磁場解析を用いた軸流血液ポンプ用モータに関する検討

Examination of Motor for an axial Flow Blood Pump Using a Magnetic Field Analysis

○岩田智治¹, 住倉博仁², 古川信¹, 福長一義³, 大越康晴¹, 矢口俊之¹, 舟久保昭夫¹, 福井康裕¹

1. 東京電機大学, 2. 東京電機大学フロンティア共同研究センター, 3. 杏林大学

○Tomoharu Iwata¹, Hirohito Sumikura², Shin Furukawa¹, Kazuyoshi Fukunaga³, Yasuhiro Ohgoe¹

Toshiyuki Yaguti¹, Akio Funakubo¹, and Yasuhiro Fukui¹

1. Tokyo Denki University, 2. Frontier R&D Center Tokyo Denki University, 3. Kyorin University

1. はじめに

本研究では、左心補助人工心臓としてエンクロード型軸流血液ポンプの研究開発を行っている。我々が試作したポンプは左心補助条件を十分に満たしているが、駆動用モータの効率率は60[%]程度に留まっている。そこで本研究では、効率の改善を目的とし、磁場解析を用いたモータの改良を行ってきた。しかし、現在までの研究ではモータを機械的特性(回転数、トルク、コギングトルク等)のみで評価しており、磁気的な観点(磁束密度分布、磁気飽和等)での評価は行えていなかった。このため、形状を改良する際の足掛かりが不十分であり、改良に限界があった。そこで、磁気的な観点からの評価の確立を目的とし、コギングトルクに関し基礎検討を行ったので報告する。

2. 方法

2.1 コギングトルク

モータには電機子(コイル)電流の有無にかかわらず磁石(ロータ)とスロット(ステータ)の相互作用による吸引力が発生しており、これをコギングトルクという。一般に理想的なコギングトルク波形は、スロット数(Z)と極数(P)の最小公倍数(C)の整数倍の周波数(次数)成分のみによって構成される。しかし実際には、製造誤差や磁気飽和等の影響によって他の周波数成分も含有され、特にZとPの整数倍の波形が生じる。またこの場合、ステータ(ロータ)の原因によって生じる周波数成分はP(Z)の倍数である。¹⁾

2.2 解析設定

本解析には磁場解析ソフト Jmag-Studio を用いた。180[deg]周期対称の解析モデルを用い、条件としてロータの回転速度6,000[rpm]、回転角度 360[deg]を固定とした。ポンプ用モータ[基本モデル(Z=6,P=4, $\theta=50$)]に加えコギングトルクの変動が顕著であるステータ部の歯の角度 θ を変化させたモデルを作成し($\theta=55, 45$ [deg])、無通電状態を模擬した解析を行った。解析より得られたコギングトルク波形をフーリエ変換し比較検討を行った。

3. 結果、考察

3.1 フーリエ変換を用いた検討

解析の結果、歯の角度の増加に伴いコギングトルクの振幅が減少する傾向が得られた(Fig.1)。また、波形の周波数変換を行った結果、最小公倍数であるC(=12)の整数倍の周波数成分に加え、ステータ形状に依存するP(=4)に関する周波数成分も同時に含まれていることが確認された(Fig.2)。加えて、 θ の増加に伴いCに関する周波数成分のスペクトラムは減少するが、逆にPに関する周波数成分は増加する傾向が得られた。

Fig.1 Waveforms of cogging torque(0~90[deg])

Fig.2 Spectrum of cogging torque

Pに関する周波数成分が複数確認されたが、解析は製造誤差が考慮されない理想的ものである、その発生理由はステータの磁気飽和によるものではないかと考えられる。

3.2 磁束密度分布を用いた検討

各解析結果より磁束密度分布を描き、ロータ-ステータ間の空隙及びステータに関し比較検討を行った。結果、Pに関する周波数成分が大きいモデルではステータ部の歯の磁気飽和が顕著であることが確認された(Fig.3)。

Fig.3 Distribution of magnetic flux density

ステータの歯の磁気飽和がコギングトルクのPに関する周波数成分の原因であると示唆されたが、同時にロータに関しても磁気飽和は発生している。しかし、Zに関する周波数成分は微少であり、このためロータの磁気飽和によるコギングトルクへの影響は少ないと考えられる。この原因として、ステータの場合では磁気飽和の部位(歯)が直接空隙に接しているのに対し、ロータの場合では表面に磁石があるためその影響が強く、磁気飽和の影響は緩和されているものと考えられる。

4. まとめ

本研究ではモータにおける磁気的な観点からの評価を目的とし、コギングトルクに関し基礎検討を行った。結果、コギングトルクの周波数成分と磁束密度分布の間に相関が見られた。今後この結果を用いて、磁気的な観点から見たモータ評価の検討を行う。

5. 参考文献

1) 大穀 晃裕, 中野 正嗣 他, PM モータの固定子製造誤差に起因するコギングトルクの発生条件, 電気学会論文誌 D 2006;126(8):140-1150.