

航空重大インシデント調査報告書

I 全日本空輸株式会社所属

ボーイング式737-800型 JA85AN

航空機に装備された1又は2以上のシステムにおける航空機の航行の安全に
障害となる複数の故障

II 東北エアサービス株式会社所属

川崎式BK117B-2型（回転翼航空機）JA6620

つり下げ輸送中における物件の落下

III 中日本航空株式会社所属

アエロスパシアル式AS332L1型（回転翼航空機）JA6717

つり下げ輸送中における物件の落下

平成30年9月27日

本報告書の調査は、本件航空重大インシデントに関し、運輸安全委員会設置法及び国際民間航空条約第13附属書に従い、運輸安全委員会により、航空事故等の防止に寄与することを目的として行われたものであり、本事案の責任を問うために行われたものではない。

運輸安全委員会
委員長 中橋 和博

《参 考》

本報告書本文中に用いる分析の結果を表す用語の取扱いについて

本報告書の本文中「3 分 析」に用いる分析の結果を表す用語は、次のとおりとする。

- ① 断定できる場合
・・・「認められる」
- ② 断定できないが、ほぼ間違いない場合
・・・「推定される」
- ③ 可能性が高い場合
・・・「考えられる」
- ④ 可能性がある場合
・・・「可能性が考えられる」
・・・「可能性があると考えられる」

I 全日本空輸株式会社所属
ボーイング式737-800型 JA85AN
航空機に装備された1又は2以上のシステムにおける航空機の航行の安全に障害となる複数の故障

航空重大インシデント調査報告書

所 属 全日本空輸株式会社
型 式 ボーイング式737-800型
登 録 記 号 JA85AN
インシデント種類 航空機に装備された1又は2以上のシステムにおける航空機の航行の安全に障害となる複数の故障
発 生 日 時 平成28年5月27日 08時22分ごろ
発 生 場 所 東京国際空港

平成30年8月23日

運輸安全委員会（航空部会）議決

委 員 長 中 橋 和 博（部会長）
委 員 宮 下 徹
委 員 石 川 敏 行
委 員 丸 井 祐 一
委 員 田 中 敬 司
委 員 中 西 美 和

要 旨

<概要>

全日本空輸株式会社所属ボーイング式737-800型JA85ANは、平成28年5月27日（金）、同社の定期561便として東京国際空港を08時22分に離陸し上昇中、08時27分、客室与圧の低下を示す警報装置が作動したため引き返し、09時11分に着陸した。同機を詳細に点検したところ機体構造に損傷等は認められなかったが、左右のエンジンから抽気した空気を各空調装置に取り入れるためのそれぞれのバルブが、一時的に両方とも故障して閉じていたことが確認された。

同機には、機長ほか乗務員5名及び乗客164名の計170名が搭乗しており、このうち乗客1名が軽傷を負った。

<原因>

本重大インシデントは、左側空調装置が一時的に停止する不具合が運航乗務員や整備士に認識されないまま J A 8 5 A N の運用が継続されていたところ、同便の離陸時に左側空調装置の停止に続いて使用時間及び使用環境が同じ右側空調装置も停止したため、与圧が確保されなくなったものと推定される。

左右の空調装置が停止したのは、いずれも、空調装置への空気流量を調整するバルブ（e F C V）の内部にあるリファレンス・レギュレーターが固着していたため、ブリード圧の上昇によって e F C V が閉じ、空調装置へ空気が供給されなくなったことによるものと考えられる。

本報告書で用いた略語は、次のとおりである。

ACAU	: Air Conditioning Accessory Unit
ACMS	: Aircraft Condition Monitoring System
ACARS	: Aircraft Communication Addressing and Reporting System
ALT	: Altitude
ALTN	: Alternate
AUTO	: Automatic
CPC	: Cabin Pressure Controller
CVR	: Cockpit Voice Recorder
ECS	: Environmental Control System
eFCV	: electronic Flow Control Valve
FCSOV	: Flow Control and Shutoff Valve
FDR	: Flight Data Recorder
FL	: Flight Level
FLT	: Flight
fpm	: feet per minute
ft	: feet
MCDU	: Multi-Purpose Control Display Unit
NTSB	: National Transportation Safety Board
OFV	: Outflow Valve
PACK	: Package
PF	: Pilot Flying
PFTC	: Pack Flow Temperature Controller
PM	: Pilot Monitoring
PPRV	: Positive Pressure Relief Valve
P/N	: Parts Number
psi	: pounds per square inch
psid	: pounds per square inch differential
QAR	: Quick Access Recorder
slfpm	: sea level feet per minute
S/N	: Serial Number

单位换算表

1 ft	: 0.3048 m
1 in	: 25.40 mm
1 nm	: 1,852 m
1 lb	: 0.4536 kg
1 kt	: 1.852 km/h (0.5144 m/s)
1 atm(气压)	: 1,013 hPa (29.92 inHg)
1 psi[lbf/in ²]	: 0.07031 kgf/cm ² (6894.76 Pa)

1 航空重大インシデント調査の経過

1.1 航空重大インシデントの概要

全日本空輸株式会社所属ボーイング式737-800型JA85ANは、平成28年5月27日（金）、同社の定期561便として東京国際空港を08時22分に離陸し上昇中、08時27分、客室与圧の低下を示す警報装置が作動したため引き返し、09時11分に着陸した。同機を詳細に点検したところ機体構造に損傷等は認められなかったが、左右のエンジンから抽気した空気を各空調装置に取り入れるためのそれぞれのバルブが、一時的に両方とも故障して閉じていたことが確認された。

同機には、機長ほか乗務員5名及び乗客164名の計170名が搭乗しており、このうち乗客1名が軽傷を負った。

1.2 航空重大インシデント調査の概要

本件は、航空法施行規則（昭和27年7月31日運輸省令第56号）第166条の4第9号で規定する「航空機に装備された1又は2以上のシステムにおける航空機の航行の安全に障害となる複数の故障」に該当する事態として平成28年5月31日（火）に航空重大インシデントと認定された。

1.2.1 調査組織

運輸安全委員会は、平成28年5月31日、本重大インシデント発生への報告を受け、調査を担当する主管調査官ほか2名の航空事故調査官を指名した。

本重大インシデントに関し、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構に關係装備品の内部調査について協力を得た。

1.2.2 関係国の代表

本調査には、重大インシデント機の設計・製造国であるアメリカ合衆国の代表が参加した。

1.2.3 調査の実施時期

平成28年 5 月 3 1 日	関係書類調査
平成28年 6 月 1 日	機体調査及び関係書類調査
平成28年 6 月 6 日	口述聴取
平成28年 6 月 7 日	機体調査（地上試験）
平成28年 6 月 1 6 日	機体調査（飛行試験）

平成28年7月6日	左右のeFCV ^{*1} の内部調査
平成28年7月20日 及び21日	左右のeFCVの機能試験（単体試験）及び右側 eFCVの分解調査
平成28年8月16日 及び17日	左側eFCVを使ったシステム・レベル試験 ^{*2}
平成28年9月28日	左右のACAU ^{*3} の機能試験（単体試験）
平成28年10月21日	左右のPFTC ^{*4} 、流量センサー ^{*5} 及び圧力 センサー ^{*6} の機能試験（単体試験）
平成28年10月27日	左側eFCVの分解調査

1.2.4 原因関係者からの意見聴取

原因関係者から意見聴取を行った。

1.2.5 関係国への意見照会

関係国に対し、意見照会を行った。

2 事実情報

2.1 飛行の経過

全日本空輸株式会社（以下「同社」という。）所属ボーイング式737-800型JA85AN（以下「同機」という。）は、平成28年5月27日、当日最初の運航となる同社定期561便（以下「同便」という。）として東京国際空港（以下「同空港」という。）を離陸し、上昇していた。

*1 「eFCV」とは、electronic Flow Control Valveの略であり、電子制御により空調装置（Air Conditioning PACK）へ流入するエンジンから抽気された空気の流量を調整する流量制御バルブのことをいう。eFCVは整備マニュアル上は、従来の空気圧で制御されるバルブ（FCV）を含め一般にFCSOV：Flow Control and Shutoff Valveと表されている。

*2 「システム・レベル試験」とは、装備品一式を当該システム開発用のテスト・リグに取り付けて実施する試験のことをいう。今回のシステムレベル試験は、製造者による不具合要因分析に基づき、エンジンから空調装置への流量制御システムを試験するため、取卸したeFCV、PFTC、ACAU、流量センサー及び圧力センサーをテスト・リグに取り付けて実施された。

*3 「ACAU」は、Air Conditioning Accessory Unitの略であり、PFTCに機体の運航状況データを提供するため、他の装備品とインターフェースの役割をする機器である。

*4 「PFTC」は、Pack Flow and Temperature Controllerの略であり、空調装置に流入するエンジンからの抽気空気の流量、圧力、温度及び機体の運航状況の各種データを基に、eFCVの開度を調節して空調装置を制御し、機内の各区域の温度を制御する装置である。

*5 「流量センサー（Flow Sensor）」は、PFTCに提供する空調装置に流入する抽気空気流量を検知する。

*6 「圧力センサー（Pressure Sensor）」は、PFTCに提供する空調装置に流入する抽気空気圧を検知する。

同機の飛行計画の概要は、次のとおりであった。

飛行方式：計器飛行方式、出発地：東京国際空港、移動開始時刻：08時00分、巡航速度：462kt、巡航高度：FL^{*7}280、経路：JYOGA（ウェイポイント）～Y56（航空路）～（以下省略）、目的地：高知空港、所要時間：1時間09分、持久時間で表された燃料搭載量：2時間44分、代替空港：高松空港、大阪国際空港

本重大インシデント発生時、同機には、機長がPF^{*8}として左操縦席に、副操縦士がPM^{*8}として右操縦席に着座していた。

本重大インシデントに至るまでの同機の飛行経過は、飛行記録装置（以下「FDR」という。）、クイック・アクセス・レコーダー（以下「QAR」という。）、客室与圧制御装置^{*9}（以下「CPC」という。）に残されたFault Codeの記録及び管制交信の記録並びに機長、副操縦士及び主任客室乗務員の口述によれば、概略次のとおりであった。

2.1.1 FDR、QAR、CPC及び管制交信の記録に基づく飛行の経過

- 08時09分51秒 同機は、両エンジン始動後、左右の空調装置^{*10}が始動した。
- 同21分32秒 離陸滑走を開始（両エンジンの出力が増加）した。
- 同47秒 左側空調装置が停止した。
- 対気速度が増加し始め、アウトフロー・バルブ^{*11}（以下「OFV」という。）が閉じ始めた。
- 同59秒 OFVが全閉となった。
- 同22分12秒 同機が同空港を離陸した。
- 同25秒 右側空調装置が停止した。
- 同27分42秒 客室高度^{*12}の超過を示す警報装置が作動した。（付図2①参照、客室高度約10,100ft、飛行高度FL141）

*7 「FL」とは、標準大気の大気圧高度で、高度計規正値を29.92inHgにセットしたときの高度計の指示（単位はft）を100で除した数値で表される高度である。日本では、通常14,000ft以上の飛行高度はフライトレベルが使用される。例として、FL200は高度20,000ftを表す。

*8 「PF」及び「PM」とは、2名で操縦する航空機における役割分担からパイロットを識別する用語である。PFは、Pilot Flyingの略で、主に航空機の操縦を行う。PMは、Pilot Monitoringの略で、主に航空機の飛行状態のモニター、PFの操作のクロスチェック及び操縦以外の業務を行う。

*9 「客室与圧制御装置（CPC：Cabin Pressure Controller）」とは、アウトフロー・バルブ（OFV）により客室与圧を自動で制御する装置。2.9.3参照。

*10 「空調装置」とは、機内の空気を所望の温度に維持するものであり、一般にAir Conditioning PACK又はECS(Environmental Control System) PACKと呼ばれている。

*11 「アウトフロー・バルブ（OFV）」とは、客室から機外に放出する空気量を調整して客室与圧を制御するための圧力調整弁のことをいう。

*12 「客室高度」とは、高高度を飛行する航空機の乗員及び乗客を気圧変化から守り、安全性と快適性を確保するために機内（客室）に掛かる与圧（圧力）を標準大気の高高度で示したものをいう。なお、通常の客室高度は、航空機の最大運用高度において8,000ftを超えないようになっている。客室高度の超過を示す警報装置は客室高度が10,000ft以上になると作動し、客室与圧の低下を意味する。

- 同 29分35秒 東京管制区管制所（以下「東京コントロール」という。）にFL160を要求し、FL160が許可された。
- 同 30分04秒 左側空調装置が始動した。（付図2②左側参照）
- 同 08秒 右側空調装置が始動した。（付図2②右側参照）
（客室高度約14,000ft、飛行高度FL155）
- 同 15秒 全閉のOFVが開き始め、26%まで開いた後、再び全閉
～同 59秒 となった。（付図2③参照）
- 同 31分41秒 左側空調装置が停止した。（付図2④参照）
- 同 32分15秒 与圧モードを「AUTO(自動)」から「MAN(手動)」に切り替えた。（CPCに記録されたFault Codeによる。付図2⑤参照、客室高度約14,000ft、飛行高度FL160）
- 同 34分25秒 客室高度と同程度の高度に降下するため、東京コントロールにFL140を要求し、13,000ftへの降下が許可された。
- 同 34分52秒 左側空調装置が始動した。（付図2⑥参照）
- 同 36分05秒 客室高度の超過を示す警報が停止した。（付図2⑦参照）
（客室高度約9,000ft、飛行高度約13,700ft）
- 同 36分41秒 飛行高度13,000ftの水平飛行に移行した。
（客室高度約6,800ft。この後、13,000ftで水平飛行中、客室高度が緩やかに上昇。（付図2⑨参照））
- 同 37分20秒 左側空調装置が停止した。（付図2⑧参照）
- 同 41分25秒 東京コントロールに同空港への引き返しを要求した。
- 同 46分17秒 左側空調装置が始動した。（付図2⑩参照）
（客室高度約8,700ft、飛行高度約12,900ft）
- 同 46分25秒 東京コントロールに10,000ftへの降下を要求し、9,000ftへの降下が許可された。
- 同 48分43秒 飛行高度9,000ftの水平飛行に移行した。
- 同 50分28秒 客室高度が-8,000ftを下回った。（付図2⑪参照）
（客室と機外の差圧(ΔP) = 8.967psid)
- 同 50分29秒 与圧モードを「MAN(手動)」から「AUTO(自動)」に切り替えたことにより、OFVが開き始めた。（付図2⑫参照）
- 同 51分06秒 OFVが75%まで開いた。（付図2⑬参照）

同 1 6 秒 AUTO FAIL Light^{*13}及びALTN Light^{*13}が点灯した。(C P C に記録されたFault Codeによる。付図 2 ⑭参照)

同 3 2 秒 O F V が全閉となった。

同 3 6 秒 C P C が切り替わった。(C P C に記録されたFault Codeによる。)

0 9 時 1 1 分 0 0 秒 同機は同空港に着陸した。

2.1.2 関係者の口述

(1) 機長

出発前に機体の外部点検を行い、操縦室の計器類を確認したが、異常はなかった。エンジン始動後、地上走行、滑走路 0 5 からの離陸、1 0, 0 0 0 ft を通過時も問題はなく、体感で与圧の異常に気付くこともなかった。上昇中、抽気系統のエンジン・ブリード・エアーのダクト圧 (以下「ブリード圧」という。) の計器でエンジンからの抽気に問題ないことは確認したが、Cabin Altitude Panel で客室高度は確認していない。F L 1 4 0 を通過した頃、突然 Cabin Altitude Warning の警報灯及び警報音が作動した。F L 2 8 0 に上昇中だったが、最初にブリード圧と客室高度を確認し、上昇を止めるため、東京コントロールに高度変更を要求し、F L 1 6 0 が許可された。F L 1 6 0 の水平飛行への移行及び約 3 0 0 kt の上昇速度を 2 5 0 kt に減速して機体を安定させながら、酸素マスクを装着してコミュニケーションを確保し、副操縦士に Cabin Altitude Warning 時のチェック・リストを実施させた。副操縦士の操作を目視で確認すると共に、過去の事故事例を念頭に空調装置のスイッチ (以下「PACK スイッチ」という。)、Engine Bleed Air スイッチ及び与圧モード・セレクター・スイッチが適切な位置であるか何度も確認したが問題は無く、原因の特定はできなかった。チェック・リスト実施後も客室高度が降下しないため与圧が効いていないと判断し、酸素マスク・ドロップも気になったため、F L 1 6 0 から客室高度以下への降下を決断した。飛行高度 1 3, 0 0 0 ft まで降下し、客室内に異常が無いことを客室乗務員から確認した。その後、酸素マスクを外せる高度の 1 0, 0 0 0 ft へ降下するため東京コントロールに要求し、9, 0 0 0 ft へ降下する許可を得た。9, 0 0 0 ft への降下中又は水平飛行移行後、与圧が掛かる方向に客室と機外の差圧 (ΔP) がものすごい変化量で上昇しており、限界値の 9. 1 psi を越えること

*13 「AUTO FAIL Light」は与圧モード「AUTO(自動)」で作動している客室与圧制御に不具合が生じたことを示す注意灯であり、「ALTN Light」は与圧モード「ALTN」(代替)の自動与圧制御が作動していることを示す緑色灯である。2.11.4参照

を心配した。耳が詰まる感じがあり、Cabin Altitude Warningのチェック・リストを実施した際に副操縦士からO F Vは既に閉状態との報告を受けており、通常ではない位置だったのでO F Vも不調と認識していたため、一旦C P Cによる自動制御を試そうと考え、与圧モード・セレクター・スイッチを「MAN(手動)」から「AUTO(自動)」に切り替えたところ機能し、耳の詰まりが抜ける感じがした。運航中、何が起きているか分からなかった。

(2) 副操縦士

通常どおり離陸上昇してF L 1 4 0を過ぎた辺りで客室高度警報装置が作動した。上昇中、ブリード圧は確認したが、特に客室高度は見えていなかった。警報装置の作動時、客室高度は、1 2, 0 0 0 ftから1 3, 0 0 0 ftであった。2人とも酸素マスクを装着した。機長の指示で「Cabin Altitude Warning」のチェック・リストを実施し、両PACKスイッチを「HIGH」にして、与圧モード・セレクターを「AUTO(自動)」から「MAN(手動)」に切り替え、手動でO F Vを閉じようとしたが、既にO F Vの位置表示は全閉であった。表示の不具合の可能性も考えられたため、1 5秒ほどO F VをCloseする側にスイッチを保持した。表示上の動きは無かった。与圧の不具合であることは認識したが、客室高度の急激な上昇はなかったため、緊急降下するほどの緊急度はないというのが2人の認識であった。F L 1 6 0の水平飛行から1 3, 0 0 0 ftまで降下したところ、客室高度は7, 0 0 0 ftで落ち着いていた。何が起きているか正確には分からず不具合を抱えている状態だったため、同空港へ引き返すこととなった。

1 3, 0 0 0 ftで同空港へ戻る途中、客室高度が7, 0 0 0 ftから再び上昇に転じ、このままでは1 0, 0 0 0 ftを超過すると思った。飛行高度を9, 0 0 0 ftまで降下したが、その間に今度は客室高度が急降下（与圧が掛かる方向）していて0 ft以下にまで沈み込み、客室と機外との差圧(ΔP)の指示は限界値の手前を示していた。また、客室高度の変化率計が降下側（与圧が掛かる方向）に振り切れているのを確認した。耳の違和感は、F L 1 6 0から1 3, 0 0 0 ftに降下するときにもあったが、1 3, 0 0 0 ftから9, 0 0 0 ftへの降下中に一番強く耳が詰まる感じがあり、耳抜きした。機長が与圧モードを「MAN(手動)」から「AUTO(自動)」に戻したところ、気流が流れ込む音と共に冷気が操縦室に入ってくるのを感じた。また、客室乗務員から、「白い煙のようなものが見えた」との連絡を受けた。同空港への着陸準備中、Cabin Pressurization Panel上でアンバー色のAUTO FAIL Light及び緑色のALTN Light（図2参照）が同時に点灯しているのに気付き、オルタネート・モードであることを確認した。

(3) 主任客室乗務員

離陸して15分から20分ぐらいして、ベルト着用サインがそろそろ消える頃だと待っていたところ、機長から客室内で異常は感じないかの問合せと、与圧に不具合があるので同空港に引き返す可能性がある旨の連絡があった。その時点で異常は感じなかった。その5分ぐらい後に、直接機長が与圧の不具合により同空港に戻る旨を乗客にアナウンスした。その後少ししてから、耳が詰まる感じと客室の温度が低下する感じがしてきた。これまでで一番耳が詰まる感じがして、何回耳抜きしてもすぐに詰まるようになった。それと同時に白いもやが客室の上から下へと流れ、サイドからも吹き出すようになった。後方のギャレー及び最後列座席付近の頭上20cmぐらい上方に白いもやのようなものが滞留していた。臭いはなかった。機長への報告が客室前方及び後方の客室乗務員で同時だったため、客室内が同じ状況であることを知り、機長から白いもやのようなものは水蒸気であること等を説明され、そのやり取り中にもやは消えたので同時に機長に報告した。その頃、耳に激痛のある乗客から呼出しがあった。前から見て耳の痛みを気にしている乗客が多かったので、機長の許可を得て客室乗務員は4人とも離席してキャンディーを配るなど乗客の対応に当たった。

本重大インシデントの発生場所は、同空港の滑走路05を離陸直後であり、発生日時は平成28年5月27日08時22分ごろであった。

(付図1 推定飛行経路図 参照)

2.2 人の負傷

乗客1名が耳に軽傷を負った。

2.3 航空機の損壊に関する情報

同機の機体に損傷はなかった。

2.4 航空機乗組員に関する情報

(1) 機長 男性 50歳

定期運送用操縦士技能証明書（飛行機）	平成15年9月16日
限定事項 ボーイング式737型	平成8年6月20日
第1種航空身体検査証明書	
有効期限	平成28年9月2日
総飛行時間	10,352時間34分

最近30日間の飛行時間	50時間07分
同型式機による飛行時間	2,292時間52分
最近30日間の飛行時間	50時間07分
(2) 副操縦士 男性 29歳	
事業用操縦士技能証明書（飛行機）	平成24年10月19日
限定事項 ボーイング式737型	平成27年2月19日
計器飛行証明	平成25年7月3日
第1種航空身体検査証明書	
有効期限	平成28年10月8日
総飛行時間	1,045時間5分
最近30日間の飛行時間	51時間37分
同型式機による飛行時間	789時間30分
最近30日間の飛行時間	51時間37分

2.5 航空機に関する情報

2.5.1 航空機

型 式	ボーイング式737-800型
製造番号	62640
製造年月日	平成28年1月25日
耐空証明書	第2016-004号
有効期限	平成28年2月10日から整備規程（全日本空輸株式会社）の適用を受けている期間
耐空類別	飛行機 輸送T
総飛行時間	675時間11分
定期点検（A01C点検、平成28年4月24日実施）後の飛行時間	172時間29分
（付図3 ボーイング式737-800型三面図 参照）	

2.5.2 同機に装備される空調装置の電子的な流量制御システムについて

同機を含め、平成28年2月以降に航空機製造者（ボーイング社）から引き渡された同型式機は、空調装置に供給する空気流量の制御に関して抜本的な設計変更が施され、当時開発中のボーイング式737MAX型のシステムと共通性を有する電子的な流量制御システムが導入されている。電子的な流量制御に対応するため、eFCV及びPFTCを搭載し、PFTCは空調装置への流量が最適となるようにeFCVを制御している。

2.6 気象に関する情報

本重大インシデント発生直前、同機が同空港を離陸する直前の航空気象観測値は、次のとおりであった。

08時20分 風向 360°、風速 4kt、卓越視程 1,500m、同機が離陸した滑走路05のRVR 1,800m以上（直近の変化なし）、
現在天気 しゅう雨、もや、
雲 雲量1/8 雲形 層雲 雲底の高さ 100ft、
雲量5/8 雲形 積雲 雲底の高さ 300ft、
雲量6/8 雲形 積雲 雲底の高さ 1,500ft
気温21℃、露点温度21℃、
高度計規正值（QNH） 1,006hPa/29.73inHg

また、本重大インシデント発生2日前（平成28年5月25日）の徳島空港到着から本重大インシデント発生までの、同機の駐機時間帯における主な航空気象の観測値（天気、気温及び露点）は、次のとおりであった。

- (1) 徳島空港（25日21時02分に到着し、26日07時12分に東京国際空港へ出発する。）
 - 25日21時00分 天気 弱いしゅう雨、もや、気温20℃、露点温度19℃
 - 26日00時00分 天気 もや、気温20℃、露点温度19℃
 - 03時00分 天気 もや、気温20℃、露点温度20℃
 - 06時00分 天気 弱いしゅう雨、もや、気温20℃、露点温度20℃
- (2) 東京国際空港（26日08時36分に到着し、09時13分に大館能代空港へ出発する。）
 - 08時30分 気温23℃、露点温度20℃
 - 09時00分 気温23℃、露点温度20℃
- (3) 大館能代空港（10時19分に到着し、10時54分に東京国際空港へ出発する。）
 - 11時00分 気温24℃、露点温度19℃
- (4) 東京国際空港（12時14分に到着し、13時16分に宮崎空港へ出発する。）
 - 12時30分 気温24℃、露点温度20℃
 - 13時00分 気温24℃、露点温度20℃
- (5) 宮崎空港（14時52分に到着し、15時39分に東京国際空港へ出発する。）
 - 15時00分 気温26℃、露点温度23℃
- (6) 東京国際空港（17時22分に到着し、18時08分に岡山空港へ出発する。）
 - 17時30分 気温23℃、露点温度19℃
 - 18時00分 気温22℃、露点温度19℃
- (7) 岡山空港（19時22分に到着し、19時59分に東京国際空港へ出発する。）
 - 20時00分 気温21℃、露点温度20℃

(8) 東京国際空港（21時28分に到着する。）

21時30分 気温 22℃、露点温度 20℃

27日00時00分 気温 22℃、露点温度 20℃

03時00分 天気 弱いしゅう雨、気温 22℃、露点温度 20℃

06時00分 天気 しゅう雨、もや、気温 22℃、露点温度 21℃

2.7 フライトレコーダーに関する情報

同機には、米国L-3アビエーションレコーダーズ社（平成29年1月1日付けで社名がL-3アビエーションプロダクツ社に変更されている。）製の、約25時間記録可能なFDR及び約2時間記録可能な操縦室音声記録装置（以下「CVR」という。）が装備されていた。FDRには本重大インシデント発生当時の記録が残されていた。一方CVRは上書きされており、有用なデータは記録されていなかった。

FDRの時刻校正は、管制交信記録に記録された時報と、FDRに記録されたVHF無線送信信号を対応させることにより行った。

2.8 FDRに記録された本重大インシデント発生以前の空調装置の不具合

FDRに残された平成28年5月17日からの運航記録を確認したところ、本重大インシデント以前にも左側eFCVが閉じて左側空調装置が一時的に停止していたことが表1のとおり記録されていた。なお、右側eFCVについては閉じたことを示す記録はなかった。

表1 左側eFCVが閉じていた記録

左側eFCVが閉じていた日	本重大インシデントの飛行から遡った飛行回数	当該飛行中に左側eFCVが閉じていた時間
5月18日（9日前）	51飛行前	1秒
5月20日（7日前）	41飛行前	1秒
5月25日（2日前）	13飛行前	3秒
5月26日（前日）	7飛行前	44分50秒
5月26日（前日）	6飛行前	34分16秒
5月26日（前日）	5飛行前	36分38秒
5月26日（前日）	4飛行前	19分12秒
5月26日（前日）	3飛行前	20分13秒
5月26日（前日）	2飛行前	39分59秒
5月26日（前日）	1飛行前	43分16秒
5月27日（当日）	本重大インシデント飛行	20分36秒

2.9 システム及び装備品の調査に関する情報

2.9.1 空調及び与圧システムの概要

同機において、各エンジンから抽気される高圧空気は、空調装置の流量を制御するバルブ（eFCV）から空調装置を経由して客室に供給され、客室の空調及び与圧に使用される。また、客室に流入した空気は、OFVを経由して機外へ排出される（図1参照）。なお、eFCVは飛行機運用規程においてPACKバルブと呼ばれている。

客室へ流入する空気量は空調装置上流のeFCVをPFTCが制御することにより、また、機外へ放出される空気量は与圧システムの最下流に位置するOFVをCPCが制御することによって調整されている。

与圧システムに不具合等が発生し客室と機外の差圧(ΔP)が 8.95 ± 0.15 psid以上になると、正圧リリース・バルブ（以下「PPRV」という。）が開となり機体構造を保護する。PPRVは機体後部OFV近傍に2式装備されている。

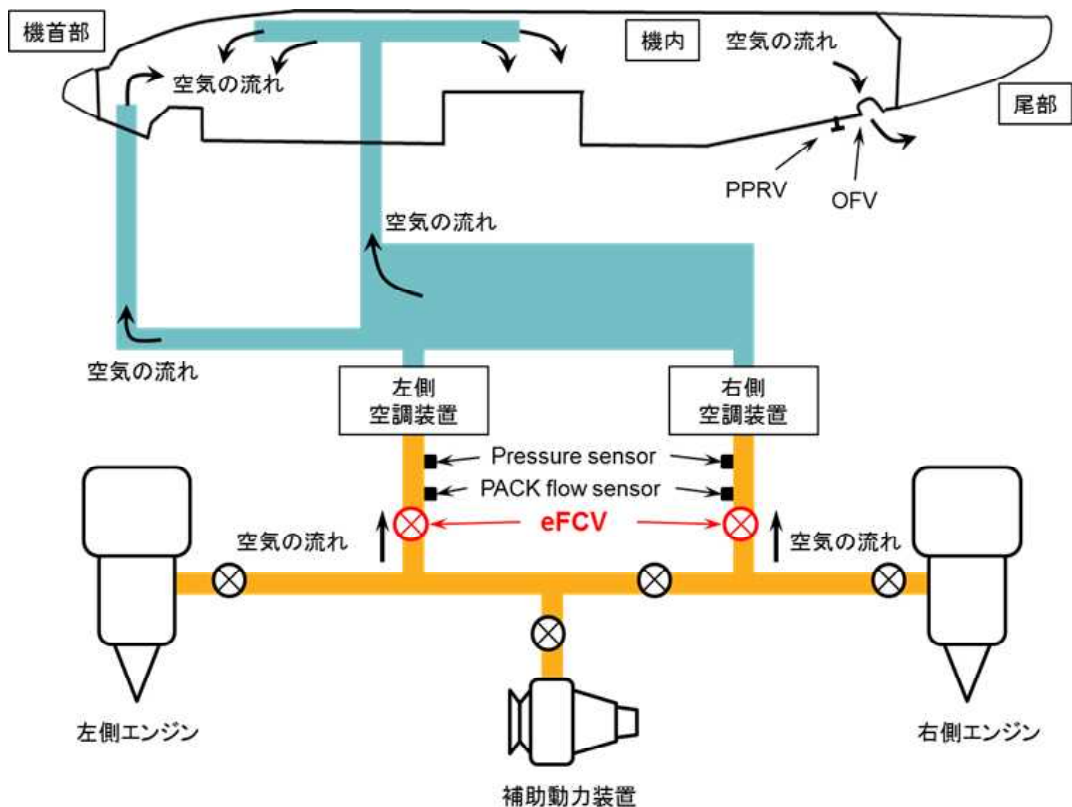


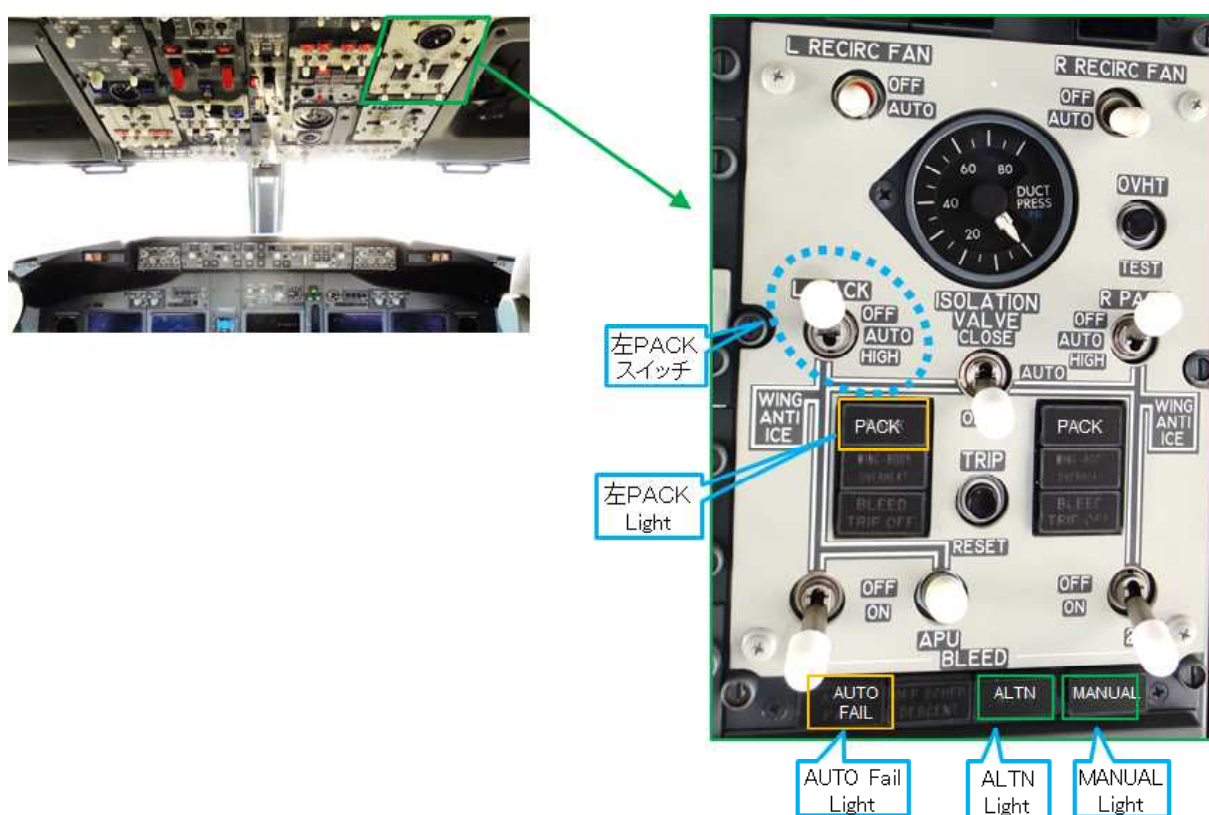
図1 同機の空調及び与圧システム概念図

2.9.2 空調装置の作動について

同機の操縦室の頭上パネルには、図2のとおり左右の空調装置を作動させるための左右のPACKスイッチがあり、通常「AUTO」位置で使用され、必要な空気を供給するよう両方の空調装置が作動している場合、流量はLow Flowモードで調整が行われ

るが、1基の空調装置のみの運用の場合、かつ飛行中でフラップがアップのときには当該空調装置の流量は自動でHigh Flowモードでの調整となる。PACKスイッチを「HIGH」にセットした場合には、他方の空調装置の作動状況にかかわらずHigh Flowモードで調整される。

空調装置がオーバーヒートしてe F C Vが閉じた場合又はそれぞれの空調装置を制御するP F T Cのプライマリー（主）及びセカンダリー（副）の制御機能が両方も故障した場合、当該空調装置のPACK Light（注意灯）が点灯するが、それ以外の故障によりe F C Vが閉じて空調装置が機能しなくなった場合には、そのことを注意灯等で運航乗務員に知らせる機能やA C M S^{*14}に記録して整備士に知らせる機能はない。



AIR CONDITIONING/BLEED AIR CONTROLS PANEL (P5)

図2 操縦室の空調装置（PACK）の操作パネル

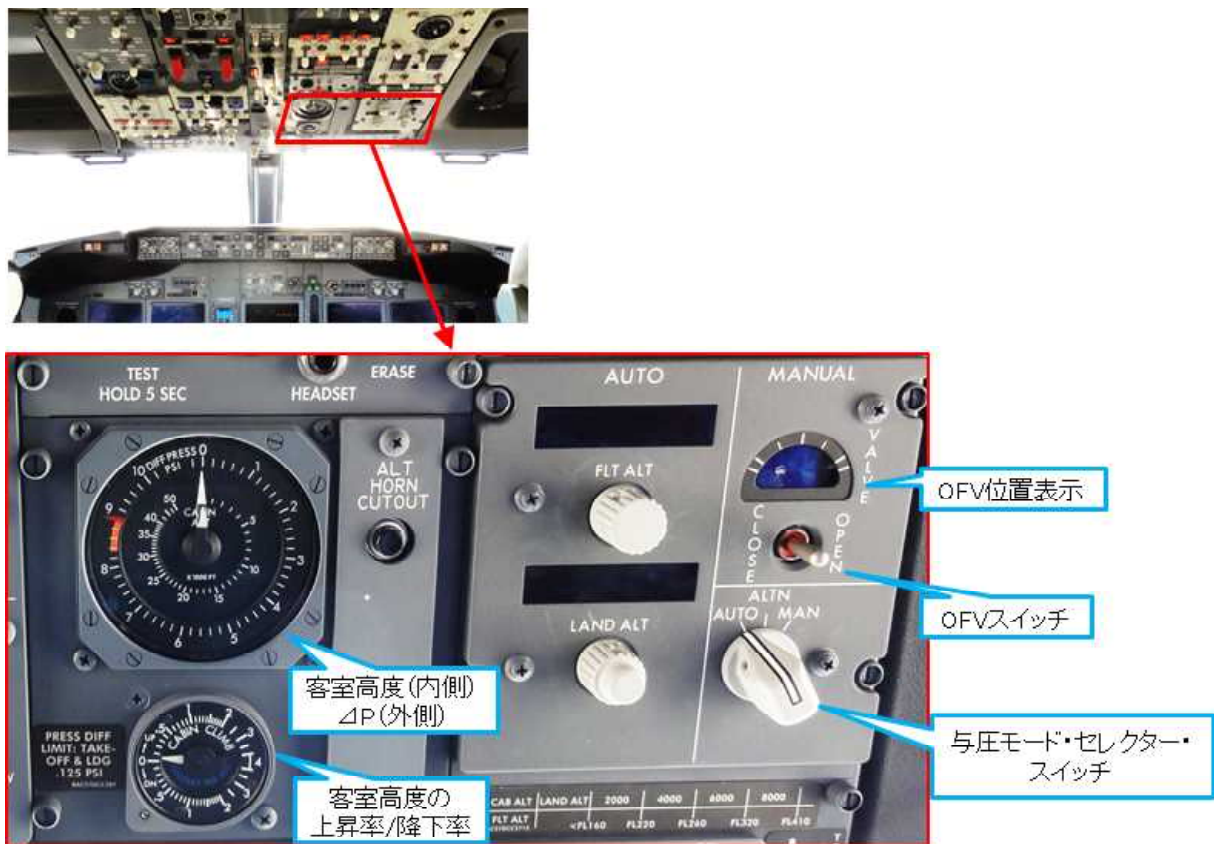
2.9.3 客室与圧制御装置（C P C : Cabin Pressure Controller）について

与圧モード「AUTO(自動)」による通常運用時、客室高度はC P Cにより、主にO F Vの開度で機外へ排出される空気量を調整することにより自動で制御される。C P Cは2式装備されており、一方はアクティブ・コントローラーとして作動し、も

*14 「ACMS」とは、Aircraft Condition Monitoring Systemの略であり、日々の運航中に各機上サブシステムのデータを監視して記録するシステムのことをいう。

う一方はバックアップとして常時代替可能な状態にある。各CPCは、飛行ごとにアクティブ側とバックアップ側が切り替わって作動する。2.11.4で後述するとおり、飛行中、CPCが作動している側の自動システムに故障があると検知してバックアップ側CPCに切り替わると与圧モードはオルタネート(代替)・モードとなり、また、与圧モード・セレクター・スイッチ(図3参照)によっても「ALTN(代替)」に切り替えることができる。

なお、与圧モード・セレクター・スイッチを「MAN(手動)」に切り替え、CPCによらず、OFVの位置表示を見て手動で操作する場合をマニュアル・モードと呼ぶ。



CABIN PRESSURE CONTROL MODULE AND CABIN ALT PANEL (P5)

図3 操縦室の客室高度及び与圧モード操作に関するパネル

2.9.4 eFCVの仕組み

eFCVは空気圧で作動して電子的に制御する圧力調整バルブであり、操縦室のPACKスイッチ(図4①)を「AUTO」又は「HIGH」にするとeFCVのバタフライバルブ(図4②)が開き、空調装置への空気の供給を開始する。eFCV内部には、eFCV内の制御に使用される空気圧(以下「供給圧」という。)を調整するリファレンス・レギュレーターがある(図4③)。リファレンス・レギュレーターは、

エンジンが停止している駐機中を含め、ブリード圧が低い間は全開の状態であるが、ブリード圧の上昇に応じて閉じることにより、供給圧を一定範囲に保っている。供給圧が一定範囲に保たれていれば、PFTCによる電子制御（図4④）でベントからの流出量を変化させ（図4⑤）、eFCVのバタフライ・バルブの開度が制御される。一方、供給圧が正常範囲を超えて高くなると、PFTCによる電子制御の調整範囲を超えてベントからの流出量が増加し、eFCVのバタフライ・バルブは閉じて、空調装置への空気の供給が減少する。

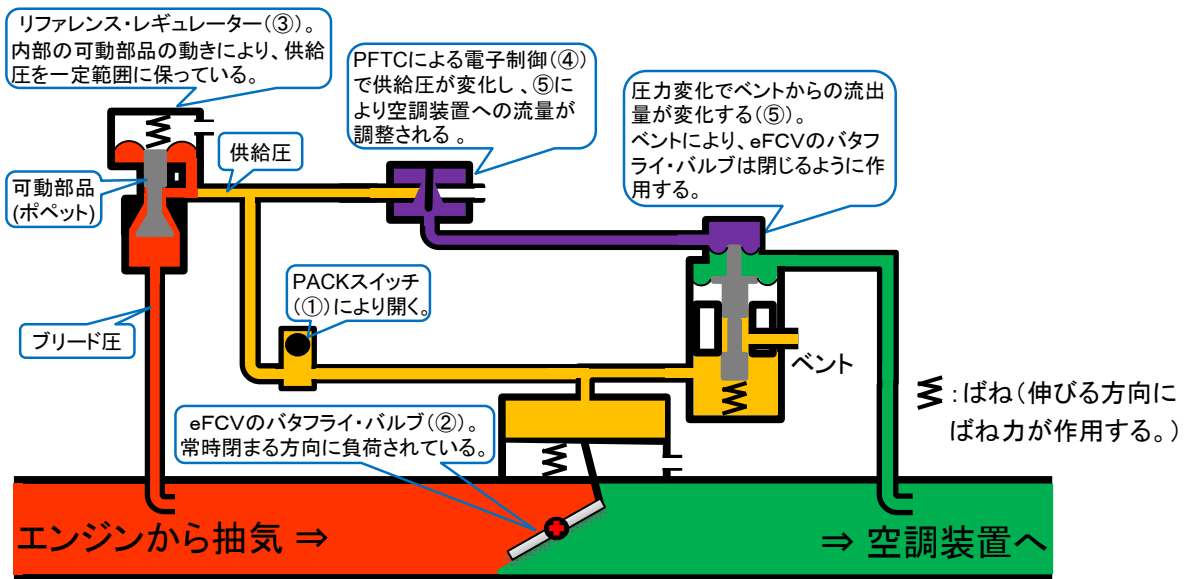


図4 eFCVの概要

2.9.5 eFCV及びリファレンス・レギュレーターの装備位置

図5のとおりeFCVは機体胴体中央下部の左右のECS (Environmental Control System) Bayに装備されており、リファレンス・レギュレーターはeFCVの最下部に位置している。

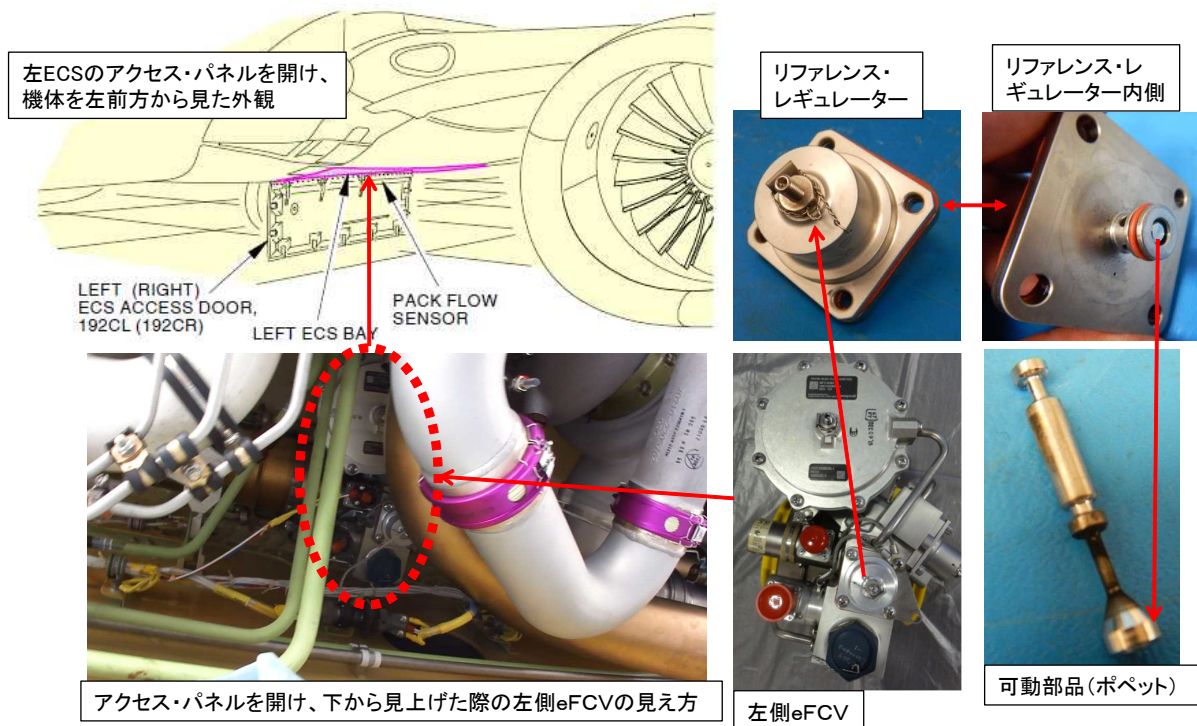


図5 左側 e F C V の装備位置 (右側も同じ向きで装備されている。)

2.10 故障探求

2.10.1 不具合に関する装備品の調査

2.1.1に記述した空調装置の作動状況から、同機は離陸滑走中に左側、離陸直後に右側の e F C V が閉じ、約 8 分後に両 e F C V が開いた後、左 e F C V は断続的に開閉を繰り返していたことが確認された。また、2.8に記述したように、5月18日、20日及び25日に各1回並びに本重大インシデント発生前日の26日の7回全ての飛行において、左側 e F C V が一時的に閉じる現象が発生していたことも確認された。

空調及び与圧を制御する P F T C 及び C P C の各装置の自己診断機能を確認したところ、故障を示す記録はなかった。また、エンジン地上試運転及び飛行試験により空調及び与圧システムの作動を確認したところ、不具合は再現しなかった。

要因を特定するため、e F C V 及び e F C V の作動に関する装備品を同機から取卸し、米国国家運輸安全委員会 (N T S B) 及びカナダ国運輸安全委員会 (T S B) の協力を得て、各設計製造者の施設で詳細調査を実施した。その結果は表 2 のとおりであった。なお、取卸した装備品は、いずれも同機の製造当時から搭載されていたものであり、故障履歴はなかった。

表2 不具合関連装備品一覧及び調査結果

装備品名 ----- 部品番号 (P/N)	搭載位置 (左又は右)	製造番号 (S/N)	調査結果による所見の有無
e F C V	左	155	有 (2.10.2参照)
63396754-1	右	125	有 (2.10.2参照)
A C A U	左	F13940	無
65-52810-64	右	F13947	無
P F T C	左	00031	無
51090248-002	右	00059	無
流量センサー	左	00081	無
51090306-002	右	00392	無
圧力センサー	左	06128	無
1153222-2	右	06120	無

2.10.2 同機の e F C V の調査

左右の e F C V について調査した結果、表3に示すと通りの所見が認められた。

表3 各 e F C V の調査結果

		左側 e F C V (S/N:155)	右側 e F C V (S/N:125)
機 能 試 験	単体試験	特に問題はなかった。	
	システム・ レベル試験	表2に示した同機から取卸した左側空調装置システムの装備品5個を、e F C V については湿度の高い環境に曝した後、設計製造者の開発試験用の試験リグに装着して試験したところ、不具合は再現しなかった。	実施していない。
分 解 調 査	目視検査	リファレンス・レギュレーターを分解して目視検査したところ、空気の通り道に沿って黒い汚れがあった。また、リファレンス・レギュレーター内の可動箇所には僅かな擦過痕があった。	
	材料(成分) 分析調査	リファレンス・レギュレーター内部の可動部品に付着した粒子を分析したところ、大気中のちりなどの成分が検出された。	

2.10.3 e F C V を装備した他機と同種故障事例について

本重大インシデント以降、2.5.2に述べた e F C V を装備した機体において、同機と同様に離陸又は初期上昇中に両 e F C V が閉じたことによる空調及び与圧の不具合事例が報告されている。

同種の故障により他の航空会社が運航している航空機から取卸された e F C V を用い、2.10.2に示すシステム・レベル試験を同様に実施したところ、e F C V の内部部品であるリファレンス・レギュレーターが固着して開状態のままとなり、e F C V が閉じる不具合が再現された。また、e F C V の設計製造者が保有する e F C V のリファレンス・レギュレーターを模擬的に開状態にしてシステム・レベル試験を同様に実施したところ、e F C V が全閉となる現象が再現された。

2.1.1 その他必要な事項

2.11.1 客室高度警報 (Cabin Altitude Warning) 作動時の手順について

同社の飛行機運用規程によると、Cabin Altitude Warning発生時の手順は、次のとおりである。

Condition : 以下の状況が1つ以上発生した:

- ・ *Cabin Altitude* の超過
- ・ 飛行中、*Intermittent Cabin Altitude / Configuration Warning Horn* が鳴り、*CABIN ALTITUDE Light* が点灯した。

1 *Oxygen Mask* を装着し、*Regulator* を100%にSetする。

2 *Crew Communication* を確立する。

3 *PACK switches (both)* *HIGH* *PM*

4 *Pressurization mode selector* *MAN* *PM*

5 *Outflow VALVE switch* *Hold in CLOSE*
until the outflow VALVE
indication shows fully closed *PM*

(中略)

7 *Cabin Altitude* がControl できるならば:

Manual Operation で所望の*Cabin Altitude* を維持する。

Cabin Altitude が10,000 feet以下になったら:

Oxygen Mask を外してもよい。

2.11.2 1基の空調装置のみのHigh Flow運用について

同社の飛行機運用規程によると、1基の空調装置のみの運用について、次のように記載されている。(抜粋)

Air Conditioning Pack

Main Bleed Air Duct から各*Air Conditioning Pack*への*Bleed Air* の流れは、

それぞれの Pack Valve によって、Control される。通常、Left Pack はNo. 1 Engine からのBleed Air を使用し、また Right Pack はNo. 2 Engine からの Bleed Air を使用する。High Flow の1つのPackだけで、最大巡航高度において、Cabin Pressurization と 温度を維持するだけの能力がある。

(後略)

2. 11. 3 客室与圧制御装置 (C P C) による与圧の自動制御について

同社の整備マニュアルによると、与圧モードが「AUTO(自動)」又は「ALTN(代替)」の場合、与圧は次のとおり自動制御される。(抜粋)

(前略)

Climb

(中略)

The maximum cabin pressurization rate of change for depressurization is 600 slfpm.

Cruise

(中略)

In the cruise phase, the system maintains a constant cabin altitude. The cabin altitude will be the landing field elevation for flights with a flight altitude of 18,500 feet or less. For flights with a flight altitude above 18,500 feet, the cabin altitude will increase to a pressure differential that airplane is within a safe limit.

These are the pressure schedules:

<i>FLIGHT ALTITUDE</i>	<i>SCHEDULE</i>
<i>SEA LEVEL TO 18,500</i>	<i>LANDING FIELD ELEVATION</i>
<i>18,500 TO 28,000</i>	<i>7.45 +/- 0.2 psid</i>
<i>28,000 TO 37,000</i>	<i>7.80 +/- 0.2 psid</i>
<i>37,000 AND ABOVE</i>	<i>8.35 +/- 0.2 psid</i>

NOTE: Deviations from flight altitude may cause the pressure to go as high as 8.45 psid to maintain a constant cabin altitude.

(中略)

NOTE: When the cabin altitude increases to more than 10,000 feet, the cabin altitude warning alarm will sound. You can push the ALT HORN

CUTOOUT switch to deactivate the alarm.

Descent

(中略)

The maximum cabin pressurization rate of change for pressurization is 350 slfpm.

(後略)

(仮訳)

(前略)

上昇

(中略)

客室を減圧するための客室与圧の最大変化率は、600 slfpmである。

巡航

(中略)

巡航の段階では、与圧システムは一定の客室高度を維持する。飛行高度が18,500 ft以下の場合、客室高度は目的空港の標高に調整される。飛行高度が18,500 ftを超える場合、客室と機外の差圧(ΔP)が安全な限界内に収まるように客室高度は上昇する。

次の表は、調整される客室と機外の差圧(ΔP)の一覧を示す：

飛行高度	客室と機外の差圧(ΔP)
海面から18,500ft	目的空港の標高
18,500 から 28,000ft	7.45 +/- 0.2 psid
28,000 から 37,000ft	7.80 +/- 0.2 psid
37,000 ft以上	8.35 +/- 0.2 psid

注記：飛行高度からの逸脱は、一定の客室高度を維持するために、差圧が8.45 psidまで上昇する要因となる可能性がある。

(中略)

注記：客室高度が10,000ft以上になると、客室高度警報音が鳴る。ALT HORN CUTOOUTスイッチを押して、アラームを無効にすることができる。

降下

(中略)

客室を与圧するための客室与圧の最大変化率は、350 slfpmである。
(後略)

2.11.4 AUTO FAIL Lightの点灯条件について

与圧モード「AUTO(自動)」で作動している客室与圧制御に不具合が生じるとAUTO FAIL Light (注意灯) が点灯し、バックアップのCPCに切り替わると与圧モードはオルタネートの自動与圧制御となり、ALTN Light (緑色) も点灯する。いずれのLightも操縦室の空調装置の操作パネルにある (図2参照)。

同社の整備マニュアルによると、AUTO FAIL Lightの点灯条件は、次のとおりである。

(前略)

These things cause the auto fail indication:

- *Power loss*
- *Cabin altitude rate of change is too high (>2,000 slfpm) and the outflow valve has not responded correctly*
- *Cabin altitude is too high (>15,800 ft) and the outflow valve has not responded correctly*
- *Wiring failures*
- *Outflow valve component failures*
- *CPC failures*
- *Cabin differential pressure is too high (>8.75 psi) and the outflow valve has not responded correctly*

(中略)

The system automatically changes pressurization control to the backup controller if the active controller fails.

(中略)

The ALTN light shows that the backup system is active. The AUTO FAIL light goes off when you select the ALTN position on the mode selector.

(仮訳)

これらの要因によりAUTO FAILの指示が現れる。

- 電源喪失
- 客室高度の過大な変化率 (>2,000 slfpm) 及びOFVが正しく反応しない。
- 客室高度の超過 (>15,800 ft) 及びOFVが正しく反応しない。
- 配線の不具合

- ・ O F Vの不具合
- ・ C P Cの不具合
- ・ 客室と機外の差圧が超過 (>8.75 psi) 及びO F Vが正しく反応しない。

(中略)

アクティブ・コントローラーに不具合が発生すると自動的にバックアップ・コントローラーに切り替わり与圧制御を行う。

バックアップ・コントローラーに切り替わるとALTN Lightが点灯する。モード・セレクターをALTNにするとAUTO FAIL Lightは消灯する。

(後略)

3 分 析

3.1 運航乗務員の資格等

機長及び副操縦士は、適法な航空従事者技能証明及び有効な航空身体検査証明を有していた。

3.2 航空機の耐空証明書等

同機は有効な耐空証明を有しており、所定の整備及び点検が行われていた。

3.3 気象との関連

本重大インシデント発生2日前の徳島空港到着から本重大インシデント発生までの同機の駐機時間帯における各時点の気温及び露点温度は、気温が20～26℃、露点温度が19～23℃の範囲であり、湿度が高い気象状態であった。よって、夜間駐機中などに一時的に気温が低下した際には結露が生じ、2.9.5に記述したとおりe F C Vの最下部に位置しているリファレンス・レギュレーターに結露した水滴が流れ込んだ可能性が考えられる。

3.4 重大インシデント発生時刻

2.1.1に記述したように、8時21分47秒に左側空調装置が、同22分25秒に右側空調装置がそれぞれ停止し、客室高度が10,000ftを通過直後の8時27分42秒に客室高度の超過を示す警報装置が作動した。このため、両方の空調装置が停止した時点(22分25秒)が重大インシデント発生時刻と推定される。

3.5 空調装置の停止した理由

- (1) 2.10で記述した故障探求から、空調装置が停止したのは、空調装置への空気流量を制御するeFCVが全閉したことによると考えられる。
- (2) eFCVが全閉したことについては、2.9.4で記述したeFCVの仕組み並びに2.10.2及び2.10.3で記述したeFCVの調査及び他機と同種故障事例から、リファレンス・レギュレーターが開状態で固着したためと考えられる。リファレンス・レギュレーターが開状態で固着すると、ブリード圧の上昇に応じて供給圧を調整するリファレンス・レギュレーターの機能が失われ、超過した供給圧によりeFCVのバタフライ・バルブは閉じることになる。
- (3) 上記(2)で述べた高い供給圧はエンジンが高出力でブリード圧が高い場合に生じるものであり、機体の降下や減速時などでブリード圧が低下すると供給圧も低下してeFCVは正常な状態に戻るため、空調装置は機能を回復して作動し始めたと考えられる。
- (4) リファレンス・レギュレーターが開状態で固着したのは、2.10.2の分解調査で記述した大気中のちりなどの物質の付着や3.3で述べた流れ込んだ水滴が関与した可能性が考えられる。

3.6 両方の空調装置が停止した要因

2.10で記述した故障探求の結果、PFTCなどの制御装置が両方の空調装置の停止に関与した可能性や一方の不具合が他方に影響した可能性は認められないため、離陸時に両方の空調装置が停止したことについては、次の要因が考えられる。

- (1) 両方のeFCVのリファレンス・レギュレーターにはどちらも同様に内部に汚れや擦過痕があった。これは、両方のeFCVが同機の製造時から搭載されて同じ環境下で運用されてきたためであり、両方のeFCVのリファレンス・レギュレーターが同様に開状態で固着しやすくなっていたためと考えられる。
- (2) 当日、両方の空調装置が離陸時に停止したのは、両方のeFCVのリファレンス・レギュレーターが同様に開状態で固着しやすくなっていた状況において、前日前々日の駐機中の天候がしゅう雨又はもやにより湿度が高かったためリファレンス・レギュレーターが固着し、その固着状態が翌日の初便、すなわち重大インシデントの飛行まで引き続いていたこと、また、リファレンス・レギュレーターが固着した状態で離陸しようとして両エンジンの出力を増加したため、3.5(2)で述べた理由で同時に空調装置が停止したことが考えられる。
- (3) 2.8で記述したとおり、空調装置が2基とも停止して本重大インシデントに至る以前から、左側空調装置が度々停止していたことがFDRに記録にされていた。FDRは直近の約10日分記録されていたが、その前から空調装置が度

々停止していた可能性が考えられる。しかしながら、2.9.2で記述したとおり同機にはeFCVが閉じて空調装置が停止しても運航乗務員や整備士に知らせる機能がないことから、度々発生していた左側空調装置の不具合は認識されず、修理されないまま運用が継続されていたため、本重大インシデント時の飛行において左右の2つのシステムが同時に故障する事態に至ったものと考えられる。

3.7 飛行の経緯

2.1.2に記述した関係者の口述及び3.5で述べたeFCVの故障要因から、両空調装置が停止して客室高度が急降下及び急上昇した運航は、飛行フェーズごとに以下のとおり分析される。この結果、不具合は左右のeFCVに限定され、与圧を制御するCPC等は正常に機能していたと考えられる。

- (1) 離陸時のエンジン出力増加で3.5(2)で述べた理由により左右の空調装置が相次いで停止し、客室に与圧が確保されない状態で上昇したため、客室高度が約10,000ftに達して客室高度警報装置が作動したものと推定される。(付図2①参照)

同警報装置が作動するまで運航乗務員に与圧の異常を知らせる警告類はなく、Cabin Altitude Panel (図3参照)で客室高度の異常を読み取らない限り、乗務員が与圧の異常を知ることはできなかったと考えられる。

- (2) 客室高度警報により運航乗務員は上昇を中止し、FL160の水平飛行への移行及び250ktへの減速を行った。よって、エンジン出力の低下と共にブリード圧が低下したため、3.5(3)で述べた理由により左右の空調装置が作動を再開したと考えられる。(付図2②参照)
- (3) 両空調装置が作動を再開して与圧され始めたが、2.11.3に記述したとおり自動制御される客室高度の降下率には下限が設けられているため、客室高度が急降下しないようにOFVは一時的に開放されたと考えられる。(付図2③参照)。
- (4) FL160の水平飛行移行後、エンジン出力の増加と共にブリード圧が上昇したため、左側空調装置は再び停止したと考えられる。(付図2④参照)
- (5) 2.11.1に記述したCabin Altitude Warningのチェック・リストを行い、両PACKスイッチを「HIGH」にし、与圧モードを切り替えて「MAN(手動)」でOFVを閉じるスイッチ操作をしたが、既にOFVは全閉の状況であった。(付図2⑤参照)
- (6) 13,000ftへの降下により、エンジン出力の低下と共にブリード圧が低下し、停止していた左側空調装置は作動を再開したと考えられる。(付図2⑥参照)

OFVを完全に閉じて両PACKスイッチは「HIGH」で運用していたため、両空調装置の作動で客室へ取り込まれる空気量が急増したと考えられる。よって、

13,000 ftへ降下する約2分間、急激に与圧が進み、平均して-3,500 fpmの降下率で客室高度の急降下が生じた。なお、客室高度警報は客室高度が約9,000 ftになるころ停止した。(付図2⑦参照)

- (7) 13,000 ftの水平飛行に移行すると、前述(4)同様、ブリード圧が上昇したため左側空調装置は再び停止したと考えられる。(付図2⑧参照)
- (8) 13,000 ftでの約10分間の水平飛行中、FDRの記録上は右側空調装置は作動してHigh Flowで運用されているが、客室高度は緩やかに上昇して与圧は維持されていなかった。2.11.2に記述したとおり、通常は1基の空調装置によるHigh Flow運用で与圧は維持されることから、FDR上は右側eFCVは開いているが、全閉を検知するスイッチがeFCVのバタフライ・バルブが閉じたことを検知していないだけで実際にはeFCVはほぼ閉じており、離陸時の不具合が継続していた可能性が考えられる。(付図2⑨参照)
- (9) 9,000 ftへの降下により、エンジン出力の低下と共にブリード圧が低下し、停止していた左側空調装置は再び作動を始めたと考えられる。(付図2⑩参照)

上記(6)同様、OFVが「MAN(手動)」モードで全閉であったため、両空調装置が作動すると急激に与圧される状態となった。更に、9,000 ftで水平飛行に移行後も上記(7)のように左側空調装置が停止するほどブリード圧が上昇しなかったため、両空調装置は作動を継続し、本飛行において最も急激に与圧が進む状況になったと考えられる。この結果、9,000 ftへの降下及び水平飛行移行後、与圧モードが「AUTO(自動)」に切り替わりOFVが開くまでの約4分間、与圧が急激に進み、平均して-4,000 fpmを下回る客室高度の急降下が生じ、一時的に客室高度が-8,000 ftを切った ($\Delta P = 8.967$ psid) と考えられる。(付図2⑪参照)

- (10) 上記(6)及び(9)で述べたとおり、13,000 ft及び9,000 ftへの降下時、客室高度はそれぞれ、約2分間で平均して-3,500 fpm及び約4分間で平均して-4,000 fpmを下回る降下率で急降下しており、この値は2.11.3に記述した与圧が自動制御されている場合の客室高度の最大降下率-350 slfpmを大幅に下回るものであった。よって、耳が詰まる感じはこの間に生じ、耳を負傷する乗客も現れたと考えられる。
- (11) 客室高度の急降下時、飛行高度9,000 ftで客室高度が-8,000 ftを下回る状況で与圧モード・セレクター・スイッチを「MAN(手動)」から「AUTO(自動)」に切り替えたことにより、2.11.3で記述したCPCによる与圧の自動制御が作動したが、客室と機外の差圧(ΔP)が通常の運航では発生しない8.967 psidまで上昇していたため、OFVは急激に開いたと考えられる。さらに、一つ若しくは両方のPPRVが作動して客室高度の急上昇に関与した可能性も考

えられる。付図2⑫参照)

- (12) OFVが最大75%まで急激に開いた時点の前後1分間、客室高度は平均して9,500 fpmを上回る急上昇となった。(付図2⑬参照)

2.1.2(3)に記述した主任客室乗務員の口述にある「白いもや」の発生は、空調装置の機能が回復して与圧のため客室上部から大量の空気が流入している状況において、OFVが最大75%まで開きPPRVも開になった可能性があるため、これらにより客室内の空気が機外に排出され、客室内の気圧が急激に下がるとともに温度が低下して空気中の水蒸気が液化したことによるものと考えられる。

- (13) 2.11.4で記述したAUTO FAIL Lightの点灯条件の一つである2,000 fpmを大幅に超える客室高度の過度な上昇率及びOFVが正しく反応しなくなったことにより、作動中のCPCは不具合と検知して「AUTO FAIL」が発出し、その後バックアップでスタンバイしていたCPCに切り替わって与圧モードは「ALTN(代替)」となり、緑色の「ALTN」Lightが点灯した。(付図2⑭参照)

なお、2,000 fpmを超える客室高度の過度な変化は、上記(6)及び(9)で述べたとおり13,000 ftへの降下並びに9,000 ftへの降下及び水平飛行時にも認められたが、与圧モードが「MAN(手動)」により警告は発出していない。また、与圧が確保されていない与圧モード「AUTO(自動)」の離陸上昇中も客室高度の過度な上昇は見られたが、客室高度の上昇は最大でも約1,900 fpm程度であり、2,000 fpmを超過していないため「AUTO FAIL」は発出しなかったものと考えられる。

4 原因

本重大インシデントは、左側空調装置が一時的に停止する不具合が運航乗務員や整備士に認識されないまま同機の運用が継続されていたところ、同便の離陸時に左側空調装置の停止に続いて使用時間及び使用環境が同じ右側空調装置も停止したため、与圧が確保されなくなったものと推定される。

左右の空調装置が停止したのは、いずれも、空調装置への空気流量を調整するバルブ(eFCV)の内部にあるリファレンス・レギュレーターが固着していたため、ブリード圧の上昇によってeFCVが閉じ、空調装置へ空気が供給されなくなったことによるものと考えられる。

5 再発防止策

5.1 航空機及び装備品製造者が講じた措置

航空機製造者（ボーイング社）及びeFCVの装備品製造者（ハネウェル社）は、次のとおり対策を講じている。

(1) ACMSソフトウェアの変更

同社は、離陸後に左右片方でもeFCVが3秒以上閉じた場合にモニターできるようにACMSのソフトウェアを改修し、ボーイング社は、同様な手法を他の運航会社に紹介した。

(2) リファレンス・レギュレーターの改良

ハネウェル社は、リファレンス・レギュレーターが開状態で固着しないように、リファレンス・レギュレーターのポペットにO-Ringが施された2重パッキング形態を採用し、さらにポペットとガイドとの間隙を大きくしたeFCV（P/N：63396754-1 Series 3）への改修を推奨した。

(3) ボーイング式737MAX型機用に開発されたeFCV（P/N：63396754-2）

は、リファレンス・レギュレーターが開状態で固着する不具合が生じて供給圧が過度に上昇しても、eFCVは開くフェイル・セーフ設計となっている。同eFCVを採用することにより、eFCVが意図せず閉じる不具合は生じなくなるため、ハネウェル社はこのeFCVへの改修を推奨し、ボーイング社はこの改良を運航者に提案した。

5.2 同社が講じた措置

同社は、同様の事態の再発を防止するため、次の措置を講じた。

(1) eFCVの閉状態を運航乗務員に知らせる機能の追加（暫定対策）

5.1(1)で述べたACMSソフトウェアの変更によりeFCVが閉状態になるとACMSで検知できるようになり、同社はこの信号を利用して次のとおりeFCVの閉状態を運航乗務員に知らせる機能を追加した。

① ACMSから操縦室のプリンターに直接出力する。

② 操縦室のMulti-Purpose Control Display Unit（MCDU）でeFCVの開閉状態を常時確認できるようにした。

③ ACMSからACARS^{*15}を介してeFCVの閉情報が地上整備サポート部に伝わると、自動で地上からアップリンクされ、操縦室でチャイムと共に

*15 「ACARS」とは、Aircraft Communication Addressing and Reporting Systemの略であり、航空機と地上を結ぶデータ通信設備をいう。地上VHF通信局又は通信衛星により、航空機と運航会社のホスト・コンピューターを結んでおり、現在日本では主に運航支援に使用されている。

プリンター出力する。

- (2) 恒久対策が実施されるまで、1基のみの空調装置で運航が可能となる運用許容基準^{*16}の適用を禁止した。(暫定対策)
- (3) 上記(1)で述べたACMSによるeFCV閉状態のモニター及び運航乗務員への通知を担保するため、ACMS、ACARS及びVHF通信の運用許容基準の適用を禁止した。(暫定対策)
- (4) 5.1(2)で述べた、リファレンス・レギュレーターのポペットにO-Ringが施された2重パッキング形態を採用し、さらにポペットとガイドとの間隙を大きくしたeFCV(P/N:63396754-1 Series 3)に換装し、リファレンス・レギュレーターに異常が生じないことを確認した。
- (5) (4)の対策の後、同社保有機にも5.1(3)で述べたeFCV(P/N:63396754-2)の搭載が可能となり換装した。

なお、同eFCVの導入により、リファレンス・レギュレーターが開状態で固着してもeFCVが閉じることはないため、上記(1)～(3)の暫定対策は解除されている。

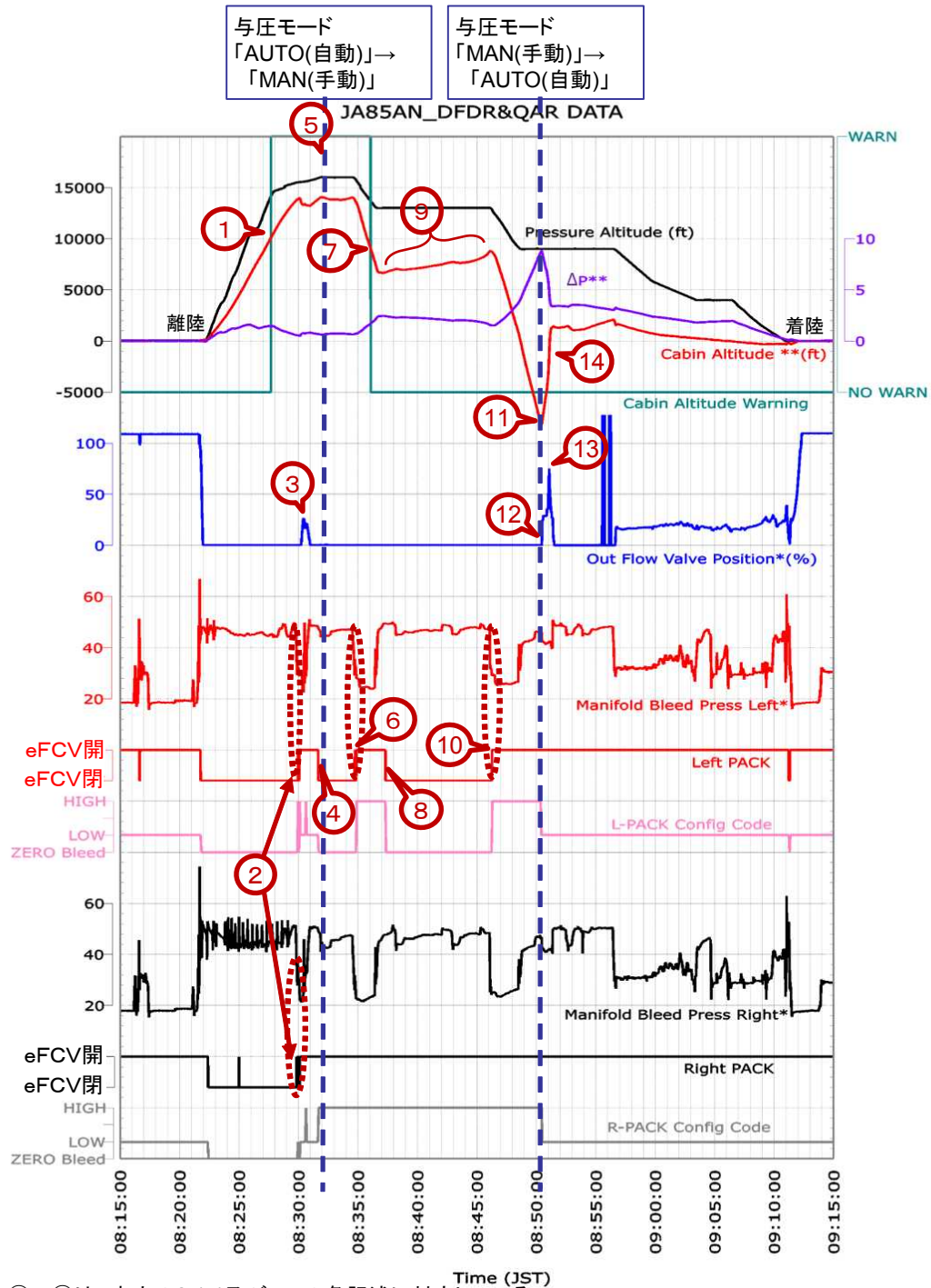
*16 「運用許容基準 (MEL : Minimum Equipemnt List)」とは、運航者により設定され、装備品等が正常でない場合に当該航空機の運航が許容されるかどうかの基準を航空機の安全を害さない範囲で定めた基準をいい、運航することが可能な最低の装備品の数量や状態などを定めている。

付図1 推定飛行経路図



図中の①、②、④～⑧、⑩～⑫、⑭は、本文の2.1.1及び3.7の各記述に対応している。


付図2 FDR及びQARの記録



図中の①～⑭は、本文の2.1.1及び3.7の各記述に対応している。

* : QARデータ

** : QARデータを基に計算して求めたデータ(Cabin Altitude (客室高度) は、QARに記録されたCabin Press (客室圧力)を当時の平均海面上の気温(21°C)及び気圧(29.73inHg)を使用して換算した。また、 ΔP (客室と機外の差圧)は、Cabin Pressと飛行高度から求めた外気圧との差から算出した。)

 : Manifold Bleed Pressの低下とPACKのONに相関関係が見られる箇所

付図3 ボーイング式B737-800型三面図

単位：m

