

ReAMoプロジェクト シンポジウム

研究開発項目①（１）

課題名 : 制約環境下におけるドローンの性能評価法の研究開発

実施担当 : 名古屋工業大学 コンソーシアム



近畿大学



分担課題名 : 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

①-1ドローンの飛行制御性能に関する試験方法の開発

実施担当 : 日本原子力研究開発機構



発表者 : 川端 邦明

2024年5月10日

日本原子力研究開発機構

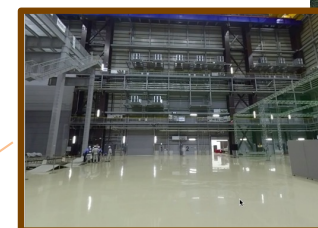
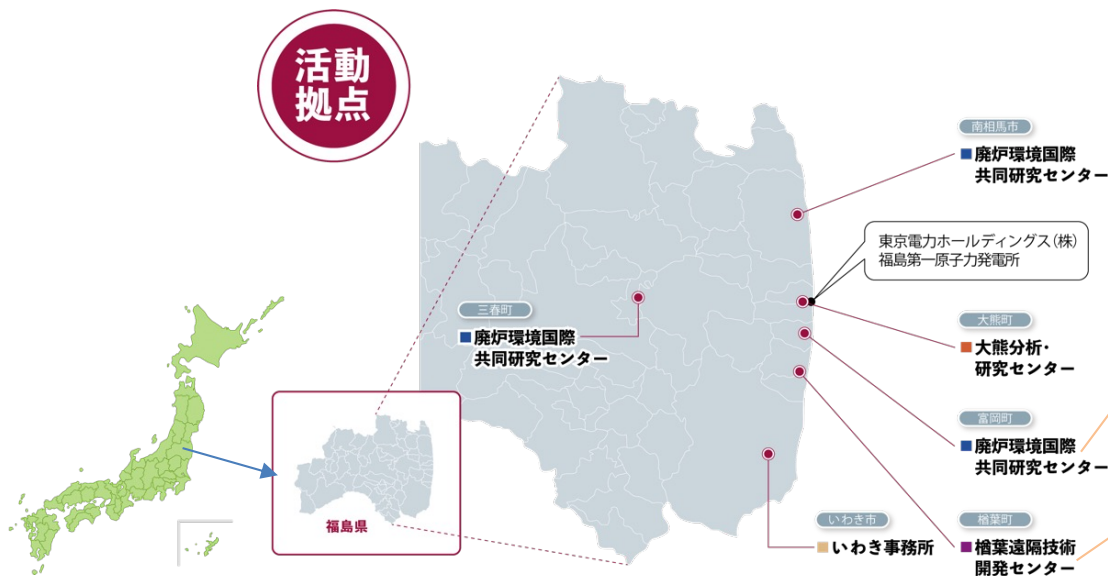
(Japan Atomic Energy Agency : JAEA)



- 原子力に関する研究と技術開発を行う国立研究開発法人
- 福島廃炉安全工学研究所
 - － 福島環境回復と東京電力ホールディングス福島第一原子力発電所の廃炉に関する研究開発と現場実装
 - － 遠隔操作関連技術の研究開発・支援を行っている拠点
 - ・ 廃炉環境国際共同研究センター (CLADS, 2015～)
 - ・ 楢葉遠隔技術開発センター (NARREC, 2015～)



1号機原子炉格納容器内部気中部調査の実施状況（1日目）：福島民友
<https://www.youtube.com/watch?v=gOcgS9n7xQ0&t=2s>



研究開発の背景，目的

- **物流/インフラ点検等でドローン活用による省エネルギー化実現に期待**

- 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
- 空の産業革命に向けたロードマップ(2022年8月3日)
 - ・ 機体多様化/自律化への対応のため需要に応じた多様な機体の基準整備

“技術の研究開発” と “性能評価の標準化”
技術分野の活性化・関連産業の強化・推進のための両輪

- **インフラ点検・災害対応などでのドローンの利用への期待**

- 現場運用や高度自律化等、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のような複雑な状況下での性能評価手法が必要

「制約環境下におけるドローンの性能評価法の研究開発」

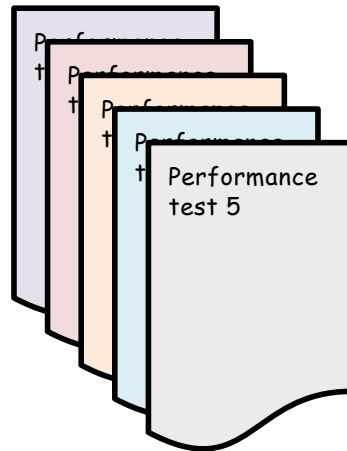
- “制約”：狭隘（せまい，閉鎖），GPS信号が入らない，センサが働きにくい



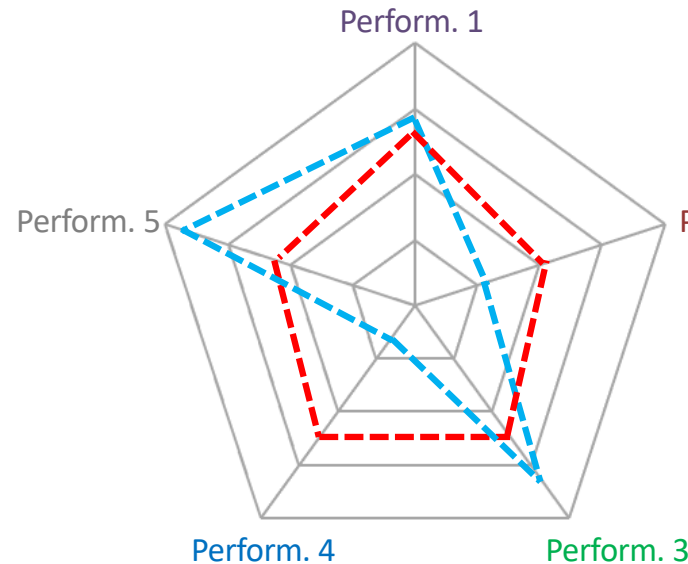
研究開発のスタンス

● 本研究で扱う性能評価法とは

- 対象（ドローン）が備えておくべき要素的・基盤的な性能について評価、比較を行うための標準的な方法（枠組み）



試験によって対象性能を量化して抽出する

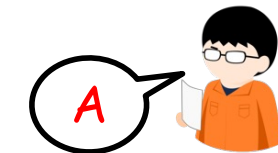


What is your favorite?



性能3,5
に注目

User 1



多機能性
に注目

User 2

ユーザーが望む機体を
総合的かつ相対的
に見出すための参照情報
の生成、提示

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

● 本プロジェクト推進による成果目標

- アウトプット：客観的な性能評価試験の実施が可能となる手順書
- アウトカム：客観的な性能比較によるメーカー・ユーザ間の議論・開発促進
(意思疎通促進による効果的な技術開発, ドローンサービスの質向上)

担当している研究課題

「項目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」

(日本原子力研究開発機構, 新潟工科大学, 近畿大学)



- **目的** 災害発生後の建物, 地下等の空間における調査・情報収集の支援のために必要な狭隘空間におけるドローンの飛行性能を定量化し, 相対的評価を行う手法の開発

- **実施内容・担当**

狭隘空間でのドローン飛行性能

= 「ドローン自身の飛行運動能力」

「対象空間の狭隘さによる拘束条件」

「作業に特有な運動拘束条件」

が関連した結果

項目①-1 ドローンの飛行制御性能に関する試験方法の開発 (JAEA)

項目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 (新工大)

項目①-3 ドローンの検査能力に関する評価手法の開発 (近畿大)



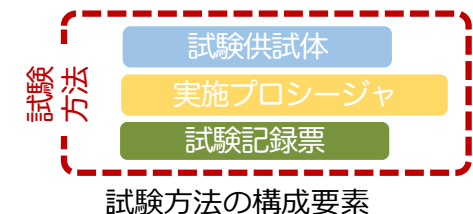
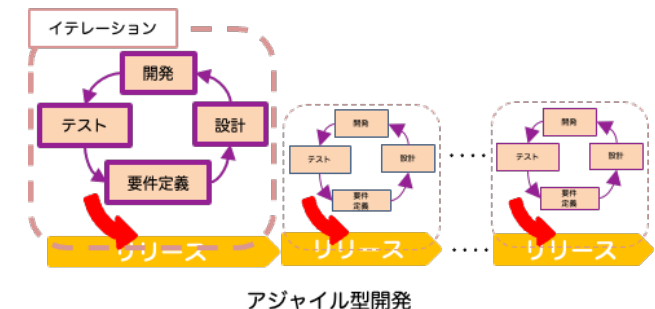
- **研究開発の方針**

ー アジャイル開発アプローチ

- ・ 厳密な仕様設計を行わずに大凡の仕様や要求を取りまとめて開発を進める手法

ー (最終的に) 性能試験方法と評価法を統合した手順書としてまとめる

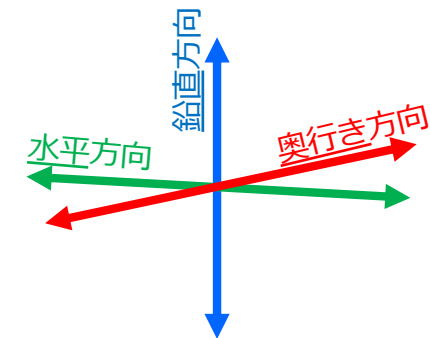
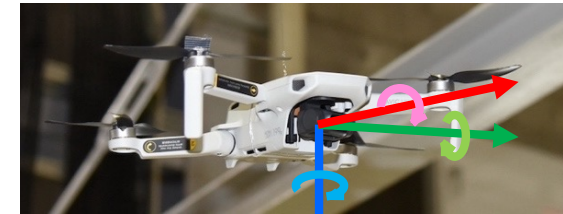
- ・ 試験供試体, 試験実施プロシージャ, 試験記録票 のそれぞれを開発



対象としているドローンの飛行制御性能

● ドローンの飛行制御

- 飛行自由度：6（並進3，回転3）
 - 基本動作である並進方向制御の組み合わせに注目
- 狭隘空間での飛行に必要な動作，制御
 - 衝突・不安定を回避



世界座標系での任意の点
（上図の交差点）を
起点とした運動方向の表現・定義

● これまでに選びだした飛行制御

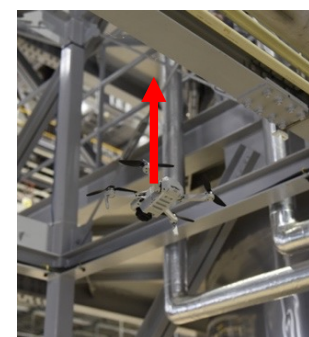
- 奥行き方向飛行時の水平方向へ飛行制御
- 奥行き方向飛行時の鉛直方向へ飛行制御
- 鉛直方向開口部通過のための飛行制御
- 壁・天井周辺での安定飛行制御



奥行き＋水平飛行制御



奥行き＋鉛直飛行制御



鉛直方向空間飛行



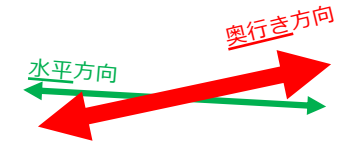
壁・天井近接飛行

開発中の試験法プロトタイプについて紹介

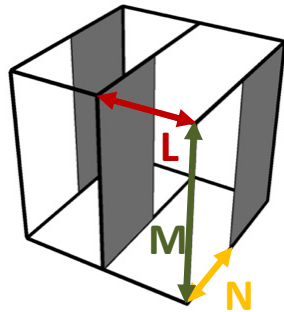
奥行き方向飛行時の水平方向制御性能試験 (NEDO DRESSプロジェクトから継続)



- **対象:** 目標地点に移動する際にあらわれる障害物を水平方向に回避する飛行制御性能
- **評価値:** 往復飛行（複数回）を行った際の飛行時間



基本構造

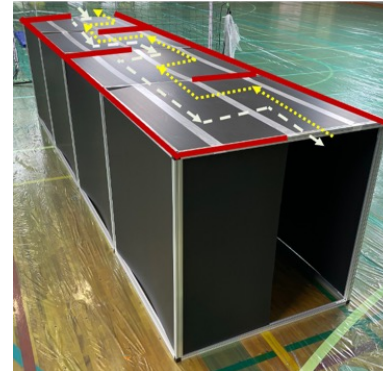


L, M, N は
任意に設定してよい長さ
(試験条件パラメータとなる)
壁あり/なしを選択して設定

試験供試体設定例



L=1m, M=2m, N=1m)
x 3 units (壁あり)



L=2m, M=1m, N=0.5m)
x 2 units (壁あり暗所)

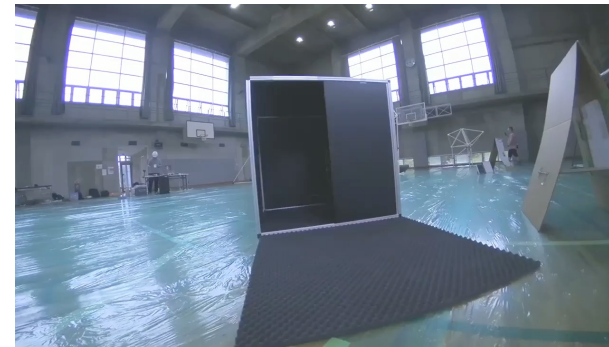
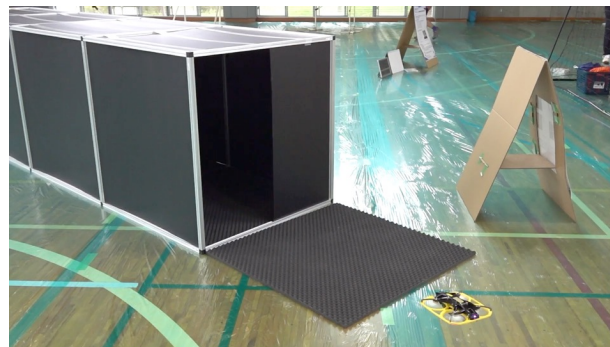
試験記録票

試行回数	成果	記録	備考
1		タイム (sec/m)	
2			
3			
4			
5			

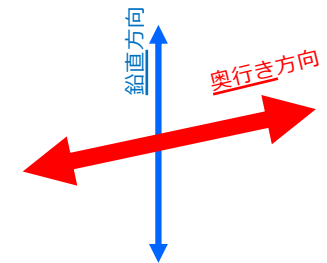
試験実施条件と結果を記載
(日時, 実施者, 監督者, 供試体寸法,
往復回数, 飛行時間 etc)

試験実施の例

L=1m, M=1m, N=0.5m
x 2units

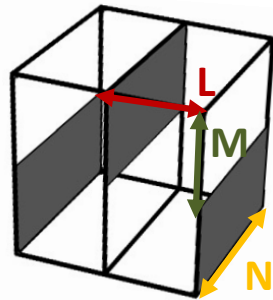


奥行き方向飛行時の鉛直方向制御性能試験 (NEDO DRESSプロジェクトから継続)



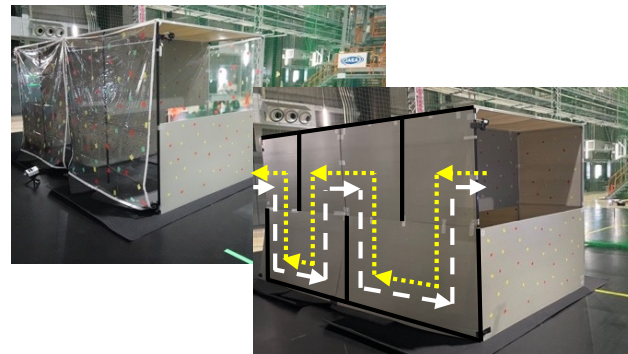
- **対象:** 目標地点に移動する際にあらわれる障害物を鉛直方向に回避する飛行制御性能
- **評価値:** 往復飛行（複数回）を行った際の飛行時間

基本構造



L, M, Nは
任意に設定してよい長さ
(試験条件パラメータとなる)
壁あり/なしを選択して設定

試験供試体設定例



L=1m, M=1m, N=0.5m
x 2 units (壁あり, 明所/暗所)



L=0.5m, M=0.5m, N=1m
x 2 units (壁なし)

試験記録票

非GPS飛行の性能評価／垂直方向の制御性能

機体: 〇〇〇〇〇〇〇〇 試験者: 〇〇〇〇〇〇〇〇
試験場所: 〇〇〇〇〇〇〇〇 試験日時: 〇〇/〇〇/〇〇

試験条件: 〇〇〇〇〇〇〇〇
試験回数: 〇〇 試験時間: 〇〇:〇〇:〇〇

試行回数	経過時間 (min)	備考
1		
2		
3		
4		
5		

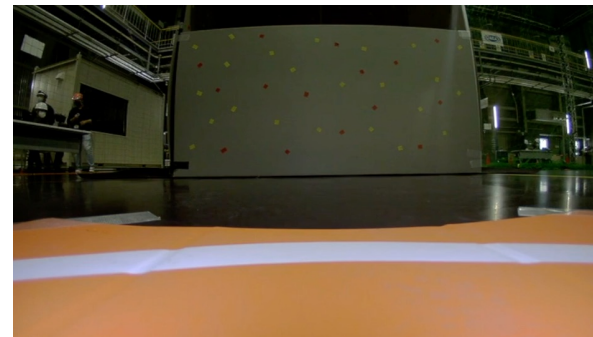
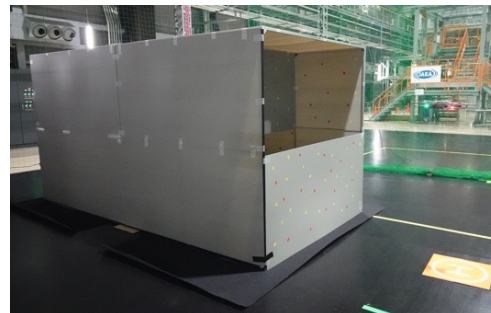
試験結果 (試験時間)

達成回数: 〇〇 経過時間: 〇〇:〇〇:〇〇

試験実施条件と結果を記載
(日時, 実施者, 監督者, 供試体寸法,
往復回数, 飛行時間 etc)

試験実施の例

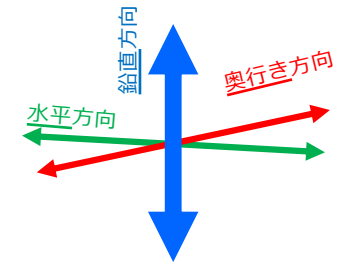
L=1m, M=1m, N=0.5m
x 2units



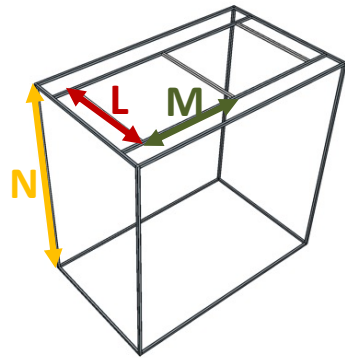
鉛直方向開口部通過のための飛行制御性能試験



- **対象:** 鉛直方向の空間へアプローチし, 通過する飛行制御性能
- **評価値:** 周回飛行 (複数回) を行った際の飛行時間

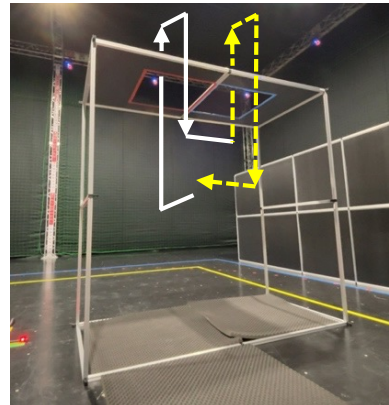


基本構造



L, M, N は
任意に設定してよい長さ
(試験条件パラメータとなる)

試験供試体設定例



L=0.6m, M=0.6m, N=2.0m

試験記録票

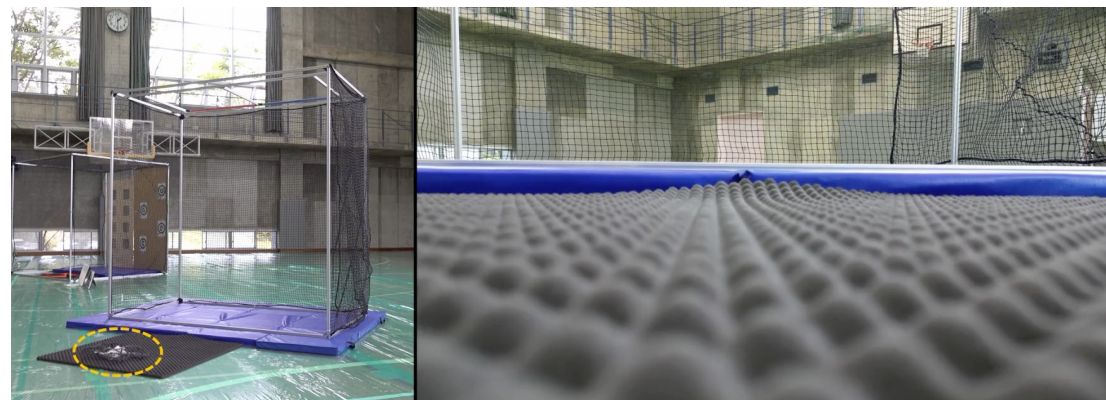


本年度に開発実施

試験実施条件と結果を記載
(日時, 実施者, 監督者, 供試体寸法,
周回数, 飛行時間 etc)

試験実施の例

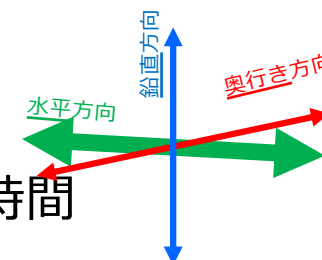
L=0.8m, M=0.8m, N=2.0m



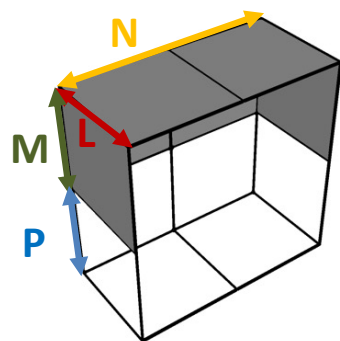
壁・天井周辺での安定飛行制御性能試験



- **対象:** 壁や天井等に囲まれて空気の流れに制限がある環境における飛行制御性能
- **評価値:** 周回飛行（複数回）を行った際のマーカ視認成功数，飛行時間



基本構造



L, M, N, P は
任意に設定してよい長さ
(試験条件パラメータとなる)

試験供試体設定例



L=1.0m, M=1.0m, N=2.0m, P=1.0m

試験記録票

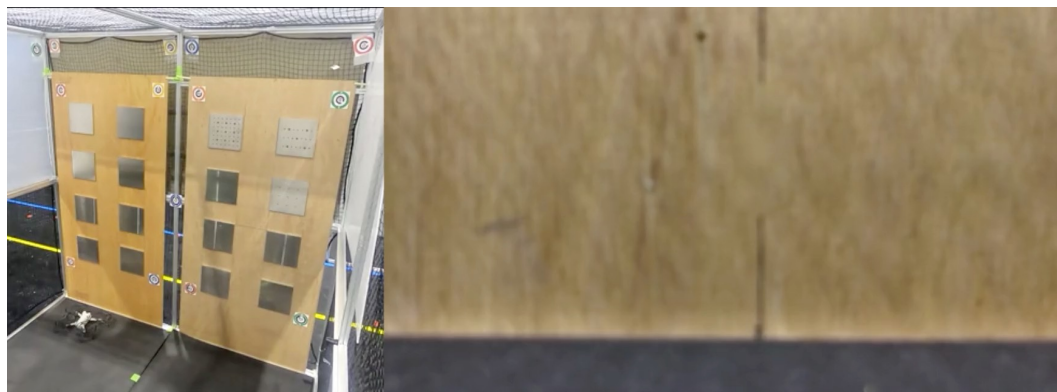


本年度に開発実施

試験実施条件と結果を記載
(日時, 実施者, 監督者, 供試体寸法,
周回数, 飛行時間 etc)

試験実施の例

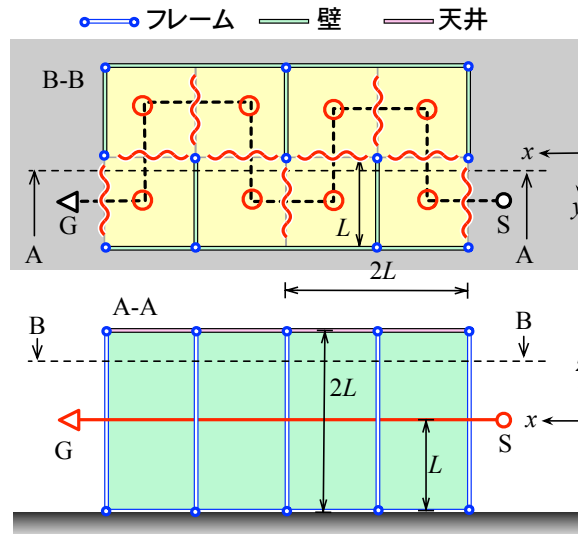
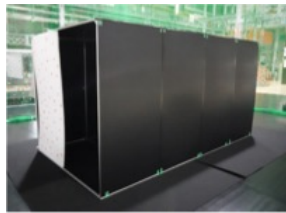
L=1.0m, M=1.0m
N=2.0m, P=1.0m



項目①-2, 項目①-3の成果

● 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（新工大）

- 空間構造の形状・寸法から飛行
タスクの難易度を定量化する
手法の研究開発実施

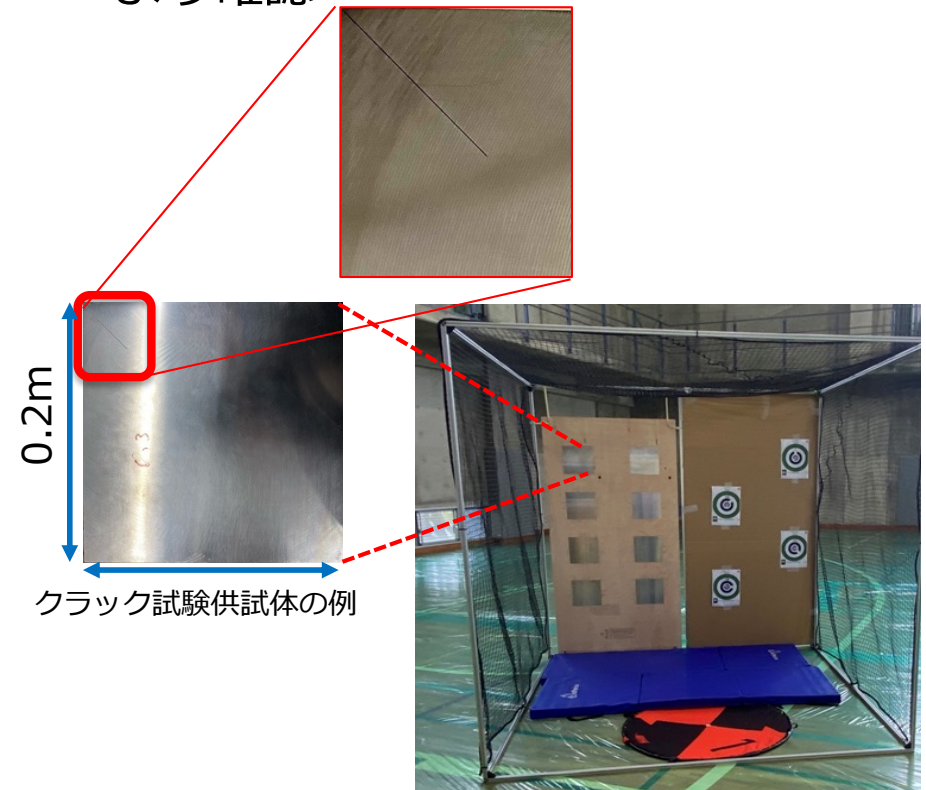


難易度の重み: $w = W_s \times W_{c_j}$

$$w_{xi} = W_{sxi} \cdot \prod_{j=1}^q W_{c_{xij}} \quad \cdots \quad w_{\psi i} = W_{s\psi i} \cdot \prod_{j=1}^q W_{c_{\psi ij}}$$

● ドローンの検査能力に関する評価 手法の開発（近畿大）

- 目視点検用試験供試体（クラック、
サビ）を開発しドローンによって
視認性能に差が出ることを実験に
より確認



3者の密な連携により狭隘空間における飛行性能評価試験開発継続

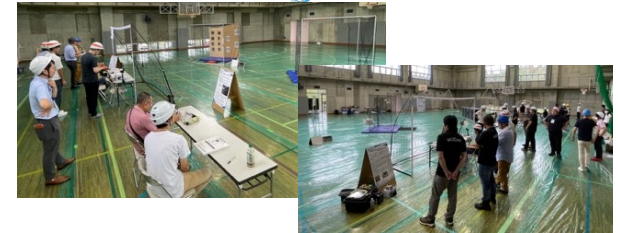
成果や取り組みについての情報発信，議論の機会



● 意見交換会の開催（一般公開，2回/年）

- － メーカー，ユーザを含む参加者に体験してもらい，開発状況を周知するとともに妥当な試験法開発に参考となる意見収集を行い，次回までに反映。

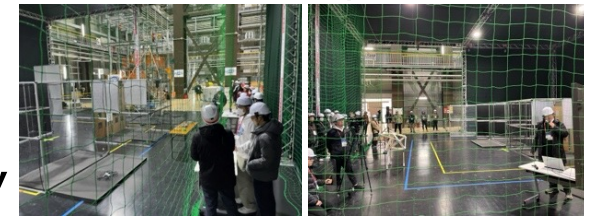
－ **次回 2024年9月中旬@新潟工科大を計画**



意見交換会@新潟工科大学
(2023/09/20,21)

● 学会活動

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において性能評価セッションを企画（毎年），日本ロボット学会 ロボット性能評価工学研究専門委員会へコンソメンバー複数参加



意見交換会
@JAEA榎葉遠隔技術開発センター
(2024/02/29)

● 展示会への出展・講習会

ロボット・航空宇宙フェスタふくしま2022,2023
東京国際消防防災展2023, Japan Drone2023
国際ドローン展2023 他



計測自動制御学会 SI2022 2件，
SI2023 1件 優秀講演賞受賞

● 技術競技会への技術提供・協力

ロボカップ・ジャパン・オープン
World Robot Summit 2025 過酷環境チャレンジ



東京国際消防防災展2023
(2023/06/15,18)

多方面からの意見の聴取・反映により妥当な試験法として確立へ

おわりに



- **制約環境下におけるドローンの性能評価法の研究開発
(名古屋工業大学コンソーシアム)**

- 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**

- ①-1 **ドローンの飛行制御性能に関する試験方法の開発
(日本原子力研究開発機構)**

- － 研究開発スタンス
 - － 飛行制御性能試験方法の研究開発状況

- **今後の計画**

- － 意見交換会，展示会，学術講演会，競技会等での周知，議論，意見収集に基づいた試験法（試験供試体，実施プロシージャ，試験記録票）のブラッシュアップ
 - － 開発試験法の手順書ドラフト版を作製して公表（本年度予定）
 - － ①-2，①-3との連携により，最終年度までに狭隘空間におけるドローン飛行性能評価法の確立



ご清聴ありがとうございました

