

令和2年度「無人航空機性能評価手順の試行」
（風洞試験装置を使用したペイロード－飛行時間性能試験）
に関する報告書

目 次

1. 総 則.....	1
1.1 事業目的.....	1
1.2 本試験目的.....	1
1.3 関連文書.....	1
2. 試験概要.....	2
2.1 実施内容.....	2
2.2 試験時の風洞棟内の配置（機体・設備・人員）.....	4
2.3 試験項目.....	6
2.4 飛行試験実施日程.....	10
2.5 試験実施方法.....	11
3. 試験実施内容.....	14
3.1 試験実施内容1（基本試験1）.....	14
3.2 試験実施内容2（基本試験2）.....	14
3.3 試験実施内容3（追加試験）.....	15
3.4 試験実施内容4（最高速トライアル）（追加試験）.....	16
4. 試験結果.....	17
4.1 試験実施内容1（基本試験1）および試験実施内容4（最高速トライアル）のデータ.....	17
4.2 試験実施内容2（基本試験2）のデータ.....	19
4.3 試験実施結果3（追加試験）のデータ.....	22
5. 試験結果に対する考察.....	24
5.1 飛行可能時間と飛行速度の関係.....	24
5.2 自動飛行と手動操縦による飛行の違い.....	24
5.3 風洞試験装置のブロッケージ.....	24
6. まとめ.....	25



1. 総 則

1.1 事業目的

経済産業省と国土交通省は、民間企業や関係団体と共に官民協議会を開催し、「空の産業革命に向けたロードマップ」を取りまとめました。

このロードマップの中で“小型無人機”は、新たな可能性を有する技術と位置付けられており、人手不足や少子高齢化といった社会課題の解決や、新たな産業的価値の創造を実現するツールとして高く期待されています。

これらを実現のものとしていくためには、機体の安全性や技能証明の基準等の制度整備や、安全性・信頼性を確保し証明する技術や自動飛行・運行管理・電動推進に関する技術の開発について、確実に歩みを進めていく必要があります。

各種フィールドロボットの試験を実施することのできる国内有数の施設である福島ロボットテストフィールド（以下、「RTF」という。）では、標記事業において無人航空機の開発に必要な風洞設備と、試験空域の整備を行うことを通じて、「空の産業革命」の推進に繋がる試験環境の完成度を高めていきたいと考えています。

【以上、事業目的の内容は、全て RTF 仕様書より抜粋】

1.2 本試験目的

2020年4月から運用が開始されたRTFの風洞棟を用いて、「無人航空機のペイロードー飛行時間性能試験」を実施した。具体的には、日本産業用無人航空機工業会（以下、「JUAV」という。）の会員企業の保有する機体に対するペイロードー飛行時間性能試験をRTFの風洞棟にて実施した。

本試験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（以下、「NEDO」という。）無人航空機性能評価手順書(Ver1.0)「目視内及び目視外飛行編」に従った試験手順をRTF施設にて実施するケースの現地検証のため、評価項目の1つであるペイロードー飛行時間性能試験を実地におこなったものである。そのため試験方法については同文書の規定に準拠しており、JUAVが責任を持って規定、あるいはその妥当性を評価するものではない。また、使用する試験機材（対象とする機体を除く）・設備についてもRTFの利用を前提としており、JUAVの責において選定、あるいはその試験設備としての性能、妥当性を評価するものではない。但し、本作業において見つけた風洞棟の改善点等については最後に記載する。

当初、本事業は広域飛行空域での洋上飛行も計画していたが、コロナ禍の影響で試験実施が不可能となり、洋上飛行については飛行計画の検討までとなった。その検討結果については、添付資料として記載した。

1.3 関連文書

- (1) NEDO 無人航空機性能評価手順書(Ver1.0)「目視内及び目視外飛行編」

2. 試験概要

2.1 実施内容

試験目的	: 風洞棟を使用した無人航空機の性能評価試験の試行
試験実施日	: 2021年1月25日(月)～1月27日(水) ※ 1月25日(月)は、試験準備を実施。
場所	: 福島ロボットテストフィールド(風洞棟) ※福島ロボットテストフィールド内の風洞棟の位置を図2.1-1に示す。
内容	: (株)自律制御システム研究所(以下、「ACSL」という。)製ACSL-PF2J、PF-2(Vision)の2機種に対して風洞棟を使用したNEDO無人航空機性能評価手順書(Ver1.0)「目視内及び目視外飛行編」に従った飛行試験手順の確認。
試験使用機種	: ACSL-PF2J(手動操縦による飛行)、PF-2(Vision) (※) ※PF-2(Vision)は、手動操縦による飛行、およびビジュアルSLAMによる自動飛行を実施 この試験の「ビジュアルSLAM」とは、搭載カメラで撮影された画像から自己位置推定を行う技術である。
現地作業者	: JUAV 3名(うち、デンソー1名) ACSL 4名 RTF 1名

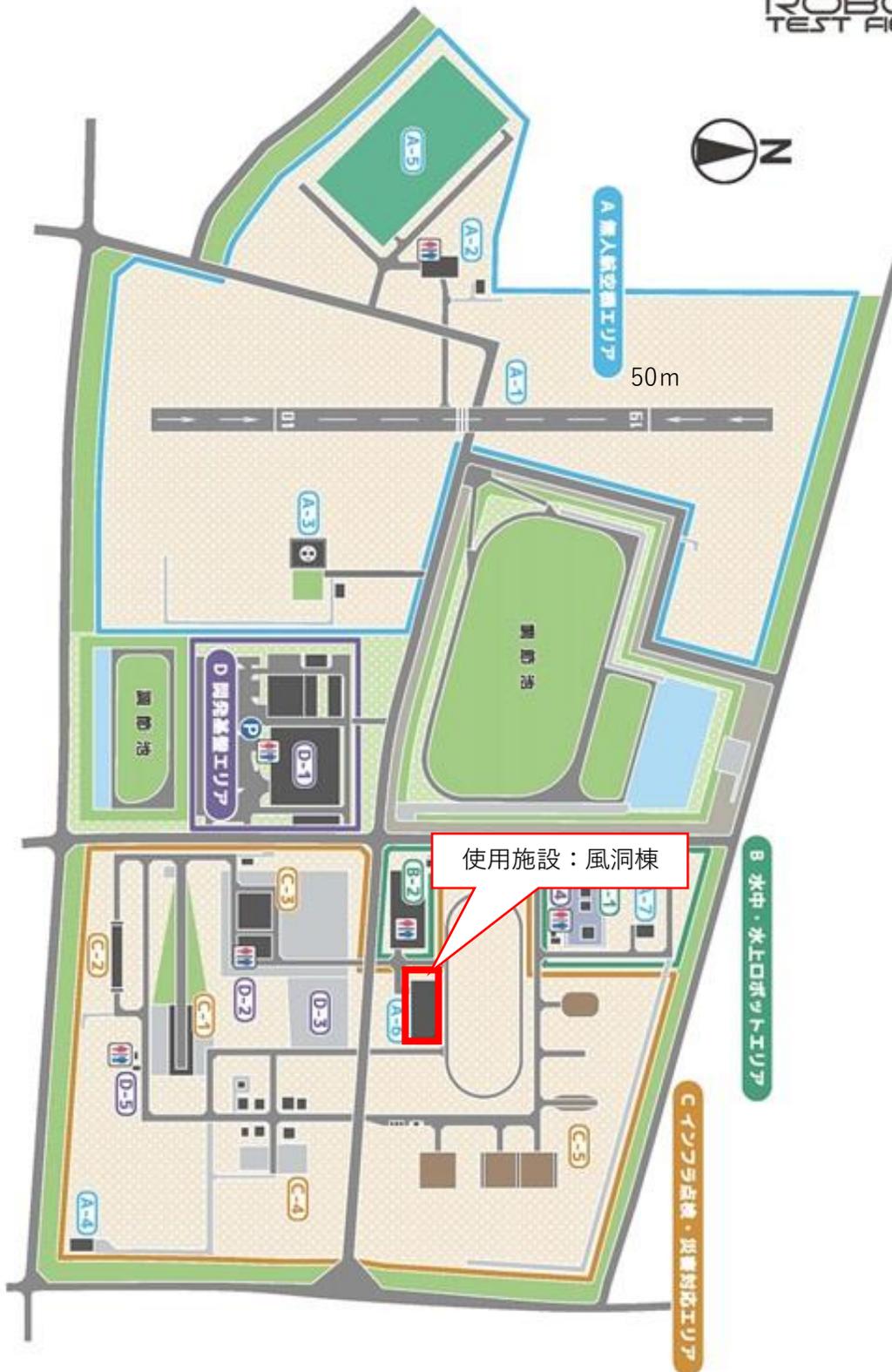
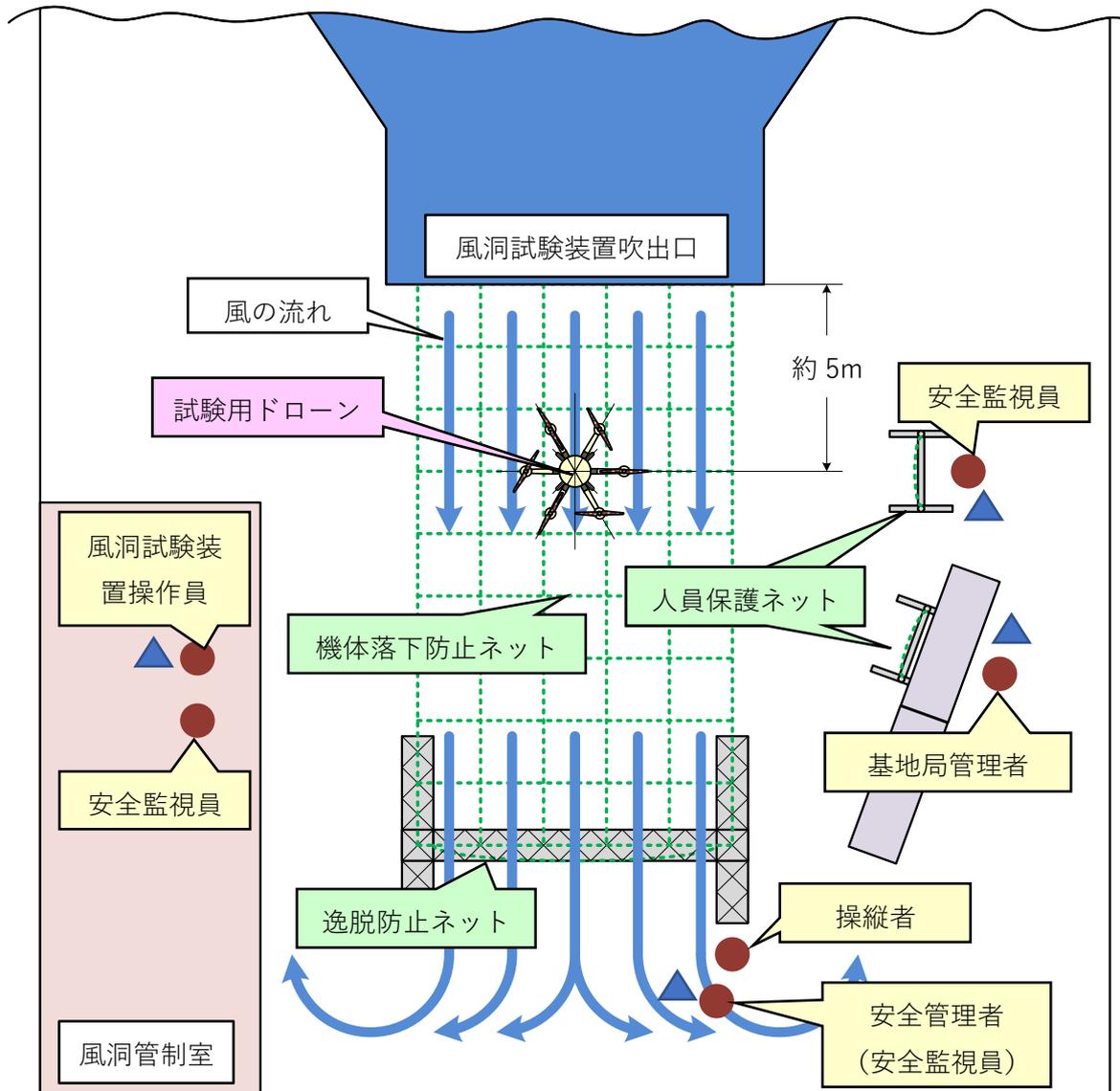


図 2.1-1 試験実施場所（風洞棟）

2.2 試験時の風洞棟内の配置（機体・設備・人員）

風洞棟を使用した飛行試験実施時の風洞棟内の配置を以下に示す。図 2.2-1 は、風洞棟内の配置図である。試験用ドローンは、風洞試験装置の吹出口と床に固定されている逸脱防止ネットのほぼ中間位置である風洞試験装置の吹出口中心から下流側に約 5m の地点および風洞試験装置の吹出口の中央の高さである床面から高さ約 3.5m の位置を本試験における試験定位置とし、その位置を保持するようにホバリング飛行を行う。

なお、風洞試験装置の操作については、RTF 側が実施し、風速の設定や調整、計測可能な状態（風速の静定など）になったことの判断も RTF 側の職員に実施頂いた。



※●は、風洞棟内の人員配置場所（観測者等は除く）

※▲は、トランシーバーの配置場所

※試験時には風洞棟の扉は全て閉じた状態で実施した。

図 2.2-1 風洞棟内配置図



図 2.2-2 試験風景 1(機体落下防止ネット展開状態)



※試験時には扉は閉めた状態で実施した。

図 2.2-3 試験風景 2(基地局管理者席と人員保護ネット)

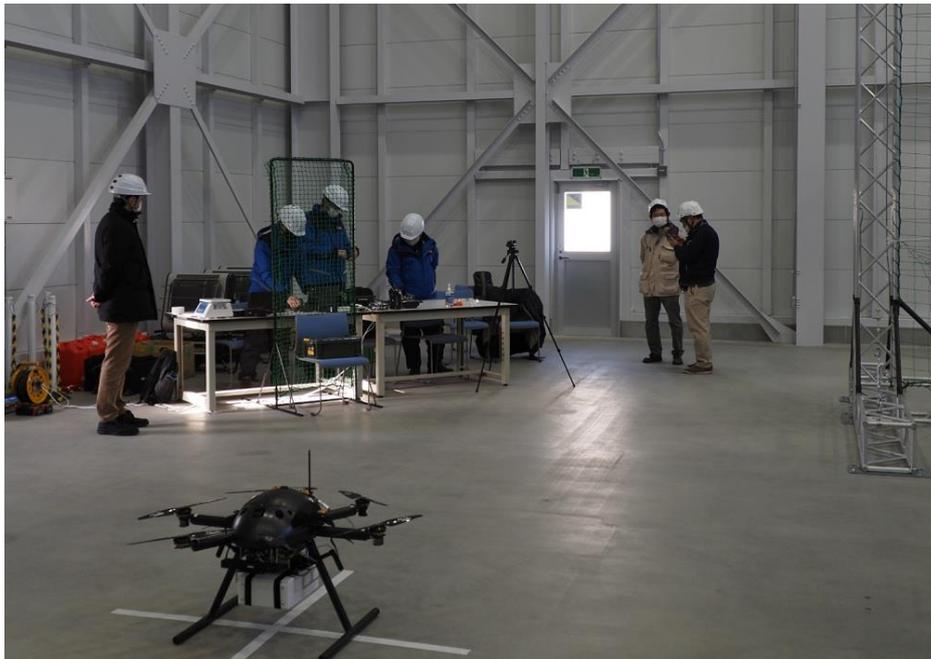


図 2.2-4 試験風景 2(試験準備状況)

2.3 試験項目

今回の試験は、NEDO 無人航空機性能評価手順書(Ver1.0)「目視内及び目視外飛行編」の「5.3 積載性能」に準拠して、風洞試験装置の表示風速を飛行速度と仮定し、試験用ドローンの飛行方法、搭載重量、ペイロード形状に対する飛行性能（飛行時間、航続距離）を推算するためのデータを測定する。なお、飛行性能は、各条件下で1分間（試験手順書の規定による）ホバリングを行い、その間に測定した消費電力データを基に算出する。

試験用ドローン : ACSL 製ドローン 2機種
 ACSL-PF2J 操縦者による手動操作による飛行
 PF-2(Vision) 手動操作による飛行
 およびビジュアル SLAM による自動飛行
 ※ 上記 2 機種とも最大離陸質量は 9.8kg

搭載重量 : 0.0kg 1.0kg 2.0kg の3種類

ペイロード形状 : 小型、中型、中型（前後逆）の3種類
 ※中型（前後逆）は追加試験で一部試験のみ。

設定風速(飛行速度) : 0 m/s、5m/s、10m/s、15m/s
 ※手動操縦による飛行の場合では、設定風速 10m/s までとする。
 ※自動飛行時は、設定風速 15m/s まで実施することとした。

飛行時間 : 各条件下で1分間ホバリング飛行



図 2.3-1 小型, PF-2(Vision)機体



図 2.3-2 小型, ACSL-PF2J(手動)機体



図 2.3-3 中型, PF-2(Vision)機体



図 2.3-4 中型, PF-2(手動)機体



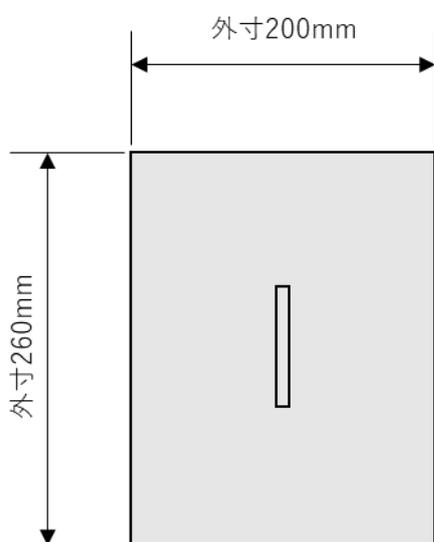
図 2.3-5 中型 (前後逆), PF-2(Vision)機体



図 2.3-6 小型ペイロードボックス



図 2.3-7 中型ペイロードボックス



質量：284g（実測値）

※ 全ての外寸は概略値です。

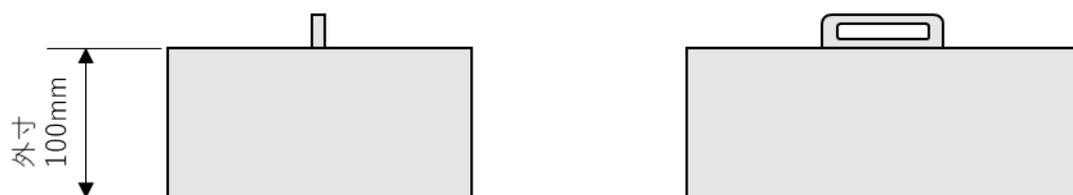


図 2.3-8 小型ペイロードボックス 寸法図

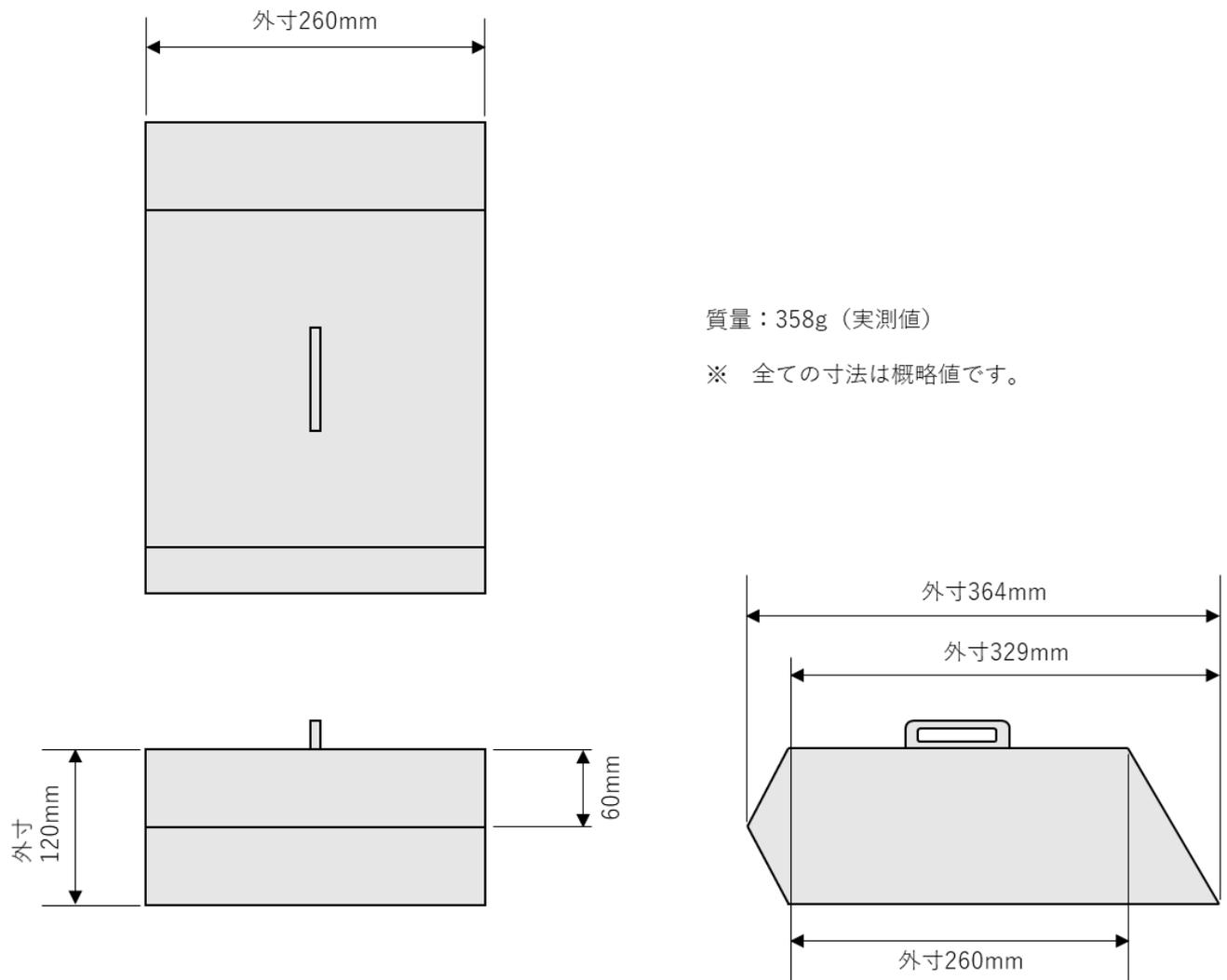


図 2.3-9 中型ペイロードボックス 寸法図

2.4 飛行試験実施日程

日付	時間	作業概要	備考
1/25 (月)	8:30~12:00	風洞棟内確認、人員配置、機材配置確認 機体落下防止ネット設営 風洞試験装置 試験送風 機体点検(飛行前点検、以下略) 調整飛行(ビジュアル SLAM の確認他)	
	12:00~13:00	昼食・休憩	
	13:00~16:30	風洞棟内人員保護ネット準備 風洞試験装置の調整運転 風洞試験装置の緊急停止操作確認 調整飛行(本番試験の試験位置、試験方法の詰めと予行演習)	
1/26 (火)	8:30~11:30	風洞試験装置の調整運転 表 3.1-1 の 0.0kg および 1.0kg の飛行試験を実施	
	11:30~13:30	昼食・休憩	
	13:30~17:00	風洞試験装置の調整運転 表 3.1-1 の 2.0kg および表 3.2-1 の飛行試験を実施	
1/27 (水)	8:45~12:15	風洞試験装置の調整運転 表 3.2-2、表 3.3-1 および表 3.3-2 の中型ペイロードボックスの飛行試験を実施	
	12:15~14:00	昼食・休憩	
	14:00~17:00	風洞試験装置の調整運転 表 3.3-2 の小型ペイロードボックスおよび表 3.4-1 の飛行試験を実施 片付け・撤収	

2.5 試験実施方法

今回の飛行試験は、機体の操縦方法、搭載物の形状、積載重量を替え、各設定風速（飛行速度）で飛行試験を行う。基本的な飛行パターンは、表 2.5-1 によるもので工程 1～5 までの飛行に要する時間は 3 分～5 分程度である。

表 2.5-1 飛行試験時の飛行パターン

工程	時間	内容	備考
1	適宜	風洞試験装置の風速が無風状態（0 m/s）で待機位置の試験用ドローンを起動、離陸させ、試験定位置まで移動させて試験用ドローンをホバリング状態にする（試験定位置は風洞試験装置吹出口から約 5m、地面高約 3.5mとした）	
2	適宜	試験用ドローンをホバリング状態のまま風洞試験装置の風速を所定の設定風速（飛行速度）まで上昇させる	機体姿勢や機体位置が保持できない場合、試験中止
3	1分	所定の設定風速下で試験用ドローンをホバリング状態で維持し、この間データの収集を行う	機体姿勢や機体位置が保持できない場合、試験中止
4	適宜	試験用ドローンをホバリング状態のまま風洞試験装置の風速を無風状態（0 m/s）まで下降させる	
5	適宜	試験用ドローンを、試験定位置から戻し、待機位置に着陸させて停止する	



図 2.5-1 離陸（小型ペイロード）

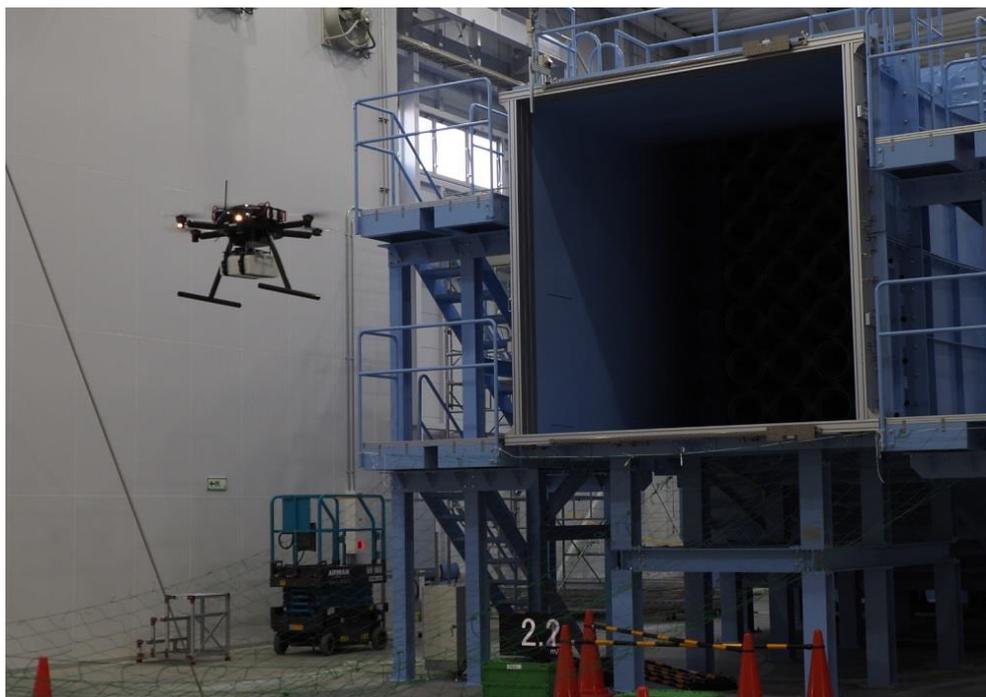


図 2.5-2 試験定位置での飛行（小型ペイロード、風速 2.2m/s）



図 2.5-3 飛行試験（小型ペイロード、自動飛行、風速 11.4m/s）



図 2.5-4 飛行試験（中型ペイロード、自動飛行）

3. 試験実施内容

3.1 試験実施内容 1 (基本試験 1)

今回の飛行試験では、風洞試験装置の設定風速を 20m/s まで飛行データを収集する予定であったが、試験に先立って実施した調整飛行にて、機体の安定度、ひいては事故発生時に風洞棟内の試験要員の安全確保に懸念があるため、RTF との調整に基づき、試験の最高設定風速を 15m/s までとすることにした。基本試験 1 で測定した試験飛行は、表 3.1-1 の計 12 飛行分である。

(飛行試験 1) PF-2(Vision)の自動飛行+小型ペイロード

表 3.1-1 飛行試験 1 PF-2(Vision)+小型ペイロードでの飛行試験条件

		搭載重量		
		0.0kg	1.0kg	2.0kg
ペイロード形状		小型	小型	小型
風洞試験装置 設定風速 (飛行速度)	0m/s	実施 (○)	実施 (○)	実施 (○)
	5m/s	実施 (○)	実施 (○)	実施 (○)
	10m/s	実施 (○)	実施 (○)	実施 (○)
	15m/s	実施 (○)	実施 (○)	実施 (○)

3.2 試験実施内容 2 (基本試験 2)

基本試験 2 で測定した試験飛行は、表 3.2-1~2 の計 12 飛行分である。

(飛行試験 2) ACSL-PF2J の手動操縦による飛行+小型ペイロード

表 3.2-1 飛行試験 2 ACSL-PF2J+小型ペイロードでの飛行試験

		搭載重量		
		0.0kg	1.0kg	2.0kg
ペイロード形状		小型	小型	小型
風洞試験装置 設定風速 (飛行速度)	0m/s	実施 (○)	実施 (○)	実施 (○)
	5m/s	実施 (○)	実施 (○)	実施 (○)
	10m/s	実施 (○)	実施 (○)	実施 (○)

(飛行試験 3) ACSL-PF2J の手動操縦による飛行+中型ペイロード

表 3.2-2 飛行試験 3(ACSL-PF2J(手動))+中型ペイロードでの飛行試験条件

		搭載重量	
		1.0kg	
ペイロード形状		中型	
風洞試験装置 設定風速 (飛行速度)	0m/s	実施 (○)	
	5m/s	実施 (○)	
	10m/s	実施 (○)	

3.3 試験実施内容 3 (追加試験)

今回の飛行試験の結果を比較するため、追加試験を実施した。

(飛行試験 4) PF-2(Vision)の手動操縦による飛行+小型ペイロード

表 3.3-1 飛行試験 4 PF-2(Vision)の手動操縦による飛行+小型ペイロードでの飛行試験条件

		搭載重量		
		0.0kg	1.0kg	2.0kg
ペイロード形状		小型	小型	小型
風洞試験装置 設定風速 (飛行速度)	0m/s	実施 (○)	実施 (○)	実施 (○)
	5m/s	実施せず	実施 (○)	実施せず
	10m/s	実施せず	実施 (○)	実施せず
	15m/s	実施せず	実施 (○)	実施せず

※本試験は、PF-2(Vision)を手動で飛ばすことにより手動/自動の比較を行うために追加で実施する。そのため、比較する搭載重量として 1.0kg を中心に行うこととし、搭載重量 0.0kg および 2.0kg の設定風速 5m/s、10m/s、15m/s は試験を実施しなかった。

(飛行試験 5) PF-2(Vision)の自動飛行+空気抵抗変化

表 3.3-2 飛行試験 5 PF-2(Vision)の自動飛行+空気抵抗変化飛行試験条件

		搭載重量		
		1.0kg		
ペイロード形状		中型	中型(前後逆)	小型*
プロペラガードの有無		無し(標準)	無し(標準)	有り
風洞試験装置 設定風速 (飛行速度)	0m/s	実施 (○)	実施 (○)	実施 (○)
	5m/s	実施 (○)	実施 (○)	実施 (○)
	10m/s	実施 (○)	実施 (○)	実施 (○)
	13m/s	実施せず	実施せず	実施 (○)
	15m/s	実施 (○)	実施 (○)	実施せず

※プロペラガードを付けた状態で 15m/s は危険と判断し、13m/s で実施した。

3.4 試験実施内容 4 (最高速トライアル) (追加試験)

今回の飛行試験の最後に、安全を担保できる範囲で最高速トライアル試験を実施した。事前試験により試験用ドローンの飛行状態・飛行データから設定風速 17m/s を上限と判断し、17m/s での飛行データ 1 分間分を取得した。

(飛行試験 6) PF-2(Vision)の自動飛行の最高速トライアル

表 3.4-1 飛行試験 6 PF-2(Vision)の自動飛行+小型ペイロードでの最高速トライアル条件

		搭載重量
		1.0kg
ペイロード形状		小型
風洞試験装置 設定風速 (飛行速度)	5m/s	飛行状態の確認 (○)
	10m/s	飛行状態の確認 (○)
	15m/s	飛行状態の確認 (○)
	17m/s	実施 (○)

※5m/s、10m/s、15m/s では、飛行の安定度を確認しただけで 1 分間のホバリングは実施せず。

4. 試験結果

風洞試験装置の表示風速 を基に風洞試験装置操作員が設定・指示した風速を飛行速度とみなして、各環境下で 1 分間の消費電力量を計測し、これをベースに各々の試験用ドローンの飛行条件下における、航続可能時間と航続可能距離を計算した。それぞれの計算式は NEDO 無人航空機性能評価手順書に基づき、下記とする。

$$\text{使用可能電力量 (Wh)} = \text{搭載バッテリーの総電力量 (Wh)} \times 0.8$$

※0.8 は、離着陸時等に消費する分 (0.2 相当) を除いた使用可能電力

$$\text{航続可能時間 (分)} = \text{使用可能電力量 (Wh)} \div \text{1 分間の積算消費電力量 (Wh/分)}$$

$$\text{航続可能距離 (km)} = \text{風洞試験装置の風速 (m/s)} \times \text{航続可能時間 (分)} \times 60 (\text{秒}) \div 1000$$

なお、試験用ドローン(ACSL-PF2J および PF-2(Vision))の総電力量は、約 532Wh である。

4.1 試験実施内容 1 (基本試験 1) および試験実施内容 4 (最高速トライアル) のデータ

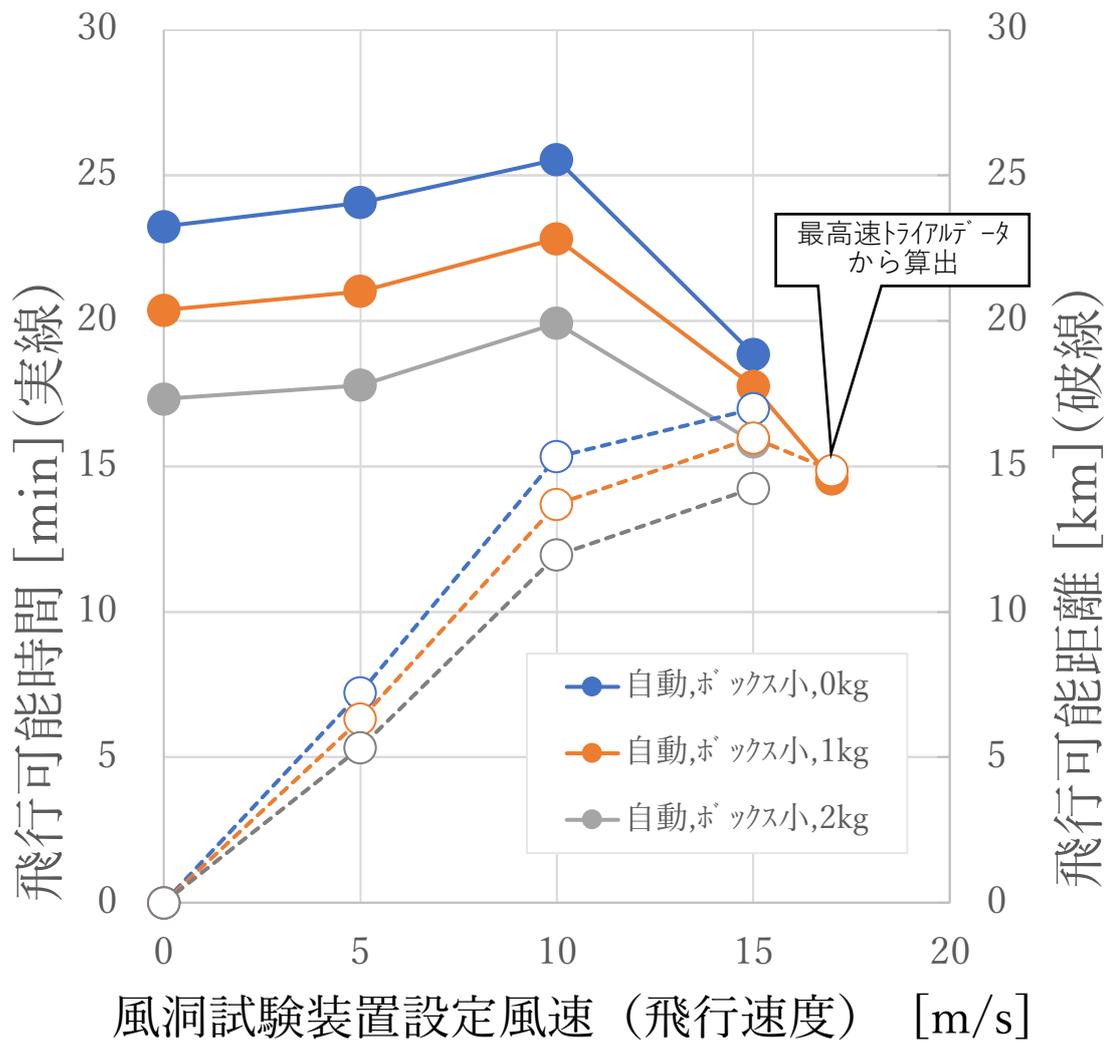
基本試験の飛行条件 (自動飛行/手動操縦による飛行、ペイロード、風洞試験装置の各設定風速) で取得した飛行データから計算した試験用ドローンの航続可能時間と、航続可能距離の関係を以下の各表に示す。

表 4.1-1 および図 4.1-1 は、表 3.1-1 の PF-2(Vision)自動飛行、小型ペイロードの試験内容の結果と表 3.4-1 の最高速トライアル内容の結果から飛行可能時間、距離を算出した図表である。このデータを見ると飛行可能時間は飛行速度 10m/s 付近で、飛行可能距離は、飛行速度 15m/s 付近で最大になっている。

表 4.1-1 PF-2(Vision)+小型ペイロードでの性能評価マトリクス

		搭載重量		
		0.0kg	1.0kg	2.0kg
ペイロード形状		小型	小型	小型
風洞試験装置 設定風速 (飛行速度)	0m/s	—	—	—
		23.2min	20.4min	17.3min
	5m/s	7.22km	6.31km	5.34km
		24.1min	21.0min	17.8min
	10m/s	15.33km	13.70km	11.95km
		25.6min	22.8min	19.9min
	15m/s	16.97km	15.98km	14.25km
		18.9min	17.8min	15.8min
	17m/s	—	14.86km	—
		—	14.6min	—

※マトリクス表の上段は飛行可能距離、下段は飛行可能時間を示す。

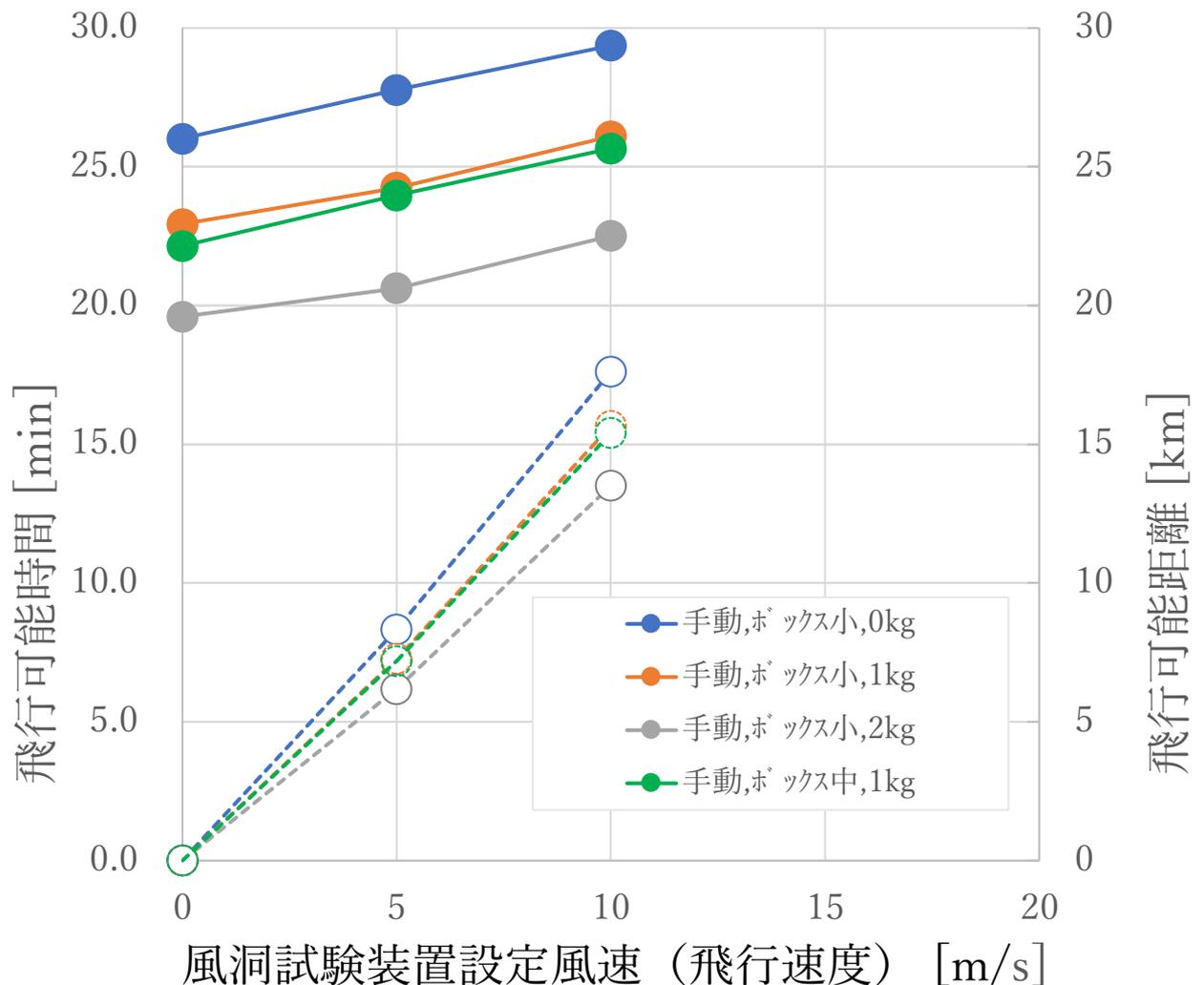


- ※ 実線は、飛行可能時間を示す。
- ※ 破線は、飛行可能距離を示す。

図 4.1-1 PF-2(Vision)の自動飛行+小型ペイロード、積載重量による飛行性能の変化

4.2 試験実施内容 2（基本試験 2）のデータ

図 4.2-1 は、表 3.2-1 の ACSL-PF2J による手動操縦による飛行、小型ペイロードの試験内容の結果と表 3.2-2 の ACSL-PF2J による手動操縦による飛行、中型ペイロードの試験内容の結果とを表したものである。手動操縦による飛行では測定したデータは 10m/s までの飛行速度データである。測定した範囲内では、図 4.1-1 の PF-2(Vision)の自動飛行に対して 1 割程良い結果が出たが、データの傾向は同じである。

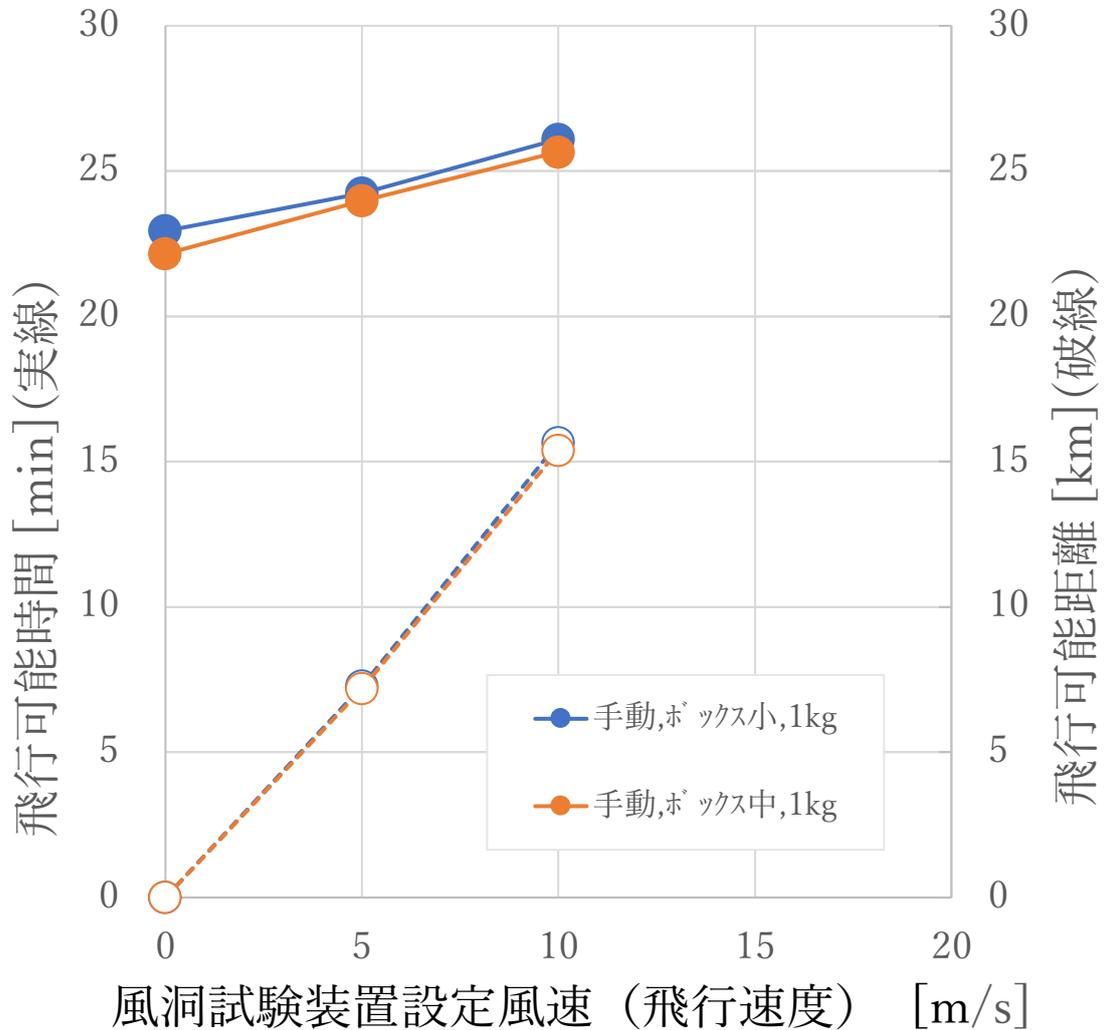


※ 実線は、飛行可能時間を示す。

※ 破線は、飛行可能距離を示す。

図 4.2-1 ACSL-PF2J の手動操縦による飛行+小型/中型ペイロード、積載重量による飛行性能の変化

図 4.2-2 は、ACSL-PF2J 手動操縦による飛行時のペイロード形状による飛行性能を比較したものである。小型ペイロードと中型ペイロード（正規取付方向）比較飛行試験(表 3.2-1 の一部、表 3.2-2)を行った。測定の結果、両者の飛行性能については、大きな差は見られなかった。



※ 実線は、飛行可能時間を示す。

※ 破線は、飛行可能距離を示す。

図 4.2-2 ACSL-PF2J の手動操縦による飛行、ペイロード形状の違いによる飛行性能の変化

表 4.2-1 は、表 3.2-1 の ACSL-PF2J による手動操縦による飛行、小型ペイロードの試験内容の結果と表 3.2-2 の ACSL-P2J による手動操縦による飛行、中型ペイロードの試験内容の結果から飛行可能時間、距離を算出した表である。

表 4.2-1 ACSL-PF2J(手動)+各種ペイロードでの性能評価マトリクス

		搭載重量			
		0.0kg	1.0kg		2.0kg
ペイロード形状		小型	小型	中型	小型
風洞試験装置 設定風速 (飛行速度)	0m/s	—	—	—	—
		26.0min	22.9min	22.1min	19.6min
	5m/s	8.33km	7.27km	7.19km	6.19km
		27.8min	24.2min	24.0min	20.6min
	10m/s	17.62km	15.66km	15.40km	13.51km
		29.4min	26.1min	25.7min	22.5min

※マトリクス表の上段は飛行可能距離、下段は飛行可能時間を示す。

4.3 試験実施結果 3（追加試験）のデータ

表 4.3-1 および図 4.3-1 は、PF-2(Vision)自動飛行のペイロード形状やプロペラガードによる飛行形態の違い別に測定したものである。本試験においては、小型ペイロードと中型ペイロード（正規取付け方向、前後逆取付け方向）、および小型ペイロード（正規取付け方向）にプロペラガードを追加して比較飛行試験(表 3.2-2)を行った結果としてプロペラガードを付けたものは、プロペラガード分の重量が加わるのでその分は、飛行可能時間、飛行可能距離も低下する傾向がみられた。なお、プロペラガードの空気抵抗、乱気流の発生等により、飛行速度の上昇による安定性の低下が大きく、試験安全性の観点より 13m/s までの測定とした。また中型ボックスの正規方向、前後逆方向取付けにおいては、飛行速度の増加とともに差が出てくる。飛行時の試験用ドローンの機体安定性も悪くなった。

表 4.3-1 PF-2(Vision)+ 各種ペイロード状況での性能評価マトリクス

		搭載重量			
		1.0kg			
ペイロード形状		小型	中型	中型(前後逆)	小型
プロペラガードの有無		無(標準)			有
風洞試験装置 設定風速 (飛行速度)	0m/s	—	—	—	—
		20.4min	19.7min	19.8min	18.0min
	5m/s	6.31km	6.22km	6.16km	5.54km
		21.0min	20.7min	20.5min	18.5min
	10m/s	13.70km	13.55km	13.25km	11.22km
		22.8min	22.6min	22.1min	18.7min
	13m/s	—	—	—	12.16km
		—	—	—	15.6min
	15m/s	15.98km	15.38km	14.62km	—
		17.8min	17.1min	16.2min	—
	17m/s	14.86km	—	—	—
		14.6min	—	—	—

※マトリクス表の上段は飛行可能距離、下段は飛行可能時間を示す。

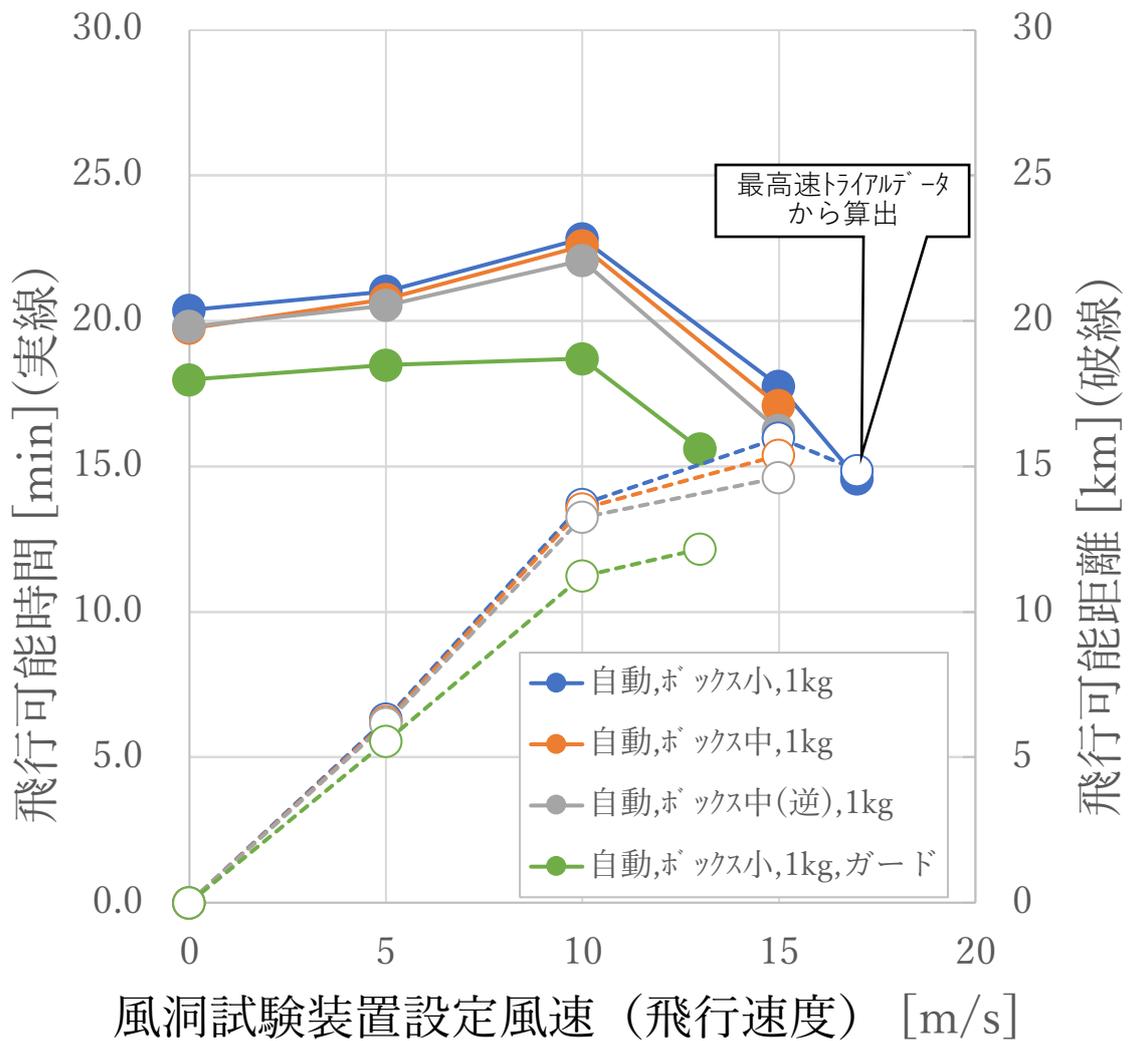


図 4.3-1 PF-2(Vision)による自動飛行、各種ペイロード状況の違いによる飛行性能の変化

5. 試験結果に対する考察

5.1 飛行可能時間と飛行速度の関係

飛行速度が約 10m/s のときに、飛行可能時間が最大になった理由は、ドローンのロータ揚力と飛行時に受ける風の抗力との釣り合いと考えられる。ホバリング状態から風速（飛行速度）が上がると最初はロータの揚力増加が、風速（飛行速度）によって発生する抗力増加より大きいのでホバリング時より電力消費が減少し、結果として飛行可能時間は伸びる。これがある風速（飛行速度）を超えると抗力の増加の方が大きくなり、飛行可能時間が減少に転ずる。この風速（飛行速度）が当該ドローンでは 10m/s 付近にあると考えられる。

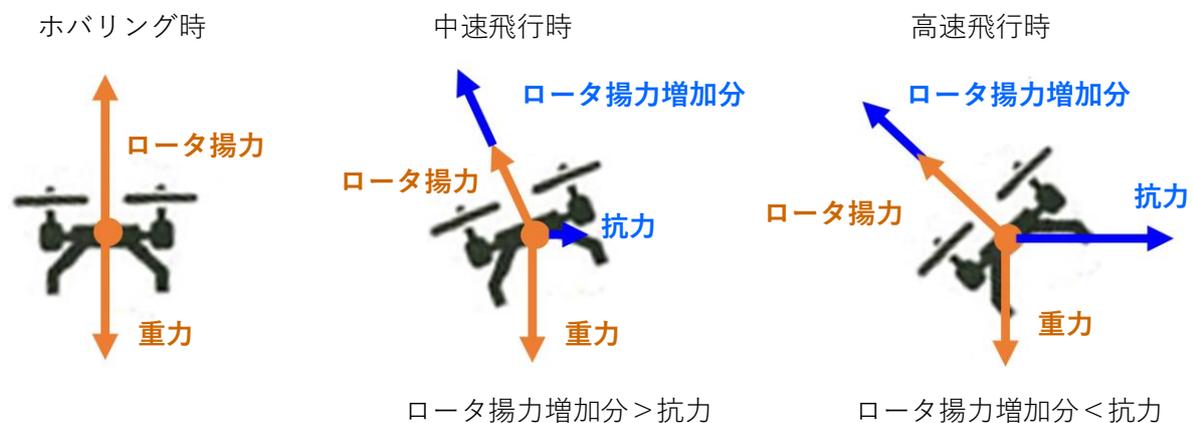


図 5.1-1 飛行速度による揚力、重力、抗力の関係

5.2 自動飛行と手動操縦による飛行の違い

今回の試験結果では、ほぼ同一と思われる外的条件（風速）下の飛行で自動飛行の飛行可能時間より手動操縦による飛行の飛行可能時間が約 10%長くなる傾向が出た。これは、自動飛行の場合、位置制御のための視覚制御用の機器を搭載していることが関係していると思われる。

5.3 風洞試験装置のブロッキング

風洞試験装置の風路（送風口サイズ：3m×3m）に対して、今回の試験で最大のブロッキングとなる最高速トライアル（17m/s）における試験用ドローンおよびペイロードボックスの正面の投影面積は約 0.2m²であった。よって、今回の試験での最大のブロッキング（≡風路の遮蔽率）は、約 2.2%（=0.2÷9）となる。

6. まとめ

NEDO 無人航空機性能評価手順書(Ver1.0)「目視内及び目視外飛行編」に従った試験手順を RTF 施設にて実施するケースの現地検証のため、その 1 つであるペイロードー飛行時間性能試験を実施した。試験用機体の実際の運用を想定した飛行速度、ペイロード重量を設定し、手順書に従って RTF 風洞棟を用いた計測データを取得することができた。しかし、安全性の制約から当初想定した風速設定では実施できないケースがあり、また計測時の風速データの提供方法にも不十分な点があった。1.1 項に示すように、RTF 風洞棟そのもの、およびその計測精度等の評価については本事業の対象ではないが、参考情報として本試験において、JUAV が気付いた RTF 風洞棟における改善点を以下に示す。

表 6-1 改善点一覧(1/4)

番号	改善点	説明
1	衛星測位への対応	<p>現在の風洞棟内では GPS/GNSS の測位電波が受信できない。風洞棟内に市販の GPS リピータが設置されているとのことであるが、GPS リピータでは測位結果が一定であり、建屋内での位置に応じた測位結果を出力できないのでドローンの飛行制御では使用できない。</p> <p>【提言】 GPS/GNSS で屋外飛行するドローンの耐風性評価のためには、屋内であっても屋外と同等の衛星測位できるようにすべきである。</p>
2	風速表示のふらつき	<p>10m/s 位の風速で試験時間 1 分間内の風速表示のふらつき幅が 1.1m/s (一例として 10m/s 試験時の状況を図 6-1、図 6-2 および表 6-2 に示す。) 出ている。また風速結果についてのログ機能がないため、実際の風速がどうであったかを事後評価することができない。</p> <p>【提言】 風洞試験装置の風速表示のふらつきを少なくすることが望ましい。また、最近の無人機は GPS 時刻を基準として機体データを取得しているため、GPS 時間とともに風速結果をログできる機能が必要である。データレートは表示のレートと同程度が望ましいと考える。</p>

表 6-1 改善点一覧(2/4)

番号	改善点	説明
3	風速分布	<p>上記 2 項に関連して、実際にドローンが飛行している場所（風洞試験装置吹き出し口から 5m 下流の地点）の実風速値が明確ではない。</p> <p>【提言】 試験時の建屋の条件（扉の開閉、周辺機材の設置等）を明確にした上で、風洞棟建屋内（少なくとも、風洞試験装置の吹き出し口から逸脱防止ネット間の吹出口断面における）の実風速分布の計測を行い試験実施領域の風速分布とふらつきとを明確にすべきである。</p>
4	風速設定	<p>風洞試験装置の風速設定に際し、一定のファン回転数において表示風速値が都度異なることから、風速調整は表示された風速値を参照して手動で実施しており、風速の設定が難しい。</p> <p>【提言】 今後の円滑な試験のためには、風洞試験装置の風速設定がより簡易に短時間で精度良く設定できるように風速値で設定するような施策を講じる必要があると考える。</p>
5	調整運転	<p>当該試験時において、基礎データに基づくファンの回転数設定を行って頂いたが、ファンの回転数が同一でも風速表示値が異なっていた。従って、試験当日のファンの回転数と表示風速値との関係を把握するため、午前・午後の試験前に風洞試験装置の調整運転が必要であると考えられる。</p> <p>【提言】 番号 4 の提言と同じ。</p>
6	火気の使用制限	<p>小型のドローンは、リチウムイオン電池を使うものが多い。リチウムイオン電池は衝撃を加えると発火の危険性がある。</p> <p>【提言】 リチウムイオン電池火災等を含めた火災に対する安全対策について、福島県の消防署のご指導を受けることをお勧めします。</p>

表 6-1 改善点一覧(3/4)

番号	改善点	説明
7	天井カメラ他	<p>風洞棟の天井に設置されたカメラは、試験領域におけるドローンの位置や挙動が視認できるため、有用ではあるが、管制室でのみ視認できる構造であるため、操縦者や安全管理者など管制室外の関係者とは情報の供用性に乏しい。</p> <p>【提言】 天井カメラ以外に横方向と後方からのカメラを追加すると試験監視が安全に行える。また、それらの画像を GPS 時刻とともに記録できる機能があると利便性が格段に上がる。更に、風洞試験装置の脇にディスプレイを置いてこれらカメラ映像をリアルタイムで操縦者が視認できるとより一層飛行の安全性が高まる。</p>
8	風洞棟内要員の安全確保 (逸脱防止ネットの強度検証)	<p>逸脱防止ネットの強度についての評価データの確認ができなかった。</p> <p>【提言】 逸脱防止ネットの強度検証が必要である。</p>
9	風洞棟内要員の安全確保 (安全眼鏡)	<p>ドローンの操縦者等の最低限の要員は、風洞棟内で試験中に作業を行う必要がある。風洞棟内で作業を実施する環境として風速 10m/s 以上の環境では、普通の眼鏡では風を防ぎきれないため、視界不良になる可能性がある。</p> <p>【提言】 RTF にて安全眼鏡（防風眼鏡）を準備し、試験時の着用を推奨すべきである。</p>
10	時刻表示	<p>風速表示装置の隣に時刻表示があると便利。また天井カメラの録画データの時刻が GPS 時間になっていない。</p> <p>【提言】 最近の無人機は GPS 時刻を基準として機体データを取得しているため、GPS 時刻表示があると試験統括および試験データの統合作業に役立つ。</p>
11	騒音環境下での通話手段	<p>10m/s 以上の風速では、騒音により風洞棟試験室内での音声会話が不可能になる。風洞棟試験室内の要員は、手がふさがっていることが多いので、RTF にてインカム（できればハンズフリー）を準備して欲しい。</p> <p>【提言】 RTF にてインカム（できればハンズフリー）を準備すると試験時の通話手段が確保できる。</p>

表 6-1 改善点一覧(4/4)

番号	改善点	説明
12	風洞棟内の設置物	<p>ドローンが試験領域を逸脱し、周囲の機材に衝突する危険がある。</p> <p>【提言】 試験に関係のないドローンアナライザ等の設置機材は、風洞棟試験室内に設置しないようにするか、設置する場合には、防護ネット等で保護する必要がある。</p>
13	充電場所	<p>風洞棟試験室内の安全な場所にドローンバッテリーの充電場所の設置が必要である。(20A回線を複数設置)</p> <p>【提言】 風洞棟内にバッテリーの充電場所の拡充(4カ所以上)を推奨する。</p>

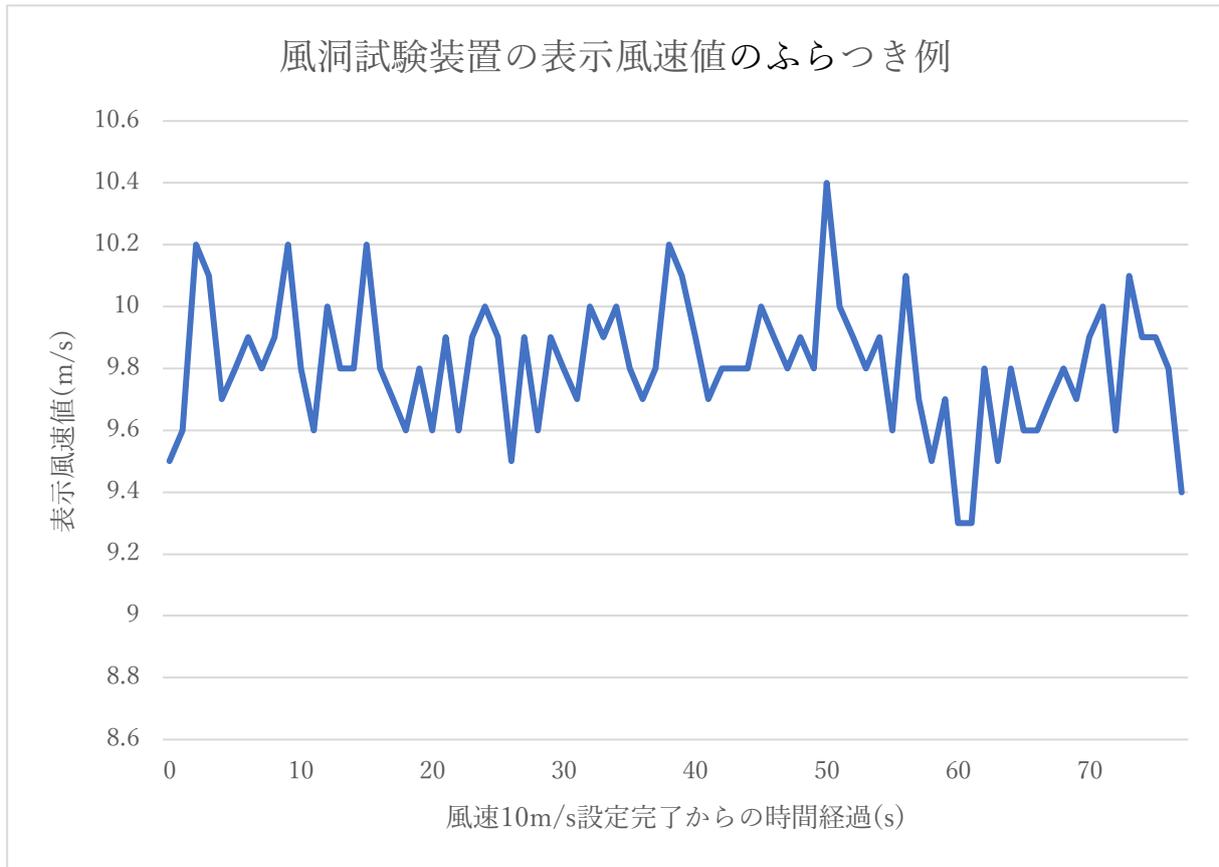


図 6-1 風速設定 10m/s 時の風速表示最低値 (一例)



図 6-2 風速設定 10m/s 時の風速表示最高値 (一例)

表 6-2 風洞試験装置の風速表示のふらつき例



上記の表は、試験時のビデオ撮影を基に、風速表示の値を約1秒間隔で目視にて読み取ったものです。約70秒間の間に、10.4m/sから9.3m/sの間で表示がふらついていました。

以上