

第1回航空機関連プロジェクト（2）事後評価検討会
議事録（案）

1. 日 時 平成27年11月16日（月） 15:00～17:00
2. 場 所 経済産業省本館6階西8 製造産業局第4会議室
3. 出席者

（検討会委員）〔敬称略・五十音順、※は座長〕

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
※李家 賢一 東京大学大学院工学系研究科教授

（研究開発実施者）

中西 邦夫 三菱航空機株式会社 コーポレート本部 総務・広報グループ
担当次長
石田 守正 三菱航空機株式会社 技術本部 第2設計部 構造解析グループ
複合材証明チーム 主任チーム統括
西 孝裕樹 富士重工業株式会社 航空宇宙カンパニー システム設計部
電子システム設計課
足立 隆史 富士重工業株式会社 航空宇宙カンパニー 研究部 主査
小林 貴 富士重工業株式会社 航空宇宙カンパニー 航空機第二部 国内
営業課 課長
古屋 徹 住友精密工業株式会社 航空宇宙部 脚構造設計課
マネージャー
熊田 俊行 住友精密工業株式会社 航空宇宙部 次長
富田 進 住友精密工業株式会社 航空宇宙熱制御システム部 次長

（事務局）

製造産業局航空機武器宇宙産業課
課長補佐 吉瀬 周作
課長補佐 菅野 洸史

（評価推進課）

産業技術環境局技術評価室
技術評価専門職員 江間 祥三

4. 配布資料

- 資料1 第1回航空機関連プロジェクト（2）事後評価検討会委員名簿
資料2 研究開発評価に係る委員会等の公開について
資料3 経済産業省における研究開発評価について
資料4 評価方法（案）

資料 5	航空機関連プロジェクト（2）の概要一覧
資料 5－1	炭素繊維複合材成形技術開発の概要
資料 5－2	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）の概要
資料 5－3	航空機用先進システム基盤技術開発（革新的防除氷技術）の概要
資料 5－4	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）の概要
資料 5－5	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）の概要
資料 6	航空機関連プロジェクト（2）の評価用資料一覧
資料 6－1	炭素繊維複合材成形技術開発の評価用資料
資料 6－2	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）の評価用資料
資料 6－3	航空機用先進システム基盤技術開発（革新的防除氷技術）の評価用資料
資料 6－4	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）の評価用資料
資料 6－5	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）の評価用資料
資料 7	評価報告書の構成（案）
資料 8	評価コメント票
質問票	
参考資料 1	経済産業省技術評価指針
参考資料 2	経済産業省技術評価指針に基づく標準的評価項目・評価基準
参考資料 3	平成 24 年度中間評価報告書（概要版）

5. 議事

（1）開会

事務局から、出席委員・事務局・オブザーバーの紹介が行われた。

李家委員が本検討会の座長に選出された。

（2）評価検討会の公開について

事務局から、資料 2 により、評価検討会の公開について説明がなされた後、本評価検討会について、会議、配付資料、議事録及び議事要旨を公開とすることが了承された。

（3）評価の方法等について

事務局から、資料 3、4、7、8 により、評価の方法等について説明がなされ、了承された。

（4）プロジェクトの概要について

事務局及び研究開発実施者から、資料5-1-1から資料5-3-3により、航空機関連プロジェクトの概要について説明があり、以下の質疑応答がなされた。

(資料5-1)

○山田委員 技術開発の内容についてはご報告いただいたとおりだと思うが、なかなかうまく活用できていないというのは、研究開発のマネージメントなのか、どこに問題があったのか。

○中西氏 いろいろな機種に適応させる基礎開発として、V a R T M技術の研究開発に着手しようと考えた。航空機関連プロジェクトの複合材研究の流れの中で、その一端を担えるのではないかとということで参加した。今回の研究の結果、技術開発としては、一通り完了したが、今後の製造レートアップ等、更なるコストダウンに耐えうるためには、更なる試験を伴う改善をしていく必要があると考えている。

○岡部委員 大変すばらしい内容だと思う。小型の航空機に限らずということで進めていると思うが、具体的に少し大きなサイズも考慮に入れた形になっているのか。今見る限りでは小型サイズのものと考えられるが、より大きいサイズに適用できるメドは立っているのか。

○中西氏 今回は小型をベースに研究開発をしているが、基礎的なところ、クーポン試験などからやっているため、それについてはどのサイズにも適用できる強度のデータであると考えている。

○岡部委員 おそらく、A-V a R T Mを使った割と速く流すタイプのものを使っていると思うが、歩留まりはどうか。歩留まりの改善にも取り組んだのか、それともこれ以外のプロジェクトで取り組むのか。

○石田氏 含浸性については、垂直も水平もだが、おおむねスパンとしては5メートルくらいのものを考えている。5メートルのところにうまく樹脂を流すことがポイントだが、この試作の中では、一箇所ではなく複数の箇所からバランスよくポートを設けてうまく樹脂を流すことを考えた。より大型のサイズに使えるかという質問については、その延長のことをすれば、5メートル以上のものにも適用できると考えている。板厚についても、そこそこの板厚を持つように設計している。主翼レベルのサイズは厳しいかもしれないが、それ以下のところには適用できるのではと考えている。歩留まりについては、先ほどの条件出しをコントロールすることにより改善し、事業化に

耐えうるレベルの歩留まりまでは達成できたと考えている。

○岩田委員 歩留まりに関連して、歩留まりというのは、補修の技術もやっておられると思うが、そういうものも含めた歩留まりなのか、それとも含まないのか。補修技術でどの程度まで回復するのか。回復する試験の評価を強度試験でやっているが、耐環境性など、環境を変えて温度による伸縮をかけた状況での剥離性なども含めて、金属とは違う破壊の仕方をするので、そういったところをどの程度まで評価技術として持っているのか。

○石田氏 歩留まりについては、リペアは含んでいない。シンプルなところで検討した。

○岩田委員 将来的に、リペアも含んだ歩留まりという考え方ができるのか。そうしていただくと、製造者側にとっては品質も保証できて、それはリペア技術にもよるが、ちゃんと良いものが出荷できるのであれば、リペアも含めて良いということであれば、製造者側からは非常に助かると思うが。

○石田氏 基本的に、よっぽどのが無い限りはリペアを要するような大きな製造ミスをしたものを外に出すことは考えづらいと思う。運用中のことであれば、リペアは時間も含めて、短時間でパフォーマンスがしっかり戻るということが求められると思う。その観点で、ベーシックなプロセスができたと思う。今後、回復技術の開発に徐々に移るが、複合材なのでやはり環境等におけるノックダウンを考慮した評価が必要と認識している。ただ、まだフルスケールで施工性を確認し、強度チェックは環境と、衝撃損傷と製造欠陥等のノックダウンのファクターを考慮しながら、構造要素レベルまでの評価をした。今後フルスケールでの強度評価が、適合性証明で承認を取っていくプロセスでは必要になってくると考えている。

○奥田委員 おそらく海外でもここまでやった例はないと思うが、8ページのところで、許容欠陥サイズやNDIのプロセススペックを規定していると思うが、やり方であったり、やったデータは御社のオリジナルとして中にストックされているという理解で良いか。

○石田氏 8ページで具体的にやったこれは実大の供試体だが、実際にエアロードを模擬した荷重を治具で負荷し、剛性や強度のデータをとった。十分データをとった後、これは完全に破壊せずに降ろし、細かいクーポンに切り分けてもう強度評価試験及び

断面観察をすることで、品質及びばらつきを見た。そういった生産技術側の内部品質をD Iで見るというデータと、強度的なデータをこのトライアルの中では取っていて、蓄積できていると考えている。

○李家委員 前の中間評価でも出ていたようだが、軽量化という面では、この技術はどの程度まで達成されたのか。

○石田氏 対象部位、構造で異なるが、18～19%程度、よいところで、結果的に、20%を超えるか超えないかくらい。この試算は、構造に取り付くメタル部品も含めた全体の重量。

(資料5-2)

○李家委員 国際標準への提案ということで、最初の解析手法の開発のところで一部達成、③も一部達成、あと②と④は達成ということですが、この解析方法のところを解決すれば、国際標準化へのメドがつくということでよいか。

○西氏 向こうの国際標準化委員会の方で解析をどうするか、まだ議題のレベルになっていない状況があるので、まだ少し時間がかかると思われる。

○奥田委員 4ページのところの解析手法のところで、解析精度というのが出ているが、これはどうやって確認するのか。

○西氏 同じ形の供試体、飛行機の一部を切り出した供試体を作り、そこに雷の波形を入れてやって、それを測定し、同じ数学モデルを作り、全体が合うか合わないかを比較し、何%までワーストケースとベストケースとで合うかという比較をして見ている。

○奥田委員 70%というのは世界的に見てもかなり高いのか。

○西氏 高いと考えている。今、世界的には解析の精度は半々だということで試験を多くやっている状況。

○奥田委員 先ほど、最後のページで国際標準化活動の実施というところがあって、矢印が解析手法と測定方法と放電現象の3つから出ていて、これは、3つはバラバラに出るという理解か。それともまとめて出さないといけないものなのか。

○西氏 現状はまとめて出している。まとめてというより、一人で何案も持って行って、各々個別に説明していったというのが実際のやり方。放電試験の方が、標準化委員会のメンバーの共感をいただいた。

- 奥田委員　解析手法と測定方法と放電方法をバラバラにということだが、実は解析手法と測定方法は関係があったり、放電現象が影響したりすると、バラバラにというのは何か違和感があるが。
- 西氏　前提をご説明できていなかったが、S A Eの中に各種分科会があって、試験法の分科会や認証方法の分科会ごとに分けて説明したということ。
- 岩田委員　帯電の実験がうまくいっていないということだが、どの部分がうまくいかなかったのか。
- 西氏　実験として帯電させるというのが難しい。なかなか放電する電圧まで燃料を帯電するというのが難しい。次はそれを測定するところが難しく、本当に欲しいのは静電気がどのように逃げていくかという移動速度だが、燃料を静止させているのであれば測れるが、ある程度泳動している状況で測定するのが非常に難しい。そこを東京大学に協力いただいてやったのだが、かなりチャレンジ度の高いものだった。
- 岩田委員　半導体などであれば、電荷の移動は磁場をかけたりして平衡点を見て決めるとか、そういう二次的なもので測定したりするが、この場合二次的な手法が使えないので、非常に難しいことをやっている。帯電現象で航空機が抱えるもので一番大変な燃料の流動による帯電をターゲットにしているが、実際のところの帯電は、それが一番クリティカルなのか、それとも客室などから出るものが多いのか。
- 西氏　一番厳しいのは燃料を給油するときに、燃料をホースから燃料タンクにつないで入れるとき。除電速度も見たが、あまり材料に影響されず、時間とともに同じ速度で除電していくという現象がある。ここもなかなか解明できない。
- 岩田委員　それは空中に対する放電か。
- 西氏　そう。機体から外側に。
- 岩田委員　そういったことを測定する手法の開発は重要で、それを資料の五番目の測定開発のところでやっていて、温度を使って見るということも一つの手ということで、こういった手法が静電気についても役に立つのかどうか。静電気が流れるときの温度上昇はすごく微小なので、もう一つ炭素繊維というのは熱伝導率が非常に高いので、何を測っているかを間違えないようにしないといけない。例えば局所的に中心部で電気が流れたことによって熱が発生した、それが熱伝導率が高い方に向いているというものも測ってしまっている可能性もあって、それとの分離がうまくできればいい

測定方法になるかなと思う。

○西氏 電気の流れと熱伝導率、両方で計算できるようなプログラムを作ったが、かなり時定数が熱伝導率の方が遅いので、そちらの影響を受ける。先ほど、主に放電だけを申し上げたが、今世界で問題になっているのは、ホットスポットという放電はしないが発火温度まで上がるという現象であり非常にわからない。それを見られる様なプログラムに改修中。

○岡部委員 やはり国際標準化では、試験評価と数値シミュレーションをカップルにしていけないと、単体だけではなかなか誰も認めてくれないのではという感じがしていて、そういう意味では、その前の前段の話があると非常にわかりやすいかなと思う。放電現象の方も、数値計算みたいなことはやっているのか。実験用の構成の空間磁場の変化というのはやっているのか。

○西氏 やっている。

○岡部委員 そちらの方のきっちりとした逆解析も別途一緒に見せないと、雑な計測だけで議論すると信じてもらえないのではないかな。そのあたり是非、もし資料があれば直していただけると良い。

○西氏 おっしゃるとおりで、その手の資料を準備して、標準化委員会にも説明してきた。標準となる電極の球と電解分布で、発光がどれだけ違うか、エネルギーがどれだけ違うかというのを、彼らはデータ至上主義なので、データをずらっと並べ、データチャートを持って行った。

○岡部委員 その上で、この簡易方法ということであれば、受け入れられると思う。もう1点、コメントだが、私も過去電流解析をやっていた時期があり、これのポイントは10の6乗オーダーで繊維の方向と繊維の垂直方向の導電性が違うということ。なので、面内でも強烈に補正があるし、もう一つは層と層の電流の単位シフトがかなり難しいので、ほとんど超伝導を解いているのと同じ状況になる。一つは、超伝導の人たちがもっと凝った解析をしているので、それを導入してもらう方がいいかなと思うのと、このやり方ではたぶんうまくいかない。これだといくらやっても、ある1点に吸い込み口があって、テンタティブな接触点で一気に電流が流れていってしまうので、難しい。もう1点は、少し樹脂の導電性を上げる、今は導電性ポリマーも出ているので、導電度を上げて、少しちゃんと解析と合わせられるところから少しずつ落として

いくようなアプローチをして、これかなりアイデアとしてはわかるが、なかなか実験と合わないのでは、そのあたりを検討してもらえると良い。

- 西氏　　実は今年論文を出す、各層ごとの電流の差異と抵抗を全部測定した結果を発表する。ただ、ご指摘のとおり、過渡的に見ると非常に困難だが、ある程度工学的視点で見て、雷は一回流れると抵抗がぐっと下がる。その時点での計算という視点で見させてもらった。

(資料5-3)

- 山田委員　　8ページで省力化の仕組みだが、コーティングで消費電力を下げるというのは非常におもしろい取組だが、仕組みとしては、着氷したら電気を流すため、電気を流す時間が短くなるという理解か、それとも弱い電力を流し続けることで、コーティングの機能と相まって着氷しないということか。
- 足立氏　　実際に航空機の場合、着氷領域であればスイッチをオンにした状態で飛び続けるため、その状態を模擬しており、ある決まった時間、電気は流しっぱなしにしている。その中で、ここでの差は、施工エリアをどれくらい縮めることができるかといったところも評価した結果である。実際に、図のオレンジ色の部分は、領域を分けて電気を流す流さないの制御試験ができる。これによって実際にコーティングしている場合は全面ではなく、ある部分だけ流せば良いというコントロールをして、その結果で、決められた時間でどれくらいのエネルギー使用になるかという計算をしている。
- 山田委員　　ヨーロッパ側での開発と書いてあるリアルタイム着氷センサとの組合せでいくと、例えばコーティングの機能が落ちたら電気を流すということなのかと思っていたが、そういうわけではないのか。
- 足立氏　　そこはまだ組合せの成果までは得られていない。センサ自体の開発が、欧州側で今行われており、7ページ下側をご覧いただきたいが、センサについては欧州側のコンセプト実証を今実施中で、まだ結果がでていない。今回は、日本側の成果として取り組んできたので、センサのコンセプトは今回の開発からは外している。
- 山田委員　　エロージョンに関しては、雨粒のみ実験して、あと粉じん等は実際の航空機での実証実験だという報告があったと思う。結構空中の粉じんが一番エロージョンの原因になると思うが、航空機での実証実験は非常にばらつきが大きく、もう少し実験した方がいいと思うが。

○足立氏 おっしゃるとおりで、実際に国内のエアラインともコーティングの適用に関して意見交換をさせていただき、その中でも同じ意見が出ていたので、それについては今年度別に評価をさせていただく予定。東京上空はかなり粉じんが舞っていて、それによる塗料のエロージョンも多いと聞いている。

○李家委員 耐久性に関し、実用的に使うことを考えると定期的に塗らなければならないということではどうか。

○足立氏 定期的に塗らなければならないと考えている。どのタイミングでというのは、部位と、エアラインによって変わると思う。一般の塗料の場合は大体8年とか、かなり長期間塗り直さないというのが多いが、さすがにそこまでの期間はもたないと思うので、あとは費用対効果もあるが、もう少し短い期間を設けて塗り直す必要があると考えている。

(資料5-4)

○奥田委員 電磁ブレーキはTRLでいうとどれくらいのレベルなのか。

○熊田氏 一旦コンセプトの実証が終わったところなので4ぐらいになる。

○奥田委員 発熱があるということだが温度としてはどれくらいか。

○古屋氏 今使っているのは市販の電磁流体を使っており、これはブレーキよりも制振などに使われるダンパーが主な用途のものだが、こちらは200度までもたないくらい。引火点で170～180度。それではブレーキに使うのは難しいということで、今回詳細説明を端折りましたが、電磁流体そのものの改善も進めており、今製作したものが300度超の耐熱性を持ったもの。

○奥田委員 電動タキシングの方ですが、これはホイールインモータのような形でしょうか。

○古屋氏 そう。

○奥田委員 その場合、重量的にどうなのか。重くなるのか。

○古屋氏 当然今の航空機には積まれていないものなので、必ず重量ペナルティはある。重量は既存のものより増える。

○奥田委員 それはどのくらい。

○古屋氏 目標としては、今具体的な数字が出てこないが、30キロ程度のオーダーだったと記憶している。と言うのも、地上走行の時にエンジンを使わないことにより、

燃料消費を減らすことができる。なので、絶対的な重量は増えるが、燃料消費が減る分は最大限許容されるだろうと考えている。

○岩田委員 モータ自体の重量増よりも、そこに大電流をもっていく配線の重量とか、そのあたりが重くなってきたりとか、太くて曲がりにくい配線を、脚を引っ込めるために動かさないといけなかったりとか、そういったときに、ダイレクトに動かすのではなく、末端にバッテリーを積んでおいて、要するに離着陸の時しか使わないので、充電は少しずつやっておいて、タキシングするときだけ大電流で動かして、離陸し終わったときは空になっている、それは飛行中にまた少しずつ充電してといったシステムも同時に考えておられるのであればなかなかおもしろいかと思う。

○古屋氏 貴重な意見。まだそこまでの検討は進んでいないが、おっしゃるとおり、電線の重量もばかにならない。太い配線なので、今試験走行を模擬した試験でも配線をどう取り回そうかというところに苦労している。これから検討していく必要がある。電源については、基本的にはAPU、機体側の電源からもらうことを想定している。機体全体の電氣化が進みつつあるので、そちらからある程度、大きな電流ではあるが、もらえるようなシステムに、まだ機体メーカーとの調整はできていないが、そういった機体にこれからなっていくであろうという想定をしている。

(資料5-5)

○山田委員 いろいろな技術的課題に対して取り組まれているのはわかったが、ファンケースからコアフェアリングに搭載場所を変えることは、技術的に何がチャレンジングで今までできなかったのか。

○富田氏 取付けについては、実際にファンケースに付けるものについては、ボルト12ポイントで留めているが、今回のものは4ポイント。したがって、振動強度はかなりチャレンジングだった。放熱性能についても、ここでは申し上げられなかったが、空気の流れ方向に対して横長な熱交換器を今回開発した。11ページ目の写真を見ていただくと、402ミリと914ミリと書いてあるところに、エアフローが左側にあると思いますが、この絵でいう左から右に流れる。長い方向に流れる、402ミリというところに空気が流れるわけですが、逆に考えると、914ミリの方に空気が流れると、これだけ、倍以上の空気が冷媒として使える。今回はこれが半分になっている。今回、熱交換性能を達成しなかった理由の大きな一つには、冷媒が絶対的に少なかった

た、それを何とか伝熱特性を上げて、カバーしようというのが試みだったが、まだ十分目標までは達成しなかった。

○山田委員 4ポイントで留めるといったり、縦長だというのは、要はコアフェアリングの取り付けられるスペースが限られているからということか。

○富田氏 そう。

○岡部委員 実験でエンジンをまわしたのか。何時間くらいまわしたのか。

○富田氏 すみません、何時間かという数字は今ありません。

○岡部委員 性能はずっと一定なのか、それとも落ちてくるのか。

○富田氏 性能は一定。ただし、条件をいろいろと変えている。エンジンの回転数とか、油の温度などを変えているので、そういう意味では一定ではない。

○岡部委員 耐久性は大丈夫だが、まだ性能そのものが十分出ていないということか。

○富田氏 そう。

○岩田委員 将来的に、いろいろなエンジンに適用することを考えた場合に、ヘッダーとポートと言われるところを共通にして、中の部分はコアエンジンの形状に合わせて、エンジンメーカーの希望に応えられるようなことがあると、エンジンのいろいろな場所に、今までデッドスペースだったようなところにも適用できると思うんですが、そういった自由曲面に対する対応といったところの検討とかはされているか。

○富田氏 細かなところまで、この曲面が伝熱特性にどれくらいの影響を与えるかというところまでは、まだ見切れていないが、それほど大きくはないだろうとは思っているため、あまりその点は見えていなかった。今後、我々数値流体解析をやり始めており、その中で、そういった曲面もインパクトがあるんじゃないかという知見は出てくるかもしれない。

○李家委員 これを適用すると軽量化につながるという話だったが、エンジン全体としてどのくらい軽くなるのか。

○富田氏 非常に微々たるものだが、元々10キロぐらいのものなので、エンジン重量から見ると、10キロを1キロ、10%低減したところで、エンジンの中の本当に一部の低減にはなる。

○山田委員 そういった中でやろうとしているのはなぜか。

○富田氏 重量もさることながら、スペースですね、小型化というのを今非常に気に

している。と言うのも、熱交換器を付ける場所が、そんなにスペースがない。例えばサーフェスクーラーでも、ファンケースは大体今、我々がデモンストレータエンジンに搭載したもので、直径3メートル、外周で10メートル、コアの外周が大体4メートルで、そこにずらっと張り巡らせても、将来のエンジンの熱を取りきれないのではという心配が出ている。今は燃料でも冷却しているが、燃料は燃費が上がれば冷媒として少なくなる。一方で、電化が進むと発電機が大きくなり、そこでの発熱が増える。更に、GTFのギアがエンジンに搭載され、そこでも摩擦熱による熱が発生するということで、現在787クラスのエンジンで、400キロワットぐらいの熱がマックスで出ていると言われているが、これが1.5～2倍に増えると言われており、それをどうやって排熱するかということで、オイルクーラーの小型化、軽量化、コンパクト化が期待されている。

(5) 今後の評価の進め方について

事務局から、「資料8 評価コメント票（評点シート含む）」について説明があり、評価コメント票の提出期限を平成27年11月30日とすることを確認した。

また、次回の第2回評価検討会を平成28年1月の開催を目途に後日日程調整することとした。

(6) 閉会

以上