

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 31 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560554

研究課題名(和文) 原発1基に相当するリラクタンス型洋上風力発電機の適応ロバストベクトル制御系の開発

研究課題名(英文) Development of Adaptive Robust Vector Control System for Offshore Wind-power Reluctance Type Generator Equivalent to 1 Nuclear Power Plant

研究代表者

天野 耀鴻 (AMANO, Yoko)

日本大学・工学部・教授

研究者番号：40370001

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：世界では、洋上風力発電機が巨大化に向けて研究開発と事業化を着々に進めている中、我が国のエネルギー供給源が多様化して経済の再活性化が図られるために洋上風力発電の導入が不可欠であり、更に、欧米の洋上風力発電量をを超えるため、巨大化の風力発電開発が急務となる。

現状では、最大級の数メガワット(MW)クラス洋上風力発電機が殆ど誘導型であるが、そこで、本研究では、荒波の海での厳酷な環境に耐えるように、原発1基(約30MW)に相当できる新しいリラクタンス型洋上風力発電機の適応ロバストベクトル制御系を初めて構築し、本提案の制御系を用いてリラクタンス型洋上風力発電機の高効率発電をストレステストで実行した。

研究成果の概要(英文)：The research and development which become huger are advancing an offshore wind-power generator certainly in the world. Introduction of the offshore wind-power generation is indispensable and an energy supply source is diversified in our country as well as to plan for financial re-activation. Moreover to exceed European and American on the offshore wind-power generation amount, it becomes huger, wind-power generation development will be urgent business.

A maximum several megawatt (MW) class on the offshore wind-power generator is almost induction generator in the now. Adaptive robust vector control system for new reluctance type offshore wind-power generator which can be equivalent to 1 nuclear power plant (about 30 MW) was built for the first time, and high-efficient generation of the reluctance offshore wind-power generator was carried out by stress testing using the proposed control system so that the severe environment at the sea of a raging wave might be endured by this research.

研究分野：制御工学

キーワード：洋上風力発電システム リラクタンス型洋上風力発電機 適応ロバストベクトル制御

## 1. 研究開始当初の背景

世界風力エネルギー (GMGC) 協会は、風力発電の設備容量は 2014 年 6 月に 336GW まで急速に拡大し、世界の電気需要の 4% が発電風力発電であり、なお急激に増加していることを発表した。世界の風力発電の大規模化は、太陽光発電を大きく凌駕して 8 倍以上の開きがある。特に、米国では、エネルギーの新たな未来を築くように洋上風力イニシアティブを国家戦略計画として発表した。クリーンで再生可能な洋上風力エネルギーの導入は、2035 年までに米国で使用する電力の 80% をクリーンエネルギー源で賄うという目標を達成する可能である。現状では、洋上風力発電機は殆ど誘導型であり、一番大きな出力が数メガワットに達しても、発電効率の低さが指摘されている。その代わりに、永久磁石型風力発電機は前者より効率はよいが、出力が大きくなく数百キロワット (KW) しかないので、洋上風力発電に向いていない。

本研究では、誘導型洋上風力発電機と全く異なり、更に、出力が大きくて効率高く、製造コストが一番安いリラクタンstype風力発電機を初めて提案し、有限要素法を用いてその発電機の研究開発を行った。そして、インダクタンス値が非線形時変パラメータに対応できるリラクタンstype風力発電機の非線形時変ベクトル制御系を構築した。

一方、九州大学研究グループは 100MW 級の風レンズやカーボンファイバーなどの研究成果が発表されたが、100MW 級に匹敵する洋上風力発電機はまだできていない。更に、荒波の海での厳酷な環境についてのリラクタンstype発電機モデルは分かっておらず、巨大なリラクタンstype洋上風力発電機の制御系はないのが現状である。そこで、本研究では、荒波の海での厳酷な環境に耐えるように、原発 1 基に相当する新しいリラクタンstype洋上風力発電機の適応ロバストベクトル制御系を初めて構築し、更に、本提案の制御系を用いてリラクタンstype洋上風力発電機の高効率発電をストレステストで行うことである。

## 2. 研究の目的

世界では、洋上風力発電機が巨大化に向けて研究開発と事業化を着々に進めている。我が国のエネルギー供給源が多様化して経済の再活性化が図られるために、洋上風力発電の導入が不可欠であり、更に、欧米の洋上風力発電量を超えるため、巨大化の風力発電開発が急務となる。現状では、最大級の数メガワット (MW) クラス洋上風力発電機が殆ど誘導型である。そこで、本研究では、荒波の海での厳酷な環境に耐えるように、原発 1 基 (約 100MW) に相当できる新しいリラクタンstype洋上風力発電機の適応ロバストベクトル制御系を初めて構築し、本提案の制御系を用いてリラクタンstype洋上風力発電機の高効率発電をストレステストで実行すること

を目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究の目的は、荒波の海で原発 1 基に相当するリラクタンstype洋上風力発電機の適応ロバストベクトル制御系を構築し、本提案の制御系を用いてリラクタンstype洋上風力発電機の高効率発電のストレステストを実行することである。そのために研究計画・方法を講じている。

(1) 風速の激しい変化に依存するリラクタンstype洋上風力発電機の特性を実験的に計測し、測定データにより厳酷な環境に耐えるリラクタンstype洋上風力発電機の数理モデルを解析に確立する。

(2) 得られた数理モデルに対して適応ロバストベクトル制御系を新たに構築し、その制御系について閉ループシステムの安定性を検証する。

(3) 風力発電高効率化のため、巨大なリラクタンstype洋上風力発電機と制御系に対して総合的に解析・検討を実行する。

(4) 構築される適応ロバストベクトル制御系を用いてリラクタンstype洋上風力発電機の高効率発電をストレステストで実行する。

## 4. 研究成果

世界では、洋上風力発電機が巨大化に向けて研究開発と事業化を着々に進めている中、我が国のエネルギー供給源が多様化して経済の再活性化が図られるために洋上風力発電の導入が不可欠であり、更に、欧米の洋上風力発電量を超えるため、巨大化の風力発電開発が急務となる。

現状では、最大級の数メガワット (MW) クラス洋上風力発電機が殆ど誘導型であるが、そこで、本研究では、荒波の海での厳酷な環境に耐えるように、原発 1 基 (約 30MW) に相当できる新しいリラクタンstype洋上風力発電機の適応ロバストベクトル制御系を初めて構築し、本提案の制御系を用いてリラクタンstype洋上風力発電機の高効率発電をストレステストで実行した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

Yoko Amano, "Design of Maximum Efficiency Two-Axis Sun Tracking System for Universal PV panels", Lecture Notes in Electrical Engineering 293, DOI: 10.1007/978-3-319-04573-3\_153, pp.1255/1263, 2014

Yoko Amano, "Stability Control for Two Wheeled Mobile Robot Using Robust Pole-placement Method", Lecture Notes in Electrical Engineering 293, DOI: 10.1007/978-3-319-04573-3\_32,

pp.259/268, 2014

Yoko Amano, “Intelligent Control for Wind Power Generator Using Neural Networks”, Lecture Notes in Electrical Engineering 293, DOI: 10.1 007/978-3-319-04573-3\_41, pp.331/338, 2014)

Yoko Amano, “Variable-Speed Wind Generator System with Maximum Output Power Control”, Intelligent Technologies and Engineering Systems, Lecture Notes in Electrical Engineering 234, DOI 10.1007/978-1-4614-6747-2\_52, Springer Science Business Media New York, (2013年)

天野耀鴻, 高見弘, 藤井隆雄, 「同期リラクタンズ電動機の ILQ ロバスト電流制御系の設計法」, 電気学会論文誌 C, 第 132 巻, 第 3 号, pp. 401-408, DOI 10.1541/ieejieiss.132.401, 3 月 (2012 年)

[学会発表](計 23 件)

渡邊大希, 天野耀鴻, 「適応極配置による二輪型ロボットのロバスト制御」, 平成 26 年度第 57 回日本大学工学部学術研究報告会, 12 月 13 日 (平成 26 年度)

上杉拓矛, 佐藤綾紀, 天野耀鴻, 「極配置法を用いた太陽光追尾発電システムの設計」, 平成 26 年度第 57 回日本大学工学部学術研究報告会, 12 月 13 日 (平成 26 年度)

小林雅徳, 押切貴希, 片山雄, 天野耀鴻, 「洋上風力発電システムにおける自励同期リラクタンズ発電機モデルの設計法」, 平成 26 年度第 57 回日本大学工学部学術研究報告会, 12 月 13 日 (平成 26 年度)

武田修一, 天野耀鴻, 「安定姿勢のための回転型倒立振り子における適応極配置制御システムの設計」, 平成 26 年度第 57 回日本大学工学部学術研究報告会, 12 月 13 日 (平成 26 年度)

橋本賢司, 天野耀鴻, 「電力安定化のための電力システムシステムの制御設計法」, 平成 25 年度修士論文発表会, 2 月 17 日 (2014 年)

橋本賢司, 天野耀鴻, 「電力システムシステムにおける電力安定化のための制御設計法」, 計測自動制御学会論東北支部第

285 回研究集会, 12 月 14 日(2013 年)

小林雅徳, 天野耀鴻, 「洋上風力発電のための同期リラクタンズ型発電機における制御系の設計」, 平成 25 年度第 56 回日本大学工学部学術研究報告会, 12 月 14 日 (平成 25 年度)

上杉拓矛, 天野耀鴻, 平元智樹, 松坂壮展, 「電流センサを用いた追尾型太陽光発電装置の制御システムの設計と検証」, 平成 25 年度第 56 回日本大学工学部学術研究報告会, 12 月 14 日 (平成 25 年度)

武田修一, 天野耀鴻, 「安定姿勢のための回転型倒立振り子におけるロバスト極配置の設計法」, 平成 25 年度第 56 回日本大学工学部学術研究報告会, 12 月 14 日 (平成 25 年度)

渡辺大希, 天野耀鴻, 「二輪型倒立ロボットのロバスト制御系の設計」, 平成 25 年度第 56 回日本大学工学部学術研究報告会, 12 月 14 日 (平成 25 年度)

Yoko Amano, “Design of Maximum Efficiency Two-Axis Sun Tracking System for Universal PV panels”, The 2nd International Conference on Intelligent Technologies and Engineering Systems, 12 月 12 日-14 日 (2013 年)

Yoko Amano, “Stability Control for Two Wheeled Mobile Robot Using Robust Pole-placement Method”, The 2nd International Conference on Intelligent Technologies and Engineering Systems, 12 月 12 日-14 日 (2013 年)

Yoko Amano, “Intelligent Control for Wind Power Generator Using Neural Networks”, The 2nd International Conference on Intelligent Technologies and Engineering Systems, 12 月 12 日-14 日 (2013 年)

桑原祥太, 橋本賢司, 天野耀鴻, 「PID 制御法を用いた電力系統連系インバータの安定化制御」, 平成 24 年度第 55 回日本大学工学部学術研究報告会, 12 月 1 日 (平成 24 年度)

高橋睦生, 天野耀鴻, 「劣駆動倒立振り子に対する極配置制御の設計と実験」, 平成 24 年度第 55 回日本大学工学部学術研究報告会, 12 月 1 日 (平成 24 年度)

永尾仁, 天野耀鴻, 「ILQ 制御法を用いた二輪型倒立振子の安定化制御」, 平成 24 年度第 55 回日本大学工学部学術研究報告会, 12 月 1 日 (平成 24 年度)

藤原諒, 天野耀鴻, 「ILQ 手法を用いた風力発電機の最大出力制御システムの設計法」, 平成 24 年度第 55 回日本大学工学部学術研究報告会, 12 月 1 日 (平成 24 年度)

橋本賢司, 桑原祥太, 天野耀鴻, 「系統連系システムにおける電力安定化のための制御設計法」, 平成 24 年度第 55 回日本大学工学部学術研究報告会, 12 月 1 日 (平成 24 年度)

藤原諒, 天野耀鴻, 「ILQ 法を用いた小型風力発電機の制御システムの設計法」, 計測自動制御学会東北支部第 275 回研究集会, (平成 24 年度)

桑原祥太, 天野耀鴻, 「PID 制御法を用いた電力系統連系の高効率インバータの設計法」, 計測自動制御学会東北支部第 275 回研究集会, (平成 24 年度)

- 21 Yoko Amano, Hiroshi Takami, Takao Fujii, "Design Method of ILQ Robust Current Control System for Synchronous Reluctance Electrical Motors", IEEE Transactions on Electronics, Information and Systems, Vol. 132, issue3, pp. 401-408, 3 月 (2012 年)
- 22 Yoko Amano, "Maximum Generation Control System for Sensorless Wind Turbine Generator", XXth International Conference on Electrical Machines (ICEM'2012), Palais des Congres et des Expositions de Marseille, France, 9 月 2 日-5 日 (2012 年)
- 23 Yoko Amano, "Stability of Two-wheeled Mobile Robot Using New Combined Pole-placement Method", the 17th International Symposium on Artificial Life and Robotics, Oita, Japan, 1 月 19 日-21 日 (2012 年)

〔図書〕(計 1 件)

天野耀鴻, 乾 成里/共立出版, 「わかりやすい電気機器」, 2013 年 11 月 25 日 第 1 版第 1 刷, ISBN978-4-320-08573-2

〔その他〕

ホームページ:

<http://controllab.ee.ce.nihon-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

天野 耀鴻 (AMANO, Yoko)

日本大学・工学部・教授

研究者番号: 4 0 3 7 0 0 0 1

(2) 研究分担者

乾 成里 (INUI, Shigeri)

日本大学・工学部・准教授

研究者番号: 4 0 1 7 6 4 0 9

(3) 連携研究者

梶原 宏之 (KAJIWARA, Hiroyuki)

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号: 3 0 1 1 4 8 6 2