

公益財団法人塩事業センター 海水総合研究所 公開講演会
Salt & Seawater Science Seminar 2022

塩事業センター海水総合研究所 25年の歩み、そして未来へ

Contents

1. 塩の品質評価と食品への加工適性に関する研究の歩み
公益財団法人塩事業センター 海水総合研究所 次長 野田 寧
2. 製塩技術に関する開発の歩み
公益財団法人塩事業センター 海水総合研究所 次長 正岡功士
3. 研究開発の将来に向けて
公益財団法人塩事業センター 理事・海水総合研究所所長 吉川直人

協賛：(一社)日本塩工業会，全国輸入塩協会，日本特殊製法塩協会，日本海水学会，
(公財)ソルト・サイエンス研究財団，塩元売協同組合，たばこと塩の博物館，
(公社)化学工学会，分離技術会，日本イオン交換学会，日本膜学会，NPO法人JDA協会，
(一社)日本粉体工業技術協会，(公社)腐食防食協会，(一社)日本防錆技術協会，
(一社)資源・素材学会，(一社)環境資源工学会，(一社)軽金属学会，(一社)粉体工学会

2022年12月8日(木)



Salt & Seawater Science Seminar 2022

—塩事業センター海水総合研究所25年の歩み、そして未来へ—



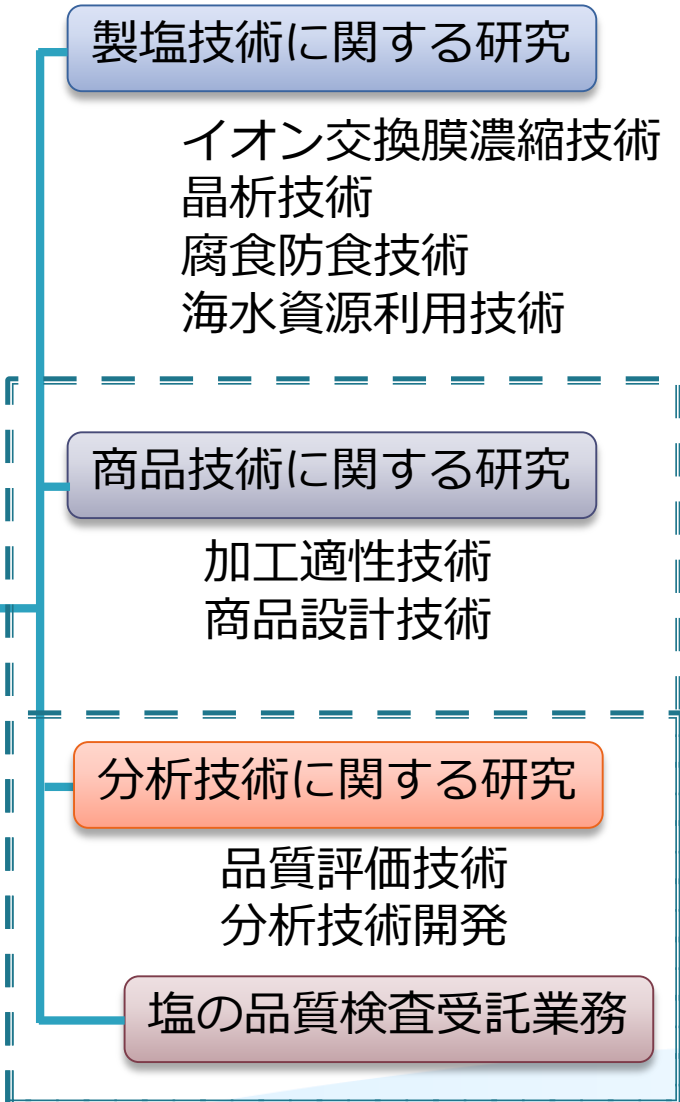
講演1

塩の品質評価と加工適性に関する研究の歩み

(公財)塩事業センター 海水総合研究所

野田 寧

海水総合研究所

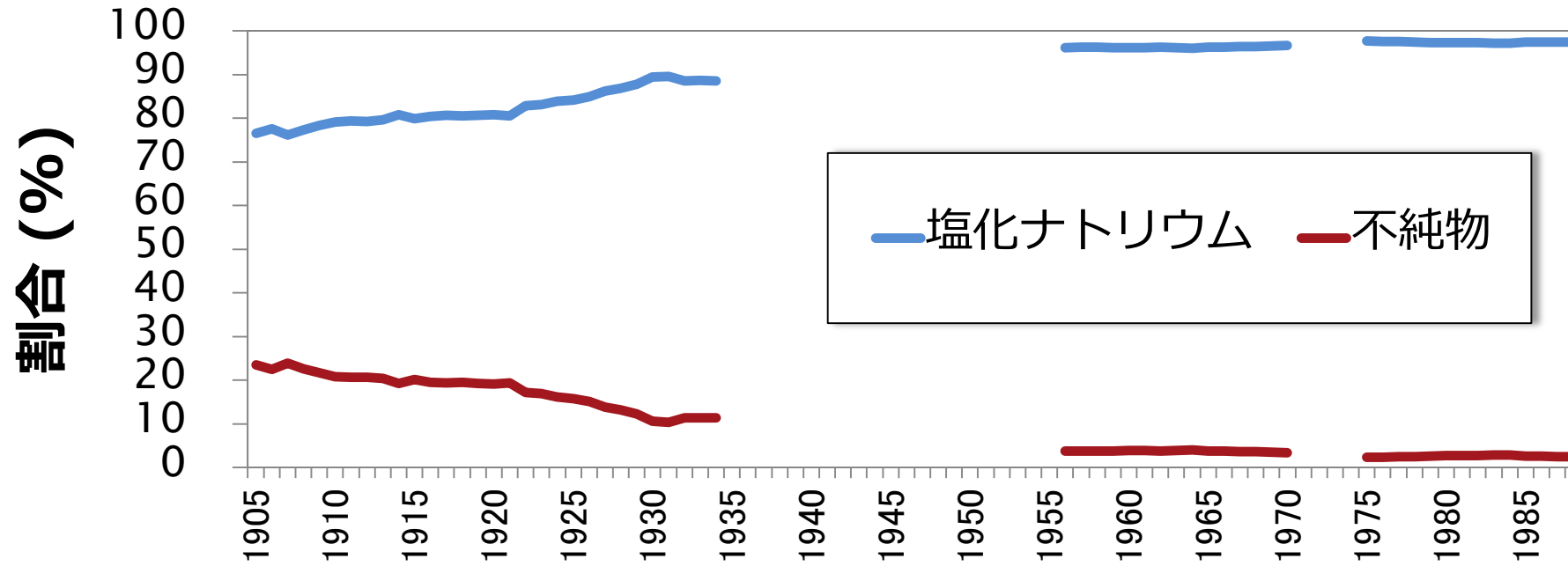


分析技術に関する研究の歩み

品質について：高純度から安全性へ
分析対象の拡大：塩以外の試料へ
分析技術の証明：ISO/IEC17025の活用

食品に対する商品技術に関する研究の歩み

調理・加工における塩の
加工適性技術：調査から研究へ
商品評価技術：固結問題への取組



塩化ナトリウムの純度とその他の主成分の時代による変化

不純物：塩化ナトリウム以外の成分

乾燥減量、不溶解分、硫酸イオン、カルシウム、マグネシウム、カリウム

製塩技術の高度化により、純度の高い製品が生産されるようになった。

品質への要求

高純度

自由化により多種類の商品



安全性

無機成分

微量 (ppm~ppb)

多元素

その他

シアン化合物

六価クロム (分別)

アルカリ金属+Mg (包括)

各種定性分析

分析受託可能な元素
 有害5元素

主成分

測定可能な元素

H																			He
Li	Be											B	C	N	O	F			Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl			Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br			Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I			Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At			Rn
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg									

Lantanoid	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Actinoid	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

有機成分

農薬等 (農薬, 動物用医薬品, 飼料添加物), 添加物 (脂肪酸エステル類, シリコン樹脂など), 環境 (陰イオン界面活性剤など), カビ毒, 遊離アミノ酸

その他

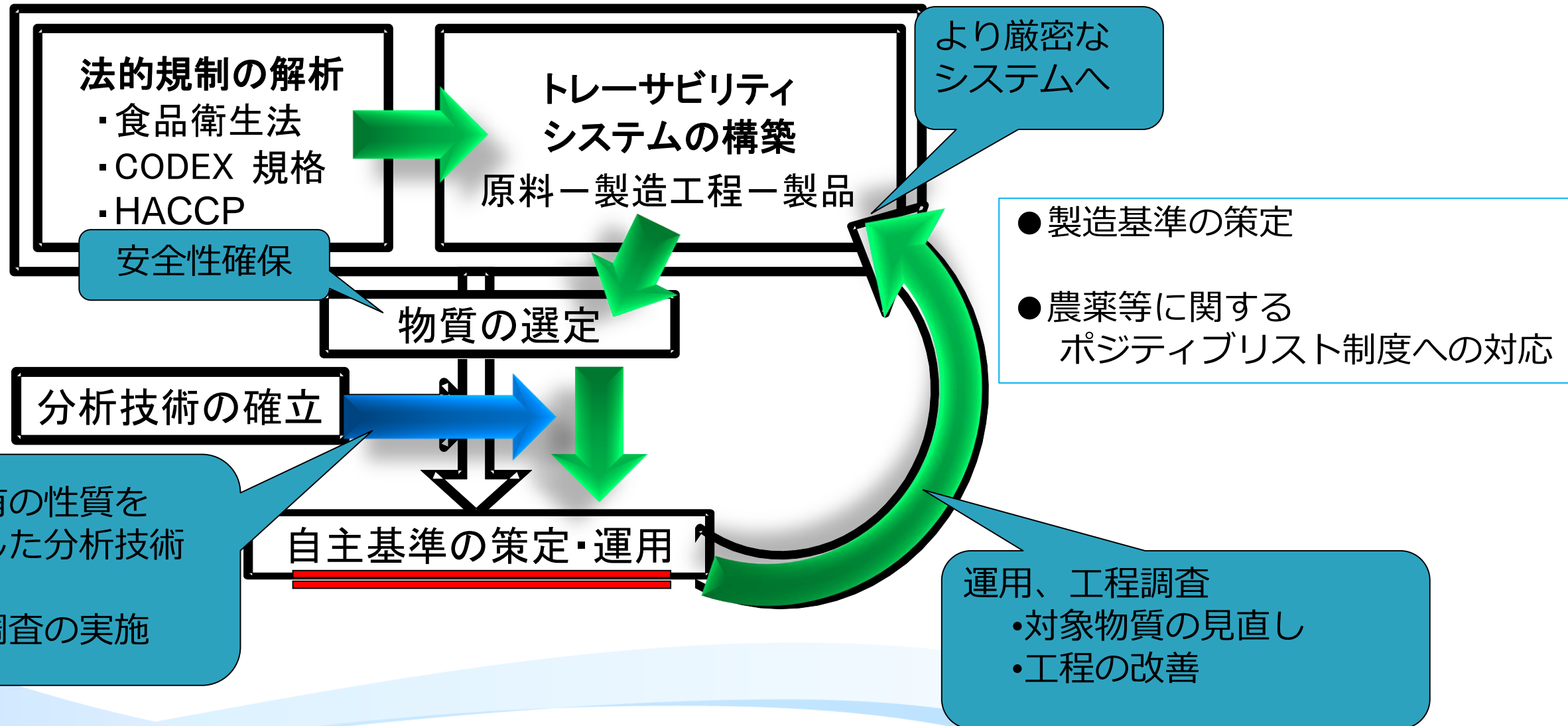
放射能, 微生物など

塩に関連する法改正や事件事故の略年表

法改正, 事件事故,
センターの対応

- 1970 水質汚濁に係る環境基準
- 1996 財団法人塩事業センター発足**
- 1999 ダイオキシン類による大気汚染, 水質の汚濁及び土壌の汚染に係る環境基準
- 2000 香料への混入事件 (ひまし油, アセトアルデヒド)
- 2002 フェロシアン化物が食品添加物に指定
- 2005 食品衛生法; 農薬等に関するポジティブリスト制度
塩の製造基準運用開始
農薬等に関するポジティブリスト制度対応
- 2006 EU RoHS指令 施行
- 2008 冷凍餃子への農薬混入事件, 事故米不正流通 (アフラトキシン)
福島第一原子力発電所事故による放射能汚染
- 2011 食品衛生法; 放射能濃度基準
- 2013 EU RoHS指令 改正 (RoHS2指令)
- 2014 HACCP: 食品等事業者が実施すべき管理運営基準
- 2015 食品表示法; 栄養成分表示
- 2017 マイクロプラスチックの食品等への混入が話題
- 2020 食品衛生法; 食品用器具・容器包装に係るポジティブリスト制度
農薬等に関するポジティブリスト制度改訂

塩の安全性及び取組みの考え方（2007年公開講演会のスライドから）



製造基準 (食塩の例)

原料海水の調査

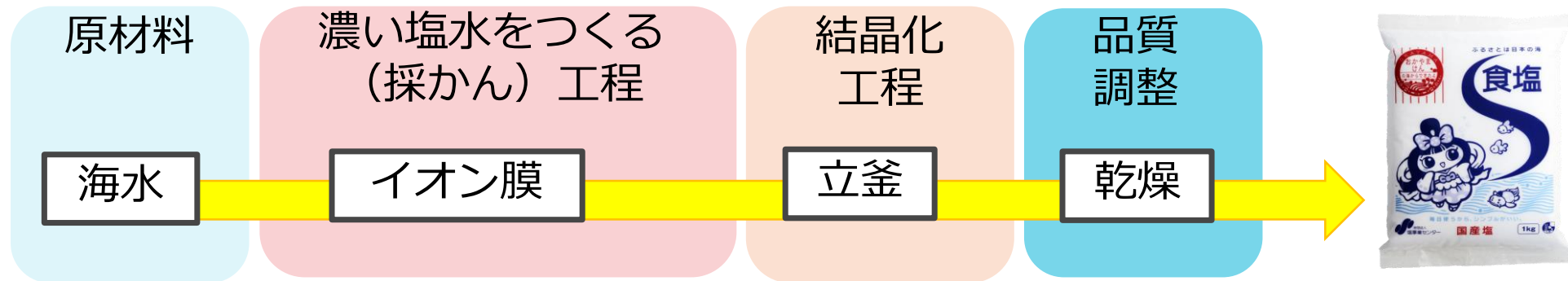
ヒ素, 鉛, 亜鉛
フッ素, ホウ素, 硝酸性窒素
サルモネラ, 黄色ブドウ球菌, 腸炎ビブリオ
クロストリジウム

装置材料(金属系)の溶出調査

鉄, クロム, ニッケル, 銅, 亜鉛, チタン, アルミニウム

包装材料の溶出調査

ポリエチレン
フタロシアニンブルー
酢酸ビニル樹脂
ポリビニルアルコール



装置材料(非金属系)の溶出調査

ポリエチレン, スチレン, ジビニルベンゼン, イソプレン
ブタジエン, アクリル, 塩化ビニル, フッ化エチレン
ビスフェノールA, ポリプロピレン, ナイロン

衛生環境調査

一般生菌・大腸菌群
海洋性細菌, 高度好塩菌

農薬等に関するポジティブリスト制度への対応

対象農薬等（農薬，動物用医薬品，飼料添加物）の選定



選定した全ての農薬等
について分析法を確立

①環境に由来する農薬

海水環境を中心とした農薬の選定

水質汚濁に係る環境基準「環境基本法」(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)

②加工食品中の食材に由来する農薬

塩を比較的多く使用する加工食品の主原料に使用される代表的な農薬の選定

改定

② 環境中における外部からのドリフトによる混入の可能性を検討し、
日本国内で使用されている農薬等の生産量，残留性，毒性を基に再選定した。

2020年

現在，食用塩で対象となる農薬等は**66項目**となっている

安心・安全を検証するために、分析対象項目が拡大

食品衛生法の改正

農薬等, 放射能, 栄養成分

食用以外の塩についての規制等へも対応

RoHS, 環境基本法



熱分解GC/MS



ICP-MS

分析対象**項目**の拡大により,
多種類の分析機器を活用

分析の自動化
効率化
迅速化

分析対象**試料**の拡大



EDTA自動滴定



Ge半導体検出器



原子吸光光度計



イオンクロマトグラフィー

製塩に係る副産物

塩化マグネシウム, 塩化カリウム, 粗製海水塩化マグネシウムなど

主な試験法: 食品添加物公定書, 水質汚濁防止法

各試験法について効率化した分析法の開発

例: 食品添加物公定書における鉛, ヒ素の分析法の効率化

凍結防止剤 (塩化カルシウム, プロピオン酸ナトリウム) の分析法開発

試験所・校正機関の認定制度の歴史

ISO/IEC Guide 25 発行	1978
ISO 9001 発行	1987
ISO/IEC 17025発行	1999
ISO/IEC 17025改訂	2005
ISO/IEC 17025改訂	2017

海水総合研究所
ISO/IEC 17025 の取得 1999年3月

ISO/IEC 17025 に定められている要求事項を満たしていること



試験所として国際的に認められる技術的能力があることの証明

- 職員の技術的能力
- 試験方法の妥当性適切性
- 測定及び校正の国家標準へのトレーサビリティ
- 試験機器の適切性、校正、保守
- 試験環境
- 試験及び校正結果の品質保証

国際的に認められる分析報告書となる

試験所としての技能維持のためにも外部認証を利用している

塩試験方法

- 1997 1版 機器分析，物性試験方法の追加
- 2002 2版 添加物を追加．国際単位
- 2007 3版 機器分析の拡充，溶媒等薬品の変更
- 2013 4版 塩化物イオン電位差滴定法の追加
- 2019 5版 機器分析の拡充．衛生試験方法の追加

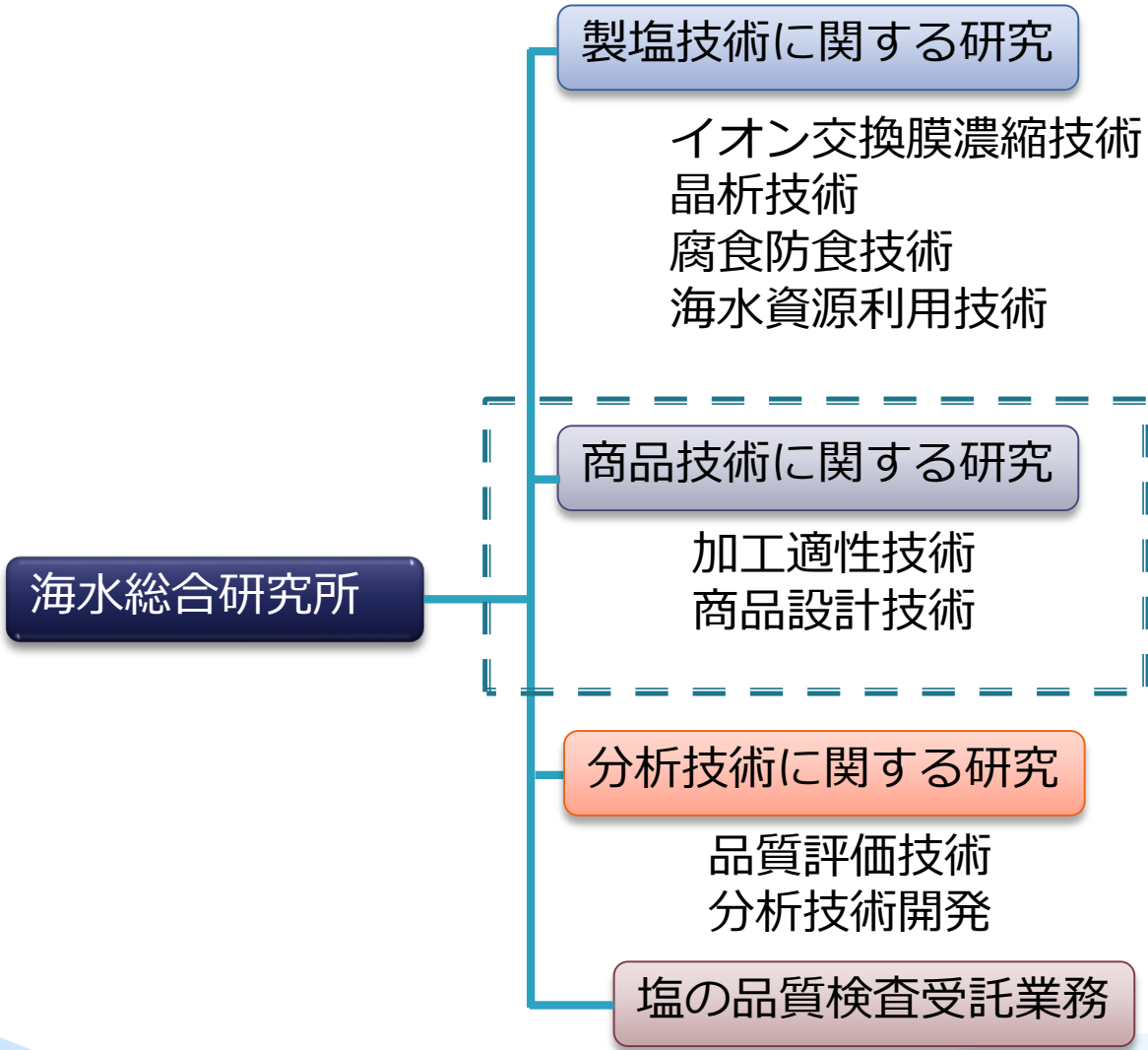
PDF化
無償でDL可能

最近の分析法の開発

農薬等に関するポジティブリスト制度改訂に係る分析法開発
凍結防止剤（プロピオン酸ナトリウム）分析法の開発
腸炎ビブリオ，クロストリジウム，サルモネラ，黄色ブドウ球菌検査法の開発
画像解析法による平均粒径測定法の開発
ICP-OESによる食品添加物用分析法の効率化

分析技術のまとめ

塩に関する分析技術を開発すると共に，塩で培った分析技術を製塩副産物などを含めた化成品などの無機化合物の分析法へ応用することなどにより，社会へ貢献できるよう研究開発を継続していく。



分析技術に関する研究の歩み

品質について：高純度から安全性へ
分析対象の拡大：塩以外の試料へ
分析技術の証明：ISO/IEC17025の活用

食品に対する商品技術に関する研究の歩み

調理・加工における塩の
加工適性技術：調査から研究へ
商品評価技術：固結問題への取組

調理・食品加工における塩の種類(流動性, 溶解性, 付着性, 成分) による効果

脱水浸透作用, 保存(防腐), 発酵調整, タンパク質, 酵素, 色素への作用, 調味

塩の種類によって, 効果への差がないだろうか?

差を観察するために, 塩を多く使用する食品を対象に開始した。

漬物での効果
調味, 脱水, 防腐, 発酵調整

塩化ナトリウム濃度で整理可能

ウメ干しでの効果
調味, 脱水, 保存, 色素等の制御

塩中にがり成分, 粒径による差が見られた

うどんでの効果
収斂, 生地熟成, 茹で時間の短縮

塩化ナトリウム濃度で整理可能

水産練り製品での効果
タンパク質との相互作用

塩化ナトリウム濃度で整理可能

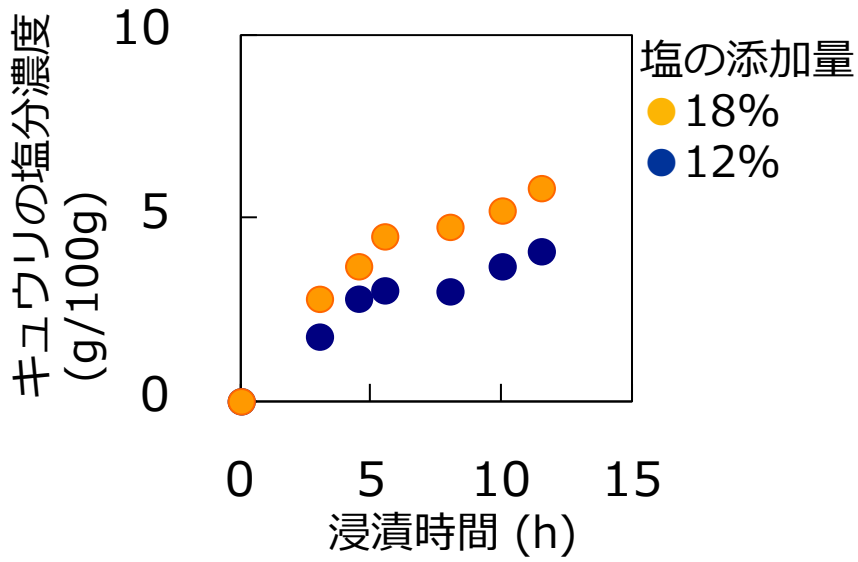
味噌での効果
調味, 熟成制御, 酵素等の制御

塩中にがり成分, 粒径による差が見られた

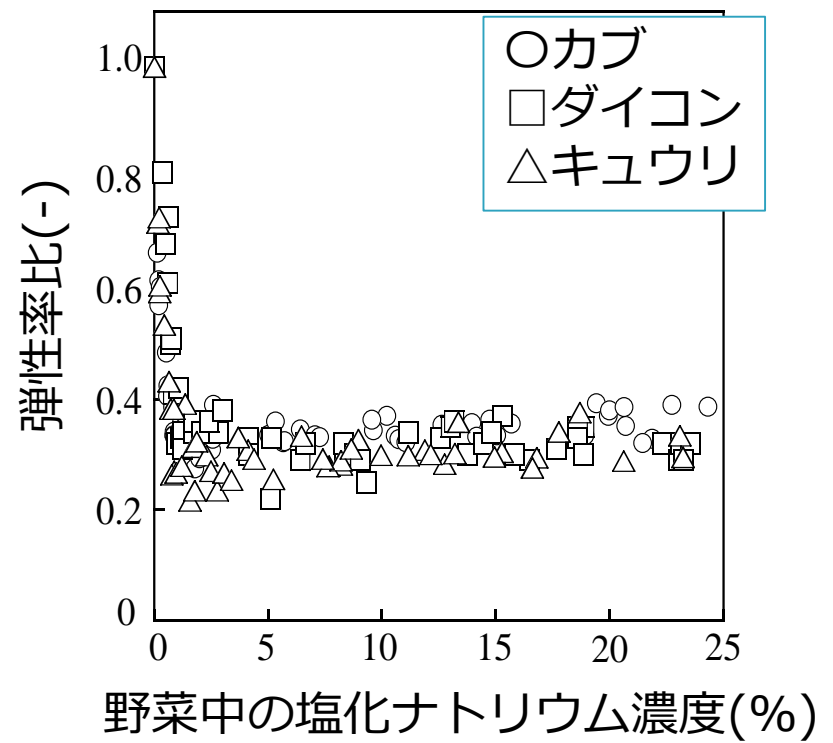
漬物における塩の効果

調味, 脱水, 防腐, 発酵調整

キュウリの塩分濃度の経時変化



キュウリ中の塩分は塩の添加量に依存していた。塩分の浸透に応じて脱水し、キュウリは柔らかくなった（弾性率）。



漬ける前後の弾性率の比（弾性率比）と浸透した塩分とは野菜の種類によらず、一定の関係となることが明らかになった。
一方で、塩の種類による差は観察できなかった。

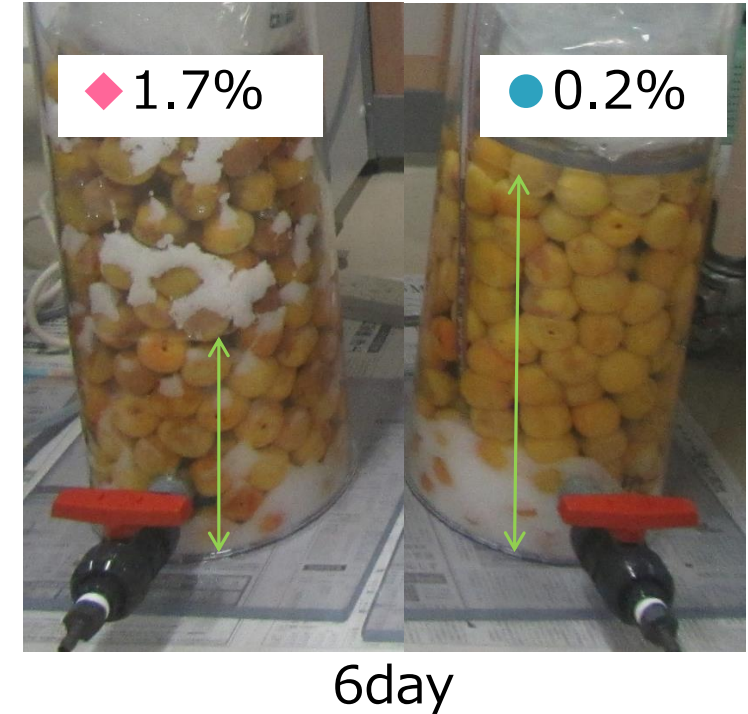
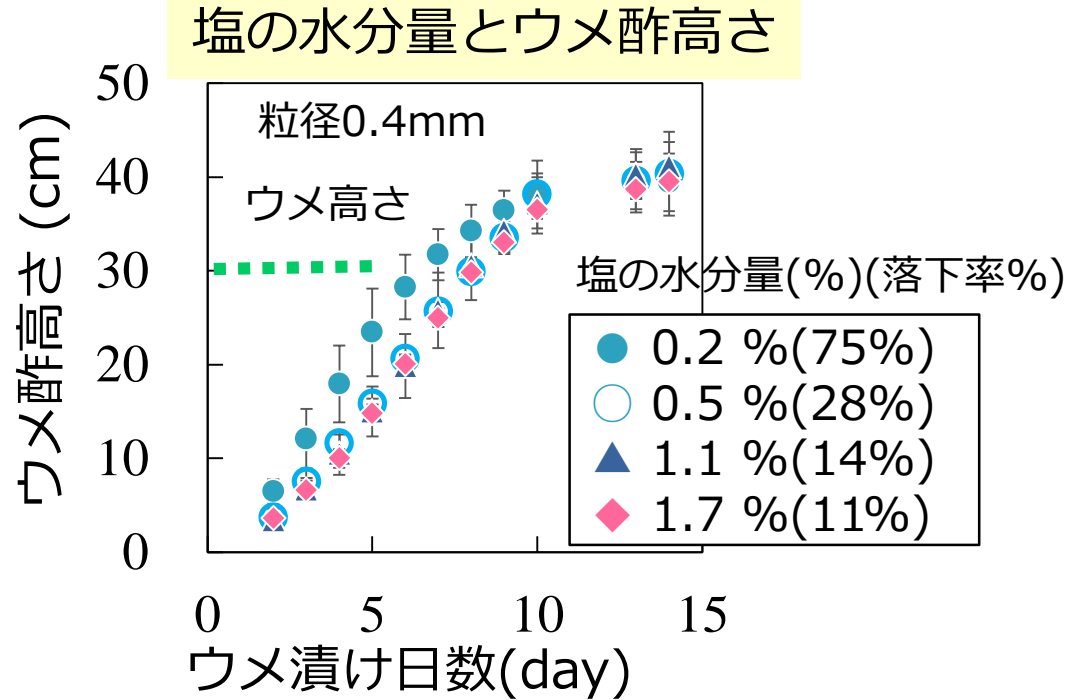
塩化ナトリウム濃度で整理可能

ウメ干しにおける塩の効果 調味, 脱水, 保存, 色素等の制御

生ウメに対して, 約18%の塩を添加し, 35日程度経過後, 天日干しにより脱水させることでウメ干しとなる.

*ウメ酢の上りが遅いと, カビが発生する

塩の水分量の違いが脱水挙動に与える影響



塩の水分量以外にも, 粒径, 苦汁成分量などによっても, 脱水を早めることが可能であった. これにより, ウメ漬け時のカビ発生などを防止することが可能である.

この他にも苦汁成分によるウメの皮破れの防止などの知見も得られた.

ウメ干し作製においては, 塩の種類の違いによる, 脱水, 色合い等への効果が観測された.

うどんにおける塩の効果

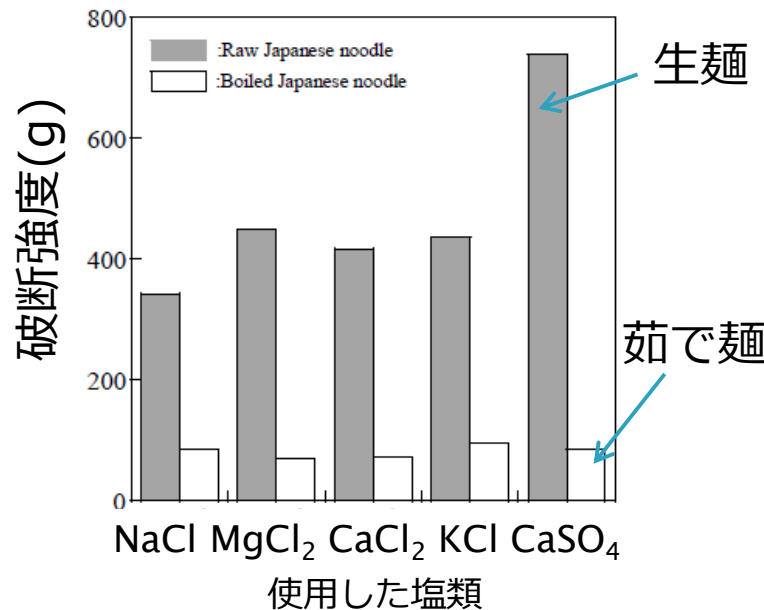
収斂, 生地熟成, 乾燥調整, 茹で時間の短縮

小麦粉 300 g



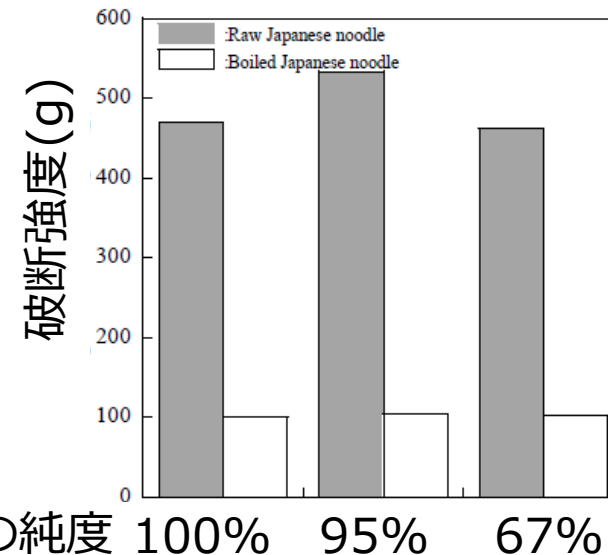
塩水 (15 g/140 mL)

小麦粉のグルテン形成を促進させ、コシを与えるために塩を入れる。



異なる塩類で作製した麺の破断強度の比較

塩化ナトリウム以外の無機塩類を用いて生麺を作製した場合、硫酸カルシウムを用いた場合に硬くなった。しかし、茹でると、その差は観察できなくなった。



市販塩で作製した麺の破断強度の比較

純度（苦汁含有量）の異なる市販食用塩を用いてうどんを製造したが、破断強度などに違いは見られなかった。

効果は塩化ナトリウム濃度で整理可能

水産練り製品における塩の効果

タンパク質との相互作用

すり身 100 g



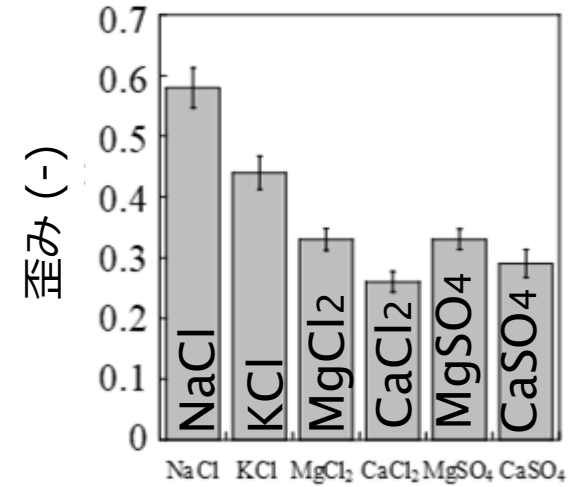
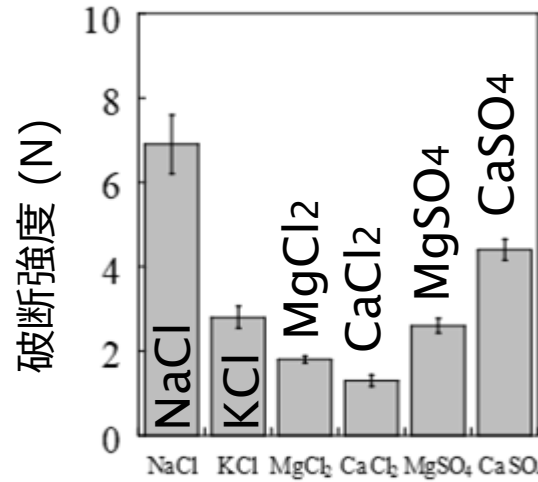
塩 3 g

塩溶性タンパク質を溶かし，弾力をつける

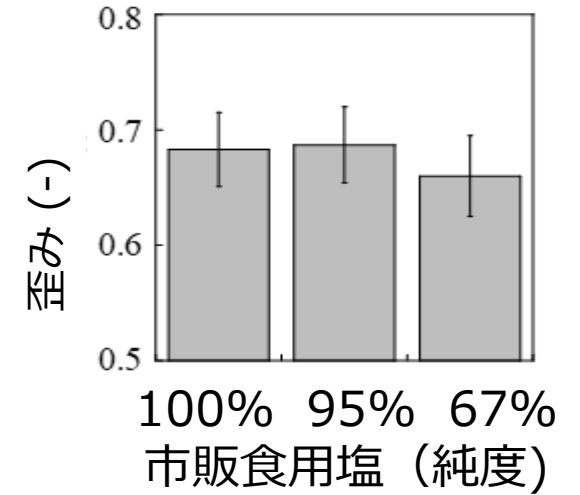
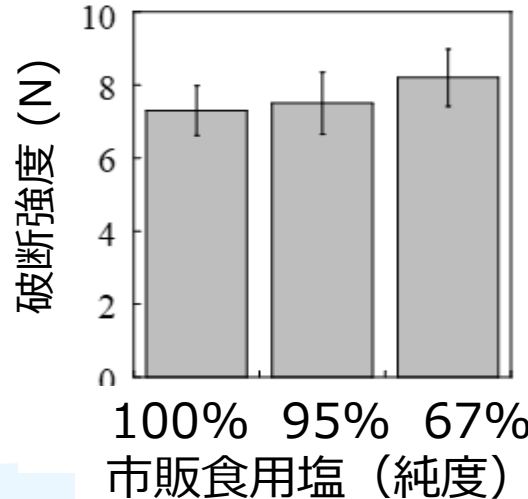
塩化ナトリウム以外の無機塩類を用いて塩ズリした場合，破断強度などに差が見られた。

しかし，苦汁量の異なる市販塩で塩ズリした場合には差は観測されなかった。

効果は塩化ナトリウム濃度で整理可能



異なる無機塩類を用いて塩ズリした結果



苦汁量の異なる食用塩を用いて塩ズリした結果

味噌における塩の効果 発酵調整作用、防腐

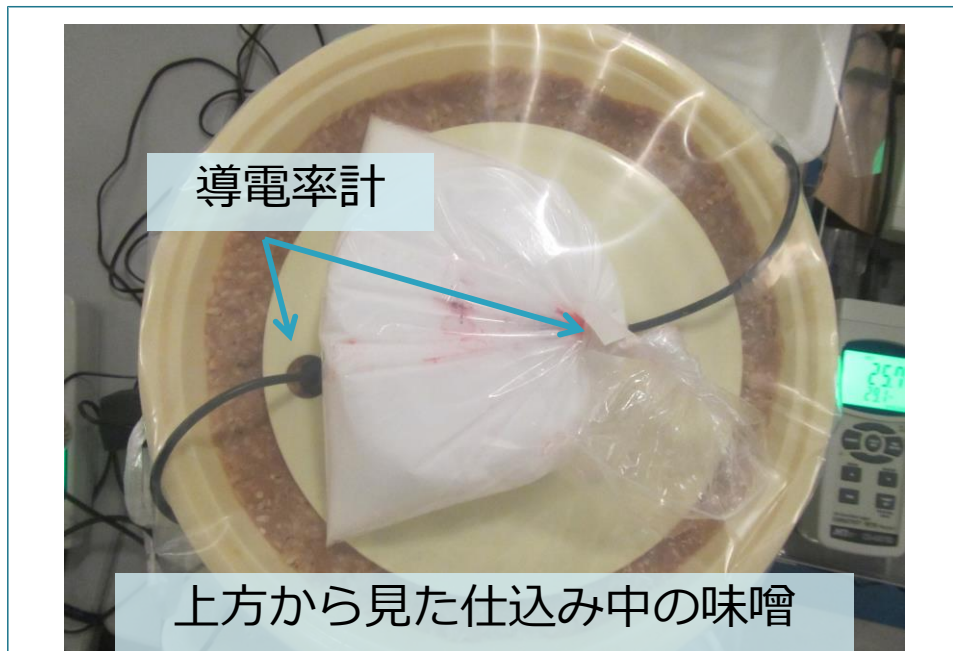
大豆



塩 12%など

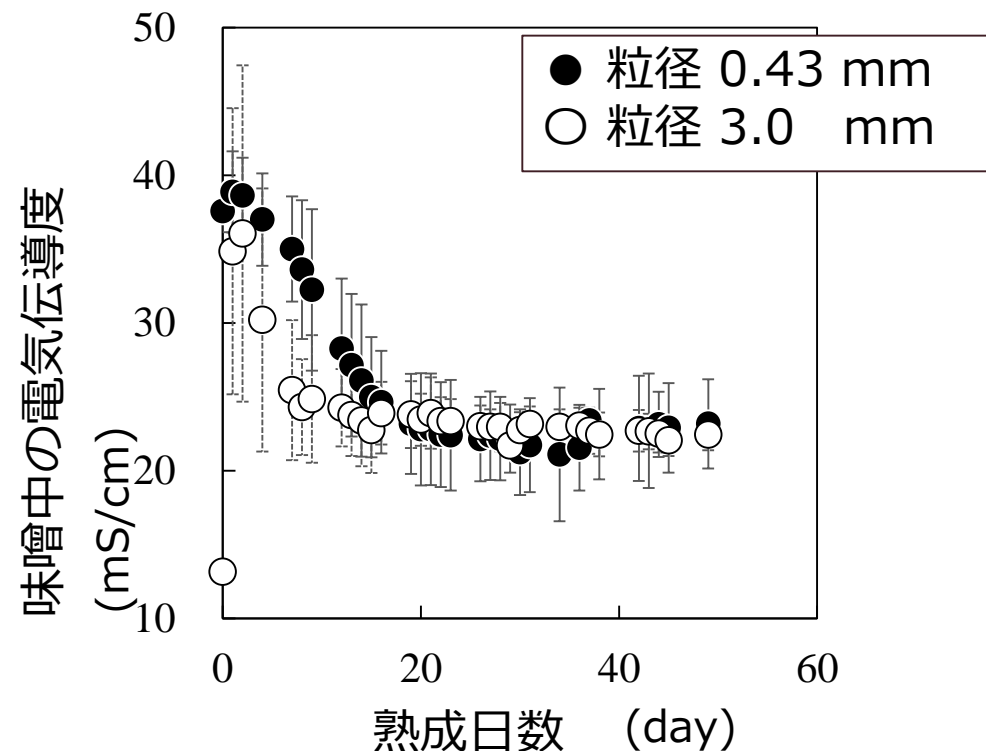
麴, 水など

中央味噌研究所
との共同研究



味噌仕込み中の塩の溶解, 拡散挙動を知るためにはバッチでサンプリングする方法が用いられていた.
検討の結果, 導電率計を用いることでリアルタイムでの観測が可能となった.

粒径の大きな塩を使用して味噌を作製した場合に, 通常の塩と挙動が異なることで, 麴等の働きに影響し, 香味が豊かになり, 色合いにも変化が見られた.
塩の違いにより, 味噌作製に新たな可能性が示唆された.



異なる塩を使用したときの熟成期間中における電気伝導度の変化

日本食品科学工学会誌, 69(9), 425-430 (2022)

加工適性技術のまとめ

食品加工における塩の効果（加工適性）について調査・研究した。主に塩を多く使用する食品を対象として、塩の種類により、効果の違いを調査した。

多くの食品加工においては、塩の種類の違いによる効果に差は見られなかったが、「ウメ干し」、「味噌」については、その製造への影響を確認したことは成果であったと考えている。

固結抑制技術

～2005



2018～

包装袋に関する（仕様の）研究

包装袋の水分浸透抑制を中心とした研究

固結防止剤に関する研究

添加量，製造法，種類等に関する効果の研究

粉体特性

付着母液の影響，溶解速度測定法などの塩の成分，物性が固結へ与える影響に関する研究

● 固結試験法の短縮化

● 天日塩の塩ダレ

● 吸湿条件での水分移動による固結現象

測定機器の高度化

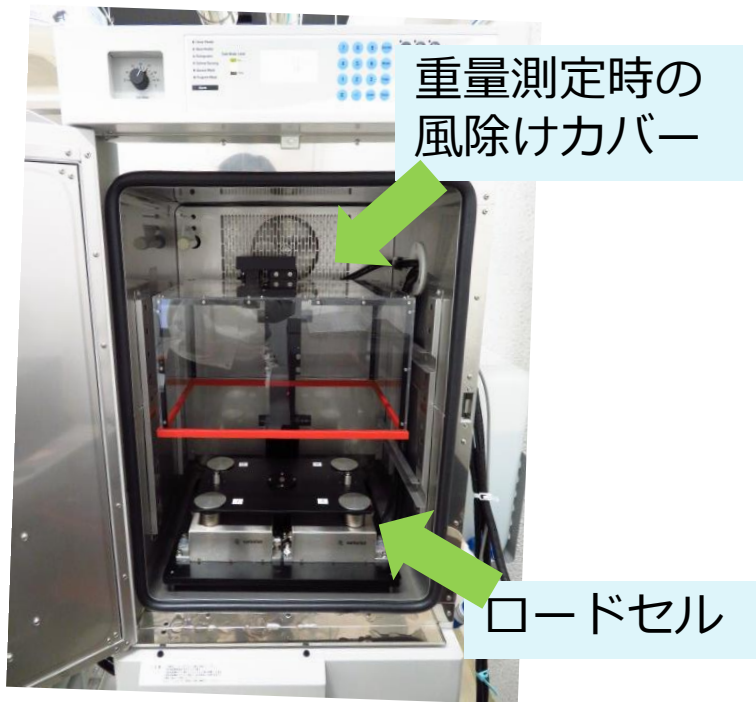


固結の研究を再開

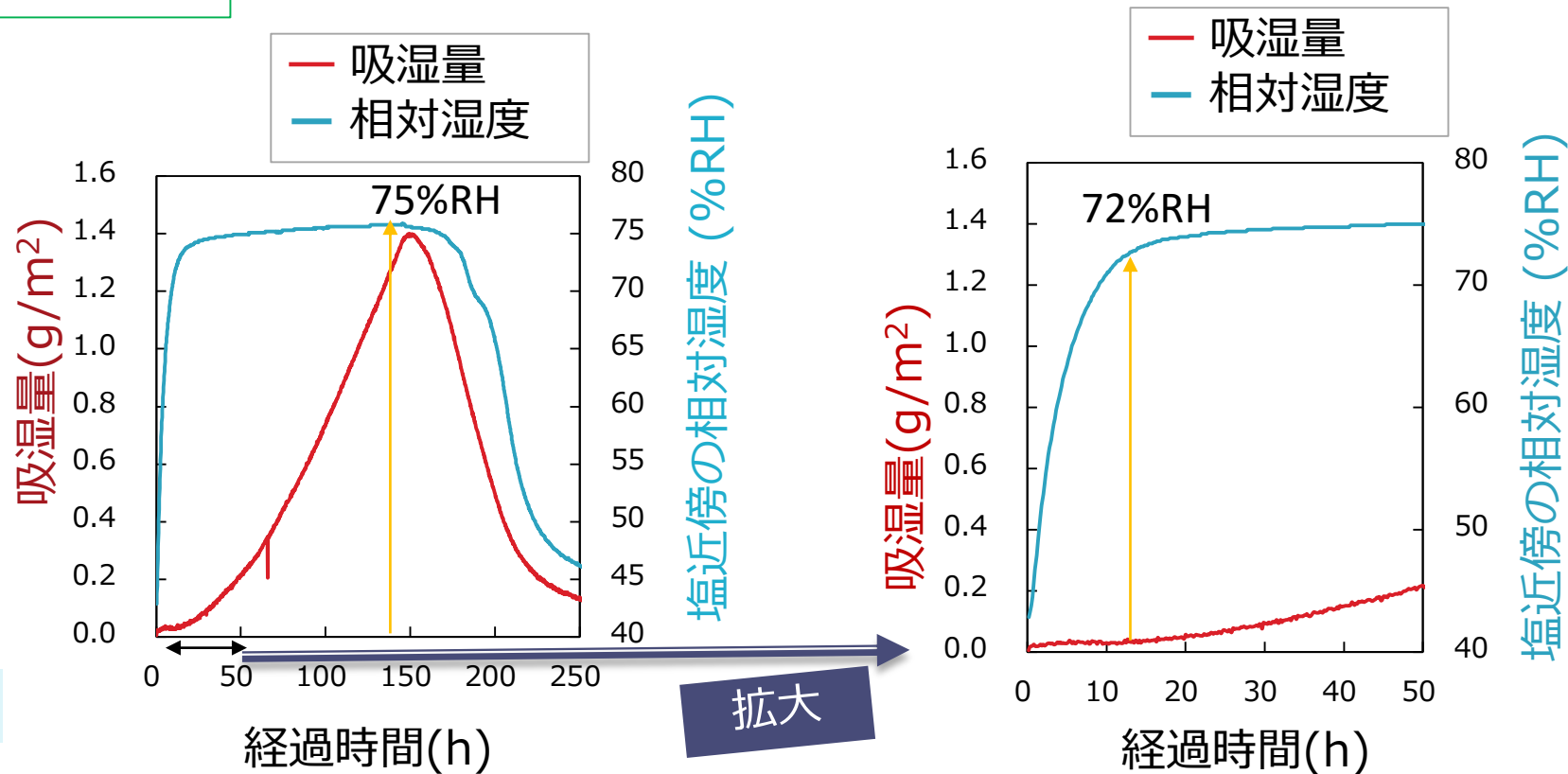
商品評価技術のまとめ

最新の測定法を使用することで今まで観測できなかった挙動が観測可能となってきた。

高湿度環境における計測システムの活用



天秤付恒温恒湿器
(ナノシーズ製 NSR-200)
温度、湿度を変化させながら重量を測定



環境湿度を上昇させることにより、臨界相対湿度に近づくと塩は吸湿しはじめる (= 塩の重量が増加しはじめる)。一方で、環境湿度が上昇し続けても、塩の周囲では臨界相対湿度を維持する。放湿時には逆の現象を観測できる。このような水分の吸湿、放湿の挙動をリアルタイムで観測することができるようになった。

塩の品質評価と食品への加工適性に関する研究の歩み

品質評価については、塩の高純度化から安全・安心へと社会的な要望が変化する中で、機器分析を活用するなどにより適切に対応してきた。この技術を応用することにより、分析対象を塩以外の無機物質へも拡大している。

商品性評価（塩の加工適性）については、食品の調理・加工に不可欠な塩の効果について調査・研究してきた。近年は特にウメ干し、味噌の研究において、塩の種類による効果を確認し、情報発信している。また、固結に関する研究も再開している。

分析技術，商品技術を発展させることにより，製塩業界を中心とした社会への貢献を，今後も継続する所存である。

Fin

Salt & Seawater Science Seminar 2022
－塩事業センター海水総合研究所25年の歩み、そして未来へ－

講演2

製塩技術に関する開発の歩み

(公財) 塩事業センター・海水総合研究所
正岡功士



日本は海に囲まれています。塩づくりには不向きです。海水総合研究所では、前身である専売局製塩試験場小田原分場の時代より、塩づくりの効率化に向けた技術を開発してきました。

本講演では世界の一般的な塩づくりと日本の塩づくりについて紹介するとともに、塩事業センターが発足してから海水総合研究所が開発してきた技術について紹介します。

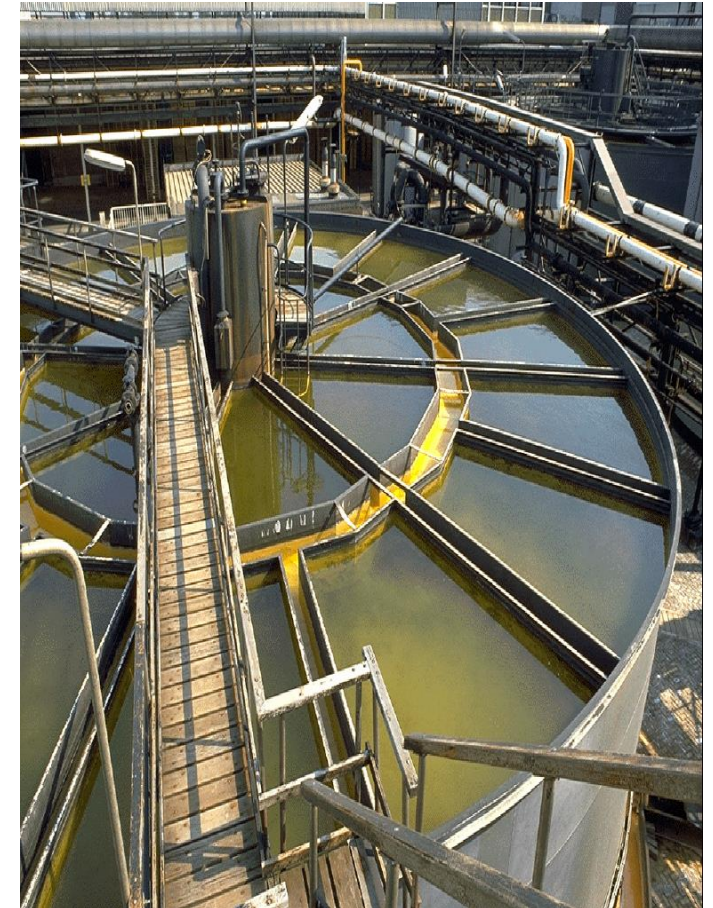
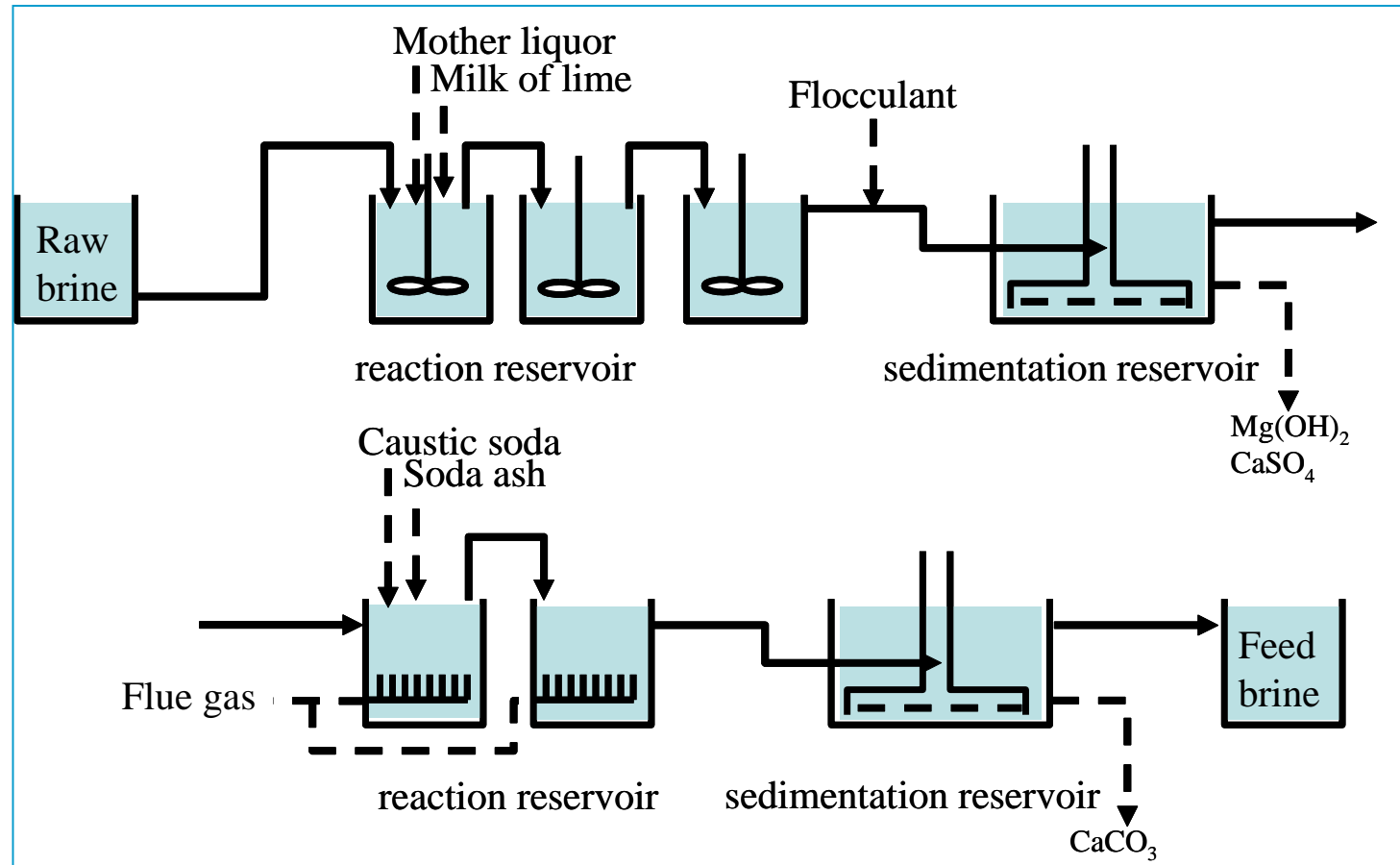
1. 一般的な製塩法と日本独自の製塩法
2. 海水総合研究所における製塩技術に関する開発の歩み
 - (1) 統合生産システム構築のための計測・制御システムの開発
 - (2) 製塩工程を構成する技術のレベルアップ

- 塩は天日塩(40%)、岩塩(60%)として回収される。
- 食用の塩はこれらの塩を水に溶解した後、精製して再結晶させる。



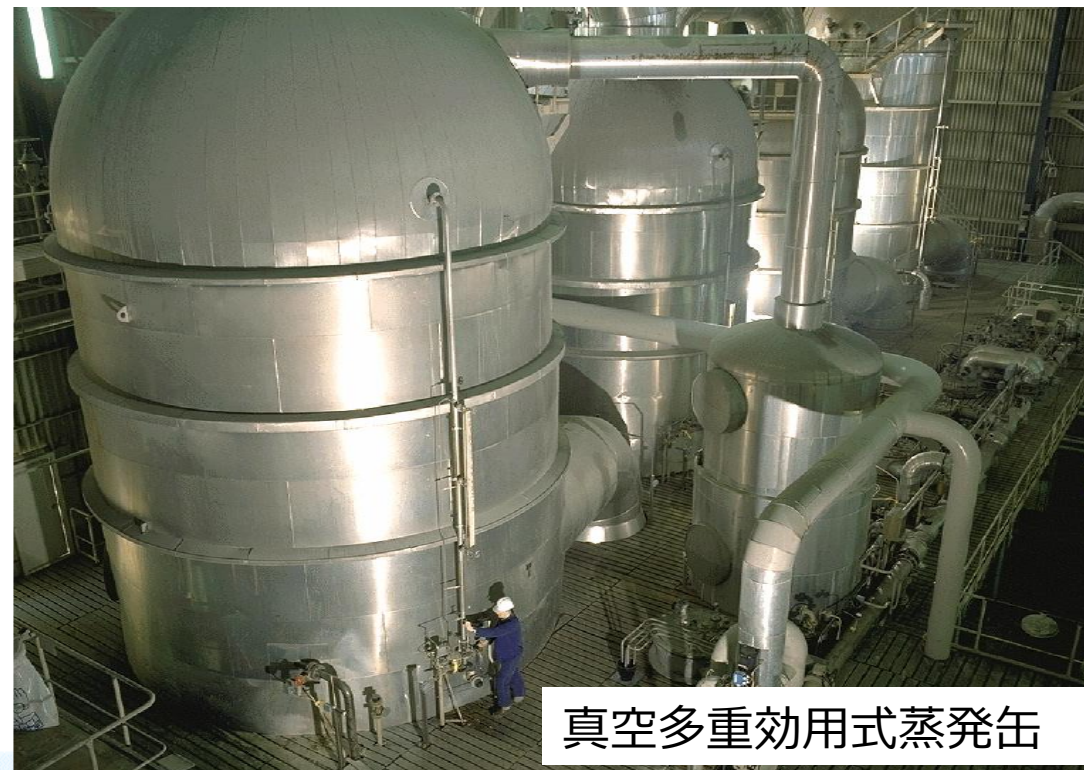
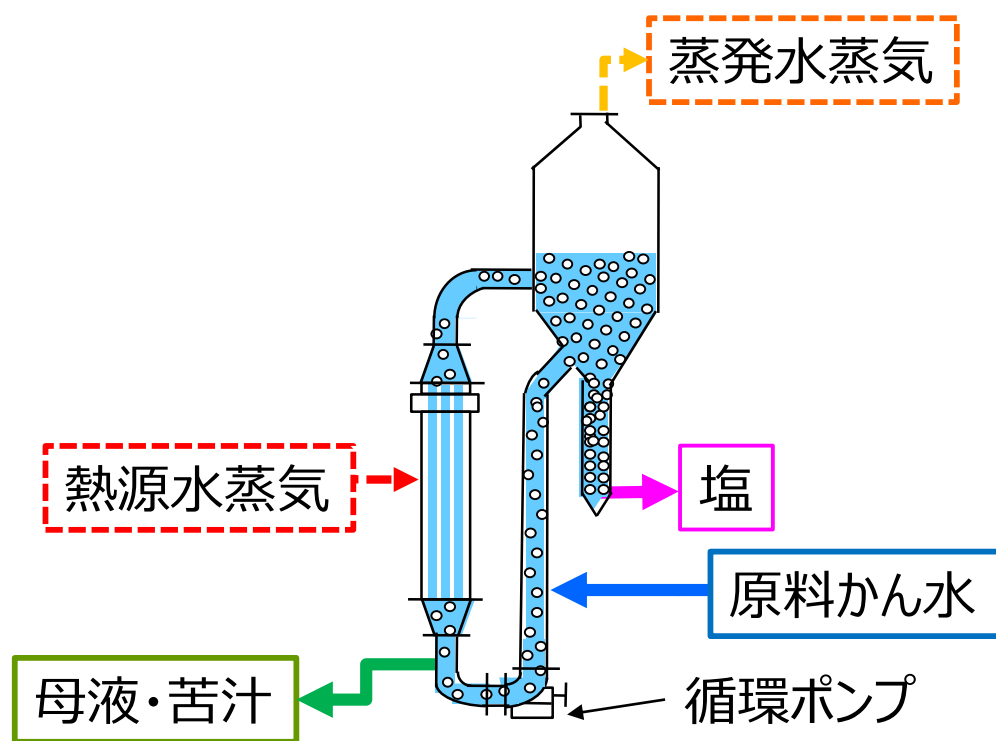
岩塩を水に溶解し、マグネシウム、カルシウム、硫酸イオンを除去する。

- ① 水酸化カルシウム、凝集剤添加 → 水酸化マグネシウム、硫酸カルシウム分離除去
- ② 排煙ガス、炭酸ナトリウム添加 → 炭酸カルシウム分離除去



精製された塩水を釜で煮詰めると、純度の高い塩が析出てきます。

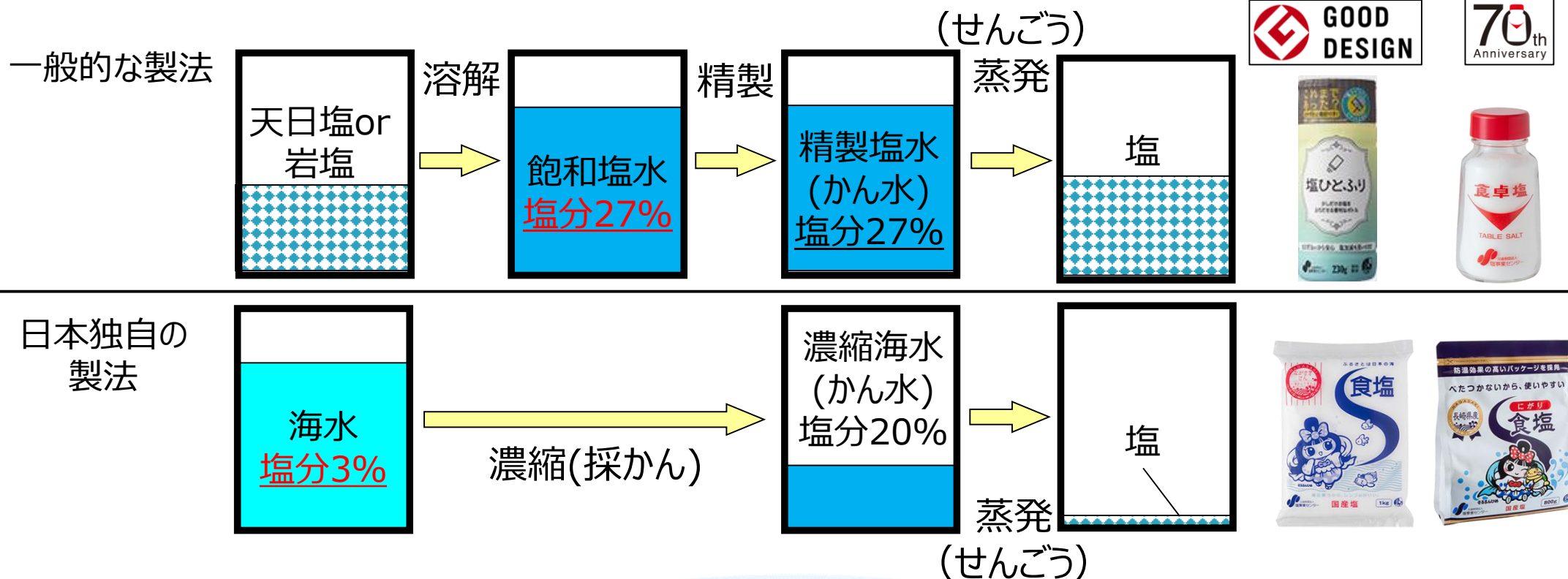
- ・底部から塩と塩水の混合物(スラリー)を抜き出し、ポンプで上部に循環することで装置内を混合する
- ・循環配管の途中に熱交換器があり、水蒸気により塩水は加熱され沸騰する
- ・生産効率を高めるために昼夜連続運転を実施する



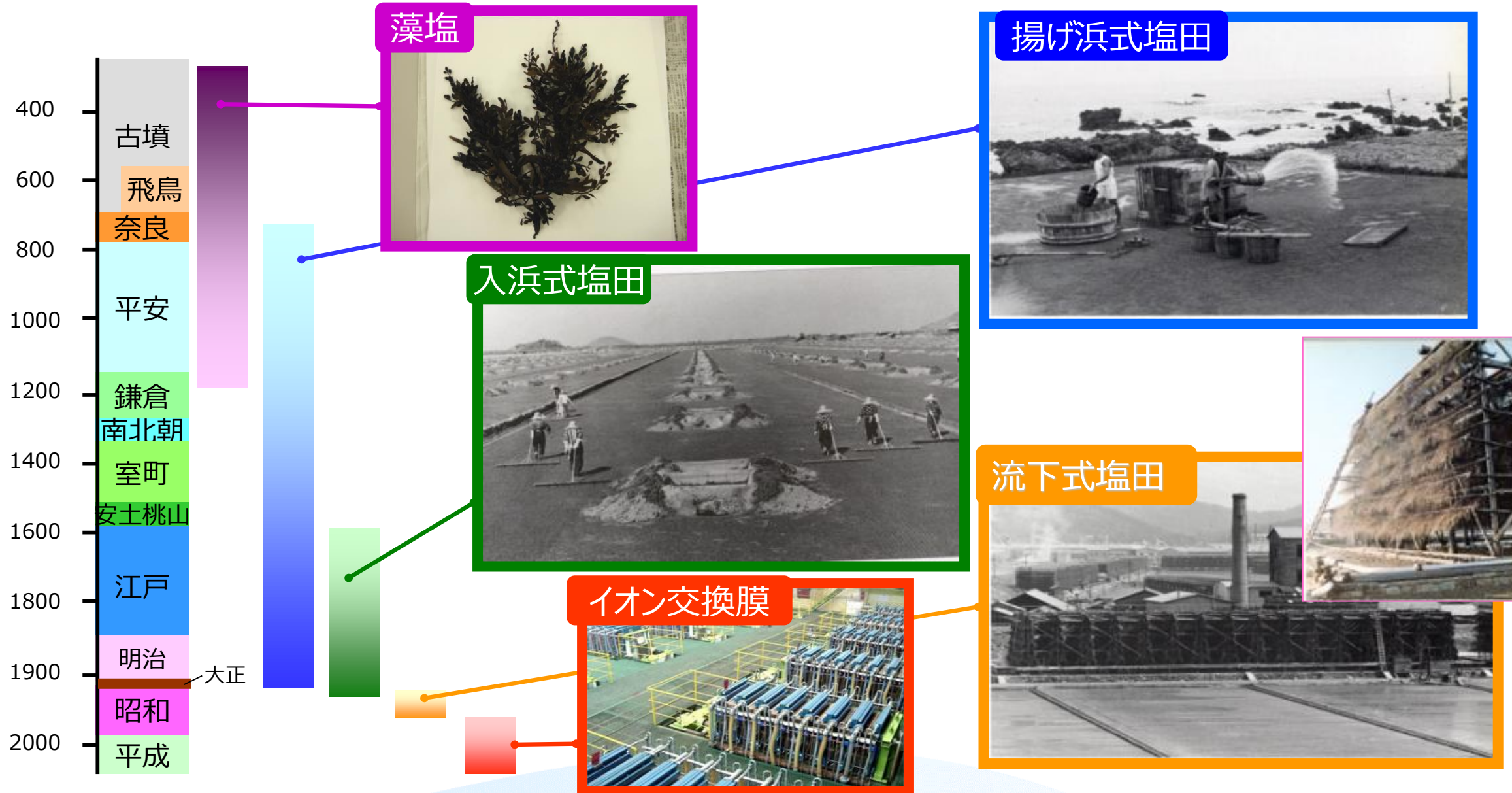
- ・岩塩層がない
- ・天日塩田に不向き（高湿多雨、狭い国土）

→海水(塩分3%)から塩を得るしかない！

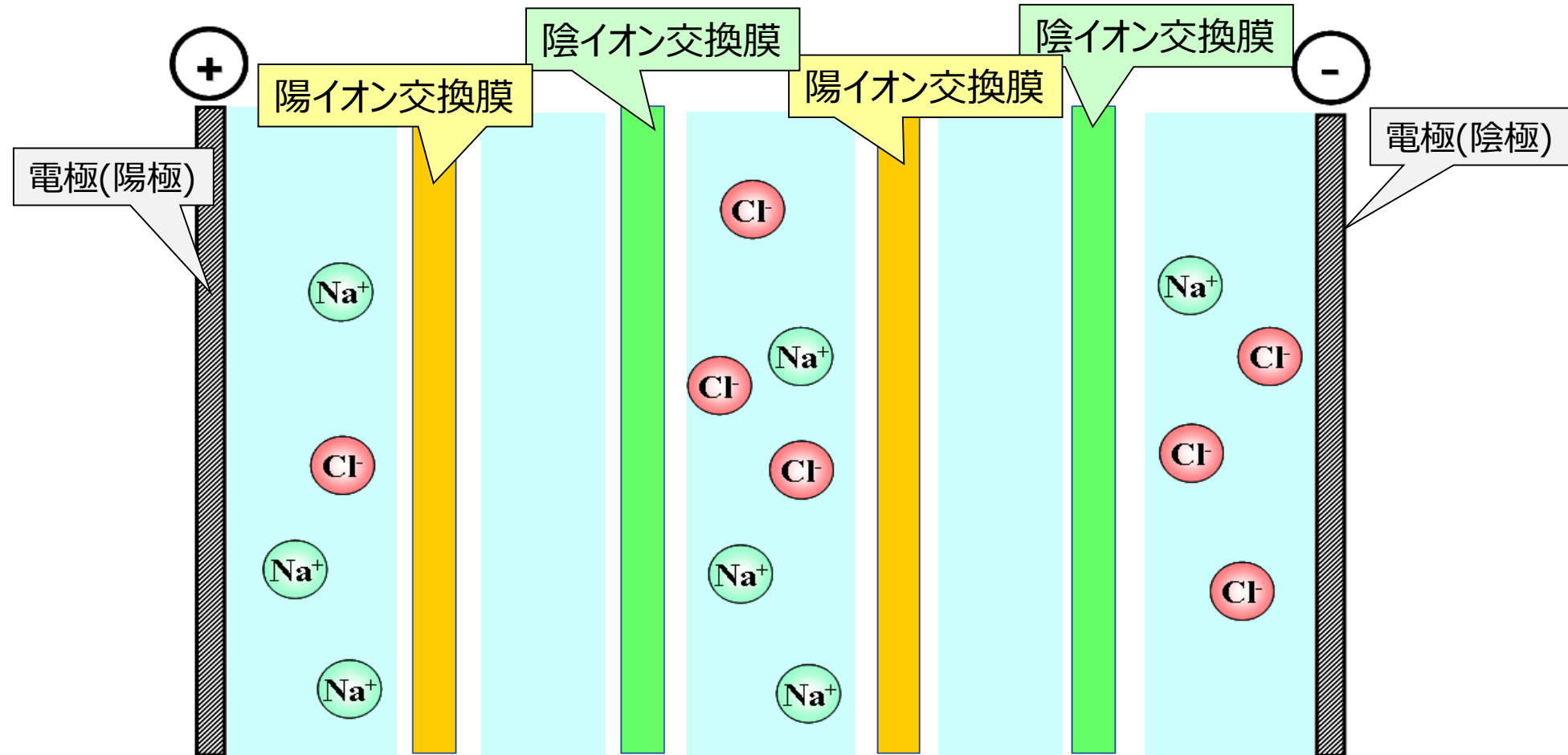
→海水を濃縮(採かん)してから結晶化(せんごう)する独自の製塩法が発達



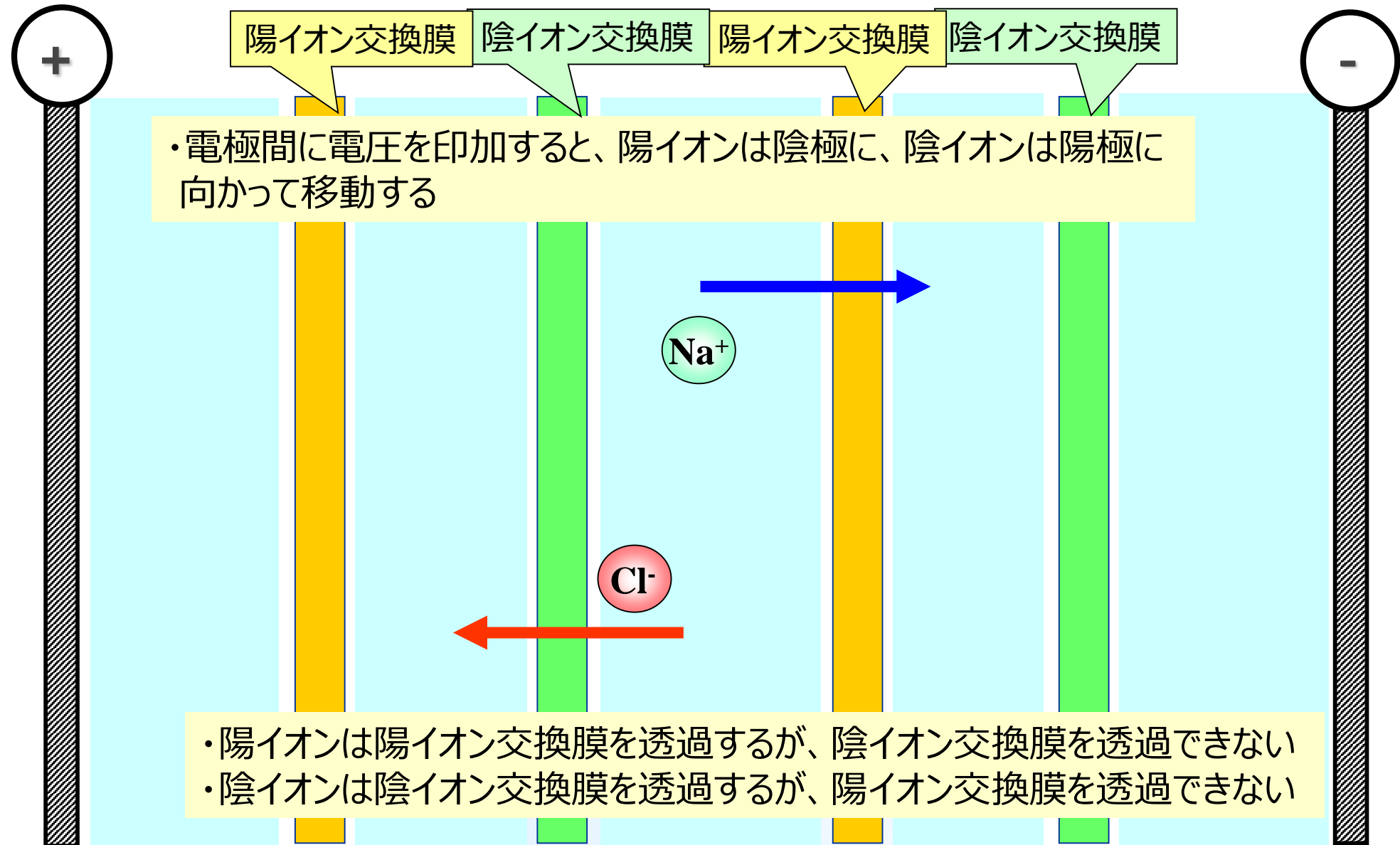
日本の塩づくりにおける海水濃縮の歴史



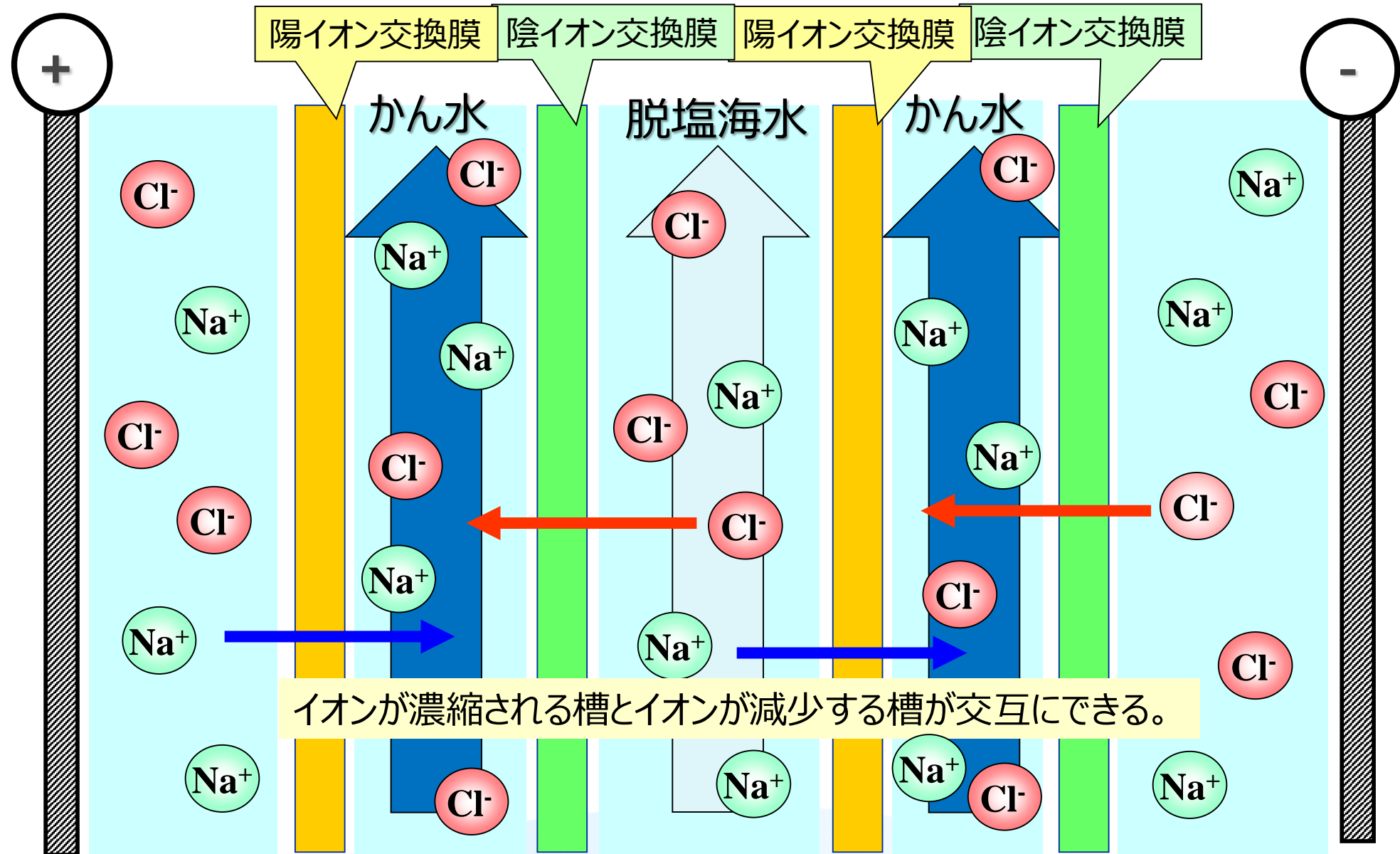
陽イオン交換膜と陰イオン交換膜を交互に配列し、平板形の電極で挟みこむ



- ・陽イオン交換膜…陽イオンだけが透過する膜
- ・陰イオン交換膜…陰イオンだけが透過する膜



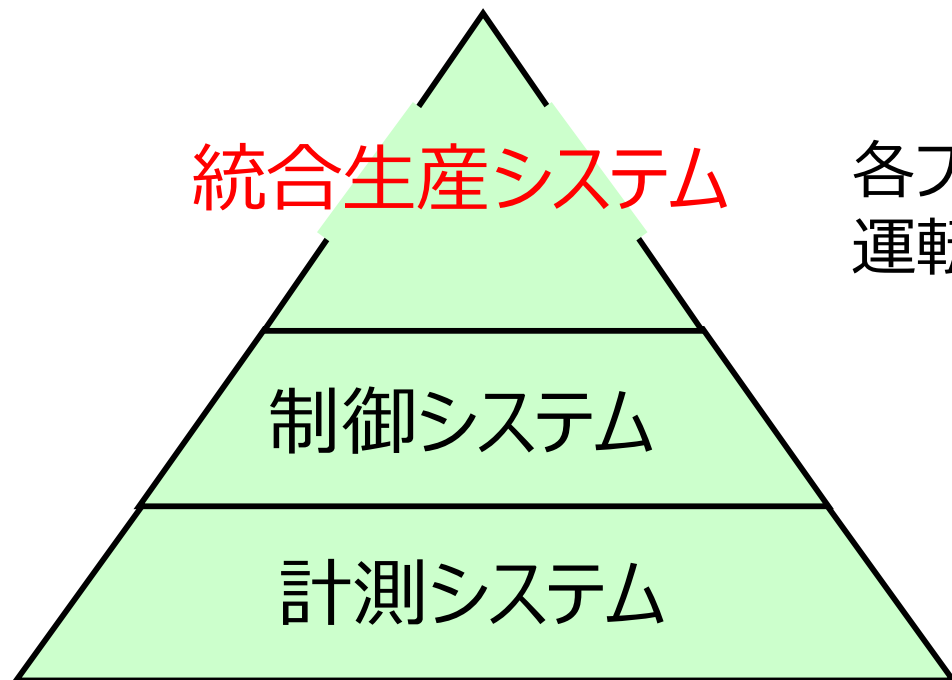
イオン交換膜電気透析槽による海水濃縮のしくみ



日本は海に囲まれています。塩づくりには不向きです。海水総合研究所では、前身である専売局製塩試験場小田原分場の時代より、塩づくりの効率化に向けた技術を開発してきました。

本講演では世界の一般的な塩づくりと日本の塩づくりについて紹介するとともに、塩事業センターが発足してから海水総合研究所が開発してきた技術について紹介します。

1. 一般的な製塩法と日本独自の製塩法
2. 海水総合研究所における製塩技術に関する開発の歩み
 - (1) 統合生産システム構築のための計測・制御システムの開発
 - (2) 製塩工程を構成する技術のレベルアップ



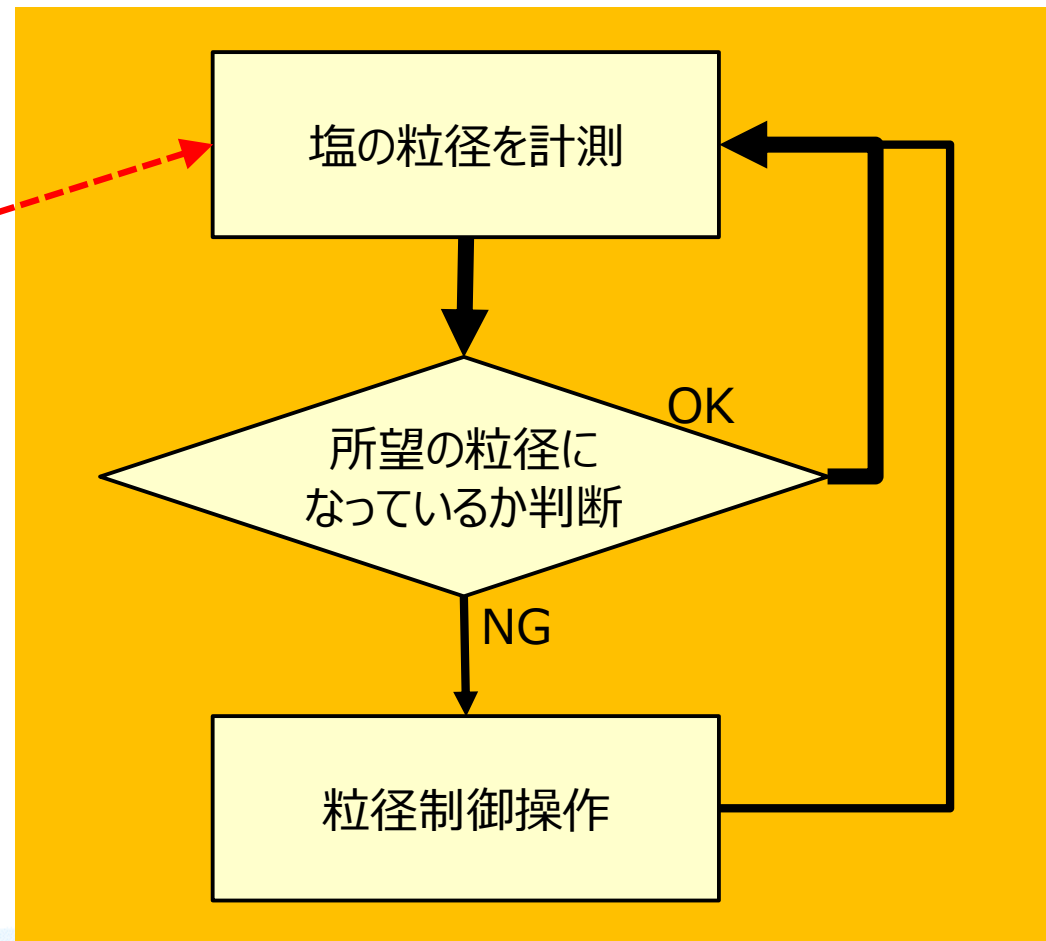
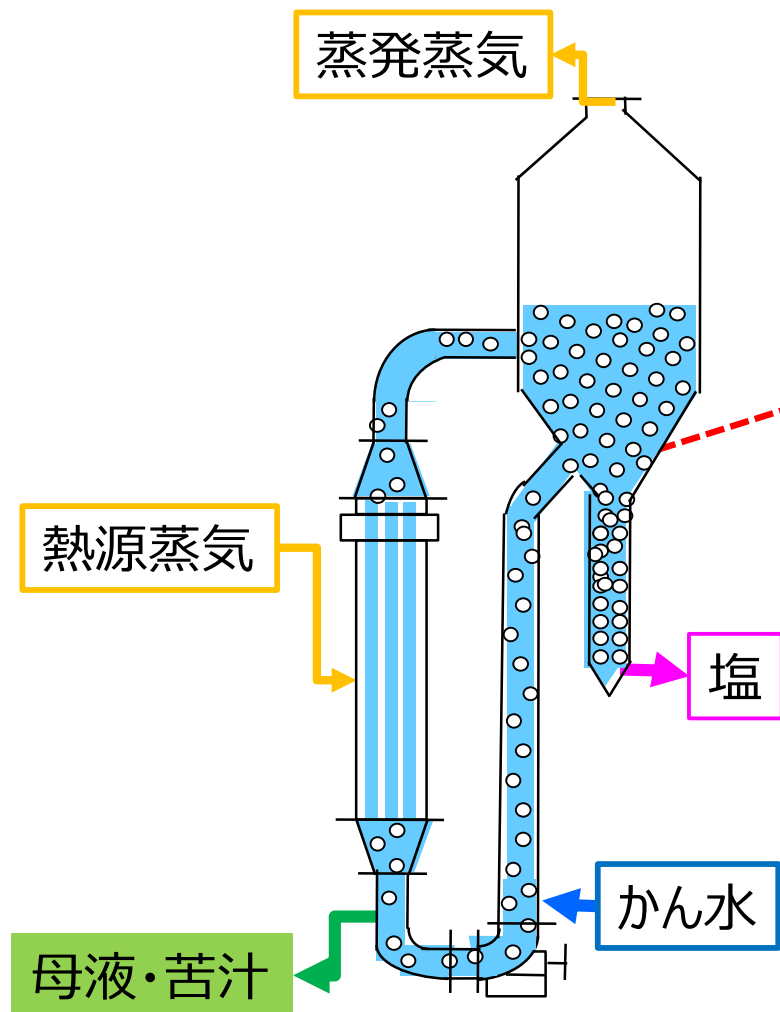
各プロセス間の情報を共有してプラント全体を最適に
運転するシステム

各プロセスの情報を基に各プロセスの運転を
コントロールするシステム

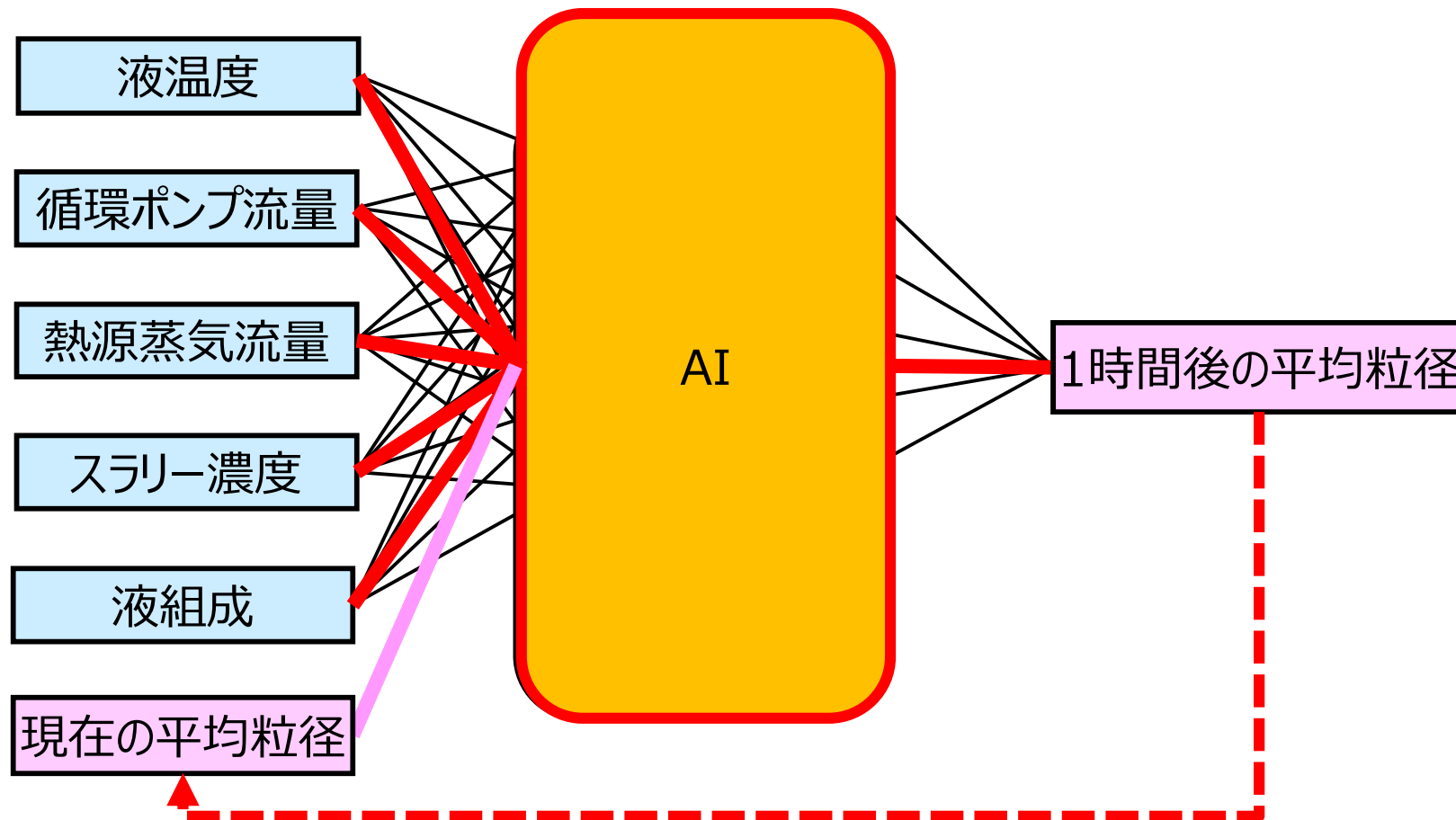
各プロセスの情報を取得するシステム

- 統合生産システムは製造工場において導入されており、構築は可能
- それを支える計測技術、制御技術は製塩特有であり、技術開発が必要

缶内の滞留する塩結晶の量を制御して製品粒径を制御する。

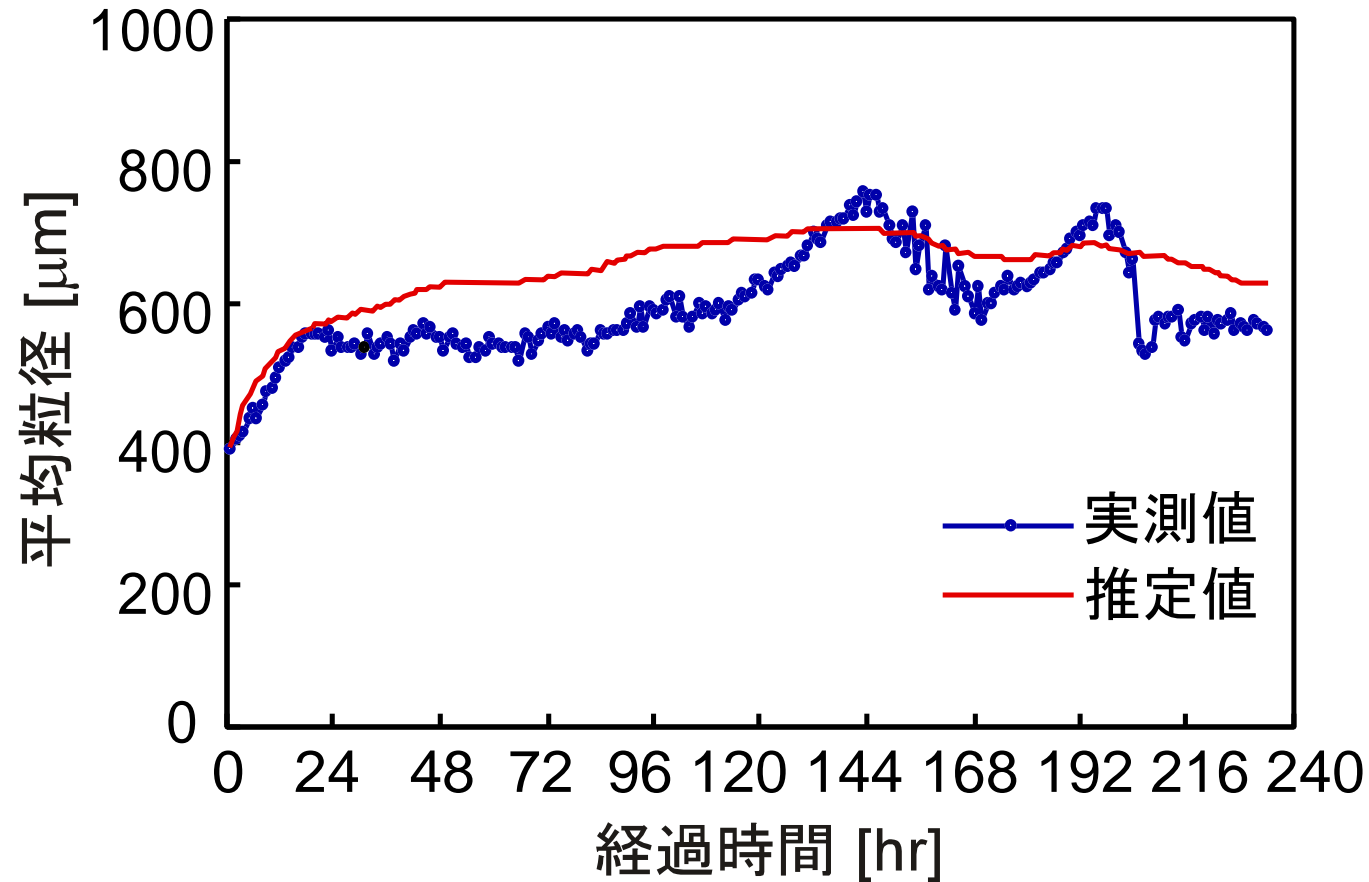


製品の粒径は缶の運転条件が結晶化現象に複雑に影響を与えた最終結果として決まる。

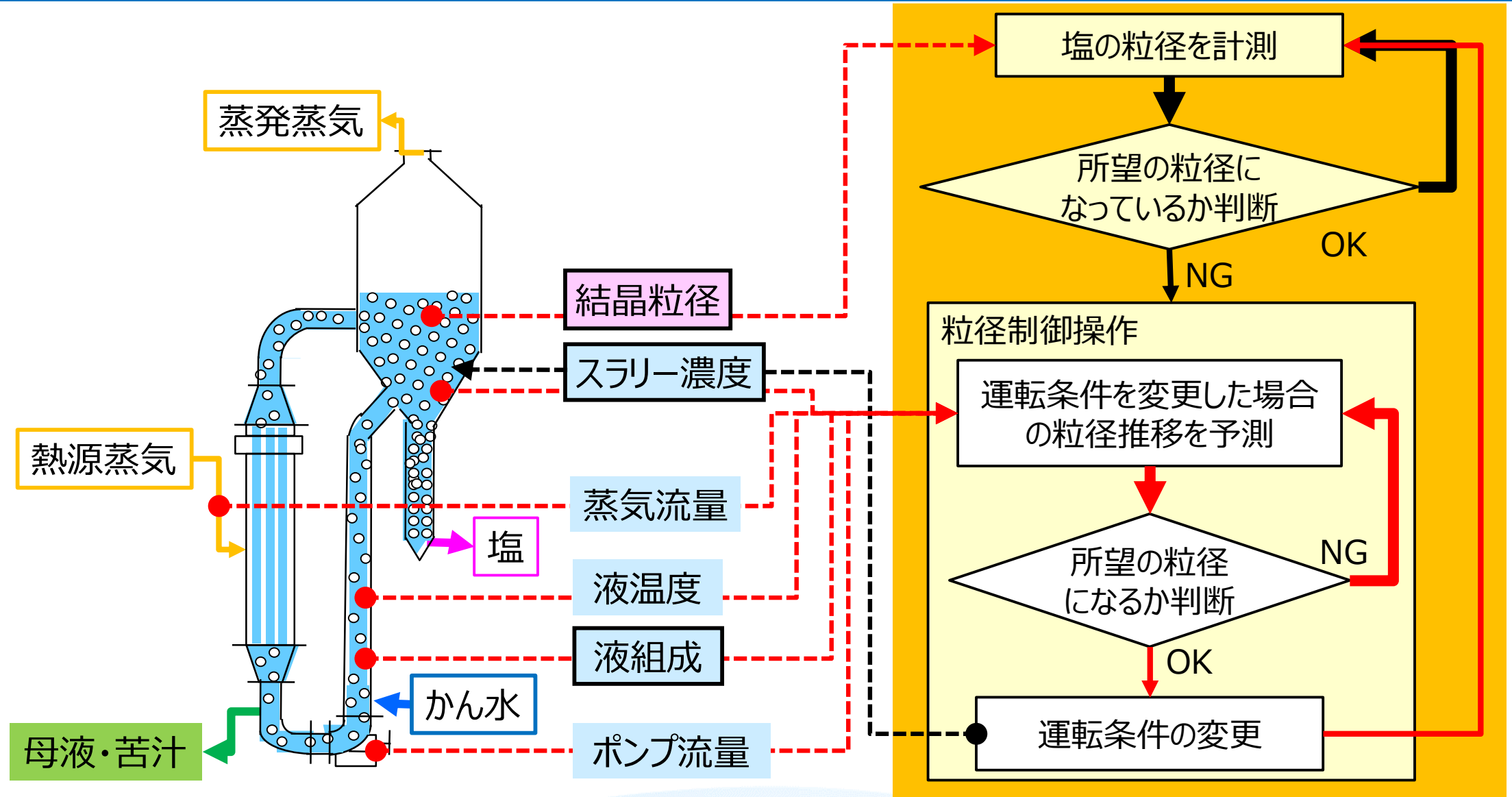


ビックデータをAIに学習させることで結晶化現象を理解しなくても粒径の予測が可能となる。

24時間程度の粒径変化を予測可能

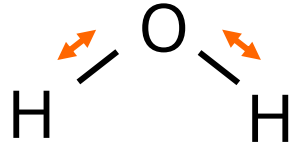


せんごう缶における粒径予測結果（ニューラルネットワーク法）

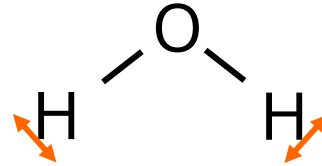


液組成、粒径、スラリー濃度が計測できれば粒径制御が可能

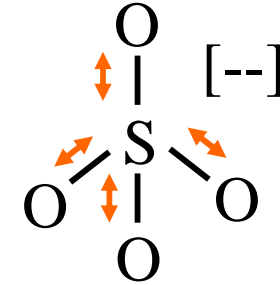
水、硫酸イオンは分子振動しており、その周波数に応じた特定の光を吸収する



OH伸縮振動 3652cm^{-1}
 3756cm^{-1}

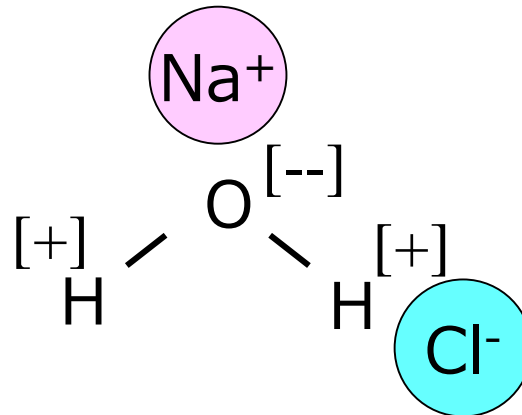


HOH変角振動 1595cm^{-1}



SO伸縮振動 981cm^{-1}
 1104cm^{-1}

ナトリウム、マグネシウム、塩化物などの単原子イオンは固有の吸収を持たないが、水分子の振動に影響を与えるため、水の吸収に影響を与える

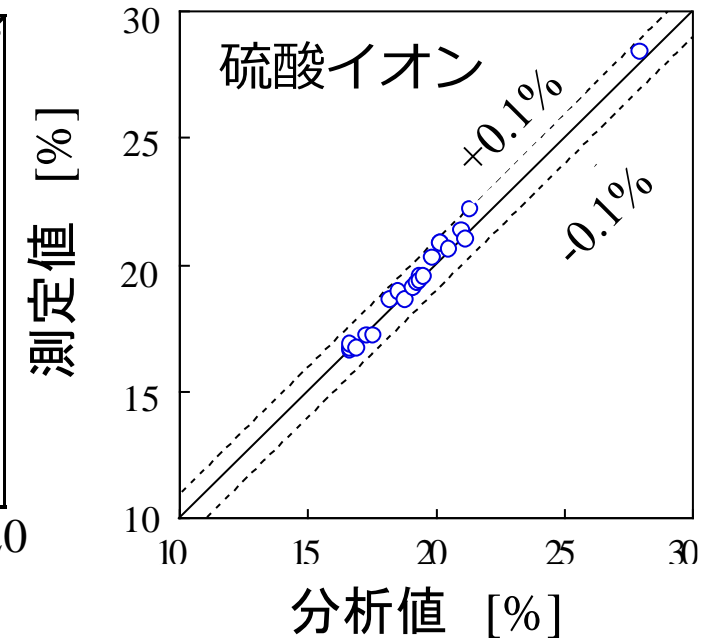
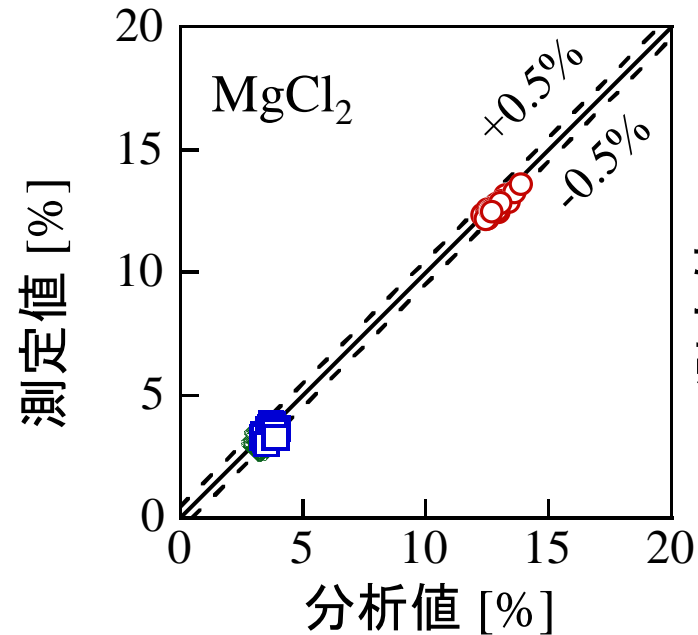
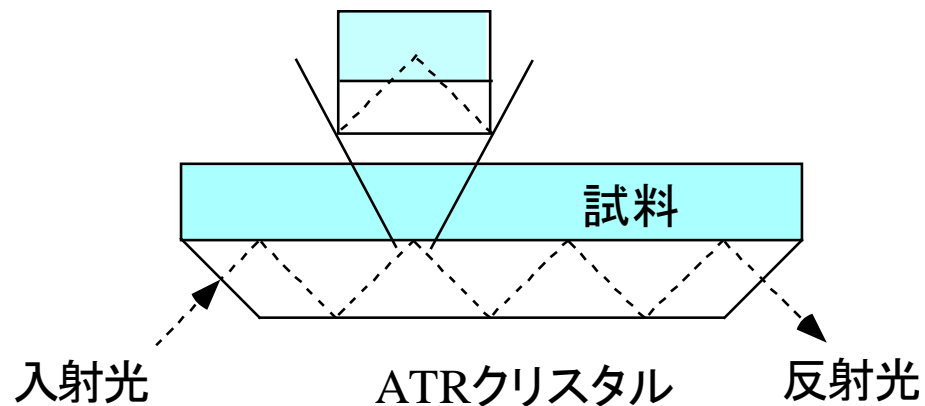


工程溶液に特定の光(赤外光)を照射し、反射光の減衰を捉えることで各成分の濃度を計測できる

- ・試料溶液1滴で測定可能
- ・自動測定にも対応可能
- ・測定時間1分程度



FT-IR (ATR)
エス・ティー・ジャパン(株)



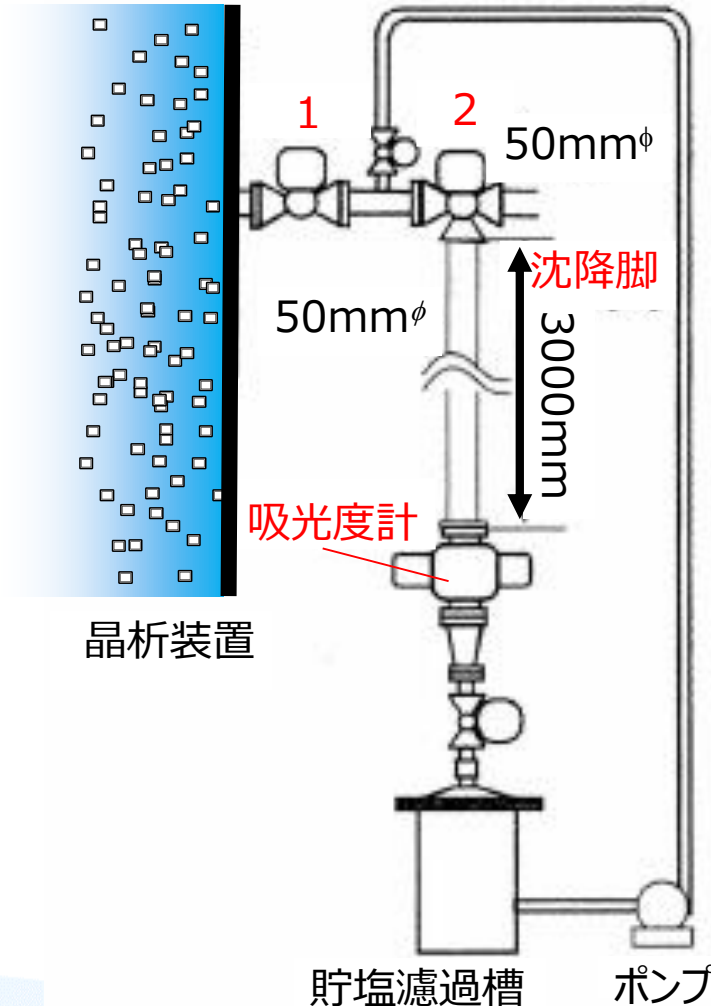
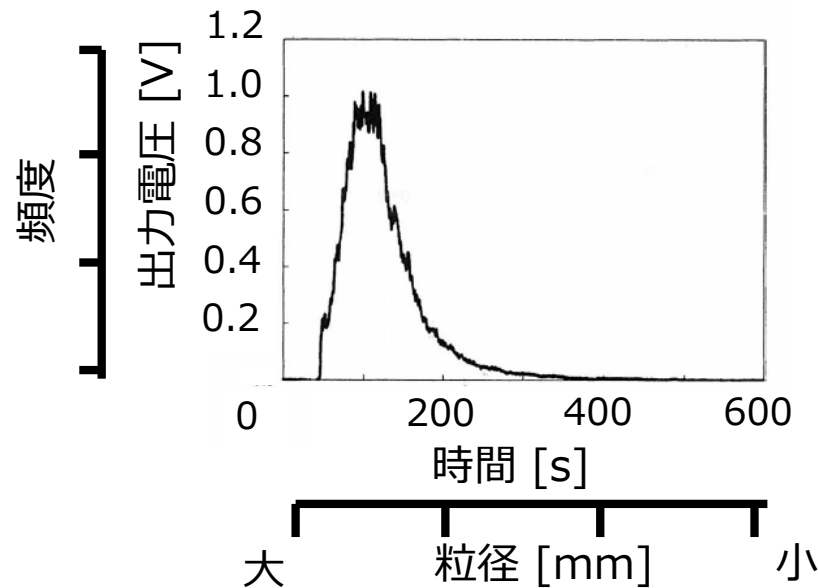
眞壁, 吉川, 永谷, 久田, 石橋, 分析化学, **50**, 747-752 (2001)

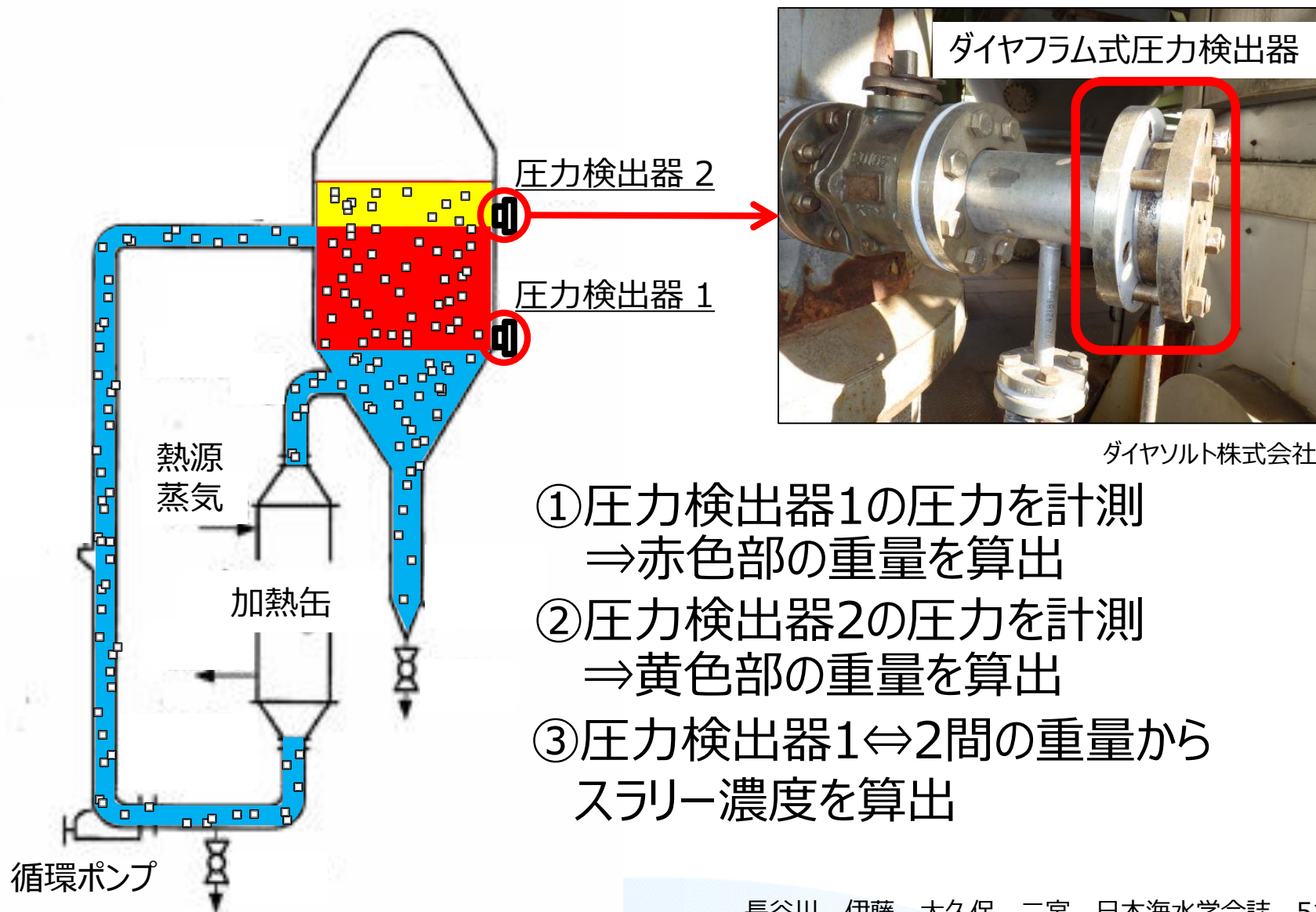
吉川ら, 分析化学, **47**, 571-575 (1998)

懸濁結晶を沈降速度の差で分級してレーザー透過光の減衰により粒径分布を算出する。

大きい塩粒子ほど短時間で沈降する。

→沈降する結晶が吸光度計を通過するまでに要する時間は粒径に置き換えることができる

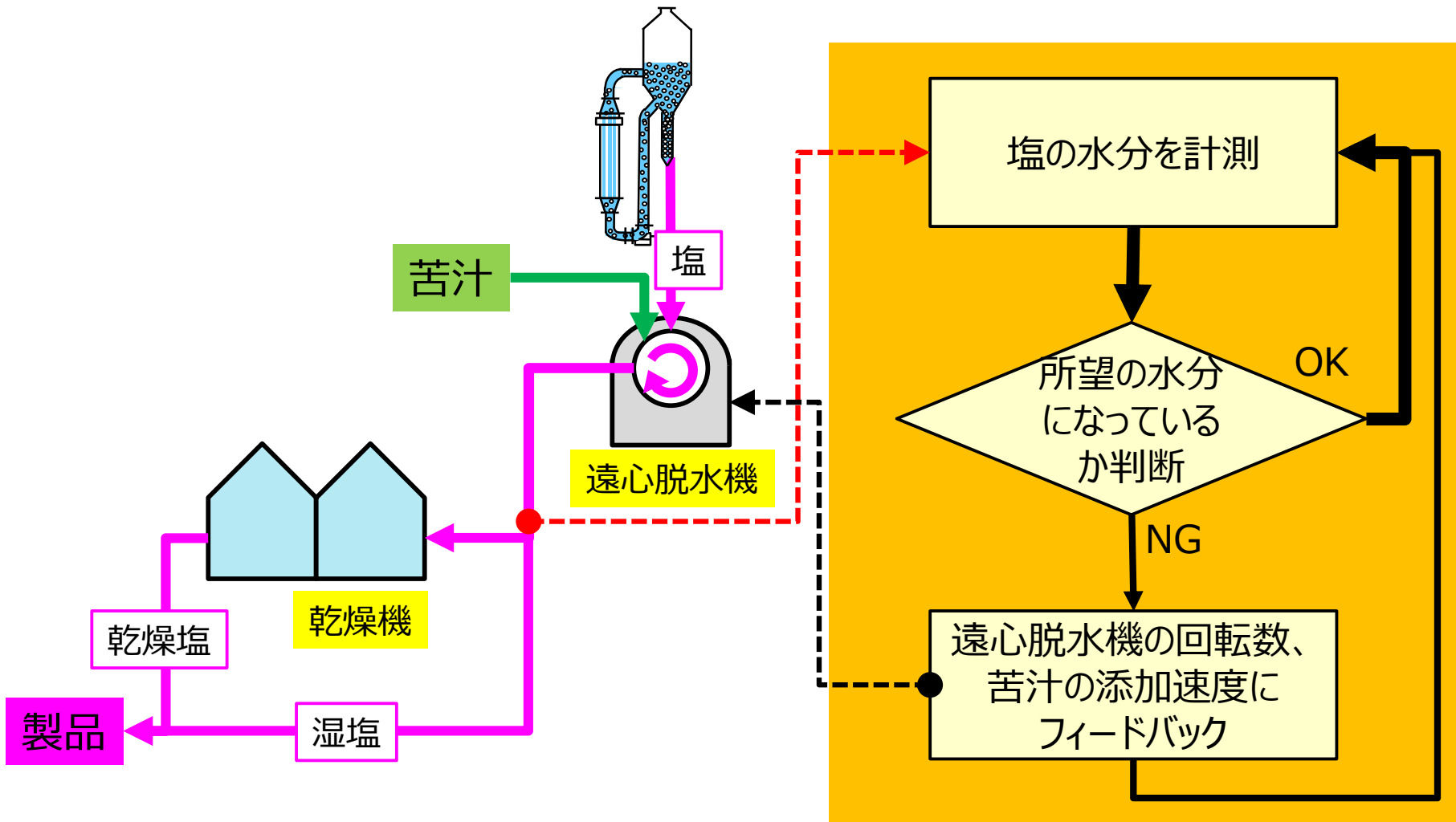




ダイヤソルト株式会社提供

- ① 圧力検出器1の圧力を計測
⇒ 赤色部の重量を算出
- ② 圧力検出器2の圧力を計測
⇒ 黄色部の重量を算出
- ③ 圧力検出器1⇔2間の重量から
スラリー濃度を算出

缶内の滞留する塩結晶の量を制御して製品粒径を制御する。

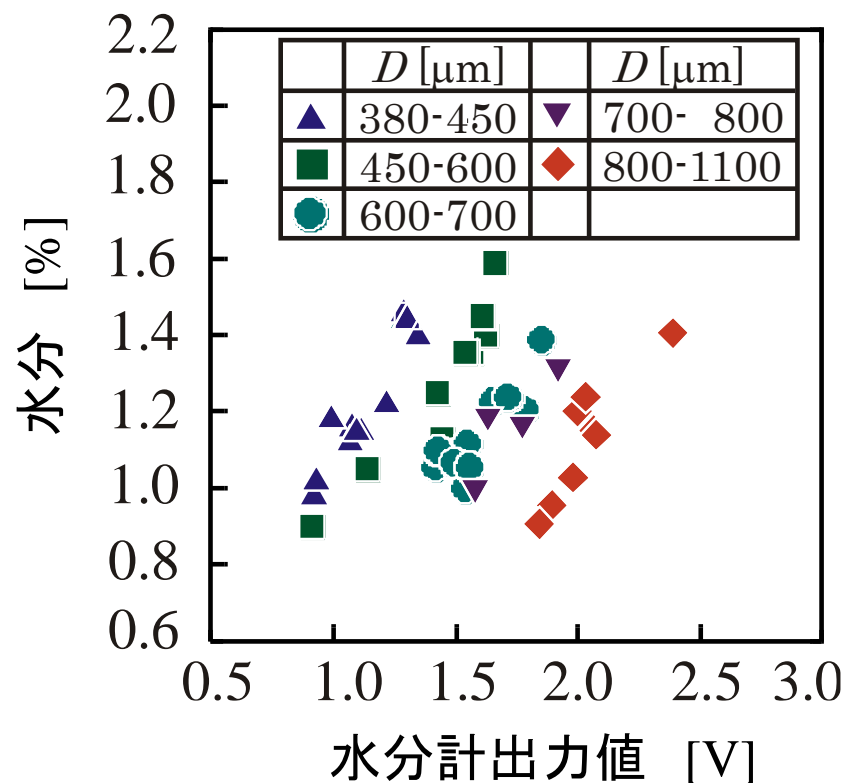


脱水後の塩の水分計測システムを開発できれば自動制御が可能

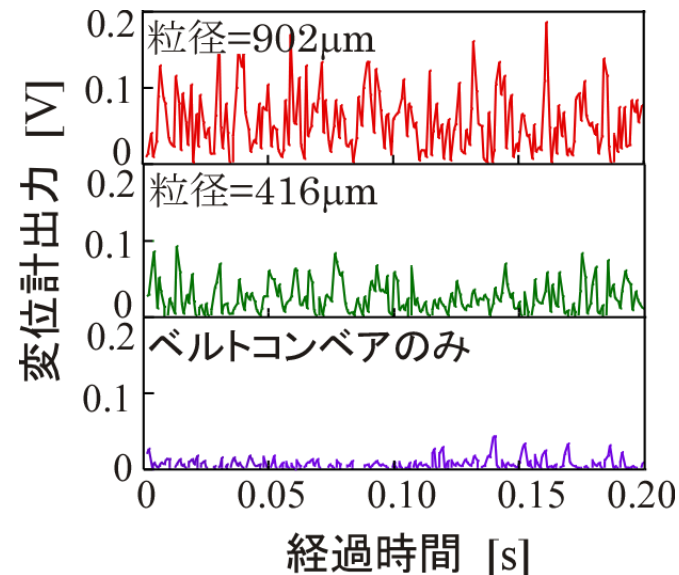
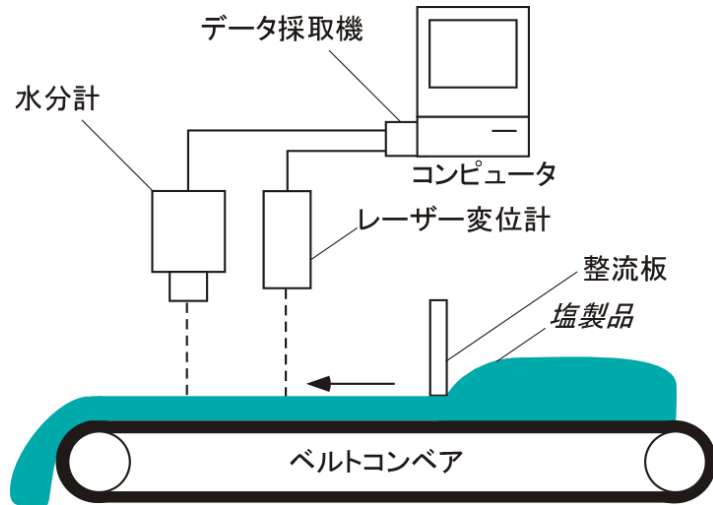
ベルトコンベア上の塩に赤外線を照射し、反射光の強度から水分を推算する装置

⇒反射光強度は塩の粒径、純度などにより変化する

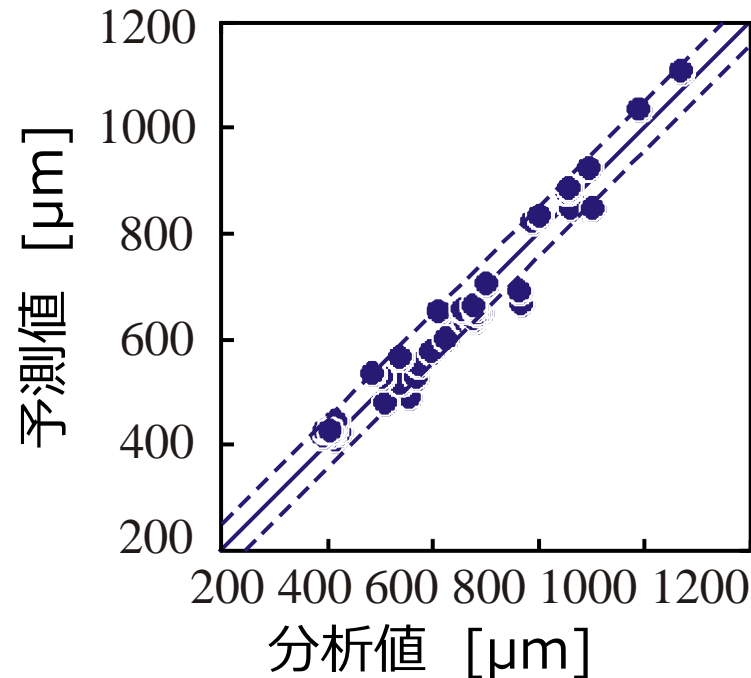
⇒補正方法を開発



水分計出力値の粒径依存性

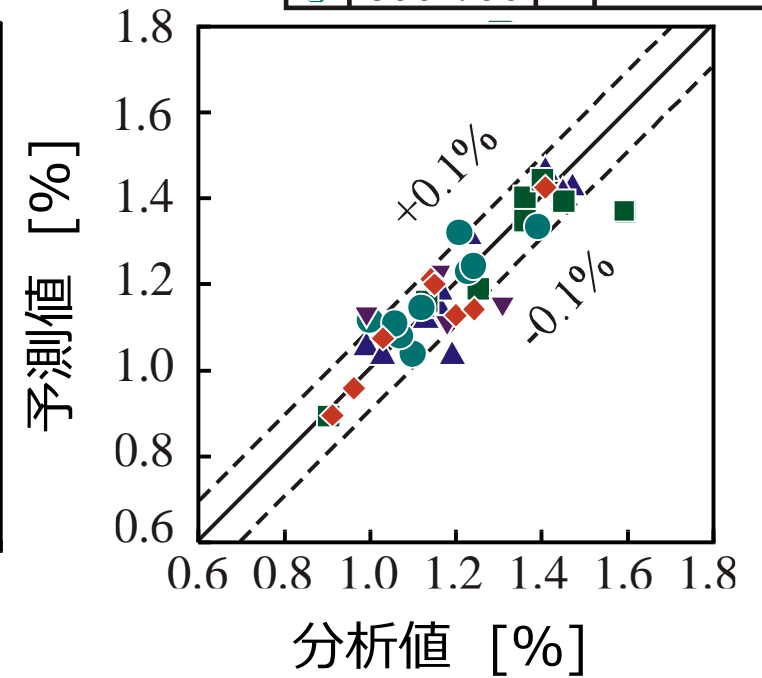


光学式変位計を用いて塩の粒径を計測
⇒水分計出力値を補正



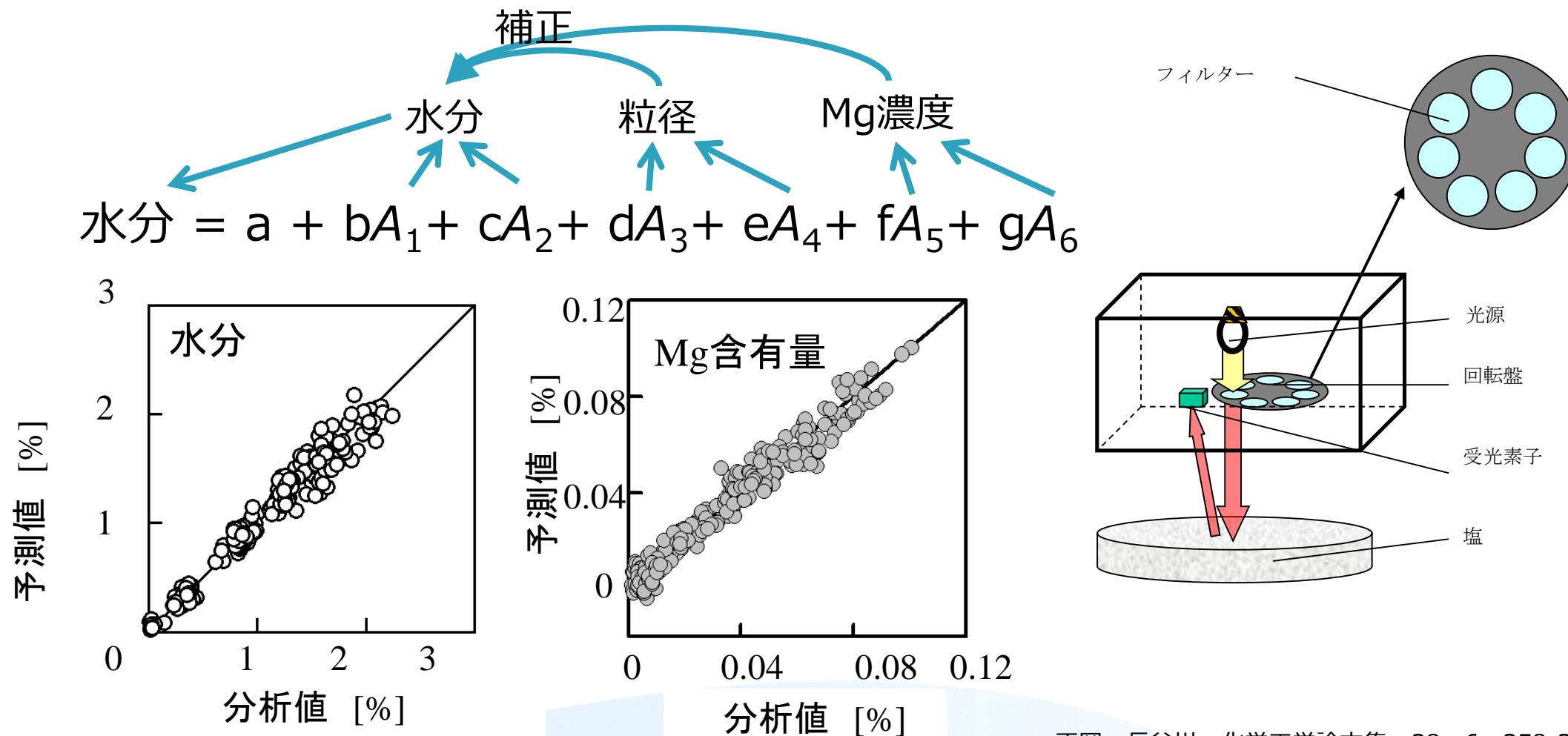
平均粒径予測結果

	D [μm]		D [μm]
▲	380-450	▼	700- 800
■	450-600	◆	800-1100
●	600-700		



水分予測結果

赤外線水分計の測定波長の数を増やし、水分、粒径、マグネシウム含有量の反射光強度への寄与の差を利用してこれらの3項目を同時に演算する方法



対象	測定項目		使用機器
海水	濁質	濁度	レーザー濁時計 ¹⁾
海水、脱塩海水	液組成	Cl ⁻ 濃度	電気伝導度計 ²⁾
かん水		Ca ²⁺ 、Mg ²⁺ 、K ⁺ 、Na ⁺ 、Cl ⁻ 濃度	イオン選択性電極+密度計 ³⁾
せんごう缶内液		Ca ²⁺ 、Mg ²⁺ 、K ⁺ 、Na ⁺ 、Cl ⁻ 、SO ₄ ²⁻ 濃度	赤外分光光度計
		ボーム比重（密度）	差圧計 ⁴⁾
せんごう缶スラリー	製品品質	Mg ²⁺ 、K ⁺ 濃度	密度計+粘度計 ⁵⁾
		スラリー濃度	差圧計
		スラリー粒径分布	沈降式インライン粒径分布測定装置
製品	製品品質	平均粒径、水分	光学式変位計+赤外線水分計
		平均粒径、水分、Mg濃度	赤外線多波長成分計

1)麻田, 瀧脇, 日本海水学会第53年会要旨集, 1-2(2002)

2)吉川, 二宮, 山田, 太田, 中本, 塚本, 日本海水学会誌, 52, 170-176(1998)

3)吉川, 二宮, 山田, 太田, 中本, 塚本, 日本海水学会誌, 52, 170-176(1998)

4)長谷川, 伊藤, 日本海水学会誌, 51, 369-374 (1997)

5)中島, 中村, 峯尾, 正岡, 篠原, 瀬川, 日本海水学会第70年会要旨集, 134 (2019)

日本は海に囲まれています。塩づくりには不向きです。海水総合研究所では、前身である専売局製塩試験場小田原分場の時代より、塩づくりの効率化に向けた技術を開発してきました。

本講演では世界の一般的な塩づくりと日本の塩づくりについて紹介するとともに、塩事業センターが発足してから海水総合研究所が開発してきた技術について紹介します。

1. 一般的な製塩法と日本独自の製塩法
2. 海水総合研究所における製塩技術に関する開発の歩み
 - (1) 統合生産システム構築のための計測・制御システムの開発
 - (2) 製塩工程を構成する技術のレベルアップ

分野	開発技術
海水ろ過	既存素化設備の改善(ろ材、凝集剤、複層化) ¹⁾ 高速ろ過装置の開発
イオン交換膜	微量金属のイオン交換膜透過性の検討 ²⁾ 次世代イオン交換膜の研究開発 次世代イオン交換膜における1価イオン選択透過性の制御 ^{3, 4)}
せんごう	ニューラルネットワークモデルを用いた粒径制御技術 イオン交換膜かん水の蒸発濃縮過程のモデル化 ⁵⁾ 高効率晶析操作の開発 オスロ缶育晶器への給液による凝集抑制 ⁶⁾ 塩結晶への不純物 (K、Br、I) 取り込み機構の検討 ^{7, 8)}
乾燥・焼成	塩を高温加熱した場合のMg塩の化学変化 ⁹⁾
防食	材料選定マップ (温度、濃度、pH) の構築 ¹⁰⁾ 腐食モニタリング技術の開発

1)麻田, 瀧脇, 海水総合研究所研究報告, 8, 1-5(2006)
 2)永谷, 吉川, 電気化学および工業物理化学, 70, 7, 523-529(2002)
 3)永谷, 佐々木, 齋藤, 膜, 43, 5, 231-237(2019)
 4)高橋, 佐々木, 永谷, 田柳, 日本海水学会誌, 75, 145-152(2021)
 5)正岡, 加留部, 中村, 日本海水学会誌, 64, 343(2010)

6)正岡, 吉川, 長谷川, 三角, 仁志, 上ノ山, J.Chem Eng., Japan, 49, 42 (2016)
 7)正岡, 峯尾, 中島, 中村, The 10th World Salt Symposium proceeding(2018)
 8)正岡, 長谷川, 篠原, 日本海水学会誌, 60, 296(2006)
 9)峯尾, 正岡, 粉体工学会誌, 4, 9, 596(2017)
 10)中島, 中村, 正岡, 日本海水学会誌, 71, 333(2017)

海水ろ過工程に求められること

- ・膨大な量の海水をろ過する必要がある(3,500m³/h/工場))

- ・海水の清澄度低下は電気透析槽トラブルに直結

⇒大量の海水をゆっくりろ過する

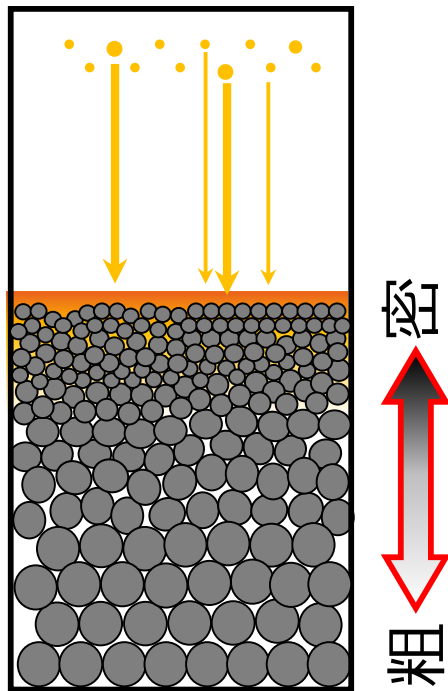
⇒現行の砂ろ過は装置が大きい
(ろ過面積730m²)



高速で清澄度の高い海水を得られるろ過システムを開発した

現行の砂ろ過装置

- ・表層付近で濁質が補足される
⇒清澄度を高めるために砂の粒子径を小さくする
⇒処理速度が低くなる

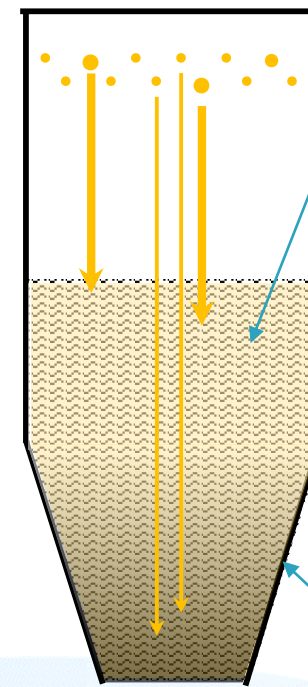


ろ材の充填状態

粗
密

開発した高速ろ過装置

- ・ろ層全体でろ過
⇒上部の粗取りにより下部の精密なろ過への負荷が軽減される
⇒処理速度、清澄度ともに高い運転を実現できる



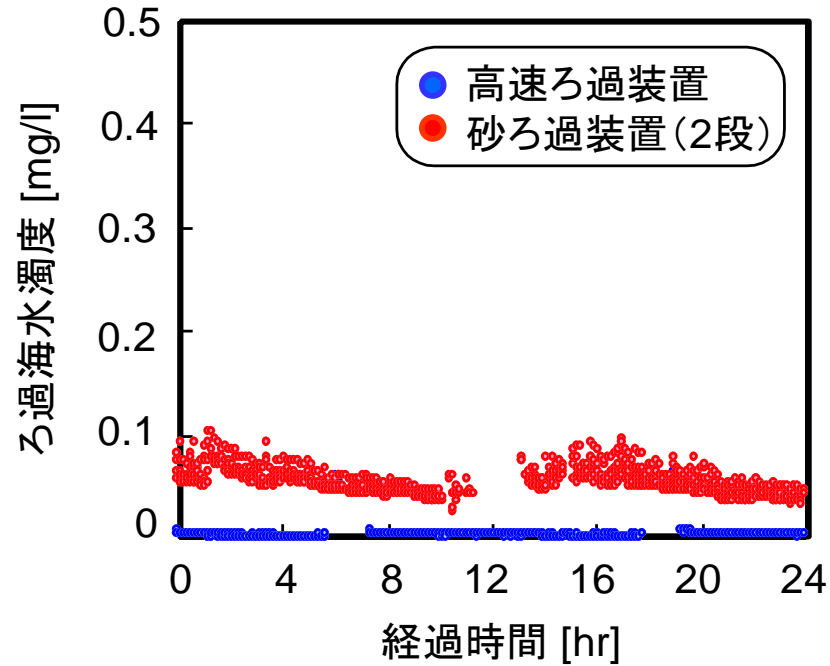
繊維状ろ材

- ・圧縮性
- ・高空隙率



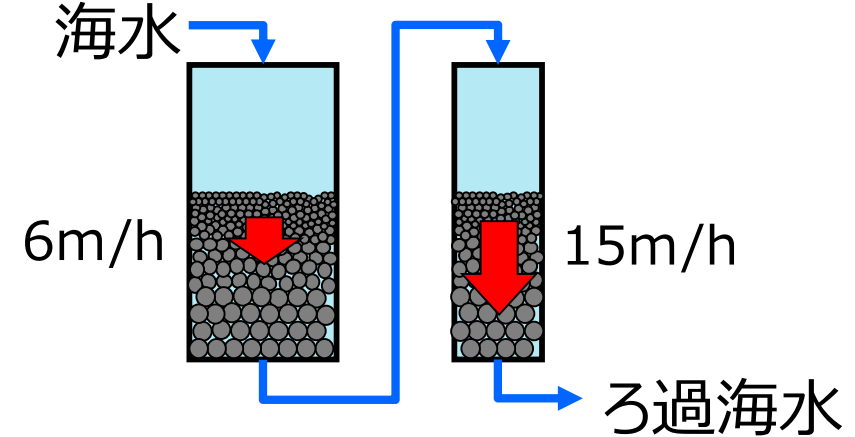
逆円錐カラム

・清澄度（ろ過海水濁度）

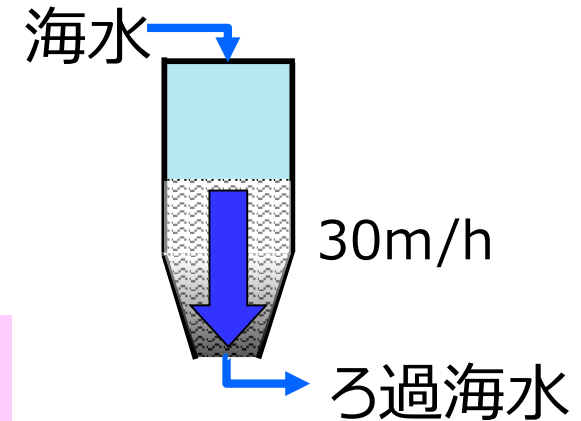


・処理速度（ろ過流速）

砂ろ過システム(2段)



高速ろ過システム



高速ろ過は砂ろ過(2段)と比較して

- ・処理速度が7倍(ろ過面積1/7)
- ・ろ過海水濁度が1/10~1/3

現在、民間のプラントメーカーにより最終耐久試験を実施中

イオン交換膜に求められること

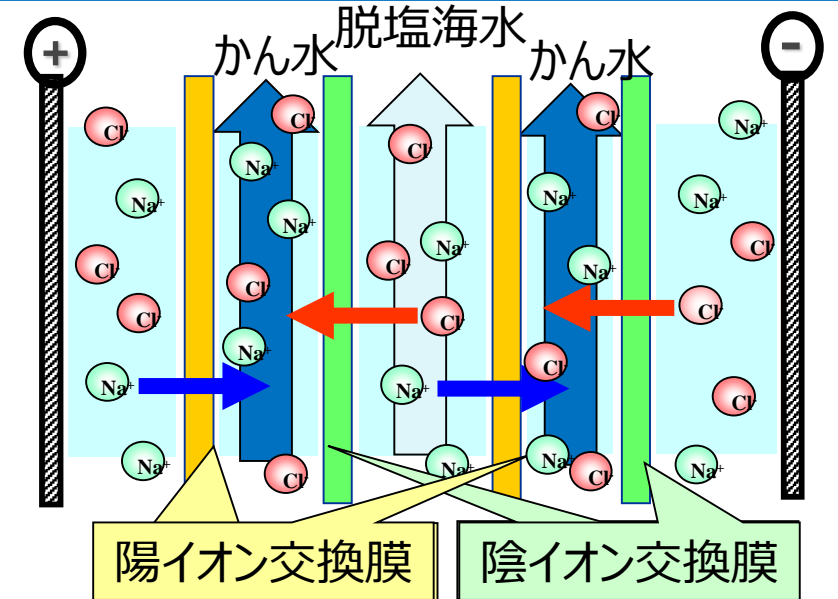
- かん水の濃度が高いほど、せんごうの負荷は小さくなる
- 電気透析の消費電力は工場の約60%を占め、抑制すれば生産コスト削減に直結する

$$\text{消費電力} = (\text{電流量})^2 \times (\text{電気抵抗})$$

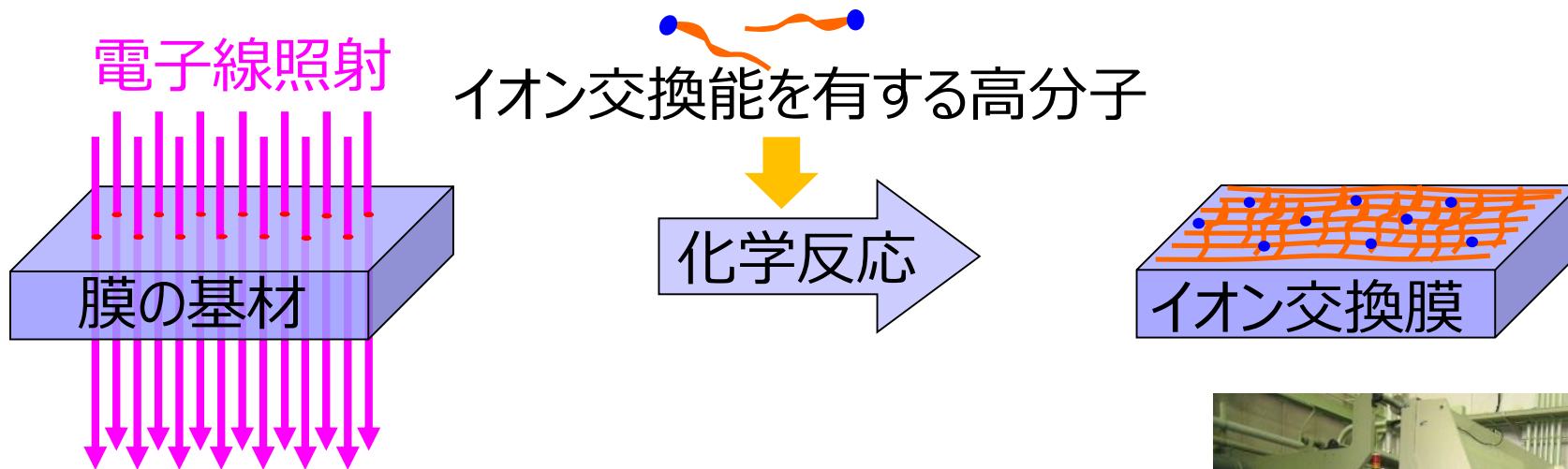
⇒ただし、現状の製膜法は成熟しており、飛躍的な性能向上は難しい

新しい方法で電気抵抗が低く、濃度の高いかん水が得られる膜を開発

- * 塩製造技術高度化研究開発事業（平成18年度～22年度）
委託元：イオン交換膜法製塩メーカー
研究開発体制：海水総合研究所、膜メーカー、大学研究者



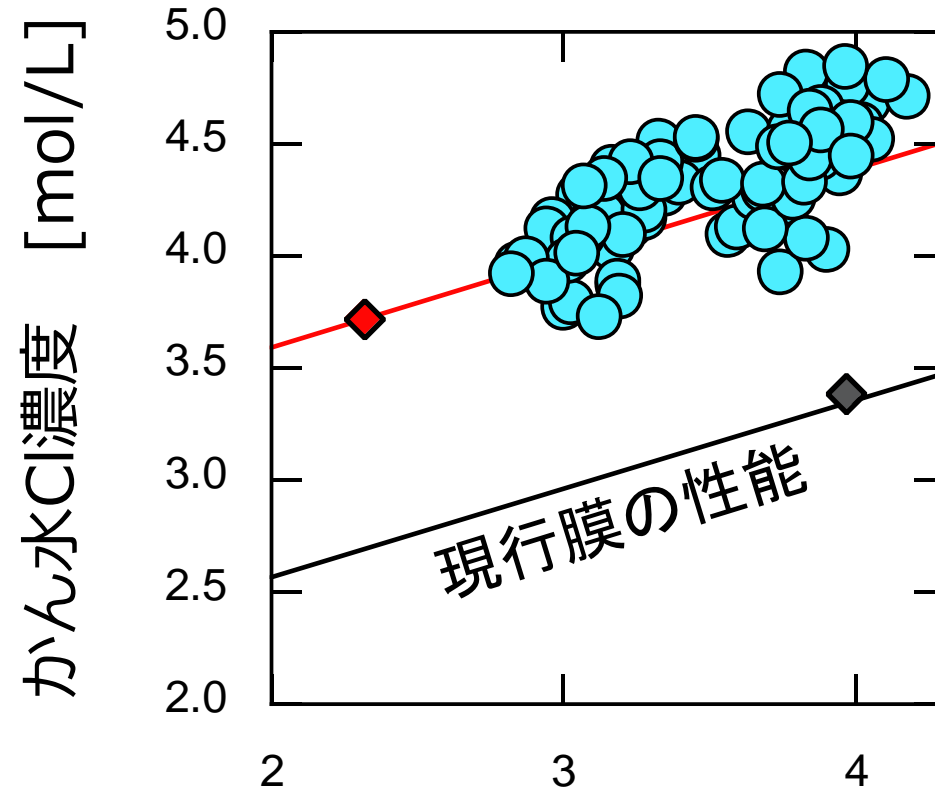
物質に電子線を照射して活性化させることで通常では進行しない化学反応を進行させ、異なる高分子同士を結合させる方法



膜の基材とイオン交換能を持つ高分子とを結びつけ易くなり、基材や製膜法の選択肢が広がる
⇒高性能なイオン交換膜が開発できる可能性がある



パイロットスケール電子線照射装置



現行より濃縮性能が高い膜の合成に成功

スケールアップを完了し、上市済み (2社)

膜抵抗の合計値 [Ω cm²]
(陽イオン交換膜抵抗+陰イオン交換膜抵抗)

せんごう缶(たて釜)に求められること

- せんごう缶は建設費、維持費が高額であり、小型化できればコスト削減に繋がる。
- 塩の粒径は製品のスペック、品質の面で重要な因子である。自由に制御できれば工程の効率化に繋がる。

装置容量 \propto 生産速度 \div スラリー濃度 \div 結晶成長速度

製品粒径 \propto 結晶成長速度 \times スラリー濃度 \div 生産速度

(連続操作の場合)

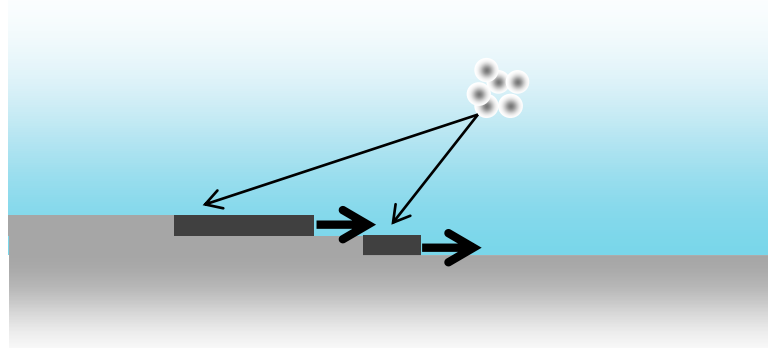
結晶成長速度を向上させる晶析技術を開発



真空多重効用式蒸発缶(たて釜)

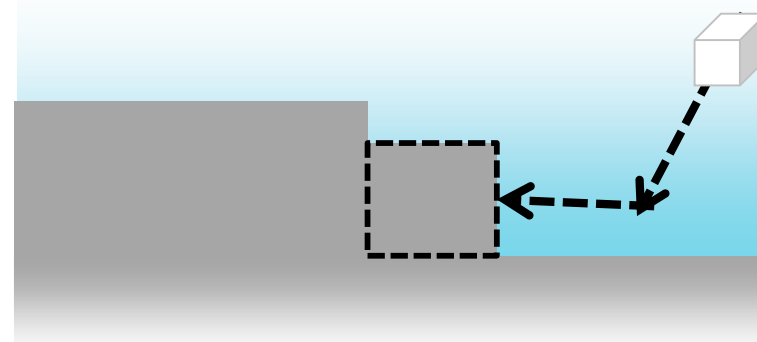
ナイカイ塩業株式会社提供

通常の結晶成長

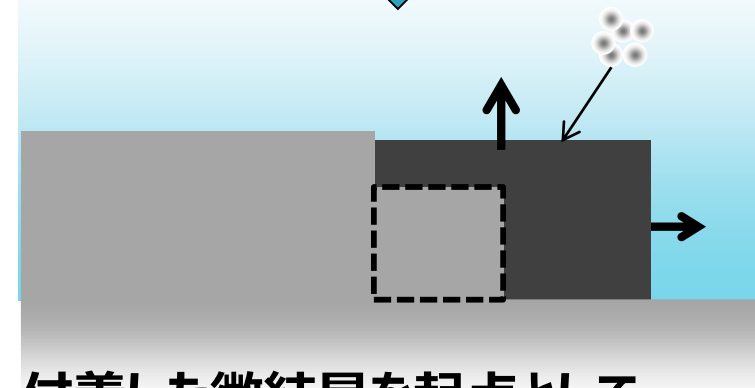


成長速度には物質固有の上限がある
と考えられている

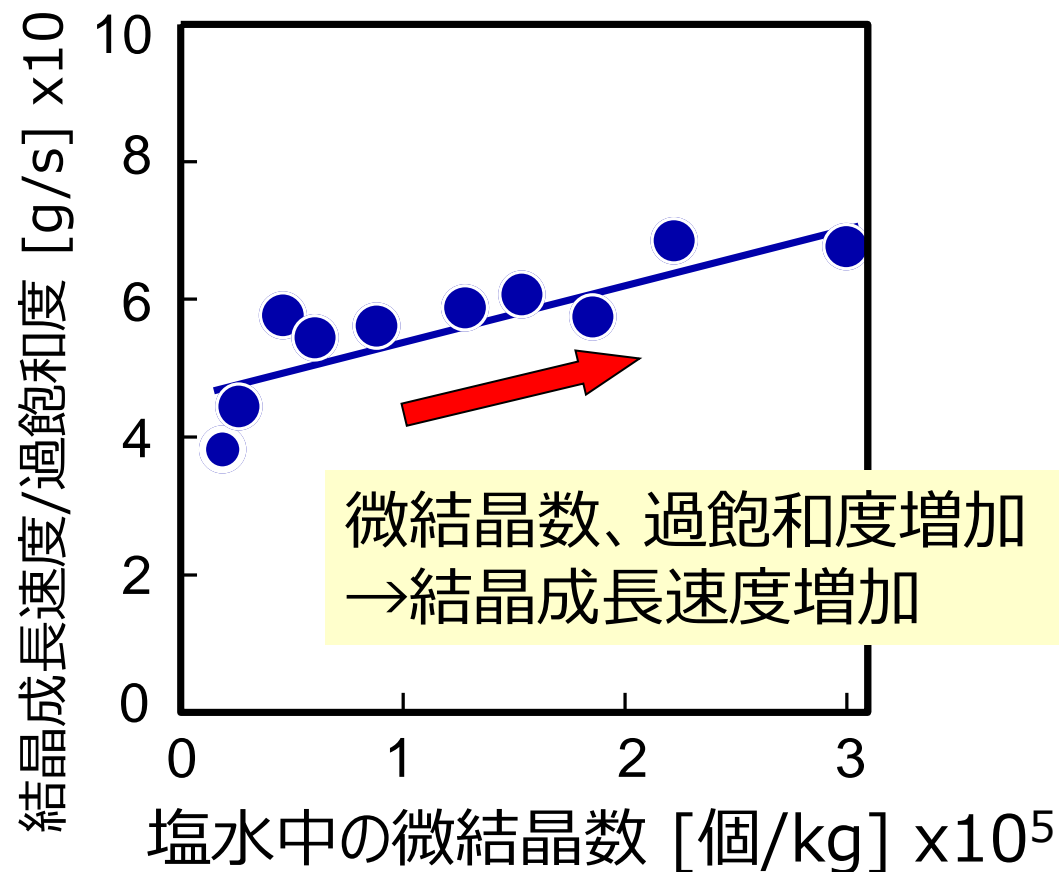
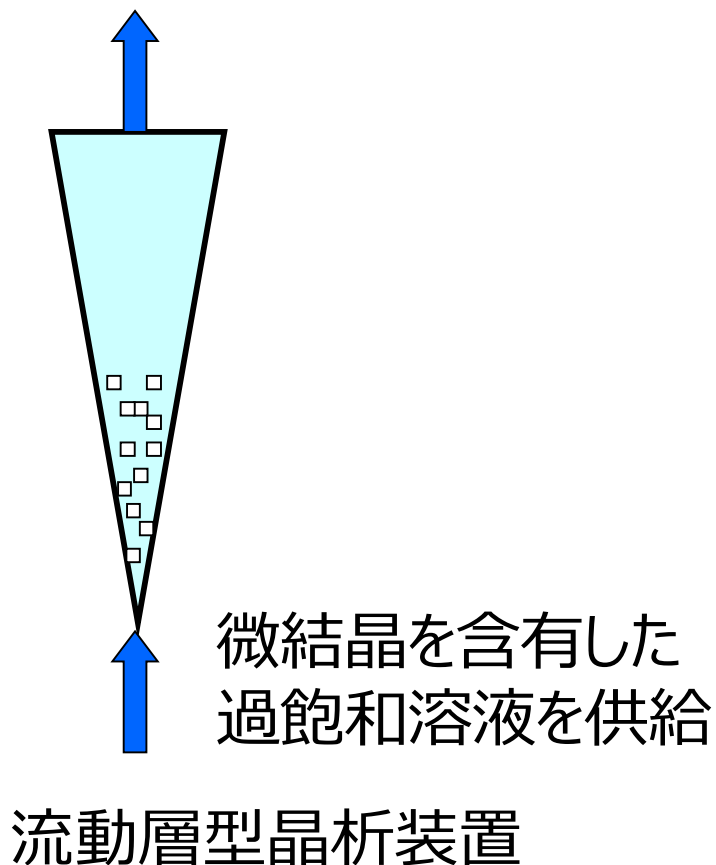
微結晶の付着を伴う結晶成長



数 μm 程度の微結晶が付着する



付着した微結晶を起点として
通常の結晶成長が著しく促進される



微結晶数、過飽和度と結晶成長速度との関係

現在、実機せんごう缶に適用した場合の粒径制御への有効性について検証中

製塩設備に求められること

- ・製塩設備は金属腐食(錆び)の面で過酷な環境に曝されている。耐食性金属を用いているが、塩水組成、温度などの変動により腐食する場合がある。
- ・製塩工場は半年間ほどの連続運転を実施しており、運転中には腐食に気付けないため、原因の特定や対策が難しい。

⇒塩水の腐食性の変化を把握できれば、対策を講じることができ、設備維持費の削減に繋がる。

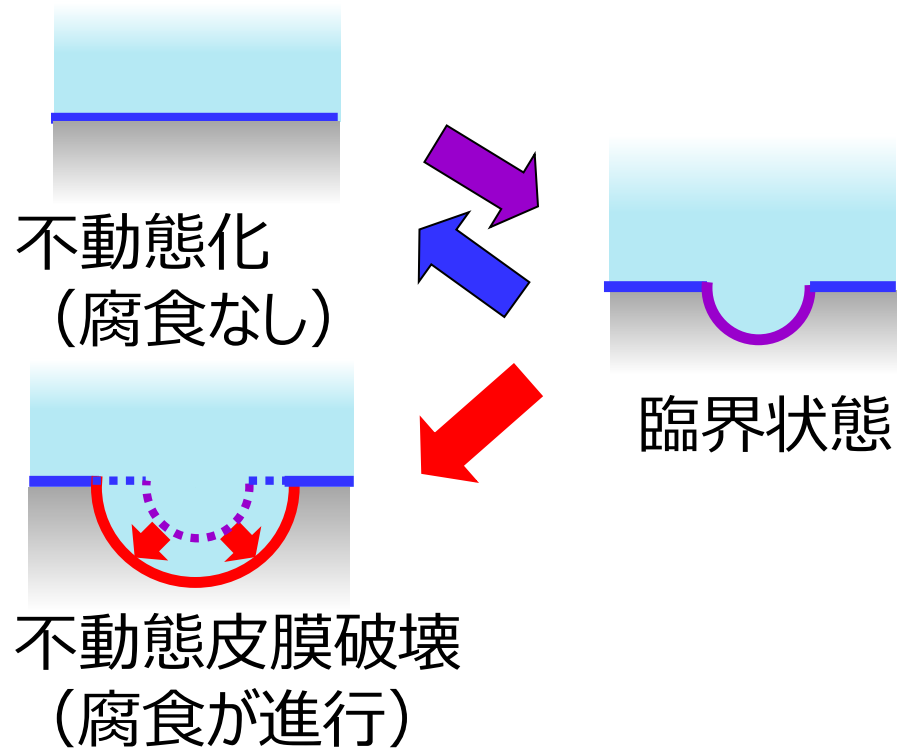
運転中の製塩設備に設置できる腐食モニタリング技術を開発



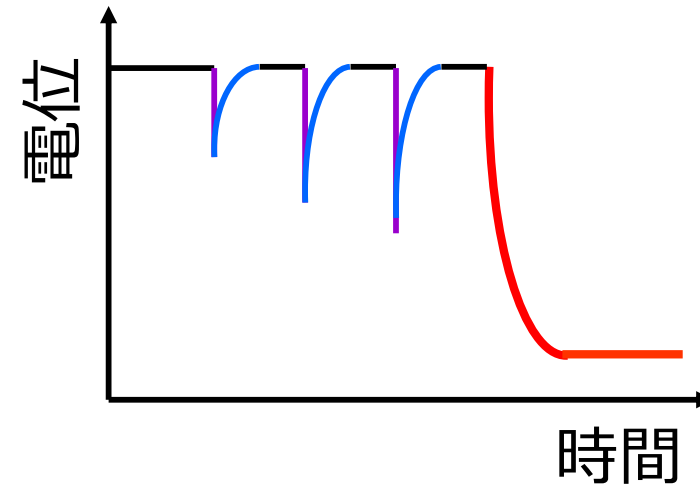
フランジ面に生じた「すきま腐食」

金属表面の微細な腐食の発生、修復に伴い生じる電位変動(電位ノイズ)を腐食性の指標として計測する方法

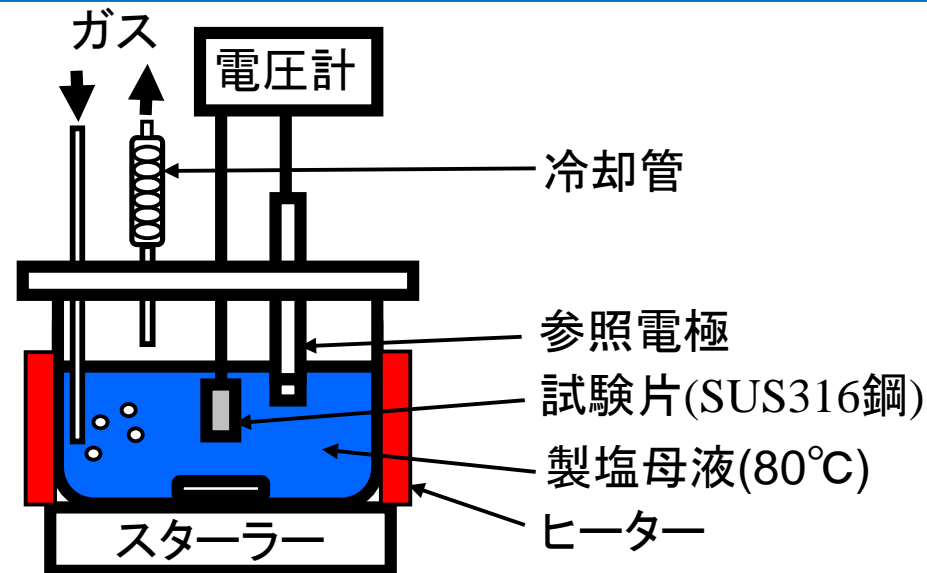
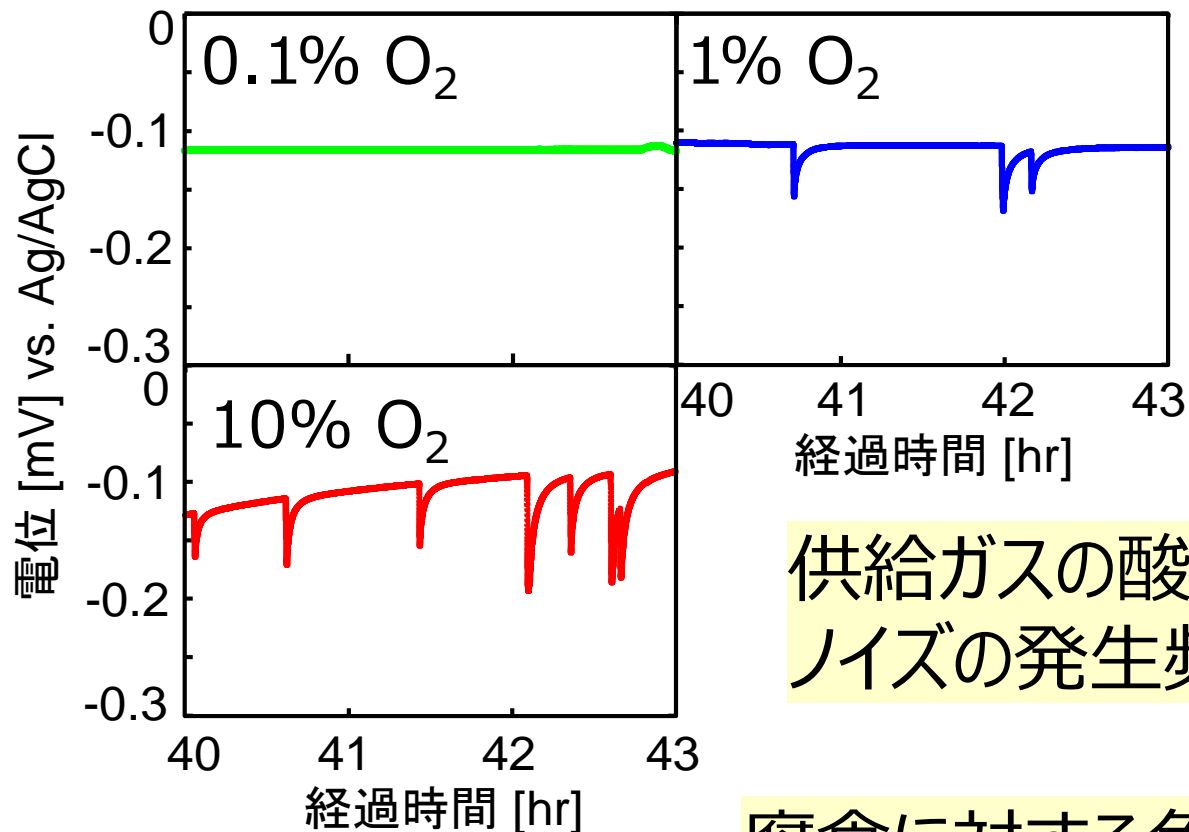
金属の表面状態



電位の経時変化



電位ノイズの振幅、発生頻度から腐食に対する危険度を診断



供給ガスの酸素濃度により
ノイズの発生頻度、振幅に差



腐食に対する危険性の評価に活用

モニタリングシステムは完成しており、製塩工場にて腐食診断に活用中。また、データ解析へのAI導入について検討中。

分野	開発技術
海水ろ過	既存素化設備の改善(ろ材、凝集剤、複層化) ¹⁾ 高速ろ過装置の開発
イオン交換膜	微量金属のイオン交換膜透過性の検討 ²⁾ 次世代イオン交換膜の研究開発 次世代イオン交換膜における1価イオン選択透過性の制御 ^{3, 4)}
せんごう	ニューラルネットワークモデルを用いた粒径制御技術 イオン交換膜かん水の蒸発濃縮過程のモデル化 ⁵⁾ 高効率晶析操作の開発 オスロ缶育晶器への給液による凝集抑制 ⁶⁾ 塩結晶への不純物 (K、Br、I) 取り込み機構の検討 ^{7, 8)}
乾燥・焼成	塩を高温加熱した場合のMg塩の化学変化 ⁹⁾
防食	材料選定マップ (温度、濃度、pH) の構築 ¹⁰⁾ 腐食モニタリング技術の開発

1)麻田, 瀧脇, 海水総合研究所研究報告, 8, 1-5(2006)
 2)永谷, 吉川, 電気化学および工業物理化学, 70, 7, 523-529(2002)
 3)永谷, 佐々木, 斎藤, 膜, 43, 5, 231-237(2019)
 4)高橋, 佐々木, 永谷, 田柳, 日本海水学会誌, 75, 145-152(2021)
 5)正岡, 加留部, 中村, 日本海水学会誌, 64, 343(2010)

6)正岡, 吉川, 長谷川, 三角, 仁志, 上ノ山, J.Chem Eng., Japan, 49, 42 (2016)
 7)正岡, 峯尾, 中島, 中村, The 10th World Salt Symposium proceeding(2018)
 8)正岡, 長谷川, 篠原, 日本海水学会誌, 60, 296(2006)
 9)峯尾, 正岡, 粉体工学会誌, 4, 9, 596(2017)
 10)中島, 中村, 正岡, 日本海水学会誌, 71, 333(2017)

塩事業センターが発足してから海水総合研究所が開発してきた製塩技術について紹介しました。

1. 一般的な製塩法と日本独自の製塩法
2. 海水総合研究所における製塩技術に関する開発の歩み
 - (1) 統合生産システム構築のための計測・制御システムの開発
 - (2) 製塩工程を構成する技術のレベルアップ

- ・これらの技術はイオン交換膜法製塩だけでなく、他の製塩法や塩以外の製造プロセスにおいても活用可能と考えられる。
- ・海水総合研究所では、これからも日本の製塩を支えるための技術開発を実施していく。

Salt & Seawater Science Seminar 2022

—塩事業センター海水総合研究所25年の歩み、そして未来へ—

講演3

研究開発の将来に向けて

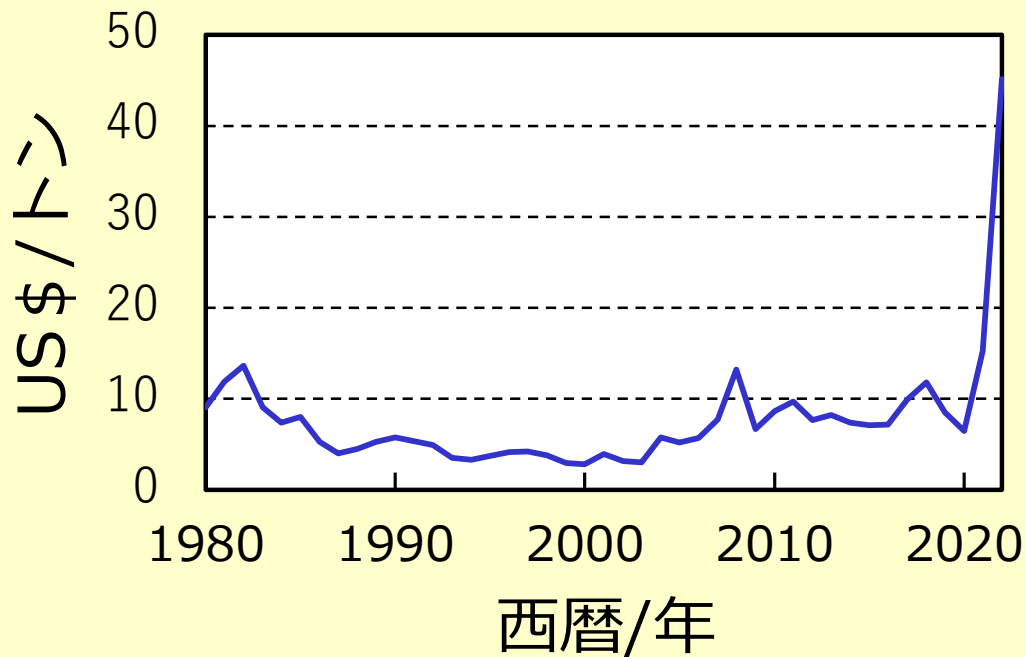
(公財) 塩事業センター・海水総合研究所

吉川直人



- エネルギー価格の高騰
- 塩生産量の減少
- 脱炭素社会実現への対応

石炭（オーストラリア産）



液化天然ガス（日本の輸入価格）



- 脱炭素の潮流の中での化石燃料への投資の減少
- 天候起因、コロナ感染拡大による供給障害
- ロシアのウクライナへの軍事侵攻による代替需要

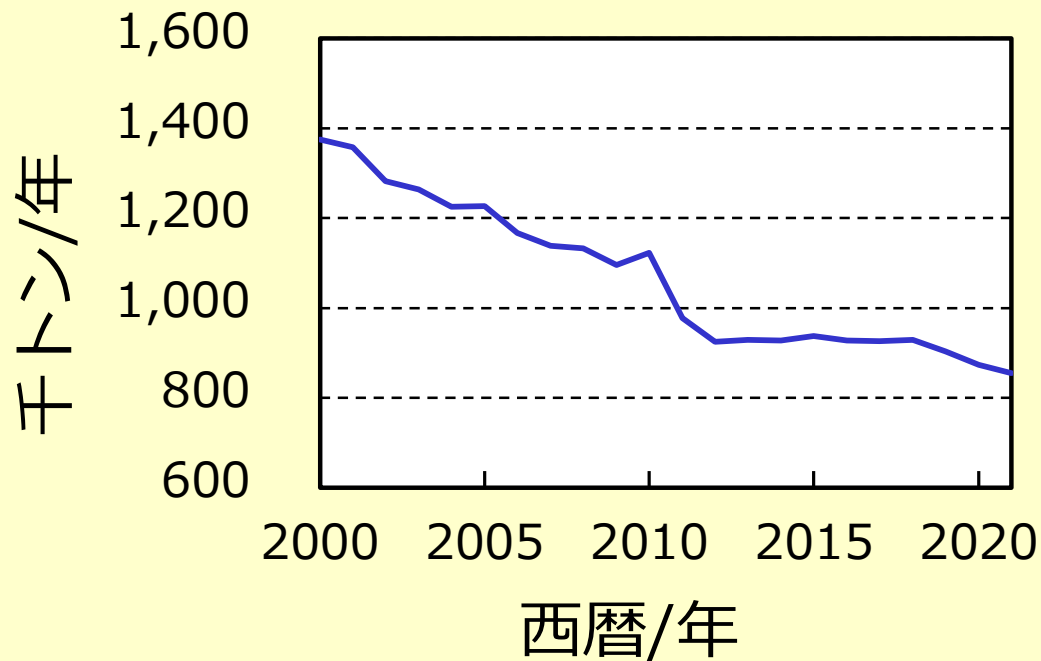
世界経済のネタ帳

<https://ecodb.net/commodity/energy/>

※1BTU(英国熱量単位)≒252cal

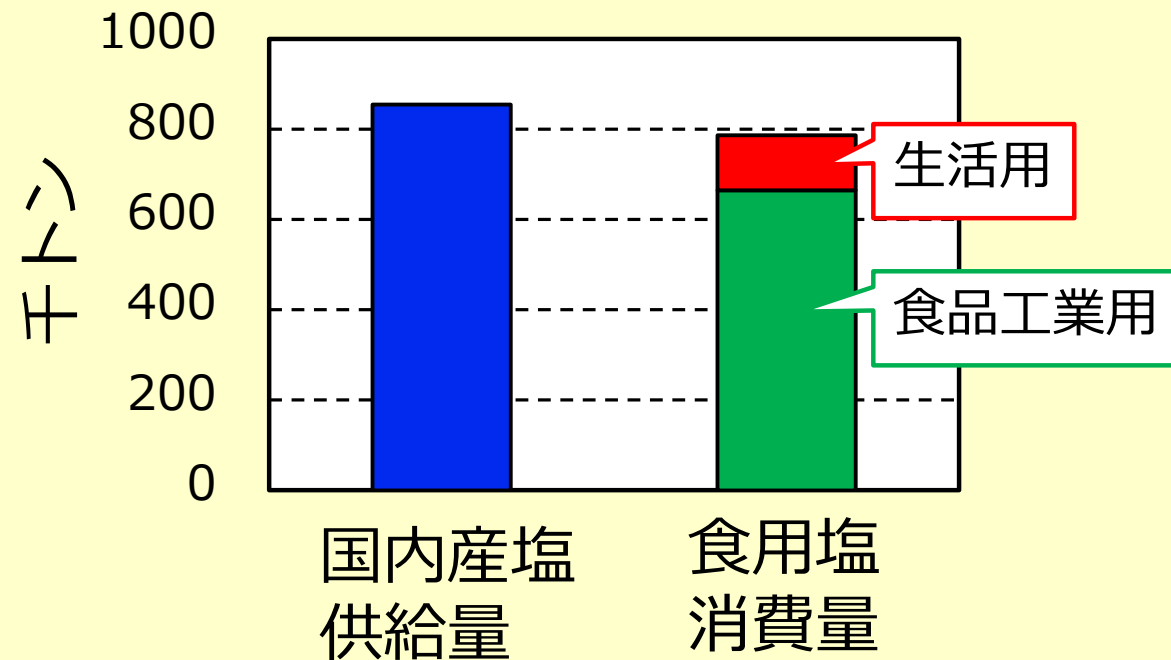
- 石炭から炭酸ガス排出量の少ないLNGへの転換
- ロシアのウクライナへの軍事侵攻、米国のLNG液化基地で発生した火災事故の影響による供給量減少

国内産塩供給量の推移



- 外国産塩への置き換わり、大規模製塩工場の廃業、減塩嗜好などにより国内産塩の供給量は減少

国内産塩供給量と食用塩消費量(2021年度)



- 食用塩の消費をまかなう程度の量は国内で製造可能
- 食料安全保障上も維持することが重要

財務省, 塩需給実績

https://www.mof.go.jp/policy/tab_salt/reference/salt_result/index.htm

カーボンニュートラルに向けた各国の目標

2050年までのカーボンニュートラルにコミット：

123カ国・1地域※

※ 2ヶ国が既にネットゼロを達成、5ヶ国が法律制定済、EUと3ヶ国は法案提出済、12ヶ国が政府文書に記載

	中期目標	長期目標
日本	<u>2030年度までに26%削減</u> （2013年度比）	<u>2050年カーボンニュートラル</u> （臨時国会における菅総理の所信表明演説）
EU	<u>2030年少なくとも▲55%</u> （1990年比） ※欧州理事会（12月10・11日）合意 ※2013年比▲44%相当	<u>2050年カーボンニュートラル</u> ※複数の前提を置いた8つのシナリオを分析
英国	<u>2030年までに少なくとも▲68%</u> （1990年比） ※2013年比▲55.2%相当	<u>2050年少なくとも▲100%</u> （1990年比） ※一定の前提を置いた3つのシナリオを提示
米国	パリ協定離脱 → バイデン次期大統領は2050年までの <u>GHG排出ネットゼロ</u> を表明	
中国	<u>2030年までに排出量を削減に転じさせる、</u> GDPあたりCO ₂ 排出量を2005年比65%超削減 （前者は今年の国連総会、後者は気候野心サミット2020で習主席が表明）	<u>2060年カーボンニュートラル</u> （今年の国連総会で習主席が表明）

- ・ 2050年カーボンニュートラルに向け、世界各国は既に取り組み開始
- ・ 2021年4月開催の気候サミットにおける菅前総理の所信表明演説をきっかけに日本も取り組みが加速

国内製塩への貢献

- ・ 製塩コスト（エネルギー使用量、設備費）の低減
- ・ 製塩副産物回収技術の開発
- ・ 脱炭素社会実現への対応

社会への貢献

- ・ 消費者の皆さまへの安全、安心の提供
- ・ 消費者の皆さまへの商品、情報の提供
- ・ 研究所保有技術の他分野への応用

国内製塩への貢献

- ・ 製塩コスト（エネルギー使用量、設備費）の低減
- ・ 製塩副産物回収技術の開発
- ・ 脱炭素社会実現への対応

社会への貢献

- ・ 消費者の皆さまへの安全、安心の提供
- ・ 消費者の皆さまへの商品、情報の提供
- ・ 研究所保有技術の他分野への応用

製塩コスト(エネルギー使用量)の低減

※脱炭素社会への実現にも貢献

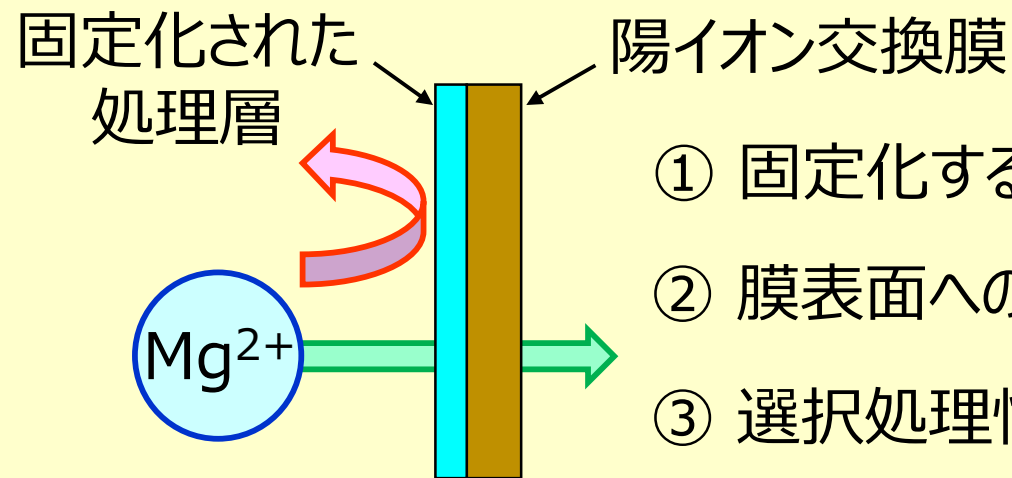
電気透析による海水濃縮における電力使用量は工場全体の約60%

主にイオン交換膜の開発により電力使用量を低減

- ・イオン交換膜製造技術の熟成による濃縮性能の向上
- ・ **イオン交換膜の選択処理性能の向上**

※2020年1月 新イオン交換膜上市

例 陽イオン交換膜における選択処理技術



- ① 固定化することで脱離を防止 ⇒ 運転管理の効率化
- ② 膜表面への選択的な固定化 ⇒ 濃縮性能の向上
- ③ 選択処理性能の制御 ⇒ 海水資源回収効率の向上

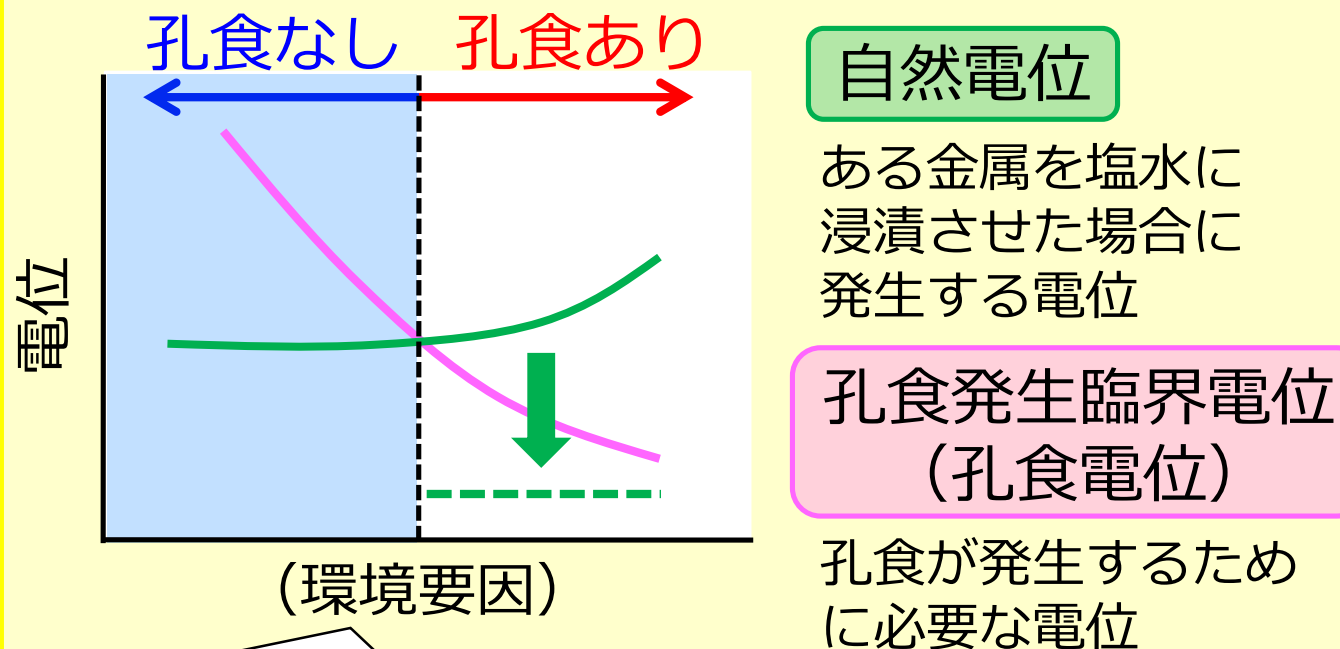
製塩は鏑との戦い、製塩装置用の金属には高価な材料（チタンなど）を使用

主に腐食防食技術開発による製塩装置の腐食抑制により設備費、修繕維持費を低減

- 腐食診断システムを用いる腐食要因の特定と腐食低減
- 適材適所な材料選定（材料選定マップ）
- **外部電源法による電気防食**

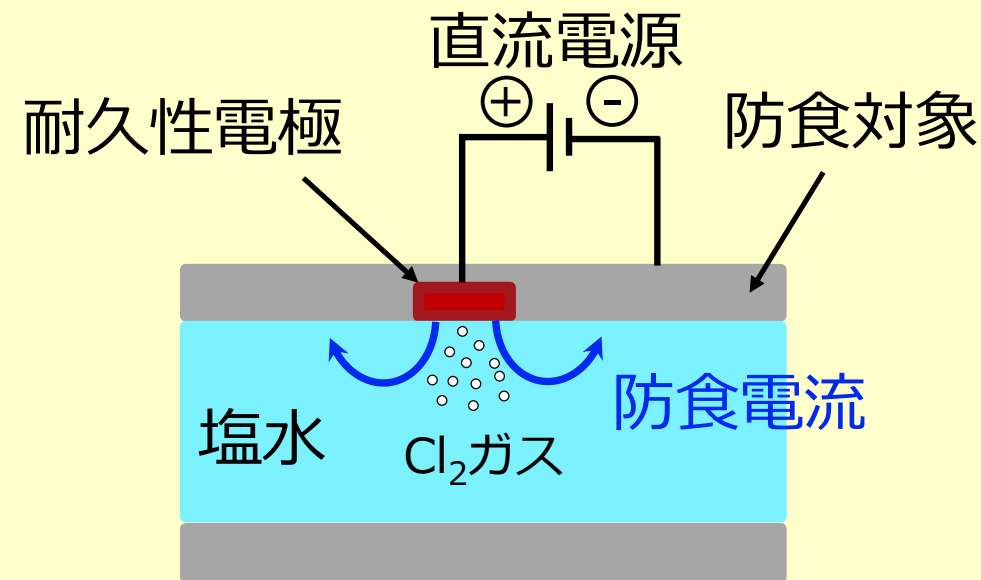
外部電源を用い、製塩装置を腐食しない電位領域に移動させ防食

腐食発生の有無の判断



塩類濃度、温度、溶存酸素濃度、装置材料由来の重金属イオン

電気防食のイメージ



Cl₂ガスの発生を防止する電極の開発が鍵 (共同研究)

製塩プロセスに導入するための課題を整理して実用化への道筋を見出す

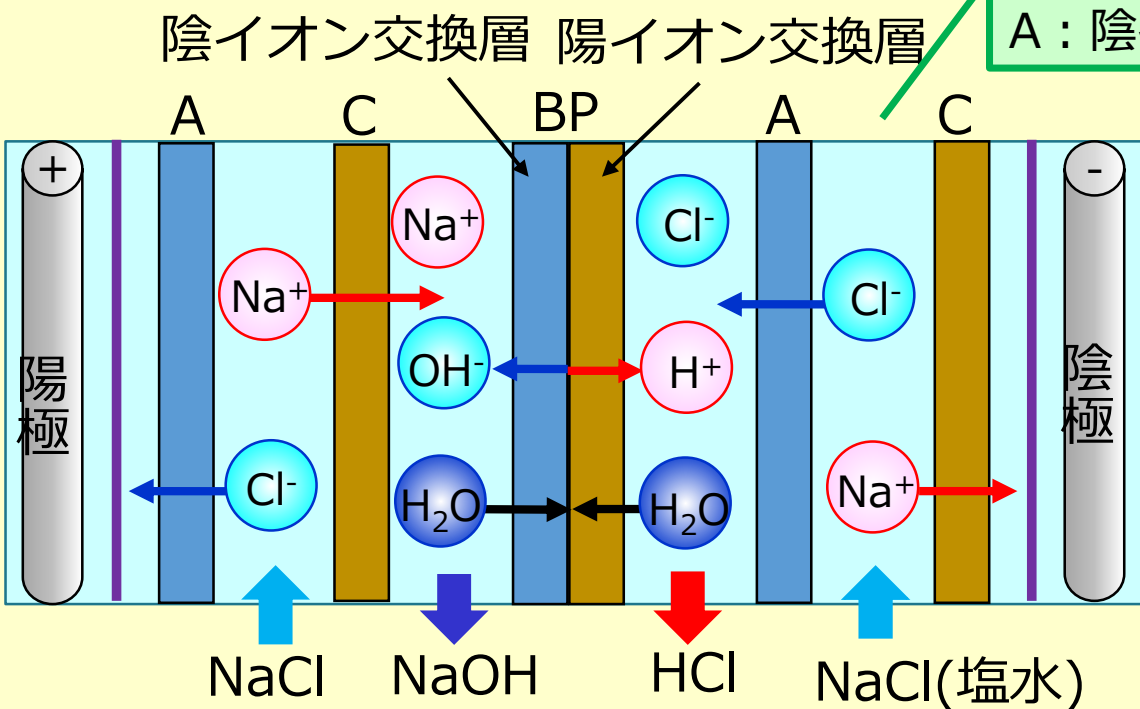
塩以外の製塩副産物の回収と製塩工程溶液の利用による 炭酸ガスの固定化

- ・ 塩化カリウムの高付加価値化
- ・ **炭酸カルシウム、水酸化マグネシウムの高付加価値化と
炭酸ガスの固定化**
- ・ **微細藻類による炭酸ガスの固定化**

炭酸カルシウム、水酸化マグネシウムの高付加価値化と炭酸ガスの固定化

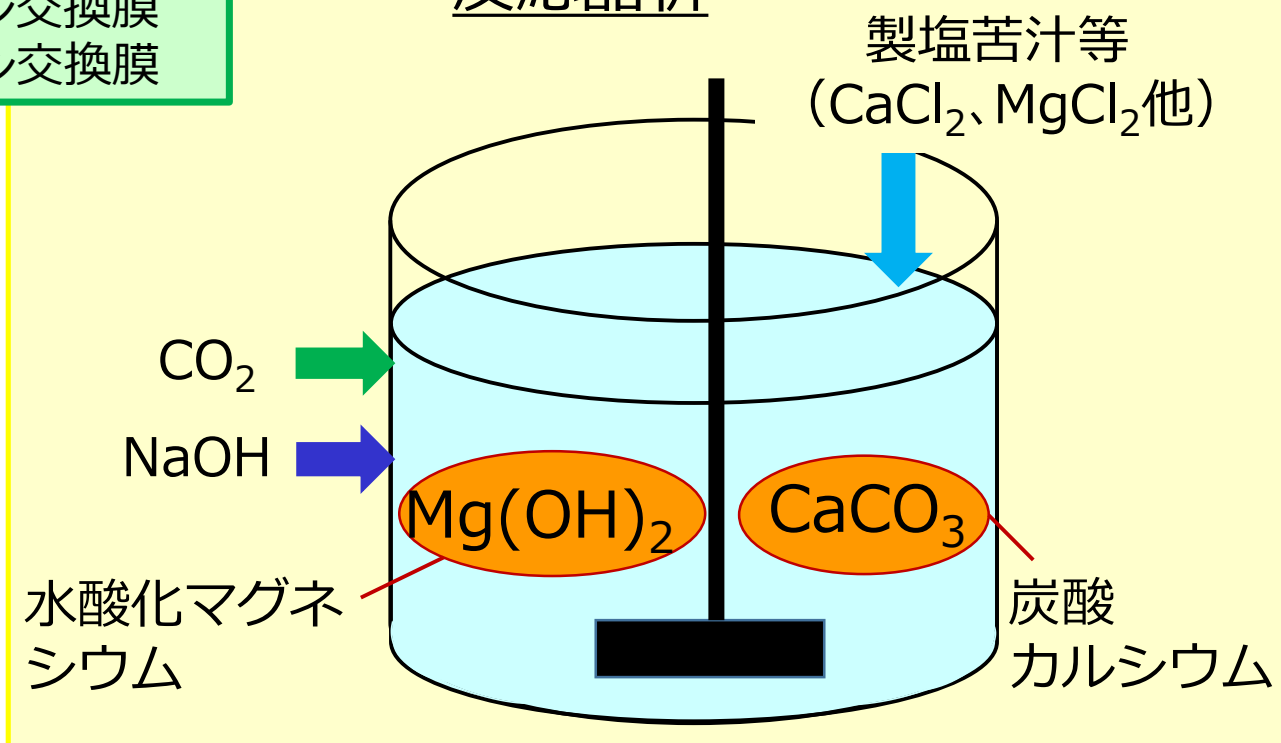
製塩工程で製造される塩を利用して、炭酸ガスの固定化、水酸化マグネシウムの生成に使用する苛性ソーダを製造し、製塩苦汁などを用い反応晶析で炭酸ガスを固定化

バイポーラ膜電気透析



BP : バイポーラ膜
C : 陽イオン交換膜
A : 陰イオン交換膜

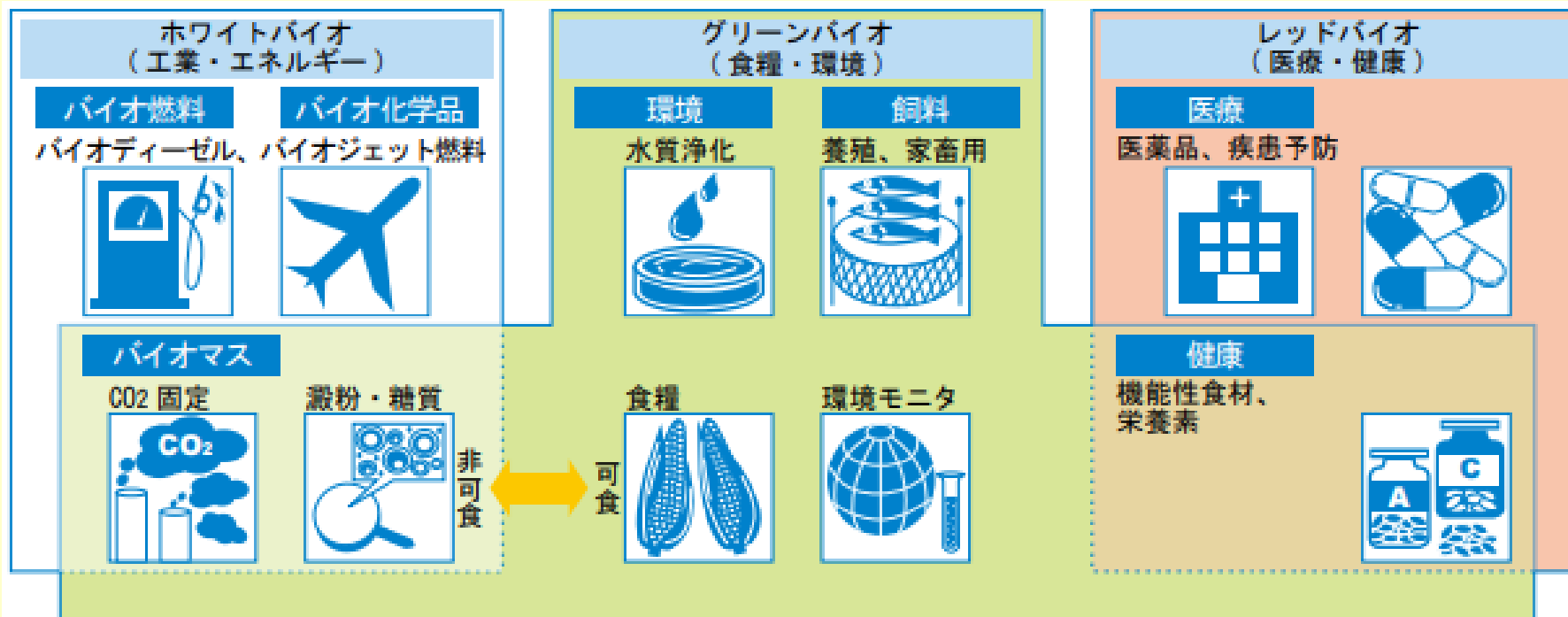
反応晶析



バイポーラ膜電気透析槽による苛性ソーダ、塩酸の製造技術
反応晶析による炭酸カルシウム、水酸化マグネシウムの高付加価値化について検討

炭酸ガス固定化に微細藻類の利用を検討
特色のある製塩工程溶液の微細藻類増殖への効果について検証

微細藻類の利用が期待される領域*



宇野博志, “バイオマス資源としての微細藻類”, 三井物産戦略研究所 戦略研レポート, 1-11 (2011)

増殖促進が期待できる微細藻類、その利用方法について調査

国内製塩への貢献

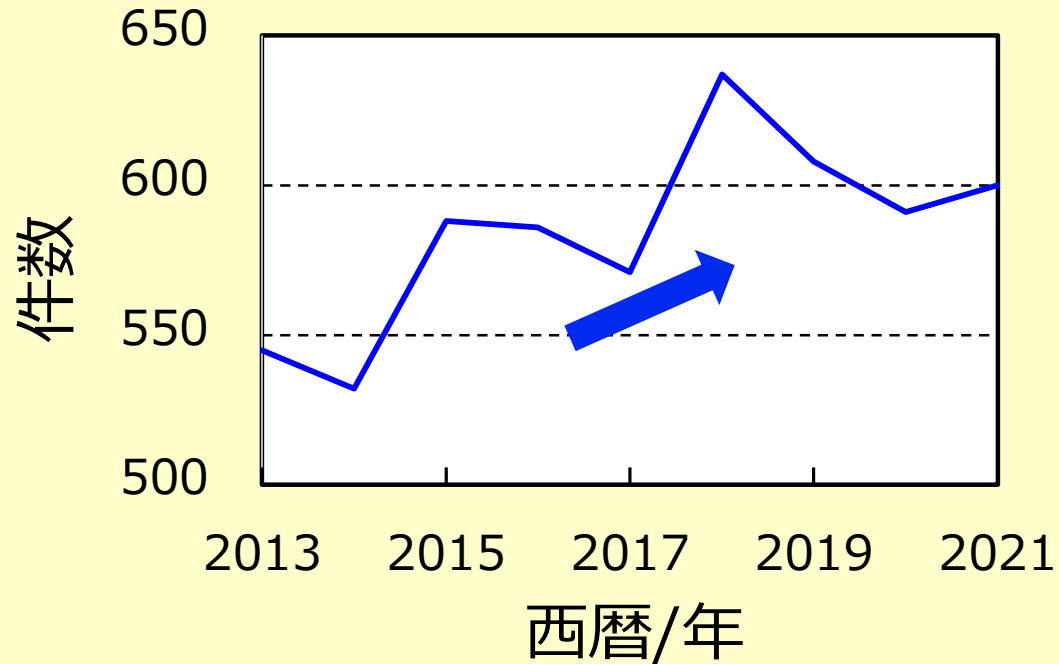
- ・ 製塩コスト（エネルギー使用量、設備費）の低減
- ・ 製塩副産物回収技術の開発
- ・ 脱炭素社会実現への対応

社会への貢献

- ・ 消費者の皆さまへの安全、安心の提供
- ・ 消費者の皆さまへの商品、情報の提供
- ・ 研究所保有技術の他分野への応用

分析技術の開発を通して、消費者の皆さまへ安全、安心を提供

受託分析件数の推移



- ・ 求められる分析項目の分析技術開発による拡大

塩試験方法 (塩の国内標準試験法)



- ・ 分析技術の発展、分析項目の拡大に対応するため定期的に改訂

市販食用塩データブック



- ・ 市販食用塩の製法、成分、粒径などの情報を提供

※2023年度改訂版発刊予定

業務部商品チームとともに新商品を開発

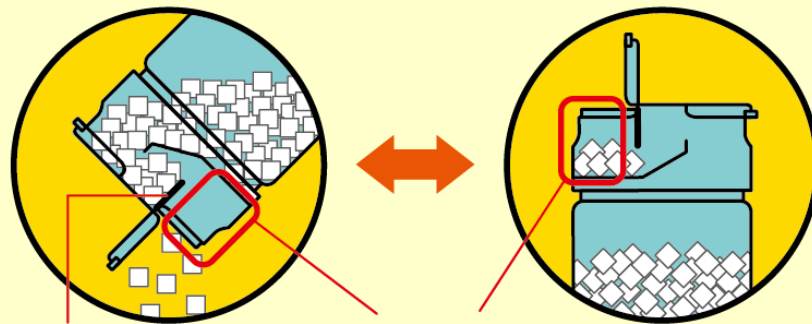
「塩ひとふり」

(公財) 日本デザイン振興会主催
グッドデザイン賞など4つの賞を受賞



小口側を真下に向けると
「ひとふりポケット」内の塩が
振り出されます。

戻すと塩が
「ひとふりポケット」に入り、
次の振り出しの準備ができます。



ストッパー ひとふりポケット

*「ひとふりポケット」外の塩は、ストッパーで止められ、出てきません。



70th
Anniversary

おかげさまで
食卓塩は 70周年
- since 1952 -

ありがとうフォト作品
募集中！



これからも皆さまが安心してお使いいただける良質な商品を開発し、お届けできるように努めてまいります

消費者の皆さまに塩に関する有益な情報を提供

例 調理、食品加工における塩の通説について検証

効果の内容	現状の知見
塩ゆで野菜の緑色保持	ほうれん草は、茹で水に添加される塩により緑色成分(クロロフィル)の減少が抑制されるが、肉眼では感知されないレベルという報告あり
パスタの食感向上	茹で水に塩を添加すると麺の吸水率が低下し、麺の破断強度は高くなるが、実際に添加される塩濃度では大きな差はみられないという報告あり

他10数項目検証予定

冊子の作成およびセンターHP等で公開予定

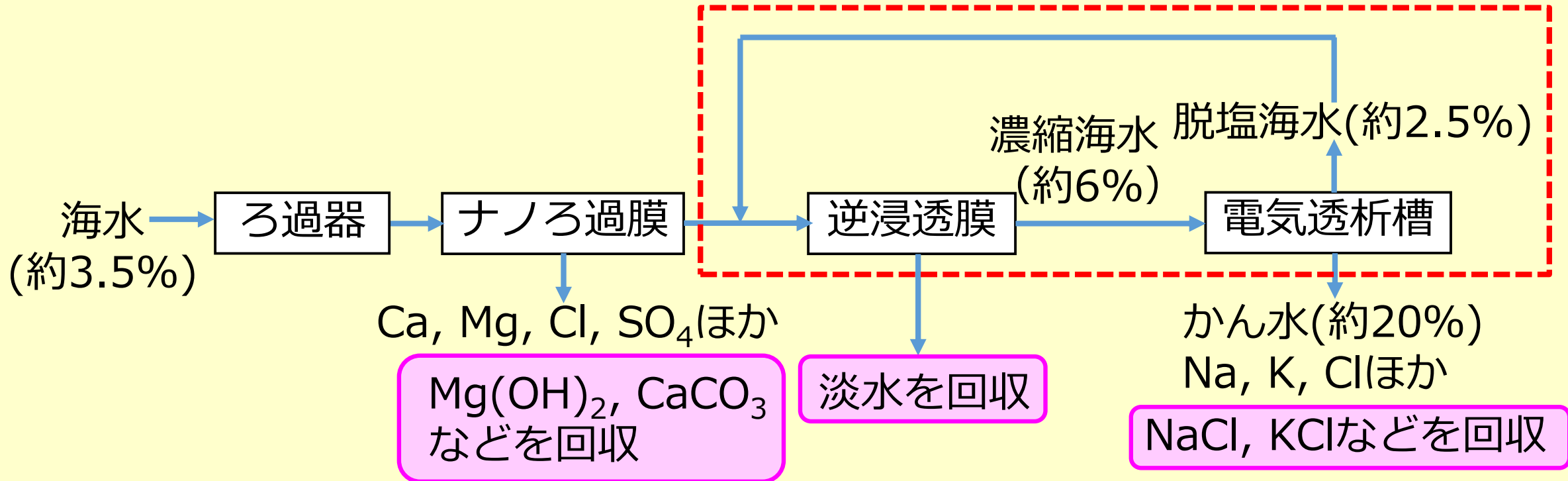
これまでの実績

- **海水综合利用の提案**
- 海外塩湖からのリチウム回収
- 石油、天然ガス採取時に同伴される随伴水からの有価物回収
- 福島第一原発の汚染水処理
- 海水淡水化における前処理
- ろ過装置の実用化
- **塩以外の粉体の固結対策**

ほか

海水総合利用の一例

(プロセスのコアは海水淡水化と製塩の組み合わせ)



逆浸透膜…塩分濃度が低く浸透圧が小さい脱塩海水を使用

⇒エネルギー費低減、淡水の回収率向上

電気透析槽…塩分濃度が高く電気抵抗が小さい濃縮海水を使用

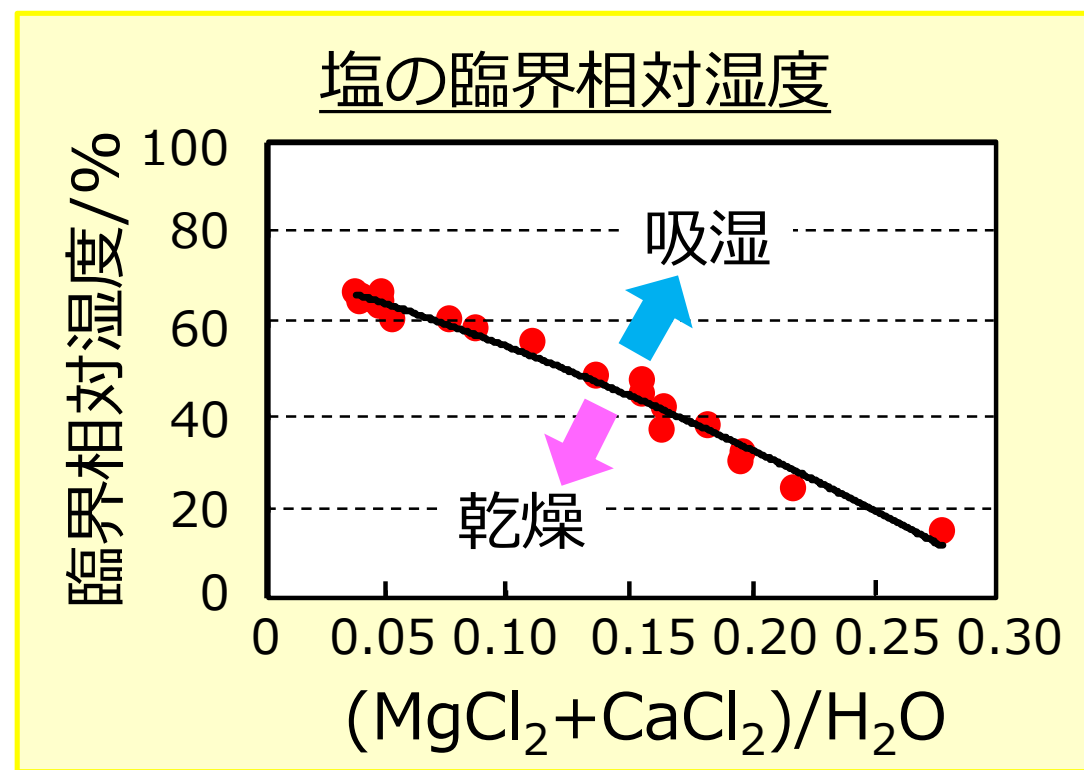
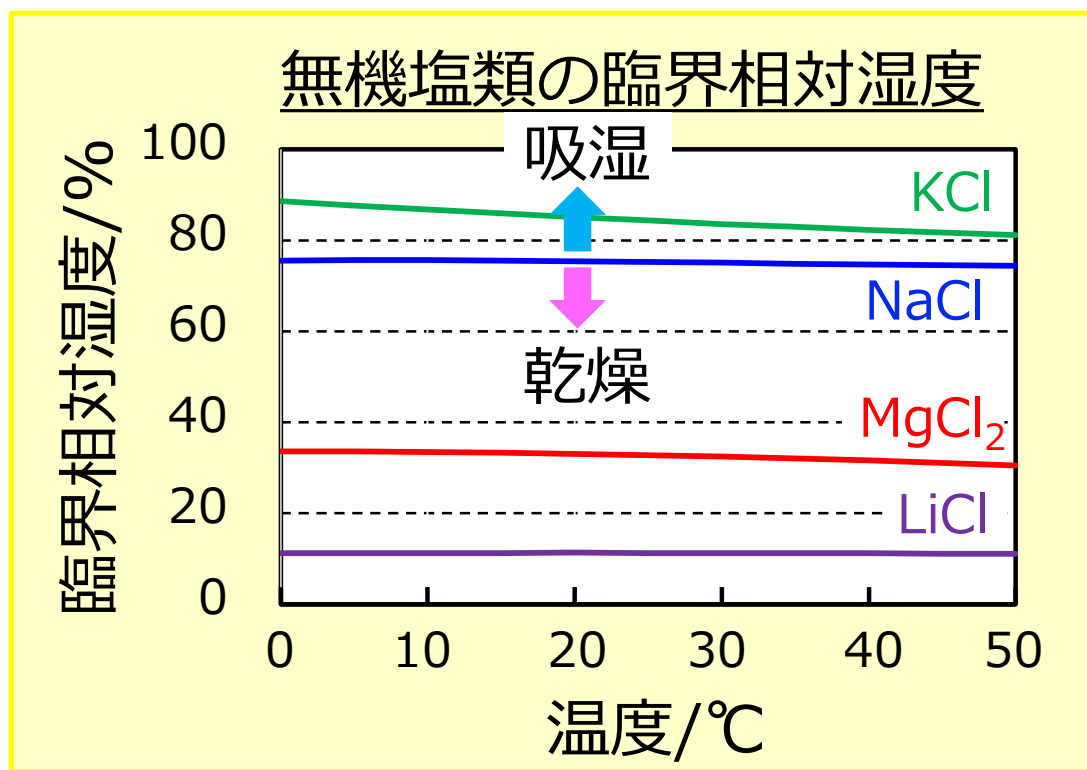
⇒エネルギー費低減、塩(NaCl)などの回収率向上

※海水淡水化においては濃縮海水の放出量を低減可能⇒海洋の環境負荷を軽減



臨界相対湿度とは？

- ・ 空気中の水分の粉体への吸収（吸湿）
 - ・ 粉体からの水分の蒸発（乾燥）
- がつりあう湿度



<https://www.jp.omega.com/techref/pdf/equilibrium-RH.pdf>

党弘之, 海水誌, **58**, 566-569 (2004)

塩以外の粉体についても、固結対策には臨界相対湿度の把握が重要

共同研究、受託研究

- ・ 研究成果を公開し社会に貢献

コンサルタント

- ・ 研究成果は非公開であるが間接的に社会に貢献

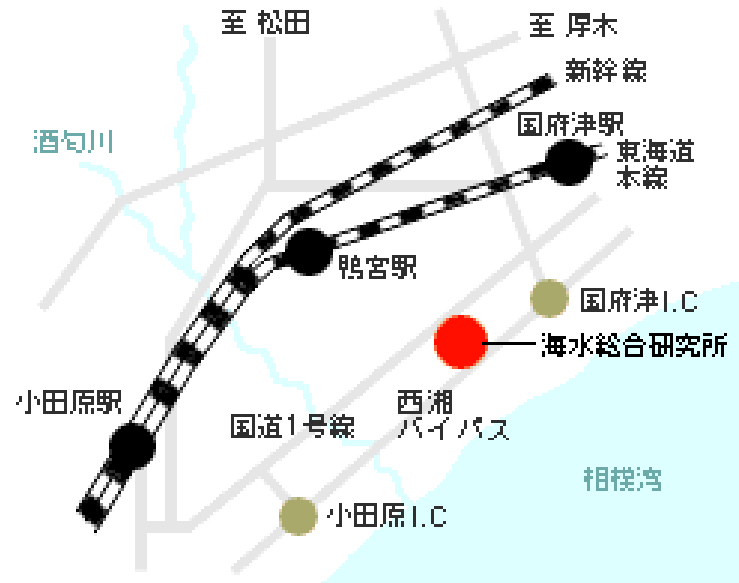
実験設備、装置の貸し出し

- ・ 海水取水設備（50トン/時）、砂ろ過設備
- ・ 種々の実験設備、分析装置保有

⇒海水科学研究の拠点

本日の講演において、研究所の保有技術について紹介
外部機関と連携し、社会へ貢献

海水総合研究所へのアクセス



所在地 神奈川県小田原市酒匂4-13-20

電話 0465-47-3161

共同研究、受託研究・分析、コンサルタント
実験設備等の貸し出し、施設見学など
お気軽にご相談ください

今後も

「国内製塩」、「社会」へ貢献するために
有益な研究成果、情報を提供してまいります