

SALT&SEAWATER SCIENCE SEMINAR 2007

財団法人塩事業センター 海水総合研究所主催

日本の塩づくりを支え、未来を築く海水総合研究所

Program

- 1 講演1
「わが国における塩づくりの歴史と
海水総合研究所が果たしてきた役割」
泷脇 哲司 農学修士 研究員
Tetsushi Fuchiwaki
- 2 講演2
「わが国の塩づくりを支え、未来を築くために」
吉川 直人 工学博士 主任研究員 研究チームリーダー
Naohito Yoshikawa
- 3 講演3
「塩とともに豊かな食生活を育むために」
眞壁 優美 理学修士 研究員
Yumi Makabe
- 4 講演4
「安全・安心をより確かなものに」
野田 寧 工学修士 主任研究員 研究チームリーダー
Yasushi Noda
- 5 講演5
「豊かな海を守り、恵みを得るために」
長谷川 正巳 工学博士 所長
Masami Hasegawa
- 6 ポスターセッション

11月20日(TUE)13:00~17:00(12:00開場)

協賛団体

(社)化学工学会、(社)日本粉体工業技術協会、分離技術会、(社)腐食防食協会、
日本調理科学会、(社)日本分析化学会、日本海水学会、(財)ソルト・サイエンス
研究財団 ※順不同

— 講演会 スケジュール —

2007年11月20日(火) (受付 12:00～)

13:00 開会

13:00～13:10

開会挨拶 財団法人塩事業センター 理事長

今井 正

13:10～16:30

講演

司会 鍵和田賢一

ページ

講演 1

「わが国における塩づくりの歴史と海水総合研究所が果たしてきた役割」…………… 1

農学修士 研究員

澗脇哲司

司会 党 弘之

講演 2

「わが国の塩づくりを支え、未来を築くために」…………… 8

工学博士 主任研究員 研究チームリーダー

吉川直人

司会 谷井潤郎

講演 3

「塩とともに豊かな食生活を育むために」…………… 19

理学修士 研究員

眞壁優美

————— 休憩 —————

司会 新野 靖

講演 4

「安全・安心をより確かなものに」…………… 27

工学修士 主任研究員 研究チームリーダー

野田 寧

司会 村上丈二

講演 5

「豊かな海を守り、恵みを得るために」…………… 36

工学博士 所長

長谷川正巳

閉会挨拶 所長

長谷川正巳

16:30～17:00

「ポスターセッション」

17:00 閉会

わが国における塩づくりの歴史と海水総合研究所が果たしてきた役割

海水総合研究所 瀧脇 哲司

1. はじめに

塩資源が乏しく、高湿多雨なため海水を天日で蒸発させて塩をつくることができないわが国では、先人たちがさまざまな工夫と技術革新を積み重ね、今日の塩づくりを築き上げた。

本講演では、先人たちのたゆみない努力により築いてきた日本の塩づくりの歴史を、世界の塩づくりとも比較しながら紹介するとともに、その中で海水総合研究所が担ってきた役割について紹介する。

2. 海外における塩づくり

世界では年間約 2.4 億トンの塩がつくられている (U.S. geological survey 2007)。この内、岩塩(地下かん水を含む)が 65%、天日塩が 34%を占める。図 1 に岩塩鉱、図 2 に天日塩の採取風景を示すが、岩塩を採取することを現地では Mining(採鉱)、天日塩を採取することを Harvest(刈り取り)と呼び、鉱業や農業として扱われる。このように、海外では豊富な地下資源あるいは地形・気候を利用した塩づくりが行われている。



図 1 岩塩鉱の塩採取風景



図 2 天日塩田の塩採取風景

それでは、日本はどうかというと、海水を原料に大部分の塩がイオン交換膜法によってつくられるが、年間120万トン(2007財務省)と、世界における総生産量の1%にも満たない。その意味では、わが国の塩づくりは世界的に見ても稀有な技術であり、これまで幾多の苦労の上に成り立ってきたかが、うかがい知れるのではないだろうか。

3. わが国の塩づくりの歴史

わが国では、前述したように高湿多雨な気象条件のため、海水から直接塩をつくること
ができない。そこで、古来より「海水を一旦濃縮して濃い塩水(かん水)を採り」、「このか
ん水を煮詰めて塩をつくる」という、「採かん」と「晶析」の2つの工程の組み合わせによ
り塩づくりが行われてきた。

一方、塩が生命維持活動に必須な物質であることから、19世紀末には、国策として塩づ
くりの近代化に対する取り組みが行われるようになり、それは現在も引き継がれている。
ここでは、わが国における塩づくりの歴史と、それに合わせて取り組んできた研究開発の
概要を述べることにする。

3.1 塩づくりの近代化への取り組み

表1に、19世紀末までの塩づくりの歴
史を示す。日本最古の塩づくりは、海水
に浸してから干した海藻を焼いて灰塩
(はいじお)をつくる藻塩焼き(もしおや
き)と呼ばれるものとされている。

6~7世紀になると干した海藻に海水
を注いでかん水を採り、製塩土器でかん
水を煮詰めて塩を造ったとされる。8世紀になると海藻にかわって塩分が付着した砂を利用
してかん水を採るようになり、この方法は9世紀ごろになると「塩田法」の形態へと発
達する。

塩田法は、「揚げ浜(あげはま)式」、「入浜(いりはま)式」に分けられ、潮の干満の差が
小さいところでは揚げ浜式が、差が大きい地域では入浜式が用いられた。この頃になると、
得られるかん水の量が増し、塩釜(しおがま)と呼ばれる釜が晶析に用いられた。

前述したように、19世紀末になると、エネルギー費、労働費の削減など、国策として、
塩づくりを近代化するための施策がとられた。表2に、塩づくりの近代化に対する取り組
みを整理して示す¹⁾²⁾。

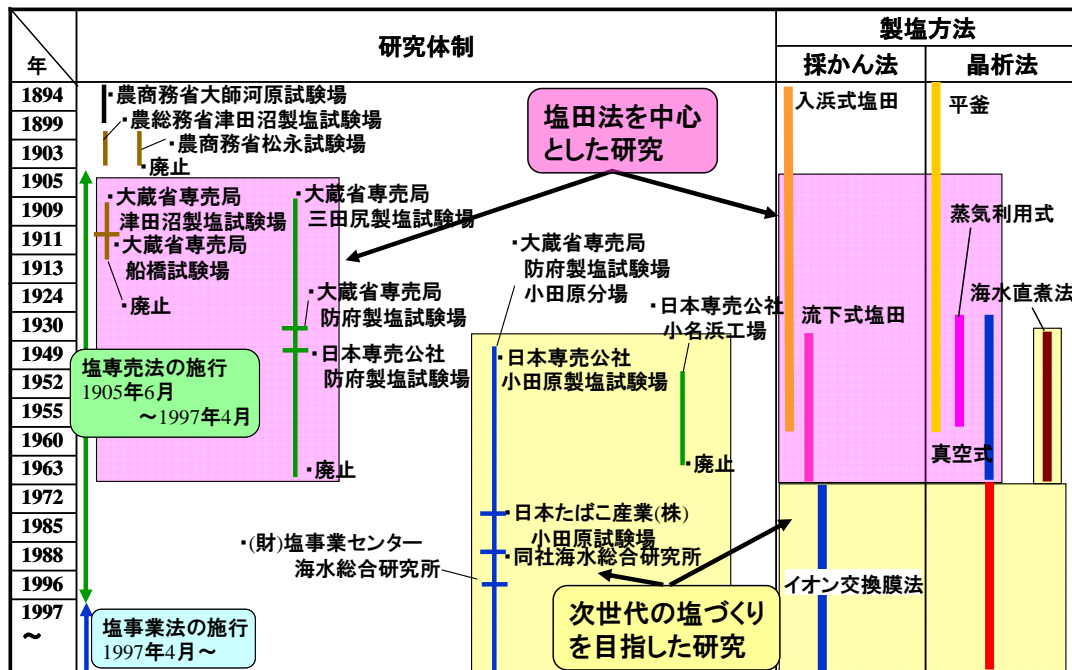
1882年には、当時の農商務省が、塩田法による塩づくりに対して効率化の検討を開始し
た。1905年に専売制度が施行されると大蔵省へと所管が移り、三田尻製塩試験場(後の防
府製塩試験場、イオン交換膜法の本格導入により1972年廃止)が発足し、こうした研究を

表1 塩づくりの歴史(19世紀末まで)

区分 年	採かん	晶析
400	藻塩焼き(もしおやき)	製塩土器
600	塩地	
800	揚げ浜式塩田(あげはましき)	
1000	入浜式塩田(いりはましき)	
1200		塩釜
1400		
1600		
1800		

引き継いだ。採かん工程の効率化に関しては、代表的なものに流下式塩田があり、晶析装置に関しては、蒸気利用式、真空式の晶析装置の開発などがある。

表2 塩づくりの近代化への取り組みの歩み



1950年以降、塩田法に変わる次世代の塩づくりとして、海水直煮法、イオン交換膜法が検討されるようになる。こうした研究を中心的に実施したのが、1949年に発足した小田原製塩試験場(現在の海水総合研究所)であり、その後の組織改変に伴って100年に亘る塩づくりの研究を引き継ぐとともに、1997年に専売制度が廃止された後も、さらに効率的な塩づくりを目指して研究を進めている。

3.2 塩づくりの進歩における技術的な検討の概要

前項で述べたように、わが国の塩づくりに関する研究は100年以上の歴史を刻んで、現在のイオン交換膜法による塩づくりへと変化した。本項では、塩づくりの進歩に果たしてきた研究の概要を紹介することとする。

1) 採かん法

1-1) 塩田法

図3に入浜式塩田の概要を示す。入浜式塩田は、塩田の周囲を堤防で囲み、塩田内に海水を引き込む水路が作られている。海水は、潮の干満を利用して塩田に導入され、砂層に導かれる。

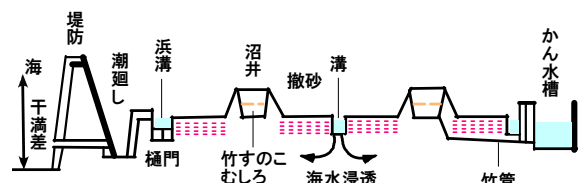


図3 入浜式塩田の概要

砂表面に塩分が析出すると(2-3日間)、塩分の付着した砂を沼井(ぬい)とよばれる桶に集め、そこへ海水をかけて濃い塩分濃度のかん水を得る。



図4 入浜塩田の作業風景

図4に当時の作業風景を示すが、多くの労力を要し、また、広大な土地を必要とするため、図5に示すような流下式塩田の開発が行われた。流下式塩田は、流下盤と呼ばれる傾斜をつけた粘土盤に薄膜状に海水を流し、かん水をつくり、このかん水を、図5中の左上に示した竹笹を組んだ枝条架(しじょうか)と呼ばれる構造体の上部から流し、さらに濃縮されたかん水を得るものである。

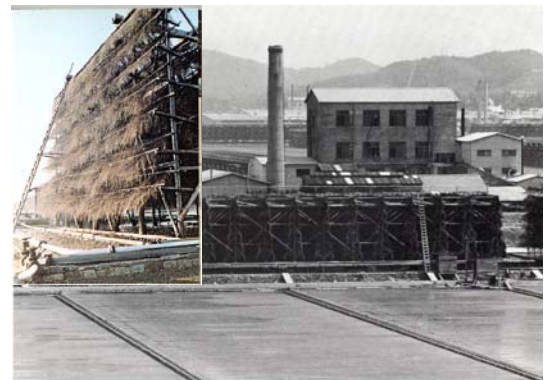


図5 流下式塩田

この方法では、枝条架を用いることにより、海水の蒸発が立体的に行われるなど、入浜式塩田に比べて蒸発効率の大幅な向上が可能となった。また、塩田の自動化も可能となり、労働生産性も向上した。

1-2) イオン交換膜法

図6に「イオン交換膜法」の仕組みを模式的に示す。装置内に陽、陰イオン交換膜を交互に配置し、両端に電極を設置して電流を流すと、陽イオンは一極へ、陰イオンは+極へ移動する。

このとき、陽イオンは陽イオン交換膜を通過するが、陰イオン交換膜を通過できない。また、陰イオンは陰イオン交換膜を通過するが、陽イオン交換膜を通過

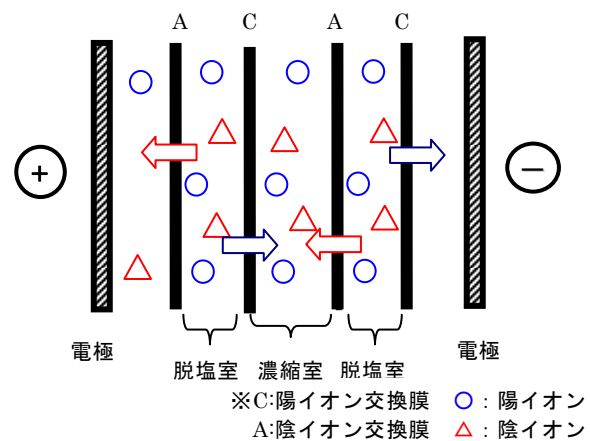


図6 イオン交換膜法の仕組み

できないので、濃縮室と呼ばれる部屋にイオンが集められ、かん水を採ることができる。この方法により、海水中の塩分濃度は5~7倍濃縮される。

このイオン交換膜法については、小田原製塩試験場の発足と同時に研究が進められ、1960

年代には、図7のような現在のイオン交換膜電気透析装置の原型となるパイロットプラントが製作された。

この方法では、天候に関係なく大量のかん水を採取でき、自動化も可能となったため、現在の塩づくりにおける採かん法へと繋がっていく。

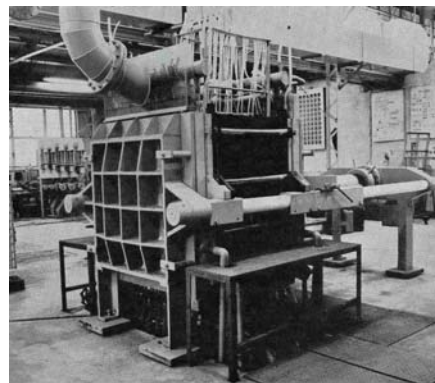


図7 イオン交換膜透析装置

2) 晶析法

晶析法の検討では、熱の利用効率、大量のかん水処理を目的に、「平釜」、「蒸気利用式」、「真空式」などが検討された。また、海水を直接煮詰めて塩をつくる海水直煮法も検討された。

図8に平釜の概要を示す。従来用いられた塩釜は燃料を燃焼し、かん水を煮詰めるのみであった。それに対して、平釜は、燃焼排気の熱を利用し、かん水の予熱を行うなど熱の利用効率を高めた。蒸気利用式は、平釜をさらに改良したものであり、釜を密閉構造にすることにより、かん水を煮詰

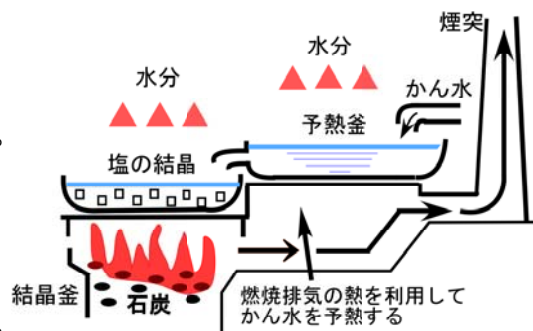


図8 平釜の概要

た時に発生する蒸気を回収し、この蒸気をかん水の予熱に利用するものである。

図9に、真空多重効用式晶析装置の概要を示す。真空式は、装置を減圧操作し、かん水を低温蒸発させる方法である。この方法は、装置を順次減圧することで蒸発蒸気を有効に利用でき、現在でも3~4重効用からなるシステムが用いられている。

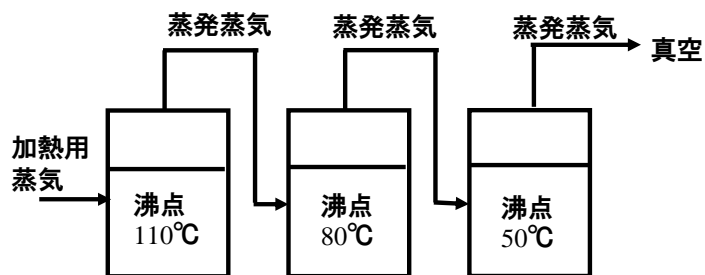


図9 真空多重効用式晶析装置の概要

表3に、各晶析装置の性能を示すが、真空式の導入により、晶析装置の燃料消費量は平釜に比べて半分以上となり、生産性は100倍程度となった。

表3 晶析装置の性能(1935年)³⁾

区分	平釜	蒸気利用式	真空式
燃料消費量(石炭) [kg / 100kg - 塩]	130~140	85	60
かん水処理量 [kl / day]	7~9	20~100	100~800

海水直煮製塩法は、文字通り海水を直接煮詰めて塩をつくる方法であり、加圧式の晶析

装置の適用が検討された。

図 10 に、加圧式による晶析装置の概要を示すが、加圧式では発生した蒸発蒸気をブロワーなどの圧縮装置を用いて加圧し、この加圧操作により温度を上昇させた蒸気を再度熱源に利用する方法である。

こうした装置では、蒸気の加圧方法が検討された。また、海水を煮詰める場合には、炭酸カルシウムや硫酸カルシウムなどのスケーリングが問題となり、また、ブロワーなどの蒸気圧縮装置の腐食も問題となった。

このうち、スケーリングについては、硫酸カルシウム種晶添加などが対策として用いられたが、採かん法としてイオン交換膜法が注目されると、真空式との組み合わせが検討されるようになり、海水直煮製塩法の検討は終了した。

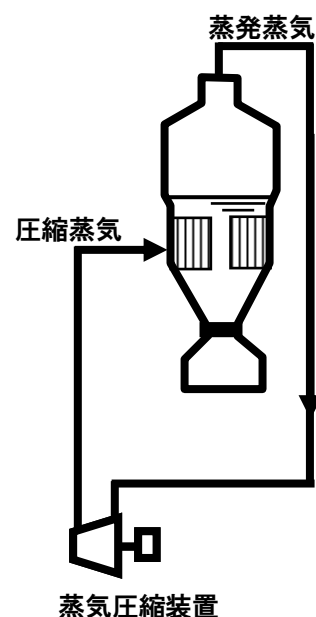


図 10 加圧式の概要

4. イオン交換膜法製塩プラントの誕生

図 11 に、現在のイオン交換膜法製塩プラントの概要を示す。イオン交換膜法による採かん法では多くの電力を必要とするため、ボイラーで発生した蒸気は、まず、自家発電設備に供給され、ここで発生した電力を採かん工程に供給する。さらに、自家発電設備で使用した蒸気は、真空多重効用式晶析装置に供給され、かん水から塩を晶析する。こうしたプラントの設計により、効率的なエネルギーの利用が行われるようになり、表 4 に示すように入浜式塩田に比べて、その生産性は 67 倍まで向上した。

表 4 塩生産性の推移⁴⁾

区分	塩田法		イオン交換膜法
	入浜式	流下式	
年度	昭和10年	昭和35年	昭和55年
塩浜面積 [ha]	4,537	3,052	—
製造場数 [—]	3,307	29※	7
生産量 [万トン/年]	60.4	83.4	126.8
労働生産性 [トン/人/年]	16.6 (1)※※	175 (11)	1,120 (67)

※ 塩田21工場、海水直煮、イオン交換膜法など8工場
 ※※ 昭和10年を1とした時の比率

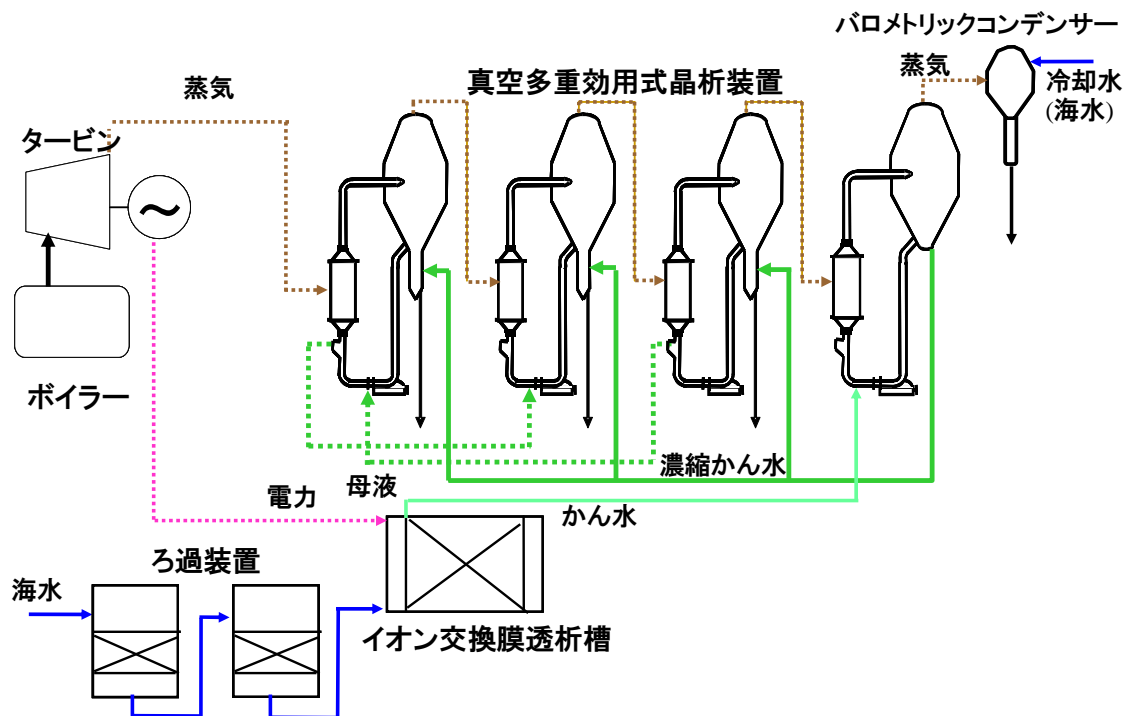


図 11 イオン交換膜法製塩プラントの概要

4. おわりに

これまでに述べてきたように、わが国の塩づくりは、先人たちのたゆみない努力により固有の技術を積み上げてきた。

海水総合研究所は、こうした塩づくりの歴史の中で、近代化に貢献してきた。現在は、1997年4月に施行された塩事業法^{*)}のもと、「安全・安心で、低廉な用途に応じた使いやすい塩」をキーワードに「製塩技術」、「商品技術」、「塩の品質および分析技術」に関する研究に取り組んでいる。

今後も、わが国の塩づくりを支えるとともに、消費者の皆様方へ塩に関する客観的で、かつ科学的な情報を引き続き提供していきたいと考える。

^{*)}塩事業法：塩専売法の廃止に伴い、塩が国民生活に不可欠な代替性のない物質であることから、塩事業の適切な運営による塩の安定的な供給の確保と我が国塩産業の健全な発展を図るために必要な措置を講じ、もって国民生活の安定に資することを目的とする。

参考文献

- 1) 日本専売公社，日本塩業史（1958）
- 2) 日本専売公社，戦後日本塩業史（1958）
- 3) 村上正祥，日本海水学会誌，36，p. 72（1982）
- 4) 村上正祥，日本海水学会誌，36，p. 67（1982）

わが国の塩づくりを支え、未来を築くために

海水総合研究所 吉川 直人

1. はじめに

当研究所は、「安全・安心で、低廉な用途に応じた使いやすい塩」を効率的に生産することを目指して、これまで所望品質、生産量に応じて製塩プロセスを最適に制御するとともに、生産計画の策定を効率的に行う統合生産システムの構築に向け取り組んできた。また、構築過程において製塩プラントを適切に操作するための計測技術や制御技術などを開発し、実用に供した。

一方、近年、石炭、石油などのエネルギー、製塩プラントに用いられる金属材料の価格は高騰しているが、塩もこうした影響を受けており、わが国の塩づくりの基盤を強化するためには、一層効率的な生産技術の構築が求められている。そこで、現在、当研究所では、高効率な製塩技術の構築を目的として、高性能ろ過装置、次世代イオン交換膜および電気透析装置、高効率晶析装置、腐食防食技術の開発に取り組んでいる。

本講演では、イオン交換膜製塩法の概要、当研究所における製塩技術研究への取り組みの概要とともに、今後の研究の方向性についても紹介する。

2. 製塩工程の概要

図1にイオン交換膜法製塩工程の概要を示す。海水を清澄化するためのろ過装置、清澄化された海水を濃縮するための陽・陰イオン交換膜が交互に装着されたイオン交換膜電気透析装置（以下、電槽と略す）、濃縮された海水（かん水）をさらに濃縮し、塩結晶を析出させるための多重効用式の晶析装置などからなる。

年間生産量 20 万トンの平均的な生産能力を持つ製塩工場の場合、ろ過装置は海水を時間当たり 3,500m³ 程度処理する必要があり、製塩工場で用いられている砂ろ過装置の場合、ろ過面積は 730m² 程度必要となる。電槽は 1 枚当たりの有効膜面積 1~2m²、1 基あたりの膜対数 2000~2500 対のものが 20 基程度必要であり、総膜面積は陽・陰イオン交換膜を合わせると 120,000m² 程度となる。晶析装置は内径 5m 程度で高さが 10~20m の立釜であり、これが 5~7 缶設置されている。このように、製塩工場は膨大な設備を有する。

また、このように大規模な設備で塩を製造するためには多大なエネルギーを必要とする。電槽は電力を用いて海水を濃縮し、晶析装置には蒸気を用いる。このため、工場には自家

発電設備があり、ボイラーで発生させた蒸気を用いて発電し、発電に使用された後のタービン背圧蒸気は晶析装置の熱源とする有効なエネルギー利用がなされている。また、晶析装置は3重あるいは4重の多重効用方式で運転されており、4重効用では熱源蒸気1に対して3倍以上の水分を蒸発させることができる効率的な方法である。

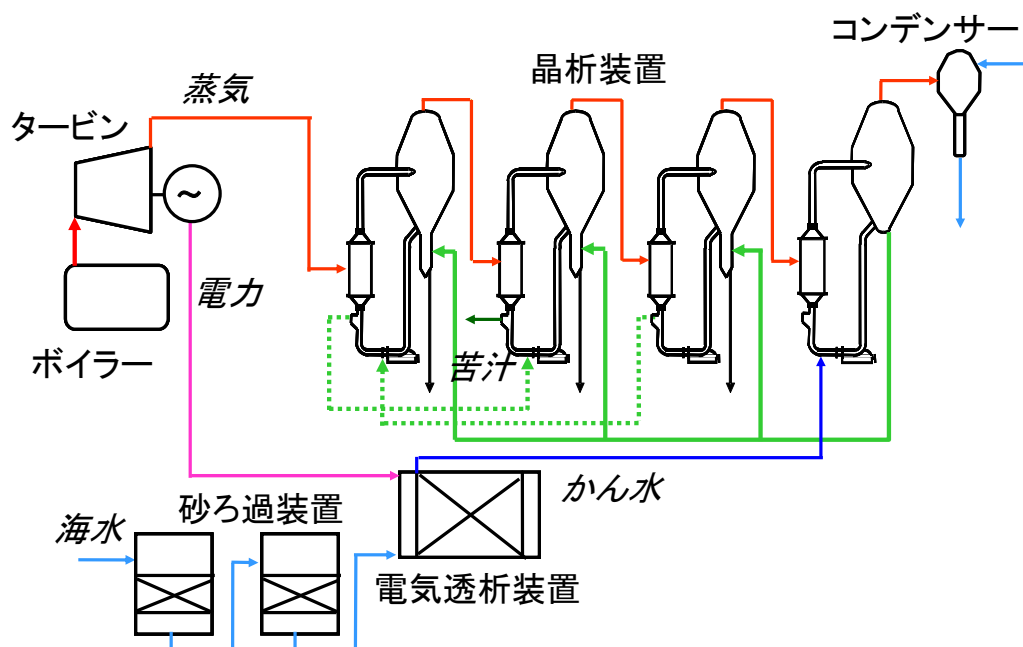


図1 イオン交換膜法製塩工程の概要

3. 製塩技術研究への取り組み

図2に当研究所の製塩技術研究への取り組みについてまとめた。

これまで、当所では製塩プラント全体を一元管理し、プラントの最適制御や生産計画の策定を効率的に行うための統合生産システムの構築を目標とした研究開発を行ってきた。統合生産システムの構築

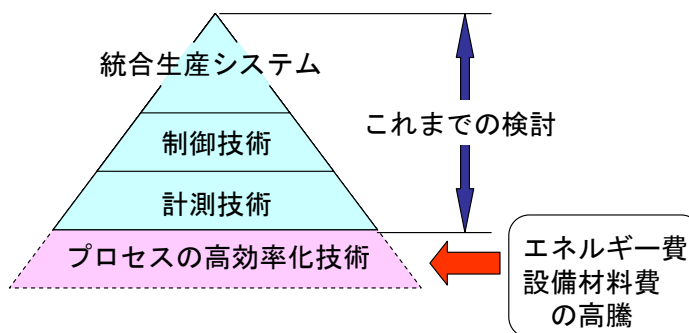


図2 製塩技術研究への取り組み

には、まず、各プロセスの運転状況を把握するための計測技術が必要であり、次に、各プロセスを最適化するための制御技術が必要である。さらに、計測技術、制御技術を用いて、各プロセス間をネットワーク化、共有化した統合生産システムを構築することにより、所望する製品の品質、生産量に応じて、製塩プラント全体を最適に制御することが可能と

なる。

一方、近年のエネルギー、設備材料の価格の高騰による製塩コストの増加は顕著であり、わが国の塩づくりの基盤を強化するためには、エネルギー費、設備費を低減する高効率な製塩プロセスを構築することが必要である。現在、これに向けて、各プロセスを対象とした高効率化技術について検討を実施し、製塩技術研究の土台強化を図っている。

以上、当研究所における製塩技術研究への取り組みについて述べたが、現在の研究開発目標は、効率的な製塩プロセスを用いて、統合生産システムにより効率的に塩を生産する製塩プラントを構築することである。

4. 統合生産システムの構築に向けたこれまでの検討

当研究所では、これまでに、統合生産システムの構築に向けた検討を実施してきた。また、その検討過程において、各種の計測技術、結晶品質制御技術を開発し実用に供した。以下に、これらの技術開発の概要について述べる。

4.1 計測技術の開発

温度、圧力、流量等は既存のセンサーを使用することができるが、工程溶液組成、製品品質などについては、独自の技術開発が必要であった。当研究所ではこれまでに、海水の濁度、採かん工程、晶析工程における工程溶液成分濃度、結晶懸濁密度、製品の平均粒径、水分、マグネシウム含有量の計測技術を開発し、実用に供した。

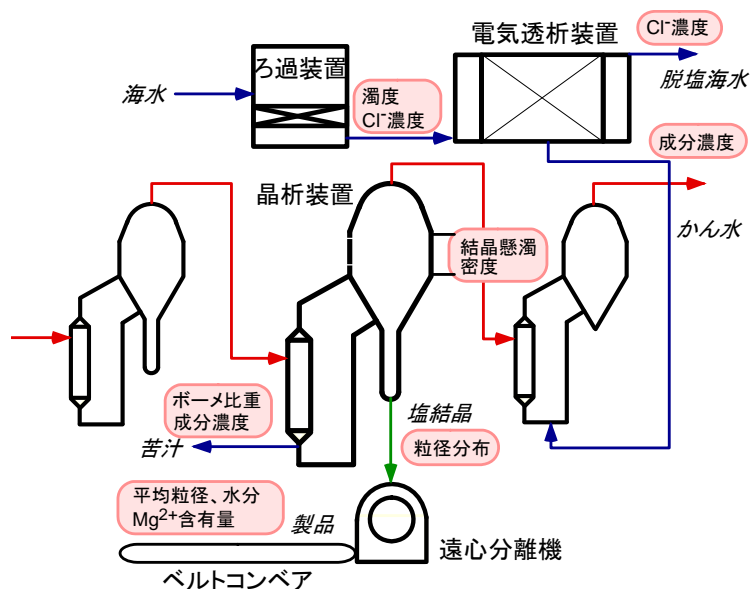


図3 計測技術の工程への適用例

図3に開発した計測技術の製塩工程への適用例を示す。原料から製品までをほぼ網羅しており、プラント全体の運転状況を把握することが可能となった。

4.2 制御技術の開発

所望する製品の品質、生産量に応じて製塩プロセスを最適に制御するためには、制御システムを構築するための基となる製品の品質を制御する技術を開発することが重要である。晶析装置で生産される塩結晶の品質は製品の品質に直結するため、製品の品質制御には、晶析装置内で塩結晶の粒径、形状、組成等の品質を制御する技術を開発することが必要である。組成制御については、結晶内に取り込まれやすく、晶析操作以降での制御が難しいカリウム、臭化物イオンについて検討することが重要である。

(1) 粒径制御技術の開発

晶析装置で塩結晶の粒径を制御するためには、結晶粒径と晶析操作因子との関係を何らかの方法で相関づける必要がある。これまでに、実用装置を用いた試験結果から、これらの関係はニューラルネットワークモデルを用いて良好に説明できることを明らかにし、

ニューラルネットワークモデルを用いる粒径静的制御技術を確立した。図4にニューラルネットワークの概念図を示す。

さらに、工程試験で得られた非定常状態データについて、ニューラルネットワークモデルを用いた粒径変化予測シミュレーションにより、粒径動的制御技術への可能性が示唆された。

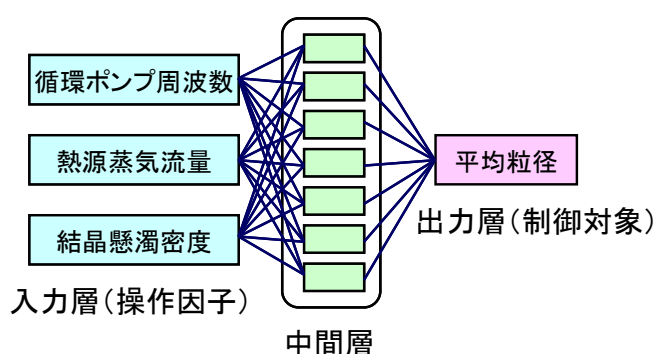


図4 ニューラルネットワーク概念図

(2) 臭化物、カリウムイオン制御技術の開発

晶析装置内における結晶成長は結晶表面の荒れの形成（結晶成長速度小）、微結晶付着による荒れの修復（結晶成長速度大）が繰り返し起きており、臭化物、カリウムの結晶への取り込みは微結晶付着による荒れの修復時には減少すること、また、結晶成長速度増大とともに、取り込み量は減少することを見出した。これより、臭化物、カリウムを低減する操作として、結晶成長速度の増大が有効であることが示唆された。

4.3 統合生産システム構築の現状と今後の方向

これまで述べたように、計測技術の開発により統合生産システムの構築に必要な計測機器は得られたと考えられる。品質制御については、晶析工程以外は比較的容易であり、各プロセスにおける制御システムの構築、プロセス全体の最適化についても、不十分ながら、既に達成している製塩プラントも見られる。今後は、晶析工程における結晶品質制御技術を確立し、統合生産システムの構築に向けて検討する。

5. 高効率な製塩プロセスの構築に向けて

5.1 高効率な製塩プロセスの構築に向けた課題

我が国の塩づくりの基盤を強化するためには、高効率な製塩プロセスの構築が必要である。現在、製塩プラントは非常に効率が高い方法により運転されているが、エネルギー費、設備材料費の高騰により製塩コストは増大している。このため、各プロセスを対象とした技術研究により、さらなる効率化を図ることが必要である。

以下に、各プロセスを対象とした技術研究における課題について述べる。

(1) 海水ろ過技術

海水ろ過工程では大量の海水を処理する必要がある。また、ろ過海水を使用する電槽は陽・陰イオン交換膜が交互に0.4~0.7mm間隔で積層されており、その間の流路に海水が供給されるため、ろ過操作により清澄化することが必要である。

現在、海水ろ過には比較的安価で構造が単純な砂ろ過装置が用いられている。この装置はろ過速度が遅く、単位ろ過面積当たりの処理量が少ないため、設備を大型化せざるを得ない。また、海水を清澄化するために2段処理が用いられているが十分でない。これらの課題を解決するためには、高効率で海水の清澄化が可能な新たなろ過装置の開発が必要である。

(2) イオン交換膜濃縮技術

電槽は海水の濃縮に多大な電力を必要とするため、設備費を低減するとともに所要電力の低減が望まれている。所要電力、設備費を低減するためには、低抵抗で、高濃度濃縮が可能な陽・陰イオン交換膜を開発すること、膜間隔を狭くすることにより、溶液の電気抵抗を低減することが必要である。

もう一つの問題は、ろ過海水中の濁質が膜などに付着し、流路を閉塞することである。このため、製塩工場では1年以内に電槽を解体し、洗浄する作業を行っている。この洗浄操作は労力を要するだけでなく、膜を傷めやすいため、洗浄間隔を延長することが求められている。これに対応するには、新たなろ過装置を開発することにより、ろ過海水を清澄化するとともに、電槽の構造を再検討することが必要である。

(3) 晶析技術

晶析装置は大型であり、多重効用式で運転されているため缶数も多い。また、晶析装置内の溶液は、高温（50～110℃）で、高濃度の塩類溶液であり、晶析装置は腐食しやすい環境下に置かれているため、装置材料には高耐食性の金属が用いられている。このように、晶析装置の設備費は膨大であり、維持費もかかるため、高効率な晶析装置の開発が求められている。そのためには、装置内における結晶の成長速度を速くするとともに、懸濁させる結晶の量を多くすることが必要であり、それを達成する方法、装置構造を検討することが必要である。

(4) 腐食防食技術

晶析装置等の製塩装置は大規模であり、腐食しやすい環境下に置かれているため、設備費、維持費は膨大である。これらを低減するためには、製塩装置を設置するにあたり適切な材料を選定すること、防食箇所に適した防食法を選定すること、腐食箇所を早期に発見し対応することが必要である。

腐食には様々な形態があり、材料選定、腐食対策には、腐食形態ごとに様々な製塩環境（温度、塩類濃度、pH、溶存酸素量）における材料ごとの腐食性、耐食性を整理することが重要である。一方、既に導入した装置の腐食状態を管理し、早期に腐食トラブルを防ぐためには腐食モニタリング法の開発が必要である。

5.2 製塩技術研究の概要

(1) 海水ろ過技術

海水ろ過技術研究における課題は効率よく、海水を清澄化する技術の開発であり、当所ではこれに対応するため、高速ろ過装置の開発を進めてきた。

図5に高速ろ過装置の概念図とパイロットスケールプラントの写真を示す。

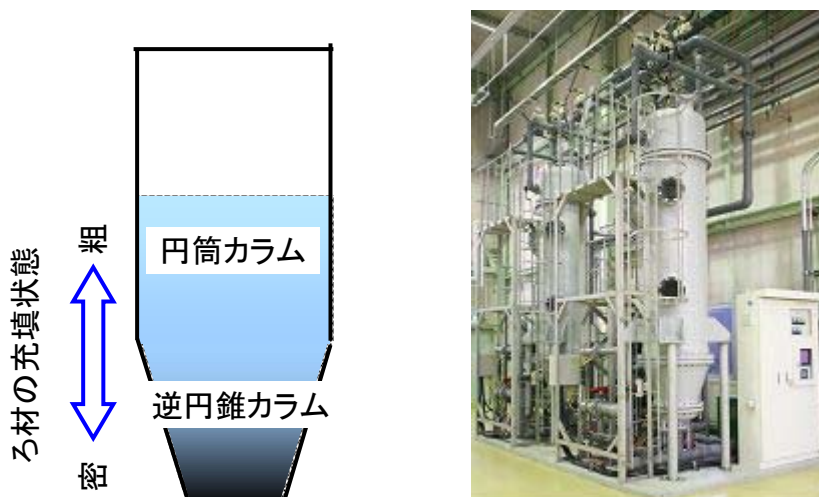


図5 高速ろ過装置概要

本装置は圧縮性繊維状ろ材を用い、ろ過装置の上部を円筒形状、下部を逆円錐形状とすることにより、ろ層上部は疎、下部は密のろ層構造をとることができる。これにより、ろ層上部では大きな濁質を捕捉し、下部の緻密層で精密なろ過を行うことができる。また、使用する繊維状ろ材は空隙率が高いため、砂ろ過装置と比較して単位ろ過面積あたりの処理能力が6~7倍程度であり、小型化が可能である。現在、工程試験において長期安定性、ろ過性能について検証中であるが、大きなトラブルもなく、砂ろ過装置と比較して濁度が1/10~1/3の清澄な海水が安定的に得られている。

(2) イオン交換膜濃縮技術

イオン交換膜濃縮技術における課題は、低抵抗で高濃度濃縮が可能な次世代イオン交換膜の開発、電槽の解体洗浄間隔の延長であり、当センターは昨年度「塩製造技術高度化研究開発事業」を立ち上げ、膜製造メーカー、大学研究者とともに実用化を目指した研究開発を開始した。現在は、新規膜合成法による次世代イオン交換膜の基礎研究、電槽の解体洗浄間隔の延長を目指した合理的、効率的な採かん工程の構築について検討中である。

・次世代イオン交換膜の開発

これまで製塩に用いられているイオン交換膜は、主としてPVC(ポリ塩化ビニル)基材を用い熱重合法により合成されてきた。しかし、この合成法については既に多くの検討がなされており、さらなる性能の向上は難しい。そこで、本研究では、様々な高分子を基材と

して用いることができ、従来とは全く異なるイオン交換膜を設計することが可能であると
考えられる電子線グラフト重合法、水の膜透過を制御し、膜の低抵抗化、高濃度濃縮が可
能であると考えられる細孔フィリング法に着目し、次世代イオン交換膜の開発シーズとし
ての有効性について検討した。

基礎研究の段階であるが、いずれの方法を
用いた場合においても現行膜の濃縮性能を超
える膜の合成が可能であり、次世代イオン交
換膜開発の可能性が示唆された。一部の方法
については、スケールアップについての検討
を開始しており、図6に示すようなロール状
の膜の合成も可能となっている。今後は、さ
らなる膜の高性能化について検討するととも
に、スケールアップについて検討し、実用化
を目指している。



図6 電子線グラフト重合法で
合成したイオン交換膜

・合理的、効率的な採かん工程の構築

電槽の解体洗浄間隔を延長するためには、電槽の改善だけでなく、ろ過装置による海水
の清澄化が必要であり、ろ過装置、電槽を含めた採かん工程（かん水を得る工程）全体で
検討する必要がある。本研究では安定的に清澄な海水が得られる高速ろ過装置による海水
の清澄化を起点とし、電槽の構造を最適化し、解体洗浄間隔を延長することについて検討
を開始した。現在は、海水中の濁質による流路閉塞が生じやすい脱塩室（ろ過海水を供給
する室）の構造について検討中である。また、同時に膜間隔を低減することにより電槽の
所要電力量低減についても検討する予定である。

(3) 晶析技術

晶析技術研究における課題は、晶析装置の高効率化であり、ソルト・サイエンス研究財
団のプロジェクト研究において、大学研究者とともに検討してきた。

前述したように晶析装置の高効率化、すなわち装置容積あたりの生産速度を大きくする
ためには結晶成長速度、結晶懸濁密度を増大させることが必要である。これまでの検討に
より、微結晶の結晶への付着を促進させることにより結晶成長速度は増加すること、結晶

成長速度は微結晶付着量と過飽和度の増大に伴い増加することを見出した。図7に微結晶付着を利用した結晶成長の概念図を示す。

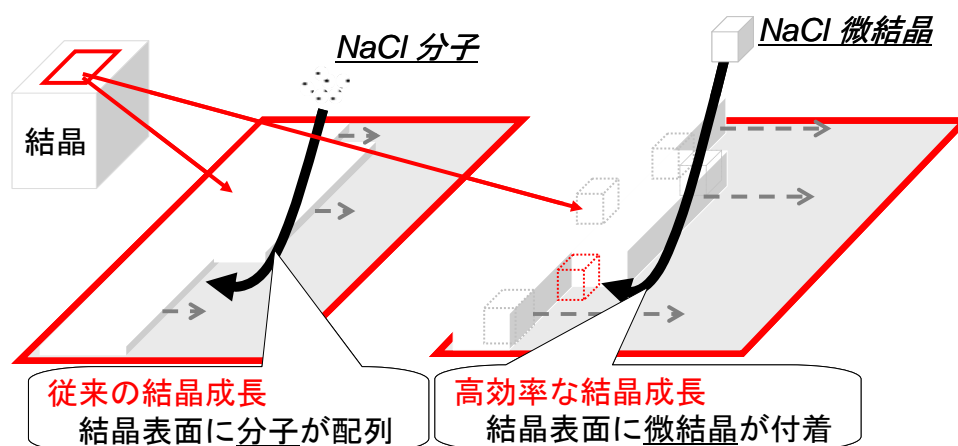


図7 微結晶付着を利用した結晶成長の概念図

結晶成長速度が速い場合には、小さな結晶が集まり固まったような凝集結晶が多く見られ、結晶品質が低下することが懸念されるが、結晶品質に問題はなく、高品質の結晶を効率よく生産できる可能性が得られた。

現在、大幅に結晶成長速度を増加させる方法について検討中であり、今後はそれを達成可能な装置構造、操作方法について検討する。

(4) 腐食防食技術

腐食防食技術研究における課題は、製塩装置に適切な材料を選定すること、防食箇所に適した防食法を選択すること、腐食箇所を早期に発見し、腐食トラブルを防止する腐食診断法を開発することである。材料選定、防食法については、これらを行う上で基本となる腐食発生条件マップの作成について検討中である。一方、腐食診断法については、電位ノイズ法の適用について検討している。

・腐食発生条件マップの作成

製塩装置に用いる材料の選定、装置の防食について検討するための基礎データである腐食発生条件マップの作成について検討している。腐食発生条件マップの概念図を図8に示す。腐食発生条件マップとは製塩環境（温度、塩類濃度、pH、溶存酸素量等）における材

料の腐食性、耐食性をマップ上に整理することである。これを種々の材料、種々の腐食形態ごとに整理することにより、図9に示すように使用環境に応じた材料の選定が可能になると考えられる。また、防食を施す際の基礎データとしても有効であり、効果的な防食法の選定が可能となる。

現在、ステンレス316鋼の孔食についての腐食発生条件マップを作成しており、今後は、他の材料、他の腐食形態について検討する。

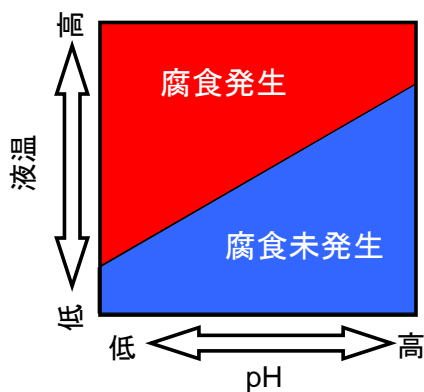


図8 腐食発生条件マップ概念図

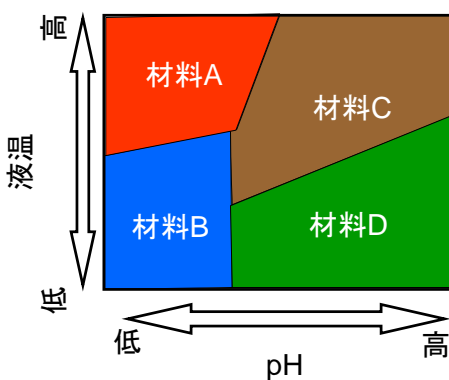


図9 材料選定マップ概念図

・腐食診断法の検討

腐食箇所の早期発見による修繕維持費の低減および耐用年数の延長のための腐食診断法として、電位ノイズ法に着目した。電位ノイズ法は金属材料の不動態皮膜の破壊、形成を電位ノイズとして測定することにより皮膜破壊動的特性を解析する方法である。図10

に電位ノイズの測定例を示す。

本法は電位ノイズの波形、発生頻度から損傷状態を診断することができる。このため、プラント構造部材への孔食、隙間腐食、応力腐食割れの発生を予知、早期発見できる可能性があり、局部腐食モニタリング法として期待されている。

これまでに、ラボレベルで種々の環境下における電位ノイズ測定を実施し、電位ノイズの波形、発生頻度、大きさから、孔食発生の起きやすさを診断することができた。現在、

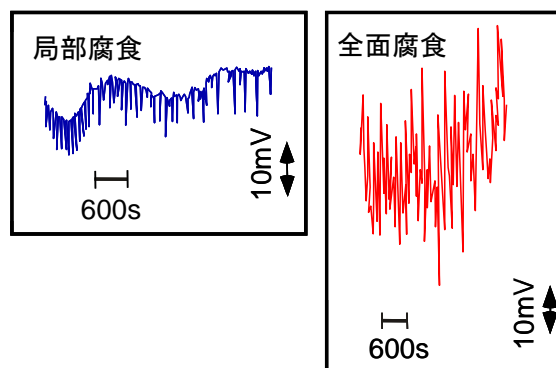


図10 電位ノイズ測定例

実用装置への適用について検討中である。

5.3 高効率な製塩プロセスの構築に向けた今後の方向

ここまで、高効率な製塩プロセスの構築に向け、各プロセスを対象とした技術研究の概要について述べた。引き続き、技術研究を推進し、効率化を図ることは重要である。今後、さらなる効率化を図るためには製塩技術研究を統合し、包括的に検討することが必要である。

製塩技術研究の統合については、ろ過技術研究とイオン交換膜濃縮技術研究を統合し、合理的、効率的な採かん工程の構築に向けた検討を開始した。また、高効率化晶析装置の構築、防食法の検討においては、晶析技術研究と腐食防食技術研究を統合した技術研究が必要であると考えられる。

さらに、製塩工程全体を統合した技術研究を推進することで、より高効率な製塩プロセスの構築が可能になると考えられる。

6. おわりに

イオン交換膜法製塩は 50 年もの年月をかけて、折々の時代を取り巻く環境、ニーズに適応し、新たな技術を取り入れながら熟成されてきた。

近年は、エネルギー、金属材料の価格の高騰に対応し、これ以上の向上は難しいと考えられてきた製塩プロセスの高効率化に取り組み始めた。その結果、高速ろ過装置、次世代イオン交換膜、高効率晶析装置など、現状の性能を大きく超える可能性がある研究開発の芽がいくつか出始めた。また、統合生産システムの検討過程で開発した計測技術、制御技術により、適切な製塩プラント操作を実現しつつある。

今後も、折々の時代を取り巻く環境、ニーズに適応し、新たな視点に立って、広い視野を持ちながら研究に取り組むとともに、外部研究機関とも連携を強化し、製塩技術の革新を目指す。

塩とともに豊かな食生活を育むために

海水総合研究所 眞壁 優美

1. はじめに

わが国では、素材を中心に色あい、形、季節感を巧みに表現することで、おいしさや見た目の美しさを引き出す日本料理が受け継がれてきた。こうした料理の決め手は「塩梅」であり、素材の風味を上手に引き出すためには、塩の選び方や使い方が大切だといわれている。その一方、私たちの周りでは、さまざまな塩が販売されており、これらの品質も粒径、形状、にがり成分や水分の量が異なるなど多種多様である。

それでは、「塩を選ぶ場合や使う場合のコツ」とはどのようなものなのか？当研究所では、この「塩を選ぶ場合や使う場合のコツ」とは、食材、調理や食品加工に適した物性や組成の塩を選び、それを上手に使うことだと考えて研究を進めている。すなわち、塩の性質をサラサラ性(流動性)、溶けやすさ(溶解性)などの物性面から解析することにより、さまざまな性質を持つ塩を自由に設計することや、塩の商品性を損なう固まりやすさ(固結性)を制御すること(商品設計技術)、また、調理や食品加工における塩の作用を解析することにより、塩の作用を良好に引き出すためにはどのような塩が適しているのかを明らかにすること(加工適性技術)に取り組んでいる。本講演では、これまでに取り組んできた研究の一端を紹介する。

2. 商品設計技術に関する研究

国内で市販されている塩は、原料、製法の違いによって、形状、粒径、組成が異なる¹⁾。

まず、形状については、図1に示すように、本来の結晶形状である立方体、小さな結晶が付着しあって大きな粒子となったもの(凝集塩)、厚みがなく鱗片状のもの(フレーク塩)、粉碎による不定形のもの(粉碎塩)がある。

市販の塩では、粒径が0.06~2.6mmと幅が広いが、0.25~0.75mmの範囲のものが多く、組成については、水分の上昇とと

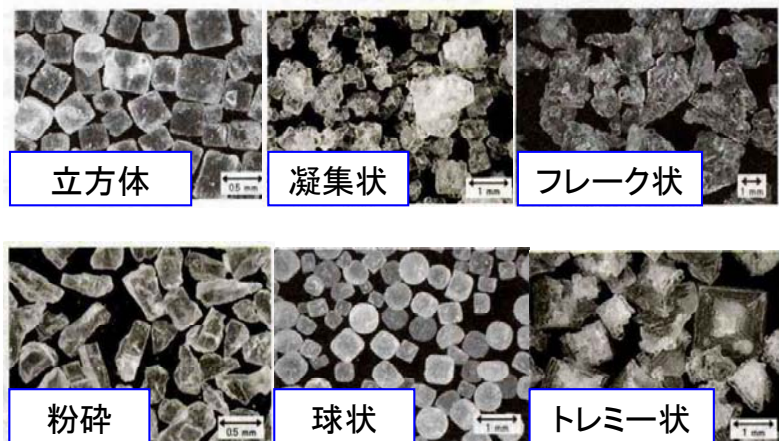


図1 塩の結晶

もに海水中の成分である $MgCl_2$ などのいわゆる苦汁成分が比例して増加するが、水分 1%以上のしっとりした塩(湿塩)が多い。

このような形状、粒径、組成の違いによって、塩の物性が異なるが、これらを体系的に整理することができれば、目標とする物性を有する塩を容易に設計できると考えている。ここでは、流動性、溶解性および固結性に関する検討によって、明らかとなった研究成果を紹介する。

2.1 流動性

塩の流動性は、容器から振り出す場合や、食材へ付着させる場合などに影響する物性であり、粒子間に働く力、すなわち粒子間力が影響する²⁾。塩における粒子間力には、粒子相互に働く引力であるファンデルワールスカ、粒子間に生じる粘性力、液体が粒子間に存在した場合に生じる液架橋付着力が対象となる。

立方体の結晶を対象に、純度が非常に高い塩(高純度塩)、当センターの販売商品である

「食塩」のように海水由来の苦汁成分が結晶表面に存在し、これを乾燥させた塩(乾燥塩)、水分が 1%以上結晶表面に存在する塩(湿塩)を対象に、流動性の測定指標である圧縮度を測定した結果を図 2 に示す。圧縮度が小さいほど流動性が良好となるが、本図よりこれら 3 種類の塩とも粒径が増加すると流動性が良好になっていることがわかる。ここで、前述の粒子間力を基にモデル式を作成してシミュレーションを行った結果も図 2 に付記したが、高純度塩ではファンデルワールスカ、乾燥塩では粘性力、湿塩では液架橋付着力が支配的に作用したモデルと合致することがわかった。

今後は、本モデルをベースに、さまざまな塩の流動性を評価することが可能となるものと考えており、そこで得た成果を基に商品設計に活用していきたい。

2.2 溶解性

一般に小さな粒径の塩は大きな塩に比べて、塩味を強く感じることがいわれている。これは粒径が小さくなると単位重量あたりの表面積が増大し、それによって溶けやすくなる

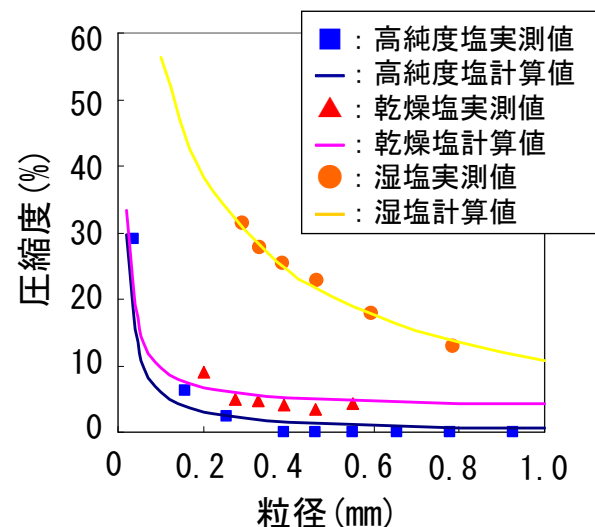


図 2 粒径と圧縮度の関係

ためだと考えている。もちろん、調理や食品加工においても塩を固体のまま利用することは少なく、一旦水などに溶解させたり、加工する過程で溶解させる作業が行われる場合が多い。この場合、溶解性は溶解操作における因子として必要な物性となる。

図3に、立方体の結晶を対象に溶解速度を測定した結果を示す。溶解速度は粒径に依存し、粒径の大きな結晶ほど溶けにくいことがわかる。ここで、粒径ごとに存在する結晶の溶解速度を算出し、それを全粒径範囲で積算するモデルを構築してシミュレーションした。実測値と計算値は良好に一致し、本モデルが溶解性を設計する上で有効であることを確認した³⁾。

今後は、溶解性に大きく影響すると考えられる形状の影響を考慮し、適用する範囲を拡大することを考えている。

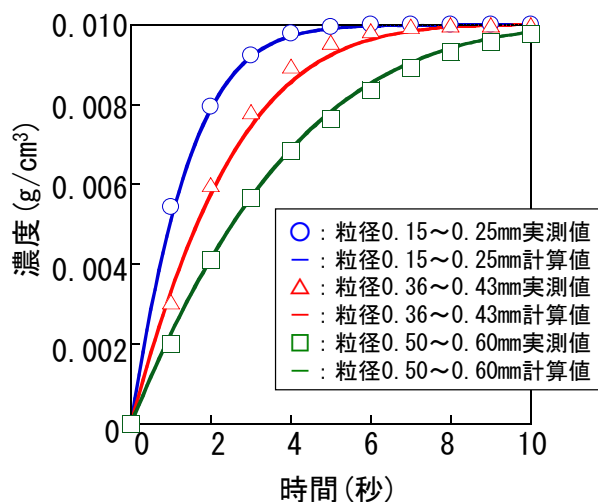


図3 粒径の違いによる溶解速度の違い

2.3 固結性

塩は、周辺環境の湿度の影響を受けて吸湿や放湿を生じる。従来、吸湿することによって結晶表面のNaClが溶け、その後、放湿を生じると水分だけが蒸発して微結晶が生成する。さらに吸放湿を繰り返すことによって、図4に示すように結晶間において微結晶が成長し、固結が進行すると考えられてきた⁴⁾。ところが、近年、図5に示すように吸湿だけが生じる環境下でも塩が固結することが分かってきた⁵⁾。前者の顕著な例は高純度塩であり、後者については前述したわずかな苦汁成分が残る乾燥塩の場合である。

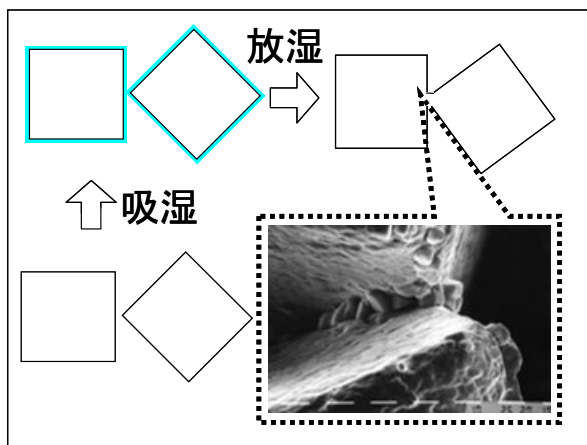


図4 吸放湿による固結の概念
(高純度塩)

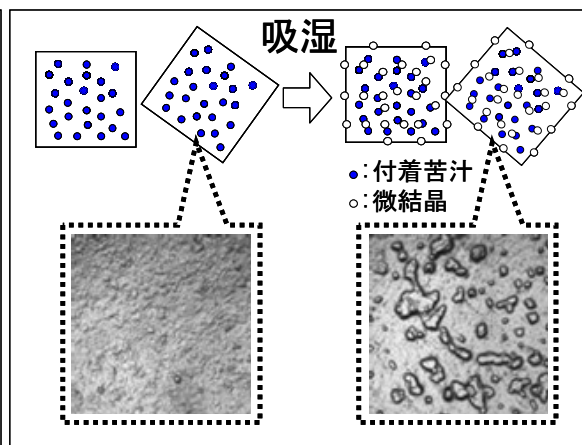


図5 吸湿による固結の概念
(乾燥塩)

これまでの研究では、乾燥工程において苦汁成分である $MgCl_2$ や $CaCl_2$ の水和水が減少していることが考えられ、吸湿によって一旦、結晶表面の $NaCl$ が溶けるが、 $MgCl_2$ や $CaCl_2$ が水和して 6 水塩になる過程で結晶表面の $NaCl$ 溶液中の水分を奪い、 $NaCl$ 結晶が生成するためではないかと考えている。

3. 食品加工適性技術

ほとんどの食品の中には、塩が含まれる。代表的な加工食品としては、麺類、パン類、菓子、漬物、干物・塩辛などの水産加工品、ハム・ソーセージなどの肉製品、バター・チーズなどの乳製品、かまぼこなどの魚肉ねり製品、醤油、味噌、マヨネーズ、ケチャップなどの調味料がある。また、家庭では、調理の下味、塩もみ、炒め物や吸い物の調味などで使われる(図 6)。これらの食品の中に含まれる塩は、味付けのためだけではなく、塩がも

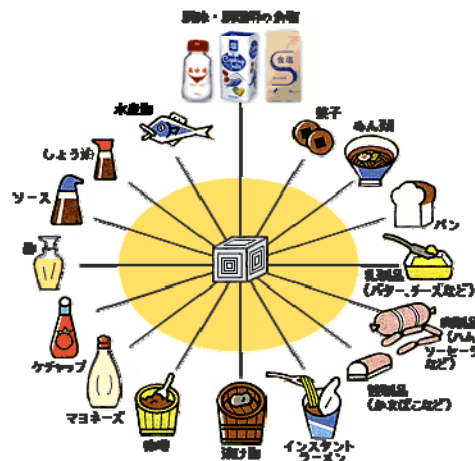


図 6 食品における塩の利用

つ作用を利用するために入れられている。塩の主な作用は、脱水浸透、保存、発酵調整、タンパク質への作用、酵素・色素などへの作用、他の味への作用などがある。

ここでは、塩を使った加工食品として、漬物とうどんを例に、塩の組成の違いによる食品への作用を紹介する。

3.1 漬物

漬物は、加工食品の中で最も古い歴史を持つもので、塩の脱水浸透作用と発酵調整作用を利用した加工食品である。

漬物が漬かるということは、どういうことか？

動植物の細胞は半透膜で囲まれている。これが塩を含んだ溶液にふれると、浸透圧によってまず細胞内の水分が外部に出る。その後、浸透圧で半透膜が壊され、内からも外からも通じる透過膜となり、これに野菜特有の香気や辛みなどが加わって、その漬物の風味と感じるのである⁶⁾。

漬物を漬ける場合に、塩の種類や対象となる野菜が変わったらどのような漬物になるのだろうか？

にがり成分、水分、粒径、結晶形状が異なる市販塩 4 種を用いてウメ漬を行った結果を図 7 に示す⁷⁾。ウメ中の水分は、全塩分量(水分を除いた無機成分の総量)に反比例し、塩の種類にはあまり影響を受けないことがわかった。

一方、にがり量が異なる 2 種類の市販塩(塩化ナトリウム純度 99.7%、84.4%)で漬けたウメ干しの味について食味アンケートを実施し、以下の結果を得た。

硬さ=にがりが多い塩の方が硬い……87%

しょっぱさ=にがり少ない塩の方がしょっぱい……56%

すっぱさ=ほぼ半数ずつ

好み=にがり少ない塩の方が好き……71%

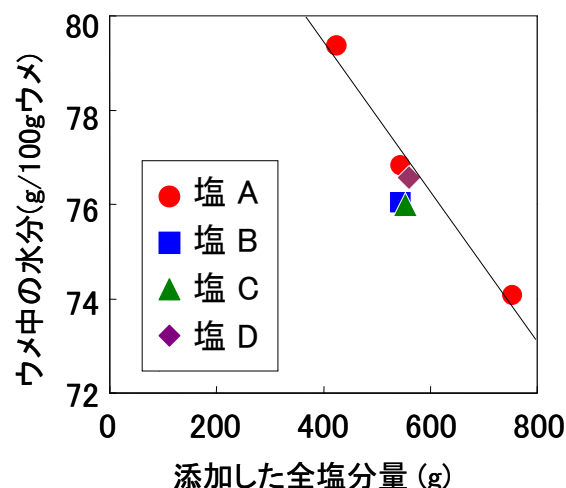


図 7 ウメ漬における脱水量

次に、同一の塩を用いて漬け液の濃度を種々変化させ、カブ、ウメ、キュウリを漬けた場合の、平衡状態における漬け液と漬け実中の塩分濃度の関係を図 8 に示す。この図より、漬物が漬けあがったときの塩分濃度は、野菜の種類には関係なく、漬け液と漬け実で等しくなることがわかった。

さらに、漬け実の塩分濃度が平衡に達するまでの挙動において、脱水および塩の浸透現象が物質移動式に従うと考え、野菜ごとの物質移動係数を予め求めておけば、任意の時間における漬け実からの脱水量、漬け実の塩分を予測できると考えた。こうして作成したモデルを基にシミュレーションを行った例が図 9 であり、実測値を良好にシミュレーションできることが分かった⁸⁾。

これらの結果より、漬物では漬かり方については塩の種類によって大きな違いはないが、食味についてはにがりの種類や量により違いが見られることが示唆された。また、脱水浸透の挙動については、モデル化によって漬物製造における操作設計に役立てていきたいと考えている。

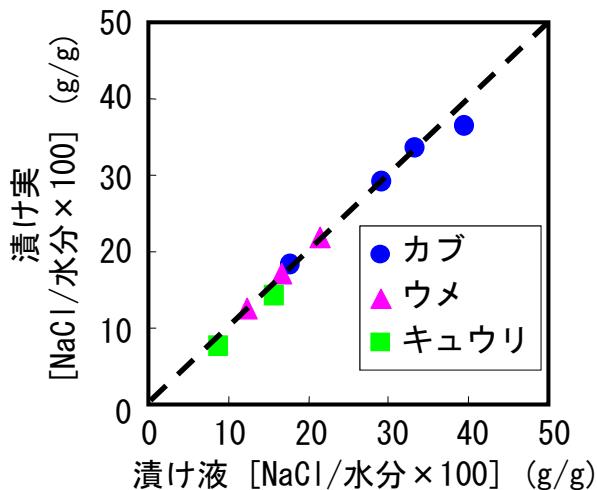


図8 漬け実と漬け液とのNaCl/水分の関係

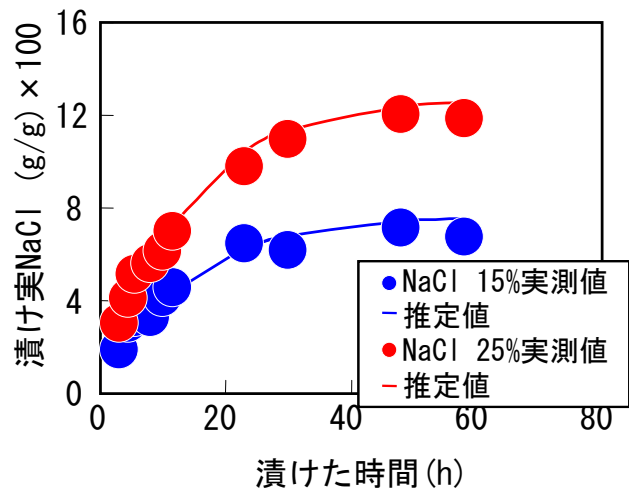


図9 浸透挙動のモデル化(キュウリの場合)

3.2 うどん

通常、麺類では、小麦粉に対して0~8%程度の塩を使う。特に、うどんでは塩を使わない例はほとんどない。うどんにおける塩の作用^{9,10})としては、①収斂効果(生地を引き締める効果)、②酵素活性を阻害する効果、③ゆで時間の短縮、④乾めん製造における乾燥速度のコントロール等がある。うどんの食味は、食感が中心になっている。うどんに塩味がほとんど感じられないのは、塩を使用していても使用された塩の90%がゆでるときにゆで湯に溶出してしまうからである。

塩の種類によるうどん製作時の操作性や食味の違いについて検討した¹⁰)。にがりがない塩(塩化ナトリウム純度100%)、にがりやや入っている塩(塩化ナトリウム純度94%)、にがりが多い塩(塩化ナトリウム純度68%)で作ったうどんの物性評価と官能評価を行った。物性評価は、テクスチャーメータで生うどんとゆでうどんの破断試験を行った。破断強度の平均値を図10に示す。生うどんでは、にがりやや入っている塩とにがりが多い塩との間で有意差が見られた。ゆでうどんではにがりやや入っている塩で作ったうどんの破断強度がやや高くなったが有意差はなかった。官能評価では、色、外観(肌荒れ)、かたさ、モチモチ感、なめらかさ、香りや味、総合評価について18歳から71歳(平均年齢

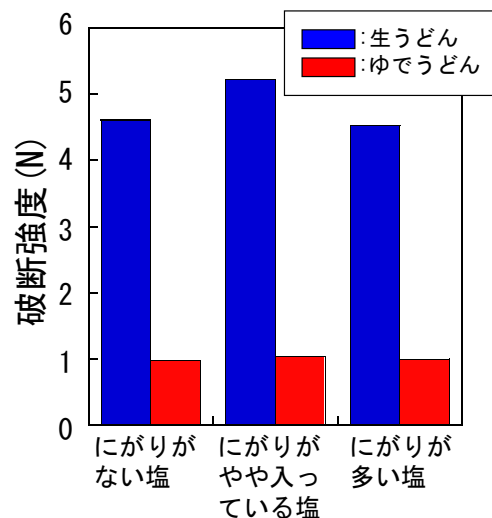


図10 うどんの破断強度

27.9歳)の男女60名をパネルとしてシェフェの一対比較法により7段階尺度の評点法で評価した。有意差検定の結果、試料間の嗜好差はなく、いずれの塩を使ったうどんにおいてもほぼ同程度と判断された。

したがって、生うどんでは塩の種類によって生地の硬さが異なることから生地を作る場合において違いがあるが、ゆでうどんの食味はほとんど違いがないことが示唆された。

4. おわりに

現在、市販で売られている塩は多数あり、塩が調理や食品加工へ及ぼす影響について様々な情報がある。これらの情報は、もちろん科学的に証明されている情報もあるが、通説的に言われている情報もある。そこで、当研究所では、今後も調理や食品加工における塩の作用を明らかにすることにより、「用途に応じた使いやすい塩」を目指すとともに、ここで得られた科学的な情報については、ホームページなどを通して提供していきたい。

参考文献

- 1) 財団法人塩事業センター, “市販食用塩データブック”, (2004)
- 2) 鴨志田智之, 篠原富男, “せんごう塩の流動性評価に関する検討-流動性評価におけるモデルの適用-”, *海水総合研究所研究報告*, 7, pp. 37-40 (2005)
- 3) 鴨志田智之, 党弘之, 篠原富男, “塩の溶解における粒径分布および粒子形状の影響”, *海水誌* 56, pp. 318-322 (2002)
- 4) 江崎 茂, 杉山幹雄, “水分変化における食塩の固結現象”, *日塩誌*, 14, pp. 303-307 (1961)
- 5) 党 弘之, 篠原富男, 鴨志田智之, “食塩の吸湿固結防止法の検討”, *海水総合研究所研究報告*, 6, pp. 45 (2004)
- 6) 小池五郎, 小泉武夫, 小川敏男, 篠原和毅, 板倉弘重, 辻啓介, 前田安彦, “漬物の科学と健康”, 漫画社, pp. 1-246 (1989)
- 7) 中山由佳, 谷井潤郎, 長谷川正巳, “ウメ漬けにおける塩種の違いが脱水、浸透作用におよぼす影響”, *海水誌*, 60, pp. 348-351 (2006)
- 8) 中山由佳, 谷井潤郎, 長谷川正巳, “野菜の脱水、浸透挙動における NaCl の作用”, *日本海水学会第 57 年会研究技術発表会講演要旨集*, pp. 52-53 (2006)
- 9) 横塚章治, “製麺における食塩の役割”, *調理科学* 25, pp. 47-50 (1992)
- 10) 眞壁優美, 中山由佳, 谷井潤郎, “うどんの食感に及ぼす塩類の影響”, *日本海水学会第*

58 年会研究技術発表会講演要旨集, pp. 28-29 (2007)

安全・安心をより確かなものに

海水総合研究所 野田 寧

1. はじめに

近年、農薬が残留した野菜の輸入を始め、賞味期限表示に関する偽装事件など、食品の安全性に関わる事件や問題が次々と明らかとなり、毎日のように新聞やテレビを賑わせている。こうしたことから、消費者の食品の安全性に対する関心は高まり、食品製造者は、これまで以上に安全性への取り組みを厳密に行わなくてはならないようになった。

ちなみに、日本人が一日に摂る塩の平均値は 10.7g 程度(2004 年：厚生労働省調査)である。この数値だけを見ると、塩の摂取量は少ないように感じるかもしれないが、当センターでは、塩は生命維持に不可欠で代替性のない食品であり、量は少なくとも毎日食べるからこそ、安全であることが必須だと考えている。

本講演では、当センターにおける安全性への取り組みに関する考え方を述べ、この考え方を基に、これまでに実施してきた研究所の取り組みを紹介する。

2. 塩の安全性および取り組みに関する考え方

図 1 に当センターの塩の安全性およびその取り組みに関する考え方を整理して示した。

当センターでは、塩の安全性を確保するためには、まず、わが国において定められた規制、国際的な規格・基準を遵守することが重要だと考えている。また、もう一方で、表示偽装事件などで問題になっている原料、製造工程、製品に至る製造履歴(トレーサビリティ)の明確化についても、当センターでは独自のトレーサビリティシステムの構築を目標としている。

わが国の食品に対する規制の代表的なものに食品衛生法があり、その目的は、「公衆衛生の見地から必要な規制その他の措置を講ずることにより、飲食に起因する衛生上の危害の発生を防止し、もって国民の健康の保護をはかる」ことであり、全ての食品はこの法律を遵守しなければならない。近年、食品中への残留農薬の問題から施行された「食品中に残留する農薬等に係るポジティブリスト制度」も食品衛生法によって規制された制度である。

また、国際的な規格には、FAO(国連食糧農業機関)と WHO(世界保健機関)による委員会が、様々な食品に関する公正取引や消費者の健康を守るためにガイドラインや基準を設定した

CODEX 規格がある。食用塩に関する CODEX 規格としては、有害 5 元素と呼ばれる銅、カドミウム、鉛、ヒ素、水銀が対象となる。

さらに、原料、製造工程、製品に至るトレーサビリティの明確化については、HACCP などの国際的なガイドラインが制定されている。

これら安全性に対する規制では、対象となる物質が多岐に渡ることや、極微量までの分析結果が必要になるなど、現状ではそのまま適用することが難しいものも多く、規制の内容を適切に解析した上で、塩の安全性を確保するために必要な物質を選定する必要があるものと考えている。さらに、ここで選定した物質については、塩固有の性質を考慮した分析方法の開発や、工程調査などを実施することによって、センター独自に、合理的な基準やガイドラインを策定することが必要だと考えている。

一方で、こうした自主基準を運用するためには、工程調査などを適切に実施し、対象物質の有無、挙動を明らかにすることによる検証が必要とも考えてお

り、こうした調査によって対象物質の見直しや工程改善などを行い、より厳密なトレーサビリティシステムを構築していくことを目標としている。

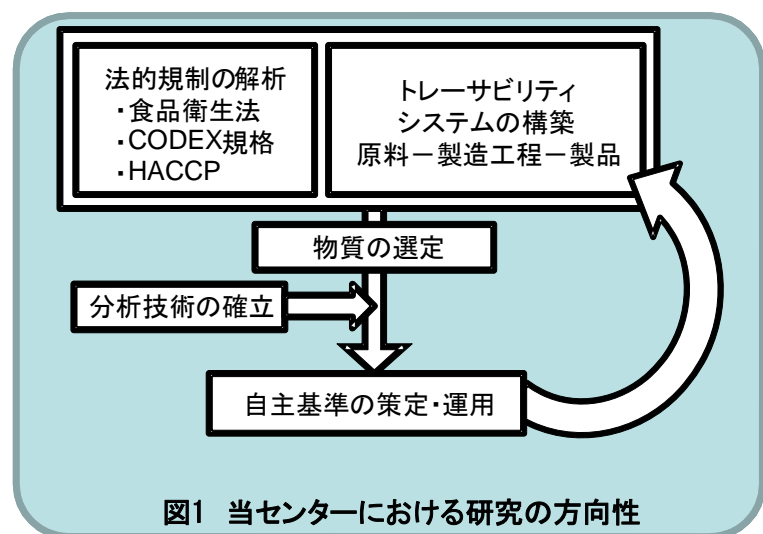


図1 当センターにおける研究の方向性

3. 塩の安全性に関する研究の取り組み

3.1 製造基準の策定

食品衛生法では、原料、装置材料、食品添加物、包装容器に関する規制があり、これを遵守することが前提であるが、前述したように原料、製造工程、製品にいたるトレーサビリティを明確にし、プロセス全体の安全性をより確実なものにすることを目的に、当センター独自に製造基準の策定を行い、2005年10月から運用を開始した。

この製造基準は、原料、装置材料、食品添加物、包装容器の安全性を保証し、さらに異物混入、汚染についても適切な対策を講ずることを主旨としている。イオン交換膜法製塩を例にその概略を述べると、以下のようになる。

(1) 原料

原料である海水は清澄で汚染のないものであること。

(2) 装置材料

製造工程で使用する装置材料は、食品衛生法第 15 条、16 条および 18 条で定められた規格・基準を満たした材料（厚生省告示第 370 号）を使用すること。また、それら材料からの溶出状態を監視し、異常のあった場合には対策を講じること。

(3) 食品添加物

食品添加物（加工助剤を含む）は、食品衛生法第 11 条で定められた規格・基準（厚生省告示第 370 号）を満たすこと。また、使用にあたっては使用基準などを遵守すること。

(4) 包装容器

包装容器は、食品衛生法第 11 条で定められた規格・基準（厚生省告示第 370 号）に適合するものを使用すること。また、それら包装容器からの溶出状態を監視し、異常のあった場合には対策を講じること。

(5) 異物混入および汚染

原料、装置材料、包装容器、作業員、環境などに起因する異物混入や汚染がないように、対策を講じること。

ただし、イオン交換膜法製塩における原料は海水であるため、食品を対象にした食品衛生法をそのまま適用することはできない。そのため、この製造基準では、環境基本法「人の健康保護に関する環境基準」を適用して、表 1 に掲げる物質を対象に、原料である海水が清澄で汚染がないことを保証することになっている。

前述したように、製造基準は、食品衛生法に準拠させるため、食品工業において安全性に関わる対象が網羅されるが、塩および製塩の特徴も考慮することが必要で、製造基準はこうした特徴を配慮したものになっている。

例えば、製塩環境は、製塩技術に関する研究でも述べたように、非常に腐食性の高い環境である。単に食品衛生法を適用するだけでなく、金属材料からの溶出を監視し、腐食が進み溶出量が増加すれば、当然対策を講ずる必要がある。

また、食品では、微生物の問題がよく取り上げられるが、塩ではどうなのであろうか。食品の微生物検査で検出されるような一般細菌や大腸菌群などが、塩から検出される

ことはまずない。ところが、海水には多くの好塩菌(生存のために塩分が必要な細菌)が生息しているのである。もちろん、これも製塩環境の特徴で、食品衛生法ではこのような細菌は規定されていない。

これまでの研究所における研究では、にがりや塩の中でも生息できる好塩菌がいることがわかっている。

イオン交換膜法製塩など、プロセスに加熱蒸発操作がある場合には、塩からこうした細菌が検出されることはないが、この

ような操作のない天日塩から検出される例や、岩塩からも検出されるとの報告¹⁾もある。こうした細菌が人体に悪影響を及ぼすかは不明だが、安全性を保証するためにはこうした細菌についても適切な管理が必要と考え、製造基準の中では塩製品における好塩菌の一種である海洋性細菌の検査も行っている。

表1 環境基本法「人の健康保護に関する環境基準」

物質名	
カドミウム	ヒ素
全シアン	総水銀
鉛	アルキル水銀
六価クロム	PCB
ジクロロメタン	1,3-ジクロロプロペン
1,2-ジクロロエタン	チウラム
1,1-ジクロロエチレン	シマジン
シス-1,2-ジクロロエチレン	チオベンカルブ
1,1,1-トリクロロエタン	ベンゼン
1,1,2-トリクロロエタン	セレン
硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	トリクロロエチレン
テトラクロロエチレン	四塩化炭素

3.2 残留農薬に関するポジティブリスト制度への対応

2006年5月に施行されたポジティブリスト制度では、食品中に残留する農薬、動物用医薬品および飼料添加物(以下、農薬等)約800項目について残留基準が定められ、この基準を超えた食品の流通を禁止するものである。もちろん、塩の製造工程において農薬等が使用されることはないが、同制度下では全ての食品が対象となるため、塩も例外ではない。

一方、ポジティブリスト制度の適用においては、約800項目に及ぶ農薬等を分析する義務はないが、食品に農薬等が残留しないことを何らかの方法で証明することが必要となる。そのため、塩および塩製造工程の特徴を考慮することによって対象項目の選定、およびそれに係る分析技術の構築を行い、製造基準と同様に原料、製造工程、製品にお

いて農薬等が残留しないことを確認することとした。

対象となる農薬等の選定では、環境に由来する項目、加工食品中の食材に由来する項目の2つに着目して検討を行った。

①環境に由来する項目(42項目)

生活用塩の原料である海水に関する法規制として環境基本法に着目した。環境基本法には、水質汚濁に係る環境基準(15項目)、公共用水域等における農薬の水質評価指針(27項目)があり、これらを選定した。

②加工食品中の食材に由来する項目(93項目)

塩を比較的多く使用する加工食品(味噌、醤油、漬物、かまぼこ、チーズ、パン、麺類)の主原料である大豆、米、麦類、葉菜類、魚類、梅、生乳等を対象に厚生労働省が設定したポジティブリスト制度暫定基準を参考として集計した。その中から生産量、食品の残留農薬検査での検出率および毒性を参考とし、代表的な93項目を選定した。

表2 農薬等生産量(平成16年度)

生産量* (t)	農作物・生乳系	魚類系
0以上50未満	50	62
50以上500未満	173	8
500以上1000未満	9	2
1000以上	10	1

*生産、輸入されているものを対象

以下に選定における考え方を示す。

生産量を調査し、年間500t以上、生産または輸入されている22項目を選定した(表2)。

食品の残留農薬検査での検出率については、検出率が1%以上の項目に、厚生労働省が2004年度、2005年度において違反を摘発した項目を加え、82項目を選定した(表3)。毒性については、塩における農薬の許容濃度を1mg/kgとし、それを体重50kgの人間が塩を平均10g/日摂取したときのADI値(0.0002mg/kg体重/日以下)より11項目を選定した(表4)。

①および②において選定した農薬等より、重複したものを除くと116の農薬等が対象となる。ただし、選定した116の農薬等の中には、例えば、「メタラキシル及びメフェノキサム」のように複数の農薬で1つの項目を構成しているものもあり、実際に対象となる物質の数としては162である(表5)。

表3 食品中残留農薬等検査検出率

農作物・生乳系		魚類系		
検査での検出率*	項目数	検査の種類*		項目数
検出なし	218	検出率1%以上		6
0%	131	厚労省の検査による違反摘発	食品一般	3
1%未満	84		畜水産	4
1%以上	70	合計(重複除く)		12

*検査数 100 以下を除く

表4 農薬等の毒性(ADIにより判断)

ADI 値* (mg/kg 体重/日)	農作物・生乳系	魚類系
0.0002 以下	5	6
0.0003 以上 0.0010 未満	15	14
0.0010 以上 0.0100 未満	100	30
0.0100 以上 0.1000 未満	81	15
0.1000 以上	29	11
データなし	277	36

*ADI 値が低いと毒性が高い物質であることを示す

これまでに、当センターの販売商品に、これら農薬等の残留がないことを分析により確認している。

また、前述したように、原料、製造工程、製品にいたるプロセスにおいても、農薬等が残留しないことを検証するために、図2に示すように、周辺環境からの混入や流通過程における混入などを含め、検証を行っている。

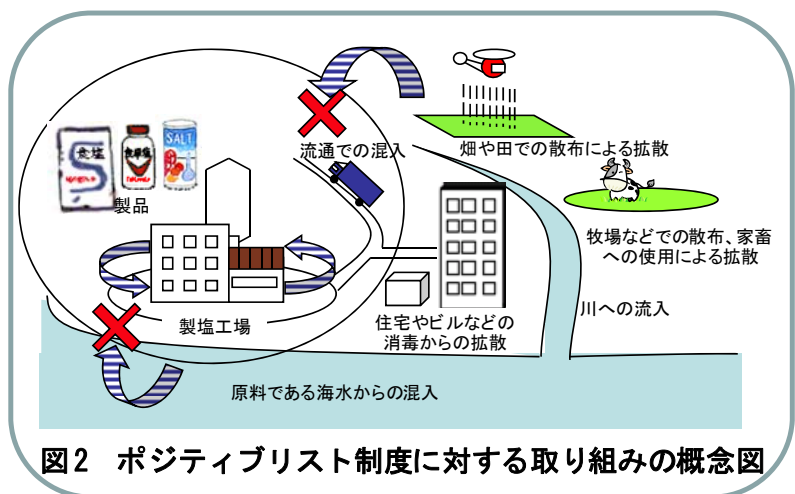


図2 ポジティブリスト制度に対する取り組みの概念図

3.3 CODEX 規格の適用

当センターでは、CODEX 規格(=食品の国際規格)で定められた有害 5 元素(銅、カドミウム、鉛、ヒ素、水銀)を新たに加えた品質規格を 2005 年 4 月から適用した。

4. 分析技術の開発

安全性を評価する方法としては、科学的なデータが最適である。科学的データを得るためには、分析技術が必要となるが、食品衛生法で通知されている分析法は、一般的な食材あるいは食品を対象としたものであり、前述したように、塩や製塩試料にそのまま適用できない場合が多い。そのため、当研究所では、これまでに製塩固有の性質を考慮した分析技術を種々開発してきた。

ポジティブリスト制度への対応を例に述べると、対象とした農薬等 162 物質について、GC/MS、LC/MS を用いた一斉分析法をまず構築し、一斉分析が困難な物質については個別分析法、あるいはグループ分析法を開発した。表 5 に分析技術を構築した農薬等を示す。

表 5 ポジティブリスト制度への対応で対象とした農薬等

農薬名	農薬名	農薬名	農薬名	農薬名
2,4-D	オキシテトラサイクリン	40 ジクロロホス	61 トリアジメノール	93 プロフェノホス
2,4-Dナトリウム塩	21 クロルテトラサイクリン	ナレド	62 トリアジメホン	94 プロベナゾール
2,4-Dジメチルアミン塩	テトラサイクリン	41 ジクワット	63 トリアゾホス	95 プロモブチド
2,4-Dエチル	22 オキシシ銅(有機銅)	42 ジコホール	64 トリクロロホン	96 プロモプロピレート
2,4-Dイソプロピル	23 オメトエート	ジネブ	65 トリシクラゾール	97 ベタメタゾン
2,4-Dブトキシエチル	24 カラゾール	ジラム	66 トルクロホスメチル	98 ベルメトリン
2,4-Dアルカノールアミン塩	カルタップ	チラム	67 ノルジエストメット	99 ベンシクロン
pp'-DDD	25 ペンシルタップ	ニッケルビスジチオカーバメート	68 パラチオン	100 ベンスリド
pp'-DDE	チオシクラム	フェルバム	69 ビテルタノール	101 ベンタゾン
pp'-DDT	26 カルバリル	43 プロビネブ	70 フェントリン	102 ベンタゾンナトリウム塩
op'-DDT	カルベンダジム	マンコゼブ	71 ビベロニルプトキシド	101 ベンディメタリン
3 EPN	ベノミル	マンコゼブ	72 ビラクロホス	102 ベンフラカルブ
4 アセタミプリド	27 チオファネートメチル	マンネブ	73 ビリダフェンチオン	103 カルボフラン
5 アセフェート	チオファネート	メチラム	74 ビリダベン	104 3-OHカルボフラン
6 アゾキシストロビン	28 キナルホス	44 シハロトリン	75 ビリミホスメチル	104 ホセチル
7 イソキサチオン	29 キャプタン	45 シベルメトリン	76 フィプロニル	104 亜リン酸
8 イソプロチオラン	グリホサート	46 シマジン	77 フェントロチオン	105 マラチオン
9 イプロジオン	グリホサートアンモニウム塩	47 ジメトエート	78 フェノプロカルブ	106 ミクロブタニル
イプロジオン代謝物	30 グリホサートイソプロピルアミン塩	48 ジメトホルフ	79 フェントエート	107 メソミル
10 イプロベンホス	グリホサートトリメシウム塩	49 シメトリン	80 フェンバレレート	107 チオカルブ
11 イマザリル	グリホサートナトリウム塩	50 シラフルオフェン	81 フェンブコナゾール	108 メソミルオキシム
12 イミダクロプリド	31 グルホシネート	51 スルファジメトキシ	82 フェンプロバトリン	108 メタミドホス
イミノクタジン	31 グルホシネートアンモニウム塩	52 スルファモノメトキシ	83 フサライド	109 メタラキシル
イミノクタジン三酢酸塩	3-メチルホスフィニョプロピオン	53 ダイアジノン	84 プタミホス	109 メフェノキサム
イミノクタジンアルベシル酸塩	32 クレソキシムメチル	54 チアベンダゾール	85 プロフェジン	110 メチダチオン
14 エスプロカルブ	33 クロルニトロフェン	55 チオベンカルブ	86 フルトラニル	111 メチルイソチオシアネート
15 エチオン	34 クロルピリホス	56 ディルドリン	87 フルバリネート	111 ダゾメット
16 エディフェンホス	35 クロルピリホスメチル	56 アルドリン	88 プレチラクロール	112 メタム
17 エトフェンプロックス	36 クロルフェナピル	57 テトラコナゾール	89 プレドニゾロン	112 メフェナセット
18 エンドスルファン	37 クロタロニル	58 テトラジホン	90 プロシムン	113 メプロニル
19 エンドリン	38 ジエトフェンカルブ	59 テブフェンピラド	91 プロバルギット	114 モノクロトホス
20 オキサジキシル	39 ジクロフェンチオン	60 デルタメトリン	92 プロビザミド	115 モリネート
		トラロメトリン		116 リンデン(γ-BHC)

また、最近では、安全性をより確実にするため、塩や海水、製塩工程におけるさまざまな試料に含まれる元素について、極微量まで測定することが要求されることがある。CODEX 基準で対象となる有害 5 元素などもその例であり、当研究所では、これまで前処理による濃縮操作と最新の分析機器を組み合わせた方法を検討し、これまで測定が困難であった元素についても測定を可能にした。図 3 は、現在、研究所で分析可能な元素を示したものである。

1																	18	
1 H 水素																	2 He ヘリウム	
3 Li リチウム	4 Be ベリリウム											13 B ホウ素	14 C 炭素	15 N 窒素	16 O 酸素	17 F フッ素	18 Ne ネオン	
11 Na ナトリウム	12 Mg マグネシウム											13 Al アルミニウム	14 Si ケイ素	15 P リン	16 S 硫黄	17 Cl 塩素	18 Ar アルゴン	
19 K カリウム	20 Ca カルシウム	21 Sc スカンジウム	22 Ti チタン	23 V バナジウム	24 Cr クロム	25 Mn マンガン	26 Fe 鉄	27 Co コバルト	28 Ni ニッケル	29 Cu 銅	30 Zn 亜鉛	31 Ga ガリウム	32 Ge ゲルマニウム	33 As ヒ素	34 Se セレン	35 Br 臭素	36 Kr クリプトン	
37 Rb ルビジウム	38 Sr ストロンチウム	39 Y イットリウム	40 Zr ジルコニウム	41 Nb ニオブ	42 Mo モリブデン	43 Tc テクネチウム	44 Ru ルビジウム	45 Rh ロジウム	46 Pd パラジウム	47 Ag 銀	48 Cd カドミウム	49 In インジウム	50 Sn スズ	51 Sb アンチモン	52 Te テルル	53 I ヨウ素	54 Xe キセノン	
55 Cs セシウム	56 Ba バリウム	57~71 ランタノイド	72 Hf ハフニウム	73 Ta タンタル	74 W タングステン	75 Re レニウム	76 Os オスマニウム	77 Ir イリジウム	78 Pt 白金	79 Au 金	80 Hg 水銀	81 Tl タリウム	82 Pb 鉛	83 Bi ビスマス	84 Po ポロニウム	85 At アスタチン	86 Rn ラドン	
87 Fr フランシウム	88 Ra ラジウム	89~103 アクチノイド																
ランタノイド		57 La ランタン	58 Ce セリウム	59 Pr プラセオジム	60 Nd ネオジム	61 Pm プロメチウム	62 Sm サマリウム	63 Eu ユウロピウム	64 Gd ガドリニウム	65 Tb テルビウム	66 Dy ジスプロシウム	67 Ho ホウミウム	68 Er エルビウム	69 Tm ツリウム	70 Yb イットルビウム	71 Lu ルテチウム		
アクチノイド		89 Ac アクチニウム	90 Th トリウム	91 Pa プロトアクチニウム	92 U ウラン	93 Np ネプツニウム	94 Pu プルトニウム	95 Am アメリシウム	96 Cm キュリウム	97 Bk バークリウム	98 Cf カリホルニウム	99 Es アインシュタインウム	100 Fm フェルミウム	101 Md メンデレビウム	102 No ノーベリウム	103 Lr ローレンシウム		

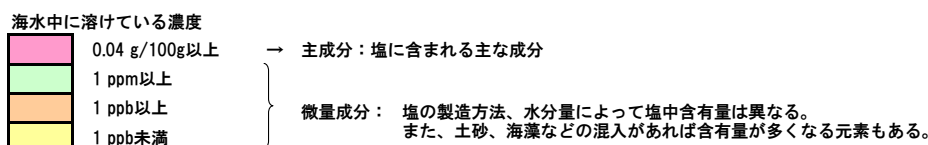


図3 研究所において分析可能な元素(色をつけた元素)

5. 今後の研究の展開

安全性の研究を行っていく上で構築した分析技術により、表6に示すような物質の測定が可能となった。

表6 安全性評価のために開発した代表的な分析技術

無機物質	有害5元素やその他の重金属
有機物質	高分子化合物、合成原料(ベンゾフェノン、ニトロトルエン等) 食品添加物(脂肪酸エステル、ポリリン酸、シリコーン樹脂等) 農薬(ポジティブリスト対象116項目等) 環境基準対象物質、環境ホルモン対象物質、POPs対象物質、RoHS対象物質等
微生物	一般細菌、大腸菌群、海洋性細菌、高度好塩菌

こうした分析技術の開発により、これまでに塩や海水、製塩工程におけるさまざまな試料の分析方法(塩試験方法)としてまとめられ、塩や製塩に携わる人々に活用されているとともに、市販食用塩に含まれるさまざまな元素を測定して、資料にまとめた「市販食用塩データブック」を発刊している(図4)。

一方、製塩工程は様々な分離・濃縮プロセスによって構成されており、海水中に存在する物質の大半は各プロセスによって分離



図4 市販食用塩データブック

され、塩だけが製品として生産される。したがって、海水中に存在する様々な物質へ開発した分析技術を利用し、それにより製塩工程でどのような挙動を示すのかが明らかになれば、海水環境の評価、海水環境の改善あるいは浄化技術における工学的なアプローチへ繋がるものと考えている。

参考文献

- 1) 亀倉正博, “地下岩塩中の微生物”, 地学雑誌, 112, pp. 262-276 (2003)

豊かな海を守り、恵みを得るために

海水総合研究所 長谷川 正巳

1. はじめに

食のグローバル化がいわれる現在、さまざまな国の商社が自国の食料を確保するため世界中を奔走している。また、石油や石炭などのエネルギー資源の高騰は、少なからず私たちの生活を圧迫している。こうした状況は今後も続くことが容易に予測でき、わが国における資源の確保はますます困難になるだろうと思われる。

資源が乏しく、食料やエネルギーなどを海外からの輸入に頼らざるを得ないわが国にとって、資源の確保は本気で取り組まなくてはならない重要な課題である。最近、こんなことを考えながら、大学、企業の研究者の方々と議論を深め、海水を資源としたときの可能性を模索してきた。

本講演では、まず「自給率」をキーワードに我が国における海水資源利用技術の現状を述べ、その上で、さまざまな分野の研究者とともに、これから取り組もうとしている研究の方向性について紹介する。

2. 海水資源利用技術の現状

2.1 水

わが国における食料の「自給率」と言うと、図1に示すように、カロリーベースで1965年には73%だったが2005年には40%と激減している。一見、海水資源とは関係ないように思うかもしれないが、ここで問題となる点は、食料を大量に輸入することによって、大量の水を輸入していることである。

すなわち、農作物や畜産物を

生育させるためには大量の水を使用する訳だが、使用された水は、図2に示すように間接的に輸入されているとみなすことができるのである(仮想水概念)。

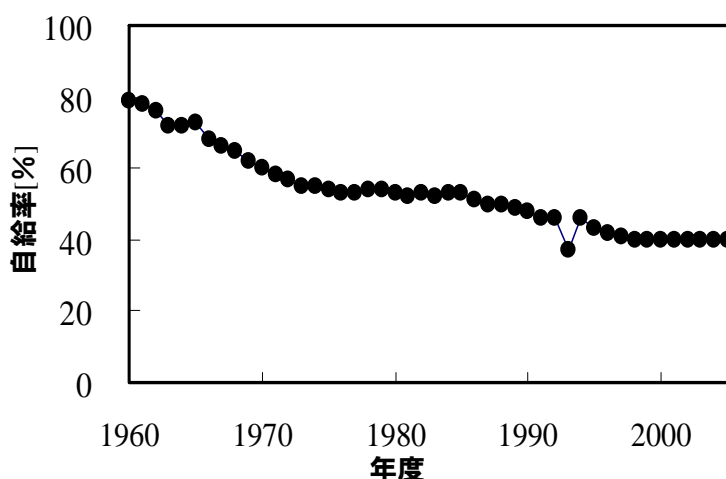


図1 カロリーベースの食料自給率の変化
(農林水産省 HP : 「食料自給率の部屋」を参考)

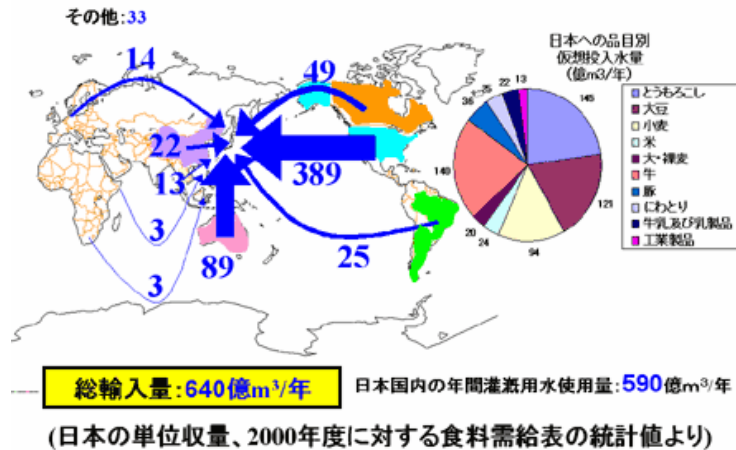
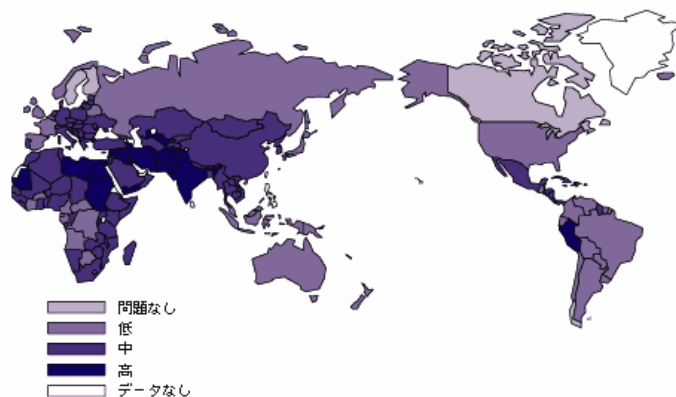


図2 わが国の仮想水輸入量の内訳(農林水産省 HP より)

こうして算出されたわが国における水の「自給率」は 40%程度といわれている。この数値を国民一人あたりが利用できる水の量に換算すると世界平均の 1/3 程度となり、わが国は決して水が豊富ではないのである。

一方、地球温暖化が原因と考えられる異常気象は、世界各地に豪雨や砂漠化現象を引き起こしている。これに加え、世界的な人口増加による食料の増産によって、地下水の枯渇や地下水位の低下が起こって土壌が塩で汚染されるなど、世界規模で水不足が起こっていることが報道されている。余談にはなるが、わが国における食料の「自給率」の低下は、世界規模での環境破壊にも繋がる大きな問題なのである。

図3は、世界における水不足の状況を示したものであるが、わずかに水資源に問題がないとした地域が見られるものの、食料輸入量の多い中国、アメリカ、オーストラリアなどは、総じて水不足であることがわかる。



Stockholm Environment Institute, Comprehensive Assessment of the Fresh-water Resources of the World, 1997 より

図3 世界における水不足の状況(国土交通省 HP より)

わが国では、福岡に5万トン/日、沖縄に4万トン/日規模の淡水化設備が稼働するなど、
 渇水対策としての機能を果たすようになってきた。では、世界的にはどうかというと、表
 1に示すように、わが国が占める淡水化プラントのシェアは、蒸発法では第1位であり、
 膜法(RO、ED)などを加えた淡水化プラント全体でもアメリカに次いで第2位なのである。

表1 世界における淡水化プラントの国別シェア
 (社団法人 日本原子力産業協会 HP より)

	Country	THERM	RO	ED	Others	Grand Total	Share
1	U.S.A	1,496,466	6,923,684	1,488,386	121,341	10,029,877	26.6
2	Japan	4,496,700	2,613,587	297,991	538	7,408,816	19.6
3	Italia	3,645,587	350,654	14,616	2,163	4,013,020	10.6
4	France	2,081,987	1,651,999	404	1,082	3,735,472	9.9
5	Spain	89,438	2,271,432	920	4,000	2,365,790	6.3
6	British	1,254,761	591,196	34,299	5,618	1,885,874	5.0
7	Korea	1,527,225	168,351	0	0	1,695,576	4.5
8	Saudi Alabia	1,400	856,237	0	0	857,637	2.3
9	Germany	176,288	624,698	3,120	15,965	820,071	2.2
10	Austria	91,706	658,118	0	0	749,824	2.0

THERM：蒸発法(フラッシュ、真空多重効用、蒸気圧縮法)

RO：逆浸透法

ED：イオン交換膜電気透析法

2.2 塩

これまでの講演でもお話したように、わが国の塩づくりは幾多の工夫、技術革新により、現在のイオン交換膜法へと変化し、現在もなお効率化に向けた研究に取り組んでいる。この結果、現在の食用塩の「自給率」は85%程度を維持している。

2.3 エネルギー資源

わが国のエネルギーの「自給率」というと、わずか4%しかないのである(資源エネルギー庁 HP より)。この「自給率」の低さは、わが国のエネルギー資源の膨大な輸入量に繋がる。ちなみに世界貿易量に占めるわが国の輸入量は、石油12%、石炭24%、天然ガス(LNG)50%(資源エネルギー庁 HP より)なのである。

では、海水資源としてエネルギーを確保する方法はないのだろうか？

実はわが国の近海に世界最大の埋蔵量を誇る資源がある。それは、メタンハイドレートと呼ばれ、メタンの回りを水が取り巻き、低温、高圧下で結晶化して存在するものである。メタンは化石燃料に比べて半分程度の二酸化炭素排出量であること、近年、注目されてい

る燃料電池ではメタンから水素を得るといった方法が検討されていることなどから期待が大きい。ただ残念なことは、メタンハイドレートが1,000m以上の深海に多く存在しているために、実用的な採取方法が開発できていないことやコスト面の問題などから、未だ研究段階にあることである。

また、最近では、燃料電池の開発が精力的に行われており、燃料電池を使った次世代自動車に関する記事なども目にする。しかし、燃料電池は長時間、定常的に発電するには有利だが、瞬間的に高出力を生み出すことができない。したがって、自動車などでは瞬間的に高出力を発生する二次電池が必要となる。現在、こうした二次電池ではリチウム電池がもっとも高性能だといわれている。では、リチウム資源はどうかというと、主要生産国であったチリでは近年の異常気象により雨量が減少し、リチウム資源である地下かん水が得られ難くなったことや、世界的に需要が多くなったことなどから、価格が約2倍まで上昇としたと聞く。海水からのリチウム回収技術については、これまで多くの研究者が研究に取り組んできたが、海水中にはわずか0.17mg/Kgが溶存するだけであり、現状では大量の海水を必要とするなど、実用化には至っていない。

3. 海水資源利用技術の展望と研究の方向性

これまで、資源の利用というと、とかく地球上に存在する資源を消費することが優先されがちであり、そうしたことが地球温暖化などの環境破壊を生み出したとも考えられる。そう考えると、これからの研究では、環境に配慮した資源利用システムの構築が必要なのではないかと思う。

図4は、海水を資源として考えたときのプロセスの一例を示したものである。もちろん、これ以外にもいろいろな可能性が考えられるが、やはり海水資源利用技術として実用化されている製塩、淡水化技術がコアになるものと思う。

原料となる海水は発電プラントで冷却水として利用され、ここで得られた電力と蒸気は本プロセスのエネルギーとして使用する。発電プラントで昇温された海水は淡水化プラントへ供給され、得られた水は農業などに利用し、塩分濃度が7~8%となった排海水は製塩プラントに送られる。製塩プラントでは塩とにがりが生産され、塩は食用あるいは工業用として利用し、にがりの内、カリウム、臭素は工業用へ、マグネシウムやカルシウムは食用などに利用する。また、このにがりは炭酸ガス回収プラントにも送られ、発電プラントなどで排出された炭酸ガスと反応させれば、反応物である炭酸マグネシウムや炭酸カルシ

ウムは工業用として利用でき、このプロセス全体から炭酸ガスを外部に排出することはない。さらに、イオン交換膜の特徴から、リチウムイオンは、その水和半径によってナトリウムイオンに比べて透過し難いため、製塩プラントから排出された海水には、リチウムが濃縮されている。これを希少元素回収プラントに供給してリチウムなどの希少元素を回収する。

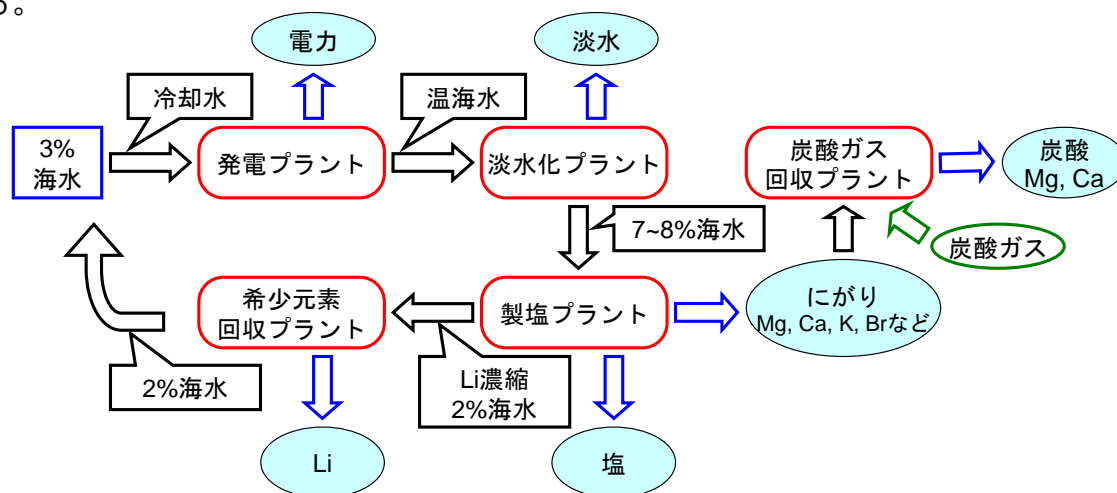


図4 海水資源利用プロセスの一例

こうしたプロセスを実現させるためには、まだまだ検討を必要とする課題が残されていることも事実である。しかし、海水を資源として利用するとともに環境を保全する、このような発想は四方を海で囲まれたわが国ならではのものかも知れないが、であれば、わが国ならではの技術として、世界に先駆けた研究を推し進めることが、技術立国としてわが国が生き残る道に繋がるとともに、世界規模での環境破壊に歯止めをかけることへの、一つの方法にも繋がっていくのではないだろうか。

おわりに

この海水資源利用技術の研究については、日本海水学会の中に、理工学、農学などの研究者や多くの企業の研究者が集い、今年9月には海水資源・環境研究会(仮称)が準備会として発足した。今後、さらに研究の方向性を議論し、来年度から本格的な活動に取り組んで行く予定である。