



# 反滲透法海水淡化技术研究的新趋势

*New Trends of Seawater Desalination by Reverse Osmosis*

逆浸透法による海水淡水化技術研究の新しい展開

赵河立

趙河立

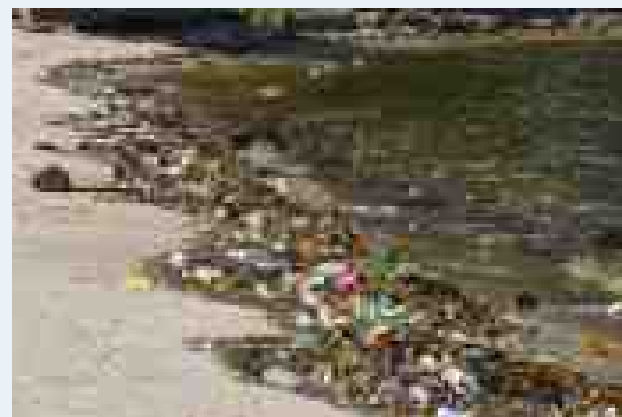
自然资源部天津海水淡化与综合利用研究所

The Institute of Seawater Desalination and Multipurpose Utilization, MNR(Tianjin)

自然資源部天津海水淡水化と综合利用研究所



1.1 水资源危机 Water crisis 水資源の危機



'Shortage of fresh water may be the main global threat in the next decade.'  
-World Economic Forum Report 2015

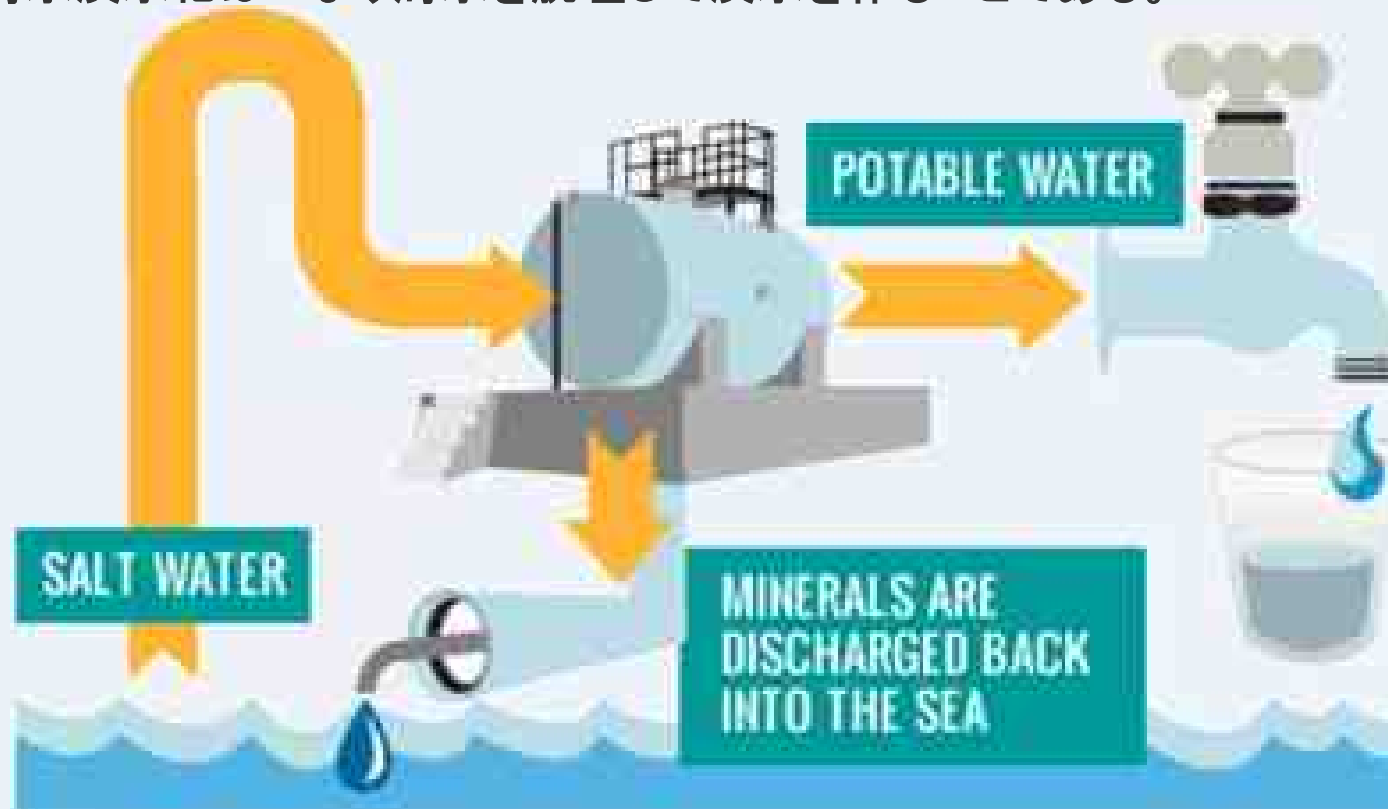
## 1.2 海水淡化技术 Seawater desalination

### 海水淡水化技術

海水淡化即利用海水脱盐生产淡水。

Desalination is a process that produces freshwater by removing salts from seawater.

海水淡水化はつまり海水を脱塩して淡水を作ることである。



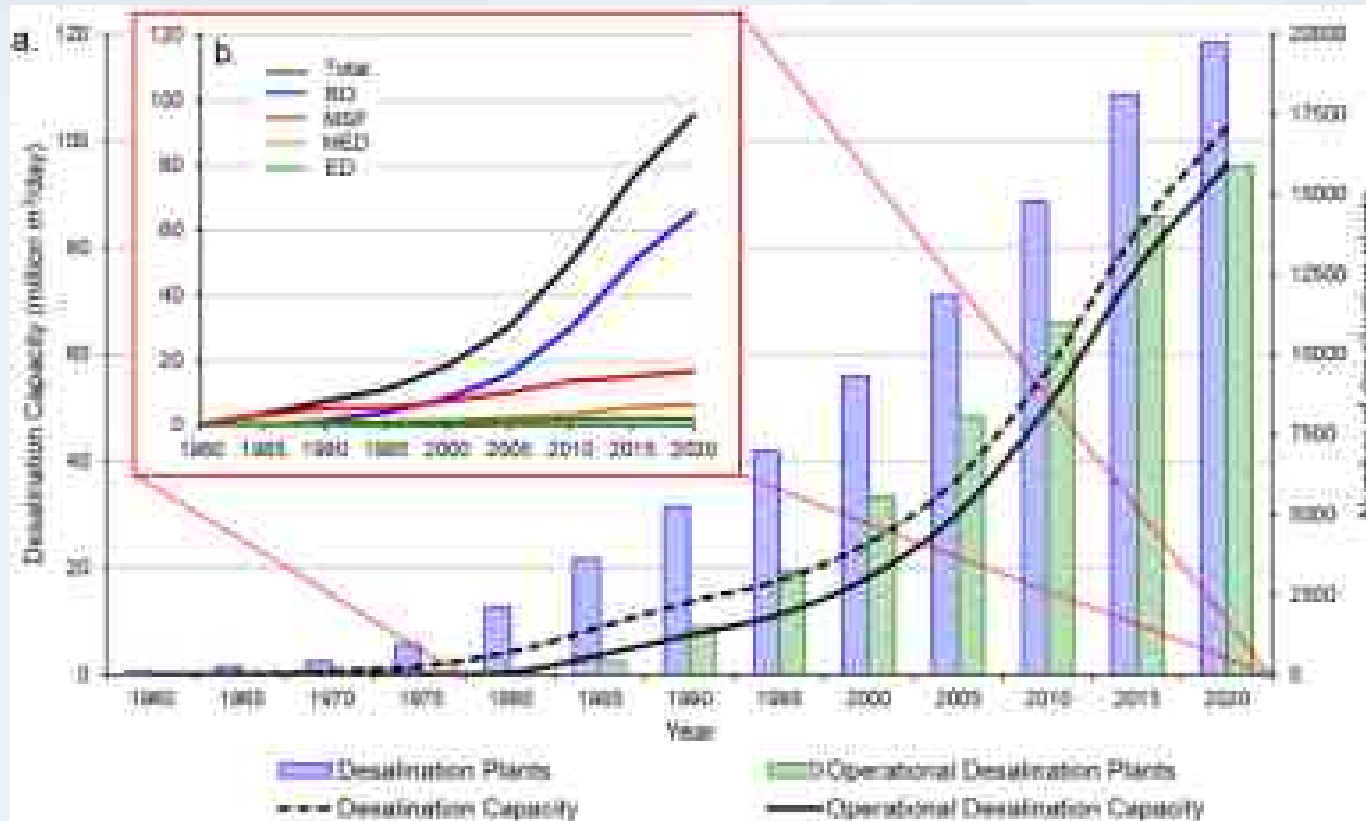
### 1.3 海水淡化技术发展近况

Recent development of seawater desalination

海水淡水化技術の発展の現状

日間平均海水淡化水量

日均海水淡化总量



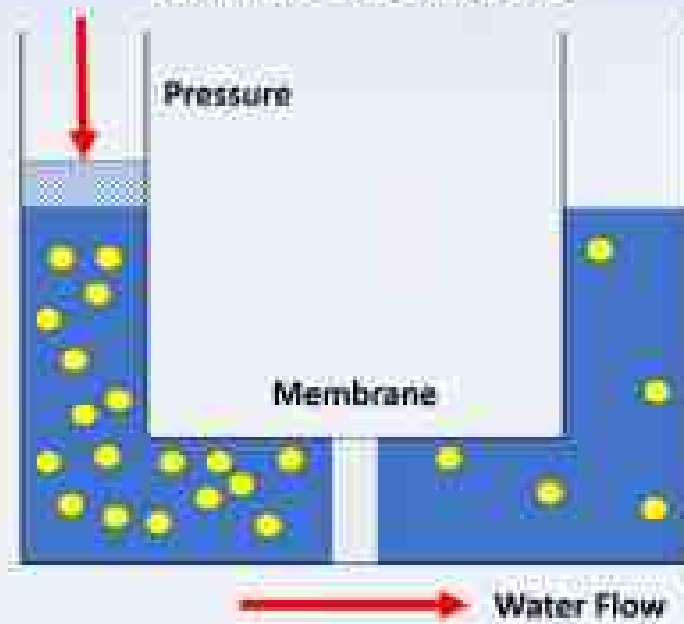
海水淡化装置数量

海水淡化装置数量

反渗透法(RO)已经发展为使用最广泛，发展最迅速的一种淡化海水技术。  
 RO process has been developed into the most popular and rapidly progressed technique.  
 逆浸透法(RO)は最も広く採用され、迅速に発展する淡水化技術である

## 1.4 反渗透法 Reverse Osmosis (RO) 逆浸透法

### 原理 RO Mechanism原理



### 主要优点 Advantages メリット

- 常温进行, 低能耗  
Room-temperature operational, energy-saving  
常温作業のため省エネ
- 有效去除盐和有机小分子杂质  
Removal of salt and organic molecules  
脱塩、有機的小分子など効果的に除去
- 较高的脱盐率和水回用率  
High salt rejection and water recovery  
高い脱塩率、造水率
- 膜分离装置简单, 易于实现自动化  
Simple installation for automation  
シンプルな膜分離装置が自動化しやすい

### 存在的问题 Drawbacks 問題点

- 高压进行, 需配备高压泵和耐高压管路  
Requires high-pressure, pumps and high-pressure resistant pipelines needed  
高压作業のため、高压ポンプと圧力耐性の強い管路が必要
- 对进水指标有较高要求, 需对原水预处理  
Requires clean/filtered feedwater, pretreatments needed  
進入水の基準が厳しく、海水のプレ処理が必要
- 易产生膜污染, 影响膜寿命和分离效率, 需定期对膜进行清洗  
Membrane fouling leads to short membrane lifetime, regular washing needed  
膜の汚染が発生しやすく、膜の寿命と分離効率が影響されるため、定期的な膜洗浄が必要



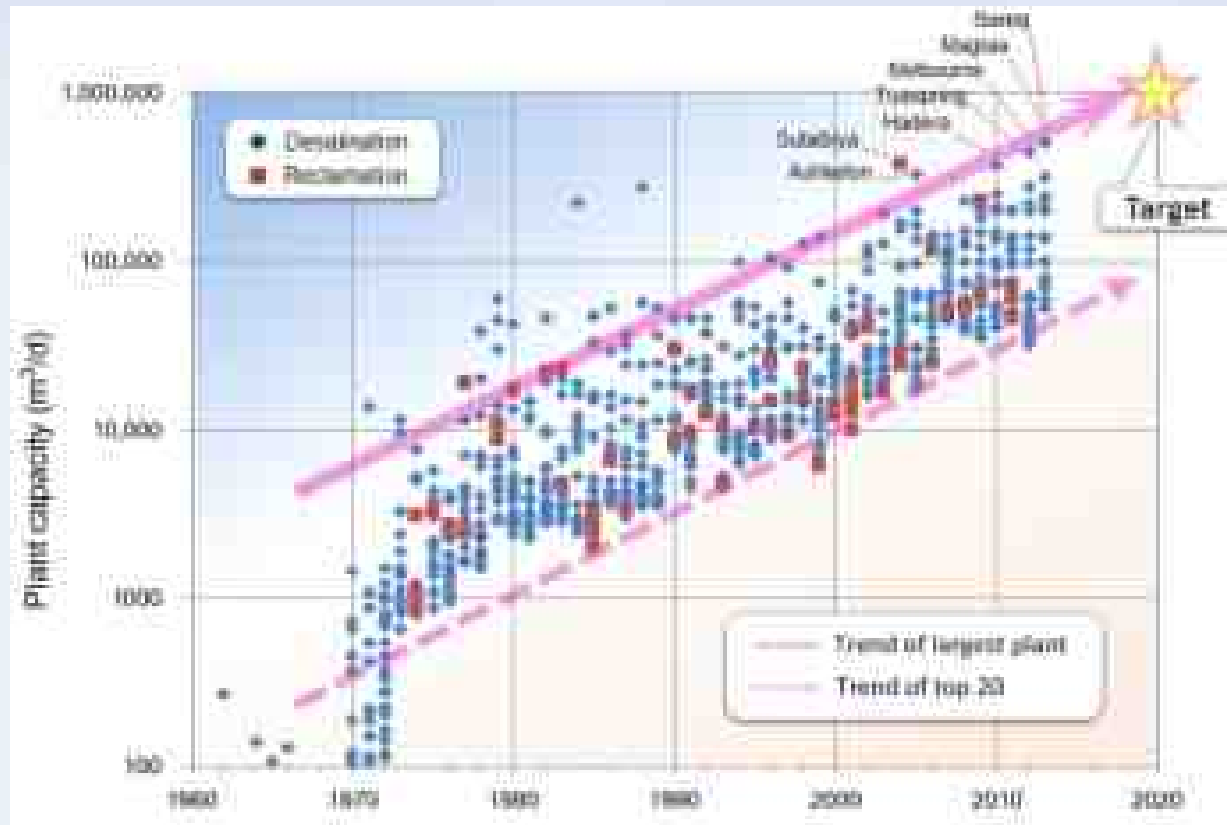
# 反渗透法最新发展趋势 New Trends of Development of RO

## 逆浸透法の最新な傾向

### 主要内容 Outline アウトライン

- 2.1 百万吨级淡化水项目 Mega-ton SWRO Projects  
百万トン級淡水化プロジェクト
- 2.2 核能海水淡化 Nuclear Seawater Desalination  
原子力による海水の淡水化
- 2.3 热-膜耦合系统 Thermal-Membrane Coupling  
熱—膜のカップリング
- 2.4 无机膜预处理 Pretreatment by Inorganic Membranes  
無機性膜のプレ処理
- 2.5 零化学试剂预处理 Non-agent Pretreatment  
化学薬剂不使用のプレ処理
- 2.6 高回收率技术与工艺 High Recovery Technologies and Processes  
高回収率の技術と工芸
- 2.7 除硼技术 Boron Removal Technology  
ホウ素除去技術
- 2.8 卤水中化学资源的提取 Chemical Resources Extraction from Brine  
塩水からの化学成分の抽出

## 2.1 百万吨级淡化水项目 Mega-ton SWRO Projects 百万トン級淡水化プロジェクト



The world's largest seawater RO plant at Soreq (Israel), has the desalination capacity of more than 600,000 m<sup>3</sup>/d.



## 百万吨级水处理系统：海水淡化与废水回用-日本的国家级研发项目

Mega-ton Water System: Japanese national research and development project on seawater desalination and wastewater reclamation

百万トン級淡水化プロジェクト：海水淡水化と排水リサイクル、日本の国家級研究開発プロジェクト



**Dr. Masaru Kurihara**  
Toray Industries, Inc.  
Tokyo, Japan



**Mega-ton Water System RO membrane module**

该系统产水率达到了65% (传统的系统只有40-45%)，并减少了20%的能耗。

The System enabled 65% of input seawater to be converted into drinking water, compared to conventional rates of 40-45%, while resulting in a 20% reduction in energy consumption overall.  
造水率が65% (今までは40%-45%) に達し、しかもエネルギー消費が20%減少した。

Kurihara et al. *Desalination*. 2013, 308, 131-137.

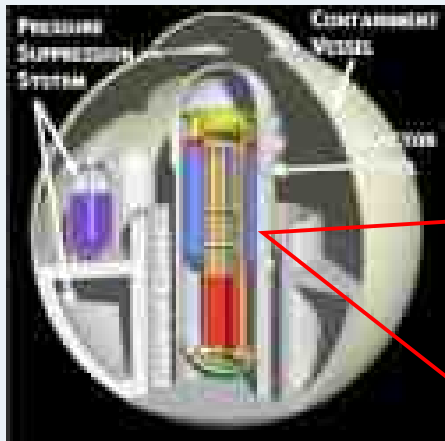


## 2.2 核能海水淡化 Nuclear Seawater Desalination

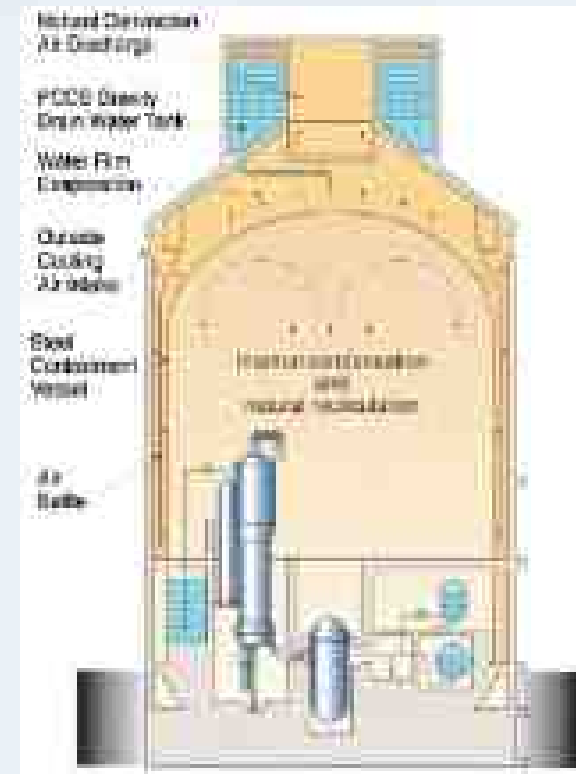
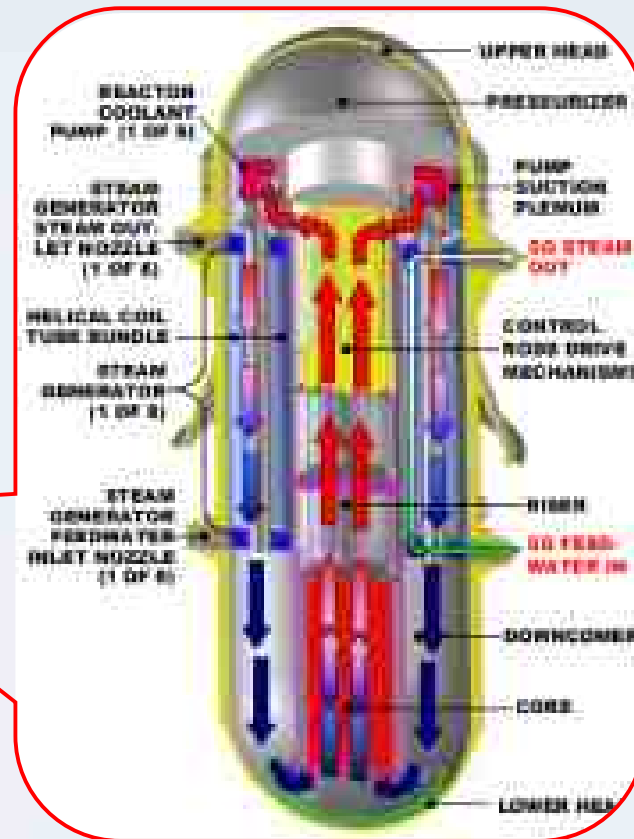
### 原子力による海水の淡水化

压力水冷反应堆 Pressurized Water Reactor (PWR)

加压水型原子炉



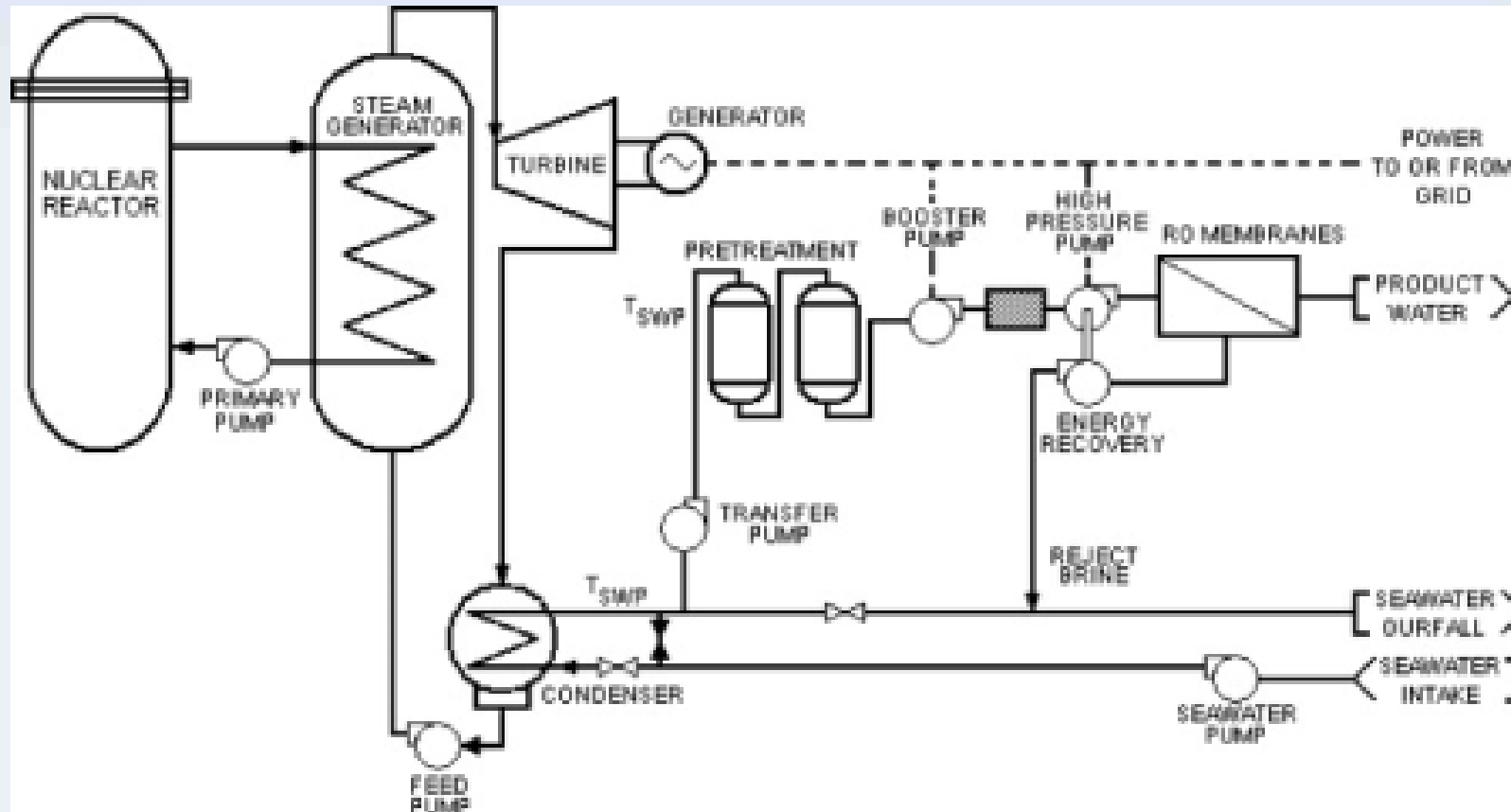
The IRIS reactor



The AP1000 reactor

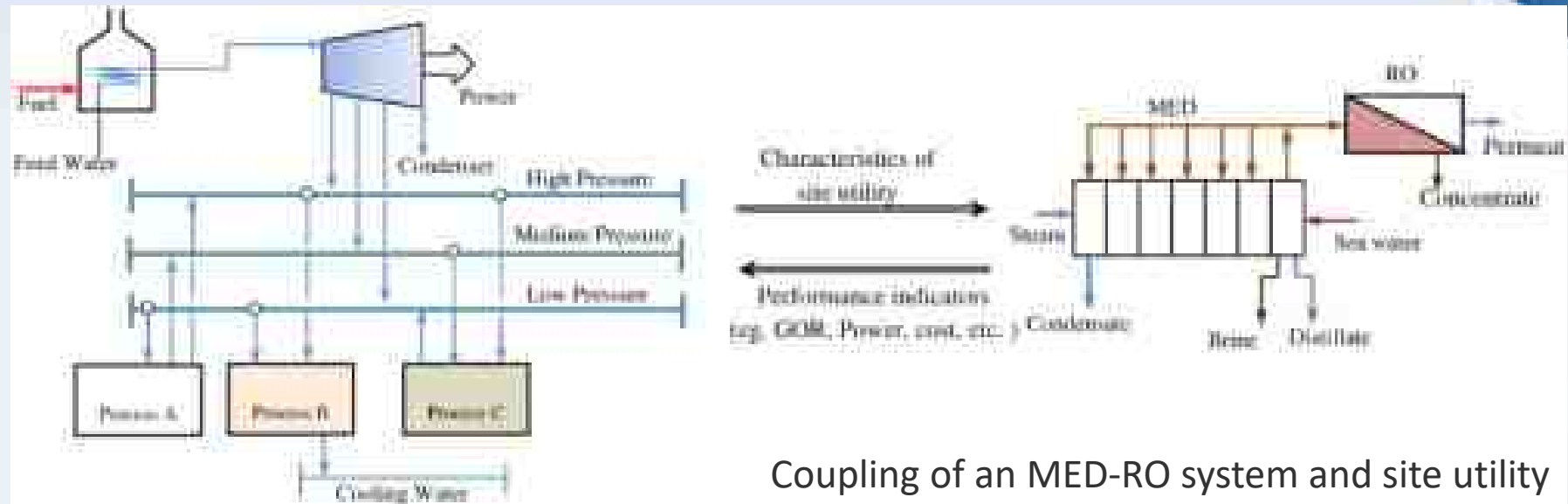
M.D. Carelli, *et al.* Proceedings of the 13th International Conference on Nuclear Engineering, May (2005).  
Schulz *et al.* Nuclear Engineering and Design. 2009, 236 (14-16), 1547-1557.

## Coupling between PWR and RO desalination systems



水热同传核电-反渗透系统 Cogeneration of PWR- RO system  
 コージェネレーションPWR逆浸透システム

## 2.3 热-膜耦合系统 Thermal-Membrane Coupling 熱-膜のカップリング



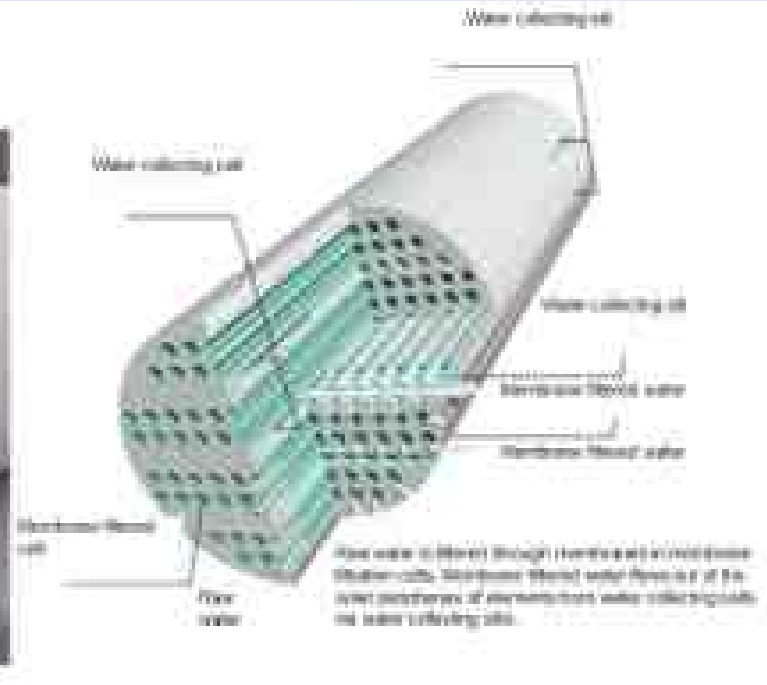
通过采用系统全面的实地分析，实现水-电-热能的产量与能耗利益最大化。

Through total **site analyses**, to realize the maximum profit of water-energy utilization.

全面的で、实地調査に基づく分析を通して、水-電気-熱の生産量とエネルギー消費における収益の最大化を実現する。

## 2.4 无机膜预处理 Pretreatment by Inorganic Membranes 無機性膜のプレ処理

陶瓷膜 Ceramic membrane  
セラミック膜



无机膜预处理能有效去除微生物小分子，胶质，颗粒等杂质，避免在反渗透海水淡化过程中出现的结垢和膜污染问题。

Pretreatments by inorganic membranes are utilized to remove microorganisms, colloids and particles from the seawater, to avoid the scaling and (bio)fouling during the RO desalination process.

無機性膜のプレ処理で小分子の微生物やコロイド、顆粒状異物が効果的に除去され、逆浸透法による海水淡水化における垢や膜汚染問題の発生を抑制する。

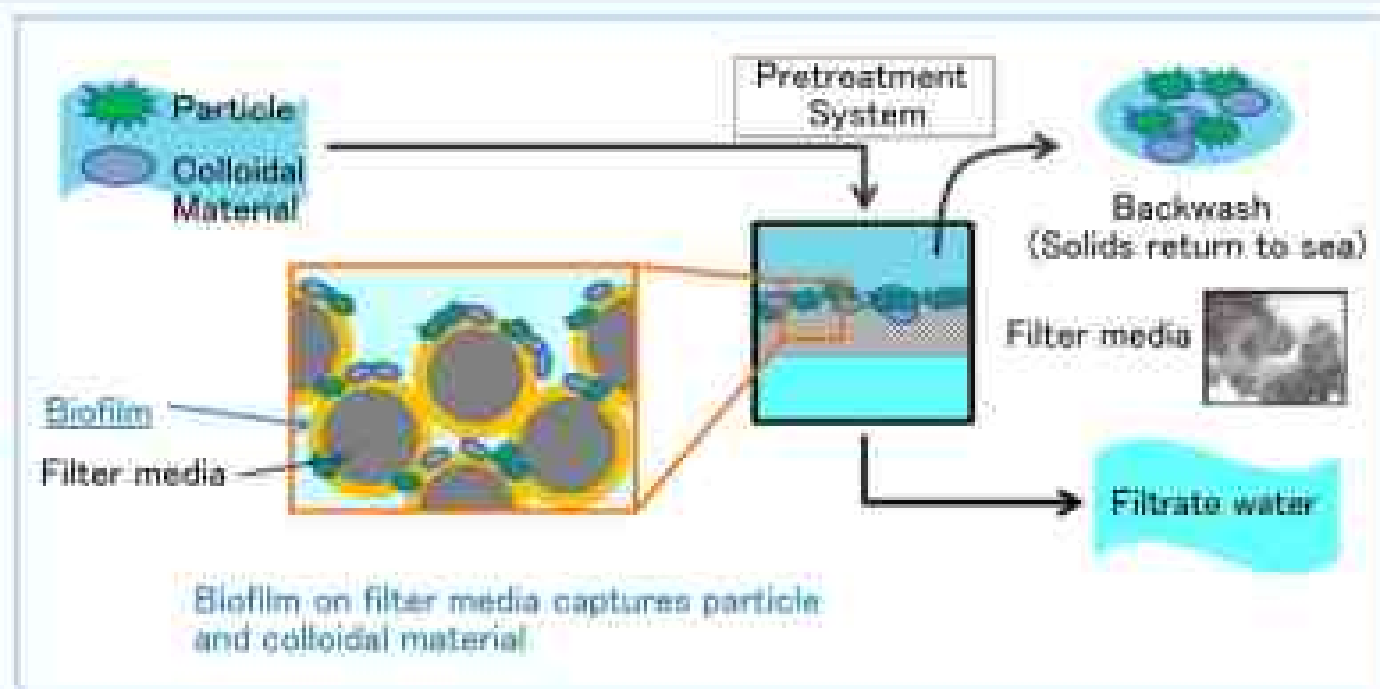
<https://www.metawater.co.jp/eng/news/2016/11/post-96.html>

## 2.5 零化学试剂预处理 Non-agent Pretreatment 化学薬剂不使用のプレ処理

优势：环保；生物安全性；成本低；易操作等

**Advantages:** Environmental-friendly, biological-safety, low costs, easy to operate

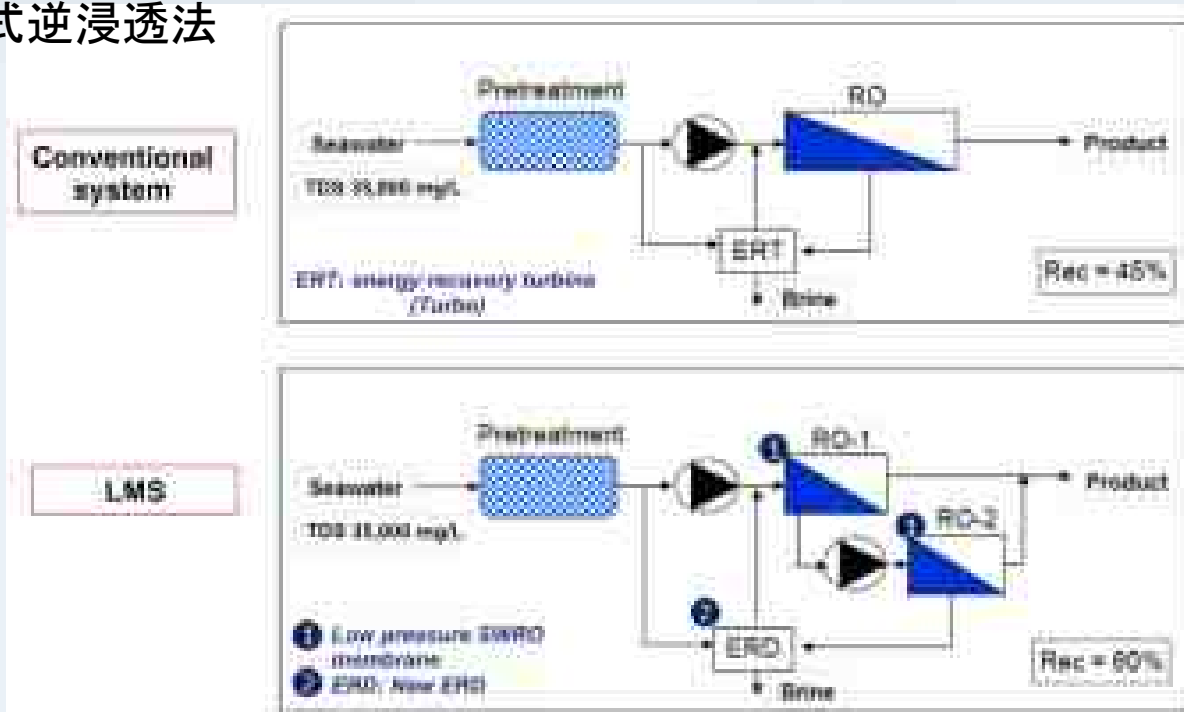
メリット：環境にやさしい、バイオ的に安全性が高い、コストが低い、扱いやすいなど



零化学试剂砂滤预处理 Chemical-free sand filtration  
化学薬剂不使用のプレ処理

## 2.6 高回收率技术与工艺 High Recovery Technologies and Processes 高回収率の技術と工藝

低压多级反渗透系统 Low-pressure Multistage SWRO System (LMS)  
 低压多段式逆浸透法



该系统有效地减缓了膜污染的问题，均衡上下游渗透通量，提高了回收率。LMS reduces the fouling risk and improve the recovery rate by splitting the long vessel into multistage by reducing the higher permeation flux of the upstream and increase the lower permeation flux of the downstream.

膜汚染問題を効果的に解決し、上流と下流の通過量のバランスを取り、造水率を引き上げた。

Kurihara *et al.* Current Trends and Future Developments on (Bio-) Membranes. Chapter 16, 2019.

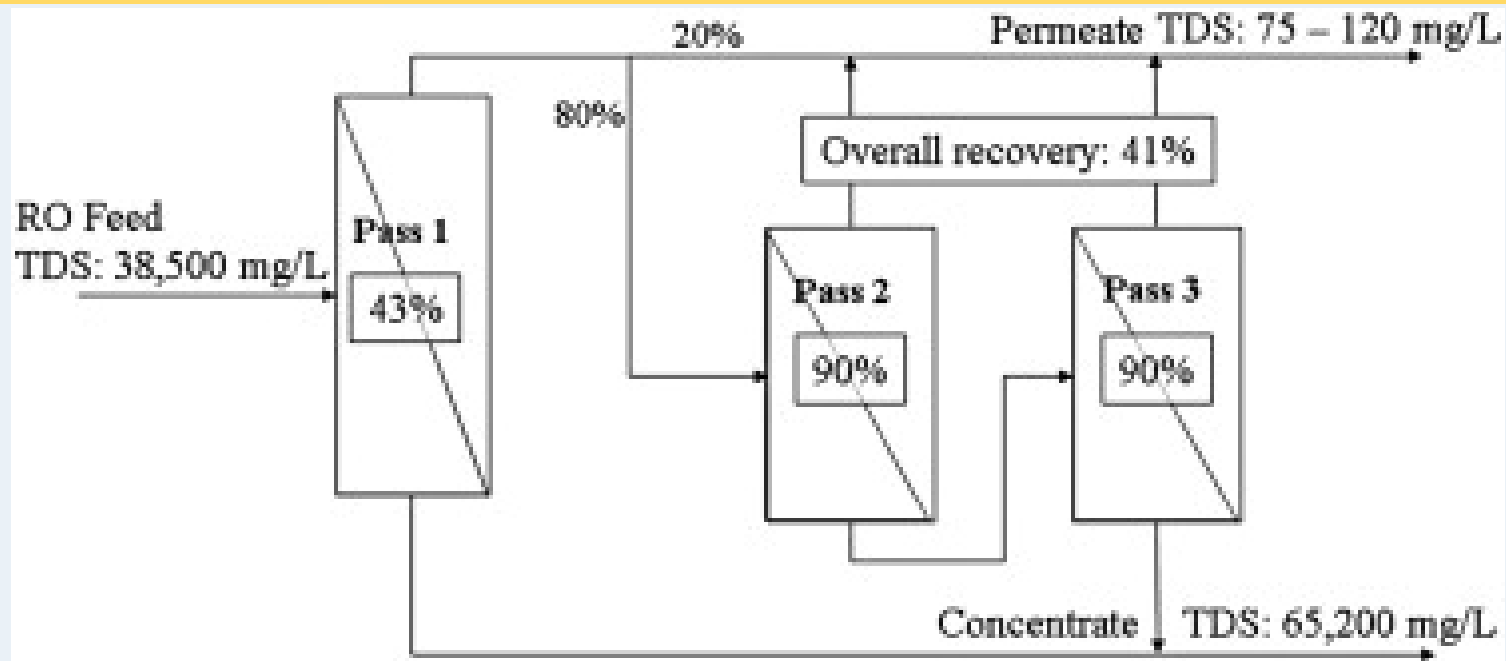


## 2.7 除硼技术 Boron Removal Technology ホウ素除去技術

在SWRO系统中，通常需要过两级或多级反渗透来脱除硼，并且需要较高的pH。

In a SWRO system, second pass or multiple passes is required to reduce boron levels, which worked effectively at high pH value 11.

SWROシステムでは二段或いは多段式な逆浸透膜でホウ素を除去し、pH値も高めにする必要がある



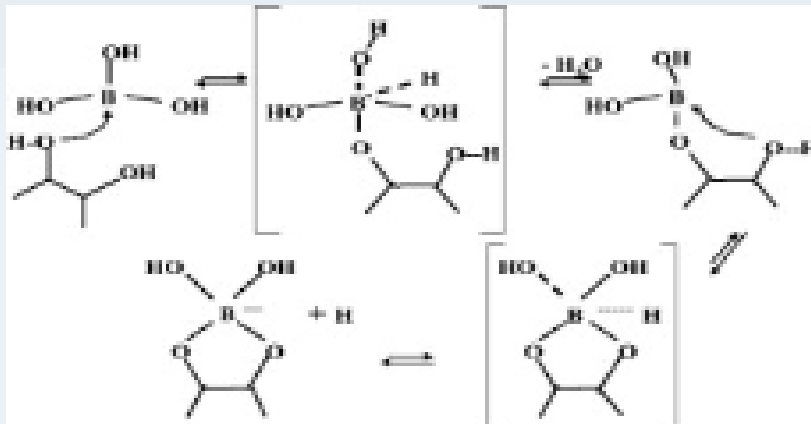
Process flow diagram of the seawater RO plant in Fujairah, Saudi Arabia.

Sanz *et al.* Desalination. 2007, 203, 91-99.



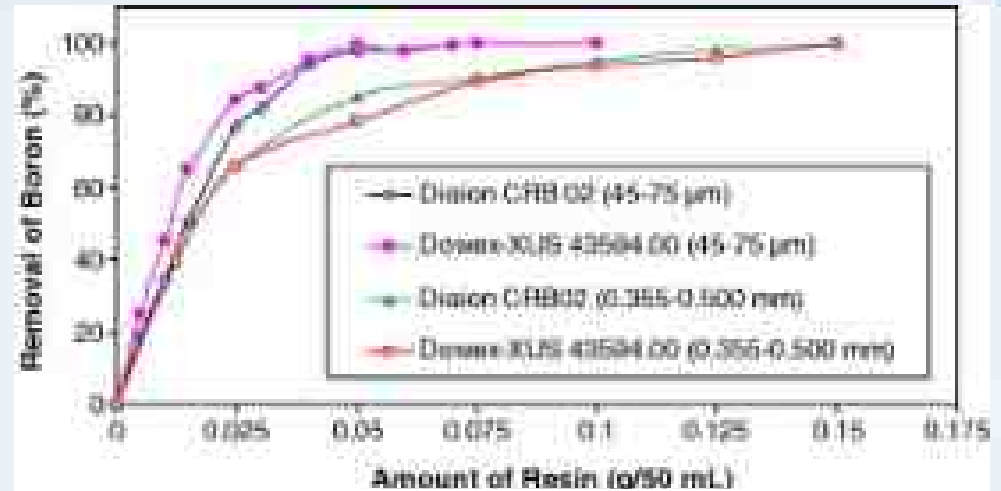
## 2.7 除硼技術 Boron Removal Technology ホウ素除去技術

### Boron selective ion exchange resin



Boric acid complex with vicinal -OH groups

The presence of two vicinal hydroxylic groups allows boric acid and borates to form a complex



The Boron removal performance of two types of resins with different particle sizes

As the particle size of the resin decreased, a high percent removal of boron was obtained.





## 2.8 卤水中化学资源的提取 Chemical Resources Extraction from Brine 塩水からの化学成分の抽出

海水中富含丰富的化学元素，包括贵金属和各类矿物元素。从废弃的卤水中回收提取这些化学资源，有利于自然资源的可持续发展和利用。

Seawater contains plenty of chemical resources, including precious metals and minerals. To extract these chemicals from the brine is the key towards the sustainable development of natural resources.

海水には豊かな化学成分が含まれ、貴金属などミネラル成分が多い。排出された塩水からこれらの化学成分を抽出することは自然資源の持続可能な利用に資する。

Comparison of elements in seawater and mineral reserve on land

Element	Price (US\$/kg)	Concentration in seawater (µg/l)	Total reserve abundance ( $\times 10^6$ tonnes)	Mineral reserve on land ( $\times 10^6$ tonnes)
K <sup>+</sup>	0.01	391.00	500,000,000	3700
Br <sup>-</sup>	4.40	67.36	87,400,000	Large
Na <sup>+</sup>	0.05	8.10	10,530,000	6.8
Li <sup>+</sup>	6.40	0.17	201,000	14
Mg <sup>2+</sup>	34,720.00	0.12	150,000	0.05
U <sup>+</sup>	1230.00	0.003	4200	5.47
Cr <sup>+</sup>	58,700.00	0.001	300	0.31

Naidu *et al.* Water Research. 2017,123, 321-331.

## 2.8 卤水中化学资源的提取 Chemical Resources Extraction from Brine

### 塩水からの化学成分の抽出

e.g. Rb (铷) extraction from the Brine of SWRO



该吸附剂对Rb<sup>+</sup> 有很好的选择吸附性。通过NH<sub>4</sub>Cl解吸附，实现了该吸附剂的循环利用。

Polymer encapsulated potassium copper hexacyanoferrate (KCuFC(PAN)) sorbent exhibited a good selectivity for Rb<sup>+</sup> sorption. Repeated cycles of KCuFC(PAN) in MD operation for Rb<sup>+</sup> sorption followed by desorption with 0.2 M NH<sub>4</sub>Cl established the regenerative and reuse capacity of KCuFC(PAN).

ルビジウムを効果的に吸着する吸着剤である。更にNH<sub>4</sub>Clで吸着を解除し、リサイクル利用が可能に

Naidu *et al.* Water Research. 2017,123, 321-331.



***Thank you for your kind attention!***