

NEDO水素・燃料電池成果報告会2023

発表No.A2-7

燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業 燃料電池の多用途活用実現技術開発 高性能SOFCスタックおよびエネルギーマネジメント連携によるドローン等実用化技術開発

発表者名 日産自動車株式会社
団体名 インテグレーションテクノロジー株式会社
株式会社プロドローン
株式会社アツミテック
日産自動車株式会社
国立大学法人九州大学（委託）
国立研究開発法人産業技術研究所（委託）
発表日 2023年7月14日

連絡先：

日産自動車株式会社

株式会社アツミテック

株式会社プロドローン

インテグレーションテクノロジー株式会社

<https://www.nissan.co.jp/>

<https://www.atsumitec.co.jp/>

<https://www.prodroner.com/jp/>

<https://www.int-tech.co.jp/>

1. 期間

- 開始年月日 2021年8月1日、 終了年月日 2025年3月31日

2. 最終目標

- 長時間・高ペイロード飛行を実現するSOFCドローンの実用化に向けた基盤技術を構築する。
- 本事業により、SOFCスタックの共通基盤技術を構築し、ドローン用途をはじめとするSOFC多用途展開のための実用化に資する判断を可能とする。

3. 成果・進捗概要

- セル/スタック、エネルギーマネジメントモデル双方において、FY22計画をほぼ達成した。

1. 事業の位置付け・必要性

- ドローン市場は、2022年に様々な標準化や法規制の改革が行われ、実用化元年と言われており、2020～25年の年間平均成長率は8.3%、このうち、民需のドローン/ドローンサービスが28%と見込まれる。
- 本事業では、下記取組みにより、長時間・高ペイロード飛行を実現するSOFCドローンの実用化に向けた基盤技術を構築する
 - ① 起動停止が容易、かつ高出力密度なSOFCセル・スタック技術（特にメタルサポートセルスタック）
 - ② ドローン実飛行データをもとにしたエネルギーマネジメントモデルの構築

ドローン市場規模資料（国内および海外）

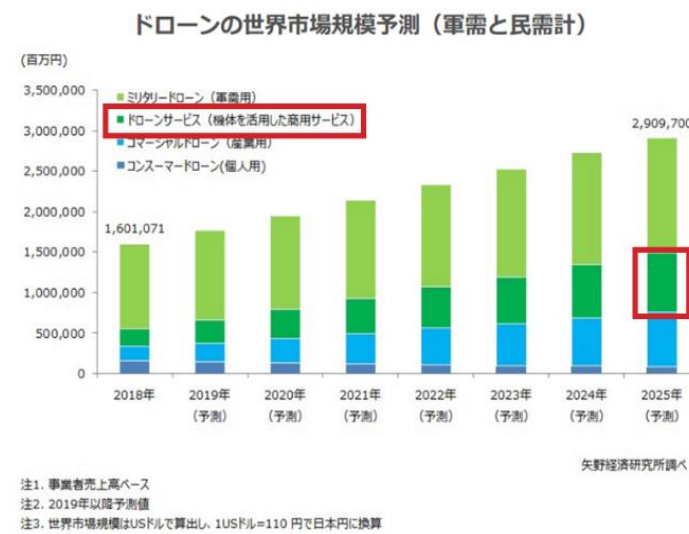


NEDO HPより



[*] 下記資料に追記

[『ドローンビジネス調査報告書2021』
(<https://research.impress.co.jp/report/list/drone/501125>)]



注1. 事業者売上高ベース
注2. 2019年以降予測値
注3. 世界市場規模はUSDドルで算出し、1USDドル=110円で日本円に換算

[*] 下記資料に追記

[『ドローンの世界市場規模予測』出典：矢野経済研究所]

1. 事業の位置付け・必要性

➤ ドローンメーカー視点でのニーズを以下に示す。

○長時間飛行

中山間地での長距離物流、監視用途での長時間運用、点検用途での電池管理の煩雑さ低減など、長時間運用のニーズは用途ごとにより明確になってきた。

1) 物流用途

大ペイロード（20kg～50kg以上）の用途と、緊急配送の小ペイロード用途に分かれつつある。

医薬品など緊急配送の小ペイロード用途ではペイロードとして2kg程度が想定されており、離陸重量が15kg程度で実現できれば2.5kW程度の出力でフライトが可能となる。

2) 監視用途

監視用途のうち、特に広大なエリアの周辺部を監視するためのドローンのニーズは以前から存在していた。

ドローンのサイズ感としては、前記の小ペイロード緊急配送タイプに等しく（カメラ重量は重くても2kg程度）、同じ技術開発で対応可能である。

3) 点検用途

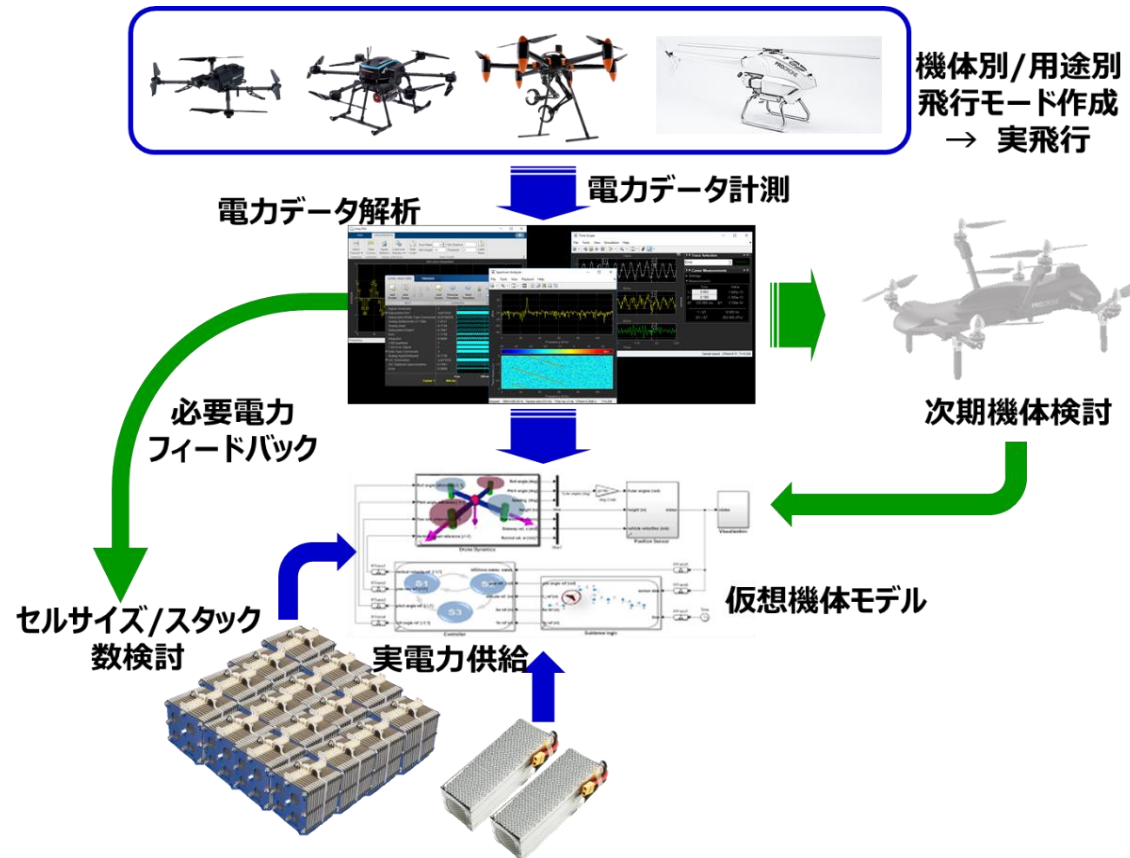
PoCの段階では問題とならなかった電池の消費と管理が、PoBのフェーズでは大きな課題となっている。

具体的には1日に複数のフライトを実施する際、充電作業を含む電池管理の工数が煩雑であることが課題となっており、燃料を供給するタイプのパワーユニットが従来よりも検討の俎上にあがることが増えてきている。

2. 研究開発マネジメントについて

- 研究開発方針 : 基盤となるメタルサポートセルスタックの開発および性能実証、ドローン実飛行データをもとにしたエネルギーマネジメントモデリングの構築、高性能ドローン実用に向けた搭載性検討
- スケジュール : 前半2年間でモデル構築を完了し、後半2年間で電力/ドローン各システムでのシミュレーション実施

研究開発方針



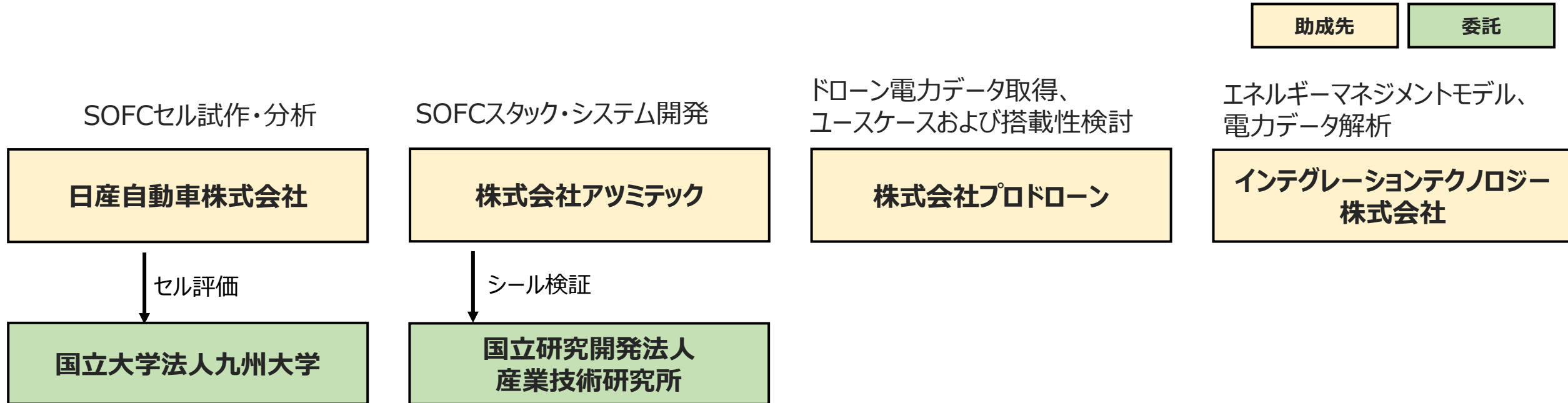
スケジュール

事業項目	FY21				FY22				FY23				FY24			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
①メタルサポートセルの試作・供給・分析			基準サイズセルの試作													
②メタルサポートセルを用いたスタック化および性能評価			100Wモジュールの試作、評価													
③ドローン飛行データ取得およびSOFC搭載性検討																
④エネルギーマネジメントモデル																

Detailed description of the schedule table: The table tracks four main project items (①-④) across four fiscal years (FY21-FY24) by quarter. Item ① (Metal support cell development) starts in Q3 FY21 with standard size cell trials, moves to Q1 FY22 for main trials, and continues through Q4 FY24 for performance improvements. Item ② (Stacking and performance evaluation) starts in Q3 FY21 with 100W module trials, moves to Q1 FY22 for 500W stack trials, and continues through Q4 FY24 for 1kW stack trials and lightweighting. Item ③ (Drone flight data and SOFC compatibility) starts in Q1 FY21 with environment construction, moves to Q1 FY22 for standard formation, and continues through Q4 FY24 for compatibility checks. Item ④ (Energy management model) starts in Q3 FY21 with model construction, moves to Q1 FY22 for logic construction, and continues through Q4 FY24 for implementation and HILS verification. Dashed arrows indicate dependencies between items across quarters.

2. 研究開発マネジメントについて

- 研究開発の実施体制：
前プロジェクト(*)の体制をベースに、メタルサポートセル・エネルギーマネジメントモデルのための体制を整えた



*)

プロジェクト名：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

テーマ名：省エネルギー性能等向上のための研究開発／長時間作業を実現する燃料電池ドローンの研究開発

期間：2017年6月23日～2020年2月28日

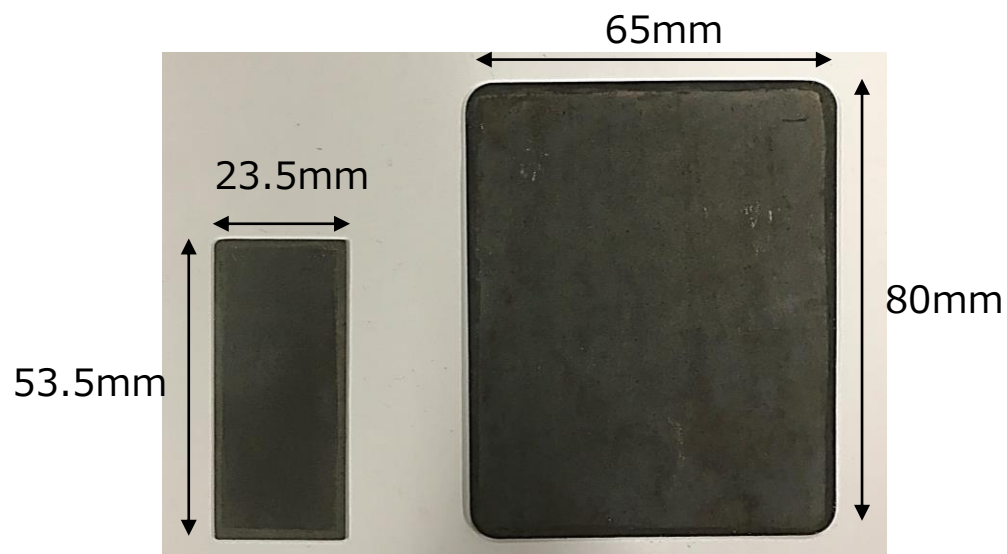
助成先：株式会社プロドローン（共同研究：株式会社アツミテック、国立研究開発法人産業技術研究所）

会社	項目	達成時期	目標
日産自動車株式会社	セル	1年目	メタルサポートセル試作完了（前プロジェクト同等の10cm ² サイズ）
		2年目	セルサイズ20cm ² 以上の実現
			L P G（ブタン）部分酸化改質反応での発電、スタックへのセル提供 セル当たり出力20%増（前プロジェクトに対し）
株式会社アツミテック	スタック	1年目	メタルサポートセルを用いたシール構造の確立 メタルサポートセルにて、100W級モジュールの試作・評価 モジュール発電出力100W以上(出力密度312.5mW/cm ² 以上)
		2年目	メタルサポートセルに適用可能なシール構造を取り入れたスタックの試作 複数枚積層した500W～1kW級スタックを試作し、性能実証
株式会社プロドローン	ドローン	1年目	計測モード（物流、点検、警備モードなど）ごとのフライトパターンを規定
		2年目	想定されるスタック出力・軽量化をベースに、仮想ドローンを設計（熱、重心、強度）
インテグレーションテクノロジー株式会社	モデル	1年目	エネルギーマネジメントロジックをシミュレーションで評価するためのドローンおよびSOFCスタックモデル構築
		2年目	1年目で構築したモデルの完成（検証への移行）
			モデルを用いた検証により、本計画内の飛行モードに従った飛行シミュレーションを実施 SOFC搭載型ハイブリッドドローンとして、バッテリーをエネルギー源とする従来のドローンよりも優れた長時間飛行をシミュレーション上で実現

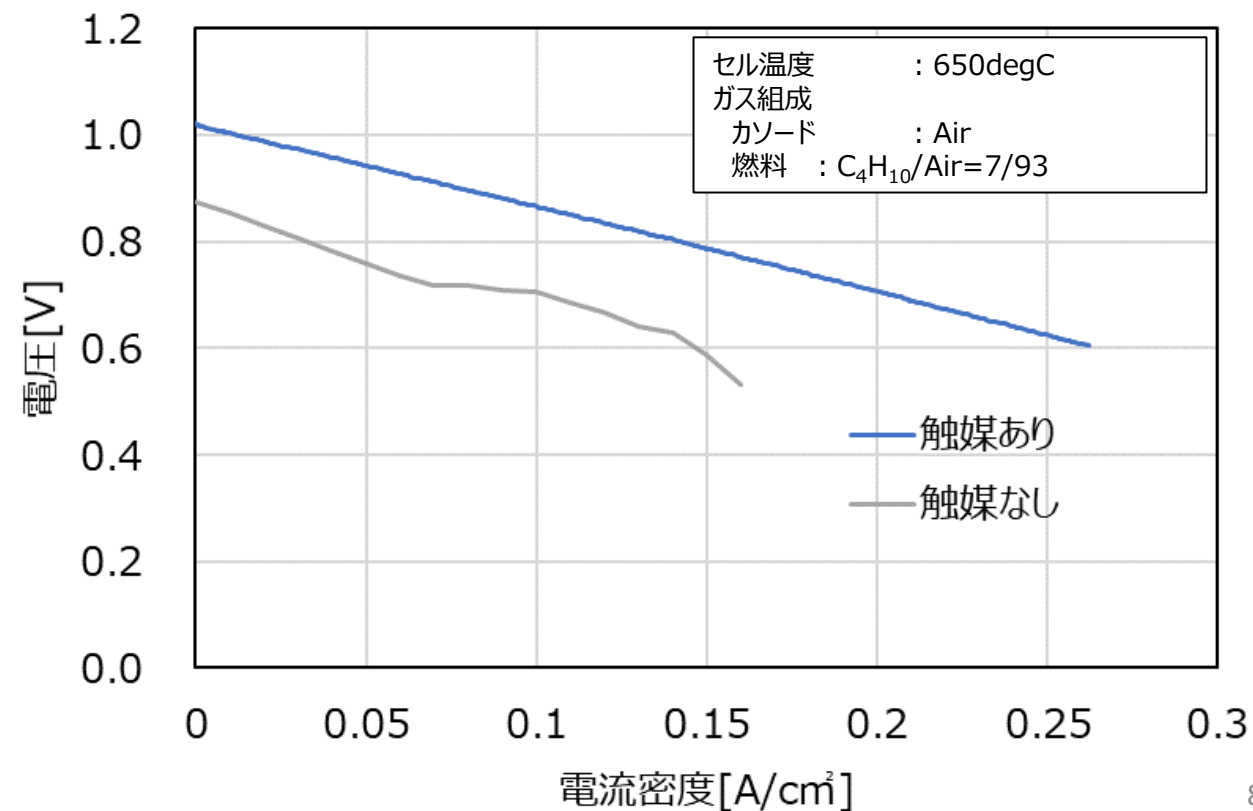
3. 研究開発成果について_セル

- 目標：セルサイズ20cm²以上の実現
結果：50cm²サイズへの大型化を達成した
- 目標：ブタン部分酸化改質反応での発電、スタックへのセル提供
結果：セル表面に改質触媒を塗布することにより、ブタン内部改質発電性能の向上を確認した

セルサイズ20cm²以上の実現



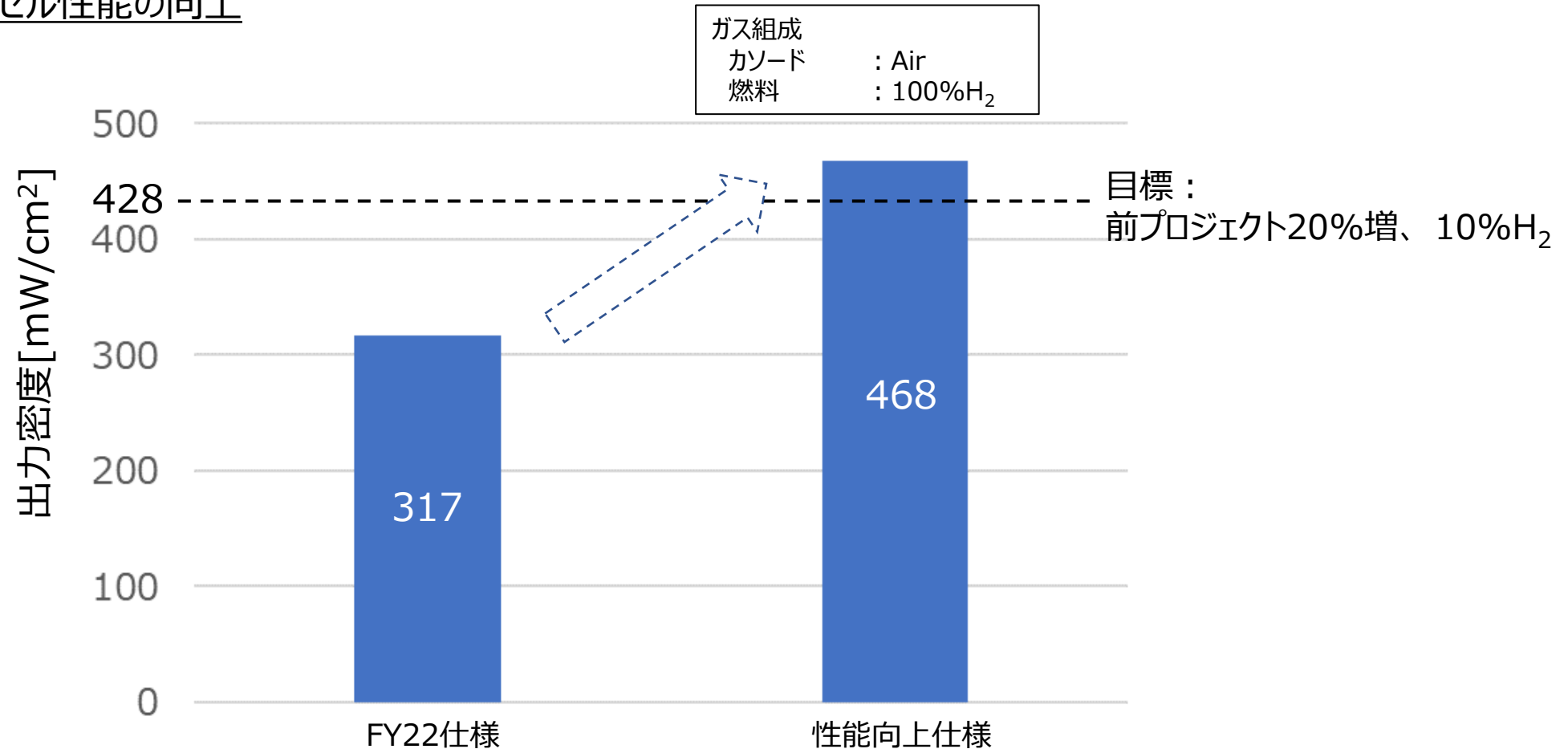
ブタン部分酸化改質反応での発電、スタックへのセル提供



3. 研究開発成果について_セル

- 目標：セル当たり出力20%増（前プロジェクトに対し）
結果：水素100%条件においては目標値を達成したが、ブタンガス条件での検証とさらなる性能向上に取り組む

セル性能の向上



3. 研究開発成果について_スタック

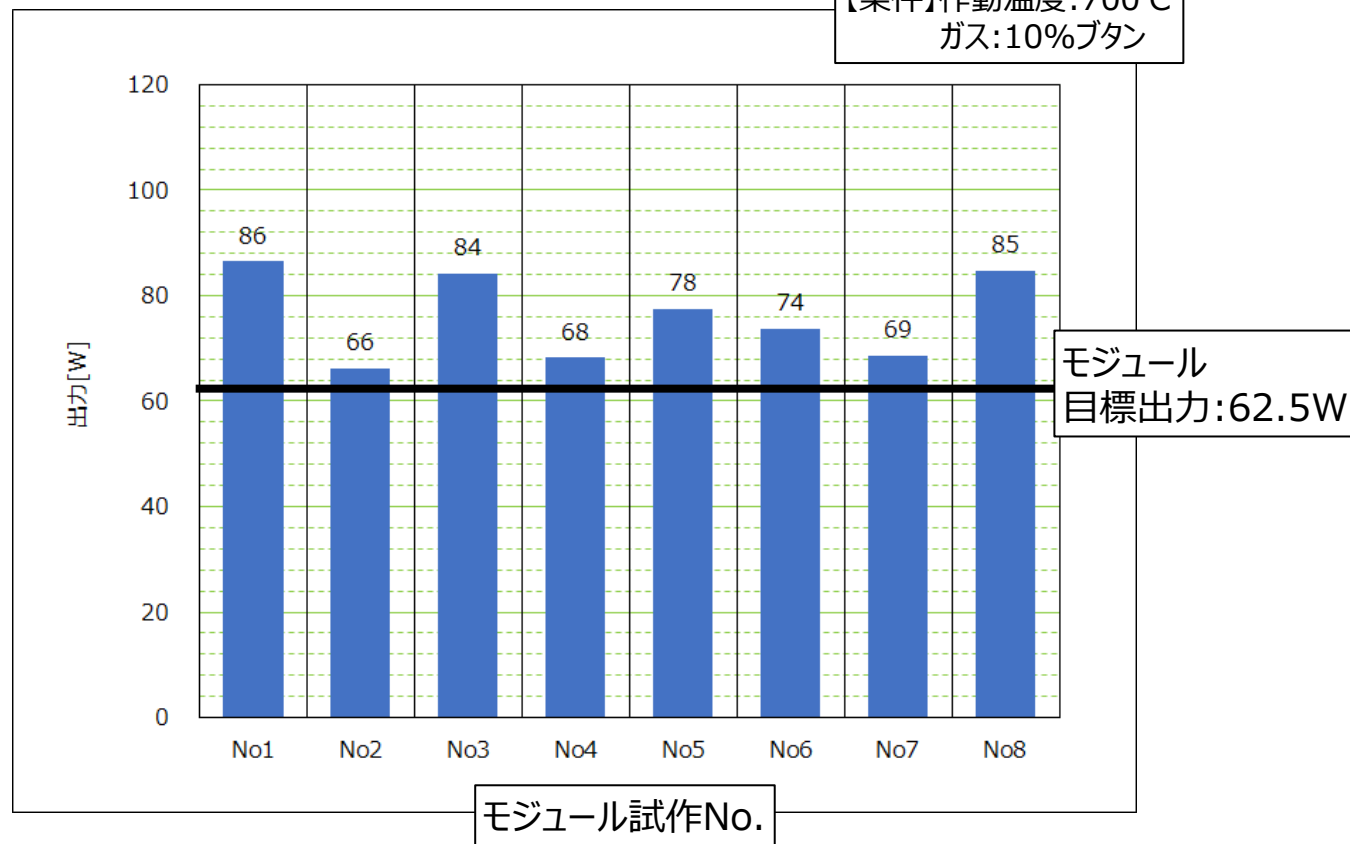
- 一年目で開発したシール構造を反映した仕様で、モジュールを試作し発電評価を行った。
- モジュール試作：12台(ユニット:3台分)

試作モジュール



モジュール発電試験の結果

【条件】作動温度:700℃
ガス:10%ブタン

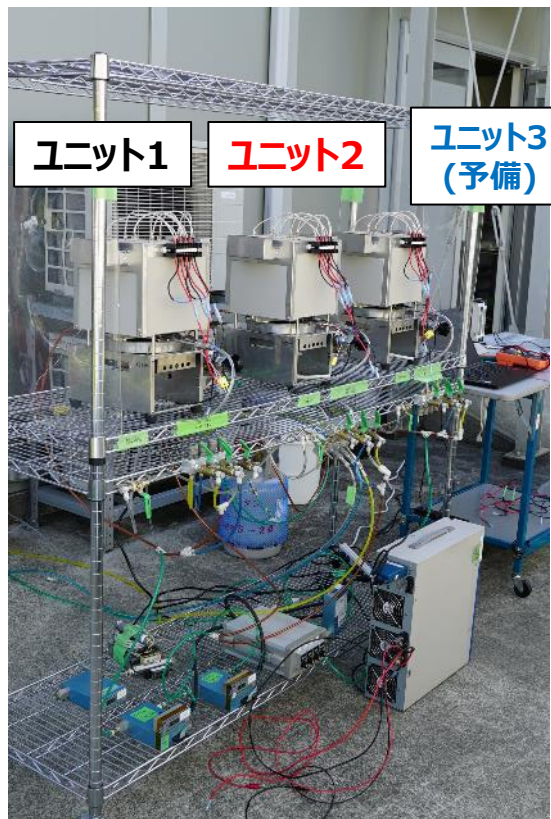


12台のモジュールを試作し、ユニット目標出力500W分の発電が確認できた。(モジュール目標出力:62.5W)
ユニット:2台接続で発電試験を実施する

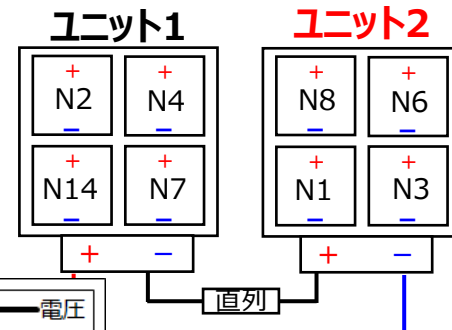
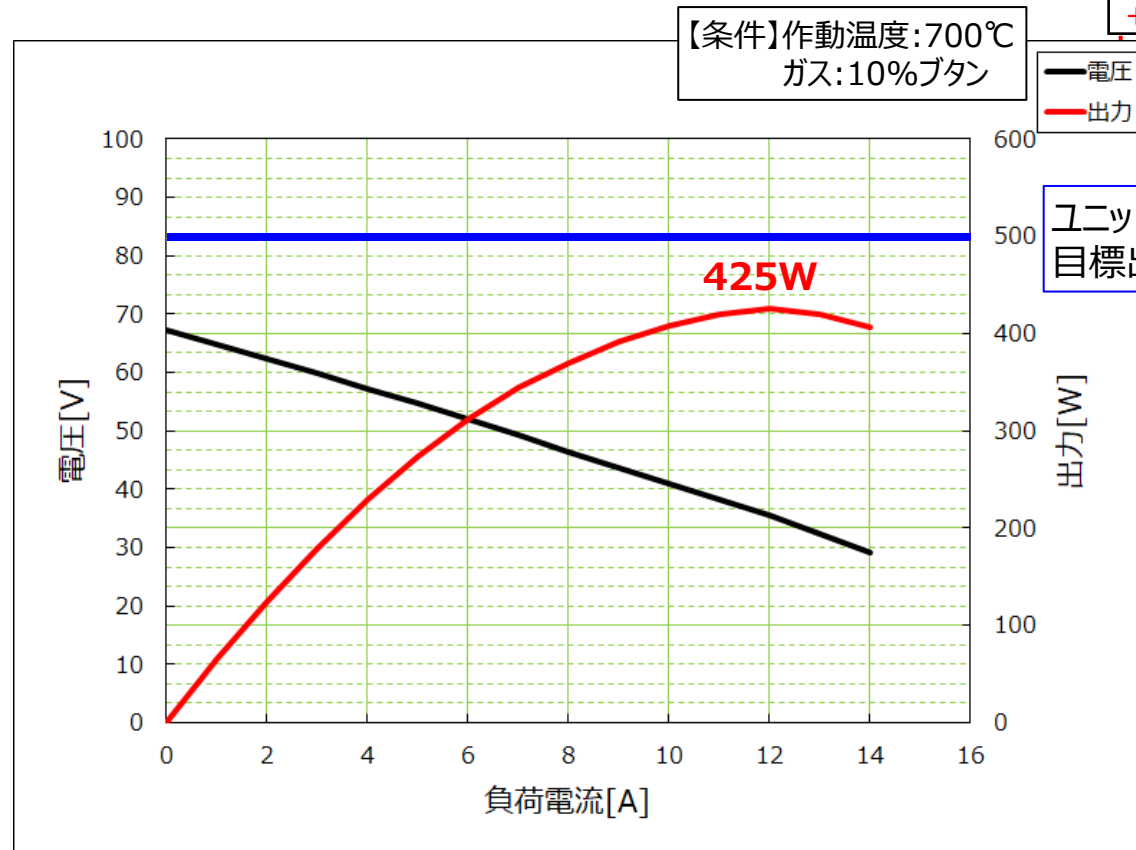
3. 研究開発成果について_ユニット

- 試作したモジュールをユニットに組み込み、発電試験を実施した。
- ユニット出力目標：500W（モジュール4台×2set）

試作ユニット



ユニット発電試験の結果



ユニットでの発電を確認し、出力は425Wであった。

・モジュール内部でのガスリーク ・導入ガスによりモジュールが冷却された などの要因により
出力が低下したと推測している、次年度の課題として取り組む

3. 研究開発成果について_ドローン

2022目標

想定されるスタック出力・重量(1.5~2kW/10kg)をベースに、仮想ドローンを設計する。この際、熱設計と重心設計および強度設計について検討を行う。

2022成果

1年目に計測した電力データをフライトパターンに沿って計測し、仮想ドローンの設計および仮想ドローンの検証のための実機製作、およびシミュレーション環境の構築を進めた。右表は仮想ドローンのスペックで、右グラフは電力計測結果の一例である。

仮想ドローンのうち、中型機を検証するための実機を設計・製作した。右写真は製作した検証用ドローンである。各種センサを搭載しやすいよう、メインボディはカーボンプレート2枚を挟んだ形とし、機体の各要素にアクセスしやすい形とし、離陸重量は11.8kgとなった。なお通常PRODRONE社のフライトコントローラ（以下FCと表記）は独自のもの（PD-FC1）を用いるが検証結果の再現性を確保するためPixhawk（Ardupilot）仕様に準拠した、汎用のFCであるCubePilot社のCubeOrangeを用い、設定と調整を行なった

クラウド環境にデータをアップする仕組みを作成したことから、リアルタイムで複数のデータ処理アプリケーションへデータを送ることが可能となった。

これは今後シミュレータとの比較を行うにあたり便利な機能であるシミュレータとしてはクラウドサービス（AWS）を利用し、仮想サーバ上で動作するよう設計・構築を行なった。

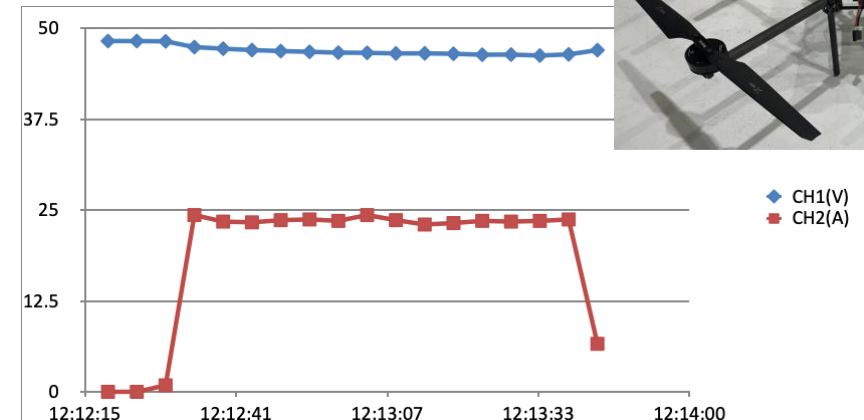
仮想ドローンスペック

機体タイプ	機体概要
撮影用長時間運行機体：中型機	ペイロードとしては最大でも2kg程度、通常1kg程度のカメラのみを想定し、長時間運用のために燃料電池スタックを搭載するドローン 燃料電池スタック：5kg 1300W ペイロード：1kg 巡航可能離陸重量：11.5kg（うち、タンクと補機1.5kg）
物流用機体：大型機	ペイロード8kg程度を想定し、長距離の物流用途を想定するドローン 燃料電池スタック：12kg 3300W ペイロード：8kg ドローン離陸重量：30kg（うち、タンクと補機2.5kg）

製作した検証用機体



電流・電圧計測データ



3. 研究開発成果について_エネルギー管理モデル

【2022年度 目標 ⇒ 成果】

1. ハイブリッドドローンシミュレーションモデルの完成

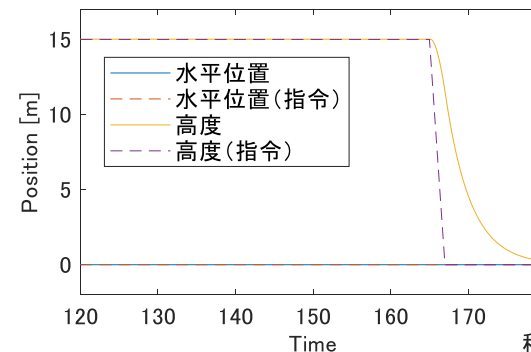
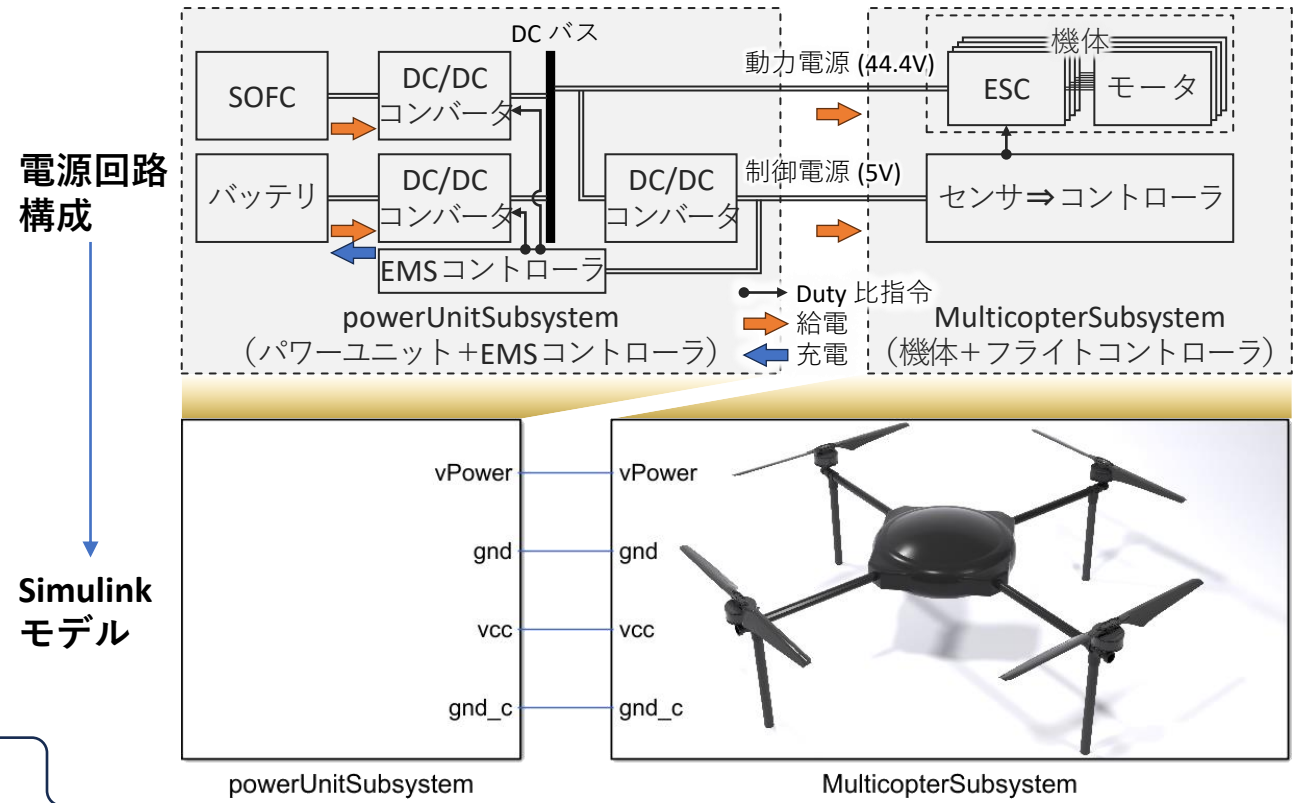
- ⇒ プロペラ駆動モータへの電力供給を SOFC とバッテリーの併用で行うドローンの飛行と電力消費を仮想検証するためのモデルを作成
- ⇒ 下表を想定した機体タイプでモデルを構築した (プロペラ数が4つのクアッドコプタモデル)

機体タイプ	機体概要
撮影用 長時間 運行機体 ：中型機	(基本的にはプロドローン社策定の 中型機 仕様を継承 ⇒ シミュレーション都合で各種数値を微調整) ・ 燃料電池スタック : 7.5 [kg] 1300 [W] ・ ペイロードなし ・ 最大離陸重量 (MTOW) : 13 [kg] (ボディ+バッテリー 5.5 [kg])

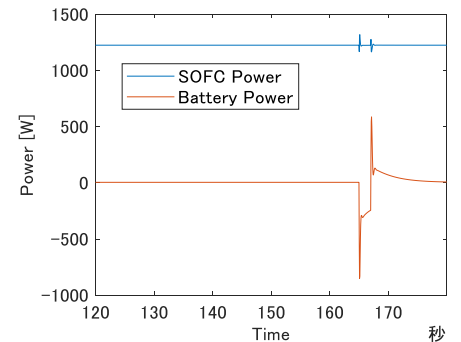
2. フライトパターンに従ったシミュレーションの実施

- ⇒ プロドローン社策定のフライトパターンのうち 次の6種をシミュレーションモデルに実装
 - (a) ホバリング | (b) 定速移動 | (c) 点検モード
 - (d) 運搬モード | (e) 物流モード | (f) 監視モード)
- ⇒ シミュレーションを実行して 各フライトパターン時の電力性能シミュレーションデータを取得

(右図は代表例；(a) ホバリング)



フライトパターン飛行指令



消費電力性能

3. 研究開発成果について_エネルギー管理モデル

【2022年度 目標 ⇒ 成果】

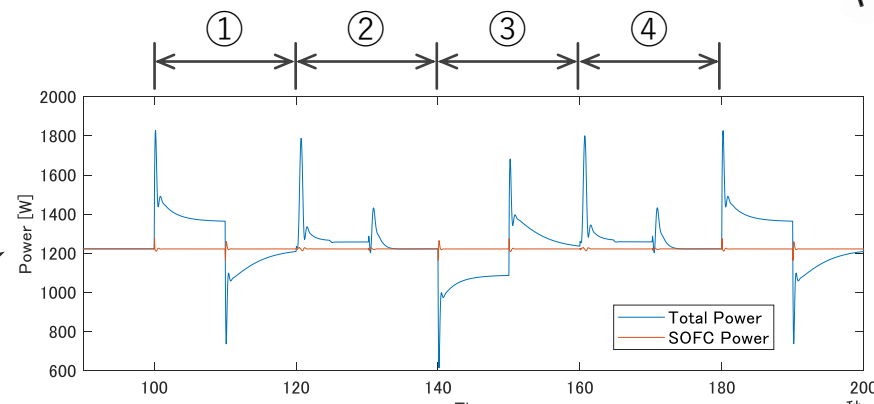
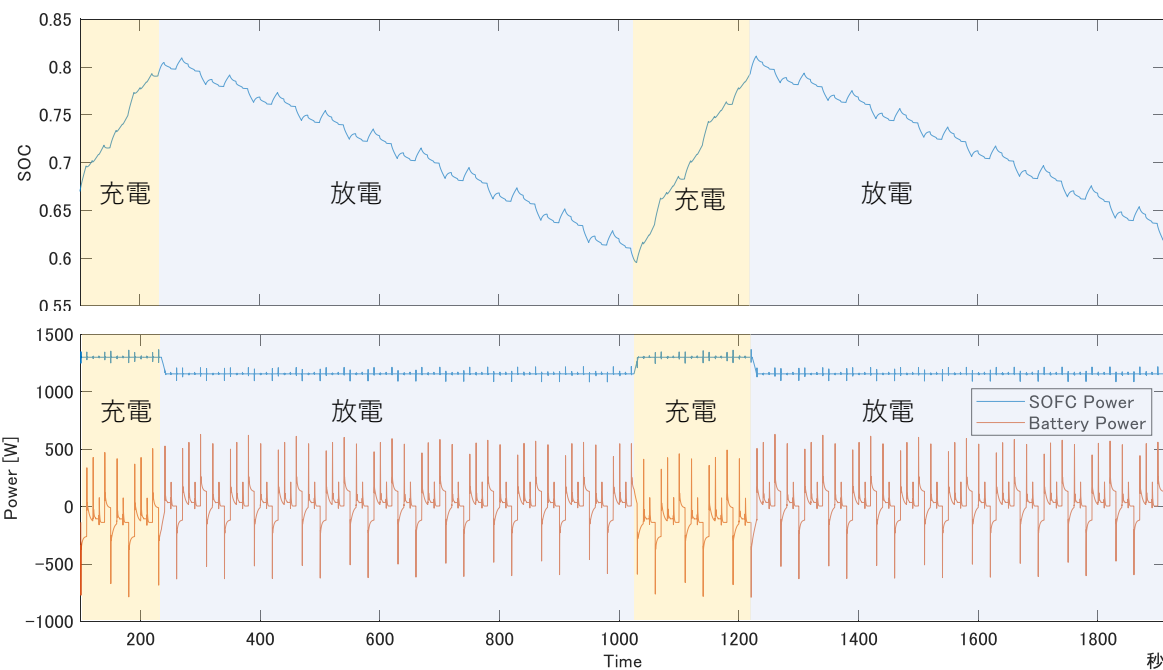
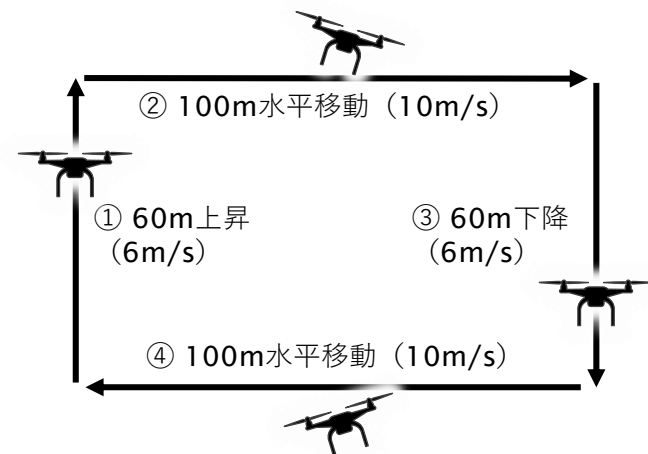
3. SOFC 搭載型ハイブリッドドローンとしての長時間飛行をシミュレーション上で実現

⇒ エネルギー管理制御の戦略を下記に設定

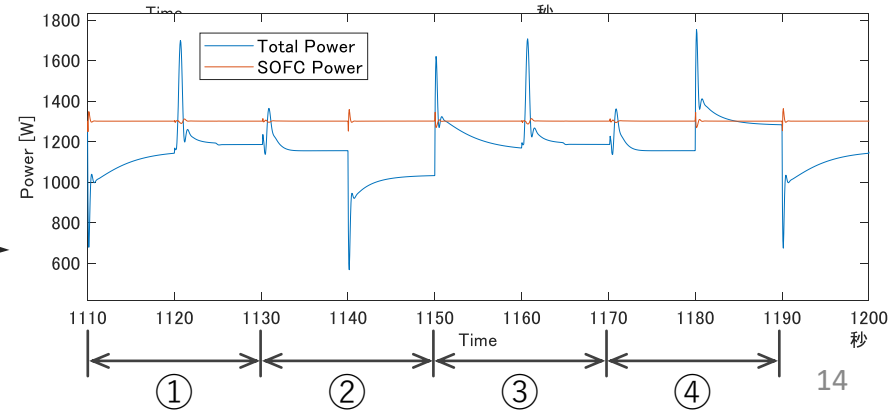
- SOFC : 消費電力変動を一定とするようにDC/DCコンバータで出力を調整
 - バッテリー充電率 (SOC) が下限設定値を下回った場合は出力を上げて充電
 - バッテリー充電率 (SOC) が上限設定値を上回った場合は出力を下げる
- バッテリー : 二次側 (消費側) の電圧を一定に保つようにDC/DCコンバータで出力を調整

⇒ 80 秒で 1 サイクルの検証用パターンにて長時間飛行を実施 (右図)

⇒ 制御戦略どおりの挙動を示すことを確認 (下図)

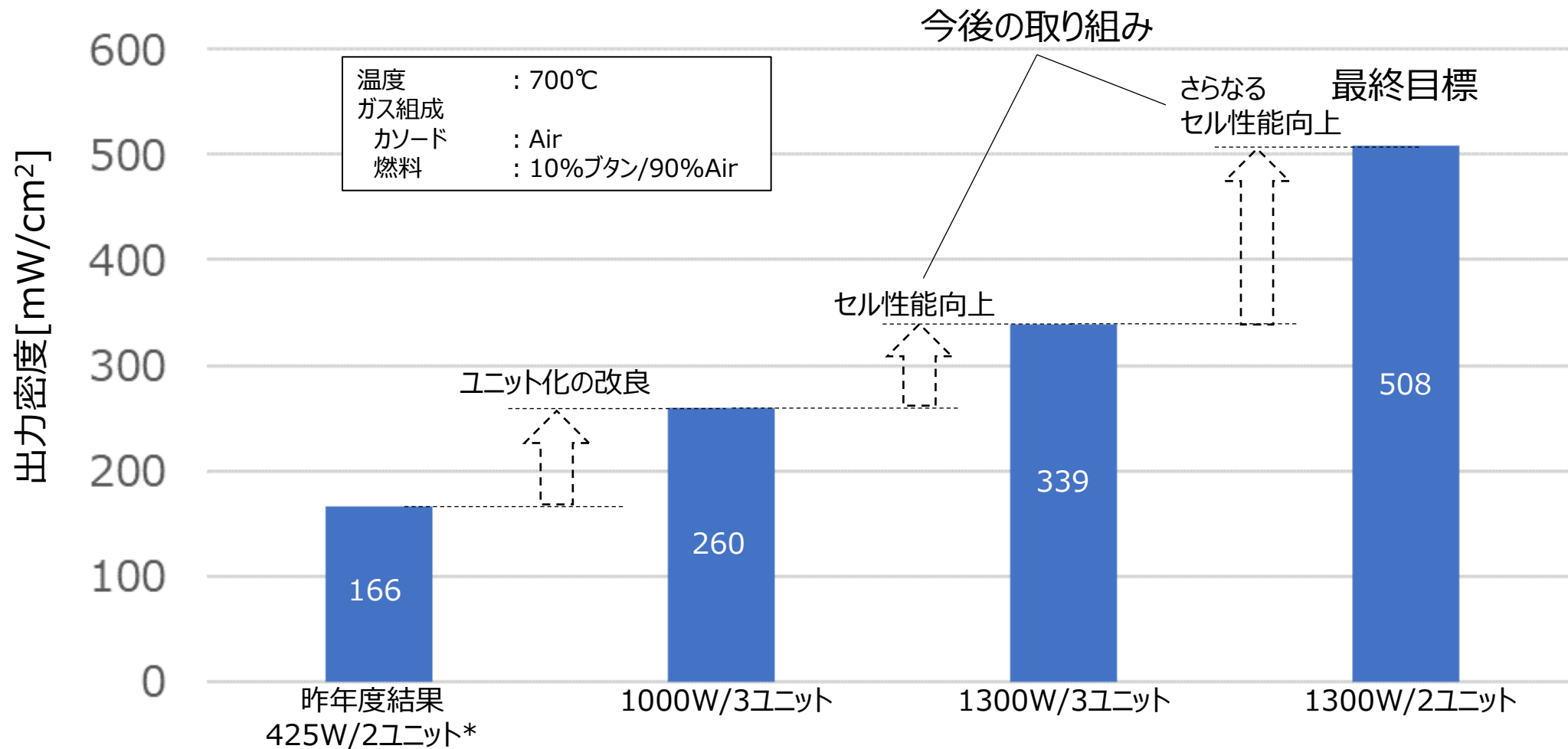


バッテリー放電時↑
充電時→



4. 今後の見通しについて セル/スタック

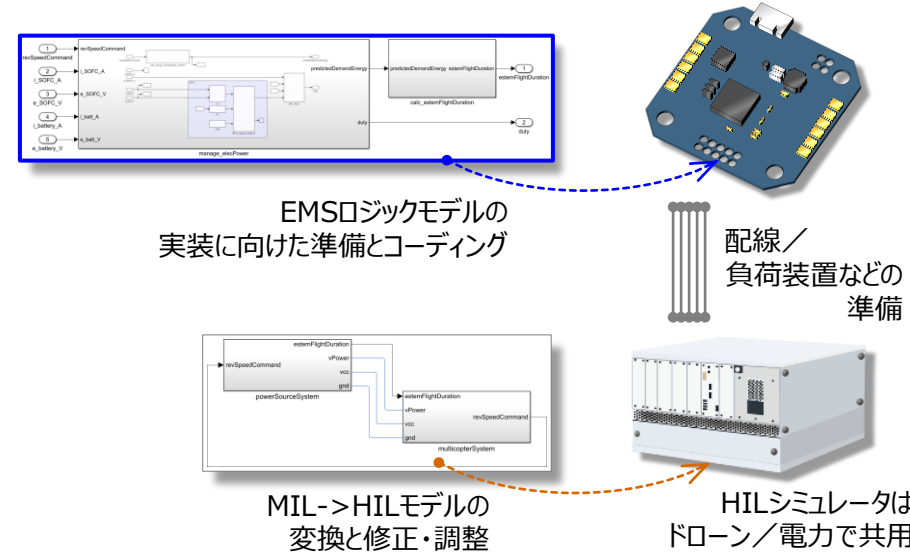
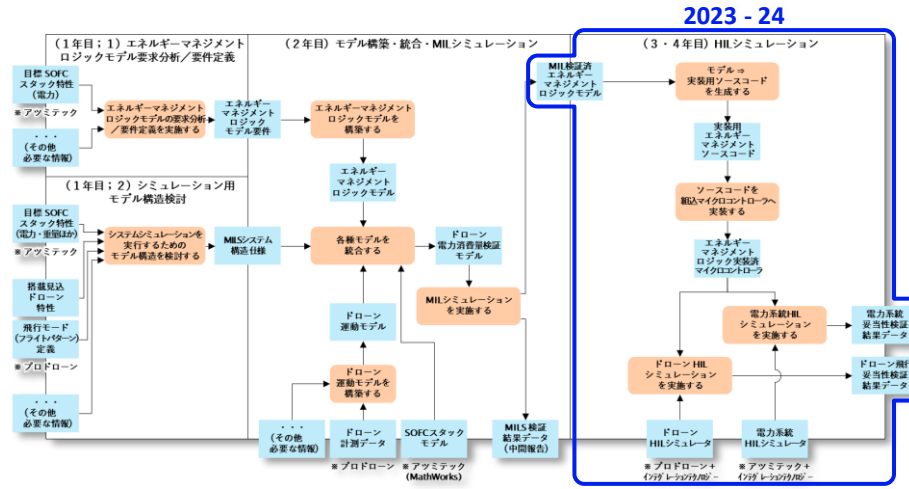
- ▶ 今年度、ユニット化の改良とセル性能向上により、 $339\text{mW}/\text{cm}^2$ ($1300\text{W}/3$ ユニット)の達成見込みを得る
- ▶ さりなる性能向上により、最終目標の $508\text{mW}/\text{cm}^2$ の達成を目指す



*4モジュール/1ユニットで換算

4. 今後の見通しについて ドローン/モデル

- SOFCおよび機体設計をもとに、電力/ドローンの各システムに対してHILシミュレーションの環境を構築して、制御の実時間シミュレーションを実施



青実線枠：2023-24 実施内容	2023				2024			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
EMSロジックモデル実装	■	■						
ドローンHIL環境構築								
電力HIL環境構築								
ドローンHIL実行								
電力HIL実行								

▲ HILシミュレータ実機調整開始

▲ との接続

▼ との接続

SOFC実機との接続