋玄武岩 CCS 基礎調査研究」と表記)

- 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 II-2. 本研究課題におけるサブ課題の構成

(3) ミッション達成に向けた取組

① ミッション1: 国産レアアース・サプライチェーンの確立

- SIP での取組【サブ課題 A: レアアース生産技術開発】
 - ◇ 鉱業法に基づく鉱区の設定に資する調査と得られたデータの分析と解析
 - ◇ 深海レアアース開発産業創出のための技術の確立
 - ◇ 民間企業の産業化検討に資する技術データ・指標の提供
- 他機関との取組
 - ◇ 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(経産省・国交省・環境省)
 - ◇ 関連海洋産業の活性化、人材確保、人材育成の在り方検討(経産省・国交省・環境省・文科省・産業界)

② ミッション2: 海洋鉱物資源・海洋環境広域モニタリングシステム構築

- SIP での取組
 - 【サブ課題 B: 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】
 - ◇ 海洋環境モニタリング関連技術の実践と社会実装試験

- ◇ 複数 AUV 調査技術の開発と社会実装試験
- ◇ AUV と「江戸っ子 1 号」を利用する海洋環境広域モニタリングシステムの開発と社会実装試験
- 他機関との取組
 - ◇ 海洋環境広域モニタリングシステムの活用
(文科省・防衛省・農水省・経産省・国交省・環境省・産業界)
 - ◇ 海洋ロボティクス技術開発(国立研究開発法人等・JAMSTEC)
 - ◇ 海洋環境モニタリング(国立研究開発法人等・JAMSTEC)
 - ◇ 観測船への活用(文科省・JAMSTEC)
 - ◇ 海洋環境関連の法令・ガイドライン等の整備(環境省・経産省・国交省)
 - ◇ 人材の確保、人材育成の在り方検討、海洋調査の事業展開促進
(経産省・国交省・環境省・文科省・産業界)

③ ミッション3:海洋玄武岩 CCS 基礎調査研究

- SIP での取組【サブ課題 D:海洋玄武岩 CCS 基礎調査研究】
 - ◇ 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
 - ◇ 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
 - ◇ 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
- 他機関との取組
 - ◇ 沿岸堆積盆 CCS(経産省・環境省)
 - ◇ 拓洋第 5 海山における地質調査の実施に係る検討(経産省・JOGMEC)
 - ◇ 人材の確保、人材育成の在り方検討(経産省・国交省・環境省・文科省・産業界)

2. 現状と問題点

SIP 第 2 期海洋課題「革新的深海資源調査技術」(以下、「SIP 第 2 期」という。)では、レアアースの大規模賦存が有望視された南鳥島海域のレアアース概略資源量評価に必要となる調査を行った。

また、採鉱機器、揚泥管 3,000m 等の機器類を設計、製作を完了し、茨城沖の水深 2,470m からの採鉱・解泥・揚泥試験に成功し、約 70 トン/日の揚泥実績を達成した。

更に、海洋鉱物資源開発や海洋環境広域モニタリング、海洋玄武岩 CCS への各種取組が、関係府省を中心に進められてきた。

(1) ミッション達成に向けた現状及び問題点の整理

以下に、ミッション達成に向けた主要な現状と問題点を示す。

① ミッション1: 国産レアアース・サプライチェーン検討

- 鉱業法に基づく鉱区設定に必要とされる地質情報の取得調査やレアアースが賦存する水深 6,000m 海域での採鉱・揚泥技術の実証試験が完了できていないため、完了に向けての追加調査や実証試験の実施が求められる。【技術開発】
- レアアース泥の採鉱から分離・精製・製錬、製品化に向けての効率化・低コスト化を目指した更なる技術開発が求められる。【技術開発】【事業】
- 社会実装に向けた更なるユースケースの発掘と研究開発が求められる。【事業】
- 海洋レアアースの開発に関する国内の法制度は、鉱業法の改正で整備されつつある。【制度】
- 国内における海洋・資源開発産業分野の人材が減少している。【人材】

② ミッション2: 海洋資源・海洋環境広域モニタリングシステム構築

- レアアース生産システム確立、海洋玄武岩 CCS の基礎調査のため、環境影響評価技術、環境モニタリング及び海洋ロボティクス調査技術の更なる実用化と海洋環境広域モニタリングのシステム開発が求められる。【技術開発】
- これら技術の社会実装に向けた事業展開が求められる。【事業】
- 国内の海洋調査事業に従事する人材が少ない。海洋産業の技術レベルを上げるため、民間企業、大学と連携し海洋での環境モニタリングと影響評価に従事できる人材の育成、技術研修(リスクリングなど)の実施、及び専門家育成に役立つ事例とノウハウについての情報共有などを継続する。【人材】

③ ミッション3: 海洋玄武岩 CCS 基礎調査研究

- 南鳥島 EEZ における拓洋第 5 海山の山体内部の地質構造の物理化学的・水理学的・地化学的特性が不明であり、海洋玄武岩への大規模 CCS を想定した基礎調査研究が求められる。【技術開発】
- 海洋玄武岩 CCS における CO₂ 貯留・固定化ポテンシャルを評価するため、CO₂ 挙動・圧入最

適化に関する要素技術を開発する。【技術開発】

- 各種シミュレーションに基づき、CO₂ 輸送・洋上圧入等を含む海洋玄武岩への大規模 CCS システム全体の概念設計を示す必要がある。【技術開発】
- 海洋玄武岩 CCS を含む海域における大規模 CCS に関わる人材を育成する必要がある。【人材】

サブ課題毎に現状と問題点を 5 つの視点(「技術開発」「事業」「制度」「社会的受容性」「人材」)から整理した結果を次図表 II-3 に示す。

	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
技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・SIP 第 2 期において茨城沖の 2,470m の海域での解泥・揚泥試験に成功した。 ・鉱業法に基づく鉱区が設定されていない。 ・6,000m 海域での技術実証が完了していない。 ・一貫したレアアース生産システムが確立されていない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・民間が運用できる深海調査観測の技術は限定されている。 ・最良の手法による生物多様性の調査と海洋環境モニタリングのシステム化が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・調査技術の高度化(複数 AUV 協調群制御技術、広域モニタリングシステム)によるセンシング・モニタリングの効率化が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・海洋玄武岩から構成される平頂海山の山体内地質構造が解明されていない。 ・海洋玄武岩への大規模 CO₂ 貯留・固定化に係る要素技術の確立が必要である。
事業	<ul style="list-style-type: none"> ・レアアース生産のための個々のプロセスはもとよりシステム全体のコスト削減が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・海洋での調査観測事業は小規模である。 ・将来の開発事業に向けて、レアアース生産などにも対応する海洋環境マネジメントによる産業化モデルが必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・新たな観測手法、広域モニタリングシステムの社会実装、実用化に向けた取組が必要である。 ・高度化した調査技術及び小型安価な AUV の民間活用が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・海洋玄武岩 CCS における CO₂ 輸送・洋上圧入等を含む概念設計が必要である。
制度	<ul style="list-style-type: none"> ・海洋レアアース泥の開発に関する国内の法制度は、鉱業法の改正で整備されつつある。 ・環境影響評価の考え方の整理について関係省庁や連携機関等と連携して進める必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・環境影響評価の国内法では海洋資源開発への対応が検討中である。 ・国連海洋法のもと BBNJ 会合にて環境影響評価の国際基準が審議されている。 ・制度設計や政策提言に役立つ情報の発信をする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・国内外の規格の統一化・機器汎用化に向けた方向性の検討が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・日本における CCS 法整備が漸く着手された。
社会的受容性	<ul style="list-style-type: none"> ・国内外の社会的認知度、理解度が十分であるとはいえない。 ・国際会議等での発信、セミナー開催等を積極的に行い社会的理解の促進が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・環境影響評価では、法制度と社会的慣行への対応が必要である。 ・環境に配慮した持続的開発を可能にする環境マネジメントと影響緩和の技術について情報発信をし、国際的な理解を促進する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・(AUV 等の市場受容性の観点)メーカー、ユーザーとの合意形成が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・南鳥島周辺海域での大規模 CCS では、関係省庁との合意形成が不可欠である。
人材	<ul style="list-style-type: none"> ・国内海洋産業に従事する人材が不足している。 	<ul style="list-style-type: none"> ・国内の海洋調査事業は規模が小さく、従事する人材も少ない。 ・海洋の環境影響評価の専門家育成に必要な実例とノウハウなどの普及活動を継続する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・国内海洋産業に従事する人材が不足している。 	<ul style="list-style-type: none"> ・国内 CCS 事業に従事する人材が不足している。

図表 II-3. 5 つの視点での現状と問題点

3. ミッション到達に向けた5つの視点での取組とシナリオ

図表 II-3 に整理した現状と問題点を解決するための取組として、本課題における取組及び関係省庁等との取組を以下に記し、図表 II-44 に5つの視点での取組を整理した。

参考として、図表 II-55 にサブ課題毎の5つの視点の取組を整理した。

(1) 5つの視点での取組

① サブ課題 A:レアアース生産技術開発

1) 技術開発

取組 A-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

取組 A-2: レアアース泥採鉱システムの改良

取組 A-3: レアアース分離・精製技術の開発

取組 A-4: レアアース生産システムの検討

2) 事業

取組 A-6: レアアース生産システムの効率化(コスト削減等)

3) 制度

取組 A-9: 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、データ分析、データベース整備

4) 社会的受容性

取組 A-11: 国際会議、セミナー等での情報発信

5) 人材

取組 A-12: 研修等を通じた人材育成(若手研究者・技術者の育成)

② サブ課題 B: 海洋環境影響評価システムの開発

1) 技術開発

取組 B-1: 海洋環境影響評価の手法改良

取組 B-2: データ利活用スキームの構築

取組 B-3: 産業化モデルと国際展開

2) 事業

取組 B-5: 海洋環境マネジメントの民間への普及

3) 制度

取組 B-7: 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収集と整理を行い、制度設計に資する

4) 社会的受容性

取組 B-9: 国内外での情報発信により、持続的な海洋開発での海洋環境マネジメントの必要性和有用性の理解を促進する

5) 人材

取組 B-10: 国内の海洋調査関連の事業規模が小さく、海洋観測や調査に従事できる人材も少ないので、技術レベルの向上と維持のための技術研修及び実例とノウハウを普及させ、若手研究者及び専門家の育成、また島嶼国関係者を対象にした人材育成の活動を継続する

③ サブ課題 C: 海洋ロボティクス調査技術開発

1) 技術開発

取組 C-1: 複数 AUV の協調群制御技術の開発

取組 C-2: 海洋環境広域モニタリングシステムの開発

取組 C-3: 新たな海洋環境の観測手法・海洋環境広域モニタリングシステムの社会実装試験

2) 事業

取組 C-5: 小型安価 AUV・「江戸っ子 1 号」などの簡易的に運用可能なシステムの普及に向けた取組

(小型安価 AUV 生産・運用システム、民間技術移転等)

3) 制度

4) 社会的受容性

取組 C-8: AUV・「江戸っ子 1 号」等のメーカー、ユーザーとの合意形成
(AUV・「江戸っ子 1 号」等の市場形成)

5) 人材

取組 C-9: プロジェクト等を通じた人材育成(若手研究者・技術者の育成・水中ロボットコンテストおよび関連学協会等に対する支援)

④ サブ課題D:海洋玄武岩 CCS 基礎調査研究

1) 技術開発

取組 D-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

(JOGMEC・JAMSTEC と連携)

取組 D-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

(国立研究開発法人及び大学等と連携)

2) 事業

取組 D-4: 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

3) 制度

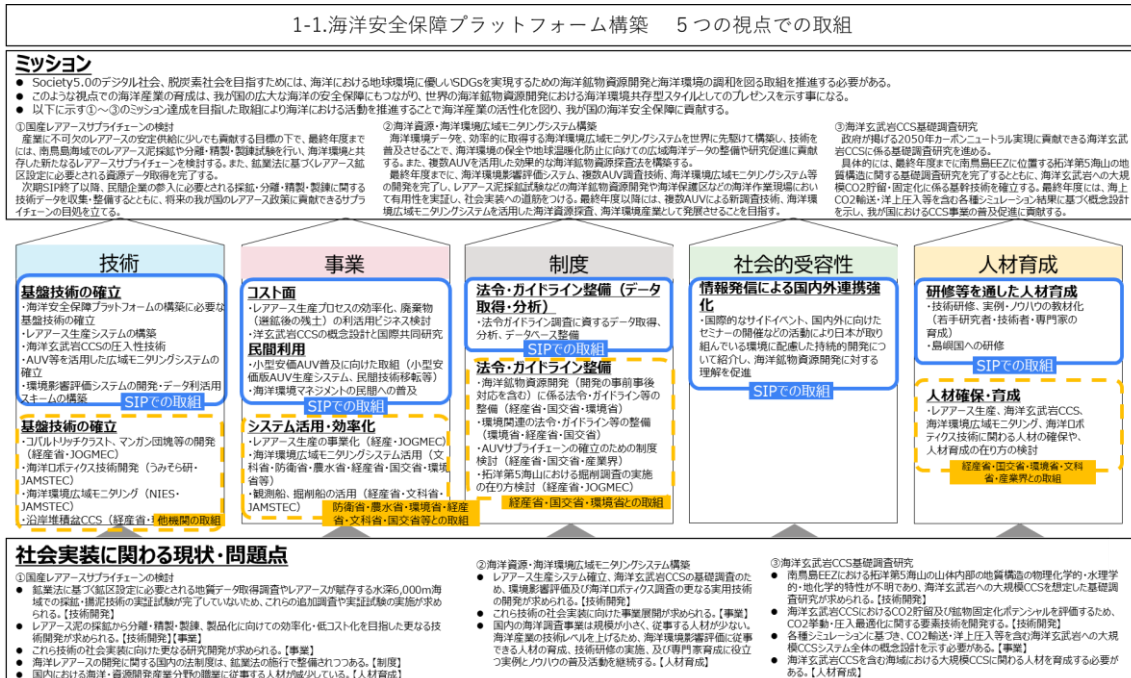
取組 D-5: 法令・ガイドライン整備に資する各種海洋環境データの取得、データ分析、データベース整備

4) 社会的受容性

取組 D-7: 国内外での海洋玄武岩 CCS の情報発信

5) 人材

取組 D-8: 研修等を通じた人材育成(若手研究者の育成)



図表 II-4. 5つの視点での取組

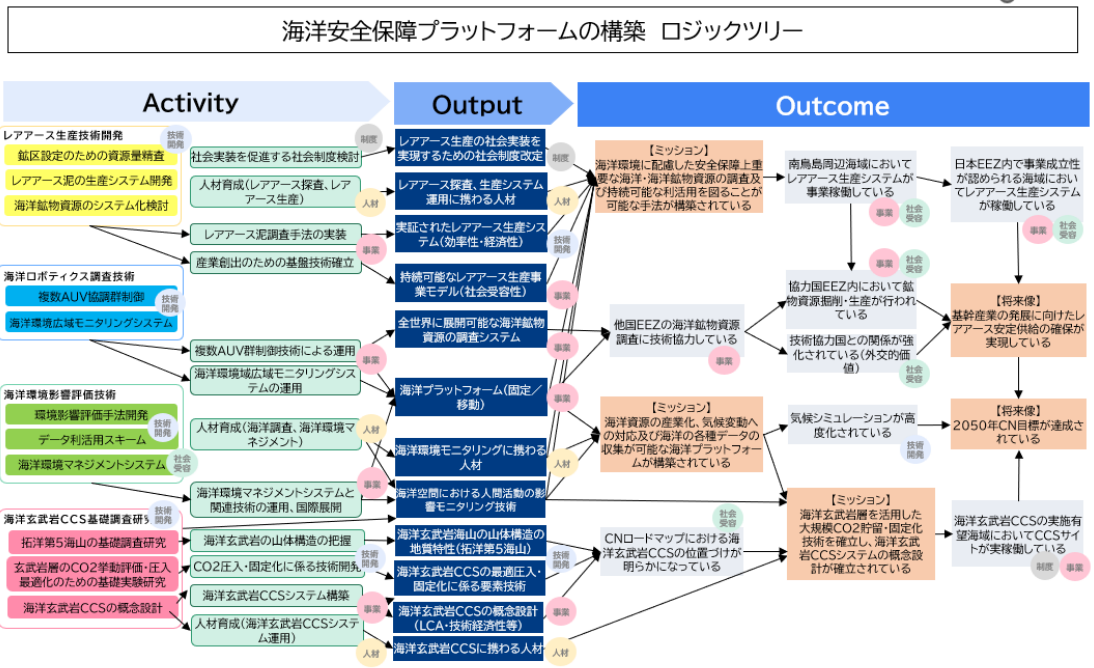
1-5.海洋安全保障プラットフォーム構築 5つの視点での取組

	主にSIP第3期で推進する取組	他機関との連携により推進する取組
	レアアース生産技術開発	海洋環境影響評価システムの開発
	必要	手段
	必要	必要
	海洋ロボティクス調査技術	海洋玄武岩CCS基礎調査研究
技術開発	有望エリア資源量把握 採鉱システムの改良 分離・精製技術の開発 生産システムの開発 海洋鉱物資源開発、鉱区設定 経産省・JOGMEC	環境影響評価の手法改良 データ利活用スキームの構築 産業化モデルと国際展開 海洋環境モニタリング 環境省・経産省・JAMSTEC
事業	生産システムの効率化 廃棄物(選鉱後の残土)の利活用ビジネス検討 レアアース生産の事業化 経産省・JOGMEC	海洋環境マネジメントの民間への普及 観測船の活用 文科省・JAMSTEC
制度	法令ガイドライン調査に資するデータ取得、分析、DB整備 海洋鉱物資源開発に関する法令・ガイドライン等の整備 経産省・国交省・環境省	法制度やガイドラインに関わる情報収集と整理 環境関連の法令・ガイドライン等の整備 環境省・経産省・国交省
社会的受容性	国際会議、セミナー等での情報発信	国内外での情報発信による環境マネジメントの必要性和有用性の理解促進
人材	研修等を通じた人材育成(若手研究者・技術者の育成) 関連産業活性化、人材確保、人材育成の在り方検討 経産省・国交省・環境省・文科省・産業界	技術研修、実例・ノウハウの教材化(若手研究者・専門家育成) 島嶼国を対象にした人材開発活動 人材の確保、人材育成の在り方検討、海洋調査の職業観醸成 経産省・国交省・環境省・文科省・産業界
	海洋ロボティクス調査技術	海洋玄武岩CCS基礎調査研究
技術開発	複数AUV協調制御技術の開発 海洋環境広域モニタリングシステムの開発 新たな観測手法・海洋環境広域モニタリングシステムの社会実装試験 海洋ロボティクス技術開発 経産省・JAMSTEC	拓洋第5海山の基礎調査研究 経産省・JOGMEC/JAMSTEC 海洋玄武岩CCS基礎実験研究 国研等・大学 沿岸地積炭CCS 経産省・環境省
事業	小型安価AUV等に向けた取組(小型安価AUV生産システム、民間技術移転等) 海洋環境広域モニタリングシステム活用 AUVサブプライチエーンの確立のための制度検討 経産省・国交省・産業界	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
制度	メーカ、ユーザーとの合意形成(AUV等の市場受容性の観点)	法制度やガイドラインに関わる情報収集と整理 拓洋第5海山における地質調査の実施の在り方検討 経産省・JOGMEC
社会的受容性	民間事業者との共同開発によるAUV開発対応人材育成 人材の確保、人材育成の在り方検討 産業界	国内外での情報発信
人材	人材の確保、人材育成の在り方検討 経産省・国交省・環境省・文科省・産業界	研修等を通じた人材育成(若手研究者の育成) 人材の確保、人材育成の在り方検討 国交省・産業界

図表 II-5. SIPでの取組の位置づけ

(2) ミッション到達に向けたシナリオ

ミッション達成に向けたシナリオを図表 II-6 に示す。



図表 II-6. 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)

SIP 第 1 期海洋課題「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となるブレークスルー技術の開発が必要となる。

SIP 第 2 期では、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、SIP 第 1 期で開発された要素技術を整理し、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の検討を進め、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 期では、自律型無人探査機(以下、「AUV」という)の異機種で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に着手し成果を得た。

SIP 第 2 期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、世界初の延べ 2 年間の長期にわたる 6,000m 深海での深海環境の連続ベースライン調査観測に成功し、画像を含む水深 6,000m 環境と生物多様性に関する海洋環境データを収集し、公表前のモラトリアム期間を終え、公表に向けての準備を行っている。

他方、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、海底面ととも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、世界有数の海洋立国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、新しい視点での分離・精製・製錬プロセスの研究・実証を行う事と共に既存の製錬企業との連携を模索し、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と経験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。併せて、研究及び技術開発に際しては、研究セキュリティ及びインテグリティに十分配慮する。

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、海洋保護区及び生物多様性保全に資する地域(OECM)の設定と管理、水産業、海洋由来の自然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の実用化と普及促進を図る。

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、AUV や「江戸っ子 1 号」などの調査機器を利用する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戦略的な公開、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、海洋環境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・固定化に伴う環境影響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 AUV 協調群制御による海底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、小型安価 AUV 開発等を進め、海洋資源・環境変動を効率的に観測・監視するための定点及び移動式統合海洋環境広域モニタリングシステムの展開を目指す。

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の構築や、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。併せて、技術開発に際しては、技術内容に関するセキュリティ及びインテグリティに十分配慮する。

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、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・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海洋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)
- 世界初のレアアース資源探査を始めとする海洋鉱物資源探査技術に焦点を当てて、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 つの視点に対する成熟度レベル(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
- 南鳥島 EEZ 内の既存コアデータの統合
- レアアース泥調査手法の詳細検討、精査
- レアアース泥調査手法の実証
- 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

2) 採鉱

- 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
- 産業化に向けた採鉱技術の改良

3) 分離・精製

- 分離・精製手法開発
- 産業化へ向けた分離・精製技術の開発

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】
- レアアースの採鉱・分級・分離・精製・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】
- 廃棄物の利活用ビジネス検討
- 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】
- 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(海洋環境広域モニタリングシステムの構築)

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
- 海中・海底観測の高効率化を目指した航行型 AUV2 機の協調群制御試験

- 複数 AUV 協調群制御による協調群制御実海域試験、技術課題抽出/改良、データ解析手法の開発、及び社会実装に向けた試験の実施
 - 小型安価 AUV 開発
- 2) 深海ターミナル技術の開発
- 定点・移動式統合的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」)
 - 海洋環境広域モニタリングシステムの実証試験
 - AUV ドッキング試験及びターミナル機能実証
- 3) 社会実装の検討
- 小型安価 AUV 普及・運用に向けた取組
 - AUV サプライチェーンの確立のための制度検討
 - 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)
- 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
 - 地質形成モデルの構築、2 次元弾性波探査データ解析
- 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 挙動に係る評価
 - 岩石試料を用いた室内実験等による海洋玄武岩 CCS 圧入最適化の技術開発
 - 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
- 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
 - 国際プロジェクト等への参加・共同研究
 - 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
 - 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)
- (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、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、分離・精製・製錬技術、検証データ・指標の提供

(民間との連携)

- 分離・精製・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
 - 海洋環境モニタリングへの貢献
 - 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推進事務局で検討中の「官民プラットフォーム」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

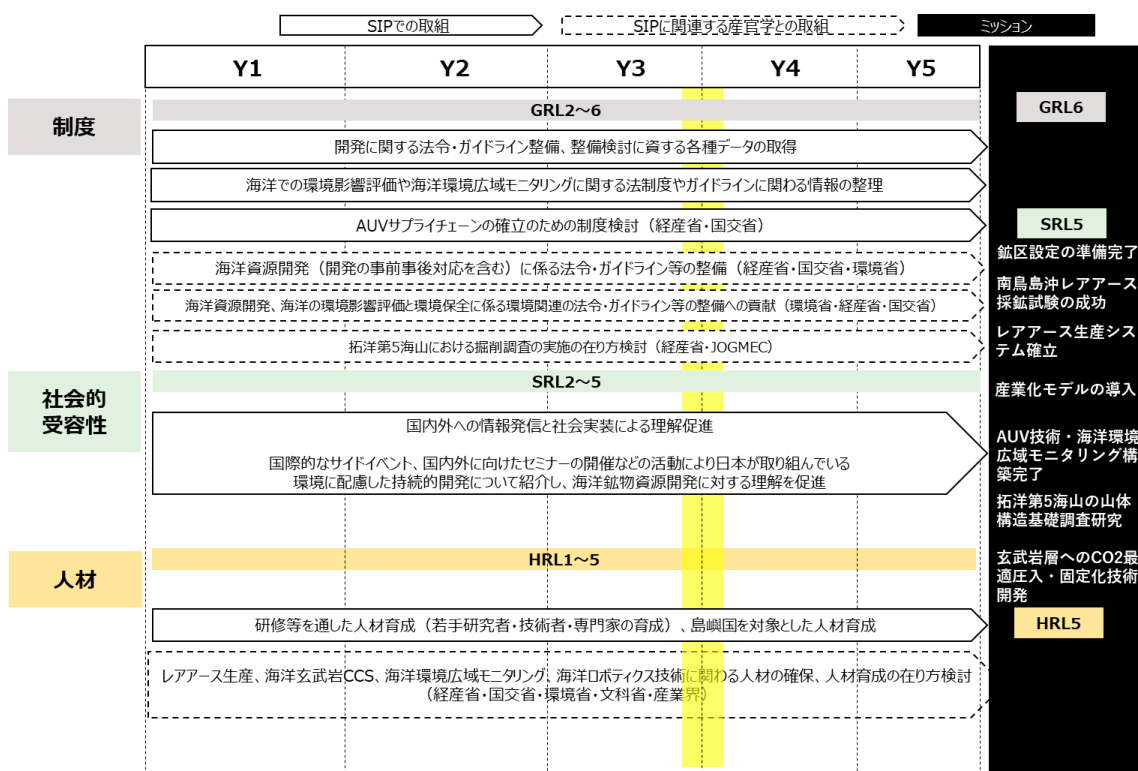
- 海洋玄武岩層内の CO₂ 挙動並びに圧入最適化に資する情報の提供
- CO₂ 固定評価に基づく技術ガイドラインの策定
- 民間企業が海洋玄武岩への大規模 CO₂ の貯留を検討するための技術成果等の提供

(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



図表 II-7. 5つの視点でのロードマップ(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。

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 (のり主対象)	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-8. 本課題における TRL 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(SM 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-9. 本課題における BRL 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(SM 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-30. 本課題における GRL 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(SIP 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-4. 本課題における SRL 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(SIP 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。

図表 II-5. 本課題における HRL の定義

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。併せて、国際連携に関しては研究セキュリティ及びインテグリティを考慮した体制と対応を図る。
- AUV の通信、制御、インターフェース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 国際規格などを組み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オープン＆クローズ戦略に基づき戦略的に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するとともに、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・分離・精製・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海洋環境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ともに、AUV や「江戸っ子 1 号」を利用した海洋環境広域モニタリングや 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オープン・クローズ戦略に基づく情報発信、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に向けた基礎データ収集(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: レアアース分離・精製技術の開発

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(海洋環境広域モニタリングシステムの構築)

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: 深海ターミナル技術の開発

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、分離・精製・製錬技術の全てについて原則クローズドとする。併せて、研究セキュリティ及びインテグリティに関して十分尊重する。

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、サンプル類は適切なモラトリアムを設ける条件で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戦略的公開を図ることとする。

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、戦略的にオープンとする部分は特許化し、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、小型安価 AUV による簡易的な調査手法技術を中心とする運用ノウハウを蓄積し、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、ノウハウ移転を戦略的に行う。

特許を最優先しながら、論文を出すことを想定しているが、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とともに、クローズとした研究成果に関しては開発者の自己評価に関してこれを支援する。

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、地質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

- オープン・クローズ戦略に基づき、オープンにされたデータについては課題目標達成に資する活用を図る。
- 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。
- 国際海洋生物多様性情報システム (OBIS) や「海しる」といった国内外の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。
- 国際海底機構 (ISA) 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、オープン・クローズ戦略に基づき必要とされる科学的根拠や必要な情報を提供する。

(6) 知財戦略等に係る実施体制

① 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。

② 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。

③ 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。

④ 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。

⑤ 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。

⑥ 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。

⑦ 終了時の知財権取扱い

- 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。

⑧ 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、分離・精製・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・分離・精製・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、分級・分離・精製・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検討・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。

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	鉱区設定に資する資源量の三次元マッピング手法の確立。
	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	水深 6,000m から 350t/日の採鉱効率の達成。
	分級・分離・精製・製錬プロセスの確立	「分離・精製する(分離・精製)」: 分離・精製技術の開発	産業化に向けた生産システムの分離・精製技術実証試験の成功。
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(分級後の残土)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。

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

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

追加コア採取・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、鉱区設定に資する三次元マッピングの完成。

- 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ともに、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) 分離・精製技術の開発

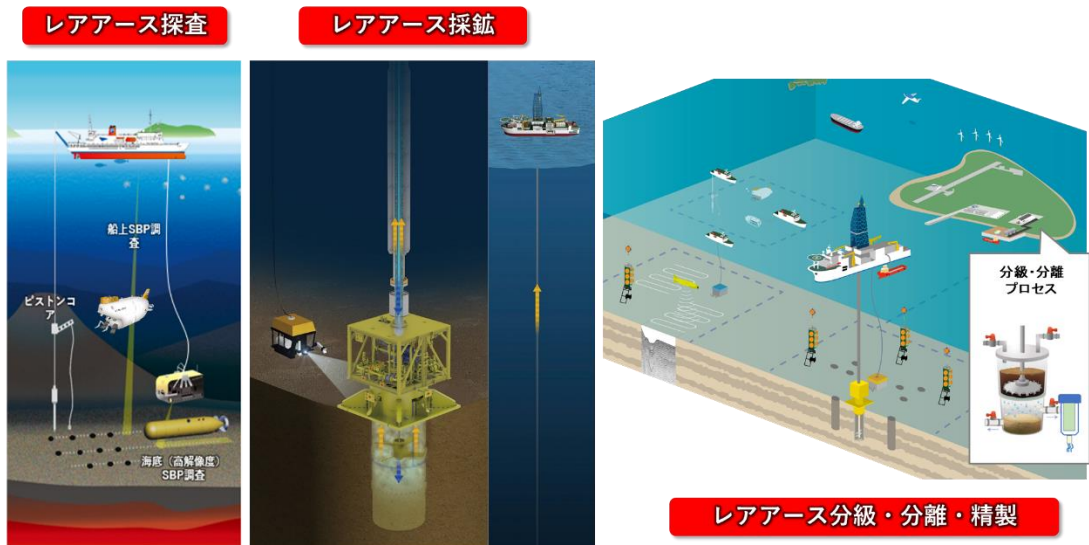
レアアース分離・精製・製錬技術の開発を目指して、レアアース元素の効率的な抽出・分離手法の検討・実験を行う。

- 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
- 分離・精製技術の検討

4) 生産システムの検討

分級・分離・精製・製錬・製品化プロセスで、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。

- 分離・精製・製錬プロセスの検討
- 産業化に向けた分離・精製・製錬技術の検討・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

<p>研究開発責任者</p>	<p>国立研究開発法人海洋研究開発機構 SIP 海洋統括プロジェクトチーム レアアース生産技術開発プロジェクトチーム プロジェクト長 川村善久</p>
<p>研究推進法人が研究開発責任者である理由</p>	<p>本課題の遂行において、探査、採鉱、分離・精製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、分離・精製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。</p>

④ 研究開発に係る工程表



図表 III-3. サブ課題 A(レアアース生産技術の開発)の工程表

(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環境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環境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。制度への貢献では、第三者による環境配慮ガイドライン検討委員会のもと原案を作成し、採鉱システムの海域試験において有効性を検証する。以下に具体的な研究開発目標を示す。

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	<ul style="list-style-type: none"> 採鉱を想定した環境配慮ガイドラインの原案作成 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"> 2026年の採鉱システムの海域試験にて環境配慮ガイドラインを検証する 2027年には制度設計に資する報告書を公表する。
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	・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	・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。
----	-------------------	--	--

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

② 実施内容

1) 環境影響評価の手法改良

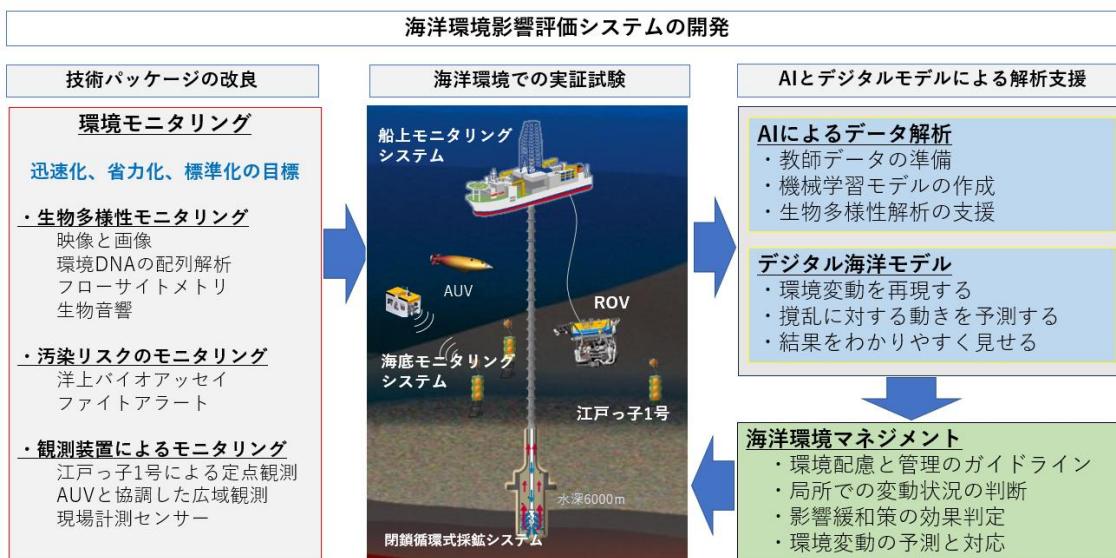
- 生物多様性調査: 高解像度カメラ、フローサイトメータ、環境 DNA と遺伝子解析など
- 環境計測: 現場計測センサーの実用化、「江戸っ子 1 号」による定点観測と複数 AUV による環境調査による4次元広域観測の技術検討
- 環境モニタリング: 洋上バイオアッセイ、ファイトアラート、海底観測など
- レアアース泥採鉱試験での環境モニタリングの試験運用と事後の海洋環境調査
- 国際データベースネットワーク BISMAL/OBIS を利用した情報公開
- 国際会議や学術論文等による成果の公表

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制作
- 採鉱を想定した環境配慮ガイドラインの原案作成
- 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運用技術情報の発信と現地情報の収集を継続する。



図表 III-4. 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 SIP 海洋統括プロジェクトチーム 海洋環境影響評価システム開発プロジェクトチーム プロジェクト長 山本啓之
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。本プログラムでは参加する国立研究開発法人に、これらの課題に対応できる設備と施設があり、これまでの第2期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。

④ 研究開発に係る工程表

研究開発項目	2023年度計画	2024年度計画	2025年度計画	2026年度計画	2027年度計画
海洋環境影響評価システムの開発					
① 環境影響評価の手法改良	<ul style="list-style-type: none"> 技術導入により観測手法の効率化を図る (航海) 南鳥島沖での環境ベースライン調査 TRL4	<ul style="list-style-type: none"> 開発した手法の試験と改良 レアアース泥採鉱試験への準備 (航海) 環境モニタリング手法の試験と環境調査 TRL5	<ul style="list-style-type: none"> 環境モニタリング手法の改良 (航海) レアアース泥採鉱試験での環境モニタリング TRL6	<ul style="list-style-type: none"> 環境影響評価システムの技術プロトコル作成 (航海) レアアース泥採鉱試験での環境モニタリング 採鉱試験の事後調査 TRL6	<ul style="list-style-type: none"> 採鉱試験の事後調査
	南鳥島沖での試験運用				
	南鳥島沖での試験運用				
② データ活用スキームの構築	<ul style="list-style-type: none"> 海洋デジタルモデルの概念設計 AIによる情報収集法の確立 TRL2	<ul style="list-style-type: none"> 深海平原と海山の環境デジタルモデルの考案 TRL3	<ul style="list-style-type: none"> 海洋環境デジタルモデルの構築 TRL4	<ul style="list-style-type: none"> 海洋環境デジタルモデルの試験運用 TRL5	<ul style="list-style-type: none"> 環境影響評価システムとデジタルモデルによる海洋環境マネジメントの構築
	南鳥島沖での試験運用				
③ 産業化モデルと国際展開	<ul style="list-style-type: none"> 海洋環境マネジメントの概念設計 TRL3	<ul style="list-style-type: none"> 海洋環境マネジメントの試作 産業化モデルの構築 TRL4	<ul style="list-style-type: none"> 海洋環境マネジメントの試験運用 産業化モデルの改良 TRL4	<ul style="list-style-type: none"> 海洋環境マネジメントの改良 産業化モデルの検証 TRL5	<ul style="list-style-type: none"> 試験運用
	<ul style="list-style-type: none"> ワークショップ、国際機関でのサイドイベント、国際セミナー開催 環境ベースラインデータの公開 技術協力 				

図表 III-5. サブ課題 B(海洋環境影響評価システムの開発)の工程表

(3) 海洋ロボティクス調査技術開発(海洋環境広域モニタリングシステムの構築)

① 研究開発目標

「ポスト 2020 生物多様性枠組」案の主要な目標として検討され G7 サミットにおいて合意された「30by30」目標達成に向け広大な海洋保護区の設定とそれに伴う海洋環境広域モニタリングを実施する必要性から、また海洋開発に付随した海中・海底観測の運用効率を上げるため、複数 AUV による調査運用技術や定点環境影響評価システム「江戸っ子 1 号」、深海ターミナルなどとの IoT 化による連携機能も含めた高度な海洋環境広域モニタリングシステムの構築を行う。

SIP 第 2 期では、AUV 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い、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するとともに、また、海上に浮上することなく長期間の電源補給及び入手データの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。

本研究開発では、海洋ロボティクス調査技術を、より発展させることで、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効率的な海底調査のための技術開発を行う。

ホバリング型 AUV、音響灯台としての役割を担う「江戸っ子 1 号」、深海ターミナルの連携・IoT 化などによる海洋環境広域モニタリングシステムに関する研究開発を推進し、海洋ロボティクスの活用を図る。

また、ホバリング型 AUV の深海ターミナルへのドッキング技術、ドッキングシステムの汎用化のための技術開発を実施する。さらに、より挑戦的な課題として、航行型 AUV による深海ターミナルへのドッキングに向け、技術検討を行う。

目標とする海洋環境広域モニタリングとは、「江戸っ子 1 号」による定点式観測だけではなく、複数の定点モニタリングシステムと AUV をプラットフォームとしたセンシングによる移動環境計測を連動させるシステムである。

本研究では、海洋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制御の高度化、小型安価 AUV の汎用制御システム、「江戸っ子 1 号」から AUV への通信データ転送技術等)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使いやすく小型で安価な新たな 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、海洋鉱物資源調査・観測産業の育成、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海洋ロボティクスの利活用を目指す。

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ともに、国内の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。併せて、研究セキュリティ及びインテグリティに対してこれを十分に尊重する。

全体として開発する技術の適用・実証は、浅海域を含め水深の制約に拘ら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。

以上のとおり、本研究では、海洋ロボティクス技術を使った海洋環境広域モニタリングシステムの構築を目標として、複数 AUV 協調群制御技術及び深海ターミナル技術の 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。

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 深海ターミナル技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・複数 AUV 協調群制御による海底調査技術開発とその実証 ・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海洋環境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小型安価 AUV の開発 ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・効率の良い海底調査が可能となっている。 ・「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海洋環境広域モニタリングシステムが完成している。 ・小型安価 AUV を完成させ、ノウハウの民間移転を行い、民間による商品化が実現している。 ・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っている。
事業	複数 AUV 協調群制御技術、深海ターミナル技術の民間移転 小型安価 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 ・小型安価 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。 ・小型安価 AUV の民間移転、商品化が完了している。
制度	必要な法令・ガイドライン等改定	・必要に応じてガイドライン等の改定を実施	・官民協議会等を通じて、方針検討を実施している。
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、開発業者ととも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、開発業者とともに事業を実施している。

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

1) 複数 AUV 協調群制御技術

協調群制御技術を活用し、「江戸っ子 1 号」との連携観測が可能なホバリング型 AUV を用いた海洋環境広域モニタリングシステムの開発については、

- 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 IoT 化を図り、AUV に搭載する高速光通信技術の検討・システム開発、ホバリング型 AUV「ほぼりん」の通信装置改造、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するとともに、取得データの海上 ASV 等への高速音響通信方法の検討を実施する。
- 2024 年度までに相互機器間の高速光通信技術の改良・システム開発、「ほぼりん」の通信装置改良、「江戸っ子 1 号」への光通信装置の搭載を実施する。
- 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 以浅の浅海域において実証試験を実施する。
- 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。
- 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。

航行型 AUV を用いた協調群制御技術については、

- 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、通信装置の搭載を行う。
- 2024 年度までに技術課題抽出、システムを改良し、浅海での航行型 AUV2 機の協調群制御の実海域試験を実施する。
- 2025 年度までに技術課題抽出、改良を実施し、航行型 AUV2 機の協調群制御、「江戸っ子 1 号」との連携実証試験を実海域で行い、効果的な海底調査技術の実証試験を実施する。次年度の 3 機協調群制御試験用航行型 AUV を製作する。
- 2026 年度までに浅海での航行型 AUV3 機の協調群制御による海底調査技術の実証試験を通じて、社会実装への対応を行う。
- 2027 年度までに社会実装試験を実施する。

「江戸っ子 1 号」との連携観測を行うことが可能な小型安価 AUV 開発については、

- 2023 年度までに、小型安価(使いやすく廉価な)AUV の設計・試作を実施する。
- 2024 年度までに簡易的に運用可能で小型安価な AUV の試作を行い、屋内水槽等での試験を実施する。
- 2025 年度までに前記 AUV の実海域での全体システム検証を行う。
- 2026 年度までに前記 AUV の民間活用を踏まえた改良を行う。
- 2027 年度までに前年に引き続き、前記 AUV の民間活用を踏まえた改良を行う。

2) 深海ターミナル技術

ホバリング型 AUV の深海ターミナルへのドッキング技術開発については、

- 2023 年度までに、汎用型の充電可能深海ターミナルの試作、ホバリング型 AUV「ほぼりん」にドッキング装置搭載を検討する。
- 2024 年度までに深海ターミナルの改良、「ほぼりん」のドッキング及び通信装置改良を実施する。
- 2025 年度までに深海ターミナルを含んだ海洋環境広域モニタリングシステム全般の改良、100m 以浅の浅海域において実証試験を実施する。
- 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。
- 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。

航行型 AUV の深海ターミナルへのドッキング技術開発については、

- 2023 年度までに航行型 AUV ドッキングシミュレーションの検討を行う。
- 2024 年度までに航行型 AUV のドッキングターミナルのシステム詳細検討を行う。
- 2025 年度までに航行型 AUV ターミナルの概念設計、シミュレーション検証を行う。
- 2027 年度までに海洋環境広域モニタリングシステムに資する改良、社会実装試験を念頭に置いたモデル試験を実施する。

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深海ターミナル技術の 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、3 機の AUV 及び音響灯台等(後述の「江戸っ子 1 号」を想定)を使用し、複数 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て、高効率な海底調査技術を実証する。本研究は 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 を用い短期間で広範囲な海底調査を可能とする技術が確立できる。

また、海中充電機能が付加されることで長期運用可能な AUV などの技術開発を目指して、ホバリング型 AUV とドッキングが可能な汎用型の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」に海底での基準位置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、長期に亘る海洋環境調査が実現できるシステムを開発するとともに、操縦性や機器のメンテナンスを容易にするシステムの構築を図る。

結果として複数機の AUV が観測位置精度の高い海洋環境調査を行うことが可能となる。

このような海洋環境広域モニタリングシステムを完成させることで、長期運用を目的とした定点観測システムを海上に引き上げることなく、計測途中の海底・海中状況を随時把握できる有用な

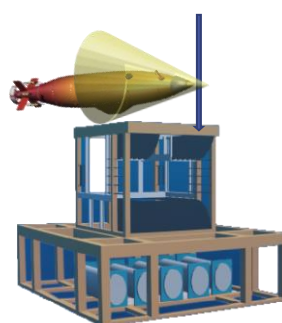
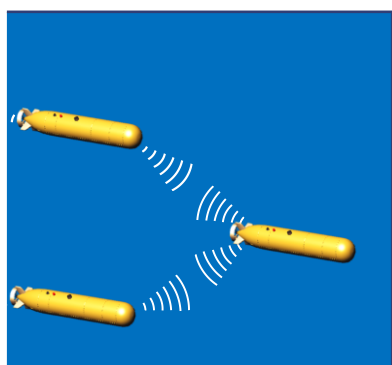
計測が確立できる。

さらに、社会実装のために開発する小型安価 AUV は、以下を目標に開発する。

- 1)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
- 2)水深 100～200m 程度での浅海域での運用に適したシステムの最適化
- 3)少人数で可搬でき簡便に運用可能で操縦性に優れメンテナンスが容易
- 4)商品化可能な価格帯
- 5)国内での量産化を念頭においた機器構成・仕様

本テーマでの研究開発要素と 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。

- 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 の長期運用のための深海ターミナル技術の開発
- 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

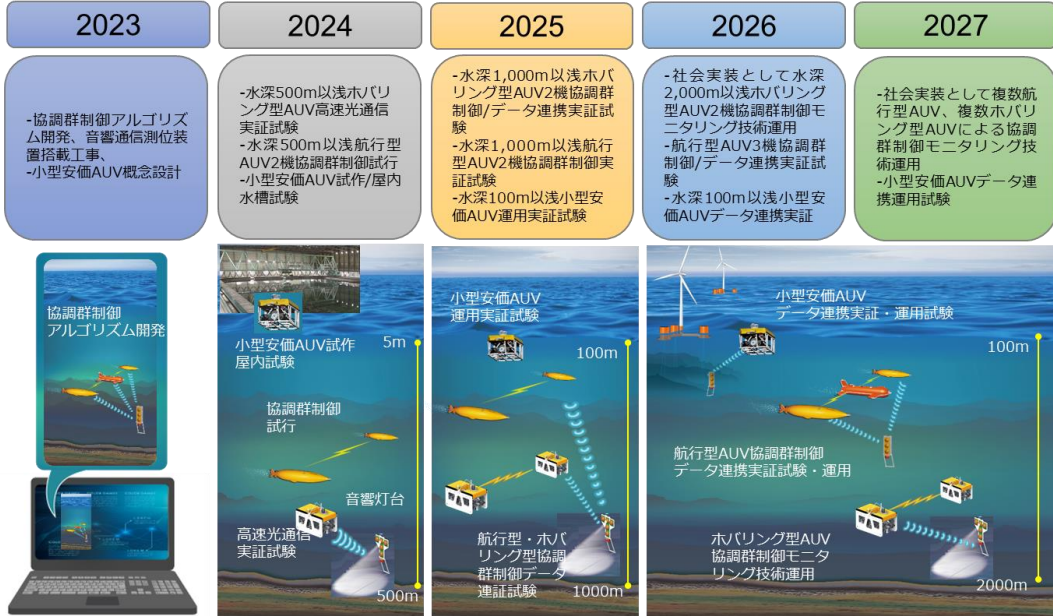


図表 III-6. (左)複数 AUV 協調群制御及び(右)深海ターミナルへの航行型 AUV ドッキングのイメージ

① 広域モニタリングシステム/AUV協調群制御技術

最終目標

AUV-AUV通信・測位隊列制御と AUV-定点観測装置データ連携による広域モニタリング技術実証

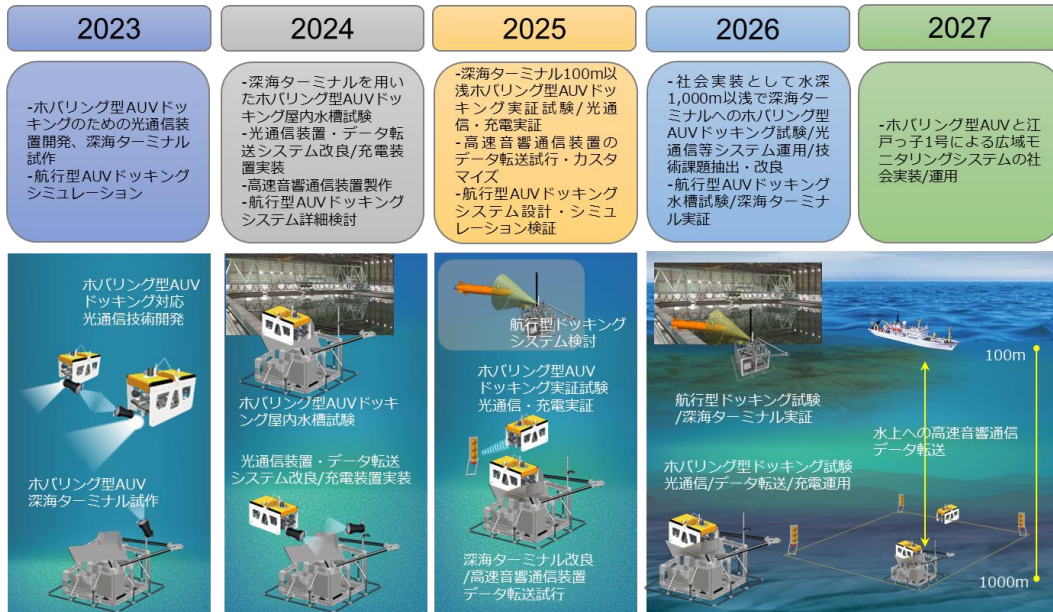


図表 III-7. サブ課題 C(海洋ロボティクス調査技術開発・AUV 協調群制御技術)の年度展開)

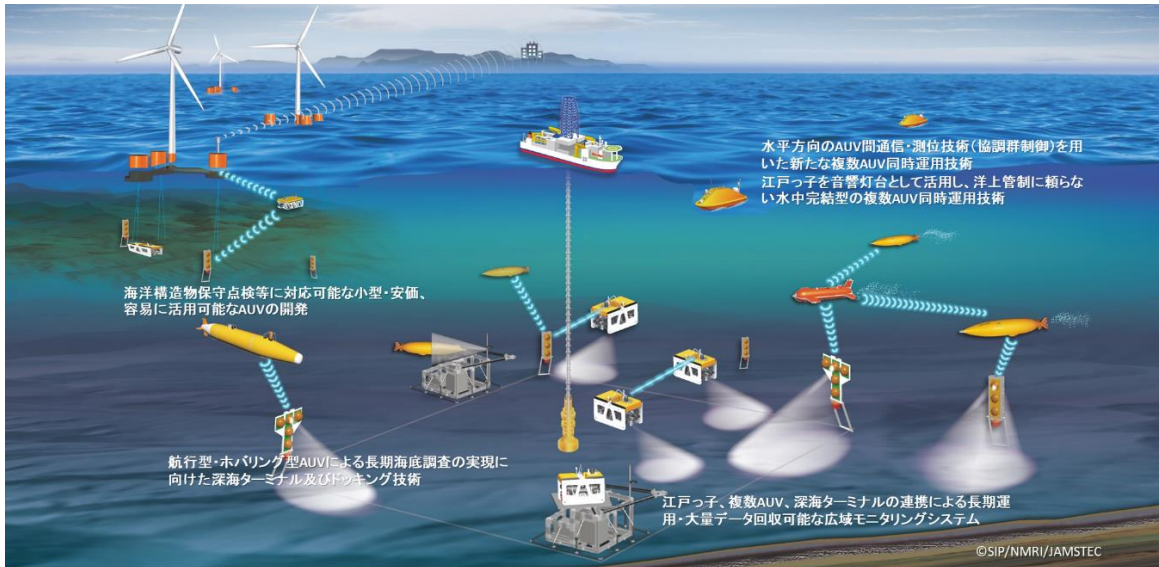
② 広域モニタリングシステム/深海ターミナル技術開発

最終目標

深海底でのAUV光通信・高速音響通信による 大量データ転送・海中ドッキング充電ターミナル技術実証



図表 III-8. サブ課題 C(海洋ロボティクス調査技術開発・深海ターミナル技術開発)の年度展開



図表 III-9. サブ課題 C(海洋ロボティクス調査技術開発)の将来展開

③ 実施体制

研究責任者	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 研究統括監 藤原敏文
-------	---

④ 研究開発に係る工程表

研究開発項目	2023年度計画	2024年度計画	2025年度計画	2026年度計画	2027年度計画
海洋ロボティクス調査技術開発 (広域モニタリングシステムの構築)					
① AUV協調群制御技術	<ul style="list-style-type: none"> 協調群制御アルゴリズム開発 音響通信測位装置搭載工事 安価なAUV概念設計 	<ul style="list-style-type: none"> 水深500m以浅ホバリング型AUV高速光通信実証試験 (江戸っ子1号連携) 	<ul style="list-style-type: none"> 水深1,000m以浅航行型AUV2機協調群制御実証試験 (江戸っ子1号連携) / 3機群制御試験用AUV製作 	要素技術開発の完了 社会実装に向けての実証検討	開発技術およびシステムの社会実装の達成
		<ul style="list-style-type: none"> 水深500m以浅航行型AUV2機協調群制御試行 小型安価AUV試作/屋内水槽試験 	<ul style="list-style-type: none"> 水深1,000m以浅ホバリング型AUV2機協調群制御/江戸っ子1号とのデータ連携実証試験 水深100m以浅小型安価AUV運用実証試験 (江戸っ子1号連携) 		
		<ul style="list-style-type: none"> 社会実装として水深2,000m以浅ホバリング型AUV2機協調群制御モニタリング技術運用 (江戸っ子1号連携) 航行型AUV3機協調群制御 (江戸っ子1号連携) 	<ul style="list-style-type: none"> 社会実装として水深200m以浅小型安価AUVデータ連携実証 (江戸っ子1号連携) 社会実装として水深1,000m以浅で深海ターミナルへのホバリング型AUVドッキング試験/光通信等システム運用/技術課題抽出・改良 100m以浅航行型AUVドッキング試験/深海ターミナル実証 		
② 深海ターミナル技術	<ul style="list-style-type: none"> ホバリング型AUVドッキングおよび光通信装置開発、深海ターミナル試作 航行型AUVドッキングシミュレーションの検討 	<ul style="list-style-type: none"> 深海ターミナルを用いたホバリング型AUVドッキング屋内水槽試験 (江戸っ子1号連携) 光通信装置・データ転送システム改良/充電装置実装 高速音響通信装置製作 航行型AUVドッキングシステム詳細検討 	<ul style="list-style-type: none"> 深海ターミナル改良/100m以浅ホバリング型AUVドッキング実証試験/光通信・充電実証 高速音響通信装置のデータ転送試行・カスタマイズ 航行型AUVドッキングシステム設計・シミュレーション検証 		
③ 社会実装の検討	<ul style="list-style-type: none"> 産学官連携協議, 調査技術ニーズ調査, 民間技術移転 				

図表 III-10. サブ課題 C(海洋ロボティクス調査技術開発)の工程表

(4) 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 研究開発目標

我が国 EEZ における海洋玄武岩層を活用した大規模 CO₂ 貯留・固定化技術に係る基礎調査研究を実施する。

具体的には、南鳥島 EEZ に存在する巨大平頂海山(頂上が平面の形をした海底火山)である拓洋第 5 海山を対象として、

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. 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
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

を展開する。

第 3 期 SIP 最終年度までの研究開発目標は次のとおりである。

- ① 拓洋第 5 海山の地質構造を把握し、CO₂ 貯留・固定化ポテンシャルを提示する。
- ② 海洋玄武岩 CCS における CO₂ 挙動特性を評価する。
- ③ 海洋玄武岩 CCS における圧入最適化に係る要素技術を開発する。
- ④ 海洋玄武岩 CCS の CO₂ 輸送・洋上圧入等を含む概念設計を提示する。

以下に具体的な研究開発目標を示す。

5つの視点	目標	実施内容	達成基準
技術開発	拓洋第 5 海山の地質構造に係る基礎調査研究	拓洋第 5 海山における 2 次元弾性波探査の実施 拓洋第 5 海山の地質モデルの構築	拓洋第 5 海山の山体内地質構造を評価できている。
	海洋玄武岩 CCS の CO ₂ 挙動に関する基礎実験研究	玄武岩海山の地質学的研究 (CO ₂ 挙動評価) 玄武岩海山の水理-力学特性評価 (CO ₂ 挙動評価)	拓洋第 5 海山の CO ₂ 貯留ポテンシャルが提示される。
	海洋玄武岩 CCS の圧入最適化に関する技術開発	海洋玄武岩 CCS の CO ₂ 圧入及び固定化に係る反応実験(最適圧入技術)	玄武岩海山に最適化された CO ₂ 圧入技術が確立される。
事業	海洋玄武岩 CCS の CO ₂ 輸送・洋上圧入等を含む概念設計	操業上の課題対策や技術経済性評価等(シミュレーション)	大規模玄武岩 CCS に向けた技術経済性評価を含む概念設計が提示されている。
制度	法令・ガイドライン調査及び要件整理	海洋玄武岩 CCS に係る法令・ガイドライン等の情報収集と概念設計	海洋玄武岩 CCS に係る法令・ガイドライン等が検討されることになる。
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、セミナー開催等が予定される。
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が検討されている。

サブ課題 D(海洋玄武岩 CCS 基礎調査研究)の研究開発目標及び実施内容

② 実施内容

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

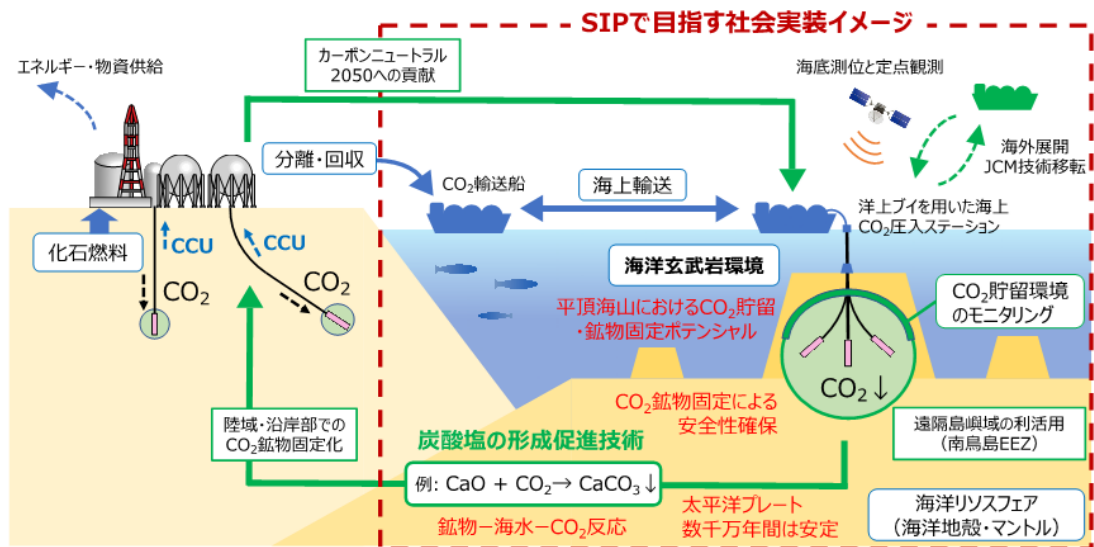
- 拓洋第 5 海山における弾性波探査の実施
 - 2023 年度に、拓洋第 5 海山における大規模 CCS の対象深度となる地質構造(平頂面から深度約 3,000m)の把握を目的に、2 次元弾性波探査を実施する。
 - 2024 年度以降に、最先端のノイズ抑制処理、イメージング処理、波形インバージョン解析を行い、海山の地質構造を評価する。
- 拓洋第 5 海山の地質モデル構築
 - 拓洋第 5 海山の調査結果に基づき、CO₂ 貯留ポテンシャルを試算する。

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

- 海洋玄武岩における CO₂ 挙動評価
 - 海洋玄武岩の地質学的・物理化学的特性の評価のために、岩石コア試料等を用いた水理特性評価や地化学反応実験等を実施する。
 - CO₂ 貯留及び鉱物化ポテンシャルを最大化する観点から、拓洋第 5 海山の山体内における CO₂ 挙動シミュレーション精度の向上を図る。
- 海洋玄武岩への圧入最適化技術
 - 室内実験により、CO₂ 圧入に伴う玄武岩の浸透率や力学物性の変化を調べ、CO₂ 最適圧入に係る技術開発を行う。最終的には、水理・力学連成シミュレーションにより、CO₂ の物性変化と流動・変形現象の関係を明らかにする。
 - 海洋玄武岩への CO₂ 貯留・固定化技術として、玄武岩に対する物理的及び化学的な最適圧入条件を検討する。

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

- 国際的な海洋玄武岩 CCS 関連技術や政策等に関する情報を収集し、国際共同研究を推進する。
- 拓洋第 5 海山への大規模 CO₂ 海上輸送や洋上圧入システム等に係る技術経済性を検討し、海洋玄武岩 CCS の概念設計を提示する。



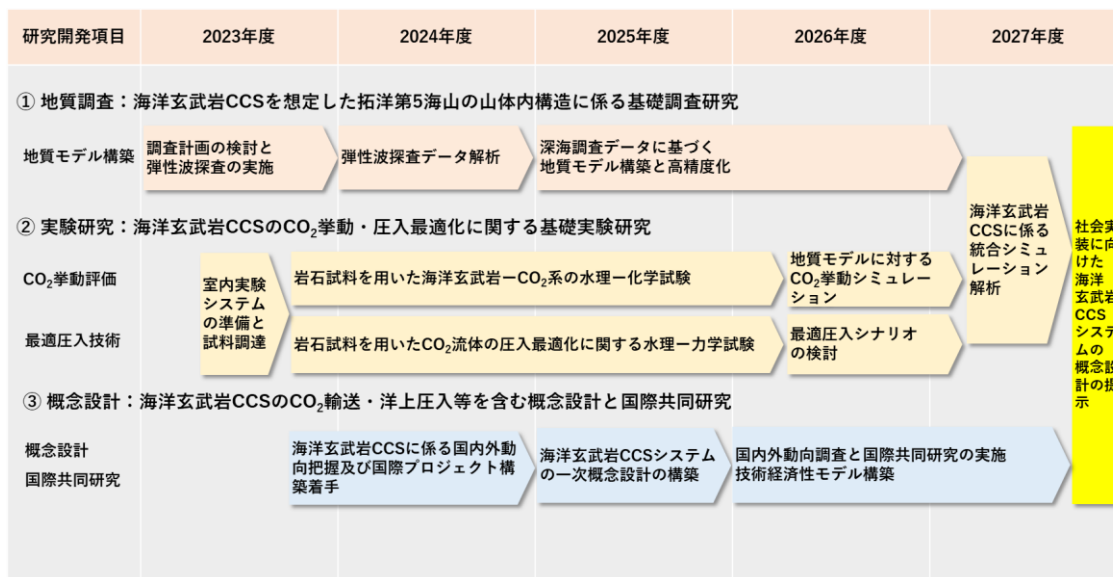
図表 III-11. 本サブ課題が目指す将来的な海洋玄武岩 CCS の社会実装ビジョン

③ 実施体制

本サブ課題は、国立研究開発法人等に所属する研究実施者を中心に、大学や民間調査会社などの協力により遂行する。

研究開発責任者	国立研究開発法人海洋研究開発機構 SIP 海洋統括プロジェクトチーム 海洋玄武岩 CCS 基礎調査研究プロジェクトチーム プロジェクト長 稲垣史生
研究推進法人が研究開発責任者である理由	本サブ課題においては、南鳥島 EEZ にある拓洋第 5 海山を対象とした弾性波探査や掘削調査、各種実験・分析等の結果に基づく海洋玄武岩 CCS の新しい概念設計の構築を目指している。本計画の遂行にあたっては、当該海域の深海調査で蓄積された科学的知見・データ等の利活用に加え、地球深部探査船「ちきゅう」を用いた海洋科学掘削プロジェクトの企画・運航・試料管理等に係る実施体制及び専門の異なる国内外の科学者との国際共同研究の経験・実績を有する海洋研究開発機構の役割が不可欠である。

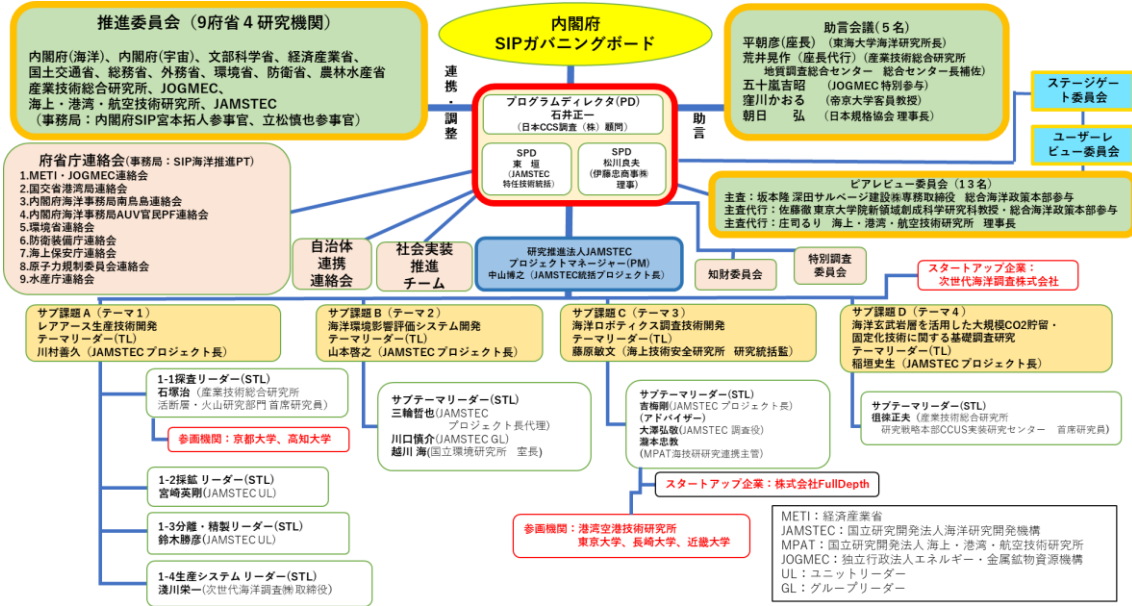
④ 研究開発に係る工程表



図表 III-12. サブ課題 D(海洋玄武岩 CCS 基礎調査研究)の工程表

IV. 課題マネジメント・協力連携体制

1. 実施体制と役割分担 (2025.06.16 時点)



図表 IV-1 第3期 SIP 海洋課題の推進体制

(1) 内閣府

① PD



氏名:石井 正一
所属:日本 CCS 調査(株) 顧問
期間:2023 年 4 月～

② サブ PD (担当・履歴を含む)



氏名:東 垣
所属:国立研究開発法人海洋研究開発機構 特任技術統括
期間:2023 年 4 月～
担当: PD 補佐、総括

③ サブ PD (担当・履歴を含む)



氏名:松川 良夫
所属:伊藤忠商事(株) 理事
期間:2023 年 4 月～
担当: 社会実装

④ 課題担当(履歴を含む)

氏名	所属・職位	期間
萩原 貞洋	内閣府(科学技術・イノベーション担当)参事官	2023年4月～2024年7月
熊谷 朋彦	内閣府(科学技術・イノベーション担当)	2023年4月～2024年3月
田内 萌絵	内閣府(科学技術・イノベーション担当)	2024年4月～
宮本 拓人	内閣府(科学技術・イノベーション担当)参事官	2024年7月～
立松 慎也	内閣府(科学技術・イノベーション担当)参事官	2025年4月～

(2) 研究推進法人・PM（担当・履歴を含む）

① 研究推進法人の名称

国立研究開発法人海洋研究開発機構

② PM その他の担当者（担当・履歴を含む）

氏名：倉本 真一

所属：国立研究開発法人海洋研究開発機構

期間：2023 年 4 月～6 月

担当：

氏名：中山 博之

所属：国立研究開発法人海洋研究開発機構

期間：2023 年 6 月～

担当：

2. 府省連携

- 海洋玄武岩 CCS の基礎調査研究や概念設計における連携
- 海洋環境広域モニタリングシステム活用方法検討における連携
- 観測船の活用における連携
- 海洋鉱物資源開発（泥を含む海水の処理含む）に係る環境関連の法令・ガイドライン等の整備における連携
- 海洋産業に携わる人材の確保・育成における連携

3. 産学官連携、スタートアップ

(1) マッチングファンドに係る方針と内容

- 本課題については、第 3 期海洋基本計画（令和 30 年 5 月 15 日閣議決定）において、国として取り組むべき重要課題に対する研究開発の一つとして位置付けられており、国が率先して取り組むべき社会課題の解決に資する研究開発課題であり、専ら民間企業の競争力強化に資するものではないことや、産業化する前の基礎的研究開発課題である故に、課題全体についてマッチングファンド方式を適用しないこととする。
- 但し、技術開発の部分においては、民間企業からの人的・物的貢献を求め、民間企業のノウハウ等を本課題に活かしていく。

(2) スタートアップ企業との連携

- 海洋環境観測技術や海洋環境広域モニタリングシステムの構築においては、スタートアップ企業との連携により技術開発を効率的に行うとともに、民間企業への技術・ノウハウの継承、簡易的に運用可能な AUV の普及等を促進する。

4. 研究開発テーマ間連携

- サブ課題 A のレアアース泥関連ではサブ課題 B の環境影響評価の手法を利用して環境保全に配慮したシステムの構築を目指す。
- サブ課題 C で開発する海洋環境広域モニタリングシステムとサブ課題 B で開発する環境影響評価システムを連携させることで高度化を図る。
- サブ課題 D の海洋玄武岩 CCS における長期のモニタリングには、サブ課題 B の環境影響評価システムの技術を活用した方法を考案する。

5. SIP 課題間連携

- 先行するスマート4課題（インフラ、防災、スマエネ、スマモビ）の対応を見つつ、課題間連携のため必要となるユースケースの絞り込みを進める。「豊かな食が提供される持続可能なフードチェーンの構築」課題の水産養殖事業等との協議を進める。

6. データ連携

- サブ課題 A（レアアース資源量把握、レアアース採鉱実証試験）、サブ課題 D（海洋玄武岩 CCS 基礎調査研究）において、サブ課題 C（海洋ロボティクス調査技術）で開発する AUV 等で取得するデータやサブ課題 B（海洋環境影響評価システム開発）において取得する深海定点観測データを活用する。
- 国際海洋生物多様性情報システム（OBIS）や「海しる」といった国内外のデータプラットフォームとの連携強化を図る。

7. 業務の効率的な運用

- 関係者間の連携強化のため、定期的に進捗会議等を開催する。
- 関係者間の円滑なコミュニケーション、迅速な情報共有のため情報プラットフォームを活用する。

V. 評価に係る事項

1. 評価の実施方針

(1) 評価主体

- ガバニングボードが、評価委員会を設置し、PD及び研究推進法人等による自己点検や研究推進法人等が実施する専門的観点からの技術・事業評価(以下「ピアレビュー」という。)の結果(事前評価及び追跡評価の場合にはそれらに準ずる情報。)に基づき、評価を行う。
- 研究推進法人はピアレビューの実施の前にピアレビューを実施する外部有識者の選定についてガバニングボードの承認を得るものとする。
- プログラム統括チームはピアレビューに参加し、専門的観点からの意見を踏まえ、制度的・課題横断的観点からの評価意見をまとめるものとする。
- プログラム統括チームは評価委員会に対して、ピアレビューの結果を報告するとともに、制度的・課題横断的観点からの評価意見を提出するものとする。
- 評価委員会は、プログラム統括チームからの報告等を踏まえ、評価を行い、評価案をとりまとめ、ガバニングボードに報告するものとする。

(2) 実施時期

- 課題評価の実施時期の区分は、事前評価、毎年度末の評価(ただし、課題開始後3年目の年度末までに行う評価は「中間評価」。)及び最終評価とする。
- 終了後、必要に応じて追跡評価を行う。
- 上記のほか、必要に応じて年度途中等に評価を行うことも可能とする。

(3) 評価項目・評価基準

- 「国の研究開発評価に関する大綱的指針(平成28年12月21日、内閣総理大臣決定)」を踏まえ、必要性、効率性、有効性等を評価する観点から、以下の評価項目・評価基準とする。達成・未達の判定のみに終わらず、その原因・要因等の分析や改善方策の提案等も行う。

A) 課題目標の達成度と社会実装

- 課題目標の達成と社会実装に係る評価項目・評価基準は下表のとおりとする。
- ミッションの明確化から個別の研究開発テーマの設定に至る計画・テーマ設定に係る評価(A-2からA-4まで)と、個別の研究開発テーマの達成度から研究成果の社会実装に至る進捗状況等に係る評価(A-5からA-7まで)を一体的に実施することで、PDCAサイクルを回し、各段階での進捗状況等を踏まえ、継続的かつ迅速(アジャイル)に計画・テーマ設定の見直しを行う。

A-1	意義の重要性、SIP制度との整合性	<ul style="list-style-type: none"> ・課題全体を俯瞰的にとらえ、Society5.0の実現に向けて将来像を描いているか。 ・技術開発のみならずルール整備やシステム構築などに必要な戦略が検討され、SIP制度との整合性が図れているか。 ・SIP第3期課題として必要な「要件」(SIP運用指針別紙)を満たしているか。
A-2	ミッションの明確化	<ul style="list-style-type: none"> ・将来像の実現に向けたミッションが明確となっているか。 ・関係省庁を巻き込んだ協力体制の下に、課題の解決方法が特定され、ミッション遂行が実現可能なものであるか。
A-3	目標設定・全体ロードマップ、その他の社会実装に向けた戦略の妥当性	<ul style="list-style-type: none"> ・ミッションを達成するために、現状と課題を調査し、ロジックツリー等を活用し、社会実装に向けて、技術だけでなく、事業、制度、社会的受容性、人材を含む5つの視点で、必要な取組を抽出されているか。 ・抽出した取組について、既存の産学官での取組を把握した上で、SIPの要件及び本評価基準を踏まえ、SIPの研究開発テーマを特定しているか。 ・SIP終了時の達成目標が設定されており、実現可能なものであるか(なお、SIP期間中において目標は常に見直し、アジャイルな修正も可とする。) ・SIPの研究開発テーマを含む必要な取組について、社会実装に向けたロードマップを作成し、技術だけでなく、事業、制度、社会的受容性、人材を含む5つの視点で、戦略的かつ明確になっているか。また、これら5つの視点の成熟度レベルを活用しながら、指標が計測量として用いられ、進捗度が可視化されているか。 ・データプラットフォームの標準化戦略を見据え、全体のデータアーキテクチャーを見据えたデータ戦略は設定されているか。 ・スタートアップに関する戦略は設定されているか。
A-4	個別の研究開発テーマの設定及びその目標と裏付けの明確さ	<ul style="list-style-type: none"> ・RFIの内容を吟味し、個別の研究開発テーマの設定が決め打ちではなく、社会課題を基に一定の範囲から絞り込まれているか。 ・個別の研究開発テーマの設定は国際競争力調査や、市場・ニーズ調査、有識者や関係者へのヒアリングなど、エビデンスベースでの理由で裏打ちされているか。 ・個別の研究開発テーマの目標及び工程表は明確であり、実現可能なものであるか。 ・個別の研究開発テーマの目標は課題全体の目標(A-3)を満足しているか。
A-5	研究開発テーマの設定目標に対する達成度	<ul style="list-style-type: none"> ・個別の研究開発テーマについて、当該年度の設定目標に対する達成度(進捗状況)は計画通りか。(計画変更となった場合、当該進捗状況に至る理由を含む。) ・得られた成果の新規の学術的・技術的価値は何か。 ・得られた成果は課題全体の目標に対してどの程度貢献しているか。
A-6	社会実装に向けた取組状況	<ul style="list-style-type: none"> ・知財戦略や国際標準戦略などを含む事業戦略、規制改革等の制度面の戦略、社会的受容性の向上や人材の戦略は設定され、その取組状況は計画通りか。(計画変更となった場合、当該進捗状況に至る理由を含む。) ・データ戦略の取組状況は計画通りか。(計画変更となった場合、当該進捗状況に至る理由を含む。) ・スタートアップに関する戦略の取組状況は計画通りか。(計画変更となった場合、当該進捗状況に至る理由を含む。)
A-7	研究成果の社会実装及び波及効果の見込み	<ul style="list-style-type: none"> ・研究成果によって見込まれる効果あるいは波及効果が明確であるか。(科学技術の進展、新製品・新サービス等への展開、市場への浸透や社会的受容性への影響、政策への貢献、人材育成への貢献など。定量的表現が望ましい。) ・(A-5)(A-6)を踏まえて、技術、事業、制度、社会的受容性、人材の5つの視点からロジックツリー等を用いて研究成果の社会実装への道筋が明確に示されているか。 ・開発する技術の優劣に関する国際比較、当該技術の強み・弱み分析、国際技術動向の中での位置づけなど、グローバルベンチマークの結果が示されているか。
A-8	対外的発信・国際的発信と連携	<ul style="list-style-type: none"> ・課題の意義や成果に関して効果的な対外的発信の計画が検討され、実施されているか。 ・国際的な情報発信や連携の取組の進捗はあるか。
A-9	その他	<ul style="list-style-type: none"> ・課題の特性や状況に応じ、上記の(A-1)～(A-8)以外に、課題目標の達成度と社会実装の観点から評価すべきこと(プラス評価になること)があれば追加可。

B) 課題マネジメント・協力連携体制

- 課題マネジメント・協力連携体制に係る評価項目・評価基準は下表のとおりとする。
- 社会実装に向けて、課題目標を達成するための実施体制はもちろん、府省連携、産学官連携、テーマ間・課題間の連携、データ連携についても評価を行う。

B-1	課題目標を達成するための実施体制	<ul style="list-style-type: none"> ・PD、SPD、研究推進法人の役割分担と、それに見合う配置が図られているか。 ・メンバーの配置や役割分担について明確に構造化が図られているか。知財・国際標準・規制改革に関する専門家や、社会実装に関する業務の担当者等が配置されているか。 ・研究開発テーマ設定時の前提条件の変更や研究成果の達成状況に応じて、研究開発テーマの方向性の再検討やアジャイルな修正が生じた際に、関係者間で合意形成を図る流れが明確になっているか。 ・消費者視点での社会的受容性の観点や多様な観点から運営を推進するため、SPDや研究開発テーマ責任者等に若手や女性などダイバーシティを考慮したチーム構成計画としているか。
B-2	府省連携	<ul style="list-style-type: none"> ・関係府省の担当者を巻き込み、各府省の協力・分担が明確な体制になっているか。 ・各府省等で実施している関連性の高い研究開発プロジェクトとの連携が図られているか。 ・関係省庁の事業との関係性をマッピングするなどの整理がなされ、重複が無いようSIP以外の事業との区分けは出来ているか。
B-3	産学官連携、スタートアップ	<ul style="list-style-type: none"> ・社会実装に向けた産業界の意欲・貢献を促すべく、産学官連携が機能する体制が構築されているか。研究成果の利用者は明確となっているか。 ・マッチングファンド方式の適用に向けた検討がされているか。 ・本来、民間企業で行うべきものに国費を投じていないか。 ・マネジメント体制の中にスタートアップ関係者が配置されているか。
B-4	課題内テーマ間連携	<ul style="list-style-type: none"> ・研究開発テーマ間での連携やシナジー効果について検討され、実施されているか。マネジメント体制の中に研究開発テーマ間の連携に必要な担当者が配置されているか。
B-5	SIP課題間連携	<ul style="list-style-type: none"> ・他のSIP課題間での連携やシナジー効果について検討され、実施されているか。マネジメント体制の中に他のSIP課題間の連携を担当する者が配置されているか。
B-6	データ連携	<ul style="list-style-type: none"> ・研究開発テーマ間や、他のSIP課題間でのデータ連携が検討・実施されているか。 ・既存のデータプラットフォームとの連携の可能性は検討されているか。
B-7	業務の効率的な運用	<ul style="list-style-type: none"> ・オンラインツールの活用など業務の効率的な運用が実施されているか。 ・ベストプラクティスの共有、活用などが実施されているか。
B-8	その他	<ul style="list-style-type: none"> ・課題の特性や状況に応じ、上記の(B-1)～(B-7)以外に、マネジメントの観点から評価すべきこと(プラス評価になること)があれば追加可。

(4) 評価結果の反映方法

- 事前評価は、社会実装に向けた戦略及び研究開発計画(以下「戦略及び計画」という。)の作成、研究開発テーマの設定に関して行い、戦略及び計画等に反映させる。
- 各年度の年度末評価は、前年度の進捗状況等や当該年度での事業計画に関して行い、次年度以降の戦略及び計画等に反映させる。必要に応じ、研究開発テーマの絞込みや追加について意見を述べる。
- 中間評価においてステージゲートを実施し、各課題における個々の研究開発テーマにおいて、ユーザー視点からの評価を行う。具体的には、①ユーザーを特定されず、マッチングファンド方式の適用や関係省庁における政策的な貢献など社会実装の体制構築が見込めないものについては、原則として継続を認めない、②目標を大幅に上回る成果が得られ、ユーザーからの期待が大きく、社会実装を加速すべきものについては、予算の重点配分を求める、などユーザー視点からの評価を行うこととする。
- 最終評価は、最終年度までの実績に関して行い、終了後のフォローアップ等に反映させる。
- 追跡評価は、各課題の成果の社会実装の進捗に関して行い、改善方策の提案等を行う。

(5) 結果の公開

- 評価結果は原則として公開する。
- 評価委員会及びガバナリングボードは、非公開の研究開発情報等も扱うため、非公開とする。

(6) 課題評価に向けた自己点検及びピアレビュー

- 課題評価の前に、PD、研究推進法人等及び各研究開発責任者による自己点検並びに研究推進法人等によるピアレビューを実施し、その結果をガバナリングボードに報告するものとする。

- 研究開発責任者による自己点検は、研究開発テーマの目標に基づき、研究開発や実用化・事業化の進捗状況について行う。
- 研究推進法人等による自己点検は、予算の管理、研究開発テーマの進捗管理、研究開発テーマの実施支援など研究推進法人等のマネジメント業務について行う。
- PDによる自己点検は、(3)の評価項目・評価基準を準用し、研究開発責任者及び研究推進法人等による自己点検の結果や、関係省庁や産業界における社会実装に向けた取組状況を踏まえ、実施する。
- 研究推進法人等によるピアレビューは、エビデンス及びグローバルな視点に基づいて、各研究開発テーマの実施内容及び実施体制等がSIPとして実施することに適したものになっているか、研究開発テーマの目標に基づき研究開発や実用化・事業化に向けた取組が適切に進められているどうか等について、研究推進法人等に設けられた外部有識者が行う。また、遅くとも中間評価の時期までには各研究開発テーマについてユーザーを特定し、ユーザーからの意見も踏まえた評価(ユーザーレビュー)を行うこととする。

(7) 自己点検・ピアレビュー及び評価の効率化

- 課題の自己点検・ピアレビュー及び評価は毎年度実施することを考慮して、重複した作業を避けて可能な限り既存の資料を活用するなど効率的に行うものとする。

VI. その他の重要事項

1. 根拠法令等

本件は、内閣府設置法(平成 11 年法律第 89 号)第 4 条第 3 項第 7 号の 3、科学技術イノベーション創造推進費に関する基本方針(令和4年 12 月 23 日、総合科学技術・イノベーション会議)、戦略的イノベーション創造プログラム運用指針(令和 6 年 10 月 17 日、総合科学技術・イノベーション会議ガバナリングボード)に基づき実施する。

別添 SIP の要件と対応関係

Society5.0 の実現を目指すもの	<p>I .Society5.0 における将来像</p> <ul style="list-style-type: none">● 我が国の EEZ に賦存する海洋鉱物資源が開発により、特定国に依存しない新たなる資源供給としての役割を担う。● 海洋玄武岩層を活用した大規模 CO₂ 貯留・固定化技術の基礎調査研究を行うことで、2050 年カーボンニュートラルを目指す我が国の CCS 技術の普及促進にも役立つ。● 海中ロボット AUV 等による海洋ロボティクスによる海洋環境広域モニタリングシステムや海洋観測データを利活用するための技術力向上は、持続的な海洋開発と環境保全の両立の視点で、世界をリードする先導的な役割を果たすとともに、我が国における新たなる海洋産業の育成にも貢献が期待できる。
社会的課題の解決や日本経済・産業競争力にとって重要な分野	<p>II .社会実装に向けた戦略</p> <p>1.ミッション</p> <ul style="list-style-type: none">● Society5.0 のデジタル社会、脱炭素社会を目指すためには、海洋における地球環境に優しいSDGsを実現するための海洋鉱物資源開発と海洋環境の調和を図る取組を推進する必要がある。● このような視点での海洋産業の育成は、我が国の広大な海洋の安全保障にもつながり、世界の海洋鉱物資源開発における海洋環境共存型スタイルとしてのプレゼンスを示す事になる。

<p>基礎研究から社会実装までを見据えた一貫通貫の研究開発の推進(産学官の共創的イノベーション・エコシステムを目指すもの)</p>	<p>Ⅱ.社会実装に向けた戦略 4.SIP での取組(サブ課題) (4)SIP 後の事業戦略</p> <p>Ⅲ.研究開発計画 1.研究開発に係る全体構成</p> <p>Ⅳ.課題マネジメント・協力連携体制 3.産学官連携、スタートアップ</p>
<p>府省連携が不可欠な分野横断的な取組であること(関係府省の既存事業との重複がないこと)</p>	<p>Ⅱ.社会実装に向けた戦略 2.現状と問題点 3.ミッション到達に向けた 5 つの視点での取組とシナリオ</p> <p>Ⅳ.課題マネジメント・協力連携体制 2.府省連携</p>
<p>技術開発だけでなく、事業化、制度改革、社会受容性、人材育成に必要な視点から社会実装に向けた戦略を有していること</p>	<p>Ⅱ.社会実装に向けた戦略 3.ミッション到達に向けた 5 つの視点での取組とシナリオ</p>
<p>オープン・クローズ戦略を踏まえて知財戦略、国際標準戦略、データ戦略、規制改革等の手段が明確になっていること</p>	<p>Ⅲ.研究開発計画 2.研究開発に係る実施方針 (1)基本方針、(2)知財戦略、(3)データ戦略、(4)国際標準戦略、(5)ルール形成、(6)知財戦略等に係る実施体制</p>
<p>産学官連携体制の構築、研究開発の成果を参加企業が実用化・事業化につなげる仕組みやマッチングファンドの要素をビルトイン</p>	<p>Ⅳ.課題マネジメント・協力連携体制 2.府省連携 3.産学官連携、スタートアップ (1)マッチングファンドに係る方針と内容</p>
<p>スタートアップの参画</p>	<p>Ⅳ.課題マネジメント・協力連携体制 3.産学官連携、スタートアップ (2)スタートアップ企業との連携</p>