

「高感度小型多波長赤外線センサ技術の開発」に関する研究開発構想
(個別研究型)

令和4年10月

内閣府
経済産業省

目次

1. 事業の背景、目的、内容	4
(1) 事業の目的	4
① 政策的な重要性	4
② 我が国の状況	5
③ 世界の取組状況	5
④ 本事業のねらい	6
(2) 事業の目標	6
① アウトプット目標	7
ア. 赤外線検出器の最終目標	7
イ. 分光デバイスの最終目標	8
ウ. 光学系の最終目標	9
② アウトカム目標	10
(3) 事業の内容	10
研究開発項目① 赤外線検出器、分光デバイス及び光学系の開発	11
ア. 研究開発の必要性	11
イ. 研究開発の具体的内容	12
ウ. 達成目標	13
研究開発項目② 多波長赤外線センサの開発	14
ア. 研究開発の必要性	14
イ. 研究開発の具体的内容	14
ウ. 達成目標	14
研究開発項目③ 多波長赤外線センサの実証	15
ア. 研究開発の必要性	15
イ. 研究開発の具体的内容	15
ウ. 達成目標	16
2. 実施方法、実施期間、評価	16
(1) 事業の実施・体制	16
(2) 事業の実施期間	17
(3) 評価に関する事項	17
(4) 社会実装に向けた取組	19
(5) 総予算	20
(6) 経済産業省の担当課室	20

3. その他重要事項	20
(1) 研究開発成果の取扱い.....	20
① 共通基盤技術の形成に資する成果の普及	20
② 標準化施策等との連携	20
③ 知的財産権の帰属、管理等の取扱い	20
(2) 「研究開発構想」の見直し	21
(3) 研究開発の対象経費	21
4. 研究開発構想の改定履歴	21

1. 事業の背景、目的、内容

(1) 事業の目的

① 政策的な重要性

赤外線センサは、昼夜を問わず利用可能であり、霧中での見通し距離も長いいため、様々な安全保障用途及び民生用途で活用されている。通常、赤外線センサは幅広い赤外波長域に渡って、波長を狭域波長ごとに区別することなく一括して撮像するため白黒画像が得られることとなるが、複数の波長帯ごとに弁別しながら撮像ができる高感度の小型多波長赤外線センサがあれば、小型衛星、ドローン、HAPS(高高度を飛び続ける無人航空機)、ハンディカメラ等にこれを搭載し、高頻度・高精度でのスペクトル(分光分布)データを得られるようになる。これにより、海洋状況把握、自然災害のリスク・被害状況の把握、重要鉱物資源の探査等、安全保障や危機管理上、重要な情報が得られるようになる。

政府計画においては、「宇宙基本計画」(令和2年6月30日閣議決定)において、「2019年末に打ち上げられ、ISSに搭載したハイパースペクトルセンサ「HISUI」の定常運用を早期に開始し、取得データの評価・検証を実施する。当該センサで取得したデータについては、我が国のエネルギー安全保障への貢献につながる形で、政府衛星データプラットフォーム(Tellus)等を通じてユーザへ提供を行う。また、ハイパースペクトルセンサの特性を活かし、資源探査のみならず、環境、農業、森林、防災等の幅広い分野における解析手法の研究開発及び利活用の促進に取り組む。(経済産業省)」と記載されている。

また、「宇宙基本計画工程表改訂に向けた重点事項」(令和4年5月20日宇宙開発戦略本部決定)では、「定常運用中の宇宙実証用ハイパースペクトルセンサ「HISUI」で取得したデータを用いて利用実証を行い、センサの有用性の検証を行う。また、HISUIのデータ頻度等を補完する小型衛星向けの小型多波長センサを開発する。」と記載されている。

経済安全保障技術育成プログラムの研究開発ビジョンにおいても、宇宙・航空領域で支援対象とする技術において、

- 小型かつ高感度の多波長赤外線センサ技術が上げられている。

本研究開発構想では、研究開発ビジョン(第一次)に定められたセンシング能力の抜本的な強化のため、個別研究型として軽量・小型で高感度多波長赤外線センサに必須の技術である赤外線検出器、分光デバイスと光学系を研究開発し、ドローン及び小型衛星に搭載してシステム実証を行う。

② 我が国の状況

日本は1980年代から資源探査等のための多波長大型衛星（JERS-1（8バンド＋SAR）、ASTER（14波長）、HISUI（185波長））の開発及び多波長データの利用実証に取り組んできた。HISUIは世界最高のS/N比（≡輝度分解能）を有する多波長カメラであり、2021年9月に初データを取得したところ。分光しても非常に明るい画像が得られるため、鉱物資源等の分野で先進的な研究成果を上げつつある。他方、HISUIはデータ取得頻度が非常に低く、地球全球のデータを取得するのに約3年間が必要である。このため、高頻度でのデータ取得が必要な安全保障分野等では、小型衛星やドローン等に搭載可能な高感度の小型多波長赤外線センサが必要である。

③ 世界の取組状況

HISUIは米国、中国、イタリアに続く世界で4番目のハイパースペクトルセンサ（100波長以上）の宇宙実証機であるが、このうち現在利用できるものはイタリアのPRISMAとHISUIの2機しかない。

HISUIはPRISMAよりも特定波長域のS/N比（≡輝度分解能）や観測面積で優れるなど、世界トップレベルの技術水準である。また、民間企業・大学のコンソーシアムである「うみつばめ衛星プロジェクト」（代表：東工大）が2022年度にJAXAの革新的衛星技術実証3号機でチューナブルマルチセンサ（※軌道上で撮像波長を変更できる独自センサ）を搭載した小型衛星を世界に先駆けて宇宙実証予定である。

多波長衛星は、大型衛星でベースマップを作りデータ利用研究を進め、小型衛星で頻度等を補完することが効率的であるが、このように、我が国においては大型・小型いずれも世界で最高レベルの技術を有する。

また、我が国は多波長衛星の開発やデータ利用実証に長年取り組んできたことから、物体等とそのスペクトルデータとの関係に関する知見が国内の各分野（資源、鉱物、海洋、土木、農林水産業等）に蓄積されている。衛星等から得られる多波長データを使いこなすためには、こうした「教師データ」や「プロユーザ」の存在が重要であるが、この点において、我が国は優位性を持つ。安全保障分野をはじめとする各分野と連携して様々な用途・市場を新たに開拓することができれば、小型衛星事業者、ドローン事業者等の国際競争力向上にもつながる。

④ 本事業のねらい

多波長赤外線センサはその観測波長帯域の広さと波長分解能性能により、鉱物資源探査、農林水産業の効率化、そして環境に過度な負荷を与えない持続可能な社会経済活動を行う上で、従来のセンサでは得られない利用性の高い情報を収集することができる。さらに多波長赤外線センサを構成する重要要素技術である赤外線検出器は、その熱源探知能力から弾道ミサイルや高速飛翔体の発射検知及び追尾、また暗視センサとして安全保障用途で利用することができる。そのため、本事業で目標とする機能・性能をもつ赤外線検出器は、世界的に輸出規制が掛けられており調達が困難である。このような状況下で我が国が社会経済活動、安全保障活動を世界的に優位に進めるためには、他国に依らず自律的に多波長赤外線センサを製造し活用する能力を持つことは非常に重要である。

本事業では、ASTER、HISUI で得られた技術基盤をもとに、小型衛星及びドローンにも搭載可能な高感度でかつ軽量・小型の多波長赤外線センサを開発し、波長分解能、空間分解能だけでなく時間分解能も向上した世界最高水準の多波長データの収集・分析の実証を行う。

本事業の成果は、2020 年代半ば以降、軽量・小型の多波長赤外線センサ搭載の小型衛星コンステレーションやドローンからの多波長データによるビジネスの創出に資することを目指す。具体的には、赤外線検出器、分光デバイスや光学系、多波長赤外線センサを搭載するドローンや小型衛星のそれぞれを製造する事業者は勿論のこと、我が国独自のスペクトルデータを持つことで国内の解析・データプラットフォーム事業者の国際競争力強化にもつなげる。結果として、我が国の多波長赤外線センサ技術における国際的な優位性を確保するとともに、安全保障分野を含む様々な分野における多波長のデータ利用を進め、新たな宇宙監視、リモートセンシング市場を開拓する。

(2) 事業の目標

本事業は、以下の3つを事業の目標とする。

1. 多波長赤外線センサを構築するうえで必須技術である赤外線を検知する「赤外線検出器」、検知した赤外線を分光してスペクトル画像（以下、多波長画像と呼ぶ）を得るための「分光デバイス」、及びこれらを組合わせて多波長赤外線センサとして構成するための「光学系」を開発し、目標とする機能・性能を満足すること。
2. 多波長赤外線センサを新たに開発する「小型衛星」、及び「ドローン」に搭

載して高品質の多波長画像を取得し、軽量・小型の多波長赤外線センサとして目標とする機能・性能、耐環境性、及び利用性（時間分解能性能を含む）を満足すること。

3. 得られた多波長画像を「解析・データプラットフォーム」上に格納し、同プラットフォームにおいて多波長画像を社会的に付加価値の高いデータに換算するための解析技術、アプリケーションの開発が出来ること。

事業を進めるに当たり、新たに開発する「赤外線検出器」、「分光デバイス」等幅広い分野で応用可能な要素技術については、高機能化を図りつつ、安全保障用途のみならず様々な民生用途にも活用できるよう低コスト化を目指す。

① アウトプット目標

多波長赤外線センサにより今まで見えなかった事象を捉え、新たなリモートセンシング市場を開拓するためには、

1. 検出できる赤外波長として $1\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ の広い感度波長域
2. 高い S/N 比（高い輝度分解能の実現により高い信号強度(S) 対画像ノイズ(N)比を得る）を維持しつつ、 $0.05\text{nm}\sim 10\text{nm}$ の高い波長分解能
3. 解像度として、衛星搭載の場合 $5\text{m@swath } 5\text{km}$ 、ドローン搭載の場合 $5\text{cm@swath } 50\text{m}$ の高い空間分解能

の 3 つの主要な指標をカバーする性能領域を持つことが重要であり、これを実現するための赤外線検出器、分光デバイス、光学系それぞれの要素技術とその組合せ技術を開発することを目標とする。

アウトプット目標として各要素技術の技術課題と最終目標を以下に示す。

ア. 赤外線検出器の最終目標

軽量・小型の多波長赤外線センサを作るためには、赤外の広帯域で観測レンジを持ち、かつ十分な画素数を有する小型の赤外線検出器が必要であるが、我が国では製造されていない。

本事業では、高画素で波長 $1\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ の帯域を分光撮像することが可能な「赤外線受光部」と「受光信号読み出し回路部」からなる赤外線検出器を開発する。

A) 赤外線受光部

感度波長域：	波長 $1\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$
動作環境温度：	77K
画素数：	1000 画素(鉛直) × 1000 画素(水平)以上

画素ピッチ； 15 μm 以下

耐放射線性： 低軌道衛星の放射線環境下で耐放射線性を持つ

B) 受光信号読み出し回路部 (ROIC)

読み出しビット： 12 ビット以上

読み出し速度： 100 フレーム/秒以上

シャッタ速度： 0.8 ミリ秒～3 ミリ秒よりも広域

耐放射線性： 低軌道衛星の放射線環境下で耐放射線性を持つ

イ. 分光デバイスの最終目標

本事業では、多波長赤外線センサに要求される分光性能を満足するため、高輝度分解能に重点をおく分光デバイス LVF (Linear Variable Filter)、高波長分解能に重点をおく分光デバイス LCFP (Liquid Crystal Fabri Pelot Etalon)、及び観測対象に応じて電子的に透過波長や波長分解能を変更できる分光デバイス LCTF (Liquid Crystal Tunable Filter) の 3 種類の分光デバイスを開発し、広範囲の観測対象に応じて最適な分光デバイスを選択、赤外線検出器と組合せできることを目指す。

分光デバイス LVF においては、従来のグレーティング分光技術では赤外光の透過率は 30～50%程度であったが、S/N 比を得るために透過率の大きい赤外分光デバイス LVF が必要である。

本事業では、動作温度 60K 以上で波長 1 μm ～4.5 μm において透過率 90%以上、波長 5 μm においては 85%以上を目標とする赤外分光デバイス LVF を開発する。このデバイスを採用する多波長赤外線センサは、鉱物資源探査や海洋資源開発への応用が期待されるものとなる。

A) 分光デバイス LVF

対象波長域： 波長 1 μm ～5 μm

動作環境温度： 60K～300K

赤外光透過率： 90%以上@1～4.5 μm 、85%以上@5 μm

透過バンド幅： 透過波長の 1%より狭いこと

耐放射線性： 低軌道衛星の放射線環境下で耐放射線性を持つ

分光デバイス LCFP においては、高速波長ファブリ・ペロー共振器を用いた選択波長スキャンニングタイプの分光デバイスを開発する。

本事業では多波長赤外線センサに搭載可能で波長分解能が短波長 1.5 μm にお

いて 0.05nm 程度を目標とする。このデバイスを採用する多波長赤外線センサは、温室効果ガスが有する赤外線吸収スペクトルを観測可能で、衛星軌道あるいはドローンの飛行高度から大気中の炭酸ガスやメタンの空間分布計測への適用が期待される。

B) 分光デバイス LCFP

対象波長域： 波長 $1\mu\text{m}$ ～ $5\mu\text{m}$ 中の任意の 100nm 幅
動作環境温度： 常温
赤外光透過率： 30%以上@ピーク値
透過バンド幅： 0.05nm@ $1.5\mu\text{m}$ 以上
耐放射線性： 低軌道衛星の放射線環境下で耐放射線性を持つ

分光デバイス LCTF においては、これは我が国の独自技術であり可視および波長 $1\mu\text{m}$ 程度までの短波長域において透過バンド幅 10nm 程度の高波長分解能を有するものである。

しかし、従来技術では波長域が $1\mu\text{m}$ までの固定された分光デバイスであったところ、本事業では波長 $2.5\mu\text{m}$ においても バンド幅 10nm と透過バンド幅比で従来の分光デバイスに比べ 2～3 倍の高波長分解能をもち、さらに透過波長のみならず、透過バンド幅そのものを電子的に可変できることを目標とする。

C) 分光デバイス LCTF

対象波長域： 波長 $1\mu\text{m}$ ～ $2.5\mu\text{m}$ 中の任意の 1 オクターブ
動作環境温度： 常温
赤外光透過率： 30%以上@ピーク値
透過バンド幅： 10nm 又は 10nm を最狭透過幅として可変
耐放射線性： 低軌道衛星の放射線環境下で耐放射線性を持つ

ウ. 光学系の最終目標

光学系は、多波長赤外線センサが必要とする高い空間分解能に重点をおく高分解能光学系と広い撮像範囲に性能の重点をおく広視野光学系の 2 種類を開発し、観測対象に応じて最適な光学系を選択、赤外線検出器、分光デバイスと組み合わせることを目指す。

A) 高空間分解能光学系

空間分解能： 1 画素あたり 5m@衛星搭載、5cm@ドローン搭載
質量・包絡域： 100kg 級衛星、ドローン搭載可能

B) 広視野光学系

瞬時視野の広さ： 1 フレーム 50km×50km 以上@衛星搭載、
500m×500m @ドローン搭載

質量・包絡域： 6U～12U 衛星、ドローン搭載可能

② アウトカム目標

本事業で開発した多波長赤外線センサにより、これまで開拓がされていない安全保障分野を含む様々な分野における多波長画像利用の実証を進め、新たなリモートセンシング市場を開拓する。具体的な成果として以下の3つを想定する。

A) 経済安全保障分野

熱源探知によるサプライチェーンの稼働率を計測する手段として活用する、安全保障用途に本事業で開発した赤外検出器が採用される等、広い温度領域が計測可能である特徴を活かし、社会経済、安全保障のそれぞれの活動に必要なインテリジェンスを計測データから抽出することができるセンサとして利用されること。

B) 民生利用分野

温室効果ガスの高精度な空間分布、海洋生態系によるブルーカーボンや泥炭地・森林バイオマスの実態等の環境計測データを炭素クレジットへ展開し、金融系事業者との連携からなる新事業の創出を見込み、Zero エミッション実現経費を半減できるだけの国際ルールの策定に貢献すること。

C) 学術分野

赤外多波長の我が国独自のスペクトルデータを持つことで国内の解析・データプラットフォームに魅力を持たせ、プラットフォーム上でアカデミア（大学および研究機関等）と産業界が連携し、リモートセンシングの学術的成果を社会実装するダイナミズムを生み出すこと。

（3）事業の内容

本事業で研究開発を実施する多波長赤外線センサとその構成要素技術は、我が国が安全保障活動、社会経済活動を行う上で必須の重要技術であり、また、世界的にも本技術は輸出規制の対象となっている。これを他国に依存することなく自律的に製造する能力を担保し、国の政策実施のために必要なデータ等の取得、分析及び提供することを目的としている。さらに、本事業の成果は民生利用のみならず公的利用につなげていくことが前提となっている。そのため以下の研究開発項目は

全て委託で実施するものとする。

なお、先行事業としては「石油資源を遠隔探知するためのハイパースペクトルセンサの研究開発事業費」による HISUI の開発がある。先行事業では、HISUI を国際宇宙ステーション (ISS) に設置して運用しており、そのため大型衛星に搭載可能な質量・容積・消費電力であった。また、ISS の軌道により地球全域の観測データを取るには長期間必要であった。本事業では、重要要素技術である「小型で大画素の赤外線検出器を国産化」し、分光デバイス・光学系についても「軽量・小型でシステム化できる技術レベル」まで到達することを目指している。さらにドローンと小型衛星による地上・空・宇宙での実証を行い、空間分解能だけでなく時間分解能も向上することで幅広く民生利用と公的利用につなげることを想定している。

研究開発項目① 赤外線検出器、分光デバイス及び光学系の開発

ア. 研究開発の必要性

赤外線受光部としては、InGaAs があるが $1.7\mu\text{m}$ よりも長い波長においては暗電流が大きく $-100^{\circ}\text{C}\sim-200^{\circ}\text{C}$ 程度まで冷却する必要があり実用的ではない。それよりも長い波長帯では、カドミニウムや水銀を含んでおり環境適合性に問題がある MCT 系受光部が主に使われている。暗電流が小さく環境適合性のある 1000×1000 画素以上の画素数を有する国産の赤外線検出器は存在しておらず、我が国の経済安全保障上の課題となっている。

受光信号読み出し回路部 (ROIC) についても、上記の赤外線検出部の電気的特性に整合し、かつ低温駆動が可能となる大画素対応 ROIC は海外が先行しており、しかも輸出規制のため入手することが困難である。アプリケーションの要求からは大画素対応だけではなくさらに毎秒 100 フレーム以上の高速画像出力も求められている。

分光デバイス及び光学系は、ユーザの観測要求に応じたデバイスの選択性が十分ではない。分光デバイスは高輝度分解能と高波長分解能が相反する要求となり、どちらの性能に重点を置くか、あるいは電子的にリアルタイムで性能を設定可能とするか 2 つの性能について選択性を上げる必要がある。光学系についても、広視野と高空間分解能の選択性が必要であり、かつドローンや小型衛星に搭載可能な質量・容積でなければならない。

イ. 研究開発の具体的内容

A) 赤外線受光部の材料成長(MBD)、成膜(ALD)技術の開発、及び材料選定

波長帯域 $1\sim 5\mu\text{m}$ を複数の部分波長域に区分し、それら各波長域において選択すべき光半導体材料を探索し、その光電変換特性データを収集する。

製造容易性も含めて材料選択すべき指導原理を明らかにし、赤外線受光部の材料構成を提案する。成膜技術についても同様に開発・提案を行う。

暗電流評価用の T2SL (Type II Super Lattice) の試作・評価もあわせて行う。

B) 小画素の赤外線受光部及び ROIC の試作

特性計測が可能な大きさの小画素の赤外線受光部と対応する ROIC、次いで 64×64 画素程度の赤外線受光部と対応する ROIC の 2 段階で画素を増やして試作し、それぞれ感度、暗電流、読み出し速度、リードアウトノイズ、消費電力など諸特性を計測し、製法の最適化を図る。なお、本試作ではアウトプット目標に示す「画素ピッチ $15\mu\text{m}$ 以下」の要求仕様は適用しない。

この段階において、赤外線受光部構成を多元系半導体とするか T2SL とするかを判断するものとする。

C) 大画素の赤外線受光部及び ROIC の試作、性能評価

B) の成果に基づき、受光部と ROIC を一体化した赤外線検出器の規模を 1000×1000 画素に拡大。製造工程の製品特性を収集しながら製造プロセスの最適化を実施、量産技術として確立する。

D) 将来の赤外線受光部及び ROIC への発展可能性に関する検討

C) の成果に基づき、赤外線検出器の規模を 2000×2000 画素に拡大するための方策について検討する。

E) 分光デバイスの開発

高輝度分解能に重点をおく分光デバイス LVF (Linear Variable Filter)、高波長分解能に重点をおく分光デバイス LCFP (Liquid Crystal Fabri Pelot Etalon)、及び観測対象に応じて電子的に透過波長や波長分解能を変更できる分光デバイス LCTF (Liquid Crystal Tunable Filter) の 3 種類の分光デバイスを開発する。

F) 光学系の開発

高い空間分解能に重点をおく高分解能光学系と広い撮像範囲に性能の重点をおく広視野光学系の2種類を開発する。

ウ. 達成目標

2024年度までに、ADC分解能が12ビットであり画素サイズが 64×64 画素級の赤外線受光部およびADコンバータ付きのデジタルアウトプット型のROICを試作し、これを組合わせた赤外線検出器を完成させて、その受光波長域において感度が 1.2A/W 以上(感度ピーク波長が $2\mu\text{m}$ の場合)、あるいは 1.5A/W 以上(感度ピーク波長が $4\mu\text{m}$ の場合)であることを確認する。

また、この赤外線検出器を77Kで動作させたとき、1ミリ秒の露出時間において入力換算雑音電力(NEP)を計測する。受光波長帯が $2\mu\text{m}$ よりも長波長側となる受光部試作品については多元系光半導体による受光部とT2SLによる受光部との間で上記データの比較を行い、その後の画素拡大版に発展させるべき材料および構成を特定する。

さらに、77K動作にて毎秒100フレーム以上のフレームレートで駆動したときの光・熱・電気的特性を評価し、 1000×1000 画素への展開したときの課題及びその対策に関して整理し、本研究開発で目標とする赤外線検出器の実現可能性を確認する。(TRL3相当)

2025年度までに画素サイズを 1000×1000 画素まで拡大した上記赤外線検出器の設計を完了する。

また、1.(2)事業の目標、のアウトプット目標に示す性能を持つ3種類の分光デバイスと光学系を開発し、性能実証を行う。

2026年度までに、画素サイズ 1000×1000 画素の赤外線検出器を試作し、毎秒100フレーム以上のフレームレートで駆動したとき、 64×64 画素試作にて達成していた光・熱・電気的特性が維持されていることを検証する。合わせて、画素サイズを 2000×2000 画素に拡大することの可能性検討を実施し、これを実現するための課題を抽出する。

(1000×1000 画素 赤外線検出器：TRL6相当)

(分光デバイス・光学系：TRL6相当)

(2000×2000 画素 赤外線検出器：TRL3 相当)

研究開発項目② 多波長赤外線センサの開発

ア. 研究開発の必要性

軽量・小型の多波長赤外線センサは我が国ではまだ実現されていない。本研究開発項目では、研究開発項目①で開発した赤外線検出器、分光デバイス、光学系を組合せ、システムとして多波長赤外線センサを開発する。

イ. 研究開発の具体的内容

A) IDCA(Integrated Detector Cooler Array) の開発

研究開発項目①で開発した赤外線検出器と適合する機械式の超小型冷凍機を調達し、これらを組合わせた検出器アセンブリ IDCA を開発する。

B) 多波長赤外線センサ・システムの開発

上記 IDCA と分光デバイス・光学系を組合せ、多波長赤外線センサを開発する。

ウ. 達成目標

2026 年度までに赤外線検出器、IDCA、分光デバイス、光学系を組合せ、多波長赤外線センサとして以下の機能・性能を満足することを実証する。

感度波長域：	波長 $1\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ を 2 分割、又は 3 分割
動作環境温度：	77K で動作できること
画素数：	1000 画素(鉛直) × 1000 画素以上(水平)
画素ピッチ：	$15\mu\text{m}$ 以下
読み出し速度：	100 フレーム/秒よりも高速側
シャッタ速度：	0.8 ミリ秒～3 ミリ秒よりも広域であること
ノイズレベル：	TBD (入力換算雑音電力, NEP at 1msec, 駆動温度 77K)
背景赤外ノイズ処理：	Cold Stop または Warm Stop を備えている Cold Stop の場合は冷凍機によるものである。
情報処理系：	TDI (Time Delay Integration) 処理
< 高空間分解能光学系搭載時 >	
空間分解能：	1 画素あたり 5m@衛星搭載、5cm@ドローン搭載
質量・包絡域：	100kg 級衛星、ドローン搭載可能

< 広視野光学系搭載時 >

瞬時視野の広さ： 1 フレーム 50km×50km 以上@衛星搭載、
500m×500m @ドローン搭載

質量・包絡域： 6U～12U 衛星、ドローン搭載可能

研究開発項目③ 多波長赤外線センサの実証

ア. 研究開発の必要性

研究開発項目②において開発した多波長赤外線センサをドローンと小型衛星に搭載し多波長画像を取得する。これにより、高品質の多波長画像を取得できる軽量・小型の多波長赤外線センサとして、目標とする機能・性能、耐環境性、及び利用性（時間分解能性能を含む）を満足することを実証し、多波長画像を社会的に付加価値の高いデータに換算するための解析技術、アプリケーションの開発を促進することが必要である。

イ. 研究開発の具体的内容

A) 多波長画像取得用のセンシングドローンの開発

ドローンによる多波長画像の撮像能力の向上のため分光観測に影響をもたらすミストを生じずに長時間観測を可能とする動力源の開発、及び撮影時に生じる像ブレを抑止する、高姿勢安定制御装置（フライトソフトウェア、ジンバル等）を開発する。

B) 多波長画像取得用の小型衛星の開発

多波長赤外線センサを搭載可能とする小型衛星（100kg 級及びキューブサットを想定）を開発する。小型衛星には冷凍機の動作時にもセンサが要求する高安定の姿勢制御をする機能と多波長赤外線センサの動作に必要な電源、熱環境（放熱装置を含む）を提供する機能、さらに多波長画像をダウンロードすることが出来るストレージ及び通信装置が必要になる。

C) 解析・データプラットフォームの開発

多波長画像の収集、保存、参照のための解析・データプラットフォームの開発を行う。本プラットフォームには、衛星軌道にある小型衛星と高高度を飛行するドローンからの観測データに含まれる、地球大気による光吸収、散乱の影響を補正するための機能と軌道上からの海色解析のための機能の実装も含むも

のとする。この機能を実現するために必要な校正データとして、HISUI 等のハイパースペクトルセンサの観測データも本プラットフォームで利用可能とする。

解析・データプラットフォーム上では、新たなリモートセンシング領域を開拓するためのアプリケーション開発機能（SaaS）を提供することが出来るものとする。

ウ．達成目標

2027 年度まで多波長赤外線センサをドローン本体に搭載し、天頂を含む全角 180° の線状領域を観測可能とする。波長 $1\mu\text{m}$ ~ $5\mu\text{m}$ における各赤外検出器の波長域において、ドローン本体を照明する天域からの赤外スペクトルを 64 色以上に波長分割可能であり、赤道直下快晴時において S/N 比 100 以上、高緯度地方の薄明時の天頂・天空放射輝度に対して S/N 比 10 以上であることを実証する。

2027 年度までに小型衛星に多波長赤外線センサを搭載し、実施者による輸送サービス調達によりこれを宇宙に打ち上げる。既に軌道上で運用されている HISUI 等のハイパースペクトルセンサとの比較を行い、目標とする性能が達成されていることを検証する。

2027 年度までに解析・データプラットフォーム上における重要アプリケーションとして、熱帯泥炭地の土壌および植物からの反射スペクトルを対応づけることにより、当該局所地域における地表および地下水位を推定するモデルを構築する。

2. 実施方法、実施期間、評価、社会実装に向けた取組

（1）事業の実施・体制

本事業は、内閣官房、内閣府、文部科学省、経済産業省を含む関係府省が設置したプログラム会議が定める「経済安全保障重要技術育成プログラムの運用・評価指針」に基づき事業を実施する。

研究推進法人（Funding Agency: FA）は、国から示された研究開発ビジョン及び研究開発構想に基づき、公募により研究開発課題を採択するとともに、その進捗管理・評価等の責務を担う。本事業の FA は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）である。

研究開発課題の実施責任者（以下「研究代表者」という。）の所属する機関は、国内に研究開発拠点を有し、日本の法律に基づく法人格を有している機関とする（以下「研究代表機関」という）。また、研究代表者及び主たる研究分担者は日本の居住者であることとする。（ここで言う居住者とは外為法の居住者（特定類型該

当者を除く) であること。)

本事業の公募では、事業全体に対する提案を想定しており、研究代表機関が必要な分担機関と共同で事業全体を実施するものとする。

(2) 事業の実施期間

本研究開発構想に基づく、本事業は 2022 年度から 2027 年度までの 6 年間とする。研究開発はステージゲート方式を採用し、図 1 に示す 2 つのフェーズで実施するものとする。

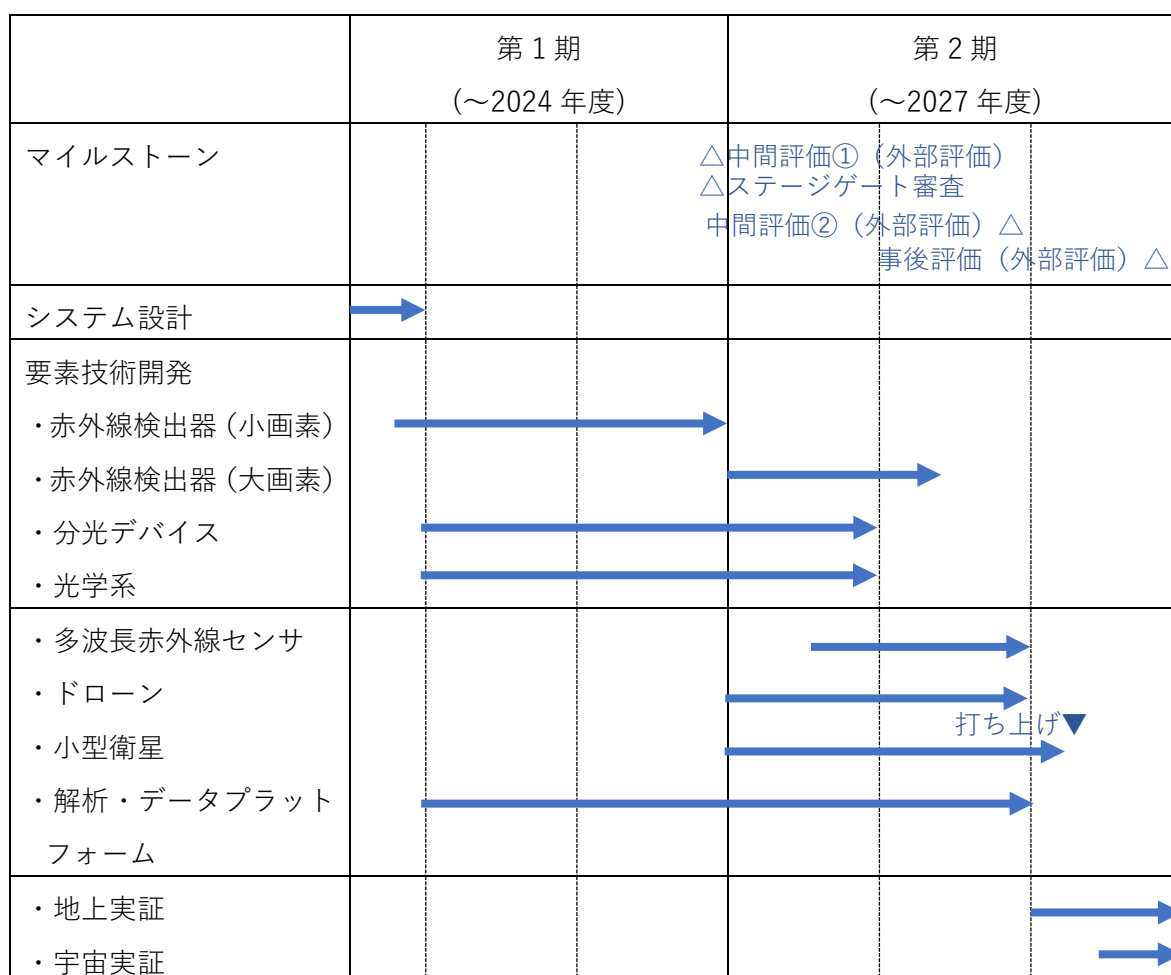


図 1 研究開発のスケジュール

(3) 評価に関する事項

本事業は、「経済安全保障重要技術育成プログラムの運用・評価指針」に基づ

き、評価を実施する。

研究代表者は自己評価を毎年実施し、PD に報告する。NEDO は外部評価として中間評価を 2024 年度と 2026 年度（事業開始から 3 年目と 5 年目）、事後評価を 2027 年度（事業終了年）に実施することし、事業の進捗等に応じて評価時期を早める場合は、PO 及び所管省庁と連携して、あらかじめ適切な実施時期を定める。

また外部評価に用いるサクセスクライテリアを以下のとおり設定する。

【アウトプット視点】

（ア）フルサクセス（中間評価①）（2024 年度）

重要要素技術である赤外線検出器において、 64×64 画素程度の受光部をもつ小規模の検出器が製作され、必要な機能・性能及び諸特性の計測が行われて本研究開発で目標とする 1000×1000 画素の赤外線検出器の実現可能性が確認されていること。また、分光デバイス・光学系においても実現可能性が確認されていること。

（イ）フルサクセス（中間評価②）（2026 年度）

赤外線検出器、IDCA、分光デバイス、光学系を組合せ、多波長赤外線センサとして研究開発項目②のウ、に示す機能・性能を満足することが確認されていること。さらに、実証に使われるドローン、解析・データプラットフォームの製作が完了していること、及び小型衛星の打ち上げ準備が整っていることが確認されていること。

（ウ）フルサクセス（事後評価）（2027 年度）

多波長赤外線センサがシステムとして動作し、目標とする機能・性能の確認が出来ていること。

多波長赤外線センサをドローンに搭載し観測を行い、目標とする性能で多波長画像が取得できていること。

多波長赤外線センサを小型衛星に搭載し宇宙に打ち上げられ、多波長画像が取得され HISUI 等のハイパースペクトルセンサとのデータ比較がなされていること。

解析・データプラットフォームが構築され、重要アプリケーションとして、熱帯泥炭地地域における地表および地下水位を推定するモデル開発が出来ていること。

【アウトカム視点】

(エ) フルサクセス（事後評価）（2027 年度）

本事業の成果を受けて、赤外線検出器、多波長赤外センサの販売戦略、及び解析・データプラットフォームの運用ビジネスモデルが構築されていること。

その戦略と運用ビジネスモデルに基づき、

- A) 赤外線検出器について、量産時（1000 台／年）が 300 万円程度とする目途をつけて、その妥当性を評価すること。
- B) 多波長赤外線センサについて、ドローン用が量産時（100 台／年）1200 万円程度、衛星搭載用が量産時（10 台／年）5000 万円程度とする目途をつけて、その妥当性を評価すること。
- C) 解析・データプラットフォームの運用費について年間 1 億円とする目途をつけて、その妥当性を評価すること。
- D) 宇宙監視（安全保障分野）、リモートセンシング（民生分野）で、多波長赤外線センサの新たな利用方法がそれぞれ 1 件以上創出されていること。
- E) 安全保障用途に本事業で開発した赤外線検出器等の要素技術の活用が検討されていること。

(4) 社会実装に向けた取組

本事業は、経済施策を一体的に講ずることによる安全保障の確保の推進に関する法律（令和 4 年法律第 4 3 号）に基づく指定基金協議会を設置した上で推進していく。これにより、本事業によって生み出される研究成果等を活用し、民生及び公的な利用を促進するとともに社会実装につなげていくことを目指し、その実現に向け、潜在的な社会実装の担い手として想定される関係行政機関や民間企業等による伴走支援を可能とするとともに、参加者間で機微な情報も含む有用な情報の交換や協議を安心かつ円滑に行うことのできるパートナーシップを確立していく。

具体的には、本事業により開発を行う小型かつ高感度の多波長赤外線センサ技術は、鉱物資源探査、農林水産業の効率化、そして環境に過度な負荷を与えない持続可能な社会経済活動と、弾道ミサイルや高速飛翔体の発射検知及び追尾、また暗視センサとして安全保障用途で使用が想定される。このため、このようなセンサ利用を行う場合の将来的に想定される具体的なユースケースやその実現のために必要な機能等の情報を共有しつつ研究開発を進めることは、研究開発成果を将来の社会実装に円滑につなげていく上で、大きな意義がある。

本事業に係る協議会については、研究開発課題の採択後に、関係行政機関、PO、

研究代表者等の協議会への参画者における十分な相談を行いつつ、運営していく。
なお、協議会の詳細は別に示す。

(5) 総予算

本事業の総予算は 50 億円を超えない範囲とする。各研究開発項目、フェーズ毎の配分については、必要に応じて、経済産業省からの指導に基づき目安を示す。これを変更する場合も同様とする。

(6) 経済産業省の担当課室

本事業の運営に係る経済産業省の担当課室は、製造産業局宇宙産業室とする。

3. その他重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

① 共通基盤技術の形成に資する成果の普及

研究開発課題実施者は、研究成果を広範に普及するよう努めるものとする。経済産業省及び NEDO は、経済安全保障の観点を留意しつつ、研究開発課題実施者による研究成果の広範な普及を促進する。

経済安全保障の観点から、経済産業省は必要に応じて NEDO に対して助言を行い、NEDO は本助言を踏まえて、成果の普及について検討することとする。

② 標準化施策等との連携

多波長赤外線センサ、解析・データプラットフォーム開発で得られた研究開発成果については、事業終了後に必要な実施すべき取組のあり方及びより広範囲にユーザを広げるためのビジネスモデルについて立案する。

また、多波長画像の国際ニーズを戦略的に拡大する仕組みを構築する。経済産業省、NEDO 及び研究開発課題実施者は、国際ニーズの喚起に向けて積極的に役割を果たしていく。

③ 知的財産権の帰属、管理等の取扱い

研究開発成果を民生利用のみならず公的利用につなげていくことを指向し、社会実装や市場の誘導につなげていく視点を重視するという本プログラムの趣旨に則り、研究代表機関、研究代表者は、PD (PO) 及び研究分担者との協議の上、知的財産権の利活用方針を定めることとする。その際には、研究開発途中及び終

了後を含め、知的財産権の利活用を円滑に進めることができるように努めることとする。

なお、研究開発成果の利活用にあたりその成果にバックグラウンド知的財産権が含まれる場合には、その利活用についても同様に努めること。

（２）「研究開発構想」の見直し

経済産業省は、NEDO、PO 及び関連省庁と連携して、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、事業内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて、達成目標、実施期間等、本研究開発構想の見直しを行う。

（３）研究開発の対象経費

「経済安全保障重要技術育成プログラムの運用・評価指針」に基づき、運用する。大学・研究開発法人等以外に関する間接経費の額の設定については、事業の性質に応じて経済産業省の担当課室から別に示す場合を除き、業務委託契約標準契約書に基づくものとする。

4. 研究開発構想の改定履歴

（１）令和４年１０月、制定。