

称号及び氏名 博士（工学） 岸 信夫

学位授与の日付 令和3年9月25日

論文名 「航空機開発に必須のシステムインテグレーション
実現のための方策に関する研究」

論文審査委員 主査 小木曾 望

副査 下村 卓

副査 辻井 利昭

副査 森澤 和子

論文要旨

国産ジェット旅客機 SPACEJET M90 は日本における約 50 年ぶりの旅客機開発であり、航空機設計上の課題、多様な国籍や経験を持つ技術者の人材マネジメント上の課題、プロジェクトマネジメントに不可欠な業務プロセスと大規模開発試験設備、試験上の課題、認証取得上の課題、サプライヤとの共同開発といった主要な課題を克服しつつ、機体の安全性を担保する国の型式証明を取得するための手続きなどに限った最小限の体制となるものの、今も開発努力を続けている。これら様々な課題、およびその対応について、従来わが国では航空宇宙工学分野での体系的な研究や、旅客機の完成機事業の開発実績に基づき企業がまとめた実務的、包括的な開発のプロセスといったものは見当たらない。

一方欧米では数多くの旅客機開発の実績があり、各企業ではそれぞれの経験に基づき標準的なプロセスとして整理され、継承されていると考えられる。また、これらの開発に対しての事象研究も数多く報告されている。そこで、日本の航空機の完成機事業を確固たるものにするためには、航空機開発の実務経験に基づいた、航空機開発の包括的な開発のプロセスの設定を目標に、航空宇宙工学のみならず、多分野を統合して研究を進めていく必要がある。本研究は開発実務経験者からの実際の開発業務に関する聴取、分析、および総合と評価、ならびにプロジェクトマネジメント学、システムズエンジニアリング、経営工学、航空宇宙工学といった関連する分野の文献調査、専門家との闊達な議論を通して、航空機開発のための知識の体系化を目指している。

本論文はこれら体系的研究の成果として、航空機完成機事業に必須のシステムインテグレーション実現のための方策を提案する。また、システムインテグレーションの実現の方策の研究は、

従来の経済学や経営学的視点から捉えた技術経営(Management of Technology: MOT)にモノづくりという航空宇宙工学の視点を加えた新たな総合的、包括的な MOT 研究となるとともに、他の工業分野への適用も視野に入れた新たな工学的研究としても極めて重要である。

第 1 章では、本論文の導入として、旅客機完成機事業および技術開発の特徴と、本論文の目的について述べた。

第 2 章では、航空機の技術開発、事業企画、営業、契約、リース、ファイナンス、量産製造、サプライチェーン・マネジメント、カスタマ・サポート、等の各分野を鳥瞰した完成機事業の特徴についてまとめた。次に旅客機の開発プログラムの特徴、課題について、プロジェクトマネジメント、技術開発、および型式証明に関して検討を行い、航空機開発上の課題と対策について述べた。これらへの対応が極めて重要である。旅客機の開発プログラムの課題と対応の中で特徴的であり、航空機開発において関連するすべての技術活動を統合化するために、航空機開発において極めて重要になるのは大規模高度複雑システムのインテグレーションの実践である。

第 3 章ではまず従来明確にされていないシステムインテグレーションについてプロジェクトマネジメント、およびシステムズエンジニアリングの観点からの考察を示し、定義した。次にシステムインテグレーションを実現する開発組織について、基本設計思想、日本における開発組織の変遷の実例、および設計思想の検証、サブプロジェクト方式を取り入れた開発組織について検討を行った。大規模組織における組織内外とのコミュニケーション量の増加に対応する開発組織の典型的な例として、強い縦糸と横糸で構成された IPT(Integrated Product Team)マトリックス組織が航空宇宙・防衛産業に導入されている。IPT マトリックス組織は、民間航空機開発のような大規模開発に適しているが、組織の規模が非常に大きく、開発コストの増加につながる。さらに、プログラムの多様性、拡張性、複雑性、不確実性などに応じて組織や WBS(Work Breakdown Structure)、RAA(Responsibility Authority Accountability)が頻繁に変更される可能性がある。費用対効果が高く、パフォーマンスとコストを両立させる強力なマトリックス組織が今後、さらに研究が進むことが期待される。最後に eVTOL vehicle (以後 eVTOL という)開発のような短期間・低コスト開発に適用されると予想される自律型機能組織+少数精鋭プロジェクトの例としてサブプロジェクト方式を取り入れた開発組織を示した。

第 4 章では日本における航空機開発の実績、経験を踏まえたシステムインテグレーション達成度の評価指標として、従来提唱されてきた技術達成度の評価指標、インテグレーション達成度の評価指標、システム成熟度の評価指標の有効性と問題点を評価し、その限界を明確にした。それら指標を参考に、システムインテグレーション達成度の評価指標に設計プロセスと重要イベントのタイミングを組み入れることを試み、旅客機の開発保証プロセスのガイドラインとして広く認識されている V&V (Validation & Verification) プロセスをベースとした新たなシステム成熟度の達成度評価指標として SIML(System Integration Maturity Level)を提案した。最後に、過去のプロジェクトについて、簡易的に評価し、提案した SIML が有効であることを示した。

第 5 章では今後の新たな航空機開発、たとえば、eVTOL の開発に活用されることが大いに期待される開発方式について、それに適応する開発プロセスとしてハイブリッド型開発方式を提案し、更にハイブリッド型開発方式に適用可能なシステムインテグレーション達成度の評価指標を提案した。小規模簡素システムを短期間・低コストで開発することに適した開発プロセスを提案するため、まず初めに、要求設定、認証、開発方式、調達、システム成熟度指標、開発組織の観点で、大規模複雑システムの旅客機と小規模簡素システムの eVTOL の開発プロセスの差異の検討を行い、今後の新たな航空機開発で適用が期待されるハイブリッド型開発プロセスについて検討を進めた。ハイブリッド型開発では、全体工程の管理にはウォーターフォール型、ソフトウェアや新規の開発で、要求を確定できない、要求変更が頻繁に発生する、あるいは検証により要求

を確定するシステムではアジャイル型というように両者を組み合わせた開発プロセスを提案した。eVTOL 開発では高い安全性基準を満足する航空機を短期間・低コストで開発する必要から、ハイブリッド型開発プロセスがふさわしい。ハイブリッド型開発プロセスを適用した場合のシステムインテグレーション達成度の評価について、従来提案した SIML をハイブリッド型開発に適用できるよう達成度レベルを追加、レベルを再定義した。

第 6 章ではシステムインテグレーション能力を取得するための教育、および研究アプローチをまとめた。今後、官界、学界、および産業界の連携と適切な分担が必要となる。また、従来以上にソフトウェアによる性能・機能実現がますます期待される、航空機開発の新たな安全性解析のガイドラインとなり得るものとして、STAMP、STPA による新しい安全性解析手法を示した。多くの研究と実用化の取組みが必要である。最後にシステムズエンジニアリング思考とシステムインテグレーション能力を取得するための有効な手段と考える、航空宇宙システムの実開発作業への学生の長期インターンシップについて述べた。これは学生自身の教育育成のみならず、大学、企業の双方の付加価値を生み出すものと期待される。更なる発展が望まれる。

最後に、第 7 章では本論文の結論および航空機開発におけるシステムインテグレーションをさらに充実させるための課題を述べた。

本論文の基礎となる発表論文

No.	論文題目	著者名	発表誌名	本論文との対応
1	Methodology and organizational design to realize the system integration necessary for the development of commercial aircraft	Kishi, N. Kogiso, N. Morizawa, K. Shimomura, T. Tsuji, T. Chiba, M. Arai, T.	Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT 2019), pp. 866-877, (Gold Coast, Australia, 2019)	第 2 章 第 3 章
2	Methodology and organizational design to realize the system integration necessary for the development of commercial aircraft	Kishi, N. Kogiso, N. Morizawa, K. Shimomura, T. Tsuji, T. Chiba, M. Arai, T.	Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan, Vol. 19, No. 1, pp.1-8, 2021	第 2 章 第 3 章
3	システムインテグレーション達成度の新しい評価手法の提案	岸 信夫 小木曾 望 新井 隆景	航空宇宙技術, 日本航空宇宙学会 Vol. 20, pp. 69-72, 2021	第 4 章
4	eVTOL Vehicle に適したハイブリッド開発プロセスの提案	岸 信夫 小木曾 望 新井 隆景	航空宇宙技術, 日本航空宇宙学会 accepted for publication, 2021	第 5 章 第 6 章

審査結果の要旨

本論文は、申請者の航空機開発経験と世界における航空機の開発体制に対する考察を通して、航空機開発において重要となるシステムインテグレーションを実現するための方策の提案をまとめた研究であり、以下の成果を得た。

- (1) 航空機開発において、従来から明確に定義されていなかったシステムインテグレーションをプロジェクトマネジメントおよびシステムズエンジニアリングの観点から明確に定義した。さらに、システムインテグレーションを実現するための開発組織について検討した。
- (2) 近年、「空飛ぶクルマ」として知られている eVTOL においてもシステムインテグレーションは重要であるが、その開発体制は旅客機開発と異なり、短期間・低コストでの開発が必要となる。旅客機開発組織と対照的な eVTOL 開発に必要な開発組織の特徴も明らかにした。
- (3) 航空機開発の実績、経験を踏まえたシステムインテグレーション達成度の評価指標として、設計プロセスおよび型式証明における重要イベントのタイミングを組み入れ、さらに V&V(検証と妥当性確認)プロセスをベースとして、新たなシステムインテグレーション成熟度指標を提案した。
- (4) 旅客機開発がウォーターフォール型開発で実施されているのに対し、eVTOL は小規模システムであり、短期開発が必要とされながらも、新規技術の導入が不可欠である。そこで、ウォーターフォール型とアジャイル型とのハイブリッド型開発プロセスを提案するとともに、ハイブリッド型開発に適用できるシステムインテグレーション達成度の再定義を行った。
- (5) システムインテグレーション能力を取得するための教育および研究アプローチについて産官学が連携したプログラムの重要性について考察した。

以上の諸成果は、航空機開発において重要なシステムインテグレーションを、プロジェクトマネジメント、開発体制および設計開発プロセスなどから統合的に評価し、システムインテグレーション実現の方策を示したものである。この成果は、旅客機開発だけでなく、最近、脚光を浴びている eVTOL 開発におけるハイブリッド型開発およびシステムインテグレーションに大いに貢献するものである。

また、申請者が自立して研究活動を行うのに必要な能力と学識を有することを証したものである。