

【eSep Vision 2025】 2025年1月策定

【社会課題への取組み】 ナノセラミック分離膜を活用した カーボンニュートラル社会の構築

イーセップ株式会社
代表取締役社長 博士（工学）
澤村健一

sawamura@esep.co.jp

smile by
easy, eco, and efficient
separation



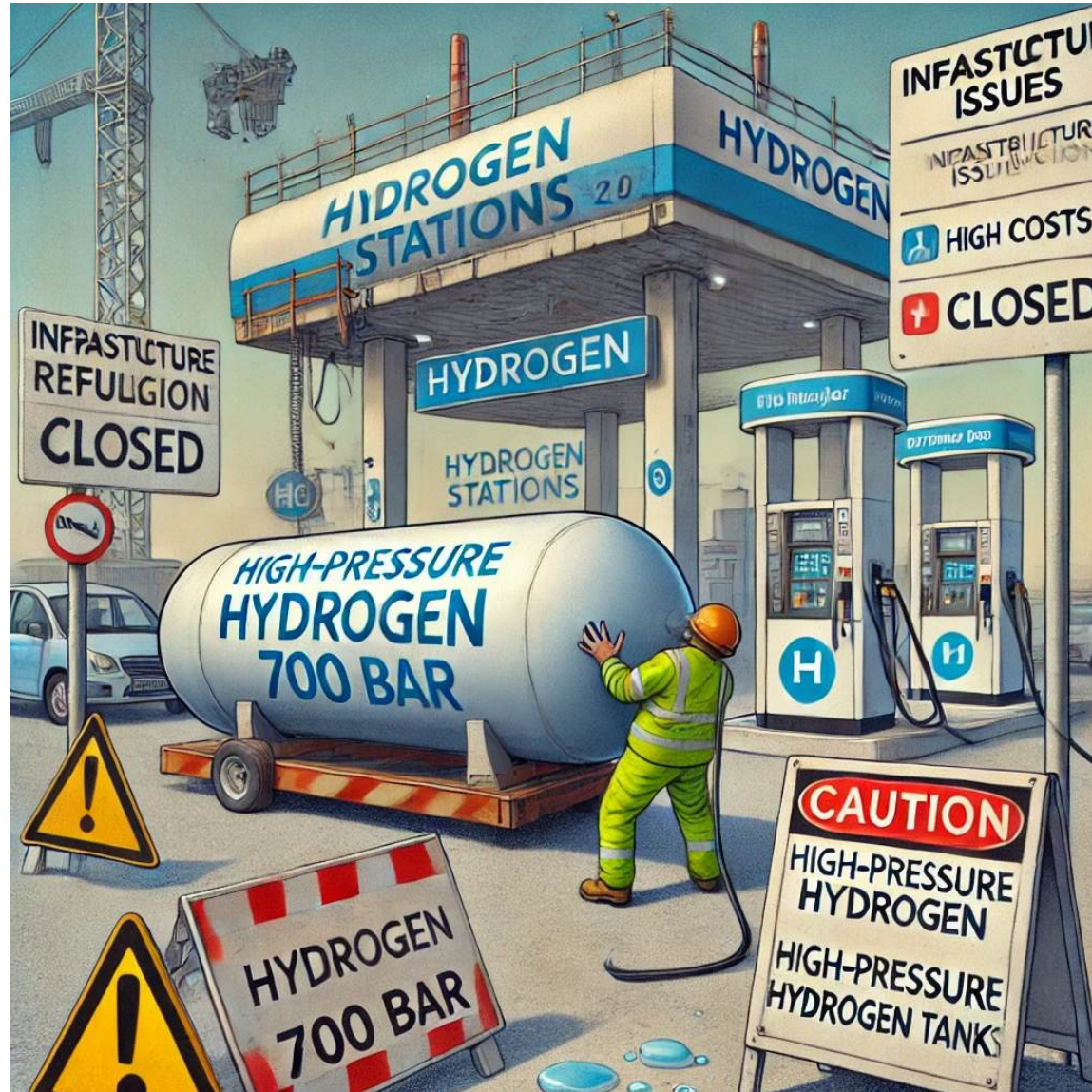
1. 背景 (1)

省エネ化によるCO₂排出量の削減 およびCO₂の利活用は急務



1. 背景 (2)

水素ステーションはインフラ設置コストが高すぎて
普及に苦戦



1. 背景 (3)

再生資源・電気は輸送・貯蔵が課題



2. ミッション

< 化学業界 >

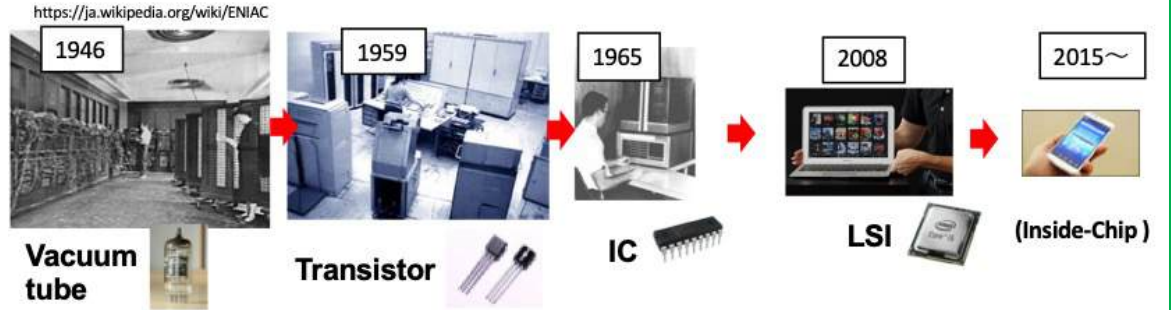
巨大&エネルギー消費大 → 大量のCO₂を排出

* 50年前とほとんど変わっていない



< コンピューター業界 >

* 大幅な小型化・省エネ化を達成.



【eSep ミッション】

化学プロセス（反応と分離）を大幅に小型化・省エネ化する.

(現在)
蒸留
など



(将来) 高効率ナノセラミック膜分離



小型化によるオンサイト利用

smile by
easy, eco, and efficient
separation



簡単、エコ、高効率な分離でみんなニッコリ。
人も、地球も、みんなニッコリ。

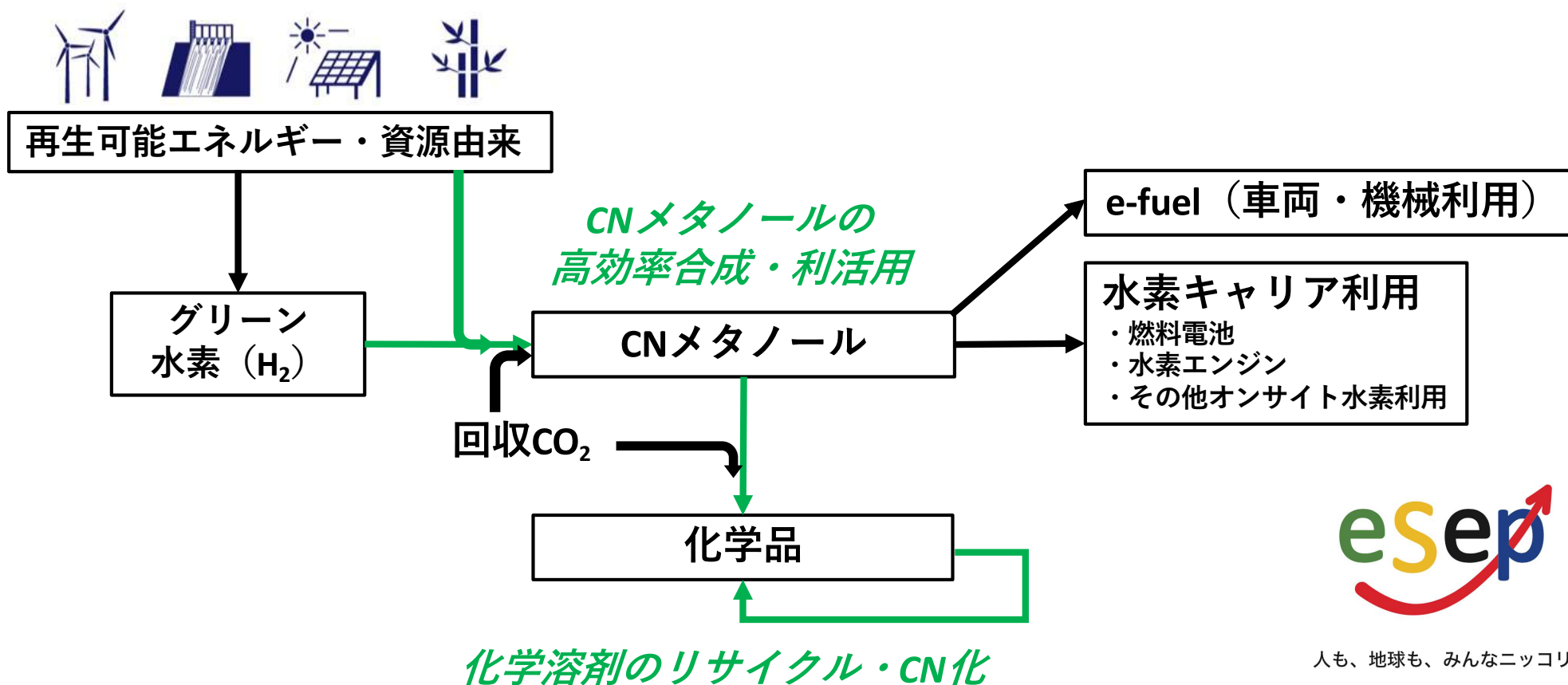
オンサイト・オンボードで利用可能な
カーボンニュートラル (CN)
小型化学プラント



3. 提案 (1)

【eSep Vision (update)】

eSepにて主導するカーボン・ニュートラル (CN) への対応



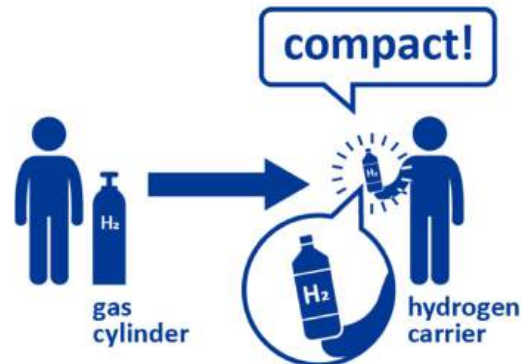
* 既存の社会インフラを活かし、安全・安心に水素社会に対応する。

3. 提案 (2)

エネルギーキャリアとしてのメタノール水は
高压水素ガスボンベや電池にはない優位性をもつ



項目	メタノール (59wt%) 水	高压水素ガスボンベ (700 気圧)	電池(リチウムイオン)
1. エネルギー密度	約12 MJ/kg	約 8.5 MJ/kg (高压容器含む)	1 MJ/kg未満
2. 効率	現状25-40% (* 将来的に60%以上に改 善の余地あり)	40-60% (燃料電池)	90%以上
3. 安全性 (輸送・貯蔵)	比較的安全	高压ガスのため危険	比較的安全だが過充電で発 火リスクあり

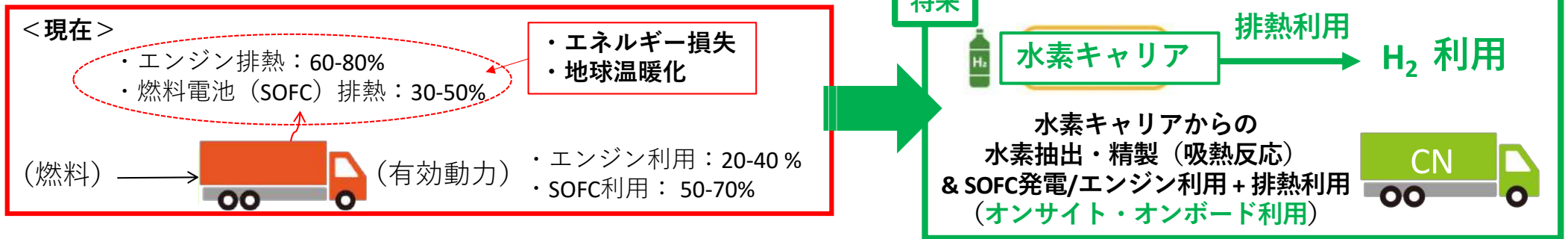


3. 提案 (3)

- 水素キャリアを用いたオンサイト・オンボード型水素発生システム
* 排熱を利用して水素を発生させることがポイント

【適用例】

- 水素エンジン利用 (トラック、バス、船舶、乗用車など)
- 燃料電池 (SOFC等) 利用
- 携帯式アウトドア (非常用) 電源への応用など



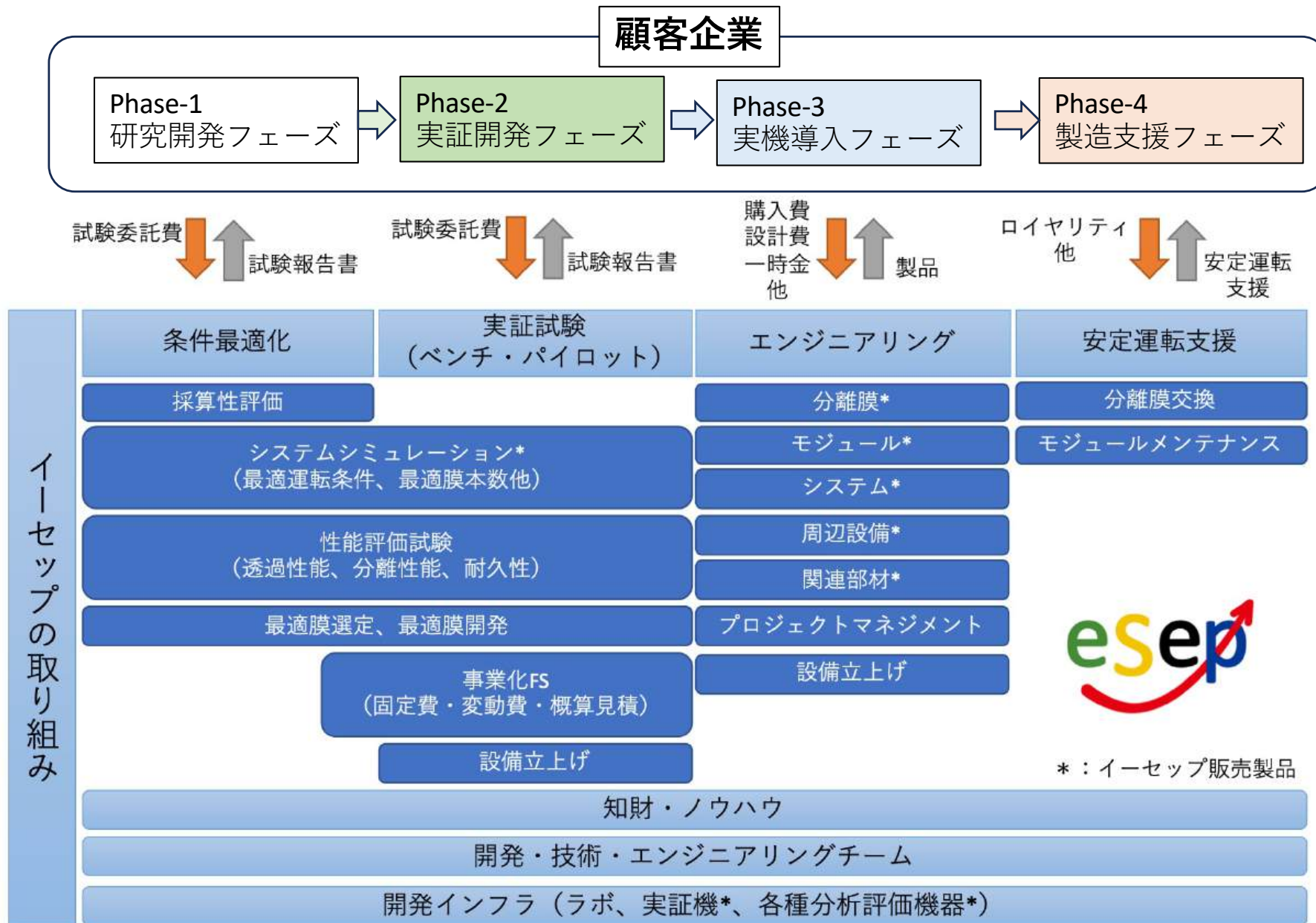
<水素キャリア特性比較>

利用形態	保管圧力	水素含有量 (wt%)	水素抽出反応温度	発生水素当たり追加必要エネルギー [kJ/mol-H ₂]	水素発生に必要な水素燃焼エネルギー割合 [%]	輸送・貯蔵性	安全性	水素抽出性	eSep 総合評価/取組状況	CO ₂ 排出
圧縮水素	150~700気圧	100 % * ボンベの重さを含めると実質5%程度	常温	0	0	△	△	◎	-	なし
液化アンモニア 2NH ₃ → N ₂ + 3H ₂	5~10気圧程度	18 %	500°C	58	20	△	△	△	-	なし
CNエタノール水 C ₂ H ₅ OH + 3H ₂ O → 2CO ₂ + 6H ₂	常圧	12%	750°C	97	34	◎	◎	×	中断	カーボンニュートラル
CNメタノール水 CH ₃ OH + H ₂ O → CO ₂ + 3H ₂	常圧	12%	250°C	54	19	◎	○	○	最優先	カーボンニュートラル
メチルシクロヘキサン (MCH) MCH → Toluene + 3H ₂	常圧	6 %	320°C	105	37	○	○	△	対応	なし

* 水素燃焼エネルギー：284 [kJ/mol-H₂]

* CNメタノール水(50mol%(64wt%))は水で薄めてメタノール (59wt%以下) となれば危険物、毒劇物に該当しない。
→ 取り扱いに資格等が必要なく、貯蔵・輸送が容易。
→ 水素エンジン及び燃料電池向けの水素キャリアとして有望と判断

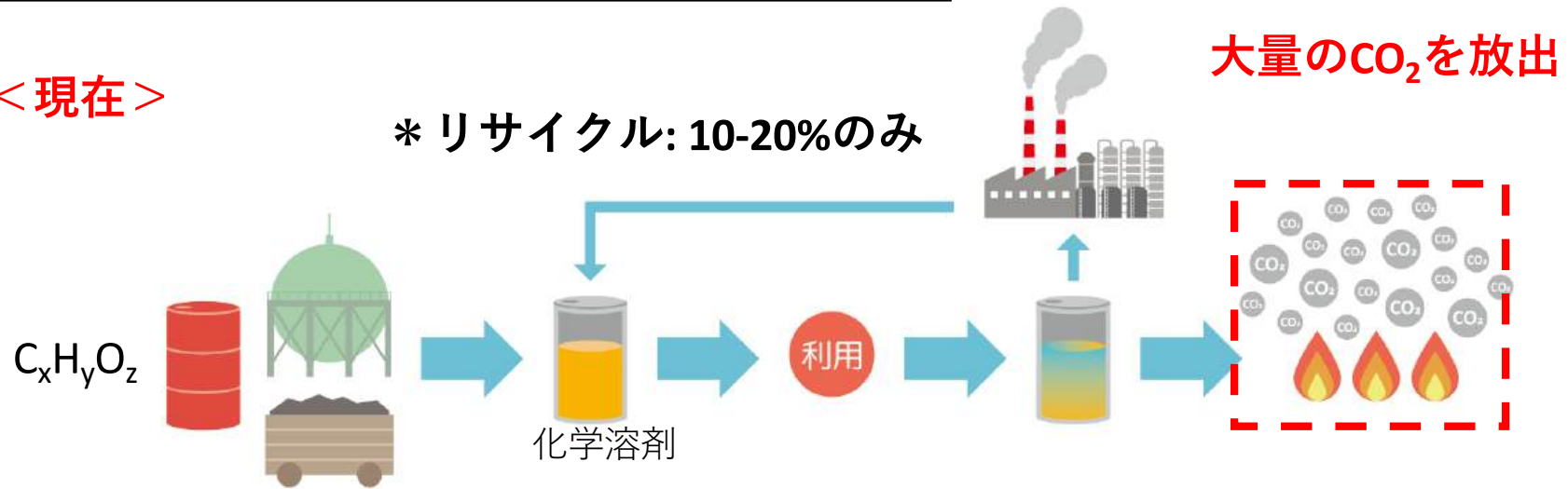
4. 具体的取組み例（1）：（事業全般）ナノセラミック分離膜技術プラットフォーム



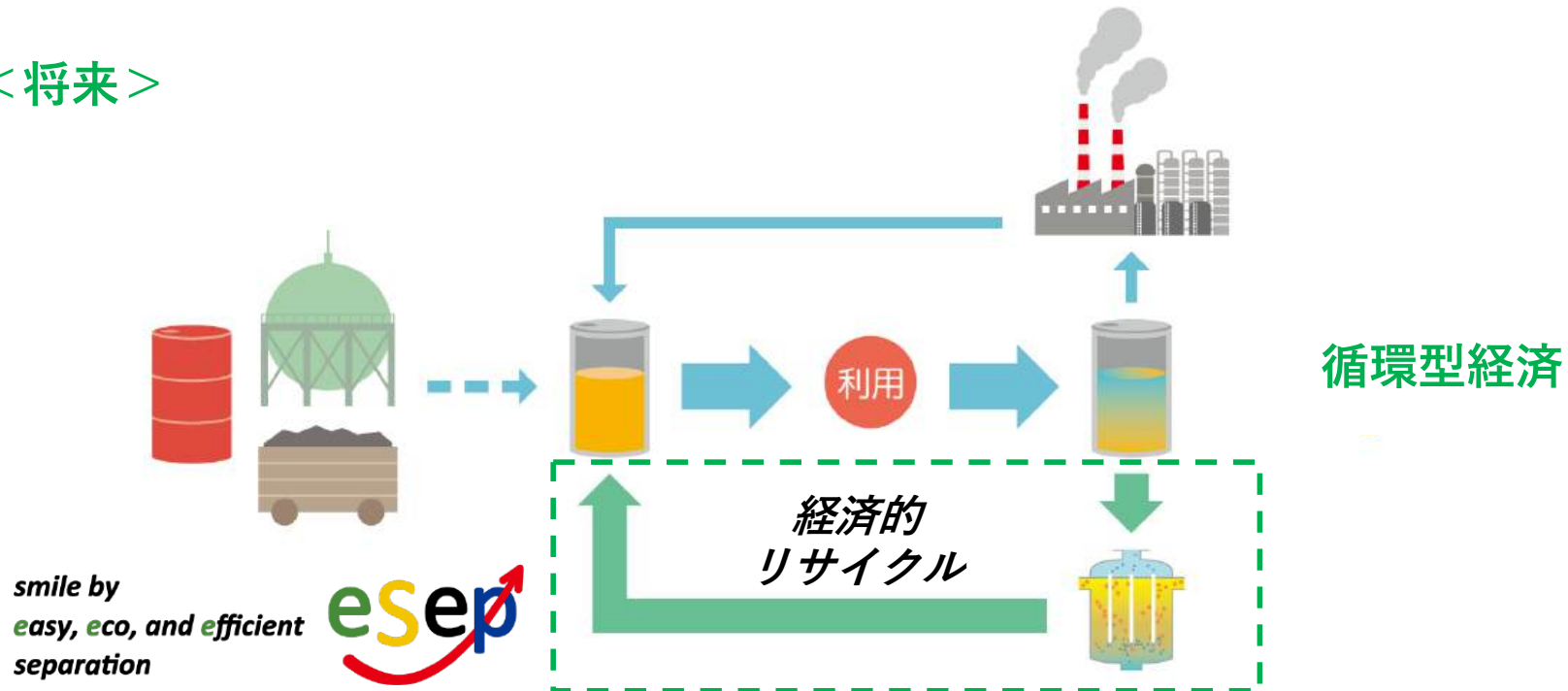
* 分離膜を活用して省エネ化・CN化を目指す企業を技術面からサポート。

4. 具体的取組み例 (2) : 化学溶剤のリサイクル・CN化

< 現在 >



< 将来 >

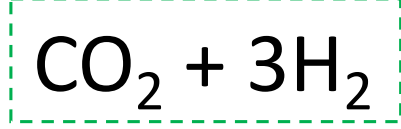


4. 具体的取組み例 (3) : CNメタノールの高効率合成・利活用①

触媒技術 x 分離膜技術でできること
 ↓
 化学反応の劇的な高効率化



再エネ由来



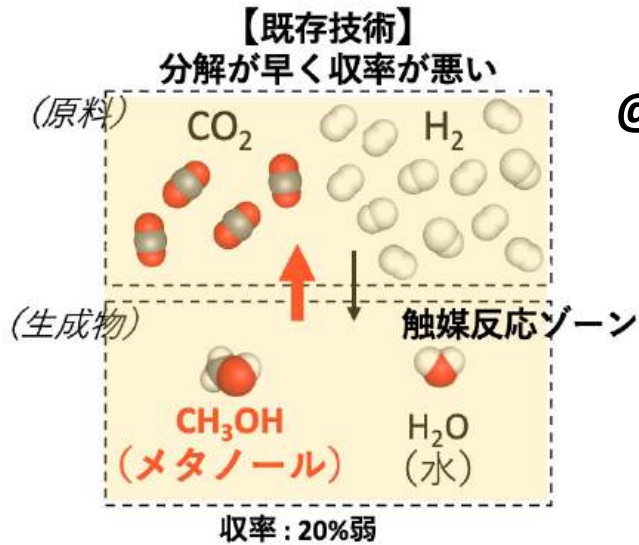
* 輸送・貯蔵に不便

ボトルネック
 工程
 \rightleftharpoons

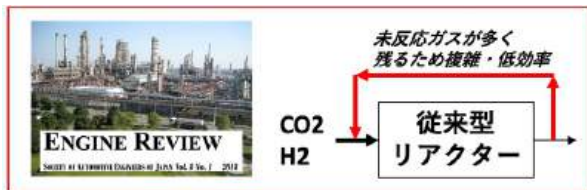
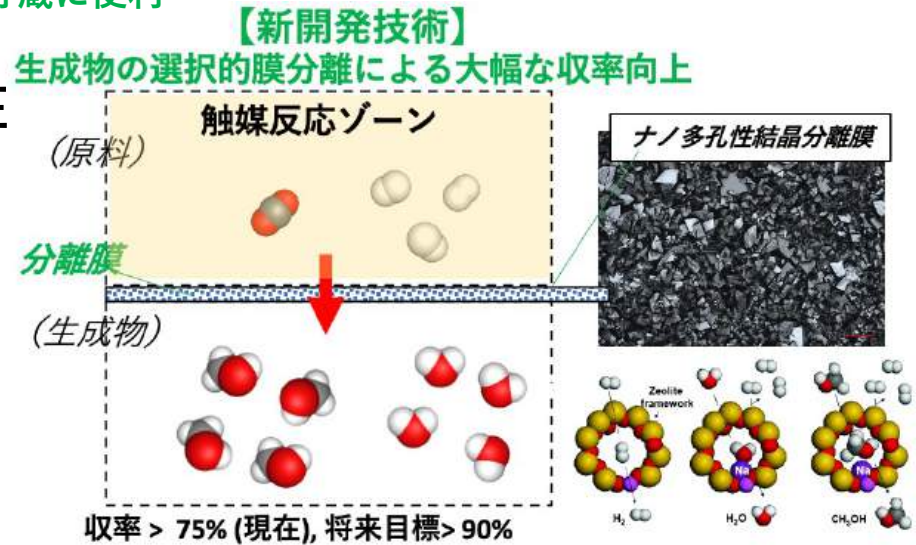


* 常温常圧で液体であるため
 輸送・貯蔵に便利

- ・ 各種化学品
- ・ e-fuel
- ・ 水素キャリア利用



@50気圧



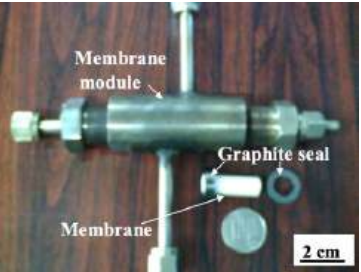
* 現状の超大型化学プロセスではオンサイトでの液体燃料変換は困難な場合がほとんど



* 小型化・高効率化によりオンサイト利用が可能


4. 具体的取組み例 (4) : CNメタノールの高効率合成・利活用②

早稲田大学シーズ技術




分離膜サンプル
長さ3cm、直径1cmの短尺膜

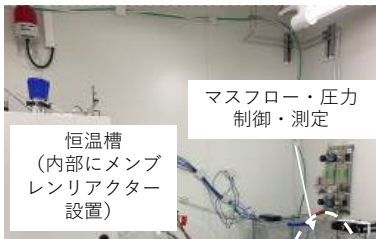
事業化開発



smile by
easy, eco, and efficient
separation **eSep**

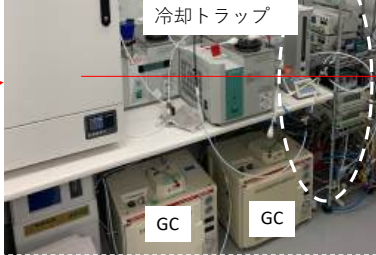


水素供給




恒温槽
(内部にメンブレンリアクター設置)

マスフロー・圧力
制御・測定




冷却トラップ



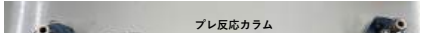
安全センサー
& 高圧試験室

内部




GC GC

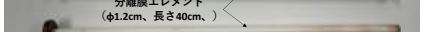
先行小規模試験
* Totalガス供給量 1NL/min



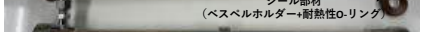
プレ反応カラム




分離膜エレメント
(φ1.2cm、長さ40cm、)



シール部材
(ベスヘルホルダー+耐熱性O-リング)



メンブレンリアクター
ハウジング



プレヒーター

メンブレン
リアクター

プレリアクター

**実験的にMeOH収率20%未満 (膜なし)
→75.6% (膜あり) までの向上を確認@50気圧**

*分離膜サンプル
長さ40cm、直径1.2cmの長尺膜にスケールアップ

↓ 10倍以上にスケールアップ中

CO₂有価物転換用
新規ゼオライト系分離膜製造建屋



CO₂有価物 (メタノール) 転換実証設備

屋根の太陽光パネル



グリーン水素合成



グリーンメタノール合成例



* ボトルネック工程はグリーン水素からのグリーンメタノール合成工程
* 2023年6月から本試験実施～
・ 供給ガス流量：CO₂/H₂=25/75 % (Total 10~20 NL/min)
・ 分離膜 (長さ40cm or 80cmサイズ) 1~10本

4. 具体的取組み例 (5) : CNメタノールの高効率合成・利活用③

従来の高圧 (50気圧) 合成から低圧 (10気圧未満) 合成プロセスにチャレンジ
 * 10気圧未満だと高圧ガス規制対象となり、周辺設備コストは1/3以下
 * 10気圧未満の低圧合成プロセスでは、分離膜の効果絶大!

<メタノール合成反応 (Cu/Zn/Al₂O₃触媒)>
 (反応1) CO+2H₂ = MeOH ΔH₂₉₈°=-90.71 kJ/mol
 (反応2) CO₂+H₂ = CO + H₂O ΔH₂₉₈°=+41.19 kJ/mol
 (反応3) CO₂+3H₂ = MeOH + H₂O ΔH₂₉₈°=-49.51 kJ/mol

補正ガス比 (N₂) 1.00 *境界条件では補正係数は0.1%以上が望ましい

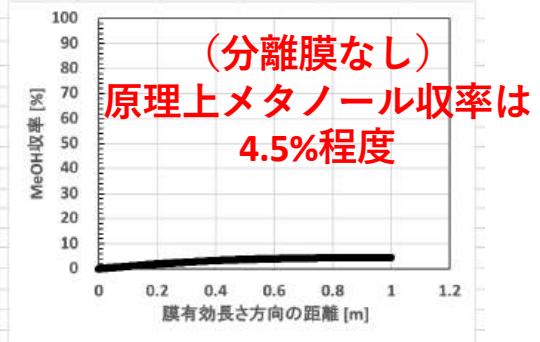
1. プレリアクター

＜入力セル1＞管状触媒充填層型反応器(等温等圧)		＜入力セル2＞反応分離条件		＜入力セル3-1＞ガス供給量								
計算セル設定		圧力 [Bar]	反応分離温度 [°C]	供給ガス流速 [NL/min]								
直列有効反応管長さ[m]	1.0	9.9	230	CO	CO ₂	H ₂	補正ガス (N ₂)	合計				
総触媒量[kg]	50.0	1		0	250	750	10.00	1.010				
触媒反応係数	1.0											
市販触媒換算総触媒量[kg]	50.0											

＜入力セル3-2＞ガス供給量		入口供給ガス組成 [mol %]											
初期値	入口供給ガス流速 [mol/s]	MeOH	H ₂ O	CO	CO ₂	H ₂	補正ガス (N ₂)	MeOH	H ₂ O	CO	CO ₂	H ₂	補正ガス (N ₂)
ガス種													
入口供給量	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.86E-01	5.58E-01	7.44E-03	9.0	9.0	9.0	24.8	74.3	1.0

＜結果表示セル1＞膜反応器性能	
MeOH収率 [%]	
4.5	

＜結果表示セル2＞ガス反応分離組成		出口ガス組成 [mol %]											
初期値	出口ガス流速 [mol/s]	MeOH	H ₂ O	CO	CO ₂	H ₂	補正ガス (N ₂)	MeOH	H ₂ O	CO	CO ₂	H ₂	補正ガス (N ₂)
ガス種													
入口供給量	8.44E-03	1.67E-02	8.26E-03	1.89E-01	5.24E-01	7.44E-03	1.1	2.3	1.1	23.0	71.4	1.0	



2. メンブレンリアクター

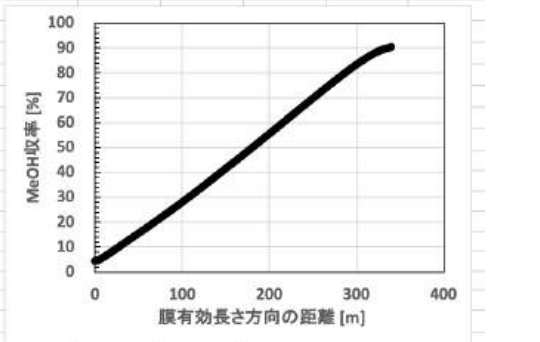
＜入力セル1＞管状触媒充填層型反応器(等温等圧)		＜入力セル2＞反応分離条件	
計算セル設定		膜透過性 [mol m ⁻² s ⁻¹ Pa ⁻¹]	圧力 [Bar]
直列有効膜長さ[m]	340	H ₂	5.00E-09
膜直径[m]	0.012	MeOH	2.00E-06
総触媒量[kg]	300	H ₂ O	2.00E-06
触媒反応係数	3.0	CO	5.00E-09
市販触媒換算総触媒量[kg]	900.0	CO ₂	5.00E-09
膜コスト[万円/m ²]	300	補正係数	2.00E-11
総膜面積[m ²]	12.82	α (H ₂ O/H ₂)	400
膜コスト[万円]	3.845	α (H ₂ O/CO ₂)	400
		α (H ₂ O/CO)	400
		α (H ₂ O/MeOH)	1

＜結果表示セル1＞膜反応器性能		＜結果表示セル2＞ガス反応分離組成	
MeOH収率 [%]	MeOH除去(膜透過)率 [%]	初期値	保持側ガス組成 [mol %]
90.5	99.9	MeOH	MeOH
		H ₂ O	H ₂ O
		CO	CO
		CO ₂	CO ₂
		H ₂	H ₂
		補正ガス (N ₂)	補正ガス (N ₂)

＜結果表示セル2＞ガス反応分離組成		膜透過側ガス組成 (OUT) [mol %]											
初期値	膜透過側ガス流速 [mol/s]	MeOH	H ₂ O	CO	CO ₂	H ₂	補正ガス (N ₂)	MeOH	H ₂ O	CO	CO ₂	H ₂	補正ガス (N ₂)
ガス種													
入口供給量	1.46E-04	8.95E-05	9.56E-04	9.29E-04	4.70E-03	7.43E-03	1.0	0.6	6.7	6.5	33.0	52.1	

＜結果表示セル3＞ガス反応分離組成		膜透過側ガス組成 (OUT) [mol %]											
初期値	膜透過側ガス流速 [mol/s]	MeOH	H ₂ O	CO	CO ₂	H ₂	補正ガス (N ₂)	MeOH	H ₂ O	CO	CO ₂	H ₂	補正ガス (N ₂)
ガス種													
入口供給量(透過側)	1.68E-01	1.74E-01	4.74E-03	1.12E-02	4.30E-02	1.36E-05	41.9	43.4	1.2	2.8	10.7	0.0	

* 分離膜と触媒性能は将来の目標値
 * 実機での設計値



5. 展望 (1) : CO2とグリーン水素からの革新的燃料・化学品合成プロセスの開発

2021-2024 : 小規模PoC → 完了
 2025 : 関西・けいはんな万博での実証
 2026-2028: スケールアップ・技術改良
 2029-: 実用化

Smiles for People, the Earth, and All



Mass Production

Flow-type (automatic operation)

Electric furnaces:
 Upper row: 300-600°C
 Lower row: 100-200°C

Membrane cartridge:
 Max. 60 samples per unit

Product:
 Size, Φ12mm,
 Length 400mm

Demonstration

Renewable energy

Green H2

Conversion to CN methanol



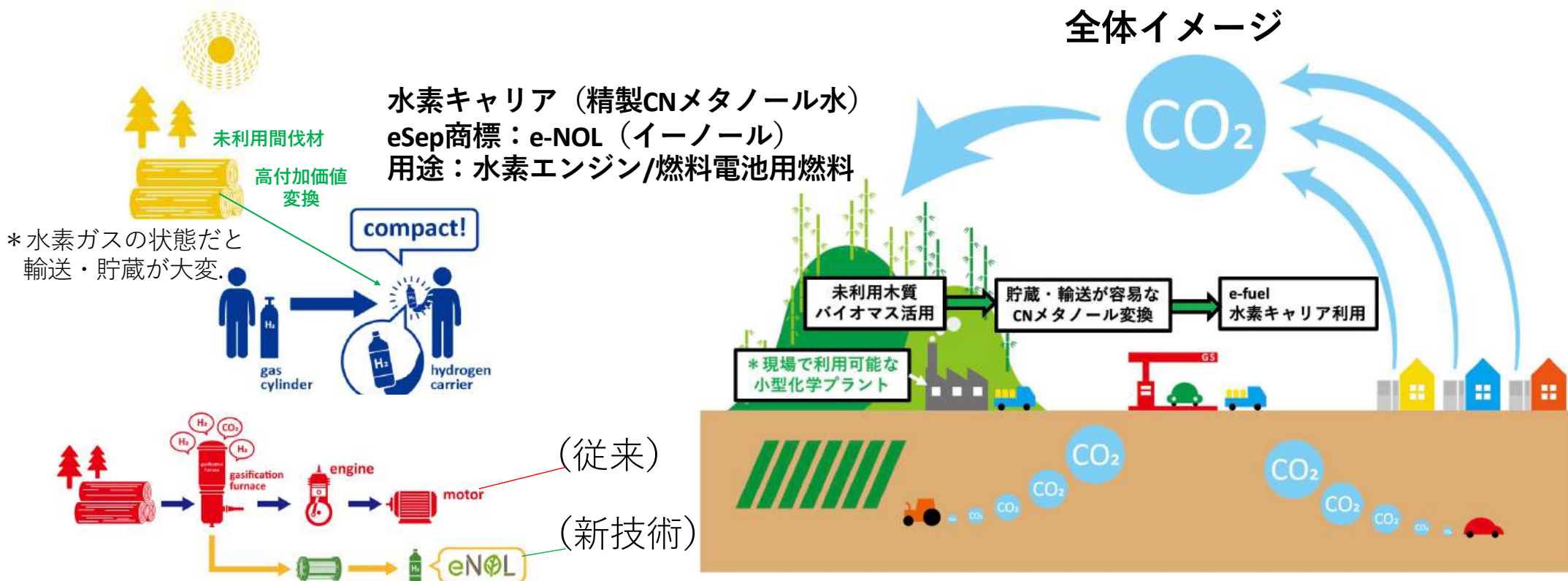
Membrane sample

Φ12mm, length 40 cm → 80cm

Total feed gas: 10-20 NL/min (0.6 to 1.2 m³/h)

Number of membrane: 1 → 10

5. 展望 (2) : カーボンニュートラル全体イメージ



間伐材 (1kg) からの水素キャリア (CNメタノール水) 変換価値比較

項目	原料転換率 [%]	合成メタノール水量[kg]		経済的価値 [円]	原料コストを差し引いた付加価値[円]
		(合成直後メタノール64重量%)	(水分添加後メタノール59重量%)		
・発電 (従来利用: 20円/kwhの場合)	-			20	-5
・発電 (FIT 40円/kwhの場合)	-			40	15
・水素キャリア (従来技術)	20	0.12	0.13	14	-11
・水素キャリア (新技術)	60	0.35	0.38	42	17
・水素キャリア (新技術-改良)	90	0.53	0.57	63	38

- * 原料転換率はここではバイオマスガス化後 (H₂, CO, CO₂混合ガス) からのバイオメタノール (CH₃OH+H₂O) へのH₂転換率で定義.
- * 間伐材からガス化にて生成できるH₂ (水素) 量を7/100として試算.
- * 精製メタノール水 (メタノール59重量%, 水素含有量11重量%) の価格を110円/kg (含有水素1円/g) にて試算.
- * 間伐材原料コスト 25円/kgにて試算した場合.



人も、地球も、みんなニッコリ。