

磁気浮上人工心臓による高齢者専用循環補助に関する研究

[1] 組織

代表者：増澤 徹

(茨城大学工学部)

対応者：山家 智之

(東北大学加齢医学研究所)

分担者：

松田健一 (茨城大学工学部)

一ノ瀬高紀 (茨城大学大学院理工学研究科)

小沼弘幸 (茨城工業高等専門学校)

研究費：物件費 20 万

[2] 研究経過

長期循環補助が可能な補助人工心臓の実現を目指して磁気浮上技術を用いた高寿命、高生体適合性の補助人工心臓の研究開発を行った。特に心臓移植対象外となる高齢者を対象に、健康寿命延伸を図れる高齢者向け循環補助装置（循環補助により対象高齢者のQOLを向上させるスマートエイジング装置）の開発を目指した。茨城大学で開発中のセルフベアリング磁気浮上モータを補助人工心臓に組み込み、①小柄な体格である高齢者に埋め込み可能な小型サイズの実現、②健康状態と変わらない循環状態を実現するだけの循環維持性能の実現、③年オーダーの Destination Therapy に使用可能なデバイスの高寿命の実現、④高齢者にやさしい血液適合性、組織適合性、解剖学的適合性、循環補助制御法の実現を図ることを目標とした。セルフベアリング磁気浮上モータは浮上インペラの位置情報からポンプ状態（揚程、流量）の推定を行うことが可能であるため、きめ細かい循環補助制御が可能となる利点も有している。茨城大学、茨城工業高等専門学校がデバイスの開発を行い、加齢医学研究所病態計測制御研究分野の山家教授に高齢者向け循環補助デバイスに必要な目標設定、その制御方法の開発指針設定について共同研究をお願いした。研究打ち合わせは平成22年9月10日、10月20日に山家教授と国際学会、国内学会で一緒になったときに行った。

【ラジアル型磁気浮上遠心ポンプの概要】

Fig.1 に対象とした磁気浮上型遠心ポンプの構造図を示す。本磁気浮上型遠心ポンプはステータの外

周にインペラと一体化したロータを配置したアウターロータ型の構造をとっている。12突極ステータに3相4極の回転制御用と2相6極の浮上制御用の2種類のコイルを配置している。これにより、回転制御と浮上制御を独立に実現するセルフベアリングモータを構成している。ロータはステータの浮上用コイルにより径方向に動的に支持されている。また、ロータを薄型にすることで軸方向の変位と傾きを受動安定性で静的に支持し、制御系の簡略化を図っている。本ポンプの直径は79mm、高さは42mmであり、十分に体内埋め込める大きさである。また、最大揚程は250mmHg、最大流量は15L/minであり、補助人工心臓として十分応用可能である。

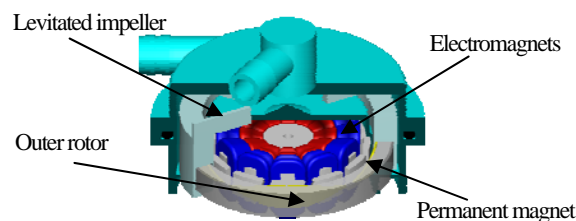


Fig.1 Magnetically suspended centrifugal pump

【循環制御のための流量推定方法の検討】

循環制御を行う際、流量推定は必須の技術となる。本磁気浮上ポンプは浮上インペラを中心に浮上支持する定位置制御方法と、浮上インペラにかかる流体力と磁気吸引力をバランスさせるゼロパワー制御方法の2種類の制御方法を有している。浮上インペラには常にポンプ流量情報を含んだポンプ内で生じる流体力がかかっており、定位置制御時にはインペラを定位置に支持しようとする発生吸引力に、ゼロパワー制御時にはインペラの磁気浮上位置にポンプ流量情報を有することになる。これらのインペラ磁気浮上情報からポンプ流量の推定可能性を検討するために、開発中の磁気浮上ポンプを閉モック回路に接続し、定位置制御時、ゼロパワー制御時の吸引力、磁気浮上インペラとポンプ流量の関係を調査した。

【ロータ構造の検討】

本研究では高齢者専用の循環補助が行える性能を有する磁気浮上ポンプの実現を目指して、IPM (Interior Permanent Magnet) 型ロータ構造の実

現可能性を有限要素法による三次元磁場解析により検討した。IPM型ロータはロータ内部に永久磁石を埋め込んだ構造であり、ロータに埋め込まれているため構造的強度が高く、ロータ・ステータ間に永久磁石が存在しないために従来のSPM (Surface Permanent Magnet) 型ロータに比べギャップ長を小さくできる利点がある。

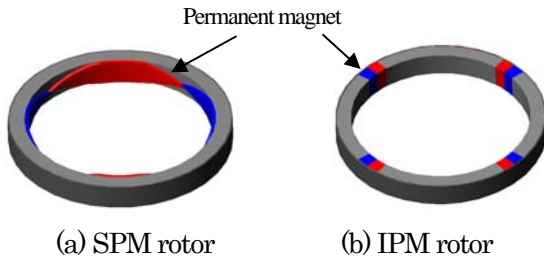


Fig.3 Rotor types

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、定位置制御、ゼロパワー制御時にインペラ浮上情報からポンプ流量の推定が可能であることが判明した。Fig. 4に定位置制御時において推定した流体力とポンプ流量の関係を示す。Fig.5にゼロパワー制御時における磁気浮上インペラ中心位置変位とポンプ流量の関係を示す。本データを基にインペラ中心位置から推定流量を求め、実際の流量と比較した結果、推定流量と実測流量の相関係数は0.97であり、流量4~7 [L/min]の範囲において測定値と推定値の差は最大14.2%であり、今後、誤差を減少することで、流量推定が可能であることが分かった。

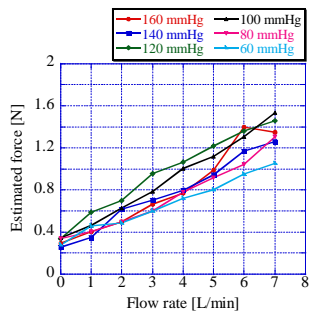


Fig.4 Relationship between estimated fluid force and flow rate under fixed position control

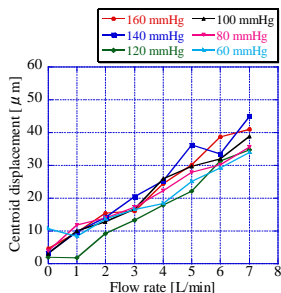


Fig.5 Relationship between impeller displacement and flow rate under zero power control

第2に、IPM型ロータ構造を取ることで磁気性能の向上が図れる可能性があることが分かった。Fig.6に3次元地場解析で求めたロータ・ステータ間の磁気磁束分布を示す。IMP型はSPM型に比べて発生磁気磁束が小さくなることが判明した。そこで、Fig.7に示すIPM型ロータ外周部に補強永久磁石を貼り付ける構造を新たに考案した。本構造の3次元地場解析で求めた発生吸引力をFig.8に示す。従来のものに比較して10%程度、磁気吸引力を増加させることができることが判明した。

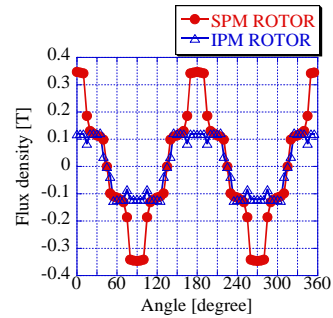


Fig.6 Analysis results of the magnetic flux

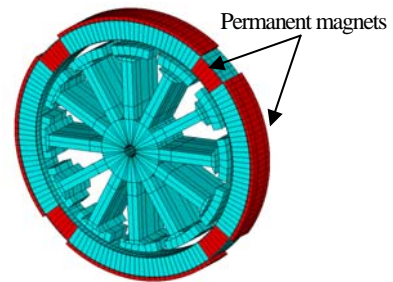


Fig.7 Combined IPM structure

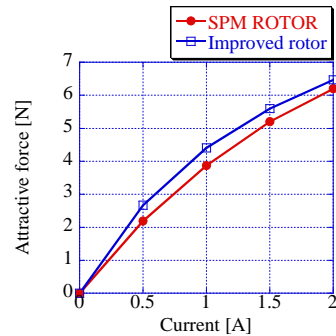


Fig.8 Analysis results of the attractive force (3-2) 波及効果と発展性など

本共同研究により、複数大学の研究者との交流が飛躍的に活性化し、今後の人工心臓研究開発にとり有意義な共同研究となった。また、本共同研究で開発された人工心臓の流量推定手法は、循環補助治療に必須の技術で、高齢者を対象とした長期循環補助という新しい循環治療領域の開拓に結びつき、今後の発展が期待される。

[4] 成果資料

なし。