

名古屋大学
航空宇宙工学専攻

安全・信頼性工学（3-2）

名古屋大学工学研究科
航空宇宙工学専攻
荒井 政大

ボーイング787バッテリー問題

ボーイング787の初期導入機において相次いで発生した
リチウムイオン二次電池のトラブルのこと。

2013年1月7日、ボストン・ローガン空港で駐機していた
日本航空JAL008便において、機体内のバッテリーが発火、
その後も2013年1月16日、ANA山口宇部空港発羽田行き
ANA692便において、飛行中に計器が異常を感知、
バッテリーの発煙を認めた。その後、世界中の同型機が
運航停止となる事態となった。

国土交通省交通局平成25年6月21付資料(資料3-3)

787型機のバッテリー事案に対する対応

事 項	航空局	運輸安全委員会
1月	7日 ポストン事案発生 16日 高松事案発生 16日 FAAが耐空性改善命令を発行 17日 耐空性改善通報を発行し運航停止を指示 ・GSユアサ等にFAAと合同立入検査(21～29日)	16～18日 高松現地調査 19日～ バッテリーや周辺機器の詳細調査、飛行記録の解析
2月	・米国シアトルに職員派遣(3～15日) ・バッテリー外部専門家(4日～現在) 22日 FAAと連携し、是正措置案の検証を開始 ・航空機安全課長を米国ワシントン及びシアトルに派遣(27日～3月2日) 28日 ボーイング社 民間航空機部門社長・技術担当副社長からは是正措置案を国土交通省へ直接説明	・米国アリゾナ及びシアトルにおいてバッテリー充電器の調査を実施(2～17日) ・バッテリー外部専門家を専門委員として任命(6日) ・仏国においてコンタクター及びBDM(バッテリー・ダイオード・モジュール)の調査を実施(6～13日)
3月	12日 FAAが適合性証明計画を承認(ボーイング社が試験や解析等を実施) 15日 ボーイング社長が東京で会見し是正措置案を公表 ・是正措置案に関する審査をFAAと連携して行うため職員を米国シアトル及びワシントンへ派遣(12日～4月26日) ・外部専門家(バッテリー1名及び航空機安全2名)を追加(29日～現在)	・GSユアサでのバッテリーセルの分解調査終了(5日)
4月	5日 適合性証明計画に基づく試験が完了 19日 FAAが改修に関する設計変更を承認 23、24日 国家運輸安全委員会(NTSB)公聴会 26日 FAAが運航再開を認める耐空性改善命令を発行 26日 運航再開を認める耐空性改善通報を発行するとともに、航空会社に対し、安全・安心を確保するため万全の措置を講ずるよう要請	・重大インシデント機を用いて、バッテリーシステム調査を実施(6,9日) ・NTSB公聴会へ参加するため調査官を米国へ派遣(23,24日)

(米国での出来事については、全て米国時間)

FAA: Federal Aviation Administration
(アメリカ連邦航空局)

3

日本航空のバッテリー火災事案 (米国時間1月7日)

発生時間: 米国時間1月7日午前10時30分頃(日本時間1月8日午前0時30分頃)

発生場所: ポストン ローガン国際空港(米国マサチューセッツ州)

搭 乗 者: 乗客172名(うち幼児1名)、乗員11名 (計183名)

○JAL008便(ボーイング787型機: JA829J)は成田空港を1月7日午前11時47分に出発、ポストン ローガン国際空港に現地時間(以下同じ)同日午前10時06分に到着。

○乗客及び乗員が全員降機した後の午前10時30分頃、整備士が客室内後方部において煙が発生していること、及び、機体後方の電気室内に設置されている、補助動力装置用のバッテリーから出火していることを確認。

○現地消防隊が消火活動を実施、午前11時20分頃に鎮火を確認。



写真: 米国国家運輸安全委員会(NTSB)



後方電気室
(補助動力装置用バッテリー配置場所)



正常
バッテリー



日本航空
JA829J

4

全日本空輸の緊急脱出事案（1月16日）

国土交通省

発生日時：1月16日午前8時26分頃

発生場所：高松空港付近上空 高度約9,100メートル

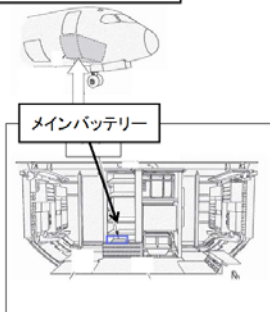
搭乗者：乗務員8名、乗客129名（計137名）

○ANA692便（ボーイング787型機：JA804A）は、東京国際空港に向け山口宇部空港を離陸し、上昇中、バッテリーに不具合を示す計器表示とともに、操縦室内で異臭がしたため、目的地を高松空港に変更した。

○着陸後、機体前方の前脚付近から煙が出ていることが確認されたことから、脱出スライドを使用して、乗客、乗員を降機させた。脱出の際、乗客3名が軽傷を負った。（かすり傷2名、手首の捻挫1名）

○前方電気室にあるメインバッテリーに異常（変形、液漏れ）があること、機体前方部にある通気弁から後方に向かってススのようなものが付着していることが確認された。また、火災が発生した形跡はなかった。

前方電気室
（メインバッテリー配置場所）



正常
バッテリー



全日本空輸
JA804A

写真：運輸安全委員会

5

787型機の電気システム及びバッテリー

国土交通省

- 787型機では、大容量の発電機を従来の航空機より多い6台装備し、電気を供給。

- 航空機には、二つのバッテリー（メインバッテリー及びAPUバッテリー）が搭載されているが、主な用途は地上での使用と非常時のバックアップ

- メインバッテリーの主な用途

- 地上での起動電源
- 飛行中に発電機からの電源が使用できなくなった場合の非常用の電源供給

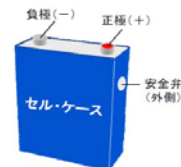
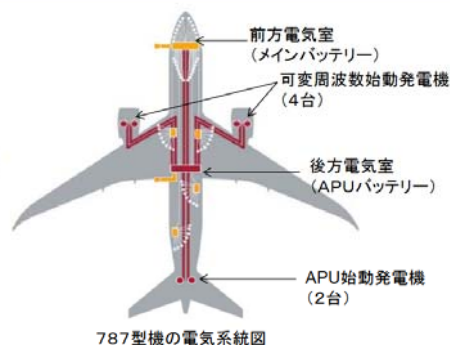
など

※ エンジン始動後は、発電機により機体システムに電気を供給するため、通常メインバッテリーは使用しない。

- APUバッテリーの主な用途

- APUの始動
- APUコントローラへの電源供給
- 地上牽引時の翼端灯の点灯

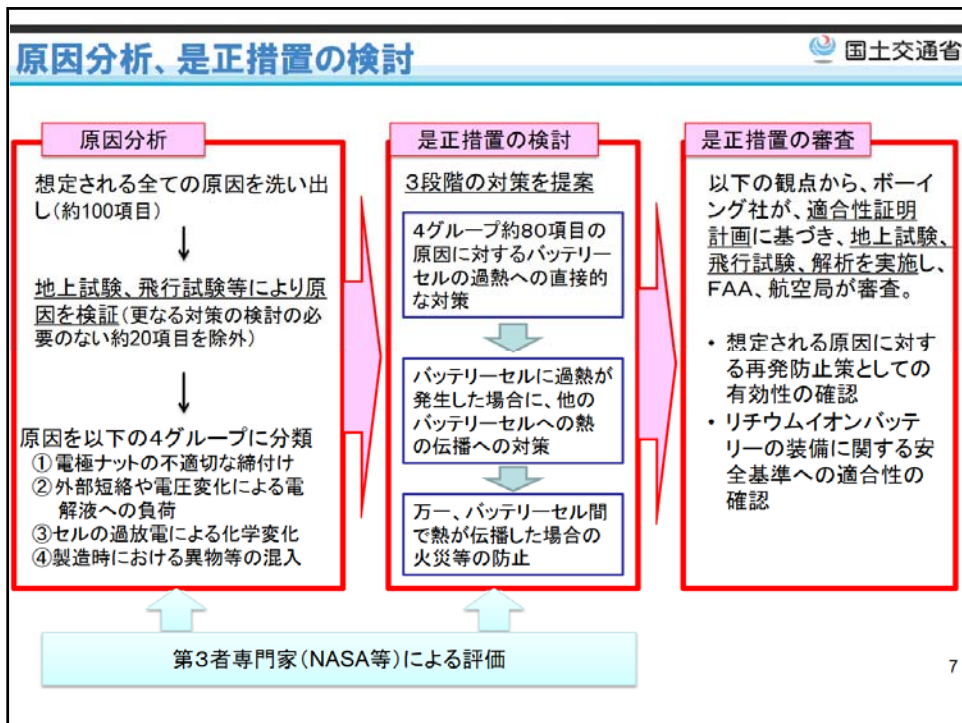
など



787型機のバッテリー

6

APU: Auxiliary Power Unit (補助動力装置)



国土交通省

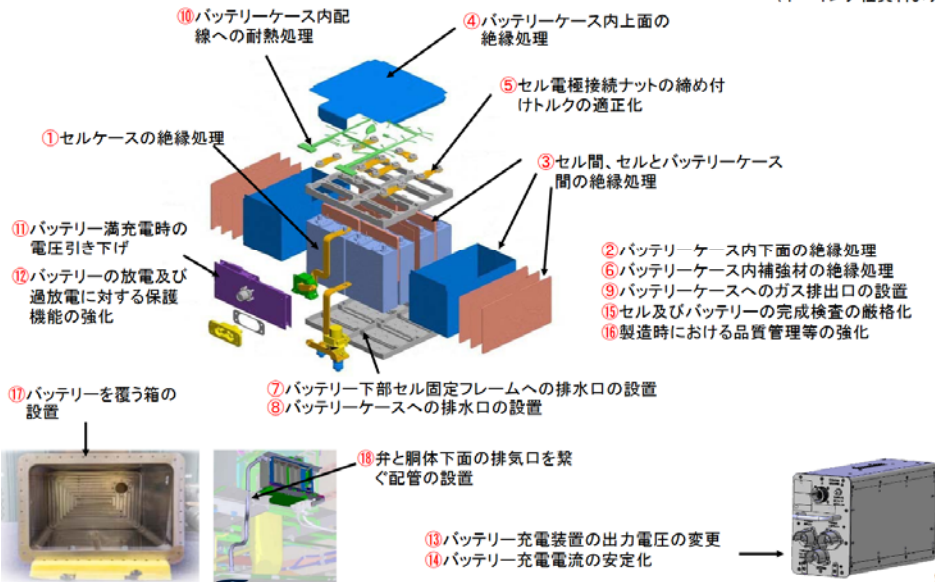
主な是正処置の内容

3段階の対策	主な内容
① 4グループ約80項目の原因に対するバッテリーセルの過熱への直接的な対策	- セル電極ナットの締め付けトルクの適正化 - セルケースの絶縁処理 - バッテリーケースへの排水口の設置 - バッテリーの放電及び過放電に対する保護機能の強化 - 製造時における品質管理等の強化
② バッテリーセルに過熱が発生した場合に、他のバッテリーセルへの熱の伝播への対策	セル間、セルとバッテリーケース間の絶縁処理
③ 万一、バッテリーセル間で熱が伝播した場合の火災等の防止	- バッテリーを覆う箱の設置 - 弁と胴体下面の排気口を繋ぐ配管の設置

8

是正措置

(ボーイング社資料より)



9

安全・安心確保のための措置

バッテリーシステムの是正措置

- ボーイング社は、約100項目の想定される原因を洗い出し、その中から更なる対策の必要の無い項目を除外することにより、約80項目に絞り込み。その上で、これら全ての想定される原因に対応できる是正措置として、3段階の対策を策定
- 国土交通省は、米国連邦航空局 (FAA) と緊密に連携し、是正措置の分析・評価を実施。是正措置に関する改修を行ったボーイング787型機の運航再開を認める耐空性改善通報を発行

航空会社による追加措置

- 国土交通省は、上記の耐空性改善通報の発行に合わせて、航空会社に対し、安全・安心を確保するための万全の措置を取るよう要請
- これを受け、航空会社は、改修後の確認飛行、運航乗務員の慣熟飛行、バッテリーのモニタリング、利用者への安全情報の開示などを追加的に実施

有償運航再開に向けた取組み

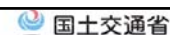
- 航空会社は、5月23日までに、対象となる24機全ての改修作業及び確認飛行を完了。確認飛行 (24便)、慣熟飛行 (547便) において、バッテリー関係の不具合の発生はなし。
- 国土交通省は、国内で行われた確認飛行の全てに立会うとともに、改修作業・慣熟飛行にもサンプリングで立会うなど、航空会社における取組みが適切に行われていることを確認。さらには、梶山副大臣及び坂井大臣政務官も慣熟飛行に搭乗し、航空会社における有償運航の再開に向けた準備状況を確認。

有償運航の再開

- 定期便 (6月1日～)
ANA: 国内線14路線29便/日、国際線5路線33便/週
JAL: 国際線5路線42便/週
- 臨時便 (5月26日～31日)
ANA: 羽田～新千歳間の5便

10

定期運航再開後の主な不具合



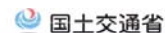
○全日本空輸

6月21日現在(航空会社公表ベース)

発生日	出発地(予定時間) 到着地(予定時間)	概要
6月1日	羽田06:35 鹿児島08:20	○運航中、右翼前方ドア周りに異音が発生した。鹿児島到着後の点検の結果、右翼前方ドアの上部から軽微な空気漏れが確認された。 ○点検に時間を要したことから、後続のANA544便(鹿児島→伊丹)及びANA22便(伊丹→羽田)は、約1時間40分の遅延となった。
6月2日	羽田00:00 沖縄02:35	○運航中、操縦室内の照明灯の輝度を下げた際、通常は消灯しているはずの操縦室内の非常照明灯が点滅しているのに気づいた。 ○羽田から関連部品を送付し、交換するのに時間を要したことから、後続のANA8558便(沖縄→羽田、貨物便)は約10時間40分の遅延となった。
6月5日	羽田14:00 伊丹15:05	○到着後の点検において、左主脚格納室扉が同格納室内の部品(断熱材)を挟み込んで破損(約6cmの亀裂)しているのを発見した。 ○整備処置に時間を要することから、後続のANA32便(伊丹→羽田)は欠航となった。
6月10日	福岡15:00 羽田16:40	○福岡空港でエンジンを始動したところ、左エンジンの制御システムに不具合があったことを示す計器表示が発生したため、駐機場に引き返した。 ○整備処置に時間を要することから、当該便は欠航となった。
6月12日	山口宇部08:00 羽田09:30	○山口宇部出発時に右エンジンが始動しなかった。 ○当該便は欠航となった。
6月18日	鹿児島09:05 伊丹10:15	○鹿児島出発時にブッシュバックを開始したところ、スプーラー関連の不具合を示す計器表示が発生したため、駐機場に引き返した。 ○整備処置に時間を要することから、当該便は機材を変更し、約1時間15分の遅延で再出発した。
6月19日	羽田17:35 高松18:50	○羽田出発のためのブッシュバック開始後、機内サービス用の水量の表示がゼロになっており、実際に水が出ない状態であったため、駐機場に引き返した。 ○点検の結果、実際に水漏れが確認されたため、当該便は機材を変更し、約1時間30分の遅延となった。
6月20日	熊本11:20 羽田13:00	○熊本空港において、主翼の防水装置に不具合のある可能性があったことから、詳細な点検を実施した。 ○上記点検に時間を要することから、当該便は欠航となった。

11

定期運航再開後の主な不具合



○日本航空

6月21日現在(航空会社公表ベース)

発生日	出発地(予定時間) 到着地(予定時間)	概要
6月2日	シンガポール 1日21:50 羽田05:45	○羽田到着後の点検において、補助動力装置用のバッテリーの覆い箱の内外の圧力差を検知したことを示す表示が発生していることを確認した。 ○整備処置に時間を要することから、後続のJAL21便(羽田→北京)は機材をB767に変更して運航した。
6月4日	成田18:05 シンガポール 5日00:25	○羽田空港でエンジンを始動したところ、中央タンクの2つある燃料ポンプのうち、1つに不具合があったことを示す計器表示が発生したため、駐機場に引き返した。 ○整備処置に時間を要したことから、当該便は約1時間40分の遅延となった。
6月11日	羽田01:00 シンガポール 06:55	○離陸後の上昇中、左エンジンの防水系統に不具合があったことを示す計器表示が発生した。航路上の天候が悪いことから、急のため、当該機は羽田空港に引き返した。 ○整備処置に時間を要することから、当該便は機材を変更し、約6時間の遅延で再出発した。
6月14日	成田11:20 ボストン11:05	○成田空港で出発前の点検中に、航空機衝突防止装置及び航空交通管制自動応答装置の不具合を示す計器表示が発生した。 ○整備処置に時間を要することから、当該便は機材を変更し、約3時間40分の遅延となった。
6月14日	成田12:25 デリー17:35	○成田空港出発時に、エンジン始動用発電機の不具合のため、右エンジンが始動しなかった。 ○整備処置に時間を要することから、当該便は機材を変更し、約6時間30分の遅延となった。
6月16日	羽田09:10 北京12:05	○羽田空港で滑走路に向かうための地上走行中、主翼に装備された8つのタイヤのうち、1つのタイヤのブレーキに不具合が発生したことを示す計器表示が発生したため、駐機場に引き返した。 ○整備処置に時間を要したことから、当該便は約2時間の遅延となった。
6月20日	成田10:55 シンガポール 17:15	○飛行中、緊急時に非常口を開ける力を軽減する装置に不具合があったことを示す計器表示が発生した。 ○整備処置に時間を要したことから、後続のJAL36便(シンガポール→羽田)は約3時間10分の遅延となった。

12

Bloomberg the Company & Its Products | Bloomberg Anywhere Remote Login | Bloomberg Terminal Demo Request

Bloomberg ニュース マーケット情報 ビデオ・TV ブルームバーグについて

ボーイング787のバッテリー不具合、原因は設計 - 米当局

Alan Levin

2014年12月2日 06:17 JST

米運輸当局はボーイング787の昨年の運航停止につながったバッテリーの発火トラブルの原因は不適切な設計と不十分な試験だったとの調査結果を発表した。

ボーイングがリチウムイオン電池の1つのセルが過熱しても他のセルに広がることはないことを認め、米連邦航空局（FAA）がこの設計と試験を承認していた。米運輸安全委員会（NTSB）は最終報告書で、ボーイングとFAAの双方がバッテリーパックの機能不全を予期しなかったと批判するとともに、バッテリーメーカーのGSユアサの製造が不適切だったと指摘した。

今回の結果発表により、約2年間に及んだバッテリートラブルの調査は決着した。

原題：Dreamliner Battery Fire Triggered by Boeing Design, Probe Finds（抜粋）

--取材協力：Julie Johnsson.

最新の情報は、ブルームバーグ端末にて提供中「B」 LEARN MORE

<https://www.bloomberg.co.jp/news/articles/2014-12-01/NFX8LE6K50Y601>

エアライン、ボーイング、官公庁、機体 — 2014年9月25日 10:01 JST

高松のANA787バッテリートラブル、原因特定至らず 運輸安全委

By Tadayuki YOSHIKAWA

共有する: [f](#) [t](#) [b](#)

2013年1月16日に高松空港へ緊急着陸した全日本空輸（ANA/NH）のボーイング787-8型機（登録番号JA804A）でのバッテリー発煙トラブルについて、国土交通省の運輸安全委員会（JTSB）は9月25日、調査報告書を公表した。

報告書では原因について、メインバッテリー内にある8つのセルのうち、6番セルの内部の発熱現象を起点として、同バッテリーの熱暴走が発生。発熱により膨張したセルケースとブレースバー（補強材）が接触し、アース線を介して接地短絡（ショート）したことでバッテリーボックス内に大電流が流れたとした。この結果、アーク放電が発生したことで熱の伝播を助長して熱暴走し、バッテリー損傷を拡大したとの推定までは至った。

6番セル内部での発熱現象は内部短絡によるとしたが、内部短絡が発生する仕組みを特定するには至らなかったという。

JTSBによると、FAA（米連邦航空局）によるバッテリー開発時の試験でアース線が取り付けられておらず、航空機へ搭載した状態を適切に再現できていなかったことに問題があったとしている。また、内部短絡の影響が過小評価されたことも要因に挙げた。

JTSBでは、日本航空（JAL/JL 9201）の787-8のバッテリーがボストンで発煙した事案と、今年成田で発煙した事案も1月に起きていることから、低温も影響した可能性があるとの見方を示した。

FAAに対しては、航空機整備品を試験する際、機体に搭載した状態を適切に再現するよう、機体メーカーやサプライヤーに対して指導することなどを勧告した。また、ボーイングに対しても、設計時に想定されていないバッテリー充電器（BCU）の動作などについて、改善を促すよう求めた。

JTSBによると、バッテリー内部で金属片の混入が確認された。バッテリーを製造するジーエス・ユアサテクノロジータでは、クリーンルームを使用していることなどから、製造時ではなくセル分解時の金属片混入の可能性を示した。しかし、ボーイングが外部に委託した調査報告でも別のバッテリーで金属片が発見されており、JTSBでは、金属片混入の可能性を完全に否定することはできないとした。セル内部に金属片が混入すると、内部短絡の原因になる可能性があるという。



高松空港に駐機中のANAの787＝13年5月16日 PHOTO: Tadayuki YOSHIKAWA/Aviation Wire

ボーイング787のバッテリー問題(まとめ)

- ・2013年1月7日, JAL008便にてバッテリーより発火.
- ・その後, すべての同型機が運航停止
- ・FAAが耐空性改善命令を発行. 国土交通省が耐空性改善通報を発表.

<原因>

- ★ リチウムイオン二次電池の異常発熱によるもの
- ★ 当該の電池は, 充放電において電圧等を適切に制御することが必須.
- ★ バッテリーは, GSユアサ製 (問題発生以降も同バッテリーは継続使用されています)

<対策>

- ★ バッテリーの過充電・過放電(特に過充電)の防止
- ★ ショートにつながる原因の究明と防止
- ★ 出火しても燃焼が続かない環境の構築(廃棄ダクトの設置など)
- ★ バッテリーの温度状態の適切なモニタリング

アジアナ航空サンフランシスコ国際空港での事故事例

2013年7月6日に仁川国際空港を出発したアジアナ航空214便
(ボーイング777-200ER)がサンフランシスコ国際空港への着陸
に失敗炎上した. 3名の乗客が死亡.





事故発生状況

- ・ サンフランシスコ国際空港への着陸において、ゴー・アラウンドを試みた際に機体(尾部)が滑走路に接触して大破・炎上した。
- ・ 接触時の衝撃により、垂直尾翼・水平尾翼が胴体から破断。車輪も衝撃により破壊されたために胴体着陸となり、滑走路を外れて停止。その後炎上した。
- ・ 死亡したのは3名。2名はシートベルトをしていなかったために、機外に放り出されたことによる。1名は着陸時の衝撃で頭部を強打したことが原因。
- ・ 事故当時、副操縦士(飛行時間43時間)が操縦を担当。
- ・ 事故直後、乗客は機内にとどまるよう乗務員から指示されるなど、乗務員の不手際や不適切な指示があったことが指摘されている。

事故原因

- ・ 操縦士が着陸に必要な高度とスピードを適切に保てなかったことによる。
- ・ 操縦を担当していた副操縦士の経験不足，ならびに機長も共感としての資格を取り終えたばかりであり，経験が不足していたことも要因の一つと考えられる。
- ・ 当該空港滑走路においては，計器着陸装置（LOC, GP等）の運用が一部停止されていた。
- ・ 天候は良好（晴れ）で，風はほとんど無い状況であったことから，事故原因は操縦ミスによる人為的なものと判断された。

アジアナ航空162便の事故事例（広島空港）

2015年4月14日，仁川国際空港を出発したアジアナ航空162便が広島空港に着陸する際，本来の高度よりも低い高度で滑走路に接近し，滑走路手前でローライザーのアンテナに接触，その後，滑走路を逸脱・横滑り後に回転して，芝生エリアに侵入後，停止した。主翼，尾翼が損傷。左エンジンより発煙。





事故発生状況

- ・ 広域航法(RNAV)による標準到達経路方式で着陸する際、侵入高度が低すぎたためにローカライザーのアンテナ(h=6.4m)に接触。
- ・ 滑走路を南側に逸脱して横滑り後に180度回転。侵入方向と逆側の東側を向く形で芝生エリアに停止。フェンスまで十数mまで接近。
- ・ 左右の主翼が損傷。エンジンカバー脱落。左尾翼損傷。左エンジン発煙。左右のエンジン内にローカライザーのアンテナの破片が吸い込まれたため、エンジンは全損状態。
- ・ 風向きの影響で、計器着陸装置(ILS)が設置されていない東側からの進入となった。
- ・ 乗客は脱出用シューターで機外へ脱出・非難。27人が負傷(比較的軽症)。脱出の際、乗務員らによる避難指示や誘導が無かったとの情報あり。

事故原因

- ・ 過度の低空飛行・低空進入が主原因
- ・ 通常、滑走路への適切な進入角度を支持するPAPIを確認して着陸するが、操縦士がこれを見落としていた可能性が高い。
- ・ 視界は比較的良好
- ・ ローカライザーの高さと位置から判断すると、当機は滑走路侵入前から極端に高度が下がっており、地面に激突する寸前だったと判断される。
- ・ ダウンバーストの可能性は否定できない。
- ・ フライトレコーダーの記録等から判断して、危険性を回避しようとした操縦記録はなく、このことから滑走路への進入高度、進入角度における機長の判断ミスであった可能性が高いと指摘されている。

USエアウェイズ1549便不時着事故



事故発生状況

- ・ 2009年1月15日、ニューヨーク発シアトル行きUSエアウェイズ1549便は、離陸直後にカナダガンの大群に遭遇。
- ・ 大量の鳥がジェットエンジンに吸い込まれるという「バードストライク」によって、左右両側のエンジンが故障・停止し、当機は滑空機の状態となる。
- ・ 飛行高度が維持できなくなったため、ラガーディアもしくはテターボロ空港への着陸は困難であると判断し、機長はハドソン川への不時着水を試みた。
- ・ 幸運にも機体分解は回避され、乗客は全員無事に非難、死傷者が出なかったという点で、まさに奇跡的な事故となった。

バードストライク

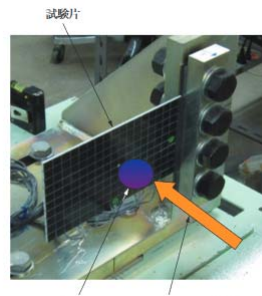
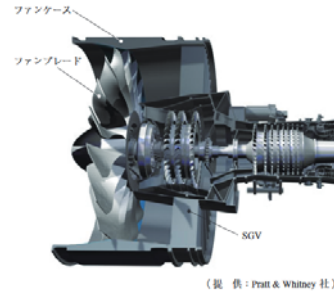


戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)

航空機エンジンの開発企業である IHI および三菱レイヨン、三井化学と協力して、航空機ジェットエンジンファンブレード用CFRPの材料開発を行っています。

試験片にゼラチン(鳥を模擬)製の小球を衝突させることによる衝撃試験を行って、耐衝撃性の高いCFRPを開発することを目指しています。

名大では有限要素法解析や破壊靱性試験、繊維樹脂界面強度試験などを通じて、本プログラムに参画しています。



改めての・・・信頼性工学

★信頼性モデル

- 直列系・並列系・冗長系などの信頼性モデル
- 故障率の考え方と寿命
- MTBF(平均故障間動作時間)の概念
- FMEA (failure mode and effects analysis)
- FTA (fault tree analysis : 故障の木解析)

★統計による推定および検定

- χ^2 検定, t検定
- ワイブル分布

★”信頼性”の具体的適用

- 信頼性設計
- 故障解析
- 信頼性試験
- 品質保証・保全性管理

参考文献

新版 信頼性工学入門, 真壁 肇 編, 日本規格協会



入門 信頼性工学, 第2版, 福井泰好著, 森北出版

レポート課題(荒井分)

航空機事故事例について,

- ・ 事故発生状況
- ・ 事故原因
- ・ 社会的影響と評価
- ・ 考え得る事故の再発防止策

等についてA4で1~2ページにまとめて提出して下さい.

提出は, MS-WordまたはPDFで,

arai@nuae.nagoya-u.ac.jp

宛に, 「安全・信頼性工学レポート@名大太郎」

のようにタイトルをつけて送ってください.

期限は, 6月29日金曜日, 17:00までとします.

講義資料(ダウンロード)

str.nuae.nagoya-u.ac.jp/20180614-Anzen1.pdf

str.nuae.nagoya-u.ac.jp/20180614-Anzen2.pdf