

令和 6 年 6 月 16 日現在

機関番号：34406

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14153

研究課題名（和文）風車出力を増大する風速変動対応型・動的MPPT制御システムの開発

研究課題名（英文）Development of Wind Speed Fluctuation-Adaptive and Dynamic MPPT Control System to Increase Power Generated by Wind Turbines

研究代表者

又吉 秀仁（MATAYOSHI, Hidehito）

大阪工業大学・工学部・講師

研究者番号：80882381

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：当該研究では風速変動の周期と大きさ、風速の現在値と平均値、風車回転速度の変化パターンを考慮した風車制御により発電電力を増大する動的MPPT（DMPPT: Dynamic-MPPT）制御システムを開発した。DMPPT制御システムでは風速の平均値、変動幅、変動周期に合わせて適切な回転速度を選択するため、風速変動の指標化が非常に重要な要素である。したがって本研究では線形回帰分析による風速変動の新たな指標化手法を確立した。また特定の風速条件下ではDMPPT制御により従来の2倍程度の発電電力が得られることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本の内陸部では平均風速6.5m/s以上を得られる地域が無数に存在する。しかし頻繁に変動する風速では発電が難しく、期待通りの発電電力量が得られないため風車の都市応用における大きな問題となっている。現在使用されている一般的な風車制御システムでは風速変動の頻度と大きさを考慮せず、風速変化が緩やかであることを前提に設計されている。そこで本研究では様々な風速変動の頻度と大きさ、風速の現在値、風車回転速度のパターンに応じて適切な回転速度指令値を選択し、出力電力を増大させるシステムを開発した。

研究成果の概要（英文）： In this study, a Dynamic-MPPT (DMPPT) control system has been developed to increase power generated by controlling a wind turbine in consideration of the period and magnitude of wind speed fluctuations, the current and average wind speed, and the change pattern of the wind turbine rotational speed. In the DMPPT control system, it is crucial to quantify wind speed variations by their average, range, and periodicity to select an appropriate rotational speed. Therefore, this study established a new method of quantifying wind speed variations using linear regression analysis. Furthermore, it has been confirmed that under specific wind speed conditions, DMPPT control can achieve approximately twice the conventional power generation.

研究分野：電力工学関連

キーワード：風力発電 小型風車 垂直軸風車 MPPT制御 再生可能エネルギー

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

風速変動の大きい風況下において、大きな慣性を持つ大型風車の回転速度を迅速に制御することは難しく、発電出力は最大で40%以上減少する。申請者は先行研究において「回転速度指令値シフト制御」を提案し、風速変動による発電出力低下を改善した。開発した風車制御システムは一般的な最大電力点追従(MPPT)制御手法と比較して24%の発電電力量増大を確認したが、低風速かつ風速変動が大きい風況のみを対象とした制御設計であったため、中風速～高風速時に対しては適切な制御ができないという課題があった。

そこで本研究では、風況を低風速の場合に限定せずに、機械学習を用いて様々な風速変動の頻度と大きさ、風速の現在値、風車回転速度のパターンを考慮し最適な回転速度で風車を運転することができる動的MPPT(DMPPT: Dynamic-MPPT)システムを開発する。

2. 研究の目的

申請者はこれまで低風速における風車の継続的運転を目的として、発電よりも回転速度維持を優先する「回転速度指令値シフト制御」について研究を行ってきた。また当制御システムにより不安定な風況に対して回転速度を維持することで発電出力の増大できることを確認した。しかし、どのような風況に対してどれほど回転速度を維持すべきか明らかではなく、風速変動のレベルに応じて運転を最適化することで更なる発電電力の増大が可能であると考えた。したがって本研究では様々なタイプの風車および風況において適用可能なDMPPT制御システムを開発することが目的である。

3. 研究の方法

風速変動に対して適切な運転を設定するために、まずは風速変動の指標化を行った。風速変動が大きい場合には発電電力が低減する傾向にあるため、そのような場合には回転速度の減少を抑える運転により発電効率を改善する。したがって提案制御アルゴリズムでは発電効率の低減につながる風速変動パターンを明確にすることが重要であるため、発電効率と風速変動幅、変動周期、平均風速の関係を調査した。この風車の動的発電効率特性の調査は、MATLAB/Simulinkを用いて図1の回路モデルを作成しシミュレーションによる調査を行った。

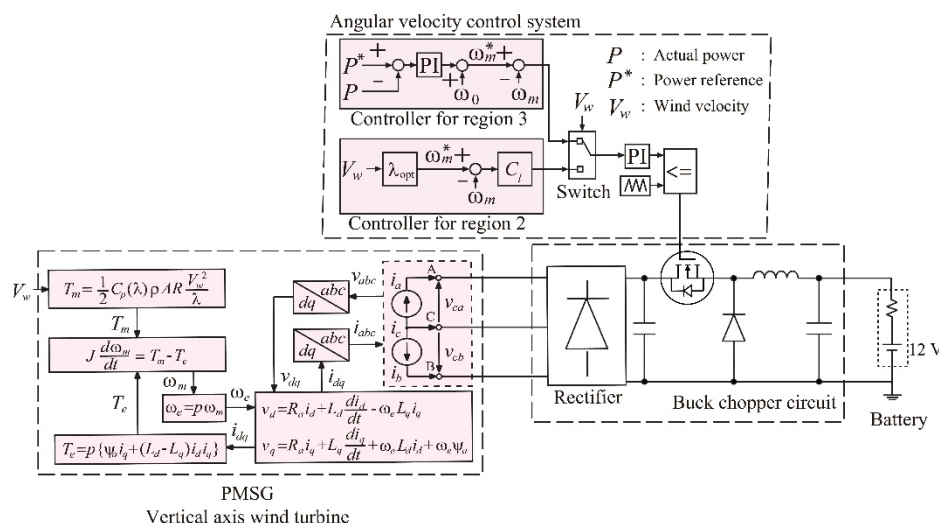


図1 回転速度指令値の選択

シミュレーションでは風速を正弦波状に変化させ風速変動幅、平均風速、変動周期が発電効率に与える影響を調査した。次にこれらの相関関係を線形回帰分析により定式化し、風速変動の傾向からどの程度発電に適した風況か指標により判断できるようにした。最後に提案する風速変動指標を風力発電の制御システムに適用し、DMPPT制御の有効性検証をおこなった。

有効性検証のシミュレーションでは一般的な制御手法(MPPT制御)とDMPPT制御の比較を行った。都市部における不安定な風況下での小型垂直軸風車の運転をシミュレーションするため、各種パラメータは表1の通りとした。

表1 シミュレーションパラメータ

Wind turbine	
Rated output power P_{rated}	700 W
Blade radins R	1 m
Blade height H	1.5 m
Air density ρ	1.225 kg/m ³
Rated wind speed $V_{w,rated}$	12 m/s
Generator (PMSG)	
Armature resistance R_a	10 mΩ
d-axis inductance L_d	6 mH
q-axis inductance L_q	6 mH
Number of pole pairs p	16
Field flux K	2.5 V s/rad
Inertia J	5 kg m ²

4. 研究成果

(1) 風速変動の指標化

風速変動に対する発電電力の低減傾向を調査するため、風速変動幅 W を $0\sim 6$ m/s, 平均風速 V を $3\sim 11$ m/s, 変動周期 T を $6\sim 10$ s の間で変更し、発電電力の低減割合 $P\eta$ をシミュレーションした。結果をグラフ化し図 2, 3, 4 に示す。

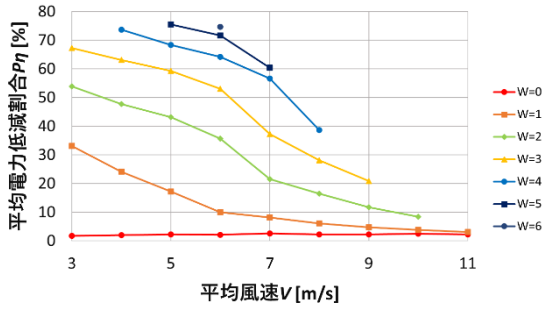


図 2 周期 6 s における平均電力低減割合

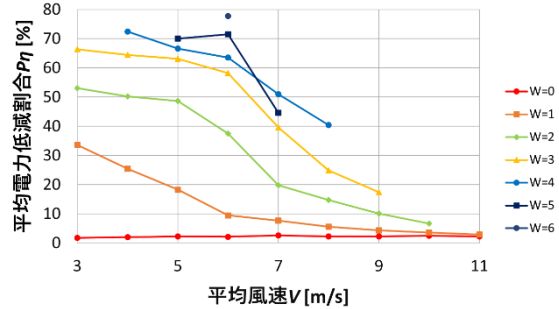


図 3 周期 6 s における平均電力低減割合

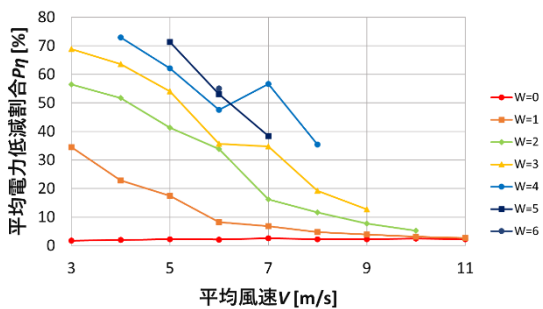


図 4 周期 10 s における平均電力低減割合

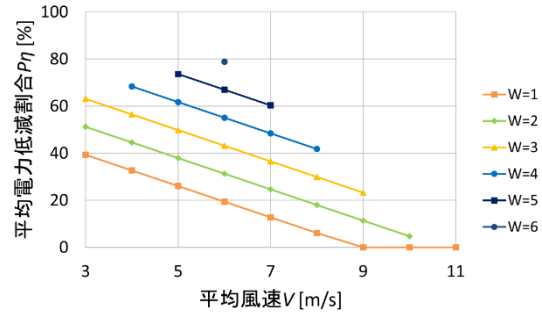


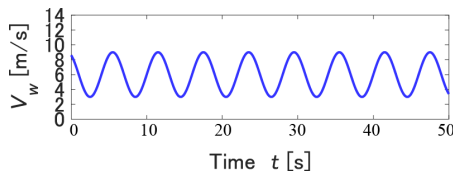
図 5 一次関数での表現

図 2, 3, 4 よりいづれの周期においても風速変動幅の増加に伴って平均電力低減割合が増加することが分かる。また平均風速が増大すると平均電力低減割合が減少し、 0% 付近で横ばいになることを確認した。さらに相関分析を行い、変動周期は他の 2 変数に比べて相関が小さいことを確認した。すなわち $6\sim 10$ s 程度の変動周期であれば発電効率にそれほど影響しないと考えられる。したがって変動周期を除いた 2 変数に対する平均電力低減割合を線形回帰分析により一次関数で表現した。グラフ化したものを図 5 に示す。

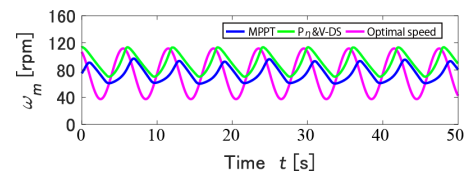
(2) DMPPT 制御の有効性検証

提案指標により平均電力低減割合が大きくなる風況では回転速度の維持を行い、平均電力低減割合が小さくなる風況では回転速度をより活発に制御するシステムを構築した。これは風力発電システムの動特性を考慮した制御であるため DMPPT 制御と呼称する。

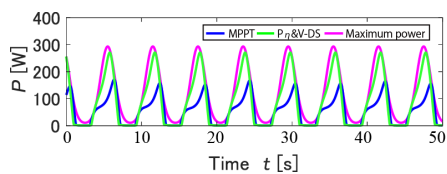
一般的な制御手法である MPPT 制御と DMPPT 制御の比較結果を図 6 に示す。なお当シミュレーションは風速変動幅 3 m/s, 平均風速 6 m/s, 周期 6 s である正弦波状の風速にて検証を行った。検証結果から MPPT 制御と比べて発電出力が約 1.5 倍に増大することを確認した。またその他の風速条件による比較検証においてもほとんどの場合において発電出力が増大した。



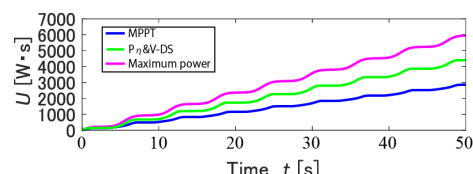
(a) 風速 V_w



(b) 回転速度 ω_m



(c) 発電出力 P



(d) 発電電力量 U

図 6 MPPT 制御と DMPPT 制御の比較結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 北村 明大, 又吉 秀仁, 森實 俊充
2. 発表標題 動的 MPPT 制御に用いる風速変動の機械学習による指標化
3. 学会等名 令和 4 年度電気学会電力・エネルギー部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 尾上稜真、又吉秀仁、森實 俊充
2. 発表標題 減速抑制制御による風速変動に対する発電効率改善の検証
3. 学会等名 パワーエレクトロニクス学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 尾上稜真, 又吉秀仁, 森實俊充, 大森英樹
2. 発表標題 回転速度維持制御を適用した風力発電システムの有効性の検証
3. 学会等名 パワーエレクトロニクス学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryouma Onoe, Tomonobu Senju, Toshimitsu Morizane, Hideki Omori, Tomonobu Senju, Hidehito Matayoshi
2. 発表標題 A Novel Rotational Speed Maintenance Control for Wind Power Generation System Under Wind Speed Fluctuations
3. 学会等名 The International Council on Electrical Engineering Conference (ICEE2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------