

# 航空事故調査報告書

所属 特定非営利活動法人ピースウィンズ・ジャパン\*1  
型式 アエロスパシアル式A S 3 5 0 B型（回転翼航空機）\*2  
国籍登録記号 J A 9 7 2 7  
事故種類 墜落  
発生日時 令和4年8月15日 13時30分頃  
発生場所 広島県<sup>じんせき</sup>神石郡神石高原町

令和8年4月24日  
運輸安全委員会（航空部会）議決  
委員長 李家賢一（部会長）  
委員 高野 滋  
委員 堂園 正人  
委員 早田 久子  
委員 津田 宏果  
委員 松井 裕子

## 1 調査の経過

1.1 事故の概要	特定非営利活動法人ピースウィンズ・ジャパン所属アエロスパシアル式A S 3 5 0 B型J A 9 7 2 7は、令和4年8月15日（月）、広島空港から豊島場外離着陸場までの人員輸送を終えて、神石高原場外離着陸場に向けて飛行中、神石高原場外離着陸場の南東約500m付近で、行方不明となった。捜索救難の結果、山中において、墜落しているところを発見された。同機には機長のみが搭乗していたが死亡した。機体は大破したが、火災は発生しなかった。
1.2 調査の概要	運輸安全委員会は、令和4年8月15日、本事故の調査を担当する主管調査官ほか1名の航空事故調査官を指名した。本調査には、事故機の機体及びエンジンの設計・製造国であるフランス共和国の代表及び顧問が参加した。 原因関係者からの意見聴取及び関係国への意見照会を行った。

## 2 事実情報

2.1 飛行の経過	同機の飛行計画、GPS装置の記録、航空管制用レーダーの記録及び目撃者の口述並びに捜索救難活動の記録によると、飛行の経過は概略次のとおりであった。 11時10分 広島空港から豊島場外離着陸場（以下「豊島場外」という。）までの人員輸送のため、機長1名が右操縦席に着座し、神石高原場外離着陸場（以下「神石場外」という。）を離陸した。 11時35分 広島空港に着陸した。 12時27分 同法人関係者4名が搭乗し、広島空港を離陸した。 12時46分 豊島場外に着陸し、同法人関係者4名が降機した。
-----------	---

\*1 特定非営利活動法人ピースウィンズ・ジャパンは、株式会社高橋ヘリコプターサービスから借用した機体を運航し、株式会社高橋ヘリコプターサービスが操縦及び整備業務を行っていた。

\*2 「アエロスパシアル式A S 3 5 0 B型」（回転翼航空機）は、単発のタービンエンジンを搭載したシングル・ローター・ヘリコプターであり、乗員1名により運航し、最大5名の旅客輸送が可能な機体である。

13時11分 豊島場外を離陸した。

13時27分 神石場外の約500m手前で、エンジンからの異音（パン、パン、パンの連続音）とともに、ゆっくり右旋回し、行方不明となった。

14時13分 捜索救難活動が開始された。（詳細は、2.8参照）

17時25分頃 神石場外から南東約2.3km付近で同機が発見された。

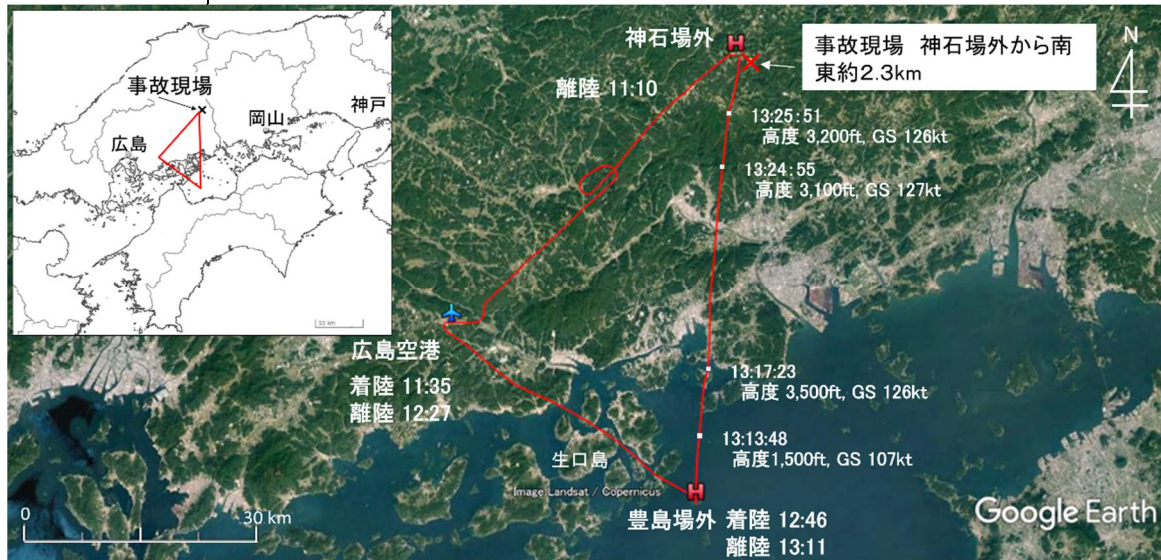


図1 同機の推定飛行経路

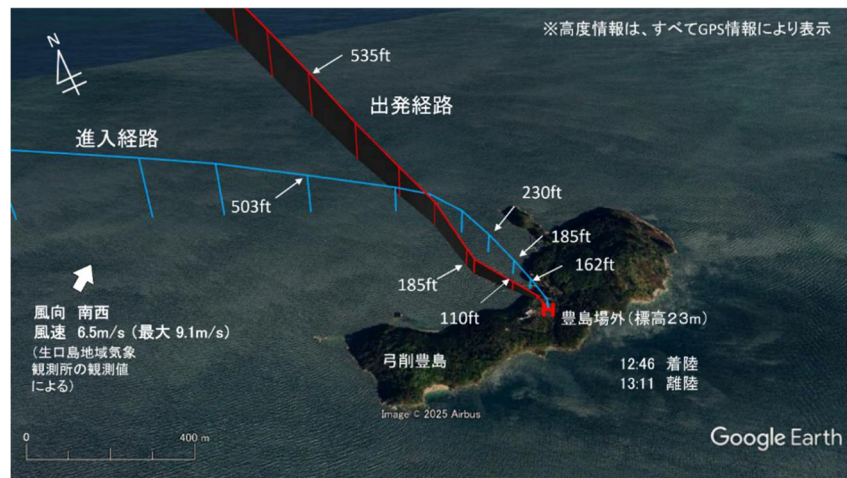


図2 同機の豊島場外離着陸時の進入・出発経路図

(1) 神石場外における目撃者の口述

① 運航責任者（操縦士：ピースウィンズ・ジャパン）

神石場外の駐機場で、同機の着陸の状況を見ていたところ、東南東から速度約50kt、対地高度500ftぐらいで進入中、エンジンからと思われる「パン、パン、パン」という連続した異音があり、同機はゆっくりと右旋回して、山影に消えた。別の機体の通信機を使って、同機を呼び出したが、応答はなかった。

② 整備責任者（整備士：高橋ヘリコプターサービス）

神石場外の駐機場の中央付近で、同機が進入してくるところを誘導員として見ていた。神石場外の手前のあと10～15秒で着陸できそうな地点で、エンジンからと思われる過去に聞いたことがないような「ボ、ボ、ボ、ボ」という異音を発生させながら、ゆっくりと右旋回

して、山影に消えた。

(2) 豊島場外での離着陸に関連する同法人関係者の口述

① 広島空港から豊島場外まで同乗した同法人関係者

ヘリコプターの搭乗は2回目であったが、飛行中、異音や振動など特に気になるところはなかった。

② 豊島場外が位置する弓削豊島にある同法人の施設の管理者

同機は、豊島場外の北側から進入し、着陸前に北側へ機首を向けて着陸し、エンジンを停止した。離陸時は見ていないが、着陸時に異音などはなかった。ヘリコプターが離発着する場所は、東西の山の間にあるので、地上では風は感じにくいですが、当日は、強い風もなく、高温で多湿であった。

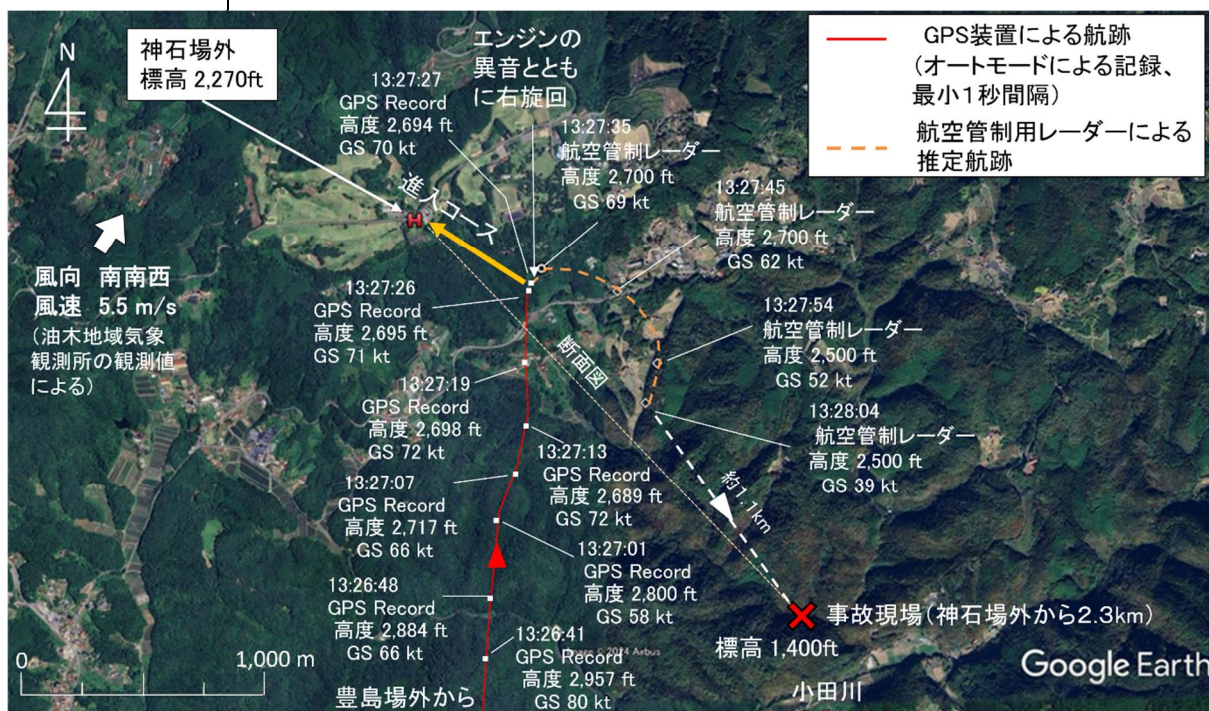


図3 同機の墜落直前の推定飛行経路

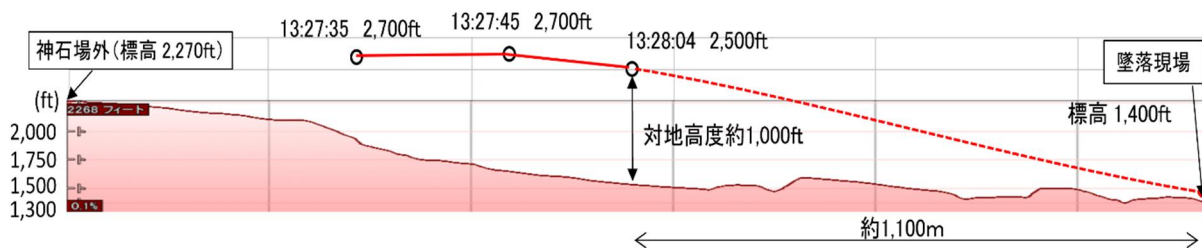


図4 同機の墜落直前の推定飛行断面図

本事故の発生場所は、広島県神石郡神石高原町（北緯34度43分37秒、東経133度19分48秒）で、発生日時は、令和4年8月15日13時30分頃であった。（墜落時刻は、分析による推測を含む。）

2.2 死傷者

機長：死亡（外傷性ショック）

2.3 損壊

(1) 航空機の損壊の程度：大破

① 胴体は、左側に横転し、トランスミッションを支えるフレームが折損していた。

- ② テールブームは、前方部でねじるように折損し、多数の衝突痕があった。
- ③ 着陸装置は、クロスチューブ部が前方側に回転して折損していた。
- ④ 燃料タンクの下部が衝突により変形して損傷し、燃料が流出していた。
- ⑤ 3枚のメイン・ローター・ブレードは、翼根から約1 m付近で折損又は損傷していたが、ブレード先端には損傷がほとんどなかった。
- ⑥ 操縦席のフェュエル・フロー・コントロール (2.9(4)参照) が最前方位置であった。



図5 機体の損壊の状況



図6 フェュエル・フロー・コントロールの状況



図7 エンジン外観の損傷状況

- (2) エンジン外観の損傷状況 (エンジン内部の損傷は、付図1参照)
- ① 排気装置は、上部からの圧力により変形し、茶色に変色していた。
  - ② パワー・タービン前方のベアリング・サポート部の外側は変色していた。
  - ③ パワー・タービン・ブレードは、翼端部が焼損していた。

<p>2.4 乗組員等</p>	<p>機長（高橋ヘリコプターサービス） 66歳  事業用操縦士技能証明書（回転翼航空機） 昭和62年5月20日  限定事項 陸上単発タービン機 昭和62年11月11日  陸上多発タービン機 平成4年10月5日  特定操縦技能 操縦等可能期間満了日 令和5年12月6日  第1種航空身体検査証明書 有効期限：令和4年12月25日  総飛行時間 5,512時間20分  最近30日間の飛行時間 0時間30分  同型式機による飛行時間 2,294時間10分  最近30日間の飛行時間 0時間30分</p>
<p>2.5 航空機等</p>	<p>(1) 航空機型式：アエロスパシアル式AS350B型  製造番号：2062、製造年月日：昭和62年12月21日  耐空証明書：第東-2021-479号、有効期限：令和5年2月27日  飛行時間：1,753時間05分  定期点検（50、100、150、200、300時間、12、24か月点検、令和4年2月24日実施）後の使用時間：27時間33分</p> <p>(2) エンジン型式：ツルボメカ式ARRIEL 1B型  製造番号：4392、製造年月日：平成3年4月12日  総使用時間：2,720時間23分  前回オーバーホール（平成19年6月7日実施）後の使用時間：  732時間18分  定期点検（50、100、150、200、300時間、12、24か月点検、令和4年2月24日実施）後の使用時間：27時間33分</p> <p>(3) 事故当時、同機の重量は1,506kg、重心位置は3.45mと推算され、いずれも許容範囲（最大離陸重量1,959kg、事故当時の重量に対する重心範囲3.17～3.52m）内にあったものと推定される。</p>
<p>2.6 気象</p>	<p>地域気象観測所の観測  人員輸送を終え、最後に離陸した豊島場外の北西約1.4kmに位置する生<small>い</small>口島地域気象観測所の事故関連時間帯の観測値は、次のとおりであった。  13時00分 風向 南西、  風速 6.5m/s、気温 33.6℃、  日照時間 1.0時間、  降水量 0.0mm  事故現場の北西約7kmに位置する油木地域気象観測所の事故関連時間帯の観測値は、次のとおりであった。  13時00分 風向 南南西、  風速 5.5m/s、気温 30.7℃、  日照時間 0.6時間、  降水量 0.0mm</p>
<p>2.7 エンジンの分解調査と整備状況</p>	<p>(1) エンジンの損傷状況の概要  エンジンが焼損した原因を詳細に調査するため、国内で分解調査を実施し、フランス共和国代表の立会いの下、更に設計・製造者の施設において追加の詳細調査を実施した。その結果の概要は次のとおりであった。</p>

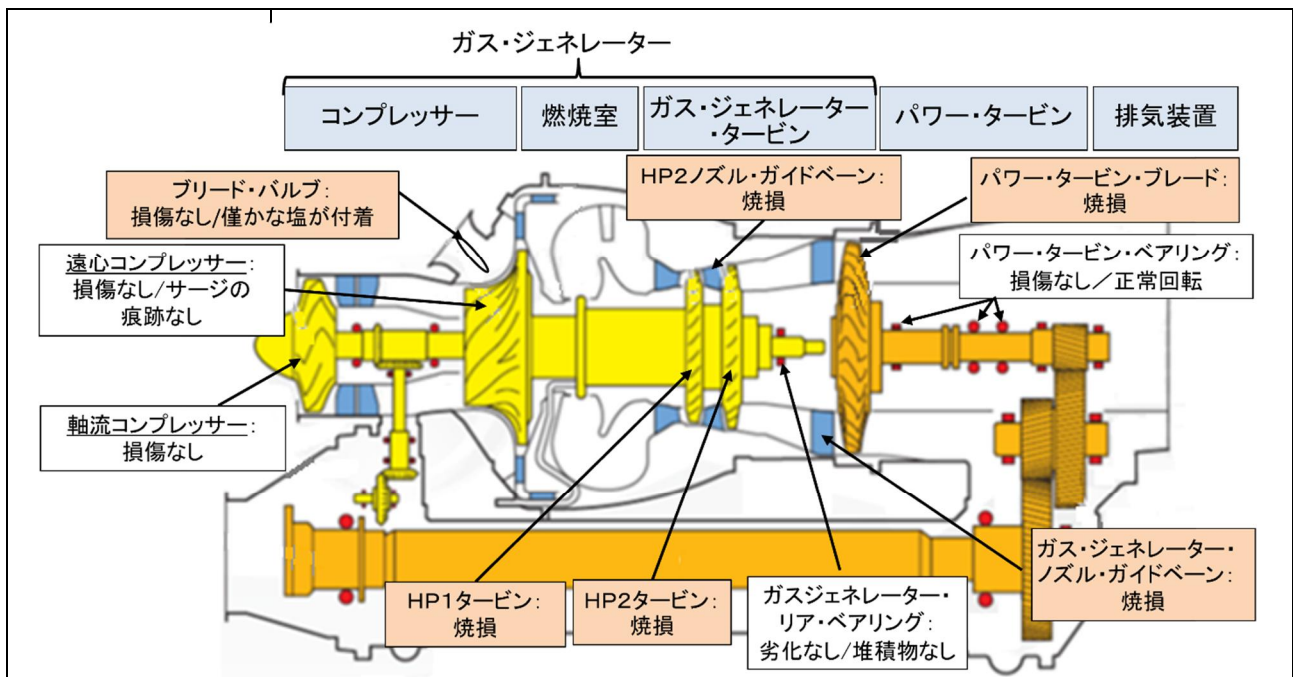


図8 エンジンの構造と損傷箇所

① コンプレッサー

a 軸流コンプレッサー

損傷した箇所はなかった。

b 遠心コンプレッサー (付図1-図A)

回転部分のブレード及び先端部には、擦れた痕跡はなく、ブレードの曲線は良好であり、深刻なサージ<sup>\*3</sup>の痕跡は、見当たらなかった。

c ブリード・バルブ (付図1-図B)

バルブは開いた状態であり、バルブの開閉状態を示す「BLEED V」注意灯内の2個の電球のフィラメント（発熱・発光部分）は伸びて断線し、墜落時にバルブが開いていた状態を示していた。また、バルブが閉じた際の側面に白い塩の結晶が付着していたが、手動による開閉は可能であった。エンジンの設計・製造者によると、可動部品と固定部品の間に塩の結晶が蓄積したことにより、ブリード・バルブが不具合を起こした事例は報告されていないということであった。

② 燃焼室 (付図1-図C)

a 構成部品は僅かに濃い変色があるが、損傷はなかった。

b 燃焼室内に乱れた空気流の痕跡はなかった。

③ ガス・ジェネレーター・タービン

a 第1段HPノズル・ガイド・ベーン (付図1-図D)

特に高温下で動作した痕跡はなかった。

b 第1段HPタービン (付図1-図E)

各ブレードは、高温により、均一に損傷し、融解していた。

c 第2段HPノズル・ガイド・ベーン (付図1-図F)

翼型のガイド部は、高温により、均一に損傷し、融解していた。

d 第2段HPタービン (付図1-図G)

\*3 「サージング (サージ)」とは、エンジン内の空気の流れが不安定となり、コンプレッサーだけでなくエンジン全体に影響を及ぼす不安定な動作 (連続した異音、エンジン回転数の変化等) が生じる現象をいい、コンプレッサーから燃焼室への流入空気が不安定となること又は燃焼室の下流の損傷等により空気が逆流することにより発生する。

	<p>各ブレードは、高温により、均一に損傷し、融解していた。</p> <p>④ ガス・ジェネレーター・ノズル・ガイド・ベーン（付図1-図H） 3本のアームには、融解した穴があり、静翼には焼損した金属材料が堆積していた。</p> <p>⑤ パワー・タービン a パワー・タービン・ケーシング（付図1-図I） サポート部の2か所が変形していた。 b パワー・タービンの状態（付図1-図J） パワー・タービン・ブレードは、均一に損傷し、ブレード長の約1/2が全周にわたり融解していた。</p> <p>⑥ ガス・ジェネレーター・リア・ベアリング（付図1-図K） a ローラー・ベアリングには、軽度の堆積物があったが、劣化はなかった。 b リア・ベアリング・パイプ内には、粒子や堆積物はなかった。</p> <p>⑦ パワー・タービン・ベアリング（付図1-図L） 全てのベアリング及びベアリング・ケーシングは、損傷がなく、正常に回転した。</p> <p>⑧ 燃料制御装置（付図1-図M） 燃料制御装置は、内部のガバナーを含め、試験装置による機能試験は全て良好であった。ただし、必要な燃料量を予測して制御するためのコレクティブ・レバー<sup>*4</sup>の位置を監視する機能がコレクティブ・ピッチ角が90°の最大位置で固着していたこと等、同機が地面に衝突した際の衝撃によると考えられる痕跡が見られた。</p> <p>⑨ ブリード・バルブ制御部の機能試験 ブリード・バルブの開閉を制御するタコメーター・ボックス及びタコメーター・ユニットの機能試験を行ったところ、開閉しきい値は仕様にて準拠し、異常はなかった。</p> <p>(2) エンジン内部の推定上昇温度 通常、エンジン内部の温度は、燃焼ガスが高温になっても構成部品が融解せずに高出力が得られるよう、燃焼室の後方からパワー・タービン・ブレードの間は、1,100℃未満の状態が保たれ、正常時の燃焼ガスがパワー・タービン付近を通過する温度は、600℃程度まで低下する。エンジンが異常燃焼した際の推定上昇温度は、金属表面の状態を視覚及び顕微鏡で観察することにより推定することができる。同機のエンジン内部の推定上昇温度は付図2-図1のとおりであり、ガス・ジェネレーター・ノズル・ガイドベーン付近は、1,330℃を超える温度であったと推定される。エンジンの設計・製造者によると、構成部品の金属は、1,100℃以上で融解し始め、温度が高いほど、短時間で焼損する。また、第1段と第2段のHPノズル・ガイド・ベーンの表面温度は、燃焼前の空気が通過する冷却効果によって、第2段より第1段HPノズル・ガイド・ベーンの方が100℃以上表面温度が低い。</p> <p>(3) 機体の防錆<sup>せい</sup>運転とエンジンの水洗い 整備担当会社の社長によると、機体の防錆運転については、7日ごとに一</p>
--	---

\*4 「コレクティブ・レバー」とは、ヘリコプターの操縦装置の一つである。垂直方向の動きを操縦する系統であり、レバーを上下に操作すると、メイン・ローターの推力が増減する装置をいう。

	<p>度実施していた。豊島場外との往復については、海上飛行では1,500ft付近を飛行している。また、進入及び出発のために低高度を飛行している区間は短いので、エンジンの水洗いについては、基本的には実施していない。さらに、以前の経験として、同型式機でサージが発生した際、ブリード・バルブを磨くような清掃を行い対応したことがあった。加えて、同機のブリード・バルブについては、耐空検査時に点検及び清掃を行い、汚れに気が付いたときは、清掃を行っていた。</p>
<p>2.8 通信、捜索及び救難に関する情報</p>	<p>(1) 通信に関する情報</p> <p>同機の航空機用救命無線機（ELT）は胴体後部の機体構造部に取り付けられていた。ELT本体からは遭難信号が発信されていたが、墜落時に機体アンテナが折損したため、救難機及び通信衛星は同機からのELT信号を受信できなかった。</p> <p>(2) 捜索、救難に関する情報</p> <p>東京救難調整本部（Rescue Coordination Center:RCC）は、行方不明発生 の通報を受け、次のとおり捜索救難活動を行った。</p> <p>14時13分 捜索救難活動を開始した。</p> <p>14時15分 不確実の段階として警急通報を発出した。</p> <p>14時45分 警戒の段階として警急通報を発出した。</p> <p>15時15分 遭難の段階として警急通報を発出した。</p> <p>15時20分 航空自衛隊西部航空方面隊に対し災害派遣を要請した。</p> <p>レーダー消失情報をもとに自衛隊ヘリコプター及び飛行機各1機、広島県警ヘリコプター1機、岡山県警ヘリコプター1機による上空からの捜索、並びに福山地区消防組合から地上部隊を派遣し捜索を開始した。</p> <p>17時25分頃 総務省消防庁から地上部隊が機体と要救助者（心肺停止状態）を発見との情報を受けた。</p> <p>18時15分 地上部隊が発見した機体はJA9727と判明した。</p> <p>18時57分 要救助者を神石高原町立病院に地上搬送した。</p> <p>19時20分 要救助者が所持していた身分証明書から機長であることが確認され、同時刻をもって捜索救難活動を終了した。</p>
<p>2.9 その他必要な事項</p>	<p>(1) 事故現場周辺の状況</p> <p>事故現場は、幅約3mの沢であり、両側を30mを超える高さの樹木に囲まれ、同機は、沢に沿うように墜落していた。また、同機が墜落地点へ進入した際の進入箇所は、楕円形であり、樹木に接触痕はあったが、メイン・ローター・ブレードが樹木を断ち切ったような接触痕はなかった。</p> <div data-bbox="226 1675 1385 2000"> </div> <p>図9 墜落場所付近の状況</p>

(2) GPS装置に関する情報

同機には、持ち込み品としてGPS装置（GARMIN aera 796）が装備されており、当日の離陸時から神石場外の南東500m付近（13時27分27秒）までの位置情報が記録されていたが、墜落時の給電停止で墜落直前の位置情報は記録されていなかった。また、事故当日の位置情報の記録は、進行方向、上昇、降下などの変化が発生するとデータが記録される自動モードであった。（最小1秒、最大15秒間隔で記録されていた。）

なお、同装置の記録については、記憶媒体に遅れて書き込みが行われるため、電源が強制的に切れた場合、直前の約3分間は記録されない仕様となっている。

(3) 同型式機のエンジンに関する計器

同型式機は、操縦士が単独で飛行する場合は、右席に着座する。エンジンに関する計器は、メイン・ローター回転速度計（NR：rpm）、トルク計（Tq：%）、排気温度計（T4：℃）、ガス・ジェネレーター計（Ng：%）、燃料圧力計、エンジン・オイル圧力計及びエンジン・オイル温度計であり、それぞれの計器の配置は図10のとおりである。同型式機には、パワー・タービン回転計（Nf）は装備されていない。



図10 同機の飛行及びエンジン計器の配置

(4) フュエル・フロー・コントロール

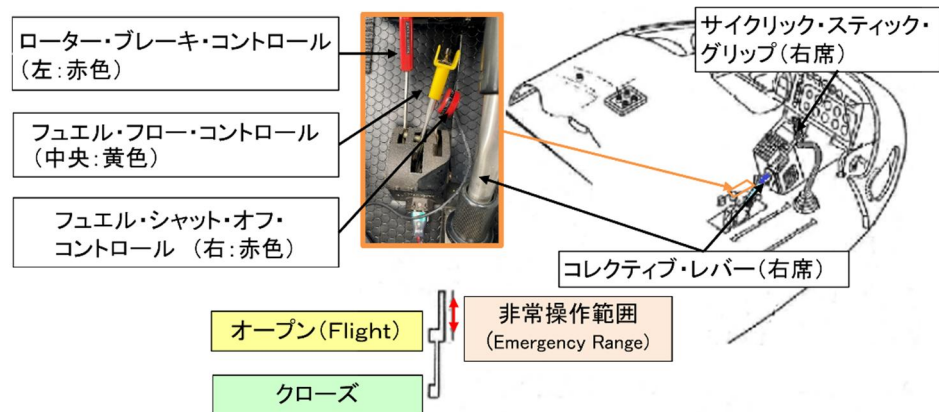


図11 同型式機のフュエル・フロー・コントロールの位置と非常操作範囲

図11のとおり、同型式機のフュエル・フロー・コントロールは、操縦席

の中央コンソールの後方に位置し、燃料流量を調整する。通常、エンジンの始動時にクローズからオープン (Flight) 位置へ操作することで、ローター回転速度を増加させた後も、燃料制御装置により燃料流量が調整されローター回転速度が一定に保たれる。また、フュエル・フロー・コントロールを操作し僅かに燃料流量を減少させた場合についても、燃料流量は自動調整される。

飛行中、ガバナー\*5 が故障し燃料流量が低下した場合は、フュエル・フロー・コントロールを前方の非常操作範囲 (Emergency Range) へ操作し、燃料流量を増加させる。この操作は、コレクティブ・レバーから左手を離し、フュエル・フロー・コントロールをオープン位置から右側へ一度押し当てて、前方の非常操作範囲へ押し出し、狭い範囲で燃料流量の微調整を行う。また、ガバナーが故障していない状態でフュエル・フロー・コントロールを非常操作範囲に入れた場合は、燃料制御装置内のガバナーが調整するメインバルブからの燃料と非常操作による補助バルブからの燃料が供給されるため、燃料流量が過剰となる。

さらに、飛行中にフュエル・フロー・コントロールを操作する場合、ローター回転速度を一定に保つためには、サイクリックを動かさないようにしながら、対気速度を維持し、コレクティブ・レバーの上下を最小限に抑え、飛行及びエンジン計器を確認し、微調整する極めて難しい操作が必要となる。なお、コレクティブ・レバーには、動きを固定するフリクション機能はあるが、墜落後の調査では、同機のコレクティブ・レバーは最大位置まで引き上げられ、同機能は使用されていないかった。

#### (5) フュエル・フロー・コントロールを使用する非常操作手順

同型式機の飛行規程には、フュエル・フロー・コントロールを使用する非常操作手順として、次のとおり定められている。

#### 4 GOVERNOR故障

##### 4.1 過度のFuel Flow低下

Engine停止と同様の兆候であるが、しかし数秒後にはNgは低回転で安定する (70%以下)。

— 対気速度65kt (120 km/h - 75 MPH) でオートローテーション操作を開始する。

そして、Fuel Flow ControlをEmergency Sector位置にする。NgとT4が上昇する。

— Ngを70%に保つ。

— 必要なら、Collective Pitch LeverでNRを350 rpmに増加させる。

— NRを約380 rpmになるまでFuel Flowを増加させる。

— このMain Rotor回転速度で水平飛行を続けるようにコレクティブ・ピッチとFuel Flowを調整する。

##### 4.2 過度のFuel Flow増加

Ng、T4、NRおよびトルクが増加する。

— コレクティブ・ピッチを減少させてはならない。

\*5 「ガバナー」 (GOVERNOR) とは、ローター回転速度を一定に保つための制御装置をいう。同型式機の GOVERNOR は、燃料制御装置内にあり、GOVERNOR がコレクティブ・レバーの位置及びエンジン回転数等を監視し、燃料流量を自動調整する。

－ Fuel Flowを減少させて、NR Indicatorの指針を緑色範囲の中央にする。

－ Governor制御が作動不良の状態で行ける。コレクティブ・ピッチの減少はNRの増加となるので、Fuel Flowを調整して修正する必要がある。

注：上記2つの場合（4.1および4.2項）、着陸進入は浅い角度の経路で行う必要があり、対気速度65kt（120 km/h - 75 MPH）にして、NR指針を計器の緑色上限（386rpm）に保つようにFuel Flowを調整する。

#### 4.3 Ngの変動

Ngの変動は、Ng、トルクおよびT4 Indicator指針の振れやYaw軸の急激な動きで分かる。

－ コレクティブ・ピッチを変化させる。

注：Ngの変動が発生していても、燃料圧力およびEngine潤滑圧力が正常であれば、Fuel Flowを定常状態から僅かに減少させる。またNgの変動が続いており、状況が悪化しそうであれば、出来る限り早く着陸してEngineを停止する。

#### (6) エンジンの機能不良時の兆候

エンジンの機能不良の兆候については、ICAO発行の航空機事故及びインシデント調査マニュアル第Ⅲ編<sup>\*6</sup>にある付図2-表1のとおり、過去の不具合事例による複数の兆候から、原因を推定できるようにまとめられている。

#### (7) エンジン・ブリード・バルブの機能と開閉条件

##### ① エンジン・ブリード・バルブの機能

エンジン・ブリード・バルブは、バルブを開閉することにより、コンプレッサーの空気圧力を調整し、サージンを防止する。エンジン始動時は、バルブを開き、軸流コンプレッサーからの圧力を低下させ、遠心コンプレッサーへ低圧の空気を送ることにより、スターターによるエンジン始動を容易にする。また、急激な速度変化によるHPタービン内のラム効果<sup>\*7</sup>によるサージンを防止するため、Ngが高回転になるとバルブを閉じ、コンプレッサーの遷移速度を向上させる。

##### ② エンジン・ブリード・バルブの開閉条件

同型式機のエンジン・ブリード・バルブは、Ngの加速中は、96%以上でバルブを閉じ、Ngの減速中は、94%以下でバルブを開くよう作動する。

##### ③ 同機の異音発生直前の推定Ng

同機の異音発生直前の機体重量、飛行高度及び外気温度から推定される真対気速度（TAS）別のNgは、設計・製造者によると、次のとおりであった。

TAS (kt)	80	70	60	50	40
Ng (%)	86.69	85.93	85.52	85.52	85.93

\*6 International Civil Aviation Organization Doc9756-AN/965 “Manual of Aircraft Accident and Incident Investigation PartⅢ-Investigation” 2011, Chapter 12. Power Plant Investigation, pp. Ⅲ-12-27

\*7 「ラム効果」とは、エンジンの空気取入れ口内で、航空機の対気速度の増加により圧力が高くなる現象をいう。

### 3 分析

#### (1) エンジンの焼損に関する分析

エンジンの分解調査の結果から、付図2-図1のとおり、第1段HPタービンからパワー・タービン間の燃焼ガスが通過する箇所の推定上昇温度は、構成部品が融解を始める $1,100^{\circ}\text{C}$ を超える温度であった。正常時であれば、燃焼ガスがパワー・タービン付近を通過する温度は、 $600^{\circ}\text{C}$ 程度まで低下するが、特にガス・ジェネレーター・ノズル・ガイド・ベーン付近の温度は、 $1,330^{\circ}\text{C}$ を超える温度に到達しており、ガス・ジェネレーター・タービンの第1段HPタービン以降の燃焼ガスが通過する区域では、付図1-図E～図Jのとおり、金属が均一に融解していた。また、各部のベアリングは、一部高温の変色はあったが、焼損はなかった。

燃焼前空気の冷却を受けている第1段ノズル・ガイド・ベーンは損傷はなかったが、第1段HPタービンからパワー・タービンの燃焼ガスが通過する箇所の金属部分までの痕跡から、異常燃焼が発生し、その燃焼ガスの通過した箇所が高温により短時間で融解したと推定される。また、異常燃焼が発生したことについては、燃料制御装置の機能試験結果は正常であったことから、フェュエル・フロー・コントロールがオープン（Flight）位置であれば、燃料流量が自動制御され、異常燃焼は発生しなかったであろうと考えられるのに対し、フェュエル・フロー・コントロールが非常操作範囲の最前方位置で発見され、パワー・タービンの直前付近は最も高温の状態、ブレードの約50%は融解していることから、飛行中にフェュエル・フロー・コントロールが非常操作範囲に操作されて供給された燃料とガバナーにより制御されて供給された燃料により過剰な燃料流量となり、異常燃焼が発生し、エンジン出力が低下したと考えられる。

#### (2) 目撃者情報及び同機の推定飛行経路によるエンジンの機能不良に関する分析

目撃者情報によると、同機は、神石場外に進入中にエンジンからと思われる「パン、パン、パン」という連続した異音とともにゆっくりと右旋回して、山影に消えた。また、GPS装置による図3の推定飛行経路からは、同機が $180^{\circ}$ の右旋回を開始した際、位置情報が急激に変化したことを示す1秒間隔の位置情報が記録されていた。その後、同機は航空管制用レーダーによると、対地速度及び高度をおおむね維持していたが、 $180^{\circ}$ 旋回後に徐々に対地速度が減速され、高度も低下していた。これらの情報を付図2-表1のエンジン機能不良の兆候と照合すると、エンジンからの連続したたたくような異音及び右方向への機首方位の偏揺れの二つの現象は、サージ現象の兆候であるが、エンジンの分解調査でコンプレッサー内には深刻なサージの痕跡が見られなかったことから、軽微なサージ現象が発生した可能性が考えられる。

#### (3) 同機のエンジン・ブリード・バルブ開閉による影響

同型式エンジンは、エンジン・ブリード・バルブが開閉することにより、サージ現象を防止している。豊島場外までの同乗者の口述によると、飛行中に異常は感じられなかったことから、広島空港から豊島場外までの飛行では、エンジン・ブリード・バルブは正常に作動したと考えられる。機体の詳細調査の際、付図1-図Bのとおり、エンジン・ブリード・バルブの閉鎖位置には、白い塩の結晶が付着しているのが確認された。同機が豊島場外着陸時に立ち会った同法人の施設管理者の口述によると、事故当日は、高温で多湿の状態であったことから、図2のとおり、同機が豊島場外への進入中からエンジン始動後に再度離陸して上昇するまでの間、塩を含んだ湿った空気がエンジン・ブリード・バルブの閉鎖位置に付着し、豊島場外離陸後、上昇中にエンジン・ブリード・バルブが閉鎖した際、塩が結晶化し、エンジン・ブリード・バルブを一時的に固着させた可能性が考えられる。当該エンジン・ブリード・バルブを装着しての試験装置による開閉機能試験では、正常と判断されたが、閉鎖位置に白い塩の結晶があったこと及び2.9(3)のエンジン・ブリード・バルブの開閉条件から、エンジン・ブリード・バルブが閉鎖位置で一時的に固着し、サージ現象が発生した可能性が考えられる。

同機の推定飛行経路によると、13時25分51秒に高度約3,200ft、対地速度約126ktから、徐々に減速して降下した際、13時27分01秒に高度約2,800ft、対地速度約58kt

となった。その後対地速度約70ktまで増速し、水平飛行を行っていた。油木地域気象観測所の地上風及び外気温度から、対地速度58ktでの推定される真対気速度(TAS)は、約50ktとなることから、同型式機の設計・製造者による推定されるNgは85.52%となる。これは、ブリード・バルブの開放条件(Ngが94~96%以下)を下回っており、エンジン・ブリード・バルブが開放されなければならないNgであるが、13時27分01秒の前後に一時的な対地速度の増減速があることから、この間にブリード・バルブが固着して開放せず、軽微なサージ現象が発生した可能性が考えられる。

また、目撃者により視認された右偏位が発生した付近は、神石場外に進入する際の降下を開始する位置と一致することから、コレクティブ・レバーが下げられ、Ng値が下がったことにより、サージ現象が一時的に過大となり右偏位が発生した可能性が考えられる。さらに、エンジン・ブリード・バルブは、墜落前に閉鎖状態から開放状態になったと考えられるが、いつの時点で開放状態になったのかは特定できなかった。

エンジン・ブリード・バルブの点検は、機体外部点検項目になっていないが、ブリード・バルブ内に汚れがあるとバルブが固着しやすいため、エンジン上部の点検の際、事前に清掃することが望ましい。

#### (4) エンジンの異音発生後における機長の操作

3(3)で述べたとおり、13時27分01秒の前後において、やや不自然な増減速が行われていることから、この間に軽微なサージ現象が発生し、機長は、緩やかな増減速によりエンジンの状況を確認した可能性が考えられる。

また、機長は、13時27分27秒に降下開始点付近で右偏位が発生した際、エンジンの異音とエンジン計器の状況を確認して、軽微なサージ現象をガバナー故障によるNgの変動が発生したと判断し、フュエル・フロー・コントロールを操作して、僅かに燃料流量を減少させる手順を開始した可能性が考えられる。右旋回が継続されている区間は、飛行高度は維持されており徐々に対地速度が減少している状態であった。燃料制御装置が自動調整している状態であれば、コレクティブを上げる操作に追従し燃料流量が増加し、エンジン出力も増加することから、この飛行状態においては、コレクティブ・レバーを上げ、エンジン出力を増加させる操作が必要であった。しかし、ガバナー故障によるNgの変動手順で、フュエル・フロー・コントロールを必要以上に減少させる操作を行ってしまうと、燃料制御装置の自動調整が行われず燃料流量が不足してエンジン出力が減少する。同機は、右旋回を終了した付近から、徐々に高度が低下し、対地速度も減少していることから、機長は、右旋回終了後にフュエル・フロー・コントロールを燃料制御装置が自動調整できない位置まで減少させる操作を行った可能性が考えられる。

次に、フュエル・フロー・コントロールを前方の非常操作範囲へ進めたのは、燃料制御装置が自動調整されず高度低下が続いたこと、又は燃料流量の減少によってエンジン出力が低下したことから、機長は、ガバナー故障の「過度のFuel Flow低下」と判断し、フュエル・フロー・コントロールを前方へ徐々に操作した可能性が考えられる。また、機長がフュエル・フロー・コントロールを非常操作範囲とした後は、燃料が過剰に供給され、異常燃焼となり、エンジン出力が低下して、更にフュエル・フロー・コントロールを最前方に操作した可能性が考えられる。

航空管制レーダーによる13時28分04秒の同機の最終判明位置から墜落現場までは、約1,100mであり、最終判明位置の対地速度約40ktを維持していた場合、55秒で墜落地点上空に到達する。また、GPSの最終判明時刻は、13時27分27秒であり、GPSの電源が強制的に断となった場合は、直前の約3分間は記録されない仕様となっていることから、13時30分30秒頃までに墜落に至ったと考えられる。同型式機の「過度のFuel Flow低下」の非常手順では、オートローテーション操作を開始した後にフュエル・フロー・コントロールを操作する必要があり、対気速度を65ktまで増速しなければならなかった。しかし、対地速度が徐々に減少し、下方に着陸適地もなかったことから、機長はオートローテーション飛行を行わず、右方向

への偏揺れが発生した後、右旋回を継続して、ガバナー故障への対応を開始し、その後、墜落現場の沢に沿って、南東の低地に向かいながらフュエル・フロー・コントロールを操作していた可能性が考えられる。

エンジンのガバナー故障と判断して、フュエル・フロー・コントロールを操作する場合は、繊細なフュエル・フロー・コントロールの操作が必要であることから、十分に余裕のある高度で安定した飛行状態を確立後、フュエル・フロー・コントロールの操作を開始することが必要である。高度に余裕がない場合は、フュエル・フロー・コントロールを操作せず、速やかに着陸を行うことが重要である。

(5) 墜落時の最終進入プロファイルの推定

墜落時の機体の損傷状態から、機体の設計・製造者により、荷重倍数限界線を用いて墜落時の推定荷重倍数を推定した。機体及び装備品等の損傷状態から、図12のとおり、慣性前進速度荷重倍数 ( $N_x$ ) は12Gであり、慣性垂直速度荷重倍数 ( $N_z$ ) は37Gと推定される。また、この荷重倍数をベクトル計算すると、機体の移動方向は約72°となり、墜落時の推定降下率は、9.40m/s (1,850ft/min) 以上であったと考えられる。さらに、同機が墜落地点へ進入した箇所の樹木は、メイン・ローターが回転して切断されたような痕跡がなかったことから、エンジンが停止し、コレクティブ・レバーは最上方位置のまま、メイン・ローターは十分な回転力を維持できていない状態で墜落したものと推定される。

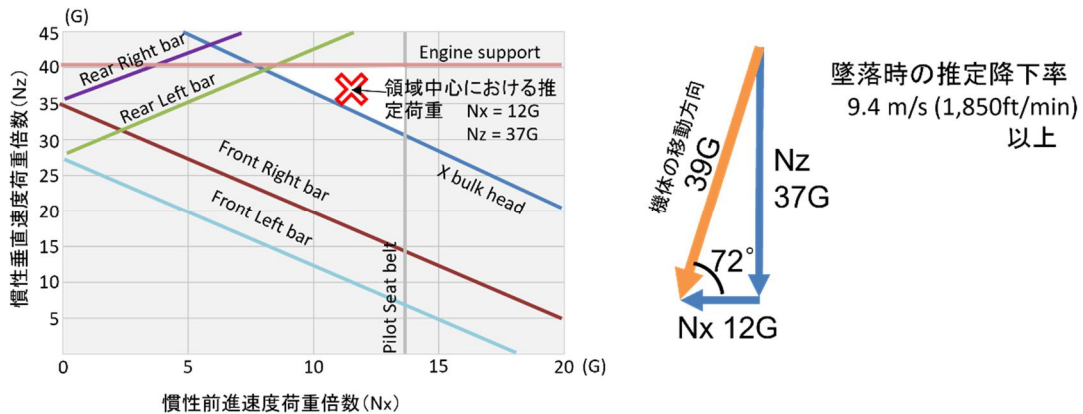


図12 墜落時の最終進入プロファイルの推定

(6) 墜落後の機体発見までに要した時間

同機の捜索救難活動が開始されてから機体発見に至るまでの時間は、約3時間を要した。同機のELT本体は、墜落時の衝撃を受けELT信号を送信していたが、機体下面に装着されていたアンテナが折損し、送信された電波が適切に発射されなかったことから、救難機及び通信衛星は、同機からのELT信号を受信できず、かつ、墜落場所が山中で機体が樹木に隠れていたため、発見に3時間を要したものと推定される。

4 原因

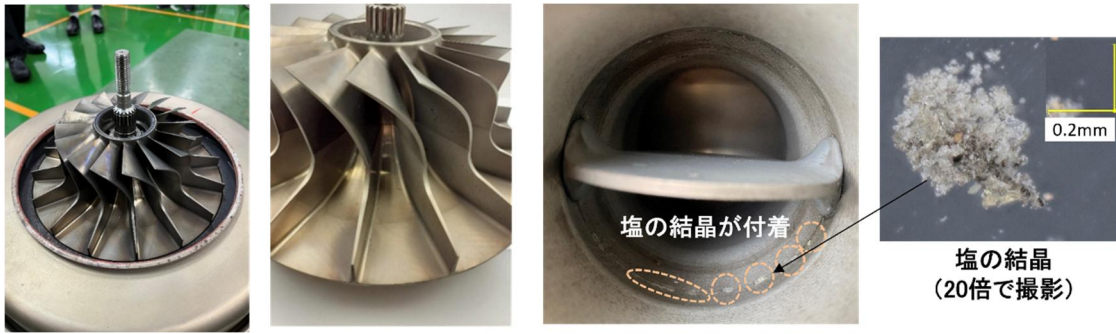
本事故は、同機が場外離着陸場に進入中、エンジンの異音及び右偏位を伴うサージ現象が発生して、非常操作を試みた際、エンジンが異常燃焼して出力が低下したため、墜落し、衝撃により機長が死亡し、機体が大破したものと推定される。

飛行中にエンジンが異常燃焼して出力が低下したことについては、非常操作によりフュエル・フロー・コントロールを非常操作範囲に操作した際、燃料が過剰に供給され、エンジン内部が高温となり構成部品の一部が融解したことによるものと推定される。また、エンジンの異音を伴うサージ現象の発生については、エンジン・ブリード・バルブが一時的に固着したことによる可能性が考えられる。

## 5 再発防止策

<b>5.1 必要と考えられる再発防止策</b>	<p>(1) 同型式機の場合、エンジンのガバナー故障と判断して、フュエル・フロー・コントロールを操作する場合は、繊細なフュエル・フロー・コントロールの操作が必要であることから、十分に余裕のある高度で安定した飛行状態を確立後、フュエル・フロー・コントロールを操作する必要がある。高度に余裕がない場合は、フュエル・フロー・コントロールを操作せず、速やかに着陸を行うことが重要である。</p> <p>(2) エンジン上部の点検時に、ブリード・バルブ内に汚れがあるとバルブが固着しやすいため、事前に清掃することが望ましい。</p>
<b>5.2 本事故後に講じられた再発防止策</b>	<p>同法人は、次の再発防止策を講じた。</p> <p>飛行中にエンジンのサージ現象が発生した場合は、可能な限り、速やかに予防着陸を行うよう操縦士に徹底した。</p>

付図1 エンジン内部の損傷状況

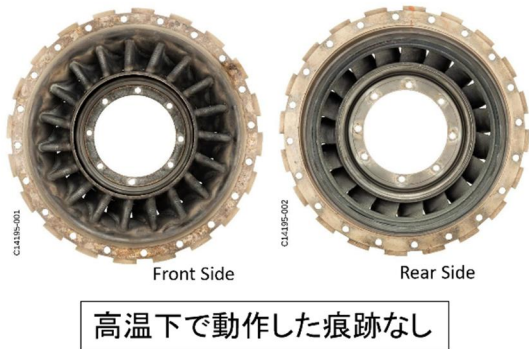


図A 遠心コンプレッサー

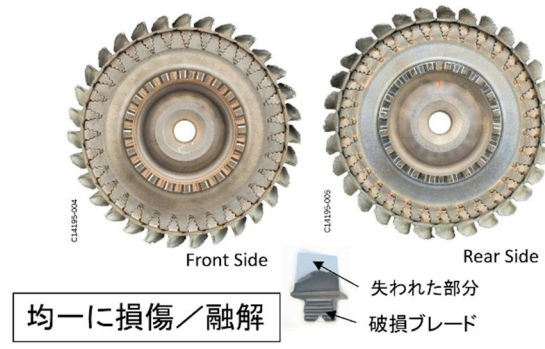
図B ブリード・バルブ



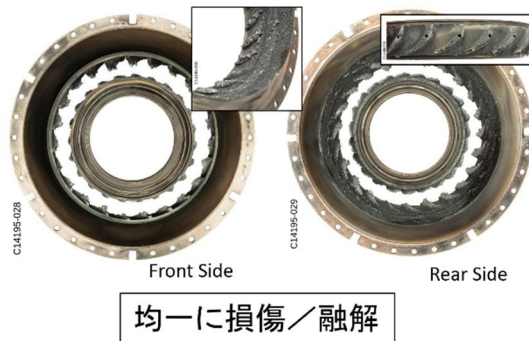
図C 燃焼室



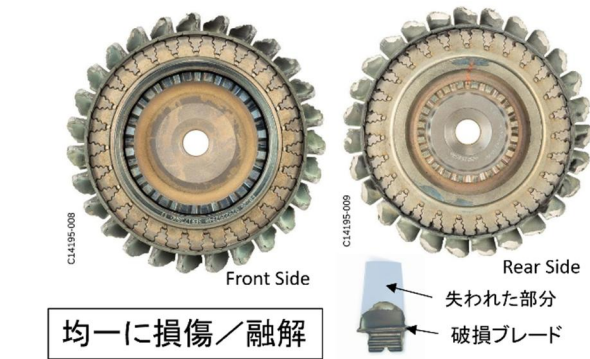
図D 第1段HPノズル・ガイド・ベーン



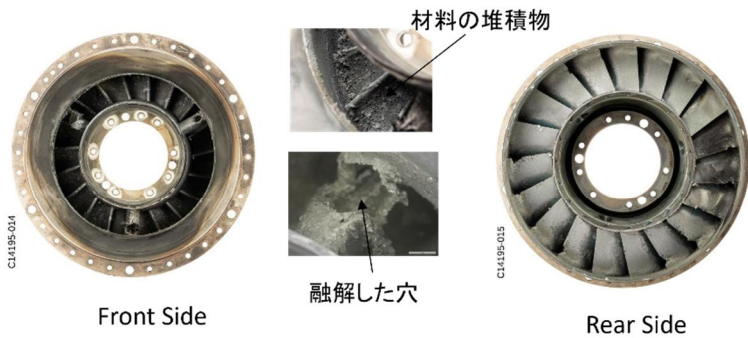
図E 第1段HPタービン



図F 第2段HPノズル・ガイド・ベーン



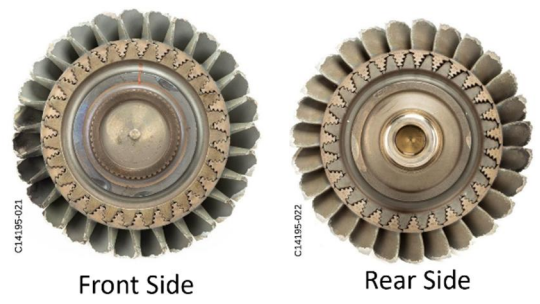
図G 第2段HPタービン



図H ガス・ジェネレーター・ノズル・ガイド・ベーン

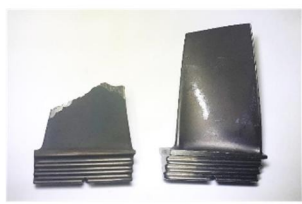


図I パワー・タービン・ケーシング



均一に損傷／融解

図J パワー・タービン



破損ブレード 品質の悪化がない正常なブレード



図K ガス・ジェネレーター・リア・ベアリング



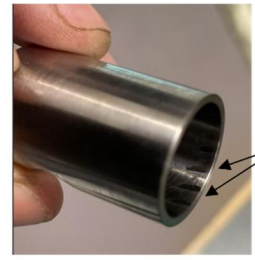
図L パワー・タービン・ベアリング



燃料制御装置



Anticipator piston



Anticipator housing

図M 燃料制御装置

付図2 エンジン内部の推定上昇温度とエンジンの機能不良の兆候

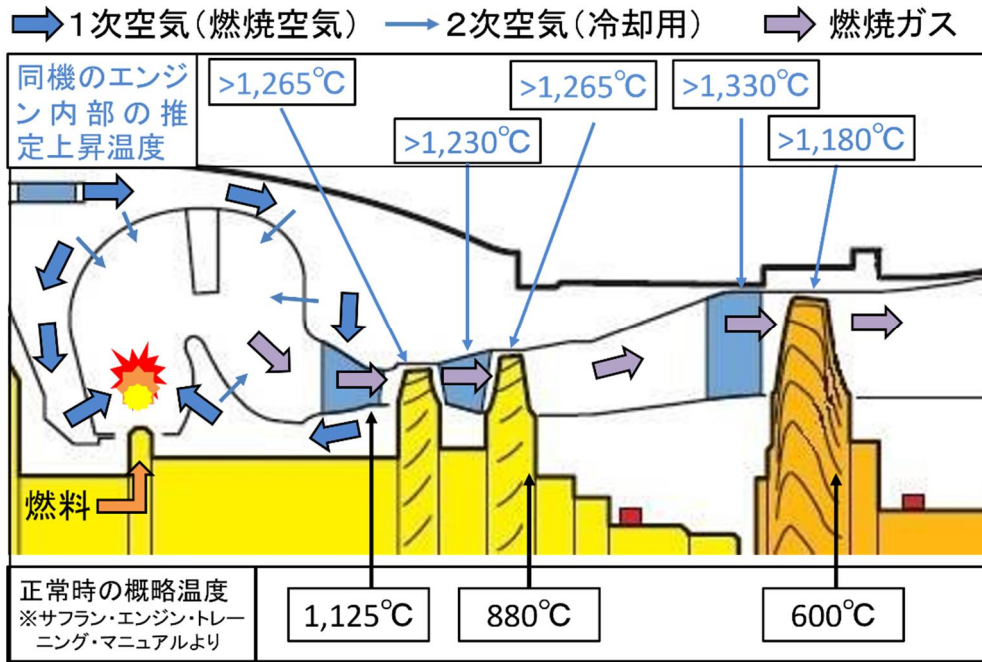


図1 同機のエンジン内部の推定上昇温度

表1 エンジン機能不良の兆候\*6

原因 症状	エンジン分離	激しい損傷	サージ	FOD 鳥の吸い込み	異常停止	フレイムアウト	燃料制御不具合	着氷	逆進機の不慮の配置
たたくような音	○	X	X	○	○			○	
火災警報	○	○	○	○					
目に見える炎	○	○	○	○					
振動		X	○	X	○			X	X
機首方位の偏揺れ	○	○	○	○	○	○	○		X
高エンジン排気温度		X	X	○	○		X	○	
N1変化	X	X	○	○	X	X	X		
N2変化	X	X	○	○	X	X	X		
燃料流量変化	X	○	○		○	X	○		
オイル表示変化	X	○	○		○	X			
目に見えるカウル損傷	X	X							X
客室抽気の煙又は臭い		○		○	○				
エンジン圧力比変化	X	X	X	○	X	X	X		

X=非常に可能性の高い症状    ○=可能性のある症状  
 注. - 記載がない項目は、当該症状の可能性が低いことを示す。