

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成26年 6月 16日現在

機関番号： 32657
研究種目： 基盤研究B
研究期間： 2011～2013
課題番号： 23300170
研究課題名（和文） マイクロ血液ドロップ型人工肺の開発に関する研究
研究課題名（英文） Study on development of a micro blood drop oxygenator
研究代表者
舟久保 昭夫（FUNAKUBO AKIO）
東京電機大学・理工学部・教授
研究者番号： 00307670
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）13,400,000円、（間接経費）4,050,000円

研究成果の概要（和文）：

本研究では、長期使用における問題を抱える膜型人工肺に替わるマイクロ血液ドロップ型人工肺を開発した。人工肺内部形状を最適化し、血液滴とPFC(Perfluorocarbon)の接触距離を増加させ、高いガス交換能を得た。さらに、血液とPFCの境界層で血液流れを制御することで、十分なガス交換能が得られ、PCF排出時の血液混入を防ぎ、血液のみの排出を実現し、より実用的で新たな人工肺として有用性が示された。

研究成果の概要（英文）：

In this study, a micro drop blood oxygenator has been developed for replace the membrane oxygenator with problems in long-term use. The oxygenator optimized housing was increased the contact distance of blood and PFC (Perfluorocarbon). Additionally, the controlled blood flow in the boundary layer of the PFC and blood was indicated sufficient gas exchange capability, and it was able to filtrate only the blood without contamination of blood to PFC. It was suggested that is useful as a practical novel oxygenator.

研究分野： 総合領域

科研費の分科・細目： 人間医工学，医用生体工学・生体材料工学

キーワード： 人工肺，Perfluorocarbon，アスピレータ，マイクロバブル

1. 研究開始当初の背景

近年，人工肺を用いた ECMO (Extra-corporeal Membrane Oxygenation), ECLS (Extra-corporeal Life Support), PCPS (Percutaneous Cardiopulmonary Support)などの長期間(数日-数ヶ月)にわたる呼吸・循環補助は国内でも急速に需要が拡大しつつある。これら呼吸・循環補助で用いられている人工肺の多くは、多孔質ポリプロピレンを材質とする膜型人工肺である。現在、市販されている膜型人工肺は、一般開心術用途において要求されているガス交換性能や圧力損失などの基本性能に関して十分な水準に達している。しかし、6時間以上の長期使用時には膜自体の疎水性が失われ、微小孔から血漿がリークし、血漿タンパク質の吸着に伴い孔部が閉塞し著しいガス交換能の低下を引き起こすなど耐久性や必要な基本機能を維持することが困難である。それに対し、均質膜であるシリコーン中空糸膜を用いた膜型人工肺が

ある。この人工肺は、中空糸表面に微細孔が存在しないため、血漿リークを防ぐことが可能である。しかし、シリコーン膜を介したガス交換であるため、ガス交換性能が不十分であり、ガス交換に必要な有効膜面積が膨大となる。そのため、血液がシリコーン中空糸膜を通過した際の大きな圧力損失による溶血を引き起こす。また、偏流による血液の停滞により血小板が中空糸などに付着し白色血栓に発達する。最終的に赤血球の凝集を招き血栓形成を引き起こすため使用期間が短いのが現状である。このような、6時間程度の使用しか承認されていない人工肺を急性呼吸・循環不全治療に使用しているため、長期間使用する場合は人工肺を交換する必要がある。この交換作業には大量失血のリスクが伴うため、医療従事者は安心して治療に取り組むことができないのが現状である。そのため、臨床において長期使用可能な人工肺の需要が非常に高まっており、その技術開発が急

務となっている。また、各社から様々な製品が発表されているが、有効膜面積は成人用で2.0m²程度が一般的となってきた。更に、人工肺の中空糸膜の密度や中空糸径、膜面積を始めとするパラメータは各社の製品を比較すると大差はなく、どこに特徴を持たせるかによりわずかに膜充填率や圧力損失、血液充填量や酸素移動量が異なる程度となっている。その上、製造面においても中空糸膜を使用するにあたり、封止行程によって箱型等に形状が制限及び限定されてしまうため、形状設計に自由度が少なく、革新的な技術展開がされていないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究では、膜型人工肺の問題点を改善し新たな可能性の展開として、中空糸膜を使用せずガス交換を行う新たな人工肺(Perfluorocarbon-Blood Contact Type Oxygenator: PBC-OX)の開発を目的とした。

PBC-OXは、Perfluorocarbon(PFC)を利用し、血液を直接接させることにより、両者のガス分圧差を利用しガス交換を行うものである。開発したPBC-OXの性能評価として、牛血液を用いた *in vitro* 評価実験を行った。

3. 研究の方法

3. 1 実験回路

Fig.1 に実験装置の概略図を示した。実験装置は、PBC-OX、ローラポンプ(EYELA RP-2100)、シリコンラバーヒーター、温度調節器(坂口電熱 SSR-SP)血液リザーバ、PFCリザーバから構成されている。

PBC-OXは、酸素化したPFC中に滴状にした血液を噴出させ、直接接することでガス交換を行う。血液とPFCの比重差を利用した浮上分離であり、血液滴は、PFC中を上昇移動しながらガス交換し、人工肺上部にてPFCと血液を分離する方式となっている。血液は、PFCとの接触面積を大きくすることで、ガス交換能を向上させることが可能である。そこで、水質改善方法で利用されているマイクロバブルに着目し、血液の微細化を行った⁸⁾⁻¹⁰⁾。マイクロバブルの発生方法は、圧壊、キャビテーション、剪断、微細孔など様々ある。今回は、ベルヌーイ効果およびベンチュリ効果を応用しマイクロバブルを発生するアスピレータを用いた。Fig.2にアスピレータの概略図を示した。アスピレータは、加速ノズルおよび血液吸込ノズルにより構成されている。この加速ノズルの前端には、円柱状のスパイラル整流版が収容されている。スパイラル整流版には、その軸心方向に対して斜状に貫通するひねり孔が4孔形成されている。PFCがアスピレータ内に流入されると、ひねり孔を通過することで直線状の流れであったPFCに旋回流が発生する。そして、旋回流が発生したPFCは、加速ノズルのテーパ通路を通過することでテーパ管の断面積低下により流速が増加し、流体の持つエネルギーが保存されるためベンチュリ効果により流体

圧力が低下する。そのため、加速ノズルと血液吸込ノズルの合流点において強い負圧が発生し、血液吸入ノズルを介して血液が自力でPFC中に吸引される。吸引された血液は、高速に増速された旋回するPFCにより剪断され微細化される仕組みとなっている。

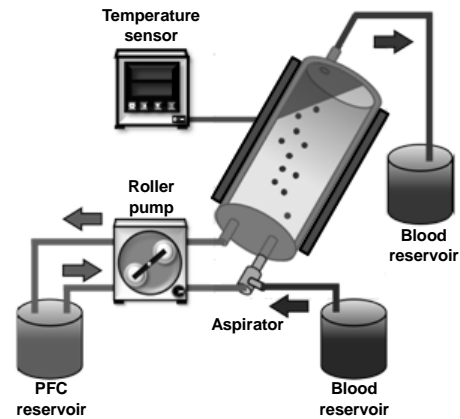


Fig.1 Block diagram of the experiment circuit.

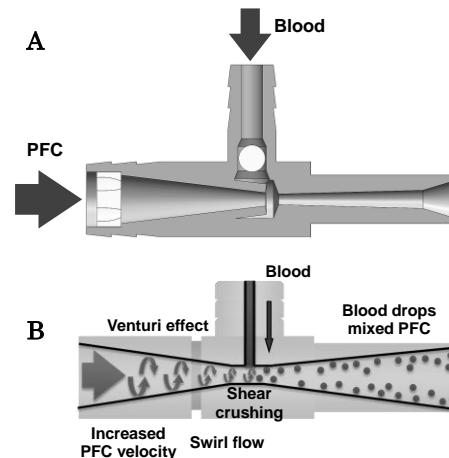


Fig.2 Aspirator appearance. A) Internal structure of aspirator. B) Operating principle.

3. 2 Perfluorocarbon

PBC-OXで用いたPFC(3M フロリナートFC-3283)は、炭素原子に結合した水素原子をフッ素原子に置換した物質であり、常温で高比重、疎水性、無色・透明・無臭である。また、炭素原子とフッ素原子の結合が強いため、化学的に非常に安定している。このPFCは、密度が1830 kg/m³、動粘度が0.82 cSt、表面張力が16 mN/m、更にガス溶解度が高く、水と比較し酸素ガス溶解度が約20倍、二酸化炭素ガス溶解度が約4倍という特徴を有する。そのため、血液の代替品である人工血液や重症呼吸不全の新たな治療方法として注目されている液体呼吸で用いられている。

3. 3 PBC-OX の仕様

Fig.3 に開発した PBC-OX の概観図を示した。また、Table 1 に PBC-OX の仕様を示した。PBC-OX は、直径 80 mm、高さ 200 mm、プライミングボリューム 1.0 L のアクリル製の円筒で構成されており、上部に血液流出、下部に血液と PFC の流入口、PFC 流出口がある。また、血液を流出する際に PFC の混入を防止するため、PBC-OX を 45° に傾けた。まず、クランプで α と β を閉鎖し PBC-OX 中に酸素化した PFC を満たした。その後、 α と β を開放し、ローラポンプより PBC-OX 下部のアスピレータに PFC を送り、静脈血をポンプで吸引させて滴状にする。血液滴は、密度の差により PBC-OX 中を上昇移動する間に PFC より酸素を吸収し動脈血となり、PBC-OX 上部で統合され流出される。

Table 1 Specification on PBC-OX.

Inside diameter	[mm]	80.0
Height	[mm]	200.0
Priming volume	[L]	1.0
Resin	[a.u.]	Acrylic

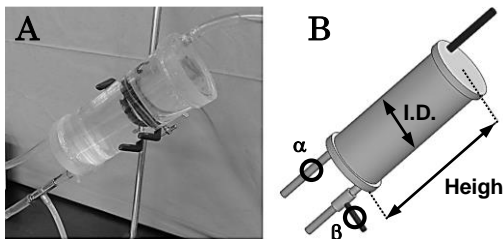


Fig.3 PBC-OX appearance. A) Photograph of PBC-OX. B) The structure of PBC-OX.

3. 4 *in vitro* 評価実験

Table 2 に初期の血液条件、Table 3 に初期の PFC 条件を示した。

開発した PBC-OX の性能評価として、血液流量、血液滴径分布、ガス交換能、溶血性能について測定を行った。PBC-OX に流入させる PFC 流量を 1.0 L/min と 1.5 L/min と設定し、この時における血液流量と噴流された血液滴径分布を測定した。また、ガス分析装置 (SIEMENS Rapidlab348) により、PBC-OX 一回通過後における血液の PaO₂ および PaCO₂ を測定した。そして、各流量において 60 分間、10 分間隔で溶血性能について評価を行った。

Table 2 Initial values of blood

Hematocrit value	[%]	37.0±1.0
Temperature	[°C]	38.0±2.0
PaO ₂	[mmHg]	35.0±5.0
PaCO ₂	[mmHg]	45.0±5.0

Table 3 Initial values of PFC

PFC flow rate	[L/min]	1.0, 1.5
Temperature	[°C]	38.0±2.0
PpO ₂	[mmHg]	> 745.0
PpCO ₂	[mmHg]	< 5.0

4. 研究成果

4. 1 血液滴径分布

Fig.4 に PBC-OX に噴流した血液滴を示した。また、Fig.5 に血液滴径分布を示した。

PBC-OX に噴流した血液流量について測定した結果、PFC 流量 1.0 L/min 時では、0.25 L/min、PFC 流量 1.5 L/min 時では、0.45 L/min であることが確認された。

また、Fig.4 よりアスピレータから PBC-OX 内に射出される血液滴の径は、100–800 μ m の範囲で広く分布しており 1.0 mm 以下に微細化されていたことが確認された。その中でも、200–399 μ m の血液滴が全体の約 70 % を占めており、血液 1.0 mL 当たりの表面積が約 $2.0 \times 10^4 \text{ mm}^2$ となることが確認された。

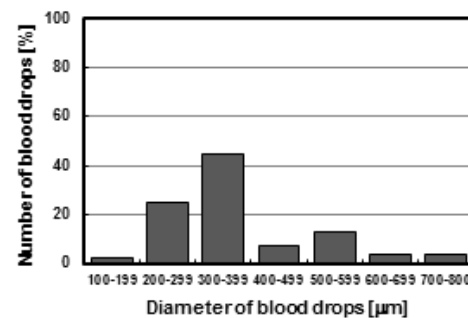


Fig.4 Relationships between percent of blood drops and diameter of blood drops.

4. 2 ガス交換能

Fig.5 に PBC-OX 一回通過後における酸素添加能 (Q_p/Q_t) の算出結果を示した。また、Fig.6 に PBC-OX 一回通過後における二酸化炭素排出能 ($\Delta \text{CO}_2/\text{PaCO}_2$) の算出結果を示した。

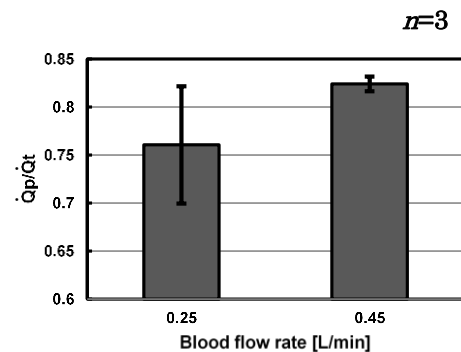


Fig.5 O₂ uptake capacity of evaluated PBC-OX.

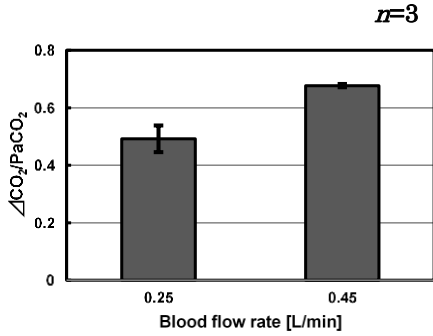


Fig.6 CO₂ elimination capacity of evaluated PB-OX.

これら換気特性の算出には循環器病センター方式を用いた。血液流量 Q を 0.25 L/min と 0.45 L/min の条件下で比較を行った。

酸素添加能は $Q=0.25$ L/min で 0.76 ± 0.06 , $Q=0.45$ L/min で 0.82 ± 0.01 と良好な酸素加を得られた。また、二酸化炭素排出能は $Q=0.25$ L/min で 0.49 ± 0.04 , $Q=0.45$ L/min で 0.68 ± 0.01 と二酸化炭素排出能においても良好な結果が得られた。以上より、PBC-OX は膜型人工肺と遜色なくガス交換を行うことが可能であった。

これは、血液を微細化したことにより、血液単位体積あたりにおける PFC 接触面積が拡大、また、血液滴の上昇速度が小さくなったため、PBC-OX 中の滞留時間が長くなり、PFC との接触時間が長くなったことにより、高いガス交換能が得られたと考えられる。

4. 3 溶血性能

Fig.7 に血漿遊離ヘモグロビン濃度の経時の変化を示した。

溶血性能については、検査液(wako ヘモグロビン B テストワコー)および分光光度計(HITACHI U-1500)を用いて血漿遊離ヘモグロビン濃度を測定した。血漿遊離ヘモグロビン濃度 Hb は式(1)から求められる。

$$Hb [\text{mg/dl}] = \frac{71.6 \times 6 \times Es}{0.509} \quad (1)$$

ここで、 Hb : 血漿遊離ヘモグロビン濃度, Es : 吸光度である。式(1)は、ヘモグロビン濃度の 71.6 mg/dl, プロトコルの希釈値である 6, 標準液の吸光度 0.509 に基づいている。

PBC-OX は、血液流量 0.25 L/min, 0.45 L/min 共に血漿遊離ヘモグロビン濃度はバラつきが確認されたが、60 分後における溶血量は、血液流量 0.25 L/min では約 40 mg/dl, 血液流量 0.45 L/min では約 45mg/dl となり、目標値である 50 mg/dL 以下を達成した。

しかし、このとき PFC 循環回路に微細化された血液滴が混入することが確認された。そのため、血液流量 $Q=0.25$ L/min と 0.45 L/min において 1 分間あたり PFC 循環回路に混入した血液量を測定した。

PFC 循環回路に混入した血液量は、 $Q=0.25$ L/min で 5.0 ± 2.0 ml/min, $Q=0.45$ L/min で

10.0 ± 2.0 mL/min であった。

これは、血液滴流入部と PFC 流出部の間隔が近かったため、浮力の小さい血液滴は PFC の流れに影響を受けやすく、PFC 循環回路に引きこまれたと考えられる。

5. 考察

現在、臨床において使用されている人工肺の多くは、多孔質ポリプロピレンを材質とする膜型人工肺である。しかし、膜型人工肺は、長時間の中空糸膜と血液の接触により膜面へ血漿成分が付着し目詰りを生じたり、膜面より血漿の漏出を生じたりしてガス交換能が低下していく。そこで本研究では、膜型人工肺の問題点を改善し新たな可能性の展開として、中空糸膜を使用せずに血液と PFC を直接接触させてガス交換を行う新たな人工肺である PBC-OX の開発を行い、牛血液を用いた in-vitro 評価実験を行った。効率良く血液を酸素加および二酸化炭素除去を行うため、血液を滴状にして血液単位体積あたりの接触面積を広げる必要がある。そこで、アスピレータを用いて PFC 中に微細化させた血液を射出させる方式を採用した。

血液滴径分布測定の結果より、アスピレータから PBC-OX に噴流された血液滴径は 200–399 μm であることが確認された。

これより、噴流された血液滴の表面積は約 0.3 mm^2 となり、血液量 1.0 mL では、約 2.0×10^4 mm^2 となる。これと 1 滴 1.0 mL の血液滴を比較すると、約 40 倍となり、血液単位体積当たりにおける PFC 接触面積が増加したことが明らかである。また、血液滴径が小さくなったことより、血液滴体積が微細となり、上昇速度が遅くなる。そのため、PFC との接触時間に関しても増加したことが考えられる。そこで、今回得られた血液滴の上昇速度を求めた。血液滴の上昇速度は、PFC 中を上昇移動する血液滴に働く浮力と PFC から受ける抗力が等しくなる速度で上昇するため、式(2)で表される。

$$(\rho_{PFC} - \rho_{Blood})gV_{Blood} = C_D \frac{1}{2} \rho_{PFC} U^2 S \quad (2)$$

ρ_{PFC}	:	PFC density
ρ_{Blood}	:	Blood density
g	:	Gravitational acceleration
V_{Blood}	:	Blood droplet volume
C_D	:	Drag coefficient
U	:	Ascent velocity
S	:	Cross-section area
d_{Blood}	:	Blood droplet equivalent diameter
Re	:	Reynolds number
ν	:	Kinematic Viscosity

以上結果より、200–399 μm の血液滴では、上昇速度が約 12–50 mm/s であり非常に遅いことが得られた。PBC-OX に噴流される血液流量の測定結果では、PFC 流量 1.0 L/min 時に、0.25 L/min, PFC 流量 1.5 L/min 時に、0.45 L/min であったため、新生児の体内血液流量である 0.6 L/min を達成することが困難であった。この原因として、今回用いたアスピレータの性能が大きく関係する。アスピレータは、流水管と吸引管が交わる部分である喉部の断面積を狭めて流速を増加させ、減圧させるベンチュリ効果を利用して血液を吸引する仕組みとなっている。しかし、PFC 流量が高いほど管内の喉部における圧力が低くなり血液流量が増加可能であるが、過度な陰圧により溶血を引き起こすと考えられる。そのため、アスピレータに流す PFC 流量について検討する必要がある。ガス交換能における測定結果より、PBC-OX は PaO_2 , PaCO_2 共に目標値を達成することが可能であり、十分なガス交換性能を有することが確認された。これは、血液を微細化したことにより、血液単位体積あたりにおける PFC 接触面積が拡大、血液滴体積が微細となり、血液滴は上昇速度が小さくなったことにより、PFC との接触時間が長くなったことで高いガス交換能が得られたと考えられる。また、溶血性能における測定結果では、PBC-OX は、血液流量 0.25 L/min, 0.45 L/min 共に血漿遊離ヘモグロビン濃度にバラつきが見られたが、常に目標値である 50 mg/dL 以下を達成し、大きな溶血は確認されなかった。また、PBC-OX は、ガス交換能、溶血性能について満足できる結果が得られたが、PFC 循環回路に微細化された血液滴が混入する問題が生じた。

今後は、本研究で得られた成果を基に、血液流量の向上させるための PFC 流量条件の策定およびシステム開発を行う。また、血液滴が PFC 循環回路に混入することを防ぐため、血液と PFC の分離方法や PBC-OX のハウジング設計の検討が必要であると考えられる。

6. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- (1) 横井涼, 宮城成宏, 日比野麻衣, 幡多徳彦, 福井康裕, 舟久保昭夫, フッ素不活性液体をガス交換用媒体として用いた液-液接触型人工肺の開発および性能評価. ライフサポート26(2), 2014(印刷中)
- (2) 横井涼, 幡多徳彦, 野中一洋, 福井康裕, 舟久保昭夫: 完全液体呼吸専用人工肺の開発および性能評価, ライフサポート学会誌, 24 (3), 117-122 (2012)
- (3) 横井涼, 野中一洋, 福井康裕, 舟久保昭夫: 再循環型完全液体呼吸用システムの開発および NR13 性能評価に関する研究, 生体医工学, 50 (1), 168-173 (2012)

[学会発表] (計 23 件)

- (1) 宮城成宏, 横井涼, 幡多徳彦, 福井康裕, 本間章彦, 舟久保昭夫, Perfluorocarbon を使用した液-液人工肺システムの開発に関する研究. 第 51 回日本人工臓器学会, 2013 年 9 月 27 日~9 月 29 日, パシフィコ横浜(神奈川県)
- (2) 宮城成宏, 横井涼, 幡多徳彦, 荒船龍彦, 本間章彦, 福井康裕, 舟久保昭夫, 液-液人工肺システムの開発に関する研究. 第 41 回膜型人工肺研究会, 2013 年 9 月 29 日, パシフィコ横浜(神奈川県)
- (3) 加賀谷基, 横井涼, 宮城成宏, 佐藤耕司郎, 幡多徳彦, 荒船龍彦, 本間章彦, 福井康裕, 舟久保昭夫, 膜型人工肺の完全液体呼吸システムへの応用に関する研究. 第 41 回膜型人工肺研究会, 2013 年 9 月 29 日, パシフィコ横浜(神奈川県)
- (4) 横井涼, 日比野麻衣, 宮城成宏, 幡多徳彦, 福井康裕, 舟久保昭夫, 完全液体呼吸用人工肺のハウジング形状とガス交換能に関する検討. 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2013, 2013 年 9 月 2 日~9 月 4 日, 山梨大学(山梨県)
- (5) Narihiro Miyagi, Ryo Yokoi, Norihiko Hata, Yukihiro Honma, Yasuhiro Fukui, Akio Funakubo, Investigation of relationship between blood particle size and gas exchange performance on liquid-liquid oxygenator. 35th annual international conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society in conjunction with 52nd Annual Conference of Japanese Society for Medical and Biological Engineering, July 3-7(2013), Osaka International Convention center(Osaka Japan)
- (6) Motoi Kagaya, Ryo Yokoi, Koshiro Sato, Yasuhiro Fukui, Akio Funakubo, Development of a membrane oxygenator for total liquid ventilation. 35th annual international conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society in conjunction with 52nd Annual Conference of Japanese Society for Medical and Biological Engineering, July 3-7(2013), Osaka International Convention center(Osaka Japan)
- (7) Motoi Kagaya, Ryo Yokoi, Koshiro Sato, Yoichiro Kawaguchi, Norihiko Hata, Yukihiro Honma, Yasuhiro Fukui, Akio Funakubo, Evaluation of silicone hollow fiber membranes for total liquid ventilation oxygenator. ASAIO 59th ANNUAL CONFERENCE, June 12-15(2013), Fairmont Hotel (Chicago, U.S.)
- (8) Narihiro Miyagi, Ryo Yokoi, Norihiko Hata, Koshiro Sato, Yoichiro Kawaguchi, Yukihiro Honma, Yasuhiro Fukui, Akio Funakubo, Development of a Liquid-Liquid Oxygenator with micro-drops of blood,

- ASAIO 59th ANNUAL CONFERENCE, June 12-15(2013), Fairmont Hotel (Chicago, U.S.)
- (9) 宮城成宏, 横井涼, 幡多徳彦, 本間章彦, 福井康裕, 舟久保昭夫, Perfluorocarbon-血液接触型人工肺の開発に関する研究, 第 22 回ライフサポート学会フロンティア講演会, 3 月 2 日(2013), 慶應義塾大学芝共立キャンパス(東京都)
- (10) 宮城成宏, 横井涼, 幡多徳彦, 野中一洋, 福井康裕, 舟久保昭夫, Perfluorocarbon-血液接触型人工肺の開発に関する研究. 第 40 回膜型人工肺研究会, 12 月 1 日 (2012), 東京電機大学千住キャンパス (東京都)
- (11) 加賀谷基, 横井涼, 宮城成宏, 佐藤耕司郎, 幡多徳彦, 野中一洋, 福井康裕, 舟久保昭夫, 膜型人工肺を用いた液体呼吸システムの開発. 第 40 回膜型人工肺研究会, 12 月 1 日 (2012), 東京電機大学千住キャンパス (東京都)
- (12) 横井涼, 日比野麻衣, 幡多徳彦, 佐藤耕司郎, 片山正徳, 福井康裕, 舟久保昭夫, シリコーン中空糸を用いた完全液体呼吸用人工肺の開発, 第 50 回日本人工臓器学会大会, 11 月 22~24 日 (2012), アクロス福岡 (福岡県)
- (13) 宮城成宏, 横井涼, 幡多徳彦, 福井康裕, 舟久保昭夫, Perfluorocarbon-血液接触型人工肺の開発に関する研究. 日本生体医工学会関東支部若手研究者発表会 2012, 11 月 17 日 (2012), 東京都市大学世田谷キャンパス (東京都)
- (14) 加賀谷基, 横井涼, 宮城成宏, 幡多徳彦, 野中一洋, 福井康裕, 舟久保昭夫, 液体呼吸用人工肺の開発に関する研究. 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2012, 11 月 2~4 日 (2012), 名古屋大学東山キャンパス (愛知県)
- (15) 横井涼, 日比野麻衣, 青木達哉, 村井正広, 幡多徳彦, 野中一洋, 佐藤耕司郎, 片山正徳, 福井康裕, 舟久保昭夫, シリコーン中空糸膜を用いた液体呼吸用人工肺の開発. 第 51 回日本生体医工学会大会, 5 月 10~12 日 (2012), 福岡国際会議場 (福岡県)
- (16) R. Yokoi, M. Hibino, N. Hata, K. Sato, M. Katayama, Y. Fukui, A. Funakubo, Development of an oxygenator using a silicone hollow-fiber in a rabbit model, 7th Symposium on Liquid Ventilation and Medical Applications of Perfluorocarbons, May 3-4(2012), French Society of Critical Medicine (Paris, France)
- (17) 横井涼, 日比野麻衣, 幡多徳彦, 野中一洋, 村井正広, 青木達哉, 福井康裕, 舟久保昭夫, 完全液体呼吸システムの開発および基礎評価. 第 49 回日本人工臓器学会大会, 11 月 25~27 日 (2011), 都市センターホテル (東京都)
- (18) 横井涼, 日比野麻衣, 野中一洋, 福井康裕, 舟久保昭夫, 完全液体呼吸専用人工肺の開発および性能評価, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2011 講演要旨集, 11 月 3~5 日 (2011), 芝浦工業大学芝浦キャンパス (東京都)
- (19) 横井涼, 日比野麻衣, 東谷征弥, 青木達哉, 村井正広, 幡多徳彦, 野中一洋, 福井康裕, 舟久保昭夫, 完全液体呼吸専用人工肺の設計開発および性能評価. 日本生体医工学会関東支部若手研究者発表会 2011, 11 月 19 日 (2011), お茶の水女子大学 (東京都)
- (20) 横井涼, 東谷征弥, 日比野麻衣, 村井正広, 野中一洋, 幡多徳彦, 福井康裕, 舟久保昭夫, 完全液体呼吸用人工肺の設計開発および性能評価に関する研究, 第 63 回日本生物工学会大会, 9 月 26 日~28 日 (2011), 東京農工大学小金井キャンパス (東京都)
- (21) 東谷征弥, 横井涼, 村井正広, 野中一洋, 幡多徳彦, 福井康裕, 舟久保昭夫, Perfluorocarbon を用いた回転円板型水性二層系人工肺の開発. 第 63 回日本生物工学会大会, 9 月 26 日~28 日 (2011), 東京農工大学小金井キャンパス (東京都)
- (22) 横井涼, 野中一洋, 福井康裕, 舟久保昭夫, 再循環型完全液体呼吸用システムの開発および性能評価に関する研究. 生体医工学シンポジウム 2011, 9 月 16 日~17 日 (2011), ビックハット・長野県若里市民文化ホール(長野県)
- (23) Seiya Azumaya, Tomoya Shibata, Kazuhiro Nonaka, Norihiko Hata, Yasuhiro Fukui, Akio Funakubo, Study on Development of an Aqueous Two-Phase Oxygenator using PFC, ASAIO Journal Vo.57, No.2, 106, 2011.6. (Washington,DC)
- [その他]
ホームページ等
<http://www.f.dendai.ac.jp/~funakuboken/>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
舟久保 昭夫 (FUNAKUBO AKIO)
東京電機大学・理工学部・教授
研究者番号 : 00307670
- (2) 研究分担者
本間 章彦 (HOMMA AKIHIKO)
東京電機大学・理工学部・教授
研究者番号 : 20287428
- 福井 康裕 (FUKUI YASUHIRO)
東京電機大学・理工学部・非常勤講師
研究者番号 : 60112877