

④ COVID-19患者搬送に関する研究
4) 実機による検証

研究分担者	猪口 貞樹	東海大学医学部 客員教授
	荻野 隆光	川崎医療福祉大学医療福祉学部 特任教授
	高山 隼人	長崎大学病院地域医療支援センター 副センター長
	早川 達也	聖隷三方原病院高度救命救急センター センター長
	北村 伸哉	君津中央病院救命救急センター センター長
	辻 友篤	東海大学医学部救命救急医学 講師
研究協力者	辻 康二	朝日航洋株式会社 取締役
	森岡 俊勝	セントラルヘリコプターサービス株式会社 取締役
	平井 克弥	中日本航空株式会社 部長
	長澤 勝美	本多航空株式会社 部長

研究要旨

【研究目的】ドクターヘリにより可搬式患者隔離装置（PIU）を用いて COVID-19 患者を搬送することを実地検証する。

【研究方法】ドクターヘリ 2 機種（BK117C2・EC135）に対し、3 種類の PIU を用いて、a.ストレッチャーと固定、b.機内への搬入、c.機内での安全性と操作性、について検証を行った（（研究④-5）：運航マニュアルの作成）：本研究の成果を踏まえ、COVID-19 流行時におけるドクターヘリ運用マニュアル（案）を作成した。

【研究結果】a.ストレッチャーとの固定：不十分なものが多く対応が必要。一部の修理改造は国土交通省の確認作業が必要と思われた。b.機内への搬入：EC135 にはいずれも搬入不可、BK117C2 には 2 種類が搬入不可であった。c.機内での安全性と操作性：すべての PIU で陰圧が保たれることが確認された。PIU 周囲の空間が狭く操作性が十分には確保できないため、PIU を用いる場合も機内での気管挿管などの処置はできるだけ避けたほうが良いと思われた。なお、現状で改修せずに搬入可能なのは、BK117C2 に可搬型陰圧クリーンドームを用いる場合のみであり、他の組み合わせには何らかの対策が必要と考えられた。

【結語】①調査した PIU の性能に問題はなかったが、ストレッチャーへの固定、機器の大きさ、機内での作業性に様々な問題が確認された。②現在のドクターヘリの機体で PIU を用いた医療機関間搬送を行う場合、軽症で安定した患者、又は人工呼吸器管理下で比較的安定した患者を対象とするのが妥当である。③重篤な患者の搬送では、大型 PIU と専用の大きな機体を用い、訓練された専任クルーが実施するのが安全である。④運用開始前に、病棟～ヘリポート～ヘリに搬入・固定するまでの一連の作業について、実際の機体と PIU を用いて事前検証する必要がある。また、実運用には運航会社の規程や雇用契約の問題なども事前に確認し、総合的に検証する必要がある。

A. 研究目的

これまで本邦でも、COVID-19 患者の航空機搬送は行われているが、防衛省、海上保安庁、消防機関等の公的機関に限られている。また使用される機体は固定翼機や中大型の回転翼機である（本研究報告書 4-2）、3)参照）。

一方、ドクターヘリには機動性確保のため比較的小型の機体が使用されている。従って、①機内での各クルー・患者間の距離が近い、②十分な室内換気が困難な場合がある、③搬送中の患者急変に対して AGP の実施が避けられないなど、感染しやすい環境である。COVID-19 感染確定者を搬送する際には、厳重な感染防護策が必要になるとともに、搬送後は除染作業のため一定時間の運休が避けられない。

欧米のヘリコプター救急医療システム（以下 HEMS）は、COVID-19 重症例の医療機関間搬送を

行っているが、可能であれば感染防護のため可搬式患者隔離装置（PIU）を用いることを推奨している。

本研究では、ドクターヘリで安全に患者搬送を行うためにも要件に関する研究の一部として、本邦で利用できる可搬式患者隔離装置（PIU）を用いて COVID-19 重症例を搬送することの可能性について検証した。

B. 研究方法

今回下記2種類のPIUを用いてドクターヘリ実機（BK117C2・EC135）への搭載の可否を検証した。a.ストレッチャーとの固定、b.機内への搬入、c.機内での安全性と操作性について確認した。各機器の概要は以下の通り。

【PIU】

① IsoArk N36-6 (図1)

製造元：Beth-El industries

製造国：イスラエル

構造としては、患者が中に入るチャンバーと足側に吸入HEPAフィルターが設置されており、頭側に粒子フィルターを接続し、バッテリーを有したブロワーにより構成される。

チャンバー：患者が入る装置

幅：520mm
長さ：1980mm
高さ：600mm
重量（吸入HEPAフィルター含）：13Kg

粒子フィルター：

幅：405mm
長さ：208mm
高さ：373mm
重量：4.5Kg

ブロワー

幅：310mm
長さ：112mm
高さ：371mm
重量：10Kg

チャンバーと粒子フィルター装着時の全長：
2110mm

システム総重量：30Kg

② 可搬型陰圧クリーンドーム（図2）

製造元：株式会社日本環境調査研究所

製造国：日本

構造としては、患者頭側にのみ器具を設置し、胸部・腹部にかけてビニールで覆い、陰圧にすることで汚染物質の飛散を避ける。クリーンドーム側面から陰圧にするためのバッテリーを有した排気ユニットから構成される。

幅：450mm
長さ：300mm
高さ：450mm
重量：2Kg

排気ユニット：

幅：472mm
長さ：160mm
高さ：285mm
重量：約7Kg

クリアカバー

幅：472mm
長さ：1000mm
高さ：455mm

システム総重量：9Kg

③ 使い捨てBOXハッピーボードタイプ（ディスプレイ）（図3）

幅：450mm
長さ：300mm
高さ：435mm

前述のクリーンドームを段ボールをもちいてディスプレイにしたもの

【ドクターヘリ】

I. BK117C2

日時：2021年12月13日 12：00～

場所：東海大学医学部付属病院

機体の特徴：BK117C2は本邦で使用されるドクターヘリの中で最大級のキャビン容積を有し、キャビン後方よりロールインストレッチャーにより機体内に搬入する。

全長：13.03m
全幅：11.00m
全高：3.96m

II. EC135

日時：2021年12月17日 14：00～

場所：県営名古屋空港内

機体の特徴：フェネストロンによる安全なテールローターにより、世界、本邦においても最も使用されているEMSヘリコプターであり、キャビン後方よりロールインストレッチャーにより機内に搬入する。

全長：12.16m
全幅：10.20m
全高：3.35m

（倫理面への配慮）

本研究は特定の個人や動物等を対象とした研究ではなく、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

① IsoArk N36-6AR

I. BK117C2

方法：ストレッチャーに直接設置、その後ストレッチャーとPIUの間にバックボードを設置してキャビンに搬入した。

a. ストレッチャーとの固定

・今回のアイソレーターのチャンバー部分は現在のBK117C2用のストレッチャーよりも約10cm長かった（図4）。機内への搬入のためにはストレッチャーの後方とチャンバーの後方をそろえる必要があり、フィルターを装着したままストレッチャーに乗せるとアイソレーター前側が落ち込むことが明らかになった。

・チャンバーは、ベルトによってストレッチャーと固定する必要がある。現在用いられているロールイン・ストレッチャーは機内搬入時にストレッチャーの足を折りたたむ構造であるため、ストレッチャー株に固定ベルトがあると脚が収納できないことが判明した（図5）。

・アイソレーターをストレッチャーへ乗せる際の作業性を容易にするため傷患者搬送に用いるバックボードをアイソレーターの下に固定し、バックボードとストレッチャーを固定する方法を試みた。しかしながらバックボードよりアイソレーターの方が少し長く、またバックボードとチャンバーとの固定もやや不十分であった（図6、7）。なお、この方法でも前項同様、ストレッチャーへ固定できないことが確認された。

b. 機内への搬入

・フィルターとブロワーを装着したままの、ドクターヘリ機体後方搬入口からの搬入は可能であるが不安定であった（図8）。

・ストレッチャーに固定したチャンバー部分のみをの搬入は問題なかった(図9)。

c.機内での安全性と操作性

・チャンバーとフィルターを装着すると、フライトドクターが搭乗する座席にはみ出してしまい、着座が困難であった(図10、11、12)。

・チャンバー側面に患者に対応するためのポートが設置されているが、チャンバー外の機内スペースは限られており、気管挿管等の複雑な作業は難しい印象であった。

・チャンバー内へ側面のポートを通して人工呼吸器もチューブや電線等を挿入しても、チャンバー内の陰圧が適切に保たれていることが確認できた。

II. EC135

方法：ストレッチャーに直接固定する方法、およびストレッチャーとPIUの間にバックボードを設置する方法で後方搬入口からキャビンに搬入を試みた。

a.ストレッチャーとの固定

・EC135用のストレッチャーは、BK117C2用のストレッチャーより長かったが、チャンバーの一部はストレッチャーからはみ出していた(図13、14)。

・BK117C2と同様にストレッチャーは折りたたみ式の脚であることからストレッチャーへの直接固定は不可であった。

・フィルターを付けた状態でチャンバーとバックボードを固定したが、後方はバックボードからはみ出していた(図15)。また、固定も不十分であった。

b.機内への搬入

・キャビン後方から搬入しようとしたが、チャンバーが搬入口より高く、搬入できなかった(図16、17、18)。

c.機内での安全性と操作性

・ストレッチャーで搬入できなかったため、アイソレーター本体を直接機内に持ち込んだ。チャンバーとフィルターを接続した状態でフライトドクターがアイソレーターの頭側で作業することを想定して配置したが、収めることができなかった(図19)。

・チャンバーとフィルターを装着すると、通常フライトドクターが搭乗する座席にはみ出してしまい、着座が困難であった。

・チャンバー内は陰圧は保たれていた。

② 可搬型陰圧クリーンドーム

I. BK117C2

方法：ストレッチャーとPIUの間にバックボードを設置して後部搬入口からキャビンに搬入した。

a.ストレッチャーとの固定

・現場や病棟からの移送を考慮してバックボードを用いた。専用の固定具でチャンバーとストレッチャーを固定する必要があるが、頭側に設置するクリーンドームの部分だけの固定であり、折りたたまれるストレッチャーの脚の部分にはかからないため固定は可能であった(図21、22)。

b.機内への搬入

・搬入には問題なく、排気ユニットを接続した状態での搬入も可能であった(図23)。

c.機内での安全性と操作性

・患者頭側に備品がないため、通常の業処置等可能なスペースは確保されていた(図24、25、26)。

・陰圧状態は十分保たれていたが、患者に接するためにはジップを開けると陰圧の程度は落ちる。大きく開けて隙間のある状態での作業では飛沫やエアロゾルが拡散する恐れがある。

II. EC135

a.ストレッチャーとの固定

・EC135用のストレッチャーはBK117C2のストレッチャーに比べ幅が狭く、クリーンドームを安定して設置することができなかった。

b.機内への搬入

・搬入口の高さよりドームが高く、搬入は困難であった。

c.機内での安全性と操作性

・実証できなかった。

③ 使い捨てBOX ハッピーボードタイプ(ディスプレイ)

方法：ストレッチャーとPIUの間にバックボードを設置してキャビンに搬入した。

I. BK117C2

a.ストレッチャーとの固定

・バックボードとチャンバーの固定は可能である(図27)が、バックボードとストレッチャーの固定が不十分であった(ベルトの長さ不足)(図28)。

b.機内への搬入

・②と大差はないため、搬入は行わなかった。

c.機内での安全性と操作性

・陰圧状態は十分保たれていたが、患者に接するために左右の窓を開ける必要がある。開けることで陰圧の程度は落ちた。大きく開けた状態での作業中での咳嗽などの際は飛散の恐れはある。

II. EC135

a.ストレッチャーとの固定

・BK117C2での検証実にて頭側側2か所穴をあけ、ストレッチャーに付属する肩用の固定具を通し患者と固定を行った(図29)。

・固定はできるがストレッチャーの固定具が患者と直接接することにより汚染の恐れが生じる。

b.機内への搬入

・搬入口の高さより高く、搬入の際は折りまげて、斜めにすることで何とか搬入はできた(図30、31、32)。

c.機内での安全性と操作性

・患者頭側に備品がないため、通常の業務は可能なスペースは確保されていた(図33)。

・陰圧状態は十分保たれていたが、患者に接するために左右の窓を開けると陰圧の程度が落ちる。大きく開けた状態での作業では飛沫やエアロゾルが飛散する恐れがある。

・紙製なので強度が弱く、操作時に不安がある。

D. 考察

今回3種類のPIUとドクターヘリ2種類を用いて検証を実施し、主にa.ストレッチャーとの固定、b.機内への搬入、c.機内での安全性と操作

性、について検討した（表1）。

a. ストレッチャーとの固定

可搬型陰圧クリーンドームをBK117C2のストレッチャーに固定する際は問題なかったが、それ以外の組み合わせでは、PIUとストレッチャーとの固定が困難または不十分であり、対策が必要と考えられた。

ドクターヘリは、救急現場のニーズに応じて様々な改良改善が行われており、ストレッチャーも様々な改良されてきた。一方航空法上、航空機乗組員は乗客の安全確保を図る必要があり、十分な安全確保（特に固定）ができない乗客を搭乗させ運航することはできない。

PIUのうちIsoArk N36-6sではストレッチャーの修理改造を伴う変更が必要である。一方、可搬型陰圧クリーンドームやディスポのハッピーバードタイプではチャンバーはかぶせてあるだけなのでストレッチャーの修理改造には至らないものの、多くの場合対応が必要であった（クリーンドームをBK117C2に設置するのは現状で可能）。

ドクターヘリには今回検証した以外にも様々な機体がいわれている。実際に使用する機体とPIUを用い、PIUとストレッチャーが確実に固定されるか否かを事前検証することは必須と考えている。

これに加えて、救急現場や病棟で患者を安全にストレッチャーに移し、チャンバーに収容のうえ、ヘリポートまで搬送し、ヘリに搭載して固定するまでの一連の操作が、感染防御と安全性の面で確実に行えることを事前確認することも必須と思われた。

b. 機内への搬入

BK117C2には1種類のPIUが可能、2種類が不可、うちIsoArkはフィルターを外せば搬入可能であった。一方、EC135にはいずれのPIUも搬入できなかった。

現在本邦で活動するドクターヘリは主に6機種あるがそのうち5機種がキャビン後方からの搬入である。今回使用した機体のうちEC135はその中で最も小型であるが、アイソレーターの高さがいずれも搬入口より高く、搬入することができなかった。一方IsoArkのチャンバーは長くEC135のキャビンからはみ出すことが明らかになった。同チャンバーには縦、長さが80mm短いタイプがある。今回は調達できなかったが、この小型IsoArkであってもEC135には搬入はできないと考えられた。BK117C2に対するフィルター付き小型IsoArkの搬入可否は、さらに検証を要する。

可搬型陰圧クリーンドーム、およびそのディスポ型の使い捨てBOXハッピーバードタイプもEC135の搬入口より高さがあり、搬入できなかった。

c. 機内での安全性と操作性

すべてのPIUで陰圧が適正に保たれることが確認された。一方、BK117C2でもIsoArkではPIU周囲の空間が十分には確保できず、機内での気管挿管などの処置は、不可能ではないが困難と思わ

れた。

可搬型陰圧クリーンドームおよび使い捨てBOXでは頭側に比較的広いスペースがとれるが、チャンパーへの操作性に限界があり、後者は紙製で強度がないため、気管挿管などの処置は難しいと思われた。

欧米では、重症のCOVID-19をヘリ搬送する際には事前に気管挿管を行うことが推奨されており、PIUを用いてもこの原則は変わらないと思われる。

現在のドクターヘリでPIUを用いて搬送する場合、1)軽症で安定した患者、または2)人工呼吸器管理下で比較的安定した患者、を対象とするのが妥当と思われる。また人工呼吸器やECMOを使った重篤なCOVID-19の搬送では、大型のPIUと通常のドクターヘリより大型の機体を選択し、訓練されたクルーが対応することが安全と考えられた。

d. その他

今回の検証では、世界的に広く使用されているPIUであるEpiShuttle（図34）などがコロナ禍の影響で輸入できず、検証できなかった。スイスのRegaでは自組織で専用PIUを開発しているが、これも入手困難であった。欧米でCOVID-19の搬送に最も多く用いられているH145への搭載も実証できなかった。これらについても、今後検証しておくことが望ましい。

本検証ではブローヤや排気ユニットなどの電源と機体のエンジン及び電子機器の干渉については未検証の為、別途確認が必要となる可能性がある。

公的機関とは異なり、民間事業者による運用になっているドクターヘリにおいては、万全の感染防護策と不測の事態への準備など、従業員の安全安心が確保される環境整備が必要不可欠である。運航会社によっては、感染症類別によって運航不可と運航規程に定めている場合もあるので確認が必要である。

E. 結論

・今回検証したPIUは、陰圧性能などに問題はなかったが、ストレッチャーへの固定、チャンパー等の大きさ、機内での作業性に問題が確認された。一部、修理改造と国土交通省の確認作業が必要となるものもあった。

・現状で改修せずに搬入可能なのは、BK117C2に可搬型陰圧クリーンドームを用いる場合のみであり、他の組み合わせには何らかの対策が必要である。

・現在のドクターヘリの機体でPIUを用いた搬送を行う場合、軽症で安定した患者、又は人工呼吸器管理下で比較的安定した患者を対象とするのが妥当と思われる。

・重篤な患者の医療機関間搬送では、大型PIUと専用の大きな機体を用い、訓練された専任クルーが実施するのが安全である。

・いずれにせよ運用を開始する前に、病棟～ヘリポート～ヘリに患者を搬入し固定するまでの一連

の作業について、実際の機体と PIU を用いて検証する必要がある。

・実運用には運航会社の規程や雇用契約の問題なども事前に確認し、総合的に検証する必要がある。

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

表 1. 検証結果のまとめ

機体	PIU の種類	ストレッチャーへの固定	機内への搬入	機内での陰圧保持・作業の可否
BK117C2	IsoArk N36-6	要修理・改造	可能だが不安定 (小型のチャンバーを検討)	陰圧は保持 着座困難
	可搬型陰圧 クリーンドーム	可	可	陰圧は保持 気管挿管は困難
	使い捨てBOX ハッピーボードタイプ	要対応	可	陰圧は保持 気管挿管は困難
EC135	IsoArk N36-6	要修理・改造	不可	-
	可搬型陰圧 クリーンドーム	不可	不可	-
	使い捨てBOX ハッピーボードタイプ	要対応	不可 (折り曲げると可)	-

図1 IsoArk N36-6



出典：(株)ジャコムトレーディング資料より

図2 可搬型陰圧クリーンドーム



出典：(株)eロボティクス資料より

図3 使い捨てBOX ハッピーバード



図4：BK117 ストレッチャー上の IsoArk



図5：BK117 ストレッチャー上の IsoArk



図6：バックボード上に固定



図7：バックボード上に固定



図8：搬入前



図9：搬入中



図10：チャンバーが座席方向に突出



図11：フィルターを装着すると着座困難



図 12：フィルターを装着すると着座困難



図 13：EC135 の折り畳み脚ストレッチャー



図 14：チャンバーの方がやや長い



図 15：バックボードより長い



図 16：チャンバー高が搬入口より高い



図 17：チャンバー高が搬入口より高い

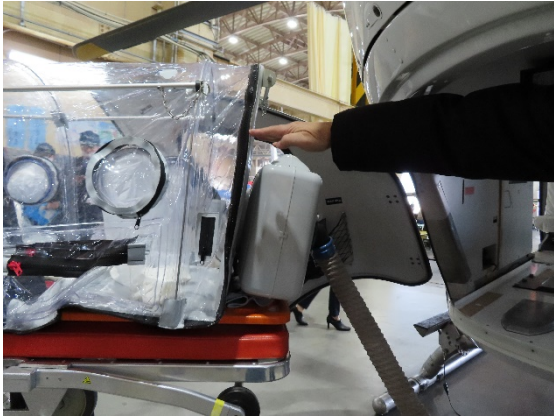


図 18：チャンバー高が搬入口より高い



図 19：チャンバーが長く収容不可



図 20：左図の状態でも着座はぎりぎり



図 21：可搬型陰圧クリーンドーム

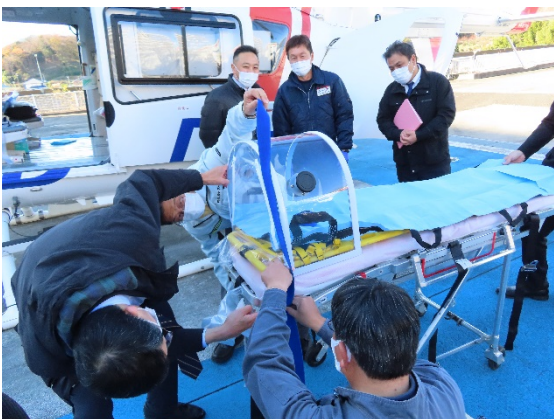


図 22：固定は問題ない

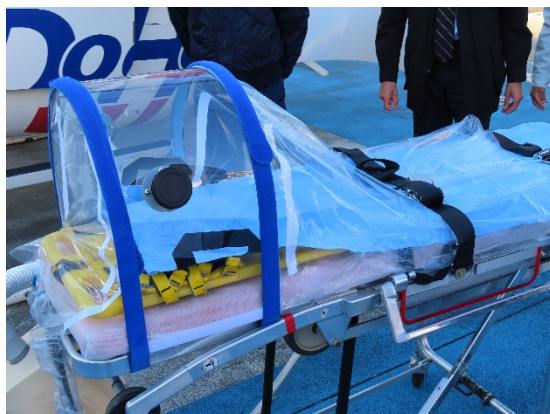


図 23：ストレッチャーの脚も収容可能



図 24：BK117：頭部に余裕あり

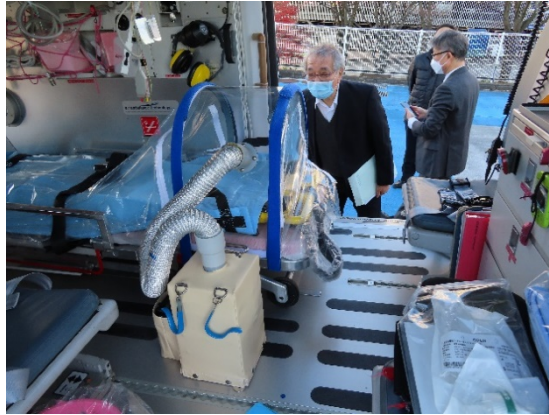


図 25：頭側スペースに余裕あり

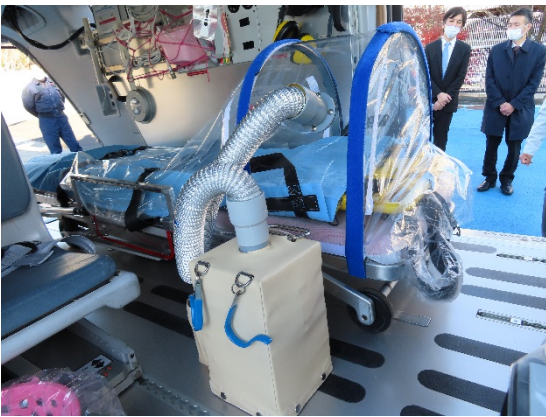


図 26：頭部スペースに余裕あり



図 27：使い捨て BOX バックボードへの固定

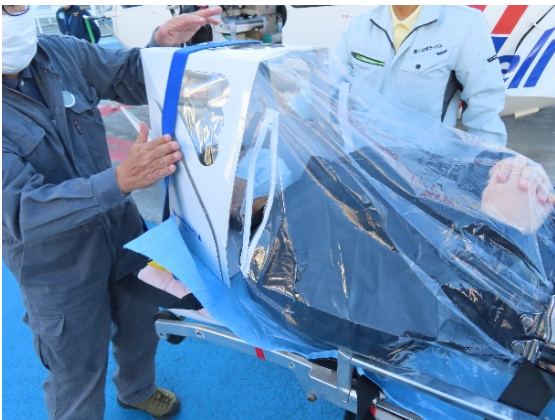


図 28：ストレッチャーへの固定



図 29：固定した使い捨て BOX



図 30： EC135 の搬入口より高い



図 31：そのままでは EC135 の搬入口より高い 図 32：折り曲げて搬入



図 33：頭側のスペースは確保される



図 34.EpiShuttle

