

航空科学技術に関する 研究開発課題の事後評価結果

平成30年8月

科学技術・学術審議会

研究計画・評価分科会

航空科学技術委員会委員

平成 30 年 8 月現在
敬称略、五十音順

(臨時委員)

◎ 李家賢一 東京大学大学院工学系研究科教授

(専門委員)

佐藤哲也 早稲田大学理工学術院基幹理工学部教授
○ 高辻成次 一般社団法人日本航空宇宙工業会常務理事
武市昇 首都大学東京システムデザイン学部准教授
竹内健蔵 東京女子大学現代教養学部教授
富井哲雄 株式会社日刊工業新聞社編集局科学技術部記者
難波章子 株式会社タンゴ・エア・サポート代表取締役
松島紀佐 富山大学大学院理工学研究部教授
山内純子 株式会社ミクニ社外監査役
和田雅子 一般社団法人日本女性航空協会理事

◎ : 主査

○ : 主査代理

「次世代航空技術の研究開発」の概要

1. 課題実施期間 平成25年度 ～ 平成29年度
 中間評価 平成27年度、事後評価 平成30年度

2. 研究開発概要・目的

天候等の影響を受けない高高度において従来の(有人)航空機を遙かに凌ぐ長時間の運用を可能とする滞空型無人航空機システムについて、その実現に必要な先進技術の開発、ユーザコミュニティの構築と利用研究、ならびにシステム開発及び実証試験を実施する。

航空機の燃費や整備費を大幅に削減可能な革新的技術として将来有望な、電動化航空機技術の研究開発を行うことにより、国際的に優位性を持つキー技術を獲得する。

3. 研究開発の必要性等

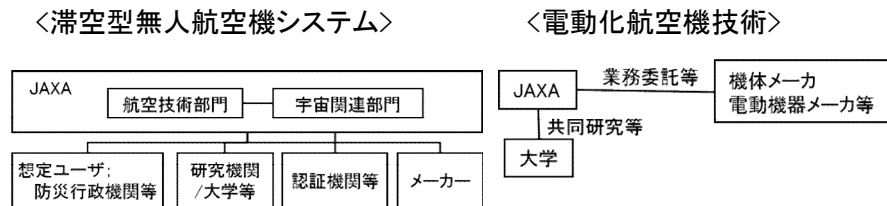
滞空型無人航空機システムは、長時間の運用により我が国の任意の陸域/海域における詳細かつ連続的な観測・監視を可能とするものである。これは人工衛星による観測・監視能力を補完・補強するものであり、両者の連携によって、防災をはじめ、環境保全、安全保障等、社会的課題の解決に幅広く貢献可能である。また、得られた技術的成果は、航空輸送における環境適合性/安全性向上技術としての発展が期待される。なお、本研究開発では、防災機関等と連携して出口を明らかにして効率的に研究開発を進める。

パリ協定を踏まえIATA(国際航空輸送協会)等からなる業界団体が掲げる「2050年までにCO₂排出量半減」という目標達成に向けて、革新的技術の導入が期待されている。航空機の電動化は高いエネルギー効率を実現でき、燃料消費や整備費を大幅に削減できることからその有力な候補である。しかし、旅客機クラスに適用するにはエネルギー密度や重量ペナルティ等の課題があることから、本研究開発では航空以外の異分野も含む産学官の連携体制のもと、世界トップレベルのモーター効率など国際的な優位性を有する技術の開発を進める。

5. 執行額の変遷(億円)

年度	H25	H26	H27	H28	H29	総額
執行額 (運営費交付金)	2.0	1.9	1.1	1.0	0.9	6.9

6. 課題実施機関・体制



7. 主な成果等

●技術目標を達成

滞空型無人航空機システムの研究開発では、キー技術となる高高度滞空技術、無人機運航技術、ミッション技術について要素/システム技術を開発、実証。電動化航空機技術の研究開発では、航空機用電動システムの要素技術を開発し、新機能の飛行実証に成功。

●将来につながる連携体制の礎を構築

滞空型無人航空機システムの研究開発では、防災機関、想定ユーザとの連携、協力を得た研究を通じ、ミッション及び運用コンセプトを具体化。電動化航空機技術の研究開発では、今後の技術開発及びその実用化のキーとなる産学官連携体制(コンソーシアム化)の礎を構築。

事後評価票

(平成30年8月現在)

1. 課題名 次世代航空技術の研究開発

2. 研究開発計画との関係

施策目標：国家戦略上重要な基幹技術の推進

大目標（概要）：

産業競争力の強化，経済・社会的課題への対応に加えて，我が国の存立基盤を確固たるものとするものであり，更なる大きな価値を生み出す国家戦略上重要な科学技術として位置付けられるため，長期的視野に立って継続して強化していく。

中目標（概要）：

我が国産業の振興，国際競争力強化に資するため，社会からの要請に応える研究開発，次世代を切り開く先進技術の研究開発及び航空産業の持続的発展につながる基盤技術の研究開発を推進する。

重点的に推進すべき研究開発の取組（概要）：

「安全性向上技術の研究開発」

災害時における航空機（無人機を含む）と衛星を統合した安全で効率的な救難航空機統合運用システムや，ヘリコプターの高速化等により，より多くの要救助者の救助を可能とする技術の研究開発を行う。また，無人機の目視外運用技術等，無人機の利用拡大に資する技術の研究開発を行う。

「革新的技術の研究開発」

国際航空輸送協会（IATA）が掲げる「2050年までにCO₂排出量半減」という目標を達成するために期待される革新的技術として，ソフトウェアとハードウェアの両面から，モーター技術，電源技術，ハイブリッド推進技術等の電動航空機技術の研究開発を進める。また，水素等の代替燃料の利用も視野に加えたエミッションフリー航空機技術，極超音速機技術等の研究開発を行う。これらの革新的技術の研究開発を行うことにより，将来国際的に優位性を持つキー技術の獲得を目指す。

本課題が関係するアウトプット指標：

- ①航空科学技術の研究開発の達成状況（JAXAが実施している共同/委託/受託研究数の観点も含む）

本課題が関係するアウトカム指標：

- ①航空科学技術の研究開発における連携数（JAXAと企業等の共同/受託研究数）

- ②航空科学技術の研究開発成果利用数（JAXA 保有の知的財産（特許，技術情報，プログラム/著作権）の供与数）
- ③航空分野の技術の国内外の標準化，基準の高度化等への貢献

3. 評価結果

（1）課題の達成状況

<必要性>

滞空型無人航空機システムは，従来の航空機や衛星では不可能であった全天候・常時観測を実現し，宇宙航空一体の災害監視システムの一翼を担うことで，宇宙航空利用の世界を革新することが期待される科学的・技術的意義が高いものである。本研究開発では，国への社会的要請等に応えるべく，防災機関等の関係者との議論をもとに想定されるミッション（豪雨による土砂災害等）を抽出し，当該ミッション遂行に必要なキー技術の開発及び実証機の開発・実証計画の立案が行われた。キー技術には，軽量機体構造や高空過給エンジンシステム等の航空機の滞空能力を飛躍的に向上させる技術が含まれ，これらの開発を通じて技術的に優れた成果が得られている。

電動化航空機技術の開発は，今後航空機に求められる環境負荷軽減を可能とすることが見込まれるものの，革新的な技術開発を行うものであり，研究開発の期間や費用の面でリスクが大きく民間には着手しにくい分野である。本研究開発では，要素技術として世界トップレベルの高効率・高出力密度性能を有する多重化モーター，機体の降下時のエネルギー回生技術等の国際的な優位性を有する革新的な技術を獲得した。

以上のとおり，本研究開発では防災や環境負荷低減等の社会的要請に応えるための革新的技術を獲得していることから，本研究開発の必要性は高いと評価できる。

<有効性>

滞空型無人航空機システムについては，従来の航空機や衛星では不可能であった全天候・常時観測を実現するため，これに資する軽量機体構造，高空過給エンジンシステム等の先進技術の開発がなされた。また，運用目的に対応した基礎技術に着目して研究を進めていくことが必要であるとされたことを受け，防災機関等の関係者との議論をもとに想定されるミッション（豪雨による土砂災害等）を抽出し，当該ミッション遂行に必要なキー技術の開発が行われるとともに実証機の開発計画の立案が行われた。

電動化航空機技術については，航空以外の異分野も含む産業界・大学との連携のもと，世界トップレベルのモーター効率など国際的な優位性を有する技術が開発・飛行実証された。その中で，多重化モーターに関するドイツ国営の研究機関との共同研究が開始されるなど，我が国航空技術を国際展開し，プレゼンスの向上に資する成果が得られている。また，本研究開発では有人飛行実証を，独自開発した推進システムに関するものとしては約30年ぶりに行うなど，研究者の知見／経験の向上に対する貢献がなされたと認められる。さらに，本研究開発を通じ，電動推進航空機に係る特許出願など，将来の事

業化に向けて知財の構築が進められた。

以上のとおり、本研究開発は関係機関との連携のもと新たな知を創出し、研究の質の向上に貢献したものであることから、有効性は高いと評価できる。

<効率性>

滞空型無人航空機システムの研究開発では、出口を見据えた研究を行うため、防災機関等の関係者との議論をもとに想定されるミッション（豪雨による土砂災害等）を抽出し、当該ミッション遂行に必要なキー技術の開発及び実証機の開発計画の立案が行われた。また、ミッション技術や太陽電池システム等関連する宇宙技術が存在するものについて、JAXA 航空技術部門と宇宙関連部門による連携体制が構築された。

事業の実施に当たっては、ロードマップによる進行・進捗の確認についても JAXA 内部における評価等を含め、組織的に管理されるとともに、限られたリソースを活用して先進技術開発の十分な成果を得た。

また、国際標準策定（シカゴ条約附属書改訂）の取組みに参加した知見や、関連の国内研究機関（ENRI, NICT, AIST 等）による研究会を開催して得られた情報や課題検討の結果も踏まえて研究開発が進められた。

電動化航空機の研究開発では、異分野連携を重視し、自動車関連企業、電池関連企業、化学素材関連企業等との連携のもと、JAXA が有しない知見を取り入れて効率的に技術開発が進められた。

事業の実施に当たっては、達成基準を事前設定して目標管理を徹底するとともに、ロードマップによる進行・進捗の確認について JAXA 内部における評価等を含め組織的に管理することで、限られたリソースで成果を最大化し、所期の研究目的を達成した。国内で初めて飛行許可を取得するにあたり、航空局との調整を密に実施するとともに、海外の電動航空機に対する耐空性基準を積極的に活用する等、有人飛行試験までのプロセスが促進された。

また、多重化モーターに関するドイツ国営の研究機関との共同研究が開始されるなど、海外の研究機関との連携も進められた。

以上のとおり、本研究開発では、「滞空型無人航空機システム」における防災機関等との連携、「電動化航空機」における異分野との連携の研究内容に応じた体制を構築し、進捗管理を適切に行うことで、限られたリソースにより最大限の成果を出すよう取り組まれたことから、効率性が高いと評価できる。

（2）総合評価

①総合評価

【滞空型無人航空機システム】

本研究開発は、滞空型無人航空機システムの実現に必要な先進技術の開発、ユーザコミュニティの構築と利用研究、ならびにシステム開発及び実証試験を実施することを目的に開始されたものであり、以下のとおり成果を得た。実証実験の実施には至らなかったものの、大規模災害対応等当該システムのニーズが高まる中、関係者とシステム／運用コンセプトを特定のうえ、必要となる先進技術の開発の十分な成果を得て、実証計画の作成がされていることから、優れた成果が得られていると評価できるが、今後、技術成熟度向上に引き続き取り組むだけでなく、関係機関等との連携強化により新規用途およびユーザの開拓に取り組み、実装可能かつ社会に実質的に貢献する利用方法を見出した後、飛行実証試験及びミッション実証試験に取り組むことが求められる。

1. 先進技術の開発

滞空型無人航空機システムの実現に必要な以下の各技術分野における主要な技術要素（キー技術）について技術検討／開発がなされた。

a) 高高度滞空技術

- 双胴化による翼にかかる荷重の分散及び部材の一体成型技術について、材料試験及び部分要素試験を通じ、構造重量を最大離陸重量の25%に抑える軽量機体構造実現の目途が得られた。
- 高空過給エンジンシステムについて、シミュレーション解析及び低圧環境を模擬した地上運転を通じ、想定される運転条件における作動は確認されたが、実用エンジンへの適用のための概念設計等については引き続き取組が必要である。

b) 無人機運航技術

有人航空機等も飛行する空域における安全飛行を確保するため以下が実施された。

- 非常時対応を含む運航手順・方式を具体化
- 通信や操縦方式、航空交通管制への対応、衝突回避等の課題を識別したうえで、シミュレーションによる影響評価、課題抽出

c) ミッション技術

活用が想定されるミッション（豪雨による土砂災害防災、海洋監視（MDA）、大規模広域災害対応）に不可欠な以下の技術が実証された。

- Lバンド合成開口レーダーのリピートパス干渉解析によるcm級地盤変動監視
- 併用化ライダーによる水蒸気流束観測
- ミリ波による高速データ伝送

2. ユーザコミュニティの構築と利用研究

想定ユーザへのヒアリング、防災機関／有識者との合意形成により以下の成果が得られた。

a) 以下のミッションについて、システム／運用コンセプトの具体化等がなされた。

- 豪雨による土砂災害防災（気象観測＋地盤監視）
- 海洋監視（MDA）
- 大規模広域災害対応

- b) 滞空性能に対する全滞空時間のうち目標地点上空に滞空できる時間比率（ETOS）及びコスト価値の定量評価

3. システム開発及び実証試験

機体システムの概念設計を通じた主要な技術課題の識別及び上記 1. で成立性が確認された技術及びミッションを実証するための機体の開発計画を立案した。なお、実証実験には至っていない。

本課題が関係するアウトプット指標：

- i) 航空科学技術の研究開発の達成状況（JAXA が実施している共同/委託/受託研究数の観点も含む）

本研究開発の達成状況は上記のとおりであるとともに、共同/委託/受託研究は以下のとおり実施された。

年度	25	26	27	28	29
件数	0	1	1	3	0

本課題が関係するアウトカム指標：

- i) 航空科学技術の研究開発における連携数（JAXA と企業等の共同/受託研究数）

年度	25	26	27	28	29
件数	0	0	0	2	0

- ii) 航空科学技術の研究開発成果利用数（JAXA 保有の知的財産（特許，技術情報，プログラム/著作権）の供与数）

年度	25	26	27	28	29
件数	0	0	0	0	0

- iii) 航空分野の技術の国内外の標準化，基準の高度化等への貢献

ICAO における専門家会合に参画し、遠隔操縦機システムに係る国際標準策定に貢献した。

【電動化航空機技術】

本研究開発は、電動化航空機技術について国際的に優位性をもつキー技術の獲得を目的に開始されたものであり、以下のとおり成果を得た。航空以外の異分野も含む産業界・大学との連携のもと、世界トップレベルのモーター効率など国際的な優位性を有する技術が開発・飛行実証されたことから、優れた成果が得られたと評価できる。また、今後は更なる産学官連携体制のもとでの技術の高度化や機体概念への適用の検討等更なる取組が期待される。

1. 環境適合性を革新的に向上する航空機用電動推進システムの要素技術研究開発

以下の要素技術の研究開発及びそれらの統合を通じたシステム性能検証を行い世界トップレベルの性能を達成した。また、関連するキー技術の特許を 6 件出願し、そ

のうち4件が登録されている。

- a) 高効率・高出力密度性能を有する多重化モーター開発
2014年度当時の電動航空機用モーターとしては世界トップレベルの効率と出力密度を達成。多重化すると通常は単独モーターよりも重量で不利になるが、構造の工夫により重量ペナルティを最小化。
- b) 高放電レート電池における健全性監視システムの開発
セルの発熱を検出し安全に運用する監視システムにより、電動航空機用電池としては世界トップレベルの放電レートを達成。
- c) 電動モーターコイル用の高熱伝導性耐熱絶縁材の開発
熱伝導性が高く耐熱性と電気絶縁性も兼ね備えたコイル塗布用樹脂材料を開発。モーター最大出力時のコイル温度上昇を抑え運転可能時間を倍増。
- d) 電動ファン・発電システム技術の検討
航空機用ガスタービンエンジンに固体酸化物形燃料電池(SOFC)を組み込んだ複合サイクルシステムを提案。熱交換器を不要とし軽量化を図り、同時に熱効率も向上するシステム構成案を考案。
- e) 低炭素燃料貯蔵・供給技術の検討
d)の高効率ハイブリッドエンジンシステムについて、SOFCに劣化等が発生せず安全に作動する水素燃料の供給量を把握。

2. 電動化の利点を活かした新機能の飛行実証

- a) 以下の新機能について、有人電動航空機による飛行実証を世界で初めて達成した。その際、電動航空機としては国内で初めて、サーキュラーNo.1-005「試験飛行等の許可について」に基づき航空局から飛行許可を取得し、飛行を行った。
 - 多重化モーターによる推力喪失回避機能
 - 電力回生エアブレーキによる降下率調整機能
 - 電力回生しながら定高度に滞空する機能
- b) 飛行実証の成果により、日本航空宇宙学会の第26回技術賞を2017年に受賞した。

本課題が関係するアウトプット指標：

- i) 航空科学技術の研究開発の達成状況（JAXAが実施している共同/委託/受託研究数の観点も含む）

本研究開発の達成状況は上記のとおりであるとともに、共同/委託/受託研究は以下のとおり実施された。

年度	25	26	27	28	29
件数	3	3	3	2	5

本課題が関係するアウトカム指標：

- i) 航空科学技術の研究開発における連携数（JAXAと企業等の共同/受託研究数）

年度	25	26	27	28	29
件数	0	0	1	1	1

- ii) 航空科学技術の研究開発成果利用数（JAXA保有の知的財産（特許，技術情報，プロ

グラム/著作権)の供与数)

年度	25	26	27	28	29
件数	0	0	0	0	0

iii) 航空分野の技術の国内外の標準化、基準の高度化等への貢献
特になし。

②評価概要

滞空型無人航空機システムの実現に必要な主要な要素技術（高高度滞空技術／無人機運航技術／ミッション技術）の開発が概ね実施され一定の成果が得られたが、高空過給エンジンシステム技術の実用エンジンに対する適用のための概念設計等については引き続き取組が必要である。

電動化航空機技術の実現に必要な主要な要素技術開発（電気推進システム技術／電動ファン・発電システム技術／低炭素燃料貯蔵・供給技術）では、世界トップレベルのモーター効率など国際的な優位性を有する成果が、飛行／シミュレーションにより実証される等の成果が得られた。

本事業としては、滞空型無人航空機システムの要素技術（高空過給エンジンシステム技術）の実用エンジンでの実証が課題として残ったものの、電動化航空機技術の要素技術における世界トップレベルの性能の技術の飛行実証など優れた成果が得られており、関係機関との連携体制の強化も含め、更なる技術開発や機体概念への適用などの今後の取組が期待される。

(3) 今後の展望

滞空型無人航空機システムについては、先進技術の開発については、要素ごとの技術見通しの明確化は行ったものの、高空過給エンジンシステムに係る実用エンジンへの適用のための概念設計等基盤的技術の課題も残す。一方、技術開発の成果は、滞空型無人航空機システムの実利活用の実現を目的とする研究開発へと進展すべきものであった。そのため、技術成熟度向上に引き続き取り組むだけでなく、関係機関等との連携強化により新規用途およびユーザの開拓に取り組み、実装可能かつ社会に実質的に貢献する利用方法を見出した後、飛行実証試験及びミッション実証試験に取り組むことが求められる。

電動化航空機技術については、飛行実証まで達成したインパクトの大きさから、国内企業からのアプローチが多数あった。今後は国内の企業や研究機関、大学等との連携を強化していくため、航空機電動化技術に関するコンソーシアムを設立し、国際競争力の高い技術を効果的に創出していくことが期待される。また、本成果を展開する形でドイツ国営の研究機関との共同研究に着手しており、連携の継続が期待される。