

風力発電による自立分散型電力供給システムとその導入効果の評価

Stand-alone Power Supply System by Wind Power Generation and its Effects

北海道科学大学工学部都市環境学科 ○正 員 白石 悟 (Satoru Shiraishi)

1. まえがき

近年、世界的にも風力発電、太陽光発電等の再生可能エネルギーの利用拡大が進んでいる。その導入拡大の意義として以下があげられる。

① 地球温暖化対策としての CO₂ 排出削減

化石燃料に比べて CO₂ の排出量を大幅に削減できる。

② エネルギー自給率の向上

「永続地帯 2018 年度報告書」¹⁾によれば、北海道のエネルギー自給率は 9.9% (2018 年 3 月末時点) で、全都道府県中第 37 位である。再生可能エネルギーの宝庫として期待されている北海道ではあるが、エネルギー自給率の面では、全国平均 (12.0%) よりも低い水準に留まっている。自給率を高めることは、世界的なエネルギー供給や価格変動のリスクを少なくすることができる。

③ 電力の分散化による非常時の電源供給

2018 年 9 月 6 日に発生した平成 30 年北海道胆振東部地震においては北海道全域で停電 (ブラックアウト) が発生した。道内の港湾でも停電からの復旧日数は 1~2 を要した。再生可能エネルギーの利用に関しては、自立分散型電源として供給可能とすることで非常時の電源供給にも役立つものとする。

著者は、これまで港湾や沿岸域を対象に風力発電による発電電力を利用する自立分散型電力供給システムに関する研究を実施してきた^{2)~14)}。本稿では、これまでの検討結果、今後の課題等を以下にとりまとめる。

2. 風力発電を用いた自立分散型電力供給システム

2.1 沿岸域ローカスマートエネルギー利用システム

筆者らは、最初に 300 kW 中型風車^{2)~5)}を用いた沿岸域ローカスマートエネルギー利用システムについての検討を行っている。沿岸域ローカスマートエネルギー利用システムとは、図-1 に示すように中型風車による発電電力をエネルギー利用システムの中心にすえて、電力会社の系統への負荷を最小限に抑制しつつ、地域レベルで創出された自然エネルギーの自己消費による利活用を目指すものである^{6),7)}。風力エネルギーの利用については、大型風車を用いてウインドファームを形成することによって大容量の電力を発電することが世界的にも主流となっているが、提案するシステムでは中型風車を用いることによって、その地域での電力消費と可能な限りバランスさせて利用するものである。

2.2 ウインドファームの電力を利用したシステム

2.1 での提案は、港湾区域内に独自に風車を建設し、その電力で自立型の電力供給を行おうとするものである。ただし、小規模のシステムでは事業成立性の面からの課

題も大きい。

その場合は、港湾区域の中の「再生可能エネルギー源を利活用する区域」または港湾区域の近傍の一般海域に建設されるウインドファーム (以下、WF) の風力発電施設の発電電力の一部を港湾施設へ供給するシステムの採用も考えられる¹⁴⁾。このシステムでは、数基から数十基の洋上風車より構成される WF から対象港湾の施設の使用電力量に基づき設定される基数分の電力供給を受けるものとする。常時の電源供給の観点からは、電力の需給バランスの確保が必要であり、電力需給ギャップの緩和のため、太陽光発電とのハイブリッドシステム、蓄電池の設置も必要となる。本システムを導入することは、地震等の大規模災害時において外部からの電源供給が停止した場合の港湾機能の継続にも資する。

2.3 モデルの評価フロー

図-2 は港湾における自立型風力エネルギー利用モデルの評価フローを示している。本研究ではこの流れにそって、需給バランス、CO₂ 排出削減効果などを評価する。

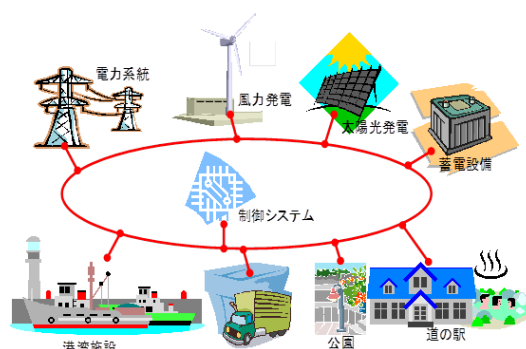


図-1 沿岸域ローカスマートエネルギー利用システム

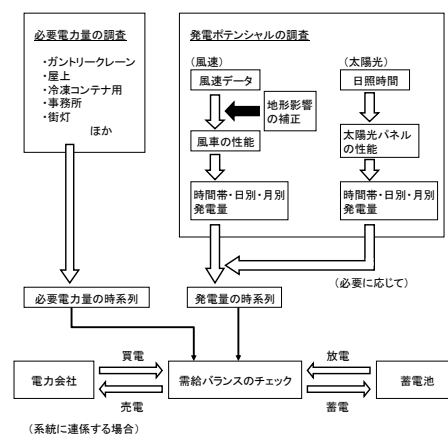


図-2 自立型風力エネルギー利用モデルの評価フロー

3. 電力の需給分析

3.1 電力需要量の調査

港湾施設においては、さまざまな電力の使用がある。表－1 は主な用途を取りまとめたものである。電力の主な用途はコンテナふ頭のガントリークレーンなどの荷役施設の動力、照明（ふ頭内、臨港道路、建屋内）、上屋や事務所などの冷暖房、リーファコンテナ（冷凍コンテナ）用電源、船舶への陸電供給などである。

3.2 使用電力量の調査例

(1) A 港

北海道日本海側に位置する A 港では、施設別に月別の使用電力量のみが入手できた。その数値のみでは、電力の需給分析ができないことから、施設の利用状況をあわせて調査することにより、使用電力の変動を推定した。推定例として冷凍コンテナ用電源について以下に示す。

図－3 は、2009 年 3 月の冷凍コンテナの使用個数の変動を示している。使用電力の個数の変化に対応して使用電力が変動していると仮定する⁷⁾。

図－4 は 2008 年 3 月から 2011 年 3 月の期間の換算コンテナ個数と使用電力量の関係を示したものである。換算コンテナ個数とは 20ft コンテナを 1、40ft コンテナを 2 として 10 分ごとに電源接続されているコンテナの数をカウントして一か月総計したものである。図－4 より換算コンテナ個数と使用電力量の変動パターンは、ほぼ同じであって毎年、秋にピークがあることがわかる。

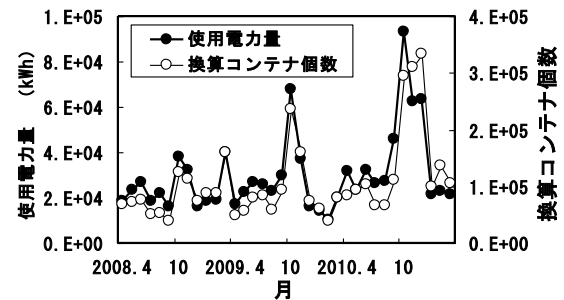
また、近傍のアメダス地点における月平均気温と換算コンテナ個数あたりの使用電力量の関係を求め図－5に示した。月平均気温と換算コンテナ数あたりの使用電力量との相関係数の値は年によって若干異なるものの、両者には直線的な関係が見られる。以上の検討より、この施設における使用電力量はコンテナ個数と外気温の影響があることが確認された。外気温の影響は、図－5に示すように冬季と夏季において約2倍の差があることが確認された。そこで、月単位で単位の20ftコンテナに対する消費電力の原単位を求め、40ftコンテナはこの2倍の消費電力であると仮定した。図－6はコンテナ個数の変動より使用電力の変動を10分ごとに推算した結果である。温度変化考慮は一日の温度変化を考慮している。

表－1 港湾施設における電力利用

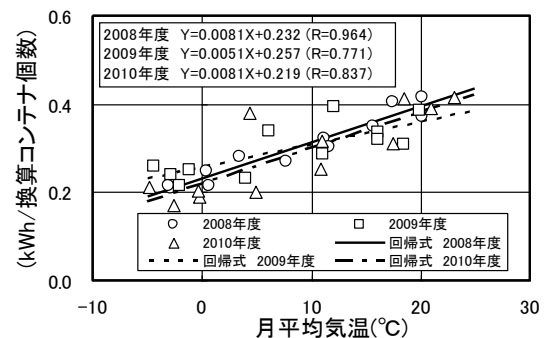
施設	主たる用途
ふ頭上屋	シャッター、送風機、定温庫、くん蒸庫、天井クレーン
荷役装置	ガントリークレーン、アンローダー、ベルトコンベア
陸電装置	陸電供給コンセント
ふ頭	照明、ガントリークレーンレールヒーティング、ロードヒーティング
荷捌地	リーファコンセント
臨港道路	照明、換気ファン
港湾緑地	照明
事務所	照明、冷暖房装置



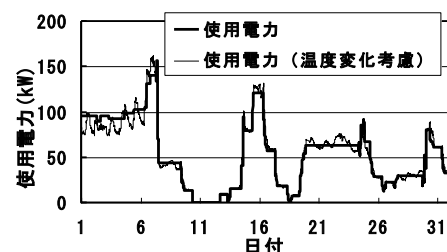
図－3 冷凍コンテナの使用個数の変動(2009 年 3 月)



図－4 月別換算コンテナ個数と使用電力量の関係 (2008 年 4 月～2011 年 3 月)



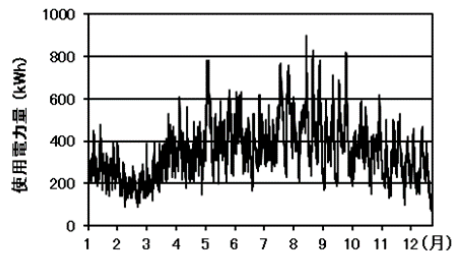
図－5 月平均気温とコンテナ個数あたり使用電力量



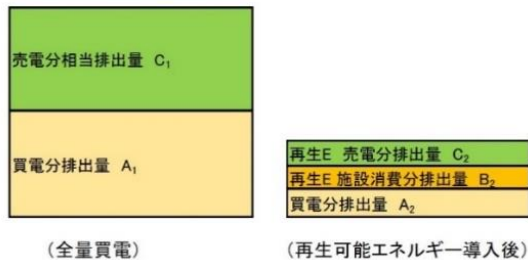
図－6 使用電力の変動の推定結果(2009 年 3 月)

(2) B 港

九州北部の B 港のコンテナターミナルでは、フィーダの電動化等による CO₂ 削減の取り組みと施設における使用電力量の 1 時間毎の実測値を保管している。図－7 はリーファコンセントの 2014 年の 1 年間の使用電力量の時系列図である¹⁴⁾。リーファコンセントについては、年間を通して電力変動量が大きいこと、外気温が高い 7 月から 9 月の間は使用電力量が増加していることがわかる。



図－7 使用電力量時系列
(リーファコンセント, 2014)



図－8 港湾における電力利用による CO₂ 排出量

4. 港湾における CO₂ の排出量の算定

港湾における CO₂ の排出源は様々なものがあるが、本研究では風力発電による CO₂ 削減効果に注目するため電力についての検討に限定する。現行の港湾施設の使用電力は、全量買電であり、これによる CO₂ の排出量を図－8 に示す A_1 とする。一方、CO₂ 排出原単位の小きな再生可能エネルギー導入後には、それによる電力供給があるため、買電分排出量 A_2 は A_1 よりも減少する。再生可能エネルギーによる発電電力による CO₂ 排出量は、電力会社からの買電電力による排出量に比べて大幅に低減するが、その排出量を B_2 とする。再生可能エネルギーによる電力を港湾施設に利用した余剰電力は売電することとし、この分の排出量を C_2 とする。この売電分に相当する電力の電力会社による排出量を C_1 とする。港湾施設における CO₂ 総排出量 (CT) は全量買電では $CT_1=A_1$ 、再生可能エネルギー導入後では、 $CT_2=A_2+B_2+C_2$ となる。港湾施設における CO₂ 削減量 (CR) は、施設消費分削減量 $CR_1=A_1-(A_2+B_2)$ 、売電分削減量 $CR_2=C_1-C_2$ と定義する。

5. ケーススタディ

5.1 検討ケース

検討ケースは、これまでの検討¹⁴⁾に加えてケースを増加させて、A 港では表－2、B 港では表－3 とした。また、蓄電池については、各港の使用電力量を考慮して各検討ケースについて、以下の数値に変化させた。

A 港：3,000, 5,000, 10,000, 30,000, 50,000 kWh

B 港：5,000, 10,000, 30,000, 50,000 kWh

また、CO₂ 排出原単位は港湾の位置する電力会社のホームページ公開資料ならびに NEDO¹⁵⁾より以下とした。

買電電力：0.7kg-CO₂/kWh (A 港)

0.6kg-CO₂/kWh (B 港)

風力発電¹⁵⁾：0.03kg-CO₂/kWh

太陽光発電¹⁵⁾：0.02kg-CO₂/kWh

表－2 検討ケース (A 港)

ケース名	風力(kW)	太陽光(kW)
A-1	1,000	-
A-2	2,000	-
A-3	4,000	-
A-4	1,000	600
A-5	2,000	600
A-6	4,000	600

表－3 検討ケース (B 港)

ケース名	風力(kW)	太陽光(kW)
B-1	2,000	-
B-2	4,000	-
B-3	8,000	-
B-4	12,000	-
B-5	16,000	-
B-6	2,000	1,800
B-7	4,000	1,800
B-8	8,000	1,800
B-9	12,000	1,800
B-10	16,000	1,800

5.2 蓄電池容量と買電電力の関係

図－9 は A 港の蓄電池容量と買電電力量の関係を表している。A-1～A-3 が風力発電単独、A-4～A-6 が風力発電と太陽光発電によるハイブリッド発電の結果を示している。図の横軸は蓄電池容量を日平均使用電力量で除しており、蓄電池による電力の備蓄日数に相当する。また、縦軸は年間買電電力量を使用電力量で除しており、買電比率を示している。風力発電の設備容量を大きくすることにより買電電力量が減少する。また、蓄電池容量を大きくすると買電電力量が減少する。ハイブリッド発電では風力発電単独と比べて買電電力量が減少する。また、過大な蓄電池容量は買電電力量の減少には寄与しない。

図－10 に示す B 港では B-1～B-5 が風力発電単独で、B-6～B-10 がハイブリッド発電の計算結果を示している。図－10 においても全体的傾向は図－9 と同様である。

5.3 蓄電池容量と CO₂ 削減比率の関係

図－11 と図－12 は蓄電池容量と CO₂ 排出削減比率を表している。図の横軸は図－9、図－10 と同様であり、図の縦軸は 1 であれば CO₂ を全く排出していないことを示す。まず図－11 の A 港では風力発電単独では蓄電池容量を増大させることで CO₂ 排出削減比率が高くなることがわかる。また、風力発電の設備容量が大きいたときには CO₂ 排出削減比率が増加する。ハイブリッド発電においても風力発電単独と比べて買電電力量の削減に伴って CO₂ 排出削減比率が増加する。

図－12 に示す B 港でも A 港と同様の傾向が見られる。ただし、B 港においては港湾施設における使用電力量が多いため風車規模を A 港に比べて大きくしなければ CO₂ 排出削減効果があらわれない。

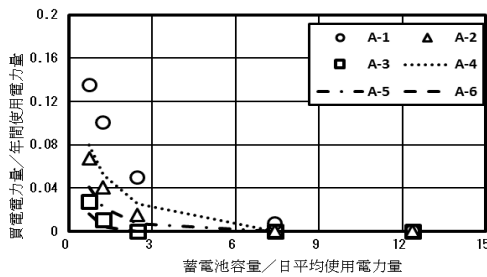


図-9 A 港の蓄電池容量と買電電力量の関係

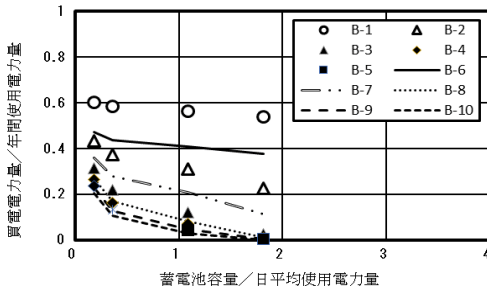
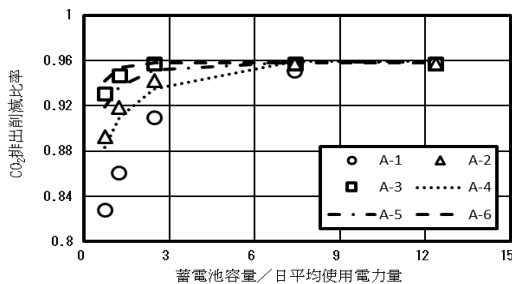
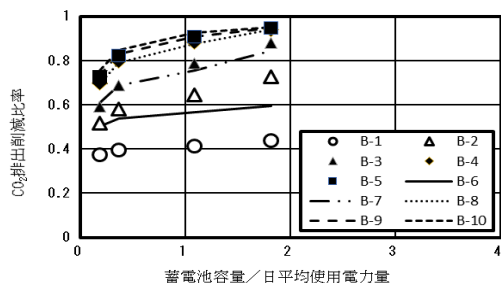


図-10 B 港の蓄電池容量と買電電力量の関係

図-11 A 港の蓄電池容量と CO₂ 削減比率の関係図-12 B 港の蓄電池容量と CO₂ 削減比率の関係

6. まとめ

自立分散型電源としての利用を考える際には変動性の緩和のために蓄電池の併用が必要である。蓄電池容量を大きくすると電源としての安定化に加えて CO₂ 排出削減量も増加する。今後は導入コストも考慮したシステムの最適化について検討を行う必要がある。また、非常時電源供給の観点については、蓄電池の必要容量は停電の継続時間との関係があり、さらに検討を行う必要がある。

謝辞

使用電力量の調査においては港湾管理者の協力を得ており関係者に謝意を表します。データ整理の一部は北海道科学大学の卒業生である嘉門正太君、曾我部太一君、仲山裕二君、福手雅人君、中間裕人君の協力によるもの

で感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 千葉大学倉坂研究室、認定 NPO 法人環境エネルギー政策研究所：永続地帯 2018 年度版報告書、2019.
- 2) 白石悟ほか：中型風車による沿岸域における自立型風力エネルギー利用について、第 32 回風力エネルギー利用シンポジウム、pp. 139-142、2010.
- 3) 永井紀彦、白石悟ほか：沿岸域中型風車の開発・検証と港湾や漁港における自己利用型風力エネルギーの活用に関する検討、港湾空港技術研究所資料、No.1234、p.38、2011.
- 4) 白石悟ほか：中型風車による港湾・漁港における自立型風力エネルギー活用に関する検討、土木学会論文集 B3 (海洋開発)、Vol.67、No.2、pp. I_196-201、2011.
- 5) 白石悟ほか：沿岸域再生可能エネルギー利用推進へ向けての課題—中型風車をコアとする沿岸域ローカルスマートエネルギー利用システムを事例として—、日本海洋政策学会誌、第 2 号、pp.117-132、2012.
- 6) 白石悟ほか：沿岸域ローカルスマートエネルギー利用システム構築を目指しての港湾・漁港における電力使用特性の調査、第 34 回風力エネルギー利用シンポジウム、pp.315-318、2012.
- 7) 白石悟ほか：港湾施設における使用電力量とその変動特性に関する分析事例、土木学会論文集 B3 (海洋開発)、Vol.69、No.2、pp. I_580-585、2013.
- 8) 下迫健一郎、米山治男、白石悟ほか：中型風車を利用した港湾施設における電力利用のスマート化に関する検討、港湾空港技術研究所資料、No.1285、p.71、2014.
- 9) 白石悟ほか：港湾における風力発電の導入および風力発電によるスマートエネルギー利用への展望、土木学会論文集 B3 (海洋開発)、Vol.70、No.2、pp. I_121-126、2014.
- 10) 白石悟ほか：風力発電による港湾のコンテナターミナルへの電力供給における需給バランスに関する考察、第 36 回風力エネルギー利用シンポジウム、pp.249-252、2014.
- 11) 白石悟ほか：港湾における風力発電の拡大と再生可能エネルギーの自己利用への展望、土木学会論文集 B3 (海洋開発)、Vol.71、No.2、pp. I_7-12、2015.
- 12) 白石悟ほか：積雪寒冷地における風力発電および太陽光発電の信頼性向上と自己分散型システムの構築に関する研究、第 37 回風力エネルギー利用シンポジウム、pp.451-454、2015.
- 13) 白石悟：北海道における風力発電導入拡大に向けた課題、第 39 回風力エネルギー利用シンポジウム、pp.500-503、2017.
- 14) 白石悟ほか：洋上風力発電を利用した港湾施設への電力供給システムとその CO₂ 排出削減効果、土木学会論文集 B3 (海洋開発)、Vol.74、No.2、pp. I_946-951、2018.
- 15) NEDO：NEDO 再生可能エネルギー技術白書（第 2 版）、2014.