



＼ ご好評につき第二弾！ ／

【ライフサイエンス・バイオものづくり向け】

無機分離膜による 品質改良、コストダウン

～有機酸脱水、香料エキス濃縮、蒸留酒脱水など～

- ・ 無機膜の得意・不得意を、事例を交えてご紹介。
- ・ 弊社独自開発のプロセスシミュレーターによる
CAPEX概算例もご紹介。

8/5 水

🕒 14:30～15:00

開催

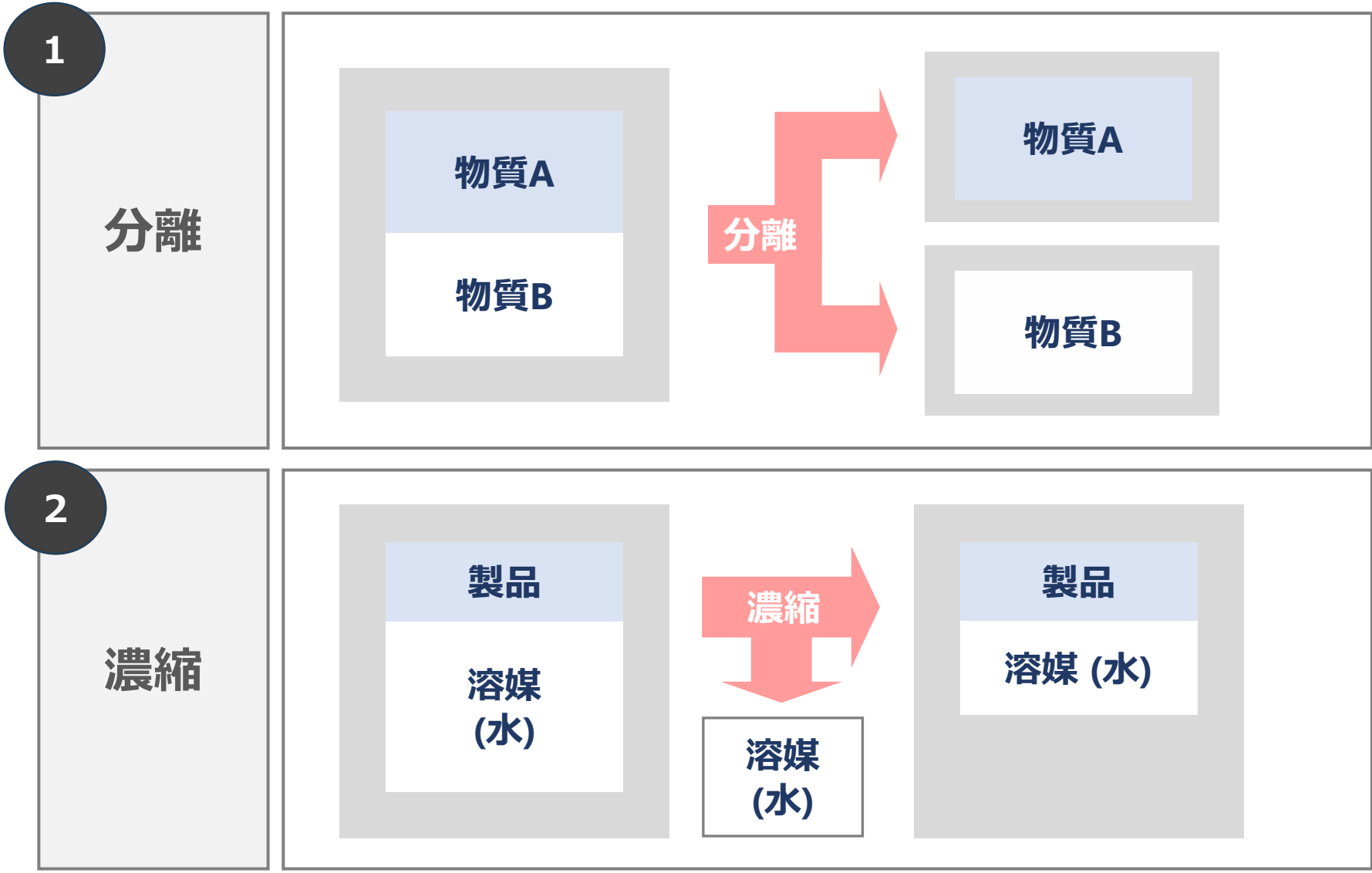
イーセップ株式会社



オンライン
開催



本日のお題：化学物質を分ける工程（液体または気体）



エタノール脱水



有機酸脱水



香料エキスを濃縮



主な業界	燃料・蒸留酒	食品原料	食品原料
メリット	CO ₂ 排出量の削減	熱劣化抑制・コストダウン	熱劣化抑制
適用濃度 (例)	40% → 99.5%	10% → 30% over (90%も可)	1% → 10%

- はじめに ～膜分離とは～
- アプリケーション事例
 - バイオエタノール脱水（燃料および蒸留酒）
 - 有機酸脱水
 - 香料エキス濃縮

“100年変わらない”と言われる化学産業



1

産業別のCO₂排出量はグローバル3位
エネルギー消費量は1位

IEAより

2

高度経済成長期に建設ラッシュを迎えた設備の老朽化

経済産業省資料より

3

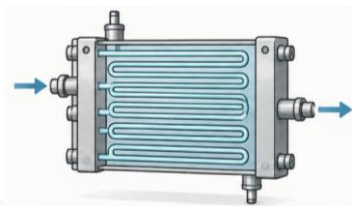
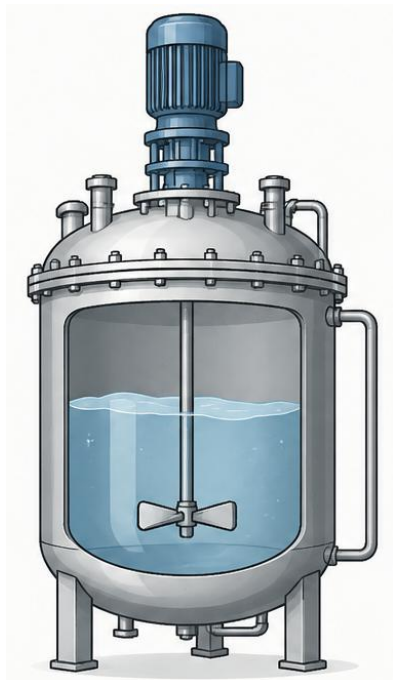
国内化学産業の再編・転換期

経済産業省資料より

化学産業を省エネ・コンパクトに

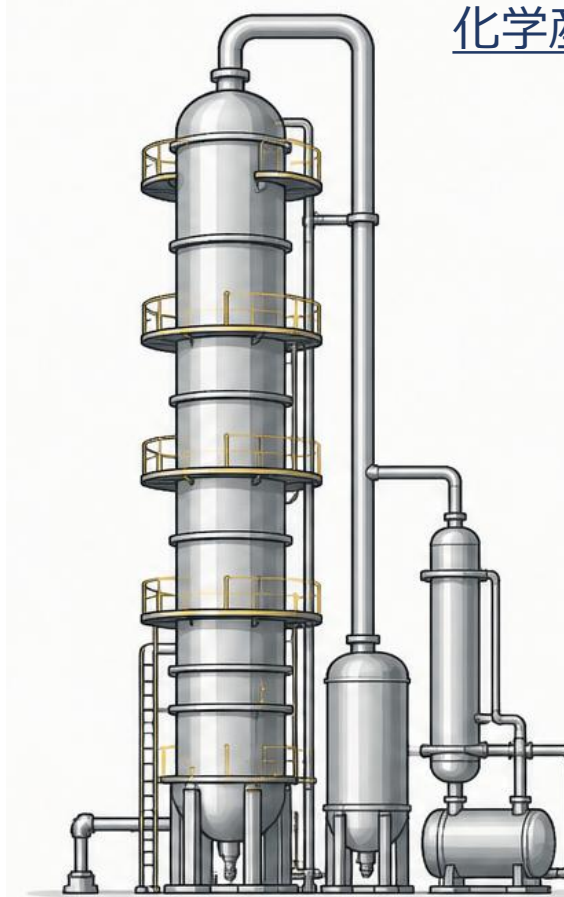
反応

マイクロフロー合成など各種新規反応技術が検討されている



分離

化学産業で消費されるエネルギーの
40%は蒸留工程による



?

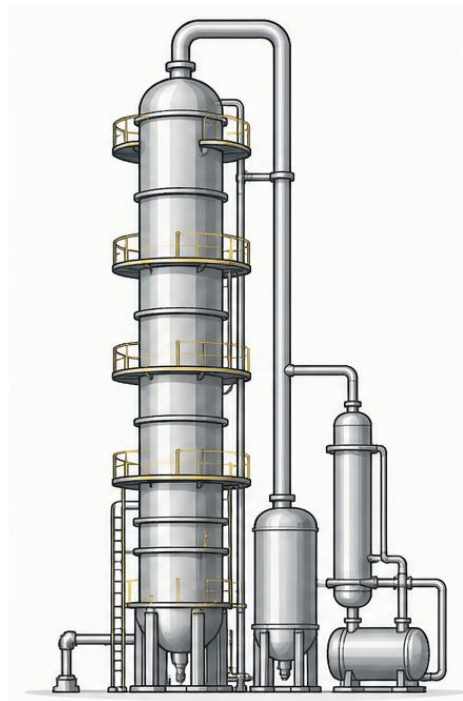
バイオものづくり・ライフサイエンス領域における分離

- 大量の溶媒（主に水）を除かなければならない難しさ
- クールドなので過加熱による変性も注意が必要

反応あるいは抽出



濃縮・精製



製品出荷



ソリューション：分離プロセスを省エネ・コンパクトに

※1 蒸留塔30m、膜分離ユニット3m程度とした場合
※2 酢酸/水からの脱水における事例より



**蒸留
(現行法)**

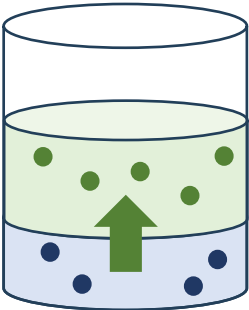
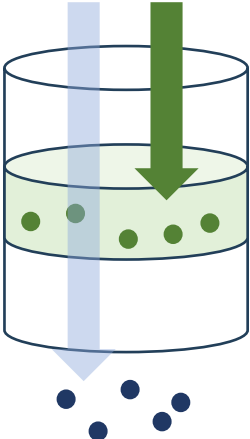
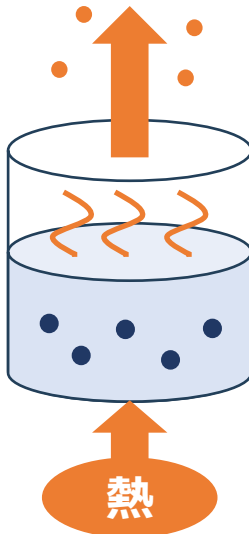
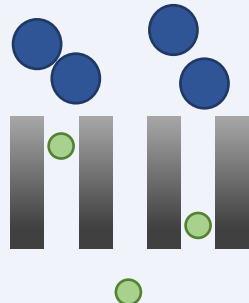
**90% 小型化※1
85% エネルギー/CO₂削減※2**



**無機分離膜
(当社のソリューション)**

分子を分ける法のいろいろ

■ 分ける対象の特性（サイズ、極性、熱安定性など）に応じて、適切な方法を選択

手法	抽出 晶析	吸着	蒸留	膜分離
原理	溶解度差	吸着しやすさ	沸点差	サイズ差 (+吸着しやすさ)
概念図				

膜分離のメリット

1

そのまま

新たな添加は不要

2

できるだけ熱をかけず

省エネ・劣化抑制

3

シンプルな構成による
連続処理

コンパクト

**製造業では、熱・有機溶剤・酸など過酷な条件を対象にするため、
必ずしも、従来の有機膜を利用できないケースもある**

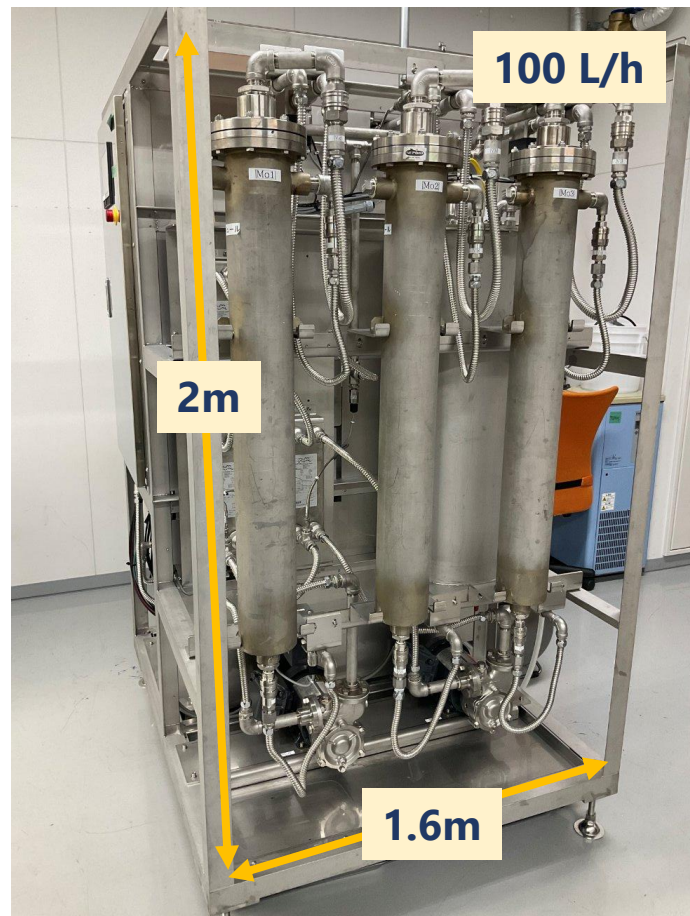
耐熱性

耐溶剤性

耐酸性

プロダクト例

- 表示処理量（100 L/h）は一例であり、スケールアップ可能です



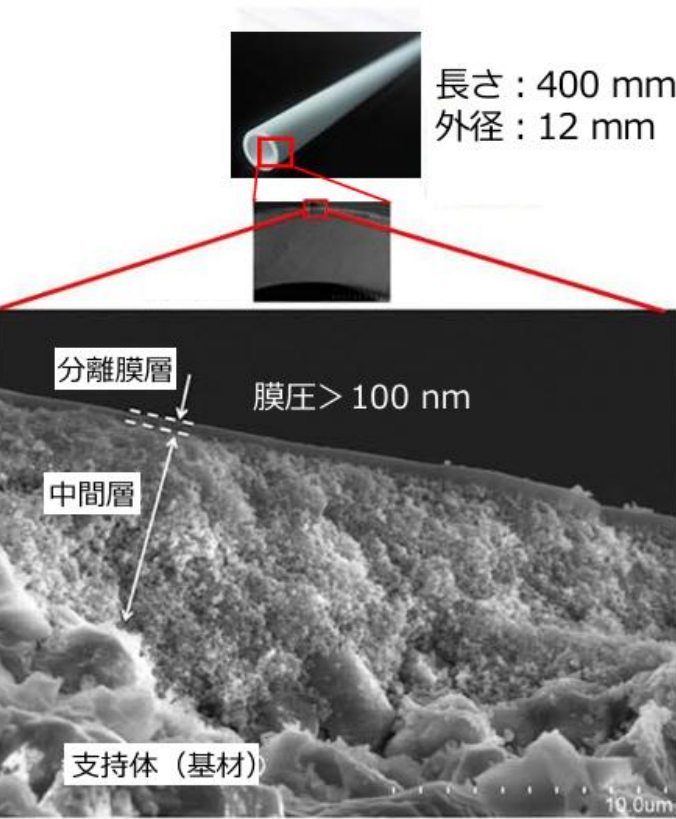
浸透気化分離装置

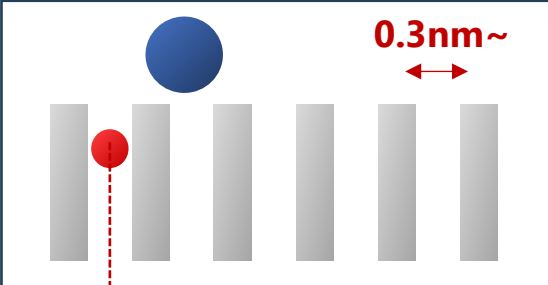
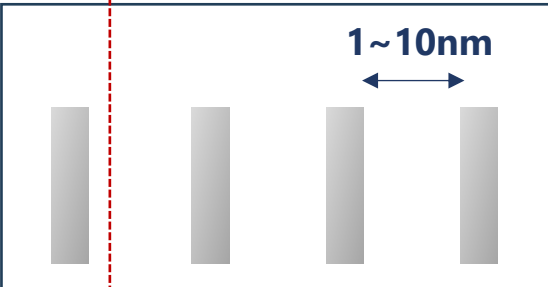
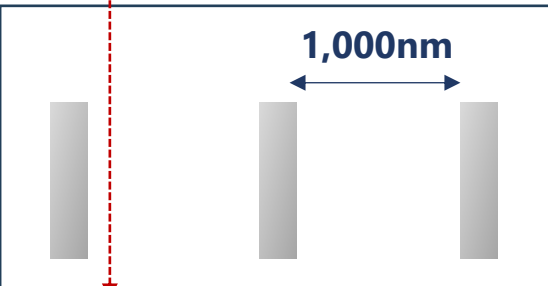


防爆型蒸気透過分離装置

コア技術①：無機膜の精密制御

■ 従来の無機膜では実現が難しかった材料・孔径・構造にアプローチ



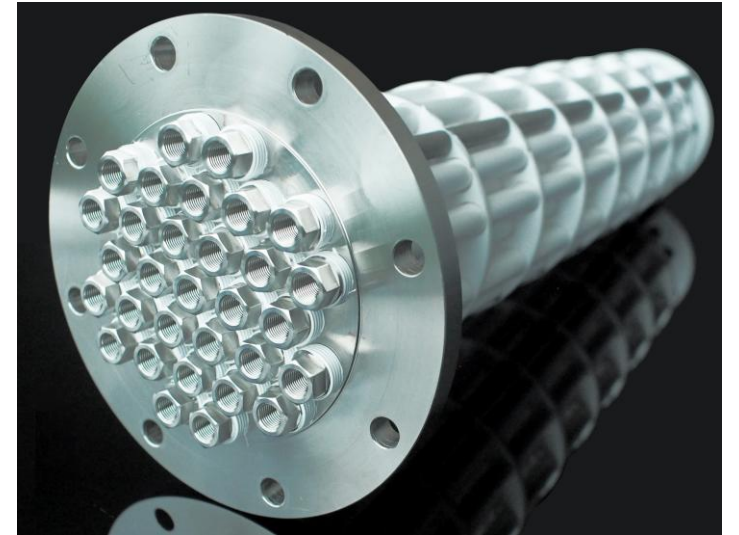
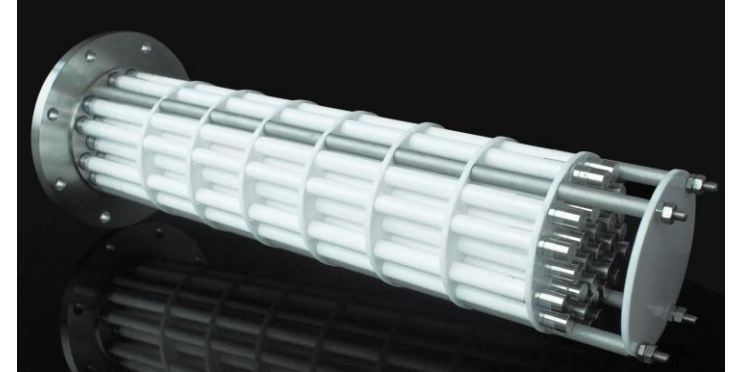
	構造 (イメージ)	材質	テクノロジー
分離膜層		シリカ	孔径の精密制御 材料、構造 (テーパーなど)
中間層		シリカ	材料、構造
支持体 (基材)		アルミナ	公知技術

例) ● 酢酸 (0.4nm) ● 水 (0.3nm)

コア技術②：量産技術



ナノセラミック膜量産機



モジュール

コア技術③：プロセスシミュレーター（独自開発）

- 特許出願済み：特願2023-580230、特願 2023-580131
- 主要なインプット：分離対象の組成、処理量、運転温度および各種膜の分離性能

入力

膜サイズ
分離性能

【分離前】
組成・流速

分離諸条件

出力

【分離後】
組成・流速

透過率
動力

透過分子(分子1)		H2	物性値	
非透過分子(分子2)		N2	分子種	分子量
			H2	2
			N2	28
				比熱比
				1.41
				1.40

【分離膜1段目】入力条件			
<入力セル1-1>管状膜分離器(等温等圧)		膜透過性 [mol・m ⁻² ・s ⁻¹ ・Pa ⁻¹]	
計算セル設定			
有効膜面積[m ²]	4.0	H2	2.00E-07
膜直径[m]	0.012	N2	2.00E-09
単位膜長さ[m]	0.35	透過度比(分子1/分子2)	100
必要膜本数[本]	303		
膜コスト概算[万円/m ²]	500		
分離膜コスト概算(GAPEX)[万円]	2,000		

<入力セル1-2>供給液/ガス条件					
初期値	供給側濃度 [mol %]		供給側流速 [mol/s]		混合ガス 比熱比
分子種	H2	N2	H2	N2	
入口供給条件	45.0	55.0	2.79E-02	3.41E-02	1.40

<入力セル1-3>膜分離条件					
透過側圧力[kPaA]	供給側圧力[kPaA]	供給ガス量[NL/min]	供給ガス量[mol/s]	供給ガス量[Nm ³ /h]	供給ガス量[kg/h]
10	200	83.3	0.1	5.0	3.6

<入力セル1-4>加圧・減圧エネルギー計算パラメーター			
コンプレッサー圧縮段数	供給側(自圧)[kPaA]	減圧ポンプ吐出圧[kPaA]	減圧ポンプ温度[℃]
2	100	100	40

<結果出力セル1-1>					
分子種	保持側濃度 [mol %]	保持側流速 [mol/s]	保持側流速 [NL/min]	合計	
H2	N2	H2	N2		
出口量(保持側)	6.8	93.2	2.39E-03	3.28E-02	47.3
分子種	透過側濃度 [mol %]		透過側流速 [mol/s]		透過側流速 [NL/min]
H2	N2	H2	N2	合計	
出口量(透過側)	95.3	4.7	2.55E-02	1.28E-03	38.0

<結果出力セル1-2>		<結果出力セル1-3>	
ガス種	膜透過率 [%]	消費電力(1段目)[kWh]	
H2	91.4	加圧概算動力	0.10
N2	3.7	減圧概算動力	0.16
		合計	0.26

グラフ（膜面積と分離効率の関係）

(1段目)保持側

(1段目)透過側

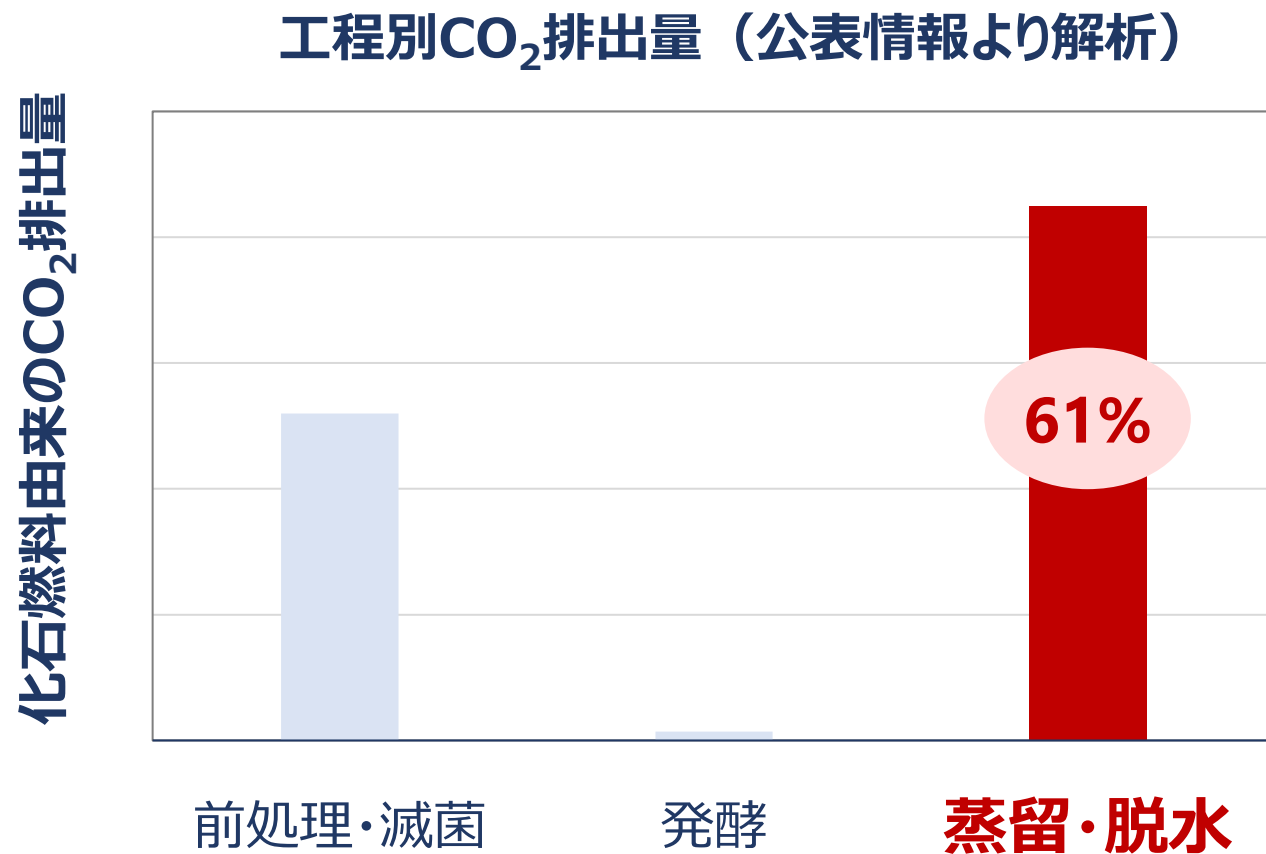
(1段目)保持側

(1段目)透過側

開発の方向性検討、粗い投資採算性検証を目的としたシミュレーションであり、答えを一義的に得ることを目的としたものではありません

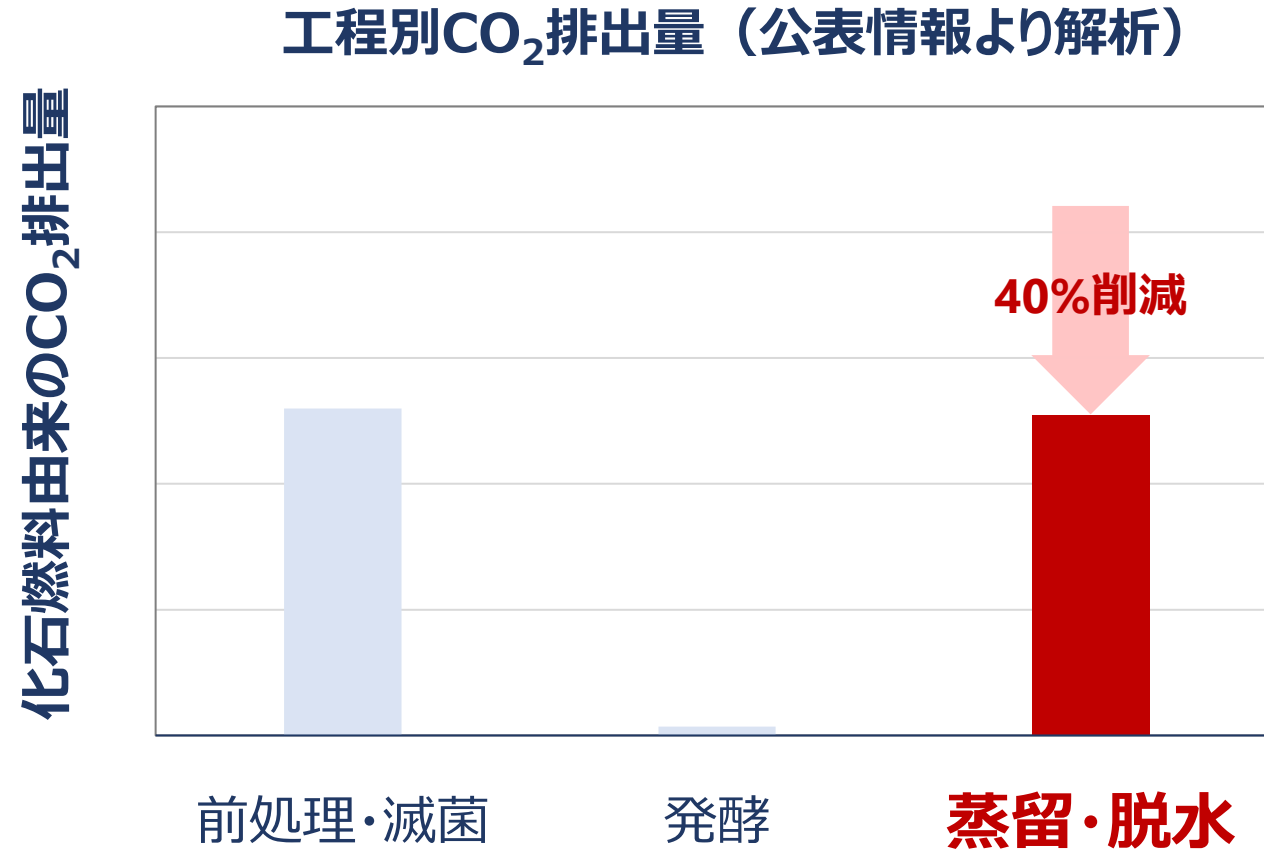
- はじめに ～膜分離とは～
- アプリケーション事例
 - バイオエタノール脱水（燃料および蒸留酒）
 - 有機酸脱水
 - 香料エキス濃縮

【用途例】バイオエタノールの脱水濃縮



発酵で発生するCO₂はバイオマス由来のため除外。工場外部から投入される化石燃料期限のCO₂のみを集計。
工程別エネルギー：U.S. EPA。熱源：天然ガス蒸気、EPA排出係数。電力：U.S. EPA eGRID 2023全米平均。
数値は公表エネルギー原単位からの算定値。

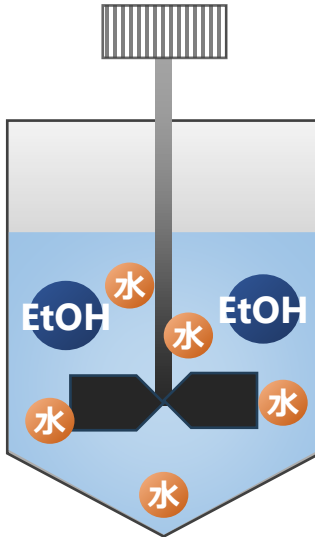
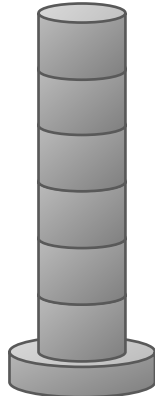
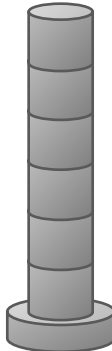
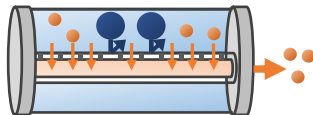
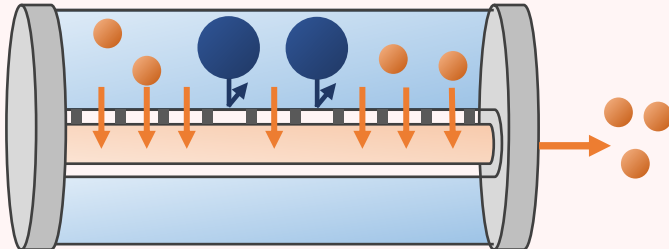
【用途例】バイオエタノールの脱水濃縮



発酵で発生するCO₂はバイオマス由来のため除外。工場外部から投入される化石燃料期限のCO₂のみを集計。
工程別エネルギー：U.S. EPA。熱源：天然ガス蒸気、EPA排出係数。電力：U.S. EPA eGRID 2023全米平均。
数値は公表エネルギー原単位からの算定値。

【用途例】バイオエタノールの脱水濃縮

シミュレーション結果です

	発酵 (6~8%)	脱水				
		もろみ塔 (6~40%)	濃縮塔 (40~88%)	PSA※ (88~99.5%)	ユーティリティコスト (相対値)	エネルギー消費量 (相対値)
Before					100	100
After					37	61

※ PSA: Pressure Swing Absorption (圧カスイング吸着法) 19

0.30 nm

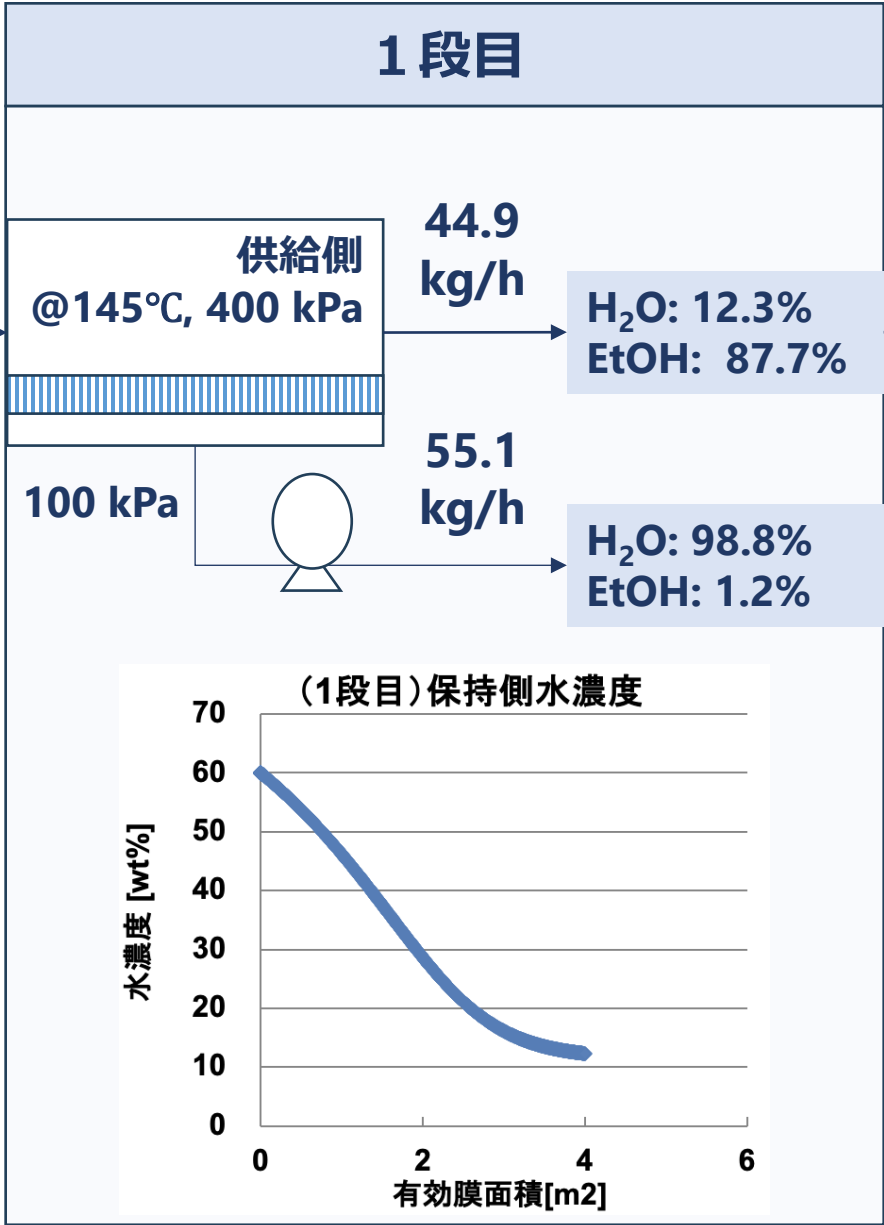


H₂O: 60%
EtOH: 40%

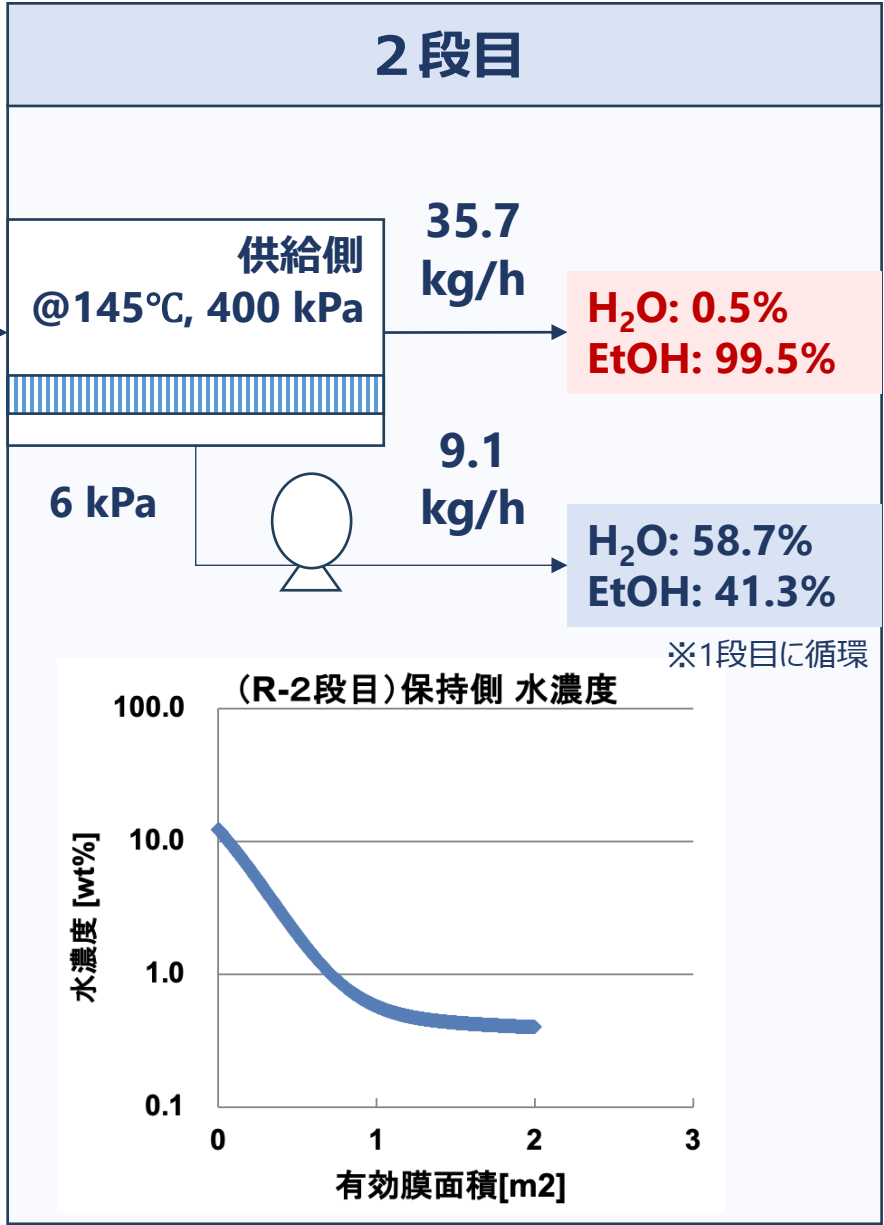


0.43 nm

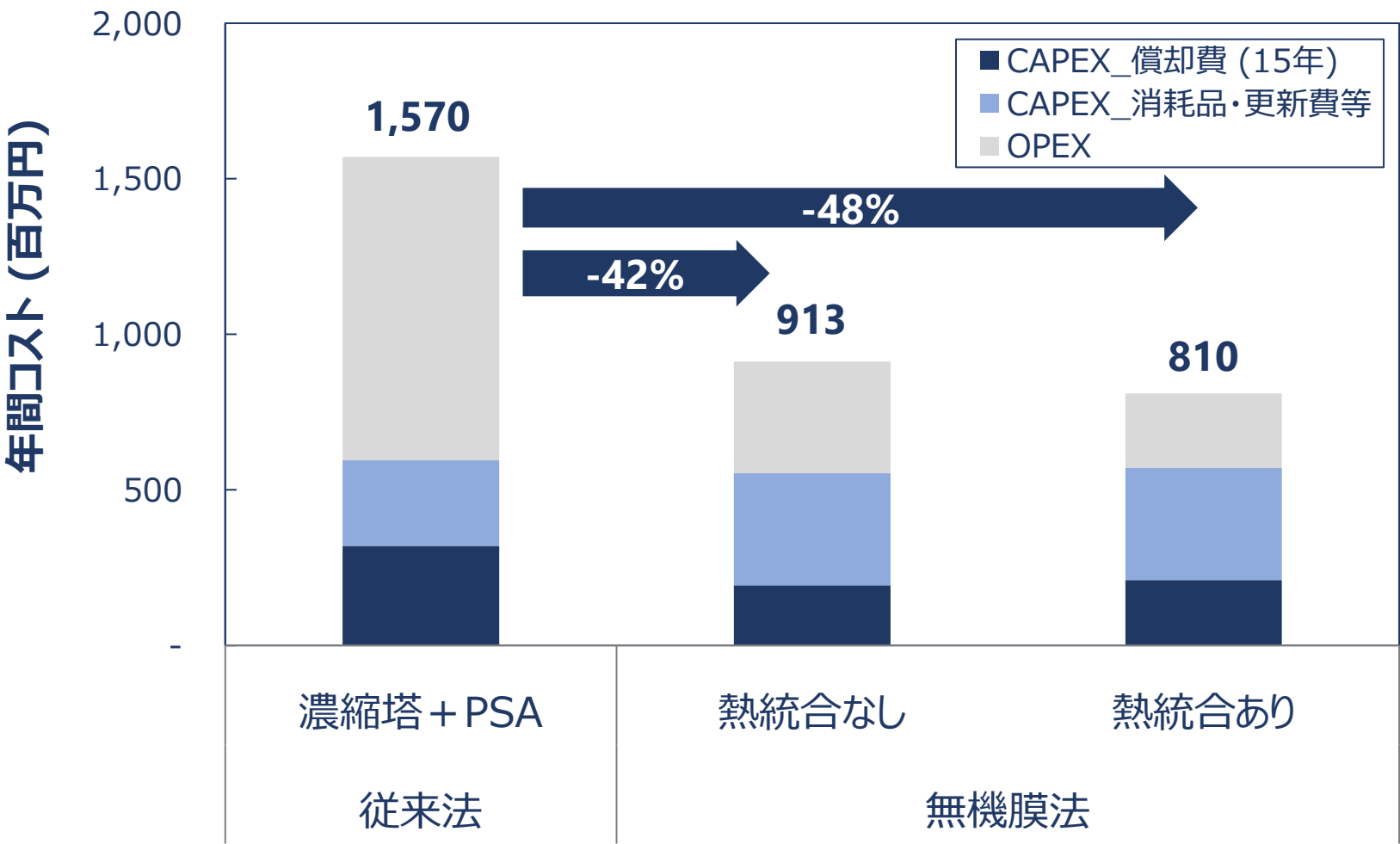
100
kg/h



44.9
kg/h



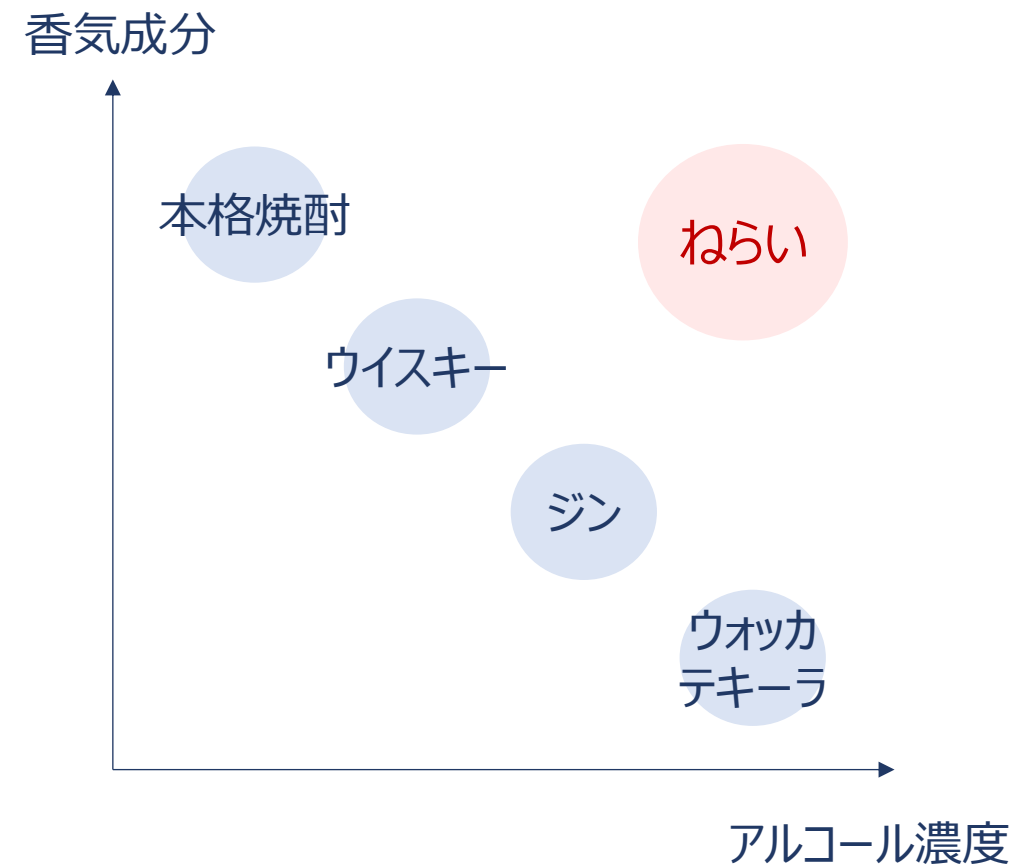
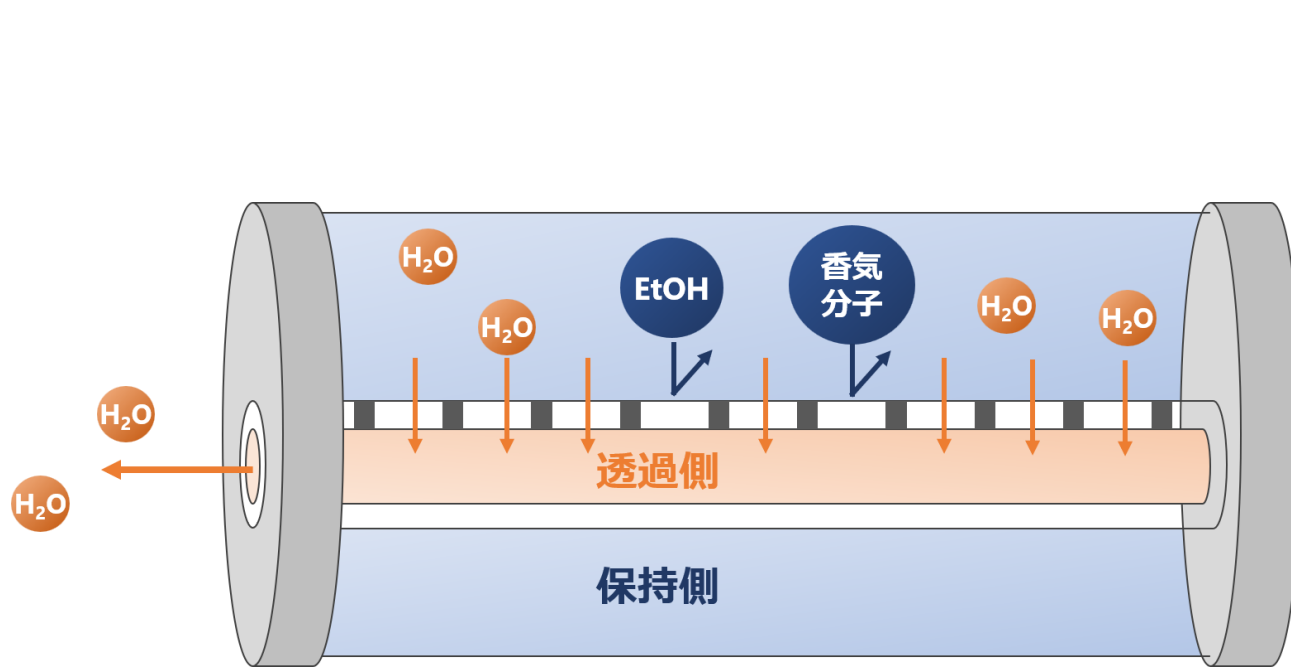
40%エタノールを100 kg/hで供給し、99.5%エタノールへ脱水濃縮した場合の年間コスト



※ PSA: Pressure Swing Absorption (圧カスイング吸着法)

【用途例】蒸留酒の蒸留工程代替としての活用

○ 香気調整手段、主に再留工程を想定

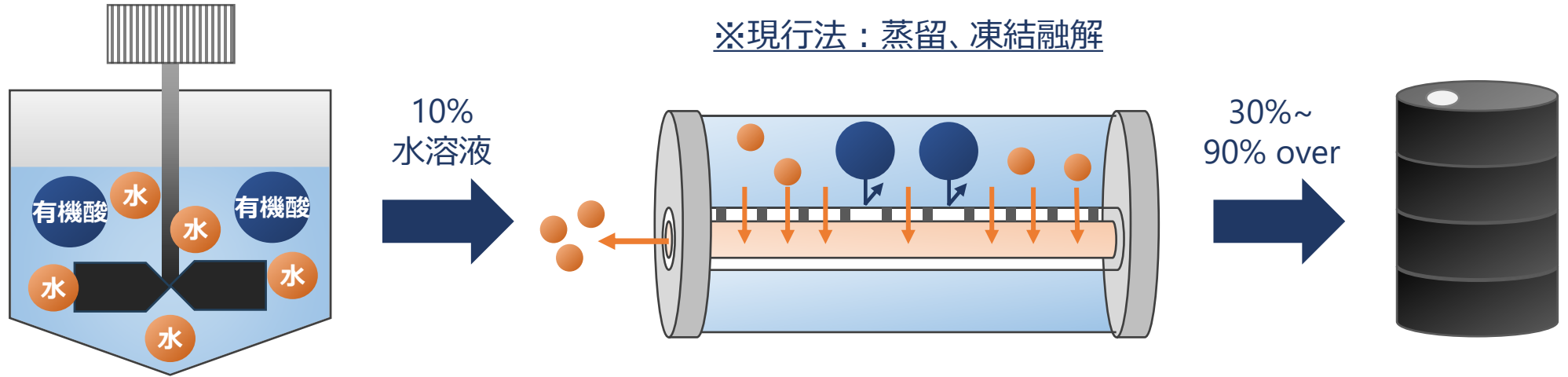


【用途例】有機酸の脱水濃縮（酢酸、乳酸、リンゴ酸、コハク酸・・・）



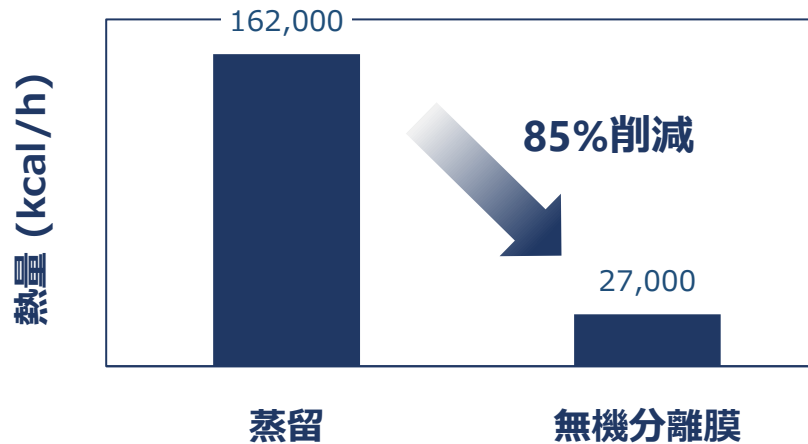
想定ユーザー様	解決したい課題	ソリューション
有機酸メーカー様 (酢酸、乳酸、アクリル酸、コハク酸など)	● エネルギー消費量、 CO ₂ 排出量	● エネルギー消費量、CO ₂ 排出を 85%削減
お酢メーカー様	● 熱劣化のない濃縮	● 劣化なく濃縮可 (15%→30%)

プロセス イメージ



ソリューション

50%酢酸/水混合液を100 kg/hで分離した場合



プロセス設計例（酢酸脱水）

0.30 nm

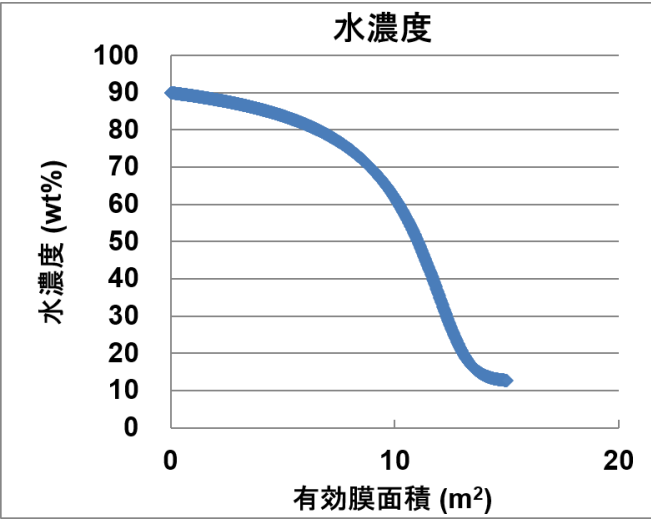
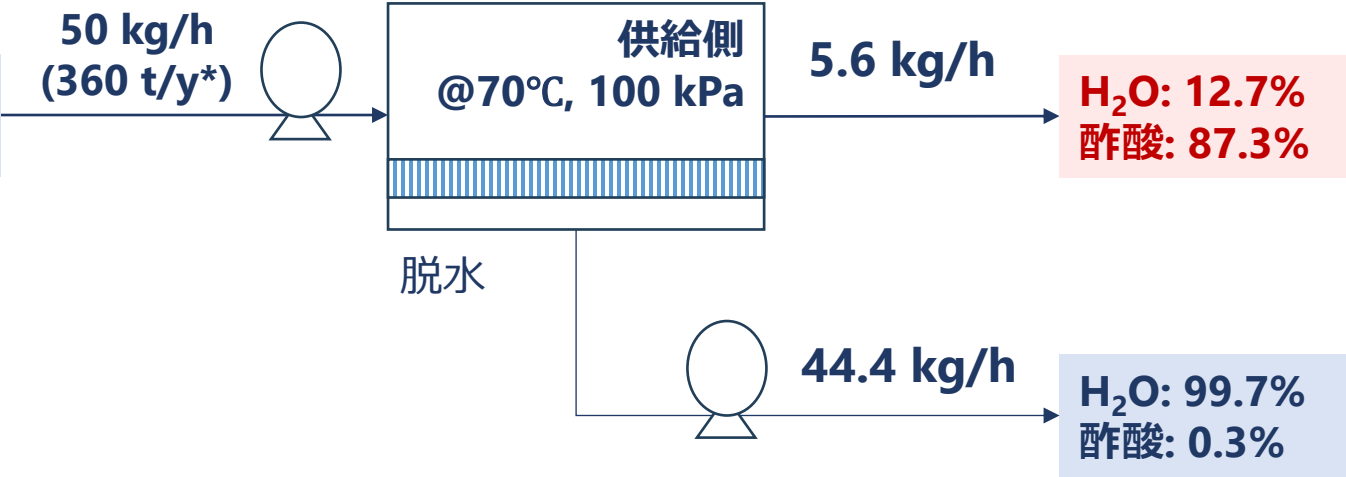


H₂O: 90%
酢酸: 10%



0.44 nm

*24h, 300days/yearの場合



膜透過性データ（酢酸脱水）

Fig. 1 酢酸vs水の透過性比較

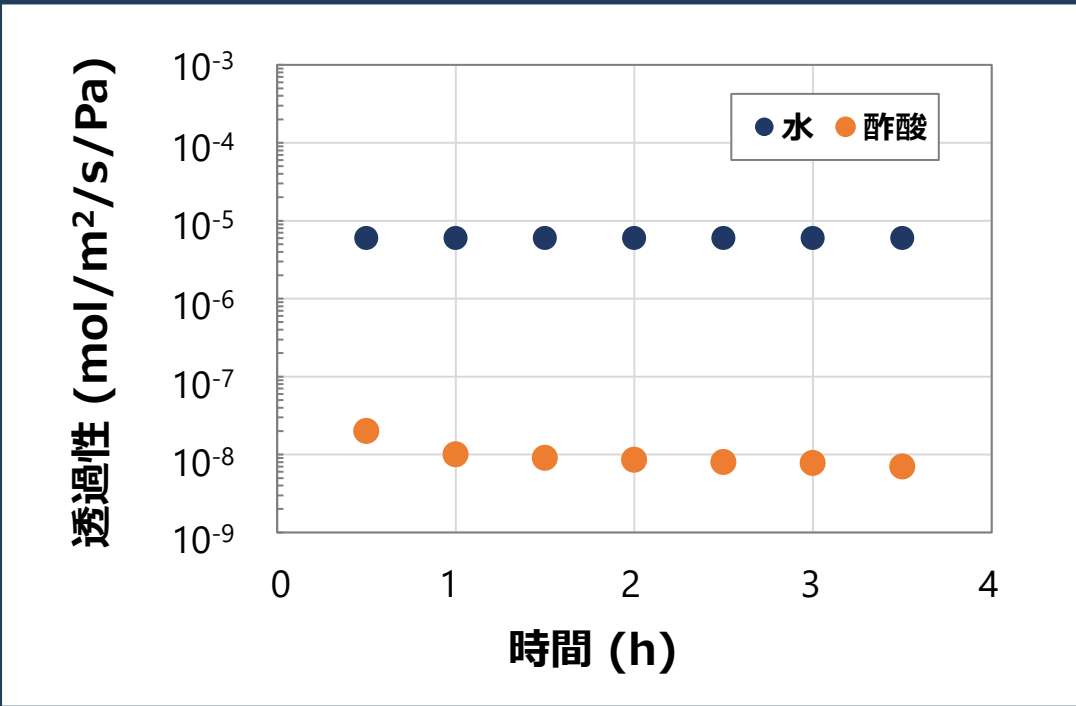
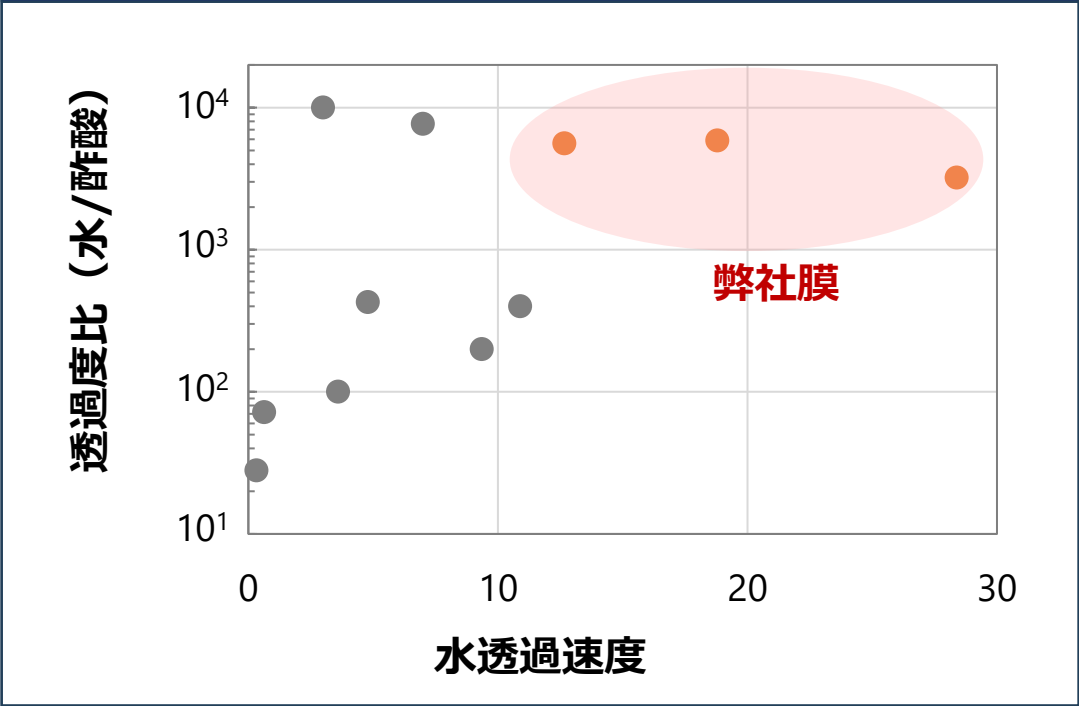


Fig. 2 従来膜との比較



出典：弊社発表論文 *Advanced Membranes* 5 (2025) 100140

プロセス設計例（お酢の濃縮）

0.30 nm

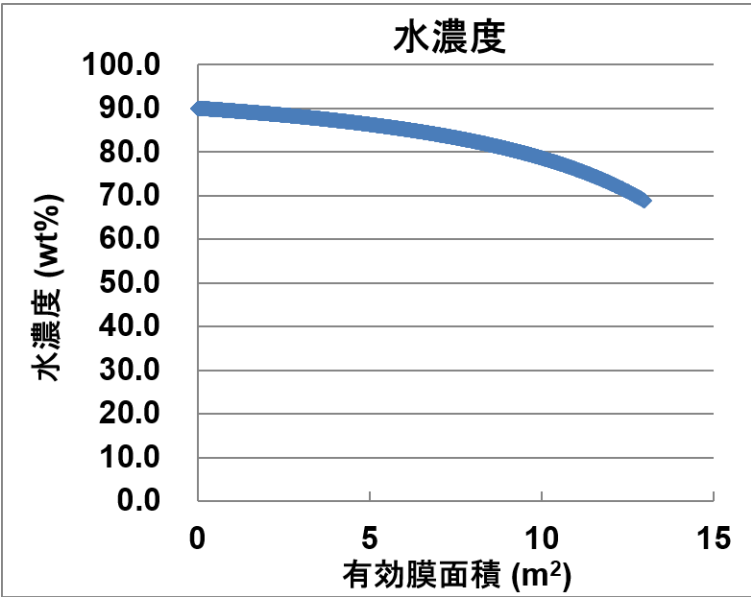
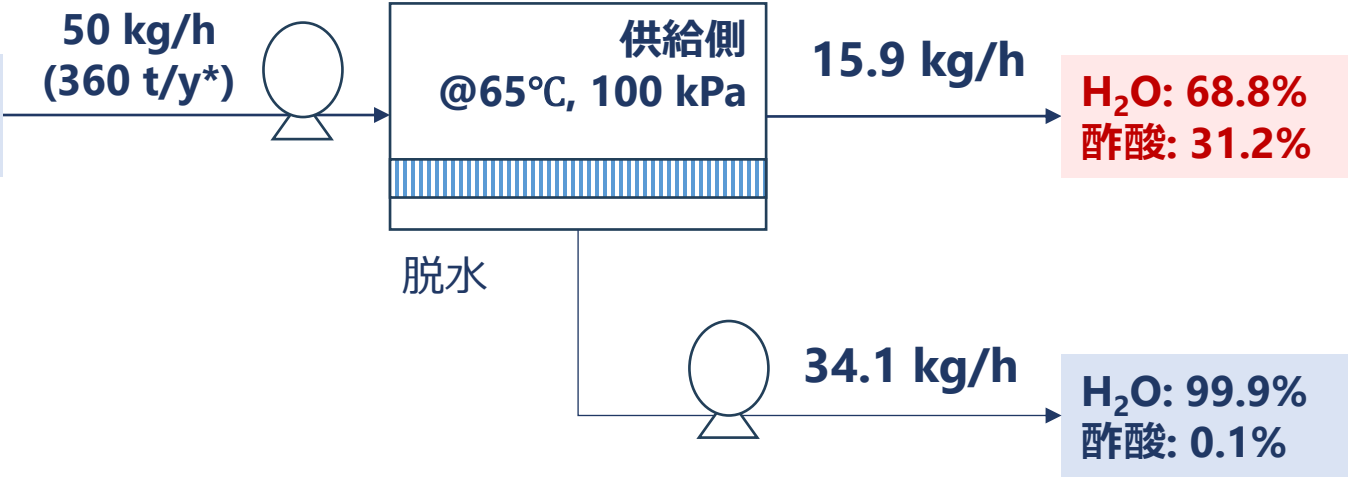


H₂O: 90%
酢酸: 15%



0.44 nm

*24h, 300days/yearの場合



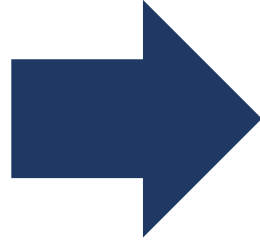
試験結果（お酢の濃縮）

			モデル液（試薬混合）	実液
酢酸濃度 (wt%)	濃縮前		15.0	15.0
	濃縮後	非透過液	(30)	30.2
		透過液	0.50	0.49
水透過度 (mol/m ² ・s・Pa)			4×10 ⁻⁶	4×10 ⁻⁶

※ 分離サンプル量500 gを60℃程度、8時間程度で濃縮。
※ 膜長さ40 cm、循環速度 1kg/h（循環バッチ式）

サンプル写真（お酢の濃縮）

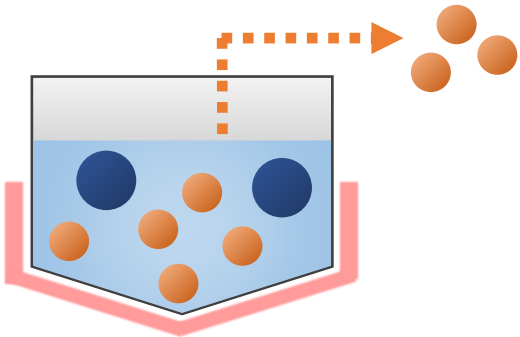
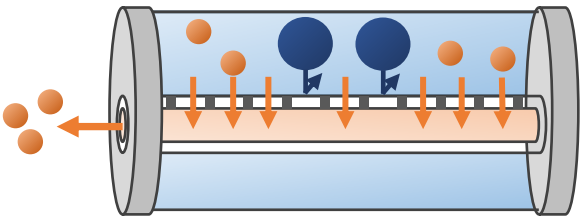
**Before
(15%)**



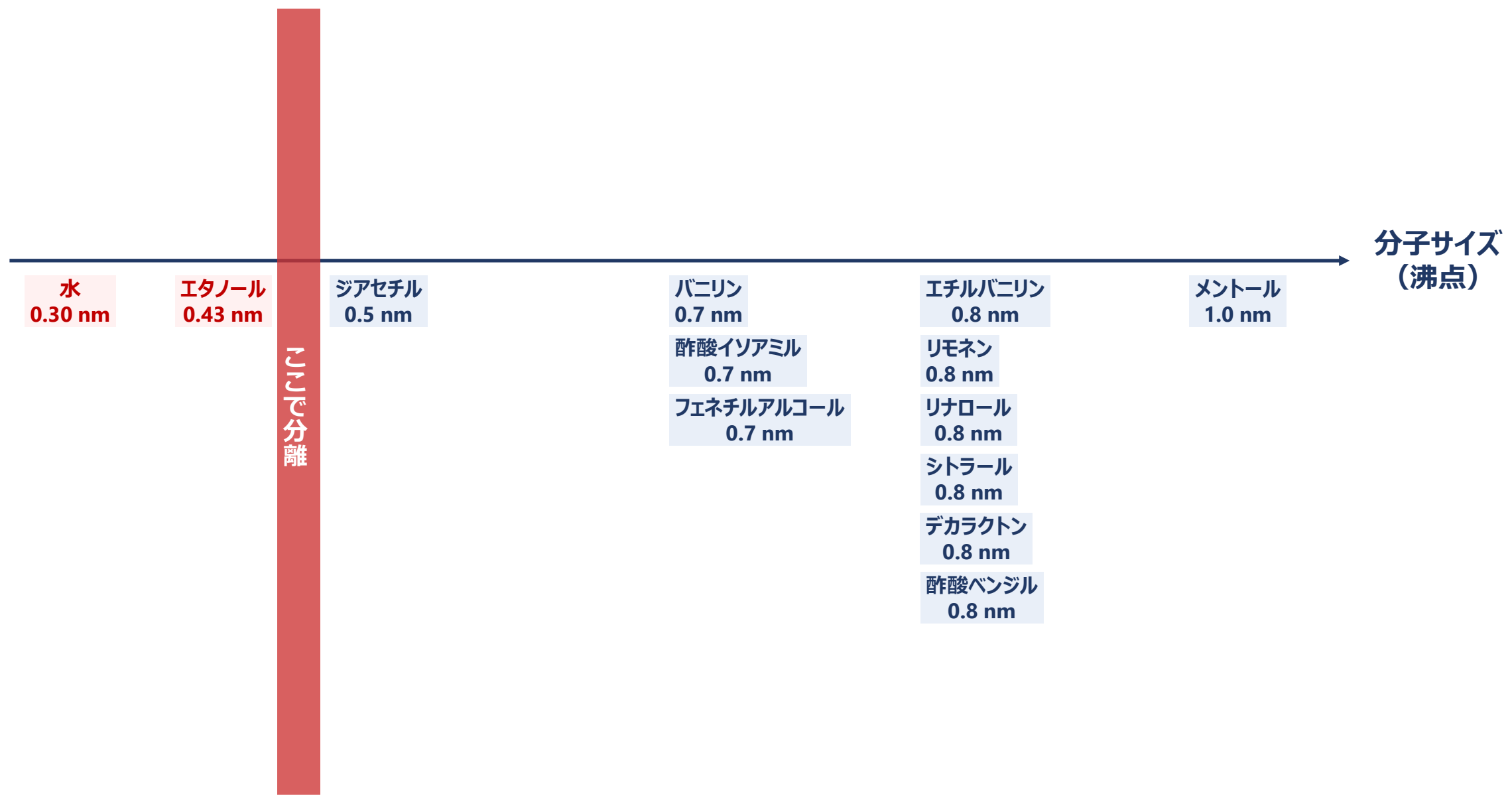
**After
(30%)**



【用途例】天然香料エキスの濃縮（エタノール溶剤の場合）

	手段	液温	処理時間	熱変性
Before		40~60℃	長い	多い
After	 ● 香り分子 ● エタノール	20℃	短い	少ない

天然香料エキスの濃縮



試算結果詳細 (1% → 10% Vanillin in EtOH)

1st Stage

< Input >

1. Membrane performance

Permenace [mol/(m2 s Pa)]: M1	1.0E-08	Molecule(M)	Molecule	MW	Density [kg/L]	Molar volume [m3/mol]
Separation coefficient (M1/M2)	3.0	1	EtOH	46	0.789	5.83E-05
Membrane area [m2]	1.2	2	Vanillin	152	1.056	1.44E-04

2. Operating Condition

Feed pressure [MPa]	5
Permeate pressure [MPa]	0.1
Tempeature [K]	298
Feed flow rate [kg/h]	10
Feed flow rate [g/min]	167

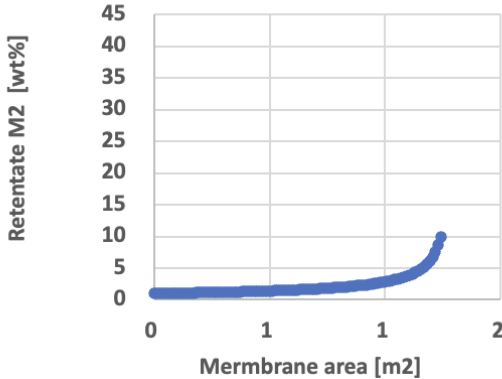
Feed flow concentration				Feed flow rate	
[wt%]		[mol%]		[mol/s]	
EtOH	Vanillin	EtOH	Vanillin	EtOH	Vanillin
99.0	1.0	99.7	0.3	5.98E-02	1.83E-04

< Output >

Retentate flow Composition				Retantate flow rate					M2 recovery [%]
[wt%]		[mol%]		[mol/s]		[g/min]			
EtOH	Vanillin	EtOH	Vanillin	EtOH	Vanillin	EtOH	Vanillin	Total	
90.0	10.0	96.7	3.3	1.72E-03	5.78E-05	5	1	5.28	

Permeate flow Composition				Permeate flow rate					Total flux [kg/(m2 h)]	Rejection rate [%]
[wt%]		[mol%]		[mol/s]		[g/min]				
EtOH	Vanillin	EtOH	Vanillin	EtOH	Vanillin	EtOH	Vanillin	Total		
99.3	0.7	99.8	0.2	5.81E-02	1.25E-04	160	1	161		

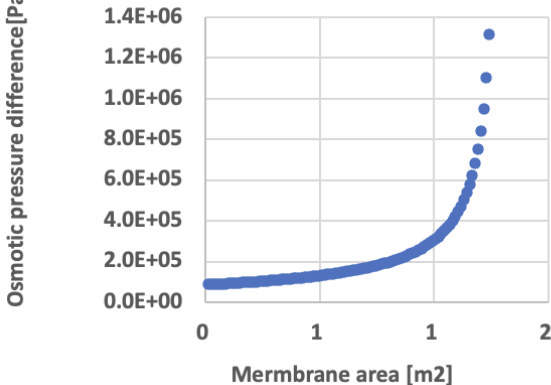
Retantate EtOH [wt%]



Retentate M2 [wt%]

Membrane area [m2]

Osmotic pressure difference



Osmotic pressure difference [Pa]

Membrane area [m2]

超概算結果一覧

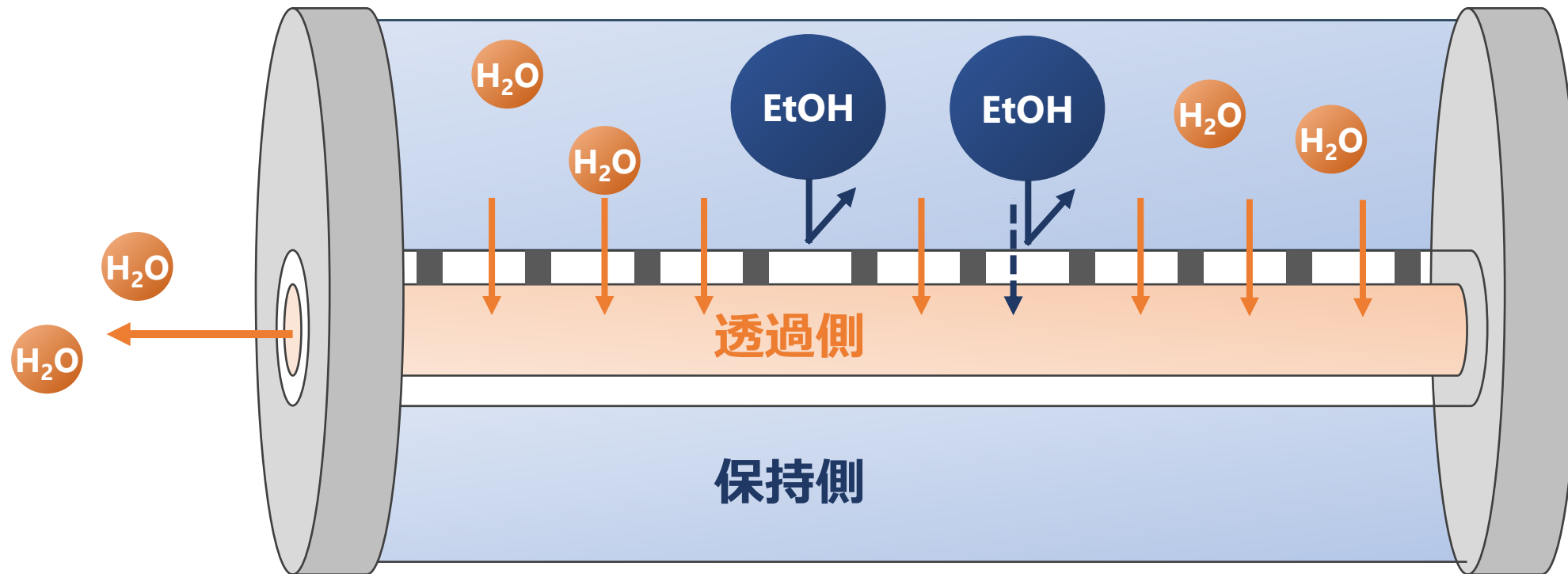
	バニリン濃度	供給量	必要膜面積	膜モジュールコスト
1	1→10%	10 kg/h	1.2 m ²	1,200万円
2	1→30%	10 kg/h	1.3 m ²	1,300万円
3	1→10%	100 kg/h	12 m ²	1.2億円
4	1→30%	100 kg/h	13 m ²	1.3億円

備考

- 室温での分離を想定し、RO方式にてシミュレーション、試算いたしました。
- 現時点、限られた情報下での超概算であり、試算結果の保証はできかねますことをご理解ください。
- 各種パラメーターによって、概算結果が変動いたします。

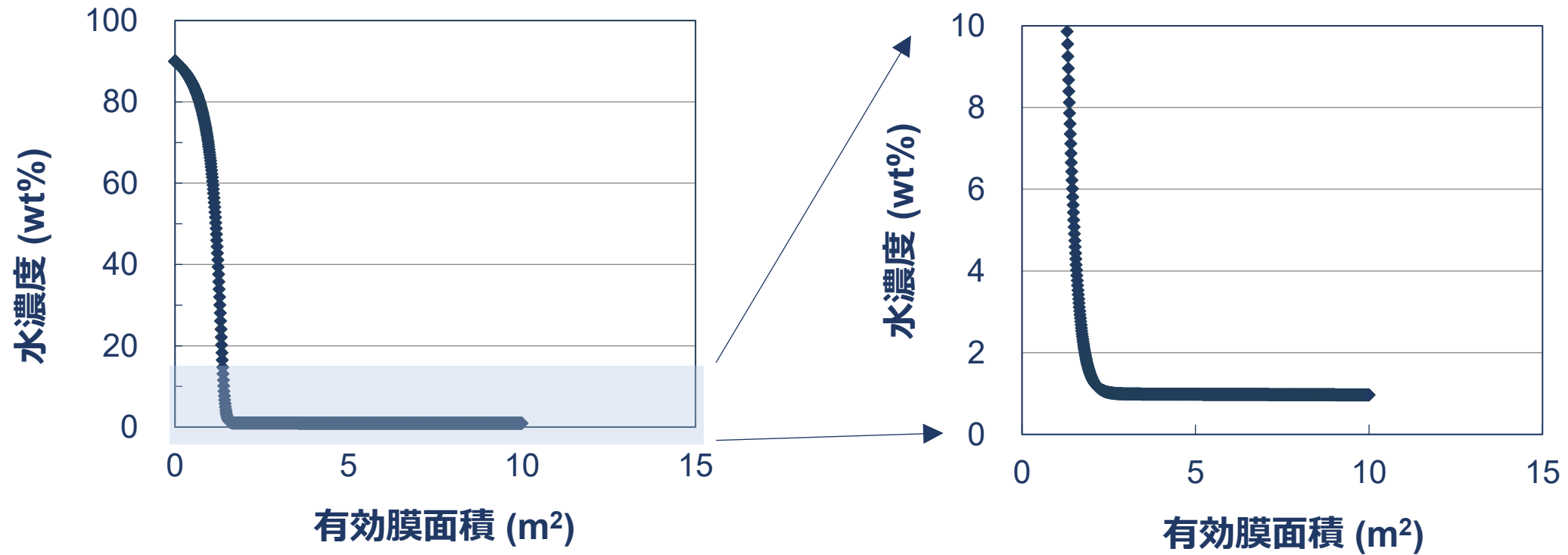
不向きな例：ppmオーダーへの除去

不向きな系の具体例：超高度な除去・脱水、排水処理など



シミュレーション結果詳細

除去対象 (水)の濃度減少とともに差圧が小さくなるため、膜透過の駆動力が得られにくくなる（＝下げ止まる）



ご清聴ありがとうございました。