

研究・調査開発項目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：

国立大学法人 名古屋工業大学

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

学校法人 新潟工科大学

学校法人 近畿大学

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

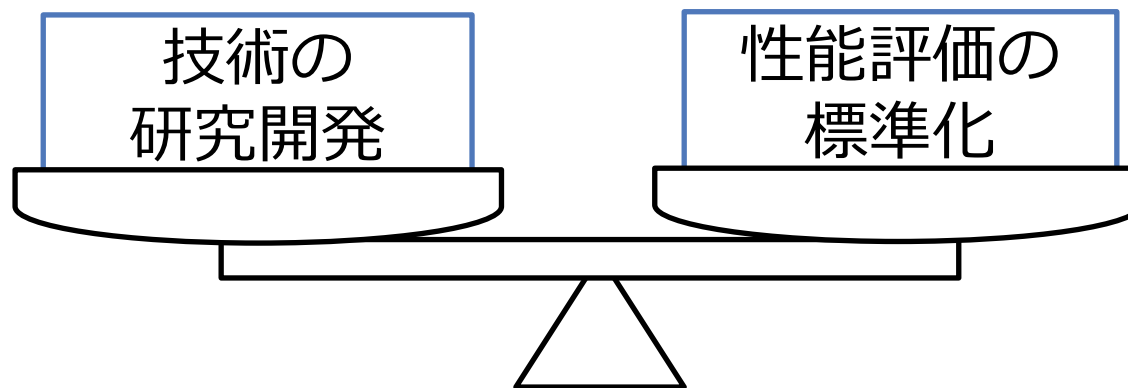
国立大学法人 千葉大学

# 1.事業概要説明

物流/インフラ点検分野で  
ドローンの活用による省エネルギー化の実現に期待

成長戦略フォローアップ  
(2021年6月18日)  
ドローンの**有人地帯での  
目視外飛行**を可能とする  
制度の実現

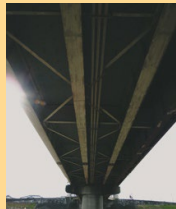
空の移動革命に向けたロードマップ  
(2022年3月18日)  
機体多様化/自律化等への  
対応のため、**需要に応じた  
多様な機体の基準整備**



技術分野の活性化・関連産業の強化

## 我々のフォーカス

インフラ点検・災害対応などでのドローンの利用



現場運用や高度自律化など、  
将来の技術発展を見据えた目的設定

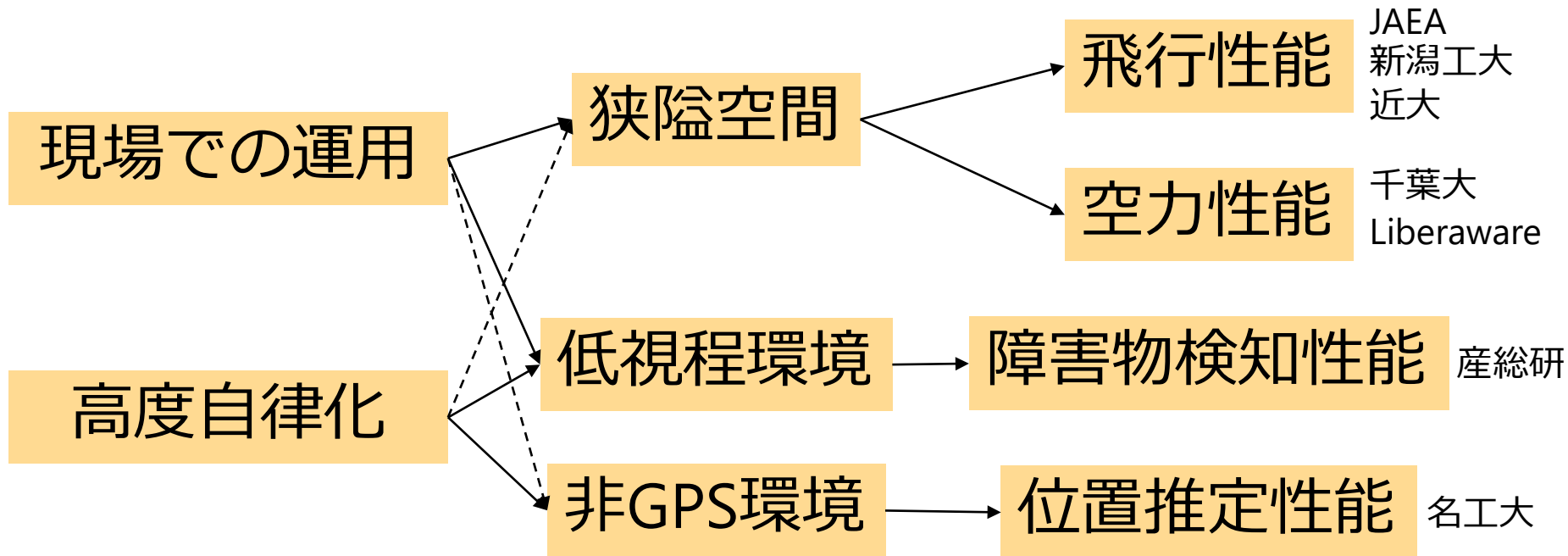
障害物が多い屋内環境下のような  
複雑な状況下での性能評価手法が必要

制約がある環境での  
ドローンの性能評価手法を研究開発

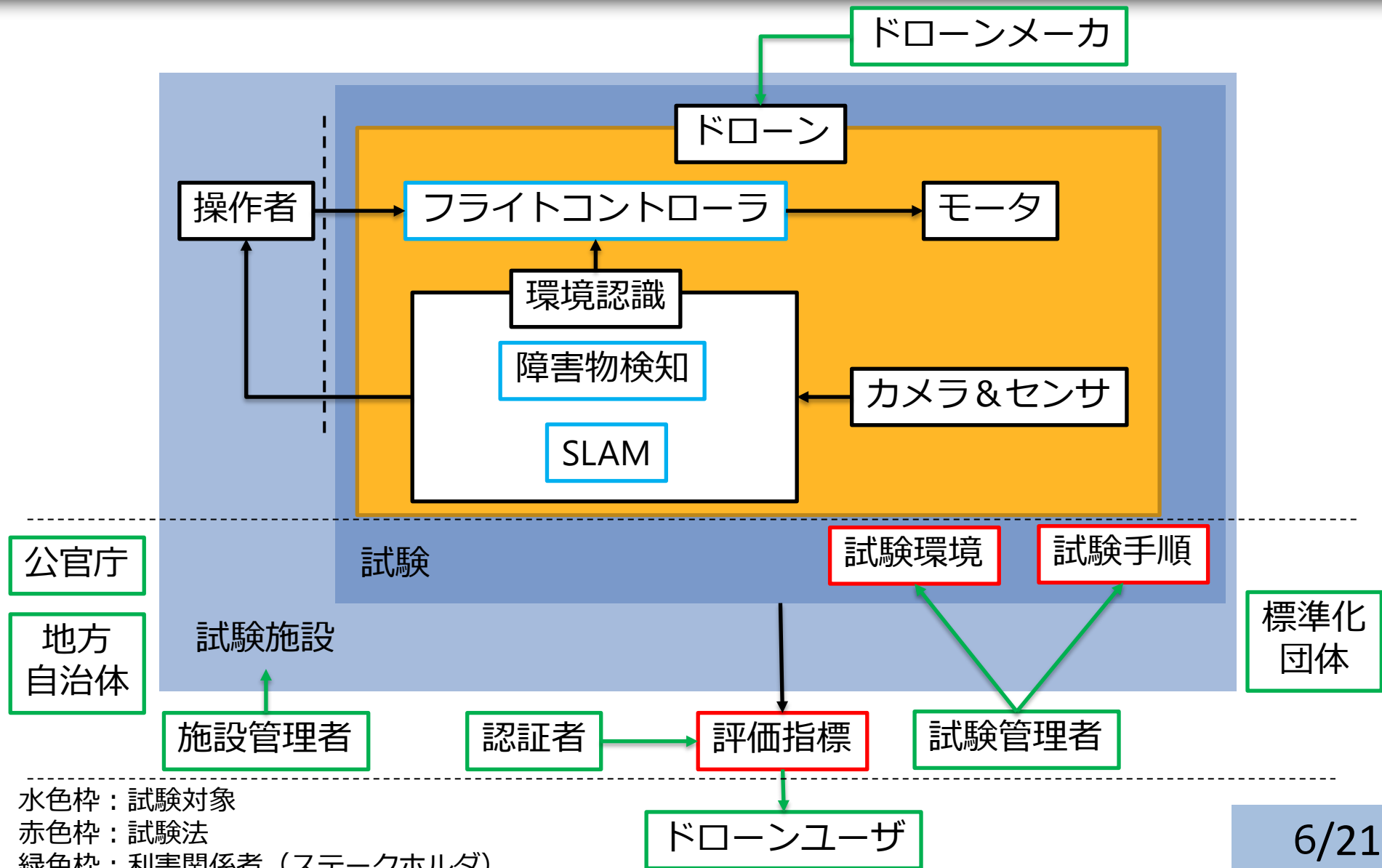
障害物が多い屋内環境下のような  
複雑な状況下での性能評価手法



## 将来の技術発展    対象とする環境    対象とする性能



# 提案試験法の関係者相関図（実用化後イメージ）



	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度
① 飛行性能 @狭隘	試験法の基礎設計			①内統合による試験法改善	
② 空力性能 @狭隘	空力効果単独時の評価法開発			複合時の評価法開発	
	試験法開発用機体 1次試作機開発			FBに基づく試作機の改善	
③ 位置推定性 能@非GPS	試験法の基礎設計		低視程環境対応	移動障害物対応	
	障害物検知センサの評価法開発			安全性能評価法開発	
④ 安全性能 @低視程	障害物検知センサの評価法開発			安全性能評価法開発	
標準化 活動	意見交換会×1 展示会等でPR	意見交換会×2 展示会等でPR	意見交換会×2 展示会等でPR	意見交換会×2 展示会等でPR	意見交換会×2 展示会等でPR

## 2.今年度(2022年度)の取組内容と成果

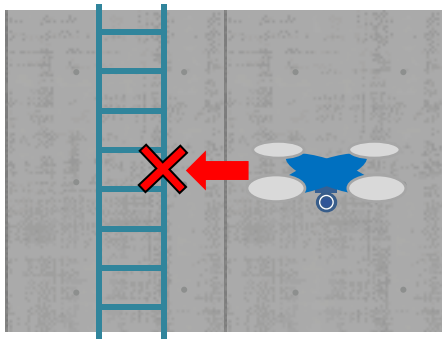


# ① 狭隘空間におけるドローンの飛行性能評価手法の開発

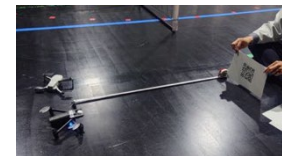
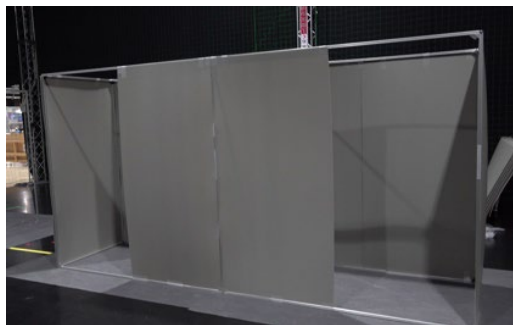
## ● 試験項目の抽出



- ドローンの運動パターンの記述方法の検討とそのための予備実験
- 障害物を有する狭隘空間内において飛行環境の検討とそのための予備実験

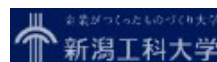


水平方向移動時の障害物認識に関する試作試験環境

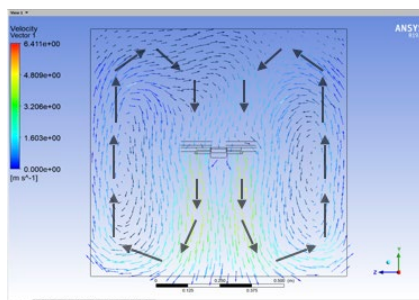


視界範囲確認に関する試作試験環境

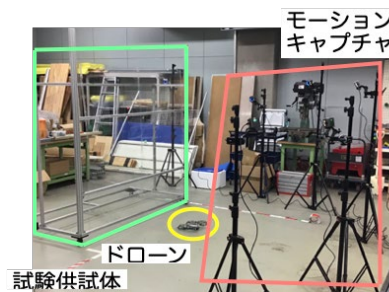
## ● 飛行空間難易度の定量化



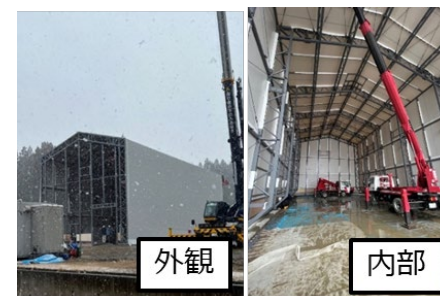
- 空間形状が制御に及ぼす影響をシミュレーション検証（飛行の困難さ = 難易度）
- 上記検証結果に基づく試験供試体の製作と実機検証



自ら発生させる風が飛行制御に与える影響の検証



試験供試体の製作と実機検証

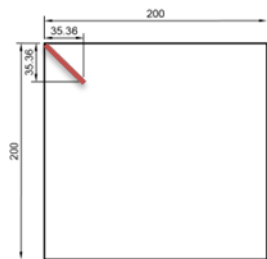


新潟工大に飛行試験場設置

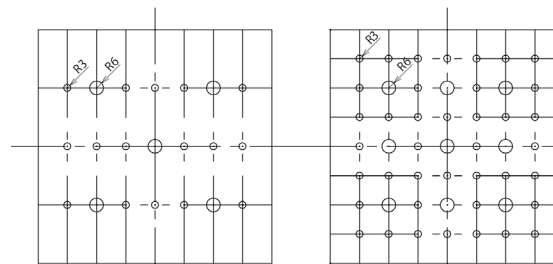
# ① 狭隘空間におけるドローンの飛行性能評価手法の開発

## ● 試験に用いる検査対象の試作

- クラックを模した溝加工を施した試験供試体を設計・作成
- 国際規格(ASTM)を参考にさびを抽象化したものを用いた試験供試体を設計・作成



試験供試体（クラック）の設計・試作

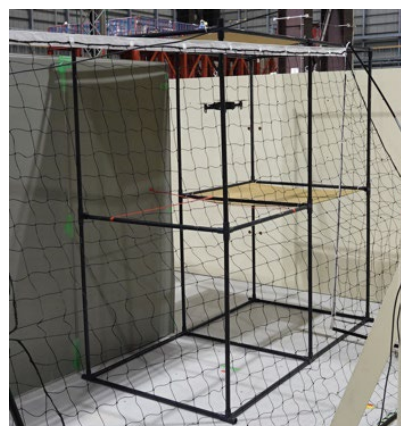
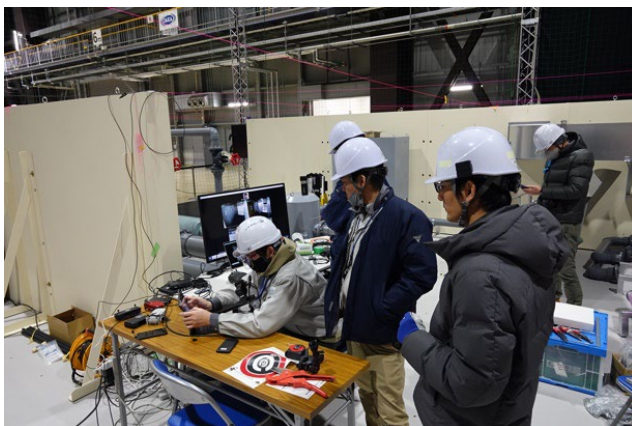


試験供試体（さび分布）の設計・試作

## ● コンソ内意見交換会（プレ意見交換会）



- 2023年2月16-17日JAEA NARRECにおいて コンソ内での意見交換を実施

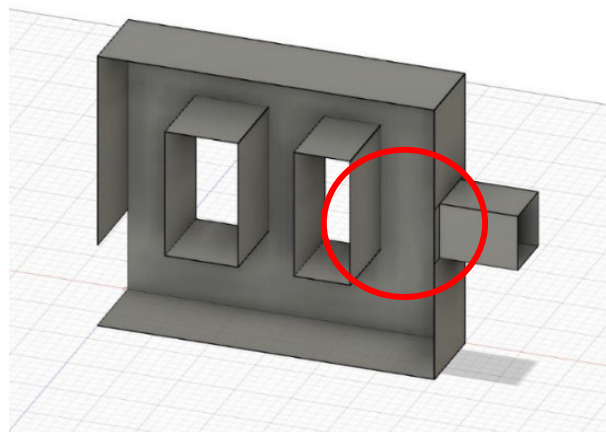


コンソ内意見交換会の様子

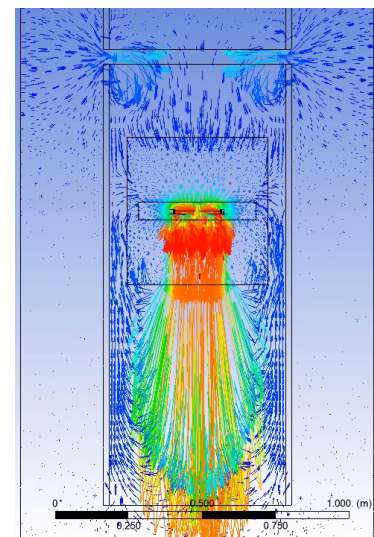
## ②狭隘空間における小型ドローンの空力性能評価方法 および評価試験用プラットフォームの開発

### ● 評価用模擬環境の構築

- 地面/天井/壁効果を再現可能な模擬環境の設計・製作
- CFDを用いた模擬環境内での空気流の解析
  - 模擬環境の製作精度が空気流に与える影響が小さいことを確認



模擬環境設計図面



CFD解析結果

### ● 評価用プラットフォームの開発

- 初期設計, モックの製作と評価による1次試作機の製作・実装

### ● 関連成果の学会発表

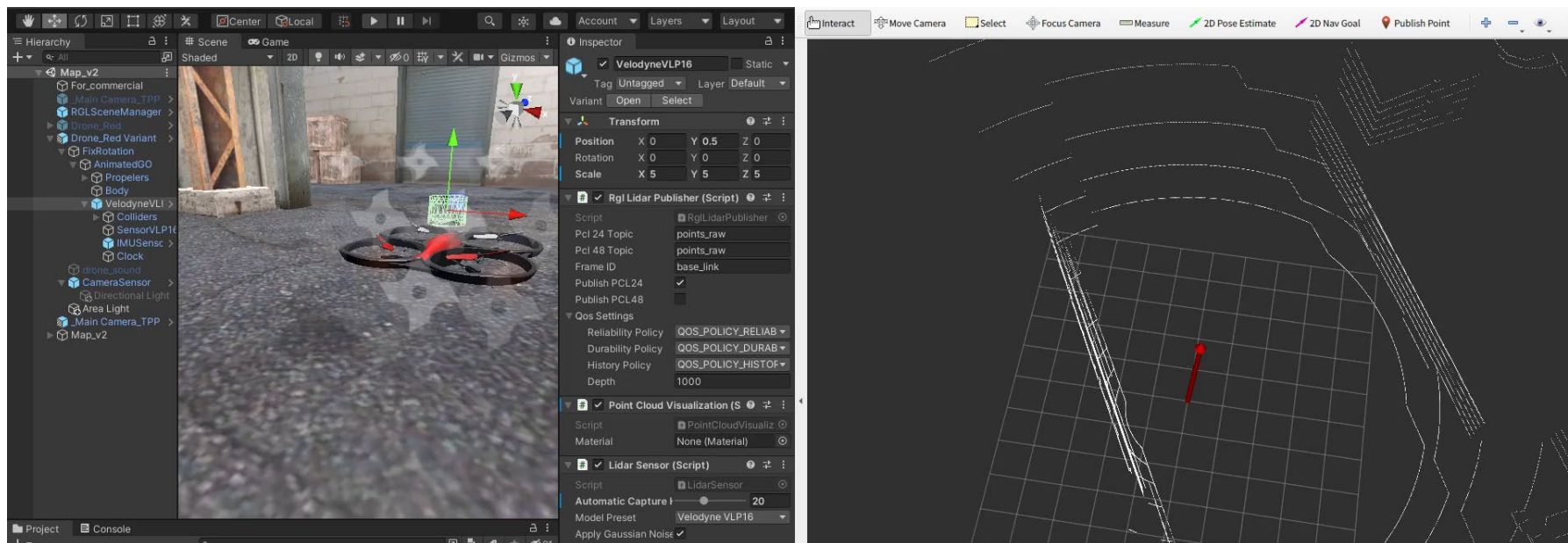
- 中橋, 鈴木 "狭隘空間における小型マルチロータUAVの精密飛行制御", 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演予稿集, pp3253-56, 2022 (※優秀講演賞受賞)



# 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

## ● 検証用シミュレータの開発

- Unityを用いてROSと連携可能なシミュレータを開発

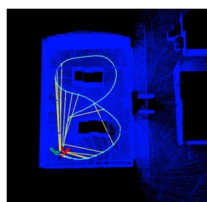


自己位置推定機能の性能評価試験法の検証用シミュレータの画面

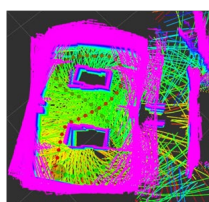
## ● シミュレータを用いた試験法の基礎検討

(ROBOMECH2023で発表予定)

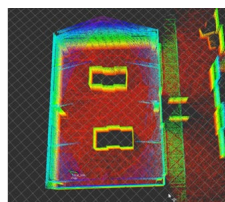
- 試験環境のパラメータを変更し、3種類のSLAMの自己位置推定精度を比較



SLAM Aの地図



SLAM Bの地図



SLAM Cの地図



試験結果の定量化・可視化

# 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

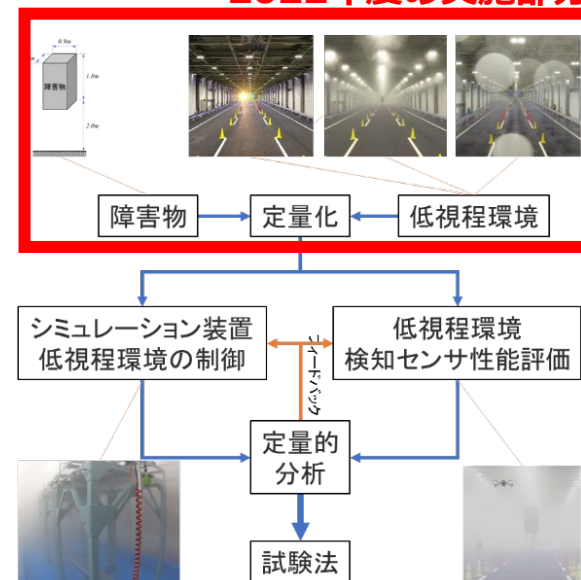
2022年度の実施部分

## ● 低視程、障害物等の制約条件の定量化

- 次項の検証試験のために以下を製作
  - 環境：空間分光透過率計測装置
  - 障害物：反射率測定システム
  - 機体：ドローンプラットフォーム

## ● 防災科研・JARIでの検証試験

- 上記を用いて以下の試験を実施
  - 分光透過率計測試験
  - センサ性能評価試験
  - ドローン飛行実験



④の研究開発の全体像



分光透過率計測試験@防災科研



ドローン飛行実験@JARI

# 研究開発の計画（再掲）



	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度
① 飛行性能 @狭隘	試験法の基礎設計			①内統合による試験法改善	
② 空力性能 @狭隘	空力効果単独時の評価法開発			複合時の評価法開発	
	試験法開発用機体 1次試作機開発			FBに基づく試作機の改善	
③ 位置推定性 能@非GPS	試験法の基礎設計	低視程環境対応		移動障害物対応	
④ 安全性能 @低視程	障害物検知センサの評価法開発			安全性能評価法開発	
標準化 活動	意見交換会×1 展示会等でPR	意見交換会×2 展示会等でPR	意見交換会×2 展示会等でPR	意見交換会×2 展示会等でPR	意見交換会×2 展示会等でPR


基礎（調査・試作・検証） ← | → 改善・文書化




## RESPONDERS

PROVIDE ROBOT REQUIREMENTS WITH METRICS AND OBJECTIVES

BENEFIT FROM STATISTICALLY SIGNIFICANT PERFORMANCE DATA



RESPONSE ROBOT EXERCISES FACILITATE UNDERSTANDING OF CURRENT ROBOT CAPABILITIES



RESPONDERS TRAIN USING STANDARD TEST METHODS AND HELP VALIDATE PROCEDURES



IDENTIFY RESPONDER REQUIREMENTS AND ROBOT PERFORMANCE OBJECTIVES



GENERATE STANDARD TEST APPARATUSES, PROCEDURES, AND TERMINOLOGY



VALIDATE TEST METHODS AT RESPONSE ROBOT EVALUATION EXERCISES



CAPTURE STATISTICALLY SIGNIFICANT ROBOT PERFORMANCE DATA IN STANDARD TESTS







PUBLISH ASTM STANDARD TESTS, ROBOT PERFORMANCE DATA, AND USAGE GUIDES


## MANUFACTURERS AND RESEARCHERS

PROVIDE ROBOTS FOR TESTING AND FEEDBACK ON TEST METHODS

BENEFIT FROM REPEATABLE TESTS TO EVALUATE AND HARDEN ROBOTS



ROBOT COMPETITIONS FACILITATE PROLIFERATION OF TEST METHODS, IDENTIFY BEST-IN-CLASS ROBOTS



RESEARCHERS PRACTICE USING STANDARD TEST APPARATUSES AND HELP REFINE DESIGNS

災害対応ロボットの性能評価法をASTMで規格化したNISTの研究グループの開発手順

<https://www.nist.gov/el/intelligent-systems-division-73500/standard-test-methods-response-robots/ground-systems>より抜粋

# 標準化活動（2022年度の取り組みと成果）

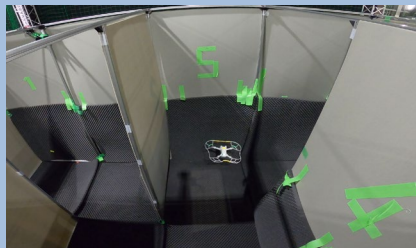
## ● メーカーと研究者からのフィードバックループ：ロボット競技会

- ・多くのドローン・操作者に試験法を試してもらい、その様子を観察して改善
- ・製造者と研究者にとっては、デザインに磨きをかける機会

2022年10月14～18日@檜葉遠隔技術開発センター



参加者の集合写真



競技中のドローン



NISTスタッフとの協議

## ● ユーザと各種関係者からフィードバックループ：意見交換会

- ・ドローンへの要求の明確化や適切な試験手順にするための意見収集
- ・ユーザと各種関係者にとっては、現在のドローンができることを理解する機会

2023年3月7～8日@新潟工科大学



事業内容と成果の紹介・意見交換



開発中試験法のデモンストレーション



- 山田ら, “狭隘空間における小型ドローンの飛行制御性能の評価手法の開発”, 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp.1630-33, 2022. **(優秀講演賞受賞)**
- 中橋ら, “狭隘空間における小型マルチロータUAVの精密飛行制御”, 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp.3253-56, 2022. **(優秀講演賞受賞)**
- 佐藤ら, “ NEDO次世代空モビリティの社会実装に向けた実現プロジェクト「制約環境下におけるドローンの性能評価法の研究開発」のビジョン”, 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp.\*\*\*-\*\*\*, 2022.
- 佐野ら, “狭隘空間を飛行するUAVの評価手法に関する研究”, 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp.\*\*\*-\*\*\*, 2022.
- 佐藤ら, “非GPS環境におけるドローンの自己位置推定機能に関する標準的試験法策定のためのシミュレータ開発と基礎検討”, ロボティクス・メカトロニクス講演会2023, pp.\*\*\*-\*\*\*, 2023. (発表予定)

## 3. 次年度以降の取り組み

# 研究開発の計画（再掲）



	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度
① 飛行性能 @狭隘		試験法の基礎設計		①内統合による試験法改善	
② 空力性能 @狭隘		空力効果単独時の評価法開発		複合時の評価法開発	
		試験法開発用機体 1次試作機開発		FBに基づく試作機の改善	
③ 位置推定性 能@非GPS	試験法の基礎設計	低視程環境対応		移動障害物対応	
④ 安全性能 @低視程		障害物検知センサの評価法開発		安全性能評価法開発	
標準化 活動	意見交換会×1 展示会等でPR	意見交換会×2 展示会等でPR	意見交換会×2 展示会等でPR	意見交換会×2 展示会等でPR	意見交換会×2 展示会等でPR

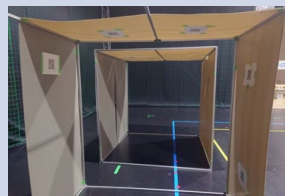
基礎（調査・試作・検証） ← | → 改善・文書化

## 事業内容（2022年度）

①-1 ドローンの飛行制御性能に関する試験方法の開発



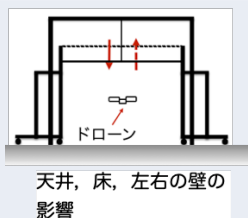
実施内容：試験項目の抽出



①-2 飛行空間難易度の定量化によるドローンの飛行性能評価手法の開発



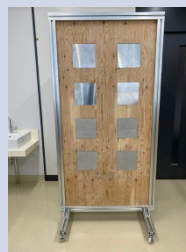
実施内容：飛行空間の難易度の定式化



①-3 ドローンの検査能力に関する評価手法の開発



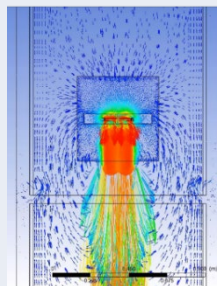
実施内容：点検項目の妥当性の評価と試験供試体の基本設計・試作・開発



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



実施内容：性能評価用模擬環境構築と検証機体の開発



## 2023年度からの取り組み

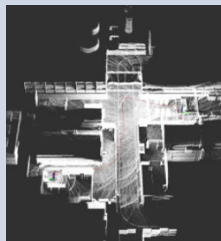
- 試験項目の抽出を継続実施
- 試験供試体・試験プロセスの研究開発に着手
- 飛行難易度決定のためのデータ取得
- 空間制限を有する試験供試体の開発
- 評価試験の体系化
- 供試体を用いた検査能力評価法開発
- 意見交換会に基づく供試体改良
- 評価試験用プラットフォーム改善
- 実機による運動・空気流の直接観測
- CFD結果と複合して空力的特徴抽出

## 事業内容（2022年度）

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

 国立大学法人  
名古屋工業大学

実施内容：シミュレータによる試験環境の検討



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

 産総研

実施内容：制約条件の定量化のための基礎実験、低視程環境の制御・構築方法の開発



標準化活動

実施内容：

- ・競技会での試験実施
- ・意見交換会の実施



## 2023年度からの取り組み

- ・試験環境の検討の継続（実機検証）
- ・低視程環境での試験法に関する研究開発

- ・環境条件の制御および構築方法の開発
- ・試験手順・項目に関する研究開発

- ・競技会での試験実施、展示会への出展
- ・年2回の意見交換会の実施予定
  - ・2023年9月@新潟工科大学
  - ・2024年1月@檜葉遠隔技術開発センター

**ご清聴ありがとうございました**

## 研究開発

制約環境下におけるドローンの性能評価手法の研究開発

飛行性能@狭隘

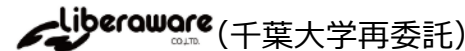
空力性能@狭隘

安全性能@低視程



位置推定性能@非GPS

評価試験用プラットフォームの開発



## 標準化活動

コミュニティの形成・拡大

国際標準化

意見交換会

展示会・競技会

NIST/ASTMとの連携

評価手順書

# (1)-① ドローンの飛行制御性能に関する試験方法の開発 (今後の取り組み)



実施内容：試験項目の抽出と試験供試体および試験実施プロシージャの基本設計

- 2022年度3月に実施する計画の意見交換会において得られた意見を参考に、予備実験を行っていた検証実験環境から試験供試体の設計に着手するとともに、試験実施プロシージャについても並行して設計に着手する。
- 意見交換会を通じてアジャイル開発アプローチを適用して研究開発を行う。
- (1)-②, (1)-③とも情報交換を行い、飛行性能制御性能を評価する試験法の基礎となる部分を構築していく。

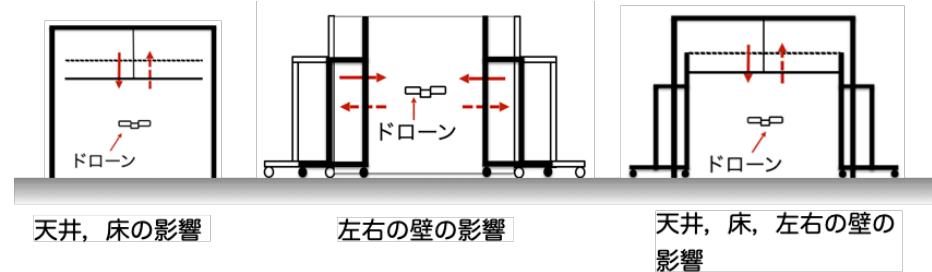


# ①-2飛行空間難易度の定量化によるドローンの飛行性能評価手法の開発 (今後の取り組み)

障害物(壁, 天井など)の近くを飛行するドローン

- 実験により**挙動を計測**  
↑  
モーションキャプチャ装置

様々な条件を設置 →



- シミュレーションによる**流れの可視化**

+ PIVによる可視化を実施予定

↑  
ドローン周辺の流れを可視化し, ドローンの挙動変化を予測

飛行の難易度を決定するためのデータの取得

経路, 空間に制限を設けた**試験供試体の開発**



定式化により**難易度の定量化**を進める。

## ①-3 ドローンの検査能力に関する評価手法の開発 (今後の取り組み)



### □ ドローンの検査能力に関する評価手法の開発

- ドローンの「検査能力」は、「ドローンの飛行性能・制御性能」×「搭載センサの性能」×「環境パラメータ」×「オペレータの操縦スキル」というパラメータが複雑に絡み合った結果だと思われる。本テーマでは、搭載センサの性能、環境パラメータ、オペレータの操縦スキルに着目し、評価手法の開発を行うこととする。
  - ✓ **搭載センサの性能**・・・試験供試体に対するドローンが飛行していない時のセンサの計測性能を**静態視力（理論値）**と定義し、ドローンが飛行している際のセンサの計測性能を**動態視力**と定義しその違いから搭載センサの評価することを試みる。
  - ✓ **オペレータの操縦スキル**・・・オペレータに指定したタスクを実施してもらうことで、操縦スキルの評価することを試みる。
    - 例えば、スタート地点から試験供試体からある距離まで速やかに移動する。→制御工学でいうところの**立ち上がり時間**に相当するものが得られると思われる。
  - ✓ **環境パラメータ**・・・環境に依存するパラメータとして以下のものを変化させて検査能力を評価することを試みる。
    - 狭隘空間、照度による影響など

# 2022年度の取り組み内容と成果



事業内容（2022年度）	取り組み内容	本年度の成果（2022年度2月末現在）
<p>①-1 ドローンの飛行制御性能に関する試験方法の開発</p> <p>実施内容：試験項目の抽出 担当：日本原子力研究開発機構</p>	<p>狭隘空間で必要になるドローン<b>飛行制御性能の抽出</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・狭隘空間でのドローンの飛行を制御性能の視点から<b>分析</b></li> <li>・ドローンを用いた<b>予備実験</b>により候補となる性能を抽出</li> </ul>
<p>①-2 飛行空間難易度の定量化によるドローンの飛行性能評価手法の開発</p> <p>実施内容：飛行空間の難易度の定式化 担当：新潟工科大学</p>	<p>性能評価のために必要な</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・試験項目，条件の抽出</li> <li>・<b>難易度の定式化</b></li> <li>・試験供試体の設計/実験</li> <li>・<b>試験項目の抽象化</b></li> <li>・<b>飛行試験場の設置</b></li> </ul> <p>などを実施</p>	<p>試験供試体による実験の準備をほぼ完了。以下具体的な実施内容。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・試験項目，条件の抽出</li> <li>・難易度の定式化</li> <li>・試験供試体の設計，実験</li> <li>・試験項目の抽象化</li> <li>・飛行試験場の設置</li> </ul>
<p>①-3 ドローンの検査能力に関する評価手法の開発</p> <p>実施内容：点検項目の妥当性の評価と試験供試体の基本設計・試作・開発 担当：近畿大学</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・点検項目が妥当であるかの調査</li> <li>・評価試験実施のための<b>供試体の設計・試作</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・関連事業者等に点検項目の妥当性に関する調査を実施</li> <li>・プラントメンテナンス協会発行資料から妥当性の裏付け</li> <li>・<b>点検項目(クラック，さび分布)の試験供試体の設計・試作</b></li> </ul>

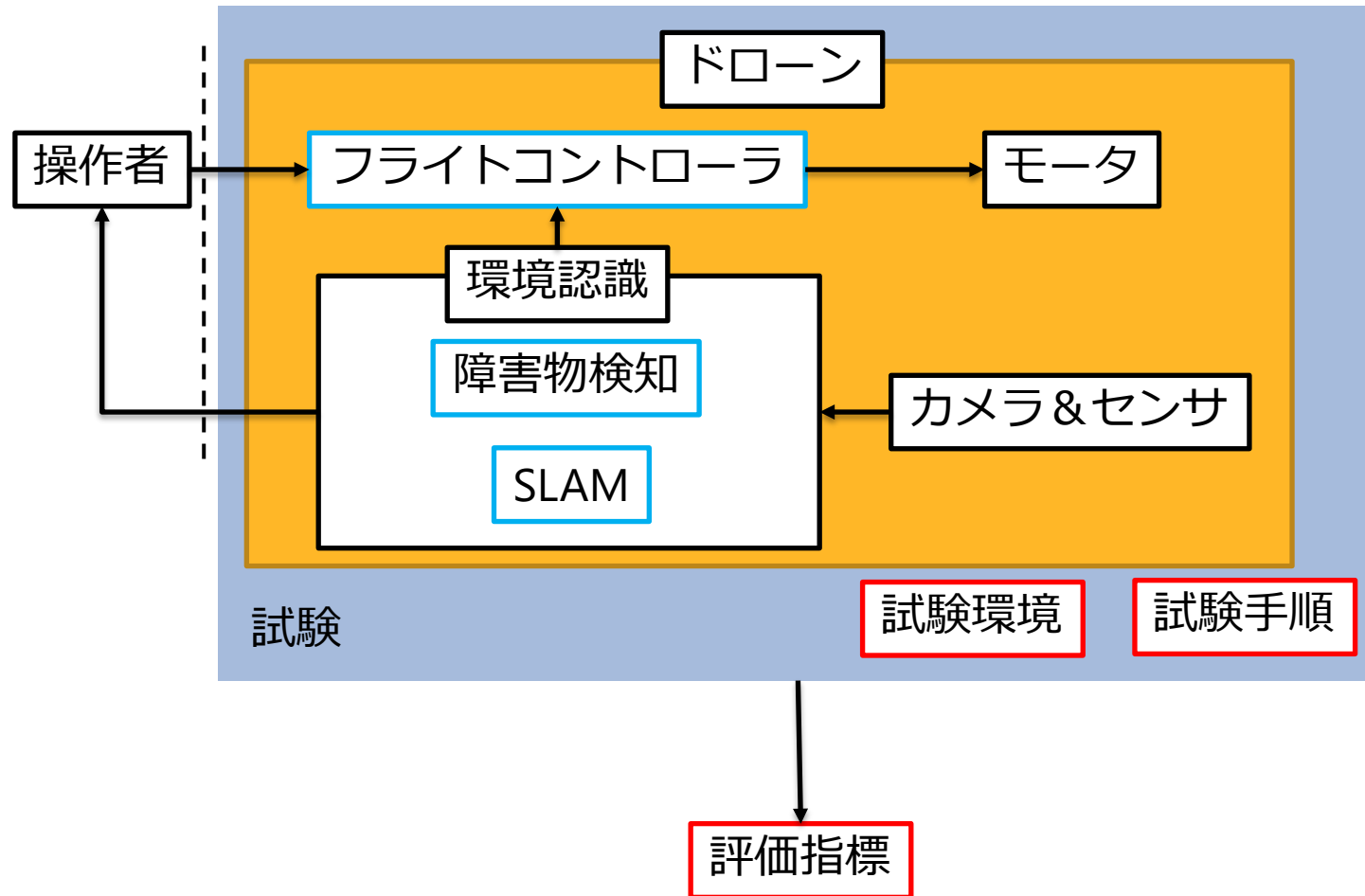
# 2022年度の取り組み内容と成果



事業内容（2022年度）	取り組み内容	本年度の成果（2022年度2月末現在）
<p>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</p> <p>実施内容：検証機体の開発と性能評価用模擬環境構築 担当：千葉大学</p>	<p>評価試験用プラットフォームの1次試作および性能評価用模擬環境の構築</p>	<p>&lt;プラットフォームの試作&gt; 株式会社Liberawareにて、初期設計、モック作成を経て、<b>飛行可能な試作機体の製作</b>を完了。</p> <p>&lt;模擬環境の構築&gt; 環境条件の抽出、1次設計、狭隘部点検事業者へヒアリング、設計修正を経て環境製作中。<b>3月に完成予定</b></p>
<p>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</p> <p>実施内容：飛行経路・試験環境の検討 担当：名古屋工業大学</p>	<p>次年度以降に実施する実機検証に用いる飛行経路と試験環境の候補をシミュレータを用いて検証</p>	<p>&lt;シミュレータの開発&gt; UnityおよびROSと連携した<b>シミュレータを開発</b></p> <p>&lt;試験環境等の検証&gt; 3種のSLAMに対して、飛行空間の幅、壁面の凹凸などを変更し、<b>推定精度に与える影響を調査</b>し、試験法策定のための知見を取得</p>

事業内容（2022年度）	取り組み内容	本年度の成果（2022年度2月末現在）
<p>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</p> <p>実施内容：基礎実験・制約条件の定量化と低視程環境の制御・構築方法の開発</p> <p>担当：産業技術総合研究所</p>	<p>低視程環境，障害物等の制約条件の定量化</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・制約条件の定量化のため，空間分光透過率計測装置と反射率測定システムを開発中.</li> <li>・<b>センサ性能評価試験を実施</b></li> <li>・ドローン飛行実験のためのドローンプラットフォームを開発中. <b>降雨・霧環境におけるドローン飛行実験を実施</b></li> </ul>
<p>標準化活動</p> <p>実施内容：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・競技会での試験実施</li> <li>・意見交換会の実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ロボカップジャパンオープンの競技として実施</li> <li>・3月8日に意見交換会を実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国際ロボット競技会 RoboCupの国内大会で<b>提案試験法を競技として実施</b>し、データ・意見を取得した。</li> <li>・<b>3月8日に新潟工科大学で意見交換会を実施</b>し、コンソ内外の多くの方から有益な情報を得た。</li> </ul>

# 提案試験のエコシステム（試験法とは？）



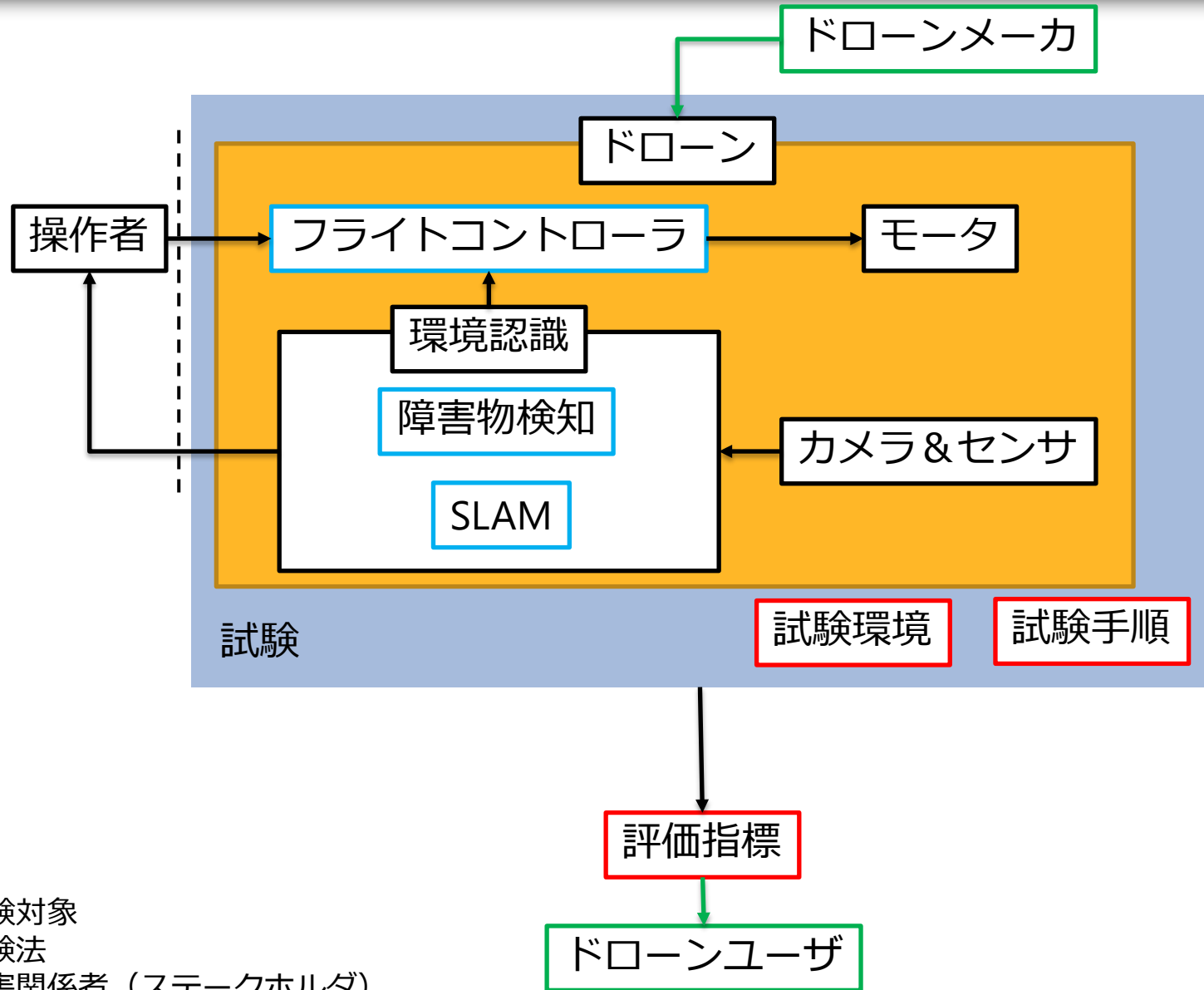
水色枠：試験対象

赤色枠：試験法

緑色枠：利害関係者（ステークホルダ）

SLAM: Simultaneous Localization And Mapping

# 提案試験のエコシステム（基本構造）

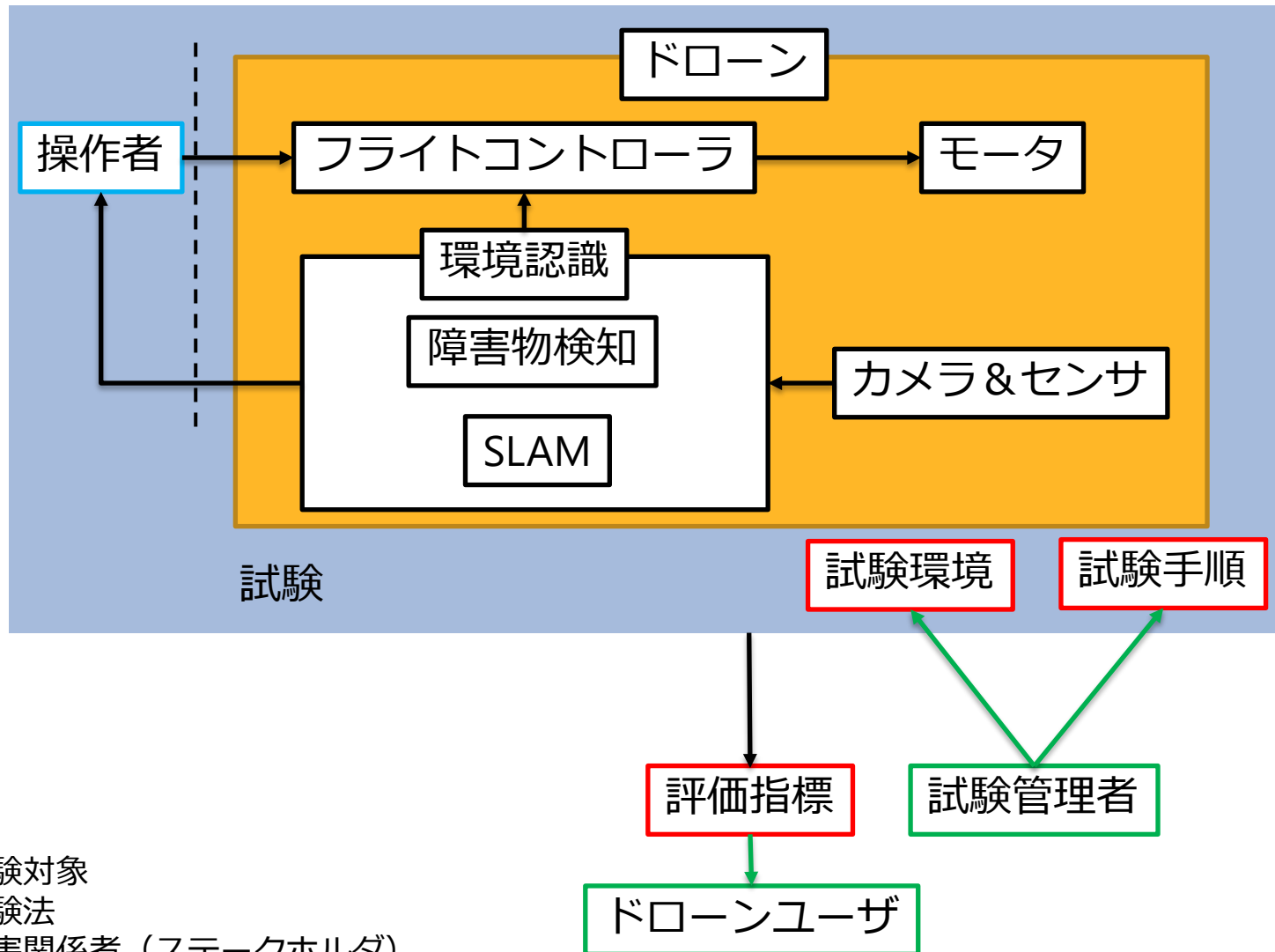


水色枠：試験対象

赤色枠：試験法

緑色枠：利害関係者（ステークホルダ）

SLAM: Simultaneous Localization And Mapping



水色枠：試験対象

赤色枠：試験法

緑色枠：利害関係者（ステークホルダ）

SLAM: Simultaneous Localization And Mapping