

日本航空のボーイング式 787 型機におけるバッテリー不具合について（調査結果）

平成 26 年 12 月 19 日
航 空 局

- 所属： 日本航空株式会社（JAL）
- 型式： ボーイング式 787-8 型
- 登録記号： JA834J
- 発生日時： 平成 26 年 1 月 14 日 16 時 15 分頃
- 調査事項： 成田国際空港におけるバッテリー不具合事案

1. 事案の概要

- a) 1 月 14 日（火）16:15 頃、成田空港（72 番スポット）において、日本航空の 787 型機の出発準備作業中（前便北京 09:25 発、到着時刻 12:32、出発予定時刻 18:05）に、コックピット内の整備士が、機体胴体下方から煙が漂っていることを視認。すぐに機体外部に出て確認をしたが、煙は確認できなかった。その後、同整備士がコックピットに戻ったところ、メインバッテリー及びメインバッテリー充電器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。その際のメインバッテリーの電圧表示は 27V であった。

なお、前便フライト中にはバッテリー電圧の異常を示すメッセージは発出されていない。（最大電圧 32V、最小電圧 30V）

また、駐機中、当該機には地上外部電源から電源が供給されていた。

- b) 機体を格納庫に移動した後、バッテリー覆い箱を開けたところ、バッテリー覆い箱の内部に電解液が飛び散った跡が見

られた。また、8つのバッテリーセルの内1つ（第5セル）の安全弁の作動を確認した。



バッテリー外観（第5セルの安全弁（一番右）のみ作動）

- c) また、機体胴体下部に設けられた、バッテリー覆い箱からの煙、ガス等を外部に排出するための排気口周辺に茶色い液体が付着していた。



排気口周辺の外観

- d) バッテリー覆い箱の周辺の電気室内には、損傷等はなかった。



バッテリー覆い箱周辺の状況

- e) なお、当該事案は地上駐機中であり、重大インシデントには該当しなかったため、航空局が主体となり、運輸安全委員会、NTSB、FAA、ボーイング社、タレス社、GSユアサ社、JAL 及び ANA の参加・協力を得て調査を実施した。

2. 航空機及びバッテリーに関する情報

(1) 航空機

製造番号： 34842
製造年月日：2013年2月21日
デリバリー：2013年6月12日
総飛行時間：2,686時間（事案発生時点）

(2) メインバッテリー

部品番号： B3856-902
製造番号： 00001586
製造年月日：2013年5月9日
本事案発生時のメインバッテリーの総飛行時間及び総飛行回数： 2,686時間、349回

(当該航空機デリバリ一時から搭載され、本事案により初の取りおろし)

(3) メインバッテリー充電装置

部品番号： C3808-901

製造番号： 1135876

製造年月日：2013年3月26日

本事案発生時のメインバッテリーの総飛行時間及び総飛行回数： 2,686時間、349回

(当該航空機デリバリ一時から搭載され、本事案により初の取りおろし)

3. 調査の実施

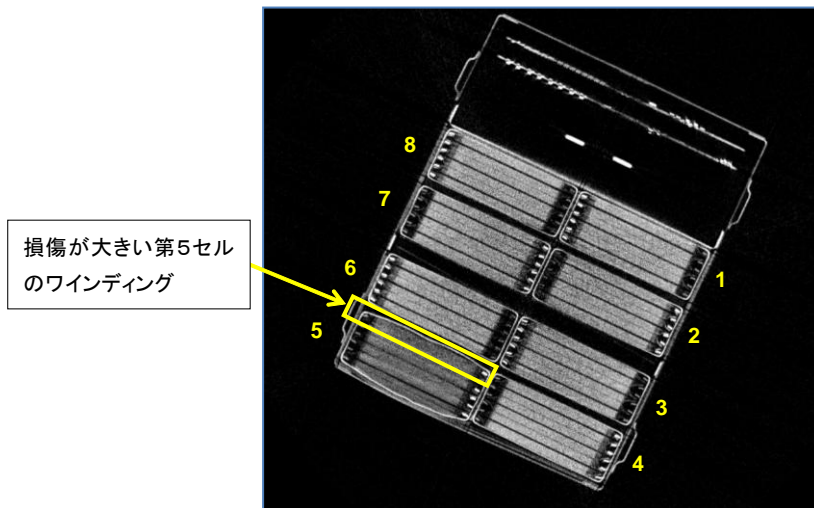
(1) バッテリー

- a) 成田空港において、バッテリー覆い箱及びその周辺の実機確認、バッテリーの外観検査、バッテリー本体及び各セルの電圧測定、バッテリーの抵抗測定（1月14日～18日）



バッテリー内部の状況

- b) JAXA（三鷹）におけるバッテリー全体の CT スキャン
（1月19日～20日）



CT スキャン画像

- c) GS ユアサ社（京都）において以下の検査を実施
（1月21日～2月14日）
- ① バッテリーケース内の部品の取り外し
 - ② 取り外し部品の外観検査
 - ③ セル単体の外観検査、電気特性取得及び CT スキャン
 - ④ 第5セルの分解検査
 - ⑤ 第6セルの分解検査



第 5 セル（安全弁が作動したセル）

- d) ボーイング社（米国シアトル）における第 2 セルの分解検査（3 月 4 日～6 日）
- e) GS ユアサ社（京都）における第 3 セルの分解検査（3 月 31 日～4 月 3 日）
- f) ボーイング社（米国シアトル）における第 4 セルの分解検査（5 月 13 日～15 日）
- g) GS ユアサ社（京都）及びボーイング社（米国シアトル）における分解したセルから採取した物質の化学分析（2 月 15 日～9 月 19 日）
- h) GS ユアサ社（京都）における、本事案以外の ANA 機/JAL 機から取卸したメインバッテリー/APU バッテリー（約 1 年使用）の詳細検査（8 月 5 日～9 月 9 日）

(2) バッテリー監視装置（BMU）

- a) BMU 製造会社（藤沢）における出荷前検査（ATP）の実施（1 月 23 日）

(3) バッテリー充電装置 (BCU)

- a) BCU 製造会社（米国アリゾナ州）における出荷前検査（ATP）の実施（1月29日～30日）

4. 調査で判明した事実

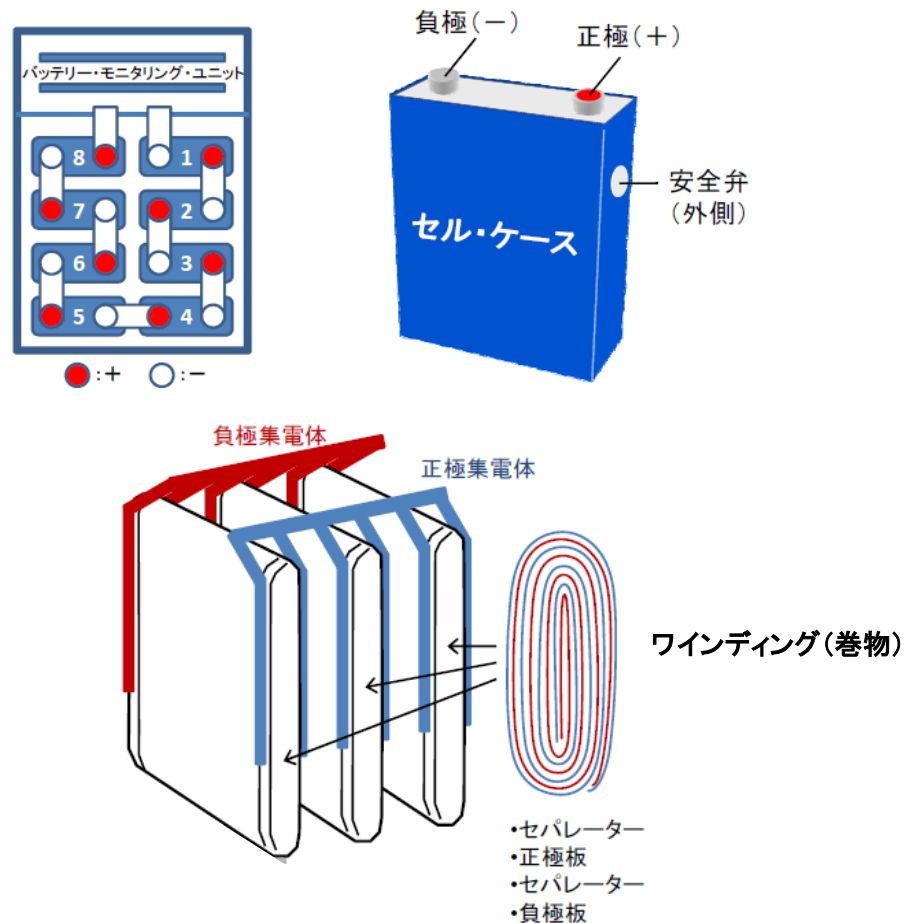
(1) 概要

- a) メインバッテリーの第5セルが過熱・損傷し、同セルの安全弁が作動した。
- b) メインバッテリー覆い箱周辺はきれいな状態であり、周辺機器に影響はなかった。
- c) バッテリー監視装置 (BMU) 及びバッテリー充電装置 (BCU) に異常は認められなかった。
- d) 本事故発生直後においては、損傷した第5セルの電圧は失われていたものの、他のセルの電圧が維持されていた。
- e) 第5セルに隣接する第6セルは、一部熱等の影響が確認されたものの機能的には問題なかった。
- f) セル間の電解液の液面の高さに不均一が認められた。また、一部の分解したセルのワインディング（巻物）の電極板上から微量のリチウム金属と疑われる物質が観測された。さらに、セル・ワインディングの負極板上に皺が形成されていることが確認された。
- g) 成田空港においてバッテリーの蓋を開けたところ、セル上部の絶縁保護板裏面（セル側）やバスバー上に水滴が観測された。

また、GS ユアサ社においてバッテリーの分解検査を実施中、バッテリーケース内の側面や下面（ドレインホール近傍）等

に水分の痕跡が観測された。

(2) 詳細



1) バッテリー周辺機器

- メインバッテリー覆い箱周辺はきれいな状態であり、周辺機器に影響はなかった。
- バッテリー充電装置 (BCU) について、製造会社 (米国アリゾナ州) における出荷前検査 (ATP) を実施したところ、異常は認められなかった。

2) バッテリーの分解検査 (セルの分解検査結果については 3) 参照)

- メインバッテリーの 8 つあるバッテリーセルのうち第 5 セ

ルが過熱・損傷し、同セルの安全弁が作動していた。

- b) 第5セルは膨張しており、正極集電体（アルミニウム）の一部が溶断していた。
- c) セル毎のCTスキャンでは、第5セル以外のセルに損傷は認められなかった。
- d) 第5セルの周辺で一部損傷を確認した（例：上部カバーの変色、熱によるフレームの変形）。
- e) 第5セル以外の他のセルについて詳細な電気特性の調査を実施。第6セルについては、詳細電気特性試験においてわずかに電圧低下傾向（180時間経過後に約0.05Vの微少な電圧低下）を示していた。第6セル以外については特段の問題が無いことを確認した。
- f) バッテリー監視装置（BMU）について、製造会社（藤沢）における出荷前検査（ATP）を実施したところ、異常は認められなかった。
- g) セル間の電解液面高さの不均衡

CT スキャンにより全てのセルの電解液量を比較したところ、ベントした第5セル以外のセルの電解液面高に若干の不均衡があることを確認し、セルケースに漏れが生じている可能性が考えられた。しかし、（第5セル以外の）全てのセルに対して実施されたセルの気密性を確認するヘリウムリークテストでは、全てが工場出荷時の基準を満たしていることが確認されたことから、電解液が漏れている事実は確認できなかった。

なお、その後の調査により、正常なバッテリーにおいても、運用中に電解液の液面の高さにはばらつきが生じることが確認されている。

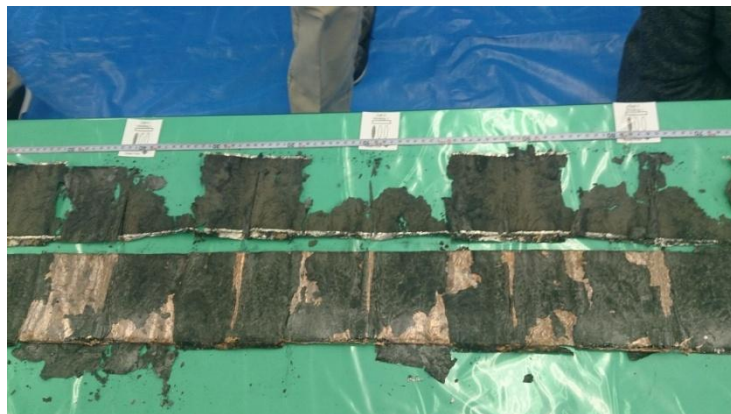
3) セルの分解検査

- a) セルの損傷状況
第5セルの3つのワインディングは全体に損傷しており、

特に第6セル側のワインディングの損傷が大きく、分解作業を実施したが、発熱源を特定することは出来なかった。

また、第5セルの正極集電体（アルミ、融点約660℃）6本のうち、第6セルに近い側の2本が溶断していた。

第5セルに隣接する第6セルの3つのワインディングのうち、第5セル側のワインディングのセパレータ（多孔質のプラスチック・フィルム、融点約130℃）は熱の影響を受け、外周部の一部に変色、変質及び収縮等があったものの、正負極板の何れにもエッジショートの様子は見られなかった。



第5セルの分解検査状況

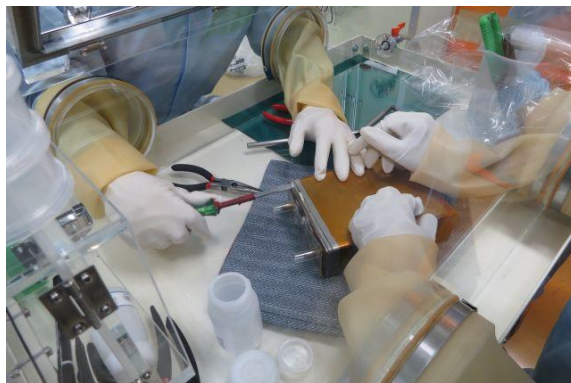
b) セル内部でのリチウム金属の析出、金属片の混入

第5セルについては損傷が激しく、セパレータはすべて熱により溶けたと思われる。また、特に第6セルに隣接するワインディングの正極板の基材（アルミ箔、融点約660℃）の多くが中心に行くに従って消失していた。第5セル内部に残存した電極から複数のサンプルを採取し分析したが、セルの外部に由来するような物質は検出されなかった。

一方、第5セル以外の他のセルはベントしなかったため、第5セル以外のセルのうち、4つのセル（第2、3、4及び6）について不活性ガスを充填したグローブボックスを使用した詳細な分解検査を実施し、数多くのサンプルを採取の上、化

学分析や顕微鏡解析を行った。

この分解検査において、第2セル、第3セル及び第4セルのワインディングから鉄、銅及びアルミの金属片（直径10～200ミクロン程度のものが複数個）が見つかった。

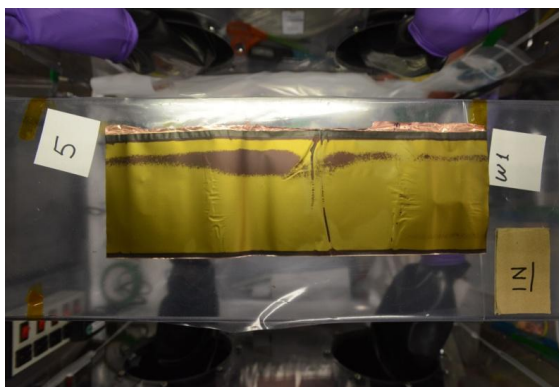


グローブボックスを使用したセルの分解検査

また、第3セルのワインディングの負電極板上から小さな白灰色の蓄積物（1ヶ所）が観測され、X線光電子分光法（XPS）による元素分析の結果、リチウム金属の可能性が考えられた。

これ以外のサンプルからも極微細な様々な物質が見ついているが、セルの機能に直接影響するような物質は検出されておらず、特段の異常は見つからなかった。

c) セル・ワインディングの皺



負電極板上に形成された皺

第5セル以外のセル（第2、3、4及び6の計4セル）を、電極板上の充電状況を容易に判別するため、第2、3及び4セルについては充電率100%の状態にして、第6セルについては充電率を30%の状態にして、それぞれ分解を行ったところ、各セルの負極板上に皺が形成されていることが確認された。なお、第6セルについては部分的に熱の影響を受けていたこと及び詳細電気特性試験の結果を踏まえ、更なるダメージが生じることを防止するため、充電率を30%の状態での分解を実施した。

4) その他の調査

- a) ANA機/JAL機から取卸したメインバッテリー/APUバッテリー（約1年使用）の詳細検査
バッテリー及びセル性能検査（抵抗値検査、充放電電圧測定及び放電テスト等）及びセル詳細検査（CTスキャン等）を実施し、全ての点検項目において異常は見つからなかった。

5. 検討

- a) ボーイング社は、平成25年1月に発生したボストン事案及び高松事案を受け、バッテリーの設計変更、バッテリー充電装置の変更及びバッテリー覆い箱の設置等の是正措置を講じた。本成田事案は、これらの是正措置が講じられたバッテリーにおいて初めて発生した発煙事案である。
- b) ボストン及び高松事案では、全てのセルのワインディングが熱による影響を受けて損傷したが、成田事案ではメインバッテリーの内部で第5セルのみが過熱・損傷している。また、

バッテリー覆い箱周辺の電気室内には損傷等は発生していない。

- c) 事案発生直後のメインバッテリーの電圧は 27V（定格 31V に対し、セル 1 つ分の電圧低下に相当）であった。本事案発生直後においては、損傷した第 5 セルの電圧は失われていたものの、他のセルの電圧が維持されており、メインバッテリー・システムは運航の継続に必要な能力を維持していたものと考えられる。
- d) 第 6 セルの、第 5 セルに隣接するワインディング中のセパレータが一部変色、変質及び収縮していたことは第 5 セルの熱の影響によるものと考えられる。しかし、セル内には短絡痕や特段の異常は認められなかったことから、事案発生時に当該セルは十分な性能を有していたと考えられる。
- e) このことは、ボストン・高松事案後に講じられた下記の 3 段階による是正措置（今回は 3 段階の対策のうちの第 2 段階と第 3 段階）が意図したとおり機能し、安全運航の維持・継続の観点から有効であったことを示している。

【3 段階の対策】

第 1 段階： バッテリー・セルの過熱の防止

第 2 段階： 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・セルへの熱の伝播の防止

第 3 段階： 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

- f) バッテリー覆い箱内外部、バッテリー内外部には外部短絡を示す証拠（電線の損傷、アーク痕や機械的な損傷）が残っていないことから、第 5 セルの過熱現象は、内部短絡によるものと思われる。第 5 セルの正極集電体 6 本のうち、第 6 セルに最も近い側の 2 本が熔断していたのは、第 6 セルに最も近いワイン

ディングに内部短絡が発生し、当該ワインディング中の電気エネルギーが使い果たされた後に、並列に接続された他の二つのワインディングから電流が流れ込み、その結果、溶断したものと思われる。

- g) セル内部での金属片の混入やリチウム金属の析出は内部短絡の原因となる可能性があると言われていたことから、セルの分解検査を行ったところ、第5セル以外のセルから金属片及びリチウム金属と疑われる白灰色の蓄積物が観測された。

金属片には鉄、銅及びアルミが含まれていた。これらはセル構成部品と同じ材質であることからセル分解時に混入した可能性も考えられたが、金属片がどの時点で混入したかの結論は得られなかった。

また、これら以外の様々な金属物質も観測されたが、いずれも微細なものであった。

セルが正常に動作していたことを踏まえると、観測されたこれらの金属が直ちに内部短絡につながるとの関係を示すには至らなかった。

リチウム金属の検出については、その分析作業は極めて難しく、今回の分析でもリチウム金属と疑われる小さな白灰色の蓄積物が観測されたのみであり、リチウム金属と確認されたものではない。また、疑いが持たれた金属も極めて微量であり、内部短絡を引き起こす可能性は極めて低いと考えられる。

- h) 負極板上に確認された皺については、正負極版の距離の不均衡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と言われていたが、本事案においてもリチウム金属と疑われる物質が極めて微量検出されたのみであり、皺が直ちに内部短絡につながるとの関係を示すには至らなかった。
- i) セル間の電解液の液面の高さの不均衡については、通常運用中のバッテリーにおいてもセルにわずかな膨れが発生し、電解液の液面の高さにはばらつきが生じることが確認されており、ま

たセルの気密性を確認するヘリウムリークテストにおいても、全て工場出荷時の基準を満たしていることが確認されたことから、電解液の漏れが有ったことは確認できなかった。

- j) 成田空港においてバッテリーの箱を開けた際に観測された水滴については、分析の結果、中性水（pH7）であることは分かった。どの時点で混入したのかを明らかにすることは出来なかったが、セルのベント後に、高温の水蒸気が、時間の経過と共に結露した可能性が考えられた。
- k) ボストン、高松及び本事案が全て1月の寒冷期に発生していることから、低温環境が内部短絡を引き起こすメカニズムについて検討したが、これを明らかにすることは出来なかった。

6. 結論

- a) 過熱・損傷したセルを除き、セルの電氣的な検査、分解検査等を行った結果、過熱したセルに隣接するセル（第6セル）に一部熱の影響が認められたが、過熱した一つのセルを除く全てのセルについて機能上の問題はなく、運航の継続に必要な機能は維持されていた。

このことから、昨年の事案を踏まえて講じた対策が、セル間の過熱の伝播及びバッテリー全体の損傷の防止に有効なものであったことが確認された。

- b) 一方で、4. 及び5. で記述したように、内部短絡によりセルの発熱を引き起こす可能性のある要素として金属片の混入、リチウム金属の析出、電解液のリーク、およびセル・ワインディングの皺等の関与を検討したが、本事案が発生した際の環境で過熱を起こすことを裏付ける客観的な事実を確認することは出来ず、過熱に至った原因は特定できなかった。

7. 今後の対応

- a) 本成田事案においては、3段階の対策のうち、第2段階及び第3段階の対策が適切に機能し、安全な運航の継続に必要な機能は維持されており、昨年の事案を踏まえて講じた対策が、セル間の過熱の伝播及びバッテリー全体の損傷の防止、ひいては航空機全体の安全の確保に有効なものであることが確認された。
- b) しかしながら、ボストン、高松事案に引き続き、本事案において一つのセルが過熱・損傷した事実を踏まえ、利用者の安心を確保する観点から、セル及びバッテリーシステムの信頼性を更に向上させることが必要であると考えます。
- このため、
- ① ボーイング社は、本事案の他、高松、ボストン事案それぞれの調査を通して指摘される潜在的な要因等について更に検討を行い、設計改善の検討を加速し、実施すべき設計変更に係る認証を早期に取得すると共に、同設計変更を航空会社へ早期に提供する必要がある
 - ② 運航者はボーイング社により用意された設計変更を出来る限り早期に採用し、実施する必要があると考えられる。
- c) 航空局としては、上記を実現するため、FAA、ボーイング社、運航者等と引き続き密接に連携することとしている。