

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
2. HEMS 夜間飛行のリスクに関する文献調査

研究分担者 猪口 貞樹 東海大学医学部医学科 客員教授

研究要旨

【目的】本研究の目的は、欧米における HEMS 夜間飛行の現状および日中・夜間における HEMS の死亡事故に関する文献調査を行うことである。【対象と方法】2000～2022 年までの HEMS の夜間飛行および HEMS 事故のリスクに関する論文について pub-Med 検索を行った。18 編の論文を整理のうえ、①HEMS 夜間飛行の実施状況、②HEMS 事故および死亡事故のリスクとその経年変化、③HEMS における死亡事故の要因について検討を行った。また米連邦官報 (Federal Register) にて④米連邦航空局の HEMS に関する規則の変更について調査した。

【結果と考察】①HEMS 夜間飛行の実施状況：米国では、約 500 万回の HEMS 患者搬送のうち 38%が夜間飛行であった。欧州において夜間飛行能力のある HEMS の機体は 34.6%で、国によるばらつきが大きく、夜間運航は地域の状況に応じて実施されていた。②HEMS 事故および死亡事故のリスクとその経年変化：1) 米国の 20 年間の集計では、HEMS 夜間飛行の患者飛行 100 回あたり死亡事故率 (以下 mM) は 27.33 mM で、日中の同死亡事故率 7.55 mM より有意に高かった。搬送患者の航空事故による死亡率は 4.27mM で、救急自動車による搬送患者の事故死亡率 0.44mM より高く、全身麻酔の死亡事故率 8.2mM よりやや高かった。オーストリア、ドイツ、英国の、HEMS 死亡事故率は 4～20mM で、米国と大きな差異はなかった。2) FAA の報告では、HEMS の事故率・死亡事故率は経年的に減少しているが、HEMS 事故の死亡割合は非 HEMS より高く、経年変化はない。3) ドイツにおける年間のミッションあたり事故数・死亡事故数は、1970～1979 年より 2000～2009 年が有意に低く、米国と同様に経年的に低下している。③HEMS における死亡事故の要因：1) 夜間飛行と悪天候の組み合わせは、ヘリコプター事故全般が死亡事故となる大きな要因であった。また米国の 1953 年から 35 年間の分析では、墜落後の火災、悪天候 (JMC)、暗闇 (夜間) が、HEMS 事故が死亡事故となる一貫した危険因子であった。2) HEMS の事故・死亡事故の要因として、視界/暗闇とパイロットの意思決定/判断が、また HEMS 事故が死亡事故となる要因としてセカンドクラスの診断書とセカンドパイロットの不在、が報告されていた。3) ドイツの報告では、死亡事故は着陸時に起きることが多く、死亡は座席位置と関連があり、患者位置での死亡割合 (44.9%) が最も高かった。4) 米国の報告では、HEMS 夜間飛行では、雲が低い状態で、経験が少ないパイロットは有視界飛行のできない気象条件に進入しやすく、これに計器飛行能力の欠如が重なると空間識失調による制御された飛行又は制御不能 (CFIT/LCTRL) による死亡事故が起きやすい。HEMS 夜間運航では、経験の少ないパイロットの支援・教育、計器飛行能力 (の取得・維持などが必要と報告された。④米連邦航空局の HEMS に関する規則の変更：米国での死亡事故増加に対する対策として、2014 年に規則を変更した。最低気象条件の厳格化、飛行計画・飛行前のリスク分析、医療クルーへの安全教育の実施などが必須となり、ヘリコプター対地接近警報装置 (HTAWS) ・飛行データ監視システム・電波高度計の設置義務化、パイロットの計器飛行証明義務化と IMC 遭遇時に脱出できることの実証、などが HEMS の必須要件となった。

【結論】1) ドクターヘリの夜間飛行の妥当性は、地域の特性に応じて検討すべきと考えられるが、夜間飛行は日中より死亡事故率が高いことに十分留意する必要がある。2) 夜間飛行では、要請基準を日中より厳密に設定する必要があり、全身麻酔より推定死亡率の低い症例は、夜間搬送には不相当と思われる。3) 夜間搬送を開始する際には、FAA の規制を参考に、夜間照明、暗視装置、対地接近警報装置 (HTAWS)、電波高度計などの装備に加え、パイロットの経験向上への支援、IFR 能力の確立・維持などが必須と考えられる。

A. 研究目的

HEMS夜間運航の可否を検討するうえで、航空事故のリスク評価は極めて重要である。HEMSの航空事故では、患者の生命が脅かされることに加えて、運航クルーおよび医療クルーの生命にも危険が及ぶ。一方、HEMSの航空事故は比較的まれな事象であり、HEMSの死亡事故に関する研究は限られている。本邦では、現在までHEMSの夜間飛行は行っておらず、死

亡事故は1件も発生していない。

本研究の目的は、欧米におけるHEMS夜間飛行の現状および日中・夜間におけるHEMSの死亡事故に関する文献調査を行うことである。

B. 研究方法

2000～2022年までのpub-Med 検索を行った。HEMSの夜間飛行、航空事故に関する研究は少なく、多

くは後ろ向き観察研究で、大半は米国の国家運輸安全委員会(NTSB)のデータベースを用いた症例対照研究であった。HEMS航空事故の研究では前向きランダム化比較試験は倫理的に実施困難であり、コホート研究や準実験的研究も行われていなかった。

以上から本研究では、収集した論文のうち、HEMS事故および夜間飛行のリスクに関する研究論文、合計18編について、それぞれ米国の研究および米国以外の研究に分けて内容を整理した。

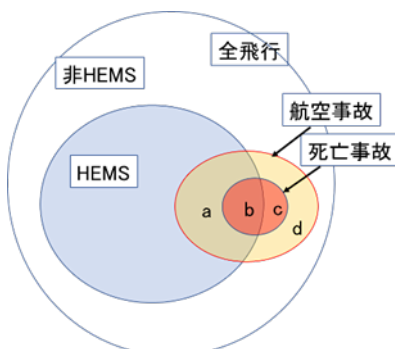
また米連邦官報(Federal Register)から2014年に行われた米連邦航空局のHEMSに関する規則の変更について調査、整理した。

以上の整理を行った上、次の4点について考察を行った。

- ① HEMS夜間飛行の実施状況
- ② HEMS事故および死亡事故のリスクとその経年変化
- ③ HEMSにおける死亡事故の要因
- ④ 米連邦航空局のHEMSに関する規則の変更

本研究には多くの用語・略語が用いられているため、表1に一覧を記載した。

調査した各研究の対象(NTSBデータベース等)に登録されているのは航空事故のみであり、それ以外は、飛行時間、飛行日時と搬送患者数と別の集計(運航業界の集計など)と照合して用いられている(下記の図赤枠内)。本研究で使用されている計算式を記載する。



- ・HEMSの事故率： $(a+b) / \text{HEMS搬送時間 (H)}$ 又は $(a+b) / \text{HEMS搬送患者数 (N)}$
- ・HEMSの死亡事故率： b/H 又は b/N
- ・HEMS事故の死亡割合： $b/(a+b)$
- ・死者数/死亡事故は3人程度。

(倫理面への配慮)

本研究で調査した文献には、個人を特定する項目は含まれておらず、倫理的問題を生じる可能性は少ないと考えられたが、情報管理等や人権擁護等には細心の注意を払った。

C. 研究結果

米国のHEMS事故およびHEMS夜間事故に関連する研究に関する各文献の要旨を表2に、米国以外のHEMS事故およびHEMS夜間事故の研究に関する文献を表3に、また米連邦航空局のHEMSに関する規則の変更(2014年)の要旨を表4に示す。

D. 考察

①HEMS夜間飛行の実施状況

米国では、NTSBデータベースに登録されたHEMS搬送患者数4,911,500名のうち、夜間搬送は1,866,

370名(38%)であった[1]。また、英国南東部で2年間に5,004件の終日HEMSミッションを実施、3,728人の患者に関与、うち夜間ミッション1,373(HEMS活動全体の27.4%)、1晩あたり平均患者数1.3人であった[2]。オランダでは、513人のHEMS搬送のうち72人(14%)が夜間搬送されている[3]。以上から、24時間運航を行った場合の夜間搬送は、米国で全搬送の約40%、欧州ではもう少し低いと思われる。

欧州32か国中HEMSに夜間運航能力があるのは18か国(56%) [4]。夜間運航能力がある機体は、347機のうち120機(34.6%)で国によって0~100%までばらついていた。イタリアでは、55の基地病院のうち24(43.6%)が24時間稼働していた[5]。以上のように、欧州における夜間運航の能力は国によってばらつきが大きく、平均は全機体の35%程度と考えられる。

②HEMS事故および死亡事故のリスクとその経年変化

米国、オーストリア、ドイツ、英国から報告されたHEMSの事故率・死亡事故率は表5の通り。国や報告年によってばらつきが見られた[6] [16]、[7]、[8]、[9]、[1]。症例の多い米国では、夜間の患者飛行あたり死亡事故率(27.33mM)は日中(7.55mM)より有意に高い。日中のHEMS死亡事故率は、全身麻酔による死亡事故率と同程度。平均患者死亡率4.27mMは自動車事故率より低く、日中2.95mM、夜間で6.4mMで、夜間でも全身麻酔による死亡率よりやや低い程度。なお、クルーは反復して搭乗するため、年間死亡率はかなり高くなる。

米国のEMSと非EMSの事故件数および10万飛行時間あたり事故数は、いずれも経年的に減少傾向を示しており、10万飛行時間あたりのHEMS事故数(平均:3.04)は、非HEMS事故数(平均:6.09)より有意に低い[9]。10万飛行時間あたり死亡事故数も、HEMS・非HEMSともに経年的減少が見られる(図1)が、HEMS事故の死亡割合(平均:32.65%)は、非HEMS事故の割合(平均:14.55%)より高く、この割合に経年変化は見られない[1] (図2)。つまり、HEMSの事故率、死亡事故率は非HEMSより低く、経年的に減少しているが、HEMSは事故の際に死亡事故の割合が多いのが特徴であり、この点について経年変化はない[10]。

ドイツにおける1970年~2009年の40年間のHEMS航空事故:HEMSミッション数が経年的に増加し続けているのに対し、年間の航空事故、同死亡事故数に大きな変化はない(図3) [7]。年間のミッションあたり事故数・死亡事故数は、1970~1979年より2000~2009年が有意に低く[11]、米国と同様に、経年的に低下していると考えられる。

③HEMSにおける死亡事故の要因

米国NTDBの研究[12]では、HEMS航空事故が死亡事故となる要因は、墜落後の火災、悪天候(IMC)、暗闇(夜間)と報告されている。さらに、最近のデータを追加したベイズ・ロジスティック回帰でも、ほぼ同じ結果が得られており(表6)、これらの要因は35年間一貫してHEMS死亡事故の危険因子であったと考えられる[13]。ドイツのFIAスコア(F:火災、I:IMC(計器飛行気象条件)、A:空港から離れた場所)では、スコアが増えると死亡事故の割合が高くなることが報告されている[14]。以上から、暗闇(夜間)、悪天候(IMC)とともに、HEMS事

故が死亡事故となる危険因子と考えられる。

ドイツからは、1970～2009年のHEMS航空事故データ(40年間)を用い、99件の航空事故時のヘリの座席位置と、生じた損傷の重症度を調査している(なし:63、軽症8、重傷:9、死亡:19(19.2%)件)[14]。死亡率は、「患者」の位置(44.9%)、HEMS乗組員の後部座席(25.0%)、パイロット(12.1%)、パイロットの隣(10.1%)、パイロットの後ろ(10.8%)であった(図4)。

同じデータを用いた分析で、事故の多くは着陸時に起きており、人的要因として、障害物衝突(n=43:43.3%)、制御されていない飛行姿勢(n=9:9.9%)、地面/水面衝突(n=7:7.7%)などが多かった(図5)。

米国の研究では、パイロット1名・VFR・HEMSのCFIT/LCTRLによる10万飛行時間あたり死亡事故率(FAR)は、日中より夜間のほうが高く、低DTEパイロットにVFR能力が加わると最も高くなると報告されていた[15]、[9]、[16]。夜間、低DTEパイロットは悪天候による非VMCに遭遇しやすく、この時VFR能力のパイロットはSD陥り、CFIT/LCTRLによる死亡事故を起こしやすいものと思われる。夜間のHEMS運航を実施する場合には、低DTEのパイロットの支援・教育、パイロットと機体のIFR能力の取得・維持などが必須と考えられる。

HEMS事故に非HEMS事故より強く関連し、同時にHEMS死亡事故にも非HEMS死亡事故より強く関連する事故要因(10要因を分析)は、視界/暗闇とパイロットの意思決定/判断。また、HEMS死亡事故に対する関連がHEMS非死亡事故より大きかった条件(6条件を分析)は、セカンドクラスの診断書とセカンドパイロットの不在であった[10]。この研究は、非事故の対照と比較されていないが、HEMS事故要因への対策として、視界/暗闇とパイロットの意思決定、HEMSの死亡事故への対策として、パイロットの健康状態と2名パイロット体制について検討する必要がある。

④米連邦航空局のHEMSに関する規則の変更[17]

米国では1991年～2010年までに発生した62件の救急ヘリコプター事故により125人が死亡した。これらの事故原因に対処するため米連邦航空局(FAA)は規則を変更した。

FAAは、4つの一般的な事故要因を特定した。1)不注意によるIMCへの飛行(IIMC)、2)制御不能(LCTR)、3)地形(山、地面、水、および人工の障害物を含む)への制御された飛行(CFIT)、および4)夜間である。

これらに対処するための、主な規則の改正点は以下の通りである(詳細は表4参照)。

- ・ 救急ヘリコプターは、Part 135の運用規則に基づいて運用する。
- ・ 飛行計画、飛行前のリスク分析、医療関係者向けの安全ブリーフィング、リスク管理と飛行監視を支援するための運用管理センター(OCC)設立を義務付ける。
- ・ 計器飛行規則(IFR)の運用を奨励する。
- ・ 救急ヘリコプターには、ヘリコプター対地接近警報装置(HTAWS)と飛行データ監視システムの両方を装備する。
- ・ 救急ヘリコプターのパイロットは、計器飛行証明を保持すること。
- ・ 飛行計画で指定された代替空港は、高い最

低気象条件を備えていること。

- ・ ヘリコプターには電波高度計が装備されていること。
- ・ パイロットは、不注意で計器気象条件(IMC)に進入した場合に安全に脱出できることを実証できなければならない。

E. 結論

1) ドクターヘリの夜間飛行の妥当性は、地域の特性に応じて検討すべきと考えられるが、夜間飛行は日中より死亡事故率が高いことに十分留意する必要がある。

2) 夜間飛行では、要請基準を日中より厳密に設定する必要がある。全身麻酔より明らかに推定死亡率の低い症例は、夜間搬送には不相当と思われる。

3) 夜間搬送を開始する際には、米国FAAの規制を参考に、夜間照明、暗視装置、対地接近警報装置(HTAWS)などの装備に加え、パイロットの経験向上への支援、機体およびパイロットのIFR能力の確立・維持などを行うことが必須と考えられる。

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

(引用文献)

1. Aherne, B.B., W.S. Chen, and D.G. Newman, *Acute Risk in Helicopter Emergency Medical Service Transport Operations*. Health Science Journal, 2021. **Vol. 15**(No. 1:): p. 788.
2. Curtis, L., M. Salmon, and R.M. Lyon, *The Impact of Helicopter Emergency Medical Service Night Operations in South East England*. Air Med J, 2017. **36**(6): p. 307-310.
3. Peters, J.H., et al., *Helicopter emergency medical service patient transport safe at night?* Air Med J, 2014. **33**(6): p. 296-8.
4. Jones, A., *Evaluation of the provision of helicopter emergency*. Emerg Med J 2018.
5. Bellini, C. and M. Gente, *Helicopter Emergency Medical Service in Italy: A 2021 Update*. Air Med J, 2021. **40**(6): p. 419-426.
6. Holland, J. and D. Cooksley, *Safety of*

- helicopter aeromedical transport in Australia.* Medical journal of Australia,, 2005.
7. Hinkelbein, J., et al., *Injury severity and seating position in accidents with German EMS helicopters.* Accid Anal Prev, 2013. **59**: p. 283-8.
 8. Chesters, A., P.H. Grieve, and T.J. Hodgetts, *A 26-year comparative review of United Kingdom helicopter emergency medical services crashes and serious incidents.* J Trauma Acute Care Surg, 2014. **76**(4): p. 1055-60.
 9. Aherne, B.B., et al., *Systems Safety Risk Analysis of Fatal Night Helicopter Emergency Medical Service Accidents.* Aerosp Med Hum Perform, 2019. **90**(4): p. 396-404.
 10. Greenhaw, R., J. Mehdi, and L.C. Venesco, *Medical Helicopter Accident Review: Causes and Contributing Factors.* Office of Aerospace Medicine, 2021.
 11. Hinkelbein, J., et al., *Incidents, accidents and fatalities in 40 years of German helicopter emergency medical system operations.* Eur J Anaesthesiol, 2011. **28**(11): p. 766-73.
 12. Baker, S.P., et al., *EMS helicopter crashes: what influences fatal outcome?* Ann Emerg Med, 2006. **47**(4): p. 351-6.
 13. Simonson, R.J., J.R. Keebler, and A. Chaparro, *A Bayesian Approach on Investigating Helicopter Emergency Medical Fatal Accidents.* Aerosp Med Hum Perform, 2021. **92**(7): p. 563-569.
 14. Hinkelbein, J., et al., *Application of the FIA score to German rescue helicopter accidents to predict fatalities in Helicopter Emergency Medical Systems (HEMS) crashes.* J Emerg Med, 2012. **43**(6): p. 1014-9.
 15. Aherne, B.B., C. Zhang, and D.G. Newman, *Pilot Domain Task Experience in Night Fatal Helicopter Emergency Medical Service Accidents.* Aerosp Med Hum Perform, 2016. **87**(6): p. 550-556.
 16. Aherne, B.B., et al., *Pilot Decision Making in Weather-Related Night Fatal Helicopter Emergency Medical Service Accidents.* Aerosp Med Hum Perform, 2018. **89**(9): p. 830-836.
 17. FAA, *Helicopter Air Ambulance, Commercial Helicopter, and Part 91 Helicopter Operations; Final Rule.* Federal Register, 2014. **79**(35).
 18. Bledsoe, B.E. and M.G. Smith, *Medical helicopter accidents in the United States: a 10-year review.* J Trauma, 2004. **56**(6): p. 1325-8; discussion 1328-9.
 19. Voogt, A.d., *Helicopter Accidents at Night: Causes and Contributing Factors.* Applied Human Factors, 1(2), 99– 102, 2011.

表 1 本調査対象の論文で用いられている用語・略語の一覧

略語	用語	説明
VFR	Visual Flight Rules 有視界方式による飛行	離陸後に目視で判断する飛行。航空法上は「計器飛行方式 (IFR) 以外の飛行の方式」をいう。
	VFR Capability 有視界飛行能力	計器飛行方式の習熟度を維持していないパイロット、および/または IFR 手順の装備または認定を受けていない航空機を指す。IFR での操縦はできない。
IFR	Instrumental Flight Rules 計器飛行方式による飛行	目視および航空機の計器を用い、常に航空管制官の指示に従って行う飛行、並びに管制圏および管制区の外においては、運航情報官が提供する情報を常時聴取して行う飛行。この方式による飛行では、有視界方式 (VFR) における気象の制限はなくなる。
-	IFR Capability 計器飛行能力	計器飛行証明を取得し、計器パイロットの習熟度を維持し、IFR 手順で動作できる計器を装備した認定ヘリコプターを操縦するパイロットを指す。IFR 能力であれば、IFR または VFR での夜間操縦が可能。
-	計器飛行	航空機の姿勢・高度・位置および進路の測定を計器のみに依存して行う飛行。本邦航空法上の用語。
-	計器航法による飛行	航空機の位置および進路の測定を計器のみに依存して行う飛行。本邦航空法上の用語。
VMC	Visual Meteorological Condition 有視界飛行状態	パイロットが目視に頼って飛行するのに十分な視界が常に確保されるような気象状態。
IMC	Instrumental Meteorological Condition 計器気象状態	パイロットが計器に頼って飛行しなければならない気象状態。IMC においては、航空交通管制 (ATC) が行われている区域を VFR で飛行することはできず、IFR により飛行しなければならない。VMC を IFR で飛行するのは自由。
DTE	Domain Task Experience	当該領域の経験年数。HEMS・DTE は、HEMS パイロットとしての業務経験 (年数)。
CFIT	Controlled Flight In Terrain	耐空証明を受け問題のない航空機が、問題のない操縦士に操縦されている場合に、衝突の可能性に気付かないまま、山や地面、水面、障害鬱等に衝突する事故。対地接近警報装置 (GPWS) が有効。
LCTRL LOC-I	Loss of Control In-Flight	飛行中の制御の喪失。パイロットの意識喪失、機体の故障、燃料喪失、乱気流など様々な原因で起こる。
TDPS	Temperature Dew Point Spread 露点温度差	観測地点の気温と露点温度 (結露が始まる温度) との差のこと。高度が上がるにつれて気圧が下がり、断熱膨張により気温が低下して露点温度 (雲の底) に達する。TDPS 1°C あたりの高度差は 125m。
HOC	Hazardous Operational Conditions	危険な操縦状態。
HTAWS	Helicopter Terrain Awareness and Warning System ヘリコプター地形認識警報システム	HTAWS は、ヘリの位置、飛行データ、地形および障害物情報などの入力を処理し、表示情報、聴覚アラート、視覚アラートを生成する。主に VMC および IMC での巡航段階で、周囲の地形や障害物の状況認識を高め、回転翼航空機の地形への飛行制御 (CFIT) 事故のリスクを軽減する。 (TAWS は航空機用、GPWS、EGPWS は商品名だが概ね同義)

表 2 文献概要: 米国の HEMS 事故および HEMS 夜間事故に関連する研究

文献	対象と方法の概要	結果と考案
[18]	1993 年 1 月 1 日～2002 年の米国家運輸安全委員会 (NTSB) データベースの調査	HEMS が急増した 2000 年以降、HEMS の事故、死亡事故も増加したことが報告された。
[12]	1983 年 1 月 1 日～2005 年 4 月 30 日までの NTSB データベースを用いて、米国における HEMS 死亡事故の状況及び要因調査を行った。	22 年間の HEMS 事故は 182 件、うち 39% は死亡事故で、患者 44 人の 45%、乗組員 513 人のうち 32% が死亡。暗闇(夜間)事故での死亡割合 56% に対し日中では 24%、また IMC での死亡割合 77% に対し VMC では 31% で、全死亡者の 39% は墜落後に火災の起きた事故で発生。多変量ロジスティック回帰での死亡事故に対するオッズ比は、墜落後の火災 (OR16.1; CI5.0～51.5)、悪天候(IMC) (OR 8.0; 95% CI2.4～26.0)、暗闇(夜間) (OR 3.2; 95% CI 1.3～7.9)。衝突耐性の向上と危険な状況での飛行を減らす対策が必要と報告。
[19]	1982 年～2006 年の NTSB データベースを用いて 4,755 件のヘリコプター事故(非 HEMS 含む)の昼間と夜間の特徴を比較した。	夜間は日中より死亡事故が有意に多く、天候関連の原因が大幅に増加する。夜間と悪天候が組み合わさると、特に事故が致命的となる。
[15]	1995 年～2013 年の NTBD から、CFIT/CTRL(うち 28 例は SD による)と特定された、パイロット 1 名・夜間の HEMS 死亡事故 32 件について、死亡事故と HEMS パイロットの経験(DTE)との関連を調査。	21/32 例(66%)は非 VMC で発生した事故であった。DTE4 年未満のパイロットは夜間の HRMS 死亡事故が多く、DTE10 年以上では少なかった。HEMS DTE の限られているパイロットは、夜間の危険な状況の評価が不十分な可能性が高く、夜間 VFR で高いリスクに晒される。
[16]	上記と同じパイロット 1 名・夜間・VFR の CFIT/LCTRL による HEMS 死亡事故 32 件について、TDPS との関連を分析。	TDPS 0～4°C の飛行は 27/32 件、うち 20 件(74%)は悪天候(非 VMC)と関連していた。TDPS 0～4°C の飛行は TDPS 5°C 以上の飛行より、また DTE6 年未満のパイロットは DTE 6 年以上のパイロットより、それぞれ死亡事故のオッズが有意に高かった。
[9]	上記と同じ 32 例と 1995 年～2013 年の全 HEMS 事故・飛行時間統計を用い、日中と夜間の 10 万飛行時間あたり事故率、同死亡事故率 (FAR) を算出、さらにシステム安全アプローチ(STAMP 法など)を用いて死亡事故の要因分析を行った。	期間内の全 HEMS 死亡事故は 66 件で、日中 32 件、夜間 46 件。10 万飛行時間あたり死亡事故率(FAR)は、全体 1.28、夜間 2.35 日中 0.64 で夜間が有意に高く、夜間 CFIT/LCTRL の 32 例も 1.29 で日中より高かった。要因分析では、TDPS 0～4°C で低 DTE パイロットは非 VMC に遭遇しやすく、また VFR 能力では SD により CFIT/LCTRL 事故を起こしやすい。このため、低 DTE パイロットに VFR 能力が重なる、悪天候の夜間 HEMS 死亡事故の可能性が最も高くなるものと考えられた。対策として、低 DTE パイロットへの介入と IFR 能力の維持・向上が重要と報告している。
[1]	1995 年～2015 年の NTSB データベースに登録された HEMS 死亡事故 74 件を対象に、昼・夜などで層別化のうえ、業者の搬送患者数を用いて患者飛行 100 万回あたりの死亡事故率および患者死亡率(マイクロモルト:mM と表記)を計算、他の原因での 100 万回あたりの死亡事故率と比較検討した。	HEMS 飛行患者 4,911,500 名のうち夜間飛行 1,866,370 名(38%)、HEMS の飛行患者あたり死亡事故率は 15.07mM(日中 7.55、夜間 27.33)、HEMS 事故による飛行患者あたりの患者死亡率は 4.27mM(日中 2.95、夜間 6.4)であった。スキューバ・ダイビング 1.84mM、パラシュート(ジャンプ)7.96mM、地上救急車搬送 0.44 mM、全身麻酔 8.2mM であったことから、日中の HEMS 飛行患者あたりの死亡事故率 7.55mM は、パラシュート降下の 7.9mM と同等、全身麻酔の 8.2mM よりやや低い。夜間の HEMS 飛行患者あたり死亡事故率 27.33mM は日中の 3.6 倍、スキューバ・ダイビングの約 10 倍である。なお、患者死亡率は、死亡事故率より低く、半分以下である。

[10]	米連邦航空局(FAA)は、HEMSの事故状況について、2021年に最終報告を行った。1999年～2018年のNTSBデータベースの事故記録を用い、HEMS事故と非HEMS事故およびHEMSの致命的事故と非致命的事故の要因分析を行った。	結果:①HEMSと非HEMSの事故件数は、いずれも20年間にわたり経年的に有意な減少傾向を示した。②HEMSの死亡事故件数に経年的減少傾向は見られなかった。③HEMS事故の死亡割合(平均:32.65%)は、非HEMS事故の死亡割合(平均:14.55%)より有意に高く、この割合に、有意な経年的変化はみられなかった。④10万飛行時間あたり事故数には、HEMS・非HEMSともに有意な経年的減少傾向がみられた。⑤10万飛行時間あたり死亡事故数には、HEMS・非HEMSともに有意な経年的減少がみられた。⑥10万飛行時間あたりのHEMS事故数(平均:3.04)は、非HEMS事故数(平均:6.09)より有意に低かった。⑦非HEMS死亡事故よりHEMS死亡事故に有意に関連していたのは、1)パイロットの注意/向きの問題、2)パイロットの意思決定/判断、3)可視性/暗闇。⑧非HEMS事故よりHEMS事故に対するORが有意に大きかったのは、1)パイロットの無能力化、2)パイロットの経験、3)可視性/暗闇、4)組織のコンプライアンス、5)予定外の操縦、6)エンジン/航空機、7)パイロットの意思決定/判断。⑨HEMS非死亡事故よりHEMS死亡事故に対するORが有意に大きかったのは、1)セカンドクラスの診断書、2)セカンドパイロットの不在。
[13]	1983年1月1日～2005年4月30日の分析結果[2]を事前分布とし、2005年4月31日～2018年4月26日までのNTSB航空事故データベースから抽出されたデータを用いてベイズ・ロジスティック回帰を行い、死亡事故に対するパラメータと信用区間を推定した。	分析の結果、夜間飛行(OR 3.06; 95 C.I 2.14, 4.48; PoD 100)、計器気象状態(OR 7.54; 95 C.I 3.94, 14.44; PoD 100)、衝突後の火災(OR 18.73; 95 C.I 10.07, 34.12; PoD 100)、が死亡に大きく影響しており、以前の結果と大きな変化は見られなかった。

表 3 文献概要: 米国以外の HEMS 事故および HEMS 夜間事故に関する研究

文献	対象と方法の概要	結果と考案の概要
[6]: オーストリア	1992 年～2002 年までのオーストリアにおける HEMS 飛行時間と事故を調査。	HEMS の事故率は、10 万飛行時間あたり 4.38。50,164 回のミッションごとに、事故により 1 人の患者が死亡、全体では 16,721 ミッションごとに 1 件の事故が発生した。
[11] ドイツ	ドイツ連邦航空事故調査局が 1970 年～2009 年までの 40 年間に発行した航空事故報告書における HEMS 事故を分析した。	1,698,000 件の HEMS ミッション (1970 年 vs 2009 年 = 61 vs 98,471) が、平均 50±27 (1 vs 81) 機のヘリコプターによって行われ、合計 99 件の事故が起き、19 件死亡事故 (死者数は不明)。99 件中 11 件 (11.1%) が夜間運航中の事故であった。10,000 ミッションあたりの事故率は 0.57 (0～11.4)、死亡事故率は 0.11 (0～0.5) で、米国の報告より低く、また経年的に減少傾向が見られた。事故の 43.4% は、着陸、離陸、またはホバリング中の障害物との衝突によるものであった。
[7] ドイツ	上記と同じ 1970 年～2009 年の HEMS 航空事故データ (40 年間) およびその他のデータを用い、99 件の事故について事故時のヘリの座席位置と、生じた損傷の重症度を分類した。	期間中、HEMS ミッション数は経年的に増加したが、事故数はほぼ横ばいであった。負傷なし: 63、軽症: 8、重傷: 9、死亡: 19 (19.2%)。また、場所別の死亡率は、「患者」の位置 (44.9%)、HEMS 後部座席の乗組員 (25.0%)、パイロット席 (12.1%)、パイロットの隣 (10.1%)、パイロットの後ろ (10.8%) であった。
[14] ドイツ	FIA スコアはドイツで航空事故の致死率評価に一般的に用いられているスコアで、(F: 火災、I: IMC (計器飛行天候条件)、A: 空港から離れた場所) 各 1 点を合算する。本研究では上記 99 件の HEMS 事故 [11] に、FIA スコアを後ろ向きに適用し、スコアごとの事故の致死率 (CFR) を計算した。	FIA スコア (FIA0、FIA1、FIA2、FIA3) の CFR は、それぞれ 0.0%、8.1%、53.3%、100.0% で、HEMS 事故の致死率予測に有用であった。
[8] 英国	1987 年 1 月 1 日～2013 年 8 月 23 日までの英国での HEMS 23,000 ミッションの事故の分析。	事故および重大インシデント 13 件、死亡事故 1 件。欧米との比較は、10,000 ミッションあたりの死亡事故では、オーストリア 0.20、ドイツ 0.11、米国 0.23、英国 0.04 と英国は少なかった。
[3] オランダ	2007 年 1 月～2013 年 12 月までに、513 人の患者が HEMS で搬送された。	うち 72 人 (14%) が夜間搬送された。
[2] 英国	2013 年 10 月 1 日～2015 年 10 月 1 日までに、英国南東部でチャリティー航空救急車サービスが参加した終夜 HEMS ミッションの分析。	2 年間に 5,004 件の HEMS ミッションを実施、3,728 人の患者に関与し、うち夜間ミッション 1,373 (HEMS 活動全体の 27.4%)。1 晩あたり平均 1.3 人の患者が治療された。夜間 HEMS により輸送時間が有意に短縮された。インシデントが 3 件あったが、問題は生じなかった。
[4] 英国	インターネット調査により欧州各国の HEMS に関するデータを収集 (2016 年 9 月～2017 年 7 月)。	アルペン諸州は日中の、スカンジナビアは夜間の欧州 32 か国中 HEMS の夜間運航能力があるのは 18 か国 (56%)。能力が判明している 347 機のうち夜間運航能力のある機体は 120 機 (34.6%) で、国によってばらつきが大きかった (0～100%)。
[5] イタリア	イタリアの HEMS に関する 2021 年の概要報告。	夜間飛行は 1991 年開始、現在 55 の基地病院のうち 24 (43.6%) が 24 時間稼働、季節により一定期間だけ夜間稼働する地域もある。従来は適切な照明を備え認証を取得した領域でのみ夜間飛行できたが、近年は規制が緩和され、暗視ゴーグル、投光装置の設置、陸上照明などを用い、調査対象領域外でも活動できる。

表 4 米連邦航空局の HEMS に関する規則の変更(2014 年)[17]

Affected Entities	この規則によって確立された要件
Part 91 -All Helicopter Operators.	Part 91 ヘリコプター運用のための § 91.155 クラス G 空域の 最低気象条件 を改訂する。この規則により、パイロットは一定の視界を維持する必要がある。計器気象条件 (IMC) に突然遭遇する可能性を低下、操縦者の安全マージンを大きくする。
Part 135 -All Rotorcraft Operators.	<ul style="list-style-type: none"> ・ 各回転翼航空機に電波高度計を装備する必要がある (§ 135.160)。電波高度計は、ホバリング中、改善されていない着陸ゾーンでの着陸、およびより垂直なアプローチが必要な限られたエリアでの着陸中のパイロットの地上高に対する認識を大幅に向上させることができる。さらに、電波高度計は、不注意による計器気象条件への飛行 (IIMC)、夜間操縦、フラットライト、ホワイトアウトおよびブラウンアウトへの不注意な飛行中の状況認識を高めるのに役立つ。 ・ § 135.168 の水上で運用される回転翼航空機の機器要件を追加。水上で行われるヘリコプターの運航には、水上で事故が発生した場合に乗客と乗組員を支援するための追加の安全装置を搭載すること。 ・ § 135.221 の回転翼航空機の代替空港気象最低値を改訂。このルールにより、ヘリコプターの飛行中にその地域の気象条件が悪化した場合に、代替空港に着陸できる可能性が高くなる。 ・ § 135.293 を改訂して、フラットライト(低コントラスト)、ホワイトアウト(雪)、およびブラウンアウト(砂塵)における回転翼航空機の操縦テストと、IIMC からの回復能力を実証すること。この規則は、パイロットが IIMC やその他の危険から逃れて対処する可能性を高めることで、安全性を向上させる。
Part 135 -Helicopter Air Ambulance Operators.	<ul style="list-style-type: none"> ・ 医療関係者を乗せた救急ヘリコプターは、Part 135 (§ § 135.1, 135.601) に基づく飛行を義務付ける。Part 91 規則ではなく、より厳格な Part 135 規則に準拠することで、医療関係者や搭乗している患者の福祉を含め、救急ヘリコプターの飛行の安全性が向上する。 ・ 10 台以上の救急ヘリコプターを持つ場合、運用管理センター (OCC) を設立するための証明書保持者(§ 135.619)、および運用管理スペシャリストの薬物およびアルコール検査が必須 (§ § 120.105 および 120.215)。OCC 担当者は、パイロットと連絡を取り、気象情報を提供し、飛行を監視し、飛行前のリスク評価を支援して、複雑な操作に対する追加の安全対策を提供する。運航管理スペシャリストは、航空機のディスパッチャーと同様に安全に配慮した機能を実行するため、薬物やアルコールの使用に関する制限を受ける。 ・ 救急ヘリコプターに HTAWS(ヘリコプター対地接近警報装置) を装備すること (§ 135.605)。HTAWS は、救急ヘリコプターのパイロットが周囲の地形や障害物に対する状況認識を維持するのを支援し、事故の防止に役立つ。 ・ 救急ヘリコプターに飛行データ監視システムを装備することを要求する (§ 135.607)。これにより、操作上の安全性が促進され、事故が発生した場合に重要な情報が調査員に提供される。 ・ 各救急ヘリコプターの運用者は、その運用マニュアルに、FAA 承認の飛行前リスク分析 (§ 135.617) を確立し、文書化すること。飛行前リスク分析は、リスクを評価および軽減し、出発前に飛行の安全性に関する決定を下す手段を証明書所有者に提供する。 ・ パイロットは、計画されたルートに沿って最も高い障害物を特定し、文書化する必要がある (§ 135.615)。このルールは、パイロットがルート上の地形や障害物に注意することで、障害物の衝突を防ぐ。 ・ 救急ヘリコプターの医療要員の安全ブリーフィングまたは訓練が必須である (§ 135.621)。医療要員は、航空機や緊急時の手順に精通していることで、不注意に任務にリスクをもたらす可能性が低くなる。 ・ 救急ヘリコプター運用のための有視界飛行規則 (VFR) の最低気象条件を確立する (§ 135.609)。制御されていない空域での救急ヘリコプターの運用に対するより厳しい VFR 最低気象条件は、これらの運用が限界気象条件で行われないことを保証する効果がある。

- | | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none">・ 気象報告なしで空港での計器飛行規則 (IFR)操縦を許可する (§ 135.611)。この規則は、救急ヘリコプター操縦者による IFR 運用を容易にし、積極的に管理された環境でより多くの航空機が運用されるようにして安全性を高めることを目的としている。・ ヘリポートまたは着陸エリアへの進入および出発時に IFR と VFR の間を移行するための手順を確立する (§ 135.613)。このルールは、パイロットが IFR 構造内を飛行することで、より多くの目的地にアクセスできるようにすることと、それに関連する安全上の利点によって利益をもたらす。・ パイロットが計器飛行証明を保持すること(§ 135.603)。計器を使って操縦するスキルを持つことは、救急ヘリコプターのパイロットが IMC への不注意な侵入などの危険な状況からの脱出を助ける。 |
|--|--|

表 5 HEMS の事故率・死亡事故率のまとめ(各参考文献番号は括弧内に記載)

国(出展)	HRMS 事故の範囲	回/100,000 飛行時間		回/100 万患者飛行		
		事故率	死亡事故率	事故率	死亡事故率 (mM)	患者死亡率 (mM)
オーストリア[6]	全事故	4.38		60	20	
ドイツ[11]	全事故			57	11	
英国[8]	全事故				4	
米国[9]	全事故		1.28			
	日中		0.64			
	夜間		2.35			
米国[1]	全事故				15.07	4.27
	日中				7.55	2.95
	夜間				27.33	6.40
(参考)100 万回 あたり[1]						1.84
スキューバ・ダイ ビング						7.96
パラシュート						0.44
地上救急車						8.20
全身麻酔						

表 6 HEMS 事故における死亡に対する要因のベイズ・ロジスティック回帰[13]

	ODDS RATIO	POSTERIOR (LOGIT; 95% C.I.)	LIKELIHOOD (LOGIT; 95% C.I.)	PRIOR (LOGIT, SE)	EFF. SAMPLE SIZE	PoD	R^{\wedge}
Intercept		-2.15; -2.78, -1.58	2.13; -3.25, -1.24	Cauchy (0,10)	4,691	100	1
Night Flight	3.06	1.12; 0.76, 1.50	0.99; -0.15, 2.24	Normal (1.16, 0.211)	4,192	100	1
Fire	18.73	2.93; 2.31, 3.53	3.39; 2.08, 5.02	Normal (2.77, 0.355)	4,785	100	1
IFR Weather	7.54	2.03; 0.137, 2.67	1.86; 0.35, 3.57	Normal (2.079, 0.377)	5,037	100	1

図 1 HEMS および非 HEMS の 10 万飛行時間あたり死亡事数故(1999 年から 2017 年、線形回帰)[1]

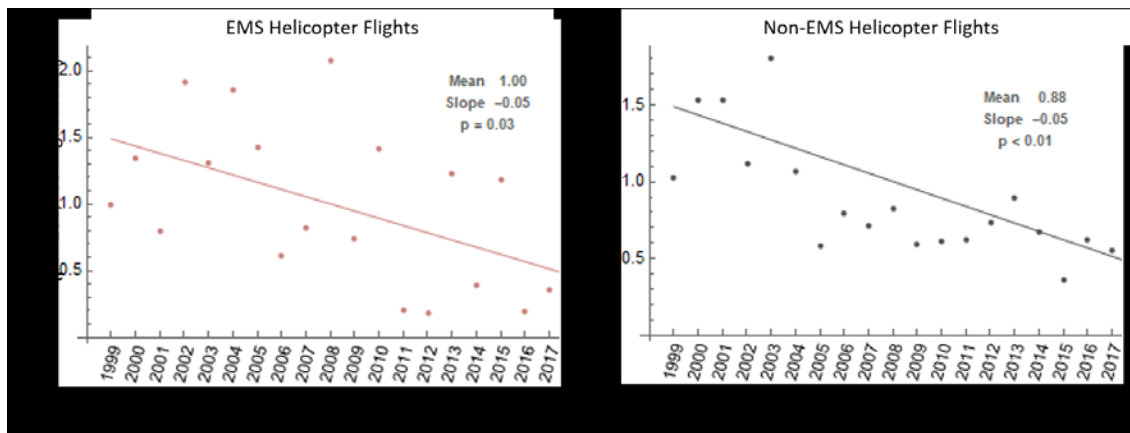


図 2 EMS および非 EMS ヘリコプター事故の死亡事故割合(1999 年から 2018 年、線形回帰)

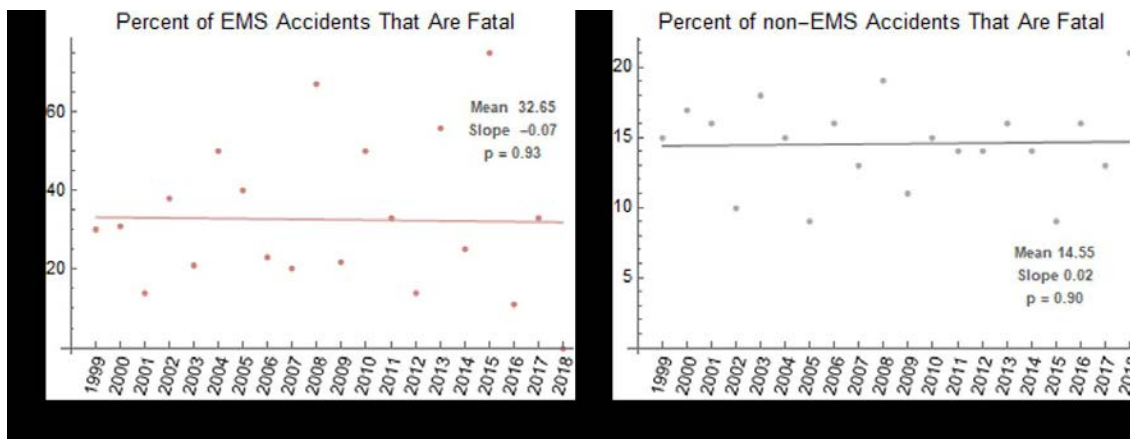


図 3 ドイツにおける HEMS ミッション数(黒線)と事故数(バー)の経年変化。1970 年から 2009 年の間に、合計 1,702,019 回の HEMS ミッションが実施された。[7]

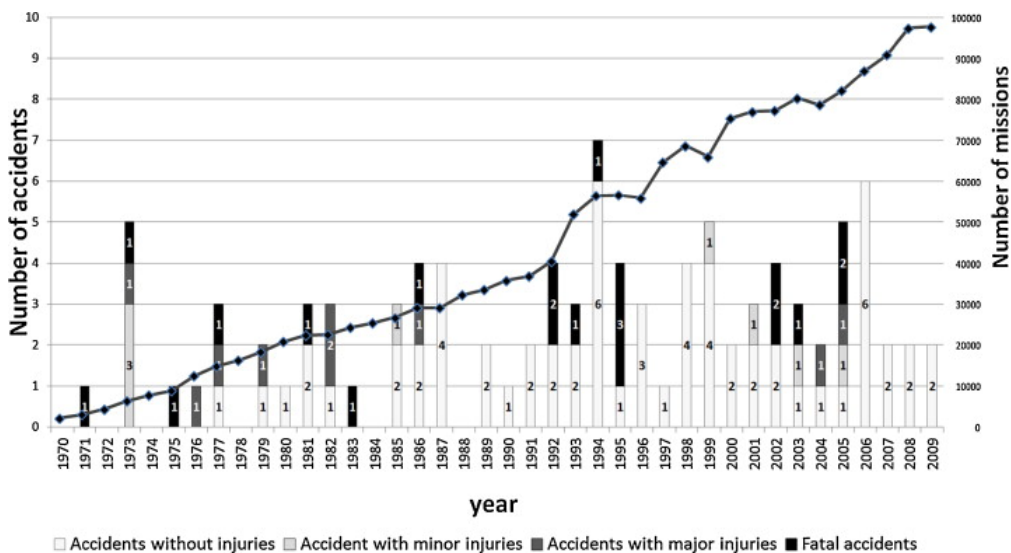


図 4 座席位置と HEMS 事故の死傷率
 黒: 死亡、赤: 重傷、オレンジ: 軽傷、緑: なし

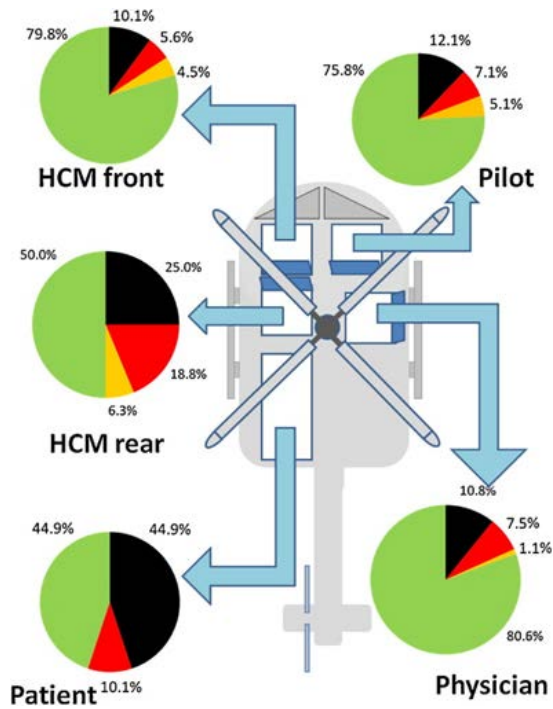
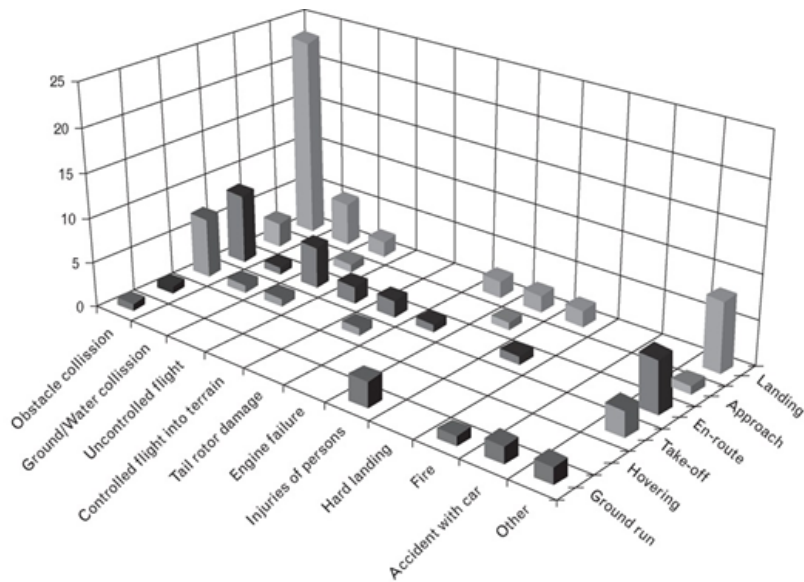


図 5 事故の起きた飛行の段階と原因[7]



Number of accidents depending on the phase of flight. Most accidents ($n=23$) occurred during landing and were caused by obstacle collision.