

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：17104

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2011 ～ 2012

課題番号：23860035

研究課題名（和文） 風車の変動出力を時々刻々平滑化する簡易ポンプ水車ユニットの開発

研究課題名（英文） Development of Counter-Rotating Type Pump-Turbine Unit Cooperating with Wind Turbine to Stabilize Instantaneously Power Supply

研究代表者

村上 天元 (MURAKAMI TENGEN)

九州工業大学・大学院工学研究院・研究員

研究者番号：90611278

研究成果の概要（和文）：本研究は、相反転方式ポンプ水車ユニットと風車を連携運転して一定出力を取り出すシステムの確立を目的としている。その準備段階として、2011年度は水車専用機をポンプ運転した場合の定常性能および内部流れを調査した。さらに2012年度は、ポンプ専用に設計された羽根車がポンプ水車性能に及ぼす影響を明らかにし、これらの研究成果を踏まえた実証試験として、相反転方式ポンプ水車および発電電動機を本学キャンパスのパイロットプラントに準備した。

研究成果の概要（英文）：The objective of serial researches is to develop the hybrid power system combined the wind power unit with the counter-rotating type pump-turbine unit, to provide the constant output for the grid system. As the first step in 2011, the counter-rotating type hydroelectric unit was operated at the pumping mode, and the steady performances and the flow conditions were investigated. And in 2012, the effects of the impeller profile on the pump-turbine performances were investigated. Based on the above results, the counter-rotating type pump-turbine unit for the field test was prepared on the pilot plant in the home campus.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：再生可能エネルギー、低消費電力・高エネルギー密度、風力、水資源、流体工学

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化防止/循環型社会構築に向けて自然エネルギーの有効利用が不可欠であり、太陽光、風力、小水力、地熱、海洋等によるクリーン電力の安定供給が求められている。上記のようなクリーンではあるが変動する出力を平滑化して、高品質の電力を外部負荷に応じて系統に安定供給する従前技術にはインバータを必須とし、電気二重層キャパシタ、フライホイール、蓄電池などをプラン

トに併設する必要がある。これら蓄電装置は高価でかつ大型化が困難な難点を有している。

2. 研究の目的

本研究では、自然エネルギー（以下、風車で代理）からの変動出力を瞬時に平滑化し、安定した一定電力を系統に供給するシステムの開発を目的としている。最も変動が著しい風力発電で例えれば、高風速時にはその電

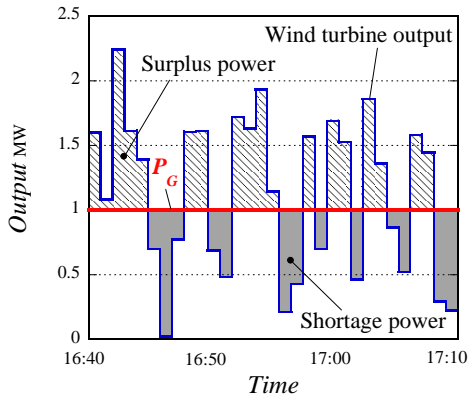


Fig. 1 Output averaged every 1 minute

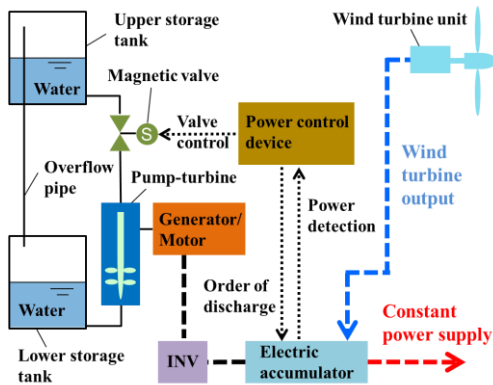


Fig. 2 Power stabilization system

力の一部でポンプを駆動して上部タンクに水を蓄え、無風や微風時にはその水で水車を駆動して発電し、システム全体として常時安定した電力を系統に供給する。揚水発電に供するポンプ水車については既に熟した技術が存在し、電力が余る深夜にポンプ運転、不足する昼間に水車運転をしている。この場合、両運転は大容量系統ならではの長時間停止を経ての、あるいは穏やかな準定常的切替えであり、既存の熟した技術をそのまま瞬時切替え運転技術には適用できない。また既存技術は大容量発電所に適した大規模土木工事を伴う高価なものであり、可能な限り簡素で安価な方法を目指す本技術開発の対象とはかけ離れている。

3. 研究の方法

図1は別途開発中の風力発電ユニットの瞬時出力を1分毎に平均して16,000倍した出力経過である。風車出力が平滑出力 P_c （ここでは1MW）を上回る場合には、風車出力をそのまま一定量系統に供給し、残りは充放電装置に蓄電するとともに相反転ターボにより揚水して一旦位置エネルギーとして蓄積する。低風速で風車出力が平滑出力 P_c を下回る場合には、水車運転によって不足電力を補って、一定電力を系統に供給する。これを実現

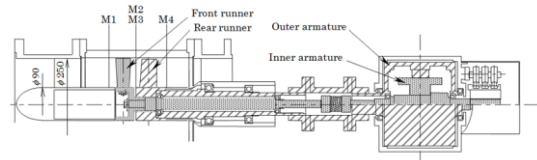


Fig. 3 Model Counter-rotating type hydroelectric unit

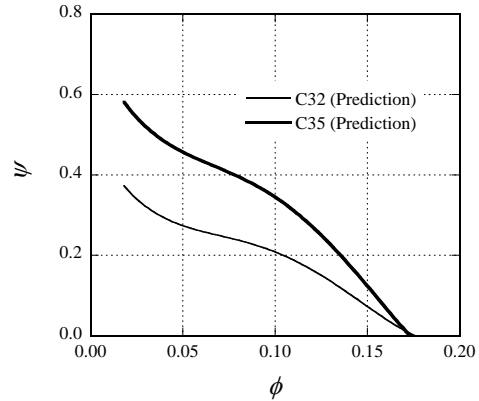


Fig. 4 Head coefficient in pumping mode

するシステムを図2に示すがまずは、ポンプ運転と水車運転の瞬時切替えを可能にする相反転ターボの開発に焦点を当てた。

4. 研究成果

(1) 平成23年度

図3に示す既設の相反転方式軸流水力発電ユニットをポンプ運転に供し、ランナ径が245mmの前後段ランナをそれぞれ逆回転させて、前後段インペラの相対回転速度を 900 min^{-1} に保った場合の定常性能および内部流れについてCFD（コンピュータシミュレーションによる数値実験）援用により追求した。その結果、①相反転インペラのスマートコントロール効果（回転速度の自己調節機能）により、図4に示すように低流量域において揚程の右上がり不安定特性は現れず、広い流量範囲において安定した運転が可能であることが分かった。ここでC32およびC35は、前段羽根枚数3枚、後段羽根枚数2枚および5枚の場合を表す。また、図5に示す回転速度成分 V_u の半径方向分布から②水車専用機をポンプ運転に供した場合であっても羽根枚数によらず軸方向流入流出条件が得られることが分かる。さらに、図6の前後段羽根車の回転挙動および図7の前後段羽根車の迎え角 α_{attack} 分布から、③前後段回転速度のスマートコントロール機能は前段インペラに生じる逆流域の増大を抑えることができることを明らかにした。

(2) 平成24年度

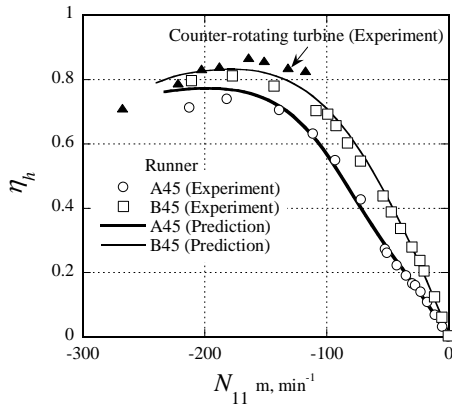


Fig. 10 Hydraulic efficiency in turbine mode

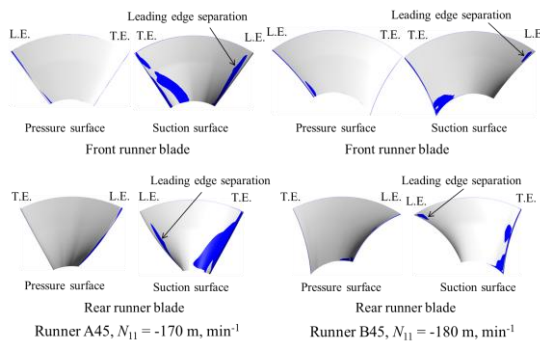


Fig. 11 Reverse flow zone on the runner blade surface

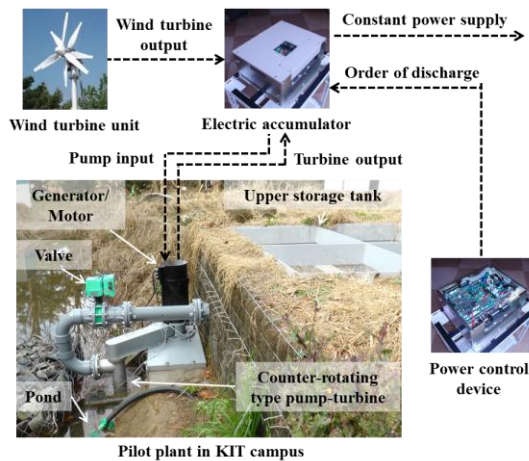


Fig. 12 Model power stabilization system in the home campus

さい入射角であっても失速域を生じるがこの剥離流れは前縁近傍で再付着し、丸みを帯びた後縁は流れの剥離を誘起し、乱流後流を発生させることなどを明らかにした (図 11 参照)。これらの研究成果を踏まえた実証試験として、相反転方式ポンプ水車および発電電動機を試作し、図 12 に示す本学キャンパスのパイロットプラントに設置し、相反回転速度 1200 min^{-1} での揚水が可能であることを予備的に実証した。

5. 主な発表論文等 〔雑誌論文〕 (計 8 件)

- ① Murakami, T., Kanemoto, T., Counter-Rotating Type Pump-Turbine Unit Cooperating with Wind Power Unit, Journal of Thermal Science, 査読有, Vol.22, 2013, pp.7-12, DOI:10.1007/s11630-013-0585-2
- ② Komaki, K., Murakami, T., Kanemoto, T., Takano, G., Kasahara, R., Counter-Rotating Type Pump-Turbine Unit Cooperating with Wind Turbine to Stabilize Instantaneously Power Supply (Simulation in Hydroelectric Work), Proceedings of 17th International Seminar on Hydropower Plants, 査読有, Vol.17, 2012, pp.81-89
- ③ Komaki, K., Murakami, T., Kanemoto, T., Counter-Rotating Type Pump-Turbine Unit in Collaboration with Wind Power Unit (Effect of Blade Number on Hydraulic Performance), Proceedings of 5th International Symposium on Fluid Machinery and Fluids Engineering, 査読有, CD-ROM, 2012, REF-1181
- ④ Komaki, K., Murakami, T., Kanemoto, T., Counter-Rotating Type Pump-Turbine Unit Cooperating with Wind Power Unit, Proceedings of 4th Asian Joint Workshop on Thermophysics and Fluid Science, 査読有, USB, 2012, JA002
- ⑤ Kasahara, R., Takano, G., Murakami, T., Kanemoto, T., Komaki, K., Counter-Rotating Type Axial Flow Pump Unit in Turbine Mode for Micro Grid System, Proceedings of the 26th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and System, 査読有, USB, 2012, IAHRXXVI-151
- ⑥ Murakami, T., Kanemoto, T., Takano, G., Kasahara, R., Numerical Simulation in Turbine Mode of Counter-Rotating Type Axial Flow Pump (Preparation of Pump-Turbine Unit in Cooperation with Wind Power Unit), Proceedings of the ASME 2012 Fluids Engineering Summer Meeting FEDSM2012, 査読有, CD-ROM, 2012, FEDSM72046
- ⑦ Murakami, T., Takano, G., Kasahara, R., Kanemoto, T., Turbine Mode of Counter-Rotating Type Axial Flow Pump for Power Grid System, Proceedings of the 8th KSME-JSME Thermal and Fluids Engineering Conference, 査読有, USB,

2012, GSF26-010

- ⑧ Murakami, T., Takano, G., Kasahara, R., Kanemoto, T., Pumping Mode of Counter-Rotating Type Hydroelectric Unit for Power Grid System, Proceedings of the 1st Annual Low Carbon Earth Summit, 査読有, 2011, pp. 735

〔学会発表〕(計2件)

- ① Kasahara, R., Advanced Power Stabilization with Pumped Storage System for Sustainable Natural Resources, 1st International Symposium on Nature Grid in Green Campus and City, 2012年9月29日, 九州工業大学(福岡)
- ② 村上天元, 風力発電ユニットと連動する相反転方式軸流ポンプ水車の提案, 第66回ターボ機械協会宮崎講演会, 2011年9月15日, 宮崎大学(宮崎)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.mech.kyutech.ac.jp/turbo/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村上天元 (MURAKAMI TENGEN)

九州工業大学・大学院工学研究院・研究員

研究者番号: 90611278