

航空事故調査報告書

所 属 アカギヘリコプター株式会社
型 式 カマン式K-1200型（回転翼航空機）
登録記号 JA6200
事故種類 墜落
発生日時 令和3年9月20日 13時18分ごろ
発生場所 長野県木曾郡大桑村

令和6年5月10日
運輸安全委員会（航空部会）議決
委 員 長 武 田 展 雄（部会長）
委 員 島 村 淳
委 員 丸 井 祐 一
委 員 早 田 久 子
委 員 中 西 美 和
委 員 津 田 宏 果

1 調査の経過

1.1 事故の概要	<p>アカギヘリコプター株式会社所属カマン式K-1200型JA6200は、令和3年9月20日（月）、木材搬出のためホバリング中、エンジンが停止して墜落した。</p> <p>同機には、機長のみが搭乗しており、軽傷を負った。</p> <p>同機は大破したが、火災は発生しなかった。</p>
1.2 調査の概要	<p>運輸安全委員会は、令和3年9月20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。</p> <p>本調査には、事故機の機体及びエンジンの設計・製造国であるアメリカ合衆国の代表及び顧問が参加した。</p> <p>なお、本調査中の令和4年5月6日に、同型式エンジンの設計・製造者がA社からB社に変更された。</p> <p>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。</p>

2 事実情報

2.1 飛行の経過	<p>機長及び同機の下で搬出木材の準備作業を行っていた作業員の口述によれば、飛行の経過は概略次のとおりであった。</p> <p>なお、飛行前点検を実施した整備士の口述によれば、出発前、同機に異常は認められていなかった。</p>
-----------	---

同機は、令和3年9月20日、木材搬出のため、機長のみが操縦席に着座して、長野県木曾郡大桑村のおくの殿奥場外離着陸場を13時01分に離陸し、同場外の東側に位置する山林から同場外に隣接する荷下ろし場までの木材運搬を開始した。6回目に同場外の

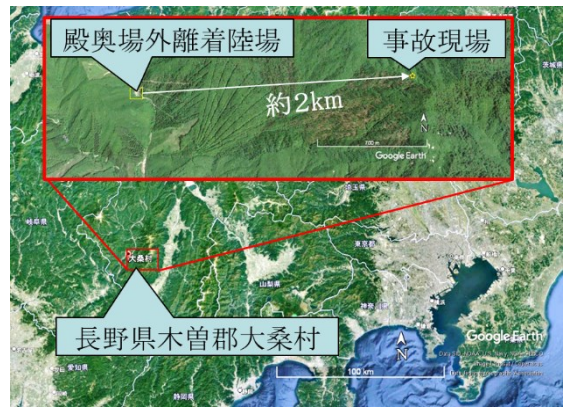


図1 事故現場

東約2kmに位置する荷つり場まで飛行し、同荷つり場上空、対地高度約40mで東向きホバリングに移行した(図1参照)。

作業員1名は、同機の直下において、搬出予定の木材をワイヤーで束ねて、スリングケーブルのフックに掛ける準備をしていた。

機長は、ホバリングに移行後、コレクティブ・ピッチ・レバーが一瞬「ガガガッ」と小刻みに振動するのを感じた直後に、「ヒューン」とエンジンが停止する音を聞いた。機長は、無線で「逃げて」と送信しつつ、直下の作業員の安全確保のため、サイクリック・スティックを右前方(谷側)に操作した。

同機は、樹木に接触しながら機首を谷側(南西)に向けて、ホバリング位置から約20m南側の山中に、機首を下に向けて墜落した。墜落後の機体姿勢は、機首下げ約70°、ロール角左約80°であった。機体の破片は、墜落位置から半径約20mの範囲にわたって散乱していた(図2参照)。



図2 推定飛行経路及び墜落位置

作業員は、本事故発生時「ヒューン」というエンジンの停止音及び「逃げて」という機長からの無線を聞いた直後に、同機の墜落を視認した。

機長は、墜落後、燃料供給及びバッテリー電源をオフとする処置をした後、シートベルトを外して風防右前方の割れていた箇所から機外へ脱出した。

本事故の発生場所は、長野県木曾郡大桑村の標高約1,200mの山中（北緯35度44分01秒、東経137度41分29秒）で、発生日時は、令和3年9月20日、13時18分ごろであった。

2.2 死傷者 機長：軽傷

2.3 損壊

(1) 航空機の損壊の程度：大破

(2) 航空機各部の損壊状況（エンジンを除く。図3参照）

- ① ローター・ブレード : 全4本破断
- ② 垂直フィン（ラダー） : 付け根から破断
- ③ 垂直フィン（水平安定板） : 損傷
- ④ 胴体、テールブーム : 損傷
- ⑤ ウインドシールド : 破損




図3 損壊の状況（エンジンを除く）

(3) エンジンの損壊状況

① エンジンの概要

同エンジンはターボシャフト・エンジンであり、前方から、空気取入口、コンプレッサー、燃焼器、ガsproデューサー・タービン（2段）、パワー・タービン（2段）及び排気管で構成される（図4参照）。

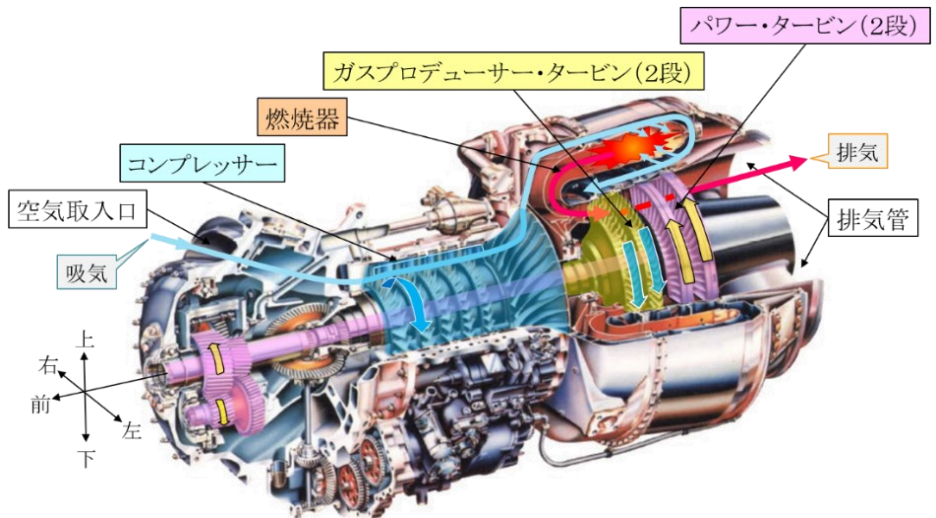


図4 エンジン各部の名称

② 同エンジンの分解調査

同エンジンの分解調査を、エンジンの設計・製造者（A社）の施設において実施した。

同調査で判明した、同エンジンの損壊状況等は次のとおりであった。

a エンジンの外観

エンジンの外観はきれいで、火災による損傷やケース貫通の痕跡は認められなかった。

b コンプレッサー

コンプレッサー・ブレードの先端には、円周方向に軽い擦過痕が確認された。

c ガスプロデューサー・タービン

ガスプロデューサー・タービンに損傷は認められなかった。

d 排気管

排気管内の構造を支持する十字型の支柱には、飛散した破片の衝突によると思われる裂け目があり、排気管内の表面には擦過痕が認められた。

e パワー・タービン（以下「PT」という。）

PTの構成は、回転しないPTノズルと回転するPTローターが対となって1段を形成し、それが2段で構成されている。（以下、前方の段を「PT1」、後方の段を「PT2」という。）（図5参照）。

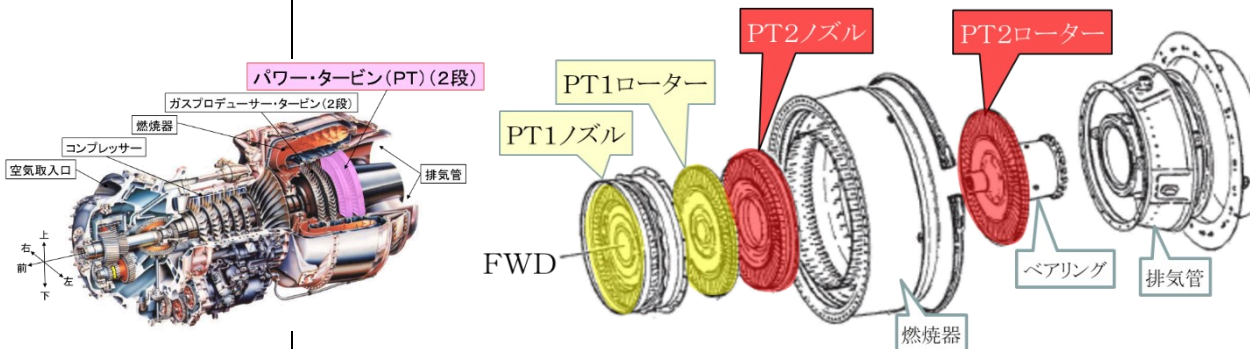


図5 PTの構成

PTローター・ブレード（図6（i））は、PT1に66枚、PT2に62枚がローター・ディスク（図6（ii））の円周上に放射状に取り付けられている。

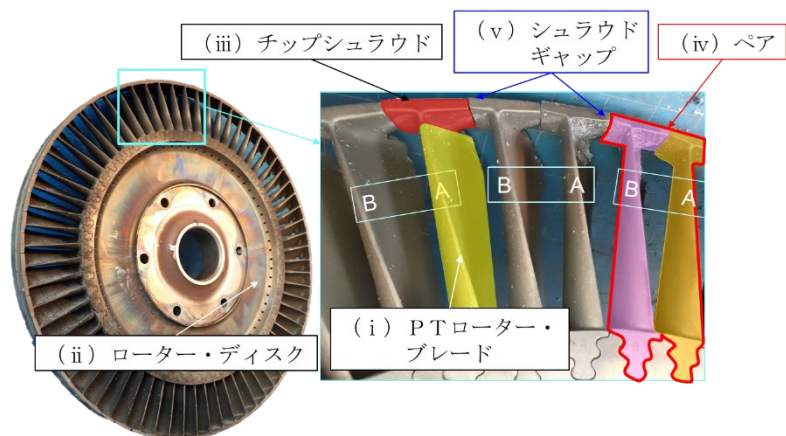


図6 PT1ローター

PTローター・ブレードの外周側は、チップシュラウド(図6(iii)) (以下「シュラウド」という。)と呼ばれる傘型の形状になっており、シュラウドが、PTローターの外周を環状に取り囲むことで燃焼ガスの気密性を保つ構造となっている。また、PTローター・ブレードの奇数番にはブレードA、偶数番にはブレードBが取り付けられている。隣接するブレードAとBはペア(以下「ペア」という。)となりシュラウドが密着しているが(図6(iv))、各ペア間には、シュラウドギャップという間隙がある(図6(v))。なお、隣接するペアの間のシュラウドギャップを「個別ギャップ」、ローター全ての個別ギャップを足したものを「累積ギャップ」という。

(a) PT1ノズル

PT1ノズルの後部フランジは分離していたが、PT1ノズル・ベーンに損傷は認められなかった。

(b) PT1ローター

PT1ローターは、約半分のブレードの後縁とシュラウドに損傷が認められた。

(c) PT2ノズル

PT2ノズルの外周は変形し、ノズル・ベーン外周の後縁は全周にわたり大きな損傷が見られた。

(d) PT2ローター

PT2ローター・ブレード(62枚)は、全て破断しており、そのうちの43枚のPTローター・ブレードは翼根部で、残りの19枚は、ほぼ中間位置で破断していた(図7参照)。

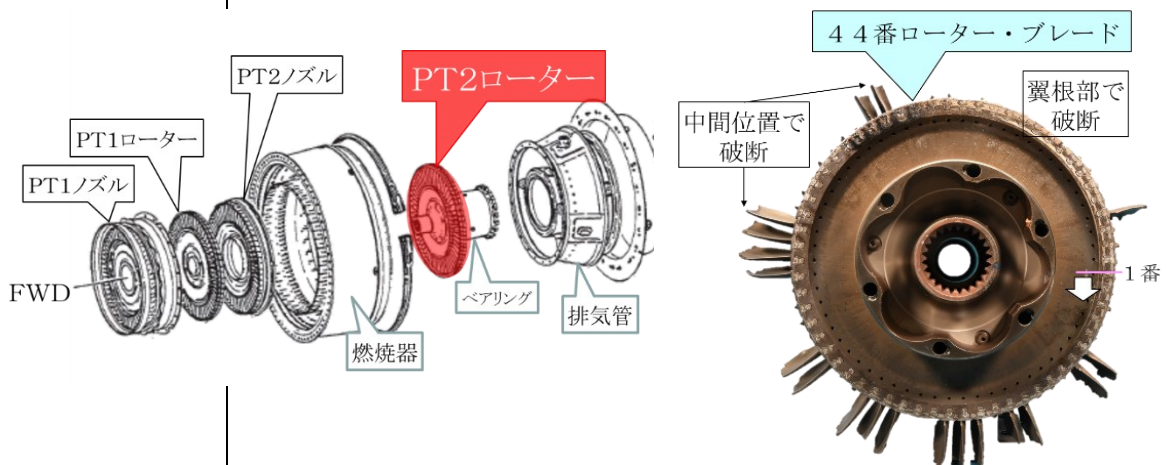


図7 PT2ローター・ブレードの破断状況

PT2ローター・ブレードの破断面を目視により確認したところ、44番ローター・ブレード(以下「44番ブレード」という。)のみ、破断面の前縁側約1/3が滑らかに、後縁側は粗い破断面となっているのが確認された。44番ブレード以外のPTローター・ブレードは、全面が粗い破断面であった。

(4) 44番ブレードの詳細調査状況

分解調査に引き続いて、44番ブレードの破断面について、光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope)(以下「SEM」とい

う。) 及びエネルギー分散型X線分析装置を使用して詳細に調査を行った。44番ブレードの破断面の拡大画像を図8に、SEM画像を図9に示す。

詳細調査の結果、44番ブレードの母材は設計において指定されたもの(ニッケル基耐熱合金インコネル713C)であり、前縁側約1/3の滑らかな破断面は、ブレード前縁付近の表面下のファセット(平らな面)領域を起点とした疲労領域であることが確認された。また、後縁側の粗い破断面は、過負荷による破断面であることが確認された。

なお、図8及び図9の赤色矢印は疲労伝搬の方向を、赤色破線は疲労伝搬の範囲を示す

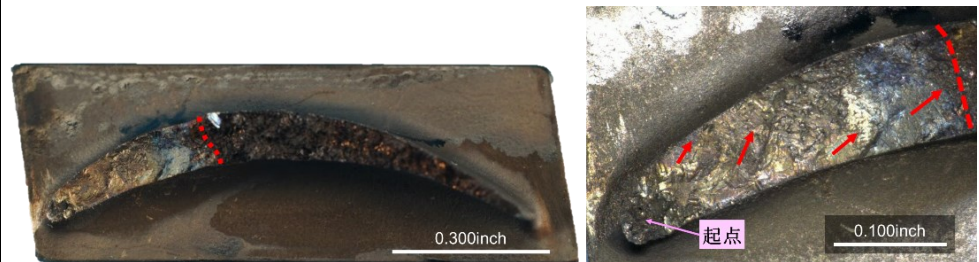


図8 44番ブレード破断面の拡大図

図9Aは、44番ブレード前縁側約1/3の疲労領域全体のSEM画像である。このうちBは、疲労の起点(桃色矢印)、Cは疲労の起点であるファセット(黄色矢印)領域、D~Fは、疲労伝搬部分のSEM画像である。疲労領域には、高サイクル疲労(High Cycle Fatigue) (以下「HCF」という。)による疲労伝搬の特徴である貝殻状の模様(ビーチマーク)を認めた。

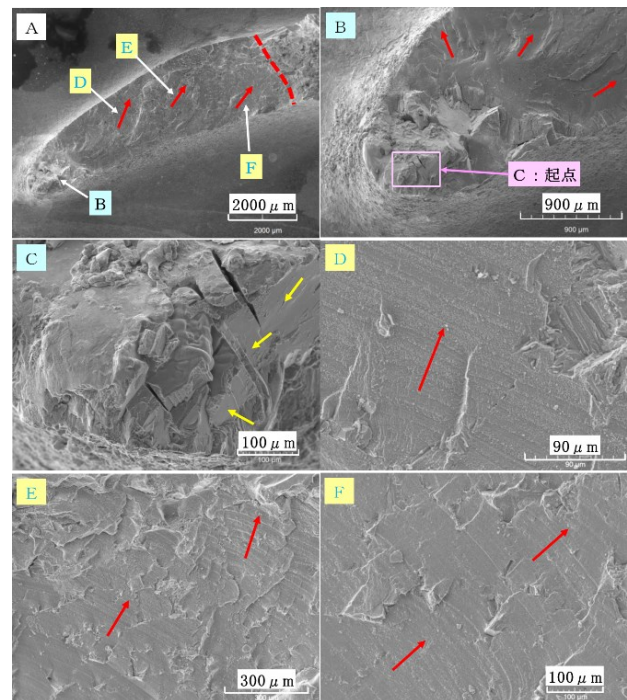


図9 44番ブレードのSEM画像

エンジンの設計・製

造者(B社)によれば、同型式エンジンのHCFは、過大なシュラウドギャップによって動きやすくなったPTローター・ブレードが、フラッター*1を引き起こすことによって発生する高周波振動負荷に起因するとされている。

(5) 航空機以外の物件の損壊に関する情報

同機の墜落に伴い、樹木12本が折損した。

*1 「フラッター」とは、ローター・ブレードの弾性復元力、慣性力、空気力などが関連して動的不安定となり、定点(ローター・ブレードの取付部)を中心として距離に比例した振動が持続する現象であり、発散した場合、構造破壊に至ることもある。

2.4 乗組員等	<p>機長 52歳</p> <p>事業用操縦士技能証明書（回転翼航空機） 平成12年8月9日</p> <p>限定事項 陸上単発タービン機 平成3年8月23日</p> <p>特定操縦技能 操縦等可能期間満了日 令和5年3月26日</p> <p>第1種航空身体検査証明書 有効期限 令和4年2月25日</p> <p>総飛行時間 9,430時間54分</p> <p>同型式機による飛行時間 4,719時間30分</p> <p>最近30日間の飛行時間 23時間57分</p>
2.5 航空機等	<p>(1) 航空機</p> <p>航空機型式：カマン式K-1200型</p> <p>製造番号：A94-0020、製造年月日：平成8年12月2日</p> <p>耐空証明書：第大-2020-703号、有効期限：令和4年3月18日</p> <p>耐空類別：回転翼航空機 普通N又は特殊航空機X</p> <p>総飛行時間：10,584時間06分</p> <p>(2) エンジン</p> <p>型式：ライカミング式T5317A-1型</p> <p>製造番号：LE81009、製造年月日：平成6年11月3日</p> <p>装備基数：1</p> <p>総使用時間：8,633時間45分</p> <p>前回オーバーホール後の使用時間：899時間48分</p> <p>定時点検後の使用時間：4時間16分</p> <p>(3) 重量及び重心位置</p> <p>事故当時、同機の重量及び重心位置は、いずれも許容範囲内にあった。</p>
2.6 気象	<p>機長の口述によれば、本事故発生現場付近の気象は、次のとおりであった。</p> <p>天気 晴れ、風向 南、風速 非常に弱い、視程 10km以上</p>
2.7 その他必要な事項	<p>(1) シュラウドギャップの成長について</p> <p>シュラウドギャップは、使用時間の経過に伴うフレッチング摩耗（はめあい部分の接触による摩耗）及びエロージョン摩耗（高速流体などの衝突による摩耗）で開いていくと考えられる。</p> <p>設計・製造者（B社）によれば、これまでの同型式エンジンの修理に関するデータから平均的な累積ギャップの成長率（以下「成長率」という。）を算出することができる。ただし、個別ギャップについては、全てが一樣に開くのではなく、組立て時の個別ギャップの違いや、運転による影響など多くの要因が関連するため、ばらつきがあるのが一般的である。</p> <p>(2) 同エンジン（LE81009）2回目のオーバーホール記録</p> <p>同エンジンは、平成29年7月21日に、設計・製造者（A社）が認定する整備施設（以下「同整備施設」という。）において、2回目のオーバーホール（以下「O/H」という。）が実施された。2回目のO/H時、同エンジンの総使用時間は約7,734時間であった。なお、PT1及びPT2とも、新造時から2回目のO/Hまで、ローター・ブレード及びローター・ディスクの交換履歴はなかった。</p> <p>2回目のO/Hにおける各PTローター・ブレードの修理状況等は、次のとおりである。</p> <p>① PT1</p>

シュラウドギャップの不具合のため、ローター・ブレード40枚が交換された(ブレードAの全て(33枚)及びブレードB7枚(残26枚))。ローター・ディスクは交換されなかった。

修理後の累積ギャップは、0.033inと記録されていたが、個別ギャップは記録されていなかった。また、2回目のO/H搬入時のシュラウドギャップは、累積、個別とも記録されていなかった。

② PT2

ローター・ブレード及びローター・ディスクは交換されなかった。

搬入時の累積ギャップは、0.117inと記録されていたが、個別ギャップは記録されていなかった。

なお、2回目のO/H時のシュラウドギャップの検査は、PT1、PT2とも、同整備施設の同じ検査員が検査し、記録していた。

(3) 同社における同種事例

① 同種事例の概要

同社保有の同型式機JA6184に搭載されていた同型式エンジン、製造番号P81029(以下「P81029」という。)は、平成30年3月25日、地上試運転中に突然大きな破裂音が発生し、PTローター・ブレードが破断するとともに、飛散した破片によるエンジン及び機体の損傷が確認された。当時のP81029の使用時間は、新造時から約4,600時間であり、過去にO/Hは実施しておらず、PT1、PT2ともローター・ブレード及びローター・ディスクの交換履歴はなかった。

PTローター・ブレードが破断したP81029は、平成30年4月27日、設計・製造者(A社)の施設において分解検査された。

同社は、当該検査結果を、設計・製造者(A社)から文書で受領した。同社が受領した分解検査結果の要約は、次のとおりである。

a SEM検査の結果、P81029のPT2ローター・ブレードのうち、5枚のローター・ブレードに、同じような場所から始まる疲労の痕跡を確認した。設計・製造者(A社)の経験上、ローター・ブレードの材質に問題があった場合、複数のローター・ブレードで同じような場所から疲労が発生するとは考え難い。

b 平成20年から平成30年までの民間における同型式エンジンの運用時間は177,500時間であり、この期間に発生したPT2ローター・ブレードの損傷は2件である。これは、88,750時間当たり1件に相当する。米国連邦航空局(FAA)が作成した耐空性評価ハンドブックによれば、安全な運航を維持するために、飛行中のエンジン停止が0.1/1,000時間を超える場合は調査し、是正措置を講じる必要があるとされている。

c 設計・製造者(A社)は、PT2ローター・ブレードの損傷に至る疲労の原因を特定するために調査を継続する。

② P81029の分解検査時の記録

P81029の分解検査に関する、同整備施設の整備記録を確認したが、シュラウドギャップの検査結果は確認できなかった。

③ 同種事例の分解検査の結果を受けた同社の対応

同社は、設計・製造者(A社)から受領した分解検査の結果から、次のように判断した。

- a 当該エンジンに固有の不具合があったものと推測される。
- b 同種不具合の発生確率は非常に低いと言える。
- c F A Aのガイドラインでは、飛行中のエンジン停止が0.1/1,000時間を超える場合は調査し、是正措置を講じる必要があるとされているが、同型式エンジンの同種件数は、0.1/8,875時間であり、すぐに是正措置を必要とする事案ではない。

また、同社が設計・製造者（A社）に対して、追加点検等の必要性を問い合わせたところ、その時点において、有効な追加の点検等はないと口頭での回答を得た。しかしながら、同社は、平成30年5月5日、同社の整備実施要領に基づくテクニカルニュースを発簡し、同社独自の処置として「同型式発動機のPower Turbine Rotor Blade 破断に伴う発動機特別点検」（以下「ブレード破断特別点検」という。）を規定した。

ブレード破断特別点検の実施項目は、次のとおりである。

- ・ P T 2ローターの目視点検
- ・ P T 2ローター・ブレードのチップクリアランス（シュラウドの外環とケーシングの間隔）の点検
- ・ P T 2ローターの手回しによる異音及び拘束の有無の点検

なお、本事故直近のブレード破断特別点検は、令和3年9月15日に実施されており、同点検時のエンジン総使用時間は約8,629時間、同点検から本事故までの使用時間は4時間16分であった。

(4) サービスブリティンについて

設計・製造者（A社）は、平成30年12月11日に、同種事例の是正措置として、「Power Turbine Rotors-Blade Shroud Gap Check」に関するサービスブリティン（S B T 5 3 - 0 1 9 5）（以下「S B」という。）を発行した。

S Bは、P Tローター・ブレードのシュラウドギャップの検査に関するものであり、S Bに記載されたシュラウドギャップの検査要領（以下「検査要領」という。）は、O/Hマニュアルに記載されているものと同じ内容であった。

同型式エンジン（O/H間隔が5,000時間であるもの）のP T 2に適用されるS Bの記載内容を要約すると、次のとおりであった。

① S B発行の理由

- a P Tローター・ブレードのシュラウドギャップが過大であった場合、単一ブレードに不具合が発生する可能性がある。
- b P T 2ローターの個別又は累積ギャップが過大なエンジンを運転した場合、ブレードがエンジンケースを貫通する破損につながる可能性がある。

② 実施

O/H又は2,500時間の間中検査においてシュラウドギャップの検査を実施していないエンジンは、このS Bの指示に従ってシュラウドギャップの検査を実施するため、本S Bの発行日からのエンジンの使用時間が500時間以内に修理工場に送付しなければならない。

③ 検査要領及び記録

	<p>a 各ペア間の個別ギャップにシム (<i>shim</i>) *2を挿入する。その際、シムを無理に挿入してはならない (<i>Do not force the shims.</i>)。</p> <p>b 0.001 in のシムでは緩すぎて抜けてしまう場合は、0.002 in 以上で、挿入時に軽い抵抗 (<i>Light Drag on it</i>) があるシムを挿入する (<i>Light Drag Fit</i> 方式)。</p> <p>c 全ての個別ギャップにシムが挿入された後、それぞれのシムの抵抗を再確認し、過剰な抵抗があるシムは取り除き、適切な軽度の抵抗がある、より小さなシムを挿入する (<i>Any shim having excess drag is to be removed and a smaller shim inserted with the proper light drag on it.</i>)。</p> <p>d PT2 ローター・ブレードの一部又は全てのブレードを交換していない場合、各ギャップの許容値は、次のとおりである。</p> <p>(a) 個別ギャップ 0.000～0.020 in</p> <p>(b) 累積ギャップ 0.016～0.210 in</p> <p>累積ギャップが上限値よりも大きい場合は、修理マニュアルに従って、適切なシュラウドギャップとなるようにブレードを交換する。累積ギャップが下限値よりも小さい場合は、修理マニュアルに従って、ブレードを修理又は交換する。</p> <p>(5) SBに対する同整備施設の対応 令和元年6月24日、同整備施設は、同エンジンの2回目のO/H時の記録から、当時実施したシュラウドギャップの検査結果はSBの要件を満足しているとした上で、2回目のO/Hからの使用時間が2,500時間を経過する次の中間検査まで、SBに基づくシュラウドギャップの検査は必要ないとする通知を同社に対して行った。</p> <p>(6) SBに対する同社の対応 同社は、令和元年6月24日、同整備施設から、2回目のO/Hからの使用時間が2,500時間を経過する次の中間検査まで、SBに基づくシュラウドギャップの検査は必要ないとする通知を受け、同エンジンの航空日誌に、SBが実施済みであることを確認したと記録した。</p> <p>(7) 本事故後の調査において設計・製造者 (B社) が示した見解について</p> <p>① 同エンジンの2回目のO/H記録に関する見解</p> <p>a PT1 PT1の累積ギャップは、修理後0.033 in と記録されていた。一方で、これまでに設計・製造者 (B社) が、新品のローター・ディスク及び全て新品のローター・ブレードで組み立てた後に計測した累積ギャップは、0.050 in 程度であり、これと比較した場合、ローター・ディスク及び一部のローター・ブレードが交換されていないPT1の累積ギャップが0.033 in というのは過小であり、適切な値とは考え難いこと。</p>
--	--

*2 「シム (shim)」とは、隙間を埋めるための薄い板であり、シムを二つの部品の間挟み込むことで、隙間を埋めたり、高さを調整したりするものである。

同エンジンのPT 1 ローター・ブレードは、約7,734時間使用したローター・ディスクに、交換履歴のない26枚のローター・ブレードが取り付けられたままであった。このことから同エンジンのPT 1の累積ギャップは全て新品に交換された場合の0.050 in以上、恐らく0.100 in以上であったと見積もることが妥当であること。

b PT 2

PT 2の累積ギャップは、搬入時0.117 inと記録されていたが、7,000時間以上交換されることなく使用されたPTの累積ギャップとしては過小であり、適切な値とは考え難いこと。

新造時の累積ギャップを前述の0.050 inとして、搬入時の使用時間(約7,734時間)に成長率を乗じて加算した場合、搬入時の累積ギャップは、0.3 in程度であったと見積もられること。

② 検査要領に関する設計・製造者(B社)の見解

設計・製造者(B社)は、FAAとの協議の結果、検査要領に関し、次の3点を指摘した。

a 検査要領には、シュラウドギャップの測定にシムを使用することが記載されていたが、シムの規格は定義されていなかった。そのため、同整備施設ではシュラウドギャップの測定に自作したシムを使用していたが、自作されたシムには、品質にばらつきがあった可能性があること。

b 検査要領には、シムを挿入したときの抵抗について、「軽い抵抗」としかされておらず、この表現は、測定する検査員によって異なる解釈を許すため、検査員の測定手技にばらつきが生じていたものと考えられること。

c 検査時に記録すべき項目が具体的に示されていなかったこと。

検査要領には、シュラウドギャップの検査時(搬入時及び修理後)に何を記録するかまでは具体的に示されていなかった。また、検査後に設計・製造者(A社)宛てに送付するSB完了報告の様式には、シュラウドギャップの検査結果を記入する欄がなかった(図10参照)。

This is to inform you that the service bulletin has been complied with as indicated below:

SERVICE BULLETIN _____	REVISION _____	DATE _____
Engine Model _____	Serial# _____	Hours _____ Cycles _____
PT Rotor 1 PN _____	Serial# _____	Hours _____ Cycles _____
PT Rotor 2 PN _____	Serial# _____	Hours _____ Cycles _____

図10 SBに規定されたSB完了報告の様式(記録部分を抜粋)

3 分析

(1) 同エンジンの停止について

同エンジンは、機長及び作業員の口述並びに同エンジンの損壊状況から、機長が停止操作をすることなく停止したものと認められる。

同エンジンの損壊は、最初に44番ブレードが破断し、破断した44番ブレードの破片がその他のPT 2ローター・ブレードを損壊させたものと推定され、この際、同エンジンは停止したものと考えられる。また、損壊したPT 2ローター・ブレードの破片は、前方及び後方に飛散し、空気流

の上流側のPT2ノズル及び下流側の排気管内に2次的損壊を与えたものと推定される。さらに、PT2ローターの損壊によりエンジン回転軸のバランスが崩れて、コンプレッサー及びPT1ローターがエンジンケースと擦れ、コンプレッサーの擦過痕及びPT1ローターの損傷につながったものと考えられる。

(2) 44番ブレードの破断について

44番ブレードの破断は、破断面の特徴から、前縁付近から発生したHCFによる疲労領域が後縁側へと伝搬し、前縁から約1/3まで達したところで同ブレードが負荷に耐えられなくなり、破断したものと推定される。

44番ブレードにHCFが発生したことについては、PT2のシュラウドギャップが過大であった影響が44番ブレードの個別ギャップに現れ、動きやすくなった44番ブレードにフラッターが発生することで生じた高周波振動負荷によるものと考えられる。

(3) PT2のシュラウドギャップについて

2回目のO/H搬入時、PT2の累積ギャップは、PT2新造時の累積ギャップを0.050inとし、2回目のO/Hまでの使用時間(約7,734時間使用)に、成長率を乗じて加算すると、0.3in程度まで拡大していた可能性が考えられる。このことから、44番ブレードの個別ギャップも過大となっていた可能性が考えられる。

しかしながら、2回目のO/H搬入時に、同整備施設でのPT2の累積ギャップの検査結果は、0.117inとされ、許容値(0.210in)内と判断されたため、ローター・ブレード及びローター・ディスクは、いずれも交換されなかったものと認められる。

また、2回目のO/Hから約1年5か月後にSBが発行されたが、同整備施設は、同エンジンの2回目のO/H時の検査結果が許容値内であったこと及び2回目のO/Hからの使用時間が2,500時間を経過していなかったことから、同エンジンをSBに基づくシュラウドギャップの検査対象外と判断したものと認められる。

このことから、PT2は、新造時から本事故発生時までの間、ローター・ブレード及びローター・ディスクが交換されることなく使用されていたものと認められる。

(4) 検査要領について

① 同エンジンの2回目のO/H時に、同整備施設が実施したシュラウドギャップの検査において、PT1及びPT2ともにシュラウドギャップの測定が不正確となった可能性が考えられる。このことについては、検査要領における、次の2点が関与したものと考えられる。

a シムについて

検査要領にはシムを使用することが記載されているが、シムの規格は定義されていなかった。このため、同整備施設ではシュラウドギャップの測定に自作したシムを使用していた。しかし、自作されたシムには品質にばらつきがあった可能性が考えられ、このことが検査結果に影響を与えたものと考えられる。

b シムを挿入したときの抵抗

検査要領には、シムを挿入したときの抵抗について「軽い抵抗」と記載されていた。

この表現は、検査員によって異なる解釈を許すため、検査員のシュラウドギャップの測定手技にばらつきが生じたものと考えられる。

② 設計・製造者(B社)は、同種事案の再発を防止するため、検査要領について、次のことを含めて検討する必要がある。

a 測定に適し、かつ校正された器材を指定すること。

b 具体的かつ定量的な検査手順を設定すること。

(5) 検査結果の記録について

検査要領には、シュラウドギャップを測定し、記録することが記載されていたが、具体的に何を記録するかまでは記述されておらず、検査後に設計・製造者(A社)に送付するSB完了報告の様

式にも、シュラウドギャップの検査結果を記入する欄が含まれていなかった。このことが、同エンジンにおいて、O/H後の検査記録が一部しか残されていなかったことに関与したものと推定される。

設計・製造者（B社）は、検査結果記録の内容及び保存要領について具体的に示し、管理する必要がある。

4 原因

本事故は、同機がホバリング中、PT2ローターの44番ブレードが破断したため、エンジンが停止し、墜落したものと認められる。

44番ブレードが破断したことについては、2回目のO/HにおいてPT2の累積ギャップの検査結果が許容値内と判断され、ローター・ブレード及びローター・ディスクが交換されなかったことにより、その後、シュラウドギャップが過大となり、ブレードにフラッターが発生し、HCFに至り破断したものと推定される。

2回目のO/HにおいてPT2の累積ギャップの検査結果が許容値内と判断されたことについては、異なる解釈を許す検査要領の記載が、同整備施設におけるシムの品質やシュラウドギャップの測定手技にばらつきを生じさせ、シュラウドギャップの測定が不正確となった可能性が考えられる。

5 再発防止策

<p>5.1 必要と考えられる再発防止策</p>	<p>分析で示したとおり、設計・製造者（B社）は、シュラウドギャップの検査要領について、次のことを含めて検討し、同種事案の再発を防止する必要がある。</p> <p>(1) シュラウドギャップの測定に適し、校正された器材を指定すること。</p> <p>(2) 検査要領について、具体的かつ定量的な検査手順を設定すること。</p> <p>(3) シュラウドギャップの検査結果記録の内容及び記録の保存要領について具体的に示し、管理すること。</p>
<p>5.2 本事故後に講じられた再発防止策</p>	<p>本事故後に、設計・製造者（B社）により講じられた措置</p> <p>設計・製造者（B社）は、同種不具合の再発の可能性を最小限にするため、以下の是正措置を策定し、実施した。</p> <p>(1) 新たなサービスブリテンの発行（令和5年4月17日）</p> <p>設計・製造者（B社）は、SBに代わる新しいサービスブリテン（SB T 5317-210）（以下「新SB」という。）を発行し、シュラウドギャップの検査要領を次のように変更した。</p> <p>① SBの検査要領に記載されていた計測用のシムについて、新SBでは、間隙を測定するための器材であるフィラーゲージ(図11参照)を使用することを明示した。</p> <p>② SBの検査要領に記載されていた、「挿入時に軽い抵抗 (<i>Light Drag on it</i>) があるシムを挿入する」とした「Light Drag Fit方式」を、新SBでは、「シュラウドギャップにフィラーゲージを挿入後、少なくとも1lbの引っ張り力を加えても目に見える変位がない厚さのフィラーゲージを挿入した状態でシュラウドギャップを測定する。」とし、検査員に</p>



図11 フィラーゲージ

	<p>よって異なる解釈を許さない検査手順「Measured Firm Drag Fit 方式」へと変更した。</p> <p>③ 新S Bに、全ての個別ギャップ、最大個別ギャップ及び累積ギャップを記録する欄を設けた様式を付録として規定するとともに、継続的なデータ解析のため、同記録を設計・製造者（B社）が認定する整備施設から設計・製造者（B社）へ送付することを義務付けた。</p> <p>④ 同型式エンジン（O/H間隔が5,000時間であるもの）の検査実施間隔を、これまでの2,500時間から1,250時間に変更した。</p> <p>(2) O/Hマニュアルの臨時改訂（令和5年7月11日） 同型式エンジンのO/Hマニュアルに、新S Bの検査要領を反映させる臨時改訂を行った。</p> <p>(3) 検査員の訓練を新設 設計・製造者（B社）は、シュラウドギャップ検査技術の明確化と標準化を図るために、検査員を認定するための訓練を新設した。</p>
--	--