

戦略的省エネルギー技術革新プログラム  
フェーズ名：インキュベーション研究開発＋実用化開発

# 正浸透(FO)膜を利用した海水淡水化用の省エネ型造水FO膜システムの開発

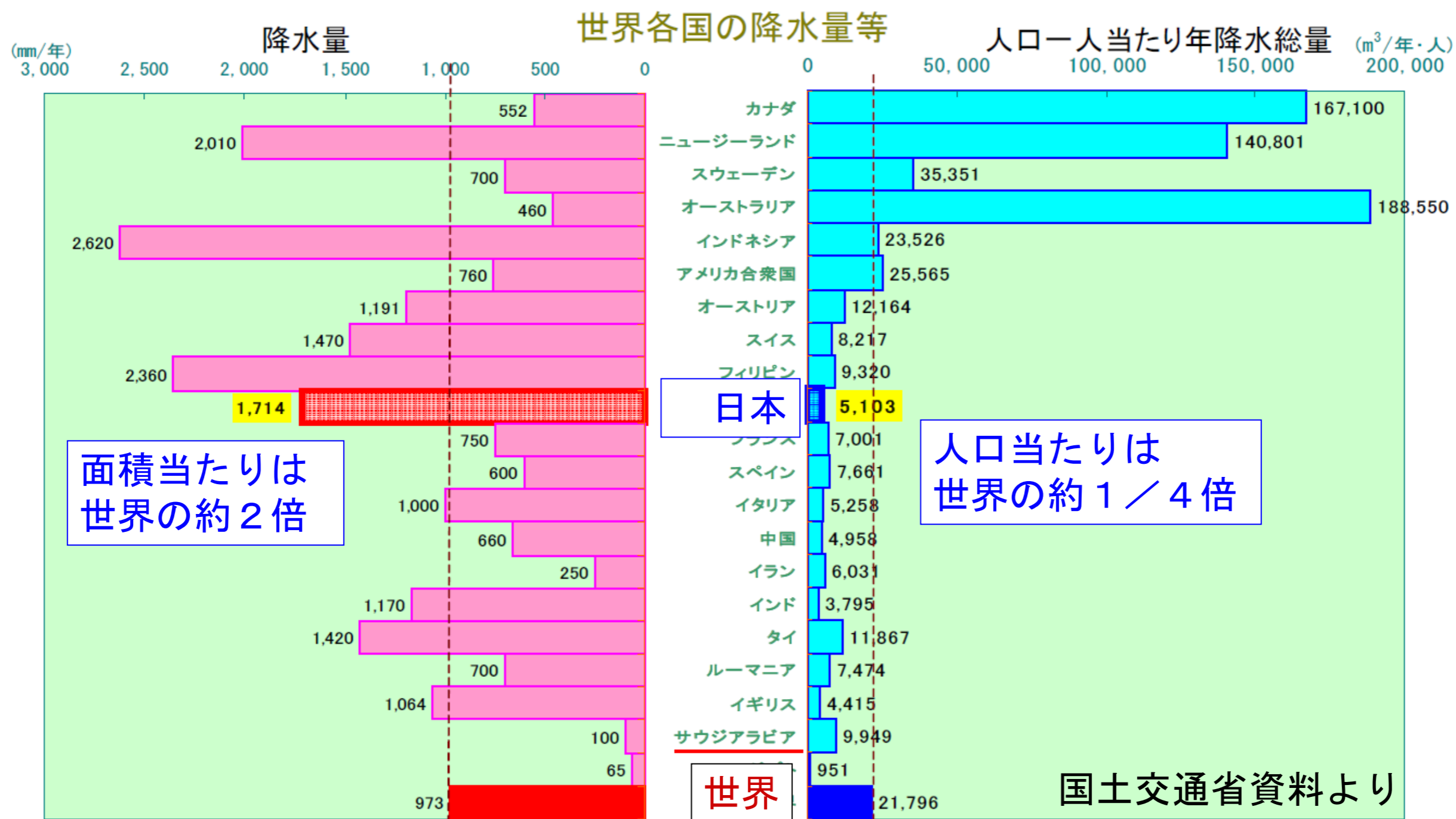
プロジェクト実施者：東洋紡株式会社

プロジェクト実施期間：2018年7月～2021年6月



# 1-1. 研究開発の背景

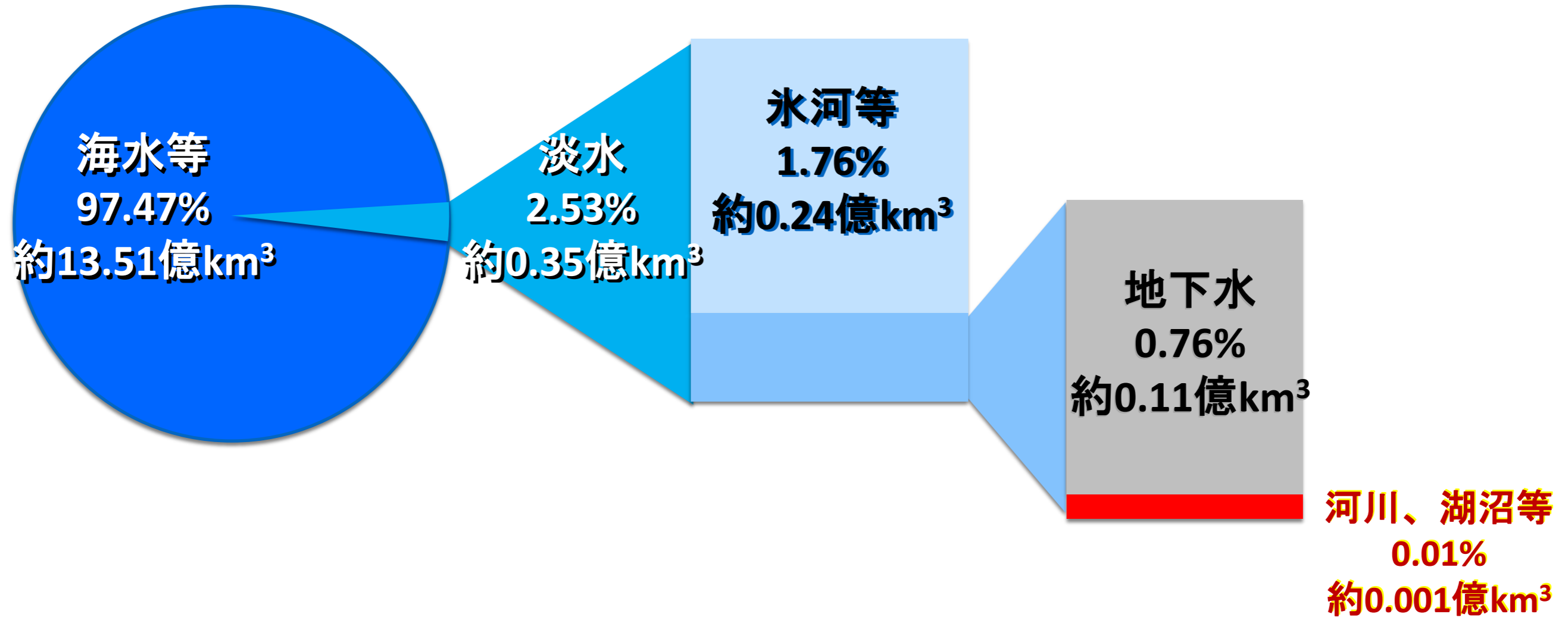
- 我が国は面積当たりの降雨量は世界平均の約2倍と多いが、人口当たりでは世界平均値の約1/4と先進国では最低レベル。(サウジアラビアの約1/2)  
 → 天候に左右されない安定的な水資源開発手段が必要。



# 1-1. 研究開発の背景

- 地球上の水の97.5%は海水であり、海水淡水化が有力な水資源開発手段である。

## 地球上の水の量



World Water Resources at the Beginning of the 21st Century: UNESCO, 2003より作成  
 南極大陸の地下水は含まれていない

国土交通省資料より

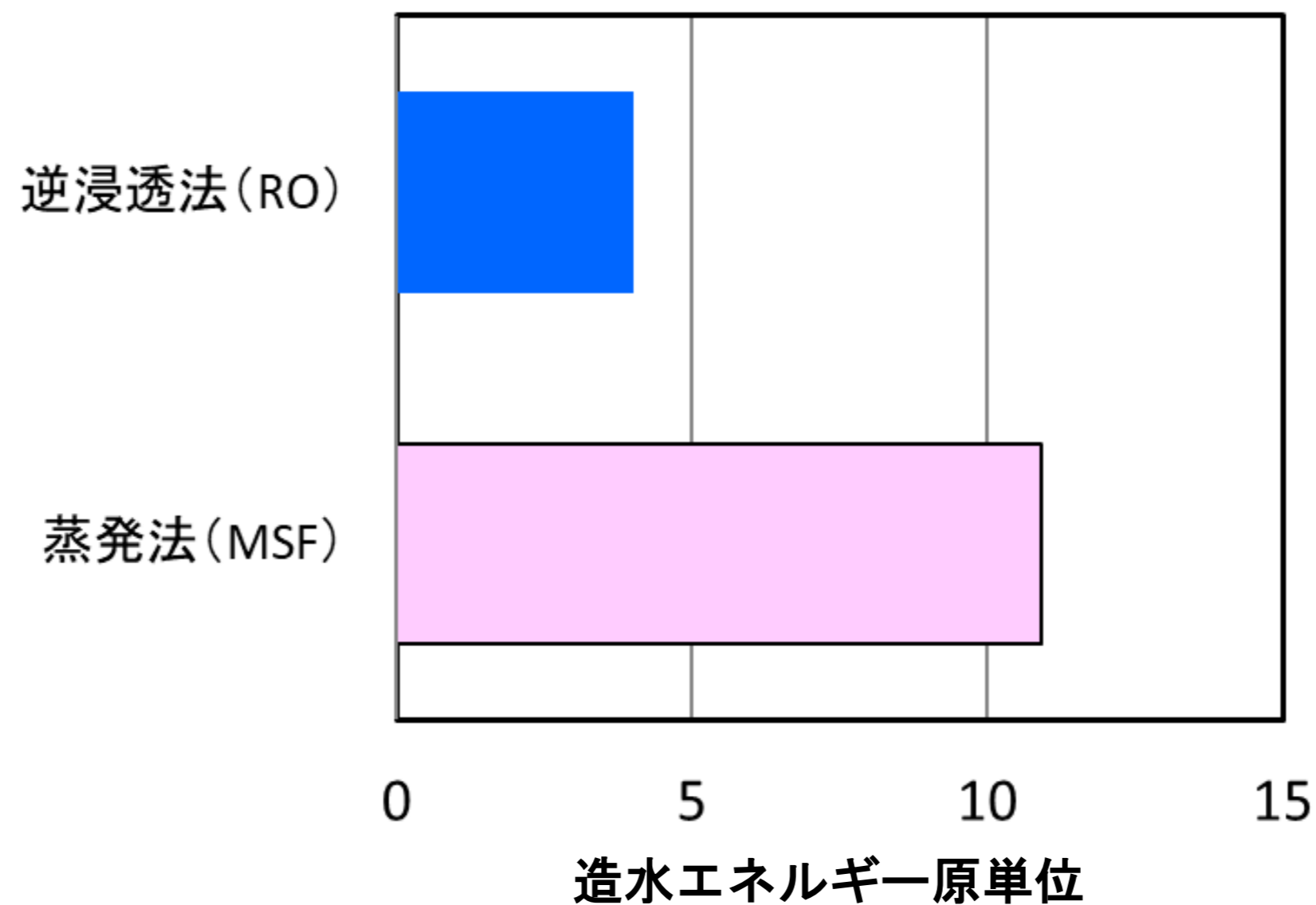
## 1-1. 研究開発の背景

従来の実績のある蒸発法は、エネルギー多消費、造水エネルギー原単位が高い。

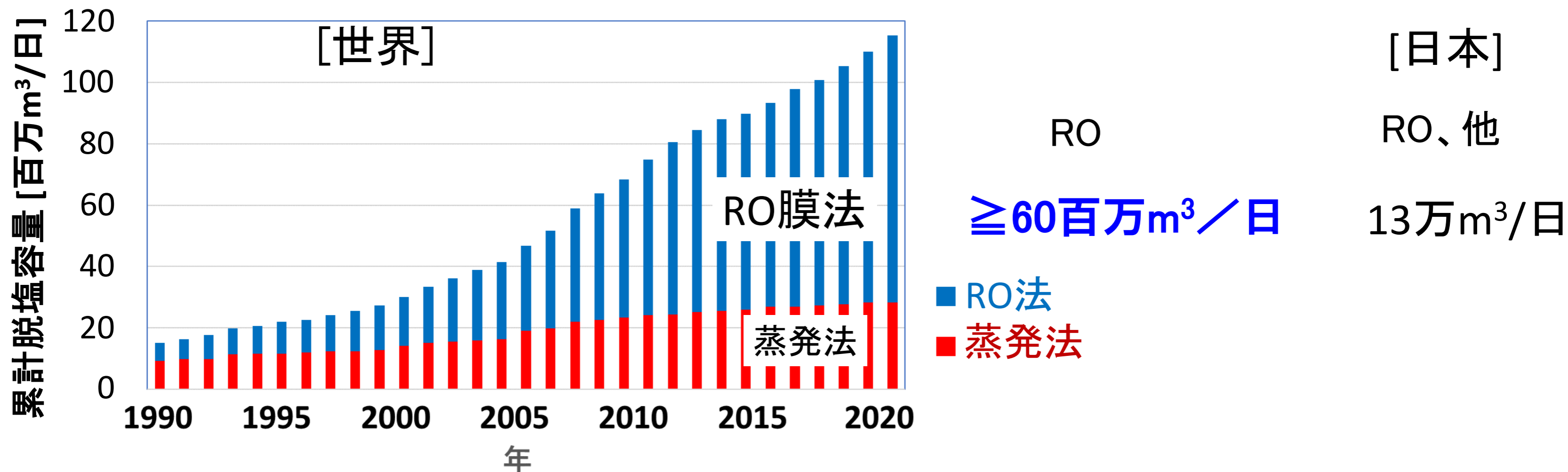


- 造水エネルギー原単位を低減する技術として膜分離法が中心的役割

### 海水淡水化 造水エネルギー原単位比較



## RO法の普及と課題

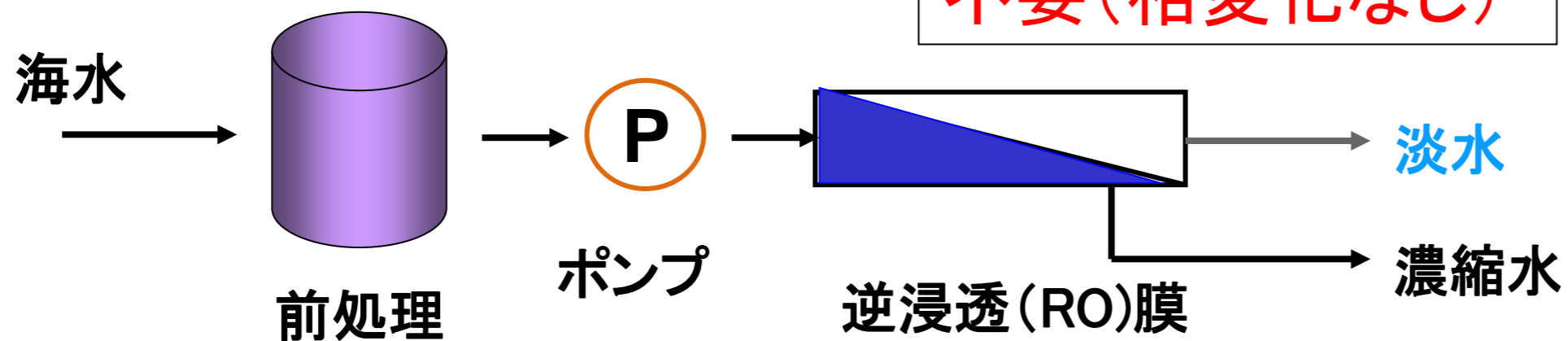


ソース 下記の資料を基に著者が作成 <https://www.acwapower.com/en/newsroom/press-releases/market-insight/no-water-no-life/>

- 逆浸透 (RO) 法は普及し続けている。(∵ 蒸発法より消費エネルギーが低) ただし、電力費が安価なところが多い。

# 1-1. 研究開発の背景

## 逆浸透 (RO) 法

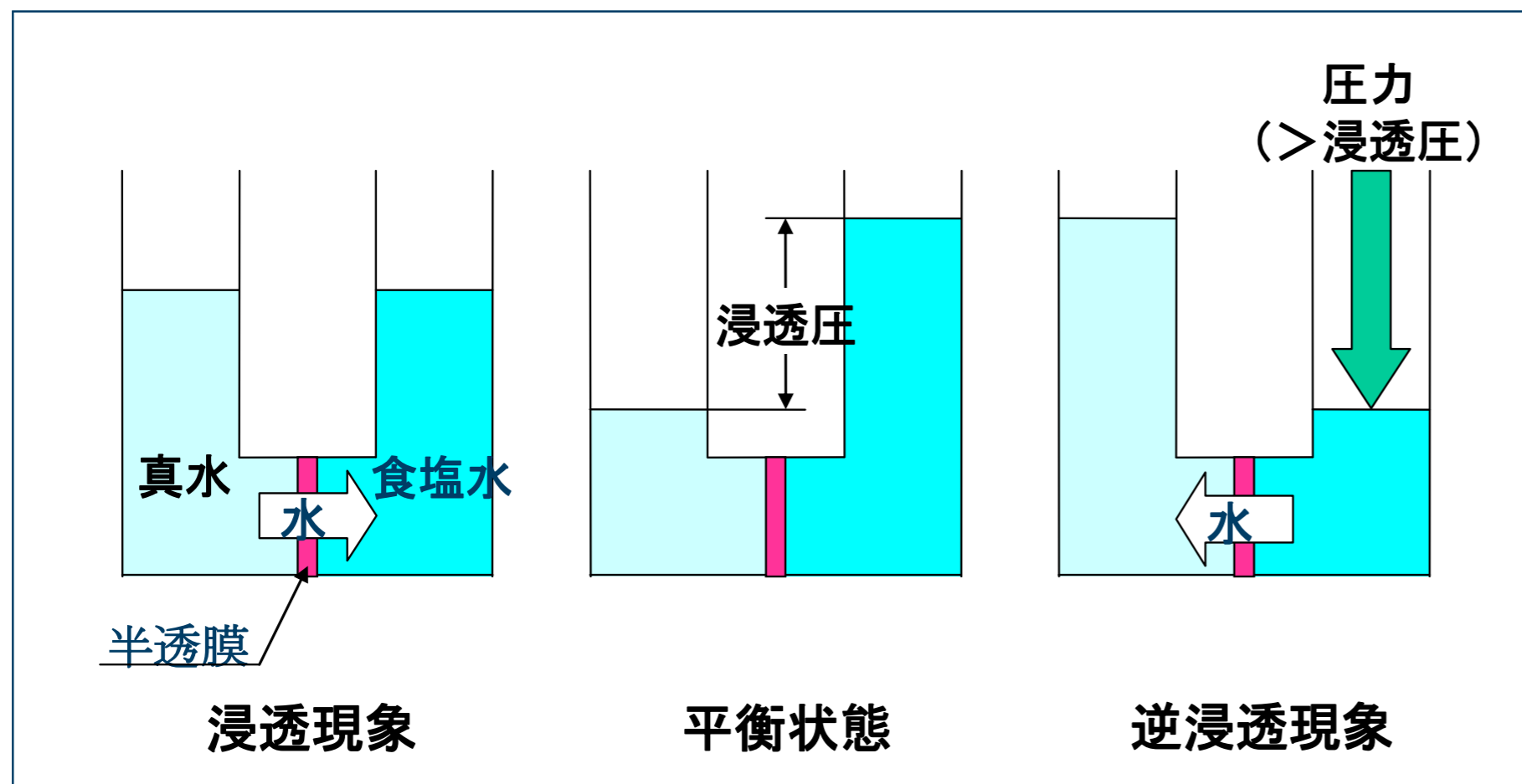


蒸発エネルギー  
不要 (相変化なし)

>

ポンプ動力  
必要

### 浸透圧、逆浸透現象



RO法では、海水の浸透圧より  
高い操作圧力が必要

↓

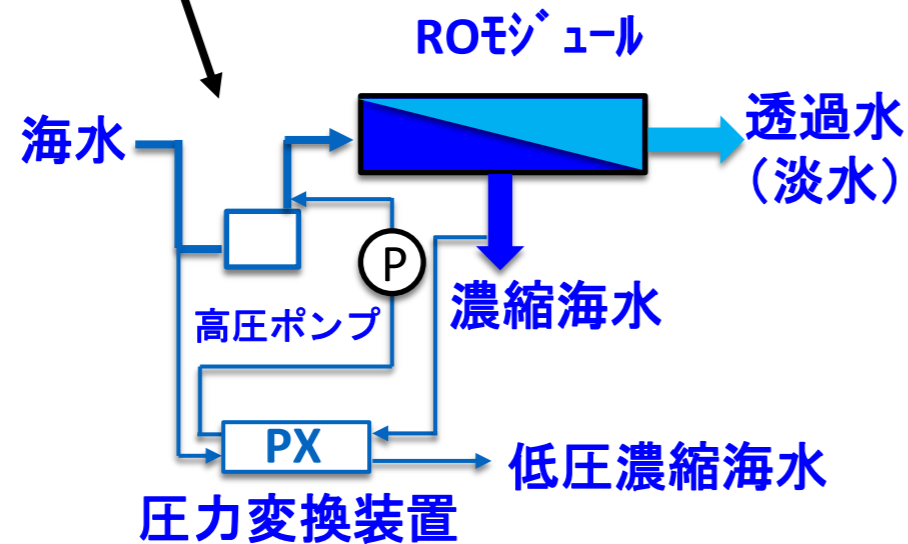
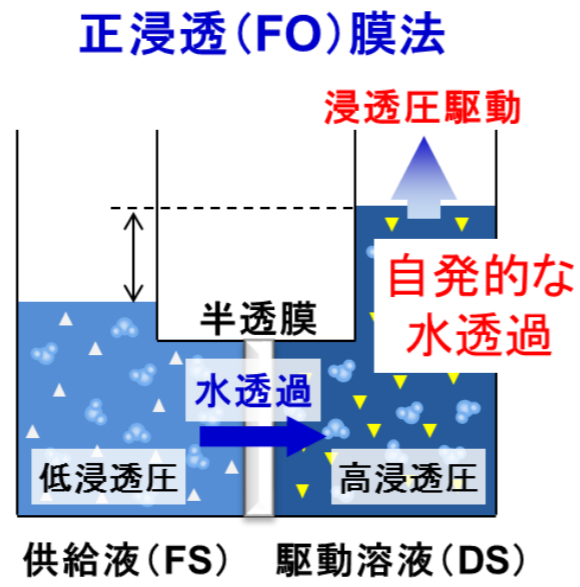
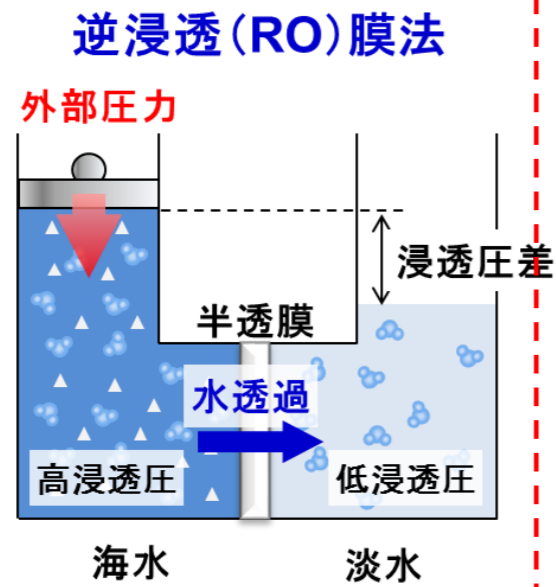
高品位なエネルギーの電力が必要  
他の水処理 (浄水、排水・再利用)  
消費電力 (<math>< 1 \text{ kWh/m}^3</math>) より大きい。

↓

海水淡水化のさらなる普及拡大には、  
消費電力エネルギーの低減が必要。

## FO膜法

### 本研究開発：省エネ型造水FO膜システムの開発



エネルギー(電力)多消費型プロセス  
(消費電力 4.0kWh/m<sup>3</sup>)

### 本研究開発方式(FO)と従来方式(RO)との比較

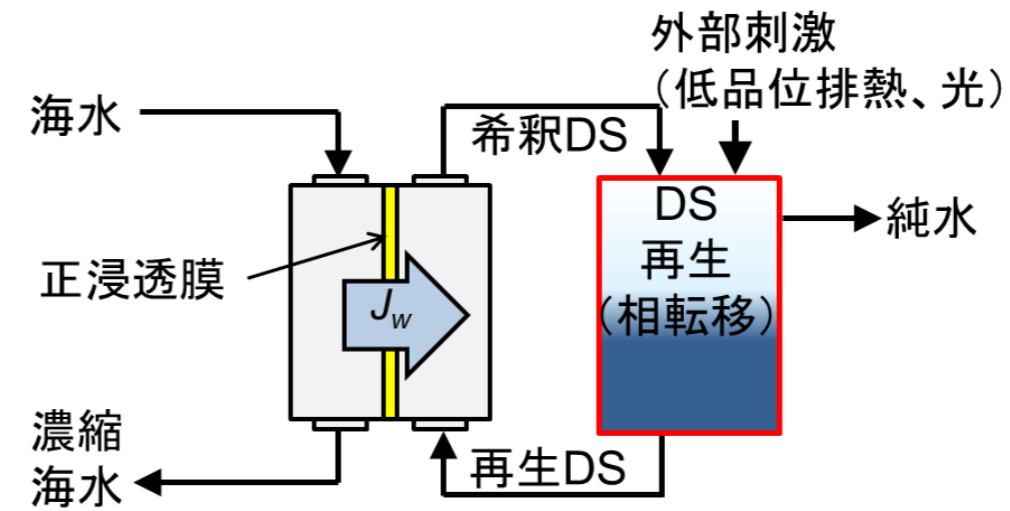
#### 従来方式(RO)

- ・ 海水の浸透圧以上の高圧力が必要

#### 本研究開発方式(FO)

- ・ 高圧力は不要。低圧で済む。
- ・ 駆動溶液(DS)再生プロセスが必要

### 正浸透(FO)膜法による海水淡水化



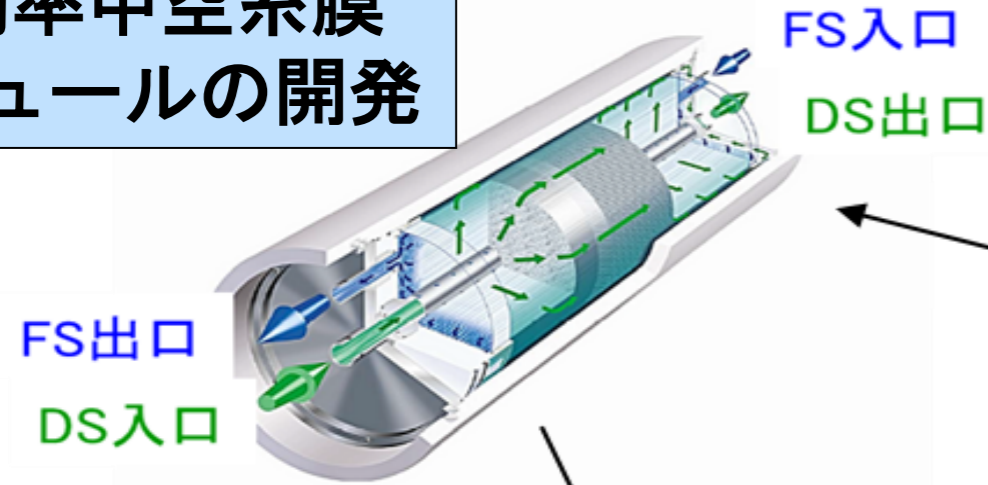
消費エネルギー(電力換算) 1.2kWh/m<sup>3</sup>



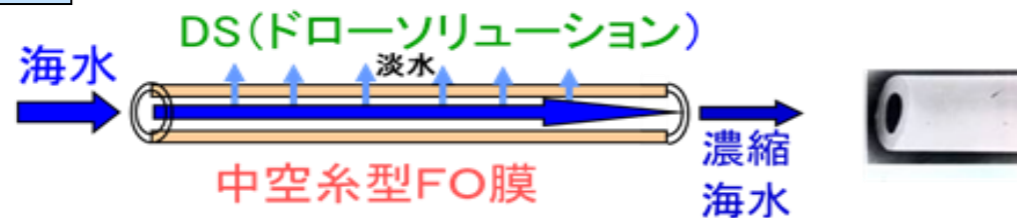


# 1-2. 研究開発の目的、目標

高効率中空糸膜  
モジュールの開発



低圧損中空糸膜  
の開発



正浸透工程

DS再生工程

海水

希釈DS

熱供給

DS再生装置

FO膜

駆動  
溶液  
(DS)

FO膜システム  
の開発とFS評価

濃縮海水

再生DS

生産水

FO膜法の海水淡水化プロセス



## FO膜法による海水淡水化プロセス

FO膜の  
消費電力量

+

DS再生等の  
消費電力量

+

熱エネルギー  
(電力換算値)

=

淡水化消費電力量  
造水エネルギー原単位

RO法に対して  
約70%の削減

## 2-1. 研究開発体制

### 東洋紡株式会社(プロジェクト実施者)

- ・低圧損FO膜の開発
- ・高効率FO膜モジュールの開発
- ・FO膜システムの開発

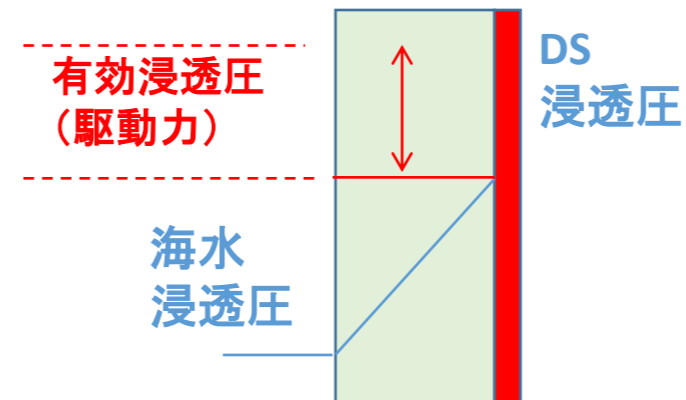
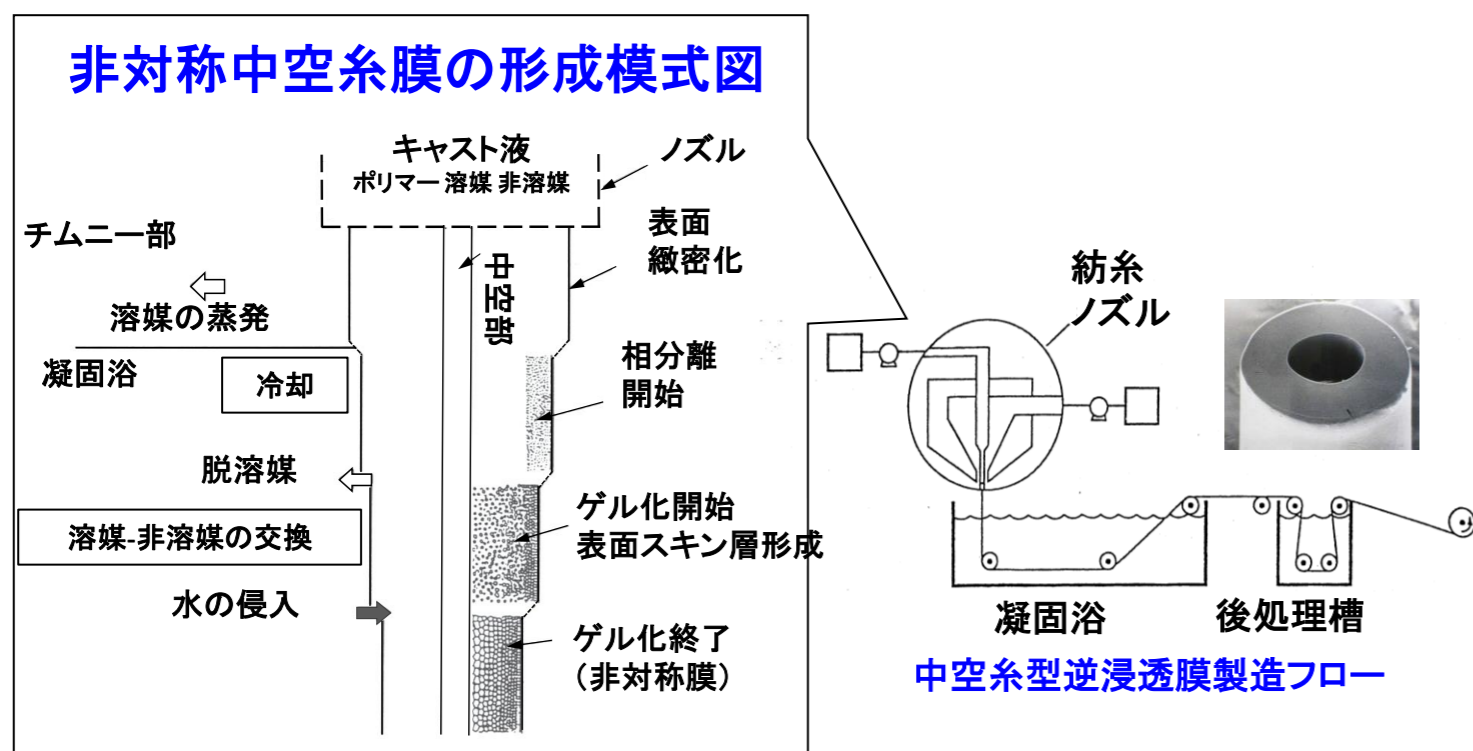
### 共同研究

### 国立大学法人神戸大学

- ・低圧損FO膜の耐久性評価
- ・中空糸FO膜モジュール解析モデル
- ・DSの再生工程の解析、最適化

## ■ 中空糸型FO膜

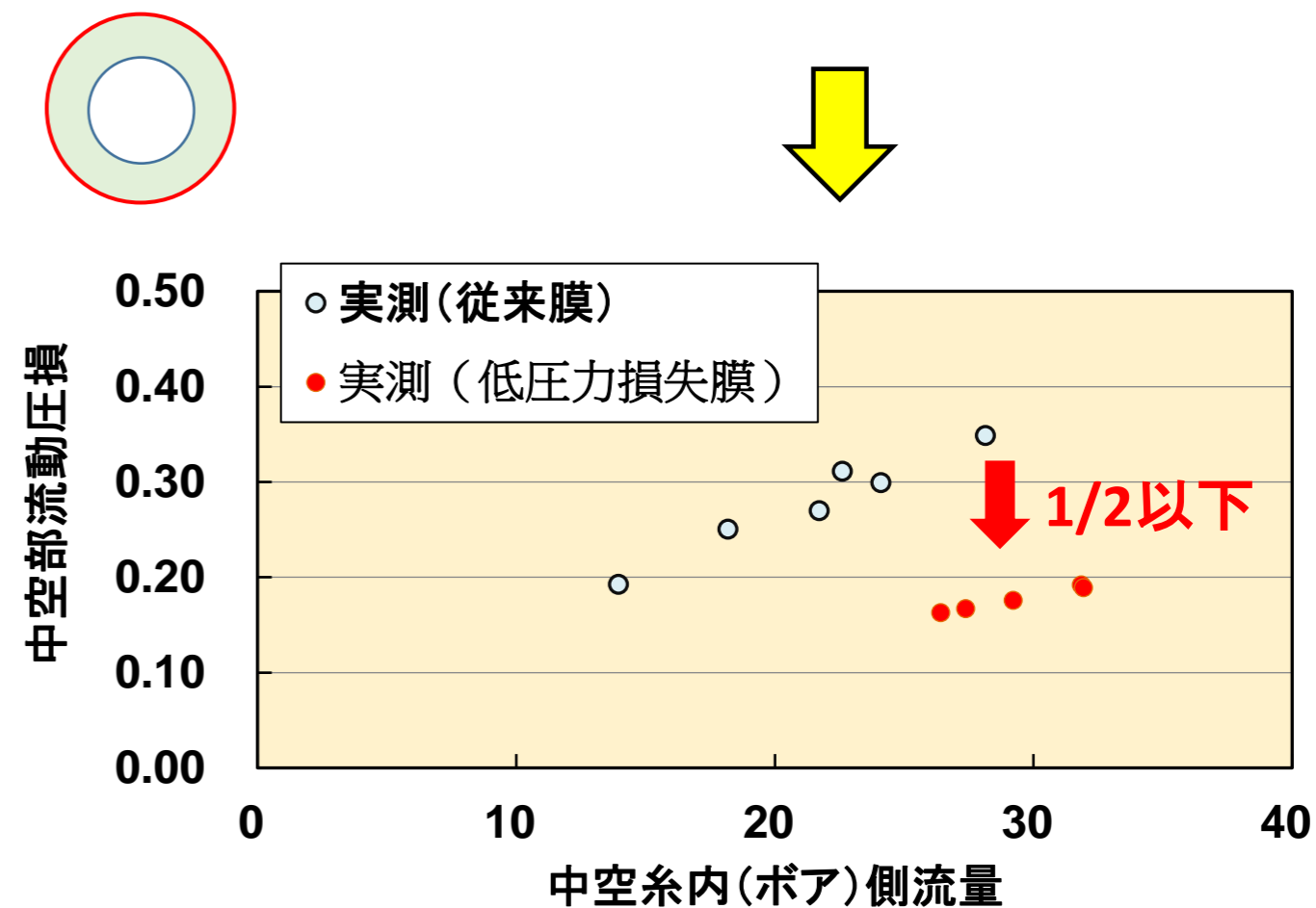
### 1. 低圧損中空糸FO膜の開発



- 中空糸形状の最適設計
- 製膜条件の精密制御による支持層部構造最適化

↓

低圧損化と透水性を両立



### 2. 低圧損中空糸FO膜の製造技術の開発

- 開発FO膜を工場スケールで製造可能に

### 3. 低圧損中空糸FO膜の耐久性把握

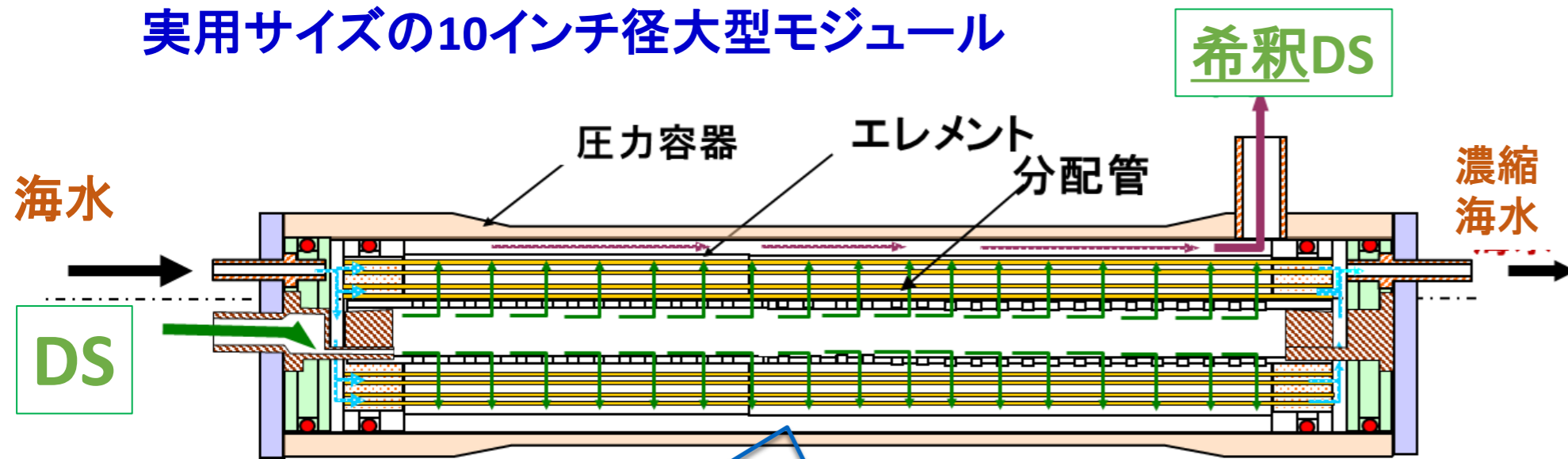
- 開発FO膜の長期耐久性試験で長期安定性を確認

**中空系内(ボア)側流動圧損を低減**

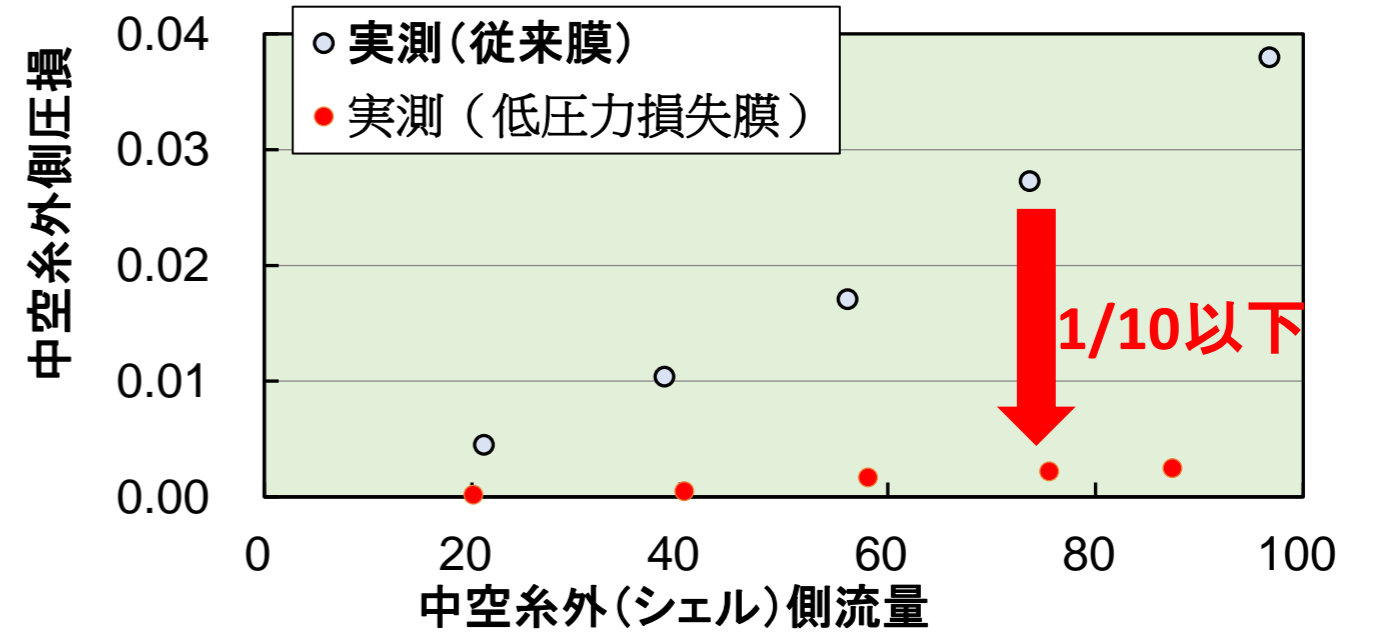
### ■中空系型FO膜モジュール開発（1）

#### 1. 高効率中空系膜モジュールの開発

実用サイズの10インチ径大型モジュール



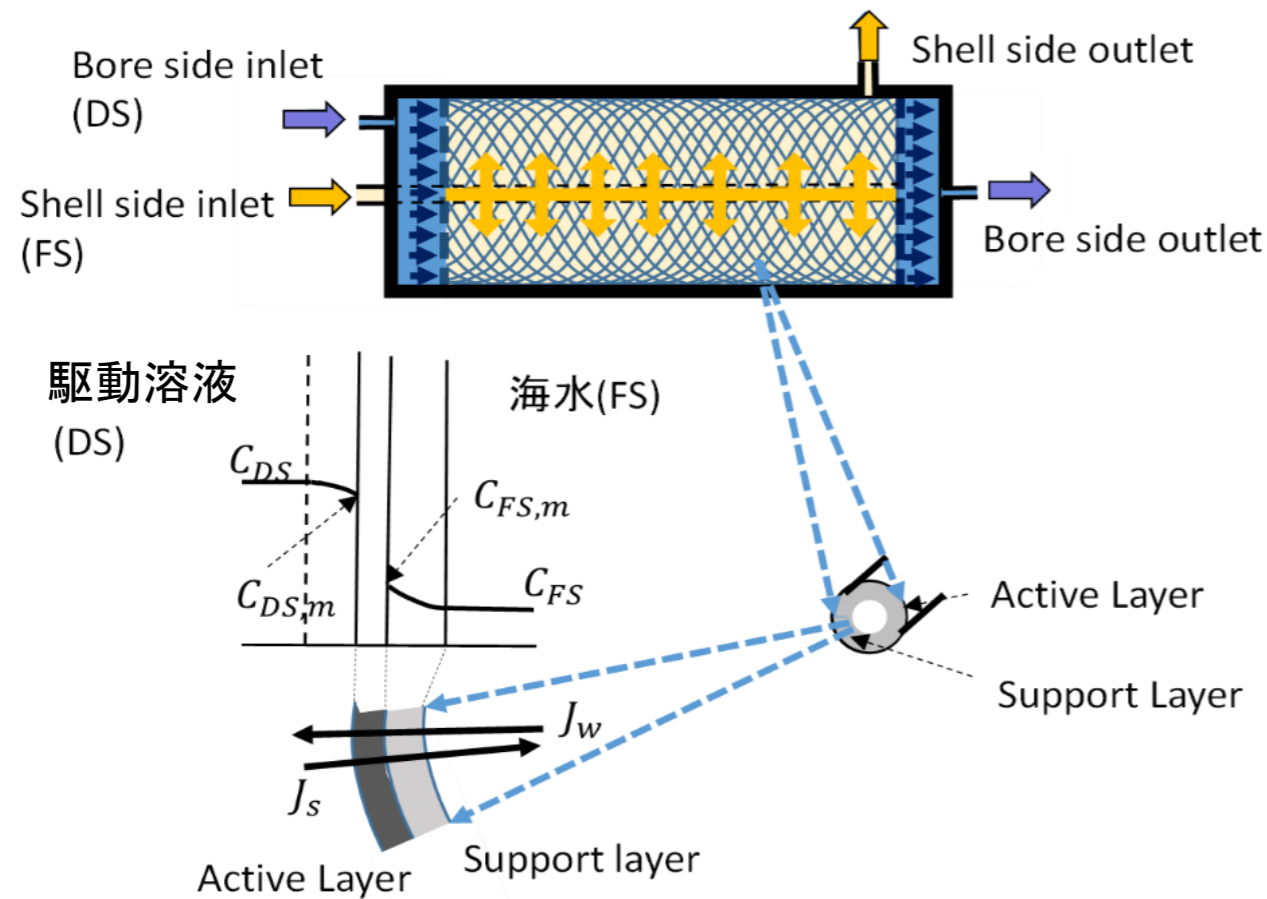
中空系配置方法等を最適化  
↓  
低圧損化と分配性を両立



中空系外(シェル)側圧力損失を大幅に低減

### ■ 中空糸型FO膜モジュール開発 (2)

#### 2. 中空糸FO膜モジュールの解析モデルの開発



中空糸FO膜モジュール性能  
解析モデル(3成分)の開発  
↓  
膜、モジュールの設計に反映

#### 3. 高効率中空糸FO膜モジュールの製造技術開発

- ・ 実用サイズのモジュールの工場スケールでの製造技術を開発

#### 4. 高効率中空糸FO膜モジュールの耐久性評価

- ・ 開発FO膜モジュールの耐久性試験で長期安定性を確認

### ■FO膜システムの開発とフィージビリティ（FS）評価

#### 1. 温度応答性のDSの選定と連続再生の安定性確認

- ・ 温度応答性、希薄相側DS濃度、安定性、不純物の影響等

#### 2. 造水FO膜システムの設計と構築

- ・ FO膜システムを設計し、製作

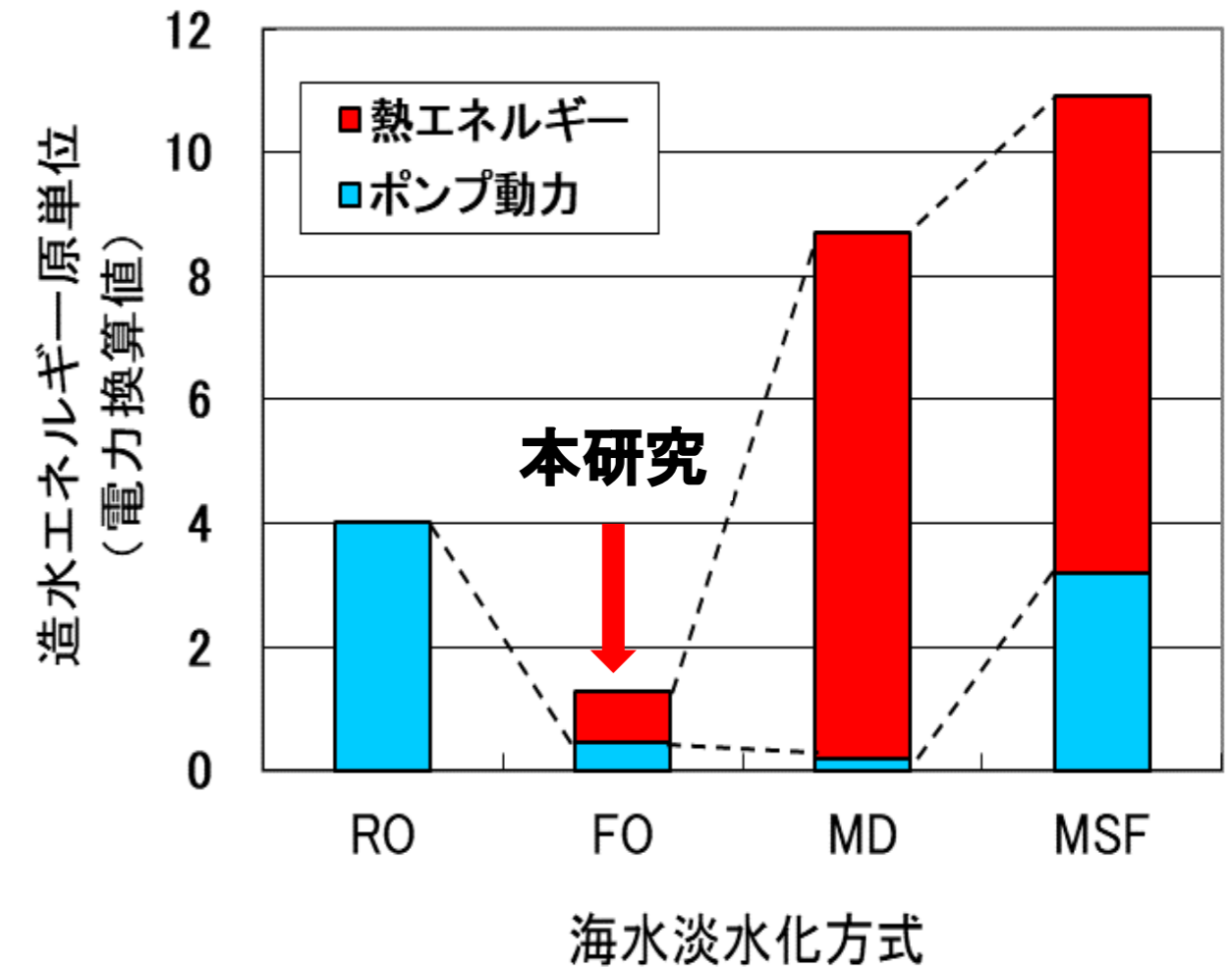
#### 3. 造水FO膜システムの連続運転と性能確認

- ・ FO膜システムを連続運転し、安定性を確認

#### 4. フィージビリティ（FS）評価の実施

- ・ FS調査方法を検討し、造水FO膜システムのFS調査を実施
- ・ 造水FO膜システムの構築結果等をもとに、海水淡水化の造水エネルギー原単位を試算

造水エネルギー原単位試算結果



<比較対象>

RO: 逆浸透膜法、 FO: 正浸透膜法

MD: 膜蒸留法、 MSF: 多段フラッシュ法

- ・ FO膜システムの電力換算の造水エネルギー原単位は、他の海水淡水化に比べ大幅に低。(省エネルギー効果大)
- ・ RO膜法に比べの約70%の省エネルギー効果と試算

#### 1. 中空系 F O 膜および膜モジュールを開発

- 1) 高浸透圧でかつ相分離による回収が可能な粘性が高い D S を用いた F O 膜システムに適用可能な **低圧損型中空系 F O 膜** および **高効率の中空系型 F O 膜モジュール** とその **製造技術を開発**.
- 2) F O 膜モジュールの構造の最適化や設計に活用するための多成分系の性能解析モデルを構築

#### 2. 海水淡水化 F O 膜システムの構築と連続運転実現.

- 1) 開発した F O 膜、F O 膜モジュールと温度応答性 D S を用いたベンチスケールの海水淡水化 **F O 膜システム** を実際に **設計し構築**.
- 2) 使用 D S 物質について、水の引き抜き性能や相分離性能、耐久性、操作性等を評価するとともに、**連続運転により海水淡水化を実証**.

#### 3. 海水淡水化 F O 膜システムの省エネルギー効果を試算（経済性評価）

- 1) 構築した海水淡水化 F O 膜システムをもとに、**F O 膜法の経済性評価** を行い、他の海水淡水化技術に対する **造水エネルギー原単位での省エネルギー効果を試算**.
- 2) **R O 膜法に比べて約 70% の大幅な省エネルギー効果を確認**.

#### 4. 原油換算の省エネ効果

本技術による省エネ効果の試算値は 2030 年度で下記の通り.

**2.3 万 K L / 年（国内）、7.6 万 K L / 年（国外）**

1. 実用サイズのF O膜モジュールの量産化技術を開発するとともに、より安定した省エネルギー効果の発現のために、F O膜システムの実証レベルでの最適化を進めます。
2. さらに、地域や設置場所ごとに適した、  
(1)低品位な排熱の供給源 ( $> 85^{\circ}\text{C}$ ) の選定と、(2)海水淡水化の需要のマッチングを更に進めることにより、省エネ効果の高いF O膜法海水淡水化システムの早期実用化、市場展開を目指します。



ご清聴ありがとうございました



## 3-2. 今後の展望