

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE

OF

THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1285 June 2014

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

下迫健一郎
米山 治男
白石 悟
牛山 泉
西沢 良史
細見 雅生
小川 路加

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan

目 次

要 旨	3
1. はじめに	4
2. 風力発電をコアとする港湾施設における電力利用のスマート化	5
2.1 港湾施設における電力利用状況の現状	5
2.2 沿岸域ローカルスマートエネルギーシステムの港湾施設への適用	10
2.3 導入評価のための検討すべき事項	11
3. 国内外の風力発電に関する技術動向	11
3.1 海外における風力発電の技術開発動向	11
3.2 我が国における大型洋上風力発電をめぐる技術開発動向	17
4. 中型風車の制御方法と発電性能向上の検討	18
4.1 開発風車の概要	18
4.2 基本的な仕様と設計条件	19
4.3 風車制御方法による発電性能の改良効果	20
5. 港湾・漁港における電力利用の実態と使用電力の変動性の推定	21
5.1 港湾・漁港における使用電力量の実態	21
5.2 月平均気温と港湾・漁港施設における使用電力量の関係の分析	28
5.3 施設別の使用電力量の変動性の分析	31
6. 港湾・漁港における電力の需給バランスの検討	42
6.1 港湾における分析事例	42
6.2 漁港および関連施設における分析事例	45
6.3 分析結果から見た課題の整理	46
7. おわりに	48
謝辞	49
参考文献	49
付録A 港湾施設の使用電力量と気温の関係の分析	52
付録B 漁港および関連施設の使用電力量と気温の関係の分析	67

Smart Energy System by Using Medium-sized Wind Power Generation for Ports and Harbors

Ken-ichiro SHIMOSAKO*
Haruo YONEYAMA **
Satoru SHIRAISHI***
Izumi USHIYAMA****
Yoshifumi NISHIZAWA****
Masao HOSOMI*****
Ruka OGAWA*****

Synopsis

This note introduces results of 3 years cooperative research among the Port and Airport Research Institute, Ashikaga Institute of Technology, Hokkaido Institute of Technology and Komaihaltec Inc. for application of the 300kW of medium-sized wind power generator system for local wind energy utilization of ports, fishery ports and harbors in order to reduce CO₂ emission. Following results are obtained;

(1) The local smart energy system in coastal areas is proposed and technical issues to be realized the system are pointed out taking into account electric power consumption in port and harbors.

(2) The trend of development of large-sized wind turbines in the world is investigated. Recent field studies to develop offshore wind farms in Japan are also introduced.

(3) 300kW of medium-sized wind power generator system was developed and installed at the Tokyo Bay coast and proto-type field experiment was conducted since 2007. The new control system was applied and evaluated the effect of performance improvement.

(4) Energy demand investigation to the port and the fishery port in Japan-Sea coast of Hokkaido-Island was conducted. The relation between electric energy demand and temperature was analyzed and time histories of electric energy demand in port and fishery port was evaluated.

(5) The differences of demand and supply by wind generation by use of medium-sized wind turbines are analyzed and the countermeasure to reduce the energy gap of demand and supply is also discussed.

Key Words: Wind Power, Ports, Fishery Ports, Wind Energy Application, Medium Size Generator, Smart Energy System

* Director, Coastal and Ocean Engineering Research Field
** Group Leader, Coastal and Ocean Development Group
*** Visiting Researcher (Hokkaido University of Science , Former Hokkaido Institute of Technology)
**** Ashikaga Institute of Technology
***** Komaihaltec Inc.
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-46-844-5043 Fax : +81-46-842-7846 e-mail: shimosako@pari.go.jp

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

下迫健一郎*
米山 治男**
白石 悟***
牛山 泉****
西沢 良史****
細見 雅生*****
小川 路加*****

要 旨

本資料は、2005年度から2007年度までの3か年にわたる、港湾空港技術研究所、足利工業大学および駒井鉄工(株)（㈱駒井ハルテックの前身会社）の3者共同研究および北海道工業大学を加えた2008年度から2011年度の3か年の4者共同研究を発展させ、2011年度から2013年度までの3か年にわたって実施した4者共同研究の成果をとりまとめたものである。以下に、主要な成果を述べる。

- (1) 日本の港湾における使用電力の現状やコンテナターミナルにおける荷役のエコ化等の事例をふまえ、風力発電による発電電力の自己消費による沿岸域ローカルスマートエネルギーシステムを提案するとともに、その実現のための課題を整理した。
- (2) 海外における大型風車の開発動向を調べた。また、国内における洋上風力発電の実現へ向けた実証研究について述べた。
- (3) 中型風車の開発を行い、実機風車を東京湾沿岸に設置し、現地実証試験を実施してきたが新たに制御方法の改良を行いその効果について検証した。
- (4) 港湾および漁港における使用電力量に関するデータより使用電力量に及ぼす気温の影響分析を行うとともに、使用電力の時間変動性について分析した。
- (5) 中型風車による発電電力の時間変動性を分析し、使用電力の時間変動性と両者による需給バランスを分析し、風力発電をコアとする沿岸域ローカルスマートエネルギーシステムの実現へ向けた課題と対策を整理した。

キーワード：風力発電，港湾，漁港，風力エネルギー，中型風車，スマート化

-
- * 海洋研究領域長
 - ** 海洋研究領域海洋利用研究チームリーダー
 - *** 客員研究官（北海道科学大学，旧北海道工業大学）
 - **** 足利工業大学
 - ***** 株式会社 駒井ハルテック

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 独立行政法人港湾空港技術研究所
電話：046-844-5043 Fax：046-842-7846 e-mail: shimosako@pari.go.jp

1. はじめに

地球環境問題が大きく取り上げられ、二酸化炭素の排出量の削減が強く求められる中、化石燃料に頼らない風力等の自然再生エネルギーの活用が、持続的な社会経済の発展のため喫緊の課題となっている。特に、沿岸域は、内陸部に比較すると一般的に風速もしくは風力エネルギーが大きく、風力発電設備を設置するのに適しているため（永井ら，2000；永井ら，2001a；永井ら，2001b），これまでも多くの風力発電設備が設置されてきており、今後も増加していくものと考えられる。さらに、洋上や沿岸域の風況は、陸上に比較して時空間的な乱れや変動が比較的小さく、風力発電にはよりふさわしいことも、近年、観測データに基づき実証的に示されており（永井，2002；永井ら，2003），港湾や漁港などの沿岸域への風力発電の導入への機運は高まっている。さらに、2011年3月11日に発生した2011年東北地方太平洋沖地震による福島第一原子力発電所の事故とその後の原子力発電所の停止は我が国のエネルギー政策の再構築を迫るものであった。2011年8月には電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法（以下、再生可能エネルギー電気特別措置法）が成立し、2012年7月より施行された。これにより再生可能エネルギーによる発電電力の全量買取が電気事業者に義務づけられたが、系統連系上影響がある場合には買取に応じなくとも良いとされ、地域によっては再生可能エネルギーの導入が進んでいない実情もある。

反面、我が国では、近年ようやくスマートグリッドの構築の必要が叫ばれるようになりつつあるものの、電力供給網が基本的には地域ごとの電力会社単位に分割されており、時空間的な変動が大きい風力のような自然エネルギーの受け入れ容量には依然として制約があり、西ヨーロッパ諸国のような大規模ウィンドファームの建設は、なかなか進んでいないのも現実である。こうした現状を解消するために電力会社間あるいは電力会社内の系統連系強化の取組も進められている。しかしながら、港湾や漁港を含めた沿岸域において風力エネルギーの導入を検討する際、電力会社に売電可能な電力量には、今後も一定の制約が生じることが予想されるため、MW級の風車群による大規模ウィンドファームの建設より、数百kW級の中型風車によるエネルギー自己利用型の風力発電システムの導入の方が、より現実的な風力エネルギーの活用方策とならざるを得ない。このため、港湾管理などの電力消費にあわせた規模の中小型風力発電装置の潜在的な可能性はきわめて高い。

風力のような時空間的な変動の大きな自然再生エネルギーを、自己利用型として活用するため、港湾空港技術研究所では、はじめに風力照明システムに注目し、研究所構内に小型風車と小規模蓄電システムを設置した共同研究を実施してきた（永井ら，2004；永井ら，2005a；永井ら，2005b）。また、風車そのものが空間的な風力エネルギーの分布に与える影響を、北海道瀬棚町の洋上風車群で得られた実測データなどから検討し、風力エネルギーの空間的ポテンシャル分布特性についても研究成果をとりまとめている（白石ら，2005；永井ら，2006a）。

本資料は、こうしたこれまでの風力エネルギー活用に関する研究成果をもとに発展させたものであり、港湾空港技術研究所、足利工業大学、北海道工業大学および榑駒井ハルテックによる4者共同研究の成果をとりまとめたものである。この共同研究は、300kW規模の中型風車を開発し、東京湾沿岸の榑駒井ハルテック工場内に設置された実機風車を用いた実証試験を継続して行うとともに、港湾や漁港における電力使用状況に関する現地調査なども実施し、港湾や漁港への自己利用型風力エネルギーの展開をめざすことを目的としたものである。

本資料は、2011年度から2013年度の共同研究に先立って2005年度から2007年度までの3か年にわたって、港湾空港技術研究所、足利工業大学および榑駒井鉄工（榑駒井ハルテックの前身会社）の3者共同研究（永井ら，2006b）、さらに北海道工業大学を加えた2008年度から2010年度までの4者共同研究（永井ら，2009；Nagai,et.al.(2010a)；Nagai,et.al.(2010b)；白石ら，2010）を発展させたものでもあり。前々報の港湾空港技術研究所資料No.1180（永井ら，2008）、前報の港湾空港技術研究所資料No.1234（永井ら，2011b）の内容を発展させたものでもある。

本資料の構成は、以下の通りである。2.では、港湾施設における電力の使用状況、再生可能エネルギーの拡大を目指す近年の動向および筆者らが提案する沿岸域ローカルスマートエネルギーについてその概要を述べる。3.では、大型風車について、欧州を中心とする海外における動向を示す。また、国内においても洋上風車の実証試験が進められており、その概要を示す。4.では、前々報および前報で開発状況を報告した300kW中型風車について制御方法の改良による発電効率の向上について、その結果を紹介する。5.では、著者らが提案する沿岸域ローカルスマートエネルギーシステムについて、その可能性を検討するために北海道の港湾および漁港を対象に使用電力の変動性についての分析を行った結果について示す。また、6.では北海道の港湾および漁港において中型

風車による発電電力と使用電力による需給状況を分析した結果を示し沿岸域ローカルスマートエネルギーシステム導入における課題を整理した。その上で、7.で全体をとりまとめた。

2. 風力発電をコアとする港湾施設における電力利用のスマート化

2.1 港湾施設における電力利用状況の現状

(1) 港湾施設における電力利用

港湾施設においては、さまざまな電力の使用がある。

表-2.1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、リーファーコンテナ（冷凍コンテナ）用電源、船舶への陸電供給などである。

表-2.1 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	リーファーコンセント
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

港湾施設への電力利用の具体的な事例については、5.1において述べる。

(2) コンテナターミナルにおける電力利用

図-2.1はコンテナ埠頭における取り扱いコンテナ数をベースに港湾ごとに年間の使用電力量を推計した結果（環境省・国土交通省、2013）を用いて、年間の設備利用率を20%として大型風車の代表的なサイズである2MW(2000kW)風車2基による年間発電量、同じく2MW(2000kW)風車1基による年間発電量とを比較したものである。設備利用率とは風車の定格出力に対する平均的な利用率を示す指標であり、おおむね25%以上あれば立地上の条件が良いとされる（牛山、2013）。2MWの風車2基の年間発電量は設備利用率をここでは良好な条件とされる25%よりやや下げて20%で試算すると2×365

日×24時間×2基×0.2=7,008MWhとなる。また、2MWの風車1基では同様に3,504MWhとなる。図には、対象とした136港湾のコンテナ取扱量から推計した使用電力量を示しているが、コンテナ取扱量順位6位の港湾の年間使用電力量は7,508MWhと推計されているから、設備利用率を20%とした場合には2MW風車2基による年間発電量とほぼ同じになる。また、コンテナ取扱量順位8位の港湾の年間使用電力量は3,059MWhと推計されているから、設備利用率を20%とした場合には2MW風車1基による年間発電量とほぼ同じになる。さらに使用電力量の多い港湾においては、必要となる電力量をまかなうためにはより多くの風車基数が必要となる。

図-2.2は、中型風車の年間発電量に着目して図-2.1の縦軸の範囲を変えて図示したものである。コンテナ取扱量順位15位の港湾における使用電力量は900MWhと推計されるから、設備利用率を20%とすると1,051MWhであるから0.3MW風車2基による年間発電量とほぼ同じになる。また、0.3MW風車1基では設備利用率20%の場合の年間発電量は526MWhと推計されるので、コンテナ取扱量順位18位の港湾における年間使用電力量537MWhとほぼ同じになる。ここでは、コンテナターミナルにおける使用電力量との比較から風車規模や基数との比較を行っているが、表-2.1に示したように港湾における電力の使用はコンテナターミナルのみではなく多岐にわたるので、このことを考慮すると大型風車または中型風車の適用範囲はさらに広がると考える。

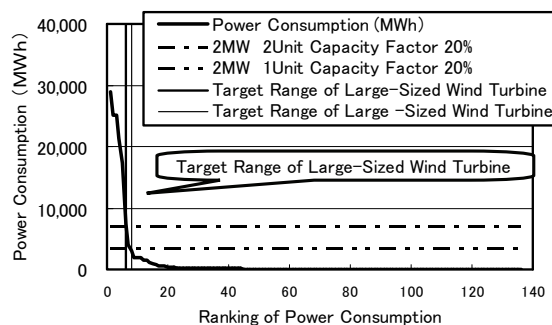


図-2.1 コンテナ埠頭における使用電力量の推計値と風力発電による発電量の比較

縦軸：使用電力量、横軸：使用電力量の順位、
太実線：使用電力量、一点鎖線：2MW風車2基 設備利用率20%、二点鎖線：2MW風車1基 設備利用率20%、
太実線・細実線：大型風車の対象範囲、吹き出し：大型風車の対象範囲

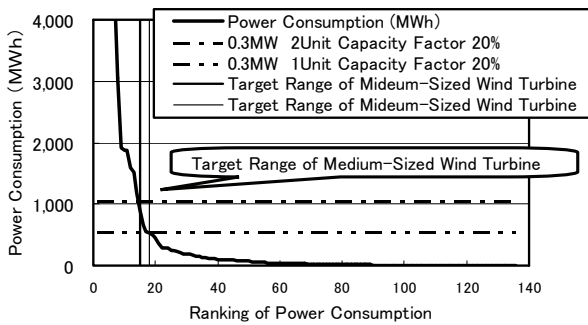


図-2.2 コンテナ埠頭における使用電力量の推計値と風力発電による発電量の比較（中型風車発電量との比較）縦軸：使用電力量，横軸：使用電力量の順位，

太実線：使用電力量，一点鎖線：0.3MW 風車 2 基 設備利用率 20%，二点鎖線：0.3MW 風車 1 基 設備利用率 20%，太実線・細実線：中型風車の対象範囲，吹き出し：中型風車の対象範囲

(3) 博多港におけるコンテナ荷役のスマート化

a) 概要

港湾施設においては(1)で示したようにさまざまな電力利用がある。これらの使用電力の削減を図ること、CO₂削減のための方策を講ずることは今後の港湾運営の重要な課題である。また、港湾施設を運営するに際しては、電源供給が何らかの原因で喪失されることに対する危機管理も必要になる。ここでは、低炭素化あるいは危機管理への取組の事例として博多港コンテナターミナルにおける取組を紹介する。

博多港コンテナターミナルでは荷役機械の改良による省エネルギー対策、CO₂削減を進めるとともに災害時等の事業継続（Business Continuity Plan, BCP）対応を行っている。博多港における環境および災害時のBCP等への取組みは国際的にも高く評価され、国際港湾協会（International Association of Ports and Harbours, IAPH）の2013年5月のロサンゼルス総会において港湾環境金賞を受賞している（福岡市，2013）。

博多港には香椎パークポートコンテナターミナルとアイランドシティコンテナターミナルの2箇所のコンテナターミナルがある。ここでは博多港コンテナターミナルにおける先進的な環境対策を紹介する。

b) トランスファークレーンの電動化

トランスファークレーン（RTG）とはコンテナ陸置エリアでコンテナを積み降ろしするための門型クレーンである（写真-2.1）。RTGはゴム製タイヤ式クレーンで広いヤード内を縦横に走行することができる。従来型のRTG

ではクレーンを動かすための必要な電力はRTG自体のディーゼルエンジン発動機から供給されている。博多港アイランドシティコンテナターミナルでは、国内で初めてRTG全機の動力源をディーゼルエンジン発動機から陸上電力給電方式（BUS-BAR方式）とし、RTGには自動脱着機能を持つ集電装置を搭載し運用効率の向上を目指している（写真-2.2）。



写真-2.1 トランスファークレーン（RTG）



写真-2.2 トランスファークレーン（RTG）の集電装置

RTG電動化による効果としては以下があげられる。

① CO₂排出量の大幅な削減

RTGの電動化前と比較して、CO₂排出量を年間約74%（年間換算で約2,142t）削減できた。

② エネルギーコストの削減

軽油の購入から電力会社からの電力購入へ転換することにより、電動化前と比較した場合、約68%のエネルギーコストを削減することができた。

③ その他の効果

給油、アイドリング時間等の削減によりターミナルの効率向上が図られた。電動化後のエンジン稼働時間の減

少によりエンジンメンテナンス費用を削減することができた。また、エンジン騒音が無くなることにより作業環境が向上した。

c) ハイブリッドストラドルキャリアの導入

乗用車としては一般的な技術となったハイブリッドシステムをストラドルキャリアに導入した。ストラドルキャリアとはコンテナ埠頭において埠頭内を走行しコンテナヤードにおいてコンテナをトレーラに積み下ろしする車両である(写真-2.3)。コンテナの巻上げ時には蓄電した電力とエンジンによる動力を用いる。コンテナの巻き下げ時には回生エネルギーを電池に蓄える。ストラドルキャリアの制動時には制動回生エネルギーを蓄電池に蓄え、加速時に再利用する。



写真-2.3 ストラドルキャリア

ハイブリッドストラドルキャリアの実稼動データで既存機との平均燃費を比較した場合、CO₂排出量、エネルギーコストを約32%削減できた。CO₂の排出量削減に換算すると年間で約52tの削減に相当する。

d) 省電力リーファー設備

リーファー設備(冷凍コンセント)はリーファーコンテナ(冷凍コンテナ)を陸置時に冷凍するために電源を供給する設備である。リーファーコンテナに直射日光があたり表面温度が上昇するとコンテナ表面と内部の温度差が発生し、コンテナ内部への熱流入が生ずる。コンテナ内部の温度を維持しようとするためにはコンテナから熱排出を行う必要があり、コンプレッサーの負荷率が上昇し、電力消費が増大する。そのため電力消費を抑えるためにはコンテナ表面温度の上昇を抑えることが必要になる。このため博多港では、リーファー設備へ開閉式の屋根を設置し(写真-2.4)、コンテナへの直射日光を遮断することによりコンテナ表面温度の上昇抑制を図り電力消費の削減効果の検証実験を行っている。ただし屋根を

閉鎖したままではコンテナの搬出入作業が出来ないため、ターミナルオペレーティングシステムとの連携により屋根の自動開閉を行っている。



写真-2.4 リーファー設備での開閉式の屋根

e) BCP対応

博多港コンテナターミナルにおいては、災害時等の事業継続(BCP)対応としては、以下が行われている。

①アイランドシティコンテナターミナルの1岸壁(水深-15m, 延長350m)を耐震構造としている。

②アイランドシティコンテナターミナルのガントリークレーン5基中3基を免震化した。

③停電時は荷役機械(RTG, ストラドルキャリア)のエンジンなどを活用し、コンテナターミナルに電力を供給する仕組みを取り入れた。

④以上の改良等により地震時にも荷役を継続できる体制を整備した。

⑤強風時の風向風速事前予測に基づき安全対策の確立と、効率的な荷役作業の体制づくりに取り組んでいる。

f) ターミナルにおける使用電力のモニタリング

ターミナルにおいて電力計を設置し、個々の施設の使用電力をモニタリングすることにより省電力化、省エネルギー化の検証を行っている。

(4) 港湾域における風力発電の状況

ここでは、港湾域の風力発電の導入の状況について述べる。合わせて海面管理についての国内外の状況も述べる。

a) 我が国の港湾における風力発電の導入の状況

図-2.3は港湾域における風力発電の導入状況を示す(Shiraishi(2012), 池田(2013))。2013年10月現在の設置基数は108基, 設備容量の総計は170,390kWである。このうち、洋上は19基, 設備容量の総計は33,200kWである。港湾空間における導入量は2001年度から2006年度までは順調に伸

びているにもかかわらず、2007年度以降の伸びが鈍化している。この原因としては、港湾空間の本来の利用目的と港湾空間に風力発電を風力発電事業者が風力発電施設を設置することの調整が困難であったこと等が考えられる。

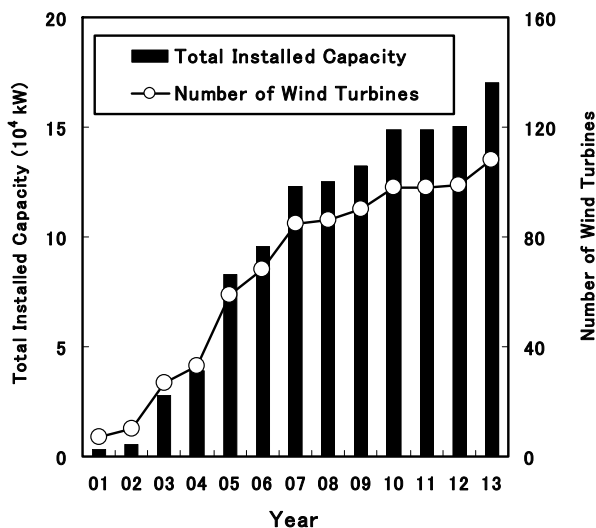


図-2.3 港湾域における風力発電の導入の状況
縦軸(左): 導入量, (右): 設置風車数, 横軸: 年
■: 導入量, ○: 設置台数

b) 海面管理制度

英国では、Crown Estateが洋上風力発電の開発区域を定めており、これが同国における洋上風力発電を推進するエンジンとして機能している。Crown Estateでは、洋上風力発電施設の建設区域を定め、2001年、2003年、2010年に開発事業者の公募を行っている(Crown Estate, 2011)。同様の海面管理制度はドイツでも導入されており、排他的経済水域(EEZ)内における洋上風力発電の建設、稼働については、連邦海洋基本法、海洋設置法令に基づき、BSH(Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie)から認可を受けることとなっており、北海海域では16か所が、バルト海海域では3か所が認可を受けている(BSH, 2011)。米国においても、2011年2月に、DOI(Department of Interior)とDOE(Department of Energy)がOffshore Wind InitiativesおよびNational Wind Strategyを定め、洋上風力発電の推進のために洋上における風力発電施設の開発区域を定めている(DOE, 2011)。一方、日本では海面管理に関する一般原則は未だ確立していないのが実情である(中原, 2011)。

c) 港湾域における導入促進に向けた動向

2011年6月、国土交通省港湾局は「港湾区域等に風力発電施設を設置する場合の占有等の許可基準等の参考指

針」(国土交通省, 2011b)を、また、農林水産省農村振興局、同省水産庁、国土交通省河川局、同省港湾局は共同で「海岸保全区域等における風力発電施設設置許可に関する運用指針」を発表した(農林水産省・国土交通省, 2011)。また、農林水産省水産庁は、「漁港区域に風力発電施設を設置する場合の占有等の許可基準等の参考指針」(水産庁, 2011)を発表した。国土交通省港湾局の参考指針によれば、許可の条件としては、港湾区域に風力発電施設を設置するには①立地の合理性、②事業の公益性、确实性等、③風力発電施設の安全性、④港湾の開発、利用又は保全への影響、⑤港湾計画等の遂行への影響、⑥海岸保全区域への影響、⑦景観及び環境との調整があげられている。

また、以下のような条件が付託されている。

(イ) 占有等の許可に当たっての意見聴取

港湾管理者は許可に当たっては原則として、あらかじめ関係市町村の意見を聴くこと。

(ロ) 許可条件

- ① 工事に着手する前は7日前に届出
- ② 工事完了後、稼働前に確認を受ける
- ③ 電気事業法の規定に基づき定格出力500kW以上は、使用前安全検査を受ける
- ④ 占有等の状況に関する報告の請求に応じる
- ⑤ 緊急時の連絡伝達体制
- ⑥ 期間満了後に現状回復

(ハ) 占有等の許可の期間

10年以内で当該港湾区域等の状況、当該占有の態様等を考慮して適切なものとする。

この中では、占有等の許可について10年以内となっているが、風車の一般的な耐用年数が15~20年であることから、更なる規制の緩和もしくは許可の際に占有許可の更新について担保することが必要である。

以上の参考指針は、港湾区域、漁港区域、海岸保全区域等における海面占有許可のルールを示したという点では大きな進歩であるが、さらにこれを進めて具体的な開発可能区域を明確にすることが風力発電をはじめとする海洋エネルギーの利用拡大につながる。このため、環境省と国土交通省は港湾区域における風力発電の導入拡大を目指して「港湾における風力発電について—港湾における管理運営との共生のためのマニュアル—Ver.1」(以下、導入マニュアル)を公表した(環境省・国土交通省, 2012)。港湾区域は港湾管理者という海面利用における管理主体が明確になっており、また、今後、海上における再生可能エネルギーの導入に際しては調整が必要となる漁業権についても一般海域に比べると整理がなされてい

ることから、近い将来の導入においては環境が整っている場所といえる。また、沿岸の比較的水深が浅い海域であり、建設コストの面でも有利である。こうした取り組みを一般海域にも広げていくことが風力エネルギーをはじめとする沿岸域における再生可能エネルギー導入推進の鍵となる。導入マニュアルでは、港湾における洋上ウインドファームの導入にあたり導入手続を標準化し、合理的な審査基準を定め、明確な事業者選定プロセスを確保するために港湾をとりまく多様な関係者の調整の円滑化を図るため協議会による検討手順を示している。

d) 海面立地における固定価格買取制度

風車の洋上立地は風車基礎を海中に建設しなければならないこと、陸上までの送電線の敷設（海底ケーブル）にコストがかかること、メンテナンスのためのアクセスが陸上に比べて容易ではないこと等から陸上立地に比べて高コストになる。一方、風車の騒音による問題が少ないこと、海上では陸上に比べて風速が大きくかつ乱れも少ないことなどの陸上にはない利点も有する。したがって、洋上立地は再生可能エネルギーの導入拡大のため有望となるが、その促進のためには陸上よりも増大する建設コストに対する施策が必要となる。このため風力エネルギーの固定価格買取制度を設定している国では、洋上風力発電の買取価格を陸上立地の価格以上に設定している例がある。例えば、ドイツでは、2004年に改正された再生エネルギー法（EEG）により洋上風力発電は2010年までに供用が開始されるものには9.1セント/kWhの価格が保証されることとなった（BSH, 2006）。2012年時点での改正された買取価格は陸上風力（0～5年目、8.93ユーロセント/kWh, 6年目以降、4.87ユーロセント/kWh）、洋上風力（0～12年目、15ユーロセント/kWh, 13年目以降、3.5ユーロセント/kWh）と建設コストが大きな洋上風力発電に対して優遇措置を取っている。

我が国においても再生可能エネルギー電気特別措置法が2012年7月より施行され、経済産業省に調達価格等算定委員会が設置され、買取価格、買取期間等の検討が行われた。2012年6月に公表された平成24年度（2012年7月～2013年3月）の買取価格・期間は、風力（20kW以上）では、23.1円/kWh（税込）、20年、風力（20kW未満）では、57.75円/kWh（税込）、20年である（経済産業省資源エネルギー庁、2012）。しかしながら、洋上立地に対する買取価格の設定がこれまでのところ無く、洋上立地へ向けての課題となっている。

このことから経済産業省は、平成25年11月から「洋上風力の調達価格に係る研究会」を設置し、陸上風力のポテンシャルが限定的な日本における再生可能エネルギー

の導入拡大を図る上で鍵となる、洋上風力の調達価格の設定に向けて、洋上風力発電のコスト等についての検討を行い、その結果が公表されている（経済産業省、2014a）。その結果によると以下の代表的なコスト試算オプションが示されている。

① 事業検討段階にある一部事業者の報告

資本金45万円/kW, 運転維持費2.1万円/kW/年

② 比較的条件が良い海域（海底条件が良く、比較的良好な設備利用率が期待できる）において、国内外で商用化実績を有する相対的実績を有する相対的に安価な基礎構造を想定するケース

資本金54～59万円/kW, 運転維持費1.5～3.0万円/kW/年

② 沖合で大型風車を設置する際に採用が見込まれる、相対的に高価な基礎構造を想定するケース

資本金75万円/kW, 運転維持費2.1万円/kW/年

資本金79万円/kW, 運転維持費2.3万円/kW/年

この議論の中でも、利害関係者の特定が容易な港湾内での開発案件ではコストが安価になるのではないかの意見があり、今後の港湾空間における開発が期待される。

今後は、調達価格等算定委員会が平成26年1月より洋上風力発電の調達価格の設定の検討を開始した（経済産業省、2014b）ことから、日本においても洋上風力発電の建設が推進していくと思われる。

2.2 沿岸域ローカルスマートエネルギーシステムの港湾施設への適用

(1) 沿岸域ローカルスマートエネルギーシステム

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研究を進めてきた（白石ら、2010；白石ら、2011a；白石ら、2011b；白石ら、2012a；白石ら、2012b；白石ら、2013；Shiraishi et.al, 2011）。ここでは、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）について説明する。自己利用型の風力発電とは、図-2.4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。また、電力会社との系統に接続する場合においても、施設内で発電した電力を消費することにより最大契約電力を下げる効果が期待できる。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。

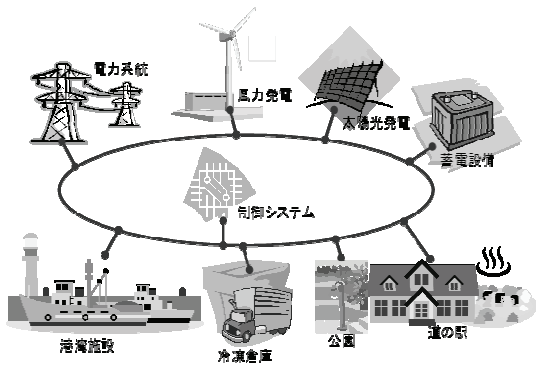


図-2.4 沿岸域ローカルスマートエネルギーシステム

(2) 自己利用型風力エネルギーの評価フロー

図-2.5 は港湾における自己利用型風力エネルギーモデルの評価フローを示している。この評価フローにおいては、中型風車による電力は基本的には自家消費とするが、5.1 で示す使用電力量の現地調査結果によれば、港湾・漁港ごとに電力の使用状況に季節変動性を有する。また、発電量についても季節的な変動がある。そこで、需給バランスのギャップを解消するために、必要に応じて蓄電池の利用による発電量の平滑化を図る必要がある。また、自家消費ではなく、電力会社との売買電とすることも条件によっては必要になる。ただし、具体的な検討は個別条件ごとに大きく異なるので、本資料では発電量、使用電力量について時系列的な変動を港湾および漁港について事例検討した結果を5.3において示し、その地域で中型風車を導入した際の想定発電量との需給関係について検討し、6.において示す。

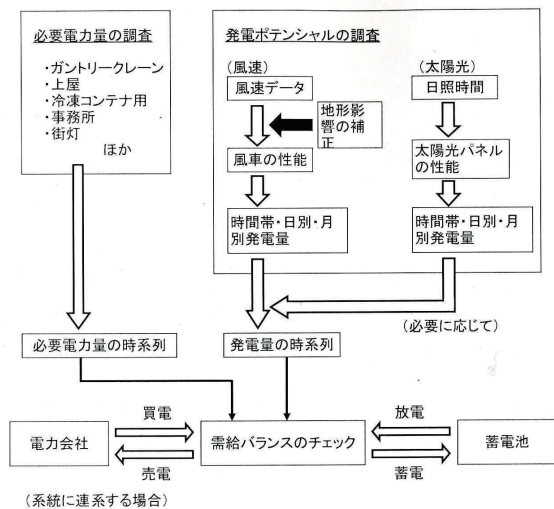


図-2.5 自己利用型風力エネルギーの評価フロー

(3) 地域型風力発電の導入事例

近年、ウインドファーム（大規模風力発電施設）やメガソーラー（大規模太陽光発電施設）など自然エネルギーの大規模な開発に注目が集まっている。一方では、風力発電や太陽光発電など地域に偏在しない自然エネルギーをその地域で消費しようという動きも見られる（斉藤，2013）。ここでは、沿岸域ローカルスマートエネルギーシステムを検討するにあたり、その先行事例ともいえる事例から考察する。ドイツ・ブランデンブルグ州フェルトハイム村では企業と共同で風車を1995年より建設している。一方、その発電電力を自ら村内で消費しようとしたが送配電会社を通しての村内の電力供給が実現できなかったため独自に配電線を引き直接供給することとした。送電線の敷設にはEUおよび州政府からの補助金の交付を受けている。2009年には配電線が完成し、その結果、村での電力料金は、首都ベルリンに比べ2、3割安くなっている。また、熱電供給の仕組みが作られ電力需給バランスの調整も図られている（たとえば中日新聞，2012）。フェルトハイム村の事例は、本資料で提案する沿岸域ローカルスマートエネルギーシステムと類似点がみられるが、村内で発電した電力を自ら消費しようとしたとき独自に配電線を引かなければならなかったことが課題である。導入コストの面で既存の送電線を活用できるしくみの導入が実現性をより高めることにつながる。

2.3 導入評価のための検討すべき事項

(1) 課題の類型化

2.1 で述べた我が国の港湾における電力の使用状況は港湾規模によっても大きな違いがあることが確認された。また、港湾域において洋上風力発電の利活用を積極的に行おうという動きも生まれている。このことから沿岸域ローカルスマートエネルギーシステムの導入においても大型風車を活用した大規模港湾向けの技術開発と中型風車を活用した中小規模の港湾あるいは漁港を対象にしたシステム開発とが想定される。

(2) 大型風車に対する検討課題

風力エネルギーを効率良く取り出すために大型化への取組が欧州を中心に進行している。また、洋上への展開が進んでいる。これらの欧州における技術動向を主として文献調査を行った。これらの内容については3.1において記述する。

また、我が国は国土が狭いため陸上においては風力発電の適地が限定される。そこで風力発電施設への洋上展開が将来的な再生可能エネルギーの利用拡大のために期

待されている。一方では、我が国の周辺海域においては欧州のように遠浅の海域が少ないため本格的な洋上風力発電の展開には至っていないのが現状である。現在、将来の洋上風力発電の実用化のために沿岸に比較的近く水深 30m 程度より浅い海域を想定した着底方式および沖合の水深 200m 程度以下の大水深域を想定した浮体式の洋上風力発電の実証研究が進められており、その動向を 3.2 において述べる。

(3) 中型風車に対する検討課題

風力発電では、風のエネルギーを安全にかつ効率よく引き出すために、発電機の性能を制約条件として作用する風に応じた荷重条件を設定している。従来のヨーロッパからの輸入風車は、ヨーロッパの風の特性に合わせて比較的乱れの少ない風を対象として開発されている。日本におけるこれまでの風力発電の設置場所は、風の乱れが小さく、年間を通じて安定した風が作用する海岸部や高原地が選定されてきた。しかし、我が国は国土のほとんどが山間部であり、今後の風力発電は離島や山間部での開発が増えると予測される。一方、近年の我が国の風力発電がおかれている現状として、上述の海外機種を占める割合が多いこと、国土の地形条件による風の乱れの発生・輸送や建設に制約があること、台風や落雷という自然環境の制約があることが風力発電導入促進の障壁となっている（(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構，2007）。また、近年は建設コスト削減等経済性のスケールメリットを理由に MW 級の大型風車建設が進んでいるが、輸送や建設条件がさらに厳しくなることや、大型化ゆえに景観や騒音が問題になることも多い。離島や山間部への風車建設においては、輸送条件が重要な制約条件となる。特に、MW 級の大型風車の場合、ブレード長は約 30~40m 程度にもなるため、ポルトレーラでの輸送が困難になることが多く、場合によっては道路改良が必要になる。これらの条件が、建設コストを増大させることになる。これらの課題に対する検討については前々報（永井ら，2008）および前報（永井ら，2011b）で述べてきているが、さらに発電効率を高めるために運転際の制御方法の改良を試みており、その結果を 4. において述べることとする。

また、中型風車を用いたローカルスマートエネルギーシステムの実現可能性と課題を調べる目的で、本資料では北海道の日本海側に位置する港湾および漁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し、その結果を 5. において記述する。また、その結果を用いて、当該地域における風速データから推定される発電量の推定結果と対比することに

より沿岸域ローカルスマートシステムの実現性評価のために必要となる需給バランスの評価について 6. において記述する。

3. 国内外の洋上風力発電に関する技術動向

3.1 海外における風力発電の技術開発動向

海外では、陸上での大型風力導入が頭打ちとなり、沿岸域、港湾内、さらには遠方の洋上に設置されることが多くなった。しかし、陸上設置の場合とは異なり、設置コストの増大、アクセス問題によるメンテナンス回数の低下などによりファイナンスの悪化が懸念されている。そのため、洋上風車に特化した技術開発が、欧州を中心に技術開発および評価試験が行われている。

本節では、海外における風力発電の技術開発の動向について、調査した内容を報告する（Koehnemann(2011)；Marsh(2008)；Marsh(2011)；Marsh(2012a)；Marsh(2012b)；Iken et al.(2011)）。

(1) ロータの設計コンセプトの動向

2011 年、Vestas 社は、新型洋上風力タービンの映像を公開し、計画中の試作機の定格出力を 7MW に上げることになると発表した。この計画が実現するならば、このデンマークの市場リーダーであり現在のところ最大の洋上風力タービンである REpower Systems 社ばかりでなく、6MW 試作機を発表した Siemens 社、Alstom 社および Nordex 社をも超えることになる。しかし、市場は、これらの発表に関心を示したが、必ずしも賛同しているわけではなく、これらの新型風力タービンが実際に利用できるまでには何年もかかるであろう。現時点では、これ以上の大きな定格出力は現実的な目標ではない。当分は、定格出力 2~3.5MW の風力タービンが主力であることに変わらない。

a) 定格出力より発電コストが重要

定格出力の増大は、風力業界の最重点課題であるが、最も重要な要素は最大出力ではなく、むしろ発電コストなのである。現在の決定的な指標は €/kWh あるいは US\$/kWh で表される、投資と運転コストに対する発電量の比である。技術的な詳細よりも経済性の結果が、重要な数値であり、主要なエネルギー供給業者および投資家は、それに従って費用を算出する。

例として、ある場所においては、同直径の 2MW 風力タービンは、3MW 風力タービンよりもさらに利益の上がる電力量を発電することができる。

ロータの巨大化による大出力化は、自動的に優位にな

るものではない。つまり、もしタービンの巨大化に対するコストが50%増であったとしても、与えられた場所において、40%増の発電量としかならなかった場合、投資面からすると利益が減ることになる。

この関連の重要なパラメーターは出力とロータ面積の関係であり、換言すれば単位面積当たりの定格出力[W/m²]である(表-3.1)。

この数値が低いほど、一般的に風力タービンは風のエ

ネルギーを有効に活かすことができ、低風速域の間でもある程度の発電をすることが可能で、最大負荷運転時間(定格出力運転時間)では、さらに多くの出力を得ることになる。この値は、年間発電量[MWh]を公称出力(定格出力)MWにより除することによって計算される。多くの発電事業者は、内陸部で年間合計2000時間の最大負荷運転で満足しているが、今日では、3000時間という数値を目標にしている。

表-3.1 各社の単位面積当たりの定格出力

Type	Capacity	Rotor diameter	Hub height	Area-specific output	Type	Capacity	Rotor diameter	Hub height	Area-specific output
	[kW]	[m]	[m]	[W/m ²]		[kW]	[m]	[m]	[W/m ²]
Acciona AW-70	1,500	70.0	80	390	GE Energy1.5-82.5	1,500	82.5	100	281
Acciona AW-77	1,500	77.0	80	322	GE Energy1.6-82.5	1,600	77.0	80	344
Acciona AW-82	1,500	82.0	80	284	GE Energy1.6-77	1,600	82.5	100	299
Acciona AW-100	3,000	100.0	120	382	GE Energy1.6-100	1,600	100.0	100	204
Acciona AW-109	3,000	109.0	120	321	GE Energy2.5-100	2,500	100.0	100	318
Acciona AW-116	3,000	116.0	120	284	GE Energy2.5-103	2,500	103.0	98	300
Alstom ECO74	1,670	74.0	80	388	GE Energy2.75-100	2,750	100.0	100	350
Alstom ECO80	1,670	80.0	80	332	GE Energy2.75-103	2,750	103.0	134	330
Alstom ECO80	2,000	80.0	70	398	Kenersys K82-2.0MW	2,000	82.0	80	379
Alstom ECO86	1,670	85.5	80	291	Kenersys K100-2.5MW	2,500	100.0	100	318
Alstom ECO100	3,000	100.0	100	382	Leitwind LTW77	1,500	76.8	80	324
Alstom ECO110	3,000	110.0	100	316	Leitwind LTW80	1,500	80.3	80	296
Areva Multibrid	5,000	116.0	130	473	Nordex N80	2,500	80.0	80	497
Avantis AV928	2,500	93.2	80	366	Nordex N90	2,300	90.0	105	362
Bard 5.0	5,000	122.0	90	428	Nordex N90	2,500	90.0	120	393
Clipper Windpwer Liberty	2,500	99.0	80	325	Nordex N100	2,500	100.0	140	318
DeWind D6/62	1,000	62.0	65	331	Nordex N117	2,400	117.0	91	223
DeWind D6/64	1,250	64.0	92	389	PowerWind 56	900	56.0	71	365
DeWind D8.1/D8.2	2,000	80.0	100	398	PowerWind 90	2,500	90.0	98	393
DeWind D9.0/9.1/9.2	2,000	93.0	100	294	PowerWind 100	2,500	100.0	100	318
e.n.o. 82-2.0MW	2,000	82.4	101	375	REpower MM82	2,050	82.0	100	388
e.n.o. 82.5	2,050	82.4	108	384	REpower MM92	2,050	92.5	100	305
e.n.o. 92-2.2MW	2,200	92.8	103	325	REpower MM100	1,800	100.0	80	229
Enercon E-44	900	44.0	65	592	REpower 3.4M104	3,400	104.0	128	400
Enercon E-48	800	48.0	76	442	REpower 3.2M114	3,200	114.0	123	314
Enercon E-53	800	52.9	75	364	REpower 5M	5,000	126.0	120	401
Enercon E-70	2,300	71.0	113	581	Siemens SWT-2.3-82	2,300	82.4	100	431
Enercon E-82 E2	2,000	82.0	138	379	Siemens SWT-2.3-82VS	2,300	82.4	100	431
Enercon E-82 E2	2,300	82.0	138	436	Siemens SWT-2.3-93	2,300	93.0	103	339
Enercon E-82 E3	3,000	82.0	138	568	Siemens SWT-2.3-101	2,300	101.0	80	287
Enercon E-101	3,000	101.0	135	374	Siemens SWT-2.3-113	2,300	113.0	100	229
Enercon E-126	7,500	127.0	135	592	Siemens SWT-3.0-101	3,000	101.0	90	374
EWT DW 52	900	51.5	75	432	Siemens SWT-3.6-120	3,600	120.0	90	318
EWT DW 54	900	54.0	75	393	Vensys 70	1,500	70.3	85	386
EWT DW 90	2,000	90.5	105	311	Vensys 70	1,500	76.8	100	324
Fuhrlander FL1500	1,500	77.0	112	322	Vensys 82	1,500	82.3	100	282
Fuhrlander MD70/77	1,500	77.0	112	322	Vensys 90	2,500	90.0	80	393
Fuhrlander FL2500-100	2,500	100.0	141	318	Vensys 100	2,500	99.8	100	320
Gamesa G52	850	52.0	65	400	Vergnet GEV HP	1,000	62.0	70	331
Gamesa G58	850	58.0	71	322	Vestas V52-85kW	850	52.0	86	400
Gamesa G80-2.0MW	2,000	80.0	100	398	Vestas V100-1.8MW	1,800	100.0	94	229
Gamesa G87-2.0MW	2,000	87.0	100	336	Vestas V80-2.0MW	2,000	80.0	100	398
Gamesa G90-2.0MW	2,000	90.0	100	314	Vestas V90-2.0MW	2,000	90.0	125	314
Gamesa G92-2.0MW	2,000	97.0	100	271	Vestas V90-3.0MW	3,000	90.0	105	472
Gamesa G128-4.5MW	4,500	128.0	120	350	Vestas V112-3.0MW	3,000	112.0	119	305
GE Energy1.5-77	1,500	77.0	85	322	WinWinD WWD-1	1,000	64.0	70	311
					WinWinD WWD-3	3,000	100.0	100	382

b) 単位面積当たりの定格出力の減少

コスト的に最も有利になるように発電量を基準として、GE Energy社は、1.5MW風力タービンが定評を得るための戦略的設計管理を行っている。公称出力に対して極めて大きなロータが、最大発電量を実現させる一方で、数多くの風力タービンを売り、完全に合理化したサービスコンセプトによって投資と運転コストを低減させているのである。

この最初の建設は1995年にまでさかのぼるが、1.5MWタービンによる長年にわたる経験と、一貫した開発を行うことで、低い故障率と高い設備利用率を提供している。GE Energy社では、ベストセラーである1.6MWタイプでの成功事例を確立するための計画を継続的に立てており、そこではロータ直径を100mまで大きくすることが提案されている。

そのような風力タービンのロータ直径は、単位面積当たりの出力を204W/m²まで押し下げる。このような非常にW/m²の低い数値は、低風速域においてさえも、高い発電量と低い設置コストを保障することが期待される。

しかしながら、1.5MWもしくは1.6MWの出力の風力タービンは、最近では、広大で人口の少ない場所、例えばアメリカ中西部もしくは中国に対して販売されているにすぎない。それに対して、ヨーロッパでは、上記のプロジェクトに対して地価が高すぎるため、発電事業者は利用可能空間にできるだけ多くの設備容量を詰め込むことが強いられることになる。

その結果として、Nordex社は、GE社と同様の開発手法を取り入れ、次世代の高出力クラスの開発において、既に実績のある機種とものにして、出力を増大させた機種を生産することを決定した。2010年の会社設立25周年の行事で”Generation Gamma”を発表し、Nordex社は、2.5MWタービンのあらゆる尺度を維持して、生産することを明らかにした。この理由は単純で、顧客が世界のどの場所でも最小コストで最大発電量の得られる実用的な風力タービンを得られるようになるためである。

2000年に販売開始したN80機は、こうして第3世代の風力タービンとして参入したが、これをベース機として、N90機やN100機が量産されている。N117機(2.4MW)は、すぐに市場に登場することになり、典型的な内陸地においても、約3500時間の最大負荷運転を達成することに期待を寄せられている。この単位面積当たりの出力は、ちょうど223W/m²であり、他の全ての同程度の風力タービンをしのぐ数値である。

競合機種は、MM100 (REpower), V100(Vestas)およびSiemensの第2世代ダイレクト・ドライブ機であるSWT-2.3-113がある。

c) ロータの巨大化の限界

各社は、ロータの巨大化の限界に関する試験を行っている。3MW級では、単位面積当たりの出力300W/m²が下方規模における次の目標である。REpower社は既に3.XMWタービン

でこの値に近づいた。低風速地帯でも同様の出力を得るために、REpower社はロータ直径を104mから114mに増大させ、それと同時に定格出力を3.4MWから3.2MWに減少させ、その結果、単位面積当たりの出力は400W/m²から313W/m²に低下した。なお、Vestas社の新機種であるV112は、305W/m²であり、さらに効率的である。

これらの2社が3MWクラスの分野で優勢的であり、唯一、その2社を上回るのが、Acciona社のAW-116の計画である。

Alsom社のECO110も比出力317W/m²である。これに続く機種は、Siemens社の洋上用風力タービンSWT-3.6-120である。それにEnercon社のE-101、Siemens社のSWT-3.0-101およびWinWinD社のWWD-3がかなりの隔りがあるものの、それらに続いている。

一方、小規模風力タービンでは、Enercon社のE-70が、単位面積当たりの出力581W/m²を示すが、この風力タービンが、強風地域に適した唯一のものである。Enercon社は、公称出力に対応してロータサイズを大きくする風力タービンを提供せずに開発をするという点で極めて際立っている。その開発方針は、ブレードはハブに向かって細くするより、むしろ幅広にするという特別なロータ・ブレード形状にすることで、風からのエネルギーを有効に使用することができ、相対的に高い単位面積当たりの出力を得ている。

4MWから5MW級は、現在のところ商用機としては存在しない。ひとつの新プロジェクトとして、Gamesa社が開発した、これまでに開発されたどの風力タービンよりも大きいロータ受風面積12.868m²のG128-4.5MWについて記述することができる。二種類の試作機は、いくつかの試験を経験し、これまで5年間の運転実績を蓄積した。G128の大量生産が、まもなく開始される。その大きさにも拘らず、この新機種は陸上設置のみに提供することを意図している。そのヒントは、単位面積当たり出力が350W/m²と比較的小さい数値から読み取ることができる。

d) タワーの高さ

発電出力の増大は、ロータのブレード長さを増加させるだけでなく、ハブ高さを増大させることにも係る。多くの地域で風車の設置場所が少なくなってくるのに伴って、近年注目されているのは、森林地帯における風のエネルギー利用の可能性である。仮に、ロータ・ブレードが樹木上部の乱流層の影響を受けないことが保障されるくらい高いタワーの上に風力タービンが設置される場合にのみ、重要な選択肢となる。この分野の先駆者であるEnercon社では、ときにはE-82をハブ高さ138mで利用可能にし、現在は、若干低いタワーを有するE-101と共用している。GE2.5はハブ高さ134m、Repower 3.2Mおよび3.4Mはそれぞれのハブ高さ123mおよび128mのものを提供している。最近のNordex社は、N100でハブ高さ140mを投入している。これら全ての風力タービンに共通することは、ブレード先端

までの高さが 180m から 190m ということである。いずれにせよ、タワーを高くすることでそれらのハブ高さに追加的な発電量を期待することができる。

(2) 増速機タイプとギヤレスタイプ

2020 年までに EU 圏内では洋上風力発電の設備容量を合計 65GW 導入することになっている。このうち、25GW が 2014 年までに英国の沿岸部に設置され、10GW が 2020 年までにドイツの洋上に設置される計画になっている。これらの目標は、風力市場の現実的な加速を意味する。英国の Round 3 の開始に呼応して、各社はこの主要市場の一部を確保するために信頼性のある 4~7MW クラスの超大風力発電機を開発することを発表した。

これは、限られた予算もしくは限られた銀行の融資を有する特定の施主に限定されるので、既存メーカーのさらなる競争環境を生み出すことになる。主要な施主は、主要な欧州電力供給者の Vattenfall 社、DONG Energy 社、E.ON 社、Scottish and Southern Energy 社および Statkraft 社である。洋上風力発電を有するこれらの電力供給業者のビジネスにおいて、財政面でのリスクを最少化するため、運用と保守に大きなコストをかけずに、風力タービンの信頼性の高い運転をすることが求められている。それに応じて、およそ 12 社が新たなプロトタイプを発表し、新たな風力発電機の試験を実施した。

全てのメーカーに対する決定的に重要な基準は、風車の稼働率とそれに関する、これらの装置の信頼性が高く、故障のない運転方法である。各社の技術開発部門より各社異なった解決方法が提案されている。数社は、洋上での検証がまだなされていないものの、解決方法はダイレクト・ドライブ型であると楽観的である。一方の数社では、既存の技術的問題点を打開することを目標として、従来のドライブ・トレインの改良型を採用している。

a) Alstom 社の最長ロータ・ブレード

Alstom 社は、洋上風力部門を創設して、2014 年末までに定格出力 6MW のシンプルで頑丈な構造の風力発電機である、ECO110 の生産を計画している。このフランスの発電設備建設会社は、種々の洋上風力ファームの変電所プラットフォーム建設の実績を既に有しており、2007 年には、スペインの風力発電機メーカーである Ecotecnica 社を買収し、ダイレクト・ドライブ型の風力発電機を用いている。この風力発電機は、これまでの世界中の永久磁石発電機型分野で最大の出力となるもので、ロータ直径は 180m という記録破りなものである。ロータ・ブレードは、新たな翼型を採用することになっており、デンマークの LM Glasfiber 社より供給される。

ダイレクト・ドライブ型と平行して、風力タービンの設計の付加的特徴のひとつは、純トルク方式コンセプトと呼ばれるものであり、柔軟性がありとても長いシャフトを有しており、それにメインロ

ータが取り付けられている。二つの弾力性のあるカップリングがロータと発電機を隔てており、軸方向と回転方向の荷重は支持構造に直接的に伝達させることが確保されている。

プロトタイプ機は、ゼーブリュッヘに近い沿岸およびイギリス海峡に 2011 年および 2012 年に設置された。Alstom 社は、洋上風力発電機のコストはタワー頂部の重量によって決まると確信しているが、ナセル重量については、明らかにしていない。



図-3.1 Alstom 社の ECO100 モデル

b) Vestas 社の V164 計画

世界の風力市場を牽引するデンマークの Vestas 社は、7MW クラスのギヤボックスを信頼し続けている。最初のプロトタイプを完成させた翌年、直径 164m のロータを有する新 V164 の生産を 2015 年より開始する予定である。

同社は、ダイレクト・ドライブ班、高速および中速のギヤボックス改良班の 3 班を編成して検証を行った。その中で、最も有利な解決法は、中速ギヤボックスを有する風力発電機であると結論に至った。一つの懸念要素に、レア・メタル、レア・アースの価格および調達リスクであり、それを回避することで、投資および運転コストの両方の点から最適な風力発電機を顧客に提供できると判断した。

Alstom 社と同様、Vestas 社も純トルク方式を同様に採用し、風の力の関連の荷重モーメントを直接的に支持構造に伝達している。ハブを含むナセルの重量は約 390t である。技術的課題と平行して、デンマーク人はこの新たに開発した風力発電機に対して主な金融要因に焦点を合わせている。三つの主要因は、年間平均風速、洋上風力発電の主要な欧州市場の水深およびロータ直径である。

同社は風力発電機の大規模化および設置水深の大水深化によって、基礎のコストは増加すると考えている。その理由として、風力発電機は、風速 9m/s の下で定格出力を達成できるようにするため巨大なロータが必要になると予想しているからである。

c) GE 社のプロトタイプ機

米国の大企業である GE 社は、ギヤレス型の設計に絶対的な信頼を寄せている。定格出力 4MW、ロータ直径 110m のギヤレス洋上用風力発電機を既に開発し、ノルウェー沿岸でいくつかのプロトタイプの設置経験のある、ノルウェーの ScanWind 社を、GE 社は 2009 年に買収した。その後、いくつかの技術的見直しにより完成度を高め、GE 社は、最初で最後のプロトタイプを、2012 年 11 月、スウェーデンのゴートンブルグに設置した。この風力発電機は、定格出力 4.1MW、ロータ直径 113m である。永久磁石型発電機は分解することができ、空冷・水冷の両方の冷却機能を有し、その重量は 82t、ナセル総重量は 275t となる。

ダイレクト・ドライブ型の有用性を決定づけたのは、アークロー・バンク・ウィンド・パークで GE 社が既に取得した実験結果が基礎になっている。

同社の経験から、増速タイプは、クレーン、修理およびメンテナンス費用が著しく高価であるため、海上における長期間の風力発電には不適切であると結論付けた。アイルランドのウィンドファームにおいて、まさに1機のギヤボックスを交換した時の費用は 150 万ユーロであった。

GE 社は、ダイレクト・ドライブ型が高い利用率とメンテナンス軽減をもたらし、その結果、さらに経済的な発電電力となると推測している。各種の動力伝達系の費用利益を比較すると、20 年間の寿命において 9.1%と評価されている。GE 社は、この風力発電機の連続生産をいつ開始するかについては、未だ決定していない。



図-3.2 GE 社のプロトタイプモデル

d) Nordex 社のプロトタイプ機

2011 年 8 月末、北ドイツに本拠地を置く Nordex SE は、新型の N150/6000 洋上用風力発電機の認証をテュフ・ノルド社に依頼した。この型式認証の工程では、洋上に設置することが必須条件である。Nordex 社は、最初のプロトタイプ機を 2012 年に製造した。開発技術者達は、ドライブ・トレインにダイレクト・ドライ

ブ型を、定格出力は 6MW を選択し、永久磁石型発電機および逆変換装置を装備している。

これらを選択した理由は、運転が容易で信頼性があるからである。Nordex 社によると、これはコストに影響を与えると同時に、洋上風力利用に特化した信頼性のある風力発電機設計の開発が必要であったためである。例えば、モジュール組立式の設計では、ロータ・ブレード・スターを移動させずに部品を交換することが可能になる。ちなみに、ロータ・ブレードは、直径が 150m と印象的である。Nordex 社は、ロータ・ブレード構造について、社内の経験を基に、70m を超える長さのこれらロータ・ブレードの製造が可能であり、この風力発電機は、この分野で最も長い機種の一つになった。



図-3.3 Siemens 社のプロトタイプモデル

e) Siemens 社の一体成形のロータ・ブレード

Siemens Energy 社は、既に一段階リードしている。洋上風力市場における世界のリーダーである同社は、2011 年の初夏、デンマークの Høvsøre で新たな発電方式のプロトタイプの洋上風力発電機を設置した。この風力発電機は、ダイレクト・ドライブ型の保守の信頼性を実際に検証する計画でもあった。SWT-6.0-120 の定格出力は 6MW で、発電に寄与するロータ直径は 120m である。ナセル部重量は 350t と比較的軽く、コストを抑えることに役立つはずである。

この風力発電機において、Siemens 社は、中規模風力発電機よりも不釣合いに重量が大きくなる傾向にあった、高定格出力タイプの慣例に執着しなかったことにより、SWT-6.0-120 は、2～3MW クラスと同様の MW 当たり重量となった。

試行連続生産の一環として、Siemens 社は、これらの風力発電機を最適化するために、2 年間でさらに 2 機の風力発電機を設置した。連続生産は、2014 年より開始する予定である。

SWT-6.0 のロータ・ブレードは、これらの大きさよりむしろこれ

らの製造工程が注目に値する。従来型ロータ・ブレードは、2つの半外郭を接着して作られている。しかしながら、Siemens社は、特許を得た、接着工程のない一体成形工程のロータ・ブレードを採用している。Siemensは、この特許をベースに、ブレード技術の市場におけるトップの地位を確立することを望んでいる。

f) 2-B Energy社は2枚翼ブレードを選択

定格6MWの風力発電機は、洋上風力産業における、新たな基準として確立されつつあるように思われる。オランダの2-B Energy社により供給される、新たな洋上用風力発電機も、ここでは例外ではない。しかし、それは他の供給元との類似点があるところである。この分野における有名人であり、開発グループのリーダーであるMikael Jakobsson氏は、2枚翼ロータ・ブレードという極めて大胆な動力伝達設計を行った。

これは原理的には新しいものではなく、すでに2枚翼風力発電機は1990年代より存在する。しかし、2枚翼固有の設計上の難点である視覚的効果と大きな騒音は、海上では当てはまらないことから、こららがオランダの開発者達が開発を決定した主な理由であると思われる。それどころか、2枚翼風力発電機の特別な利点が、洋上仕様において生かされている。すなわち、3枚目の翼が存在しないことがコストを抑えることになり、また2枚翼ロータは設備の単純化につながる。後者の特徴は、海上において主要な長所となる。2-B Energy社および米国拠点のNordic Windpower社も同様に、2枚翼仕様の長所を探し出してもう一度利用したいという、洋上風力分野では型破りな企業である。しかし、ここでの必要条件は、設計者が、2枚翼風車の運転につきまとう極度の負荷変動に対処しなければならないため、非常に要求が厳しい。それに対応することによってのみ成功する機会を得るであろう。

g) Gamesa社の7MW風車と基礎

スペインの企業であるGamesa社は、2種類の風力発電機に着手している。最初の風力発電機は、定格出力5MW(G11X)で、米国バージニア州チェサピークで開発され、一方は、スペイン人が開発した2号機は、G14Xと称され、スコットランドのグラスゴーにある定格出力7MWである。このメーカーは、2つの風力発電機にコンパクトな2段遊星ギヤボックスと逆変換装置および永久励磁型発電機を採用している。

同社はこの技術の特許を有している。重機の使用を最小限にするため、特別な高性能クレーンをナセルに組み込んだ設計になっている。また、米国企業で潜水艦の建造も行うNorthrop Grumman社と綿密な仕事により、定格出力5MW、ロータ直径128mのG11Xの発電機を開発した。

Gamesa社は、信頼性確保のため、他にも特許に4億5千ユーロ、適合する基礎技術の開発に5千ユーロの投資を行っている。

Gamesa社が開発する設置コンセプトは、基礎建造も含むこ

とであり、米国の最大造船会社のNewport News Shipbuilding社と提携している。最初の7MW風力発電機は2014年までに開発が終了し、連続生産は2015年より開始することになっている。

h) Bard社、多段式ギヤボックスの新規開発

Bard Groupは、ギヤボックス方式を堅持し、2011年初めよりドイツの北海沿岸で定格出力6.5MWの2機種のプロトタイプを試験を行っている。このターン・キー・ウィンドファームの供給者は、洋上風車に特化したBard 5.0を供給することができ、これに対しては特製の基礎と設置方式を開発している。最初のプロジェクトである、Bard Offshore 1(80機の風力発電機)は、2013年に北海のドイツの領海に立ち上がった。同社のデータより、5MWおよび6.5MWの風力発電機は、寸法に関して同一で、直径120mのロータを有している。出力の増加は改良前の風車がもともと持っていた予備容量と“もうひとつの新技术”によるものである。両方のプロトタイプ機は、Winergy AG社の新たなMulti Duoredギヤボックスを採用しており、ナセル重量は280tである。このコンパクトな最近開発されたユニットは、遊星ギヤによる変速を必要せず、メインシャフトの動力を8分割して変速・伝達する方式である。動力は半分ずつ、最終的にそれぞれが3.4MW×2基の同期発電機に効率的に伝達される。

当初、Bard社は、可変回転速度にかかわらず一定出力で発電が可能で、Voith Turbo Wind GmbH社のハイドロ・カップリングと改良型電氣的ギヤボックスの試験を計画していた。しかし、同社は、プロトタイプオイル飛散時の対処が必要となるため、それに対応できる試験サイトを見つけ出すことができなかったため、当該技術は採用しなかった。

i) ギヤレス増速

上記以外にも、ギヤレスで増速を提供する機構がある。多数の一定の増速比ギヤの代わりに、流体システムを採用することで、増速比をスムーズな連続可変速にすることが可能となる。Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering社の系列会社であり米国に拠点を持つDeWind社は、この方式を採用し、船舶用および産業用での利用で十分な実績をあげたVoith社の可変速伝達システムを採択した。

遊星歯車と流体トルクコンバータを組み合わせたDeWind社のWind-Driveシステムの大きな利点は、電力変換用の電子機器を必要としないということである。“ギヤボックス”の出力軸を、要求される任意の回転数に設定することができるため、電氣的な調整を用いずに同期発電機に接続することができる。流体システムのもう一つの利点は、入力軸と出力軸がそれぞれ流体によって事実上切り離されており、その結果、発電機への振動やトルク変化の急激な伝達を防ぐことである。

(3) 将来の方向性

洋上風車は、メンテナンス性の容易さを追求するあまり、部

品点数の削減を選択しがちであるが、それは必ずしも常に最高の戦略とは言えない。例えば、ダイレクト・ドライブの期待される高い信頼性は、反対に発電機の直径と重量の増加とそれに伴うナセルサイズおよび発電機の風損の増加についてのトレードオフを考慮しなければならない。一方、PMG の高い効率の反面、全電力を取り扱うパワーコンディショナが必要になるというバランスを勘案しなければならない。

ダイレクト・ドライブの技術はいまだに未知なる不安要素もあり、これまでにないリスクが存在するかもしれない。洋上でのダイレクト・ドライブ機について、これまでは限られた経験しかないため、その新規性が故障の主因になるかもしれない。

部品点数の削減とは全く逆になるような方法での信頼性を増大するための代替戦略は、冗長化である。システムもしくは要素の複数化を図り、単独故障を許容するようにすることである。特にどんな故障も記録されるように遠隔監視と連携した場合には、非常に効率的でありうる。しかし、この戦略が支出以上に利益を得るためには、必然的に部品点数は増加することから、信頼性への利点がより多くのコンポーネントを具備することの弊害を上回らねばならない。

また、ギヤードとギヤレス技術の間の妥協点は、双方の極端な特徴を避けた、ハイブリッドシステムである。単段ときには2段のギヤは、相応の直径の回転子を有する中間の極数の発電機と連結される。その結果、発電機とギヤボックスは、ほぼ同じサイズとなり、ギヤレスよりも寸法的にバランスのとれた配置となる。これらの要素は、比較的コンパクトなナセルに収容することができる。単純化したギヤボックスは部品がより少なく、標準的な3段型よりさら高い信頼性が得られるはずである。

それでもなお、業界内の多くは、洋上風車の成長の経験に合わせ、ダイレクト・ドライブもしくはハイブリッド化が、その経済的価値を証明するであろうと期待している。

3.2 我が国における大型洋上風力発電をめぐる技術開発動向

東日本大震災は、津波防災ばかりでなく、我が国のエネルギー問題にも大きな問いかけを投げかけた災害であった。福島第一原子力発電所の事故を契機として、自然エネルギーの有効活用が、これまで以上に喫緊の課題として、社会的注目を集めるようになってきている。

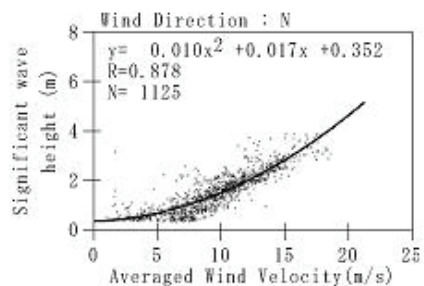
3.1 で述べたように、欧州では、既に、洋上風力発電設備が非常に数多く建設されている。他方、我が国は、排他的経済海域（EEZ）の広大さでは世界有数の国であるにもかかわらず、洋上風力発電は、まだ欧州のように本格的な実施には至っていない。これまで、我が国における洋上風力発電の実現が遅れたことには、それなりの背景があるこ

とは言うまでもないが、今後は、社会的な強い要請をふまえて、実現に向けて大きく動き出すことは間違いない。こうした中で、下記の動向が注目されている。

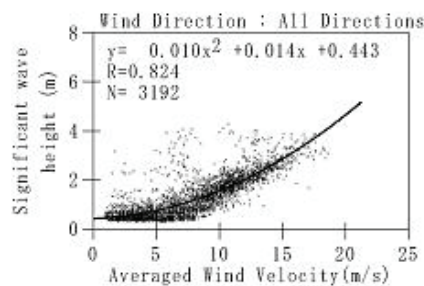
(1) 洋上風況の把握を通じた着定式洋上風力発電

2009年度以降現在に至るまで、港湾空港技術研究所は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）から、洋上風況観測システム実証研究（北九州沖）を、電源開発（株）および伊藤忠テクノソリューションズ（株）とともに受託し、図-3.4に示すように、国土交通省港湾局からご提供いただいたGPS波浪計で観測されたデータをもとにして、洋上風の波浪との結合出現特性を検討するとともに（永井ら、2011a、永井ら、2012a）、写真-3.1に示すような洋上風況観測塔を建設し、我が国沿岸の洋上風の出現特性の解明をめざしている。北九州沖の洋上風況観測塔は、2012年度後半に完成し、観測データの測得が行われている（鷲尾ら、2013）。また、観測塔近傍には2MWの実機洋上風車も建設され、洋上風力発電の実証研究も並行して行われている。

なお、NEDOによる同様の研究は、太平洋岸千葉県銚子沖においても、東京大学・東京電力が受託し、並行して実施されているところである。



(1)有義波高（風向N）



(2)有義波高（全風向）

図-3.4 GPS波浪計で得られた波浪と洋上風の相関例

- (1)縦軸：有義波高，横軸：平均風速，風向N
- (2)縦軸：有義波高，横軸：平均風速，全風向



写真-3.1 北九州沖に建設中の洋上風観測塔と洋上風車

(2) 浮体式洋上風力発電実証事業

環境省では、2010年度より、浮体式洋上風力発電実証事業を長崎県五島列島杵島沖海域で進めている（永井，2012b）。

この実証事業は、いわば我が国全体の英知を結集して、世界的にもノルウェーで実施されている実証試験などを除いてほとんど実施例のない開発段階の次世代技術である浮体式洋上風力発電の実用化をめざすものである。写真-3.2は、五島列島杵島沖海域に設置された実証試験用100kW浮体式小型洋上風車の設置状況を示したものである。2013年10月には、2MWの浮体式大型風車による実証試験が同海域で開始された。写真-3.3は、2MW実証試験機を示したものである。

なお、2013年度には、経済産業省からの受託を受け、(株)丸紅等の企業連合体による浮体式洋上風車が福島県沖にも設置され、実証試験が始められている。



写真-3.2 長崎県杵島沖 100kW 洋上風車 (2012.6.13.)



写真-3.3 長崎県杵島沖 2MW 洋上風車 (2013.11.25.)

4. 中型風車の制御方法と発電性能向上の検討

4.1 開発風車の概要

風力発電では、風のエネルギーを安全にかつ効率よく引き出すために、発電機の性能を制約条件として作用する風に応じた荷重条件を設定している。従来のヨーロッパからの輸入風車は、ヨーロッパの風の特性に合わせて比較的乱れの少ない風を対象として開発されている。日本におけるこれまでの風力発電の設置場所は、風の乱れが小さく、年間を通じて安定した風が作用する海岸部や高原地が選定されてきた。しかし、我が国は国土のほとんどが山間部であり、今後の風力発電は離島や山間部での開発が増えると予測される。一方、近年の我が国の風力発電がおかれている現状として、上述の海外機種の内訳の割合が多いこと、国土の地形条件による風の乱れの発生・輸送や建設に制約があること、台風や落雷という自然環境の制約があることが風力発電導入促進の障壁となっている（(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構，2007）。また、近年は建設コスト削減等経済性のスケールメリットを理由に MW 級の大型風車建設が進んでいるが、輸送や建設条件がさらに厳しくなることや、大型化ゆえに景観や騒音が問題になることも多い。

以上のような日本における風車建設状況を鑑み、今後の風力発電事業を活発にするためには、離島および山間部において風力発電の導入を促進することのできる、厳しい気象条件および輸送・建設の条件に適合した中規模風車が必要と考えられる。また、このような仕様の風車は、輸送条件や気象条件の厳しい離島においても適していると考えら

れる。ここでは、上記コンセプトにより開発した中規模風車の概要を説明する。

4.2 基本的な仕様と設計条件

(1) 開発風車の仕様

開発した風車の基本仕様と特徴を表-4.1、図-4.1に示す。写真-4.1は、実証試験の全景である。実証試験は千葉県富津市の榎駒井ハルテック工場内で実施した(図-4.2)。定格出力300kWの水平軸プロペラ型風力発電設備である。ローターはアップウィンド型3枚翼の可変ピッチ制御システムを採用した。カットイン風速は3.0m/s、カットアウト風速は25.0m/sである。

本風車は、離島や山間部の建設を想定して、大型トレーラーを使用せずに、4m幅の道路でも通行可能な通常の10tトラックあるいは低床15tトラックを使用して輸送できるように部材の長さや重量を設定した。

表-4.1 開発した風車の基本仕様

定格出力	300 kW
ローター直径	33.0 m
定格回転数	40.5 rpm
回転数範囲	(可変速) 12.0~47.6 rpm
カットイン風速	3.0 m/s
カットアウト風速	25.0 m/s
耐風速	70.0 m/s

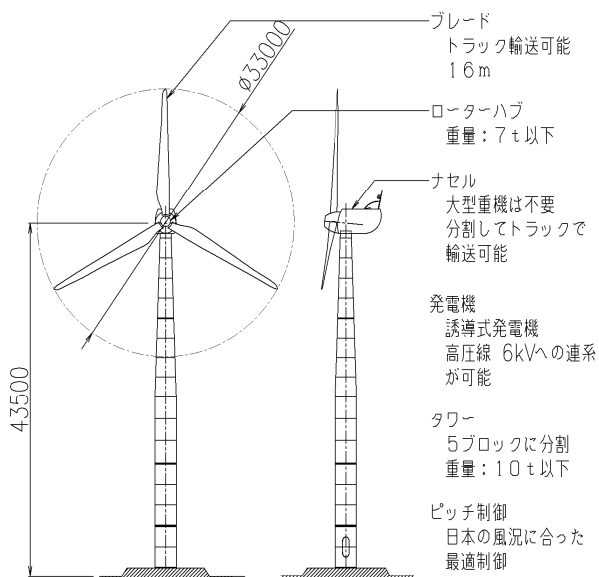


図-4.1 開発した風車の特徴



写真-4.1 実証試験の全景(駒井富津工場)

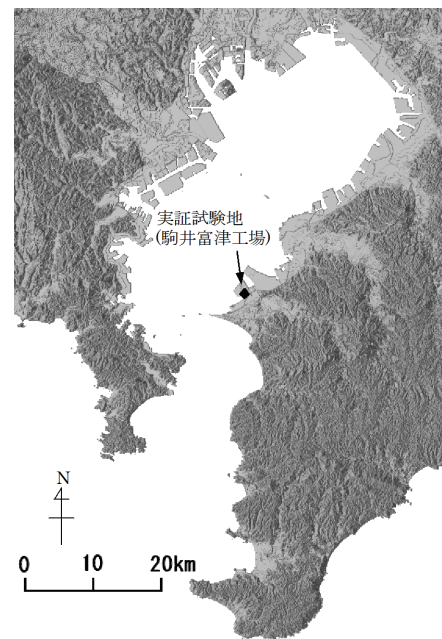


図-4.2 実証試験地

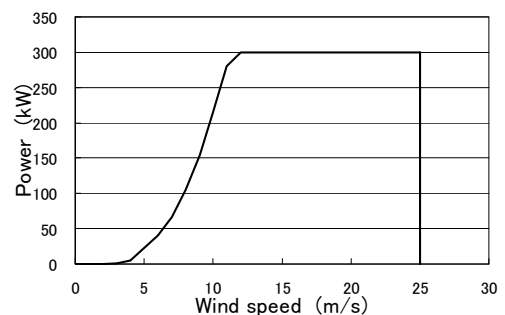


図-4.3 KWT300の設計パワーカーブ

縦軸：出力，横軸：風速

(2) 風車クラス

風車クラスとして、世界的な設計基準である IEC（国際電気標準会議、IEC-61400-1(1999)、IEC-61400-24(2002)）の条件を満足すると共に、日本特有の風の特性も考慮して、風車クラスの条件を設定して設計した。風の条件を決めるパラメータは、国内の起伏が多いという地理的条件、台風に対する被害が多いという気象的条件を考慮して、年平均風速をクラス II として基準風速と乱れ特性を大きく設定して「II A⁺」とした（表-4.2 参照）。

表-4.2 IEC 風車クラスと開発風車の位置付け

風車クラス	I	II	III	開発風車	
基準風速 $V_{ie}(m/s)$	50	42.5	37.5	50	
年平均風速 $V_{ave}(m/s)$	10	8.5	7.5	8.5	
乱れ特性	A	I_{15}	0.16	0.16	0.18
	B	I_{15}	0.14	0.14	

ここに、A : 高い乱れ特性のカテゴリ
 B : 低い乱れ特性のカテゴリ
 I_{15} : 風速 15m/s 時の乱れ強度の特性値

4.3 風車制御方法による発電性能の改良効果

(1) 風車制御の概要

風車制御は、各種センサー、最適制御値の計算、風車制御、モニター出力などを総合的に関連させたシステムを構築し使用している。常時、発電状態を監視すると共に各種センサー情報を収集しその情報をもとに最適な制御値を計算している。また、それらの値を記録するとともに、風車の全体的な安全を監視しながら運転制御を行っている。

また、制御システムは、風車の状態、エラー、警告などの情報をステータスコードとして表示しており、各ステータスコードに設定されたプログラムに従い、風車の運転を行っている。

風車の出力は、定格風速にいたるまでは風速の上昇のあわせて出力も増加する。その際、ブレードのピッチ角は固定されているが、定格出力にいたると出力を一定とするために、ピッチ角を変動させている。

図-4.4に簡略化したフロー図を示す。

(2) 定格トルク一定制御

前項で述べたように、開発風車の出力を制御するためにピッチ制御を行っている。ピッチの動作速度は 6° /秒であるため、風の変動と比べると応答性は低く、瞬間的な突風がロータに流入したときに、ピッチ制御が風の変動に追いつかず発電機の回転数が過回転となり、発電機を損傷させてしまう。そこで、開発風車では、発電機の回転数と発電機のトルクとの関係を定めて、定格風速付近以降の出力を安定させてようとしている（図-4.5）。図中の一点鎖線で示す

ように、定格回転数にいたるまでは回転数の上昇とともに回転数とトルクを定格にもっていく。定格回転数になると破線で示すようにトルクを一定とすることでトルクによる回転数上昇を抑えようとするものである。

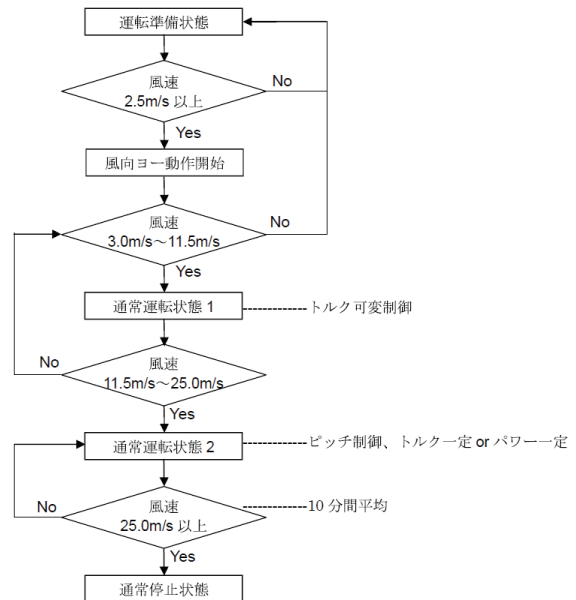


図-4.4 制御フロー

図-4.6 に設計パワーカーブとの比較を示す。なお、実際に得られた計測パワーカーブは、2012年4月から7月の計測データを使っている。

図-4.6 より、定格風速にいたるまでは、出力は設計パワーカーブと一致しているが、定格風速付近で設計値より出力が下がっていることがわかる。これは、パワーカーブにおける定格風速においてピッチ制御が開始される制御上の非連続点となっていることによる。ピッチ制御により出力を一定にしようとしているものの、発電機が過回転にいたり、発電機の損傷を防ぐために風車安全システムが風車の運転を止めることによる。

(3) 定格トルク可変制御

定格トルク一定制御では、定格風速付近の出力が設計パワーカーブと乖離することがわかった。そこで、新たな制御方法として、定格トルクを可変とし定格風速付近もトルクを回転数に応じて増大させる制御を試みた。

図-4.5 の実線でトルク可変制御の回転数とトルクの関係を示す。定格回転数になると定格トルクで運転するが、回転数の上昇とともにトルクも上昇させ、発電機の発生トルクで回転数を抑える効果を図っている。ただし、さらに回転数が上昇して発電機のトルクが発電機の限界トルクに達するとトルクを一定として発電機損傷を防いでいる。

図-4.6にはトルク一定制御と可変制御の比較を示す。なお計測パワーカーブは季節による風の変動特性が影響しないように、トルク一定制御の計測期間とあわせて2013年4月から7月の計測データを使った。

トルク一定制御と比較して、トルク可変制御が定格風速付近の出力を改善させていることがわかる。改善効果は出力として最大5%程度上昇している。

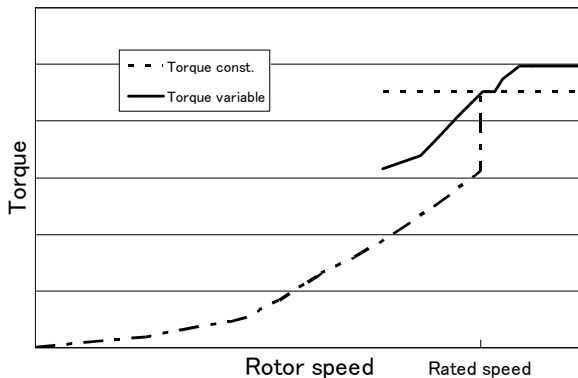


図-4.5 トルク可変制御の回転数とトルクのイメージ図
縦軸：トルク，横軸：ローター回転数，定格回転数
点線：トルク一定制御，実線：トルク可変制御

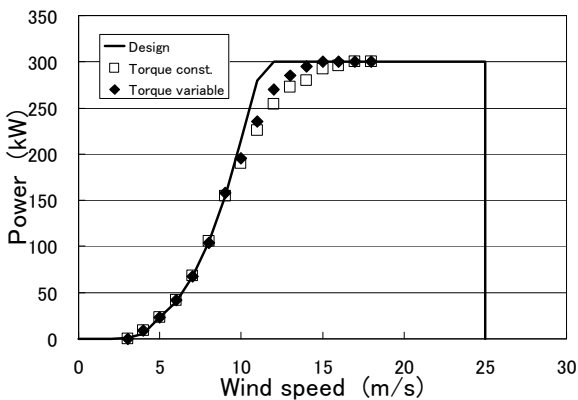


図-4.6 トルク一定制御と可変制御のパワーカーブ
縦軸：出力，横軸：風速，実線：設計パワーカーブ，
□：トルク一定制御，◆：トルク可変制御

(4) 今後の課題

風車制御において、トルク制御方法によりパワーカーブが改善されることがわかった。

開発風車のような中型風車は大型ウィンドファームに使用されることは少ないが、自己消費型の風車として港湾地域や工場などに1基もしくは2基程度で設置されることが期待される。その場合、多数の機数の風車があるウィンドファームより、発電性能向上の影響は大きい。したがっ

て、少しでも発電性能を向上させることは重要となる。

ただし、トルク可変制御により改善されたパワーカーブでも設計パワーカーブとの乖離がどうしても生じる。この乖離をいかになくすかが今後の課題である。

5. 港湾・漁港における電力利用の実態と使用電力の変動性の推定

5.1 港湾・漁港における使用電力量の実態

(1) ヒアリング調査

沿岸域ローカルスマートシステムの構築のためには港湾や漁港などを核とした沿岸域における電力の使用実態や導入に際しての課題を明らかにしておく必要があることから、北海道北部の日本海側に面する港湾・漁港において、電力の使用状況を調査した。この地域では、年間の平均風速が大きく風力発電施設の立地上の有利さがある。このため、我が国における大型ウィンドファーム導入の初期の段階では風車建設が進んだが、系統連系上の容量の限界や電力会社の電力買取量の制約により、メガワット級の風車の更なる建設が厳しい状況となっている。東日本大震災後の我が国の電力事情の激変から自然エネルギーの広域的な利用のために電力系統強化の対策も進められているが、地域における自然エネルギーの利活用の可能性を探るとともに、導入に際しての諸問題を明らかにすることを目的にヒアリング調査をおこなった。調査を行った港湾・漁港および調査日は表-5.1のとおりである。ヒアリングは、一次ヒアリングを3港湾2漁港に対して行い2008年度の使用電力量を調査した。また、二次ヒアリングを1港湾1漁港に対して行って2009年度、2010年度の使用電力量を調査した。

表-5.1 港湾・漁港へのヒアリング調査日
(一次調査)

港湾・漁港	調査日 (2009年)
A 港	9月25日
B 港	10月16日
C 港	10月16日
D 漁港	10月15日
E 漁港	10月15日

(二次調査)

港湾・漁港	調査日 (2012年)
A 港	1月25日
E 漁港	1月15日
同上	3月22日

図-5.1 は調査を行った地域の2005年1月～2006年12

月のアメダス観測点における月別平均風速を示す。各観測点はいずれも日本海側に面している。観測点を表すアルファベットは表-5.1の港湾名とは異なる。いずれの観測点においても冬季に平均風速が大きく、夏季に平均風速が小さくなるという傾向がある。

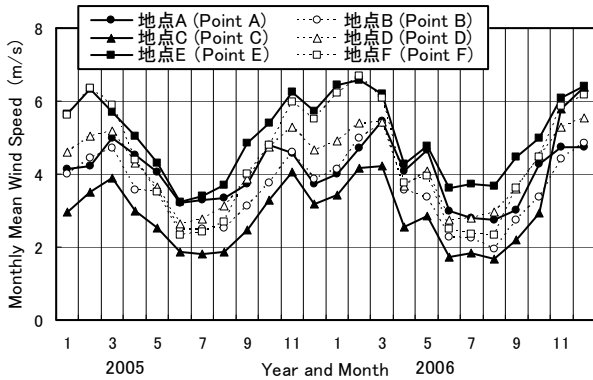


図-5.1 調査を行った地域におけるアメダス観測点の月別平均風速(2005年～2006年)
縦軸：月平均風速，横軸：年月

(2) ヒアリング調査の結果

a) A 港

i) 概要

2009年9月25日にA港の港湾管理者においてヒアリングを実施した。A港は北海道の日本海側に位置する重要港湾である。

取扱貨物は平成13年(2001年)から平成18年(2006年)にかけては328万tから349万tの間を推移していたが、平成19(2007)年度、平成20(2008)年度は400万tを超えている。主たる取扱貨物(平成20年実績)は林産品142.5万t、石油類90.6万t、砂利・砂・石材67.8万tである。

ii) 使用電力量の実態

A港における高圧電力の使用電力量(2008.3～2009.2)を表-5.2に示す。使用電力量は2008年度分を収集したが、電力会社からの請求月での整理であるため、実際の使用月は2008年3月から2009年2月である。他港も同様である。その後、2009年度、2010年度の使用電力量のデータ提供を受けるとともに、2012年1月25日に二次ヒアリングを行った。

高圧電力で、使用量の多いものは、B-4号ふ頭荷捌き地の冷凍コンテナ(写真-5.1)のリーファーコンセント(写真-5.2)が年間261,144kWh、B-2号ふ頭上屋(定温庫、くん蒸庫、天井走行クレーン)が229,319kWhである。この表に示している港湾管理者以外の支払い分として民間利用

業者の荷役機械の電力として、年間354,576kWhの使用電力量がある。

表-5.2 A港における高圧電力の年間使用電力量(2008.3～2009.2)

施設名	主たる電力用途	使用電力量(kWh)
B-2号ふ頭上屋	シャッター, 送風機	73,997
B-3号ふ頭上屋	定温庫, くん蒸庫, 天井クレーン	229,319
B-4号ふ頭荷捌き地	リーファーコンセント	261,144
Hふ頭	陸電装置	48,363
T-1号ふ頭上屋	天井クレーン	43,310
T-2号ふ頭上屋	シャッター, 送風機	27,374
A-7ふ頭	ガントリークレーン	67,536
A-7ふ頭	レールヒーティング	94,610
合計		845,653

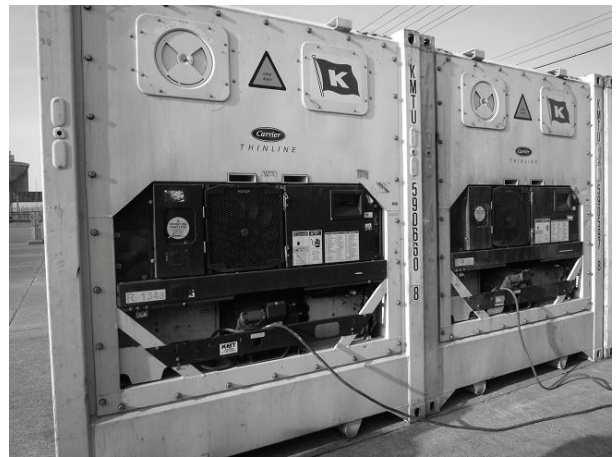


写真-5.1 B-4号ふ頭荷捌き地の冷凍コンテナ



写真-5.2 リーファーコンセント

A-7 埠頭のガントリークレーン（写真-5.3）動力用の電力使用量は 67,536kWh，ガントリークレーンのレール（写真-5.4）のロードヒーティングの使用電力量は 68,675kWh である。ロードヒーティングの電力使用は 12 月から 3 月であるが、電気代は 1 月から 4 月分に計上されている。ロードヒーティングは、冬季の間、ガントリークレーンのレール部分の降雪による雪氷の凍結防止のため使用している。



写真-5.3 ガントリークレーン



写真-5.4 ガントリークレーンのレール

表-5.2 に示した以外に A 港の港湾管理者が支払っている低圧分の使用電力量は年間約 200,000kWh であり、高圧分の約 1/4 の使用量である。低圧分は臨港道路等の街路灯、監視カメラ、照明等に用いられている。

図-5.2 に高圧電力について、施設別の月別使用電力量を図示している。B-4 号埠頭荷捌き地については、10 月～11 月に使用電力量が増大している。使用用途は冷凍コンテナ用の電源であり、この時期に水産物、水産製品の利用が多かったことによる。

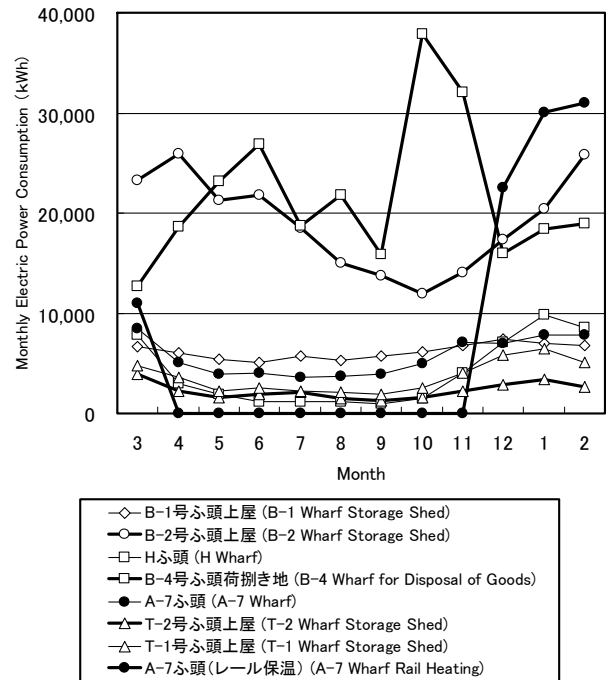


図-5.2 A 港における施設別の月別使用電力量 (2008.3～2009.2)

縦軸：月別使用電力量，横軸：月

図-5.3 は A 港における月別使用電力量の合計値を示している。冬季の 12～2 月に電力使用量が多いことがわかる。A 港において冬季の使用電力量が多いことは、この地域では冬季に風が強く期待される発電量が多いことから、風力発電の利活用においては好条件である。なお、低圧電力についてはデータの入手が年間の使用電力量の総計のみであったので、ここでは、それを 12 か月で除して月別使用電力量として表示している。

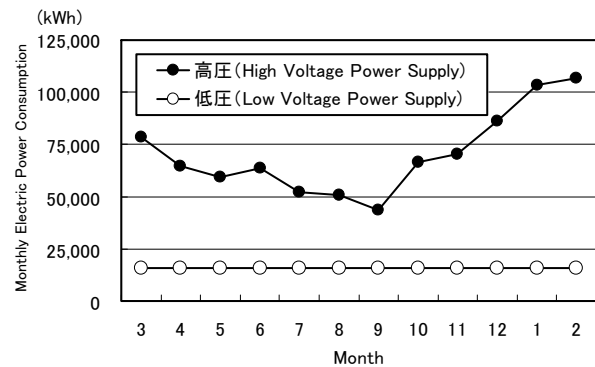


図-5.3 A 港における月別使用電力量 (2008.3～2009.2)，
縦軸：月別使用電力量，横軸：月

b) B 港

i) 港湾の概要

2009年10月16日に地方港湾B港の港湾管理者である町役場においてヒアリングを行った。B港は北海道の北部日本海に流下する河川の河口を利用した河口港として整備された。港湾の整備は河口特有の砂洲のため河口（港口）が閉塞したことから昭和6(1931)年の河口改良工事に始まり、昭和28(1953)年に地方港湾の指定を受けて本格的河口工事が進められた。昭和55(1980)年からは新港地区の整備が開始された。平成19(2007)年の取扱貨物は移出が63.1万t、移入が2.9万tで、そのほとんどが砂利・砂である。

ii) 使用電力量の実態

表-5.3はB港における使用電力量を示す。使用電力量の多いものは、高圧契約の冷凍倉庫の電力(166,337kWh)である。低圧契約の港湾内照明施設の使用電力量は39,277kWhである。数年前から街路灯は電気代節約のため減灯している。

事務所用電力としては港湾内事務所のクリーントイレの使用電力量が大きく、循環式をとっており、また、冬季間凍結防止用にヒーターを入れている。ただし、使用電力量は8,254kWhであり多くはない。以前に離島との間にフェリーが試験運航をしていたことがあり、陸電を供給したことがあるが、現在は契約を解除している。ただし、電源供給の配線は残っている。

漁協契約分については冷凍冷蔵庫の電力で、加工場もある。ただし、製氷施設はなく、漁協管轄内の他の漁港から氷を運搬してくるほか、漁業者が個別に所有している小型製氷機による製氷を使用している。

表-5.3 B港における年間使用電力量(2008.3~2009.2)

施設名	主たる電力用途	使用電力量 (kWh)
港湾内照明	ナトリウム灯(低圧)	39,277
港湾内事務所	管理棟, トイレ (低圧)	8,254
冷凍倉庫	冷凍庫, 水産加工場 (高圧)	166,337
合計		213,868

図-5.4はB港の高圧電力、低圧電力について月別の使用電力量を示したものである。使用電力量のうち高圧分は5~8月に他の時期と比べて少なく、後に述べるD漁港の月別の使用電力量と異なる傾向を示している。

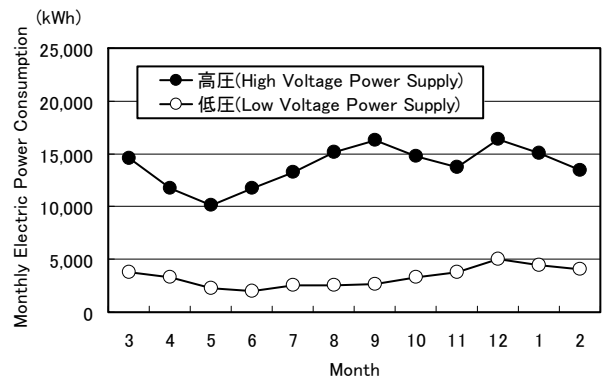


図-5.4 B港における月別使用電力量(2008.3~2009.2)
縦軸：月別使用電力量、横軸：月

c) C 港

i) 港湾の概要

2009年10月16日に地方港湾C港の港湾管理者である町役場においてヒアリング調査を行った。C港は離島航路の拠点港として整備されている。昭和7(1932)年に着工されて以来、整備が進められてきたが、港湾に流入する河川の流出土砂による埋没と冬季の季節風による港内波浪のため利用が阻害されてきた。昭和50(1975)年より流入河川の切替工事が進められ、昭和62(1987)年をもって完了した。平成19(2007)年の取扱貨物は移出3.9万t、移入3.3万tであり、そのうち移出、移入ともに離島フェリー分が2.5万tであり、それ以外の取扱貨物は少ない。

ii) 使用電力量の実態

表-5.4はC港における使用電力量を示す。港湾管理者である町が支出している電力量は港湾区域内の街灯関係の16,975kWhである。そのほかフェリーが待合所および事務所の電力として12,255kWh、フェリーの倉庫の電力として3kWh使用している。

漁協契約分では、冷蔵庫、自動製氷機の使用電力量が多いが、これらはいずれも高圧契約である。

図-5.5はC港の高圧電力、低圧電力について月別の使用電力量を示したものである。高圧電力量は3月に最も少なく10月に多い使用電力量の多くは、冷蔵庫および自動製氷機によるもので、水産物の漁獲の時期に影響しているものと考えられる。

表-5.4 C港における年間使用電力量(2008.3~2009.2)

施設名	主たる電力用途	使用電力量 (kWh)
港湾内照明	ナトリウム灯 (低圧)	16,975
ターミナル施設	管理棟 (低圧)	12,255
貨物倉庫	照明 (低圧)	3
漁協事務所	照明他 (低圧)	79,341
漁協冷蔵庫	(高圧)	213,031
自動製氷機	(高圧)	187,749
水産加工場	(高圧)	34,194
合計		543,548

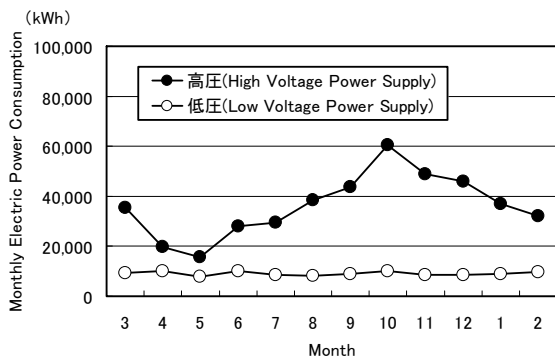


図-5.5 C港における月別使用電力量 (2008.3~2009.2)

縦軸：月別使用電力量，横軸：月

d) D 漁港

i) 漁港の概要

2009年10月15日にD漁港のある町役場においてヒアリング調査を行った。D漁港は北海道北部の日本海側に面する。気候は対馬暖流の影響を受け、内陸部よりも温暖であるが、夏の一時を除いて風が強まるので、冬季には出漁機会が限られる。D漁港は第4種漁港に指定され、避難港としての機能も有する。

ii) 使用電力量の実態

表-5.5はD漁港における使用電力量を示している。高圧電力において使用電力量の多いものは、タコ加工場の電力(355,577kWh)、ホタテ加工場の電力(125,741kWh)である。旧加工場は魚の一時保管等、現在は加工とは違う用途で使用している。ホタテの加工場は、現在は漁期である夏場のみ乾燥機を使用している。他の時期は電灯のみの使用となっている。最も使用量が多いタコ加工場は漁の最盛期である夏場に乾燥用の電力使用が多いがホタテ加工場、冷蔵庫については年間の変動量は比較的小さい。

表-5.5 D漁港における年間使用電力量(2008.3~2009.2)

施設名	主たる電力用途	使用電力量 (kWh)
港湾内照明	ナトリウム灯 (低圧)	定額契約のため不明
公園公衆トイレ	照明 (低圧)	1,876
事務所	照明 (低圧)	26,340
荷捌き所	動力 (低圧)	61,491
蓄養施設	動力 (低圧)	59,059
蓄養施設	電灯 (低圧)	5,179
船揚げ場	動力 (低圧)	53
船揚げ場	電灯 (低圧)	34
タコ加工場	動力 (高圧)	355,577
ホタテ加工場	動力 (高圧)	125,741
旧加工場	動力 (高圧)	21,667
冷蔵庫	(高圧)	68,151
合計		725,168

低圧分のうち漁港内街灯は、電力会社との定額契約のため使用電力量は不明である。これらの電力使用のうち、みなど公園公衆トイレは町役場の支出、その他は漁協の支出である。低圧分の荷捌き所の使用電力量は冷蔵庫の使用電力である。みなど公園のトイレは開放期間が4月から10月で、冬場の電気使用はない。

船揚げ施設の使用回数は年40回程度であるが、使用電力量としては極めて少ない。蓄養施設のポンプは、1回まわすと24時間以上は回る。漁業者は港の中で別途に養殖施設を所有しており電力を使用しているが、個別の契約なので、この表には含まれていない。おおむね15kWhの契約で、3月から9月までの7か月間の使用が多い。

図-5.6はD漁港の高圧電力、低圧電力について月別の使用電力量を示したものである。使用電力量のうち高圧分は6月~8月の夏季に多いことがわかる。これはタコ加工場の使用電力量が多いためである。

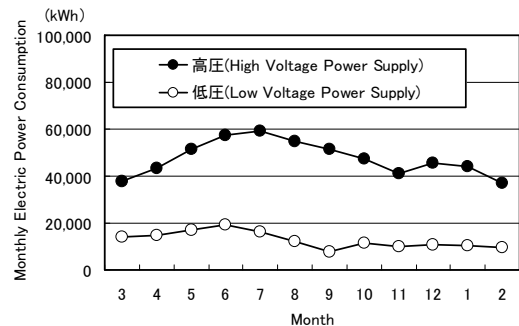


図-5.6 D漁港における月別使用電力量 (2008.3~2009.2)

縦軸：月別使用電力量，横軸：月

e) E 漁港

i) 漁港の概要

2009年10月15日にE漁港のある町役場において一次ヒアリング調査を行った。E漁港は第3種漁港である。その後、2012年1月15日と3月22日に二次ヒアリングを行っている。

ii) 使用電力量の実態

表-5.6はE漁港における使用電力量を示す。使用電力量の多いものは、冷凍倉庫の電力(487,160kWh)、港湾内の事務所用電力(87,101kWh)である。2008年5月より冷凍倉庫を新設し、その製氷能力は13.77t/日である。漁獲物は-40℃で凍結させ、その冷凍能力は10tである。

港湾緑地の駐車場の照明装置の使用電力量は2,198kWhで漁港全体の使用電力量に占める割合は小さい。

表-5.6 E漁港における年間使用電力量(2008.3~2009.2)

施設名	主たる電力用途	使用電力量 (kWh)
港湾内照明	(低圧)	99,527
港湾緑地の照明	(低圧)	2,198
冷凍倉庫	(高圧)	487,160
漁港内トイレ	(低圧)	532
陸電施設	(低圧)	405
その他	(低圧)	10,329
合計		600,151

図-5.7はE漁港における月別の使用電力量を示す。高圧の使用電力量は夏場の5月から8月、および10月から11月にかけて多いことがわかる。

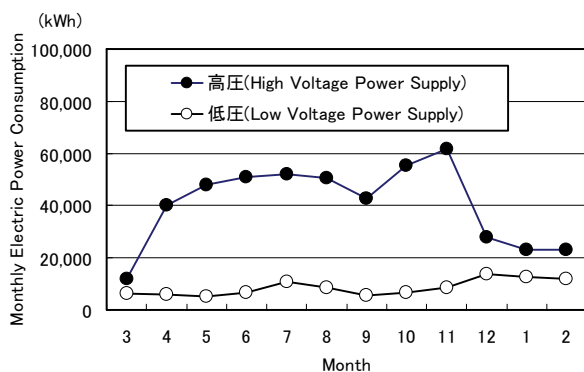


図-5.7 E漁港における月別使用電力量(2008.3~2009.2)

縦軸：月別使用電力量，横軸：月

(3)対象とした港湾・漁港の電力使用量と風力発電ポテンシャルの関係

ここでは、各施設の使用電力量と風力発電ポテンシャルとの関係を述べる。ここでは、簡易に風力発電量を試算す

ることとし風速の平均値を用いレーリー分布によって発電量を推定する方法を用いた。ただし、調査した5港のうちB港は表-5.3で示したように年間の使用電力量が約210,000kWhであり、その他の4港に比べて半分以下であり、ここで検討する300kW風車1台の年間発電量に比べても少ないと想定されたため計算の対象から除外した。

表-5.7はA港、C港、D漁港、E漁港についてアメダス平年値、またはNEDOの風況精査実測値による月別平均風速を示す。

表-5.8はA港、C港、D漁港、E漁港について表-5.7に示したアメダス平年値、またはNEDOの風況精査実測値に基づきNEDOの風況マップを参考に風車のハブ高さである高度41.5m/sにおける月別平均風速を推定したものである。

図-5.8は表-5.7で示した月別平均風速を用いて300kW風車1台による推定発電量と5.2で示した各港湾・漁港における月別使用電力量と比較したものである。港湾・漁港ごとに推定発電量と使用電力量は年間の総量では300kW風車1台で需給がほぼバランスしているが、月別には過不足が生じている。とくにD漁港、E漁港においては夏季に電力使用が多いのに対して、その時期は平均風速が小さいため、風力発電単独では、大幅に不足する傾向が見られる。これに対してA港、C港においては使用電力量と発電推定量の差が相対的に少なくなっている。

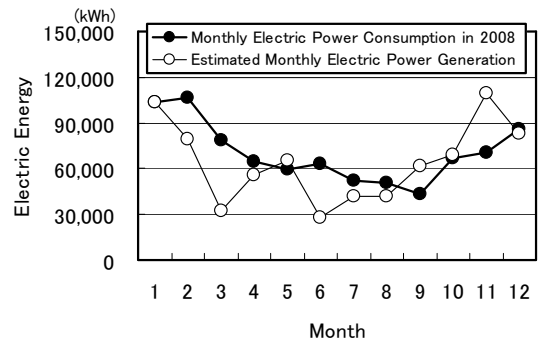
表-5.7 月別平均風速(単位 m/s)

	A 港	C 港	D 漁港	E 漁港
1月	8.9	4.0	4.3	7.0
2月	7.8	4.4	3.8	6.4
3月	4.8	4.2	3.8	7.9
4月	6.1	4.0	3.5	5.3
5月	6.5	3.5	3.2	4.5
6月	4.6	2.9	2.5	3.4
7月	5.3	2.4	2.2	3.4
8月	5.3	2.9	2.3	3.9
9月	6.4	3.7	2.8	4.6
10月	6.7	4.2	3.8	8.1
11月	9.8	5.2	4.8	9.9
12月	7.5	5.6	4.7	7.9
年平均	6.6	3.9	3.5	6.0
観測高さ	40m	-	-	15m
引用元	NEDO	アメダス	アメダス	NEDO

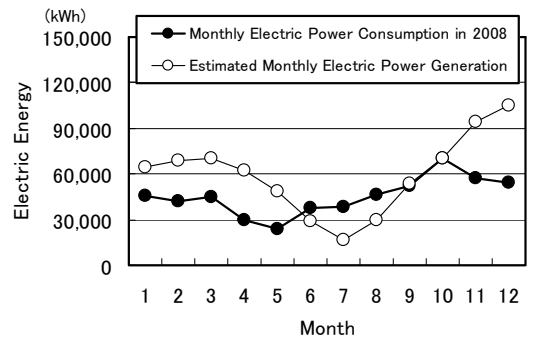
表-5.8 高度 41.5m の月別平均風速の予測値 (単位 m/s)

月	A 港	C 港	D 漁港	E 漁港
1 月	9.6	6.9	9.4	8.1
2 月	8.4	7.6	8.3	7.4
3 月	5.2	7.3	8.3	9.2
4 月	6.5	6.9	7.6	6.2
5 月	7.0	6.1	7.0	5.2
6 月	4.9	5.0	5.4	4.0
7 月	5.7	4.2	4.8	4.0
8 月	5.7	5.0	5.0	4.5
9 月	6.9	6.4	6.1	5.4
10 月	7.2	7.3	8.3	9.4
11 月	10.5	9.0	10.4	11.5
12 月	8.1	9.7	10.2	9.2
年平均	7.13	6.78	7.56	7.01

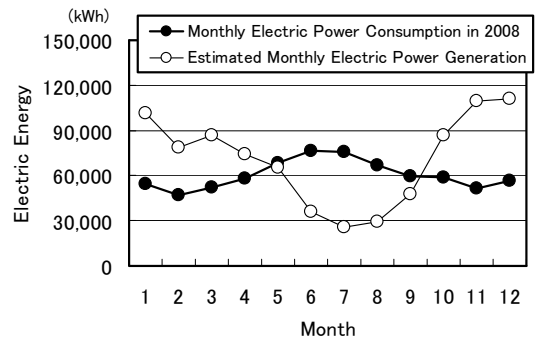
図-5.9 は年間の発電量の総計値と年間の使用電力量の総計値を比較した結果である。対象とした港湾・漁港においては1年間トータルとして考えれば、需給バランスがおおむね取れていることがわかる。しかしながら図-5.8 に示したように使用電力量の月ごとの変動性が大きいこと、および月別の需給ギャップが風速が小さく発電量が少なくなる夏季に大きいことからその要因を分析し解消方を検討する必要があることが確認された。そこで5.2ではA港とE漁港について使用電力量の変動に影響が大きかった月平均気温との関係を調べ、5.3では施設別の使用電力の変動についての分析を行うこととする。



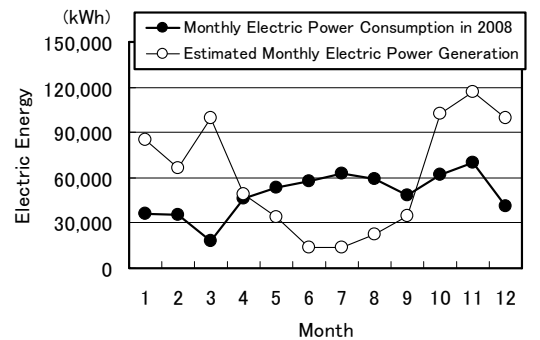
(1) A 港



(2) C 港



(3) D 漁港



(4) E 漁港

図-5.8 発電推定量と使用電力量の比較

縦軸：電力量，横軸：月，●：月別使用電力量（2008 年度），○：月別推定発電量

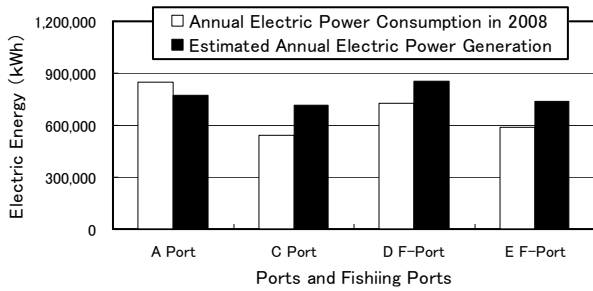


図-5.9 推定発電量と使用電力量の比較（年間）

縦軸：電力量，横軸：対象港湾・漁港，□：年間使用電力量（2008年度），■：年間推定発電量

5.2 月平均気温と港湾・漁港施設における使用電力量の関係の分析

港湾施設および漁港施設における使用電力量の分析において気温との相関が確認されている（白石ら，2013）．そこで，使用電力の時間変動性を分析する基礎データとして A 港と E 漁港を対象に月別使用電力量と月平均気温の関係を分析した．分析結果の詳細は A 港の事例について付録 A に，E 漁港の事例について付録 B に示した．ここでは，その概要を示す．

(1) 港湾の事例（A 港）

a) 施設別の電力使用量

ここでは 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用いて，各施設の利用実態に基づいて使用電力量の時間変動性について分析する．

図-5.10 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 月の冬季間のみの使用であるが，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．

b) 分析の方法

分析は基本的には式(5.1)を用いて回帰分析を行った．

$$W = a \cdot T + b \quad (5.1)$$

ここに，

W ：使用電力（kW）

T ：月平均気温（℃）

a ：回帰式の係数

b ：回帰式の係数

である．

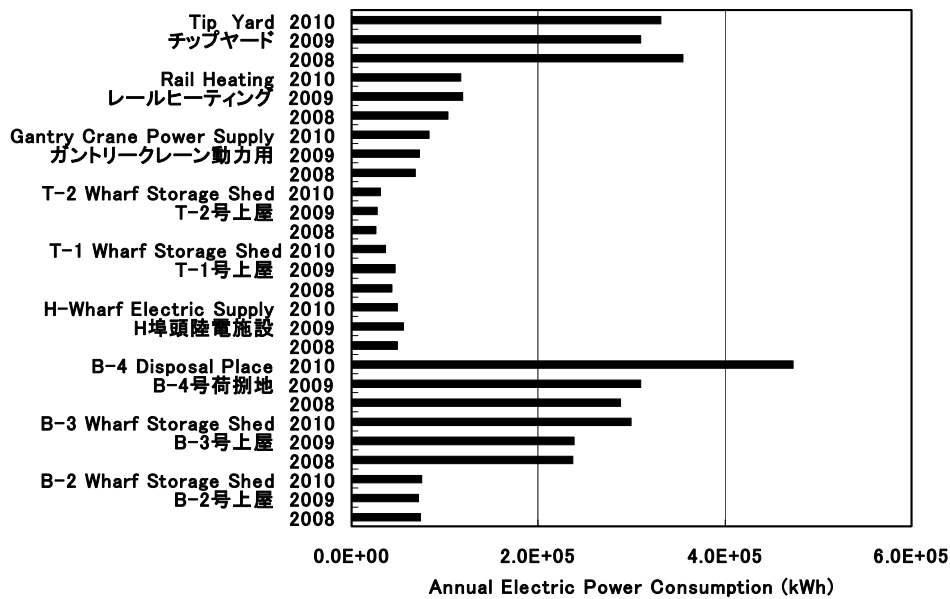


図-5.10 A 港の施設別の年間使用電力量

横軸：年間使用電力量

ただし、 W は月使用電力量 (kWh) を施設の稼動時間で除した使用電力 (kW) を基本とするが、回帰式を算定した単位は施設ごとに異なるので、付録Aでは、それぞれの回帰式の箇所に明記する。ここで、使用電力 W の単位を kW とするのは、風力発電施設における発電量の時間的変動との比較を容易にし、港湾施設における発電電力と使用電力の需給バランスを比較するためである。

図-5.11はA港の隣接アメダス地点の月平均気温の推移を示す。2008年4月から2011年3月までの3か年の月別の使用電力と月平均気温のデータの組み合わせを用いて式(5.1)の回帰式の係数を求めた。なお、付録Aには各単年度のデータを用いて求めた回帰式も併記している。

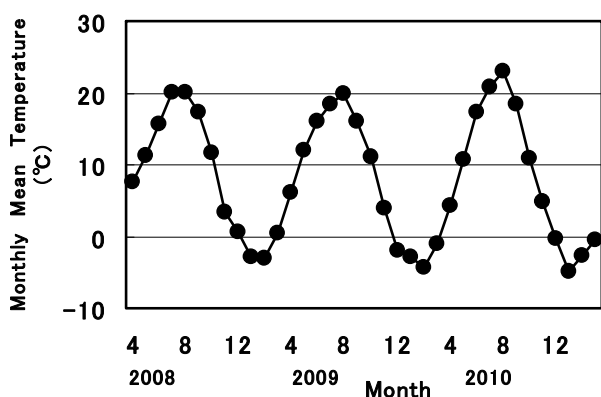


図-5.11 A港の隣接アメダス地点の月平均気温の推移
縦軸：月平均気温，横軸：月

c) 月平均気温と使用電力量の関係

表-5.9はA港の9施設について施設別に月平均気温と使用電力の関係を整理したものである。説明変数はすべて月平均気温であるが、被説明変数は施設ごとに異なるので施設別に記載している。なお、回帰分析の詳細は付録Aに示している。B-4号荷捌地においては、冷凍コンテナの冷蔵用に電力が使用されているため、月平均気温が高くなるほど使用電力量が増大することから、正の相関になり、その相関係数は0.8457である。一方、その他の施設の夏季以外（1～5月と10～12月）では、暖房使用や日中時間が短くなることによる照明時間の増大等の要因により、月平均気温と使用電力量の関係は負の相関となっている。レール保温はガントリークレーンのレール部分の凍結防止のため12月～3月までの期間、常時保温されているもので、月平均気温との負の相関が大きく、相関係数は-0.9558である。

表-5.9 月平均気温と使用電力量の関係

施設名	回帰式 T : 月平均気温 (°C)	相関係数 R
B-2 号上屋	W : 使用電力 (kW)	
	1～5月と10～12月 $W = -0.6121T + 29.367$	-0.7861
	6～9月 $W = -0.0232T + 20.305$	-0.0197
B-3 号上屋	W : 使用電力 (kW)	
	1～5月と10～12月 $W = -1.5077T + 100.237$	-0.2972
	6～9月 $W = -0.3356T + 77.939$	-0.0318
	1～2月と10～12月 (3～5月除外) $W = -4.1331T + 88.908$	-0.8387
	7～9月 (6月除外) $W = 4.9416T - 32.488$	0.6224
T-1 号上屋	W : 使用電力 (kW)	
	1～5月と10～12月 $W = -0.9045T + 20.405$	-0.8065
	6～9月 $W = -0.2288T + 12.083$	-0.5147
T-2 号上屋	W : 使用電力 (kW)	
	1～5月と10～12月 $W = -0.4524T + 12.388$	-0.8266
	6～9月 $W = 0.1215T + 4.356$	0.2709
ガントリークレーン動力用	W : 20ft コンテナ1個あたりの使用電力量 (kWh/個)	
	1～5月と10～12月 $W = -0.1884T + 5.506$	-0.8305
	6～9月 $W = 0.0824T + 1.675$	0.4256
B-4 号荷捌地	W : 換算コンテナあたりの使用電力量 (kWh/換算コンテナ数)	
	1～12月 $W = -0.007118T + 0.23615$	0.8457
レール保温	W : 使用電力 (kW)	
	12～3月 $W = -3.8790T + 31.842$	-0.9558
チップヤード	W : 稼動時間あたりの使用電力量 (kWh/h)	
	1～5月と10～12月 $W = -15.682T + 409.328$	-0.5874
	6～9月 $W = -1.220T + 246.514$	-0.1261
陸電施設	W : 稼動時間あたりの使用電力量 (kWh/h)	
	1～5月と10～12月 $W = -0.7434T + 10.711$	-0.9224
	6～9月 $W = 0.21912T + 1.19763$	0.5313

d) 解析結果の活用

A港においては、上述した各施設における使用電力が月平均気温との相関が大きいことが確認された。また、コンテナ荷役に関連するガントリークレーン動力用、B-4荷捌地のリーファー電源は付録Aに示したように荷役個数あるいは電源接続されるコンテナ個数との相関が認められた。ここでは、使用電力の特性をふまえて解析データの利用方法について述べる。リーファー電源については、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-5.12はA港の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使用電力量の予測値を示している。比較においては各年度ごとの回帰式を用いたもの（1 Year Estimationと表記）と3か年の回帰式を用いたもの（3 Year Estimationと表記）とを示しているが、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。

(2) 漁港および周辺施設の事例

a) 施設別の電力使用量

i) 対象とした地区の概要

E 漁港は日本海沿岸に位置する第3種漁港であり、施設整備は北海道開発局が、その施設管理は北海道が行っている。実際の漁港管理は管理委託を受けた町が行っており漁港施設における必要な電気料金は町が支払っている。また、E 漁港には漁業協同組合（漁協）の事務所、冷凍施設があ

り、漁協が受電している電力には高圧と低圧があり、以下、漁協（高圧）、漁協（低圧）と記述する。漁港付近の高台には町設置で民間に管理委託されている温泉施設があり道の駅にも指定されている。E 漁港の位置する町は風況の良いところでもあり町内にはウインドファームが建設されているが、系統連系上の制約から2001年を最後に新たな風力発電施設は建設されていない。

ii) E 漁港および周辺施設における施設別電力使用量

図-5.13はE 漁港およびその周辺施設における電力使用量を示す。ここで対象とした施設では、温泉の電気使用量が最も多く、漁協（高圧）がそれに続く。また、年度ごとの使用電力量の相違は少ない。

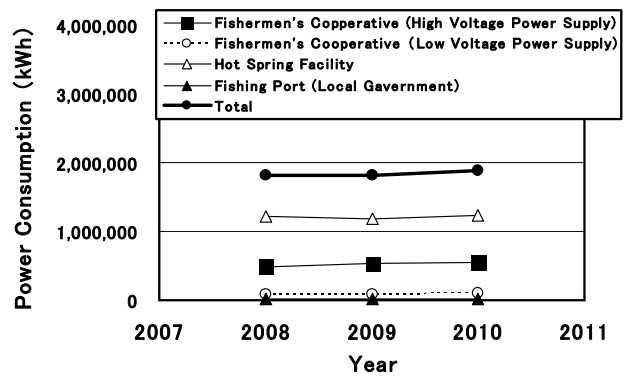


図-5.13 E 漁港およびその周辺施設における年度別使用電力量

縦軸：使用電力量，横軸：年度，■：漁協（高圧），○：漁協（低圧），△：温泉施設，▲：漁港（管理者），●：合計

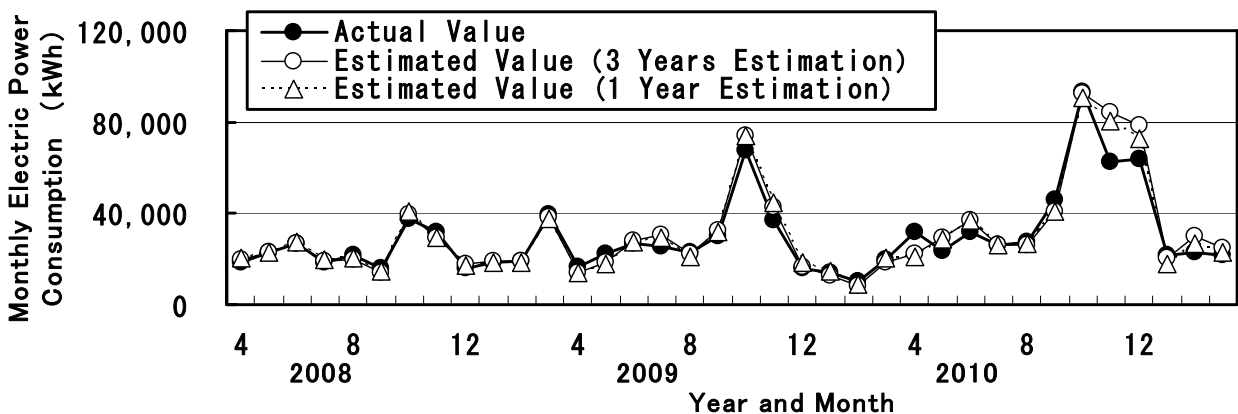


図-5.12 B-4号荷捌地における使用電力量の予測

縦軸：月別使用電力量，横軸：年月，●：実績値，○：予測値（3か年分で評価），△：予測値（1か年分で評価）

図-5.14 は E 漁港およびその周辺施設における月別電力使用量の推移を示す。月別にみると変動は夏季に使用電力量が多い温泉施設および漁協（高圧）、冬季に使用電力量が多い漁協（低圧）がある。このような使用電力量の季節変動は、風速の季節別の強弱による風力発電の発電量の季節変動とあわせて設備導入の際に考慮すべきである。

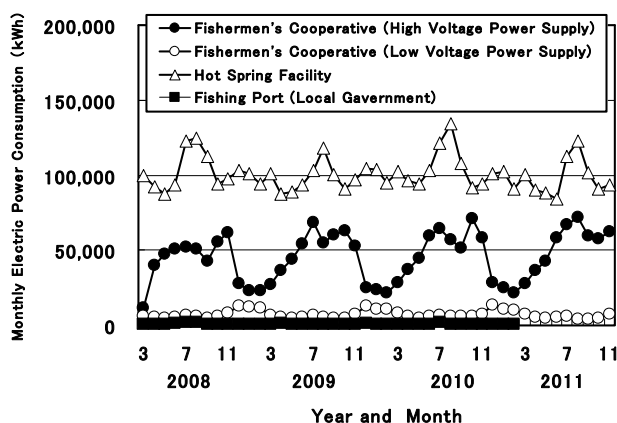


図-5.14 E 漁港およびその周辺施設における月別使用電力量の推移

縦軸：使用電力量，横軸：年度，■：漁協（高圧），○：漁協（低圧），△：温泉施設，▲：漁港（管理者）

図-5.15 は当該漁港に隣接するアメダス地点における月平均気温の変動を示す。月別の平均気温を用いて各施設における使用電力量との相関分析を行う。

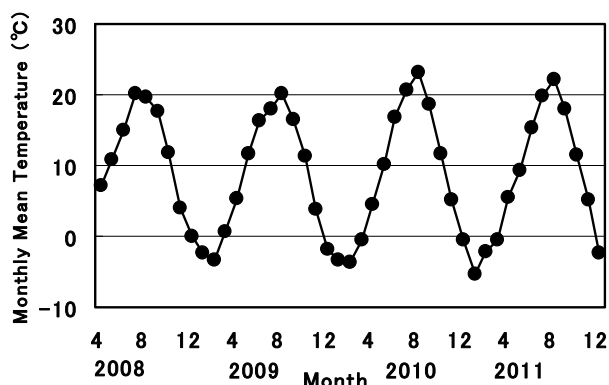


図-5.15 E 漁港の隣接アメダス地点月平均気温の推移
縦軸：月平均気温，横軸：月

b) 月平均気温と使用電力量の関係

月平均気温と月別の日平均使用電力量の関係を施設別に整理した結果の詳細は付録 B に示す。ここでは、回帰式の係数および相関係数 R を表-5.10 に示す。

表-5.10 回帰式の係数と相関係数 R

施設名	回帰式 W : 月別日平均使用電力量 (kWh/day) T : 月平均気温 (°C)	相関係数 R
漁港 (町支払い分)	1~5 月と 10~12 月 $W = -0.186T + 23.0$	-0.159
	6~9 月 $W = 2.03T - 3.40$	0.259
漁協 (高圧)	$W = 46.8T + 1094$	0.801
漁協 (低圧)	1~5 月と 10~12 月 $W = -14.8T + 314$	-0.844
	6~9 月 $W = 2.42T + 140$	0.195
温泉施設	1~5 月と 10~12 月 $W = -28.6T + 3251$	-0.901
	6~9 月 $W = 157T + 671$	0.913

漁港（町支払分）については、気温との関係にばらつきが大きい。これは漁港施設内の照明等、気温以外の要因が大きいためである。漁協（高圧）については、気温との相関が高いが、図-B.7 の△で示す 9~11 月に相関式からの乖離が大きい。これはこの時期に漁獲高が多いために冷凍施設の需要が高まったことが要因である。漁港（低圧）は 6~9 月以外の季節において、月平均気温が低いほど使用電力量が大きい傾向にある。ただし、月平均気温に依存しない要因があるため、ばらつきは大きい。温泉施設の使用電力量は月平均気温との相関が極めて大きいことがわかる。

5.3 施設別の使用電力量の変動性の分析

(1) 港湾の事例

a) 使用電力量の変動の分析方法

筆者らの既往の研究（白石ら（2011a）、Shiraihsi et.al（2011））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を行っていた。本資料では 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電力計を用いて施設ごとに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。

A 港の 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、ヒア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。ヒアリングの結果、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施設使用時間の記録に基づき時間的変動の試算を行った。

これらの解析には月ごとの利用時間から算出される使用電力を求めることとしたが、使用電力は月ごとに異なり、5.2で示したように月平均気温との相関が高いことが確認されたことから、気温変化（気温の日変動）の影響を加味した分析を行うこととした。

b) 施設別の電力使用の変動性の分析

i) B-2号上屋

A港では、上屋は4箇所あるが、これらの4施設に共通して言えることは冬季間に使用電力量が増加することである。5.2で示したようにA港での使用電力は気温との相関があることが確認されたことから気温変化の影響を考慮して使用電力の変動を推定する。図-5.16はA港に近接するアメダス地点の2009年3月の1か月の使用電力の変動である。データ

は10分毎の気温の変動を示している。この数値を使用電力の変動の推定に用いる。

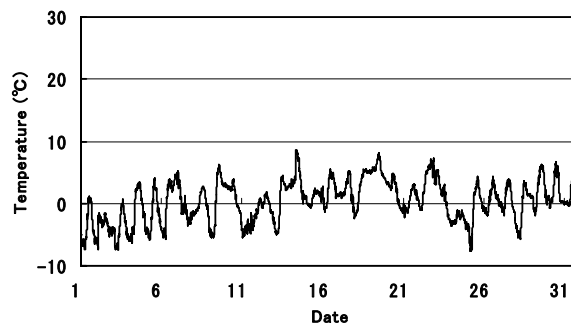


図-5.16 気温の変動(2009年3月)
縦軸：気温、横軸：日付

図-5.17はB-2号上屋における2009年3月の1か月の使用電力の変動を推定した結果である。図中の太実線は、1か月の使用電力量を月の施設稼働時間で除して求めた数値を示している。この数値は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。図中の細実線は、近接のアメダス地点における気温変化(図-5.16)を用いて使用電力の変動を求めたものである。ただし、時間ごとの気温変化に対応した使用電力の変動に関するデータは入手できていないため、表-5.9に示した回帰式を用いて時間ごとの使用電力の変動を算定した結果を示している。気温変化を考慮した使用電力は図-5.16に示した気温変化(日変動)に対応した変動を示す。

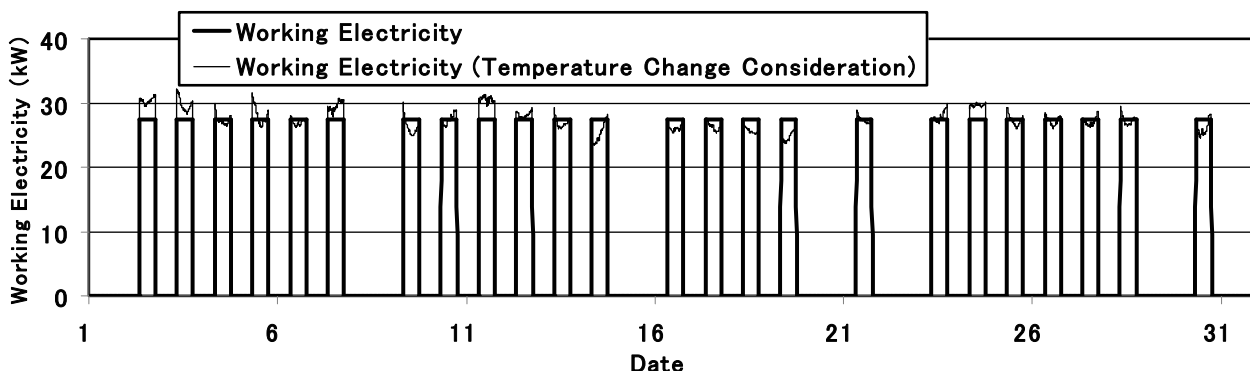


図-5.17 B-2号上屋における使用電力変動(2009年3月)

縦軸：使用電力、横軸：日付、太実線：使用電力、細実線：使用電力(気温変化考慮)

ii) B-3号上屋

A港の上屋では月平均気温が低いほど使用電力量が多くなる傾向が見られているが、B-3号埠頭においては、その関係からはずれている。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。当該施設においては気温による変動の他にくん蒸の影響による使用電力の変動が確認されている。しかしながら当該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的変動として上屋全体での概略の使用電力の時間変動を求め、図-5.18に示している。

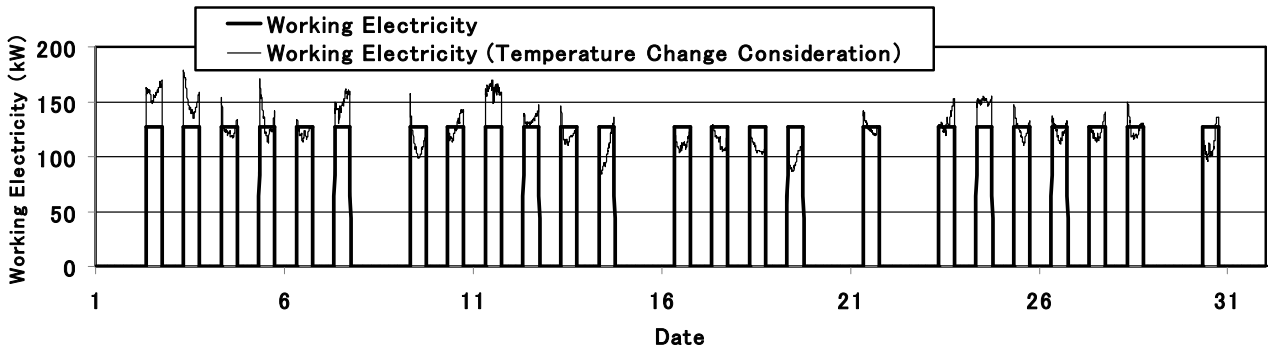


図-5.18 B-3号上屋における使用電力変動(2009年3月)

縦軸：使用電力，横軸：日付，太実線：使用電力，細実線：使用電力（気温変化考慮）

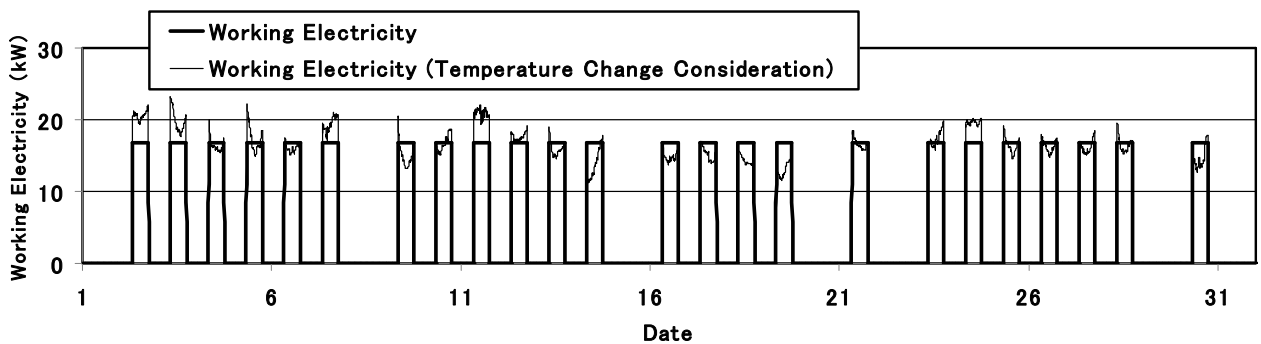


図-5.19 T-1号上屋における使用電力変動(2009年3月)

縦軸：使用電力，横軸：日付，太実線：使用電力，細実線：使用電力（気温変化考慮）

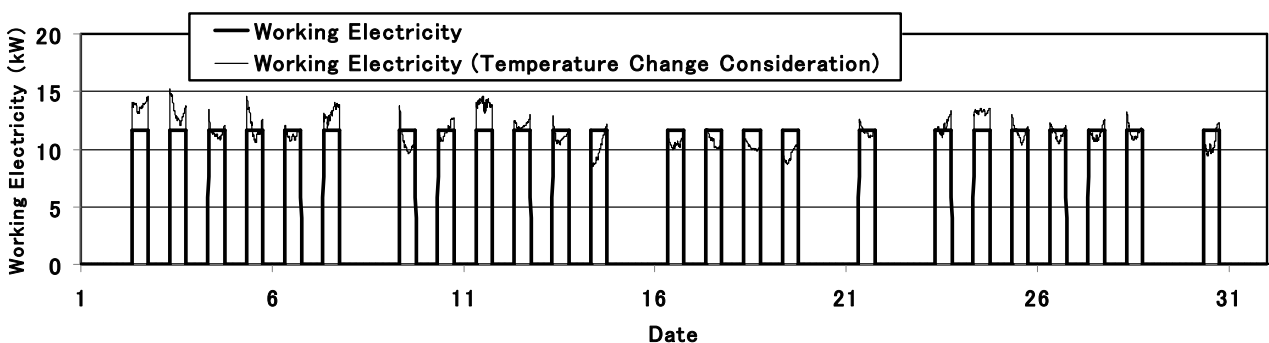


図-5.20 T-2号上屋における使用電力変動(2009年3月)

縦軸：使用電力，横軸：日付，太実線：使用電力，細実線：使用電力（気温変化考慮）

iii) T-1号上屋

T-1号上屋についても、B-2号上屋、B-3号上屋と同様の方法で使用電力の変動を計算している。T-1号上屋では、表-5.9に示した回帰式を用いて使用電力の気温変化による影響を考慮している。図-5.19は2009年3月の1か月の使用電力の変動を求めた計算結果である。

iv) T-2号上屋

T-2号上屋については、表-5.9に示した回帰式を用いて気温変化の影響を考慮した。図-5.20はT-2号上屋における2009年3月の1か月の使用電力の変動の計算結果である。

v) ガントリークレーン動力

ガントリークレーン動力についてはヒアリングの結果、以下のことが月別の使用電力量および使用電力の変動に影響していると想定される。

①施設内の照明電力

ガントリークレーンに備わっている照明についても使用電力量の中に含まれること。

②冬の期間の暖房の利用

運転席と機械室に暖房設備があり使用していること。
(主に10月から4月)

③夏の期間の冷房の利用

運転席と機械室に冷房設備があり使用していること。
(主に5月から9月)

ただし、これらの使用時間について特定できるデータは入手することができなかった。そこで、ここでは照明や冷暖房の影響は個々には考慮せずに施設全体としての使用電力の変動を試算することとした。

図-5.21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、コンテナ船の

着岸荷役作業時に発生する。ガントリークレーン動力用はコンテナの荷役を行う場合に利用し大きな電力を使用するが、貨物の荷役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。荷役作業に伴う電力の短期変動の分析については今後の課題である。

vi) B-4号荷捌地

図-5.22は2008年4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。図-5.22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。

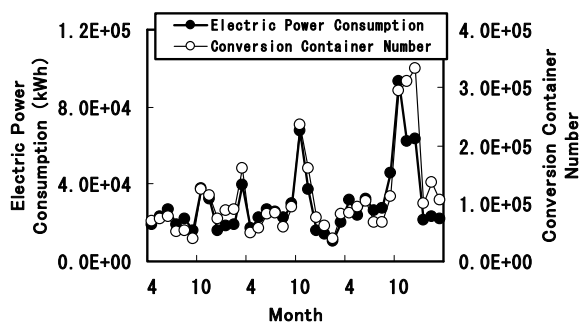


図-5.22 B-4号荷捌地における月別換算コンテナ個数と使用電力量の関係(2008年4月～2011年3月)
縦軸(左):使用電力量, 縦軸(右):換算コンテナ個数,
横軸:月

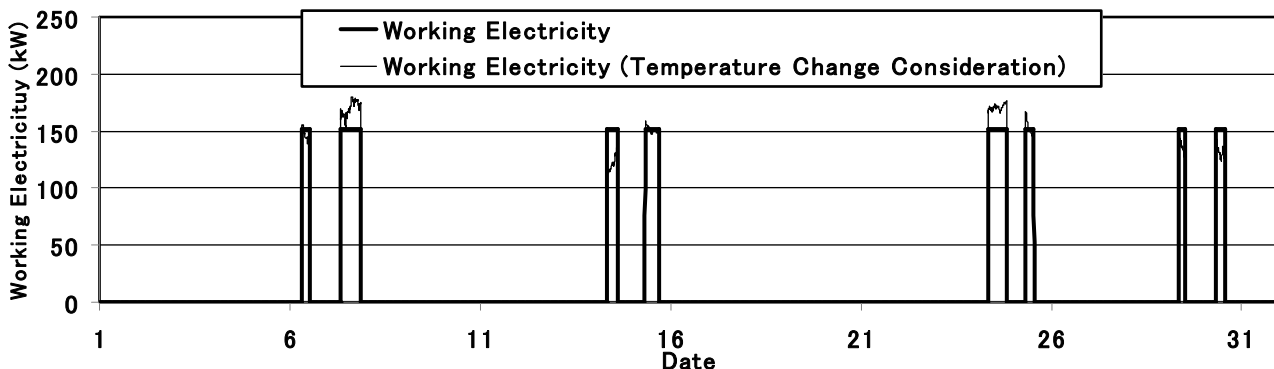


図-5.21 ガントリークレーン動力用における使用電力変動(2009年3月)
縦軸:使用電力, 横軸:日付, 太実線:使用電力, 細実線:使用電力(気温変化考慮)

また、付録 A の図-A. 31 で示すように冷凍コンテナの冷却に使用される単位時間当たりの電力量は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。このことから、当該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ている。外気温の影響は、時間単位の使用電力量のデータがないため、一日の気温変動に対する使用電力の変動特性が不明である。そこで、月単位で 20ft コンテナに対する使用電力の原単位を求め、40ft コンテナはこの 2 倍の使用電力であると仮定し、図-A. 26 に示したように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-5. 23 に示した。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。気温変化の影響を考慮したときの使用電力は気温の一日の変動に応じて変動する結果となっているが、気温の影響よりもコンテナ個数に対応した変動の方が支配的であることがわかる。

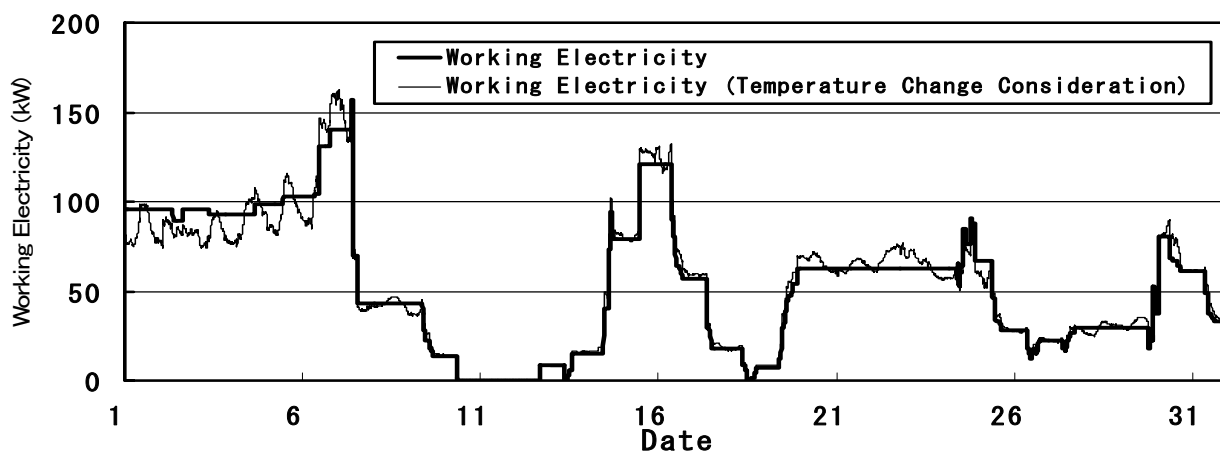


図-5. 23 使用電力の変動の推定結果(2009年3月)

縦軸：使用電力，横軸：日付，太実線：使用電力，細実線：使用電力（気温変化考慮）

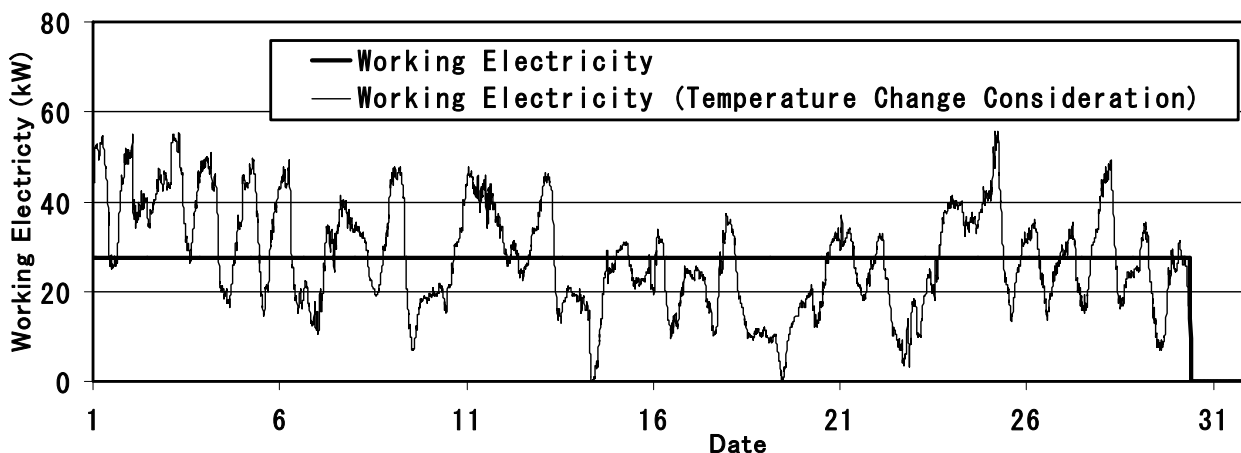


図-5. 24 ガントリークレーンレールヒーティングにおける使用電力変動(2009年3月)

縦軸：使用電力，横軸：日付，太実線：使用電力，細実線：使用電力（気温変化考慮）

vii) レール保温

付録Aの図-A. 37に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した。この図より月平均気温と使用電力の間に負の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-5. 24 はガントリークレーンレールヒーティングの使用電力の時間的変動を表したものである。図-5. 24には図-A. 37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、月平均気温に基づいて計算した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月末に使用電力がゼロとなっているが、レールヒーティングをやめていることを示している。

viii) チップヤード

図-5. 25はチップヤードにおける2009年3月の使用電力の変動を示している。この月のチップ運搬船の入港は1回のみであり、このときにチップの荷役のためにベルトコンベアが使用されており、電力の使用がなされる。チップ荷役以外の時間にも野積されたチップを製紙工場まで運搬する際に夜間にかかる場合には構内照明のために電力が使用されているが、照明の使用状況が不明であるため使用電力の変動分析の際には考慮していない。

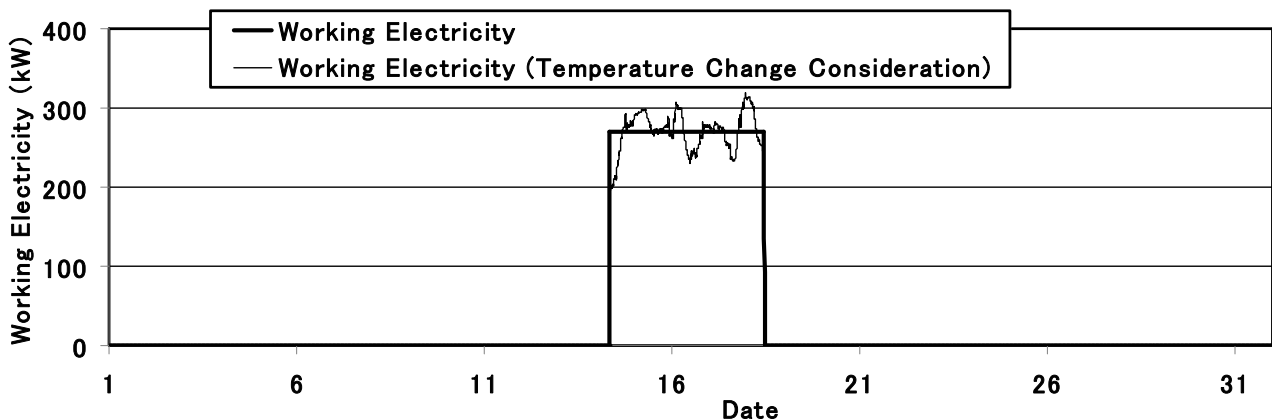


図-5. 25 チップヤードにおける使用電力変動(2009年3月)

縦軸：使用電力、横軸：日付、太実線：使用電力、細実線：使用電力（気温変化考慮）

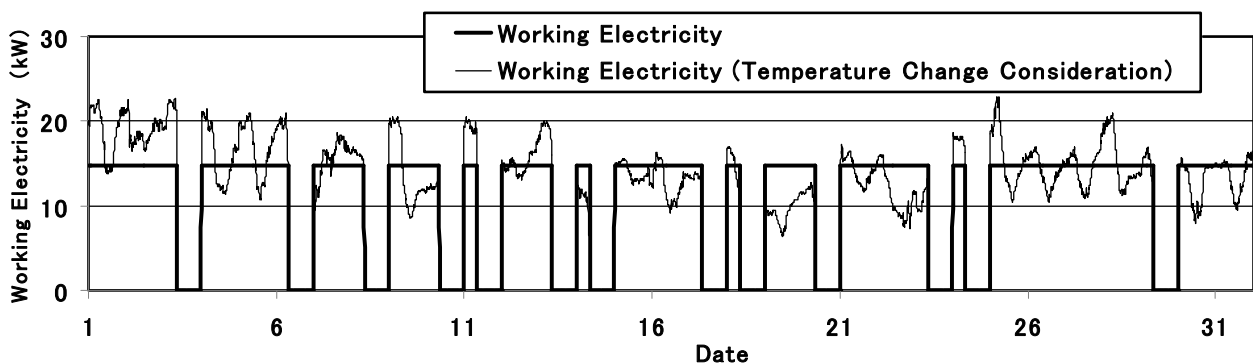


図-5. 26 陸電装置における使用電力変動(2009年3月)

縦軸：使用電力、横軸：日付、太実線：使用電力、細実線：使用電力（気温変化考慮）

ix) 陸電施設

図-5.26はH埠頭陸電施設の2009年3月の電力使用状況、すなわち曳船が係船中に使用した電力の変動を表したものである。太実線は1か月の陸電供給時間で除した平均的な使用電力を示す。すなわち、曳船がH埠頭陸電装置で使用する単位時間当たりの使用電力が同じであると仮定した場合の時間的変動を示している。図は、使用電力について一定値が継続し、曳船が作業のために出航している時間帯は陸電が供給されないため一時的にゼロとなる。付録Aの図

-A.25に示す使用電力を見ると夏季は2~3kWで経過しているのに対して冬季間の使用電力は増大し、厳寒期の1月には20kWになる。船内の暖房用の消費電力が増大するために冬季の使用電力が増大しているものと考えられる。そこで、気温変化の影響を表-5.9に示した回帰式により計算し、1か月の使用電力を求めて図-5.26に細実線で示した。

c) 港湾全体における変動性の分析

以上に示したように各施設においての施設の利用形態についてのヒアリング結果に基づき使用電力の時間的変動の推定を行った。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-5.27に示す。太実線は気温変化を考慮しない計算結果、細実線は気温変化を考慮した計算結果である。月の中旬に使用電力が増大しているのは図-5.25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。この図からは使用電力の変動に対しては施設の稼働状況の影響が大きく、気温の変化の影響は認められるものの相対的には少ないことが見てとれる。しかしながら、気温変化を考慮しない場合においても、月ごとの気温の変化による影響を考慮した原単位を用いて使用電力を計算していること、施設によっては稼働状況が正確に把握できていないことによる推計の誤差の影響も考慮しなければならない。詳細な電力の把握のためには電力計を各施設ごとに設置するなどして使用電力の変動を把握すること、そしてその見える化が望まれる。

図-5.28~5.29はA港のすべての施設の使用電力の合計値について、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。合計値の度数分布より、A港における最大使用電力は気温変化の影響を考慮しない場合、気温変化の影響を考慮する場合のいずれについても810kWと推定された。図-5.29に示すように気温変化の影響を考慮した方がなめらかな形状の分布特性となっている。

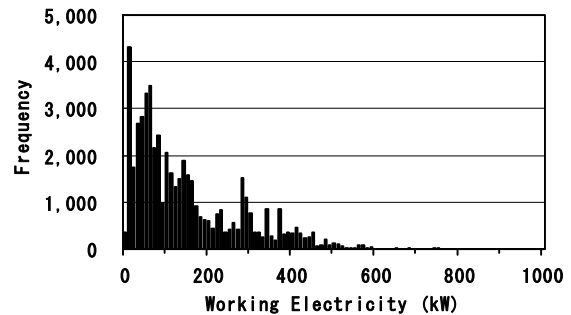


図-5.28 2008年度の使用電力の度数分布
(気温変化の影響を考慮しない場合)
縦軸：度数、横軸：使用電力

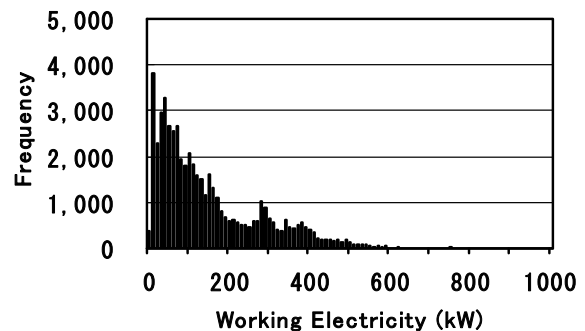


図-5.29 2008年度の使用電力の度数分布
(気温変化の影響を考慮した場合)
縦軸：度数、横軸：使用電力

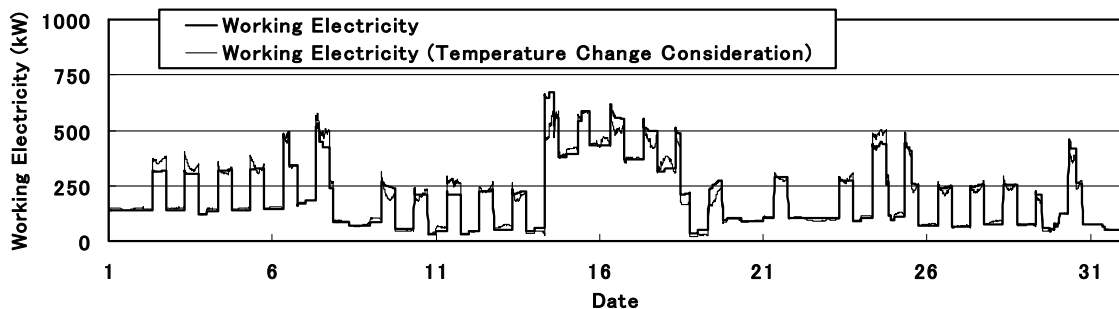


図-5.27 A港全体での使用電力の変動を求めた結果(2009年3月)
縦軸：使用電力、横軸：月、太実線：使用電力、細実線：使用電力(気温変化考慮)

図-5.30～5.31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。なお、気温変化の影響を考慮しない場合も影響をした場合も分布形状には大きな差が見られない。

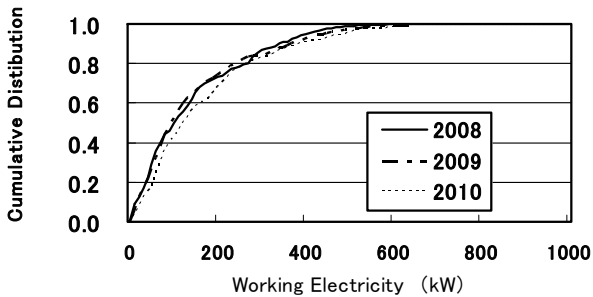


図-5.30 年度別の使用電力の累積確率
(気温変化の影響を考慮しない場合)
縦軸：累積確率，横軸：使用電力推計値

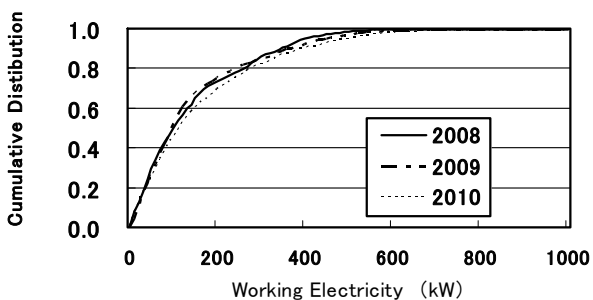


図-5.31 年度別の使用電力の累積確率
(気温変化の影響を考慮した場合)
縦軸：累積確率，横軸：使用電力推計値

(2) 漁港および関連施設における事例

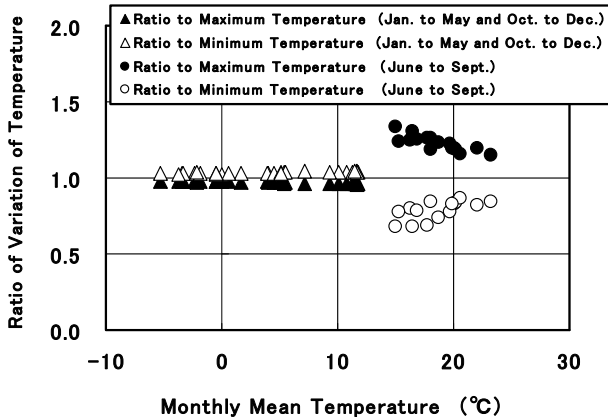
a) 使用電力量の変動の分析方法

ここでは、E 漁港をとりあげ施設別の電力使用実態について分析し、使用電力の変動を分析する。分析の目的は沿岸域ローカルスマートエネルギーシステムを構築し、その地域で発電した電力を自家消費する場合においても、系統につなげて売電する場合においても使用電力の変動を把握することが系統への負荷を検討する場合に重要であることによる。近年では、各電力使用ノードに対してスマートメータを設置し、細かく電力変動を把握することも行われているが、解析対象漁港においては、そのようなデータは取得されていない。そこで、毎月の使用電力量について、気温、日照時間、夜間時間などとの関係を調べた。その結果、気温との相関が最も高かったため、気温による使用電力変動のモデルを設定し、電力変動を試算することとした。

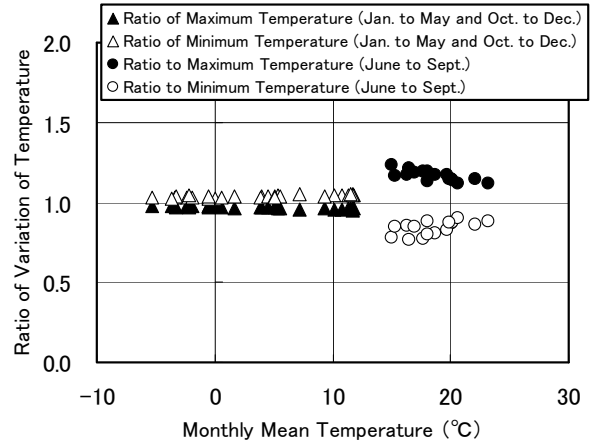
b) 使用電力の変動性の分析

i) 月平均気温による使用電力の変動の影響

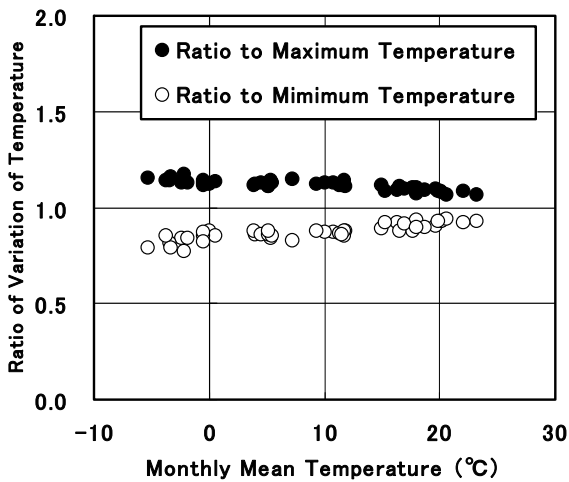
図-5.32 は気温による使用電力の変動倍率を分析したものである。使用電力は日ごとの変動があるが、ここでは月単位に分析し、表-5.10 に示した月平均気温に対する回帰式と日最高気温と日最低気温の月平均値から求まる日変動を分析した。すなわち、日最高気温の月平均値または日最低気温の月平均値を表-5.10 に示した回帰式にあてはめ月別の日最高気温または日最低気温に対する日平均使用電力量を求める。そしてこれらの値を月平均気温に対する値で除して平均的な1日の変動倍率を求めたものである。例えば(4)に示す温泉施設については、図-B.18に示すように月平均気温に対する使用電力量の変化は6～9月に大きくなっている。このことから日最高気温に対する使用電力は日平均気温に対する値の約1.2倍になる。一方、日最低気温に対する使用電力は日平均気温に対する値の約0.8倍になると想定される。1～5月、10～12月は、暖房利用の影響が大きくなるため6～9月の逆となり日最低気温に対する使用電力が増大すると考えられる。



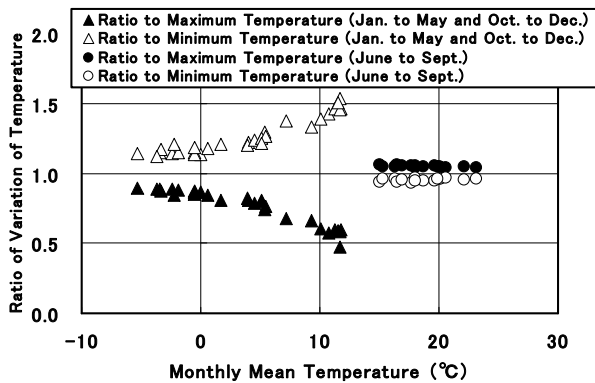
(1) 漁港 (町支分)



(4) 温泉施設



(2) 漁協 (高圧)



(3) 漁協 (低圧)

図-5.32 気温による使用電力量の変動

縦軸：気温変化に対する変動倍率，横軸：月平均気温

▲：最高気温に対する倍率（1～5月と10～12月）

△：最低気温に対する倍率（1～5月と10～12月）

●：最高気温に対する倍率（6～9月）

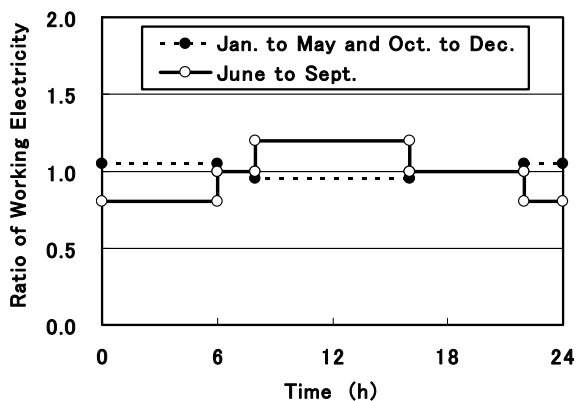
○：最低気温に対する倍率（6～9月）

●：最高気温に対する倍率（(2)漁港（高圧）の図のみ）

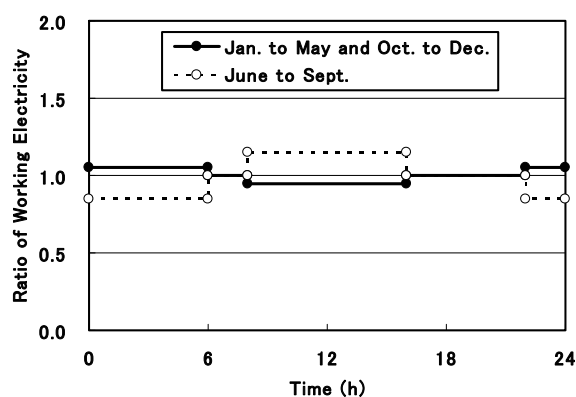
○：最低気温に対する倍率（(2)漁港（高圧）の図のみ）

ii) 使用電力の日変動パターンの仮定

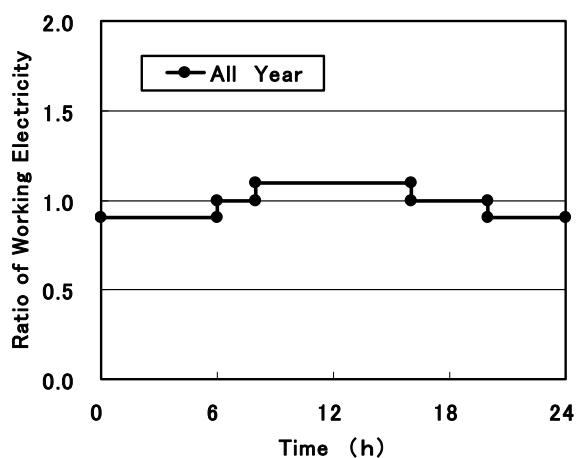
i)で示した日最高気温および日最低気温に対する使用電力の変動を考慮し1日の使用電力の変動パターンを設定する。図-5.33は気温による1日の使用電力量の変動パターンのモデル化を示す。例えば(2)に示す漁港（高圧）では外気温が高い日中の使用電力量が多いと仮定している。また、(4)の温泉施設では、夏季（6～9月）とそれ以外の時期では、気温に対する使用電力量の関係が異なることから、1日の使用電力のパターンを時期によって変えている。使用電力の日変動パターンは図に示したような階段状になるわけではなく1日の気温変化に連動したパターンとなっていると想定されるが、これを裏付ける時間帯別の使用電力のデータが無いため、ここでは簡略化のため階段状のモデル化した。



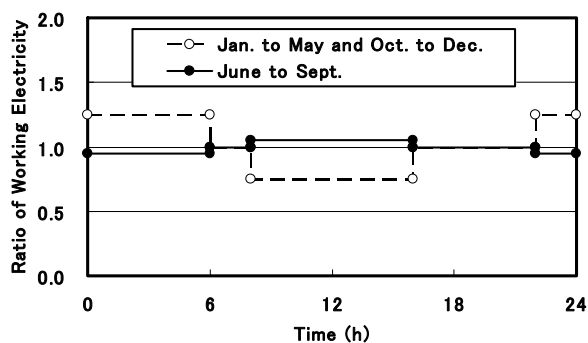
(1) 漁港 (町支払分)



(4) 温泉施設



(2) 漁協 (高圧)



(3) 漁協 (低圧)

図-5.33 気温による 1 日の使用電力量の変動パターン
のモデル化

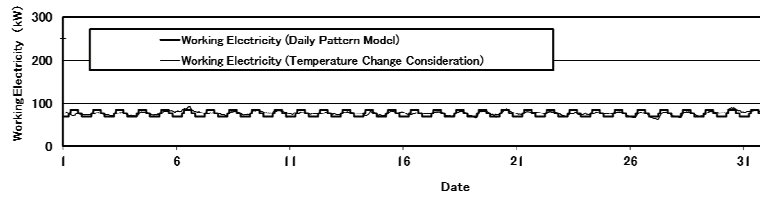
縦軸：使用電力比，横軸：時刻 (時)，

●：1月～5月と10月～12月，○：6月～9月

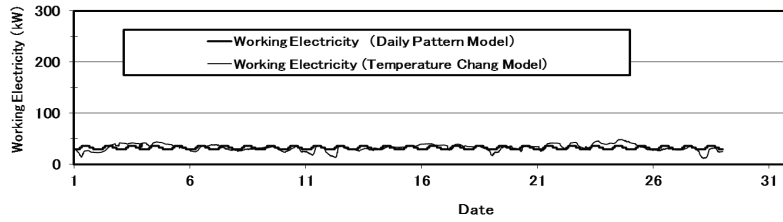
●：通年 (2)漁港 (高圧) の図のみ

iii) 使用電力の変動

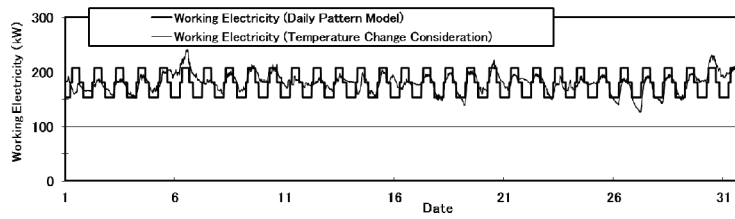
図-5.34 は使用電力の変動について使用電力量の多い漁協 (高圧) と温泉施設，および総計 (漁港 (町支払分)，漁港 (高圧)，漁港 (低圧)，温泉施設の合計値) について示す。図の太実線は，図-5.33 に示した 1 日の使用電力の変動パターンに基づき計算した結果，細実線は各 10 分ごとの気温変化による影響を表-5.10 に示した回帰式によって計算した結果である。回帰式は月平均気温と月別の日平均使用電力量の関係から求めているため，実際の 1 日の気温変動と使用電力変動の関係より求めているものではないが，10 分から 1 時間程度の時間レベルにおける短期的な気温変動と使用電力の変動に関する回帰式が得られていないため，月別データから求めた回帰式をあてはめて使用電力の時間的な変動を推定している。両者の計算による相違は全体的には小さいが，図-5.34(3) で示す温泉施設の 8 月の使用電力変動ではやや大きくなっている。



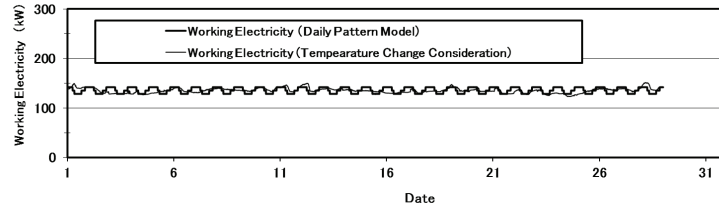
(1) 漁協 (高圧) 2010年8月



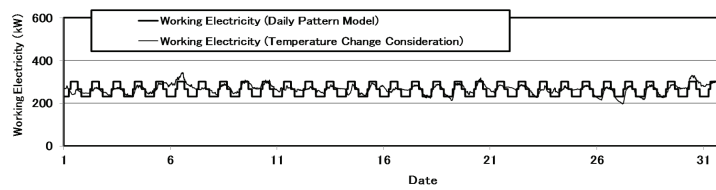
(2) 漁協 (高圧) 2011年2月



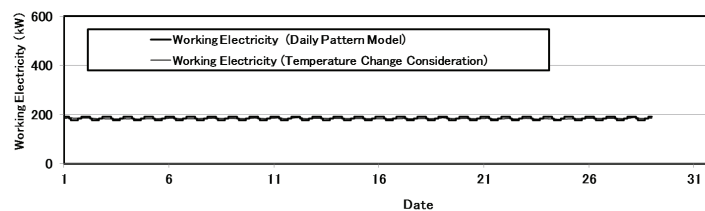
(3) 温泉施設 2010年8月



(4) 温泉施設 2011年2月



(5) 合計 2010年8月



(6) 合計 2011年2月

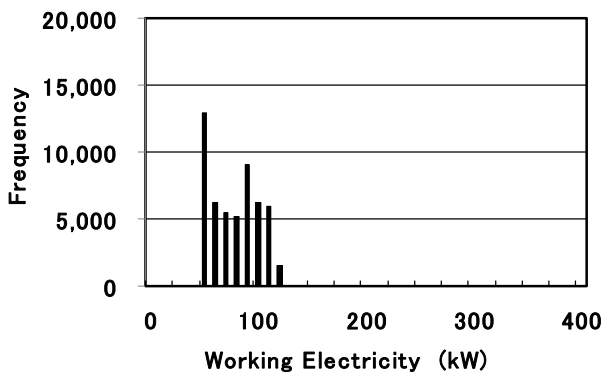
図-5.34 使用電力の変動

縦軸：使用電力，横軸：日付，太実線：使用電力（日変動モデル），細実線：使用電力（気温変化考慮）

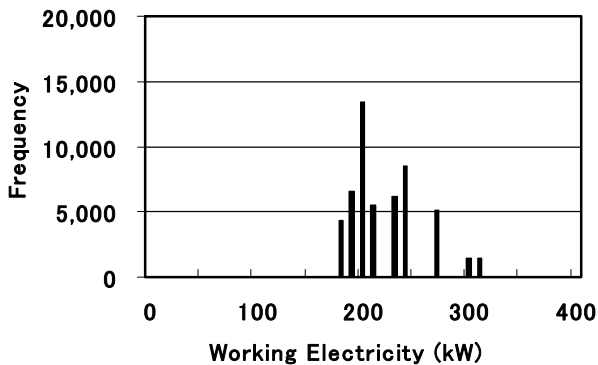
c) 漁港および周辺施設全体での分析

図-5.35はE漁港および周辺施設における使用電力の度数分布を示す。ここでは、図-5.33に基づき日変動パターンを仮定して計算した結果を示す。(1)は温泉施設を含まない場合で、最大使用電力は120kWである。(2)は温泉施設を含む場合で、最大使用電力は約300kWで、平均的には200kWである。次に、気温変化による使用電力の変動を表-5.10に示した回帰式によって計算した結果を図-5.36に示す。温泉施設を含まない場合の分布形状は図-5.35と大きくは変わらないが、温泉施設を含む場合には分布形状が大きく異なる。温度変化の影響を考慮することにより図-5.34(3)に示すように温度変化に対する使用電力の変化を細かく評価することにより、図-5.35(2)と図-5.36(2)とを比べると度数分布の形状が変化しているが、両モデルとも使用電力の最大値は300kWであり変化していない。

以上の図より、温泉施設を含む施設において定格出力300kWの風車を導入した場合には、定格出力300kWの電力出力が継続する状態では、施設内で自家消費しても平均的には約100kWの余剰電力が生じる可能性を示している。使用電力の変動については、より詳細な分析をしなければならないが、系統連系の際の留意事項となる。

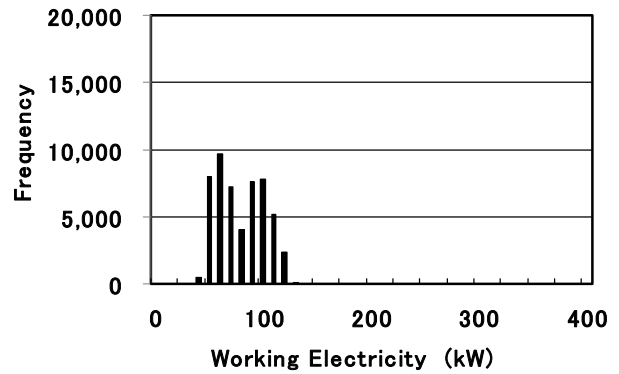


(1) 温泉施設を含まない場合

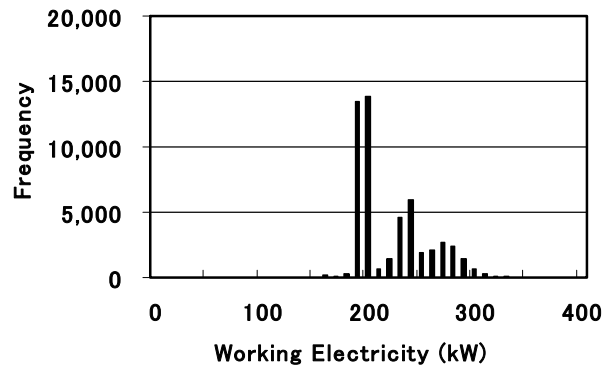


(2) 温泉施設を含む場合

図-5.35 使用電力の度数分布(日変動モデルによる計算結果)、縦軸：度数、横軸：使用電力



(1) 温泉施設を含まない場合



(1) 温泉施設を含む場合

図-5.36 使用電力の度数分布(気温変化より回帰式を用いて計算した結果)

縦軸：度数、横軸：使用電力

6. 港湾・漁港における電力の需給バランスの検討

沿岸域ローカルスマートエネルギーシステムの構築にあたっては、港湾、漁港を核とする地域における電力の需給バランスが取れていることが望ましい。ここでは、港湾および漁港において風力発電による発電電力と港湾、漁港における使用電力の需給バランスを確認する。検討の対象としたのはA港およびE漁港である。

6.1 港湾における分析事例

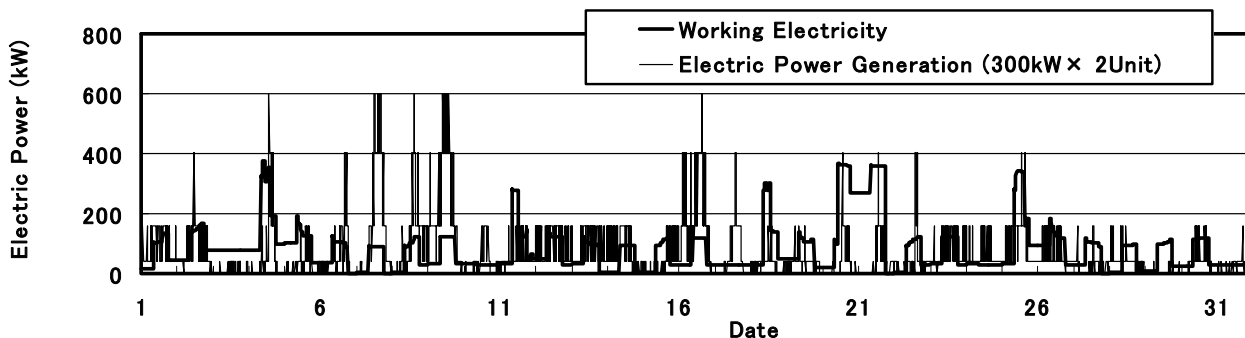
図-6.1はA港における定格出力300kW中型風車2基を用い、アメダス近傍地点の10分ごとの風速データを風車のハブ高さに換算して求めた風速より推定した発電量と5.3において求めた使用電力量とを時系列的に比較している。図示の対象とした期間は2008年8月と2009年2月である。

先に示した図-5.9においてA港では300kW風車1基では年間を通しての発電電力が使用電力を下回ることで、風車のメンテナンスを考慮すると風車1基ではメンテナンス作業

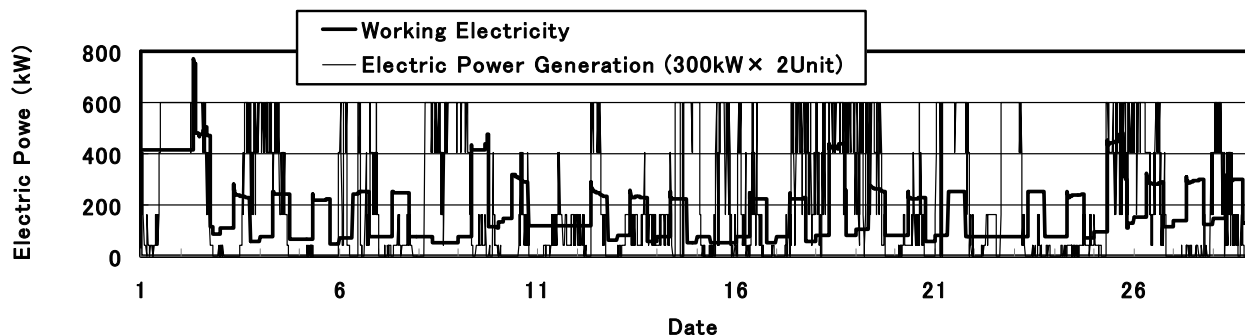
中の電力供給ができないことから300kW風車2基としている。この図より、発電側および需要側の変動性が大きなことから、需給バランスが極めて悪いことがわかる。

また、図-6.2は同港における1年間の発電電力と使用電力の差を示している。気温変化の影響を考慮したケース、

影響を考慮しないケースのいずれにおいても需給バランスの度数分布のピークは0kW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。



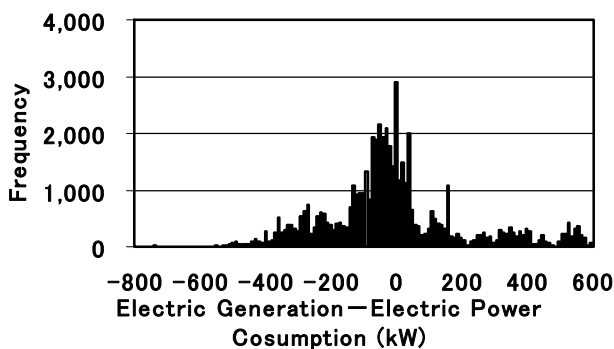
(1) 2008年8月



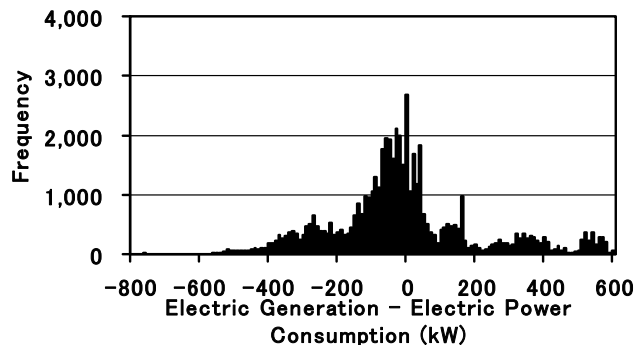
(2) 2009年2月

図-6.1 発電量と使用電力量のギャップ

縦軸：電力，横軸：日付，太実線：使用電力，細実線：発電電力（300kW2基）



(1) 気温変化の影響を考慮しない場合



(2) 気温変化の影響を考慮した場合

図-6.2 需給バランス推定値（2008年4月～2009年3月）

縦軸：度数，横軸：発電電力－使用電力

太陽光発電と風力発電の関係性をみてみると、北海道の西海岸では一般的に風力発電における発電量は冬季に大きくなり、風速の小さな夏季に小さくなる。それに対し、太陽光発電は、日射量の比較的少ない冬季に小さくなり、夏季に大きくなる。このように、風力と太陽光は相互に補完できる可能性がある。太陽光発電では夜間や、日照が無い場合などは発電することができない。一方、晴天で風が弱くカットイン風速以下で風力発電が期待できない場合には発電量が確保される可能性がある。そこでA港に600kWの発電容量とする太陽光発電システムを導入したと仮定して風力発電とのハイブリッド化による需給バランスへの影響を検討する。A港のすべての港湾上屋に太陽光パネルを設置できる可能性は約1800kWであるから（環境省・国土交通省，2013），港湾上屋の約1/3に太陽光パネルを設置したと仮定したことに相当する。

図-6.3は、A港における使用電力の変動特性の推定値（太実線）と風速、日射量から推定した風力発電と太陽光発電によるハイブリッド化したトータルの発電電力（細実線）についての時間的変動を示す。太陽光発電では夜間発電ができないこと、風力発電ではカットイン風速以下では発電できないことから、両者をハイブリッド化しても使用電力をすべて補うことはできず、依然として需給ギャップが発生している。図-6.4にハイブリッド化による使用電力に対する発電電力の超過と不足の度数分布を太実線で示す。風力発電単独の場合（細実線）と比較すると、若干不足分が減少しているのがわかり、ハイブリッドシステムの場合には風力発電単独の場合よりやや改善していることがわかる。さらに蓄電池システムを導入し、余剰電力を蓄電し不足時に放電するようなシステムを採用すれば、需給バランスはさらに改善できると思われる。

一般に風力エネルギー等の自然エネルギーは、供給量の

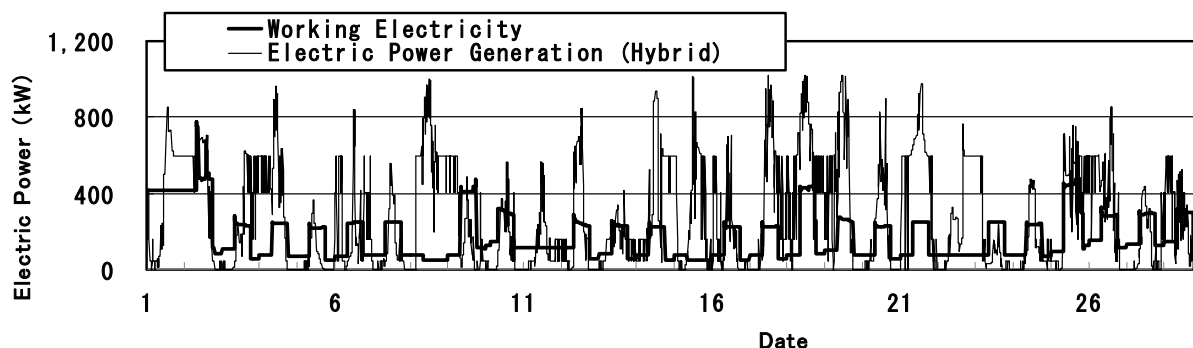


図-6.3 太陽光発電とのハイブリッド化による発電量と使用電力量のギャップ（2009年2月）
縦軸：電力，横軸：日付，太実線：使用電力，細実線：発電電力（ハイブリッド）

時間的変動が大きいいため、その利活用が難しいものとなっている。本資料でも示したように、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とが確認された。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。ただし、本資料の事例でも示したように供給側からの調整のみでは需要側とのギャップがすべて解消できないことから、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。

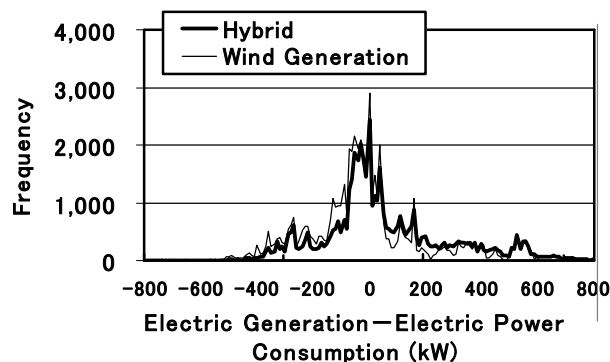


図-6.4 太陽光発電とのハイブリッド化による需給バランス推定値（2008年4月～2009年3月）
縦軸：度数，横軸：発電電力－使用電力，
太実線：ハイブリッド，細実線：風力発電

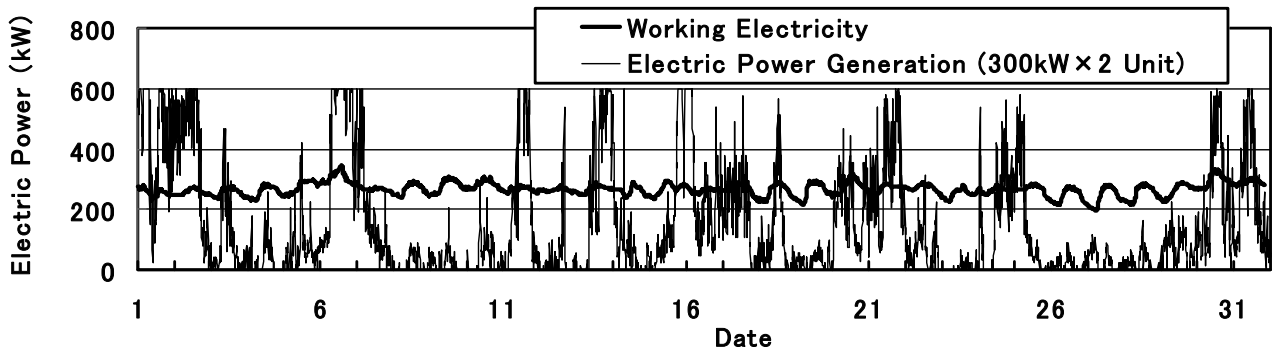
6.2 漁港および関連施設における分析事例

図-6.5はE漁港における2010年8月と2011年2月の発電電力と使用電力の差を示している。ここでは、温泉施設の使用電力を考慮した場合について示している。また、使用電力の推定は気温変化を考慮した場合についての計算結果を示している。発電電力は300kW中型風車を2基稼働させた場合としている。発電電力の推定に用いた風速はアメダス観測記録を風車のハブ高さに換算した風速である。2010年8月は風速が小さいため発電電力が使用電力を上回る場合もあるが、全体としては使用電力を大きく下回る状況が継続していることがわかる。一方、2011年2月は風速が大きく発電量が使用電力を大幅に超過する期間がある一方、風速の小さな場合には使用電力を下回る状況も生じていることがわかる。

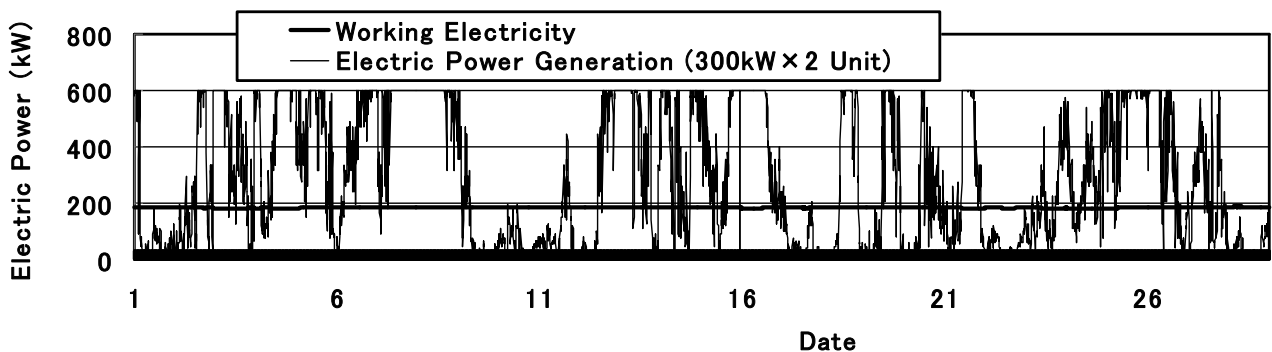
図-6.6はE漁港における2010年4月から2011年3月までの1年間の発電電力と使用電力の差を示している。ここでは、温泉施設の使用電力を含まない場合について示している。

A港では、需給バランスの度数分布のピークは0kW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たが、E漁港では需要側と供給側のバランスが良くない時間帯が多いことがわかる。ここでは、2つのモデルの計算結果を比較しているが、需給バランスの全体的な傾向には相違が少ないことがわかる。

図-6.7はE漁港における1年間の発電電力と使用電力の差を示している。この図では、温泉施設の使用電力を含む場合について示している。温泉施設を対象に入れることにより、需給バランスの度数分布のピークの1つはマイナス側に大きく偏る結果となっていることがわかる。負に偏る原因としては、温泉施設における電力需要は年間を通じて大きいものに対して、発電量が少ない時間帯において電力不足の状況が継続するためである。また、ここでは、図-6.6と同様に2つのモデルの計算結果を比較しているが、需給バランスの全体的な傾向には相違が少ないことがわかる。



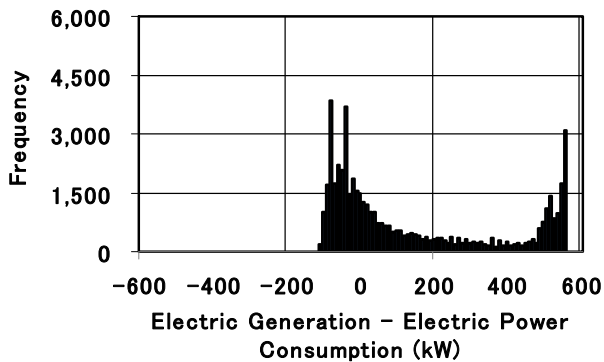
(1) 2010年8月



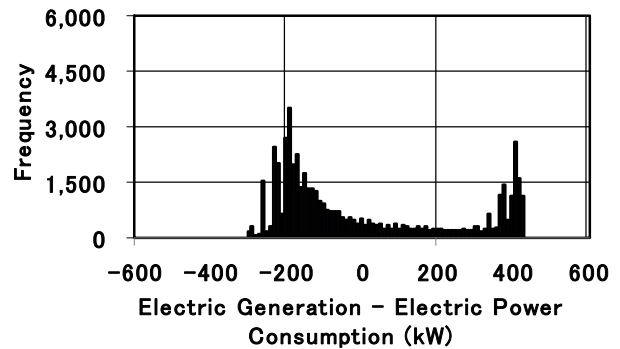
(2) 2011年2月

図-6.5 発電量と使用電力量のギャップ

縦軸：電力，横軸：日付，太実線：使用電力，細実線：発電電力（300kW2基）



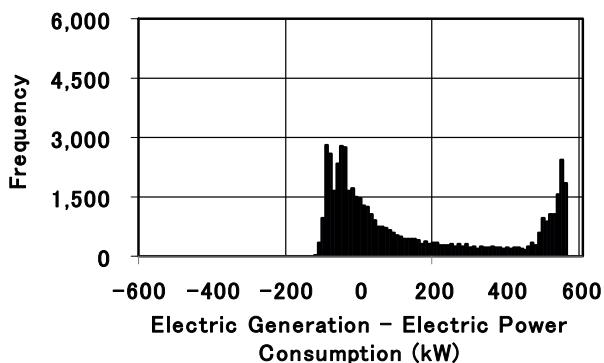
(1) 日変動モデルによる計算結果



(2) 気温変化より回帰式を用いて計算した結果

図-6.7 需給バランス推定値 (2010年4月～2011年3月)
(温泉施設を含む場合)

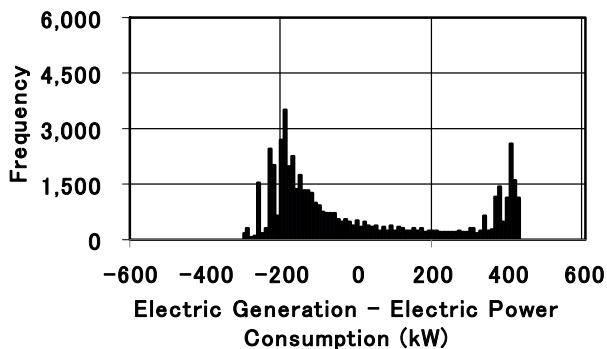
縦軸：度数，横軸：発電電力－使用電力



(2) 気温変化より回帰式を用いて計算した結果

図-6.6 需給バランス推定値 (2010年4月～2011年3月)
(温泉施設を含まない場合)

縦軸：度数，横軸：発電電力－使用電力



(1) 日変動モデルによる計算結果

6.3 分析結果から見た課題の整理

ここまでは各種の法規制等を考慮せずに、沿岸部における風力エネルギーの導入可能性について港湾・漁港をモデルとして検討している。具体的な導入にあたっての課題を以下に述べる。

(1) 港湾・漁港ごとの使用電力量の実態把握と風力エネルギー導入ポテンシャルの把握

本資料では、北海道の北部日本海側に面する港湾・漁港五港を対象に使用電力量を調査している。調査した港湾・漁港での月別の使用電力量の傾向には大きな差異が見られた。今後は、調査対象地域を広げ、使用電力量の実態把握を進めるとともに、当該地域における風速データに基づき発電ポテンシャルを調査することにより、導入可能性を把握することが、港湾・漁港におけるクリーンエネルギー利用拡大につながると考えられる。

また、船舶の停泊中のアイドリングストップのための陸電供給や臨港道路の沈埋トンネルの照明や換気、橋梁の照明やライトアップ等、利用方法についての検討も必要である。

(2) 発電量の時間変動性の緩和

本資料においては、発電量の時間変動性については月別変動性のほかに日別変動性、時間帯別変動性があり風力エネルギーを自己利用型エネルギーとして利用することを難しいものとしている。発電量の時間変動性の緩和のためには、蓄電池の利用、太陽光発電等の他のクリーンエネルギーとのハイブリッド化等が考えられるが、いずれも発電単価のアップにつながるため、その点を考慮しつつ検討することが必要となる。

(3) 官民連携利用・地域連携利用

中小規模の港湾や漁港においては、使用電力量が少ないため、港湾施設あるいは漁港施設単独では余剰電力が生ずる。しかしながら現行の制度の下では、港湾管理のための設備として風力発電を導入した場合、発電電力の使用は港湾施設での使用に限定されるのが一般的である。地方港湾では、港湾の漁港地区に立地する冷蔵冷凍倉庫への電源供給や水産加工施設への電源供給を行うことが、風力発電施設の事業性を向上させることになる。この解決のためには、官が設置した施設の民間部門への供給、また、その逆のケース等、現行制度の下では一般的には実施できないしくみを導入する等、法令、規制等の緩和方策について検討を進める必要がある。

国土交通省が進める先導的官民連携支援事業においては、官民連携事業を推進しようとする地方自治体等に対して官民連携事業の検討に要する調査費用を助成することにより、先導的な官民連携事業の事例となる案件の形成を推進することを目的としており、事業モデルとして①民間開発活用型、②公共施設等運営管理型、③付帯事業活用型、④包括マネジメント型、⑤その他の先導的的事业とされている（国土交通省,2011a）。このうち、付帯事業活用型とは、公共施設等の整備・運営はこれまでどおり行いながら、公共施設等の一部や余剰部分、副産物を活用して、民間事業者が収益事業を行う事業であり、包括マネジメント型とは、公共主体が保有する公共施設等を含む複数の業務を包括して民間事業者が実施するのに併せて、長期間にわたる当該対象業務の効率的なマネジメントを民間事業者が行う事業とされている。これらの制度を沿岸域における自然エネルギーの導入において活用しようとする、例えば付帯事業活用型では、港湾や漁港等の公共施設の管理用に用いる風力発電等の電力資源を港湾・漁港等の関連施設への提供することにより事業を効率化させることにより導入コストを低減させることが考えられる。また、包括マネジメント型の事例としては、港湾区域等沿岸域に立地する民間風力発電事業と、港湾・漁港等の管理を目的に導入する公共の風力発電施設の一体的な維持管理を行うことにより、風力発電施設のメンテナンスコストを低減させることによる事業の効率化などが考えられる。その場合、複数の事業者から電源供給を禁じている電気事業法の一部緩和などの法規制の調整が必要となる。

港湾管理のための設備として風力発電を導入した場合、発電電力の使用は港湾施設での使用に限定される。地方港湾では使用電力量が少ないため、港湾施設単独では余剰電力が生ずるので、港湾の漁港地区に立地する冷蔵冷凍倉庫への電源供給や水産加工施設への電源供給を行うことが事

業性を向上させることになる。こうした施設は漁業協同組合や民間事業者の管理となるため、現行の法制度の下では余剰電力の転用ができない。第三セクターの事業として、地域で総合的に電力供給する手段も考えられるが、いずれにしても風力発電をはじめとするクリーンエネルギーの導入促進が図れる法制度の確立や規制の緩和が必要となる。

官民連携の方式を検討するにあたり E 漁港およびその周辺施設における電力の月別の使用電力量の内訳を検討する。

図-6.8 は漁港(町支払い分)の使用電力量の比率を示す。E 漁港における使用電力量は温泉を含む総使用電力量に比べると 1%未満である。また、温泉施設を除外して、E 漁港(町支払い分)と漁協(高圧および低圧)の総使用電力量に比べると 2008 年 7 月を除けば、3%以下である。図-6.9 は漁港+漁協の使用電力量の温泉施設を含む総使用電力量に対する比率を示す。漁港を直接的に利用している漁協の使用電力量を含めると、その比率は 30~45%程度となる。

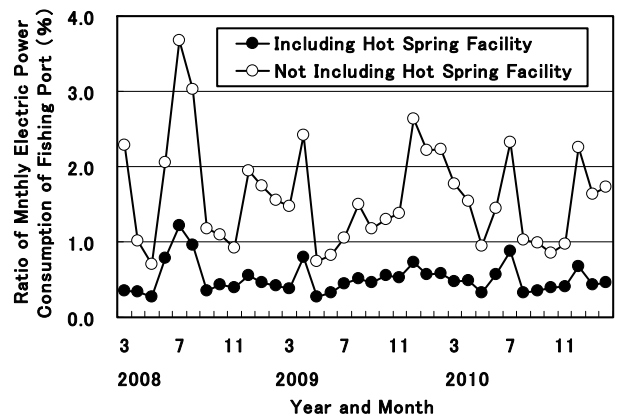


図-6.8 E 漁港の使用電力量の比率

縦軸：漁港使用電力量比率，横軸：年月
●：温泉施設を含む，○：温泉施設を除外

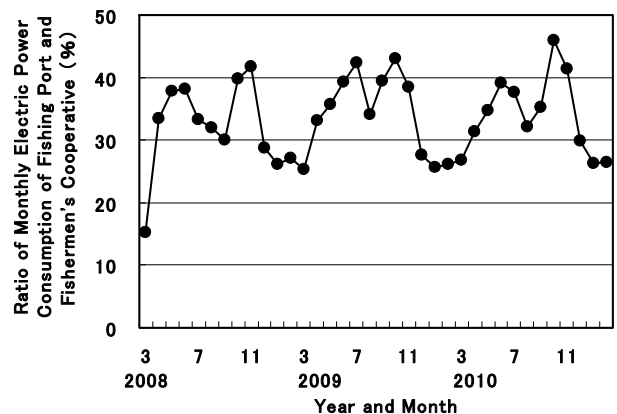


図-6.9 漁港+漁協の使用電力量の比率

縦軸：(漁港+漁協)使用電力量比率，横軸：年月

図-6.10は2011年2月を1.0とする毎月の使用電力の変動を示す。温泉施設を除外した漁港と漁協の使用電力量の変動は2010年10月に2.39を示しているが、温泉施設を含めることで、その最大値は、2010年8月の1.61まで低下している。月別の電力使用が変動しない温泉施設を電力利用の系統に組み入れることで、月別の電力使用の変動を低減させる効果がある。

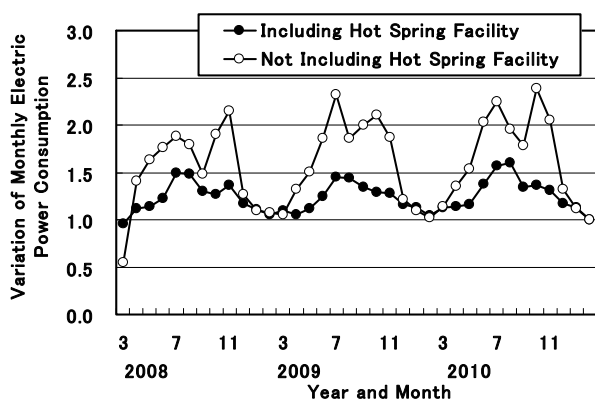


図-6.10 使用電力の変動(2011年2月を1.0とする)
縦軸：月別使用電力量変動，横軸：年月，
●：温泉施設を含む，○：温泉施設を除外

(4) 電力システム改革との関連性

本システムの導入実現性についての具体的な試算は今後の課題である。ここでは海外の事例や電力システム改革の動向をふまえて導入実現性について考察する。第一に本提案の沿岸域ローカルスマートエネルギー利用システムの先行事例ともいえる例からの考察である。2.2で示したようにドイツ・ブランデンブルグ州フェルトハイム村では企業と共同で風車を1995年より建設している。一方、その発電電力を自ら村内で消費しようとしたが送配電会社を通しての村内の電力供給が実現できなかったため独自に配電線を引き直接供給することとした。この事例では、村内で発電した電力を自ら消費しようとしたとき独自に配電線を引かなければならなかったことが課題である。導入コストの面で既存の送電線を活用できるしくみの導入が実現性をより高めることにつながる。

次に電力システム改革の動向との関連性について述べる。経済産業省に設置された電力システム改革検討委員会は2012年7月「電力システム改革の基本方針」（経済産業省、2012）を公表した。この中では、東日本大震災後の我が国の電力供給システムの持続可能性を確保するために「エネルギー安定供給」、「競争力の強化」、「地球環境問題への挑戦」という3つの目標に立ち返り、将来における電力システムの構築を目指して提言を行っている。改革

の基本方針は需要サイド（小売分野）の改革、供給サイド（発電分野）の改革、送配電分野の改革の3本の柱について示されている。本資料で提案する沿岸域ローカルスマートエネルギーシステムは基本的には電力使用について自己完結型のシステムを目指しているが、風力エネルギーという変動性の大きなものをコアシステムとして利用しているため、電力会社との連系による運用がより現実的である。この場合は、システム内での需給調整や系統への負荷軽減が課題であるが、本提案システムのように比較的小口で系統に対する負荷低減を図るシステムを取るものにおいては、系統連系の際の優先的な公募スキームも必要であると考えられる。

7. おわりに

本資料では、沿岸域に適した中型風車を開発し、その活用方策を検討する中で風車による発電電力を自己消費する利用モデル（沿岸域ローカルスマートエネルギーシステム）を提案し、その実現への課題を整理するために港湾および漁港における電力の使用状況の分析に基づく需給分析を行った結果を示した。あわせて、風力発電開発の海外および国内の動向を紹介するとともに、港湾や漁港への風力発電システムの導入に関する提言をとりまとめた。以下に、主要な成果を述べる。

- (1) 日本の港湾における使用電力の現状やコンテナターミナルにおける荷役のエコ化等の事例をふまえて、風力発電による発電電力の自己消費による沿岸域ローカルスマートエネルギーシステムを提案するとともに、その実現のための課題を整理した。
- (2) 海外における大型風車の開発動向を調べた。また、国内における洋上風力発電の実現へ向けた実証研究について述べた。
- (3) 中型風車の開発を行い、実機風車を東京湾沿岸に設置し、現地実証試験を実施してきたが新たに制御方法の改良を行いその効果について検証した。
- (4) 港湾および漁港における使用電力量に関するデータより使用電力量に及ぼす気温の影響分析を行うとともに、使用電力の時間変動性について分析した。
- (5) 中型風車による発電電力の時間変動性を分析し、使用電力の時間変動性と両者による需給バランスを分析し、風力発電をコアとする沿岸域ローカルスマートエネルギーシステムの実現へ向けた課題と対策を整理した。

(2014年1月24日受付)

謝辞

本資料は(独)港湾空港技術研究所, 足利工業大学, 北海道工業大学, ㈱駒井ハルテックの4者共同研究と実施しているものの一部の成果をまとめたものである。使用電力量の調査においては国土交通省北海道開発局港湾空港部ならびに港湾・漁港管理者の協力を得ており関係者に謝意を表します。博多港ふ頭㈱においては先進的なコンテナターミナルの運営と省エネルギー対策についてのヒアリングをさせていただいた。江頭社長をはじめ関係者の皆様に謝意を表します。コンテナターミナルにおける使用電力についての分析については(一社)港湾荷役システム協会の関係者の皆様の指導助言をいただいたことに謝意を表します。

本研究の遂行にあたり, 本共同研究の第一期, 第二期の研究において中心的な活動をされていた㈱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, 第三期の共同研究においても, オブザーバーとして指導助言をいただき, 本資料の執筆にも指導いただいたことに謝意を表します。データ整理の一部は北海道工業大学の卒業生である船水大輔, 宮下さとみ, 東瑞季, 成田憲昭, 工藤光弘の諸君の協力によるものであり感謝の意を表します。

参考文献

池田直太(2013): 港湾における洋上風力発電導入に向けた課題と展望, 日本風力エネルギー学会, 第35回風力エネルギー利用シンポジウム, pp.1-21.

牛山泉(2013): 風車工学入門(第2版), 森北出版, 191p.

環境省・国土交通省(2012): 港湾における風力発電について一港湾の管理運営との共生のためのマニュアル, ver.1

環境省・国土交通省(2013): 平成24年度港湾における風力発電の導入円滑化及び利活用方策検討委託業務成果報告書

経済産業省(2012): 電力システム改革の基本方針—国民に開かれた電力システムを目指して—, 経済産業省電力システム改革専門委員会

経済産業省資源エネルギー庁(2012):

<http://www.enecho.meti.go.jp/kaitori/kakaku.html>

経済産業省(2014a):

<http://www.meti.go.jp/press/2013/01/20140107001/20140107001.html>

経済産業省(2014b):

http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/012_giji.htm

国土交通省(2011a):

<http://www.mlit.go.jp/report/press/>

[sogo08_hh_000038.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/port04_hh_000029.html)

国土交通省(2011b): 港湾区域等に風力発電施設を設置する場合の占有等の許可基準等の参考指針,

<http://www.mlit.go.jp/report/press/>

[port04_hh_000029.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/port04_hh_000029.html)

斉藤純夫(2013): こうすればできる! 地域型風力発電-地元利益を生み, 愛される風車の実現, 日刊工業新聞社, 151p.

白石悟・永井紀彦・林宏典・西和宏・久米仁司・堂端重雄(2005): 瀬棚港における実測データを用いた洋上風車背後の風の分布特性とその考察, 土木学会, 海洋開発論文集 第21巻, pp.1059-1064.

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・久高将信(2010): 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講演概要集, 日本風力エネルギー協会, pp.139-142.

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(2011a): 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- I_201.

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(2011b): 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の提案および実現への課題, 日本海洋政策学会第3回年次大会, pp.32-34.

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(2012a): 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.

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(2012b): 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・漁港における使用電力特性の調査, 日本風力エネルギー学会, 第34回風力エネルギー利用シンポジウム, pp.315-318.

白石悟・下迫健一郎・米山治男・牛山泉・西沢良史・細見雅生・小川路加・永井紀彦(2013): 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- I_585.

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(2007): 日本型風力発電ガイドライン策定事業中間報

- 告, 102p.
- 水産庁(2011): 漁港区域に風力発電施設を設置する場合の占有等の参考指針
- 中日新聞(2012):
<http://www.chunichi.co.jp/article/living/life/CK2012072302000111.html>
- 永井紀彦・橋本典明・横井博志・鈴木善光・魚崎耕平(2000): 観測データに基づく沿岸域および海上の風出現特性の検討, 土木学会, 第27回土木学会関東支部技術研究発表会講演集 pp.374-375.
- 永井紀彦・菅原一晃・佐藤和敏・川口浩二(2001a): 我が国沿岸の風観測結果に基づく風力エネルギーの試算, 港湾空港技術研究所資料, No.999, 59p.
- 永井紀彦・勝海務・岡島伸行・隅田耕二・久高将信(2001b): NOWPHAS データより推定した洋上沿岸域での風力発電の可能性, 土木学会, 海洋開発論文集, 第17巻, pp.19-24.
- 永井紀彦(2002): 風力エネルギー活用の観点から見た沿岸域洋上風力の特性, 港湾空港技術研究所資料, No.1034, 34p.
- 永井紀彦・小川英明・中村篤・鈴木靖・額田恭史(2003): 観測データに基づく沿岸域風力エネルギーの出現特性, 土木学会, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.1306-1310.
- 永井紀彦・牛山泉・根本泰行・川西和昭・額田恭史・鈴木靖・乙津孝之(2004): 現地実証試験と風況シミュレーションに基づく沿岸風力照明システムの合理的構築, 足利工業大学総合研究センター, 自然エネルギー利用総合セミナーテキスト, pp.1-10.
- 永井紀彦・牛山泉・根本泰行・川西和昭・額田恭史・鈴木靖・乙津孝之(2005a): 現地利用型エネルギー活用をめざした沿岸風力照明システムの検討, 海洋調査技術学会, 海洋調査技術, Vol.17 No.1, pp.1-12.
- 永井紀彦・下迫健一郎・牛山泉・根本泰行・川西和昭・塚本泰弘(2005b): 沿岸風力照明システムの計画・設計に関する検討—点灯稼働率事前予測法の開発などについて—, 港湾空港技術研究所資料, No.1105, 23p.
- 永井紀彦・白石悟・清水勝義・成瀬英治・八木一浩・乙津孝之(2006a): 実測データに基づく洋上風車群近傍の風況推定と発電予測手法の構築, 土木学会, 海洋開発論文集, 第22巻, pp.869-874.
- 永井紀彦・清水勝義・牛山泉・李在炯・細見雅生・小川路加(2006b): 沿岸域における中小型風力発電装置の適用可能性に関する現地実験, 海洋調査技術学会, 第18回研究成果発表会講演要旨集, 第18回, pp.17-18.
- 永井紀彦・鈴木高二朗・牛山泉・西沢良史・細見雅生・小川路加・野口仁志(2008): 沿岸域中型風車の開発とその沿岸域への適用について, 港湾空港技術研究所資料, No.1180, 31p.
- 永井紀彦・鈴木高二朗・田中陽二・牛山泉・西沢良治・白石悟・細見雅生・小川路加・久高将信(2009): 中規模風車による沿岸域自立型クリーンエネルギー活用システムをめざして, 海洋調査技術学会, 第21回研究成果発表会講演要旨集, pp.43-44.
- 永井紀彦・川口浩二・吉村豊・吉岡健・谷川亮一・青木功(2011a): 洋上風の乱れと波浪との同時生起性に関する実証的検討, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.67, No.2, pp.961-966.
- 永井紀彦・白石悟・鈴木高二朗・田中陽二・牛山泉・西沢良史・細見雅生・小川路加(2011b): 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, 38p.
- 永井紀彦・川口浩二・吉村豊・吉岡健・谷川亮一・青木功(2012a): GPS 波浪計によって観測された洋上風の乱れ強度, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.68, No.2, pp.905-910.
- 永井紀彦(2012b): 2011年東日本大震災後の私の研究活動, ヘドロ No.114, (社)底質浄化協会, 2012.5.号, pp.7-15.
- 中原裕幸(2011): 沿岸域総合管理に関する一考察—地方公共団体の管轄範囲をめぐる—, 日本海洋政策学会誌創刊号, 日本海洋政策学会, pp.93-96.
- 農林水産省・国土交通省(2011): 海岸保全区域等における風力発電施設設置許可に関する運用指針,
http://www.mlit.go.jp/report/press/river03_hh_000354.html
- 福岡市(2013):
port-of-hakata.city.fukuoka.lg.jp/.../519584bd146fb1.83535662.pdf
- 鷺尾朝昭・坂本登・中嶋周作・青木功・川口浩二・永井紀彦・仲井圭二(2013): 洋上風力発電の実用化をめざした北九州市沖洋上風況観測塔による気象・海象観測, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.69, No.2, pp. I_1-I_6, 2013.
- BSH(2006): Offshore wind power development in Germany, 32p.
- BSH(2011): <http://www.bsh.de>
- Crown Estate(2011): <http://www.thecrownstate.co.uk>
- DOE(2011): <http://www.energy.gov>
- IEC 61400-1(1999): Wind turbine generator systems - Part 1: Safety requirements.

- IEC 61400-24(2002): Wind turbine generator systems - Part 24: Lightning protection.
- Iken, J., Thomas, T. (2011) : Trend in favour of direct drives, The Magazine for Renewable Energy - SUN & WIND ENERGY – offshore edition, pp.7-12
- Koenemonn, D. (2011) : Greater yield outweighs higher output (2011), The Magazine for Renewable Energy - SUN & WIND ENERGY, pp.268-273
- Marsh, G. (2008) : Intelligent blade monitoring – the benefits, Renewable Energy Focus, January / February 2008, ISES, pp.62-65.
- Marsh, G. (2011) : All set for era of big blades Renewable Energy Focus, vol.12, No.5, ISES, pp.66-68.
- Marsh, G. (2012a) : Is small the new big?, Renewable Energy Focus, vol.13, No.1, ISES, pp.42-45.
- Marsh, G. (2012b) : Offshore reliability, Renewable Energy Focus, vol.13, No.3, ISES, pp.62-65.
- Nagai, T., Suzuki, K., Tanaka, Y., Ushiyama, I., Shiraishi, S., Ogawa, R. and Kudaka, M. (2010a): Field Experimentation of the 300kW Wind Power Generator at the Tokyo-Bay Coast, Book of Abstract, Renewable Energy 2010 Conference, Paper No. O-Wd-2-1, CD-ROM.
- Nagai, T., Suzuki, K., Tanaka, Y., Ushiyama, I., Nishizawa, Y., Shiraishi, S., Ogawa, R. and Kudaka, M. (2010b): Field Testing for Offshore Wind Farm in Tokyo Bay, Proc. of the TECHNO-OCEAN 2010 Paper No.14-1-012, CD-ROM.
- Nagai, T., Kawaguchi, K., Yoshimura, Y., Yoshioka, T., Tanikawa, R. and Aoki, I. (2010c): Study on Offshore Wind Turbines in Japan using NOWPHAS Data, Proc. of the TECHNO-OCEAN 2010 Paper No.14-1-010, CD-ROM.
- Shiraishi, S., Nagai, T., Suzuki, K., Tanaka, Y., Ushiyama, I., Nishizawa, Y., Hosomi, M., Ogawa, R., and Kudaka, M. (2011), Wind Energy Utilization by Use of Middle Sized Wind Turbine in Coastal Area, Coastal Structures 2011, pp.400-411
- Shiraishi, S. (2012) : The Wind Farms in Japanese Ports, The 13th Northern Asia Port Symposium, pp.1-18

付録 A 港湾施設の使用電力量と気温の関係の分析

A.1 B-2号上屋

A 港では、B-2 号上屋、B-3 号上屋、T-1 号上屋、T-2 号上屋の 4 施設の上屋がある。写真-A.1 は上屋施設の一例を示す。港湾管理者へのヒアリングの結果、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うこととする。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のデータは入手できていないため試算の対象外とする。



写真-A.1 上屋施設

図-A.1 は月別の使用電力量の推移を示す。また、図-A.2 は月別の使用電力の推移を示す。使用電力は月使用電力量を施設の稼働時間で除した数値であって、当該施設における使用電力の平均的な値を示すと考えられる。これらの図より夏季に使用電力量が少なく冬季に使用電力量が増加する傾向が確認される。これらのことから隣接するアメダス地点の月平均気温（図-5.11）との相関式を求める。

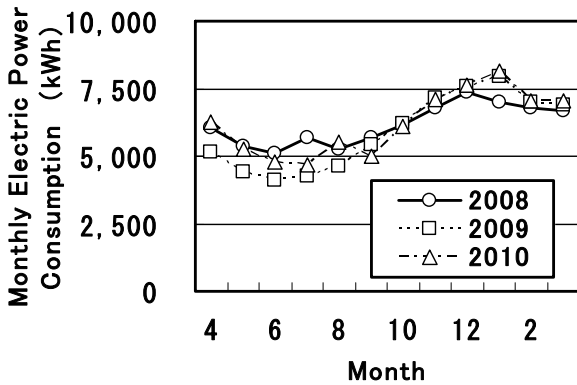


図-A.1 月別の使用電力量の推移
縦軸：月別使用電力量，横軸：月

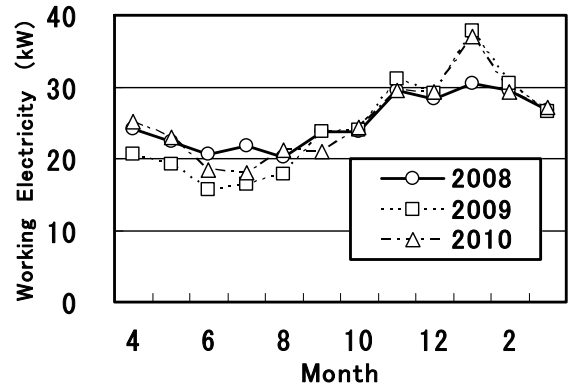


図-A.2 月別の使用電力の推移
縦軸：使用電力，横軸：月

表-A.1 および表-A.2 は年度ごと、および 3 年分のデータに基づく回帰式(A.1)の係数を示す。夏季を除く期間(10～5月)については回帰式の相関係数 R が 2008 年から 2010 年の各年のデータについては、 -0.91 、 -0.76 、 -0.82 と大きく、月平均気温に対して負の相関性があることがわかる。一方、夏季(6～9月)については月平均気温と使用電力量の間の相関係数が小さく相関性が認められない。

$$W_1 = a \cdot T + b \quad (A.1)$$

ここに、

W_1 : 使用電力 (kW)

T : 月平均気温 (°C)

表-A.1 回帰式の係数(10～5月)

年度	a	b	R
2008	-0.4740	28.618	-0.9115
2009	-0.7205	29.444	-0.7558
2010	-0.6144	29.856	-0.8174
2008-2010	-0.6121	29.367	-0.7861

表-A.2 回帰式の係数(6～9月)

年度	a	b	R
2008	-0.0841	23.113	-0.1131
2009	-0.6633	30.116	-0.3437
2010	0.2405	14.837	0.3560
2008-2010	-0.0232	20.305	-0.0197

図-A.3 は月平均気温と月別の使用電力の関係を示す。回帰式は 10～5 月と夏季の 6～9 月を対象に、3 か年分で回帰式を求めたものを示す。夏季の 6～9 月については、夏季以

外の10~5月で分析した場合と異なり月平均気温と使用電力の間には相関関係が認められない。

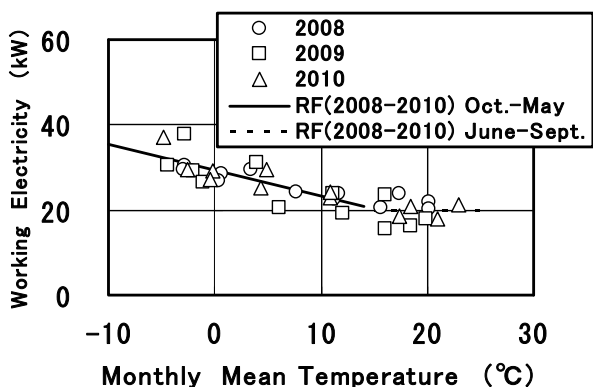


図-A.3 月平均気温と月別の使用電力の関係
縦軸：使用電力，横軸：月平均気温

図-A.4は月別の使用電力の月平均気温を用いた回帰式による推定結果を示す。ここでは、3年分のデータで回帰式を算定した係数を用いて推定している。回帰式と実測値の間で相違が生じている月もあるが、おおむね回帰式で月別の使用電力（平均値）を推定できることがわかる。

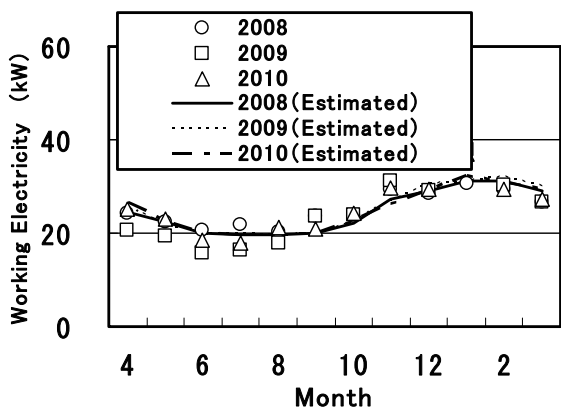


図-A.4 月別の使用電力の回帰式による推定結果
(3年分で回帰式算定)

縦軸：使用電力，横軸：月

実線：2008年度回帰推定値，点線：2009年度回帰推定値，
一点鎖線：2010年度回帰推定値

A.2 B-3号上屋

図-A.5は月別の使用電力量の推移を示す。また、図-A.6は月別の使用電力の推移を示す。夏季に使用電力量が少なく冬季に使用電力量が増加する傾向が確認される。一方で4~6月に使用電力量が多いことが確認される。この施設は穀

物のくん蒸に使用され、その影響が考えられるが施設の使用状況（穀物のくん蒸時間）についてのデータは入手できなかった。

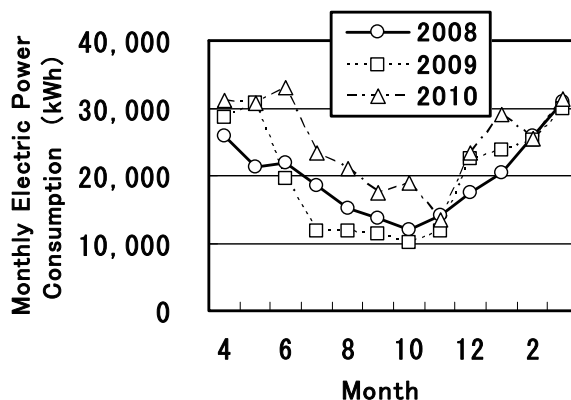


図-A.5 月別の使用電力量の推移
縦軸：月別使用電力量，横軸：月

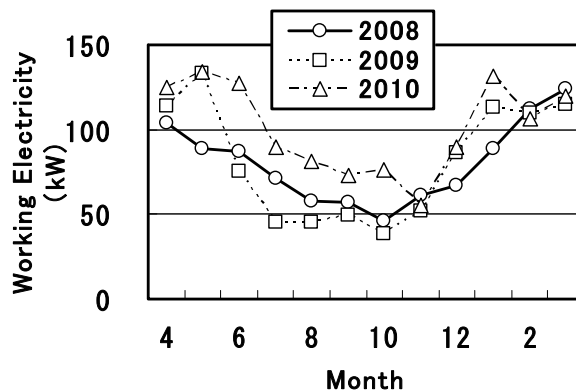


図-A.6 月別の使用電力の推移
縦軸：使用電力，横軸：月

表-A.3および表-A.4は回帰式の係数を示す。夏季（6~9月）を除く期間については回帰式(5.1)の R が2008年から2010年の各年のデータについては、 -0.43 、 -0.23 、 -0.25 であり、月平均気温に対して負の相関性があることがわかる。ただし、B-2埠頭のように R の値が -1.0 に近くはなく、負の相関関係は認めがたい。一方、夏季についても R が各年に対して、 -0.57 、 -0.65 、 -0.54 であって負の相関が認められる。

表-A.3 回帰式の係数（10~5月）

年度	a	b	R
2008	-1.9769	93.666	-0.4323
2009	-1.1952	98.777	-0.2282
2010	-1.1992	108.195	-0.2481
2008-2010	-1.5077	100.237	-0.2972

表-A.4 回帰式の係数 (6~9月)

年度	a	b	R
2008	-3.7260	136.708	-0.5707
2009	-5.0822	143.577	-0.6534
2010	-5.1646	195.778	-0.5359
2008-2010	-0.3356	77.939	-0.0318

図-A.7 は月平均気温と月別の使用電力の関係について示す。回帰式は、10~5月と6~9月について3か年データで回帰式を求めたものを示す。月平均気温と使用電力の関係には月平均気温が低下するほど使用電力が増加する関係が認められる。これは施設内で使用される暖房による影響と考えられる。ただし、B-2号上屋と比較すると、回帰式からのデータのばらつきが大きい。これは先に示したように穀物のくん蒸に要する使用電力の影響によるものと思われる。

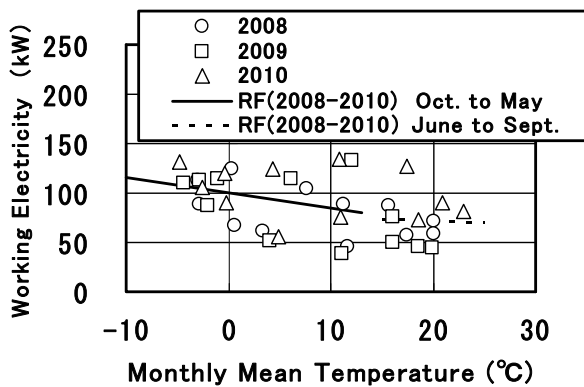


図-A.7 月平均気温と月別の使用電力の関係
縦軸：使用電力，横軸：月平均気温

以上の解析において、夏季以外の10~5月で回帰式を求めた結果の回帰係数は小さいことから、回帰式からのずれの大きな3~5月のデータを除外して10~2月について3年分のデータで解析した。表-A.5は回帰式の係数である。この結果を図-A.8に示す。Rは-0.84とその絶対値が大きく使用電力は月平均気温との負の相関が認められる。

表-A.5 回帰式の係数 (10~2月)

年度	a	b	R
2008-2010	-4.1331	88.908	-0.8387

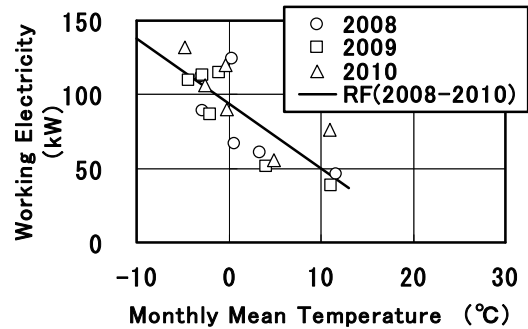


図-A.8 月平均気温と月別の使用電力の関係
(10~2月，3年分で回帰式算定)
縦軸：使用電力，横軸：月平均気温

また、夏季については6月が回帰式からのずれが大きかったことからこれを除外して、あらためて回帰式を求めることとした。表-A.6は回帰式の係数について6月を除外して7~9月の3か月で求めた結果を示す。

図-A.9 は月平均気温と月別の使用電力の関係について示す。回帰式は、6~9月の夏季について、6月のデータを除き、7~9月の3か年データで回帰式を求めたものを示す。月平均気温と使用電力の関係には月平均気温が高くなるほど使用電力が増加する関係が認められる。Rは0.62となり、6月のデータを除外しない場合にはRは-0.03であったことから、月平均気温に対する相関性が見られるようになってきている。これは先に示したように穀物のくん蒸に要する使用電力の影響がやや大きな6月のデータが除外されたことによるものと思われる。

表-A.6 回帰式の係数 (7~9月)

年度	a	b	R
2008-2010	4.9416	-32.488	0.6224

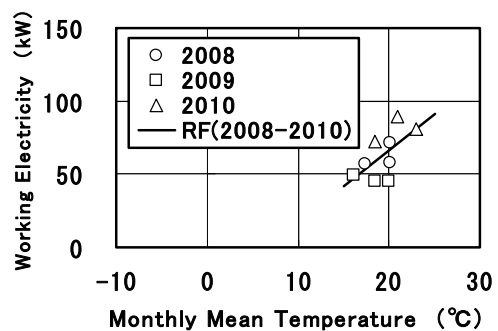


図-A.9 月平均気温と月別の使用電力の関係
(6月を除外して7~9月について，3年分で回帰式算定)
縦軸：使用電力，横軸：月平均気温

図-A.10 は月別の使用電力の月平均気温を用いた回帰式による推定結果を示す。ここでは、表-A.5 および表-A.6 に示した3年分のデータで回帰式を算定した係数を用いている。すなわち、回帰式の算定において3~6月のデータは除外している。B-2号上屋と比べると実測値と回帰推定値の相違が大きいことがわかる。穀物のくん蒸の影響と思われるが、くん蒸時間に関するデータは得られていない。そこで、図-A.11 に示すように月別の使用電力の回帰式による推定使用電力と実際の使用電力との差分を求めた。図に示すように各年の4~6月、2010年の10月、各年の3月での両者の差異が大きいことがわかる。ここでは、これらをくん蒸の影響と考えて差し引くこととした。

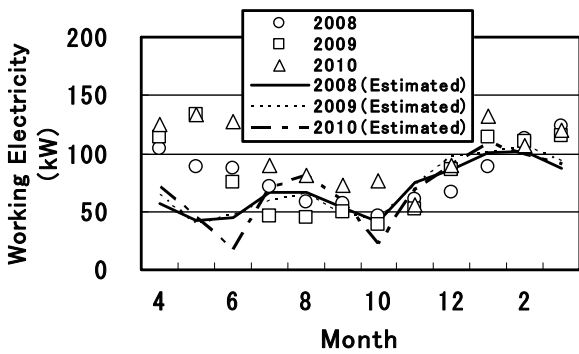


図-A.10 月別の使用電力の回帰式による推定結果
(3年分で回帰式算定, 3~6月データ除外)
縦軸：使用電力, 横軸：月

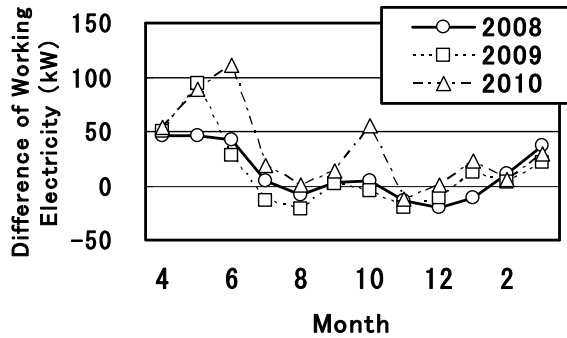


図-A.11 月別の使用電力の回帰式による推定結果との差分
(3年分で回帰式算定, 3~6月データ除外)
縦軸：使用電力差分, 横軸：月

図-A.12は図-A.11に示した差分を差し引いた月別の使用電力の月平均気温を用いた回帰式(3~6月はデータ整理から除外)による推定結果を示す。くん蒸による影響と思われる期間の使用電力について補正を加えることにより月別の使用電力は回帰式によりおおむね推定できることがわかる。

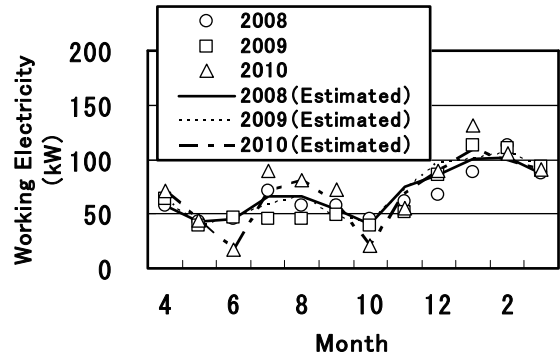


図-A.12 月別の使用電力の回帰式による推定結果と
補正後の使用電力の比較
(3年分で回帰式算定, 3~6月データ除外)
縦軸：使用電力, 横軸：月

A.3 T-1号上屋

図-A.13 は月別の使用電力量の推移を示す。また、図-A.14 は月別の使用電力の推移を示す。B-1号上屋と同様に夏季に使用電力量が少なく冬季に使用電力量が増加する傾向が確認される。

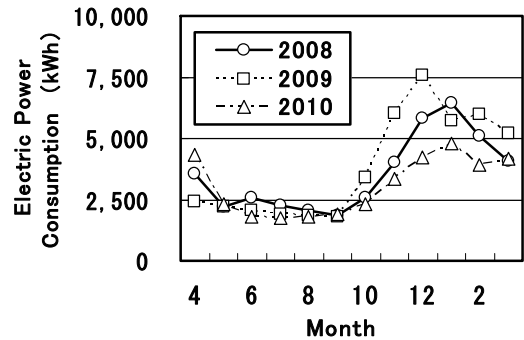


図-A.13 月別の使用電力量の推移
縦軸：使用電力量, 横軸：月

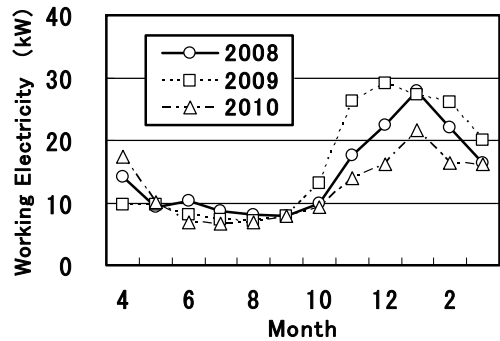


図-A.14 月別の使用電力の推移
縦軸：使用電力, 横軸：月

表-A.7 および表-A.8 は回帰式の係数を示す。10月～5月については回帰式のRが2008年から2010年の各年のデータについては、-0.92, -0.83, -0.91 と大きく、月平均気温に対して負の相関性があることがわかる。一方、夏季(6～9月)については相関性が10～5月ほどには大きくない。

表-A.7 回帰式の係数 (10～5月)

年度	a	b	R
2008	-1.0147	21.139	-0.9204
2009	-1.0648	23.219	-0.8346
2010	-0.6126	16.883	-0.9059
2008-2010	-0.9045	20.405	-0.8065

表-A.8 回帰式の係数 (6～9月)

年度	a	b	R
2008	-0.3350	14.855	-0.6330
2009	-0.2354	11.759	-0.9841
2010	-0.0749	8.624	-0.3316
2008-2010	-0.2288	12.083	-0.5147

図-A.15 は月平均気温と月別の使用電力の関係について示す。回帰式は、10～5月と6～9月のそれぞれに対して、3か年のデータで回帰式を求めたものを示す。10～5月については、月平均気温と使用電力の関係には月平均気温が低下するほど使用電力が増加する関係が認められる。これは施設内で使用される暖房による影響と考えられる。

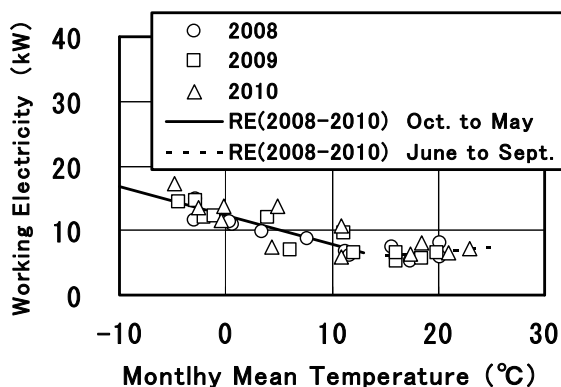


図-A.15 月平均気温と月別の使用電力の関係 (3年分で回帰式算定)

縦軸：使用電力，横軸：月平均気温

図-A.16 は月別の使用電力の回帰式による推定結果を示す。ここでは、3年分で回帰式算定した係数を用いている。

12月～3月のように、差異が生じている月もあるが、おおむね回帰式で推定できることがわかる。

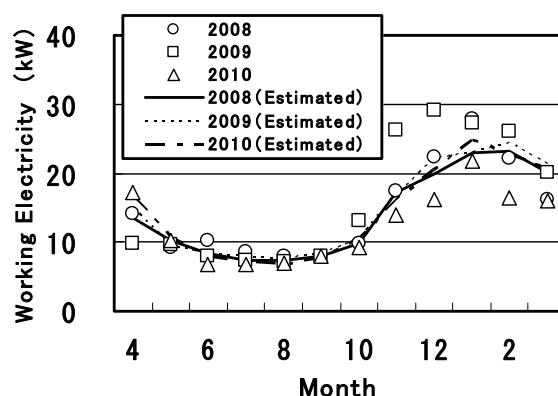


図-A.16 月別の使用電力の回帰式による推定結果 (3年分で回帰式算定)

縦軸：使用電力，横軸：月

A.4 T-2号上屋

図-A.17 は月別の使用電力量の推移を示す。また、図-A.18 は月別の使用電力量の推移を示す。T-1号上屋と同様に夏季に使用電力量が少なく冬季に使用電力量が増加する傾向が確認される。

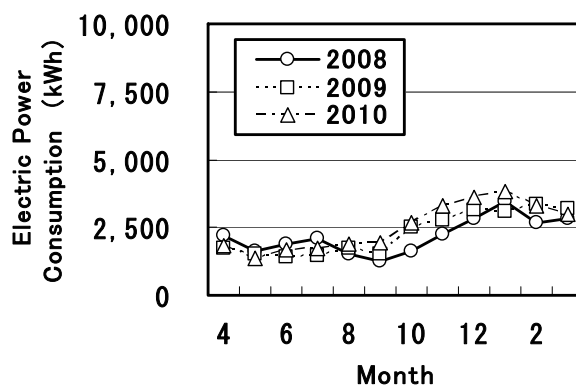


図-A.17 月別の使用電力量の推移

縦軸：使用電力量，横軸：月

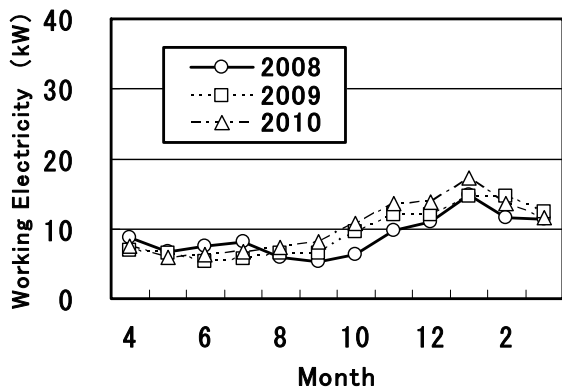


図-A.18 月別の使用電力の推移
縦軸：使用電力，横軸：月

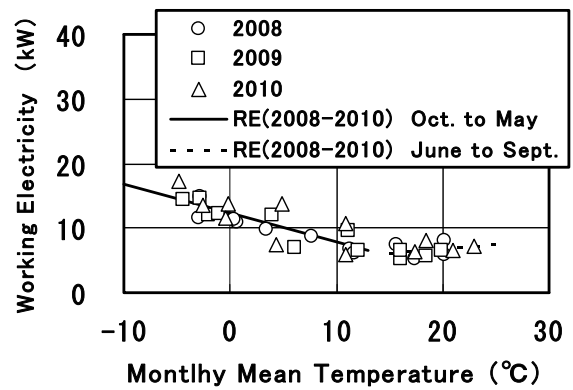


図-A.19 月平均気温と月別の使用電力の関係
(3年分で回帰式算定)
縦軸：使用電力，横軸：月平均気温

表-A.9 および表-A.10 は回帰式の係数を示す。10月～5月については回帰式(5.1)の R が2008年から2010年の各年のデータについては、 -0.93 、 -0.86 、 -0.75 と大きく、月平均気温に対して負の相関性があることがわかる。一方、夏季(6～9月)については相関性が求められない。

図-A.20 は月別の使用電力の回帰式による推定結果を示す。ここでは、3年分で回帰式算定した係数を用いている。差異が生じている月もあるが、おおむね回帰式で推定できることがわかる。

表-A.9 回帰式の係数 (10～5月)

年度	a	b	R
2008	-0.4511	11.678	-0.9391
2009	-0.4205	12.276	-0.8618
2010	-0.4742	13.111	-0.7533
2008-2010	-0.4524	12.366	-0.8266

表-A.10 回帰式の係数 (6～9月)

年度	a	b	R
2008	0.0180	6.388	0.0288
2009	0.1081	4.122	0.3251
2010	0.0218	6.683	0.0678
2008-2010	0.1215	4.356	0.2709

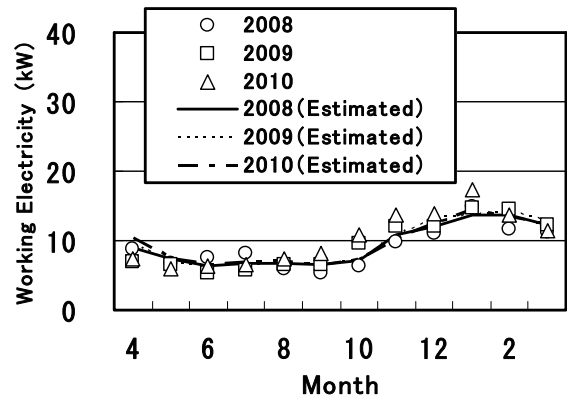


図-A.20 月別の使用電力の回帰式による推定結果
(3年分で回帰式算定)
縦軸：使用電力，横軸：月

図-A.19 は月平均気温と月別の使用電力の関係について示す。回帰式は、10～5月と6～9月について、3か年データで回帰式を求めたものを示す。10～5月については月平均気温と使用電力の関係には月平均気温が低下するほど使用電力が増加する関係が認められる。これは施設内で使用される暖房による影響と考えられる。

A.5 ガントリークレーン動力

図-A.21 はコンテナ荷役個数と当該施設における使用電力量の関係を示す。荷役個数が増加するにしたがい使用電力量が増加する傾向が見られるが、両者の間には、ばらつきが大きいことがわかる。

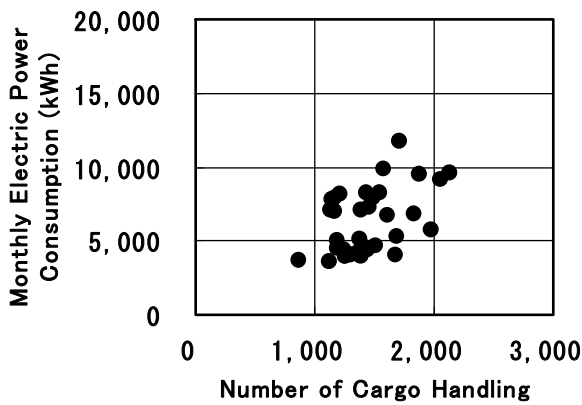


図-A.21 荷役個数と使用電力量の関係
縦軸：使用電力量，横軸：荷役個数

図-A.22 はコンテナ 1 個あたりの平均荷役時間を示す。ここでは荷役開始から終了までの時間を荷役個数で除した数値であって実サイクル時間ではない。また、荷役個数には空コンテナの個数も含まれる。2011 年 1 月に平均荷役時間が長くなっているデータがあるが、総じて月ごとの変動は少ない。したがって、荷役個数に対する使用電力量のばらつきの原因はコンテナ 1 個あたりの平均荷役時間の影響ではないと考えられる。

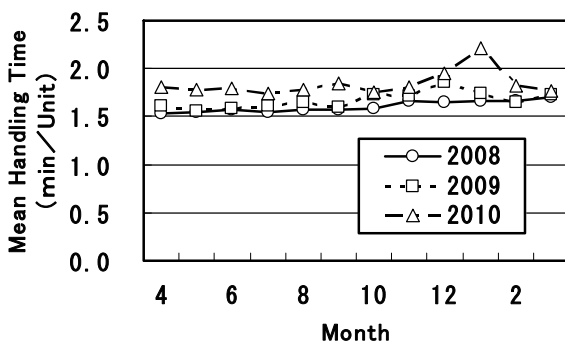


図-A.22 コンテナ 1 個あたりの平均荷役時間
縦軸：平均荷役時間，横軸：月

そこで、使用電力量を荷役個数で除算しコンテナ 1 個あたりの使用電力量を求めた。図-A.23 は月別のコンテナ 1 個あたりの使用電力量の推移を示す。コンテナ 1 個あたりで求めると夏季に使用電力量が少なく、冬季に使用電力量が大きく増加する傾向が確認される。運転席と機械室に暖房設備があり冬季に使用していることの影響および冬季には日中時間が短くなるため照明点灯の影響があるが試算の結果、その影響は使用電力の月別の変動を説明できるほど大きくないことが確認されている。

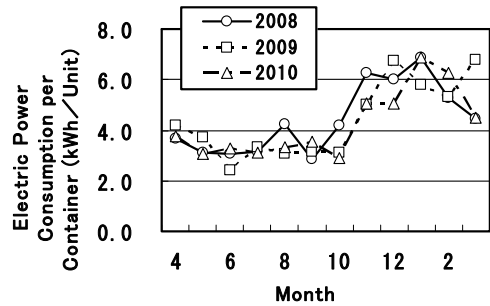


図-A.23 コンテナ 1 個あたりの使用電力量
縦軸：コンテナ 1 個あたり使用電力量，横軸：月

表-A.11 および表-A.12 は回帰式(A.2)の係数を示す。夏季(6~9月)を除く期間については回帰式の R が 2008 年から 2010 年の各年のデータについては、-0.75, -0.86, -0.91 と大きく、月平均気温に対して負の相関性があることがわかる。一方、夏季については相関係数の値が年度によって大きく異なり、相関性が夏季以外の期間ほどには大きくないことがわかる。

$$W_2 = a \cdot T + b \quad (A.2)$$

ここに、

W_2 : 20ft コンテナ 1 個あたりの使用電力量 (kWh/個)

T : 月平均気温 (°C)

表-A.11 回帰式の係数 (10~5月)

年度	a	b	R
2008	-0.1712	5.607	-0.7547
2009	-0.1795	5.601	-0.8600
2010	-0.2204	5.314	-0.9100
2008-2010	-0.1884	5.506	-0.8305

表-A.12 回帰式の係数 (6~9月)

年度	a	b	R
2008	0.1735	0.154	0.6023
2009	0.1041	1.150	0.4869
2010	-0.0161	3.632	-0.2254
2008-2010	0.0824	1.675	0.4256

図-A.24 は月平均気温と月別のコンテナ 1 個あたりの使用電力量の関係について示す。回帰式は、10~5月、6~9月について 3 か年データで回帰式を求めたものを示す。10~5月については、月平均気温とコンテナ 1 個あたりの使用電力量の関係には月平均気温が低下するほど使用電力量が増加する関係が認められる。

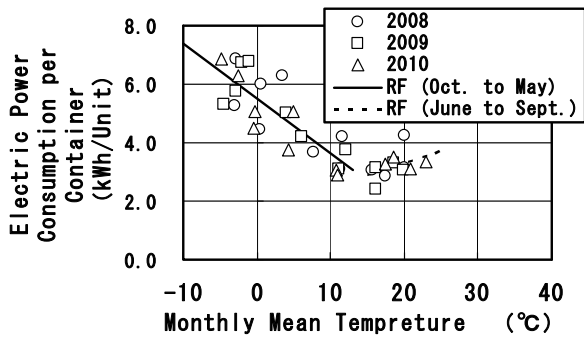


図-A.24 月平均気温と月別のコンテナ1個あたりの使用電力量の関係 (3年分で回帰式算定)

縦軸：コンテナ1個あたり使用電力量，横軸：月平均気温

図-A.25 はコンテナ1個あたりの月別の使用電力量の回帰式による推定結果を示す。ここでは、3年分で回帰式算定した係数を用いている。差異が生じている月もあるが、使用電力量の年間の変動を月平均気温を用いた回帰式でおおよそ推定できることがわかる。

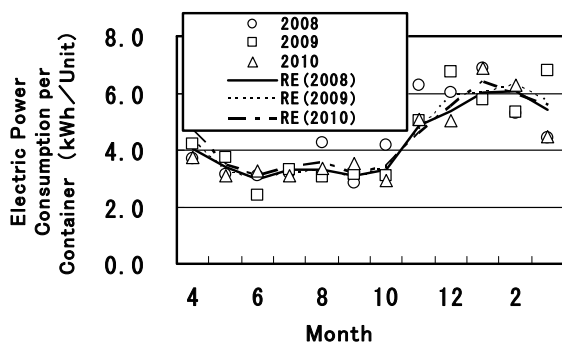


図-A.25 月別の使用電力の回帰式による推定結果 (3年分で回帰式算定)

縦軸：コンテナ1個あたり使用電力量，横軸：月

A.6 B-4号荷捌地

B-4号荷捌地においてはコンテナ船の積み込み前後の冷凍コンテナ（リーファーコンテナ）の保冷のために電源供給を行っている。個別のコンセントごとに電源の接続開始時間と解除時間が記録されていることからこのデータを用いて保冷されているコンテナ数を時系列的に把握できる。

図-A.26 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。図の細実線は20ftコンテナ，太実線は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栈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。

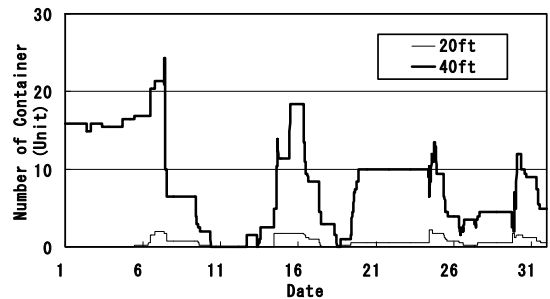
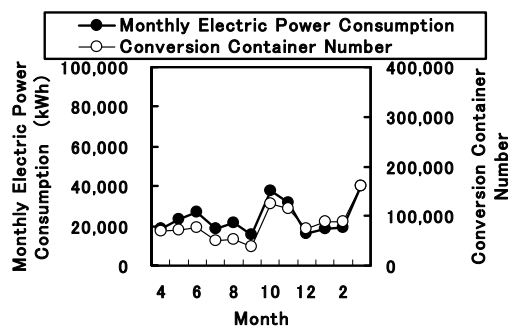
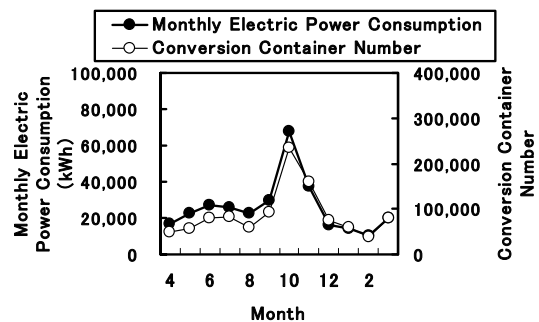


図-A.26 冷凍コンテナの使用個数の変動 (2009年3月)

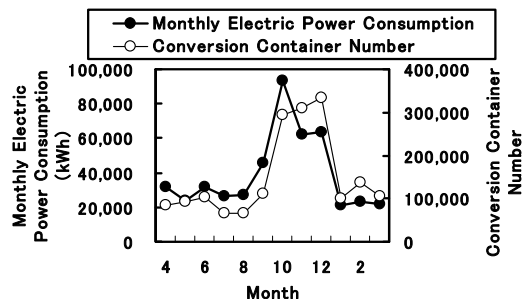
縦軸：コンテナ個数，横軸：日付



(1) 2008年度



(2) 2009年度



(3) 2010年度

図-A.27 換算コンテナ個数と使用電力量の関係

縦軸 (左)：使用電力量，縦軸 (右)：換算コンテナ数，横軸：月，●：使用電力量，○：換算コンテナ個数

図-A. 27(1)～(3)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。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ると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-A. 27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-A. 28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。すなわち電源に接続されているコンテナ個数が増れば使用電力量も増加する関係にある。しかしながら両者の関係にはばらつきが見られ、その原因としては、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た。

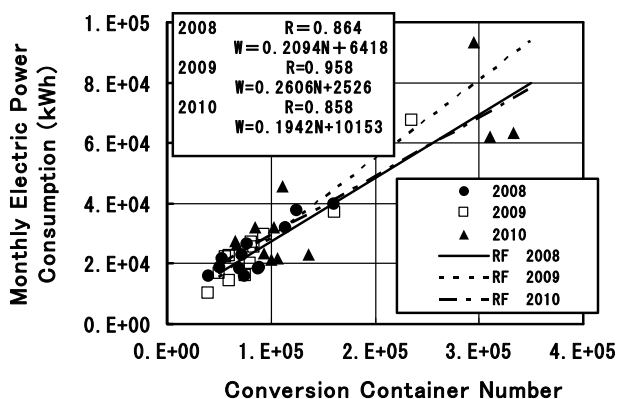


図-A. 28 換算コンテナ個数と使用電力量の関係
縦軸：使用電力量，横軸：換算コンテナ個数

以上のことから冷凍コンテナの冷却のための気温の影響を考察することとした。図-A. 29は単位換算コンテナ個数あたりの使用電力量の月別変動を示す。月別変動のパターンは、年度ごとに同一であって使用電力量は夏季に高く冬季に低いことがわかる。夏季(7～9月)においては、冬季(12～2月)に比べて約2倍の使用電力量となっていることが確認される。

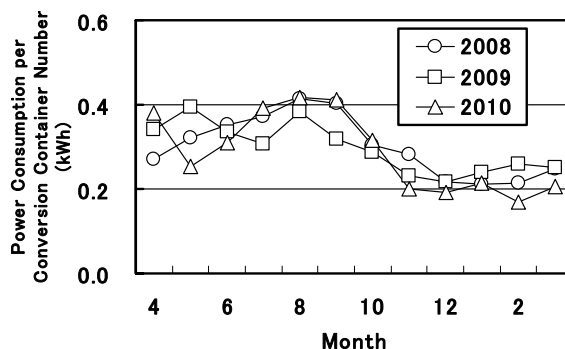


図-A. 29 単位換算コンテナ個数あたりの使用電力量
縦軸：換算コンテナ個数あたりの使用電力量，横軸：月

表-A. 13は回帰式(A.3)の係数を示す。回帰式のRが2008年から2010年の各年のデータについては、0.96, 0.77, 0.84と大きく、月平均気温に対して正の相関性があることがわかる。

$$W_3 = a \cdot T + b \quad (A.3)$$

ここに、

W_3 ：換算コンテナ個数あたりの使用電力量 (kWh/換算コンテナ数)

T ：月平均気温 (°C)

表-A. 13 回帰式

年	a	b	R
2008	0.008086	0.23153	0.9643
2009	0.005120	0.25699	0.7711
2010	0.008087	0.21897	0.8370
2008-2010	0.007118	0.23615	0.8457

図-A. 30は月平均気温と単位換算コンテナ個数あたりの使用電力量の関係(年度ごとに回帰式を計算)を示す。年度ごとの回帰式は、おおむね同一であることがわかる。また、図-A. 31は月平均気温と単位換算コンテナ個数あたりの使用電力量の関係(3か年で回帰式を計算)を示す。

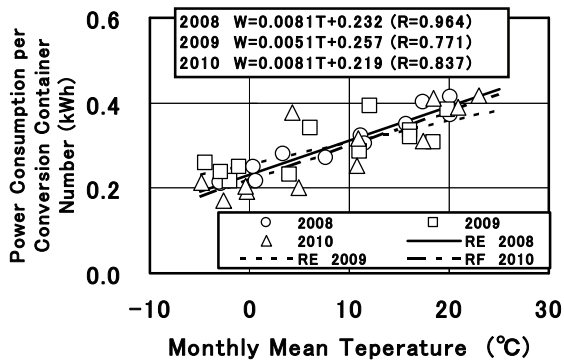


図-A.30 月平均気温と単位換算コンテナ個数あたりの使用電力量の関係（年度ごとに回帰式を計算）

縦軸：換算コンテナ個数あたりの使用電力量，横軸：月平均気温

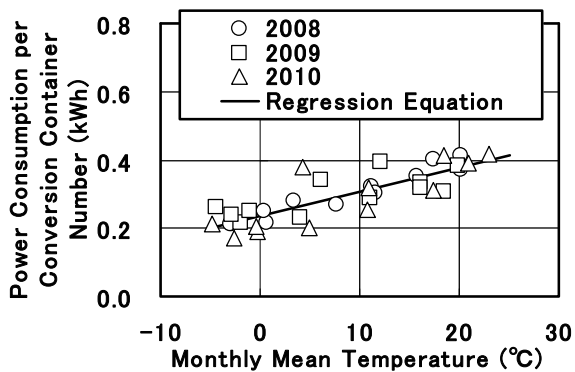


図-A.31 月平均気温と単位換算コンテナ個数あたりの使用電力量の関係（3か年で回帰式を計算）

縦軸：換算コンテナ個数あたりの使用電力量，横軸：月平均気温

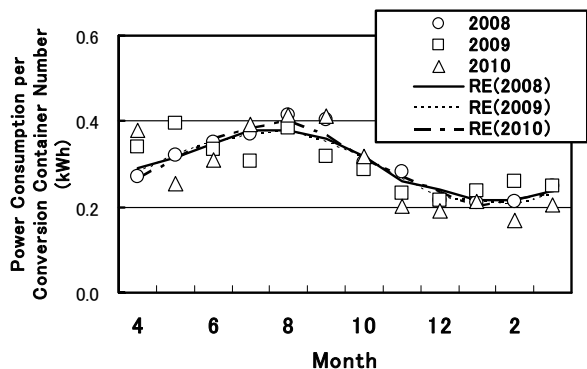


図-A.32 月別の単位換算コンテナ個数あたりの使用電力量の回帰式による推定結果（3年分で回帰式算定）

縦軸：換算コンテナ個数あたりの使用電力量，横軸：月

図-A.32 は月別の単位換算コンテナ個数あたりの使用電

力量の回帰式による推定結果を示す。ただし回帰推定値の計算では、3年分で回帰式算定した係数を用いている。差異が生じている月もあるが、おおむね回帰式で推定できることがわかる。

A.7 レール保温

図-A.33 はガントリークレーンのレール保温の月別使用電力量の推移を示す。施設に通電する12月から3月までの期間について示している。

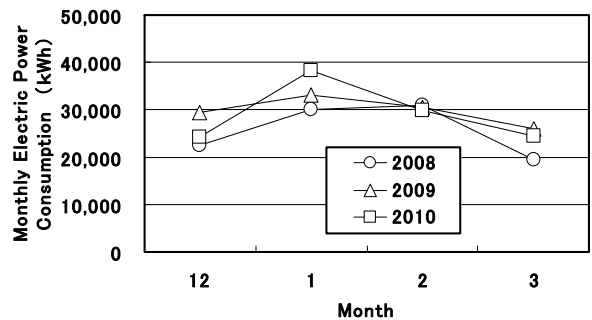


図-A.33 月別使用電力量の推移
縦軸：使用電力量，横軸：月平均気温

図-A.34 は隣接するアメダス観測地点における月降雪量と当該施設における使用電力の関係を示す。月降雪量が増加すると使用電力が増加する傾向が認められるが、図-A.35に示すように月平均気温が低いほど月降雪量が増加する関係にあること、降雪の有無にかかわらず常時、通電していることから月平均気温による影響のみを考慮する。

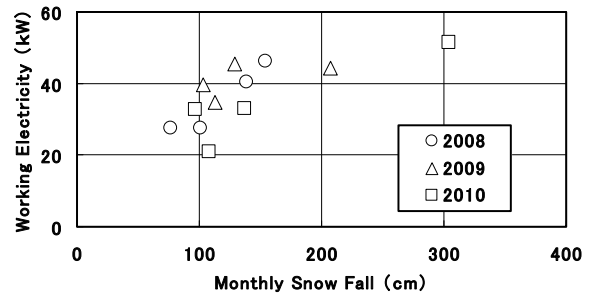


図-A.34 月降雪量と使用電力の関係
縦軸：使用電力，横軸：月降雪量

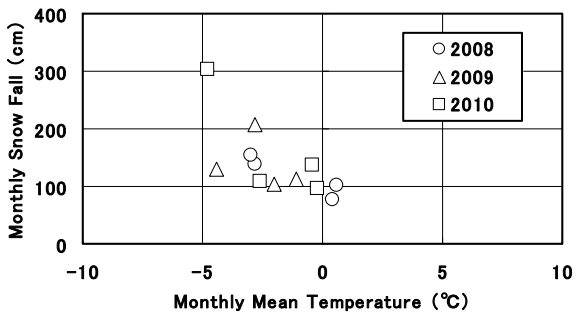


図-A.35 月平均気温と月降雪量の関係
縦軸：月降雪量，横軸：月平均気温

表-A.14 は回帰式(A.4)の係数を示す。回帰式の R が 2008 年から 2010 年の各年のデータについては, -0.94 , -0.91 , -0.99 と大きく, 月平均気温に対して負の相関性があることがわかる。

$$W_4 = a \cdot T + b \quad (A.4)$$

ここに,

W_4 : 使用電力 (kW)

T : 月平均気温 (°C)

表-A.14 回帰式

年度	a	b	R
2008	-3.9752	31.715	-0.9383
2009	-3.1445	32.927	-0.9102
2010	-4.2379	31.941	-0.9942
2008-2010	-3.8790	31.842	-0.9558

図-A.36 は月平均気温と使用電力の関係 (年度ごとに回帰式を計算) を示す。年度ごとの回帰式は, ほぼ同一であることがわかる。また, 図-A.37 は月平均気温と使用電力の関係 (3 か年で回帰式を計算) を示す。レール保温に使用する電力は月平均気温と強い負の相関があることがわかる。

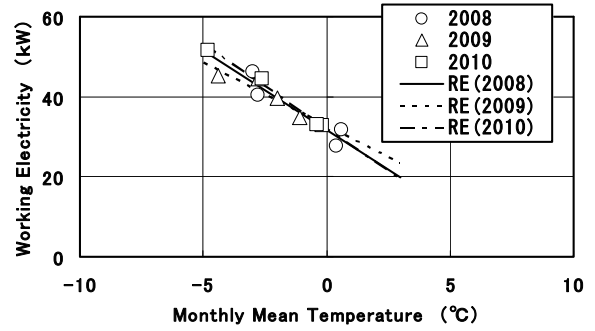


図-A.36 月平均気温と使用電力の関係
(年度ごとに回帰式を計算)
縦軸：使用電力，横軸：月平均気温

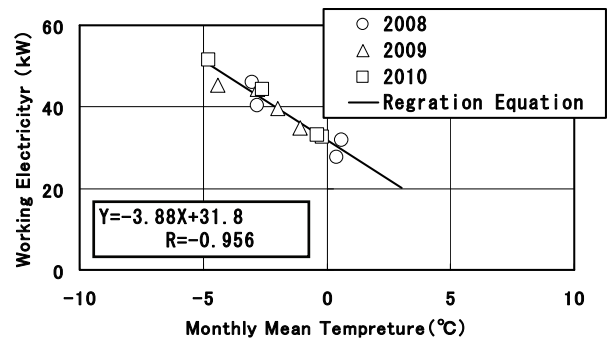


図-A.37 月平均気温と使用電力の関係
(3 か年で回帰式を計算)
縦軸：使用電力，横軸：月平均気温

図-A.38 は月別のレール保温の使用電力量の回帰式による推定結果を示す。ここでは, 3 年分で回帰式を算定した係数を用いている。差異が生じている月もあるが, おおむね回帰式で推定できることがわかる。

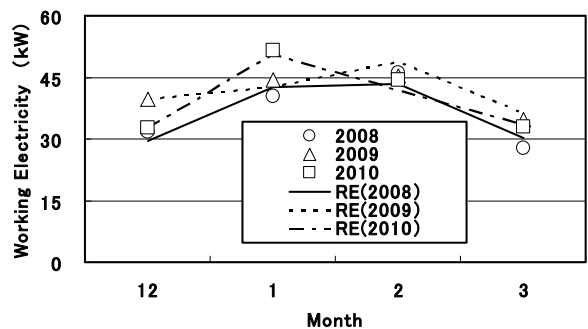


図-A.38 月別のレール保温の使用電力の回帰式による推定結果 (3 年分で回帰式算定)
縦軸：使用電力，横軸：月

A.8 チップヤード

チップヤード（写真-A.2）においてはチップ船が着桟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。



写真-A.2 チップヤードと荷役用ベルトコンベア

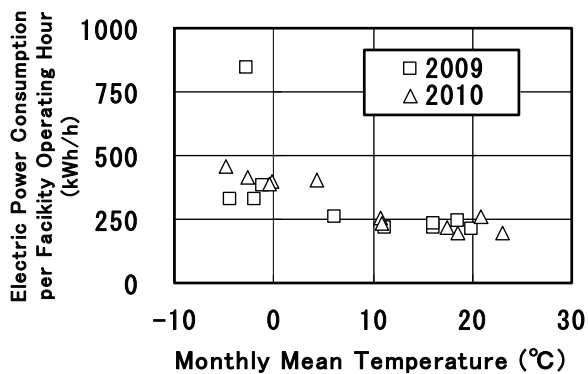


図-A.39 月平均気温と稼働時間あたりの使用電力量の関係

縦軸：稼働時間あたりの使用電力量，横軸：月平均気温

図-A.39 は2009年度，2010年度の2か年のデータについて月平均気温と稼働時間あたりの使用電力量の関係を求めたものである。図に示すように月平均気温が低くなるほど稼働時間あたりの使用電力量が大きくなっていることがわかる。月平均気温と使用電力量に負の相関がある理由は，港湾管理者へのヒアリングに基づく以下のように考えられる。

- ①管理施設における照明，暖房等も使用電力量の中に含まれていること。
- ②施設内（チップヤード内）の照明等も使用電力量に含まれていること。
- ③チップ船の荷役作業以外にも施設内（チップヤード内）の照明を使用していること。特に冬期間は日没も早いいため，トラックへのチップ積み込み作業時には施設内の照明を使

用していること。

④チップを工場へ運搬する際の作業時にも照明は使っており，それに伴う電力も毎月の集計に含まれていること。

以上が電力消費の要因であるが照明に使用される電力の使用実態については把握できなかったため，ここでは主たる電力消費が荷役時のベルトコンベアの使用であると仮定し，チップ船の荷役時間から使用電力量を求めることとする。

表-A.15 は10月～5月について月別の施設稼働時間と使用電力量の回帰式(A.5)の係数を示す。回帰式の R が2009年，2010年の各年のデータについては，0.86，0.81と比較的大きい。また，表-A.16に示す6～9月については，2009年，2010年の R が1.00，0.90とさらに相関性が高いことがわかる。

$$W_s = a \cdot X + b \quad (A.5)$$

ここに，

W_s ：使用電力量（kWh）

X ：施設稼働時間（h）

表-A.15 回帰式（10～5月）

年度	a	b	R
2009	224.30	11,228	0.8612
2010	169.31	17,721	0.8049
2009-2010	204.38	13,601	0.8412

表 A.16 回帰式（6～9月）

年度	a	b	R
2009	199.11	2,275	0.9995
2010	237.94	-1,239	0.9010
2009-2010	208.50	1,129	0.9768

図-A.40 は10月から5月の期間について施設稼働時間と月別の使用電力量の関係を示す。回帰式は，10～5月について2か年データで回帰式を求めたものを示す。施設稼働時間と使用電力量の関係については稼働時間が長くなるほど使用電力量が増加する関係が認められる。ただし，稼働時間がゼロであっても使用電力があるのは，チップを工場へ運搬する際の作業時にも照明は使っており，それに伴う電力も毎月の集計に含まれていることによる。

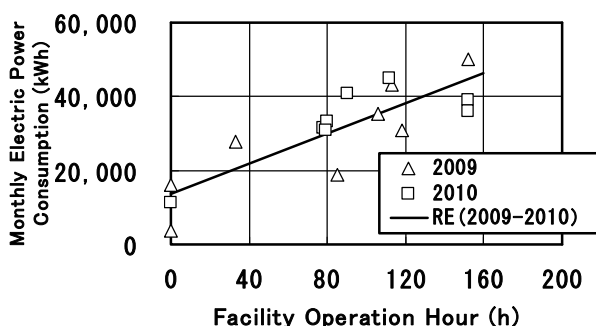


図-A.40 施設稼働時間と月別の使用電力量の関係
(10月～5月, 2か年で回帰式を計算)
縦軸: 使用電力量, 横軸: 施設稼働時間

図-A.41 は6月～9月について施設稼働時間と月別の使用電力量の関係を示す。回帰式は、6～9月の期間について、2か年のデータで回帰式を求めたものを示す。施設稼働時間と使用電力量の関係については稼働時間が長くなるほど使用電力量が増加する関係が認められる。夏季については、施設稼働時間と月別の使用電力量の相関性が高い。夏季については日中時間が長いので、チップを工場へ運搬する際の夜間作業時の照明の使用時間が短いことによるものと思われる。

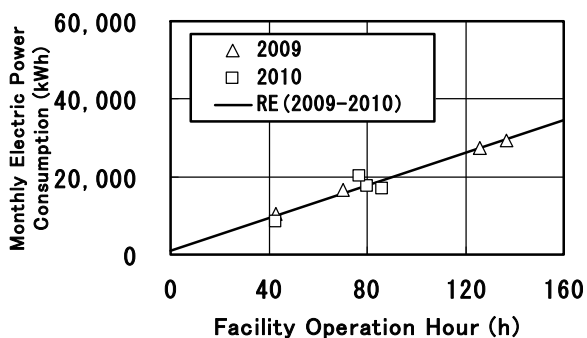


図-A.41 施設稼働時間と月別の使用電力量の関係
(6～9月, 2か年で回帰式を計算)
縦軸: 使用電力量, 横軸: 施設稼働時間

表-A.17 は夏季以外について年度別の回帰式 (A.6) の係数を示す。回帰式の R が2009年, 2010年の各年のデータについては, -0.52 , -0.94 と比較的大きい。一方, 表-A.18 に示す夏季については, R が -0.17 , 0.05 と相関性が小さいことがわかる。

$$W_6 = a \cdot T + b \quad (A.6)$$

ここに,

W_6 : 稼働時間あたり使用電力量 (kWh/h)

T : 月平均気温 (°C)

表-A.17 回帰式 (10～5月)

年度	a	b	R
2009	-19.410	417.551	-0.5174
2010	-12.640	398.132	-0.9427
2009-2010	-15.682	409.328	-0.5874

表-A.18 回帰式 (6～9月)

年度	a	b	R
2009	-1.358	252.669	-0.1696
2010	0.673	205.039	0.0547
2009-2010	-1.220	246.514	-0.1261

図-A.42 は、月平均気温と月別の施設稼働時間あたりの使用電力量の関係を示す。回帰式は、10月～5月と6～9月のデータを用いて2か年データで回帰式を求めたものを示す。10月～5月については、月平均気温と使用電力の関係には月平均気温が低下するほど使用電力が増加する関係が認められる。これは施設内で使用される暖房による影響に加えて月平均気温の低い冬季においては昼時間が短いため荷役のための照明が必要となる影響と考えられる。

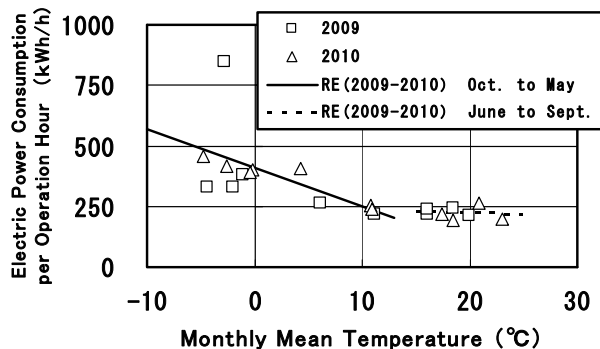


図-A.42 月平均気温と稼働時間あたりの使用電力量の関係 (2か年データで回帰式算定)

縦軸: 稼働時間あたりの使用電力量,
横軸: 月平均気温

図-A.43 は月別の稼働時間あたりの使用電力量の回帰式による推定結果を示す。ここでは、2年分で回帰式算定した係数を用いている。2009年1月のように大きな差異が生じている月もあるが、おおむね回帰式で推定できることがわかる。

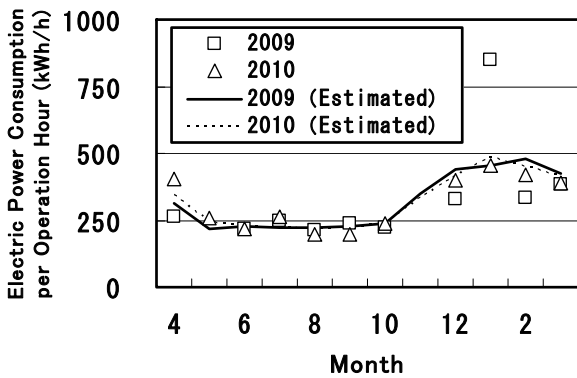


図-A.43 月別の稼働時間あたりの使用電力量の回帰式による推定結果（2年分で回帰式算定）
縦軸：稼働時間あたりの使用電力量，横軸：月

A.9 陸電施設

写真-A.3, 写真-A.4 に示す陸電施設においては、港湾に停泊中の船舶に対して陸上から電力を供給している。A港においては、曳船に対して電力を供給している。



写真-A.3 係留中の曳船



写真-A.4 陸電施設

図-A.44 は月別の使用電力量の推移を示す。また、図-A.45 は月別の使用電力の推移を示す。使用電力は月使用電力量を陸電施設の稼働時間で除した数値であって、使用電力の平均的な値を示すと考えられる。これらの図より夏

季に使用電力量が少なく冬季に使用電力量が増加する傾向が確認される。

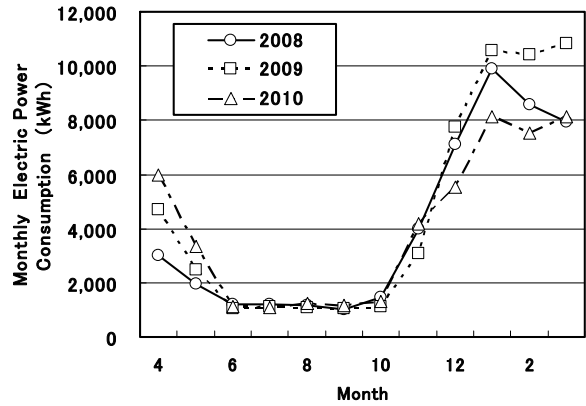


図-A.44 月別の使用電力量の推移
縦軸：使用電力量，横軸：月

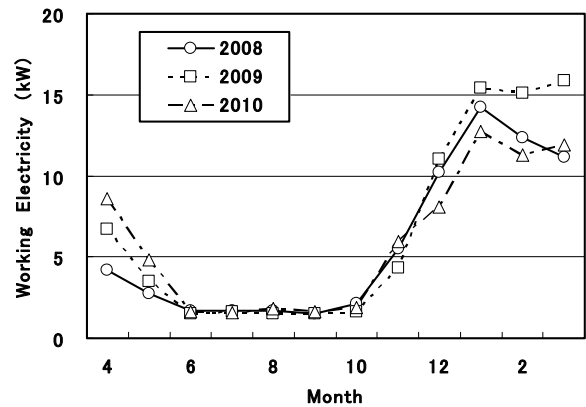


図-A.45 月別の使用電力の推移
縦軸：使用電力，横軸：月

表-A.19 は10～5月について年度別の回帰式の係数を示す。回帰式(A.7)の R が2008年, 2009年, 2010年の各年のデータについては、 -0.97 , -0.92 , -0.93 と数値が -1 に近く使用電力量が月平均気温との間に負の相関が大きいことがわかる。また、表-A.20に示す6～9月については、 R が 0.21 , 0.42 , 0.66 と使用電力と月平均気温の間には正の相関性が認められる。ただし、回帰式の勾配は小さく温度による影響は少ない。

$$W_7 = a \cdot T + b \quad (A.7)$$

ここに、

W_7 : 陸電施設稼働時間あたり使用電力量 (kWh/h)

T : 月平均気温 (°C)

表-A.19 回帰式 (10~5月)

年度	a	b	R
2008	-0.7729	10.632	-0.9663
2009	-0.8376	11.602	-0.9174
2010	-0.5970	9.857	-0.9279
2008-2010	-0.7434	10.711	-0.9224

表-A.20 回帰式 (6~9月)

年度	a	b	R
2008	0.008736	1.47538	0.2069
2009	0.011658	1.328109	0.4157
2010	0.025362	1.143027	0.6589
2008-2010	0.021912	1.19763	0.5313

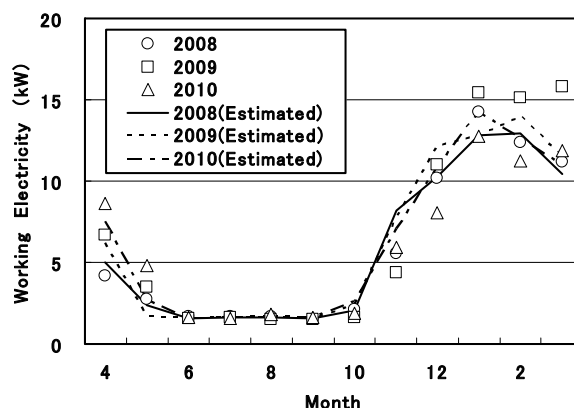


図-A.47 月別の使用電力の回帰式による推定結果 (3年分で回帰式算定)

縦軸：使用電力，横軸：月

図-A.46 は月平均気温と月別の使用電力の関係について示す。回帰式は、10~5月と6~9月について3か年データで回帰式を求めたものを示す。10~5月については月平均気温と使用電力の関係には月平均気温が低下するほど使用電力が増加する関係が認められる。これは曳船内で使用される暖房による影響と考えられる。すなわち、月平均気温が低い月ほど曳船内の暖房等に電力を利用するための電力消費量が増加していると考えられる。6~9月については月平均気温による相違は少ない。

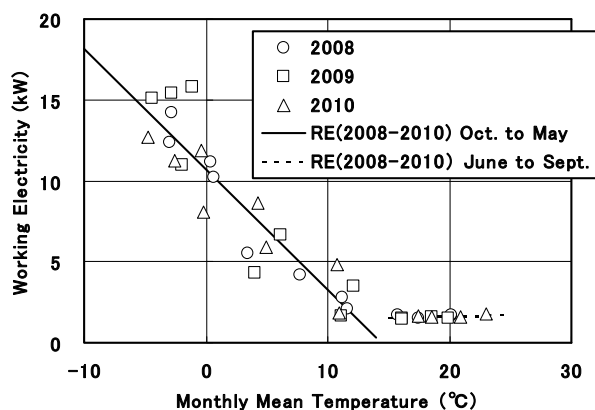


図-A.46 月平均気温と月別の使用電力の関係 (3か年で回帰式算定)

縦軸：使用電力，横軸：月平均気温

図-A.47 は月別の使用電力の月平均気温を用いた回帰式による推定結果を示す。ここでは、3年分のデータで回帰式を算定した係数を用いている。回帰式と実測値の間で相違が生じている月もあるが、おおむね回帰式で月別の使用電力(平均値)を推定できることがわかる。

付録 B 漁港および関連施設の使用電力量と気温の関係の分析

B.1 漁港（町支払分）

図-B.1はE漁港における漁港施設における町支払分の月別の使用電力量を示したものである。主たる用途は港湾内の照明、公園公衆トイレの照明等である。使用電力量は後述する施設に比べ少なく、また年ごとの変動が大きい。また、図-B.2は月別の日平均使用電力量の変動であり、2008年の夏季の使用量が大きい。図-B.3は月平均気温と日平均使用電力量の関係を示すが、月平均気温と電力使用量の間の相関は小さい。なお図中の実線と点線はそれぞれ10月～5月、6～9月について回帰式を示す。

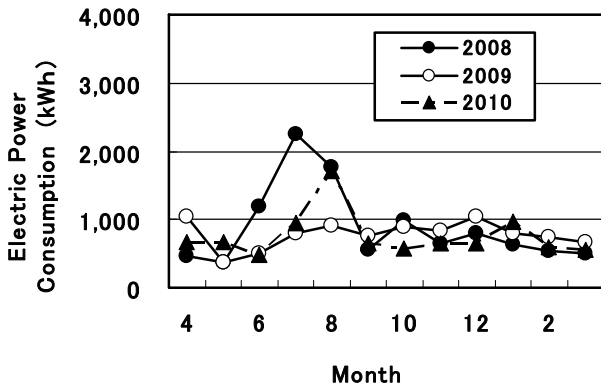


図-B.1 使用電力量（漁港，町支払分）
縦軸：月別使用電力量，横軸：月

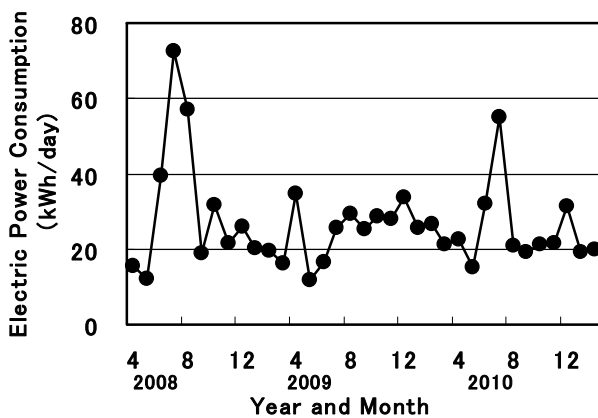


図-B.2 漁港（町支払分）の日平均使用電力量の経年変動
縦軸：使用電力量，横軸：年月

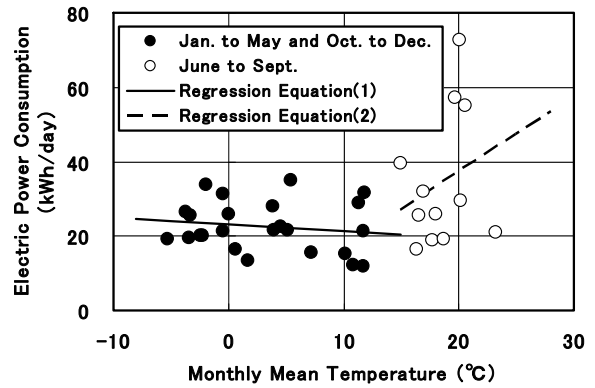


図-B.3 月平均気温と漁港（町支払分）の日平均使用電力量との関係

縦軸：使用電力量，横軸：月平均気温

●：1-5月と10-12月，○：6-9月，実線：回帰式(1)

点線：回帰式(2)

図-B.4は、日平均使用電力量の回帰推定値と実績値の比較を示す。漁港（町支払分）の使用電力量は回帰式による推定値と実績値との乖離が大きい。

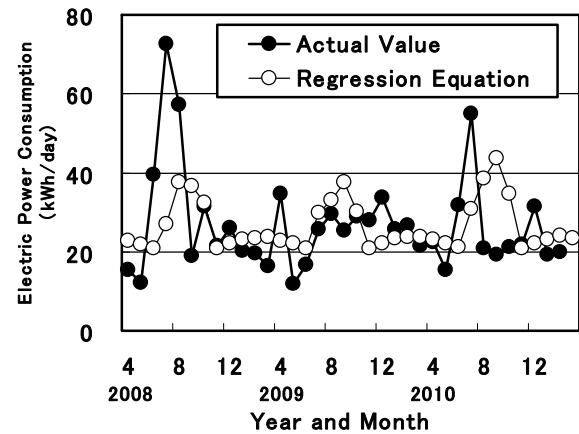


図-B.4 漁港（町支払分）の日平均使用電力量の回帰推定値と実績値の比較

縦軸：使用電力量，横軸：年月

●：実績値，○：回帰式による推定値

B.2 漁業協同組合（高圧）

E 漁港には漁業者の施設が立地している。その電力の使用状況について分析する。図-B.5は漁協（高圧）の月別使用電力量を示す。冬季に使用電力量が少なく夏季に増加する傾向が見られる。図-B.6は同じく日平均使用電力量の経年変動を示す。夏季には冬季の約4倍の使用電力量となっている。図-B.7は月別に求めた日平均気温と日平均使用電力量の関係を示す。図中の実線は回帰式である。なお、●

で1点大きくはずれている点があるが、新しい冷凍施設の稼働前であるため回帰式の算定からは除外している。気温の高い夏季の日平均使用電力量が増加し、気温の低い冬季に日平均使用電力量が減少する傾向が見られるが、気温が比較的低い時期にも日平均使用電力量が増大していることがある。特に△で表記した期間の中で9~11月にその傾向が顕著である。漁協における高圧分の使用電力量の大部分は冷凍庫における電力使用であり、電力使用は①製氷、②製氷した氷の保管、③水産物の急速冷凍、④冷凍した水産物の保管があり、①および②は夏場の漁期に向けて定期的に行っているのに対し、③に対する電力需要は漁期に急増することが回帰式からの乖離の原因と考えられる。

図-B.8は、日平均使用電力量の回帰式による推定値と実績値の比較を示す。両者はおおむね一致していることがわかる。

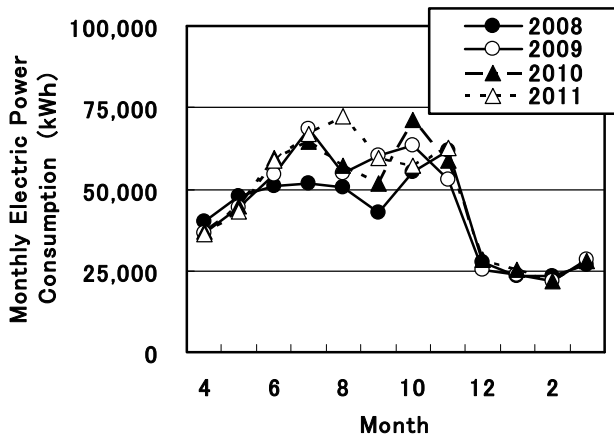


図-B.5 漁協（高圧）の月別使用電力量
縦軸：月別使用電力量，横軸：月

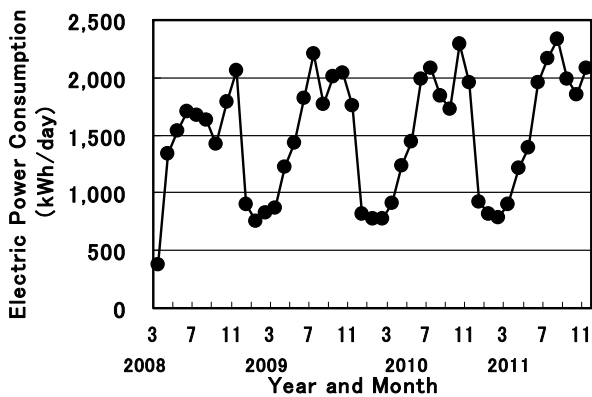


図-B.6 漁協（高圧）の日平均使用電力量の経年変動
縦軸：使用電力量，横軸：年月

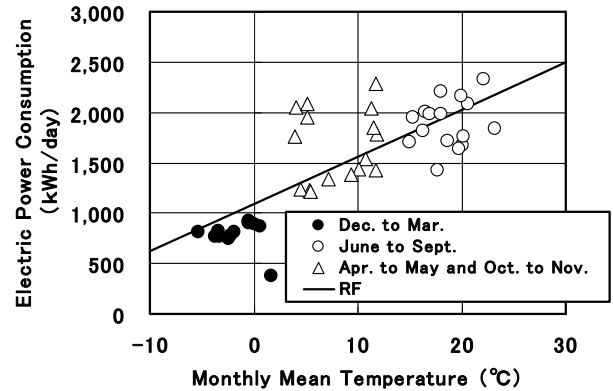


図-B.7 月平均気温と漁協（高圧）の日平均使用電力量の関係

縦軸：使用電力量，横軸：月平均気温

●：12-3月，○：6-9月，△：4-5月と10-11月，

実線：回帰式

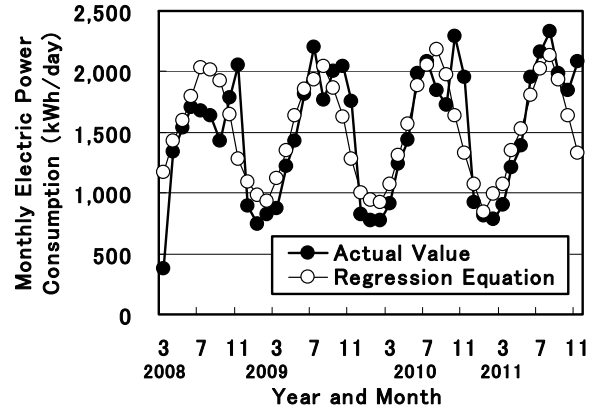


図-B.8 漁協（高圧）の日平均使用電力量の回帰推定値と実績値の比較

縦軸：使用電力量，横軸：年月

●：実績値，○：回帰式による推定値

以上に示した漁協（高圧分）について電力使用の大半を占める冷凍庫について図-B.5~図-B.7と同様の分析を行う。図-B.9は漁協冷凍庫の月別使用電力量を示す。冬季に使用電力量が少なく夏季に増加する傾向が見られる。図-B.10は同じく日平均使用電力量の経年変動を示す。夏季には冬季の約4倍の使用電力量となっている。図-B.11は月別に求めた日平均気温と日平均使用電力量の関係を示す。気温の高い夏季の日平均使用電力量が増加し、気温の低い冬季に日平均使用電力量が減少する傾向が見られるが、気温が比較的低い時期にも日平均使用電力量が増大していることがある。これは水産物の急速冷凍のための電力使用が増大するための影響と考えられる。

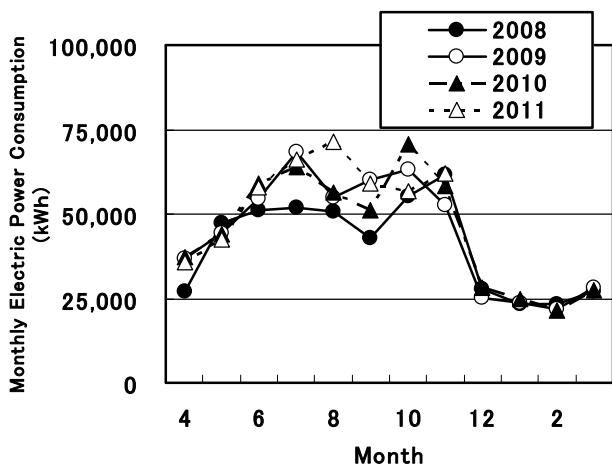


図-B.9 漁協冷凍庫の月別使用電力量
縦軸：月別使用電力量，横軸：月

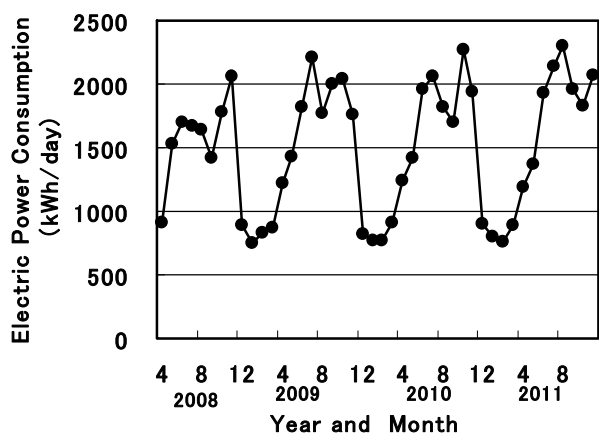


図-B.10 漁協冷凍庫の日平均使用電力量の経年変動
縦軸：使用電力量，横軸：年月

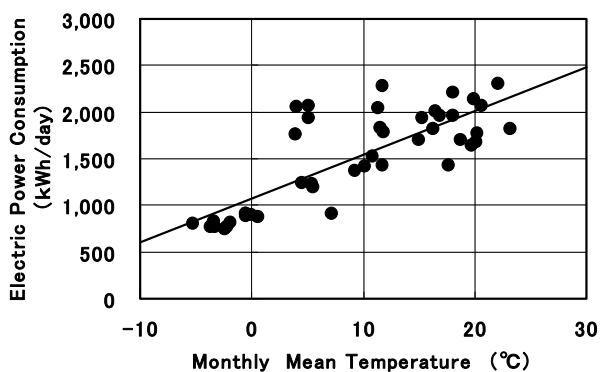


図-B.11 月平均気温と漁協冷凍庫の日平均使用電力量の関係
縦軸：使用電力量，横軸：月平均気温

B.3 漁業協同組合（低圧）

図-B.12 は漁協の月別使用電力量（低圧）を示す。低圧（100V）による電力使用は漁協施設の照明，冷暖房等に使用されている。冬季に使用電力量が多く，春と秋に使用電力量が少なく，夏季に冬季ほどではないがやや増加する傾向が見られる。図-B.13 は同じく日平均使用電力量の経年変動を示す。冬季には春と秋の約3倍の使用電力量となっている。図-B.14 は月別に求めた日平均気温と日平均使用電力量の関係を示す。気温が低く日照時間の短い冬季の日平均使用電力量が増加し，気温が10℃付近で最低値を示し，気温の高い夏季にやや増加する傾向が見られる。

図-B.15 は，日平均使用電力量の回帰式による推定値と実績値の比較を示す。両者はおおむね一致していることがわかる。

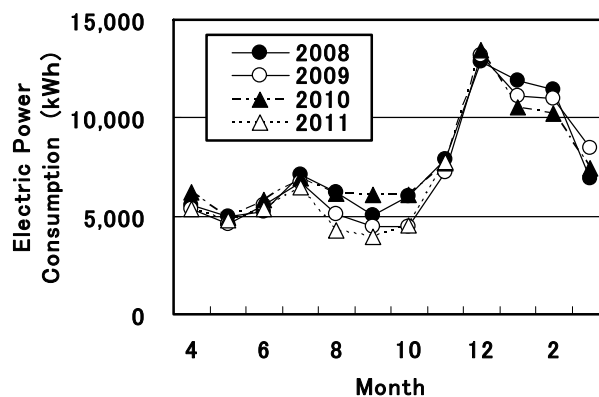


図-B.12 漁協（低圧）の月別使用電力量
縦軸：月別使用電力量，横軸：月

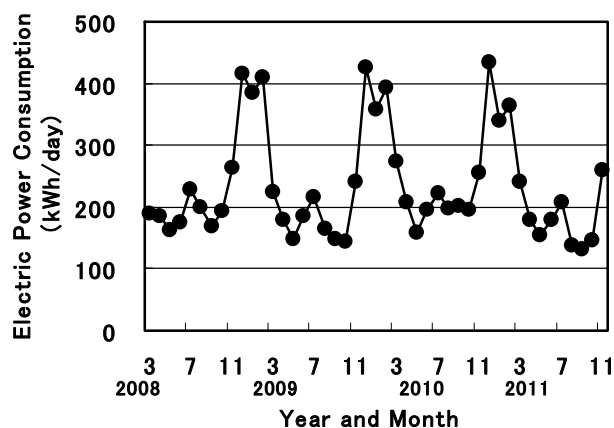


図-B.13 漁協（低圧）の日平均使用電力量の経年変動
縦軸：使用電力量，横軸：年月

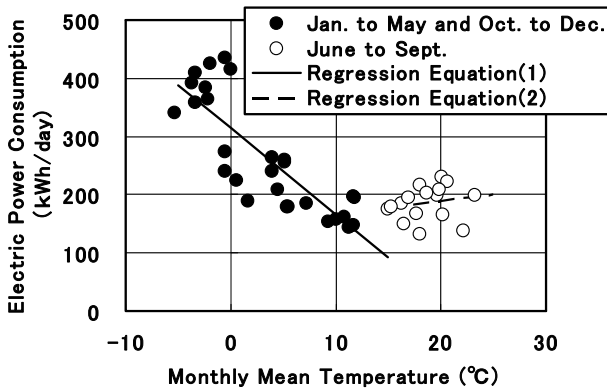


図-B.14 月平均気温と漁協（低圧）の日平均使用電力量の関係
縦軸：使用電力量，横軸：月平均気温
●：1-5月と10-12月，○：6-9月，実線：回帰式(1)
点線：回帰式(2)

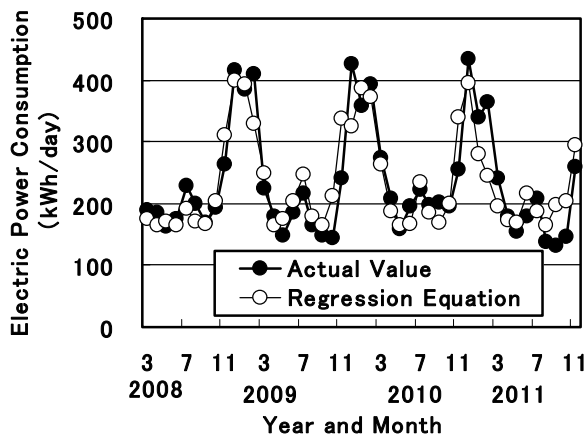


図-B.15 漁協（低圧）の日平均使用電力量の回帰推定値と実績値の比較
縦軸：使用電力量，横軸：年月
●：実績値，○：回帰式による推定値

A.4 温泉施設

図-B.16 は温泉施設の月別使用電力量を示す。電力使用は温泉施設内照明，冷暖房，温泉施設のポンプ運転等に使用されている。夏季に使用電力量が多く，春と秋に使用電力量が少なく，冬季に夏季ほどではないが，やや増加する傾向が見られる。図-B.17 は同じく日平均使用電力量の経年変動を示す。夏季には春と秋の約1.3倍の使用電力量となっている。図-B.18 は月別に求めた日平均気温と日平均使用電力量の関係を示す。夏季に日平均使用電力量が増加するには宿泊客の増加と冷房使用によるものと思われる。また，気温が低く日照時間の短い冬季には照明や暖房によ

る日平均使用電力量が増加している。月平均気温が10～15℃で日平均電力使用量は最低値を示している。しかしながら，他施設と比べて使用電力量の変動は少ない。これは温泉施設が24時間利用となっているためポンプ運転等が定期的に行われていることによる。

図-B.19 は，日平均使用電力量の回帰式による推定値と実績値の比較を示す。両者は極めて良く一致していることがわかる。

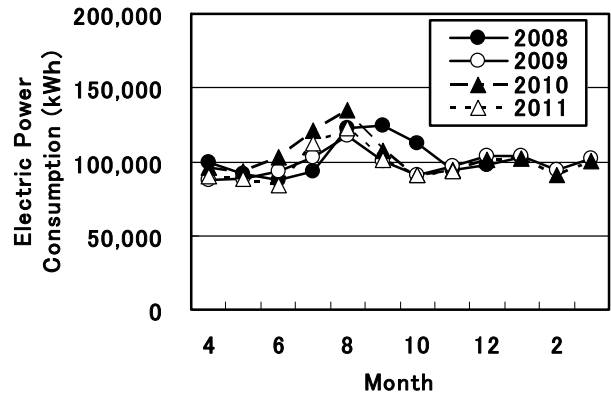


図-B.16 温泉施設の月別使用電力量
縦軸：月別使用電力量，横軸：月

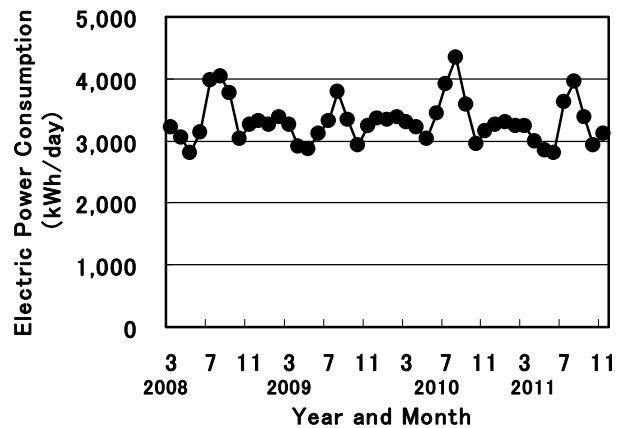


図-B.17 温泉施設の日平均使用電力量の経年変動
縦軸：使用電力量，横軸：年月

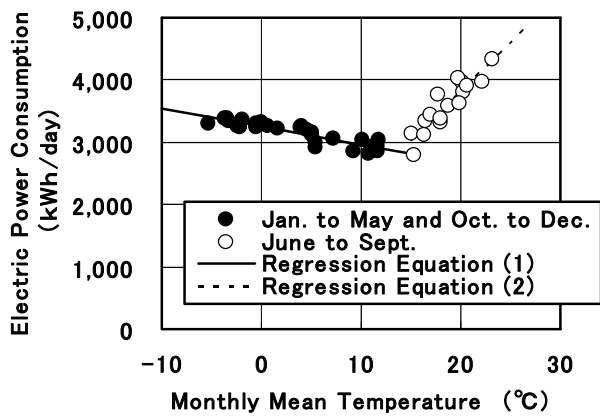


図-B.18 月平均気温と温泉施設の日平均使用電力量の関係

縦軸：使用電力量，横軸：月平均気温

- ：1-5月と10-12月，○：6-9月，実線：回帰式(1)
- 点線：回帰式(2)

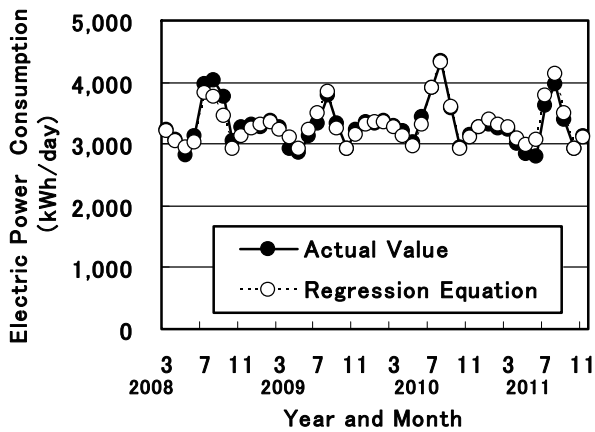


図-B.19 温泉施設の日平均使用電力量の回帰推定値と実績値の比較

縦軸：使用電力量，横軸：年月

- ：実績値，○：回帰式による推定値

港湾空港技術研究所資料 No.1285

2014.6

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 株式会社シーケン

Copyright © (2014) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。



古紙配合率70%再生紙を使用しています