

氏名	李 <sup>り</sup> 岩 <sup>やん</sup>
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	甲第185号
学位授与年月日	平成18年 3月17日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	サボニウス風車の異相三段化による性能改善に関する 実験的研究
学位論文審査委員	(主査) 林 農 (副査) 大西義元 福井茂壽 原 豊

## 学位論文の内容の要旨

サボニウス風車は簡単な構造、低コスト及び高い起動性などの利点を持つため、小型風車への応用が適切と考えられる。しかし、サボニウス風車にはまだいくつかの問題点や明らかになっていない点がある。それらを解決できれば、サボニウス風車の小型風力発電機としての真の実用化と普及が期待される。そこで本研究では、サボニウス風車の実用化に向けた性能改善を目的として、以下の4つの研究項目に関して実験的研究を行った。

### 1 異相三段型サボニウス風車に関する研究

サボニウス風車は、その構造によって高い回転トルクを出力できるが、その反面、一回転中に大きなトルク変動が発生する。これによって風車の出力も変動し、電力システムの電圧変動や周波数変動などを生じる。そして、頻繁なトルク変動は風車自体に繰り返し荷重を与え、風車の耐久性を低減させる。このように大きなトルク変動はサボニウス風車において大きな問題点の一つである。また、サボニウス風車の起動性は他の風車と比較して良いため、起動装置としての利用が可能と考えられるが、風に対するバケットの位置によっては静止状態での回転力が0となったり、回転と反対方向の負のトルクとなったりして、風車の起動ができない場合がある。これはサボニウス風車を起動装置として利用する場合の障害となる。従って、トルク変動を平滑化させ、負の起動トルクを無くすことは、サボニウス風車の実用化を目指すうえで解決すべき課題である。

そこで本研究では、上記の欠点を改善するために、新たな構造を持つサボニウス風車を考案した。一段型風車ロータを三段にして、各段のバケットに互いに120°の位相角を持たせた異相三段型と呼ぶ新型風車である。風洞実験の結果より、異相三段型風車の起動トルクはすべて正值であり、変動幅も一段型の1/6まで平滑化された。この優れた起動性を持つ異相三段型風車は他の風車或いは回転機器の起動装置としての応用が可能となる。さらに、動的トル

ク変動も平滑化され、回転数に依らずほぼ同じ変動幅を持っていることが明らかとなり、これによって風車の安全性及び耐久性の向上が期待できる。なお、異相三段型風車の出力係数は、一段型と比べ約25%低く、同相三段型風車との比較では約6%低いとその差は小さい。異相三段型風車の出力係数が一段型と比べ低くなった主な原因は異相三段型のバケットアスペクト比が小さくなったためであり、アスペクト比を増加すれば、異相三段型風車の出力は増加すると考えられる。

## 2 サボニウス風車性能への案内羽根（杵）の影響

実用に際しては強度の確保及びバケット飛散防止の安全装置としてサボニウス風車の周囲に保護柵兼用の杵を設置する必要がある。この杵を案内羽根とすれば集風作用により風車の起動性向上に役立つかもしれない。本研究では、異相三段型及び一段型風車の周囲に簡単な短冊形を有する案内羽根（杵）を設置し風洞実験によりその効果を検証した。両タイプの風車の起動性は案内羽根の配置状態即ち風向に依存し、案内羽根の枚数の増加と共に起動性が向上した。

## 3 サボニウス風車性能へのオーバーラップ比とロータ軸の影響

異相三段型風車の性能は各段の性能に依存する。サボニウス風車のオーバーラップ比（OL）が風車性能に大きな影響を与え、多くの研究から $OL=0.15\sim 0.3$ において風車性能が良いことが知られている。しかし、風車の最適設計をするためには、より適切な値を求める必要がある。また、ロータ軸の有無は風車性能へ大きな影響を与えると予想される。本研究では、一段型風車ロータのOLを $0.15\sim 0.3$ の範囲において $0.025$ の間隔で7つの値に設定し、各OLにおいてロータ軸の有無の両配置に対する詳細な風洞実験を行った。その結果、ロータ軸の有無によらず軸直径を差し引いた正味OLが $0.175$ である場合が最も良い風車性能を与えることが判明した。

## 4 サボニウス風車ロータ周りの流れの可視化

サボニウス風車の起動トルクが主流に対するバケット位置によって変わることや特性がオーバーラップ比に依存することは、風車周りの流れ場状態に起因する。従って、風車周囲の流れ場を定量的に計測し解析をすることは、風車の回転メカニズムの解明や新規の風車開発において重要である。そこで、本研究では、小型回流水槽を用いて、PIV（粒子画像流速測定法）によりロータ周りの流れ場を定量的に計測し、OL及び回転速度の違いが流れ場に及ぼす影響を調査した。

# 審査結果の要旨

簡単な構造、低価格、高い起動性などの利点を持つサボニウス風車の性能改善を目的として、以下の4つの研究項目に関して実験的研究を行った。

## 1. 異相三段型サボニウス風車に関する研究

サボニウス風車は、高回転トルクを持つが一回転中に大きなトルク変動が発生するので風車

出力も変動し、電力システムの電圧変動や周波数変動などを生じる。頻繁なトルク変動は風車自体に繰り返し荷重を与え風車の耐久性を低減させる。また、サボニウス風車の良好な起動性は起動装置としての利用を可能とするが、バケットの位置によっては静止状態での回転力が0となったり負のトルクとなり、風車の起動ができない場合がある。そこで、新たな構造を持つサボニウス風車として、風車ロータを三段にして各段を互いに $120^\circ$ の位相角を持たせた異相三段型の新型風車を開発した。風洞実験の結果より、異相三段型風車の起動トルクはすべて正值であり、変動幅も一段型の1/6まで平滑化された。この優れた起動性を持つ異相三段型風車は他の種類の風車或いは回転機器の起動装置として応用が可能となる。さらに、動的トルク変動も平滑化され、回転数に依らずほぼ同じ変動幅を持っていることが明らかとなり、風車の安全性及び耐久性の向上が期待できる。

## 2. サボニウス風車性能への案内羽根（枠）の影響

実用には強度の確保及びバケット飛散防止の安全装置として、サボニウス風車の周囲に保護柵兼用の枠を設置する必要がある。この枠を案内羽根として集風作用により風車の起動性向上に役立たせることが期待できる。そこで、異相三段型及び一段型風車の周囲に簡単な短冊形の案内羽根を設置し風洞実験によりその効果を検証した。両タイプの風車の起動性は案内羽根の配置状態に依存し、案内羽根の枚数の増加と共に起動性が向上することが分かった。

## 3. サボニウス風車性能へのオーバーラップ比とロータ軸の影響

異相三段型風車の性能は各段の性能に依存する。サボニウス風車のオーバーラップ比（OL）が風車性能に大きな影響を与え、ロータ軸の有無は風車性能へ大きく影響すると予想される。ロータのOLを0.15~0.3の範囲で0.025の間隔で7つの値に設定し、ロータ軸の有無の詳細な風洞実験を行った。その結果、ロータ軸の有無によらず軸直径を差し引いた正味OLが0.175である場合が最も良い風車性能が得られることが判明した。

## 4. サボニウス風車ロータ周りの流れの可視化

小型回流水槽を用いて、PIV（粒子画像流速測定法）によりロータ周りの流れ場を定量的に計測し、オーバーラップ比及び回転速度の違いが流れ場に及ぼす影響を調べた。

以上から、本論文は工学的価値が高いばかりでなく工業的な実用性もあり、今後の風車開発の発展に寄与するところが大きい。したがって、本論文は博士（工学）の学位に値するものと認められる。