

令和6年度 血液製剤使用適正化方策調査研究事業  
研究報告書

離島医療圏への無人航空機を用いた血液製剤搬送体制の実用化に関する研究；  
社会実装へ向けた課題の視覚化

研究代表者 長井 一浩  
長崎県合同輸血療法委員会 代表世話人  
独立行政法人 国立病院機構長崎医療センター 臨床検査科

## 研究要旨

われわれは、固定翼無人航空機 (unmanned aerial vehicle; UAV) による輸血用血液製剤の長距離航空搬送の実用化を目指して、その実行可能性の基礎検討を行っている。この取り組みに加えて、今回の研究では、このUAV搬送ならびにBlood rotationによる循環型血液製剤運用といった新しい血液製剤供給体制を地域で展開するうえで解決を要する多様な課題を明らかにするために、離島医療機関や赤十字血液センターの関係者にヒアリングを実施した。これら新規供給体制は、地理的条件故の長時間の供給のリードタイムに対して製剤在庫量を調整・準備せざるを得ない現状を克服し適切な在庫と廃棄の抑制に寄与するものと期待が寄せられた。今後、これら新たなシステム導入による臨床的実効性や適正輸血への寄与を明らかにしたうえで、事業としての適正性継続性を担保し得るスキームを構築するために多様な関係者による協議と継続的なモニタリングが必要である。

## A.背景

離島地域の医療機関においては、その地理的条件の制約故、未使用分製剤の廃棄率は恒常的に高く、貴重な血液製剤の有効利用の観点から、医療機関における適正使用推進と共に血液製剤供給や運用の在り方の改善が強く望まれる。

近年、UAV の実用化が、多様な領域においてめざましい勢いで進んでいる<sup>1-3)</sup>。医療の分野でも、医療資材を無人で搬送する等の目的で様々な取り組みがなされつつある。UAV を用いた輸血用血液製剤の搬送については、既に一部実用化乃至はそれへ向けた検討がなされている。わが国で最も多く有人島嶼地域を擁する長崎県において、われわれは令和5年度の本事業の支援を受け、固定翼タイプ UAV を使用した飛行搬送による赤血球製剤の品質への影響を評価し、その至適搬送条件を検討してきた。

一方で、このような新規の血液製剤供給体制の社会実装を実現するためには、離島医療機関、血液事業者、地域薬剤師団体、搬送業者そして行政担当者等の関係者のニーズや意向を十分に勘案することが不可欠であるが、こ

れまで、そのような議論は進んでいるとは言えない。また、そのような議論の場として、医療者、血液事業者、行政が参画した合同輸血療法委員会が活動することは意義が大きいものと考えられる。

## B.研究目的

離島圏医療機関におけるより効率的な輸血用血液製剤運用のための UAV 使用を含む血液製剤の新たな搬送体制の社会実装を実現するために、離島の医療機関ならびにこれを取り巻く地域社会の課題を明らかにすることを目的とした。

## C.研究方法

### I 離島圏医療機関部会へのヒアリング

令和5年度に日本赤十字社の輸血用血液製剤を使用した輸血療法を実施した長崎県の離島医療機関に対し、ヒアリング調査の依頼を行った。

ヒアリングは、研究者に加え、長崎県赤十字血液センターならびに長崎県業務行政室のスタッフと共に、オンラインで実施した。

ヒアリングの内容は以下の通りである。

1. 離島の各医療機関における輸血用血液製剤の緊急需要発生状況と対応の現況
2. BCからの血液製剤(緊急)配送状況
3. UAV供給の実効可能性(航路や配送ポイント、搬送ルート並びに作業手順の設定、人員対応、各地域の物流対応、通信機能、コスト)
4. 対象地域の特徴と UAV 供給への対応可能性(BCとの連携体制、地域行政、人口動態・分布、医療機関の地理的条件や機能、医療コミュニティや住民の理解)
5. 輸血用血液製剤供給に係る問題点や要望(医療機関間融通の在り方、blood rotationとの併用、等)

## II 離島圏医療機関部会

長崎県合同輸血療法委員会の傘下に、離島における輸血療法の課題を継続的に協議する離島圏医療機関部会を立ち上げるべく、合同輸血療法委員会世話人会において協議を進めた。

### D.研究結果

#### I ヒアリング調査

今回ヒアリング対象としたのは、当該地域の基幹病院で日常的に在庫を保有する2施設(五島市、壱岐市、各1施設ずつ)と、輸血件数が少なく在庫を保有しない3施設(五島市2施設、壱岐市1施設)であった(図1)。

#### 【離島医療機関における輸血療法の現況と課題】

比較的規模の大きい在庫保有医療機関における廃棄率は依然高い状態が続いている。廃棄要因は殆どが在庫分の期限切れによるものであった。これは、離島故の不安定な供給状況であることに加え、近隣医療機関からの緊急の要請に応えるべく、在庫量が過多になる傾向があることが影響していると考えられる(表1)。

一方、在庫を保有しない医療機関では、廃棄率は極めて低い。しかし、急な輸血需要の発生に対し、臨時の発注から納品までの時間が長いことが問題であり、県の防災ヘリの出動や、天候条件によってはこの供給が叶わず、患者の

移送や血液製剤の融通事案も発生している。

#### 【BCからの血液製剤(緊急)配送状況】

製剤の供給は、すべての医療機関に対し地域BCからの直配体制がとられている。使用される船便や航空便の運行状況に合わせた搬送ルートとならざるを得ず、臨時発注の場合のリードタイムは短くても5~6時間に及んでいる。また、天候事情による不測の欠航は勿論のこと、運輸業者側の事情による運行状況の変化(減便等)の問題も起こっている。

#### 【UAV供給の実効可能性】

在庫保有、非保有のいずれの医療機関も、UAVによる飛行搬送には一定の期待、とりわけ発注から納品までのリードタイムの大幅短縮に関して、有望ではないかという意見が寄せられた。

一方で、BCとの連携も含め運用体制の詳細が不明確である、必要な人員や陸送部分の手配、コストの問題はどうなるのか?等の疑問が示され、これらの情報について不足していることが明らかになった。また、夜間の運用の可能性について意見が示されていたが、UAV運営会社サイドの検討が進んでいない状況であった。

#### 【対象地域の特徴とUAV供給への対応可能性】

全国の離島地域と同様に、長崎県の離島地域でも人口減少ならびに少子高齢化傾向を経年的にみとめている。今回ヒアリング対象となった医療機関では、待機手術における輸血療法の実施件数に近年大きな変動はみとめていなかった。心臓血管外科領域等急速に大量輸血を要する手術の場合、殆どが本土医療機関に患者を転送している。また、三次救命救急医療施設はなく、危機的対象出血患者も少ない。一方で、高齢者を中心に内科的輸血を要する患者は常に一定数存在しており、とりわけ難治性慢性血液疾患患者は、本土医療機関との連携をとりながら、離島医療機関において反復輸血を長期に要する場合が多い。

従って、UAVによるインスタント搬送に関して、とりわけ臨時発注への対応時に有用であるとの意見が示されたものの、上記のようにその運

用面で不明な点も多く、また従来の方で搬送不能な天候状態でのUAVによる対応についても性能上の問題があると考えられた。

今回ヒアリング対象となった医療機関のうち規模が最大の五島市の基幹病院は比較的高台の立地であり敷地内への配送ポイント設定も可能であると思われたが、その他は市街地の中にあり、また、現在の規制基準に照らした場合、より海岸に近い非居住地域に配送ポイントを設置、そこから陸送手段へ繋ぐ必要があると考えられた。

五島市については、既に列島内(上五島地域)における内服薬配送サービスを開始しており、地域の保健衛生行政担当者や薬局関係者との理解および協働がなされている。今後、輸血用血液製剤に関しても同様の関係者との間でコンセンサスを得る必要がある。

#### 【輸血用血液製剤供給に係る問題点や要望】

上記のような緊急配送状況故に、製剤の融通は、地域の基幹医療機関を中心として近隣に対し実施されている状況が明らかとなった。一部では、医療機関間の申し合わせやマニュアルが設けられているとのことであった。しかし、院内検査体制の変化や融通事例の派生に対応したフォローアップや手順の見直し等の関連病院間での協議は行われていない。一部の在庫非保有期間では、融通が可能である旨認識していなかった。

BRについては、在庫保有、非保有のいずれの医療機関も期待が寄せられていることが明らかになった。運用面では、Active Transport Refrigerator (ATR) 格納製剤の使用/院内在庫への移行の課題や格納製剤の本数や血液型毎配分、コスト等の課題が明らかとなった。また、在庫非保有医療機関からは、在庫保有医療機関でATRを設置してもらい、ここから要時に融通してもらおう体制の可能性について意見が出された。

#### II 離島圏医療機関部会の設置

長崎県合同輸血療法委員会世話人会においてその設置を諮ると共に、関連離島医療機関やそれらの多くを束ねる長崎県病院企業団との交渉を進めており、各種手続きを経て継続的な会議体とする目途が得られた。綱領承認

等の事務手続きを経て、令和7年夏活動開始予定である。

#### E.考察

固定翼UAVを用いた赤血球製剤の本土離島間約100kmの海上飛行搬送については、令和5年度の本事業の助成を受け技術的および品質管理面での検討を進めてきた。令和6年度においても、引き続きデータを集積してその実行可能性を明らかにすることが出来た。すなわち、今回使用したUAV (Zipline platform I, 米国Zipline社) の性能ならびに航行システムをもって安定した運航が可能であること及び搬送容器の正確な投下を確認できた。搬送中の容器内温度を夏季、冬季等通年で2~6℃の範囲に安定して維持するための梱包ならびに保冷方法を最適化(ハンモック型、保冷材400g)することが出来た(図2)。また、赤血球製剤の品質への影響に関し、バッグの破損や溶血の発生は明らかでなかった。

血液製剤搬送目的で検討されてきたUAVは殆どがマルチコプタータイプであり<sup>1-3)</sup>、高速性や巡行距離等で優位性のある今回の固定翼タイプUAVを用いたわれわれの検討の意義は大きい。加えて、ソフトウェア面では、管制システムによって飛行スケジュールを包括的に管理可能であり、将来の搬送ネットワーク構築に有用であると考えられた。

長崎県合同輸血療法委員会では、令和2年に、離島医療機関に対する輸血医療の実態ヒアリング調査を実施した(令和2年度血液製剤使用適正化方策調査研究事業助成)。今回のヒアリング調査実施までの期間には、日赤BCからの直配体制開始、緊急時の医療機関間融通に関する通達、赤血球製剤の有効期間延長等の血液製剤供給・運用に係る状況の変化が生じた。さらに、医療機関サイドにおいては、在庫非保有医療機関から地域基幹病院への紹介、出血リスクの高い産婦をはじめとした本土医療機関への紹介や在庫数の調整等が行われていた。しかし、今回のヒアリング結果からは、在庫保有医療機関における製剤の高廃棄率に大きな変化は認められなかった。ヒアリングの反応からは、製剤供給のリードタイム(とりわけ臨時発注分における)の長さがその主たる要因であると考えられた。さらに、このような事態

に対応するための医療機関間の製剤融通に関して、その運用のレビューや手順の更新は実施されておらず、適切な運用が維持推進される状況が確認できなかったことも影響している。このことは、前述のBR/ATRを中心とした医療機関間融通の実現可能性を検討するうえで重要なポイントとなるものと考えられる。また、近年の物流業界の抱える人手不足、燃料費等のコスト増大、地域人口の減少傾向に伴う減便等、製剤供給ロジスティクス自体のリスクに注視すべき状況も重要である。

このような状況に対し、BRやUAVといった新しい供給体制の構築を有望な手段とするために、関係者間で緻密な議論と行動を要する段階に入ったものと考えられる。これらの手段によって、地域における医療資源のより円滑で効率的な運用・配置が可能となれば、地域社会の様々な変化（人口構成、経済状況、交通・物流状況等）にも適切に対応可能になるものと考えられる。しかし、ヒアリングの結果から、この体制を実現するための準備は未だ端緒にすぎたばかりであると思われる、具体的なスキーム構築や情報の集積が求められる（図3）。

BRによる循環型血液製剤運用体制は、東京都での継続的な取り組みに加え、鹿児島県、新潟県、本県での試験的取り組みによって実績が重ねられてきた。今後、BCからの返品再出庫や今回のヒアリングにおいて意見が出された地域基幹病院から周辺非在庫保有医療機関へのBR/ATRを介した臨時製剤融通の実効性といった課題も含めた運用の標準化を目指すべきである<sup>4)</sup>。また、UAV搬送の最大の特徴である発注からのオンデマンド（あるいはインスタント）供給によるリードタイムの大幅短縮は、離島医療機関における血液製剤運用の在り方を大きく変える可能性がある。そのためには、コスト構造をはじめ適正に継続可能な事業スキームを確立する必要がある。また、現在利用可能なUAVの性能の更なる向上（ペイロードの向上、積載貨物への物理的影響の最小化、気象条件への対応能や運行管理性能の向上、等）も重要な要素となるであろう。

今回検討した新規血液製剤供給体制に関しては、島嶼地域や僻地の医療・保健衛生行政に関わる課題であること等を踏まえると、地域の医療機関やBC担当者、保健衛生行政担当、

地域薬局関係者、陸送関係業者ならびにUAV運用業者による協議が不可欠である。加えて、合同輸血療法委員会のような会議体が、運用に関するモニタリング・評価の取り組みに関与してゆく意義も大きいと考えられる。今年度より立ち上げの準備を開始した合同輸血療法委員会傘下の離島圏医療機関部会の継続的な活動が、離島医療機関の関係者をはじめとする関係者の継続的な協議の場として機能してゆくことが求められる。

## F. 結語

本研究の成果は、離島地域等における輸血用血液製剤の効率的な運用、すなわちこれら地域の医療機関における需要変化に適切に対応可能な新規血液製剤供給システムを社会実装するための対象地域医療機関を含む多様な関係者からの意見を糾合し、課題を明らかにしたものである。

今後、新規輸血用血液製剤供給体制の臨床的実効性や事業継続性に係る検討を進めることによって、それらの最適化された運用システムの構築を目指す。これらの取り組みは、離島地域での輸血医療の安全で安定的な供給の確保と貴重な血液製剤の有効利用促進に貢献することが期待できる。

## G. 研究組織

《研究代表者》

長井 一浩

（独立行政法人国立病院機構長崎医療センター 臨床検査科）

《共同研究者》

吉田 真一郎

（独立行政法人国立病院機構長崎医療センター 血液内科）

糸永 英弘

（長崎大学病院 細胞療法部）

曾篠 恭裕

（日本赤十字看護大学附属災害救護研究所 災害救護技術部門）

前田 隆浩

（長崎大学大学院医歯薬学総合研究科 離島・へき地医療学講座）

## H.健康危険情報

該当なし

## I.参考文献

- 1) Lammers DT, et al. Transfusion 2023; 63: S96-S104
- 2) Bates M et al. Transfusion 2021; 61: S223-S233, Xia J, et al. Computer Methods and Programs in Biomedicine 2023;235:doi.org/10.1016/j.cmpb.2023.107512
- 3) Amukele T, et al. Transfusion 2017; 57:582-8.
- 4) 大久保光夫, 藤田 浩, 関 義信, 藤巻拓也, 石原智子, 富山隆介, 深堀道俊, 常深あきさ, 大橋晃太. 輸血医療における可搬冷蔵庫Active Transport Refrigerator (ATR) 運用のエキスパートコンセンサス. 日本輸血細胞治療学会誌 71(1); 17-21, 2025.

## J.研究発表

### 1. 論文発表

- 1) Kazuhiro Nagai, Noriyuki Tomari, Satoko Egawa, Yoshito Koga, Hidehiro Itonaga, Daisuke Imanishi, Shinichiro Yoshida, Ikuo Kinoshita, Yasushi Miyazaki and Asashi Tanaka. Feasibility evaluation of a blood rotation system for efficient blood product utilization in remote island settings. Vox Sang 119(6); 548-55, 2024. doi:

10.1111/vox.13626.

- 2) Kazuhiro Nagai. Enhancing blood transfusion service on the remote islands of Japan. Transfusion Today 141; 32, 2024.

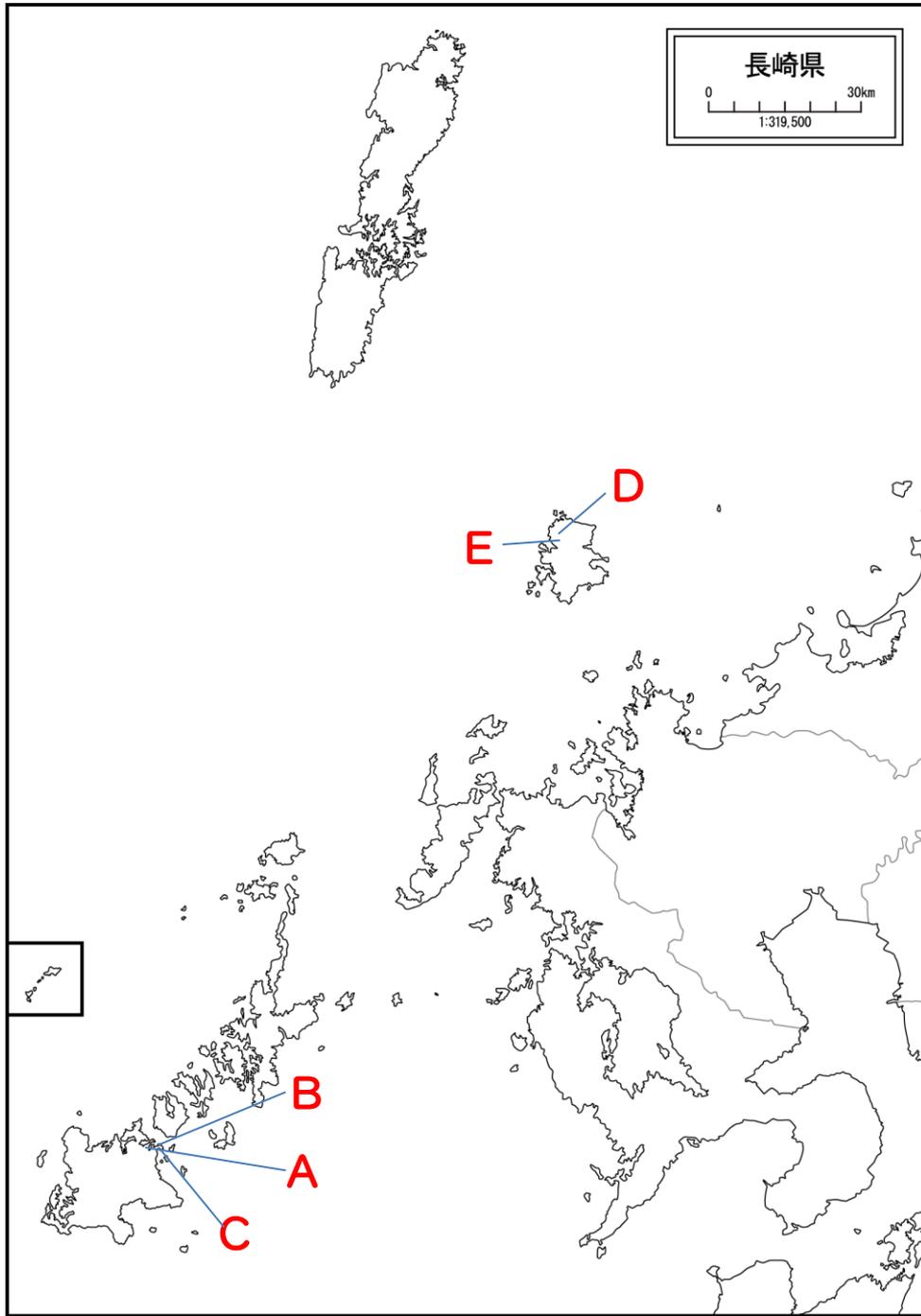
### 2. 学会発表

- 1) Asashi Tanaka, Kazuhiro Nagai, Hiroshi Oki and Kouji Matsuzaki. Utilization of fresh whole blood on remote Japanese islands. 38th International Society of Blood Transfusion International Congress, Barcelona, June 2024.
- 2) 長井一浩 新たな血液製剤のサプライチェーンは離島地域の輸血医療をどう変えるか. シンポジウム「各地域の血液製剤の有効利用の実態と成果・これから ver.3」-皆で共有しよう!有効利用のために-」第 72 回日本輸血・細胞治療学会学術集会、東京都、2024 年 5 月発表.
- 3) 長井一浩, 黒田卓也, 因幡朱理, 古賀嘉人, 系永英弘, 曾篠恭裕, 吉田真一郎, 宮崎泰司, 前田隆浩. 無人航空機を用いた赤血球製剤搬送の品質に及ぼす影響. 日本輸血・細胞治療学会九州支部第 71 回総会・第 92 回例会, 福岡市, 2024年11月.

## K.知的財産権の出願・登録状況

該当なし

図1 長崎県の離島とヒアリング対象医療機関



- A 在庫保有医療機関①
- B 在庫非保有医療機関①
- C 在庫非保有医療機関②
- D 在庫保有医療機関②
- E 在庫非保有医療機関③

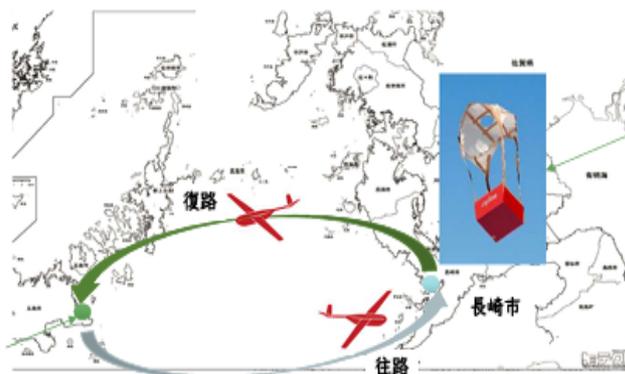
## a) Zipline ドローンシステムによる飛行実証実験

- 性能**
- 飛行速度: 時速100km
  - 航続距離: 拠点から半径80km (往復160km飛行可)
  - 可搬重量: 約1.75kg
  - 風速14m/s、降雨50mm/hまで飛行可能
- 配送方法**
- パラシュート付きの箱を使用
  - 自動で事前に定められた場所に投下し配送
  - 投下高度: 30m, 精度: 半径約10m
  - 配送後、ドローンは自動で拠点に帰還

管制システムによる広域・分散的な高頻度オペレーションが可

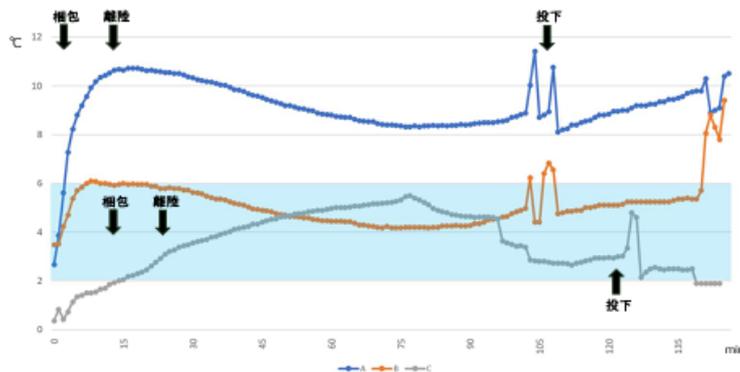


長崎県五島市に社会実装済



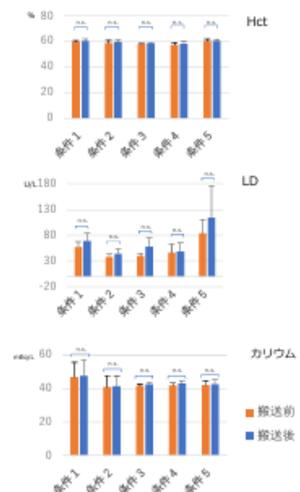
長崎市においてパラシュート投下実施

## b) 飛行搬送の至適条件: 庫内温度管理と溶血への影響



A(n=6): 保冷剤A+蓄熱剤, B(n=6): 保冷剤B, C(n=8): 保冷剤C

製剤上清中の溶血マーカーの搬送前後の変化



案件	box	保冷剤 (g)	n
案件1	ハンモック	400	3
案件2	ハンモック	蓄熱材350 + 100	3
案件3	クッション	400	3
案件4	クッション	蓄熱材350 + 100	3
案件5	— (飛行なし)	(4℃ 保冷)	3

図2 UAVによる飛行搬送実証実験

a) Zipline platform I の性能と航行システムの特徴

b) UAV 飛行搬送時の搬送庫内温度変化および赤血球製剤上清中成分変化; 保冷材の使用量はいずれも 400g.

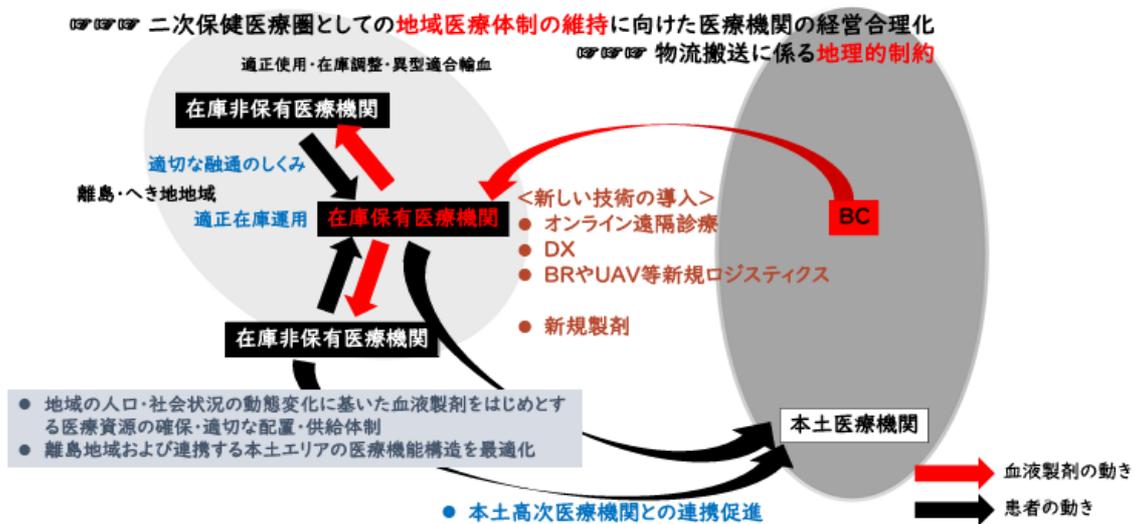


図3 新規血液製剤供給体制と離島における輸血医療の将来像

在庫保有医療機関①	年間使用量	用途	廃棄件数	廃棄単位	廃棄率
赤血球	1,038	内科的輸血、待機手術、救急	66	132	11.3%
血小板	1,970		3	30	1.5%
血漿	42		16	32	43.2%

在庫保有医療機関②	年間使用量	用途	廃棄件数	廃棄単位	廃棄率
赤血球	692	内科的輸血、待機手術、救急	32	64	8.5%
血小板	480		1	10	2.0%
血漿	80		8	16	16.7%

在庫非保有医療機関①	年間使用量	用途	廃棄件数	廃棄単位	廃棄率
赤血球	70	内科的輸血	0	0	0%

在庫非保有医療機関②	年間使用量	用途	廃棄件数	廃棄単位	廃棄率
赤血球	26	内科的輸血	3	6	18.8%

在庫非保有医療機関③	年間使用量	用途	廃棄件数	廃棄単位	廃棄率
赤血球	18	内科的輸血	0	0	0%
血漿	2		0	0	0%

表1 ヒアリング対象医療機関における血液製剤使用状況(2023年度;長崎県赤十字血液センター)