

(日本のエネルギー自給、CO₂排出ゼロの可能性を有する)

深海洋上風力発電を利用するメタノール製造に関する提案

平成 14 年 3 月

文部科学省 科学技術政策研究所

科学技術動向研究センター

瀬谷 道夫 山口 充弘 多田 国之

この **DISCUSSION PAPER** は、所内での討論に用いるとともに、関係の方々からのご意見をいただくことを目的に作成したものである。また、本 **DISCUSSION PAPER** の内容は、執筆者の見解によりまとめられたものであることに留意されたい。

**“A Proposal of A Methanol Production System on Deep Ocean
Utilizing Self-floating Wind Power Turbines”**

March 2002

Michio SEYA, Mitsuhiro YAMAGUCHI, Kuniyuki TADA

National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP)
Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology
JAPAN

1-3-2, Kasumigaseki, Chiyodaku, Tokyo 100-0013, JAPAN
TEL: 03-3581-0605 FAX: 03-3503-3996 Email : seya@nistep.go.jp
: myamagut@nistep.go.jp
: ktada@nistep.go.jp

100-0013 東京都千代田区霞が関 1-3-2 (郵政事業庁舎 10 階)
TEL: 03-3581-0605 FAX: 03-3503-3996 Email : seya@nistep.go.jp
: myamagut@nistep.go.jp
: ktada@nistep.go.jp

目 次

全体概要

本文

．背景および概要	1
．日本の経済水域の海上風況と最適風力資源領域	10
．提案する深海洋上風力発電を利用するメタノール製造システム	13
1．浮体型風力発電装置、海中設置浮体型集中受送電装置の構造および海洋への設置	14
（1）浮体型風力発電装置の構造	14
（2）海中設置浮体型集中受送電装置の構造	15
（3）浮体型風力発電装置、海中設置浮体型集中受送電装置の（深海）海洋への配置案	17
2．水素およびメタノール製造システムについて	23
（1）水素・メタノール製造船	23
（2）メタノールタンカー	24
（3）二酸化炭素輸送船	24
3．提案するシステムの水素製造量およびメタノール製造量	27
（1）3,000 kW 単機の水素製造能力	27
（2）提案するシステム1 製造単位（9ブロック（31 海里（57km）平方））での水素、 メタノール製造量	27
（3）候補海域全体でのメタノール製造量	28
．提案する深海洋上風力発電を利用するメタノール製造事業の経済性評価	31
1．提案するシステムの製作・設置費（海洋面積 31 海里（57km）平方あたり）	31
（1）浮体型風力発電装置および海中設置浮体型集中受送電装置の製作費	31
（2）海中浮き、固定おもりおよび固定ケーブル製作・設置費	32
（3）水素・メタノール製造船、メタノールタンカーおよび炭酸ガスタンカー建造費	34
（4）製造および輸送作業費	36
2．メタノール製造事業のコストとメタノール製造単価 （海洋面積 31 海里（57km）平方あたり）	37
．提案するシステム実用化までの調査および開発など	38
1．開発第1期（開発試験）	38
（1）各種調査	38
（2）小規模面積システム（2 km × 2 km）開発	38
2．開発第2期（実証試験）	40
3．実用化第1期（運用試験）	41
．提案するシステムの社会基盤および諸政策などへの影響など	45
1．エネルギー（安全保障）、エネルギー関連研究開発政策への影響	45
2．エネルギー関連社会資本の変更（分散型電源（メタノール燃料電池）利用など 社会基盤の新たな構築	45
（1）自動車駆動用メタノール改質燃料電池	45
（2）家庭用電気・熱併用メタノール改質燃料電池	46
3．産業と雇用への影響	48

- 添付資料 1 . 章で提案するシステム以外に検討したシステム
- 添付資料 2 メタノール改質燃料電池による地域電気・熱供給事業概算評価

- 参考資料 1 大型風力発電装置の仕様
- 参考資料 2 日本の大型風力発電 (単機出力 1,000kW 以上のもの)
- 参考資料 3 日本近海および太平洋の月平均海上風 (平均風速)

全体概要

1.提案するシステムと社会的ニーズ

深海洋上風力発電利用メタノール製造システム

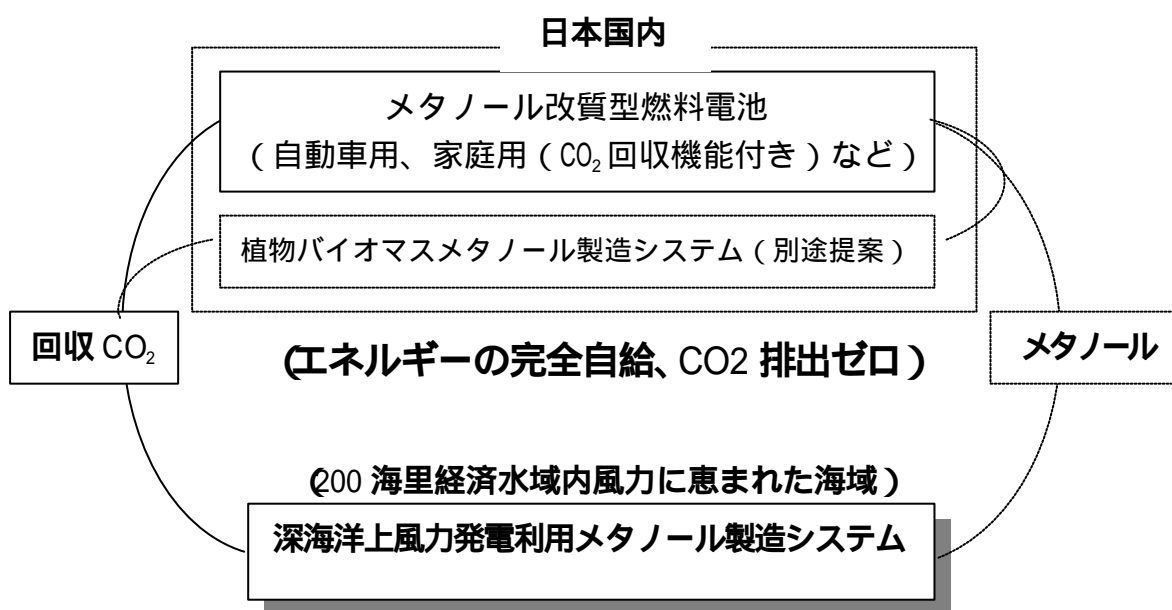
深海洋上の風力発電エネルギーにより 洋上船舶で水素を製造

(浮体型風力発電装置で発電、船舶(水素・メタノール製造船)上で水の電気分解により)

同船舶で水素と回収CO₂を反応させてメタノールを生産

(回収CO₂は炭酸ガスタンカーにより運び、メタノールはメタノールタンカーにより回収)

提案するシステムを含む全体利用体系を全体概要図1に示す。



全体概要図1 深海洋上風力発電利用メタノール製造システムを含む全体利用体系

生産されるメタノールは、主として燃料電池の燃料として利用する。提案するシステムでは、CO₂をエネルギーを運ぶ媒体として利用するため、最終形態ではCO₂をリサイクルする必要がある。移行時期においては、CO₂は火力発電所で回収されるものを使用する。

(社会的ニーズ 提案の背景)

社会的ニーズ

- ・ CO₂ 排出削減の具体策が要望されている
- ・ 日本のエネルギー自給策が要望されている

再生可能自然エネルギーの大規模な利用は可能?

2. 深海洋上風力に注目する理由

自国経済水域内で大量に得られる再生可能エネルギーで、大型の風力発電を利用することにより、日本のエネルギー自給を可能とする、潜在エネルギー源

日本は、自前で供給できる化石燃料エネルギー資源がほとんどない（エネルギー自給率が極めて低い）が、自国経済水域（日本国土面積の約 12 倍の面積 全体概要図 2）の風力エネルギーは膨大なものであり、注目すべき潜在的エネルギー資源（全体概要表 1 参照）。

全体概要表 1 日本のエネルギー供給の現状と将来性

エネルギー源		現在の状況など		将来性	
化石燃料	石油	日本ではほとんど産出しない		地球温暖化の原因とされる CO ₂ 発生源となっており、使用量を減らしてゆくべき	
	天然ガス	日本ではほとんど産出しない			
	石炭	日本で産出するが、採掘が困難な深い場所（現在、採掘されている場所はない）			
原子力		既に基幹電源となっているが、安全性、放射性廃棄物処分などの課題があり、社会的許容度がやや低い		今後、立地箇所を増やすためには、社会的許容度を高めることが必要	
水力		ほぼ開発されている		既にほとんど開発されていること、また、山間部森林地域に大きな環境変化を引き起こすため、大きく伸びることはない	
太陽光		住宅の屋根など利用できる場所はあるが、天候に左右されやすく、また、エネルギー密度が低い		ビルや個人住宅の屋根などへの設置が今後も増えてゆくと考えられるが、天候に影響されやすく、量的な面では大きな期待はできない	
風力	陸上	大型風力発電機のパフォーマンス向上が著しい	適地に限られる	適地においては伸びてゆくが、供給量はそれほど多く期待できない	
	洋上		浅海	船舶の航行や漁業活動など制約が多い	設置可能な範囲で伸びると考えられるが、制約が多く、供給量はそれほど多く期待できない
			深海	陸地より遠く離れており、障害物のない大きな未利用面積を有する	性能向上の著しい大型風力発電機を利用した、適当な風力利用エネルギー生産システムが開発されれば、飛躍的に伸びる可能性有り（本試算によれば、日本の全エネルギー需要を超える）
バイオマス	植物	都市部の立木の剪定枝葉、森林間伐材、雑草、稲藁、耕作放棄地でのエネルギー作物など未利用、未開発なものがある		バイオマス・メタノール生産システムの実用化が進めば伸びる可能性有り	
	動物	家畜の糞など		利用できる範囲で伸びてゆくが量的な面では期待できない	



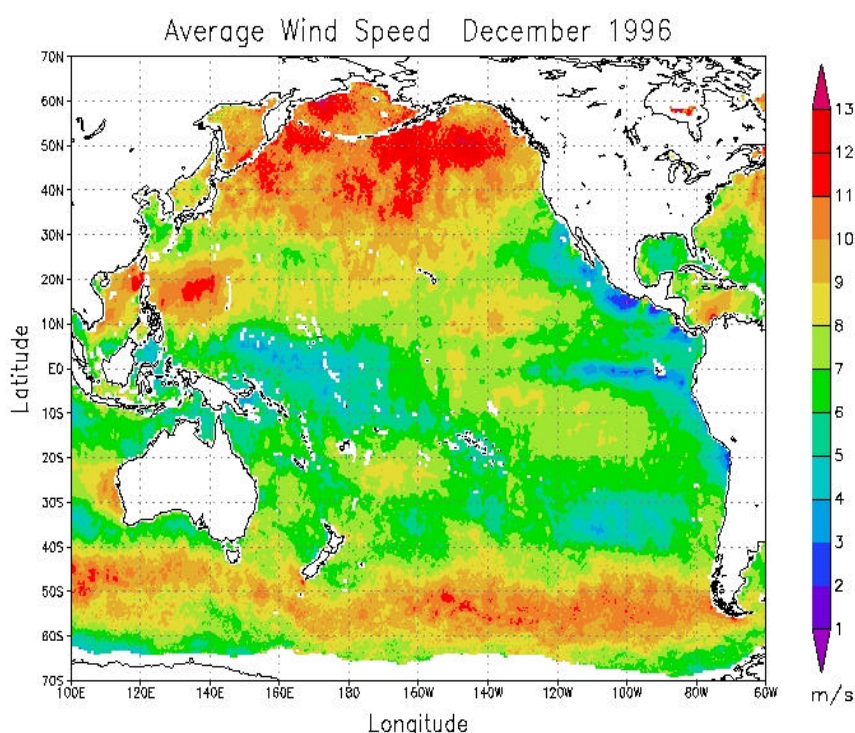
(全漁連ホームページより許可を得て掲載)

全体概要図 2 日本の200海里経済水域

3. 風力資源に恵まれた海域

沖ノ鳥島周辺、三陸沖太平洋、北海道北西沖日本海 など

(主に冬季に) 風に恵まれた魅力的な海域は、沖ノ鳥島周辺、三陸沖太平洋、北海道北西沖日本海(全体概要図3および全体概要図4参照)などであるが、沖ノ鳥島周辺、三陸沖太平洋海域は、数千メートルの深海であり(全体概要表2参照)、深海洋上の風力エネルギーを利用する新しい方法(システム)が必要。特に、沖ノ鳥島近辺は、いわゆる貿易風帯の北側周辺にあり安定した風が得やすいこと、および冬季に温暖であることから、風力エネルギー資源地域として最適な海域と考えられる。

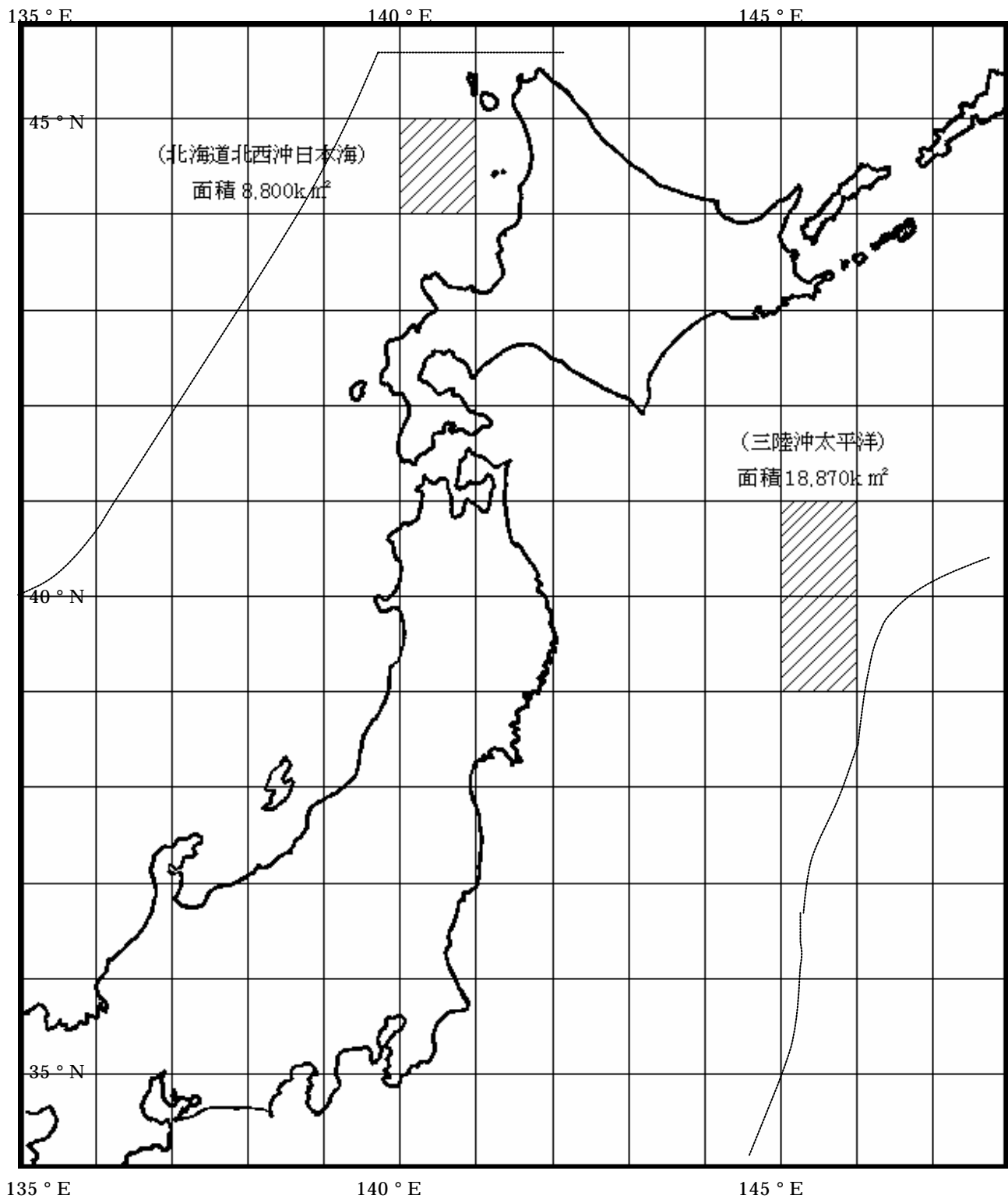


全体概要図3 日本近海および太平洋全域の洋上風の状況例(1996年12月)

(宇宙開発事業団(NASDA)地球観測プラットフォーム技術衛星「みどり」の観測データ)

全体概要表2 日本の200海里経済水域内で海洋風に恵まれた海域

風力資源海域	場所・面積	水深(m)
沖ノ鳥島周辺	沖ノ鳥島を中心とする半径200海里水域 面積約430,000km ²	~7,000
三陸沖太平洋	東経145度?146度、北緯39度?41度 面積約18,870km ²	6,000~7,000
北海道北西沖日本海	東経140度?141度、北緯44度?45度 面積約8,800km ²	100~200



全体概要図 4 北日本の排他的経済水域内の海洋風力利用候補海域

4. 深海洋上の風力利用エネルギー生産システム

最終生産物としてメタノール

深海洋上風力発電電力で水素を製造し、回収 CO₂ と反応させてメタノール生産

陸上での風力エネルギー利用の仕方としては、風力発電による電力生産が現在の主流である。しかし、陸地から遠く離れた深海洋上であり、電力を最終生産物とすることは送電など技術面での難点がある。そのため、深海洋上で発電した電力でその場（深海洋上の船舶上など）で水素を生産し、それと（火力発電所で回収した）CO₂ とを反応させて（取り扱い輸送が容易な）メタノールを生産することが現実的である。なお、水素を最終生産物とすることは、輸送に関する技術的、コスト的な面から難点がある（全体概要表3参照）。

なお、深海洋上での発電は、大型風力発電機に浮き（中空の鉄製球）をつけた浮体型風力発電装置で行う（新規提案）。

全体概要表3 深海洋上風力発電利用エネルギー生産システムでのエネルギー最終生産物

最終生産物	適用性	理由
電力		<p>技術面から、現段階ではあまり現実的でない [陸地より数百 km 離れた深海洋上で発電した電力を海中あるいは海底を遠距離送電する技術の開発は今後の課題。] ・仮に海中あるいは海底送電技術が実用化されても、最終消費形態を電力とするか否かについては要検討（港湾地まで送電し、そこで電気分解により水素さらにはそれを使ったメタノール製造を行う方が有利である可能性有り）</p>
水素	×	<p>ガス状態では輸送コストがかさむ（液体水素は取り扱いが難しい） 深海洋上の風力発電を使い電気分解により水素を高効率で製造する技術については実用化が近く、技術的には難点はない。しかし、生産物である水素をガス状態で運ぶ（ガスタンカー）には、輸送回数が膨大になり過ぎ輸送費がかさむ。また、液化水素で運ぶには、大規模効率的な液化プラントおよび液体水素タンカーの開発が必要（いずれもこれからの開発課題）</p>
メタノール		<p>現段階では、技術面での難点が最も少ない 深海洋上の風力発電を使い電気分解により水素を高効率で製造する技術については大規模実用化プラントの設計検討が行われており、実証化段階。さらに、水素と CO₂ から適当な触媒を使いメタノールを生産するプラントについては、実用化プラントの設計が行われており、同様に実証化段階にある。 <u>これらのプラントを超大型原油タンカーULCC級の船舶に積載する（新規提案）</u>ことについても、詳細な設計は必要であるが実証化段階。</p>

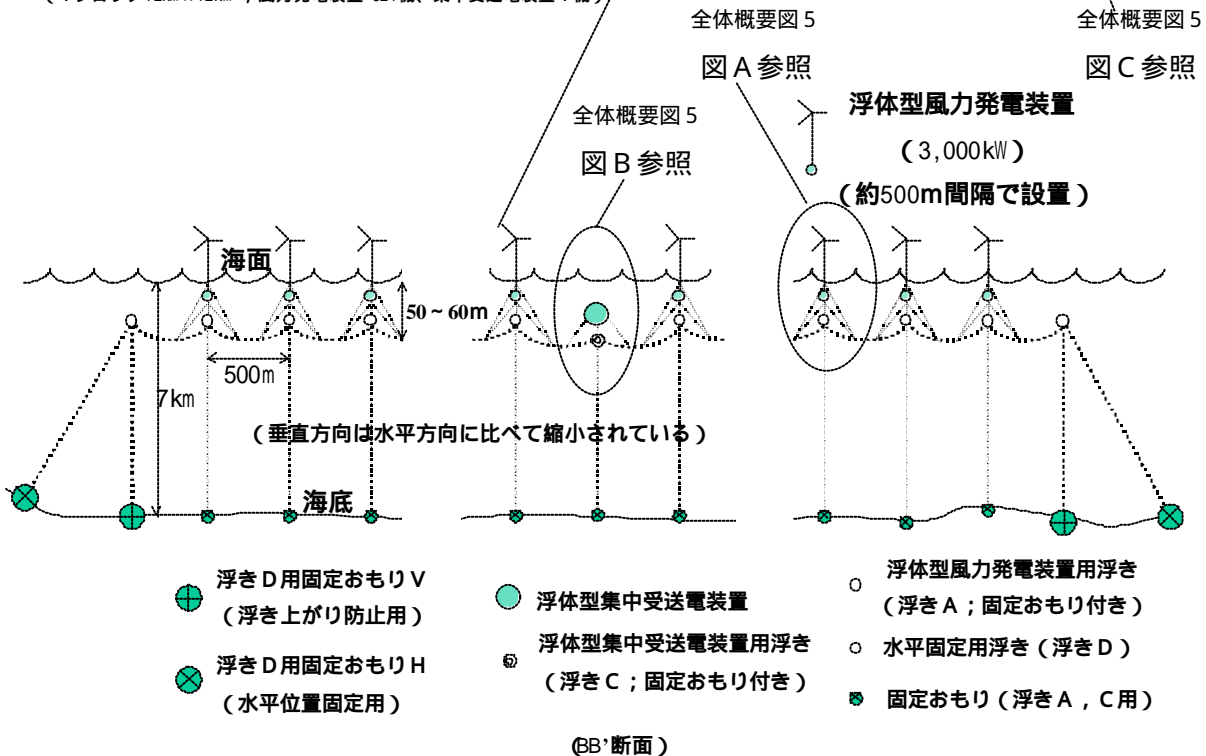
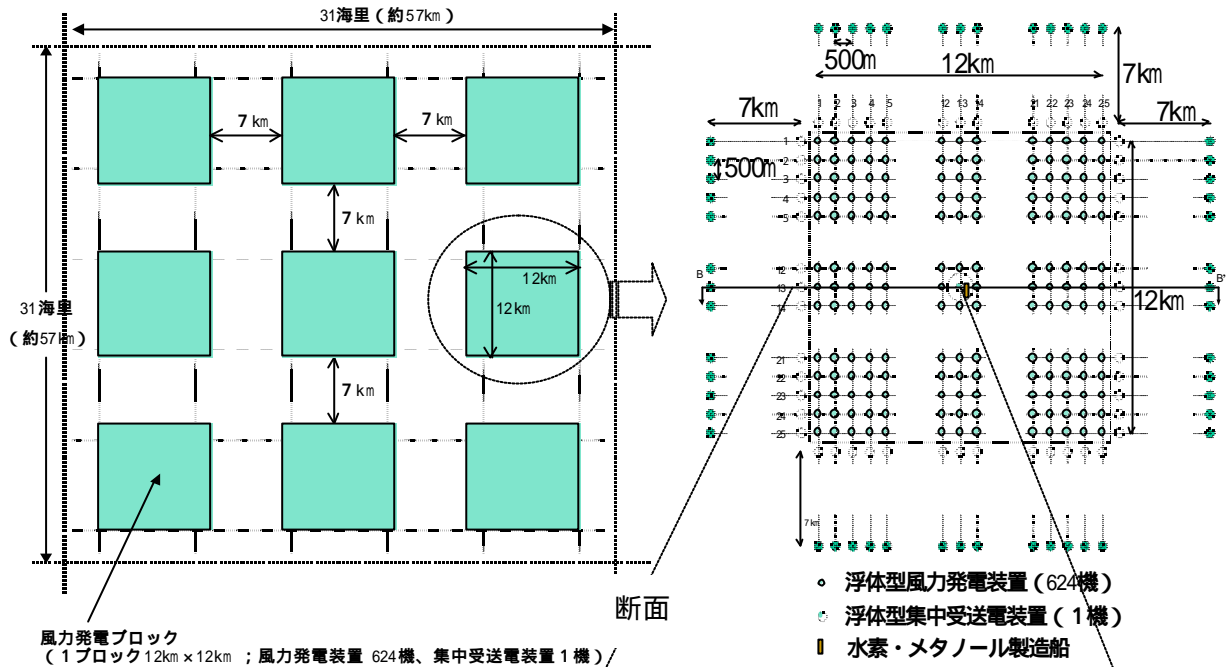
5. 深海洋上風力発電利用メタノール製造システムの詳細構成など (新規提案)

システム構成 ; 1ブロック (12km 平方の海域)あたり)

システム構成	<p>浮体型風力発電装置 (624 機/ ブロック)</p> <p>技術的には容易 実証は必要]</p> <p>浮体球 (鉄製中空球; 直径 9m 程度) により大型風力発電機 (単機出力 3,000kW) を海面上に浮かせる。姿勢維持については、海中 (海面下 50~60m) 設置の浮き (鉄製中空球; 直径 8m 程度) 固定ケーブル (太いステンレスワイヤーロープ) に繋ぎ、プロペラが安定して海面上に出るようにする。発電した電力はケーブルにより下の集中受送電装置まで送る。</p>	<p>全体概要図 5 図 A</p>
	<p>浮体型集中受送電装置 (1機/ ブロック)</p> <p>技術的には比較的容易 実証は必要]</p> <p>二重殻構造 (直径 25m および 20m 程度) の浮体球の内側球内に受送電設備を設置し、浮体型風力発電装置で発電した電力を集め、水素・メタノール製造船に供給する。全体として浮力を持つようにし、姿勢維持については、海中 (海面下 50~60m) 設置の浮き (鉄製中空球; 直径 8m 程度) 固定ケーブルに繋ぎ、海洋表面の波浪の影響をほとんど受けない海面下 20~30m の位置に安定して留める。</p>	<p>全体概要図 5 図 B</p>
	<p>水素・メタノール製造船 (1隻/ ブロック)</p> <p>[NEDO など開発されたプラント技術および造船技術をベースに可能 : 実証が必要]</p> <p>超大型原油タンカー U L C C 級船舶に電解水素製造プラントおよびメタノール合成プラントを設置した水素・メタノール製造船に、海中設置浮体型集中受送電装置から電力供給し、<u>電解により水素を発生させるとともに、化石燃料発電所で回収された CO₂ と反応合成させメタノールを生産する。</u></p> <p>原料の CO₂ および生産物のメタノールは各々専用のタンカーで運ぶ。</p>	<p>全体概要図 5 図 C</p>

(深海海洋面への設置)

下図に示すように、12km 平方の風力発電ブロックが9ブロックからなる1製造単位(57km 平方)として配置する。



全体概要図 6 深海海洋面への配置 (製造単位)

システムの特徴

再生可能な自然エネルギーを利用する半永久的なメタノール生産システム

200 海里経済水域内でエネルギー自給の可能性を有する

CO₂ をエネルギーを運ぶ媒体として利用する、CO₂ リサイクル (CO₂ 排出ゼロ) システム

6. 想定する海域でのメタノール生産可能量および市場競争性など

生産可能量	日本の現在の総エネルギー需要を賅える (エネルギーの完全自給が可能)
市場競争性	(将来的には)海外ガス田で合成されるメタノール価格と同等 (市場競争性を有する)

風力資源に恵まれた海域では、本システムの1製造単位(約57km²の海面)あたり、年間メタノール生産量は1,064万kl(重量847万トン)であり、候補想定海域全体では、日本の全エネルギー需要(メタノール換算約10億kl)を超える(全体概要表4参照)。

全体概要表4 日本経済水域内の想定海域での相当発電量およびメタノール生産可能量

対象海域	メタノール製造単位数 (約57km ² を1単位)	相当発電量	メタノール 生産可能量
沖ノ鳥島周辺	112 単位	7億5,480万kW	11億9,168万kl
三陸沖太平洋	5.8 単位	3,909万kW	6,171万kl
北海道北西沖日本海	2.7 単位	1,819万kW	2,873万kl
合計	120.5 単位	8億1,208万kW	12億8,212万kl

[1製造単位の実効風力発電能力は674万kW(稼働率80%の発電所840万kW相当)]

(生産されるメタノールの市場競争性)

1製造単位あたりの年間生産コストおよび港湾までの輸送コストを概算すると、港湾渡し価格は45円/lとなる。風力発電機の性能向上やシステムの改良を考えると港湾渡し価格は30円/l程度と想定され、**海外ガス田で合成されるメタノールと同等の価格となり市場競争性を有する。**

将来的には、メタノール改質型燃料電池自動車の燃料として、また、家庭用電気・熱併用供給メタノール改質型燃料電池用の燃料として市場に大量に利用される。

7.提案するシステムの開発・実証・実用化

提案するシステムの実用化までの過程については、システムの性能実証までを行う開発実証プロジェクト（政府プロジェクト）およびそれを踏まえた実用化第1期（民官共同プロジェクト）が必要と考えられる（全体概要表5および全体概要図7参照）。

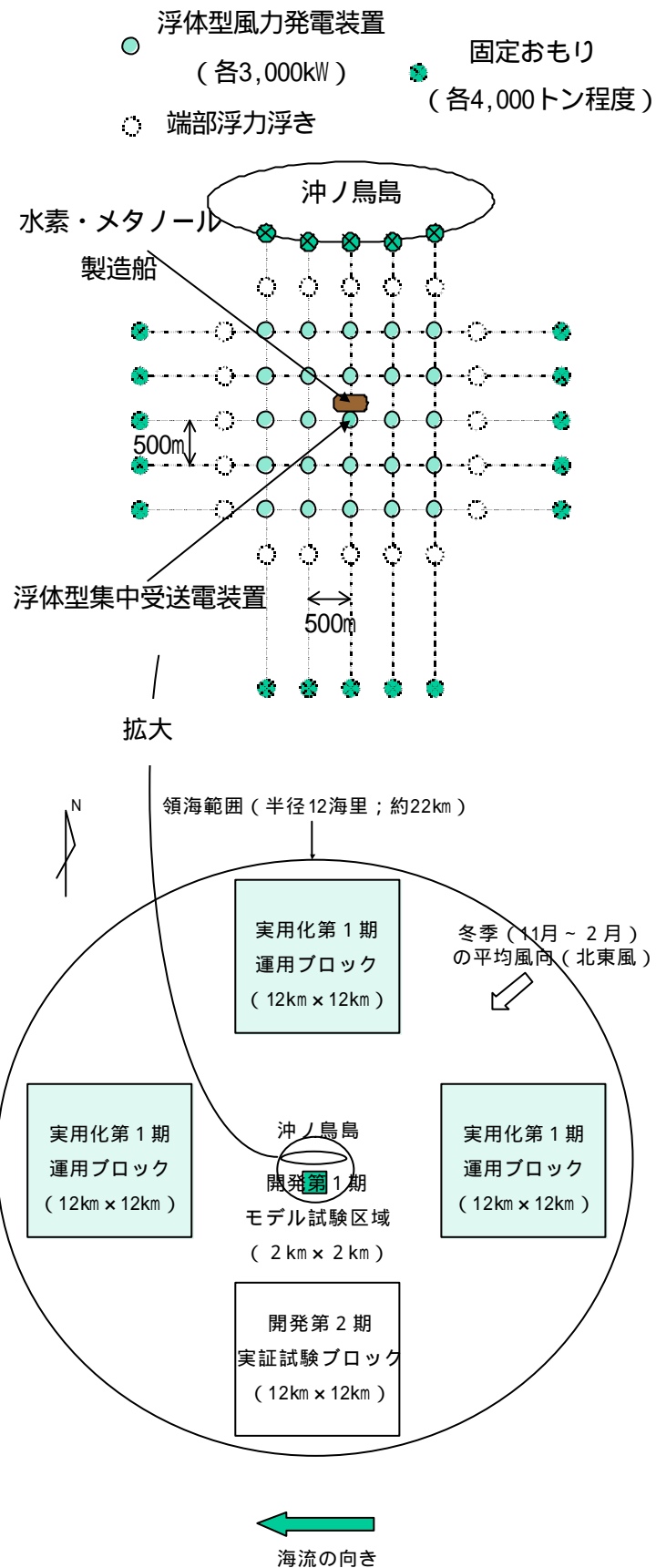
全体概要表5(1) システム開発・実証プロジェクト案

区 分	期 間	実施内容
開発第1期 政府プロジェクト ：約1,000億円	5年間	<p>調査</p> <ul style="list-style-type: none"> 候補海域での洋上風力（海面上50～60mの位置）調査、詳細海流調査、詳細海底地形調査など <p>小規模モデルシステムでの開発試験</p> <ul style="list-style-type: none"> 試験候補海域：沖ノ鳥島周辺 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p style="text-align: center;">小規模モデル (2km × 2km)</p> <ul style="list-style-type: none"> 浮体型風力発電装置 最大24機 5万kW級浮体型集中受送電装置 1機 海中浮き・固定ケーブルなど 2km × 2km 水素・メタノール製造船 メタノール製造能力 5～8万kl/年 (実効風力発電能力 : 3～5万kW) </div> <ul style="list-style-type: none"> 各要素の機能確認試験などを行う。 風力発電機については、単機定格出力最大5,000kWのものの実証試験を目指す。
開発第2期 政府プロジェクト ：約5,500億円	3年間	<p>調査(継続)</p> <ul style="list-style-type: none"> 候補海域での洋上風力（海面上50～60mの位置）調査、詳細海流調査、詳細海底地形調査など <p>実規模システムでの実証試験</p> <ul style="list-style-type: none"> 試験候補海域：沖ノ鳥島周辺 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p style="text-align: center;">実規模システム (12km × 12km)</p> <ul style="list-style-type: none"> 浮体型風力発電装置（3,000kW級） 624機 75万kW級浮体型集中受送電装置 1機 海中浮き・固定ケーブルなど 12km × 12km 水素・メタノール製造船 メタノール製造能力 120万kl/年 (実効風力発電能力 : 75万kW) </div> <ul style="list-style-type: none"> システム全体の性能確認、コスト評価を行う。 開発試験で判明した不具合対策の確認。

全体概要表 5(2) システム実用化プロジェクト案

<p>実用化第 1 期 民官共同プロジェクト ：約 1 兆 5,000 億円</p>	<p>3 年間</p>	<p>調査 (必要に応じて)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 候補海域での洋上風力 (海面上 50 ~ 60m の位置) 調査、詳細海流調査、詳細海底地形調査など <p>実用化システム (第 1 号システム) での運用試験</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 試験候補海域：沖ノ鳥島周辺 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p>実用規模システム (1 ブロック (12km × 12km) × 3)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 浮体型風力発電装置 (3,000kW 級) 624 機 × 3 ・ 75 万 kW 級浮体型集中受送電装置 1 機 × 3 ・ 海中浮き・固定ケーブルなど 12km × 12km × 3 ・ 水素・メタノール製造船 メタノール製造能力 120 万 kl / 年 × 3 (実効風力発電能力 : 75 万 kW × 3) </div> <ul style="list-style-type: none"> ・ システム全体の運用確認、コスト確認を行う。 ・ 実証試験で判明した不具合対策の確認。
--	-------------	---

これ以後については、実用化段階として、民間企業ベースで事業を実施する。



全体概要図7 提案するシステムの開発・実証・実用化プロジェクトの案 (沖ノ鳥島領海内)

8.提案するシステムが与える影響など

項 目	影響など
エネルギー安全保障 エネルギー関連研究開発	エネルギー関連研究開発事項の優先順位見直し 当該システムは、日本の 200 海里経済水域内で日本全体のエネルギーを自給できる可能性を有しており、エネルギー安全保障政策面からの優先順位は高い。また、当該システムは安全性が高く、CO ₂ 排出がゼロで、クリーンである。日本のエネルギー自給あるいは CO ₂ 排出削減を目指したエネルギー関連研究開発の優先順位の見直しが必要。
エネルギー関連社会資本	分散型エネルギー（電力、熱）供給システムの整備 これまでのような大規模発電・遠隔地送電システム（送電コストが高い）ではなく、燃料電池などの消費地設置型の分散型エネルギー（電力、熱）供給システムへの変更が必要。
産業および雇用	化学・造船・電機などの産業で極めて安定した雇用 提案するシステムは、半永久的に利用可能な風力（再生可能）エネルギーを利用するものであり、化学プラント、造船、電機、機械などのメーカー技術を集大成するもの。最終形態のシステムの寿命を仮に 30 年とすると、これを 30 年かけて建設すれば、ほぼ半永久的にシステムの建設需要が続くこととなり、極めて安定した雇用が生まれる。
地球温暖化防止（CO₂ 排出削減）に関する国際貢献	世界的な CO₂ 排出削減取り組みに日本が大きく貢献（日本の新たなビジネスチャンスを生み出す可能性） 当該システムの実用化は、世界の海洋風力資源（アリューシャン列島南側、ポリネシア海域、南半球の南緯 40 度～50 度の帯状海域）の活用により、地球温暖化防止のための世界的な CO ₂ 排出削減取り組みに対して日本が大きく貢献できる。また、日本の新たなビジネスチャンスを生み出す可能性を有する。

本 文

背景および概要

日本はエネルギー資源に乏しく、自国で消費する石油、石炭、天然ガスなどの化石燃料についてはほとんどを海外からの輸入に依存してきている。このため、エネルギー安全保障の観点から輸入先の分散化、エネルギー源の多様化を進めるとともに原子力発電を推進してきた。このような中、世界のCO₂排出量の増加が主原因とされる地球温暖化を防止する観点から、CO₂排出源である化石燃料の消費については、エネルギー効率を上げることや代替エネルギーなどにより使用量を減らしてゆくべきものとされ、その具体策が強く求められている。エネルギー安全保障の観点から推進されてきた原子力発電は、CO₂排出が非常に少ないなどのメリットはあるものの、安全性をより高めることや放射性廃棄物の処分などの課題があり、社会的許容度があまり高くなく、化石燃料使用量の削減を原子力発電の増加で代替することは現実的ではない。現在、地球温暖化防止のため、特に、先進諸国においては太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギー（あるいは再生可能自然エネルギー）の利用が推進されている。

日本におけるエネルギー供給の現状と将来性についてまとめたものが下表であるが、化石燃料の使用量を減らす分を原子力、水力で代替することは現実的ではなく、新エネルギー（あるいは再生可能自然エネルギー）の中で大規模利用が可能なものを探る方が現実的であると考えられる。

表1 日本のエネルギー供給の現状と将来性

エネルギー源		現在の状況など	将来性	
化石燃料	石油	日本ではほとんど産出しない	ほとんど輸入に頼っているが、地球温暖化の原因とされるCO ₂ 発生源となっており、使用量を減らしてゆくべき	
	天然ガス	日本ではほとんど産出しない		
	石炭	日本で産出するが、採掘が困難な深い場所（現在、採掘されている場所はない）		
原子力		既に基幹電源となっているが、安全性、放射性廃棄物処分などの課題があり、社会的許容度がやや低い	今後、立地箇所を増やすためには、社会的許容度を高めることが必要	
水力		ほぼ開発されている	既にほとんど開発されていること、また、山間部森林地域に大きな環境変化を引き起こすため、大きく伸びることはない	
太陽光		住宅の屋根など利用できる場所はあるが、天候に左右されやすく、また、エネルギー密度が低い	ビルや個人住宅の屋根などへの設置が今後も増えてゆくと考えられるが、天候に影響されやすく、量的な面では大きな期待できない	
風力	陸上	大型風力発電機の性能向上が著しい	適地に限られる	適地においては伸びてゆくが、供給量はそれほど多く期待できない
			船舶の航行や漁業活動など制約が多い	設置可能な範囲で伸びると考えられるが、制約が多く、供給量はそれほど多く期待できない
	浅海		陸地より遠く離れており、障害物のない大きな未利用面積を有する	性能向上の著しい大型風力発電機を利用した、適当な風力利用エネルギー生産システムが開発されれば、飛躍的に伸びる可能性有り（本試算によれば、日本の全エネルギー需要を超える）
バイオマス	植物	都市部の立木の剪定枝葉、森林間伐材、雑草、稲藁、耕作放棄地でのエネルギー作物など未利用、未開発なものがある	バイオマス・メタノール生産システムの実用化が進めば伸びる可能性有り	
	動物	家畜の糞など	利用できる範囲で伸びてゆくが量的な面では期待できない	

再生可能自然エネルギーの中では、特に、深海洋上の風力が全く未利用であり魅力的なものと考えられる。日本の 200 海里経済水域は日本国土の約 12 倍に相当する面積を有しており、 章に述べるように風力に恵まれた海域がある（ほとんどは数千メートルの深海洋上）。何らかの方法により、深海洋上の風力を利用してエネルギーを生産する方法が提案できれば、エネルギーの完全自給と CO₂ 排出削減の両方を同時に満たすことができるものと考えられる。

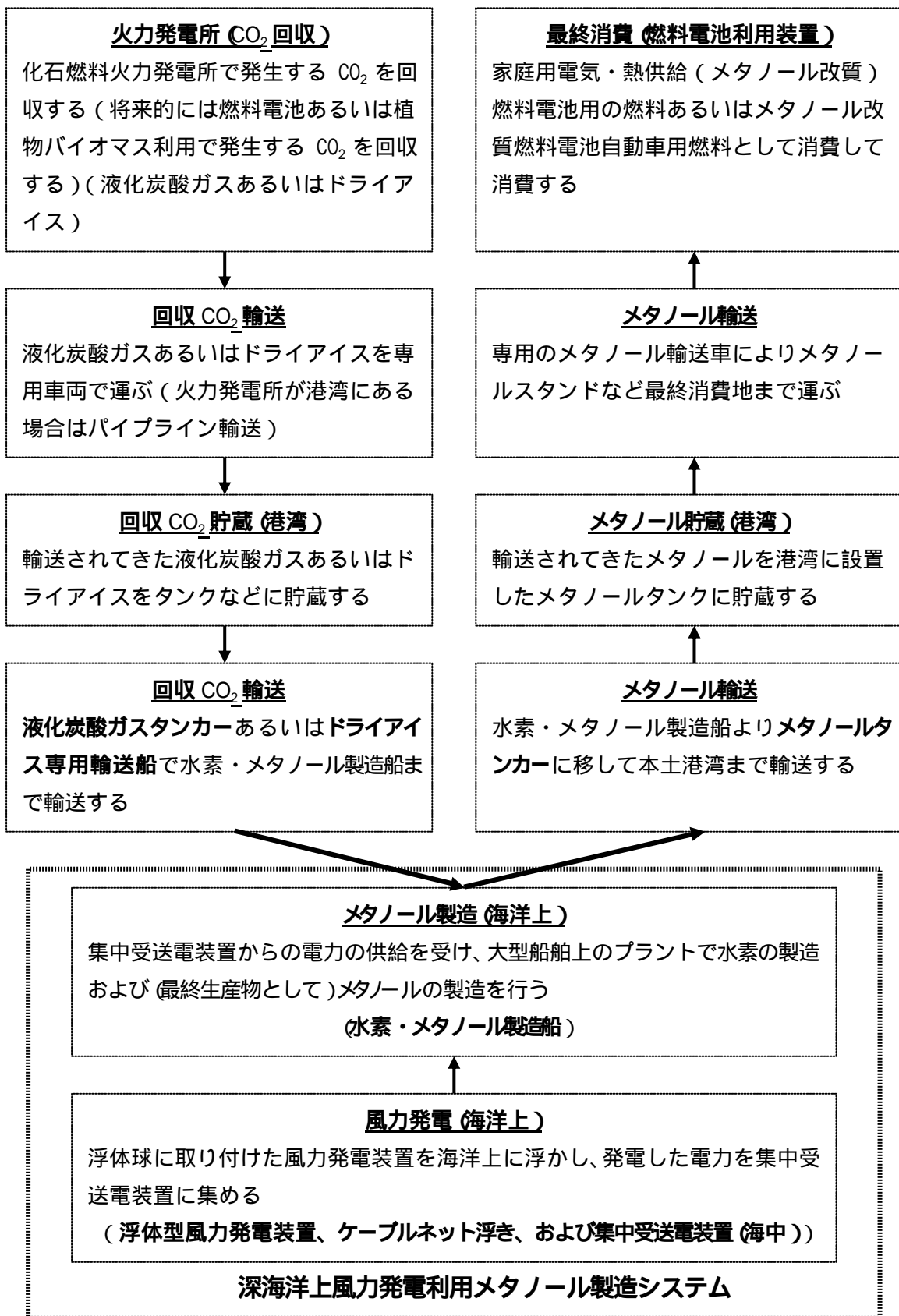
風力発電については、欧州を中心に単機出力で 1,000kW を超える大型風力発電機（参考資料 1）の導入が進み、風力発電の経済性が向上しその規模が増大してきている。1990 年代から世界的に（特に欧州において）風力発電設備の導入が進み（世界全体では 1999 年で 1,000 万 kW を超える設備能力が導入されている[1]）将来的にも風力発電が増大してゆくものと考えられている。今後の風力発電の立地については、低周波騒音などの問題から、欧州などでは（陸地周辺の）海上に重点が移りつつある。日本についてみると、2000 年における風力発電設備能力は 8 万 kW 強となり[2]、今後、数年のうちに数十万 kW の設備が導入されるものと予測されている。特に、風に恵まれた北海道や東北地方の主に日本海側に比較的規模の大きな風力発電所が立地し始めている（参考資料 2）。また、離島においても、風力発電の導入が進みつつあり、陸上での風力発電利用は全国的に増加してゆくものと考えられている。なお、総合資源エネルギー調査会総合部会答申（2001 年 7 月）においては、2010 年度における風力発電導入目標を 300 万 kW としている。

日本のこれまでの風力発電は全て陸上設置のものであり、海洋風力の利用については、陸地に近いオフショアでの風力発電が検討され[3]、今後、欧州と同様に風力発電の設置が進むものと考えられる。一方、四方に海を抱える日本の経済水域の面積は、日本国土の約 12 倍に相当する広大なものになっており、その水域海面の風力エネルギーの規模も膨大な量になるものと推定される（ . および . 参照；このペーパーで提案する海洋風力利用システムの場合、風力資源に恵まれる海域（経済水域面積の約 10% 程度）の発電能力は現在の日本のエネルギー需要を上回るものとなる）。陸地を遠く離れた（深海）海洋面での風力発電利用については、検討例はほとんどない（大規模浮揚体（メガフロート）を深海洋上に浮かべて風力発電と太陽光発電と組み合わせるものがある[4]）。

本ペーパーは、日本の排他的経済水域にある海洋（陸地より離れた（数千mの深海）洋上）での風力発電電力を使った、**深海洋上風力発電利用メタノール製造（利用）システム**（図 1 およびシステム概要図（5 頁）参照）の構築を提案するものである。

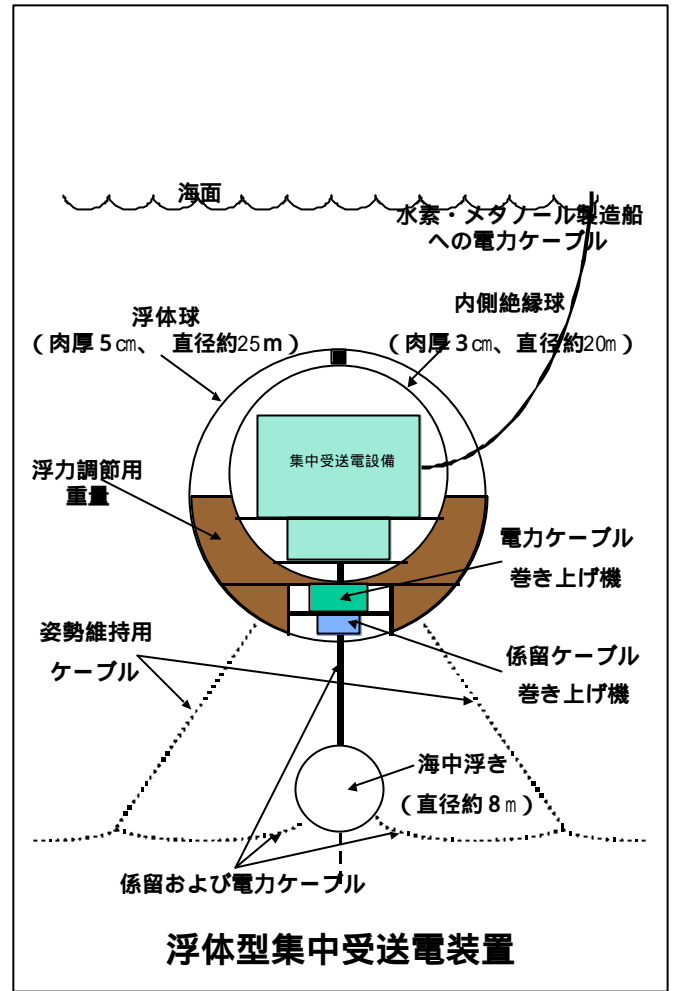
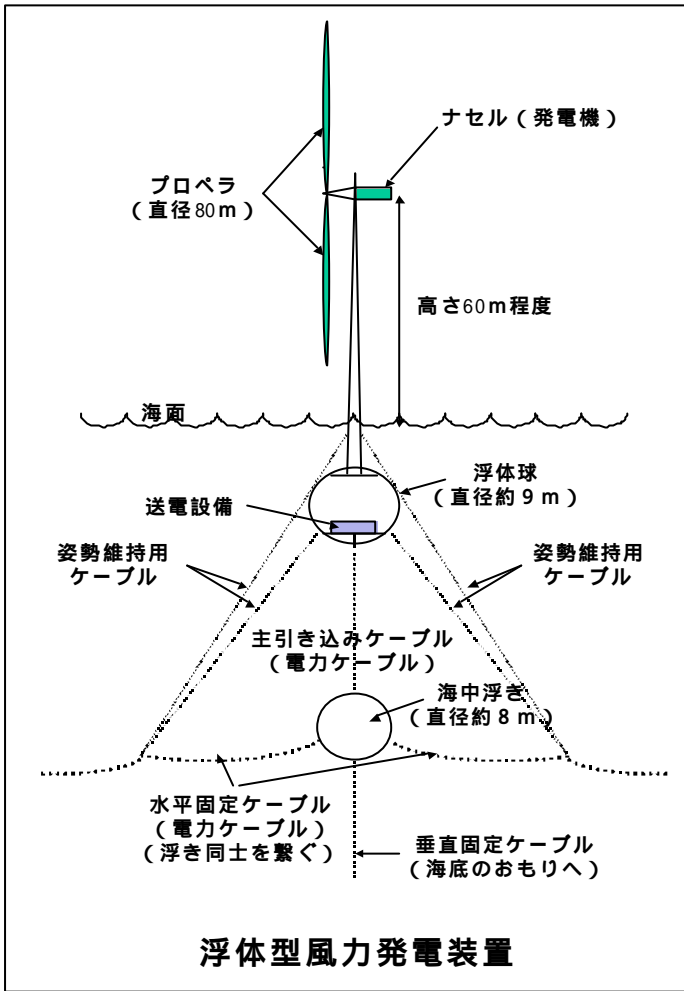
提案するシステムでは、海洋面に浮体球で浮かべた風力発電装置（**浮体型風力発電装置**）の電力により、大型船（**水素・メタノール製造船**）上で、水の電気分解で水素を製造し、それと回収 CO₂ との合成反応によりメタノール製造を行うものである。このシステムでは、半永久的利用が可能な深海洋上の風力エネルギーに由来する安価なメタノールを大量に生産することが可能であり、日本の経済水域において安定した風力が得られる海域（沖ノ鳥島周辺、三陸沖太平洋、北海道北西沖日本海など）での大規模実用化は、日本のエネルギー完全自給を可能とするものとなる。また、CO₂ 回収システムと組み合わせることにより、日本でのエネルギー利用による CO₂ 排出をゼロとすることができるものと考えられる。なお、エネルギー利用により最小限排出される CO₂ については、植物の CO₂ 固定能力を活用した植物バイオマス・メタノール製造および CO₂ 回収システム（この植物バイオマス利用システムについては、別途検討する）と組み合わせることが合理的であると考えられる。

提案するシステムは海面下 50～60m にネット状に設置した固定ケーブルおよび海中浮きを位置固定に使うものであり、浮体型風力発電装置などを繋がらない場合は、船舶の航行（大型タンカーの喫水線で

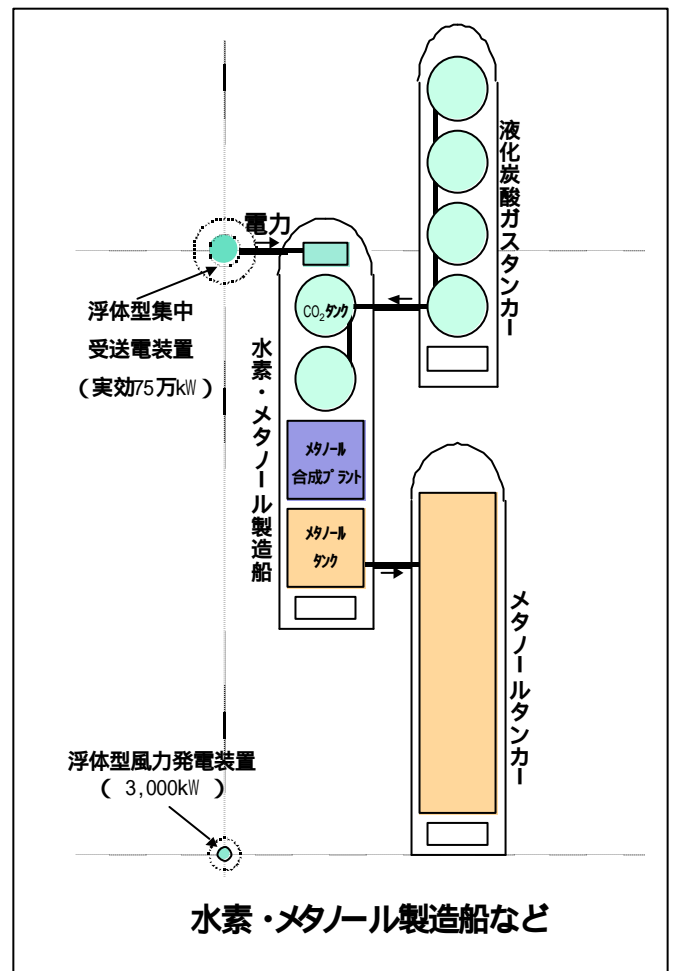


(CO₂ リサイクル使用を前提)

図 1 深海洋上風力発電利用メタノール製造システムおよびメタノール利用



**深海洋上風力発電利用
メタノール製造システム**



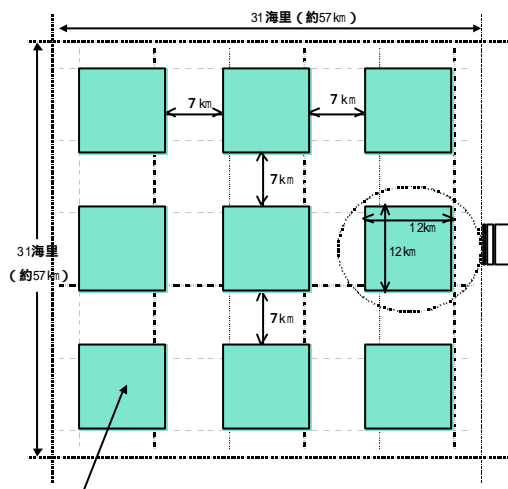
も 25～30m) に何ら影響を与えない方式のものである。また、海洋面に降り注ぐ太陽光をほとんど遮らない。なお、(深海) 海洋上の風力利用については風力発電機などを設置する大規模浮揚体(メガフロート方式) なども検討されている[4] が、仮にメガフロート方式により大量の風力を利用しようとすると、海洋面の広い面積にわたり太陽光を遮ってしまうことがあり、海洋生態系などに与える影響が大きくなるものと考えられる。(本ペーパーでは海洋面での太陽光を遮らない方法を提案している。)

．においては、衛星観測による日本周辺の海洋風況について述べるが、この観測結果から見ると、日本の経済水域において最も風力資源価値の高い場所は温暖な沖ノ鳥島(北緯 20 度 25 分、東経 136 度 05 分; 東西約 5km、南北約 2km の環礁) 周辺(経済水域面積 430,000km²) であり、次いで三陸沖太平洋(東経 145 度 ? 146 度、北緯 39 度 ? 41 度(面積約 18,870km²); 水深 6000～7000m) 北海道北西沖日本海(東経 140 度 ? 141 度、北緯 44 度 ? 45 度(面積約 8,800km²); 水深 100～200m) である。季節的には冬季(11 月～2 月) が最も適している。後者の地域については、風力は強いが冬季に寒冷である。

．においては、風力発電装置として、現在の最大規模の単機出力 3,000kW(翼の直径 80m、支柱高さ 80m、全体重量 300 トン(翼約 100 トン、ナセル約 120 トン、支柱他約 80 トン)) をベースとした、(数千mの深海) 海洋上の風力利用(水素・) メタノール製造システムの具体案を提示する。このシステムは、(海洋上の最終生産物として) メタノールを生産するシステムであり、多数の**浮体型風力発電装置**を海洋上に浮かせ、発電した電力を海中に設置する**浮体型集中受送電装置**に集め、海洋上に停泊する**水素・メタノール製造船**(超大型原油タンカー(U L C C : Ultra Large Crude-oil Carrier) 級の船舶に水素製造プラントおよびメタノール製造プラントを積載したもの) に供給し、水の電気分解により発生させた水素と化石燃料火力発電所から回収された CO₂ によりメタノールを生産するものである。なお、浮体型風力発電装置および浮体型集中受送電装置は、固定ケーブル(ステンレスワイヤーロープ) により海中(水面下 50～60m) にメッシュ状(500m 間隔) に設置した浮き(鉄製中空球; 固定おもり(海底設置) ケーブルで位置を固定) に繋ぎ、さらに、海中の 4 方向のステンレスワイヤーロープとを姿勢維持用のワイヤーロープで結んで、海面(あるいは海中に) 浮かせる。

提案するシステムで生産されるメタノールは(．における検討結果も踏まえると) 市場競争性を有するものと考えられる。なお、このシステムの他に、(海洋上の最終生産物として) 水素を製造するシステムとして、風力発電機と水素製造装置を積載した風力水素製造船(参考方法 A) 浮体型発電装置に水素製造・貯蔵装置を付加した浮体型風力水素製造装置(2 種類) (参考方法 B) の 2 つも検討した(添付資料 1 参照)。しかし、風力水素製造船については、船舶の建造費が高すぎることで、浮体型風力水素製造装置(2 種類) については、生産される水素の体積が膨大で浮体球内の貯蔵タンクでは貯蔵しきれず、非常に頻繁な水素ガス回収作業が必要となること、などコスト的に高いものとなることが示された。検討の結果を表 2 にまとめる。

なお、提案するシステムでは、想定する海洋上の 31 海里(約 57km) 平方(約 3,249km²) で得られる実効風力発電能力は約 670 万 kW(稼働効率 80% の発電所 840 万 kW に相当) となる。また、この面積の海域で年間に生産されるメタノールは 847 万トン(1,064 万 kl) と推定される。(．において示した、**沖ノ鳥島経済水域全体、三陸沖太平洋、北海道北西沖日本海に、提案するシステムを設置すると、年間で生産されるメタノールは約 10.2 億トン(約 12.8 億 kl) と推定される量(エネルギー量的には現在の日本の需要を賄えるもの) となる。**

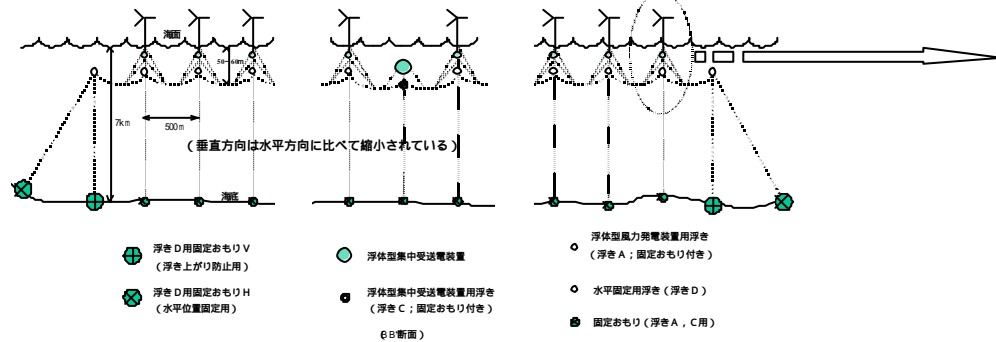


風力発電ブロック (1ブロック12km x 12km ; 風力発電装置 624機、集中受送電装置 1機)

想定する海域 31海里(57km) 平方での風力発電ブロック配置図

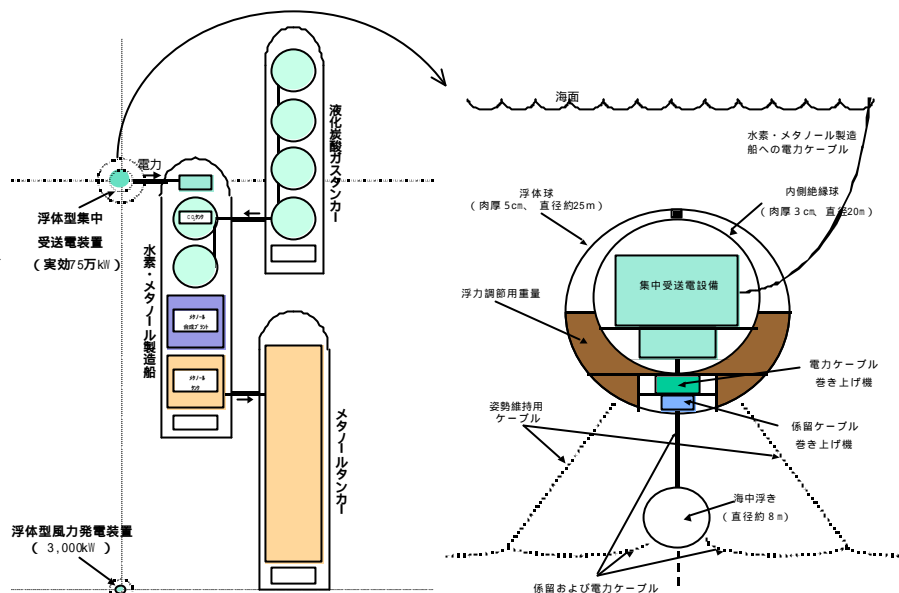
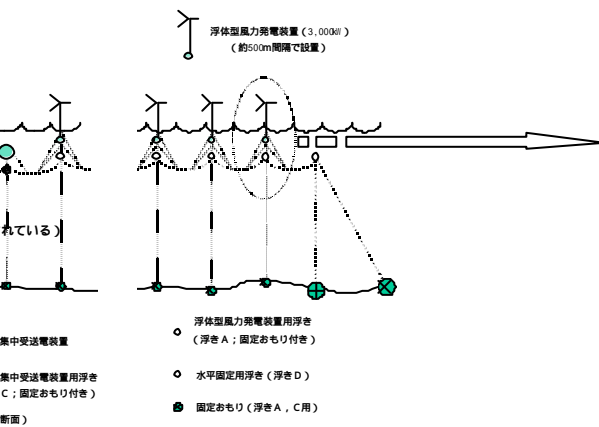
1 単位 (31海里 (57km) 平方) あたりの数量		
風力発電容量	674 万 kW	100 万 kW 発電所 (稼働率 80%) 8.4 基に相当
メタノール生産量 (年間)	1,064 万 kl (647 万トン)	
原料 CO ₂ 量 (年間)	1,165 万トン	100 万 kW 化石燃料発電所 2 基の年間の CO ₂ 排出量に相当
メタノール価格	45 円/l (港湾渡し)	将来的には 30 円/l (港湾渡し) 程度まで下がる可能性 (市場競争性を有する)

断面図



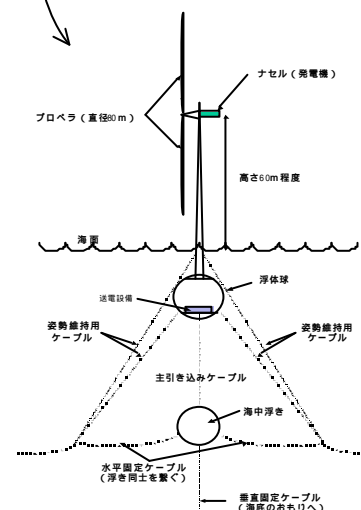
風力発電装置および集中受送電装置の係留方法 (1ブロック (12km 平方))

浮体型風力発電装置および浮体型集中受送電装置の配置案 (1ブロック:12km 平方)



水素・メタノール製造船の作業

海中設置浮体型集中受送電装置



浮体型風力発電装置およびその係留方法

深海洋上風力発電を利用するメタノール製造システム全体概要

表2 深海洋上風力を利用する水素およびメタノール製造システムと評価

<p>(提案するシステム)</p> <p>浮体型風力発電装置 ・ 海中設置浮体型集中受送電装置 ・ 水素メタノール製造船 (海洋上での最終生産物；メタノール)</p>
<p>(方法)</p> <p>・金属製(鉄など)の浮体球に風力発電機(単機出力 3,000kW、翼直径 80m、支柱高さ 80m)を取り付けただけの浮体型風力発電装置を海中(水面下 50~60m)に設置した浮き(固定おもり、ケーブルで位置を固定)に取り付け、発電機を海面上に浮かし、発電した電力を海中に設置した浮体型集中受送電装置に集め、付近に停泊する水素・メタノール製造船(超大型原油タンカーULCC級の大型船に水素製造プラントおよびメタノール製造プラントを積載したもの)上で水素の製造およびCO₂との合成反応によるメタノール生産を同時的に行う。原料のCO₂およびメタノールはタンカーなどで本土港湾と海洋上の水素・メタノール製造船間を輸送する。</p> <p>(評価)</p> <p>・生産されるメタノールの単価を大まかに見積もると約 45 円/l となり、家庭用のメタノール改質熱・電気併用・燃料電池の燃料として、また、メタノール燃料電池自動車の燃料として実用利用が可能と思われる</p>
<p>参考システム A 風力水素製造船・水素回収船 (海洋上での最終生産物；水素)</p> <p>(方法)</p> <p>・風力発電機(単機出力 3,000kW、翼直径 80m、支柱高さ 80m)を大型船舶(原油タンカーVLC C (Very Large Crude-oil Carrier)級)に設置し、発電した電力により船舶内で水素を製造し、貯蔵する。専用の水素回収船により水素を回収し本土港湾まで輸送する。</p> <p>(評価)</p> <p>大型船舶 1 隻(新規建造では 90 億円/隻)あたり 3 機(合計出力 9,000kW)しか設置できなく、発電電力あたりのコストが高すぎる。(実効能力 100 万 kW あたりでは、船舶建造費のみで 2.5 兆円)(なお、中古 VLC C 級タンカー(10 億円/隻程度)を利用する場合は事業として成立する可能性がある。)</p>
<p>参考システム B - a 浮体型風力水素製造装置 1 (自立型で船舶係留)・水素回収船 (海洋上での最終生産物；水素)</p> <p>(方法)</p> <p>・金属製(鉄など)の浮体球に風力発電機(単機出力 3,000kW、翼直径 80m、支柱高さ 80m)を取り付け、かつ、浮体球内に水素製造装置・貯蔵タンクを内蔵した浮体型風力水素製造装置(補助浮体球を取り付けた自立型のもの)を、多数連結して海面上に浮かして、大型船舶により係留しながら発電した電力で水素を製造し、浮体球内に貯蔵する。専用の水素回収船により水素を回収し本土港湾まで輸送する。</p> <p>(評価)</p> <p>・浮体球内の水素貯蔵タンクに貯蔵できる水素の量が少なく水素回収作業がきわめて頻繁になり、コストが高いものとなる。</p>
<p>参考システム B - b 浮体型風力水素製造装置 2 (海中設置ケーブル固定)・水素回収船 (海洋上での最終生産物；水素)</p> <p>(方法)</p> <p>・金属製(鉄など)の浮体球に風力発電機(単機出力 3,000kW、翼直径 80m、支柱高さ 80m)を取り付け、かつ、浮体球内に水素製造装置・貯蔵タンクを内蔵した浮体型風力水素製造装置を、海中(水面下 50~60m)に設置した浮き(固定おもり、ケーブルで位置を固定)に取り付け、発電機を海面上に浮かし、発電した電力で水素を製造し、浮体球内に貯蔵する。専用の水素回収船により水素を回収し本土港湾まで輸送する。</p> <p>(評価)</p> <p>・浮体球内の水素貯蔵タンクに貯蔵できる水素の量が少なく水素回収作業がきわめて頻繁になり、コストが高いものとなる。</p>

．においては、海洋上の最終生産物として提案するシステムによりメタノールを製造する事業の経済性評価を行った。この際、原料のCO₂については、火力発電所で回収されるものを買取するものとし

た。なお、メタノールの最終消費形態は、発電所や送電施設の不要な燃料電池用の燃料とすることが最も合理的であると考えられ、それを念頭に置いた。燃料電池は、家庭用の電気・熱供給装置として、また、自動車の動力源として、将来の社会では不可欠なものと考えられている。

このシステムで製造されるメタノールの港湾渡し価格は、CO₂回収を行う火力発電所に対して約3円/kWhの回収費用を支払った上で(かつ、システム建設費投資者へ年2%の利子を払う事業ベースで)45.1円/lと試算され、十分な市場経済性を有するものとなる。このメタノールを家庭用熱・電気併用燃料電池の燃料として供給する場合、標準の家庭での年間の支払いは現在の電気料金および風呂・シャワー分のガス料金の合計よりも低価格なものとなる。また、メタノール製造時に供給される水素の値段は18.6円/Nm³程度となり、現在の水素価格より格段に安価な水素が利用できるものとなっている。

．においては、提案するシステムがもつ日本のエネルギー供給上の意義、また、その構築のために必要な調査・研究・設計や技術開発に関する提言も行った。提言するシステムは、輸入に頼らず、ほぼ永久的に利用可能な海洋風力エネルギーを利用しており、地球温暖化防止のために日本として取りうる、現実的で、かつ、(時間的に間に合う)タイムリーなものを見なせるとともに、供給できるメタノールは市場競争力を有するとともに、供給可能量は現在の日本におけるエネルギー需要を上回るものと予想される(エネルギー(安全保障)政策、エネルギー関連研究開発政策への影響)。また、このシステムの実用化および世界的な海域配置により、日本が地球温暖化防止(CO₂排出削減)において大きな国際貢献ができるものと考えられる。

この安価で大量の海洋風力由来のメタノールは、現在、開発が進む燃料電池(特に、メタノール改質型燃料電池)の実用化を促すものと考えられ、家庭用の高効率の電気・熱併用分散型電源として、あるいは自動車駆動用燃料電池として、急速に実社会において利用されてゆくものと予測される(メタノール利用分散型電源利用など社会基盤の新たな構築)。普及の一つの目安として、(単位容量あたりで)メタノール価格がガソリン価格(90円/l)の1/2の45円/lになることがあげられる。このとき(単位容量あたりの)エネルギー的ではガソリンと同等なものとなる。提案するシステムでは、現段階の概算でこれに近いものがでており、今後の風力発電機の大型化やシステム全体の改良などで、5円/lの税込みで40円/lが可能であると考えられる。

国民生活の上で欠くことのできないエネルギーを、(安価な)自前の海洋風力由来メタノールで供給するものとし、家庭用、事業用、自動車用燃料などとして、将来的(20~30年後を想定)には10億kl(石油換算で5億kl)を消費するものとする、(家計に新たな支出負担を求めずに)そこからの税収は(5円/lの税込みで40円/lを前提として)5兆円となり、現在の揮発油税(2.5兆円)を大きく上回るものとなる。この増収分は、国家あるいは地方財政の借入金の返済に使えるものとなろう(財政健全化への寄与)。

なお、提案する海洋風力利用メタノール製造システムの構築のための、**想定する海域での産学官連携実証プロジェクトの概案を提示した。**このシステムにおいては、エネルギーを運ぶ媒体として大量のCO₂を使う、CO₂リサイクルユースが前提となっており、(特に、家庭用)燃料電池はCO₂回収機能を持つことが望まれる。また、利用の際に大気中に放出されるCO₂を補うため、それと同量のCO₂が得られる植物バイオマス利用(例えば、メタノール製造)およびCO₂回収も補完事業として不可欠なものと考えられる(CO₂回収補完事業としての植物バイオマス利用の必要性)。

将来的に水素を大量に吸着する物質(液体が望ましい)が開発、実用化されれば、CO₂回収は必ずしも必要ではなく、海洋での最終生産物を水素とし港湾に陸上げたのち、燃料電池への直接的な供給な

どが行えることとなり、さらに低コストのエネルギー供給も可能になるものと思われる。

・参考文献など

- [1] 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)ホームページ、<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/foreigninfo/html9908/08229.html> より。
- [2] 神門正男「風力発電」、火力原子力発電 Vol.52、2001.10.
- [3] 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (委託先 千代田デイズ・アンド・ムーア株式会社)「日本における洋上風力発電の導入可能性調査」(NEDO-NP-9801)、平成 11 年 3 月 .
- [4] 近藤正時他 (大阪大学)「メソ気象システムと洋上複合エネルギープラントを用いた未利用自然エネルギーの利用 (その 1) (その 2) および (その 3)」、第 18 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2002.1.

日本の経済水域の海上風況と最適風力資源領域

日本の経済水域は、図2 - 1 に示す領域となっており、国土面積の約 12 倍に相当する。衛星観測に



(全漁連ホームページより許可を得て掲載)

図2 - 1 日本の 200 海里経済水域

よる海面上の風向・風速状況を参考資料3に示しているが、これによると、11月～2月の冬季において、沖ノ鳥島（北緯20度25分、東経136度05分；東西約5km、南北約2kmの環礁）近辺と三陸沖海上で（海

面での) 平均風速が 10m/秒程度の強い風が吹いていることがわかる。これより、図 2 - 2 に示すように、航路などを避けた北海道北西沖日本海(東経 140 度 - 141 度、北緯 44 度 - 45 度(面積約 8,800km²); 水深 100 ~ 200m)、三陸沖太平洋(東経 145 度 - 146 度、北緯 39 度 - 41 度(面積約 18,870km²); 水深 6000 ~ 7000m)なども有力候補海域と考えられる。さらに、沖の鳥島に比べて風力的には弱いものの、南鳥島周辺も有力な海域と考えられる。

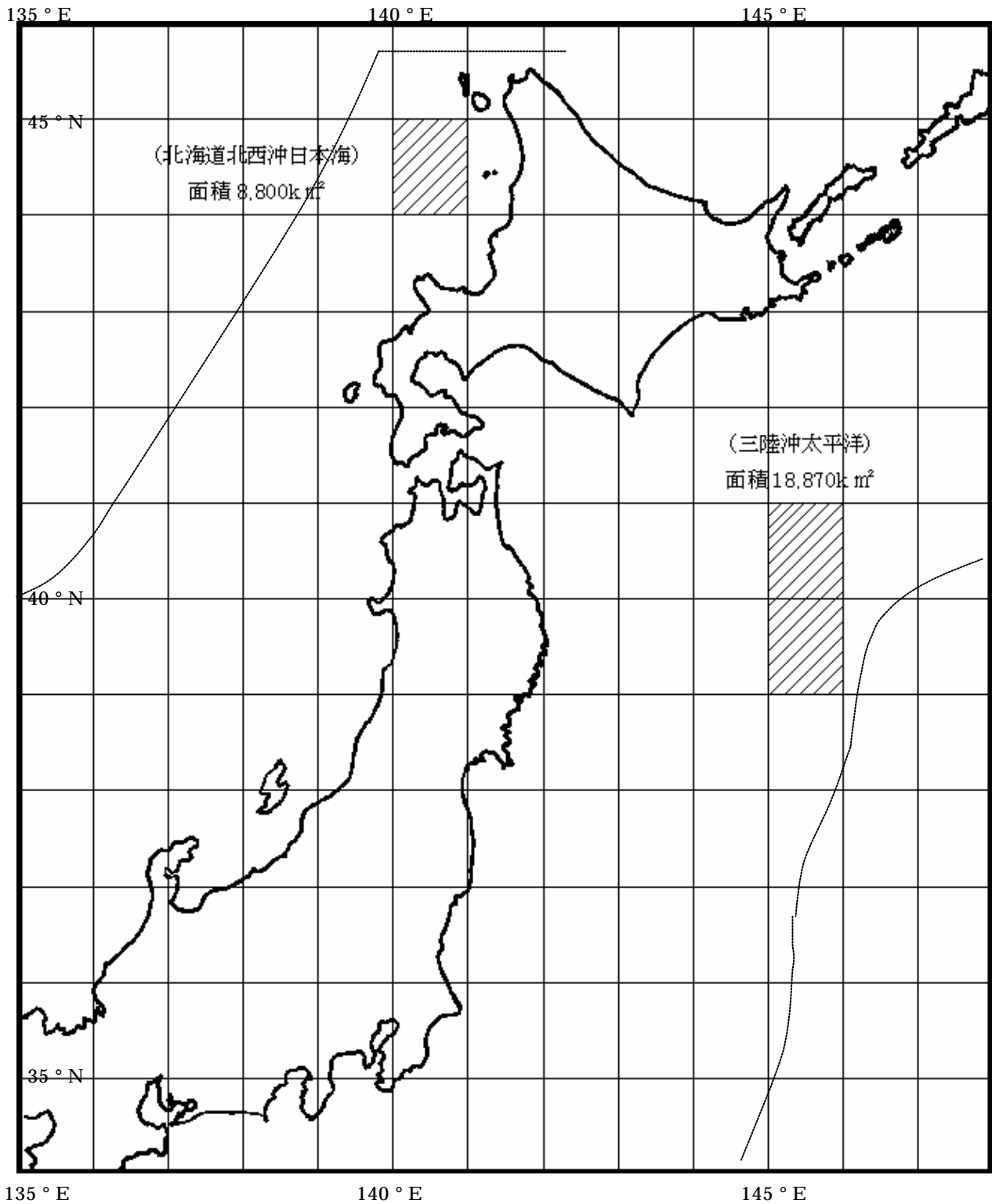


図 2 - 2 北日本の排他的経済水域内の海洋風力利用候補海域

特に、沖ノ鳥島近辺は、いわゆる貿易風帯の北側周辺にあり安定した風が得やすいこと、および冬季に温暖であることから、風力エネルギー資源地域として最適な海域と考えられる。海洋表面において10m/秒程度の平均風速が出ている場合、海面より平均で60m程度の高さにある風力発電機の翼部分の平均風速は13~14m/秒の定格風速程度になるものと推定され[5]、設備利用率（発電効率）が相当に高くなるものと期待できる（地上（海岸線）での風力発電機の設備利用率は最高で30%程度が実現されている[6]が、安定した海洋貿易風帯では40%程度を越えるものと考えられる）。沖ノ鳥島を原点とする海域では、南側の半円内経済水域が貿易風帯に近く安定した風速が得やすいことから風力資源的には魅力的な海域であり、風力発電利用を念頭に置いた詳細な風力資源調査が望まれる。

・参考文献など

[5]新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）ホームページ、新エネルギー導入促進部紹介資料中の「風力発電」に示される経験式（海岸地方の式）により推定した。

[6]上の資料中の導入事例を参照。

提案する深海洋上風力発電を利用するメタノール製造システム

現在、風力発電の導入が最も進んでいる欧州では、単機発電能力が1,000kWを超える大型（翼の直径で60～70m）の風力発電機が主流になってきている。日本で導入された最大のものは北海道苫前町（電源開発（株））の1,650kW、世界的にはドイツ・スウェーデンの共同研究により3,000kWのものが実証されており〔7〕、さらに5,000kW（翼の直径110m程度）のものが開発されている〔8〕。これらの大型発電機は、高さ数十mの場所の風を利用するものである。（陸域、海域ともに、表面近くよりは高い場所の方がより強い風が得られる）。本ペーパーでは、単機出力3,000kW（翼の直径80m、支柱高さ80m、全体重量300トン（翼約100トン、ナセル約120トン、支柱他約80トン））〔7〕の風力発電機をベースに考える。なお、海洋風力を最大限利用するためには、（価格が安い）単機出力が5,000kWを超える巨大風力発電機の実用化が望まれる。

参考資料1に示すように、これらの大型風力発電機の定格風速は11～15m/秒とされている。日本について見ると、陸域においてこのような風速を安定的に得られる場所は、中部地方や北関東を中心とした山岳地域であり、仮に、風力発電機を設置するにしても工事の方法など難点が多い。

一方、衛星観測によると、特に、沖ノ島島周辺や三陸沖海上などでは、冬季（11～2月）に大型風力発電の定格風速に近い値が出ている。この海域は数千mのかなり深い海であり、（仮に経済水域内でも）海底に固定した水面に達する構造物に風力発電装置を設置する工事は技術的に困難であるとともに、コスト的にも成立しないと考えられる。

ここでは、技術的に比較的容易であると考えられる、（以下の概要に示す）風力発電を利用するメタノール製造システムを提示・検討する。

提案するシステム [深海洋上風力発電利用メタノール製造システム] の概要

このシステムでは、浮体球に風力発電機を取り付けた**浮体型風力発電装置**（図3参照）を（深海）海洋面上に多数設置する。この設置方法として、波浪や海面での風の影響をほとんど受けない海面下50～60mの位置に（例えば500m間隔の）メッシュ状に浮き（浮体球）を固定用のケーブル（ステンレスワイヤーロープ）やおもりを用いて固定し、これに浮体型風力発電装置を繋ぐ（図4参照）。固定用ケーブルで縦横に繋ぐ範囲としては、（次世代の大型5,000kW級（実効能力2,000kW）風力発電装置を用いた場合に）風力発電の実効総発電能力が120万kW程度（600機程度）になる数の浮体型風力発電装置をカバーする12km平方（浮体型風力発電装置数624機および集中受送電装置1機；25機/列×25列）領域とする（図6参照）。

この海洋領域に設置される発電装置（図6参照）からの電力を海中ケーブルにより海中浮体球内に設置する受送電装置（**海中設置浮体型集中受送電装置**）（図5参照）に集中させて、その電力を浮体球付近に停泊する電解水素製造プラントおよびメタノール製造プラントを積載したULCC級の**水素・メタノール製造船**（図7参照）に供給し、そこで集中的に水素の製造を行うとともに、化石燃料火力発電所などでの回収CO₂（液化炭酸ガスあるいはドライアイス輸送船で供給される）と反応させ液体燃料のメタノールを合成する（図8参照）。生産物のメタノールはメタノールタンカーにより本土港湾に輸送し、原料となるCO₂（液化炭酸ガスあるいはドライアイス）については、本土港湾より海洋上の水素・メタノール製造船に輸送する。

ここで提示する**深海洋上風力発電利用メタノール製造システム**については、次の . においてそのシステムによるメタノール製造事業の経済評価を行う。

なお、これ以外の海洋風力利用システムについては、添付資料1に示すように、風力発電機および電解水素製造装置を積載したV L C C級の大型船舶（風力水素製造船）で水素を製造するシステム（参考システムA）、金属製（鉄製など）の浮体球に風力発電装置を取り付けるとともに浮体球内に水電解水

素製造装置および水素貯蔵タンクを内蔵した浮体型風力水素製造装置で水素の製造・貯蔵を行うシステム（参考システムB）を検討した。参考システムA（風力水素製造船）については、船舶建造費が高く発電電力あたりのコストが大きくなり、合理的でなく（ただし、中古の大型船舶が非常に安価に手に入ればコスト的に見合う可能性がある）、また、参考システムB（浮体型風力水素製造装置）については、水素の貯蔵量が小さく水素回収コストが高いものとなり、これも合理的ではないことが示される。

また、深海洋上で発電した電力を数百 km 離れた陸地まで送電する技術については、今後の課題であり、現段階では現実的ではない。

1. 浮体型風力発電装置、海中設置浮体型集中受送電装置の構造および海洋への設置

(1) 浮体型風力発電装置の構造

以下の図3に示すような構造であり、図4のように、強制的に海中に立たせる必要がある。発電機器類、支柱、浮体球の自重も支えながら、浮力約 50 トンを持つように設定する（この浮力が大きいと海底に設置する固定おもりの重量が大きくなる）と、浮体球の体積は約 392m^3 （直径 9.1m 程度；肉厚 3 cm と想定）となる。

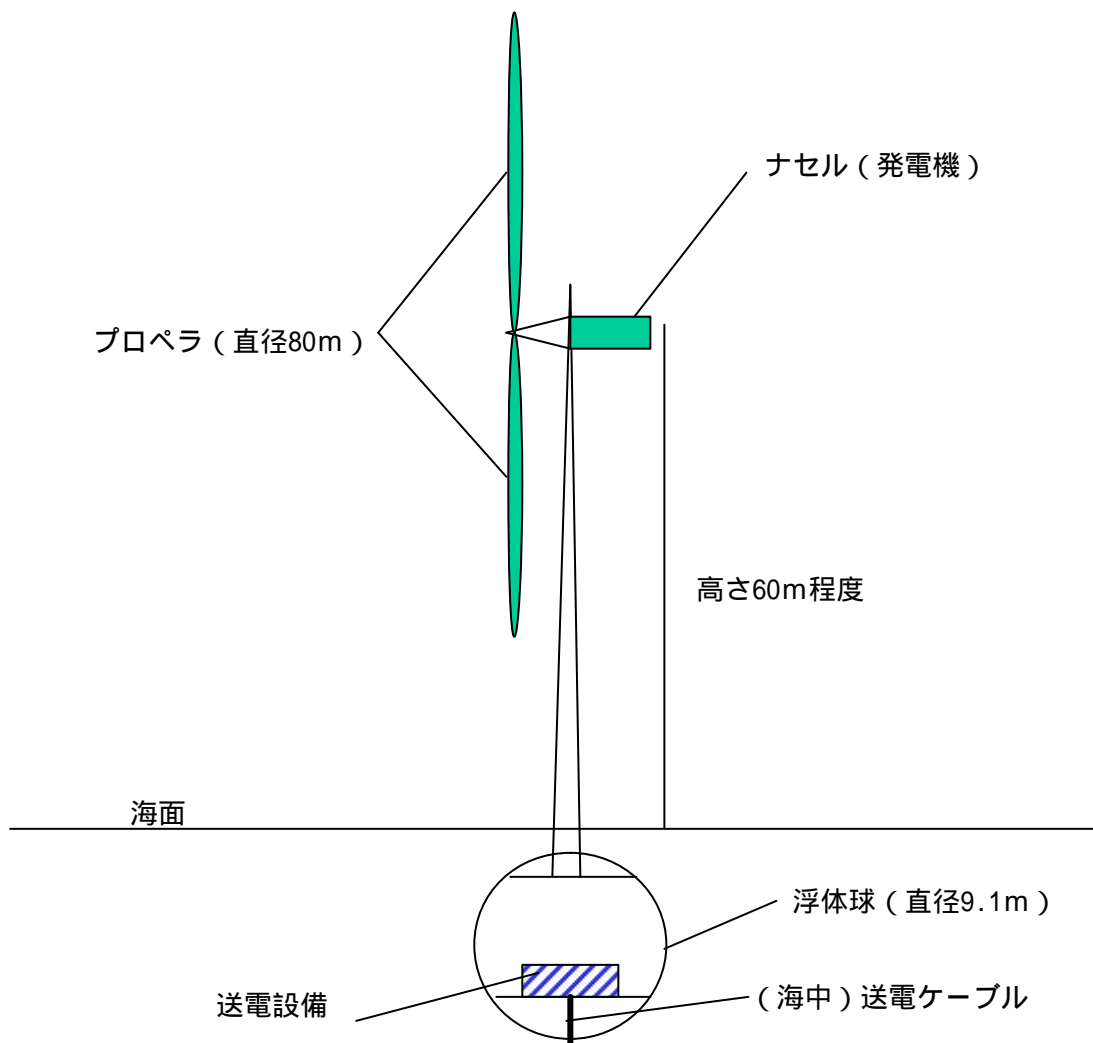


図3 浮体型風力発電装置 (3,000kW)

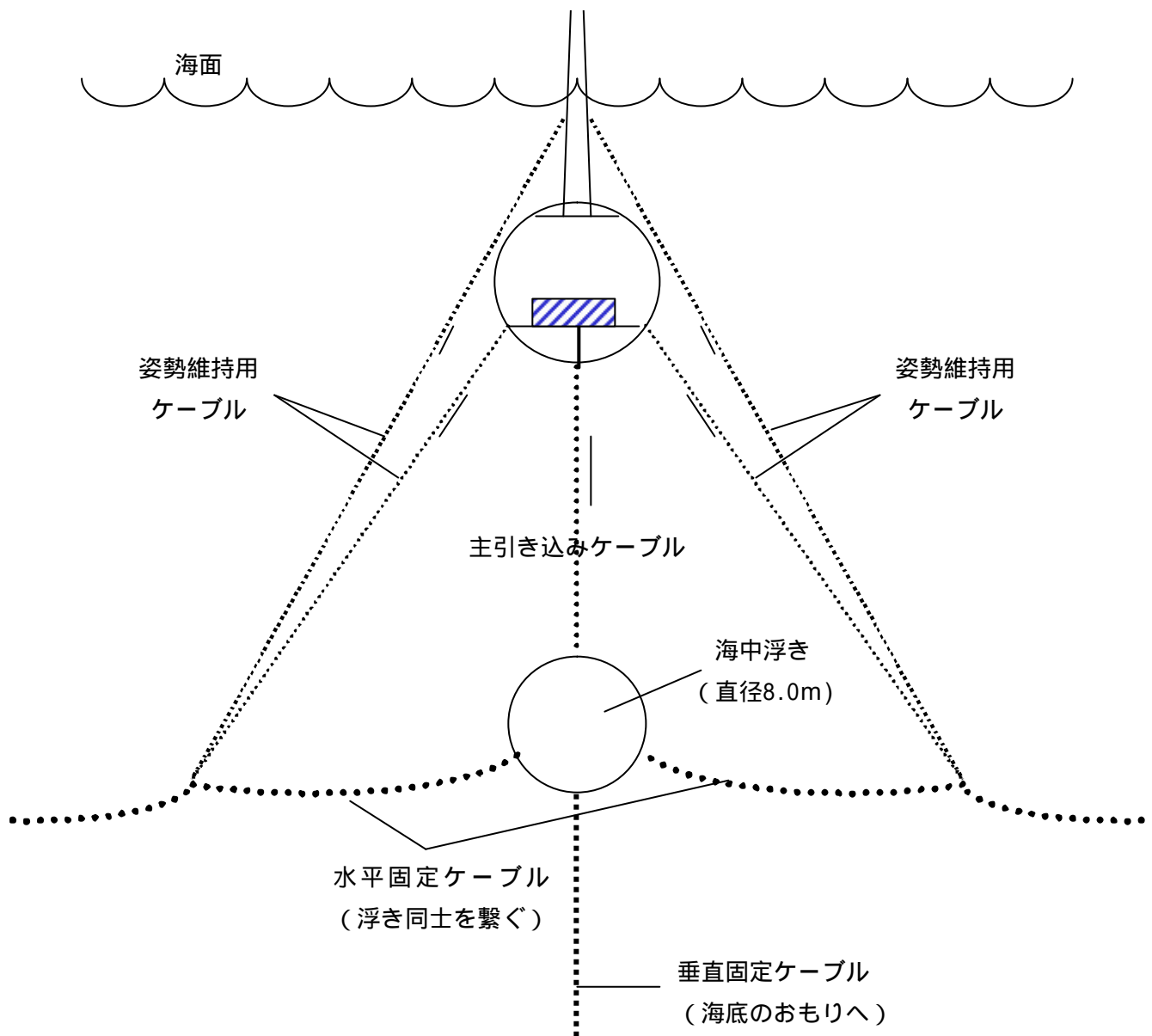
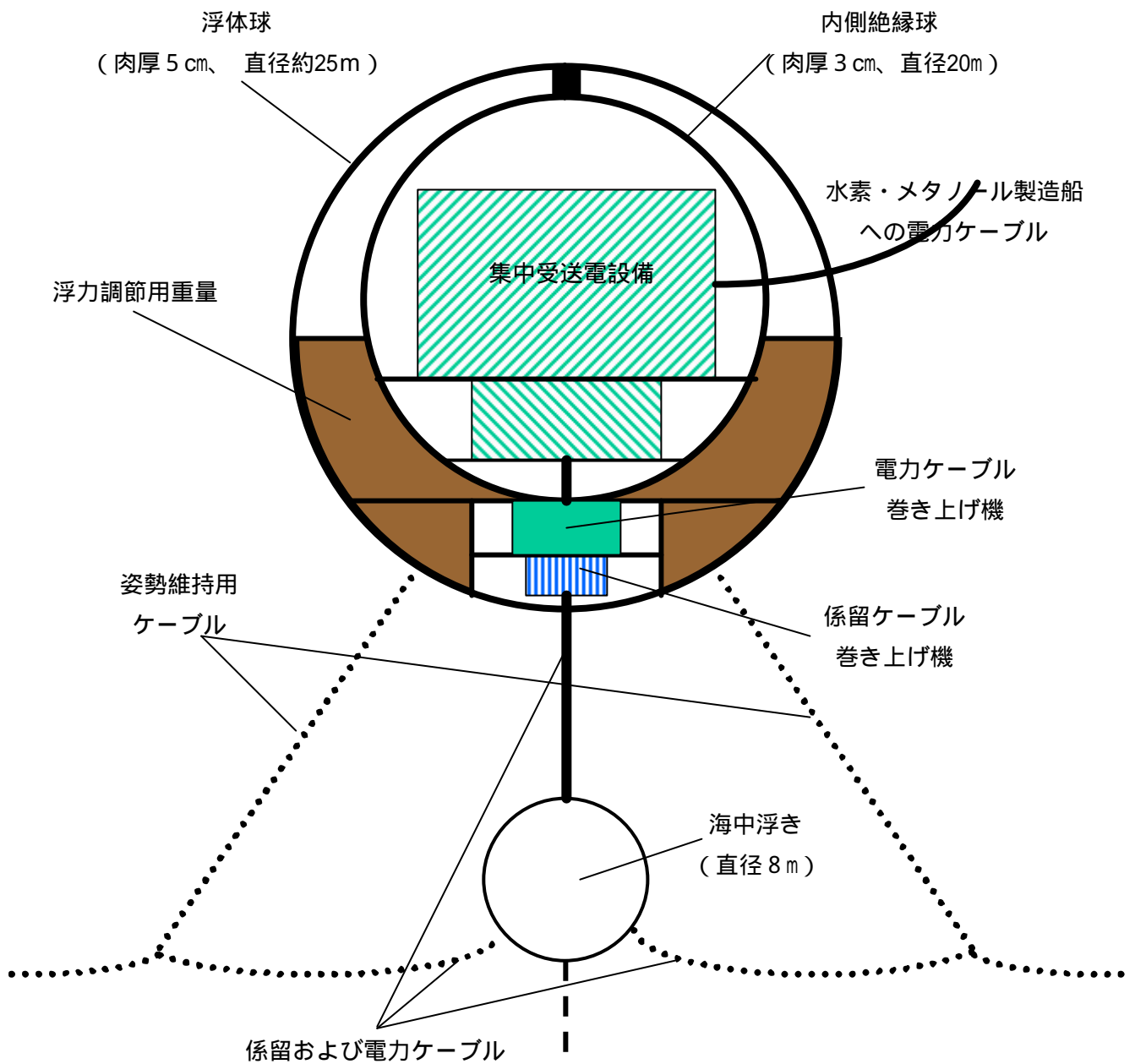


図4 浮体型風力発電装置の設置 (強制引き込み)

(2)海中設置浮体型集中受送電装置の構造

この装置は、波浪の影響をほとんど受けない水面下約 50m程度の海中に設置する浮体球(直径数十m)に、浮体型発電装置からの電力(75万kW相当)を引き込み、付近に停泊する水素・メタノール製造船に供給するものである。それを図5に示す(この図では、浮体球直径約25m程度の例を示す;内部の集中受送電装置の保護・絶縁のため、内側絶縁球を設けている(要検討))。なお、定期保守時には、海面まで上昇することが可能なようにする。(あるいは、浮体球に海面まで達する保守塔を設置し、保守要員の出入りが可能なようにする。いずれにしても、海中設置浮体型集中受送電装置に関する技術開発が必要と考えられる。)



全体浮力50トン程度	
浮体球体積	: 8,181m ³ (浮力8,430トン)
浮体球自重	: 677トン
内側絶縁球自重	: 260トン (推定)
集中受送電設備他重量	: 500トン (推定)
浮力調節用重量	: 6,940トン

図5 海中設置浮体型集中受送電装置

(3)浮体型風力発電装置および海中設置浮体型集中受送電装置の(深海)海洋への配置案

多数の浮体型風力発電装置およびその電力で集中的に集める装置の(深海)海洋上での配置案を図6-1、図6-2、図6-3および図6-4に示す。この配置案では、海中の集中受送電装置の浮体球(直径数十m; 受送電設備を内蔵; 図5参照)の周りの浮体型風力発電装置(3,000kW)624機を1ブロックとして、発電された電力をケーブルにより引き込み集中処理することを想定している。なお、想定する海域31海里(57km)平方への配置については、図6-5に示し、浮体型風力発電装置、浮体型集中受送電装置を海洋面に設置する浮き、固定おもりおよび固定ケーブルの基本要件、仕様、数量について表3にまとめる。(なお、仕様は概算で求めたものであり、より詳細な検討が必要である。)

表3 1ブロックの固定おもり、浮きおよび固定ケーブルの基本要件、仕様、数量など

要素 (数量)		基本要件	仕様
浮き	浮きA(300個) (浮体型風力発電装置固定用) (固定おもり付き)	水平固定ケーブルを海面下50~60mの位置に浮かせるとともに、浮体型風力発電装置(浮力50トン)あるいは浮体型集中受送電装置(浮力50トン)の主引き込み固定の役割を担う	直径8.0m (鉄製中空、肉厚3cm) 自重41.7トン
	浮きB(324個) (浮体型風力発電装置固定用) (固定おもりなし)		直径7.4m (鉄製中空、肉厚3cm) 自重35.6トン
	浮きC(1個) (浮体型集中受送電装置固定用) (固定おもり付き)		直径8.0m (鉄製中空、肉厚3cm) 自重41.7トン
	浮きD(100個) (端部浮力用) (固定おもり付き)	各水平固定ケーブルに取り付けられる浮体型風力発電装置および浮きが潮流(2ノット; 1m/秒)により受ける抵抗力で沈み込むのを防ぎ、水平固定ケーブルを海面下50~60mの位置に浮かせる	直径22.6m (鉄製中空、肉厚3cm) 自重333.3トン
固定おもり	浮きA用固定おもり (300個)	1ブロック(12km平方)内に設置される浮体型風力発電装置(浮力各50トン)あるいは浮体型集中受送電装置(浮力50トン)の全体浮力をうち消し、水平固定ケーブルを海面下50~60mの位置に保つ	直径3.4m (鉄製中実) 自重150トン
	浮きC用固定おもり (1個)		
	浮きD用固定おもりV (100個)	浮きDの大きな浮力をうち消し、水平固定ケーブルを海面下50~60mの位置に保つ	直径10.3m (鉄製中実) 自重4,000トン
	浮きD用固定おもりH (100個)	各水平固定ケーブルに取り付けられる浮体型風力発電装置および浮きが潮流(2ノット; 1m/秒)により受ける抵抗力を打ち消し、ブロックの位置を固定する	
固定ケーブル	垂直固定ケーブル (浮きA固定用) (300本)	浮きA、Cと海底に設置される浮きA、C用固定用固定おもり(自重150トン)を繋ぐ	ステンレスワイロープ (38mm、7,000m)
	垂直固定ケーブル (浮きC固定用) (1本)		
	垂直固定ケーブル (浮きD固定用) (100本)	浮きDと海底に設置される浮きD用固定おもりV(自重4,000トン)を繋ぐ	ステンレスワイロープ (210mm、7,000m)
	水平固定ケーブル (全体固定用) (50本)	浮きDと海底に設置される浮きD用固定おもりH(自重4,000トン)を繋ぐ	ステンレスワイロープ (210mm、328,000m)

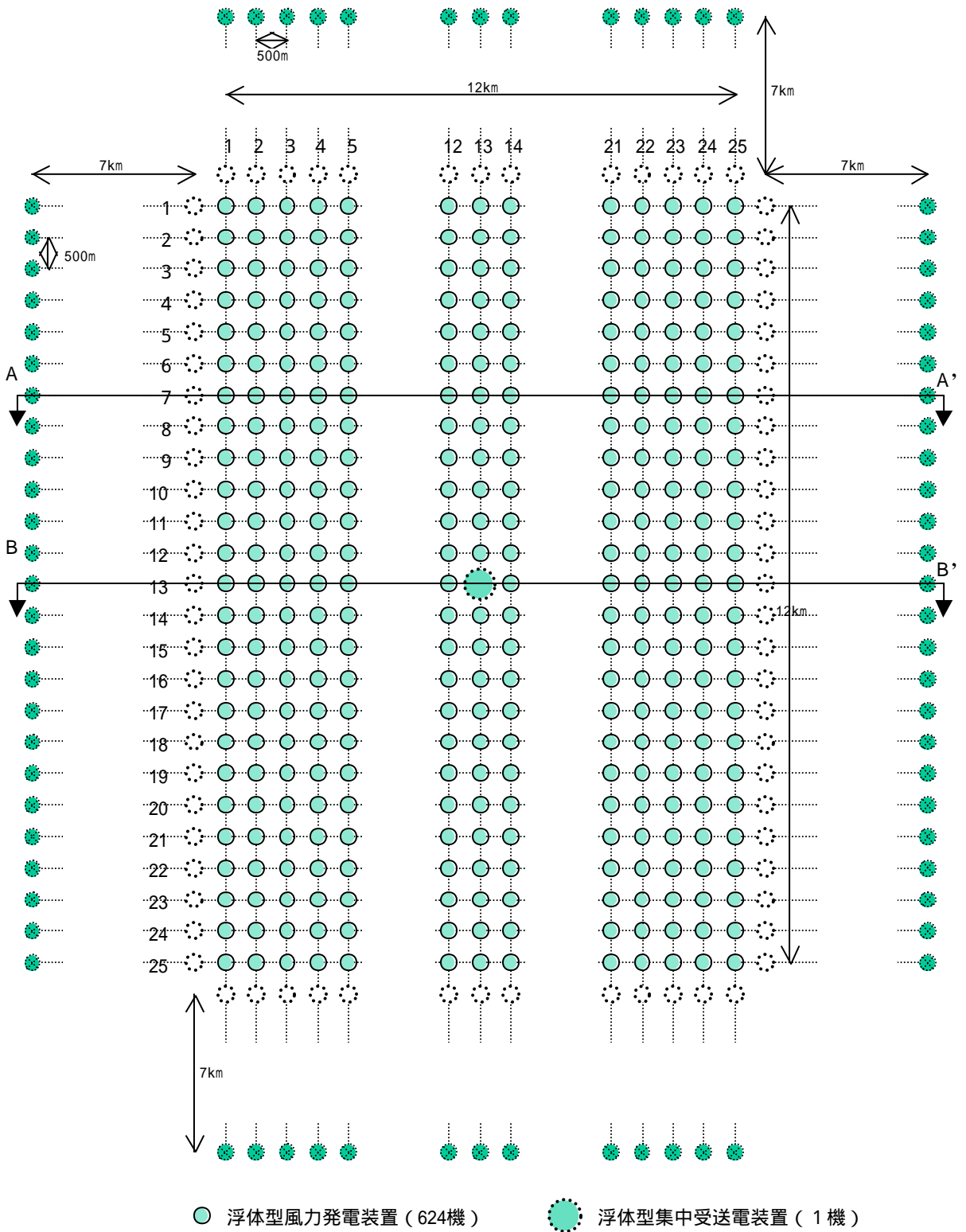
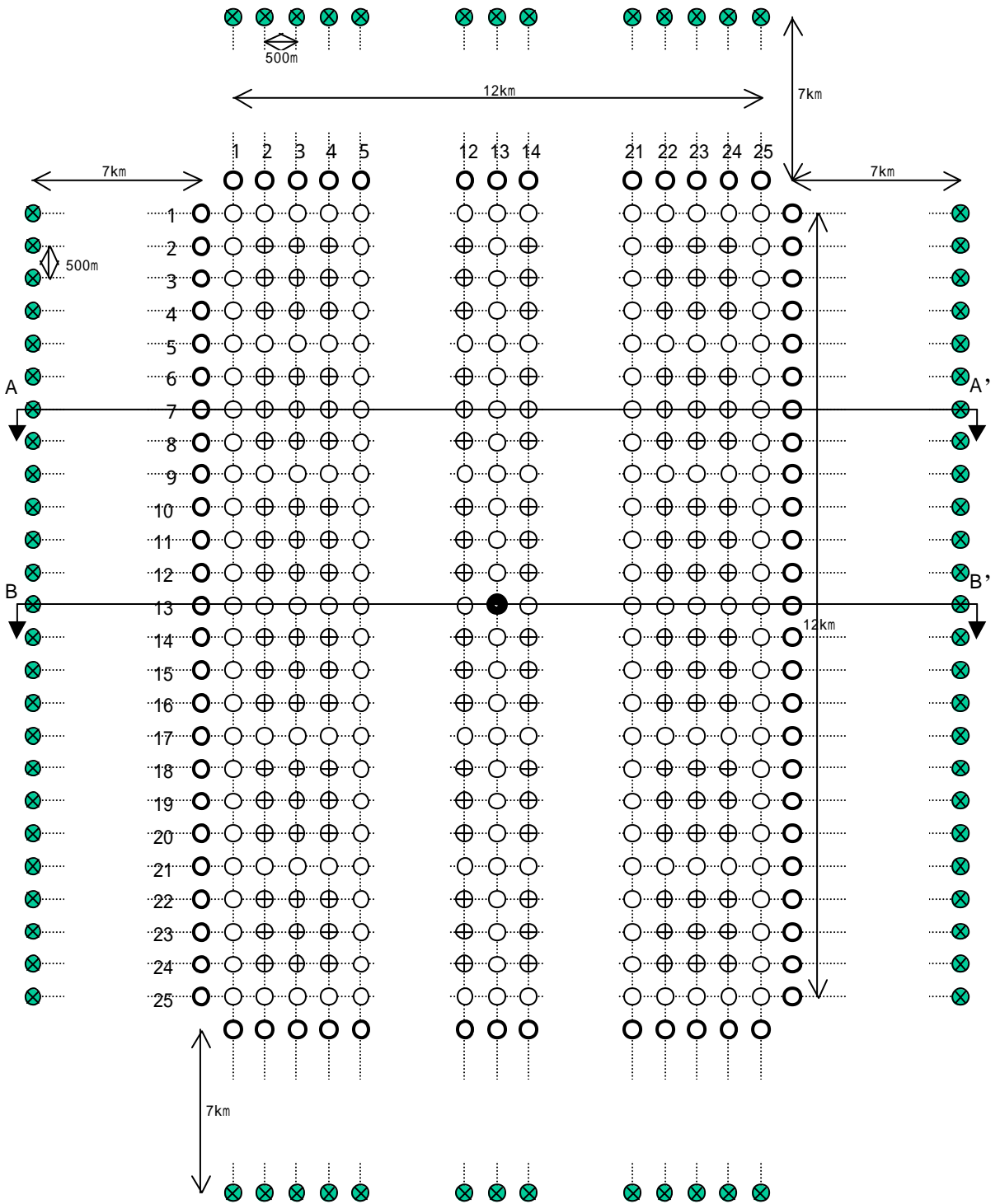


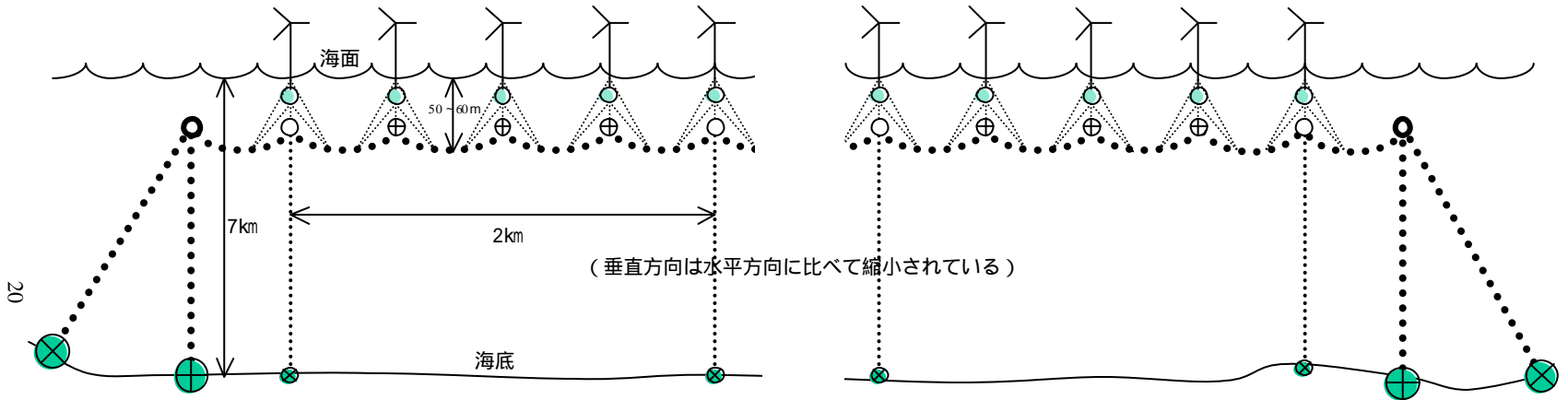
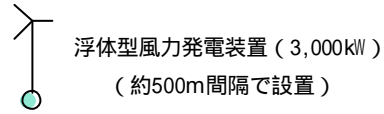
図6-1 浮体型風力発電装置および浮体型集中受送電装置の配置案(1ブロック:12km平方)



- 浮体型風力発電装置取付用浮き（固定おもり付き）（浮き A） ○ 端部浮力用浮き（浮き D）
- ⊕ 浮体型風力発電装置取付用浮き（固定おもりなし）（浮き B） ⊗ 浮き D 用固定おもり H
- 浮体型集中受送電装置用浮き（固定おもり付き）（浮き C）

（海面下50～60m）

図6-2 海中での浮き、固定ケーブルの位置固定方法案（1ブロック12km平方）



⊕ 浮きD用固定おもりV
(浮き上がり防止用)

⊗ 浮きD用固定おもりH
(水平位置固定用)

○ 浮体型風力発電装置用浮き (浮きA; 固定おもり付き)

⊕ 浮体型風力発電装置用浮き (浮きB; 固定おもりなし)

⊗ 固定おもり (浮きA, C用)

● 水平固定用浮き (浮きD)

(AA'断面)

図6-3 風力発電装置の係留方法 (1ブロック (12km平方))

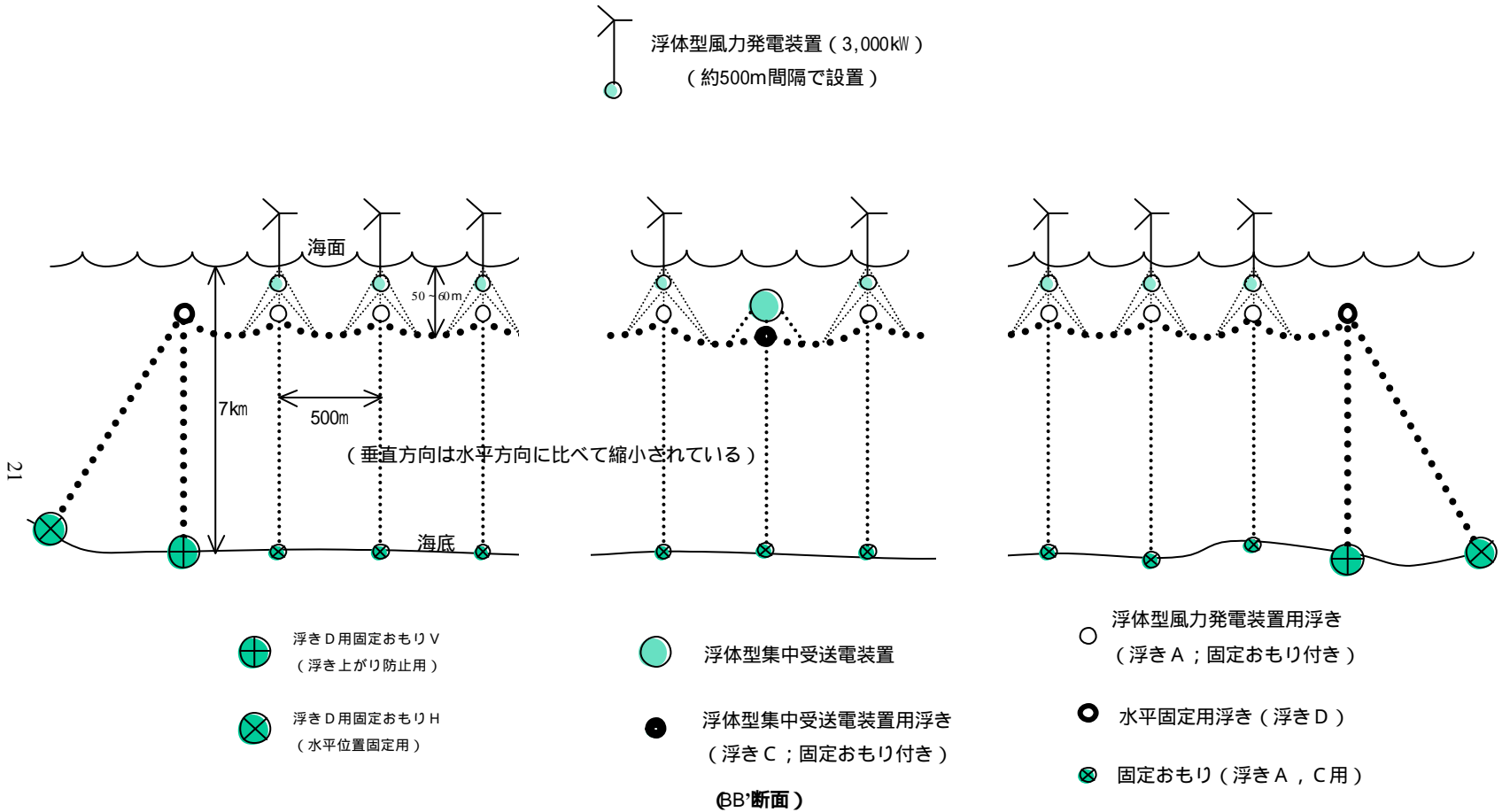


図6-4 風力発電装置および集中受送電装置の係留方法 (1ブロック (12km²))

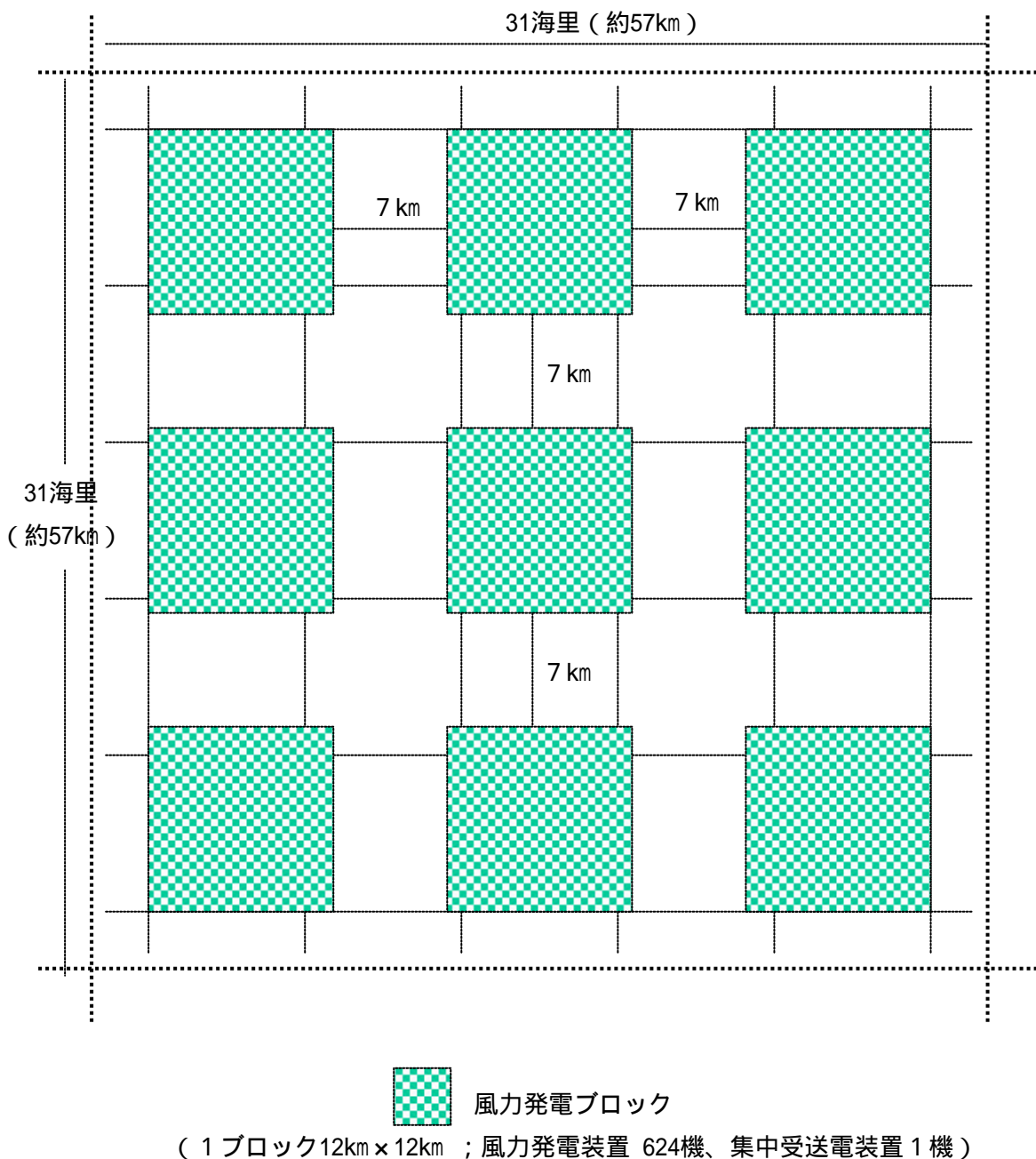


図6 - 5 想定する海域 31 海里 (57km) 平方への配置

図6 - 5のように海中浮き係留法により浮体型風力発電装置および集中受送電装置を配置した場合、想定する海域 31 海里 (57km) 平方に配置される浮体型風力発電装置の総数は、624 機/ブロック × 9 ブロック = 5,616 機となり、総風力発電設備能力は推定約 673.9 万 kW (= 5,616 × 1,200kW) となる。なお、1 機 3,000kW 発電機の実効能力を 1,200kW とした。(集中受送電装置は 9 機必要となる。) また、海洋の単位面積あたりの風力発電能力は 2,074kW/km² である。

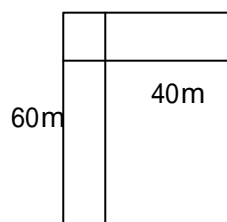
2.水素およびメタノール製造システムについて

上に示すような方法で発電される電力を利用して大型船舶上で製造される水素を、CO₂ と反応させてメタノールを製造するシステムについて大まかに述べる（図7および図8参照）。

メタノールは常温・常圧で液体であり、水素に比べて貯蔵・輸送が容易になる。原料のCO₂については火力発電所などで回収されたCO₂を用いることとする。大型船舶上で水素製造およびメタノール製造の両方を行うのが、各々のプラントを積載した**水素・メタノール製造船**である。（港湾でメタノール合成を行う場合は、液体水素タンカーが必要となり技術的に開発余地が大きい）。このとき、生産されたメタノールを輸送する**メタノールタンカー**および原料となる、CO₂（液化炭酸ガスあるいはドライアイス）を本土港湾より洋上の水素・メタノール製造船まで運ぶ**炭酸ガス輸送船**（**液化炭酸ガスタンカー**あるいは**ドライアイス輸送船**）も必要である。

(1)水素・メタノール製造船

浮体型風力発電装置 624 機分の電力で製造される水素ガスの量は 1.96×10^9 (Nm³/Y)) であり、水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (WE-NET) 研究開発プロジェクト [経済産業省 (通商産業省) からの補助金により新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) が関連機関と実施している] の平成 12 年度成果報告 [9] における固体高分子電解質水電解法による水素製造プラント (能力 10,000Nm³/h (= 7.19×10^7 Nm³/Y ; ただし、年 300 日運転の場合) 設備費推定 21.8 億円) の約 27.3 倍の能力が要求される。この設備 (同上報告では 10,000Nm³/h のプラントは、30m × 25m のスペースが必要としている) が、幅 60m、奥行き 40m、高さ 25m のスペース (目標値) に収まるものと想定する。（設備費については 0.6 乗則より約 160 億円と想定される）。



次に、水素とCO₂によりメタノールを合成する方法で最も大量生産に適していると考えられているものは、ニューサンシャイン計画の下で平成2年度～平成11年度に実施された「接触水素化反応利用二酸化炭素固定化・有効利用技術研究開発（化学的CO₂固定化プロジェクト）；新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）および（財）地球環境産業技術研究機構（RITE）」で研究開発された技術である。この方法では、水素ガスとCO₂（炭酸ガス）を気相状態でCu/ZnO系触媒の作用により（250℃、5MPa（50気圧）の条件で）反応させ、メタノールを合成するものである。ニューサンシャイン計画の下では、この生成法に関するベンチスケール装置での試験を実施し、その成果を基に実用規模（メタノール製造量7,700トン/d（=3,850トン/d（1系列）×2系列；年産230万トン（300日操業として））でのプラント設計も行っている[10]。一方、天然ガスからメタノールを合成するプラント（メタノール製造量4,000トン/d）については設備費が約400億円とされており（[11]）、上記の接触水素化反応利用二酸化炭素固定化プラント（7,700トン/d）の設備費を、仮に、天然ガス・メタノールプラントより0.6乗則で見積もると約600億円となる。

浮体型風力発電装置 624 機分の電力を集める集中受送電装置 1 機（実効給電能力約 75 万 kW）からの電力を用いて製造されるメタノール量は年間 95 万トン（120 万 kl）であり（28 頁、表 5 参照） 上記ブ

ラントの約 41%の能力が要求される。このプラントを V L C C 級の大型船（一般的なものは、長さ 330 m、幅 60m、積載重量約 30 万トンであるが、最大のもの（U L C C）は長さ 440m、積載重量約 55 万トン）に積載できるよう機器類の配置を行うものとする（長さ約 120m程度、幅 50～60m程度を目標；検討を要する）。

60m程度	120m 目標値

このプラントを積載したメタノール製造船の例を図 7 に示す。また、海洋上に停泊して、海中の浮体型集中受送電装置から電力の供給を、また、炭酸ガスタンカーから液化炭酸ガスの供給を受け、メタノールを製造している状態を図 8 に示す。（図 8 では、製造したメタノールをメタノールタンカーに移し替えを行っている状態も示している。）

このような水素・メタノール製造船については、大型船舶技術と化学プラント技術の統合が必要であり、実証船を建造・運用するような開発が必要と思われる。

(2)メタノールタンカー

メタノールは常温・常圧で液体であるので、メタノールタンカーについては、通常の V L C C（一般的なものは、長さ 330m、幅 60m、約 30 万 m³積載）でほぼ代用できるものと考えられる。（ただし、メタノールの取り扱いを考慮する変更は必要であると考えられる。）

(3)二酸化炭素輸送船；液化炭酸ガスタンカーあるいはドライアイス輸送船

CO₂を効率的に輸送する場合、液化炭酸ガスあるいはドライアイスとして輸送する方法が考えられる。炭酸ガスの三重点は（- 56.6、5.11 気圧）であり、低温（- 90 前後では）では 1 気圧で固体のドライアイスとなり輸送の上からは扱い易いものとなる。また、三重点近辺の温度帯では 6～7 気圧で液体（液化炭酸ガス）となる。

液化炭酸ガスタンカーについては、L N G タンカーに似た構造のものになるものと考えられる。現在の代表的な大型 L N G タンカーは、長さ約 300m、幅約 45m、深さ約 25m で積載容量が 135,000m³となっており[12]、これをベースにすることが可能と考えられる。なお、建造費は約 300 億円である。（ドライアイス輸送船は大型冷凍機を積載したものと考えられ、既存の技術で対応可能であると考えられる。）

長さ約410m、幅約70m

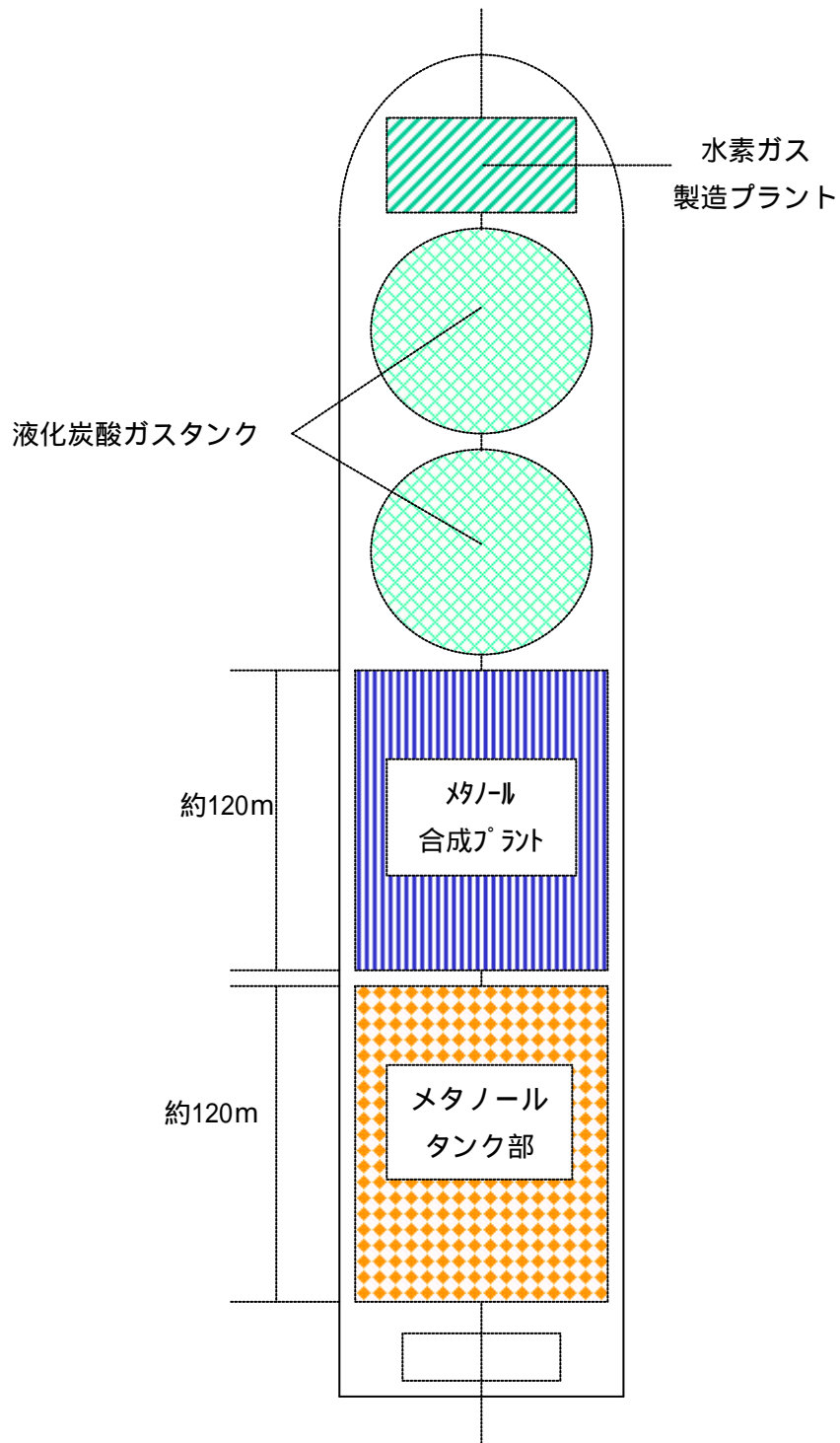


図7 水素・メタノール製造船(1例)

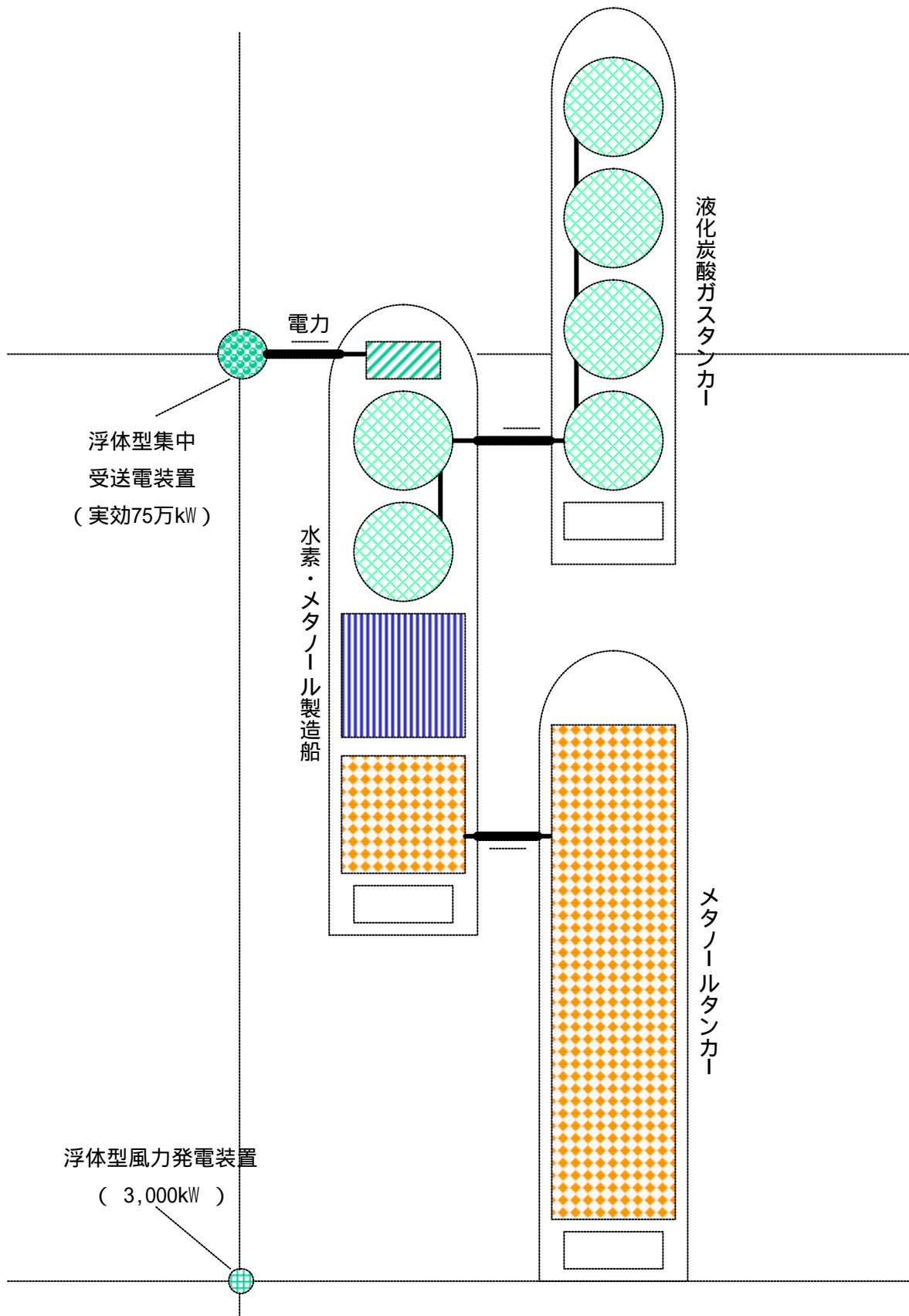


図8 水素・メタノール製造時の作業船泊の配置(1例)

3.提案するシステムの水素製造量およびメタノール製造量

ここでは、提案するシステムによる水素製造量およびメタノール製造量を検討する。

(1)3,000kW 単機の水素製造能力

単機出力3,000kWの風力発電装置が0.4の発電効率で1年間に水の電気分解により製造する水素の量は次のように見積られる。

(発電)電気分解エネルギー(E) (効率0.36; 発電設備効率0.4、電気分解効率0.9)
(なお、電気分解効率については、固体高分子電解質水電解法のものとした[13])

$$E = 3,000 \times 1,000 \times 0.36 \times 3,600 \times 24 \times 365 = 3.40 \times 10^{13} \text{ (J)}$$

水素換算量(重量; W_h)

水素のエネルギー(S_h)

$$S_h = 28,570 \text{ (kcal/kg)} = 28,570 \times 1,000 \times 4.2 \text{ (J/kg)} = 1.2 \times 10^8 \text{ (J/kg)}$$

$$W_h = E / S_h = 3.40 \times 10^{13} / 1.2 \times 10^8 \text{ (kg)} = 2.83 \times 10^5 \text{ (kg)} = 283 \text{ tons}$$

水素体積(V_h)

$$V_h = (W_h / 2.016) \times 22.4 \text{ (l)} = (2.83 \times 10^8 / 2.016) \times 22.4 \times 10^{-3} \text{ (Nm}^3\text{)} \\ = 3.14 \times 10^6 \text{ (Nm}^3\text{)}$$

(参考)(有効液化水素体積(L_h^{eff}))

液化水素については、液化過程で製造された水素の20%に相当するエネルギーが使用されるため、有効液化水素体積 L_h^{eff} は次のようになる。

$$L_h^{eff} = W_h \times 0.8 / (71 \text{ kg/m}^3) = (2.83 \times 10^5) \times 0.8 \text{ (kg)} / (71 \text{ kg/m}^3) = 3.19 \times 10^3 \text{ (m}^3\text{)}$$

(2)提案するシステム1製造単位(9ブロック(31海里(57km)平方))での水素、メタノール製造量

上に示したように、単機出力3,000kW(発電効率0.4; 実効発電能力1,200kW)の風力発電装置1機の電力で1年間に水の電気分解により製造する水素の量は283トン(3.14×10^6 (Nm³))である。したがって、1ブロックおよび9ブロック(31海里(57km)平方)(以後、提案するシステム「9ブロック(31海里(57km)平方)」を1製造単位ともいう)での水素生産量は以下ようになる。

表4 提案するシステム9ブロック(31海里(57km)平方)での水素生産量(年間)

		[浮体型風力発電装置(海中浮き係留法)・海中設置浮体型 集中受送電装置・水素・メタノール製造船(集中処理)]	
		1ブロック (3,000kW 発電機; 624)	9ブロック(31海里(57km)平方) (3,000kW 発電機; 5,616)
水素ガス	重量 (万トン)	17.7	158.9
	体積 (Nm ³)	1.96×10^9	1.76×10^{10}

また、上記の水素と火力発電所で回収されたCO₂を用いて、メタノールを合成する場合の量的な関係は表5のようにまとめられる。提案するシステム1製造単位あたり必要とされるCO₂は1,165万トン(100

万 kW 石炭火力発電所 2 基分の排出量) 生産されるメタノール量は 847 万トン (液体容量では、1,064 万 kl = 847 万トン × 1.256kl/トン) となる。

表 5 提案するシステム 9 ブロックでの原料水素量、二酸化炭素量および生成されるメタノール量

メタノール合成反応式 : $3\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$			
	水素 (H_2)	二酸化炭素 (CO_2)	メタノール (CH_3OH)
反応モル比	3	1	1
分子量	2	44	32
反応重量比	(6) 3	(44) 22	(32) 16
原料必要量および合成量 (1 ブロックあたり) (万トン)	17.7	129.8	94.4 (18.6 万 kl)
原料必要量および合成量 (9 ブロックあたり) (万トン)	158.9	1,165	847 (1,064 万 kl)

(3) 候補海域全体でのメタノール製造量 (年間)

上の製造量は、想定する海洋面積を 31 海里 (約 57km) 平方とした場合であるが、約 57km 平方を 1 単位とした場合、沖の鳥島経済水域全面利用では最大 112 単位 (7 億 5,480 万 kW 相当) 20% 利用では 22.4 単位 (1 億 5,096 万 kW 相当) 三陸沖太平洋では 5.8 単位 (3,909 万 kW 相当) 北海道北西沖日本海では 2.7 単位 (1,819 万 kW 相当) の相当発電能力を有する (表 6 参照)。また、生産可能なメタノール量は全体で 13 億 kl に近いものとなる。

表 6 日本経済水域内で風力資源に恵まれる海域での相当発電量およびメタノール生産可能量

対象海域	水素・メタノール 製造単位数 (約 57km 平方を 1 単位)	相当発電量	メタノール 生産可能量
沖の鳥島経済水域全面 [沖の鳥島を中心として半径 200 海里 (370km) (面積 430,000 km ²); 水深 6000 ~ 7000m]	112 単位	7 億 5,480 万 kW	11 億 9,168 万 kl
三陸沖太平洋 [東経 145 度 - 146 度、北緯 39 度 - 41 度 (面積約 18,870km ²); 水深 6000 ~ 7000m]	5.8 単位	3,909 万 kW	6,171 万 kl
北海道北西沖日本海 [東経 140 度 - 141 度、北緯 44 度 - 45 度 (面積約 8,800km ²); 水深 100 ~ 200m]	2.7 単位	1,819 万 kW	2,873 万 kl
合 計	120.5 単位	8 億 1,208 万 kW	12 億 8,212 万 kl

日本の排他的経済水域内では、そのほか南鳥島周辺なども候補海域と考えられる。これらの海域全体では、日本のエネルギー需要をすべて満たせる量のメタノールの製造が可能となる。

なお、参考として、提案する海洋風力利用（水素・）メタノール製造システムと、添付資料1で検討した参考システムについて、その発電能力の比較を表7に示す。

表7 安定した風が期待できる海域 50km (57km)平方での深海洋上風力利用システムの発電能力について

方式	海洋配置の仕方	風力発電機数 (3,000kW 型の数)	総実効 発電能力 (万 kW)
浮体型風力発電装置 ・ 海中設置浮体型 集中受送電装置 ・ 水素・メタノール製造船	海底に設置した固定おもりに海中（海面下 50～60m）設置の浮きを結び、かつ、浮き同士をメッシュ状にケーブルにより結ぶ（このとき、固定おもり付き浮きの間隔は約 2 km）。さらに、隣あう浮き間にも浮き（固定おもりなし）を設置しそれらを固定ケーブルで結び、500 mメッシュ間隔で浮きを配置する。この浮きおよびケーブルに浮体型風力発電装置を繋ぐ。（海中浮き係留法）さらに、12km 四方内の 624 機の発電装置毎に海中設置浮体型集中受送電装置 1 機（全体では 9 機）を置く。 この受送電装置に近接して停泊する水素・メタノール製造船上で水素製造および回収炭酸ガスとのメタノール合成を行う。	5,616 (624/ブロック × 9/ブロック)	673.9
参考システム A (風力水素製造船)	16 隻構成の船団(3 km 平方)を 10km メッシュで合計 34 船団を配置する。(総隻数 544)	1,632 (3/隻 × 544 隻)	195.8
参考システム B (浮体型風力 水素製造装置)	(B - a) 20 個の風力水素製造装置を 1 列に 300m 間隔で大型船舶により係留する(1 列の長さ約 10km)。末端部は海底の固定おもりに結ぶ(船舶係留法)。50km 平方では、80 列の係留が可能	1,600 (20/列 × 80 列)	192.0
	(B- b) 12km 平方の範囲を 1 ブロックとし、提案するシステムと同様な方法で、海中設置浮きに浮体型風力水素製造装置を繋ぐ。(海中浮き係留法) (自身の浮体球内に水素を貯蔵)	5,625 (625/ブロック × 9/ブロック)	675.0

(風力発電装置(単機出力 3,000kW)の発電効率を 0.4 とし、実効発電能力は 1,200kW と想定する。)

次章 . では、想定した海洋面積 31 海里(約 57km)平方における(海中浮き係留法による)風力発電を利用した水素・メタノール製造船における水素製造と回収 CO₂ との合成による(最終生産物として)メタノール生産を行う場合の事業経済性評価を簡単に行う。

. 参考文献

- [7] EUROPEAN COMMISSION, “A PLAN FOR ACTION IN EUROPE (WIND ENERGY THE FACTS)”, 1999.
- [8] 神門正男「風力発電」、火力原子力発電 Vol.52、2001.10.
- [9] 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）、水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）研究開発プロジェクト平成 12 年度成果報告（<http://www.enea.or.jp/WE-NET/report/2000/japanese/08.html>）.
- [10] 産業技術審議会評価部会 二酸化炭素等技術評価委員会、ニューサンシャイン計画「接触水素化反応利用二酸化炭素固定化 有効利用技術研究開発」最終評価報告書、平成 12 年 5 月.
- [11] 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）、バイオマス資源を原料とするエネルギー変換技術に関する調査（ ）（NEDO-GET-9949 ; (財)地球環境産業技術研究機構受託）平成 12 年 3 月.
- [12] 三菱重工業長崎造船所ホームページ（<http://www.mhi.co.jp/nsmw/menu/indexs.htm>）製品（新造船）紹介（LNG 船“アル ジャスラ”）より.
- [13] 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）、水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）研究開発プロジェクト平成 12 年度成果報告（<http://www.enea.or.jp/WE-NET/report/2000/japanese/08.html>）.

提案する深海洋上風力発電を利用するメタノール製造事業の経済性評価

において述べた深海洋上風力発電利用メタノール製造システムを用いる事業の経済性評価をごく大まかに行う。事業評価は、1製造単位（海洋面積 31 海里（約 57km）平方）を対象として行う。

対象とする海域で当該システムにより生産されるメタノール量および水素量は以下のとおりであった。

表 8 評価対象のメタノールおよび水素生産量 (年間)

	メタノール生産量	水素生産量
重量 (万トン)	847	158.9
体積 (kl または Nm ³)	1,064	1.76 × 10 ¹⁰

1. 提案するシステムの製作 設置費 (海洋面積 31 海里 (約 57km) 平方あたり)

(1) 浮体型風力発電装置および海中設置浮体型集中受送電装置の製作費

風力発電機 (単機) 製作費

単機出力 3,000kW の風力発電機の値段は、1機あたり 3.0 億円となる。これは、風力発電システムの建設コスト（25 万円/kW 程度）のうち風力発電機自体の価格は 40%程度とされている[14]ことより、3,000kW の場合、3,000kW × 25 万円/kW × 0.4 (= 3.0 億円) として導かれる。 [将来的には、多数の 3,000kW 風力発電機を製造することとなり、1機で 2.0 億円 (= 3.0 億円 × 0.67) になることを想定]

浮体球 (単機) 製作費

風力発電装置を海中に浮かす浮体球（直径約 9.1m 程度）は、肉厚 3 cm 程度の鉄製の単純な中空球体である。その製作費は内部に収容する電力ケーブル関連機器・装置類および風力発電機の取り付け工事費を含めて 2 億円と想定する。 [将来的には、非常に多数のユニットを製造することとなり、1.3 億円 (= 2 億円 × 0.67) になることを想定する。]

浮体型風力発電装置 (単機) 製作費

浮体型風力発電装置（3,000kW 級）1機あたりの製作費は、次表のようになる。

表 9 浮体型風力発電装置 (3,000kW) 1機あたりの製作費

	少数製作の場合 (億円)	多数製作の場合 (億円)
風力発電機	3.0	2.0
浮体球 (上記の機器の浮体球への据え付け工事含む)	2.0	1.3
全 体	5.0	3.3

海中設置浮体型集中受送電装置 (単機) 製作費

海中設置浮体型集中受送電装置（実効能力 75 万 kW 相当）については、直径 25m の浮体球（必要に応じて二重殻構造）内に大型の受送電装置を設置したものである。これについては、75 万 kW の大型発電所の送電設備に相当するものとなり、浮体球も含めて 1 機 400 億円と想定する。（海中設置浮体型集中受送電装置については、技術開発が必要であり、将来的にはコストダウンが可能と思われる。）

1 ブロック単位（実効発電能力約 75 万 kW）および想定する海域（57km 平方；9 ブロック）（実効発電能力 673.9 万 kW）に、海中浮き係留により配置する浮体型風力発電装置、浮体型海中設置集中受送電装置の製作費については、以下のようにまとめられる。

表 10 1 ブロックおよび 57km 平方海域に係留する風力発電装置関係製作費

	製作費（1 ブロック） （億円）	製作費（全体） （億円）
浮体型風力発電装置	(624 機) 2,059	(5,616 機) 18,533
浮体型海中設置 集中受送電装置	(1 機) 400	(9 機) 3,600
合 計	2,459	22,133

上表では、いずれも多数製作の場合の想定価格を基にしている。

(2) 海中浮き、固定おもりおよび固定ケーブル製作 設置費

まず、1 ブロック（12km 平方）での海中浮き、固定用おもりおよび固定ケーブルの製作費用を概算し、次に想定する海域（57km 平方）全体での総費用を概算する。

製作費（1 ブロックあたり）

1 ブロック（12km 平方）での海中浮き、固定用おもりおよび固定ケーブルの仕様、数量および製作費は、表 11 のように大まかに見積られる。

表 11 1 ブロックの浮き、固定おもりおよび固定ケーブル製作費概算

要素		仕様・数量	製作費 （億円）
浮き	浮き A （浮体型風力発電装置固定用）	直径 8.0m （鉄製中空、肉厚 3 cm） 自重 41.7 トン 300 個	125.0 （0.2 億円/個 × 625 個）
	浮き B （浮体型風力発電装置固定用）	直径 7.4m （鉄製中空、肉厚 3 cm） 自重 35.6 トン 324 個	
	浮き C （浮体型集中受送電装置固定用）	直径 8.0m （鉄製中空、肉厚 3 cm） 自重 41.7 トン 1 個	
	浮き D （端部浮力用）	直径 22.6m （鉄製中空、肉厚 3 cm） 自重 333.3 トン 100 個	40.0 （0.4 億円/個 × 100 個）

（表 11 次頁に続く）

表 11 1ブロックの浮き、固定おもりおよび固定ケーブル製作費概算

要素		仕様・数量	製作費 (億円)
固定おもり	浮き A用固定おもり	直径 3.4m (鉄製中実) 自重 150 トン 300 個	30.1
	浮き C用固定おもり	直径 3.4m (鉄製中実) 自重 150 トン 1 個	(0.1 億円/個 × 301 個)
	浮き D用固定おもり V	直径 10.3 m (鉄製中実) 自重 4,000 トン 100 個	300.0
	浮き D用固定おもり H	直径 10.3 m (鉄製中実) 自重 4,000 トン 100 個	(1.5 億円/個 × 200 個)
固定ケーブル	垂直固定ケーブル (浮き A 固定用)	ステンレスワイヤロープ (38mm、7,000m) 300 本	38mm および 210mm 海中用 ステンレスワイヤロープ専用 の製造プラントを作り、コスト ダウンを図る
	垂直固定ケーブル (浮き C 固定用)	ステンレスワイヤロープ (38mm、7,000m) 1 本	
	垂直固定ケーブル (浮き D 固定用)	ステンレスワイヤロープ (210mm、7,000m) 100 本	
	水平固定ケーブル (全体固定用)	ステンレスワイヤロープ (210mm、328,000m) 50 本	
合計 (1 ブロックあたり)			1,495.1

海洋面への設置費

必要とされる浮き、固定おもりおよび固定ケーブルの海洋面への設置については、設置専用船を建造して行うものと想定する。V L C C 級の設置専用船 3 隻 (浮体型風力発電装置設置用 1 隻、浮き、固定おもり、固定ケーブル設置用 2 隻) (建造費各 200 億円、作業乗組員各 60 人) (表 12 参照) により、1 ブロック約半年程度で設置するものとする。

表 12 浮体型風力発電装置、浮き、固定おもりおよび固定ケーブル設置専用船建造費 作業費概算

設置専用船 (V L C C 級 3 隻)	建造費 (億円)	乗組員数 (人)	作業人件費 (億円/年)	燃料費 (億円/年)
浮き、固定おもり、固定ケーブル 設置用 (2 隻)	400	120	12	20
浮体型風力発電装置設置用 (1 隻)	200	60	6	10
合 計	600	180	18	30

従って、31 海里 (57km) 平方の設置費総額は、816 億円 (= 600 + (作業人件費 (年間) + 燃料費 (年間)) × ((1/2 年) / ブロック × 9 ブロック)) となる。設置専用船は 31 海里 (57km) 平方を設置単

位とすると、より多数の設置単位にも使用することができ、この算定は多めの費用概算となっている。なお、1ブロックあたりの設置費は、91億円(=(建造費(600億円)÷9ブロック)+(作業人件費(18億円/年)+燃料費(30億円/年))×(1/2年))となる。

31 海里 (57km) 平方の浮き、固定おもりおよび固定ケーブル製作および設置の総費用概算

以上、およびより、31海里(57km)平方の浮き、固定おもりおよび固定ケーブル製作および設置の総費用の概算は、表13のとおりとなる。なお、この設置費用には、浮体型風力発電装置および浮体型(海中設置)集中受送電装置の設置費用も含まれる。

表13 浮き、固定おもりおよび固定ケーブル設置専用船建造費 作業費概算

	1ブロックあたり	31海里(57km)平方あたり
浮き、固定おもり、固定ケーブル製作費 (億円)	1,495	13,456
浮き、固定おもり、固定ケーブル設置費 (浮体型風力発電装置、浮体型集中受送電装置設置費用含む) (億円)	91	816
合計 (億円)	1,586	14,272

(3)水素・メタノール製造船、メタノールタンカーおよび炭酸ガスタンカー建造費

水素・メタノール製造船

想定する海域(57km平方)に配置される9機の集中受送電装置に近傍に停泊し、海洋上でメタノールを製造する水素・メタノール製造船は、大型の電解水素製造プラント(17.7万トン/年)およびメタノール製造プラント(メタノール製造能力;95万トン(120万kl)/年)を積載した超大型船であり、原油タンカーのULCCに相当するものである(図7参照)。57km平方の海域全体では9隻の(停泊型)水素・メタノール製造船が必要となる。

(電解水素製造プラント;17.7万トン(1.96×10⁹Nm³/年))

WE-NET平成12年度報告の固体高分子電解質水電解法による10,000Nm³/hプラントをベースにすると160億円と推定される(23頁参照)。なお、設備は、幅60m、奥行き40m、高さ25mのスペース(目標値)に収まるものと想定する。

(メタノール製造プラント;95万トン(120万kl)/年)

ニューサンシャイン計画の下で研究開発がなされた「接触水素化反応利用メタノール生成法(水素ガスと二酸化炭素(炭酸ガス)を気相状態でCu/ZnO系触媒の作用により(250°C、5MPa(50気圧)の条件で)反応させる)」による実用規模プラント[(設計値)メタノール製造量7,700トン/d(=3,850トン/d(1系列)×2系列;年産230万トン(300日操業として))]は、類似の天然ガス・メタノールプラントを参照して建設費約600億円と見積られる(23頁参照)。これをベースにすると、年産95万トンのプラント設備費は、0.6乗則より353億円と想定される。

船体)

水素・メタノール製造船の船体は、U L C C級のもの（長さ約 440m、幅約 70m、深さ約 30m）に相当するものであり、炭酸ガス貯蔵タンクも含めた船舶の価格は約 300 億円と想定する。（なお、水素メタノール製造船については、将来的には、メタノールエンジン駆動の船舶が望ましい。（要開発））

これらより、水素・メタノール製造船 1 隻の価格は 813 億円と見積られる。水素・メタノール製造船全体の建造価格は 7,317 億円（= 813 億円/隻 × 9 隻）となる。

炭酸ガス輸送船

炭酸ガス輸送船としては、L N Gタンカーに似た構造の液化炭酸ガスタンカーをベースにすることが可能と考えられる。現在の大型 L N Gタンカーは、長さ約 300m、幅約 45m、深さ約 25mで積載容量が 135,000m³（炭酸ガス重量 14 万トン）となっており、建造費は約 300 億円である[15]。年間に輸送する炭酸ガス重量は約 1,165 万トンであり、84 隻・回に相当する。1 隻の年間輸送回数を 12 回とする（対象海域は日本の排他的経済水域内であり航海距離が短い）と 7 隻の液化炭酸ガスタンカーが必要となる。炭酸ガスタンカー建造費の総額は 2,100 億円（= 300 億円/隻 × 7 隻）となる。原料とする炭酸ガスについては、火力発電所からの回収炭酸ガスをトン当たり 4 千円で購入する（これは炭酸ガス購入により、3 円/kwh の CO₂ 回収補助を行っていることに相当する）。（なお、炭酸ガス輸送船については、将来的には、メタノールエンジン駆動の船舶が望ましい。（要開発））

メタノールタンカー

水素・メタノール製造船で生産されるメタノールを運ぶメタノールタンカーについては、現在原油の輸送に使われている V L C C（一般的なもの；長さ約 330m、幅約 60m、深さ約 30m、30 万 kl 積載；建造費は 1 隻 90 億円（= \$70M × 130 円/\$）[16]）をベースにしたものでよいと考えられ、建造費は V L C C と同じく 1 隻 90 億円と想定する。なお、1 年間に輸送するメタノール量は約 1,064 万 kl であり、V L C C で 36 隻・回の輸送量となる。1 隻の年間輸送回数を 12 回とする（対象海域は日本の排他的経済水域内であり航海距離が短い）と 3 隻のメタノールタンカーがあれば十分である。メタノールタンカー建造費の総額は 270 億円（= 90 億円/隻 × 3 隻）となる。（なお、メタノールタンカーについては、将来的には、メタノールエンジン駆動の船舶が望ましい。

水素・メタノール製造船、メタノールタンカーおよび炭酸ガスタンカー建造費についてまとめると、表 14 のとおりとなる。

表 14 水素・メタノール製造船、メタノールタンカーおよび炭酸ガスタンカー建造費

	隻数	1 隻当たりの建造費 (億円)	建造費 (億円)
水素・メタノール製造船	9	813	7,317
炭酸ガス輸送船 (液化炭酸ガスタンカー)	7	300	2,100
メタノールタンカー	3	90	270
総 額	-	-	9,687

(4)製造および輸送作業費

水素・メタノール製造作業

水素・メタノール製造船にて、水素ガスを製造し、別途供給される炭酸ガスを原料としてメタノールを製造する作業を行う要員数を1隻あたり100人とし、交代要員を含めて1隻あたり合計200人とする。1人あたり年間0.1億円の人件費が必要とされるものとする。船舶の燃料費については、年間を通じて停泊していることより、無視できる。1隻当たりの年間作業人件費は $0.1 \text{ 億円/年} \cdot \text{人} \times 200 \text{ 人} \times = 20 \text{ 億円/年}$ となる。9隻では年間180億円となる。

炭酸ガス輸送費

1隻の炭酸ガスタンカーの運行については30人で行うものとし、交代要員を含めて1隻あたり合計60人とする。1人あたり年間0.1億円の人件費が必要とされるものとする。船舶の燃料費については、1隻あたり年間10億円とする。1隻当たりの年間作業人件費は $0.1 \text{ 億円/年} \cdot \text{人} \times 60 \text{ 人} \times = 6 \text{ 億円/年}$ となる。7隻では年間42億円となる。

メタノール輸送費

1隻のメタノール輸送船の運行については30人で行うものとし、交代要員を含めて1隻あたり合計60人とする。1人あたり年間0.1億円の人件費が必要とされるものとする。船舶の燃料費については、1隻あたり年間10億円とする。1隻当たりの年間作業人件費は $0.1 \text{ 億円/年} \cdot \text{人} \times 60 \text{ 人} \times = 6 \text{ 億円/年}$ となる。3隻では年間18億円となる。

以上の作業人件費および燃料費をまとめると、表15のとおりとなる。

表15 水素・メタノール製造輸送作業費

	人件費 (億円)	燃料費 (億円)	合計 (億円)
水素・メタノール製造	180	-	180
炭酸ガス輸送	42	70	112
メタノール輸送	18	30	48
合計 (億円)	240	100	340

2.メタノール製造事業のコストとメタノール製造単価 (海洋面積 31 海里 (約 57km)平方での事業)

ここで想定した海洋風力発電を利用したメタノール製造事業に関する生産コストをまとめたものが表 16 である。この表に示すように、メタノール価格は、(港渡しで) 45.1 円/1 となる。ただし、この算定は粗いものであり、詳細な設計や実証プロジェクトにより正確な算定が必要である。

表 16 海洋風力によるメタノール製造事業のコストとメタノール製造単価

		生産量・コスト など	備 考
A.メタノール生産量(年間) (万kl)		1,064	
B.生産コスト合計(年間) (億円)		4,801	
生産 コ ス ト 内 訳	1.浮体型風力発電装置・集中 受送電装置製作費返済 (億円)	1,918 (22,133 × 1.3 ÷ 15)	製作費(22,133 億円)を借り入れ、15 年の期間で年間 2%の利子を含めて返済 する。
	2.固定おもり、海中浮き、固定 ケーブル製作・設置費返済 (億円)	1,237 (14,272 × 1.3 ÷ 15)	製作費および設置工事費(14,272 億円) を借り入れ、15 年の期間で年間 2%の利 子を含めて返済する。
	3.水素・メタノール製造船、 メタノールタンカーおよび炭 酸ガスタンカー 建造費返済 (億円)	840 (9,687 × 1.3 ÷ 15)	建造費(9,687 億円)を借り入れ、15 年の期間で年間 2%の利子を含めて返済 する。
	4.炭酸ガス購入費 (億円)	466	火力発電所からの回収炭酸ガスをトン 当たり 4 千円で購入する。
	5.製造および輸送作業費 (億円)	340	
C.メタノール単価(B/A) (円 / 1)		45.1	

参考として、このメタノール生産において利用している水素ガスの単価を見積もると、上記生産コストの(1. + 2. + 3.のうち電解水素製造プラント分(*))を水素ガス生成量で割ったものであり、18.6 (円/Nm³) (= 3,280 億円 ÷ 1.76 × 10¹⁰Nm³) 相当となる。(海洋風力利用により、安価な水素ガスが大量に製造できる。)

(*) 水素・メタノール製造船 1 隻の建造費のうち、電解水素製造プラントは 160 億円と想定した(19 頁参照)。従って、9 隻の水素・メタノール製造船建造費のうち 1,440 億円は水素製造プラント分であり、これを年率 2%の利子で 15 年返済とすると毎年 125 億円の返済となる。

. 参考文献など

[14] 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) ホームページ、新エネルギー導入促進部紹介資料中の「風力発電」(風力発電の概要 [風力発電の経済性]) より。

[15] BAYPILOT のホームページなどより。

[16] 日本郵船株式会社 ((社) 日本海運集会所発行) 「図説 海運市況の回顧と展望 (2000 年版)」。

提案するシステム実用化までの調査および開発など

提案する深海洋上風力発電利用メタノール製造システムの実現にあたっては、小規模面積（例えば2 km × 2 km）での開発試験（開発第1期）、実規模面積（1ブロック（12km × 12km））での実証試験（開発第2期）を国のプロジェクトとして実施することが必要と考えられる。また、事業のスムーズな立ち上げには、数ブロックでの運用試験（実用化第1期）を、民間事業者が主体となり政府側が側面支援する（民間）共同プロジェクト形式で行うことが必要と思われる。

1. 開発第1期（開発試験）

開発第1期期間中には、提案するシステム実用化のためのデータベースとして、日本の200海里経済水域内で海洋風力に恵まれた海域における風力、海流および海底地形などの詳細な調査を行うことが必要である。次に、提案するシステムを構成する要素である、浮体型風力発電装置、浮体型集中受送電装置およびそれらを海中に設置固定する海中浮き・固定ケーブルならびに水素・メタノール製造船に関する設計・検討を実施するとともに、実際に小規模面積のシステムを製作し、海洋の試験区域に設置して性能の確認を行う必要がある。開発第1期の期間は5年程度かかるものと考えられる。

(1) 各種調査

海洋風力資源調査

200海里経済水域内（特に、想定海域）における調査船（風力発電機付き大型調査船）あるいは浮体型風力発電装置の模擬体による海面から50～70mの高さの位置での風力状況調査（遠隔データ送信など）；衛星による観測との同時観測による海表面と海面から50～70mの高さの位置での風向・風速との関連 最終的には、日本の経済水域内での風力資源の把握調査をめざす

詳細海流調査

200海里経済水域内（特に、想定海域）における詳細な海流調査（海流の速さ、方向）

詳細海底調査

200海里経済水域内（特に、想定海域）における詳細な海底起伏調査など。

(2) 小規模面積システム（2km × 2km）開発

（設計 検討）

深海洋上風力発電利用メタノール製造システムの構築に必要な詳細設計・検討

- ・浮体型風力発電装置設計（特に、暴風時の健全性維持、劣化防止、保守方法に関して）
 - ・浮体型風力発電装置、固定おもり、海中浮き、固定ケーブルなどの設置方法の検討（設置専用船などを使った方法）
 - ・浮体型集中受送電装置の設計（保守方法他）、海中電力ケーブル設置方法の検討
 - ・水素・メタノール製造船（30～40万トンULCCクラス）の設計・検討
 - ・炭酸ガスタンカー、メタノールタンカーの設計・検討
 - ・システム全体の保守・管理の方法（遠隔通信による作動状況監視など）
- など

メタノール利用社会の未来像と今後の科学技術（研究開発）政策に関する検討、など。

(小規模面積システム製作)

以下に示される要素を製作、建造する。

製作要素	製作数	製作費用見積もり (億円)
浮体型風力発電装置 (3,000kW~5,000kW 級)	24	120 (= 5 × 24)
固定おもり、海中浮き、固定ケーブル (2km × 2km 分)		100
浮体型風力発電装置、固定おもり、海中浮き、 固定ケーブル設置専用船	1	150
浮体型集中受送電装置 (5万 kW)	1	80 (= 400 × (5/75) ^{0.6})
水素・メタノール製造船 (8万 kl/年；数万トンクラスの船舶)	1	400 (= 300+(160+353) × (1/15) ^{0.6})
合計		850

(設置試験)

上記で製作した装置などを試験海域(例として沖ノ鳥島領海内を下図に示す)に設置し、性能の確認を行う。(設置費用は50億円程度と見積もる。)

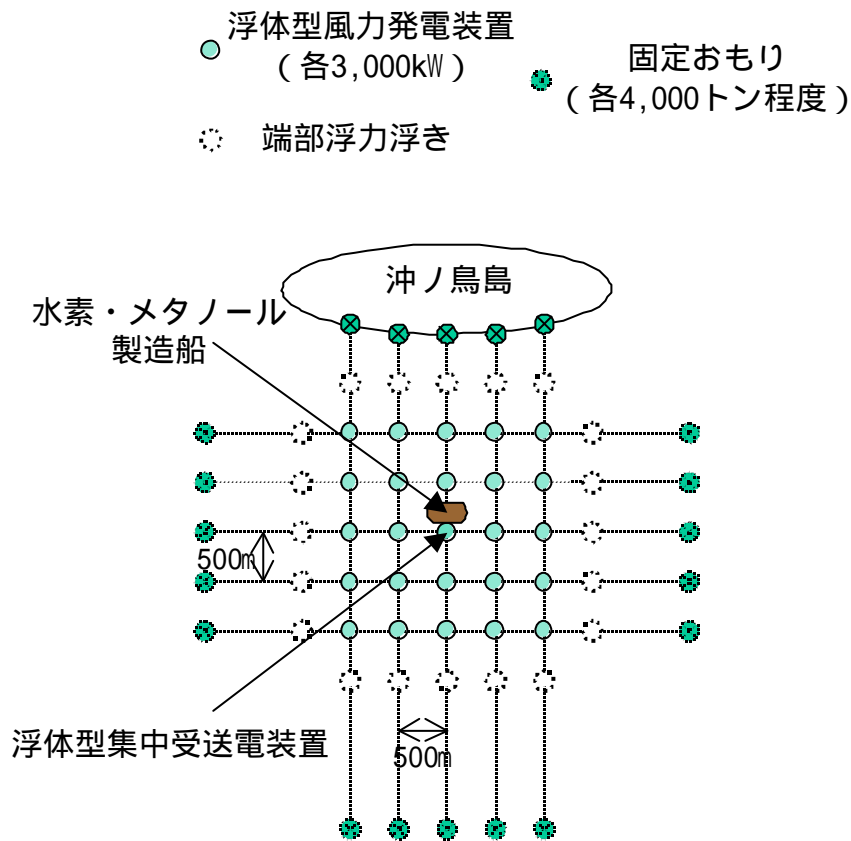


図9 沖ノ鳥島領海内での小規模(2km × 2km)モデル試験装置配置図(案)

なお、開発第1期の内容を実施するにあたり産学官の連携が必要であり、考えられるものをリストアップすると次のようである。

産学官の連携（開発第1期）		
産；	風力発電機、重電機械、造船、（メタノール関連）化学工業プラント、海洋構築物建設、橋梁建設などのメーカーおよびその研究機関など	
学；	水素、メタノール関連の諸研究開発を行っている大学、社会科学（社会基盤、社会システム研究など）、政策科学などの研究を行っている大学）	
官；	国土交通省、経済産業省、文部科学省、環境省、農林水産省など（関連する独立行政法人など含む）	

2.開発第2期（実証試験）

開発第2期においては、第1期の試験結果を基に必要な改良を行い、実規模面積（1ブロック（12km×12km））システムを製作（以下参照）し、メタノール製造実証試験を行う。実証試験海域の例として沖ノ島島領海内のものを図10に示す。期間は3年程度を想定し、海域の調査も続ける。

製作要素	製作数	製作費用見積もり （億円）
浮体型風力発電装置 （3,000kW級）	624	2,060 （=3.3×624）
固定おもり、海中浮き、固定ケーブル （12km×12km分）		1,600
浮体型集中受送電装置 （75万kW）	1	400
水素・メタノール製造船 （120万kl/年；30～40万トンクラスの船舶）	1	813
炭酸ガスタンカー （20万トンクラスの船舶）	1	300
メタノールタンカー （30～40万トンクラスの船舶）	1	90
合 計		5,263

なお、使用するCO₂については、特定の火力発電所との契約により回収するCO₂を購入する。

開発第2期の実施においても産学官の連携が必要であり、考えられるところをリストアップすると次のようである。

産学官の連携（開発第2期）		
産；	風力発電機、重電機械、造船、（メタノール関連）化学工業プラント、海洋構築物建設、橋梁建設などのメーカー、エネルギー関連会社、（メタノール関連）化学工業関連会社などおよびその研究機関など	
学；	実証試験期間中発生する様々な課題の研究に対処できる大学（その都度）	
官；	国土交通省、経済産業省、文部科学省、環境省、農林水産省など（関連する独立行政法人など含む）	

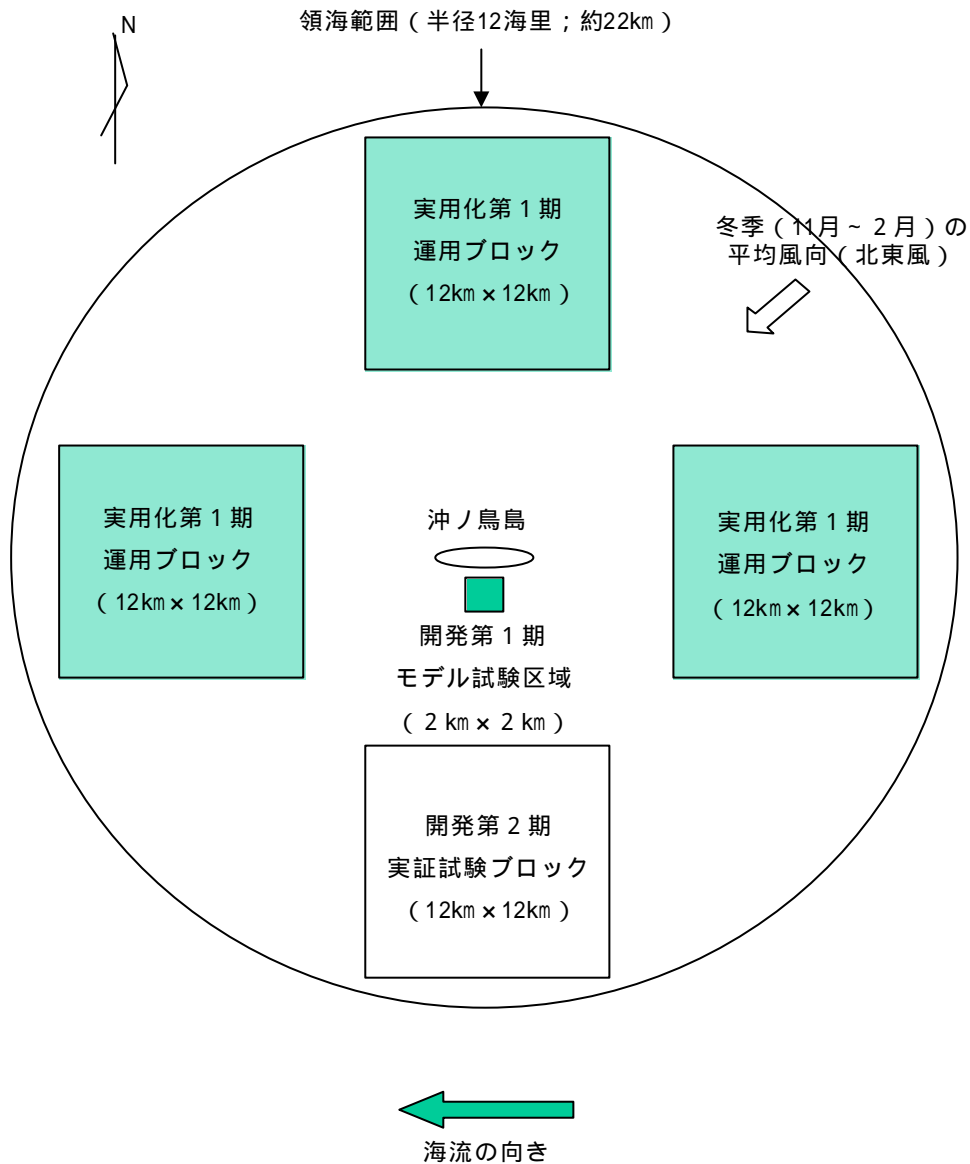


図10 沖ノ島領海内での実証試験および実用化運用試験海域(例)

3.実用化第1期（運用試験）

2.の実証試験の結果を踏まえ、改良を施した実用化システムを製作し、図10に示す領域に設置し、事業運用試験を行う。基本的には、事業主体となる民間企業が行うものに関して、技術上の課題解決などに国が支援する民官共同プロジェクト形式で行う（総投資額は1.5兆円程度）。

なお、提案するシステムの実用化までのタイムスケジュール案を図11に示す。

図11 深海洋上風力利用メタノール製造システムの実用化スケジュール(案)

システム要素など	現状の開発状況など	開発第1期(5年間;政府プロジェクト) (調査・設計・モデル試験)					開発第2期(3年間;政府プロジェクト) (実証試験)			実用化第1期 (民間共同プロジェクト)		
		2003年 平成15年	2004年 平成16年	2005年 平成17年	2006年 平成18年	2007年 平成19年	2008年 平成20年	2009年 平成21年	2010年 平成22年	2011年 平成23年	2012年 平成24年	2013年 平成25年
・各種調査 洋上風力調査 海流調査 海底地形調査	風力資源に恵まれる候補海域(沖ノ鳥島周辺、三陸沖太平洋、北海道北西沖日本海)を中心として、海面上50~70mの高さでの風向・風力、海流の方向・速さおよび海域の詳細な海底地形の調査を行い、海洋風力利用メタノール製造システムの設置に必要なデータを得る必要がある。	洋上(海面上50~70m)の風力調査 ----- 詳細海流調査 ----- 詳細海底地形調査					洋上(海面上50~70m)の風力調査 ----- 詳細海流調査 ----- 詳細海底地形調査					
・システム開発		小規模(モデル)システムでの開発試験 (開発試験総額 ; 約1,000億円)					実規模システムでの実証試験 (実証試験総額 ; 約5,500億円)			実用化運用 (投資総額 ; 約1.5兆円)		
1.浮体型風力発電装置		実規模モデル装置製作・試験					実機製作・試験			実機製作・運用		
大型風力発電機 浮体球(送電設備内蔵)	現在、風力発電機の世界最大単機定格出力は3,000kWであり、5,000kWのものが開発中。 鉄製の中空浮体球(肉厚3cm程度)は、特に開発要素はない。送電設備についても特に開発要素はない。現在の技術で十分製造は可能。	3,000kW級装置 ----- 設計 製作 設置 洋上試験 ----- 5,000kW級装置 ----- 設計 製作 設置					3,000(または5,000)kW級装置 ----- 製作 設置 実証試験			3,000(または5,000)kW級装置 ----- 製作 設置 運用		
2.浮体型集中受送電装置		5万kW規模装置(×1)					75(または100)万kW規模装置(×1)			75(または100)万kW規模装置(×3)		
大型受送電装置	各風力発電機からの電力を受け、まとめて大容量の電力を供給する装置であり、実用化されている技術である。	設計 製作 設置 洋上試験 ----- 能力75万kW規模装置					製作 設置 実証試験			製作 設置 運用		
浮体球	二重殻の鉄製の中空浮体球(肉厚3cm程度)は、特に開発要素はない。現在の技術で十分製造は可能。	設計・検討										
3.海中設置浮き・ケーブル		小規模面積(2km×2km)装置					1ブロック(12km×12km)装置			3ブロック装置		
海中浮き	鉄製の中空浮体球(肉厚3cm程度)は、特に開発要素はない。	設計 製作 設置 洋上(海中)試験					製作 設置 実証試験			製作 設置 運用		
固定おもり 固定ケーブル	鉄製の中実球は、特に開発要素はない。ステンレス製ワイヤーロープであり、特に、開発要素はない。	設計 製作 設置 洋上(海中)試験					製作 設置 実証試験			製作 設置 運用		
設置専用船	海中設置浮き・ケーブルを効率良く設置できるよう装置類を配置した船舶で特段の開発要素なし。	設計 製作 洋上での運用					洋上での運用			洋上での運用		
4.水素・メタノール製造船		年産8万kl規模メタノール製造船建造・試験					年産120万kl規模メタノール製造船(×1)			年産120万kl規模メタノール製造船(×3)		
電解水素製造装置	新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の水素利用国際共同研究システム技術(WE-NET)研究開発プロジェクトにおいて開発中の固体電解質水電解法によるメタノール製造をベースに開発可能。	設計 製作					製作			製作		
メタノール合成プラント	ニューサンシャイン計画で開発されたCO ₂ と水素から触媒を用いてメタノールを合成する技術(NEDOおよび(財)地球環境産業技術研究機構(RITE)が実施)をベースに開発可能。	設計 製作					製作			製作		
船舶	通常の超大型原油タンカーULCCをベースにすることが可能。	設計 製作					製作			製作		

提案するシステムの社会基盤および諸政策などへの影響など

1. エネルギー（安全保障）政策、エネルギー関連研究開発政策への影響

．および ．において概略を検討した**深海洋上風力発電利用メタノール製造システム**（以下、「提案するシステム」ともいう）でのメタノール生産については、現段階での大まかな推定で、化石燃料火力発電所から発生するCO₂をトンあたり4千円で購入する（すなわち、100万kWの火力発電所あたり年間200億円のCO₂回収料（3円/kWhに相当）を支払う）ものとして、メタノール価格45.1円/l（原料水素価格18.6（円/Nm³））という結果を得た。メタノール価格45.1円/lについては、海外の天然ガス田で合成輸入されるもの（約30円/l程度）に対して若干高いものであるが、今後の技術開発による風力発電機の大型化、システム全体の改良の余地などを考慮すると（約30円/l程度まで下げることが可能と考えられ）、海外で合成輸入されるものと競争できるものと考えられる。また、日本全体のエネルギー需要を上回る大きな供給能力を有している。〔200海里経済水域内の沖の鳥島周辺、三陸沖太平洋、北海道北西沖日本海のみ領域で、現在の日本の需要を上回る規模の8億kWの実効発電能力およびメタノール製造量で12.8億klの能力〕

すなわち、提案するシステムは、ほぼ永久的に利用可能な海洋風力エネルギーを利用しており、日本の技術力のみで、かつ自国の経済水域内で、エネルギー源であるメタノールを日本全体のエネルギー需要にも相当するほど大量に生産できるシステムである。従って、このシステムの大規模実用化は、日本の社会を、石油、石炭、天然ガス（あるいはウラン）など、輸入に頼るエネルギーから解放する現実的可能性を有しており、日本のエネルギー安全保障政策上大きな意味をもつものと考えられる。

さらに、提案するシステムが火力発電所などで回収されたCO₂を利用しメタノールを生産するシステムであり、地球温暖化防止に関する京都議定書を実効的なものとする上で、日本として取りうる、現実的で、かつ、タイムリーなものを見なせるものである。また、CO₂をリサイクルユースすることでCO₂排出削減を強力に進められる原動力になりうるものである。

これらの観点から、**提案するシステムに関する技術開発面での優先順位は高いものと考えられ、日本のエネルギー政策およびエネルギー関連研究開発政策全般の見直しも必要になるもの**と考えられる。

2. エネルギー関連社会資本の変更（分散型電源（メタノール燃料電池）利用による社会基盤の構築）

提案するシステムで生産される安価で大量の海洋風力由来のメタノールは、現在、開発が進む燃料電池（特に、メタノール改質型燃料電池）の実用化を促すものと考えられる。具体的には以下の2つと考えられる。

- （1）自動車駆動用燃料電池
- （2）電気・熱併用供給燃料電池（家庭用）

現在、メタノール改質燃料電池（その他の燃料電池も同様）に関する研究開発の進展は著しく、家庭用についても、自動車用についても、まもなく実用ベースのものが開発されるものと予測されている。

特に、家庭用の電気・熱併用供給燃料電池については、これまでの大規模発電・遠隔地送電システムの変更を必要とするものと考えられる。

（1）自動車駆動用メタノール改質燃料電池

特に、ヨーロッパの自動車会社を中心に開発が進められている。日本の自動車会社でも、試作車を作って実用化研究が進められている。メタノール燃料については、単位容積あたりのエネルギー密度がガソリンの約1/2であり、自動車燃料として利用されるには、容積あたりのメタノール価格が、ガソリン

価格（90 円/l）の 1/2（45 円/l）程度になることが必要である。

将来的に深海洋上風力発電利用メタノール製造システムに関する研究開発が進展し、メタノール価格が（港湾渡しで）30 円/l となり、大量の供給が行われ燃料スタンドで売られるメタノール価格が（5 円/l の税込みで）40 円/l となると、燃料価格面での不利益はなくなるものと考えられる。なお、ガソリンについては現在 38 円/l の揮発油税がかかっており、ガソリン車で同じ距離を走るのに対して、メタノール燃料電池車では 2 倍のメタノール量を必要とすると、自動車燃料からの税収は $10/38 (= 26\%)$ となり、減少することとなる。

(2)家庭用電気 熱併用メタノール改質燃料電池

家庭用の電気・熱併用燃料電池の開発については、ガス会社、電力会社、電機会社など非常に多くの企業が参入している。この際、燃料とするものは（天然ガスを主とする）都市ガス、液化石油ガス、灯油、メタノールなどである。

ここで提案する深海洋上風力発電利用メタノール製造システムの実用が進めば、現在の日本の総エネルギー需要を上回る量の安価なメタノールが供給されるため、家庭用の電気・熱併用の燃料電池については、メタノール改質型のものが主流になるものと思われる。しかし、これまでのところ、メタノール改質型で電気・熱併用燃料電池については、やや大型のものしか開発されておらず、各家庭向けの小規模（数 100W ~ 1 kW 程度）のもの開発が望まれる。

電気 熱併用供給燃料電池による家庭用電気 熱供給事業

総務省の家計調査によると、平成 12 年 12 月～平成 13 年 11 月までの 1 年間に、日本の平均的な家庭が支出する電気代、ガス代、灯油代の合計は、198,095 円となっている（表 17 参照）。

表 17 家計支出のうち電気代、ガス代、灯油代（全国平均）（平成 12 年 12 月～平成 13 年 11 月）（単位円）

調査年月	電気代	ガス代	灯油代	合計	累計
平成 12 年 12 月	8,483	6,394	2,697	17,574	17,574
平成 13 年 1 月	10,965	7,354	2,908	21,227	38,801
平成 13 年 2 月	11,208	7,736	3,070	22,014	60,815
平成 13 年 3 月	10,051	7,585	2,218	19,854	80,669
平成 13 年 4 月	9,258	6,843	1,229	17,330	97,999
平成 13 年 5 月	8,379	6,532	665	15,576	113,575
平成 13 年 6 月	7,424	5,520	460	13,404	126,979
平成 13 年 7 月	8,222	4,890	315	13,427	140,406
平成 13 年 8 月	10,805	4,340	270	15,415	155,821
平成 13 年 9 月	10,057	4,120	279	14,456	170,277
平成 13 年 10 月	8,243	4,558	576	13,377	183,654
平成 13 年 11 月	7,922	5,172	1,347	14,441	198,095

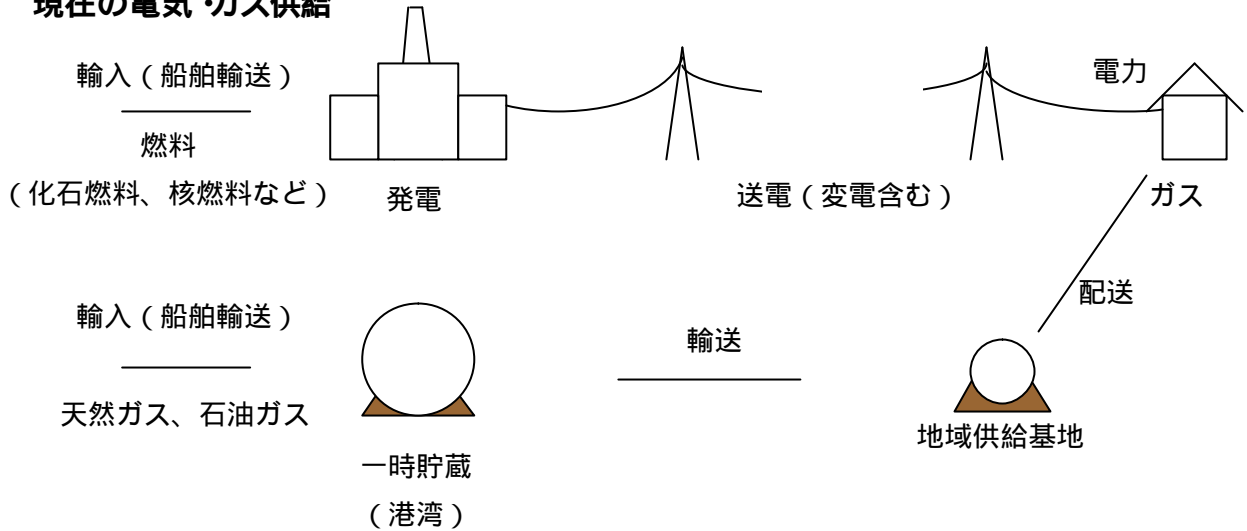
〔総務省統計局統計センター、家計調査結果表（非農林漁家世帯結果）より〕

この表よりわかるように、平均的な家庭で支出される電気代、ガス代、灯油代は年間 20 万円近くになっている。

現在の電力供給は、化石燃料発電の場合、海外より船舶により輸送してきた化石燃料（石油、石炭、天然ガスなど）により大型発電所で電力を発生させ消費地まで送電している（図 12 参照）。同様に、原子力発電の場合も、遠隔地の大型発電所で発生させた電力を消費地まで送電している。すなわち、現在

は大規模発電所・遠隔地送電という形で行われており、消費者が負担する電力料金は、(大まかにいえば)発電所での発電単価に送電経費を加えたものとなっている。

現在の電気・ガス供給



海洋風力由来メタノール利用による分散型電気・熱供給



図 12 現在の電気・ガス供給と(将来の海洋風力由来メタノール利用)分散型電気・熱供給

一方、海洋風力由来の安価で大量のメタノールが供給されるようになると、電気・熱併用供給(メタノール改質)燃料電池の大規模実用化・普及により、最終消費地である家庭にメタノールを供給し、電気を供給するとともに、発生する熱も温水などとして供給できることとなり(図 12 参照)大規模な発電送電システムは不要となる。

仮に、海洋風力由来のメタノールにより大規模発電所で電力を発生させ送電網により供給するものとするれば、現在よりも高めの電力料金となるが、分散型の家庭用電気・熱併用供給(メタノール改質)燃料電池で電気・熱を供給するものとするれば、現在の家計支出における電気・ガス代で(家計を圧迫することなく)電気・熱供給事業が成立する可能性がある。

添付資料 2 においては、メタノール改質型燃料電池による、地域での家庭用電気・熱併用供給事業(対象家庭数 1 万戸)評価を行っているが、そこでは、メタノール供給価格を税込みで 40 円/l 程度とし、また、メタノール改質型燃料電池価格が大量普及により大きくコストダウンがなされるものとする、家計支出を増加させることなく事業が成立する可能性が示される。なお、上の評価においては、家庭で消費されるメタノールについても税(5 円/l)を徴収することとしており、上の自動車燃料としての消費からの税収の落ち込みをカバーして余りあるものとなる。

CO₂ 回収技術開発 / 植物バイオマス・メタノール製造

提案するシステムにおいては、メタノールを生産する際に使われる CO₂ は、風力エネルギーを運ぶ媒体と考えられ、特に、家庭用の燃料電池においては、CO₂ を有効に回収する装置（図 13 参照）が不可欠となる。

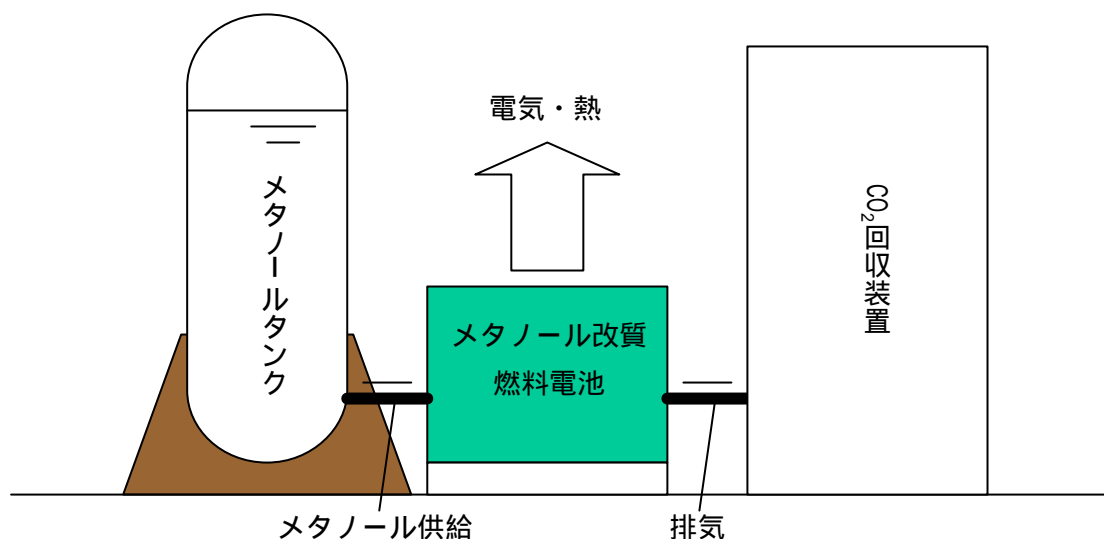


図 13 CO₂ 回収装置を備えた家庭用電気・熱併用供給メタノール改質型燃料電池 (イメージ図)

燃料電池は炭酸ガス回収に適した構造とされており[17]、特に、家庭用の燃料電池では比較的容易に行えると考えられる。この炭酸ガス回収装置については、研究開発による改良と大規模実用化によるコストダウンが望まれる。

また、自動車については、CO₂ を大気中に放出することは仕方ないにしても、それを代替する CO₂ 取得方法として、植物バイオマス (木質あるいは草本類 (雑草など)) からのメタノール生成と組み合わせた CO₂ 回収が有力な方法と考えられる。

3. 産業と雇用への影響

提案するシステムは、これまでの日本が得意としていた造船技術、海洋構築物建設技術、橋梁技術、化学プラント技術、電力技術などの集積により実現が可能であり、また、海洋面積 31 海里 (57km) 平方あたり (メタノール年間生産量 1,064 万 kl) の初期総投資額は 4 兆 6 千億円程度と推定されるものである。この投資は、これまで日本が輸入に頼っていたエネルギーの生産を自国の経済水域内で行う事業に対するものであり、国内の雇用を増大させる大きなメリットがあるものと考えられる。

また、仮に当該システムの寿命が 30 年であるとする、日本のエネルギー需要を賄う規模で当該システムを 30 年かけて建設するものとする、**半永久的に建設需要が続くものとなり、極めて安定した産業(雇用)が創出される**こととなる。

4. 地球温暖化防止 (CO₂ 排出削減) に関する国際貢献

参考資料 3 よりわかるように、太平洋においてはアリューシャン列島南側の海域および低緯度のポリネシア海域、南半球では南緯 40 度 ~ 50 度付近に風の強い帯状海域が、本システムの適用が可能な魅力的な海域であり、その広さから世界全体の需要を大きく上回る量の水素あるいはメタノールが生産できるものと考えられる。

このような観点からすると、日本が本システムを実用化することにより、地球温暖化防止のための世界的なCO₂排出削減取り組みに対して大きく貢献することができることとなる。また、日本の新たなビジネスチャンスを生み出すものとも考えられる。

（参考 税収面）

提案するシステムの実用化が進展することにより、自動車用、家庭用燃料などがガソリンや液化石油ガスから風力由来のメタノールに徐々に移行してゆくものと考えられ、メタノールを利用した自動車駆動用燃料電池、家庭用燃料電池、小中規模事業所用燃料電池などを主とする燃料電池社会に徐々に変革が遂げられてゆくものと見なせる。このとき（20～30年後をイメージ）、国民生活の上で欠くことのできないエネルギーを、エネルギー関連家計支出を現段階より増やすことなく、（安価な）自前の海洋風力由来メタノールで供給するものとし、家庭用、自動車燃料用などとして、10億kl（石油換算で5億kl）を消費するものとする（5円/lの税込みで40円/lを前提として）、5兆円の税収となる。現在の揮発油税（2.5兆円）やその他の石油関連諸税を併せて考える必要があるが、税収面でも国家財政に寄与する可能性が有る。

・参考文献など

[17] 嘉藤徹（電子技術総合研究所（現、独立行政法人 産業技術総合研究所））、「固体電解質型燃料電池を中心とした - 燃料電池の現状と将来」、第12回産学官フォーラム講演、平成13年2月9日。

添付資料

． 章で提案するシステム以外に検討したシステム

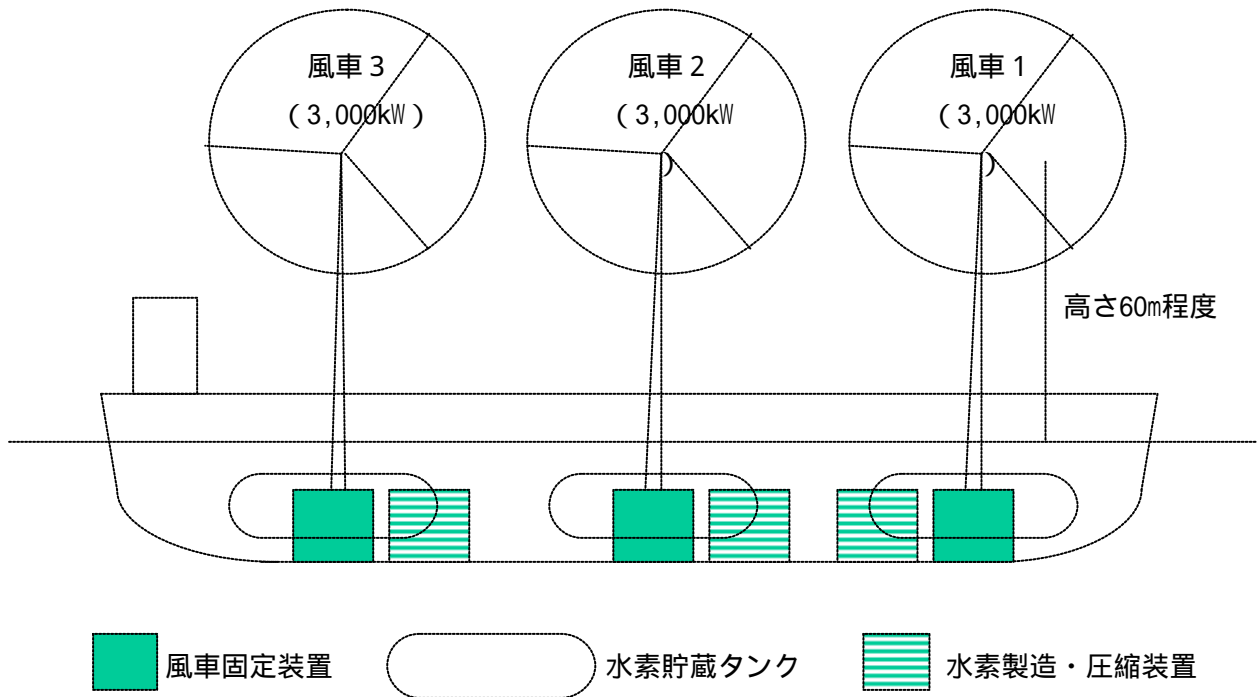
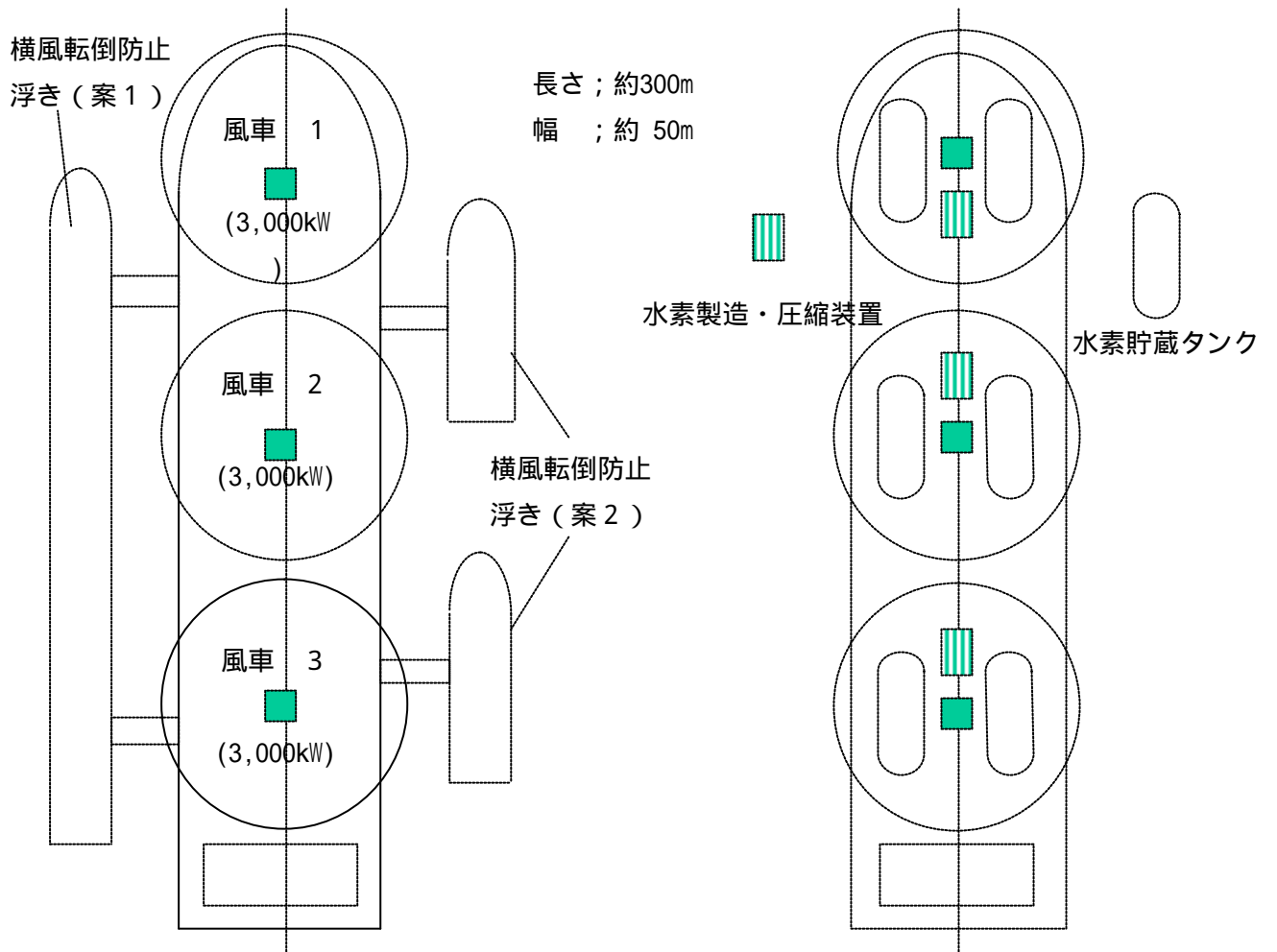
この資料では、(深海) 海洋表面の風力を利用するエネルギー生産システムとして、本文 ． 章で提案するシステム以外に検討した、**風力水素製造船 (参考システム A)**および**浮体型風力水素製造装置 (参考システム B)**について述べる。

1. 風力水素製造船 (参考システム A)

(1) 風力水素製造船の構造

技術的に比較的容易に考えられる案として、タンカーに似た構造の大型船 (V L C C 級 ; 長さ 300m 程度、幅 50m 程度、深さ 20m 程度 ; 原油タンカーでは積載重量 20 ~ 30 万トン程度 ; 新規建造では 180 億円 / 隻) に大型の風力発電装置を設置し、発電した電力で水を電解し、製造された水素ガスを圧縮して高圧のタンクに充填・貯蔵する方法である。

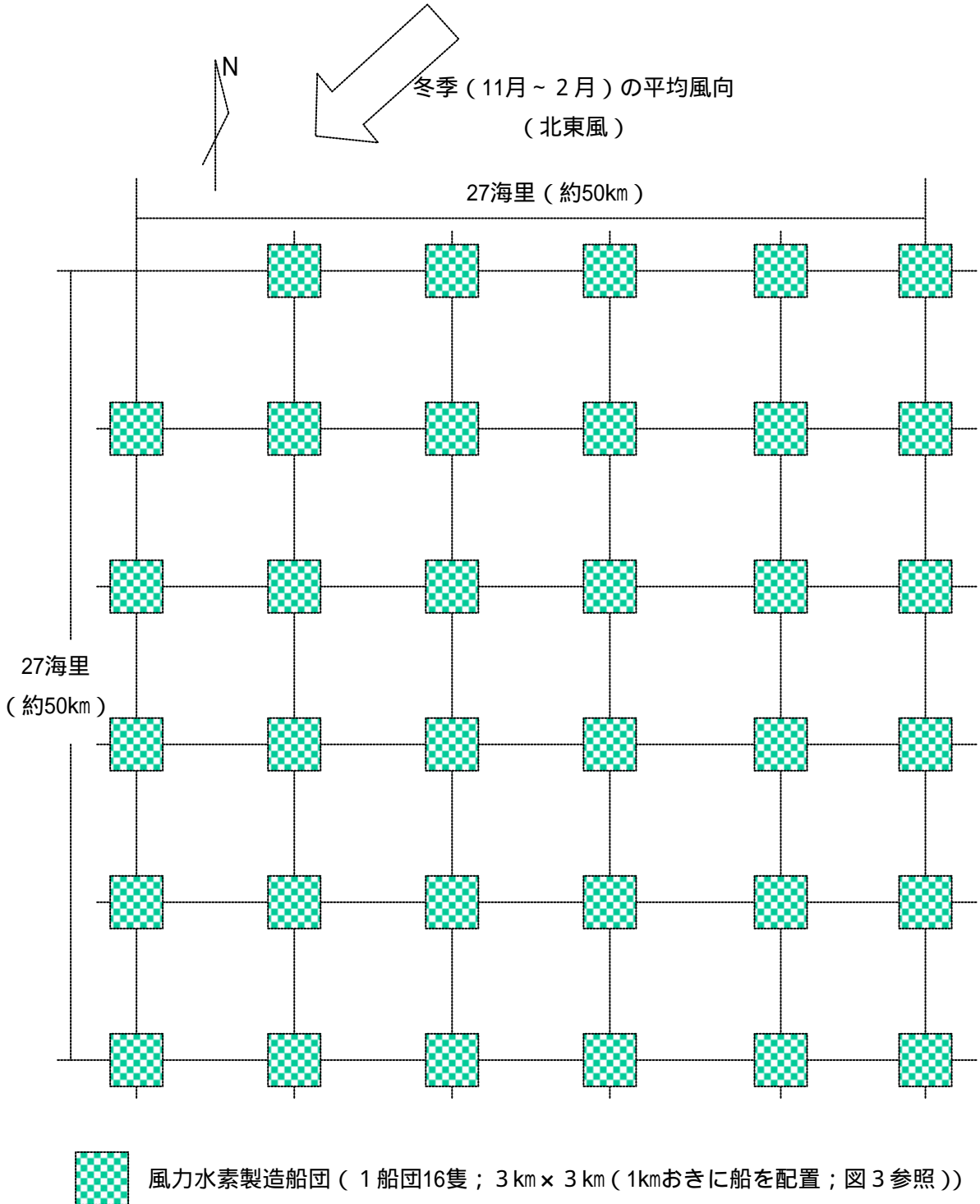
添付 1 図 1 に、単機出力 3,000kW (翼の直径 80m、支柱高さ 80m、全体重量 300 トン (翼約 100 トン、ナセル約 120 トン、支柱他約 80 トン)) の風力発電装置 3 機を積載した 9,000kW 型の風力水素製造船の概案を示す。



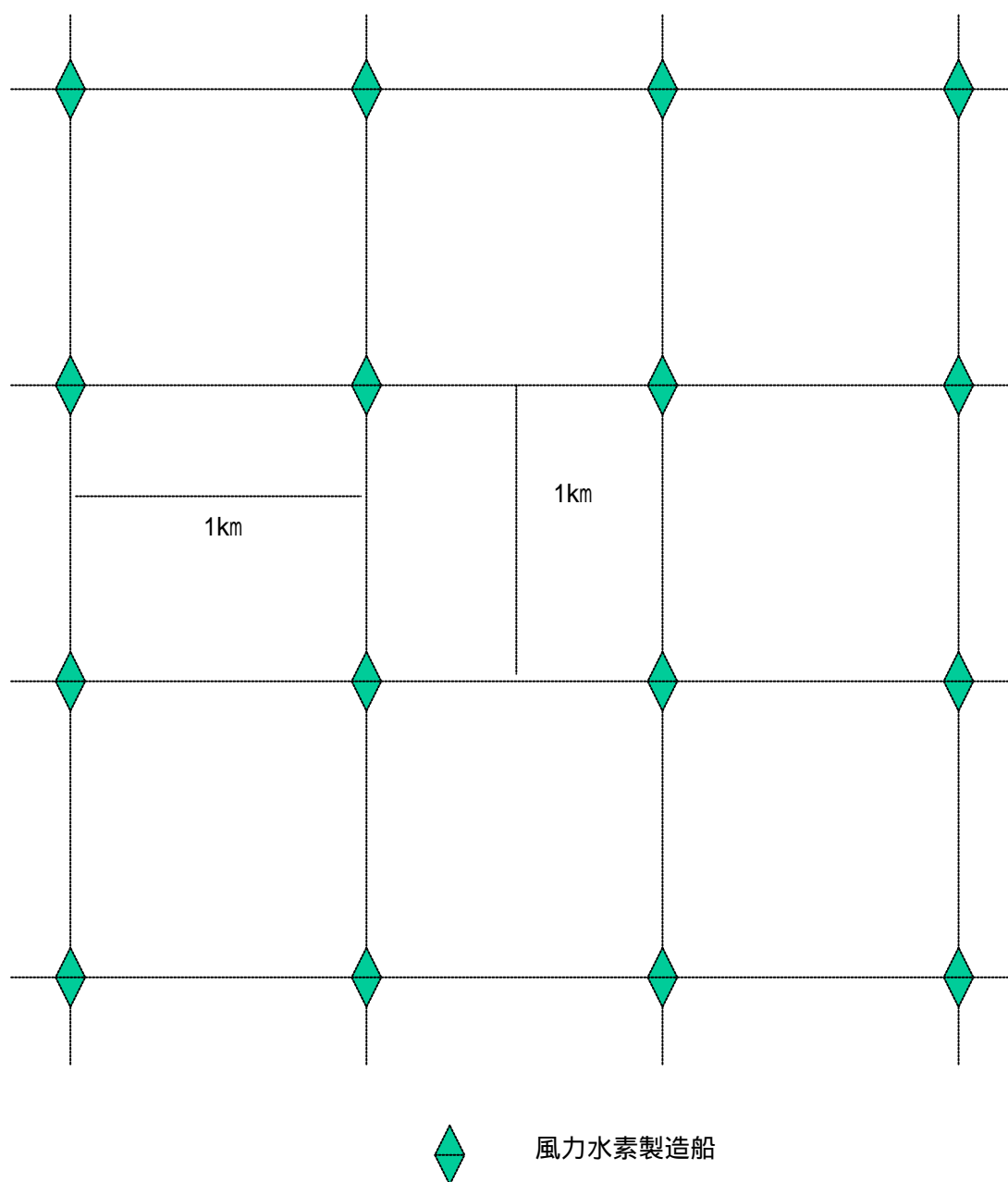
添付1図1 風力水素製造船 (9,000kW 型)

(2)風力水素製造船の海洋面への配置

この風力水素製造船（9,000kW型）を、想定する海域の（例えば沖の鳥島周辺）27海里（約50km）平方の海域内に多数配置することを想定した場合を、添付1図2および添付1図3に示す。この場合、水素製造船団はほとんど定置するものとする。船団の間隔をより小さく、すなわち水素製造船を海面上により密に配置することも考えられるが、海流のある地域で互いの位置をコントロールしながら定置させる必要があり、位置管理が難しいと考えられる。



添付1図2 想定海域27海里（50km）平方内での風力水素製造船団配置図（例）



添付1図3 風力水素製造船団(1船団16隻)構成図(例)

なお、添付1図2、添付1図3のように風力水素製造船(総数544隻;16隻/船団×34船団)を配置すると、想定する27海里(約50km)平方の海域内での総風力発電設備能力は推定約195.8万kW(=544×3,600kW)となる(1隻の9,000kW設備の年間を通じた発電効率を0.4と想定し、1隻の実効能力を3,600kWとした)。この場合の単位面積あたりの発電能力は783kW/km²である。しかし、総数544隻のV L C C級船舶の建造価格だけで4.9兆円(=544隻×90億円/隻(本文31頁参照))にもなり(100万kWあたり2.5兆円で、火力発電所の約10倍程度)コスト的に高いものとなる。なお、中古V L C C級タンカー(10億円/隻;「図説 海運市況の回顧と展望(2000年版)」(日本郵船株式会社)参照)を利用する場合は、事業として成立する可能性はある。

2.浮体型風力水素製造装置 (参考システムB)

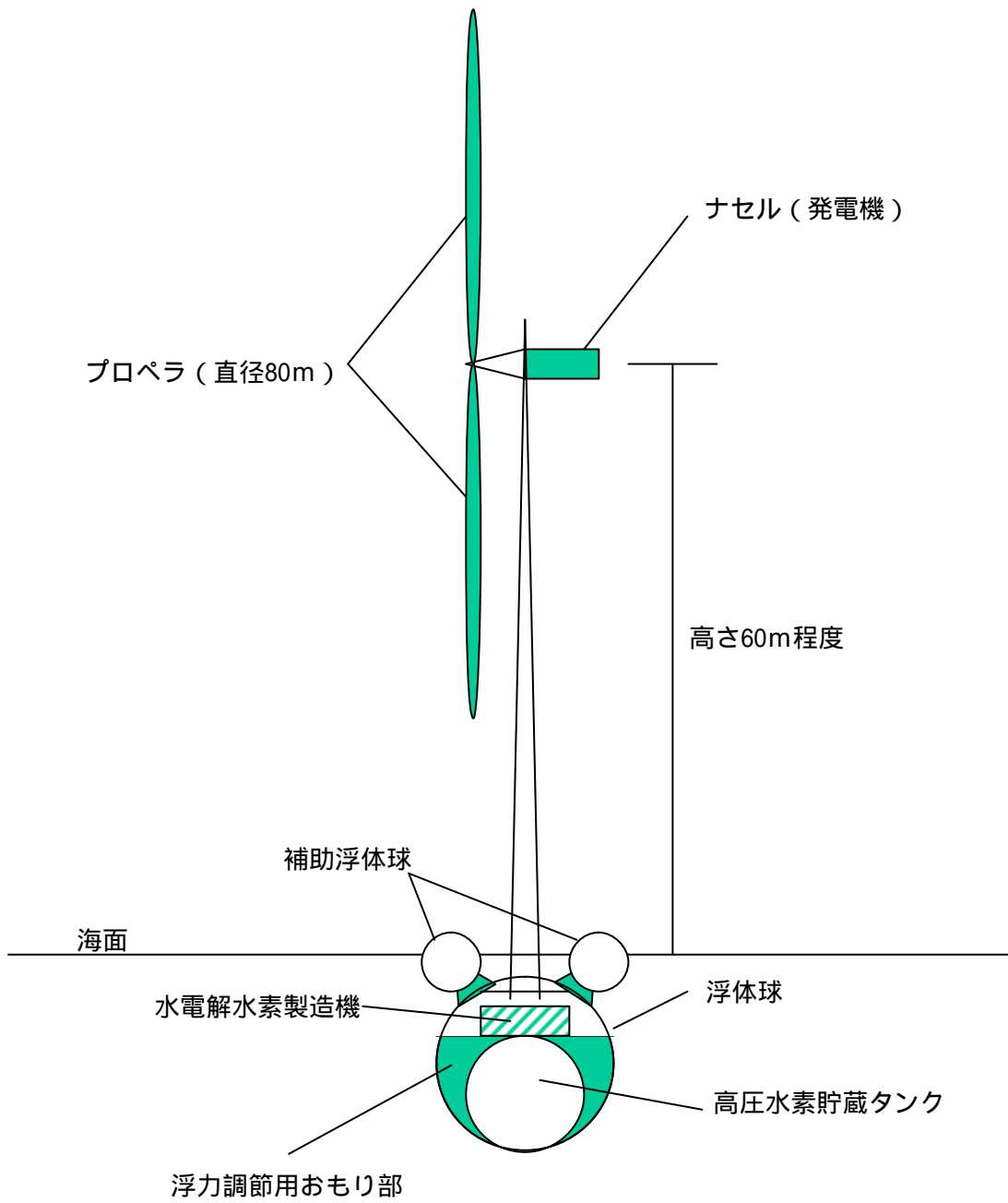
もう一つの技術的に容易と考えられる方法として、金属製（鉄製など）の浮体球に単機出力 3,000kW（翼の直径 80m、支柱高さ80m、全体重量 300 トン(翼約 100 トン、ナセル約 120 トン、支柱他約 80 トン)、定格風速 15m/秒)の風力発電機を取り付けるとともに浮体球内に水電解水素製造装置および水素貯蔵タンクを内蔵した**浮体型風力水素製造装置**を海洋面に浮かして洋上の風力エネルギーを電力として獲得し、その場で水の電気分解により水素に変換・貯蔵し定期的に回収する方法が考えられる。この方法のメリットは、発電した電力を送電する必要がないことであるが、水素の回収については装置毎に行う必要が発生する。

(1)浮体型風力水素製造装置の構造

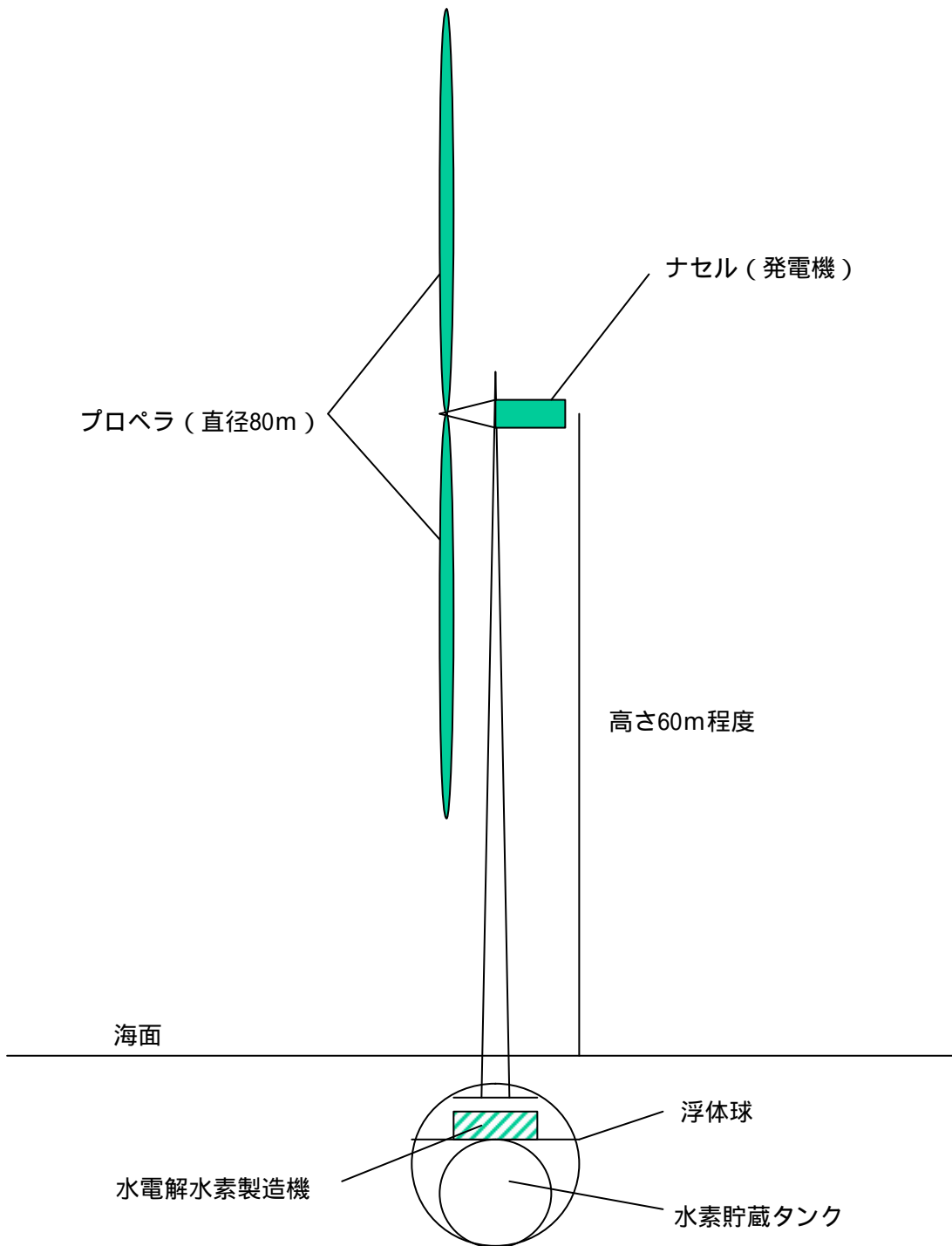
この装置は、金属製の浮体球に単機出力 3,000kW（翼の直径 80m、支柱高さ80m、全体重量 300 トン）の風力発電装置を取り付けたもので、浮体球内に水電解水素製造装置および高圧貯蔵タンクを備えたものである。案として、海面に浮かせて自律的に姿勢を維持する（自立型の）もの（**浮体型風力水素製造装置1 (自立型)**）添付 1図4 - 1 (参考システムB - a)) および海中に強制的に引き込み姿勢を維持するもの（**浮体型風力水素製造装置2 (強制引き込み型)** 添付 1図4 - 2 (参考システムB - b)) が提示できる。

自律的に海面に浮く浮体型風力水素製造装置 1 については、重いナセル（発電機）が支柱の最上部にある不安定な構造の発電装置が自律的に姿勢を維持できるよう、傾き（転倒）防止用の補助浮体球を（4 つ以上）設ける必要がある。海洋上の波浪や風の影響下でも姿勢を維持できるよう、浮体球の大きさ、補助浮体球の大きさ、取り付け位置および浮力調整用重量については検討が必要である。

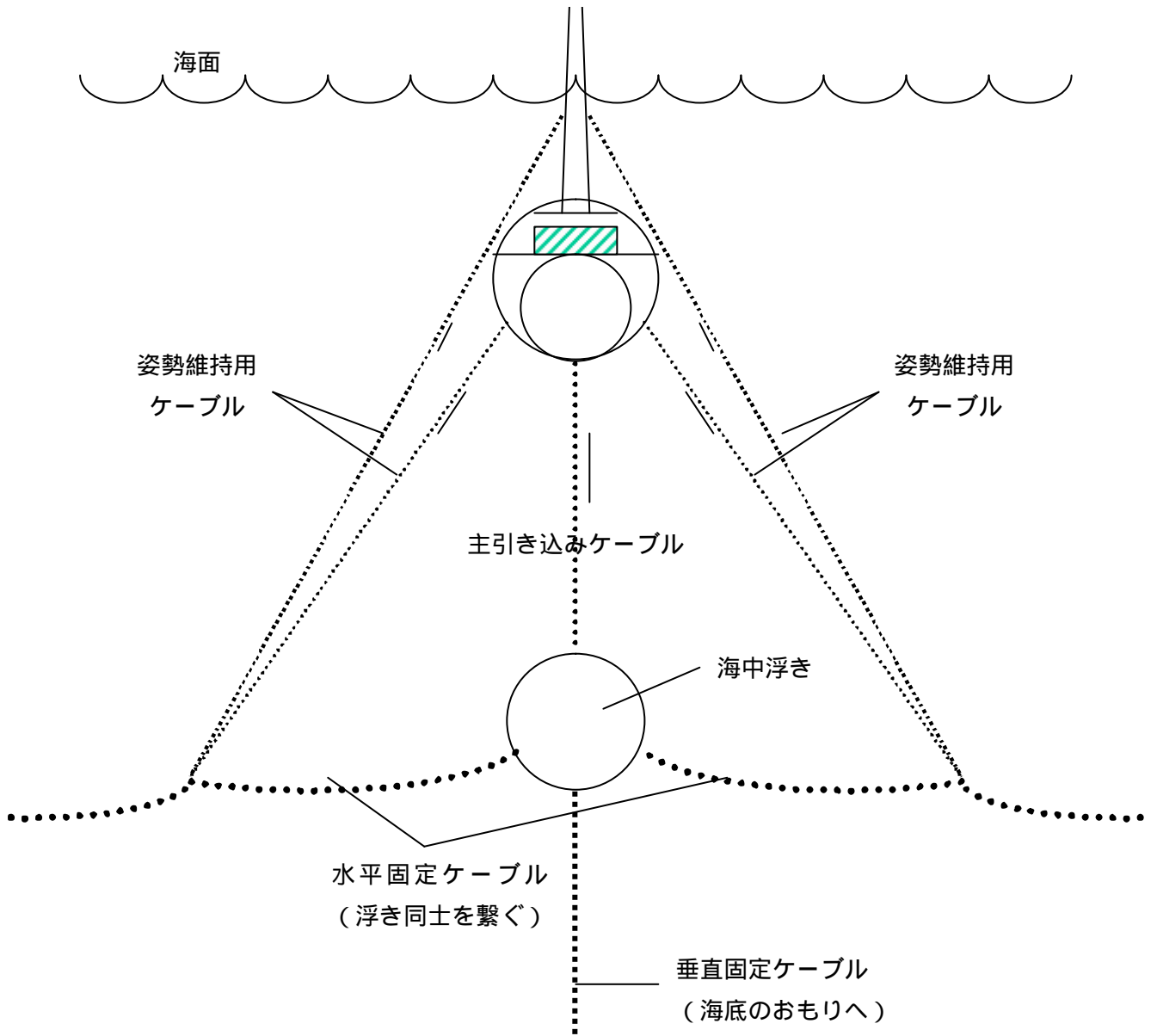
図 4 - 2 - 1 に示す浮体型風力水素製造装置 2（強制引き込み型）については、浮体球を強制的に海面下に沈めることが必要である。浮体球の大きさについては、風力発電機・翼および柱の自重（合計で約 300 トン）を支え、かつ、浮体球の自重も支えながら、浮力（約 50 トン）を持つように設定する（この浮力が大きいと海底に設置する固定おもりの重量が大きくなる）。また、風力発電機には重量が数十トンのナセル(発電機部)が支柱の最高位置にあり、支柱が傾くことによるモーメントをうち消すため、支柱あるいは浮体球を（例えば）海中に設置したネット状の固定ケーブル（本文 ．章、図 6 - 2 参照）に結び（添付 1 図 4 - 2 - 2 参照）、逆方向モーメントを発生させることが必要となる。上の想定では、（内部に機器類を設置しないとき）浮体球の体積は約 392m^3 （直径 9.1m 程度；肉厚 3cm と想定）となる。（浮体型風力水素製造装置については、発電した電力を用いて自身の浮体球内で水の電気分解により水素ガスを製造し、貯蔵することとしており、水電解水素製造装置や製造した水素の貯蔵タンクの設置を考えると、浮体球の大きさはより大きくなる。浮体球の大きさについては、次に検討する。）



添付1図4 - 1 浮体型風力水素製造装置1 (自立型) (3,000kW)



添付1図4 - 2 - 1 浮体型風力水素製造装置2 (強制引き込み型) (3,000kW)



添付 1図4 - 2 - 2 浮体型風力水素製造装置 2 (強制引き込み型) の設置

【浮体球の大きさについて】

浮体型水素製造装置の浮体球の大きさについては、3,000kW の風力発電機の電力で発生させることのできる水素ガスの量と現実的に取り得る大きさとのバランスになる。

③,000kW 単機の水素製造能力)

単機出力 3,000kW の風力発電装置が 0.4 の発電効率で 1 年間に水の電気分解により製造する水素の量は次のように見積られる (本文 23 頁参照)。(なお、製造した水素ガスを高圧にしてタンクに貯蔵する場合、この高圧ポンプ運転のために発電量の 10%程度が使用されるため、その割合だけ少なくなる。)

水素換算量 (重量 ; W_h)

$$W_h = 2.83 \times 10^5 \text{ (kg)} = 283 \text{ tons}$$

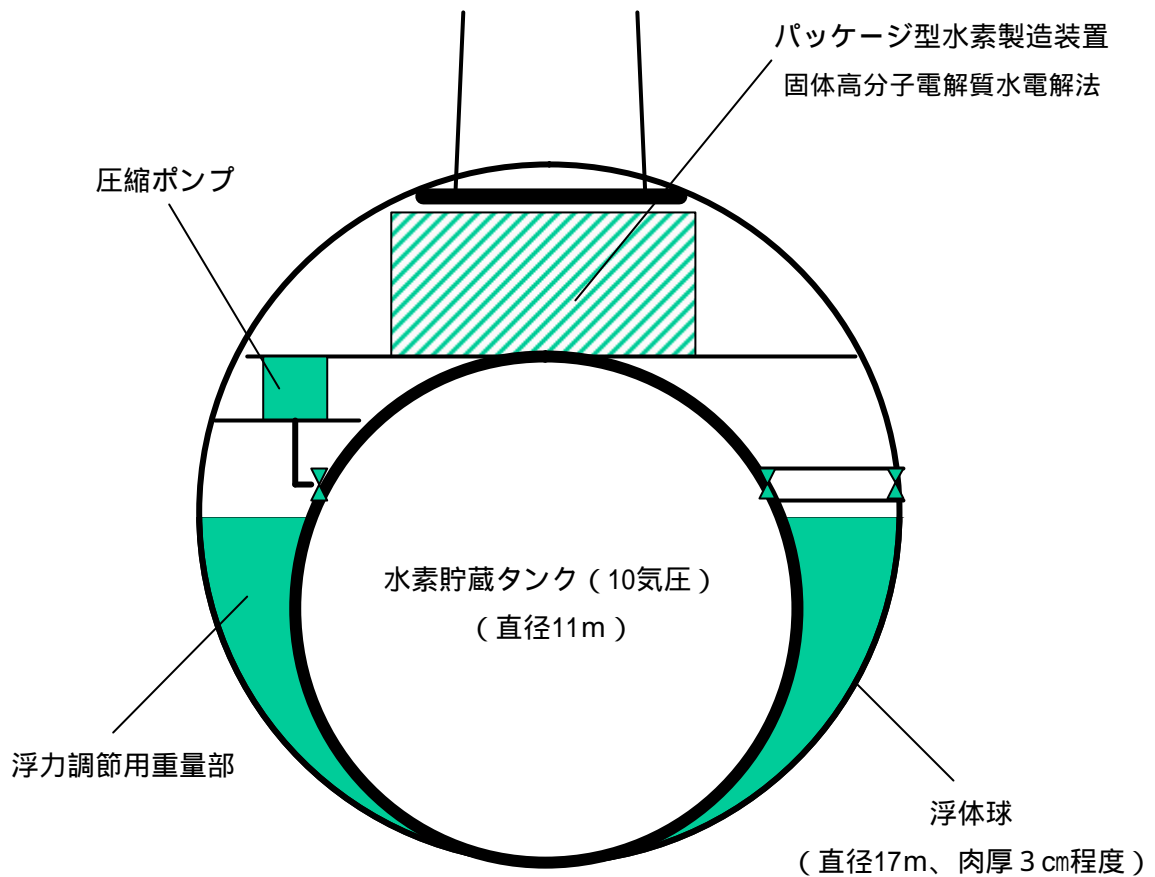
水素体積 (V_h)

$$V_h = 3.14 \times 10^6 \text{ (Nm}^3\text{)}$$

(水素貯蔵能力と浮体球の大きさ)

浮体型風力水素製造装置については、浮体球内部に水素製造・貯蔵装置を収納する必要がある。この水素製造装置については、WE-NET における水素製造装置の検討結果が参考になる。WE-NET の平成 10 年度成果報告 (概要) によれば、固体高分子電解質水電解法によるパッケージ型水素製造装置 (能力 $300 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (= $2.16 \times 10^6 \text{ Nm}^3/\text{Y}$; ただし、年 300 日運転の場合)) の設備仕様検討を行っている。この設備は、幅 7.5m、奥行き 4.3m、高さ 5.25m のスペースが必要とされている (設備費は約 2 億円と見積られている)。想定している浮体型風力水素製造装置は、 $3.14 \times 10^6 \text{ Nm}^3/\text{Y}$ の製造能力が要求され、WE-NET 平成 10 年度報告のパッケージ型水素製造装置の能力を約 1.5 倍程度に大きくする必要があり、この能力を有する (固体高分子電解質水電解法による) パッケージ型水素製造装置が幅 8 m、奥行き 8 m、高さ 5m (目標値) に収まるものとする。このパッケージ型水素製造装置は、想定する浮体球の大きさを直径 17m 程度にとると浮体球内に設置可能である (添付 1 図 5 参照)。(ただし、浮体球の浮力が 2,600 トンを超える大きさとなるため、浮力調節用の重量を浮体球内に設置する必要がある。)

一方、浮体型風力水素製造装置内で製造された水素の貯蔵を考えると、製造される水素ガス量は年間 $3.14 \times 10^6 \text{ (Nm}^3\text{)}$ (1 気圧では、直径約 182m の球体の体積に相当) であることより、仮に 1 ヶ月に 2 回の割合で回収するとしても、貯蔵タンク (1 気圧) の体積は直径約 63m の球体に相当するものとなる (10 気圧で貯蔵する場合、タンクの直径は約 29m、肉厚は相当な大きさになり (タンクの重量も大きくなり) コスト的に高いものとなる)。逆に、浮体球の大きさをパッケージ型水素製造装置が入る直径 17m 程度にとり、その範囲で最大の貯蔵タンクを設置し、全体の浮力を 50 トン程度にしたもの (浮体型風力水素製造装置 1 に関するもの) を添付 1 図 7 に示すが、この場合、貯蔵タンクの大きさは直径約 11m (体積約 700 m^3)、最大圧力 10 気圧とすると肉厚は相当に厚いものとなる。このとき、水素回収回数は年間 449 回にのぼり、船舶による回収はコスト的に合わないものになると考えられる。



全体浮力50トン	
浮体球体積	: 2,572m ³ (浮力2,640トン)
浮体球自重	: 188トン
発電機自重	: 300トン
パッケージ型水素製造装置重量	: 50トン (推定)
水素貯蔵タンク重量	: 157トン (肉圧 6 cmのとき)
浮力調節用重量	: 1,895トン程度

添付 1図 5 浮体型風力水素製造装置の浮体内機器配置案

以上より、風力発電装置毎に水素製造を行うことはコスト的に高いものとなる。(この水素製造装置を陸地に近い浅い海に配置し、製造した水素をパイプラインで陸地まで輸送することも考えられるが、この場合は陸地まで電力を輸送し、陸地で水素を製造する方が合理的である。)

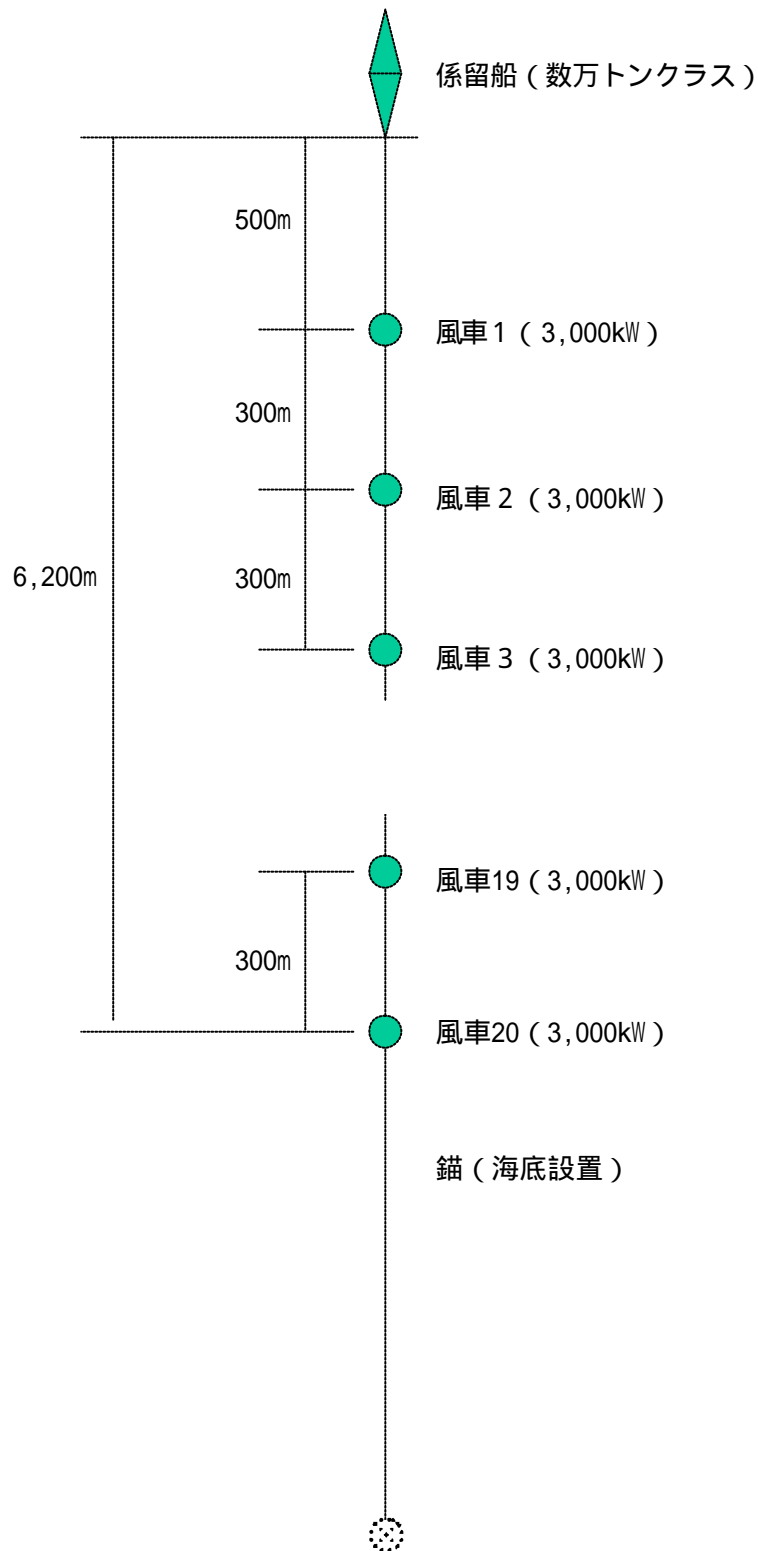
(2)浮体型風力水素製造装置の(深海)海洋面への配置

浮体型風力水素製造装置からの水素回収については、コスト的に高いものとなるが、将来的に水素をその場で二酸化炭素等と反応させてメタノールなどに変換できる小型装置が開発されれば、浮体型風力メタノール製造装置として活用が期待でき、(深海)海洋面への配置を検討する。

浮体型風力水素製造装置 1 (自立型)の(深海)海洋面への配置案 (参考システムB - a)

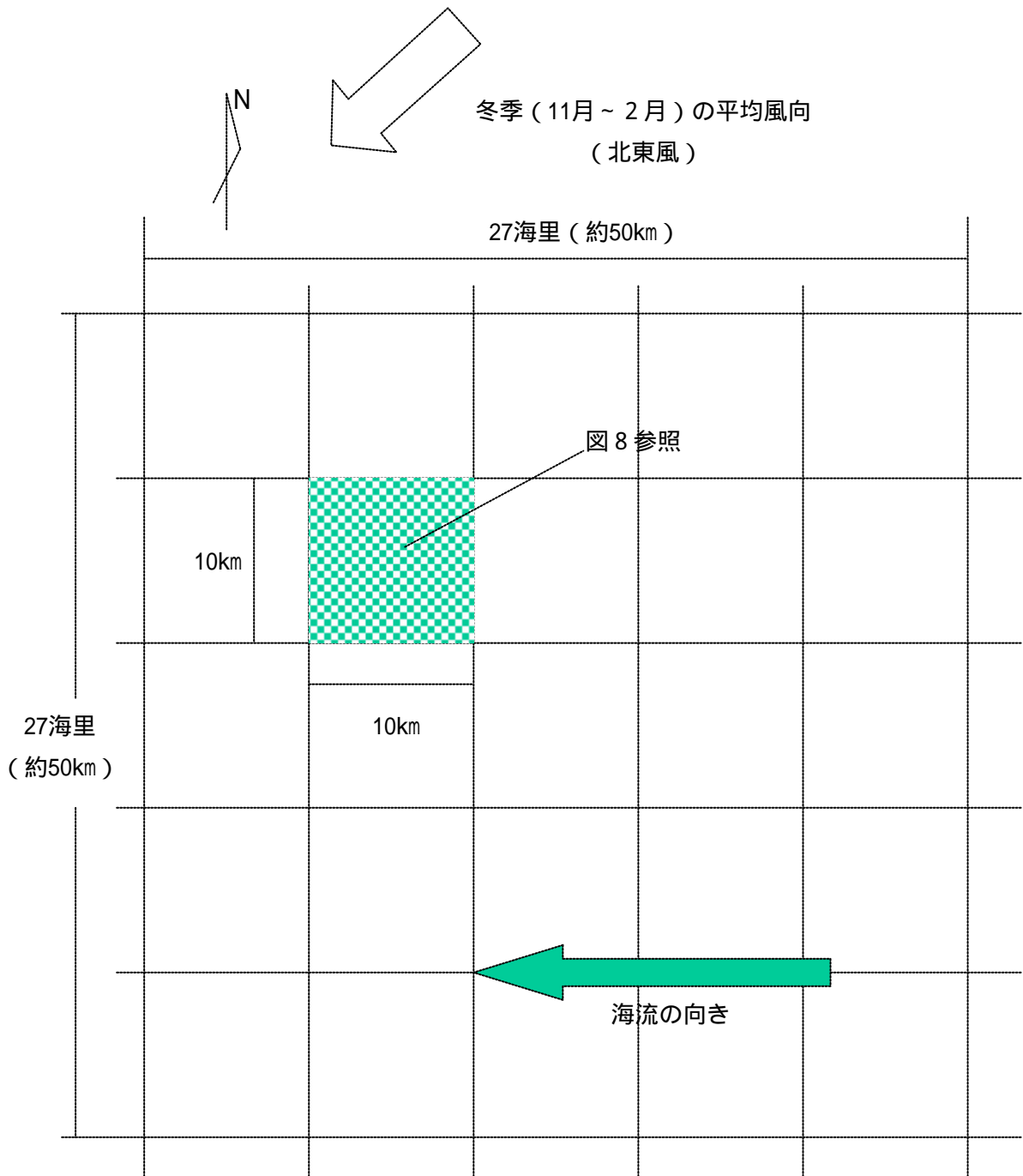
浮体型風力水素製造装置 1 を深海(数千mの)海洋面に配置する方法として、係留した大型船舶(数

万トンクラス)に浮体型風力水素製造装置1を20基程度、各300mの間隔で結んで1列(長さ約10km)に海流方向に並べる方法(末端は海底設置の錨に結ぶ;添付1図6参照(船舶係留法という))が考えられる。

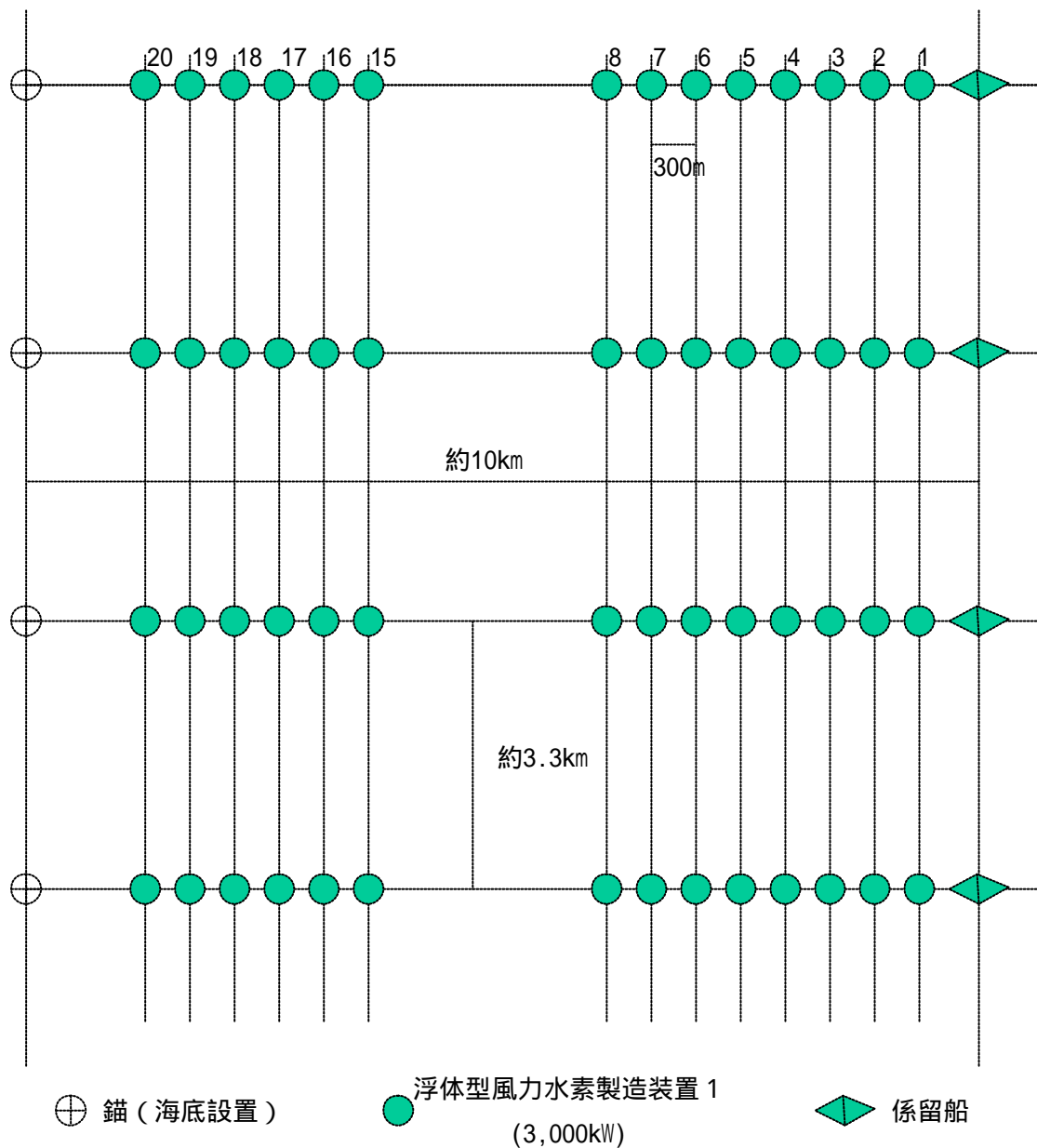


添付1図6 浮体型風力水素製造装置1の係留方法(船舶係留法)

浮体型風力水素製造装置 1 の想定する海洋（例えば沖の鳥島周辺）の 27 海里（約 50km）平方海域内での配置については、添付 1 図 7 のように配置する案が考えられる。



添付 1 図 7 想定する海域 27 海里 (約 50km) 平方内での風力水素製造装置 1 配置図



(想定する海域は、7,000m程度の深さがあるため、係留列間距離は3～4kmが必要と考えられる)

添付1図8 10km x 10km 区域内の浮体型風力水素製造装置1配置図(船舶係留法)

添付1図7および添付1図8のように船舶係留法により浮体型風力水素製造装置1を配置した場合、想定する海域27海里(50km)平方に配置される浮体型風力水素製造装置の総数は、1,600 = 20/列 x 80列であり、総風力発電設備能力は推定約192万kW (= 1,600 x 1,200kW)となる(1個の3,000kW設備の年間を通じた発電効率を0.4と想定)と想定し、実効能力を1,200kWとした。海洋の単位面積あたりの風力発電能力は648kW/km²である。

浮体型風力水素製造装置2(強制引き込み型)の(深海)海洋面への配置案(参考システムB-b)

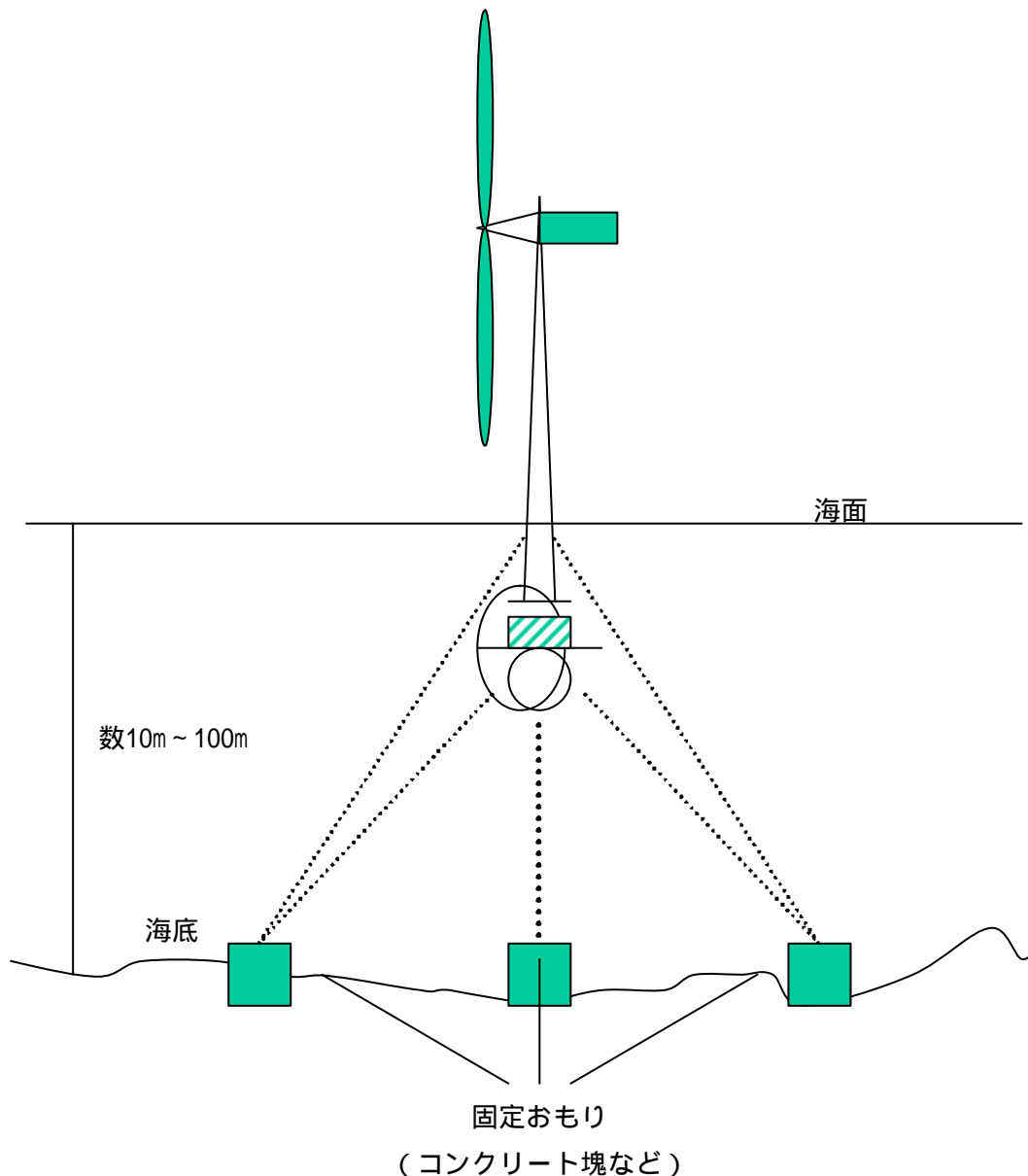
強制引き込み型の浮体型風力水素製造装置2の(深海)海洋面への配置については、本文で提案したシステムと同様に、固定用の海中浮きを海面下50~60mに500mメッシュで設置し、その浮きに浮体型風力水素製造装置2を繋ぐ方法(本文 章、図6-1、図6-2、図6-3および図6-4参照)が

考えられる。

この海中浮き係留法で浮体型風力水素製造装置 2 を想定する海域 27 海里 (60km) 平方に配置した場合、配置される浮体型風力水素製造装置の総数は、5,625 (= 625 / 7° ロック × 9 7° ロック) であり、総風力発電設備能力は推定約 675 万 kW (= 5,625 × 1,200kW) となる (1 個の 3,000kW 設備の年間を通じた発電効率を 0.4) と想定し、実効能力を 1,200kW とした)。海洋の単位面積あたりの風力発電能力は 2,078kW/km² である。

(3)浮体型風力水素製造装置の (浅海)海面への配置

浮体型風力水素製造装置 2 の比較的浅い海 (数 10m ~ 100m) の海面への配置については、1 案として添付 1 図 9 に示す方法が考えられる。



添付 1 図 9 浮体型風力水素製造装置 1 の (浅海)海面への配置方法 (1案)

この場合、浮体球は風力発電機重量を上回る浮力を持つようにし、かつ、海底に設置されたおもりに固定され、強制的に海中に沈められるようにして風力発電装置の姿勢を保つものとしている。三陸沖や北海道西方の

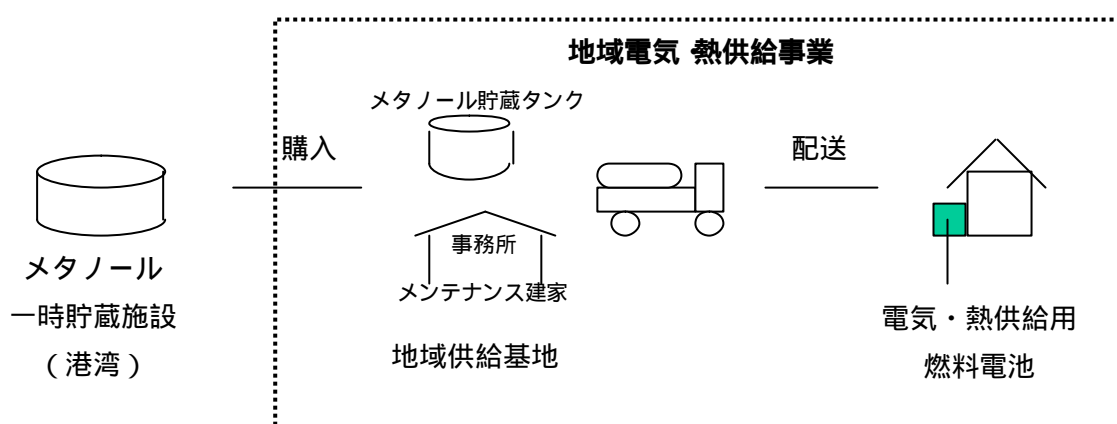
大陸棚では、この方法が有効であるものと考えられる。航路や漁場を考慮し、有効な面積が確保できれば相当な量の水素ガスが製造されるものと考えられる。

メタノール改質燃料電池による地域電気・熱供給事業概算評価

この資料では、メタノール改質燃料電池による地域電気・熱供給事業の収支バランスを概算で評価する。なお、供給事業の規模は平均的な家計支出を行う1万世帯とする。

1. 地域電気 熱供給事業の範囲

地域電気・熱供給事業の範囲は、海洋風力由来のメタノールを購入・貯蔵し、それを1万戸の家庭に設置した電気・熱併用供給燃料電池に定期的に配送し、各家庭に電力および温水を供給するものとし、燃料電池が故障しないよう保守、管理を行うものとする（下図参照）。



添付2図 - 1 地域電気 熱供給事業の範囲

2. 1万世帯が支出する電気代、ガス代など(事業収入規模)

総務省の家計調査によると、平成12年12月～平成13年11月までの1年間に、日本の平均的な家庭が支出する電気代、ガス代、灯油代の合計は198,095円となっている（下表参照）。

添付2表 - 1 家計支出のうち電気代、ガス代、灯油代(全国平均)(平成12年12月～平成13年11月)

調査年月	電気代	ガス代	灯油代	合計	累計
平成12年12月	8,483	6,394	2,697	17,574	17,574
平成13年1月	10,965	7,354	2,908	21,227	38,801
平成13年2月	11,208	7,736	3,070	22,014	60,815
平成13年3月	10,051	7,585	2,218	19,854	80,669
平成13年4月	9,258	6,843	1,229	17,330	97,999
平成13年5月	8,379	6,532	665	15,576	113,575
平成13年6月	7,424	5,520	460	13,404	126,979
平成13年7月	8,222	4,890	315	13,427	140,406
平成13年8月	10,805	4,340	270	15,415	155,821
平成13年9月	10,057	4,120	279	14,456	170,277
平成13年10月	8,243	4,558	576	13,377	183,654
平成13年11月	7,922	5,172	1,347	14,441	198,095

総務省統計局統計センター、家計調査結果表(非農林漁家世帯結果)より(単位円)

現在、家庭では、電気を電力会社から購入し、ガスについてはガス会社から、灯油についてはガソリンスタンドなどから購入し、消費している。

ここで評価する地域電気・熱供給事業は、海洋風力由来のメタノールを燃料とする電気・熱併用供給燃料電池を各家庭に設置（所有権は供給会社）し、各家庭に電気および温水などの熱を供給し、料金を徴収するものとする。

この事業により供給されるものは、家庭用電力（すべて）、風呂・シャワー用の温水、流し台温水などであり、平均家庭の電気代、ガス代、灯油代の合計の約 80%分に相当するものとする。従って、供給会社が徴収できる料金は、1 家庭あたり年間 158,476 円（=198,095 円×0.8）と想定する。

すなわち、事業収入規模は最大 15.8 億円となる。

3. 供給事業会社の設備（概算）および従業員構成

供給事業会社の所有する設備は、以下のとおりとする。

添付 2 表 - 2 供給事業会社の所有する設備および設備費概算

設 備	場 所	設備など仕様	設備費概算
メタノール貯蔵タンク (1,000kl/基×5基)	供給基地	1,000kl タンク ; 底面直径 16m×高さ 5 m	5 億円 (= 1 億円/基×5 基)
メタノール配送車両		5kl 配送車両; 6 台	1.5 億円 (= 0.25 億円/台×6 台)
燃料電池 メンテナンス建家		床面積 20m×40m メンテナンスエリア+専用工 具類	1 億円(両者合計) (連絡用小型車両 5 台含む)
事務所 (従業員 18 人)		床面積 10m×20m 従業員居室+会議室+事務機 器+連絡用小型車両など	
燃料電池 (1万台)	各家庭	メタノール改質型燃料電池 ; メタノールタンク(300l)付き	20 億円 (= 20 万円/台×1万台) 燃料電池本体(メタノールタンク含む) ; 20 万円/台

供給基地の従業員構成は、以下のように想定する。

添付 2 表 - 3 供給事業会社の従業員構成

従業員	人数
管理責任者	1 人
メタノール配送作業員	6 人
燃料電池設置・保守作業員	6 人
事務補助(パート)	5 人

4. 供給事業の収支バランス

以上より、事業の収支バランスをみると下表のとおりとなる。

添付2表 - 4 メタノール改質型燃料電池による(1万戸電気・熱供給)事業の収支バランス(概算)

		年間収入 (億円)	年間支出 (億円)
熱電供給料金		15.8 (15.8万円/戸・年×1万戸)	
メタノール購入費 (2.71万kl/年) (*次頁参照)	45円/ℓ の場合		12.2
	40円/ℓ の場合		10.8
	35円/ℓ の場合		9.5
事業施設(メタノール貯蔵タンク、メンテナンス建家など)建設費返済 [施設建設費を7.5億円と想定し、建設費用を2%の利子で借り入れ、10年間で返済]			0.9 (7.5億円×1.2÷10)
燃料電池購入費返済 [1機の普及型(数100W級)家庭用メタノール改質燃料電池の値段を20万円と想定し、1万戸分を購入設置する費用を2%の利子で借り入れ、10年間で返済]			2.4 (20万円/機×1万機) ×1.2÷10
燃料電池設置作業費返済 [1万戸の家庭に燃料電池を設置する作業費(臨時雇用;24人で3年間)を2%の利子で借り入れ、10年間で返済]			0.7 (5.8億円×1.2÷10) 作業費総額7.2億円 (=8百万円/年・人×24人 ×3年)
燃料電池保守・サービス [1万戸の家庭に設置した燃料電池の燃料追加などの保守・サービスを1戸につき4回/年行う。これを作業員6人(専用車6台)で実施する。また、事業全体の管理を1人(+パート5人)で実施する。(料金徴収は銀行振り込みを前提)]			1.3 作業人件費 ; 8百万円/年・人×12人 管理人件費 ; 12百万円/年・人×1人 ; 3百万円/年・人×5人 経費 ; 10百万円/年
総収入		15.8	
総支出	45円/ℓ の場合		17.5
	40円/ℓ の場合		16.1
	35円/ℓ の場合		14.8

この概算収支バランス表から見ると、メタノール価格が40円/ℓ程度するとき、家計に新たな負担を強いることなく地域電気・熱供給事業が成立する可能性がある。

(*) 標準家庭 1 戸あたりのメタノール改質型燃料電池のメタノール消費量算定は、次のように行った。

標準家庭 1 戸あたりのメタノール消費量

(1) 200kW メタノール改質型燃料電池の燃料消費量の見積もり

200kW メタノール改質型燃料電池の燃料消費量 (A)

燃料電池の燃料消費量; 90kg/h [5-1]

$$A(\text{重量}) = 90 \times 24 \times 365 \text{ kg/Y} = 7.88 \times 10^5 \text{ kg/Y}$$

$$A(\text{容量}) = 7.88 \times 10^5 \times 1.256 \text{ l/Y} = 9.90 \times 10^2 \text{ kl/Y}$$

(200kW メタノール改質型燃料電池の燃料消費量は、年間 990kl)

(2) 200kW メタノール改質型燃料電池で供給できる戸数の見積もり

200kW 燃料電池の年間供給電力量 (W)

$$W = 200 \times 24 \times 365 = 1,752,000 \text{ kWh}$$

200kW 燃料電池で電力を供給できる戸数 (N) (1 戸あたりの使用電力量を毎月 400kWh とする)

$$N = W / (400 \times 12) = 365 \text{ 戸}$$

(3) 1 戸あたりのメタノール使用量 (年間)

1 戸あたりの年間メタノール使用量 (a)

$$a = A(\text{容量}) / N = 9.90 \times 10^2 / 365 \text{ kl/戸} \cdot \text{年} = 2.71 \text{ kl/戸} \cdot \text{年}$$

参考文献

[添付 3-1] 東芝インターナショナルフュエルセルズ株式会社ホームページ、メタノール利用システム (200kW リン酸型燃料電池) より。

5. 燃料電池 CO₂ 回収装置の長期的開発目標について

提案するシステムでは、メタノール合成の原料として二酸化炭素が必要である。提案するシステムの移行期においては、化石燃料火力発電所からの回収 CO₂ を購入することで対応することが可能であるが、最終形態では、特に、家庭用燃料電池からの CO₂ を行い、原料として再利用することが必須であり、長期的な開発課題として、家庭用の燃料電池に付随する安価な CO₂ 回収装置の開発が必須である。

上の事業評価においては、家計支出における電気、ガス、灯油購入費の 80% を事業収入に当てることとしたが、CO₂ 回収に同家計支出の 10% (全体として現在の電気、ガス、灯油に関する家計支出の 90%) を当てるものとする。すなわち、CO₂ 回収に関して家計支出が負担する費用は年間 19,800 円とする。日本全体の世帯数は 4,000 万世帯であるので、家庭負担分のみで約 8,000 億円の CO₂ 回収事業規模となる。

このうち、燃料電池本体の CO₂ 回収装置にかけられる費用を 50% とすると、4,000 万台の CO₂ 回収装置購入返済分は 4,000 億円 (1 台あたり年間 1 万円) となる。燃料電池本体とともに CO₂ 回収装置を年 2% の利子で借り入れにより購入し 10 年で返済するものとする。CO₂ 回収装置分は 8.3 万円/台となり、これが長期的な CO₂ 回収装置の開発目標と考えることができる。なお、標準家庭用燃料電池 (メタノール消費量 2.71kl/年) で発生する CO₂ は約 3 トンであり (添付 3 表 - 5) この 80% 程度の約 2.4 トンを回収することを目標とする。(日本全体の家庭より回収される CO₂ 総量は 9,600 万トンと見積もられる。)

添付2表 - 5 メタノール燃料電池(メタノール2.71kl 使用)で発生する二酸化炭素量

メタノール燃焼反応式 : $2\text{CH}_3\text{OH} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$			
	メタノール (CH_3OH)	酸素 (O_2)	二酸化炭素 (CO_2)
反応モル比	2	3	2
分子量	32	32	44
反応重量比	(64) 8	(96) 12	(88) 11
使用メタノール量 2.71kl あたり発生量	2.16 トン		2.97 トン
二酸化炭素回収量 (回収効率 80%)			2.37 トン

參考資料

大型風力発電機(1,000kW 以上)の仕様

大型風力発電機 (1,000kW 以上) の仕様 (1)

参考
一

形式 メーカー (参考文献)	WTS 80 KVAERNER [a]	V66/1.65MW Vestas [b]	TACKE TW 1.5 TACKE Windenergie GmbH [b]	E 66 ENERCON GmbH [b]	V63/1.5MW Vestas [b]	Wintec 1570 Wintec [b]	NM1500/64 NEG Micon Deutschland GmbH [b]	TACKE TW 1.5s TACKE Windenergie GmbH [b]	NORDTANK 1500/60 [a]
翼直径(m)	80.5	66.0	65	66.0	63.0	70.0	64.0	70.5	60.0
翼数	2	3	3	3	3	3	3	3	3
定格出力 (kW)	3,000	1,650	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
カットイン風速 (m/s)		4.0	4.0	2.5	4.0	3.5	4.0	3.0	
定格風速 (m/s)		15.0	13.0	13.0	15.0	11.0	14.0	12.0	
カットアウト風速 (m/s)		25.0	25.0		25.0	20.0	25.0	22.0	
限界風速 (m/s)		70.0	58.0	70.0	70.0	52.5	55.0	50.0	
翼重量 (トン)	(90)	22.8		27.35	22.8	16.5	39.5		
ナセル重量 (トン)	(120)	53.0		63.0	53.0	70.0	65.0		

大型風力発電機 (1,000kW 以上) の仕様 (2)

形式 メーカー	MD 70 bwu GmbH	N-62 NORDEX	AN BONUS AN Windenergie GmbH	N-60 NORDEX	DeWind 60 DeWind Technik GmbH	AUTOFLUG 1200	1000/57 bwu GmbH	DeWind 62 DeWind Technik GmbH
(参考文献)	[b]	[b]	[b]	[b]	[b]	[a]	[b]	[b]
翼直径(m)	70.0	62	62.0	60.0	60.0	61.0	57.0	62.0
翼数	3	3	3	3	3	2	3	3
定格出力 (kW)	1500	1,300	1,300	1,300	1,250	1,200	1,050	1000
カットイン風速 (m/s)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.5		3.0	3.0
定格風速 (m/s)	12.4	15.0	15.0	15.0	12.5		13.0	11.5
カットアウト風速 (m/s)	20.0	25.0	25.0	25.0	28.0		25.0	25.0
限界風速 (m/s)	59.0	60.0	55.0	65.0	60.0		55.8	60.0
翼重量 (トン)	25.0	25.8	25.0	25.8			18.0	
ナセル重量 (トン)	58.0	45.0	50.0	49.0			65.7	44.0

大型風力発電機 (1,000kW 以上) の仕様 (3)

参考
1-3

形式 メーカー (参考文献)	NM 1000/60 NEG Micon Deutschland GmbH [b]	NEDWIND NW55/2/1000 -240 [a]	Nordex N-54 NORDEX [b]	AN BONUS 1MW/54 AN Windenergie GmbH [b]	Fuhrlander FL1000 Fuhrlande GmbH [b]	MICON M2300 -1000/250kW [a]	NORDIC 1000 [a]	NEDWIND NW53/2/1000 -240 [a]
翼直径(m)	60.0	55.0	54.0	54.2	54.0	54.0	53.0	52.6
翼数	3	2	3	3	3	3	2	2
定格出力 (kW)	1000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
カットイン風速 (m/s)	3.0		3.0	3.0	3.0			
定格風速 (m/s)	13.0		14.0	15.0	12.0			
カットアウト風速 (m/s)	20.0		25.0	25.0	20.0			
限界風速 (m/s)	60.0		56.0	55.0	54.0			
翼重量 (トン)	20.0		19.9	25.0	18.5			
ナセル重量 (トン)	32.0		50.0	40.0	40.5			

参考文献

- [a] EUROPEAN COMMISSION “ A PLAN FOR ACTION IN EUROPE (WIND ENERGY THE FACT) ” , 1999 .
- [b] TRONC 風力発電ネットワーク (ホームページ) (世界の小中大型風力発電機仕様) .

日本の大型風力発電
(単機出力 1,000kW 以上のもの)

日本の大型風力発電 (単機出力 1,000kW 以上のもの)

稼働年月	設置者	設置場所	単機定格出力 (kW)	台数	メーカー	用途	参考文献
1999. 4	室蘭市	北海道室蘭市	1,000	1	三菱重工業	非常用発電	[a]
1999.10	トーマン苫前	北海道苫前町	1,000	20	Bonus	売電事業	
2000.12	錦江高原ホテル	鹿児島県鹿児島市	1,300	1	Nordex	自家消費	[b]
2000.12	(株)ドリームアップ苫前[電源開発(株)など共同] (苫前ウィンビラ発電所)	北海道苫前町	1,650	14	Vestas	売電事業	[c]
			1,500	5	Enercon		
2001.12	仁賀保高原風力発電[(株)(電源開発(株)など共同) (仁賀保高原風力発電所)]	秋田県仁賀保町	1,650	15	Vestas		
2001. 8	銚子屏風ヶ浦風力開発株式会社	千葉県銚子市	1,500	1	Tacke		[d]
2001.10	(株)トーマンパワー下北 (岩屋ウィンドファーム)	青森県東通村岩屋	1,300	25	Vestas	売電事業	[e]
2001.11	北海道クリーンエナジー	北海道根室市	1,500	1	Tacke	売電事業	[f]
2001.12	さきとまない風力(株)[(丸紅と北海道内企業の共同)]	北海道稚内市	1,650	9	Vestas	売電事業	[g]
2002 予定	エコ・パワー(株) (むつ小川原ウィンドファーム)	青森県六ヶ所村	1,500	22	Micon	売電事業	[h1][h2]
(未着工) 2003 秋頃	門前風力発電(株)	石川県門前町	1,500	(9)	Tacke	売電事業	[i]

(以上の他、建設中、計画中のものあり)

[a] 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)ホームページ、新エネルギー導入促進部紹介資料中の「風力発電」。

[b] 風力発電仲間 (<http://www.sato-koshiki.jp/wind%20power%20plant/nakama.htm>)。

[c] 電源開発株式会社ホームページ、新しい取り組み (http://www.epdc.co.jp/new_business/gr6.html) 仁賀保高原風力発電(株)、株式会社ドリームアップ苫前。

[d] 銚子屏風ヶ浦風力開発株式会社 (<http://www.jwd.co.jp/choshipage.html>)。

[e] トーマンの風力発電事業 (<http://www.tomen.co.jp/kaze/kaze0/kaze0.htm>)。

[f] 釧路新聞ホームページ釧路、根室の出来事(平成13年11月13日) (http://www.hokkai.or.jp/senshin/kn01_1113.html)。

[g] 丸紅ホームページニュース (<http://www.marubeni.co.jp/news/nl/nl011015.htm>)。

[h1] むつ小河原事業概要 (<http://www.shinmutsu.co.jp/salesguide/invitation/outline.html>)。

[h2] 日本政策投資銀行 News Release (<http://www.dbj.go.jp/japanese/release/rel2001/0328-1.html>)。

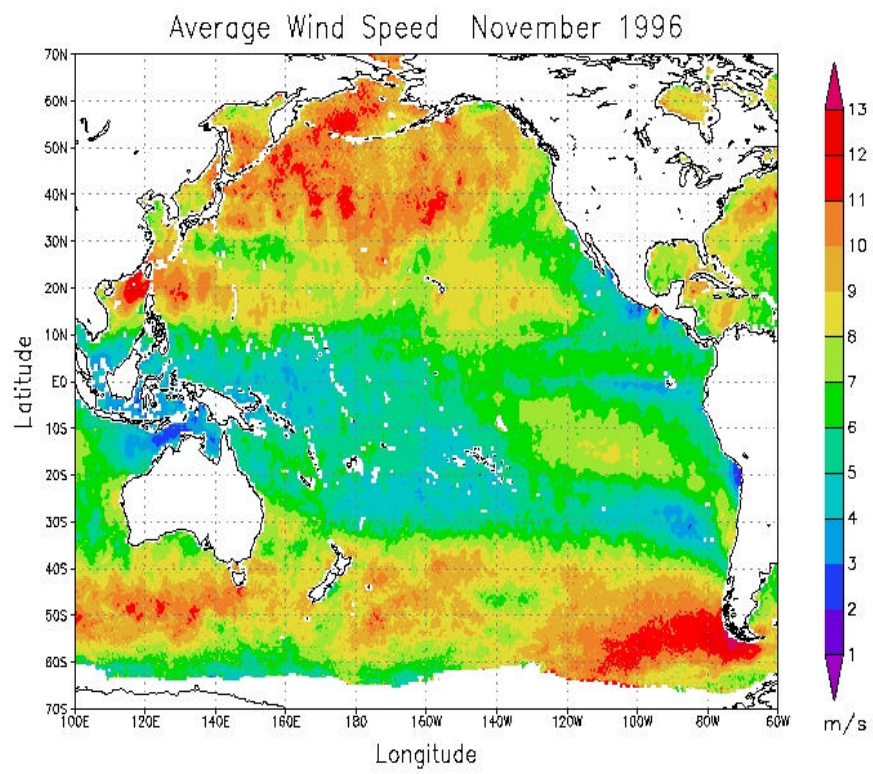
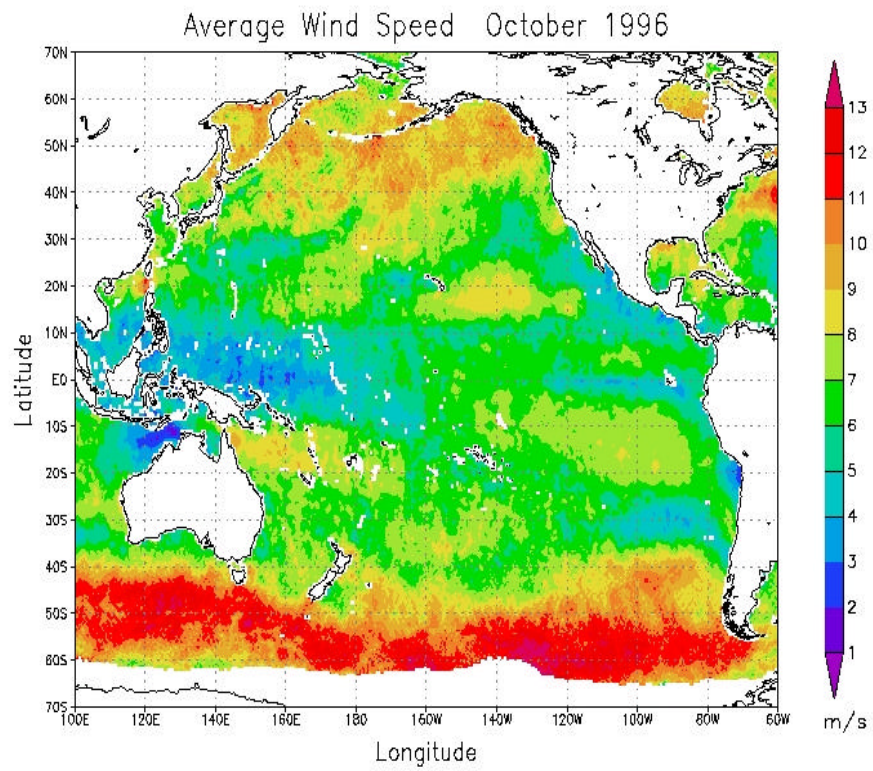
[i] 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (<http://www.nedo.go.jp/informations/press/121110/ichiran.pdf>)。

日本近海および太平洋の月平均海上風（平均風速）

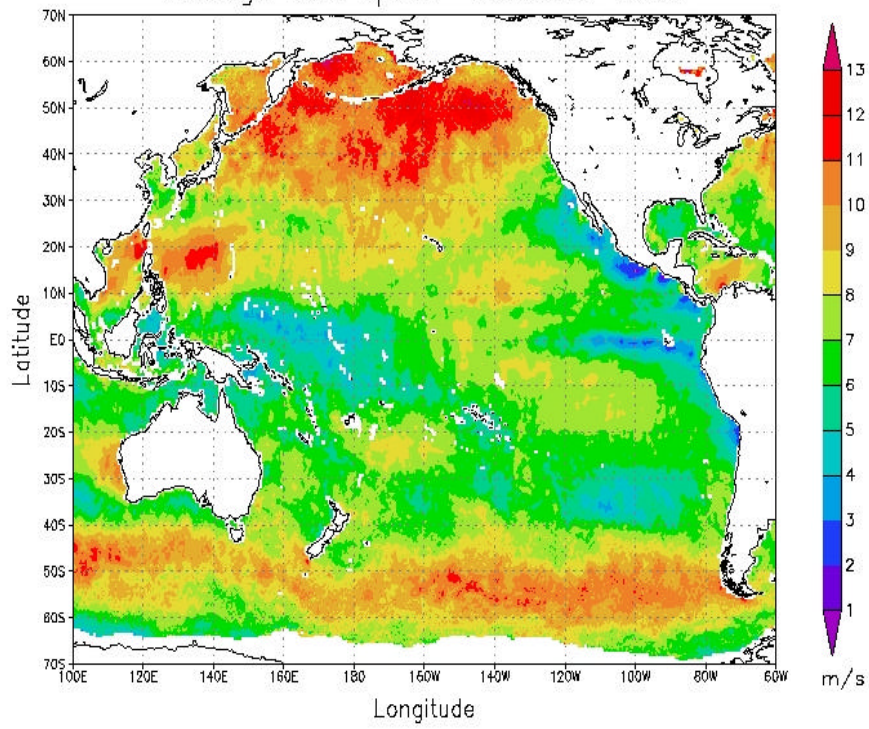
（1996.10～1997.6）

（宇宙開発事業団（NASDA））

（地球観測プラットフォーム技術衛星「みどり」(ADEOS)の観測データによる）



Average Wind Speed December 1996



Average Wind Speed January 1997

