

令和 2 年 6 月 4 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03492

研究課題名（和文）バンカビリティ評価に使用可能な信頼できる洋上風況精査手法の確立

研究課題名（英文）Establishment of a reliable and bankable method for offshore wind resource assessment

研究代表者

大澤 輝夫（Ohsawa, Teruo）

神戸大学・海事科学研究科・教授

研究者番号：80324284

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,000,000円

研究成果の概要（和文）：洋上風力開発においては、風況マップ等で選定された候補海域において実際に現場観測を行うことにより、バンカビリティ（融資適合性）評価に使用可能な質の高い風況データを取得することが必須となる。本事業では、茨城県神栖市沖海域を観測フィールドとして、スキャニングライダー・鉛直ライダー観測、ブイ観測、棧橋観測、及び気象モデルに基づく数値計算を行い、高精度で信頼できる洋上風況精査手法の確立を目指した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

洋上の風車ハブ高度の風況を推定する手法として、(a) 陸に設置したスキャニングライダーから直接観測する手法、(b) 洋上に設置したブイによる低高度観測値を数値計算から得られる風速プロファイルによってハブ高度まで持ち上げる手法、(c) 沿岸陸上での観測値を数値計算から得られる水平風速場によって沖合に外挿する手法、を比較検討した。洋上風況の推定精度の面ではスキャニングライダーの直接観測が有望である一方で、データ取得率に問題があるため、現時点では欠測時に備えて陸上観測値からのデータ補完手法との併用が必須となる。

研究成果の概要（英文）：For offshore wind development, it is necessary to obtain high-quality bankable wind data, by carrying out field observation at a candidate site selected from the nationwide offshore wind resource map. This project conducts a comprehensive wind observation and numerical simulation for the coastal waters off Kamisu, Ibaraki Prefecture, using vertical and scanning Doppler LiDARs as well as meteorological observation equipment on a pier and a buoy, in order to establish a reliable and accurate method for offshore wind resource assessment.

研究分野：海洋気象学，風力エネルギー

キーワード：洋上風力 風況 海洋気象 風力エネルギー

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日本においても洋上風力開発の計画が各地で具体化しつつある。洋上風力開発で必須となる風況調査については、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の下で開発されてきた「洋上風況マップ」が2016年度末に完成し、これをもって日本における洋上風況調査の第1フェーズは完了した。続く第2フェーズにおいては、洋上風況マップで選定された候補海域において実際に現場観測を行うことにより、バンカビリティ (融資適合性) 評価に使用可能な質の高い風況データを取得することが目標となる。

2. 研究の目的

第2フェーズにおける洋上風況の具体的な観測手法については試行錯誤の状態が続いており、現時点では明確な方針・手法が定まっていない。その原因の一つは、手法の検討に利用できる洋上風況観測値が不足しているからである。そこで本事業においては、茨城県神栖市波崎海洋研究施設沖海域を観測フィールドとして、水平・鉛直ドップラーライダー観測、動揺補正付ブイ観測、栈橋上気象観測、及びメソ気象モデルに基づく数値計算を行い、第2フェーズにおける諸問題について詳細な検討を行うことで、高精度で信頼できる洋上風況調査手法を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

茨城県神栖市にある港湾空港技術研究所波崎海洋研究施設周辺における現場風況観測の概要を図1に示す。3年間の事業期間中、時期はそれぞれ異なるが総数として、栈橋の先端及び付け根部分に鉛直ライダーを2台、スキャングライダー1台を設置し、研究施設の西北西約6kmの海岸線付近にもう一台のスキャングライダー1台を設置した。また波崎栈橋先端部には超音波風向風速計を設置し、常設の観測装置と合わせた気象海象観測を実施した。更に、栈橋から約5km北方、海岸線から2.5km沖合の海上に気象観測ブイを設置し、超音波風向風速計による風況観測を実施した。これらの観測と同期して、気象モデル WRF (Weather Research and Forecasting model) による100m解像度の数値シミュレーションを実施した。これらの観測値と計算値を組み合わせることにより、洋上の風車ハブ高度風速を推定する手法として、(a)スキャングライダー観測値、(b)ブイ観測値+数値計算、(c)陸上観測値+数値計算の3つ (図2) について、各手法の精度及び特性を明らかにすると共に、それらの将来的な利用可能性について検討した。

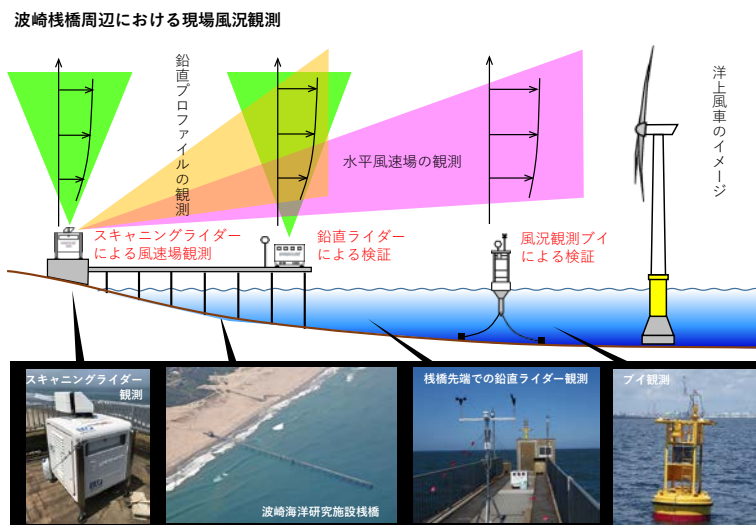


図1 港湾空港技術研究所波崎海洋研究施設周辺における現場風況観測の概要

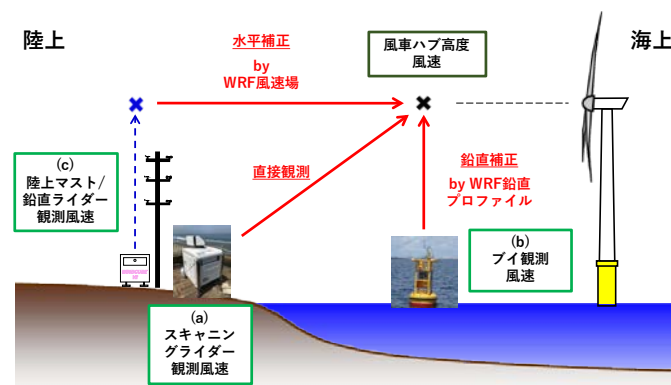


図2 比較検討された3つの洋上風況推定手法の概要

4. 研究成果

本事業においては、ライダー及びブイ、栈橋による観測値と気象モデル WRF による数値計算値を用いて、洋上における風車ハブ高度の風速を推定する手法として、(a) シングル及びデュアルのスキヤニングライダーによる直接的な風況観測手法、(b) ブイ観測値を正確に動揺補正した上で、WRF 計算値によって鉛直方向に高度補正する手法、(c) 沿岸の観測値を WRF 計算値によって沖合に水平外挿する手法、の3つの手法の比較検討を行った。

まず、(a) については、スキヤニングライダー1台による観測精度を400m離れた波崎栈橋上の鉛直ライダー観測値を用いて検証した。その結果、風速については平方根平均二乗誤差(RMSE) 0.24m/s (平均風速比 4.0%)、風向についてはRMSE3.7度という高い精度が得られた(図3)。スキヤニングライダーのデュアル観測については、データ取得率の低さに課題が残ったものの、2.5km沖合のブイ観測値とは良く一致する結果が得られた。

(b) については、ブイ上の風速観測値を動揺補正することで波崎栈橋での観測値に良く一致する結果を得た。ただしブイ上空のデュアル観測値のデータ取得率が低かったため、風車ハブ高度におけるブイ観測-WRF 計算併用手法についての信頼できる検証は実施できなかった。その代替として、波崎栈橋の海面高10mの風速計をWRF計算値で高度補正して海面高87mの風速を推定し、それを鉛直ライダー観測値で検証した。その結果、10m観測値-WRF計算併用手法の精度は、海風時に限定すると、バイアス0.29m/s (3.8%)、RMSE1.15m/s (15.1%)、相関係数0.95という精度を得た。これはドイツの北海での検証事例の精度と同等の結果であり、外洋においてはブイ観測-WRF計算併用手法により、この程度の精度の風況推定が期待できると考えられる。

(c) については、WRFのLESモードによる16風向別定常計算を実施し、波崎栈橋の高度10mの風速観測値を入力値として、約5km離れたブイでの風速を推定した。海風時には、バイアス0.24m/s (3.5%)、RMSEで0.79m/s (11.3%)、相関係数0.97と比較的良好な精度で推定できる一方で、(b)の高度補正時と同様、陸風時には精度が大きく悪化することが明らかになった(図4)。WRF計算値を使う手法においては、陸風時の風速の鉛直勾配及び水平勾配の精度向上が必須の課題であることが浮き彫りとなった。ただしこのWRF-LESによる計算手法は、通常の連続計算に比べて計算負荷が非常に小さいにも関わらず、精度面では連続計算とほぼ変わらない結果が得られることが明らかになったため、数値計算手法としては今後十分に活用が期待できる。

以上の結果より、本事業で検討した洋上風況調査手法の中では、推定精度が高いスキヤニングライダーを主として用い、データが欠測した期間については陸上観測値から水平補完をするという方法が最も現実的であると考えられる。

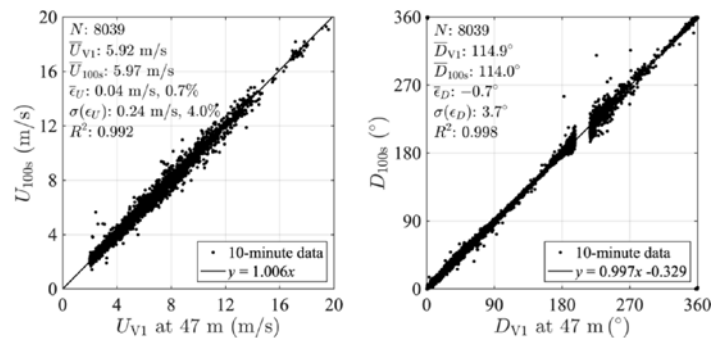


図3 スキヤニングライダーによる風速(左)と風向(右)の計測精度(文献①)

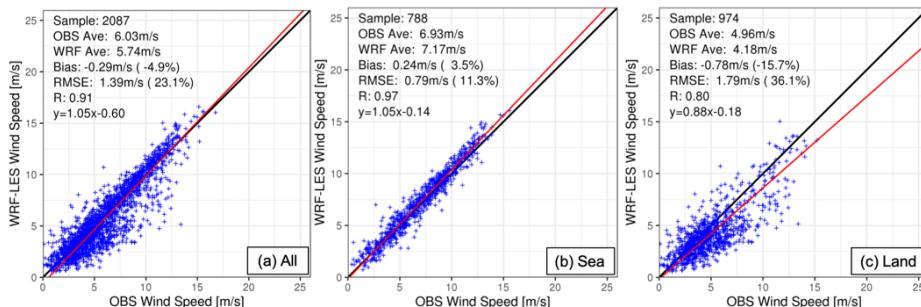


図4 波崎栈橋上の観測値をWRF-LES計算値によってブイ位置まで水平外挿した場合の風速推定精度(文献②)

<引用文献>

- ① Shimada et al., Coastal wind measurements using a single scanning LiDAR, Remote Sensing, 12(8):1347, 2020.
- ② 内山他, WRF-LESに基づく風向別定常計算を用いた上風況推定手法の検討, 土木学会論文集(B3), 2020(投稿中).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 15件）

1. 著者名 内山将吾, 大澤輝夫, 荒木龍蔵, 上田裕洋, 高祖研一, 畦地啓太	4. 巻 Vol.43, No.4
2. 論文標題 WRF-LES とスキャニングライダーを組み合わせた洋上風況調査手法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本風力エネルギー学会論文集	6. 最初と最後の頁 pp.70-78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yuko Takeyama, Teruo Ohsawa, Jun Tanemoto, Susumu Shimada, Katsutoshi Kozai, Tetsuya Kogaki	4. 巻 Early View
2. 論文標題 A comparison between advanced scatterometer and weather research and forecasting wind speeds for the Japanese offshore wind resource map	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Wind Energy	6. 最初と最後の頁 pp.1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/we.250314	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Takeshi Misaki, Teruo Ohsawa, Susumu Shimada, Yuko Takeyama, Satoshi Nakamura	4. 巻 Vol.12, Iss.14
2. 論文標題 Accuracy Comparison of coastal wind speeds between WRF simulations using different input datasets in Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Energies	6. 最初と最後の頁 Paper No. 2754
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/en12142754	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Susumu Shimada, Jay Prakash Goit, Teruo Ohsawa, Tetsuya Kogaki, Satoshi Nakamura	4. 巻 Vol.12, Iss.8
2. 論文標題 Coastal wind measurements using a single scanning LiDAR	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 Paper No. 1347
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs12081347	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 大澤輝夫	4. 巻 Vol.43, No.2
2. 論文標題 「風況測定用LIDAR技術特集」本特集のまとめ	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 風力エネルギー	6. 最初と最後の頁 pp.233-235
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 嶋田 進	4. 巻 Vol.43, No.2
2. 論文標題 デュアルライダー観測	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 風力エネルギー	6. 最初と最後の頁 pp.217-220
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takeshi Misaki, Teruo Ohsawa	4. 巻 42
2. 論文標題 Evaluation of LFM-GPV and MSM-GPV as Input Data for Wind Simulation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本風力エネルギー学会論文集	6. 最初と最後の頁 72-79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11333/jwea.42.4_72	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中里 廉, 大澤 輝夫, 杉山 康弘, 香西 克俊, 嶋田 進, 竹山 優子, 中村 聡志	4. 巻 74
2. 論文標題 WRF-現場観測値併用型ハブ高度洋上風速推定手法の開発	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 I_952 ~ I_957
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejoe.74.1_952	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 嶋田 進, 大澤 輝夫, 中里 廉, 中村 聡志, 竹山 優子, 小垣 哲也, 古川 正樹	4. 巻 40
2. 論文標題 洋上WF開発候補海域における風況精査手法の検討 その1) デュアルライダー観測	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第40回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集	6. 最初と最後の頁 183 ~ 186
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11333/jweasympo.40.0_183	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 大澤 輝夫;嶋田 進;中里 廉;伊藤 芳樹;平井 重雄;山田 高史;中村 聡志;小垣 哲也;古川 正樹	4. 巻 40
2. 論文標題 洋上WF開発候補海域における風況精査手法の検討 その2) ブイ観測-WRF計算併用手法	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第40回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集	6. 最初と最後の頁 187 ~ 190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11333/jweasympo.40.0_187	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 清水 悠正;大澤 輝夫;嶋田 進	4. 巻 40
2. 論文標題 新しい海面水温データセットIHSSTを用いたWRFによる洋上風況計算の精度検証	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第40回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集	6. 最初と最後の頁 167 ~ 170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11333/jweasympo.40.0_167	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 見崎 豪之、大澤 輝夫、香西 克俊、竹山 優子、馬場 康之、川口 浩二	4. 巻 42
2. 論文標題 WRFによって計算される海岸線付近の水平風速勾配の検証	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本風工学会論文集	6. 最初と最後の頁 57 ~ 66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5359/jwe.42.57	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 大澤 輝夫、嶋田 進	4. 巻 41
2. 論文標題 風況マップ(陸上、洋上)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 風力エネルギー	6. 最初と最後の頁 545 ~ 548
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11333/jwea.41.3_545	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 嶋田 進、大澤 輝夫	4. 巻 41
2. 論文標題 洋上風況マップ開発のためのWRF シミュレーション	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 風力エネルギー	6. 最初と最後の頁 5 ~ 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11333/jwea.41.1_5	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 加藤 茉里、大澤 輝夫、上出 広和、嶋田 進	4. 巻 39
2. 論文標題 日本沿岸におけるWRF計算風速の空間的なバイアス特性についての検証	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 風力エネルギー利用シンポジウム予稿集	6. 最初と最後の頁 253 ~ 256
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11333/jweasympo.39.0_253	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計11件(うち招待講演 0件/うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Takumi Tsuji, Teruo Ohsawa, Mizuki Konagaya, Toshinari Mito, Keita Azechi, Susumu Shimada, Hiroshi Hayashi
2. 発表標題 Hub-height wind resource estimation based on year-round met mast and short-term LiDAR observation
3. 学会等名 WindEurope Offshore 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Susumu Shimada, Teruo Ohsawa, Satoshi Nakamura, Yuko Takeyama, Tetsuya Kogaki, Masaki Furukawa
2. 発表標題 Coastal wind measurements using a dual scanning LiDAR system
3. 学会等名 WindEurope Offshore 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小長谷瑞木, 大澤輝夫, 井上鷹矢, 水戸俊成, 加藤秀樹, 川本和宏
2. 発表標題 温度分布に起因する近海域における洋上風況の形成とWRF推定値の誤差に関する考察
3. 学会等名 第41回風力エネルギー利用シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上鷹矢, 大澤輝夫, 小長谷瑞木, 川本和宏
2. 発表標題 海岸線近傍海域におけるWRF 計算風速の空間再現性向上に向けた取り組み
3. 学会等名 2019年度日本気象学会関西支部第3回例会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shogo Uchiyama, Teruo Ohsawa, Takeshi Misaki, Ryuzo Araki, Hiromi Ueda, Keita Azechi, Nemanja Komatinovic
2. 発表標題 Offshore wind resource assessment on the west coast of AWAJI Island (Comparison between in-situ and WRF-simulated wind speeds)
3. 学会等名 The Grand Renewable Energy 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Susumu Shimada, Tetsuya Kogaki, Yuko Takeyama, Teruo Ohsawa, Satoshi Nakamura, Koji Kawaguchi
2. 発表標題 Accuracy of offshore wind measurements using a scanning lidar
3. 学会等名 The Grand Renewable Energy 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takeshi Misaki, Teruo Ohsawa, Mizuki Konagaya, Hideki Kato, Toshinari Mito, Shinya Eguchi, Susumu Shimada, Tetsuya Kogaki, Yuko Takeyama, Teruo Ohsawa, Satoshi Nakamura, Koji Kawaguchi
2. 発表標題 Investigation of WRF simulated horizontal wind speed gradient using scanning lidar measurement
3. 学会等名 The Grand Renewable Energy 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takeshi MISAKI, Teruo OHSAWA
2. 発表標題 High-resolution dynamical downscaling of offshore winds with mesoscale model in nearshore waters
3. 学会等名 International Conference on Energy and Meteorology 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Teruo OHSAWA, Hirokazu UEDE, Takeshi MISAKI, Mari KATO, Susumu SHIMADA
2. 発表標題 Accuracy of WRF simulations used for Japanese offshore wind resource maps
3. 学会等名 International Conference on Energy and Meteorology 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中里 廉, 大澤 輝夫, 嶋田 進, 竹山 優子, 中村 聡志
2. 発表標題 波崎棧橋における陸風時のWRF計算風速鉛直プロファイルの精度検証
3. 学会等名 日本気象学会関西支部
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 杉山 康弘, 香西 克俊, 大澤 輝夫, 嶋田 進, 竹山 優子
2. 発表標題 波崎棧橋における MOST-EKMAN ハイブリッド型一次元鉛直風速プロファイリングについて
3. 学会等名 日本気象学会関西支部
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	竹山 優子 (Yuko Takeyama) (00510025)	東京海洋大学・学術研究院・助教 (12614)	
研究分担者	香西 克俊 (Katsutoshi Kozai) (30186613)	神戸大学・海事科学研究科・教授 (14501)	
研究分担者	中村 聡志 (Satoshi Nakamura) (30371751)	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・港湾空港技術研究所・上席研究官 (82627)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	川口 浩二 (Koji Kawaguchi) (50371753)	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・港湾空港技術研究所・グループ長 (82627)	
研究分担者	小垣 哲也 (Tetsuya Kogaki) (90356973)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・研究チーム長 (82626)	
研究分担者	嶋田 進 (Susumu Shimada) (90712208)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・研究員 (82626)	