

ドローン衝突回避技術の取組み

2025年12月16日

 **日本無線株式会社**

目 次

1. 無人航空機の衝突回避について
2. 衝突回避用レーダについて
3. 衝突回避技術の国際標準化について
4. 今後の課題
5. まとめ

この発表における成果の一部は、NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の助成事業ならびに委託業務（JPNP17004）の結果得られたものです。

1. 無人航空機の衝突回避について

1-1. 背景

一般にドローンと呼ばれる小型の無人航空機や、それよりも一回り大きく、より大きなセンサーなどを搭載できる中型の無人航空機は、既に農業分野などで利用が広がり、さらには災害時の物資運搬や遭難者捜索、物流インフラなどの用途に大いに期待され、運用数は増加している。

しかし、無人航空機とドクターヘリ（※1）などの有人航空機のニアミス実例（※2）が国内で報告されるなど、**衝突回避技術は、安全利用のための喫緊の課題**となっている。

：令和 4～5 年度の全国 DH 運用状況概要（※ 1）

項目	令和 5 年度	令和 4 年度
要請件数	37,800	36,434
受託件数	29,223	29,245
現場受託件数（※ 3）	17,841	18,524
施設間受託件数（※ 3）	4,189	4,022
現場受託件数 ＋ 施設間受託件数	22,030	22,546

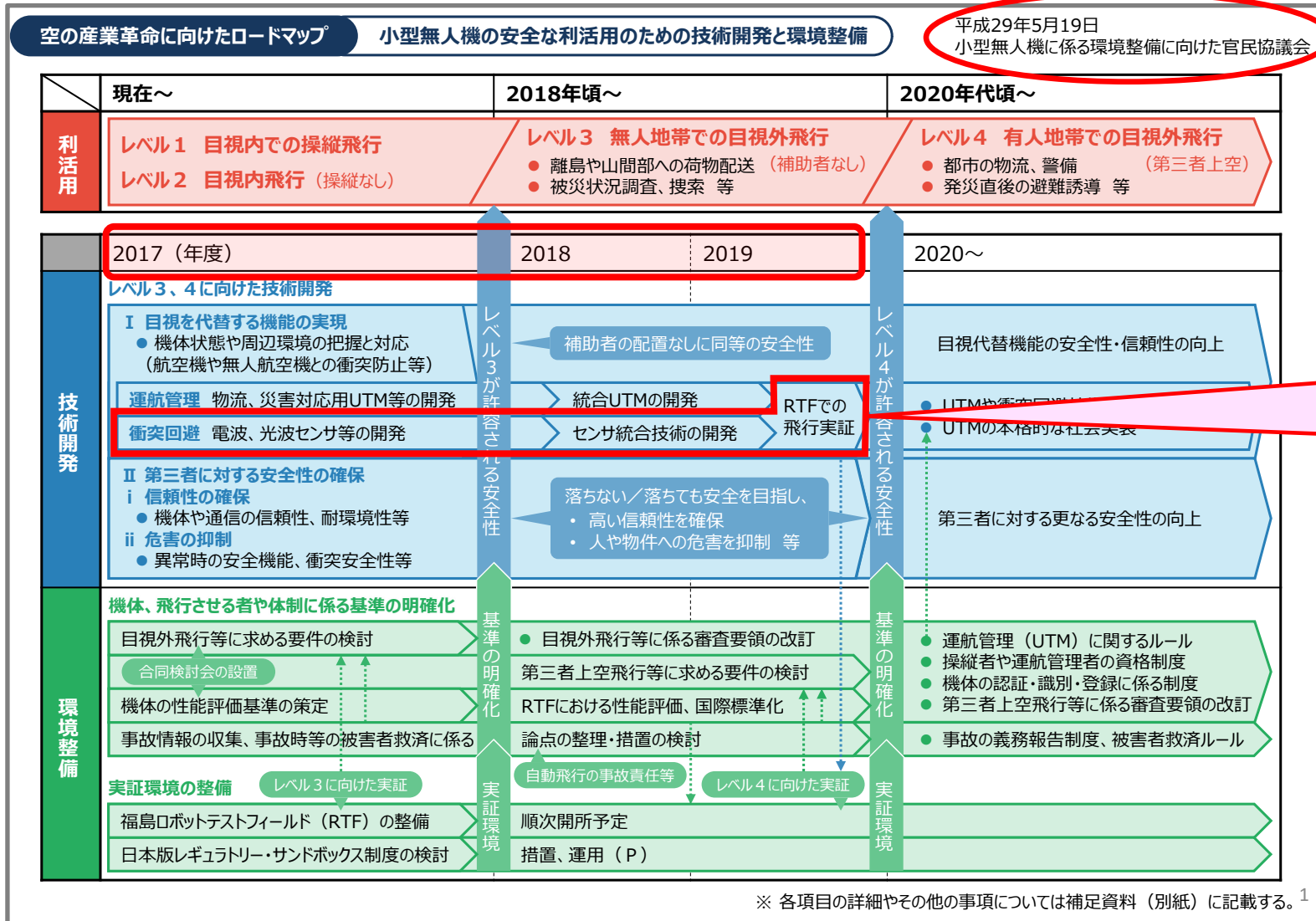
（※ 3）任務中止を除いた受託件数

（※ 1）日本航空医療学会「ドクターヘリ症例データ収集調査分析事業」（令和 7 年 3 月 31 日）のデータをもとに作成
<https://jsas1994.jp/attachment/%E2%98%85R6%E5%B9%B4%E5%BA%A6%E5%A7%94%E8%A8%97%E4%BA%8B%E6%A5%AD%E5%A0%B1%E5%91%8A%E6%9B%B8%EF%BC%88%E6%8F%90%E5%87%BA%E7%89%88%EF%BC%89%E4%BF%AE%E6%AD%A3%E6%B8%88%E3%81%BF.pdf>

（※ 2）有人航空機のニアミス案件の実例：「航空機と無人航空機、無人航空機同士の衝突回避策等について」（国土交通省航空局、2016年11月8日）のP16参照。
<https://www.jrc.co.jp/hubfs/jrc-corp/assets/pdf/news/news03.pdf>

1. 無人航空機の衝突回避について

1-2. 研究開発の位置づけ（2017年度～2019年度）



空の産業革命に向けたロードマップ

平成29年5月19日

小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会

出典：経済産業省ホームページ

「空の産業革命に向けたロードマップ」2017 本体

https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/robot/kaiteiroadmap.pptx

衝突回避

操縦者等の目視に代わり、無人航空機が地上及び空中の物件等（有人航空機、無人航空機、地形、樹木、建造物等）を検知し、適切な行動により衝突等を回避する技術を開発する。

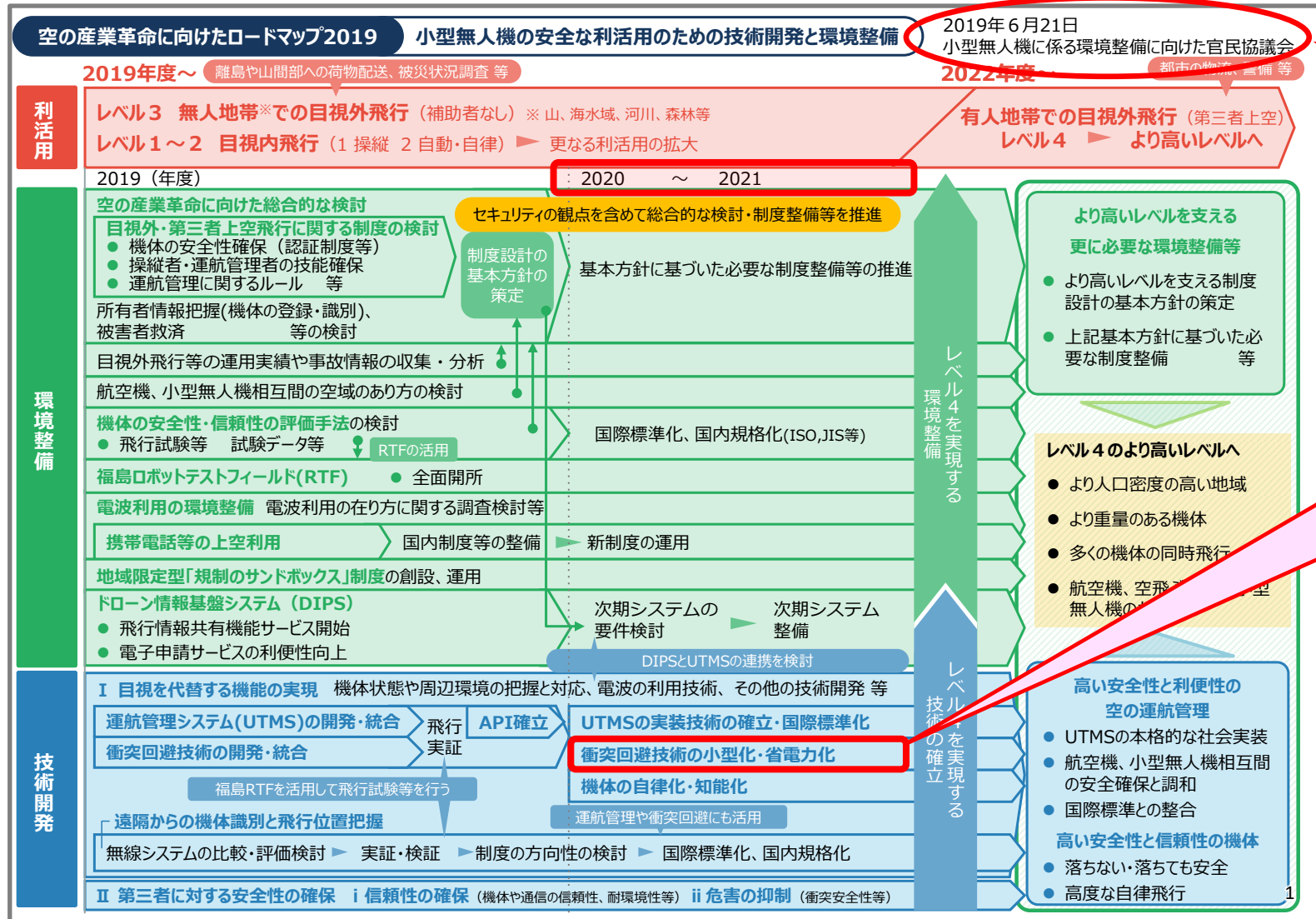
出典：経済産業省ホームページ

https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/robot/roadmaphoshoku.docx

「空の産業革命に向けたロードマップ ～小型無人機の安全な利活用のための技術開発と環境整備～」補足資料

1. 無人航空機の衝突回避について

1-3. 研究開発の位置づけ（2020年度～2021年度）



空の産業革命に向けたロードマップ 2019

2019年6月21日

小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会

出典：経済産業省ホームページ

「空の産業革命に向けたロードマップ」2017 本体

https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/robot/kaiteiroadmap.pptx

衝突回避技術の小型化・省電力化

1. 無人航空機の衝突回避について

1-4. NEDO DRESSプロジェクトでの開発成果概要

2019.07.25

世界初、相対速度100km/hでの無人航空機の衝突回避試験を実施 — 搭載した各種センサーで有人ヘリコプターを感知し自律的に衝突を回避 —

研究情報

日本無線株式会社（本社：東京都中野区、代表取締役社長：荒 健次、以下JRC日本無線）、NEDO、（株）SUBARU、日本アビオニクス（株）、三菱電機（株）、（株）自律制御システム研究所は、福島県、南相馬市、（公財）福島イノベーション・コースト構想推進機構の協力のもと、7月24日から25日に、広域飛行空域（福島県南相馬市）で、相対速度100km/hでの中型の無人航空機の自律的な衝突回避試験を世界で初めて実施しました。

具体的には、カメラやレーダーなどを搭載した中型の無人航空機が40km/hで飛行し、正面から60km/hで前進飛行してくる有人ヘリコプターを感知し、自律的に衝突を回避する飛行試験を行いました。



2021.11.08

世界初、相対速度200km/hでの小型無人航空機の自律的な衝突回避に成功～小型化／低消費電力化したセンサーで有人ヘリコプターを自律的に衝突回避～

研究情報

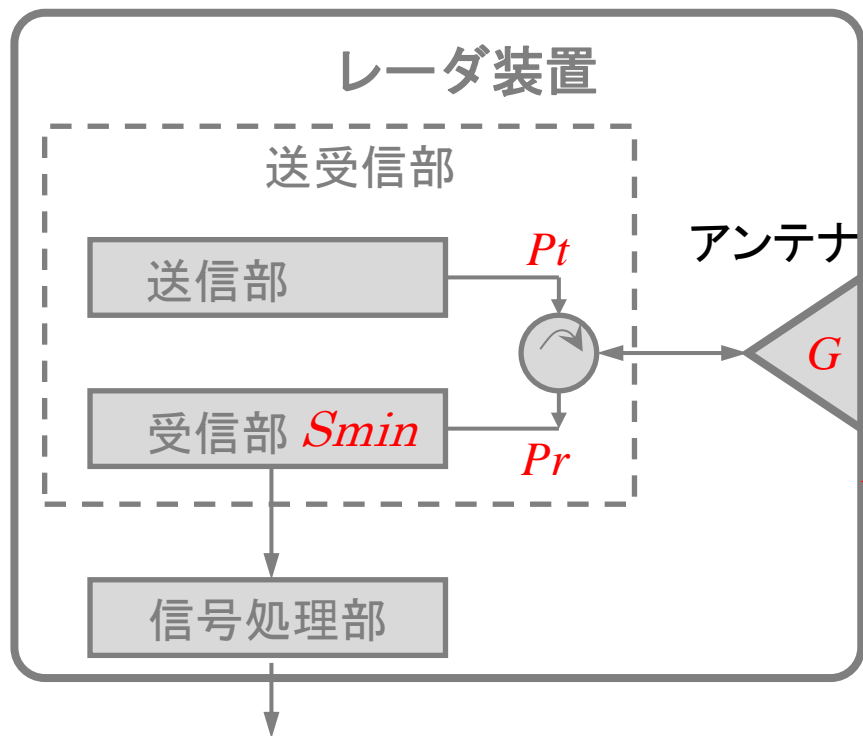
日本無線株式会社（本社：東京都中野区、代表取締役社長：小洗 健）、株式会社SUBARU、日本アビオニクス株式会社、株式会社ACSL、マゼランシステムズジャパン株式会社は、9月9日から10日、広域飛行空域（福島県南相馬市）で、小型化／低消費電力化されたセンサーを10kgクラス無人航空機に搭載して、自律的な衝突回避試験を実運用速度域である相対速度200km/hで実施し、世界で初めて成功しました。これは小型無人航空機を社会実装するための目途立てとして、大きな前進となるものです。



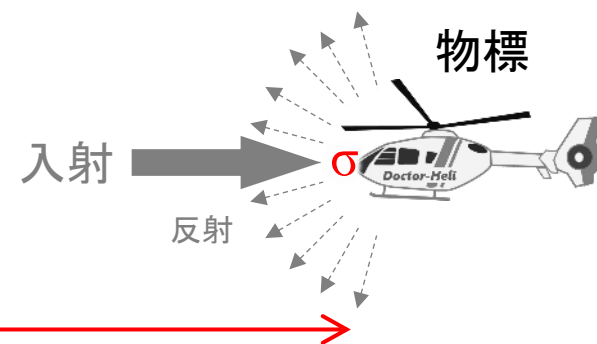
出典：日本無線株式会社ニュースリリース 2019年 7月25日 <https://www.jrc.co.jp/news/2019/0725-1>
日本無線株式会社ニュースリリース 2021年11月 8日 <https://www.jrc.co.jp/news/2021/1108-1>
日本無線技報 No.73 (2022) 無人航空機の衝突回避技術

2. 衝突回避用レーダについて

2-1. レーダ方程式



- P_t : 送信電力
- G : アンテナ利得
- λ : 波長
- σ : 物標のレーダ反射断面積
- R : 物標までの距離
- P_r : 受信電力
- S_{min} : 受信機の感度



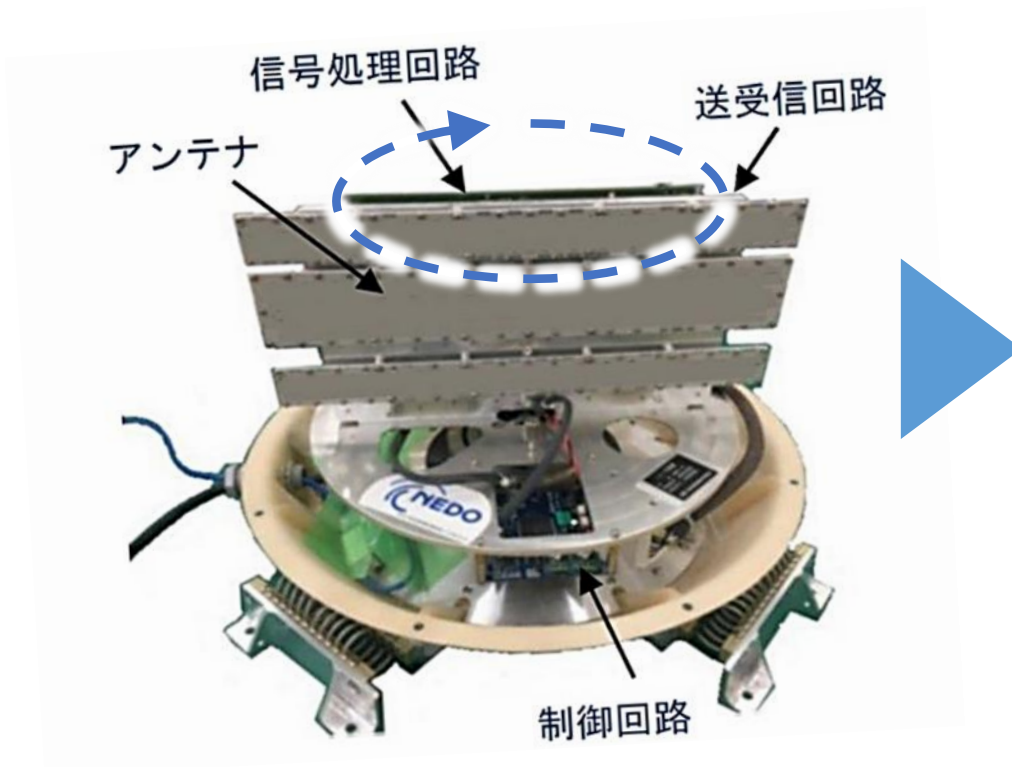
$$\text{受信電力 } P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4}$$

$$\text{最大探知距離 } R_{max} = 4 \sqrt{\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 S_{min}}}$$

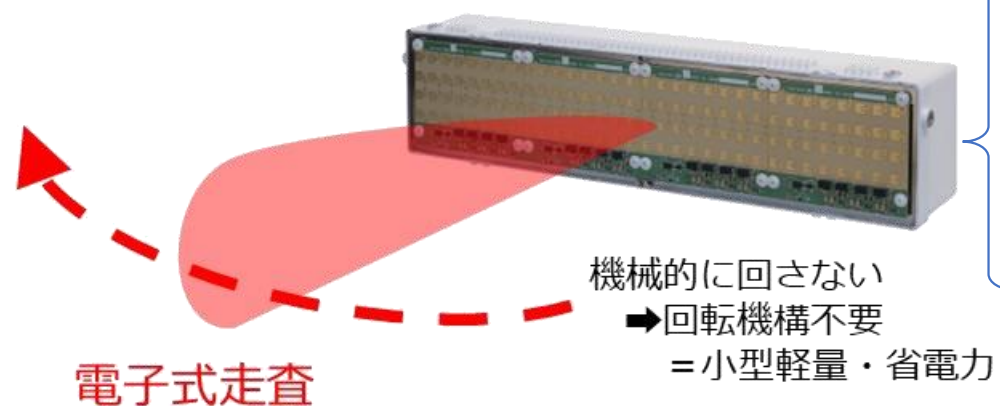
2. 衝突回避用レーダについて

2-2. 衝突回避実証試験に使用したレーダの例

機械回転式走査



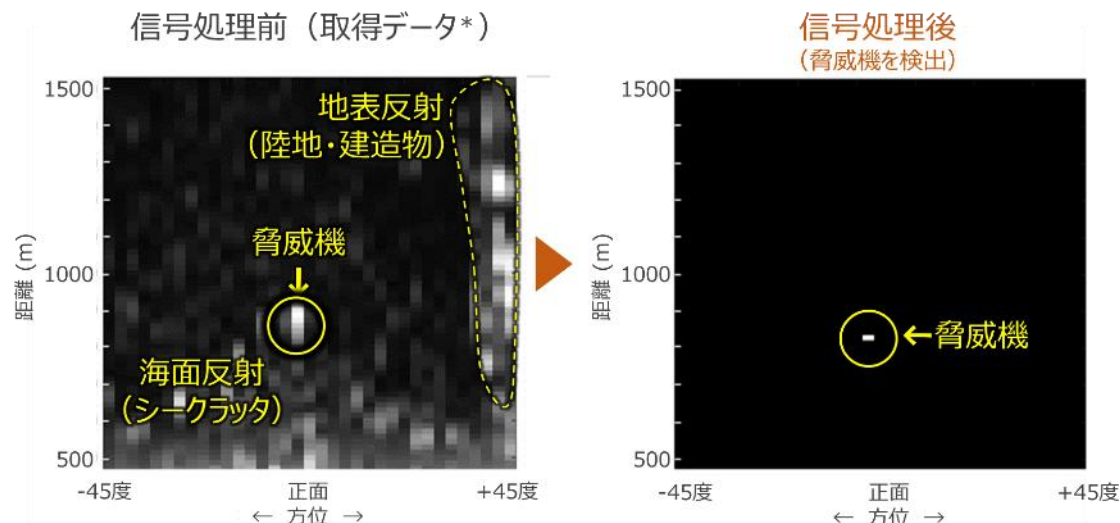
フェーズドアレイ方式



出典：NEDO DRESSプロジェクトホームページ／ニュースリリース／「NEDO ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」 研究成果報告会を開催／
(<https://nedo-dress.jp/news/3196.html>)、■衝突回避システムの小型化・低消費電力化 小型無人航空機に搭載可能な非協調式SAAシステムの開発【講演資料】
を抜粋、編集

2. 衝突回避用レーダについて

2-3. 実データによるモデルベース設計



(*) 委託事業「単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発 (離島対応)」により取得



脅威機 (有人ヘリ)

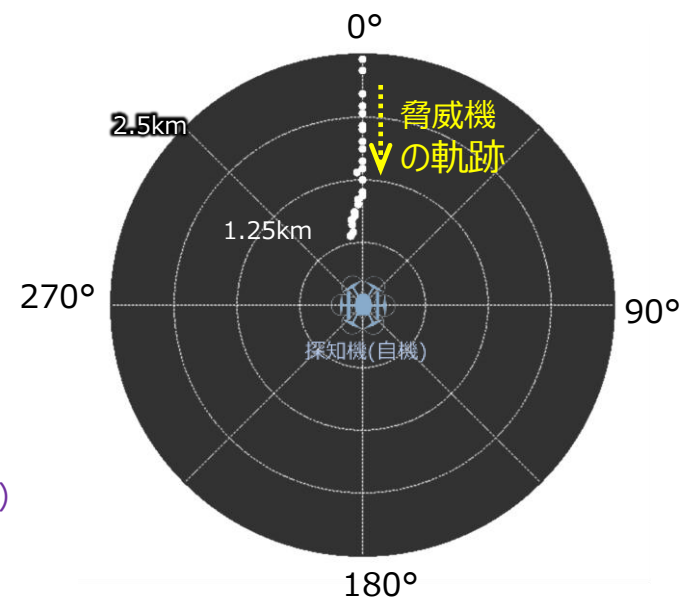
150km/h

(相対速度) 200km/h

50km/h

探知機 (自機)

データ取得動画



2. 衝突回避用レーダについて

2-4. 衝突回避の実証



衝突回避動画

3. 衝突回避技術の国際標準化について

3-1. 実証実験から国際標準化へ

衝突回避実証実験

(NEDO DRESSプロジェクト)

有人ヘリコプターとの相対速度
200 km/hでの衝突回避を実証



SUBARU、ACSL、日本無線、日本アビオニクス、三菱電機、マゼランシステムジャパンなど

ISO 21384-3:2023

Unmanned aircraft systems Part 3: Operational procedures

NEDO DRESSプロジェクトの成果を基に、衝突回避に関する運用構想を追加改定
(SUBARU、ACSL、日本無線など)

ISO/TR23267:2024

Experiment results on test methods for detection and avoidance (DAA) systems for unmanned aircraft systems

NEDO DRESSプロジェクトの成果を基に無人航空機の衝突回避に関する技術報告書をISOで公開
⇒ ISO 15964のエビデンス
(三菱総研、日本無線など)

ISO 15964:2025

Detection and avoidance systems for uncrewed aircraft systems

ISO 21384-3:2023の手順を具現化するシステムを、ISO/TR23267をエビデンスとして規格化
(日本無線、日本アビオニクス、ACSL、三菱総研など)

NEDO DRESSプロジェクトでの成果をもとに、

- ① ISO 21384-3:2023「運用手順」に衝突回避に関するConOps (Concept of Operations : 運用構想) を追加改定
- ② 関連するIS (国際規格) に関する特定の要求事項に係る根拠を提供することを目的とし、技術報告書ISO/TR23267を公開
- ③ ISO 21384-3:2023の手順を具現化するシステムを、ISO/TR23267を根拠にISO 15964として規格化

3. 衝突回避技術の国際標準化について

3-2. 関連する国際標準化機構ISOの組織

ISO International Organization for Standardization (国際標準化機構)

TC : Technical Committees (専門委員会)

SC : Subcommittee (分科委員会)

WG : Working group (作業グループ)

JWG : Joint working group (合同作業グループ)

AG : Advisory group (諮問グループ)

TC20 Aircraft and space vehicles (航空機および宇宙機)

SC16 Uncrewed aircraft system (無人航空機システム)

WG1 General (一般)

WG2 Product manufacturing and maintenance (機体システム)

WG3 Operations and procedures (運用手順)

ISO 21384-3:2023

Unmanned aircraft systems Part 3: Operational procedures

衝突回避に関する**運用構想**を追加改定

WG4 UAS Traffic Management (運行管理)

WG5 Testing and evaluation (検査及び評価)

ISO/TR23267:2024

Experiment results on test methods for detection and avoidance (DAA) systems for unmanned aircraft systems

無人航空機の衝突回避に関する**技術報告書⇒ISO 15964のエビデンス**

WG6 UAS subsystems (無人航空機システム)

ISO 15964:2025

Detection and avoidance systems for uncrewed aircraft systems

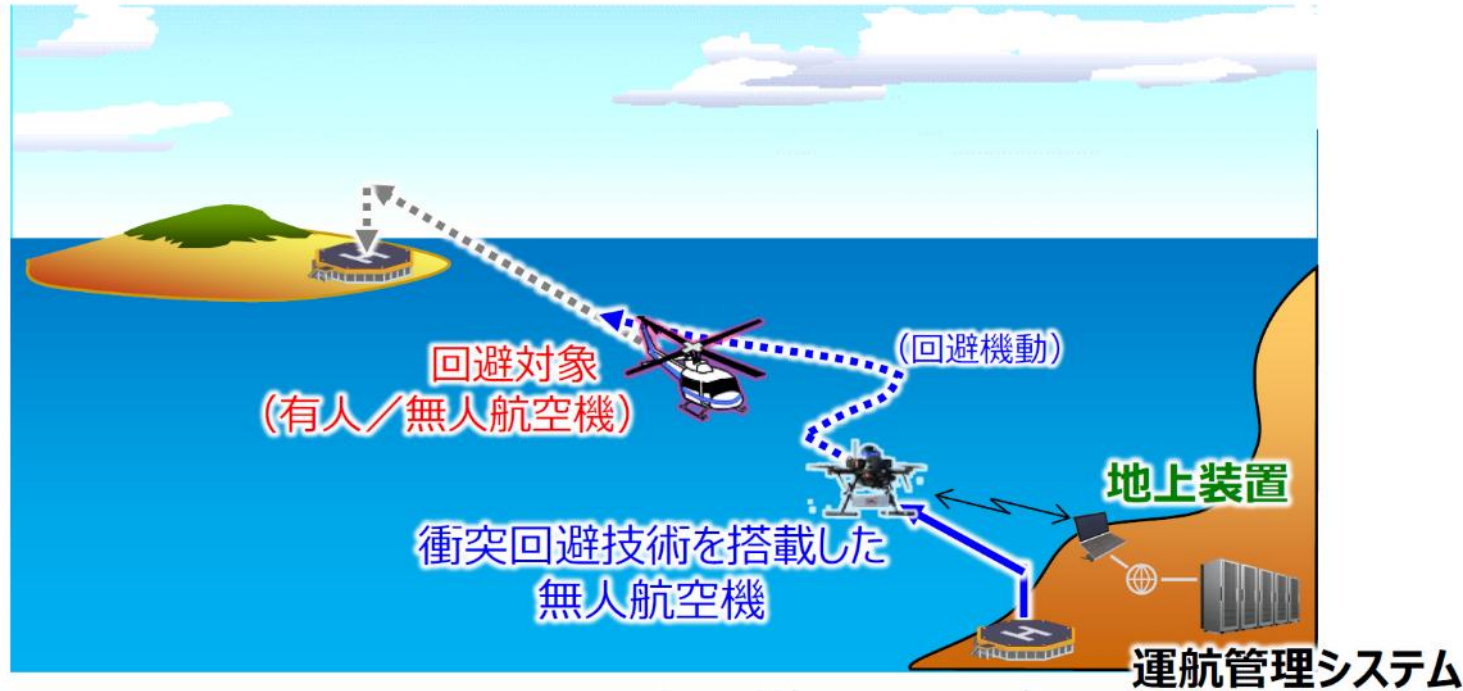
ISO 21384-3:2023の手順を**具現化するシステム**の規格

JWG7 Noise measurements for UAS (騒音測定)

AG5 Detect And Avoid (衝突回避技術)

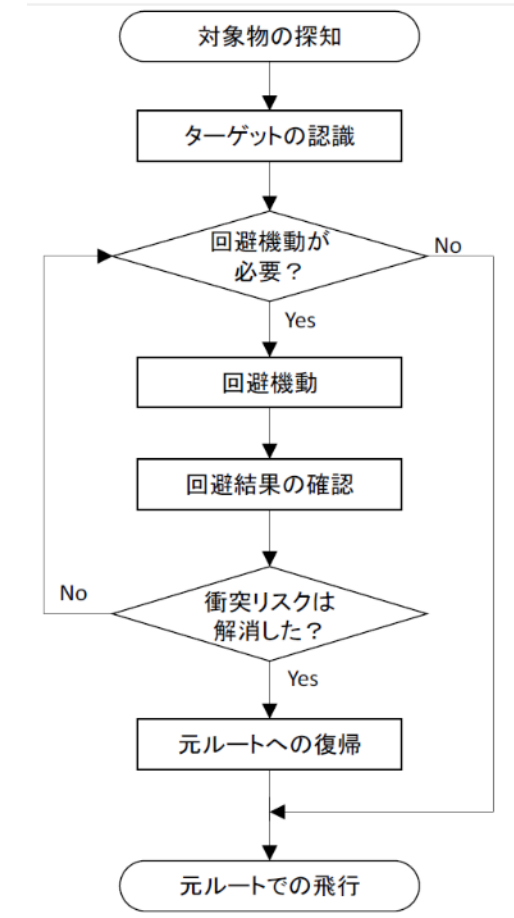
3. 衝突回避技術の国際標準化について

3-3. ISO 21384-3 (運用手順)



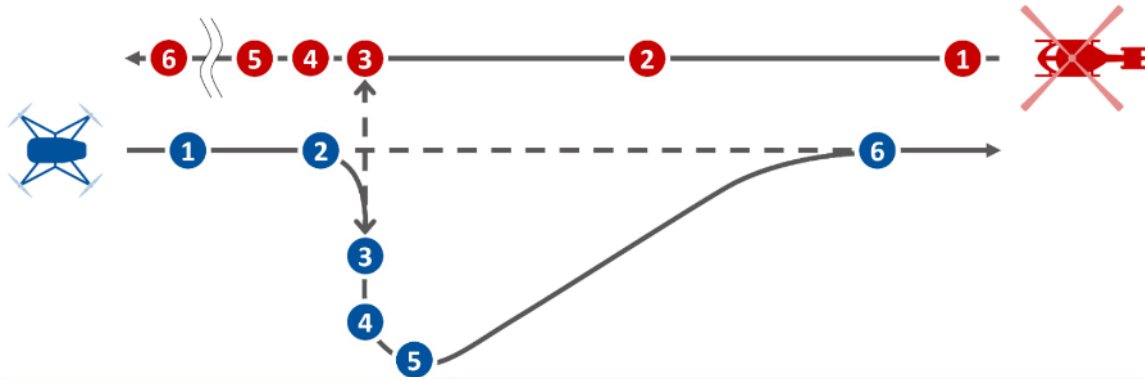
2019年11月に初版が発行された「ISO21384-3」は、他の航空機や無人航空機同士の衝突回避手順は規定されていなかった。

今回の改定で、衝突回避のCONOPS (Concept of Operations : 運用構想) を新たな章として追加し、「対象物の探知」「ターゲットの認識」「回避機動」「回避結果の確認」「元ルートへの復帰」および「元ルートでの飛行」の6ステップからなる基本的な手順を規定。



3. 衝突回避技術の国際標準化について

3-4. ISO/TR 23267（衝突回避に関する技術報告書）



衝突回避の運用手順 (ISO 21384-3:2023)		ISO/TR 23267に記載されている根拠	
		有人航空機と無人航空機の相対速度 200km/hにおける衝突回避試験	無人航空機同士の相対速度 100km/hにおける衝突回避試験
ステップ	操作	探知・認識距離	探知・認識距離
1	対象物の探知	2km	—
2	ターゲットの認識	750m	250m

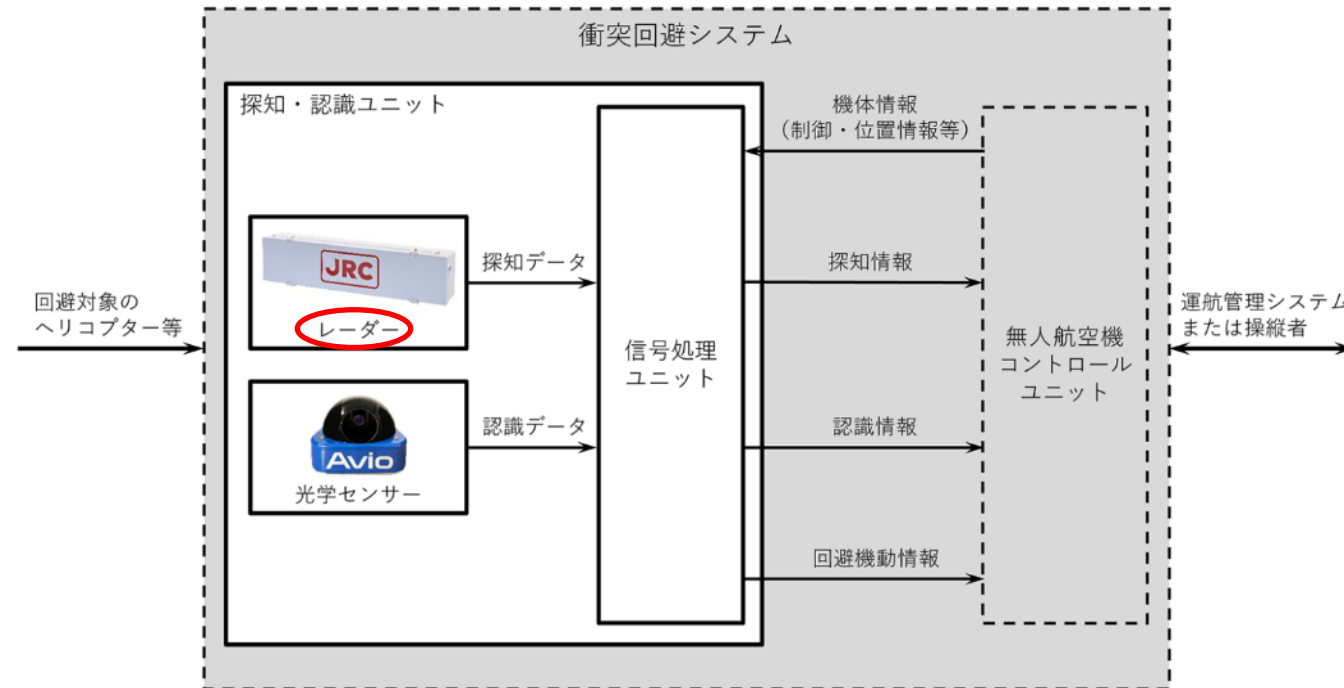
衝突回避の運用手順 (ISO 21384-3:2023)		衝突回避システム (例:ISO 15964)	ISO/TR 23267に記載されている根拠	
			有人航空機と無人航空機の相対速度 200km/hにおける衝突回避試験	無人航空機同士の相対速度 100km/hにおける衝突回避試験
ステップ	操作	ハードウェア・ソフトウェア	ハードウェア・ソフトウェア	ハードウェア・ソフトウェア
1	対象物の探知	レーダー	レーダー	光学センサー (カメラ)
2	ターゲットの認識	光学センサー (カメラ)	光学センサー (カメラ)	光学センサー (カメラ)
3	回避機動	処理装置	処理装置	処理装置
4	回避結果の確認	光学センサー (カメラ)	光学センサー (カメラ)	光学センサー (カメラ)
5	元ルートへの復帰	光学センサー (カメラ)	光学センサー (カメラ)	光学センサー (カメラ)
6	元ルートでの飛行	処理装置	処理装置	処理装置

無人航空機の衝突回避6ステップで使用されるハードウェア・ソフトウェアを本文に提示。これを裏付ける根拠として各種実証実験結果などをAnnex（別紙）で示しつつ、引用先をBibliographyに明記。レーダーと光学センサー（カメラ）を備えた機体による衝突回避システムの手順について説明。

衝突回避のモデリングとシミュレーション、機器単体の定量的評価試験、ハードウェア・ソフトウェアを試作搭載した飛行試験へとステップアップするテスト方法を解説。要求事項の根拠となる衝突回避CONOPSの6ステップにおける各種センサー機器の役割や探知・認識距離などを明示している。

3. 衝突回避技術の国際標準化について

3-5. ISO 15964（DAA 衝突回避システム）



衝突回避の運用手順 (ISO 21384-3:2023)		衝突回避システム (例:ISO 15964)
ステップ	操作	ハードウェア・ソフトウェア
1	対象物の探知	レーダー
2	ターゲットの認識	光学センサー（カメラ）
3	回避機動	処理装置
4	回避結果の確認	光学センサー（カメラ）
5	元ルートへの復帰	光学センサー（カメラ）
6	元ルートでの飛行	処理装置

ISO 15964は、ISO 21384-3 : 2023で規定された「対象物の探知」、「ターゲットの認識」、「回避機動」、「回避結果の確認」、「元ルートへの復帰」および「元ルートでの飛行」の6ステップからなる基本的な衝突回避手順を具現化する衝突回避システムの基本アーキテクチャを規定。

さらに、衝突回避CONOPSの6ステップにおける各種センサー機器の役割や探知・認識距離などを規定。

4. 今後の課題

- ◆ 協調型衝突回避システムと共に、レーダを使用した非協調型衝突回避システムは航行安全に重要
- ◆ ISO 15964で標準化された非協調型衝突回避システムに使用するレーダの周波数割り当てが必要
- ◆ 新ITU-RハンドブックM. [HDBK_STATUS.SPECTRUM.RPAS_DAA]の作成に向けた作業文書において検討が進められているところであり、これらの動向も注視してゆく必要がある

5. まとめ

- ◆ 無人航空機の利用が広がり さらに幅広い用途への活用が期待されている
- ◆ 無人航空機の安全利用のために衝突回避技術が喫緊の課題
- ◆ NEDO DRESSプロジェクトの委託業務／助成事業により 無人航空機用の非協調型衝突回避技術を開発し 相対速度 200 km/h の有人ヘリコプタとの衝突回避技術を実証した
- ◆ 開発した小型・低消費電力の衝突回避システムは 10 kg クラスの小型無人航空機に搭載可能
- ◆ NEDO DRESSプロジェクトの成果をもとに ISO 15964などの国際規格を開発した
- ◆ 衝突回避システムに使用されるレーダへの周波数割り当てが必要

この発表における成果の一部は、NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の助成事業ならびに委託業務（JPNP17004）の結果得られたものです。

Appendix

A1. 無人航空機の衝突回避について

A1-1. 研究開発プロジェクト（2017年度～2019年度）

ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト

平成29年度予算額 **33.0億円（新規）**

製造産業局 産業機械課
03-3501-1691

平成29年度経済産業省予算関連事業のPR資料

：エネルギー対策特別会計 2017年3月27日

出典：経済産業省ホームページ

▶政策について▶予算・税制・財投▶平成29年度経済産業省関連予算等の概要

▶平成29年度経済産業省予算関連事業のPR資料：エネルギー対策特別会計

産業技術環境局

エネルギー需給構造高度化対策

●ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト

https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11067906/www.meti.go.jp/main/yosan/yosan_fy2017/pr/energy/e_sangi_b_25.pdf

ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト

物流やインフラ点検等を効率化できるロボットやドローンの社会実装を世界に先駆けて進めるため、それらの性能を評価する基準、複数機の運航を管理するシステム及び他の機体や建物との衝突を回避する技術等を、福島県のロボットテストフィールド等における実証を通じて開発する。その成果を国際標準化につなげるとともに、世界の最新技術を日本に集め、日本発のルールでロボットの開発競争を加速させる仕組みを構築する

出典：経済産業省ホームページ

平成29年度 資源・エネルギー関係予算の概要 平成29年3月

https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11067906/www.meti.go.jp/main/yosan/yosan_fy2017/pdf/energy2.pdf

・平成29年度予算額 33.0億円

・平成30年度予算額 32.2億円

・平成31年度予算額 36.0億円

JRC 日本無線

事業の内容

事業目的・概要

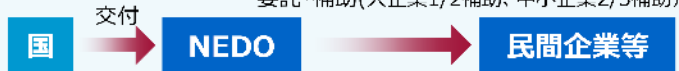
- 物流やインフラ点検分野等の省エネルギー化の実現に向けて、例えば、次のようなロボット・ドローンの活躍が期待されています。
 - 小口輸送において、積載率の低いトラックに代わり即時配達を行い、再配達率を下げることでエネルギーの無駄を減らすドローン。
 - 既存インフラを長寿命化させ、大量の資源とエネルギーを消費する建替えを減らすための点検作業を支援するロボット・ドローン。
- そのため本事業では、物流やインフラ点検等の分野で活用できるロボット・ドローンの社会実装を世界に先駆けて進めるため、それらの性能を定量的に評価するための基準の策定やシステムの開発を行います。
- また、我が国で開発されたロボット・ドローン技術やシステムの国際標準化を目指すことで、世界の省エネに貢献するとともに、我が国発の省エネ製品・システムの市場創造・拡大を実現します。

成果目標

- 平成29年度から平成33年度までの5年間で福島ロボットテストフィールド等を活用した実証事業等を通じ、ロボットやドローンの社会実装に向けた事業環境等を整備するとともに、国際標準の獲得を目指す。

条件（対象者、対象行為、補助率等）

委託・補助（大企業1/2補助、中小企業2/3補助）



事業イメージ

① ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発

物流やインフラ点検等の分野で活用できるドローン・陸上ロボット・水中ロボットの性能評価基準及び省エネ性能の高いバッテリー等の要素技術の開発を行います。

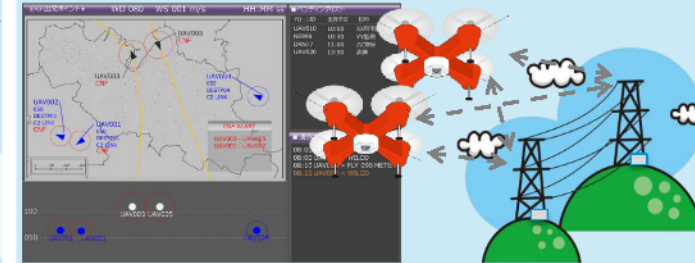
② 社会実装に向けたシステムの開発

複数のドローンやロボットが同時に活動することを可能にする運行管理システムや衝突回避技術等の開発と無人物流システムの実証を行います。

③ 国際標準化の推進

- 標準の確立がこれからのドローンについては、欧米の標準化動向の把握及び同活動への参画を進め、上記開発成果を国際標準につなげます。
- 技術開発スピードが速く、デファクトスタンダード獲得が鍵を握るロボットについては、世界の最新技術を日本に集め、日本発のルールで開発競争が加速する仕掛けを構築します（ロボット国際大会等）。

ドローンの社会実装に向けた運行管理システムのイメージ（例）



A1. 無人航空機の衝突回避について

A1-1. 研究開発プロジェクト（2020年度～2021年度）

ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト

令和2年度予算額 40.0億円（36.0億円）

製造産業局 産業機械課
03-3501-1691

事業の内容

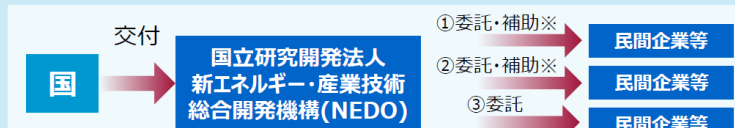
事業目的・概要

- 物流やインフラ点検分野等の省エネルギー化の実現に向けて、例えば、次のようなロボット・ドローンの活躍が期待されています。
 - 小口輸送において、積載率の低いトラックに代わり即時配達を行い、再配達率を下げることでエネルギーの無駄を減らすドローン。
 - 既存インフラを長寿命化させ、大量の資源とエネルギーを消費する建替を減らすための点検作業を支援するロボット・ドローン。
- そのため本事業では、物流やインフラ点検等の分野で活用できるロボット・ドローンの社会実装を世界に先駆けて進めるため、特定環境下における操作技量の測定手法や運航管理と衝突回避の技術開発を行います。
- また、開発されたロボット・ドローン技術やシステムの今後の国際標準化に向けた取組を併せて実施することで、世界の省エネに貢献するとともに、我が国発の省エネ製品・システムの市場創造・拡大を実現します。

成果目標

- 2022年（令和4年）の有人地帯での目視外飛行（レベル4）の実現を目指し、令和2年度は、福島ロボットテストフィールド等を活用した実証等を行い、ロボットやドローンの社会実装に向けた事業環境整備や国際標準の獲得を推進します。（事業期間：平成29年度～令和3年度）

条件（対象者、対象行為、補助率等）



※大企業1/2補助、中小企業2/3補助

事業イメージ

(1) 性能評価基準等の開発

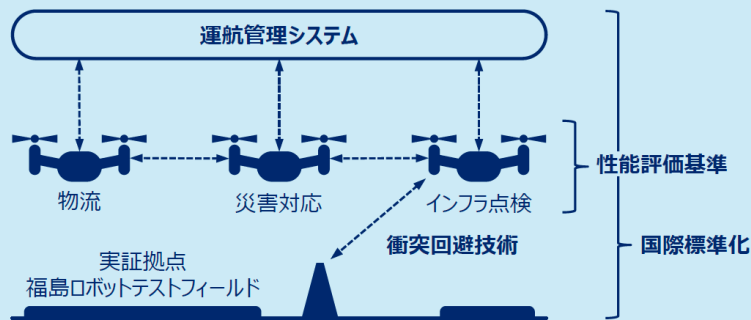
- 物流やインフラ点検等の各分野の特性に応じた操縦者の技量を評価する手法及び機体の性能評価基準や、その基準を満たすためのドローンの省エネルギー技術等の開発を行います。

(2) 運航管理と衝突回避の技術開発

- 同じ空域を飛行する多数のドローンの運航を管理するシステムの社会実装に向けた実証やデジタル基盤の構築、飛行する機体を遠隔から識別するための技術、他の機体や地上の建物等との衝突を回避する技術等の開発を行います。

(3) 国際標準化の推進

- 欧米の標準化動向の把握及び上記開発成果の海外発信を進め、今後の国際標準化活動につなげます。
- 技術開発スピードが速く、デファクトスタンダード獲得が鍵を握るロボットについては、世界の最新技術を日本に集め、日本発のルールで開発競争が加速する仕掛けを構築します（World Robot Summit等）。



令和2年度経済産業省予算関連事業のPR資料:
エネルギー対策特別会計 2020年3月27日

出典：経済産業省ホームページ

▶政策について▶予算・税制・財投▶令和2年度経済産業省関連予算等の概要▶令和2年度経済産業省予算関連事業のPR資料:
エネルギー対策特別会計

産業技術環境局

エネルギー需給構造高度化対策

●ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト

https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11663694/www.meti.go.jp/main/yosan/yosan_fy2020/pr/en/sangi_taka_08.pdf

ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト

2022年の有人地帯での目視外飛行（レベル4）の実現に向けたロードマップに基づき、運行管理システムや衝突回避等の技術や性能評価基準等の開発を進める。

出典：経済産業省ホームページ

令和2年度資源・エネルギー関係予算の概要 令和2年3月

https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11067906/www.meti.go.jp/main/yosan/yosan_fy2017/pdf/energy2.pdf

・令和2年度予算額 40億円

・令和3年度予算額 40億円

A2-4. 衝突回避の実証

2021.11.08

世界初、相対速度200km/hでの小型無人航空機の自律的な衝突回避に成功 ～小型化／低消費電力化したセンサーで有人ヘリコプターを自律的に衝突回避～

研究情報

日本無線株式会社（本社：東京都中野区、代表取締役社長：小洗 健）、株式会社SUBARU、日本アビオニクス株式会社、株式会社ACSL、マゼランシステムズジャパン株式会社は、9月9日から10日、広域飛行空域（福島県南相馬市）で、小型化/低消費電力化されたセンサーを10kgクラス無人航空機に搭載して、自律的な衝突回避試験を実運用速度域である相対速度200km/hで実施し、世界で初めて成功しました。これは小型無人航空機を社会実装するための目途立てとして、大きな前進となるものです。

2. 衝突回避用レーダについて

A2-5. 研究レポート

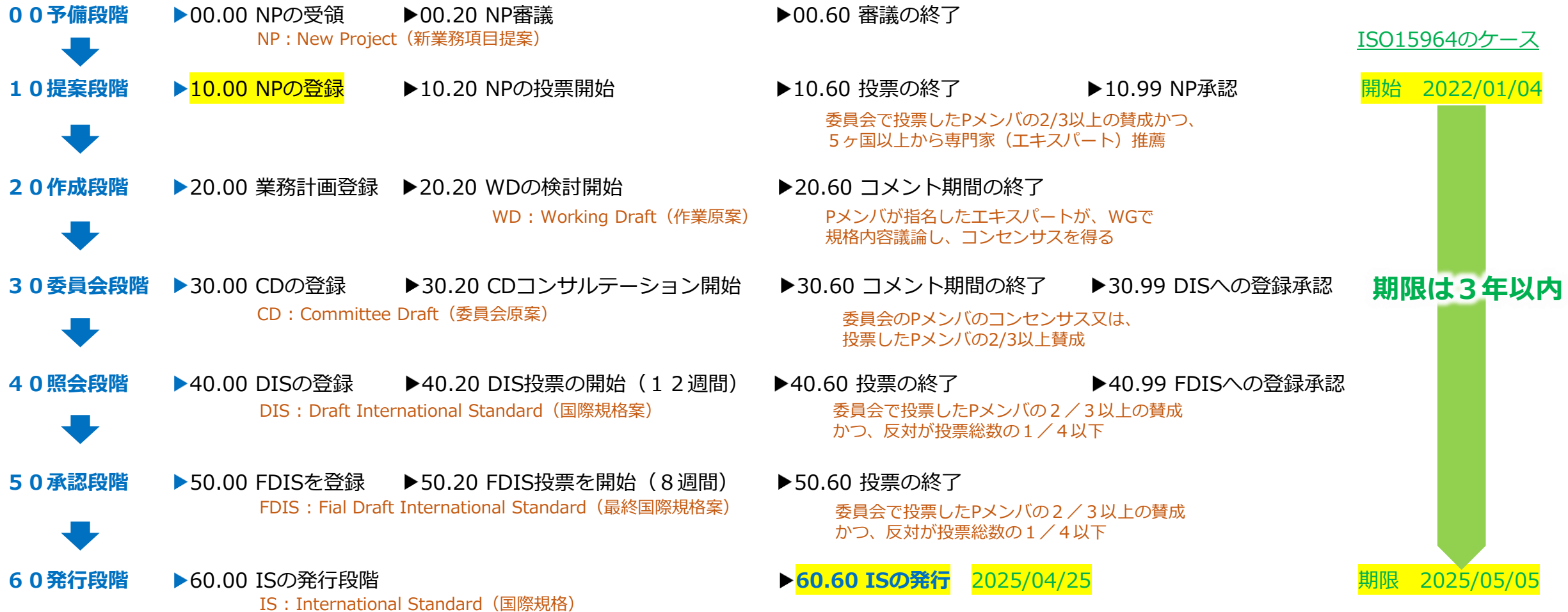


出典：日本無線技報 No.73 (2022)

https://www.jrclte.com/hubfs/jrc-corp/assets/pdf/casestudy/technical_information/report/no73/JRCreview73_04-1.pdf

A3. 衝突回避技術の国際標準化について

A3-3. ISOでの国際標準化プロセス



出典: 「標準化の概要」(経済産業省)

<https://www.meti.go.jp/policy/economy/hyojun-kijun/katsuyo/business-senryaku/pdf/001.pdf>

の情報をもとに日本無線株式会社が加筆・作成

Pメンバ: Participating Member. 投票権がある積極参加者
Oメンバ: Observer Member. 投票権がないオブザーバ参加者