

航空機用先進システム基盤技術開発
（次世代航空機用降着システム技術開発）

評価用資料

平成27年11月16日

製造産業局航空機武器宇宙産業課

住友精密工業株式会社

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.....	5
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.....	8
3. 成果、目標の達成度.....	10
3－1 成果.....	10
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.....	17
4－1 事業化の見通し.....	17
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.....	21
5－3 資金配分.....	22
5－4 費用対効果.....	24
5－5 変化への対応.....	24

1. 事業の目的・政策的位置付け

1-1 事業目的

次世代降着システムに向けて、電磁ブレーキシステムと前脚用電動タキシングシステムを開発する事を目的とする。

従来のブレーキシステムでは、ホイールと共に回転するカーボンディスク（ロータ）と、車軸に固定されたカーボンディスク（ステータ）とをピストンで押し付けて、カーボンディスク間に摩擦力を発生させることによってブレーキ力を発生させる方式が一般的である。しかし、この方式ではカーボンディスクの磨耗が避けられず、定期的な摩耗状態の点検と頻繁なカーボンディスク交換が必要となっている。本研究では、次世代ブレーキシステムとして、磁性流体 (Magneto-Rheological Fluid) を外部磁界により磁化させ、ディスクとの間にブレーキ力を発生させることにより、寿命が長く整備費用の削減が期待できる主脚用の電磁ブレーキシステムの技術開発を実施する。

磁性流体は、制振ダンパやエクササイズ器具の負荷調整用には既に実用化されているが、これをブレーキに用いた実用例は未だなく、わずかに数例の研究レベルの研究があるのみであり、本システムは世界的にも類を見ないものとなる見込みである。

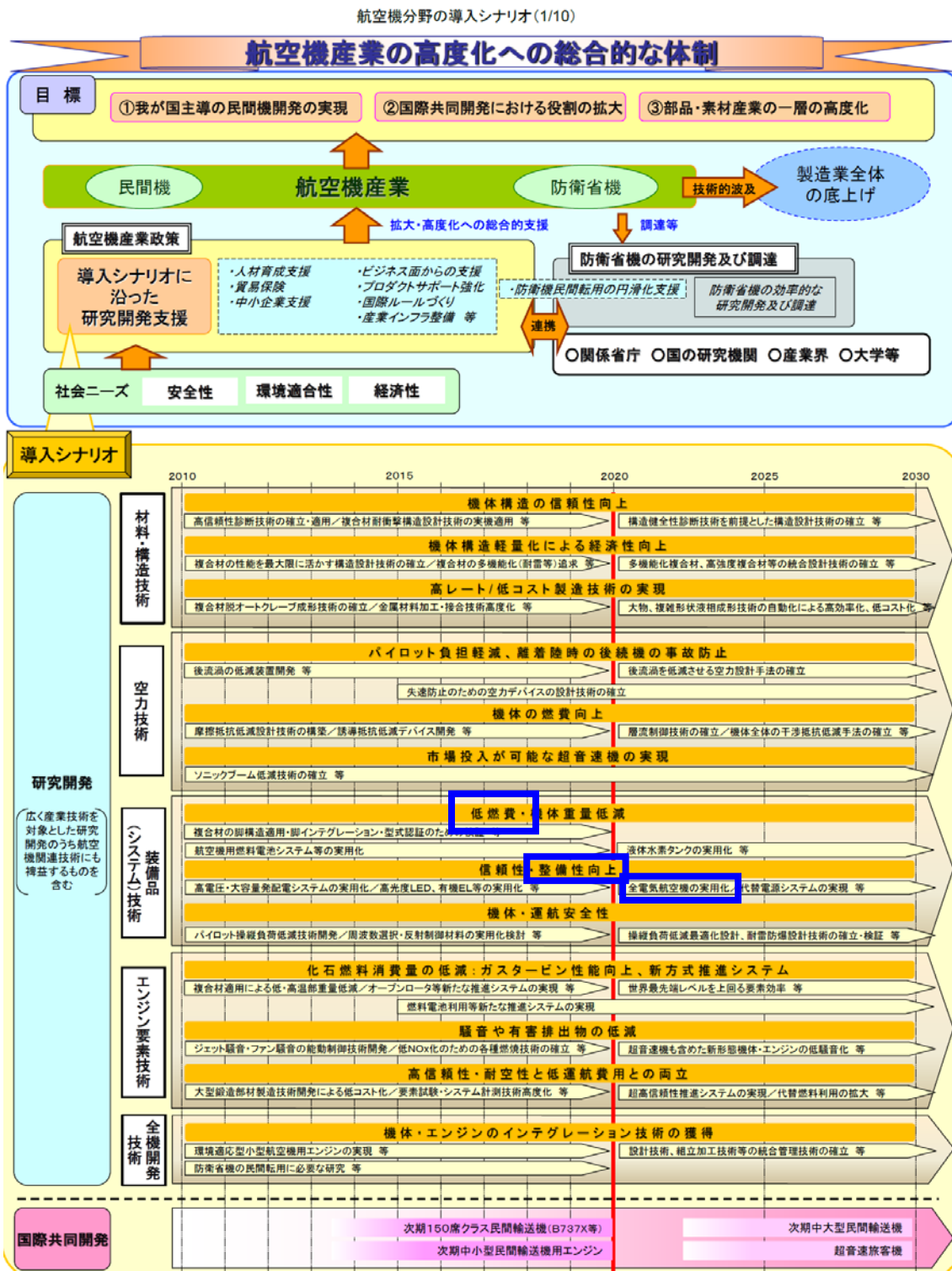
現状、機体が地上を走行する際はエンジンの推力を利用しており、ゲートから離れる際にも牽引車でプッシュバックが必要になるなど、地上での燃料費や人件費がエアラインの負担となっている。欧州では既に、地上走行を電動モータで行い、燃料費や人件費を削減する事を目的とした電動タキシングシステムの研究が盛んに行われている。本研究では、次世代地上走行システムとして、高性能な高トルクモータを前脚ホイール内に収めた電動タキシングシステムの技術開発を実施する。

上述の通り、欧州には類似の研究で先行している会社もあるが、いずれも実用化はされておらず、またボーイング 737 或いはエアバス A320 をターゲットとしたものであり、リージョナルジェット向けのシステムは世界に先駆けて実用化できる可能性がある。

1-2 政策的位置付け

図 1-1. ～ 1-3. に示す通り、技術戦略マップ 2010 において、低燃費、整備性向上や全電気航空機の実用化は重要課題の一つに位置付けられてお

り、低燃費に寄与する電動タキシングシステムや整備性向上寄与する電磁ブレーキシステムは、上位施策にも合致するものとする。また、これらシステムはいずれも、全電気航空機の実用化にも貢献するものである。



出所：技術戦略マップ2010

図1-1. 航空機分野の導入シナリオ

装備品(システム)技術分野 ー概要及び課題ー

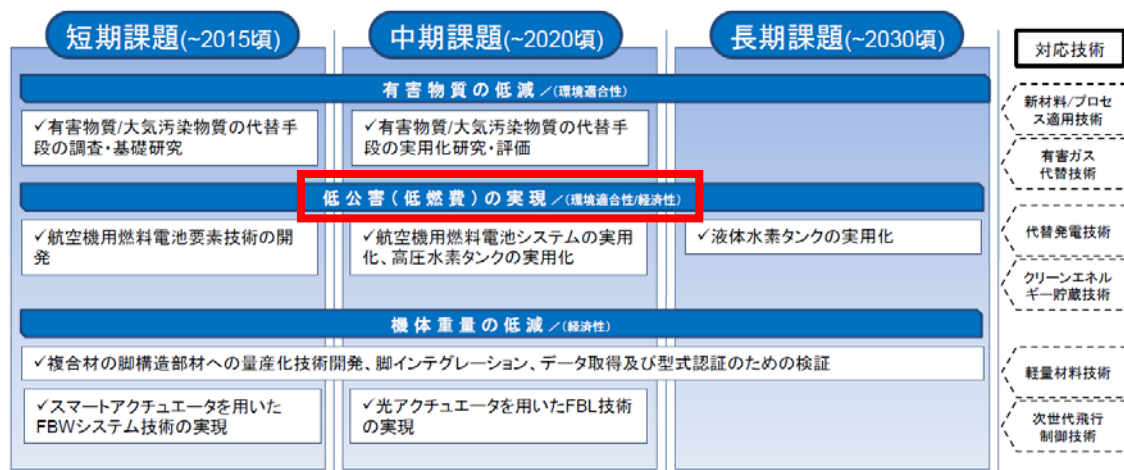
技術の概要

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、全電氣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、全電氣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)



出所：技術戦略マップ

図1-2. 装備品(システム)技術分野ー概要及び課題ー

主要技術課題(2/3)

航空機分野の導入シナリオ(7/10)



出所：技術戦略マップ2010

図1-3. 装備品(システム)技術分野一概要及び課題一

1－3 国の関与の必要性

一般的に航空機ビジネスは投資から回収までの期間が他業種に比べて極めて長く、事業上のリスクが大きい。電磁ブレーキシステムの開発は世界に類を見ない研究であり、特に実用化までに長い時間がかかる事が予想され、事業上のリスクが大きい。それに加えて電磁ブレーキシステムは技術開発要素も多いため、技術上のリスクも大きい。

電動タキシングシステムは、地上走行中の燃料消費や CO2 排出を大幅に削減するもので、地球環境保全の観点からも国を挙げて取り組むべき課題であり、また一方、従来の航空機にはないシステムであり、技術的課題が多いだけでなく、型式承認についてはまず考え方・方法から確立する必要がある、国の支援なくしては解決困難な課題も多い。

このように、事業上、技術上のリスクが大きいこれら技術開発は、国の支援が求められ、また認証の問題などもあり国を挙げての取り組みが必要と考えられる。

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

全体の目標を表2-1. に示す。

表2-1. 全体の目標

目標・指標	設定理由・根拠等
全電気航空機などの流れにマッチした次世代の降着システムの開発に向けて、下記の要素技術の実用化に向けての目途づけを行う。 1. 電磁ブレーキシステム 2. 電動タキシングシステム 各要素技術の個別の目標は2-1-2項で詳述する。	技術戦略マップ等にも示される通り、航空機の低燃費化や整備性向上は重要な課題であり、また航空機の電氣化ひいては全電気航空機の実用化は市場全体の流れである。 脚システムの中で、使用時に激しく摩耗するブレーキは特に整備コストがかかり、整備性向上のために改善が必要な装備品である。現在多くのディスクブレーキは油圧力で駆動され、全電気航空機に向けた流れの中で電動モータで駆動されるタイプが実用化されつつあるが、ディスクを接触させてブレーキ力を得るという点では従来のものと変わりはなく、整備コストがかかる事に大きな変化はない。全電気航空機に向けた流れに合わせ、かつ非接触式とする事で摩耗を極端に減らせる全く新しいシステムとして、電磁ブレーキシステムを開発する事を目指す。 現在の航空機は一般的に、地上走行時にはエンジンを使用するが、ジェットエンジンは高高度を高速で飛行するのに最適のように設計されていて地上を低速で走行する時の燃費は非常に悪く、大量の燃料を消費し、CO2

	などの排出量も多い。空港周辺の環境の観点からも、地上走行時の排気は問題視されており、特に環境問題に対する意識の高いヨーロッパでは既に電動タキシングシステムの開発が行われており、将来は標準装備品となる可能性もある。また後進可能なタキシングシステムを導入することで、自力でのプッシュバックが可能となり、タグカーやそれに付随する人員・作業が削減でき、エアラインの地上ハンドリングコストの削減にも貢献できる。ヨーロッパの先行他社がいずれもボーイング 737 或いはエアバス A320 といった単通路機を対象にしているため、先行・競合のないリージョナルジェット機向けの電動タキシングシステムを世界に先駆けて開発し、住友精密工業が既に設計・製造している同クラス機の脚構造・ステアリング制御システムや上述の電磁ブレーキシステムと組み合わせた新たな脚システムを構築し、Tier-1 サプライヤ（機体メーカーに対する一次サプライヤ）として供給する事を目指す。
--	---

2-1-2 個別要素技術の目標設定

2-1-1 項の目標を達成するため、各個別要素技術に対して表 2-2. の通り目標を設定した。

表 2-2. 個別要素技術の目標

要素技術	目標・指標	設定理由・根拠等
電磁ブレーキシステム	電磁流体の基礎特性データを取得する。	電磁流体 (Magnetorheological Fluid) は未知の部分も多く、特にブレーキに使用する研究例は少なくブレーキ力を発生させる手段としてのデータがほとんどないため、電磁流体の磁化特性（与えた磁場に対してどれだけ磁化するか）と、印加磁場、回転速度等に対して発生するブレーキトルクのデータを取得し、電磁流体を評価すると共に、以後のブレーキ開発のための基礎データとする。
	ブレーキ試験供試体を設計、製作する。	上記で得られた特性データを活用し、実機相当のサイズのディスク 1 枚をもったブレーキを設計する事で、ブレーキ設計技術を向上させる。また下記試験のための供試体を得る。
	ブレーキトルク確認試験を実施する。	上記で製作したブレーキ供試体を用いて試験を実施し、得られるトルクを確認し、実機相当の枚数（12 枚と想定）のブレーキが必要トルクを発生させられる可能性があるか検証す

		る。併せて、発熱や非使用時のトルクを計測し、以後のブレーキ開発のための課題を抽出する。
電動タキシングシステム	使用するモータについて、形式のトレードオフスタディと基礎設計を行う。	機体を自走させるのに必要なモータの仕様を明確化し、その仕様を満足するモータの概念検討を行い、最適なモータの形式を選定し、また基礎設計を行い、供試体設計の基礎とする。
	想定する機体を駆動できる出力をもち、前脚ホイール内に収まるモータ供試体を設計、製作する。	上記の基礎設計に基づいてモータのプロトタイプの詳細設計を行い、供試体を製作し、設計を検証するとともに、下記の試験のための供試体を得る。
	走行状態を模擬した試験を実施する。	走行状態を模擬した試験を実施する事で、課題を抽出し、以後の電動タキシングシステムの開発の基礎とする。

3. 成果、目標の達成度

3-1 成果

3-1-1 全体成果

電磁ブレーキシステムについては、実物大のディスク 1 枚をもつブレーキ試験供試体を用いて試験を行った。試験結果の分析から、試験供試体では磁気飽和が起きており、磁気回路の設計を最適化しディスクを多板とすれば、想定される必要トルクの 95%のトルクが得られる見込みを得た。今後、電磁流体の改善などを加えれば、必要なトルクが得られる目途はついたと考えられる。

電動タキシングシステムについては、現時点で確認できた出力は仕様として設定したモータ出力の 94%であり、寸法も外径は仕様寸法に収まっているものの長さが 15mm オーバーしているが、ほぼ必要なサイズ・出力のモータを得られており、一定の目途はついたと考えられる。

3-1-2 個別要素技術成果

(1) 電磁ブレーキシステム

電磁ブレーキシステムについて、以下の成果を得た。

- ・リージョナルジェットに搭載する事を想定し、電磁ブレーキシステムに必要なサイズ、ブレーキ力、吸収エネルギーなどの仕様を検討、設定した。
- ・既存の電磁流体数種について、磁化特性（与えた磁場の強さに対してどれだけ磁化されるか）とブレーキ力の基礎データを取得した。ブレーキ力は、電磁流体中で回転する円板に対して磁場を印加し、回転数、磁場強度とトルクの関係性を求めた。
- ・上記で設定した仕様の寸法に収まるブレーキディスクの直径と枚数（12 枚と想定）のブレーキにて得られるトルクを解析によって求め、必要なトルクを得られる可能性のある事を確認した。
- ・実機サイズのロータを 1 枚有する MR ブレーキにてブレーキトルク確認試験を実施した。磁気飽和の影響を考慮し、実機で想定しているロータ枚数（12 枚）に換算すると、必要な値の 95%のトルクを得られる可能性がある。ブレーキトルク確認試験の様子を図 3-1. に示す。
- ・電磁流体の粘性により、ブレーキを使用していない時にもトルクが発生するが、このトルクを低減する方法を考案し、試験を実施したが、効果は確認できなかった。ただし、原因調査の結果、磁界のかけ方に問題があることが分かったため、改善の方向性は見出せた。
- ・電磁流体の温度による磁化特性の違いを利用して移動させ、熱せられた部

分を冷却部に送り、冷却の補助とするアイデアを試験で実証しようと試みたが、循環効果は確認できなかった。試験装置の磁界分布を再設計することで循環を実現できる可能性はあるが、限定的な循環・冷却効果しか期待できないため今後は、MR 流体の冷却について別の方法も検討する必要があることが分かった。

- ・試験にて得られたブレーキの応答性などのデータを用いて、想定している機体サイズにて MR ブレーキシステムの Anti-skid 性能解析を実施し、十分な Anti-skid 性能が得られる可能性があることを確認した。
- ・上記で試験した既存の電磁流体がいずれも純鉄微粒子を用いているのに対して、新たに高い磁気特性をもつ合金の微粒子を製造し、磁化特性を測定した。10%程度の磁化特性の向上を期待していたのに対して、常温では鉄（Fe）微粒子と性能に大差はない事が分かったが、温度上昇による性能低下が鉄（Fe）微粒子に比べて非常に小さく、広い温度範囲で高いブレーキ力を発揮できる可能性のあることが確認できた。更に、この微粒子と耐熱性の高い油を用いた新たな電磁流体を作成した。電磁流体としての評価は未実施であるが、油の耐熱性が上がることにより、既存品に比べて高い温度域でも使用可能となる事が期待される。

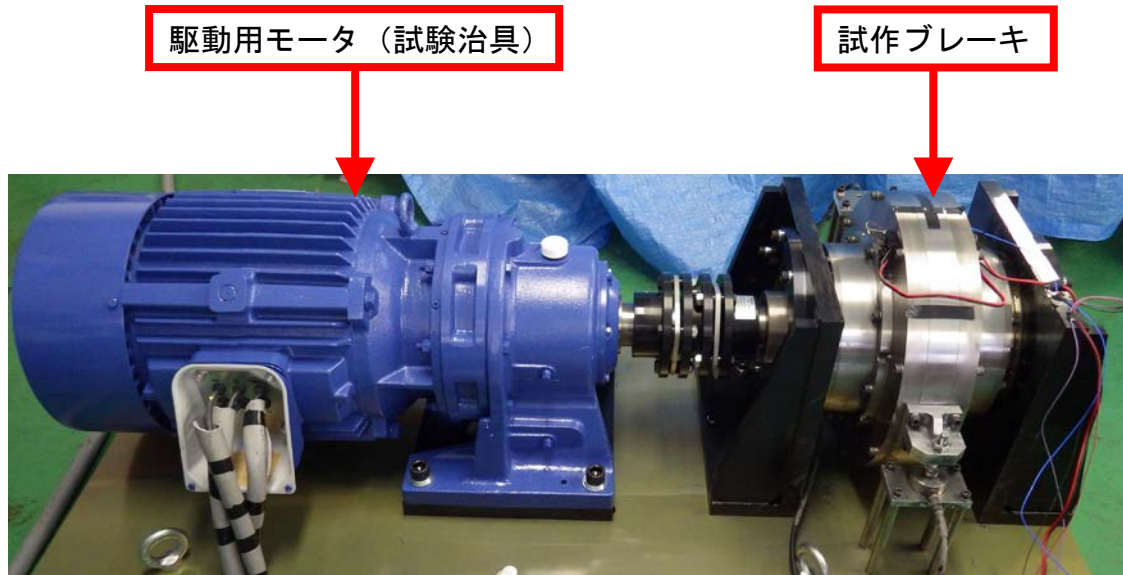


図 3 - 1. ブレーキトルク確認試験供試体

(2) 電動タキシングシステム

電動タキシングシステムについて、以下の成果を得た。

- ・リージョナルジェットの前輪ホイール内にモータを装着する事を想定した電動タキシングシステムの仕様を検討し、モータのサイズ、出力など必要な仕様を設定した。

- ・ 各種のモータ方式の間でトレードオフスタディを実施し、本用途には巻線界磁形フラックススイッチングモータが最適、との結論を得た。
- ・ 上記で選択した形式で、上記仕様を満たすモータと減速機の仕様を検討し、構造案を得た。
- ・ 上記仕様に基づき、実機装着を想定した形状・大きさのモータの試験供試体（プロトタイプ）を設計、製作した。寸法については、外径は設定した仕様通りとできたが、長さは仕様を 15mm 越えたものとなった。試験供試体の外観を図 3-2 に示す。
- ・ 上記モータを駆動するモータ・ドライバを設計、製作した。
- ・ 上記モータとドライバを組み合わせ、モータを駆動できることを確認した。
- ・ 無負荷状態で、仕様から算出した必要最大回転速度でモータを回転させることを確認した。
- ・ 仕様から算出した必要トルクの 94%まで発揮できることを確認した。
- ・ 高トルク印加時に計測系の誤作動が発生したため、仕様トルクが発揮できることの確認には至らなかったが、必要なトルクにかなり近い値まで発揮できており、今後の改善により必要なトルクが得られる目途はついたと考えられる。

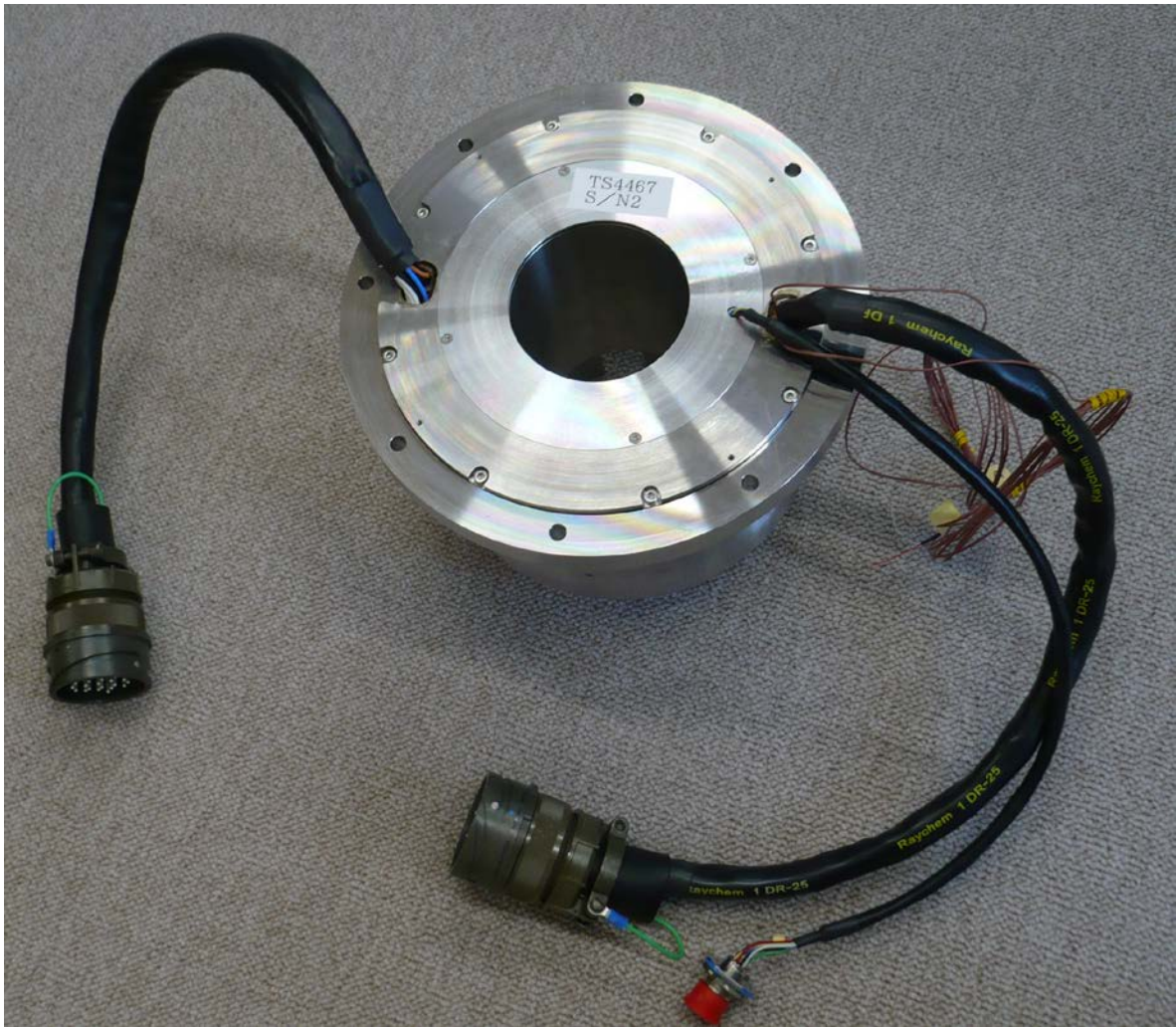


図 3－2. プロトタイプモータ

3-1-3 特許出願状況等

本研究に関する特許・論文等の件数は表3-1. の通り、0件である。

表3-1. 特許・論文等件数

要素技術	論文数	論文の被引用度数	特許等件数（出願を含む）	特許権の実施件数	ライセンス供与数	取得ライセンス料	国際標準への寄与
電磁ブレーキシステム	0	0	0	0	0	0	0
電動タキシングシステム	0	0	0	0	0	0	0
計	0	0	0	0	0	0	0

本研究に関する論文、投稿、発表、特許は、表3-2. に示す通り0件である。

表3-2. 論文、投稿、発表、特許リスト

	題目・メディア等	時期
論文	なし	—
投稿	なし	—
発表	なし	—

この他、電磁ブレーキシステムの研究開発にて実物大のディスク1枚を持つブレーキの試験供試体を、電動タキシングシステムの研究開発にてプロトタイプのモータを、それぞれ製作した。また、電磁ブレーキシステムについて、エアバス社へのプレゼンテーションを実施した。

3-2 目標の達成度

本研究の目標に対する成果・達成度を表3-3. に示す。

表3-3. 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
電磁ブレーキシステム	電磁流体の基礎特性データを取得する。	電磁流体の磁化特性（与えた磁場の強さに対する磁化の度合い）と、回転速度・与えた磁場の強さに対する発生トルクの基礎特性データを取得した。	達成
	ブレーキ試験供試体を設計、製作する。	ブレーキ試験供試体を設計、製作した。	達成
	ブレーキトルク確認試験を実施する。	ブレーキ試験を実施し、実機サイズのディスク1枚のブレーキで得られるトルク値と、非使用時のトルクや発熱の傾向のデータを取得した。	達成
電動タキシングシステム	使用するモータについて、形式のトレードオフスタディと基礎設計を行う。	モータに必要な仕様を検討、設定した。 モータ形式のトレードオフスタディを実施し、巻線界磁形フラックススイッチングモータが最適、との結論を得た。 基礎設計を行い、仕様を満足するモータが設計できる目途を得た。	達成
	想定する機体を駆動できる出力をもち、前脚ホイール内に収まるモータ供試体を設計、製作する。	モータのプロトタイプを製作した。外径は目標を達成したが、長さは仕様を15mm 越え、出力は現	一部達成

		時点で仕様の 94%と、目標に到達していない。 目標出力に到達しなかったのはモータがセンサに及ぼすノイズが原因である事が判明しており、センサをモータから離すと共に間に非磁性材料をはさむ事で解決できる目途がついている。これにより寸法が目標を上回ったが、将来はセンサの小型化により目標寸法を満たしつつ目標出力を発揮できるモータが製作できる見通しを得ている。	
	走行状態を模擬した試験を実施する。	3年間を想定していた研究開発が2年間で終了したため、走行模擬試験は未実施である。	未達成

4. 事業化、波及効果について

4-1 事業化の見通し

一定の用途のついた電磁ブレーキシステム、電動タキシングシステムであるが、電磁ブレーキシステムについてはブレーキに適合した電磁流体の開発、非使用時の抵抗低減、冷却機構の確立など、電動タキシングシステムについてはモータの小型軽量化、高出力化、冷却機構の確立などの課題がある。図4-1. に示すようなスケジュールでこれらの課題を解決し、実証試験を行い、製品化することを想定している。

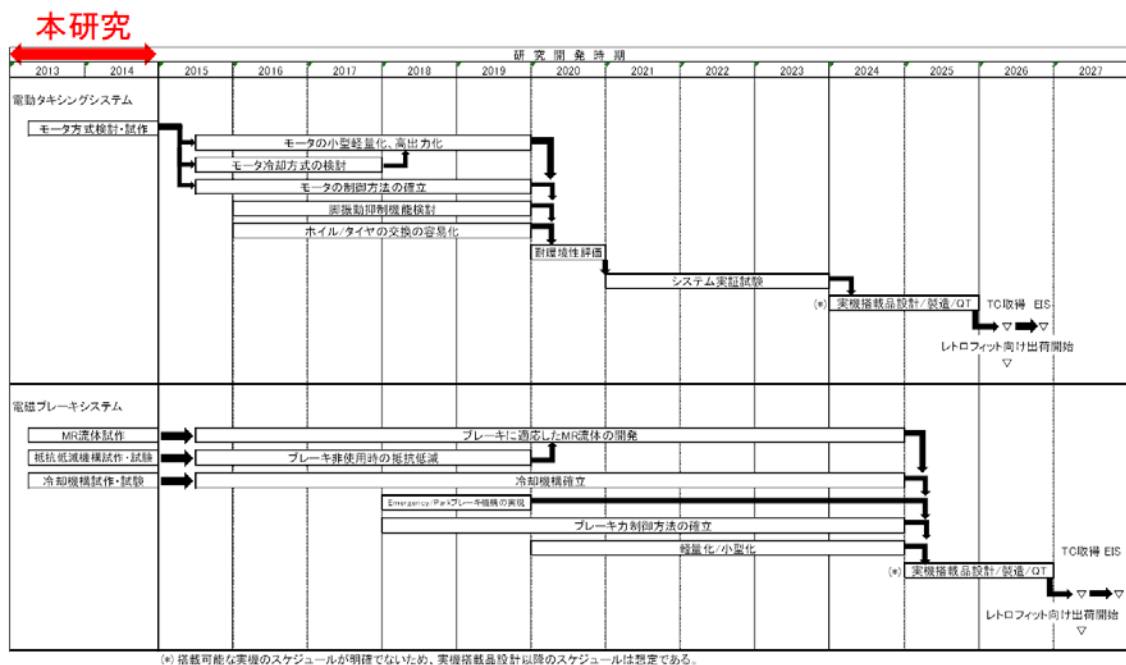


図4-1. 事業化までの想定スケジュール

4-2 波及効果

本研究のアウトカムのイメージを図4-2. に示す。電磁ブレーキシステム、電動タキシングシステムともに、航空機以外に鉄道や自動車への適用の可能性がある。特に電磁ブレーキシステムはこれらの用途にも前例のないものであり、波及効果が期待できる。

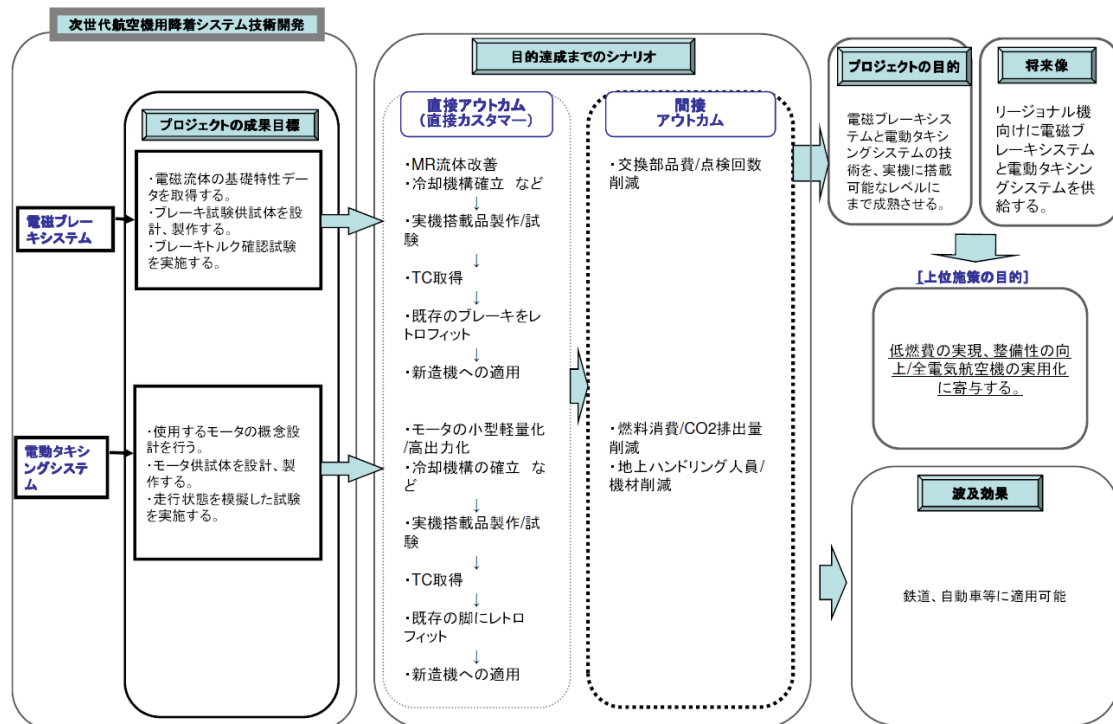


図4-2. 本プロジェクトのアウトカム

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

当初の研究開発計画は表5-1. の通りであったが、各年度の計画は25年度研究着手時点での同年度計画が表5-2.、26年度研究着手時点での同年度計画が表5-3. の通りである。当初は3年間を想定していた研究期間の2年間への変更（契約は年度ごと）などに伴い、若干のスケジュールの見直しと、電動タキシングシステムにおける機体インターフェース調整、電磁ブレーキシステムと電動タキシングシステム両方におけるシステム試験など、一部の実施項目を省略している。

電磁ブレーキシステムについては、25年度に電磁流体の基本特性を取得する試験を行い、26年度には実機相当のディスク1枚をもつブレーキの供試体を製作し、発生トルクを確認する試験を実施した。

電動タキシングシステムについては、25年度にモータの形式のトレードオフスタディを含む基礎設計を行い、26年度にモータの詳細設計と試験供試体（プロトタイプ）の製作を行った。

表5-1. 研究開発計画（当初計画）

項目	平成25年度							
	4-6	7-9	10-12	1-3				
開発着手		▽						
次世代ブレーキシステム		→	→	→				
磁気回路解析		→	→	→				
基本特性試験装置			→	→				
基本特性試験				→				
電磁流体調査		→	→	→				
地上走行システム		→	→	→				
モータの基礎設計		→	→	→				
報告書提出				▽				
項目	平成26年度				平成27年度			
	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3
次世代ブレーキシステム								
電磁ブレーキ設計試作	→	→	→	→				
制御部設計製作								
電磁流体の開発								
システム設計/試験								
地上走行システム								
試験用脚設計製作								
モータ/制御部試作								
モータ/制御部試験								
試験供試体製作								
システム設計/試験								
機体インターフェース調整								
報告書作成								

表 5－2．研究開発計画（平成 2 5 年度分）

項目	平成25年度			
	4-6	7-9	10-12	1-3
開発着手			▽	
次世代ブレーキシステム			システム設計	→
磁気回路解析			→	
基本特性試験装置			→	
基本特性試験				→
電磁流体調査			→	
地上走行システム			システム設計	→
モータの基礎設計			→	
報告書提出				▽

表 5－3．研究開発計画（平成 2 6 年度分：平成 2 6 年度初め時点）

項目	平成26年度			
	4-6	7-9	10-12	1-3
次世代ブレーキシステム				
電磁ブレーキ設計	→	→	→	
制御部設計	→	→	→	
電磁流体の開発	→	→	→	
試験供試体製作				→
システム設計	→	→	→	
地上走行システム				
モータ詳細設計	→	→		
制御部設計			→	
試験供試体製作				→
システム設計	→	→	→	
試験用脚設計	→	→	→	
報告書作成				→

5-2 研究開発実施者の実施体制・運営

本研究開発は、公募による選定審査手続きを経て、住友精密工業株式会社が経済産業省からの委託を受けて実施した。また、再委託先として信州大学が、主要な協力先（外注先）として多摩川精機が参加した。

また、研究開発の実施に当たっては、研究開発を統括するためのプロジェクトリーダー（住友精密工業株式会社航空宇宙技術部 高田正之）を設置した。

図5-1. 研究開発実施体制（当初計画）

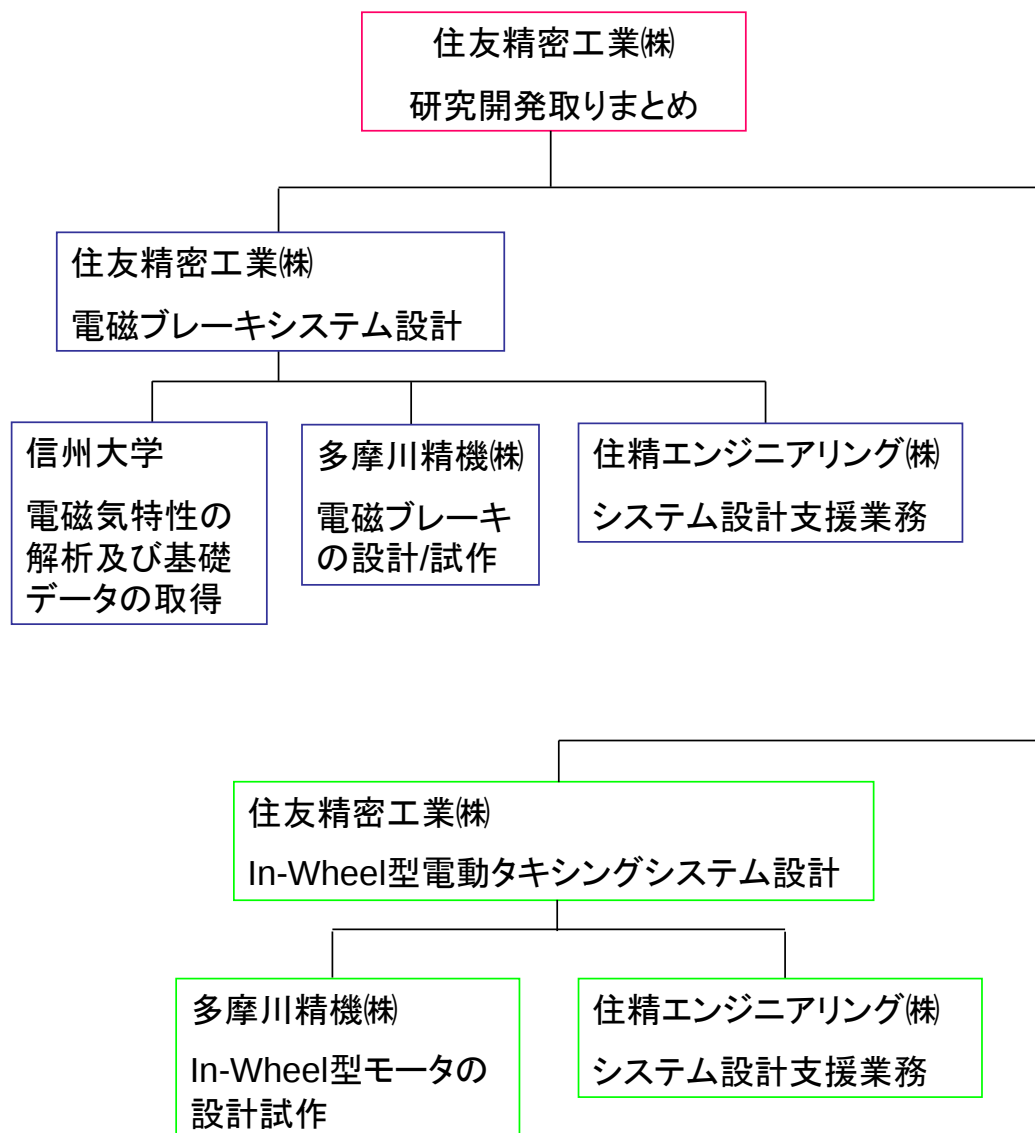
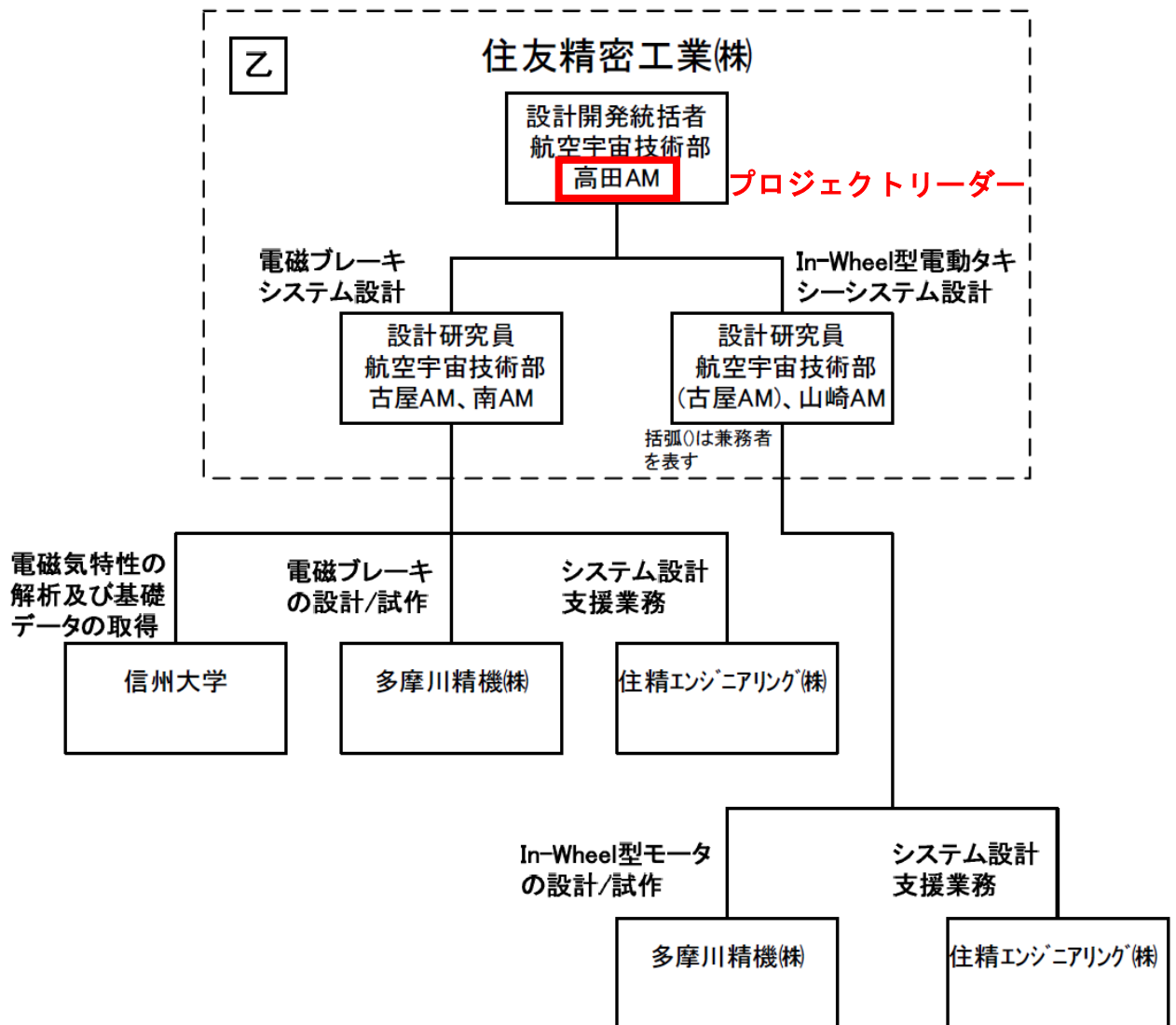


図 5－2. 研究開発実施体制（平成 26 年度当初）



5－3 資金配分

資金配分は表 5－4. の通りである。電磁ブレーキシステムはブレーキの試作と試験の実施、非使用時のトルク低減の供試体製作と試験、冷却方法の案出・供試体製作と試験、電動タキシングシステムはモータ形式の検討、設計と製作、といずれの開発項目もほぼ予定の成果を挙げており、資金の配分は適切であったと考える。

表 5－4．資金度配分 （単位：百万円、税込）

年度 平成	2 5	2 6	合計
電磁ブレーキシステム研究開発	26	54	80
電動タキシングシステム研究開発	13	71	84
合計	39	125	164

5－4 費用対効果

電磁流体に知見を有する信州大学や電動モータの設計・製作に豊富な経験を有する多摩川精機とチームを組む事で、費用に対する効果を最大化できたと考える。

5－5 変化への対応

事業計画、目標、開発体制等の修正を要するような情勢の変化はなかった。研究開発活動の一環として、More Electric Aircraft やタキシングシステムに関する国際会議への出席や機体メーカーへの紹介を通じて情報収集を行い、電磁ブレーキシステムや電動タキシングシステムに対する高い需要と関心がある事を確認し、また対応すべき情勢の変化のない事を確認した。