

研究成果報告書

所属機関	職名	氏名
神戸市立工業高等専門学校 機械工学科	准教授	鈴木 隆起

研究テーマ

渦流ポンプの超高効率化に向けた新規内部構造の研究

研究報告

1. 研究の背景と目的

流体機械に代表されるポンプの歴史は深く、我々の生活には欠かせないものとして現在も活躍している。ポンプは大きく3つに分けられ、中でも最もよく用いられているのがターボ形ポンプと容積形ポンプであり、これらのポンプ技術はほぼ確立されている。その技術確立において2000年代から急速に発展してきた数値流体解析技術の寄与が大きい。一方、ターボ型および容積型以外のポンプは特殊形ポンプと呼ばれている。

特殊形ポンプの代表として、渦流ポンプがある。渦流ポンプは、円盤の先端に多数の溝を設けた羽根車を回転させることで、溝とケーシングの間に発生する渦のエネルギーで昇圧を行うポンプである。ターボ形ポンプと同様、比較的簡単な構造で、容積形と同程度の高揚程が得られることという特徴がある。また、液中の気体含有量がターボ形の数%程度から数十%程度と大きく許容できる点から、気体輸送の点で特に大きな優位性を持つ。しかし、ポンプ効率は30%程度と、ターボ形ポンプや容積形ポンプの半分以下しかなく、現状、エネルギーコストが無視できるような、ごく一部の用途でしか利用されていないのが現状である。しかし、この問題を解決できれば、既存ポンプのエネルギー効率の大幅な改善は勿論、ターボ形ポンプや容積形ポンプの代替として使用できる可能性も広がる。

しかし、汎用的な渦流ポンプにおける性能改善に関する研究においては、実験的には、1980年代に羽根部形状に対するポンプ性能への影響が検討(村田進, 1981や山崎慎三, 1981)されて以降、報告されていない。また、2000年代に入り、急速に数値流体解析技術が発展してからも、数値流体解析を用いた報告例は、2005年に理論式検討のために用いられた報告(Seung Parkほか, 2005)のみである。なお、2010年までに超小型渦流ポンプのような渦流ポンプの中でも、さらに特殊な場合においては、研究例(堀口ほか, 2008)がある。

そのため、渦流ポンプにおける研究例は他のポンプに比べて圧倒的に少なく、特に数値流体解析を用いた検討は全く行われおらず、内部流れの詳細や各種形状の最適化が完全に行われていない状況である。この背景には、2000年代に入り、数値流体解析の多くがターボ形や容積形などの主要ポンプに適用され、現在、成熟の域に達している一方で、渦流ポンプなどの特殊形ポンプが忘れられた存在となっていることが大きい。

そこで本研究では、これまでの実験による検討では膨大な検討項目のため、検討不可能であった、各種形状因子が性能におよぼす効果について検討するとともに、得られた結果をもとに、大幅な形状変更により、劇的な効率の改善を行うことを目的としている。また、実験により数値流体解析の精度確認も行う。

2. 研究成果および考察

本研究では、はじめに、数値流体解析ソフトANSYS CFXを用いて渦流ポンプの基礎形状が性能におよぼす効果について明らかにした。図1は渦流ポンプにおける各形状項目であり、本研究では、検討する基本形状因子として、羽根枚数 Z 、直径比 d/D 、溝深さ比 L/T 、隙間比 C/D および、面取り比 $R/(T+2L)$ 、 $\alpha > \beta$ ($\alpha = 90^\circ$)における羽根角度、 $\beta > \alpha$ ($\beta = 90^\circ$)における羽根角度が性能におよぼす効果に関して検討した。図2に最高効率点 $\eta_{\text{bmax}}=30\%$ に対する各形状が効率におよぼす効果の一例を示す。効率に対しては、隙間比および羽根先端角度 β の影響が大きいことが確認できる。特に、 $C/D=0.04$ では、5%程度、 $\beta=60^\circ$ (羽根先端角度 $\alpha=90^\circ$)のときに4%の効率改善が確認される。一方、羽根枚数および、溝深さ比に対しては、本解析範囲においては効率に対して殆ど影響がないものの、基本モデルに対して僅かに減少している。これらの原因は、内部流れを確認したところ、効率と羽根車の溝部とケーシング間で生じる渦の強さに因果関係があり、渦の形成を邪魔する形状の場合、効率が低下することが確認できた。

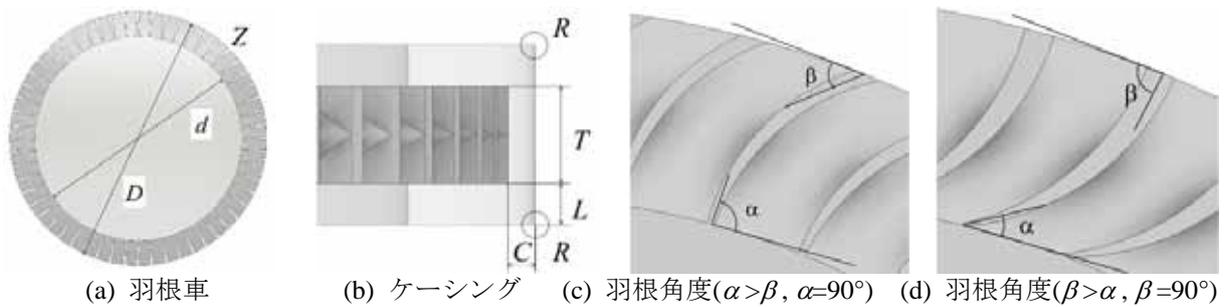


図1 渦流ポンプにおける基本形状

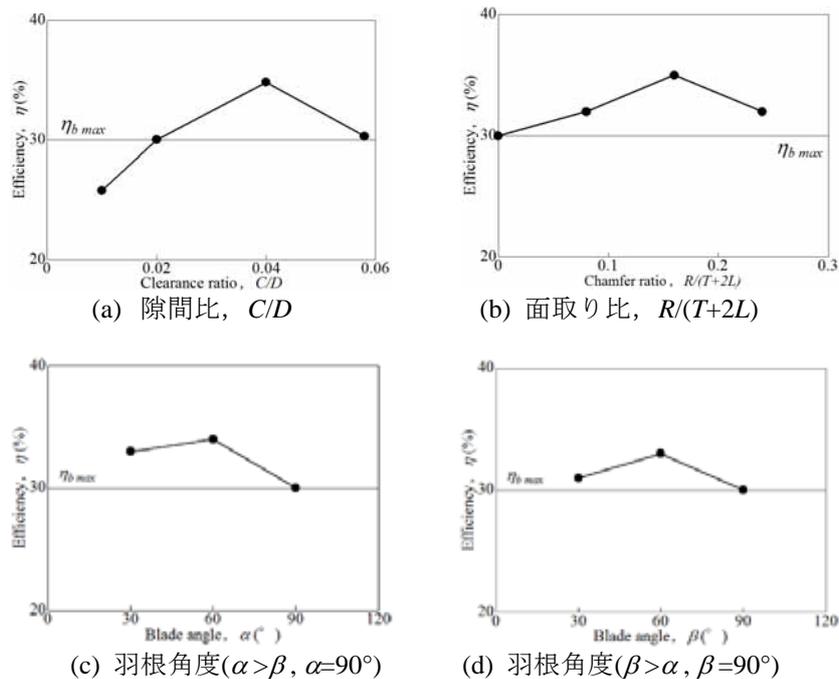


図2 各基本形状が最高効率におよぼす効果

次に、基本形状因子の結果を元に、大幅に効率を向上させるための、新形状について検討した。図1で示した基本形状因子から、隙間比 $C/D=0.04$ 、面取り比 $R/(T+2L)=0.16$ 、羽根先端角度 $\beta=60^\circ$ （羽根先端角度 $\alpha=90^\circ$ ）とした。また、新形状として、羽根車両面で流れを分け、羽根車の溝形状、ポンプ流入・流出位置、ポンプ入口から出口に向かう流路面積を変化させた形状（ここでは、特許等に関連する都合上それらの詳細については掲載しない）について検討し、それらを複合させた最終的な形状に対するポンプ性能を図3に示す。ポンプ揚程は、全流量域において、基本形状に対して、約1.5~2倍程度増加するとともに、流量域も約1.5倍程度広がった。最高効率は、基本モデルの30%程度から、46%と本研究の当初の目的である50%を達成することはできなかったものの、約16%の大幅な効率改善が達成された。なお、本形状を実際に製作し、実機による性能確認を行ったものの、数値流体解析の約半分程度の性能しか得ることができなかった。その原因として、加工精度の問題により数値流体解析形状が完全に再現出来ていないことが明らかになった。しかし、数値流体解析を実験装置の形状に合わせたところ性能はほぼ一致したことから、本解析結果の精度は実機においても信頼できるものと考えられるが、正確な形状を有する実機において今後、継続して検討を行う予定である。

渦流ポンプ内部の形状因子と効率との関係を定量的に評価するために、渦流ポンプ内部では、各断面で形成される渦流れと周方向流れによる螺旋流により支配されていることから、螺旋流の強さを定量的に表す指標として、速度ベクトルと渦度ベクトルの内積の体積積分により定義されるHelicityを用いて評価した。なお、Helicityの値は流路に対して、ポンプ入口からポンプ出口までの約 225° の領域で体積積分した値としている。図5に基本モデル、各形状因子で効率が増減した形状の一例、最終的な新形状に対するHelicityの値を示す。これによると、効率をもっとも改善された新形状に対しては、Helic

ityの値がもっとも大きく、また、効率が基本形状から増加した $C/D=0.04$ 、 $R/(T+2L)=0.16$ では、基本モデルに対する値より大きく、効率が基本形状から低下した $C/D=0.01$ では、基本モデルの値よりも小さくなっていることが確認でき、Helicityを用いて定量的な評価を行うことができることを確認した。

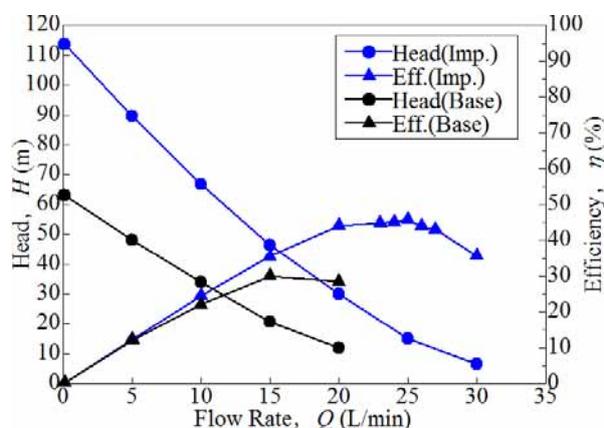


図3 新形状によるポンプ性能

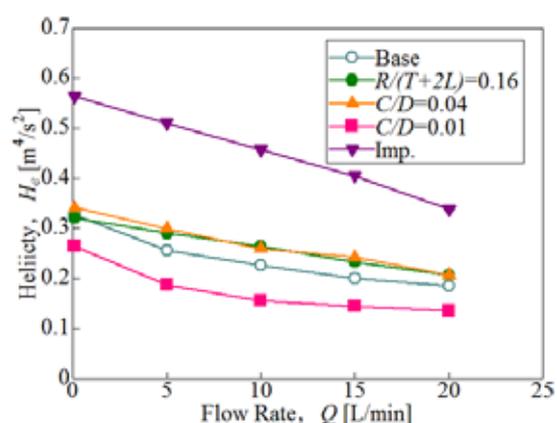


図4 Helicityと効率との関係

3. 将来展望

本研究では、これまで研究が遅れていた特殊ポンプの中でも代表的な渦流ポンプに着目し、数値流体解析を用いて、各形状が効率におよぼす効果を明らかにした。また、大幅な効率改善を目的に、新規形状を検討したところ、約46%と、当初の目的である50%を達成することはできなかったものの、約16%の大幅な効率改善が達成された。今後本結果をもとに、検討を継続することで、ポンプ効率50%を超える、渦流ポンプの実現が可能となる可能性は非常に高い。加えて、本研究成果は、他の特殊ポンプに対して、数値流体解析を用いることで、大幅な性能改善ができる可能性も示すことできた。

4. 研究発表

- (1)長坂広輝，井上湧太，鈴木隆起，赤対秀明，西山康正，数値流体解析を用いたカスケードポンプの効率改善に関する研究，第24回日本高専学会年会，P111，pp.1-2，2018.8.
- (2)長坂広輝，鈴木隆起，赤対秀明，西山康正，山本健児，CFDを用いたカスケードポンプにおける効率改善に関する研究，日本機械学会 2019年度年次大会，発表予定.