

## 2021年度成果報告会

# 風力発電等導入支援事業/着床式洋上ウィンド ファーム開発支援事業/着床式洋上ウィンドファ ーム開発支援事業(洋上風況調査手法の確立)

### 【委託】

(国研)産業技術総合研究所  
(国)神戸大学  
(一財)日本海事協会  
イー・アンド・イー ソリューションズ(株)  
日本気象(株)

### 【再委託】

(株)ウインドエナジーコンサルティング

問い合わせ先

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 福  
島再生可能エネルギー研究所

URL:

<https://www.aist.go.jp/fukushima/ja/collabo/>

Tel: 024-963-0813

E-mail: frea-info-ml\*aist.go.jp (\*を@に変えて  
送信してください)

# 事業概要

## 1. 期間

開始 : 2019年12月

終了(予定): 2022年 9月

## 2. 最終目標

本事業では、リモートセンシング技術等を活用した日本の海域における洋上風況の合理的な観測手法の確立を目的として、スキャニングライダー及びフローティングライダーを用いて、洋上気象マスト等との比較実証試験を実施する。加えて技術委員会を設置し、専門家からの助言を得ると同時に、本事業で得られた成果を基にリモートセンシング計測による「洋上風況観測ガイドブック」を最終的にとりまとめる。

## 3. 成果・進捗概要

2020年9月より、防波堤上での洋上マスト及び鉛直ライダー観測値が得られるむつ小川原港(青森県上北郡)サイトにおいて、スキャニングライダー2機種およびフローティングライダー3機種を用いた洋上風況観測を開始した。初期解析において、スキャニングライダー(デュアル観測)については、Carbon TrustのOWAロードマップに示されるKPIを満足する高い計測精度が確認された。また、フローティングライダーについても、機種間での違いは見られるものの、高い計測精度が確認された。加えて、本事業の最終目的であるリモートセンシング技術を活用した洋上風況観測に係るガイドブック作成にむけて、全体構成を検討した。

# 本事業の目的・内容

## ◆ 本事業の目的

洋上ウィンドファームの事業計画の検討においては、リスク低減のため精度の高い風況データを取得することが重要である。風況観測したデータが、計画から設計、建設、維持管理に至るまで非常に有効であることは事実であるが、一方で洋上での観測タワー設置には多大なコストを要するため、欧州ではリモートセンシング技術(スキャニングライダー、フローティングライダー等)を活用した観測手法の検討が盛んに行なわれている。本事業は、上述のようなリモートセンシング技術等を活用して、日本の海域における洋上風況の合理的な観測手法を確立するための技術開発等を行うものである。

## ◆ 本事業の内容

### ① リモートセンシング技術を利用した観測精度の検証及び観測手法の確立

- a. スキャニングライダーによるデュアル観測等を行い、精度検証及び観測手法の確立を行う。
- b. フローティングライダーによる洋上風況観測を実施し、精度検証及び観測手法の確立を行う。

### ② シミュレーションを用いた観測期間短縮化手法の検討

- ①で観測した洋上風況実測値と風況シミュレーションを用い、風況観測期間短縮化の手法を検討し確立する。

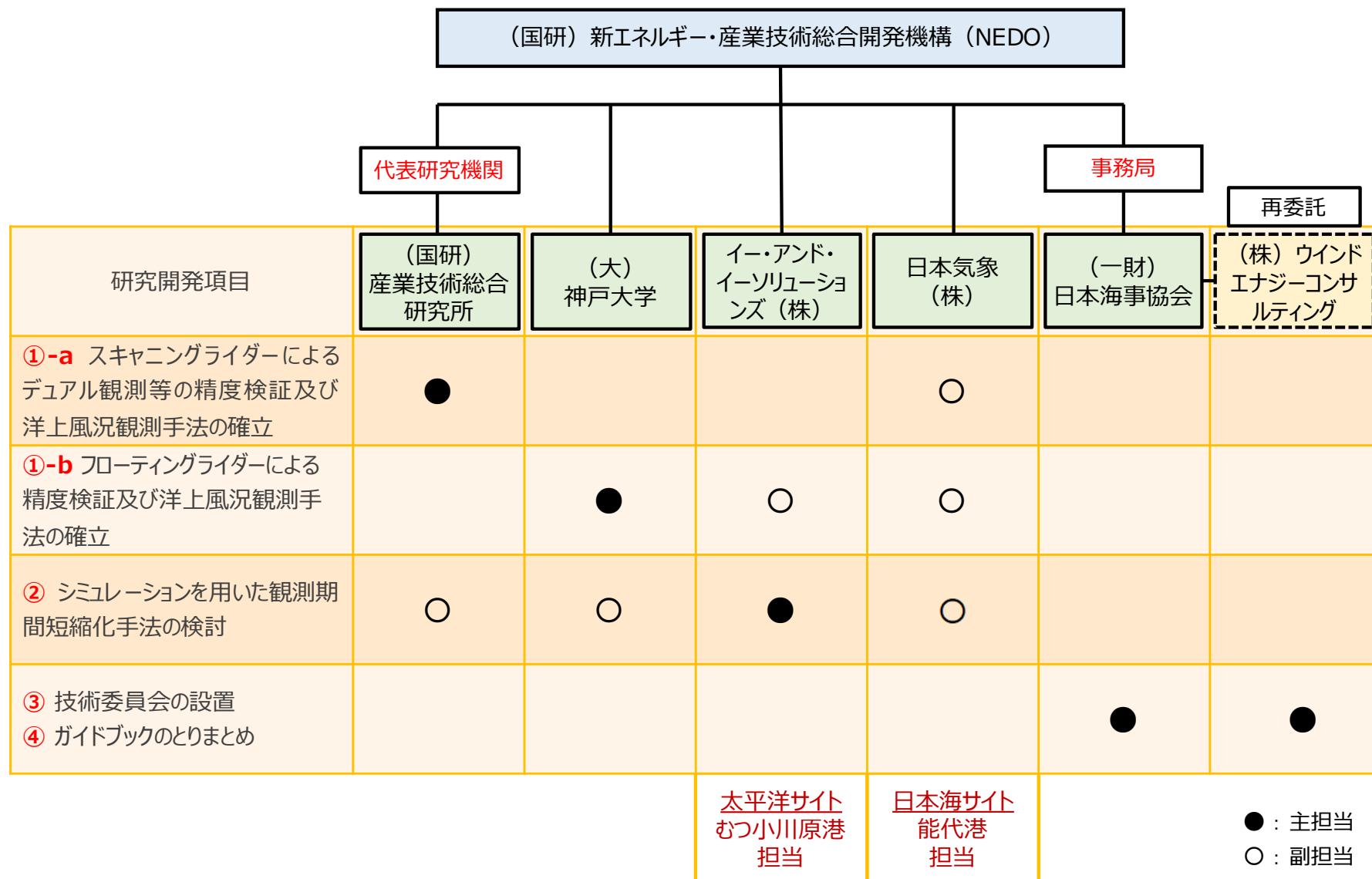
### ③ ガイドブックのとりまとめ

- ①, ②の内容をガイドブックに取りまとめる。

### ④ 技術委員会 の設置

- ①～③で得られた観測手法及び結果について、有識者からなる委員会を設け、その課題を審議する。

# 本事業の研究体制図



# むつ小川原港の風況と機器配置

青森県上北郡六ヶ所村 むつ小川原港

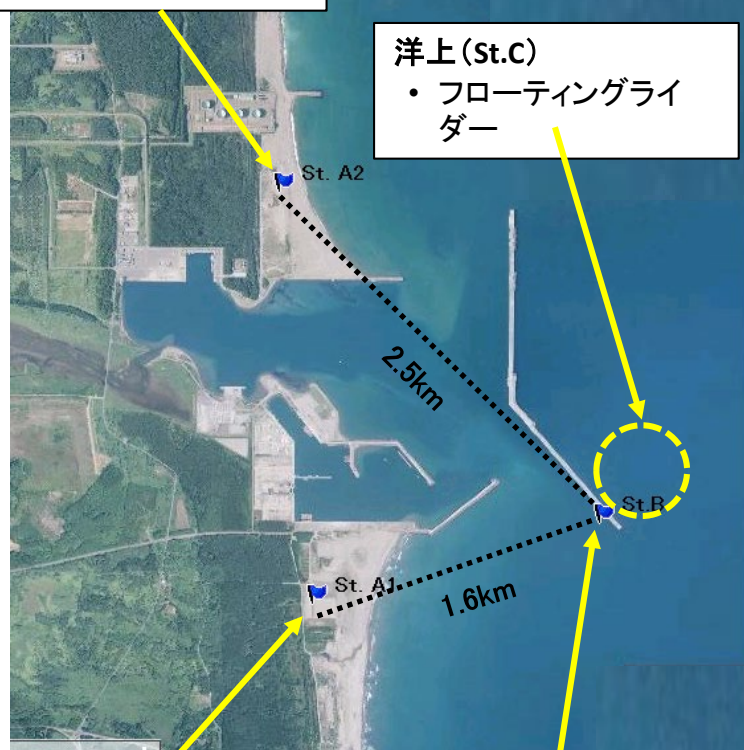
陸上 (St.A2)

- ・ スキャングライダー

出典: 国土地理院

洋上 (St.C)

- ・ フローティングライダー



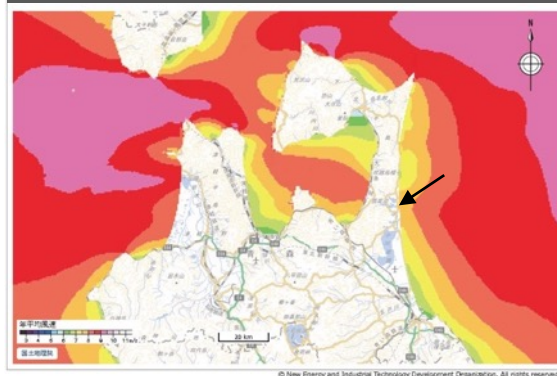
陸上 (St.A1)

- ・ 陸上気象マスト
- ・ スキャングライダー
- ・ 鉛直ライダー
- ・ 各種気象測器

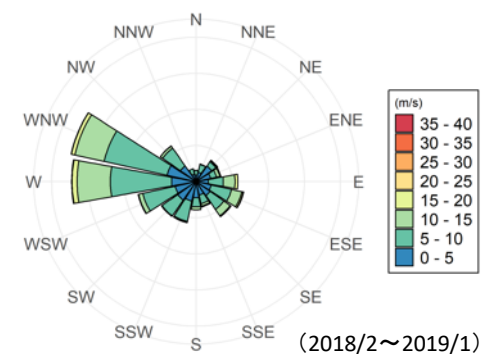
防波堤上 (St.B)

- ・ 洋上気象マスト
- ・ 鉛直ライダー
- ・ 各種気象測器

青森県全体図 (NeoWins)



洋上マストでの風配図





防波堤マストとフローティングライダー3機





# ①-a スキャニングライダー 使用機種

## 本事業で使用するスキャニングライダー

項目	StreamLine XR+ (英HALO Photonics社)	Windcube 100S/200S (仏Leosphere社)
外観		
使用台数	XR+ × 2台	200s × 2台, 100s × 1台
光源	パルス波, 1.54 $\mu\text{m}$	パルス波, 1.55 $\mu\text{m}$
寸法	0.63 × 0.53 × 0.9 m	0.8 × 1.0 × 1.2 m
重量	89 kg	232 kg
消費電力	150～570 W	500 W～1.6 kW
測定距離	50 m ± 10 m ～ 12,000 m	50 m ～ 6,000 m
距離分解能	18～120 m	25～100 m
風速測定レンジ	-38 m/s ～ +38 m/s	-30 m/s ～ +30 m/s
視線風速精度	≤ 0.1 m/s以下	≤ 0.5 m/s以下

# ①-a スキャングライダー デュアル観測(200s)の計測条件

◆ デュアル観測(200s)は2020年11月から現在も継続中. 解析が進んでいる2020年11月～12月の精度検証結果を今回は報告.

◆ 精度検証の結果はスキャングライダー及びフローティングライダー共に速報値.

表 スキャン設定

モード	仮想タワー(3層)
検証期間	2020年11月7日～12月31日
検証データ	洋上マスト, 鉛直LiDAR
計測高度	66, 120, 180 m ASL
方位角 (マスト方向)	St. A1: 72.5° St. A2: 137.0°
仰角	St. A1: 2.0°, 3.4°, 4.8° St. A2: 1.2°, 2.1°, 3.0°
ターゲット距離	St. A1: 1,600 m St. A2: 2,550 m
レンジゲート長	50 m
時間積分間隔	1秒
実時間分解能	約5秒
計測レンジ	200～5,000 m, 50 m間隔

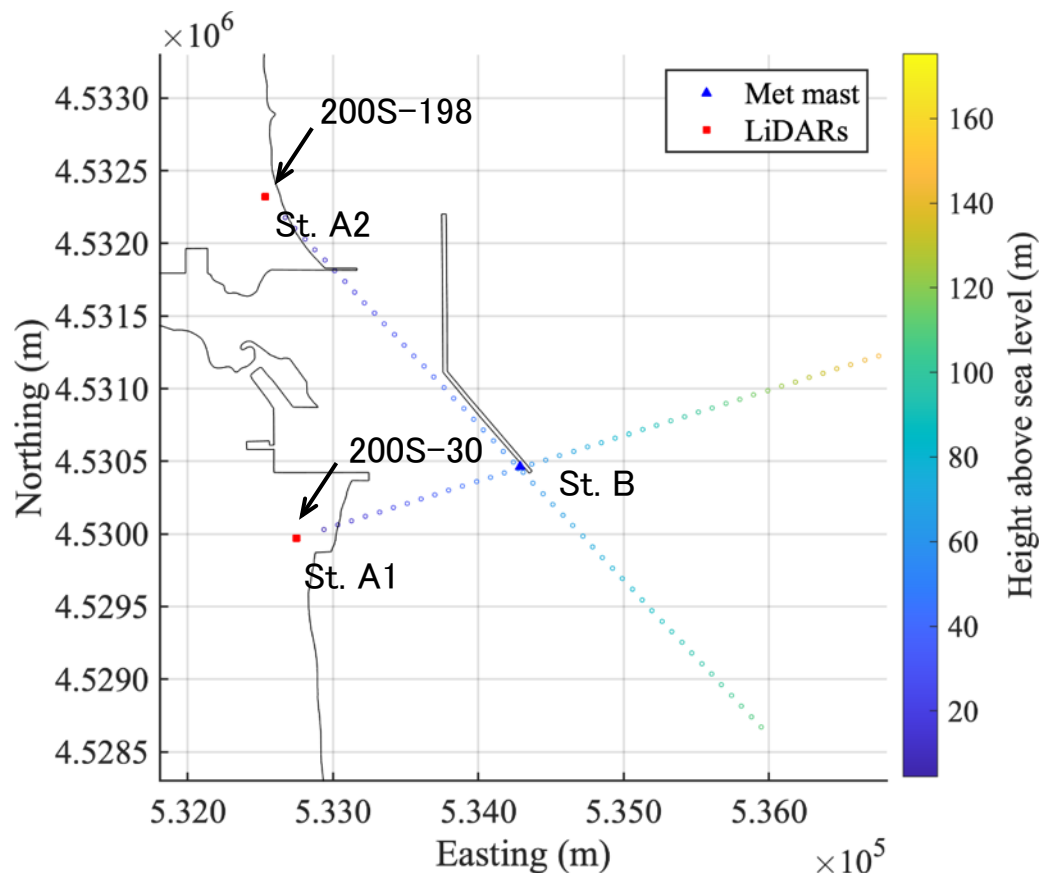


図 デュアル観測(200s)の計測ポイントと高度

# ①-a スキャニングライダー デュアル観測(200s)の精度検証①

- ◆ 10分平均風速のバイアスは+0.8%,  $R^2$ は0.99を超える.
- ◆ 10分平均風速の計測精度はCarbon Trust指標のステージ3 ベストプラクティス相当.
- ◆ 10分平均風向の計測精度についても同じ.

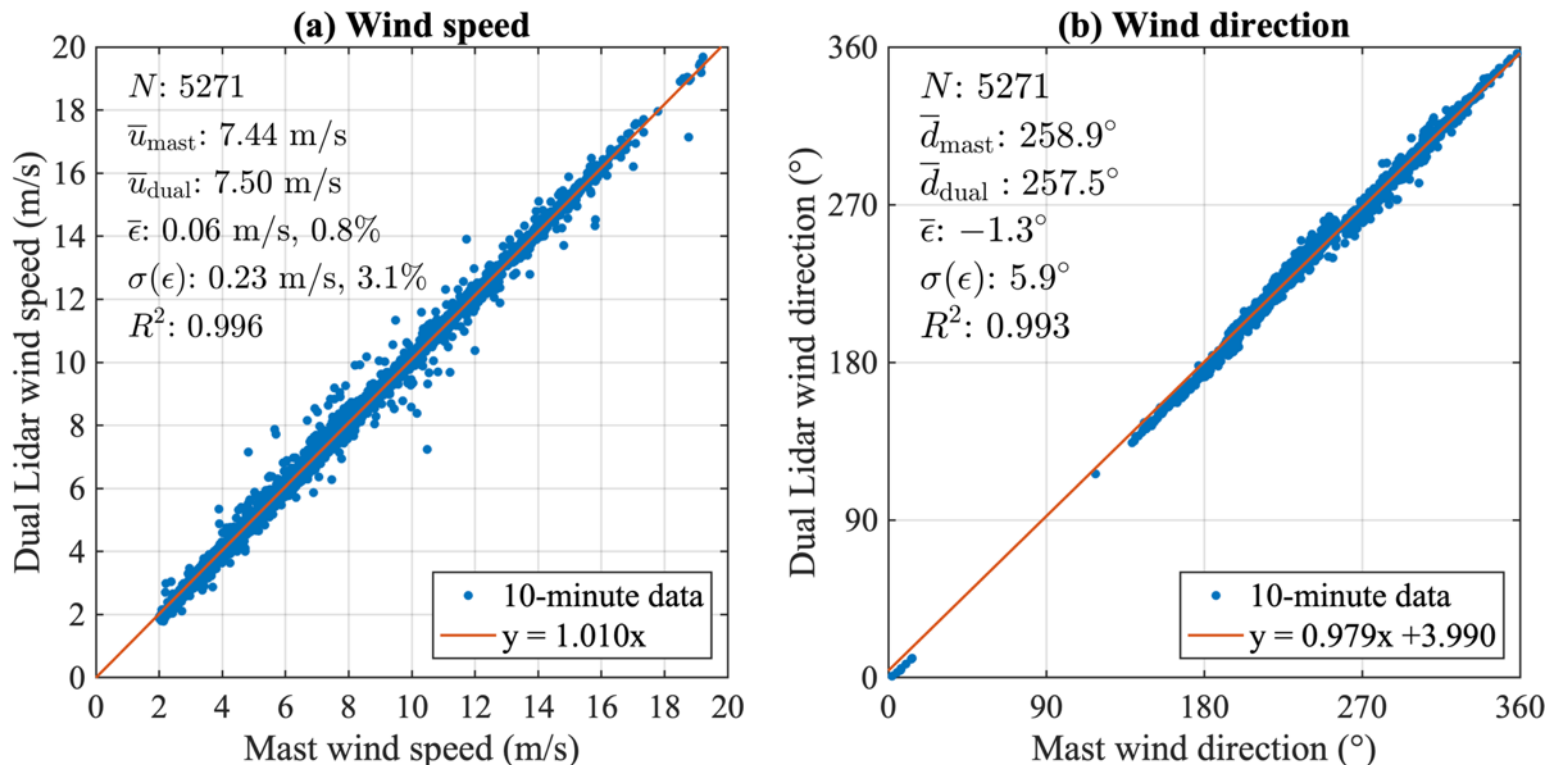
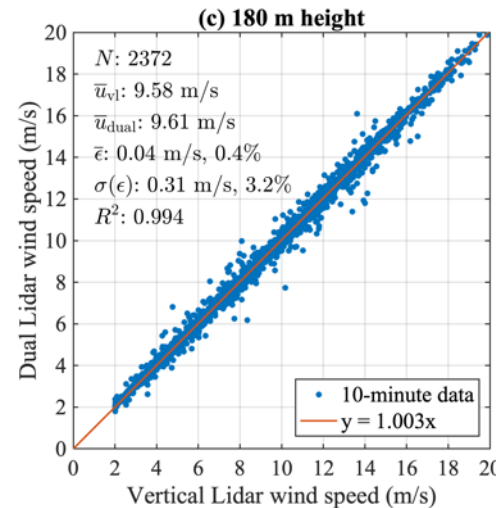
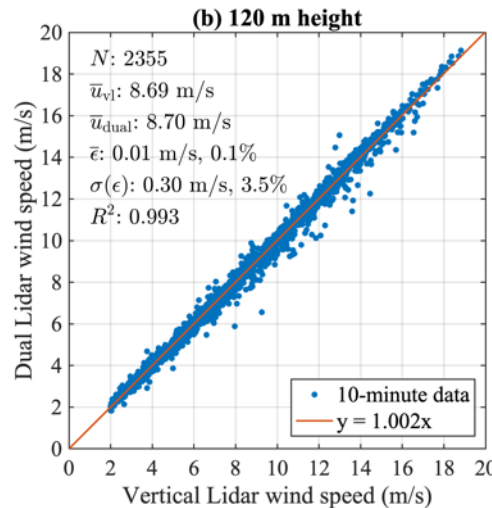
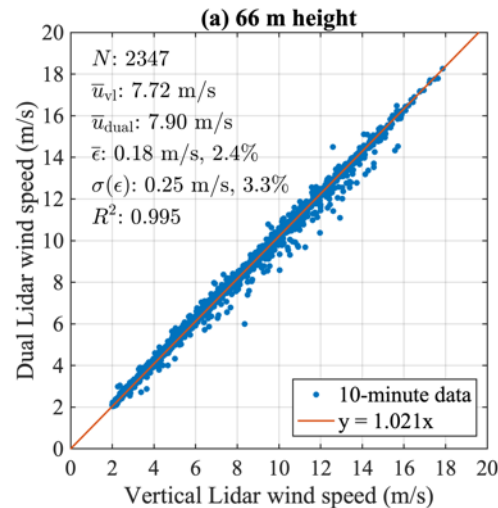


図 洋上マスト vs. デュアル観測(2020年11月7日~12月31日)



# ①-a スキャニングライダー デュアル観測(200s)の精度検証②

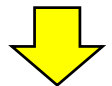
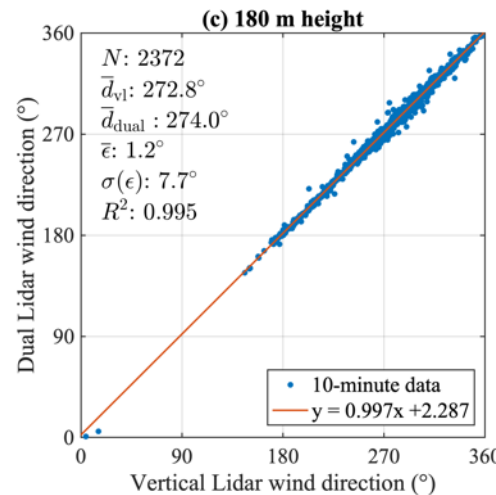
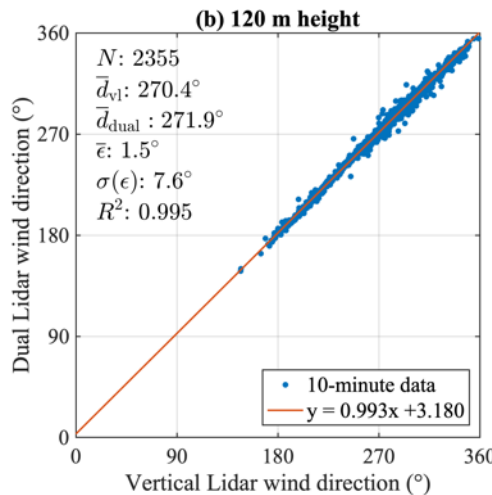
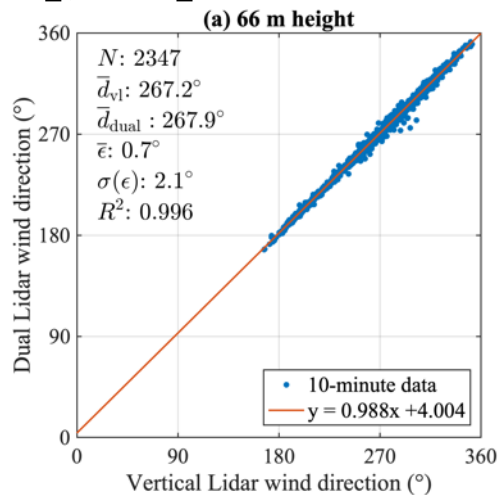
## 【風速】



◆ 洋上マストより上層の精度を鉛直ライダー観測値と比較

◆ 計測精度の高度依存性はほぼ無い

## 【風向】



◆ デュアル観測での鉛直シア計測は問題なし

図 鉛直ライダー vs. デュアル観測(200s)  
(2020年12月13日～12月31日)

# ①-a スキャニングライダー デュアル観測(200s)の精度検証③

- ◆ カップ風速計とデュアル観測(200s)から得られる風速階級毎の乱流強度は概ね一致.
- ◆ 洋上マスト上での乱流強度は風速10~15 m/sのレンジではIECのカテゴリーB相当.
- ◆ デュアル観測では, こうした乱れの含まれるサイトでも正しい計測結果が得られた.

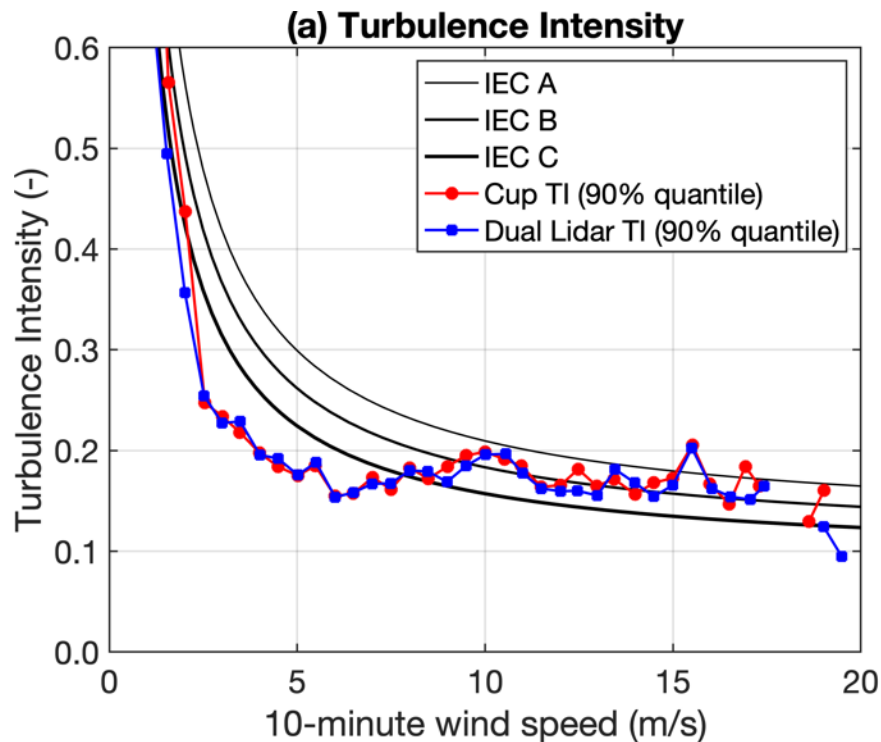


図 風速階級毎の乱流強度

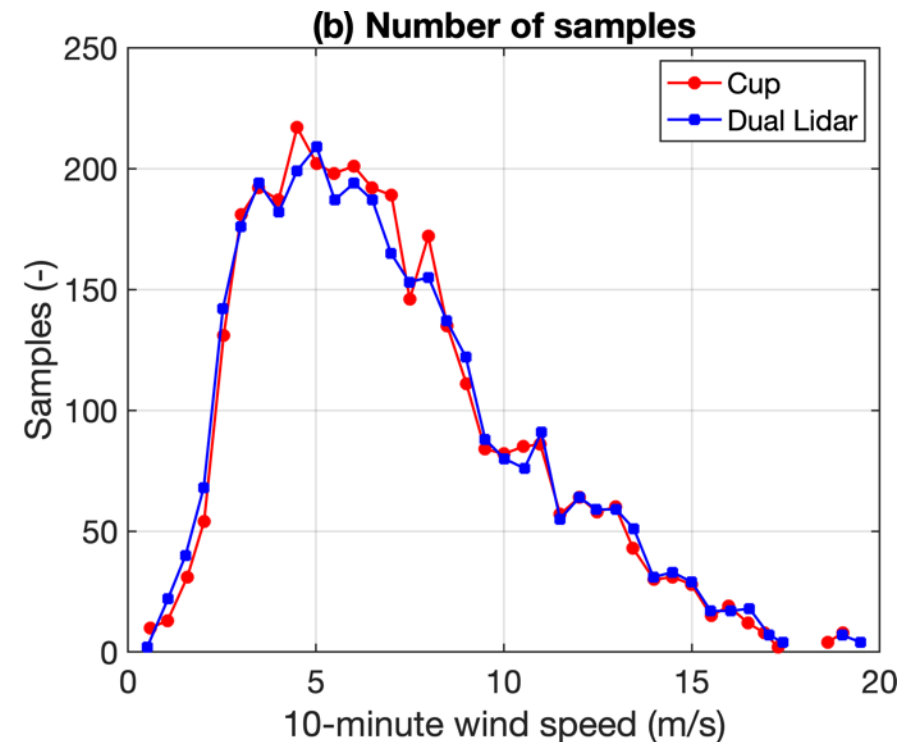


図 風速階級毎のサンプル数

# ①-a スキャングライダー デュアル観測(XR+)の計測条件

◆ デュアル観測(XR+)は2020年11月から現在も継続中. 解析が進んでいる2020年11月の精度検証結果を今回は報告.

◆ 観測条件は, 200sによるデュアル観測の場合とほぼ同様.

表 スキャン設定

モード	仮想タワー(3層)
検証期間	2020年11月7日~11月30日
検証データ	洋上マスト, 鉛直LiDAR
計測高度	66, 120, 180 m ASL
方位角 (マスト方向)	St. A1: 72.4° St. A2: 136.9°
仰角	St. A1: 2.0°, 3.9°, 6.0° St. A2: 1.3°, 2.5°, 3.8°
ターゲット距離	St. A1: 1,600 m St. A2: 2,550 m
レンジゲート長	90 m
時間積分間隔	1.5秒
実時間分解能	約10秒
計測レンジ	45~5,085 m, 90 m毎

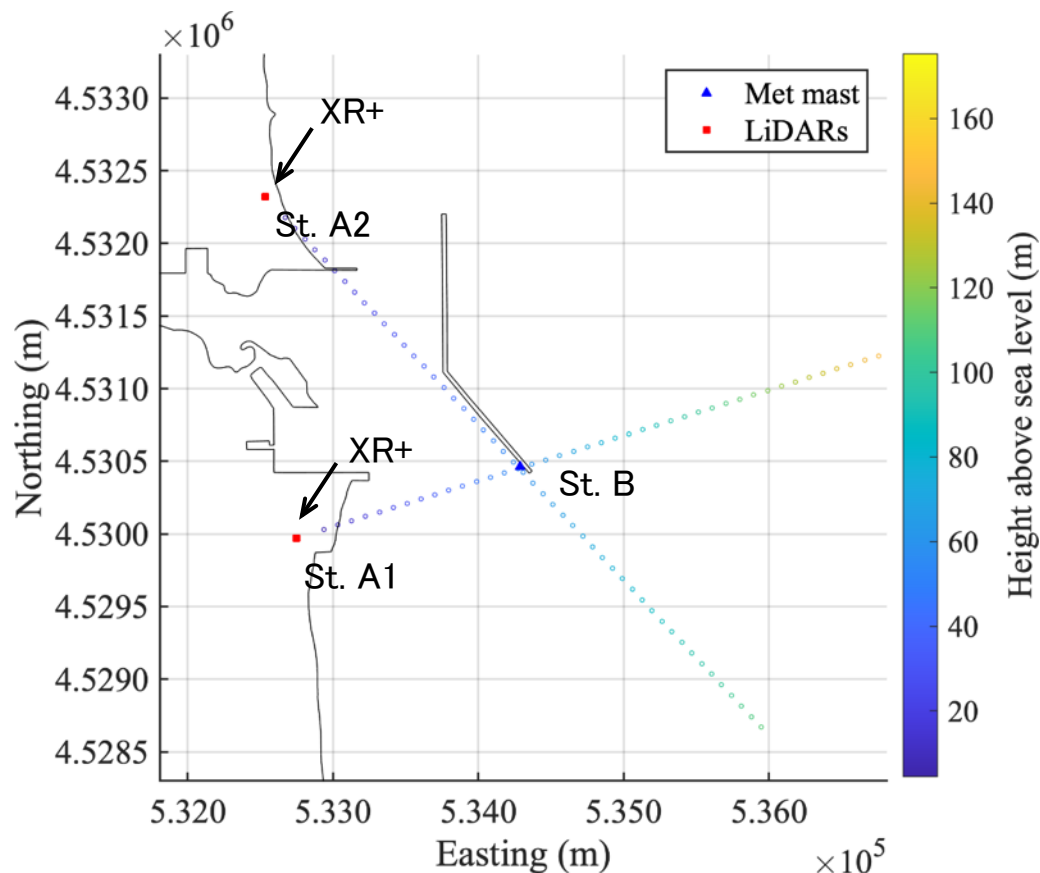


図 デュアル観測(XR+)の計測ポイントと高度

# ①-a スキャニングライダー デュアル観測(XR+)の精度検証①

- ◆ 10分平均風速のバイアスは-1%,  $R^2$ は0.99を超える.
- ◆ 10分平均風速の計測精度はCarbon Trust指標のステージ3 ベストプラクティス相当.
- ◆ 10分平均風向の計測精度についても同じ.

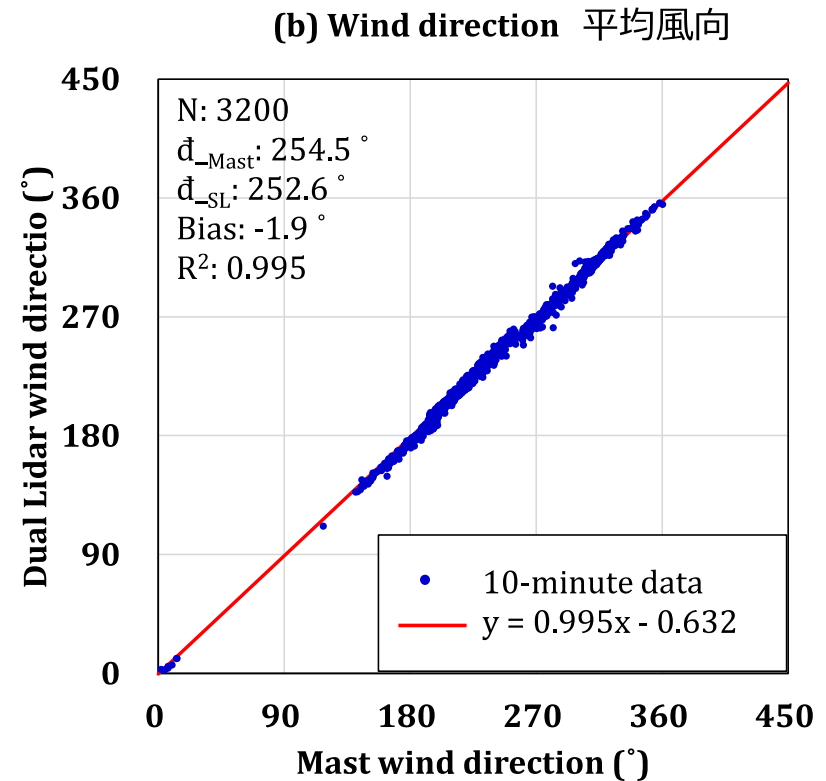
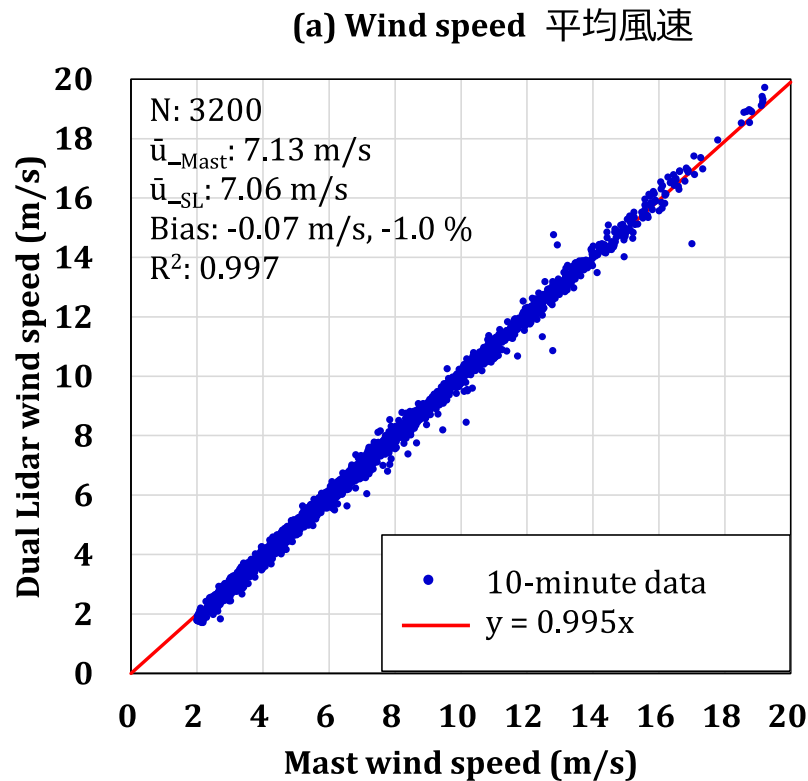


図 洋上マスト vs デュアル観測 (2020年11月7日 ~ 11月30日)

# ①-a スキャニングライダー デュアル観測(XR+)の精度検証②

- ◆ 200Sの結果と同様に, XR+のデュアル観測から得られた乱流強度は洋上マストから得られた値(90%分位値)と概ね一致.
- ◆ 風速レンジ4~16 m/sにおいて, わずかに過小評価する傾向であったことから計測設定を変更した結果を蓄積中.

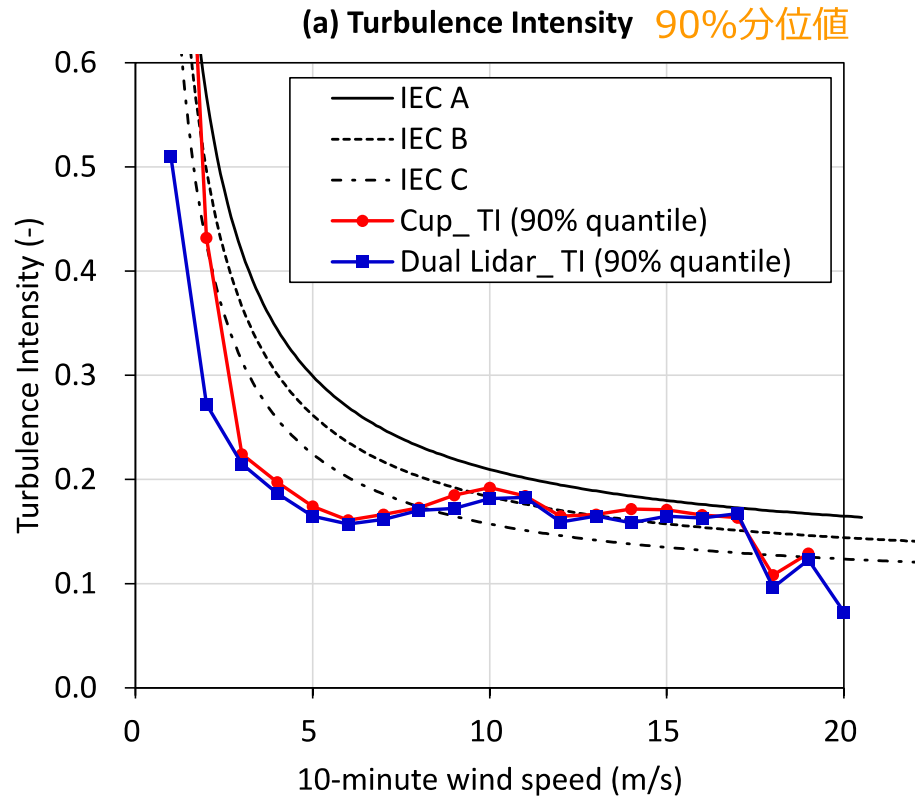


図 風速階級毎の乱流強度

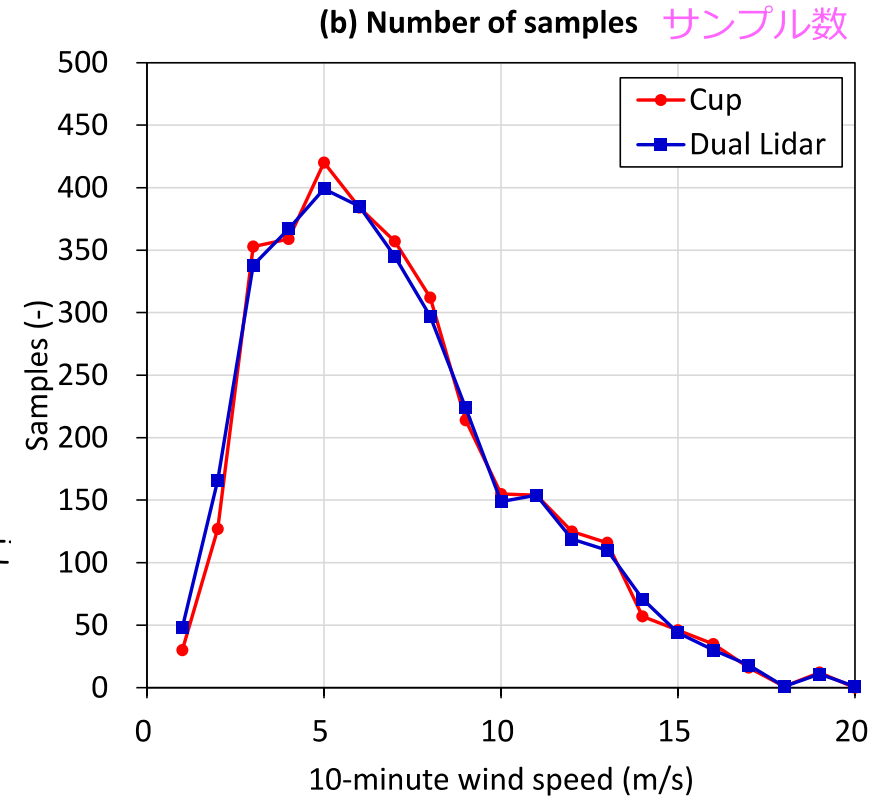



図 風速階級毎のサンプル数

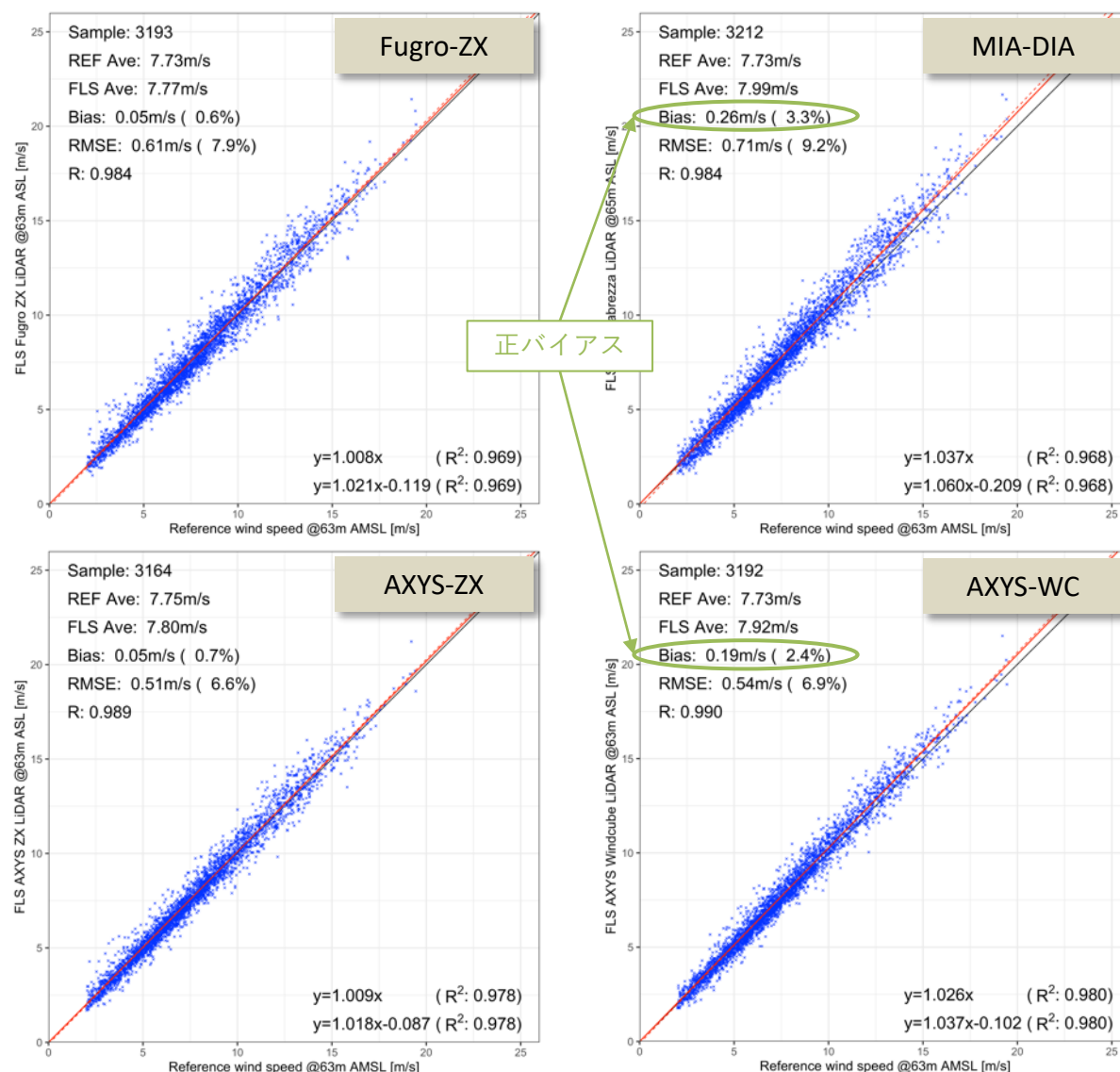


# ①-b フローティングライダー 使用機種

## 本事業で使用するフローティングライダー

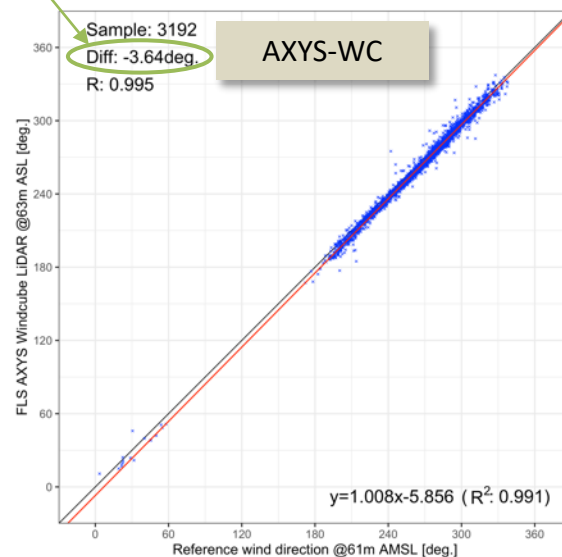
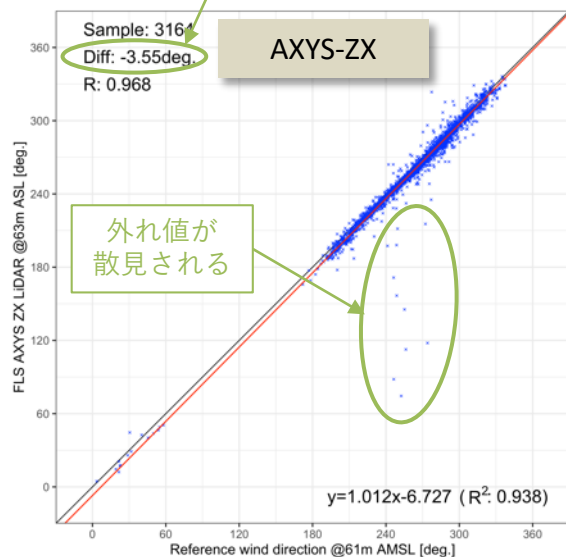
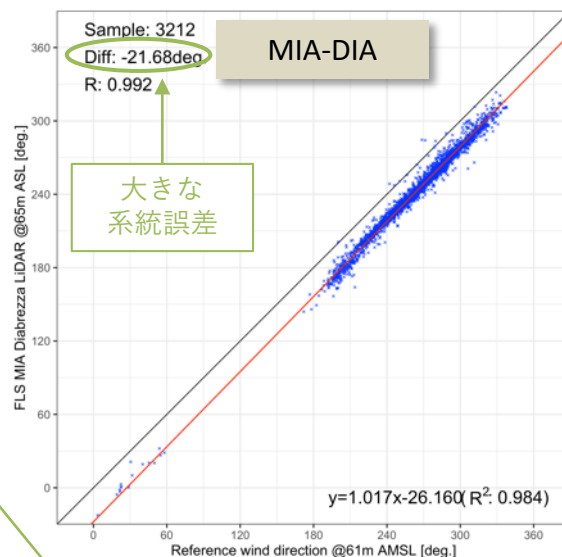
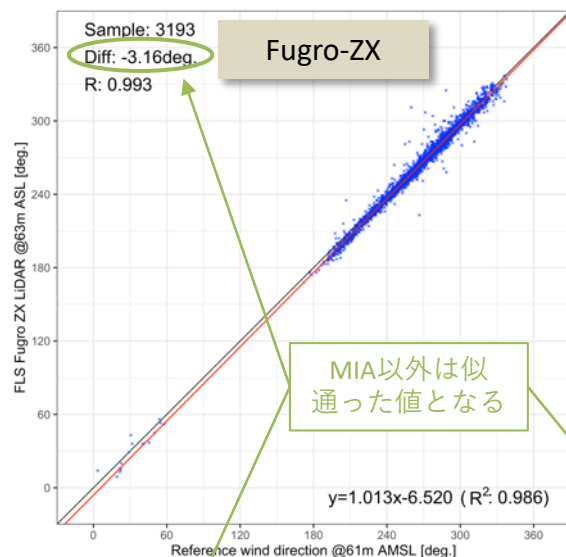
	SEAWATCH (Fugro社)	WindSentinel (AXYS社)	MIA (長崎県5社)
設置写真			
形状	円盤型	船型	スパー型
外形寸法	全高: 約7.2m 浮体径: φ2.8m	全高: 9m 全長: 6m 全幅: 3.1m	全高: 約26m 浮体径: 水面上φ1.0m/水面下φ2.15m 上部プラットフォーム幅最大: 約5.5m
全質量	約2.2t	約9t	約46t (浮体部: 44t / 上部観測部: 2t)
水面高/喫水	水面高: 約4m/喫水: 約3m	水面高: 約4m/喫水: 約2m	水面高: 約14m/喫水: 約14.5m
材質	ポリエチレン, アルミニウム, 鋼	アルミニウム, 鋼	鋼, コンクリート
係留方式	一点カテナリー係留	一点カテナリー係留	三点カテナリー係留
振れ回り半径	約100m	約120m	約20m
ドップラーライダー	ZX300M (ZX lidars)	ZX300M (ZX lidars) WINDCUBE V2.0 (Leosphere)	DIABREZZA (三菱電機)
気象観測	風速・風向, 気温, 湿度	風速・風向, 気温, 湿度, 気圧	風速・風向, 気温, 湿度, 日射量
海象観測	水温, 波高, 波周期・波向, 流速・流向	水温, 波高, 流速・流向	水温
電源装置	燃料電池 + 太陽光パネル + 蓄電池	マイクロ風車 + 太陽光パネル + 蓄電池 + ディーゼル発電機	燃料電池 + 太陽光パネル + 蓄電池

# ①-b フローティングライダー 平均風速



- ◆ 精度としては4つのFLに大きな違いは見られない。
- ◆ MIA-DIAとAXYS-WCに若干の正バイアスが見られ、回帰式の傾きも1.00より大きい。
- ◆ AXYS-ZX風速に比べて、AXYS-WC(v2.0)の回帰式の傾きが大きくなることは、FREAでの結果と同じ。
- ◆ MIA-DIA風速が正バイアスとなるのは、マストからの距離が関係している可能性がある。

# ①-b フローティングライダー 平均風向



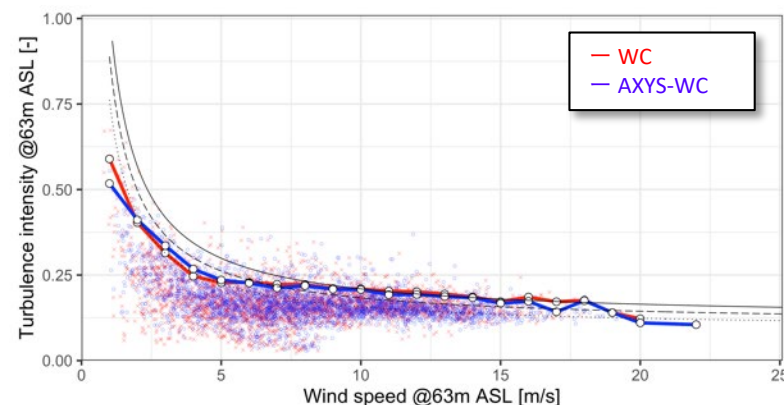
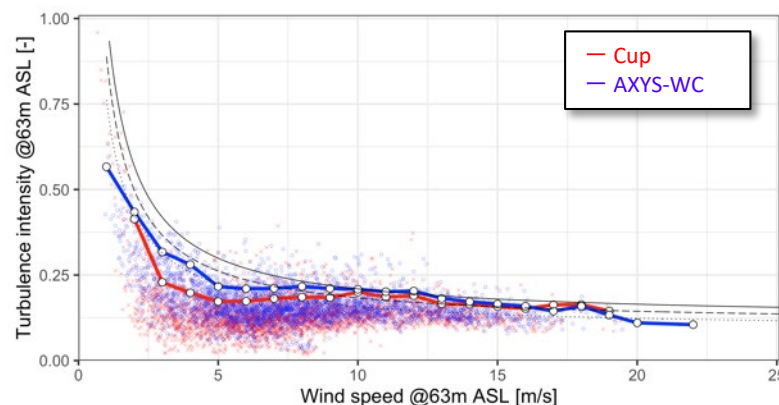
- ◆ AXYS-ZXには外れ値が散見され、決定係数が他と比べて悪くなっている。
- ◆ MIA-DIAに20度を超える大きな系統誤差がある。
- ◆ MIA-DIA以外の3つの風向のバイアスが-3~-4度程度の同じような値をとる。
- ◆ リファレンスの矢羽根の方位オフセットについて、他のセンサーとの比較等により約+4°の補正値を同定済み。
- ◆ 精度検証の基準となる“マスターデータ”についても整備中。

# ①-b フローティングライダー 乱流強度

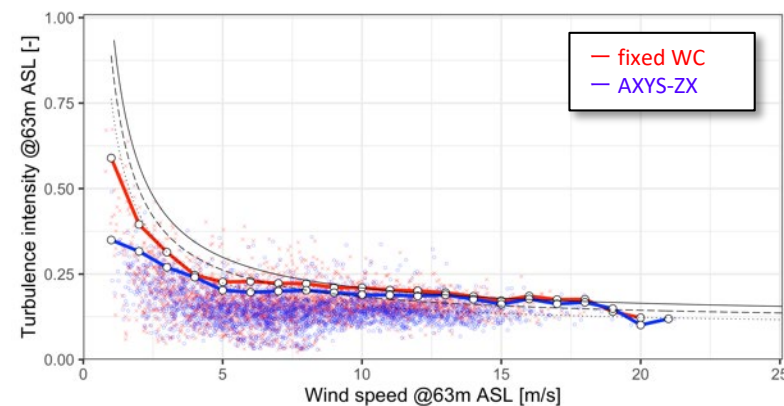
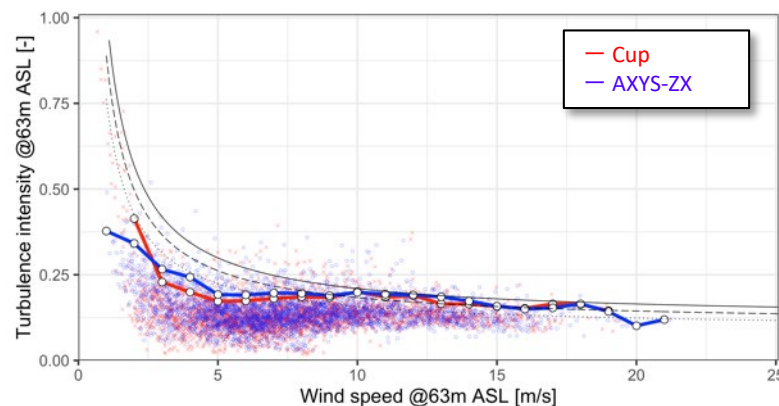
対 マスト/カップ風速計  
(2020/11/24 ~ 2020/12/30)

対 固定鉛直ライダー  
(2020/12/11 ~ 2020/12/31)

AXYS  
WindCube



AXYS  
ZX300M



- ◆ 対カップの検証では、WCはカップよりも大きな値を示し、ZXも同程度からやや高めの値を示す。
- ◆ 固定WCとAXYS-WCは良い一致を示し、動揺補正がうまく機能していることを示唆している。
- ◆ 固定WCに比べ、AXYS-ZXは全体的に小さな値を示す(FREAの固定ZXの結果と同じ)。

## ④ ガイドブック とりまとめ方針

### ◆ ガイドブックのとりまとめ方針

- 事業性評価と工事計画審査(ウィンドファーム認証)で求められる観測。

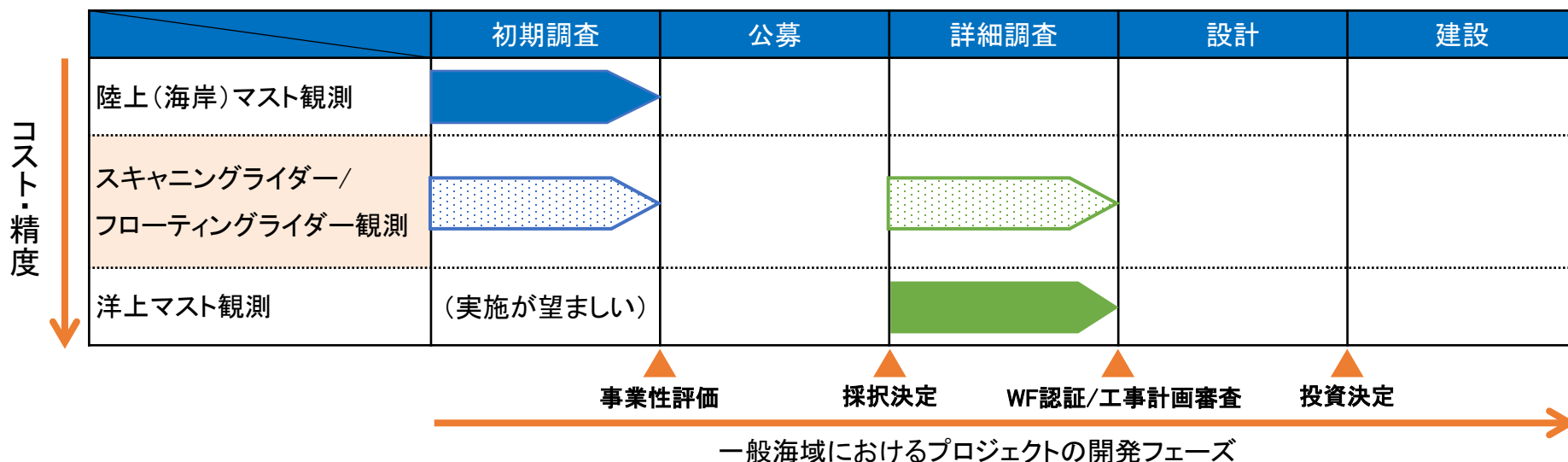
### ◆ 事業性評価で求められる風況観測

- 実績があり、技術が確立された、ファイナンスリスクを定量的に評価できる観測(バンカビリティ)。
- 欧州では多数の実績を重ね、KPIとして業界のコンセンサスを形成することでフローティングライダー観測データに基づくバンカビリティを確立。

### ◆ 工事計画審査(ウィンドファーム認証)で求められる風況観測

- 設計に用いるサイト条件を決定するための風観測として、現状はマスト風速計・風向計相当の精度が必要。

### プロジェクトの開発フェーズにおける洋上風況観測のタイミングと手法





# ④ ガイドブック 目次構成

## ガイドブック目次案(章立て)

章	内容	記載事項
1.	はじめに	・本書の位置付け, 背景, SL及びFL基本原理, 先行研究について説明する.
2.	マストによる洋上観測	・設置方法 ・観測方法 ・データ解析方法(品質確認, 異常値除去, 解析)
3.	スキャニングライダーによる観測	・デュアル観測(設置方法, 観測方法, データ解析方法) ・シングル観測(設置方法, 観測方法, データ解析方法)
4.	鉛直ライダーによる観測	・設置方法 ・観測方法 ・データ解析方法(品質確認, 異常値除去, 解析)
5.	フローティングライダーによる観測	・設置方法 ・観測方法 ・データ解析方法(品質確認, 異常値除去, 解析)
6.	ライダーの精度検証方法および観測データ欠測時の補完方法	・ライダーの精度検証方法 ・KPI ・観測欠測時の補完方法
7.	レポートの作成方法	・観測実施者(発電事業者, 観測実施業者)が文書化すべき項目・内容を示す.

KPI: Key Performance Indicator, AC: Acceptance Criteria

## 主要な参考文献

- [1] MEASNET, Evaluation of site-specific wind conditions, Version 2, April 2016.
- [2] IEC 61400-12-1, Ed.2 Wind energy generation systems – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines.
- [3] IEC 61400-1, Ed.4 Wind energy generation systems – Part 1: Design requirements.
- [4] Carbon Trust, Carbon Trust Offshore Wind Accelerator Roadmap for the Commercial Acceptance of Floating LiDAR Technology, Ver.2.0, 2018.
- [5] IEA, IEA Wind Expert Group Report on Recommended Practices 18. Floating LIDAR systems, First Edition, 2017.
- [6] Carbon Trust, Remote Wind Measurements Offshore Using Scanning LiDAR Systems, 2014.

# おわりに

- ◆ むつ小川原港において2020年11月よりスキヤニングライダー及びフローティングライダーによる観測がスタートした。
- ◆ スキヤニングライダー（デュアル観測）については、検証に用いた2機種ともに10分平均風速及び風向についてはCarbon Trust指標のベストプラクティス相当であった。シア観測や乱流強度の検証結果についても期待通りの結果を示した。
- ◆ フローティングライダーについては、機種間で計測精度に違いは見られるものの、10分平均風速および風向についてはCarbon Trust指標のベストプラクティスを概ね満足した。搭載する鉛直ライダー機種によって、乱流強度の観測結果には違いが見られた。
- ◆ ガイドブックについては、海外事例や既往文献を調査するとともに、2021年度末の中間報告に向けて、全体の構成を検討した。

## 謝 辞

本稿は、NEDO事業「風力発電等導入支援事業／着床式洋上ウインドファーム開発支援事業／着床式洋上ウインドファーム開発支援事業（洋上風況調査手法の確立）」を紹介したものである。むつ小川原港及び能代港での現場観測では、むつ小川原港洋上風力開発株式会社及びジャパン・リニューアブル・エナジー株式会社にご協力頂いている。またフローティングライダーの観測においては、長崎海洋産業クラスター形成推進協議会他4社、フグロジャパン株式会社のご協力を頂いている。その他工事関連企業を含め、ここに併せて謝意を表す。