

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007 ～ 2008

課題番号：19560280

研究課題名（和文）

回転センサレス IPM 同期発電機を用いた小水力発電システムの開発

研究課題名（英文）

Development of a Micro Hydroelectric Power Generation System Using a Position-Sensorless IPM Synchronous Generator

研究代表者

小笠原 悟司 (OGASAWARA, SATOSHI)

北海道大学・大学院情報科学研究科・教授

研究者番号：40160733

研究成果の概要：

さまざまな有効落差や流量における小水力発電システムの特性を実験室で測定できる評価試験装置を開発するとともに、内部永久磁石(IPM)同期機のリラクタンストルクを利用して電流位相を適切に制御することで、高い効率の発電を実現できる制御システムを開発した。さらに、水車効率を最大化できる発電機回転数で運転することにより、自然エネルギーを高効率に発電に利用可能な小水力発電システムを開発した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：マイクロ水力発電，IPM 同期発電機，トルク最大制御，FPGA，回転センサレス

1. 研究開始当初の背景

1970 年代のオイルショック以降から、将来予想される化石燃料の枯渇の問題の解決策として、自然エネルギーの活用した発電が注目されてきた。しかし、自然エネルギーはエネルギー密度が低く発電コストが既存のものに比べて高かったために、注目されても実用化に至る例は非常に少なかった。近年の石油価格の高騰ならびに地球環境の悪化の問題がクローズアップされるにつれて、自然エネルギーの活用が再び注目されている。その中でも小水力発電は、水利権などの問題か

ら簡単に設置することは難しいものの、エネルギー密度が比較的高く安定した発電が可能であるという優れた特性を有している。

小水力発電は、古くから注目され、その実用例もたくさん紹介されている。当該研究課題は、最新のパワーエレクトロニクス技術を投入し、高効率・高信頼性の小水力発電システムを構築しようとするものである。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は、回転センサレス IPM 同期発電機を用いた小水力発電システムの

開発することにある。高効率の IPM 同期発電機を用いるだけでなく、回転センサレスで発電機の発電量に応じて電流位相を制御して発電機の最適効率運転を実現し、高効率・高信頼性の水力発電システムを実現する。

発電機としては、小形・高効率の IPM 同期発電機を使用する。IPM 同期発電機はブラシレス構造であるため保守性に優れ、センサレス位置推定法を適用することで回転センサのない高信頼性の発電機システムを構築できる。本研究課題で採用する位置推定法は、IPM モータの突極性に基づく方法で、研究代表者が提案したものである。さらに、この推定アルゴリズムを 1 チップの FPGA に実装した制御用チップを開発し、発電機の制御に使用する。

3. 研究の方法

本研究課題は、以下の三つのフェーズで研究を進め、各フェーズでは以下のことを明らかにした。

(1) 小水力発電システムの評価試験装置の開発

さまざまな有効落差や流量における小水力発電システムの特性を測定できる評価試験装置を開発した。有効落差や流量の調整は、水中ポンプの回転数制御で実現する。

(2) IPM 同期発電機の制御システムの開発

本システムでは、小さな水力エネルギーから高効率で発電するために、内部永久磁石 (IPM) 同期機を発電機として採用している。この IPM 同期発電機を、水車効率が最大となる回転数で運転できるように可変速運転を行う。また、IPM 同期発電機のリラクタンストルクを利用して高効率発電を実現することができる最大トルク制御を行う。この二つを同時に実現可能な制御システムを、DSP コア組込み FPGA を用いて開発する。

(3) 小水力発電システムの評価試験

10 m 程度の落差を想定して選定した水車と開発した発電機システムを組み合わせた小水力発電システムを、先に開発した評価試験装置を用いて小水力発電システムとしての性能評価を行う。この際には、小水力発電システムの総合効率だけでなく、発電機効率と水車効率を分離して測定し、水車と発電機の個別の性能を評価する。

4. 研究成果

(1) 小水力発電の評価試験装置の開発

図 1 に開発した循環型評価試験装置のシステム構成を、図 2 にその外観を示す。この試験装置は、水中ポンプを利用して落差 (圧力差) を等価的に与えており実験場所を選ばない点に特長がある。水中ポンプはインバータを用いて可変速運転し、様々な実験条件を作り出すことができる。配管には流量計と圧力計を取り付け、水車入力側の測定が可能である。水車出力軸にはトルクメータを接続し、水車出力すなわち発電機入力側の測定も可能である。これらにより、水車効率と発電機効率を別々に評価することができる。

図 1 循環型評価試験装置の構成

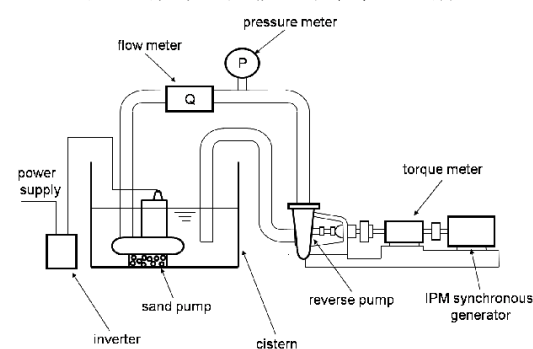
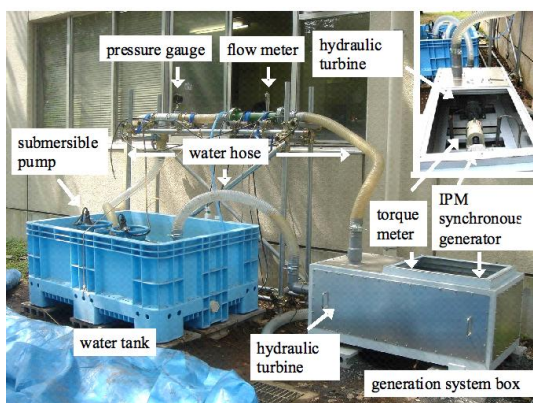


図 2 循環型評価試験装置の外観



(2) IPM 同期発電機の制御システムの開発

図 3 に、開発した IPM 同期発電機の制御システムを外観を示す。下から、インバータユニット、FPGA ボード、インタフェースボード、PG インタフェースで構成されている。実際にはこのセットを二組作成し、一方は試験用 MG セットの駆動用 IPM モータに使用する。PG インタフェースはこの駆動用 IPM モータにのみ使用し、発電機用には使用しない。

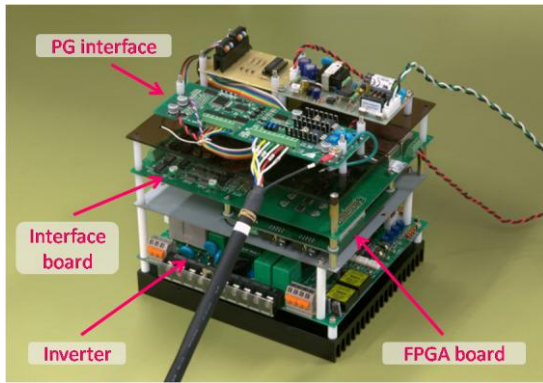


図3 制御システムの外観

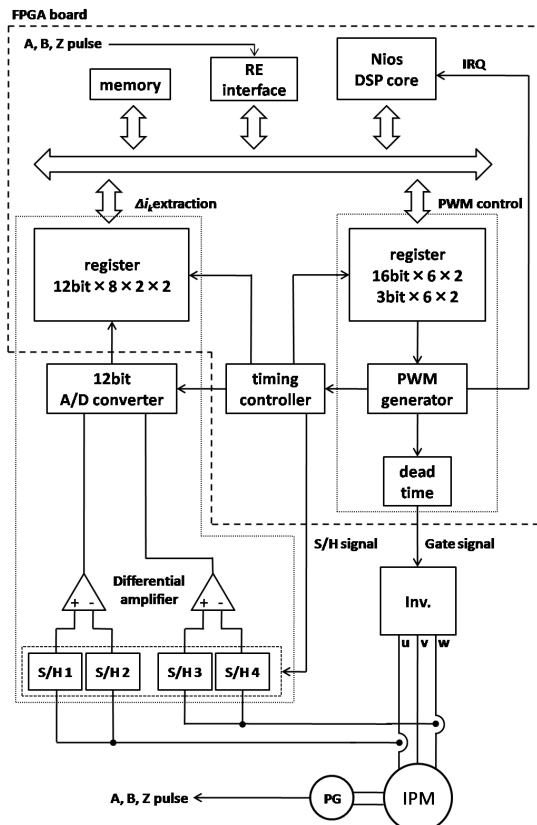


図4 制御システムの構成

図4に、制御システムの構成を示す。本制御システムでは、DSPコア組込みのFPGAを使用している点に特徴があり、1チップのFPGA内に制御に必要なすべてのデジタルシステムを実装している。制御に必要なPWMジェネレータ等の特殊なハードウェアについても、ハードウェア記述言語(HDL)を用いて、同一のFPGA内に実装している。A/D変換器や増幅器などのアナログを含む回路はすべてインタフェース基板上に実装している。

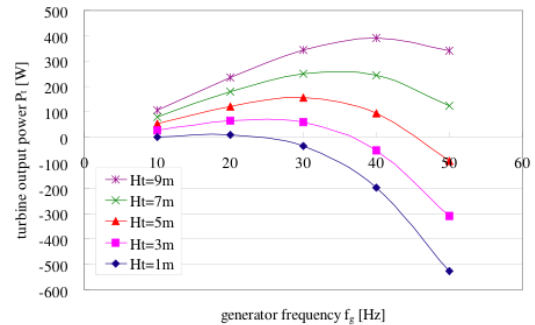
内部永久磁石(IPM)同期機は、回転子鉄心の内部に永久磁石界磁を埋め込んだ同期機で、d軸インダクタンスよりもq軸インダクタンスが大きいため逆突極性を有して

いる。このため、本来の永久磁石によるトルクだけでなくリラクタンストルクも発生するので、このリラクタンストルクを利用して電流位相を適切に制御することで、高い効率の発電を実現することができる。しかしこの最適運転条件は、負荷状態とdq軸インダクタンスに依存し、電流位相を制御するためには回転子位置を検出する必要がある。

研究代表者が先に提案したIPMモータの位置推定法は、インバータの発生するリップル電流を検出して突極性から電気角で1度程度の高精度で回転子位置を推定することができる。当該研究課題では、この推定技術を拡張して回転子位置だけでなくdq軸インダクタンスを同時に推定し、負荷状態に応じて電流位相を常に最適位相に制御し、高効率発電システムを実現する。電流位相を制御した場合には、制御しない場合に対して発電機の損失を最大で15~20%程度低減することが可能である。

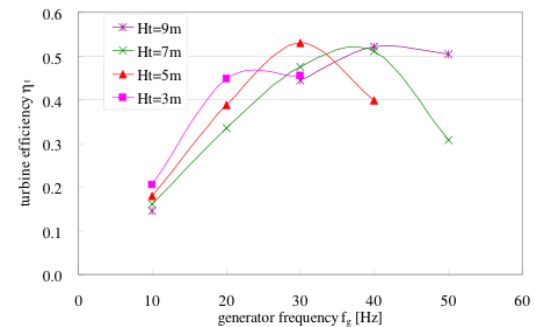
(3) 小水力発電システムの評価試験

循環型評価試験装置と制御システムを用いて、評価試験を実施した。図5に、発電機周波数すなわち水車回転数に対する水車出力の特性を示す。水車回転数により水車出力が急激に変化し、場合によってはマイナスになっている。マイナスの水車出力は、水車がポンプ状態になっていることを意味する。



(a) turbine power V.S. generator frequency

図5 水車出力特性



(c) turbine efficiency V.S. generator frequency

図6 水車効率特性

図6に、発電機周波数すなわち水車回転数に対する水車効率の特性を示す。落差の条件により、水車効率の最大となる回転数が変化していることがわかる。本システムでは、常に水車効率が最大となる水車速度で運転する。また、発電機効率もその最大効率点で運転することができるため、小さな水力エネルギーを最大限電気エネルギーに変換することができる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 6件)

- ① 鈴木実, 小笠原悟司, 船渡寛人:「IPM 発電機を用いた可変速マイクロ水力発電システムの発電機効率最大化」, 電気・情報関係学会北海道支部連合大会, No.50, pp.57, 2007年10月27日~28日(北海道工業大学)
- ② 鈴木実, 小笠原悟司, 船渡寛人:「IPM 発電機を用いた可変速マイクロ水力発電システム -センサレス位置推定法を適用した発電機効率最大化-」, 電気学会半導体電力変換研究会, SPC-08-64, pp.25-30, 2008年3月6日~7日(長崎大学)
- ③ 鈴木実, 小笠原悟司, 船渡寛人:「IPM 発電機を用いた可変速マイクロ水力発電システム -DSP コア組み込み FPGA を用いた制御システム-」, 電気学会全国大会, No.4-105, pp.175-176, 2008年3月19日~21日(福岡工業大学)
- ④ 鈴木実, 小笠原悟司, 船渡寛人, 竹本真紹:「DSP コア組み込み FPGA を用いたインバータ駆動用制御装置」, 電気・情報関係学会北海道支部連合大会, No.13, 2008年10月25, 26日(東海大学札幌キャンパス)
- ⑤ 櫻井知之, 船渡寛人, 小笠原悟司:「マイクロ水力発電システム試験装置の基礎特性」, 電気学会半導体電力変換研究会, SPC-09-40, 平成21年1月23, 24日(大阪工業大学)
- ⑥ 鈴木実, 小笠原悟司, 竹本真紹, 船渡寛人:「可変速マイクロ水力発電に用いる IPM 発電機制御システム」, 電気学会電力技術/電力系統技術/半導体電力変換合同研究会, PE-09-46/PSE-09-54/SPC-09-88, 平成21年3月2, 3日(琉球大学)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小笠原悟司 (OGASAWARA, SATOSHI)
北海道大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号: 40160733

(2) 研究分担者

船渡寛人 (FUNATO, HIROHITO)
宇都宮大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 60272217

(3) 連携研究者

なし