

# ReAMoプロジェクト シンポジウム

## 研究開発項目①(1)

### ドローンの性能評価手法の開発

### 制約環境下におけるドローンの性能評価法の研究開発

実施者名: 名古屋工業大学コンソーシアム



## 分担課題名

### ④ 低視程環境における障害物検知センサに関する 性能評価手法の開発

実施者名: 産業技術総合研究所 

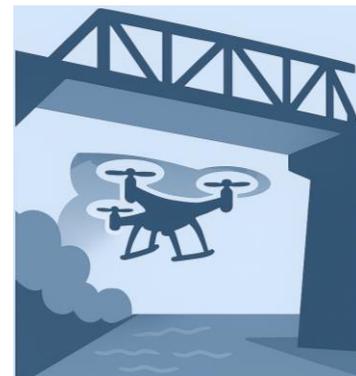
発表者 : 金 奉根

# 1. 事業概要説明

## 1-(1). 研究開発の背景

### ● ドローン市場の拡大と技術競争

- インフラ点検や災害対応などで利用が急増
- 世界的に技術競争が激化、性能差が競争力に直結



### ● 複雑・厳しい運用環境でのニーズ増加

- **狭隘空間**（トンネル・配管・地下施設など）
- **非GPS環境**（屋内・地下）
- **低視程環境**（霧・煙・粉塵）  
→ 安全かつ確実な運用技術が求められる



### ● 評価手法の未整備

- 現場環境に対応した評価基準が存在せず
- メーカー間の比較が困難  
→ **客観性・再現性・信頼性に課題**

### ● 標準化の必要性

- 客観的な性能評価の基盤を構築
- 日本発の手法を国際標準へ



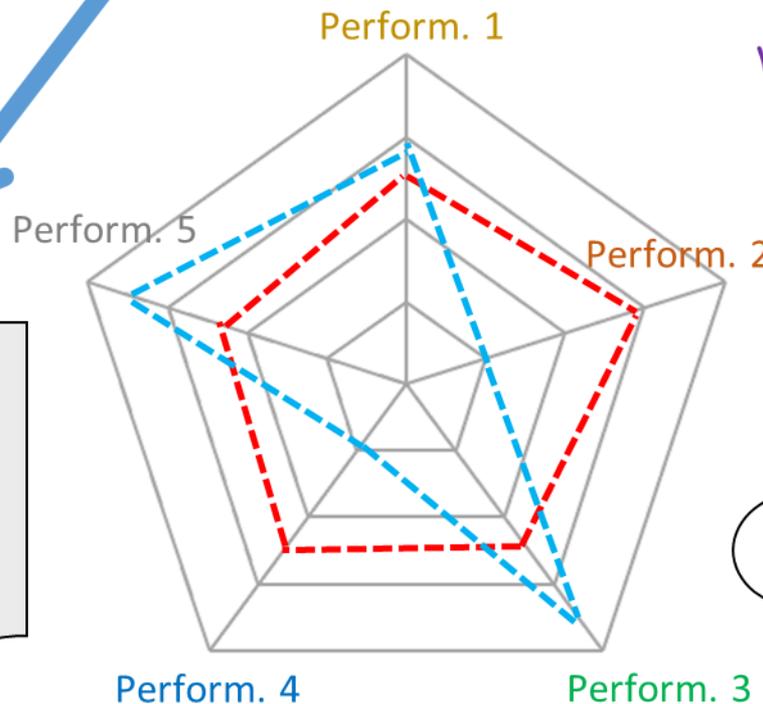
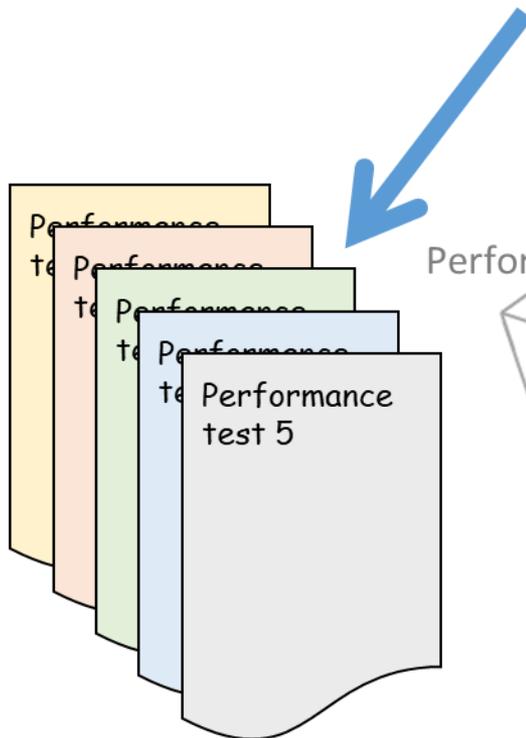
Tunnel Collapse in Sendai, Japan (Dec. 2012)  
Emergency workers enter the smoke filled Sasago tunnel near Tokyo  
[<https://www.geoengineer.org/news/tunnel-collapse-in-sendai-japan>]

# 1. 事業概要説明

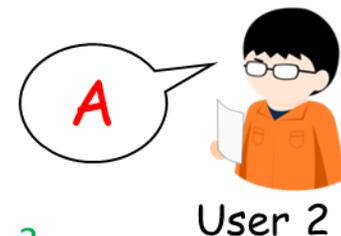
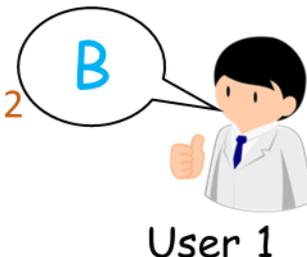
## 1-(1). 研究開発の背景: 我々のスタンス

### 性能評価とは？

対象作業に対して備えておくべき**要素的・基盤的な性能**を、**評価・比較**するための標準的な方法（枠組み）



What is your favorite?



試験による**要素的な性能の定量化**  
**機体の総合的な性能の可視化**

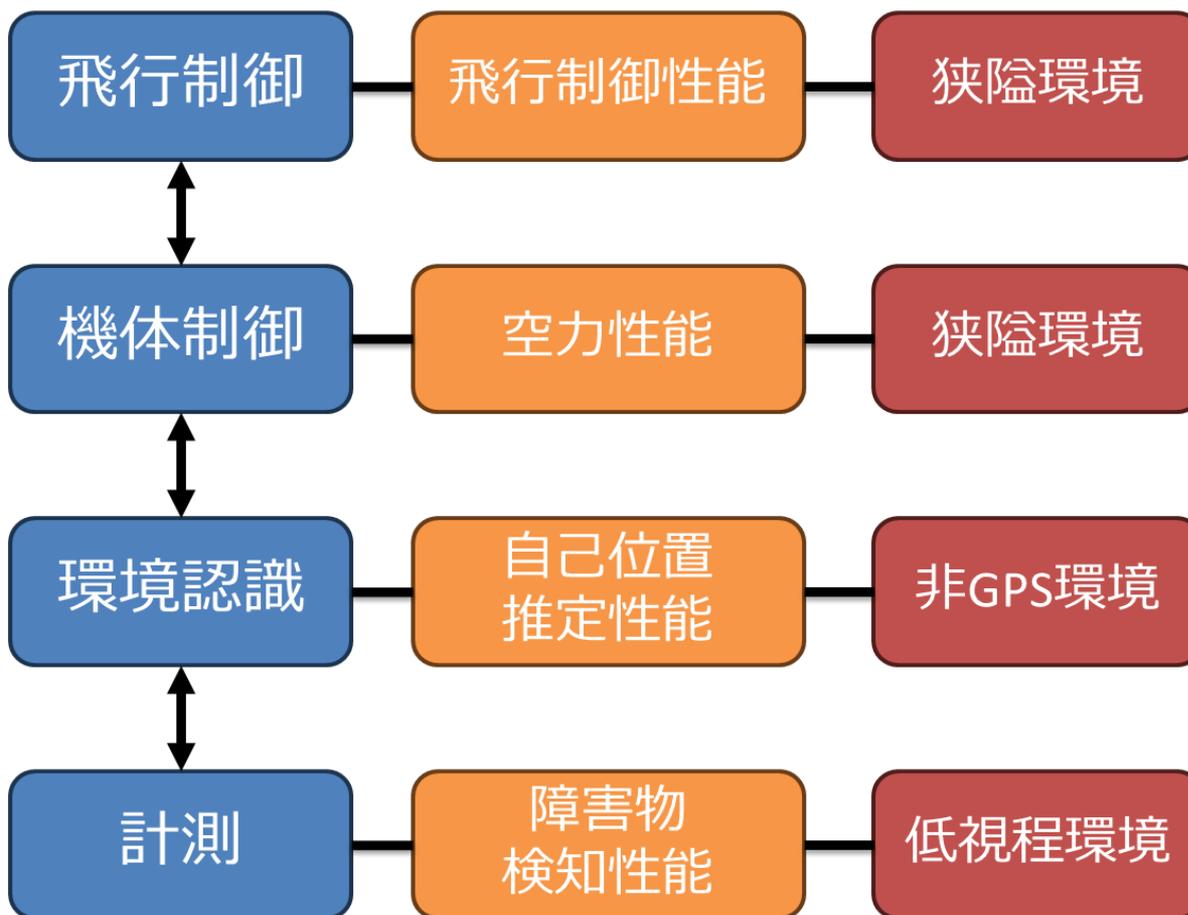
**ユーザが総合的かつ相対的に**  
**望む機体を見出すため情報生成**

# 1. 事業概要説明

## 1-(2). 研究開発の目的・実施体制

- **目的:** 狭隘・低視程・非GPS といった制約環境下での**ドローン性能評価手法**の研究開発 → **手順書の策定と公開**

- **実施体制**   【技術要素】                      【対象性能】                      【対象制約環境】

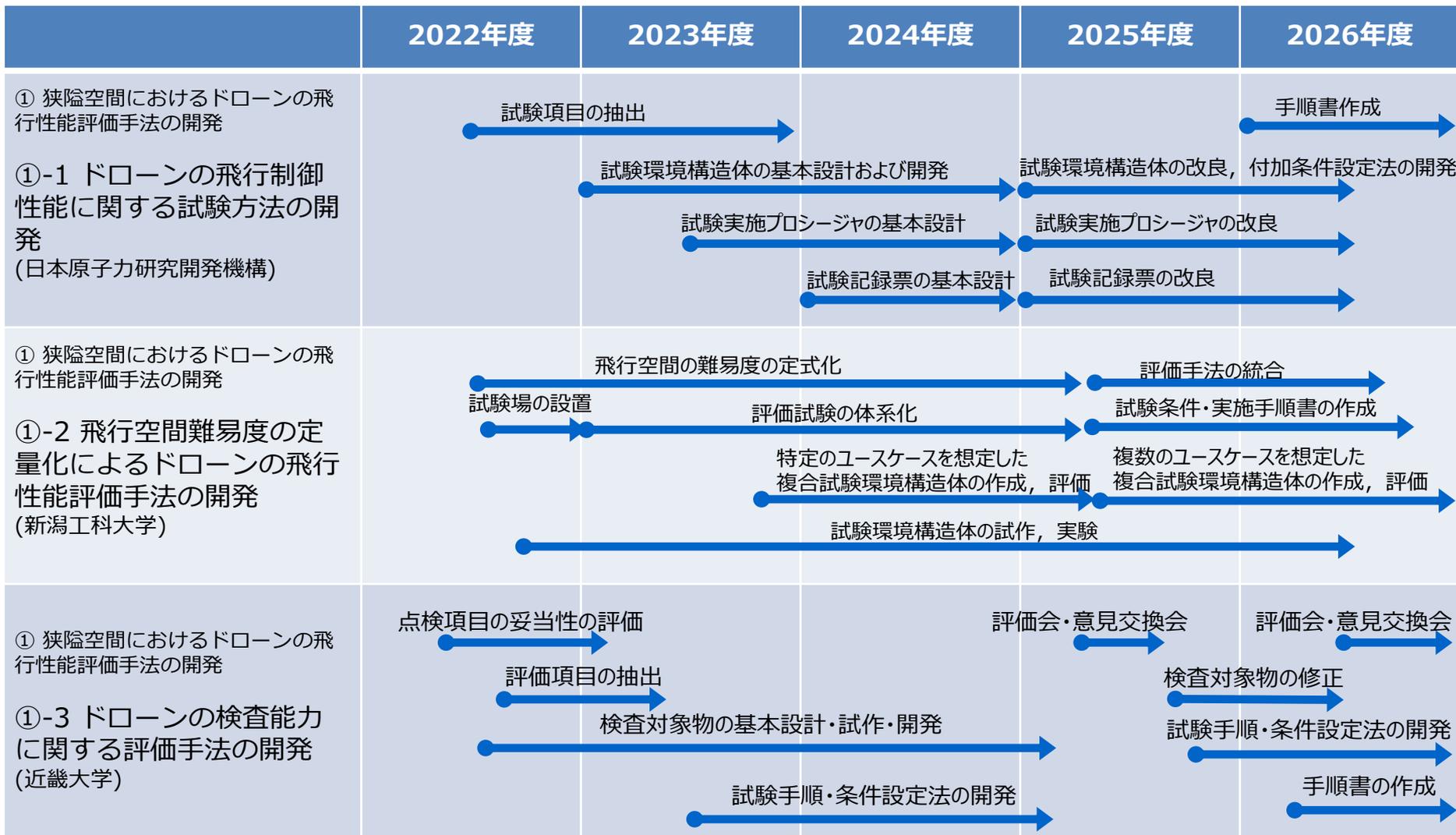


# 1. 事業概要説明

## 1-(3). 研究開発の事業実施計画



### 事業実施計画



# 1. 事業概要説明

## 1-(3). 研究開発の事業実施計画



### 事業実施計画

	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度
② 狭隘空間における小型ドローンの空力性能評価方法および評価試験用プラットフォームの開発 (千葉大学)	<ul style="list-style-type: none"> <li>検証機体の開発</li> <li>性能評価用模擬環境構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>評価とFB項目設定</li> <li>試験環境構造体の開発・評価</li> <li>飛行実験・データ収集・解析</li> <li>性能評価測度検討・検証・初期評価手順策定</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>試験環境構造体改良</li> <li>狭隘空間用機体仕様書作成</li> <li>性能評価手順の精査</li> <li>試験記録票の設計・改良</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>手順書作成</li> </ul>
③ 非GPS環境における自己位置推定機能の性能評価試験法の研究開発 (名古屋工業大学)	<ul style="list-style-type: none"> <li>飛行経路・試験環境の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>検証実験</li> <li>低視程環境での試験法開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>手順書の作成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>研究項目④との連携による改善</li> <li>移動障害物環境での試験法開発</li> <li>試験法簡易化に関する検討・検証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>手順書の作成</li> </ul>
④ 低視程環境における障害物検知センサに関する性能評価手法の開発 (産業技術総合研究所)	<ul style="list-style-type: none"> <li>基礎実験, 制約条件の定量化</li> <li>低視程環境の制御・構築方法の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>性能評価試験方法の開発</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>試験環境の改良</li> <li>試験方法の改良</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>手順書作成</li> </ul>
標準化活動	<ul style="list-style-type: none"> <li>意見交換会 ▲</li> <li>ASTM E54.09 ▲</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>意見交換会 ▲</li> <li>競技会 ▲</li> <li>展示会 ▲</li> <li>展示会 ▲</li> <li>RoboCup ▲</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>意見交換会 ▲</li> <li>競技会 ▲</li> <li>展示会 ▲</li> <li>展示会 ▲</li> <li>RoboCup ▲</li> <li>WRS ▲</li> <li>ASTM E54.09 ▲</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>意見交換会 ▲</li> <li>競技会 ▲</li> <li>展示会 ▲</li> <li>展示会 ▲</li> <li>RoboCup ▲</li> <li>WRS ▲</li> <li>ASTM E54.09 ▲</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>意見交換会 ▲</li> <li>競技会 ▲</li> <li>展示会 ▲</li> <li>展示会 ▲</li> <li>RoboCup ▲</li> <li>ASTM E54.09 ▲</li> </ul>

※標準化活動の各種イベントは開催時に参加 (ASTM E54.09は2023年度は未開催だった) 5

## 2. 2024年度までの取組内容と成果

### 「④低視程環境における障害物検知センサに関する性能評価手法の開発」

- 目的: **低視程環境下におけるドローンセンサの性能評価と試験手順の確立**
- 実施内容: **試験環境の構築**

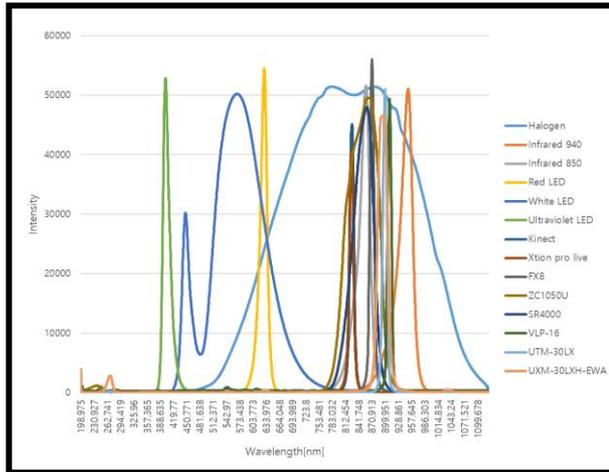


## 2. 2024年度までの取組内容と成果

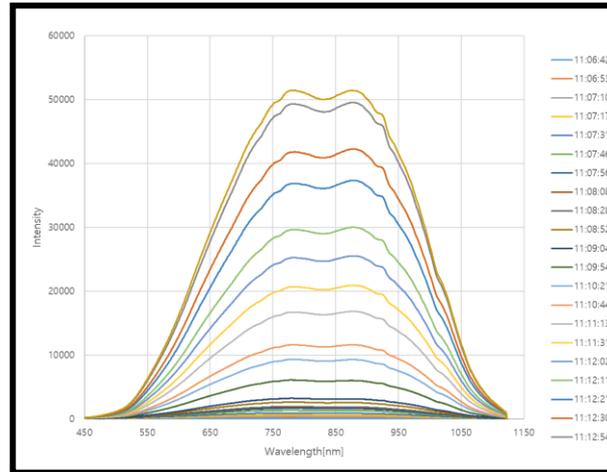
### 「④低視程環境における障害物検知センサに関する性能評価手法の開発」

- **目的: 低視程環境下におけるドローンセンサの性能評価と試験手順の確立**
- **実施内容: 環境分析およびパラメータ抽出**

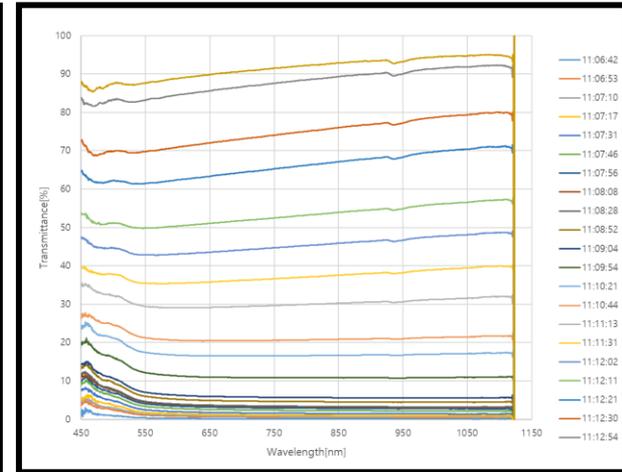
本図は、霧の濃度変化に伴いセンサのスペクトル特性 (a) がどのような影響を受けるかを、光強度の減衰 (b) および透過率の変化 (c) を用いて示しています。



(a) 光源およびセンサのスペクトル特性



(b) 霧濃度による光強度の変化



(c) 霧濃度による透過率の変化

## 2. 2024年度までの取組内容と成果

### 「④低視程環境における障害物検知センサに関する性能評価手法の開発」

#### ● 目的: 低視程環境下におけるドローンセンサの性能評価と試験手順の確立

#### ● 実施内容

##### (1) 試験環境の構築

低視程環境試験装置、照度制御設備、飛行試験装置などによる物理的評価環境を整備

##### (2) 環境分析およびパラメータ抽出

低視程要因の定量分析 / 評価試験に必要なコアパラメータの抽出

##### (3) 試験法の開発

センサ性能および飛行性能の評価手法を設計 / 安全性を考慮したリスクアセスメントを反映

##### (4) 試験実施および改良

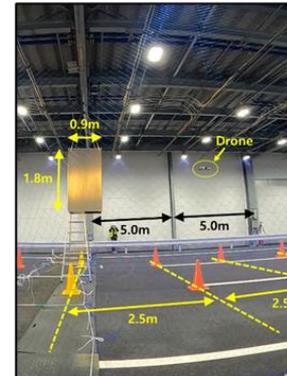
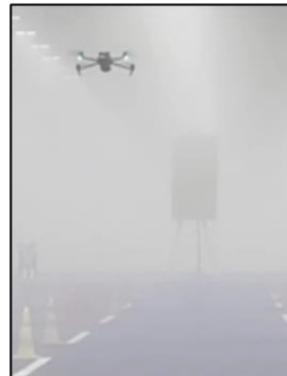
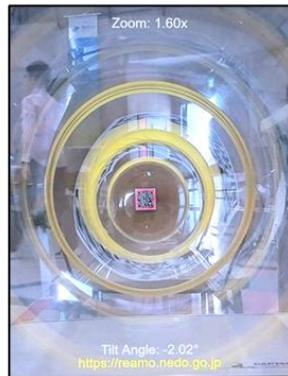
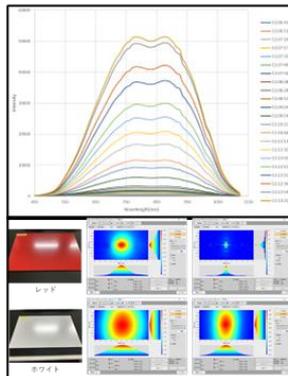
開発した手法に基づき実験を実施 / 結果を反映し、装置や手順を継続的に改良

##### (5) 手順書作成

評価指標を確立 / 手順書の策定・公表

##### (6) 成果の活用

研究成果の展開・共有 / 関連分野での制度化・標準化への寄与



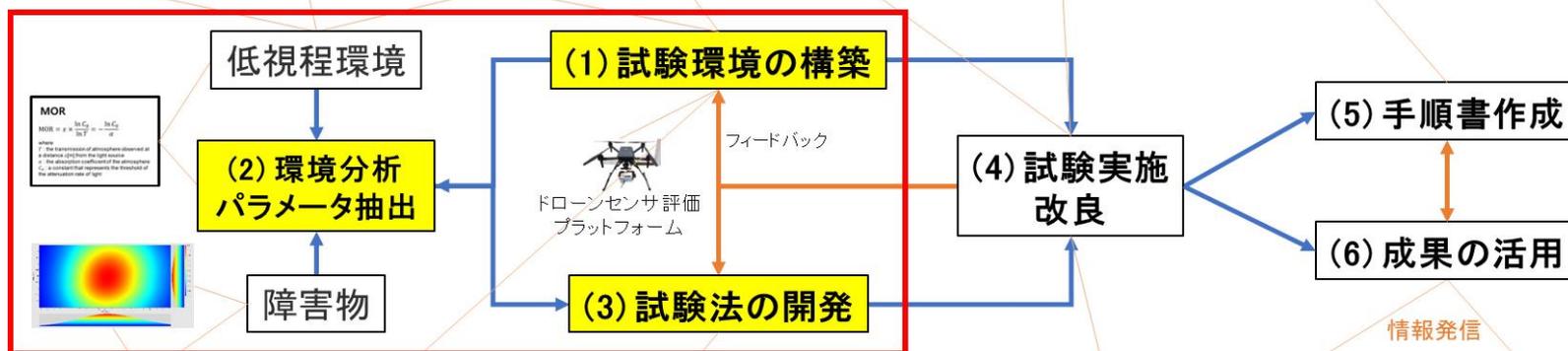
## 2. 2024年度までの取組内容と成果

### 「④低視程環境における障害物検知センサに関する性能評価手法の開発」

- **目的: 低視程環境下におけるドローンセンサの性能評価と試験手順の確立**

- **実施内容**

多様な低視程環境におけるユースケースを想定



意見交換会

展示会

実証試験

## 2. 2024年度までの取組内容と成果

### (1) 試験環境の構築

#### 低視程環境試験装置、飛行試験装置などによる物理的評価環境を整備

#### 低視程環境試験装置

- センサ性能評価用スモークチャンバーを開発
- 煙環境下における低視程状態を再現
- 狭隘空間での実証試験を可能にする装置を設計



ボックス型チャンバー



ドローンセンサの性能評価



チューブ型チャンバー



低照度環境

#### 飛行試験装置(逆光試験装置)

- 太陽光を模擬



逆光試験装置

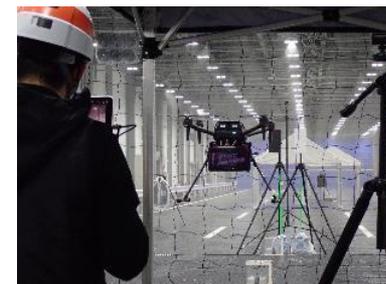


#### 飛行試験装置(評価プラットフォーム)

- 実環境での飛行条件を模擬
- 様々な環境で様々なセンサの性能を評価



安全な試験のために最適化



実証試験@JARI

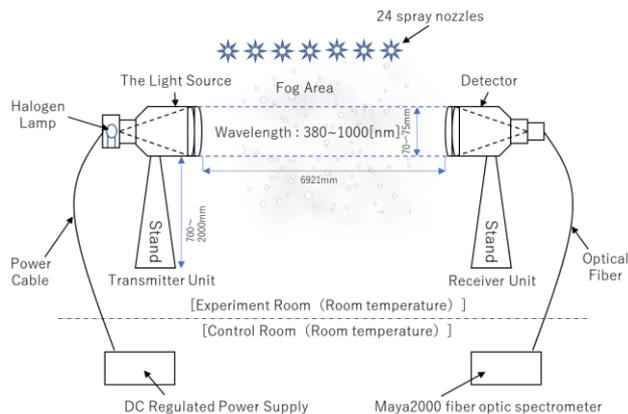
## 2. 2024年度までの取組内容と成果

### (2) 環境分析およびパラメータ抽出

#### 低視程要因の定量分析、評価試験に必要なコアパラメータの抽出

#### 低視程要因の定量分析

- 透過率計測器: 可視・近赤外の分光透過率を数値化



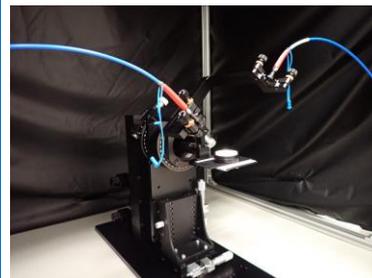
分光透過率計測器



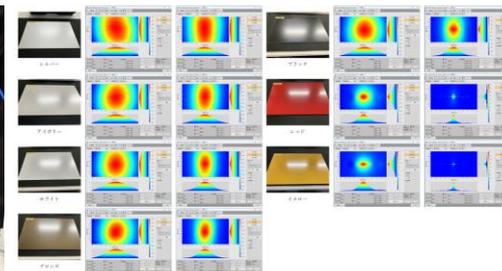
空間分光透過率の計測

#### コアパラメータの抽出(障害物)

- 環境構造物や障害物の定量化
- 透過反射測定器: 検出対象の表面特性を数値化



透過反射測定器



反射率特性:BRDF

(Bidirectional Reflectance Distribution Function)

#### コアパラメータの抽出(低視程環境)

- 低視程環境の調査: 産総研の共同溝
- 狭隘空間の特性を踏まえ低視程要因を分析



狭くて暗い通路



様々な色と太さの配管

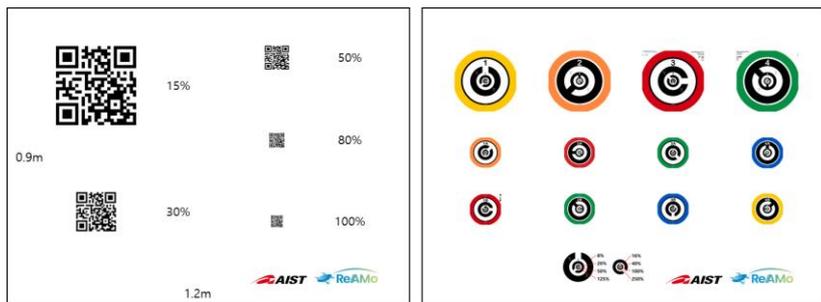
## 2. 2024年度までの取組内容と成果

### (3) 試験法の開発

### センサ性能および飛行性能の評価手法を設計

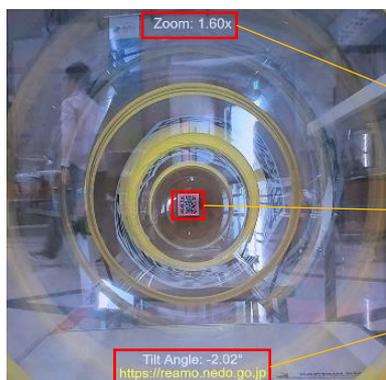
#### センサ性能評価手法

- 狭隘空間におけるカメラ性能評価試験法を開発
- 煙環境下での視覚性能を測定する手法を整備



視力(Visual Acuity)測定用QR, Randolt Ring

Visual Acuity: ASTM E2566-17a, R. Ring: ISO 8596:2009, QR: ISO/IEC 18004:201



Zoom: 1.60x

Zoom: 1.60x センサ情報

コード検知

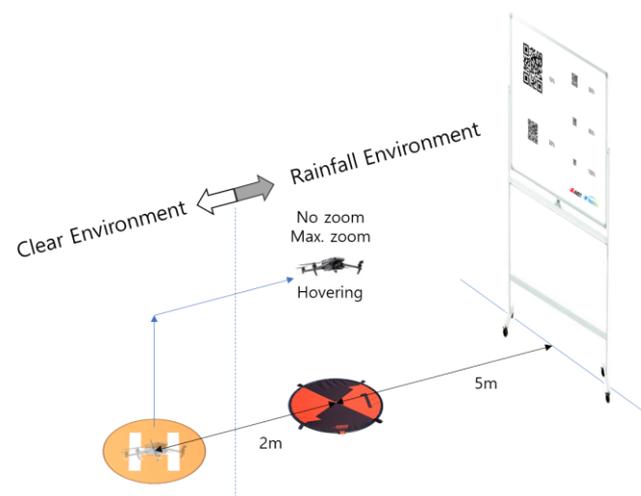
Tilt Angle: -2.02°  
<https://reamo.nedo.go.jp>

検知情報及びコード内容

狭隘低視程空間における性能評価

#### 飛行性能評価手法

- 飛行中のカメラ・サーマルカメラ性能評価



降雨環境下での飛行試験



ターゲット接近中の飛行

## 2. 2024年度までの取組内容と成果

### (4) 試験実施および改良

**試験を実施し、フィードバックを反映して装置・手順を継続的に改良**

#### 試験実施(カメラ・サーマルカメラ)

- QRコード・サーマルターゲットの検知



降雨下QR検出試験



サーマルターゲット検出試験

#### 試験実施(3Dセンサ)

- 各種物性を備えた試験片に対する検出性能の評価



降雨環境試験



ドローン飛行評価試験

#### 試験実施(飛行評価)

- 障害物検知・回避機能の評価



逆光(40,000lx)



霧(80m)



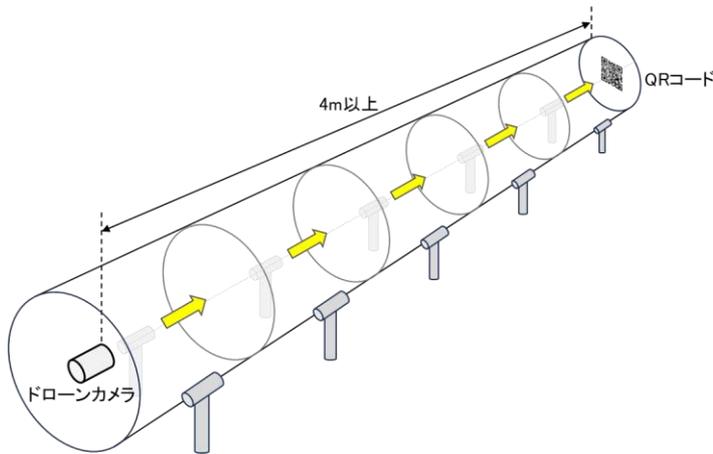
降雨(30mm/h)

## 2. 2024年度までの取組内容と成果

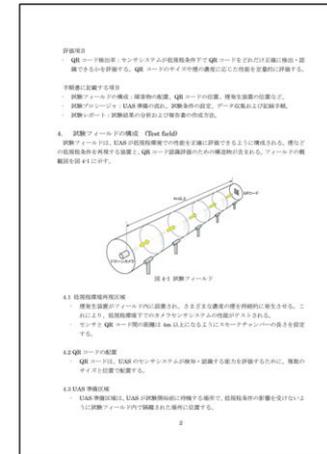
### (5) 手順書作成

#### 評価指標を確立, 手順書の策定・公表

- QRコードの認識および内容確認による性能評価
- 低視程環境におけるカメラセンサシステムの性能試験：煙による低視程環境」(ドラフト版)



チューブ型スモークチャンバー



手順書のドラフト版



## 2. 2024年度までの取組内容と成果

### (6) 成果の活用

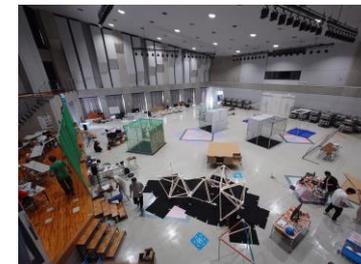
- **成果発信**

X(twitter): [https://x.com/AIST\\_JP/status/1621103370827350019?s=20&t=5oSB10ycPgI5y1-Aiohung](https://x.com/AIST_JP/status/1621103370827350019?s=20&t=5oSB10ycPgI5y1-Aiohung)



- **意見交換会(2回/年)**

2024年9月12日@新潟工科大学  
2025年2月14日@檜葉遠隔技術開発センター



- **学会発表 3件, 解説論文1件**

ROBOMECH2022, SI2022, 計測と制御(2023), SI2024, 計測自動制御学会論文集(投稿)



- **国際ジャーナル論文**

Y. Sumi, B. K. Kim, etc., "Impact of Rainfall on the Detection Performance of Non-Contact Safety Sensors for UAVs/UGVs," *Sensors*, 24(9), 2713, 2024.

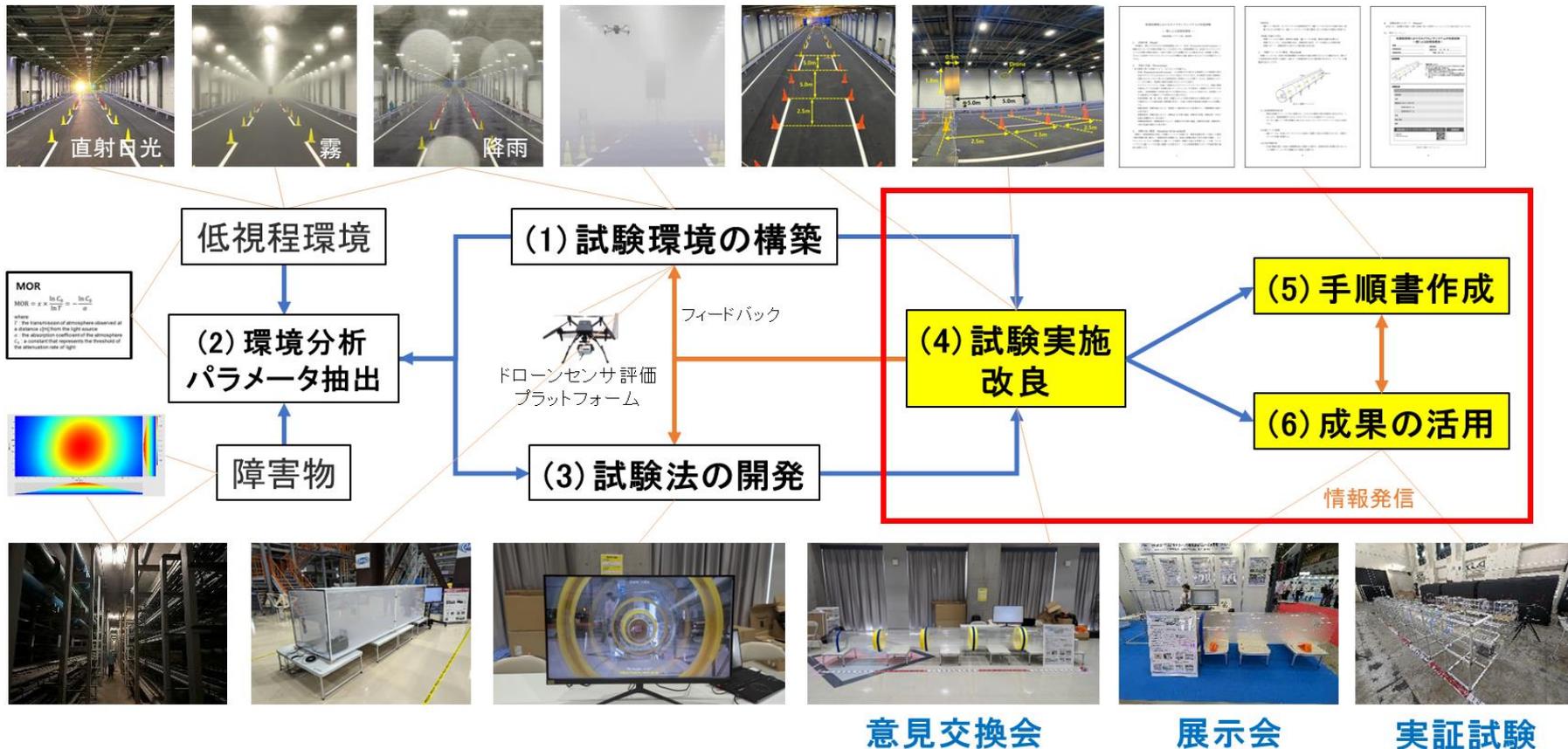
- **展示会への出展**

東京国際消防防災展2023, Japan Drone2024  
国際ドローン展2024



# 3. 今年度(2025年度)以降の取組内容

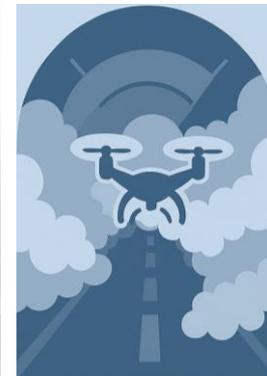
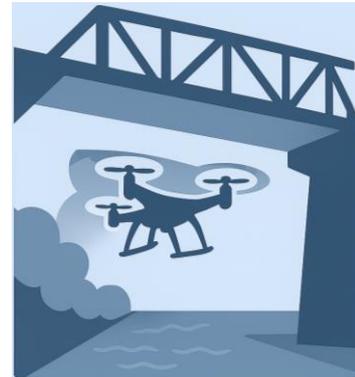
多様な低視程環境におけるユースケースを想定



### 3. 今年度(2025年度)以降の取組内容

#### 「④低視程環境における障害物検知センサに関する性能評価手法の開発」

- **目標: 多様なユースケースに対応した性能評価体制の確立に向け、試験環境および評価手法を改良し、手順書を作成する。**
- **対象特性の整理と評価項目の明確化**
  - ・ 多様な低視程環境でのユースケース想定
  - ・ センサ・試験環境の特性整理
  - ・ 適切な評価項目・パラメータの定義
- **試験環境・評価手法の改良と実証試験**
  - ・ 試験環境の再現性向上
  - ・ 試験方法・試験手順の検証
  - ・ 実験成果の応用・拡充



Tunnel Collapse in Sendai, Japan (Dec. 2012)  
Emergency workers enter the smoke filled Sasago tunnel near Tokyo  
[<https://www.geoengineer.org/news/tunnel-collapse-in-sendai-japan>]

### 3. 今年度(2025年度)以降の取組内容

#### 「④低視程環境における障害物検知センサに関する性能評価手法の開発」

##### ● 社会実装に向けた取組

##### ・ アウトリーチ活動の推進

- 研究成果発表：学術講演会、国内外の学術誌に論文投稿
- 一般大衆及び産業界向け：展示会、講演会、Web発信

##### ・ 関係機関・企業との連携強化

- 意見交換会、共同実証実験の実施
- 産総研先進ドローン技術コンソーシアム：企業等との連携および会員相互の交流

##### ・ 標準化活動への参画

- ISO/TC 20/SC 16/WG 5に参加予定  
(Uncrewed aircraft system/Testing and evaluation)
- 手順書の公表：国内外標準化団体との連携