

Title	遠心型血液ポンプ羽根車に作用するロータダイナミック流体力の特性と軸振動の解明
Author(s)	鈴木, 隆起
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/49610
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	鈴木隆起
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第23011号
学位授与年月日	平成21年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科機能創成専攻
学位論文名	遠心性血液ポンプ羽根車に作用するロータダイナミック流体力の特性と軸振動の解明
論文審査委員	(主査) 教授 辻本 良信 (副査) 教授 杉本 信正 教授 川野 聡恭

論文内容の要旨

遠心性血液ポンプでは、動圧軸受や磁気軸受が採用されたものが多く、羽根車軸部は完全非接触で支持される。この場合、羽根車は常に軸危険速度以上で運転されており、羽根車に作用するロータダイナミック流体力による軸振動の発生は大きな問題となる。そこで本研究では、この軸振動の中からふれまわり運動に着目し、羽根車に作用するロータダイナミック流体力の特性を明らかにし、軸振動の解明を目的とした。

第1章では、緒言として研究背景や目的を示した。

第2章および第3章では、実験および数値解析の概要およびその方法を示した。実験は大きく分けて、実機における軸振動の測定、実機拡大モデルを用いた流体力の測定および可視化実験から構成され、数値解析はこれらの実験を対象としている。

第4章では実機における羽根車の振動や、羽根車から羽根を取り除いた軸のみに対する振動の特性を検討した。

第5章では、実機羽根車の羽根部拡大モデルに作用する流体力の特性を示すとともに、羽根自身の自転によって作り出す旋回流によって、流体力がふれまわり運動に対して励振的に作用する領域が存在することを明らかにした。

第6章では実機羽根車の軸部拡大モデルに作用する流体力の特性を示した。このとき励振領域は、旋回流の強さに依存し増加することを示すとともに、実機の軸振動の原因となる可能性を示した。

第7章では、軸受内部で生じるテイラー渦が、隙間を通過する様々な流れや、ふれまわり運動などによって、より複雑化することを示した。またこのような複雑な流れ場は、軸振動や血液細胞の破壊には影響を与えないことも示した。

第8章では、実機における軸振動の発生原因を示した。その結果、羽根車の軸振動に関しては完全に明らかにすることはできなかったものの、羽根のない軸のみの軸振動は、ロータダイナミック流体力、遠心力および、磁力に関連することを明らかにした。

第9章では、低比速度のロケット用ターボポンプに作用するロータダイナミック流体力を測定し、その特性を示した。

第10章では、以上の結果を含め本論文の結言を示した。

論文審査の結果の要旨

近年実用化が進んでいる遠心性血液ポンプでは、血液細胞の損傷を防止するために磁気軸受けや隙間間隔の大きな動圧軸受けなどが採用されている。このような軸受けでは支持剛性が小さく、しばしば軸振動が問題となる。本研究は国立循環器病センターで開発された遠心性血液ポンプNCVC2について、羽根車や軸受け部に軸振動に伴って作用する流体力、すなわちロータダイナミック流体力の基本的性質を実験並びに数値計算により明らかにしたものである。

まず、羽根部拡大モデルを用いてロータダイナミック流体力が実験的に計測された。その結果、広い流量範囲に対して接線方向流体力が正となり、羽根車と同方向の振れ回り振動が励起される可能性があることが明らかにされた。また、市販コードを用いた流体解析によりロータダイナミック流体力が、負の小さな振れ回り速度比の場合を除いてほぼ正確に予測できることが示された。羽根車周囲の流体の接線方向流速を調べることで、接線方向流体力と接線方向流速の関係が論じられた。

次に、軸部拡大モデルを用いて軸部に作用するロータダイナミック流体力が調べられた。偏心させた場合に対する実験と数値計算により、(1)レイノルズ数が高い場合には、偏心量にかかわらず常に偏心と同方向の流体力が作用し軸受としての復元力が得られないこと、(2)血液ポンプとして使用されるような小さなレイノルズ数では、偏心量が小さな場合には負の復元力となるが偏心量が大きくなると正の復元力が得られることが示された。ロータダイナミック力の計測により、回転と同方向の振れ回り速度域に励振域が存在すること、漏れ流量が小さいほど、予旋回が強いほど励振域が大きくなることが示された。血液ポンプとして使用されるような条件では、軸受け部にTaylor Vortexが構成されることが実験と数値計算により明らかにされ、これに及ぼす漏れ流れや振れ回り運動の影響が明らかにされた。しかし、Taylor Vortexの模擬ができないBulk Flow Modelを用いた計算でもロータダイナミック流体力が予測できることから、流体力に対するTaylor Vortexの影響は小さいことが明らかにされた。

最後に、数値解析によって得られるロータダイナミック流体力を用いて軸振動を予測する方法が検討された。通常の軸系では軸剛性が十分に高く線形のロータダイナミック流体力を考慮した軸系の振動方程式より安定性が議論できるが、偏心量が大きく偏心量に比例しない復元力を持つ血液ポンプに対してはこのような方法が用いられない。その結果、軸部のみの場合に対しては接線方向流体力がゼロとなる振れ回り速度比として振動数が決まること、磁気カップリングによる半径方向力が法線方向ロータダイナミック流体力と軸系に作用する遠心力の和と釣り合うように振れ回り半径が決まることが明らかにされた。羽根部と軸受け部を合体させた場合には振れ回り半径の予測には失敗したものの、振動数は接線方向流体力がゼロとなる振れ回り速度比から予測できることが示された。

以上のように、本研究により遠心型血液ポンプの振動特性とロータダイナミック流体力の特性が明らかにされた。これらの結果は、磁気軸受け等を用いた新しい遠心型血液ポンプを設計する場合に対して、軸振動を防止するために必要なダンピング力の定量的予測を可能にするものであり、博士(工学)の学位論文として価値のあるものと認める。