

NEDO事業 千葉県銚子沖での 洋上風力発電実証研究

平成26年9月5日

東京電力
技術統括部 技術開発センター
洋上風力発電技術グループ

報告内容

1. 実証研究の目的
2. 設備の概要
3. 運転・保守の最新状況
4. 研究の最新状況
5. 課題とスケジュール

1. 実証研究の目的

(1) 実証研究の目的

洋上に実証研究設備（風車、観測タワーなど）を設置して、設備の安全性や環境への影響を研究・調査し、日本の厳しい自然環境（台風、地震など）に適用できる洋上風力発電技術を確立します。

設計条件

風速	最大風速50m/s (最大瞬間風速70m/s相当)
波高	最高波高10.5m、周期14.5s (衝撃砕波力を考慮)
地震動	レベル1地震動：入力最大速度25cm/s レベル2地震動：入力最大速度50cm/s
津波高	3.11津波の銚子沖観測波に耐えることを水理模型実験などで確認

(2) 実施内容

a. 洋上風況観測システム実証研究（＝「観測タワー」）

- ・ 波浪や風の観測と評価
- ・ 波浪と風の予測手法の開発と検証,
- ・ 海生生物や鳥類など環境影響調査, など

b. 洋上風力発電システム実証研究（＝「風車」）

- ・ 洋上仕様風車の開発と検証,
- ・ 基礎の設計手法の開発と検証,
- ・ 運転保守方法の開発と検証, など

(3) 研究期間

平成21年8月～平成27年3月（6年間）※）

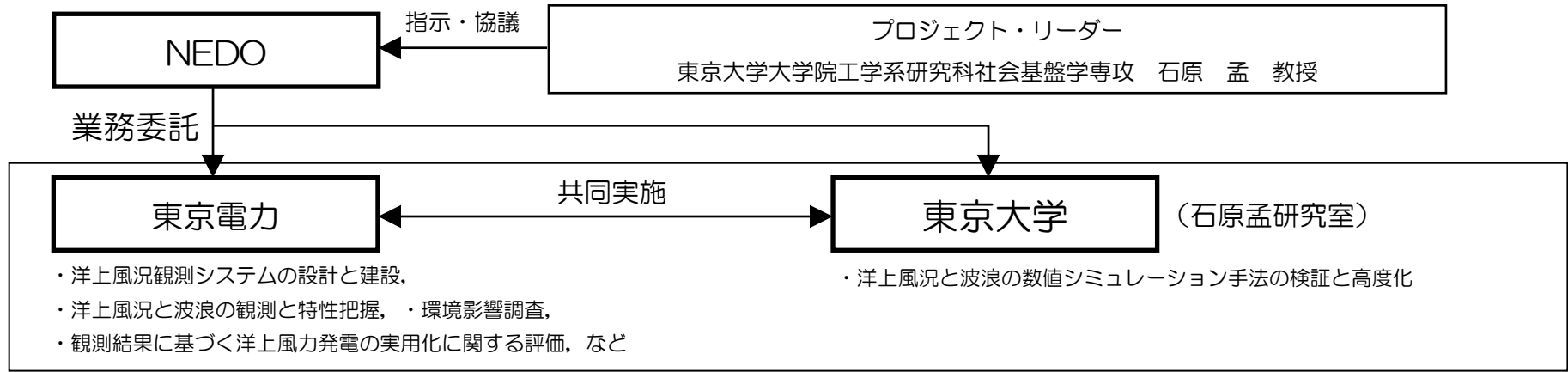
※）東北地方太平洋沖地震（平成23年3月11日）による工事の中断などにより、当初の研究期間（5年間）を1年延長しました。

1. 実証研究の目的

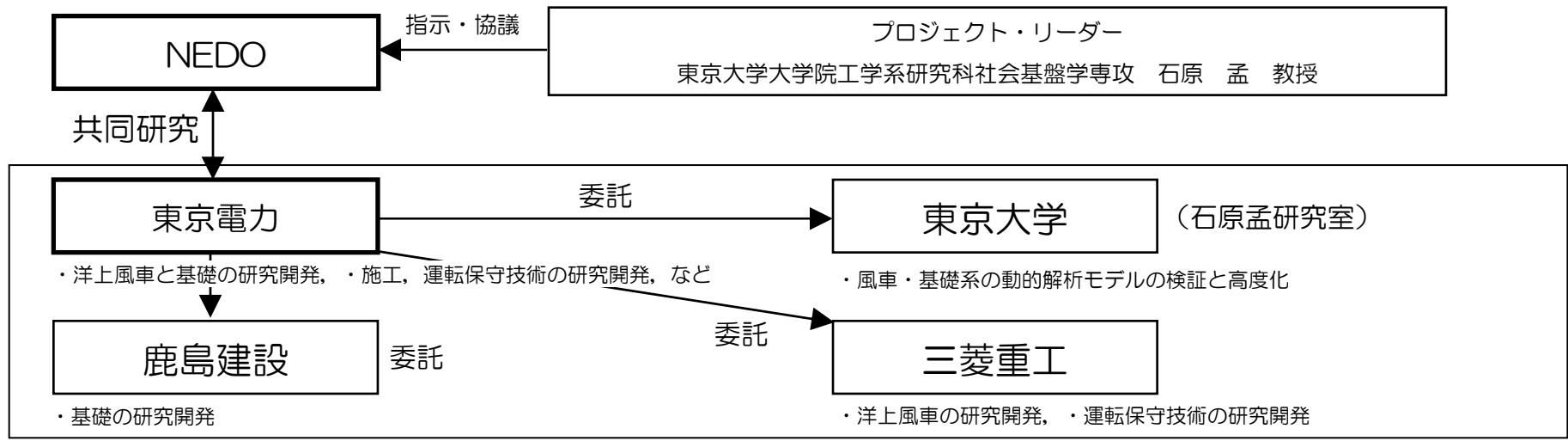
「風況観測システム」：100%NEDO費用負担の業務委託 ⇒ 当社と東京大学との共同実施

「風力発電システム」：2/3NEDO費用負担、1/3当社費用負担の共同研究

「風況観測システム」



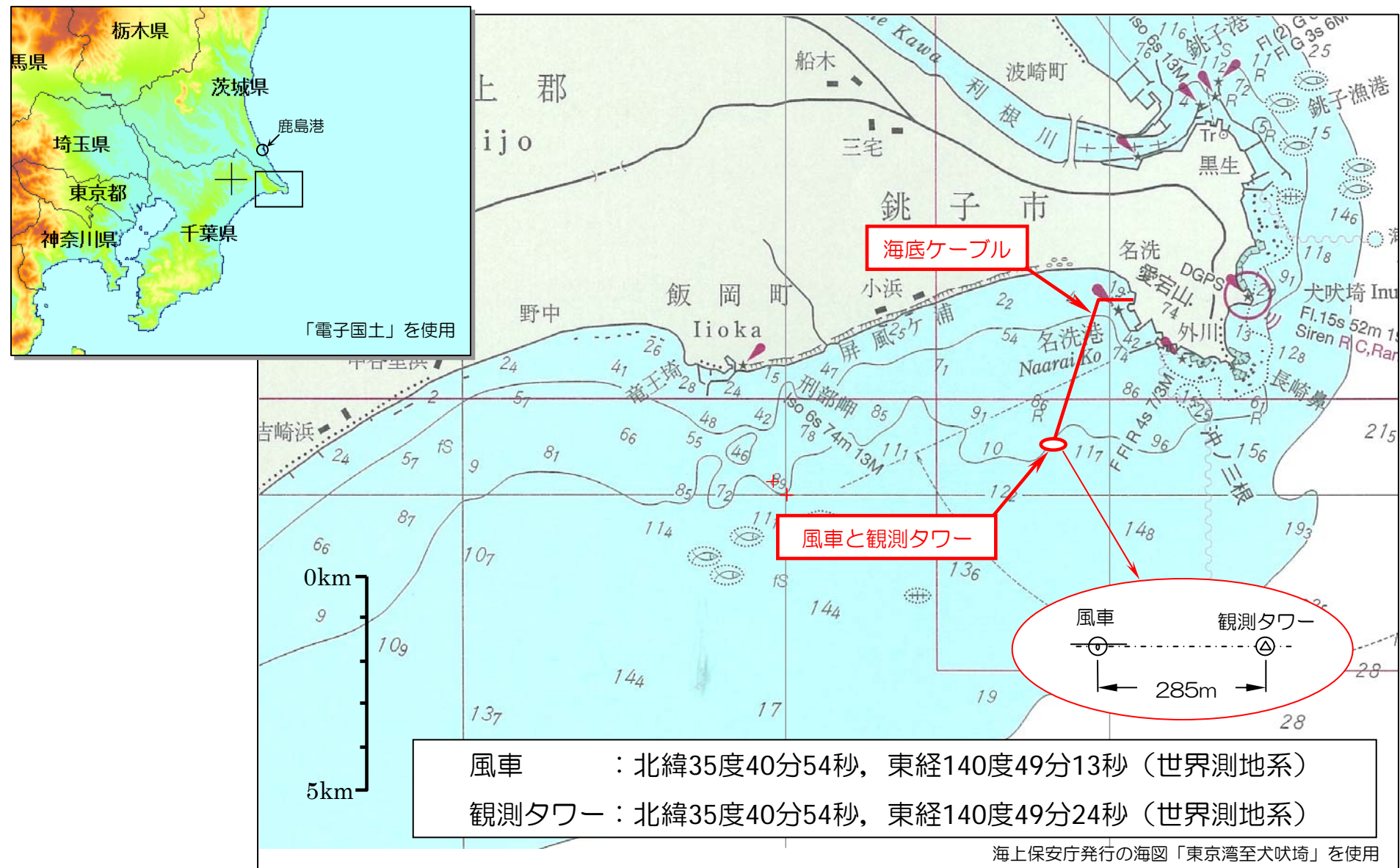
「風力発電システム」



報告内容

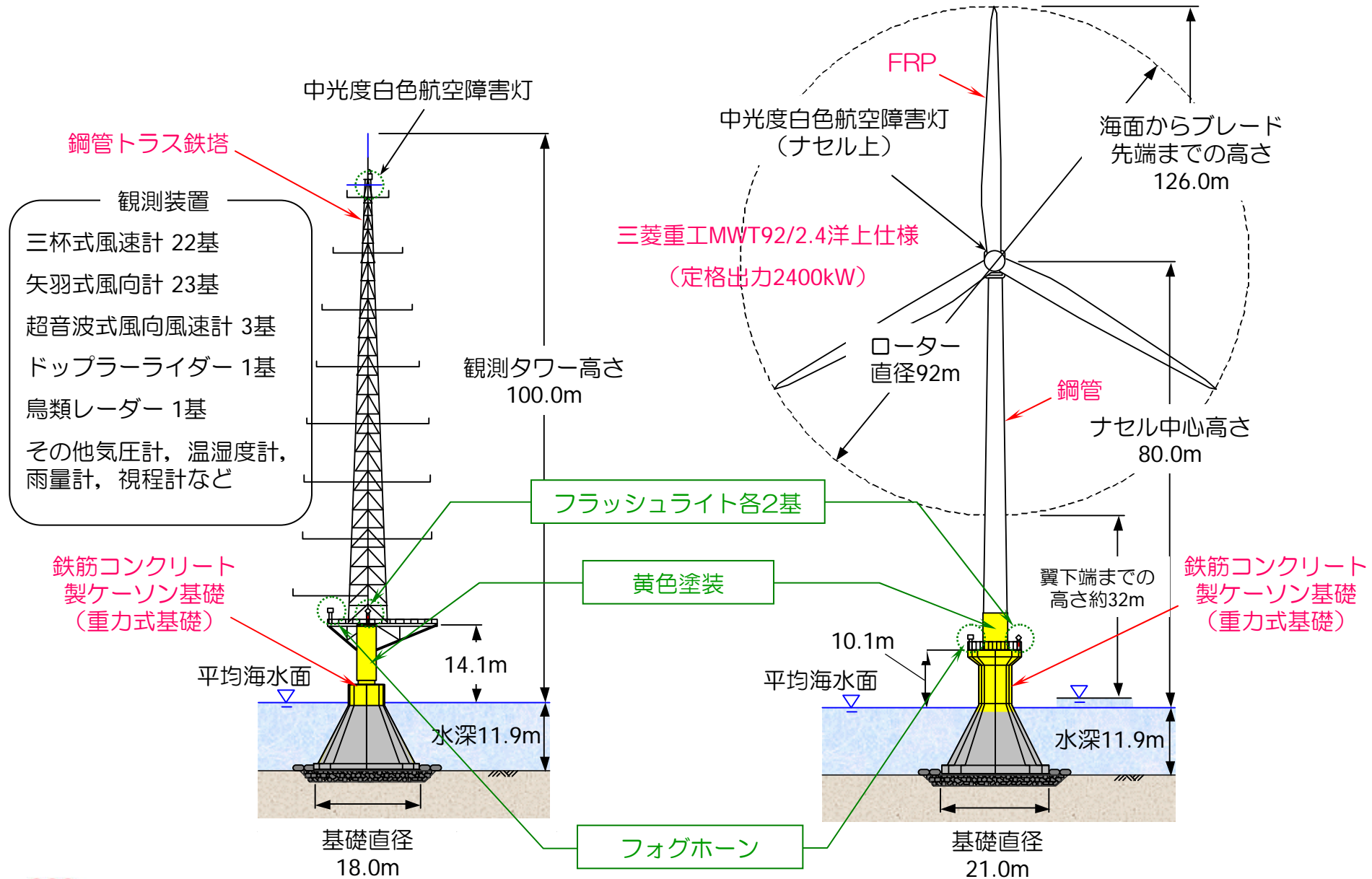
1. 実証研究の目的
2. 設備の概要
3. 運転・保守の最新状況
4. 研究の最新状況
5. 課題とスケジュール

2. 設備の概要

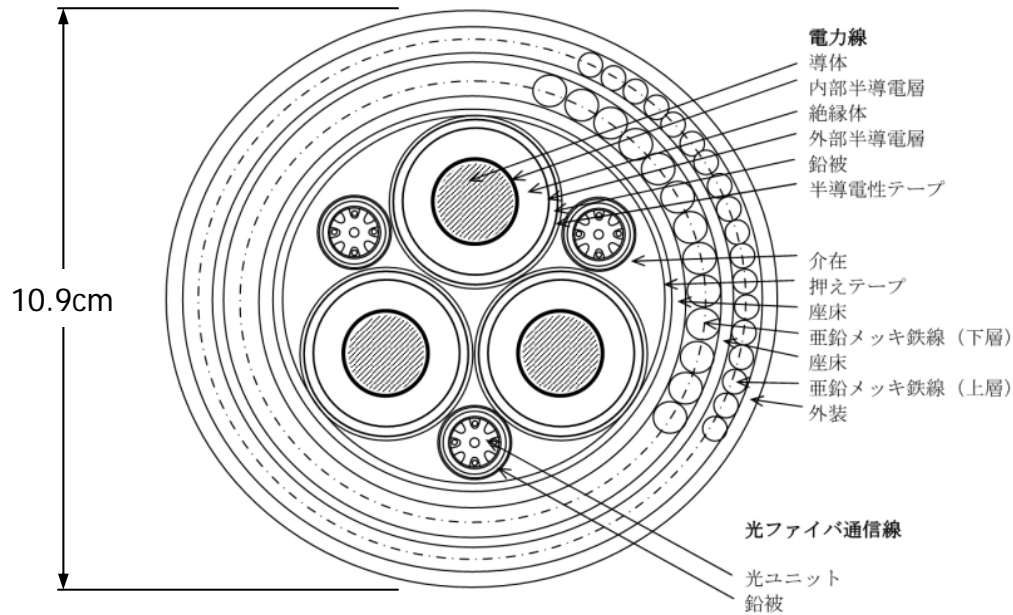
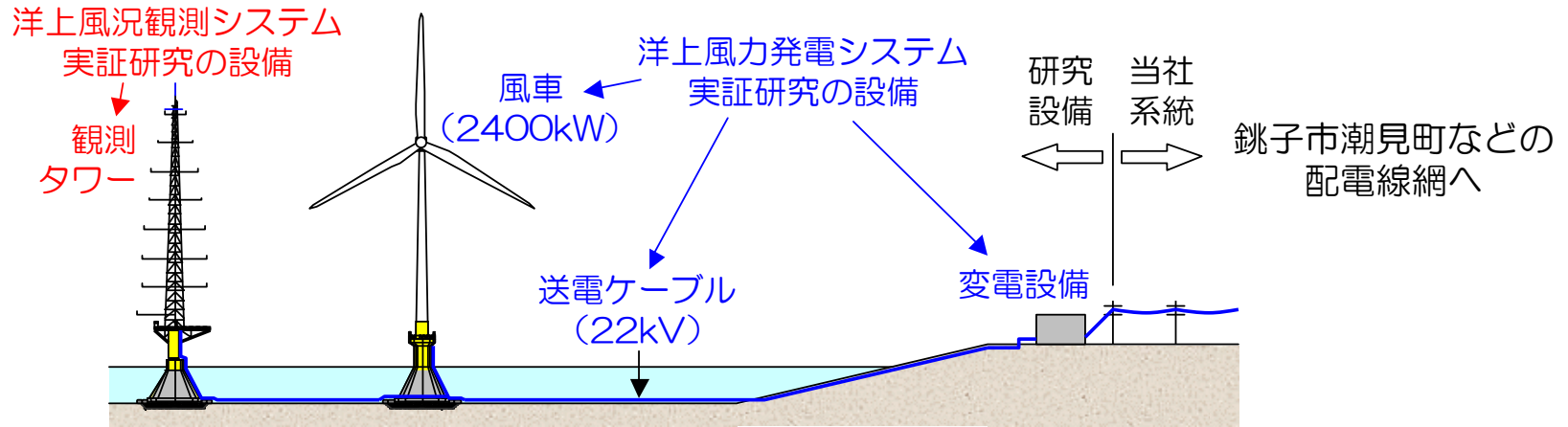


実証研究設備の設置場所（千葉県銚子市沖3.1km）

2. 設備の概要



2. 設備の概要



22kV海底送電ケーブル

報告内容

1. 実証研究の目的
2. 設備の概要
3. 運転・保守の最新状況
4. 研究の最新状況
5. 課題とスケジュール

3. 運転・保守の最新状況



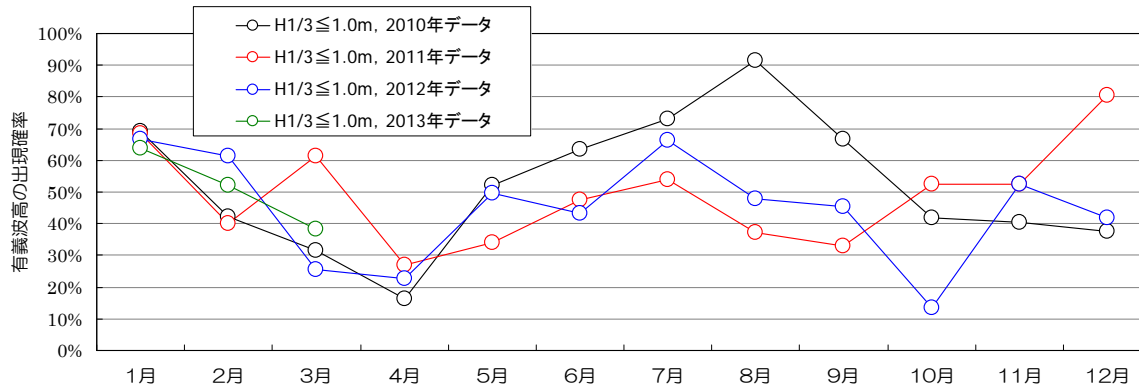
わが国初の沖合洋上風力の運転開始（平成25年1月29日）



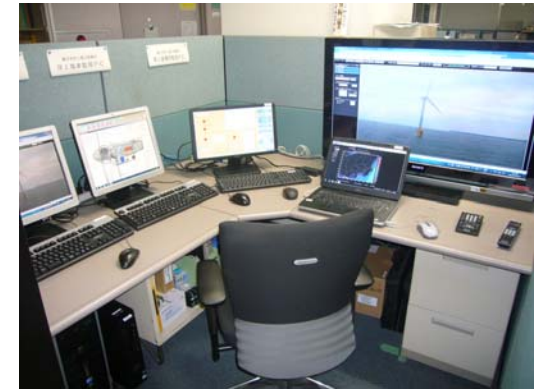
3. 運転・保守の最新状況

銚子沖では、経験的に有義波高が1m以下でなければ、風車へアクセスできず、年間の半分以上は風車に行くことはできない。このため、遠隔監視・制御システムなどによる、効率的な運転・保守方法を構築していく。

高い常時波高



月別の有義波高が1m以下の割合



遠隔監視・制御PC
(東電技術開発センター)



交通船から風車へのアクセス

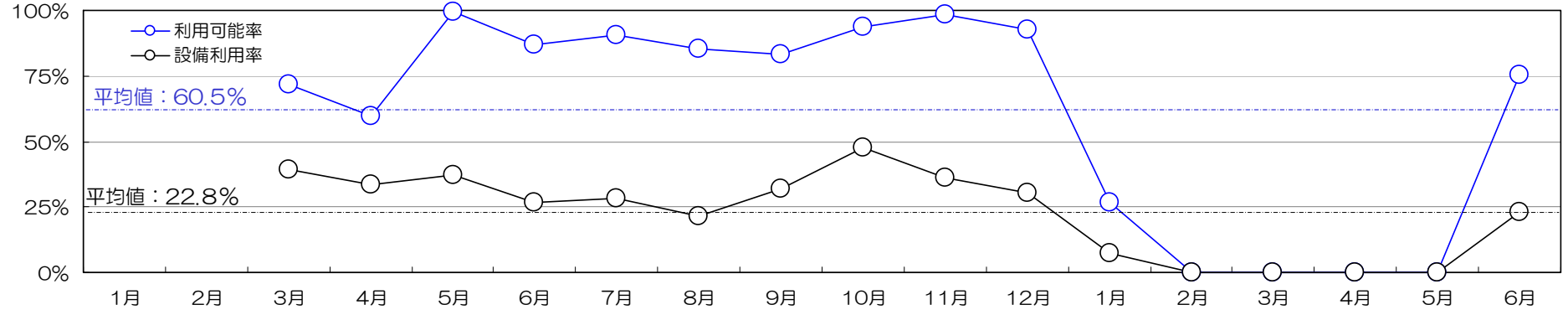


防舷材の補修

3. 運転・保守の最新状況

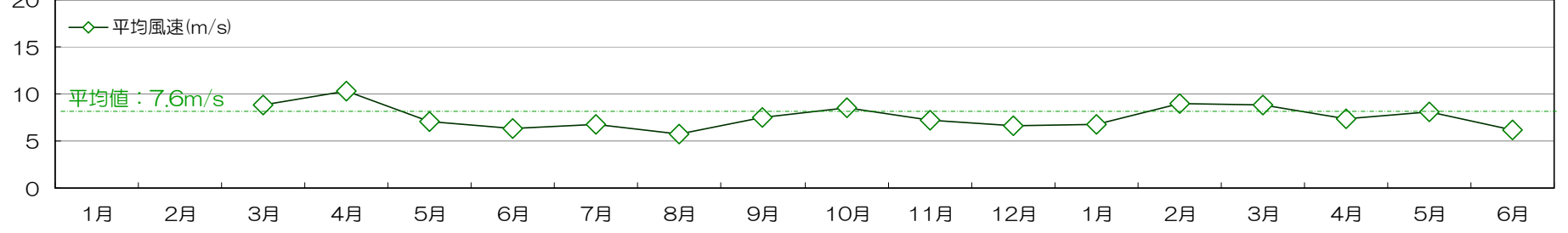
- 接地線、海底ケーブル不具合により平成26年1月9日～6月3日、6月26日～7月18日の間、風車の運転を停止したため、平成26年6月末までの設備利用率は22.8%、利用可能率は60.5%に低下
- 平均風速は7.6m/sと比較的高い値を観測

設備利用率（実績）と利用可能率（実績）



▶ 設備利用率（実績） = (当月の総発電量) / (定格出力×当月の総暦時間) ※1)
 ▶ 利用可能率（実績） = (当月の総暦時間 - 保守または故障による停止時間) / (当月の総暦時間)

平均風速（風車ナセル上 風速計の実績値）



※1) JIS C 1400-O : 2005 (風力発電用語)
 ▶ 設備利用率：ある期間中における総発電量の、同期間中に定格出力で運転したと仮定して風車が発生可能な発電量に対する比
 ▶ 利用可能率：全暦時間から風車の保守又は故障による停止時間を差し引いた値の、同期間中の全暦時間に対する比

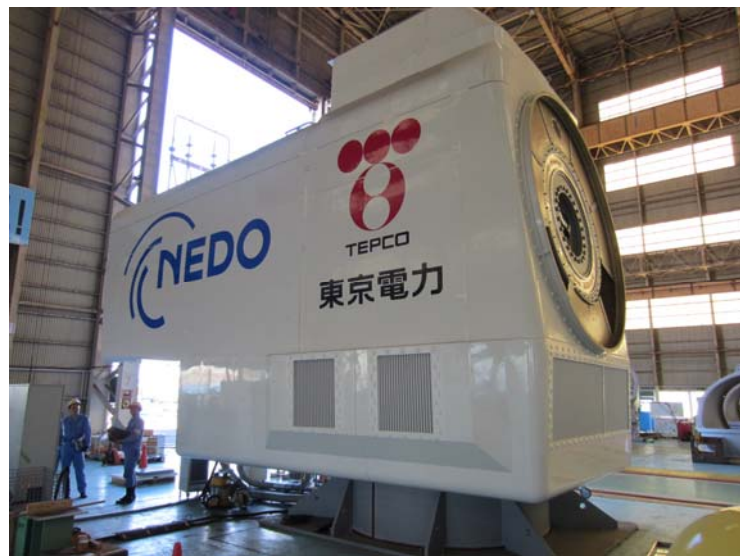
報告内容

1. 実証研究の目的
2. 設備の概要
3. 運転・保守の最新状況
4. 研究の最新状況
5. 課題とスケジュール

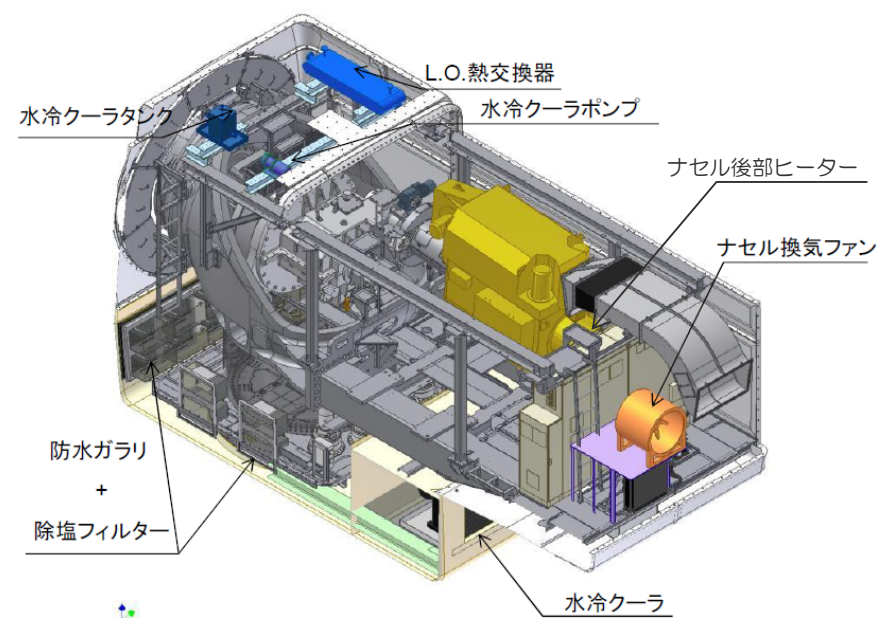
4. 研究の最新状況 (1) 洋上風車の研究開発

☆ 洋上風車（MWT92/2.4洋上仕様）の特徴

- ・ 密閉性の向上と防水ガラリなどによるナセル内への塩分流入の制限
- ・ 水冷システムやナセル換気ファンなどによるナセル内冷却の最適化
- ・ 局所ヒーターによる結露の防止



完成したナセル（平成24年6月@三菱重工横浜製作所）



洋上仕様装置の配置

✦ 風車の主な仕様

出力調整方法	独立ピッチ制御、可変速制御	発電機（型式）	超同期比励磁方式、巻線型誘導
カットイン風速	3.0m/s（10分平均）	発電機（電圧）	690V
カットアウト風速	25.0m/s（10分平均）	変圧器（電圧）	1次：690V、2次：22kV
ローター回転速度	9.0～16.9rpm（定格15.0rpm）	変圧器（定格容量）	2700kVA

4. 研究の最新状況 (2) 基礎の研究開発

☆ 三角フラスコ型ケーソン基礎の開発

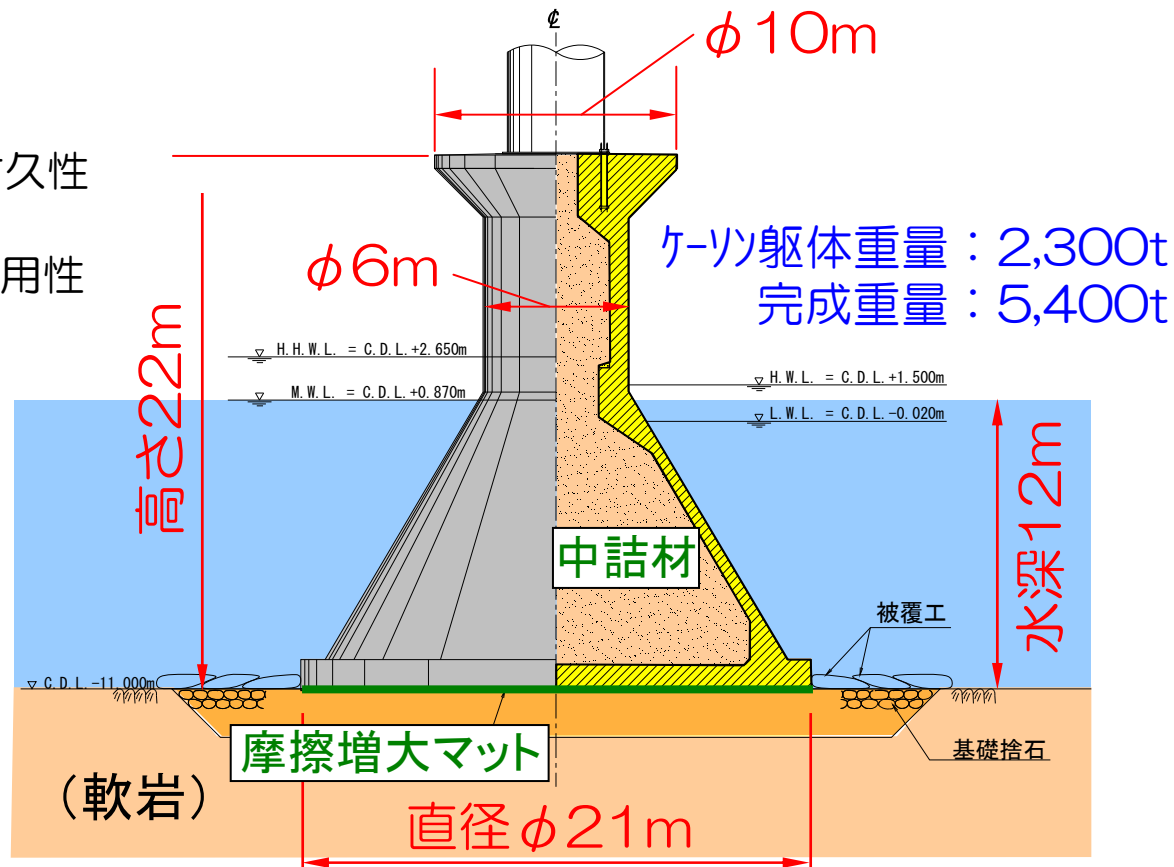
三角フラスコ型とすることで、水面貫通部を細くして、高波浪時の波力を低減させた。また、プレストレスト構造にすることで、ひび割れを制限して耐久性を高めるとともに、ケーソン躯体を軽量化して、既存の全回転式クレーン船で、短時間で運搬・設置できるなど、汎用性を高めた。

➤ 構造の特徴

- ・フラスコ型で砕波波力を低減
- ・PRC構造でひび割れ制限 → 高耐久性
- ・PRC構造で躯体軽量化
→ 急速施工性, 高汎用性

➤ 材料の特徴

- ・高比重中詰材 (銅水砕スラグ)
- ・摩擦増大アスファルトマット

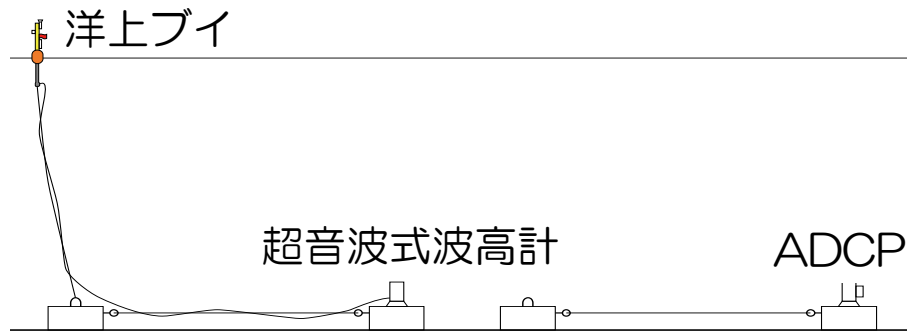


4. 研究の最新状況 (3) 海象条件の観測と評価

海象観測装置の概要

- コンクリート製シンカー+専用架台で固定
- サンプリング周波数2Hz
- バッテリーで3~4ヶ月間稼働し連続波形を取得

センサー	応答周波数	受感部高（海底から）
圧力計	28.6Hz	1.26m
超音波測深計	10Hz	1.26m
電磁流速計	25Hz	1.36m



シンカー



洋上ブイ



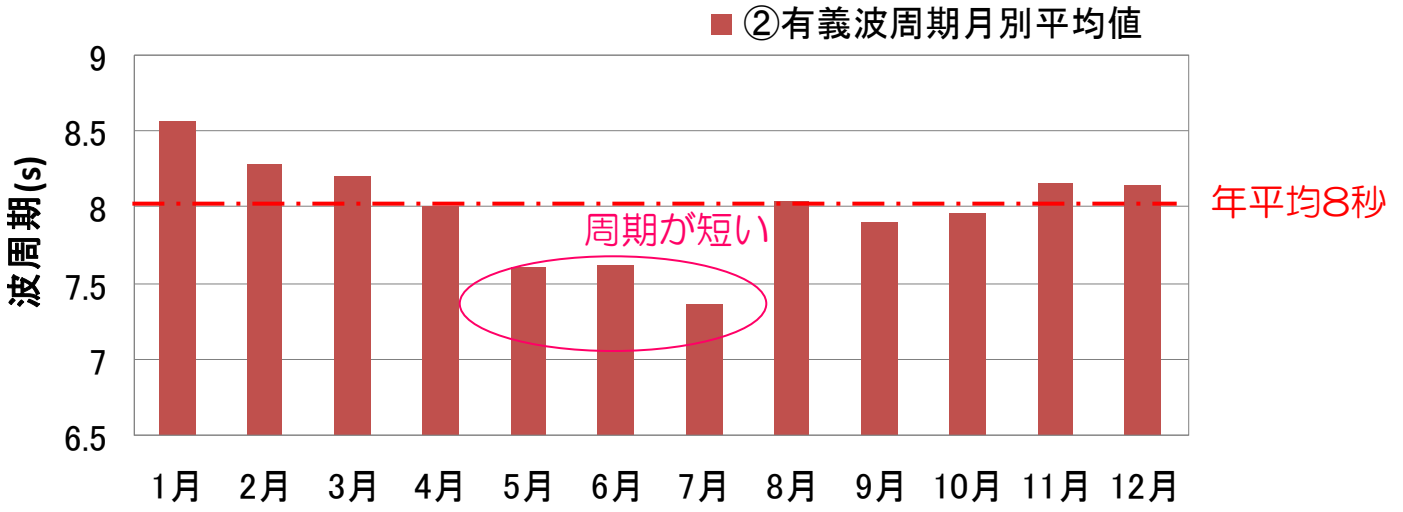
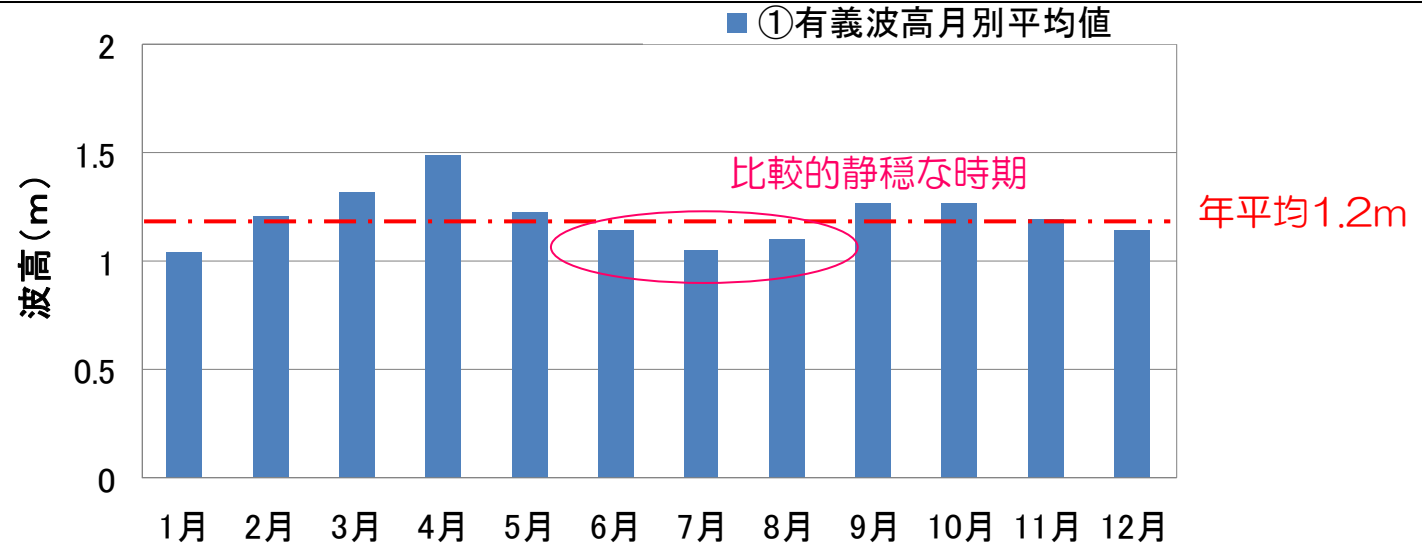
超音波式波高計



ADCP

4. 研究の最新状況 (3) 海象条件の観測と評価

- 評価期間：2010年1月～2013年2月
- 波高：春、秋～冬にかけて高い時期が現れ、夏は比較的低く静穏
- 周期：台風の影響となる8月後半以降から長くなり、春から夏にかけて短くなる傾向



4. 研究の最新状況 (3) 海象条件の観測と評価

有義波高と有義波周期の出現頻度 (平成22年1月～平成25年11月)

周期階級 \ 波高階級	0~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11	11~12	12~13	13~14	14~15	15~	出現度数	出現率 (%)
6.50~															0	0.0
6.00~6.50								1	1	1	2				5	0.0
5.50~6.00								5	8	5	3	2			23	0.0
5.00~5.50							1	33	18	5	1	4	1		63	0.1
4.50~5.00							29	79	30	2	1	3	5		149	0.1
4.00~4.50						10	102	85	33	11	4	11	3		259	0.3
3.50~4.00					2	90	145	92	92	60	26	28	3	2	540	0.5
3.00~3.50					40	235	150	239	205	120	98	65	19	5	1176	1.2
2.50~3.00				23	307	348	405	513	367	229	145	85	15	7	2444	2.4
2.00~2.50				887	952	611	744	998	800	536	317	101	10	14	5470	5.4
1.75~2.00			3	638	745	606	785	942	584	325	170	41	8	13	4860	4.8
1.50~1.75			20	893	1017	1146	1438	1447	682	360	127	39	32	7	7208	7.1
1.25~1.50			128	1177	1616	2339	2642	1887	956	417	131	78	29	1	11401	11.3
1.00~1.25			328	1623	3008	4319	4231	2422	966	326	111	32	3		17369	17.2
0.75~1.00		2	466	2465	6185	8608	5985	2307	778	284	70	8	1		27159	26.9
0.50~0.75			303	2297	7374	8016	3168	726	159	41	1				22085	21.9
0.25~0.50		1	39	246	398	153	12	1							850	0.8
~0.25															0	0.0
出現度数	0	3	1287	9749	21644	26481	19837	11777	5679	2722	1207	497	129	49	101061	
出現率 (%)	0.0	0.0	1.3	9.6	21.4	26.2	19.6	11.7	5.6	2.7	1.2	0.5	0.1	0.0		

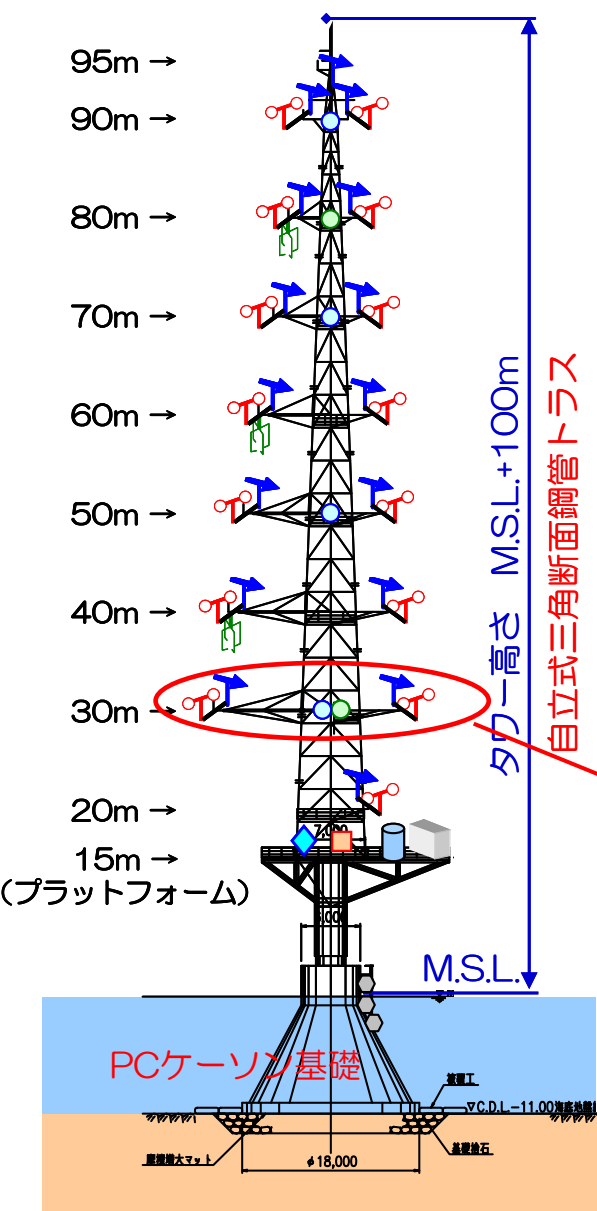
風波の曲線 (合田)
 $T_{1/3} = 3.3 H_{1/3}^{0.63}$

1 1 1 2 ← 台風26号(H25)

約 49%

4. 研究の最新状況

(4) 気象条件の観測と評価

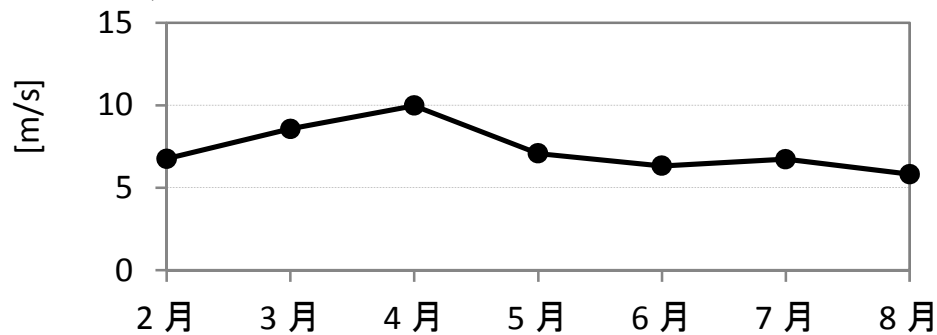


- 三杯式風速計
- 矢羽根式風向計
- 超音波式風向風速計
- ドップラーライダー
- 気圧計
- 温湿度計
- 温度差計
- 雨量計
- 視程計
- 水温計

観測機器	目的	サンプリ ング
三杯式風速計・矢羽式風向計	洋上における風速と風向, 乱れ強さの鉛直分布の解明	4Hz
超音波式風向風速計	大気安定度評価	20Hz
ドップラーライダー	高高度における風況特性の解明	4Hz
気圧計・温湿度計・温度差計・水温計	大気成層状態の評価	4Hz
雨量計・視程計	ドップラーライダーの利用可能な環境条件の解明	雨量計パルスカウント 視程計 4Hz

4. 研究の最新状況 (4) 気象条件の観測と評価

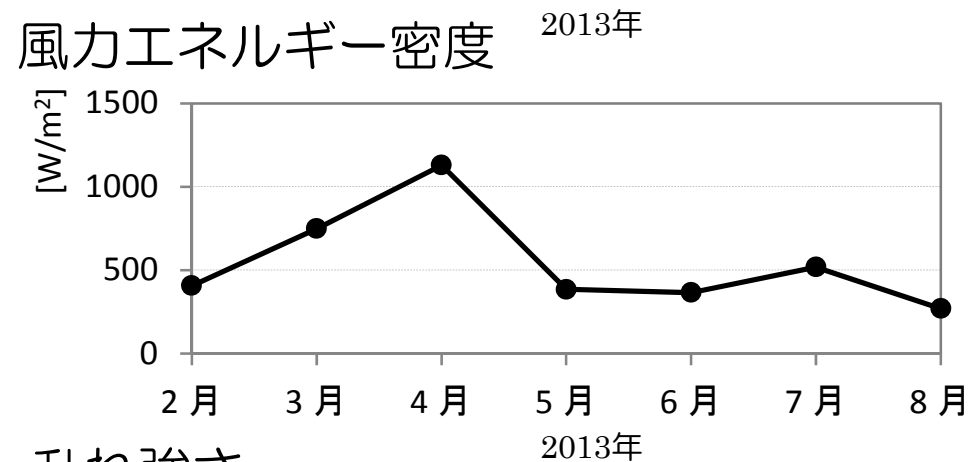
平均風速



高度90mのデータ

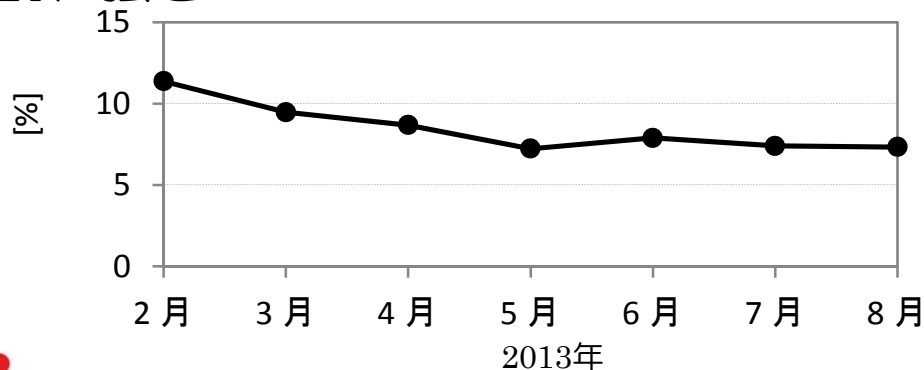
- ・ 4月 (最大) 10.0m/s
- ・ 8月 (最低) 5.8m/s
- ・ 7ヶ月の平均 7.3m/s

風力エネルギー密度



- ・ 4月 (最大) 1129.5W/m²
- ・ 8月 (最低) 269.6W/m²
- ・ 7ヶ月の平均 546.6W/m²

乱れ強さ



- ・ 2月 (最大) 11.4%
- ・ 5月~8月 7.3%
- ・ 7ヶ月の平均 8.4%

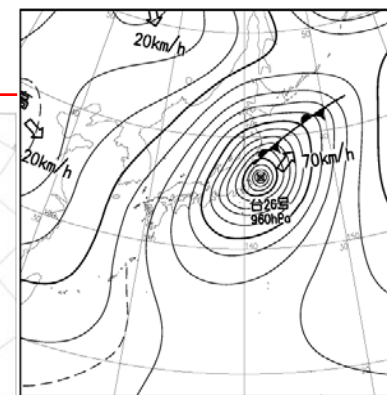
4. 研究の最新状況 (5) 台風26号の観測と評価

台風1326号(H25.10.16)により、最高波高9.52m（設計10.5m）、最大瞬間風速44.6m/s（設計70m/s）を観測した。観測された砕波波圧とともに、設計の検証と評価を行っていく。

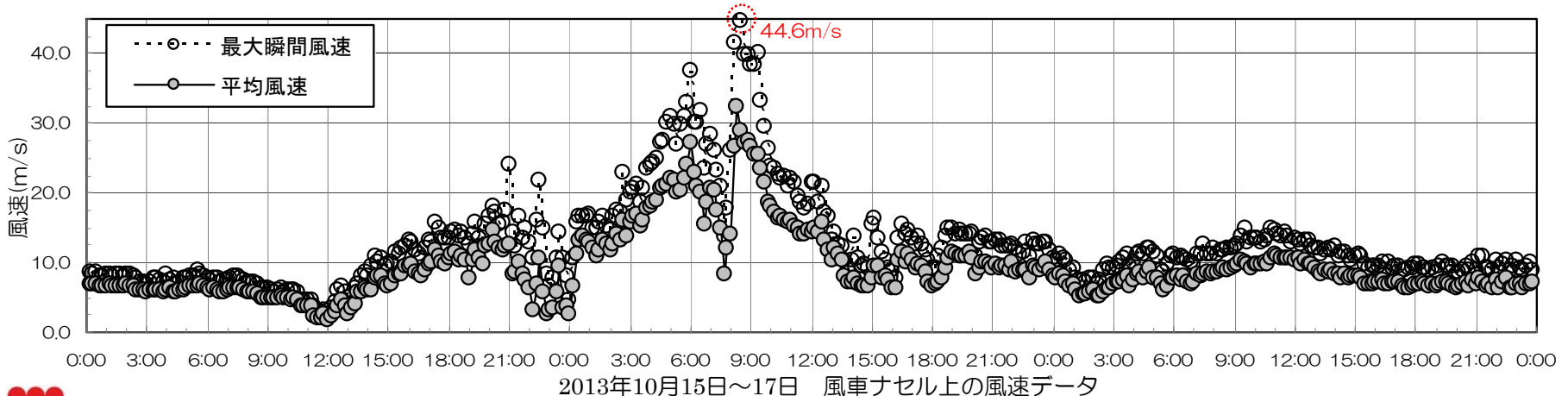
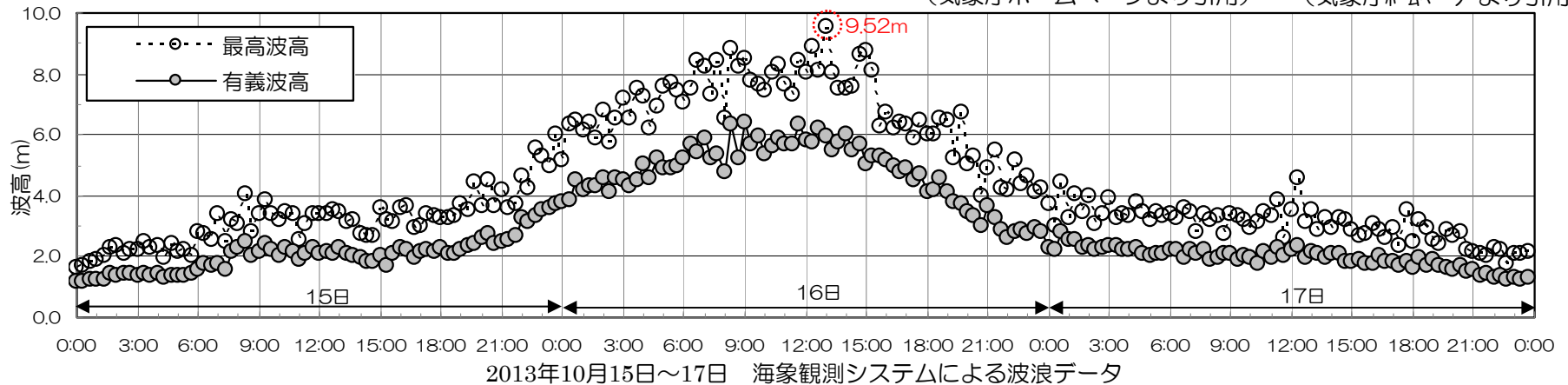
また、基礎壁面の海底ケーブル防護管、接地線が損傷したが本体構造物への影響はなかった。



台風26号の経路図
(気象庁ホームページより引用)



10月16日AM9時の天気図
(気象庁ホームページより引用)



4. 研究の最新状況 (5) 台風26号の観測と評価

観測タワーの監視カメラによるしけの画像



台風1326号による砕波波力の作用例（平成25年10月16日午前7時50分ごろ）
（観測タワーに設置した遠隔監視カメラによる画像）



台風1326号による砕波波力の作用例（平成25年10月16日午後0時10分ごろ）
（観測タワーに設置した遠隔監視カメラによる画像）

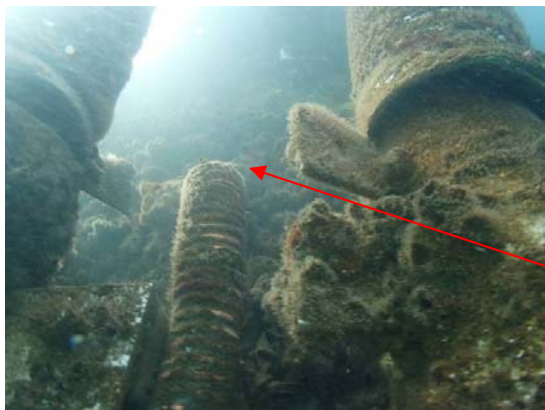
※）台風1326号の最接近は午前6時から午前9時の間

4. 研究の最新状況 (5) 台風26号の観測と評価

海底ケーブル防護管, 接地線等の損傷状況



接地線の切断※ (上端部)



接地線の切断※ (下端部)



海底ケーブル固定用鋼材変形



海底ケーブル防護用
可とうステンレス管のずれ落ち

4. 研究の最新状況 (6) 環境影響調査

貴重種のおオミズナギドリ（海鳥）やスナメリ（イルカ）、漁業生物の調査を地域の協力を得て実施しており、基礎周辺では漁礁効果も確認されてきた。



海鳥の調査



海産ほ乳類調査



漁業生物調査（基礎周辺に現れた魚群，平成24年8月）

(6) 環境影響調査

魚礁効果の調査 (H25夏)



イシダイ・イサキ幼魚群れ



メジナ・イシダイなどの群れ



カンパチ



マダコ

報告内容

1. 実証研究の目的
2. 設備の概要
3. 運転・保守の最新状況
4. 研究の最新状況
5. 課題とスケジュール

5. 課題とスケジュール

▶ 技術面の課題

- ・ 衝撃的な波力が作用する基礎附帯構造物（海底ケーブル）の設計手法の確立
- ・ 洋上風力専用アクセス船導入による運転・保守の効率性の評価
- ・ 洋上風力専用施工装置の開発

▶ 技術面以外の課題

- ・ 立地地域の方々にメリットが生ずるような仕組み
 - ex.* 地域の方々の洋上ウインドファーム事業経営への参画
 - ex.* 海底地盤調査・環境影響調査・施工時に、漁船を調査船や警戒船として傭船（銚子）
 - ex.* 漁船や観光船による視察・見学ツアー（銚子）
- ・ 施工のための基地港湾の整備などインフラ整備

[参考] 地域の方々や関係機関との調整 (1/2)

月日	事前協議先	協議内容
(平成 20 年)		
7 月 8 日	洋上風力実証研究 F/S 調査の委託予定先の公開	
7 月 8 日	千葉県商工労働部産業振興課	F/S 調査内容の説明と協力の依頼
7 月 8 日	銚子市	
7 月 8 日	銚子市漁業協同組合	
7 月 8 日	銚子市観光協会	
7 月 8 日	銚子マリーナ	
7 月 8 日	銚子市商工会議所	
7 月 8 日	千葉県漁業協同組合連合会	
7 月 9 日	旭市	
7 月 9 日	匝瑳市	
7 月 9 日	海匠漁業協同組合	
7 月 9 日	海上保安庁銚子海上保安部	①F/S 調査内容の説明 ②許認可手続きへの協力をお願い ③レーダー波高計データの提供のお願い
7 月 25 日	千葉県商工労働部産業振興課 総合企画部政策企画課 総務部市町村課 環境生活部環境政策課 環境生活部自然保護課 農林水産部水産局水産課 果土整備部果土整備政策課 果土整備部用地課 果土整備部河川環境課 果土整備部港湾課 果土整備部公園緑地課 果土整備部建築指導課	①F/S 調査内容の説明 ②許認可手続きへの協力をお願い ③海底波高計データの提供のお願い
8 月 8 日	銚子市漁業協同組合外川支所	実証研究設備の設置予定地点に関する説明会
8 月 26 日	銚子市漁業協同組合	実証研究における地域貢献の方法に関する打合せ

月日	事前協議先	協議内容
8 月 28 日	国土交通省東京航空局	①F/S 調査内容の説明 ②航空障害灯などの設置方法の確認
8 月 29 日	千葉県漁業協同組合連合会	①F/S 調査内容の説明 ②海底地盤調査の説明
9 月 2 日	海匠漁業協同組合	①F/S 調査内容の説明 ②航空障害灯などの設置方法の確認
9 月 3 日	銚子市漁業協同組合外川支所	①実証研究における地域貢献の方法に関する打合せ ②海底地盤調査方法の打合せ
9 月 9 日	九十九里漁業協同組合	①F/S 調査内容の説明 ②海底地盤調査の説明
9 月 10 日	海匠漁業協同組合	海底地盤調査の同意書の取得
9 月 11 日	銚子市漁業協同組合	海底地盤調査の同意書の取得
9 月 18 日	千葉県漁業協同組合連合会	海底地盤調査方法の打合せ
9 月 19 日	海上保安庁銚子海上保安部	海底地盤調査の届出
9 月 24 日	千葉県漁業協同組合連合会	海底地盤調査書類の提出
10 月 2 日	はさき漁業協同組合	①F/S 調査内容の説明 ②海底地盤調査の説明
10 月 16, 17, 26 日	海底地盤調査	
11 月 20 日	銚子市漁業協同組合	①海底地盤調査結果の説明 ②実証研究における地域貢献の方法に関する打合せ
11 月 28 日	銚子市漁業協同組合	実証研究設備の設置予定地点に関する打合せ
12 月 2 日	海匠漁業協同組合	①海底地盤調査結果の説明 ②実証研究設備の設置予定地点に関する打合せ

[参考] 地域の方々や関係機関との調整 (2/2)

月日	事前協議先	協議内容
12月3日	千葉県商工労働部産業振興課 農林水産部水産局水産課 農林水産部水産局漁港課 果土整備部用地課 果土整備部港湾課	送電ルートと海域占用手続きに関する事前協議
12月8日	海上保安庁銚子海上保安部	①海底地盤調査結果の説明 ②船舶の航行安全対策の説明・事前協議
12月12日	銚子市漁業協同組合外川支所	実証研究設備の設置予定地点に関する説明会
12月18日	銚子市漁業協同組合外川支所	漁船による設置地点の共同海上調査・確認(第1回)
12月24日	海上保安庁鹿島海上保安署	鹿島港の使用に関する事前協議
12月25日	海匠漁業協同組合	実証研究設備の設置予定地点に関する説明会
(平成 21 年)		
1月6日	茨城県鹿島港湾事務所	鹿島港の使用に関する事前協議
1月13日	銚子市漁業協同組合外川支所	実証研究設備の設置予定地点に関する説明会→実証研究実施の了解
1月15日	銚子市漁業協同組合外川支所	実証研究設備の設置予定地点に関する説明会→実証研究実施の了解
1月15日	千葉県商工労働部産業振興課 環境生活部自然保護課 農林水産部水産局水産課 農林水産部水産局漁港課 果土整備部用地課 果土整備部港湾課 果土整備部公園緑地課 果土整備部建築指導課 環境生活部自然保護課	①フォトモンタージュによる景観予測結果の説明 ②名洗港の使用に関する事前協議
1月16日	銚子市商工会議所	①実証研究設備の設置予定地点の説明 ②F/S調査の進捗報告
1月26日	銚子市漁業協同組合外川支所	漁船による設置地点の共同海上調査・確認(第2回)

月日	事前協議先	協議内容
1月28日	海匠漁業協同組合	実証研究設備の設置予定地点の説明
1月30日	海匠漁業協同組合	実証研究実施の了解(電話連絡)
2月5日	銚子市	①実証研究設備の設置予定地点の説明 ②F/S調査の進捗報告 ③フォトモンタージュによる景観予測結果の説明
2月5日	銚子市観光協会	①実証研究設備の設置予定地点の説明 ②F/S調査の進捗報告 ③フォトモンタージュによる景観予測結果の説明
2月5日	海上保安庁銚子海上保安部	①実証研究設備の設置予定地点の説明 ②施工方法に関する事前協議
2月9日	銚子マリーナ	実証研究設備の設置予定地点の説明
2月9日	銚子マリクラブ	実証研究設備の設置予定地点の説明
2月12日	千葉県商工労働部産業振興課 環境生活部自然保護課 農林水産部水産局水産課 果土整備部用地課 果土整備部港湾課 果土整備部建築指導課 果土整備部海匠地域整備センター銚子整備事務所	①実証研究設備の設置予定地点の説明 ②施工方法に関する事前協議 ③関連する法令と届出、許可申請の確認
3月5日	銚子市漁業協同組合	実証研究設備の設置可能海域についての同意書の打合せ
3月5日	海匠漁業協同組合	実証研究設備の設置可能海域についての文書取り交し方法の打合せ

5. 課題とスケジュール

工事種別	平成22年度		平成23年度		平成24年度		平成25年度		平成26年度	
風車・観測タワー基礎の製作		3月	8月	6月						
基礎掘削・割石投入均し		3月		2月	6月					
基礎の積込運搬					6月					
基礎の据付・中詰投入					6~7月					
風車・観測タワーの積込運搬 (横浜・袖ヶ浦より)					7~9月					
風車・観測タワーの組立					8~10月					
海底ケーブル敷設					6月	1月				
洋上風車の実証運転・発電						1月				
海象観測と分析・評価										
風況観測と分析・評価										
環境影響調査										

兵庫県東播磨港での工事
 千葉県銚子沖での工事
 茨城県鹿島港での工事