

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 9 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24651190

研究課題名(和文) 風力発電及び送電拠点の分散マイクログリッド構築の実現

研究課題名(英文) Construction of micro power grid due to distributed wind power generations and power transmission facilities

研究代表者

前田 潤滋 (Maeda, Junji)

九州大学・人間・環境学研究科(研究院)・教授

研究者番号：40128088

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：九州地区で送電線網を利用して記録された詳細な風向風速変動情報をもとに、風向や風速の変動が大きい場合の風力エネルギー密度と中小規模風車の年間発電量を推算して潜在的風力エネルギーを検討した。本研究で検討した観測点位置では年平均風速が大きい点は多くなかったが、風向は比較的安定していた。しかし、風速の変動が大きいため風力エネルギー量が想定よりも小さくなり、風力発電機器を設置しても期待される性能を発揮できない可能性を指摘した。分散マイクログリッド構築のための発電適地算定には、高密度な風情報のリアルタイム活用が必要であると結論した。

研究成果の概要(英文)：Wind power energy densities and annual productions generated by middle-scale windmill facilities in Kyushu were estimated based on information of fluctuations of wind direction and speed minutely recorded using power transmission lines. It was found that many places did not provide high annual mean wind in a low turbulent wind available for power generation though wind direction was stable. As a result, potential wind energy estimated using annual mean wind speed record overestimated those estimated in consideration of real turbulence of wind. Many windmill facilities which were located at places with big turbulence of wind will not exhibit the best performance in power generation. We concluded the construction of micro power grid requires high resolution wind information.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会システム工学・安全システム

キーワード：再生可能エネルギー 風力エネルギー 風向風速変動 スマートグリッド

### 1. 研究開始当初の背景

風力発電開発では、定常的な高風速発現地域の選定が最も重要で、大型風車機器を沿岸部などに集中的に配備するウィンドファーム構築が主流になりつつある。しかしながら、風速変動が小さい定常的な風速発現地域が都市部近郊に少ないわが国では、風力エネルギーの大規模利用は一部を除いて適さないとされる。また、大規模発電所から一方向に電力を送り出す従来の輸送方式は自然災害への脆弱性を有する。近年では、地域内の小規模発電施設をネットワーク化し、需要にあわせて最適制御を行う“マイクログリッド”による安定した電力輸送の実証実験の実施例が見られるようになり、中小規模風力発電機器を利用した分散型発電システムが有望視されている。

一方、広域な高風速発現地域を必要としない中小規模の風力発電システムでは、風速や風向の変動の大きさによって、期待された風車の発電性能よりも実際の発電量が低下することが指摘されており、風向風速変動の少ない安定した高風速の発生が必須である。すなわち、風力発電開発適地策定に重要視されてきた平均的な風向風速情報だけでなく、変動情報を含む風観測情報の詳細な整備が必要である。

### 2. 研究の目的

九州大学と九州電力(株)が運用・管理する“送電鉄塔を利用した広域高密度風観測システム(NeWMeK)”は、山岳地を含む九州地区の20 km四方毎、合計123カ所で1秒平均風向風速を同時記録しており、10分間平均風速だけでなく、風向風速の変動特性の細密分析が可能である。

本研究は、NeWMeKの観測データを利用して、九州全域の風向風速の平均値および変動の年間推移情報データベースを整理し、わが国固有の風況特性に視点を置いた“風力のエネルギーポテンシャル”を算定し、“送電線網を利用した風力発電及び送電拠点の分散マイクログリッド構築の実現”に寄与するいくつかの情報を提供するものである。

### 3. 研究の方法

本研究は以下の手順で行われた。

- (1) NeWMeKで記録された風向風速記録を整理し、九州地区での平均風向風速および変動情報をデータベース化した。
- (2) 各観測点位置での風向と風速の変動情報を整理し、高風速発現地域の特徴をまとめた。
- (3) 風情報データベースを基に、風向風速変動を考慮した風力エネルギー密度マップを作成した。
- (4) 各観測点位置で算定される風力エネルギー密度と風情報との関係を検討し、風況から推定される風力エネルギー量をまとめた。

- (5) マイクログリッド構築に有用な中小規模風力発電機器を想定し、風力エネルギー密度から出力電力量を算定し、発電量マップを作成した。

- (6) 風力エネルギー密度分布と出力発電量分布を比較し、実際の発電量に及ぼす発電機器の特性と風向風速変動の影響を総合的に検討した。

作成したマップをもとに、九州地区での風力発電機設置適地の選定を行い、風力発電によるマイクログリッド構築実現の可能性を示した。

### 4. 研究成果

#### (1) 利用した観測記録の概要

本研究ではNeWMeK(九州電力(株)広域高密度風観測システム)で観測された1秒平均風向風速記録を利用した。NeWMeKは送電鉄塔を観測塔としており、平均高度30mの鉄塔頂部に風速計を設置している。観測点ごとに10分間の平均風速、最大瞬間風速、乱れの強さ、最頻風向を算出して、基本的な風情報としてデータベース化した。本研究で検討した2007年、2008年、2011年は、九州に大型台風が上陸することはなかったが、台風接近時の影響を受けた記録を除いた。平均風速をベキ指数1/7で、最大瞬間風速を1/11で基準高度30mに高さ補正を行った。風速の標準偏差は高度補正を行わず、高度補正後の10分間平均風速で除した値を乱れの強さとした。

NEDOが公表している、風力発電開発の目安となる年平均風速、風軸上の風向出現率、乱れの強さなどを参考値とした。風軸を16風向分類で、主風向とその隣にある2風向とこれに正対する風向の合計6方向とした。本研究では、風向風速変動を考慮した風力発電適地選定を行うため、特に風軸上の風向出現率と乱れの強さに着目して情報を整理した。

#### (2) 九州全域の風況特性

図1に例として2007年の九州全域での年平均風速、図2に風軸上の風向出現率、図3に平均風速が15m/s時の乱れの強さの期待値 $I_{ref}$ を示す。これらから、ほとんどの観測点で年平均風速値が約3m/sであり、5m/sを超えたのは5観測点で、高い平均風速を持つ観測点が少ないこと(図1)、観測点ごとに最頻風向は異なるが、風軸上の風向出現率が60%を超えたのは全観測点の1/4で、80%近い観測点もあること(図2)、乱れの強さは観測点位置によって大きくばらつき、 $I_{ref}$ が0.2より小さい地点は多くないこと(図3)などがわかった。NEDOが示す風力発電開発に有望な目安を満たす観測点は1つであった。

#### (3) 九州全域の風力エネルギー密度

風力エネルギーの潜在的な量を評価するために風力エネルギー密度の検討を行った。風力エネルギー密度 $P_0(W/m^2)$ を以下の式で算出した。

$$P_0 = \left( \sum_{i=1}^N \frac{1}{2} \rho V_i^3 \right) / n \quad (1)$$

ここで、 $\rho$  は空気密度 (15、1 気圧で 1.226(kg/m<sup>3</sup>))、 $V$  は 10 分間平均風速(m/s) を用い、 $n$  は風車が発電可能な風速の発現数、 $N$

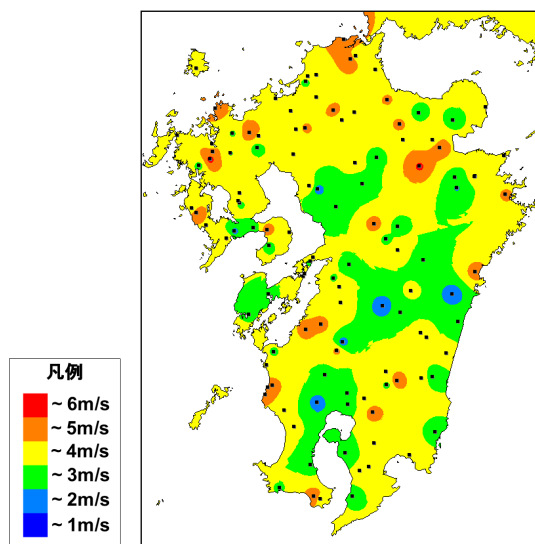


図1 九州での年平均風速分布図(2007年)

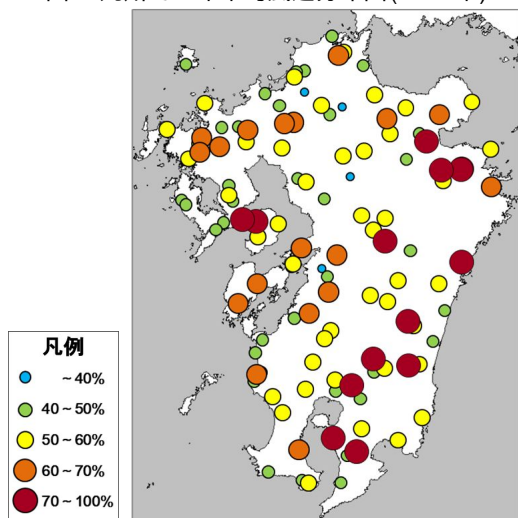


図2 九州での風軸上の風向出現率(2007年)

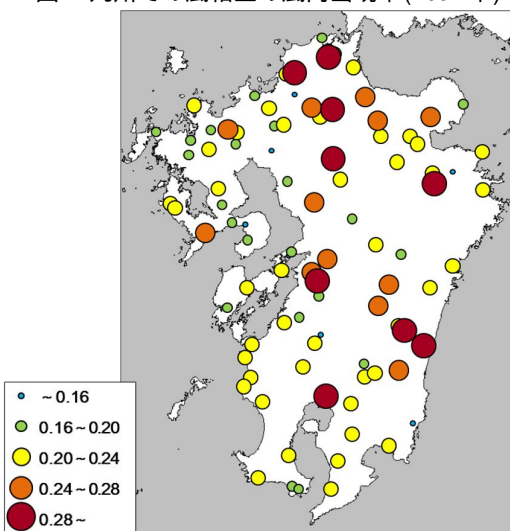


図3 平均風速 15m/s 時の乱れの強さの期待値 (2007年)

は 1 年間の 10 分間記録の有効数 (標準で 52,560 個) とした。風車が発電を始めるカットイン風速を 3m/s、発電を停止するカットアウト風速は 20m/s とし、風車の発電可能風速間での一年間の平均風力エネルギー密度を求めた。

図 4 に NeWMeK 観測点での 2007 年の全観測記録を用いた場合の風力エネルギー密度を、図 5(a) と (b) に風軸上の風向に着目した場合と乱れの強さが 0.2 以下の場合で算出される平均風力エネルギー密度の全風速記録での算定風力エネルギーに対する割合を示す。風力エネルギー密度は平均風速の影響を強く受けるため、図 1 に示す年平均風速の高い観測点ほど、高い風力エネルギー密度となること (図 4)、風軸上の風向に制限した風力エネルギー密度の全観測記録での値に対する割合は位置によって大きな差があるが、60% を超える観測点が多く見られ、風向変動によるエネルギー量の減少は小さいこと (図 5(a))。一方、乱れの強さが 0.2 以下の地域に着目すると、全観測記録での風力エネルギー密度に対する割合が 6 割を超える観測点は 30 地点で、9 割を超える観測点は 1 つのみであること (図 5(b)) などが分かった。すなわち、図 1 に示す高風速の観測点では、乱れの強さが小さい場合での風力エネルギー密度が比較的大きいが、乱れの強さが常に 0.2 以下であることは少なく、実際に風力発電機器を設置した場合、その発電量は設計時の算定値よりも大きく減少する可能性がある。

#### (4) 中小規模風車を想定した発電量の推定 風車性能曲線の想定

本研究では中規模プロペラ型風車 (定格出力 500kW) および小規模ダリウス型風車 (定格出力 760w) の性能曲線を想定して、発生電力量を推定した。ここでは、定格出力 500kW のプロペラ型風車の性能曲線 (図 6) を示すとともに発生電力量を推算する。カットイン風速を 3m/s、カットアウト風速を 20m/s、設計上の最大連続出力、すなわち定格出力が得られる定格風速を 10m/s とした。

#### 性能曲線に対する発電量の推定

一年間の発電電力量  $P_w$  (kWh) は以下の式で求めた。

$$P_w = \sum_{i=1}^n (P(V_i) \times f(V_i) \times 8760) \quad (2)$$

ここに  $P(V)$  は風速  $V$  での発生電力 (kW)、 $f(V)$  は風速  $V$  の出現率とし、8760(h) は年間の発電可能時間である。 $P(V)$  は図 6 より求め、 $f(V)$  は 10 分間平均風速  $V$  (m/s) の出現数から求めた。ここでは風の乱れの強さや風向を考慮せず全観測記録を用いた場合と乱れの強さが 0.2 以下の記録及び風軸上にある風向に着目した場合の記録を用いた場合の電力量を算定する。

図 7 に NeWMeK 観測点での、2007 年の全観測記録を用いた場合の推定年間発電電力量を、図 8 に乱れの強さが 0.2 以下の場合と風軸上に

ある風向に着目した場合で算出される推定年間発電量を示す。図4と図7から風力エネルギー密度と年間発電量が大きくなる観測点位置が必ずしも一致しないことが分かる。風力エネルギー密度は発電可能な風速間で風速値の大きい記録が多いほど値が大きくなるのに対し、年間発電量は風車の定格風速の出現頻度の影響を受けるためと考えられる。

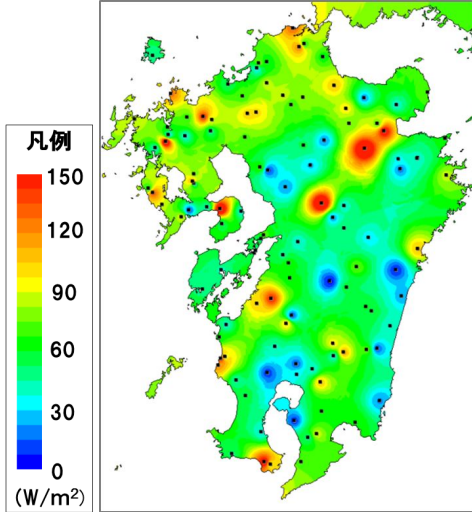


図4 九州での風力エネルギー密度分布図

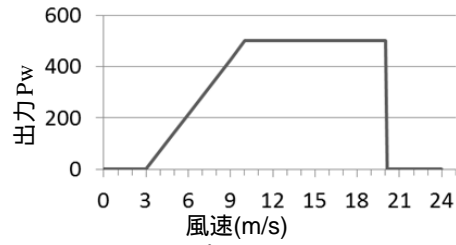


図6 500kW級プロペラ型風車を想定した性能曲線

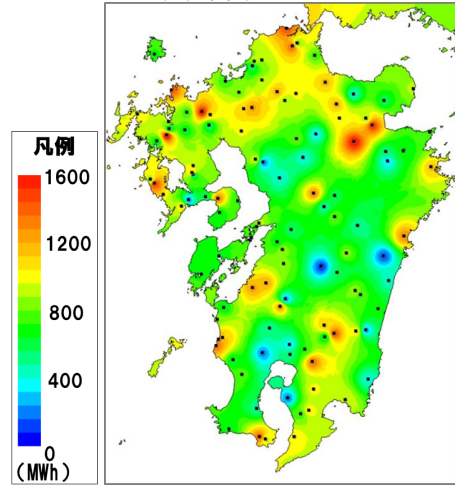
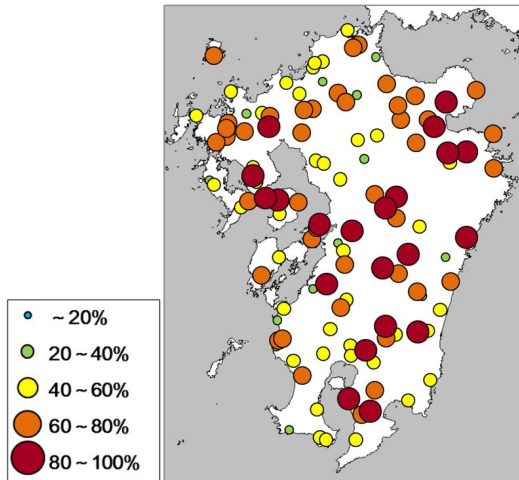
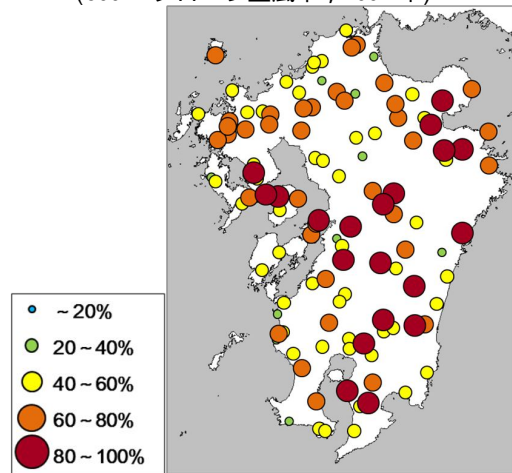


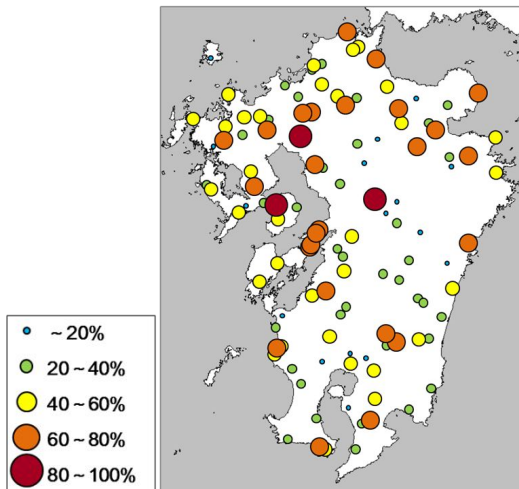
図7 九州での発電出力分布図 (500kW プロペラ型風車, 2007年)



(a) 風軸上の風向出現率に着目した場合

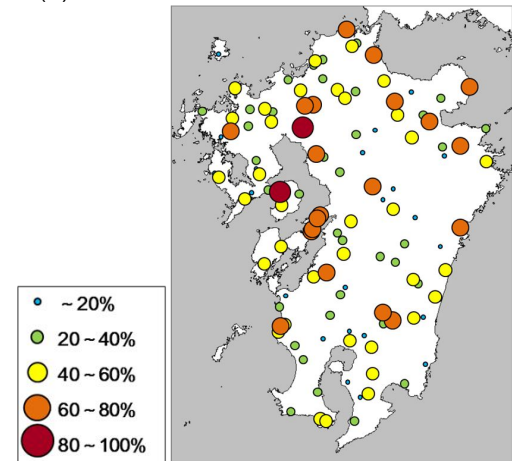


(a) 風軸上の風向出現率に着目した場合



(b) 乱れの強さが0.2以下の場合

図5 全記録での風力エネルギー密度に対する風向風速変動の小さい場合での値の割合(2007)



(b) 乱れの強さが0.2以下の場合

図8 全記録での発電出力量に対する風向風速変動の小さい場合での値の割合 (500kW 中型プロペラ風車, 2007年)



図5と図8から、全観測記録での推定発電量に対する乱れの強さ0.2以下での年間発電量割合はほとんどの観測点で風力エネルギー密度の場合とほぼ同じであった。風軸上の年間発電量も同様である。

#### (5) 研究成果のまとめと今後の展望

NelMeK 観測点での風観測記録をもとに九州での潜在的風力エネルギーを検討した結果、以下のことが分かった。

年平均風速は3m/s程度で、5m/sを超える点は5つだった。

風向は比較的安定しているが、風速変動は大きい。

風速や風向の変動の大きさによって、算定される風力エネルギー密度は変動を考慮しない場合に比べて小さくなることから、風車の出力低下を招き、期待された性能を十分に発揮できない可能性がある。

平均風速が大きい地点では風力エネルギー密度が大きい、中小規模風力発電機器を想定して算定した出力発電量は、定格風速範囲の風の出現頻度の影響を受けるため、風力エネルギー密度から期待される出力電力より小さくなる場合がある。

風の乱れを考慮するかどうかで、風力エネルギー密度および出力電力には大きな差が生じる。

九州地区での風力エネルギーによるマイクログリッド構築に資する情報を提供することを目的に、以上の研究成果をとりまとめた。我が国の乱れの強い風が風力発電設備の疲労や故障の問題を引き起こすことはこれまでにも指摘されていたが、発電機器の仕様によっては出力電力量にも影響を及ぼすと言える。本研究は台風の影響を受けやすく、山地などの複雑地形の多い九州での風況に着目したものであるが、他の地域でも同様の問題が生じる可能性がある。結論として、九州での風力発電適地は多いとは言いが、高密度の観測網による“リアルタイム風況情報”を活用することで、得られた発電適地での中小規模風力発電機器設置によってスマートに電力集積することは可能であると考えられる。

#### 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 2件)

野方香里、友清衣利子、前田潤滋、風速変動を考慮した九州地区の潜在的風力エネルギーの評価、都市・建築学研究九州大学大学院人間環境学研究院紀要、査読有、第24号、2013、pp.43-48

野方香里、友清衣利子、前田潤滋、風力発電開発のための風の乱れ特性に着目した九州地区の風況、都市・建築学研究九州大学大学院人間環境学研究院紀要、査読有、第23号、2013、pp.15-20

#### 〔学会発表〕(計 9件)

友清衣利子、前田潤滋、小型風力発電機器を対象にした九州地区での潜在風力エネルギー量の推定と乱れの影響、日本建築学会 2014 年度大会(近畿) 学術講演会、2014 年 9 月 12 日-14 日(予定)、神戸大学(兵庫)

野方香里、友清衣利子、前田潤滋、風向風速変動を考慮した九州地区での中型風車の推定発電量評価、第 53 回日本建築学会九州支部研究発表会、2014 年 3 月 2 日、佐賀大学(佐賀)

野方香里、友清衣利子、前田潤滋、潜在的風力エネルギー開発のための風の乱れ特性に着目した九州地区の風況、日本建築学会 2013 年度大会(北海道) 学術講演会、2013 年 8 月 31 日、北海道大学(北海道)

竹村明人、友清衣利子、前田潤滋、山岳地を通過する高標高送電線路周辺の風況と近隣観測記録の関係、日本建築学会 2013 年度大会(北海道) 学術講演会、2013 年 8 月 31 日、北海道大学(北海道)

友清衣利子、前田潤滋、強風時の風速変動特性評価に及ぼす観測記録の平均化時間の影響、平成 25 年度日本風工学会年次大会、2013 年 5 月 29 日、東北大学(宮城)

野方香里、友清衣利子、前田潤滋、九州地域の潜在的風力に関わる風の乱れ分析、平成 25 年度日本風工学会年次大会、2013 年 5 月 29 日、東北大学(宮城)

竹村明人、友清衣利子、前田潤滋、高標高山岳地を通過する送電線路周辺の風況と近隣観測地との相関について、第 52 回日本建築学会九州支部研究発表会、2013 年 3 月 3 日、大分大学(大分)

野方香里、友清衣利子、前田潤滋、九州地域の風力ポテンシャルに関わる風の乱れ分析、第 52 回日本建築学会九州支部研究発表会、2013 年 3 月 3 日、大分大学(大分)

友清衣利子、前田潤滋、風の変動特性に及ぼす観測記録の平均化時間の影響、第 52 回日本建築学会九州支部研究発表会、2013 年 3 月 3 日、大分大学(大分)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

前田 潤滋 (MAEDA, Junji)

九州大学・人間環境学研究院・教授

研究者番号：40128088

##### (2) 研究分担者

友清 衣利子 (TOMOKIYO, Eriko)

九州大学・人間環境学研究院・助教

研究者番号：30346829