

航空機用先進システム基盤技術開発
航空機用再生型燃料電池システム

評価用資料

平成 27 年 3 月 26 日

株式会社 I H I

目 次

1. 事業の目的・政策的位置付け.....	1
1-1 事業の目的.....	1
1-2 政策的位置付け.....	1
1-3 国の関与の必要性.....	4
2. 研究開発目標.....	6
2-1 研究開発目標.....	6
2-1-1 全体の目標設定.....	6
2-1-2 個別要素技術の目標設定.....	7
3. 成果、目標の達成度.....	9
3-1 成果.....	9
3-1-1 全体成果	
3-1-2 個別要素技術成果	
3-1-3 特許出願状況等	
3-2 目標の達成度.....	15
4. 事業化、波及効果.....	16
4-1 事業化の見通し.....	16
4-2 波及効果.....	18
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等.....	19
5-1 研究開発計画.....	19
5-2 研究開発実施者の実施体制・運営.....	20
5-3 資金配分.....	20
5-4 費用対効果.....	21
5-5 変化への対応.....	21

1. 事業の目的・政策的位置付け

1-1 事業目的

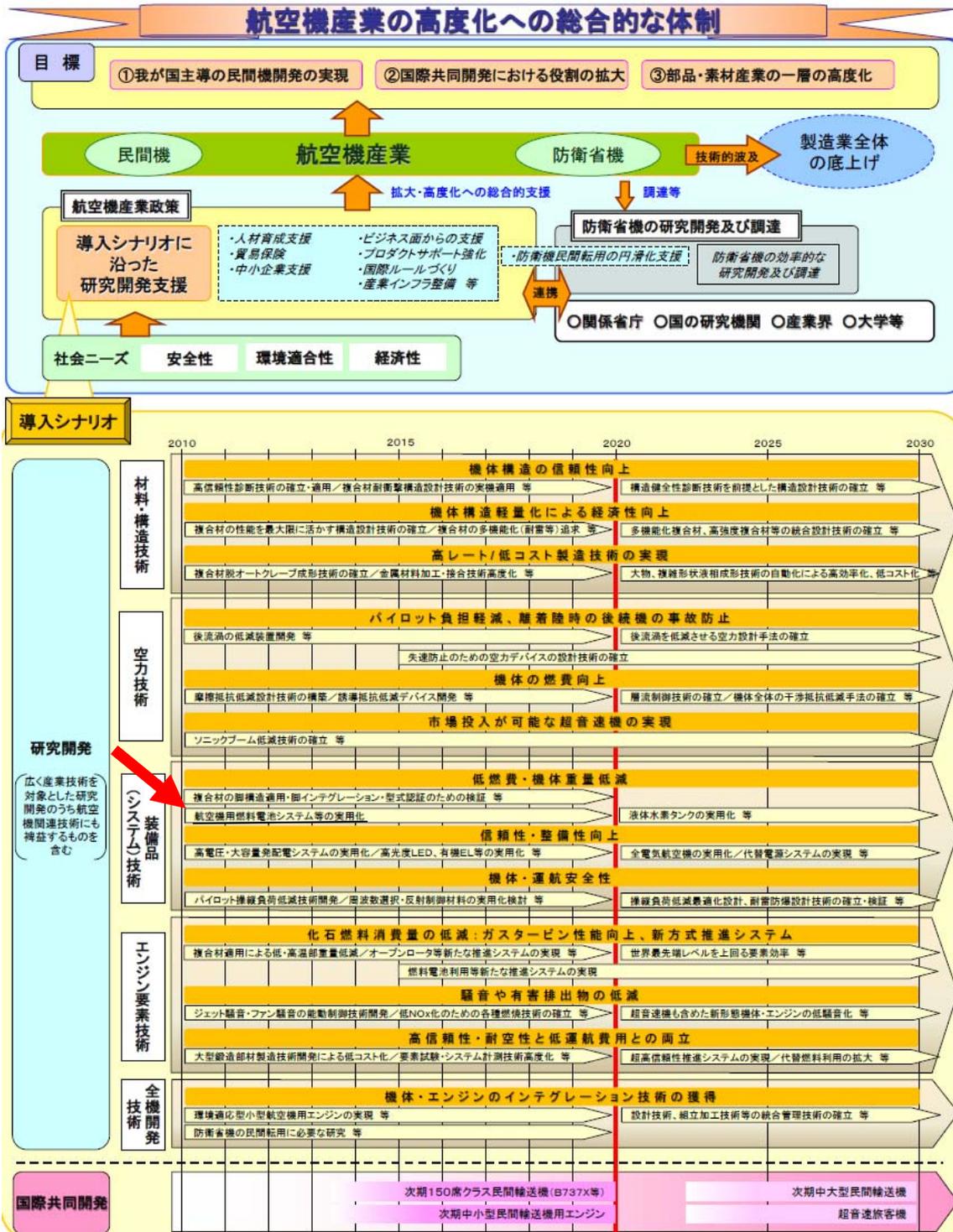
航空機用電源システムの一部として未だ航空機に適用されていない「燃料電池で構成される電源システム」を採用することにより、航空機電源システムの省エネルギー化／CO₂排出削減化を図ることを事業目的とする。

1-2 政策的位置付け

航空機用燃料電池は、技術戦略マップ2010において低公害（低燃費）に寄与する技術として位置付けられている。

本研究では、高効率でしかも電力供給の平滑化を可能にする再生型燃料電池システム（以降、RFCシステム）技術の研究開発を行う。RFC技術は我が国が強みを有する技術分野だが、未だ航空機に適用されていないもので、航空機への適用を可能とするための研究開発を実施することにより、この分野で我が国産業が中核的な立場を担うことを目指す。

参考資料（出所：技術戦略マップ2010）



装備品(システム)技術分野 ー概要及び課題ー

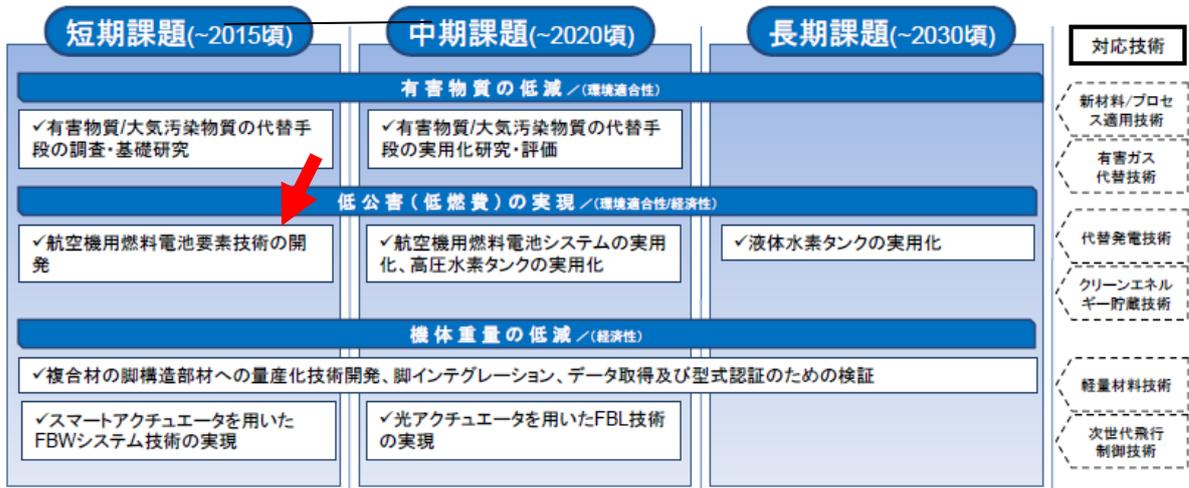
技術の概要

航空機用装備品の開発においては、航空機の利便性を向上させつつ、安全性、環境適合性、経済性を高度に両立しなければならない。その際、先進操縦/コックピットシステム等の飛行安全性向上技術、全電気化を主体とする低燃費化/整備性向上技術、代替発電/クリーンエネルギー貯蔵等の環境性適合技術、ならびに高い安全性と経済性を両立する設計・製造・試験基盤技術等の高度化を図る必要がある。

国際競争力

海外の装備品サプライヤはM&Aを繰り返し巨大な企業に成長してきている。その巨大なビジネスを背景にシステム単位で受注してきており、わが国のサプライヤは国際共同開発機においてもビジネス機会が縮小し、技術蓄積の面で不利になる状況が拡大している。さらに、EUでは、航空機の耐環境性改善を戦略的アイテムとし、全電気式航空機などの研究開発に国家レベルで巨額の予算を投入して推進しており、技術レベルの差がますます増大しつつある。

主要技術課題(1/3)



1-3 国の関与の必要性

将来の航空機では、省エネルギー化／高効率化のために動力源として油圧・空気圧に代わり電力が主流となると考えられている。また、航空機に搭載する電子機器、娯楽設備も増加の方向にあり、電力需要は増加の一途にある。そのため、航空機内での発電量、発電のためのエネルギー投入量も増加しており、電源システムの高効率化が必要な状況となってきた。従来のガスタービン補助電源（以後APU）では、発電端効率は20%以下であり、また、ジェットエンジン駆動発電機も40%以下だが、燃料電池では50%以上を期待でき、高効率なシステムとして期待されており、航空機の省エネルギー化に貢献できる。

航空機用電源システムの効率化のための方策の一つとして航空機の使用電力の平滑化がある。航空機における電力需要は、図1に示すように、地上移動中や滑走中、高空からの降下中、着陸後の滑走中は電力が不足しがちであり、高度上昇中と巡航中には電力が余る。高度上昇中と巡航中に生じる余剰電力を蓄電し、電力が不足する場面で供給できれば、効率の低いAPUやジェットエンジン駆動発電機を大容量化せずに対応でき、エネルギーを効率的に活用できるようになる。

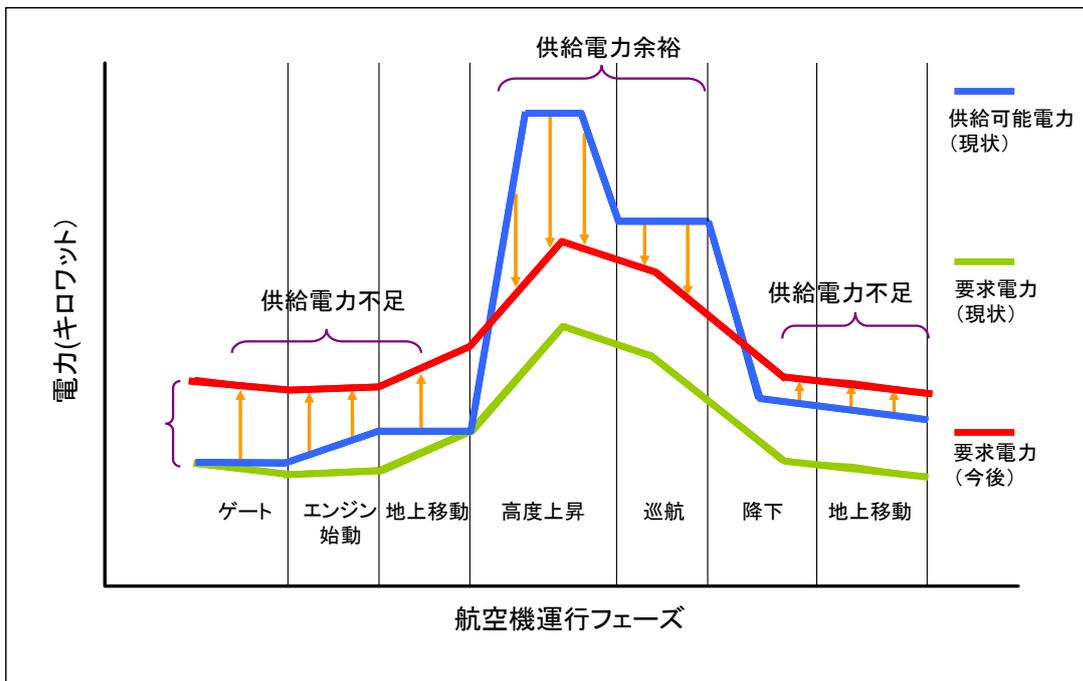


図1. 航空機での電力需要／供給プロファイル例

また、再生型燃料電池では、水素・酸素による発電を行うため、CO₂の排出量がゼロであり、CO₂排出量削減に貢献できる。

このように、航空機用再生型燃料電池システムは、航空機の環境性能向上に寄与するシステムであるが、システムの成立に必要な航空機向けのコンポーネント技術が成熟しておらず、民間で実施するにはリスクが高いため、国の関与が必要である。

2. 研究開発目標

2-1 研究開発目標

2-1-1 全体の目標設定

表 1. 全体の目標

目標・指標	設定理由・根拠等
ボーイング社による環境技術実証機に搭載可能で、発電端効率50%以上である高効率な再生型燃料電池（RFC）システムの技術実証を行う。	ボーイング社の環境技術実証機を用いての飛行実証を計画しており、これに搭載可能な再生型燃料電池（RFC）システムを構築する必要がある。 燃料電池は、従来の航空機ガスタービン補助電源（発電端効率20%以下）たジェットエンジン駆動発電機（同40%以下）に比べ同50%以上を期待でき、高効率なシステムとして期待されている。

2-1-2 個別要素技術の目標設定

航空機搭載用のRFCシステム実現のための個別要素技術の目標は以下の通りに設定した。

表2. 個別要素技術の目標

要素技術	目標・指標	設定理由・根拠等
気液分離技術	気液分離器を組み込んだ15kW級RFC原理確認モデルを製作し、水回収ができること。	高効率発電を維持するため、水電気分解時に発生する酸素・水素から適切に水分を除去する必要がある
航空機搭載システム インテグレーション	飛行環境に耐えうるRFCシステムの確立	航空機搭載を実現するため、振動・衝撃等の飛行環境条件下で動作する必要がある。
	航空機との接続インターフェースの整合性確保	航空機搭載条件下で動作する必要がある。
水素の安全性確保	飛行安全を確保する安全機構の確立	水素の航空機搭載についての規定・ガイドライン等は未整備であり、飛行安全を確保するための安全機構を新規に構築する必要がある。

<補足>

1) 気液分離技術

燃料電池において水素／酸素ガス反応によって発電及び酸素極側に水が生成される。この生成水がその後の燃料再生の源となる。従って、生成水の確実な捕捉がシステムのサイクル寿命を規定する。また水電解において水タンクから供給される水はスタックにおいて水素／酸素ガスに分解されるが、酸素ガス発生側には未電解の水が残る。この余剰水分を確実に回収しないとガス生成効率を低減させてしまう。

以上のように、燃料電池酸素ガス系統及び水電解酸素ガス系統にはかなりの量の水分が含まれたためこれらを確実に分離して水タンクに貯蔵することがRFCのサイクル寿命／発電時間を左右する。従って、水分回収効率の高い気液分離技術の採用が重要である。

2) 航空機搭載システムインテグレーション

航空機に搭載するためには、航空機に搭載機器に要求される耐環境性（振動、衝撃、周囲温度、姿勢及び電磁場環境）を有していなければならない。また、限られた空間に設置可能であり軽量である必要がある。再生型燃料電池を構成する個々要素について、航空機搭載に適している方式を選定し、それらを組み合わせた際に全体のシステムとして航空機の環境に耐えて確実に動作する必要がある。

また、航空機搭載にあたり、航空機側との電力・構造等の各種インタフェース条件を設定し、これに整合させる必要がある。

3) 水素の安全性確保

航空機の飛行安全を確保するために、航空機用装備品には高い信頼性と安全性が求められる。R F Cシステムでは酸素、水素という燃料を気体の状態で貯蔵するため、非常時に燃料ガスを安全に、且つ確実に排出できることが、航空機の安全性を確保するためには必須の機能となる。特に水素については航空機搭載についての規定・ガイドライン等は未整備であり、飛行安全を確保するための安全機構を新規に構築する必要がある。

3. 成果、目標の達成度

3-1 成果

3-1-1 全体成果

ボーイング社の環境技術実証機に搭載可能で、発電端効率50%以上である高効率な再生型燃料電池（RFC）システムの技術実証を完了した。

本システムは、ボーイング社の環境技術実証機に搭載され、世界で初となる再生型燃料電池の飛行実証に成功した。

3-1-2 個別要素技術成果

(1) 気液分離技術

加湿ガスから水分を分離する気水分離方式は化学プラントで各種使用されており、大別して熱交換方式と吸水膜方式の2方式がある。吸水膜方式は積極的な水分離が難しいため、熱交換方式を採用することとした。

また、分離後の水回収は重力方式及び遠心力方式があり、遠心力方式では水回収力を自由に決められるメリットがあるが、そのために追加の補機（遠心ポンプ）及び電力が必要になる。今回のRFCシステムでは水回収のための時間的制約は大きくないため受動的ではあるが重力による水回収を選択した。

15kW級RFCを成立させるための各種条件について考慮し、設計した気液分離器の概観図を図2に示す。本気液分離器は平成21年度に製作した15kW級RFC原理確認モデル（図3）に組み込み、水回収ができることを確認した。

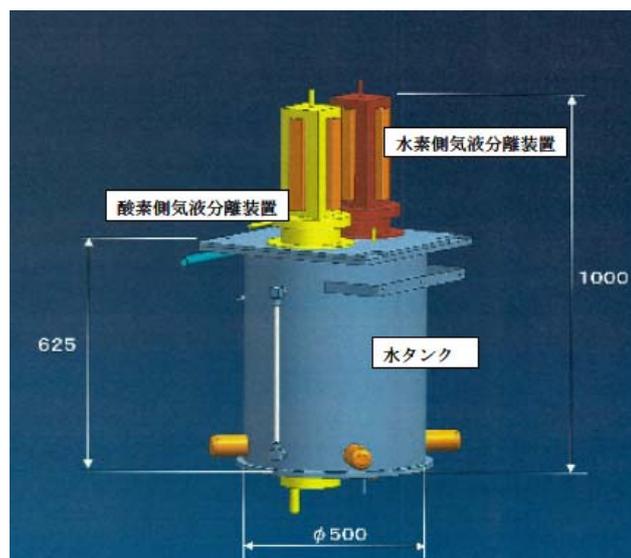


図2. 気液分離器概観図

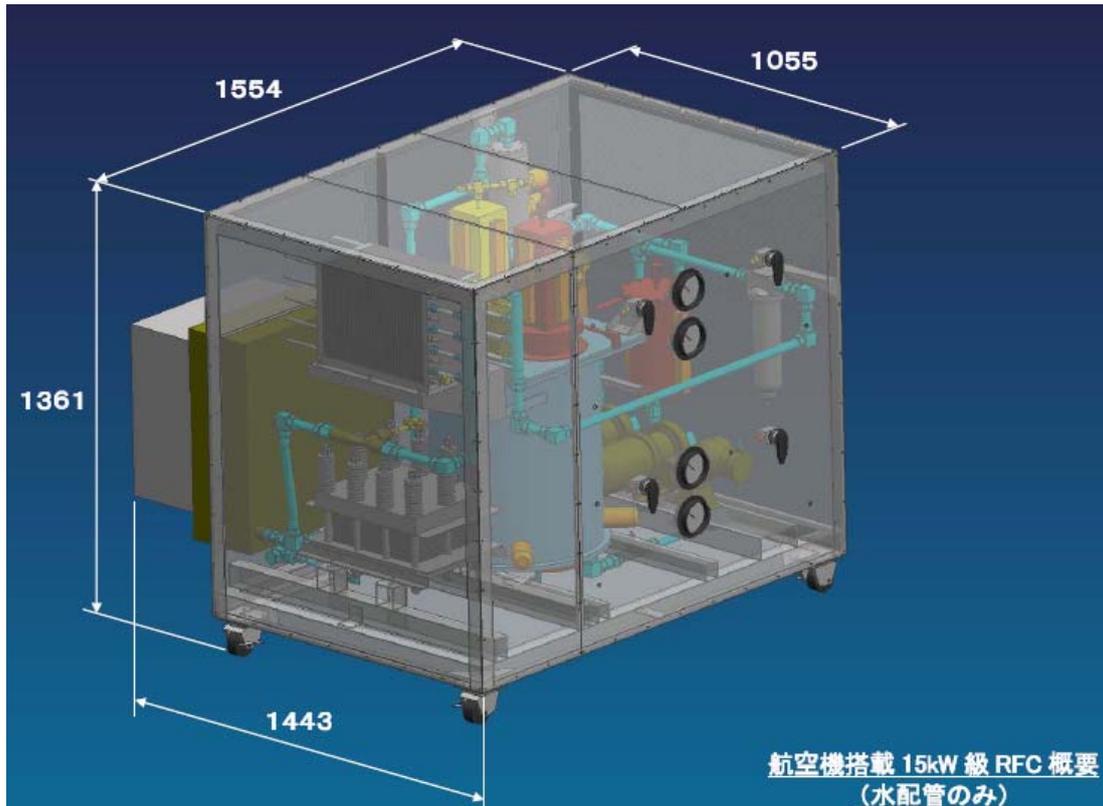


図3. 15kW級RFC原理確認モデル概観図

(2) 航空機搭載システムインテグレーション

平成21年度に製作した原理確認モデルの小型化検討を実施し、ユニット化を実施した（図4に示す）。

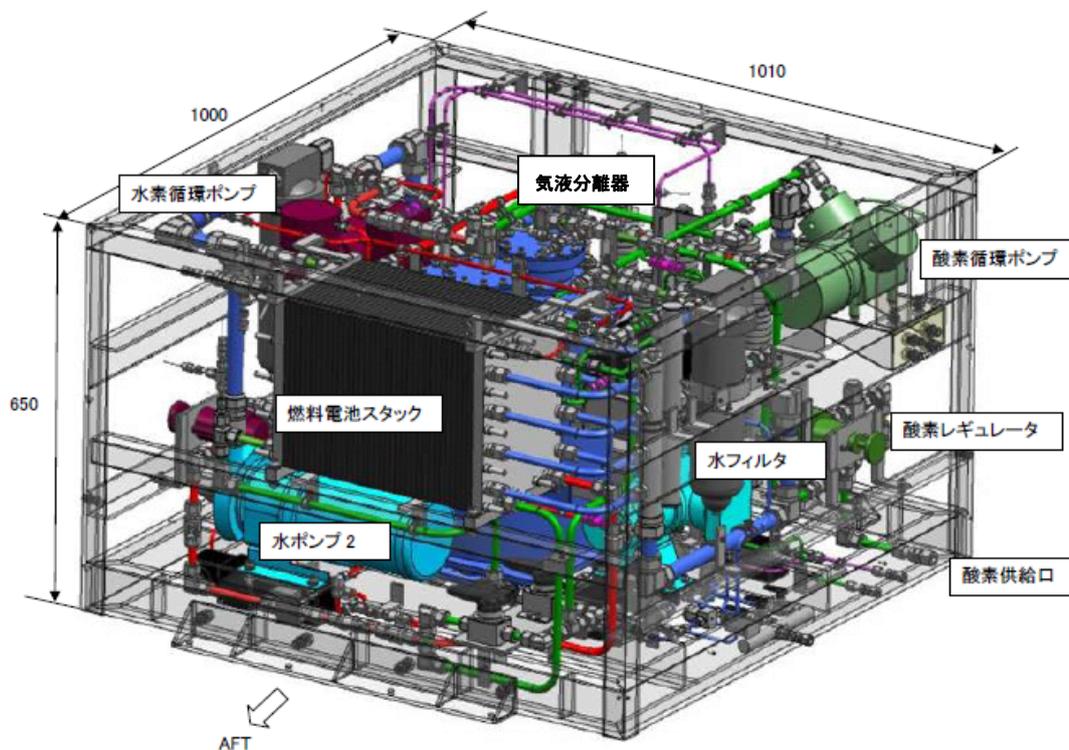


図4. R F C小型化検討結果（メインユニット部）

また、原理確認モデルではユニット化されていなかった水素タンク、酸素タンクについてもそれぞれ水素タンクユニット、酸素タンクユニットとしてユニット化を実施した。

なお、原理確認モデルでは一体となっていた冷却ファンは、航空機搭載寸法を満たすため、分離させ、別置きのラジエータファンユニットとした。

RFCシステム全体の概観図を図5に示す。これらは、実証試験機（B737-800型機）の後部貨物室に搭載できる寸法・重量となっている。

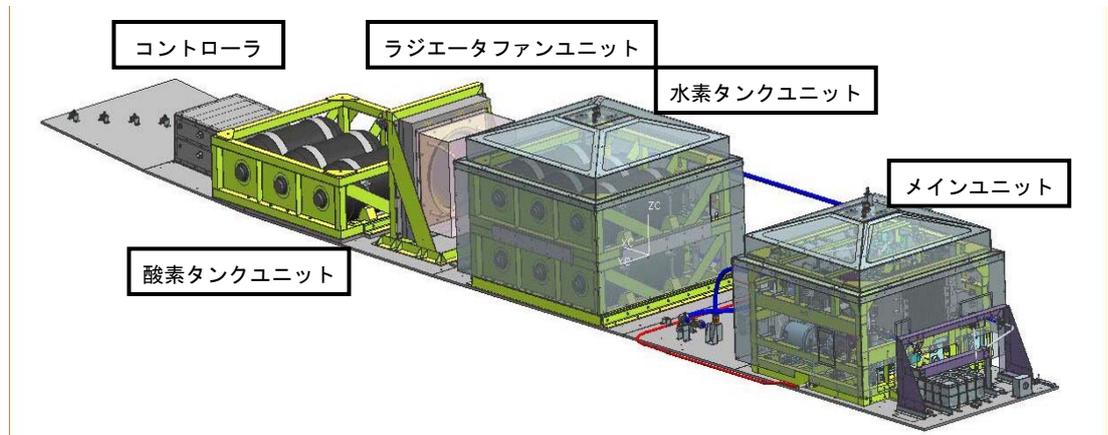


図5. RFCシステム概観図

また、小型化したモデルによる耐環境性試験として姿勢試験、EMI試験、振動試験を行い、航空機搭載にあたっての技術課題として、以下を抽出した。

- 振動試験において、フレーム溶接部位に一部損傷が認められた。溶接部の傷の原因は溶接不良であり、溶接工程の管理および周辺部の補強検討を行い、フライトモデル設計への反映を実施した。
- EMI試験において、RFCコントローラからの発生ノイズが支配的であり、航空機搭載にあたりノイズ低減を求められる可能性があることが判った。RFCコントローラはEMI要求を満足させるため、新規にフライトモデルの設計・製作を行うこととした。

また、製作したフライトモデルを用い、米国にてボーイング側の機器（航空機模擬電源、燃料電池出力負荷、航空機搭載用ベースプレート）とのインタフェース試験を実施し、航空機への搭載インタフェースに問題がないことを確認した。

(3) 水素の安全性確保

飛行安全確保のためのシステム安全機構および非常停止プロセスについて検討を行い、水素漏れに備えたシステムの換気、水素センサを用いた安全化処置機能をR F Cシステムに設けることとした。また、安全性を確保するために要求されるシステムの信頼性を満足させるため、必要な部品については高信頼性部品を使用することとした。

また、水素漏れに至る要因として、R F Cシステム内での過熱・過加圧を識別し、これらについても安全策を施した。

さらに、緊急着陸時などの非常時を想定し、R F Cシステム内水素を機外へ緊急排出する機能を追加した

3-1-3 特許出願状況等

論文、投稿、発表、特許リストを表3に示す。

表3. 論文、投稿、発表、特許リスト

	題目・メディア等	時期
論文	AIAA Regenerative Fuel Cell (RFC) for High Power Space System Applications	H25.7
投稿	OHM 2010年8月号 「特集 航空技術最前線－航空機用燃料電池」	H22.10
発表	ボーイング/IHI 共同記者会見	H22.3
	JA2012「再生型燃料電池（RFC）飛行試験実証」	H24.10
	第20回燃料電池シンポジウム 「航空機電源への再生型燃料電池の適用について」	H25.5
特許		

3-2 目標の達成度

本研究における目標の達成度を表4に示す。

表4. 目標に対する成果・達成度の一覧表

要素技術	目標・指標	成果	達成度
気液分離技術	気液分離器を組み込んだ15kW級RFC原理確認モデルを製作し、水回収ができること。	気液分離器を組み込んだ15kW級原理確認モデルにて水回収ができることを確認した。 (平成21年度)	達成
航空機搭載システムインテグレーション	飛行環境に耐えうるRFCシステムの確立	小型化・耐環境試験を行い、航空機に搭載可能なRFCシステム試作品の製作を完了した (平成22年度)。	達成
	航空機との接続インターフェースの整合性確保	ボーイング機器との接続試験を完了した (平成24年度)。	達成
水素の安全性確保	飛行安全を確保する安全機構の確立	水素爆発に関する安全性解析を実施し、飛行安全を確保するための安全機構を設けた (平成23年度)。	達成

4. 事業化、波及効果について

4-1 事業化の見通し

本研究における成果物は、飛行実証試験に供されるが、事業化にあたっては、以下に示す技術課題の解決に取り組む必要がある。

(1) 小型軽量化

航空機の燃費向上に貢献するには小型軽量化を図る必要がある。

(2) 信頼性向上

航空機搭載にあたり求められる信頼性を満足させる必要がある。

(3) 耐久性向上

航空機での長時間運用に耐える耐久性を持たせる必要がある。

(4) 機体システムへの組み込み検討

RFCシステムの航空機への配置検討、RFCで発生する熱の機体内での有効活用、水素の安全性確保等を考慮し、RFCシステムの機体への組み込みの最適化について検討していく必要がある。

(5) コスト低減

事業化にあたり、燃料電池を始めとするコンポーネントのコストを下げ、機体メーカーに販売可能なコストとする必要がある。

RFCシステムを航空機に搭載するには、RFCシステム分の重量・スペースを確保する必要があり、この重量増分が燃費にとってはマイナスになる。従って、RFCシステム搭載を前提とした新造機への適用が妥当と考えられ、その時期は2020年以降と考えられる。

アプリケーションとしては、まずは30kW級の非常用電源、ついで100kW級APU代替を狙うのが妥当と考えられる。100kW以上の大出力化を実現するには、水素燃料単独だと体積あたりのエネルギー密度が低く、体積が大きな機体が必要となるため、体積あたりのエネルギー密度の高い航空機燃料から水素を取り出す燃料改質の技術の適用についても検討していく必要がある。また、高効率の発電が期待される固体酸化物型燃料電池(SOFC)の適用についても検討していく必要がある。

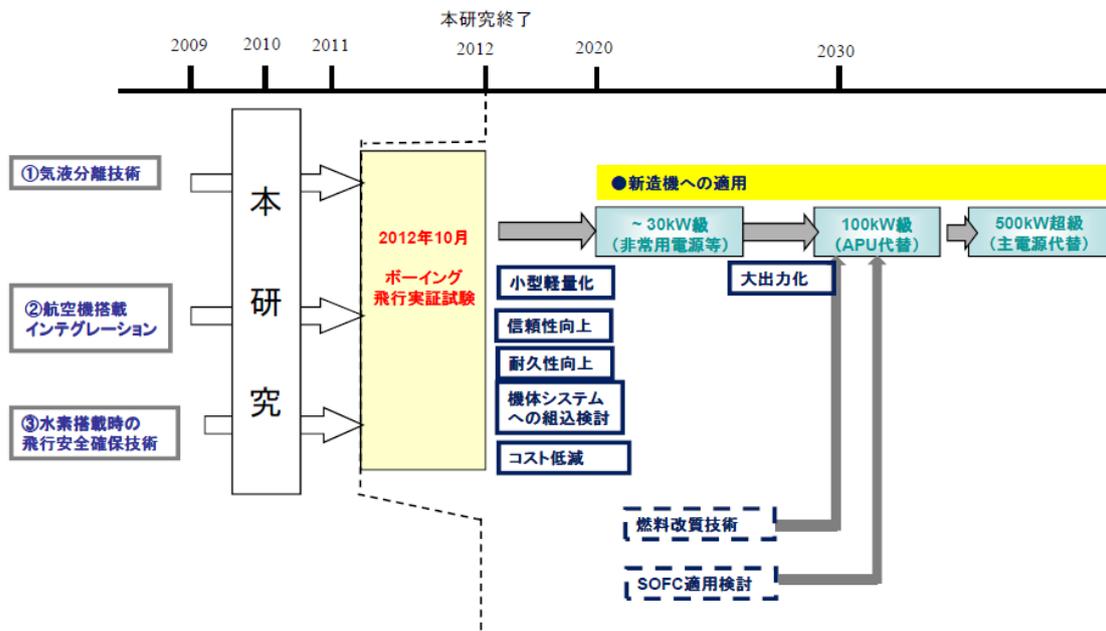


図6. R F C事業化に向けての展望

4-2 波及効果

再生型燃料電池の利点は、水電解装置への投入電力をクリーンエネルギーで賄えば、システムとしてのCO₂排出量がゼロにできることである。

従って、太陽光発電による水電解が期待できる飛行船用電源や人工衛星・月面基地・宇宙基地向け電源等への応用が期待できる。

また、風力・太陽光発電において出力平滑化の機能を担わせることも可能である。また、船舶等の大型輸送機においても航空機と同様に電力余剰時に水素・酸素を生成し、電力不足時に発電させることで、燃費の向上に寄与できる可能性がある。

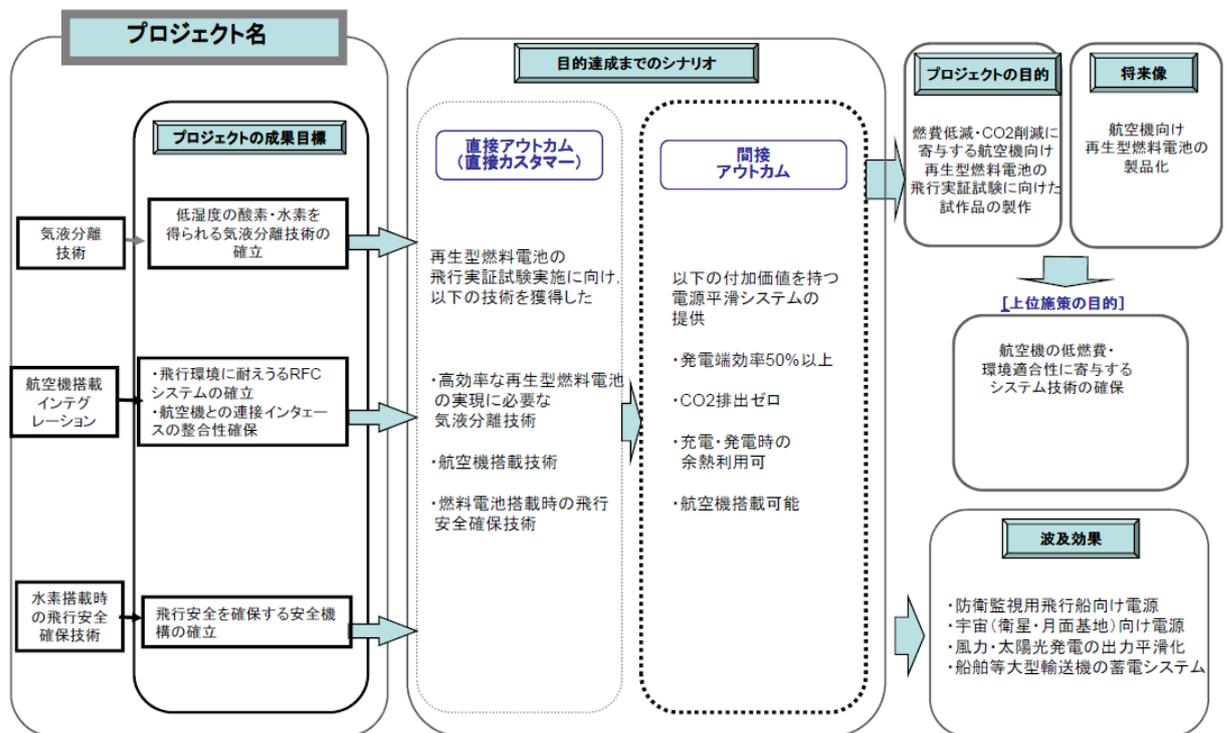


図7. 本研究のアウトカム、波及効果

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等

5-1 研究開発計画

全体の研究開発計画を表5に示す。

初年度（平成21年度）に設計検討を行った気液分離器を組み込んだ原理確認モデルの試作、機能試験を行い、平成22年度に航空機搭載可能とするための小型化・環境試験を実施し、平成23年度に飛行安全確保のための安全対策を施したフライトモデルを製作し、平成24年にフライトモデルと米国ボーイング社機材とのインタフェース試験を実施した。

表5. RFC研究開発計画（平成21年度～24年度）

	平成21年度	平成22年度	平成23年度	平成24年度
マイルストーン				
1. 15kW級RFCシステム成立性評価				
(1) RFCシステム概念設計検討				
(2) 気液分離技術の検討				
(3) 原理確認モデル試作、機能試験				
2. 15kW級RFCシステム航空機搭載性評価				
(4) RFCシステム・インテグレーション				
(5) 搭載想定システム試作、機能試験、環境試験				
(6) 今後の課題検討				
3. 安全性評価とフライトモデルの製作				
(7) 飛行安全確保のためのシステム安全機構および非常停止プロセスの設計				
(8) RFCシステムフライトモデルの製作				
(9) 飛行安全確保の立証に必要な検討事項の整理				
4. 機体システムを含めたシステム技術実証				
(10) RFCシステムフライトモデルと機体インターフェイス部品を接続させた全体システムとしての機能、性能確認試験の実施と評価				
(11) 航空機搭載用としての装備化(製品化)に向けての課題検討				
研究開発費用	7,500万円	7,500万円	8,500万円	500万円

5-2 研究開発実施者の実施体制・運営

研究開発体制を図8に示す。

本研究開発は、公募による選定審査手続きを経て、株式会社IHIが経済産業省からの委託を受けて実施した。また、外注先として再生型燃料電池の試作・試験の実績がある株式会社IHIエアロスペースが参加した。研究開発の実施にあたっては、米国ボーイング社と機体搭載仕様についての調整を実施した。

また、研究開発を統括するためのプロジェクトリーダー（平成21年度：株式会社IHI航空宇宙事業本部 技術開発センターエンジン技術部 今成 邦之／平成22年度～24年度：株式会社IHI航空宇宙事業本部 技術開発センター制御技術部 竹内 道也）を設置した。

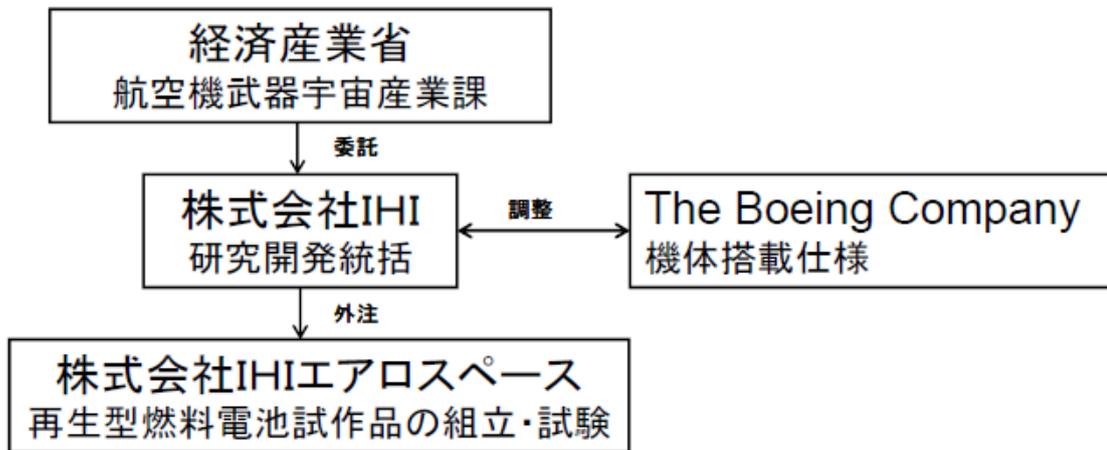


図8. 研究開発実施体制

5-3 資金配分

各研究開発項目に対する資金配分状況を表5に示す。実施内容から判断し、資金配分は妥当だったと考える。

5-4 費用対効果

各年度において、成果を着実にあげることができており、費用対効果は適切だったと考える。

また、本研究でR F C製作・試験の外注先として株式会社I H Iエアロスペース社を利用したが、同社は日本で唯一成層圏プラットフォーム向けの再生型燃料電池の試作・試験を実施した経験を有しており、同社に航空機向け再生型燃料電池を製作・試験を依頼することが、最も効率的であったと考える。

5-5 変化への対応

本研究実施期間内において、本研究に影響を与える情勢変化は特に生じなかった。