

航空重大インシデント調査報告書 説明資料

所 属	全日本空輸株式会社
型 式	ボーイング式787-8型
登 録 記 号	JA804A
インシデント種類	非常脱出スライド使用による非常脱出 (メインバッテリー不具合)
発 生 日 時	平成25年1月16日 08時49分
発 生 場 所	高松空港

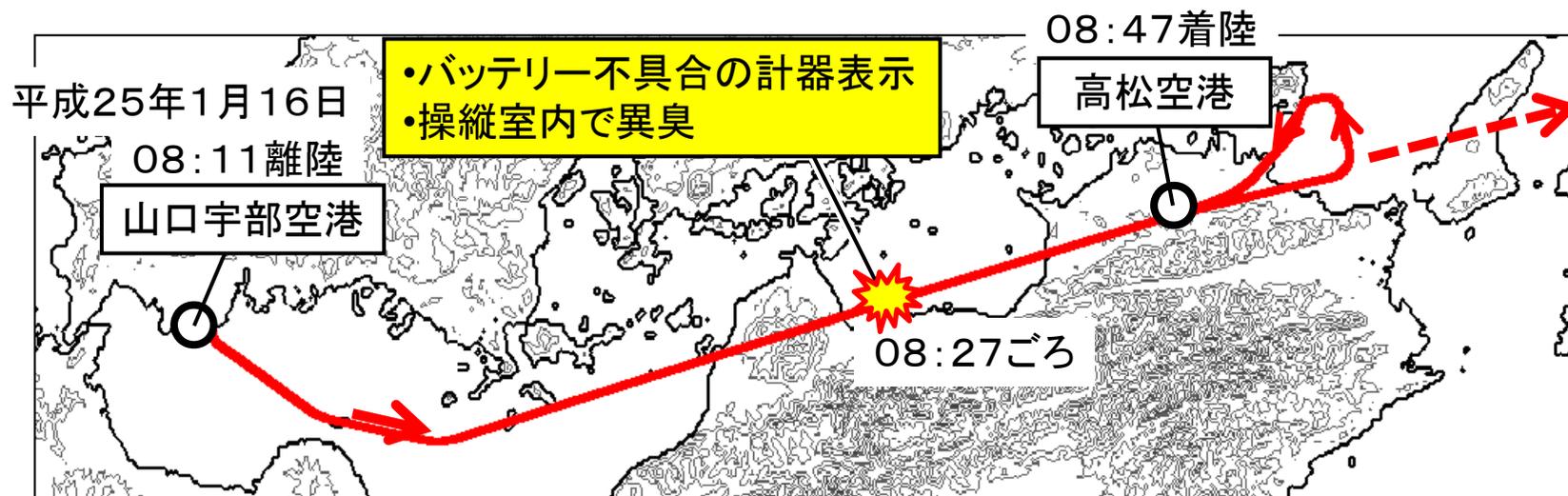


運輸安全委員会

平成26年9月

航空重大インシデントの概要 (1.1, 付図1)

- 山口宇部空港を離陸後、四国上空高度約32,000ftにおいて、メインバッテリーの不具合を示す計器表示とともに、操縦室内で異臭が発生。目的地を東京国際空港から高松空港に変更。高松空港に着陸後、T4誘導路で非常脱出。
同機のメインバッテリーが損傷、火災は発生せず。
- 負傷者等 : 非常脱出時に乗客4名が軽傷
(搭乗者は計137名(乗務員8名、乗客129名))



○ メインバッテリーの概要 (2.6.1)

- ボーイング式787-8型機(以下、「787」という。)のメインバッテリーは、リチウムイオンバッテリー(LIB)を使用
- メインバッテリーは、機体の発電機からの電源が使用できなくなった場合の電源供給
- メインバッテリーとAPU始動用バッテリー(APUバッテリー)は、同型式のLIB(同型バッテリー)で、8つのセルを直列に接続
- メインバッテリーは前方電気室に搭載、APUバッテリーは後方電気室に搭載

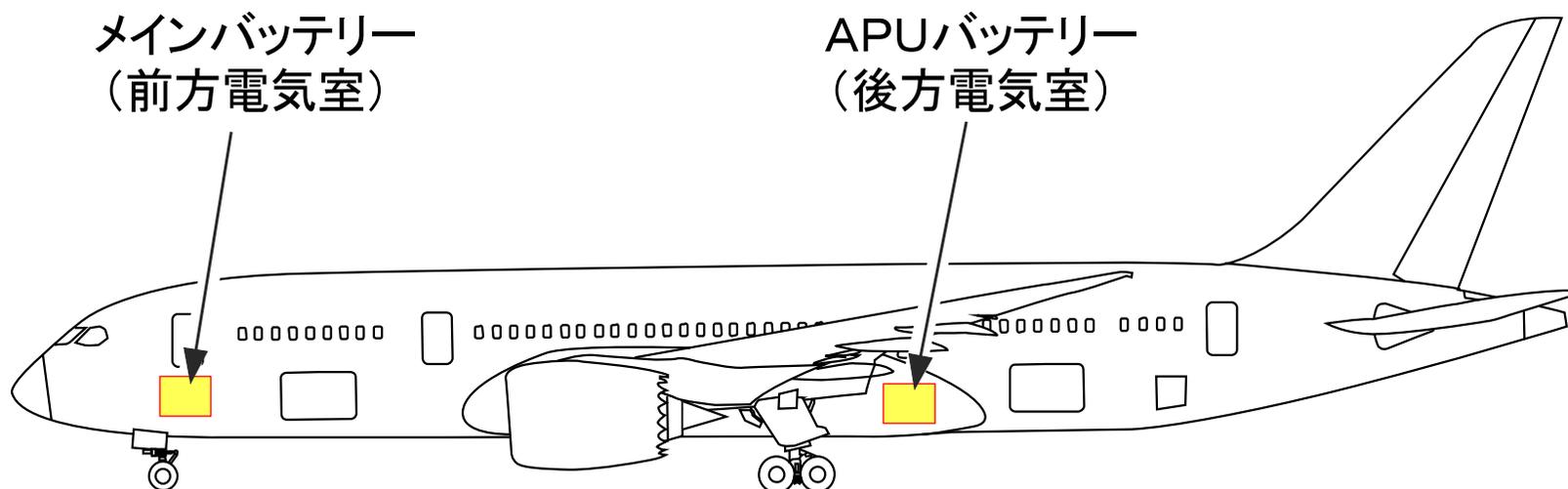


図2.6.1 バッテリー搭載位置

○ メインバッテリーの概要(続き) (図2.6.4、2.6.5.1)

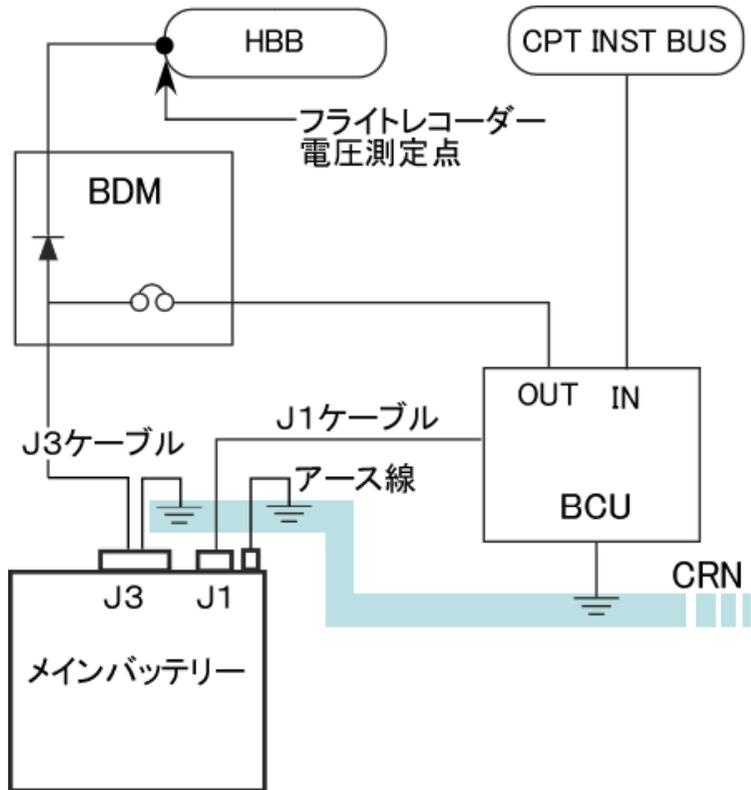


図2.6.4 メインバッテリーの接続図

- BCU: Battery Charger Unit (バッテリー充電器)
- BDM: Battery Diode Module (バッテリー整流装置)
- HBB: Hot Battery Bus (機体側電源バス)
- CPT INST BUS: Captain Instruments Bus (機体側電源バス)
- CRN: Current Return Network (アース用の機体の配線)

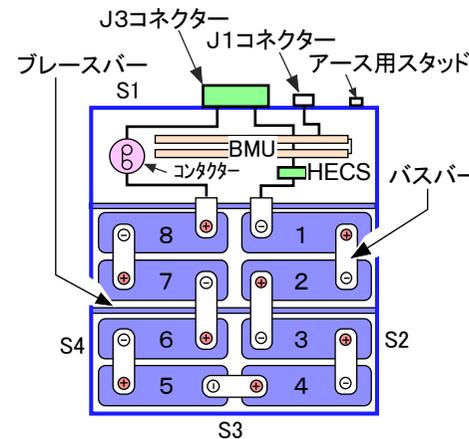


図2.6.5.1-1 バッテリーの構成図

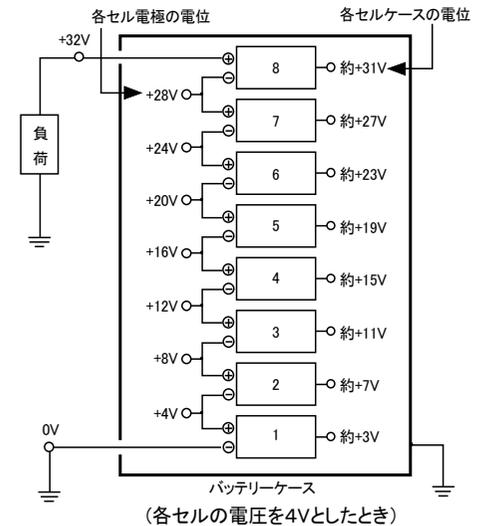


図2.6.5.1-2 セルケースの電位

• 性能

- 公称DC電圧 : 29.6 V
- 公称容量 : 75 Ah
- 重量 : 28.5 kg
- 運用温度範囲 : -18 °C ~ 70 °C

○ メインバッテリーの概要(続き) (2.6.5.1、2.6.5.2)

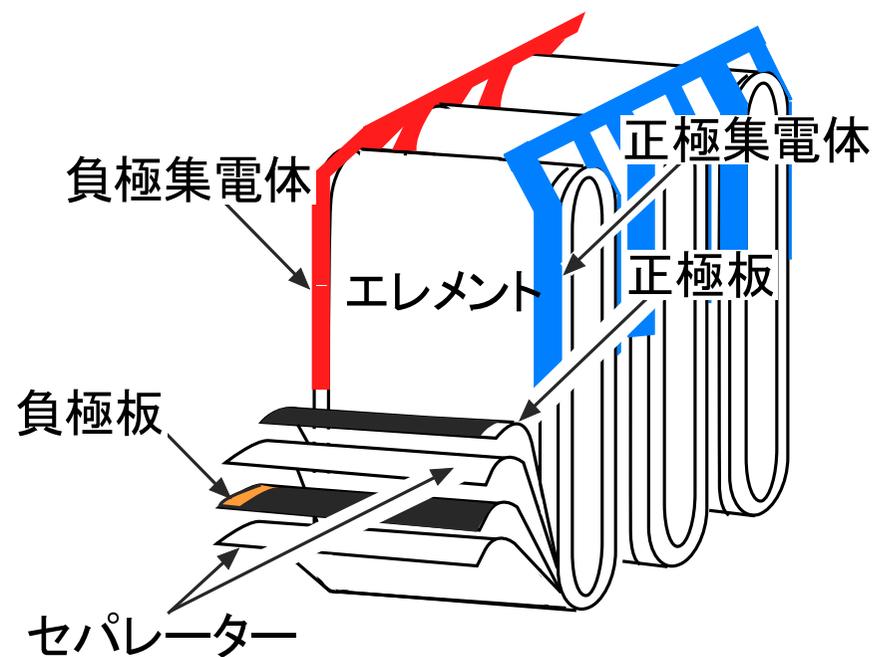
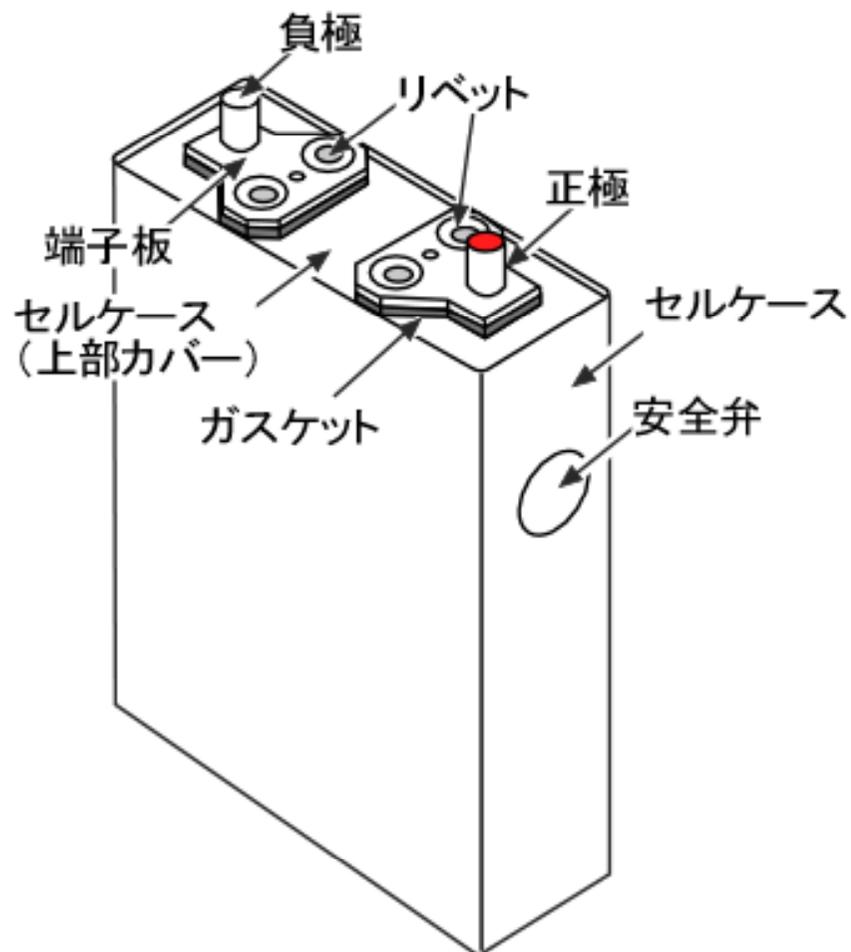


図2.6.5.2-2 エレメント

図2.6.5.2-1 セルの外観

○ 損壊の細部状況 (2.8.3)

- バッテリーボックスにアーク放電による変色や穴等はなかった。
- 6番セルの損傷状況
 - 6番セルと3番セルが溶着
 - セルケース側面(S1)上部に横長の大きな穴が開き、ブレースバーの一部が溶着していた。
- アース線が溶断
- 以下の部品に損傷はなかった。
 - J3ケーブル及びJ3ケーブルコネクター
 - J1ケーブル
- BCUに出荷前検査と同等の検査を行った結果、異常は認められなかった。

全てのセルのエLEMENTが熱による影響を受けて損傷しており、発熱現象の起点の特定及び金属の析出等が確認できる状況ではなかった。



写真Ⅱ メインバッテリーの状況
(内部)



写真Ⅸ 6番セルの状況

○ 787の同型バッテリー事案 (2.13.2)

(1) ボストン事案

平成25年1月7日10時21分(米国東部標準時)ごろ、ボストンのローガン国際空港で駐機中の同型機のAPUバッテリーから煙が発生した。このとき機内にいた整備士が後方電気室のドアを開け、小さな炎2つがコネクタ一部から出ているのを確認した。

ボストン事案は、NTSBが調査※1を行っている。

(2) 成田事案

平成26年1月14日、成田国際空港において出発前整備中の同型機で、整備士が機外に煙が漂っていること並びにメインバッテリー及びBCUの不具合を示すメッセージが表示されていることを確認した。その後、メインバッテリーの5番セルがベントしていること、並びに残りの7つのセルは依然として通常の電圧(約4V)が出ていることが確認された。前年の2013年に、全ての787型機を対象として、同型バッテリーをエンクロージャーボックス内に収納し、エンクロージャーボックスには機外に通じるダクトが取り付けられる改修が行われていたことから、この事案では、このダクトが有効に機能し漏れた電解液は機内に入らず、機外に放出された。

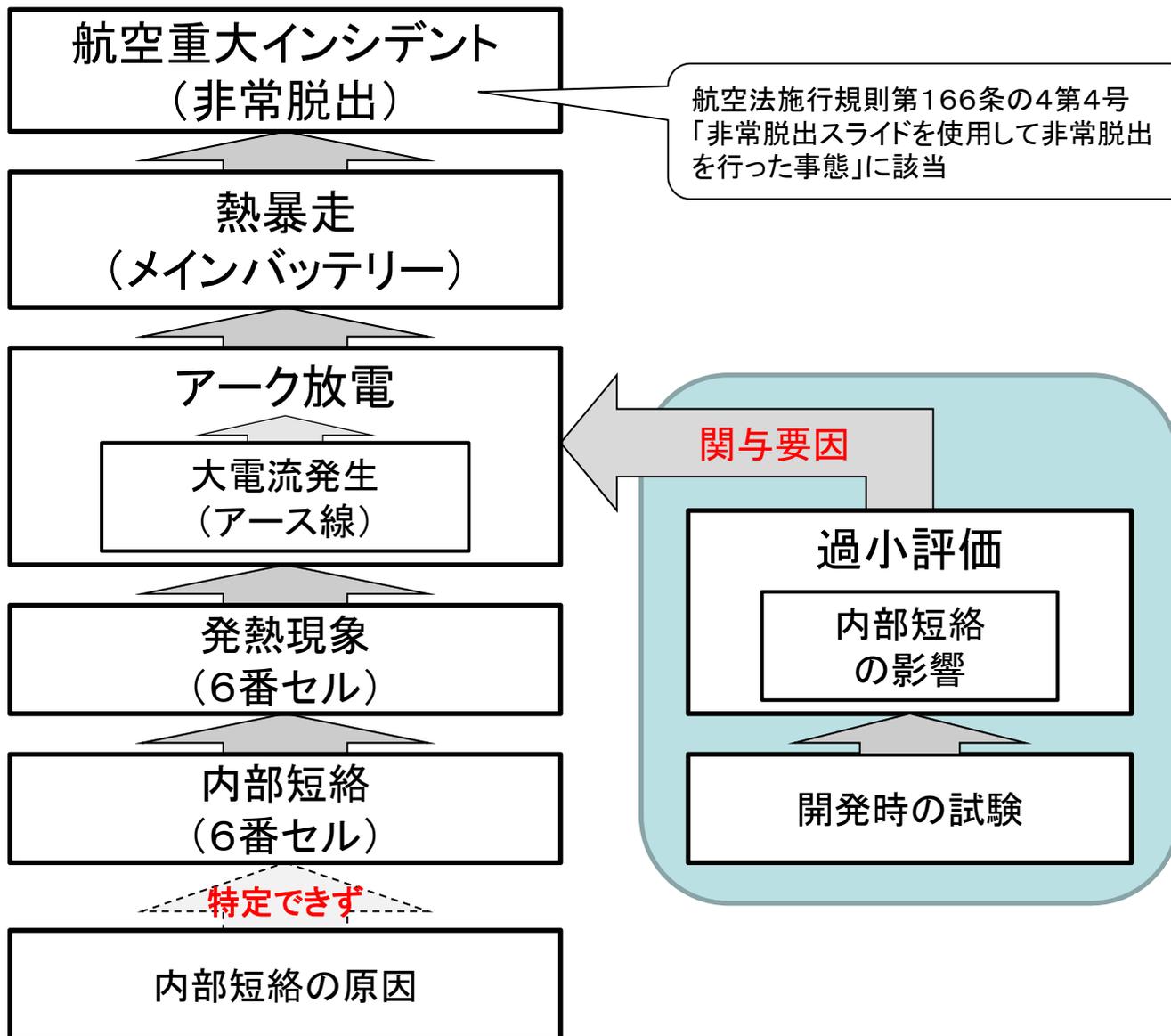
この時点での787全機による総飛行時間は約25万時間であった。

※1: ボストン事案のNTSB調査の詳細は、NTSBのウェブサイト(<http://www.nts.gov>)で公開されている。

原因 (4.2)

- 本重大インシデントは、同機が離陸上昇中メインバッテリーが熱暴走を起こしたため、高松空港に緊急着陸して誘導路上で非常脱出を行ったものである。
- メインバッテリーの熱暴走は、6番セルがセル内部の発熱現象でベントしたことにより熱伝播の起点となって発生したものと推定される。発熱により膨張したセルケースとブレースバーが接触してアース線を介して接地短絡したことによりバッテリーボックス内に大電流が流れてアーク放電が発生したことが熱伝播を助長して熱暴走に至り、バッテリーの損傷を拡大させたものと推定される。
- 6番セル内部の発熱現象は、内部短絡によるものと考えられるが、その発生機序を最終的に特定することはできなかった。
- 本重大インシデントにおいては、1つのセルの内部短絡による発熱現象が他のセルに伝播してバッテリーの損傷を拡大させることとなったが、熱伝播に至ったことについては、同型バッテリーの開発時の試験において航空機への装備状態が適切に模擬されず、内部短絡の影響が過小評価されたことが関与したものと考えられる。

原因 (4.2)



安全勧告 (6章)

● 米国連邦航空局が講ずべき措置 (6.1)

- (1) 航空機装備品の試験が実運用を適切に模擬した環境で行われるよう航空機製造者及び装備品製造者を指導すること。
- (2) LIB試験において電氣的環境が適切に模擬されるように、技術基準を見直し、必要があれば技術基準の改正を行うこと。
- (3) 同型式機のTC時のLIBの故障率の想定について見直しを行い、その結果を踏まえ、必要があればLIBの安全性評価の見直しを行うこと。
- (4) 同型式機のTCにおいて、セル間の熱伝播リスクが適切に評価されているか見直しを行うこと。
- (5) 同型式機のセルがベントした後に発生するコンタクターの動作が、運航に与える影響を検討し、その結果を踏まえ、必要な措置を講じること。

● ボーイング社に対して指導すべき措置 (6.2)

- (1) エLEMENTの不均一な成形及び他の製造工程に起因する事象との関連の可能性も踏まえ、内部短絡の発生機序について更に調査を継続すること。また、その結果を踏まえ、さらなるLIBの品質と信頼性の向上を図るとともに、温度等のLIBの運用条件についても見直しを行うこと。
- (2) 設計時には想定されていないBCUの動作及びコンタクターの動作確認について改善を図ること。

安全勧告 (6章)

1. 米国連邦航空局が講ずべき措置

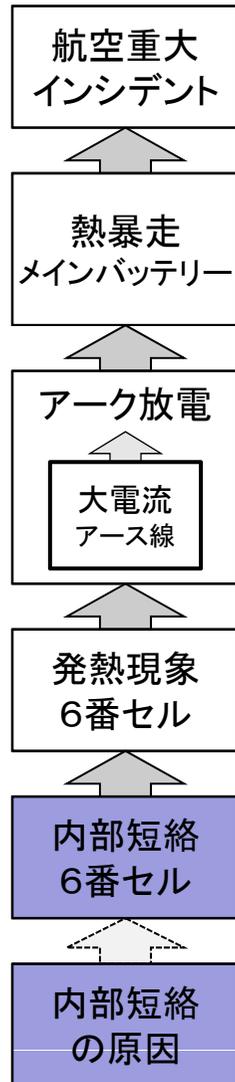
(調査で判明したこと等)

実運用を適切に模擬していない開発試験の実施 (3.12.2)	型式証明全般	航空機装備品の試験が適切に実運用を模擬した環境で行われるよう指導すること (6.1(1))
	リチウムイオンバッテリーの型式証明	リチウムイオンバッテリーの技術基準を見直し、必要があれば改正すること (6.1(2))
バッテリー故障率の過小想定 (開発時想定を上回る故障の発生) (3.12.1.2)	787型機の型式証明	・バッテリーの故障率の想定の見直し (必要があれば安全性評価の見直し) (6.1(3))
熱伝播リスク評価されず(開発時) (2.12.6.3)		・セル間の熱伝播リスクが適切に評価されているか見直し (6.1(4))
ベント発生によるコンタクター動作 (3.7.2)		意図せぬコンタクター動作の運航に与える影響を検討し、必要な措置を講ずること (6.1(5))

2. 米国連邦航空局がボーイング社に指導すべき措置

内部短絡の原因の可能性を示すまでにとどまり、内部短絡の発生機序を最終的に特定できなかった。 (3.11)	・ 内部短絡の発生機序の確認を継続すること ・ リチウムイオンバッテリーの品質向上を図ること ・ 温度等のバッテリーの運用条件を見直すこと (6.2(1))
想定外のBCU(充電器)の動作及びコンタクター動作確認 (3.9)	「BCUの動作」及び「コンタクターの動作確認」を改善すること (6.2(2))

○ バッテリーの充電制御 (3.9)



● 充電電流の振動 (3.9.1)

- ・ 試験及び実機検証において、充電電流の振動が確認された。
- ・ 不要な振動であること、バッテリーの寿命に影響することから、改善されることが望ましいと考えられる。

● 放電時における過渡現象による瞬間的な高電圧 (3.9.2)

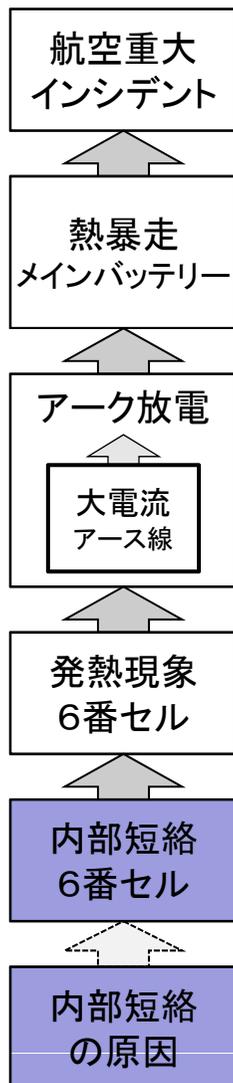
- ・ ボーイング社の試験において、放電時のコンタクターの動作確認によると考えられる過渡現象により、瞬間的な高電圧の印加が確認された。
- ・ 同機を使用した実機検証で放電時のコンタクターの動作確認によると考えられる現象が確認された。
- ・ これらのことから、同機においても過渡現象による瞬間的な高電圧が印加される可能性が考えられる。

同機においても過渡現象による瞬間的な高電圧が印加される可能性が考えられる。

● 充電時における瞬間的な電圧上昇 (3.9.3)

- ・ 同機を使用した実機検証において、46Aの充電時にコンタクターの動作確認によると考えられる瞬間的な電圧上昇が確認された。
- ・ このようなコンタクターの動作確認は、電流値が高い時に行うと高電圧の過渡現象が発生する可能性があるため、充電末期における低電流値で実施するという設計の意図と異なる動作であることから、改善されることが望ましいものと考えられる。

○ 内部短絡の原因に関する分析 (3.11)

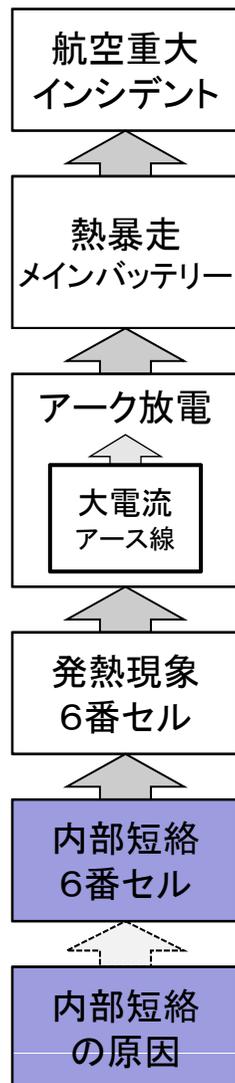


● セル内部への金属片の混入 (3.11.1)

- 2つのセル内部から金属片(粒)が発見されている。
- ジーエス・ユアサテクノロジー社は、以下の理由により製造工程での金属片の混入が内部短絡の原因に関与している可能性は低いとしている。
 - セル製造時のクリーンルームの使用(2.13.1.3(1))
 - セル製造時の耐圧試験(2.13.1.3(2))
 - セル製造後のソフトショート試験及びCTスキャン検査(2.13.1.3(2))
 - 同じ材料及び製造方法の他用途向けセルの実績(2.13.1.1)
 - セル分解時の金属片の混入(2.13.2(2))
- 2つのセルの内部から金属片が発見されており、ボーイング社の外部委託調査報告書では金属片の混入が製造工程に起因している可能性を示していることから、可能性を完全には否定することはできないと考えられる。

セル内部への金属片の混入の可能性を完全には否定することはできないと考えられる。

○ 内部短絡の原因に関する分析(続き) (3.11)



● セル内部のセパレーターの損傷 (3.11.2)

(1) 製造時に生じる亀裂

- 以下のことから、製造時のセパレーターの損傷の可能性は低いものと考えられる。
 - 製造時に生じた亀裂であれば、製造時及び製造後の検査により検知されるものと考えられる。
 - 同じ材料及び製造方法で製造されている大型LIBには不具合は発生していない。

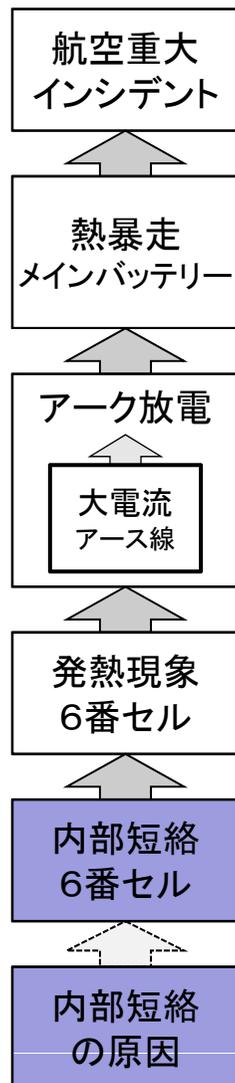
(2) 充放電時に生じる亀裂

- 充放電時に生じる亀裂については、正極活物質に含まれる粒子の中に通常よりも大きい粒子が確認されているが、その大きさは活物質の層の厚さを超えておらず、直ちにセパレーターの損傷を引き起こす可能性は低いものと考えられる。

(3) 熱による溶融及び収縮

- 熱による収縮については、外部からの熱がセパレーターを収縮させることが挙げられる。NTSBが行ったAPUスタート模擬試験で、リベット部の温度が上昇する事象が確認されている。しかしながら、以下のことから、熱によるセパレーターの収縮がメインバッテリーで発生した可能性は低いと考えられる。
 - メインバッテリーの最大放電電流は、APU始動用バッテリーの6分の1程度である。

○ LIBにおけるリチウム金属の析出 (2.7.4)



- LIBでは、使用の経過とともに負極上にリチウム金属が析出することがある。
- リチウム金属の析出の主な原因
 - 過充電による負極でのリチウムイオン受入可能量の超過
 - 負極活物質組織の不均一化による負極へのリチウムイオンの格納速度の低下
 - 極板間距離の不均一による充電電流の集中
 - 低温環境下でのリチウムイオンの移動速度の低下
- 析出したリチウム金属(電析)
 - 負極表面にメッキのように堆積
 - 樹木の枝が生えたような形(樹枝状結晶)
→ (リチウム・)デンドライト
- リチウム金属の融点は、約180℃
- 一般的に、劣化したLIBでは金属リチウムの堆積及びデンドライトが散見される。
- リチウム金属が析出したセルが必ずしも内部短絡を起こすものではない。
 - 適切な条件(セルの性能を超えない充電方法の制御が行われていること)で使用することで、内部短絡の発生率を極めて低くすることが可能とされている。

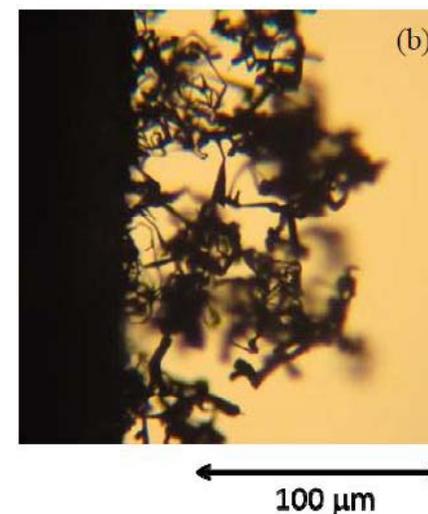
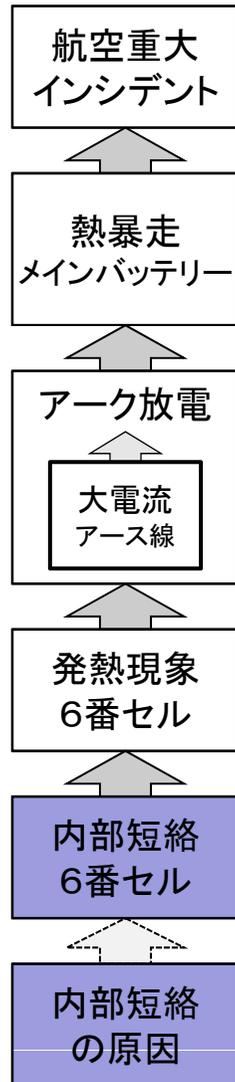


写真2.7.4 リチウム・デンドライトの様子※2

※2: 「写真2.7.4 リチウム・デンドライトの様子」は、電解液中に正極及び負極(リチウム金属)を浸した状態で、リチウム・デンドライトの形態的変移を研究している論文からの引用である。写真は、リチウムバッテリー(負極がリチウム金属)を模擬したものである。

○ 内部短絡の原因に関する分析(続き) (3.11)

● セル内部のリチウム金属の析出 (3.11.3)



(1) 低温環境の関与

- 類似3事案が寒冷期のほぼ同時期に発生していることから、低温環境が内部短絡の発生に関与した可能性を否定することはできないと考えられる。
- 夜間の地上係留中の機内温度は、外気温の影響により変動するため、同型バッテリーも低温になる機会が多かったものと推定
- 寒冷期の間、飛行ルートや就航地などの条件によって不規則に、セル内部のエレメントの温度が低温のまま充放電が繰り返し行われていた可能性が考えられる。

(2) 負極板のたわみ及びしわ

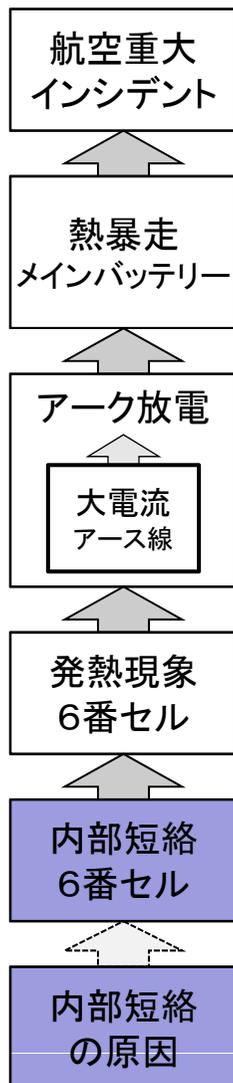
- 製造工程で確認されたたわみ及び同型機から取り卸した同型バッテリーから発見されたしわのようなエレメントの不均一な形成は、正負極板間の距離の不均一を引き起こしリチウム金属の析出を助長する可能性がある。
- しわが形成された理由については、LIBの充放電に伴う膨張及び収縮による可能性又は製造工程が関与した可能性が考えられる。

(3) セル内部の劣化

- 同機のメインバッテリーの場合、使用期間によるセルの内部劣化の可能性は低いものと考えられる。
- しかし、BCUの充電電流の振動がバッテリーの寿命に影響すると考えられ、この振動によりセル内部の劣化が進み、負極活物質組織の劣化による不均一化が進んでいた可能性が考えられる。

○ 内部短絡の原因に関する分析(続き) (3.11)

● セル内部のリチウム金属の析出(続き) (3.11.3)



(5) メインバッテリーにおけるリチウム金属の析出

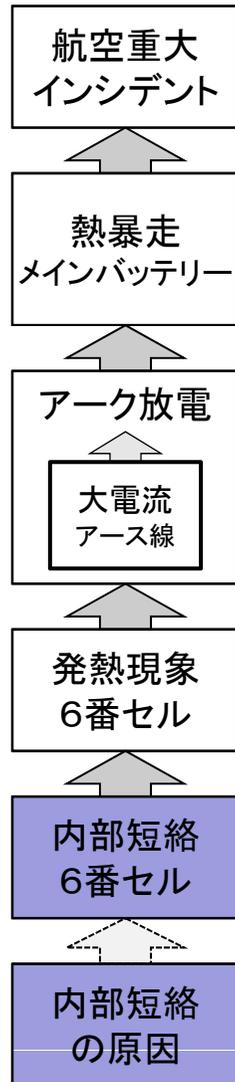
- リチウム金属を試験により確認することはできていないものの、低温環境での充電の影響、同型バッテリーの負極板にしわが確認されていること及び負極活物質組織の劣化による不均一化が進んでいた可能性があることから、リチウム金属の析出が同機のメインバッテリーに発生していた可能性が考えられる。

(6) リチウム金属の析出による内部短絡の可能性

- 適切な条件で使用されていれば、リチウム金属の析出のみにより内部短絡に至る可能性は極めて低いと考えられる。
- しかしながら、787のバッテリーシステムで確認されている充電電流の振動及び過渡現象による瞬間的な高電圧が確認されており、リチウム金属の析出に、このような電氣的過渡現象あるいは他の要因が複合することにより、バッテリーの内部短絡に至った可能性が考えられる。

リチウム金属の析出に電氣的過渡現象あるいは他の要因が複合することにより、バッテリーの内部短絡に至った可能性が考えられる。

○ 内部短絡の原因に関する分析(続き) (3.11)



● 内部短絡の原因分析のまとめ (3.11.4)

- 内部短絡の原因としては、セル内部でのリチウム金属の析出、金属片の混入又はセパレーターの損傷が考えられるが、これまでに発生した類似3事案が全て1月の寒冷期に発生しているため、特に、リチウム金属の析出が発生していた可能性が考えられる。
- ただし、リチウム金属の析出のみでベントが発生するほどの内部短絡を引き起こす可能性は低いものと考えられ、リチウム金属の析出に電氣的過渡現象あるいは他の要因が複合して内部短絡を発生させた可能性が考えられる。

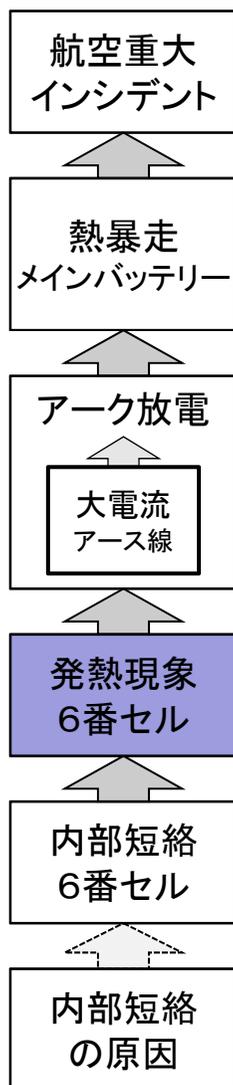
リチウム金属の析出に電氣的過渡現象あるいは他の要因が複合して内部短絡を発生させた可能性が考えられる。

- しかしながら、本調査においては、内部短絡の原因の可能性を示すまでにとどまり、内部短絡の発生機序を最終的に特定することはできなかった。このため、上記の要因以外の他の設計製造上の要因が内部短絡の発生に関与した可能性を完全に排除することはできないものと考えられる。

内部短絡の原因の可能性を示すまでにとどまり、内部短絡の発生機序を最終的に特定することはできなかった。

他の設計製造上の要因が内部短絡の発生に関与した可能性を完全に排除することはできないものと考えられる。

○ 発熱現象の原因 (3.10)



(1) 過充電

- フライトレコーダーの記録からメインバッテリー電圧の上昇は見られなかったことから、バッテリーレベルの過充電は発生してないと推定
- バッテリー周辺に火炎による損傷が見られないことから、セルレベルの過充電も発生していないと推定

(2) 過放電

- フライトレコーダーの記録からメインバッテリー電圧の低下は見られなかったことから、過放電は発生してないと推定

(3) 外部短絡

- J3ケーブルコネクタ、J3ケーブル及びJ1ケーブルに損傷がないことから、外部短絡の可能性は低いものと推定

(4) セルケースの短絡

- セルケースとバッテリーボックスの短絡時に発生する特徴的な損傷が認められなかったことから、セルケースの短絡の可能性は低いものと考えられる。

(5) 内部短絡

- セルの発熱現象の主な原因と考えられる上記4つの可能性が低いことから、バッテリー発熱現象の原因は内部短絡であった可能性が高いと考えられる。

過充電、過放電、外部短絡及びセルケースの短絡の可能性が低いことから、バッテリー発熱現象の原因は、内部短絡であった可能性が高いと考えられる。

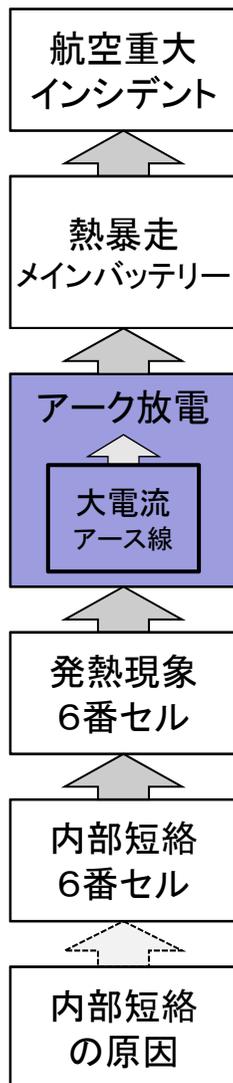


○ バッテリー熱伝播再現試験(角田試験) (2.11.5, 3.7)

- セルの内部短絡により熱伝播するかを確認するため、内部短絡(釘刺し)試験を実施
- 試験は、6番セルに釘を刺す方法で条件を変えた形態1~3で実施
- 機体搭載時を模擬した形態1(70°C)及び形態2(30°C)で熱伝播が再現
- 機体搭載時を模擬なかった形態3(30°C)では熱伝播は再現せず
- セルのベント後にコンタクターの開放を確認
 - コンタクターの動作条件となる過充電は発生せず
 - ベントによる噴射物又は発熱現象の影響の可能性が考えられる。
 - ボーイング社が行った試験でも発生
 - セルのベントの発生によりコンタクターの誤作動が発生する可能性が高いと推定
 - 電源全喪失時にメインバッテリーにベントが発生する確率は極めて小さいと考えられる。
 - しかし、万一そのような事態が発生すればその影響は極めて深刻である。
 - 3件の類似事案が発生しており、そのリスクの評価の必要性について検討すべきものと考えられる。
- 形態2で以下の現象を確認
 - 6番セルのセルケースとブレースバーにアーク放電による溶着
 - アース線の溶断
- 形態3では、アーク放電の痕跡が確認されず。アース線は未接続
- 形態2と形態3で熱伝播の相違が発生したのは、アース線接続の有無により接地短絡して大電流が発生し、アーク放電が発生するかどうかと考えられる。

熱伝播が発生するかどうかは、アース線接続の有無により接地短絡して大電流が発生し、アーク放電が発生するかどうかと考えられる。

○ メインバッテリー損壊の経過に関する分析 (3.8)



- CTスキャン画像から判断されるベントの順番は

以下のとおり推定

- 3番セル → 2番セル → 1番セル
- 6番セル → 7番セル → 8番セル

- 熱暴走の起点セルは、以下の理由により6番セルと推定

- セルケースとブレースバーの短絡が発生した場合、バッテリー電圧の記録が11V以下になるのは、6番セルの場合である。
- 角田試験の形態2と6番セルのセルケースとブレースバーの溶着の酷似

- コンタクターの開閉が同機のメインバッテリーでも発生したと推定

熱暴走の起点セルは、6番セルと推定

同機のメインバッテリーでも、セルのベントによるコンタクターの開閉が発生したと推定

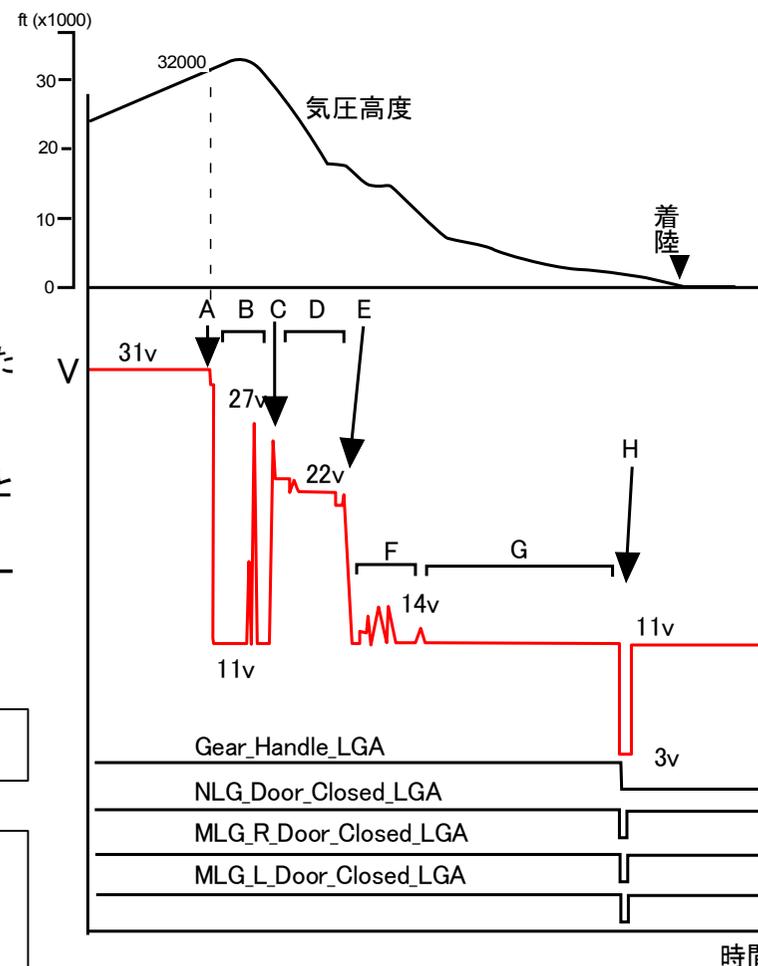
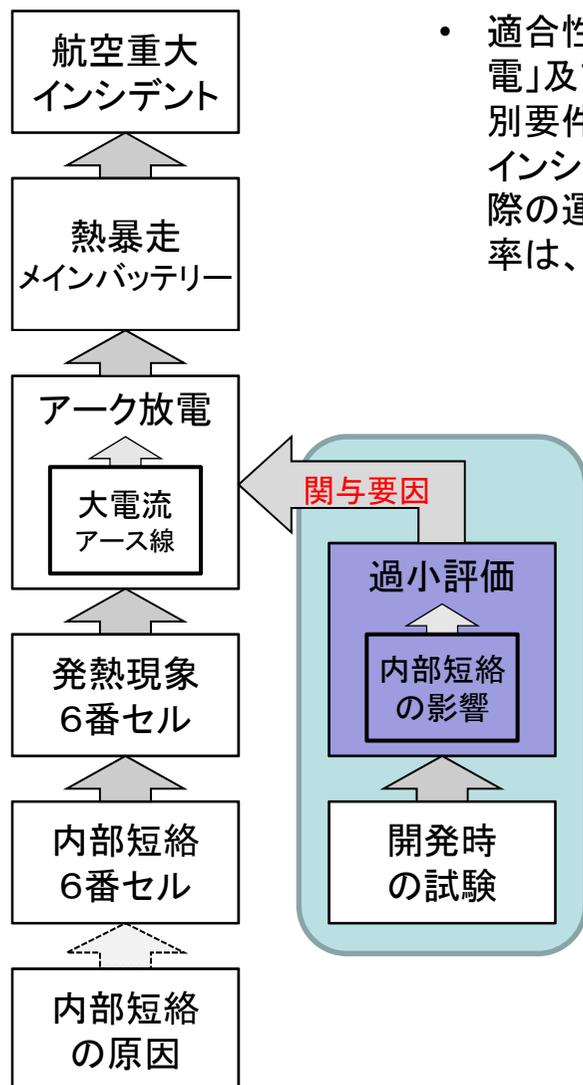


図3.8.3-1 メインバッテリー電圧変化(分析)

○ 型式証明 (3.12)



- 適合性見解書において、FAAは、LIBの危険性として、故障モードとして「過充電」及び「過放電」並びに「セル材料の燃焼性」のみに注目していた。FAAは、特別要件の検討時に内部短絡の危険性を過小評価したものと考えられる。本重大インシデント発生時の787全機の総飛行時間が約5万時間であったことから、実際の運用実績による煙を伴うベント(Vent without Fire)事案の統計的な発生確率は、設計時の許容発生確率を大きく上回る結果となった。

- セルの故障確率の計算時には、787用バッテリーと材料の異なる類似産業用大型LIBの実績を使用
- セルの故障確率の計算では信頼水準を60%と想定
- 機体搭載時の状態を模擬していない試験を根拠に、内部短絡のリスクを過小評価して、TC試験を行わなかったことは、適切ではなかったものと推定
- 現在、LIBの耐空性審査基準であるTSO-179aが参照するよう指示しているRTCA/DO-311では、内部短絡を適切に模擬する具体的試験方法が示されていない。航空機搭載の環境条件を適切に模擬する内部短絡試験が実施されるよう、RTCA/DO-311を改正すべきである。

機体搭載時の状態を模擬していない試験を根拠に、内部短絡の危険性を過小評価したものと考えられる。

実際の運用実績による統計的な発生確率は、設計時の許容発生確率を大きく上回る結果

仏国からの意見 (別添3)



BEA
Bureau d'Enquêtes et d'Analyses
pour la Sécurité de l'Aviation Civile

Proposed comments to append

Charging at low temperature

The coldest temperature outside the airplane during grounding was only minus 2.6 degree Celsius.

Experimentation on electrolyte viscosity and performances demonstrate that these condition do not affect this battery in the operating Temperature range (-18°C to +70°C).

External laboratories performed numerous tests to attempt to create lithium metal in the LVP65 cells with harsh constraints more severe than those recorded in the three incident without any conclusive results.

Oscillation of charging current

The BEA considers that the oscillations observed are due to the pre load circuit of the BCU equipment. This phenomenon occurs at the end of the charging phase when BCU is in Constant Voltage (CV) mode.

External independent laboratories performed similar tests in order to investigate on this phenomenon. The test results clearly demonstrate that such "noisy" oscillations have no effect on the battery or on a cell safety and performances. The magnitude of current measured is smaller and doesn't induce heat or any negative effect on battery.

The BEA concurs to this conclusion that oscillations have no negative effect on the safety or on the performance of the battery or cell.

Wrinkles or gaps in anode caused by manufacturing or by repeated charging/discharging

GS YUASA performed 125 charging/discharging tests, using cold temperature at -23°C charge voltage rate at 4.2V and charge current rate at 70 Amperes on LVP65 cells without any evidence of creation of lithium metal deposit and with no conclusive result on an internal short, heat generation and venting.

The BEA concurs to the fact that wrinkles are a very unlikely contributing factor to the incident.

Proposed safety recommendations

1

The BEA suggests to take into account the various reports established during the battery investigations and the Thales testing and to modify the recommendation towards FAA and Boeing as follows:

"Although this investigation could not identify the mechanism of the internal short circuit, the Federal Aviation Administration should instruct The Boeing Company to:

Aéroport du Bourget
Case 502 - Bâtiment 133
200 rue de Paris
75002 Le Bourget Cedex
France
Tel : +33 1 49 92 72 00
Fax : +33 1 49 92 72 00
www.bea.aero

仏国からの意見 (仮訳)

• 低温下での充電

地上係留中の機外の最低気温は零下2.6°Cまでしか下がらなかった。

電解液の粘度及び性能に関する試験では、バッテリーの運用温度範囲(-18°C~+70°C)において、上記の温度はバッテリーの性能に影響を与えないことが確認されている。

外部研究機関が、LVP65セルを使用して、3つの事案より厳しい条件のもと、リチウム金属を析出させようと試みたが決定的な結果は得られていない。

• 充電電流の振動

BEAは、確認された(充電電流の)振動は、BCUに最初から組み込まれている回路によるものと考える。この現象は、BCUの定電圧充電モードの最後の段階で発生する。

独立研究機関の試験で、この電流振動(noisy oscillations)はバッテリー／セルの安全性及び性能に悪影響を与えないことが確認されている。電流値は小さく熱を発生させるものではなく、またバッテリーに悪影響を与えるものでもない。

BEAは、充電電流の振動は安全、バッテリー又はセルに悪影響を与えないという結論に同意している。

• 製造又は充放電の繰り返しによる負極付近のしわ又は隙間

GSユアサ社でLVP65セルに対して、-23°C、4.2V、70Aという環境で125回充放電を行う試験を実施したが、リチウム金属の析出も熱の発生によるベントを伴う内部短絡も発生しなかった。

BEAは、しわが高松事案の関与要因であるということは非常に可能性が低いということに同意している。

仏国からの意見 (別添3)

BEA

- Continue studies of the internal short circuit mechanisms considering the effects of internal and external phenomenon that potentially impact the lithium-ion batteries in operational conditions, such as the aircraft electrical environment and particularly the risk associated to potential transient current and voltage.
- Continue studies on the impact of other environmental parameters such as humidity and vibrations.
- Continue efforts to improve the lithium-ion batteries quality and its reliability*.

- 2
- In addition, the BEA suggests another safety recommendation: During the investigation it appeared that the Digital Flight Data Recorder didn't record the Main Battery Current as it is done for the APU battery. As this information would be of help for the contributing factors determination, the BEA proposes to the JTSB to add, in the chapter 6.2 (Measures to be Taken to Supervise The Boeing Company as a Designer and Manufacturer of the 787), a recommendation as follows :
"The Federal Aviation Administration should instruct The Boeing Company to:
- add the recording of the Main Battery current by the DFDR with an appropriate current range".

仏国からの意見(続き) (仮訳)

• 安全勧告について

1. BEAは、調査中に入手した報告書の内容及びタレス社の試験結果を取り入れ、FAA及びボーイング社に対する安全勧告を以下のように修正することを提案する。
 - 運用環境(例えば航空機電気環境及び特に電流及び電圧の潜在的過渡現象)において、内部及び外部の現象がリチウムイオンバッテリーに及ぼす潜在的影響を考慮し、内部短絡のメカニズムに関する研究を継続すること
 - 他の環境変数(例えば湿度及び振動)の影響に関する研究を継続すること
 - リチウムイオンバッテリーの品質及び信頼性を向上させる努力を継続すること
2. さらに、BEAはもう一つ安全勧告を提案する。調査において、APUバッテリーの場合と違い、DFDRはメインバッテリー電流を記録していなかった。電流に関する情報は関与要因の決定に資するものであることから、BEAは、6.2(同機的设计・製造者であるボーイング社に対して指導すべき措置)に以下を追加することを提案する。
 - FAAは、適切な電流幅でバッテリー電流値がDFDRで記録されるよう、ボーイング社を指導すること