

9515 ソーラーエネルギーによる海水の淡水化と塩生産技術に関する研究

助成研究者：安田 喜憲 (国際レバノン杉協会)

共同研究者：堀米 孝 (日本太陽エネルギー学会)

渡部 康一 (慶應義塾大学)

蒲谷 昌生 (ソーラーシステム研究所)

谷本 信 ((財)高知県政策総合研究所)

石川 義熊 (㈱三菱総合研究所)

研究概要

大気、水質汚染を始め、オゾンホール、酸性雨、砂漠化等、近年に入って我々をとりまく地球環境問題は民族、国家を超えて国際問題の重要課題として認識を深めてきた。

特にCO₂を始めとする温室効果ガスの増大は化石エネルギーの大量消費との相関が高く「気候変動枠組条約」として国際的規制の方向に動いている。

一方ここ数年来太陽光発電の開発が進み、特に多結晶やアモルファス系シリコン素子の発電効率が上り、既にこれらを用いた太陽光発電の実用段階に入っている。

この様な時代背景と現在の社会情勢から太陽エネルギーを主体に風力、波力、温度差等のいわゆる“再生化エネルギー (Renewable Energy)” 利用の可能性を追求し、実用化に向けての現状と将来の見通しを持つことは我々にとって極めて重要なイシューであると考えられる。

当研究は洋上における再生化エネルギー複合電力発電システムのF/Sを行ない、現状の問題点を抽出し、その分析結果をもとに将来の方向性について解決方策をまとめたものである。

この中で特に世界的に飲料水や灌漑用水が不足している現状を踏まえて、完全な再生化エネルギーによる淡水製造と塩生産プラントを含む洋上エネルギーパーク“REPO (Renewable Energy Park on Ocean)” の提案を行ない、これらの実現に向けた周辺技術の調査を行なってその実施につき考察を行なった。

9515 ソーラーエネルギーによる海水の淡水化と塩生産技術に関する研究

助成研究者：安田 喜憲（国際レバノン杉協会）

共同研究者：堀米 孝（日本太陽エネルギー学会）

渡部 康一（慶應義塾大学）

蒲谷 昌生（ソーラーシステム研究所）

谷本 信（(財)高知県政策総合研究所）

石川 義熊（㈱三菱総合研究所）

■ 研究目的

18世紀産業革命以来、科学技術を背景とした近代工業、産業国家は著しく発展を遂げてきたが、その一方で20世紀末に到り、大気や水質汚染、地球温暖化、オゾンホールの拡大、森林の減少、砂漠化等のいわゆる地球環境問題が地球人口の急激な増加と相俟って“発展”という理念に大きな疑問を提起してきた。21世紀に向かって我々は民族や国家の“発展”という課題と国家、民族を越えた地球規模の問題解決という相矛盾する2つのイシューの同時解決を迫られているのであり、今後はこれらは同じ比重をもって内外の政策を考察していかねばならぬ時代に入ってきたと認識すべきであろう。

この様な情勢の中で、日本国内におけるエネルギーと食糧と水という3つの大きな政策問題があるが、特にエネルギーの問題は重要で、先進国は全て社会インフラが石油エネルギー依存という形で成立しているため、石油供給が安定的に確保できうる環境というものが近代都市国家の生命線といっても過言ではない。幸い日本は化石燃料に対する原子力エネルギーの比率は高く、電力供給としてのバランスは良好であるが、さらに今後の21世紀に向けた地球環境問題というものを見通した政策を考慮すれば、当然地球上無尽蔵に存在するソーラーエネルギーの利用という観点からの政策も将来の中心的政策課題として実施せねばならない問題である。

通産省は既に“新エネルギー需給計画”として2010年には日本国内の全エネルギー需給の5.3%をソーラーエネルギーを始めとする新エネルギーによって賄う計画を策定しており、国際的にも“気候変動枠組条約”などの地球環境の国際的取り決め等にも対応していく体制を固めている。

この中でニューサンシャイン計画は、小規模分散型家庭用発電システムを主体としたものであり、集中型発電プラントの実施は特に考慮されていない。この理由は、電力供給のみを考慮した場合、現在の価格体制では経済的に成り立たないという判断に由来している。

しかし、次の時代は明らかに地球環境に対するリスクの代償として炭素税や環境コストを内蔵した価格が、ISOを中心とする環境監査組織などを中心に、国際貿易機構の中で設定されうる状況にある。

また、大都市における生活用水や地域における農業、灌漑等の地球的規模での水の供給システムということもリサイクル産業とともに大きな産業分野になってくる可能性があり、これらを総合的に考えれば、太陽エネルギーと海洋利用ということが、21世紀の日本がとるべき2つの大きな国際産業政策となる。

ここに提案するREPO計画（Renewable Energy Park on Ocean）は、以上の様な情勢分析結果を考察の上に計画された洋上クリーンエネルギープラントの構想であり、この提案は将来のエネルギー問題、人口問題、環境問題、水・食糧問題の解決に向けた日本から国際社会に向かってのメッセージでもある。

当研究目的は、REPO計画の実施に対するF/Sを行ない、これらの分析に基づき考察を行なって問題点の解決と将来の展望について明確な予測を行なうものである。

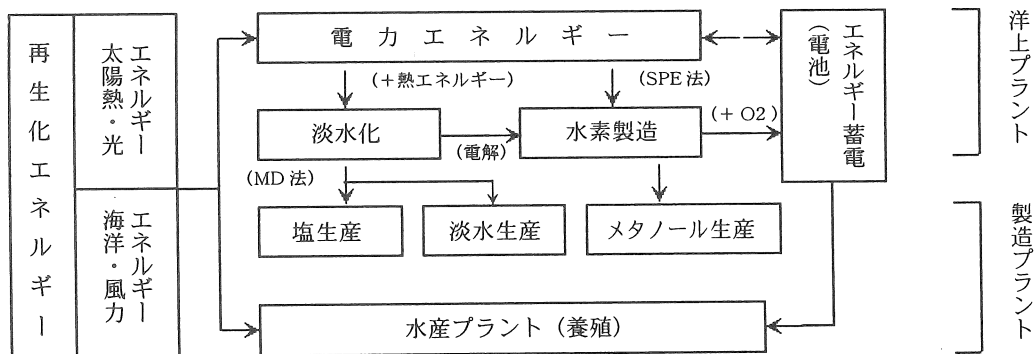


Fig-1 再生化エネルギー利用の概要

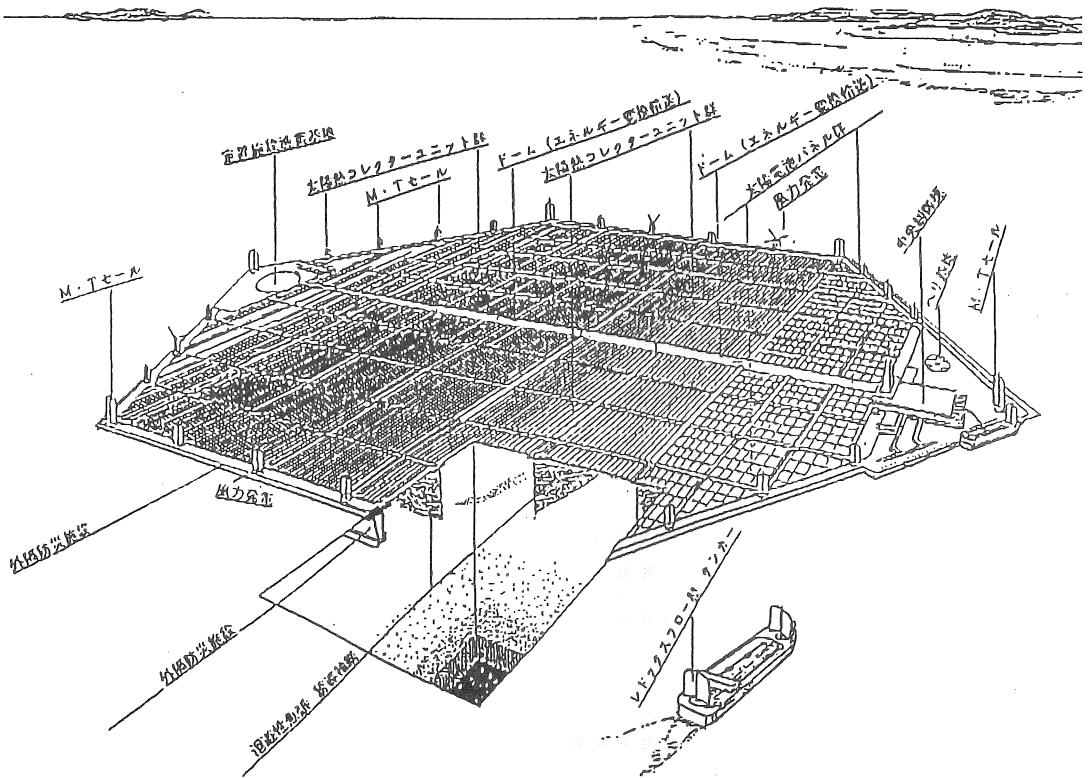


Fig-2 洋上再生可能エネルギーパーク構想 (REPO 計画)

■ 研究方法

研究は次表の各項目と分析課題に対し、実例に基づいた分析を行ない問題点を抽出して解決課題と将来の方針とを提案するものである。

分析項目	分析課題	分析内容
Ⅰ．太陽光発電の現状と将来動向	① 太陽光発電のニーズ及び目標	<ul style="list-style-type: none"> 地球環境問題として国際的な役割 日本政府の方針 電事法の改正 開発普及政策現状
	② 太陽光発電経済システム評価	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー収支算定（EPT） CO₂排出抑制効果及び試算
	③ 太陽光発電の将来の方向	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー変換効率の推移 技術開発動向 コスト試算と動向 将来コスト分析（環境コスト試算）
Ⅱ．洋上エネルギーパーク（REPO計画）の検討	① 再生化エネルギー資源の現状と計画	<ul style="list-style-type: none"> 太陽エネルギー潜在ポテンシャル
	② REPO計画の検討	<ul style="list-style-type: none"> 全体開発計画 生造プラント計画 洋上浮体プレート形態
	③ REPO計画要素技術検討	<ul style="list-style-type: none"> 太陽光発電プラント 太陽熱発電プラント 海洋温度差発電（OTEC） 海水淡水化プラント 水素生産プラント
Ⅲ．太陽エネルギー淡水化プラントと塩生産技術の検討	① 太陽光による淡水化プラント実例分析	<ul style="list-style-type: none"> 淡水化法の分析 造水効率分析 脱塩効率分析 コスト分析
	② 太陽光エネルギーによる塩生産に関する基本技術	<ul style="list-style-type: none"> 集熱技術 蒸発技術 集水技術 システム効率化技術 経済分析
Ⅳ．海洋浮体構造物の検討	① 海洋開発分析	<ul style="list-style-type: none"> 海洋エネルギー 海水資源、鉱物資源、生物資源 海洋産業
	② 海洋浮体構造物実施例の検討	<ul style="list-style-type: none"> 上五島石油備蓄基地の分析 メガフロート技術研究組合・実験分析

■ 研究結果

I. 太陽光発電の現状と将来動向

太陽光発電の現状は一般電力に比べて発電コストが高く現実に合わない。従って大量生産によりコストを低減させていく体制を創ることが最も重要である。この中でシリコン単結晶のものは生産段階でコスト高となる。アモルファスシリコンは最も大量生産に向いているが、初期効率劣化が大きくEPT（Energy Pay-Back Time）等に問題がある。多結晶シリコンはその中間に行くものとして、最も大量生産に適したのものとして考えられているが、次の様な様々な技術的課題の解決が将来必要となっている。

(1) 開発項目	(2) 開発技術項目	(3) 開発のキーテクノロジー
① 薄形多結晶PVの開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ シリコン製造技術 ・ 基盤製造技術 ・ セルモジュール効率化製造技術 	高品質連続大量生産システム 高速大形铸造法 高速配線・電極形式ドライエッチング法
② 薄膜形PV製造技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 大面積モジュール製造技術 ・ CdTe PV モジュール製造技術 ・ 高品質化技術 	ガラス基盤形成等工程短縮と自動化 CdTe 薄膜の均一高速形成 アモルファスPV 初期効率劣化向上 (高効率タンデム技術)
③ 超高効率PV技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 単結晶シリコン技術 ・ 結晶化合物技術 	光閉じ込め反射防止膜、大径化積層セル素材（Al・Ga・As/Ga・As/Ge等の最適化Si製造）
④ PV評価システム開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 性能評価手法技術 ・ 信頼性評価手法技術 	実験シュミレーターによる評価手法劣化、耐用年数の短期計測手法
⑤ PVシステム評価手法の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 最適システム設計手法技術 ・ 周辺システム設計手法技術 	シュミレーション精度の向上 インバーター評価手法

II. 洋上エネルギーパーク（REPO計画）の検討結果

REPO計画の中で、特に中心的課題となる太陽エネルギーによる淡水化プラントについての分析結果は次の5点に集約される。

- ① 淡水化プラントは数段階の淡水化法の組合せ複合システムとした方が有利となり、特に複合化の中に太陽熱エネルギーの利用を含めるものの開発が効率が非常に上る可能性がある。
- ② 高濃度の塩水に対しては逆浸透法が有利であり、これを中心とするプラントにおいては浸透性劣化に対し新しい浸透膜やイオン交換樹脂材料の開発が今後のキーテクノロジーとなる。
- ③ 熱エネルギーも含めた淡水化プラントを考えた場合、高温・高圧による逆浸透法の

高速化、水蒸気浸透法、蒸気タービン利用など多面的な効率化の可能性がある。

- ④ プラントの実施に関して、全効率化システムに対するシミュレーション手法に保守も含めたモデル化を確立する必要がある。

プラント運用についてメンテナンス規準の設定が効率化のためにも必要となる。

- ⑤ 太陽光エネルギーによる淡水化プラントは現在離島等において採算ベースに乗るが、今後はこれに太陽熱の利用と各要素技術の開発の統合化により、低廉な価格での海水からの淡水製造が可能となる。

III. 太陽エネルギーによる淡水化と塩生産プラントの分析結果

海水の淡水化・塩生産の手法別によるコストは図 (Fig-3) の様になり、一般にプラント能力が増大するに従い、生産コストは下がる。

現状でソーラーによるものは2～3倍のコストとなるが、これは太陽熱のみを利用した場合で光と組合せた場合、他の例では5割程度コストダウンが図れる。

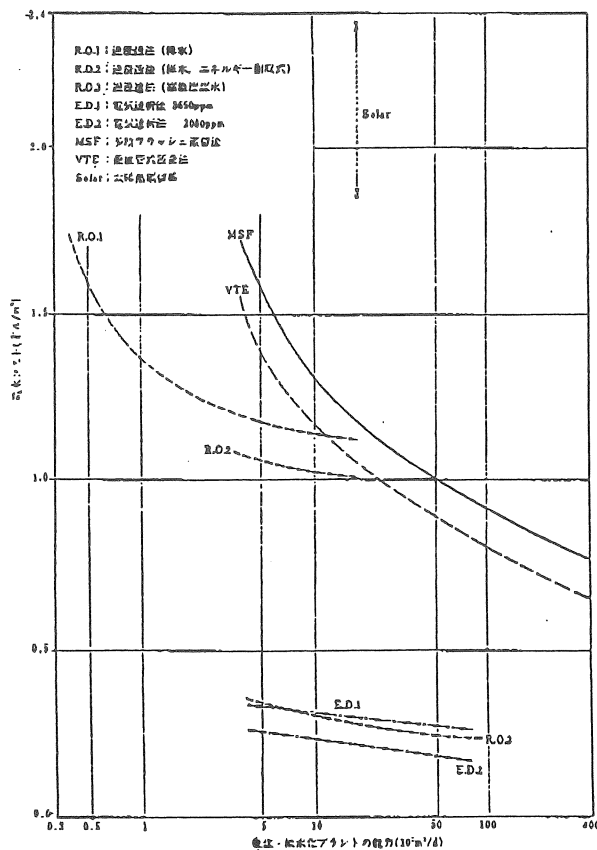


Fig-3 造水・製塩コスト比較

これらの分析結果の結論は次の8項目に集約される。

- ① エネルギー的には熱による蒸発法よりは電気透析法が有利となる。
- ② 太陽光発電は現在割高であるので、将来の利用でき得る時期を予測しておく必要がある。
- ③ プラントは大型化した方が有利となってくる。
- ④ 太陽熱は海水等の加熱に利用するなど熱、光エネルギーの組合せの最適化を図る。
- ⑤ 直接法よりも間接法を用いた方が各要素技術についての選択肢が多く総合的エネルギー収支は有利となる。
- ⑥ 直接法は将来初期コストが低いため、現地生産、現地利用など地域性に基づくプラントに限定されてくる。
- ⑦ 飲料用、灌漑用に関する水質はTDS濃度で差があり、特に灌漑用造水のコストダウンの方法が必要となる。
- ⑧ 直接法に関しては熱エネルギー吸収高効率コストダウンのため、多段フラッシュやWick利用技術等が考察されている。新たに水表面積増大のため、噴霧加熱技術等、異なる形の研究も必要となる。

IV. 海洋浮体構造物の検討

大型海洋浮体構造物及びREPO計画構造物について検討結果は次の通り。

- ① 大型海洋浮体構造物は造船技術を基に新しい観点からの海洋開発の担い手として必要不可欠であり、将来多方面にわたる需要が予測される。
- ② 海洋開発の実施に際しては未知な所も多く、日本においては国内の法的規準に従うが、国際的公海上の未解決な様々な問題の取扱いについては今後詳細な国際法的取決めが必要となる。
- ③ 構造上風や波浪による静的くり返し外力及び動的慣性力など系として静、動2面からの取扱いが必要であり、他の系との繋がりのある点や面に対し変位吸収や衝撃力緩和のため、体系化された変位-外力緩和システムの適用が必要となる。
- ④ 化学原料や原油を扱う洋上施設においては事故時を想定して対応システムを備えておく必要がある。これは主に外海への原油等流出防止と危険物への防備防火システムとして危険感応センサーによる総合安全システムの完備である。
- ⑤ 海洋開発の海洋エコロジーへの影響に関しては予め指標を設定しアセスメントを行ないこれに基づく影響評価を行なった上で洋上浮体の建設を行なう必要がある。これらの指標とアセスメントの方法については海洋環境に関する国際的な取決めが必要である。

特にREPO計画に関する検討結果は次の通り。

- ① 外力の影響許容量規準 構造系は常時揺れている状態にあり、洋上のプラント工場などと浮防波堤の揺れの量に対してはその許容量は異なる。一

一般的にその許容量に応じて3段階程度の変位量規準となる。

- ② 海底アンカー、係留システム 全ての構造系を衛星からの電波による姿勢制御で行なうことは全ての構造物に動力を装備することとなり、非常に不経済となる。このため海底にアンカーとしてハブ不動点を一カ所設けこれを中心に重力アンカーサブシステムを付備して全体として海底アンカーシステムを構築し、姿勢制御システムを合せて全係留システムを制御する。
- ③ REPO プランニング REPOのプラントは外側から順に「浮防波堤群」「ソーラーエネルギー収集パネル群」「プラント工場群」「コントロールタワー、管理棟群」となり、概略この順で構造物の変位規準も設定される。
- ④ 許容相対変位規準 各構造体やパイプラインあるいは配線設備に対する正負の3次元許容相対変位の設定が必要となる。
- ⑤ 完全自動姿勢制御システム 波の方向、大きさをセンサーにより事前にキャッチしこれに対応して構造体の上下揺れを常時最小とすべく浮力中心や重心移動を行なう自動変位制御システムはコントロール管理棟、あるいは危険物等を扱うプラント工場群棟に必要となる。
- ⑥ 耐用性、劣化防止メンテナンスシステム 構造物は陸上と異なり、塩害、腐食、多湿、海洋生物付着、紫外線、常時振動等により、劣化が早い。特にセンサー機能や配管系精密機器類に対する対応と金属構造物に関する腐食などメンテナンスの管理自動化システムが必要となる。

■ 考察

ソーラーエネルギーによる海水の淡水化と塩生産に関する洋上プラント構想は現状ではコスト高になるが、この原因は、①太陽光発電のコスト高、②複合エネルギープラント最適化評価手法の欠如、③浮体構造物コスト高、④評価対象プラントが実験段階、⑤要素技術開発コストが含まれるケースが多い、等のことにより割高となっている。これに対し評価規準に次の各項を考える。

- ① 炭素税など環境負荷に対するコストの算入。
- ② 複合エネルギープラントとしての評価。
- ③ 空港やマリナーレジャー施設などと併用する場合の評価。
- ④ 大都市周域での土地価格の評価。

⑤ 将来の社会情勢及び技術予測を踏まえた評価。

①は地球環境問題への対応への評価。②、③は将来のガス・ハイドレードやヨットハーバーなどの海洋開発との共同開発評価。④は土地購入や埋立ての場合との比較評価。⑤は石油の値上り、新たな技術開発の可能性に関するものである。

この中で②、③、④は現状の問題であり、最終的にREPO計画の様な開発はよりグローバルな海洋の総合的な開発計画の一環として計画された場合、現状でも十分そのメリットが表れてくる。

■ 今後の課題

当研究により新たに次の問題・課題が提起され、これに対する対応策は次の通り。

	課 題	解決方針
I . 太陽光発電	<ul style="list-style-type: none"> ・ コスト高（割高） ・ 大量生産体制 ・ タンデム化技術 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 大容量発電等大量需要の創出 ・ 特に多結晶素子の大型化、連続製造体制 ・ 多層化による高効率化、層間バッファ領域研究
II . REPO 計画	<ul style="list-style-type: none"> ・ 要素技術の開発 ・ 他の海洋開発との協力 ・ 国際的取決め 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 特にエネルギー多様化組合せ生産技術 ・ 防波堤、施設の共有によるコストダウン ・ 公海上国際的規準の取決め推進
III . 洋上淡水化プラントと塩生産技術	<ul style="list-style-type: none"> ・ （太陽熱＋光）エネルギーの併用 ・ メンテナンスの効率化 ・ システム効率化技術 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 間接法による集エネ技術と蒸発技術の開発 ・ 浸透膜、イオン変換樹脂等の新材料研究開発 ・ 多段法等組合せシステム技術開発
IV . 海洋浮体構造物	<ul style="list-style-type: none"> ・ 法的規制の一本化 ・ 相対変位の緩衝 ・ 変位規準の設定 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 船舶安全規準、消防危険物取扱い等関連規準の整備 ・ 相対変位による変位緩衝構造システムの開発 ・ 用途別変位規準の導入
V . 総合的課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ 要素技術の研究・実験開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高効率化浸透膜の開発 ・ タンデム型多結晶シリコン素子の研究開発 ・ 浮体構造物安定化自動コントロールシステムの研究開発

参 考 文 献

(著書)

- (1) 「洋上再生可能エネルギーパーク技術開発プロジェクト」 堀米 孝 著
- (2) 「海洋建築入門」 佐久田昌昭 著
- (3) 「日本の海洋戦略」 佐藤 文生 著
- (4) 「(巨大建設の世界) 海上空港・沈下との闘い」 NHKテクノパワープロジェクト
- (5) 「海洋情報都市」 寺井 精英 著
- (6) 「SOLAR DISTILLATION」 M.A.S. MALIK, G.N. TIWARI. 他

(論文)

- (1) 「太陽熱蒸留とその将来」(日本太陽エネルギー学会 1980年) E.A. Delyannis.
- (2) 「Experimental & Analytical Study of Performance for Single Roofed Solar Still」
(日本機械学会) 渡部 康一 他
- (3) 「Experimental & Analytical Study of Tilted Type Solar Still」(Solar World Forum1981)
渡部 康一 他
- (4) 「Improvement of The Performance of The Tilted Wick Type Solar Still」(Solar World Congress
1983) 渡部 康一 他
- (5) 「多重効用型太陽熱蒸留器の性能に関する研究」(日本太陽エネルギー学会 1988)
渡部 康一 他
- (6) 「An Experimental Study of Solar Still」(International Symposium on Thermal Application of
Solar Energy 1985) M.U.A. Hawlader 他

(資料)

- (1) 「光熱ハイブリッド型太陽光発電システムの研究開発」
1990年(社)日本冷凍空調設備工学連合会
- (2) 「会社概要」上五島石油備蓄(株)
- (3) 「超大型浮体式海洋構造物」メガフロート技術研究組合

The Feasibility Study for Production of Water and Salt by Renewable Energy on Ocean (Analytical Research of "REPO" Project)

By

Supported Researcher : Dr. Yoshinori Yasuda (The International Society of Lebanon Cedar)

Co-operator : Dr. Takashi Horigome (Japan Solar Energy Association)

Dr. Koichi Watanabe (Keio University)

Dr. Masao Kabaya (Solar System Institute Co., Ltd.)

Shin Tanimoto (Politics Institute of Kochi Prefecture)

Dr. Yoshikuma Ishikawa (Mitsubishi Research Institute Co., Ltd.)

Summary

The global environmental problems such as the air and water pollution as well as the ozone hole, acid rain, desertification, etc. have been deeply recognized as an important issue of international concern crossing the borders of racial differences or national boundaries. Particularly, the increasing of greenhouse effect gases including CO₂ is closely correlated with the mass consumption of fossil energy resources, and the recent trend towards its regulation of international scope in the form of "Framework Convention on Climate Change".

On the other hand, a considerable advance has been achieved in the development of the photovoltaic power generation technology. Especially, the efficiency of polycrystalline silicone and amorphous silicone solar cells has been substantially improved, and the photovoltaic power generation using those cells are already in the practical level.

With the times and the current social situation as background, it is considered to be an extremely important issue for us to pursue possibilities of utilizing the so-called "Renewable Energy", which is consisted of primarily solar energy with additional contribution from wind power, tidal power and ocean thermal energy, and to clearly recognize the present status and the future outlook for their practical use.

The present research is a feasibility study of the composite power generation system by renewable energy on the ocean. The current problems are pointed out and, based on the analytical results, the possible solutions for future directions are proposed.

Among other things, in view of the present situation of worldwide deficiencies of drinking and irrigation water, a "REPO (Renewable Energy Park on Ocean)", which includes production plants of water and salt using renewable energy, is proposed with the analytical research of relevant technologies.