

東京湾富津岬以北における 洋上風力発電の可能性について

FEASIBILITY STUDY ON THE OCEAN WIND FARM NORTH OF FUTTSU POINT IN TOKYO BAY

鈴木高二郎¹・永井紀彦²・柳嶋慎一³・久高将信⁴・小川路加⁵
Kojiro SUZUKI, Toshihiko NAGAI, Shinichi YANAGISHIMA,
Masanobu KUDAKA and Ruka OGAWA

¹正会員 工修 (独)港湾空港技術研究所 海洋・水工部 (〒239-0831 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

²フェロー 工博 (独)港湾空港技術研究所 統括研究官 (同上)

³正会員 (独)港湾空港技術研究所 海洋・水工部 (同上)

⁴正会員 (株)エコー 参与 (〒110-0014 東京都台東区北上野2-6-4上野竹内ビル)

⁵正会員 工修 駒井鉄工(株) 環境事業部 (〒555-0041 大阪府大阪市西淀川区中島2-5-1)

Ocean wind is larger and more suitable for wind farm than inland wind. Recently, ocean wind farm has been constructed in Europe using 5MW wind power facility. Japan is surrounded by ocean and seems to be suitable for construction of ocean wind farm. However, the amount of the shallow and low wave energy area for ocean wind farm is limited except semi-enclosed bay like Tokyo bay.

When we see Tokyo bay, shallow area (shallow more than 15m) is located north of Futtsu Point in Chiba prefecture. Such a shallow area is near to urban area, so the construction cost seems to be lower. In this paper, feasibility study on the ocean wind farm north of futtsu point in Tokyo bay is done compared with the other coasts of Japan.

Key Words : Ocean wind farm, Tokyo bay, Futtsu point, Nakanose

1. はじめに

原油価格の高騰や地球温暖化の主要因と指摘される CO₂ 排出削減への要請を受け、風力等の化石燃料に変わる新たな代替エネルギーの創出の必要性が高まっている。欧米では風力発電施設の建設が増加しつつあるが、我が国では、陸上は急峻な山間部が多く、適地選定が難しいこともあり、最近伸び悩む傾向にある。このため、洋上での風力発電が注目されている¹⁾。洋上は陸上に比べて一般的に風況が強く安定しているため、大規模な風力発電ファームを造成するポテンシャルが大きい。反面、我が国の海域は、外洋では、欧米に比較して一般に海底勾配が大きい。そのため、大水深・高波浪の厳しい自然条件にさらされている。このため我が国における洋上風力発電ファームの建設は、内湾の比較的波浪外力が小さく水深が浅い海域から着手することが現実的である。

例えば、我が国で最も大きな電力消費地を有する東京湾では、**図-1**に示すとおり、富津岬以北の比較的波浪が静穏な海域にも水深15m以下の浅海域が広く存在する。一般に東京湾は風が小さいと思われ

がちである。しかし、既存の観測・推算結果は、東京湾内の海面上には、これまで洋上風力発電の有力候補と考えられていた外海に面する沿岸域に匹敵する風力エネルギーポテンシャルが存在することを示している。このような背景から、本研究では、東京湾内の富津岬以北海域における洋上風力発電の可能性を、風況の実測データと、風車およびケーブル敷設費用などから検討した。

2. 観測データ

東京湾内および**図-2**に示す我が国沿岸の外海に直面する沿岸域における2000~2005年の風況観測データを収集して統計解析を行った。

東京湾の第二海堡、アシカ島の風況データと、実際に風力発電が稼働している茨城県波崎海岸などの風況データとを比較し、東京湾内の風力エネルギーの実態を調べた。**表-1**は観測地点の風向風速計の形式、設置箇所等の諸元を示している。波崎のデータは港湾空港技術研究所波崎海洋研究施設の観測機

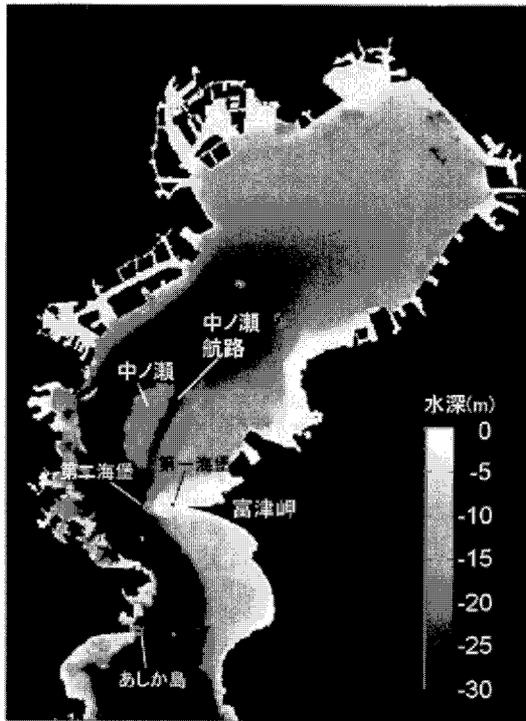


図1 東京湾の水深図

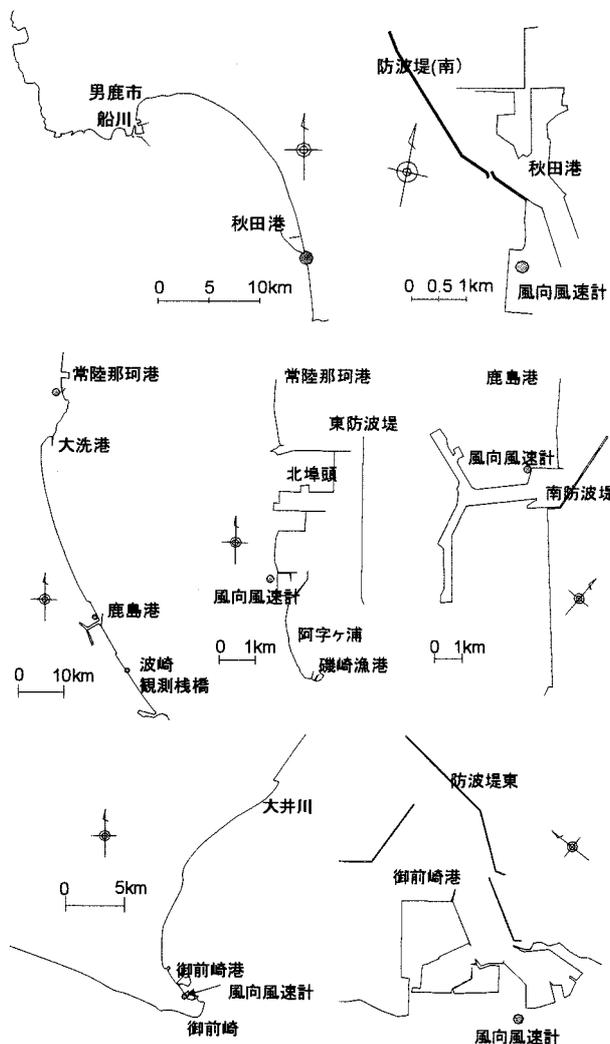


図-2 各観測地点の風向風速計設置位置図

表-1 風向風速計の諸元

	海岸線からの距離	風向風速計	設置高さ	NEDO推算値
秋田	約200m	風車型	13.5m	6.5~7m/s
常陸那珂	約270m	超音波式	30.4m	5~5.5m/s
鹿島	約900m	超音波式	10.0m	5~5.5m/s
波崎	海上	風車型	10.0m	5.5~6m/s
第二海堡	海上	風車型	7.7m	6~6.5m/s
アシカ島	海上	超音波式	12.2m	6~6.5m/s
御前崎	約500m	風車型	22m	5.5~6m/s

橋先端の洋上風データである。また、NEDOによる局所風況マップ²⁾から読み取った年平均風速もあわせて載せている。

3. 風配図と各月の平均風速

(1) 風配図

図-3は、東京湾内の風観測点である第二海堡およびアシカ島の風配図であり、波崎、秋田、常陸那珂、鹿島、御前崎などの外海に面する沿岸風観測結果と比較表示している。第二海堡とアシカ島の風配図はよく一致しており、東京湾の形状に一致して南北方向の風が卓越している。

その他の地点も御前崎や常陸那珂のように、地形の影響を受けているように見受けられるものの、第二海堡とアシカ島ほどには周辺の地形条件は風況に影響していない。

(2) 平均風速

図-4、表-2に各観測点での平均風速を示す。

第二海堡とアシカ島では、年間通して6~8m/sの月平均風速が得られている。波崎には既に海岸線に風力発電施設が多数設置され、我が国でも稼働率が高い施設となっているが、それらよりも東京湾富津岬周辺は風の条件が良好であることが分かる。また、日本海沿岸で強風域とされる秋田でも、強風は冬季に限られており、夏季は東京湾の方が大きい。そのため、年間平均値も、第二海堡、アシカ島の方が、秋田よりも大きく出ている。

図-5は、NEDOの局所風況マップデータと実測値の比較であり、ほぼ一致している。鹿島、御前崎、常陸那珂は風況が全般に小さいが、実測値の方がさらに小さい。洋上の第二海堡、アシカ島、波崎はNEDO推算値よりも大きく、逆に陸上の観測点データは推算値よりも小さくなっている。

表-2 各季節平均と年平均風速(m/s)

	冬12.1.2	春3.4.5	夏6.7.8	秋9.10.11	年平均
秋田	8.7	6.5	4.4	6.1	6.4
常陸那珂	4.8	5.0	4.3	5.0	4.8
鹿島	3.9	4.0	3.6	4.0	3.9
波崎	5.9	6.3	5.2	4.0	5.9
第二海堡	7.1	6.3	5.8	6.9	6.7
アシカ島	7.1	7.0	6.3	7.0	6.9
御前崎	5.4	4.2	3.5	4.5	4.4

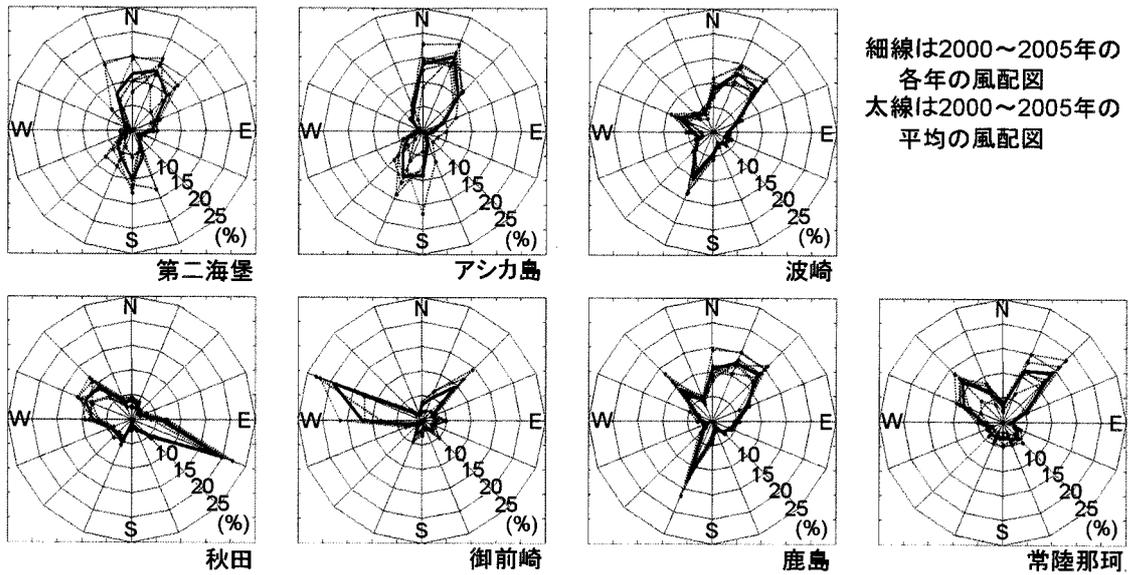


図-3 各観測地点の風配図

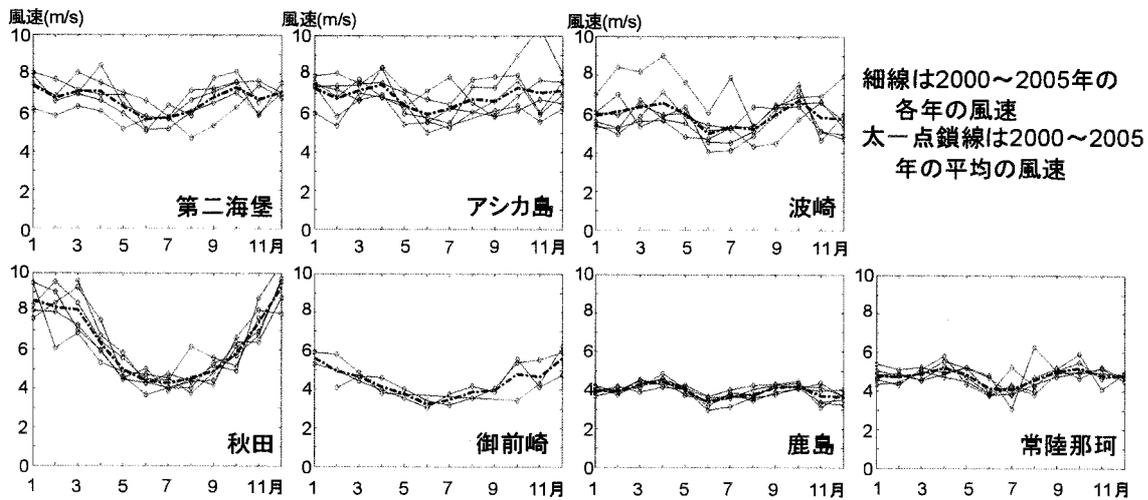


図-4 各観測地点の月平均風速

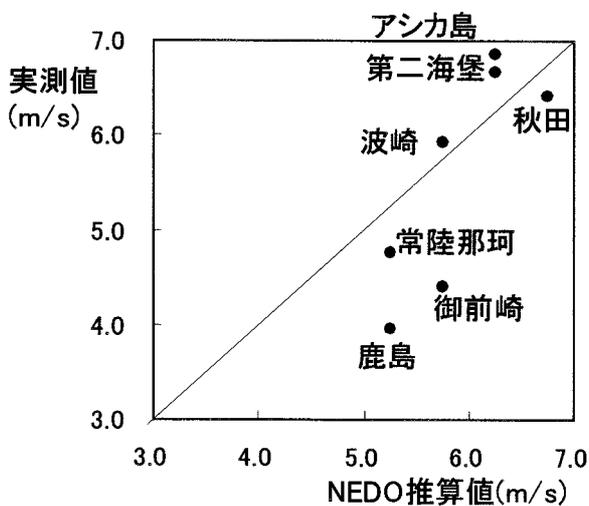


図-5 NEDO 推算値²⁾と実測値

以上のことから、東京湾内洋上での風力発電が他の海域に比較しても優位であることが分かった。

4. 風車群による発電量と建設費用の試算

(1) 推定発電量と発電コスト

図-6 は、5MW 大規模風車を用いた場合の推定発電量、風速別稼働率、および累積稼働率である。第二海堡では 6m/s 以上の日が 50% (年間設備利用率で 34%) 発生しており、その累積発電量は年間約 15GWh/基に昇る。この値は 200 万 KW の大規模火力発電所の 0.086%、100 基で 8.6%に相当する。

(2) 事業採算性の評価

洋上風力発電の事業採算性評価を以下の式をもとに行うこととした³⁾。

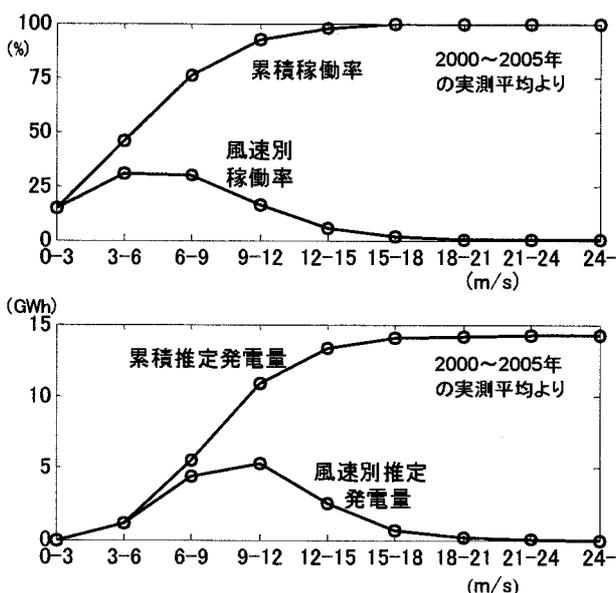


図-6 推定発電量と稼働率 (第二海堡)

発電コスト (円/kwh)

$$= (\text{年間経費} + \text{運転保守費}) / \text{年間発電量} \quad (1)$$

$$\text{年間経費} = \text{建設コスト} \times \text{年間経費率} (D) \quad (2)$$

$$D = \frac{r}{1 - (1+r)^{-n}} \quad (3)$$

上式(3)中、 r は金利、 n :使用年数である。

建設コストは風車本体、電気設備、基礎据付工事、風車据付工事、海底ケーブル敷設工事費、また電力会社に連携する場合は系統連携工事費が必要となる。

今、5MW級風車100基から成る風車群建設を考え、各経費を以下のように仮定する。

- 1基あたり年間発電量 15GWh/基
- 風車本体、電気設備、基礎据付工事、風車据付工事、系統連携費 20億円/基
- 100基全体の費用 2000億円
- ※洋上であるため通常より大きく見積もっている
- 海底ケーブル材料費と敷設費 3000万円/km
- 100基全体の海底ケーブル費用 21億円
- 建設コスト計 2021億円
- 年間保守点検費 3000万円/基
- 100基全体の点検費用 30億円
- 金利 3%
- 使用年数 20年

$$D = \frac{0.03}{1 - (1+0.03)^{-20}} = 0.067 \quad (4)$$

$$\text{年間経費} = 2,021 \text{ 億円} \times 0.067 = 13,540,700 \text{ 千円}$$

発電コスト (円/kwh)

$$= (135,407,000 \text{ (円/基)} + 30,000,000 \text{ (円/基)})$$

$$/ (15,000,000 \text{ (kwh/基)}) = 11.03 \text{ 円/kwh}$$

1kWhあたり約11円と想定され、将来の原油価格によっては経済的にも成立可能なことが分かった。

5. 東京湾口洋上風力の課題点

東京湾富津岬周辺の風況が風力発電に適していることが分かったが、以下の問題点も少なからずある。

(1) 航行船舶への影響

AISによる東京湾の交通量調査⁴⁾によると、2007年8月10日に東京湾を出入りした船舶は283隻と多い。漁船等の小型船も含めると、富津岬周辺の交通量は非常に多いものと推定される。実際、1997年のダイヤモンド・グレース号の事故^{5),6)}も中ノ瀬の西側外縁で発生している。

ただし、上記調査の全船種283隻中、船長200m以上の大型船32隻は全て水深の深い航路を航行している。また、残る船長200m未満の251隻も、浅い中ノ瀬を通過する船舶は数十隻であり、さらに富津岬北側の浅瀬を通過する船舶は1隻のみだった。

風車と風車の間隔は、最適な風力を得るため(それぞれの風車の影響を受けないため)、卓越風向に対して垂直方向に風車直径の3倍、平行方向に10倍程度の距離が必要である。例えば5MW風車の場合、ローター直径は約123m、高さが約183mであるため、最短でも約370mの間隔が必要となる。従って、航路を通る大型船舶以外の小型船舶ならば、風車は大きな支障とはならない可能性がある。

(2) 環境への影響

風車群の設置は水質にも影響を与える可能性がある。例えば、風車背後の後流渦による底層、中層付近の高塩分水の湧昇が、周囲の海苔養殖へ影響を与える可能性もあり、今後、検討が必要である。

6. 中規模風車の検討

富津岬周辺の洋上の風況が良いことが分かってきたが、富津岬および第一、第二海堡に直接風車を設置することも考えられる。これらの陸上に設置をする場合には、大規模風車だけでなく、300MWクラスの中規模風車でも採算性が良い可能性がある。また、設置地域の地形条件や景観の問題などのため、大規模風車よりも中規模風車が向いている可能性もある。

(1) 事業採算性の評価

洋上の大規模風車の場合、風車本体、電気設備、基礎据付工事、風車据付工事、系統連携費が20億円/基であったの対し、陸上の中規模風車は1億円/基と想定され、以下のように全体の経費を考えた。

(なお、洋上の場合には基礎据付費が高く、中規模風

車が比較的不利な可能性がある。)

○1 基あたり年間発電量	0.85GWh/基
○風車本体、電気設備、基礎据付工事、 風車据付工事、系統連携費	1 億円/基
○年間保守点検費	200 万円/基
○金利	3%
○使用年数	20 年

年間経費/基=1 億円×0.067=6,700 千円

発電コスト (円/kWh)
=(6,700,000 (円/基)+2,000,000 (円/基))
/(850,000 (kWh/基)) = 10.2 円/kWh

1kWh あたり 10.2 円と想定され、東京湾口での陸上設置面積は限られるものの経済的には十分成立可能なことが分かった。

(2) 風車による電力の現地利用について

また、年間 0.85GWh/基あたりの発電を現地の照明等に直接利用することも可能である。例えば、東京湾口で海岸侵食問題が発生した場合、サンドバイパスへの利用も考えられる⁷⁾。

5 万 m³ の砂をサンドバイパス (100kW 容量) で 21m³/h の速度で輸送すると、約 2,380 時間必要となり、必要電力量は 238MWh となる。この量は、300KW 級中規模風車を東京湾の第二海堡で使用した場合の総発電量 850MWh の 28%であり、十分サンドバイパスのような施設を制御することも可能であることが分かる。

7. まとめ

我が国の海域は、外洋では、欧米に比較して一般に海底勾配が大きいため、大水深・高波浪の厳しい自然条件にさらされている。このため我が国における洋上風力発電ファームの建設は、内湾の比較的波浪外力が小さく水深が浅い海域から着手することが現実的である。

一般に東京湾は風が小さいと思われがちである。しかし、既存の観測・推算結果は、東京湾内の海面上には、これまで洋上風力発電の有力候補と考えられていた外海に面する沿岸域に匹敵する風力エネルギーポテンシャルが存在することを示している。このような背景から、本研究では、東京湾内の富津岬以北海域における洋上風力発電の可能性を、風況の実測データと、風車およびケーブル敷設費用などから検討した。

その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 第二海堡とアシカ島では、年間通して 6~8m/s の月平均風速がある。茨城県の波崎海岸には既に

海岸線に風力発電施設が多数設置され、我が国でも稼働率が高い施設となっているが、それらよりも東京湾富津岬周辺は風の条件が良好であった。また、日本海沿岸で強風域とされる秋田でも、強風は冬季に限られており、夏季は東京湾の方が大きかった

- 2) 富津岬以北の 5km×10km の範囲に 1 基 20 億円程度の 5MW 級風車 100 基から成る風車群建設を想定した。建設費は約 2021 億円と試算され、金利 3%、年間の保守費を 3000 万円/基、耐用年数 20 年を仮定すると、発電量 1kWh あたりの単価は 11 円程度と想定され、将来の原油価格の動向によっては経済的に成立可能であることが分かった。

また、中規模風車を東京湾口の陸上に設置した場合も、経済性が良いことがわかった。

謝辞: 本研究は足利工業大学、駒井鉄工 (株)、港湾空港技術研究所の共同研究“平成 17~19 年度中小型風力発電装置の港湾・沿岸域への適応性に関する研究”の一部の成果である。とりまとめにあたり足利工業大学牛山泉教授、西沢良史客員研究員から有益なご助言を頂いている。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 永井紀彦: 風力エネルギー活用の観点から見た沿岸域洋上風の特性、港湾空港技術研究所資料, No. 1034, 34p, 2002.
- 2) NEDO ホームページ, 局所風況マップ, <http://app2.infoc.nedo.go.jp/nedo/>
- 3) 港湾・沿岸域における風力発電推進研究会: 港湾・沿岸域における風力発電推進に関する研究, 2007.
- 4) 高橋宏直・後藤健太郎: AIS データの港湾整備への活用に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料, No. 420, 89p, 1994.
- 5) 鶴谷広一・細川恭史・日比野忠史・三好英一: 東京湾“ダイヤモンド・グレース号”流出油の浮遊・漂着状況の把握と水域への影響調査, 港湾技研資料, No. 882, 1997.
- 6) 渡部正孝・天野邦彦・石川裕二・田村正行・村上正吾・木幡邦男: 東京湾におけるタンカー事故による原油流出解析, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp. 926-930, 1998.
- 7) 永井紀彦・鈴木高二朗・牛山泉・西沢良史・細身 雅生・小川路加・野口仁志: 沿岸域中規模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, 32p, 2008. (印刷中)
- 8) 永井紀彦・下迫健一郎・牛山泉・根本泰行・川西和昭・塚本泰弘: 沿岸風力照明システムの計画・設計に関する検討一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, 2005.