

ドクターヘリの効果的な運用と安全管理に関する研究

④ドクターヘリ夜間運航に関する研究：1) 文献調査
1. ヘリコプター夜間飛行の現状と課題

研究協力者 船引 浩平 宇宙航空研究開発機構

研究要旨

ヘリコプターが夜間飛行する際の課題について、暗視システムの研究開発をする過程で得られた知見にもとづいて整理した。昼間での有視界飛行時にパイロットが窓外視界から得ているビジュアルキュー（視覚的な操縦のための手がかり）は、夜間において一概に劣化するが、劣化の程度は地表の灯火の多寡や月や星明かりの状況によって大きく異なる。夜間においても昼間と同様に雲との間隔を確保し、視程を確保する必要があるが、夜間は雲を視認することが困難である。ビジュアルキューが乏しくなることは機体の安定性が劣化することと等価であり、これはオートパイロットを用いることでビジュアルキューの劣化を補償しうることを意味している。夜間飛行を安全に行うためには、これらのリスクを十分に理解することに加えて、オートパイロットを適切に用いることが重要であると考えられる。

A. 研究目的

ヘリコプターで夜間運航を行う場合について、パイロットが窓外視界から取得する視覚情報の観点から、昼間と夜間の違や夜間飛行時のリスクについて整理する。

B. 研究方法

宇宙航空研究開発機構（以下JAXAと呼ぶ）では、ヘリコプターの夜間飛行時の安全性を向上させることを目的として、赤外線センサ等の情報をパイロットに呈示する技術の研究を進めてきた。この研究開発の過程では、暗視技術の有効性を実環境で評価するために夜間の飛行実験をおこなってきた。本項は実験で得られた知見や事例に基づいて夜間飛行実験時のリスクを示す。

C. 研究結果

1. ヘリコプターの操縦について

夜間飛行時の操縦特性について論じる前に、ヘリコプターの基本的な操縦特性について記す。

(1) ヘリコプターの操縦

ヘリコプターなどの航空機の操縦は、自転車や自動車の運転に比べて一概に難しいと言える。これは、自動車などではハンドルの操作量が針路の変化率に比例するのに対して、航空機の操縦桿の操作量が針路の変化に至るまでに積分を介しており、常に「先読み」や「あて舵」が必要であることによる。ヘリコプターは、飛行機に比べてさらに操縦が難しいと言われる。これはヘリコプターが本質的に左右非対象であり、縦方向の操舵が横方向の機体の運動に影響することが理由の一つであると考えられる。また、ヘリコプターの特徴である低空でのホバリングでは、繊細な姿勢制御に加えて地面や周囲の障害物との間隔を保つことが必要であり、パイロットにはタスクへの高い集中が要求される。

ヘリコプターは、飛行機に比べてさらに操縦が難しいと言われる。これはヘリコプターが本質的に左右非対象であり、縦方向の操舵が横方向の機体の運動に影響することが理由の一つであると考えられる。また、ヘリコプターの特徴である低空でのホバリングでは、繊細な姿勢制御に加えて地面や周囲の障害物との間隔を保つことが必要であり、パイロットにはタスクへの高い集中が要求される。

(2) 有視界飛行方式と計器飛行方式

姿勢や位置などの情報を窓外視界から取得して飛行することを「有視界飛行」とよび、すべての情報について窓外視界をたよらず飛行計器のみをたよる飛行を「計器飛行」とよぶ。手動操縦での計器飛行は有視界飛行に比べて一概に難しいといえる。

一方で、管制官の指示に従い、定められた経路を飛行する飛行方式を「計器飛行方式」と呼び、それ以外の飛行方式を「有視界飛行方式」と呼ぶ。視程が悪化したり、闇夜で窓外視界から姿勢や位置の情報が取得できなくなると、有視界飛行の条件が満たされないことになり、有視界飛行方式による飛行はできなくなる。

計器飛行方式で飛行するためには、パイロットが計器飛行のスキルを証明する免許を持っていることが必要に加えて、機体側にも一定の安定性（パイロットの操作がなくても姿勢や高度を維持できる能力）と航法性能が要求される。また、前述のように管制官の管理下におかれることから、飛行経路はレーダーの覆域内にある必要があり、山間部や低空に経路を設定することが難しい場合がある。さらに、計器飛行方式のための飛行経路がレーダーや通信の覆域内にあることを確認するために、定期的な検査飛行が必要である。

(3) 機体の安定性とオートパイロット

中型以上のヘリコプターには、パイロットが手離し状態でも姿勢や高度を維持するための機能としてオートパイロットがそなわっていることが多い。オートパイロットの機能はさまざまで、手動での操縦時に安定性を補助し、短い間であれば手離しが可能な程度のもので、プログラム通りに自動で飛行し、自動でホバリングができるものまである。新しい機種や大型の機種ほどオートパイロットの性能は高い傾向がある。計器飛行方式での運航が可能な機種は、一定以上の安定性が必要であり、高い性能のオートパイロットを備えていることが多い。

2. 窓外視界から得られる操縦の手がかり

ヘリコプタを操縦するために、パイロットが窓外の取得するビジュアルキュー（視覚的な操縦の手がかり）を、操縦に要する情報ごとに以下に示し、夜間と昼間との違いについて述べる。

(1) 機体の姿勢角

機体姿勢は手動操縦のために必要な情報であり、水平線や地平線から取得する。高度、速度、方位などの情報は主に飛行計器から取得するが、機体姿勢については飛行計器ではなく窓外視界から取得することが基本である。基本的には正面視野から取得するが、真横や真下を見ているも、短時間であれば姿勢を維持することはできる。視程が悪化すると正面視野から姿勢情報を取得しにくくなるため、姿勢の変化に気づきにくくなり、維持が困難になる。機体姿勢感覚の喪失は、事故の発端となりうる。

夜間であっても晴天で月や星の明かりが得られる場合には、地平線や水平線が視認可能である場合が多く、姿勢の把握は可能である。一方、昼間であれば問題のない程度の視程の悪化であっても、洋上等で海面の波がなくのっぺりとしている場合には、姿勢が把握できなくなることがある。

姿勢計のみから姿勢情報を取得して飛行することは、ホバリングや離着陸を除いて可能であるが、航空機—パイロットシステムとしての安定性は窓外視界を用いた場合に比べて顕著に低下する。

(2) 方位

数値的な方位角は計器から取得するが、一般的な有視界飛行では、遠方の地形や雲、ランドマークとなる建物などを目標に方位を維持する。方位感覚の喪失は即時に墜落等の事故にはつながらないが、機位の喪失による地上障害物との接触などに発展しうる。

視程が良好で遠方目標が捉えられていれば、夜間であることの影響は小さい。

(3) 位置、針路、高度

有視界飛行の基本は地形や建物を手がかりとした地文航法であり、窓外の地物の見え方と地図等を比較して自機の位置を推定する。推定した位置を時間微分することで針路を推定し、計画しているコースからずれていれば目標方位を修正する。機体位置の推定においては、地図を参照したり、頭を大きく動かして周囲の地形を把握することがある。一方、高度については、地表の見え方等から取得できる情報には限界があり、気圧高度計から主に取得する。

夜間は昼間と見え方が異なることにより機位の把握は困難になる。特に海上や郊外で地表に灯火がない場合には、速度感や高度感が得られない。

(4) 地表や地上障害物からの距離

離着陸時や低高度での任務飛行では、地表や周囲との障害物の間隔を窓外視界から取得する。着陸進入やそれに伴うホバリングでは、正面視野と頭を正面にむけた状態での周辺視野からおおむね必要な情報が取得できるが、周囲に障害物がある状況では頭を大きく動かす必要があり、操縦しているパイロット以外の乗員による窓外監視も必要になる。

夜間、灯火がなく、照明されていない地表の障害物を認識することは困難である。狭隘な地形の中で

要救助者を吊上げるといったような任務を夜間に行うことは現時点ではほぼ不可能である。

(5) 他の航空機との間隔

有視界飛行においては、他の機体との間隔を確保することは一義的にパイロットに責任であり、窓外の監視は重要である。しかしながら、昼間であっても遠くから小型の機体を見つけることや、相対位置関係によっては、接近しているかどうかを識別することが難しい場合がある。

夜間では機体の灯火によってむしろ他機を見つけること自体は容易になるが、距離の把握が難しくなる。また、ビジュアルキューが乏しい場合には、頭を大きく動かすことで空間認識失調に陥るリスクが高まることに留意する必要がある。

(6) 気象等の情報

有視界飛行条件を維持するためには、周囲の雲との距離を把握して間隔を保つ必要がある。また遠方目標の見え方等から視程を把握して変化を予測し、有視界飛行条件を満足しなくなる前に判断する必要がある。

夜間飛行で月明かり等が乏しい場合には、特に高度方向での雲の把握が困難になり、雲中飛行となるリスクが増える。

(7) 着陸進入時の視覚情報

有視界飛行での着陸進入では、前述の情報に加えて、滑走路やヘリポートなどの「見え方」から目標経路からのずれを把握し、経路を維持する必要がある。校庭や道路上などに着陸する場合も同じである。

夜間では着陸目標点に着陸区域灯やストロボ灯などが適切に配置されていることが必要である。ヘリポートや滑走路の場合には、吹き流し等が照明され、地表の風が取得できる必要がある。昼間では容易に取得できる地上の障害物や風による草木の動きなどが把握しにくくなることに留意する必要がある。

3. 夜間飛行時に留意すべきリスク等

夜間飛行時に安全リスクを増大させる要因について以下に示す。

(1) 市街地上空と郊外での違い

市街地上空を飛行する場合とくらべて灯火のない郊外を飛行する場合に得られるビジュアルキューを比較すると、昼間では両者に大きな差はないが、夜間には郊外で得られるキューが大幅に減少し、パイロットの負荷が高くなる。

(2) 月や星明かりの有無による違い

灯火の乏しい郊外では、星あかりや月明かりの有無がビジュアルキューの質に大きな影響を及ぼす。晴天で月が出ていれば、郊外で灯火が乏しくても地面の起伏などはある程度識別できる。一方で、雲によって星明かりまで遮られてしまうと、ほとんど何も見えなくなる。

(3) 機体の安定性とビジュアルキューの関係

パイロットの視野角が制限されたり、視程が悪化したりすることが、機体そのものの安定性が低下することと等価であることが知られている。計器飛行方式の基準と異なり、夜間飛行をおこなうために機体の安定性に関する要件は示されていない。そのた

め、高度なオートパイロットを装備していない機体で夜間に有視界飛行を行う場合には、パイロットの負荷が高くなることに留意する必要がある。

(4) 空間識失調に陥るリスク

空間識失調 (Spatial Disorientation) とはパイロットが機体の姿勢や運動状態を客観的に把握できなくなった状態を指す。多くの場合、夜間や低視程などの窓外視界から十分な情報が取得できない状況で発生し、姿勢計などが正常な情報を示していても、それが信じられなくなる。機体の運動や地形の傾きなど、さまざまなきっかけがあることがわかっており、教育や訓練などもなされているが、完全な防止には至っていない。夜間の飛行を拡充する場合には、パイロットが空間識失調に陥るリスクを考慮し、適切な手当が必要である。

(5) NVGについて

NVG (Night Vision Goggle) は、Image Intensifier によって増幅した近赤から可視の帯域の光を装着者に呈示するゴーグル状の装備品である。月明かりなどがあると深夜でも明瞭な画像が得られるが、曇天時等にはほとんど何も見えないことがある。また、ヘルメットに取り付ける際に重心が前方にくるため装着性が悪い、視野角が狭いなどの問題点がある。

NVGをヘリコプタで使用するためには、計器版の照明類がNVGに対応している必要があり、現在の日本で運航している中型ヘリの多くが対応していない。また、高性能な新世代のNVGは日本では公的機関以外での入手が困難である。

海外ではNVG使用時の事故も多発している。日本ではNVGを航空用途に使うための明確なルールがないが、米国のルールに準じて運用しようとする、運航基準や訓練体制の構築が民間の運航会社によっては大きな負荷になると考えられる。例えば、現在の自衛隊以外での日本でのNVGを用いた夜間運航では、パイロット2名がNVGを装着した上で、後席にさらに1名がNVGを装着して安全監視を行う体制で航空局の許可を得ている。

(6) 機内の光の制御について

夜間飛行時には飛行計器や操作端などの照明を適切に調整し、窓外の視認性を確保する必要がある。航空機の装備品の照明類は十分な調光範囲を有しているが、各種の任務でキャビンに持ち込まれるパソコンのモニタ等は最大に減光しても明るすぎ、操縦に影響を及ぼすことがある。

D. 考察

計器飛行方式での飛行が可能なヘリコプタは、高い安定性を有することが法規によって求められている。しかし、夜間飛行をするにあたって、機体側の操縦安定性について追加的な要件は求められていない。これまで、夜間であることによるビジュアルキューの劣化について論じてきたが、NVGのような技術で劣化したビジュアルキューを視覚的に補うことには限界がある。安定的にかつ安全に夜間飛行を行うためには、高性能・高機能なオートパイロットを備えた機体を用いて、十分にパイロットの負荷を低減することも重要であると考えられる。

E. 結論

JAXAがこれまで実施してきた夜間飛行実験で得

られた知見に基づき、夜間飛行における安全リスクについて整理した。同じ夜間といっても、飛行する場所や月や星の明かりの状態によって、得られるビジュアルキューに大きな差があることが明確になった。夜間飛行を安全に行うためには、これらのリスクを十分に理解することに加えて、オートパイロットを適切に用いることが重要であると考えられる。

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし