

「航空安全等に資する小型無人機の飛行経路の風況観測技術」に関する研究開発
構想（個別研究型）

令和4年12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.....	7
①アウトプット目標.....	7
②アウトカム目標.....	8
(3) 事業の内容.....	9
研究開発項目①「空間分解能高度化技術」.....	9
ア. 研究開発の必要性.....	9
イ. 具体的研究内容.....	9
ウ. 達成目標.....	10
研究開発項目②「航空機搭載向けドップラー・ライダー開発」.....	10
ア. 研究開発の必要性.....	10
イ. 具体的研究内容.....	10
ウ. 達成目標.....	11
研究開発項目③「障害物など物体の精密検知技術」.....	12
ア. 研究開発の必要性.....	12
イ. 具体的研究内容.....	12
ウ. 達成目標.....	12
2. 実施方法、実施期間、評価.....	12
(1) 事業の実施・体制.....	12
(2) 事業の実施期間.....	13
(3) 評価に関する事項.....	13
(4) 社会実装に向けた取組.....	14
(5) 総予算.....	14
(6) 経済産業省の担当課室.....	14
3. その他重要事項.....	15
(1) 研究開発成果の取扱い.....	15
①共通基盤技術の形成に資する成果の普及.....	15
②標準化施策等との連携.....	15

③知的財産権の帰属、管理等の取扱い.....	15
(2)「研究開発構想」の見直し.....	15
(3)研究開発の対象経費.....	16
4. 研究開発構想の改定履歴.....	16

1. 事業の背景、目的、内容

(1) 事業の目的

①政策的な重要性

都市の渋滞を避けた通勤、通学や通園、離島や山間部での新しい移動手段、災害時の救急搬送や迅速な物資輸送の他、測量・監視、インフラ点検など、今後、持続可能で強靱な社会の実現に向けて、災害・危機管理対応も含めて、ドローンや空飛ぶクルマといった有人・無人航空機の利用機会の増加が見込まれている。また、「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会（第 18 回、2022 年 8 月 3 日）」にて示された「空の産業革命に向けたロードマップ 2022」においてもドローンや空飛ぶクルマといった航空機がより安全で効率的な運航を行うための運航管理技術を開発するとしている。

突風や乱流の影響を大きく受けるドローンや空飛ぶクルマが安全に飛行するためには、より詳細な風況を観測することが必要となるが、ドローンや空飛ぶクルマの飛行が想定される低高度においては、現行のレーダーやカメラのようなセンシング技術には限界があるため、それらに代わるセンシング技術の開発が求められている。併せて、ドローンや空飛ぶクルマ自らが運航中に風況を捕捉することも安全運航のためには必要となるため、ドローンや空飛ぶクルマに搭載可能とする小型・軽量のセンサーの開発も求められる。

低高度での風況の観測としては、指向性が高く、不要な反射光がないレーザー光を空気中のちりに対して照射し、その反射を観測することで風況を捕捉するドップラー・ライダーが有効であり、このドップラー・ライダーを高度化、及び小型・軽量化することで、ドローンや空飛ぶクルマ等の安全な運航に資するものと考えられる。また、ドップラー・ライダーは、空気中のちり以外の微細なものの反射をも捉えることができることから、物体検知手法として小型無人航空機の反射波の観測も可能となることが期待されている。

経済安全保障重要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、

- 小型無人機の飛行経路における風況観測技術が挙げられている。

本研究開発構想では、研究開発ビジョン（第一次）に定められた優位性につながり得る無人航空機技術の開拓のため、個別研究型としてドローンや空飛ぶクルマ等の安全運航に資する詳細な風況をドップラー・ライダーで観測するためのアルゴリズムを開発し、ヘリコプター等の航空機へ搭載可能なドップラー・ライダーの開発を行うとともに、ドップラー・ライダーにおける詳細な風

況観測技術を応用し、小型無人機等物体を検知するためのアルゴリズムも開発することで、小型無人機の安全な飛行経路の設定等に資する観測技術を開発する。

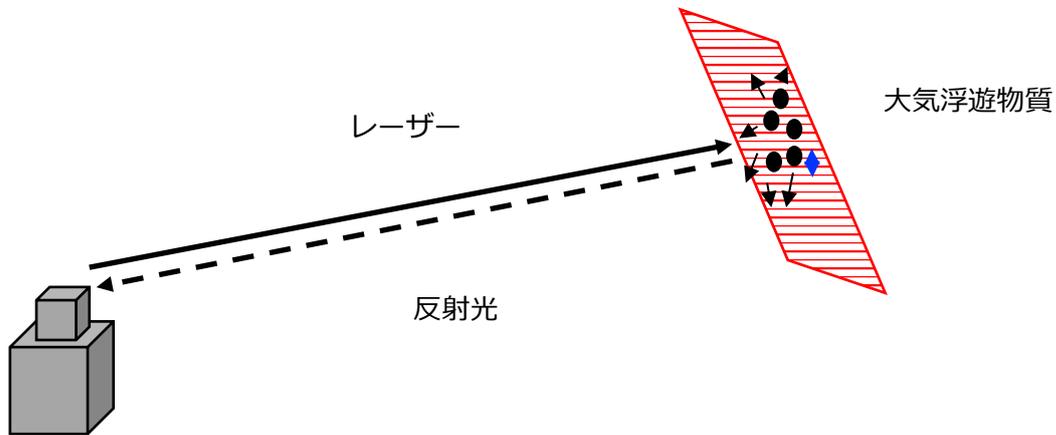


図1 ドップラー・ライダーの基本原理

②我が国の状況

風況を測定し可視化するドップラー・ライダーは、我が国ではこれまでコンテナサイズで重量が数トンクラスの大型ドップラー・ライダーが超過密空港(成田・羽田・関空)に導入されている。小型化の開発も進められ、50cm 四方、50kg 程度、観測距離が数 100m のドップラー・ライダーが実現しており、ゴルフ場で実際に活用されたり、建設現場での風況観測の活用が検討されたりしている。また、高高度の上空の乱気流検知のため、軽量かつ高出力の航空機搭載型ドップラー・ライダーも研究開発が進められており、大型機での飛行実証も行われている。さらに、近年、我が国のスタートアップ企業が、ドップラー・ライダーのレーザー光の照射による空気中のちりからの反射の観測に際して、様々なノイズを排除し、微弱なシグナルを取り出すソフトウェア技術を基に、65cm 四方・130kg と小型・軽量かつ観測可能な距離が従来の大型ドップラー・ライダーと同等程度のドップラー・ライダーの開発が進んでいる。

③世界の取組状況

技術的優位性を持つ我が国のドップラー・ライダーは、例えば、米国 NASA SBIR(Small Business Innovation Research)のプロジェクトにドップラー・ライダーを開発している我が国のスタートアップ企業が 2021 年に初めて採択されるなど、他国も関心を示しており、海外勢の技術獲得競争が激しくなっている。無人航空機の利活用における技術開発動向も米国が我が国に比べて 2~3

年ほど先行して開発・実験が進んでおり、風況観測やドローンの衝突回避に関するニーズが一層高まっている。

また、並行して世界最大の国際標準化・規格設定機関である ASTM インターナショナルで無人航空機・空飛ぶクルマが安全・安定して飛行するために必要不可欠な気象情報の標準化に関する議論が本格的に始まっており、我が国からはスタートアップ企業の代表が唯一参画している状況である。ここでの議論が世界標準として今後浸透していく可能性が高く、無人航空機・空飛ぶクルマが安全・安定して飛行するために必要不可欠な気象情報の標準化の議論の中で、我が国のドップラー・ライダーが高い精度で風況観測ができ、かつ飛行の安全性を大きく向上させることを示すことは、我が国の技術によってこの分野でリードを取れるチャンスであると考えられる。

こうした背景から、我が国は当該分野に積極的に研究開発投資を行うことにより、無人航空機・空飛ぶクルマの安全・安定飛行を支える世界トップレベルの技術保有国を目指す。

④本事業のねらい

ドローン等は、今後、災害時の救急搬送や警備活動等の安全保障活動での利用機会も増加することから、安全にドローン等を飛行させるための風況観測技術は重要である。また、社会経済活動においても、ドローン等による様々なサービスが構築されつつあり、安全運航を支える上で風況観測技術は必要不可欠なインフラになり得るものである。

本事業では、レーダーやカメラ等の現行のセンシング技術では現状、観測ができていない低高度の空域を対象に、ドップラー・ライダーを活用した有人・無人航空機の安全な運航を確保するための風況観測技術の確立を目指す。

現行では、レーダーやカメラを用いたセンシング技術が存在するが、低高度における風況の観測に際しては、レーダーはターゲット方向外への電波の広がりにより、地面や建物からの反射が大きく測定が困難、カメラは、夜間は全く見えず、降雨時も視程が悪くなり測定が困難であり、性能の限界に直面している。これらに対して、対象物に単一周波数のレーザー光を照射して、対象物からその反射光を検知し、ドップラー効果（周波数の変化）を計測するドップラー・ライダーは、レーザー光の指向性により対象物からの不要な反射を抑えられ、夜間や降雨時も対象物の動きを捉えることが可能である。

我が国が優位性を有するドップラー・ライダーにかかるソフトウェア技術（様々なノイズを排除し、微弱なシグナルを取り出す技術）を最大限活用し、

ドローンなどの小型無人機の安全飛行に資するためドップラー・ライダーで観測できる風の空間分解能の向上、ヘリコプター等移動体への搭載時における振動への対応・小型化を実現することで、より安全かつ確な有人・無人航空機の統合した運用への構成要素技術を確立する。

これらの技術は、我が国が優位性をもつ技術であることから、技術開発を強化することで、戦略的自立性・不可欠性を獲得し、その地位を確実なものとする。

(2) 事業の目標

① アウトプット目標

本事業では以下を事業の目標とする。

ア. 有人・無人航空機の飛行に大きな影響を及ぼす乱気流や突風の空間スケールは数 10～100m であることから、既存のドップラー・ライダーで測定できる風の空間分解能（75m）では十分に解像できないため、さらなる高解像度化を行い、乱気流・突風を明確に検出・可視化すること。

- ・空間分解能¹： 1m 程度
- ・時間分解能²：10 秒以内/1 スキャン
- ・観測距離　：15km 程度

イ. ドローンや空飛ぶクルマ等がより早く乱流や突風、前方の障害物を検知し、自身の飛行・運行制御に反映するため、ヘリコプター・大型ドローン等の航空機へ搭載可能かつア. の機能を両立したドップラー・ライダーを実現すること。

- ・大きさ：30cm 四方程度
- ・重量：飛行するものへ搭載するため可能な限り軽量化を図る必要があるため 50kg 以下を目指す
- ・耐振動性：ロール・ピッチ・ヨー³のリアルタイム信号処理補正

¹ レーザー射出方向に見分けられる最小の距離

² どれくらい短い時間で計測できるかを示す指標で計測可能な最小の時間

³ ロールは航空機が左右に傾く運動（横揺れ）、ピッチは機首の上げ下げの運動（縦揺れ）、ヨーは機首が左右に振れる運動（片揺れ）を表す

ウ. 風況観測では大気中のエアロゾルを観測対象としているため、エアロゾル以外のもの（いわゆる鳥や建物、地形などの障害物）からの反射光はノイズとして扱い取得データから除去しているが、除去してきたデータを活用することで、障害物検知という社会のニーズに応えられるため、エアロゾル以外からの反射光を処理・分析すること。

- ・ 検知対象物：航空機、鳥、人、建物、地形等の識別
- ・ 検知対象物の大きさ：小型ドローンの検知を想定し 15cm 四方位度を想定

② アウトカム目標

本事業の終了時から数年以内に以下のアウトカムが得られていることを目標とする。

ア. 本事業において開発された技術では、乱気流や突風などの詳細な気流の観測がリアルタイムに可能となることから、以下のようなサービス等に活用され、我が国政府のみならず、海外の政府、民間事業者等からも調達されること。

- ・ 空港等において有人・無人機の安全な離発着や、適切な経路選択への活用
- ・ 有人機と小型無人機の連携運用時における乱流観測
- ・ ドローン運航者や管制事業者、航空関係者に対する、風況観測情報の提供サービス
- ・ 空飛ぶクルマ等への搭載
- ・ 風力発電所の設置場所候補地の検討

イ. 風況観測における技術を応用したドップラー・ライダーによる物体検知技術が、ドローンの衝突回避や不審ドローン検知などの警備活動、軌道上の障害物を検知することによる鉄道の自動運転支援など様々な用途へ応用され、我が国政府のみならず、海外の政府、民間事業者等からも調達されること。

(3) 事業の内容

本事業で研究開発を実施するドップラー・ライダー技術は、我が国の安全保障活動、社会経済活動を行う上で必須の重要技術であり、他国に依存することなくこれを自律的に構築する能力を担保し、国の施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。また、世界的にも本技術は確立されておらず、本事業と同様の研究開発構想においても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すべて委託で実施するものとする。

研究開発項目①「空間分解能高度化技術」

ア. 研究開発の必要性

既存のドップラー・ライダーにおける空間分解能（75m）では、ドローンなど小型の機体が影響を強く受ける 100m 以下のスケールの乱気流・突風を明確に検出・可視化することができない。ドローンなど小型の機体が安全に飛行するためには、細かな乱気流・突風を明確に検出・可視化する必要がある、既存のものよりさらに高い空間分解能が求められる。

イ. 具体的研究内容

<高空間分解能化アルゴリズム・ソフトウェア基礎設計>

複数の周波数の信号を送信する手法である FMCW⁴（周波数変調連続波: Frequency Modulated Continuous Wave）方式は、これまでは周波数の低い電波を利用するレーダーでは使用され、複数の周波数の電波を照射することにより高分解能を実現してきたものであるが、今回初めて周波数の高いレーザーに応用しドップラー・ライダーの高度化を図る。

併せて、照射した複数の周波数のレーザーから、適切かつ高速に反射光を解析するアルゴリズム、風況を可視化するソフトウェアの開発をする。

⁴ ある周波数の連続波を一定時間にわたって周波数変調しながら送信する手法。送信された信号はタイムスタンプが付いているとみることができ、高速に繰り返すことで空間分解能を向上させる技術

ウ. 達成目標

2023 年度までに、レーザーに FMCW 方式を適用し、10 秒以内に 360° をスキャンし、空間分解能 1m で 15km 先までのデータを受信・解析するアルゴリズムを完成させ、乱気流や突風を明確に可視化する。

研究開発項目②「航空機搭載向けドップラー・ライダー開発」

ア. 研究開発の必要性

航空機が進行方向に存在する乱流をいち早く検知し、自律的に安全な飛行経路を確保するためには、乱流等を検出できるライダーを航空機本体に搭載することが有効である。航空機に搭載するには航空機自身が作る振動や風雨にさらされる環境にも耐えられるドップラー・ライダーの開発が必要不可欠である。

イ. 具体的研究内容

(イー①) リアルタイム信号処理補正技術

航空機にドップラー・ライダーを搭載した場合、時々刻々と航空機の速度が変化するため、慣性航法装置⁵から得られる航空機の速度情報及びロール・ピッチ・ヨーの情報をリアルタイムに解析し、航空機の速度変化や振動データに追従させることで移動しながらドップラー変化を測定する (図 2)。

データ取得・評価・改善の PDCA⁶サイクルを迅速にまわし、何度も検証を行うことで信号処理補正技術を進化させる。

⁵ 運動体の 3 次元の角速度と加速度を検出するセンサー装置

⁶ Plan (計画)、Do (実行)、Check (評価)、Action (改善) の頭文字を取ったもので、生産・業務プロセスの中で改良や改善を必要とする部分を、特定・変更できるようにするために提唱されたモデル

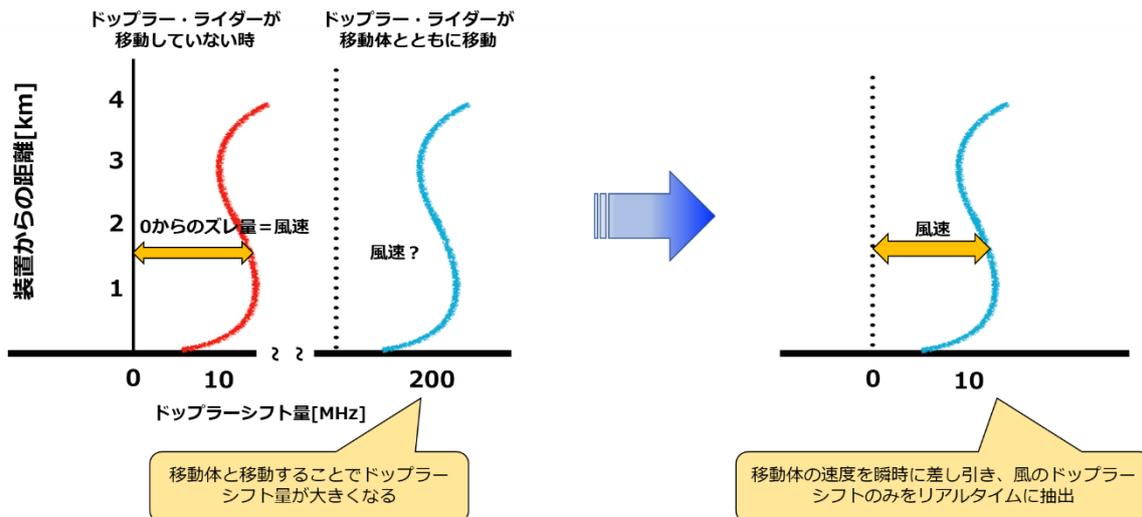


図2 移動体に搭載した時のドップラーシフト量の変化

(イー②) 航空機搭載向け耐振動・耐候性ドップラー・ライダーの設計

耐候性については低高度が対象空域のため、耐圧・防氷よりも防水・防塵の規格である IP54 規格⁷以上に適合するように設計し、さらに航空機に搭載して観測を行うため耐振動性筐体を設計する。

(イー③) 精度検証

航空機搭載向けドップラー・ライダーの試作を行い、実際にヘリコプター等の航空機に搭載した移動観測を行いデータ蓄積・解析を行う。航空機での移動観測での試験評価を行う。

ウ. 達成目標

航空機等の高速で移動する物体に搭載し、リアルタイムに速度情報及びロール・ピッチ・ヨーの情報を補正して風況観測や障害物の検知を行える TRL5 相当のドップラー・ライダーを開発する。航空機内に搭載するため重量は 50kg 以下、大きさを 30cm 四方程度まで小型化する。加えて、耐空証明取得に知見のある企業と連携し、航空機搭載のドップラー・ライダーにかかる耐空証明の取得に向けて検討する。

⁷ 塵埃の侵入を完全に防止できないが電子機器の動作には問題がないレベルかつ、あらゆる方向からの水の飛まつによって機器が影響を受けないレベル

研究開発項目③「障害物など物体の精密検知技術」

ア. 研究開発の必要性

現状では、上空においてレーダーを用いた物体の検知を行っているが、今後、利用機会増加が見込まれるドローン等が飛行する地上 150m 付近では、地面や建物など障害物が多く、不要な反射が多いため電波での物体の検知は困難である。地面や建物など障害物が多い場所においても正確に物体を捕捉するためには、指向性が高く不要な反射が全くないレーザーを活用した物体検知が必要である。

イ. 具体的研究内容

<物体検知アルゴリズム基礎設計>

指向性が高く不要な反射が全くないレーザーを利用し対象物からの反射のみを解析する。

様々な物体にレーザーを照射し、物体ごとの固有の信号形状や反射強度の特徴を学習させ、物体の識別を行うアルゴリズムを開発する。

ウ. 達成目標

2023 年度までに、ドップラー・ライダーで 10 秒以内に 360° をスキャンし、空間分解能 1m 以下で 15km 先までにおける 15cm 四方程度の障害物（航空機、鳥、人、建物、地形等）を検知・識別するアルゴリズムを完成させる。

2. 実施方法、実施期間、評価

(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、その推抄管理・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 2023 年度から 2025 年度までの 3 年間とする。また研究開発はステージゲート方式を採用する。別表に示す、TRL の区切りを設定し、達成度に応じて評価を行う。

具体的には、図 3 のとおり、TRL が移行（TRL4→TRL5）する段階で、ステージゲートを設定し、研究開発項目①と研究開発項目③の目標達成状況等を踏まえて、研究開発項目②への移行及び事業の継続可否を判断する。

	2023年度	2024年度	2025年度
【研究開発項目①】空間分解能高度化技術			
高空間分解能化アルゴリズム・ソフトウェア基礎設計	TRL: 4		
【研究開発項目②】航空機搭載向けドップラー・ライダー開発			
リアルタイム信号処理補正技術		TRL: 5	
航空機搭載向け耐振動・耐候性ドップラー・ライダーの設計		TRL: 5	
精度検証			TRL: 5
【研究開発項目③】障害物など物体の精密検知技術			
物体検知アルゴリズム基礎設計	TRL: 4		

 :ステージゲート

図 3 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、PO（プログラム・オフィサー）に報告する。NEDO は外部評価として中間評価を 2024 年（事業開始から 2 年目）、事後評価を 2025 年（事業終了年）に実施することとし、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。

(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43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航空安全等に資する小型無人機の飛行経路の風況観測技術は、防災・警備活動におけるドローンの安全運航に資する風況観測等として安全保障用途で使用が想定される。このため、このような風況観測等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共有しつつ研究開発をすすめることは、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11億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、製造産業局航空機武器宇宙産業課とする。

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、研究開発課題実装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

本事業で得られた研究開発成果は、経済安全保障重要技術育成プログラムに係る研究開発ビジョンで示された「小型無人機を含む運航管理技術」等とも連携し、運航管理システムへの接続やデータ提供等を積極的に行う。併せて、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、ドップラー・ライダー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、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12月、制定。