

2023（令和5）年5月8日（月曜日）第8370号

GW特集号

「水素社会における

多機能分散型電源」

集積型小型風車が地域を支える」

福井工業高等専門学校 環境都市工学科教授

野々村 善民

- ▼はじめに「集積型小型風車普及がもたらす利点
- ▼風車の組み立てやメンテナンスが極めて容易に
- ▼全国の港湾施設に整備することで様々な効果が
- ▼水素や過酸化水素水、水道事業とも高い親和性
- ▼水素需要増に向けた新たなビジネス展開が可能

▼ はじめに「集積型小型風車の普及がもたらす利点

風力発電システムのメリットは、風の運動エネルギーを電気エネルギーに変換できることにある。風車の一部であるブレードに風が当たり、そのブレードから揚力と抗力が発生することで、風車は回転する。この仕組みは洋上風力を含めた大型風力も小型風力も同じである。筆者が教鞭を執る福井高専が校舎を置く福井県を含む北陸地方から東北地方の日本海沿岸は、年間を通して風況は良好であることから、風力の適地となっている。しかし冬季は、雪雲の発生により、特に日本海沿岸は落雷の発生頻度が高くなる。一般に大型の風車は、立地する周辺エリアにおいて突出した高い構造物となるため、必然的に落雷を受けやすい。万一、落雷の被害を被った場合には、電気系統設備がダメージを受けるため、機器の交換に至るリスクが派生する。そのほか、塩害に加えて、定期点検期間や修理期間がいずれも長期にわたる。数十年単位での風車の稼働率を考慮した場合、小型風車の有する様々な特性が発電設備としての長所になる―と考える。

筆者が提唱する「複数の小型風車を集積配置するスキーム(以下、集積型小型風車)」は、高い発電効率をはじめ、メンテナンスの容易さ、さらには自動車産業の既存技術で製造が可能となる―などの長所に加えて、港湾域の防風対策として港湾施設の運営の効率化につながる。また、政府が次世代エネルギーとして推進する水素や過酸化水素水の製造、上下水道事業への寄与、さらには電力の安定供給なども期待できる―と確信しており、以下、そうした利点や

事業としての可能性や将来性などについて考察する。

#### ▼ 風車の組み立てやメンテナンスが極めて容易

小型風車は、製造の際にプラスチックの一体成型を用いるため、既に製造法は確立されている。一体成型により、製造した風車の動的バランスが安定するため、風車組立時の高度な技術ノウハウは不要となる。さらに、風車の材料に自動車分野で普及している「ナイロン樹脂」を採用するため、風車の耐久性も高くなる。今後の脱炭素化社会において、これらの利点を持った小型風車の利用用途を創出・拡大するためには、複数の小型風車を集積配置した、集積型小型風車が最適——と考える。以下、こうした提案の根拠として、大型風車と集積型小型風車の受風面積を同じにした場合の両者の特徴などについて、比較検討する。

前述したように、大型風車の年間稼働率は、集積型小型風車と比べると、前者のメンテナンス期間が数か月と長期にわたるために後者よりも低くなる。特に大型風車の場合、風車の安全性確保のため、回転時の動的バランスの均一化が欠かせず（同バランスが崩れた場合、発電機の回転部材であるシャフトを支えるベアリングに大きな影響が及ぶため）、各部品を分解しての詳細なチェックが必要となる。どうしても修理期間は長期化する。一方、小型風車のメンテナンスは、不具合いとなった風車の更新のみで対応できることから、極めて短期間で済む。

発電効率については、大型風車の場合、単位面積当たりの発電効率は集積型小型風車と比べて高くなるが、前述し

た年間稼働率を考慮すれば、両者の年間発電量は概ね同じ程度となる―と試算している。加えて、既に製造法を確立している集積型小型風車が今後、商品化・量産化されれば、大量生産によって風車1台当たりの製造コストは大幅に低くなり、市販の産業用扇風機と同レベルとなり、利用の大幅な拡大が見込める。

▼ 全国の港湾施設に整備することで様々な効果が

こうして量産された集積型小型風車の設置場所は、国内の沿岸部の「防風対策を必要とする屋外空間」ならどこでも可能となる。この屋外空間としては、全国の各港湾施設が適している―と想定する。集積型小型風車の港湾域への設置により、設置エリアに及ぼす環境の改善効果も見込める。5ページに図示したように、厳しい風環境となる屋外空間に集積型小型風車を設置することで、風の運動エネルギーが電気エネルギーに変換されるため、風車の後流域は弱風(以下、これを「制風」という)となる。同図に示したように、直径0.5mの小型風車のパワー係数を0.4とした場合、風車に当たる風速は毎秒10mから同7.7mに減速する。なお、図に示したパワー係数は、ローター軸出力と風車を通過する風の全エネルギーの比率を意味する。

「制風」を主目的に、集積型小型風車を配置する場合、個々の小型風車の設置間隔は密となり、これにより1台当たりの発電効率は小さくなる一方、風車の後流における風環境は改善され、副次的に発電が可能となる。なお、制風の機能を維持し、発電機の出力特性を変えることで、小型風車

単体風車前後における風速変化について

エネルギー保存の式について

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u_1^3 \cdot A_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u_2^3 \cdot A_2 + E$$

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u_1^3 \cdot A_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u_2^3 \cdot A_2 + \eta_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u_1^3 \cdot A_1$$

連続の式について

$$u_1 \cdot A_1 = u_2 \cdot A_2$$

上の式を解くと、次式が得られる

$$u_2 = \sqrt{1 - \eta_p} \cdot u_1$$

$\eta_p = 0.4$  を代入すると、

$$u_2 = 0.77$$

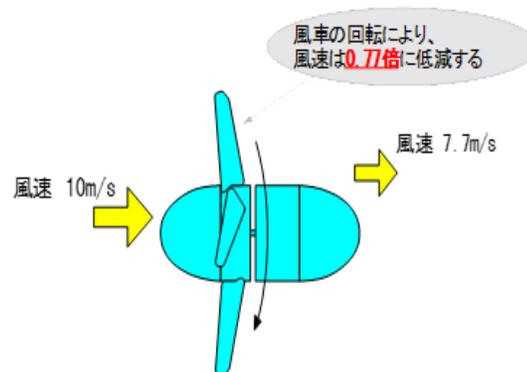


図1 単体風車の前後における風速変化

記号表

$W = T \cdot 2\pi \cdot \frac{N}{60}$	$T$ : 軸トルク [N・m], [m <sup>2</sup> ・kg/s <sup>2</sup> ] $N$ : 回転数 [rpm] $W$ : 軸出力 [W], [m <sup>2</sup> ・kg/s <sup>3</sup> ]
$E = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u^2 \cdot u \cdot A$ $A = \frac{\pi}{4} \cdot D^2$	$\rho$ : 空気の密度 [kg/m <sup>3</sup> ] $u$ : 風速 [m/s] $A$ : 風車の受風面積 [m <sup>2</sup> ] $D$ : 風車の直径 [m] $E$ : 風車を通過する風の全エネルギー [W], [m <sup>2</sup> ・kg/s <sup>3</sup> ]
$\eta_p = \frac{W}{E}$	$\eta_p$ : 風車パワー係数 [-]

の回転数は制御できる。具体的には、自動車エンジンとベルトで接続されたオルタネーター(発電機)と同じように、発電機の回転部分の磁力は電磁石を用いる。風速に比例して電磁磁石に供給する電力を高めることで、回転時の抵抗(コギング)が大きくなる。これにより、風車の回転数は抑えられる。以上の小型風車に接続する発電機の製造は、現在の自動車産業の製造技術を流用することで十分に可能となる。

集積型小型風車の発電特性については、各風車に当たる風速が変化するため、各発電機の出力電圧は異なる。複数の電源による電源統合の付帯技術として、水の電気分解に利用する―という方法がある。つまり、集積型小型風車の電気負荷は蒸留水で満たしたりバースイブル燃料電池とする。水の電気分解により水素と酸素を発生させ、それらを1つに集めることで、出力の異なるエネルギーが統合できる。この時の水の電気分解による電力損失量は大きくなるため、風車からの発電量は電気負荷装置の用途に応じて使い分けることが重要となる。

#### ▼ 水素や過酸化水素水、水道事業とも高い親和性

港湾施設に集積型小型風車を配置した場合、屋外の環境が改善されることで、屋外作業の労働環境も改善できる副次効果も期待できる。さらに電気分解によって水素と同時に発生する酸素は、そのまま大気中に放出するのでなく、過酸化水素水の製造に用いるスキームが有効である。現在、下水処理場から公共水域に浄化処理水を放流する際に、浄

化処理水の溶存酸素量を高めるために過酸化水素水が大量に使用されている。そのため、港湾施設の運営事業と風力発電事業、さらに上下水道事業をマッチングさせることで、制風、電力、水素と酸素の組み合わせが有効に利用できる。将来的には、物流を担うトラックの動力源は水素エンジンまたは燃料電池が主流となるため、地方における水素の供給インフラは必須となる。こうした点からも、3事業の連携スキームの構築がもたらす市場性は有望である。

加えて、水道事業との関わりも大きなプラス要因である。国内における上水道は、いずれも昭和30年代の人口のピークに合わせて、利水ダムや送水管などが整備されている。一方、近年の人口と世帯数の減少により、全国の自治体における上水道の消費量はピーク時に対して約3分の1にまで大きく落ち込んでおり、水道料金の高騰を抑えるため、水道事業は特別会計と一般会計の一部を組み合わせ運用されている現状にある。そのため現在、地方自治体には、市民に対する行政サービスの維持と共に、上下水道事業の安定経営が求められており、一時的な財政的なやり繰りではない、上下水道事業の抜本的な変革が求められている。

#### ▼ 水素需要増に向けた新たなビジネス展開が可能

こうした全国レベルでの社会課題への対応として、今後迎える「促水素社会」の構築に合わせて、地方自治体において複数の都市インフラを組み合わせることで、水素の需要増に向けた新たなビジネス展開が期待できる。つまり、大量の水素製造を実現するためには、蒸留水と電力の安定

供給が必要となる。ゼロカーボンという世界潮流の下で今後、地域単位の新しい基盤電源が開発されることが推測されるが、不安定な風力発電や太陽光発電などを「水の電気分解のための電源」として積極的に利用することで、発電事業と上下水道事業を組み合わせた促水素社会が実現できる。

さらに将来、促水素社会が実現し、小型風車の製造コストが下がった場合には、その用途は工場などの生産施設への幅広い拡大が見込める。現下の様々な社会課題―例えば、国内の主な生産施設では経年化と老朽化が進み、安定稼働のために高度な専門技術を有する多くのマンパワーが必要となっている。加えて、マンパワー自体も、労働者の高齢化と人員不足という課題が深刻化している。さらに、日本の生産施設の海外流出を防ぐため、膨大な数のセンサーを組み込んだ工場運用管理システムの開発なども急務となっている。この膨大なセンサーの電源として、太陽光や小型風車などの再生可能エネルギーを用いた小型分散型発電が必要となる。このように小型風車の商品化と普及の拡大は、電力各社の様々な新規事業のシーズとなり得ると共に、日本の製造業に対しても大きなプラス材料を与えることになる―と確信している。

☆

☆

(おわり)

【著者略歴】野々村善民(ののむら・よしたみ)…工学(博士)、一級建築士。91年3月広島大学大学院修了、同年4月から10年9月までフジタ技術センター、13年3月まで兵庫県加西市役所、16年3月まで久留米工業大学、16年4月から現職、04年3月から05年3月まで青森県小形風車導入検討会委員に就く。専門分野は風工学、風力発電、建築環境工学。