

港湾施設の使用電力量とその変動特性に関する分析

INVESTIGATION ON ELECTRIC POWER CONSUMPTION AND ESTIMATION OF IT'S TIME VARIANCE AT PORT FACILITIES

小川路加¹⁾, 細見雅生¹⁾
Ruka Ogawa Masao Hosomi

本研究の目的は再生可能エネルギーの一つである風力エネルギーを港湾及び沿岸域において自己利用型のエネルギーとして利用するシステムの提案である。この目的実現のためには風力発電による発電電力の変動性に加えて、需要側の電力の変動特性を把握することが重要である。本研究では、ケーススタディとして北海道の日本海側に位置する港湾における施設別の使用電力量と各施設の稼働条件から推定した使用電力の時間的変動性について分析・考察した。

キーワード：風力エネルギー，風力発電，使用電力量，自己利用型エネルギーシステム

1. 研究目的

近年、環境問題の一つとして地球温暖化が挙げられており、その原因が化石燃料の過度の使用による CO₂ の増加によるものと言われている。今日では、さまざまな再生可能エネルギーの導入が活発となっており、その中でも海外を中心に風力エネルギーの利用拡大が進んでいる。一方日本においては 2012 年 7 月の再生可能エネルギー電気特別措置法の施行後も電力会社の買取枠や電力会社間の系統連系の脆弱性により風力エネルギーの利用拡大が海外ほどには進んでいない。今後は利用拡大に向けて系統連系の強化など、さまざまな制約条件が解消される方向にあると思われるが、筆者らは風力エネルギーを、その地域で利用する地産地消の考え方も合わせて進めていく必要があると考える。

そこで、本研究では、港湾及び沿岸域において風力エネルギーを自己利用型のエネルギーシステム（沿岸域ローカルスマートエネルギーシステム）として活用することを目指しての研究を進めている。自己利用型の風力発電とは、図-1 に示すように風力発電による発電電力を電力系統を通して電力会社に売電するのではなく、直接施設内で利活用するものを指す¹⁾。自己利用型のシステムを実現するためには、風力発電による発電電力の変動性に加えて、需要側の電力の変動特性を把握することが重要であるが、港湾における電力需要の変動性については十分に把握されていないのが現状である。そこで、本研究では北海道の日本海側に位置する港湾（以降、A 港）における使用電力時間の変動性を、2008 年度から 2010 年度の 3 か年のデータを用いて分析する。



図-1 沿岸域ローカルスマートエネルギーシステム

2. 調査対象施設

本研究では A 港の B-2 号上屋，B-3 号上屋，B-4 号荷捌地，T-1 号上屋，T-2 号上屋，H 埠頭陸電装置，ガントリークレーン動力用，ガントリークレーンレールヒーティング，チップヤード荷役機械の 9 施設の 2008 年 4 月から 2011 年 3 月の施設別の月別使用電力量のデータを入手し、各施設の利用実態に基づいて使用電力量の時間的変動の推定を行った。

図-2 は対象施設の 2008～2010 の各年度の年間使用電力量を示す。B-4 号荷捌地，B-3 号上屋では使用電力量が 2010 年度に増加傾向が顕著であるが、それ以外の施設の年間使用電力量は、この 3 年間でほぼ同じであることがわかる。A 港において使用電力量の多い施設は、B-4 号荷捌地，チップヤード，B-3 号上屋である。ガントリークレーンのレールヒーティングは 12 月から 3 月の冬季間のみを使用であるが、この期間だけを見れば年間を通じて使用電力量の多いチップヤード，B-3 号上屋とほぼ同程度の使用電力量となる。

1) インフラ開発本部 環境事業部

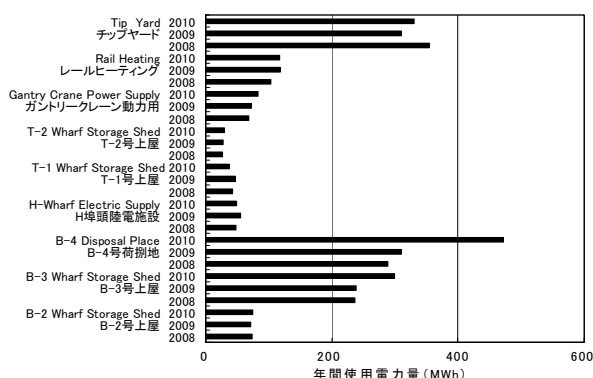


図-2 A港の施設別の年間使用電力量

写真-1 は分析の対象とした施設の例としてガントリークレーンを、写真-2 は B-4 号荷捌地の冷凍コンテナを示す。



写真-1 ガントリークレーン



写真-2 B-4号荷捌地の冷凍コンテナ

3. 使用電力量の変動の分析方法

これまでの研究では、A 港における使用電力の時間変動特性は 2008 年 4 月から 2009 年 3 月の 1 年間のみデータを用いて分析されていた^{2),3)}。本研究では 2009 年 4 月から 2011 年 3 月の 2 年間分のデータを追加して整理し、使用電力の時間変動特性をより詳細に分析する。解析に用いた基礎となる本データは施設ごとの月別使用電力量である。月別の使用電力量のみでは、電力消費の最大値やその時間的変動特性が不明である。電力の変動を把握するには計器を用いて計測するのが望ましいが、本研究では計器による測定ができなかったことから施設ごとの利用実態より電力の変動

性を推計することとした。このようにして求めたデータの利用方法については、5 章で述べる。

B-4 号荷捌地においては冷凍用コンテナ(20ft, 40ft の 2 種類)の電源投入時間と停止時間についての分単位の詳細なデータを収集し、それを基に 10 分ごとに電源接続されているコンテナ数を求め、それをを用いて使用電力量の時間推移を推定した。

B-2 号上屋, B-3 号上屋, T-2 号上屋, T-1 号上屋の 4 施設においては、ヒヤリングによる各施設の稼働状況に基づいて解析を行った。ヒヤリングの結果、それらの施設の稼働時間は、土曜日を含む平日 8 時から 18 時までが施設の稼働時間であることが確認されたことから、それに基づき使用電力量の時間的変動の試算を行った。ただし、シャッターの開閉等による短時間の変動、夜間の保安用の電力使用等は考慮されていない。

H-埠頭陸電装置, ガントリークレーン動力用, ガントリークレーンレールヒーティング, チップヤードの 4 施設においては日別の電力使用時間の記録に基づき時間的変動の試算を行った。

4. 解析結果

4.1 冷凍コンテナ用電源

まず、図-2 において使用電力量の最も多い B-4 号荷捌地について分析する。図-3 は 2009 年 3 月の B-4 号荷捌地における 20ft および 40ft 冷凍コンテナの使用個数の変動を表したものである。図の実線は 20ft コンテナ、点線は 40ft コンテナに対応する。コンテナ個数は 1 か月の間で 4 回の増減があるが、これはコンテナ船の着桟にあわせて荷捌地において電源に接続する冷凍コンテナの数が変動するためである。

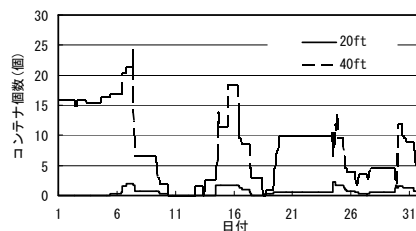


図-3 冷凍コンテナの使用個数の変動(2009年3月)

図-4 は 2008 年 4 月から 2001 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。例えば、40ft コンテナ 1 個が 1 か月常時電源に接続されて

いと 1 か月が 30 日の場合には、 $2 \times 6 \times 24 \times 30 = 17,280$ が換算コンテナ個数となる。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A港においては毎年秋にピークがあることがわかる。

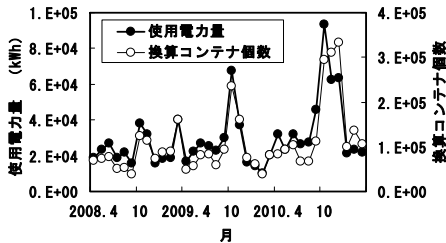


図-4 B-4号荷捌地における月別換算コンテナ個数と使用電力量の関係(2008年4月～2011年3月)

図-5は2008年4月から2011年3月の月間の換算コンテナ個数と使用電力量の関係である。図には各年度ごとの両者の回帰式を示している。換算コンテナ個数と使用電力量の間にはばらつきがあるが、おおむね比例関係にあるといえる。データのばらつきの原因としては、季節による消費電力の効率の相違の可能性がある。これについては、夏季と冬季の気温差が影響していると考えられる。

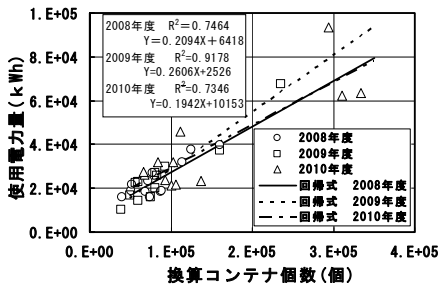


図-5 換算コンテナ個数と使用電力量の関係

そこで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-6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-6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が、一日の気温変動に対する消費電力の変動特性が不明であることから、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、図-3に示した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、その結果を図-7に示す。なお、図-7の数値はB-4号荷捌地全体での使用電力の瞬時値を示すもので、風力発電による発電電力との比較を容易にするために単位をあわせkWで表示している。図中の太実線は月平均の換算コンテナ個数あたりの使用電力量から求めた使用電力の変動を、細実線は3か年分の月別の換算コンテナ数と月平均気温との関係から求めた回帰式 ($W = 0.0071T + 0.2362$, W: 換算コンテナあたりの10分間使用電力量(kWh/個・10分), T: 月平均気温(°C))を用いて一日の中での気温変化を考慮して求めた使用電力の変動を示す。この図から荷捌地における使用電力は換算コンテナ個数の変動が支配的であることがわかる。

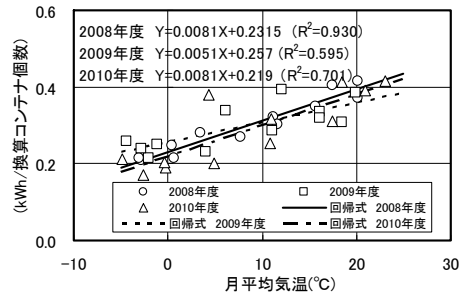


図-6 月平均気温と換算コンテナ個数あたり使用電力量の関係

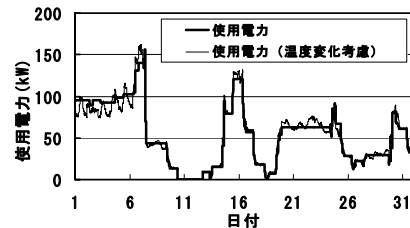


図-7 使用電力の変動の推定結果(2009年3月)

4.2 チップヤード

チップヤードにおいてはチップ船(紙の原料となる木材片/チップを専門に運ぶ船)が着棧した際にアンローダーを用いてチップが荷卸しされ、ベルトコンベアを用いて野積地に運搬される。したがって運搬用のベルトコンベアが主たる電力消費源となる。そこでチップ船の荷役時間から使用電力を求め図-8に示した。なお同図には後述するB-3号上屋の使用電力も示している。チップ船の着棧は月1~3回であり、電力消費は荷役時間中のみになる。実際にはベルトコンベアの稼働・停止による使用電力の変動があるが詳細のデータ

が無いため、ここでは使用期間中の平均値を示している。また、当該施設の照明等にも電力が使用されているが、ここではその影響は少ないものとして考慮していない。

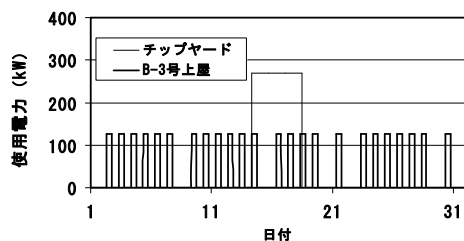


図-8 チップヤード，上屋における使用電力変動
(2009年3月)

4.3 上屋

A 港では、上屋は4箇所あるが、そのうち最も使用電力の大きい B-3 号上屋の例を図-8 に示す。ヒアリングによれば、当該施設においては定温庫、くん蒸庫、天井走行クレーンの利用が主な電力使用となるが、その他にも上屋での照明に電力使用は行われている。しかし本研究では施設における電力使用状況の詳細が不明のため電力使用を施設が使用されシャッター開閉の可能性のある時間帯での使用電力の時間変動として上屋全体でのおおよその使用電力の時間変動を求めている。

4.4 ガントリークレーンレールヒーティング

図-9 はガントリークレーンレールヒーティングにおける月平均気温と使用電力の関係を示す。この図より月平均気温と消費電力の間に相関があると言える。使用電力の1日の気温変化に伴う日変動は不明であるが、この図の関係が使用電力の日変動にもそのまま適用できると考えた。

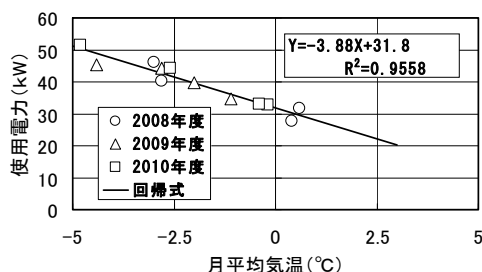


図-9 ガントリークレーンレールヒーティングにおける
月平均気温と使用電力の関係

図-10 はガントリークレーンレールヒーティングの

電力使用の時間変動を表したものである。図-10 には図-9 の関係に基づいて計算した使用電力の変動データを細実線で、1か月の平均気温に基づいて日変動を考慮していない結果を太実線で示している。縦軸は1か月の使用電力量(kWh)を通電時間(h)で除した値であり、風力発電の発電出力と比較できるようにkWで表示している。ガントリークレーンレールヒーティングは使用を開始するとガントリークレーンレールの凍結防止のために冬期間は常時利用されている。また、降雪が多く寒冷である1月~2月に最も電力使用が大きい。この図では、3月末にレールヒーティングをやめている。

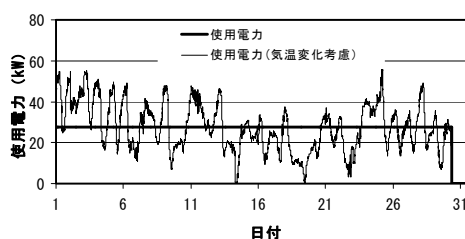


図-10 ガントリークレーンレールヒーティングにおける
使用電力変動(2009年3月)

4.5 ガントリークレーン動力用

図-11 はガントリークレーン動力用の使用電力の変動を表したものである。電力の使用は月数回のコンテナ船着岸荷卸作業時に発生する。ガントリークレーン動力用はコンテナの積卸を行う場合に利用し大きな電力を使用するが、貨物の積卸と同じく頻度が少なく使用時間は短いという傾向がある。実際には、コンテナの積み込み、荷卸し時に一時的なピーク電圧が生じているが、その詳細が不明であることから電力の短期変動については分析していない。荷役作業に伴う短期変動の詳細な分析は今後の課題である。

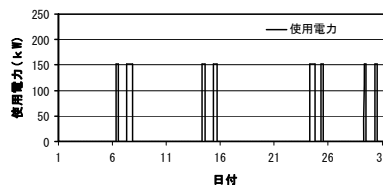


図-11 ガントリークレーン動力用における使用電力変動
(2009年3月)

4.6 港湾全体の分析

以上に示していない他の施設においても施設の利用形態についてのヒヤリング結果に基づき使用電力の時

間の変動の推定を行い、2009年3月のA港全体での使用電力の変動を求めた結果を図-12に示す。月の中旬に使用電力が増大しているのは図-8に示したようにチップヤードにおいて荷役が行われている影響である。

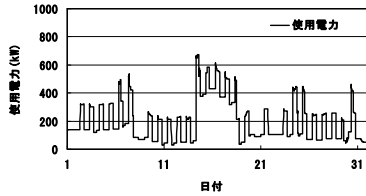


図-12 A港全体での使用電力の変動を求めた結果
(2009年3月)

図-13はA港の10分ごとの使用電力を一回としてカウントした2008年度(2008年4月～2009年3月)の使用電力の度数分布を示す。推定の結果、A港における最大使用電力は810kWである。

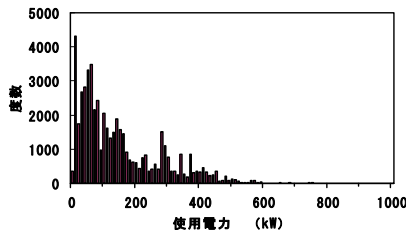


図-13 2008年度の使用電力の度数分布

図-14は年度別の使用電力の累積確率を示すが、各年度の傾向がほぼ同じである。2010年度は使用電力の増加傾向のある施設があったためやや増加傾向がみられる。

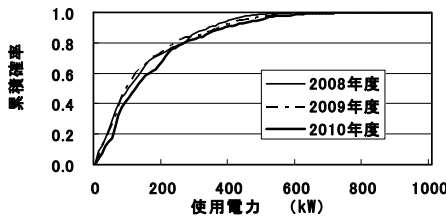


図-14 年度別の使用電力の累積確率

5. 解析データの利用について

5.1 使用電力量の予測

ここでは、解析データの利用方法について述べる。図-6に示したように換算コンテナ数あたりの使用電力の原単位を用いると施設における使用電力量を予測することが可能になる。図-15はA港B-4号荷捌地における使用電力量の実績値と換算コンテナ個数から求めた予測値を示している。比較においては図-6の各年

度の回帰式を用いたもの(単年と表記)と3か年の回帰式を用いたもの(3か年と表記)を示しているが、実績値と予測値はよく一致している。したがって港湾の取扱コンテナの中で冷凍コンテナの個数と荷役前後の保冷時間があらかじめ予測できれば、当該施設における使用電力量を事前に予測することができる。

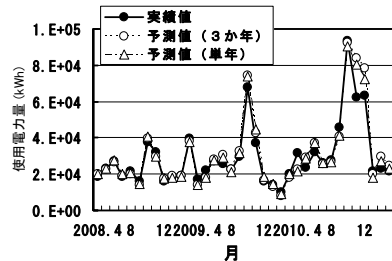


図-15 B-4号荷捌地における使用電力量の予測

5.2 需給バランスの予測

図-16はA港における定格出力300kW中型風車2基を用い、アメダス近傍地点の10分ごとの風速データを風車のハブ高さに換算して推定した発電量と先に示した使用電力量の変動を時系列的に比較している。この図より、発電側および需要側の変動性が大きなことから、需給バランスが極めて悪いことがわかる。また、図-17は同港における1年間の発電電力と消費電力の差を示している。需給バランスの度数分布のピークは0付近にあってトータルとしては需給がバランスされているが、一方では需要側と供給側のバランスが良くない時間帯も多いことがわかる。一般に風力エネルギー等の自然エネルギーは、供給量の時間的変動が大きいため、その利活用が難しいものとなっている。仮に、年間トータルでは需給バランスは確保されていたとしても、月別変動および短時間変動による需給ギャップがある。この緩和のためには、蓄電池を利用することが一般的ではあるが高コストであることから水素等への貯蔵による平滑化、または太陽光発電等とのハイブリッド化などの検討を進めることが必要になる。また、需要サイドにおけるエネルギー利用の時間的調整可能量についても検討が必要である。例えば、冷凍庫等の運転における調整制御による使用電力量の時間調整、積雪寒冷地における冬季の計画的なロードヒーティング等、利用面でのスマート化を図る必要がある。また、港湾における消費エネルギー(電力)の見える化も必要と考える。

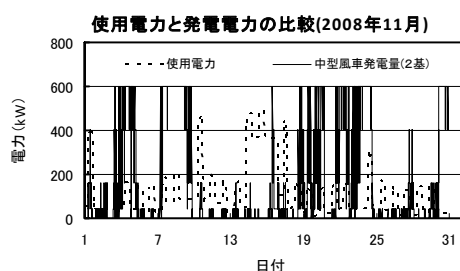


図-16 発電量と使用電力量のギャップ (2008年11月)

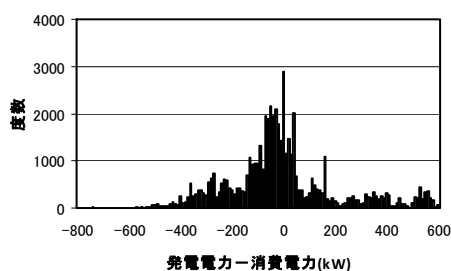


図-17 需給バランス推定値 (2008年4月～2009年3月)

6. 結論および今後の課題

本研究では、港湾における使用電力量の変動性を分析した。検討の結果をまとめる。

(1) A港を対象に港湾における使用電力の変動性を把握することができた。

(2) 使用電力の変動は0kWから100kWの範囲での度数が多く、この例での最大電力810kWまで分布幅が大きいことが想定される。

(3) 冷凍コンテナの換算コンテナ数あたりの使用量は、月平均気温との関係がみられた。冬季と夏季については電力消費に約2倍の差がみられた。

(4) 使用電力の変動が大きいため発電電力との需給ギャップを小さくすることが自己利用型の電力システムの実現のための今後の大きな課題である。変動の緩和には港湾施設内での蓄電池の利用、太陽光発電とのハイブリッド化、熱エネルギー等を介しての平滑化等の検討のほか、港湾をとりまく地域との電力相互融通を可能とする規制緩和、系統強化による広域連携等が必要である。

謝辞：

本論文は、(独)港湾空港技術研究所、足利工業大学、北海道工業大学、(株)駒井ハルテックの4者共同研究として実施しているものの一部の成果をまとめたものである。(独)港湾空港技術研究所の下迫海洋研究領域長と米山チームリーダー、足利工業大学の牛山学長と西

沢助教、および北海道工業大学の白石教授に謝意を表します。また共同研究の第一期、第二期の研究において中心的な活動をされていた(株)エコ取締役永井紀彦氏(元(独)港湾空港技術研究所理事)には本研究においてもオブザーバーとして指導助言をいただいたことに謝意を表します。

使用電力量の調査においては港湾管理者の協力を得ました。関係者に謝意を表します。

また、本稿は、「土木学会論文集B3(海洋開発)」特集号(Vol.69, No.2)の投稿内容を引用したことを付記します。

参考文献

- 白石悟, 永井紀彦, 鈴木高二朗, 田中陽二, 牛山泉, 西沢良史, 細見雅生, 小川路加: 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.68, No.2, pp. I_372- I_377, 2010.
- 白石悟, 永井紀彦, 鈴木高二朗, 田中陽二, 牛山泉, 西沢良史, 細見雅生, 小川路加: 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, 2011.
- 白石悟, 永井紀彦, 下迫健一郎, 牛山泉, 西沢良史, 駒井えみ, 細見雅生, 小川路加: 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, 2011.