

氏名	中村陽一		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	生工博甲第106号		
学位授与の日付	平成21年3月25日		
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当		
学位論文題目	コニカルスパイラルグループ軸受を備えた遠心血液ポンプに関する研究		
論文審査委員	主査	教授	早瀬修二
		〃	西尾一政
		〃	花本剛士
		〃	尾川博昭
		〃	岡元孝二

## 学位論文内容の要旨

人工心臓の小型化と信頼性の向上が求められている中、本研究は、コニカルスパイラルグループ軸受を持つ血液ポンプを提案・設計し、供試ポンプの静特性および動特性、ポンプ内での血液変性の評価を行い、動圧浮上型血液ポンプの設計指針および評価方法を提示するものである。

本論文は、5章から成り、以下の内容により構成される。

第1章は「序論」であり、動圧浮上型血液ポンプに関する研究の背景、既往の研究、本研究の目的および意義について述べている。

第2章では、「コニカルスパイラルグループ軸受を備えた血液ポンプ」の設計について説明している。動圧浮上軸受では軸受保持力を得る目的で摺動面隙間が小さくなりがちであるが、これにより溶血の発生が危惧される。そこで、従来よりも摺動面隙間の大きい軸受を提案し、形状決定に必要なパラメータを予備実験結果に基づいて整理し、最適な軸受形状を定めている。続いて、補助人工心臓としての仕様を満足するように羽根車を設計している。設計された羽根車に対する次元損失予測計算の結果、摩擦による損失が大きく設計仕様を下回る計算結果となった事が述べられている。

第3章「実験」では、第2章の設計に従って製作された供試ポンプの静特性および動特性実験について述べている。供試ポンプ性能は、設計回転速度  $3000 \text{ min}^{-1}$ 、設計流量  $5 \text{ l/min}$  に対して全揚程が  $2.6 \text{ m}$  と、第2章の予測値よりも大きく設計値に近い。動特性実験では、ポンプ吸込口に正弦状の流量変動が与えられた場合のポンプインピーダンスが伝達マトリクス法によって求められ、ポンプ性能の安定性について論じられている。その結果、低流量域において、無次元周波数  $f/n = 0.02$  以上で供試ポンプ性能は不安定になることが示されている。また、羽根車のふれまわりが測定され、静特性、動特性いずれの実験条件においても、発振現象は見られないものの、流量変動下において、変動周波数の増加に伴って、ふれまわりの振幅が大きくなると述べられている。

第4章「考察」では、第3章で判明した羽根車の1次元性能予測値と実験値との違いは軸受で発生する圧力上昇と羽根車側面の円板摩擦に基づく圧力上昇によることを明らかにし、それらを加えることでポンプの設計点性能を精度良く予測できる事を示している。続いて、羽根車に作用する力を「軸受による保持力」「定常流体力」「偏心による慣性力」に三区別し、各力の割合を比較した結果、軸受による保持力が支配的であることを明らかにしている。よって、軸受保持力の影響を受けるコニカルスパイラルグループ軸受を備えた血液ポンプの設計段階ではその影響を考慮すべきである。さらに、数値計算によって血液ポンプ内部流れにおける血液変性に関して考察している。汎用流れ解析ソフトを用いた非定常流計算により、せん断速度、壁面せん断応力、および血液損傷係数で血液変性を評価した結果に基づき、軸受摺動面の溝内、羽根先端、羽根車出口で溶血の危険性が高いことが明らかにされている。また、供試ポンプの血液損傷係数を既存の体外循環用血液ポンプと比較した結果、供試ポンプでは溶血量が低減されていることが分かり、血液ポンプとしての有用性が示されたとしている。同時に、乱流モデルについても検討され、モデルの選択による影響も論じられている。

第5章は「結論」であり、以上の研究を総括すると共に、得られた結果について述べている。同時に、本研究において残された問題や今後の研究の展望について述べている。

## 学位論文審査の結果の要旨

以上述べたように、著者の研究は、血液ポンプ技術の向上に大きく貢献すると共に、有用な資料を提供している。よって、著者は、博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

なお、本論文に対して調査委員から、独創性・独自性の所在、ポンプ動特性の評価法などについての質問があったが、著者によって、適切な回答がなされた。また、公聴会においても、学内外から多数の出席者があり、測定方法の妥当性や実験データの信頼性など、種々の質問がなされたが、いずれも著者の説明によって質問者の理解が得られた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。