「量子技術等の最先端技術を用いた海中（非 GPS 環境）における高精度航法技術」及び「量子技術等の最先端技術を用いた海中における革新的センシング技術」に関する研究開発構想（個別研究型）

令和 4 年 12 月
（令和 8 年 11 月改定）
内閣府
文部科学省

目次

1　構想の背景、目的、内容 2
1.1　構想の目的 2
1.1.1　政策的な重要性 2
1.1.2　我が国の状況 3
1.1.3　世界の取組状況 5
1.1.4　構想のねらい 5
1.2　構想の目標 6
1.2.1　アウトプット目標 6
1.2.2　アウトカム目標 7
1.3　研究開発の内容 7
1.3.1　研究開発の必要性 7
1.3.2　研究開発の具体的内容例 8
1.3.3　研究開発の達成目標 9
2　研究開発の実施方法、実施期間、評価 10
2.1　研究開発の実施・体制 10
2.2　研究開発の実施期間 11
2.3　評価に関する事項 11
2.4　社会実装に向けた取組 12

1　構想の背景、目的、内容

1.1 構想の目的

1.1.1　政策的な重要性

我が国は、広く海上に展開する 6 千余りの島々で構成されており、その歴史を通じて、物資輸送の場として、あるいは食料確保の場として積極的に海洋を利用してきた。また、これまでも海洋に関する様々な調査・研究が行われ、未利用のエネルギー・鉱物資源の存在や、海洋が地球環境の変化に大きく関連していることが明らかになってきたこと等、海洋には今後の人類の発展に深く関わる解明すべき多くの課題がある。

とりわけ、日本の離島のうち、有人離島は 254 島、そのうち特定有人国境離島は 71 島であり、我が国の国境、領土、領海、排他的経済水域（EEZ）、大陸棚などを確保し、海洋資源を守る上でも非常に重要な役割を担っている。こうした中、「第 3 期海洋基本計画」（平成 30 年 5 月 15 日閣議決定）では、最近の情勢として、我が国の領海や EEZ を取り巻く情勢が厳しさを増しており、領海侵入、違法操業・調査等、我が国の海洋権益はこれまでになく深刻な状況にさらされているといった、海洋をめぐる安全保障上の情勢変化が指摘されている。このような状況を踏まえ、同計画では、「海洋調査・観測・モニタリング等の活動により収集した海洋の科学的情報を活用し、海洋の状況を把握し、これを適切に共有する海洋状況把握（MDA）の取組は、多様な海洋政策の実施や海洋における脅威・リスクの早期察知に有効」であるとされているほか、また「海洋調査の効率化・精緻化を図るためのセンサーや 自律型無人探査機（AUV）等を活用した自動観測技術の開発に引き続き取り組む」こととしている。

海洋状況の把握や海洋における我が国独自の活動能力の強化にあたっては、海中や GNSS 妨害等が発生している海上での基盤技術として自らの位置等を把握する航法技術や、より広範囲で常時継続的に海洋環境を観測する革新的センシング技術など、様々な海洋状況を高精度・高効率・広範囲に観測・調査・モニタリング可能とする技術の確立が欠かせない。

今後ますます海洋観測・調査・モニタリング等において AUV や無人航空機（UAV）等の活用が想定される中、GPS 等の全球測位衛星システム（GNSS）の電波が届かない海中や GNSS 妨害が発生している海上等において、自らの位置、速度、姿勢を高精度に把握する慣性航法技術は、海中における AUV

や海上での船舶、UAV 等の航行に不可欠な基盤技術であり、我が国の自律的な海洋活動を維持・強化する上で、その技術の獲得が求められている。さらに、このような慣性航法技術は、海洋活動のみならず、GNSS の活用が困難な宇宙活動においても活用し得るものであり、その重要性は将来的に高まっていくと考えられる。

また、海底の資源探査や自然現象（海底地震、火山活動）等の調査には、高精度なセンシング技術が求められ、これまで、海中を伝わる振動・音響や化学成分等のセンシング手法が開発、実用化されている。そうした中、地上環境では量子技術等を活用した高精度なセンシング技術の研究開発が進められており、これまでにない高い精度で磁場等様々な物理量の計測が可能となっている。今後、海洋状況をより高精度に把握していくためにも、これら最先端技術を海洋領域に適用していくことが期待される。我が国の技術的優位性の維持・強化に向けて、これまで観測手段に乏しかった情報を高精度に観測する革新的センシング技術を確立し、様々な既存のセンサーや観測システムと組み合わせることにより、高精度な情報や新たな情報を取得する技術など海洋状況把握に資する基盤技術を世界に先んじて確立することが求められている。

本構想は、個別研究型として、こうした背景の下、海洋観測・調査・モニタリング能力の拡大に資する支援対象とする技術として研究開発ビジョン（第一次）において定められた「量子技術等の最先端技術を用いた海中（非 GPS 環境）における高精度航法技術」及び「量子技術等の最先端技術を用いた海中における革新的センシング技術」の獲得・確保を目指すものである。

なお、近年の国際情勢を背景に大規模な GNSS 妨害が常態化しつつあり、もはや「非 GNSS 環境＝海中」という図式は成り立たなくなっている。海中はもとより、MDA（Maritime Domain Awareness：海洋状況把握）に不可欠な海上にまで非 GNSS 環境が広く拡大しており、海洋全体を「非 GNSS 環境」として捉えるべき状況にあることを付記する。

1.1.2　我が国の状況

＜海洋（非 GNSS 環境）における高精度航法技術＞

海洋（非 GNSS 環境）における高精度航法技術としては、慣性航法装置が想定されるが、現在 AUV に搭載されている国産の慣性航法装置では、将

来想定される長期間の活動等に足る精度が得られていない。特に、慣性航法装置の精度におけるボトルネックはジャイロスコープ（角速度計）であり、現在、我が国を含め、国際的に光技術等を用いたジャイロスコープ（光ファイバジャイロスコープ（FOG））等の高精度化が進んでいる。

また、原子・イオン等の量子性を利用した量子ジャイロスコープは、光波よりも物質波の波長が短い特徴を利用して角速度をさらに高精度に検知する能力を有することから、上述の光技術と組み合わせることでジャイロスコープの更なる精度向上が期待されており、中長期的な実用化を見据えて国際的に研究開発が進んでいる。量子ジャイロスコープは我が国大学が強みを有する分野である。

一方、最近では、非 GNSS 環境の拡大に対応して、米国や仏国等航法技術の先進諸国で、昼間でも運用可能な高精度の Star Tracker と上記の高精度な慣性航法装置とを組み合わせることで、航法精度を飛躍的に向上させる天測慣性航法システムの研究開発も急ピッチで進められている。そのため、我が国においても戦略的自律性確保の観点からも可及的速やかな研究開発の推進が必要な状況となっている。

＜海中における革新的センシング技術＞

現在、地震・津波の観測のための地震計や水圧計等の海底観測システムや地殻構造探査、魚群探査、水温・流速計測への音響センサーの利用がなされている。

他方、多様な情報を高精度に計測する量子センシング技術等の革新的センシング技術は、地上環境での開発が進められているが、海中・海底の環境を想定した開発はほとんど進められていない。例えば、固体中の原子欠陥を磁場等の計測に応用する量子センシングは、地上での磁気シールドルーム内といった特殊な低ノイズ環境下での使用を想定するものが主であり、現時点では海中・海底といったノイズのある環境や水圧が高い等の極限環境を想定していない。また、海中・海底に適用するためには、海中・海底にセンサー部、地上に制御・測定装置という構成にするなど、過酷な環境である海中・海底に設置するシステムを可能な限り最小限にしていくことがシステムの堅牢性を確保する上で重要となる。しかし、地上環境での開発では、センサー部と制御・測定装置は近接しているケースが多く、海中と地上の装置が離れている場面は想定されていない。

1.1.3　世界の取組状況

＜海洋（非 GNSS 環境）における高精度航法技術＞

高精度慣性航法装置については、米国、欧州、豪州や中国といった世界各国で研究開発等が行われ、その中で、実用に向けた小型化やシステム化も進んできている。特に、ジャイロスコープについては、現在、欧米の技術が世界的に優位である一方、その精度はまだ発展途上である。例えば、仏国の企業から販売されている光ファイバジャイロスコープ（FOG）を用いた慣性航法装置は、精度が 1 海里/360 時間（約 2km/15 日間）[1]とされている。

天測慣性航法装置については、米国は 2000 年代初頭に GPS の脆弱性を認識し、最新の CCD 素子等を用いた、小型・高精度のシステム開発を開始した。最近では米国の大学等を中心とした実証試験の報告がなされており、仏国においても、非 GNSS 環境の重大性を認識し、同様の技術開発が強力に進められている。

＜海中における革新的センシング技術＞

米国、欧州を中心に、固体中の原子欠陥を磁場等の計測に応用する量子センシング技術の研究開発が進んでいるが、主な対象は、我が国と同様で脳磁計測、電気自動車のバッテリーモニタといった地上での応用であり、海中・海底といった環境を視野に入れた研究開発は行われていない。

1.1.4　構想のねらい

本構想では、量子技術等の最先端技術を海洋（非 GNSS 環境）の航行や海洋環境観測に適用することにより、これまでにない高精度航法技術や海中における革新的センシング技術を確立する。これにより、様々な海洋状況の高精度・高効率・広範囲な観測・調査・モニタリングする技術について優位性の獲得を狙う。

＜海洋（非 GNSS 環境）における高精度航法技術＞

AUV 等への搭載を見据え、海氷下を観測するため浮上する機会が極端に

[1] この精度は 15 日間を通した自己位置の揺らぎと累積的な誤差の合計をさしており、1 時間の慣性航法における位置精度が 1/360 海里になるわけではない。

制限される北極海海域の潜水調査等に必要な長期間の活動等を想定し、そのような環境下において求められる高い位置精度の達成を目指す。また、海上も MDA にとって必須の領域であるが、この空間の非 GNSS 環境に対応して、天測慣性航法による高い位置精度の達成を目指す。これにより、高精度航法装置の国内における実現を図ることで、我が国技術の優位性の獲得及びこれによる自律性の確保が期待される。

＜海中における革新的センシング技術＞

これまで観測手段に乏しかった海中・海底の磁場等を把握する新たな技術を確立することを目指す。この技術と既存センサーと組み合わせることで、より詳細な海底火山活動や地震の観測、不審航行体の監視、海底資源探査等に利用できる新たな海洋観測システム構築への展開が期待される。

1.2 構想の目標

1.2.1 アウトプット目標

＜海洋（非 GNSS 環境）における高精度航法技術＞

本構想では、非 GNSS 環境での高精度航法技術に必須となるジャイロスコープ、加速度計、重力勾配計、昼間でも運用可能な Day Time Star Tracker 等の各要素技術について、最先端技術を導入し、要素技術をインテグレートすることによって高精度化を実現し、国際競争力を有する慣性航法装置を開発することを目指す。

具体的な航法精度は、非 GNSS 環境が 30 日程度連続する状況を想定し、5 年後を目途に、現在仏国の企業から販売されている慣性航法装置の精度（1 海里/360 時間（約 2km/15 日間））を超える約 2km/30 日の精度を実現することを目標とし、最終的には、約 100m/30 日の超高精度な慣性航法装置を実現することを目指す。併せて、要素技術をインテグレートした航法装置としての性能を、効率よく検証可能な手法を構築するものとする。

天測慣性航法装置については、研究開発開始から 2 年後を目途に、大気散乱や透過率等の解析を基に最適な波長を選定するとともに、撮像素子の詳細仕様を検討・決定する。更に天測慣性航法のアルゴリズムを開発し、既存の可視光 Star Tracker とこれまでに開発した慣性航法装置とを組み合わせた天測慣性航法の夜間地上実験デモンストレーションで、開発した慣性

航法装置を単独で使用した場合に比べて航法精度が向上することを確認する。更にプロジェクト終了時までに昼夜でも使用可能な天測慣性航法装置を試作し、GPS ライクな「時間の経過に依存しない 100m の航法精度」が得られることを目指す。なおこれらの目標の実証にあたっては、地上試験では天候や天象等の影響により連続した長期間の評価が困難であることから、必ずしも 30 日間連続して試験を行うことを求めず、短期間の試験結果等から目標性能を合理的に検証できる評価手法を構築するものとする。

＜海中における革新的センシング技術＞

本構想では、十数マイクロテスラレベルの地磁気やその 1/100 程度の変動といった外乱ノイズがある等の海中の実環境において、船舶などの人工物の位置をクジラなどの大型動物と区別して特定する技術、及び急激な火山活動や人工物の接近など海底・海中の急激な変動に対しても機能不全とならずに適切に測定できるワイドダイナミックレンジなセンサーの開発に取り組む。その上で、最終的には実際の海底での性能検証を行う。

また、環境変動を把握する技術として、漁業にも重要となる海水の温度や pH を計測する技術の開発や、海底火山活動などのより詳細な把握のための温度や磁場の複数情報の同時取得を可能とするマルチセンシング技術の開発を行う。

1.2.2 アウトカム目標

海洋（非 GNSS 環境）における高精度航法技術や海中における革新的センシング技術を開発することで、様々な海洋状況の高精度・高効率・広範囲な観測・調査・モニタリングを可能とする技術を確立し、様々な観測システム等への搭載を通じて、EEZ に分布している海洋鉱物資源の賦存量調査の効率的な実施、気候変動メカニズムの解明、気候変動予測の高精度化、地震・海底火山の調査・観測、不審船や航行体の監視等の高精度化を実現する。また、海洋領域のみならず宇宙活動等にも広く適用されることを目指し、我が国技術の優位性の獲得及び自律性の確保を狙う。

1.3 研究開発の内容

1.3.1 研究開発の必要性

＜海洋（非 GNSS 環境）における高精度航法技術＞

我が国の現状の航法技術では、一定の頻度で海上に浮上して GNSS 信号を受信する、あるいは海上の母船と通信するなどして、慣性航法装置の精度不足による誤差の補正が必要であり、AUV 等の運用に大きな制約がある。また、海上の船舶や洋上の航空機等も GNSS 妨害環境においては自己の位置を高精度で把握することはできない。この制約を克服できる高精度な慣性航法装置を成立させるためには、量子技術等を活用した「ジャイロスコープ」、「加速度計」、「重力勾配計」の 3 種類の高精度な慣性センサーを開発するとともに、これらをインテグレートした装置を製作、実証するための技術開発を並行して進める必要がある。また、海上において非 GNSS 環境下でも自己位置を把握するために、天測慣性航法システムを開発する必要がある。併せて、海洋と同様に GNSS の活用が困難な宇宙活動等への活用を視野に入れた取組も行うことが望まれる。

＜海中における革新的センシング技術＞

磁場等を高感度に観測する量子センシング技術については、我が国や欧米において、地上での適用が研究開発の対象となっている。一方で、海洋権益の確保等のために海洋における利用も想定されるが、そうした開発はなされていない。この分野における我が国技術の優位性の獲得等のためにも、最先端の量子センシング技術を世界に先んじて海洋環境に応用し、技術開発・実証を行うことが必要である。

1.3.2　研究開発の具体的内容例

＜海洋（非 GNSS 環境）における高精度航法技術＞

- 慣性センサー技術

ジャイロスコープの高精度化にあたっては、既に光技術を利用した技術が実用化されているが、更に高度化を進めるとともに、理論的に極めて高精度となることが期待されている物質波を利用したジャイロスコープについて、小型化・軽量化・長寿命化も念頭に開発を進める。

加速度計及び重力勾配計については、光技術や半導体技術を利用したものが実用化されており、これらの高精度化を進める。

- 慣性航法装置製作技術

上記で開発した慣性センサーをインテグレートした慣性航法装置の開発・実証を行う。開発の効率化のため MBD（Model Based Development）を採用することも考えられる。当該装置は AUV や海上船舶、洋上航空機等に搭載することを念頭に、これらの活用シーンも踏まえ、所要の精度や堅牢性等を確保しつつ、小型化・軽量化等にも取り組む。この際、宇宙活動等への活用についても考慮する。

- 天測慣性航法技術

天測慣性航法装置については、昼間での運用も可能とする赤外領域の高精度・高更新レートの Star Tracker と高精度の慣性センサーのセンサー統合アルゴリズムの開発を行う。更に Star Tracker のセンサー部分である撮像素子の読み出し制御は統合アルゴリズムと密接に結びついているため、統合アルゴリズムの開発担当者が中心となって赤外領域撮像素子の専門メーカーとの密な連携のもとに研究開発を進める。

＜海中における革新的センシング技術＞

- 海中において利用可能な量子センシングシステム技術

  海中における観測手段に乏しい磁場等について、海流や地磁気などの海中・海底のノイズ環境下でも動作可能かつ高精度測定が可能な量子センシングシステムを開発し、プロトタイプによる海中での性能検証を行う。
- 常時継続的な観測技術

  海中における常時継続的な観測を想定し、メンテナンスフリーで堅牢なセンシングシステムを開発する。また、センシングシステムの計測・制御装置が地上にあり、海中のセンサー部と遠距離になる場合も想定されるため、将来的な実用化を見据え、リモート制御が可能で測定シグナルの減衰が少ない等といったセンシングシステムとなるよう留意する。

1.3.3 研究開発の達成目標

＜海洋（非 GNSS 環境）における高精度航法技術＞

最終的な高い位置精度を達成する慣性航法装置の製品化を視野に入れ、研究開発開始から 5 年程度を目途に、その時点において世界最高の精度を

有する航法装置のプロトタイプの開発・実証を目指す。

天測慣性航法装置については、昼間でも使用可能な天測慣性航法装置の試作を目指して、最適な波長を選定するとともに、撮像素子の詳細仕様を検討・決定する。更に天測慣性航法のアルゴリズムを開発し、既存の可視光 Star Tracker とこれまでに開発した慣性航法装置とを組み合わせた天測慣性航法の夜間地上実験デモンストレーションを行い、慣性航法装置を単独で用いた場合に比し、航法精度が向上することを示す。その際、海洋観測・調査・モニタリング等での活用が想定される AUV や UAV 等への将来的な搭載可能性も考慮し、小型軽量化につながる技術を開発する。

＜海中における革新的センシング技術＞

最終的な常時継続的海洋観測システムへの導入を視野に入れ、研究開発開始から 5 年後までに、プロトタイプの製作及び海中での性能実証を目指す。

以上について、より具体的には、提案者の設定した個別の達成目標を基本としつつ、文部科学省及び JST のサポートの下、採択後、研究開発を開始するにあたって行う研究計画の調整にて定める。また、研究開発開始後においては、協議会における意見交換の結果も踏まえ、必要に応じて研究計画の見直しを行う。

2　研究開発の実施方法、実施期間、評価

2.1 研究開発の実施・体制

当該構想のアウトプット目標をより詳細に設定するため、研究開発対象となり得る技術動向を踏まえ、プログラム・オフィサー（PO）、当該関係分野の有識者、関係府省等による意見交換を経た上で研究公募を行い、研究開発課題を決定し、産学官の複数の研究代表者による研究開発を行う。その上で、PO の指揮・監督の下、研究代表者が研究開発構想の実現に向け責任を持って研究開発を推進する。JST 等の助言に基づき、研究に参加する主たる研究者のそれぞれが、適切な技術流出対策を行うよう体制を整備するとともに、研究インテグリティの確保に努め、適切な安全保障貿易管理を行うよう、これらを推進すると共に、研究開発に必要な事項を行う。

2.2 研究開発の実施期間

＜海洋（非 GNSS 環境）における高精度航法技術＞

研究開発開始から「1.3.3 研究開発の達成目標」まで 5 年程度とし、この期間の予算として最大 100 億円程度を措置する。

本技術では、「1.2 構想の目標」の達成に向け、研究開発開始から 10 年以内を限度に、5 年程度を超えて継続することを可能とする。したがって、5 年程度を超えて継続することを現時点で構想し得る場合は、研究開発開始から 10 年以内で、「1.2.1 アウトプット目標」を達成し、AUV 等へ搭載可能な慣性航法装置を製品化するまでの計画と、その計画の達成により「1.2.2 アウトカム目標」以外に実現が見込める潜在的な社会実装についても提出を推奨する。

5 年程度を超えて継続する場合には、内閣府、文部科学省が、外部評価の結果等を踏まえ、関係府省と調整の上、当該継続期間に措置する予算を示す。

なお、5 年以内での製品化が可能である場合はこの限りではなく、実現性があり可能である限り早い時期での構築が構想できることが望ましい。

＜海中における革新的センシング技術＞

研究開発開始から原則 5 年以内とする。本技術全体で最大 40 億円程度の予算を措置する。（複数の研究開発課題を実施することとなった場合は、各課題の合計額が 40 億円程度となるよう各課題に配分する。）

2.3 評価に関する事項

＜海洋（非 GNSS 環境）における高精度航法技術＞

自己評価は毎年実施する。外部評価の実施時期は、原則、研究開発の開始から 3 年目に中間評価（ただし天測慣性航法については 2 年目）、5 年程度を目途にステージゲート評価を実施する。さらに 5 年を超えて継続する場合には、終了年までの間に 1 回以上中間評価を設けるものとする。

＜海中における革新的センシング技術＞

自己評価は毎年実施する。外部評価については、原則、研究開発の開始から 3 年目に中間評価、研究開発終了年に最終評価を実施する。

上記のいずれについても、具体的な時期やステージゲート評価の目標等の設定については、担当するプログラム・オフィサーが採択時点でマイルストーンを含む研究計画とともに調整した上で、JST が決定するものとする。

2.4 社会実装に向けた取組

本構想の目標は、量子技術等の最先端技術を海洋（非 GNSS 環境）の航行や海洋環境観測に適用することにより、これまでにない高精度航法技術や海中における革新的センシング技術を確立し、様々な海洋状況の高精度・高効率・広範囲な観測・調査・モニタリングにおける我が国技術の優位性を獲得することである。また、公的利用に加え、民生利用に活用も意識した研究開発を行う。このためには、研究代表者と、潜在的な社会実装の担い手として想定される機関等との間で、AUV や有人・無人船舶、有人・無人航空機等を用いた海洋観測・調査・モニタリングが求められる状況、高精度センシング等に期待される測定対象・環境、設計・製造・運用コスト等の情報共有や、小型化・低コスト化、部品・材料の安定的なサプライチェーンの確保を含めた社会実装イメージや研究開発の進め方を議論・共有する等の伴走支援が有効である。

したがって、今後設置される協議会を活用し、参加者間で機微な情報も含め、社会実装に向けて研究開発を進める上で有用な情報の交換や協議を安心して円滑に行うことのできるパートナーシップを確立することが重要であり、関係者において十分にこの仕組みの運用を検討する必要がある。なお、協議会の詳細は別に定める。また、PO は研究マネジメントを実施する際には、協議会における意見交換の結果も踏まえるものとする