

航空事故調査報告書

所 属 個人
型 式 アエロspashアル式AS350B型（回転翼航空機）
登録記号 JA6050
事故種類 ハードランディングによる搭乗者の負傷及び機体損傷
発生日時 令和3年3月23日 09時33分
発生場所 長野県ちいさがた小県郡青木村

令和6年6月7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	個人所属アエロspashアル式AS350B型JA6050は、令和3年3月23日（火）、人員輸送のため、東京都の東京ヘリポートを離陸し、長野県北安曇郡松川村の松川場外離着陸場 <small>きたあづみ</small> に向け飛行中、長野県小県郡青木村付近上空でエンジン出力が低下し、同村夫神 <small>おがみ</small> の農道に不時着を試みた際、ハードランディングとなり、機長及び同乗者3名が重傷を負い、同乗者2名が軽傷を負った。同機は大破したが、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3年3月23日、本事故の調査を担当する主管調査官ほか2名の航空事故調査官を指名した。 本調査には、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並びに装備品の情報提供のためアメリカ合衆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、機長及び同乗者の口述並びに目撃者の口述によると、飛行の経過は概略次のとおりであった。 同機は、令和3年3月23日08時40分ごろ、機長が右操縦席に着座し、その他の座席に同乗者5名を乗せ、東京ヘリポートを離陸して、長野県北安曇郡松川村の松川場外離着陸場（以下「松川場外」という。）に向かった。 (1) 機長の口述 東京ヘリポートを離陸後、入間飛行場の管制圏を迂回し、高度5,000ftまで上昇した後、対気速度110kt、300ft/minの降下率でゆっくりと降下中、長野県小県郡青木村付近の上空で高度3,800ft付近まで
-----------	--

降下した際、エンジン・チップ注意灯*1が点灯した。

エンジン計器には異常がないことを確認し、エンジン出力を下げ、対気速度を約90ktとした。松川場外までは、4～5分で到着できる位置だったので、そのまま松川場外まで飛行するか、着陸に適した場所を探しているときに、エンジンから「グーン」という音が聞こえた。エンジン・チップの注意灯が点灯してから1分ぐらいだった。その際、ヨー方向の振れを感じ、直後にローター回転速度（NR）の警報音*2が鳴り、エンジンのフレーム・アウト*3（兆候の詳細は2.8(2)②参照）を認識した。エンジン・チップ注意灯が点灯した際に、田んぼの広がったエリアがあることを確認していたので、フレーム・アウトを認識後、直ちにその方向に左旋回して、対地高度1,500ftぐらいからオートローテーション*4を入れた。オートローテーションからの着陸操作の際、多少着陸場所がずれても大丈夫なように、2枚の田んぼを滑走路に見立て、田んぼの間の道路を目標にして降下したところ、気が付いたら60kt未満になっており、速度が不足しているのが分かったので増速した。接地前の機首上げ操作（フレアー*5）を開始する高度は低くして、最終的に垂直に近い状態で着陸しようとした。着陸点の道路の手前で機首上げた際、計器板に隠れて前方の道路が見えなかったため、横も見ながら操作した。5mぐらいの高さで速度と降下率が止まり、フレアーアウトしながら、機体の降下に合わせてコレクティブ・ピッチ・レバーを上げたが、2～3mの高さで、コレクティブ・ピッチ・レバーが最上方となり、降下率を制御できなくなった。機体は、そこから降下率が増加しながら、衝撃を受け不時着した。



図1 同機の推定飛行経路

(2) 同乗者の口述（同乗者Aの口述に基づいて記述し、一部、同乗者B、同乗者C及び同乗者Dの口述を追加した。）

飛行中、ガタンという衝撃があり、後部座席では、焦げ臭い匂いを感じ、1～2分して警報音が鳴った。機長から、着陸する旨の案内があり、その後不時着した。不時着時は、建物の3階ぐらいの高さから自由

*1 「エンジン・チップ注意灯」とは、エンジン潤滑油系統に金くずの発生を検知した場合、操縦席の WARNING-CAUTION-ADVISORY PANEL 内のランプを点灯させるものをいう。（2.8(1)①参照）

*2 「警報音」とは、ローター回転速度（NR）が360rpm未満に低下した場合に鳴る連続音をいう。

*3 「フレーム・アウト」とは、タービン・エンジンの燃焼が何らかの原因で止まることをいう。

*4 「オートローテーション」とは、「自動回転飛行」のことをいい、回転翼航空機が運動中、その揚力を受け持つ回転翼が完全に空力のみによって駆動される飛行状態をいう。（耐空性審査要領）

*5 「フレアー」とは、着陸するための減速操作をいい、運動エネルギーを位置エネルギーに変えることにより、降下率を減少させる。

落下したようであり、着陸時にドアがはじき飛ばされた。

(3) 目撃者の口述及び目撃者の撮影した動画

パラグライダー・スクール（事故現場から北約1,200m）のグラウンドで南側を見ていた際、09時30分ごろ、上田市方向から北西に向かっているヘリコプターから「パン」という音と白い煙が上がるのを目撃した。ヘリコプターは急に左旋回して夫神岳の方へ向かい始めたので、とっさに携帯電話で撮影を開始した。

目撃者が撮影した動画には、「パン」という音の後、「パ、パン、パ、パ、パン」というようなエンジン音が継続し、同機が夫神岳の方へ降下していく様子が記録されていた。また、パラグライダー・スクールの風向指示器は、東南東の風、3～5m/sを指示していた。

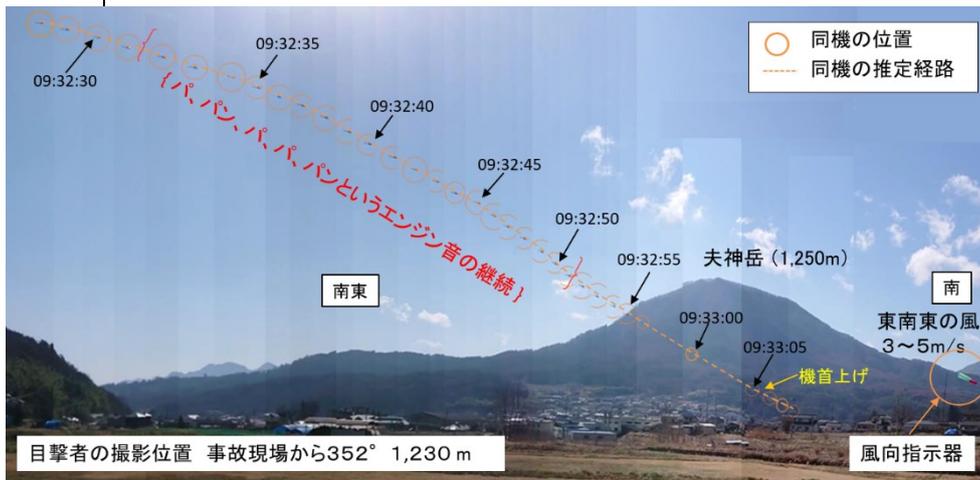


図2 同機の不時着地進入時の飛行（目撃者が撮影した動画より作成）

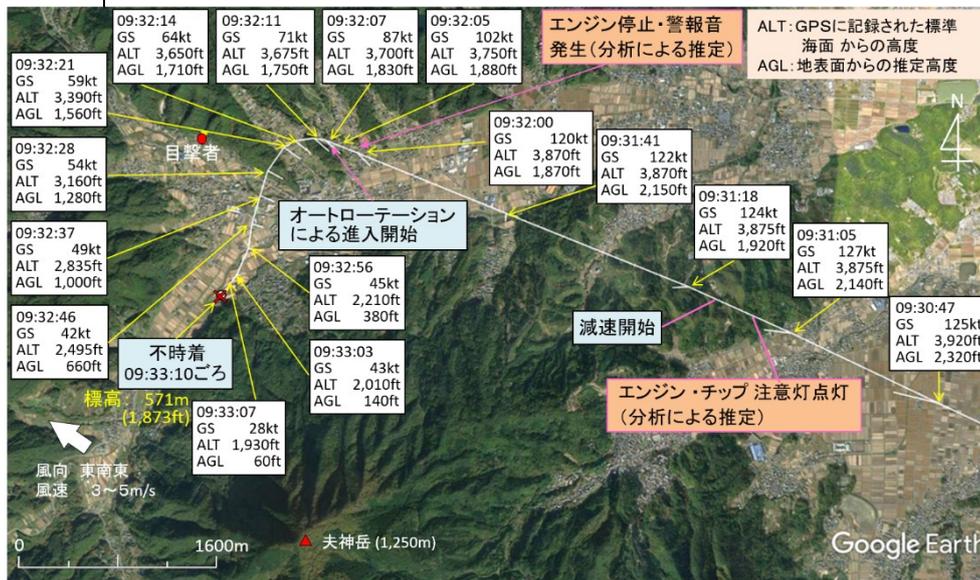


図3 同機の不時着直前の推定飛行経路

本事故の発生場所は、松本空港から北東28km（北緯36度21分47秒、東経138度07分13秒）付近の農道で、発生日時は令和3年3月23日09時33分10秒ごろであった。

2.2 死傷者

機長：重傷
同乗者：重傷3名、軽傷2名

2.3 損壊

(1) 航空機の損壊の程度：大破

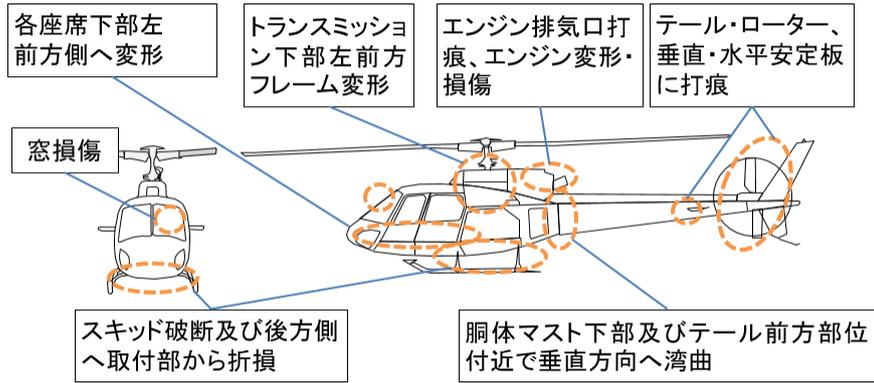


図4 機体の損壊箇所の概要

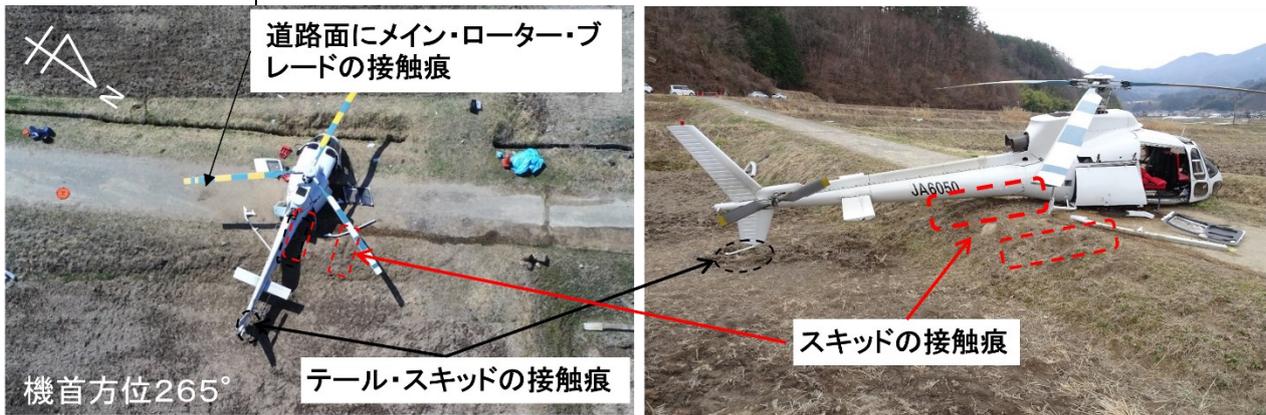


図5 機体周辺の接地痕



図6 操縦席及び客室付近の損傷

- ① 胴体は、前後に大きく湾曲し、操縦席の前方窓は一部損傷していた。
- ② 着陸装置（スキッド）は、クロスチューブが後方に回転して、全て折損していた。
- ③ 左操縦席は、右前方に圧縮座屈変形し、後席は、左前方に圧縮座屈変形していた。
- ④ テール・ローター、垂直安定板及び水平安定板に打痕があった。
- ⑤ 火災は発生しなかったが、機体下部から燃料が漏えいした。
- ⑥ 接地の衝撃を受け、航空機用救命無線機（E L T）が作動していた。（しきい値6～8 G）

(2) 事故現場周辺の状況

同機が不時着した場所は、水田地区内にある幅約3.5mのアスファルトの農道上であった。機体は、265°方向を向き不時着していた。農道の土手の部分には、着陸装置が接地した痕があり、機体が静止した後方には、テール・スキッドの接触痕があった。また、機体の左側約4mの農道の表面にメイン・ローター・ブレードの接触痕があった。

(3) エンジンの外部の損傷状況（エンジン内部の損傷は、2.7(1)参照）

- ① エンジン中央のパワー・タービン・ベアリング・サポートは、ねじれにより変形していた。
- ② 排気口内に多数の打痕があった。
- ③ ノズル・ガイド・ベーンが損傷していた。



図7 エンジン外部の損傷

2.4 乗組員等

機長	51歳
自家用操縦士技能証明書（回転翼航空機）	平成9年9月3日
特定操縦技能 操縦等可能期間満了日	令和5年3月17日
限定事項 陸上単発ピストン機	平成9年9月3日
限定事項 陸上単発タービン機	平成10年1月19日
第2種航空身体検査証明書	
有効期限	令和3年12月25日
総飛行時間	1,513時間28分
最近30日間の飛行時間	15時間00分
同型式機による飛行時間	1,359時間10分
最近30日間の飛行時間	15時間00分

2.5 航空機等

- (1) 航空機型式：アエロスパシアル式AS350B型
製造番号：2425、製造年月日：平成2年11月22日
耐空証明書：第大-2020-082号、有効期限：令和3年6月1日
飛行時間：6,659時間54分
- (2) エンジン型式：ツルボメカ式ARRIEL 1B型
製造番号：4272、製造年月日：平成元年12月19日
エンジン総使用時間：12,593時間40分
定期点検（200時間、150時間、100時間、50時間及び30時間の点検を令和3年2月10日に同時実施）後の使用時間：12時間36分
- (3) 事故当時、同機の重量は1,845kg、重心位置は3.24mと推算され、

いずれも許容範囲（最大離陸重量1,950kg、事故当時の重量に対する重心範囲3.17～3.55m）内にあったものと推定される。

2.6 気象

(1) 地域気象観測所の観測
 事故現場から北東約1.4kmに位置する上田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。
 09時30分 風向 東南東、
 風速 0.7m/s、気温 5.5℃、
 日照時間 1.0時間、
 降水量 0.0mm

(2) 事故現場から北約1,200mに位置するパラグライダー・スクールの天候
 09時30分ごろ 天気 晴れ、風向 東南東、風速 3～5m/s
 (図2参照)

2.7 エンジンの分解調査及び整備状況

(1) エンジンの損傷状況の概要
 同エンジンの出力低下の原因を詳細に調査するため、分解調査を実施した。フランス共和国代表の立会いの下、設計・製造者の施設において調査し、その結果の概要は次のとおりであった。

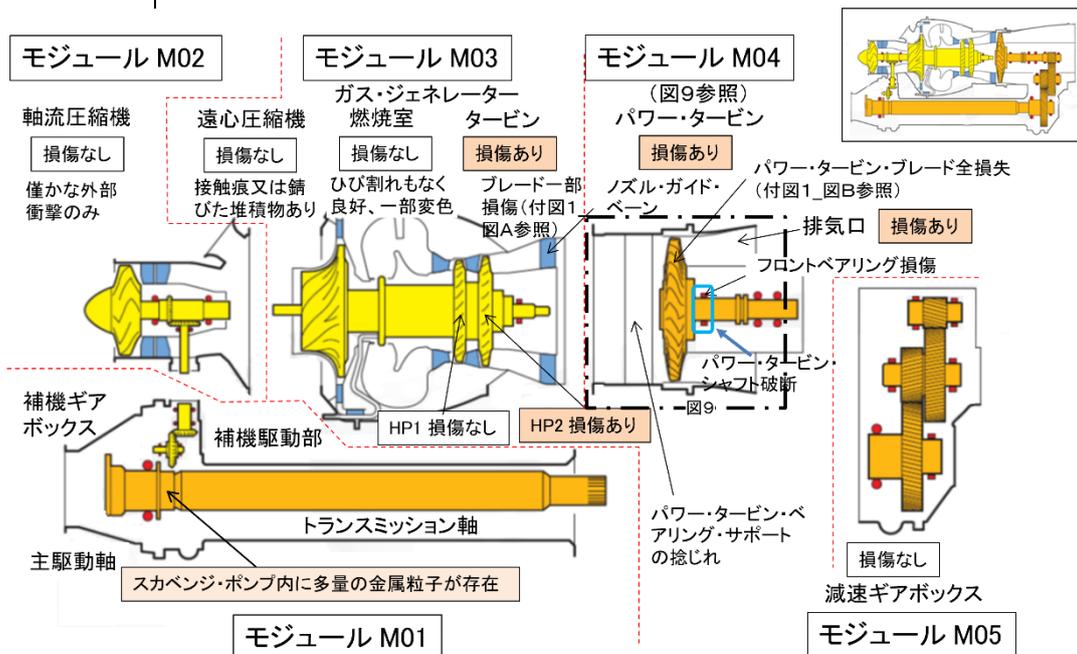


図8 エンジンの構造と損傷箇所

- ① ガス・ジェネレーター部
 - a 中空シャフトと燃焼室シュラウドに高温となった痕跡が局所的にあった。
 - b HP2タービンのブレードの一部が損傷し、中間又は翼後縁の5分の4付近で破断していた。これらの破断は、疲労破壊及び過熱の特徴は見られなかった。(付図1_図A参照)
- ② パワー・タービン部
 - a パワー・タービン・ディスクが回転中に、パワー・タービン・ノズル・ガイド・ベーンに接触した形跡があり、パワー・タービン・ベアリング・サポートがねじれて損傷していた。パワー・タービン・ブレードが全て欠損し、タービン・ディスク・インタースロットの一部が失われ

ていた。(付図1_図B参照)

b パワー・タービン・フロント・ベアリングのローラー(直径5mm×長さ5mm)に変形が見つかった。ローラーの直径は1mm減少し、長さは0.1~0.2mm増加していた。また、フロント・ベアリングのインナー・レースは融解して消失し、アウター・レース内には、顕微鏡及びEDS*6分析によると、金属材料(インナー・レース、ローラー・ベアリング、ベアリング・ケージ及びパワー・タービン・シャフト)が凝集した痕跡があった。(付図1_図C参照)

c パワー・タービン・シャフトは、前方部分が融解して破断していた。また、破断した後方部分の表面は変色しており、硬度検査及び冶金学的分析により、1,300℃以上の高温になったことが確認された。(図9及び付図1_図D参照)

d パワー・タービン・シャフトのスプライン・ナットが公称位置より約2mm前進していた。スプライン・ナットのねじ山とパワー・タービン・シャフト自体に接着剤の痕跡が残っていた。

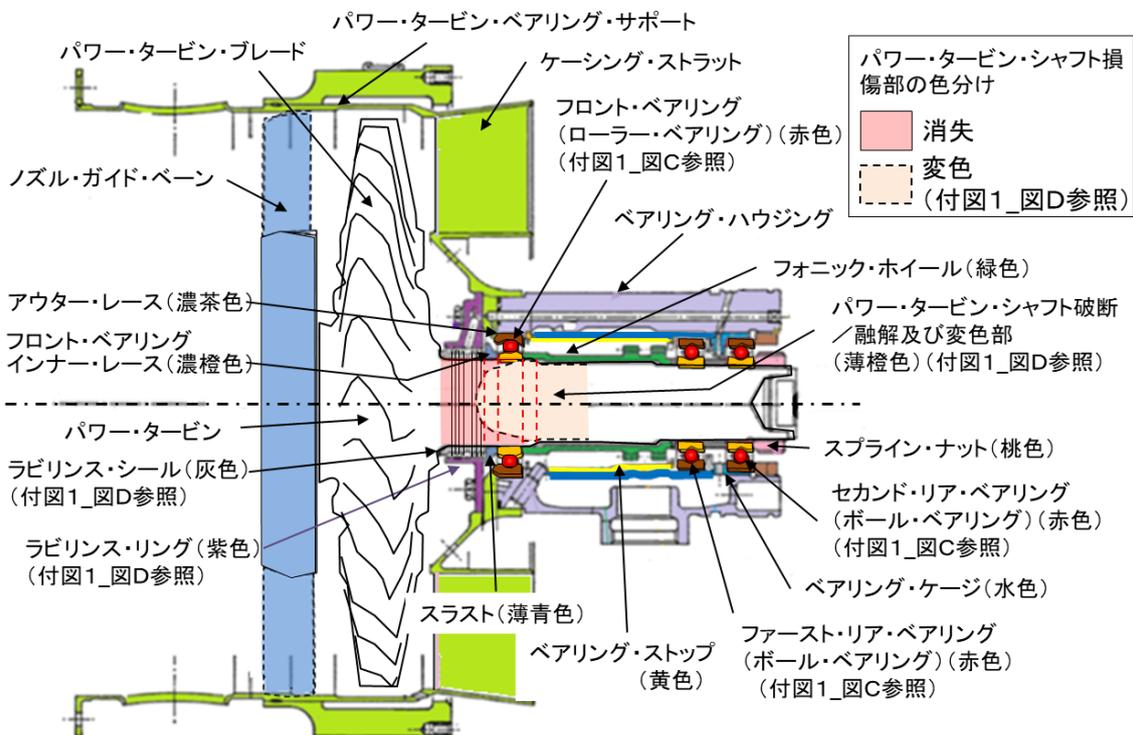


図9 モジュールM04(パワータービン部)の各部名称と損傷箇所

③ エンジン潤滑系統(付図2_図A及び表1参照)

a オイルに含まれる金属粒子の分析では、エンジンに関連する物質以外は検出されなかった。

b スカベンジ・ポンプ*7内に多量の金属粒子が存在するとともに、汚染されたエンジン・オイルには、ベアリング及びパワー・タービン・シャフトの材料を含む金属が含まれていた。

c 分解検査により、エンジン・オイルの過熱を示す兆候はなく、外観上

*6 「EDS」とは、Energy Dispersive X-ray Spectroscopyの略であり、エネルギー分散X線分光法により、電子顕微鏡に取り付けられた検出器で電子線照射により発生する特性X線を検出し試料や異物の元素情報を得る手法をいう。

*7 「スカベンジ・ポンプ」とは、潤滑、冷却を終えた空気を含むエンジン・オイルを吸引して、オイルタンクに戻す働きを行うポンプをいう。

は三つのパワー・タービン・ベアリングには潤滑が行われていたことを示していた。また、採取されたエンジン・オイルには、エンジンの材質以外の不純物は含まれていなかった。

d オイルタンク及びオイルフィルター*8からは、多量の金くずが採取された。

(2) エンジンの整備状況

① エンジン各部の使用時間

同型式エンジンは、五つのモジュール (MODULE) で構成され、モジュール別に整備ができるよう定期検査間隔が定められている。事故発生時の各モジュール及び損傷箇所に関連する部品の定期検査後の使用時間は表 1 のとおりであり、いずれの検査間隔も遵守されていた。

表 1 各モジュール及び損傷箇所に関連する部品の使用時間

MODULE 番号	部品名	総使用時間 TSN*9	使用時間 TSO*10	定期検査 TBO*11	交換時間
M01	補機ギア・ボックス	7,336h40m			
M02	軸流圧縮機	12,593h40m	3,673h40m	6,000h	
M03	ガス・ジェネレーター	7,096h32m	2,981h32m	3,000h	
M04	パワー・タービン	10,998h10m	2,009h52m	6,000h	
M05	減速ギア・ボックス	8,413h32m	1,918h32m	3,000h	
M04	フロント・ベアリング	2,736h57m			3,000h
M04	ファースト・リア・ベアリング	6,684h40m			7,200h
M04	セカンド・リア・ベアリング	6,684h40m			7,200h

② エンジン・マグネチック・プラグ*12の点検

モジュールM01及びモジュールM05の機械式マグネチック・プラグは、30飛行時間ごと、電気式のマグネチック・プラグは、400飛行時間ごとに点検及び清掃を実施するよう定められている。同機のエンジン・マグネチック・プラグの点検は、事故発生の約13飛行時間前の定期点検で行われ、異常がないことが確認されていた。

③ モジュールM04のフロント・ベアリングの整備

パワー・タービンのフロント・ベアリングは、ベアリング・ハウジング内にあり、3,000飛行時間の中間整備の際、交換される。同エンジンのパワー・タービン・フロント・ベアリングは、平成24年6月8日に交換された後、使用制限を超えておらず、当該部品に関連する不具合もなかったため、交換後に直接点検する機会はなかった。

2.8 その他必要な事項

(1) GPS装置に関する情報

同機には、GPS装置が持ち込まれており、事故当日の飛行に関する位置情報は、方向変換、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。

*8 「オイルフィルター」とは、オイル内に集まる異物を除去する装置をいう。

*9 「TSN」とは、Time Since Newの略であり、新規製造からの使用時間をいう。

*10 「TSO」とは、Time Since Overhaulの略であり、オーバーホール後の使用時間をいう。

*11 「TBO」とは、Time Between Overhaulの略であり、オーバーホール間隔の時間をいう。

*12 「マグネチック・プラグ」とは、エンジン及びギア・ボックス内のオイル内に含まれる金くずを磁力で引き寄せて検知する装置をいう。電気式は、金くずを検知すると操縦席のエンジン・チップ注意灯等を点灯させる。機械式は運用中の確認ができない。

(2) 同型式機の非常手順

本事故時の状況に該当する非常操作手順については、同型式機の飛行規程に次のとおり定められている。

① エンジン・チップ注意灯の点灯時に関する非常手順

表示： *ENG CHIP* (橙色表示)

故障： *ENGINE* 潤滑系統に金属屑が発生している。

操縦士の操作： できる限り早く着陸する。

TURBOMECA メンテナンス・マニュアルに定めてある点検が完了するまでは、次に離陸することを禁止する。

② エンジン停止時の非常手順

ENGINE 故障

飛行中のフレーム・アウト

ENGINE フレーム・アウトの兆候は次のとおりである。

- ・ 機体がYaw軸まわりに急に動く (高出力飛行中のみ)
- ・ NRが急に低下する。(NRが360 rpm未満になると、警報音が鳴る。)
- ・ トルクがゼロになる。
- ・ Ng (ガス・ジェネレーター回転速度) がゼロに低下する。
- ・ GEN (発電機：DC電源系統) 注意灯が点灯する。
- ・ *ENG. P* (エンジン潤滑油圧力) 警報灯が点灯する。

飛行中、*ENGINE* フレーム・アウトが発生した場合は、オートローテーション移行手順を実施する。

③ オートローテーション着陸

*ENGINE*故障した場合のオートローテーション着陸

- － 低コレクティブ・ピッチにする。
- － NRを監視し、制御する。
- － 対気速度をおおよそ65kt (120km/h - 75MPH)にする。
- － *Fuel Flow Control*をShutdown位置にする。
- － *ENGINE*フレーム・アウトの原因によっては：
 - ・ *ENGINE*を再点火する。
 - ・ さもなければ：*Fuel Shut Off Cock*を閉じ：
次の各SWをOFFにする：
Booster Pump、*Generator*、*Alternator*(装着している場合)、
“*Master SW*” *Electrical Master Switch*(焼ける臭いがする場合)
 - ・ 最終進入の段階で、機体を風に正対させる。
 - ・ 地上約 65ft (20m)の高度で、機首上げ姿勢になるようフレアーをかける。
- － 20~25ft (6~8m) の高度で、同じ姿勢のままコレクティブ・ピッチを徐々に増して降下率を減らす。
- － 接地前に水平姿勢にして、横滑りが起こらないようにする。
- － 接地後、コレクティブ・ピッチをゆるやかに減少させる。

(3) オートローテーション実施時の降下率とコレクティブ・ピッチ・レバースの特徴

オートローテーション実施時は、対気速度と機体重量によって、降下率が変わる。設計・製造者のシミュレーションによれば、図10のとおり、非常操作手順が目安としている対気速度65ktでは、ローター回転速度（NR）を400rpmで維持した場合、降下率が約1,800ft/minとなる。重量による違いは、重量が重くなるほど、降下率は減少するが、コレクティブ・ピッチ・レバーの位置は僅かに高くなる。また、対気速度を40kt未満まで減少させた場合は、重量が重くなるほど、降下率が大きくなる。

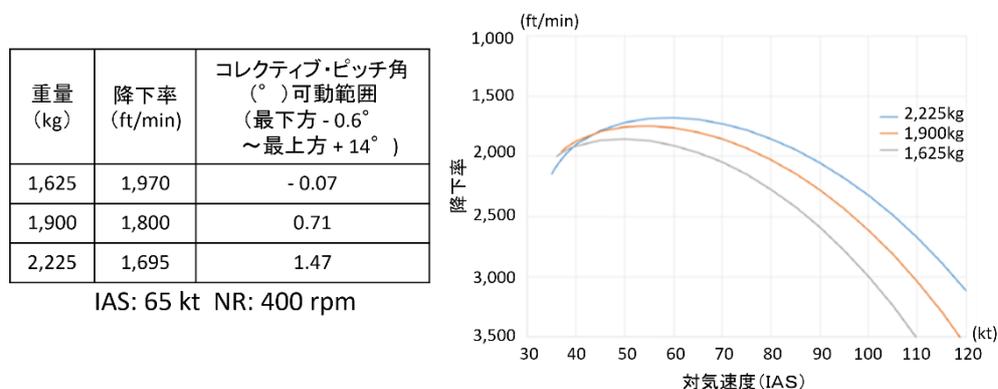


図10 オートローテーション実施時の降下率とコレクティブ・ピッチ角

(4) 機長のオートローテーション訓練の経験

機長は、平成9年9月に単発ピストン機及び平成10年1月に単発タービン機の自家用操縦士技能証明を取得した。機長は、その技能証明取得訓練において、軽い重量でのオートローテーション訓練を経験していたが、技能証明資格を取得した後は、訓練装置を使用した訓練を含め、オートローテーション訓練を実施した経験はなかった。

2年毎に実施される特定操縦技能審査においては、オートローテーションは審査項目ではないが、高度-速度包囲線^{*13}について口述ガイダンスの質問項目となっている。

(5) 同機の航空機所有者と運航形態について

複数の関係者からの口述によると、同機の所有者は、A社であり、B社は、A社から同機を借用していた。B社は、会員制によるヘリコプターの運航をしており、航空運送事業^{*14}の許可は受けていなかった。同乗者はいずれも会員ではなく、同乗者のうち1名が知人である会員を通じ、東京ヘリポートから松川場外までの飛行依頼を行って搭乗し、同乗者は、月末に航空機使用料をB社の口座に振り込むことを予定していた。また、B社は同機の運航のため、C社に機長の派出を依頼し、C社の社員である機長が自家用操縦士^{*14}の資格で自家用運航していた。

(6) 国土交通省航空局の航空運送事業に関する注意喚起について

国土交通省航空局は、平成29年12月に、「航空機を使用して行う事業には、大きな危険を伴うことなどの観点から、許可が必要であり、無許可で営業をした者は、3年以下の懲役又は3百万円以下の罰金に処せられる。」ことについて、リーフレットを作成し、周知している。

*13 「高度-速度包囲線図」(height-velocity-envelope、H-V線図)とは、ヘリコプターが通常飛行からオートローテーションに安全に移行できる高度と速度を表した図をいう。

*14 「航空運送事業」とは、他人の需要に応じ、航空機を使用して有償で旅客又は貨物を運送する事業をいう。

*15 「自家用操縦士」とは、航空機に乗り組んで、報酬を受けずに、無償の運航を行う航空機の操縦を行う業務範囲の資格のことをいう。

	<p>https://www.mlit.go.jp/common/001599984.pdf</p> <p>(7) 航空運送事業における航空機乗組員に関する訓練</p> <p>航空運送事業における最大離陸重量9,080kg以下の単発機の回転翼機を運航する航空機乗組員については、運航規程審査要領細則に基づき、技能審査及び訓練の方法を運航規程に定め、オートローテーション訓練については、機長の昇格訓練の際、実施することとされている。</p> <p>(8) 過去の同型式機と同種事故</p> <p>我が国における同型式機のエンジン故障（エンジン・チップ注意灯点灯）による不時着時の事故は、次のとおりである。</p> <p>発生日 平成9年1月28日 10時53分ごろ</p> <p>概要 アエロスパシアル式AS350B型JA9835は、兵庫県多紀郡西紀町上空を飛行中、エンジンが停止し、同町の水田にオートローテーションで着陸した際、ハードランディングした。同機には、機長ほかカメラマン1名計2名が搭乗していたが、カメラマンが軽傷を負った。機体は大破したが、火災は発生しなかった。</p>
--	---

3 分析

<p>(1) エンジン・チップ注意灯の点灯から不時着までの飛行</p> <p>同機のエンジン・チップ注意灯の点灯から不時着までの飛行については、次のとおりと考えられる。</p> <p>機長は、エンジン・チップ注意灯の点灯後、出力を減少させ減速した。GPSの記録によると、同機は、対地速度126kt、高度約3,900ft（対地高度約2,000ft）で飛行中、09時31分10秒ごろから減速を開始していることから、松川場外まで約28kmの地点付近でエンジン・チップ注意灯が点灯したと考えられる。その後、機長は、約1分後の09時32分05秒ごろ、警報音とヨー方向の振れを感じて、エンジン出力が急激に減少したことを認識し、速やかに左旋回して、対地高度約1,800ftからオートローテーションに入れたと考えられる。また、後部座席の同乗者が、警報音が鳴る前に焦げ臭い匂いを感じたと口述していることから、エンジン・チップ注意灯が点灯した直後から、短時間のうちにエンジンの損傷が始まり、エンジン出力の低下に至ったと推定される。</p> <p>さらに、目撃者により撮影された動画によると、オートローテーション中もエンジンの異常音が継続されていることから、エンジンが損傷しながら停止に至ったものと考えられる。</p> <p>エンジン出力の急激な低下後、機長は、エンジン・チップの注意灯が点灯した際にあらかじめ確認していた不時着地の方向へ操縦し、田んぼの間にある幅約3.5mの農道に直交するような角度で南西方向へ不時着を試みた。</p> <p>不時着地への進入中、対地速度は徐々に減少し、一時的に増速されたものの、図2のとおり、09時33分06秒ごろ、機首上げによりフレアー操作が開始されたと推測される。農道の土手部分には着陸装置（スキッド）の接地痕、接地点の手前の地面にはテール・スキッドの接触痕があり、着陸装置が後方側に折損していることから、フレアーアウト後にわずかに前進しながら接地したと考えられる。また、建物の3階程度から自由落下したとの同乗者の口述があること、機長が接地直前の2～3mの高さで、コレクティブ・ピッチ・レバーが最上方になったと口述していることから、垂直に近い降下角度で降下率が増加しながら農道の土手部分に接地したものと推定される。また、機体左側の道路面にメイン・ローター・ブレードの接触痕があり、後部座席が左前方に変形していることから、接地後、一時的に機体が左側に傾斜する荷重が加わったと考えられる。</p> <p>(2) エンジンの損傷に至るまでの経過の分析</p>

設計・製造者による詳細なエンジンの分解調査の結果から、エンジン・チップ注意灯の点灯からエンジンの損傷に至った際の経過は次のとおりと考えられる。(図1 1参照)

- ① エンジン・チップ注意灯の点灯については、付図2_図A及び表1のマグネチック・プラグのエンジン・オイル汚染状況及びパワー・タービンのフロント・ベアリングの劣化の状況から、モジュールM0 4内のパワー・タービン・フロント・ベアリング(ベアリング鋼 80DCV40)とパワー・タービン・シャフト(耐熱合金 NCK19DAT)の金くずがオイルシステムに混入したことにより、電気マグネチック・プラグ(付図2_図A(2))が最初に検知したものと考えられる。
オイルタンク及びオイルフィルターから採取された多量の金くずは、パワー・タービンの材料が含まれていることから、その多くはパワー・タービンの損傷によるものと考えられる。
- ② パワー・タービン・シャフトは、融解した部分の損傷及びフロント・ベアリング・アウトター・レース内の金属材料の凝集の状況(付図1_図C参照)から、フロント・ベアリングが焼き付いて固着したものと考えられる。フロント・ベアリングが固着したため、パワー・タービン・シャフトに固定されていたインナー・レースが回転を始め、パワー・タービン・シャフトが融点付近の1,300℃程度まで加熱され、さらに熱応力*16により、インナー・レースが消失し、パワー・タービンシャフトが破断したと考えられる。また、スプライン・ナットは前方に2mm以上移動しており、パワー・タービン・シャフトが破断した際、前方に移動したと考えられる。スプライン・ナットには接着剤で固定されていた痕跡があったが、それにもかかわらず前方に2mm移動したことについては、パワー・タービン・フロント・ベアリングの損傷時の異常な熱伝導の影響により接着特性が大幅に低下したためか、不適切な接着工程などの要因によるのか不明である。
- ③ パワー・タービン・ベアリング・サポートに衝突痕があり、ねじれて損傷していることから、ディスクに装着されたまま回転しているパワー・タービン・ブレードが衝突したことにより、損傷したものと推定される。
- ④ オートローテーションによる降下中も、エンジンの異音が継続していることから、エンジンのガス・ジェネレーター・タービンは回転を続けていたと考えられる。
- ⑤ パワー・タービンは、シャフトが破断した後、ノズル・ガイド・ベーンに衝突して回転しながら前方に移動した可能性が考えられる。その結果、全てのブレード及びディスク・スロットの一部が重大な損傷を受け、破片となって飛散したものと考えられる。排気口、テール・ローター、垂直安定板及び水平安定板の打痕は、エンジンの後方に排出された破片によるものと考えられる。
- ⑥ エンジンの出力の急激な減少は、パワー・タービン・フロント・ベアリングが劣化により焼き付き、パワー・タービン・シャフトが融解して破断したことによるものと推定される。
- ⑦ エンジンを分解して部品検査を行った結果、パワー・タービン・フロント・ベアリングは、潤滑されていたが重大な損傷を受けていたことが判明した。損傷の程度が著しかったため、劣化した原因を同検査により特定することはできなかった。

設計・製造会社によると、2015年に当該部品の不具合により、航空事故が発生しているが、次のとおり、本事故とは不具合の発生状況が異なっていた。

- ・ オイル噴射口の詰まりにより当該部品の潤滑が不足していた。
- ・ パワー・タービン・シャフト後部のスプライン・ナットを固定する接着剤の痕跡がなかった。

その他同種の不具合は発生していないが、当該部品の固有の不具合であるかを特定するため、設計・製造会社は、同じ部品を使用する同型式エンジンの部品交換が行なわれた際には、取り下ろされた部品を回収して、劣化状況について精査し、追加対策を検討することが望ましい。

*16 「熱応力」とは温度の変化または不同によって物体内部に生じる応力をいう。熱膨張または熱収縮が何らかの原因で妨げられるときに起こり、高温部分で圧縮応力、低温部分で引張応力を発生させる。

① エンジン・チップ注意灯点灯 ② パワー・タービン・シャフトに熱応力発生 ③ パワー・タービン・シャフト融解・破断

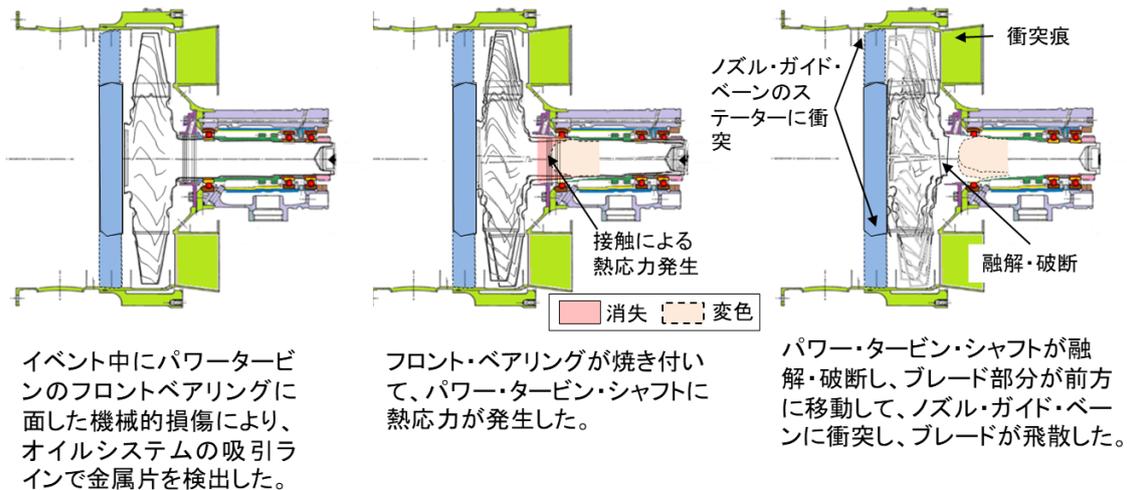


図 1.1 パワー・タービン・シャフトの融解・破断

(3) エンジン・チップ注意灯の点灯後の操縦士の対応

エンジン・チップ注意灯が点灯した場合は、飛行規程のとおり、できる限り早く着陸する必要があり、予防着陸を行うことが望ましい。機長は、エンジン・チップ注意灯が点灯後、エンジン計器に異常がないことを確認し、対気速度を約 90 kt まで減速して、着陸に適した場所を探しているときに、エンジン・フレーム・アウトを認識して、速やかに田んぼの広がったエリアの方向に旋回し、オートローテーションの非常操作手順を実施したことから、地上の人員及び物件への損害を最小限に防ぐことができたものと考えられる。

オートローテーション中の操作については、重量が重い状態で進入時の対気速度が 65 kt 未満となり、図 1.0 のとおり、降下率が大きくなった可能性が考えられる。また、目標としていた道路に対する減速操作となったため、接地操作が難しい状態になったと考えられる。

ヘリコプターは、低速かつホバリング高度の飛行状態でエンジンが停止した場合、コレクティブ・ピッチ・レバーを操作して、ローター回転速度を減少させながら、揚力を発生させ、降下率を減少させることが可能である。接地時の降下率を最小にするには、接地時にコレクティブ・ピッチ・レバーが最上方になるように操作することが望ましいが、機長の口述によると、対地高度 2～3 m でコレクティブ・ピッチ・レバーが最上方になったことから、その時点から降下率の制御はできず、降下率は増加しながら接地し、ハードランディングに至ったものと推定される。

オートローテーションによる着陸時の降下率を小さくするためには、非常操作手順のとおり、ローター回転速度と対気速度をフレア操作の開始まで保持することが必要である。さらに、狭い場所にオートローテーションによる着陸をする場合、接地点手前の低高度でフleaによる減速操作により降下率を減少させ、更に姿勢を戻しながら接地直前にコレクティブ・ピッチ・レバーを使用して降下率を制御する高度な技術が必要であり、風に正対できない場合、さらに、重量が重くなればなるほど困難な操作となるため、接地荷重をできるだけ軽減するためには、可能な限り広い場所を選定し、着陸を試みる事が重要である。

(4) 不時着時の推定荷重倍数^{*17}による最終進入プロファイルの推定

不時着時の機体の損傷状態から、設計・製造者により、荷重倍数限界線を用いて不時着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 1.2 のとおり、慣性前進速度荷重倍数 (N_x) は 1.1 G であり、慣性垂直速度荷重倍数 (N_z) は 3.5 G と推定される。さらに、この荷重倍数を図 1.3 のとおりベクトル計算すると、機体の移動方向は約 7.3° となる。3 (1) の分析

*17 「荷重倍数」とは、航空機に働く荷重と航空機重量との比をいう。(耐空性審査要領)

から、同機の接地時の進入方向は、機首を上げ、低速かつ急角度の約 73° で進入し、約 $3.7G$ の合成荷重が加わったものと推定される。また、慣性垂直速度荷重倍数 (N_z) の $3.5G$ から降下率を計算すると、降下率 $1,656\text{ft/min}$ 以上で接地したと考えられる。

同型式機に適用される耐空性審査要領 (耐空類別：回転翼航空機普通N) においては、構造強度について、「下方 $4.0G$ 」の慣性力を受ける非常着陸状態で着陸した場合でも、搭乗者は重傷を免れるよう要求している。同機は強度要求値を超えた接地時の荷重がかかったが、機体は損壊し、着陸装置、胴体、座席等が変形することにより、荷重が分散され、かつ、胴体上部の重量物が落下することがなかったことから、客室の構造物が保護され、機長及び同乗者の被害が軽減されたものと考えられる。

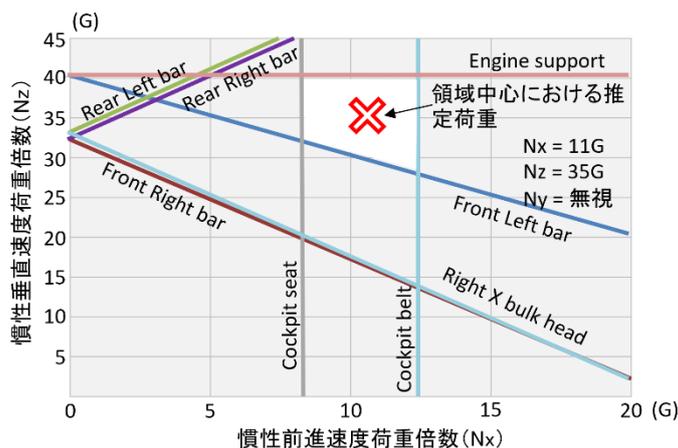


図 1 2 不時着時の推定荷重倍数

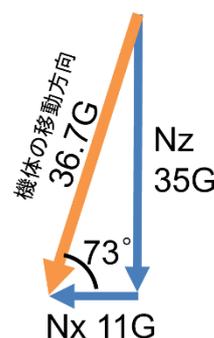


図 1 3 推定荷重倍数による進入角と合成荷重

(5) 同機の運航と機長の技能資格による訓練経験

機長は、自家用操縦士資格で自家用運航を行っており、特定操縦技能の審査は適切に受けていたものの定期的な訓練を受けることは求められていないため、限定変更後にはオートローテーションの訓練を実施していなかった。また、本事故時には、自家用操縦士技能証明取得時のオートローテーション訓練では経験したことがない重い重量での接地操作となった。このことが不時着時の着陸操作に関与した可能性も考えられる。

(6) 単発ヘリコプターを操縦する自家用操縦士のエンジン出力低下時の非常操作訓練について

単発ヘリコプターを操縦する自家用操縦士は、エンジン出力低下時の手順の一つであるオートローテーションについては、訓練を行う機会が限られているため、高度-速度包囲線図、重量及び風向・風速を考慮して飛行し、日頃からオートローテーションによる不時着を試みる場合の着陸場所、進入方向及び接地時の操作をイメージ・トレーニングしておくことが重要である。

(7) 同機の運航形態について

同機の運航については、2.8(5)に記述したとおりの自家用運航であったが、航空運送事業を営む場合は、運航規程において航空機乗組員の技能審査及び訓練の方法を定め、これに従って技量を管理することで安全が確保できるよう、航空法第100条に基づく許可を得て運航を行う必要がある。

4 原因

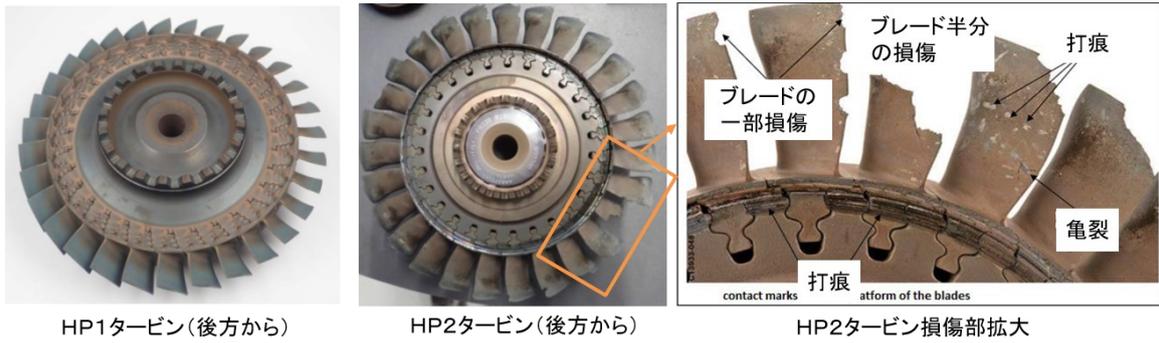
本事故は、同機が巡航飛行中、エンジン出力が低下し、オートローテーションにより、農道に不時着を試みた際、ハードランディングとなったため、機長及び同乗者が負傷し、機体が大破したものと推定される。

飛行中にエンジン出力が低下したことについては、エンジンのパワー・タービン・フロント・ベアリングが焼き付き、パワー・タービン・シャフトが破断したことによるものと推定されるが、当該ベアリングの焼き付きの原因は明らかにできなかった。また、不時着時にハードランディングになったことについては、オートローテーションによる着陸の際、フレアーアウト時の高度が高くなり、接地前の降下率の制御が十分にできなかったことによるものと推定される。

5 再発防止策

5.1 必要と考えられる再発防止策	<p>(1) 単発ヘリコプターを操縦する自家用操縦士は、エンジン出力低下時の非常操作訓練を行う機会が限られているため、高度－速度包囲線図、重量及び風向・風速を考慮して飛行し、日頃からオートローテーションによる不時着を試みる場合の着陸場所、進入方向及び接地時の操作をイメージ・トレーニングしておくことが重要である。</p> <p>(2) オートローテーションによる不時着を試みる場合は、非常操作手順のとおり、ローター回転速度と対気速度をフレアー開始まで保持することが必要である。狭あいな場所にオートローテーションによる着陸をする場合、フレアーによる接地操作には高度な技術が必要となるため、特に風に正対できない場合や重量が重い場合は、接地荷重をできるだけ軽減するため、可能な限り広い場所を選定し、着陸を試みることが重要である。</p> <p>(3) 設計・製造会社は、同型式エンジンのパワー・タービン・フロント・ベアリングの交換が行なわれた際には、取り下ろされた部品を回収して劣化状況を精査し、追加対策の検討を行うことが望ましい。</p>
--------------------------	---

付図1 エンジン内部の損傷状況



図A モジュールM03 ガス・ジェネレーター部の損傷



図B モジュールM04 パワー・タービン部の損傷

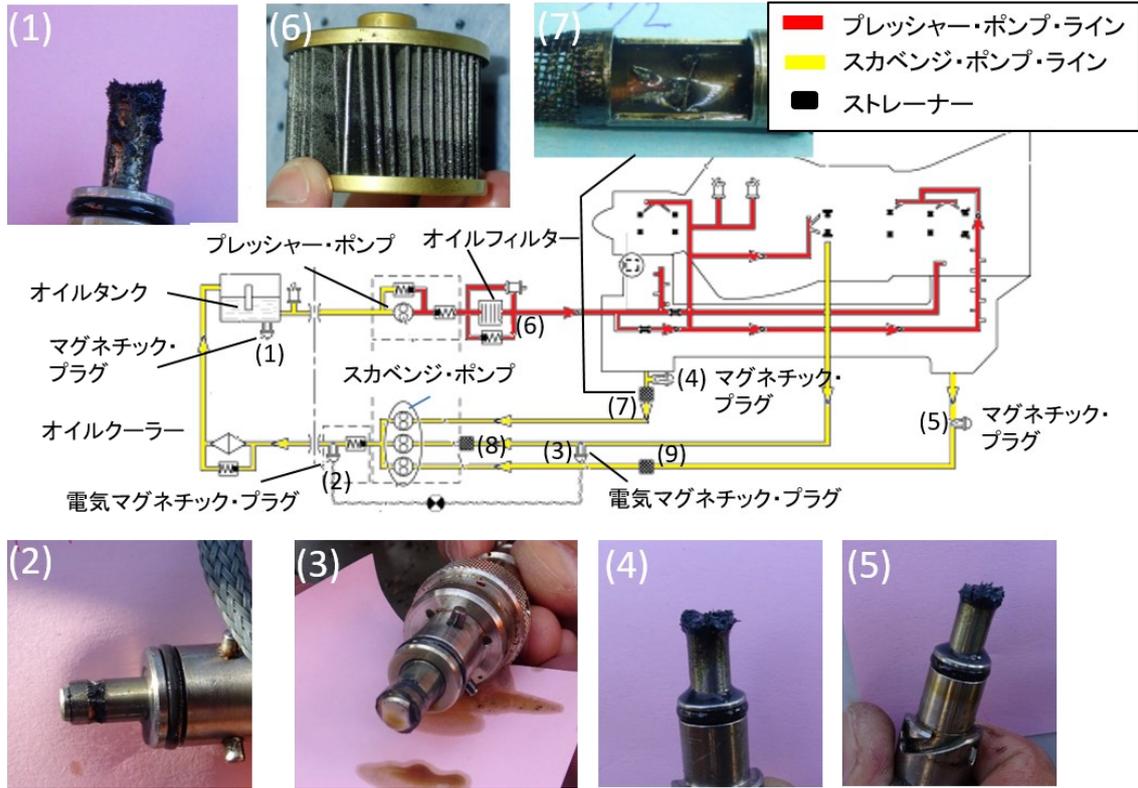


図C モジュールM04 パワー・タービン・ベアリングの損傷



図D モジュールM04 パワー・タービン・シャフトの損傷

付図2 エンジン・オイルの汚染状況



図A エンジン・オイルの流れと金くずの汚染状況

表1 オイルの汚染状態

名称	警報機能	オイルの吸引ライン	金くず	検出材料
(1) マグネチック・プラグ	×	全モジュール	多	未確認
(2) 電気マグネチック・プラグ	○	全モジュール	少	鉄合金 (35NCD16 及び 16NCD13) 他、多くのエンジン部品材料
(3) 電気マグネチック・プラグ	○	モジュール M03	少	鉄合金 (材料識別できず)
(4) マグネチック・プラグ	×	モジュール M01 及び M02	多	ベアリング材料 (80DCV40)
(5) マグネチック・プラグ	×	モジュール M04 及び M05	多	ベアリング材料 (80DCV40)
(6) オイルフィルター及びカートリッジ	×	全モジュール	多	パワー・タービン・シャフト材料 (NCK19DAT)
(7) ストレーナー*18	×	モジュール M01 及び M02	多	パワー・タービン・シャフト材料 (NCK19DAT)
(8) ストレーナー	×	モジュール M03	無	
(9) ストレーナー	×	モジュール M04 及び M05	無	

*18 「ストレーナー」とは、オイル内の大きな異物を金属網で除去する部品をいう。