

航空機関連プロジェクト(2) 事後評価の概要

平成28年3月10日

製造産業局

航空機武器宇宙産業課

目 次

- 1 炭素繊維複合材成形技術開発
- 2 航空機用先進システム基盤技術開発(耐雷・帯電特性解析技術開発)
- 3 航空機用先進システム基盤技術開発(革新的防除氷技術)
- 4 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)
- 5 航空機用先進システム基盤技術開発(次世代航空機エンジン用冷却装置)

1 炭素纖維複合材成形技術開発

目 次

1. プロジェクトの概要
2. 目的・政策的位置付け
3. 目標
4. 成果、目標の達成度
5. 事業化、波及効果
6. 研究開発マネジメント・体制等
7. 中間評価結果
8. 評価
9. 提言及び提言に対する対処方針

1. プロジェクトの概要

概 要	メタル材に比べ軽量である炭素繊維複合材を用いた部材・製品の普及を図る為、強度・品質安定性を保持しつつ複雑な設備を要しない炭素繊維複合材成形技術（VaRTM成形技術）開発や、従来プリプレグ材を用いた成形方法の高度化技術開発等を実施し、小型航空機サイズの試作機（供試体）による実証を通じて当該技術を確立する。これにより、幅広い輸送機械等における炭素繊維複合材の適用拡大を図り、エネルギー使用合理化に資することを目的とする。
実施期間	平成20年度～平成26年度（7年間）
予算総額	70億円（補助（補助率：50%）） （平成20年度：9.6億円 平成21年度：21.2億円 平成22年度：14.6億円 平成23年度：11.6億円 平成24年度：11.6億円 平成25年度：0.5億円 平成26年度：0.6億円）
実 施 者	三菱航空機株式会社
プロジェクト リーダー	岸 信夫 取締役副社長執行役員

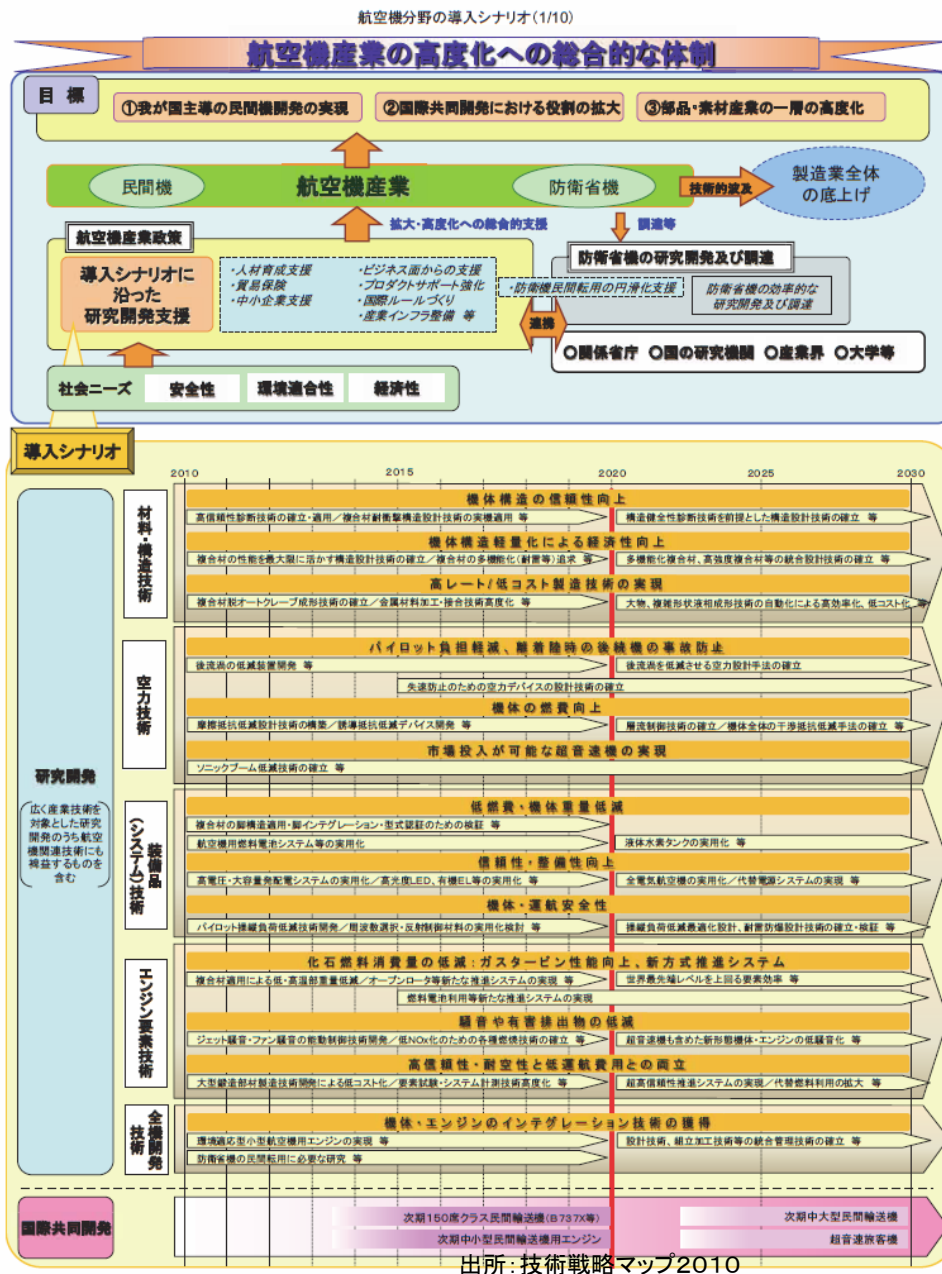
2. プロジェクトの目的・政策的位置付け

事業目的

航空機、自動車及び鉄道から船舶に至るまでの幅広い輸送機械等における炭素繊維複合材の適用範囲を拡大することにより、エネルギー使用の合理化に資することを目的とし、VaRTMと呼ばれるオートクレーブを用いない先進的な炭素繊維複合材成形技術の研究開発及び実大規模の実証を行うことを目的としている。

政策的位置付け

本事業はオートクレーブを用いない炭素繊維複合材成形技術の開発を目指しており、経済産業省が策定している『技術戦略マップ2010』の航空機分野の導入シナリオにおいて「複合材脱オートクレーブ成形技術の確立」として記載されている研究開発項目の一つと位置づけられる。



3. 目標

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
(1) VaRTM材料仕様の設定	材料特性試験を完了し材料仕様を確立する。	航空機の一次構造へ適用するには、物理・化学・機械特性を再現性よく満足する必要があり、それを実現する材料仕様を設定する。
(2) VaRTMプロセスの製造安定性確立	プロセススペックを制定するとともに、製造時欠陥影響を確認する。	航空機の一次構造への適用には、安定的に製品を製造可能なプロセススペックの制定が必要である。
(3) 実大規模の供試体設計のための設計許容値確立	試験により設定した許容値に対する低下リスクを排除する。	設計許容値試験を実施して設計許容値を設定する必要がある。
(4) 実大規模での技術成立性実証	小型航空機サイズの試作機（供試体）を製作し、開発した成形法の成立性・妥当性を最終検証する。	開発した成形法の成立性・妥当性を最終検証するには、実大規模の航空機を供試体として用いた実証を行い、所定の安全性審査をクリアすることにより、それらの技術的成立を確認することが必要である。

4. 成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
(1) VaRTM材料仕様の設定	材料特性試験を完了し材料仕様を確立する。	VaRTMの材料スペックについて航空局に規定適合性証明計画と共に、三種の材料スペックについて審査いただき、内容について合意を得た。	達成 (P.6)
(2) VaRTMプロセスの製造安定性確立	プロセススペックを制定するとともに、製造時欠陥影響を確認する。	成形プロセスやNDIプロセスについて、各種成形・評価試験を実施し、スペックにフィードバックをかけ、大きなリスクはないことを確認した。	達成 (P.7-14)
(3) 実大規模の供試体設計のための設計許容値確立	試験により設定した許容値に対する低下リスクを排除する。	設定したVaRTM尾翼桁間仕様の中で大きな強度低下リスクのあった、インパクト付与後のパネル強度や二軸荷重試験で許容値に大きく影響を与えないことを確認した。	達成 (P.15-19)
(4) 実大規模での技術成立性実証	小型航空機サイズの試作機（供試体）を製作し、開発した成形法の成立性・妥当性を最終検証する。	周辺構造との関連も含め実大実証の基になる尾翼設計仕様を設定できた。	達成 (P.20-22)

(1) VaRTM材料仕様の設定

◆ 材料スペック構成: 以下の三種類で設定した。

- 炭素繊維材料スペック
- 織物基材材料スペック
- 樹脂材料スペック

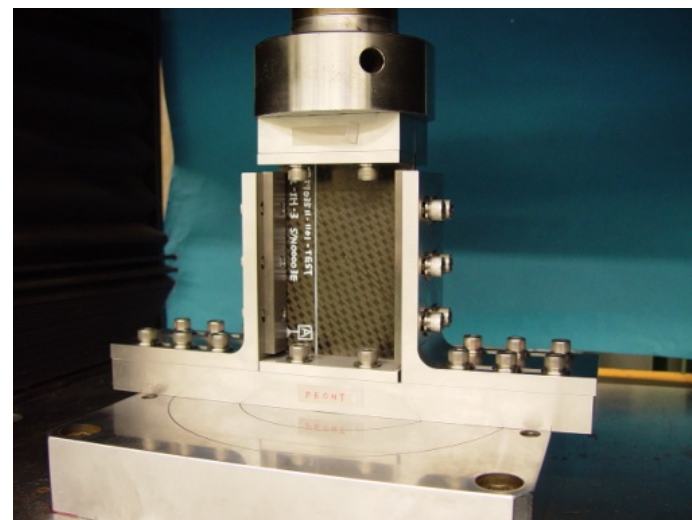
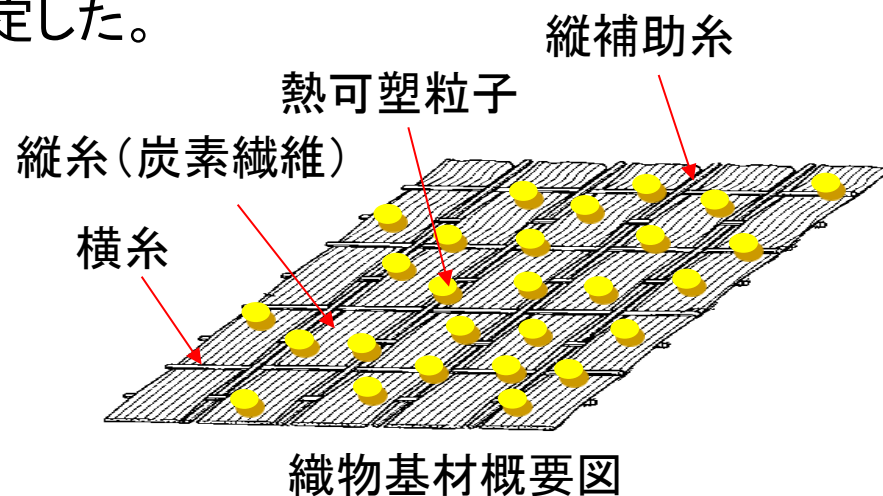
◆ 規定適合性の証明:

民間航空機として遵守すべき規定に適合するか, を記載したCertification Plan(適合性証明計画書)及び材料スペック/材料特性試験方案を航空局に審査いただき, 適合性判定を取得した。

◆ 材料特性試験の実施:

適合性判定を取得した試験方案に従い, 炭素繊維・織物基材・樹脂材料の試験を実施した。

試験及び評価を全て完了し, 物理特性・化学特性・機械特性の要求値を設定した。



材料特性試験状況

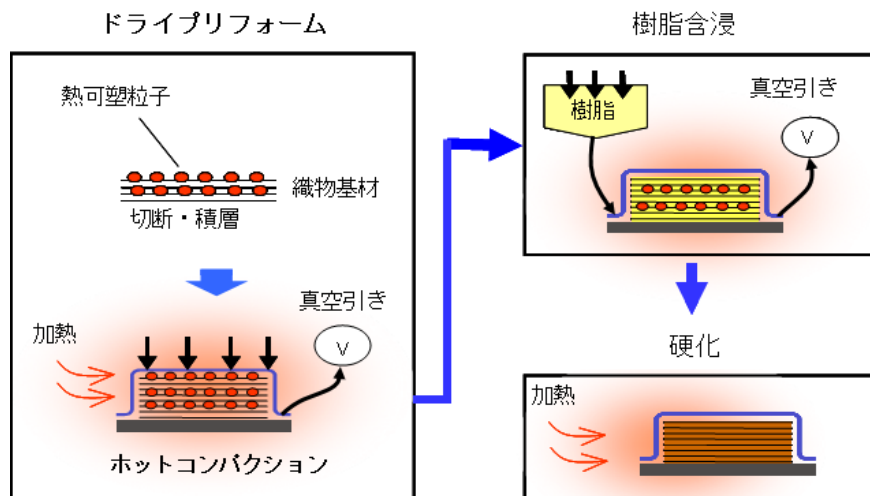
(2) VaRTMプロセスの製造安定性確立

◆ VaRTMプロセス:

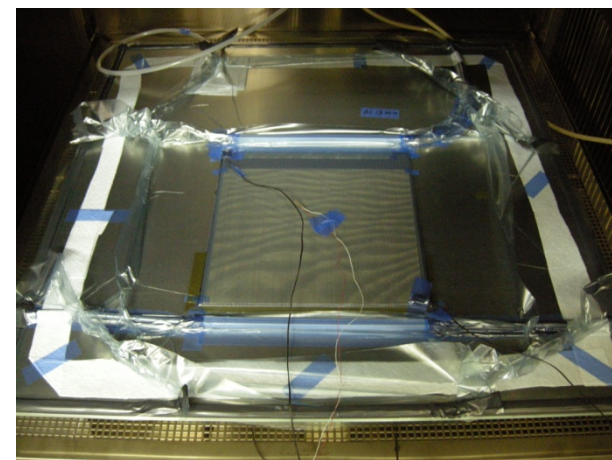
- 熱可塑粒子を活用し、従来プリプレグと同等の成形性が確保できるよう工夫した。
- ホットコンパクションにより板厚のばらつきを最小化した。
→ 安定した製造品質を確保するプロセススペックを確立した。
- 制定したプロセススペックは、適合性判定を取得した。

◆ VaRTMプロセススペックの妥当性検証試験:

- プロセスウィンドウ等の妥当性を検証する為、温度条件等を考慮した試験を行い、安定した品質を確保できることを確認し、必要に応じてプロセススペックへフィードバックした。



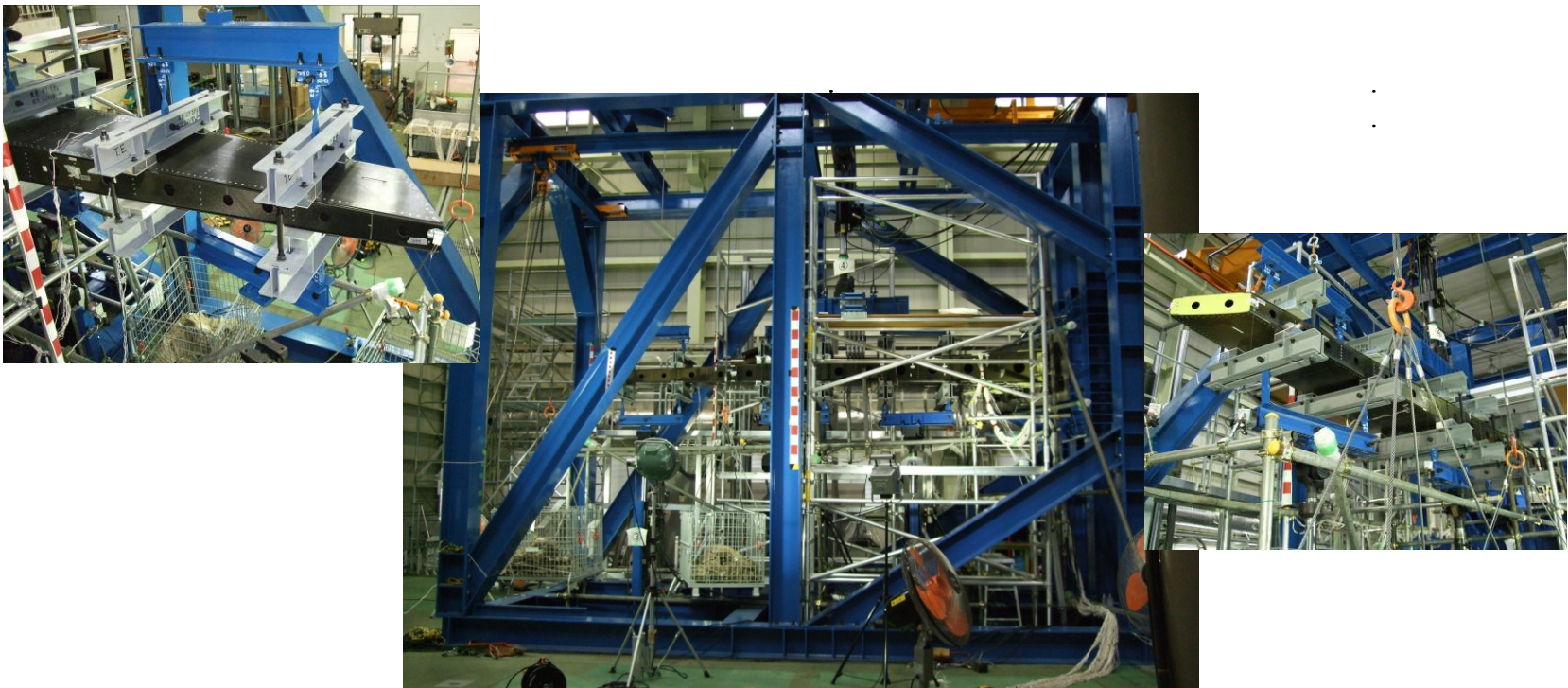
VaRTMプロセスの概要



成形プロセス確認試験状況

(2) VaRTMプロセスの製造安定性確立

- ◆ 実大垂直尾翼桁間模擬強度試験： ※強度試験自体は本事業以前の成果
 - 実大強度試験および試験後断面観察評価等の検討結果から、実機適用に必要な許容欠陥サイズ(層間の剥離を想定)およびNDIプロセススペックを規定した。



垂直尾翼桁間模擬実大強度試験と断面観察写真

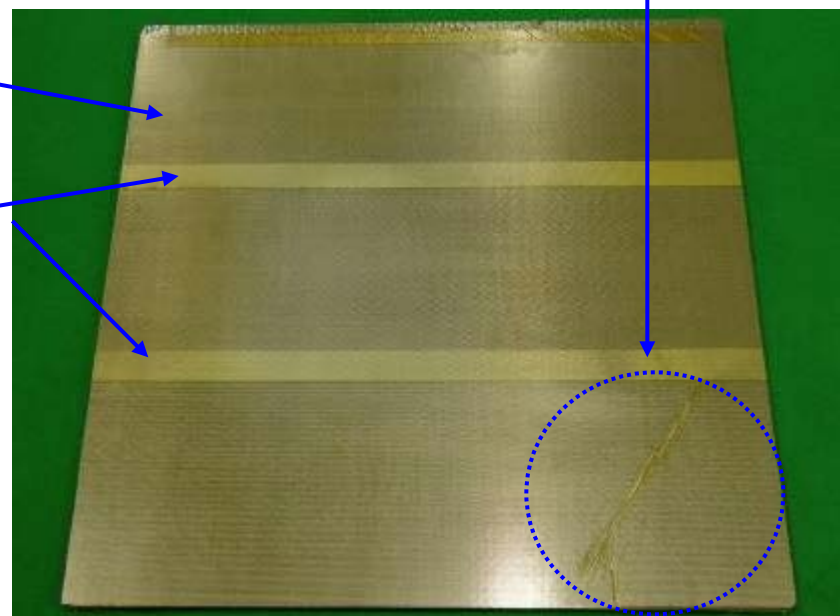
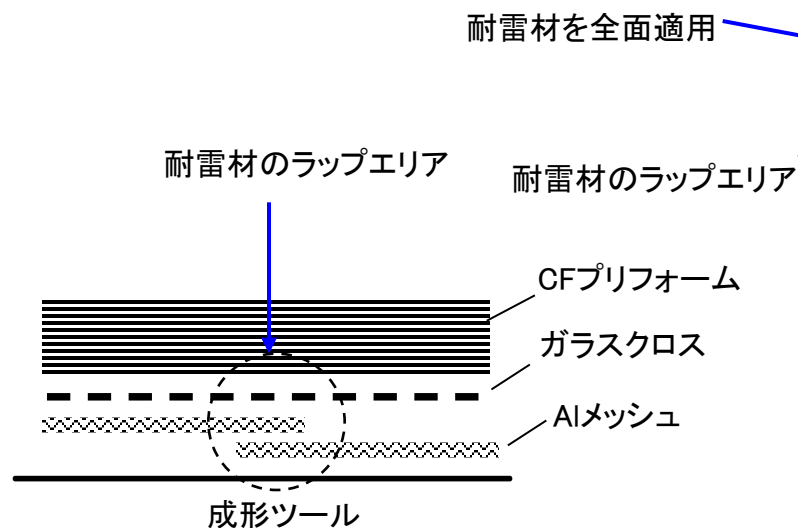
(2) VaRTMプロセスの製造安定性確立

◆ 一次構造部への適用を考慮した成形試験：

CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastic

- 金属部材とCFRP部材の結合部に対する異種金属間電蝕防止対策や翼端部への雷撃を想定した耐雷保護対策が必要となる。
- VaRTM成形プロセスにガラスクロスや耐雷材を加えることによる品質低下はないことを確認した。

耐雷材による表面うねり状態を模擬し、品質低下を目視で検査可能であることを確認

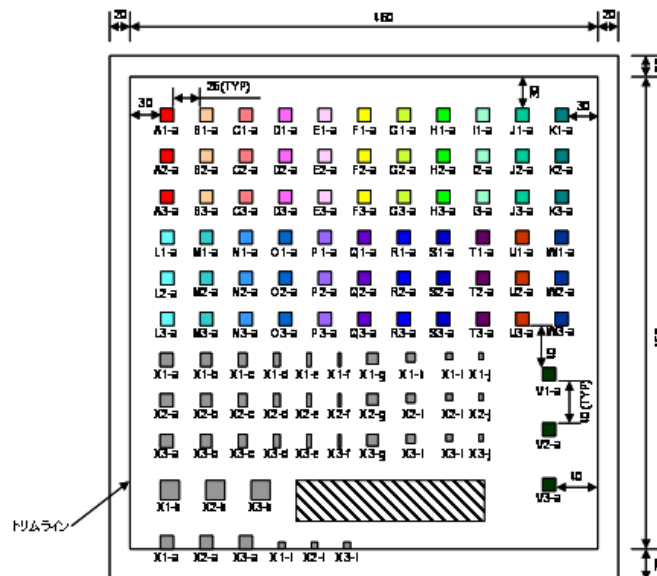


ガラスクロス材及び金属耐雷材入りVaRTM成形評価

(2) VaRTMプロセスの製造安定性確立

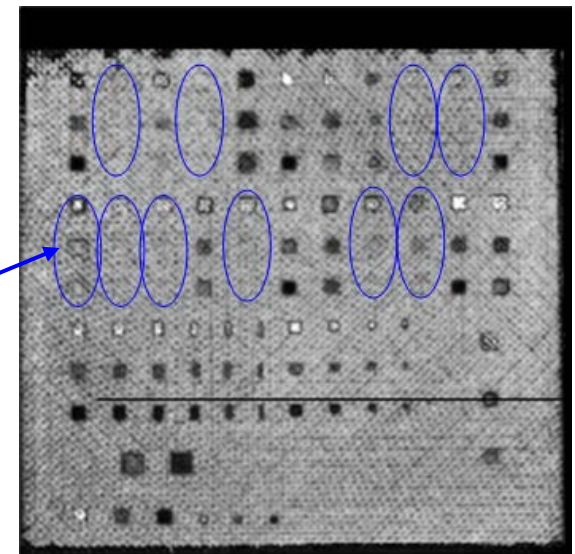
◆ 異物混入時NDI検出評価試験：

- 積層時の異物として混入しうる可能性があるものを許容欠陥サイズで意図的に混入し、NDI検出可能かを評価した。
- 大半の想定すべき異物は検出可能であること確認した。一部の異物は、検出性の低いことも分かった。
- 成形プロセスで検出困難な異物混入をコントロールするとともに、UTの条件決定のプロセスを設定するプロセスを確立させた。



異物混入配置図

検出性が低い
可能性のある
異物



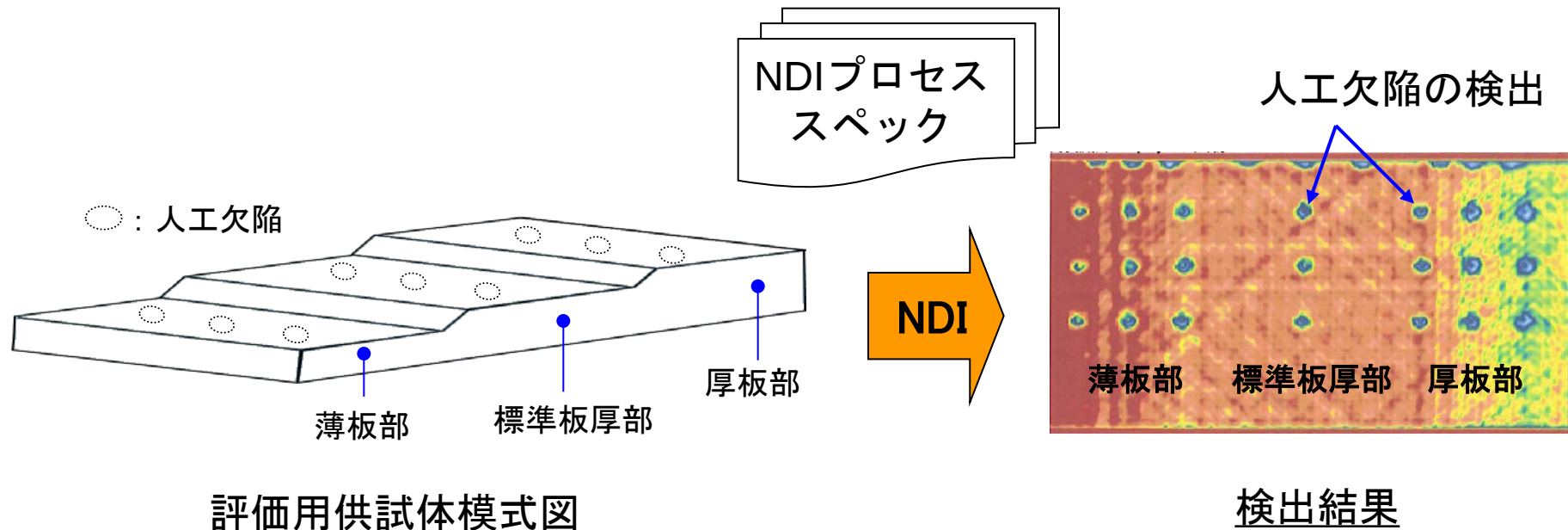
NDI評価写真

異物混入NDI評価結果

(2) VaRTMプロセスの製造安定性確立

◆ NDIプロセススペックの設定:

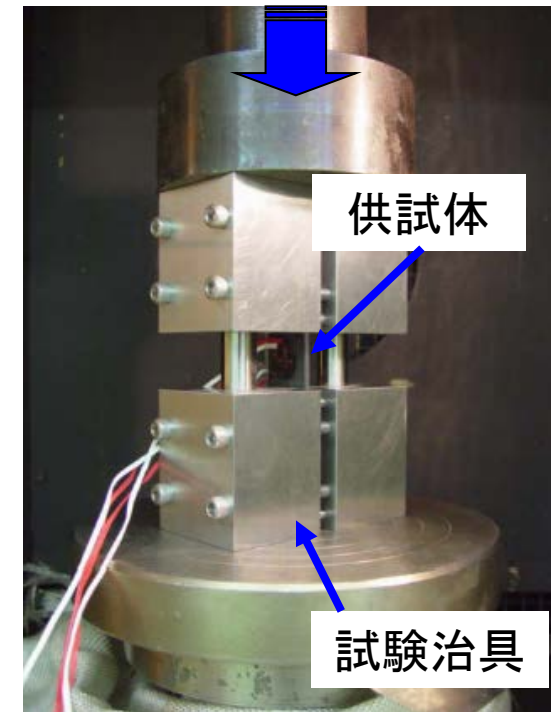
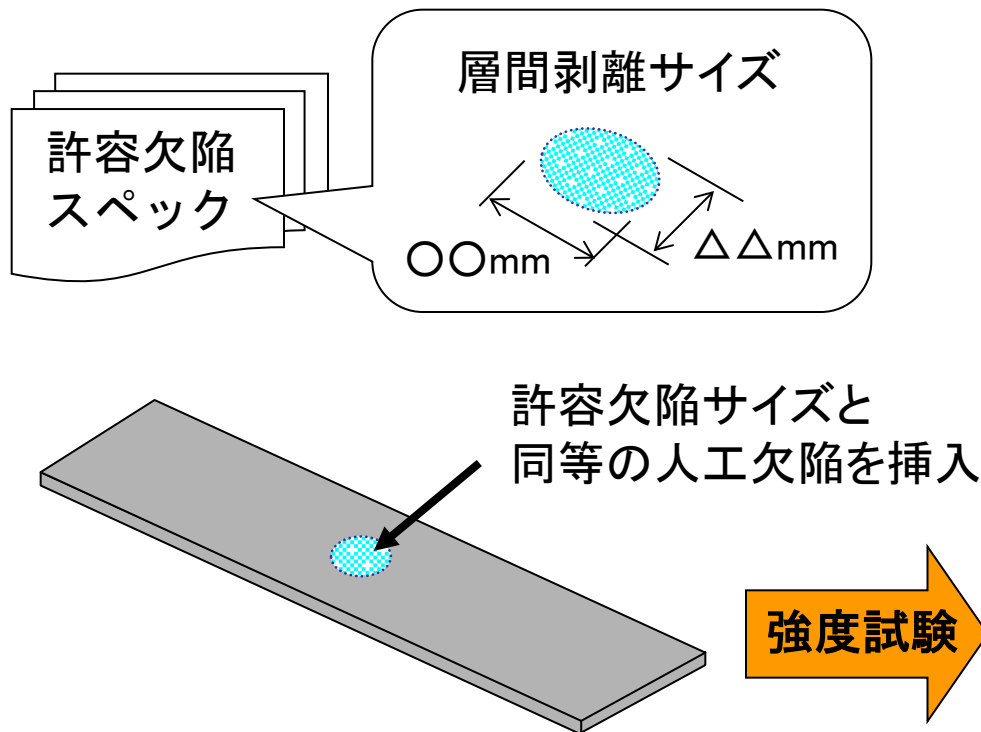
- NDI検出性評価試験の結果をもとにNDIプロセススペックを制定し、適合性判定書を取得した。
- NDIプロセススペックの有効性を実証するため、試作機の板厚のバリエーション及び板厚変化を模擬し、人工欠陥を挿入した供試体を用いた評価試験を実施し、十分な検出性を示すデータを得た。



(2) VaRTMプロセスの製造安定性確立

◆ 製造許容欠陥サイズを規程するスペックの制定:

- 実大強度試験および断面観察評価等の検討に基づき、許容欠陥サイズを規定するスペックを制定した。
- 許容欠陥による強度の大きな低下等の事象発生有無を確認するため、人工欠陥を挿入した供試体を作成し、強度評価試験を実施した。

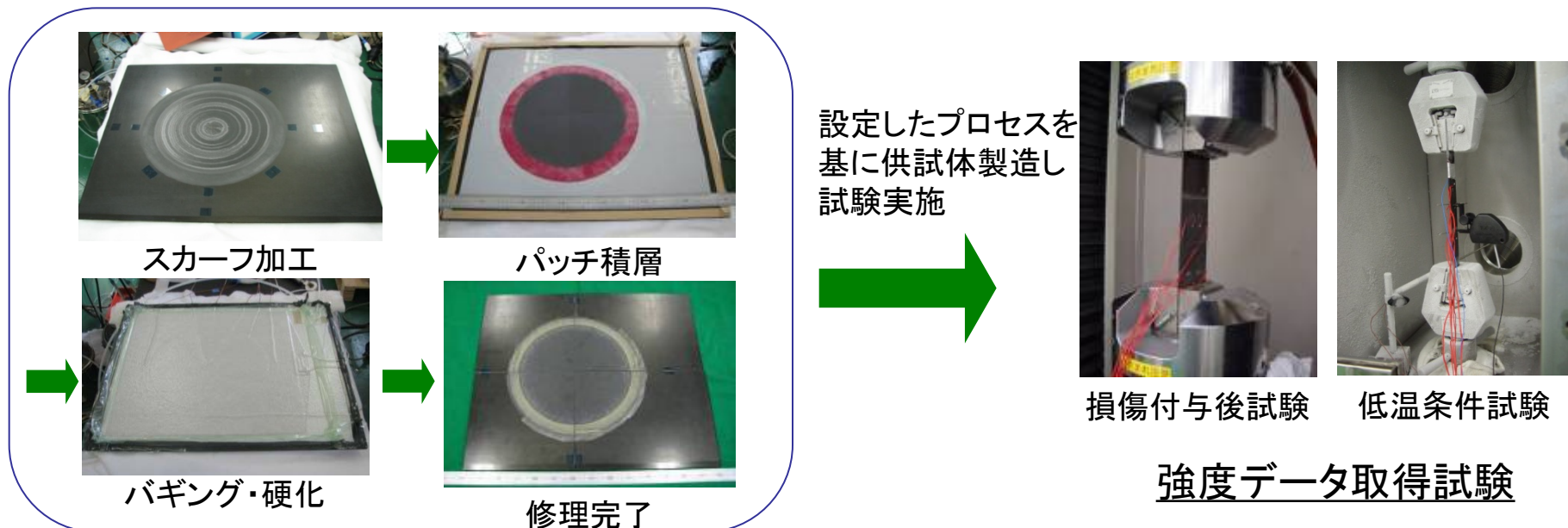


強度評価試験状況

(2) VaRTMプロセスの製造安定性確立

◆ 損傷時修理の基本プロセスの設定:

- 製造時及び飛行・離着陸時に生じた強度回復が必要な損傷について安定した修理方法を確認する必要がある。VaRTMプロセス特有の成形技術を考慮しながら基本となる修理プロセスを設定した。
- 設定した基本プロセスをもとに強度試験を供試体を製造し基本的な強度試験を実施、強度回復効果を確認することで、プロセスを確立した。



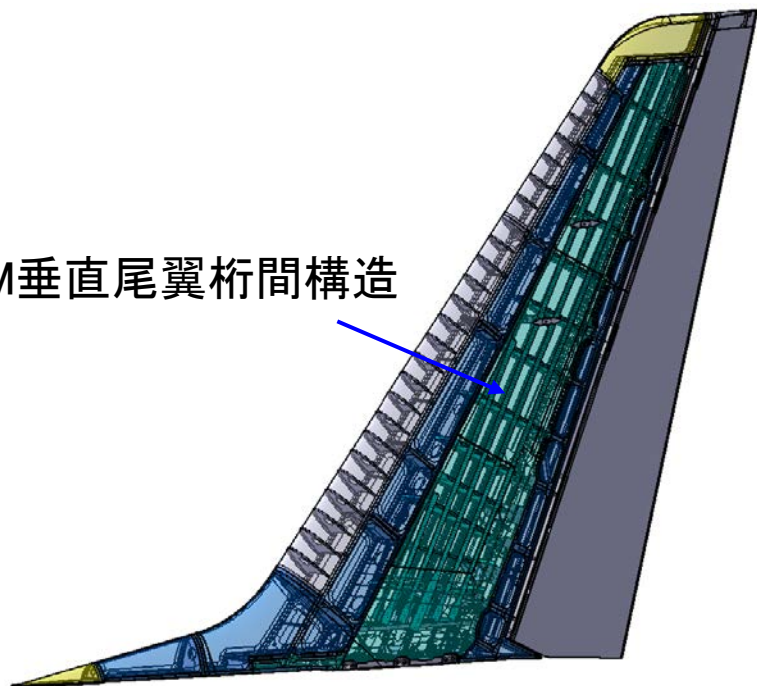
スカーフ修理の基本プロセス設定試験

(3) 実大規模の供試体設計のための設計許容値確立

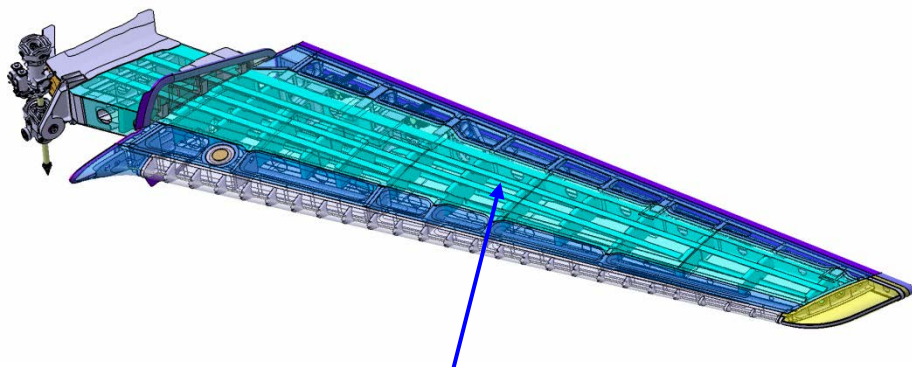
◆ 試作機尾翼仕様の設定:

- VaRTM構造と胴体部・舵面部や前縁部等の金属部品とのインターフェイス・結合様式も含めた細部詳細設計を実施し, CATIAモデルを作成すると共に部品系列表(パーツツリー)も作成した。

VaRTM垂直尾翼桁間構造



VaRTM水平尾翼桁間構造



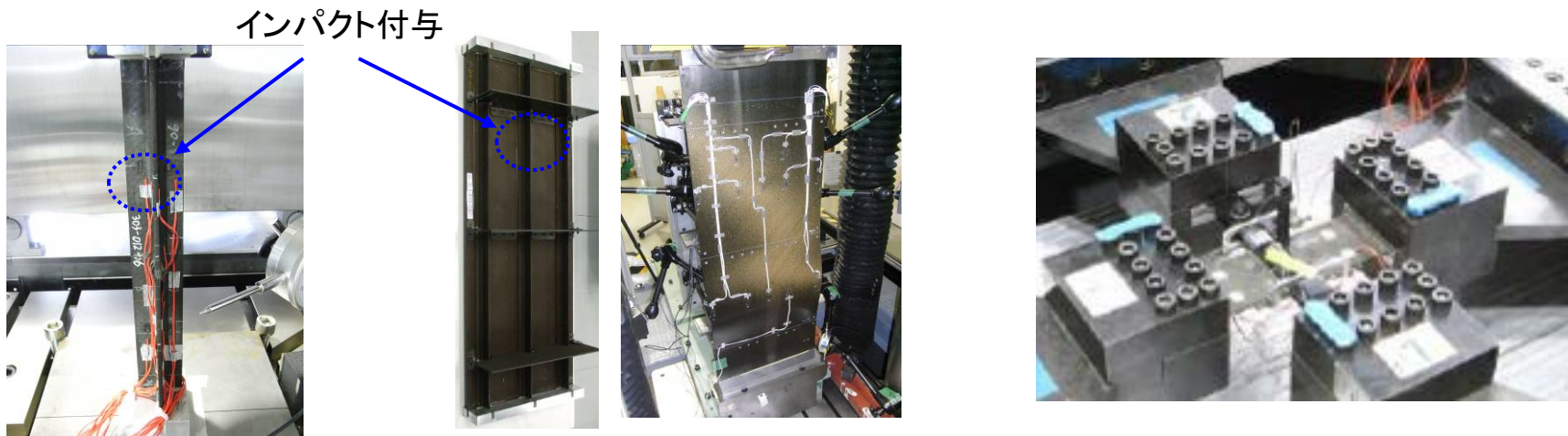
VaRTM技術を用いた尾翼桁間構造と周辺構造の詳細設計図

(3) 実大規模の供試体設計のための設計許容値確立

◆ 構造仕様に対するリスク評価強度試験：

設定した仕様に対し，下記のVaRTM特性の低下リスクを確認した。

- T型断面VaRTMストリングへの衝撃付与後の強度
 - 舵面等の取付部での二軸方向荷重によるVaRTM継ぎ手強度
- 確認の結果，現状設定している許容値に影響はないことを確認した。



BVIDストリング/パネル圧縮試験・トランスバースベアリング(二軸荷重継ぎ手)試験

BVID: Barely Visible Impact Damage

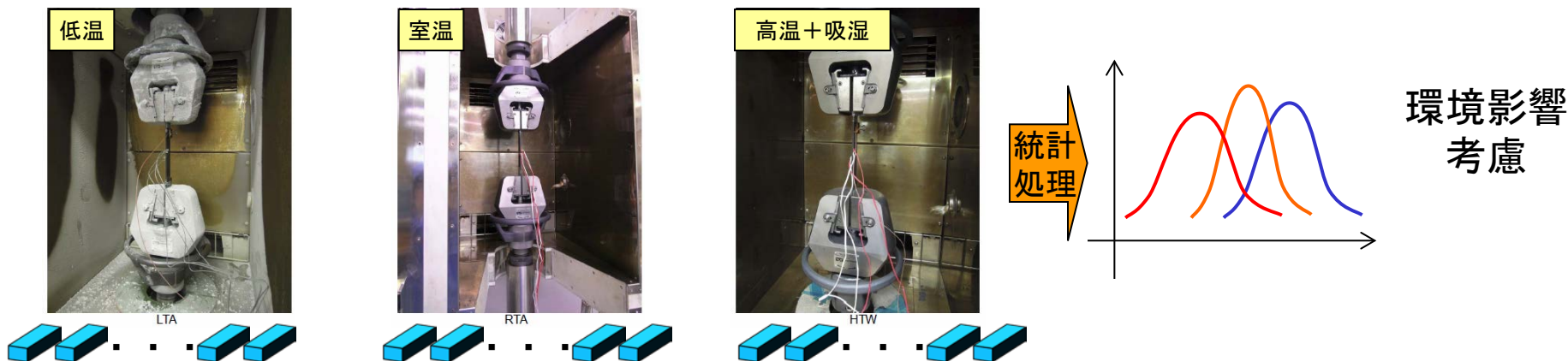
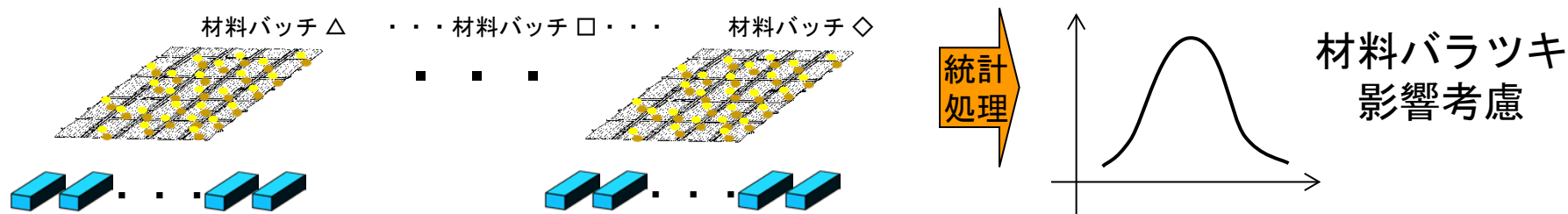
(3) 実大規模の供試体設計のための設計許容値確立

- ◆ VaRTM前桁構造の適合性証明計画に対するリスク評価試験：
 - 尾翼へ3.6kg(8ポンド)の鳥が衝突しても安全に飛行できることを証明することが必須であり、前縁部を貫通してVaRTM桁間に至る可能性の有無につき確認する必要がある。
 - 前縁部で試験に基づく解析保証ができれば、VaRTM前桁への直接的な鳥衝突影響を回避できる。
- 確認の結果、変形全体の解析を含めた評価が可能であることが判明した。

(3) 実大規模の供試体設計のための設計許容値確立

◆ 統計的手法を用いた設計許容値の確立:

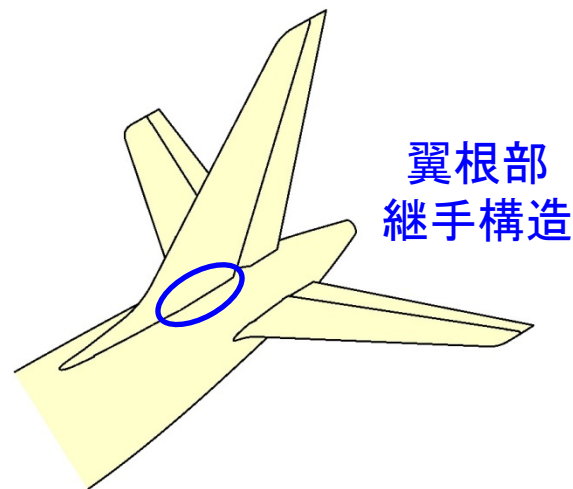
- 設計許容値を設定するにあたり、材料のバラツキ及び環境影響を考慮するため、各々をファクタとしたクーポンレベルの試験を実施し、データを取得した。
- 試験でデータを基に、統計的手法を用いて設計許容値を設定した。



(3) 実大規模の供試体設計のための設計許容値確立

◆ 統計的手法を用いた設計許容値の確立：

- クーポンレベルでの取得データを基に設定した設計許容値が、試作機の構造仕様に対して有効であることを確認するため、試作機の翼根部の継手構造を模擬した“厚板”・“大口径”・“異種材結合”の供試体を用いて強度試験を実施し、その有効性を確認した。



強度試験状況

(4) 実大規模での技術成立性実証

◆ モックアップを用いたVaRTMインターフェイス部検証

- 実大規模での技術成立性実証に先立ち、VaRTM桁間構成部品の胴体インターフェイス部を想定した木製モックアップを製作し、アクセス性等試作機尾翼桁間仕様の課題を抽出した。

→アクセスに関する大きなリスクは無いことを確認すると共に、(3)のVaRTM桁間構造へのフィードバックを実施した。



検討作業風景



水平尾翼桁間翼根周辺部



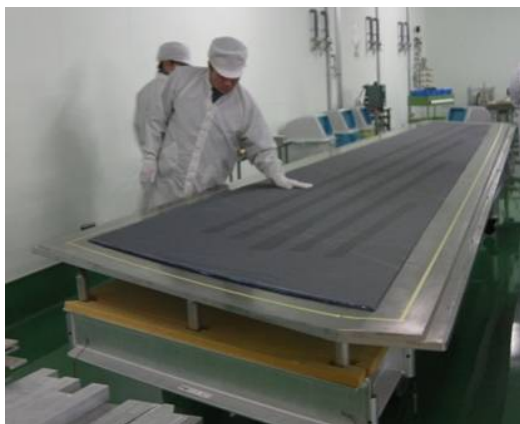
垂直尾翼桁間翼根周辺部

尾翼桁間モックアップアクセス性評価

(4) 実大規模での技術成立性実証

◆ 実大工作試験による技術成立性検証(1/2)

- これまでに選定した材料および設定してきたプロセスを用いて、実大規模での技術成立性検証を実施した。単品部品および組立時において成形性および品質の確認を実施した。
- 単品部品成形および組立時の課題を抽出し、技術指示への適切なフィードバックを行った。この結果、試作機製造に向け大きなリスクがないことを確認できた。



単品部品の品質確認
(SKIN)



組み付け検証
(RIB-SPAR)



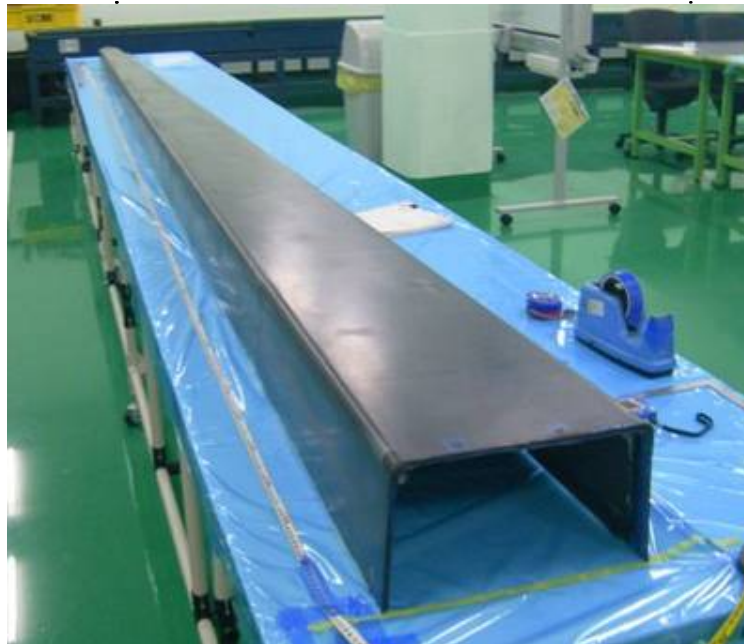
完成した供試体

尾翼桁間構造 実大工作試験の状況

(4) 実大規模での技術成立性実証

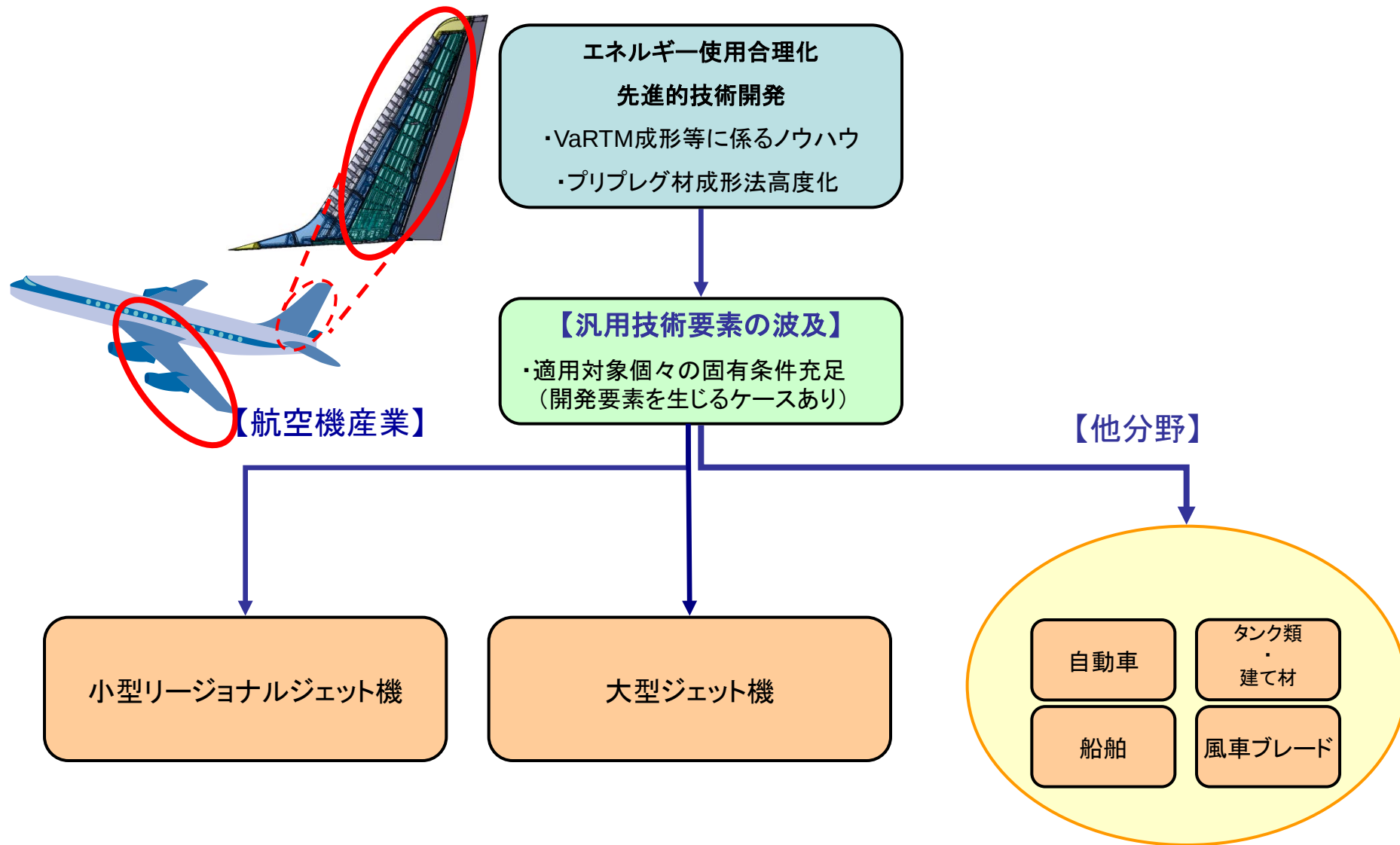
◆ 実大工作試験による技術成立性検証(2/2)

- これまでに設定してきた材料および製造プロセスを用いて、尾翼桁間構造のコボンドパネル、スパー及びリブを対象に製造技術検証試験を実施し、十分な品質で航空機部品を製造できることを確認した。



成形技術検証試験の状況(スパー)

5. 事業化、波及効果

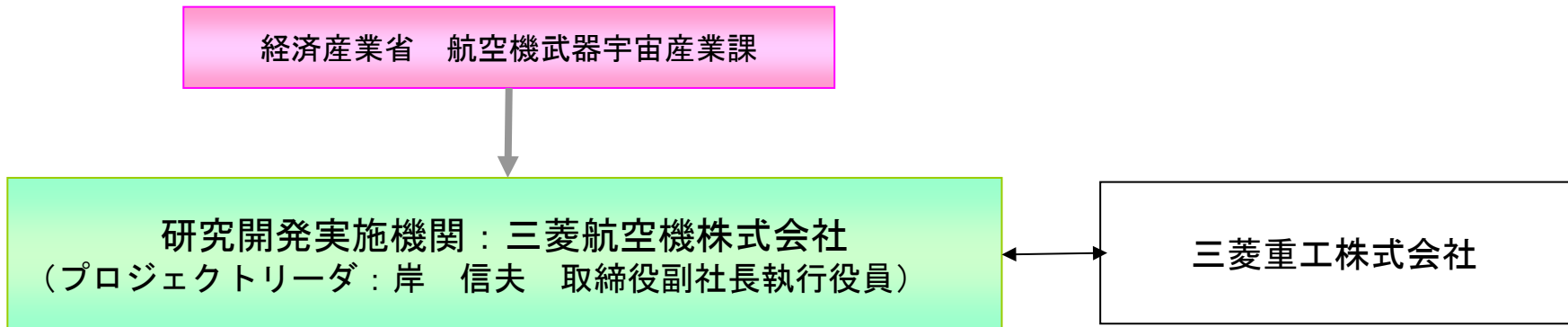


6. 研究開発マネジメント・体制等

本研究開発は、公募による選定審査手続きを経て、三菱航空機株式会社が経済産業省からの助成を受けて実施している。

三菱航空機株式会社において本研究開発の管理者として統括責任者、推進責任者としてプロジェクトリーダーを置き、三菱重工業株式会社名古屋航空宇宙システム製作所等と連携しながら本事業を実施している。

【体制図】



7. 中間評価結果

提 言	対 処 方 針
○日本の優れた複合材料技術を生かした事業であることから、世界をリードする事業戦略を構築しつつ、当該複合材成形技術の他分野への波及、成形・製造・修理プロセスの検討など、一層の技術の高度化・確立に取り組むべき。	○複合材構造関係の技術は、航空機の軽量化等のために重要であるとともに、我が国が長年かけて培ってきた技術的知見を有する分野であることから、引き続き、その国際競争力を維持・強化すべく、技術開発を推進してまいりたい。 ○ 他方、炭素繊維複合材の成形分野では、さらなる低コスト化や品質安定性の向上、また、普及に伴う簡易で低コストな修理プロセス技術の開発が必須になっていることから、引き続き、そうした技術課題にも対応する方針である。

評価小委員会のコメント	対 処 方 針
他の産業も含めて幅広く成果の波及が期待できるよう、成果の横展開のあり方について十分に考慮するべき。	○技術開発の進展によって、今後、他の産業も含めて事業成果が幅広く波及することが期待される。

8. 評価

8-1. 評価検討会

評価検討会名称

航空機関連プロジェクト事後評価検討会

評価検討会委員

座長

李家 賢一 東京大学大学院工学系研究科 教授

委員

岩田 拓也 産業技術総合研究所主任研究員

岡部 朋永 東北大学大学院航空宇宙工学専攻教授

奥田 章順 株式会社三菱総合研究所参与・チーフコンサルタント

山田 圭一 株式会社ANA総合研究所 航空・産業政策グループ
主席研究員

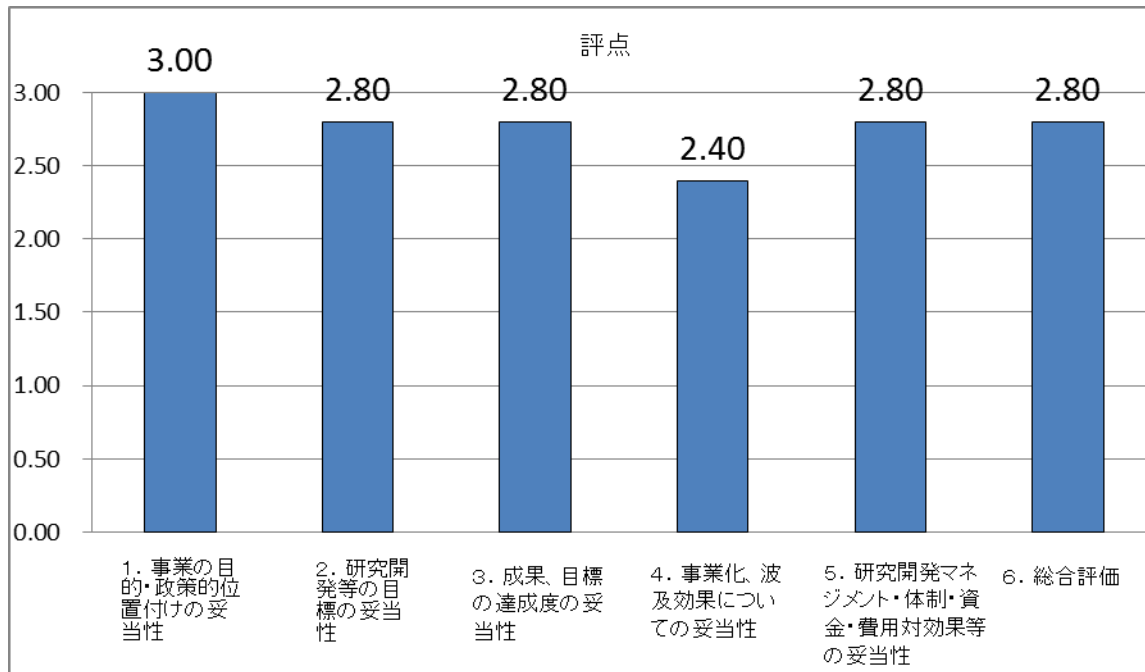
8－2. 総合評価(コメント)

輸送機械の発展に極めて有効な目標を立て、目標とした成果を達成したという点で、優れていると評価される。航空機のみならず、自動車などへの波及効果は大きいと考えられる。

なお、今後も幅広い輸送機械に適用拡大できるよう努めていただきたい。また、厚みのある製品量産・品質確立ができるよう、引き続き努力いただきたい。

8-3. 評点結果

○「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト事後評価において、
評点法による評価を実施した。



【評価項目の判定基準】

評価項目1.～5.

3点:非常に重要又は非常によい

2点:重要又はよい

1点:概ね妥当

0点:妥当でない

6. 総合評価

3点:実施された事業は、優れていた。

2点:実施された事業は、良かった。

1点:実施された事業は、成果等が今一步のところがあつた。

0点:実施された事業は、成果等が極めて不十分であつた。

9. 提言及び提言に対する対応方針

今後の研究開発の方向等に関する提言

大型部材の量産・品質確立に向けた取組を継続いただきたい。また、航空機以外の分野への適用も含めて、事業化戦略を構築いただきたい。その際、重量軽減のみならず、製造コスト・工期の低減についても、目標を明確にする必要があると考えられる。認証、標準化においても、日本の基準が採用されるような戦略的アプローチを検討いただきたい。

提言に対する対応方針

本技術開発で得られた技術については、航空機以外への適用も含め、事業者とともに引き続き事業化に向けた検討を行ってまいりたい。その際は、製造コスト・工期の低減や、認証、標準化のアプローチにも留意する。

2 航空機用先進システム基盤技術開発 (耐雷・帯電特性解析技術開発)

目 次

1. プロジェクトの概要
2. 目的・政策的位置付け
3. 目標
4. 成果、目標の達成度
5. 事業化、波及効果
6. 研究開発マネジメント・体制等
7. 中間評価結果
8. 評価
9. 提言及び提言に対する対処方針

1. プロジェクトの概要

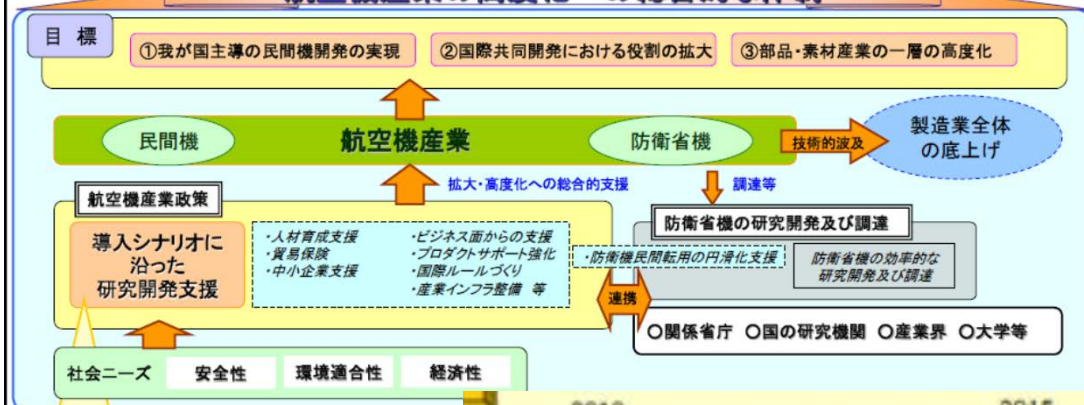
概 要	航空機構造における耐雷・帯電等の電氣的現象及びその影響を解析及び試験により解明し、航空機の安全性を確保するための耐雷・防爆解析技術を開発する。
実施期間	平成22年度～平成26年度（5年間）
予算総額	6.5億円(委託) (平成22年度:0.4億円 平成23年度:1.4億円 平成24年度:1.1億円) (平成25年度:1.9億円 平成26年度:1.7億円)
実 施 者	富士重工業株式会社 航空宇宙カンパニー
プロジェクト リーダー	村田 巖 富士重工業(株)航空宇宙カンパニー研究部 部長

2. プロジェクトの目的・政策的位置付け

目的 : 炭素繊維複合材航空機設計の耐雷帯電解析技術を確立する

政策的位置付け : 地球温暖化問題の顕在化や燃料価格高騰といった環境変化によって重要性が増している複合材料適用拡大のための技術獲得

航空機産業の高度化への総合的な体制



3. 目標(1/5)

航空機設計へ適用する耐雷帯電解析技術の構築のため、以下の要素技術を開発する。

- ①解析手法の開発 ②放電現象の研究 ③帯電現象の研究
④検証方法の検討 ⑤測定方法の開発

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
①解析手法の開発	①実大燃料タンク・システム供試体において従来開発手法と比し、開発時間を30%以上短縮する見通しを得る	現状の解析精度は50%程度であるため、耐雷設計の検証のために多く試験が必要である。この課題を解決するために、解析精度を70%に引き上げるとともに高速化し、試験に要する時間を30%以上短縮することを目標として設定した。
	②複雑な構造での電流経路及び放電部特定等の解析を可能とする解析ツール体系を確立する	高精度な解析により放電箇所を事前に特定し、最小限の認証試験にて耐雷性を証明して、設計作業を低減するのが本事業の目的である。この目的を達成するためには、航空機耐雷性認証に使用できることを証明する必要がある、設計標準化した体系的な放電箇所特定プログラムの確立が必要である。
	③TRL5相当	本研究開発における技術の到達目標は、実機へも適用可能なレベルであることを検証すること目標とし、実機の構造様式での解析と、試験での実証を設定した。
	④国際標準への提案	解析手法を国際標準化し、航空機設計に使用可能とするための提案活動を実施し、標準化の目処をつけるのを目標として設定した。

3. 目標(2/5)

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
②放電現象の研究	①放電開始箇所および条件の確立	放電開始箇所の特定は、前項の「①解析手法の開発」の電磁界解析等で得られる電流／電圧集中の推算結果を基に、放電現象が発生する諸条件を適用する手法で実施する。従って、解析を適用する範囲を明確にするため、放電の開始箇所および条件の確立を目標とした。
	②航空機燃料タンク部におけるスパーク発生の可能性がある放電原理の解明	解析と放電発生条件を組み合わせ、放電発生箇所の特定技術を開発するには、放電を支配するパラメータを明確にする必要があり、放電のメカニズムまで解明した上でパラメータを設定する必要がある。 このため、航空機燃料タンク部におけるスパーク発生の可能性のある放電原理を洗い出し、放電の可能性のある原理を解明することを目標とした。
	③放電検出技術の確立	放電箇所の検出の課題としては、現状の国際標準ではフィルム・カメラ撮影法およびガス引火法であり、複雑な構造内部での放電箇所の特定では撮影法だとブラインドが多く、またガス引火法では放電の発生は分かるが、放電箇所の特定は困難である。このような国際標準上での課題を解決するため、構造内部にセンサを巡らせて、放電箇所を特定する検出技術の確立を目標とした。
	④国際標準への提案	開発した放電技術が航空機設計で使用可能になるよう国際標準へ提案活動を実施し、標準化の目処をつけることを目標とした。

3. 目標(3/5)

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
③帯電現象の研究	①航空機燃料タンク部におけるスパーク発生の可能性のある放電原理解明	燃料タンクにおける帯電原理は、燃料の流動による摩擦および引き剥がし等により電荷が発生することを起因している。このため、動的な電荷の移動を解析する必要があるが、計算は困難であり、未だ確立していない。本研究は、電荷の移動の計算方法を研究し、解析手法の開発に反映することを目標とする。また、解析と同様に動的な電荷の移動の試験方法も確立していないため、本研究は、試験方法も研究し、電荷の移動の計算方法の有効性を確認することも目標とする。

3. 目標(4/5)

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
④検証方法の検討	①炭素繊維複合材料の材料／構造の電気的特性の取得	解析技術の高精度／高速化を狙うためには、解析パラメータとなる炭素繊維複合材料の各種積層方法や、材料と継手の組合せ等の数値化がノウハウとなる。 よって、材料と構造の各種組合せを網羅した電気特性データベースを確立することを目標とした。
	②実大燃料タンク・システム供試体にて耐雷／静電気防爆試験を実施し、解析結果を実証	解析技術の高い精度を証明するため、実際の航空機と同等の形状／寸法の燃料タンク・システムを模擬し、かつ、解析を証明するデータが取得可能となる供試体での実証を目標として設定した。
	③国際標準化に向けた解析技術の証明方法の確立	最終的に国際標準化のために解析方法を証明するには、解析の実証法が国際標準に適合することを証明する必要がある。よって、国際標準で認められる解析技術証明方法の確立を目標と設定した。

3. 目標(5/5)

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
⑤測定方法の開発	①炭素繊維複合材料の材料／構造の電気的特性の測定方法確立	解析技術の高精度／高速化を狙うためには、解析パラメータとなる炭素繊維複合材構造の数値化が必要である。ただし炭素複合材料の電気特性は複雑であることが予測され、高精度の測定技術がノウハウとなる。よって、精度良く複合材料の電気特性を取得する測定方法の確立を目標として設定した。

4. 成果、目標の達成度(1/11)

課題であった炭素繊維複合材の繊維の影響による導電率の異方性を解析可能とする手法を世界に先駆けて開発し、目標を達成している。

解析の国際標準化は、時間をかけて進めていく課題がある。
引き続き国際標準委員会の動向を見極めて提案していく。

要素技術	目標・指標	成果	達成度
① 解析手法 の開発	①実大燃料タンク・システム供試体において従来開発手法と比し、開発時間を30%以上短縮する見通しを得る	・翼胴結合供試体において試験と解析の比較検証を実施し、試験に対して誤差30%以内で解析が合うことを確認した。これより、試験期間を30%以上低減できる見通しを得た。	達成
	②複雑な構造での電流経路及び放電部特定等の解析を可能とする解析ツール体系を確立する	・複雑な電流経路をつくる複合材繊維の導電率の異方性を、層ごとに表現した解析手法を開発して検証した。	達成
	③TRL5相当	・翼胴結合供試体を用いた検証結果にて、妥当の評価を得た。	達成
	④国際標準への提案	・SAE標準へ解析および試験法を報告したが、未だハイレベルの規定の見直しの最中であり、組織化には至っていない。	一部 達成

4. 成果、目標の達成度(2/11)

実証段階において、要素技術の最終目標を達成している。
国際標準化活動の継続が必要である。

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
② 放電現象 の研究	①放電開始箇所および条件の確立	・雷電流量と構造の接合方式の相関を試験にて確認し、放電開始しきい値としてまとめた。 ・試験でのデータ取得方法はFAA DER有資格者のレビューを受け、妥当との評価を受けた。	達成
	②航空機燃料タンク部におけるスパーク発生の可能性がある放電原理の解明	・構造の抵抗による電流密度と電位分布が主要な放電発生原因と特定した。 ・機体の各種構造部位での放電開始条件を試験にて確認した。	達成
	③放電検出技術の確立	・放電光によるエネルギー分析手法を開発し、引火する恐れのある放電を探知する技術を開発した。	達成
	④国際標準への提案	・標準化団体SAE Internationalへ放電探知標準の見直しを提案し、標準見直し活動が具体的に開始された。	達成

4. 成果、目標の達成度(3/11)

他には無い、燃料の流動を考慮した動的な電荷の解析および試験にチャレンジし、解析手法および試験手法を開発した。

但し、検証試験において電荷移動の測定精度に課題が残った。

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
③ 帯電現象 の研究	①航空機燃料タンク部におけるスパーク発生の可能性がある放電原理解明	帯電による電位分布の発生原理を研究し、以下の成果を得た。 ・3次元での電荷移動原理を解明し、解析手法を開発した。燃料の帯電現象の傾向を推定可能となった。 ・燃料の流体運動を含めた電荷の移動を研究し、解析手法を開発した。流体運動が電位分布へ与える影響を推定可能となった。 ・艀装等を含む燃料タンク供試体を用いた帯電試験手法を開発した。 ・ただし、解析の主要パラメータである電荷の移動度の測定精度に課題が残り、精密な解析を得るには至っていない。	一部 達成

4. 成果、目標の達成度(4/11)

要素確認の基本設計段階において、各要素技術の年度目標を達成している。

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
④ 検証方法 の検討	①炭素繊維複合材料の材料／構造の電気的特性の取得	・構造および材料の導電率等のデータを得た。また、取得データを解析に適用し、有効性を確認した。 ・複合材繊維の異方性の影響を測定する手法を開発し、炭素繊維複合材の特性データを得た。	達成
	②実大燃料タンク・システム供試体にて耐雷／静電気防爆試験を実施し、解析結果を実証	・機体に着雷した位置により、複数の雷電流経路が発生する。これら電流経路を燃料タンク部で再現する試験方法を開発した。試験にて電流経路が異なる場合の電流分布の傾向を取得した。	達成
	③国際標準化に向けた解析技術の証明方法の確立	・試験方法および解析の検証法は、FAA DER有資格者のレビューを受け、妥当な適合範囲との評価を受けた。	達成

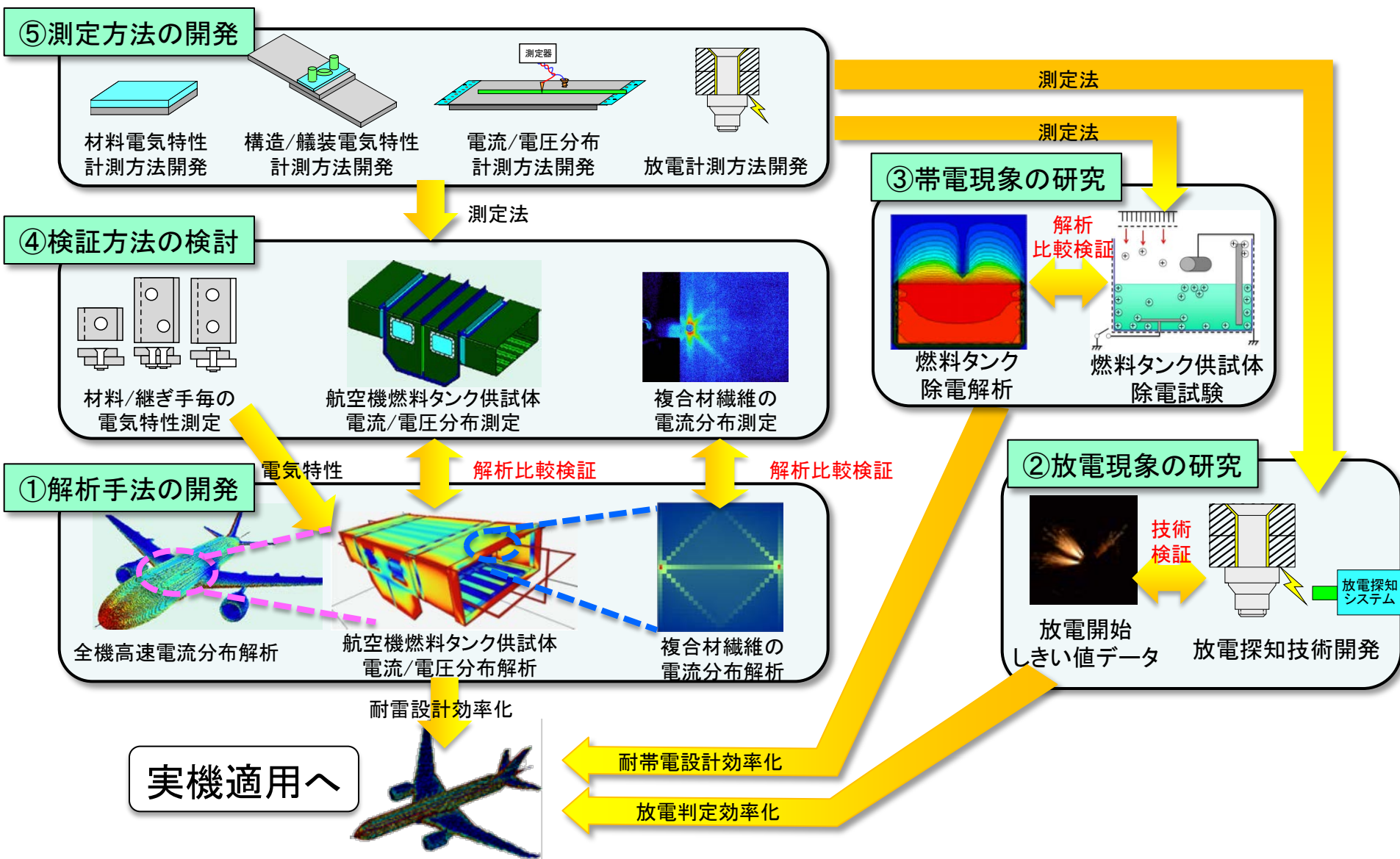
4. 成果、目標の達成度(5／11)

要素確認の基本設計段階において、各要素技術の年度目標を達成している。

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
⑤ 測定方法 の開発	①炭素繊維複合材料の材料／構造の電気的特性の測定方法確立	耐雷材と複合材の相関関係や、複合材繊維方向等の特性を測定可能とする供試体／治具を設計し、試験にて有効性を確認した。	達成

4. 成果、目標の達成度(6/11)

◆耐雷・帯電特性解析技術開発の概要

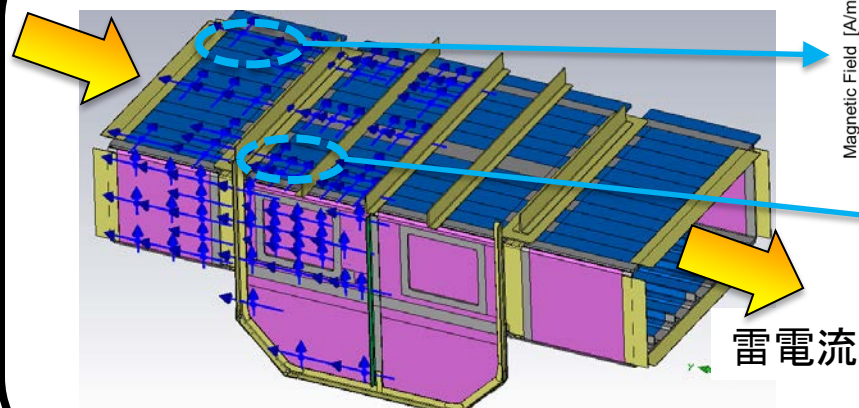


4. 成果、目標の達成度(7/11)

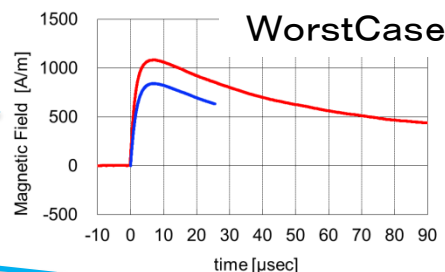
①解析手法の開発

複雑な航空機構造まで解析可能な、雷電流解析手法を開発し、試験にて検証した。

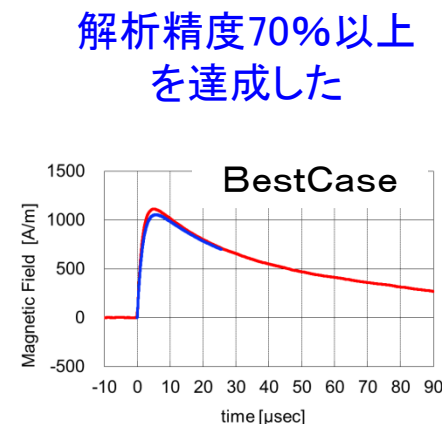
航空機で最も複雑な燃料タンク構造



翼胴結合部モデルの実験と解析



Red : 実験
Blue : 解析

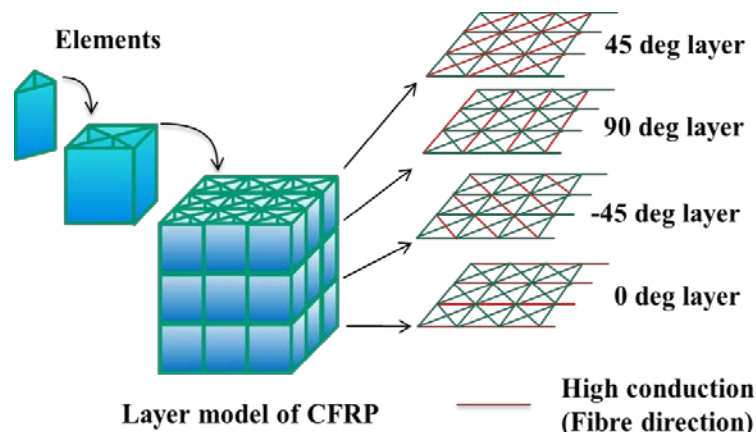


解析精度70%以上
を達成した

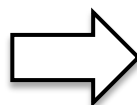
表面磁界(電流分布)を比較

複合材の繊維層の雷電流分布に至る、局所的な解析手法を開発し、試験にて検証した。

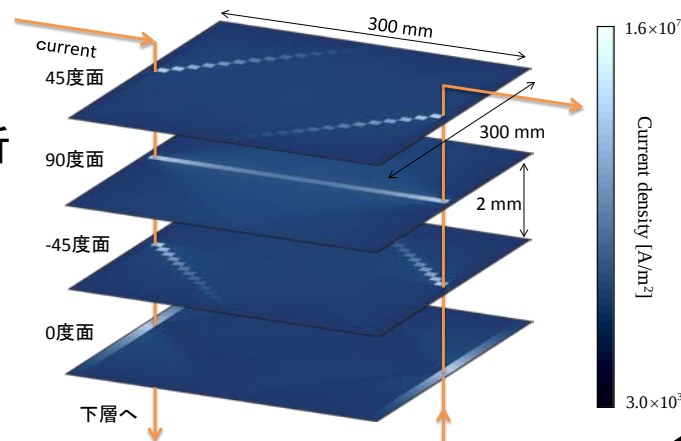
三角柱格子による新解析手法の開発(特許出願:1件)



ファスナ間の
局所的な解析
に適用



CFRP層毎の詳細な解析を実現



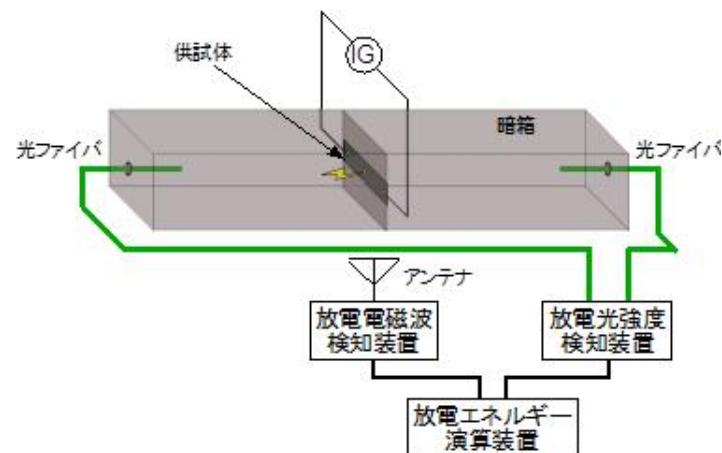
4. 成果、目標の達成度(8/11)

②放電現象の研究

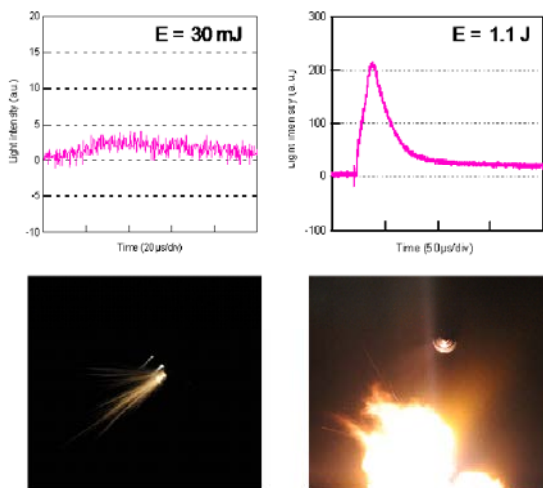
航空機燃料タンク部において、引火の危険性がある放電発生を研究した。各種放電を検討した結果、雷電流でファスナから発生する熱的スパークを課題とした。

課題解決のため、熱的スパークが発生開始するしきい値とその探知方法を研究し、耐雷構造設計や認証試験を低コスト化する試験手法を開発した。

- ・放電光強度から引火エネルギーを算定する放電探知システムの開発と国際標準化提案実施した。
- ・複合材構造における放電が発生するしきい値をまとめた。

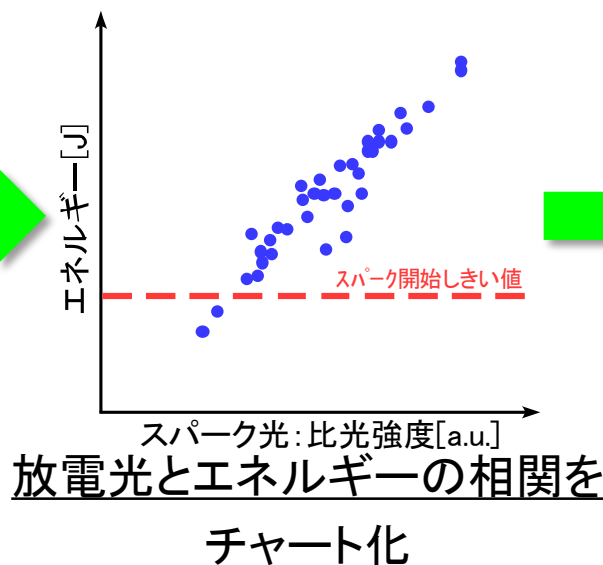


放電光検出実験構成概略図



放電の光度と引火開始を測定

(特許出願: 4件)



放電光だけで、耐雷設計を確認できる、低コストの試験法を開発

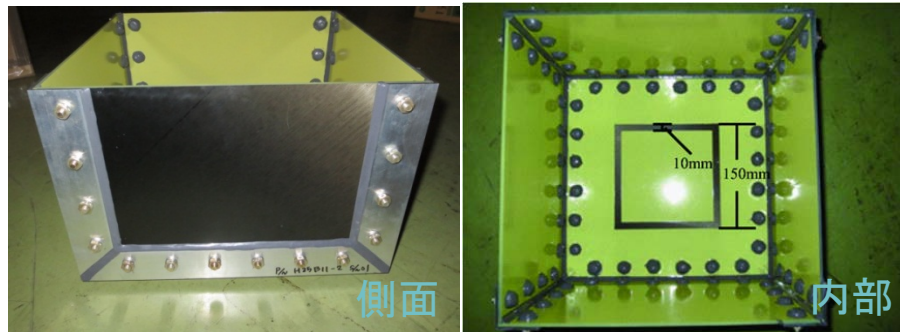
国際標準化提案

4. 成果、目標の達成度(9/11)

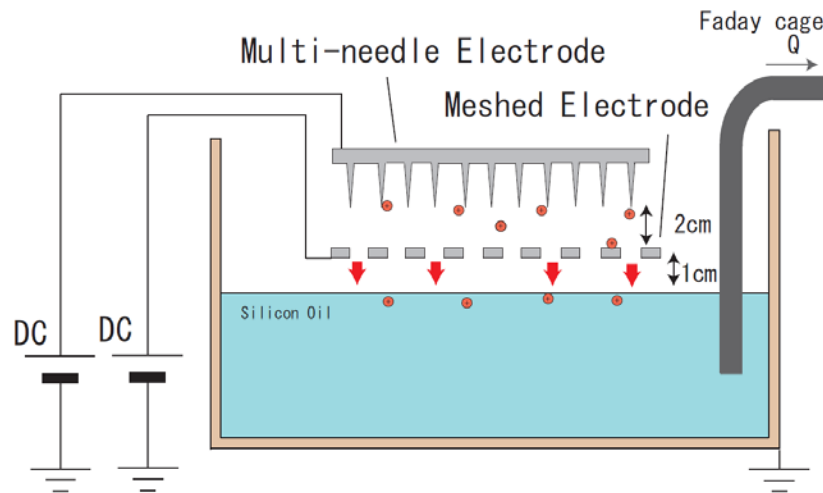
③帯電現象の研究

燃料に帯電した静電気が除電される様子が再現可能な解析手法を、実験手法と共に開発した。

静電気の振舞いを測定可能な実験装置を開発

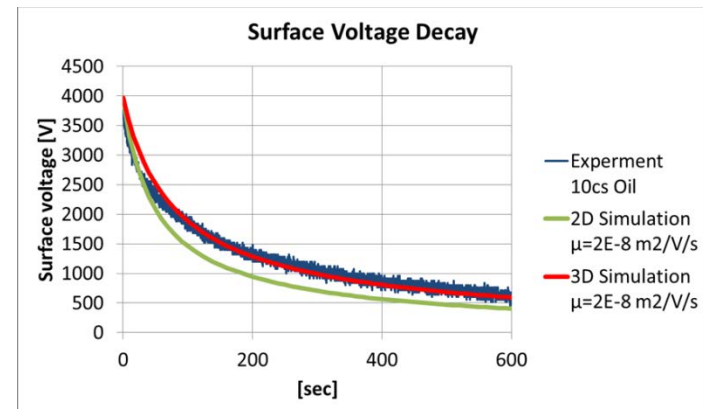


CFRP製の模擬燃料タンク例

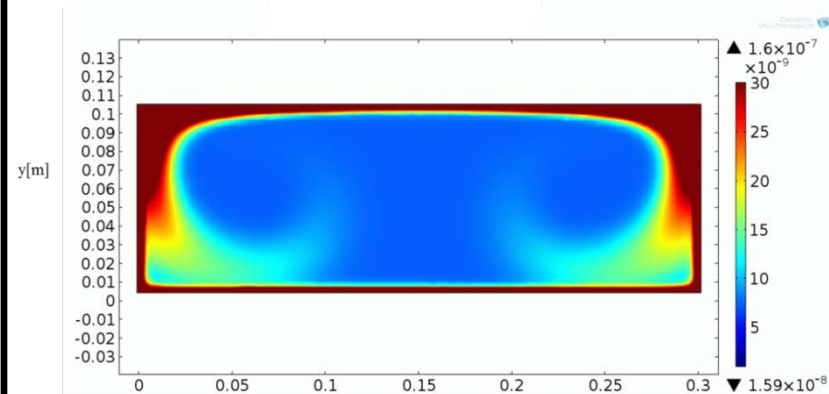


針電極により帯電を行い、帯電した静電気が燃料タンクの壁面から除電する割合を液面の電位減衰により測定

燃料対流を含めた帯電解析を開発し、解析と実験の除電傾向を検証した。



燃料表面の電位減衰の比較



燃料が対流した場合の、ある瞬間における電荷密度分布の計算例

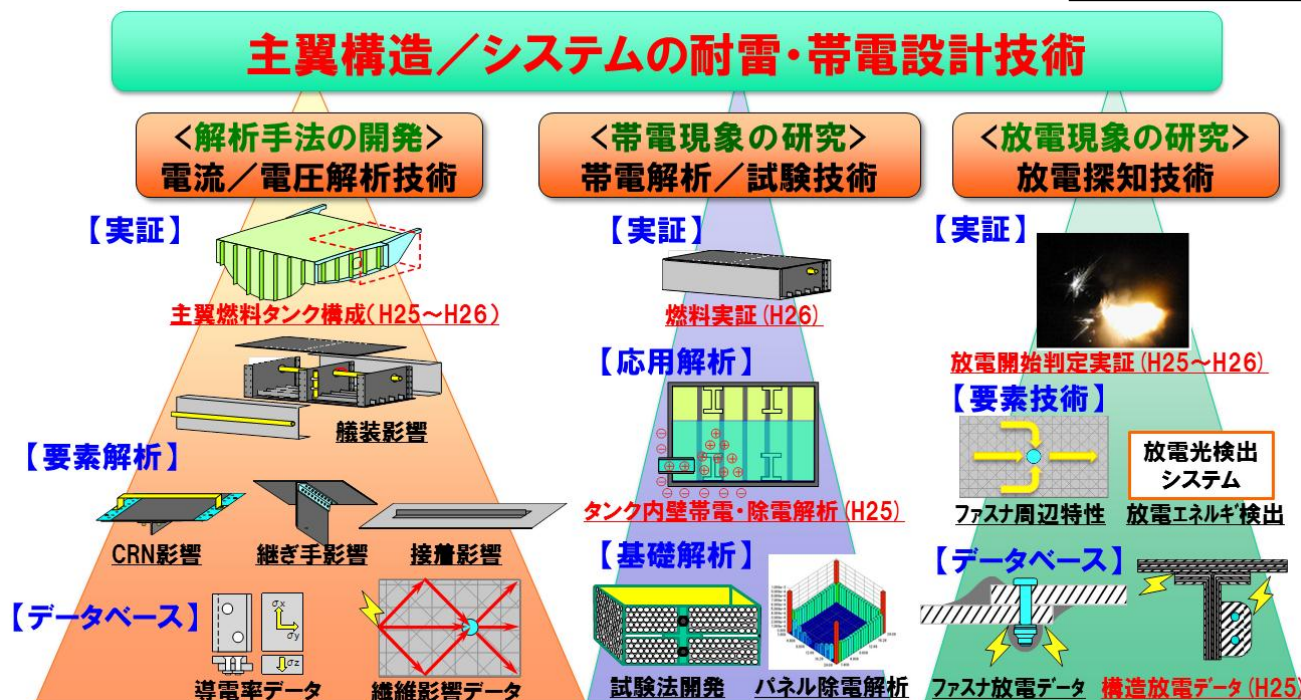
4. 成果、目標の達成度(10/11)

④検証方法の検討

- ・最終目標は実機相当の主翼燃料タンク構成での検証法である。
- ・複雑な構造を要素レベルに分解して各要素の特性データを取得した。
- ・要素レベルのデータを基にモデル検証し、徐々に複雑な構造へステップアップして解析手法を確立した。



主翼燃料タンク(翼胴結合)供試体



検証計画

- ・電気特性試験にて解析用データベースを取得した。
- ・航空機の燃料タンクで最も複雑な電流経路となる主翼と胴体が結合する翼動結合部の構造を模擬した供試体を用い、実証試験を実施し、解析の有効性を確認した。

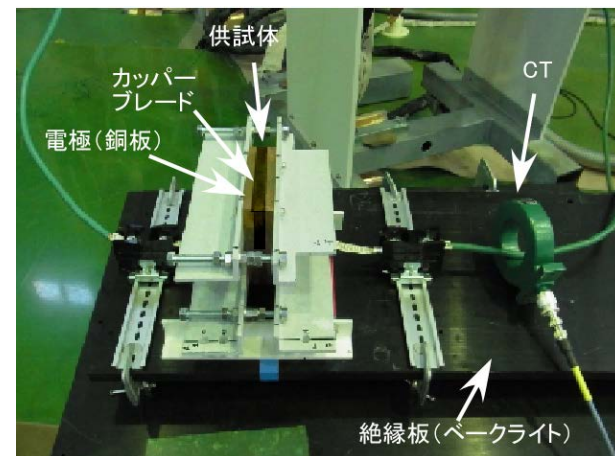
4. 成果、目標の達成度(11/11)

⑤測定方法の開発

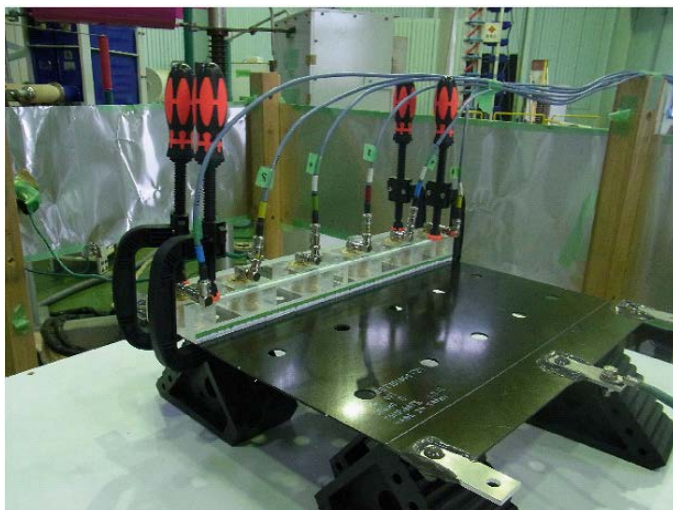
炭素繊維複合材の繊維の影響で生じる複雑な電気特性を測定可能とする測定方法を開発した。

- ・ 複合材の繊維面断面方向／厚さ方向の導電率測定方法を確認した。
- ・ 電流密度分布測定方法を確認した。

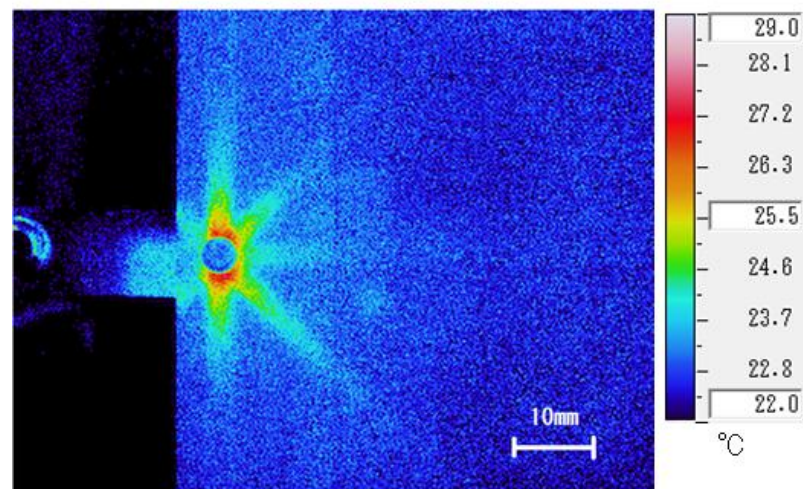
(特許出願: 3件)



複合材電気特性取得試験構成



構造表面電流分布測定概要



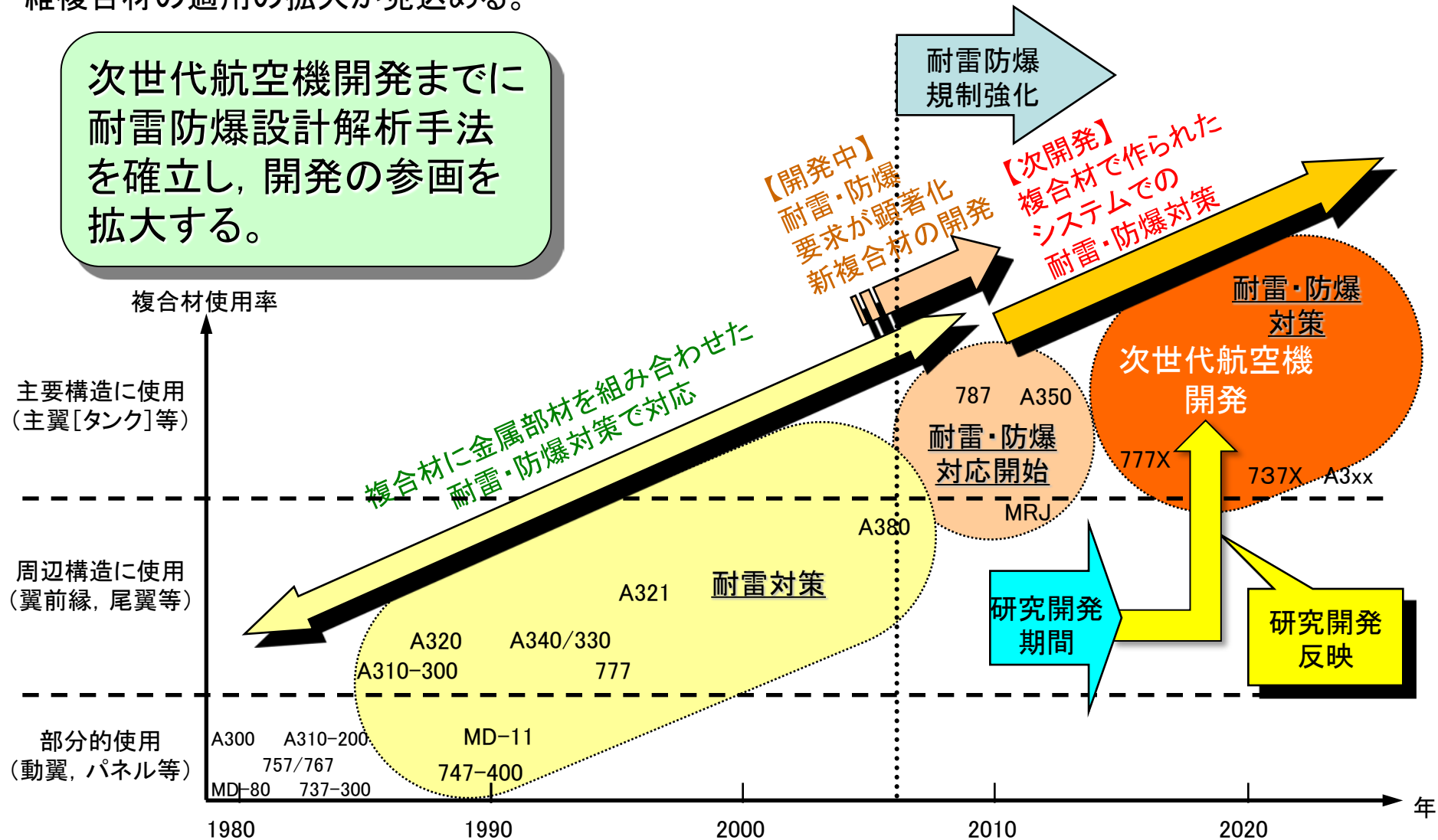
温度による電流分布測定

5. 事業化、波及効果

航空機への炭素繊維複合材の適用拡大は、雷のリスクが阻害要因となっている。

雷のリスクを設計開発段階で排除する解析・試験技術を確認することにより、航空機への炭素繊維複合材の適用の拡大が見込める。

次世代航空機開発までに
耐雷防爆設計解析手法
を確立し、開発の参画を
拡大する。



5. 事業化、波及効果

経済・環境対策を目指した複合材適用による軽量化は、航空機のみならず車両、船舶等の輸送機器から風力発電、石油タンク等まで多くの産業分野に拡大していく。

安全設計の担保として耐雷・防爆解析手法は必須

耐雷／帯電特性の解析技術

耐雷防爆設計の設計技術

送電網



(財)電力中央研究所

- ・複雑な送電網の誘導雷，フラッシュオーバーの解析

輸送機器



- ・自動車，列車，船舶等の防爆

水素社会に向けて輸送機器の軽量化のため複合材化が進む

発電所，建築物等

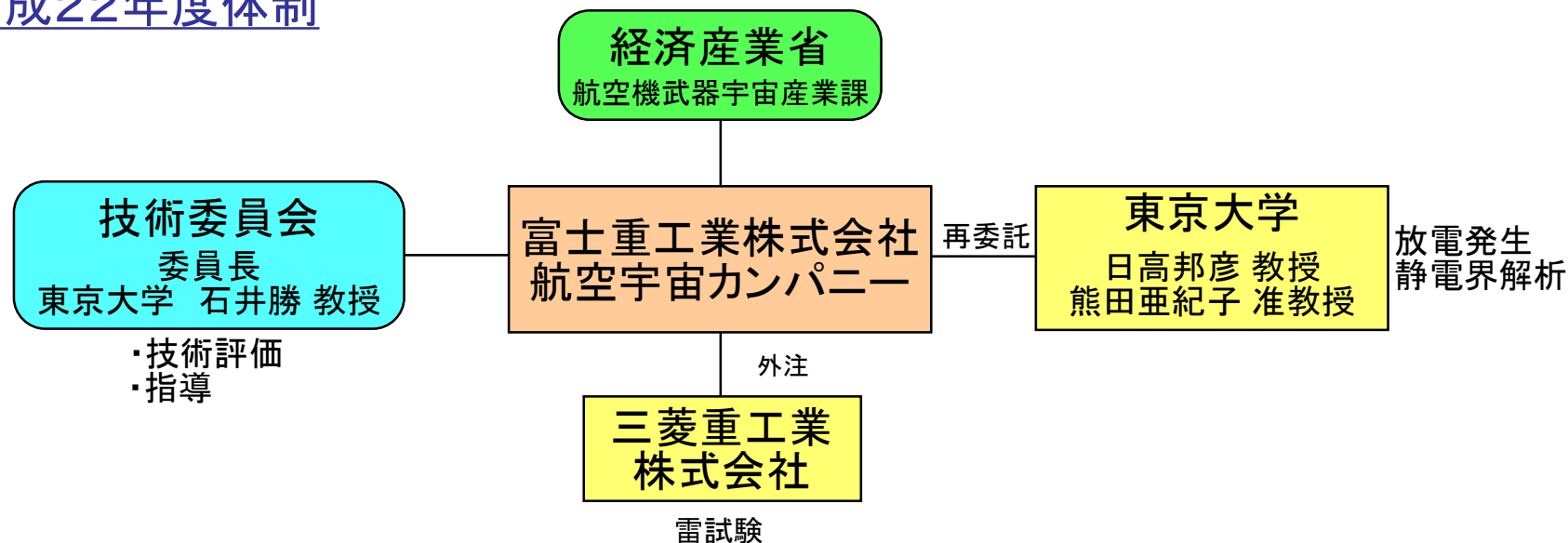


- ・水素タンク，風力発電，建築物等の耐雷／防爆
特に風力発電の雷被害は深刻な問題

6. 研究開発マネジメント・体制等(1/5)

- ・富士重工業株式会社航空宇宙カンパニーが経済産業省からの委託を受けて実施した
- ・富士重工業株式会社航空宇宙カンパニーがプロジェクト管理を実施した
- ・計画・進捗指導のため技術委員会を設置し、東京大学石井勝教授(当時、平成26年度より名誉教授)を技術開発評価の統括として委員長に選任した

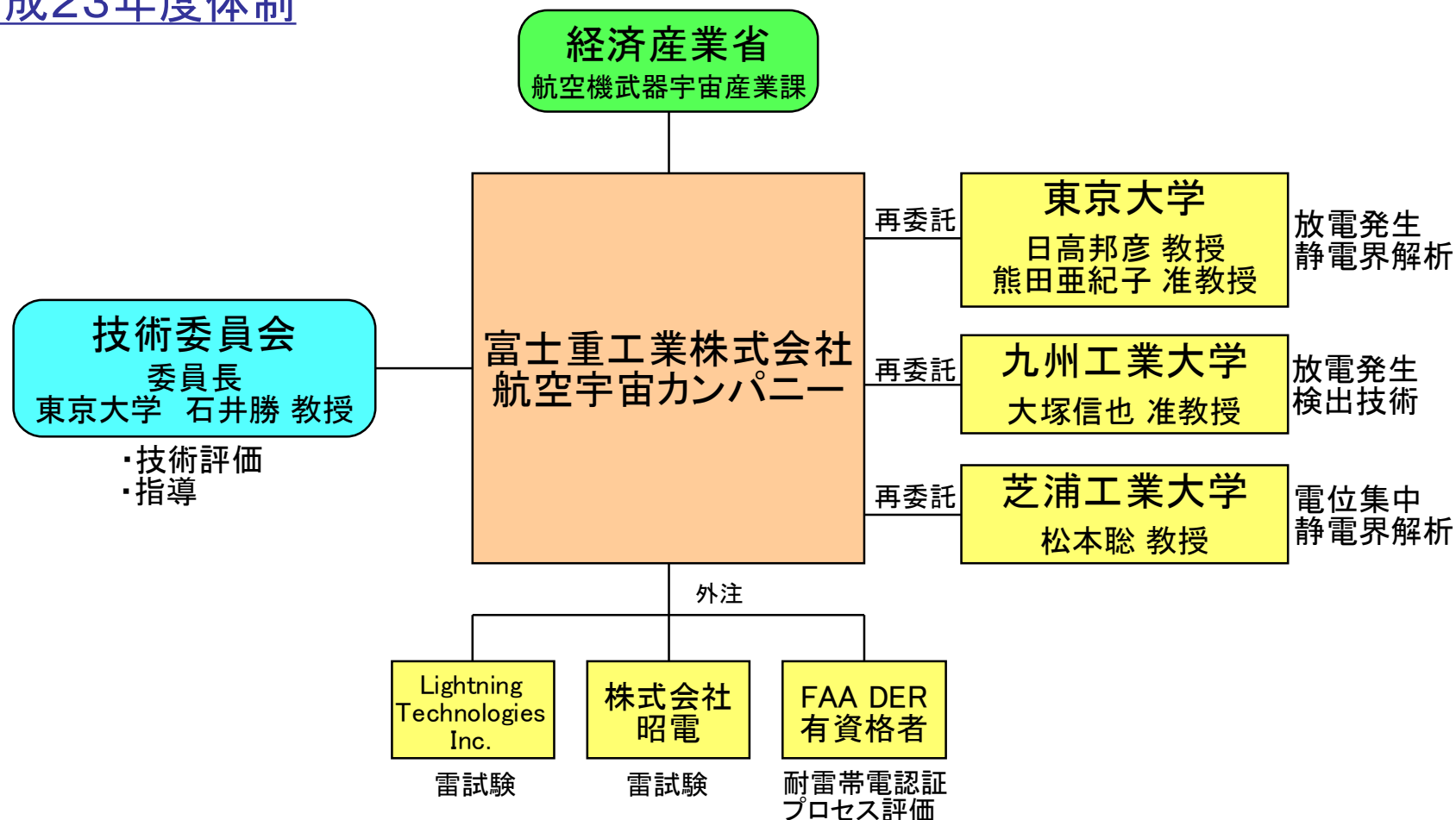
◆平成22年度体制



6. 研究開発マネジメント・体制等(2/5)

- ・本事業の推進にあたり，研究開発の段階に応じて実施体制を見直して研究開発を最適化した。
- ・平成23年度までに解決する放電課題の推進のため，2大学(東京大学，芝浦工業大学)と連携した。
- ・平成23年度から開発する放電検出技術として，1大学(九州工業大学)と連携した。

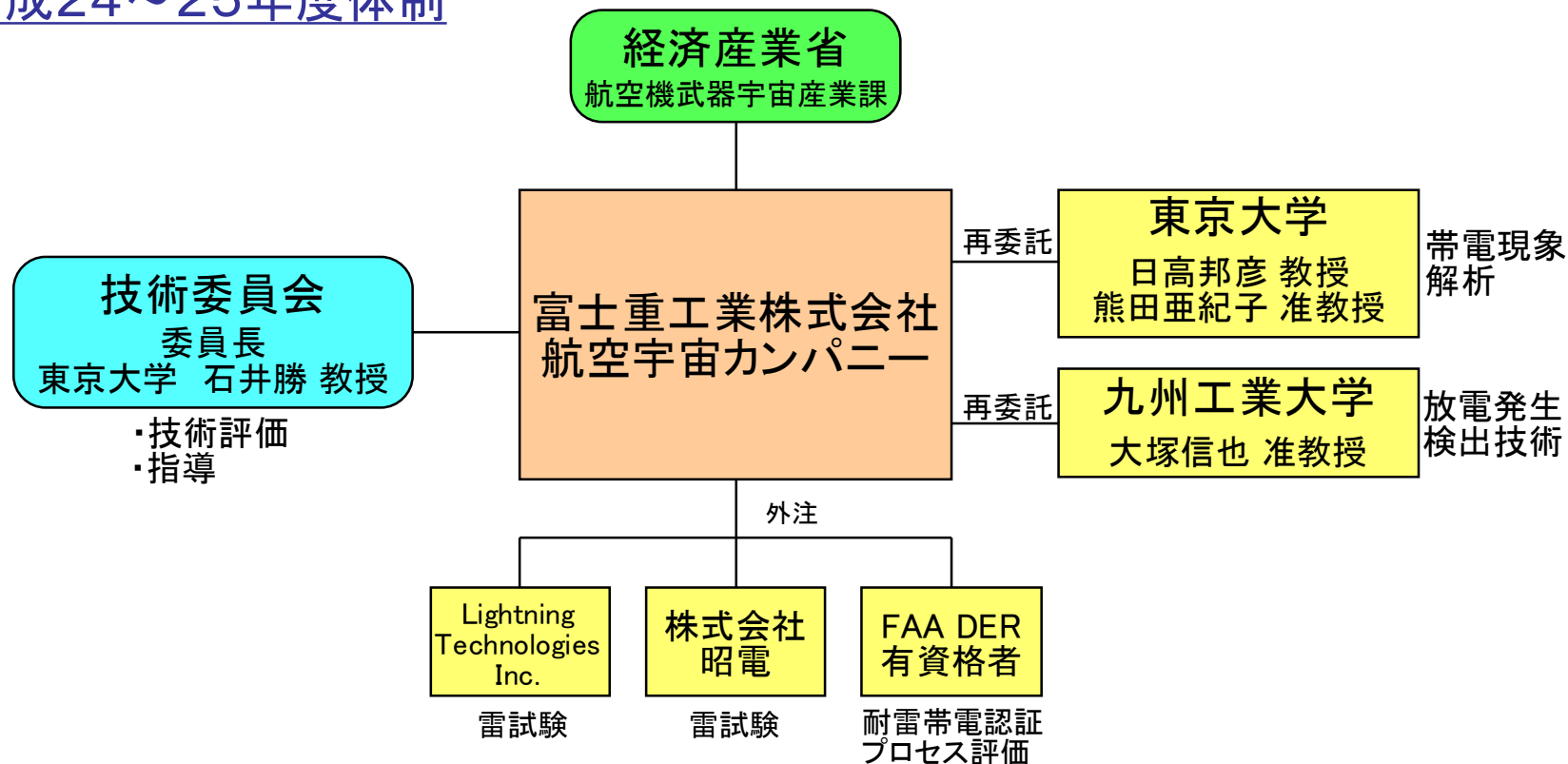
◆平成23年度体制



6. 研究開発マネジメント・体制等(3/5)

- ・平成23年度までの放電課題を解決し、次段階の主翼レベル帯電放電として1大学(東大)と連携した。
- ・放電検出技術開発の推進として、1大学(九工大)と連携した。

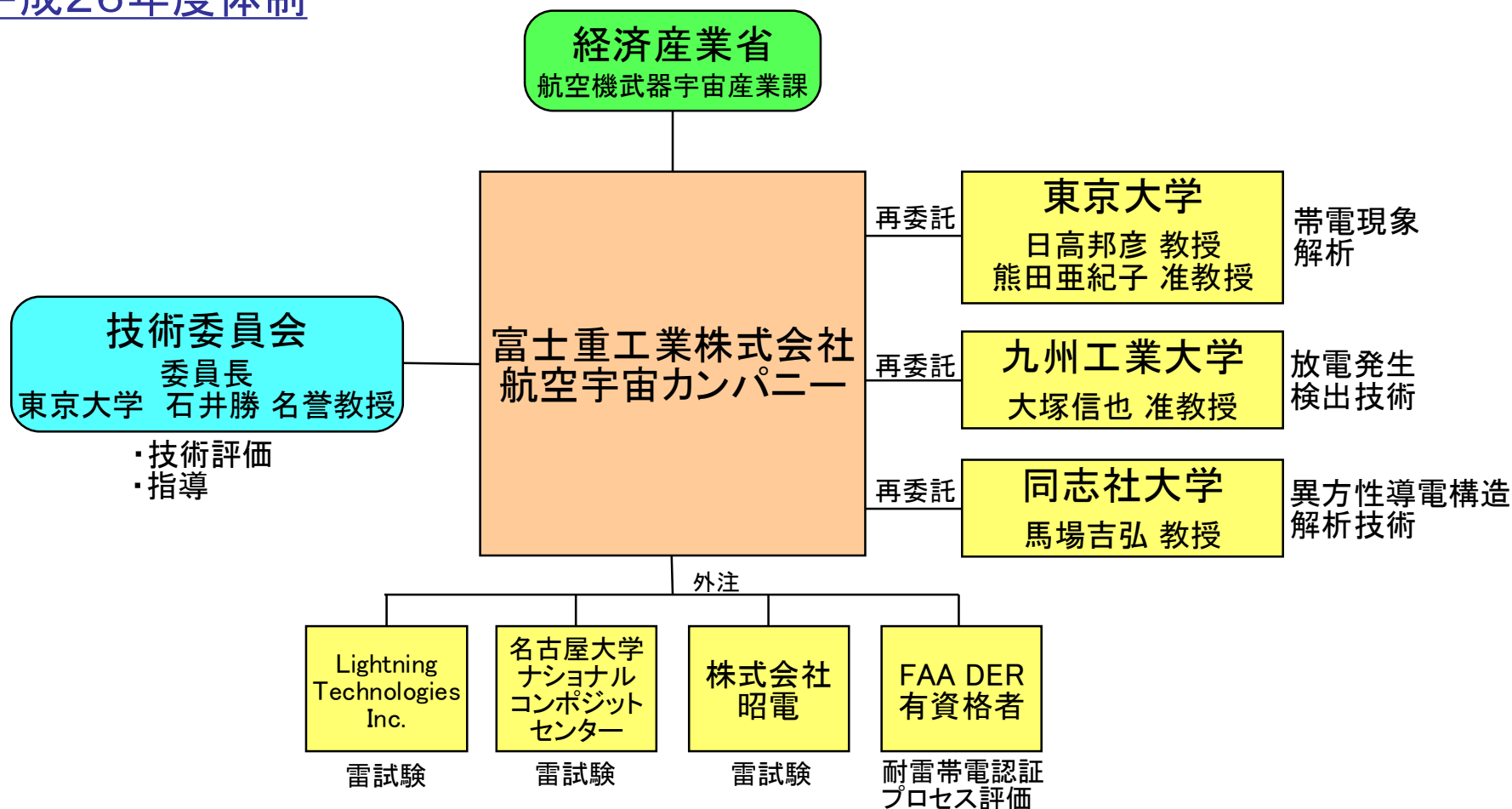
◆平成24～25年度体制



6. 研究開発マネジメント・体制等(4/5)

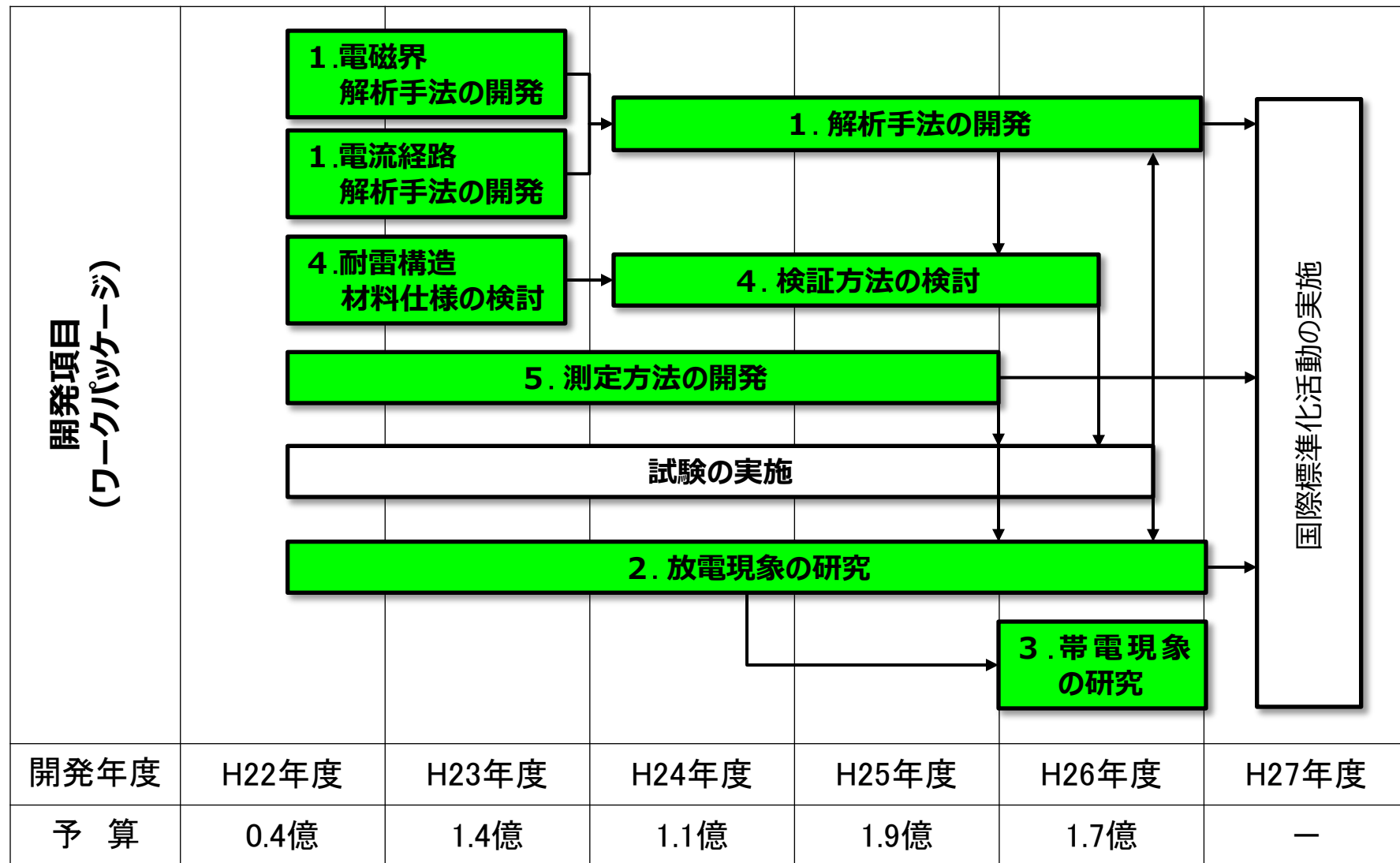
- ・平成25年度までに解決する炭素繊維による異方性導電率での解析課題の推進のため、1大学（同志社大学）と連携した。

◆平成26年度体制



6. 研究開発マネジメント・体制等(5/5)

開発項目を5つのワークパッケージに分けて取り組んできた。



※平成27年度については富士重工業(株)の持ち出しで実施中である。

7. 中間評価結果

提 言	対 処 方 針
今後とも各技術に関する開発事業を推進する必要があるが、それに加えて新しい技術の調査と取り込みは、諸外国の後塵を拝さないためにも必要である。独自の技術として早期確立が望まれる技術については、事業化及び認証取得に向け、産学官の連携によるスピード感を持った取り組みが必要である。 また、国の施策として行うべきか、企業の研究開発として行うべきかを整理する必要がある。	○引き続き、最先端の研究成果が得られるよう、取組みを強化するとともに、諸外国の動向把握にも取り組んでまいりたい。 ○事業化及び認証取得を加速するため、産学官の連携等、適切な体制構築に努めてまいりたい。 ○事業毎に国で行うべきかどうかを精査してまいりたい。

8. 評価

8-1. 評価検討会

評価検討会名称	航空機関連プロジェクト事後評価検討会	
評価検討会委員	座長	李家 賢一 東京大学大学院工学系研究科 教授
	委員	岩田 拓也 産業技術総合研究所主任研究員 岡部 朋永 東北大学大学院航空宇宙工学専攻教授 奥田 章順 株式会社三菱総合研究所参与・チーフコンサルタント 山田 圭一 株式会社ANA総合研究所 航空・産業政策グループ 主席研究員

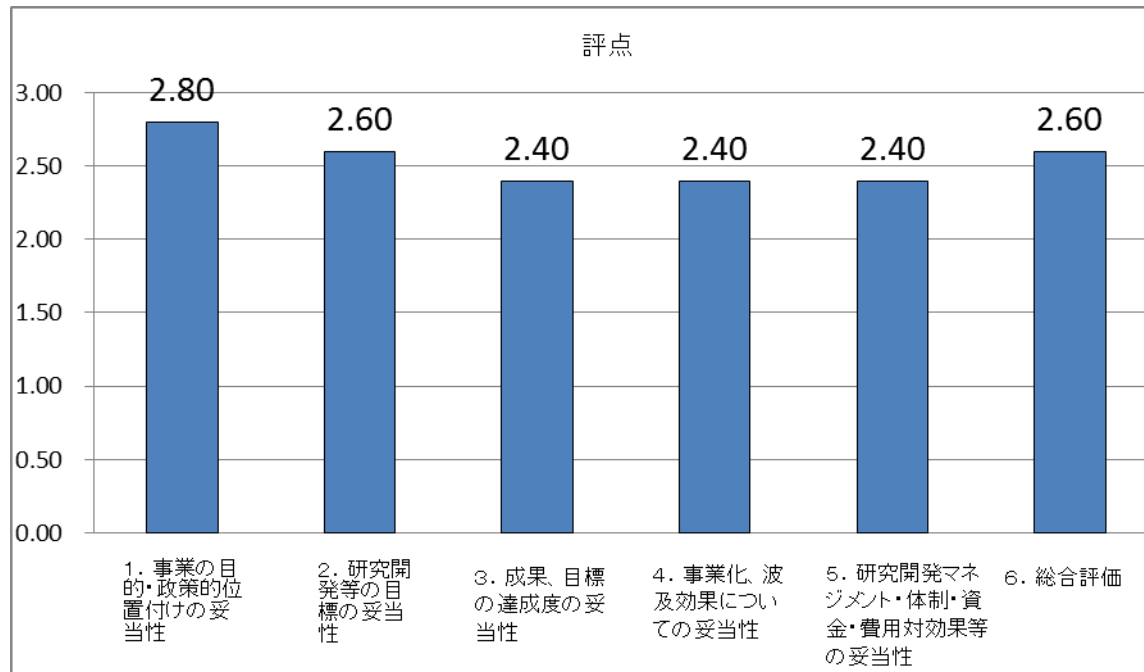
8－2. 総合評価(コメント)

本事業の成果は、我が国の今後の航空機開発の質を向上・維持するために重要であり、それに役立つ成果が得られたと評価できる。技術向上に確実につながっている。

なお、国際標準化については引き続き今後の努力を期待する。できる限り早急に実用化できるよう、引き続きの取組に期待したい。

8-3. 評点結果

○「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト事後評価において、
評点法による評価を実施した。



【評価項目の判定基準】

評価項目1.～5.

3点:非常に重要又は非常によい

2点:重要又はよい

1点:概ね妥当

0点:妥当でない

6. 総合評価

3点:実施された事業は、優れていた。

2点:実施された事業は、良かった。

1点:実施された事業は、成果等が今一步のところがあつた。

0点:実施された事業は、成果等が極めて不十分であつた。

9. 提言及び提言に対する対応方針

今後の研究開発の方向等に関する提言

今後の航空機産業の国際競争力の向上、安全性向上に非常に重要な課題であり、取組は評価できる一方、研究開発の内容は基礎的段階でアカデミックなアプローチとなっていることから、実用化や国際標準化含めた事業化の戦略について、更なる詳細な検討を実施していただきたい。この事業で得られた国際標準化活動の経験・ノウハウは、今後、他分野の事業でも生かされることが期待される。

提言に対する対応方針

国際標準化含めた事業化戦略について、事業者とともに検討を継続する。また、本事業で得られた国際標準化に係る経験は、今後の他事業に生かせるよう取り組んでまいりたい。

3 航空機用先進システム基盤技術開発 (革新的防除氷技術)

目 次

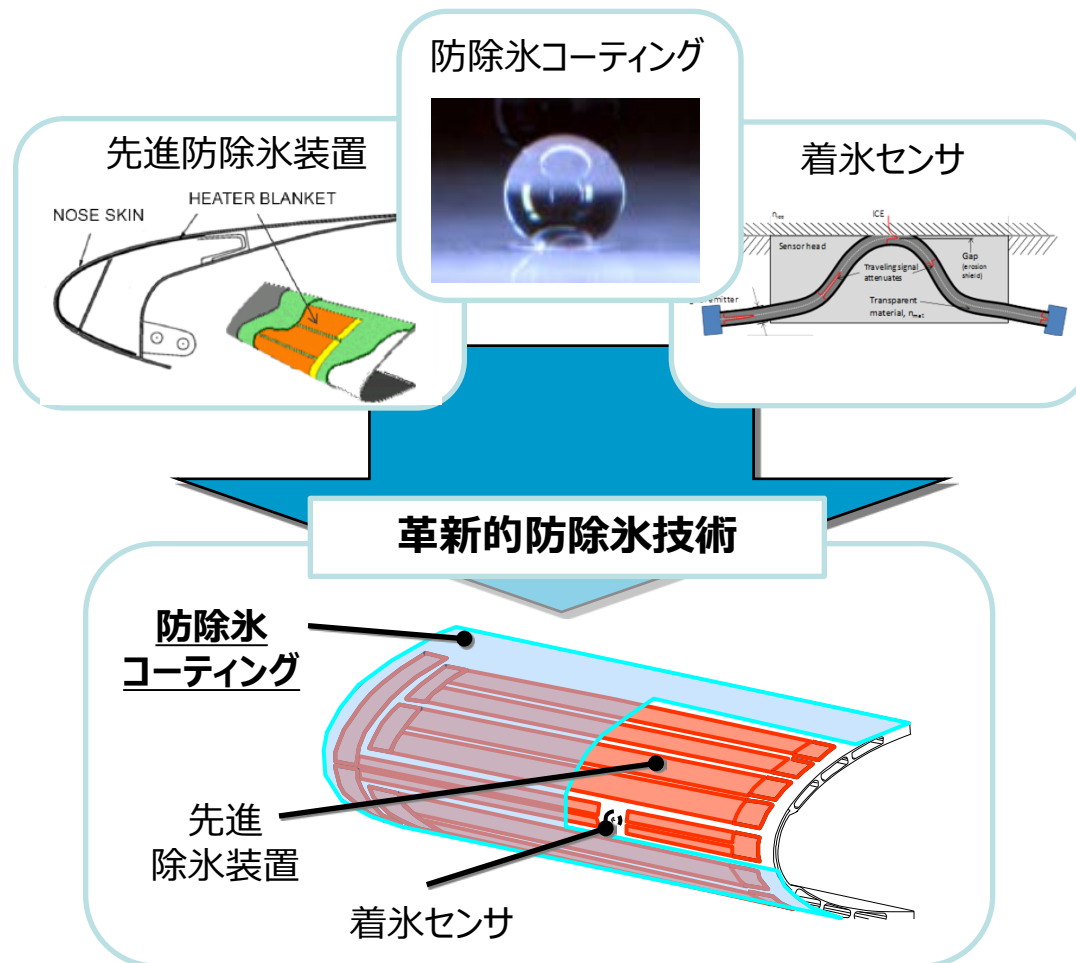
1. プロジェクトの概要
2. 目的・政策的位置付け
3. 目標
4. 成果、目標の達成度
5. 事業化、波及効果
6. 研究開発マネジメント・体制等
7. 評価
8. 提言及び提言に対する対処方針

1. プロジェクトの概要

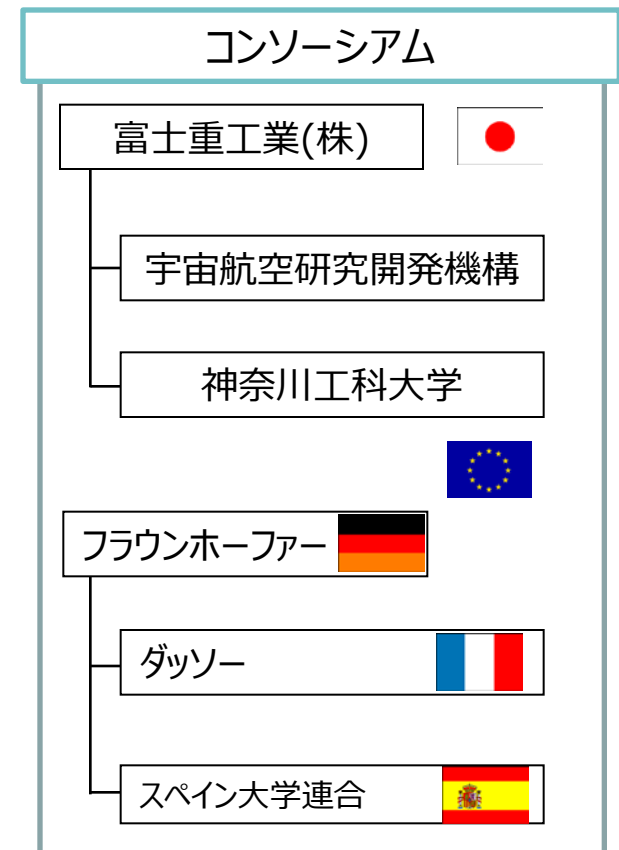
概 要	「安全性向上，燃費効率改善，環境負荷低減」を実現するための革新的な防除氷システムを提案し、その有効性を実証する。なお、本開発は、欧州第7次研究枠組み計画（FP7）で選定された日欧合同研究事業の1つである。
実施期間	平成24年度～平成26年度（3年間）
予算総額	1. 2億円（委託） （平成24年度：0.4億円 平成25年度：0.4億円 平成26年度：0.4億円（税込））
実 施 者	富士重工業株式会社 航空宇宙カンパニー
プロジェクト リーダー	村田 巖 富士重工業（株）航空宇宙カンパニー研究部 部長

2. プロジェクトの目的・政策的位置付け

「安全性向上，燃費効率改善，環境負荷低減」を実現するための革新的な防除氷システムを提案し、飛行時の着氷条件を模擬した地上実証試験において、その有効性を実証する。



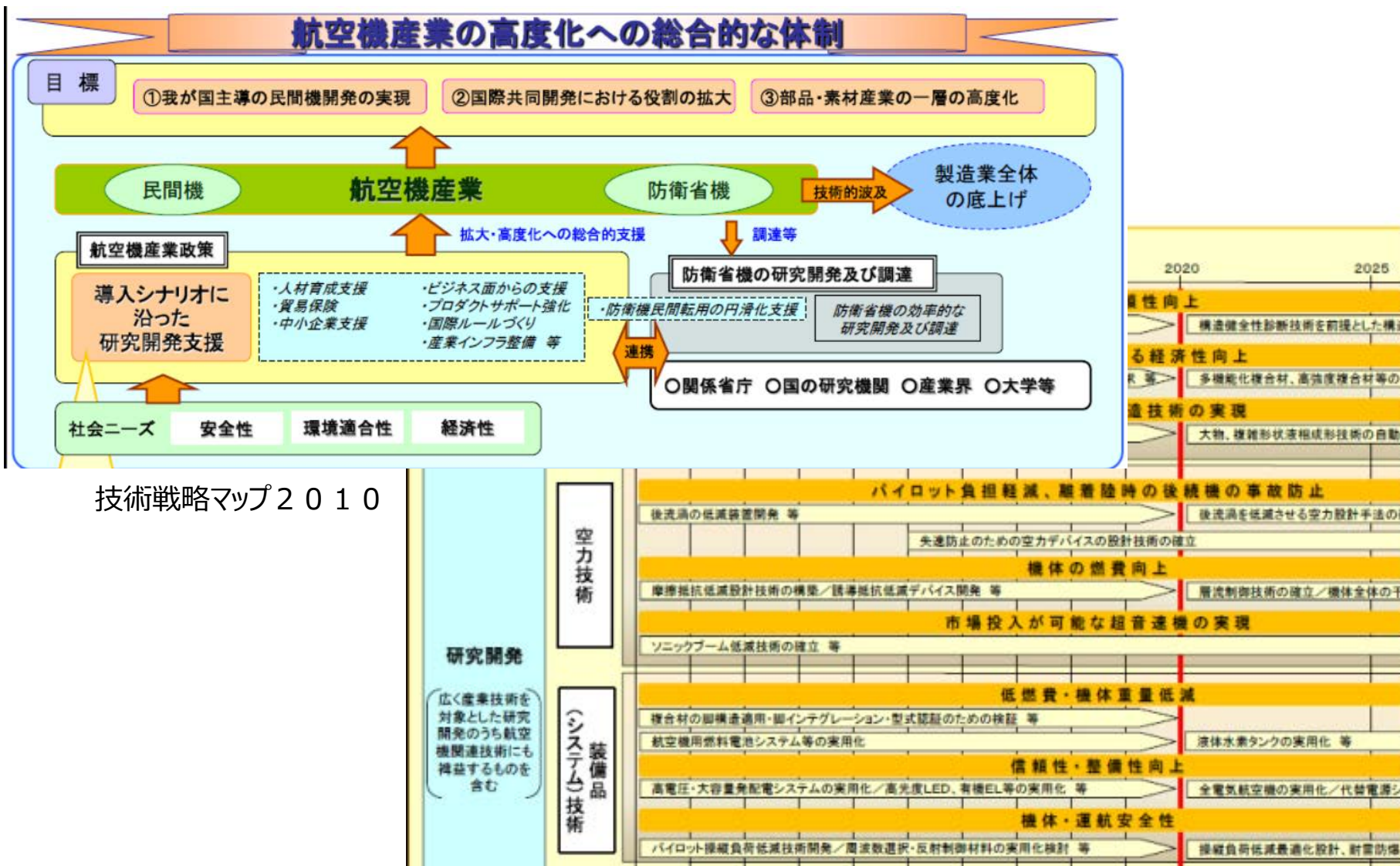
革新的薄除氷システムの概要



日欧コンソーシアムの開発体制
(欧州第7次研究枠組み計画(FP7))

2. プロジェクトの目的・政策的位置付け

本技術開発は、安全性、環境適合性、経済性などに貢献。



3. 目標(1/2)

革新的な防除氷システムを提案し、飛行時の着氷条件を模擬した地上実証試験において、その有効性を実証する。

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
省エネルギーな革新的防除氷システムコンセプトの有効性を実証する	防除氷コーティング、防除氷装置、及び着氷センサを組み合わせた革新的な防除氷システムのコンセプトを立案し、各種地上試験にて、その有効性を実証する	飛行安全上大きな脅威と成り得る着氷現象に対して、着氷に伴う事故防止の観点から、より過酷な着氷環境にも対応可能な防除氷システムが求められている 既存の防除氷システムは、エンジン抽気熱を利用するシステムをはじめ、燃費低減をきたすものである このようなシステムの改善を図ると共に、防除氷コーティング、及び着氷センサを組みわせることにより省エネ化と安全性を同時に両立できるシステムは革新的な技術と考えられる

3. 目標(2/2)

革新的な防除氷システムを提案し、飛行時の着氷条件を模擬した地上実証試験において、その有効性を実証する。

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
防除氷コーティングの耐久性を向上する	撥水性： ・接触角 $>130^{\circ}$ ・転落角 $<10^{\circ}$ 耐久性： ・レインエロージョン試験後撥水性を維持していること	富士重工業(株)が開発した超撥水コーティング(世界トップレベル)をベースに、その撥水特性を保ちつつ、耐久性の向上を主目的として開発を行うこととした
防除氷システムの地上評価を可能とする試験法、及び、規定の着氷現象を再現できる試験法を設定する	防除氷コーティングの標準的な評価法、及び、米国耐空性審査基準※1の着氷条件を再現できる信頼性の高い試験法を設定する	航空機への適用実績がなく、その評価方法も設定されていない防除氷コーティングの特性を評価するための専用装置を開発し、標準的な評価法を設定すると共に、米国耐空性審査基準に基づく着氷条件を実現し、防除氷システムの評価を可能とする試験法を設定することとした

※1 FAA FAR Part 25: Federal Aviation Administration Federal Aviation Regulation Part 25。

米国連邦航空局が定める規格で、Part 25は輸送機に関連する規格がまとめられている。

4. 成果、目標の達成度(1／4)

FHIが開発した超撥水性を有する防除氷コーティングを用いて、革新的な防除氷システムのコンセプトを立案し、その有効性実証した。

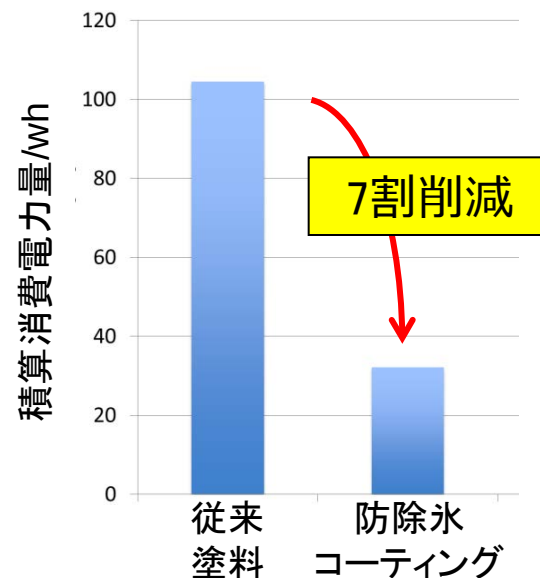
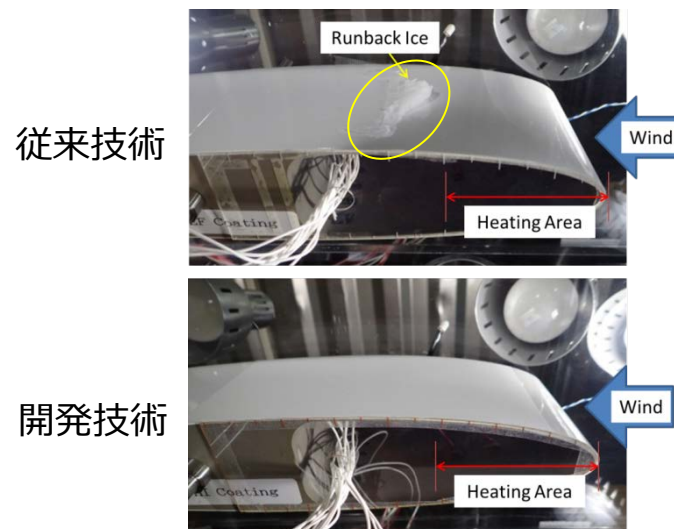
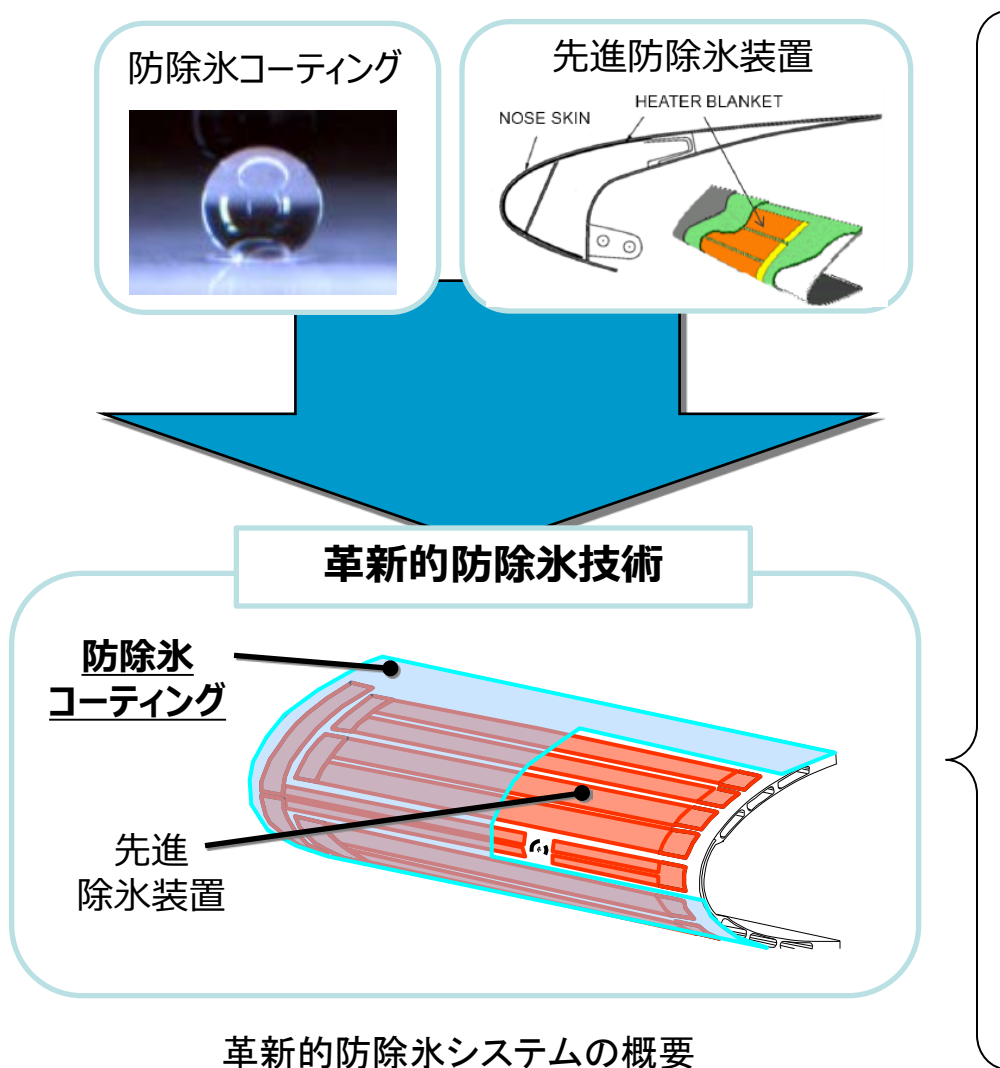
要素技術	目標・指標	成 果	達成度
省エネルギーな革新的防除氷システムコンセプトの有効性を実証する	防除氷コーティング、防除氷装置、及び着氷センサを組み合わせた革新的な防除氷システムのコンセプトを立案し、各種地上試験にて、その有効性を実証する	翼最前縁部に高耐久性塗料を、それより後縁部に超撥水性コーティングを適用するというDual surface※ ¹ と、電熱ヒータによる除氷システムとを組み合わせた革新的な防除氷システムを提案し、風洞試験にて、7割の消費電力低減が可能なことを実証した	達成※ ²

※¹ Dual surface: 翼前縁部分には耐久性の高い塗膜または素材を適用し、それより後縁表面に撥水性に優れる開発コーティングを適用する方法。「着氷防止構造を有する翼構造体(特開2010-234989)」に基づく。

※ 日本側の開発項目については達成。欧州側主導で開発を進めてきた「リアルタイム着氷センサ」については、欧州側でコンセプト実証のための風洞試験を実施中であり、H27年度末までの目標達成を見込んでいる。

4. 成果、目標の達成度(2/4)

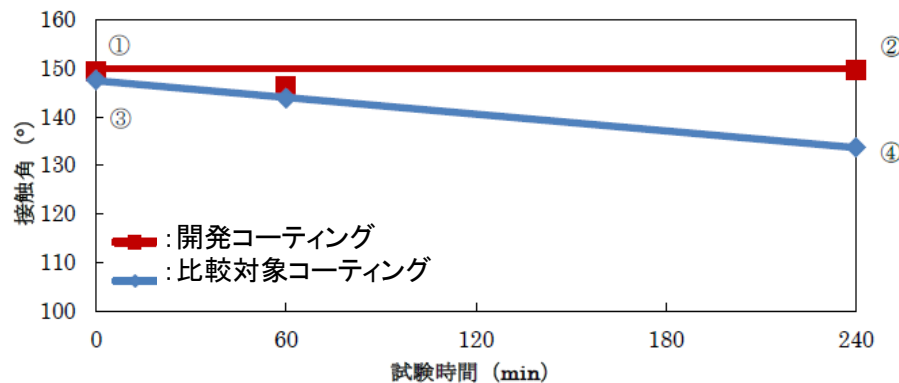
FHIが開発した超撥水性を有する防除氷コーティングを用いて、革新的な防除氷システムのコンセプトを立案し、その有効性実証した。



4. 成果、目標の達成度(3/4)

耐久性と超撥水特性を両立し、航空機の防除氷システムに適用できる防除氷コーティングを開発した。

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
防除氷コーティングの耐久性を向上する	撥水特性: ・接触角 $>130^{\circ}$ ・転落角 $<10^{\circ}$ 耐久性: ・レインエロージョン試験後撥水性を維持していること	開発品の撥水特性: ・接触角 $=154.1^{\circ}$ ・転落角 $=4.2^{\circ}$ 耐久性: ・レインエロージョン試験後の撥水性に変化は見られず、高い耐久性を確認した	達成



レインエロージョン試験における接触角の変化

サンプル名	試験前	試験後 (240min)
開発コーティング	①	②
比較対象コーティング	③	④

4. 成果、目標の達成度(4／4)

防除氷コーティングの特性を評価するための評価法を設定すると共に、所定の着氷条件を設定できる風洞試験法を設定した。

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
防除氷システムの地上評価を可能とする試験法、及び、規定の着氷現象を再現できる試験法を設定する	防除氷コーティングの標準的な評価法、及び、米国耐空性審査基準※ ¹ の着氷条件を再現できる信頼性の高い試験法設定する	防除氷コーティングの特性を評価するための評価法を設定すると共に、米国航空規格に基づく着氷条件を設定できる風洞試験法を設定した	達成

※1 FAA FAR Part 25: Federal Aviation Administration Federal Aviation Regulation Part 25。

米国連邦航空局が定める規格で、Part 25は輸送機に関連する規格がまとめられている。

H28年度～

実証試験

●飛行実証試験



実大実証

METI & 日欧研究期間

H27年度

実証試験

- ・地上実証試験
- ・システムインテグレーション試験

H24～26年度

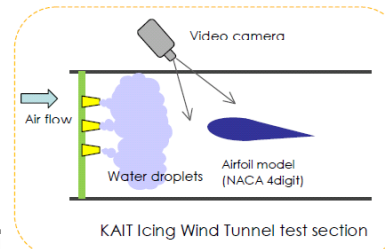
- ・開発仕様設定
- ・コンセプト策定
- ・要素技術開発
(風洞試験含む)

特性把握

要素技術確認



平板等での評価

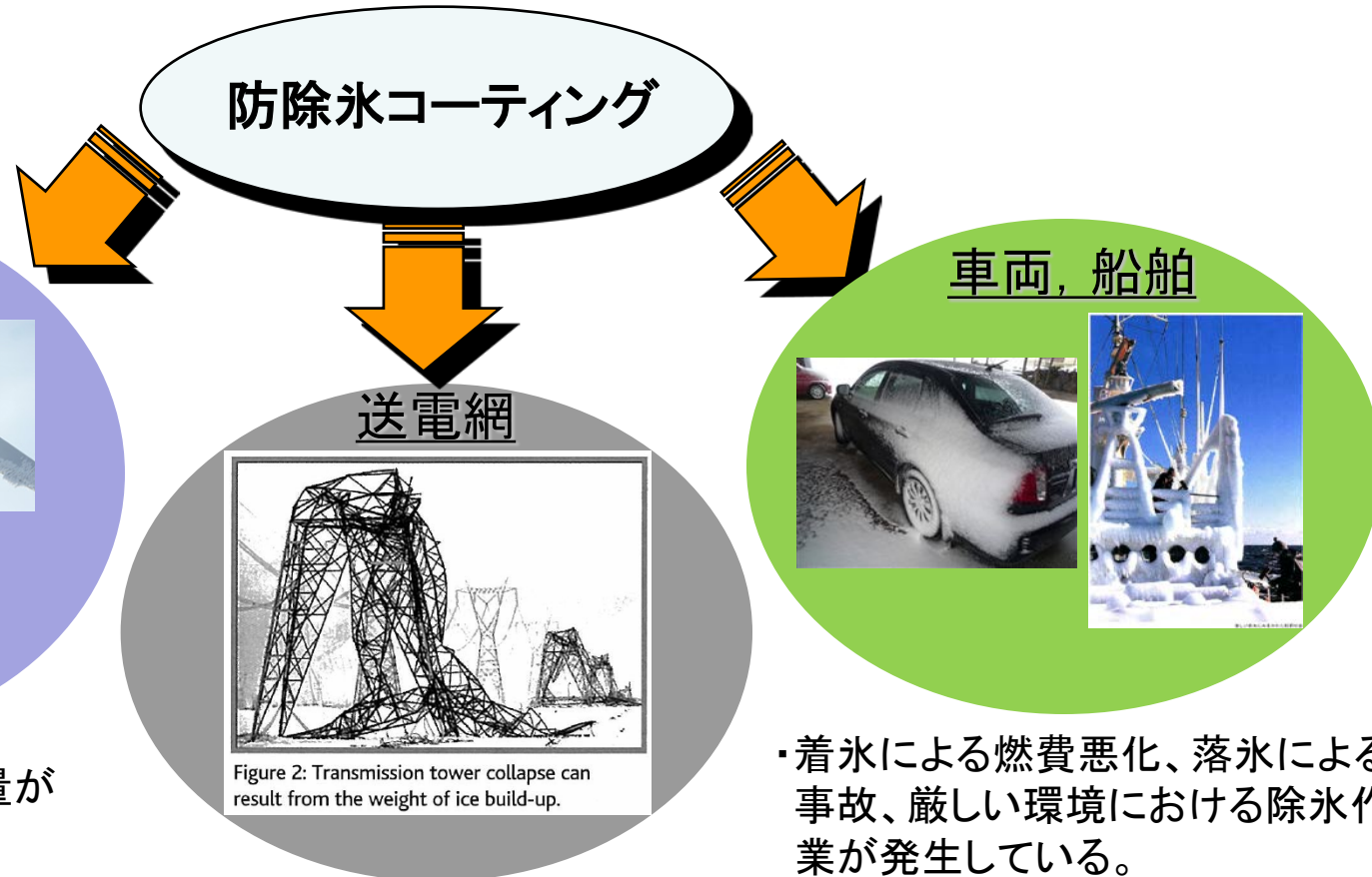


部分構造レベルでの実証評価



5. 事業化、波及効果

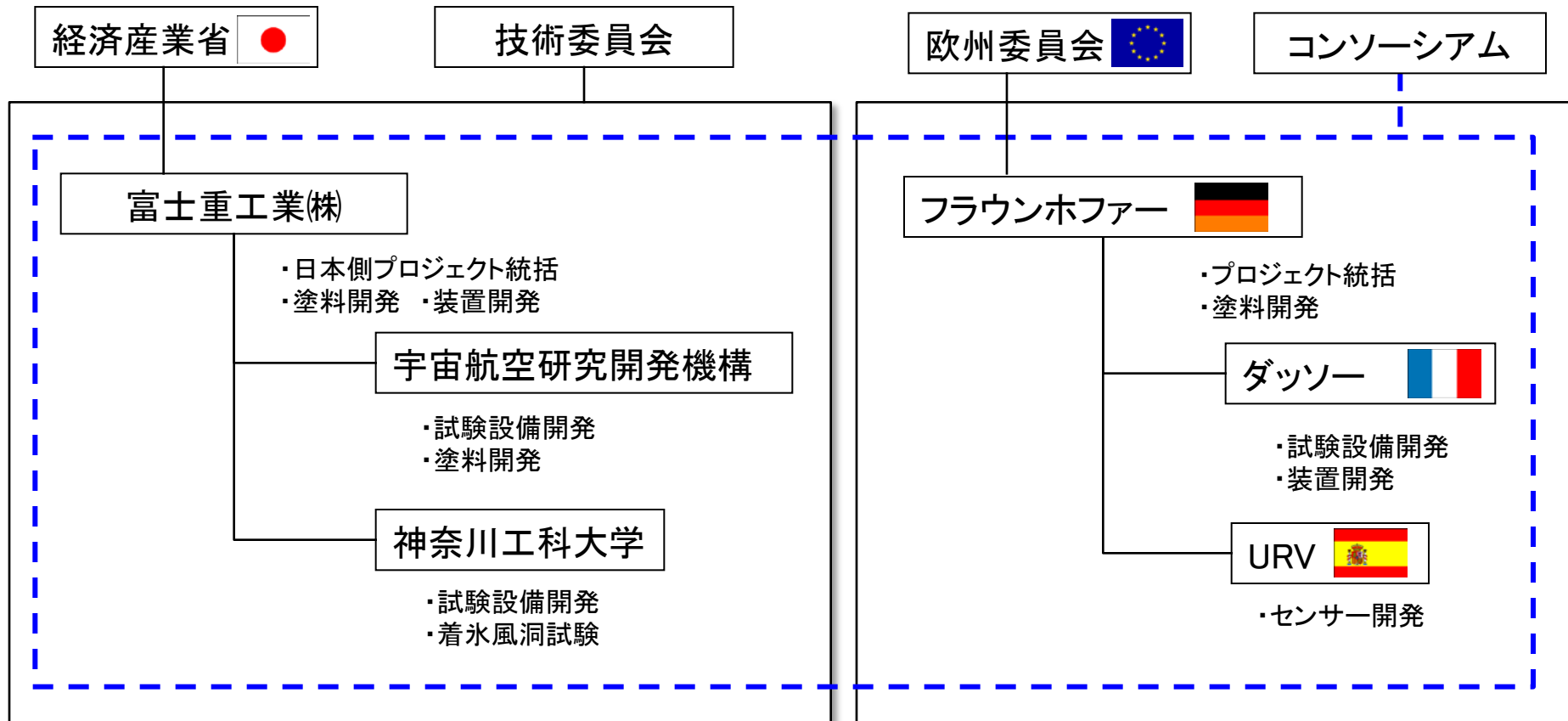
着氷に伴う経済性の損失は、航空機のみならず、風力発電ブレード、送電線、車両、船舶等多くの産業分野に影響を与えている。本研究で開発された防除氷コーティングは、以下の分野への波及が見込まれる。



・送電線への着氷によって倒壊の可能性があるため、目視による点検が行われている。

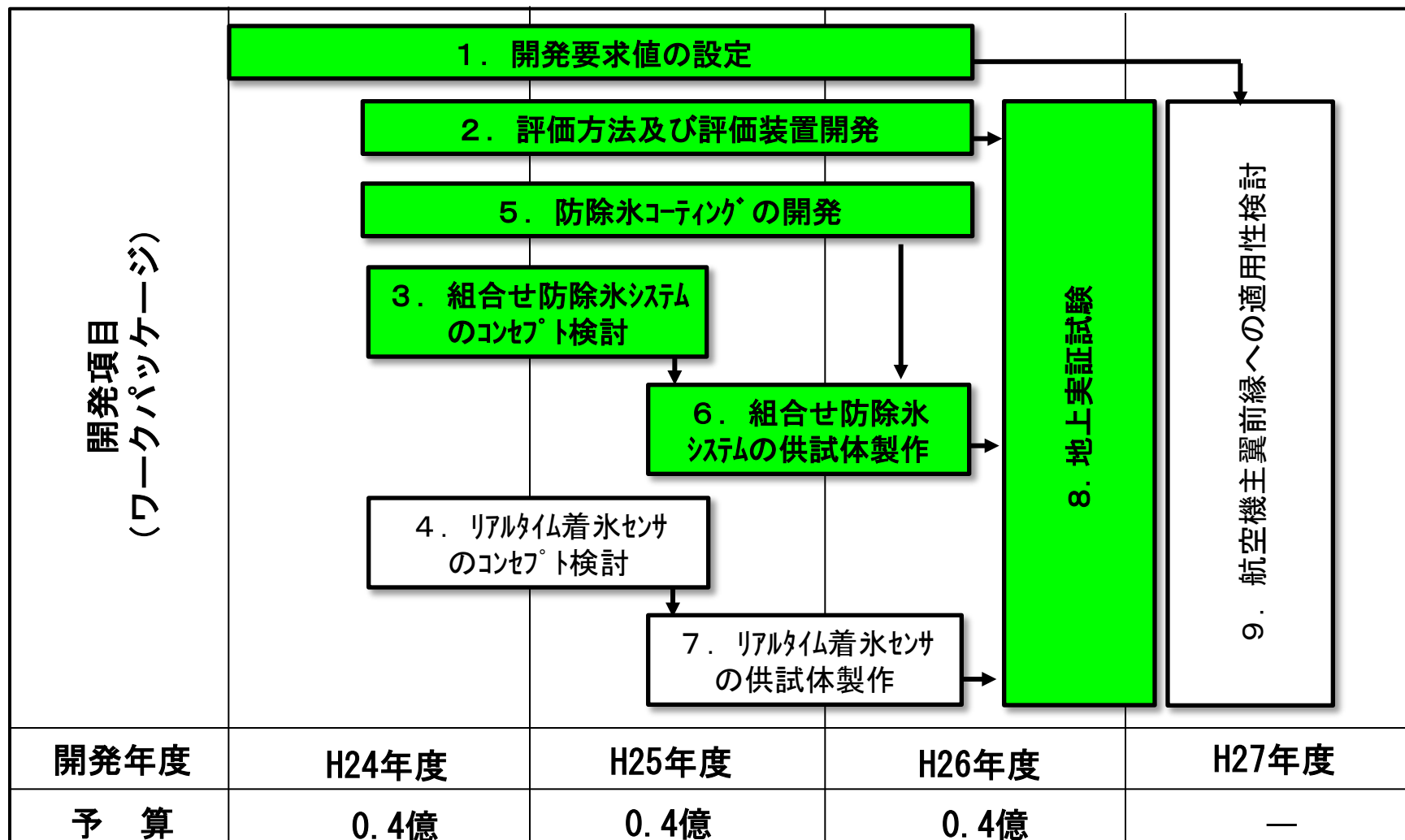
6. 研究開発マネジメント・体制等(1/2)

目標達成のために、以下に示す研究開発体制を構築した。また、国内の参画機関と技術委員会を、欧州パートナーと日欧合同会議を開催し、計画調整／進捗確認／情報共有等を行い、効率的に開発を進めることができた。



6. 研究開発マネジメント・体制等(2/2)

開発項目を9つのワークパッケージに分けて取り組んできた。



※表中の緑色の部分を、日本側にて主導的に実施した。

※平成27年度については富士重工業(株)の持ち出しで実施中である。

7. 評価

7-1. 評価検討会

評価検討会名称

航空機関連プロジェクト事後評価検討会

評価検討会委員

座長

李家 賢一 東京大学大学院工学系研究科 教授

委員

岩田 拓也 産業技術総合研究所主任研究員

岡部 朋永 東北大学大学院航空宇宙工学専攻教授

奥田 章順 株式会社三菱総合研究所参与・チーフコンサルタント

山田 圭一 株式会社ANA総合研究所 航空・産業政策グループ
主席研究員

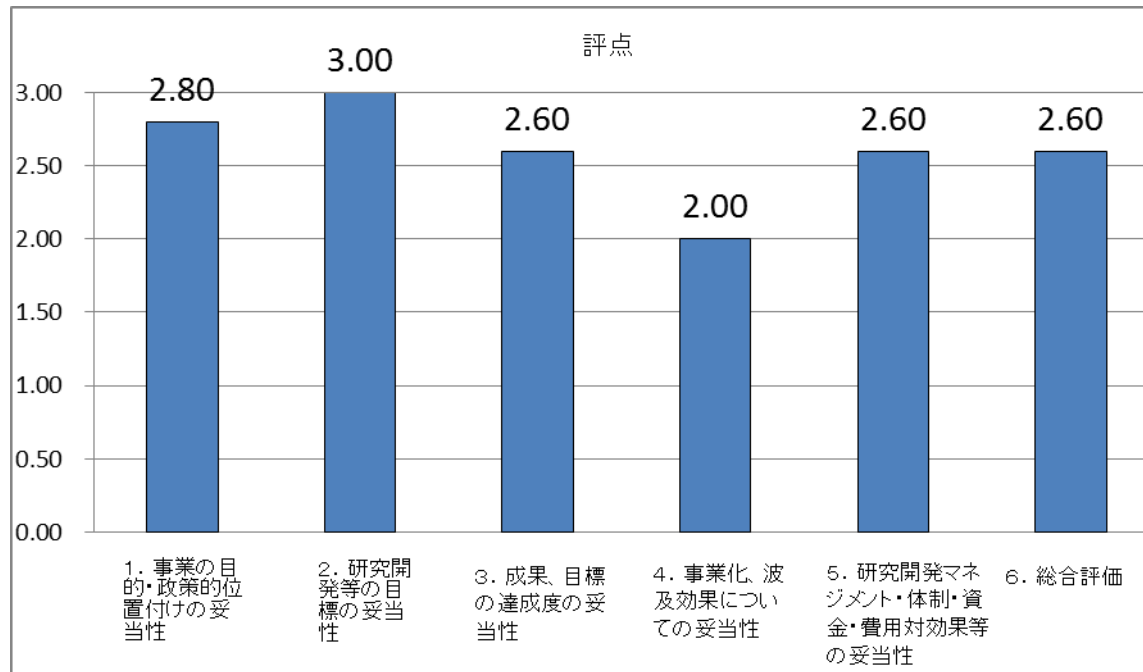
7-2. 総合評価(コメント)

航空機の安全性に非常に重要な分野であり、革新的なシステムを提案、着実にその効果を確認できたことは高く評価できる。また、航空機システム開発に参入する観点から日欧の共同研究としてもふさわしい取組である。

なお、欧州側の成果と組み合わせたシステム実証においても、確実に成果が得られるよう、検討を継続いただきたい。

7-3. 評点結果

○「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト事後評価において、
評点法による評価を実施した。



【評価項目の判定基準】

評価項目1.～5.

3点:非常に重要又は非常によい

2点:重要又はよい

1点:概ね妥当

0点:妥当でない

6. 総合評価

3点:実施された事業は、優れていた。

2点:実施された事業は、良かった。

1点:実施された事業は、成果等が今一步のところがあつた。

0点:実施された事業は、成果等が極めて不十分であつた。

8. 提言及び提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言

共同研究で得られた欧州サイドとのチャンネルを維持しつつ、今後の事業化戦略については、単独技術だけでなく、システムとしての開発、実証の検討を進めていただきたい。また、エアラインでの運用も考慮し、ビジネスモデルの検討を行うとともに、オペレータとの連携も検討いただきたい。本事業中で実施されていないエロージョン試験等は、引き続き取組を継続いただきたい。

提言に対する対処方針

欧州とのチャンネルも生かしつつ、システムとしての実用化や、エアラインでの運用も考慮した実用化について、事業者とともに検討を行ってまいりたい。

4 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)

目 次

1. プロジェクトの概要
2. 目的・政策的位置付け
3. 目標
4. 成果、目標の達成度
5. 事業化、波及効果
6. 研究開発マネジメント・体制等
7. 評価
8. 提言及び提言に対する対処方針

1. プロジェクトの概要

概 要	次世代ブレーキシステムとして、磁性流体を磁界により磁化させてブレーキ力を発生させる電磁ブレーキを、地上走行システムとして、前脚ホイール内にモータを組み込んだ電動タキシングシステムを、それぞれ開発する。
実施期間	平成25年度～平成26年度（2年間）
予算総額	1.8億円(委託) (平成25年度:0.5億万円 平成26年度:1.3億円)
実 施 者	住友精密工業株式会社
プロジェクト リーダー	航空宇宙技術部 システム設計課 高田 正之(マネジャー)

2. プロジェクトの目的・政策的位置付け

航空機産業の高度化への総合的な体制

目標

- ①我が国主導の民間機開発の実現 ②国際共同開発における役割の拡大 ③部品・素材産業の一層の高度化

民間機

航空機産業

防衛省機

技術的波及

製造業全体の
底上げ

航空機産業政策

導入シナリオに
沿った
研究開発支援

・人材育成支援
・貿易保険
・中小企業支援

・ビジネス面からの支援
・プロダクトサポート強化
・国際ルールづくり
・産業インフラ整備等

防衛省機の研究開発及び調達

・防衛機民間転用の円滑化支援

防衛省機の効率的な
研究開発及び調達

連携

○関係省庁 ○国の研究機関 ○産業界 ○大学等

社会ニーズ

安全性

環境適合性

経済性

導入シナリオ



電磁ブレーキ→整備性向上
電動タキシー→低燃費
に寄与。
全電気航空機の実用化にも
貢献。

3. 目標

要素技術	目標・指標	妥当性・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。 ・実機相当のディスク1枚を持つブレーキ試験供試体を設計、製作する。 ・ブレーキトルク確認試験を実施する。	・電磁流体をブレーキに使用した前例がないため、基礎データを取得する。 ・ブレーキ設計技術を向上させ、次の試験のための供試体を得る。 ・実機相当のブレーキで必要トルクが得られるか検証する。併せて発熱や非使用時のトルクを測定し、以後の開発のための課題を抽出する。
電動タキシングシステム	・モータ形式のトレードオフスタディと基礎設計を行う。 ・想定する機体を駆動でき、前脚ホイールに収まるモータを設計、製作する。 ・走行を模擬した試験を実施する。	・仕様を明確化し、また供試体設計の基礎とする。 ・仕様は、想定する機体のホイールの内寸と、機体質量等より設定した。 ・課題を抽出し、以後の開発の基礎とする。

3. 目標(補足)

- 電磁流体 (Magneto-Rheological Fluid) とは
 - 磁性微粒子を油などの溶媒に溶いたもの
 - 磁場を与えると、与えた磁場の強度に応じて粘度が上がる
- 電磁ブレーキとは
 - 電磁流体を封入した中でロータを回し、磁場を印加して電磁流体の粘度を上げることで、ブレーキ力を発生させる
 - 従来のロータとステータを接触させるディスクブレーキに比べ、大幅に摩耗を減らせる可能性がある

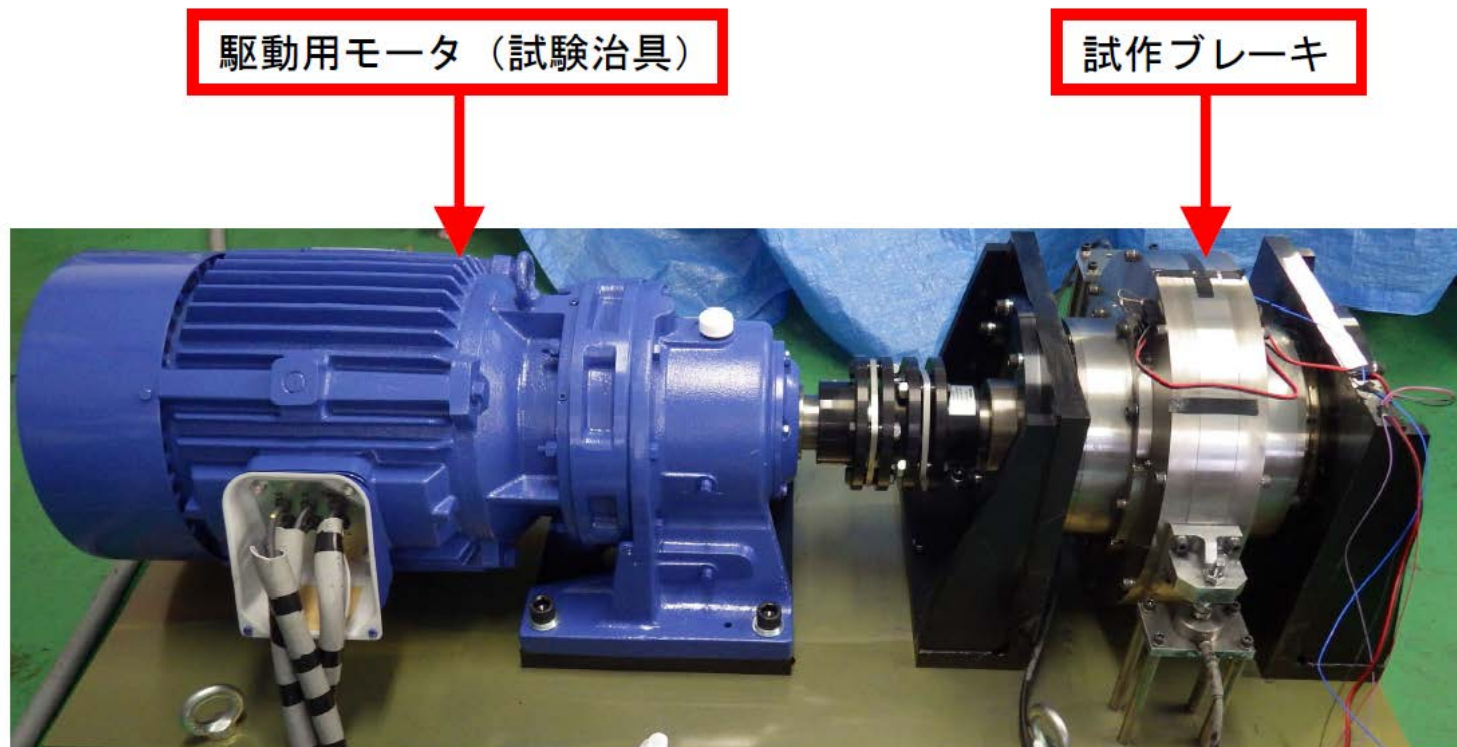
4. 成果、目標の達成度(1／3)

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。 ・ブレーキ試験供試体を設計、製作する。 ・ブレーキトルク確認試験を実施する。	・磁化特性(与えた磁場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データを取得した。 ・供試体を設計、製作した(次頁写真参照)。 ・得られるトルク値と、非使用時のトルクや発熱のデータを取得した(次頁写真参照)。	達成 達成 達成
電動タキシングシステム	・モータ形式のトレードオフスタディと基礎設計を行う。 ・想定する機体を駆動できる前脚ホイールに収まるモータを設計、製作する。 ・走行を模擬した試験を実施する。	・仕様を設定し、最適な形式を選定し、基礎設計を行って、仕様を満たすモータが設計できる目途を得た。 ・試作品は、外径は仕様に収まったが、長さは若干仕様を越えた。仕様の94%の出力まで確認した。 ・3年間を想定していた研究が2年間で終了したため、実施しなかった。	達成 一部達成 (27年度中に達成の見込み) 未達成 (27年度中に達成の見込み)

4. 成果、目標の達成度(2／3)

• ブレーキ試験供試体

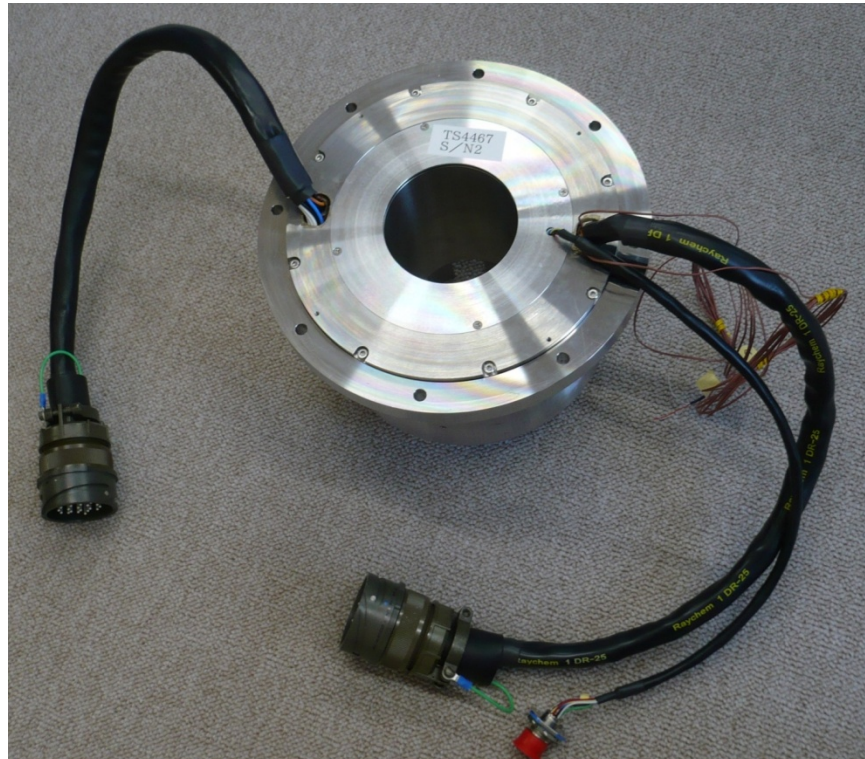
下図に示す試験供試体を試作し、ブレーキトルクを確認する試験を実施した。ブレーキのロータは実機サイズのもの1枚とした。実機で想定しているロータ枚数(12枚)換算で、必要トルクの95%を得られる見込みを得た。



4. 成果、目標の達成度(3／3)

• プロトタイプモータ

下図に示すモータを試作した。外径は設定した仕様通り、長さは仕様を15mm越えたものとなった。モータ単体で試験を実施し、仕様最大回転数で回転させられる事と、仕様最大トルクの94%まで発揮できる事を確認した。



5. 事業化、波及効果(1／4)

事業化へのシナリオ

電磁ブレーキシステム

下表のようなスケジュールで、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、冷却機構確立などの課題を解決していき、実証試験を実施し、既存機へのレトロフィット、新造機への適用の順に、製品化する事を想定している。

本研究



(*) 搭載可能な実機のスケジュールが明確でないため、実機搭載品設計以降のスケジュールは想定である。

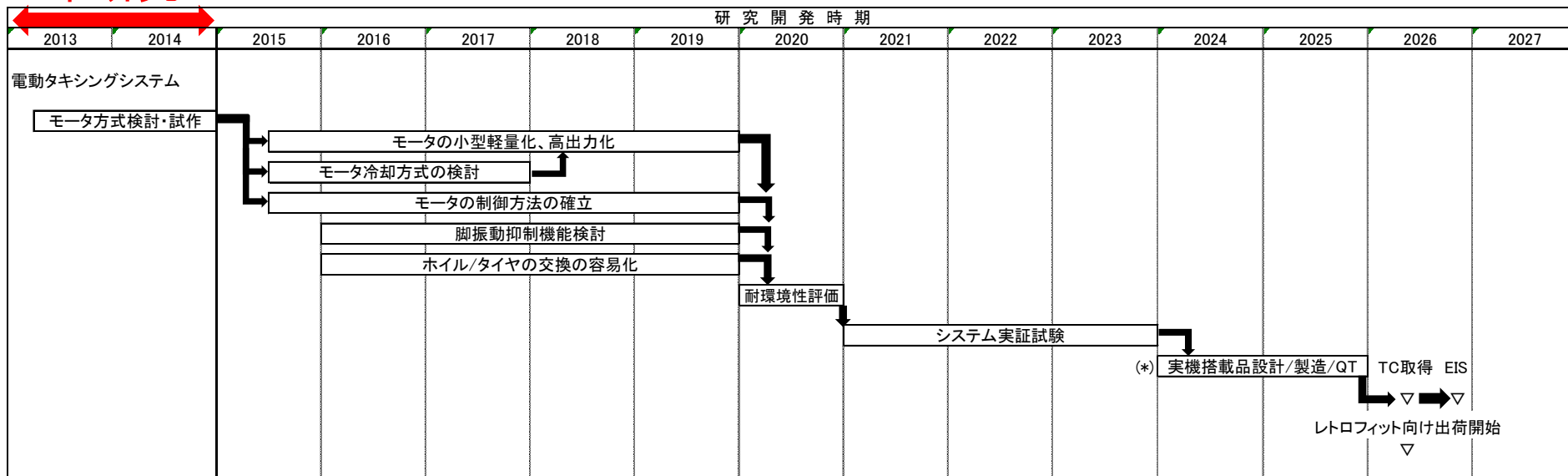
5. 事業化、波及効果(2/4)

事業化へのシナリオ

電動タキシングシステム

下表のようなスケジュールで、モータの小型軽量化・高出力化、冷却機構確立、などの課題を解決していき、実証試験を実施し、既存機へのレトロフィット、新造機への適用の順に、製品化する事を想定している。

本研究



(*) 搭載可能な実機のスケジュールが明確でないため、実機搭載品設計以降のスケジュールは想定である。

5. 事業化、波及効果(3／4)

波及効果

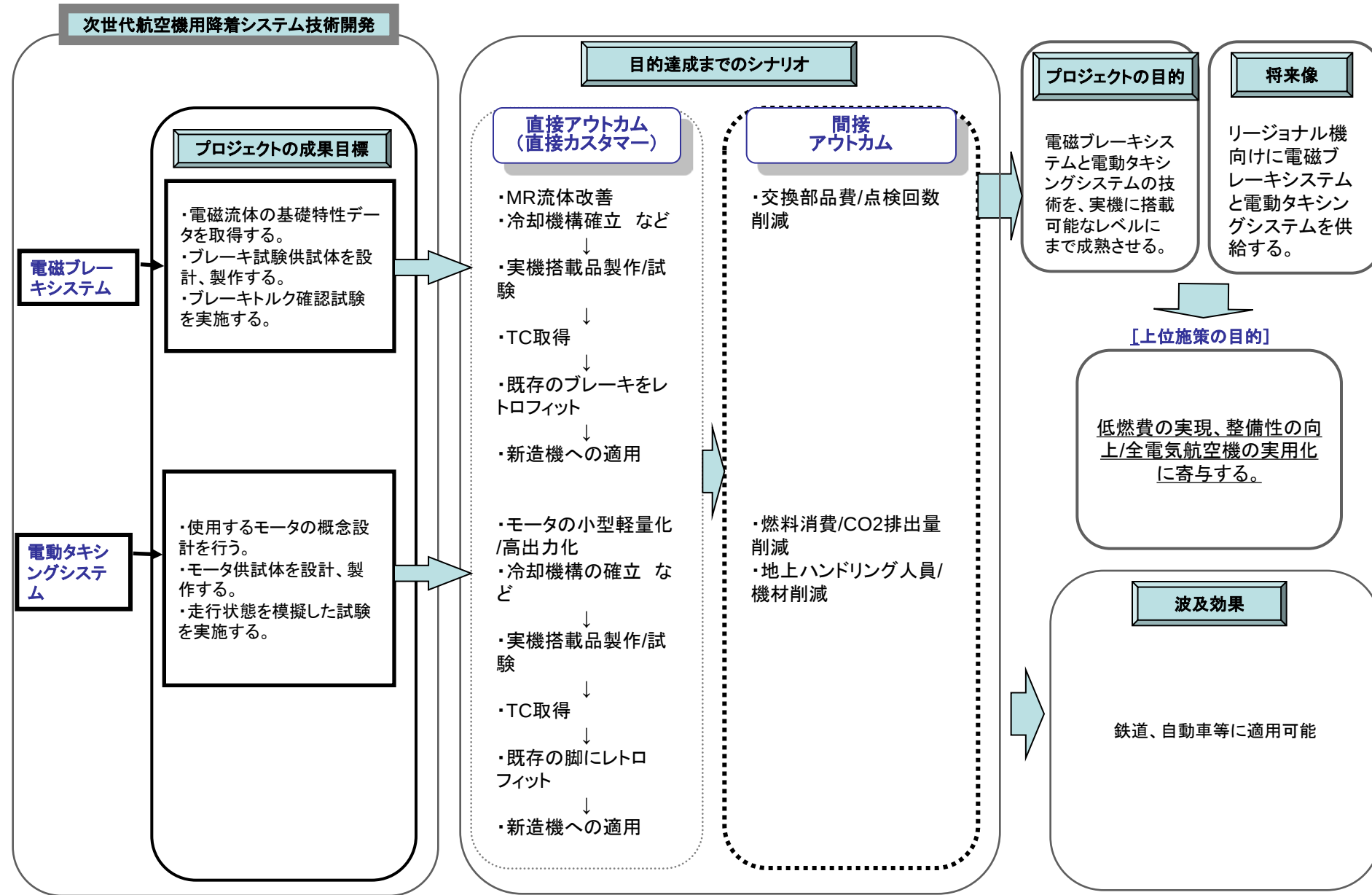
電磁ブレーキシステム

意図した効果として、既存航空機へのレトロフィットや新規開発航空機への適用が考えられる他、鉄道車両や自動車への適用も期待できる。電磁ブレーキシステムは、いずれの用途にも実績のないものであり、特に広範囲への波及効果が期待できる。

電動タキシングシステム

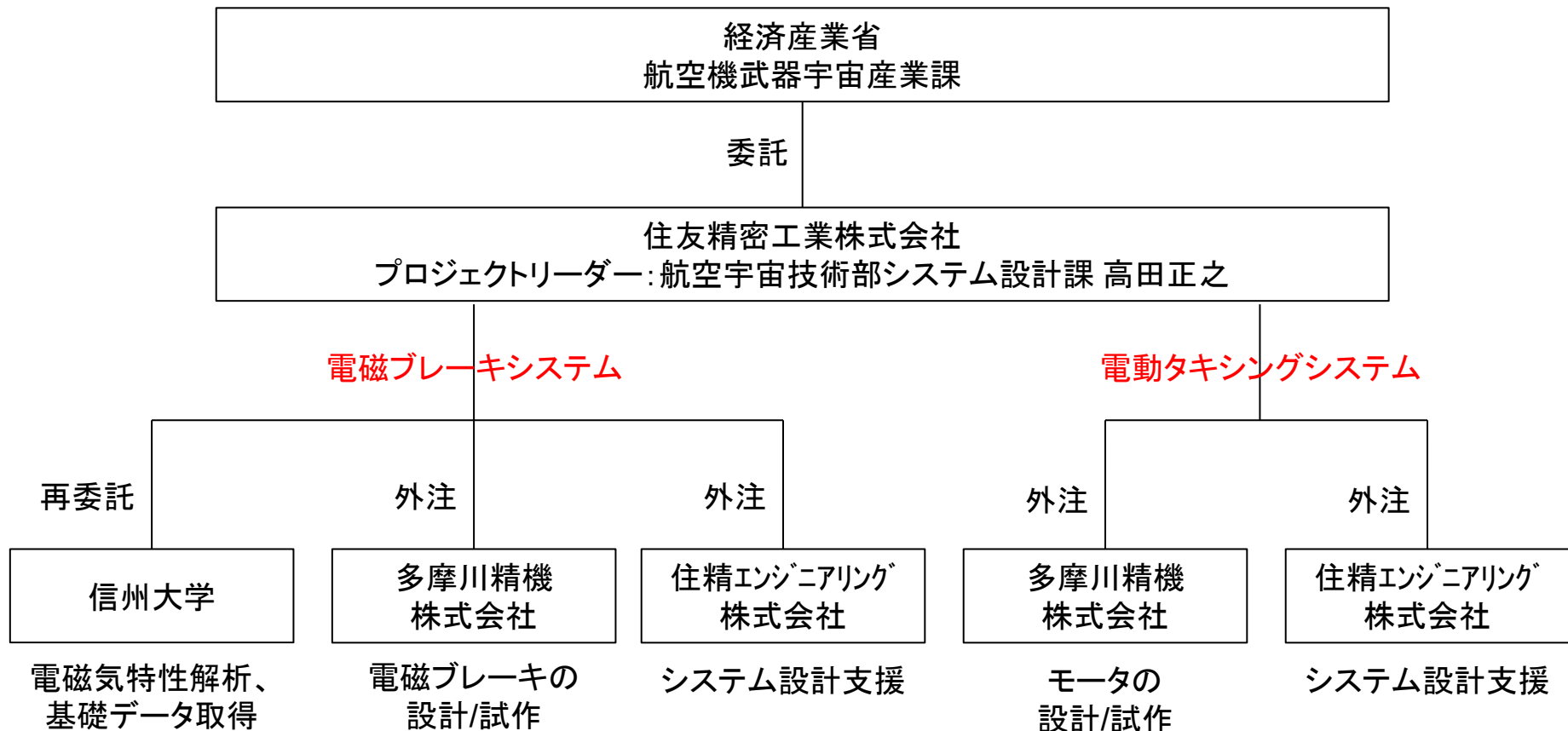
意図した効果として、既存航空機へのレトロフィットや新規開発航空機への適用が考えられる他、鉄道車両や自動車への適用も期待できる。

プロジェクトのアウトカム(プロジェクトの成果が及ぼす効果等)



6. 研究開発マネジメント・体制等

- ・住友精密工業株式会社が経済産業省からの委託を受け、研究開発を総括した。
- ・電磁流体に知見のある信州大学に解析、データ取得等を再委託した。
- ・モータの専門メーカーである多摩川精機に電磁ブレーキ、モータの設計、試作を外注した。
- ・試験治具の設計等は、脚や脚用試験治具の設計経験の深い住精エンジニアリングに外注した。



7. 評価

7-1. 評価検討会

評価検討会名称

航空機関連プロジェクト事後評価検討会

評価検討会委員

座長

李家 賢一 東京大学大学院工学系研究科 教授

委員

岩田 拓也 産業技術総合研究所主任研究員

岡部 朋永 東北大学大学院航空宇宙工学専攻教授

奥田 章順 株式会社三菱総合研究所参与・チーフコンサルタント

山田 圭一 株式会社ANA総合研究所 航空・産業政策グループ
主席研究員

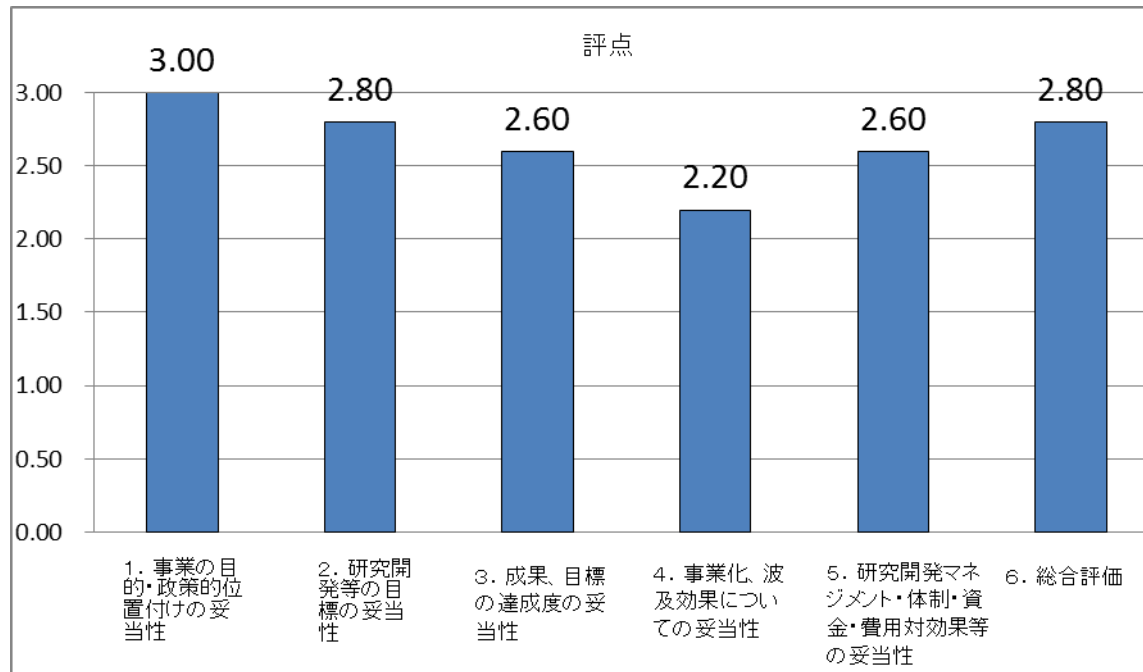
7-2. 総合評価(コメント)

電磁ブレーキについては、全く新しいアイデアを実用化する事業であり、基礎的な特性については確認ができている点は評価できる。今後の更なる発展が期待される。

なお、電動タキシングについては、それ自身の消費する電気エネルギーや重量増加など、燃費改善とのバランスを踏まえた検討が必要である。事業化については、より具体的検討が望まれる。

7-3. 評点結果

○「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト事後評価において、
評点法による評価を実施した。



【評価項目の判定基準】

評価項目1.～5.

3点:非常に重要又は非常によい

2点:重要又はよい

1点:概ね妥当

0点:妥当でない

6. 総合評価

3点:実施された事業は、優れていた。

2点:実施された事業は、良かった。

1点:実施された事業は、成果等が今一步のところがあつた。

0点:実施された事業は、成果等が極めて不十分であつた。

8. 提言及び提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言

電磁ブレーキについては、全く新たなアイデアであり、長期的な視点に立って研究開発を継続していただきたい。技術的に基礎段階だが、運用データ取得の必要性もあると考えられ、できるだけ早い段階で実証試験にもっていくことが重要であることから、スケジュールの前倒しが望まれる。ブレーキ非使用時の抵抗については、目標値の設定を検討いただきたい。

また、電動タキシングについては、航空機全体の電動化の流れと整合的であり、引き続き総合的に取り組むべき技術課題である。消費電力、重量の増加と燃費改善がトレードオフの関係にあり、その点を踏まえた検討は必要である。事業化に向けては、認証取得のために機体メーカーやエアラインとの連携を図るとともに、メインギアへの適用や、その他装置の電動化との統合システムについても検討を行っていただきたい。事業化のタイミングは、開発の進捗状況も踏まえつつ、電磁ブレーキとは別途、できる限りのスケジュールの前倒しが望まれる。

提言に対する対処方針

電磁ブレーキについては、ブレーキ非使用時の抵抗に関する検討含め、実用化に向けた技術開発を継続する。

電動タキシングについては、重量増加と燃費改善の関係に留意しつつ、統合システムとしての実用化も含めた検討を行ってまいりたい。

5 航空機用先進システム基盤技術開発 (次世代航空機エンジン用冷却装置)

目 次

1. プロジェクトの概要
2. 目的・政策的位置付け
3. 目標
4. 成果、目標の達成度
5. 事業化、波及効果
6. 研究開発マネジメント・体制等
7. 評価
8. 提言及び提言に対する対処方針

1. プロジェクトの概要

概 要	次世代の航空機エンジンの軽量・高効率の潤滑油 冷却装置(熱交換器)の研究開発を行う
実施期間	平成24年度～平成26年度 (3年間)
予算総額	0.86億円(委託) (平成24年度:0.06億円 平成25年度:0.4億円 平成26年度:0.4億円)
実 施 者	住友精密工業株式会社
プロジェクト リーダー	航空宇宙熱制御システム部 次長 富田 進

2. プロジェクトの目的・政策的位置付け(1/2)

プロジェクトの目的

次世代航空機エンジン用潤滑油冷却装置__Advanced Structural Surface Cooler (ASSC)を開発する。 ASSCの基となる技術はサーフェイス・クーラーと呼ばれる熱交換器である。 サーフェイス・クーラーとは(図1参照)、熱交換器の内部を流れるエンジンの潤滑油をその表面に流れるファン・エアによって適切な温度に保つタイプの熱交換器である。 なお、サーフェイス・クーラーと呼ばれる航空機エンジン用熱交換器は従来エンジン外周のファン・ケースに搭載されているが、Advanced Structural Surface Coolerは、従来のファン・ケースからエンジン本体の外殻を構成するコア・フェアリングに搭載(図2参照)して従来と同等の性能を有する「コア・フェアリングと一体化された熱交換器」を設計・製造することで、ファン・ケース重量を低減し燃費向上及びエミッション低減を可能とし、航空機のCO₂/NO_x排出量低減、騒音低減及び燃料消費率低減を図ることを事業目的とする。

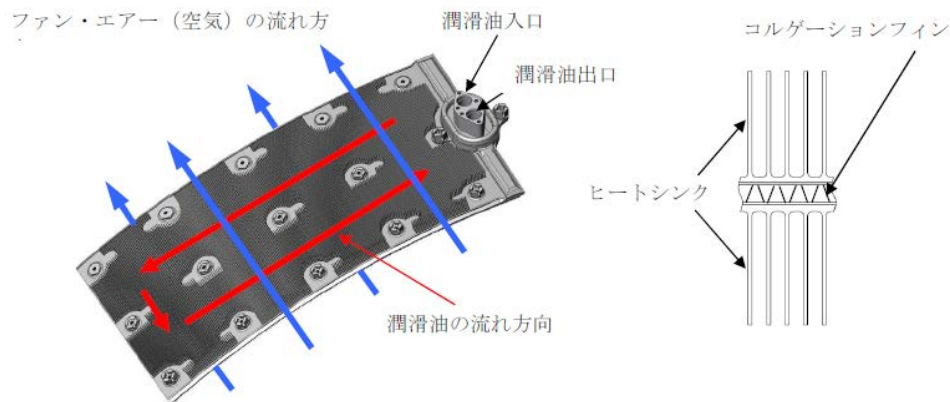


図1 サーフェイスクーラー

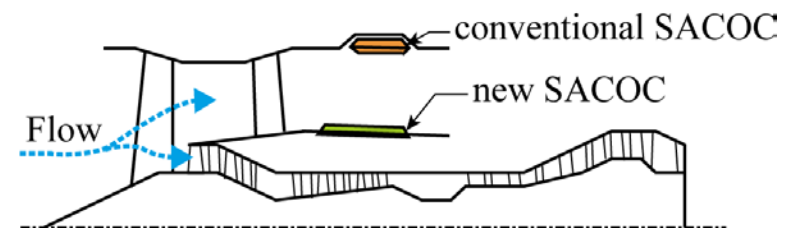


図2 サーフェイスクーラー
取り付け位置

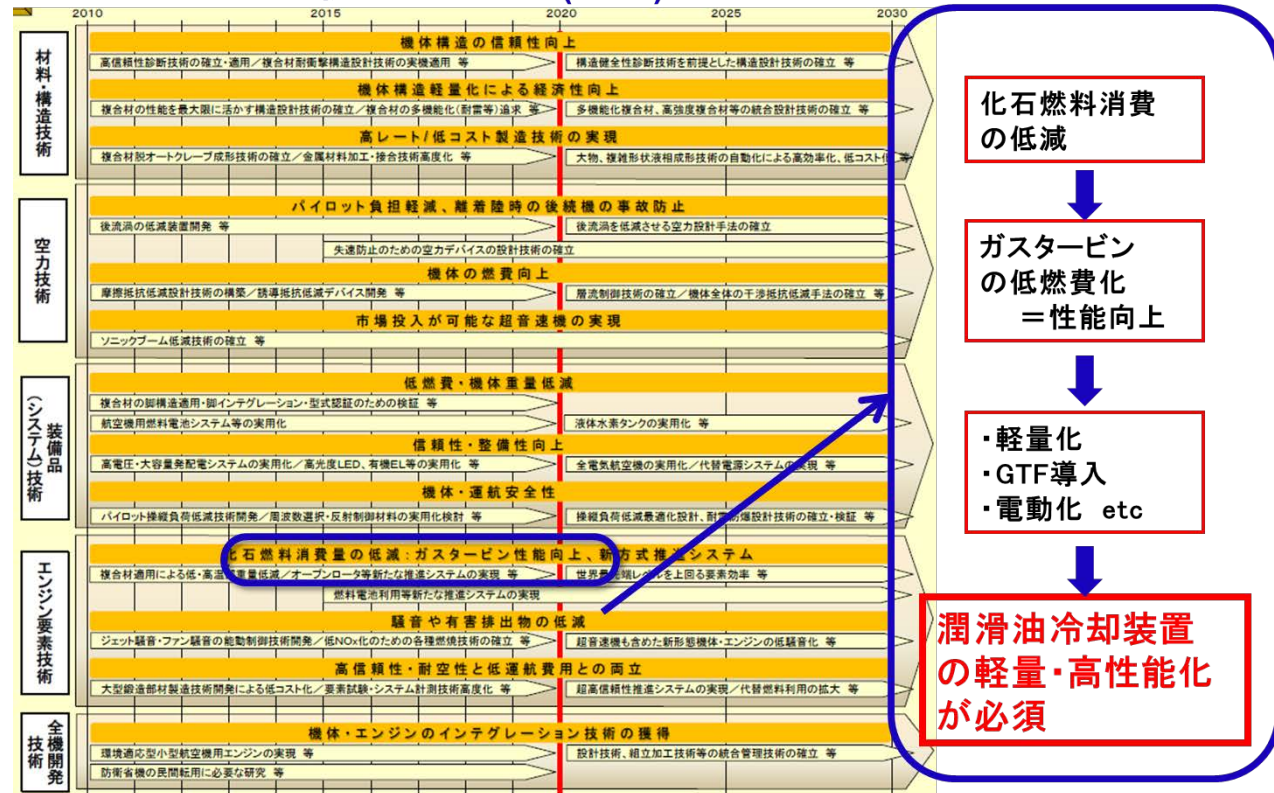
2. プロジェクトの目的・政策的位置付け(2/2)

政策的位置付け

本研究では、航空機エンジン重量を低減し燃費向上及びエミッション低減を目標としており、ガスタービン性能向上に資するものである。本研究の成果により次世代航空機エンジンから排出される有害物質低減され、よりクリーンな生活環境を提供する。

本研究は、日欧共同の国際研究開発のテーマとして、英国のRolls-Royce社と共同開発を行っており、Rolls-Royce社が、欧州 Clean Sky Projectとして進めている Large 3-Shaft ALPS Demonstratorエンジン開発の一部として実用化を目指している。

技術戦力マップ(2010)



3. 目標(1／2)

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠
ASSCの試作 設計技術 試験技術 製造技術	Rolls-Royce社が、Clean Sky Projectで進めているLarge 3-Shaft ALPS Demonstratorエンジンに搭載可能なASSCの試作品を製作する。	Rolls-Royce社のLarge 3-Shaft ALPS Demonstratorエンジンに搭載しASSCの技術実証を行う。
	製品重量を9.75kg以下を達成する。	共同研究パートナーで、航空機エンジン製造開発メーカーであるRolls-Royce社と調整し、200席クラスの双発機体用のエンジン(モデル・エンジン: B787用エンジンTrent 1000、推進力72,000lb)用サーフェイスクーラーをベースに要求される仕様を決定。
	離陸時の熱交換性能58.55KWを達成する。 巡航時の熱交換性能35.35KWを達成する。	
	潤滑油が120℃、流量2.335lb/s流れた時の圧力損失34psid以下を達成する。	
	圧力サイクル610psig⇔0psig×120,000回に耐える構造を達成する。	
	40Gの振動レベルに耐える構造を達成する。	

3. 目標(2/2)

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠
ASSCの熱交換性能計算プログラムの開発	様々な環境条件におけるASSCの熱交換性能を精度を持って予想できる計算プログラムを開発する。	航空機エンジンは様々な環境での飛行を想定した性能検証が必要であり、これをサポートすることを可能とするため、考えられるすべての環境条件に対応したASSC冷却性能を精度よく予想できる熱交換性能計算プログラムを開発することが必要である。
空気冷却フィンの高性能化検討	数値流体解析により空気フィンの最適設計を可能にする基礎的な知見を得る。	ASSCはできるだけ小さい面積、軽い重量、低流体損失で必要な冷却を実現することが求められ、ASSCの合理的な最適設計をするためには、冷却フィン周りの流れ場と冷却性能との関係についての理解が必要である。

4. 成果、目標の達成度(1／9)

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
ASSCの試作 設計技術 試験技術 製造技術	Rolls-Royce社が、Clean Sky Projectで進めているLarge 3-Shaft ALPS Demonstratorエンジンに搭載可能なASSCの試作品を製作する。	ASSCの試作品を製作しASSC単体での性能、強度に関する試験を実施しエンジン搭載可能なレベルであることを確認した。 Rolls-Royce社のLarge 3-Shaft ALPS Demonstratorエンジンに試作したASSCを搭載し、技術実証を完了した。	達成
	製品重量9.75kg以下を達成する。	試作品を設計製造し製品重量13kgであることを確認した。 目標重量に達成していないが、振動環境下における強度、及び油通路の圧力強度にはマージン(安全率)を残しており、今後、強度と重量のトレードオフスタディによる最適化で軽量化を図る。	一部達成

4. 成果、目標の達成度(2/9)

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
ASSCの試作 設計技術 試験技術 製造技術	離陸時の熱交換性能 58.55KWを達成する。 巡航時の熱交換性能 35.35KWを達成する。	製品単体試験で、離陸時の熱 交換性能31.34KWを確認した。 巡航時の熱交換性能13.84KW を確認した。 目標熱交換性能に達していな いが、数値解析による調査に より空気側の冷却フィンの性 能向上に資する種々の知見と 冷却性能の向上を図るための 設計指針を得ることができて おり、今後、空気冷却フィンの 最適化により熱交換性能の向 上を図る。	一部達成
	潤滑油が120℃、流量 2.335lb/s流れた時の圧 力損失34psid以下を達 成する。	製品単体試験で、潤滑油が 120℃、流量2.335lb/s流れた 時の圧力損失は34psid以下を 達成した。	達成

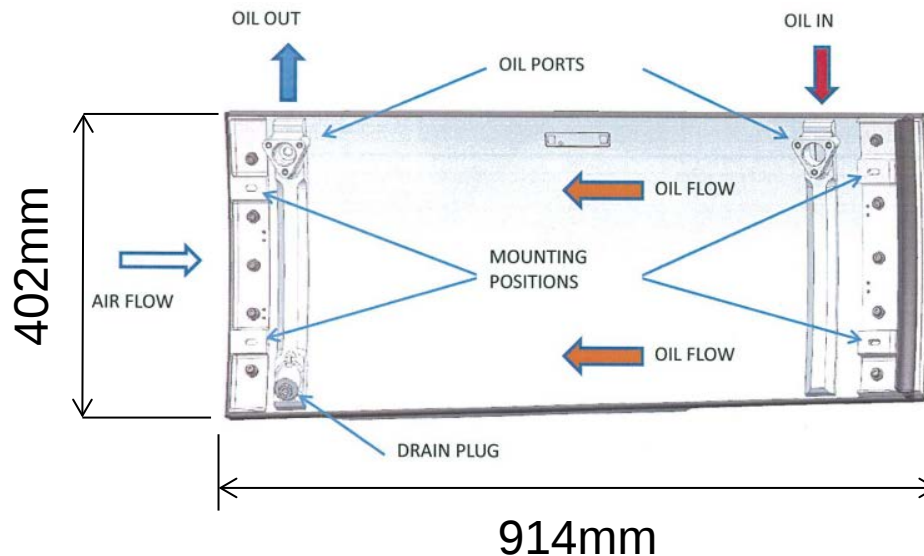
4. 成果、目標の達成度(3/9)

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
ASSCの試作 設計技術 試験技術 製造技術	圧力サイクル 610psig $\leftrightarrow$ 0psig $\times$ 120,000回に耐える構造を達成する。	試作品単体試験で圧力サイクル610psig $\leftrightarrow$ 0psig $\times$ 120,000回の試験に供しクリアした。	達成
	40Gの振動レベルに耐える構造を達成する。	試作品単体試験で40Gレベルの振動試験に供しクリアした。	達成
ASSC の 熱交換性能計算プログラムの開発	様々な環境条件におけるASSCの熱交換性能について精度を持って予想できる計算プログラムを開発する。	数値流体解析により得られた空気側冷却フィンの伝熱特性に関連する流れ場の知見と、試作したASSCによる熱交換性能試験の結果からASSCの熱交換性能計算プログラムを改善し計算精度を向上させることができた。	達成

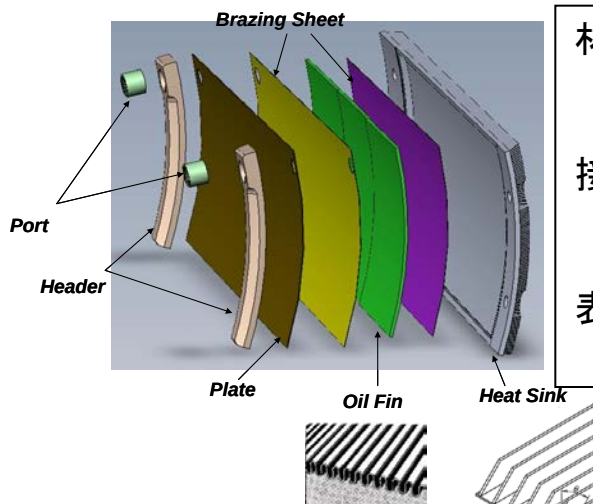
4. 成果、目標の達成度(4／9)

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
空 気 冷 却 フィンの高性能化検討	数値流体解析により空気フィンの最適設計を可能にする基礎的な知見を得る。	様々な冷却フィン形状について流れ場の検討と冷却性能の比較考察を行った。これらの結果から、冷却フィンの放熱性能向上に資する種々の知見を獲得するとともに、冷却性能の向上を図るための設計指針を得ることができた。	達成

4. 成果、目標の達成度(5/9)

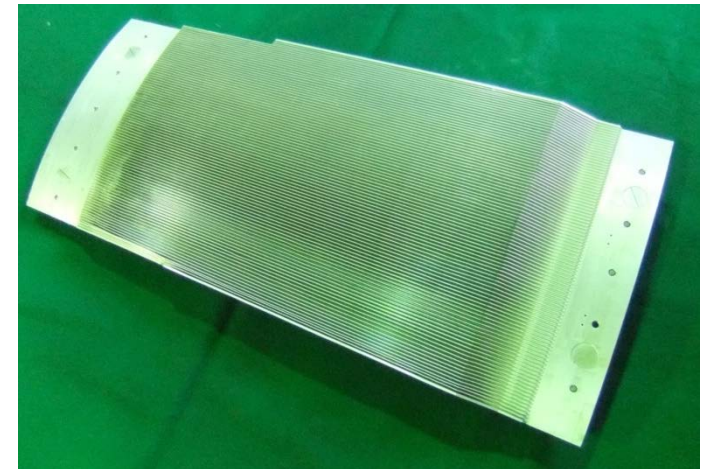


ASSC試作品設計



材料:
アルミ合金
(3003/6061等)
接合方法:
真空ろう付け
TIG溶接
表面处理:
化学皮膜処理

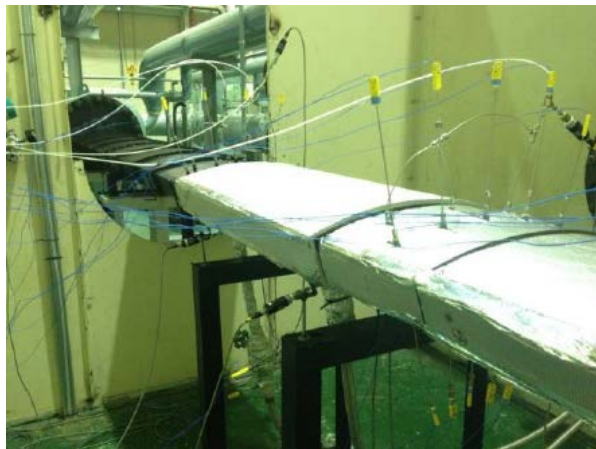
ASSC試作品製造技術開発



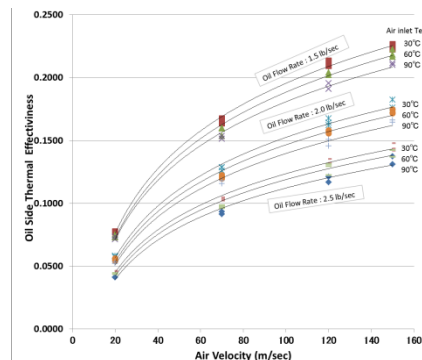
ASSC試作品製作

単体評価試験
エンジン試験

4. 成果、目標の達成度(6/9)



ASSC試作品熱交換性能試験



ASSC単体での性能試験を実施し、離陸時の熱交換性能31.34KWを確認した。

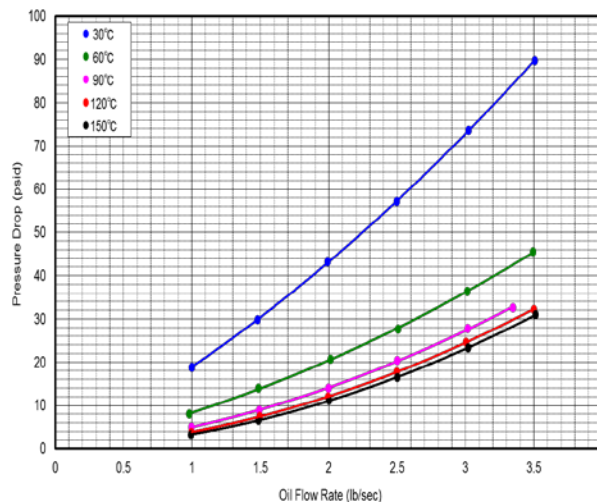
巡航時の熱交換性能13.84KWを確認した。

目標とする熱交換性能に達しておらず、空気側のフィンの形状の改善による性能改善を研究調査が課題である。

東京大学との共同研究による空気側フィンの伝熱性能向上を図る。



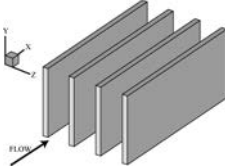
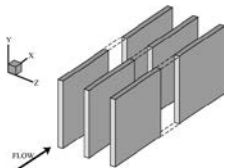
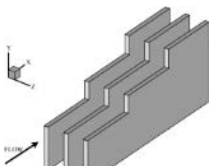
ASSC試作品潤滑油側圧力損失試験

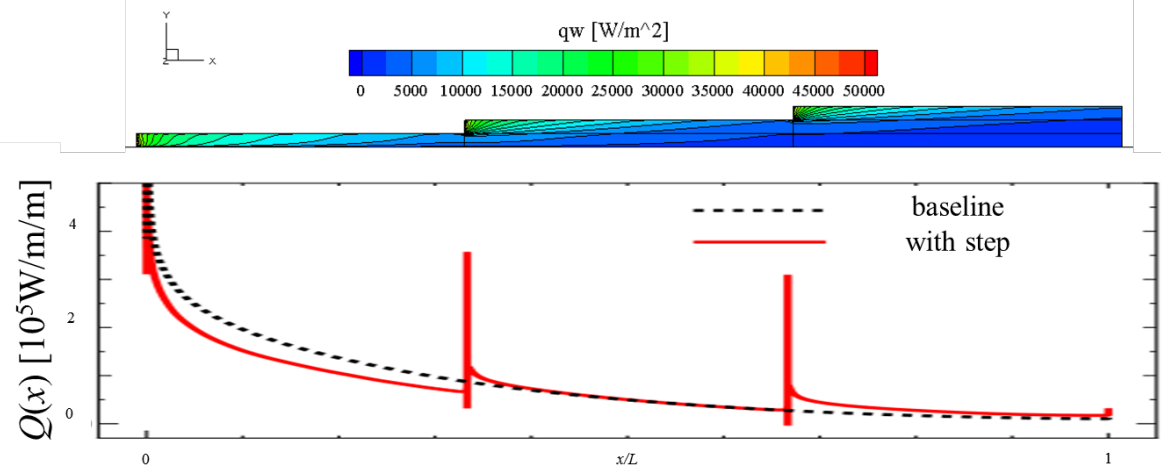
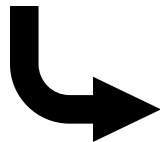


ASSC単体での潤滑油側圧力損失試験を実施し、目標値を達成することを確認した。

4. 成果、目標の達成度(7/9)

ASSC熱交換性能を改善するために数値流体解析で空気フィンの形状に伝熱特性を調べた。フィンをSTEP上に加工することにより伝熱特性が5%改善向上することが確認できた。

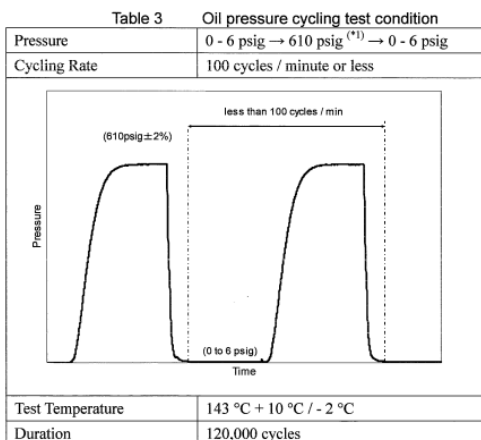
Type	Configuration	Expected effect	Performance
Baseline			base
NOTCH		Suppression of boundary layer development between fins.	+0.4%
STEP		Extended fin height out of B.L. in downstream region.	+5%



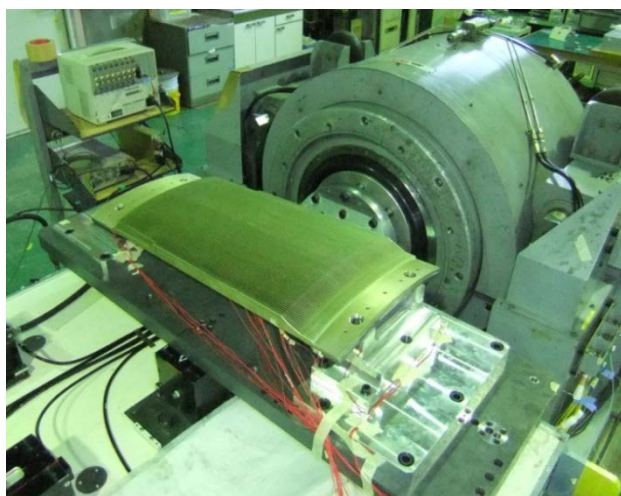
4. 成果、目標の達成度(8／9)



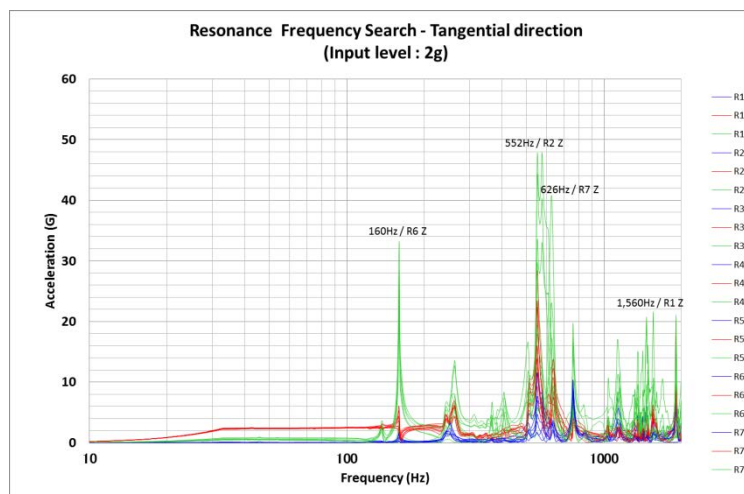
ASSC試作品圧力サイクル試験



ASSC単体での油側通路の内部圧力のサイクル試験を実施し、目標の疲労強度を達成することを確認した。



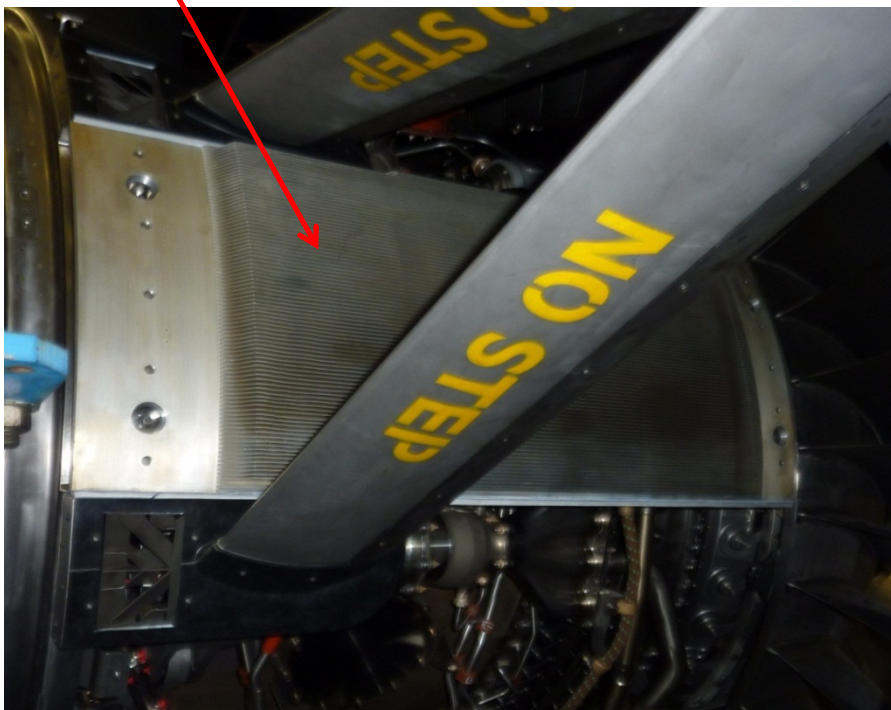
ASSC試作品振動試験



ASSC単体での振動試験を実施し、目標の振動強度を達成することを確認した。

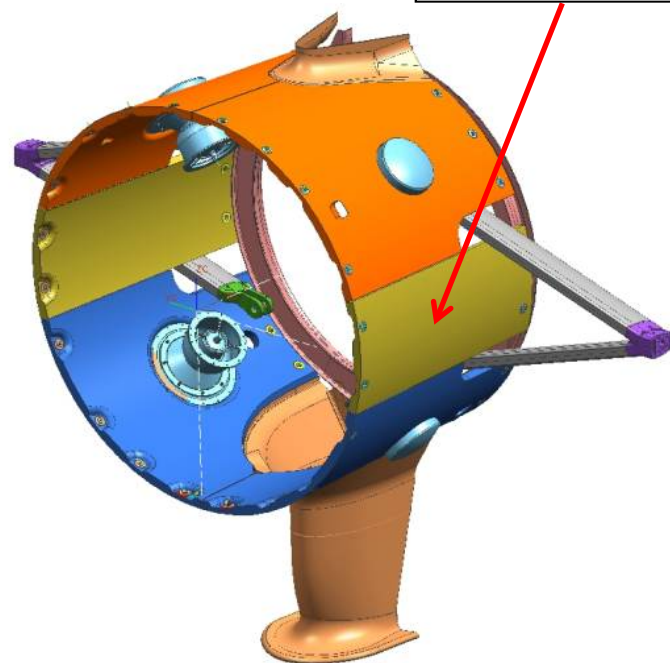
4. 成果、目標の達成度(9／9)

ASSC試作品



Rolls-Royce社のDemonstrator Engineに搭載されたASSC

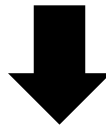
ASSC試作品



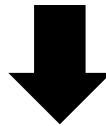
5. 事業化、波及効果(1／3)

事業化の見通し

本プロジェクトの成果であるASSCは、その試作品を2015年7月にRolls-Royce社の Demonstrator Engineに搭載し、エンジン試験に供された。エンジン搭載環境下でのASSCの熱交換性能や振動レベルのデータを取得し、実機搭載が可能であることが実証された。



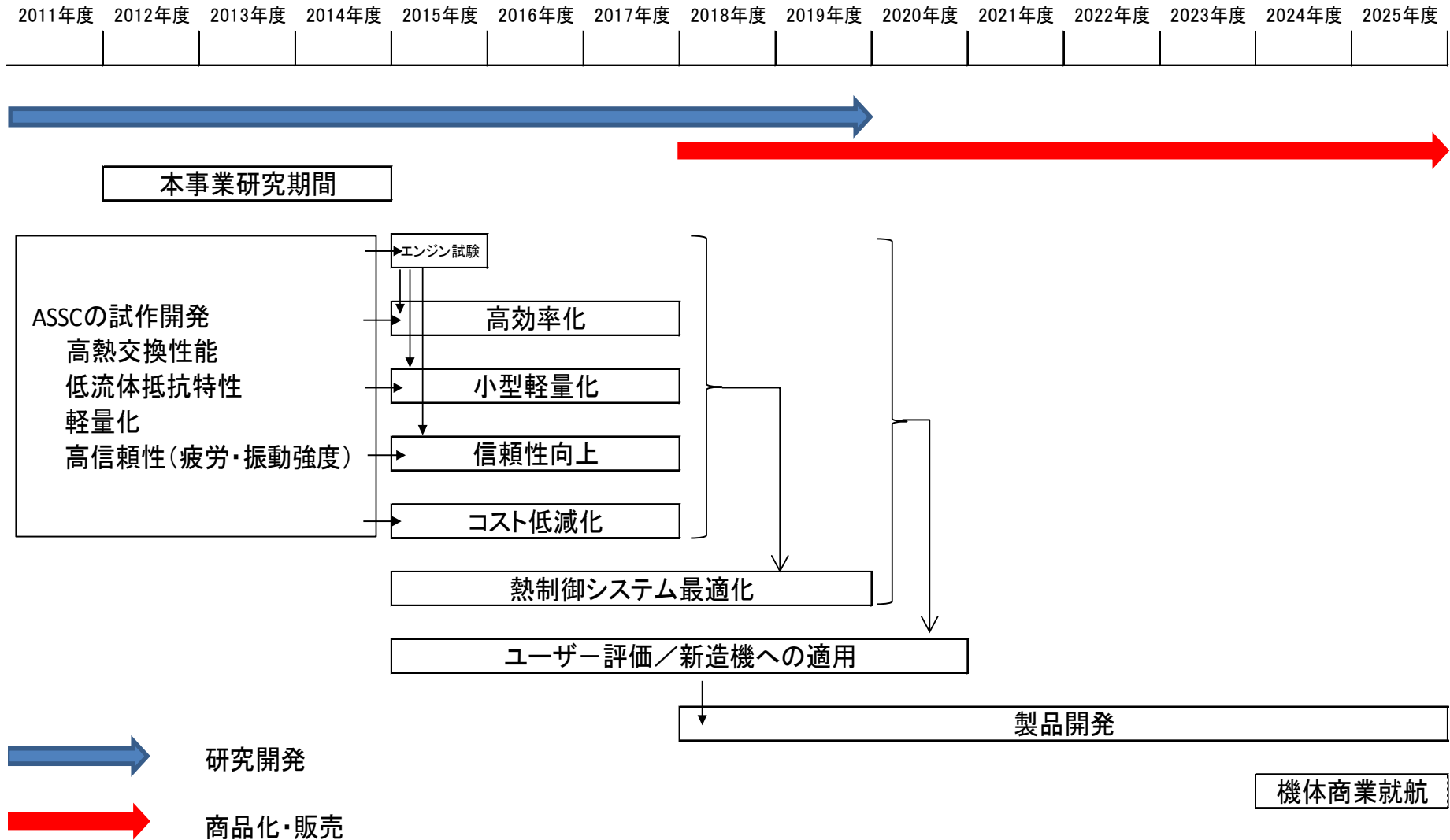
高効率化、小型軽量化、信頼性向上、低コスト化を図り、次世代の航空機エンジンへの適用を目指す。



ASSC単体でなく、他の熱交換器FCOC(燃料と潤滑油の熱交換器)、流量コントロールバルブなどの部品も含めた航空機エンジンの熱制御(排熱)システムの高効率化、小型軽量化を図り、エンジンの軽量化を狙う。

5. 事業化、波及効果(2/3)

事業化に向けての展望



5. 事業化、波及効果(3／3)

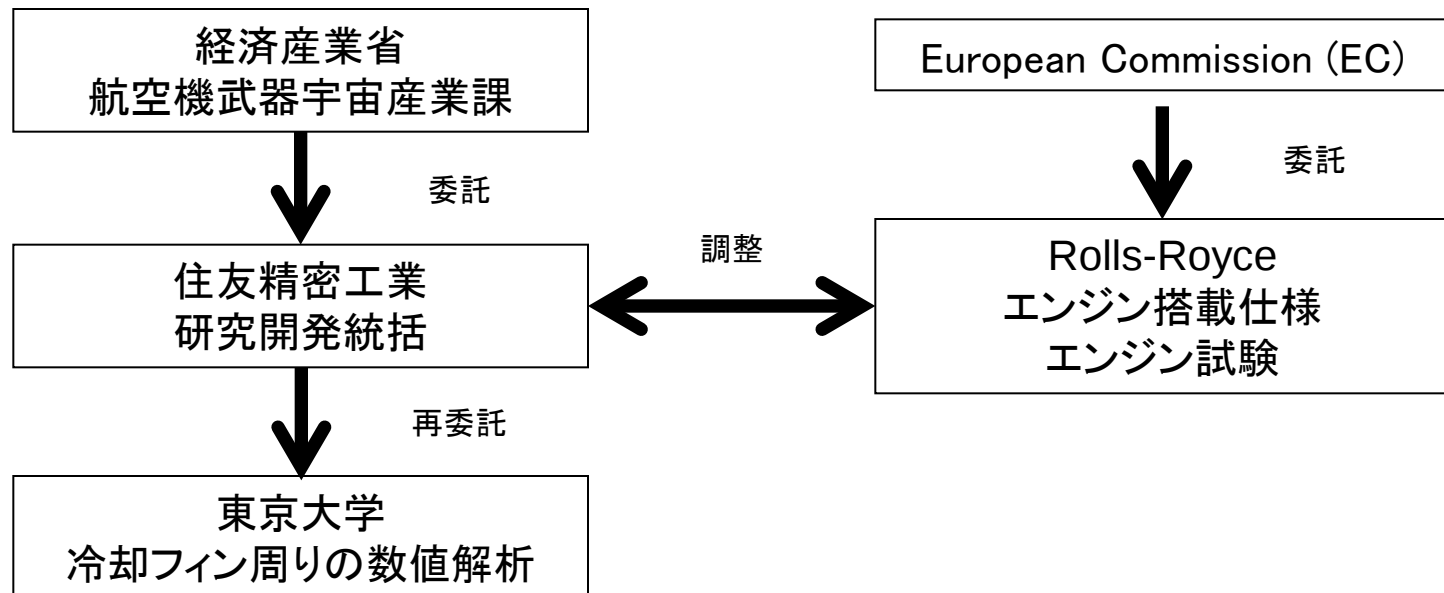
本事業の波及効果

本プロジェクトでは、推進力72,000lbクラスのエンジンの熱交換器(ASSC)を開発したが、すべてのクラスのターボファンエンジン用の熱交換器に応用できる技術である。

また、本プロジェクトでは、熱交換器の高効率化、小型軽量化の技術開発であり、対象となったエンジン潤滑油の冷却装置のみならず、航空機に搭載されるすべての熱交換器の設計開発に利用できる可能性が期待できる。

6. 研究開発マネジメント・体制等

- 住友精密工業が経済産業省からの委託を受け、研究開発を担当した。
- 熱交換器の高性能化のための数値解析を東京大学が担当した。
- 住友精密工業が英国Rolls-Royce社と航空機エンジン搭載使用についての調整を実施した。
- 英国Rolls-Royce社が開発した熱交換器をエンジンに搭載しエンジン試験を実施した。



7. 評価

7-1. 評価検討会

評価検討会名称

航空機関連プロジェクト事後評価検討会

評価検討会委員

座長

李家 賢一 東京大学大学院工学系研究科 教授

委員

岩田 拓也 産業技術総合研究所主任研究員

岡部 朋永 東北大学大学院航空宇宙工学専攻教授

奥田 章順 株式会社三菱総合研究所参与・チーフコンサルタント

山田 圭一 株式会社ANA総合研究所 航空・産業政策グループ
主席研究員

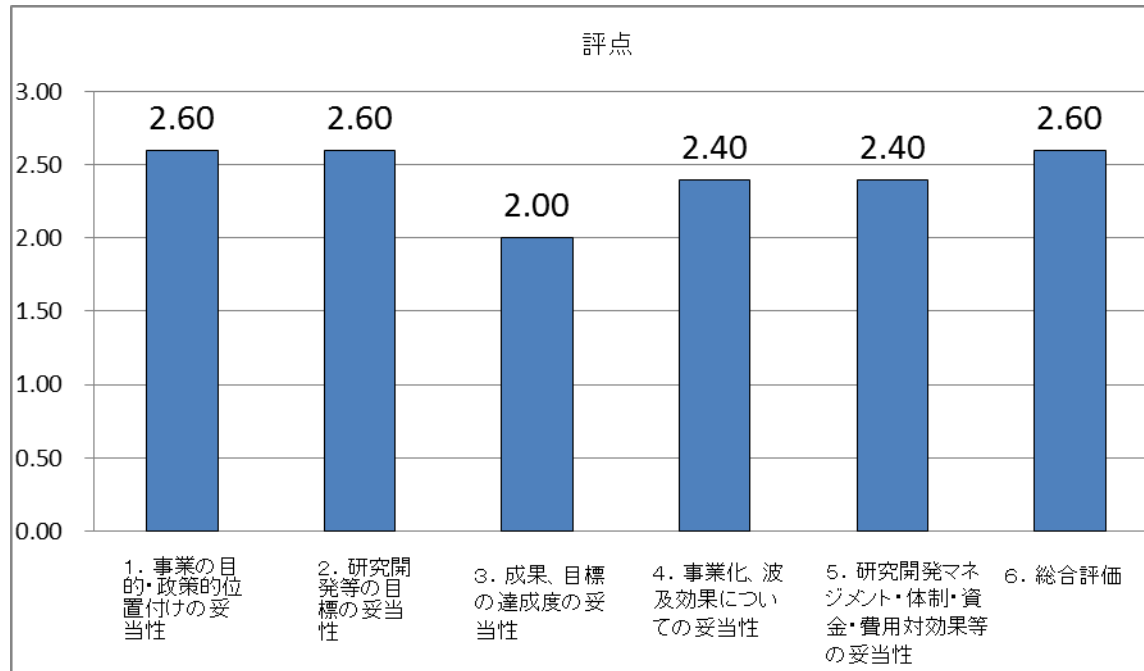
7-2. 総合評価(コメント)

サーフェス・クーラーの着実な開発が実施されたと考えられる。エンジンの高性能化に寄与する事業であり、優れた取組であったと評価できる。

なお、目標設定については、定量的な視点から更なる明確化を図っていただきたい。

7-3. 評点結果

○「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト事後評価において、
評点法による 評価を実施した。



【評価項目の判定基準】

評価項目1.～5.

3点:非常に重要又は非常によい

2点:重要又はよい

1点:概ね妥当

0点:妥当でない

6. 総合評価

3点:実施された事業は、優れていた。

2点:実施された事業は、良かった。

1点:実施された事業は、成果等が今一步のところがあつた。

0点:実施された事業は、成果等が極めて不十分であつた。

8. 提言及び提言に対する対応方針

今後の研究開発の方向等に関する提言

今後のエンジン高性能化において、熱交換システムの開発は有意義であるが、エンジン全体、航空機全体に与える定量的効果については、引き続き詳細な検討をお願いしたい。今後の事業化については、サーフェス・クーラーから始めてより大きなシステムに参入するための戦略について、引き続き検討を行っていただきたい。また、他のエンジンメーカへの展開可能性も踏まえ、知財の確保等には留意いただきたい。熱交換性能の向上については、今後も具体的分析に基づいた改良が望まれる。

提言に対する対応方針

本事業で得られた成果の実用化に向けては、サーフェス・クーラー以外も含めた熱交換システムとしての実用化や、他のエンジンメーカへの展開等も含め、事業者とともに検討を継続したい。また、その際、知財の取扱いについては留意してまいりたい。