

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420265

研究課題名(和文) 時間関数最適化に基づくPMSG風力発電機数値制御の実験

研究課題名(英文) Experimental Verification of Numerical Control of PMSG WTG Based On Functional Optimization

研究代表者

熊野 照久 (Kumano, Teruhisa)

明治大学・理工学部・教授

研究者番号：80371243

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：風力発電機や太陽光発電などを有する小規模系統の電力品質維持と発電出力増大を同時に満たすことを目的に、これら再生可能エネルギー発電設備に併設された蓄電池システムを最適に制御するための基本論理を開発した。開発した制御論理は計算機シミュレーションの他、基礎動作試験によって、想定した系統運用上の制約条件の中でエネルギーロスを低減しつつ、系統電圧変動を小さく抑えることができることを確認した。

研究成果の概要(英文)：A fundamental control logic was developed which aims to optimally control the battery energy storage for the purpose of simultaneous fulfillment of power quality and generation maximization in a small power grid with wind and solar power generation systems. The developed logic was shown to minimize the energy loss and to limit the voltage deviation inside the assumed operational constraints.

研究分野：電力システム

キーワード：再生可能エネルギー 変分法 関数最適化 蓄電池システム 最適制御

### 1. 研究開始当初の背景

我が国で欧米諸国に比べて風力発電の導入がさかんでない理由の一つに、風速変動が頻繁かつ変動幅が大きいことが挙げられる。このため風力発電設備の利用率が低く、かつ、連系点の系統電圧を安定化させるための蓄電池の併設が求められる。

こうした要求を同時に満たすために当研究グループが既に提案した制御手法によると系統電力品質の低下を最小限に抑えつつ、風力発電機からの出力を最大化できると考えられる。ただし、理論上示されているにとどまり、実機検証には至っていなかった。

### 2. 研究の目的

上記の制御論理の有効性を実験によって検証することを目的として研究を行った。

### 3. 研究の方法

#### (1) 実験の模擬シミュレーション

実験で用いる各種ハードウェアを数値モデル化し、本研究で検討する制御論理を組み込んだ場合の動作についてシミュレーション検討し、確認した。

#### (2) 実機の導入

(1)の結果をもとに導入する機器、システムの仕様を決定し、小形永久磁石同期機等を導入した。

#### (3) 電池電力貯蔵システム制御の検討

導入した実機の機械的損失が想定以上に大きいことが判明したため、本実機実験によって当初想定した制御手法の効果を示すことが難しいことが判明した。このため、本研究で得られた各種機器を電池電力貯蔵システムに転用して再生可能エネルギー出力変動の影響を抑える制御システムについて検討した。

#### (4) 発電装置の損失特性の把握

上記(3)で述べたとおり電源装置の損失が大きいことは本研究課題においては好ましいことではなく、十分に実験的検討を進められなかったが、逆に損失特性を用いて別途研究課題につなげることができた。後に平成28年度基盤研究(C)として認められた研究課題を円滑に進めるため、発電装置の損失特性の詳細を検討した。

### 4. 研究成果

#### (1) 超電導風力発電機の解析

本研究課題では発電装置の損失が問題となって当初期待どおりの研究成果は得られなかったが、このことから発電機側損失を抑えるため超電導化の着想を得た。超電導風力発電機について検討し電気特性を明らかにした。図1に想定した超電導風力発電機の概略構造(断面図で示す)を、また、図2と図3に磁界解析の結果得られた機内磁束分布

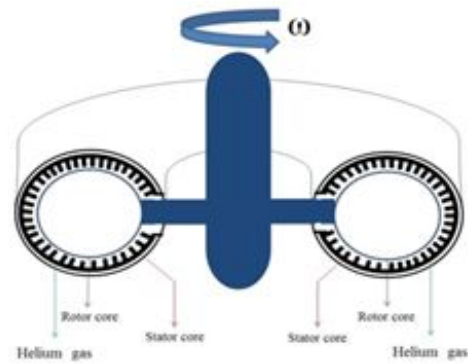


図1. 超電導風力発電機の構造



図2. 超電導風力発電機の磁束分布の例

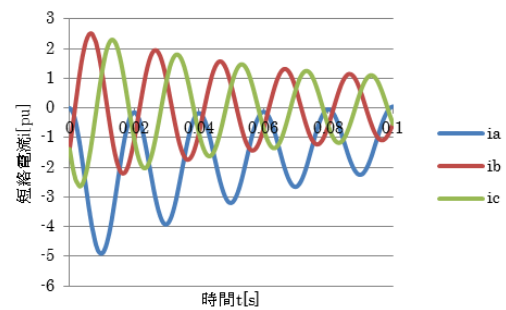


図3. 超電導発電機の三相突発短絡電流

と三相突発短絡電流の波形を示す。超電導風力発電機において三相突発短絡電流が示されたのは報告者の知るかぎり世界初のことである。

#### (2) 電池電力貯蔵システムの制御手法の提案

研究の方向性を一部転換して行った電池電力貯蔵システムに関する検討では、再生可能エネルギーの発電出力が変動する条件下で電力損失を最小化しつつ系統電力の品質を確保する手法を見出した。図4に本手法の概要を示す。再生可能エネルギー出力が変動する条件下で、今後想定される系統電圧変動を抑えつつ、エネルギーロスを最小化する。図5が想定した電力系統、図6が得られた最適バッテリー運用である。本手法は、本研究で検討した制御論理に基づいて最適バッテリー運用手法を求めるものであり、得られた最適運用の妥当性が確認された。本手法も報告者の知るかぎり全く新しい手法であり、国際会議での発表後、関連雑誌にも掲載された。

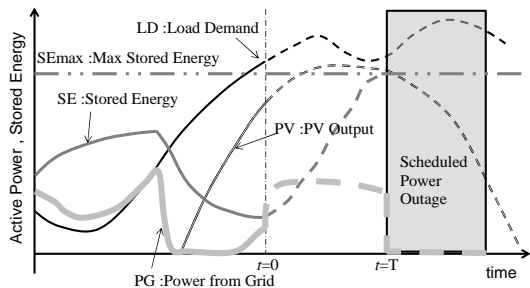


図4．電池電力貯蔵システムの最適充放電スケジュールの概要

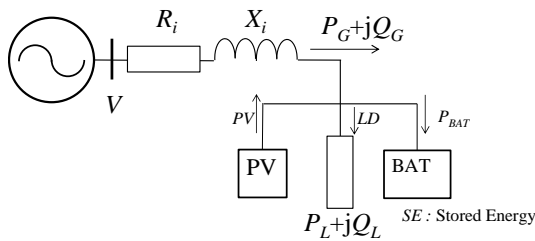


図5．モデル系統

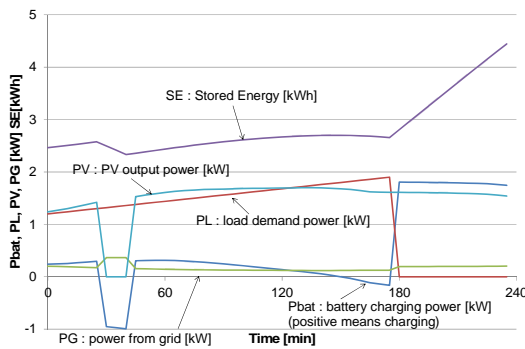


図6．得られた最適充放電スケジュール例

< 引用文献 >

桑本 樹, 熊野照久: 「FEM 解析を用いた横方向磁束構造を持つ超電導風力発電機の故障時特性の解析」, 電気学会回転機研究会資料 SA-15-048, 査読無, RM-15-040, 2015 年

Teruhisa Kumano, Hayato Ikushiba: “Optimal Battery Charging Method for Scheduled Power Outage by Calculus of Variations”, International Journal of Electrical Energy (IJOEE), 査読有, ISSN 2301-3656, Vol 3, No1, 2015, pp 28-31

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 1 件)

Teruhisa Kumano, Hayato Ikushiba: “Optimal Battery Charging Method for

Scheduled Power Outage by Calculus of Variations”, International Journal of Electrical Energy (IJOEE), 査読有, ISSN 2301-3656, Vol 3, No1, 2015, pp 28-31

[学会発表](計 2 件)

Tatsuki Kuwamoto, Teruhisa Kumano: “The Electrical Analysis of Superconducting Wind Turbine Generator with Transverse Flux Structure”, Proc ICEE 2014, 査読有, Paper EM-0587, Jeju, June 16-18, 2014, 6 pages

桑本 樹, 熊野照久: 「FEM 解析を用いた横方向磁束構造を持つ超電導風力発電機の故障時特性の解析」, 電気学会回転機研究会資料 SA-15-048, 査読無, RM-15-040, 2015 年, 6 pages

[図書](計 0 件)

なし

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

なし

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 0 件)

なし

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

熊野 照久 (KUMANO, Teruhisa)

明治大学・理工学部・教授

研究者番号: 80371243

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし

(4) 研究協力者

玉島 史顕 (TAMASHIMA, Fumiaki)

田原 慎也 (TAHARA, Shinya)

芳賀 晶大 (HAGA, Akihiro)

野本 悟史 (NOMOTO, Satoshi)  
未永 直人 (SUENAGA, Naoto)  
藤村 真史 (FUJIMURA, Masashi)  
車 遠 (KURUMA, En)  
佐藤 遼一 (SATO, RYOICHI)  
吉田 響基 (YOSHIDA, Hibiki)  
青田 智雄 (AOTA, Tomoo)  
村越 亮太 (MURAKOSHI, Ryota)  
桑本 樹 (KUWAMOTO, Tatsuki)  
黒澤 亮斗 (KUROSAWA, Ryoto)  
堀田 昌希 (HORITA, Masaki)