

AA2018-5

航空事故調査報告書

I 個人所属

クイックシルバー式MXLⅡTop-R582L

NISHIYAMA型（超軽量動力機、複座） JR1925

山林への墜落

II 株式会社大韓航空所属

ボーイング式777-300型 HL7534

離陸滑走時のエンジン火災

本報告書は、平成30年7月26日に公表した報告書を、平成30年8月30日に公表した正誤表により訂正したものです。

平成30年7月26日

本報告書の調査は、本件航空事故に関し、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、航空事故及び事故に伴い発生した被害の原因を究明し、事故の防止及び被害の軽減に寄与することを目的として行われたものであり、事故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」

II 株式会社大韓航空所属
ボーイング式777-300型 HL7534
離陸滑走時のエンジン火災

航空事故調査報告書

所 属 株式会社大韓航空
型 式 ボーイング式777-300型
登録記号 HL7534
事故種類 離陸滑走時のエンジン火災
発生日時 平成28年5月27日 12時38分ごろ
発生場所 東京国際空港滑走路34R上

平成30年7月6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>

株式会社大韓航空所属ボーイング式777-300型HL7534は、平成28年5月27日（金）、同社の定期2708便として東京国際空港滑走路34Rから金浦^{キンポ}国際空港に向けて離陸滑走中、12時38分ごろ、第1（左側）エンジンに火災が発生したことを示す警報が作動したため、離陸を中止し、同滑走路上に停止して、非常脱出を行った。同機には、機長ほか乗務員16名及び乗客302名の計319名が搭乗していたが、この非常脱出の際に乗客40名が軽傷を負った。

<原因>

本事故は、HL7534の離陸滑走時に第1（左側）エンジンの第1段高圧タービン・ディスクが破断し、その破片がエンジンケースを貫通したことにより、エンジン火災が発生したものと推定される。

第1段高压タービン・ディスクが破断したことについては、エンジン製造時に第1段高压タービン・ディスク後面のU字型溝部分を加工した際に許容値を超える段差が生じ、エンジンの使用中に当該部分から低サイクル疲労による亀裂が発生して進展したことによるものと考えられる。

段差が発見されなかったことについては、エンジン製造者による製造時の検査の際に見逃された可能性が考えられる。また、亀裂が発見されなかったことについては株式会社大韓航空によるエンジン使用中の整備における同ディスクの非破壊検査の際に見逃された可能性が考えられる。

第1エンジンに火災が発生したことについては、第1段高压タービン・ディスクの破片がエンジンケースを貫通した際の衝撃及びディスクの破断に伴い第1エンジンが急停止した際にエンジンが受けた荷重によりエンジンケースに取り付けられていた燃料滑油熱交換器の外側ケースに亀裂が生じ、その亀裂から漏出した燃料及び滑油が第1エンジンの高温部に接触して発火したことによるものと考えられる。

本報告書で用いた主な略語は、次のとおりである。

A C	: Advisory Circular
A D	: Airworthiness Directive
A P U	: Auxiliary Power Unit
A R A I B	: Aviation and Railway Accident Investigation Board (Korea)
A T C	: Air Traffic Control
A T S M	: American Society for Testing and Materials
C A	: Cabin Attendant
C A P T	: Captain
C A T	: Category
C C M	: Cabin Crew Manual
C M M	: Coordinate Measuring Machine
C O M	: Cabin Operations Manual
C S N	: Cycle Since New
C V R	: Cockpit Voice Recorder
E N G	: Engine
E V A C	: Evacuation
E F B	: Electronic Flight Bag
E G T	: Exhaust Gas Temperature
E I C A S	: Engine Indicating and Crew Alerting System
F A A	: Federal Aviation Administration
F C O M	: Flight Crew Operations Manual
F C T M	: Flight Crew Training Manual
F D R	: Flight Data Recorder
F O M	: Flight Operations Manual
F P I	: Fluorescent Penetrant Inspection
G N D	: Ground
H P C	: High Pressure Compressor
H P T	: High Pressure Turbine
I A S	: Indicated Air Speed
I C A O	: International Civil Aviation Organization
J S T	: Japan Standard Time
L C F	: Low Cycle Fatigue
L P C	: Low Pressure Compressor
L P T	: Low Pressure Turbine

M I L : Military
 M O L I T : Ministry Of Land Infrastructure and Transport (Republic of Korea)
 M R E : Material Review Engineer
 N A S : National Aerospace Standard
 N D I : Non Destructive Inspection
 N T S B : National Transportation Safety Board (U. S. A.)
 P A : Public Address
 P F : Pilot Flying
 P F D : Primary Flight Display
 P I C : Pilot In Command
 P M : Pilot Monitoring
 P O M : Pilot Operating Manual
 Q A : Quality Assurance
 Q A R : Quick Access Recorder
 Q R H : Quick Reference Handbook
 Q N : Quality Notification
 R T O : Rejected Take Off
 R W Y : Runway
 R P M : Revolutions Per Minute
 S E M : Scanning Electron Microscope
 S B : Service Bulletin
 S D S : System Description Section
 S P E C : Specification
 S T D : Standard
 T C : Tail Cone
 T O / G A : Take Off/ Go Around

单位换算表

1 ft : 0.3048 m
 1 kt : 1.852 km/h (0.5144 m/s)
 1 in : 25.40 mm
 1 μ m : Micro Meter (10^{-6} m)
 1 psi : 6.895 kPa

目 次

1	航空事故調査の経過	
1.1	航空事故の概要	1
1.2	航空事故調査の概要	1
1.2.1	調査組織	1
1.2.2	関係国の代表及び顧問	1
1.2.3	調査の実施時期	1
1.2.4	航空局への情報提供	2
1.2.5	原因関係者からの意見聴取	2
1.2.6	関係国への意見照会	2
2	事実情報	
2.1	飛行の経過	2
2.1.1	管制交信記録、FDRの記録及びCVRの記録による飛行の経過	3
2.1.2	ビデオの記録による非常脱出の経過	4
2.1.3	乗務員、管制官及び関係者の口述	5
2.2	人の死亡、行方不明及び負傷	9
2.3	航空機の損壊に関する情報	10
2.3.1	損壊の程度	10
2.3.2	航空機各部の損壊の状況	10
2.4	航空機以外の物件の損壊等に関する情報	10
2.5	航空機乗組員等に関する情報	10
2.6	航空機に関する情報	10
2.6.1	航空機	10
2.6.2	エンジン	11
2.6.2.1	エンジンの構造	11
2.6.2.2	HPTについて	12
2.6.2.3	HPTディスク製造時の加工と検査について	13
2.6.2.4	第1段HPTディスクの製造時の記録	16
2.6.2.5	エンジン製造者の品質管理体制について	16
2.6.2.6	HPTディスクの非破壊検査について	16
2.6.2.7	第1エンジン及び第1段HPTディスクの主な経歴等	17
2.6.2.8	同社エンジン修理工場について	18
2.6.2.9	第1段HPTディスクのFPIの記録	20
2.6.3	燃料及び潤滑油	20

2.7	気象に関する情報	20
2.8	滑走路に関する情報	21
2.9	フライトレコーダー等に関する情報	21
2.10	事故現場に関する情報	21
2.11	損壊の細部状況	22
2.12	消防に関する情報	24
2.12.1	航空事故等発生時の空港の緊急体制について	24
2.12.2	消火活動の経過	24
2.13	救難及び避難誘導に関する情報	25
2.13.1	空港消防隊員による救難及び避難誘導	25
2.14	試験及び研究に関する情報	25
2.14.1	エンジンに関する調査	25
2.14.1.1	破断面の解析	25
2.14.1.2	シスターディスクによる同社でのF P Iの実施体制の調査	29
2.14.1.3	他の同型式エンジンの第1段H P Tディスクについて	30
2.14.2	非常脱出スライド	30
2.14.2.1	非常脱出システム	30
2.14.2.2	非常脱出時の状況	31
2.14.2.3	R 5スライドに関する情報	32
2.14.2.4	R 5スライドの調査結果	32
2.15	組織及び管理に関する情報	34
2.15.1	同社の運航規程等について	34
2.15.1.1	航空機に備え付ける書類に関する規定	34
2.15.1.2	エンジン火災に関する規定	36
2.15.1.3	非常脱出等に関する規定	37
2.15.2	乗務員の非常脱出訓練	41
2.15.3	同社の非常脱出に関する乗客への周知方法	41
2.16	その他必要な事項	41
2.16.1	同機の消火システム	41
3	分析	
3.1	乗組員の資格等	42
3.2	航空機の耐空証明書等	42
3.3	気象による影響	43
3.4	第1段H P Tディスクの破断	43
3.4.1	U字型溝に段差が発生した要因	43

3.4.2	亀裂発生の要因	44
3.4.3	破断の要因	44
3.4.4	U字型溝の段差が見逃された要因	44
3.4.5	U字型溝から進展した亀裂が発見されなかった要因	45
3.5	第1エンジンの損傷	46
3.5.1	HPTケースの損傷	46
3.5.2	燃料滑油熱交換器の外側ケースの損傷	46
3.5.3	その他の部位の損傷等	47
3.6	エンジン火災	47
3.6.1	エンジン火災発生の経過	47
3.6.2	エンジン火災の消火	47
3.7	非常脱出	48
3.7.1	機長の判断	48
3.7.2	運航乗務員の対応（行動）	48
3.7.3	客室乗務員の対応（行動）	50
3.7.4	非常脱出に関する乗客への周知	50
3.7.5	スライドの展開	50
4	結論	
4.1	分析の要約	51
4.2	原因	54
5	再発防止策	
5.1	アメリカ連邦航空局により講じられた措置	55
5.2	エンジン製造者により講じられた措置	55
5.3	同社により講じられた措置	56

添 付 資 料

付図1	FDRの記録	57
付図2	推定走行経路図	58
付図3	ボーイング式777-300型三面図	59
別添1	CVR、FDR、ビデオの記録	60
別添2	同社のFPI実施手順	66
別添3	第1エンジンの状況	67

別添4	破断面の写真	76
別添5	試料片のストライエーション	77

1 航空事故調査の経過

1.1 航空事故の概要

株式会社大韓航空所属ボーイング式777-300型HL7534は、平成28年5月27日（金）、同社の定期2708便として東京国際空港（羽田）滑走路34Rから金浦^{キンポ}国際空港（ソウル、大韓民国）に向けて離陸滑走中、12時38分ごろ、第1（左側）エンジンに火災が発生したことを示す警報が作動したため、離陸を中止し、同滑走路路上に停止して非常脱出を行った。同機には、機長ほか乗務員16名及び乗客302名の計319名が搭乗していたが、この非常脱出の際に乗客40名が軽傷を負った。

1.2 航空事故調査の概要

1.2.1 調査組織

運輸安全委員会は、平成28年5月27日、本事故の調査を担当する主管調査官ほか3名の航空事故調査官を指名した。

1.2.2 関係国の代表及び顧問

本調査には、事故機の登録国及び運航国である大韓民国の代表及び顧問並びに事故機の機体及びエンジンの設計・製造国であるアメリカ合衆国の代表及び顧問が参加した。

1.2.3 調査の実施時期

平成28年5月27日～6月1日	現場調査、機体及びエンジンの調査並びに口述聴取
同年6月 4日～6月7日	エンジン製造者の修理工場においてエンジン分解調査
同年6月 9日	口述聴取
同年6月13日～6月16日	米国NTSBの研究室においてタービン・ディスク調査
同年6月16日	口述聴取
同年6月22日～6月24日	エンジン製造者の施設においてタービン・ディスク調査
同年7月19日～7月22日	エンジン製造者の施設でタービン・ディスクの製造工程調査及び口述聴取

同年 8月24日

口述聴取

同年10月10日

運航者のエンジン修理工場及び機体

～10月14日

整備工場の調査、口述聴取

1.2.4 航空局への情報提供

エンジン製造者の修理工場におけるHL7534のエンジンの分解調査において、エンジンの第1段高圧タービン・ディスクの一部が破断し、エンジンケースを貫通していたことが判明したため、平成28年6月18日、航空局に対し、この事実及びエンジン製造者から事故機のエンジンと同型式のエンジンの使用者に対し、第1段高圧タービン・ディスクの点検実施を推奨する通報が発行された旨の情報を提供した。

また、その後の調査で同機が離陸滑走中、第1段高圧タービン・ディスクのリムの一部が破断し、当該ケース及びエンジン・カバーを破損させたこと並びに第1段高圧タービン・ディスクのリムの一部破断に伴い発生した衝撃により、エンジン部品（燃料滑油熱交換器）に亀裂が発生し、当該部位から漏れた燃料及び滑油によってエンジン・カバーを含むエンジンの防火区域外で火災が発生したことが確認されたため、平成29年11月8日、航空局に対しこの情報を提供した。

1.2.5 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。

1.2.6 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

株式会社大韓航空（以下「同社」という。）所属ボーイング式777-300型HL7534（以下「同機」という。）は、平成28年5月27日、同社の定期2708便として東京国際空港（羽田）から金浦国際空港（ソウル、大韓民国）に向けて飛行する予定であった。

同機には、機長ほか乗務員16名、乗客302名の計319名が搭乗し、操縦室に

は、機長がPM^{*1}として左操縦席に、副操縦士がPF^{*1}として右操縦席に着座していた。

同機が本事故に至るまでの経過は、東京飛行場管制所（以下「タワー」という。）との管制交信記録、飛行記録装置（以下「FDR」という。）の記録、操縦室用音声記録装置（以下「CVR」という。）の記録及び空港内の監視カメラの映像（以下「ビデオ」という。）記録並びに乗務員、航空管制官（以下「管制官」という。）及び関係者の口述によれば、概略次のとおりであった。

2.1.1 管制交信記録、FDRの記録及びCVRの記録による飛行の経過

12時36分40秒	同機は、滑走路34Rに進入した。
同 36分53秒	タワーは、同機に離陸を許可した。
同 37分04秒	同機のスラストレバーが前方に動かされ、N1 ^{*2} の指示が上昇して、同機は離陸滑走を開始した。
同 37分34秒	第1エンジンのN1が低下するとともに、第1エンジン故障の警報が作動した。
同 37分35秒	速度（IAS）が119ktに達した。
同 37分35秒	スラストレバーが後方に動かされた。
同 37分36秒	同機のブレーキプレッシャーが上昇を開始した。
同 37分37秒	タワーは、同機に第1エンジンから出火していることを通報し、緊急停止するよう指示した。
同 37分38秒	第1エンジン火災警報（1回目）が作動した。
同 37分39秒	副操縦士は、「スピードブレーキ アップ、第2エンジンリバーズ」と発唱した。
同 37分45秒	同機は、タワーに離陸を中止した旨を通報した。
同 37分50秒	タワーは、クラッシュフォン（空港事務所内緊急電話）により消防車の出動を要請した。
同 37分51秒	同機の対地速度が0となった。
同 37分59秒	機長は、客室乗務員に「Crew at the station（乗務員は配置に就け）」と指示した。
同 38分01秒	機長及び副操縦士は、エンジン停止に係るチェックリストを開始した。

*1 「PF (Pilot-Flying)」及び「PM (Pilot-Monitoring)」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は主に航空機の操縦操作を行う。PMは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。

*2 「N1」とは、2軸のジェットエンジンにおいて、ファンと低圧圧縮機の回転数を表すのがN1である。なお、Nとは回転速度を表す記号である。

同	38分13秒	第1エンジンへの燃料を遮断する操作が行われた。
同	38分20秒	第1エンジンへの消火操作（1回目）が行われた。
同	38分27秒	第1エンジンの火災警報が解除された。
同	38分51秒	消防東庁舎から化学消防車2台が出動した。
同	38分51秒	同機は、タワーに消火した旨を通報した。
同	40分40秒	第1エンジン火災警報（2回目）が作動した。
同	40分52秒	同機は、タワーに再び第1エンジン火災のメッセージが出た旨を通報した。このとき既に最初の消防車2台は到着しており、消火活動を開始していた。
同	40分59秒	第1エンジンへの消火操作（2回目）が行われた。
同	41分11秒	第1エンジンの火災警報が解除された。副操縦士は、機長に再度消火した旨を報告した。
同	42分07秒	第1エンジン火災警報（3回目）が作動した。
同	42分13秒	同機は、タワーに再び第1エンジン火災のメッセージ（3回目のメッセージ）が出た旨及びメッセージが消えないため、機体の右側から非常脱出の必要がある旨を通報した。
同	42分37秒	機長は、副操縦士に非常脱出のチェックリストの実施を指示した。
同	42分51秒	機長は、非常脱出シグナルスイッチをONにした。
同	43分03秒	機長は、PA ^{*3} により客室に非常脱出を指示した。
同	43分14秒	機長は、副操縦士に再度チェックリストの実施を指示した。
同	43分25秒	副操縦士は、非常脱出のチェックリストを開始した。
同	43分45秒	第2エンジンへの燃料を遮断する操作が行われた。
同	43分48秒	FDRの記録が停止した。
同	43分50秒	同機は、タワーに非常脱出する旨を通報した。

(付図1 FDRの記録及び別添1 CVR、FDR、ビデオの記録 参照)

2.1.2 ビデオの記録による非常脱出の経過

同	43分17秒	L1、R1ドアが開きスライドが正常に展開、起立した。
同	43分22秒	R5ドアが開き、スライドは展開したが、正常に起立しなかった。

*3 「PA」とは、Public Addressの略で放送設備のことをいう。

同	4 3 分 2 5 秒	R 3 ドアが開き、スライドが正常に展開、起立した。
同	4 3 分 2 7 秒	R 4 ドアが開き、スライドは展開したが、正常に起立しなかった。
同	4 3 分 2 9 秒	R 2 ドアが開き、スライドが正常に展開、起立した。
同	4 3 分 5 0 秒	R 3 ドアから乗客が脱出を開始した。
同	4 4 分 0 4 秒	R 4 ドアのスライドが正常に起立した。
同	4 4 分 0 6 秒	R 4 ドアから乗客が脱出を開始した。
同	4 7 分 0 4 秒	R 2 ドアから最後と思われる乗客が脱出した。

最初にL 1 ドアが開いてから、R 2 ドアから最後と思われる乗客が脱出するまでに3分47秒要している。その後、機長はR 1 から最後に脱出したが、ビデオの記録ではその状況が確認できなかつたため、全員の脱出が完了した時刻は確定できなかつた。

同記録の時刻補正は、同記録の解析による同機の対地速度の推定値とFDRの対地速度を対応させることで行った。同記録の時刻には、最大2秒程度の誤差が含まれている。

(別添1 CVR、FDR、ビデオの記録 参照)

2.1.3 乗務員、管制官及び関係者の口述

(1) 機長

12時20分ごろエンジンを始動し、地上走行ののち、滑走路34Rに進入した。この間、エンジン計器等に異常はなく、振動、異音及び異臭は感じなかつた。

副操縦士がPFを担当し、機長はPMを担当した。タワーから離陸の許可が出たので、機長はスラストレバーに手を掛けてリジェクト・テイクオフ(離陸中止)(以下「RTO」という。)に備えた。機長は「80ktホールド」とコールした。

対気速度が約100ktのとき、「バン」という音が聞こえ、機体が少し左に偏向したため機長はRTOを決断して副操縦士と操縦を交替し、直ちにスラストレバーをアイドルにした。同機の事故当日のV1^{*4}は122kt、スラストレバーをアイドルにした時の速度(IAS)は約110ktで、V1まで約10ktの余裕があつた。

機体が停止するまでの間に火災警報(ファイヤー・ウォーニング)の点灯

*4 「V1」とは、離陸滑走中に発動機又はその他の安全な飛行の継続に影響を与える事象が発生した場合に、操縦者が離陸中止操作を開始できる最大速度のことをいう。

と警報音を確認した。また「FIRE ENG L (左エンジン火災)」のEICAS^{*5}メッセージも確認した。機体が停止してから左側のスラストレバーがアイドル位置にあることを確認し、左側の燃料コントロールスイッチをカットオフした。このとき、副操縦士はファイヤーハンドルを引いたが、引き続き「左エンジン火災」メッセージが表示されていたので、一つ目の消火ボトルを使用し、時間計測をした。しばらくして、メッセージは消灯した。副操縦士が、滑走路34RでRTOを実施した旨をタワーに通報すると、タワーからは消防車が同機に向かっていると言われた。メッセージが消えてから、副操縦士にパーキング・ブレーキを掛けるよう指示し、消火したので大丈夫だと伝えた。非常脱出の可能性を考慮し、PAで客室乗務員は配置に就くよう指示した後、メモリーアイテム^{*6}を実施した。火災警報は一旦消えたが、約10秒後に再び点灯したので二つ目の消火ボトルを使用した。火災警報は一旦消灯したが、すぐにまた点灯したので非常脱出を決心した。消火ボトルを2回使用したとき、消防車が前方に見えたが、まだ遠かったので、非常脱出を急がねばならないと感じていた。機長は副操縦士に非常脱出チェックリストの実施を急ぐよう要求したが、チェックリストが定位置になかったため、副操縦士はすぐにチェックリストを実施できなかった。

副操縦士がチェックリストを探している間に、非常脱出を急ぐ必要があると考えた機長は、自身の記憶に基づいてエンジン停止の手順を実施した。

機長は、エンジン停止手順を実施した後、右側のスライドを使用して非常脱出をするよう機内アナウンスを行った。その後、副操縦士がタブレット端末（以下「タブレット」という。）を読み上げて非常脱出チェックリストを完了した後、客室へ向かった。乗客はまだ半分以上脱出しておらず、動きが遅かったので、火は完全に鎮圧されており、大丈夫なのでパニックにならないように、落ち着いて客室乗務員の指示に従い、右側から脱出するよう促した。

乗客が全員脱出したとの報告をパーサーから受けた後、まず副操縦士が脱出し、機長は誰も機内に残っていないことを確認した後、R1スライドから脱出した。脱出後は、消防隊の指示に従って機体から離れて海側に移動した。

*5 「EICAS」とは、エンジンや機体の状態を統合して表示したり、各種のトラブルをディスプレイ上にメッセージで表示したりするシステムのことをいう。

*6 「メモリーアイテム」の実施とは、緊急時にチェックリストを見ることなく、記憶に基づいて速やかに対応操作を実施することをいう。

(2) 副操縦士

滑走路に進入したときは全て正常だった。副操縦士がPFを受け持ち、機長はPM、ATC（管制）を受け持った。同社の規則ではV1までは機長がスラストレバーを持つことになっていて、副操縦士がTO/GAスイッチ*7を押した後、スラストレバーは機長が担当した。

機長の「80ktホールド」というコールを聞いて10～15秒してから、トラブルにより機長が操縦を交替して機体を停止させた後、「FIRE ENG L」のEICASメッセージを見た。機長は第1エンジンを止め、パーキングブレーキをセットし、「Crew at the station（乗務員は配置に就け）」を宣言した。

機長と副操縦士はメモリーアイテムを実施した。一つ目の消火ボトルを作動させて3～5秒後に「FIRE ENG L」のメッセージは消えたので、タワーに火は消えたと通報した。その5～10秒後、再び同じメッセージが現れたので二つ目の消火ボトルを作動させると、3～5秒後にメッセージは消えた。タワーに再度火は消えたと通報した。しかし、更に5～10秒後、また同じメッセージが現れたので機長は右側から脱出することを決心した。

機長にQRH*8の中にある非常脱出チェックリストの実施を指示され、いつもQRHを置いてある右側の箱を探したが見当たらなかったため、左側の箱及び副操縦士のフライトバッグを探した。しかし、やはり見付けることができずに混乱した。その後、タブレットの中にチェックリストがあることを思い出し、タブレットの非常脱出チェックリストを読み上げた。機長からタワーに滑走路34R上で非常脱出する旨を伝えた。機長は明確に右側から脱出せよと指示していた。操縦席から出たとき、L1スライドが展開していたので不思議に思ったが、誰もそこからは脱出していないことを確認した。

(3) チーフパーサー及び客室乗務員

チーフパーサーは、機長からの非常脱出シグナル及び「右側から脱出せよ」という機内アナウンスより前に、機外の煙を発見したL3担当の客室乗務員からの報告により非常脱出を確信し、L1ドアの窓から外を確認したところ、煙が見えなかったこと及びほぼ満席だったこともあり、L1スライドからの非常脱出に問題はないと判断していた。

機長からの非常脱出シグナルにより、L1スライドを展開したが、L1ド

*7 「TO/GAスイッチ」とは、スラストレバーに付いているオートスロットルに関連するスイッチのことをいう。離陸の際に押すと「N1モード」に移行し、スラストレバーは離陸推力に進められ、アプローチ中に押すと「GA」モードに移行し、「go around N1」推力にセットされる。

*8 「QRH」とは、FCOM(運航乗務員飛行規程)のうち通常操作及び異常時/緊急時の操作をチェックリスト形式で掲載した冊子のことをいう。

アから外を見ると第1エンジンの火災は一目瞭然で、L1スライドの降り口には消防車も停車していたため、結局L1スライドは使用しなかった。荷物は持たずに、右側から脱出するようにアナウンスし、各客室乗務員も乗客に対して荷物は持たずハイヒールは脱ぐよう叫び続けていたが、多くの乗客が荷物を持って脱出した。

R5担当者は、手動操作を行ってもスライドが正常に展開しなかったため、R5をブロックしてR4から脱出するよう乗客を誘導した。R4担当者は、当初R4スライドが風に流されていたので乗客の脱出を制止していたが、正常な起立状態に

戻ってから脱出を開始させた。また、R5が使用できなかったことによりR4に乗客が集中したため、後方にいた乗客には、左側の通路を通して右側前方のドアから脱出するように指示した。

(4) 管制官

同機に滑走路34Rからの離陸許可を発出した。それまでの間は、何も異常を感じなかった。同機が離陸滑走を開始して、誘導路C3付近で第1エンジンからオレンジ色の光が見えたので、同機に同エンジンから出火していることを通報し、離陸を中止するよう指示した。

タワーは、クラッシュフォンで消防車の出動を要請した。完全に停止する前だったと思うが、同機からRTOの通報があった。このとき、同機から煙は出ていたが、火は出ていなかったと思う。その後、パイロットから火災のメッセージが出ているとの通報があったので、既に消防車が向かっていることを通報した。その後、同機から消火したとの通報があった。しばらくして、再び同エンジンのファイヤーメッセージが出たとの通報があった。この時、既に最初の消防車が現場に到着し消火活動を始めていた。

1～2分後にも、同機から「またファイヤーメッセージが出ている（3回目）。右側から非常脱出が必要だ」という通報があった。それから10秒くらいでスライドが開いた。間もなく、パイロットから「メーデー、我々は非常脱出する（MAYDAY We evacuate）」という通報と同時に、脱出を始めた乗客が見えた。その後、同機に右エンジンはシャットダウンしたか否か確認し

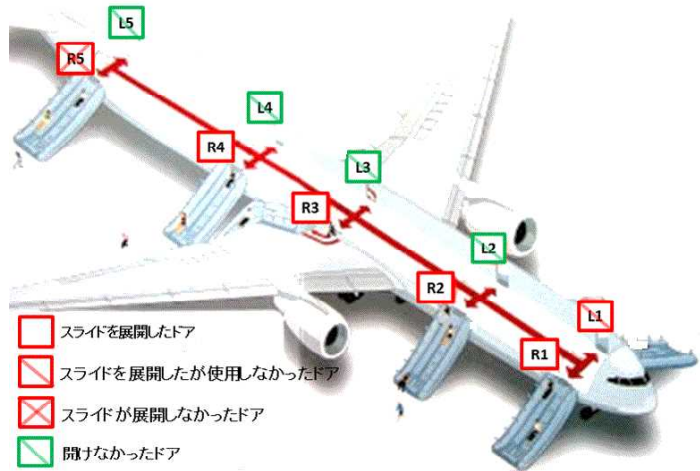


図1 非常脱出用ドアの配置図

たが、応答はなく、コックピット内にパイロットの姿は確認できなかった。

(5) 乗客A

右主翼後方付近に着席していた乗客Aによれば、男性客室乗務員が韓国語で「早く逃げろ」と叫び、いきなりドアが開いた。それを聞いた乗客はパニックになっていた。ドアが開くと乗客は我先にと脱出し始めた。右主翼付近のR3ドアの所に客室乗務員はいなかった。乗客AはR3に向かい、同行者を先に脱出させたが、スライドの降り口で補助する者は誰もおらず、勢い余ってスライドから滑走路へ飛び出した。続いて、乗客Aは、後ろから押されるように脱出し、滑走路に右膝をぶつけて腰を打撲した。

(6) 空港消防隊員（空港保安防災課及び航空保安協会）

消防東庁舎に勤務していた空港消防隊員によれば、同機が発進するときに「ドーン」という音を確認し、何らかの異常が発生したと分かったので、クラッシュフォンが鳴る前に出動の準備をした。滑走路に入ったとき、同機の第1エンジンに炎を確認した。出動から約2分で現場に到着した。風下から放水が可能と判断し、左翼端に5号車を、同エンジンの後方に3号車を配置し放水を開始した。同エンジンからは煙が出ており、エンジンカウリング内に炎が見えた。その後、消防西庁舎から到着した4号車が同エンジン前方から放水を開始し、3号車、5号車はエンジン内部まで届く粉末消火剤による消火を開始した。東京消防庁の消防車が到着後、状況を報告し、その後は、後方支援（警戒）に当たった。

避難誘導を行った空港消防隊員によれば、初期消火活動開始後、すぐに非常脱出が始まったが、乗客によるスライド下での補助は行われていなかったため、R1とR2、R4の非常脱出スライド下で補助に当たった。R3の補助者は誰もいなかった。脱出後、乗客たちは機体の近くで写真を撮ったり、電話連絡をしたりしており、空港消防隊員の誘導・指示になかなか応じなかったため、誘導棒により海側の場周道路へ誘導した。多くの乗客はバッグ等を携行しており、中には大きなスーツケースを持っている者もいた。

本事故の発生場所は、東京国際空港滑走路34R上（北緯35度32分、東経139度48分）で、発生日時は、平成28年5月27日12時38分ごろであった。

（付図2 推定走行経路図 参照）

2.2 人の死亡、行方不明及び負傷

乗客40名が打撲、捻挫、かすり傷等の軽傷を負った。

2.3 航空機の損壊に関する情報

2.3.1 損壊の程度

小破

2.3.2 航空機各部の損壊の状況

- (1) 第1エンジン：損傷（別添3 第1エンジンの状況 参照）
- (2) 左主翼のフラップ：後縁部に亀裂

2.4 航空機以外の物件の損壊等に関する情報

物件の損傷なし。

2.5 航空機乗組員等に関する情報

(1) 機長 男性 49歳

定期運送用操縦士技能証明書（飛行機）	2002年1月3日
限定事項 B777機	2009年11月24日
第1種航空身体検査証明書	
有効期限	2016年7月31日
総飛行時間	10,410時間05分
最近30日間の飛行時間	32時間00分
同型式機による飛行時間	3,205時間22分
最近30日間の飛行時間	32時間00分

(2) 副操縦士 男性 41歳

事業用操縦士技能証明書	1999年4月30日
限定事項 B777機	2010年7月7日
計器飛行証明	1999年4月30日
第1種航空身体検査証明書	
有効期限	2017年5月13日
総飛行時間	5,788時間16分
最近30日間の飛行時間	40時間00分
同型式機による飛行時間	2,531時間18分
最近30日間の飛行時間	40時間00分

2.6 航空機に関する情報

2.6.1 航空機

型 式

ボーイング式777-300型

製造番号

27950

製造年月日	1998年1月4日
耐空証明書	AS071213
有効期限	2012年9月21日から中断又は制限されるまで
耐空類別	飛行機 輸送T
総飛行時間	64,028時間00分
定期点検（IAA点検（500時間間隔、2016年4月12日実施）後の飛行時間）	412時間00分
（付図3 ボーイング式777-300型三面図 参照）	

2.6.2 エンジン

装 備 位 置	第1（左側）	第2（右側）
型 式	プラット・アンド・ホイットニー式PW4090型	
製 造 番 号	P222221	P222017
製 造 年 月 日	2004年10月23日	1997年2月5日
総 飛 行 時 間	41,594時間	70,660時間
総 使 用 回 数	9,832サイクル	11,059サイクル

2.6.2.1 エンジンの構造

同機に装備されているエンジンは、低圧圧縮機／タービン（図2青色）及び高圧圧縮機／タービン（図2赤色）の2軸構造のターボファンエンジンである。エンジンの前方から、直径112inのファン、6段の低圧圧縮機（以下「LPC」という。）、11段の高圧圧縮機（以下「HPC」という。）、燃焼室、2段の高圧タービン（以下「HPT」という。）、7段の低圧タービン（以下「LPT」という。）の構造となっている。（図2 エンジン構造図（略図） 参照）

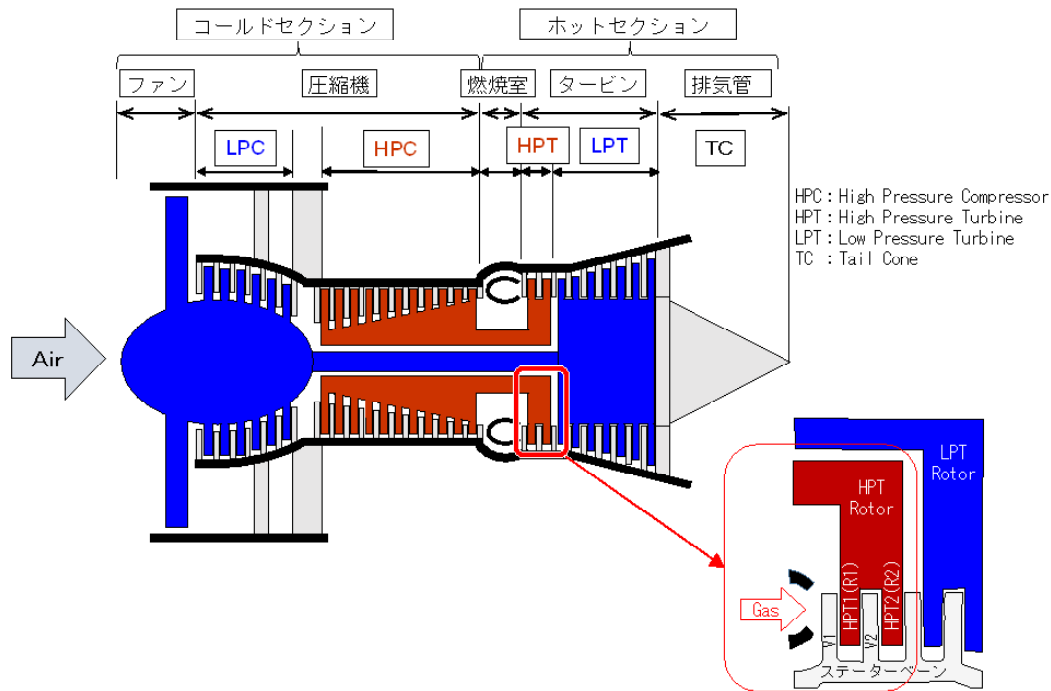


図2 エンジン構造図 (略図)

2.6.2.2 HPTについて

エンジン構造のうち、直接高温高压の燃焼ガスにさらされる部分をホットセクション (図2 : 燃焼室、タービン及び排気管) と呼び、他の部分をコールドセクションと呼んで区別している。ホットセクションの中でも特にHPTは、高温環境下で動作するため、HPTの構成部品であるローター・ブレード、ステーター・ベーン及びディスク等には、耐熱合金が使われている。

HPTは、燃焼室を出た高温高压の燃焼ガスを2段あるタービンで膨張させて回転運動に変換し、高压シャフトを介してHPCを回すエンジンの構成部品であり、燃焼室出口側から、第1段のステーター・ベーン (静翼) (V1)、HPT1ローター (動翼) (R1)、第2段のステーター・ベーン (静翼) (V2)、HPT2ローター (動翼) (R2) となっている。各HPTローターは、翼型断面形状のローター・ブレード (動翼) を、円盤状のディスクの外周上に数十枚取り付けられたものである。

HPTローターはシャフト (軸) に取り付けられ、ステーター・ベーンの間を高速回転している。HPTローターは、エンジン運転中は高温高压の燃焼ガスによる熱応力と高速回転による遠心力を受けている。型式証明データシートによるとタービン出口最大温度は675℃ (離陸時5分以内に制限。)、最大回転数は10,850RPMと定められている。また、エンジンを始動し離陸のため最大出力を出すとブレード周辺のディスク外径部 (リム) は燃焼ガスで急激に熱せられ膨張するが、シャフト周辺のディスクの内径部 (ハブ) は高温となっていないため、ディスクの内径部と外径部の間に引張応力が生じる。しばらく運転すると内径部まで熱が伝わり外

径部との温度差がなくなる。次にエンジンを停止するとディスク外径部は外気により急激に冷却収縮するが、内径部はなかなか冷却されないため、外径部と内径部の間に圧縮応力が生じる。

このようにディスクには、1 飛行(始動→離陸→上昇→巡航→降下→着陸→停止)の間に温度差による引張応力と圧縮応力との組合せが1回発生する。この1組の応力の組合せを1サイクルと数える。1サイクルの時間は、運用される路線距離で変わるが、通常1時間から14時間程度である。

振動などの短時間で蓄積する疲労に対し、前述のように低周期の応力の組合せが繰り返し加わることによる金属疲労のことを低サイクル疲労(以下「LCF」という。)といい、エンジンのほぼ全てのディスクはLCFによる疲労寿命を有している。このため同機に装備されているエンジンの第1段HPTディスクに対してはエンジン製造者により使用限界が13,300サイクルと設定されている。

2.6.2.3 HPTディスク製造時の加工と検査について

第1段HPTディスクは、円盤状の部品に対して、外周上にローター・ブレードを取り付けるための溝や冷却用空気の漏れを抑えるエアシール取付用の溝(以下「U字型溝」という。)などが、加工された構造となっている。(写真1 HPTディスク 参照)

なお、HPTディスクには大きな応力が繰り返し作用することから、僅かな傷や製造許容値超えの段差等があると切り欠き効果(notching effect)^{*9}の影響により、応力集中、疲労亀裂の起点となり得るので、製造時の加工及び検査は厳格に管理されている。

*9 「切り欠き効果(notching effect)」とは、物体の表面に切り欠きがあると、外力が作用したとき、その部分に他の平滑な部分よりもはるかに大きな応力が生ずる現象のことをいう。

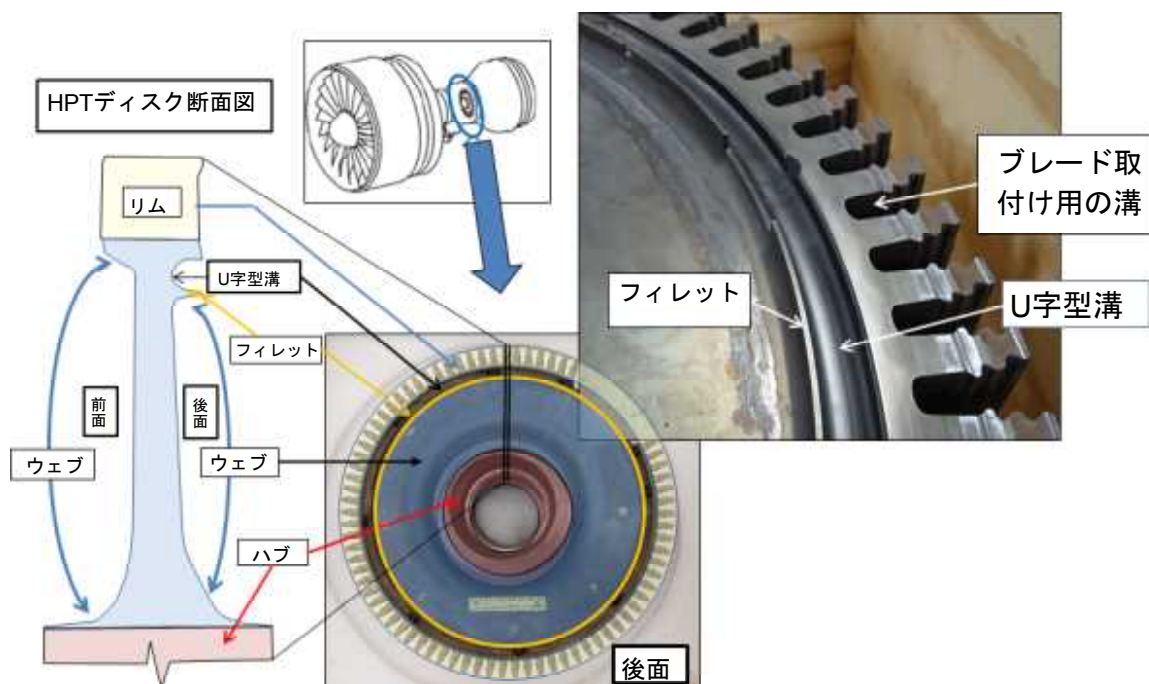


写真1 HPTディスク

U字型溝は、縦型自動旋盤のターンテーブル（回転台）の上に加工作である第1段HPTディスクを固定し回転させながら加工用工具の刃先が水平方向及び垂直方向に動いて切削加工される。縦型自動旋盤は、コンピューター・プログラム制御により自動で加工を行う。マシン・オペレーター（作業員）は、加工部品の位置合わせ及び固定、加工用工具のセット及び自動加工中の状況のモニターを行う。

U字型溝は、溝の外周側からと内周側から切削されるため、両側からの合わせ目に段差状の加工痕が生じる。マシン・オペレーターはこの合わせ目の段差を除去するためU字型溝の最終仕上げ工程で加工用工具の刃先とU字型溝の底面との間に0.010inの隙間ゲージを挿入し、指先の感触と目視で状態を確認しながら、縦型自動旋盤にある精密仕上げ用の手動送り装置を操作し、加工用工具の刃先の位置とU字型溝の底面との隙間を調整して最終加工位置を決定する。この調整は加工用工具の刃先の摩耗を補正するためのもので、精密仕上げ用の手動送り装置のカウンターに最終加工位置の値（Z軸：縦方向の送り）が表示される。この値をキーボードから縦型自動旋盤に入力し自動加工が行われるが、実際の最終加工位置は、挿入した隙間ゲージの厚みを補正するため、この値から更に0.010in下側の位置まで加工用工具の刃先が送られるようにプログラムされている。

調査において、0.010inの隙間ゲージを使用せずに加工用工具の刃先とU字型溝の底面の隙間がない状態を最終加工位置として加工を再現し検証したところ、U字型溝の底面に0.010inの段差が生じた。（図3 縦型旋盤を使用したHPTディスク加工 参照）

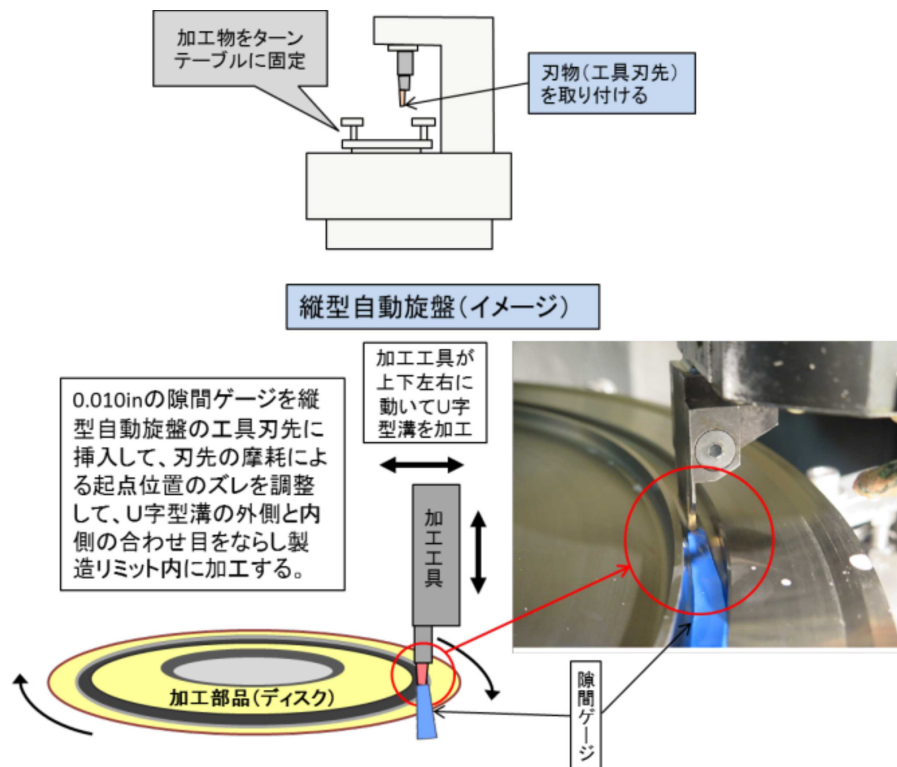


図3 縦型旋盤を使用したHPTディスク加工

製造後にマシン・オペレーターは、HPTディスクが製造許容値内にあることを目視、触診、計測器により確認する（製品検査）。その後、検査工程でインスペクター（検査員）が製造指示どおり製品が作られ製造検査が適切に行われていることを作業指示書及び製造図面により確認する（品質検査）。

検査に用いられる作業指示書及び製造図面は、技術部門でコンピューター管理され、常に最新変更版が社内イントラを通じて作業現場に配信される。

インスペクターによる検査方法は、検査箇所に応じて、目視、触診、計測器による計測及びCMM（Coordinate Measuring Machine：3次元測定器）等が指定されている。また、品質検査でインスペクターが加工段差を確認するために必要であると判断した場合は、常温で硬化する樹脂でレプリカ（複製）を作成して光学拡大装置で計測する。製造許容値は、製造図面に示されている。U字型溝の箇所は、重点検査箇所（ブレードの取付溝、ハブのシャフト取付溝等の特に重要な箇所）としては指定されていないため、第1段HPTディスクの一般的な製造許容値である0.002 inが適用されている。

なお、重点検査箇所については、製造図面に詳細な検査に関する注記があり、作業指示書の記録欄に製造検査及び品質検査の計測値が記録されていたが、その他については、製造図面に注記がなく、作業指示書には検査の合否記録のみ記載される。なお、同機の第1エンジンの第1段HPTディスクのU字型溝は、製造後の修理作業では加工されていなかった。

2.6.2.4 第1段HPTディスクの製造時の記録

第1段HPTディスクは2.6.2.3のとおりエンジン製造者において、製造時にマシン・オペレーターによる製品検査並びにインスペクターによる品質検査が行われる。第1エンジンの第1段HPTディスクの製造記録（作業指示書の検査実施記録）によれば、U字型溝は品質検査の重点検査箇所ではないため計測データ等の記載はなかったが、検査結果は合格との記述があった。

2.6.2.5 エンジン製造者の品質管理体制について

第1エンジンの製造者は、製造国（米国）政府F A Aの製造認定を有している。同エンジンの製造に係る施設、設備、組織、人員及び品質管理体制について現場調査を行い、同エンジンの第1段HPTディスク製造時の記録を確認するとともに、同ディスクの製造に関わったマシン・オペレーター及びインスペクターへの聞き取りを行ったが、本事故の要因となり得る事実は確認できなかった。品質検査で製造許容値はずれ等の不適合がある場合は、Q N（Quality Notification）が発行され、品質管理部門の担当者及び技術部門のエンジニアであるM R E（Material Review Engineer）が作業のやり直し（リワーク）又は廃棄（リジェクト）を判断する制度が設けられていたが、同エンジンの第1段HPTディスクに対してはQ Nは発行されていなかった。

2.6.2.6 HPTディスクの非破壊検査について

HPTディスクは、2.6.2.2に記述したL C Fによる破壊又は亀裂の兆候を事前に発見し予防するために、エンジン製造者によりユーザーに対して、エンジン整備時にHPTを分解する際に非破壊検査（N D I : Non Destructive Inspection）を行うことが求められており、第1段HPTディスクに対しては、非破壊検査法の一つである蛍光浸透探傷検査（Fluorescent Penetrant Inspection）（以下「F P I」という。）を行うこととされている。通常の見視検査では表面に開口した不連続な損傷は検出しにくいですが、F P Iは、蛍光体を含んだ浸透液でこの損傷を検出するものである。また、F P Iの実施要件は、非破壊検査の公知規格（MIL SPEC, MIL STD, NAS410, ASTM-STD-1595等）又は航空機製造者等の技術資料に、非破壊検査に係る施設、設備、作業員及び作業方法が厳格に指定されており、これらに従って実施することが求められている。同社では、エンジン製造者が指定する手順どおりにF P Iを実施していた。F P Iにより亀裂を発見する手順の概略は次のとおりである。

- ① 蛍光染色塗料を含む浸透液を検査面に塗布又は浸透液に浸すと毛細管現象により亀裂に浸透液が浸透する。（浸透処理）
- ② 表面に残った浸透液を除去する。（除去処理・事前すすぎ）

- ③ 乳化剤に浸した後、表面の浸透液を除去して亀裂内に浸透液を定着させ、洗浄・乾燥させる（乳化処理）
- ④ 現像剤を吹きかけ亀裂中の浸透液を吸い上げる。（現像処理）
- ⑤ 紫外線（UV／ブラック・ライト）を照射すると亀裂が蛍光を発して浮かび上がる。（検査）

（F P I の詳細な手順は「別添 2 同社の F P I 実施手順」 参照）

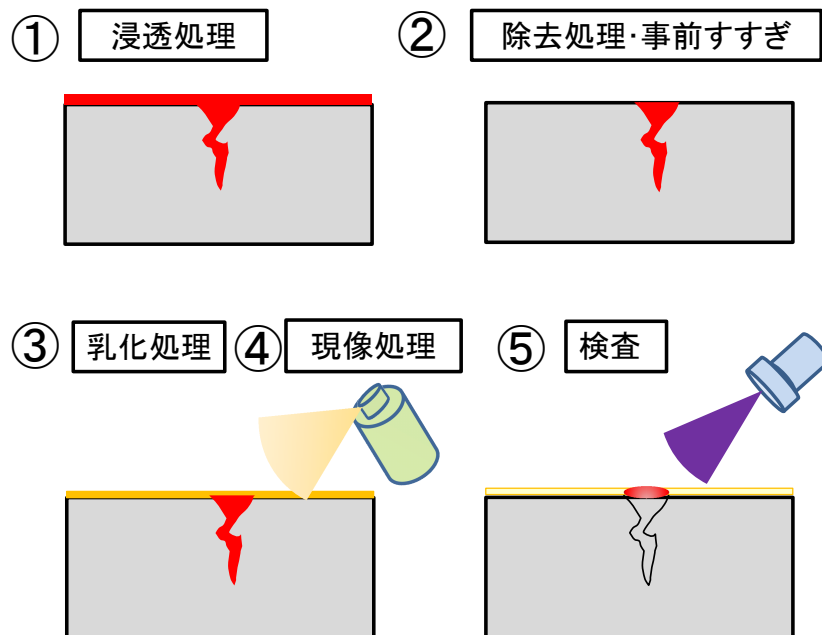


図 4 F P I により亀裂を発見する手順の概略

F A A アドバイザリー・サーキュラー（AC43-3「Nondestructive Testing Aircraft」）によれば、F P I は非磁性金属、強磁性金属及び非金属材料の表面の欠陥の検出に効果的であるとされている。

2.6.2.7 第 1 エンジン及び第 1 段 H P T ディスクの主な経歴等

第 1 エンジンの整備記録によれば、主な経歴は表 1 のとおりである。同エンジンの第 1 段 H P T ディスクは、2 0 0 4 年 1 0 月 2 8 日に製造され、1 3, 3 0 0 サイクルの寿命があり、同エンジンに製造時から装備されていたものである。パーツナンバー（PN）は、53L601-001、シリアルナンバー（Sn）は、CKLBHE5552、本事故発生時の使用回数及び使用時間は、同エンジンと同じ 9, 8 3 2 サイクル、4 1, 5 9 4 時間であった。

第 1 段 H P T ディスクに対する F P I は、同エンジンの製造時①、並びに H P T

モジュール^{*10}の分解時②、⑥、⑧で行われていた。なお、エンジン修理工場搬入時にHPTモジュールが分解された機会には、毎回第1段HPTディスクのFPIがエンジン製造者の規定どおり実施されていた。

表1 第1エンジンの主な経歴

No.	装備及び取卸日付	装備機番位置	機体取卸し理由	修理搬入先	ディスクFPI あり：○ なし：×	製造時からの 使用時間 使用回数（サイクル）
①	2004年 10月28日	HL7573右 (新規製造)	-----	-----	○（新規製造検査時）	0時間 0サイクル
②	2007年 8月13日	↑	EGT（排気ガス温度）高温	エンジン製造者の修理工場	○（HPTモジュール分解時）	11,168時間 3,043サイクル
③	2008年 3月5日	HL7531右	-----	-----	-----	↑
④	2008年 6月17日	↑	内部損傷	エンジン製造者の修理工場	×（HPTモジュール分解せず）	12,691時間 3,262サイクル
⑤	2008年 11月18日	HL7573左	-----	-----	-----	↑
⑥	2011年 3月31日	↑	内部腐食	同社エンジン修理工場	○（HPTモジュール分解時）	22,120時間 6,050サイクル
⑦	2011年 9月6日	HL7734左	-----	-----	-----	↑
⑧	2014年 6月29日	-----	EGT高温	同社エンジン修理工場	○（HPTモジュール分解時）	36,825時間 8,023サイクル
⑨	2014年 11月12日	HL7534左	-----	-----	-----	↑
⑩	2016年 5月27日	-----	本事故	-----	-----	41,594時間 9,832サイクル

2.6.2.8 同社エンジン修理工場について

同社は、航空機登録国（韓国）政府MOLITから整備に関する認定を受けている。同社エンジン修理工場のFPIに係る施設、設備、組織、人員及び品質管理体制について現場調査を行い、第1エンジンの第1段HPTディスクのFPI実施時の整備記録を確認したが、本事故の要因となり得る事実は確認できなかった。

同社でのFPIはエンジン製造者が指定する方法どおりのもので、FPIに必要な能力及び資格を有する作業員及び検査員により行われる。

作業員は作業手順書に従い検査（NDIインスペクション）を行う。検査員は作業員が行った検査が決められた手順、工程に従って適切に行われていることを最終的に確認することにより検査部品の品質を保証するための検査（QAインスペクション）を行う。

*10 「モジュール」とは、エンジンの整備性を良くするため、エンジンの構造部分をいくつかの整備単位に分割したものの分割単位をいう。

2014年6月29日（以下、「当時」という。）に最後の同エンジンの第1段HPTディスクのFPIの検査をした検査員（以下「同検査員」という。）は、同社で作業員として約10年、その後、検査員として約25年勤務した。当時同社における経験年数は約27年であった。その後、退職して、現在は同社の関連会社で航空機部品洗浄（クリーニング）に従事しており、本事故調査時に、当時のFPIに関して口述している。

当時、最後の同エンジンの第1段HPTディスクのFPIを行った作業員（以下「同作業員」という。）は、同社の航空機部品洗浄（クリーニング）に約3年間従事した後、同社のエンジン工場で作業員となり、当時の同社における経験年数は約19年であった。調査時は、同社の検査員となっており、2.14.1.2の同社のFPIの実施体制の調査時に実際に2.14.12に後述するFPIを行った者である。当時、同検査員、同作業員ともに有効な検査資格（FPIレベル^{*11}Ⅱ）を有しており、同社が毎年行う視力検査に合格していた。

同作業員によれば、最初に作業指示書の確認、現物の目視検査、部品番号及び製造番号の確認を行い、その後、作業手順（エンジン製造者の手順）に従い作業を行うことになっている。

エンジン製造者によれば、暗室の検査では、作業前に数分かけて暗さに目を慣らすとあるが、同検査員は約2分から5分、同作業員は約10分かけて目を慣らしていた。

同作業員は、過去に同型式エンジンの第2段HPTディスクのクーリング・ホールに亀裂を発見したことがあった。同検査員は、同エンジンのタービン・ディスクの検査で亀裂を発見した経験はなかった。

なお、同作業員は調査時、同社の検査員となっており、2.14.1.2に後述する同社のFPIの実施体制の調査時に実際にFPIを行った者であるが、以下は同作業員の口述によるものである。

- ① 検査を行うときは、タービン・ディスク単品で行うこともあるが、作業量に応じて他の部品を合わせて行う場合もある。タービン・ディスクの検査はベルトにかけつるされたディスクを移動、回しながら、最初に全体を見てディスクの前面から行う。これは、ディスクの前面の方が、より重要性が高いからである。ディスク1個の検査時間は、約30分程度だが、長い時は約1時間かかることもある。

*11 「FPIレベル」とは、非破壊検査の種類毎に検査の経験時間及び難易度などに応じて認定される公知規格に規定された検査資格レベルのことで、レベルⅠからレベルⅡとなりレベルⅢが最高位となる。資格認定後も定期的に資格の更新があり、技量維持のために所定の検査時間以上の業務経験及び視力検査に合格していることなどが必要である。レベルⅡ以上であれば単独で検査を行うことができる。

- ② 技術部門との意見の違いがあれば他の検査員と話し合い、必要により検査をやり直す。検査員が最終検査を行う前に作業員が手順書に従い検査を行っている。
- ③ 検査結果について、他の検査員、技術部門との意見の違いが生ずることはめったにないがこれまでに、クリーニングが不十分だったので、クリーニング部門にクリーニングをやり直させたことがある。
- ④ 2004年から現在にかけて、作業品質や不具合対策に関係するものなど、作業環境に変更はない。
- ⑤ ヒューマン・ファクターズ訓練は、エンジン・ショップのほぼ全員を対象に定期的に行われている。訓練は、慢心の抑制、作業ミスの予知などであり、日々の業務に役に立っている。
- ⑥ 同エンジンのFPIで注意すべきことは特にないが、マニュアルに従いこれを確認して検査で注意すべき箇所をよく見ることが重要である。これまでにマニュアルに対する疑義についてエンジン製造者等に問い合わせたことはない。

2.6.2.9 第1段HPTディスクのFPIの記録

2.6.2.5で述べたとおり製造後の第1エンジンの第1段HPTディスクに対してはエンジン製造時、エンジン製造者の修理工場及び同社のエンジン修理工場において、計4回のFPIが行われているが、これらの記録にはいずれも亀裂等の不具合に関する記述はなかった。

2.6.3 燃料及び潤滑油

同機に使用されていた燃料は航空燃料ジェットA-1、潤滑油はモービル・ジェット・オイルIIであった。航空燃料ジェットA-1の自然発火温度は約210℃、引火点は約40℃である。

2.7 気象に関する情報

同空港の事故発生時間帯の航空気象の観測値は、以下のとおりであった。

(1) 定時観測気象報

12時30分 風向 060°、風速 20kt、卓越視程 10km以上、
雲 雲量 1/8～2/8 雲形 積雲 雲底の高さ 800ft、
雲量 3/8～4/8 雲形 積雲 雲底の高さ 1,300ft、
雲量 5/8～7/8 雲形 積雲 雲底の高さ 1,800ft、
気温 19℃、露点温度 18℃、高度計規正值 29.80 inHg

(2) 照会特別観測気象報

12時52分 風向 060°、風速 18kt、卓越視程 25km、
雲 雲量 1/8～2/8 雲形 積雲 雲底の高さ 800ft、
雲量 3/8～4/8 雲形 積雲 雲底の高さ 2,000ft、
雲量 5/8～7/8 雲形 層積雲 雲底の高さ 4,000ft、
気温 19℃、露点温度 17℃、高度計規正值 29.80inHg

2.8 滑走路に関する情報

東京国際空港にはA滑走路（16R/34L、3,000m、幅60m）、B滑走路（04/22、2,500m、幅60m）、C滑走路（16L/34R、3,360m、幅60m）及びD滑走路（05/23、2,500m、幅60m）の4本の滑走路があり、本事故はC滑走路上で発生した。（付図2 推定走行経路図 参照）

同滑走路は本事故発生前、11時00分～11時10分の間、定時の滑走路点検が行われたが、運用に支障となる異常はなかった。

2.9 フライトレコーダー等に関する情報

同機には、約25時間記録可能な米国ハネウェル社製FDR及び約2時間記録可能な米国L3コミュニケーションズ社製CVRが装備されていた。これらのFDR及びCVRには、本事故発生当時の記録が残されていた。FDR及びCVRの時刻補正は、管制交信記録に記録された時報と、FDRに記録されたVHF無線送信信号及びCVRに記録された管制交信を対応させることにより行った。

2.10 事故現場に関する情報

同機は取り付け誘導路C1から滑走路34Rへ進入し離陸滑走を開始した。その後、離陸を中止し、誘導路C5手前の滑走路上に機首方位335°（磁方位）で停止した。この間同機は約1,350m走行した。停止位置から南側約520mにわたり、滑走路中心線に沿って両側に急ブレーキによるタイヤ痕を確認した。また、滑走路進入端の内側から約680mの地点を起点に北側へ約570mの間の滑走路、誘導路及び周辺の草地から多数のエンジン関連部品の飛散物が回収された。（図5 タイヤ痕及び破損部品の飛散範囲 参照）

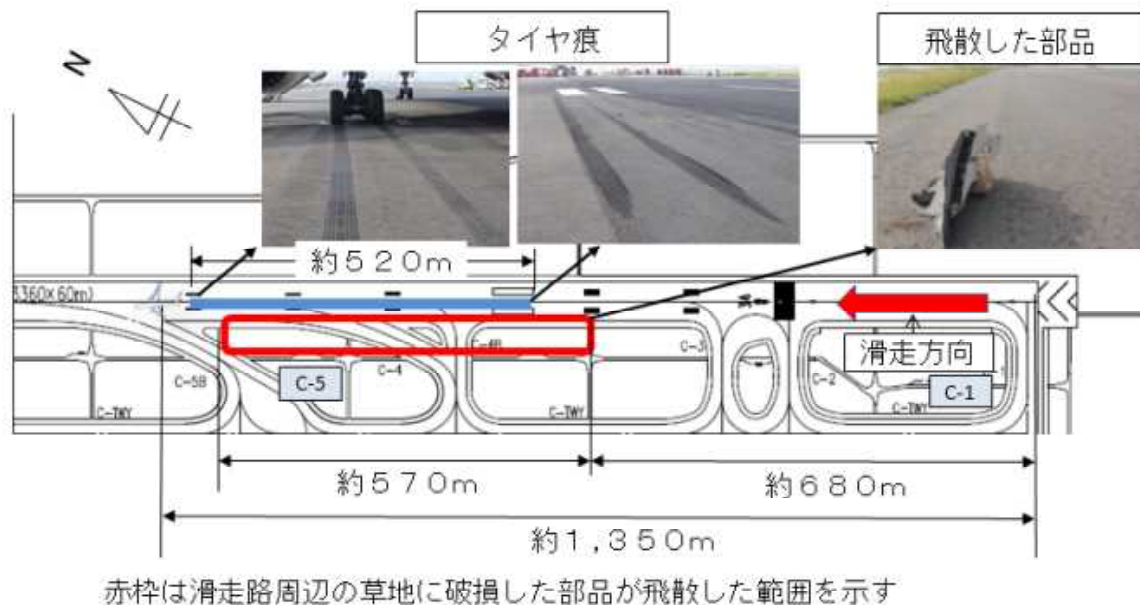


図5 タイヤ痕及び破損部品の飛散範囲

2.1.1 損壊の細部状況

東京国際空港における現地調査の結果判明した機体及びエンジンの損壊状況は以下のとおりであった。なお、以下の文中においては、機体後方から前方を見た場合のエンジンの回転軸を中心とする円周上の位置を、時計の时针の位置により示す。エンジンの左右についても機体後方から前方を見た場合を示す。

また、「写真#〇」とあるのは別添3の写真番号を指す。(別添3 第1エンジンの状況 参照)

(1) 第1エンジン

- ① 第1エンジンの左側及び外部の補機類は焼損し、すすが付着していた。(写真#1)
- ② ディフューザー^{*12}・ケース後縁は5時半から6時半の位置で放射状に外側に曲がっていた。内側のディフューザー・ケースには、ケースの中央から後縁にかけて亀裂があり、ほぼ12時の位置に欠損があった。
- ③ HPTケースは、7時半から9時の位置で円周に沿って破断して外側に折れ曲がりねじれていた。第1段HPTブレードは根元のプラットフォーム部にごく近い部分で翼型を横断するように破損していた。HPTケースの穴から第2段HPTタービンのステーター・ベーンは見えなかった。(写真#7)

*12 「ディフューザー」とは、圧縮機の後方に位置し、圧縮機で圧縮された気流の速度を燃焼室で利用するのに適した速度に変える部分のことをいう。ここで高圧圧縮機からの高速かつ低圧な気流の流れを、燃焼室に入る前に低速かつ高圧な気流の流れに転ずる。

- ④ エアー・スターター・バルブには穴があいていた。(写真# 8)
 - ⑤ 第1段HP Tディスクのリム(縁)部に欠損があった。欠損部分は、C滑走路の周辺の草地から回収された飛散物の中から発見された。(写真# 10)
 - ⑥ 燃料滑油熱交換器^{*13}の本体ケースに亀裂及び焼損によるすすが確認された。
 - ⑦ 左側のトランスレーティング・カウルの後縁部から前方に向かって、カウリングの円周に沿って欠損していた。(写真# 11)
- (2) アウトボードフラップ
- インボードエッジから外側に122cm(48in)の後縁部に20cm(8in)の亀裂があった。(写真2 アウトボードフラップの亀裂 参照)

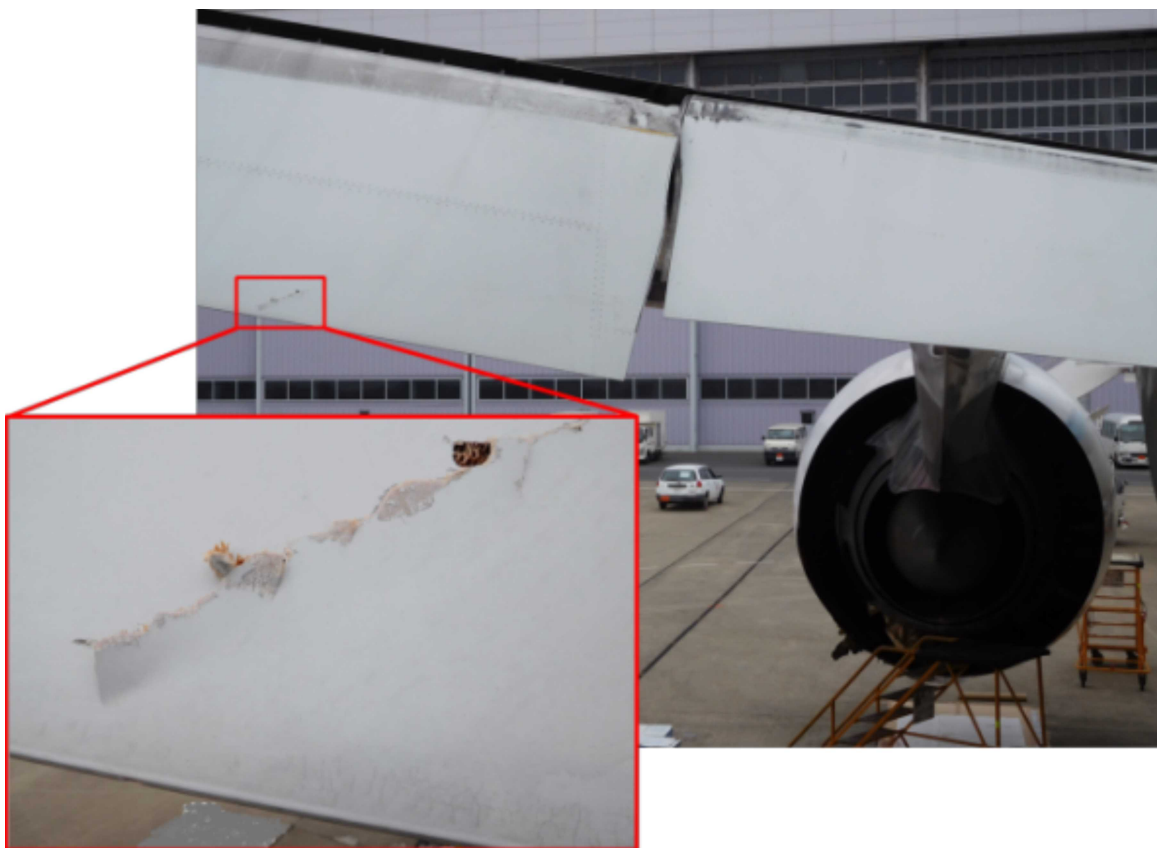


写真2 アウトボードフラップの亀裂

(注：写真のフラップの位置は、事故発生時の離陸フラップの位置と異なる。)

*13 「燃料滑油熱交換器(フューエル・オイル・ヒートエクスチェンジャー)」とは、燃料とエンジンオイルの間で熱交換を行い、燃料を温めて水分の凍結を防ぐとともに、エンジンオイルを冷却するものである。

2.12 消防に関する情報

2.12.1 航空事故等発生時の空港の緊急体制について

(1) 東京国際空港緊急計画

東京空港事務所には、国際民間航空条約 第14附属書（飛行場）に準拠し、航空機事故等が発生した場合の対応を定めた東京国際空港緊急計画が制定されている。同緊急計画には、緊急事態が発生した時、同空港事務所は、緊急連絡体制表により関係機関に通報し、消火救難活動及び医療救護活動等の要請を行うことが規定されているほか、空港関係者の協力体制、訓練等について規定している。

(2) 東京国際空港の緊急車両配備と空港消防隊員の出動

東京国際空港には、化学消防車5台、指令車1台、給水車1台、救難照明車1台及び医療搬送車1台が配備されており、本事故発生時には、空港消防隊員11名が、化学消防車5台及び医療搬送車1台に分かれて出動した。

(3) 東京消防庁の出動状況

東京消防庁は、東京空港事務所からの出動要請を受け、消防車等計48台、救急車計14台が現場入りし、計239名で消火救難活動及び医療救護活動を実施した。

2.12.2 消火活動の経過

本事故発生時の空港消防隊員の対応について、東京空港事務所の記録によれば、概略以下のとおりであった。

12時38分にタワーからのクラッシュフォンによる出動要請を受けた。

12時39分に化学消防車2台（消防3号車と5号車）が出動した。

12時41分に機体後方から現場へ到着し、消火活動を開始した。

12時42分に消防4号車が機体前方から到着し、放水を開始した。

13時03分に空港消防隊員は、初期消火活動を終了し、東京消防庁に消火活動を引き継いで、後方支援にあたった。

東京消防庁の記録によれば、鎮圧^{*14}は14時21分、鎮火^{*14}確認は15時09分であった。

*14 「鎮圧（ちんあつ）」及び「鎮火（ちんか）」とは、消防用語であり、「鎮圧」とは、消火活動により火勢の勢いを弱くした状態をいい、「鎮火」とは、火災が消火され、消防隊による消火活動が必要なくなった状態をいう。

2.13 救難及び避難誘導に関する情報

2.13.1 空港消防隊員による救難及び避難誘導

12時42分に消防8号車は、機体前方から現場へ到着し、乗員乗客の避難誘導にあたった。12時43分に消防9号車は、機体前方から現場へ到着し、避難誘導にあたった。空港消防隊員は、R1、R2及びR4非常脱出スライド（以下「スライド」という。）下で補助を行い、乗務員に全員の脱出を確認した後、乗員乗客をC滑走路東側の場周道路へ避難誘導した。

12時51分に消防12号車（医療搬送車）が現場へ到着し、C滑走路東側エッジ付近で負傷者に対する手当を行った。

2.14 試験及び研究に関する情報

2.14.1 エンジンに関する調査

2.14.1.1 破断面の解析

同機の第1エンジンをエンジンオーバーホール工場で分解した後、NTSB及びエンジン製造者において、破損した第1段HPTディスク本体及び本体から分離した破片の冶金学的調査を行った。調査で判明した事項は次のとおりである。

第1段HPTディスクは欠損したリム部を除き完全な状態で、その素材は必要条件に適合していた。欠損したディスクのリム部（スナップ内径が約19.68 cm（7.75 in））は、滑走路34Rの周辺から回収された。ディスクの破断面は、リム部の破断面と完全に一致した。ディスクの破断面と回収されたリム部の破断面には楕円形の模様があった。ディスクには73個のブレードスロットが、回収されたリム部には9個のブレードスロットがあった。第1段HPTディスクには、82のブレード・スロットがある。

第1段HPTディスクの後面の縁の部分のU字型溝の全周にわたって0.010 in（0.25 mm）の段差が確認された。製造時の加工段差の最大許容値は2.6.2.3に記述したとおり0.002 in（0.05 mm）である。その段差の周辺を詳細に確認した結果、第1段HPTディスクが破断した部分付近の左右の段差に沿って数箇所に亀裂が点在していることが確認された。詳細目視検査により確認することができた開口部の大きさはそれぞれ約1 mmから4 mm程度であった。（写真3-1 破断したリム部 写真3-2 U字型溝と亀裂1、写真3-3 U字型溝と亀裂2 写真4 作成された段差レプリカ 参照）

飛散した破片の破断面は、U字型溝の加工段差を起点に亀裂が発生し第1段HPTディスクの後面から前面に進行していた。破断面は衝撃等で損傷が激しかったが、

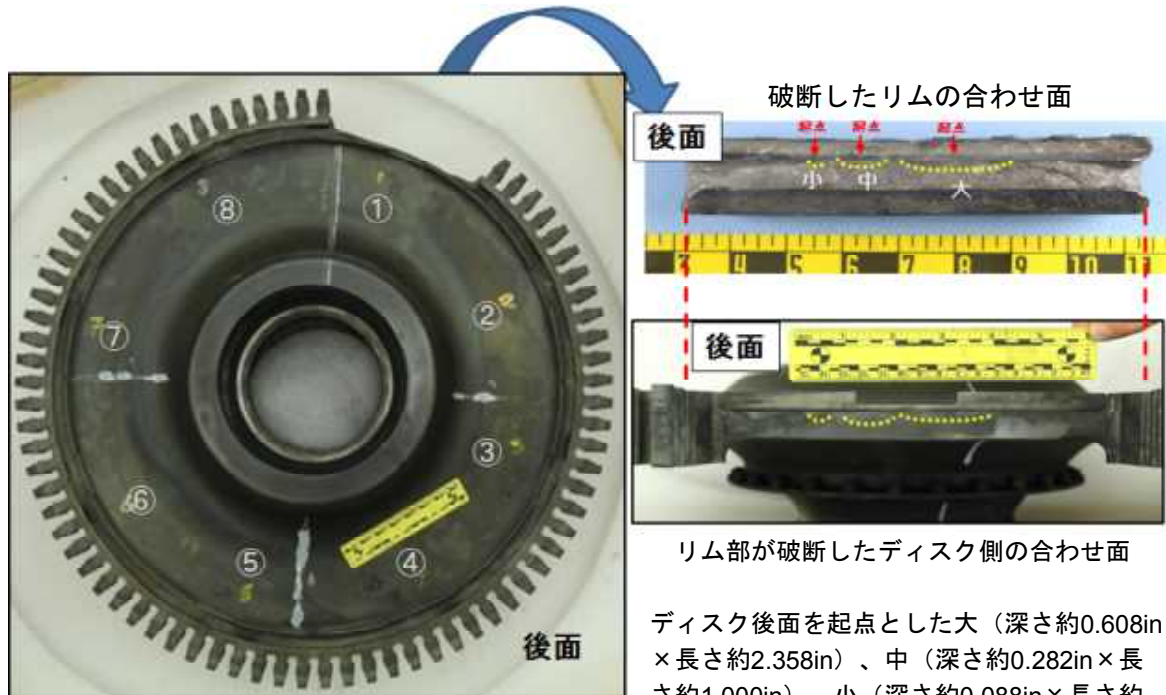
亀裂の進展に伴い生じた疲労破壊の破断面の典型的な特徴であるビーチマーク^{*15}が亀裂の進行領域に認められた。亀裂は3カ所で各亀裂の深さと長さは以下のとおりであった。

①大：深さ約0.608in×長さ約2.358in（15.44mm×59.89mm）

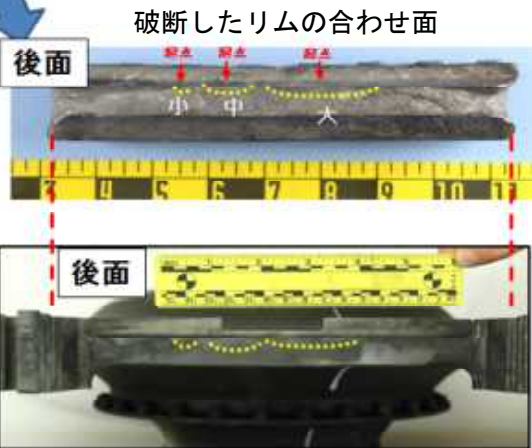
②中：深さ約0.282in×長さ約1.000in（7.163mm×25.40mm）

③小：深さ約0.088in×長さ約0.489in（2.235mm×12.42mm）

（別添4 破断面の写真 参照）



調査のために破断した箇所から右回りに8分割して番号を付した。（スロット①～⑧）第1段HPTディスクには、82個のブレード・スロット（ディスク本体に73個、回収したリム部に9個（サイドを含む。））があった。



リム部が破断したディスク側の合わせ面

ディスク後面を起点とした大（深さ約0.608in×長さ約2.358in）、中（深さ約0.282in×長さ約1.000in）、小（深さ約0.088in×長さ約0.489in）の亀裂進展の痕跡（ビーチマーク）が確認された。

写真3-1 破断したリム部

*15 「ビーチマーク」とは、疲労破面の巨視（マクロ）的な観察により見られる半円状の貝殻模様のことをいう。

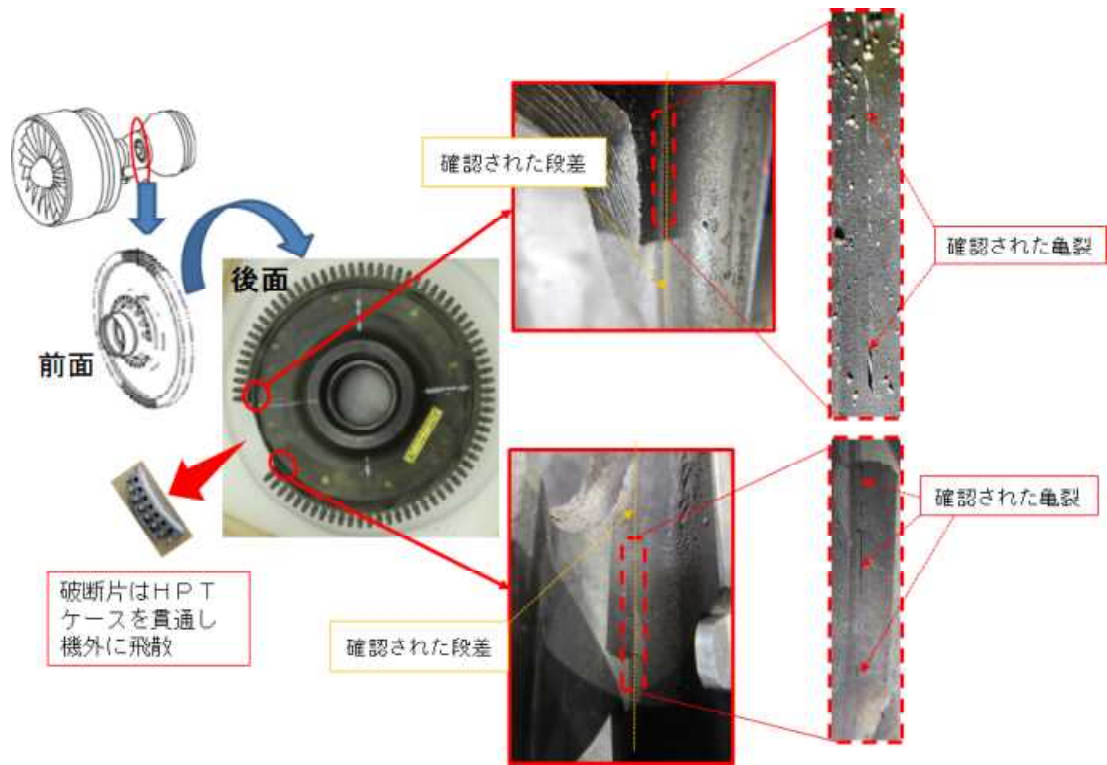
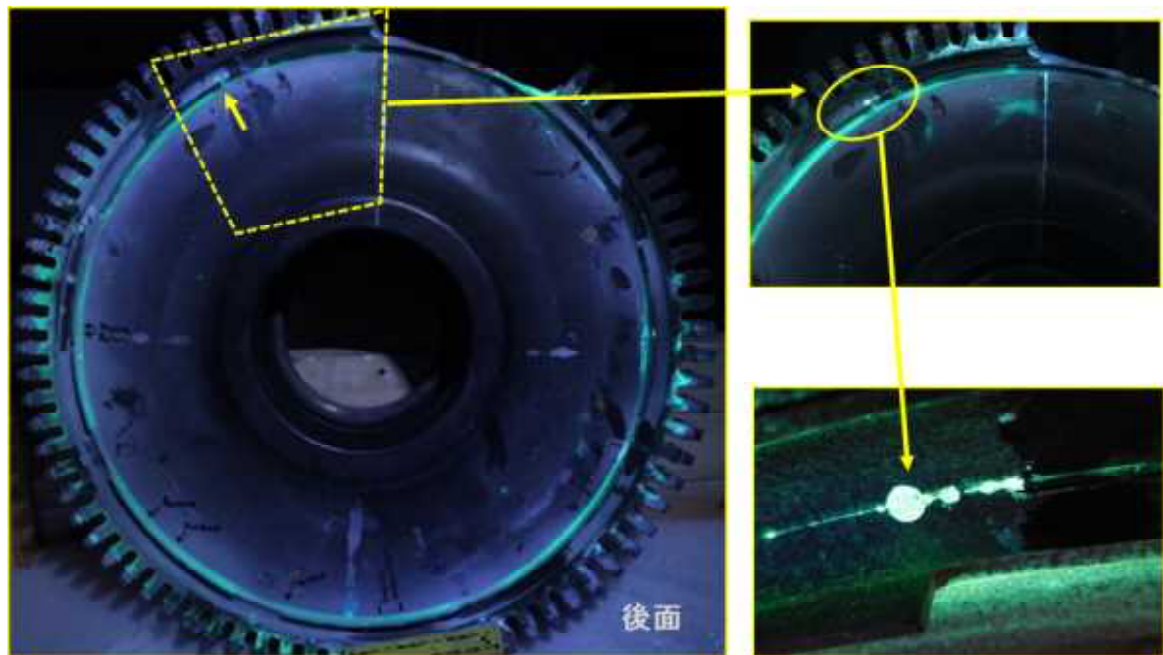
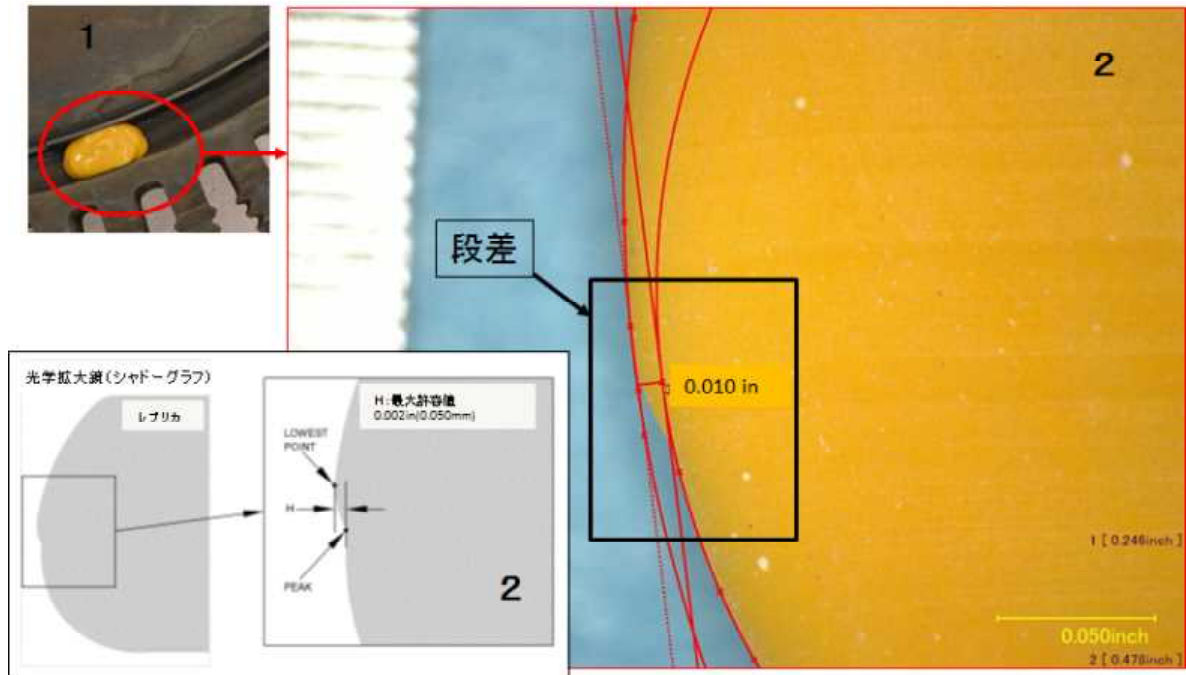


写真3-2 U字型溝と亀裂1



ディスク後面のFPI(破断箇所の左側スロット⑧)に明瞭な亀裂を確認)

写真3-3 U字型溝と亀裂2



1. U字型溝に常温硬化性のシリコン樹脂を流し込みレプリカ(複製)※を作成(※実物は凹凸が逆)
2. レプリカを光学拡大鏡にセットして機械加工された2つの曲率から加工段差(ズレ)を計測。
段差は0.010in(0.254mm) ※段差の最大許容値は0.002in(0.050mm)

写真4 作成された段差レプリカ

飛散した破片の破断面は消火剤などにより酸化損傷していたが、断面上の一部を走査型電子顕微鏡(SEM)で観察して安定したストライエーション^{*16}を計数した。

また、ディスク後面の残りの部分のうち亀裂が明瞭な箇所をディスクから切り出し亀裂面を開いて、亀裂面の解析を行った。(別添5 試料片のストライエーション 参照)

破断した箇所及び切り出した試料片のそれぞれの亀裂面に確認されたストライエーションを計数した結果、繰り返し応力の数はそれぞれ2,130サイクル及び2,868サイクルであった。2つの数値が異なる理由は、亀裂の発生時期が異なること及び亀裂進行の初期に生じた亀裂が腐食や熱などで損傷していたためである。図6に示すように事故発生時、同ディスクの製造時からの総使用回数は9,832サイクルであり、そこから2,130サイクルを引くと7,702サイクル、2,868サイクルを引くと6,964サイクルとなる。

なお、同ディスクの前回点検時の総使用回数は8,023サイクルであったことからこれらの数値は、第1段HPTディスクが、前回の点検(2014年11月12日)を受けるために同社のエンジン修理工場に搬入された時点で既に亀裂が存在し

*16 「ストライエーション」とは、疲労破面の微視(マイクロ)的な観察により見られる縞模様のことをいい、1回(フライトサイクル)ごとの繰り返し応力により形成される。

ていた可能性がある。(図6 飛散した破片の破断面の解析から推定される同ディスクの使用回数 参照)

また、亀裂面の計数に基づく数値解析からHPTディスクが同社のエンジン修理工場で最後に検査された時点での亀裂は、表面に沿った長さ0.088in～0.176in(2.24mm～4.47mm)との値が得られた。

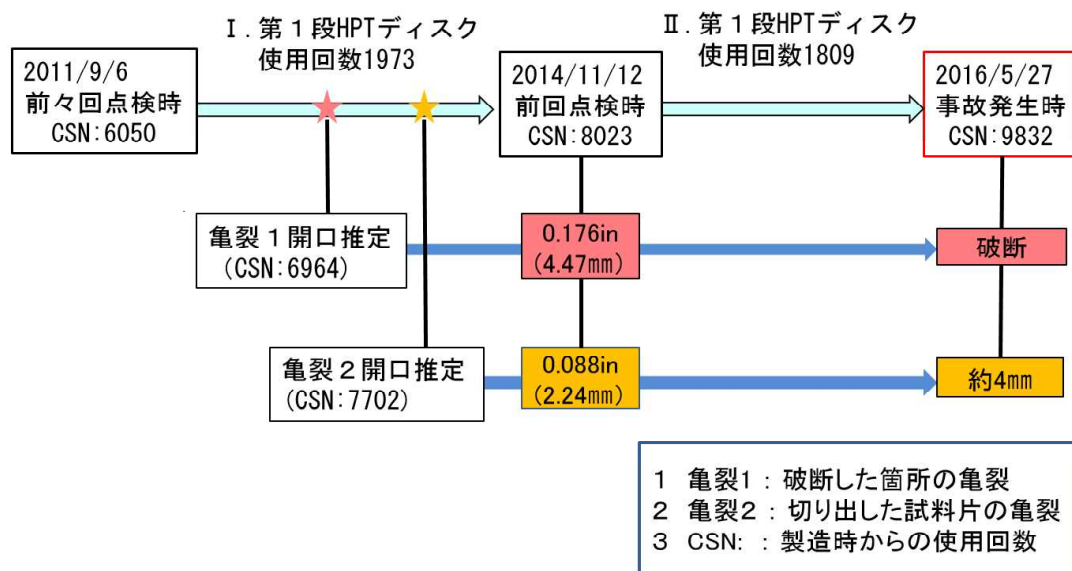


図6 飛散した破片の破断面の解析から推定される同ディスクの使用回数

2.14.1.2 シスターディスクによる同社でのFPIの実施体制の調査

同エンジンの第1段HPTディスクと同一のマシン・オペレーター及びインスペクターにより製造及び検査された、いわゆるシスターディスクに対して、同社のエンジン修理工場において、同業者による以下の検査等の状況を確認し、同社のFPI実施体制に関する調査を行った。

- (1) エンジン製造者の技術通報 (PW Service Bulletin(SB)PW4G-112-72-342、2016年9月23日発行: カテゴリー: 5, 6 (recommend))に基づくディスクの検査

シスターディスクの受入検査を行い、異常がないことを確認した後、標記の技術通報に従い同ディスク後面外側にあるU字型溝の4箇所(12:00, 3:00, 6:00, 9:00位置)から樹脂でレプリカ(複製)を作って、U字型溝の段差を計測し許容値内にあることを確認した。(表2 参照)

同技術通報は、5章で後述するとおり本事故の調査の過程で、エンジン製造者が第1段HPTディスクのU字型溝の許容値を超える段差の製造不具合を確認するために、同型式エンジンの使用者に対して発行されたもので2.6.2.3に記述したとおり製造時の品質検査でインスペクターが必要と判断

した場合に行っていたレプリカ作成による段差の計測が指示されている。

表 2

	U字型溝の段差
許容値	最大 0.0020 in
レプリカ位置	
12時	0.0015 in
3時	0.0014 in
6時	0.0014 in
9時	0.0015 in

(2) エンジン製造者の作業手順に基づく F P I

シスターディスクの F P I 実証調査を行った結果、シスターディスクに問題はなく、亀裂の兆候はなかった。同社のエンジン修理工場でのシスターディスクの F P I 実施時においては、施設、設備、手順、作業者及び検査員に関して、2.6.2.6の要件との不適合は確認されなかった。

2.14.1.3 他の同型式エンジンの第1段HPTディスクについて

エンジン製造者が調査したところによれば、2.14.1.2(1)の技術通報を実施した本事故のエンジン以外の同型式エンジンの第1段HPTディスクにあつては、U字型溝の段差が許容値を超えているものは発見されていない。

2.14.2 非常脱出スライド

2.14.2.1 非常脱出システム

同機には10箇所の非常脱出用ドアがあり、各ドアには非常脱出スライド／ラフトが装備されている。このシステムは、緊急時にドアが開くと同時に自動的にスライドが展開して、乗員乗客を機外に脱出させるためのシステムである。(図1 非常脱出用ドアの配置図 参照)

同機製造者が定めたシステム関係の整備マニュアル中 SDS (System Description Section) にはスライドの展開時間と展開時の風速制限について次のように記載されている。

The average time for door opening and slide/raft inflation is seven seconds. The slide/rafts operate correctly in wind as much as 25knots.

(仮訳)

ドアが開いてからスライド／ラフトが展開するまでの平均時間は7秒である。スライド／ラフトは、25ktの風まで正常に作動する。

2.14.2.2 非常脱出時の状況

客室乗務員の口述によれば、機体右側の計5箇所のドアにあるスライドを展開して非常脱出を試みたが、最後方のR5ドアのスライド（以下「R5スライド」という。）は正常に展開しなかった。機体左側のドアは、最前方のL1ドアのスライドのみ展開されたが、実際には使用されなかった。（写真5 非常脱出スライド 参照）なお、非常脱出時の状況は同空港の監視カメラに記録されており、荷物を持ったまま脱出している乗客の様子や脱出当初はスライド下の降り口で補助している人がいない状況が確認できた。写真6は、R5スライドの正常な展開状況と事故発生時の展開状況の対比である。

写真7は、監視カメラに記録されていた本事故発生時の同機のR3、R4及びR5スライドの展開状況である。なお、R3スライドは、R4、R5に比べ横幅が狭く、長さも短い。



写真5 非常脱出スライド



写真6 R5スライドの展開状況の対比



写真7 R3, R4, R5スライドの展開状況

2.14.2.3 R5スライドに関する情報

名称：B777エバキュエーション・スライド／ラフト

部品番号：62774-424、製造番号：1192、

製造年月：2005年5月、前回点検整備：2016年3月16日

(MNE-GMP Maintenance Centerにおけるオーバーホール)、HL7534搭載
2016年4月16日

2.14.2.4 R5スライドの調査結果

R5スライドの右下隅（地面側先端右隅上部）の一番外側の素材には約5cmの裂け目が確認された。同機製造者の工場において詳細を調査した結果、R5スライドにそれ以外の異常は認められなかった。（写真8 R5スライド 参照）

また、R5スライドの直近の同社の点検記録（2016/3）によれば、エアー漏れ、展開性能等の不具合はなかった。なお、映像資料及びFDRからスライド展開時（12時43分22秒）、第2エンジンはアイドリング状態であり、第2エンジンのカット・オフ操作が行われたのは12時43分45秒であった。（付図1 FDRの記録 参照）

同機製造者のエンジン後流に関する資料によれば、B777-300のエンジンアイドリング時のエンジン後流の影響範囲は、次第に幅を狭めながら機体の最後部から約40mの地点にまで及びその風速は約55km/h（約30kt）と記載されている。（図7 エンジンアイドリング時のエンジン後流の影響範囲 参照）



写真8 R5スライド

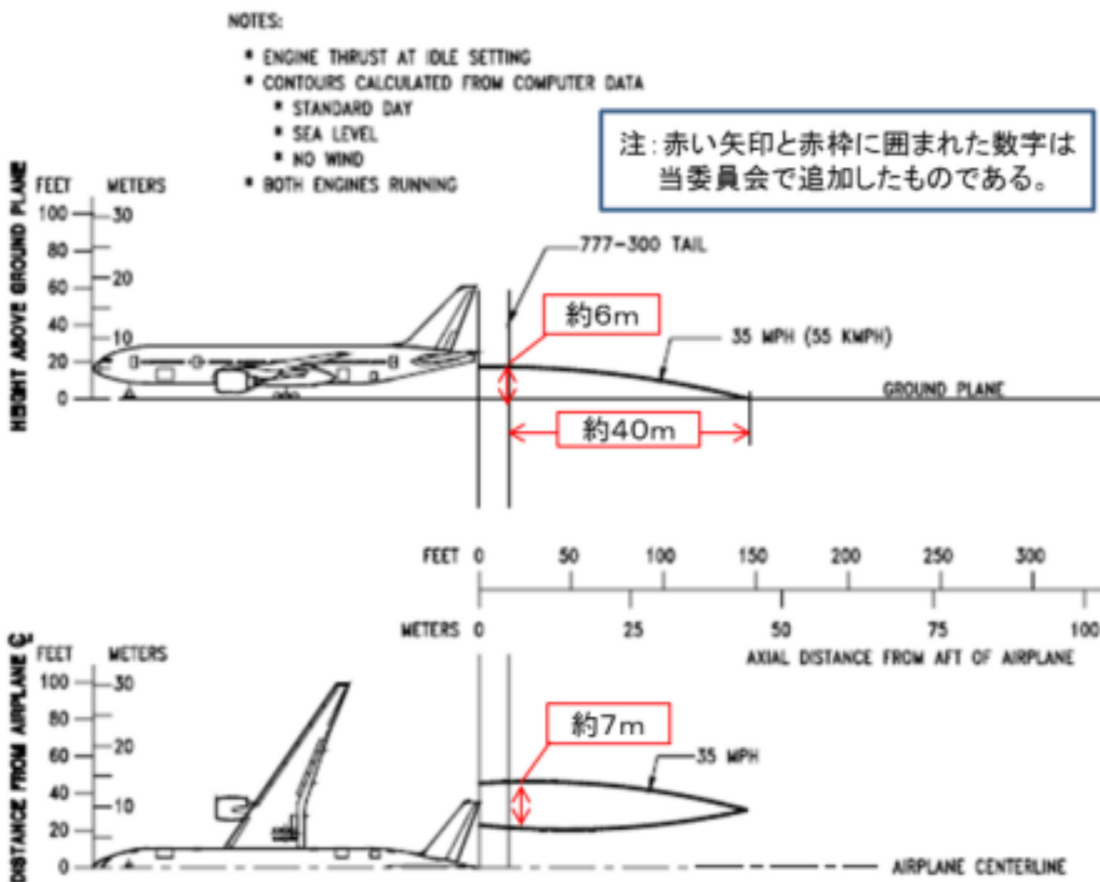


図7 エンジンアイドリング時のエンジン後流の影響範囲

2.15 組織及び管理に関する情報

2.15.1 同社の運航規程等について

2.15.1.1 航空機に備え付ける書類に関する規定

同社によれば2.1.3(2)に記述したチェックリスト (QRH) は、後日、副操縦士席の後方のラックから発見された。同社は、航空機に備え付ける書類に関して以下のように規定している。

(1) 運航乗務員の書類の確認義務について

B777 POM OPERATIONAL POLICYには運航乗務員の義務について次のように記載されている。

CREW DUTIES	Reference	CAP	F/O	PF	PM
COCKPIT PREPARATION					
Check A/C documents	FOM 6	●	●		

(仮訳)

乗務員の職務	参照	機長	副操縦士	PF	PM
操縦室の準備					

A/C 書類の確認	FOM 6	●	●		
-----------	-------	---	---	--	--

(2) 航空機に備え付ける書類

航空機に備え付ける書類について、FOM 1.3.1には次のように記載されている。(抜粋)

Operational Doc on Board

<i>Legal Documents</i>	<i>Documents/Manuals</i>	<i>Location</i>	<i>Loading Departments</i>
<i>omission</i>			
<i>Operations Manual</i>	<i>QRH</i>	<i>Cockpit</i>	<i>Flight Operations Technical Support Department</i>

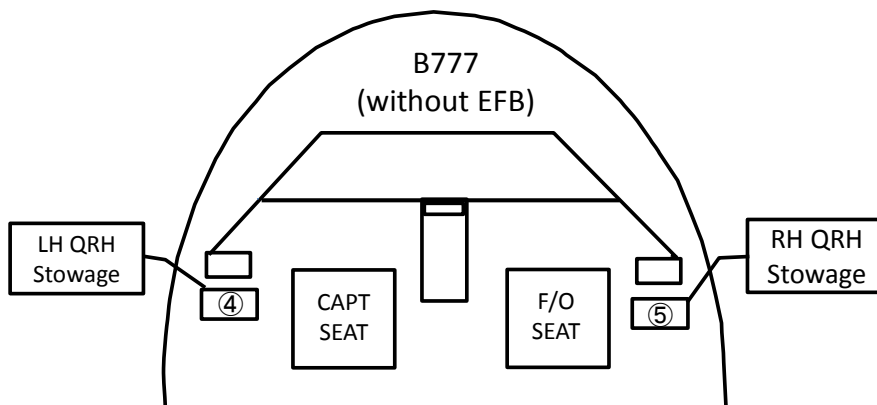
(仮訳)

備え付け運航関係書類

法定書類	書類/マニュアル	定位置	積載担当課
略			
運用マニュアル	QRH	操縦室	運航技術支援課

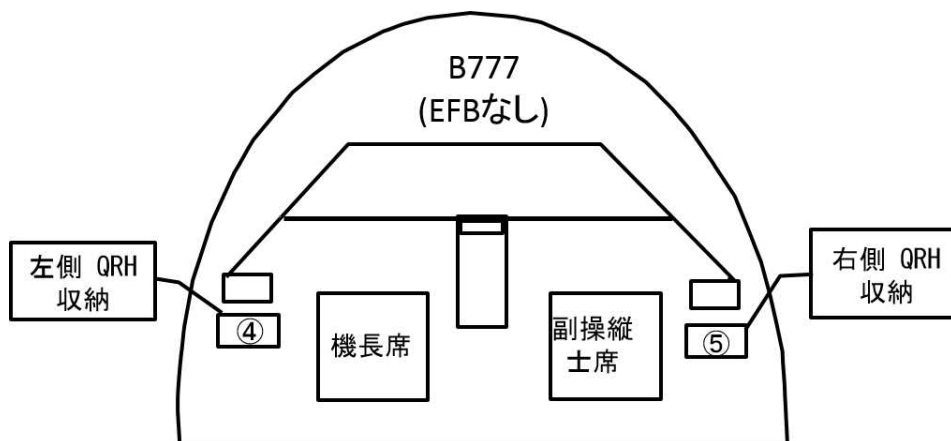
(3) 備え付け書類の定位置については次のように記載されている。(抜粋)

No	<i>Location</i>	<i>Name of Publication</i>	<i>Note</i>
④	<i>Left Hand QRH Stowage</i>	<i>QRH, Captain Announcement Manual</i>	
⑤	<i>Right Hand QRH Stowage</i>	<i>QRH, POM</i>	



(仮訳)

No	定位置	刊行物の名称	備考
④	左側QRH収納箱	QRH, Captain Announcement Manual	
⑤	右側QRH収納箱	QRH, POM	



2. 15. 1. 2 エンジン火災に関する規定

エンジン火災時の手順に関しては同社の 7 7 7 Flight Crew Operations Manual に以下のとおり規定されている。

FIRE ENG L, R

Condition: Fire is detected in the engine

- 1 *A/T ARM switch*
(affected side)..... *Confirm*..... *OFF*
- 2 *Thrust lever*
(affected side)..... *Confirm*..... *Idle*
- 3 *Fuel CONTROL switch*
(affected side)..... *Confirm*..... *CUTOFF*
- 4 *Engine fire switch*
(affected side)..... *Confirm*..... *PULL*
- 5 *If the FIRE ENG message stays shown:*
Engine fire switch
(affected side)..... *Rotate to the stop*
and hold for 1 second

If after 30 seconds, the FIRE ENG message
stay shown:
Engine fire switch
(affected side)..... *Rotate to the other stop*
and hold for 1 second

6-11 Omission

(仮訳)

エンジン左、右 火災

状況：エンジンに火災が検知された場合

- 1 オートスロットル・アーミング・スイッチ
(該当する側)確認.....オフ
- 2 スラストレバー
(該当する側)確認.....アイドル
- 3 フューエル・コントロール・スイッチ
(該当する側)確認.....カットオフ
- 4 エンジン・ファイヤー・スイッチ
(該当する側)確認.....引く
- 5 エンジン・ファイヤーメッセージが表示されたままの場合:
エンジン・ファイヤー・スイッチ
(該当する側)止まるまで回し1秒間保持
30秒後もファイヤー・エンジンメッセージが表示されたままの場合:
エンジン・ファイヤー・スイッチ
(該当する側)反対の方向に止まるまで回し1秒間保持

6-11 略

2.15.1.3 非常脱出等に関する規定

同社の非常脱出に関する手順等については、同社のFCOM (Flight Crew Operations Manual) 及びB777QRH、FOM、COMに以下のとおり規定されている(抜粋)。

(1) FCOM(Evacuation Checklist) (B777QRH)

Condition: An evacuation is needed

- 1 *Parking brake.....Set C*
- 2 *OUTFLOW VALVE switches*
(both).....MAN F/O
- 3 *OUTFLOW VALVE MANUAL*
switches (both).....Hold in OPEN
until the outflow
Valve indications show fully
open to depressurize the airplane F/O
- 4 *FUEL CONTROL switches*
(both).....CUTOFF C
- 5 *Advise the cabin to evacuate..... C*
- 6 *Advise the tower.....F/O*

- 7 Engine fire switches (both).....PULL F/0
- 8 APU fire switch.....Override and pull F/0
- 9 If an engine or APU fire warning occurs:
Related fire switch.....Rotate to the stop
and hold for 1 second F/0

(仮訳)

(1) FCOM (非常脱出チェックリスト)

状況：非常脱出が必要な場合

- 1 パーキング・ブレーキ.....セット 機長
- 2 アウトフロー・バルブ・スイッチ
(両方)マニュアル 副操縦士
- 3 アウトフロー・バルブ・
マニュアルスイッチ (両方)開位置で保持
アウトフロー・バルブ表示が航空機の
減圧をするために全開になるまで
.....副操縦士
- 4 フューエル・コントロール・
スイッチ (両方)カット・オフ 機長
- 5 客室に非常脱出を指示.....機長
- 6 タワーに通報.....副操縦士
- 7 エンジン・ファイヤー・スイッチ (両方) ...引く.....副操縦士
- 8 APU・ファイヤー・スイッチ
.....オーバーライドして引く 副操縦士
- 9 エンジン又はAPUの火災警報が点灯した場合:
関係するファイヤー・スイッチ.....止まるまで回し1秒間保持
.....副操縦士

(2) FOM (NON-NORMAL OPERATIONS 8. 2. 13概要抜粋)

■ When an emergency evacuation is expected

PIC	Cabin Crew
PA: "Attention, crew at station"	Standby at their stations preparing for the next step.

(仮訳)

■ 非常脱出が予想される場合

機長	客室乗務員
機内アナウンス「乗務員は配置に就け」	各人の持ち場で次の行動に備えて待機

■ When an emergency evacuation is required

PIC	First Officer
<i>"Passenger evacuation."</i>	
<i>Conduct Passenger Evacuation Procedure in accordance with POM/QRH.</i>	
<i>PA: "This is the Captain. Evacuate, evacuate." Evacuation Command S/W:ON (then silence the cockpit warning horn)</i>	<i>Notify Tower: "KE000, passenger evacuation, request emergency equipment."</i>
	<i>Cabin Crew</i>
<i>Initiate passenger evacuation</i>	
<i>Note) If an emergency fire or other conditions make certain exits unusable, state the direction of egress, and evacuate on the runway, if possible. The PIC should make a decision on the direction of exits depending on which engine has the fire, wind direction, attitude and position of the aircraft and the extent of aircraft damage.</i>	

(仮訳)

■ 非常脱出が必要な場合

機長	副操縦士
「乗客は非常脱出」	
POM/QRHに従って、乗客の非常脱出を指揮する。	
<i>機内アナウンス： 「こちらは機長、非常脱出、非常脱出」 Evacuation Command スイッチ:ON (その後、操縦室の警報音を切る)</i>	<i>タワーに通報： 「KE000 (機番)、乗客の非常脱出、緊急器材を要求する。」</i>
	<i>客室乗務員</i>
<i>乗客の非常脱出開始</i>	
<p>注) 緊急の火災や他の状況によっていくつかの非常口が使用できない場合は、明確に脱出方向を示し、もし可能であれば滑走路に非常脱出する。</p> <p>機長は、どちらのエンジン火災なのか、風向、航空機の姿勢、位置、損傷の程度などに基づき、脱出方向を決定する。</p>	

(3) COM (ESCAPE THE AIRCRAFT 4.6概要抜粋)

4.6.1 EVALUATE

Cabin crew should evaluate the situation to decide evacuation when the aircraft stops moving. First of all, captain's PA is important to evaluate the situation. If there's not PA or other actions taken, Cabin Crew should call for Captain's PA by using Emergency signal.

(仮訳)

4.6.1 評価

客室乗務員は、航空機が停止したときに非常脱出をするかどうか決定するために状況の評価すべきである。機長の機内アナウンスは状況の評価するのに重要である。もし、機内アナウンスや他の手段が講じられなかった場合は、緊急信号によって機長の機内アナウンスを要求すべきである。

Evaluate according to PIC's PA after landing or when rejected take-off

(抜粋)

<i>PIC'S PA</i>	<i>EVALUATION</i>	<i>CABIN CREW DUTY</i>
<i>"Attention, crew at station."</i>	<i>Emergency Evacuation Anticipated</i>	<i>Be prepared for emergency evacuation at right position.</i>
<i>"This is the Captain" "Evacuate, evacuate."</i>	<i>Emergency Evacuation Required</i>	<i>Command the emergency evacuation</i>

(仮訳)

着陸後又は離陸中止後の機長の機内アナウンスに基づく評価

機長の機内アナウンス	評価	客室乗務員の任務
「乗務員は配置に就け」	非常脱出が予想される場合	自分の持ち場で非常脱出に備える。
「こちらは機長」 「非常脱出」	非常脱出が必要な場合	非常脱出を指示する

(4) COM 4.6.5 B(c)

(c) *If an Evacuation is warranted*

Command the evacuation as determined after communication with the captain and other crews.

(仮訳)

COM 4.6.5 B(c)

(c) 非常脱出が許可された場合

機長と他の乗務員との意思疎通の後、決められたとおりに非常脱出を命ずる。

(5) 4.6.6 EVACUATION INSTRUCT

Release Seatbelts!

Get Out! Leave Everything!

(仮訳)

4.6.6 非常脱出の指示

シートベルトを外して
外へ出て！何も持たないで！

(6) 4. 6. 8 ACTIVATE EXIT AND EVACUATION-Door Exit

- *Quickly confirm armed status of exit.*
- *Open exit. Utilize all available exits by requesting passenger assistance when responsible for more than one exit.*
- *If exit is jammed or slide/raft is not usable, attempt to open it again and (if necessary), redirect passengers to an alternate exit using appropriate command.*
- *Command the first passengers. "Stay At Bottom! Help People Off!"*

(仮訳)

4. 6. 8 非常口の操作及び非常脱出

- 非常口の準備ができているか直ちに確認する。
- 非常口を開ける。ひとつ以上の非常口を担当する場合は、乗客に手助けを要求して全ての利用可能な非常口を利用する。
- もし非常口が開かなかつたり、スライド／ラフトが使用不能な場合は、再度開けることを試みる。(必要に応じ) 乗客に適切な指示を出して代わりに非常口に向かわせる。
- 最初に脱出する乗客に次のように指示する。
- 「(スライド／ラフトの) 下に留まって！他の人が降りるのを手伝って！」

2. 15. 2 乗務員の非常脱出訓練

同社の記録によれば、同社では、乗務員に毎年非常脱出訓練を実施しており、機長、副操縦士、チーフパーサー及び全客室乗務員は所定の訓練を実施していた。

2. 15. 3 同社の非常脱出に関する乗客への周知方法

同社は、非常脱出の対処要領について、デモビデオを使用して乗客に説明するとともに、各座席に配置してある安全のしおりにより、脱出時にハイヒールを脱ぎ、荷物を持ち出さないこと、非常口席の乗客は、最初に脱出してスライド下で他の乗客の補助をすべきこと等について乗客への周知を行っている。

2. 1 6 その他必要な事項

2. 16. 1 同機の消火システム

エンジンに火災が発生すると警報ベルが作動するとともに、マスター・ウォーニングライト、ファイヤー・ハンドルの赤いライトが点灯し、「FIRE ENG L(R)

エンジン火災 左 (右)」という赤色の文字がEICASディスプレイ上に表示される。同機はエンジン火災の消火システムとして独立して作動する消火剤が入った2個のボトルを前方荷物室右側壁のパネル内に装備している。ファイヤーハンドルを引くことにより燃料の元栓及び抽気弁の閉鎖、油圧装置作動液の遮断、発電機の発電停止を行い、消火剤噴射回路を活性化させて消火準備をし、ハンドルを回せば消火剤の噴射が可能となる。エンジンが停止しても警報が止まらない場合は、ファイヤーハンドルを引き、ハンドルを左又は右に回して消火剤を噴射させる。1回目で消火しない場合は、ハンドルを反対側に回せば2回目の消火剤の噴射が可能である。

(写真9 B777エンジン火災消火システム 参照)

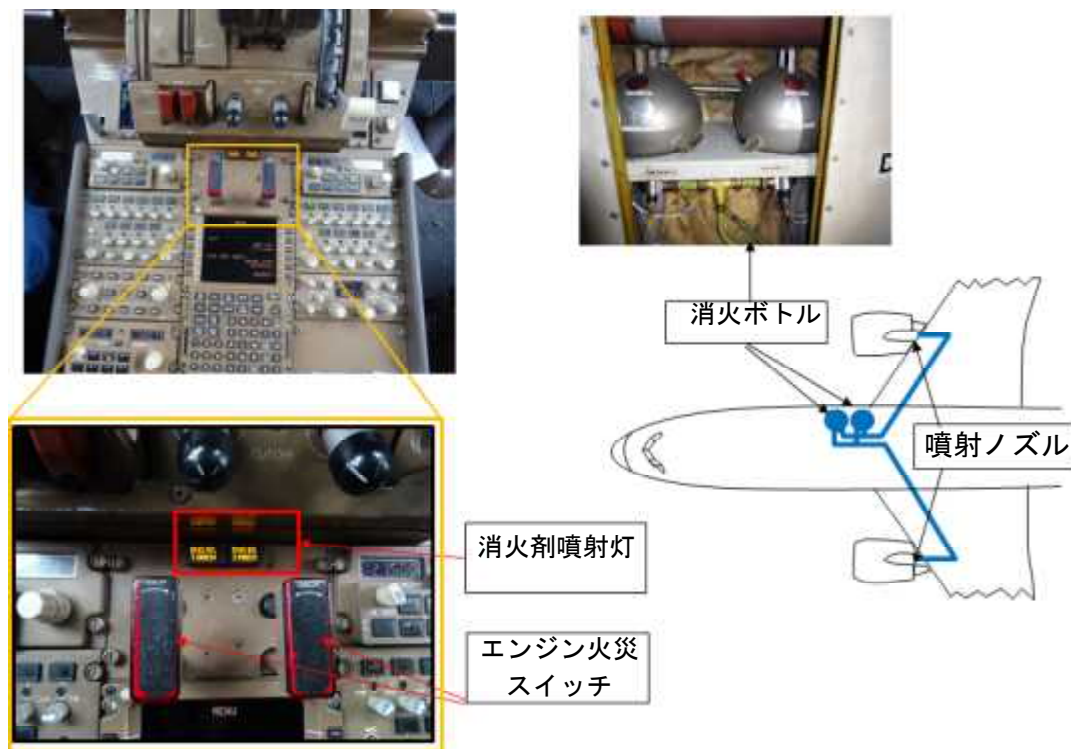


写真9 B777エンジン火災消火システム

3 分 析

3.1 乗組員の資格等

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 気象による影響

2.7に記述したとおり、本事故発生当時（12時38分ごろ）、滑走路34Rに対してほぼ右真横から約20ktの風が吹いていた。第1エンジンからの出火に伴う火炎や煙は、この横風により、風下側である同機の左側に流れたため、機体及び機内への影響はほとんどなかったものと考えられる。また、非常脱出についても、風上側である機体の右側スライドを使用したため、火炎や煙の影響がなかったものと考えられる。ただし、R5スライドが展開時に同機の下方に潜り込んだことについては、3.7.5で後述するように、グランドアイドリング状態の第2エンジンの後流とあいまって強い右側からの横風が吹いていたことが関与した可能性が考えられる。

3.4 第1段HPTディスクの破断

3.4.1 U字型溝に段差が発生した要因

2.14.1.1に記述したとおり、エンジンの分解調査で同エンジンの第1段HPTディスク後面のU字型溝に許容値を超える0.010in（0.25mm）の段差が確認された。2.6.2.3に記述したとおり、U字型溝は、エンジン製造者により同ディスクの製造時に加工され、製造後にマシン・オペレーターによる製品検査及びインスペクターによる品質検査で製造許容値内（0.002in（0.05mm））にあることを確認することとされている。2.6.2.3に記述したようにU字型溝は溝の外周側と内周側から切削加工されるため、両側からの合わせ目にできる段差をならすために、マシン・オペレーターが0.010inの隙間ゲージを加工用工具の刃先とU字型溝底面の間に挿入した状態で間隙を調整して最終加工位置を設定するための基準値を取得することとなっている。この値をキーボードから縦型自動旋盤に入力し自動加工が行われるが、実際の最終加工位置は、この値から更に隙間ゲージ厚相当である0.010in（0.25mm）下側の位置まで加工工具の刃先が送られるようにプログラムされている。エンジン製造者による検証で0.010inの隙間ゲージを使用せずに加工用工具の刃先とU字型溝の底面の隙間がない状態を最終加工位置として加工を再現したところ、U字型溝の底面が削られすぎとなり0.010inの段差が生じた。

なお、2.6.2.3に記述したとおり、同ディスクの製造後の修理においてU字型溝の加工は行われていない。

これらのことから、第1段HPTディスク後面のU字型溝の許容値を超える段差（以下「U字型溝の段差」という。）が発生したことについては、同ディスクの製造時にマシン・オペレーターが最終加工位置の基準値を縦型自動旋盤に入力する工程において隙間ゲージを正しく使用しなかった可能性あるいは縦型自動旋盤に基準値を入力する際に誤入力した可能性が考えられる。隙間の調整は、隙間ゲージを使

用して指先の感触と目視で状態を確認しながら行う作業であり、熟練したマシン・オペレーターであっても手順どおり隙間ゲージを用いなければ自動加工のための基準値を誤って見積もったり、基準値の入力を誤ったりする可能性があることから、エンジン製造者においては、ヒューマンエラーを防止する観点からU字型溝の加工及び検査方法の見直しを検討する必要がある。

3.4.2 亀裂発生要因

2.14.1.1に記述したとおり、エンジン分解調査で同エンジンの第1段HP Tディスク後面のU字型溝に許容値を超える段差が確認され、その段差の周辺を詳細に確認したところ、同ディスクが破断した部分付近のU字型溝の段差に沿って亀裂が発見された。また、2.6.2.3に記述したとおり、第1段HP Tディスクの外周部には、飛行ごとに繰り返し応力が作用するため、段差などがあるとそこに応力が集中する。これらのことから、第1段HP Tディスク後面のU字型溝の許容値を超える段差に飛行ごとに繰り返し応力が作用し、この部分を起点に亀裂が発生したものと考えられる。

3.4.3 破断要因

U字型溝に発生した亀裂は、2.6.2.2に記述したとおり、飛行ごとに繰り返し応力が作用して進展したものと考えられる。2.6.2.7及び2.6.2.8に記述したとおり、同社においてHP Tモジュール分解時に第1段HP TディスクのF P Iを実施していたが亀裂は発見されなかった。2.14.1.1に記述したとおり、破断面の解析の結果、第1段HP Tディスク後面のU字型溝の亀裂は、2014年11月12日に同社のエンジン修理工場で行われた前回点検時には既に存在していた可能性が考えられる。これらのことから、亀裂は、前回点検時に行われたF P Iで発見されず、その後の飛行で亀裂が更に進展して破断に至ったものと考えられる。

3.4.4 U字型溝の段差が見逃された要因

3.4.1に記述したとおり、第1段HP Tディスク後面のU字型溝の許容値を超える段差はエンジン製造者による同ディスク製造時に発生したが、2.6.2.4に記述したように、製造後のマシン・オペレーターによるHP Tディスクが製造基準値内にあることを確認する製品検査、及びインスペクターによる設計基準への適合を確認する品質検査で発見されずに出荷されたものと推定される。

2.14.1.1に記述したように、エンジン製造者のオーバーホール工場で第1段HP Tディスク後面のU字型溝の全周にわたって0.010 in (0.25 mm) の段差が確認された。確認された段差は製造時の加工段差の許容値は0.002 in (0.05 mm)

の5倍であることから、肉眼でも発見できた可能性が考えられる。2.6.2.3に記述したように、マシン・オペレーター及びインスペクターは、作業指示書及び製造図面に従い、検査箇所に応じて目視、触診、計測器による計測及びCMM（3次元計測器）等指定された検査方法で検査を実施していたものと推定される。しかしながら、検査の合否となる許容値は、製造図面に示されているが、U字型溝の箇所は、ブレードの取付溝、ハブのシャフト取付溝等のように重要性が高い箇所として重点検査箇所には指定されておらず、第1段HPTディスク全体の許容値として0.002in（0.05mm）の一般的な値が適用されている。また、規定された重点検査箇所については、作業指示書に詳細な検査に関する注記と計測値の記録が求められていたが、その他の箇所については、作業指示書に検査の合否のみが記録されていた。これらのことから、マシン・オペレーター及びインスペクターは、重点検査箇所として指定されていないU字型溝部分に対して十分な注意を払うことなく、U字型溝の段差を見逃してしまった可能性が考えられる。2.14.1.3に記述したように、本事故後のエンジン製造者の調査結果によれば、他の同型式エンジンにU字型溝の段差が許容値を超えているものはなかった。エンジン製造者においては、U字型溝に不具合が起きる可能性は高いと見積もられていなかったことから重点検査箇所に指定されていなかったものと考えられる。一方、HPTディスクには大きな応力が繰り返し作用することから、僅かな傷や製造許容値超えの段差があると切り欠き効果の影響により応力集中、疲労亀裂の起点となり得る。これらのことからエンジン製造者は、検査工程でのU字型溝のように加工時に段差が生じ得る部分については、重点検査箇所としてマシン・オペレーター及びインスペクターの注意を喚起をする必要がある。

3.4.5 U字型溝から進展した亀裂が発見されなかった要因

U字型溝の許容値を超える段差から進展した亀裂は、3.4.3に記述したとおり、2014年11月12日に同社のエンジン修理工場に搬入される前から存在していた可能性が考えられるが、2.6.2.7の⑧に記述した直近のFPIでは発見されなかった。また、2.6.2.8、2.6.2.9に記述したとおり、同社の修理工場における検査体制、検査環境、検査記録等からは本事故の要因となり得る事実は確認できなかった。2.6.2.8に記述したように、同社で同エンジンの第1段HPTディスクのFPI検査を担当した検査員及び作業員によれば、エンジン製造者が指示した作業手順に従って検査を実施していた。検査は最初に全体を見てから重要性が高いディスクの前面から先に検査を実施していた。また、同検査員及び同作業員は、U字型溝の箇所に亀裂を見たことはなかった。

2.14.1.3に記述したように、エンジン製造者の調査結果によれば、これまでにU

字型溝の段差が許容値を超えていた事例はなく、本件が初めてのケースであった。これらのことから、U字型溝から進展した亀裂が発見されなかったことについては3.4.4に記述したようにこれまでU字型溝で不具合が発生した事例がなく、またエンジン製造者が定めた検査手順においても、U字型溝は注意して検査する箇所ではなかったため作業員及び検査員は、タービンブレードの取付部などの重要性が高い箇所は特に重点を置いて検査していた一方、U字型溝の亀裂は見逃した可能性が考えられる。また、2.14.1.1の写真3のとおり、U字型溝の加工痕に沿って点的に発生していたと考えられる亀裂が、加工痕と同化して発見しにくかったことが関与した可能性も考えられる。

3.5 第1エンジンの損傷

3.5.1 HPTケースの損傷

第1エンジンの損傷状況を見ると、別添3(2)～(4)に記述したとおり同エンジンのインレット、ファン・ブレード、LPC及びHPCに大きな損傷はなく、異物の痕跡は確認できなかった。また、別添3(6)に記述したとおり、HPTケースは円周に沿って長さ約36cm(約14in)、幅約11.4cm(4.5in)で7時半から9時の位置にかけて破断して外側に折れ曲がり、ねじれていた。また第1段HPTブレードは、根元のプラットフォーム部にごく近い部分で翼型を横断するように破損しており、エンジンの底部にあった第1段及び第2段のステーター・ベーンセクター(扇型)は失われていた。

事故発生後、2.10に記述したように、滑走路進入端の内側から約680mの地点を起点に北側へ約570mの滑走路、誘導路及び周辺の草地から、別添3に示す金属の破片を含むステーター・ベーン等が発見され、別添3(6)⑥及び2.14.1.1に記述したとおり、同エンジンの分解調査により、同金属破片は、破断した第1段HPTディスクのリム部の一部で、第1段HPTディスクの欠損箇所と、回収された同リム部の破断面が一致した。これらのことから、同エンジンのHPTケースの損傷は、第1段HPTディスクのリム部が破断し、遠心力によりHPTケースをおおむね8時の方向に貫通したことによるものと推定される。その際に、第1段HPTブレードと第2段HPTステーター・ベーン等が損傷・破断してHPTケースの開口部から外部に飛び出したものと推定される。

3.5.2 燃料滑油熱交換器の外側ケースの損傷

燃料滑油熱交換器の外側ケースに亀裂が生じたことについては、別添3(10)に記述したとおり、同交換器に外部から受けた損傷が見られないこと、別添3(5)に記述したとおり、内側のディフューザー・ケースに亀裂及び欠損が生じていること並

びに別添3(8)に記述したとおり、テール・コーンを留めるボルトがなくなっていることから、第1段HPTディスクのリム部が破断しHPTケースを貫通した際の大きな衝撃及びディスクの破断に伴い第1エンジンが急停止した際にエンジンが受けた荷重により亀裂が発生したものと考えられる。

3.5.3 その他の部位の損傷等

(1) 第1エンジン左側トランスレーティング・カウル

別添3(11)に記述したとおり、第1エンジン左側のトランスレーティング・カウルに欠損及び焼損が確認されたこと並びに破断し、脱落したトランスレーティング・カウルの内壁に第2段HPTのブレードが突き刺さっていたことから、左側トランスレーティング・カウルの破損については、3.5.1に記述したとおり、第1段HPTディスクのリム部が破断し、HPTケースを貫通してトランスレーティング・カウルに当たったことにより発生したものと推定される。

(2) LPT及びテール・コーン

別添3(7)及び(8)に記述したとおりLPT及びテール・コーンにほとんど損傷がなかったことについては、HPT内で破断した同リム部及びHPTのブレード等が破断した開口部から機外に放出されたことによる可能性が考えられる。

(3) アウトボードフラップ

アウトボードフラップの亀裂については、第1段HPTの破断により飛散した破片が当たったことにより生じたものと考えられる。

3.6 エンジン火災

3.6.1 エンジン火災発生経過

第1エンジンの火災発生経過については、3.5.1に記述したとおり、同機の離陸滑走中に第1段HPTディスクのリム部が破断し、3.5.2に記述したとおり、その破片がHPTケースを貫通した際の衝撃及びディスクの破断に伴い同エンジンが急停止した際にエンジンが受けた荷重により燃料滑油熱交換器の外側ケースに亀裂が生じ、その亀裂から漏出した燃料及び滑油が同エンジンの高温部に接触して火災が発生したものと推定される。

3.6.2 エンジン火災の消火

2.1.3に記述したとおり、エンジン火災の警報音及び警報メッセージ（以下「火災警報メッセージ等」という。）によって第1エンジンに火災が発生していること

を確認した機長は、2.15.1.2に記述した同社のFCOMに規定された手順に従って、2.16.1に記述した同機に装備された一つ目の消火ボトルを作動させ、一旦火災警報メッセージ等は消えたが、5～10秒後に再度火災警報メッセージ等が出たため、二つ目の消火ボトルを使用して消火を試みたところ、火災警報メッセージ等は消えたが、5～10秒後に再再度火災警報メッセージ等が出た。このことについては、別添3(11)③に記述したとおり、左側のトランスレーティング・カウル内壁が損傷して開口部ができたために、ここから消火剤が漏出し、消火剤の効果が十分発揮されなかったことによるものと考えられる。

3.7 非常脱出

3.7.1 機長の判断

2.1.3(1)に記述したとおり、同機に装備された2本の消火ボトルを使用して第1エンジンの火災の消火を試みたものの、3回目の火災警報メッセージ等が出たため、機長は非常脱出を決意したものと推定される。また、2.1.3(6)に記述したとおり、2本目のボトルを使用し、火災警報メッセージ等が消えたのとほぼ同時に、最初の消防車が機体後方から消火活動を開始したが、2.1.3(1)に記述したように3回目の火災警報メッセージ等が出た際に、機長が視認したのは前方から近づいてくる消防車であり、消火活動開始までは更に時間がかかると考えたことから、非常脱出を急ぐ必要があると判断したものと考えられる。

2.15.1.3(2)に記述した同社のFOM(8.2.13)には、「機長は、どちらのエンジン火災なのか、風向、航空機の姿勢、位置、損傷の程度などに基づき、脱出方向を決定する。」及び「いくつかの非常口が使用できない場合は明確に脱出方向を示し、もし可能であれば滑走路に非常脱出する。」と記載されている。

機長は、同エンジンの火災で、ほぼ右真横からの強風が吹いていたことから、右側への非常脱出を決意したものと考えられる。

3.7.2 運航乗務員の対応(行動)

(1) 非常脱出の指示

2.1.3(1)に記述したとおり、機長は副操縦士にQRHの中にある非常脱出チェックリストの実施を急ぐよう命じたが、QRHが定位置になかったため、副操縦士はすぐにチェックリストを実施できなかった。副操縦士がQRHを探している間に、非常脱出を急ぐ必要があると考えた機長は、自身の記憶に基づいてエンジン停止の手順を実施したものと推定される。2.15.1.3(1)に記述した同社のFCOM(非常脱出チェックリスト)(B777QRH)によると、フューエル・コントロール・スイッチを両方ともカット・オフし、

エンジンを停止した後に客室に非常脱出をアナウンスすることになっており、2.1.3(1)に記述したとおり、機長はエンジンのカット・オフを実施した後で、PAにより非常脱出をアナウンスしたと述べている。

しかしながら、2.1.1に記述したFDR、CVR及びQAR記録並びにビデオの解析によると、機長が非常脱出シグナルを作動させた時刻は、12時42分51秒、右側の非常ドアから非常脱出をするよう機内アナウンスした時刻は、同43分03秒であり、第2エンジンのフューエル・コントロール・スイッチがカット・オフされたのは、同43分45秒であった。また、最初に開いたのはL1ドアで、その時刻は、同43分17秒であった。これらことから、脱出方向にある第2エンジン停止前に非常脱出の指示が行われ、最初のドアが開けられてから、約28秒後に第2エンジンが停止されたものと推定される。2.14.2.4に記述したようにエンジン後流の風速は、アイドリング時でも時速55km/hであり、エンジン停止前に非常脱出すれば、乗客がエンジン後流によって吹き飛ばされる等の危険性がある。同社では、運航乗務員に対し、非常脱出時の手順を遵守することを徹底させるため、教育訓練等の見直しを行う必要がある。

(2) QRHが定位置になかったことについて

2.15.1.1に記述したとおり、同社では、航空機に備え付ける書類とその定位置、搭載担当課及びその出発前の点検責任についてマニュアル(B777POM OPERATIONAL POLICY)で定めている。

同マニュアルによれば、非常脱出時に使用することになっているQRHの紙チェックリストについては、副操縦士席の右側と機長席の左側が定位置となっており、搭載は同社運航技術支援課が行い、搭載状況の点検は機長と副操縦士がそれぞれ出発前に実施することになっている。

2.1.3(2)に記述したとおり、このQRHは機長が副操縦士に非常脱出のチェックリストの実施を指示した時に定位置になく、副操縦士はQRHを探すのに時間を費やし、タブレットのチェックリストを使用した。同QRHは、2.15.1.1に記述したとおり、後日、副操縦士席の後方にあるラックから発見された。これらことから、QRHが定位置に搭載されていなかった可能性及び機長、副操縦士ともに2.15.1.1に記述した出発前の航空機に備え付ける書類の確認が不十分あるいは未実施だった可能性が考えられる。一刻を争う緊急事態発生時にチェックリストが見当たらなければ、対処が遅れ、取り返しのつかない事態に陥る可能性があることから、同社は、機長及び副操縦士に飛行前の航空機に備え付ける書類の点検を徹底させ、緊急時のQRH使用の徹底について再周知する必要がある。

3.7.3 客室乗務員の対応（行動）

チーフパーサーは、非常脱出に際し、L 1 ドアを開いてスライドを展開させたが、このことは、2.1.3(3)に記述したとおり、チーフパーサーがL 3 ドア担当の客室乗務員からの事前報告によって非常脱出を確信し、早々にL 1 ドアの窓から外を確認して脱出に支障ないと判断していたため、機長からの非常脱出シグナルを受けた際に、反射的にL 1 ドアを開いてしまった可能性が考えられる。そして、チーフパーサーは、すぐにL 1 スライドが使用できないことを認識し、他のドアに乗客を誘導した。2.15.1.3(5)に記述したように同社のCOM4.6.6 EVACUATION INSTRUCTには、「Get Out! Leave Everything!（外へ出て！何も持たないで!）」と指示するよう規定されており、2.1.3(3)に記述したように、チーフパーサーは荷物を持たずに右側から脱出するようにアナウンスし、客室乗務員も乗客に対して荷物は持たず、ハイヒールは脱ぐように叫んだが、2.1.3(6)に記述したように多くの乗客がバッグ等を持って脱出した。

3.7.4 非常脱出に関する乗客への周知

同社は出発前にデモンストレーション・ビデオや客室乗務員による説明で緊急時の対処要領について注意喚起している。しかし、実際の非常脱出時には、乗客は冷静さを失って客室乗務員の指示等に従わない行動を取る場合があるということを考慮し、航空会社及び航空当局は、乗客を含む広く一般に対して、非常脱出時の安全情報について、ハイヒールや手荷物等がスライドを損傷させ使用できなくするおそれがあること等の設定理由とともに更に周知徹底を図り、より確実な理解と認識を促す方法について検討することが望ましい。

また、乗客においても、迅速で安全な非常脱出を行うために、航空会社が周知する手荷物を持ち出さないことや脱出スライドの適切な使い方、脱出後は機体から十分離れることなどの注意事項や安全情報を十分に確認し、非常脱出時には、運航乗務員及び客室乗務員の指示に従うことが自他の生命を守るために極めて重要であることを理解して行動することが望まれる。

3.7.5 スライドの展開

2.14.2.2に記述したように、ビデオの記録によると、R 3、4及び5スライドは展開直後、機体の後方側に流されているが、R 3スライドは展開約6秒後、R 4スライドは約38秒後に展開が完了し滑走路路上に安定して起立したと考えられる。2.14.2.4に記述したとおり、R 5スライドについては、適正に整備され、スライド展開用のガスの充填状況も正常であったものと考えられる。また、R 5スライドの地面側先端右隅上部の裂け目は、横風及びアイドリング中の第2エンジンの後流に

あおられているときに滑走路面との摩擦により生じたものと考えられる。

3.7.2に示したとおり、R5スライド展開時には第2エンジンはアイドリング状態であった。2.14.2.4に記述したとおり、同機製造者の資料（図7 エンジンアイドリング時のエンジン後流の影響範囲）によるとB777のエンジンアイドリング時におけるエンジン後流の影響範囲は、機体の最後部付近で幅7m、地面からの高さ約6mで次第に先細りしながら約40mの地点にまで及び、その風速は30kt程度とされている。2.10に記述したとおり機首方位を335°として、このエンジン後流と2.7に記述した、本事故発生当時の風向060°、風速約20ktの風との合成風の風向・風速を計算で求めると風向007° 風速約37.5ktとなる。これは、2.14.2.1に記述したスライドが正常に展開する風速の許容値である25ktの1.5倍の風速である。この合成風の影響によって、最も後方で地面との間隔が大きいR5スライドは、機体の後部下方に折れて潜り込み、先端部が滑走路に引っかかった状態で展開してしまい、第2エンジンの後流の影響が無くなった後も、自然に正常の起立状態に戻ることができなかつた可能性が考えられる。

4 結 論

4.1 分析の要約

(1) 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。また同機は有効な耐空証明を有し、所定の整備及び点検が行なわれていた。(3.1、3.2)^{*17}

(2) U字型溝に段差が発生した要因

第1段HP Tディスク後面のU字型溝の許容値を超える段差は、同ディスクの製造時にマシン・オペレーターが最終加工位置の基準値を縦型自動旋盤に入力する工程において隙間ゲージを正しく使用しなかつた可能性あるいは縦型自動旋盤に基準値を入力する際の誤入力による可能性が考えられる。エンジン製造者においては、ヒューマンエラーを防止する観点からU字型溝の加工及び検査方法の見直しを検討する必要がある。(3.4.1)

(3) 亀裂発生の変因

第1段HP Tディスク後面のU字型溝の許容値を超える段差に、飛行ごとに繰り返し応力が作用し、これを起点に亀裂が発生したものと考えられる。

(3.4.2)

*17 本項の各文章末尾に記載した数字は、当該記述に関連する「3 分析」の主な項番号を示す。

(4) 第1段HPTディスク破断の要因

第1段HPTディスクは、同ディスク後面のU字型溝の許容値を超える段差に発生した亀裂が、飛行ごとの繰り返し応力によって進展したが、その過程で行われたFPIで亀裂が発見できず、その後の飛行で亀裂が更に進展し破断に至ったものと考えられる。(3.4.3)

(5) U字型溝の段差が見逃された要因

マシン・オペレーター及びインスペクターは、重点検査箇所として指定されていないU字型溝部分に対して十分な注意を払うことなく、段差を見逃してしまった可能性が考えられる。HPTディスクには大きな応力が繰り返し作用することから、僅かな傷や製造許容値超えの段差があると切り欠き効果の影響により応力集中、疲労亀裂の起点となり得る。これらのことからエンジン製造者は、検査工程でのU字型溝のように加工時に段差が生じ得る部分については、重点検査箇所に指定してマシン・オペレーター及びインスペクターの注意を喚起をする必要がある。(3.4.4)

(6) U字型溝から進展した亀裂が発見されなかった要因

U字型溝の段差から進展した亀裂は同社のエンジン工場に搬入される前から存在していた可能性が考えられるが、直近のFPIで亀裂は発見されなかった。このことについては、作業員及び検査員は、タービンブレードの取付部などの重要性の高い箇所に重点を置いて検査していた一方、U字型溝については亀裂を見逃した可能性が考えられる。また、U字型溝の加工痕に沿って点的に発生していたと考えられる亀裂が、加工痕と同化して発見しにくかったことが関与した可能性も考えられる。(3.4.5)

(7) HPTケースの損傷

第1エンジンのHPTケースの損傷は、第1段HPTディスクのリム部が破断し、遠心力によりHPTケースをおおむね8時の方向に貫通したことによるものと推定される。(3.5.1)

(8) 燃料滑油熱交換器の外側ケースの損傷

燃料滑油熱交換器の外側ケースに亀裂が生じたことについては、第1段HPTディスクのリム部が破断しHPTケースを貫通した際の衝撃、及びディスクの破断に伴い第1エンジンが急停止した際にエンジンが受けた荷重によるものと考えられる。(3.5.2)

(9) その他の部位の損傷等

左側トランスレーティング・カウルの破損については、破断した第1段HPTディスクのリム部が当たったことにより発生したものと推定される。

LPT及びテール・コーンにほとんど損傷がなかったことについては、HP

T内で破断した同リム部及びHPTのブレード等が破断した開口部から機外に放出されたことによる可能性が考えられる。

アウトボードフラップの亀裂については、第1段HPTディスクの破断によって飛散した破片が当たったことにより生じたものと考えられる。(3.5.3)

(10) エンジン火災発生の経過

第1エンジンの火災発生の経過については、第1段HPTディスクのリム部が破断し、HPTケースを貫通した際の衝撃及びディスクの破断に伴い同エンジンが急停止した際にエンジンが受けた荷重により燃料滑油熱交換器に亀裂が生じ、その亀裂から漏出した航空燃料及び滑油が同エンジンの高温部に接触して火災が発生したものと推定される。(3.6.1)

(11) エンジン火災の消火

機長が、同機に装備された2本の消火ボトルを使用して消火を試み、一旦火災警報メッセージ等が消えたものの、再度火災警報メッセージ等が出たことについては、左側のトランスレーティング・カウル内壁が損傷して開口部ができたために、消火剤の効果が十分発揮されなかったことによるものと考えられる。

(3.6.2)

(12) 機長の判断

機長は、同機に装備された2本の消火ボトルを使用して第1エンジンの火災の消火を試みたものの、3度目の火災警報メッセージ等が出たため、非常脱出を決意したものと推定され、同エンジンの火災で、ほぼ右真横からの強風だったため、右側への非常脱出を決意したものと考えられる。(3.7.1)

(13) 運航乗務員の対応（行動）

脱出方向にある第2エンジン停止前に非常脱出の指示が行われ、最初のドアが開けられてから、約28秒後に第2エンジンが停止したものと推定される。第2エンジンが停止する前に非常脱出の指示が行われたことについては、機長が非常脱出を決意後、副操縦士に非常脱出チェックリストの実施を命じ、すぐに非常脱出シグナルスイッチをONにしたが、副操縦士がQRH（紙）の非常脱出チェックリストを見つけることができず、タブレットの非常脱出チェックリストを読み上げるまでに時間を要したことによる可能性が考えられる。

副操縦士がQRHを見つけられなかったことについては、QRHが定位置に搭載されていなかった可能性及び機長、副操縦士ともに出発前の航空機に備え付ける書類の確認が不十分あるいは未実施だった可能性が考えられる。同社は、機長及び副操縦士に航空機に備え付ける書類の点検を徹底させ、緊急時のQRH使用の徹底について再周知する必要がある。(3.7.2)

(14) 客室乗務員の対応（行動）

チーフパーサーがL1ドアを開いてスライドを展開させたことについては、事前にL1ドアの窓から外を確認して脱出に支障ないと判断していたため、機長からの非常脱出シグナルを受けた際に、反射的にL1ドアを開いた可能性が考えられる。チーフパーサーはすぐにL1スライドが使用できないことを認識し、他のドアに乗客を誘導した。チーフパーサー及び客室乗務員は荷物は持たずに脱出するようにアナウンスしたが、多くの乗客がバッグ等を持って脱出した。(3.7.3)

(15) 非常脱出に関する乗客への周知

客室乗務員は、荷物は持たずに右側のスライドから脱出するよう乗客に指示したが、多くの乗客が荷物を持たずにという指示に従わなかったものと考えられる。航空会社及び航空当局は、乗客を含む広く一般に対して、非常脱出時の安全情報について、ハイヒールや手荷物等がスライドを損傷させ使用できなくするおそれがあること等の設定理由とともに更に周知徹底を図り、より確実な理解と認識を促す方法について検討することが望ましい。(3.7.4)

(16) スライドの展開

R5スライドは、事故当時吹いていた風向060°、風速約20ktの風とエンジン後流の合成風である風向007°風速約37.5ktの風の影響で機体の後部下方に折れて潜り込み、先端部が滑走路に引っかかった状態で展開してしまい、第2エンジンの後流の影響が無くなった後も、自然に正常の起立状態に戻ることができなかつた可能性が考えられる。(3.7.5)

4.2 原因

本事故は、同機の離陸滑走時に第1（左側）エンジンの第1段高圧タービン・ディスクが破断し、その破片がエンジンケースを貫通したことにより、エンジン火災が発生したものと推定される。

第1段高圧タービン・ディスクが破断したことについては、エンジン製造時に第1段高圧タービン・ディスク後面のU字型溝部分を加工した際に許容値を超える段差が生じ、エンジンの使用中に当該部分から低サイクル疲労による亀裂が発生して進展したことによるものと考えられる。

段差が発見されなかったことについては、エンジン製造者による製造時の検査の際に見逃された可能性が考えられる。また、亀裂が発見されなかったことについては、同社によるエンジン使用中の整備における同ディスクの非破壊検査の際に見逃された可能性が考えられる。

第1エンジンに火災が発生したことについては、第1段高圧タービン・ディスクの

破片がエンジンケースを貫通した際の衝撃及びディスクの破断に伴い第1エンジンが急停止した際にエンジンが受けた荷重によりエンジンケースに取り付けられていた燃料滑油熱交換器の外側ケースに亀裂が生じ、その亀裂から漏出した燃料及び滑油が第1エンジンの高温部に接触して発火したことによるものと考えられる。

5 再発防止策

5.1 アメリカ連邦航空局により講じられた措置

アメリカ連邦航空局（FAA）は、平成29年3月9日に、プラット・アンド・ホイットニー社製のターボファン・エンジンに関する耐空性改善命令（AD）を発出した。その内容は、本事故を踏まえ、プラット・アンド・ホイットニー社製PW4074、PW4074D、PW4077、PW4077D、PW4084D、PW4090及びPW4090-3ターボファン・エンジンについて、第1段HP Tハブ後面（U字型溝を含むウェブ、リム、フィレット）の状態を評価するための点検を実施すること及び点検で不具合が見つかったハブを使用しないことを要求するものである。本耐空性改善命令はこれら製品の不安全な状態を改善するためのものであり、平成29年4月13日発効となっている。

5.2 エンジン製造者により講じられた措置

(1) エンジン使用者に対する情報提供と技術情報の発出

- ① 平成28年6月17日にAll Operator Wire Eagle Net Case No. CAS-30064-Q7K9L2を発出し、PW4000系列型エンジンの使用者に対し、HP Tモジュールから取り外された全ての第1段HP TディスクについてF P Iを実施するよう指示した。
- ② 平成28年6月24日にPW4000-112All Operator Communicationを発出し、PW4000-112エンジンのHP Tモジュールから現在取り外されている全ての第1段HP Tディスク及び第1段ローターアセンブリーについて分解し、第1段HP Tディスク後面のU字型溝を含む領域（ウェブ、リム、フィレット）について段差の有無を十分に検査することを指示した。
- ③ 平成28年9月23日にP&W SB PW4G-112-72-342（カテゴリー5, 6）を発出し、第1段HP Tディスク後面のU字型溝を含む領域の表面状態の点検及びレプリカを作成して計測することを指示した。

(2) 第1段HP Tディスクの製造工程の変更

エンジン製造者は、第1段HP TディスクのU字型溝の最終仕上げ工程を変更して、これまでマシン・オペレーターの手作業が必要であった工程をなくして機械による作業とし、加工ミスが起きないようにした。

(3) 製品の検査工程の変更

エンジン製造者は、第1段HP Tの製造後の検査でU字型溝の段差を記録するため検査工程を追加し、U字型溝の検査に2.14.1.2の技術通報に基づくディスク後面外側にあるU字型溝の検査（U字型溝の段差のレプリカ作成及び光学拡大装置での確認）を追加した。

5.3 同社により講じられた措置

(1) 同社が使用する同型式エンジンについて、5.2(1)に示すエンジン製造者の技術通報等に基づく第1段HP Tディスクの検査を実施中である。

(2) 平成29年3月17日に、航空機に備え付ける書類の搭載状況についての飛行前の点検について全運航乗務員へ通達した。

(3) エンジン停止後に非常脱出を行うよう運航乗務員の訓練手順に反映させた。

(4) 非常脱出時における乗客の手荷物携行の禁止について

同社所属航空機の全ての航空安全デモンストラーションビデオの中に、非常脱出時に手荷物を携行しないという注意をイラストで追加した。

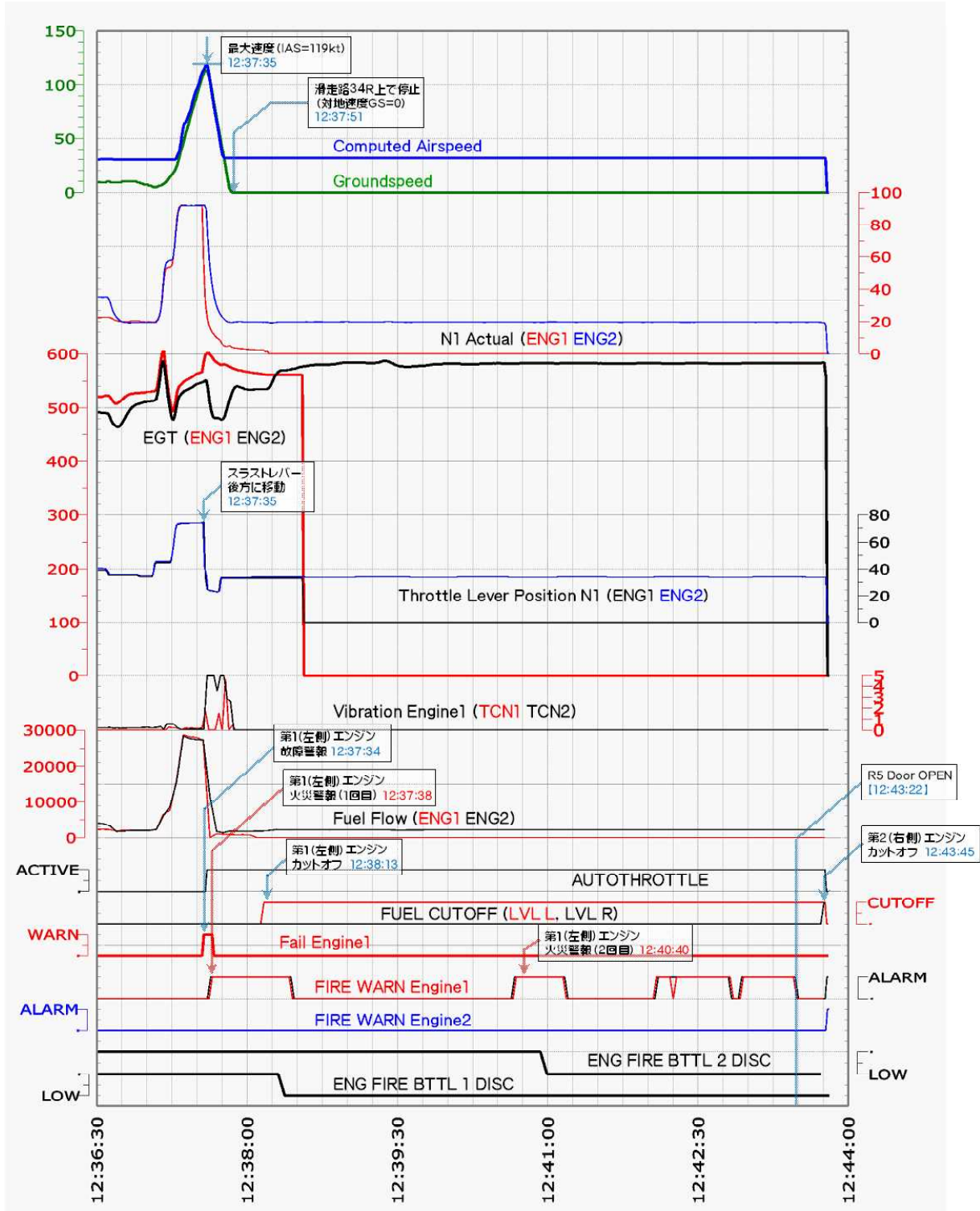
(5) Cabin Operation ManualのEvacuation Partの見直しを行い、非常脱出時の客室乗務員による乗客の統制に関する事項を追加して平成28年10月17日から適用した。その主な内容は以下のとおりである。

① 荷物を置いて脱出することを指示する内容及び非常口座席の乗客に後から降りてくる乗客の補助を要請する内容を従来の韓国語、英語に加えて日本語、中国語でも記述した。

② 予期しない緊急着陸時には、状況の認識が重要であり、状況に関する情報を韓国語、英語で乗客に伝えること。乗客の国籍を考慮し、可能であれば客室乗務員は、その他の言語を使用して追加の指示を与えることができることとした。

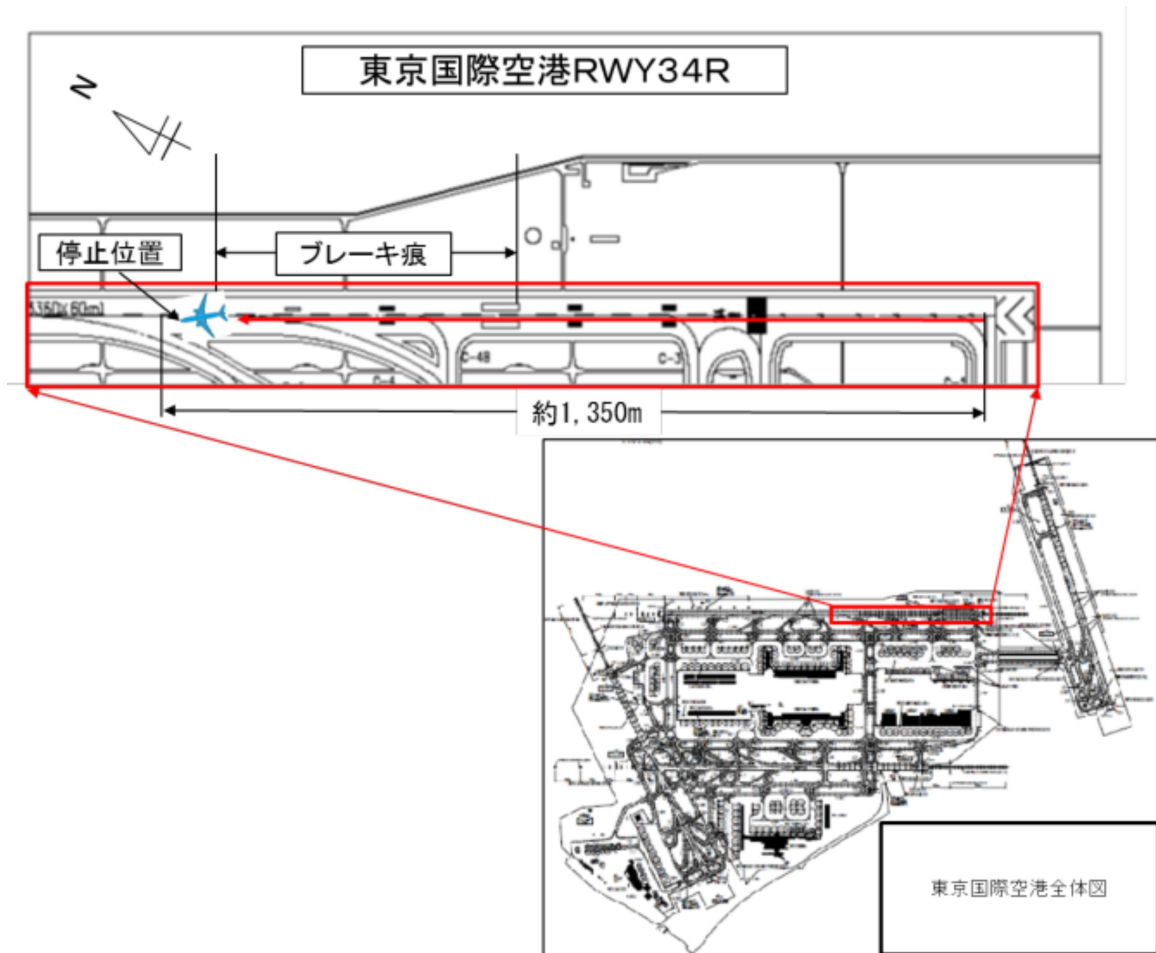
③ 非常脱出の流れが止まったり、滞った場合は、客室内に他の乗客がいないかを確認する。担当区域に乗客がいなかった場合、客室乗務員は機外において乗客の統制を行うために、他の乗客よりも先に脱出を行うことができる。

付図1 FDRの記録

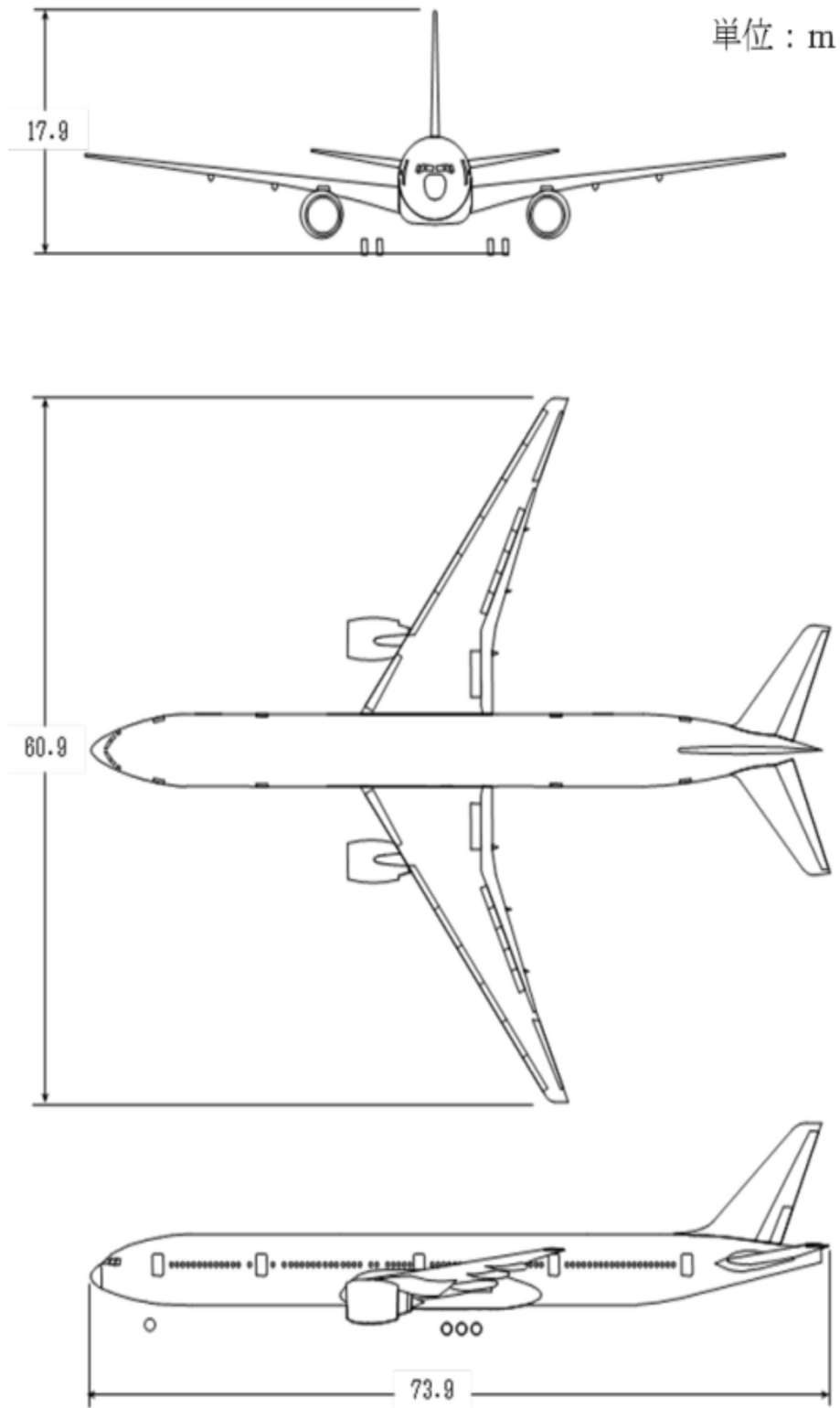


日本標準時

付図2 推定走行経路図



付図3 ボーイング式777-300型三面図



別添1 CVR、FDR、ビデオの記録

JST	SOURCE	ENGLISH	JAPANESE
12:36:53	TWR	KoreanAir2708, wind070at21, runway 34R, cleared for take-off.	大韓航空2708, 風070° 21ノット、滑走大路34R、離陸支障なし。
	F/O	Cleared for take-off runway34R, Korean Air 2708.	滑走路34R、離陸支障なし、大韓航空2708。
	CAPT	Cleared for take-off. You have control, I have ATC. Take-off time set.	離陸支障なし。あなたが操縦担当、私が管制を担当する。 離陸時刻セット。
37:17	F/O	TO/GA	TO/GA
37:18	CAPT	Thrust reference -take-off thrust set. I have thrust.	スラスト リファレンス - 離陸スラストにセット。私がスラストを担当する。
	F/O	You have thrust.	スラストをお願いします。
37:30	CAPT	80kt hold.	80ノット保持。
37:35	-	“Bang” (Engine Explosive Sound)	「バン」 (エンジンから爆発音)
37:36	-	“ENG FAIL” (Voice Alert)	「エンジンフェイル」 (音声警報)
37:37	TWR	Korean Air 2708, your No.1 engine fired. Stop immediately, Stop immediately.	大韓航空2708, 第1エンジン火災、緊急停止、緊急停止。
37:38	-	1st Fire Bell Sound	1回目の火災警報音
37:39	F/O	Speed Brakes - UP, No.2 reverse	スピードブレーキ - アップ、No.2リバース
37:45	F/O	Korean Air 2708, reject take-off on runway34R.	大韓航空2708, 滑走路34R上で離陸中止。
	TWR	Understood. We saw fire from your No.1 engine.	了解。第1エンジンから火が出ているのが見えた。
37:51	VIDEO/ FDR	GS=0	GS=0
	CAPT	Engine fire.	エンジン火災。
	F/O	Fire engine left.	左エンジン火災。
		Parking break - set	パーキングブレーキ - セット
37:57	CAPT	Crew at the station, crew at the station.	乗務員は配置に就け、乗務員は配置に就け。

38:00 ~38:08	CAPT	Fire engine left. Memory Items. (Order)	左エンジン火災。メモリーアイテム。(指示)
	CAPT (F/O)	Fire engine left. Memory Items. A/T ARM S/W L/H - off (Confirm L), L/H Thrust lever - idle (Confirm L), Fuel control S/W L/H - cut off (Confirm)	左エンジン火災 メモリーアイテム。 オートスロットル アーミングスイッチ 左側 - オフ (左確認), 左側スラストレバー - アイドル (左確認), 燃料コントロールスイッチ左側 - カットオフ (確認)
	CAPT	Cut off	カットオフ
38:10	FDR	FUEL CUT OFF, FF. VALVE CLOSE, N1=0, N2=0	燃料カットオフ、FF.バルブ 閉、N1=0、 N2=0
38:11 ~38:54	CBN	Ladies and gentlemen, we are unable to take-off. Further information will be informed shortly. (in Korean, English) We are waiting for the take-off clearance. Please wait at your seat. (Japanese)	皆様、当機は離陸できなくなりました。 詳しい情報は追ってお知らせします。 (韓国語、英語) 当機は、離陸許可を待っています。着 席したままでお待ちください。(日本 語)
38:18	F/O	Engine fire switch - pull, still fire, rotate	エンジン火災スイッチ - 引く、引き続 き火災、回転
38:20	FDR	ENGINE FIRE BOTTLE No. 1 - OPEN	エンジン火災ボトルNo. 1 - 開
38:25 ~38:29	TWR	Korean Air 2708 fire trucks are going to you.	大韓航空2708, 消防車がそちらに向か っている。
	F/O	I'm sorry. Say again.	すみません。再送願う。
	TWR	Fire vehicle going to around you.	消防車がそちらに向かっている。
	F/O	Thank you.	ありがとう。
38:31	CAPT	Fire is gone.	火は消えたか。
	F/O	Yes, fire is out.	はい、火は消えました。
	CAPT	Fire is gone?	火は消えたか?
	F/O	Yes sir, fire is gone.	はい、火は消えました。
	CAPT	Contact again and inform them fire is gone.	再度タワーと交信して火が消えた旨を 伝えよ。
38:51	F/O	Korean Air 2708, Fire is gone.	大韓航空2708, 消火した。

	L3 CA	IPN Call to CAPT	インターホンで機長の呼び出し
	TWR	Thank you, stand by , hold position.	ありがとう。その場で待機せよ。
	F/O	Holding present position, Korean Air 2708.	現在地で待機する,大韓航空2708。
39:00	CAPT	Hello … Hello.	もしもし。
	L3 CA	CAPT. There is smoke from engine on L3 side.	機長、L3側のエンジンから煙が出ています。
	CAPT	Extinguished fire. Fire truck has just reached and in preparation. Please wait.	火は消えた。消防車が今到着し、準備している。 待て。
	L3 CA	Yes, sir .	了解しました。
39:12	CAPT	It seems fire is gone.	火は消えたようだ。
39:57	PURS	It seems fire was occurred at the back. Now, fire truck arrived and will extinguish fire.	後方で火災が発生した模様です。今、消防車が到着し、間もなく消火活動を開始します。
	CAPT	Hello … Hello.	もしもし。
	PURS	Yes, captain.	はい、機長。
	CAPT	We have left engine fire. We extinguished, and fire was gone. And fire truck arrived and extinguished fire. No evacuation needed. Please wait. If it possible, please inform them what I told you.	左エンジンに火災が発生。消火したので火は消えた。消防車が到着し、消火した。非常脱出は必要ない。待ってくれ。もし可能なら、今言ったことを皆に知らせてくれ。
	PURS	Fire was extinguished, now?	消火したんですか？
	CAPT	Yes, fire has gone.	そう、火は消えた。
	PURS	If so, we will return to gate?	もしそうなら、我々はゲートに戻るのですか？
	CAPT	Yes.	そうだ。
	PURS	Yes, sir.	了解しました。
	CAPT	For now, situation what I said to you…	今、さっき話した状況は、
	PURS	Do I need to tell all?	全部話す必要がありますか。

	CAPT	Just... Ahh... Evacuation checklist	ちよつと... ああ... 非常脱出チェックリスト
40:40	FDR	ENGINE FIRE ALARM (2nd time)	エンジン火災警報 (2回目)
		2nd Fire Bell Sound	2回目の火災警報音
40:41	F/O	FIRE engine comes again	また消防車が来ます。
40:44	PURS	Do I need to tell technical problem?	技術的な問題が発生したと告げる必要がありますか。
	CAPT	Hold on please.	ちよつと待て。
40:52	CAPT	Contact Tower again.	再度タワーに連絡。
	F/O	Korean Air 2708, We got a Fire engine L/H message again.	大韓航空2708, 再度左側エンジン火災のメッセージが出た。
	TWR	Roger.	了解。
	CAPT	Fire.	火災。
40:59	FDR	ENGINE FIRE BOTTLE No. 2 - OPEN	エンジン火災 No. 2 (消火) ボトル - 開
41:01	TWR	Korean Air 2708, right now fire truck reaching your No. 1 engine.	大韓航空 2708, ただいま消防車が第1エンジンに到着。
	F/O	Roger thank you, Korean Air 2708.	了解、ありがとう、大韓航空2708。
	F/O	Fire truck arrived.	消防車到着。
41:11	CAPT	Bottle discharged again...	(消火) ボトルは再度使用した。
	F/O	Fire is gone again.	火は再度消えました。
	CAPT	OK.	オーケー。
	CAPT	Left side...	左側...
41:38	F/O	2 fire trucks are coming forward.	2台の消防車が前方から接近。
42:06	PA	Ladies and gentlemen,	皆様
42:07	-	3rd Fire Bell	3回目の火災警報音
42:08 ~42:38	CBN	We just rejected take-off for technical problem. Further information will be informed shortly. (in Korean, English and Japanese)	当機は、技術的な問題で離陸を中止いたしました。詳しい情報は追ってお知らせいたします。(韓国語、英語、日本語で)
42:09	F/O	Fire engine left message.	左エンジン火災のメッセージ。
	CAPT	Need to Evacuation.	非常脱出の必要がある。
42:13	F/O	Tower Korean Air 2708, we got a fire engine L/H message again	タワー、大韓航空2708, 再度左エンジン火災の表示が出た。

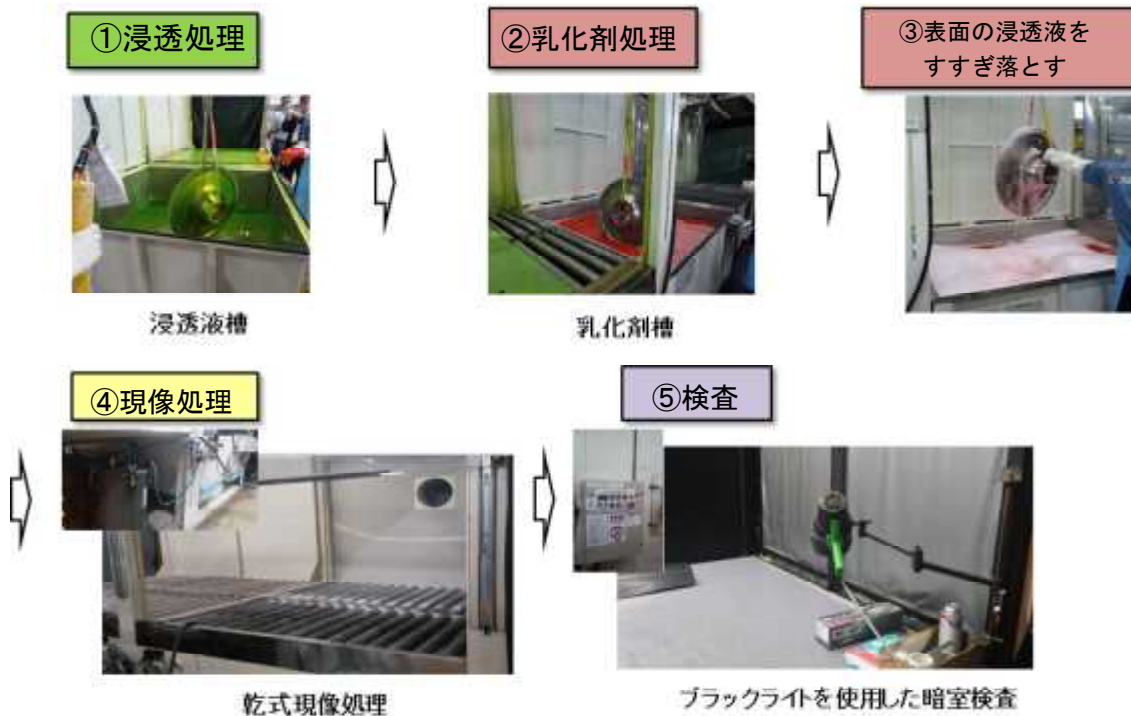
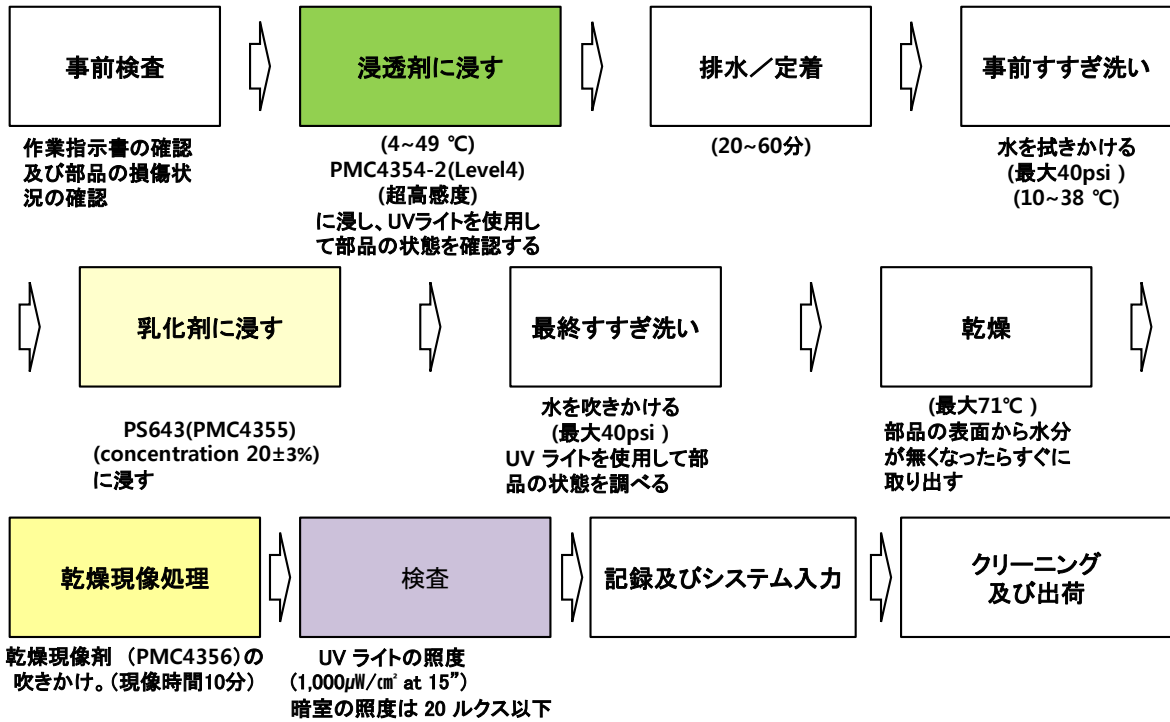
	TWR	Roger.	了解
42:22	CAPT	Tower Korean 2708, we still got the message. We need evacuation to the right hand side.	タワー、大韓航空2708, まだメッセージが出ています。右側への非常脱出が必要です。
	TWR	Understand.	了解しました。
42:30	CAPT	Evacuation.	非常脱出。
	F/O	Roger, Korean 2708.	了解,大韓航空2708。
42:37	CAPT	Evacuation Checklist. (Order)	非常脱出チェックリスト。(指示)
42:51	CAPT	Evacuation signal sound	非常脱出シグナル音
42:52	F/O	Evacuation Checklist. (reply)	非常脱出チェックリスト。(復唱)
43:03	CAPT	EVAC, EVAC, EVAC to the right hand side.	非常脱出、非常脱出、右側へ非常脱出せよ。
43:14	CAPT	Evacuation Checklist. (Order)	非常脱出チェックリスト。(指示)
43:17	F/O	Stand by.	ちょっと待ってください。
43:17	VIDEO	L1, R1 DOOR OPEN	L1、R1 ドア開放
43:22	VIDEO	R5 DOOR OPEN	R5 ドア開放
43:22	CAPT	You can find in this...	この中にあるだろう・・・
43:26	F/O	Evacuation Checklist. (reply)	非常脱出チェックリスト。(復唱)
43:27	F/O	Parking Brake - set Outflow Valve S/Ws (both) - manual	パーキングブレーキ - セット アウトフローバルブ スイッチ (両方) - マニュアル
43:27	VIDEO	R4 SLIDE deployment bounce to the fuselage	R4 スライド展開、機体に当たって跳ね返る
43:29	VIDEO	R2 DOOR OPEN	R2ドア解放
43:36	F/O	Outflow Valve Manual S/Ws (both) - hold and open position	アウトフローバルブ マニュアル・スイッチ (両方) - 保持及び開位置
43:41	CAPT	Fully open completed	全開完了
43:43	F/O	Fuel Control S/Ws (both) - cut off	燃料コントロールスイッチ (両方) - カットオフ
43:45	CAPT	Both cut off	両方カットオフ
43:45	QAR	FUEL CUT OFF RH (5m35s from the LH engine cut off)	右側燃料カットオフ (左側エンジンカットオフ後5分35秒後)
	F/O	Advise the CBN to evacuate	客室に非常脱出を通報
	F/O	Advise the Tower	タワーに通報
43:48	FDR	FDR recording terminated.	FDRの記録終了

		(03:43:52)	(3:43:52)
43:50	CAPT	TWR, Korean Air 2708 , mayday, evacuate, evacuate on the 34R.	タワー、大韓航空2708, メーデー、滑走路34Rに非常脱出する。
	TWR	Understood.	了解
43:50	VIDEO	Passengers commence to evacuate via R3 door	R3ドアから乗客が脱出を開始
44:04	VIDEO	R4 slide fully deployed	R4ドアのスライドが正常に起立
44:06	VIDEO	Passengers commence to evacuate via R4 door	R4ドアから乗客が脱出を開始

凡例 TWR Tokyo Tower 124.35 MHz
CPT 操縦室 CAPT 機長
F/O 副操縦士 PURS パーサー
CA 客室乗務員 CBN 客室
IPN インターホン PA 客室アナウンス

FDR、CVR及びQARの時刻補正は、管制交信記録の時報とFDR及びQARに記録されたVHF無線送信信号、CVRに記録された管制交信を対応させることにより行った。

別添2 同社のFPI実施手順



別添3 第1エンジンの状況

同機の第1エンジンの状況は次のとおりであった。なお、以下の文中においては、機体後方から前方を見た場合のエンジンの回転軸を中心とする円周上の位置を、時計の時針の位置により示す。エンジンの左右についても、機体後方から前方を見た場合を示す。(写真#1 参照)



写真#1

(1) 全般

第1エンジンの左側及び外部の構成品は焼損し、すすが付着していた。(写真#2

第1エンジンの左側 参照) エンジンの右側には、すすの付着及び熱損傷はなかった。燃料及び油圧ラインの耐熱カバーは損傷を受けていなかった。(写真#3 第1エンジンの右側 参照) 滑油系統のラインはHP Tケースの損傷した穴に沿って切断されていた。



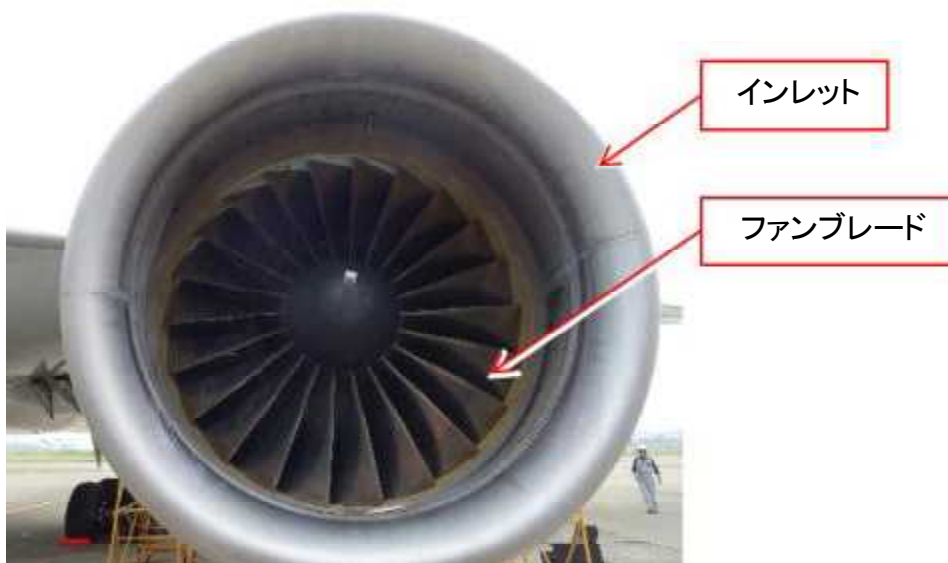
写真#2 第1エンジンの左側



写真# 3 第1エンジンの右側

(2) インレット及びファンブレード

インレット及びファンブレードに損傷はなく、外部から鳥等の異物を吸い込んだ痕跡もなかった。ファンを回転させるとLPTも同時に回転した。(写真# 4 インレット及びファンブレード 参照)



写真# 4 インレット及びファンブレード

(3) LPC

LPCの入口部に損傷はなかった。ステーター・ベーンの前縁に損傷はなかった。

(4) HPC

HPC最後部（第15段）のコンプレッサー・ブレードは、全て定位置にあった。ブレードの先端は、回転方向と逆方向にやや曲がっていた。その前段のステーター・ベーンは全て定位置にあり、損傷はなかった。

(5) ディフューザー・ケース

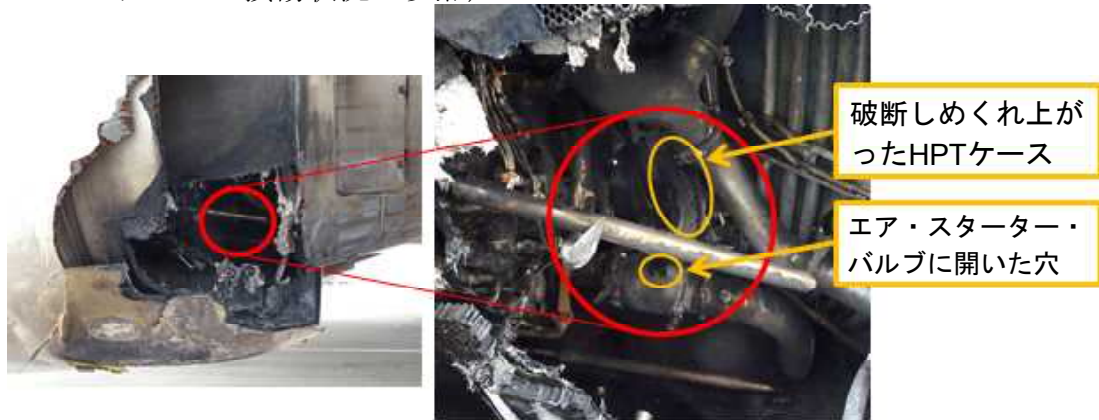
外側のディフューザー・ケースに断裂や熱疲労はなかった。ディフューザー・ケースの後縁の5時半から6時半の位置は放射状に外側に曲がっていた。内側のディフューザー・ケースにはケースの中央から後縁にかけて最小3.81 cm (1.5 in)、最大26.67 cm (10.5 in) の5つの亀裂があった。ほぼ12時の位置には、約5.08 cm (2 in) × 2.54 cm (1 in) の欠損があった。（写真#5 内側のディフューザー・ケース 参照）



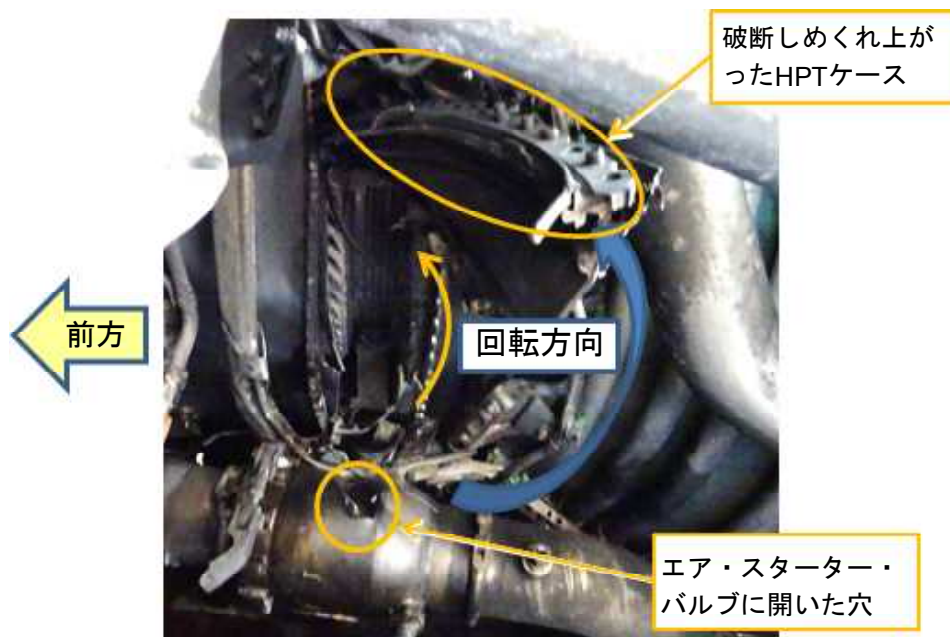
写真#5 内側のディフューザー・ケース

(6) HPT

- ① HPTケースは、円周に沿って長さ約36cm（約14in）、幅約11.4cm（4.5in）で7時半から9時の位置にかけて破断して外側に折れ曲がり、ねじれていた。（写真#6-1 HPTケースの破損状況1 及び写真#6-2 HPTケースの損傷状況 参照）



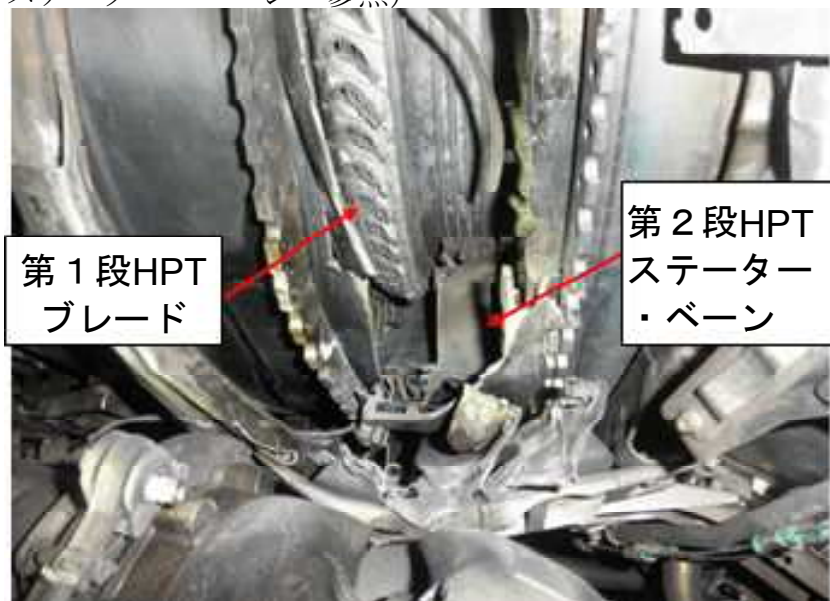
写真#6-1 HPTケースの破損状況1



写真#6-2 HPTケースの損傷状況2

第1段HPTブレードと第2段HPTステーター・ベーンが根元から欠損していることを確認した。（写真#7 破損した第1段HPTブレードと第2段

HPTステーター・ベーン 参照)



写真# 7 破損した第1段HPTブレードと第2段HPTステーター・ベーン

- ② エアー・スターター・バルブに開いた穴の形状とHPTケースのめくれ上がった切片の縁の形状が合致していた。(写真# 8 エア・スターター・バルブに開いた穴 参照)



写真# 8 エア・スターター・バルブに開いた穴

- ③ HPTケース前方フランジは、3時半から8時半の位置にあるボルトが、後方フランジは5時半から7時半の位置にあるボルトが抜けていた。
- ④ 本事故発生後の滑走路と隣接区域の調査で第1段HPT及び第2段HPTのステーター・ベーン等が回収された。(写真# 9 回収されたステーター・ベ

ーン等 参照)



写真# 9 回収されたステーター・ベーン等

- ⑤ 滑走路34Rの周辺から回収された破片の中から第1段HPTディスクのリム(縁)の破片が発見された。破片は長さ約20cm(7.8in)、重量1.875kg(4.134lbs)で、7つのブレード取付け用の溝(ブレード・スロット)を含んでいた。(写真#10 第1段HPTディスクのリム部の破片 参照)



写真# 10 第1段HPTディスクのリム部の破片

第1段HPTディスクのリム部の破断面には、ラチェットマーク^{*18}があった。
(写真# 11 ラチェットマーク 参照)

*18 「ラチェットマーク」とは、単一平面上にない複数の起点で亀裂が発生し、それらが進展し合体したときの痕跡のことをいう。



写真# 1 1 ラチェットマーク

⑥ 第1エンジンを分解調査したところ、第1段HPTディスクのリム部に長さ約20cm(7.8in)の欠損があった。同ディスクの欠損面と写真#7のリム部の破片の破断面が合致した。

(7) LPT

LPT最後部(第9段)のLPTブレードは、すべて定位置にあり、その形状に顕著な損傷は認められなかった。同LPTブレードのいくつかはオイルが付着していた。

(8) テール・コーン(排気管)

テール・コーンはタービン・エキゾースト・ケースに付いたままであった。テールコーン取り付けボルトが4時から8時の位置(下側)で9本なくなっていた。(写真#12 テール・コーン 参照)



写真# 1 2 テール・コーン

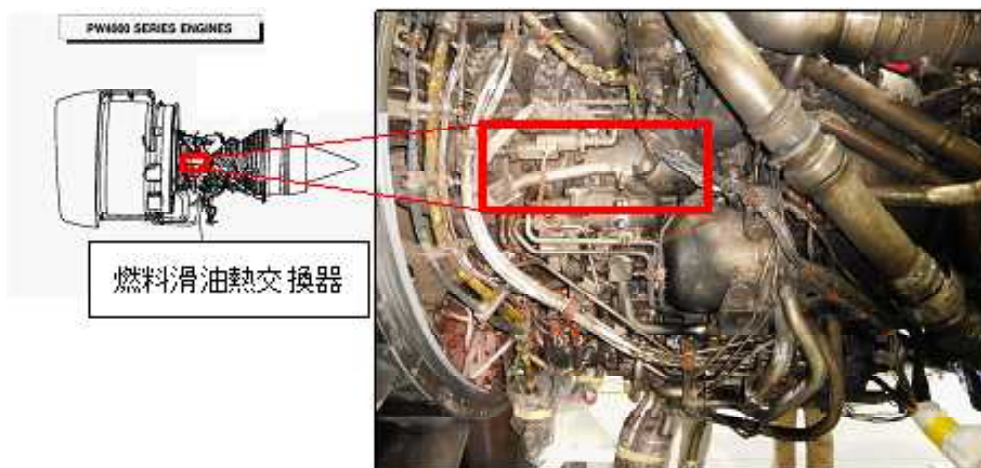
(9) 潤滑油システム

オイルタンクに潤滑油が入っていることを確認した。アクセサリ・ギアボックスのマグネチック・チップ・ディテクターを取り外して検査したが、異物は付着していなかった。メイン・オイル・フィルターエレメント及び潤滑油か

らも異物は発見されず、異臭もしなかった。

(10) 燃料滑油熱交換器

HP Tケース 8時の位置にある、燃料滑油熱交換器の本体ケースには、亀裂及び焼損によるすすが確認されたが、外部から受けた損傷は確認されなかった。亀裂は、本体後部に3箇所確認され、一番長い亀裂は約34cm (13.4 in) であった。(写真# 13-1 燃料滑油熱交換器及び写真# 13-2 燃料滑油熱交換器の亀裂 参照)



写真# 13-1 燃料滑油熱交換器



写真# 13-2 燃料滑油熱交換器の外側ケースの亀裂

(11) エンジンカウル

① インレット・カウル

左右のインレット・カウルには、衝突痕や損傷は確認できなかった。

② ファン・カウル

左右のファン・カウルには、損傷は確認できなかった。

③ トランスレーティング・カウル^{*19}

左右のトランスレーティング・カウルのラッチはロックされていた。左側のトランスレーティング・カウルの後縁部から前方に向かって幅約107cm(42in)、カウリングの円周に沿って、6時半から9時の位置まで約279cm(110in)にわたって欠損しており、コア・カウルが露出していた。(写真#14 トランスレーティング・カウルの損傷状況 参照)

欠損したカウル部分の下側のカウルの塗装には火ぶくれ及び焼損が確認された。左側のトランスレーティング・カウル内壁は、軸方向に幅約94cm(37in)幅79cm(31in)の穴のほか、焼損による穴も開いていた。

左側のファン・ダクトの内部とトランスレーティング・カウルの内壁はすすで汚れていた。破断し脱落した部分のトランスレーティング・カウルの内壁に第2段HPTのタービン・ブレードが2本が突き刺さっていた。

④ 右側のトランスレーティング・カウル

右側のトランスレーティング・カウルには損傷・すす・熱疲労はなく、トランスレーティング・カウル内壁と関連ファン・ダクトにすすの付着はなかった。

⑤ アフト・カウル

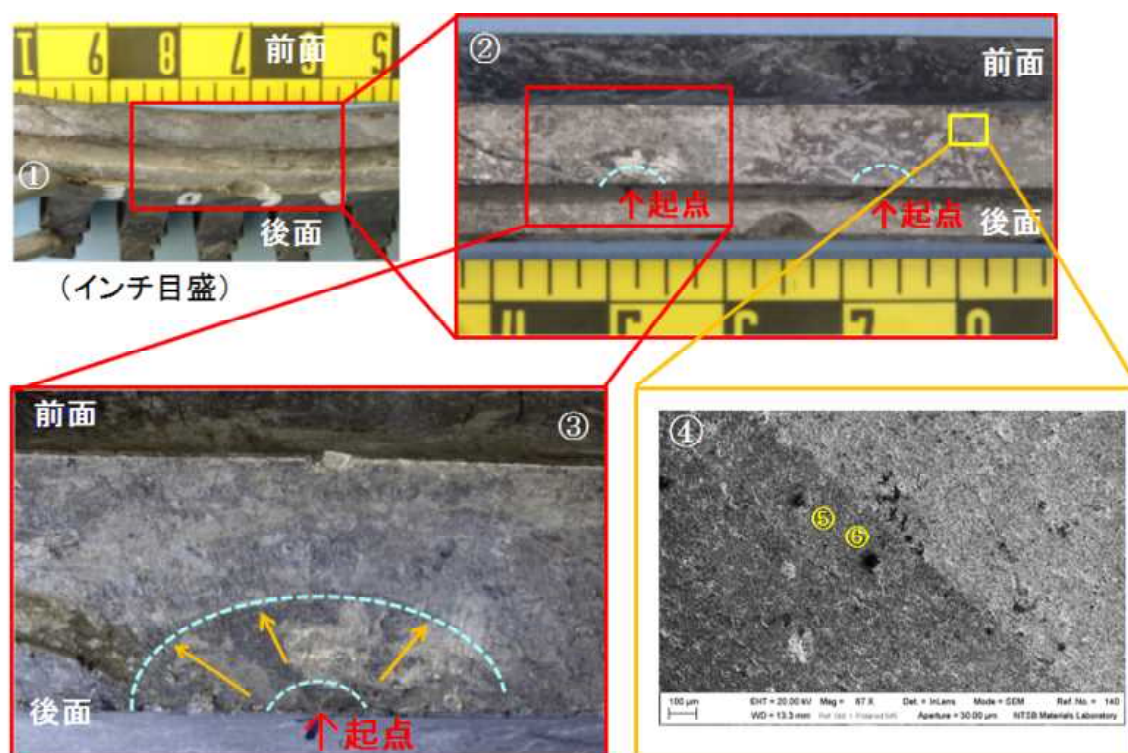
2時、4時、8時及び10時の位置にあるプレッシャー・リリーフ・ドアは、全て開いていた。



写真#14 トランスレーティング・カウルの損傷状況

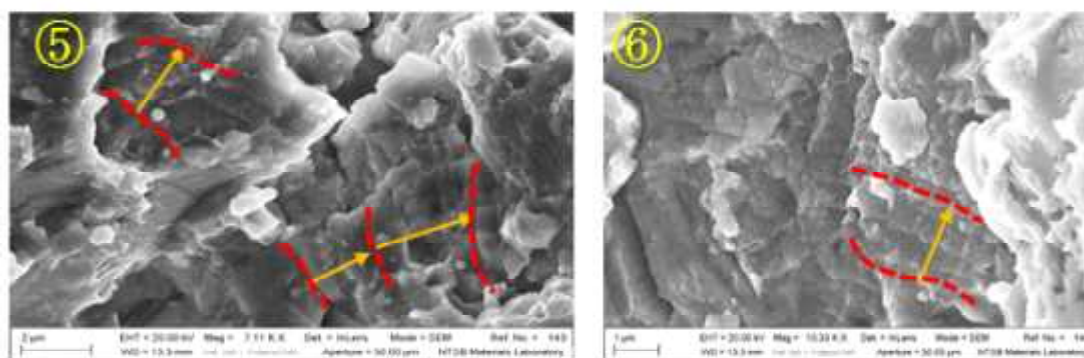
*19 「トランスレーティング・カウル」とは、ファンからの空気を噴射するノズルの役割と、着陸時には後方にスライドしてファン・カウルとの間に隙間を空けて、ファンからの空気を前方に向けて噴射させる役割を持つカウリングのことをいう。

別添4 破断面の写真



写真①、②：破断し飛散した第1段HPTディスクのリム部の破片の破断面の疲労亀裂進展領域には、起点からのビーチマーク（貝殻模様）が確認された。

写真③：亀裂はディスク後面の起点から前面に向かって進行している。破断面は、機械的接触等で破損が激しく、亀裂進展に伴い焼損によって酸化し、青みがかっていた。写真④の黄色い枠で囲った部分を走査型電子顕微鏡（SEM）で拡大し撮影した写真が⑤、⑥であり、疲労破面の特徴であるストライエーションなどが確認された。



凡 例	青の破曲線	：	ビーチマーク
	赤の破曲線	：	ストライエーション
	黄色の矢印	：	亀裂の進行方向

別添5 試料片のストライエーション

