

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Hydrodynamically Levitated Rotary Blood Pump for Enhancing Plasma Skimming by Designs of Spiral Groove Bearings
著者(和文)	JIANGMING
Author(English)	Ming Jiang
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12277号, 授与年月日:2022年6月30日, 学位の種別:課程博士, 審査員:土方 亘,岡田 昌史,吉田 和弘,八木 透,因幡 和晃
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12277号, Conferred date:2022/6/30, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	JIANG MING	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	土方 亘	准教授	因幡 和晃	准教授
	審査員	岡田 昌史	教授		
		吉田 和弘	教授		
八木 透		教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Hydrodynamically Levitated Rotary Blood Pump for Enhancing Plasma Skimming by Designs of Spiral Groove Bearings」と題し、全6章で構成されている。

第1章「Introduction」では、本研究の背景と目的を論じている。まず、心不全患者の治療に用いられる人工心臓の開発の歴史について概説し、特に羽根車（インペラ）を動圧軸受で浮上させる非接触支持型人工心臓が耐久性の向上に有利であると述べている。一方、動圧軸受面で生じるせん断力によって血球が破壊される溶血が課題であり、血しょうと血球が分離するプラズマスキミング現象を利用して、動圧軸受面から血球を排除する手法が有望であると述べている。ただし、人工心臓内におけるプラズマスキミング現象は、血液を50倍程度に希釈した条件で観察されているだけであり、希釈していない血液（全血）での観察や発生条件は十分に解明されていないことを指摘している。そこで、全血において動圧軸受面におけるプラズマスキミング現象の発生条件を明らかにし、十分な浮上力を有し、かつプラズマスキミング効率（元の血球濃度に対して分離された血球濃度の割合）に優れた動圧軸受形状の設計手法を提案し、人工心臓に適用することを述べている。

第2章「Verification of Plasma Skimming with Whole Blood」では、人工心臓の動圧軸受面を模擬したせん断負荷装置を設計し、軸受隙間内の血液を直接採血して赤血球濃度を計測することで、全血でのプラズマスキミング効率を評価可能なシステムを提案している。さらに、半円を凸部とした動圧軸受面を試作し、豚の全血を用いてプラズマスキミング現象を評価している。その結果、凸部の最小隙間を50 μmまで狭めたとき、この隙間の血球濃度が50%減少することを確認し、全血でもプラズマスキミング現象が生じることを明らかにしている。また、従来の動圧軸受面におけるプラズマスキミング現象の観察結果と比較し、動圧軸受の形状がプラズマスキミング効率に影響を与える可能性を示している。

第3章「Impact of Spiral Groove Bearing Shapes on Plasma Skimming」では、動圧軸受内の血液の流れが、インペラの回転に起因するクエット流れと、入口と出口の圧力差（揚程）に起因するポアズイユ流れの合成で表わせるとの仮定のもと、動圧軸受隙間内の血液の速度ベクトル場を導出している。また、この速度ベクトル場から求めた流れ方向と同じ溝形状を有するスパイラル型の動圧軸受、および速度ベクトルをそれぞれ30度と60度回転させた場から求めた溝形状を有するスパイラル型の動圧軸受を試作している。さらに、人工心臓の動圧軸受面を模擬したせん断負荷装置にこれら動圧軸受を適用して、高速度カメラを用いて軸受隙間を可視化することで、プラズマスキミング効率を評価している。その結果、速度ベクトルを回転させない溝形状において、プラズマスキミング効率が最も高くなることを明らかにしている。さらにこの結果から、動圧軸受の凸部における血液の流れ方向と溝形状が一致したとき、プラズマスキミング効率が最高になるとの仮説を導いている。

第4章「Design Approach to Improve Plasma Skimming by Spiral Groove Bearing Shape Design」では、第3章で得られた仮説を検証するために、せん断負荷装置のロータ回転数を変化させることで動圧軸受内の血液の流れを制御し、各回転数におけるプラズマスキミング効率を評価している。その結果、動圧軸受の溝形状と血液の流れが一致し、両者の接ベクトルの相対角度が0度のときに動圧軸受の凸部から血球が完全に排除され、プラズマスキミング効率が100%になることを明らかにし、前章で導いた仮説を実証している。さらに、両者の相対角度が0度から5度の範囲であれば、プラズマスキミング効率が80%以上であることを示している。

第5章「Optimization of Spiral Groove Bearings in an Axially Levitated Hydrodynamic Rotary Blood Pump」では、インペラの浮上に必要な動圧力を発生しつつ、高いプラズマスキミング効率を実現する動圧軸受形状の設計手法を提案し、人工心臓に適用している。具体的にはまず、動圧軸受面の血液の流れを、高速度カメラを用いた可視化によって実験的に求めている。次に、溝形状の接ベクトルの角度を設計変数とし、所望の動圧力を発生しつつ、血液の流れの接ベクトルに対して可能な限り相対角が0度に近づくように評価関数を設けて最適化し、動圧軸受の溝形状を設計している。この動圧軸受を適用した人工心臓を試作し、一般的な動作点である2400 rpmから3000 rpmのインペラ回転数で評価した結果、動圧力によってインペラは非接触を保ちつつ、動圧軸受全面でプラズマスキミング現象が発生していることを示している。

第6章「Conclusion」では、各章で得られた結論を総括するとともに、プラズマスキミング効率をさらに向上するための、今後の設計指針について論じている。

以上を要するに、本論文は、心不全患者の治療に用いられる動圧浮上型人工心臓を対象として、溶血の原因となる動圧軸受面から血球を分離するプラズマスキミング現象を高効率に発生させる条件を明らかにし、動圧軸受の溝形状の設計手法を提案するとともに、実験によりその効果を定量的に示しており、工学的および工業的に貢献するところが大きい。よって、博士（工学）の学位論文として十分な価値があると認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポータル(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。