

航空機の安全性・信頼性確保と航空宇宙品質マネジメントシステムについて —最近の航空機事故及び重大インシデント事例の考察—

主任研究員 伴野 道彦

1. はじめに

防衛基盤整備協会（BSK）システム審査センターの認証の半数以上を占める航空宇宙品質マネジメントシステムの 9100 規格（AQMS 規格）は、国際標準化機構（ISO）による ISO 規格ではないセクター規格（IAQG 9100:AS/EN/JIS Q 9100）である。このセクター規格は、品質マネジメントシステムの国際規格として制定されている ISO 9001 に、航空宇宙製品の機能・性能及び安全性確保などに関する国際的に共通な航空宇宙業界特有の要求事項を追加したものである。

AQMS : Aerospace Quality Management System

ISO : International Organization for Standardization

IAQG: International Aerospace Quality Group

このセクター規格を制定し管理しているのは、国際航空宇宙品質グループ（IAQG）であり、世界の航空宇宙メーカーが互いの信頼に基づいて強力な協力体制を構築・維持することにより、価値創造の流れの全段階において品質の著しい改善とコストの削減を実現する活動を推進するために設立された組織である。

本研究では、最近発生した航空機事故及び重大インシデントの事例について、公開されたその原因と対策の内容を考察し、航空機の安全性・信頼性を確保する上で、航空宇宙品質マネジメントシステムとの関連と、今後の BSK システム審査センターの認証活動における留意事項について述べるものとする。

<参考>

航空事故とは、航空法第 7 6 条に定められている「航空機の墜落、衝突又は火災」、「航空機による人の死傷又は物件の損壊」、「航空機内にある者の死亡（自然死等を除く）又は行方不明」、「航行中の航空機の損傷」を指します。

重大インシデントとは、航空法第 7 6 条の 2 に定められている「航空事故が発生するおそれがあると認められる事態」であり、閉鎖中または他の航空機が使用中の滑走路からの離着陸や滑走路からの逸脱（航空機自らが地上走行できなくなった場合のみ）など 1 6 の事態が航空法施行規則第 1 6 6 条の 4 に定められています。

航空事故および重大インシデントについての情報は、運輸安全委員会のホームページで参照できます。

2. 航空機の安全性・信頼性における品質マネジメントシステムの位置づけ

信頼性 (reliability) と安全性 (safety) については、JIS (JIS Z 8115 : 2000 又は 1981) の言葉の定義からは、それぞれ、「信頼性：“アイテムが与えられた条件の下で、与えられた期間要求機能を遂行できる能力”」、「安全性：“人間の死傷又は資材に損失若しくは損傷を与えるような状態がないこと”」と定められており、航空機の安全性・信頼性は、航空機というアイテムに関する、様々な機能・性能要求の一部といえる。

一方、JIS Q 9000:2006 品質マネジメントシステム—基本及び用語では、「

品質マネジメントシステム：“品質に関して組織を指揮し、管理するためのマネジメントシステム”、「品質マネジメント：“品質に関して組織を指揮し、管理するための調整された活動”」と定義されており、そこでの品質（quality）とは、「本来備わっている特性の集まりが、要求事項を満たす程度」であり、更に特性（characteristic）とは、「そのものを識別するための性質」であり、要求事項（requirement）とは、「明示されている、通常、暗黙のうちに了解されている若しくは義務として要求されている、ニーズ又は期待」である。

従って、航空機の安全性・信頼性は、個別の機種ごとに法令・規制要求事項や機体の特性の一部として規定されている機能的な性質であり、航空機というアイテムに求められる品質の一部として品質マネジメントの対象に含まれていると解釈できる。

別の見方をすると、航空機の安全性・信頼性は、航空機の品質の一部であり、開発・設計段階から生産段階にて、品質としての確保と確認がなされ、その実証された結果は、社会に対する、場合によっては行政機関、第三者機関に対する確証とすることで、品質として保証されるのであり、その品質保証活動は、品質マネジメントの一部であるとも表現できる。

以下、具体的な事例に即して、航空機の安全性・信頼性と航空宇宙品質マネジメントシステムの関連を考察する。

3. 航空機事故事例：カンタス航空 A380 型機のアコンテインド・エンジン・ロータ破損事故

3. 1 事故の説明

2010年11月4日、カンタス航空のA380（機体記号VH-OQA）がシンガポールからシドニーへ向けて飛行中、左翼内側の第2エンジンが一部破損しシンガポール・チャンギ国際空港に緊急着陸した。乗客433名・乗員26名の計459名に死傷者はなかったが、地上で2名の軽傷者が発生した。

なお、この事故を受け、同社が当時運航していた事故機を含めた6機全てが一時的に運航を停止した^{[1][2]}。

出典[1]：「航空安全ニュース（事故報告）」航空技術No.702 2013年9月号

出典[2]：出典[1]の出処：ATSB Aviation safety investigation & reports (Investigation Number:A0-2010-089)

http://www.atsb.gov.au/publications/investigation_reports/2010/air/ao-2010-089.aspx

最新鋭の旅客機に搭載された、第3世代といわれる最新型ターボファン・エンジンに、安全性・信頼性設計の上で本来起こるはずの無いエンジン・ロータの破損事故が、現実に発生した事例である。

機体設計の基準上は、 10^8 時間のエンジン運転で1回以下の発生確率のはずが、当該エンジンについては累積運転時間6,314時間で発生したものであり、エンジン内部の滑油供給スタブ・パイプの製造ミスが原因で、パイプの薄肉部位に疲労破壊を生じ、そこからのオイル漏洩がエンジン内部火災を生じ、その

結果、中圧タービン・ディスクが想定外の動きをして、結果的に危険な回転速度に達して破損したと、出典[1]等にて報告されている。

当該エンジン・ローターの破損の結果、左主翼の前縁と桁間に貫通損傷があり、燃料タンクの漏洩や油圧、燃料系統を損傷したが、幸運にも、燃料タンクの火災は発生したが拡大せず、緊急着陸に成功したと、出典[2]に記述されている。

又、この事故を契機に、ローターバースト（アンコンテインド・エンジン・ロータ破損）に対する航空機の設計基準が、再度見直される可能性もあると報じられており、今後の動向が注目される。

以下の（１）から（４）は、事故の客観的事実に関して、出典[1]の航空技術の記事をそのまま転記して引用したものであるが、記事の記述内容については、出典[2]の ATSB（The Australian Transport Safety Bureau）の事故報告書を出处としており、筆者が本研究で引用した範囲においては、事故報告書の原文と相違ないことを確認している。

（１）事故の概要：出典[1]からの引用

2010年11月4日、オーストラリアのカンタス航空所属エアバス A380-842 型旅客機（登録番号 VH-OQA）がシンガポールのチャンギ国際空港を離陸した直後のバターン島上空 7,000 フィート（2,135m）を上昇中、No.2 エンジン（ロールス・ロイス社製トレント 900）にアンコンテインド・エンジン・ロータ破損事故（UERF：Uncontained Engine Rotor Failure、エンジン内部で破断したロータ部品がエンジンを貫通して飛散する事故）が発生した。

同エンジンから飛散した高エネルギーの破片（ロータ部品）は本 A380 型機の左主翼と胴体に衝突し、機体構造、電気システム、油圧システムおよびその他のシステムに大きな損傷を与えたが、運航乗員は多くのシステム不具合に対処してシンガポールに引き返し、同機は無事着陸した。

（２）原因調査結果：出典[1]からの引用

ATSB（The Australian Transport Safety Bureau）は、原因はエンジンの高圧/中圧（HP/IP）ハブ組立部品内に取付けられている滑油供給スタブ・パイプ（オイル・チューブの接続部に溶接された接続用部分パイプ）が、設計仕様にはない薄肉部分を生じた状態で製造され、この薄肉部分に疲労亀裂（クラック）が発生して進展したことから、飛行中にオイルが漏洩して内部オイル火災が発生したことによると判断した。

エンジン内部火災により IP タービン・ディスクがドライブ・アームから分離した後、同ディスクがエンジン製造会社の規定や他のトレント・ファミリー・エンジンの場合とは異なる動きをしたため、IP タービン・ディスクが危険な回転速度に加速して破裂し、エンジン構造部材がこれを内包出来ずに高運動エネルギーを帯びた破片が飛散したものである。

滑油供給スタブ・パイプは製造過程でスタブ・パイプ内側に穿孔されたカウンタ・ボア（接続相手部品を挿入する拡大された孔）の中心軸が偏心して穿孔さ

れてしまったことから片側の肉厚が薄くなる結果となり、この部分に疲労クラックの起点が認められた。

(3) 採られた防止対策 : 出典[1]からの引用

ATSBによる調査の結果、世界の航空監督機関およびオペレータは、不適切に製造された滑油供給スタブ・パイプの確認を確実に行う手段を取り、使用から外すかまたは繰り返し点検により安全な使用を継続するよう処置がはかられた。

調査の初期段階で、ATSBはロールス・ロイス社に滑油供給スタブ・パイプの製造に関して勧告 (Issue Number:A0-2010-089-SR-01) を出し、またロールス・ロイス社がロールス・ロイス・トレント 900 シリーズ・エンジンを装備した輸送機の運航の安全性を確実なものとするために必要な安全上の処置をとることを勧告 (Safety recommendation A0-2010-089-ST-012) した。

これに対してロールス・ロイス社は、不適切に製造された部品を管理するために、部品の製造過程および不適切な部品が不用意に使用されないよう確認することの両面において品質管理システムを改善する一連の変更を行った。またロールス・ロイス社は同様の事故が発生した場合にタービン・ディスクがオーバー・スピードする前にエンジンを停止するよう設計された「IPタービン・オーバー・スピード防止システム (IPTOS)」を含む最新のエンジン・コントロール・ソフトウェアを出した。

また ATSB は、この事故は従来の UERF 安全性解析に使われているモデルを超越しており、将来の航空機設計の安全性を高めるためにその型式証明の Advisory Material (審査要領) に今回の事故から学んだあらゆる内容をも取り入れるべきであるとしており、最終報告の一部として EASA (欧州航空安全庁) と US FAA (米連邦航空局) に対し今回の事故で生じた損傷を再検討するよう次の勧告をだした。

- Airframe certification standard in the case of an uncontained engine rotor failure -EASA (ATSB safety recommendation A0-2010-089-SR-039)
- Airframe certification standard in the case of an uncontained engine rotor failure -US FAA (ATSB safety recommendation A0-2010-089-SR-040)

(4) 安全上の論点 : 出典[1]からの引用

この事故調査の過程において、以下を含む項目が安全上の論点として取り上げられ、検討された。

- エンジン内部火災によるドライブ・アームの破損に起因する IP タービンのオーバー・スピードと破損 :
Issue Number: A0-2010-089-SI-02
- 不適切な滑油供給スタブ・パイプの使用への供給 :
Issue Number: A0-2010-089-SI-03
- 設計の意図を確実にするための製造エンジニアと設計エンジニア間の意見交換 : Issue Number:A0-2010-089-SI-04
- 最初の製品の検査に対する製造用図面の使用 :
Issue Number: A0-2010-089-SI-05

・ロールス・ロイス社 Hucknall 工場における製造段階での『マイナー』な不適切部品を合格とする風土：

Issue Number: A0-2010-089-SI-06

・図面と測定機械の基準の相違：

Issue Number: A0-2010-089-SI-07

・従来許容されていた基準の統計的分析に基づく熟練者による再検討：

Issue Number: A0-2010-089-SI-08

・従来許容されていた基準について、チーフ・エンジニアと品質管理ディレクターによる再検討：

Issue Number: A0-2010-089-SI-09

・重要な不整合性の品質見直し会議への報告：

Issue Number: A0-2010-089-SI-10

・HP/IP ベアリング・サポート組立品の破損の重要性に関連するクラス分け：

Issue Number: A0-2010-089-SI-11

・A380 最大着陸重量以下における着陸距離の計算：

Issue Number: A0-2010-089-SI-12 (航空機製造会社が適用する着陸距離性能の計算方法は非常に保守的で、複数システムの故障状態での最大着陸重量以下における着陸距離の変化の計算を妨げる恐れがある。)

・アンコンテインド・エンジン・ロータ破損を生じた場合の航空機型式証明の基準-EASA: Issue Number: A0-2010-089-SI-13

・アンコンテインド・エンジン・ロータ破損を生じた場合の航空機型式証明の基準-US FAA: Issue Number: A0-2010-089-SI-14

3. 2 航空宇宙品質マネジメントシステムの観点からの考察

(1) 事故の直接的要因と関連する AQMS プロセスの問題点

この事故の直接的な要因は、上記 3.1 (2) 事故原因に記述されたとおりに、

①不適切に製造された滑油供給スタブ・パイプが疲労破壊を生じて、そこから漏れた滑油により、エンジン内部オイル火災が生じた。

②エンジン内部火災により IP タービン・ディスクがドライブ・アームから分離した後、同ディスクが設計時の想定外の動きをし、IP タービン・ディスクが危険な回転速度に加速して破裂し、破片が飛散した。

というものである。

前者の①で、不適切に製造された部品が最終製品に組み込まれた経緯については、事故報告書の第 3 章に詳述されているとおりであるが、AQMS の観点からまとめると、製造段階での品質保証プロセス、「とりわけ部品の設計要求事項が製造用の作業指示で満足できない状況を、初回製品検査のプロセスで十分に確認できていなかった。」、という“製品検査プロセスの問題”と、「部品製造業者の品質保証部門が、当該部品の寸法精度に問題があると認識して、不適合処置を取りながら、その問題の判定のための統計的解析が不十分であり、結果的にそのままで使用できるとの判定を下してしまい、その判定内容が上位の

技術者や管理者の確認を受ける機会がなかった。」という「不適合製品の管理プロセスの問題」に帰結される。

又、上記の二つのプロセスで問題を生じた間接的原因としては、3.1(4)安全性上の論点の Issue Number:A0-2010-089-SI-04 から-10 が該当するが、とりわけ Issue Number:A0-2010-089-SI-06 の「・ロールス・ロイス社 Hucknall 工場における製造段階での『マイナー』な不適切部品を合格とする風土」という記述からは、本件の本質的な原因が、安全性を軽視する企業風土にあることを、強く示唆していると思われる。

後者の②は、設計・開発段階での安全性設計にかかわる問題であるが、IP タービン・ディスクの分離は、所謂 FMECA やハザード解析の対象になっていたにもかかわらず、結果的に IP タービン・ディスクの過回転を生じる現象を予測できず、適切な対策が採られていなかったことから、エンジンメーカーであるロールス・ロイス社での設計・開発段階での「リスクマネジメントのプロセスの問題」と判断される。

3.1(3)採られた対策内容に、「またロールス・ロイス社は同様の事故が発生した場合にタービン・ディスクがオーバー・スピードする前にエンジンを停止するよう設計された「IP タービン・オーバー・スピード防止システム (IPTOS)」を含む最新のエンジン・コントロール・ソフトウェアを出した。」と記述されているが、同様のオーバー・スピード防止システムが、低圧タービン・ディスクには最初から採用されているのにも拘わらず、IP タービンには不必要と判定された点が、後知恵ではあるが、見逃されたリスクとリスク軽減策といえる。

一方、この事故の2次的要因といえる、アンコンテインド・エンジン・ロータ破損を生じた場合の、航空機の安全性確保への対策については、航空機の安全設計の問題であり、AQMS との直接的関連は少ないといえるが、事故報告書の第1章の 1.18.1 Airframe certification - Uncontained Engine Rotor Failure にて、過去の類似事故例（1981年のDC-10の事故事例等）の紹介と合わせて、現在の航空機型式証明の基準が記述されており、3.1(4)安全性上の論点にて、ヨーロッパ (EASA) 及び米国 (US-FAA) にて航空機型式証明の基準への今回の事故の内容や教訓の反映が求められている。

今回の事故では、左主翼内側の第2エンジンのアンコンテインド・エンジン・ロータ破損の結果、「左主翼の前縁と桁間に貫通損傷があり、燃料タンクの漏洩や油圧、燃料系統を損傷したが、幸運にも、燃料タンクの火災は発生したが拡大せず、緊急着陸に成功した。」とある。

1981年のDC-10の事故の際のように、操縦系統や油圧系統に致命的な影響が出なかったのは、油圧や電装装備配置の分散化や安全装置の機能強化の成果であるといえそうであるが、事故報告書を見る限り、現実には主翼の燃料タンクには貫通孔があり、燃料が多量漏洩し続け、初期には燃料タンク内での一時的な火災の証拠もあり、飛行中に燃料タンクの火災が継続しなかった理由を更に究明して、今後の基準へ反映すべきであると思われる。

アンコンテインド・エンジン・ロータ破損の影響で破損が予想される領域に燃料タンクや燃料配管を配置しないことが最も有効な解決策の一つであろうが、後退翼と主翼へのエンジン懸架という今日の輸送機の形態から、設計要求として取り入れるのは困難であり、今日の航空機の設計基準において最後に残された最大の課題と思われる。

尚、アンコンテインド・エンジン・ロータ破損を生じた場合でも、エンジンの火災を鎮火出来ることと、全てのエンジンの停止ができることとの要求事項に関しては、今回の事故の際、当該第2エンジンの火災の鎮火には成功したようであるが、隣の左翼外側の第1エンジンは、緊急着陸後も停止することが出来ず、乗員乗客の緊急脱出中も回り続けたうえ、着陸の約2時間後に消化剤を直接注入してエンジン停止に至ったとのことであり、飛行中及び緊急着陸時に燃料の漏洩が続いていたことから、設計・開発時のFMECAやハザード解析の対象として改善すべき課題のひとつと思われる。

FMECA: Failure Mode Effect and Criticality Analysis

(2) AQMS 審査時の留意事項

今回の事事例から、AQMS 審査時の留意事項として、BSK システム審査センターにて展開すべき事項は以下のとおりである。

- ①初回製品検査における製造用図面の使用状況の確認
 - ・設計用図面の要求事項が、漏れなく初回製品検査によりカバーされていることを、どのような手順で確認しているかを評価する。
 - ・エンジンの構成部品のいくつかについて、溶接後に穿孔やリーマ加工する工程について、サンプリングにて図面要求精度の確認を行う。
- ②不適合製品の処理の管理状況の確認
 - ・納入済み製品の不適合処置の記録を確認して、不適合製品の処理プロセスの妥当性を評価する。
 - ・不適合の重要度に応じて、関係部署の点検・承認行為が適切に実施されていることを、サンプリングにて内容の確認を行う。
- ③設計・開発段階でのリスクマネジメントの実施状況の確認
 - ・設計・開発プロセスでのリスクマネジメントの実施状況を、具体的プロジェクトの事例で確認する。
 - ・リスクマネジメントにてインプット情報とされている、過去の類似製品の戦訓集や最新の耐空性基準の版を確認する。
 - ・過去の航空機事故の事例や戦訓集を、設計・開発段階でのFMECAやハザード解析や設計検証の手法にどの程度活用しているかを確認する。

FMECA: Failure Mode Effect and Criticality Analysis

4. 航空機重大インシデントの事例 : ボーイング 787 のバッテリー問題

4. 1 事案の説明^[3]

ボーイング 787 のバッテリー問題 (ボーイング 787 のバッテリー問題) とは、ボーイング 787 に 2013 年に発生した、とくにバッテリー (リチウムイオン二次

電池) に起因する電気系統の問題である。

駐機中の日本航空 (JAL) 機と飛行中の全日本空輸 (ANA) 機にバッテリーからの出火事故が発生し、アメリカ合衆国連邦航空局 (FAA) は耐空性改善命令を発行した。このため、1979 年のマクドネル・ダグラス DC-10 以来の、運航中の同型機すべてが世界中で運航停止になるという事態となった。

ボーイング社では電池の不具合は 1,000 万フライトに 1 回と説明したが、2 回の不具合はいずれも 5 万フライト以前だった。

出典[3] :ボーイング 787 のバッテリー問題
フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia) 』

以下の (1) から (5) は、事案の客観的事実に関して、出典[3]の Wikipedia の記述の抜粋をそのまま転記したものであるが、転記した記述内容については、出典[3]で引用しているそれぞれの出典の内容と相違ないことを確認している。

また、日本で発生した飛行中の全日本空輸 (ANA) のバッテリーからの出火事故については、出典[3]の外部リンクでも引用している、下記のインシデントレポート^[4]を参照願いたい。

出典[4] :航空重大インシデントー運輸安全委員会のインシデントレポート
ボーイング式 787-8 型 JA804A
航空重大インシデント調査状況報告
運輸安全委員会 平成 25 年 3 月 27 日

(1) 概要 :出典[3]からの引用

2013 年 1 月 7 日の現地時間午前 10 時半頃、成田国際空港からのフライトを終えボストン・ローガン国際空港で駐機中の JAL008 便の機体内部の電池から発火した。また、2013 年 1 月 16 日午前 8 時 25 分頃、山口宇部空港発東京国際空港行き ANA692 便が香川県上空 10000 メートルを飛行中に、操縦席の計器に「機体前方の電気室で煙が感知された」との不具合のメッセージが表示されるとともに異臭もしたため、運航乗務員が緊急着陸を決断、午前 8 時 47 分に高松空港に緊急着陸した。

アメリカ連邦航空局 (FAA) は、ANA 機の事故を受けて耐空性改善命令を発行してアメリカ国籍の同型機に対し運航の一時停止を命じ、世界各国の航空当局に対し同様の措置をとるように求めた。このため、世界各国で運航中の機体すべてが運航停止となった。

(2) 原因 :出典[3]からの引用

ボストン JAL 機出火の事故原因として、米国の国家運輸安全委員会（NTSB：National Transportation Safety Board）は 2013 年 2 月に 8 個の電池セルの中の 6 番目がショートして熱暴走を起こし他の電池セルに波及した、また国土交通省は 2014 年 2 月にバッテリーが異常に過熱して損傷した、とする経過報告をそれぞれ行った。

このバッテリーはジーエス・ユアサ コーポレーション (GS ユアサ) が製造し、フランスのタレス・グループを通じて供給されたリチウムコバルトタイプの電池であった。事故当初、多くのメディアで GS ユアサの電池が事故の原因との報道がなされたが、実際は周辺制御装置の異常など、複合的な問題がありバッテリーのみが原因であるかどうかは不明であった。問題となっているリチウムイオン二次電池は、一般家庭で使用される乾電池などとは違い、それ単体では使用されず電圧等を制御する制御システムが必須である（制御システムは別会社が供給）。

ボーイングは、NTSB が主張している「熱暴走」について、当時のボーイング 787 のチーフ・プロジェクト・エンジニアである副社長・マイク・シネットが「熱暴走の定義は 人により異なる。われわれは熱や圧力、炎が機体を危険にさらす状態と定義している。ボストン・ローガン国際空港も高松空港もそのレベルではなく、バッテリーに過充電も見られなかった」との見解を述べた。同じ席でボーイングは顧客の航空会社向けには、機体への重大な影響があるものを「熱暴走」と説明しているとも紹介し、1つのセルから2つのセルへ波及する一般的に理解される熱暴走という科学的なことは認識しているというものの顧客向けの説明の「熱暴走」とは異なるとして、「熱暴走なし」の独自見解は変えなかった。が、この説明はわかりにくく、未だ完全に原因究明され対策されたとはいえない状況である。

NTSB は、2014 年 8 月に事故調査報告書の原案をまとめた。それによると、電解液が低温で劣化し電気を伝えるにくくなる性質があることが分かった。また極度の低温下で電解液中のリチウムイオンがリチウム金属となって析出して正極と負極をつなぎショートした、また瞬間的に不安定な電圧がかかる「過渡現象」、などの複数の現象がトラブルの起因としている。

(3) 対策 : 出典[3]からの引用

ボーイング社はバッテリー発火対策として、

1. バッテリーのセル単位での発生防止
2. 不具合が生じた際の拡散防止
3. 機体への影響防止

の三段階で対策を提示した。

ショートにつながる結露など、原因として考えられる 約 80 項目を 4 グループに分け、セルとバッテリーは設計や製造工程や製造時テストを見直した。セルは絶縁テープで囲み使用される絶縁体も耐熱性や絶縁性を改良し、隣り合うセルでショートが起きないようにした。また、充電器も電圧を見直し、充電時の上限を低く設定してバッテリーへの負荷を減らし、下限を高めて過放電を防止する。さらに、新たにバッテリーを収めるエンクロージャー（ケース）と排気システムを採用。出火要因を排除し、仮に出火した場合も燃焼が続かない環境を維持できる構造にした。バッテリーから電解液が漏れたり、熱や圧力が発生した場合は、エンクロージャー内にとどめ、煙や異臭は機外に放出するそれぞれの対策を施した。

ボーイング社によると圧力はこれまでに予想されたもののおよそ 3 倍の値に耐えられ、エンクロージャー自体の試験は 6 万時間以上行っているという。

（４） 運航再開承認へ : 出典[3]からの引用

2013 年 3 月 12 日、FAA はボーイング社が提示していた改修した新バッテリーシステムの認証計画と試験飛行を承認したことを受けて、同年 3 月 25 日と 4 月 5 日に新バッテリーシステムに改修した納入待ちの機体で試験飛行を行い新しいバッテリーシステムのデータを収集し、設計通りに機能するかを検証した。

FAA はこれら検証を受けてボーイング社が提案した運航再開に向けたシステムの改修を承認。同年 4 月 26 日に『新バッテリーユニットへの改修を行った』ボーイング 787 の運航再開を許可する AD（耐空性改善命令）を更新発行した。

欧州航空安全機関（EASA）も FAA のシステム改修承認を受け、同年 4 月 23 日に運航再開に向けたシステムの改修を承認。

NTSB は同年 4 月 23・24 日の 2 日間、同型機のリチウムイオン電池に関する公聴会を開催した。同組織としては運航再開承認後もバッテリー火災の原因究明の姿勢を崩していない。

日本の国土交通省航空局（JCAB）は NTSB の公聴会での結果を確認後、同年 4 月 26 日に FAA の AD 更新発行を受けて、JCAB として同日夕刻に耐空性改善通報（Technical Circular Directive :TCD）を発行し、『新バッテリーユニットへの改修を行った』ボーイング 787 の運航再開を承認したが、日本独自の対策として、

1. 各機体改修後の確認飛行（全機を対象に各 1 回実施）
2. バッテリーに対する安全性の確認（飛行中のバッテリー電圧監視 を全機対象に飛行開始後継続的に実施、使用したバッテリーのサンプリング検査を継続的に実施）
3. 運航乗務員の慣熟飛行を、全運航乗務員を対象に実施

4. 同型機の安全、運航に関する情報開示をあわせて実施

するよう要請している。

(5) 運航再開へ : 出典[3]からの引用

ボーイングは FAA の AD 発行に備え、バッテリー改修のための技術者のチームを全世界に派遣し、バッテリー改修は機体がほぼ納機された順で行われる計画であると発表。また、各運航航空会社に問題箇所の指摘とその解決作業手順や整備などの変更を指示する改修指示書 (Service Bulletin :SB) を発行した。

2013 年 4 月 22 日に日本では ANA が国内 4 (羽田、成田、岡山、松山) 空港で、JAL が羽田、成田 2 空港で新バッテリーユニットへの改修を開始。一機当たりの改修に一週間前後かかり、日本国内の改修は同年 5 月 23 日までに完了し、同年 5 月 29 日には納入されていた全世界 50 機の改修も完了した。

ANA は、・・・中略・・・、同年 5 月 16 日には高松空港に緊急着陸した JA804A が運輸安全委員会の調査なども経てバッテリー改修を行い、121 日ぶりに羽田へ回航と確認飛行を実施した。同年 5 月 23 日に同社は商業運航再開を前倒しして、同年 5 月 26 日の臨時便より商業運航を再開した。

JAL は、同年 5 月 2 日に羽田と成田の 2 空港で試験飛行を行った。ボストン・ローガン国際空港で出火した機体は、バッテリーユニットを交換、確認飛行を実施した後 5 月 19 日に成田空港に回航され、約 130 日ぶりに日本へ帰着した。JAL において同型機は国際線専用で運航されており、同年 6 月 1 日から羽田発シンガポール行きの 035 便を皮切りに順次商業運航を再開した。・・・中略・・・

ボーイングは 2013 年 5 月 14 日に運航再開後初めて同型機を ANA にデリバリーした (機体記号 JA818A) 。2013 年は初めこそバッテリートラブルのため、納入遅れが発生したが会社としては予定通り機体は納入するとしている。

2014 年 1 月 14 日、成田国際空港で出発準備をしていた機体から白煙が上がり、機体前部のリチウムイオン電池の損傷が確認された。JAL によればセルの 1 個から発煙したが他のセルには波及せず、発生したガスはエンクロージャーに封入され機内に漏れることなくドレン管から機外に排出された。ボーイング社は「787 型機のバッテリーシステムに昨年施した改良は設計通り機能していたとみられる」との見解を示したが、GS ユアサ製のリチウムコバルト電池自体の問題である可能性が高くなっている。・・・後略・・・

(6) 安全性の論点 : 出典[3]からの引用内容の再整理

この事案の直接的な原因については、上記の 4.1 事案の説明の、対策及び運行再開の過程までは明確になっておらず、不具合原因が明確でないまま、不具合原因として可能性のある全ての事項への直接対策と、同一事象が発生した場合でも、その影響を許容限度内に封じ込めるといった間接的対策を組み合わせるといふ、極めて異例の対応をとっている。

このような、真の原因が不明な場合の処置については、その後同一事象が再発して、原因の究明が進むにつれて、処置の妥当性が評価されることになることが多いが、本件に関しては、上記（5）に記載のとおり、2014年1月14日、成田国際空港で出発準備をしていた機体から白煙が上がり、機体前部のリチウムイオン電池の損傷が確認された。

JALによればセルの1個から発煙したが他のセルには波及せず、発生したガスはエンクロージャーに封入され機内に漏れることなくドレン管から機外に排出されたことであり、ボーイング社は「787型機のバッテリーシステムに昨年施した改良は設計通り機能していたとみられる」との見解を示した。

また、上記の再発事象から、GSユアサ製のリチウムコバルト電池自体の問題である可能性が高くなっているといわれているが、4.1（2）原因の最後に記述されているように、NTSBは、2014年8月に事故調査報告書の原案をまとめた。

それによると、「電解液が低温で劣化し電気を伝えにくくなる性質があることが分かった。また極度の低温下で電解液中のリチウムイオンがリチウム金属となって析出して正極と負極をつなぎショートした、また瞬間的に不安定な電圧がかかる「過渡現象」、などの複数の現象がトラブルの起因」としている。

4. 2 航空宇宙品質マネジメントシステムの観点からの考察

（1）重大インシデントの直接的要因と関連する AQMS プロセスの問題点

今回の重大インシデントの特徴は、不具合の直接的原因が不明のまま、対策が容認され実施されていることであるが、不具合が重大インシデントになった要因は、

- ①原因は不明であるが、安全性や信頼性の要求を満足しないバッテリーシステムが機体に装備され、バッテリーの発火もしくは熱暴走が生じた。
- ②バッテリーの発火が、バッテリーユニット内の不具合に留まらず、電子機器室の損傷や機体内部への影響が発生した。

という二点である。

前者の①の、バッテリーシステムの不具合の直接的原因については、4.1（2）原因の最後に記述されているように、NTSBが2014年8月に事故調査報告書の原案をまとめ、その中で説明されているような複数の現象がトラブルの起因としているが、バッテリーそのものの恒久的対策はまだ明らかにされていない。

また、当該不具合が、2013年に2回連続して発生し、対策後の2014年1月14日にも再発したと判断されていることから、当該不具合は偶発故障ではなく初期故障の範疇と分類され、新規技術の適用もしくは新製品の設計・開発段階で検出・改善されなかったという事実から、“設計・開発プロセスにおける問題”であり、設計検証及び設計の妥当性確認を含むデザインレビューのプロセスが不十分であったと言わざるを得ない。

後者の②の、バッテリーシステムの不具合が、機体構造や他のシステムに悪影響を及ぼしたことに関しては、設計・開発段階での安全性設計にかかわる問題であり、所謂 FMECA やハザード解析の対象になっていたにもかかわらず、リチウムイオン電池の発熱や熱暴走時の影響を十分に予測できず、結果的に適切な対策が事前に採られていなかったことから、機体メーカーであるボーイング社での設計・開発段階での“リスクマネジメントの問題”といえる。

一方、事案の説明で引用した、出典[3]や出典[4]を見る限りでは、当該バッテリーシステムの開発段階での不具合についての具体的な記述は見当たらないが、NTSBの事故調査では、当該バッテリーシステムの開発段階での設計検証や妥当性確認の内容が、FAAの装備品認証プロセスを含めて検証されているはずであり、それらの一端が、出典[5]に垣間見られる。

出典[5]に記載されている、「Battery Development Timeline：バッテリー開発年表」を下記に示すが、驚くべきことに、当該バッテリーの開発段階では、当初の製品の製品認証試験完了が2007年6月であるが、2006年以降2度の大きな火災発生事故を起こしており、それらを契機に開発が見直され、3世代目の開発品の認証試験が完了したのは、2010年6月であると記述されている。

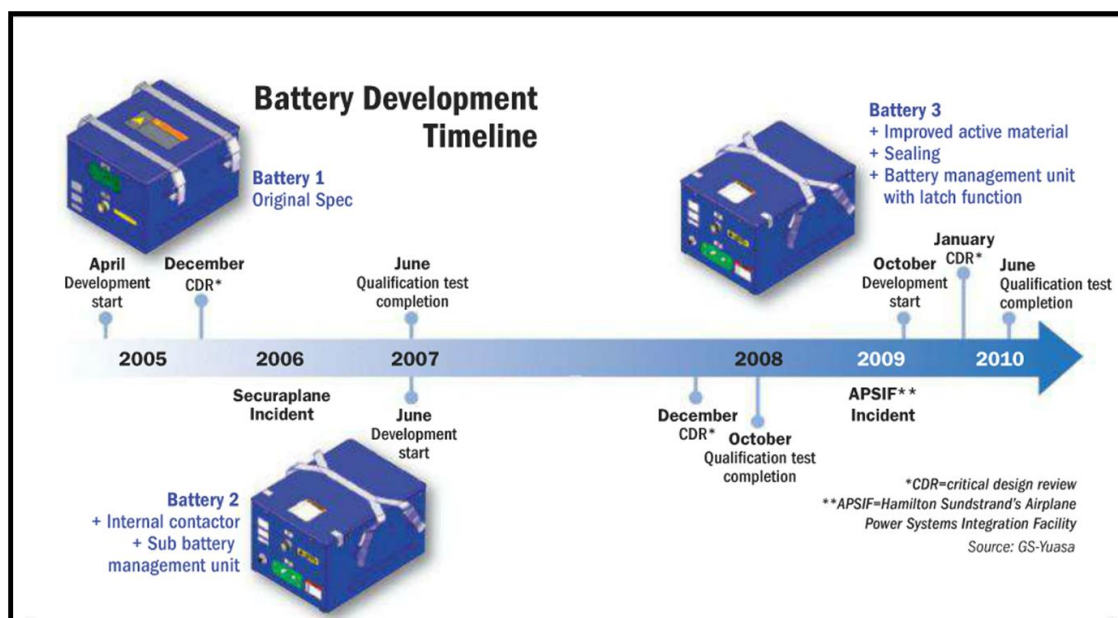
公知のように、ボーイング787-8のロールアウトは2007年7月8日であったが、初飛行は再三の延期の末2009年12月15日にやっと実施され、FAAの型式承認を経て初号機がANAに納入されたのは、ロールアウトから4年後の2011年9月28日であった。

当該バッテリーの開発年表と機体の開発年表を比較すると、第1世代のバッテリーシステムでロールアウトし、初飛行は第2世代の改良型を搭載していたが、最終的には第3世代の改良型が量産機に搭載されたと推測できる。

ボーイング787の開発が大幅に遅延した要因は、構造システムや装備システムの多岐にわたるといわれているが、仮に開発が計画通りに進んでいれば、当該バッテリーの開発時の問題が、開発日程上のクリチカルパスになった可能性が考えられる。

又、当該バッテリーシステムの開発段階での不具合の詳細は、公開されている資料からは不明であるが、出典[5]の雑誌記事に記載された不具合内容や、取られた改善対策内容から、今回の事案の発端となったセルの発火事象はある程度予測されており、今回対策として採られた内容も、従来の対策内容の延長ないし強化策と理解できるものであり、セルの発火に対する封じ込め対策にはな

っている、セル発火の根本原因の究明と再発防止に至っていないのは明白である。



出典[5] : AVIATION WEEK & SPACE TECHNOLOGY/APRIL 29, 2013 P26, 27

(2) AQMS 審査時の留意事項

今回の重大インシデント事例から、AQMS 審査時の留意事項として、BSK システム審査センターにて展開すべき事項は以下のとおりである。

①新規技術の適用製品や新規システムの設計・開発の検証及び設計・開発の妥当性確認を含むデザインレビューの実施状況の確認

- ・新規技術に関わるリスク要因が、どのような設計検証と設計の妥当性確認で検証されているかを評価する。
- ・既存品や類似品に対して実施されている、設計検証や設計の妥当性確認で十分か否かの観点で、デザインレビューが実施されているかを確認する。

②設計・開発段階でのリスクマネジメントの状況の確認

- ・設計・開発プロセスでのリスクマネジメントの実施状況を、具体的プロジェクトの事例で確認する。
- ・リスクマネジメントにてインプット情報とされている、過去の類似製品の戦訓集や最新の耐空性基準の版を確認する。
- ・過去の航空機事故の事例や戦訓集を、設計・開発段階でのハザード解析や、設計検証の手法にどの程度活用しているかを確認する。

5. 航空機の安全性・信頼性確保のために認証機関のなすべき役割について

航空宇宙品質マネジメントシステムは、航空宇宙に関わる製品及びサービスの品質確保のためのマネジメントシステムであり、航空機の製造や整備における最終的な検査のみでなく、設計・開発の検証や妥当性確認といったプロセス

の評価により、安全性・信頼性を含めて、要求される機能性能を保証するプロセスの適合性を確認している。

又、個々の製品の設計・開発、製造及び整備の品質を直接的に保証するのは、組織そのものであり、法令・規制要求事項に基づく認証行為は規制当局の責任であるが、それらの活動全体のマネジメントシステムとしての適合性を直接確認して評価するのは、認証制度を担う関係機関の内の認証（審査登録）機関と、認証機関に所属して、組織の現地審査を担当する AQMS 審査員である。

一方、AQMS 及びその認証審査による適合性の評価は、組織の活動が決められた手順どおりに確実に実施されているかどうかを、全ての手順や部署に対して確認する訳ではなく、所謂サンプリングにより実施するものであり、認証審査で何を何処まで確認するかは、審査員の知識や経験に基づく審査技術に依存する面がある。

従って、AQMS の審査に際しては、一般的な審査員としての力量の確保と共に、審査対象のプロセスが、航空機の安全性・信頼性にどのように関わっているかを、常に認識する必要がある。具体的には、審査において不適合を指摘する場合には、その不適合が製品へ及ぼす影響に応じて、重大不適合や軽微不適合の区分を行い管理するが、不適合の指摘の有無に関わらず、審査の対象のプロセスの製品への影響度合いを認識して審査することが肝要である。

本研究で取り扱った、最近の航空事故及び重大インシデントの事例では、事故や事案の直接的原因は、“エンジン部品の検査ミス”と“新規開発バッテリーシステムの初期故障であり”一見して異なっているように見えるものの、不具合内容が関連するシステムに波及し、結果的に航空機の安全性に関わる事故や事象に発展することを防止できなかったという点においては、FMECA やハザード解析を含めた、設計・開発段階でのリスクマネジメントの不足という点で共通であり、AQMS 審査時の留意事項にも共通点が多く認められる。

6. おわりに

航空宇宙品質マネジメントシステム（AQMS）の認証を取得し IAQG-OASIS データベースに登録された企業は、全世界でこれまでに約 11,000 事業所を超えており、国内でも QMS や EMS 等のマネジメントシステムの認証取得が伸び悩んでいるのに対して、依然として比較的高い伸び率を保っている。

また、航空宇宙品質マネジメントシステムの新規格である 9100:2009 年度版は、航空宇宙分野のみの規格に留まらず、防衛分野にも適用範囲が拡大され、航空宇宙及び防衛産業全体のグローバルスタンダードとしての地位を築きつつある。

航空機の安全性・信頼性の確保には、航空機の設計・開発から、製造、運用、整備にいたる様々な活動とそれらに関わる法令・規制事項の制定と規制当局の活動、ならびに、諸活動を支える安全性・信頼性工学を含めた技術分野の活動が寄与しているが、本研究で考察したように、品質マネジメントシステムの係わりは、関係する活動の多くに関連しており、航空機事故や重大インシデントの原因となる、設計や製造の不備に起因する製品の不具合防止や、不幸にして事故や重大インシデントが発生した場合の事故原因の究明や再発防止対策に大

きく寄与している。

そのため、我が国における航空宇宙品質マネジメントシステムの認証の三分の一以上を担っている BSK システム審査センターの果すべき役割がますます大きくなり、その責任も重くなりつつあるので、BSK システム審査センターの要員は、日々の認証業務に際して、航空機の安全性・信頼性の確保を常に念頭におきながら、活動する必要がある。