

海水科学研究連絡委員会
第 19 期報告書

沿岸・浅海域の資源の
有効利活用を目指した技術開発

平成 17 年 7 月 21 日

日本学術会議
海水科学研究連絡委員会

海水科学研究連絡委員会 第19期メンバー

委員長	柘植秀樹（慶應義塾大学 理工学部 教授）
幹事	角田 出（石巻専修大学 理工学部 教授）
幹事	益子公男（元 財団法人 塩事業センター 海水総合研究所 所長）
委員	中尾真一（東京大学 大学院工学系研究科 教授）
委員	中村武久（東京農業大学 地域環境科学部 教授）
委員	橋本 康（愛媛大学 名誉教授）
委員	湊 章男（財団法人 電力中央研究所 原子力システム 部長）
委員	村上和男（武蔵野工業大学 工学部 教授）
オブザーバー	赤木俊夫（住重プラントエンジニアリング エンジニアリング 室設計部 部長）
〃	大井健太（産業技術総合研究所 情報技術部門 総括研究員）
〃	太田敬一（財団法人 造水センター 総務部部長兼淡水化技術部長）
〃	神澤千代志（ライト工業 技術研究所 所長）
〃	佐藤利夫（島根大学生物資源科学部 教授）
〃	橋本壽夫（元 財団法人 ソルト・サイエンス研究財団 専務理事）

（五十音順）

要旨

1. 報告書の名称

沿岸・浅海域の資源の有効利活用を目指した技術開発

2. 報告書の内容

(1) 作成の背景

世界人口の急増(資源需要量の増加)と地球環境の悪化(資源供給量の減少および質の悪化)が進むなか、資源循環型社会の実現は不可欠である。しかし、資源循環型社会の実現に向けた道のりは遠く、また、資源循環型社会といえども、新規の資源開発・利用を完全に止めることは出来ない。

このような状況下では、資源循環型社会の構築・実現と並行して、環境保全の姿勢を堅持しつつも、利用可能な資源のリザーブ拡大と多様度上昇を図ることにより、変動に強い資源供給システムを構築するための活動を推進すべきである。その場合、陸域に固執することなく、広大さ、高い生産力、人間活動との高い密着性等から、沿岸・浅海域の資源の総合的かつ持続的な有効利活用に向けた取組みを活性化する必要がある。そこで、海水科学研究連絡委員会では、今期の活動テーマとして、「沿岸・浅海域の資源の有効利活用を目指した技術開発」を取り上げ、議論を重ねてきた。なお、ここで扱う沿岸・浅海域の資源とは、溶存無機成分、水、およびバイオマス(微生物から大型生物までを含む)の各資源を指す。

(2) 現状と問題点

世界的な資源不足や環境問題の回避に向けて、地球環境と共生できる資源循環型社会を実現することが必須であるという共通認識が広まってきた。しかし、真の意味での資源循環型社会の構築・実現に至るまでには種々の難問が山積しており、その実現は容易ではない。

このような状況において、社会の活性を下げることなく生活水準の向上と社会の発展を目指すためには、資源循環型社会の構築・実現に向けた歩みを着実に進めると共に、環境保全の姿勢を堅持しつつも、利用可能な資源のリザーブをある程度大きくし、その多様度を高めることにより、変動に強い資源供給システムを構築しておく必要がある。特に、四面を海に囲まれた日本においては、陸域のみならず、沿岸・浅海域の資源の総合的かつ持続的利活用を目指した研究・開発を進展させるべきである。しかしながら、現状では、沿岸・浅海域のある特定資源についての個別あるいは事業別の研究・開発は進んでいるものの、環境との協調関係を維持しつつも、多種多様な資源を融合的かつ多段的に有効利活用(複数資源の同時採取、多面的利用、資源採取と環境再生の融合化、事業の融合化・最適化等)するために必要な要素技術に関する研究・開発やそれらの有機的連携化、事業の実施・評価体制の最適化を行うまでには至っていない。

従って、早急に現状を改善し、積極的に世界規模での資源不足および環境問題に対応しない

限り、近い将来、我が国の社会活性や生活水準が大幅に低下するのみならず、世界規模で食糧を含む各種資源不足、環境問題が深刻なものとなることは明らかである。

(3) 改善点、提言等の内容

上記のような状況を踏まえて、先ず、我が国の沿岸・浅海域の資源の有効利活用を目指した技術開発において、下記の施策推進することを提案する。ただし、本報告の内容は、国内のみに留まらず、我が国と同様に海を重要な資源供給の場としている諸外国の研究・開発の促進にも資することを目的とするものである。

1. 変動に強い資源供給システムを構築するための活動を推進する

世界規模での資源不足問題に対処するためには、資源循環型社会の構築・実現と並行して、環境保全の姿勢を堅持しつつも、利用可能な資源のリザーブ拡大と多様度上昇を図ることにより、変動に強い資源供給システムを構築するための活動を推進すべきである。

2. 沿岸・浅海域の溶存無機資源・水・バイオマス資源の有機的・連携的利活用を目指す

沿岸・浅海域の溶存無機成分（特に、リチウム・ウランのような希薄資源、硝酸・リンのような富栄養化原因とも資源ともなり得るもの）、水、バイオマス資源の有機的・連携的利活用を実現するための調査・研究、技術開発を促進させる必要がある。すなわち、沿岸・浅海域の多面的利用、高効率・環境保全型の資源利活用技術の開発、複数資源の同時採取、資源採取と環境再生の融合化等、既成の概念および技術（腐食・生物汚損対策やエネルギーの開発・変換・利用等の資源の採取・利活用に係る付属技術を含む）の融合化を推し進めなければならない。

3. 沿岸・浅海域の生産・資源環境の適正評価と保全・修復・管理技術の向上を図る

沿岸・浅海域の資源の有効利活用を目指すには、先ず、当該海域の生産環境・資源環境を適正に把握・評価し、それらを保全、修復および管理する技術の向上を図ることが重要である。

4. 情報関連・事業評価システムの最適化および事業組織の体制整備・強化を図る

低コスト・高効率・環境保全型の沿岸・浅海域資源の有効利活用を実現するためには、上記に加え、関連情報の管理・開示システム、事業組織の体制整備・強化（核となる省庁・部局の設定、関係官庁の横断的対応や取組みの促進、関連組織の体制整備・調整システムの構築）、事業評価システムの最適化・効率的運用を図る必要がある。

5. 沿岸・浅海域の生物・非生物環境に係る各種情報の利用・汎用化を図る

沿岸・浅海域の資源の有効利活用を推進するには、市民の協力が必須であることから、市民にとって判りやすく、馴染みやすい、上記の研究・調査報告、技術情報をはじめとする、沿岸・浅海域の生物・非生物環境に係る各種情報の利用・汎用化に努めるべきである。

目次

1 .	はじめに	1
2 .	沿岸・浅海域の溶存無機成分の有効利活用を目指した技術開発	3
3 .	造水技術および水利用 - 海水淡水化 -	8
4 .	バイオマスの有効利活用を目指した取組み	13
5 .	海水中の有用成分の採取・利活用に係る附属技術	19
6 .	沿岸・浅海域の有効利活用に及ぼす海域環境の現状と動態予測	22
7 .	沿岸・浅海域の有効利活用に関する諸機関の取組みの現状と問題点	26
8 .	結語	30
	主な参考文献	31

[付属資料] 1 ~ 84

1. はじめに

世界人口の急増（資源需要量の増加）と地球環境の悪化（資源供給量の減少および質の悪化）によって、大量生産・大量消費・大量廃棄に支えられてきた従来の社会システムの継続は、早晩、食糧不足のみでなく、各種資源の枯渇を招き、人類の未来に暗雲をもたらす。そのため、近年、この状況を変えるためには、地球環境と共生できる資源循環型社会を実現することが必須であるという共通認識が広まってきた。しかし、真の意味での資源循環型社会の構築・実現に至るまでには種々の難問が山積しており、その実現は容易ではない。

資源循環型社会の基本条件は、利用できる資源の量および人間活動の影響を包含できる環境容量が限られている地域において、ゼロエミッション（本来は地域内で物質循環を完結させるという意味）という考え方を実践することである。しかし、地域（系）内で物質循環を完結させるためには、その系内に質・量ともあるレベル以上の資源が存在する必要がある。しかも、系内における資源の質・量は日々変化するため、それらの変動を把握し、制御する術を持たなければならない。加えて、ゼロエミッションという概念の推進に当たっては、系の特徴を如何に出すか、適切な系のサイズはどのくらいか、系内に住む人々がどの程度までなら生活水準の低下や拡大する地域格差を甘受できるか等に関する考慮も必要である。

また、資源循環型社会といえども、新規の資源開発・利用を完全に止めることは出来ない。人間活動がある限り、陸域資源の制限的開発・最大限の有効利活用が実践され、それらの方法が上手く軌道に乗ったとしても、それだけでは、早晩、多くの必須資源が不足し、産業活動が低迷するばかりでなく、人類の生存さえ危うくなるのは明らかである。

このような状況において、社会の活性を下げることなく生活水準の向上と社会の発展を目指すためには、社会システムの大幅な変更（資源循環型社会の実現）に向けた歩みを進めることは当然であるが、利用可能な資源のリザーブをある程度大きくし、その多様度を高めることにより、変動に強い資源供給システムを構築しておく必要がある。同時に、環境に配慮しつつも各種有用資源を総合的かつ持続的に有効利活用する方策を早急に確立し、適正管理下においてそれらを実施・推進していく必要がある。

そのためには、先ず、沿岸・浅海域の資源の有効利活用を目指した研究・技術開発を進展させなければならない。沿岸・浅海域を対象とするのは以下の理由による：(1)地球表面の2 / 3以上を被う海域の中でも、人の生活に最も密着した場である事に加え、無機（溶存、非溶存態、生物由来を含む）、水、バイオマス（微生物、遺伝子資源を含む）、エネルギー（潮位差、波力、熱交換、水素、バイオマス由来等）環境保護・緩衝（環境浄化、温度やCO₂濃度の変動抑制、安定性保持等）時間・空間（輸送路、埋め立て、不用物質の貯蔵・分解、精神安定化を含む）等の各種資源を、人が最も利活用し易い状態で保持している地域である。(2)日本は四方を海に囲まれており、生産力の高い、広い沿岸・浅海域を持つ。(3)沿岸・浅海域は、人間活動に伴う過剰負荷（陸域からの汚染物流入や様々な開発行為）による環境悪化や地域資源の過剰採取により、各種資源量の減少や質の悪化に加え、有効利活用に支障をきたす種々の問題が生じ

ている場所である。

このような背景のもと、本委員会では、今期の活動テーマとして、「沿岸・浅海域の資源の有効活用を目指した技術開発」を取り上げ、議論を重ねてきた。なお、ここで扱う沿岸・浅海域の資源とは、溶存無機成分、水、およびバイオマス（微生物から大型生物までを含む）の各資源を指す。それ故、本報告は、日本が世界的な各種資源・環境問題に適切に対処し、沿岸・浅海域の資源の総合的かつ持続的な有効活用を目指すには、当該海域の生産環境・資源環境を適正に把握・評価し、それらを保全、修復および管理する技術の向上を図ることに加え、環境に配慮しつつも、資源の有機的・連携的利活用を実現するために必要な種々の調査・研究・開発、および総合利活用・評価システムづくりに向けた活動の早期開始と当該関連分野の研究・技術開発の促進を提案するものである。

上記の現状を改善し、積極的に世界規模での資源不足および環境問題に対応しない限り、近い将来、我が国の社会活性や生活水準が大幅に低下するのみならず、世界規模で食糧を含む各種資源不足、環境問題が深刻なものとなることは明らかである。従って、本報告の内容は、国内のみに留まらず、我が国と同様に海を重要な資源供給の場としている諸外国の研究・開発の促進にも資することを目的としている。

なお、本委員会では、沿岸・浅海域の有用資源として、溶存無機成分、水、バイオマスの3分野を取り上げたが、海水中の有用成分の採取・利活用に係わる付属技術、エネルギー供給、環境現状と動態予測、当該海域の資源開発に関連する政府諸機関や関連研究団体等の情報を含め、報告書は6分野の構成となっている。

2. 沿岸・浅海域の溶存無機成分の有効利活用を目指した技術開発

ここでは、本報告書の趣旨から、海水中の溶存有用無機資源の採取および利用現状、問題点、将来像について検討し、次いで、沿岸・浅海域の無機溶存資源の採取における課題と新たな視点の必要性について言及する。

2-1 海水中の有用無機成分の有効利用を目指した技術

海水中に含まれている無機成分の中で、資源的、環境的に重要な微量元素として、リチウム、ヨウ素、ウラン、リン、ホウ素、ケイ素、チッ素等が挙げられる。資源的価値の高いものは前半の4種、環境影響が注目されるものは後半の5種である（ウランとリンは共通）。なお、リチウム、ヨウ素、ウランの海水中濃度は、それぞれ、0.17 mg/L、0.06 mg/L、0.003mg/Lで、これらは希薄資源である。以下に、海水中からのリチウム、硝酸、リンの採取および利活用を目指した技術・概念を中心に記述する。

2-1-1 有用無機成分としてのリチウムの採取技術

リチウムは、特にリチウム二次電池の材料として重要な資源である。毎年、10%以上の需要の伸びを示している。また、リチウム原料供給先がチリのアタカマ湖を中心とする寡占状態に陥り、供給元からの価格操作が容易に行える状況が生み出されている。そのため、リチウム原料の価格も高価格に移行する傾向が出てきている。それゆえ、海水リチウム採取技術は、市場価格の恣意的な変動に歯止めをかけるバーゲニングパワーとしての重要性が増してきている。一方、ヨウ素は、生体必須元素であるが大陸内では不足気味であり、特に発展途上国において重要な元素となっている。現状では、生体濃縮現象を利用した採取技術が試みられているが、大規模な事業化までには至っていない。

海水からのリチウムの選択的回収は、1986年のリチウム選択的吸着剤の開発をきっかけに、その後10年間をかけて、採取システムの要素技術の検討や現場での採取試験が繰り返されてきた。また、1996年からは、リチウム採取システムの実用化に向けて各要素技術の開発とコスト試算が進められている。その結果、リチウム採取技術は一応の確立をみたが、本技術を実用化するためには、吸着剤の性能向上、吸着剤の大量製造や成形法の確立、経済性を十分に考慮した実用的な採取システムの構築（例えば、自然海流あるいは温排海水など送水にエネルギーを消費しない省エネルギー型の吸着装置の導入）が重要となる等、残された課題も多い。なお、国内の有望なリチウム資源候補としては、原子力発電所や火力発電所の温排海水（100万kw級原子力発電所で最大採取量380トン/年）が考えられるが、いずれも圧力差の小さな流れである特性がある。

(1) 新規吸着剤の開発および大量造粒技術の確立

リチウムの吸着量が50mg/gを超えると、吸着装置のコストを大幅に低減できる。現時点では、鋳型反応を詳細に検討することにより、海水からのリチウム吸着量40mg/gを示す吸着剤（SPIMO-2）の開発をおえると共に、本吸着剤粉末の大量製造技術についても目処がたっている。また、大量に造粒した吸着剤を用いて海水からのリチウム採取ベンチ試験が行われ、100kgレ

ベルの炭酸リチウムの採取が可能であることが確かめられている。

(2) 膜状吸着剤の調製と吸着性能

自然海流を利用した吸着装置として、膜状吸着剤を利用した層間平行流吸着装置が有望ではないかと考えられる。そのため、膜状吸着剤の製造技術について基礎的な検討を進め、液相置換法で良好な膜状吸着剤(10日間で約10mg/gのリチウム吸着が可能)が得られることを確かめられている。また、評価装置として層間平行流吸着装置が試作され、実海水を用いて吸着実験が進められている。単位重量あたりの吸着速度は膜面積に大きく影響するため、できるだけ膜を薄くすることが効率の点からは好ましい。

(3) 今後の課題

実用的な採取システムの構築において、最も重要な課題は、ポンプを使用しない低水圧の流れの中で効率よくリチウムを吸着する装置の設計にある。そのためには、海水と効率よく接触できる吸着剤の成形法が重要となっている。膜状成形体あるいは繊維状成形体の開発とその成形体を用いた低水圧型吸着装置の開発に向けた研究に今後も積極的に取り組む必要がある。また、コスト試算を行い、経済性の評価を行う必要がある。

なお、採取技術の実用化は、リチウムの価格との関係で決まる。炭酸リチウムの価格が将来的に今の2倍以上になれば有望な技術となる。そのためには、電気自動車の普及など、リチウム資源の需要が大きく高まる必要がある。

2-1-2 溶存無機資源の採取と環境浄化の融合に向けた取組み

浅海・沿岸域は、太陽光による光合成が活発に行われ生物活動の豊かな海域である。人類活動を含む生物活動が活発に営まれるために、浅海・沿岸域では干潟の減少、富栄養化による赤潮発生など、外海とは異なる社会的問題を抱えている。このような環境問題は、見方を変えると海水をいかに再生し利用するかという資源問題として捉えることができる。従って、溶存無機成分の採取と環境浄化を融合した、海水の総合的利用という観点からの技術開発が重要となってくる。

この観点から、特に注目される元素は、硝酸とリンである。特に、リンは、資源としても今後30年以内にリン鉱石の枯渇が懸念されている元素である。吸着法は、有害の微量成分を分離除去するためにも有力な技術である。海水中の富栄養化成分として有害な硝酸イオン、リン酸イオンを効率よく除去する吸着剤の開発研究が進められているが、性能的に満足のいくものは開発されていない。海水中の栄養塩濃度は極めて低いうえに、硫酸イオン、塩化物イオン、炭酸イオンなど妨害イオンが大量に含まれているためである。

しかし、海水からのリン酸、硝酸イオン等の栄養塩類イオンの除去が可能となったことは、富栄養海域から採取した上記資源を不足域に再投入することにより、貧栄養海域を富ませること(海水再生、資源移転)が可能になりつつある事を示す。

(1) 硝酸イオン吸着剤

無機系の陽イオン交換体としてはゼオライト、粘土などのアルミノケイ酸塩、金属含水酸化物等、多くの種類が知られているが、陰イオン交換体の種類は少ない。無機系の陰イオン交換

体として代表的なものは、層状の複水酸化物(layered double hydroxide: LDH)である。層状複水酸化物は、異なる金属の水酸化物の層状複合体であり、層間に存在する陰イオンと溶液中の陰イオンとがイオン交換反応して、陰イオンを取り込むことができる。

LDH の金属水酸化物層の金属イオンの種類を変えると層間隔が変化し、硝酸イオンの選択吸着性が異なってくる。層間隔 0.81nm の Ni-Fe LDH(ニッケルと鉄からなる層状複水酸化物)が著しく高い硝酸イオン吸着性を示し(硝酸イオン濃度 30 μ M の海水 1 L 中に入れた場合の吸着量は 0.3mmol/g) 海水から選択的に硝酸を除去できることが明らかになっている。

(2) リン酸イオン吸着剤

リン酸イオン吸着剤としては、水酸化ジルコニウム、Mg-Al 系ハイドロタルサイトなど多くの化合物が知られているが、陰イオンが大量に共存する海水系で有効な吸着剤は少ない。Mg-Mn 系複水酸化物を 300 で加熱処理して得られた吸着剤が、海水から高いリン吸着性を示すことが見出されている。この吸着剤は、加熱処理で層状構造が壊れ無定形状態になるが、大きな陰イオン交換容量を保持している(リン酸イオン濃度 0.3mg-P/L の海水 1 L 中に入れた場合の吸着量は 8mg-P/g) 加熱処理によって Mn の価数は 3 価から 4 価になり最も安定な状態になる。また、吸着したリン酸は、アルカリ溶液で処理することで脱着することができ、脱着時の吸着剤の溶解損失は見られない。なお、この吸着剤は、マグネシウムとマンガンという安価で豊富な原料からできているので、水酸化ジルコニウム等にくらべ格段に安く合成できる。

(3) 今後の課題

海水からでも富栄養化成分を除去できる吸着剤が見つかったことで、新たな除去システムの開発の期待が高まっている。今後は、大量の海水処理にも耐えるような成形法の開発、繰り返し安定性を高める工夫が必要である。特に、沿岸・浅海域の無機溶存資源の採取については、単一資源の採取に終始するのみでなく、複数資源の同時的採取や水圏環境の浄化・海水再生という視点が重要である。また、吸着法による富栄養化成分の除去と濃縮物による藻場の成長促進など、吸着技術を生態学的手法と組み合わせた総合的な管理・制御システムとして発展させていくことが重要である。

上記に述べたような、複数資源の同時採取、多面的利用、資源採取と環境再生の融合化技術の開発・進展は、今後、我が国の沿岸・浅海域の資源の有効利活用を目指した歩みを進めるために必須であるのみならず、我が国と同様に海を重要な資源供給の場としている諸外国や、当該海域の汚染に苦慮している国々・地域に多大な貢献をもたらすと考えるからである。

2-2 製塩技術

海水を原料とする国産塩の生産量は年間約 130 万トン(イオン製塩会社 5 社、6 工場)であり、これは国内消費量(約 900 万トン)のわずかに約 14%である。国産塩の生産に関しては、以前から製塩技術の開発や流通網の整備などによりコスト低減が図られてきたが、依然として輸入塩の価格(約 3,300 円/トン)には遠く及ばない。その差は益々開いており、今後も安価な輸入塩の利用の拡大(天日塩の直接利用、混和再製)や食用製品の輸入などにより、国産塩

の市場シェアの低下は避けられないと考えられる。

塩資源に恵まれないわが国の製塩法は、海水をイオン交換膜電気透析装置で濃縮し、多重効用缶で煮詰めるエネルギー大量消費型である。製塩技術は進んでいるが、ほぼ成熟しており、技術開発面からコスト低減への寄与はそれほど大きくないものと考えられる。従って、今後は、価格よりも安全性や品質面での競争になると考える。

以下に、製塩工程の問題点と対策を示す。

(1) 原料海水

製塩に使用される海水量は、約 10 万トン/日と膨大である。原料である沿岸海水には生物、有機質、無機質などの懸濁物質や環境汚染化学物質が含まれており、それらの除去による清澄化は重要な問題である。海水懸濁物質は導水路への付着による流路抵抗の増加や電気透析槽内の膜面やスパーサーなどの構造体への付着による流路閉塞の原因となる。特に電装内への付着は水分解による膜の破損などの運転トラブルを招くため、通常運転時でも装置の定期的な解体洗浄を必要としており、これが生産効率の低下はもとより、解体洗浄操作時の膜の破損を招いている。従って、原料となる海水中の懸濁物質の種類や付着機構の解明、水質の評価法の確立等が必要であり、また、その結果を基礎にした装置やろ過材の開発が望まれている。

一部の製塩工場では、生物付着の防止のために塩素殺菌(0.5 ppm 程度)とチオ硫酸ナトリウムによる中和、懸濁物質の凝集によるろ過効果を上げるため塩化第二鉄の添加などを行っているが、逆洗廃棄物の処理や薬剤コストの負担、また環境への配慮を考えると添加物は使用しないのが望ましい。現在は、現行砂ろ過装置(1、2段)の改良(ろ過材の質)と運転条件の見直し(流速、逆洗等)や高流速で精密ろ過機構を有する新しいろ過装置の開発などが進められている。

環境汚染化学物質については、懸念物質の特定や工程での挙動を含めこれまでほとんど調査されてこなかったが、食用塩の安全性を確保する上での必要性から、一部のイオン交換膜法製塩工場に限られた種類の環境汚染化学物質を対象とした調査ではあるが行われるようになり、それによると特に懸念される結果は得られていない。しかし、海水からの直接製塩法では沿岸環境の汚染状況の調査が必要である。

(2) 採かん工程

海水を濃縮し濃いかん水を得るのにイオン交換膜電気透析装置を用いるのは、わが国独自の方法である。1972年にこの方式に全面転換してから、これまでにイオン交換膜の改良が進み、技術的にはかなり進んでいる。そのため、今後の開発によりそれほど大きなコスト低減効果は期待できないが、透析装置内の付着物の軽減および解体・洗浄法の簡易化のため装置構造の改良、膜の耐薬品性(特にアルカリ性)および耐久性の向上、膜のイオン選択透過性の向上、カリウム(せんごう終点の向上)・臭素(浄水処理用等用途拡大)・硫酸(石膏スケール、製品純度)透過性の低減、純塩率96%以上の確保等の改良が望まれる。同時に、イオン交換膜の供給体制の継続性が今後の大きな課題である。国内で使用されるイオン交換膜は約60%が製塩用でありその市場規模が小さいことに加えて、国産塩の生産量が縮小傾向にあることなどから、イ

オン交換膜の需要環境は厳しく、供給の継続性が懸念される。

(3) せんごう工程

塩の晶析には、多重効用缶が用いられている。これまでのシミュレーションから、エネルギー的には3~4重効用(現状設備)が最適であるとの結果が得られている。さらにエネルギー生産効率を向上させるためには、装置規模の拡大が必要と考えられるが、設備原価償却費のコストへの跳ね返りを考えると、新たな設備の導入は不可能である。従って、今後は生産コストの低減以上に、食品としての安全性の確保や成分組成、粒子径などの品質面について、消費者のきめ細かな要望に沿った多品種少量生産への効率的対応が不可欠であると考えられる。この目的を達成するためには、結晶粒径の動的制御法の開発が必須であるが、高度な制御技術の開発を始めとして、粒子径の精度良いセンシング技術の開発や進んだIT技術の応用等幅広い工程改良が必要である。また、装置材料の腐食防食対策が、修繕・保全費の低減や有害重金属類の溶出問題排除等の観点から重要である。

(4) その他

最近の急激な燃料費の高騰、公害規制の強化と廃棄物処理問題や包装材料のリサイクル問題が懸念される。

2-3 塩・にがりの利用

現在、日本では、塩はイオン交換膜製塩法で製造されている。日本で生産された塩は、中国塩を除けば食用塩としてのコスト競争力はあるが、最大の用途であるソーダ工業用塩としては、一層のコスト低減が必要である。また、イオン交換膜製塩法で製造された塩は、塩田製塩法による塩製品とは化学組成が異なる。イオン交換膜製塩では塩製品中のカリウムと臭化物の含有量が多くなり、食用では問題とならないものの、ソーダ工業では、ソーダ製品の品質が悪くなるので問題である。現在、ナトリウムとカリウム及び塩化物と臭化物とをそれぞれ分離する技術はないため、イオン交換膜法でつくられた塩をそのままソーダ工業用の原料として使用することはできない。従って、塩の用途拡大を図るには、コスト問題以外に品質の問題として、塩の組成や分離(塩化物と臭化物の分離)技術の改良・開発が必要である。なお、イオン交換膜製塩法由来のにがりは、塩化カリウム、臭素、型用石膏、塩化マグネシウムの製造に利用されている。

塩の需要が低下すると、イオン交換膜の需要も低下し、高性能イオン交換膜の開発・供給に問題が生じ、イオン交換膜製塩法の存続にも関わる問題にもなりかねない。

3．造水技術および水利用 - 海水淡水化 -

海水淡水化技術の完成度は高く、実用的な経済性を実現している。最近ではコスト低減化競争が激しく、建設コスト、運転コストともに低減が進んでいる。急激なコスト低減は行き過ぎの感もある。しかし、いくら安くなったといっても、まだ他の水源開発方法に比べれば海水淡水化コストはまだ高く、特に運転コストが高いのが現状である。海水淡水化は経済性、地球温暖化への影響等を考慮すれば、降雨量が少ない沿岸海域に限定された水資源開発手段といえることができる。以下に、海水淡水化、水利用の現状、動向、将来予測、問題点およびその対策等について記述する。

3-1 海水淡水化技術の現状と動向

(1) 実用化技術

現在実用化されている淡水化方法には、蒸発法（多段フラッシュ蒸発法、多重効用法、蒸気圧縮法）と膜法（逆浸透法、電気透析法）がある。一般には、淡水化の原理で分類して、蒸発法、逆浸透法および電気透析法の3方式としている。淡水化技術共通の課題としては、水コストが高い、エネルギー消費量が大きい、スケール析出の範囲で性能制約、塩分による材料腐食、環境への影響があげられる。

(2) 蒸発法淡水化技術の動向

蒸発法は淡水化・発電二重目的プラントとして、大規模な海水淡水化プラントに適用されている。最近では、多段フラッシュ法の大規模化が進み、ユニット規模が7万 m^3/d のものが製作可能になっている。多重効用法は、蒸気圧縮システムを組み合わせた方式が普及し、ユニット規模も2.5万 m^3/d の大型プラントが実用化されている。当該方式では、海水汚染による淡水水質への影響は、蒸発によって淡水側に移行する揮発成分が問題になるが、海水汚染による装置への直接的障害は少ない。ただし、高温運転のため、スケール（硫酸カルシウム等）析出防止技術の改善が望まれている。

(3) 逆浸透法淡水化技術の動向

逆浸透法は、最も省エネルギー型で、低コストの淡水化方式である。最近では、濃縮海水の排出圧力エネルギー回収装置の開発が進み、淡水化エネルギー $2\sim 3\text{kWh}/\text{m}^3$ が達成されている。海水から低塩分かん水まで、原海水の塩分濃度に応じて最適なシステムが設定できるなど、多くの利点があり、海水淡水化のユニット規模は1万 m^3/d を超えるなど、プラント設置容量が急激に増加している。しかし、逆浸透膜の汚れによる性能低下、特に有機物付着、生物付着汚れ（バイオフィリング）が課題である。この対策として、膜ろ過式前処理システム、膜の殺菌方法、汚れない膜の開発などが行われている。また、生産水の水質については、海水に比較的多く含まれるホウ素および臭素を除去することが求められている。

(4) 電気透析法淡水化技術の動向

電気透析法は極性変換型が実用化されているが、淡水化分野において逆浸透法に対抗できる用途が減っている。最近では電気再生式脱塩（純水）装置（EDI）として、混床式イオン交換樹脂

と電気透析膜を組み合わせたシステムが実用化され、超純水装置に多用されている。現在、半導体の洗浄水製造に必要な超純水装置は、膜ろ過（限外ろ過膜、精密ろ過膜）装置、低圧または超低圧逆浸透装置、および電気再生式脱塩装置の3つのシステムの組合せによって構成されている。

3-2 水利用の現状と問題点

(1) 地球の淡水と水源利用

日本では、基本的に水は豊富で、用途間・地域間の融通ができれば充足可能である。また、人口は減少傾向にあり、将来の水需要は横這いと予想される。一方、世界レベルでは、急速な人口増加、文明の発展に伴う水需要の増加、降水量の低減・砂漠化による水源不足が予測され、水需給バランスは厳しい状況にある。従って、将来の水源利用については、地球の淡水量と水源と、水の循環・再生利用等の水資源有効利用（造水）技術の経済性・実用性について検討する必要がある。

(2) 水循環・再生利用と2系統給水

水の循環・再生利用は、工業用水の分野で多く実用化されている。さらに、生活用水、農業用水、地域あるいは河川・湖沼での自然浄化も含めて、地域・流域水循環利用システムが検討されている。地域・流域水循環においては、上水道（浄水）と中水道（雑用水）の2系統給水システム、下水・排水再生利用および自然浄化を加えた循環利用システムの構築が検討されている。従って、淡水化は最後の水資源と考えられる。

(3) 淡水化の需要

淡水化の需要は、過去30年間で12倍になり、2001年現在プラント設置容量合計は3,000万 m^3/d を越えた。近年は毎年10%以上の伸び（毎年200~300万 m^3/d 以上）を続けている。特に、逆浸透法（ナノろ過法含む）が急速に増加しており、2001年には、蒸発法と逆浸透法が半々になった。

3-3 逆浸透法海水淡水化の問題点と対策の必要性

逆浸透法は最も有望な海水淡水化システムになりつつある。しかし、逆浸透法には維持管理に技術的問題が残されている。逆浸透膜の脆弱性、膜の汚れ付着による性能低下、膜の安定性および信頼性が問題視されている。膜の汚れ防止に関する技術については、膜の汚れ付着メカニズムの解明、前処理の改善、マイクロ/ナノバブルを利用した膜の気泡洗浄、ナノろ過膜によるスケール防止など、今後の研究開発に期待されるものがある。また、ナノろ過膜については、逆浸透膜と組み合わせ圧力分離によって海水の高濃縮（8~10倍濃縮）が可能であり、海水濃縮技術として役立つ方向もある。逆浸透法海水淡水化に関連して、沿岸河口などの汽水域塩水を利用した淡水化も構想できる。蒸発法海水淡水化については、スケール防止技術の改善、蒸気圧縮法の改良と大型化の検討が注目される。

一方、環境影響に係わるものとしては、エネルギー多消費、濃縮海水放流および膜廃棄物が

ある。特に、濃縮排水の処理と膜エレメントの廃棄処分の課題が潜在化している。

Table 1 に、逆浸透法海水淡水化システムを取り上げて、その問題点と対策技術の開発状況、並びに新たな開発が望まれる技術をまとめて示す。

Table 1 逆浸透法海水淡水化の問題点と対策技術の開発

改善が望まれる項目 (問題点)	実用化されている対策技術	開発が望まれる技術
コスト低減	高回収逆浸透膜モジュール 高効率動力回収装置 (民営化による経済競争)	運転コストの低減
省エネルギー化 (地球温暖化防止)	高効率動力回収装置 ・ 圧力変換型動力回収 ・ ペルタービンの海水適用	圧力変換型動力回収大型化
生産水水質改善・向上	後処理システム追加 ・ ホウ素除去用低圧逆浸透 (塩分除去にも効果)	海淡水用逆浸透膜性能向上 ・ ホウ素高排除率 ・ 高排除率・高透過流束
膜の脆弱性と性能維持 (膜の安定性と信頼性)	前処理水質向上・安定化 ・ 膜ろ過式前処理 殺菌方法改善 ・ 塩素間欠殺菌 (塩素等酸化剤使用不適合の膜あり) ・ 酸間欠殺菌 (低 pH による効果確認中)	膜汚染劣化のメカニズム解明 ・ 汚れ付着測定・分析 膜供給適性水質の見直し ・ 水質指標・基準 前処理システムの改善 (有機物除去効果の改善) 膜洗浄方法と適用システム (効果的な物理洗浄方法) 膜殺菌方法の改善 汚染しにくい逆浸透膜開発
汚泥処理の軽減	膜ろ過式前処理 (凝集剤使用しない)	
濃縮排水の環境影響軽減	濃縮水の拡散促進 ・ 拡散促進放流装置 (水中噴流式拡散放流) ・ 淡水による希釈放流 (下水処理水混合放流) 汚泥の付着塩分洗浄・脱水	濃縮海水の有効利用 ・ 塩分・有価物の回収 ・ レクリエーション利用 (水浴タラソテラピー) 濃縮海水有害成分の分解
利用エネルギーの多様化	太陽光発電 (逆浸透・電気透析) 太陽熱温水器 (パーソン型・多重効用)	風力発電 OTEC (温度差発電) 小型原子力発電
汽水域利用淡水化		汽水域水質の平準化 大規模海中貯水構造物開発 (海中ダム、水質調整池)
ナノろ過膜の利用		硫酸イオン系スケール防止 海水高濃縮
蒸気圧縮法の改良大型化		高温運転と機械式蒸気圧縮法の 大規模化

3-4 今後の展望および将来予測

(1) 海水淡水化の需要と地域限定

世界中で実用化されている海水淡水化プラントは、自然の水循環を効率よく強制的に行う仕組みである。淡水を得るためには多くのエネルギーとプラントの運転費が必要であり、維持管理を行う技術者が必要である。また、原水を海に求めることから沿岸地域でないと使えない。海水淡水化を水資源開発の手段として使わなければならない地域は、降水量(河川流域取水量)が少なく、沿岸海域にある地域、すなわち、中東地域(アラビア半島、ペルシャ湾岸、紅海沿岸、北アフリカ)、地中海沿岸、オーストラリア西南部、カリフォルニア半島、中国北部、メキシコ、パキスタン、インド南端部等に限定される。現状の海水淡水化プラントもこのような地域に多く設置されていて、産油国、農産物輸出国、観光資源国など、強大な経済力が背景にある国々である。この状況は、よほど低コストで容易なシステムの海水淡水化プラントが開発されない限りはかわらないと思われる。従って、開発途上国の水資源として海水淡水化を実施して成功させるには相当大きな経済援助と技術援助が不可欠である。

(2) 海水淡水化の経済性向上

海水淡水化技術の開発は、これまでもコスト低減を最大の目標に進められてきており、大型化、省エネルギー、高効率に向けた開発方針は今後も変わらない。最近では、中東地域を中心とした発電・淡水化二重目的プラントの電力と水の需要バランスの調整に適したシステムが望まれており、海水淡水化プラントは蒸発法と逆浸透法を併用し、各需要に合わせた経済的な運転を行うことができるハイブリッド型発電・淡水化二重目的プラントの実用化が始まっている。海水淡水化システムは従来と同じもので技術的な新しさはないが、経済的効果として、発電・淡水化二重目的プラントの総合的な利用率を高め、エネルギーコストをできるだけ下げること

に焦点が当てられている。

蒸発法、逆浸透法、電気透析法に替わる新しい淡水化方式の実用化はほとんどない。また、現状では、逆浸透法の経済性を越えるものを開発することは難しいと思われる。

(3) 維持管理技術の確立・改善

実用が進んだ海水淡水化プラントの安定性や信頼性を確保するには、運転・維持管理技術が重要である。いずれの淡水化方法にも共通な課題は、システムの安定性や信頼性の確保、生産水質の向上と安全性確保、環境影響の軽減である。

海水淡水化を含めた各種の水源による水供給システムの総合的な経済的運用システムづくりは、これからの検討課題である。なお、水コストが高い海水淡水化の生産水供給には、水道における配管漏水による損失量を極力少なくしなければならない。従って、これから海水淡水化を導入する国々では、配管網の整備が重要な課題であり、時間と投資が必要になる。

(4) 新たな技術開発提案

海水淡水化技術は完成度が高く、新たな方式に関する研究開発はほとんどない。今後、新たに検討すべき技術課題を列挙すると次のとおりである。

(ア) 逆浸透法

前処理システムの改善

マイクロ/ナノバブルを利用した気泡膜洗浄

安全・簡便なホウ素除去

ナノろ過膜によるスケール防止と海水高濃縮（10倍濃縮）

濃縮海水・廃棄物の処理・処分

（イ）蒸発法

スケール防止技術（ナノろ過膜利用、その他）

蒸気圧縮法の改良と大型化

（ウ）逆浸透法海水淡水化システムの新しい応用分野

汽水域塩水利用による淡水化（閉鎖性海域で類似のプラントや実験がある）

膜分離技術による下水再生利用（既に実用プラントの導入が始まっている）

4．バイオマスの有効利活用を目指した取組み

これまで利活用の対象と考えられてきたバイオマスは、主に陸圏のものであり、水圏起源バイオマスに対する関心は必ずしも高くなかった。しかし、近年、水圏起源バイオマスの探索・変換技術の進歩、同事業への投入資金の増加、異分野交流の機会増加等により、水圏、特に海域バイオマスの利活用が活発化してきた。その結果、陸圏・水圏起源を問わず、バイオマスの効率的利活用に向けた流れが進むと共に、高圧、高温下に生存する深海微生物の機能発掘、バイオマスとハイテク・ナノテク新素材の複合による新機能分子創出等により、新しい分野、産業への応用・創出に向けた研究・開発も加速されている。

以下に、バイオマスの採取とその利活用に関して、将来構想、問題点と対策等を述べると共に、水圏起源バイオマスの有効利活用について、早期に発展の期待される以下の6テーマを提案し、それぞれについて実現に向けて必須な技術、情報や概念等を記述する。

4-1 水圏起源バイオマスの利活用における将来構想、問題点と対策

近い将来、ますます水圏資源の確保が難しく、また重要になることは明らかである。既に、日本と近隣諸国間でも、海洋起源バイオマス資源の開発・獲得競争は過熱化し始めている。従って、『国益』を守る上からも、水圏起源バイオマスの利用ビジョンを各方面に広く求めると共に、普遍性の高いものから新奇性の高いものまで幅広く取り上げ、分類、重要度や意味付けを明確にした上で、順次、利活用に向けた取り組みを進めていく必要がある。

近年、水圏起源、特に海洋バイオマスの探索・変換技術の進歩、同事業への投入資金量の増加、異分野交流の機会増加等により、バイオマス資源の効率的利活用に向けた流れが進むと共に、高圧、高温下に生存する深海微生物の機能発掘、バイオマスとハイテク・ナノテク新素材の複合による新機能分子創出（超好熱細菌の酵素利用・酸化還元反応を触媒する酵素ヒドロゲナーゼと光分解触媒機能を持つ二酸化チタンの合体による、光と水からの水素産生・デンドリマーと有機色素の結合分子を用いた有機エレクトロルミネッセンスや医療分野への応用）等により、新しい分野、産業への応用・創出に向けた研究・開発も加速されている。

しかしながら、未だ水圏起源バイオマスの利活用に関しては、技術的、政治的に、越えなければならない難問が多く残されている。技術面のみを捉えても、資源回収・変換・利用のためのエネルギー投入等が大き過ぎることが、当該資源利活用時のネックとなっている。資源の回収が容易な木材からのバイオ燃料採取時でさえ、現在の方法・技術では（エネルギーおよびコストの）発生量/投入量の比がせいぜい1程度（実際は0.8以下）であり、原材料の収集・運搬等に必要エネルギーやコストを考慮すると、当該比を1以上にするのは容易ではない。水圏起源のバイオマスについては、サイズが小さい、含水率が高い、水中からの選択的回収が難しい等に起因する取り扱いの難しさのために、前述の比を1以上にするのは極めて難しいと考えられる。すなわち、水圏起源バイオマスの有効利活用を考える場合、資源回収・変換技術の革新的進歩が必要であることに加えて、時間・空間的な最適有効増養殖法、および無駄を省いた最適利活用（目的物の採集に付随して得られる非目的物を投棄せずに採取・有効利用する

等)の概念の導入、方向性の異なる2つ以上の目的を同時に達成することによるバイオマスの高効率採取・有効利活用を模索すること等が最低必要条件となる。

なお、水圏起源バイオマスは、資源となり得る生物が幾種類もの資源潜在物質を保有していたり、その生育に際して水中に存在する栄養分や各種物質を取り込みあるいは吸着・保持するため、それらを環境中から取り除く機能、すなわち環境浄化能を併せ持っていたりすることが多い。従って、水圏起源バイオマスの採取は、単一有用資源の採取のみでなく、複数資源の同時採取と利用、資源採取と水圏環境の制御(浄化)を兼ねていると考えることが出来る。反面、このことは、今後益々、バイオマスの利用目的によっては、安全性の確保(事前に汚染物質の除去)に留意する必要性が高まることを意味する。同時に、水圏起源バイオマスの採取は、量や場所のみでなく、時期や生態系の安定性にも留意して行わなければならないことを示唆する。

ところで、最近の海洋バイオマス利用状況を概観すると、正確な科学データ・情報に基づかない、あるいはそれらの許容範囲を大きく逸脱した、イメージ先行型の事業や情報の多いことが分かる。イメージ先行型事業やその関連情報・活動にも多少の公益性・有益性の認められる場合はあるが、概して有害無益なことが多い。また、それらが直接、消費者を対象としたものであれば、消費者に被害を与えたり、害にならないまでも消費者の反発をかい、その事業や活動に含まれている有効面が無視される結果となったり、まともな運用・取引がなされていた類似分野の活動まで大きな障害を与えるケースも生じてくる。それ故、出来る限り早期に、当該活動の暴走を抑制するシステムづくりを含めた有効な対策・指針を提示しておく必要がある。

また、環境保全や地域振興事業として推進されている、海洋生態系を利用した環境修復や回復、および地域の独自性を活かしたバイオマス生産とその利活用に関する研究・事業化については、必ずしも投資効果が高いとは言えないものも多い。当該資源の有効利活用効率を低下させている要因には、バイオマス利用分野の保守性、事業統括部局の活性度や一部地元企業の自主・独立性の低さ等も含まれる。従って、情報の優先権と共有権の調整・管理、事業内容および労働者の適正評価・管理システム導入、自発的競争精神の育成等を早急に進める必要がある。すなわち、低コスト・高効率・環境保全型の水圏起源バイオマス資源の有効利活用を実現するためには、科学的な調査・研究・開発等の推進に加え、関連情報の整理・集積化・共有化・開示システムの構築と適正化、効率の良い事業実施に向けた組織体制の整備(核となる省庁・部局の設定、関係官庁の横断的対応や取組み、および関連組織の体制整備・調整システムの構築)、事業評価システムの最適化・効率的運用を図る必要がある。さもなければ、分野別、地域別の利活用効率における差は益々大きくなり、過去に実施されたばら撒き行政のツケを負わなければならない事態に陥る可能性は極めて高くなるであろう。

4-2 水圏起源バイオマスの有効利活用に向けたビジョン

水圏起源バイオマスの有効利活用について、発展の期待される6つのテーマを挙げると共に、その実現に向けて必須な技術や概念等を提案する。なお、文中の上付き記号a、b、cは、それぞれ、5、10、20年以内の成果提示・実用化を目指すことを示す。

(1) 細菌・微細藻類の分離・同定法の開発と新機能の探索

種々の環境に生息する微小生物の培養法を確立すると共に、それらを簡便に分離・同定する技術を開発する^a。同時に、彼らの能力を制御する要因や方法に関する知見を集積する^b。また、特殊環境下の生物を含め、様々な環境下に生息する微生物の生産物（炭素や窒素成分に富むラビリンチュラ類 *Thraustochytrium* 属細菌の資源化等を含む）、酵素（耐熱酵素、各種分解・合成酵素、デハロゲナーゼ等）、機能性分子、代謝産物、生物・環境制御因子等の有効利用に向けた研究・技術開発を加速する^b。ゲノム解析、ゲノムライブラリー作成、ゲノム利用技術の進展を図る^bことも重要である。加えて、微生物の安全管理技術の水準を高め、広く周知・徹底すると共に、新機能の誘導・導入・発現調節技術の発展を促す^b。

対象生物の分布や生態、生化・生理学に関する研究に加えて、分子生物・遺伝子工学的手法を用いた構造・機能解析、および生体分子の検出方法、標的分子の構築・操作・変換技術の進歩が必須である。

(2) 微生物・藻類の有効利活用技術の開発

微生物や（微小～大型）藻類を用いた環境バイオレメディエーションやバイオオーグメンテーション、バイオコントロール法の再検討^a、過程解明^b、機能維持の手法開発^b、安全性評価^bおよび迅速制御^cを含む関連技術の開発を進める。また、高効率光合成能力を持つ藻類に有用物質生産能力を付与する、あるいは高効率合成細菌を創出することにより、安全性を確保しつつも、長期的なCO₂固定（削減）と共に、エネルギー、食糧、有用物質の安定供給を図る^c。さらに、光合成や化学合成に関与する遺伝子群の解析^b、当該機能発現のための構造・複合機能体的人為的構築^c、工業的CO₂固定システムの構築とそれに付随したエネルギーおよび有機系構造物供給を図る^c。

上記目的を達成するためには、微生物や藻類の生理学、生態学、水圏環境工学、遺伝子工学、環境科学・制御学等の知見の集積のみでなく、ナノテクノロジー、エネルギー・物質変換技術等の発展、および各分野の融合（真の異分野交流）に向けた努力が必須である。そのためには、広視野・見識を持った強力なコーディネーターの育成と活躍のバックアップ体制づくりを進めることも目的達成の重要な要因となる。

(3) 生物間相互作用に注目したバイオマス利活用技術の開発

生物間の協同作用、共生機構等の解析^bを通して、複合生物系の持つ高度な機能の利用を図る。腸内やバイオフィルム内での微小生物集団間の相互作用を調査し^a、それらの伝達機構や相互扶助・調整機能の解析を行う^bと共に、集団としての生物機能発現を制御する技術の開発、およびその利活用を目指す^c。同様に、水圏起源の各種生物を対象とした、同種・異種間の生物間相互作用についても調査・解析を行い^b、それらの能力および資源の最適化、有効利活用を目指す^c。

そのためには、微生物学、生態学、動・植物学のみでなく、高分子化学、マイクロセンサー工学、遺伝子工学、環境制御学等の広い領域における知見の集積と概念のシャッ

フル・融合化が必須である。異分野交流のためにコーディネーターの活用も重要である。

(4) 食糧増産とゼロ・エミッション化

低環境負荷型（可能であれば、環境浄化・改善型）の生物生産^a、沿岸や大洋上層での半開放型の藻類大量生産^b、複合生物養殖等のシステムを構築し^b、食糧増産を図る。閉鎖性水域全体を一培養槽とした藻草類やプランクトンの大量培養システムの開発・特殊利用についても検討する^b（付随する問題の解決策の検討を含む）。また、生育が早く、炭素や窒素成分に富む微生物、プランクトン、藻類の発掘・利用に向かう道筋をつける^a。同時に、海洋バイオマス資源の持続的利用、安全・安心な食糧の安定供給、循環型社会の具現化に向けた技術開発および産業構造改革、新産業創出、経済活性化を目指す^b。

そのためには、海洋学、生態学、水産学、微生物学、動・植物学、工学等の広領域にわたる知見・概念の融合、および食糧の安定供給・適正利用にかかわる各種技術の発展と体制構築を進めなければならない。加えて、資源管理・評価、養殖、環境評価・制御等の手法・技術の進展、輸送・相互利用システムの構築・運用の最適化、地域企業の自発的競争精神の育成等を行う必要がある。

(5) 汚損生物の資源化

生物や汚損原因物質を用いた海際構造物の保護・腐食制御法の確立、および汚損生物の資源化を図る^b。すなわち、汚損防止、環境浄化と資源回収・利用の融合化を目指す。

そのためには、汚損のメカニズムを解明し^b、低環境負荷型汚損対策を確立する^bのみならず、汚損生物の利活用分野の広域検索^b、廃棄溶剤を出さない抽出・変換法の開発^b、付着関連物質である多糖類や糖タンパク質の有効利活用^b（多機能薄膜の製作、表面修復等）、生物由来の強化繊維等新素材の生産技術開発^b、バイオミネラリゼーション機構の解明と利活用^b、生態系制御の手法等に関する研究を進める^b必要がある。

(6) 環境浄化と資源採取・利用の融合化

環境浄化事業はマイナス影響削減に向けた投資（処理）であり、それ自体が資産を生むことはない。また、水圏起源バイオマスの採取のみを単独で行うには非常な手間とコストが掛かるにもかかわらず、得られるメリットは極めて小さくなる。従って、環境浄化と資源採取・変換を表裏一体のものと捉え、両者の融合化を図ることにより極力無駄を省き、コストパフォーマンスを高めると共に、資源の最適配置・供給化を実施する^b必要がある。

環境汚染の多種多様化、グローバル化に伴い、衣食住の安全確保に対する要求が極めて高くなってきた。食糧や肥料として既に多くの実績がある生物、沿岸域に生（成）育している大型藻類、巻貝類、イガイ類等でさえ、一部の地域では、重金属や内分泌攪乱化学物質等の高濃度蓄積（安全基準値を上回るものも少なくない状況になりつつある）が明らかになっている。当該生物の回収・変換は環境浄化と同義であることに加え、生物濃縮の過程を調べることに関連して、物質の膜輸送系や変換過程、およびそれらの機能・制御遺伝子群の探索^aに繋がる。従って、環境浄化と衣食住の安全性確保、資源採取・変換・利用を相互に密接に関連させ、最適な融合化を図る^b必要がある。

上記に述べたような、水圏バイオマスの有効利活用に関する内容を進展させることは、今後、我が国の沿岸・浅海域の資源の有効利活用を目指した歩みを確実なものとするために必須であるのみならず、我が国と同様に海を重要な資源供給の場としている諸外国、人口の激増や資源の急速な不足・枯渇にさらされている国々や地域に、多大な貢献をもたらすと考える。

4-3 バイオマスの利活用の利点と問題点、および問題解決策

バイオマス利活用の利点として以下のことがあげられる：(太陽)エネルギーの良好な変換・貯蔵システム、適正利用下では再生可能で持続利用可能、化石由来資源に比べ環境影響負荷が小さい、多種多様な利用形態が可能、偏在の程度が低く地域毎に利用可能、高度な技術がなくても利活用が可能等。

一方、バイオマスの採取・利用には多くの問題も伴う。以下に問題点と対策を列挙する。

(i) 現状での問題点

- 採取および変換に伴う技術不足、エネルギー要求やコストが高い
- 情報入手が難しい
- 認知度が低い
- 研究開発や商品開発が不十分
- 一定規格品のコンスタントな供給・確保が難しい
- 重金属や内分泌攪乱化学物質等の各種有害物質の吸着や濃縮あり（安全面の問題）
- 資源量、資源再生産過程、生態系の安定性等に関する知見が不足
- 最適生育場所の選択、有効利用が難しい
- 採取量の管理、持続的・調和的利用に向けたケアが難しい
- 急激な嗜好変化への対応の難しさ（少種大量生産と多種少量生産の切替に難あり）
- バイオマス利用分野の保守性や事業統括部局の活性度等に大きな差がある
- 技術、安全性、情報等の管理、および関係者のモラル制御の難しさ

(ii) 対策

- バイオマスの利活用に関する明確なビジョンの提示
- 採取および変換に伴う技術の進歩、およびコスト削減
- 発生源から採取、資源化に到る物流・変換過程の全システムを地域特性に合わせる
- 環境や安全に対する各方面からの配慮が必要（環境保全、有害物除去法の確立）
- 情報ネットワークの整備、およびマスメディアの有効利用
- 技術データベースの作成、および技術支援体制の強化
- 最適生育場所の選定、有効利用に向けた、地球規模での協力・協調体制づくり
- 助成制度の整備、および開発資金の支援
- 炭素税、あるいはエコ優遇税制の導入
- 資源量、資源再生産過程、生態系の安定性に関する研究の拡充
- 資源管理手法の確立、および社会的規範（了解事項）の策定

社会通念の改変を模索（必要なものがいつも、多量にあるのは異常等）
異分野交流コーディネーターやマネジメントリーダー育成、アドバイザー制導入
バイオマスの有効利活用における適正な事業体制の確立、評価手法の導入

5．海水中の有用成分の採取・利活用に係る附属技術

海水からの資源採取とその変換に際しては、設備の金属腐食や膜・構造物の汚損等により、様々な問題が生じる。また、資源の採取・変換・利用に際しては、必ずエネルギーの出入、需要が生じる。ここでは、それらの現状、問題点、将来像について具体的な提示を行う。

5-1 製塩・造水、有用無機成分の採取に係る付属技術

製塩・造水、有用無機資源の採取に係る設備は、金属材料の腐食に大きな影響を与える塩化物を多量に含み、自然環境の中で最も厳しい腐食環境と考えられる海水を扱うことから腐食問題の回避が大きな課題のひとつである。また、海洋は生物活動の場であり、その生命活動に起因する汚損による設備機能低下・損傷等も当該設備の維持・管理面で回避すべき課題である。

なお、海水を扱う設備に係る基盤となる技術は、機械、金属、化学、電気化学、生物等専門分野が多岐にわたっており、個々の分野を取り上げると実態に即したアプローチがなされているもののそれらを含めた対応が十分出来ていないのが現状である。従って、今後は専門分野内外における横断的かつ多面的な取り組みが望まれる。

5-1-1 腐食問題の回避、設備の保守・管理

通常、塩スラリーを含まない低温域では、FRP あるいは PVC 等の腐食されにくい樹脂類が使用されるが、適用温度に制約がある。樹脂類の適用可能温度を越えると、金属材料が使用されるが、温度の上昇に従って加速的に腐食の問題が増大するため、ステンレス鋼、銅合金、ニッケル合金、スーパーステンレス鋼、チタン等の耐食性に優れた様々な金属材料が組み合わせて使われている。しかし、腐食の問題は解決出来ていないのが実情である。また、複数の材料が組み合わされて使用されていることも腐食問題の解決を困難にしている面は否定出来ない。

一方で、外気に曝される装置外面および構成機器を支持する構造物等は塗装あるいはメッキを施された通常の炭素鋼が使用されている。ここで、製塩装置を代表とする海水を扱う設備は、設備の性格上、取水の容易な海に面した場所に設置されており、飛沫海水の付着・濃縮によって外部からの腐食も受けるため、プロセス側のみならず設備全体が腐食環境下にあると言える。

5-1-2 材料から採取成分や環境への汚染とその対策

金属材料では腐食生成物としての金属の溶出あるいは脱落片の採取成分への混入を避けなければならないため、使用環境と腐食形態を十分に把握した上で材料選定が必要である。製塩設備においては、従来 Cu 系の合金が多用されて来たが、腐食による Cu の溶出は避けられないことから、近年は、腐食の激しい場所には Cu 系の材料を避けるケースも増えて来ている。また、樹脂等の非金属材料では、腐食の問題はほとんどないが、環境ホルモンを含む有害化学物質の溶出が問題となるため、使用環境への適用性の検討が必要となる。

いずれも新たな材料の選定に際しては事前に実環境に対する暴露試験を実施し、科学的なデータを得た上で適用性を評価すべきである。

採取成分への材料からの汚染と同様に、使用材料からの有害金属あるいは化学物質の外部環境への流出は避けなければならない問題であり、Cu 系材料の使用回避はその一例である。また、

設備の更新あるいは廃棄に際して金属材料はスクラップ処理によるリサイクル方法が確立されているのに対して、FRP を代表とする化成品（樹脂製品等）の多くは、性質の異なる複数の素材から成り立っていることもあり、再生が出来ないため産業廃棄物として処分されることから環境・リサイクル面での問題がある。

設備、構造物の機能・品質維持のためには計画的かつ定期的な点検を実施し、経年損傷に起因する構造物の劣化による経済的損失を最小限に抑え、併せて事故・災害の防止を図るために点検結果を適切に診断した上で対策を講ずる必要がある。近年、設備の保守・点検に係る負担軽減策の一環として、耐食性機能材料への転換が進められているが、部分的な材質の変更により新たな損傷が発生する等抜本的な対策には必ずしもなっていないのが現状であり、設備診断を的確に実施することが求められている。

5-1-3 生物汚損防除技術、腐食防止技術

生物汚損防除、腐食防止は大別して、構造部材が環境に曝される環境に対して材料そのものの防汚、耐食性に期待するものと、塗装、ライニングあるいは溶射等の表面保護皮膜によって環境から遮断するふたつの形態があり、適用環境に適した様々な方法が採用されている。しかし、抜本的な解決策の実現化には至っていないのが現状である。

(1) 生物汚損防除技術

生物汚損対策は、対象となる海生生物のライフサイクルに合わせて様々な方策が採られている。駆除あるいは過による汚損生物の排除は抜本的な対策のひとつであるが、処理廃水中のBODの問題等環境汚染に対する配慮が必要である。基本的には、水中の海生生物幼生の付着能力を奪う方法と、付着出来ない基盤とする方法に大別でき、最近の船底防汚塗料を例にとると、防汚剤（忌避剤）の溶出による非錫系加水分解型防汚塗料が前者に相当し、表面の界面化学的忌避性で付着を防止するシリコーン等の機能材料系防汚塗料が後者に相当する。

(2) 腐食防止技術

腐食は金属が化学的または電気化学的に侵される現象で、熱力学的に安定な方向への移行であり避け得ないものである。海水を扱う設備における腐食の形態は、全面腐食、孔食、粒界腐食、応力腐食割れ、隙間腐食、エロージョン・コロージョン、脱成分腐食、微生物腐食、ガルバニック腐食等多種多様であるが、材料と使用環境を考え合わせると出現する腐食形態は概ね予測が可能である。腐食の抑制方法としては、環境に対応した耐食材料の選定、防食設計、表面被覆による環境遮断、腐食性物質の除去、インヒビターの使用などの環境処理、電気防食等があり、組み合わせて適用されることが多いが、使用する環境に対して腐食特性を明確にした上で、耐食性能の評価された材料を選定し、かつ構造的に腐食の引き金になるような部分を作らない対策を取るのが基本である。なお、材料そのものの持つ耐食性を損なわないよう製作施工面での配慮も不可欠である。

5-1-4 問題点および将来予測

(1) 材料について

金属材料の場合、それぞれの環境に応じて出来るだけ低価格な材料を選定するとともに、腐

食を最小限に食い止めるために、腐食要因の削減、製作時の溶接方法、加工条件、表面処理等に細心の注意が求められている。今後、安価でかつ安定した耐食性能を有する材料の開発が望まれる。また、FRP等の樹脂類の場合、廃棄物処理方法の確立、リサイクルシステムの構築されれば今後適用範囲は増大するものと考えられる。

(2) 設備診断技術について

設備を経済的かつ安定的に稼働させるためには、従来行われている方法で腐食、汚損状況を計画的かつ定期的に点検を実施し経時変化を把握することが不可欠であるが、加えて近年進歩の著しい腐食モニタリングシステム等によりリアルタイムに設備の置かれている状況を的確に把握・診断し、設備の想定外停止による経済的損失を回避することが期待されている。

今後は、この予防保全的な管理を目指すとともに、設備の建設から運転まで含めた管理の徹底、効率的なライフサイクルのコストミニマム化に配慮したアプローチが求められるものと考えられる。

5-2 エネルギー資源の開発・利用

資源の採取・変換・利用には必ずエネルギーの需要・移動が伴う。以下に、各種海洋エネルギー資源の将来予測および今後の課題について記述する。

海洋エネルギーを利用した発電システムとしては、潮位差発電、波力発電、海洋温度差発電（熱交換）海流発電などがある。加えて、バイオマスや水素資源を用いた発電方式にも期待がかけられている。

海洋エネルギーの開発に関しては、場所、発電量、多様性、安定性、経済性、環境調和性等を考慮して行うと共に、今後、発電施設の複合的利用、すなわち、エネルギーの取り出しと物質資源の採取をリンクさせた形の総合的利活用を見据えて進めなければならない。

なお、海洋エネルギーの利用に関しては、その密度の低さから、エネルギーの効率的な取り出し、発電に利用するための各種技術の継続的開発、施設の設置や電力の輸送方法等に関する検討・技術開発が必要である。特に、海洋温度差発電に関しては、日本周辺海域には表面水と比較的浅い位置にある底層水（あるいは深層水）間の温度差の大きい場所が幾つかある。従って、設置コストの低減（施設の複合的利用を考慮。深層冷海水中のリン、窒素、塩類等の採取と有効利用も念頭におく）やくみ上げ効率の向上等を図る必要はあるが、当該海域における海洋温度差発電の可能性は高く、研究の進展が期待される。

バイオマスエネルギーの利用は、環境負荷が少なく、廃棄資源の有効利用法としても将来的に有望である。ただし、現状では発電効率が低く、コスト高であるため、早急にこれらの問題解決を図る必要がある。

今後のエネルギー有効利活用を考える場合、水の電気分解や化石資源の改質等により得られた水素を電池に使用する（燃料電池、水素電池）技術の開発、関連研究の推進は重要である。ただし、水素製造には経済性を有するエネルギー源の確保（前者の方法による水素製造では電力が、後者の場合には高温の熱源が必要）が最優先事項である。

6. 沿岸・浅海域の資源の有効利活用にあらず海域環境の現状と動態予測

沿岸・浅海域を総合的かつ持続的に有効利活用するためには、そこに存在している個々の資源を対象として、その採取・変換・利用の最適化を行うのみでなく、他の資源、さらにはその場と直接・間接的に係わりを持つ生物・非生物環境との調和・協調的利活用を念頭において、将来の方向性を定め、その目標の実現に向けて最善と思われる取組みを進めなければならない。加えて、沿岸・浅海域の有効利活用を進めるにあたっては、当該海域およびその周辺の海域環境のみならず、陸域からの影響、場合によっては地球規模での海域環境の変化についても、正確な現状および将来予測データの把握と総合評価、適切な環境負荷の軽減策や環境管理策の策定・実施のための十分な準備を整え、適宜実施して行く必要がある。

以下に、沿岸・浅海域の資源の有効利活用と環境保全に向けた取組み、ならびに、沿岸域における水質環境シミュレーションについて記述する。

6-1 沿岸・浅海域の資源の有効利活用と環境保全に向けた取組み

沿岸・浅海域の有効利活用を推進する際には、当該海域のみでなくその場と直接・間接的にかかわりを持つ生物・非生物環境を正確に把握・評価し、環境、生態系、各種資源の質・量の保全、その持続性や調和性に配慮しなければならない。

同時に、当該海域における直接的な汚染負荷の低減に努めると共に、陸域からの汚染物流入を可能な限り阻止する運動を強力かつ早急に推進しなければならない。また、陸域起源の淡水や栄養塩類の供給を復活させる努力を続けていくことも重要である。さらに、一旦流出した汚染物を回収、分解、変換、再利用する方法についても検討・開発を進め、早急に実際の運用（導入）を図る必要がある。すなわち、広域的な断続的かつ連携的な処理による、海域への汚染負荷の削減が必須である。

環境に流出した汚染物の回収・分解・変換、再利用する方法については、既に多くの研究例が報告されているため、ここでは、その幾つかを紹介する。ただし、いずれの場合でも、長期的な機能維持（夾雑物質の存在、汚損生物の存在等）や海水中での汚染物質除去効果（夾雑物質の存在、汚染物質濃度の低さ等が影響）、コスト低減技術等、様々な問題が残されており、今後のこれらに対する研究・改良・開発が待たれる。

- (1) 無機イオン交換体・吸着体（複合材料化による多機能性付加無機体）を用いた各種無機元素の分離・吸着回収：リン酸イオン吸着剤としての高選択型 Mg-Al-Cl 型ハイドロタルサイトや Mg-Al 系複水酸化物の加熱処理体、硝酸イオン吸着剤としての Ni-Fe 層状複水酸化物を含め、ホウ素、ケイ素、ウラン、リチウム等、様々な無機イオン交換体の開発・研究が進められている。特に、リン酸や硝酸イオンのような栄養物質でもあり、汚染物質でもあるものについては、吸着・回収と資源としての再利用の融合化に向けた検討がなされている。
- (2) 光分解：酸化チタン（チタニア）触媒による有機物分解を主な機能としたものは、建築物の外・内壁や空気清浄用フェルター、健康医療分野等へと、陸上においては既に広く用いられて始めている。但し、環境水の浄化においては、汚染物質濃度が低い（例えば ppb オ

ーダー) ことにより、光触媒のみでは有効な反応速度が得られないため、反応触媒面に分解対象物質を吸着・濃縮する作用を有する粘土をかませることにより、イオン交換能を高めかつ疎水性の有機物を吸着し易くする(チタニア架橋粘土の利用)等の方策が考えられている。また、流出原油の分解には浮遊性ビーズの表面に光触媒をコーティングした状態で使用することや、同触媒分子のサイズを小さくして表面積(活性部の面積)を増やすことで分解活性を高めること等が検討されている。

(3) 超臨界水による分解 : 水を 374 °C、220 気圧にすると超臨界状態になるが、この状態下では、液体時のサイズの分子が気体と同じように活発に運動できるため、分解しにくい物質分子間結合を切断したり、容易に自らの分子と置き換えさせたりすることができる。そのため、全ての有機物は全て分解が可能と言われている。また、物質を良く溶かし込むで、反応場の供給に繋がる。閉鎖系での反応のため、環境改善への直接応用には難があるが、回収・濃縮された汚染物質の処理法として極めて有効である。

(4) マイクロ・ナノバブルオゾンによる分解 : 泡の直径を 50 μm 以下にすると、水中で縮小していき、ついには消滅する。これらの泡は自己加圧効果、帯電性、圧壊現象(超高压で超高温な領域を形成して、有機物を強力に分解可能) 長期間安定性等、通常の泡では見られない特異な現象を引き起こす。これにオゾンの強い酸化力を融合させ、マイクロあるいはナノバブルオゾンを発生させると、有機物分解能、ウイルスを含む微生物殺菌能が飛躍的に高まることから、酸素マイクロバブルに少し混入することにより、環境の汚染物質浄化や廃水処理、貧酸素状態の改善、安全性確保に極めて有用な技術として現在注目されている。但し、ナノバブルについては、バブル生成時のエネルギー効率の悪さに加え、その挙動に不明な部分も多く、環境浄化分野における実用化を促進すると共に、今後、基礎科学的な研究成果の集積・解析が待たれる。

(5) 微生物を用いた分解・回収 : 環境中には多種多様な機能を持つ微生物が存在し、微生物(微生物の機能)をそのまま、あるいは分解活性を高めた状態で環境修復・浄化に使用する試みがなされている。例えば、Sphingomonas 属細菌および当該微生物から単離された酵素による塩素系殺虫剤の分解、Rhodococcus 属細菌(アルカン類)や Sphingomonas 属細菌(多環芳香族炭化水素)等の石油分解菌による芳香族炭化水素化合物の分解、Bacillus 属細菌による重金属(Hg, Cd, Zn, Ag, Cu, Pb, Co, Ni 等)や As の回収、Pseudoalteromonas 属細菌による有機スズ化合物の分解の他、PCB 分解菌、ダイオキシン分解菌等が研究段階、あるいは環境汚染の処理に用いるための効果検証段階にある。但し、細菌の機能安定化や分解・回収効率の向上、副産物による環境影響、夾雑物質の存在下での機能低下等、種々の問題に関する検証・改良・対策が必要である。

(6) その他 : 強力 UV ライト照射による有機物分解、当該ライト照射と微生物の働きを組み合わせた PCB 分解(塩素置換数の多い PCB については、微生物の作用が弱いため、UV 照射により塩素をある程度外してから微生物を作用させる)等の方法も検討されている。

沿岸・浅海域の抜本的な改善・環境保全策を考えれば、沿岸・浅海域の利活用面のみに焦点を当てるのみでなく、「人と水圏生物にやさしい環境づくり - 自然共生型水域圏の概念 - 」という共通認識の浸透と実現を図ることにより、海を「海」単独としてみるのではなく、河川上流部から海域に至る広域的な水圏と捉え、その中で最適化された汚染負荷削減・環境管理策を練り上げ、適宜実施して行く必要がある。

上記のことをまとめると、次の6課題についての早急な取り組みと解決策の実施が臨まれる：

沿岸・浅海域および当該海域と直接・間接的にかかわりを持つ生物・非生物環境を正確に把握・評価し、環境、生態系、各種資源の質・量の保全、その持続性や調和性に配慮しつつその有効利活用を進める。海を単体とみるのではなく、陸域と密接な関係を持つ水圏と捉え、その中で最適化された汚染負荷削減・環境管理策を実施する。河川水の量と質の確保に向けた新しい水処理および水利用技術の早急な開発・導入。水際の環境保全策の立案・見直しの場面における適切な情報の開示と共有化、および適切な事業評価手法の導入。水域に存在する汚染物の回収・分解・変換・再利用する方法に関する研究・開発の推進。特に、(リンや窒素に代表されるような)回収物の再利用を念頭においた処理法の開発・実施。異分野間の人、物、技術、資金の交流・融合化推進。

6-2 沿岸域における水質環境シミュレーション

沿岸域における水質環境の現状は、高度経済成長時の最悪の状態から比べると、負荷量および赤潮の発生量からもわかるようになりに改善されつつある。しかし、東京湾や瀬戸内海のような閉鎖性内湾域では毎年のように赤潮が発生し、貧酸素水塊の形成を伴っており、水質環境問題は依然として残っている。このような水質悪化の原因の一つとして、海域の環境に重要な生物の生息地としての干潟や浅場の喪失、すなわち海域環境の改悪(埋立て、浚渫等)浄化生物の生息地喪失等がある。

このような沿岸域の水質環境の予測手法として、数値モデルによる数値シミュレーションの手法が一般に用いられている。海域の環境および資源量を予測する手法として、現在最も一般的に用いられている数値モデルは生態系モデル(物質循環モデル)である。生態系モデルは、まず物理的な要因としての海水の流れを予測する流動モデルと、その流動によって輸送・拡散されながら、生物的・化学的反応を考慮した生物量(あるいは植物プランクトン量、またはクロロフィル量)の生産・死滅を考慮した移流・拡散・生物反応式からなる物質循環モデルから構成される。

上術の数値モデルの支配方程式は、流れに関する Navier-Stokes の方程式、連続式、密度の状態方程式である。海水の密度を支配する要因として、海水の塩分と水温があるので、熱収支式(熱の拡散方程式)および塩分収支式(塩分の拡散方程式)が必要となる。これらの支配方程式を連立させて解くことによって、海水の流れ、および水平・鉛直混合の大きさ等を求めることが出来る。

物質循環に関する数値モデルは、環境を支配する因子が上記の流動モデルによって輸送およ

び拡散されながら、因子間の反応を考慮した物質保存式によって表すことが出来る。現在、最も一般的に用いられているのが生態系モデルである。

(植物プランクトン)

$$\frac{dP}{dt} = B_1(\text{生産}) - B_3(\text{分泌}) - B_5(\text{呼吸}) - B_4(\text{摂餌}) - B_6(\text{枯死}) - B_7(\text{沈降})$$

(動物プランクトン)

$$\frac{dZ}{dt} = B_4(\text{摂餌}) + B_8(\text{懸濁有機物摂餌}) - B_9(\text{排糞}) - B_{10}(\text{排泄}) - B_{11}(\text{死亡}) - B_{22}(\text{補食})$$

(懸濁態有機物)

$$\frac{dPOC}{dt} = B_6 + B_{11} + B_9 - B_8 - B_{13}(\text{分解}) - B_{14}(\text{分解余剰物の生成}) - B_{15}(\text{沈降}) + q_{POC}(\text{負荷})$$

(溶存有機物)

$$\frac{dDOC}{dt} = B_3 + B_{14} - B_{16}(\text{溶存有機物の無機化}) + q_{DOC}(\text{負荷})$$

(リン酸態リン)

$$\frac{dPO_4}{dt} = -B_2 + B_5 + B_{10} + B_{12} + B_{16} + B_4 + B_{22} + B_6 + B_{28}(\text{底泥からの溶出}) + q_{PO_4}(\text{負荷})$$

(無機態窒素)

$$\begin{aligned} \frac{dNH_4}{dt} = & -B_{2,NH_4} + B_6 + B_{10} + B_{12} + B_{16} + B_4 + B_{21} + B_6 - B_{17}(\text{アンモニアから亜硝酸}) \\ & + B_{20}(\text{硝酸還元課程}) + B_{29}(\text{底泥からの溶出}) + q_{NH_4}(\text{負荷}) \end{aligned}$$

これらの方程式群中に、考慮したい海洋資源の物質循環式を加えれば、求めたい物質の増減や資源量を算定することは可能である。ただし、モデルに導入する因子の過不足や重み付けの差等により、モデルの適用は限られた条件下でのみ有効となっているのが現状である。従って、今後、沿岸海域の水質環境予測をより正確かつ広範囲に適用できるようにするために、必要な指標項目を明確化し、予測値に大きなズレのない(統一見解が得られる)モデルの構築が必要である。

7. 沿岸・浅海域の資源の有効利活用に関する諸機関の取組みの現状と問題点

21世紀は「水の世紀」といわれ、地球規模で「水」問題が注目されている。世界保健機構(WHO)と国連児童基金(UNICEF)によると、2000年現在、世界の11億人が安全な水が利用できない状態にある。我国は、上水道が普及し水道の水をそのまま飲める世界の中でも数少ない国である。しかし、最近では、湯水時での水利用の安定性を確保していくことが重要な課題となっている。海外では、命と健康を守るために水道施設の整備を必要とする人々が多く存在し、国際支援が求められている。今後、アジア、アフリカの発展途上国では、人口急増のための食料増産や経済成長に伴う水不足、洪水被害の増大、水処理施設の不足による水質汚濁等が懸念される。このような状況のもと、今までに蓄積した水や食料の不足問題の解決、洪水災害防止技術の開発や制度の整備などの経験を、今後開発途上国の水問題の解決のために生かすことが必要である。

以下に、沿岸・浅海域の有効利活用に関する諸機関の取組みの現状について調査した結果として、省庁で公表された水に関する資料、平成16年度海洋科学技術関連経費予算案、各機関の海域の資源に関する取組み、今後の問題点について記述する。

7-1 省庁で公表された水に関する資料

「平成16年度版日本の水資源(水資源白書)」(平成16年8月1日): 国土交通省土地・水資源局水資源部が関係機関の調査結果をもとに、我国の水需給や水資源開発の現況、今後早急に対応すべき水資源に関わる課題について総合的に取りまとめたものである。

「健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議」(平成15年10月16日): 水循環の健全化に向けて、どのような目標やプロセスで実際に取り組むかについて、地域が主体的・自立的に考え、具体的な施策を導き出すための基本的な方向や方策のあり方を提示した『健全な水循環系構築のための計画づくりに向けて』を取りまとめ、その概要を公表したものである。

7-2 平成16年度海洋科学技術関連経費予算案

平成16年度海洋科学技術関連経費予算案合計は877億2千万円で、各省庁の予算案とその使用目的は以下の通りである。

省庁名	予算案(億円)	使用目的
文部科学省	431.35	深海地球ドリリング計画の推進、地球観測フロンティア研究システム(ARGO計画を含む)、地球フロンティア研究システム、固体地球統合フロンティア研究システム、極限環境生物フロンティア研究システム、地球シミュレータ計画推進、大陸棚画定調査への協力、政府間海洋学委員会(UNESCO/IOC)等
農林水産省	89.09	水産資源の調査・開発・管理、漁具・漁法技術開発、海洋環境保全対策、海洋空間利用調査、

		海洋資源利用技術開発
経済産業省	141.00	深海底鉱物資源開発調査、国内石油天然ガス基礎調査、メタンハイドレート開発、大水深域における石油資源等基礎調査 等
国土交通省	204.99	海洋・沿岸域に係る計画策定等、沿岸海域基礎調査、海洋測地基準点測量、国際超長基線測量、事業調査（海岸事業調査、港湾、空港、下水道）、水路業務運営経費、海洋に関する気象業務経費、ITを活用した次世代海上交通システム、次世代内航船の研究開発、東南海・南海地震災害対策の強化、FRP 廃船リサイクルシステムの構築、船舶からの環境負荷低減のための総合対策 等
環境省	10.76	地球環境保全等試験研究費、水質汚濁防止対策、公害防止調査研究、自然環境保全対策 等

7-3 各機関の沿岸・浅海域の資源に関する取り組み

沿岸・浅海域の資源の有効利活用に関する諸機関の取り組みの現状を示す。

(1) (財)造水促進センター

海水淡水化普及導入調査（平成 14～16 年度：経済産業省委託）

「海水淡水化技術開発等調査」の成果を基に、低コスト型逆浸透法海水淡水化施設の普及導入促進を図ることを目的とし、現状の海水淡水化の経済性とコスト低減化の課題を明らかにすると共に、地域特性に即した低コスト型海水淡水化施設導入計画調査を実施し、コスト試算、導入の可能性および課題についての検討等が行われている。

閉鎖性海域における汚染海水対応型海水淡水化システム開発（平成 14 年度～16 年度：日本自動車振興会補助）

海水淡水化は、水源に余裕のない大都市で導入が本格化しつつある。また、都市周辺地域では渇水や緊急災害が頻発する危険があり、海水淡水化による緊急用の水供給設備の需要が高まっている。しかし、大都市臨海部の閉鎖的な内海や湾内は、都市排水等の流入による汚濁や富栄養化が恒常化しており、汚染海水に対応可能な海水淡水化装置が求められている。

そのため、本技術開発では、膜ろ過式前処理および逆浸透膜淡水化プロセスにおいて、膜の物理化学的洗浄および殺菌処理の改善を行い、閉鎖性海域に適用可能な汚染海水対応型逆浸透海水淡水化システムの開発を目的として、種々の実証試験が行われている。

国際技術協力・交流事業

我国で研究開発された水再生利用、淡水化、工業用水使用合理化に係る造水技術の成果を海外に移転普及するため、以下の研究協力・技術協力及び国際交流事業が実施されている。

(i) 産油国石油精製用海水淡水化研究協力（平成 13～16 年度：(独)新エネルギー産業技術

総合開発機構（NEDO）助成）

アラビア湾の入口に位置するオマーン国は、沿岸海水の汚染が進み、石油輸送船舶からの油流出の危険も高い状況にある。このため、逆浸透法海水淡水化システムの導入にあたっては、汚染海水の浄化技術の導入が必要である。本研究協力事業は、我国で開発された、油分除去に対応した膜ろ過式前処理装置と高効率逆浸透海水淡水化装置を組み合わせた、最新の海水淡水化システムの実証プラントを同国に建設し、長期連続運転を行うことによって、オマーン国沿岸の海水性状に対応した最適運転条件を研究し、同国での適応性を実証し、併せて、運転研究を通して同国の技術者を育成することを目的としている。

(ii) 産油国向けハイブリッド方式海水淡水化研究協力(平成15～18年度：経済産業省助成)

発電・蒸発法海水淡水化二重目的プラントは、一般に電力需要が減る冬季に、発電設備の負荷が大幅に低下して余剰となり不経済である。ハイブリッド方式海水淡水化システムは、主に蒸気を使う蒸発法と、電力を使う逆浸透法との二種類の海水淡水化システムを組み合わせ、電力と水の需要に合わせて最適な経済性とシステム効率を設定できるシステムである。しかし、この中の逆浸透法海水淡水化システムについては、アラビア湾岸諸国における安定運転の実績が少なく、これらの国で十分な信頼が得られていない。本研究協力事業では、経済性に優れたハイブリッド方式海水淡水化システムの導入を促進し、湾岸諸国で、水需要の安定的な確保に寄与することを目的としている。

(2)(独)産業技術総合研究所

平成10～14年度に、海洋資源の総合的利用技術の開発に関する研究として、リチウム等海水溶存資源採取用高度分離吸着剤開発、海底メタンハイドレート利用のための高性能メタン吸蔵体開発、およびキチン・キトサン等海洋生物資源の生産と工業的利用研究を行っている。

海洋資源環境研究部門では、海水リチウム採取実用化技術、海水からの超高純度食塩の製造とその応用短パルスレーザーによる海洋生物付着防止技術の開発などの研究が行われている。

(3)水産庁

平成12年、水産庁の下に、水産深層水協議会が設置され、水産分野における海洋深層水の利活用を推進するため、海洋深層水に関する調査研究、事業に関する検討及び関係者相互の情報交換を図っている。また、平成14年2月、政府は「バイオマス・ニッポン総合戦略」を閣議決定し、バイオマスの利活用に関する取り組みを進めている。水産分野では、養殖等で排出される大量のホタテガイやカキの貝殻を、漁礁や排水処理に有効利用する等の取り組みをしている。また、カニ・エビの殻に含まれるキチン・キトサンの有効利用を進めている。

コンブ、ホンダワラ、カジメなどの藻類が消失する「磯焼け」が全国に広がっている問題の解決を目指す「磯焼け」対策会議では、各地で実施している対策の再検討や人工的に藻類を育てる実験を行い、平成18年度までに有効な改善策をまとめることになっている。

(4)塩事業センター海水総合研究所

塩事業センター技術部門の中核として、製塩技術開発、塩の商品化技術開発、塩の品質検査技術に関する研究に取り組んでいる。

(5) ソルト・サイエンス研究財団

プロジェクト研究として、平成 15 年度より、製塩プロセスでの蒸発晶析工程の高効率化、高品質化の研究を進めている。本財団は、「月刊ソルト・サイエンス情報」を発行し、塩に関する国内外のニュース、米国塩生産業界レポート、研究情報、特許紹介等を掲載している。

(6) 環境省

平成 17 年度の環境省予算施策の成果目標では、閉鎖性水域における水環境の保全を取り上げ、第 5 次数量規制の実施により、東京湾、伊勢湾、瀬戸内海の汚染負荷削減を図る、瀬戸内海において水質環境基準を確保し、埋立及び赤潮の発生を抑制する、有明海及び八代海の海域環境基準を確保し、当該海域環境の保全及び改善等を図る、指定湖沼流域における湖沼水質保全計画の効果的な実施により、湖沼水質を改善し環境基準達成を図る、とされている。

(7) (独) 海洋研究開発機構 (JAMSTEC)

平成 16 年に、海洋技術センターが東大海洋研究所の研究船並びにその運航組織と統合して設立されたもので、文部科学省の傘下にある。平成 15 年から 3 年計画で、長崎県と共同で、大村湾などの閉鎖性内湾の生物による持続的浄化実験とカキの養殖を行うなど、海洋に関する基盤的研究開発を進めている。

(8) その他

(i) 海の植物プランクトンの増殖による CO₂ の吸収を目的として、日加の合同チームが鉄をプランクトンの栄養分として添加する実験を実施。(2004 年 2 月、日本経済新聞)

(ii) 佐賀大学海洋エネルギー研究センター： エネルギー資源の開発・利用技術として、海面と海面下 1,000m の 20~25 の温度差を利用した海洋温度差発電について、1973 年に開発に着手し、1994 年にはウエハラサイクルを確立。熱媒体にアンモニアと水の混合物を使う。2002 年には、21 世紀 COE プログラムに選ばれる。2003 年に実験拠点の伊万里サテライトが完成し、現在、30kW の発電装置を使って実証実験を行っている。海水淡水化装置との併用も検討している。(2004 年 7 月、朝日新聞)

7-4 今後の課題

低コスト、高効率、環境保全型の沿岸・浅海域資源の有効利活用を実現するためには、広い視野、強い統率力のもと、様々な分野の人々の力を結集しなければならない。しなしながら、現状では、必ずしもそのようにはなっておらず、非効率的な面も多々ある。従って、今後は、ベースとなる調査、研究・開発を進めることに加え、異分野間の有機的連携、事業組織の体制、情報・事業評価システムの最適化を強力に推進する必要があると思われる。ここでは、関係官庁の密接な連携、横断的な対応・取組みも重要であろう。

8．結語

世界的な各種資源不足や環境問題の回避に向けて、日本が必要とする研究・開発に弾みをつけることを目的として、沿岸・浅海域の資源の総合的かつ持続的な有効利活用を促進し、変動に強い資源供給システムを構築して、社会の活性や生活の質を低下させることなく経済社会の発展・醸成を実現するために必要な概念や環境整備、研究・技術開発の方向性、コスト、情報管理、事業評価システム等について調査・検討した結果を取りまとめると共に、現状の大幅改革が緊要の課題であるとの認識の下に、具体的な展開の方法を中心に以下のような提案を行った。

資源循環型社会の構築・実現と並行し、変動に強い資源供給システムを構築するためには、沿岸・浅海域の溶存無機資源（特に、リチウム、ウランのような希薄資源、および硝酸やリンのような富栄養化原因とも資源ともなり得るもの）、水、バイオマス（微生物から大型生物までを含む）等の各種資源の総合的かつ持続的な利活用を目指した研究・技術開発を重点的に推し進めるべきである。

また、沿岸・浅海域の総合的かつ持続的な利活用を目指すには、まず、沿岸・浅海域の生産・資源環境を適正に評価し、それらを保全、修復及び管理する技術の向上に努める必要がある。そのためには、海域自体への汚染負荷の軽減、陸域からの汚染物流入の阻止を目指した、河川上流から海域に及ぶ広い水域圏での環境保全に関する総括的な指針が必要である。

さらに、沿岸・浅海域の資源の有機的・連携的利活用を実現するための調査・研究、技術開発を促進させる必要がある。すなわち、沿岸・浅海域の多面的利用、高効率・環境保全型の資源利活用技術の開発、資源の採取や利活用に係る付属技術（腐食・生物汚損対策、エネルギーの開発・変換・利用技術等）の研究・開発、複数資源の同時採取、資源採取と環境再生の融合化等、既成の概念および技術の融合化等を推し進めなければならない。そのためには、関連情報の管理・開示システム、事業組織の体制整備、事業評価システム等の最適化・効率的運用を図る必要がある。同時に、これらの資源の有効利活用を推進するには、市民の協力が必須であることから、市民に判りやすく、馴染みやすい、上記の調査・研究報告、技術情報をはじめとする、沿岸・浅海域の生物・非生物環境に係る各種情報の利用・汎用化に努めるべきである。

なお、本報告の内容は、国内のみに留まらず、我が国と同様に海を重要な資源供給の場としている諸外国の研究・開発の促進を意図するものである。これを着実に実施していくことは、国内問題の解決につながるばかりでなく、人口の激増や資源の急速な不足・枯渇にさらされている国々や地域に貢献することにほかならない。

主な参考文献

- 1 . 茅 監修、新エネルギー大辞典、工業調査会 (2002)
- 2 . バイオテクノロジー戦略大綱
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/bt/kettei/021206/taikou.html>
- 3 .(独) 海洋研究開発機構ホームページ <http://www.jamstec.go.jp>
- 4 .(独) 産業技術総合研究所ホームページ <http://www.aist.go.jp>
- 5 . Dutta ら、Appl. Environ. Microbiol.、 67、 1970 (2001)
- 6 . 深見ら、生物機能による環境修復 4. 微生物による漁場環境における環境修復、恒星社厚生閣 (1996)
- 7 . 藤島ら、“光触媒のしくみ”、日本実業出版社、東京 (2002)
- 8 . 藤田、海水誌、48、257 (1994)
- 9 . 古川ら、化学と生物、38、390 (2000)
- 10 . 平成 16 年度 2 月海洋開発関係省庁連絡会議資料 (2004)
- 11 . Henthorn L.、 Global Desalination Market、 Growth and Costs、 International Desalination Association Leadership Forum (2004)
- 12 . Iohara ら、Appl. Microbial. Biotechnol.、 56、 736 (2001)
- 13 . 環境省ホームページ <http://www.env.go.jp>
- 14 . 川本ら、水環境学会誌、22、875 (1999)
- 15 . 川辺、海水誌、46、71 (1992)
- 16 . 経済産業省、平成 14 年度海水淡水化普及・導入調査報告書 (2004)
- 17 . Kevin A.、 Desalination & Water Reuse、 14 (2004)
- 18 . 桑原ら、海水誌、59、49 (2005)
- 19 . Ministry of Economy、 Trade and Industry of Japan、 “ Study on Diffusion of Introduction of Seawater Desalination. 2003 ”、 (2004)
- 20 . 永田ら、人に役立つ微生物のはなし 第二章 微生物による環境修復、環境浄、学会出版センター (2002)
- 21 . 日本エネルギー学会編、“バイオマスハンドブック”、オーム社、東京 (2002)
- 22 . 日本海水学会、ソルト・サイエンス研究財団、「海水の科学と工業」、東海大学出版 (1994)
- 23 . 日本材料科学会編、“微生物と材料”、裳華房、東京 (2001)
- 24 . 大矢、分離膜の話し、(財)日本規格協会 (1989)
- 25 . 資源エネルギー推進課関連ニュース <http://www.pref.kochi.jp/sigen /news/>
- 26 . ソルト・サイエンス研究財団事業報告(平成 15 年度) (2004)
- 27 . 水産庁ホームページ <http://www.jfa.maff.go.jp>
- 28 . 高橋、海水誌、59、17 (2005)
- 29 . 丹野と浅野、海水誌、54、360 (2000)

- 30 . 丹野と浅野、材料と環境、52、455 (2003)
- 31 . 梶野、海水誌、57、77 (2003)
- 32 . 植村ら、化学工業、53、48 (2002)
- 33 . 2002 Worldwide Desalting Plants Inventory Report No.17 (2002)
- 34 . 矢木、エンバイオ、1、8 (2001)
- 35 . 山田ら、東芝レビュー、56、51 (2001)
- 36 . 横山編、海洋環境シミュレーション、白亜書房 (1993)
- 37 . 吉田、環境水中の環境ホルモンを対象とした光触媒分解システムに関する研究(その2)」、
(財)日比科学技術振興財団 平成 14 年度研究報告書、177 (2005)
- 38 . (財)塩事業センター公開講演会講演要旨集 (2005)
- 39 . (財)造水促進センター平成 16 年度事業計画および収支予算 (2004)

[付属資料]

1. 沿岸・浅海域の溶存無機成分の有効利活用を目指した技術開発	
1-1. 海水中の有用無機成分の有効利用を目指した技術	1
1-2. 製塩技術	6
1-3. 塩・にがりの利用	10
2. 造水技術および水利用 -海水淡水化-	16
3. バイオマスの有効利活用を目指した取組み	34
4. 海水中の有用成分の採取・利活用に係る附属技術	
4-1. 製塩・造水, 有用無機成分の採取に係る付属技術	47
4-2. エネルギー資源の開発・利用	51
5. 沿岸・浅海域の資源の有効利活用に及ぼす海域環境の現状と動態予測	
5-1. 沿岸・浅海域の資源の有効利活用と環境保全に向けた取組み	57
5-2. 沿岸域における水質環境シミュレーション	73
6. 沿岸・浅海域の資源の有効利活用に関する	
諸機関の取組みの現状と問題点	77

1. 沿岸・浅海域の溶存無機成分の有効利活用を目指した技術開発

1-1. 海水中の溶存無機成分の有効利用を目指した技術

概要

海水中に含まれている無機成分の中で、資源的、環境的に重要な微量元素を表1に示す。希薄資源としては、ウラン、リチウム、ヨウ素が有望と考えられている。希薄資源の中でもリチウムは比較的高濃度であり、原子力発電所、火力発電所などで利用後の温排海水からの採取も経済的に有望である。

一方、浅海、沿岸域は、太陽光による光合成が活発に行われ生物活動の豊かな海域である。人類活動を含む生物活動が活発に営まれるために、浅海・沿岸域では干潟の減少、富栄養化による赤潮発生、など外海とは異なる社会的問題を抱えている。このような環境問題は、見方を変えると海水をいかに再生し利用するのかという資源問題として捉えることができる。水圏環境の浄化による海水再生という視点から、リン酸、硝酸イオンなどの栄養塩類イオンの除去技術、海水でも有効な抗菌剤の開発などの課題も重要である。また、吸着法による富栄養化成分の除去と濃縮物による藻場の成長促進など、生態学的手法と組み合わせた総合的な管理システムの構築が期待される。

表1 注目される海水微量成分

元素	濃度(mg/l)	資源的価値	環境影響
B: ホウ素	4.6		◎
Si: ケイ素	2.9		◎
Li: リチウム	0.17	◎	
P: リン	0.07	○	◎
N: チッ素	0.5		◎
I: ヨウ素	0.06	◎	
U: ウラン	0.003	◎	○

1. 有用無機成分の採取技術—特に海水リチウムを中心に—

海水中の微量資源の採取技術は、石油ショックなどを中心とした資源問題の高まりとともに注目されたが、経済のグローバル化が進むにつれて資源確保の必要性が弱まり、特殊な資源（石油、希元素など）に限定されてきている。現状の市場価格で競争力を持ち、事業化の可能性の高い海水微量資源はほとんどない。現在のところ有力な資源と考えられるのは、リチウムとヨウ素である。リチウムは、特にリチウム二次電池材料として重要な資源である。毎年、10%以上の需要の伸びを示している。また、リチウム原料供給先がチリのアタカマ湖を中心とする寡占状態に陥り、供給元からの価格操作が容易に行える状況が生み出されている。そのため、リチウム原料の価格も高価格に移行する傾向が出てきている。海水リチウム採取技術は、市場価格の恣意的な変動に歯止めをかけるバーゲニングパワーとしての重要性が増してきている。一方、ヨウ素は、生体必須元素であるが大陸内では不足気味であり、特に発展途上国において重要な元素となっている。現状では、生体濃縮現象を利用した採取技術が試みられているが、大規模な事業化までには至っていない。

ここでは、特に海水リチウム採取技術の現状を紹介する。海水中でリチウムを選択的に吸着する吸着剤の開発（1986年）をきっかけに10年間（第1期）かけて採取システムの要素技術を検討し海水からリチウムを採取することが技術的に可能であることを確認できた。しかしながら、リチウム採取技術を実用化するためには、経済性を十分に考慮した採取システムを構築する必要がある。国内の有望なりチウム資源候補としては、発電所温排海水（100万kw級原子力発電所で最大採取量380トン/年）などが考えられるが、いずれも圧力差の小さな流れである特性がある。第1期ではポンプアップした海水を利用していたが、自然海流あるいは温排海水など送水にエネルギーを消費しない省エネルギー型の吸着装置が必要不可欠である。1996年からの第2期からは、リチウム採取システムの実用化に向けて各要素技術の開発とコスト試算が進められている。

（1）新規吸着剤の開発

吸着剤の性能向上の目標値として吸着量50mg/gを掲げた。従来の2倍以上の吸着量であるが、これを達成できれば装置コストを大幅に低減できる。鋳型反応を詳細に検討し、海水からのリチウム吸着量40mg/gを示す吸着剤（SPIMO-2）を開発されている。鋳型反応を2段階で行うことで多くの均一な吸着サイトを作り出すことに成功した。本吸着剤粉末の大量製造技術についても技術的なめどがたっている。

（2）大量造粒法

吸着剤を数百キログラムのレベルで造粒するために、遠心滴下型造粒装置が考案され、造粒試験が進んでいる。100kgの吸着剤の造粒試験を行い、良好な造粒体が製造できることが確かめられている。本装置を用いれば、大量の粒状体を比較的容易に製造することができる。大量に造粒した吸着剤を用いて海水からのリチウム採取ベンチ試験が行われ、100kgレベルの炭酸リチウムの採取が可能であることを確かめている（図1）。

（3）膜状吸着剤の調製と吸着性能

自然海流を利用した吸着装置として、膜状吸着剤を利用した層間平行流吸着装置が有望ではないかと考えられる。そのため、膜状吸着剤の製造技術について基礎的な検討を進め、液相置換法で良好な膜状吸着剤が得られることを確かめられている。その評価装置として層間平行流吸着装置が試作され、実海水を用いて吸着実験が進められている（図2）。単位重量あたりの吸着量は10日で約10mg/gに達している。単位重量あたりの吸着速度は膜面積に大きく影響するため、できるだけ膜を薄くする方が効率の点からは好ましいこ

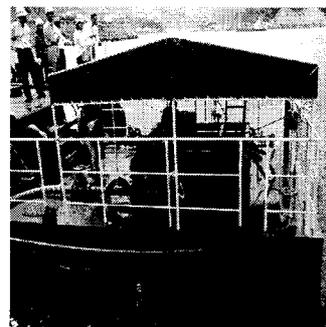


図1 海水リチウム大量回収実験
炭酸リチウム回収量：100kg/年
場所：広島県宇市
日時：2000年8～10月
共同研究：広島大学民間企業社

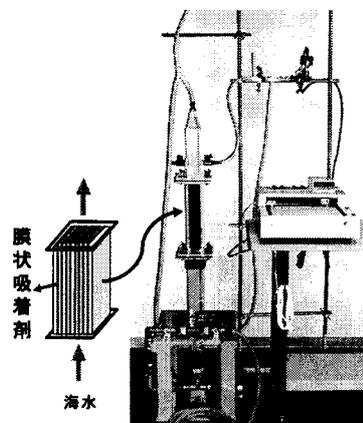


図2 層間平行流吸着装置

とが明らかになった。

(4) 今後の課題

第2期においては実際の資源を考慮した実用的な採取システムの構築が重要である。最も重要な課題は、ポンプを使用しない低水圧の流れの中で効率よくリチウムを吸着する装置の設計にある。そのためには、海水と効率よく接触できる吸着剤の成形法が重要となっている。膜状成形体あるいは繊維状成形体の開発とその成形体を用いた低水圧型吸着装置の開発に向けた研究に今後も積極的に取り組む必要がある。また、コスト試算を行い、経済性の評価を行う必要がある。

採取技術の実用化は、リチウムの価格との関係で決まる。炭酸リチウムの価格が将来的に今の2倍以上になれば有望な技術となる。そのためには、電気自動車の普及など、リチウム資源の需要が大きく高まる必要がある。

2. 溶存無機成分の採取と環境浄化の融合に向けた取り組み —硝酸、リン酸イオン選択吸着剤の開発—

閉鎖性海域においては、富栄養化による汚染や赤潮の発生が大きな社会問題となってきた。従って、溶存無機成分の採取と環境浄化を融合した、海水の総合的利用という観点からの技術開発が重要となっている。特に注目される元素は、富栄養化成分として問題となっているリンと硝酸である。特に、リンは、資源としても今後30年以内にリン鉱石の枯渇が懸念されている元素である。吸着法は、有害の微量成分を分離除去するためにも有力な技術である。海水中の富栄養化成分として有害な硝酸イオン、リン酸イオンを効率よく除去する吸着剤の開発研究が進められているが、性能的に満足のものはいくつも開発されていない。海水中の栄養塩濃度は極めて低いうえに、硫酸イオン、塩化物イオン、炭酸イオンなど妨害イオンが大量に含まれている。そのため、共存成分の影響を受けずに栄養塩イオン（硝酸イオン、リン酸イオン）だけを選択的に除去する良好な吸着剤を開発する必要がある。

(1) 硝酸イオン吸着剤

無機系の陽イオン交換体としてはゼオライト、粘土などのアルミノケイ酸塩、金属含水酸化物、など多くの種類が知られている。これに対し、陰イオン交換体の種類は少ない。無機系の陰イオン交換体として代表的なものが層状の複水酸化物 (layered double hydroxide: LDH) である。

層状複水酸化物は異なる金属の水酸化物の層状複合体であり、層間に存在する陰イオンと溶液中の陰イオンとがイオン交換反応して、陰イオンを取り込むことが

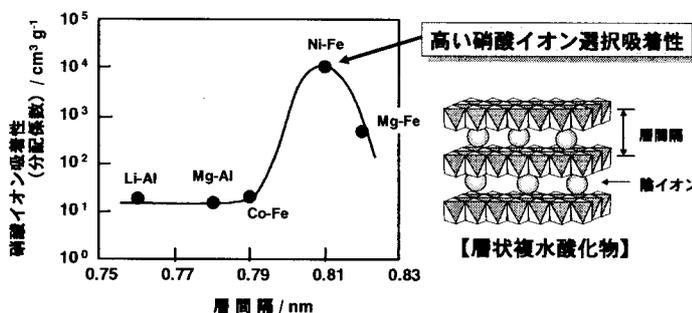


図3 硝酸イオンふるい作用の発見

できる。

LDH の金属水酸化物層の金属イオンの種類を変えると層間隔が変化し、硝酸イオンの選択吸着性が異なってくる。層間隔 0.81nm の Ni-Fe LDH(ニッケルと鉄からなる層状複水酸化物) が著しく高い硝酸イオン吸着性を示し、海水から選択的に硝酸を除去できることが明らかになっている (図3)。

本吸着剤 0.1g を硝酸イオン添加海水 (硝酸イオン濃度 30 μM) 1 L 中に入れると硝酸イオンを吸着し、吸着量は 0.3mmol/g に達する。一方、今までに知られている吸着剤 (Mg-Al 系複水酸化物、市販の硝酸除去剤、強塩基性イオン交換樹脂、水酸化ジルコニウム) は海水中では硝酸イオンを全く吸着しなかった。Mg-Fe 系吸着剤は硝酸イオンを吸着したが吸着量は 0.08mmol/g と小さかった。

(2) リン酸イオン吸着剤

リン酸イオン吸着剤としては、水酸化ジルコニウム、Mg-Al 系ハイドロタルサイトなど多くの化合物が知られているが、陰イオンが大量に共存する海水系で有効な吸着剤は少ない。Mg-Mn 系複水酸化物を 300°C で加熱処理して得られた吸着剤が海水から高いリン吸着性を示すことが見出されている。

この吸着剤は、加熱処理で層状構

造が壊れ無定形状態になるが、大きな陰イオン交換容量を保持している。加熱処理によって Mn の価数は 3 価から 4 価になり最も安定な状態になる (図4)。

この吸着剤 0.1g をリン酸イオン添加海水 (りん酸濃度 0.3mg-P/L) 1 L に入れるとリン酸イオンを吸着し、吸着量は 8mg-P/g に達する。一方、他の複水酸化物では吸着量は 2mg-P/g 以下である。吸着したリン酸は、アルカリ溶液で処理することで脱着することができ、脱着時の吸着剤の溶解損失は見られなかった。この吸着剤は、マグネシウムとマンガンという安価で豊富な原料からできているので、水酸化ジルコニウムなどに比べ格段に安く合成できる利点がある。

(3) 今後の課題

海水からでも富栄養化成分を除去できる吸着剤が見つかったことで、新たな除去システムの開発の期待が高まっている。今後は、大量の海水処理にも耐えるような成形法の開発、繰り返し安定性を高める工夫が重要である。

3. まとめ

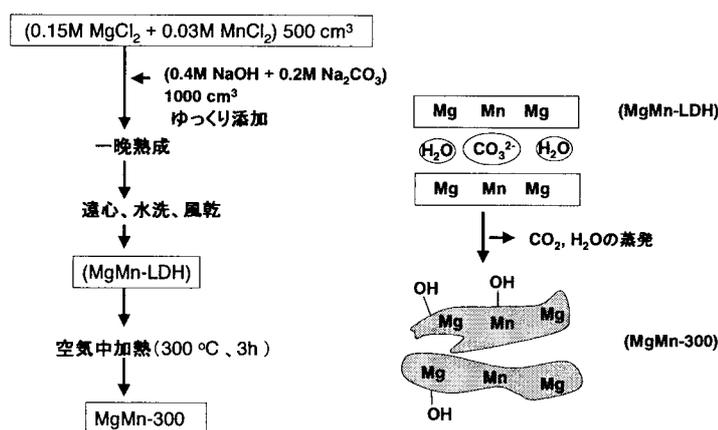


図4 リン酸イオン選択吸着剤の合成

浅海・沿海域を対象に溶存無機成分採取、富栄養化成分除去のための吸着技術の応用例を紹介した。微量成分に対する吸着技術が単に溶存無機成分採取という観点だけでなく、水圏における生態反応を制御する総合的な手法として有望であることがわかった。微量成分の取り込みという化学的側面からだけ捉えるのではなく、固液界面における生物反応を含めて広い視点から理解し、生態反応の総合的な制御技術として発展させていくことが吸着技術の応用として重要である。最近、河川などでリンを吸着したコンクリートは供用期間が終了した後で人工藻礁として再利用できる可能性が高く、また鋳物廃砂を配合することで藻礁としての再利用性が向上するとの報告がなされている¹⁾。リンの吸着除去と藻場の成長を同時に促進する技術として今後の発展が期待される。

<参考文献>

- 1) 桑原ら、海水誌, 59, 49(2005)

1-2. 製塩技術

概要

国産塩と輸入塩の価格差は生産構造的なものであり、工程改善や新技術の開発などにより多少縮めることは出来ても、それほど大きな改善は期待出来ない。製塩のトータルコストを下げするため、副産物であるにがりのより効果的利用法の検討や造水工場との併合が言われてきた。しかし、現状では、これらも製塩コスト低減の有効な切り札にはなりえない。従って、今後は、製塩コスト面での努力はもとより、イオン交換膜製塩法の特性を生かした食品としての安全性や品質の高さ、種類の豊富さを強調した塩作りに力を入れるべきである。

1. はじめに

わが国の塩産業は、1997年3月に塩専売制が廃止されたことにより、これまで国により一元管理されていた塩の輸入、製造、販売が、新たに制定された塩事業法のもと自由化へ移行した。

海水を原料とする国産塩の生産量は年間約130万トンである。これは国内消費量（約900万トン）の約14%であり、わが国は世界一の塩輸入国である。国産塩の生産量は国内の食用塩の消費量にほぼ匹敵し、専売制度下においては、この食料自給率100%を目標に製塩技術の開発や流通網の整備などによりコスト低減を図り、輸入塩の価格に近づける努力をしてきた。専売制度廃止以降も引き続き、製塩工程の効率化、従業員配置の見直しや、これまでの製塩業者の廃業、卸販売業者の統廃合が進められ、低コスト体質へさらなる強化に努めてきたが、国産塩の価格は、依然として輸入塩の価格（約3300円/トン（税抜き））には遠く及ばない。その差は益々開いており、今後も安価な輸入塩の利用の拡大（天日塩の直接利用、混和再製）や食用製品の輸入などにより、国産塩の市場シェア低下は避けられないものと考えられる。

塩資源に恵まれないわが国の製塩法は、海水をイオン交換膜電気透析装置で濃縮し、多重効用缶で煮詰めるエネルギー大量消費型である（図-1）。製塩技術は進んでいるが、ほぼ成熟しており、技術開発面からコスト低減への寄与はそれほど大きくないものとする。今後は、価格よりも安全性や品質面での競争になると考える。以下、考えられる問題点と改善策の概を記す。

2. 製塩工程の問題点と対策

(1) 原料海水

国内にはイオン製塩会社5社、6工場があり、1工場あたりの塩の生産量は20~25万トン/年であるが、使用する海水量は、約10万トン/日と膨大である。原料である沿岸海水には生物、有機質、無機質などの懸濁物質や環境汚染化学物質が含まれており、それらの除去による清澄化は重要な問題である。海水懸濁物質は導水路への付着による流路抵抗の増加や電気透析槽内（図-2）の膜面やスペーサーなどの構造体への付着による流路閉塞の原因となる。特

に電装内への付着は水分解による膜の破損などの運転トラブルを招くため、通常運転時でも装置の定期的な解体洗浄を必要としており、これが生産効率の低下はもとより、解体洗浄操作時の膜の破損を招いている。現状、取水海水は通常FI値4以下を目安とし、砂ろ過器2段でろ過しているが、さらに効果的に水質改善をするためには、懸濁物質の種類と付着機構の解明や水質の評価法の確立が必要であり(図-3、4)、その結果を基礎にした装置やろ過材の開発が望まれている。

一部の製塩工場では、生物付着の防止のために塩素殺菌(0.5ppm程度)とチオ硫酸ナトリウムによる中和、懸濁物質の凝集によるろ過効果を上げるため塩化第二鉄の添加などを行っているが、逆洗廃棄物の処理や薬剤コストの負担、また環境への配慮を考えると添加物は使用しないのが望ましい。

現在は、現行砂ろ過装置(1、2段)の改良(ろ過材の質)と運転条件の見直し(流速、逆洗等)や高流速で精密ろ過機構を有する新しいろ過装置の開発などが進められている。

環境汚染化学物質については、懸念物質の特定や工程での挙動を含めこれまでほとんど調査されてこなかったが、食用塩の安全性を確保する上でそれらの調査は必要であろう。最近、一部のイオン交換膜法製塩工場について限られた種類の環境汚染化学物質の調査ではあるが、特に懸念される結果は得られていない。しかし、海水からの直接製塩法では沿岸環境の汚染状況の調査が必要であろう。

(2) 採かん工程

海水を濃縮し濃いかん水を得るのにイオン交換膜電気透析装置を用いるのは、わが国独自の方法である。1972年にこの方式に全面転換してから30年以上を経過したが、この間、イオン交換膜の改良が進み、技術的にはかなり高度な域に達している。そのため今後の開発によりそれほど大きなコスト低減効果は期待できないが、以下のような改良が望まれる。

透析装置内の付着物の軽減および解体・洗浄法の簡易化のため装置構造の改良。

膜の耐薬品性(特にアルカリ性)および耐久性の向上。

膜性能の向上、D・C透析電力原単位(140kw/t-NaCl)、かん水濃度(210g/L)

イオン選択透過性の向上、K(せんごう終点の向上)、Br(浄水処理用等用途拡大)およびSO₄(石膏スケール、製品純度)透過性の低減。純塩率96%以上の確保。

また、イオン交換膜の供給体制の継続性が今後の大きな課題である。イオン交換膜はこれまで大手化学会社3社が開発、改良し、安定供給してきた。しかし昨今の採算性が見直しが大きな要因と考えられるが、イオン交換膜製造会社は大手化学会社および大手化学の合弁会社の2社体制になった。国内で使用されるイオン交換膜は約60%が製塩用でありその市場規模が小さいこと、加えて国産塩の生産量が縮小傾向にあることなど、イオン交換膜の需要環境は厳しく、供給の継続性が懸念される。

(3) せんごう工程

塩の晶析には、多重効用缶が用いられている。これまでの幾多のシミュレーションからエネルギー的には3~4重効用、即ち現状設備が最適であるとの結果が得られている。さらにエネル

ギー生産効率を向上させるためには、装置規模の拡大が必要と考えられるが、設備原価償却費のコストへの跳ね返りを考えると、新たな設備の導入は不可能である。今後は生産コストの低減以上に、食品としての安全性の確保や成分組成、粒子径などの品質面について、消費者のきめ細かな要望に沿った対応、即ち・多品種少量生産への効率的対応が不可欠であると考えられる。この目的を達成するためには、結晶粒径の動的制御法の開発が必要であるが、これには現状の設備状況や運転操作手法では不可能であり、高度な制御技術の開発を始めとして、粒子径の精度良いセンシング技術の開発や進んだ IT 技術の応用等幅広い工程改良が必要である。

また、装置材料の腐食防食対策はせんごう工程に限らず工程全般に関わる問題であるが、修繕、保全費の低減や有害重金属類の溶出から検討が必要である。

(4) その他

製塩に限った事項ではないが、最近の急激な燃料費の高騰、公害規制の強化と廃棄物処理問題や包装材料のリサイクル問題が特に懸念される。

3. 終わりに

国産塩と輸入塩の価格差は生産構造的なものであり、工程改善や新技術の開発などにより多少縮めることは出来ても、それほど大きな改善は期待出来ない。製塩のトータルコストを下げるため、副産物であるにがりのより効果的利用法の検討や造水工場との併合が言われてきた。にがりの利用は昔から行われてきたが、塩同様に海外産の供給や価格動向に左右され、採算性は厳しく縮小傾向にある。また、製塩で排出される脱塩水と海水淡水化で排出される濃縮水の相互利用、即ち製塩と造水の併合による相乗効果等も原理面では可能であるが、わが国では水需要の地域性や降水量の季節および年変動の問題など不安定要因が多く、経済的可能性は全くないと考えられる。今後は、製塩コスト面での努力はもとより、イオン交換膜製塩法の特性を生かした食品としての安全性や品質の高さ、種類の豊富さを強調した塩作りに力を入れるべきと考える。

図1

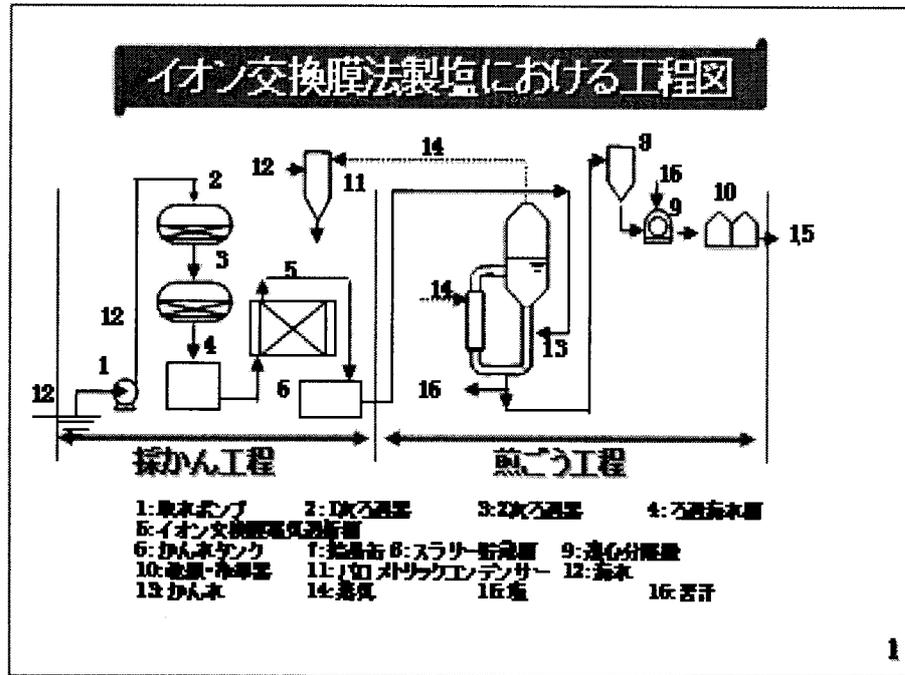


図2

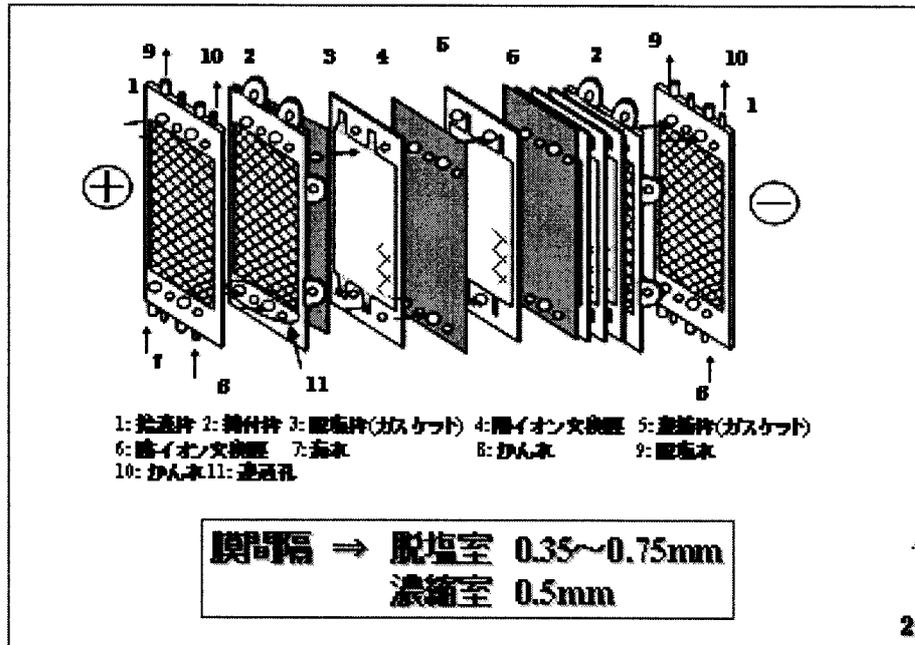
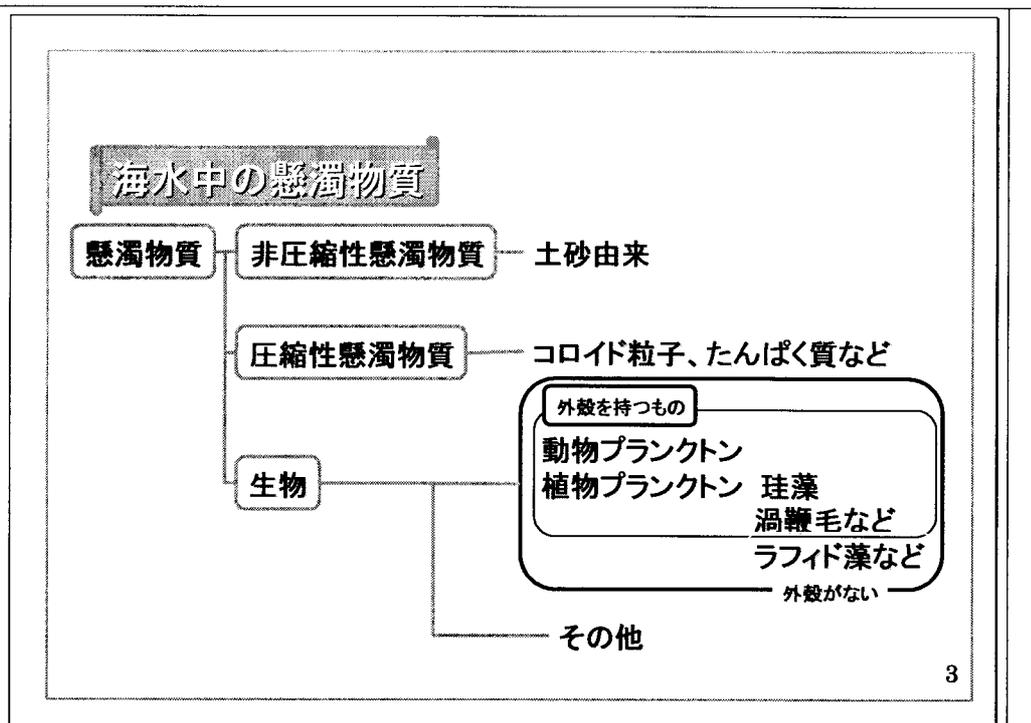
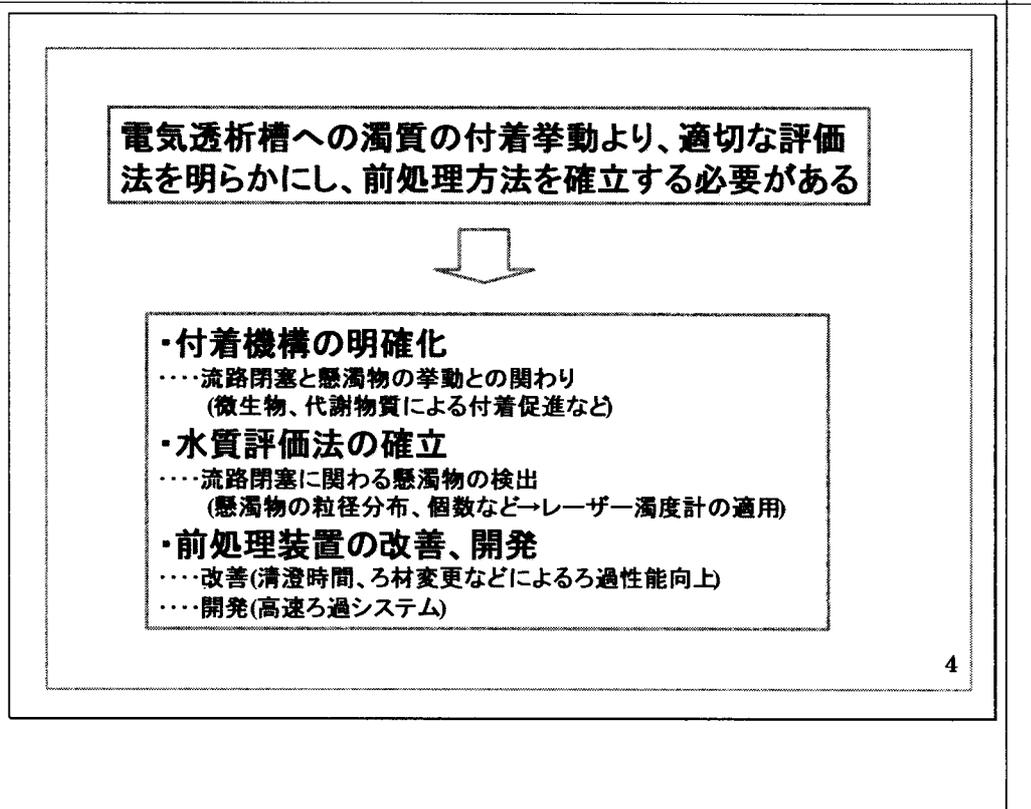


図3



3

図4



4

1-3. 塩・にがりの利用

概要

現在、日本では、塩はイオン交換膜製塩法で製造されている。日本で生産された塩は、中国塩を除けば食用塩としてのコスト競争力はあるが、最大の用途であるソーダ工業用塩としては、一層のコスト低減が必要である。また、イオン交換膜製塩法で製造された塩は、塩田製塩法による塩製品とは化学組成が異なる。そのため、塩の用途拡大を図るには、コスト問題以外に品質の問題として、塩の組成や分離（塩化物と臭化物の分離）技術の改良・開発が必要である。なお、イオン交換膜製塩法由来のにがりには、塩化カリウム、臭素、型用石膏、塩化マグネシウムの製造に利用されている。

塩の需要が低下すると、イオン交換膜の需要も低下し、高性能イオン交換膜の開発・供給に問題が生じ、イオン交換膜製塩法の存続にも関わる問題にもなりかねない。

1. はじめに

日本では地殻的、地質学的、気象学的に岩塩、地下かん水はなく、それらを原料として塩が生産される条件にないため、塩分濃度の薄い海水を原料として、如何にして低コストで高品質の塩を製造するかについての技術開発が行われてきた。

海水を原料として工業的に製塩する場合、自ずと決まった化学組成、物性の塩の塩となる。現在では、塩はイオン交換膜製塩法で製造されており、塩田製塩法による塩製品とは化学組成が異なっている。そのために塩を利用する上で生じる問題点がある。塩の用途拡大を図ろうとすれば、コストの問題以外に、それらの問題点を解決する必要がある。

ここでは、イオン交換膜製塩法に基づく塩とにがりに関してのみ考察する。

2. 塩の利用

日本では塩の用途は表1に示すように家庭用、食品工業用、工業用、その他、融冰雪用、ソーダ工業用と分かれており、ソーダ工業用が圧倒的に多い。家庭用、食品工業用については、塩専売制度の下で国内自給体制を確立すべく技術開発が図られ、1997年に制度は廃止され、5年間の経過措置と3年間の関税措置が採られ、いよいよ2005年から基本関税500円/tだけになり、完全な自由化を迎える。年間消費量140万トンと言われている食用塩は、中国からの輸入を除けば何とか競争力を持って自給できる体制にある。しかし、現実には専売制度廃止後、高価格で競争力のない特殊製法塩の数量が上昇し、140万トンの数値は次第に低下している。

塩の品質上大きな問題点となる塩が固まる、と言う最大のクレームについて根本的に解決するには固結防止剤のフェロシアン化合物を20ppm程度添加すればよい。この物質については安全性の確認データがないが、世界的に食品添加物として使用されていることから、2003年に日本でも食品添加物として認定された。しかし、前述したように安全性の確

認データがないので、国内製塩各社は使用しないことで合意しており、専売時代からの技術と在庫管理の徹底で問題が生じたときの小回りのきく対応により、輸入塩に対して優位性を持っている。

圧倒的に使用量が多いソーダ工業用塩は全量を天日塩として輸入されている。天日塩はメキシコやオーストラリアの大規模な天日塩田に海水を導入して自然の恵みを最大限に利用して製造されたものである。

イオン交換膜製塩法による国内塩自給の技術開発目標の一つとして当初にはソーダ工業用塩の国産化も視野に置かれていた。しかし、化石エネルギーを使用して工業的に製造するには、コストの問題があり、先ずこの問題が解決されていない。このような問題がありながらもアンモニア・ソーダ法による炭酸ソーダ(ソーダ灰)の製造では、イオンかん水を使用できる環境にあるが、天然ソーダ灰の輸入により炭酸ソーダの生産量が減少してきており、将来的にイオンかん水が使用される見込みはない。

電解ソーダでは、カ性ソーダと塩素および水素が製造される。隔膜電解法では製品の品質が悪く、水銀電解法では品質は良いが、水銀公害の問題を起こしたので現在では全面的にイオン交換膜法になっている。この場合には、かん水としては利用できなくて、必ず固形塩にしなければならない。したがって、イオン交換膜かん水製造後にせんごう工程が必要でコストアップに繋がって競争力がなく、また、次節で述べるように品質的にも問題があり、ソーダ工業用塩国産化の夢は実現せず現在に至っている。

3. 塩の品質特性

塩の化学組成からみた品質特性を図1に示す。左側は流下式塩田製塩時代の食塩中の不純物量、中央はイオン交換膜製塩による不純物量、右側は天日塩田製塩による不純物量を表している。

イオン交換膜製塩では塩製品中のカリウムと臭化物の含有量が多くなり、食用では問題とならないが、ソーダ工業では、ソーダ製品の品質が悪くなるので問題である。現在の所、ナトリウムとカリウム及び塩化物と臭化物とをそれぞれ分離する技術はなく、ソーダ工業用の原料としては使用できない。

天日塩や岩塩の溶解再製による製塩では、かん水を精製してカルシウム、マグネシウムを除いてせんごうするので、塩製品中の不純物は少なくなり一層純度の高い高級塩種や医薬用塩に使われる。

4. にがりの特性と利用

イオン交換膜製塩法ではイオン交換膜を通過するイオン選択性の関係から表2に示すように、塩田濃縮由来のにがり(塩トン当たり約0.5KLの生産量)と比べて組成が変化しており、生産量も半減している。イオン交換膜製塩法由来のにがりは、塩化カリウム、臭素、型用石膏、塩化マグネシウムの製造に利用されている。

5. 問題点

現在のイオン交換膜製塩法では中国塩を除けば食用塩としてのコスト競争力はあるが、最大の用途であるソーダ工業用塩としては、最近の大幅なフレート上昇からコスト差は小さくなってきたとは言え、一層のコスト低減が必要である。しかし、それ以外に品質の問題があり、ナトリウムとカリウムの分離、塩化物と臭化物の分離技術を開発する必要がある。

塩の需要が低下すると、イオン交換膜の需要も低下し、高性能イオン交換膜の開発・供給に問題が生じ、イオン交換膜製塩法の存続に関わる問題にもなりかねない。

<参考文献>

- 1) 橋本壽夫、食品工誌、49、437 (2002)

表1 用途・塩種別塩の消費量 日本 (千トン) ○並塩・食塩, □再製精製塩, △原食・粉碎食

		消 費 量 (年 度)						塩 種	
用 途		1998	1999	2000	2001	2002	2003	国産	輸入
生活用		283	277	259	237	247	243	○	□
食 品 工 業 用	漬物	115	114	105	91	96	92	○	△
	味噌	65	65	61	64	54	59	○	
	醤油	209	211	213	207	195	209	○	△
	水産	232	232	226	218	229	226		△
	調味	164	176	174	176	184	139	○	□
	めん類	30	30	30	—	—	—	○	□
	パン菓子	22	22	21	—	—	—	○	□
	加工食品	120	123	130	127	125	126	○	□
	その他	18	21	25	83	90	107		
小 計	976	992	985	967	973	958			
工 業 用	染料顔料	19	19	16	—	—	—	○	△
	化学薬品	14	14	16	—	—	—	○	□
	合成ゴム	5	5	4	—	—	—		△
	皮革	46	46	39	40	42	—		△
	油脂	5	5	5	—	—	—		△
	窯業	1	0	0	—	—	—		△
	鉱業	5	5	4	—	—	—		△
	イオン再生	56	58	63	63	55	—	○	△
	染色	2	2	2	—	—	—	○	△
	その他	15	14	15	57	85	—		
	小 計	166	168	165	160	200	110		
そ の 他	家畜用	91	91	85	81	76	—	○	△
	医薬用	41	41	40	47	43	—	○	□
	その他	6	6	12	16	17	—		
	小 計	138	138	138	144	136	136		
融冰雪用		236	289	351	275	448	474		△
合 計		1,799	1,864	1,898	1,783	1,986	2,011		
ソーダ工業用		7,292	7,619	7,484	7,441	7,595	7,747		

2001年度以降の数量でめん類、パン菓子はその他の項へ、工業用の一部はその他の項へ加算されている。

表2 にがりの組成 (%)

	NaCl	KCl	MgCl ₂	MgSO ₄	MgBr ₂	CaCl ₂
塩田製塩にがり	2 - 11	2 - 4	12 - 21	2 - 7	0.2 - 0.4	-
イオン交換膜製塩にがり	1 - 8	4 - 11	9 - 21	-	0.5 - 1	2 - 10

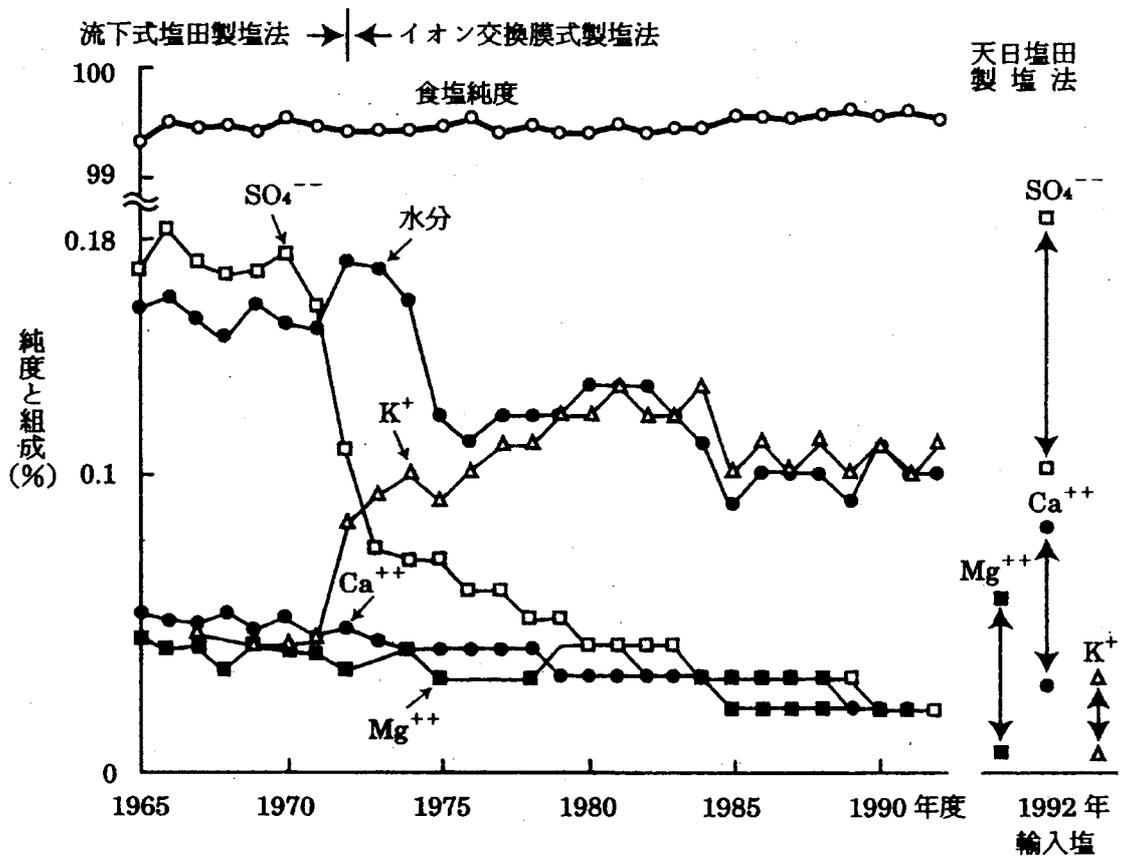


図1 食塩品質の推移¹⁾

2. 造水技術および水利用 ー海水淡水化ー

概要

海水淡水化技術の完成度は高く、実用的な経済性を実現している。最近ではコスト低減化競争が激しく、建設コスト、運転コストともに低減が進んでいる。急激なコスト低減は行き過ぎの感もある。しかし、いくら安くなったといっても、まだ他の水源開発方法に比べれば海水淡水化コストはまだ高く、特に運転コストが高いのが現状である。海水淡水化は経済性、地球温暖化への影響等を考慮すれば、降雨量が少ない沿岸海域に限定された水資源開発手段といえることができる。

逆浸透法は最も有望な海水淡水化システムになりつつある。しかし、逆浸透法には維持管理に技術的問題が残されている。逆浸透膜の脆弱性、膜の汚れ付着による性能低下、膜の安定性および信頼性が問題視されている。膜の汚れ防止に関する技術については、膜の汚れ付着メカニズムの解明、前処理の改善、マイクロ/ナノバブルを利用した膜の気泡洗浄、ナノろ過膜によるスケール防止など、今後の研究開発に期待されるものがある。また、ナノろ過膜については、逆浸透膜と組み合わせ圧力分離によって海水の高濃縮（8～10倍濃縮）が可能であり、海水濃縮技術として役立つ方向もある。

環境影響に係わるものとしては、エネルギー多消費、濃縮海水放流および膜廃棄物がある。特に、濃縮排水の処理と膜エレメントの廃棄処分の課題が潜在化している。

逆浸透法海水淡水化に関連して、沿岸河口などの汽水域塩水を利用した淡水化も構想できる。蒸発法海水淡水化については、スケール防止技術の改善、蒸気圧縮法の改良と大型化の検討が注目される。

1. 海水淡水化技術の現状と動向

(1) 実用化技術

現在実用化されている淡水化方法には、蒸発法（多段フラッシュ蒸発法、多重効用法、蒸気圧縮法）と膜法（逆浸透法、電気透析法）がある。一般には、淡水化の原理で分類して、蒸発法、逆浸透法および電気透析法の3方式としている。淡水化技術共通の課題としては、①水コストが高い、②エネルギー消費量が多い、④スケール析出の範囲で性能制約、⑤塩分による材料腐食、⑤環境への影響があげられる。

(2) 蒸発法淡水化技術の動向

蒸発法は淡水化・発電二重目的プラントとして、大規模な海水淡水化プラントに適用されている。最近では、多段フラッシュ法の大規模化が進みユニット規模が7万 m^3/d のものが製作可能になっている。多重効用法は蒸気圧縮システムを組み合わせた方式が普及し、ユニット規模も2.5万 m^3/d の大型プラントが実用化されている。

海水汚染による淡水水質への影響は、蒸発によって淡水側に移行する揮発成分が問題になるが、海水汚染による装置への直接的障害は少ない。

しかし、高温運転であり、スケール（硫酸カルシウム等）析出防止技術の改善が望まれている。

（3）逆浸透法淡水化技術の動向

逆浸透法は、最も省エネルギー型で、低コストの淡水化である。最近では、濃縮海水の排出圧力エネルギー回収装置の開発が進み、淡水化エネルギー $2\sim 3\text{kWh}/\text{m}^3$ が達成されている。海水から低塩分かん水まで、原水の塩分濃度に応じて最適なシステムが設定できるなど、多くの利点があり、海水淡水化のユニット規模は $1\text{万 m}^3/\text{d}$ の大型化も進み、プラント設置容量が急激に増加している。

しかし、逆浸透膜の汚れによる性能低下、特に有機物付着、生物付着汚れ（バイオフィウリング）が課題である。この対策として、膜ろ過式前処理システム、膜の殺菌方法、汚れない膜の開発などの研究が行われている。

生産水の水質についても、海水に比較的多く含まれるホウ素および臭素を除去することが求められている。

（4）電気透析法淡水化技術の動向

電気透析法は極性変換型が実用化されているが、淡水化分野において逆浸透法に対抗できる用途が減っている。最近では電気再生式脱塩（純水）装置（EDI）として、混床式イオン交換樹脂と電気透析膜を組み合わせたシステムが実用化され、超純水装置に多用されている。現在、半導体の洗浄水製造に必要な超純水装置は、膜ろ過（限外ろ過膜、精密ろ過膜）装置、低圧または超低圧逆浸透装置および電気再生式脱塩装置の3つのシステムの組合せによって構成されている。

2. 水利用の現状と問題点

（1）地球の淡水と水源利用

水需給の現状と将来については地域差があり、日本の状況と世界全体の状況で差異がある。日本では基本的に水は豊富で、用途間・地域間の融通ができれば充足している。また、人口は減少の傾向にあり、将来の水需要は横這いと予想される。一方、世界の状況は急速な人口増加、文明の発展にともなう水需要増加、降水量の低減・砂漠化による水源不足が予測され、水需給バランスは厳しい状況にある。

将来の水源利用については、地球の淡水量と水源と、水の循環・再生利用等の水資源有効利用（造水）技術の経済性・実用性について検討する必要がある。一般には、最も豊富で低廉、良質な地下水の利用が優先され、ついで湖沼水、河川水の利用であろう。

（2）水循環・再生利用と2系統給水

水の循環・再生利用は工業用水の分野で多く実用化されている。最近では超純水の循環利用も行われている。さらに、生活用水、農業用水も含めて、地域あるいは河川・湖沼での自然浄化も含めて、地域・流域水循環利用システムが検討されている。

地域・流域水循環においては、上水道（浄水）と中水道（雑用水）の2系統給水システム（水

質と用途の使い分け)、下水・排水再生利用および自然浄化を加えた循環利用システムの構築が検討されている。淡水化は最後の水資源と考えられる。

(3) 淡水化の需要

淡水化の需要は、過去 30 年間で 12 倍になり、2001 年現在プラント設置容量合計は 3,000 万 m^3/d を越えた。近年は毎年 11%以上の伸び (毎年 200~300 万 m^3/d 以上) を続けている。特に、逆浸透法 (ナノろ過法含む) が急速に増加しており、2001 年現在、蒸発法と逆浸透法が半々になっている。

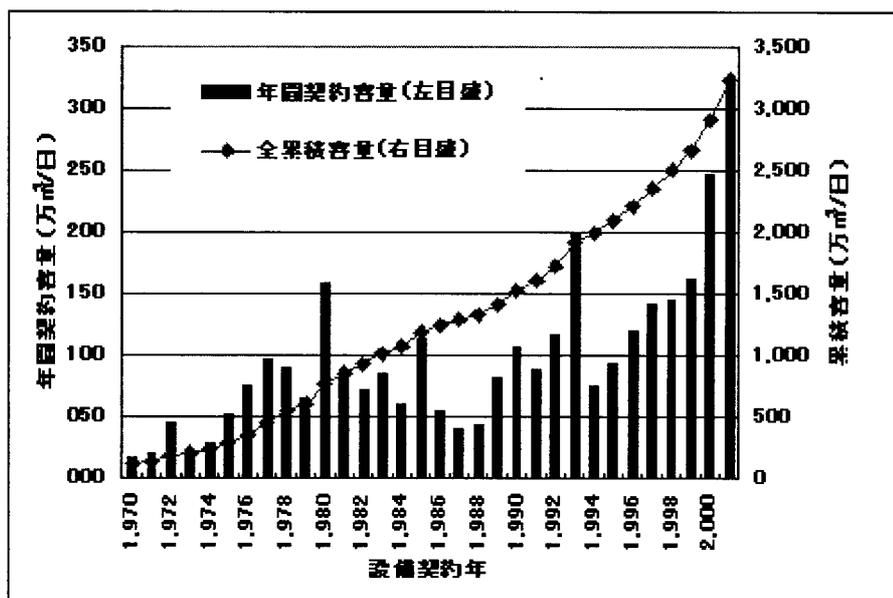


図1 淡水化プラント設置実績の推移

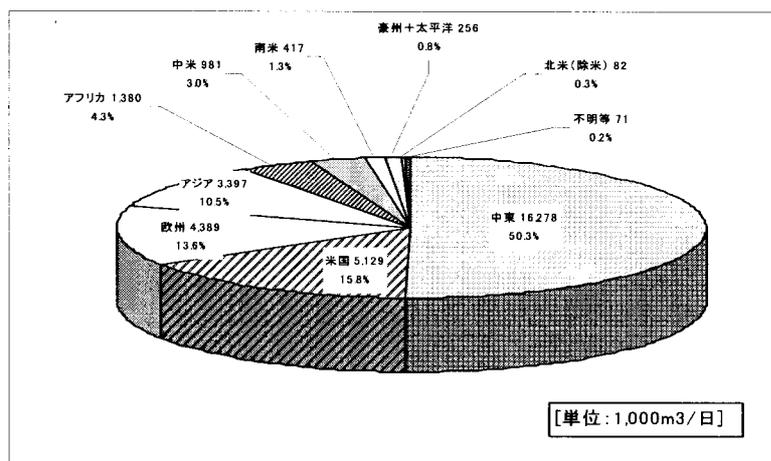


図2 世界の地域別淡水化実施状況

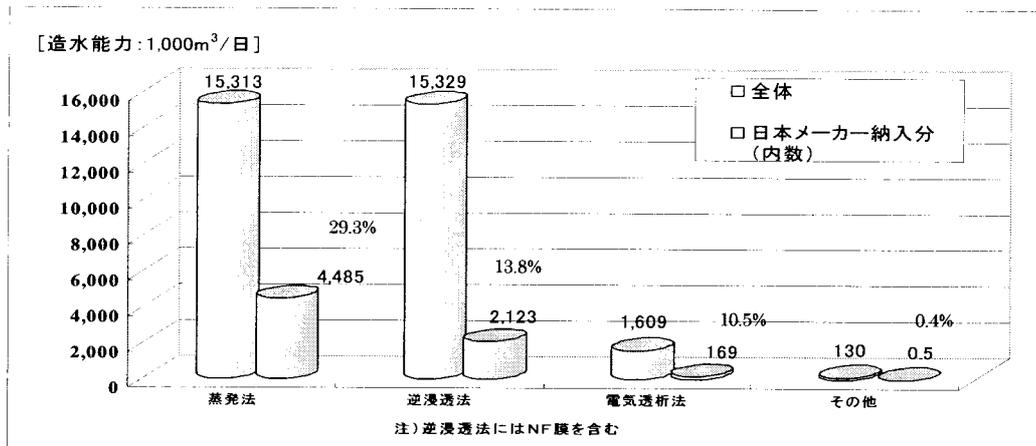


図3 世界の方式別淡水化実施状況

3. 逆浸透法海水淡水化の問題点と対策の必要性

これまでに実用化されている海水淡水化方法で最も経済性が高いのは逆浸透法である。エネルギー所要量は、海水淡水化の理想仕事に必要な $1\text{kWh}/\text{m}^3$ に近く、 $2\text{kWh}/\text{m}^3$ 程度になる技術が開発されている。おそらくは今後新たに開発される海水淡水化方法があるとしても、これほどの省エネルギーな方法はないであろう。

ここでは、既に実用化実績が大きい逆浸透法海水淡水化システムを取り上げてその問題点と対策をまとめた。表1に問題点と対策技術の開発状況と新たに利用が検討できる技術についてまとめて示す。

図4に膜ろ過式前処理+高回収逆浸透+ホウ素除去（低圧逆浸透）から成る高回収逆浸透法海水淡水化システムフローの例を示す。

(1) 最も経済的な逆浸透法のコスト低減

浄水処理など、一般の水処理方法と比べれば、海水淡水化のコストは高く、エネルギー消費量は大きい。このことは、環境負荷が大きく、地球温暖化への影響が大きいということになる。

そこで常にコスト低減化と省エネルギー化に関する技術開発が望まれ、進められている。最近の技術開発では、淡水回収率を高めた高回収システムと濃縮排水の圧力エネルギーを回収する圧力変換型高効率動力回収システムの開発が目される。

一方、生産水の水質向上への要望も大きい。飲料水ではホウ素の除去、臭素の低減、腐食性の改善などさらなる水質向上が求められている、このためには定圧逆浸透膜やナノろ過膜を使った高度な後処理プロセスの追加が必要でありコスト上昇の要因になりつつある。

海水淡水化コストは、物価やエネルギー価格によって大きく異なるが、現在、逆浸透法による世界の海水淡水化コストは、建設コストが $9\text{万} \sim 18\text{万円}/\text{m}^3$ ($\text{US}\$800 \sim 1,200/\text{m}^3$) 程度、生産水コストが $60 \sim 120\text{円}/\text{m}^3$ ($\text{US}\$0.5 \sim 1/\text{m}^3$) でここ数年に急激に安くなっていて、これ以上のコスト低減化は難しいのではないと思われる。このコストの内訳を日本国内の経済事情に合わせると建設費は $30\text{万円}/\text{m}^3$ 、生産水コストは $150\text{円}/\text{m}^3$ と試算される。ただし、設備・建築の仕

様は現在実用化している中東の施設並で、贅沢なものではない。

表1 逆浸透法海水淡水化の問題点と対策技術の開発

改善が望まれる項目 (問題点)	実用化されている対策技術	開発が望まれる技術
コスト低減	高回収逆浸透膜モジュール 高効率動力回収装置 (民営化による経済競争)	運転コストの低減
省エネルギー化 (地球温暖化防止)	高効率動力回収装置 ・圧力変換型動力回収 ・ペルタペンの海水適用	圧力変換型動力回収大型化
生産水水質改善・向上	後処理システム追加 ・ホウ素除去用低圧逆浸透 (塩分除去にも効果)	海淡水用逆浸透膜性能向上 ・ホウ素高排除率 ・高排除率・高透過流束
膜の脆弱性と性能維持 (膜の安定性と信頼性)	前処理水質向上・安定化 ・膜ろ過式前処理 殺菌方法改善 ・塩素間欠殺菌 (塩素等酸化剤使用不適合の膜あり) ・酸間欠殺菌 (低 pH による効果確認中)	膜汚染劣化のメカニズム解明 ・汚れ付着測定・分析 膜供給適性水質の見直し ・水質指標・基準 前処理システムの改善 (有機物除去効果の改善) 膜洗浄方法と適用システム (効果的な物理洗浄方法) 膜殺菌方法の改善 汚染しにくい逆浸透膜開発
汚泥処理の軽減	膜ろ過式前処理 (凝集剤使用しない)	
濃縮排水の環境影響軽減	濃縮水の拡散促進 ・拡散促進放流装置 (水中噴流式拡散放流) ・淡水による希釈放流 (下水処理水混合放流) 汚泥の付着塩分洗浄・脱水	濃縮海水の有効利用 ・塩分・有価物の回収 ・クレーション利用 (水浴クレーション) 濃縮海水有害成分の分解
利用エネルギーの多様化	太陽光発電 (逆浸透・電気透析) 太陽熱温水器 (パズン型・多重効用)	風力発電 OTEC (温度差発電) 小型原子力発電
汽水域利用淡水化		汽水域水質の平準化 大規模海中貯水構造物開発 (海中ダム、水質調整池)
ナノろ過膜の利用		硫酸イオン系スケール防止 海水高濃縮
蒸気圧縮法の改良大型化		高温運転と機械式蒸気圧縮法の 大規模化

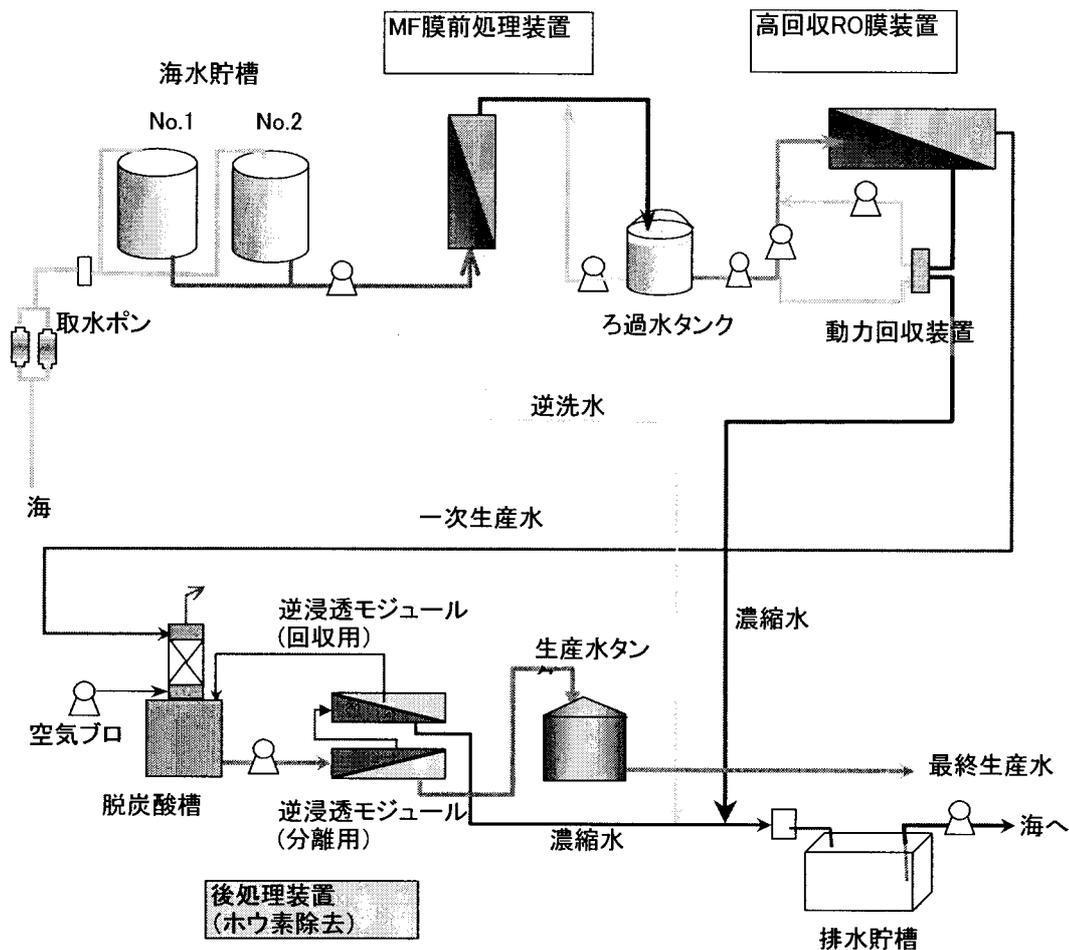


図4 高回収逆浸透法海水淡水化システムフローの例

(2) 生産水質の改善と向上

生産水の水質改善については、ホウ素の除去が義務づけられる方向にあり、飲料水のホウ素濃度は、WHO ガイドライン値 0.3mg/L 以下、日本の海水淡水化水道水質基準 1.0mg/L 以下となっている。

ホウ素除去については、高 pH 低圧逆浸透法が実用化されているが、逆浸透膜の耐アルカリ性も問われており、ホウ素除去率の高い膜の開発など、さらに経済的で確実な除去技術の開発が望まれている。

(3) 維持管理技術に問題残る

逆浸透法海水淡水化プラントにおいて、膜の脆弱性と性能維持に係わるプラントの維持管理にはまだ問題が残されている。逆浸透膜の汚れ付着および膜劣化による性能低下、膜の洗浄および膜の交換など、膜寿命とその維持管理に係わる技術の確立が課題となっていて、維持管理に係る費用の低減、技術者と作業要員の低減の必要性が指摘されている。

すなわち、逆浸透膜の汚れを防止するために最適な前処理システム（汚れ原因物質の除去、

殺菌、水質調整など)と逆浸透膜の洗浄・性能回復に関する技術の確立と維持管理の簡略化が技術的課題だといわれている。

(ア) 膜付着物と付着のメカニズム

逆浸透膜の汚れ付着の原因とメカニズムなどはまだ十分な解析ができていないといわれている。付着物には、生物代謝にともなうフミン質、多糖類、タンパク質などの溶解性有機物と、シルトなど微粒子と懸濁物質、界面活性剤など吸着物質、微量のスケール析出蓄積、金属類の錆付着が原因になっているとみられる。

また、これらを栄養として細菌類や微生物類が繁殖し、有機物、無機物を絡めたコロイド状の物質が付着し、膜エレメントの流路や膜面を閉塞するものと思われる。細菌類や微生物に関する観察や分析も行われているが、海域や海水の水質、陸水の影響などにより大きく異なるところがあり、解析を難しくしている。

膜面における栄養源、粘着性物質、微生物の停滞が関連して汚れが付着するものと考えられることから、バイオフィウリングとして一括されているのが現状であるが、その原因物質や付着の要因および実際の付着状況については、一言でくれないといわれている。図5に逆浸透膜モジュールの展開図を、図6に膜汚染のモデル図(概念図)を示す。

なお、維持管理に係るスケール析出防止および材料腐食防止については永遠の課題ともいうべきもので、今後も新しい技術やより優れた材料の開発が続くものと期待したい。

(イ) 前処理における対策

逆浸透膜供給水の指標として、孔径 $0.45\mu\text{m}$ のミリポアフィルター(酢酸セルロース膜)で供給水を15分間ろ過したときの目詰まり率を基にしたSDI値(Silt Density Index)が用いられている。一般的な逆浸透膜では、SDI値 <4 以下が供給可能水質になっている。前処理は、この水質を達成するための水処理を行うことが主な役割である。このために、凝集ろ過や膜ろ過の水処理システムが使われている。

最近では、清浄な外洋の海水を取水し、前処理で濁度を十分に除去しSDI値も2以下と十分に小さな値にした場合にも、膜の汚れ付着、バイオフィウリングが起きている事例が増えてきている。また、都市臨海部では都市排水や河川の流入が多くあり、SDI値を満足する前処理を行っても、膜の汚れ付着や劣化が大きく問題となっているプラントの事例がある。

このような状況から、海水の溶解性有機物の影響が懸念されており、これを除去することが必要ではないかといわれている。

(ウ) 膜の殺菌

殺菌には塩素などの酸化剤や、重亜硫酸ナトリウムなどの還元剤、硫酸などの強酸が利用されている。

塩素は細菌類や微生物の繁殖を抑制する効果とともに、有機物の分解微細化を引き起し、微生物が資化しやすくなり微生物の増殖を促す逆効果も指摘されている。そこで、生物殺菌の目的だけに絞って、前処理システムの入口で1日1回30分~1時間の塩素間欠注入殺菌法が開発された。

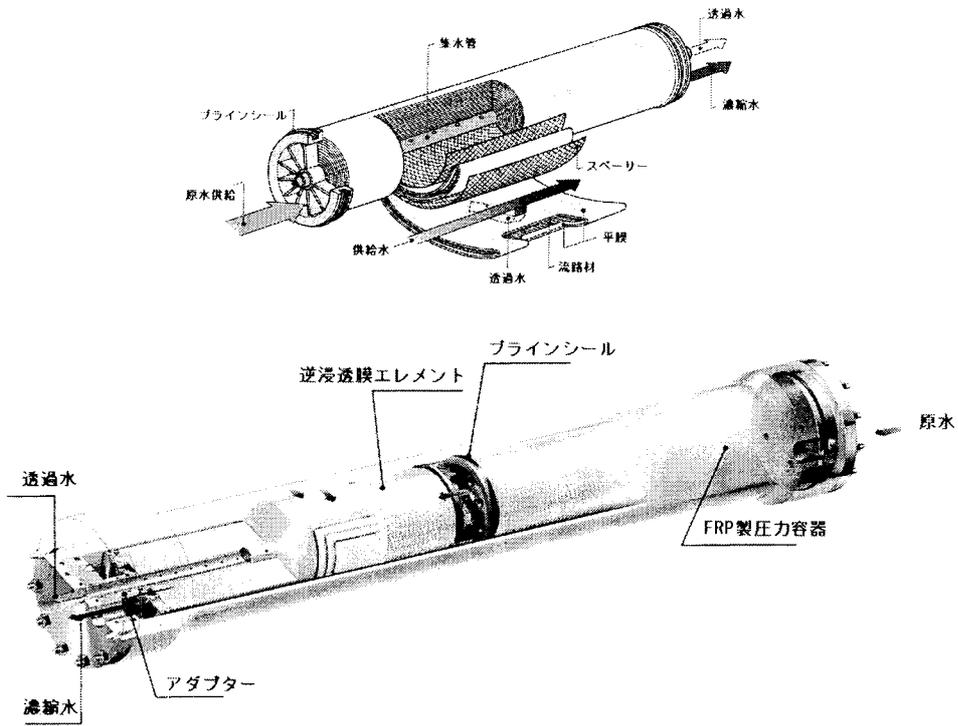


図5-1 スパイラル型膜モジュール構造の例

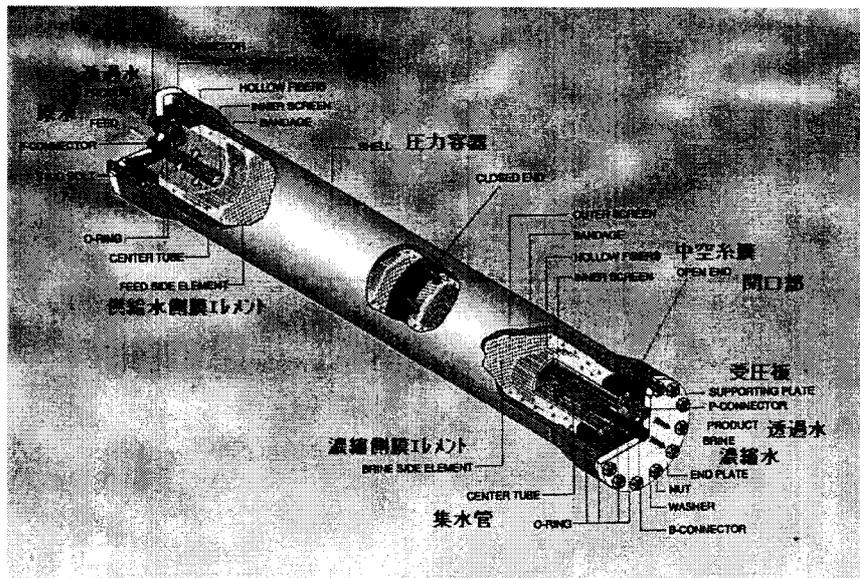
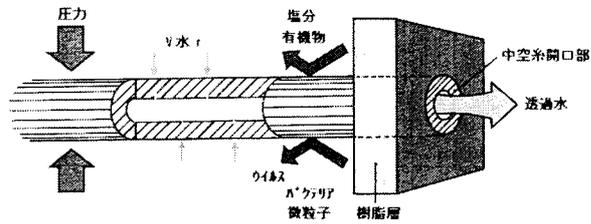


図5-2 中空糸型膜モジュール構造の例

膜汚染および膜劣化の体系

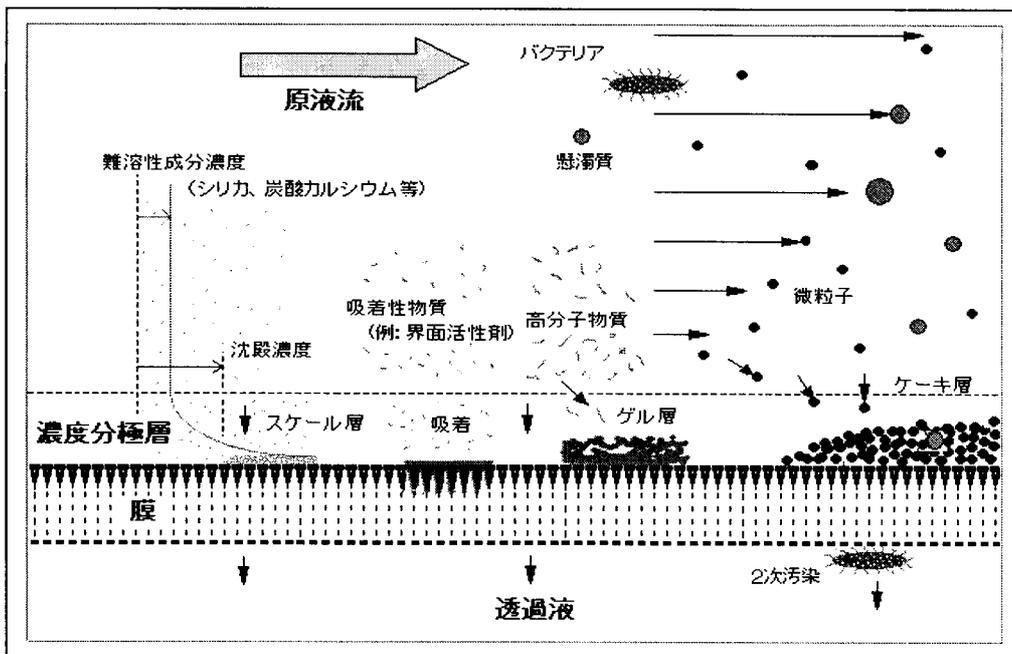
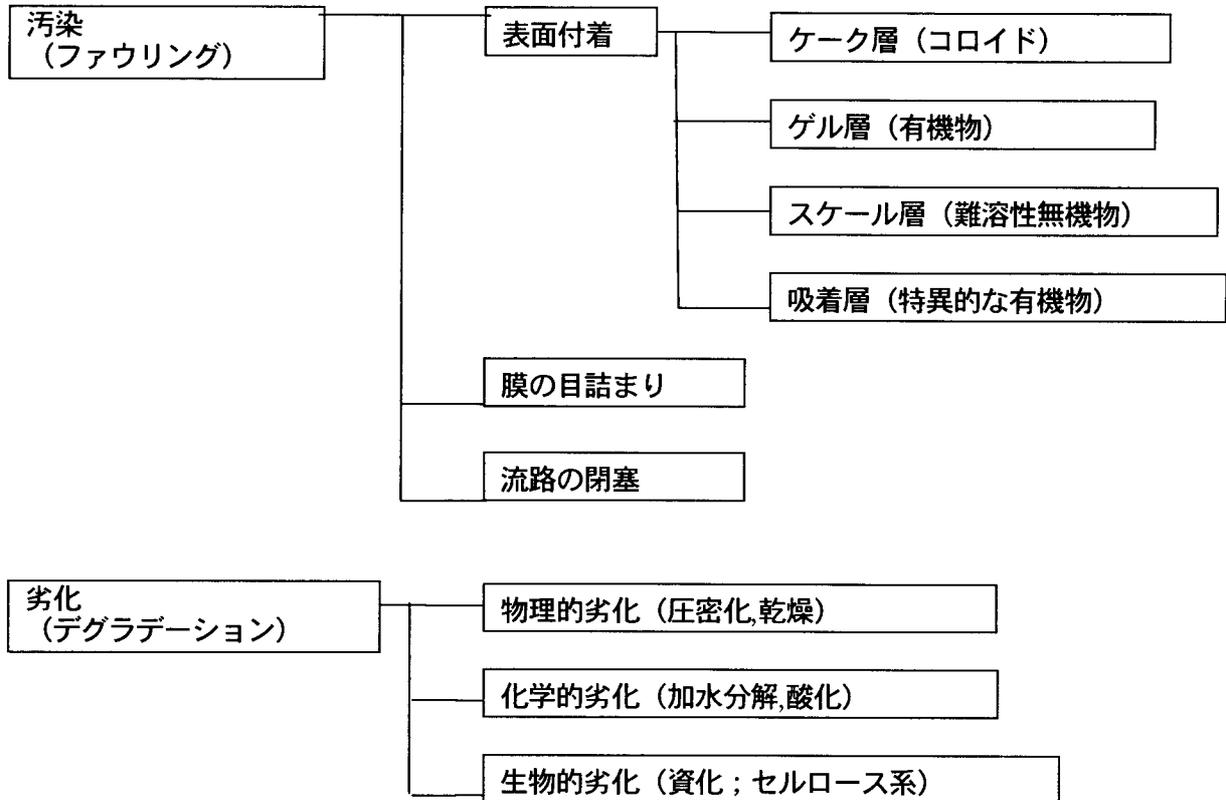


図6 膜面汚染のモデル図 (概念図) (出典: 中込氏の膜技術情報室)

ポリアミド系合成複合膜は、塩素により酸化劣化するために、前処理システム出口（逆浸透膜淡水化システムに入る前）で還元剤である重亜硫酸ナトリウムを注入し残留塩素を消している。以前は、500～1,000mg/Lの高濃度の重亜硫酸ナトリウムによる間欠注入殺菌が行われていたが、最近では細菌類の栄養源になり、バイオフィウリングの原因になるのではないかと疑われていて、高濃度間欠注入は行わない事例もある。

（エ）逆浸透膜の洗浄技術

逆浸透膜は清水によるフラッシングや逆流洗浄（逆洗）を行うような構造にはなっていない。このため、厳密な前処理が要求され、年間に2回程度の薬品洗浄で性能が維持できるように前処理システムおよび膜洗浄システムが計画される。

逆浸透膜の洗浄は、薬品を使った化学的洗浄が実用化されている。有機物には苛性ソーダ、次亜塩素酸が用いられ、鉄分などにはクエン酸などの有機酸が用いられる。シュウ酸やホルマリンは洗浄効果が高いが、飲料水の供給を目的とする場合には、健康と安全性の点で使用が禁止されている。また、逆浸透膜は有機物であり、薬品による劣化が進むので使用する濃度と接触時間に注意が必要である。いずれの薬品も洗浄効果と膜劣化にまだ問題があり、安全で有効な膜洗浄方法が求められている。

環境影響、健康影響、膜劣化防止の点からも、できれば効果的な物理的洗浄方法の開発が望ましい。最近話題になっている超微細（マイクロ/ナノ）バブルの殺菌効果、洗浄効果を利用し、膜洗浄システムの検討が行われている。まだ基礎的な検討の段階であるが、殺菌効果と洗浄効果を合わせもっと物理洗浄方法として今後の開発に期待したい。

（オ）汚れにくい膜モジュールの開発

膜の汚れ防止に関連して膜および膜モジュール構造の開発の余地がないか検討されている。膜の表面の粗度、膜エレメント内の流動、流路スペーサーの材質と構造、膜材質と表面加工など、検討すべき事項があると思われる。

（4）環境への影響

（ア）濃縮排水放流の影響

海水淡水化プロセスでは、海水中の塩分や有機物を分離するだけで分解はしていない。濃縮海水は、前処理において濁度成分を除去しているため極めて清澄で、有害物質などは放流基準を越えるものは含まれていない。濃縮排水の濃度規制はなきので、現状では一般の排水放流基準に適合するようにpH調整、COD成分の除去が行われている。

濃縮された塩分やその他の成分はほとんど未処理で放流されている。このため、濃縮海水放流による環境影響の要因が潜在化しているといわれている。最近の環境負荷低減に対する社会意識の向上から、国際会議でも濃縮排水による環境影響が議論されるようになった。

海水淡水化の放流排水は、最終的に“海”という自然が希釈し分解処理していることになる。現状では海に比べれば海水淡水化の排水量はわずかであり、影響は小さいので、問題が顕在化しているわけではない。

しかし、内陸部の地下かん水や汽水湖の淡水化を行う場合には、狭い地域に集中して放流さ

れるため、水源への直接的な影響も懸念され、環境への影響も深刻である。このために、海域放流ができない内陸部の地下かん水淡水化は、放流排水の最終処分方法を確立しないと実用化が難しくなる。

(ウ) 膜エレメントの廃棄処分

一般に、逆浸透膜の寿命は3～5年といわれている。劣化し性能低下した膜エレメントは交換して廃棄処分する。廃棄処分方法はプラスチックの産業廃棄物として扱われ、裁断・粉碎の後、埋立処分か焼却処分しているものと思われる。

現状では、まだ膜廃棄物の量が少ないこともあって大きな問題にはなっていない。しかし、超純水用の逆浸透膜の再利用なども検討され始めており、各種の膜の利用が急激に増大していることや、廃棄物の減量・再利用・再資源化を進めようとする社会状況から、そろそろメーカー・ユーザーともに廃棄物の処分と有効利用を検討する方向にある。

(5) 小規模淡水化と再生可能エネルギー利用の検討

もともとエネルギー所要量が大きな海水淡水化では、化石燃料の低減に対する再生可能エネルギーの利用が検討されてきた。また、エネルギー供給が困難な僻地における水供給や災害等の緊急用水源としても再生可能エネルギーの利用ができないか注目されている。

経済性を度外視すれば、太陽光発電による逆浸透法や電気透析法、太陽熱集熱・太陽光発電による多重効用法、原始的なペーゼン（水盤）型蒸発法が実用化されている。いずれも小規模ならば成り立つが、大規模なものではエネルギー収集システムが膨大になり実用性がない。また、昼間だけの稼働という点にも制約がある。深層海水を利用した温度差発電、風力発電も検討されているが、実用化に至っていない。いずれも太陽光・熱の利用と同様に大規模なものには適さない。

小規模な海水淡水化の需要があることは確かだが、これに適する装置と太陽エネルギー利用システムの組み合わせは、特定の分野として別に扱った方が良いのではないかと。

(6) 送水・配水・給水に必要な設備の整備

(ア) プラント稼働率と貯水池

海水淡水化の経済性を高くするには、プラントの稼働率、すなわち生産水量をできるだけ多くすることが肝要である。プラントの建設コストは大きな比重を占めているため、生産水量の低下は水コストの上昇に直接響く。

水需要量に見合う適切なプラント規模を選定し、できるだけフル稼働（稼働率 90%程度）することが望ましい。プラントの稼働率が低いということは、需要量に見合った適正規模になっていないことを示す。わが国のように渇水時だけ海水淡水化を運転する場合の淡水化コストは極めて高いものになる。

一般には水需要の変動に追従して稼働率を高めるには、供給水量の調整装置として大容量貯水池の設置が有効である。大規模になれば、水需給バランスを調整するために、大規模貯水槽（ダム相当）があることが望ましい。これによって比較的小さい規模の海淡プラントをフル稼働させ、経済性を図ることが可能になる。

(イ) 送水・配水・給水設備の建設とその運用に大きな費用

大都市や広域の水供給を行う場合には、一般に海水淡水化プラントより送水・配水設備の建設費の方が大きい。また、設置場所が高い位置にあるダム水源・浄水場では位置エネルギーを使った送水が可能なのに比べて、海面とほぼ同じ低い位置にある沿岸海域から、需要先に送水には動力が必要であり、送水・配水・給水の費用が大きくなる。

また、既存の水道配管網がない場合には、大規模な水供給には、大口径・長距離輸送の送水と専用の配水・給水設備が必要になる。サウディアラビアでは、世界最大のアルジュバール海水淡水化プラントから約800km離れた高台の首都リヤドまでの海淡生産水100万m³/dと地下水を混合した水を送水している。

(ウ) 配管の漏水

水道給水管をステンレス管に交換しつつある東京都の漏水率は5%以下といわれ、世界的にも驚異的な数値であろう。しかし、開発途上国の漏水率は20~30%、ところによっては40%以上の漏水率があるといわれている。

コストの高い海水淡水化の水を供給することになるので、既存の配管はもとより、新設する配管もの整備には漏水対策が不可欠である。漏水による損失は経済的に大きな損失に結びつくことになる。

4. 淡水化に関連する技術の新しい試み

(1) 海水淡水化におけるナノろ過(NF)膜の利用

(ア) スケール成分除去

ナノろ過膜の塩排除率は、水回収率78%において、硫酸イオン98%、ナトリウムイオン10%、塩素イオン12%、マグネシウムイオン60%と、硫酸イオンの除去率が極めて高く、他のイオン除去率は低い。このように硫酸イオン選択除去性のあるナノろ過膜(超低压逆浸透膜の一種で荷電膜)によるスケール防止技術が期待されている。

特に、高温域で運転する蒸発法プラントや、高回収逆浸透法プラントでは、スケール防止に問題があり新たな技術が求められていて、ナノろ過膜によるスケール防止システムの研究が行われている。

(イ) 圧力分離膜による海水の高濃縮

高回収逆浸透法海水淡水化では約2.5倍の海水濃縮が可能である。濃縮海水をナノろ過膜で硫酸イオンを除去すれば、硫酸カルシウムなどのスケール析出の心配がないので、さらに海水を濃縮することが可能である。

濃縮海水の主な塩分はナトリウムイオンおよび塩素イオンである。これらのイオンの排除率が低いナノろ過膜を多段にして使用すれば、各段における濃度差(浸透圧)は比較的小さくなるので、低い運転圧力でも高濃度海水の濃縮ができる。10倍程度の濃縮が可能であろうと思われる。実際に深層海水を使用して、逆浸透膜と2段のナノろ過膜を組み合わせ、海水を8倍濃縮して実験例がある。

(2) 蒸気圧縮法の改良と大型化

蒸気圧縮式フラッシュ蒸発法についてはこれまでも理論上の経済性が認められるとする文献がある。最近、大規模な機械的蒸気圧縮淡水化缶と単段フラッシュ蒸発缶（またはコンデンサー）を組み合わせた蒸気圧縮式フラッシュ蒸発装置の提案があった。この装置によれば、従来の多段フラッシュ蒸発法に比べて、建設費で 70%、エネルギー費で約 60%、生産水コストで 67%のコスト削減が可能だといわれている。

運転温度は従来の蒸気圧縮法の 70℃に比べ、スケール防止技術の開発により 100℃の高温運転を行うことができる。1ユニットのプラント規模は多段フラッシュ法や多重効用法に匹敵する 2 万 m³/d 程度の開発を目標としている。今後の研究開発が待たれる。

(3) 超微細気泡（マイクロ/ナノバブル）を利用した膜の物理洗浄

逆浸透膜およびろ過膜の洗浄は薬品を使った化学洗浄が行われている。上述したように、最近話題になっているマイクロ/ナノバブルの殺菌効果、洗浄効果を利用し、膜洗浄システムの検討が行われている。まだ基礎的な検討の段階であり、簡単な実験を行った結果では、洗浄効果が高いことが予想される。

今後は、膜モジュール単位で自動洗浄ができる装置の開発が必要である。また、マイクロ/ナノバブルの殺菌効果が利用できるのであれば、前処理や逆浸透の工程で物理的殺菌方法として期待できる。衝撃による膜への損傷、適切な気泡の粒径や発生方法の検討も必要になる。

(4) 汽水域塩水利用の可能性

淡水化は塩分が低いほどエネルギー消費量が少ない。そこで、沿岸の河口付近で海水と河水が混合している汽水域から取水して淡水化を行うことが考えられる。これに近いことは、米国フロリダ州の閉鎖海域のタンパ湾や、オリノコ川の影響を受けるトリニダート・トバコの海水淡水化の事例がある。これらの海水淡水化プラントの運転には制約や問題があるようだ。

河口付近は、干満による潮汐や、雨水、都市排水の影響を受け、水質変動が大きいことと、一般に陸からの流入水は汚れが大きく、淡水化の原水として適さないのが普通である。そこで、汽水域の塩水を淡水化するには水質の平準化を工夫する必要がある。方法として、汽水域近くの海中に、淡水化原水槽（濃度調整水槽）、河口水貯槽、濃縮塩水貯槽および生産淡水貯槽の合計 4 個の貯水槽を設置し、河口水と濃縮塩水を原水槽で混合調整して塩分濃度と水質をできるだけ平準化する方法が考えられる。また、前処理には工夫が必要になる。

海底または海中に設置する貯水槽は、水運搬に使用されているプラスチックのバルーンや、メガフロートのような構造物が検討できないだろうか。

(5) 膜分離技術による下水再生利用

下水処理水は水量、水質とも安定しており、水源としての有効利用が図られている。実際に米国カリフォルニア州、シンガポール、クエートなどで、海水淡水化と同じプロセス（膜ろ過と逆浸透法）により、数万 m³/d から数十万 m³/d の大規模な膜分離システムによる下水再生利用施設が稼働あるいは建設されている。生産水は、工業用水供給だけでなく、飲料水の水源とすることも計画されている。

5. 今後の展望

(1) 海水淡水化の需要と地域限定

地球上の淡水は太陽を熱源とする自然による海水淡水化によってもたらされる降水がほとんどで、そのほかに地表からの蒸散（淡水化）による降水がある。降水は、地球表面近傍を流れ、利用されて再び海にもどり循環する。地球上の淡水は氷河（全淡水の 68.7%）にあるものが最も多いが、一般には利用できない。利用できる淡水では地下水（全淡水の 30.1%）として存在しているものが最も多く、次いで湖水（0.26%）で、河川水は 0.006%となっている。図7には地球の水循環系の模式図を示す。

中東を始め世界中で実用化されている海水淡水化プラントは、自然の水循環を効率よく強制的に行う仕組みである。淡水を得るためには多くのエネルギーとプラントの運転費が必要であり、維持管理を行う技術者が必要である。すなわち、海水淡水化プラントの建設とともに、経済力と技術力が不可欠である。

また、原水を海に求めることから沿岸地域でないと使えない。世界の水資源開発には、地球上に最も多くあり、容易に利用できる地下水、湖沼水や河川水を第一の水源とするのは当然である。現在、水資源の不足が指摘されている地域においても、降水量が多く、河川流域からの取水が可能な地域では、地下水の利用、雨水の利用を優先すべきである。

したがって、海水淡水化を水資源開発の手段として使わなければならない地域は、図8に示すように、降水量（河川流域取水量）が少なく、沿岸海域にある地域に限定される。主な地域は、中東地域（アラビア半島、ペルシャ湾岸、紅海沿岸、北アフリカ）、地中海沿岸、オーストラリア西南部、カリフォルニア半島、中国北部、メキシコ、パキスタン、インド南端部である。現状の海水淡水化プラントもこのような地域に多く設置されていて、産油国、農産物輸出国、観光資源国など強大な経済力が背景にある国々である。

よほど低コストで容易なシステムの海水淡水化プラントが開発されない限りは、今後もこの状況はかわらないと思われる。開発途上国の水資源として海水淡水化を実施して成功させるには相当大きな経済援助と技術援助が不可欠である。水源の選定と経済性については十分な調査と検討が必要である。

(2) 海水淡水化の経済性向上

海水淡水化技術の開発はこれまでもコスト低減を最大の目標に進められてきており、大型化、省エネルギー、高効率に向けた開発方針は今後も変わらない。

最近では、中東地域を中心とした発電・淡水化二重目的プラントの電力と水の需要バランスの調整に適したシステムが望まれており、海水淡水化プラントは蒸発法と逆浸透法を併用し、各需要に合わせた経済的な運転を行うことができるハイブリッド型発電・淡水化二重目的プラントの実用化が始まっている。

経済的な運用の問題であり、海水淡水化システムは従来と同じもので技術的な新しさはない。経済的効果として望まれているのは、発電・淡水化二重目的プラントの総合的な利用率を高め、

エネルギーコストをできるだけ下げることにある。

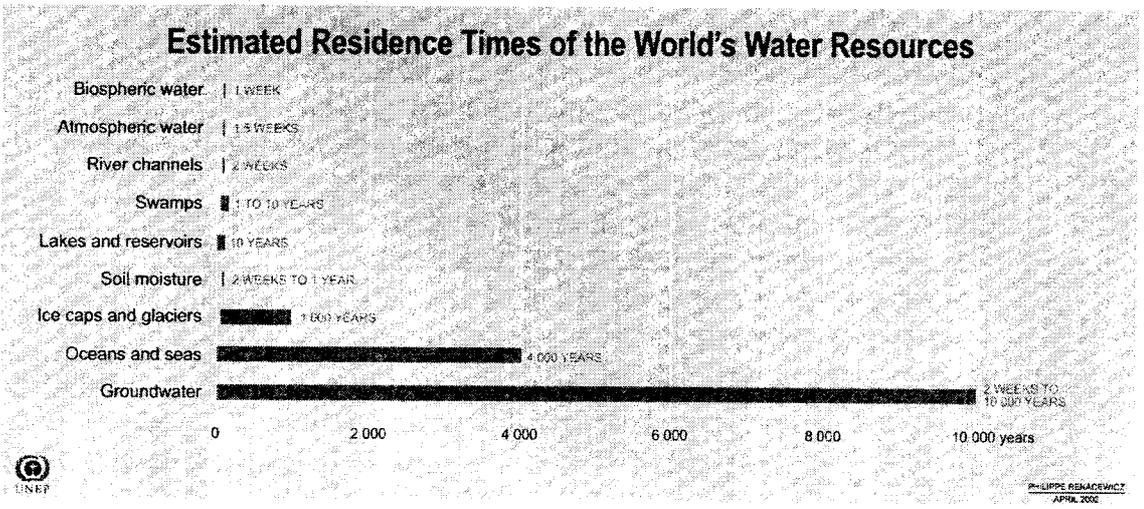
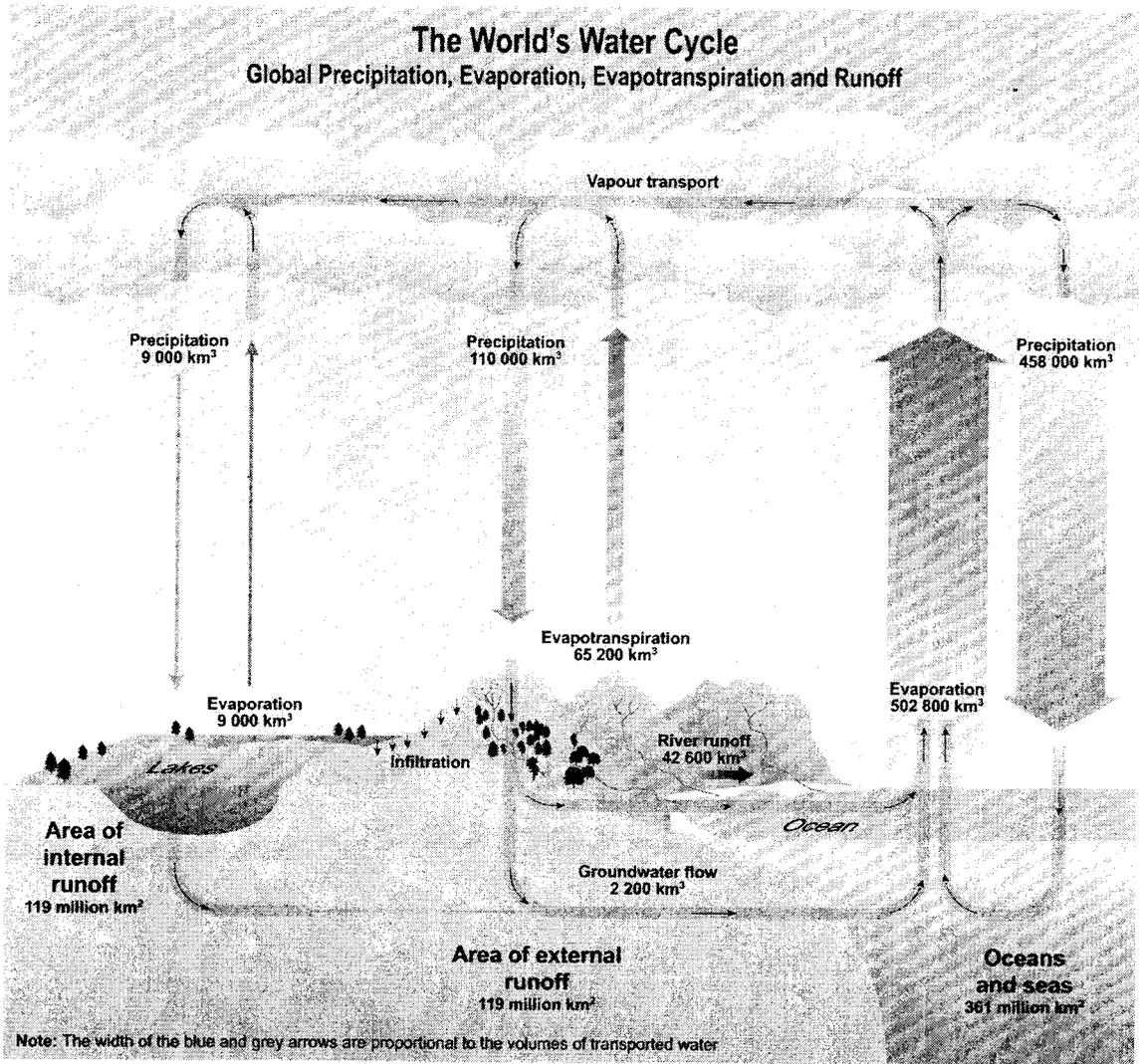


図7 地球の水循環系の模式図

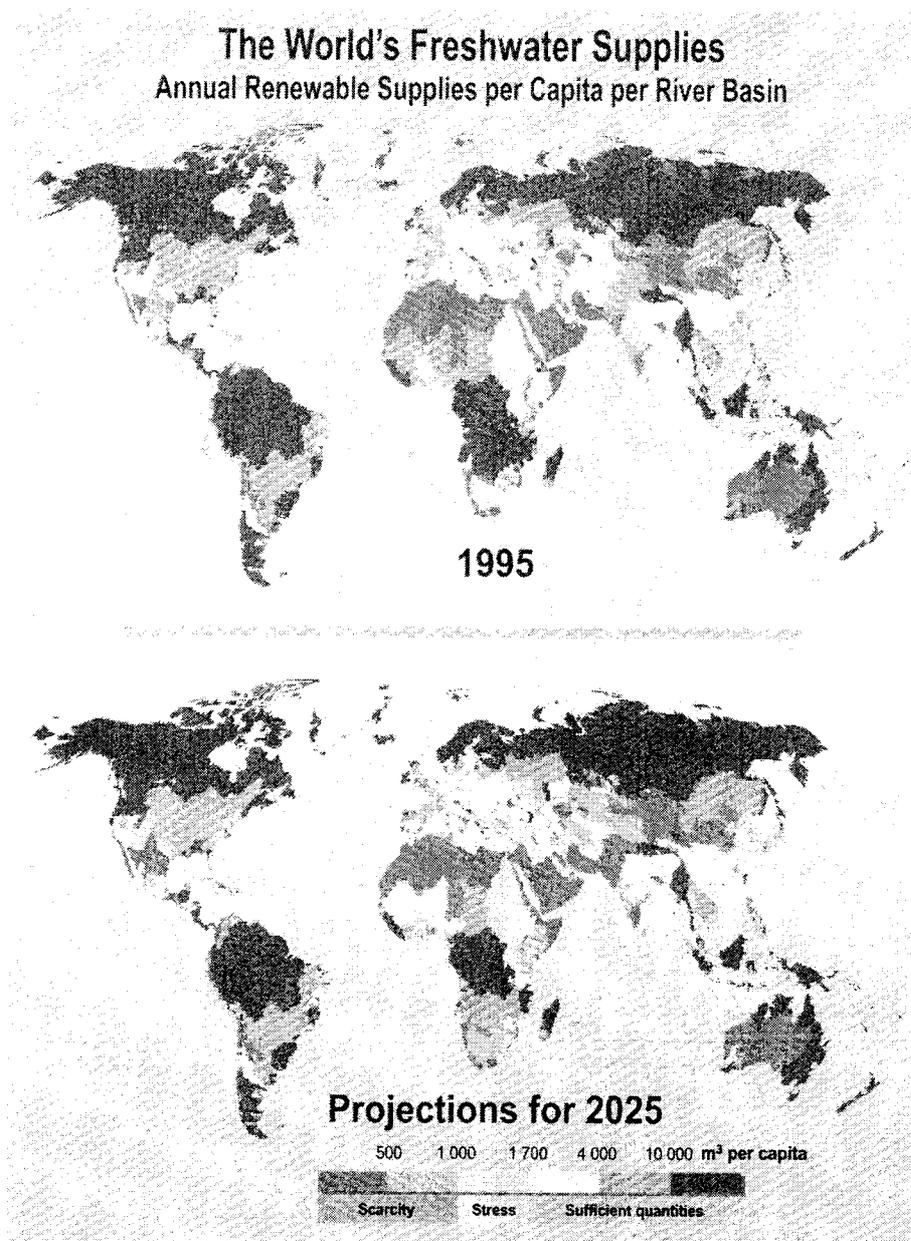


図8 淡水供給量（一人当たり河川流域水供給量）

Revenga et al. 2000, from Pilot Analysis Global Ecosystems: Freshwater Systems.

蒸発法、逆浸透法、電気透析法に替わる新しい淡水化方式の実用化はほとんどない。多重効用法、蒸気圧縮法など蒸発法の改良の可能性はあり、実用化が進んでいるものもある。しかし、現状では、逆浸透法の経済性を越えるものを開発することは難しいと思われる。

（3）維持管理技術の確立・改善

実用化が進んだ海水淡水化プラントの安定性、信頼性を確保するには維持管理（運転含む）技術が重要である。いずれの淡水化方法にも共通な課題としては、システムの安定性、信頼性の確保、生産水質の向上と安全性確保、環境影響の軽減である。最も経済的で省エネルギー型

の海水淡水化方法である逆浸透法は、膜の脆弱性、特に汚れ付着による性能低下に対する対策技術の開発が急務である。

海水淡水化プラントの運用と経済性についても改善を図る努力が行われている。発電・海水淡水化二重目的プラントにおける蒸発法と逆浸透法の併用もその一つである。海水淡水化を含めた各種の水源による水供給システムの総合的な経済的運用システムについてはこれからの検討になろう。

水コストが高い海水淡水化の生産水供給には、水道における配管漏水による損失量を極力少なくしなければならない。これから海水淡水化を導入する国々では、まず配管網の整備が重要な課題であり、時間と投資が必要になる。

(4) 新たな技術開発提案

海水淡水化技術は完成度が高く、新たな方式に関する研究開発はほとんどない。現在実用化されている蒸発法と逆浸透法の技術改善と開発には、まだわずかながら課題と開発要素がある。しかし、改善や開発が求められている技術はプラントの運用と維持管理をいかにうまく実施していくかということに関係するものが中心で、基礎技術というより周辺技術および応用技術の範囲になる。

今後、新たに検討すべき技術課題を列挙すると次のとおりである。

(ア) 逆浸透法

- ①前処理システムの改善
- ②マイクロ/ナノバブルを利用した気泡膜洗浄
- ③安全・簡便なホウ素除去
- ④ナノろ過膜によるスケール防止と海水高濃縮（10倍濃縮）
- ⑤濃縮海水・廃棄物の処理・処分

(イ) 蒸発法

- ①スケール防止技術（ナノろ過膜利用、その他）
- ②蒸気圧縮法の改良と大型化

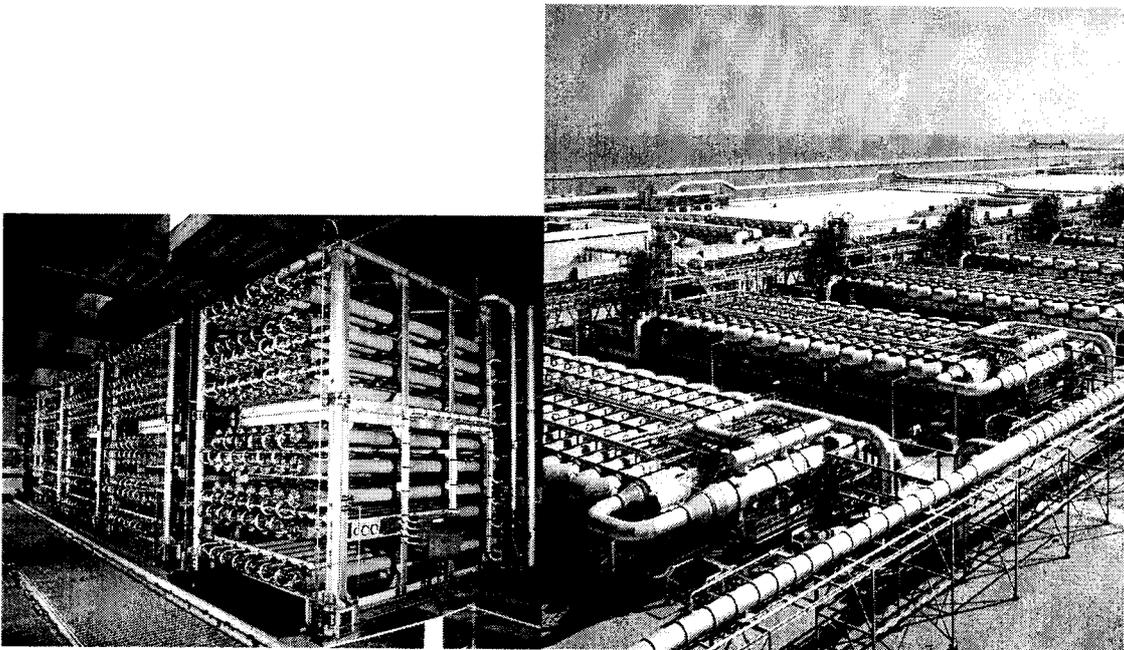
(ウ) 逆浸透法海水淡水化システムの新しい応用分野

- ①汽水域塩水利用による淡水化（閉鎖性海域で類似のプラントや実験がある）
- ②膜分離技術による下水再生利用（既に実用プラントの導入が始まっている）

<参考文献>

- 1) F. A. Shiklomu, Assessment of Water Resource and Availability in the World, Nov. 1996 (WMO 発行)
- 2) 2002 Worldwide Desalting Plants Inventory Report No. 17, 2002
- 3) L. Henthorn, Global Desalination Market, Growth and Costs, International Desalination Association Leadership Forum, 2004
- 4) 大矢春彦, 分離膜の話し, (財)日本規格協会, 1989

- 5) 経済産業省, 平成 14 年度海水淡水化普及・導入調査報告書, 2004
- 6) World Health Organization, Guideline for drinking-water quality, Second edition Vol. 2, 1996
- 7) Ata M. Hassan et al., Optimaization of NF Pretreatment of feed to seawater desalination plants, Vol. II (Session 3B), IDA 15-28, 1999
- 8) Harry Seah, Bedok NEWater Factory, ニューメンブランテクノロジーシンポジウム 2002, 2002
- 9) Kevin Alexander, California districts lead MF/RO Water-reuse research, Desalination & Water Reuse, Vol. 14 No. 1, 2004



沖縄県 逆浸透膜モジュールバンク アルジュベール 多段フラッシュ海淡水プラント

3. バイオマス資源の有効利活用を目指した取組み

概要

バイオマスの採取と利活用に関して、現状、変遷、将来構想、問題点と対策等について述べると共に、水圏起源バイオマスの有効利活用について、早期に発展の期待される6つのテーマを提案し（以下に列挙）、それぞれについて実現に向けて必要な技術、情報や概念を提示した：(1) 細菌・藻類の有効利用技術開発。(2) 生物間相互作用に注目したバイオマス利活用技術の開発。(3) 細菌・微細藻類の分離・同定法の開発と新機能の探索。(4) 食糧増産とゼロ・エミッション化。(5) 汚損生物の資源化。(6) 環境浄化と資源採取・利用の融合化。

1. バイオマスとは？

バイオマス (biomass = bio + mass) とは、本来は生態学的用語であり、「生物現存量」あるいは「生物量」と訳される。バイオマスという用語が生態学の範疇を越えて広い意味で用いられるようになるのは、石油ショック以降に代替エネルギーの発掘・研究推進が強く提唱されてからである。この後、バイオマスは「エネルギー源として利用可能なまとまった量の植物起源物質」の意味を含むようになる。ただし、日本でバイオマスが新エネルギーとして認められるようになったのは2002年になってからである。なお、この時点におけるバイオマスの定義は、「動植物に由来する有機物であってエネルギー源として利用することができるもの（原油、石油ガス、可燃性天然ガスおよび石炭ならびにこれらから製造される製品を除く）」とされている。

現在では、バイオマスという用語は「現世に存在する生物および全生物由来の有機性物質」を指すことが多く、そこには様々な種類のものが含まれており、その存在量も莫大なものとなっている。そして、バイオマスは、エネルギー利用のみでなく、食料、飼料、工業原材料としての利用や、環境改善、保健・医療等の種々の分野への利活用が検討されている。

エネルギー資源については、別に報告書が作成されているため、ここでは、エネルギー分野以外へのバイオマスの利活用を中心に述べる。

2. バイオマスの組成や概念（対象物）の変遷

バイオマスを資源として有効に利用するという考え方は必ずしも新しいものではなく、従来の農林水産業の延長上にあり、再生可能な生物資源の利用方法を見直すことに他ならない。ただし、資源の対象となるバイオマスは、初期に想定されていた陸域の動植物から、地圏や水圏に生息する様々な生物を包含する方向へと進んでおり、従来（1990年代前半まで）構想の枠内では占有率の低かった、バイオマス資源に占める水圏生物起源の割合・重要性も徐々に高まりつつある。

(1) 従来構想における水圏起源バイオマスの利活用

従来構想における我が国の主な水圏バイオマスの資源期待量（一部改変）¹⁾を表1に示す。この時期、対象となったバイオマスは、陸圏植物起源が主で、水圏生物起源のものはそれ程多

くない。ただし、後者でも、海藻類は古くから食料や肥料として利用されており、20世紀後半には各種成分（多糖類、抗菌活性成分等の生理活性物質等）が抽出され、幅広い分野での利用が進められてきた。また、微小藻類は健康食品としての利用に加えて、色素やビタミン類の抽出に供されてきた。水圏植物起源バイオマスとして注目されてきたものには、種子植物であるホテイアオイ（家畜の飼料、バイオガス、肥料、土壌改良剤、環境浄化）やウキクサ、アマモに加え、海藻類のジャイアントケルプ、コンブ、ワカメ、ノリ、微細藻類のクロレラ、スピルリナ、ドナリエラ等がある。

また、利活用の対象となるバイオマスの種類としては、海藻類や微小生物（含微小藻類）、投棄魚・魚体廃棄物・煮汁等、深海魚・板鰐類のような再生産資源、廃棄物（再生可能資源）と未利用資源（再生産+再生可能資源）が挙げられている。また、それらの変換物の利活用先に関しては、食料、飼料、エネルギー、肥料、建築資材等が想定されてきた。

なお、当時の試算によると、日本では、利活用対象となる水圏起源バイオマスは、含水状態で年間2,375万トン産出され、その約94%が利用可能とされている。この利用可能量は含水状態でのバイオマスの年間総産出量4.0~6.5億トン、年間利用（推定）可能量0.7~1.2億トンの、それぞれ、3.7~5.9%と19~34%にあたる。

表1 有効資源化期待量（2000年頃；従来の農水試案を改変）

（種類）	（年間産出量）	（年間利用可能量）	（変換物）
海藻草類	2,200 万トン	2,200 万トン	食、飼、工、健、他1、2、3
微小生物・藻類	>25 "	>5 "	飼、健、他4
投棄魚、魚体廃棄物、煮汁等	>30 "	>3 "	食、飼、健
深海魚・板鰐類	120 "	17 "	食、飼、他1
計	>2,375	>2,225 万トン	

注： 表中の数字は含水値
 食；食料（自給率<70%）、 飼；飼料（自給率<5%）、
 工；メタンガス等エネルギー（自給率<10%）
 健；健康食品（多糖成分、DHA、EPA等）
 他1；医薬品、化粧品、 他2；染料、潤滑剤等
 他3；環境浄化、肥料、土壌改良、 他4；色素、ビタミン等

（2）現在の戦略構想における水圏バイオマスの利活用

地球上のバイオマスのストック量は、陸上および土壌中（陸圏）にそれぞれ約1.8兆トン、海洋中には約40億トン存在するといわれている（海洋の水圏に占める割合が大きいことから、

「水圏起源バイオマス」は「海洋起源バイオマス」と読み替えても差し支えない)。そのため、量の多さおよび利用のし易さから、これまで利活用の対象と考えられてきたバイオマスは、主に陸圏起源のものであった。しかし、年間の純一次生産量（フロー）を比較すると、その量は陸上での約 1,150 億トンに対し、海洋では約 550 億トンとなり、継続的に利用可能なバイオマスとして、水圏起源バイオマスの占める割合はかなり大きくなる²⁾。

平成 14 年（2002 年）12 月に出された「バイオマス・ニッポン総合戦略」³⁾では、そのビジョンを「民間における市場原理に基づいたバイオマスの総合的な利活用を基本とし、利用可能なバイオマスを循環的に最大限活用することにより、将来にわたって持続的に発展可能な社会を実現することが目標である。このため、バイオマス利活用に関するいくつかのシナリオを描き、それぞれに合わせた目標の設定を検討する。」とされている。なお、同戦略の中での設定目標としては、「地球温暖化対策推進（バイオエネルギー関連；バイオエタノール生産を含む）」、「堆肥利用（肥料化）、飼料化」、「生分解性プラスチックや一部の木質系素材の建材等への利用」、「バイオマスと合成素材とのハイブリット化」、「家畜排泄物、食品廃棄物、農業残渣、廃棄油の利用」等が挙げられている（添付資料あり：「バイオマス・ニッポン総合戦略」の抜粋・一部筆者改変済み資料を参照）。

しかし、上記戦略で対象とされているバイオマスの殆どは陸上系の植物起源の有機物および動植物の廃棄物である。そして、水圏起源バイオマスに関しては、「水産廃棄物から機能性食品や化学製品の原料を製造する技術が期待される。[1. 背景、(2) 我が国のバイオマス利活用の現状、②バイオマス利活用技術の現状、(ii) 製品利活用]」と述べられている程度である。しかも、それらの利活用例として挙げられているのは、「機能性食品の原料としての DHA、EPA、γ-アミノ酪酸、食物繊維、キトサン、コラーゲン」程度であり、それ以外は「様々な機能を有し医薬品や新素材の原料となりうる各種物質」と述べられているに過ぎない。加えて、本戦略の進展方向としても、「2050 年頃には、海洋植物や遺伝子組換え植物といった新作物による効率的なバイオマスの生産の可能性を含め、飛躍的に生産量が增大していることが期待される。[2. バイオマス・ニッポンの目指すもの、(1) 「バイオマス・ニッポン」の進展シナリオ、①バイオマスの利活用の展開方向、(新作物)]」と記述されているのみである。すなわち、本戦略における水圏起源バイオマスの利活用ビジョンは明確とは言い難い。

しかしながら、水圏起源バイオマスはその生産量が多く、持続的に利用可能な資源として有望であるため、今後、その重要性は高まることはあっても、低下することはないと思われる。また、水圏には深海底や海底熱水噴出孔付近等、未だ人の手の入らない（調査が不十分な）場所も多く、その部分を開拓することで、未知のバイオマスに出会う可能性も高い。そのため、民間企業や様々な分野の研究機関では、政府の「バイオマス・ニッポン総合戦略」に加えて、「バイオテクノロジー戦略大綱」⁴⁾その他の内容を取り込んだ形で、新しい水圏起源バイオマスの発掘と共に、同バイオマスの様々な利用分野（形態）創出に関する研究が進められている⁵⁻⁸⁾。

表 2 に、現在提案されている水圏起源バイオマス利用の将来展望（構想）における資源化期

待対象、および変換物を示す^{2, 4-8)}。一見したところでは、資源の種類、変換物、利用方面の全てにおいて、従来構想の範疇に含まれるものが多いように思える。しかし、探索技術の進歩、同事業化への投入資金量の増加、それに伴う新たなバイオマス資源候補の発掘、民間企業の新旧バイオマスの利活用に対する意識（新規ビジネス分野としての関心）の高まり、地球環境お

表2 現在の戦略構想としての有用資源化期待対象・変換物

(種類)	(変換物、利用、関連事項等)
海藻草類	水素エネルギー（→直接産生を視野に入れる）、 バイオ燃料（バイオエタノール・メタノール・ディーゼル等 →直接利用以外に、液化貯蔵資源としての利用を含む）、 ガス化（同上） 住宅建材、衣料・日用品、断熱剤、自動車部品（バイオ製品） 食料、飼料 多糖類の利用：医療・健康面、吸着剤、化粧品 環境浄化、土壌改良 肥料（直接利用のみでなく、一部の製品原料あるいは 汚染物質除去後の利用を含む） 酵素、アレロケミカルの利用（医療、防汚他） 資源増産+多様化：藻場造成+大型藻類の有効利用 +高効率固定植物の探索等
微小生物・藻類	水素エネルギー、バイオ燃料、ガス化等 食料、飼料 環境改変への利用（バイオコントロールの概念導入進む） 肥料化（直接利用のみでなく、一部の製品原料あるいは 汚染物質除去後の利用を含む） 酵素、有用物質の利用等 資源増産+多様化：効率的培養+機能検索 +高効率固定藻類の探索等
魚類、甲殻類、 廃棄物、その他	食料、飼料、エネルギー、高機能・高度利用 (ex. キチン・キトサン；医療、健康、繊維、土壌改良剤等)

よび経済環境的背景から生まれた環境保全（浄化、CO₂削減、生物保全等）や地域振興事業推進策の必要性が後押しする形となり、提案内容の根底には、それまで希薄であった水圏起源バイオマスの新規発掘に加え、新旧バイオマスの効率的採取・資源化、高度・多角的利用、エネル

ギー・物質両面を睨み最適利活用の思想が強く流れている。

(3) 水圏起源バイオマスの利活用における将来構想

近い将来、資源不足が進行するに連れて、益々、水圏資源の確保が難しく、また重要になることは明らかである。そして、既に、水圏起源、特に海洋起源バイオマスの資源開発・獲得競争が、日本と近隣諸国間で過熱化し始めている。従って、『国益』を守る上からも、水圏起源バイオマスの利用ビジョンを各方面に広く求めると共に、普遍性の高いものから新奇性の高いものまで幅広く取り上げ・協議し、分類、重要度や意味付けを明確にした上で、早急に、順次、実現に向けた取り組みを進めていく必要がある。

近年、水圏起源、特に海洋バイオマスの探索・変換技術の進歩、同事業への投入資金量の増加、異分野交流の機会増加等により、バイオマスの効率的利活用に向けた流れが進むと共に、高圧、高温下に生存する深海微生物の機能発掘、バイオマスとハイテク・ナノテク新素材の複合による新機能分子創出（超好熱細菌の酵素利用、酸化還元反応を触媒する酵素ヒドロゲナーゼと光分解触媒機能を持つ二酸化チタンの合体による、光と水からの水素産生、デンドリマーと有機色素の結合分子を用いた有機エレクトロルミネッセンスや医療分野への応用）等により、新しい分野、産業への応用・創出に向けた研究・開発も加速されている^{5, 6, 9, 10}。

しかしながら、現実的には未だ水圏起源バイオマスの利活用に関しては、技術的、政治的に、越えなければならない多くの難問が残されている。技術面のみを捉えても、資源回収・変換・利用のためのエネルギー投入等が大き過ぎることが、当該資源利活用時のネックとなっている。資源の回収が容易な木材からのバイオ燃料採取時でさえ、現在の方法・技術では（エネルギーおよびコストの）発生量／投入量の比がせいぜい1程度（実際は0.8以下）であり、原材料の収集・運搬等に必要なエネルギーやコストを考慮すると、当該比を1以上にするのは容易ではない。水圏起源のバイオマスについては、その採取や取扱いの難しさ（サイズが小さい、含水率が高い、水中からの選択的回収が難しい等に起因）のために、前述の比を1以上にするには極めて難しいと考えられる（ただし、炭素や窒素成分を多量に含む微生物を原料とし、さらに発酵菌体を増殖させることなくエタノール等を製造するシステムを構築できれば当該問題はある程度クリア可能と考えられる）。すなわち、水圏起源バイオマスの有効利活用を考える場合、資源回収・変換技術の革新的進歩が必要であることに加えて、時間・空間的な最適有効増養殖法、および無駄を省いた最適利活用（目的物の採集に付随して得られる非目的物を投棄せずに採取・有効利用する等）の概念の導入、方向性の異なる2つ以上の目的を同時に達成することによるバイオマスの高効率採取・有効利活用化を模索すること等が最低必要条件となる。

前文中の「方向性の異なる2つ以上の目的を同時に達成することによるバイオマスの高効率採取・有効利活用化」とは以下のようなことを意味する。水圏起源バイオマスは、資源となり得る生物が幾種類もの資源潜在物質を保有していたり、その生育に際して水中に存在する栄養分や各種物質を取り込みあるいは吸着・保持するため、それらを環境中から取り除く機能、すなわち環境浄化能を併せ持っていたりすることが多い。従って、水圏起源バイオマスの採取は、単一有用資源の採取のみでなく、複数資源の同時採取と利用、資源採取と水圏環境の制御（浄

化)を兼ねていると考えることが出来る。反面、このことは、今後益々、バイオマスの利用目的によっては、安全性の確保(事前に汚染物質の除去)に留意する必要性が高まることを意味する。同時に、水圏起源バイオマスの採取は、量や場所のみでなく、時期や生態系の安定性にも留意して行わなければならないことを示唆する。

ところで、最近の海洋バイオマス利用状況を概観すると、正確な科学データ・情報に基づかない、あるいはそれらの許容範囲を大きく逸脱した、イメージ先行型の事業や情報の多いことに驚かされる。イメージ先行型事業やその関連情報(活動)にも多少の公益性・有益性の認められる場合はあるが、概して有害無益なことが多い。また、それらが直接、消費者を対象としたものである場合、消費者に被害を与えたり、害にならないまでも消費者の反発をかい、その活動中に包含されている貴重なデータや有効面が無視される結果となったり、まともな運用・取引がなされていた類似分野の活動まで大きな障害を与えるケースも生じてきた。それ故、出来る限り早期に、当該活動の暴走を抑制するシステムづくりを含めた有効な対策(指針)を検討・提示しておく必要がある。

また、環境保全や地域振興事業として推進されている、海洋生態系を利用した環境修復や回復、および地域の独自性を活かしたバイオマス生産とその利活用に関する研究・事業化については、歩みの遅いものも多く、必ずしも投資効果が高いとは言えない。すなわち、バイオマス利用分野の保守性(閉鎖性:現行の特許制度にも問題あり)、事業統括部局の活性度や一部地元企業の自主・独立性の低さ等は、当該資源の有効利活用効率を大きく低下させている要因となっている。従って、現状を打ち破る戦略、例えば情報の優先権と共有権の調整・管理、事業内容および労働者の適正評価・管理システム導入、自発的競争精神の育成等を早急に進める必要がある。さもないければ、分野別、地域別の利活用効率における差は今後益々大きくなり、多くの関連部局、分野、地域が、それぞれ、過去に実施されたばら撒き行政のツケを負わなければならない事態に陥る可能性は極めて高くなる。

3. 水圏起源バイオマスの有効利活用に向けたビジョン

水圏起源バイオマスの有効利活用について、発展の期待される6つのテーマを挙げると共に、その実現に向けて必須な技術や概念等を提案する。なお、文中の上付き記号a、b、cは、それぞれ、5、10、20年以内の成果提示・実用化を目指すことを示す。

(1) 細菌・微細藻類の分離・同定法の開発と新機能の探索

種々の環境に生息する微小生物の培養法を確立すると共に、それらを簡便に分離・同定する技術を開発する^a。同時に、彼らの能力を制御する要因や方法に関する知見を集積する^b。また、特殊環境下の生物を含め、様々な環境下に生息する微生物の生産物(炭素や窒素成分に富むラビリンチュラ類 *Thraustochytrium* 属細菌の資源化等を含む)、酵素(耐熱酵素、各種分解・合成酵素、デハロゲナーゼ等)、機能性分子、代謝産物、生物・環境制御因子等の有効利用に向けた研究・技術開発を加速する^b。ゲノム解析、ゲノムライブラリー作成、ゲノム利用技術の進展を図る^bことも重要である。加えて、微生物の安

全管理技術の水準を高め、広く周知・徹底すると共に、新機能の誘導・導入・発現調節技術の発展を促す¹⁾。

対象生物の分布や生態、生化・生理学に関する研究に加えて、分子生物・遺伝子工学的手法を用いた構造・機能解析、および生体分子の検出方法、標的分子の構築・操作・変換技術の進歩が必須である。

(2) 微生物・藻類の有効利活用技術の開発

微生物や（微小～大型）藻類を用いた環境バイオレメディエーションやバイオオーガメンテーション、バイオコントロール法の再検討¹⁾、過程解明²⁾、機能維持の手法開発³⁾、安全性評価⁴⁾および迅速制御⁵⁾を含む関連技術の開発を進める。また、高効率光合成能力を持つ藻類に有用物質生産能力を付与する、あるいは高効率合成細菌を創出することにより、安全性を確保しつつも、長期的なCO₂固定（削減）と共に、エネルギー、食糧、有用物質の安定供給を図る⁶⁾。さらに、光合成や化学合成に関与する遺伝子群の解析⁷⁾、当該機能発現のための構造・複合機能体的人為的構築⁸⁾、工業的CO₂固定システムの構築とそれに付随したエネルギーおよび有機系構造物供給を図る⁹⁾。

上記目的を達成するためには、微生物や藻類の生理学、生態学、水圏環境工学、遺伝子工学、環境科学・制御学等の知見の集積のみでなく、ナノテクノロジー、エネルギー・物質変換技術等の発展、および各分野の融合（真の異分野交流）に向けた努力が必須である。そのためには、広視野・見識を持った強力なコーディネーターの育成と活躍のバックアップ体制づくりを進めることも目的達成の重要な要因となる。

(3) 生物間相互作用に注目したバイオマス利活用技術の開発

生物間の協同作用、共生機構等の解析¹⁾を通して、複合生物系の持つ高度な機能の利用を図る。腸内やバイオフィーム内での微小生物集団間の相互作用を調査し²⁾、それらの伝達機構や相互扶助・調整機能の解析を行う³⁾と共に、集団としての生物機能発現を制御する技術の開発、およびその利活用を目指す⁴⁾。同様に、水圏起源の各種生物を対象とした、同種・異種間の生物間相互作用についても調査・解析を行い⁵⁾、それらの能力および資源の最適化、有効利活用を目指す⁶⁾。

そのためには、微生物学、生態学、動・植物学のみでなく、高分子化学、マイクロセンサー工学、遺伝子工学、環境制御学等の広い領域における知見の集積と概念のシャッフル・融合化が必須である。異分野交流のためにコーディネーターの活用も重要。

(4) 食糧増産とゼロ・エミッション化

低環境負荷型（可能であれば、環境浄化・改善型）の生物生産¹⁾、沿岸や大洋上層での半開放型の藻類大量生産²⁾、複合生物養殖等のシステムを構築し³⁾、食糧増産を図る。閉鎖性水域全体を一培養槽とした藻草類やプランクトンの大量培養システムの開発・特殊利用についても検討する⁴⁾（付随する問題の解決策の検討を含む）。また、生育が早く、炭素や窒素成分に富む微生物、プランクトン、藻類の発掘・利用に向かう道筋をつける⁵⁾。同時に、海洋バイオマス資源の持続的利用、安全安心な食糧の安定供給、循環型社会の

具現化に向けた技術開発および産業構造改革、新産業創出、経済活性化を目指す^b。

そのためには、海洋学、生態学、水産学、微生物学、動・植物学、工学等の広領域にわたる知見・概念の融合、および食糧の安定供給・適正利用にかかわる各種技術の発展と体制構築を進めなければならない。加えて、資源管理・評価、養殖、環境評価・制御等の手法・技術の進展、輸送・相互利用システムの構築・運用の最適化、地域企業の自発的競争精神の育成等を行う必要がある。

(5) 汚損生物の資源化

生物や汚損原因物質を用いた海際構造物の保護・腐食制御法の確立、および汚損生物の資源化を図る^b。すなわち、汚損防止、環境浄化と資源回収・利用の融合化を目指す。そのためには、汚損メカニズムを解明し^b、低環境負荷型汚損対策を確立する^bのみならず、汚損生物の利活用分野の広域検索^b、廃棄溶剤を出さない抽出・変換法の開発^b、付着関連物質である多糖類や糖タンパク質の有効利活用^b（多機能薄膜の製作、表面修復等）、生物由来の強化繊維等新素材の生産技術開発^b、バイオミネラリゼーション機構の解明と利活用^b（医療分野を含む）、生態系制御の手法等に関する研究を進める^b必要がある。

(6) 環境浄化と資源採取・利用の融合化

環境浄化事業はマイナス影響削減に向けた投資（処理）であり、それ自体が直接資産を生むことはない。また、水圏起源バイオマスの採取のみを単独で行うには非常に手間とコストが掛かるにもかかわらず、得られるメリットは極めて小さくなる。従って、環境浄化と資源採取・変換を表裏一体のものとして捉え、両者の融合化を図ることにより極力無駄を省き、コストパフォーマンスを高めると共に、資源の最適配置・供給化を実施する^b必要がある。

環境汚染の多種多様化、グローバル化に伴い、衣食住の安全確保に対する要求が極めて高くなってきた。食糧や肥料として既に多くの実績がある生物、沿岸域に生（成）育している大型藻類、巻貝類、イガイ類等でさえ、一部の地域では、重金属や内分泌攪乱化学物質等の高濃度蓄積（安全基準値を上回るものも少なくない状況になりつつある）が明らかになっている。当該生物の回収・変換は環境浄化と同義であることに加え、生物濃縮の過程を調べることに関連して、物質の膜輸送系や変換過程、およびそれらの機能・制御遺伝子群の探索^aに繋がる。従って、環境浄化と衣食住の安全性確保、資源採取・変換・利用を相互に密接に関連させ、最適な融合化を図る^b必要がある。

4. バイオマスの利活用の利点と問題点、および問題解決策

バイオマス利活用の利点として以下のことがあげられる：（太陽）エネルギーの良好な変換・貯蔵システム、適正利用下では再生可能で持続利用可能、化石由来資源に比べ環境影響負荷が小さい、多種多様な利用形態が可能（エネルギー、食料、飼料、環境改善、各種有用物質等）、偏在の程度が低く地域毎に利用可能、高度な技術がなくても利活用が可能等。

一方、バイオマスの採取・利用に関しては多くの問題も有している。以下にバイオマスの採

取と利用に向けた取り組みとして、問題点と対策を列挙する。

(i) 現状での問題点

- ① 採取および変換に伴う技術不足、エネルギー要求やコストが高い
(かさ高、不定形、低密度分布、高含水率、エネルギー発生量が必ずしも大きくない、多種多様のため変換・利用技術も多種多様化すべき)
- ② 情報入手が難しい
- ③ 認知度が低い
- ④ 研究開発や商品開発が不十分
- ⑤ 一定規格品のコンスタントな供給・確保が難しい
- ⑥ 重金属や内分泌攪乱化学物質等の各種有害物質の吸着や濃縮がある(安全面での問題)
- ⑦ 資源量、資源再生産過程、生態系の安定性等に関する知見が不足
- ⑧ 最適生育場所の選択、有効利用が難しい
- ⑨ 採取量の管理、持続的・調和的利用に向けたケアが難しい
- ⑩ 急激な嗜好変化に素早く対応することが難しい
(少数大量生産と多種少量生産の切り替えには時間が掛かる)
- ⑪ バイオマス利用分野の保守性や事業統括部局の活性度等に大きな差がある
- ⑫ 技術、安全性、情報等の管理、および関係者のモラル制御の難しさ

(ii) 対策

- ① バイオマスの利活用に関する明確なビジョンの提示
- ② 採取および変換に伴う技術の進歩、およびコスト削減
→ 採取方法の検討(技術革新)、採取容易なバイオマス生産系の創出、革新的な変換技術の開発、高機能・高度・多角的利用による資源の無駄とコストの削減
- ③ 発生源から採取、資源化に到る物流・変換過程の全システムを地域の特性に合致させる必要性
- ④ 環境や安全に対する各方面からの査定、対策が必要
(廃棄物等は種々の有害物を含む。環境保全、有害物質の除去技術の確立等。)
- ⑤ 情報ネットワークの整備、およびマスメディアの有効利用
- ⑥ 技術データベースの作成、および技術支援体制の強化
- ⑦ 最適生育場所の選定、有効利用に向けた、地球規模での協議機関設置と協力・協調体制の強化
- ⑧ 助成制度の整備、および開発資金の支援
- ⑨ 炭素税、あるいはエコ優遇税制の導入
- ⑩ 資源量、資源再生産過程、生態系の安定性に関する研究の拡充(広域・広領域的、統一的な調査・研究の手法や体制の確立を含む)

- ⑪ 資源管理手法の確立、および社会的規範（了解事項）の策定
- ⑫ 社会通念の改変を模索（必要なものがいつも、多量にあるのは異常等）
- ⑬ 異分野交流コーディネーター、マネジメントリーダーの育成、およびアドバイザー制の導入
- ⑭ バイオマスの有効利活用における適正な（事業・担当部局）評価手法の導入

<参考文献>

- 1) 日本農芸化学会編、“バイオマス：生物資源の高度利用（ABC シリーズ3）”、朝倉書店、東京（1985）
- 2) 日本エネルギー学会編、“バイオマスハンドブック”、オーム社、東京（2002）
- 3) バイオマス・ニッポン：農林水産省ホームページ
<http://www.maff.go.jp/biomass/index.htm>
- 4) バイオテクノロジー戦略大綱：
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/bt/kettei/021206/taikou.html>
- 5) 日本材料科学会編、“微生物と材料”、裳華房、東京（2001）
- 6) 松永 是ら、海水誌、59、4（2005）
- 7) 横山伸也、“バイオエネルギー最前線：持続社会へむけて”、森北出版、東京（2001）
- 8) 大聖泰弘、“図解バイオエタノール最前線（三井物産株式会社編）”、工業調査会、東京（2004）
- 9) 藤島 昭ら、“光触媒のしくみ”、日本実業出版社、東京（2002）
- 10) 植村 真ら、化学工業、53、48（2002）

(添付資料)

バイオマス・ニッポン総合戦略 (H14.12)

1. 背景

(1) なぜ、今、「バイオマス・ニッポン」か

- ① 地球温暖化防止
- ② 循環型社会形成、
- ③ 競争力ある産業育成、
- ④ 農林漁業・農山漁村活性化

(2) 我が国のバイオマス利活用の現状

① バイオマス利活用の状況 :

低認知度、広く・浅い分布、高い水分含量、かさばる、扱いづらい、
変換技術不十分、採算性に難あり

⇒ 廃棄系バイオマスの一部の利活用に止まる、
農産非食用部・林地残材の有効利用不十分、
エネルギー確保目的の資源作物栽培は無い

② バイオマス利活用技術の現状 :

(i) エネルギー的利活用 → 直接燃焼、炭化 +
排泄物のメタン発酵、食用廃油のディーゼル燃料化、
バイオマスのガス化・液化（貯蓄型エネルギー）、
でんぷん・糖化セルロースの発酵・エタノール産生へ

(ii) 製品利活用 → 堆肥、再生木質ボード +
易生分解性プラスチック（乳酸・でんぷん由来）、
機能性食品・化学製品・医薬品等の製造技術開発が進みつつある

2. バイオマス・ニッポン総合戦略の目指すもの

(1) バイオマス・ニッポンの進展シナリオ

① バイオマスの利活用の展開方向

収集コストと変換効率が利活用の大きさを左右

量的には、原油換算で3,500万KL、炭素量で3,300万トンに相当。

廃棄系バイオマス : 食品廃棄物、建設発生木材等、

有償回収 ⇒ 利活用のコストとして使用

⇒ 制度透、収集・輸送費低下、変換効率向上等で利活用進展

未利用バイオマス : 農作物非食用部、林地残材等が収集システム技術の発展等で利
用可に (2010年)

資源作物：エネルギーや製品への変換効率の著しい向上で、化石資源由来に対抗可。未利用地に当該目的植物栽培（2020年頃）

新作物：海洋植物、遺伝子組み換え植物等の新作物による効果的なバイオマス生産増加（2050年頃）

② バイオマスの利活用技術の展開方向

(i) 効率の高い収集・変換技術の開発・実用化

(ii) バイオマス・リファイナリーの構築・・・多様化、高付加価値化への取り組み。
体系的な生産

(iii) バイオマスのカスケード的利用・・・多段的利用

(iv) 他分野との連携、周辺技術の開発

(2) バイオマス・ニッポン実現に向けた具体的目標

(技術的観点)・・・バイオマスのエネルギー変換技術、製品変換技術（バイオプラスチック原価、木質成分利用）

(地域的観点)・・・実施地特定（特性勘案、多様化）

(全国的観点)・・・廃棄系、未利用バイオマスを炭素量で、それぞれ80%、25%以上利活用

3. バイオマス・ニッポン実現に向けた基本的戦略

(1) バイオマス利活用推進に向けた全般的事項に関する戦略

- ① 国の理解の醸成
- ② システム全体の設計
- ③ 地域における創意工夫
- ④ 関係者の役割分担・協調
- ⑤ バイオマス利活用推進のための競争条件の整備
- ⑥ 国際的視点の考慮

(2) バイオマスの生産、収集・輸送に関する戦略

- ① 経済性の向上
- ② 経済的要因以外のコスト高の是正
- ③ 生産に必要な環境の整備

(3) バイオマスの変換に関する戦略

- ① 経済性の向上
- ② 革新的な変換技術の開発、他分野技術との連携
- ③ 経済的要因以外のコスト高の是正

(4) バイオマスの変換後の利用に関する戦略

- ① 利用需要の創出、拡大

- ② 農林漁業、農山漁村の活性化
- ③ 利用に必要な環境の整備

4. 海水中の有用成分の採取・利活用に係る附属技術

4-1. 製塩・造水、有用無機成分の採取に係る附属技術

概要

製塩・造水、有用無機成分の採取に係る設備は、金属材料の腐食に大きな影響を与える塩化物を多量に含み、自然環境の中で最も厳しい腐食環境と考えられる海水を扱うことから腐食問題の回避が大きな課題のひとつである。また、海洋は生物活動の場でありその生命活動に起因する汚損による設備機能低下・損傷等も当該設備の維持・管理面で回避すべき課題である。これらの問題を回避するために腐食防止対策として使用する材料の適正化が図られ、海生生物による汚損防止には様々な方策が採られているものの抜本的な解決策の実現化には至っていないのが現状である。

設備を経済的かつ安定的に稼働させるためには、従来行われている方法で腐食、汚損状況を計画的かつ定期的に点検を実施し経時変化を把握することが不可欠であるが、加えて近年進歩の著しい腐食モニタリングシステム等によりリアルタイムに設備の置かれている状況を的確に把握・診断し、設備の想定外停止による経済的損失を回避することが期待されている。

今後は、この予防保全的な管理を目指すとともに、設備の建設から運転まで含めた管理の徹底、効率的なライフサイクルのコストミニマム化に配慮したアプローチが求められるものと考えられる。

なお、海水を扱う設備に係る基盤となる技術は、機械、金属、化学、電気化学、生物等専門分野が多岐にわたっており、個々の分野を取り上げると実態に即したアプローチがなされているもののそれらを包括した対応が十分出来ていないのが現状であろう。

また、専門分野毎に大小数多くの学協会が存在しているが情報が散逸的で一元化されているとは言い難く、今後は専門分野内外における横断的かつ多面的な取り組みが望まれる。

1. 海水を扱う設備に使用される材料と問題点

海水を扱う設備の中でイオン交換膜製塩法による製塩装置は常温生海水から高温・高濃度塩スラリーまでの幅広い環境条件に曝されることから、海水淡水化設備を代表とする海水を扱う設備の条件をほぼカバーしているものと考えられる。この製塩装置の中でも多重効用真空式晶析設備は高温濃縮海水を扱うため極めて厳しい腐食環境に曝されることから様々な形態の腐食が発生し、それらを回避するために多様な耐食材料が使用されている^{1) 2)}。通常、塩スラリーを含まない低温域では、FRP あるいは PVC 等の腐食されにくい樹脂類が使用される場合があるが、適用温度に制約がある。樹脂類の適用可能温度を越えると金属材料が使用されるが、温度の上昇に従って加速的に腐食の問題が増大するため、ステンレス鋼、銅合金、ニッケル合金、スーパーステンレス鋼、チタン等の耐食性に優れた様々な金属材料が組み合わせて使われているものの、腐食の問題は解決出来ていないのが実情である。

また、複数の材料が組み合わされて使用されていることも腐食問題の解決を困難にしている面は否定出来ない。

一方で、プロセス側は過酷な腐食環境に曝されるため各種耐食性材料が使用されるが、外気に曝される装置外面および構成機器を支持する構造物等は塗装あるいはメッキを施された通常の炭素鋼が使用されている。ここで、製塩装置を代表とする海水を扱う設備は、設備の性格上取水の容易な海に面した場所に設置されており、飛沫海水の付着・濃縮によって外部からの腐食も受けるため、プロセス側のみならず設備全体が腐食環境下にあると言える。

2. 採取成分への材料からの汚染およびその排除

金属材料では腐食生成物としての金属の溶出あるいは脱落片の採取成分への混入を避けなければならないため、使用環境と腐食形態を十分に把握した上で材料選定が必要である。

製塩設備においては、従来 Cu 系の合金を多用して来たが、腐食による Cu の溶出は避けられないことから近年腐食の激しい場所には Cu 系の材料を避けるケースも増えて来ている。また、樹脂等の非金属材料については腐食の問題はほとんどないが環境ホルモンを含む有害化学物質の溶出が問題となるため使用環境への適用性の検討が必要となる。

いずれも新たな材料の選定に際しては事前に実環境に対する暴露試験を実施し、科学的なデータを得た上で適用性を評価すべきである。

3. 環境への影響

採取成分への材料からの汚染と同様に、使用材料からの有害な金属あるいは化学物質の外部環境への流出は避けなければならない問題であり、前項の Cu 系材料の使用回避はその一例である。

また、設備の更新あるいは廃棄に際して金属材料はスクラップ処理によるリサイクル方法が確立されているのに対して、FRP を代表とする化成品（樹脂製品等）は、腐食されにくい利点を有している反面、その多くは性質の異なる複数の素材から成り立っていることもあり再生が出来ないため産業廃棄物として処分されることから環境・リサイクル面での問題がある。

4. 生物汚損防除技術、腐食防止技術の現状

生物汚損防除、腐食防止には大別して、構造部材が環境に曝される環境に対して材料そのものの防汚、耐食性に期待するものと、塗装、ライニングあるいは溶射等の表面保護皮膜によって環境から遮断するふたつの形態があり、適用環境に適した様々な方法が採用されている。

(1) 生物汚損防除技術

生物汚損対策は、対象となる海生生物のライフサイクルに合わせて様々な方策が採られている³⁾。駆除あるいは過による汚損生物の排除は抜本的な対策のひとつであるが、処理廃水中の BOD の問題等環境汚染に対する配慮が必要である。

基本的には水中の海生生物幼生の付着能力を奪う方法と、付着出来ない基盤とする方法に

大別出来、最近の船底防汚塗料を例にとると、防汚剤（忌避剤）の溶出による非錫系加水分解型防汚塗料が前者に相当し、表面の界面化学的忌避性で付着を防止するシリコン等の機能材料系防汚塗料が後者に相当する。

（２）腐食防止技術

腐食は金属が化学的または電気化学的に侵される現象で、熱力学的に安定な方向への移行であり避け得ないものである。

海水を扱う設備における腐食の形態は、全面腐食、孔食、粒界腐食、応力腐食割れ、隙間腐食、エロージョン・コロージョン、脱成分腐食、微生物腐食、ガルバニック腐食等多種多様であるが、材料と使用環境を考え合わせると出現する腐食形態は概ね予測が可能である。

腐食の抑制方法としては

- ・適切な材料（環境に対応した耐食材料）の選定、防食設計
- ・表面被覆による環境遮断
- ・腐食性物質の除去、インヒビターの使用などの環境処理
- ・電気防食

等があり、組み合わせで適用されることが多いが、使用する環境に対して腐食特性を明確にした上で、耐食性能の評価された材料を選定し、かつ構造的に腐食の引き金になるような部分を作らない対策を取るのが基本である。

また、材料そのものの持つ耐食性を損なわないよう製作施工面での配慮も不可欠である。

5. 設備管理・保守

設備、構造物の機能・品質維持のためには計画的かつ定期的な点検を実施し、経年損傷に起因する構造物の劣化による経済的損失を最小限に抑え、併せて事故・災害の防止を図るために点検結果を適切に診断した上で対策を講ずる必要がある。

近年、設備の保守・点検に係る負担軽減策の一環として、材料の高級化（耐食性機能材料への転換）が進められているが、部分的な材質の変更により新たな損傷が発生する等抜本的な対策には必ずしもなっていないのが現状であり、設備診断を的確に実施することが求められている。

6. 問題点および将来予測

（１）材料について

厳しい腐食環境において金属を使用する場合、高価な高耐食性金属材料を選定することになり経済的な問題が発生する。従って、それぞれの環境に応じて出来るだけ低価格な材料を選定するとともに、腐食を最小限に食い止めるために、塩化物濃度、温度、溶存酸素量、スケーリング、pH 等の環境条件への配慮（腐食要因の削減）、さらには製作時の溶接方法、加工条件、表面処理等に細心の注意が求められている。

冶金学の進歩により、微量金属成分のコントロールが可能となっている現在、限られた環

境にピンポイントで耐食性を発揮する材料の開発は比較的容易となっているが、ピンポイントで耐食性を追求しても経済性等を考慮すると必ずしも実用的とは言えない。従って、環境と材料のバランスの取れた選定が必要不可欠であり、安価でかつ安定した耐食性能を有する材料の開発が望まれる。

また、FRP 等の樹脂類については廃棄物処理方法の確立、リサイクルシステムの研究が進められておりそれらが構築されれば今後適用範囲は増大するものと考えられる。

(2) 備診断技術について

近年、従来実用化されているパッシブな検査、欠陥・損傷検出技術や材料評価技術は進歩して来ているが、腐食トラブルの処理は過去の事例や経験に負うところが多く、十分に体系化されていないのが現状である。

しかしながら、腐食の発生機構、発生要因が明確に把握出来れば、限られた範囲の検査データから設備全体の腐食の最大値を推定する統計学的手法も確立されて来っており、実機での腐食モニタリングも試みられていることから^{4) 5)}、近い将来腐食状況の兆候を早期に検出するためのプロアクティブな設備管理手法のツールとしてオンラインモニタリングシステムの構築が可能になるものと考えられる。

今後は、従来法による計画的かつ定期的な設備診断に加えて、オンラインモニタリングシステムを組み込んでの予防保全的目指すとともに、設計、運転まで含めた総合的な管理の徹底、効率的な設備のライフサイクルのコストミニマム化に配慮したアプローチが求められるものと考えられる。

<参考文献>

- 1) 梶野秀夫、“製塩装置材料ワークショップの概要”、日本海水学会誌 第 57 巻第 2 号 pp. 77-83 (2003)
- 2) 藤田武志、“製塩装置の腐食と問題点”、日本海水学会誌 第 48 巻第 4 号 pp. 257-262(1994)
- 3) 川辺允志、“生物付着防止対策の動向”、日本海水学会誌 第 46 巻第 2 号 pp. 71-80 (1992)
- 4) 丹野康雄、浅野一郎 “製塩プラントにおける局部腐食モニタリング”、日本海水学会誌 第 54 巻第 5 号 pp. 360-365 (2000)
- 5) 丹野康雄、浅野一郎 “製塩プラントでの局部腐食モニタリング適用事例”、材料と環境 Vol. 52 No. 9 455-457 (2003)

4-2. エネルギー資源の開発・利用

概要

資源の回収・変換・利用には必ずエネルギーの需要・移動が伴う。海洋におけるエネルギー資源の種類・現状に加え、エネルギーの産生・抽出・利用技術として、高効率抽出・蓄積・伝達技術、多角化、効率的利用、資源動態の把握・予測、環境影響、フレームの管理等について、それらの現状と問題点について概説した。

海洋エネルギーの開発に関しては、場所、発電量、多様性、安定性、経済性、環境調和性等を考慮して行うと共に、今後、発電施設の複合的利用、すなわち、エネルギーの取り出しと物質資源の採取をリンクさせた形の総合的利活用を見据えて進めなければならない。

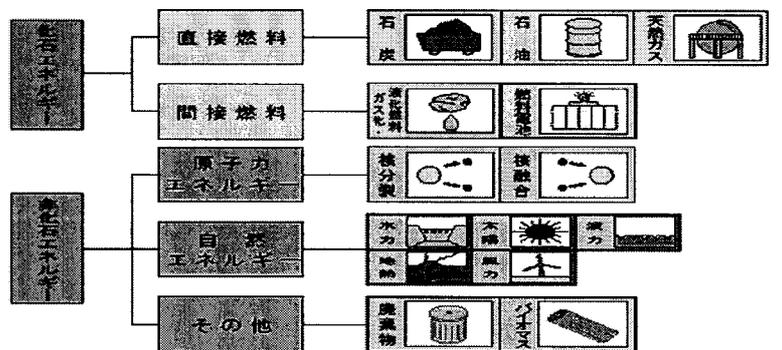
なお、海洋エネルギーの利用に関しては、その密度の低さから、エネルギーの効率的な取り出し、発電に利用するための各種技術の継続的開発、施設の設置や電力の輸送方法等に関する検討・技術開発が必要である。特に、海洋温度差発電（熱交換）に関しては、日本周辺海域には表面水と比較的浅い位置にある底層水（あるいは深層水）間の温度差の大きい場所が幾つかある。従って、設置コストの低減（施設の複合的利用を考慮。深層冷海水中のリン、窒素、塩類等の採取と有効利用も念頭におく）やくみ上げ効率の向上等を図る必要はあるが、当該海域における海洋温度差発電の可能性は高く、研究の進展が期待される。

バイオマスエネルギーの利用は、環境負荷が少なく、廃棄資源の有効利用法としても将来的に有望である。但し、現状では発電効率が低く、コスト高であるため、早急に当該問題の解決を図る必要がある。

今後のエネルギー有効利活用を考える場合、水の電気分解や化石資源の改質等により得られた水素を電池に使用する（燃料電池、水素電池）技術の開発、関連研究の推進は重要である。ただし、水素製造には経済性を有するエネルギー源の確保（前者の方法では電力が、後者の場合には高温の熱源が必要）が最優先事項である。

1. エネルギー源の種類

図1にエネルギー源の種類を示す。



（注）太枠内は新エネルギーとも呼ばれている。

図1 エネルギー源の種類¹⁾

2. 海洋エネルギーの利用

海洋は地球面積の約70%を占め、海流、潮汐、波力、海洋温度差などの膨大なエネルギーを有しており、これらのエネルギーを利用した発電が古くから試みられている。しかし、これらの海洋エネルギーは一般に密度が低いいため、効率的にエネルギーを取り出し、発電に利用するための種々の技術開発が現在でも継続されている。

(1) 潮位差発電（潮汐発電）

潮の干満のエネルギーを利用する発電システムである。この方法は干満の差の大きなところで有効であるが、日本ではあまり適地はない。世界には潮の干満の差が10mを越える適地がある。例えば、フランスのランス発電所は潮汐発電所として、世界的に有名である。出力24万kWは、海洋エネルギーを利用した発電所として、世界最大の規模で、付近の潮位差は平均で8mもあり、潮汐発電の条件に恵まれている。

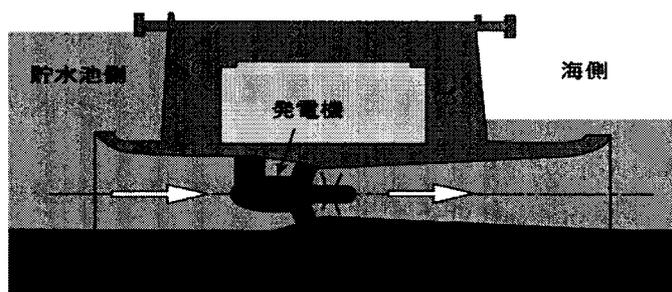


図2 潮汐発電システムの例²⁾

(2) 波力発電

波力発電の方式は大きく分けて1次変換（先ずどういったエネルギーに変換するか）によって

- ①空気エネルギーに変換する
- ②機械的なエネルギーに変換する
- ③水の位置エネルギーまたは水流エネルギーに変換する

の3種類に分類することが出来る。

①は波による海面の上下動によって押し出される空気によりタービンを回して発電するシステムである。小規模なものは航路標識用のブイの電源として実用化されている。現在1~130kW級の装置が開発・研究中であり、一部は商用電力系統への接続にも成功している。コストは60~130円/kWhとなっている。

②は波エネルギーを受圧板の振り子運動としてとらえ、油圧に変換する。いわば「波のプール」の造波装置の逆の原理で電力に変換するシステムである。

室蘭工業大学と日立造船株の技術により増毛町が設置し、1981年から1986年にかけて実験が行われた。同様の「振り子式」の研究施設が、室蘭港外防波堤沖側にもあって、1983年から試験を行っている。

上記の2例は振子を支持する位置が上部にあるのに対し「下部支持型振り子式」と呼ばれる波力発電装

置が、京都府宮津市の関西電力(株)宮津エネルギー研究所に設置されている。1989年から1kW相当の噴水用動力源として利用されている。

③は波によって打ち寄せられる水塊を構造物の斜面に沿って遡上、そして越波させ、背後の池に貯留します。そして池の水面と海面との水位の差を利用して低落差用水車タービンを回すシステムである。原町火力発電所の港湾防波堤において130kW級波力発電システム実証試験を行う計画を進めている。図3に波力発電ケーソン防波堤の発電原理を示す。

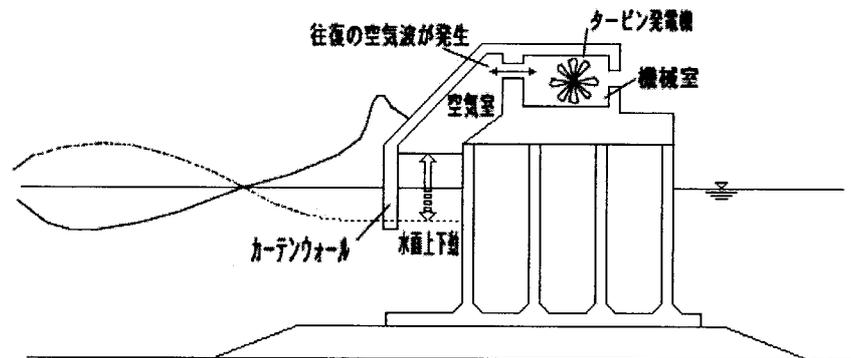


図3 波力発電ケーソン防波堤の発電原理

(3) 海洋温度差発電 (熱交換)

海洋表層の海水 (25~30℃) と水深 500~1,000m 程度の海水 (5~7℃) との温度差を利用して発電する。プラントの実証実験は終了しているが、現段階では 50~70 円/kWh であり、経済性を見出しにくい。国際協力を含めた立地可能性調査と海水淡水化、深層水の冷温を利用した冷房や富栄養塩を利用した養殖等の多目的利用による経済性の創出についての長期的な検討が必要とされている。

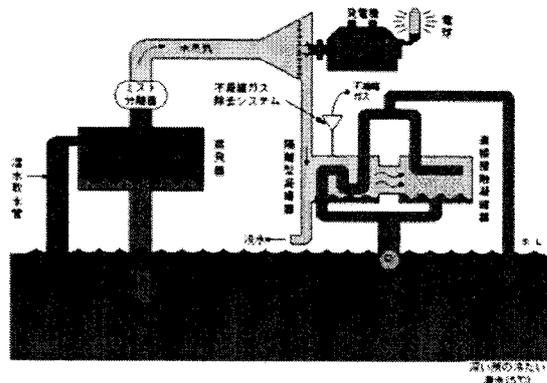


図4 海洋温度差発電のしくみ (オープンサイクル方式)³⁾

(4) 海流発電

海流発電は、海流の流れを利用する発電システムである。潮流は潮汐による流れのため、流れる向きが一日に約4回変わるのに対し、海流は地球規模の流れで、年間を通じて流れる方向は一定である。

これまでに海流発電について、プロペラ、軸流タービン方式などで発電する提案はある。しかし、実際に大規模な実験が行われたということはない。それは、海流は比較的陸地から遠いところを流れているために、その利用方法が難しいといったことが原因のようである。

3. バイオマス

バイオマスエネルギーは生物体を構成する有機物を利用するエネルギーである。大気中の二酸化炭素が固定されたものであり、バイオマスを燃焼させても大気中の二酸化炭素のバランスは壊されない。古くから薪・木炭や家畜の糞が燃料に使われてきた。現代では、直接燃焼の他、熱分解・部分酸化によるガス化、微生物を利用した発酵メタン回収・メタノール化・直接液化等の手法が開発されている。

メタノール等のアルコール製造サトウキビ繊維、稲わら、庭木材のセルロース資源は食料と競合せず、燃料用アルコールとしてふさわしいため、微生物や酵素を利用してこれらの原料を糖化・発酵させ、メタノール等のアルコール製造をする技術開発が進められている。

木質バイオマス発電 CO₂削減策の有力な手段として、ヨーロッパを中心に木材の利用が再び注目されている。パルプ製造過程で生じる黒液や、間伐材、製材廃材等を燃料として発電する。欧米では燃料生産を目的とする林業も出現している。わが国では、パルプ工場の他は、一部の林業家で実用化されている。

有機系廃棄物によるメタン発酵・発電畜産廃棄物（糞尿）、ビール工場の廃棄物、生ゴミ、尿尿と生ゴミ等を原料とし、微生物や酵素を利用してメタンを回収し、このメタンを燃焼させて発電するシステムが開発され、一部で実用化されている。またこのメタンは燃料電池の熱源としても利用可能である。特に畜産廃棄物・生ゴミ処理における環境共生手法としても注目されている。

廃油の燃料化食料廃油を再生しメチルエステル化して、ディーゼル車の代替燃料として使用するもので、排ガス中のSO₂や黒煙を大幅に減少させることが出来る。一部の地域でゴミ収集車等に試験的に導入されている。

4. 水素資源

燃料電池の原理は、電解質をはさんだ一方の電極（燃料極）に水素を、もう一方の電極（空気極）に酸素を送り込むと、電気化学的な反応によって水が発生し、このとき同時に生じる電気を取り出すシステムである。

燃料電池に必要な酸素と水素のうち、酸素は空気中から取り出せるが、水素は天然資源としてはほとんど存在しないので、水素を含んでいる石油や天然ガスなどを燃料として利用し、一度水素に変換してから利用する。または、水の電気分解を利用して水素を作る方法もある。このときに必要な水を海水の淡水化により作ることも検討されている。

表1に現在検討されている発電方式の種類と特徴を示す。

表1 燃料電池の種類と特徴

形 式	固体高分子型 (PEC)	リン酸型 (PAFC)	熔融炭酸塩型 (MCFC)	固体酸化物型 (SOFC)
電解質	高分子イオン 交換膜	リン酸	熔融炭酸塩	固体電解質 (ジルコニア)
作動温度	~100℃	200℃	650℃	1,000℃
原燃料 (改質で 燃料水素 を発生)	ナフサ、ガソ リン、灯油、 LPG、天然 ガス、水素、 メタノール	ナフサ、ガソ リン、灯油、 LPG、天然 ガス、メタノ ール	ナフサ、ガソ リン、灯油、 重油、LP G、天然ガ ス、メタノ ール、石炭	ナフサ、ガソ リン、灯油、 重油、LP G、天然ガ ス、メタノ ール、石炭

5. 将来予測および今後の課題等

各種エネルギー資源について、下記の観点から纏めてみた。

- ①エネルギーの高効率的産生・抽出・蓄積・伝達技術の進展現状、問題点、将来予測・構想（多角化、効率的利用を含む）
- ②資源動態の把握と資源の確保・入手に関する取り組み、現状、問題点、将来予測・構想
- ③開発・利用・移送・管理・廃棄物処理等に伴うコストとそれらの削減に向けた取り組み、現状と将来予測・構想
- ④エネルギーの産生予測と利用予測
- ⑤国内外の（一般）売電企業等との競合・協力体制等に関する事例、将来予測・構想

(1) 潮位差発電（潮汐発電）

海の干満の差を利用するこの方式では、日本ではあまり適地はなく、大きな電力を得ることは不可能である。港湾内のブイなど、比較的小さな電力で稼動する機器へ適用が考えられる。

(2) 波力発電

波力発電の各方式に共通する技術的課題としては 1) 長時間の変動に対するエネルギーの平滑化、2) 波力発電で得られたエネルギーの利用方法の問題 3) 貯蔵技術の開発の問題があげられる。波力発電は、基本的に海上工事を伴い、建設費が陸上工事に比べて割高となる。波力発電装置を組み込んだ防波堤とすれば、もう少し波力発電の可能性も高まるであろう。しかし、波力発電の場合も異常波浪時、とくに台風時を想定した安全対策が必要である。これらの条件などにより、経済性が小さいというのが現状である。

(3) 海洋温度差発電（熱交換）

陸上に建設すれば温海水と冷海水のくみ上げに多大な動力は必要となること、海上に設置すれば、建設工事費そのものが割高になること、また、海水中の金属、塩類、貝類、藻類の付着がため熱の伝わりが悪くなること、くみ上げポンプ動力が大きいため正味の発電量が少なくなるなどの問題を解決する必要がある。

施設の複合的利用を考え、海洋温度差エネルギー発電と海水の含む物質を総合的に利用して、エネルギー効率を上げ、発電コストを相対的に下げること、あるいは深層冷海水から、リン、窒素、塩類の採取→肥料などに利用する考えもある。

(4) 海流発電

海流発電では、利用出来る大きな海流が比較的陸地から離れているので、電力の輸送等の問題がある。波力にしても潮汐にしても、海水を扱うことから装置の保守・点検により多くのコストがかり、耐用年数も短いものになる点に留意しておくべきであろう。

日本は海に囲まれているのでその保有するエネルギーを利用すべきであるが、発電に利用する場合にはエネルギー密度が小さく、化石燃料や原子力発電による大容量の発電には向かないであろう。また、発電コストも割り高である現状を考えると、従来の発電方法との競合を考えるより、小容量の発電容量で、かつ少々発電コストが高くても採用できる利用方法からスタートすべきであろう。

(5) バイオマス

このバイオマス発電を国が風力や太陽光発電とともに、新エネルギー法による普及支援分野に加えたため、ベンチャー企業、自治体などが相次いで事業化に乗り出している。バイオマス発電は発生したメタンガスを電気、熱エネルギーとして回収する一方、発酵液などの副産物をたい肥化するリサイクルシステムである。二酸化炭素(CO₂)を発生しないクリーン・エネルギーであるが、発電効率が低くコスト高という点に問題があり、1次エネルギーに占める割合は0.8% (1999年度)にとどまっている。

バイオマス発電は産業界、自治体にとっても、リサイクルの一つの方法として事業化する流れにある。

(6) 水素資源

水素資源については、水素の製造、その利用技術の開発が必要である。製造に関しては、水の電気分解、あるいは化石資源の改質など、前者では電力を後者ではある程度高温の熱源が必要であり、水素製造のためには経済性の有するエネルギー源の確保がまず必要である。さらに、製造された水素の貯蔵、運搬など2次的な必要技術の開発も経済性を考慮して開発する必要がある。特に、水素製造のエネルギー源として、炭酸ガス排出の少ない原子力発電の利用も検討され始めた。

利用技術として、最近では燃料電池が取り上げられ始め、電力会社なども利用し始めており、今後更なる普及が見込まれる。

<参考文献>

- 1) (財)日本原子力文化振興財団、「原子力」図面集、2002-1003年版
- 2) 茅陽一監修、新エネルギー大辞典、工業調査会 2002
- 3) 資源エネルギー庁(編)「新エネルギー便覧 平成10年度、(財)通産産業調査会(1999)

5. 沿岸・浅海域の資源の有効利活用に及ぼす海域環境の現状と動態予測

5-1. 沿岸・浅海域の資源の有効利活用と環境保全に向けた取組み

概要

沿岸・浅海域の資源を持続的に有効利活用していくためには、当該海域のみでなく、そこと直接・間接的にかかわりを持つその生物・非生物環境を的確に評価し、環境、生態系、各種資源の保全に配慮した中での各種有用資源の採取および利活用の方法を考えなければならない。同時に、当該海域における直接的な汚染負荷の低減に努めると共に、陸域からの汚染物流入を可能な限り阻止する運動を強力かつ早急に推進しなければならない。また、陸域起源の淡水や栄養塩類の供給を復活させる努力を続けていく必要がある。一方で、一旦流出した汚染物を回収、分解、変換、再利用する方法についても検討・開発を進め、早急に実際の運用（導入）を図る必要がある（広域的な断続的かつ連携的な処理による、海域への汚染負荷の削減が必須）。

そのためには、資源の利活用面のみならず、焦点を当てるのみでなく、「人と水圏生物にやさしい環境づくりー自然共生型水圏圏の概念ー」という共通認識の浸透と実現を図ることにより、海を「海」単独としてみるのではなく、河川上流部から海域に至る広域的な水圏と捉え、その中で最適化された汚染負荷削減・環境管理策を練り上げ、適宜実施して行く必要がある。

以上のことをまとめると、次の5課題についての早急な取組みと解決策の実施が臨まれる：① 海を単体とみるのではなく、陸域と密接な関係を持つ水圏と捉え、その中で最適化された汚染負荷削減・環境管理策を実施する。② 河川水の量と質の確保に向けた新しい水処理および水利用技術の早急な開発・導入。③ 水際の環境保全策の立案・見直しの場面における適切な情報の開示と共有化、および適切な事業評価手法の導入。④ 水域に存在する汚染物の回収・分解・変換・再利用する方法に関する研究・開発の推進。特に、(リンや窒素に代表されるような) 回収物の再利用を念頭においた処理法の開発・実施。⑤ 異分野間の人、物、技術、金の交流・融合化推進。

1. はじめに

自然の水域には、その場の環境特性に応じて多種多様な生物・非生物資源が存在している。水域の中でも沿岸海域は、多種多様なバイオマスを持有するのみでなく、水や各種無機溶存資源採取の場、浄化の場として、人間を含めた海と接点を持つ多くの生物にとって極めて重要なところである。

また、沿岸域の海洋底には、人類にとって貴重な微量元素資源を濃縮したマンガン団塊やクラストも存在する。これらは鉱物資源として経済的に重要であるばかりでなく、海洋化学的にも有用な情報を含んでいるが、その生成には海水および海底堆積物

中の微生物の働きと大いに関係がある。すなわち、海域の非生物資源といえども、少なくともある種のものでは、その生成・変換過程には周辺のバイオマスの働きが密接にかかわっている。

南北に細長い島国である日本は広い沿岸海域を持ち、そこには多種多様な水域環境と豊富な生物相が形成されている。すなわち、日本の沿岸海域は有形・無形の資源や空間の利用面において、高い潜在能力を秘めている。従って、沿岸・浅海域を持続的に有効利活用していくためには、当該海域のみでなくそこと直接・間接的にかかわりを持つその生物・非生物環境を的確に評価し、環境、生態系、各種資源の保全に配慮した中での各種資源の採取および利活用の方法を考えなければならない。

しかし、現状では、人間活動の拡大に伴って海域の汚染は進行し、沿岸・浅海域の生物・非生物環境の悪化、生物資源の量の減少や質の低下、自然生態系の崩壊等が危惧される状況に至っている。そして、同海域における資源の保持・保全に伴うコストが増大しているほか、資源採取の方法修正や処理の追加、処理コストの高騰、安全確保技術導入の必要性等が叫ばれるようになり、各方面に多大な影響が出始めている。

海域の汚染には、海域自体に加え、海際からの汚染、河川や都市排水、工場廃水等の陸域からの汚染物流入が大きく関係している。沿岸海域は、増養殖ニーズの高まり、海運交通の発達に伴う油流出事故や海洋投棄量の増加、埋め立てに加え、種々の開発行為やそれに付随する陸域起源物質の枯渇等により、水環境の人為的变化が急ピッチで進んでいる所である。特に、多くの淡水は河川を経て、最終的に海に流入するが、その途中では色々な経路で種々の物質、肥料（栄養塩）や農薬、生活雑排水、工業廃液その他の環境負荷物質が直接・間接的に流入し、河川流量の減少と相まって、河川水中の当該物質濃度は上昇し、環境・生物へのインパクトはより強いものとなっている。その結果、必然的に上述したような問題が生じることとなる。

従って、持続的な沿岸・浅海域の有効利活用を考えるならば、当該海域の環境や各種海域資源の質・量に関する詳細な調査を行い、海域自体の汚染負荷を軽減すると共に、陸域からの汚染物流入を可能な限り阻止する運動を強力かつ早急に推進しなければならない。また、陸域起源物質の供給を復活させる努力を続けていく必要もある。一方で、一旦流出した汚染物を回収、分解、変換、再利用する方法についても検討・開発を進め、早急に実際の運用（導入）を図る必要がある。

ここでは、沿岸・浅海域の現状を主に大型生物の生理状態に焦点を当てて（バイオモニタリング結果を）報告すると共に、海域の環境保全に向けた陸域由来汚染防止の重要性および既出汚染物処理の必要性について述べる。

2. 沿岸域の水環境モニタリング、およびバイオモニタリングによる沿岸海域の環境評価（現状把握）

沿岸域の水環境モニタリングは、従来、主として水中に存在する毒性物質の化学的あるいは

物理的な分析によって行われてきた。しかし、最近では、汚染の多様化・複合化に伴い、いろいろな毒物が混合した場合の複合的かつ継続的な影響を把握するために、化学的・物理的分析手法のみでなく、生物学的検出手法を併用することによりなされることが多くなった。また、バイオマスの量のみでなく、環境の健全性や食としての安全性を把握し、良好に維持していくために、その質を評価対象とするモニタリングの必要性が高まってきた。以上のことから、沿岸環境のバイオモニタリングはますますその重要度を高めている。

環境の現状を把握し、環境変化の予測と評価をするために用いられている生物および生物機能を指標としたバイオモニタリング法には「生物相調査（生物分布・適応計測および生態系レベル評価）法」、「生物試験（生物機能の変化を指標とした評価）法」、および後者の応用としての「バイオセンサー（生体分子の分子識別機能を用い、その変化を電気信号に変換することにより特定物質を検出する測定法）」などがある。前二者は環境を生物学的に測定され得る因子によって評価するものであり、物理的あるいは化学的な方法に比べて、環境を総合的に、しかも長期間にわたる変動の積算平均として捉えることを可能にする。これらの方法は、環境の生物への有害および有益度を如実に示し、環境をある程度直感的に把握する方法としても有効である。一方、バイオセンサー法は、生物の持つ超選択的識別機能をセンサーの一部に使用して、特定の物質を手軽にかつ迅速に検出・定量することによって、環境を把握・評価しようとする方法であり、バイオテクノロジーを用いた新しい環境計測技術として近年特に注目されている環境測定法である。

以下に、動物を対象とした生物試験法を中心として、各モニタリング法の概略¹⁻⁴⁾および沿岸環境モニタリングとしての指標・適用例等を述べる。

(1) 生物相調査

生物相調査法は、生物の適応を利用した環境探知法であり、指標生物や優占種の分布や量、総個体数、多様性指数などが環境実態を把握する際の基本データとなる。なお、現在、海藻草類や魚介類の分布や現存量の調査、生態系の構造解析には、船上からのあるいはスキューバ潜水による肉眼的観察、マルチビームソナー、衛星写真などによって得られたデータや漁獲統計が良く用いられている。

(2) 生物試験法

環境が変化すると生物はそれに反応してあり方を変える。この生物の変異を調査対象としたものが生物試験法である。ここでは、評価に用いる指標のレベルにより2つのカテゴリーに分け、例を挙げて述べる。

A. 個体全体の反応（総合的影響）を指標とした評価法

生残率、成長率、繁殖率、増殖率、生産性、行動等の変化から、環境状況を把握・評価する方法である。水生生物を対象とした試験では、これまで、メダカやカダヤシ、グッピー、コイ、フナ、マス、マダイ、ハゼ等の魚類、ミジンコやフジツボのような甲殻類、棘皮動物であるウニ、スケルトネマ・コスタツムやノリのような藻類が多く用いられてき

た。しかし、海域の環境変化を的確に捉えうる最適指標生物は未だ見つかっていない。また、環境変化が沿岸・浅海域の生産性に及ぼす影響を評価する場合、海産有用魚介類、コペポダやアミ類など浮遊性甲殻類を対象とした繁殖、成長、ライフサイクル毒性試験の追加調査が必要となる。

B. 個々の生物機能変化（選択的影響）を指標とした評価法

水域環境の悪化は、生物の生理作用に影響を与え、直接あるいは間接的に、その健全性を蝕む。従って、水域環境のモニタリングを行う際には、調査対象となる生物の生理作用を正確に把握し、環境の現状および変化の原因を明らかにしなければならない。そのため、魚類を対象とした場合、下記のような形態・組織学的検査、生理機能検査、発生過程の調査等が必要に応じて実施される：外部・内部形態、肥満度、比肝重量、比内臓重量、生殖腺指数、鰓や肝腎組織の微細構造（以上形態学的観察）、呼吸数や呼吸量（酸素消費速度）、心拍数や心電図、筋電図、感覚機能等の電気生理学的手法の利用、血液検査（血球数や組成、血漿や血清中の各種化学成分、酵素活性、ホルモン濃度）、免疫指標、尿検査、組織中の各種成分含有量や酵素活性、浸透圧調節能力、腸内細菌叢、薬物代謝酵素の活性等（生理機能検査）、発生過程における形態・速度・機能等の調査。加えて、過去からの連続した情報を把握するために、耳石や平衡石等の成長輪を持つ硬組織の局所分析（主に元素や同位体分析対象）も実施されている。以下に、上記評価法を用いた沿岸域バイオモニタリングの例を3つ、および淡水域の同モニタリング例1つを示す。

〔例1〕宮城～岩手県沿岸、東京湾に生息するマコガレイを対象としたモニタリング

生殖腺指数、血中ピテロゲニン（VTG）濃度、肝臓内のチトクロム P-450（肝 C-P450）含量、脳アセチルコリンエステラーゼ（AChE）活性、血中チロキシシン（ T_4 ）、 17β -エストラジオール（E2）、テストステロン（T）、腎臓のエリスロポイエチン（EPO）量、体内の ATP・ADP・AMP 量、脳内ホルモン濃度、ストレス反応性等を指標とした。

東京湾のマコガレイには生殖腺の発達不良や血中 VTG 濃度の高い雄もみられたが、宮城～岩手県沿岸域で捕獲されたものについては、生殖腺の発達不良は認められず、成熟期における雄の血中 VTG 濃度も極めて低かった (Fig. 1)⁵⁾。但し、薬物代謝酵素系を含む肝 C-P450 含量については、平均値の 2 倍を越える値が石巻東部海域産の約 20% および松島南部周辺海域産の約 10% の個体にみられた。当該海域では脳 AChE 活性や血漿 T_4 、雄の血漿 T 濃度が低くなる傾向にあった。また、両海域のマコガレイ肝 C-P450 含量と血漿 T 濃度の間には負の相関関係 (Fig. 2) が、肝 C-P450 含量と脳 AChE 活性 (Fig. 3) や血漿 T_4 濃度の間には負の相関傾向が認められた⁶⁾。

また、東京湾や気仙沼湾奥部で夏季に捕獲された魚の腎臓内 EPO 濃度は高かった⁷⁾。ストレス因子負荷試験からは、東京湾奥部の魚は千葉県太平洋岸や宮城～岩手県沿岸の魚に比べてストレス反応性が低下していることが判った (Fig. 4)⁸⁾。ただし、体内の ATP・ADP・AMP 量や脳内ホルモン濃度は捕獲時の状況によっても大きく異なるため、フィールド調査には向かないことも判った⁷⁾。

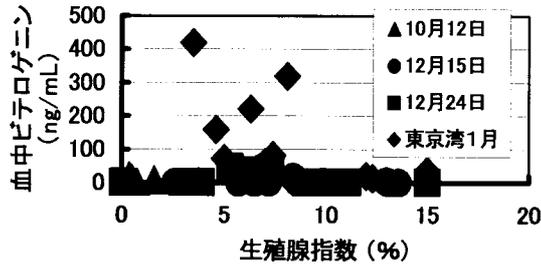


Fig.1 石巻湾産(▲, ●, ■)と東京湾産(◆)マコガレイの血漿中ピテロゲン濃度

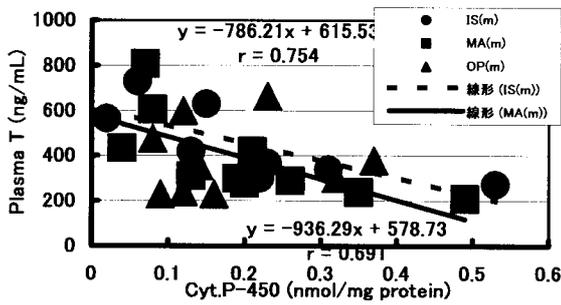


Fig. 2 石巻湾東部(IS), 松島湾(MA), 雄勝湾東部(OP)海域に生息するマコガレイの肝C-P450含量と血漿中テストステロン濃度の関係

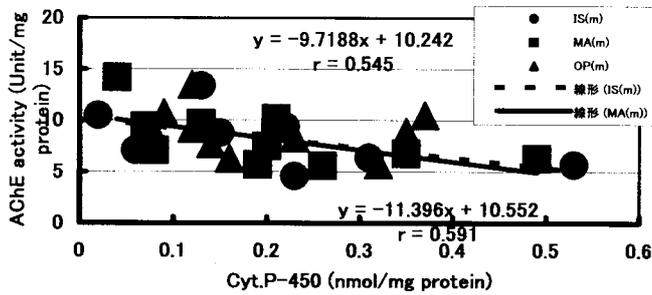


Fig. 3 石巻湾東部(IS), 松島湾(MA), 雄勝湾東部(OP)海域に生息するマコガレイの肝C-P450含量と脳内アセチルコリンエステラーゼ活性の関係

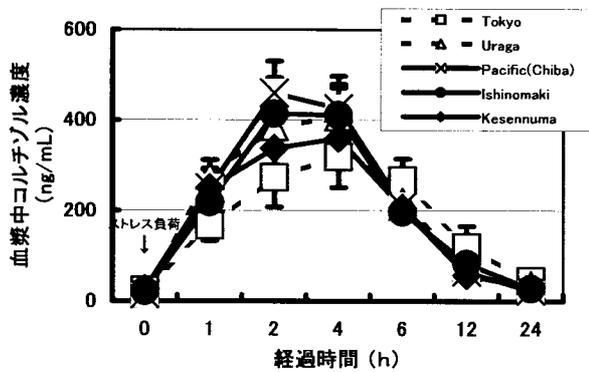


Fig. 4 異なる海域で捕獲されたマコガレイのストレス反応性(10分間の空中放置に伴う変化)

また、地域によっては、赤血球数の減少、血漿中の GOT や ALT 活性の上昇、顆粒球の貪食能やナチュラルキラー細胞様活性等の細胞性免疫活性の低下が観察されており、海域環境の悪化が魚の血液一般性状に加え、免疫系の活性低下をも引き起こしている可能性が高まっている。

これらの結果は、上記指標の有効性や問題点を明らかにすると共に、以下のことを示唆する。(1) 東京湾に生息するマコガレイに内分泌攪乱化学物質（環境ホルモン）を含む汚染物質の影響が出始めていることを示唆しており、早急かつ根本的な環境改善策の実施が必要である。(2) 仙台湾の一部地域に生息しているマコガレイにも環境ホルモンを含む汚染物質の影響は出始めているが、現状では、魚の成長や性成熟過程への影響は軽微である。また、当該海域の環境水や餌生物中には陸域由来の有機リン系あるいはカーバメイト系農薬を含む環境ホルモン物質が影響発現量を超えて存在している可能性が高く、早急に汚染物質の除去・削減策を実行しなければ、影響の拡大は必至である。(3) 東京湾や気仙沼湾奥部で夏季に捕獲された魚は、少なくとも半日以上、溶存酸素濃度が 4mg/L 以下の貧酸素水環境に曝露されていた可能性が極めて高い。すなわち、当時、上記湾奥部海域では貧酸素水塊が形成されており、そこに生息する生物にとってはかなり過酷な環境にあったと予想される。従って、貧酸素水塊の根本的な形成阻止策の実施、および対処療法ではあるが、マイクロバブル曝気による環境中の酸素濃度改善策の早期実施等が必要である。(4) 東京湾奥部に生息する魚のストレス反応性（ストレス因子負荷あるいは ACTH 刺激による、間腎からのコルチゾル放出反応性）は低下しており、この変化は環境ホルモン影響の一つと考えられる。

〔例 2〕 魚類の耳石（硬組織）を調査対象とした長期的な沿岸環境モニタリング
魚類の耳石を丸ごとあるいは一部掻き取り、湿式灰化後に ICP や ICP/MS で各種元素含量を測定すると共に、耳石の割断面を直接あるいは研磨・表面処理後に、荷電粒子 X 線放射化（PIXE）分析装置、イオンマイクロアナライザー、レーザー MS 等を用いて連続局所分析すると Ca（約 40%）、Sr、Na、K、Mg、Mn、Fe、Cu、Zn、Cl、S、P 等が検出される。耳石の Sr、Cl、Mn、Zn およびそれらと Ca との比等を指標として、生息環境の温度や塩分等（生息環境履歴）、系統群、ストレスの有無等のある程度判定できることが判っている⁹⁻¹²⁾。また、河川に遡上しているシロザケの耳石中元素の測定から、Fe/Ca 比も魚の生理・生態的要因を反映している可能性が示唆されている¹³⁾。現在、高感度微局所分析法の開発と共に、〔例 1〕の指標と組み合わせることで、水域の汚染状況や其処に生息する魚の生理的・質的な状況、魚の生存期間中の環境変移を連続的かつ正確に把握する方法について検討が行われている。

〔例 3〕 沿岸域の無生物・生物の安定同位体比や海水中の ATP 量を指標とした調査

生物は同一元素の場合、質量数の大きい方を蓄積し易い。そのため、食物連鎖によって高次の生物ほど高い炭素や窒素安定同位体比を持つようになる。同様に、人間活動に伴なう有機物汚染が進むと、海底泥や低次生物の当該比が上昇する¹⁴⁾。また、植物で検討されて

いる Sr や B の同位体比による産地特定技術¹⁵⁾が、帰化生物の経路判定や移入生物の監視に利用できる可能性もある。一方、ATP 量は生命活性指標として有効であり、微小生物量および汚染度の指標として注目されている¹⁶⁾。

〔例 4 (淡水域)〕 北上川と多摩川の内分泌攪乱化学物質汚染の調査

1998 年の時点では、北上川と多摩川とも雌コイの生殖腺組織に異常はなく、血中ビテロゲン (VTG) 濃度 (生殖期で $5 \times 10^4 \sim 9 \times 10^6$ ng/mL) にも異常はなかった。しかし、雄では多摩川のコイの約 25% に精巣萎縮が認められたほか、血中 VTG 濃度が年間を通じて高い値を示す個体もあった (最大で約 1×10^4 ng/mL)。この時期の多摩川の雄コイでは血中 VTG 濃度と肝ミクロソーム内チトクロム P450 (肝 C-P450) 含量間に正の相関が、多摩川の雄と北上川の雌雄の血漿チロキシン (T_4) 濃度と肝 C-P450 含量間には負の相関がみられた¹⁷⁾。また、両河川中下流域のコイには、赤血球数の減少、顆粒球の貪食能やナチュラルキラー細胞様活性等の低下が観察された。血液中の GOT やアルカリ性フォスファターゼ活性の上昇、肝臓の Cu、Zn-SOD 活性の上昇、脳アセチルコリンエステラーゼ (AChE) 活性やストレス反応性の低下等も認められた。なお、当該変化は下流また人為的汚染水の流入箇所付近のものほど大きくなる傾向にあった¹⁸⁾。1998 年では北上川の一部の雄ウグイから高い血中 VTG 濃度が検出されたが、当該値は、その後上流域においては徐々に低下しつつある¹⁹⁾。ただし、中流域においては、当該値の改善は遅く、その変動はある種の農業類と高い相関関係を持つことが判ってきた。

(3) バイオセンサー法

バイオセンサーは、主に簡易かつ迅速な測定を要する医療計測を目的として開発が進められてきたが、最近では、生物の各種機能検査や食品検査に加え、環境計測への応用も図られるようになった²⁰⁾。ただし、バイオセンサーの利用に際しては、使用条件が限られる、時間経過による特性の劣化がある、安定性が不足する等の問題も指摘されており、自然環境中での長時間利用には克服すべき課題も多い。

なお、現在開発が進み、実際に環境計測に用いられている、あるいは、用いられつつあるバイオセンサーには以下のようなものがある： BOD センサー、アンモニアセンサー、硝化菌を用いた毒物検知センサー、ダイオキシンセンサー、環境ホルモン (雌性化影響) センサー、トリクロロエチレンセンサー、有機リンセンサー、病原性微生物センサー、発癌物質センサー、二酸化炭素センサーなど。この様に、現状では種類も少なく、限られた分野への適用が中心であるが、今後、バイオセンサーの欠点を解消すると共に、センサーのマイクロ化、高機能化、および、通信技術の利用・発展 (ネット計測技術の進歩) 等によって、環境モニタリングに占めるバイオセンサー法の重要性は益々高まると思われる。

(4) 沿岸環境のバイオモニタリングに欠かせない物理・化学的手法

それぞれの手法を用いたモニタリングには、利点もあれば欠点もある。また、現場での利用に適した方法もあれば、試料を採取して持ち帰っての分析に適したものもある。ただし、多くのモニタリング法に共通して要求されるものもある。すなわち、結果が環境を反

映すること、測定が早くかつ容易であること（迅速化・自動化・多成分同時分析・現場分析）、高い信頼性を有すると共に計測誤差が低いこと（高精度化）、コスト-効果が高いこと、十分な検出力を有すること（高感度化）、出来るだけ評価対象に影響を与えないこと（非破壊性）、結果の理解・解釈が容易であること、方法が高度に標準化されているか標準化出来ること等である。

いずれにせよ、上述してきたバイオモニタリング手法を広く環境査定に用いるためには、少ない試料を如何に有効に使うことが出来るか、夾雑物質が多い生物試料から如何に必要な情報のみを選び出すか、試料およびアッセイに必要な酵素や特定遺伝子を如何にして安定供給するか等の問題を解決しなければならない。そのためには、生物レベルの問題（再現性、標準化手法の確立等）解決のみでなく、物理・化学的手法の発展と生物分野への浸透、すなわち、高感度・高精度・高再現性・選択的分析法、各種抽出・濃縮あるいは除去法、および低価格・迅速分析法の確立と普及が重要な位置を占めていることは言うまでもない。

（５）その他

最近では、衛星からのリモートセンシング技術や船上や固定ブイからの各種電磁波計測法が進歩し、物理量のみでなく、化学量や生物量の把握も可能になってきた^{2, 4)}。なお、最近では、狭領域・非線形的な音や光を使ったセンシング技術の研究が進みつつある、近い将来における実地利用が期待されている。

一方、酵素免疫測定法やレポータージーンアッセイ、DNAチップ（DNAマイクロアレイとジーンチップ）を用いたアッセイ法等、バイオテクノロジー分野の進歩に付随した形での新しいバイオアッセイ手法の環境評価・管理への導入・活用が検討されている^{20, 21)}。しかし、実用化されているものはほんの僅かであり、今後、当該分野の発展、およびその成果と生物分野の技術を有機的に結合・融合化させ、新たなアッセイ技術の確立・進展を加速させなければならない。

3. 海域の環境保全に向けた陸域由来汚染の防止と健全な水代謝システムの再構築

海域、特に沿岸海域への汚染負荷は河川を経由してもたらされることが多い。従って、河川への汚染負荷の軽減に努めると共に、河川流量の減少による水中汚染物質濃度の上昇や河川の流下過程における環境浄化能の低下を食い止めるために、健全な水代謝システムの再構築を急ぐ必要がある。

河川への発生汚染負荷は、その源が工場、事業所、都市下水等の特定可能なポイントソース（特定）汚染と、山林、水田、畑地等からの排水、資源開発等に伴う流出水のような汚染源の特定しにくいノンポイントソース（非特定）汚染によるものに分けられる。共に深刻な汚染問題を引き起こす可能性はあるが、前者による負荷量が規制により減少傾向にあるのに対し、後者は負荷量推計や制御が難しいこともあり、その負荷量は調査が進むにつれて増加する傾向にある（現時点における、農業起源物質による環境負荷率は全体の

65%と査定されている)²²⁾。そのため、水域への汚染流入負荷量を把握・削減し、水域の環境を守るためには、ポイントソース汚染よりもノンポイントソース汚染への対策が重要になってきている。

ただし、最近、汚染の種類が多様化するに伴い、ポイントソース汚染対策も改めて重要視されるようになってきた。例えば、下水から内分泌攪乱化学物質や医薬関連物質等の種々の化学物質が高い濃度で検出される場合のあることが報告されている。下水処理の消毒過程で産生されるトリハロメタンのような副産物による汚染、ノロウイルスやある種の寄生虫等、一般の消毒処理では死滅させることの出来ない微生物の流出による環境影響も危惧されている。さらに、処理施設の運転・管理状況によっては、汚染物質の除去率に大きな差が認められ、不十分な処理の結果として、多量の汚染物質が監視の目を潜って公共水域に負荷されている可能性も高まっている²³⁻²⁷⁾。

従って、海域、特に沿岸海域の海水資源の持続的かつ有効利活用を考える際には、上記のような陸域起源の汚染負荷を如何に抑えるかが重要な要因となる。そのため、以下に、ポイントソース汚染として下水（処理水）を、ノンポイントソース汚染としては資源採掘および農業活動に由来する重金属類と農薬類を取り上げ、それらが海域の水質および生物システムに及ぼす影響について述べる。

(1) 下水の影響

下水は各種有機物、窒素やリン酸等の栄養塩、病原微生物の供給源であり、従来、下水処理の主な目的はこれらを除去することにあった。事実、多くの下水処理施設が建設・稼動したことによって、当該関連物質の低減が図られてきた。しかしながら、最近では、汚

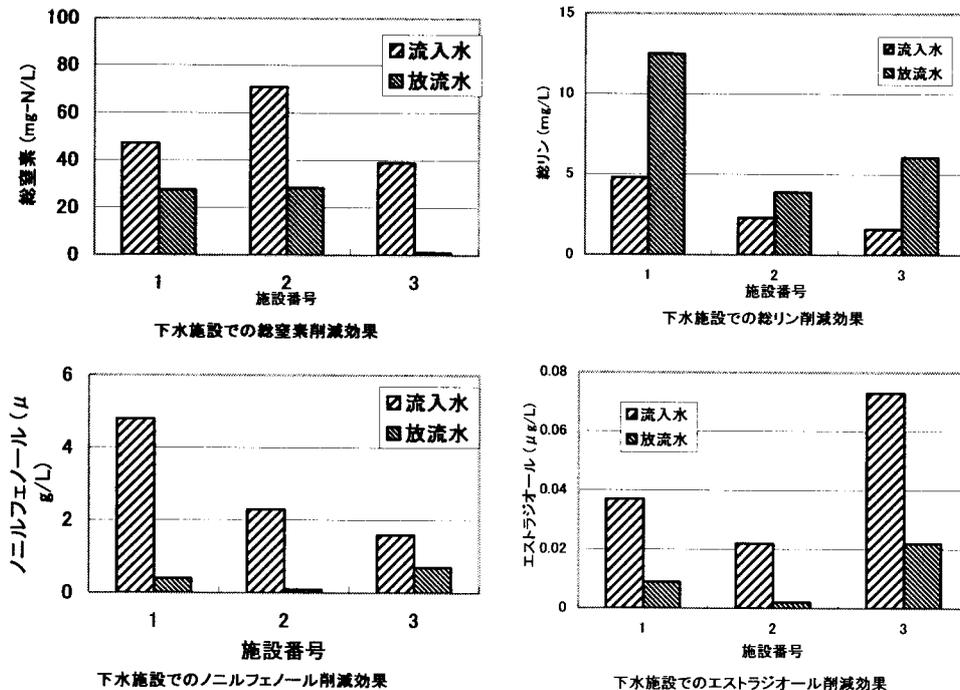


Fig. 5 下水処理に伴う総窒素、総リン、環境ホルモン類の濃度変化

染物質の多種多様化（内分泌攪乱化学物質、医薬関連物質、新規微生物等）によって、少なくとも局所的には、下水処理施設を経由した環境負荷が高まる傾向にある。

現在、大都市圏内を流れる河川では下水処理水の割合が高いことは良く知られている。しかし、処理施設によっては汚染物質の除去率に大きな差があり^{25, 26)}、除去されずに残った汚染物質が公共水域に負荷されている事を示唆する結果（Fig. 5）も得られている。従って、下水処理施設における水処理、特に化学物質の処理技術の改善（高度処理技術の導入を含む）および工程管理の早急な徹底が望まれる。加えて、下水を工業排水や農業排水等と共に処理し、都市内外で有効に再利用するシステムが構築できれば、河川や地下からの取水を減らし、自然の河川の水量を増やすことが可能になるため、特に、都市起源の汚染影響を低減する手段として有効であると考えられる。当該システムの早期構築、運用地域の拡大を図ることは、近い将来、河川水量の維持、河川流域や沿岸海域の生物システムの保全、海水資源の有効利活用を可能ならしめるために重要な一歩となるであろう。

（2）重金属の影響

カドミウム、水銀、鉛、砒素等の重金属は、鉱山廃水、工場排水、下水（処理水やスラッジを含む）、温泉排水等と共に河川に流入する事が多い。しかし、当該物質は、季節や天候（融雪や降雨時等）によって、廃石場や廃棄物集積所のみでなく、一般の農地や市街地からも、河川への一時的負荷が生じる場合もある。

近年、通常管理下における重金属類の環境への新たな負荷量は激減したが、現在でも、時折、管理体制の不備や故意の過失によって重金属類の河川への流入は続いている。加えて、温泉排水に由来する砒素の除去対策の遅れも危惧されていた。その結果として、一部の沿岸域においては、大型藻類や付着動物にヨーロッパの許容範囲を越える濃度のカドミウムや砒素が蓄積されていることが明らかになってきた。このことは海水中に当該重金属が停滞していることを暗示し、海水資源の有効利活用を考える場合、性質の類似した無機溶存元素やバイオマス資源の分離・回収、質・量の維持、利用時の安全確保等に、余分な技術とコストが掛かることを意味する。環境にやさしい水づくりを目指すと共に、当該無機元素の海域への流入を止め、効率良い回収を行うために、最後の受け皿である海域においてのみの回収・浄化処理を考えるのではなく、種々の移動過程における断続的かつ連携的な処理（一括処理ではなく、多段階連携処理）の早急な実施が望まれる。

（3）農薬の影響

現在の農業において、農薬を全く使わない無農薬栽培を行うことは極めて難しい。散布された農薬は、分解、蒸発や漏水等によって早晩その場から除かれることになるが、大気の流れに乗って徐々に、あるいは降雨時には農薬が洗い流されて大量に水路や河川に流れ込み、海域を汚染することになる。実際、沿岸海域の海水やそこに生息している生物体内からは各種農薬成分が検出され^{28, 29)}、その影響は楽観を許さないところまできている。

従って、今後、より一層の使用農薬量削減に向けた努力（減・無農薬栽培の推奨）、安全性の高い農薬（生物農薬等）への切り替え促進、農薬の適正管理・散布のための情報共有

や協調体制の構築等を強力に推し進めると共に、用水路の直線化やコンクリート張りの禁止による生物多様性の向上と自然浄化機能の回復や、河川水量の維持・減少対策についての早急な取組み、改善策の実施が必要である。

(4) 健全な水代謝システムの再構築

人間活動には水の動きがつきものである。人の集まる都市部では、水の使用量が多く、それに伴って水の一方的な移動（量的変化）および水質の変化（悪化）が生じる。すなわち、短い流程で見た場合、不可逆的に近い水代謝構造となっている。しかし、水の利用量が急増し、自然の水循環量によって規定される利用可能限界量まで近づきつつある今、河川水の量的不足や質的悪化、都市部を中心とした慢性的な水不足等、種々の問題が表出している。

海域への流入量の減少および水質の悪化（汚染負荷量の増大や適度な栄養供給の阻害）が海域における各種資源の有効利用を妨げる方向に働くことは、誰が見ても明らかである。それ故、河川流域各所での水の再利用率を高める（少なくとも下流部での水再利用率を上昇させる）ことによって、下流部での流量減少および水質の悪化を防ぐ方策を整え、早急に実施すべきである。そのためには、Fig. 6 に示すように、河川水の適正利用、河川水量の平滑化、双方向性の

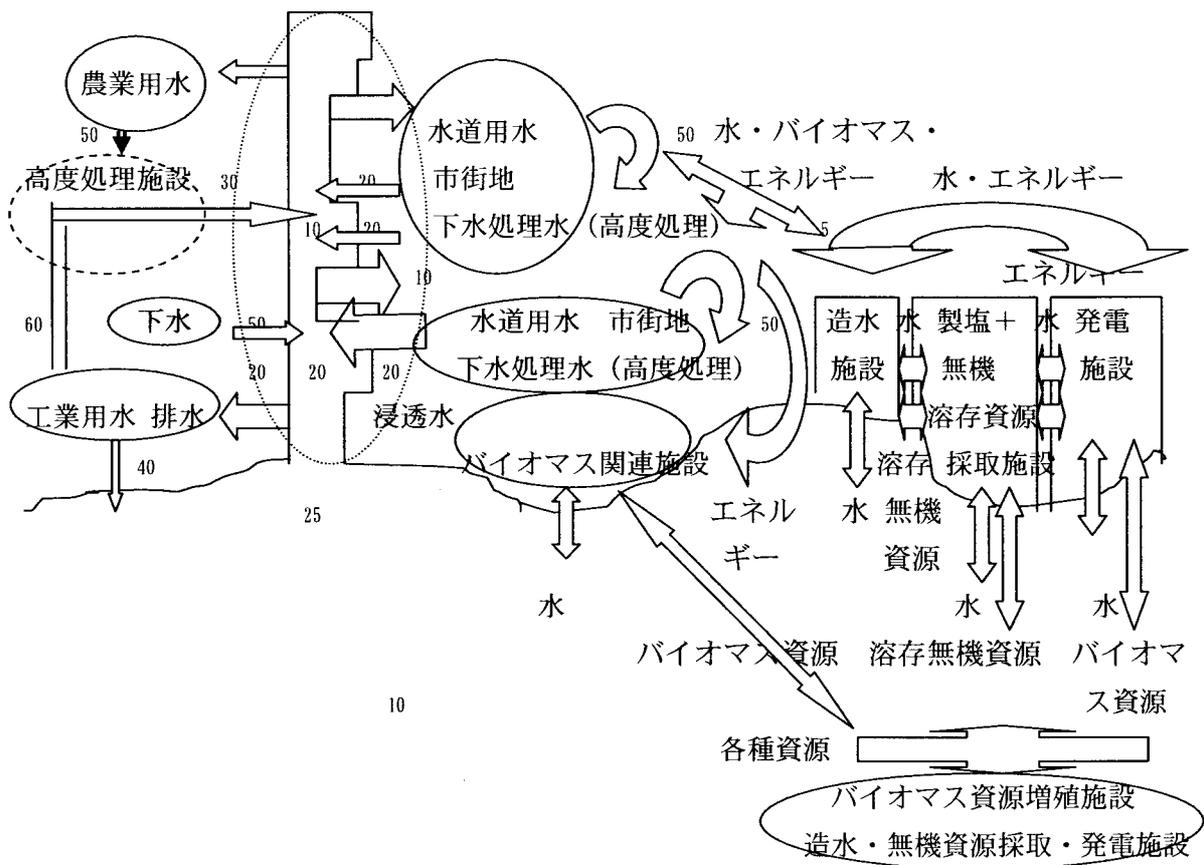


Fig. 6 沿岸海域および河川流域を中心とした水代謝システムの再構築例
(河川・矢印の幅は流量、図中の数字は汚れの程度を示す)

水代謝システムの再構築（利用水の高度処理後放流等）、無機溶存資源の回収や発電とカップリングさせた海水淡水化操作で得られた淡水や希薄塩水の河川への導水、河川の周辺や下層部に浸透・保持されている水や都市部に降る雨の浸透処理水の利活用等について検討し、可能なものから順次実施して行く必要がある。

ただし、それらの実施にあたっては、水の需要と供給のバランスを考慮すると共に、河川水の量と質を維持するに係わるコストの負担問題についても十分に検討し、管轄機関内のみでなく、広く地域住民、関係諸機関の同意を得ておく必要がある。

3. 沿岸・浅海域の有効利活用に適した環境づくり（海域への汚染負荷の削減）

近年、海域汚染の進行につれ、沿岸・浅海域の生物・非生物環境の悪化が懸念されている。これは、当該海域の有効利活用を意図している立場からすると、上記環境保全のための知見の集積や技術開発、新たな評価制度の導入、資源利用・採取の方法の修正や追加処理の実施、安全確保技術導入の必要性、およびそれらに伴うコストの上昇等の副次的要件が増えたことにほかならない。すなわち、海域の環境悪化は、その利活用の各過程において、副次的要件数を増大させ、乗り越えるべき障壁を高くするに等しい。

前述した如く、海域、特に沿岸海域への汚染負荷は河川を経由してもたらされることが多い。従って、河川への汚染負荷の軽減、および河川流量の減少による水中汚染物質濃度の上昇や河川の流下過程における環境浄化能の低下抑制を図る（不要物質は海域に至る前に出来るだけ除去する）と共に、陸域起源物質の供給維持等を考慮しつつ、河川における健全な水代謝システムの再構築を急ぐ必要がある。すなわち、海域環境を悪化させる要因を出来る限り排除し、沿岸・浅海域の有効利活用を推進するためには、海域関係者のみでなく、淡水域および陸域の環境、生物、農学関係者等が現在の守備枠を越えて協力し合い、海域への入り口に至る前に出来るだけ環境負荷を抑制・排除しておかなければならない。

以上の事から、「海水資源の有効利活用」を図る場合、それを単独で実施するのではなく、「人と水圏生物にやさしい環境づくり－自然共生型水域圏の概念－」の実現とカップリングさせて行う必要があると考える。そのためには、河川の流水量や河川由来の栄養塩の種類と量、水田の涵養機能の維持を図ると共に、流域からの汚染負荷を極力抑え、水の質や各所に生息する生物の量・質・移動・繋がり等（生態系）の保持に対してもこれまで以上の配慮をすべきであろう。加えて、当該概念を具現化するためには、以下の3面からの取り組みが必要であると考えます：(i) 河川水の量と質の確保に向けた新しい水処理および水利用技術の早急な開発・導入。(ii) 水際の環境保全策の立案・見直しの場面における適切な情報の開示と共有化、および適切な事業評価手法の導入。(iii) 異分野間の人、物、技術、金の交流・融合化推進。

4. 沿岸環境の浄化

上述の方法によって海域への新たな汚染負荷は抑制できたとしても、既に海域に存在し

ている汚染物質を人為的に除去しなければ、沿岸・浅海域の生物・非生物環境は回復しない、あるいはその有効利用時に幾多の問題が生じることは容易に予測できる。従って、一旦流出した汚染物質を回収、分解、変換、再利用する方法についても、様々な方面から研究・開発を進めておく必要がある。

この分野に関しては、既に多くの研究例が報告されているので、以下にその幾つかを紹介する。ただし、いずれの場合でも、長期的な機能維持（夾雑物質の存在、汚損生物の存在等）や海中での汚染物質除去効果（夾雑物質の存在、汚染物質濃度の低さ等が影響）、コスト低減技術等、様々な問題が残されており、今後のこれらに対する研究・改良・開発が待たれる。

- A. 無機イオン交換体・吸着体（複合材料化による多機能性付加無機体）を用いた各種無機元素の分離・吸着回収：リン酸イオン吸着剤としての高選択型 Mg-Al-Cl 型ハイドロタルサイトや Mg-Al 系複水酸化物の加熱処理体、硝酸イオン吸着剤としての Ni-Fe 層状複水酸化物を含め、ホウ素、ケイ素、ウラン、リチウム等、様々な無機イオン交換体の開発・研究が進められている。特に、リン酸や硝酸イオンのような栄養物質でもあり、汚染物質でもあるものについては、吸着・回収と資源としての再利用の融合化に向けた検討がなされている^{30, 31)}。
- B. 光分解：酸化チタン（チタニア）触媒による有機物分解を主な機能としたものは、建築物の外・内壁や空気清浄用フェルター、健康医療分野等へと、陸上においては既に広く用いられて始めている。但し、環境水の浄化においては、汚染物質濃度が低い（例えば ppb オーダー）ことにより、光触媒のみでは有効な反応速度が得られないため、反応触媒面に分解対象物質を吸着・濃縮する作用を有する粘土をかませることにより、イオン交換能を高めかつ疎水性の有機物を吸着し易くする（チタニア架橋粘土の利用）等の方策が考えられている³²⁾。また、流出原油の分解には浮遊性ビーズの表面に光触媒をコーティングした状態で使用することや、同触媒分子のサイズを小さくして表面積（活性部の面積）を増やすことで分解活性を高めること等が検討されている³³⁾。
- C. 超臨界水による分解：水を 374℃、220 気圧にすると超臨界状態になるが、この状態下では、液体時のサイズの分子が気体と同じように活発に運動できるため、分解しにくい物質分子間結合を切断したり、容易に自らの分子と置き換えさせたりすることができる。そのため、全ての有機物は全て分解が可能と言われている³⁴⁾。また、物質を良く溶かし込むで、反応場の供給に繋がる。閉鎖系での反応のため、環境改善への直接応用には難があるが、回収・濃縮された汚染物質の処理法として極めて有効である。
- D. マイクロ・ナノバブルオゾンによる分解：泡の直径を 50 μm 以下にすると、水中で縮小していき、ついには消滅する。これらの泡は自己加圧効果、帯電性、圧壊現象（超高压で超高温な領域を形成して、有機物を強力に分解可能）、長期間安定性等、通常の泡では見られない特異な現象を引き起こす。これにオゾンの強い酸化力を融合させ、マイクロあるいはナノバブルオゾンを発生させると、有機物分解能、ウイルスを含む微生物

殺菌能が飛躍的に高まる³⁵⁾ことから、酸素マイクロバブルに少し混入することにより、環境の汚染物質浄化や廃水処理、貧酸素状態の改善、安全性確保に極めて有用な技術として現在注目されている。但し、ナノバブルについては、バブル生成時のエネルギー効率の悪さに加え、その挙動に不明な部分も多く、環境浄化分野における実用化を促進すると共に、今後、基礎科学的な研究成果の集積・解析が待たれる。

- E. 微生物を用いた分解・回収：環境中には多種多様な機能を持つ微生物が存在し、微生物（微生物の機能）をそのまま、あるいは分解活性を高めた状態で環境修復・浄化に使用する試みがなされている。例えば、*Sphingomonas* 属細菌および当該微生物から単離された酵素による塩素系殺虫剤の分解、*Rhodococcus* 属細菌（アルカン類）や *Sphingomonas* 属細菌（多環芳香族炭化水素）等の石油分解菌による芳香族炭化水素化合物の分解、*Bacillus* 属細菌による重金属（Hg, Cd, Zn, Ag, Cu, Pb, Co, Ni 等）や As の回収、*Pseudoalteromonas* 属細菌による有機スズ化合物の分解の他、PCB 分解菌、ダイオキシン分解菌等が研究段階、あるいは環境汚染の処理に用いるための効果検証段階にある³⁶⁻⁴⁰⁾。但し、細菌の機能安定化や分解・回収効率の向上、副産物による環境影響、夾雑物質の存在下での機能低下等、種々の問題に関する検証・改良・対策が必要である。
- F. その他：強力 UV ライト照射による有機物分解、当該ライト照射と微生物の働きを組み合わせた PCB 分解（塩素置換数の多い PCB については、微生物の作用が弱いため、UV 照射により塩素をある程度外してから微生物を作用させる）等の方法⁴¹⁾も検討されている。

5. 沿岸・浅海域の有効利活用と沿岸海域の環境保全に向けたビジョン（今後の課題）

沿岸・浅海域を持続的に有効利活用していくためには、当該海域のみでなくそこと直接・間接的にかかわりを持つその生物・非生物環境を的確に評価し、環境、生態系、各種資源の保全に配慮した中での各種有用資源の採取および利活用の方法を考えなければならない。同時に、当該海域における直接的な汚染負荷の低減に努めると共に、陸域からの汚染物流入を可能な限り阻止する運動を強力かつ早急に推進しなければならない。また、陸域起源の淡水や栄養塩類の供給を復活させる努力を続けていく必要がある。一方で、一旦流出した汚染物を回収、分解、変換、再利用する方法についても検討・開発を進め、早急に実際の運用（導入）を図る必要がある。

そのためには、海水資源の利活用面のみに焦点を当てるのみでなく、「人と水圏生物にやさしい環境づくり－自然共生型水圏圏の概念－」という共通認識の浸透と実現を図ることにより、海を「海」単独としてみるのではなく、河川上流部から海域に至る広域的な水圏と捉え、その中で最適化された汚染負荷削減・環境管理策を練り上げ、適宜実施して行く必要がある。

以上のことをまとめると、次の5課題についての早急な取り組みと解決策の実施が臨まれる：① 海を単体とみるのではなく、陸域と密接な関係を持つ水圏と捉え、その中で最適

化された汚染負荷削減・環境管理策を実施する。② 河川水の量と質の確保に向けた新しい水処理および水利用技術の早急な開発・導入。③ 水際の環境保全策の立案・見直しの場面における適切な情報の開示と共有化、および適切な事業評価手法の導入。④ 水域に存在する汚染物の回収・分解・変換・再利用する方法に関する研究・開発の推進。特に、(リンや窒素に代表されるような) 回収物の再利用を念頭においた処理法の開発・実施。⑤ 異分野間の人、物、技術、金の交流・融合化推進。

<参考文献>

- 1) Wilber, “The biology aspects of water pollution”, Charles C Thomas Publisher (1969)
- 2) Report of ICES Advisory Committee on the Marine Environment (1997)、ICES Cooperative Research Report、No.222、2-20 (1997)
- 3) 角田、海水誌、57、430 (2003)
- 4) 松永、海水誌、58、355 (2004)
- 5) 角田ら、日本海水学会第50年会発表要旨集、41 (1999)
- 6) 角田、海水誌、55、322 (2001)
- 7) 角田、海水誌、56、432 (2002)
- 8) Kakuta、Environ.Toxicol.、17、1 (2002)
- 9) 角田、海水誌、50、349 (1996)
- 10) Kakutaら、Bull.Soc.Sea Water Sci.Jpn.、51、388 (1997)
- 11) Kakutaら、Int.J.PIXE、9、11 (1999)
- 12) 角田、日水誌、66、493 (2000)
- 13) 角田ら、海水誌、54、126 (2000)
- 14) 松永、海水誌、59、57 (2005)
- 15) 織田ら、ぶんせき、12、678 (2002)
- 16) 服部ら、空気清浄、38、328 (2001)
- 17) 角田、海水誌、54、180 (2000)
- 18) 角田、河川管理財団平成12年度報告書 (2000)
- 19) 角田、第9回世界湖沼会議要旨集、3B-P08、189 (2001)
- 20) 民谷、エンバイオ、1、21 (2001)
- 21) 内海、水環境学会誌、22、614 (1999)
- 22) 井上、水環境学会誌、26、131 (2003)
- 23) 通商産業省基礎産業局化学品安全課監修、“化審法の既存化学物質安全性点検データ集”、(社)日本化学物質安全・情報センター (1992)
- 24) 田中、水環境学会誌、22、629 (1999)

- 25) 角田、石巻専修大学研究紀要、11、13 (2000)
- 26) 国土交通省都市地域整備局下水道部、平成12年度 下水道における内分泌攪乱化学物質に関する調査報告書、1-66 (2001)
- 27) 齋藤ら、水環境学会誌、25、97 (2002)
- 28) 功刀ら、国立環境研究所 平成14年度研究報告書 (2005)
- 29) 田辺、水環境における内分泌攪乱物質 6. 海産哺乳動物、pp. 73、恒星社厚生閣 (2000)
- 30) 川本ら、水環境学会誌、22、875 (1999)
- 31) 本報告書付属資料 I-I. 海水中の溶存無機成分の有効利活用を目指した技術
- 32) 吉田、環境水中の環境ホルモンを対象とした光触媒分解システムに関する研究(その2)」、(財)日比科学技術振興財団 平成14年度研究報告書、177 (2005)
- 33) 藤島ら、光触媒のしくみ 7. 光触媒応用技術のこれか、pp. 159、日本実業出版社 (2002)
- 34) 山田ら、東芝レビュー、56、51 (2001)
- 35) 高橋、海水誌、59、17 (2005)
- 36) 深見ら、生物機能による環境修復 4. 微生物による漁場環境における環境修復、pp. 50、恒星社厚生 (1996)
- 37) 矢木、エンバイオ、1、8 (2001)
- 38) Duttaら、*Appl. Environ. Microbiol.*、67、1970 (2001)
- 39) Ioharaら、*Appl. Microbial. Biotechnol.*、56、736 (2001)
- 40) 永田ら、人に役立つ微生物のはなし 第二章 微生物による環境修復、環境浄、pp. 17、学会出版センター (2002)
- 41) 古川ら、化学と生物、38、390 (2000)

5-2. 沿岸域における水質環境シミュレーション

概要

沿岸域における水質環境の現状は、高度経済成長時の最悪の状態から比べると、負荷量および赤潮の発生量からもわかるようになりかなり改善されつつある。しかし、東京湾や瀬戸内海のような閉鎖性内湾域では毎年のように赤潮が発生し、貧酸素水塊の形成をされており、水質環境問題は依然として残っている。このような水質悪化の原因の一つとして、海域の環境に重要な生物の生息地としての干潟や浅場の喪失がある。

このような水質環境の予測、生物資源量の予測手法として、生態系モデル（物質循環モデル）がある。ここでは、生態系モデルの概略の流れ、およびその物質循環の流れについて簡単に記述した。

1. 海域環境の現状

海域環境の現状は、負荷量の削減により水質は若干改善されてはいるが、まだ汚染されている状況である。図-1は、瀬戸内海におけるCODの負荷量の推移を示したものである¹⁾。1970年代（昭和45年）の高度経済成長期に比べると負荷量は半分程度に減少している。

図-2は、瀬戸内海における赤潮発生件数の推移である²⁾。負荷量の推移と同様に1970年代に比べれば減少しているが、毎年100件以上の赤潮が発生しており、まだ水質が改善されたとは言い難い現状である。この原因は、たしかにCODの汚染負荷量は削減されているが、植物プランクトンの餌となる窒素・リン等の栄養塩の負荷量が、リンは若干の負荷量の削減は見られるが、窒素はほとんど減少していないことに起因する。また、夏期における躍層の形成および貧酸素水塊の形成も、底泥からの栄養塩の溶出という内部負荷の原因となり、また青潮という貧酸素水塊の湧昇による水産業への被害を与える現象の原因であり、毎年のようにみられる水質環境問題である。

2. 海域環境評価における生物生息条件の重要性

海域の水質環境基準として、COD（化学的酸素要求量）やDO（溶存酸素）が用いられている。しかし最近では、海域環境の評価として、その海域に生息する動植物の生息環境をもって評価する傾向にある。望ましい海域環境とは、種々の生き物が生息可能な環境にあるといえる。その意味から、海生生物の生息環境としての干潟や浅場、磯場の存在が重要視されている。

従来の海域利用としては、経済の発展に伴う埋立地の造成や港湾の開発等が内湾域で数多くなされてきた。埋立地の造成において、経済的な理由から干潟や浅場の海域に埋立地が造成され、全国的に干潟や浅場が喪失してきた。図-3は、明治維新以降の東京湾における埋立地の歴史を示したものである³⁾。このような沿岸域開発により、東京湾の干潟面

積は明治時代後期には 136 km² 存在したのに対し現在は僅か 10 km² しか存在しない。このような干潟域や浅海域の減少は海生生物の生息場所の喪失となり、海域環境が大きく損なわれた原因の一つになっていると考えられている。

3. 海域環境の数値シミュレーション

沿岸域の水質環境を予測する場合は、数値モデルによる数値シミュレーションの手法が一般的に用いられている。海域の環境、特に海水資源に関する予測を行う場合には、物理的特性、科学的特性、および生物学的特性を考慮した数値モデルが必要となる。

海域の環境および海域の資源量を予測する手法として、現在最も一般的に用いられている数値モデルは、生態系モデルであると思われる。生態系モデルは、まず物理的な要因としての海水の流れを予測する流動モデルと、その流動によって輸送・拡散されながら、生物的・化学的反応を考慮した生物量（あるいは植物プランクトン量、またはクロロフィル量）の生産・死滅を考慮した移流・拡散・生物反応式からなる物質循環モデルから構成される。その概観図を図-4に示す。

上に述べた数値モデルの支配方程式は、流れに関する Navier-Stokes の方程式、連続式、密度の状態方程式である。海水の密度を支配する要因として、海水の塩分と水温があるので、熱収支式（熱の拡散方程式）、および塩分収支式（塩分の拡散方程式）が必要となる。これらの支配方程式を連立させて解くことによって、海水の流れ、および水平・鉛直混合の大きさ等を求めることが出来る。

物質循環に関する数値モデルは、環境を支配する因子が上記の流動モデルによって輸送および拡散されながら、因子間の反応を考慮した物質保存式によって表すことが出来る。現在、最も一般的に用いられているのが生態系モデルである⁴⁾。その概観図を図-5に示す。

(植物プランクトン)

$$\frac{dP}{dt} = B_1(\text{生産}) - B_3(\text{分泌}) - B_5(\text{呼吸}) - B_4(\text{摂餌}) - B_6(\text{枯死}) - B_7(\text{沈降})$$

(動物プランクトン)

$$\frac{dZ}{dt} = B_4(\text{摂餌}) + B_8(\text{懸濁有機物摂餌}) - B_9(\text{排糞}) - B_{10}(\text{排泄}) - B_{11}(\text{死亡}) - B_{22}(\text{補食})$$

(懸濁態有機物)

$$\frac{dPOC}{dt} = B_6 + B_{11} + B_9 - B_8 - B_{13}(\text{分解}) - B_{14}(\text{分解余剰物の生成}) - B_{15}(\text{沈降}) + q_{POC}(\text{負荷})$$

(溶存有機物)

$$\frac{dDOC}{dt} = B_3 + B_{14} - B_{16}(\text{溶存有機物の無機化}) + q_{DOC}(\text{負荷})$$

(リン酸態リン)

$$\frac{dPO_4}{dt} = -B_2 + B_5 + B_{10} + B_{12} + B_{16} + B_4 + B_{22} + B_6 + B_{28} \text{ (底泥からの溶出)} + q_{PO_4} \text{ (負荷)}$$

(無機態窒素)

$$\frac{dNH_4}{dt} = -B_{2,NH_4} + B_6 + B_{10} + B_{12} + B_{16} + B_4 + B_{21} + B_6 - B_{17} \text{ (アンモニアから亜硝酸)} \\ + B_{20} \text{ (硝酸還元課程)} + B_{29} \text{ (底泥からの溶出)} + q_{NH_4} \text{ (負荷)}$$

これらの方程式群中に、考慮したい海洋資源の物質循環式を加えれば、求めたい物質の増減や資源量を算定することは可能である。ただし、支配方程式が多くの要因の影響を受け、その各々が複雑に関連しあっているため、正確な予測には多くの困難が伴う。現時点では、これらのモデルの適用は、ある条件下での限られた現象の把握には多くの力を発揮するが、その生態系全体の把握に関してはまだ課題も多く、今後の研究成果に多くを期待する段階である。

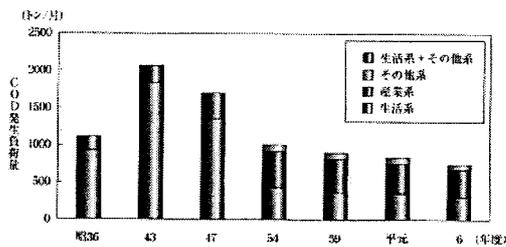


図-1 瀬戸内海の負荷量の変遷

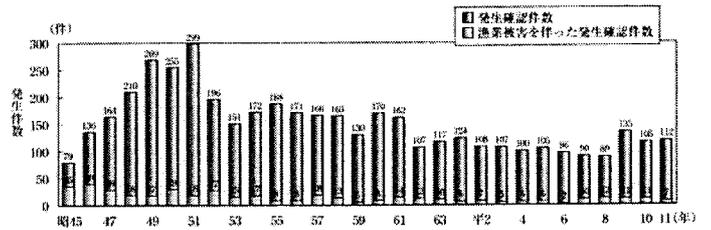


図-2 瀬戸内海の赤潮発生頻度の変遷

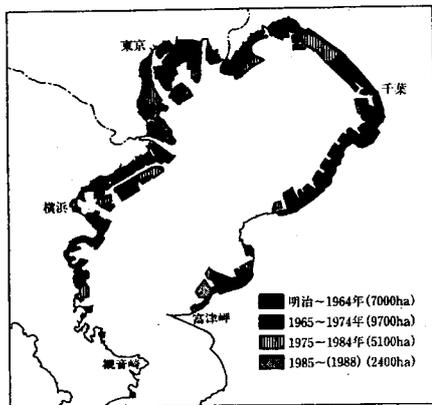


図-3 東京湾の埋立の歴史

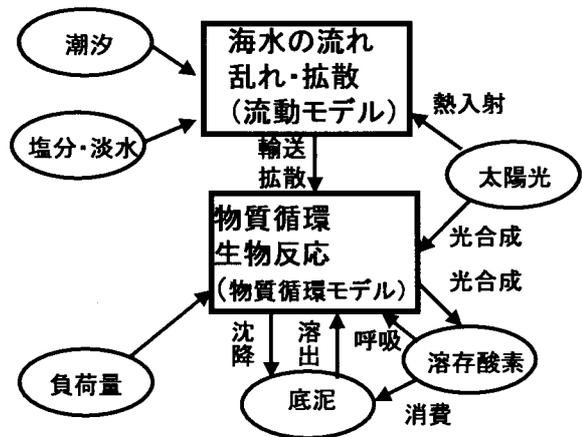


図-4 生態系モデルの全体的な流れ

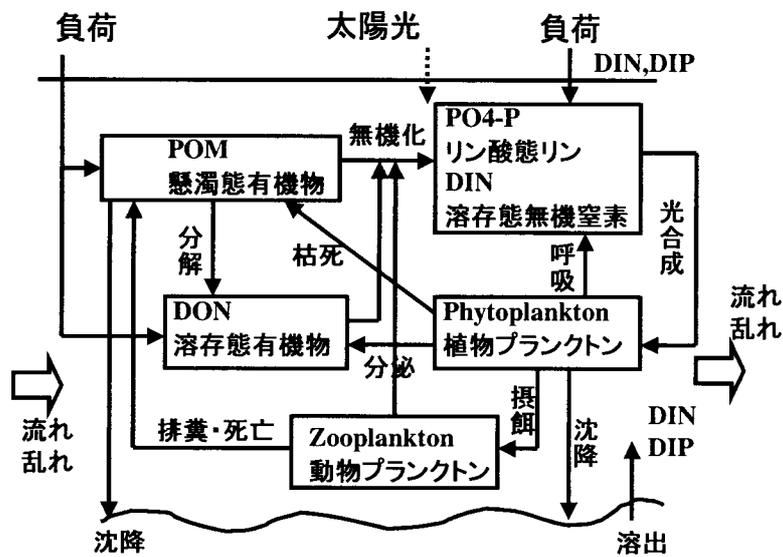


図-5 物質循環モデル (生態系モデル)

<参考文献>

- 1) 環境庁：発生負荷量算定調査報告書
- 2) 水産庁瀬戸内海漁業調整事務所：瀬戸内海の赤潮
- 3) 小倉紀雄編(1993)：東京湾-100年の環境変遷-、恒星社厚生閣、p。26.
- 4) 横山長之編(1993)：海洋環境シミュレーション、白亜書房、201p.

6. 沿岸・浅海域の資源の有効利活用に関する諸機関の取組みの現状と問題点

概要

沿岸・浅海域の有効利活用に関する諸機関の取組みの現状について調査し、省庁で公表された水に関する資料、平成 16 年度海洋科学技術関連経費予算案、各機関の当該海域の有効利活用に関する取組み、今後の問題点について示した。今後は、沿岸・浅海域の持続的・調和的な有効利活用に向けた取組みを進展させると共に、安全・安心な品質の各種海域由来資源を消費者に提供するために、海の環境を含めた情報の整理・集積化のシステム構築をはかることが必要である。すなわち、

- 1) 沿岸・浅海域における資源の採取・変換・利用、付属技術（前処置、汚染対策を含む）、関連情報の整理・集積化システム構築等にかかわる種々の成果を統合し、最適化を図る。
- 2) 沿岸・浅海域の資源のみに目を向けるのではなく、沿岸・浅海域の生物・非生物環境に係る情報を広く収集・解析し、その利用・汎用化を図る。
- 3) 特定の省庁・部局を想定し、そこを核とした組織体制を整備した上で、関連省庁間の連携のもとに適切かつ効率的に事業を進める。

1. はじめに

21 世紀は、「水の世紀」といわれ、地球規模で「水」問題が注目されている。国連は 2003 年を国際淡水年とし、2003 年 3 月に京都で第 3 回世界水フォーラムが開催された。水問題を解決するための具体的な行動を焦点に、2 万 4 千人（海外から 6 千人）が参加した。2003 年 6 月にフランス・エビアンで開催された主要国首脳会議 (G8) では、「水に関する行動計画」が初めて発表された。2004 年 4 月の国連の「持続可能な開発委員会第 12 期 (CSD12)」では、「水」が集中テーマとして取り上げられ、7 月には「国連水と衛生に関する諮問委員会」の第一回会合が開催された。

世界保健機構 (WHO) と国連児童基金 (UNICEF) によると、2000 年現在、世界の 11 億人が安全な水が利用できない状態にある。我国は、上水道が普及し水道の水をそのまま飲める世界の中でも数少ない国だが、海外には乳児死亡率を減少させ、命と健康を守るために水道施設の整備を必要とする人々が多く存在し、国際社会の支援が求められている。今後、アジア、アフリカの発展途上国では人口急増のための食料増産や経済成長に伴う水不足、洪水被害の増大、水処理施設の不足による水質汚濁などが懸念される。我国は、今までに蓄積した水や食料の不足問題の解決、洪水災害防止技術の開発や制度の整備などの経験を、今後開発途上国の水問題の解決のために生かすことが必要である。

一方、我国においても世界の水問題は決して他人事ではないという認識が広まり、マスコミで水問題がしばしば取り上げられた。近年の少雨化傾向により河川の流動状態が変化し、ダム等の水資源開発施設が計画された時点の供給可能量と比べて、渇水年における供給可能量が低下している。このため、渇水時でも水利用の安定性を確保していくことが重要な課題となる。

逆浸透膜を用いた海水の淡水化法により、沖縄では4万トン、福岡では5万トンのプラントで水道水が造られている。

2. 省庁で公表された水に関する資料¹⁾

最近の水に関する資料としては以下のものがある。

平成16年8月1日：「平成16年度版日本の水資源（水資源白書）」が公表された。本白書は、国土交通省土地・水資源局水資源部が関係機関の調査結果をもとに我国の水需給や水資源開発の現況、今後早急に対応すべき水資源に関わる課題について総合的に取りまとめたものである。

平成15年10月16日：「健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議」は、水循環の健全化に向けてどのような目標やプロセスで実際に取り組むかについて、地域が主体的・自立的に考え、具体的な施策を導き出すための基本的な方向や方策のあり方を提示した『健全な水循環系構築のための計画づくりに向けて』を取りまとめ、その概要を公表した。

3. 平成16年度海洋科学技術関連経費予算案²⁾

平成16年度海洋科学技術関連経費予算案合計は877億2千万円で、各省庁の予算案とその使用目的は以下の通りである。

省 庁 名	平成16年度予算案（億円）	使用目的
文部科学省	431.35	深海地球ドリリング計画の推進、地球観測フロンティア研究システム（ARGO計画を含む）、地球フロンティア研究システム、固体地球統合フロンティア研究システム、極限環境生物フロンティア研究システム、地球シミュレータ計画推進、大陸棚画定調査への協力、政府間海洋学委員会（UNESCO/IOC）等
農林水産省	89.09	水産資源の調査・開発・管理、漁具・漁法技術開発、海洋環境保全対策、海洋空間利用調査、海洋資源利用技術開発
経済産業省	141.00	深海底鉱物資源開発調査、国内石油天然ガス基礎調査、メタンハイドレート開発、大水深域における石油資源等基礎調査等
国土交通省	204.99	海洋・沿岸域に係る計画策定等、沿岸海域基礎調査、海洋測地基準点測量、国際超長基線測量、事業調査（海岸事業調査、港湾、空港、下水道）、水路業務運営経費、海洋に関する気象業務経費、

		IT を活用した次世代海上交通システム、 次世代内航船の研究開発、 FRP 廃船リサイクルシステムの構築、 船舶からの環境負荷低減のための総合対策、 東南海・南海地震災害対策の強化 等
環境省	10.76	地球環境保全等試験研究費、水質汚濁防止対策、 公害防止調査研究、自然環境保全対策 等

4. 各機関の沿岸・浅海域の資源に関する取り組み

沿岸・浅海域の資源の有効利活用に関する諸機関の取り組みの現状を示す。

(1) (財) 造水促進センター³⁾

(ア) 海水淡水化普及導入調査（平成 14 年度～16 年度、経済産業省委託）

河川等の安定水源が得難い、渇水発生頻度が高い地域において、安定水源や補完的水源の確保対策として、大都市でも大規模海水淡水化施設の導入が始まっている。一方、世界の海水淡水化市場では、建設費・運転費ともにコスト低減化が急速に進んでおり、我国における淡水化コストとの格差が大きくなってきている。本調査では、「海水淡水化技術開発等調査」において実施してきた調査研究の成果を基に、低コスト型逆浸透法海水淡水化施設の普及導入促進を図ることを目的とし、現状の海水淡水化の経済性とコスト低減化の課題を明らかにする。また、実用施設導入を想定したケーススタディーを行い、地域特性に即した低コスト型海水淡水化施設導入計画調査を実施し、コスト試算、導入の可能性および課題について検討する。平成 16 年度の調査内容は次の通りである。

- 1) 海水淡水化コスト試算：海水淡水化施設の立地点を想定し、高効率海水淡水化導入のモデルケースを設定し、その経済性を検討する。
- 2) 海水淡水化における民営化の可能性調査：海水淡水化の民営化を想定し、組織・体制と運営に関する課題および海水淡水化コスト低減化の課題を明らかにする。
- 3) 低コスト海水淡水化システムの普及促進：低コストの高効率海水淡水化システムの普及導入を促進する広報活動を行う。

(イ) 閉鎖性海域における汚染海水対応型海水淡水化システム開発（平成 14 年度～16 年度、日本自転車振興会補助）

海水淡水化は、水源に余裕のない大都市で導入が本格化しつつある。また、都市周辺地域では渇水や緊急災害が頻発する危険があり、海水淡水化による緊急用の水供給設備の需要が高まっている。しかし、大都市臨海部の閉鎖的な内海や湾内は、都市排水等の流入による汚濁や富栄養化が恒常化しており、これまでの海水淡水化システムでは対応が困難な状況であることから、汚染海水に対応可能な海水淡水化装置が求められている。

本技術開発は、膜ろ過式前処理および逆浸透膜淡水化プロセスにおいて膜の物理化学的洗浄および殺菌処理の改善を行い、閉鎖性海域に適用可能な汚染海水対応型逆浸透海水淡水化

システムの開発を目的としており、以下について実証試験を行う。

- 1) 逆浸透膜の機能を阻害する海水の汚れ付着防止および除去するのに適する膜ろ過式前処理システムの開発
- 2) ろ過膜および逆浸透膜の有機汚染・微生物繁殖汚染（バイオフィウリング）防止システムの開発
- 3) 膜汚染の主要因となるバイオフィウリングを抑制する殺菌システムの開発

平成 16 年度は、春季から夏季までの水温上昇時期を中心に実験装置の長期連続運転を行い、以下の点を明らかにし、実用システムの設計・運転のための基礎データを集積する。

- 1) 原海水および前処理海水の水質経年変化を明らかにする。
- 2) ろ過膜式前処理装置および逆浸透膜装置の性能評価を行う。
- 3) 逆浸透膜の間欠的殺菌処理によるバイオフィウリング防止効果を確認する。

(ウ) 国際技術協力・交流事業

我国で研究開発された水再生利用、淡水化、工業用水使用合理化に係る造水技術の成果を海外に移転普及するための研究協力・技術協力及び国際交流事業を次のとおり実施する。

①産油国石油精製用海水淡水化研究協力（平成 13 年度～16 年度、（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 助成）

アラビア湾の入口に位置するオマーン国は、湾岸諸国の石油輸送による頻繁なタンカーの往来に伴い、沿岸海水の汚染が進み、油流出の危険も高い状況にある。このため、逆浸透法海水淡水化システムの導入にあたっては、汚染海水の浄化技術の導入が必要である。本研究協力事業は、逆浸透法海水淡水化技術の実用化・普及促進を図るため、最近、我国で開発された油分除去に対応した膜ろ過式前処理装置と高効率逆浸透海水淡水化装置を組み合わせた、最新の海水淡水化システムの実証プラントを同国に建設し、約 3 年間にわたる長期連続運転を行い、オマーン国沿岸の海水性状に対応した最適運転条件を研究し、同国での適応性を実証し、併せて、運転研究を通して同国の技術者を育成することを目的としている。

平成 16 年度は本事業の最終年度で、下記を実施する。

- 1) 実証プラントの長期連続運転を実施し、その運転データの解析を行い、静的運転条件を明らかにする。
- 2) 以上の結果に基づいて実証プラントシステムの性能評価、経済性評価を実施し、実プラントの設計、運転のための基礎資料を集積する。
- 3) 油分除去装置の性能解析を行い、設計資料を集積する。
- 4) 以上の運転結果を基にして運転マニュアルを作成する。
- 5) 当該技術の普及促進を目的として、オマーン人技術者の日本における研修を実施する。
- 6) 現地の海水淡水化関係機関の関係者による日本・オマーン合同委員会における成果報告ならびに普及促進を図る。

②産油国向けハイブリッド方式海水淡水化研究協力（平成 15 年度～18 年度、経済産業省助成）

発電・蒸発法海水淡水化二重目的プラントは、一般に電力需要が減る冬季に、発電設備の負荷が大幅に低下して余剰となり不経済である。ハイブリッド方式海水淡水化システムは、主に蒸気を使う蒸発法と、電力を使う逆浸透法との二種類の海水淡水化システムを組み合わせ、電力と水の需要に合わせて最適な経済性とシステム効率を設定できるシステムを構築することができる。しかし、このシステムを構成する逆浸透法海水淡水化システムについては、アラビア湾岸諸国における安定運転の実績が少なく、これらの国で十分な信頼が得られていない。本研究協力事業では、経済性に優れるハイブリッド方式海水淡水化システムの導入を促進し、湾岸諸国において今後需要の急増が予測される海水淡水化について、生産水総合コストの引き下げを図り、水需要の安定的な確保に寄与することを目的とする。このため、本事業は、湾岸諸国のうち、逆浸透法海水淡水化技術の導入が遅れているカタール国で実施することとし、下記の事業を実施する。

- 1) 我国の最新の技術による逆浸透法海水淡水化実証試験プラントを建設し、連続運転により逆浸透法海水淡水化システムの安定性を実証する。
- 2) 実証プラントによる運転研究を通じて、最新の海水淡水化技術を移転し、今後急増する淡水化計画の円滑な推進に対応できる体制の強化へ貢献する。

平成 16 年度は、下記を実施する。

- 1) 前処理装置を現地に据付・試運転調整を行った後、連続運転を実施する
- 2) 逆浸透膜 (RO) 装置の設計製作および輸送据付を行い、試運転調整を実施する。
- 3) 前処理装置と RO 装置を組み合わせたシステムの長期連続運転を開始する。
- 4) 海水性状を把握し、最適運転条件を検討する
- 5) ハイブリッド方式海水淡水化システムの普及促進を目的として、カタール技術者の日本での研修を実施する。
- 6) カタール国における関係者・有識者委員会を組織し、技術移転、普及を図る。

(2) (独) 産業技術総合研究所⁴⁾

平成 10 から 14 年度に海洋資源の総合的利用技術の開発に関する研究としてリチウム等海水溶存資源採取用高度分離吸着剤開発、海底メタンハイドレート利用のための高性能メタン吸蔵体開発およびキチン・キトサン等海洋生物資源の生産と工業的利用研究を行っている。

海洋資源環境研究部門では海水リチウム採取実用化技術、海水からの超高純度食塩の製造とその応用、短パルスレーザーによる海洋生物付着防止技術の開発（フジツボ幼生への効果）などの研究が行われている。

(3) 水産庁⁵⁾

平成 12 年水産庁の下に水産深層水協議会が設置され、水産分野における海洋深層水の利活用を推進するため、海洋深層水に関する調査研究、事業に関する検討及び関係者相互の情報交換を図っている。

平成 14 年 2 月政府は「バイオマス・ニッポン総合戦略」を閣議決定し、バイオマスの利活用に関する取り組みを進めている。水産分野では、養殖などで排出される大量のホタテガイやカ

キの貝殻を漁礁や排水処理に有効利用するなどの取り組みをしている。また、カニ・エビの殻に含まれるキチン・キトサンを活用し、健康食品、人工皮膚、土壌改良材などに加工し、有効利用している。

コンブ、ホンダワラ、カジメなどの藻類が消失する「磯焼け」が全国に広がっている問題の解決を目指す「磯焼け」対策会議で、各地で実施している対策の再検討や人工的に藻類を育てる実験を行い、平成 18 年度までに有効な改善策をまとめる。

(4) 塩事業センター海水総合研究所⁶⁾

塩事業センター技術部門の中核として、製塩技術開発、塩の商品化技術開発、塩の品質検査技術に関する研究に取り組んでいる。主な研究テーマは以下の通りである。

1) 製塩技術開発に関する研究

①海水前処理技術

- (i) 砂ろ過装置の改善
- (ii) 高速ろ過装置の開発
- (iii) ろ過水質評価法

②イオン交換膜濃縮技術

- (i) 高強度陰イオン交換膜の開発
- (ii) 臭化物イオン低減の可能性
- (iii) 透析電力原単位低減の可能性
- (iv) 微量金属イオン透過性の検討

③晶析技術

- (i) 臭化物、カリウムイオン低減技術
- (ii) 高効率化、高品質化の可能性
- (iii) 粒径動的制御技術

④腐食・防食技術

- (i) 腐食モニタリング法
- (ii) 外部電源法による腐食抑制法
- (iii) 計測技術

2) 塩の商品化技術

①塩の物性に関する研究

②塩の組成に関する研究

3) 塩の品質検査技術：無機分析技術の開発

- (i) キレートディスク濃縮法
- (ii) 食用塩中の微量金属元素量

4) 塩の安全性と海水環境技術

(5) ソルト・サイエンス研究財団⁷⁾

ソルト・サイエンス研究財団のプロジェクト研究として平成 15 年度より製塩プロセスでの蒸

発晶析工程の高効率化、高品質化について研究を進めている。本財団は「月刊ソルト・サイエンス情報」を発行し、塩に関する国内ニュース、海外ニュース、米国塩生産業界レポート、研究情報、特許紹介を掲載している。

(6) 環境省⁸⁾

平成 17 年度環境省予算施策の成果目標では、閉鎖性水域における水環境の保全を取り上げ、第 5 次数量規制の着実な実施により、東京湾、伊勢湾、瀬戸内海において、平成 16 年度を目標年度として 1.061t/日 (COD)、950t/日 (窒素) および 71.3t/日 (磷) を目標に、汚染負荷の削減を図る。瀬戸内海において水質環境基準を確保し、埋立及び赤潮の発生を抑制する。有明海及び八代海の海域の環境基準を確保し、当該海域環境の保全及び改善等を図る。指定湖沼流域における湖沼水質保全計画のより効果的な実施により、湖沼水質を改善し環境基準の達成を図る、とされている。

東京海洋大学 (岡本峰雄助教授) と九州大学 (野島哲助教授) の研究チームはサンゴを卵から育てる人工増殖法を世界で始めて開発した。直径約 7cm のセラミックス製着床具にサンゴの卵を定着させ、小さなサンゴになるまで育てる。2 年後には大きさが約 2cm の稚サンゴに成長した。環境省はこの手法を活用して沖縄県八重山列島近海のサンゴ礁を再生する。(2004 年 5 月、朝日新聞)

(7) (独) 海洋研究開発機構 (JAMSTEC)⁹⁾

平成 16 年に海洋技術センターが東大海洋研究所の研究船並びにその運航組織と統合して設立されたもので、文部科学省の傘下にある。平成 15 年から 3 年計画で長崎県と共同で大村湾などの閉鎖性内湾の生物による持続的浄化実験とカキの養殖を行うなど、海洋に関する基盤的研究開発を進めている。

(8) その他

新聞などでは以下のテーマも報道されていた。

①バイオマス資源の回収・利用技術としては、海の植物プランクトンの増殖による CO₂ の吸収を目的として、2002 年日加の合同チームが鉄をプランクトンの栄養分として添加する実験を行う。(2004 年 2 月、日本経済新聞)

②佐賀大学海洋エネルギー研究センター：エネルギー資源の開発・利用技術として、海面と海面下 1000m の 20~25℃ の温度差を利用した海洋温度差発電について、佐賀大学海洋エネルギー研究センターの上原春男教授が 1973 年開発に着手、1994 年ウエハラサイクルを確立。熱媒体にアンモニアと水の混合物を使う。2002 年に 21 世紀 COE プログラムに選ばれ、2003 年に実験拠点の伊万里サテライトが完成し、30kW の発電装置を使って実証実験を行う。海水淡水化装置との併用も検討している。(2004 年 7 月、朝日新聞)

5. 今後の問題点

今後、安全・安心な品質の海水資源を消費者に提供するために、海の世界を含めた情報の整理・集積化のシステム構築をはかり、成果を統合し、最適化を図ることが必要である。

<参考文献>

- 1) 資源エネルギー推進課関連ニュース (<http://www.pref.kochi.jp/sigen/news/>) (2004)
- 2) 平成 16 年度 2 月海洋開発関係省庁連絡会議資料 (2004)
- 3) (財) 造水促進センター平成 16 年度事業計画および収支予算 (2004)
- 4) (独) 産業技術総合研究所ホームページ (<http://www.aist.go.jp>) (2004)
- 5) 水産庁ホームページ (<http://www.jfa.maff.go.jp>) (2004)
- 6) (財) 塩事業センター公開講演会講演要旨集 (2005)
- 7) ソルト・サイエンス研究財団事業報告(平成 15 年度) (2004)
- 8) 環境省ホームページ (<http://www.env.go.jp>) (2005)
- 9) (独) 海洋研究開発機構ホームページ (<http://www.jamstec.go.jp>) (2005)