

航空事故調査報告書

所 属 個人
型 式 ロビンソン式R 2 2 B e t a 型（回転翼航空機）
登録記号 J A 7 9 7 5
事故種類 墜落
発生日時 令和3年10月7日 06時48分
発生場所 神奈川県^{はだの}秦野市

令和6年12月20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

要 旨

<概要>

個人所属ロビンソン式R 2 2 B e t a 型 J A 7 9 7 5 は、令和3年10月7日（木）、神奈川県足柄上郡大井町内の赤田ヘリポート場外離着陸場を離陸し千葉県木更津市内の木更津場外離着陸場に向け飛行中、神奈川県秦野市内の畑に墜落した。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。

<原因>

本事故は、同機が有視界気象状態を維持できない高度で雲中を上昇中に、ローター回転速度が低下し、機長がLOW RPM 警報音を聴いた際、急激な操縦装置の操作を行ったため、不安定な低G飛行状態が継続して、致命的なマスト・バンピングが発生し、操縦不能に陥って、墜落したものと推定される。

ローター回転速度が低下したのは、雲中でキャブレター・ヒートを適切に使用せず、上昇を継続し、エンジン出力が不足したことによるものと考えられる。

また、雲中飛行が継続されたのは、飛行前にVMCを維持できる巡航高度が考慮されないまま出発し、かつ、飛行中に高度情報の適切な把握による修正が行われなかったためと考えられる。

本報告書で用いた主な略語は、次のとおりである。

E L T	: Emergency Location Transmitter	航空機用救命無線機
F D M	: Flight Data Monitoring	簡易型飛行記録装置
G C A	: Ground Controlled Approach	着陸誘導管制業務
G P S	: Global Positioning System	全地球的測位システム
I M C	: Instrument Meteorological Conditions	計器気象状態
M A P	: Manifold Pressure	吸気圧力
M C P	: Maximum Continuous Power	最大連続出力
N R	: Number of Rotor speed	ローター回転速度
O A T	: Outside Air Temperature	外気温度
Q N H	: Altimeter sub-scale setting to obtain elevation when on the ground	平均海面大気圧による高度計 規正值
R P M	: Revolutions Per Minute	毎分回転数
S N S	: Social Networking Service	会員制交流サイト
T O P	: Take Off Power	離陸出力
T W R	: Tower	飛行場管制所
V F R	: Visual Flight Rules	有視界飛行方式
V H F	: Very High Frequency	超短波
V M C	: Visual Meteorological Conditions	有視界気象状態

単位換算表

1 ft	: 0.3048 m
1 kt	: 1.852 km/h (0.5144 m/s)
1 in	: 25.40 mm
1 lb	: 0.4536 kg
1 inHg	: 33.8639 mb (hPa)

目 次

1	航空事故調査の経過	1
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	1
1.2.3	調査の実施時期	1
1.2.4	経過報告	1
1.2.5	原因関係者からの意見聴取	1
1.2.6	関係国への意見照会	1
2	事実情報	2
2.1	飛行の経過	2
2.2	人の死亡、行方不明及び負傷	4
2.3	航空機の損壊に関する情報	4
2.3.1	損壊の程度	4
2.3.2	航空機各部の損壊の状況	4
2.4	航空機乗組員に関する情報	5
2.5	航空機に関する情報	5
2.5.1	航空機	5
2.5.2	重量及び重心位置	6
2.6	気象に関する情報	6
2.7	通信に関する情報	7
2.7.1	同機の通信装置	7
2.7.2	厚木タワーとの通信記録	7
2.8	飛行中の記録に関する情報	8
2.8.1	飛行記録装置に記録された内容の概要	8
2.8.2	離陸から墜落までの高度及び速度の変化並びに機長の視線と操作の 特徴	9
2.9	事故現場及び残骸に関する情報	10
2.9.1	事故現場の状況	10
2.9.2	損壊の細部状況	11
2.10	人の死亡に関する情報	14
2.11	その他必要な事項	14

2.11.1	知人及び担当教官の口述	14
2.11.2	計器による姿勢制御	16
2.11.2.1	同型式機の操縦装置と承認されている運用様式限界	16
2.11.2.2	同型式機の計器板とクロス・チェック	16
2.11.3	意図しない計器気象状態（IMC）での飛行	17
2.11.4	キャブレター・アイス	17
2.11.4.1	キャブレター・アイスの特徴	17
2.11.4.2	キャブレター・アイスに関する飛行規程の記述	18
2.11.4.3	同型式機の地面効果外ホバリング高度限界	21
2.11.5	同型式機のローター・システムの特徴とマスト・バンピング	21
2.11.5.1	同型式機のローター・システムとスワッシュ・プレートの動き	21
2.11.5.2	致命的なマスト・バンピングの特徴	23
2.11.5.3	マスト・バンピングに関する飛行規程の記述	23
2.1.2	効果的な調査技術	24
3	分析	24
3.1	乗組員の資格等	24
3.2	航空機の耐空証明等	25
3.3	気象の影響	25
3.4	エンジン出力低下から墜落に至る要因の分析	25
3.4.1	音響と動画によるローター回転速度（NR）の分析	25
3.4.2	エンジン出力不足によるNRの低下	26
3.4.3	急激な操縦操作による致命的なマスト・バンピングの発生	27
3.4.3.1	メイン・ローター系統の破壊	27
3.4.3.2	致命的なマスト・バンピングに至った理由	29
3.5	同機の飛行に関する機長の判断	31
3.5.1	計器気象状態（IMC）の継続	31
3.5.2	北北西方向への飛行とレーダー誘導の要求	32
3.5.3	技量に応じた飛行判断	33
4	結論	33
4.1	分析の要約	33
4.2	原因	34

5 再発防止策	35
5.1 必要と考えられる再発防止策	35
付図1 ロビンソン式R22Beta型三面図及びメイン・ローター・ブレード の上面塗装色の範囲	36
付図2 分析に利用した記録の概要	37
付図3 GoProのメタデータによる分析	38

1 航空事故調査の経過

1.1 航空事故の概要

個人所属ロビンソン式R22Beta型JA7975は、令和3年10月7日（木）、神奈川県足柄上郡大井町内の赤田ヘリポート場外離着陸場を離陸し千葉県木更津市内の木更津場外離着陸場に向け飛行中、神奈川県秦野市内の畑に墜落した。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 航空事故調査の概要

1.2.1 調査組織

運輸安全委員会は、令和3年10月7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。

1.2.2 関係国の代表

本調査には、事故機の設計・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

令和3年10月	7日～9日	現場調査（残骸確認及び目撃者等聞き取り）
同 年10月	12日～13日	機体詳細調査
同4年	7月29日	機体再調査
同6年	2月21日	同

1.2.4 経過報告

令和4年9月29日、その時点までの事実調査結果に基づき、国土交通大臣に対して経過報告を行い、公表した。

1.2.5 原因関係者からの意見聴取

原因関係者からの意見聴取は、本人が本事故で死亡したため行わなかった。

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

個人所属ロビンソン式R22Beta型JA7975は、移動を兼ねた慣熟飛行のため、機長1名のみが右操縦席に着座し、赤田ヘリポート場外離着陸場（以下「赤田場外」という。）を離陸し、木更津場外離着陸場（以下「木更津場外」という。）に向かった（図1）。

06時26分に通報された飛行計画は、次のとおりであった。

飛行方式：有視界飛行方式、出発地：赤田場外、移動開始時刻：06時40分、
巡航速度：75kt、巡航高度：VFR*1、経路：横須賀、
目的地：木更津場外、所要時間：1時間00分、飛行目的：レジャー飛行、
持久時間で表された燃料搭載量：3時間30分、搭乗者数：1名

その後、事故に至るまでの飛行の経過は、機内に持ち込まれたGoPro MAX HERO型アクションカメラ（以下「GoPro」という。）の記録及び防衛省厚木飛行場管制所（以下「厚木タワー」という。）の同機との通信記録によれば、概略次のとおりであった（図1、図2）。

06時31分36秒 機長は、赤田場外を離陸前に厚木タワーと通信設定し、風向風速、高度計規正值（QNH）及び航空交通情報（トラフィック・インフォメーション）を入手した。

06時34分37秒 同機は、赤田場外を離陸した。

06時37分00秒 同機は、離陸からの上昇後、高度約2,000ftで水平飛行となった。

06時37分20秒 機長は、広域対空援助局*2に対し、離陸時刻を通報した。

06時40分28秒 機長は、厚木タワーに位置通報を行い、航空交通情報を再度確認した。

06時41分00秒 同機は、180°旋回を開始して赤田場外に向かう飛行針路とした。

06時44分41秒 同機は、東名高速道路に直交する北北西方向へ右旋回を開始した。

*1 「VFR」とは、有視界飛行方式のことであり、巡航高度を定めずに飛行する場合、飛行計画の高度にはVFRと記載する。

*2 「広域対空援助局」とは、飛行中の航空機からの位置通報、飛行計画の変更等の運航援助及び航空機からの要求に応じた気象情報、航空情報等の提供を行う通信局をいう。

06時45分36秒 機長は、雲中飛行となったため、赤田場外までのレーダー誘導を厚木タワーに要求した。

06時46分08秒 厚木タワーは、横田アプローチと通信設定をするよう指示をした。

06時46分54秒 厚木タワーは、横田アプローチの通信周波数を伝達したが、同機からの応答はなかった。

06時47分29秒～33秒 ローター回転速度（以下「NR」という。）が低下して「LOW RPM 警報」*3が作動した後、機体が大きく左にロールし、背面の状態になった。

06時47分34秒 同機は、メイン・ローター・ブレードが折損し、テール・コーンが切断され、胴体が空中分解した。

06時48分03秒 同機は、秦野市内の畑に墜落した（同機が墜落した際のエンジンの停止音を墜落地点から離れた位置に落下したGoProが音声情報として記録しており、これをもとに時刻を特定した。）。

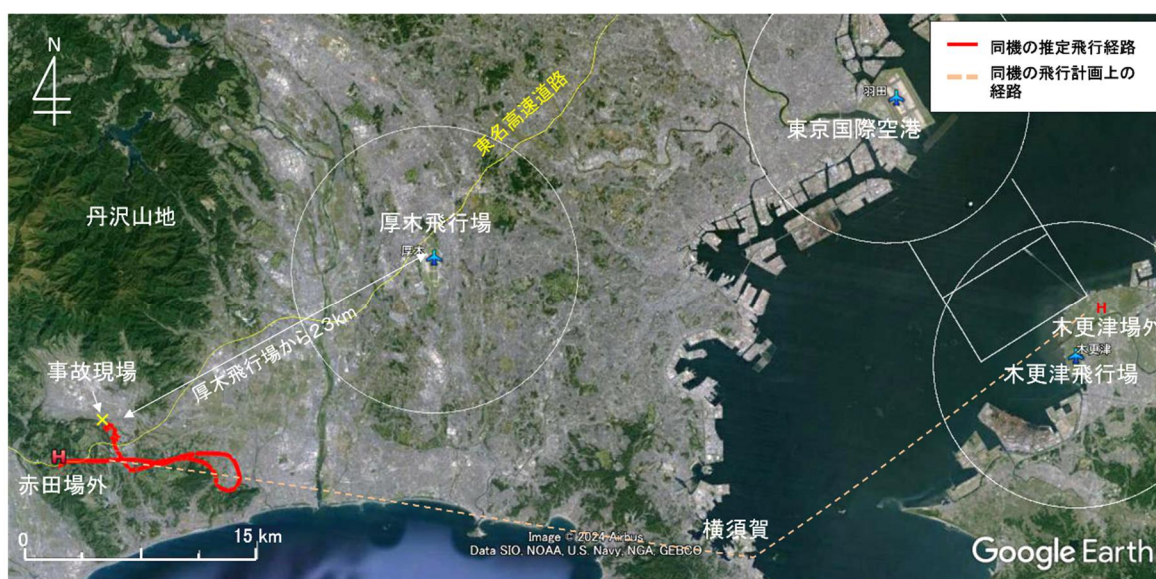


図1 同機の飛行計画及び推定飛行経路

*3 「LOW RPM 警報」とは、同型式機のNRが495rpm（97%）未満になると、警報音と注意灯が同時に作動し、操縦者にNRの低下を知らせるものをいう。

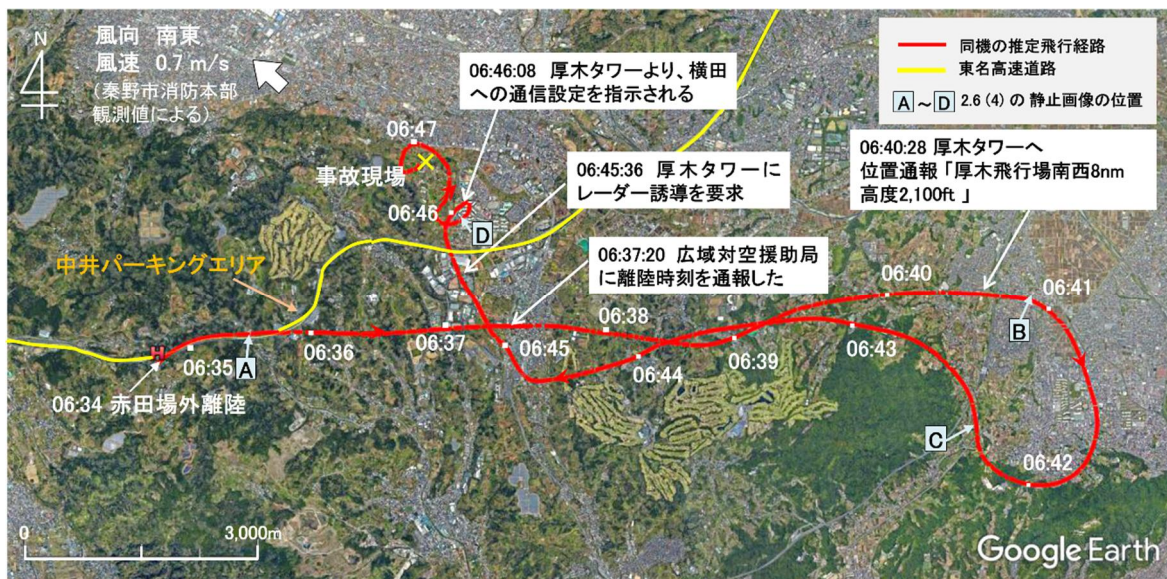


図2 同機の推定飛行経路

本事故の発生場所は、防衛省厚木飛行場の西南西2.3km付近（北緯35度21分35秒、東経139度13分05秒）で、発生日時は、令和3年10月7日06時48分03秒ごろであった。

2.2 人の死亡、行方不明及び負傷

機長1名が死亡した。

2.3 航空機の損壊に関する情報

2.3.1 損壊の程度

大 破

2.3.2 航空機各部の損壊の状況

胴 体：損傷、操縦席及び機体フレームが大きく変形、テール・コーン分離

メイン・ローター系統：破断、変形、一部飛散

エンジン：損傷（一部変形）



図3 事故現場での同機の墜落状況

2.4 航空機乗組員に関する情報

機長 28歳

自家用操縦士技能証明書（回転翼航空機）	令和3年3月2日
特定操縦技能 操縦等可能期間満了日	令和5年3月1日
限定事項 陸上単発ピストン機	令和3年3月2日
第2種航空身体検査証明書 有効期限	令和4年3月14日
総飛行時間	88時間51分
最近30日間の飛行時間	11時間06分
同型式機による飛行時間	88時間51分
最近30日間の飛行時間	11時間06分
フードによる計器飛行訓練	2時間10分

2.5 航空機に関する情報

2.5.1 航空機

型 式	ロビンソン式R22Beta型
製造番号	3795
製造年月日	平成17年3月10日
耐空証明書	第東-2020-401号
有効期限	令和3年12月10日
総飛行時間	4,008時間37分
定期点検（100時間点検、令和3年4月9日実施）後の飛行時間	65時間44分

2.5.2 重量及び重心位置

事故発生直前の同機の重量は1,288lb、重心位置は99.8inと推算され、いずれも許容範囲（最大離陸重量1,370lb、事故当時の重量に対する重心範囲96.3～100.3in）内にあったものと推定される。

2.6 気象に関する情報

(1) 天気概況

気象庁によると、図4のとおり、本州付近は、三陸沖に移動する高気圧に覆われ西日本を中心に晴れたが、北東から湿った空気が流入した東日本～東北地方の太平洋側では曇りやすい天候であった。

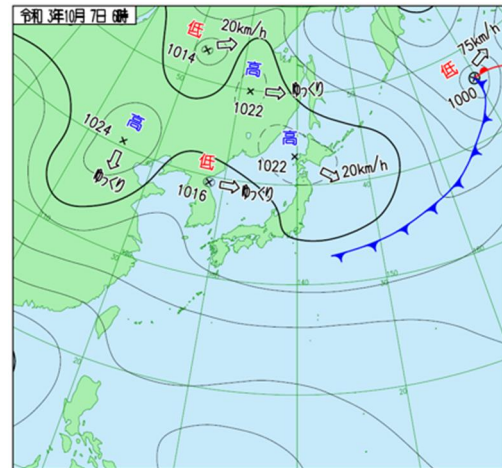


図4 地上天気図

(令和3年10月7日06時)

(2) 防衛省厚木飛行場の航空気象

事故現場の東北東約23kmに位置する防衛省厚木飛行場（標高205ft）の事故関連時間帯の航空気象の観測値は、次のとおりであった。

07時00分 風向 360°、風速 7kt、卓越視程 10km以上、
現在天気 弱い雨、
雲 雲量 1/8～2/8 雲底の高さ 1,000ft 層雲、
雲量 3/8～4/8 雲底の高さ 1,500ft 積雲、
雲量 5/8～7/8 雲底の高さ 2,000ft 層積雲、
気温 19℃、露点温度 17℃、
高度計規正值（QNH）30.17inHg

(3) 秦野市消防本部の観測値

事故現場の北北西約2.3kmに位置する秦野市消防本部の事故関連時間帯の観測値は、次のとおりであった。

06時40分 風向 南東、風速 0.7m/s、
天気 曇り、気温 17.8℃、湿度 98.3%

(4) 操縦席から見た雲の状況及び飛行中の視程（静止画の地点：図2）

2.8に記述するGoProの動画から、操縦席から見た雲の状況及び飛行中の視程の変化を確認するため、4地点を切り抜き静止画とした。

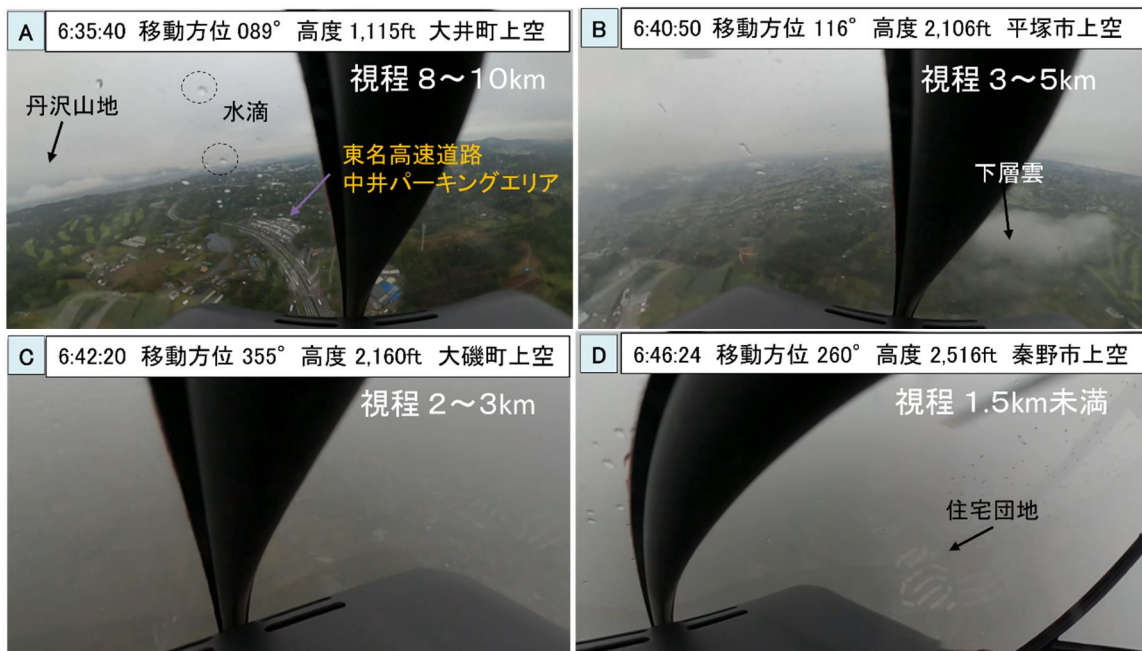


図5 操縦席から見た雲の状況及び推定飛行視程 (GoPro の動画より作成)

A : 大井町上空、高度 1,100ft 付近では、視程 8～10km であり、上空は雲に覆われ、操縦席の窓に水滴が付いていた。

B : 平塚市上空、高度 2,100ft 付近では、視程 3～5km であり、下層に雲が散在していた。また、上空の雲は雲底が判別しにくかった。

C : 大磯町上空、高度 2,200ft 付近では、視程 2～3km となり、地表が僅かに見える程度であった。

D : 秦野市上空、高度 2,500ft 付近では、視程 1.5km 未満となり、直下の地表が僅かに見える程度であった。

2.7 通信に関する情報

2.7.1 同機の通信装置

同機は、VHF無線機を1台装備していた。

2.7.2 厚木タワーとの通信記録

同機と厚木タワーとの間で行われた通信の記録は表1のとおりであった。

表 1 同機と厚木タワーとの通信内容

時 間	FROM	TO	通信内容
06:31:36	JA7975	厚木 TWR	JA7975 NOW POSITION 秦野、赤田ヘリポートを離陸するところです。交通情報、トラフィック・インフォメーションをお願いします。
06:31:46	厚木 TWR	JA7975	JA7975 NO TRAFFIC AROUND HELIPORT あービジビリ、WIND 360 AT 8 VISIBILITY 20 KM QNH 3016 CLEAR CONTROL ZONE REPORT LEAVING CONTROL ZONE
06:32:02	JA7975	厚木 TWR	ROGER あー、WE あー、DO NOT あー、CROSS TO CONTROL ZONE, BREAK 管制圏通過予定ありません。JA7975
06:32:15	厚木 TWR	JA7975	JA7975 ROGER.
06:35:51	厚木 TWR	JA7975	JA7975 厚木 TWR (呼び出しに応答せず)
06:40:28	JA7975	厚木 TWR	JA7975 NOW POSITION えー、8 NM サウ、NOW POSITION 8 NM SOUTHWEST えー、2100 BOUND FOR KISARAZU EAST BOUND.
06:40:50	厚木 TWR	JA7975	JA7975 THIS IS ATSUGI TWR DID YOU CALL?
06:40:55	JA7975	厚木 TWR	えー、ALTITUDE 2,000 JA7975
06:41:00	厚木 TWR	JA7975	JA7975 ROGER BREAK、管制圏の通過はありますか。
06:41:08	JA7975	厚木 TWR	管制圏通過ありません。JA7975
06:41:11	厚木 TWR	JA7975	7975 ROGER, NO TRAFFIC REPORTED SOUTH SIDE
06:45:36	JA7975	厚木 TWR	あー、REQUEST RADAR VECTOR TO AKADA HELIPORT
06:45:46	JA7975	厚木 TWR	厚木 TWR えー、雲の中に入ってしまった。レーダーベクターをお願いします。
06:46:00	厚木 TWR	JA7975	JA7975 厚木 TWR BREAK 厚木タワーを呼んでますか。
06:46:05	JA7975	厚木 TWR	厚木タワー呼んでます。
06:46:08	厚木 TWR	JA7975	JA7975 厚木、タワー及びG C A業務しかしておりませんので、レーダーベクターできません。レーダーベクターを要求されるようでありましたら、横田とコンタクトをお願いします。
06:46:39	厚木 TWR	JA7975	JA7975 CONTACT YOKOTA 12. CORRECTION
06:46:54	厚木 TWR	JA7975	JA7975 CONTACT YOKOTA 123.8
06:46:58	JA7975	厚木 TWR	975. (二重送信となり受信できず)
06:47:00	厚木 TWR	JA7975	JA7975 CONTACT YOKOTA 123.8
06:47:04	JA7975	_____	ROGER, RADAR SERVICE IS NOT SERVICE (騒音を含む機内音声から取得した記録であり、厚木タワーに記録されていない内容)

2.8 飛行中の記録に関する情報

2.8.1 飛行記録装置に記録された内容の概要

同機には、操縦席前方の計器板上に、GoPro MAX HERO 型アクションカメラが備え付けられ、同装置には、同機の離陸前から06時47分42秒に同装置が空中で機体から分離して、地上に落下した後まで、360° レンズにより、動画及び音声情

報が記録されていた。記録された内容には、周辺の気象、機長の顔の表情、コレクティブ^{*4} 及びサイクリック^{*5} の操作並びに機体の損傷状況が含まれていた。また、動画に付帯されるメタデータ^{*6}として、GPSによる位置、高度及び移動速度、並びに機器の角速度、加速度及びカメラの設定情報が記録されていた（付図2：分析に利用した記録の概要及び付図3：GoProのメタデータによる分析を参照）。

2.8.2 離陸から墜落までの高度及び速度の変化並びに機長の視線と操作の特徴

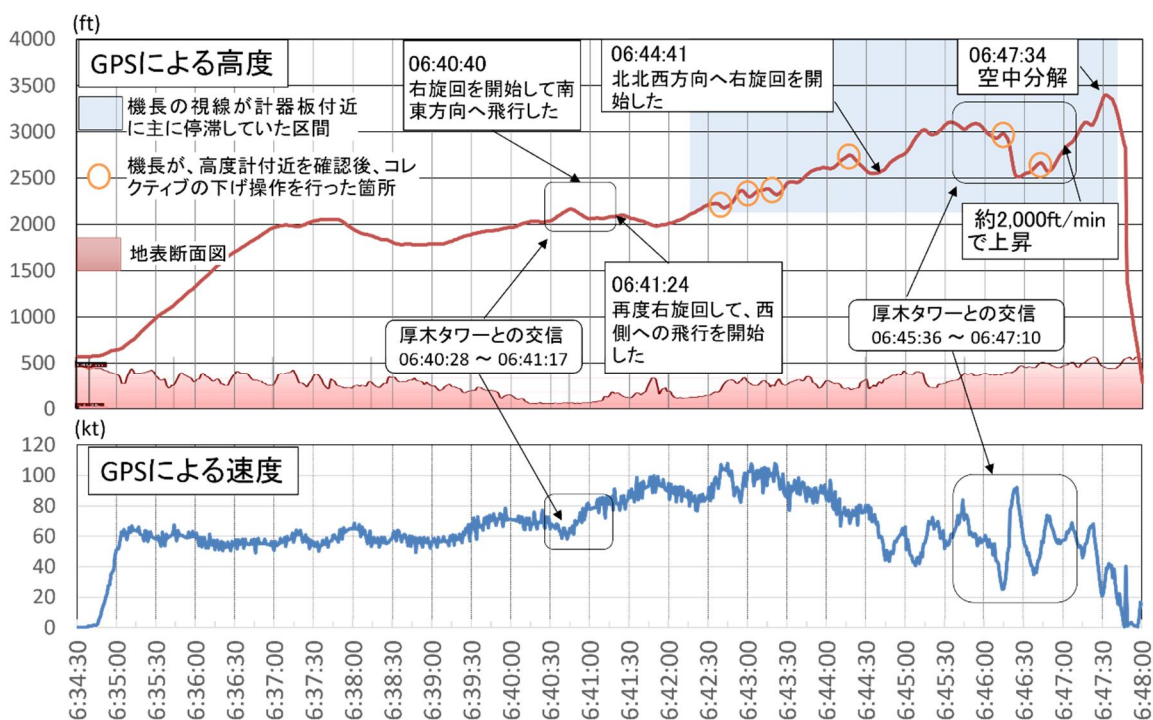


図6 高度及び速度の変化並びに機長の視線と操作の特徴
(GoProの記録による)

GoProの記録によれば、離陸から墜落までの高度及び速度の変化は図6に示すとおりである。離陸直前から空中分解に至るまで、機長がキャブレター（気化器）・ヒート・コントロール・レバーを調整する操作は見られなかった。このうち06時42分20秒から06時47分31秒までの間、機長の視線は主に計器板付近にあった。また、機長の視線が一時的に高度計付近にとどまった後、機長がコレクティブの下げ操作を行い、高度を下げた箇所があった。さらに、同機が空中分解す

*4 「コレクティブ」とは、コレクティブ・ピッチ・コントロールの略であり、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。

*5 「サイクリック」とは、サイクリック・ピッチ・コントロールの略であり、ヘリコプターの操縦装置の一つである。機体を制御するため、主に機体姿勢を傾ける方向に操作する装置をいう。

*6 「メタデータ」とは、本体のデータに関する付帯情報が記載されたデータをいう。GoProにおいては、GPSによる位置、高度及び移動速度、並びに機器の角速度、加速度及びカメラの設定情報等が記録されている。

る直前においては、06時47分17秒から約2,000ft/minで上昇しており、「LOW RPM 警報」が作動した06時47分29秒には約2,300ft/minで上昇中であり、空中分解した時点では高度約3,400ftまで到達していた。

2.9 事故現場及び残骸に関する情報

2.9.1 事故現場の状況

機体の墜落場所は、住宅地区から南に約300m離れた位置であり、標高175m（574ft）の小高い丘に広がる畑の中であった。

残骸は、図7のとおり、南北方向に約240m、東西方向に約230mの範囲に散乱し、風防及びドア窓の多くは、胴体から南西方向に集中して落下していた。また、胴体から249°、93mの位置にテール・コーンが落下し、326°、124mの位置に破断したNo.1メイン・ローター・ブレード（以下「No.1ブレード」とする。（「No.2ブレード」も同様。））が落下していた。

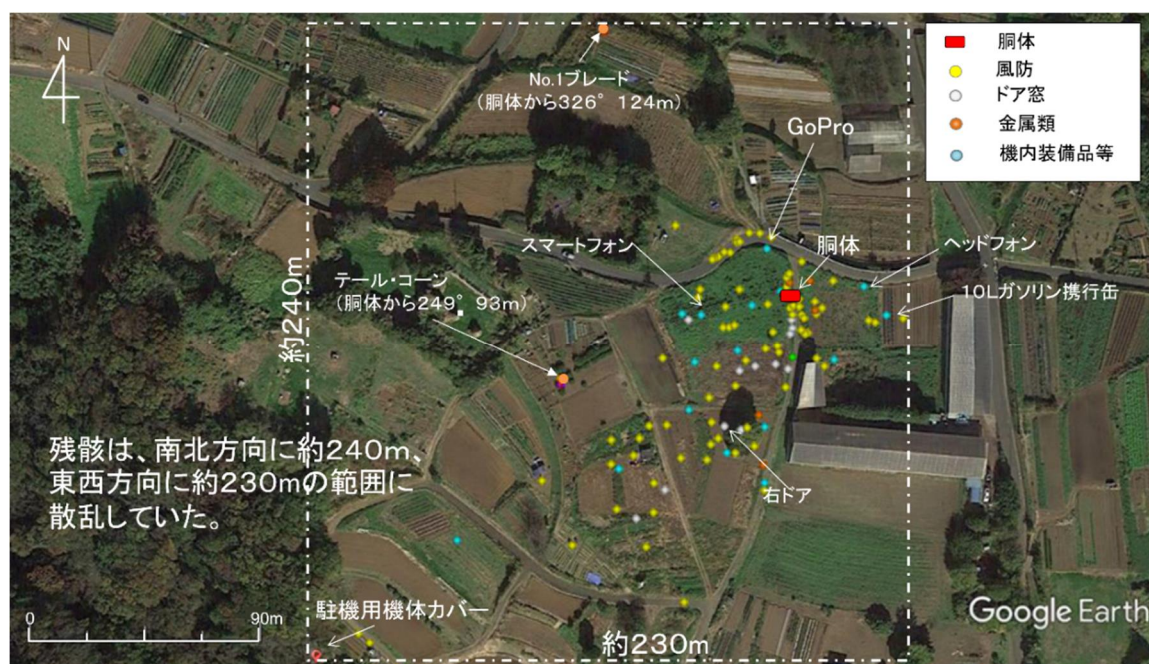


図7 事故現場付近の残骸の飛散状況

2.9.2 損壊の細部状況

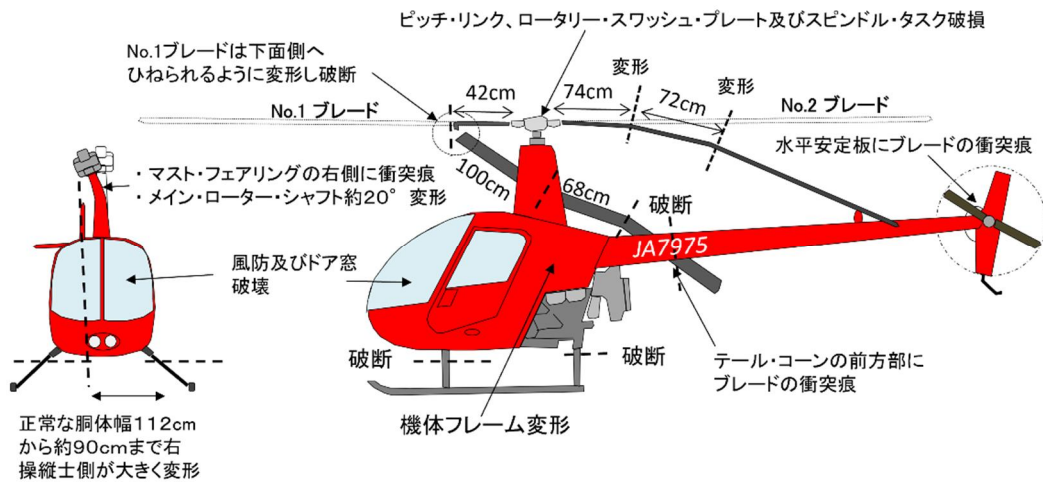


図8 機体の損壊の概要

(1) 胴体

- マスト・フェアリングにメイン・ローター・ブレードとの衝突痕があった。
- 機体の胴体幅は、112cmから90cmまで圧縮変形していた。
- 操縦席のフレームが変形し、風防及びドア窓が破壊され飛散していた。
- テール・コーンは、前方のメイン・ローター・ブレードとの衝突痕の位置で破断していた。また、水平安定板にはメイン・ローター・ブレードの衝突痕があった。



図9 残骸の再配置による損壊状況

(2) メイン・ローター系統

- 二枚のメイン・ローター・ブレードは、数か所で変形し、No. 1ブレードは、スピンドルから42cmのところまで下面側へひねられるように変形、破断し、飛散していた(図8～図10及び図12)。
- メイン・ローター・シャフトは、スワッシュ・プレート付近で約20°変形していた(図13)。

- c メイン・ローター・シャフトの表面に顕著な衝突痕はなかったが、ティーター・ストップに衝突痕があり、ドループ・ストップ*7 下部のスピンドル・タスクとの接触面が変形していた（図13）。
- d No.1ブレード側のロータリー・スワッシュ・プレートは、張り出した付け根部分で破断していた（図11、図12、図15及び図16）。
- e No.1ブレードのピッチ・リンクは、スワッシュ・プレートの接続部で破断し、No.2ブレードのピッチ・リンクは、ブレードの接続部で破断していた（図11、図12及び図15）。
- f No.1ブレードのスピンドル・タスクは、先端部が削り取られ、No.1ブレードの下面方向に回転し、一部が圧縮変形していた（図11及び図14）。

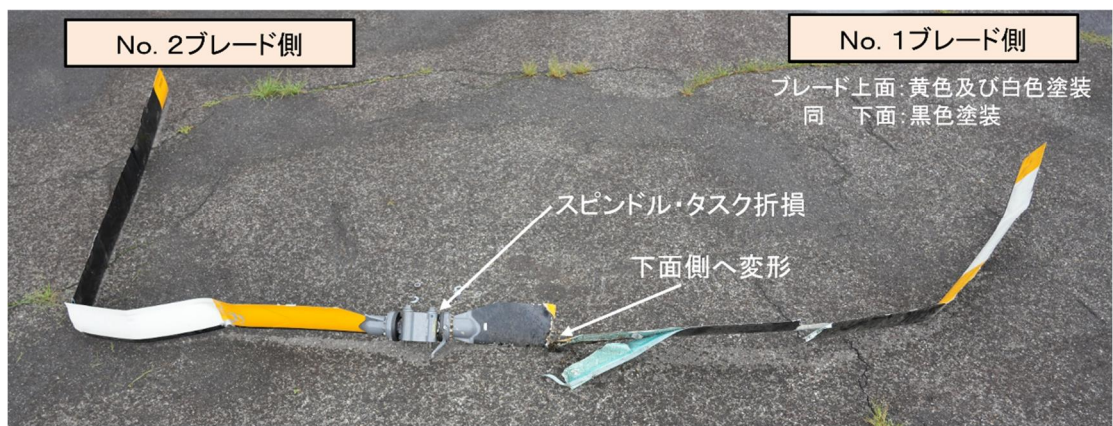


図10 メイン・ローターの折損・変形状態

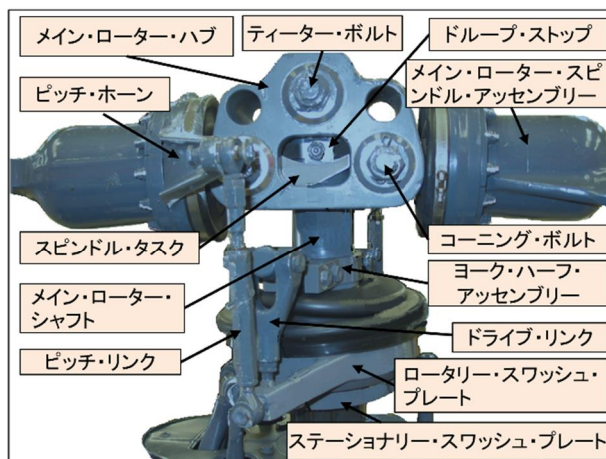


図11 メイン・ローター・ハブ周辺の正常な取付状態



図12 メイン・ローター・ハブ周辺の破断状態

*7 「ドループ・ストップ」とは、エンジン始動時又は停止時に、メイン・ローター回転速度が低い場合、メイン・ローター・ブレードが垂れ下がらないようにするものをいう。

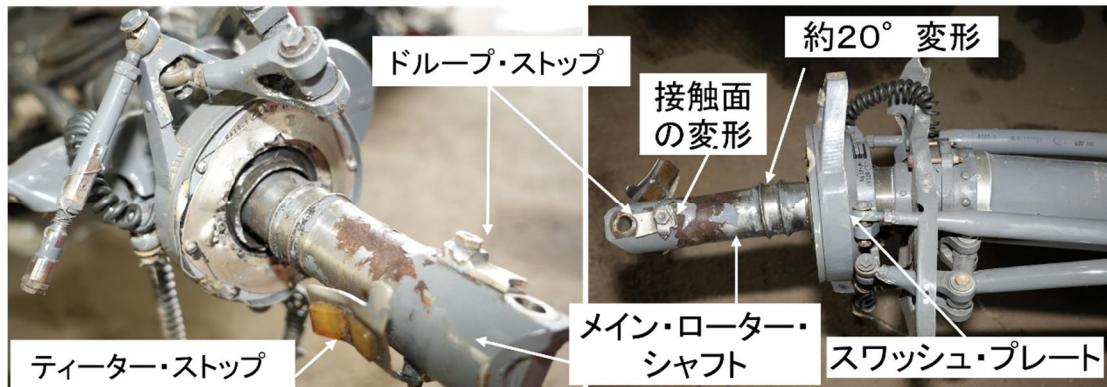


図13 メイン・ローター・シャフト及びドループ・ストップの変形



図14 スピンドル・タスクの損傷状態

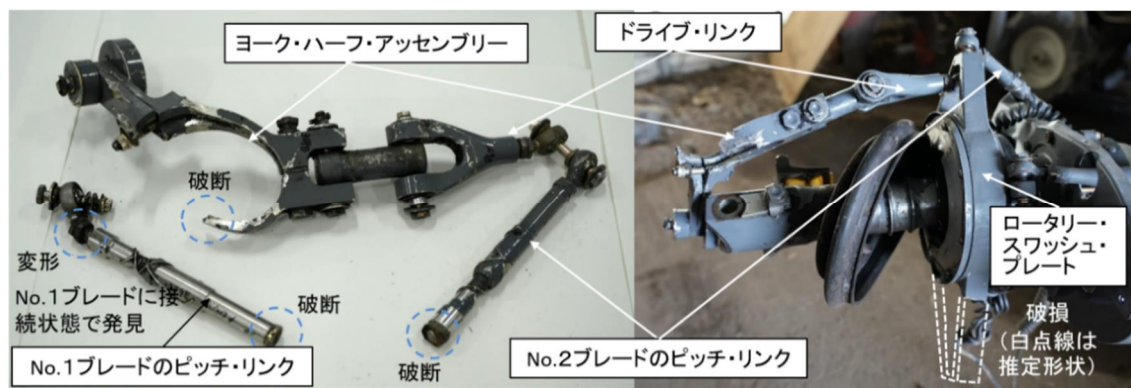


図15 ピッチ・リンク及びロータリー・スワッシュ・プレートの損傷状態

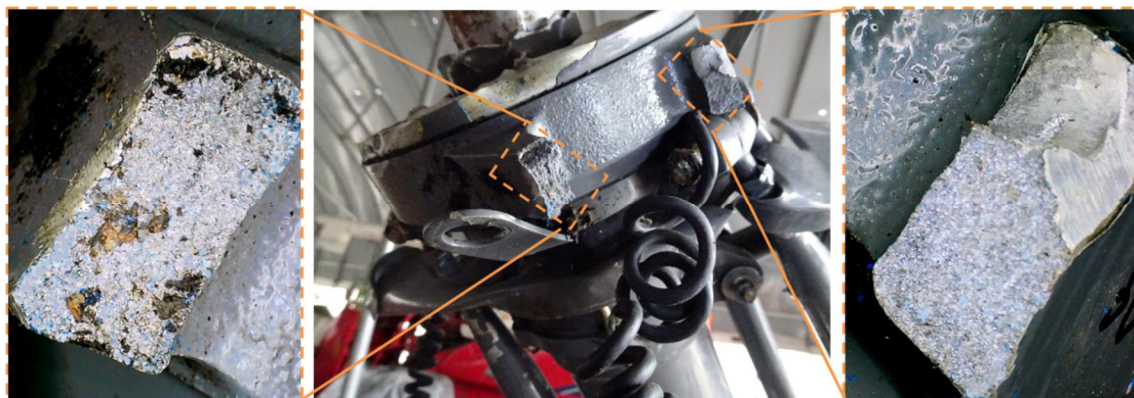


図16 ロータリー・スワッシュ・プレートの損傷位置拡大

(3) エンジン

- a エンジン内に異常はなく、GoProの音声情報には、墜落時のエンジンの運転音が記録されていた。
- b キャブレター・ヒート・コントロール・レバーは、ラッチは外されていたが、オフの状態であった（図17左）。
- c エンジン下部に取り付けられているエアーボックス内のスライダー・バルブは、フレッシュエア側がオープン状態で、ホット側はクローズの状態であった（図17右）。



図17 キャブレター・ヒートの使用状態

(4) その他

同機の航空機用救命無線機（E L T）は、カナード社製 AP-H INTEGRA (ER) であり、胴体後部中央付近に取り付けられ、機体の下方45°方向からの衝撃を受けて作動する仕様であった。墜落時に同機のE L Tが送信されていなかったため、調査したところ、本体ケースの内部の仕切り板が破損し、送信回路が不良状態であり、更に加速度センサーが逆方向からの衝撃を受けていた。

2.10 人の死亡に関する情報

右操縦席に着座していた機長1名が、操縦席の変形を伴う墜落時の衝撃により死亡した。

2.11 その他必要な事項

2.11.1 知人及び担当教官の口述

(1) 知人Aの口述

事故の前日、機長の勤務終了後、夕食を一緒にとった。機長からは、「赤田場外は、東名高速道路の大井松田インターチェンジの近くにあったので、見付けやすかった」と聞いた。また、翌日は、木更津まで初めて飛行すると聞いた

ので、東京湾上空を横断する際は、地上の目標を見ながらの飛行経路にした方が良いことと、天候が悪かったら無理をしないようにと伝えた。

(2) 知人Bの口述

事故の数日前に、機長からいくつかの相談を受けた。一つ目の相談は、「10月6日（事故前日）に赤田場外から木更津場外まで夜間飛行したい」ということであったが、夜間飛行の経験がなく、海上飛行を行うことは危険なのでやめるよう伝えた。二つ目の相談は、事故前々日の10月5日に、宇都宮市内の場外離着陸場から赤田場外への飛行方法について、「飛行経路は、入間飛行場、横田飛行場及び立川飛行場の管制圏を通過する直線経路を予定している」とのことであったが、単独で経験が浅い状態では困難なので、最も南側の立川飛行場の管制圏を通過する方が良いのではないかとアドバイスした。同機が赤田場外到着後に、機長から「桶川のところで雲が厚く怖かった」、「横田の管制塔から他機への呼出しに応答してしまい、注意を受けた」とSNSで連絡を受けた。

(3) 技能証明取得までの担当教官の口述

計器飛行訓練については、フード^{*8}を付けて基本パターンを飛行するのと、レーダー誘導は、隣の教官が模擬交信を行い誘導する方法で実施した。また、キャブレター・ヒートの使用については、湿気があるときには使用するよう指導していた。さらに、訓練時の飛行高度については、対地1,000ft以上を保ち、通常は2,000～3,000ftの高度を使用していた。

*8 「フード」とは、計器のみに依存した飛行訓練を行うため、前方の地平線及び進入目標を操縦士から遮蔽された状態にするために装着する着脱が容易な用具をいう。

2.11.2 計器による姿勢制御

2.11.2.1 同型式機の操縦装置と承認されている運用様式限界

同型式機は、姿勢の制御又は高度を保持するような自動飛行装置は装備されていない。また、サイクリックには、サイクリック・ビープ・トリム^{*9}機能もなく、サイクリックを任意の位置で保持していないと動いてしまうため、サイクリックから手を離すことができない機体である。また、計器航法^{*10}の飛行は承認されているが、計器飛行^{*11}は承認されていないため、有視界気象状態（VMC）^{*12}でのみ飛行が可能である。

2.11.2.2 同型式機の計器板とクロス・チェック

図18のとおり、姿勢や性能情報の把握に必要な計器は、左右の操縦席の中央に一式が装備されている。計器の配列は、姿勢指示器を中心とするT型の配列ではなく、右操縦席から見ると、姿勢指示器と定針儀が上下の直線的な配列であり、その他の計器は、姿勢指示器の左右に配置されている。

操縦士は、操縦に必要な情報を把握するために、視線を頻繁に上下左右に動かして、計器をクロス・チェックし操縦装置により姿勢を制御する必要がある。



図18 同型式機の計器板

*9 「サイクリック・ビープ・トリム」とは、ピッチ姿勢又はロール姿勢を微調整することができるスイッチをいう。

*10 「計器航法」とは、計器飛行以外の航空機の位置及び針路の測定を計器にのみ依存して行う飛行で、110 km又は30分を超えて行うものをいう。

*11 「計器飛行」とは、航空機の姿勢、高度、位置及び針路の測定を計器のみに依存して行う飛行をいう。

*12 「有視界気象状態（VMC）」とは、同機が飛行していた空域においては、次の3つの飛行条件を満たす気象状態をいう。

- (1) 飛行視程が5,000m以上であること。
- (2) 航空機からの垂直距離が上方に150m、下方に300mである範囲内に雲がないこと。
- (3) 航空機からの水平距離が600mである範囲内に雲がないこと。

2.11.3 意図しない計器気象状態（IMC）^{*13}での飛行^{*14}

意図しないIMCに遭遇中、操縦士は目視基準を見失うことに対する準備ができていない可能性があり、その結果、安全な飛行を継続する能力が低下する。意図しないIMCでの飛行は操縦士にとって生命を脅かす緊急事態である。計器飛行証明^{*15}を取得するための訓練を受けていない、又は、計器だけを参照する飛行に熟練していない操縦士は、目視できる地上物標によって飛行を維持しようとするため、その結果、より低い高度、木のすぐ上、又は道路に沿って飛行する傾向がある。その思考プロセスは、「下にあるものが見える限り、目的地まで進むことができる」ということである。

以下は、操縦士が飛行中に有視界気象状態（VMC）を維持するための基本的なガイドラインである。

- (1) 目視できる手掛かりへの視認性が悪化した場合は、ゆっくりと向きを変え、VMCに戻るか、前方の天候が疑わしい場合は、最初の安全な着陸場所に戻る。予防が最も安全であることを忘れてはならない。
- (2) 前方の地形がはっきり分からなければ、所定の経路をそれ以上進んではならない。
- (3) 既に気象状況が疑わしい場合、予報に基づいて大幅に悪化する可能性がある場合、又は飛行が安全に実施できるかどうか不明な場合は、飛行開始を遅らせるか中止することを検討する。
- (4) 全ての飛行経路において、安全な着陸場所（広く開けた場所や空港など）を常に念頭に置く。

2.11.4 キャブレター・アイス

2.11.4.1 キャブレター・アイスの特徴^{*16}

キャブレターは、気化した燃料をエンジンに送る装置である。キャブレター内は、燃料の気化の影響及びベンチュリー効果^{*17}により、温度が急激に低下する。空気中に水分が多く含まれている場合、キャブレター内の温度が凍結温度より低下すると、図19のようにキャブレターの内面やスロットル・バルブに氷が付着する。着氷が発生しやすいのは、気温21℃未満、相対湿度80%以上のときである。

*13 「計器気象状態（IMC）」とは、有視界気象状態（VMC）ではない気象状態をいう。

*14 U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION Flight Standards Service “Helicopter Flying Handbook” 2019, pp. 11-24

*15 「計器飛行証明」とは、計器飛行、計器航法による飛行及び計器飛行方式を行うために必要な資格をいう。

*16 U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION Flight Standards Service “Rotorcraft Flying Handbook” 2000, pp. 5-7

*17 「ベンチュリー効果」とは、流体の流れの断面積を狭めることによって、流速を増加させ、低速部に比べて圧力が低い部分が作り出される現象のことをいう。

キャブレター・アイスが発生すると、エンジンに供給される空気と燃料の混合気が少なくなるので、出力が低下する。図20のとおり、キャブレター・ヒートをオンにすると、フレッシュエアの吸入口が閉じ、スクープから排気管周囲を通過し加熱されたホットエアがキャブレター内に流れ、着氷を防止する。

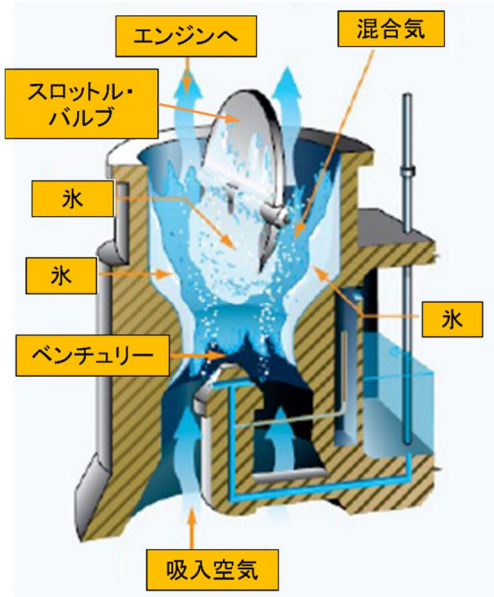


図19 キャブレター・アイス

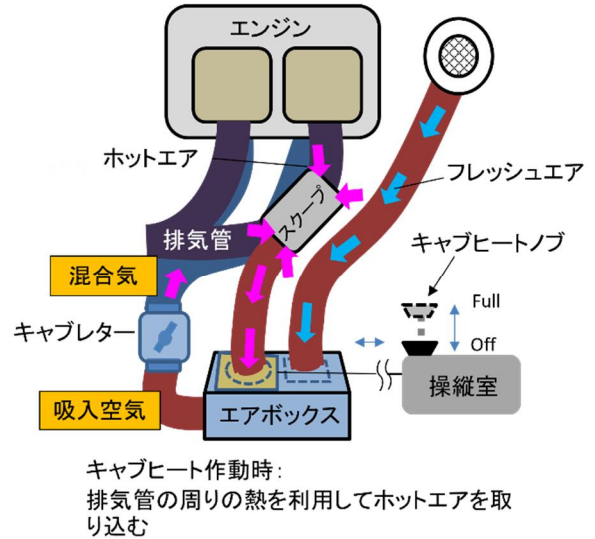


図20 キャブレター・ヒートによる着氷防止

2.11.4.2 キャブレター・アイスに関する飛行規程の記述

キャブレター・アイスの発生を防止するため、同型式機の飛行規程には、キャブ・ヒート・アシストの使用法（4章 通常操作）及び付属するセーフティー・ノーティスSN-25（2012年6月改訂版）に次のように記述されている。

SECTION 4 NORMAL PROCEDURES

USE OF CARBURETOR HEAT ASSIST

A carburetor heat assist device is installed on R22s with O-360 engines. The carb heat assist correlates application of carburetor heat with changes in collective setting to reduce pilot work load. Lowering collective mechanically adds heat and raising collective reduces heat. A friction clutch allows the pilot to override the system and increase or decrease heat as required.

A latch is provided at the control knob to lock carburetor heat off. The knob should be left unlatched unless it is obvious that conditions are not conducive to carburetor ice. Apply carburetor heat as required

if carburetor ice is a possibility. Monitor CAT gage and readjust as necessary following lift to hover or any power change.

通常操作 4-11

0-360発動機を装備したR22は、キャブ・ヒート・アシスト装置を装備している。

キャブ・ヒート・アシストは、キャブ・ヒートの使用量をコレクティブ・セッティングと連動させることで、操縦士の負担を軽減する。コレクティブを下げると機械的にヒート量を増加し、コレクティブを上げるとヒート量を減じる。摩擦クラッチにより、操縦士は必要に応じて装置をオーバーライドし、ヒート量を増減することができる。

コントロール・ノブのラッチによりキャブ・ヒート OFF の位置に固定することができる。キャブレター・アイスの発生がまったく予想されない条件で飛行する場合を除いて、コントロール・ノブをアン・ロックにすること。キャブレター・アイスの可能性がある場合は、必要に応じてキャブレター・ヒートを使用すること。ホバリング移行時や出力設定変更時には、気化器空気温度計を観察して、必要に応じてキャブ・ヒート量を調整すること。

Safety Notice SN-25

CARBURETOR ICE

Avoidable accidents have been attributed to engine stoppage due to carburetor ice. When used properly, the carburetor heat and carb heat assist systems on the R22 and R44 will prevent carburetor ice.

Pressure drops and fuel evaporation inside the carburetor cause significant cooling. Therefore, carburetor ice can occur at OATs as high as 30°C (86° F) Even in generally dry air, local conditions such as a nearby body of water can be conducive to carburetor ice. When in doubt, assume conditions are conducive to carburetor ice and apply carb heat as required.

For the R22 and R44, carburetor heat may be necessary during takeoff. Unlike airplanes which take off at full throttle, helicopters take off using power as required, making them vulnerable to carburetor ice. Also use full carb heat during run-up to preheat the induction system.

On aircraft equipped with the carb heat assist system, the control knob should be left unlatched unless it is obvious that conditions are not conducive to carburetor ice.

Carburetor heat reduces engine power output for a given manifold pressure. Approximately 1.5 in. Hg additional MAP is required to generate maximum continuous power (MCP) or take off power (TOP) with full heat applied. The additional MAP with carb heat does not overstress the engine or helicopter because power limits are still being observed. Since the engine is derated, it will produce TOP at lower altitudes even with full heat. However, avoid using more heat than required at high altitudes as the engine may reach full throttle at less than MCP or TOP.

(仮訳)

キャブレター・アイスによるエンジン停止を原因とする回避可能な事故が発生している。R 2 2 及び R 4 4 のキャブレター・ヒート及びキャブレター・ヒート・アシスト・システムを適切に使用すると、キャブレター・アイスを防ぐことができる。

キャブレター内の圧力降下と燃料の気化により、かなりの冷却が発生する。そのため、外気温 3 0 °C (8 6 ° F) の高温でもキャブレター・アイスが発生する可能性がある。一般的に、乾燥した空気であっても、水面の近くのように局所的な状況によって、キャブレター・アイスが発生する可能性がある。疑わしい場合は、キャブレターに氷が付着しやすい状況であると想定し、必要に応じてキャブレター・ヒートを使用すること。

R 2 2 及び R 4 4 の場合、離陸時にキャブレター・ヒートが必要になる場合がある。フルスロットルで離陸する飛行機とは異なり、ヘリコプターは必要な出力を使用して離陸するため、キャブレター・アイスに弱い。また、始動中にキャブ・ヒートを最大の設定で使用して、吸気システムを予熱する。

キャブ・ヒート・アシスト・システムを装備した航空機では、キャブレターに氷が付着しにくい状況であることが明らかでない限り、コントロール・ノブはラッチを外したままにすべきである。

キャブレター・ヒートは、所定の吸気圧力におけるエンジン出力を減少させる。最大のヒート量を加えて、最大連続出力 (M C P) 又は離陸出力 (T O P) を利用するには、約 1.5 inHg の追加の吸気圧力が必要である。キャブ・ヒー

トによる追加の吸気圧力は、吸気圧力制限を順守していれば、エンジンやヘリコプターに過剰なストレスは与えない。低高度においてフルヒートでTOPとなる。ただし、高高度ではMC P又はTOP未満においても、エンジンがフルスロットルに達する可能性があるため、必要以上にキャブ・ヒートを使用してはならない。

2. 11. 4. 3 同型式機の地面効果外ホバリング高度限界

同機には、ライカミング式O-360-J2A型エンジンが搭載されていた。同型式機の飛行規程に記載されている地面と気流の干渉がない上空において、離陸出力を使用して、ホバリングが可能な高度を確認する場合に使用するグラフによると、無風時の理想的な条件における地面効果外ホバリング高度限界は、図21のとおりである。キャブレター・ヒートをフルに使用した場合は、ホバリング高度限界が最大で図21よりも約2,000ft低下する。

同機の事故発生時の推定される重量(1,288lb)及び上空の推定外気温(12℃)から、理想的なホバリング条件における地面効果外ホバリング高度限界は、約7,500ftであった。

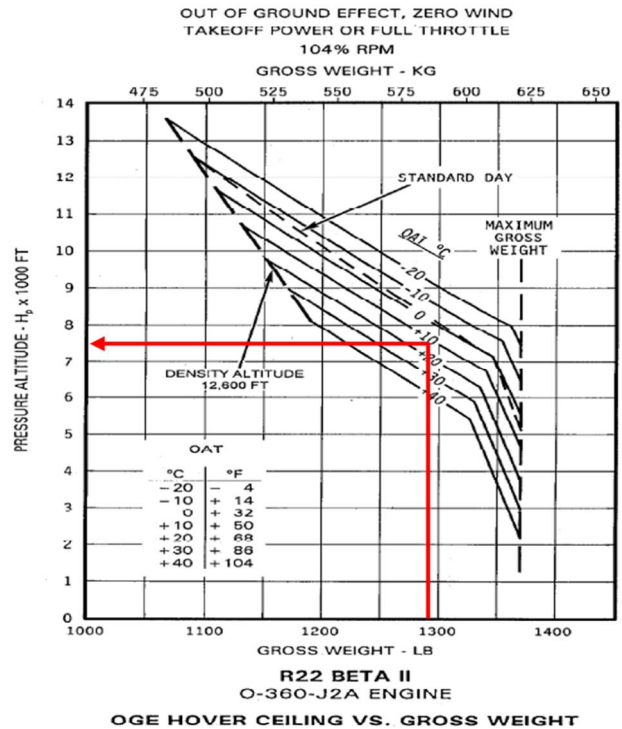


図21 同型式機の地面効果外ホバリング高度限界

2. 11. 5 同型式機のローター・システムの特徴とマスト・バンピング

2. 11. 5. 1 同型式機のローター・システムとスワッシュ・プレートの動き

同型式機のローター形式は、半固定式のつり下げ型であり、メイン・ローター・ハブ周辺の主要な部品の名称は、図11のとおりである。操縦装置及びブレードのフラッピングに対する変化は図22のとおりであり、これら三つの動きが複合的に作用することによって、機体の上昇降下及び姿勢変化が行われる。

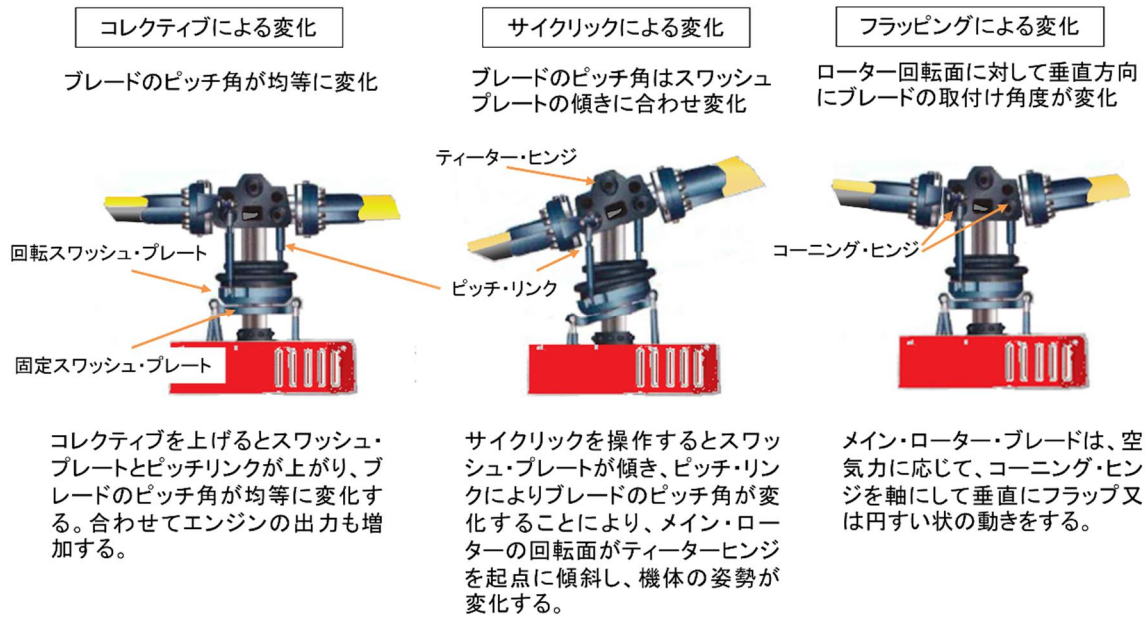


図 2 2 スワッシュ・プレートとメイン・ローター・ブレードの変化

(1) コレクティブの変化

コレクティブを上下させると、三本のプッシュプル・ロッドを介して、スワッシュ・プレートが上下し、回転スワッシュ・プレートに連結するピッチ・リンクが均等に上下することにより、ブレードのピッチ角が均等に变化する。また、合わせてエンジンの出力も变化する。

(2) サイクリックによる変化

サイクリックを操作すると、プッシュプル・ロッドを介して、スワッシュ・プレートが傾斜し、サイクリックの操作方向にメイン・ローターの回転面を傾斜させ、機体姿勢を变化させる。

(3) フラッピングによる変化

二枚のブレードは、コーニング・ヒンジを介して取り付けることにより、メイン・ローター・シャフトからヒンジまでの長さをオフセットさせ、機体追従の操縦性を向上させ、空気力に対抗し、振動の軽減を図っている。メイン・ローター・ブレードは、空気力学的な力に応じて、コーニング・ヒンジを軸にして、垂直にフラップ又は円すい状の動きをする。

2.11.5.2 致命的なマスト・バンピング^{*18*19}の特徴

マスト・バンピングは、つり下げ型又はシーソー型ローター・システムでのみ発生し、多くの場合、操縦士による不適切なサイクリックの操作入力によって開始され、その結果、通常、機体にかかる荷重が0.5 G未満の低G飛行状態（無重力状態）^{*20}になった際、メイン・ローター・スピンドル又はハブがメイン・ローター・シャフトに強く接触する現象をいう。致命的なマスト・バンピングは、飛行中にメイン・ローターのティータリング（シーソーの動き）角度が設計限界（約12°）を超えたときに発生する。メイン・ローターに機体重量が完全に掛かっている場合、メイン・ローター推力のベクトルが傾いたときに重心と作用点のずれによってコントロール・モーメント（回転力）が発生し、機体はメイン・ローターの動きに追従する。低G飛行状態になると、メイン・ローター・シャフトを介して、メイン・ローターに対し機体重量が掛からなくなり、コントロール・モーメント（回転力）を失ってしまうため、機体はメイン・ローターの動きに追従できなくなる。したがって、低G飛行状態又はそれに近い状態で、操縦士がサイクリックやコレクティブの操作量を大きくすると、メイン・ローター面だけが傾き機体の動きが追従しないため、過大なティータリング（シーソーの動き）を助長することになり、マスト・バンピングが発生する。

次のような操作は、致命的なマスト・バンピングを発生させる可能性がある。

- 1 急旋回での急激な横方向のサイクリック操作
- 2 急激にロール角やピッチ角が反転するような突然の操作
- 3 飛行可能範囲（高度・速度、横方向の速度）の超過
- 4 低ローター回転速度
- 5 機械的な故障に続く操縦士の反応（突然のエンジンの故障、テール・ローター・ドライブの喪失など）

2.11.5.3 マスト・バンピングに関する飛行規程の記述

同型式機の飛行規程の第2章限界事項及び第3章非常操作には、低G飛行状態でのマスト・バンピングを防止するため、次のとおり定められている。

第2章 限界事項

曲技飛行は禁止する。

*18 International Civil Aviation Organization Doc9756-AN/965 “Manual of Aircraft Accident and Incident Investigation Part III-Investigation” 2011, Chapter 15. Helicopter Investigation, pp. III-15-23-24

*19 ヘリコプター操縦士教本改訂WG編集、「ヘリコプター操縦教本 Vol.5」（公益法人 日本航空機操縦士協会著、2021、pp.273-274）

*20 「低G飛行状態（無重力状態）」とは、通常の荷重倍数である1.0 G未満のことをいう。

「注 意」

急激な操縦操作はさけること。急激な操縦操作による高い疲労応力は、機体の寿命を短くし、重要なコンポーネントに破滅的な故障を引き起こすことがある。

飛行及び操縦操作限界

低G飛行状態を引き起こすサイクリック・スティックの前方操作を禁止する。

「注 意」

水平飛行や引き起こしに続いてサイクリックの前方操作を行うと低G飛行状態（無重力状態）の原因となり、横方向の操縦性に重大な損失をもたらす可能性がある。低G飛行状態を解消するには直ちにサイクリックをゆっくり後方に操作する。低G飛行状態で機体が右ロールを始めた場合は、サイクリックをゆっくり後方に操作してローターに荷重をかけ、次いでサイクリックを横方向に操作してロールを止める。

第3章 非常操作

LOW RPM 警報音

警報音は初期型では計器コンソール側面のスピーカーから、後期型ではオーディオ・システムから音が出る。警報音は、LOW RPM 警告灯と共に作動し、ローター速度が97%未満になったことを示す。RPMを回復するには直ちにコレクティブを下げ、スロットルを開き、前進飛行中は後方にサイクリックを操作する。コレクティブをフルダウンにすると、警報音とライトはオフになる。

2.1.2 効果的な調査技術

同機には、機内に持ち込まれたGoProによる音声を含む動画に加え、メタデータが記録されていたため、これらの記録と残骸の状況を整合し、飛行中に機体が損壊に至った経緯について詳細な解析が実施できた。

3 分 析

3.1 乗組員の資格等

機長は、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 気象の影響

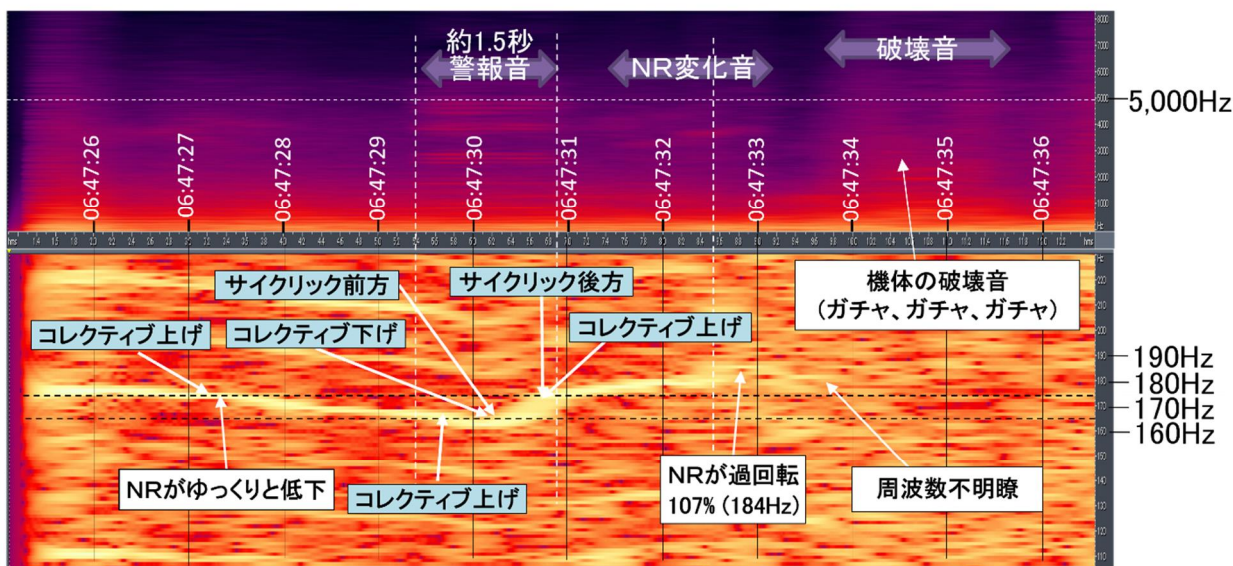
2.6に記述したとおり、事故当日は湿った空気により、雲が発生しやすい状況であったと考えられる。標高205ftの厚木飛行場の07時の航空気象観測値によると、1,000ft、1,500ft、2,000ftで雲が観測され、雲底は層積雲による2,000ftであったことから、雲底の気圧高度は、約2,200ftであったと考えられる。また、GoProの動画によると、雲底に近づくほど視程が悪化し、飛行高度2,000ftから2,500ftの間は、飛行視程が2~5km、飛行高度2,500ft以上では、飛行視程が1.5km未満であった。同機が飛行した空域では、雲底から150m(500ft)下を飛行する必要があることから、飛行高度1,700ft以上においては、VMCが維持できずIMCであったと認められる。

3.4 エンジン出力低下から墜落に至る要因の分析

3.4.1 音響と動画によるローター回転速度(NR)の分析

メイン・ローターが回転する際に発生させる音響周波数及び動画で確認できる操縦装置の動きから、事象の変化を図23のとおり周波数分析した。

※10倍波で解析



102.5%: $523\text{rpm} = 523/60 \times 2 = 17.4\text{Hz}$ ※1 同型式機の常用ローター一回転速度101~104%
 100%: $510\text{rpm} = 510/60 \times 2 = 17\text{Hz}$ 2 LOW RPM警報音(周波数 500Hz)は、97%未満
 97%: $495\text{rpm} = 495/60 \times 2 = 16.5\text{Hz}$ で作動する。

図 2 3 音響によるNRの分析

このグラフは、縦軸を周波数、横軸を時刻として、信号レベルが強いほど、白色のスペクトラム（連続体）により表現されている。

同型式機のNR 5 1 0 rpm（1 0 0 %）では、メイン・ローター・ブレードの枚数に応じて、8.5 Hz（1枚）、17 Hz（2枚）が発生する。常用のNRは、1 0 1～1 0 4 %であるため、エンジン出力が正常な状態値として、中心周波数を1 0 2.5 %（2枚時の17.4 Hz）とした。また、同型式機のLOW RPM 警報音の音響周波数は5 0 0 Hz であるため、上段を警報音及びその他の音響の変化、下段をNRの周波数変化として表現した。なお、音が整数倍で振動する特性を利用し、顕著な変化が確認できる10倍の周波数で比較した。

LOW RPM 警報音は、0 6時4 7分2 9秒にNRが9 7 %未満に低下した際に発報し、約1.5秒間鳴っていた。0 6時4 7分3 0秒に、機長がサイクリックを前方に操作しながら、コレクティブを下げたことにより、その0.5秒後にNRは1 0 2.5 %以上となったが、増加を続け1 0 7 %以上の過回転となった。また、機長がNRの増加中の0 6時4 7分3 1秒にコレクティブを上げながら、サイクリックを後方に操作をした後、0 6時4 7分3 3秒にNRの周波数が不明瞭となり、0 6時4 7分3 4秒には機体の破壊音の音響が記録されていた。

3.4.2 エンジン出力不足によるNRの低下

- (1) 図23のとおり、LOW RPM 警報音が発生した約2秒前から、コレクティブが上げられ、NRが1 0 2.5 %未満にゆっくりと低下していることから、エンジン出力が維持できなくなり、LOW RPM 状態に陥ったものと考えられる。
- (2) 通常、RPMガバナー^{*21}は1 0 2～1 0 4 %NRの調整値を維持するようにエンジン出力を自動的に調整する。2.11.4 に記述したとおり、キャブレター・アイスが発生した場合、RPMガバナーは、発生の初期状態において氷の蓄積によるNRの低下を補うようにスロットルを自動的に開くため、操縦士はキャブレター・アイスの典型的な症状について気が付くことができない。キャブレター・アイスが更に悪化すると、スロットルが完全に開き、RPMガバナー又は操縦士によってエンジン出力を増加させることができなくなり、コレクティブの位置を下げなければ、NRが低下する。

2.8.2 に記述したとおり、キャブレター・ヒートのコントロール・レバーは、アン・ロックされていたが、飛行中に調整されていなかった。キャブレター・アイスは、痕跡が残りにくいエンジン故障であるが、LOW RPMが作動した時点の

*21 「RPMガバナー」とは、エンジン回転数の変化を感知し、摩擦クラッチを介してスロットルを修正して回転数を維持する装置をいう。

環境及び機器の操作状況は次のとおりであった。

① LOW RPM が作動した時点の環境

- ・ 同機の LOW RPM が作動した 06 時 47 分 29 秒ごろは、飛行高度が約 3,400 ft の雲中であり、2.6 (3) に記述した地上気温（秦野市消防本部の観測値）から推定される上空の外気温度は約 12℃、湿度は、雲中のため 100% であったと考えられる。
- ・ キャブレーター・アイスの発生条件は、21℃未満で、湿度 80% 以上であり、同機の周囲の環境は、この範囲内であったと推定される。
- ・ 2.11.4.3 に記述したとおり、地面効果外のホバリング可能高度は、7,500 ft であり、無風時の理想的な条件であれば上昇が可能な状態であった。

② LOW RPM が作動した時点の機器の操作状況

- ・ 06 時 47 分 27 秒にコレクティブが上げられ、約 2,300 ft/min の上昇中で、NR がゆっくりと低下していた。
- ・ キャブレーター・ヒート・コントロール・レバーがアン・ロックされていたことから、コレクティブ・セッティングに連動し、キャブレーター内には、ある程度ホットエアが流れていた。

同機は、キャブレーター・アイスが発生してエンジン出力が低下したこと、又は、コレクティブを上げたことによる急な上昇に対してエンジン出力が不足したこと、あるいは、これらが同時に発生して、メイン・ローターを回転させるのに必要なエンジン出力が不足し、NR が低下したものと考えられる。

キャブレーター・ヒートについては、2.11.4 に記述したとおり、湿度が高く疑わしいときは、キャブレーターに氷が付着しやすい状況であると想定し、キャブレーター・ヒートを使用する必要がある。また、エンジンの離陸準備中にキャブレーター・ヒートの予熱を行うとともに、飛行中に図 5 A の写真のように、操縦席の窓に水滴を確認したならば、キャブレーター・ヒートの使用を再確認することが重要である。

3.4.3 急激な操縦操作による致命的なマスト・バンピングの発生

3.4.3.1 メイン・ローター系統の破壊

残骸の状況及び GoPro の動画によると、メイン・ローター系統の破壊は次のとおり発生したと推定される。

2.3.2 及び 2.9.2 に記述したとおり、二枚のメイン・ローター・ブレードは、下面側へ折損し、特に No. 1 ブレードのスピンドル・タスクの先端部は、ドループ・ストップとの接触面となる部分で、ブレードが下面側に回転する方向へ圧縮変

形して削り取られていた。また、ロータリー・スワッシュ・プレートは、No. 1 ブレードの張り出し部分となる付け根部から破壊され、No. 1 ピッチ・リンクは、スワッシュ・プレート側の接続部で破断し、No. 2 ピッチ・リンクは、ブレード・ピッチ・ホーン側で破断していた。さらに、メイン・ローター・シャフトはスワッシュ・プレート付近から約20° 変形していたことから、過大な荷重が加わっていたと考えられる。

GoPro には、図24のとおり、06時47分31秒から06時47分34秒までの間に、同機が左にロールを継続中に、メイン・ローター・ブレードが折損し、致命的なマスト・バンピングに至った動画が記録されていた。06時47分34秒の画像には、二枚のブレードが平行状態になっており、また、それぞれの部品の変形方向及び破損状況から、2.11.5 で記述したとおり、メイン・ローターのティータリング（シーソーの動き）角度が設計限界を超え、No. 1 ブレードのスピンドル・タスクがドループ・ストップに強く接触しながら、ピッチ・リンク及びスワッシュ・プレートに過大な荷重が加わり、メイン・ローター系統が破壊される致命的なマスト・バンピングが発生したものと推定される。

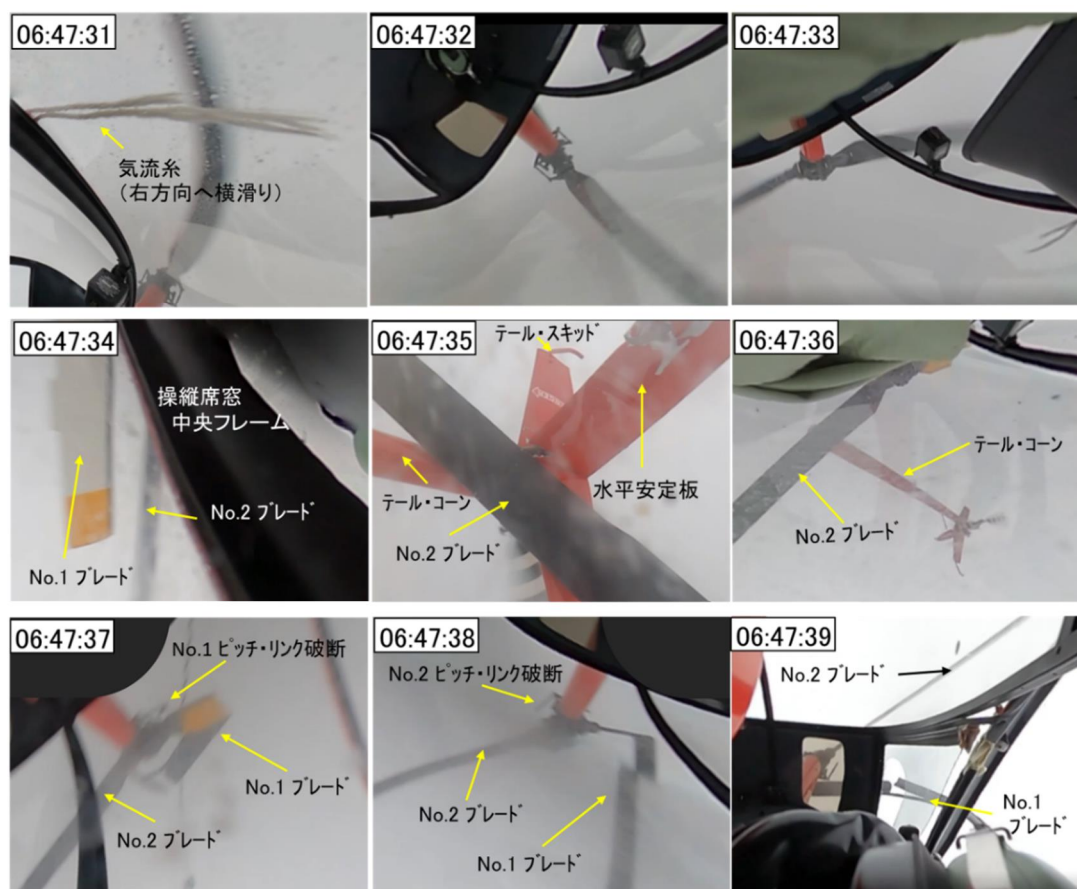


図24 同機が致命的なマスト・バンピングに至る様子 (GoPro の動画より作成)

3.4.3.2 致命的なマスト・バンピングに至った理由

付図3図1は、GoPro に記録されていたメタデータをグラフ化し、動画で確認した機長の操作の特徴及び音響分析による特異な点を合成したものである。

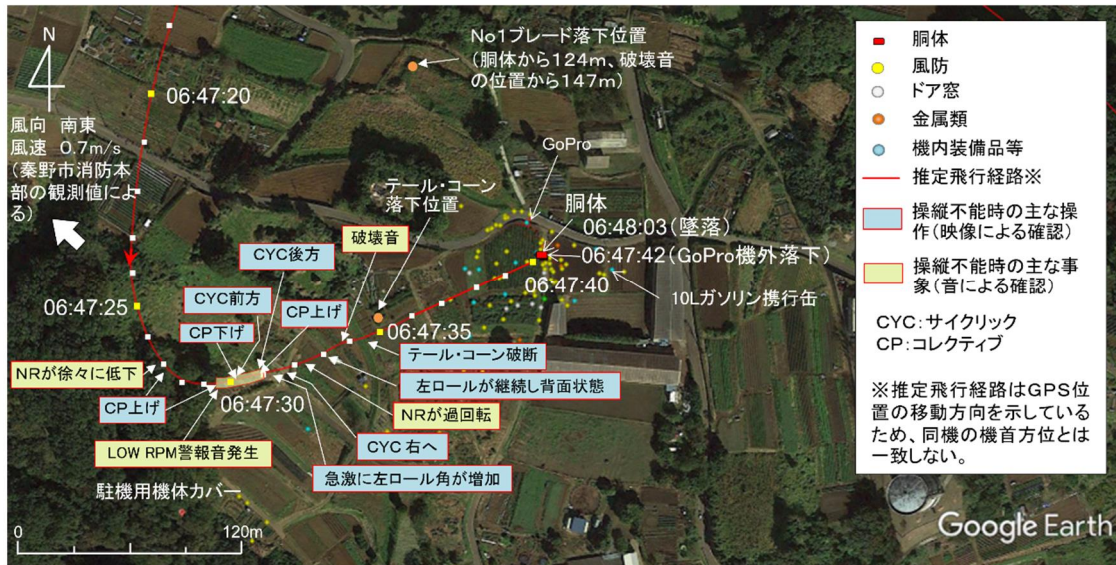


図 2 5 墜落直前の同機の推定飛行経路及び残骸位置との比較

また、図 2 5 は同機の推定飛行経路、2.9.1 に記述した残骸位置及び動画により確認した事象を重畳させた図である。

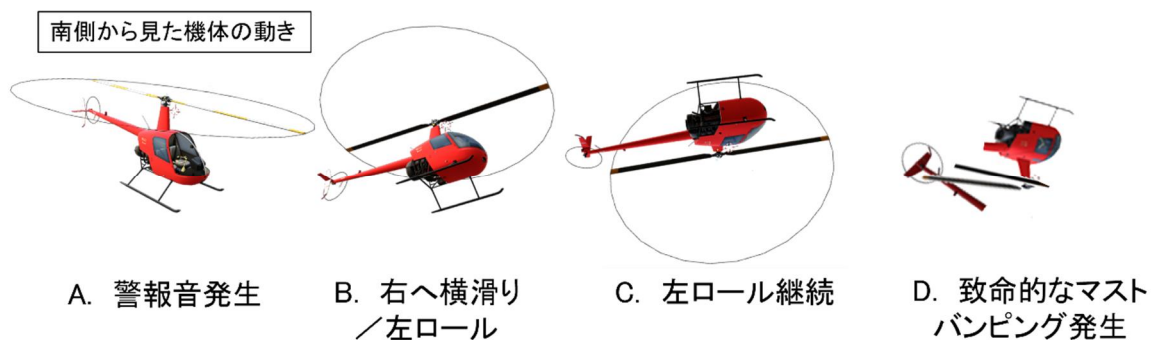


図 2 6 同機の LOW RPM 警報音発生後から空中分解までの状態

図 2 6 は、動画及びメタデータに基づき、同機の LOW RPM 警報音発生後から空中分解までの状態をイメージ化したものであり、致命的なマスト・バンピングに至る経過を 4 段階で表現した。

A. 同機は、約 2,300 ft/min で左上昇旋回中、約 3,400 ft 付近で、エ

エンジン出力が不足して、NRが97%未満となり、06時47分29秒にLOW RPM警報音が発生した。この時に不安定な低G飛行状態となり、瞬時右ロール運動が発生した。機長は、LOW RPM警報音を聴取し、コレクティブを僅かに上げ、警報音発報の約0.5秒後に、図27左のとおり、急激にコレクティブを下げ、サイクリックを前方に操作した。この操作によって、NRは回復したが、低G飛行状態は悪化して、重力加速度は、約0G状態となった。機長は、重力加速度の変化に驚くようにして、図27右のとおり、06時47分30.8秒に急激にコレクティブを上げて、サイクリックを後方へ同時に操作した。

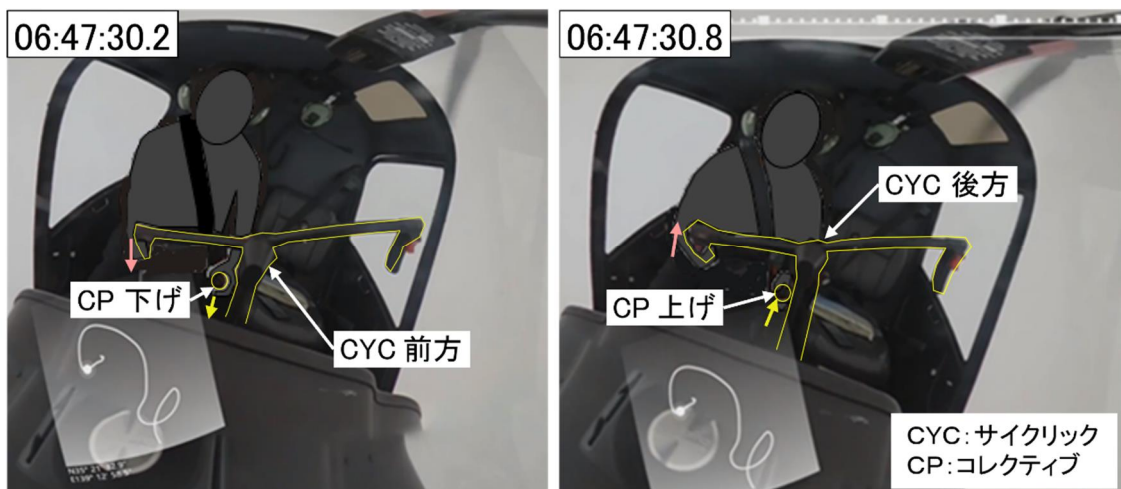


図27 コレクティブ及びサイクリックの急激な操作 (GoProの動画より作成)

B. 急激にコレクティブが上げられ、併せてサイクリックが後方へ同時に操作された後、同機は、左ロールを開始し、図24の06時47分31秒の画像のとおり、気流糸^{*22}が真横に流れるような右への横滑り状態となった。また、左ロール中にコレクティブが再操作されたことにより、約0.5Gの低G飛行状態が続き、約70°の方向へ飛行する状態になった。機長は、左ロール中にサイクリックを右方向へ操作したが、左ロール運動を止められなかった。これは、機体に加わる推力と抗力の関係から、機体の横滑りによって側面から受ける有害抗力^{*23}、コレクティブを急激に上げたことによるメイン・ローター推力の増加及びテール・ローター推力の合成力により左ロールが継続されたものと考えられる。

*22 「気流糸」とは、気流の流れを確認するための糸をいい、同型式機の場合は、前方窓の外に取り付けられ気流糸の向きで機体の横滑り状態を確認することができる。

*23 「有害抗力」とは、航空機の動きを遅くするために働く全ての力で構成され、揚力の生成に関連しない抗力をいう。

- C. 同機は、左ロールを継続して、06時47分33秒にはNRが107%まで増加した後、NRの音響周波数が不明となった。
- D. 同機は、左ロール運動が継続されて、No.1ブレードのスピンドル・タスクがドループ・ストップに接触しながら、スワッシュ・プレートが傾斜した状態が続き、06時47分33.6秒にスワッシュ・プレート付近の操縦系統が破損し、No.1ピッチ・リンクのスワッシュ・プレートの接続側がせん断され、No.1ブレードが下方側にひねられるように折損し、致命的なマスト・バンピングが発生したと考えられる。以後、メイン・ローター・ブレードが折損したことにより、操縦不能な状態となった。さらに、折損したメイン・ローター・ブレードが胴体に接触して、テール・コーンが破断し、墜落したと推定される。

これらが短時間に発生した状況から、同機は、雲中を上昇中に、NRが97%未満となり、機長がLOW RPMの警報音を聴いた際、急激な操縦装置の操作を行ったため、不安定な低G飛行状態が継続して、致命的なマスト・バンピングが発生し、操縦不能に陥り、墜落に至ったと推定される。

2.11.5.3 に記述したとおり、急激な操縦操作は、重要なコンポーネントにマスト・バンピングによる致命的な故障を引き起こすことがあるため、急激な回避操作を行う必要がないような飛行環境を維持して飛行することが重要である。

3.5 同機の飛行に関する機長の判断

同機の離陸から墜落までの状況から、機長の判断及びスキルが関与した要因は次のとおりと考えられる。

3.5.1 計器気象状態（IMC）の継続

2.1 に記述したとおり、同機は、赤田場外を離陸して、上昇後、高度約2,000ft で水平飛行とし、東に向け飛行していた。機長は、06時40分28秒に厚木タワーに位置通報を行った後、一時的に上昇したことにより視程が低下したため、天候不良と判断して、右旋回を開始し赤田場外へ向かう飛行針路にしたと推定される（図2）。右旋回終了後は、対地速度100kt 付近まで増速し赤田場外の方向へ飛行したが、高度を維持せず上昇を続けたため、06時42分00秒ごろから操縦不能に至るまでの間、雲中飛行となり、IMCを継続していたものと認められる（図5C）。

2.4 に記述したとおり、機長は、約89時間の総飛行時間のうち、自家用操縦士資格を取得する訓練として、フードを使用し、2時間10分の計器飛行訓練を

行っていたが、計器飛行証明を取得するための訓練は実施していなかった。

2.11.2.1 に記述したとおり、同型式機は、自動飛行装置が装備されておらず、かつ計器飛行が承認されていない機体であるため、機長がIMCで飛行を行うことは困難であったと推定される。

同機は、赤田場外から離陸後、VMCが維持できない高度約2,000ftまで上昇し、東に向け水平飛行となった。機長が飛行高度を2,000ftとしたのは、2.11.1(3)に記述したとおり、技能証明取得までに訓練した高度が2,000～3,000ftであったことから、これを通常の運航時にも選択して飛行していた可能性が考えられる。3.3で述べたとおり、層積雲の雲底は約2,200ftであり、図5の静止画のとおり、雲に近づくと、視程が徐々に悪化することから、高度2,000ftを選択した場合は、雲との高度差が200ftとなり、水平飛行を開始したときから、視程が悪化した状態で飛行していたと考えられる。

高度を維持せず上昇したことについては、機長の視線を動画で確認したところ、図6のとおり、飛行視程が悪化し水平線が視認できない状態になってから、視線の動きが計器板付近を見ていた。速度及び飛行針路は、おおむね維持されていたことから、姿勢指示器、対気速度計及び定針儀は、クロス・チェックされていたと考えられる。他方、高度が修正された箇所、機長の視線及びコレクティブの下げ操作を比較して確認したところ、コレクティブの下げ操作により、高度が修正された箇所が数箇所見られたものの、十分な修正が行われていなかったことから、姿勢指示器の左側に配列されている高度計及び昇降計の変化情報が適切に把握されていなかったと考えられる。

2.11.3 に記述したとおり、意図しないIMCでの飛行を回避するためには、目視できる手掛かりへの視認性が悪化し、前方の天候が疑わしいと感じたら、ゆっくりと旋回してVMCを維持して元の安全な場所に着陸することが重要である。また、計器飛行証明を取得するための計器飛行訓練を行っていない操縦士は、計器だけに依存した飛行が適切にできないことを念頭に置き、基本計器に適切に注意を配分してVMCを維持して飛行することが大切である。

3.5.2 北北西方向への飛行とレーダー誘導の要求

2.1及び2.8に記述したとおり、機長は、180°反転終了後、赤田場外に向かっていたが、06時44分10秒ごろに減速した後、06時44分41秒に右旋回を開始し、北北西方向へ飛行した。06時44分35秒までの約4分間、飛行高度は、上昇を継続していたが、針路はおおむね維持していたことから、定針儀を見て意図的に北北西方向に飛行していたと考えられる。赤田場外は、東名高速道路沿いに位置し、離着陸時の地上目標として、東名高速道路が通常では参考にされてい

る。2.11.1(1)に記述したとおり、知人Aの口述によると、機長は、事故の前々日の着陸時には大井松田インターチェンジを参考にしていたことから、視程が悪化した状態で東名高速道路上を飛行して、赤田場外を見付けられるように、北北西方向に飛行した可能性が考えられる。

06時45分36秒から06時47分10秒まで、レーダー誘導を要求するため、厚木タワーと通信を行った区間は、2.1、2.7.2及び2.8に記述したとおり、針路、高度及び速度の変化が大きいことから、通信を行いながら、雲の中での姿勢を維持するのは困難な状態であったものと考えられる。

同機がレーダー誘導を受け飛行するには、雲中で基本的な計器による飛行を行いながら、精密に姿勢を保持し、新たな通信周波数を設定し、安全に誘導を受けることが可能な高度まで上昇する必要があった。機長の不安定な姿勢の保持状態では、通信を行いながらのレーダー誘導による飛行は極めて困難であったと考えられる。

3.5.3 技量に応じた飛行判断

機長は、06時34分に赤田場外を離陸し、上昇後、高度約2,000ftで水平飛行とした。その後、おおむね2,000ft付近を維持して、厚木タワーへの位置通報時に、高度を2,000ftと通報していることから、高度2,000ftは、機長が意図した巡航高度であったと考えられる。3.3で述べたとおり、同機が飛行した空域では、VMCを維持して飛行するためには、1,700ft未満の高度を維持する必要があったと考えられる。このことから、出発前に厚木飛行場の航空気象を確認して、VMCが維持できる巡航高度を検討せず出発判断をした可能性が考えられる。

安全飛行のためにはVMCを維持することが重要であり、このためにはまず、出発前に飛行経路の実況を確認し、それに基づいて安全に飛行できる巡航高度を考慮した上で、自己の技量に応じた出発の可否を検討する必要がある。また、飛行中においても、気象状態を常に確認して、飛行判断を行うことが重要である。

4 結 論

4.1 分析の要約

- (1) 同機が飛行した飛行高度1,700ft以上においては、VMCが維持できずIMCであったと認められる(3.3)。
- (2) 同機は、キャブレッター・アイスが発生してエンジン出力が低下したこと、又は、コレクティブ・セッティングを上げたことによる急な上昇に対してエンジン出

力が不足したこと、あるいは、これらが同時に発生して、メイン・ローターを回転させるのに必要なエンジン出力が不足し、NRが低下したものと考えられる(3.4.2)。

- (3) 同機は、動画及びそれぞれの部品の変形方向及び破損状況から、メイン・ローターのティータリング（シーソーの動き）角度が設計限界を超え、スピンドル・タスクがドループ・ストップに強く接触しながら、ピッチ・リンク及びスワッシュ・プレートに過大な荷重が加わり、メイン・ローター系統が破壊される致命的なマスト・バンピングが発生したものと推定される(3.4.3.1)。
- (4) 同機は、雲中を上昇中に、機長がLOW RPM 警報音を聴取した際、急激な操縦装置の操作を行ったことにより、不安定な低G飛行状態が継続して、致命的なマスト・バンピングが発生し、操縦不能に陥ったため、墜落に至ったと推定される(3.4.3.2)。
- (5) 機長は、天候不良と判断し、180°反転するようにして、赤田場外に向かったが、赤田場外から離陸後、安全に飛行できた高度を維持せず上昇したため、IMCで飛行していたと認められる。また、高度を維持せず上昇したことについては、高度の修正操作が十分に行われていないことから、動画で機長の視線を確認したところ、高度計及び昇降計の変化情報が適切に把握されていなかったと考えられる(3.5.1)。
- (6) 機長は、雲中飛行となったことから、レーダー誘導を要求したが、レーダー誘導を受け飛行するには、雲中飛行を継続しながら、新たな通信周波数を設定し、精密に姿勢を保持して、安全に誘導が可能な高度まで上昇する必要があった。同機の不安定な姿勢の保持状態では、通信を行いながらのレーダー誘導による飛行は極めて困難であったと考えられる(3.5.2)。
- (7) 出発前に厚木飛行場の航空気象の確認、及びVMCを維持できる巡行高度を検討せず出発判断をした可能性が考えられる(3.5.3)。

4.2 原因

本事故は、同機が有視界気象状態を維持できない高度で雲中を上昇中に、ローター回転速度が低下し、機長がLOW RPM 警報音を聴いた際、急激な操縦装置の操作を行ったため、不安定な低G飛行状態が継続して、致命的なマスト・バンピングが発生し、操縦不能に陥って、墜落したものと推定される。

ローター回転速度が低下したのは、雲中でキャブレター・ヒートを適切に使用せず、上昇を継続し、エンジン出力が不足したことによるものと考えられる。

また、雲中飛行が継続されたのは、飛行前にVMCを維持できる巡航高度が考慮されないまま出発し、かつ、飛行中に高度情報の適切な把握による修正が行われなかつ

たためと考えられる。

5 再発防止策

5.1 必要と考えられる再発防止策

(1) 有視界気象状態（VMC）の維持

意図しないIMCでの飛行を回避するためには、出発前に最寄りの飛行場などの航空気象を確認し、それに基づいてVMCを維持できる巡航高度を考慮した上で、自己の技量に応じた出発の可否を検討する必要がある。また、飛行中においても、気象状態を常に確認して、飛行判断を行うことが重要である。

(2) キャブレター・ヒートの適切な使用

湿度が高く疑わしいときは、キャブレターに氷が付着しやすい状況であると想定し、キャブレター・ヒートを適切に使用すべきである。また、エンジンを始動した際にキャブレター・ヒートの予熱を行うとともに、水滴を確認したならば、キャブレター・ヒートの使用を再確認することが重要である。

(3) マスト・バンピングの防止

急激な操縦操作は、重要なコンポーネントが損傷する致命的なマスト・バンピングを引き起こすことがあるため、急激な操作により低G飛行状態とならないような飛行環境を維持して飛行することが重要である。

(4) 簡易型飛行記録装置（FDM）^{*24} 搭載

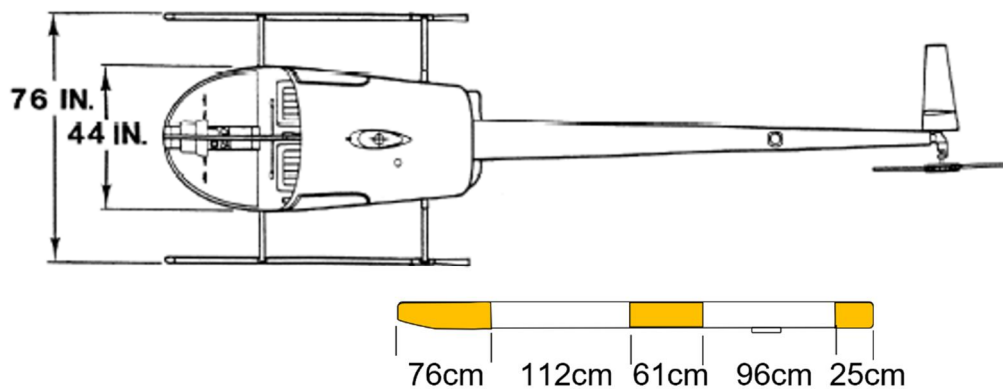
本事故では、同機の操縦席に搭載されていた簡易型飛行記録装置（FDM）に該当するGoProの動画及びメタデータにより詳細な解析が実施できた。フライトレコーダーの搭載が困難な機体においては、簡易型飛行記録装置（FDM）の搭載により、操縦装置の操作タイミング、操縦士の視線の動き、飛行経路及び加速度等について、詳細な解析が実施できる可能性があり、事故の再発防止だけでなく、操縦訓練における事後分析及び運航記録としても活用することができることから、フライトレコーダー未搭載の航空機へ簡易型飛行記録装置（FDM）の搭載が望まれる。なお、FDMの有効性については、運輸安全委員会ダイジェスト第42号「小型飛行機等の事故防止に向けて ～簡易型飛行記録装置（FDM）をご存じですか～」

https://jtsb.mlit.go.jp/bunseki-kankoubutu/jtsbdigests/jtsbdigests_No42.html

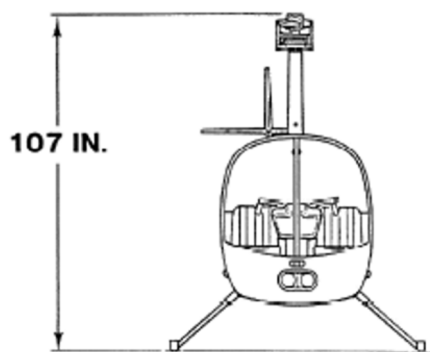
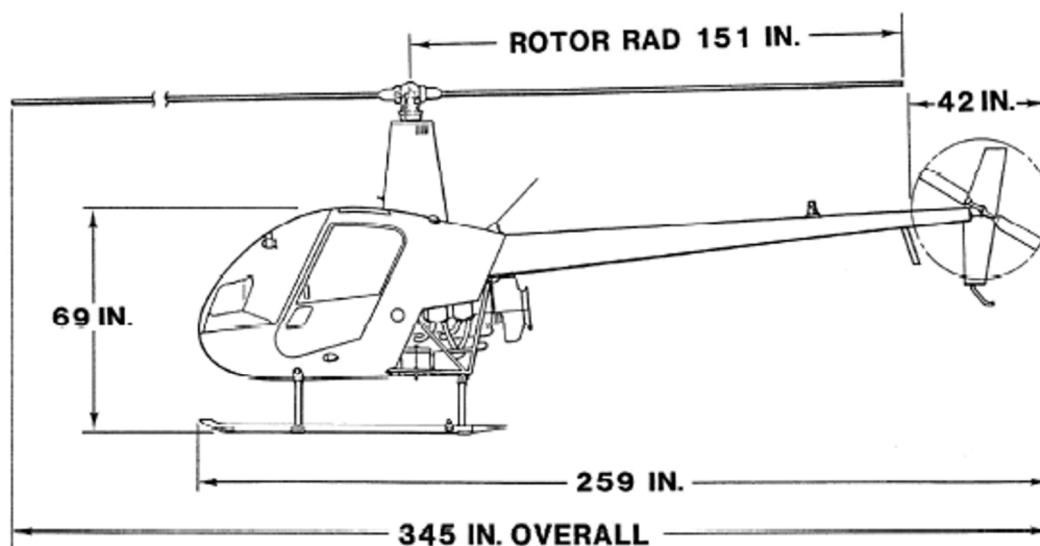
を参照されたい。

*24 「簡易型飛行記録装置（FDM）」とは、フライト・データ・モニタリング(Flight Data Monitoring)の目的で飛行中の航空機の位置、高度等の情報や操縦室内の音声、映像等を記録できる簡易型の飛行記録装置をいう。

付図1 ロビンソン式R22Beta型三面図及び
メイン・ローター・ブレードの上面塗装色の範囲



メイン・ローター・ブレードの上面塗装色の範囲



R22
EXTERNAL DIMENSIONS

付図 2 分析に利用した記録の概要

調査に活用した機器： GoPro MAX HERO 型アクションカメラ

使用アプリケーション： Telemetry Extractor

表 1 分析項目

記 録		分析内容
項 目	サンプリング・レート	
G P S	20 Hz	<ul style="list-style-type: none"> 位置 移動速度（二次元及び三次元） 高度
角速度	200 Hz	<ul style="list-style-type: none"> ピッチ ロール ヨー
加速度	200 Hz	<ul style="list-style-type: none"> 前後 横 垂直
音響	可聴音 (6 Ch)	<ul style="list-style-type: none"> 操縦士の音声と管制機関との通信を合わせることにより、通信状態を把握した。 LOW RPM 警報音 機体の破壊音
	周波数	<ul style="list-style-type: none"> メイン・ローターの回転速度 LOW RPM 警報音 機体の破壊音
動画	60 Hz 3K 画角 360°	<ul style="list-style-type: none"> 気象状態の変化 操縦装置の動き 気流糸の状態（横滑り） メイン・ローター・ブレードの回転状態 ブレード及び機体の破壊状況 操縦士の視線の動き

それぞれの記録を時刻整合して比較することにより、致命的なマスト・バンピングの発生を分析した。360° 動画は、全体表示ではゆがみが大きいため、フレームごとに拡大して特徴点を確認する必要があった。さらに、メタデータは、繊細かつサンプリング・レートが高いため、アプリケーション・ソフトに付属するスムージング・フィルター値を20%として使用することにより、データの過剰な振幅を排除し、特徴点を比較した。ただし、メタデータについては、GoPro の設置角度が機体軸とずれていたため、動画により補正して確認する必要はあったが、動的な変化傾向を把握することは可能であった。

付図3 GoProのメタデータによる分析

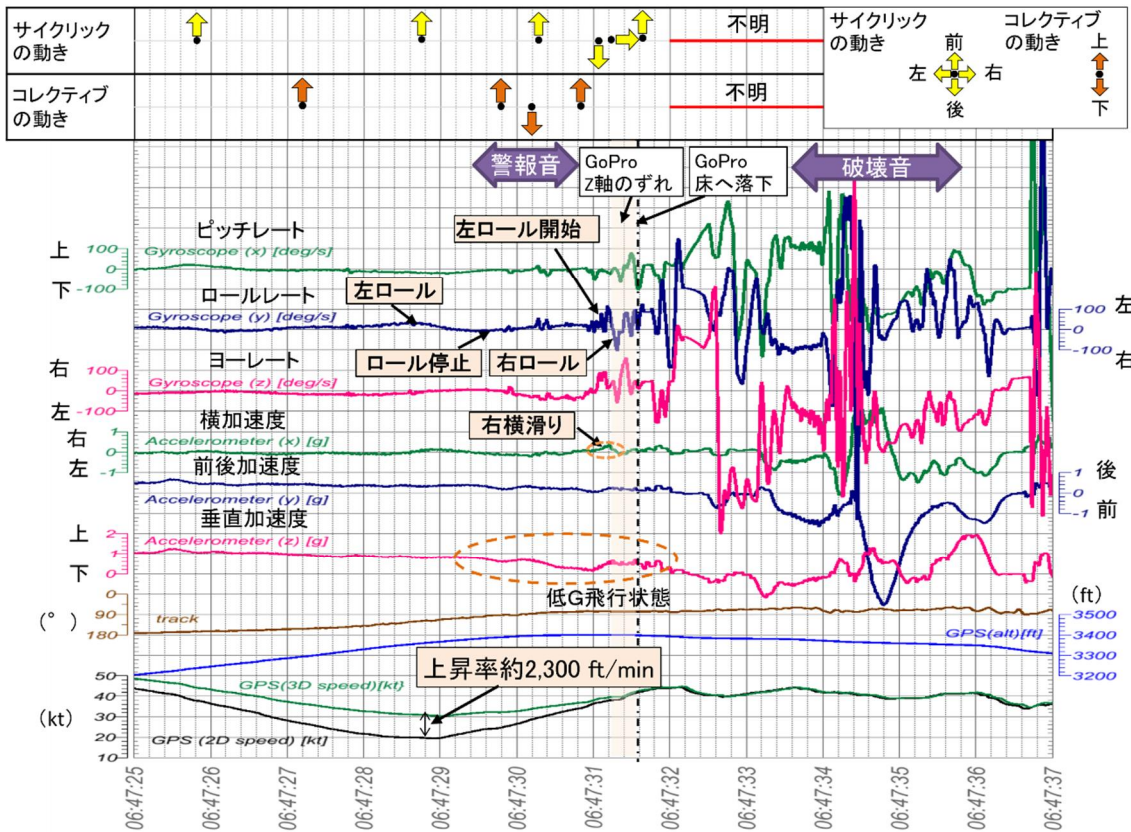


図1 GoProによるメタデータの分析

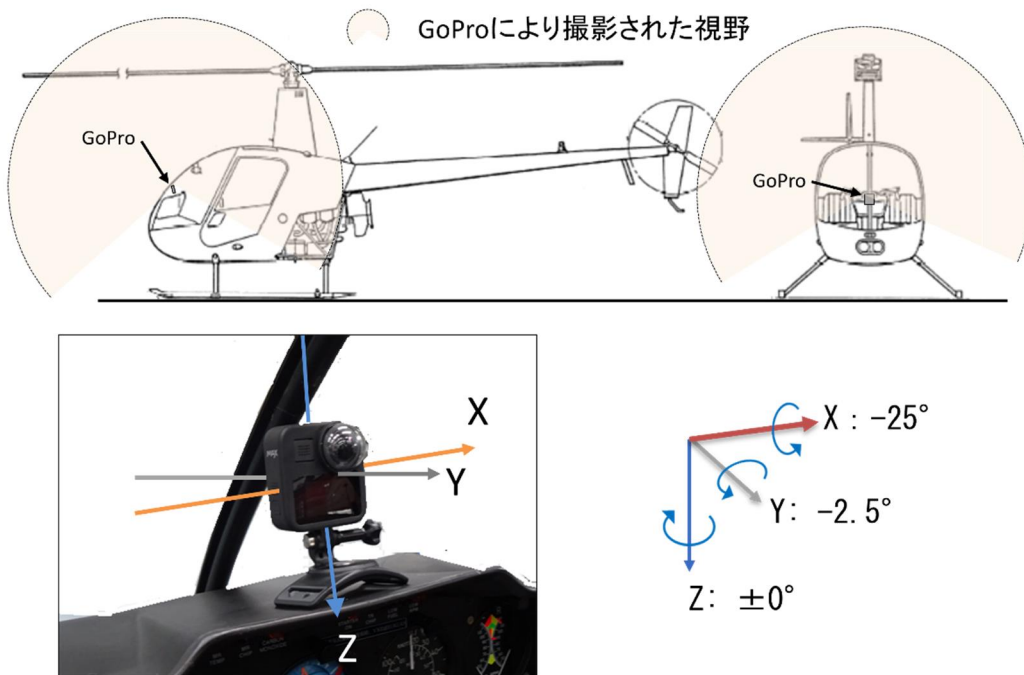


図2 GoProの設置位置(推定)と撮影された視野