

24. 8. 28
防 衛 省

モロッコにおけるMV-22墜落事故に関する分析評価報告書

本年8月15日（米国時間）、日本側に提供された米海兵隊の法務官による調査（JAGMAN調査）の事故調査報告書（以下、「米側報告書」という。）では、機体の機械的な不具合は事故要因とされておらず、環境条件や副操縦士の行った決定・行動など一連の事象が複合的に影響したことが事故の原因と結論づけている。以下に、防衛省の分析評価チームが実施した日本側分析評価を示す。

1. 手法及び項目

本件事故調査結果の分析評価にあたっては、分析評価チーム員等が訪米し、米側報告書に関する説明受けや、シミュレータ視察及び実機搭乗等を実施し、分析評価に必要となる情報収集を行った。

事故要因の分析評価においては、米側報告書の内容について、日本で実施している事故の分析評価の手続きに準じ、環境上の要因、人的要因、機体の要因、管理上の要因及び飛行支援上の要因に関して検討を行った。

期 間	場所等	実施事項
24. 7. 25	防衛省	第1回分析評価会議
24. 8. 13～16	米 国	米側報告書に関連する調査 ・ 米国防省からのブリーフィング ・ 事故に関する質疑 ・ シミュレータ視察等 米側から収集した情報を基にした訪米分析評価チーム内における議論
24. 8. 24	防衛省	第2回分析評価会議

2. 分析評価

（1）環境上の要因

ア 飛行視程

米側報告書では、事故当時、天候は曇りであったものの視程は6マイル（約9.6km）（米側報告書 認定事実80）であり、米側報告書では事故要因と特定されていない。日本の航空法の規定においても、有視界飛行方式（VFR）による航空機の運航に際しての飛行視程は飛行高度3000m以上に

あつては8000m、3000m未満で管制区又は管制圏内にあつては5000m、3000m未満で管制区又は管制圏以外及び300m未満にあつては1500m以上と定められていることから、事故機がVFRで飛行する際に必要な視程は十分に確保されていたと判断され、飛行視程を事故要因として特定していない米側判断は妥当と考えられる。

イ 雲

米側報告書では、機長により記録された離陸時の天候は、海上に雲が層状に散在し、内陸部は曇りであつたが、雲は飛行に悪影響を与えるには高すぎる位置にあつた（米側報告書 認定事実65）として、事故要因として特定されていない。

日本の航空法及び自衛隊における規則等では、管制区又は管制圏以外におけるVMC（有視界気象状態）は、3,000m未満の高度で飛行する航空機の場合、航空機から上方150m、下方300m、水平方向600mに雲の無い気象状態と定められている。事故当時に海岸線より15マイル（27.8km）の距離に位置していた強襲揚陸艦「イオージマ」で観測された雲のデータ（米側報告書 認定事実80）を、上記の航空法等の規定に照らすと、VFR（有視界飛行方式）での航空機の運航に支障はないと判断できる。

したがって、事故当時に一定の雲が観測されていたものの、事故の発生した航空機の高度（100ft（30m）以下）においては、雲を事故要因として特定していない米側判断は妥当と考えられる。

ウ 相対風

米側報告書では、副操縦士が180度のホバリング旋回を行った際、事故機が追い風15～27ktの中で運用される状況を生じたと分析されており、飛行中に計測された15～27ktの風は、本事故の重要な要因であつた（米側報告書 意見9）とされている。

相対風はその方位によって機体の制御に大きな影響を及ぼすため、自衛隊の運用する各回転翼機でも、それぞれの飛行マニュアルにおいて明確な運用制限等の規定が置かれており、例えば、横風については、陸上自衛隊の運用するUH-1Jは、横風20～30ktの領域は十分なテイル・ローターの操舵余裕を確保できない区域であるとされている。また、追い風については、17～45kt以上の領域での運用の禁止が自衛隊の運用する各回転翼機について規定されているなど、相対風に対しては、機種毎に異なる特性をもっているものであり、MV-22も、15～27ktの追い風は回避されるべき（禁止ではない）相対風領域であるという規定が、NATOPS飛行マニュアルに記載されている。事故機は、事故時に、この回避されるべき領域において追い風を受けており、これが事故の重要な要因であつたとする米側の判断は妥当と認められる。

エ ノース着陸帯付近の状況

ノース着陸帯は小石が敷き詰められ、平らにならした408×492ft（124m×150m）の長方形の平地（米側報告書 認定事実71）であり、機長は、ノース着陸帯に最初に向かっている際に、着陸帯付近の多くの人やテント、車両に気付き、1時の方向の水陸両用車両及び10時方向のテントや人々に留意した結果、最良の行動は、来た際と同じ方向で着陸帯を離れることであると判断した。（米側報告書 認定事実75）

米側報告書では、特に、事故要因と特定されていないものの、進入した時の到来方向と同じ方向（磁方位150度）で着陸帯を離れることは、機体を回避すべき相対風領域内に位置させる（相対方位180度）こととなる。

このことから、ノース着陸帯付近に多くの人員、テント、車両が存在する状況は、機長の離陸針路を選定する判断に影響を与え、さらに、副操縦士の離陸針路を選定する判断にも影響を与えたものと考えられ、事故の潜在的な要因となった可能性があると考えられる。

（2）人的要因

ア 事故機搭乗員の搭乗資格等

副操縦士は海軍操縦士として認定され、MV-22について160.1飛行時間を経験し、全ての運用上の必要条件を満たしていたと判断されている（米側報告書 認定事実21～25及び意見4）。

しかしながら、例えば自衛隊の回転翼航空部隊において副操縦士は、平均約400～600飛行時間の経験を持っている。これを踏まえ、160.1時間という飛行経験から判断すると、副操縦士は経験の浅い操縦士であると推察でき、それにも関わらずリスクを伴う操作を行ったことが事故要因の一つである可能性があると考えられる。

イ 機長の運航判断及び処置

（ア）ノース着陸帯への進入

機長は、第1回目のプラージュ・ブランシュ飛行場への着陸時、飛行場に設置された吹き流しを観測しており、330度で風に向かうよう針路を調整した（米側報告書 認定事実67）。事故機は、機首が330度で風に向かう姿勢でノース着陸帯に着陸した（米側報告書 認定事実74）。

機長が着陸前に風向を確認し、適切な進入進路に修正した判断は適切であり、事故への影響は認められない。

（イ）ノース着陸帯からの離陸／離脱

機長は、第1回目のノース着陸帯からの離陸／離脱に際して、着陸帯周辺の車両、テント及び人員の状況から、着陸した時の到来方向と同じ方向へ向けて着陸帯を離れることが最適であると判断し、機長は機体を離陸させ、右方向に180度のホバリング旋回を行い、問題なくノース着陸帯を

離れた（米側報告書 認定事実75、76）。

進入時に磁方位330度で風に向かい着陸を実施していることから離脱針路は磁方位150度となり、右方向への180度のホバリング旋回の結果、NATOPS飛行マニュアルにおいて禁止はされていないものの、回避すべきと示されている相対風（追い風）領域に入ったものと考えられるが、追い風により危険な状態に陥ることなく、離脱に成功している。また、事故発生時に、操縦していた副操縦士は、機長に対して、上記と同様の動きを実施するつもりであることを知らせ、機長はその決定に同意している。

（米側報告書 認定事実81）したがって、第1回目の離脱に係る機長の判断は、副操縦士の判断に大きな影響を与えたと推定できる。

（ウ）操縦の授受

米側報告書によれば、機長は、第1回目のノース着陸帯からの離陸後、プラージュ・ブランシュ飛行場へ向かう間に操縦を副操縦士に渡した（米側報告書 認定事実77）。

自衛隊における運用においても、任務によっては、戦術上や訓練上の要求等により、機長の判断により操縦の交代はしばしば行われるものであり、操縦の授受自体に問題は認められない。

（エ）第2回目のノース着陸帯からの離陸要領への同意及び監督

機長は、副操縦士がノース着陸帯から離陸する前に、第1回目に機長が実施した要領と同じ動きを実施するつもりであることを知らせた際、機長はこれに同意した（米側報告書 認定事実81）。第1回目の離陸／離脱時に、問題が生じなかったこと、15～27ktの追い風を受ける状況は回避すべきであるものの禁止されていないことを考慮すると、この判断が直接事故の要因になったとは言えないものの、副操縦士の判断に大きな影響を与えたと推定できる。

（オ）機長の機体制御不能時の処置判断

米側報告書によれば、墜落（離陸後15秒）直前に、機長は副操縦士が機体の制御を喪失していることに気づき、自ら制御を試みている（米側報告書 認定事実99）が、結果的に機体の制御を回復できなかったことは、副操縦士の状況把握が不十分であるとともに、処置の開始が既に時期を失っていたと言わざるを得ず、機長としての指揮監督に問題があったと考えられる。

また、この際、機長が事故発生前に風向風速を確認せず、副操縦士の操縦に関して適切な指示をしていなかったとすれば、機長は監督責任を十分果たしていなかったと言わざるを得ず、これが事故の要因となった可能性は否定できない。

ウ 副操縦士の運航判断及び処置

(ア) ノース着陸帯への進入

米側報告書によれば、プラージュ・ブランシュ飛行場へは問題なく着陸し、第1回目と同様、磁方位330度で実施し、再度ノース着陸帯に向け出発し、ノース着陸帯に着陸した。(米側報告書 認定事実78、79)

第1回目の機長による離陸と同様、磁方位330度の針路に機首を向け、ノース着陸帯に向けて出発した離陸要領は、米側報告書において事故要因と特定されていないように、日本側としてもこの処置判断に問題は認められないと考えられる。

(イ) ノース着陸帯からの離陸及び離脱

米側報告書において、副操縦士がNATOPS飛行マニュアルに定められた垂直離着陸モードでのホバリング時の制限(相対風150～210度は回避すべき領域)に従わなかったことが事故の重要な要素の一つであると評価されている(米側報告書 意見13)。

この際、米側報告書によれば、副操縦士は風に関する明確な理解を有していないまま(米側報告書 意見11)180度のホバリング旋回を行ったと考えられる。なお、180度ホバリング旋回する操作は禁止されておらず、分析評価チームが実機に搭乗した際には、ホバリング中に360度の旋回を問題なく実施している。また、同様の操作は自衛隊の回転翼機でも実施されているものであり、ホバリング旋回操作自体に問題があるとは考えられない。

本件事故では、180度のホバリング旋回により、相対方位300～330度の回避すべき相対風領域に入り、引き続き相対方位150～210度の回避すべき相対風領域に入ることとなった。米側報告書では、追い風15～27ktの中に機体を置いたとされている(米側報告書 意見13)。

追い風については、水平尾翼を押し上げ機首を下げる傾向があり、今回視察したシミュレータにおいてもその傾向が確認された。このような、相対風の方位に応じた特性については、(1)ウで述べたとおりである。いずれにせよ、事故機は、事故時、両翼端のローターが揚力を担う垂直離着陸モードにおいて追い風を受けており、この相対風領域に機体を置く操作を行ったことが機体の制御に大きな影響を及ぼしたとする米側報告書の判断は妥当であると考えられる。

(ウ) 機首下げに対する処置

米側報告書によれば、ホバリング旋回開始後75度旋回した頃から事故機の機首が約5度下に下がり始め、以後の飛行中下がり続けた、とされている(米側報告書 認定事実89)。

米側報告書によれば、NATOPS飛行マニュアルにおいて「通常のホバリング高度に至った時は機首を水平とするためナセルの角度を調整する」

と記載されており（米側報告書 認定事実８８）、副操縦士が、ホバリング旋回中の機首下げの姿勢を修正しなかったことが他の事故要因を助長した（米側報告書 意見１４）とされている。

この際、本来ナセルを後方に傾ける等の操作が行われるべきであったと思われるが、上記のような機首下げの状態、さらに、次項で述べるが、米側報告書で指摘されているように、ナセルの前方遷移を制限された領域を超えて行ったことが事故の要因となったと考えられる。このような操作はNATOPS飛行マニュアルに明らかに反しており、不適切な操作とした米側報告書の判断は妥当であると考えられる。

（エ）ホバリング旋回終了後のナセルの遷移

米側報告書によると、事故機はホバリング旋回終了時、ホバリングで一旦静止することなく、NATOPS飛行マニュアルに定められた、低速飛行時のナセル角度の制限範囲（コンバージョン・プロテクション・コリドー）を超える遷移を行ったことが、事故の重要な要素の一つであると判断されている（米報告書 意見１３、１５）。

訪米した分析評価チームがNATOPS飛行マニュアルの該当部分を閲覧した結果、MV-22には、ナセルの遷移操作が禁止されている領域が存在することが確認され、副操縦士は、その領域内での操作を行ったことが明らかとなった。したがって、本件事故において、副操縦士がNATOPS飛行マニュアルに定められた通りに操作しなかったことが事故要因の一つであるとした米側報告書の評価は妥当であると考えられる。

（オ）機首下げ姿勢からの機体制御不能

米側報告書によれば、事故の再生画像によると、同機の操縦士は、飛行中、操縦桿に約２０％の後方への力をかけ続けていた。（米側報告書 認定事実９６）また、後方への操縦桿制御の-marginがない状況をさらに悪化させる条件は、重心が前であること、前方に傾いたナセル角度及び高い後進速度である（米側報告書 認定事実９７）。これらから、操縦桿を後方へ引いた状態で、さらにナセルを前に傾ける処置は、後方への操縦桿制御の-marginをより失わせる条件に合致していたと考えられる。

これを受け、米側報告書では、事故機の副操縦士はホバリング旋回中にナセルを後方へ調整をしなかったため、機首下げの姿勢になる効果を抑えるための後方への操縦桿制御の-marginを十分に確保することができなかった（米側報告書 修正後の意見１６）と言及されている。また、ナセルの後方への操作が操縦桿制御の-marginを増やすために使えるものであることに副操縦士が気づかず、機長及び副操縦士はナセルを後方に動かそうとしなかった（米側報告書 認定事実１０１）ことが指摘されている。

これらの事故状況に鑑みれば、ナセルを後方へ操作することにより、後

方への操縦桿制御のマージンを増やすことができれば機首上げの操作が可能となった可能性があり、それを試みなかった機長及び副操縦士の操縦は適切ではなかったと推定され、事故の要因となったと考えられる。

エ 状況の認知

米側報告書によれば、副操縦士は、事故前のノース着陸帯からの離陸に際して、実際の風について、明確な理解を有しておらず（米側報告書 意見 11）、相対風について運用制限が設けられている航空機を操縦する上で不適切と言わざるを得ない。また、機長も回避すべき相対風領域に関する助言及び適時の修正操作を行っていなかったとすれば、機長の指揮監督責任にも問題があったと考えられる。このように、実際の風（追い風）について明確な理解を有していなかったことは、事故の要因であると推定される。

（３）機体の要因

ソフトウェア等航空機システム全体を含めた機体についての調査については、海軍航空安全計画に関する海軍作戦部長指示に基づき、第 261 海兵ティルトローター飛行隊長を調査委員長として実施された航空機事故安全調査において詳細に分析されている旨米側から説明を受けており、航空機事故安全調査を通じて確認されたデータによれば機体は N A T O P S 飛行マニュアルどおりに機能しており、機体に機械的な不具合はなかったと断定されている旨米側から説明を得ている。また、分析評価チームが説明を受けた事故機の再現映像等によれば、事故機は、操縦士の操作に合理的に呼応したものであり、不具合により正常と思えないような作動をしている兆候は見当たらなかった。これを踏まえれば、機体の要因は事故要因とは認められない。

他方、機体の問題の有無は日本側の大きな関心事項であるところ、機体に関連する以下の項目について、日本側として分析評価を実施した。

ア ナセルの操作と飛行制御

（２）ウ（エ）において、副操縦士が N A T O P S 飛行マニュアルに定められたとおりに操作せず、低速でのナセル角度の制限範囲（コンバージョン・プロテクション・コリドー）を超える遷移を行ったことが、事故要因の一つであるとした米側報告書の評価は妥当であるとの評価を示したが、ナセルの操作及び遷移時の機体の制御は、他の航空機にはない M V - 22 特有の操作であり、この操作の存在が操縦を複雑化し、本件事故のような不適切な操縦を誘発するのではないかとの問題意識に基づき日本側として詳細な調査を行った。

分析評価チームが実機の搭乗及びシミュレータにおける操作を確認したところ、M V - 22 は高度にコンピュータ制御されており、ナセルの遷移に係る操作も容易に実施できるよう設計されていることを確認した。その時点の速度等に応じて、遷移可能なナセル角度の範囲が定められており、操縦士は

現在のナセル角度及び遷移可能な範囲の角度を常にディスプレイ上で確認することができ、その範囲でのみ操作可能である。また、この範囲を超えてナセルを遷移させることはコンピュータ制御により不可能である。なお、ナセル遷移の速度もコンピュータ制御されており、パイロットが一定の速度を超えてナセルを遷移させることはできない。

また、遷移時には、回転翼機としてのブレードピッチ角やローター回転面傾斜による制御と固定翼機としてのフラップロンやエレベータによる制御が混在することとなるが、これらの作動の配分は速度やナセル角度に応じたコンピュータ制御によって行われているため、操縦士は操縦桿のみで容易に操作することができる。これは従来の航空機よりも操縦士の操作ミスによる事故を大幅に防ぐことを可能にしており、事故防止策として非常に有効であると感じた。

他方、本件事故については、機速40kt以下においてナセル角度75度以下に遷移させるというNATOPS飛行マニュアルで禁止されている操作が行われ、これが事故要因の一つであるとされている。この操作がなぜ上述のコンピュータ制御によって制限されることなく可能となったのかについて、米側より聴取したところ、機速40kt以下におけるナセル角度操作は、ナセル角度を60～75度に設定する転換モードにおける短距離離陸／着陸滑走時に必要となることから、コンピュータ制御によって操作不可能とすることはできず、このため、NATOPS飛行マニュアルによって禁止することで対応していると説明を受けた。このことは、訪米した分析評価チームにNATOPS飛行マニュアルの該当部分の閲覧が許可された折りに、NATOPS飛行マニュアルの図4-20（VTOL/CONVモード・コンバージョン・プロテクション）において、ホバリングから前進飛行する際に機速40ktに達するまではナセル角度を75度以上に保持するという制限が設けられていることを確認している。この制限は、十分な速度を有していない段階で、ナセルを前傾させ重心が前に移動しすぎることや、揚力が失われることを防ぐための制限であると考えられ、この機体特有の飛行制限と考えられる。

イ 重心位置の移動と飛行制御

いかなる航空機であれ、重心が前方に移動しすぎると、機首を下げる縦揺れモーメントを相殺するのに十分な縦揺れ操縦可能量（authority）を得られないという重心の限界が存在する。米側報告書においても、後方への操縦桿制御の-marginがない状況をさらに悪化させる条件の一つとして、重心が前であることが挙げられている（米側報告書 認定事実97）。

軍用機においては、ミサイル発射、射撃、人員・物資の投下等に伴う飛行中の重心位置の変化が少なからず起こるものである。したがって、本件事故におけるNATOPS飛行マニュアルの制限を超えたナセルの前傾に伴う重

心位置の移動が、本件事故機の操縦桿制御マージンの喪失に作用していたとしても、これは、ティルトローター機に特有のものではない。

(4) 管理上の要因（訓練・技能管理）

ア 模擬訓練装置（シミュレータ）

分析評価チームが視察したシミュレータは、極めて精巧であり、実地に近い環境を再現できるものであった。また、これにより、実際に危険な状況に陥ることなく、MV-22の性能の限界まで経験することができるものであり、シミュレータによる教育訓練効果は極めて高いものと考えられる。このことから、シミュレータを多用した訓練について問題は認められない。

イ パイロットの経歴管理

回転翼及び固定翼両方の特性を有するMV-22の操縦士の経歴管理については、2つに大別される。

一つは、新たに操縦士の資格を得た者をMV-22の操縦士とするものであり、新しく養成される操縦士は、ヘリコプター、単発エンジン及び双発エンジンの固定翼機の操縦について、それぞれ同じ時間の訓練を受けている。もう一つは、F/A-18等の固定翼機やCH-53等のヘリコプターの操縦士をMV-22の操縦士に転換するというものであり、この場合にも、固定翼及び回転翼双方の特性と操縦要領について、適切な教育を受けることとされている。これは、ティルトローター機特有の経歴管理である。

(5) 飛行支援上の要因

ア 整備業務

米側報告書によれば、事故当時、事故機の整備状況に問題はなく、事故の起きた飛行に先立って墜落するような不一致はなかった（米側報告書 認定事実45～53）とされ、事故機に対して、全ての必要な整備項目は完了し、同機の飛行は安全と考えられていた（米側報告書 意見6）。航空自衛隊のCH-47を例にすると、恒常的な点検として、飛行前点検、毎飛行後点検及び基本飛行後点検を運行の都度実施しており、また定期的な点検としては、定時飛行後点検を50飛行時間ごと、定期検査を300飛行時間ごとに実施しているが、これに照らしても、事故機は事前の点検、整備等において事故に繋がるような整備上の問題は認められない。

イ 気象業務

飛行前のブリーフィングにおいて、天候に関する情報が提供され、飛行作業開始1時間前には、再度天候に関する情報が提供されている（米側報告書 認定事実60、61）。自衛隊において通常行われている手順と大きな相違は無く、特段の問題は認められない。

3. 結 論

(1) 主たる事故原因

副操縦士が風の状況を適切に把握しないまま、NATOPS飛行マニュアルで定められている回避すべき相対風領域（追い風15～27kt）に入ったこと、機首が下がった際に機体の姿勢を水平に保つための適切な処置を行わなかったこと、NATOPS飛行マニュアルに定められた制限を超えてナセルを前方に傾斜させたこと、機長及び副操縦士が後方への操縦桿制御のマージンを適切に調整するよう操作しなかったこと等が複合的に重なったことが主たる事故原因であり、人的要因によるところが大きいものと考えられる。なお、今回の事故を踏まえ、海兵隊においては、NATOPS飛行マニュアルにおける記載の明確化の検討についての提言がなされ、操縦士及び関係者に対する教育の徹底が実施されることとなっている。

(2) その他の要因

第2回目の離陸の際に、機長による第1回目のノース着陸帯からの離脱と同じ要領で離脱するとの副操縦士の操縦意図を機長が了解したこと及び経験が十分でない副操縦士の操縦に対して機長による追い風に関する適切な助言、指示がなかった可能性があること及び修正操作の遅れといった機長としての指揮監督が不十分であった可能性があることも、影響を及ぼした要因であると考えられる。

(3) 機体の要因

本分析を通じ、本事故は、機長及び副操縦士の判断処置が原因であり、先に実施された航空機事故安全調査を通じて確認されたデータ及び日本側の調査分析からも、機体自体が本件事故の要因となったとは認められない。

(4) 海兵隊の事故調査報告書に関する評価

ア 機体の安全性に関しては、本米側報告書の法務官による調査の前に実施されている航空機事故安全調査において確認されていることから、本報告書は行政調査として、その他の要因に絞って調査したものと認められる。機体以外の要因に関して、事故の適切な分析に必要な事項は網羅されており、また、分析結果に基づく要改善事項に関する提言も盛り込まれており、報告書の構成に係る問題はない。

イ 分析内容については、航空機の運航に係る各種要素、操縦士の操縦の基礎になるNATOPS飛行マニュアルと実際の操縦の対比、及び操縦士がとった操作の客観的な分析がなされており、特段の問題があるとは認められない。

(以上)