第１回CCS研究開発・実証事業
複数課題プログラム　中間評価検討会
資料５－５

各プロジェクトの概要

D. CO2分離回収技術の研究開発事業
（二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業）

平成30年11月5日

産業技術環境局環境政策課地球環境連携室
次世代型膜モジュール技術研究組合

目　次

1.　事業の概要

概　　要	CCSは地球温暖化対策の重要な選択肢の一つとして国内外に認識されているが、実用化に当たっては実施に要するコストの6割程度を占めるCO2の分離回収に係るコストの低減が課題となっている。本事業では、CO_2の分離回収コストを大幅に低減するため、石炭ガス化複合発電(IGCC)等で発生する高圧のガスに含まれるCO2の回収に有利な技術である、二酸化炭素分離膜モジュールの実用化に向けた研究開発を行う。
実施期間	平成２７年度～平成３１年度 （５年間）
実施形態	平成27年度～平成30年度：　国からの直執行 平成30年度～平成31年度：　NEDO事業
予算執行額	6.2億円 （平成27年度：2.4億円、平成28年度：2.1億円、平成29年度：1.7億円(見込み)）
実 施 者	次世代型膜モジュール技術研究組合
プロジェクトリーダー	次世代型膜モジュール技術研究組合 中尾真一（専務理事）

1．1　事業のイメージ

本事業の開発目標・インパクト

「二酸化炭素分離膜モジュール研究開発事業」で開発した膜素材や実機型モジュール、膜分離システムに係る成果を活用、継承することで、二酸化炭素分離膜モジュールの実用化を行う。

そのため、実ガス試験を実施して、膜モジュール性能、耐久性等に関する技術課題の抽出と解決を行う。併せて、プロセス適合性の付与についても検討を進め、分離・回収コスト1,500円/t-CO_2以下を実現する分離膜技術、実機膜モジュール、膜システムの技術確立を行う。

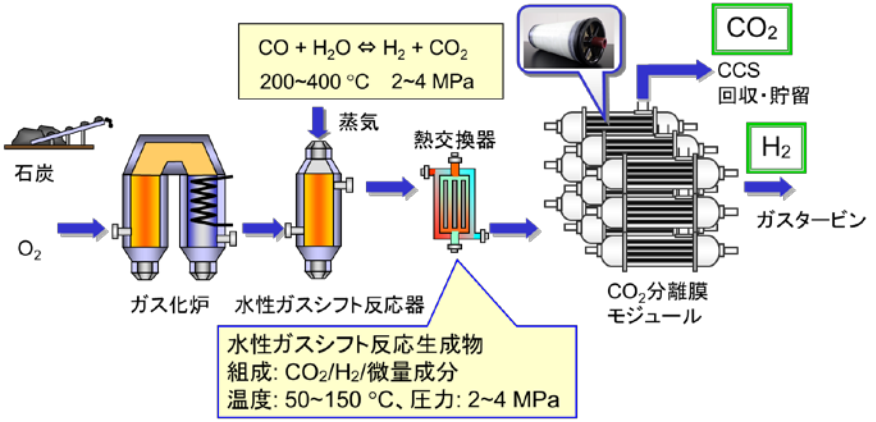
これにより、従来技術の約3分の1以下（1,500円/t-CO_2以下）で、圧力を有するIGCCからCO_2を分離・回収するための実用化技術が完成する。

膜分離方式の利点

我が国は石炭火力発電の効率において、世界トップの実力を有しており、さらに低品位炭の利用が可能なIGCC火力発電の実用化を推進している。膜分離方式は、圧力差を有するガス源からのCO_2分離において、他の分離法（物理吸収法）などに比較して低コストであり、わが国は、その性能において世界トップの技術を開発してきている。

今後も石炭をエネルギー源として活用していく観点でもCO_2回収技術の開発は重要である。このため、我が国が強みをもつCO_2分離回収技術のコストをさらに低減し、我が国の高効率の石炭火力発電と組み合わせて海外に展開する際にも世界トップのポジションを維持し、国際競争力を保持することが可能となる。膜分離技術はその可能性を有する。

石炭ガス化複合発電（IGCC）へのCO_2膜分離法適用の概念図



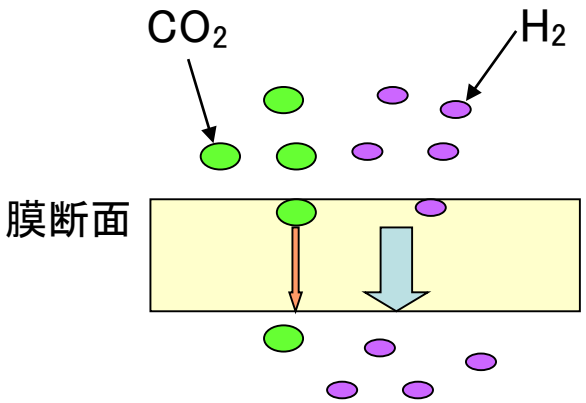
1．2　分離膜（CO2分子ゲート膜）について

➢ CO2分子ゲート機能を有する革新的なCO2分離膜

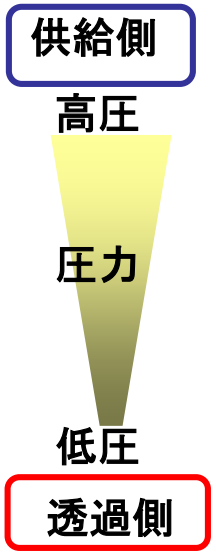
・従来のCO2分離膜は、IGCCガスのように主にH2とCO2を含んだガスにおいて、H2はCO2より分子サイズが小さいことからCO2分離性能が低く（H2に対するCO2選択透過性（分離係数）：α*1＜10）、CO2分離性能を向上させる必要がある。

・CO2分子ゲート膜は、膜中のデンドリマー*2のアミノ基とCO2がカルバメート*3および重炭酸イオンを形成し、カルバメートによる擬似架橋*4によってH2の透過をブロックし、CO2は重炭酸イオンとして透過することで、従来よりCO2分離性能を向上（α＞125）させることが可能となる。

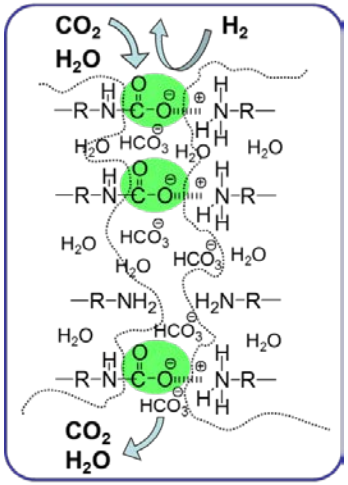
＜従来のCO2分離膜＞



H_2に対するCO_2選択透過性(分離係数：α)
α ＜ 1　（分子ふるい性膜）
～ 10　（溶解選択性膜）



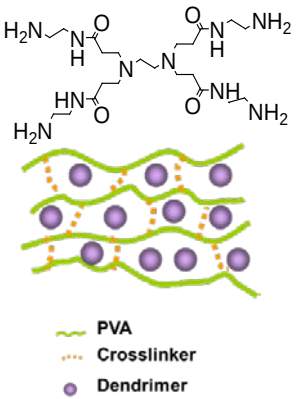
＜CO2分子ゲート膜（本事業）＞



カルバメートによる擬似架橋

$HCO_3^{\ominus}$　重炭酸イオン

デンドリマー



H2に対するCO2選択透過性(分離係数：α)

α ＞ 125

分子サイズ(nm)

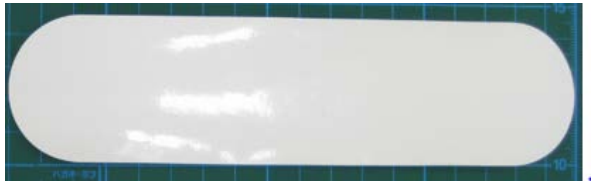
H_2	＜	CO_2	＜	N_2	＜	CH_4
0.29		0.33		0.36		0.38

*1 α：分離性の指標で、CO2のH2に対する透過速度（パーミアンス）の比を示す
*2デンドリマー：中心から放射状に枝分かれした構造をもつ高分子
*3カルバメート：R-NHCO2⁻の構造をもつ化合物
*4擬似架橋：高分子の分子間に、擬似的に橋を架けたような結合をつくること

1．3　分離膜の開発段階のイメージ

①単膜

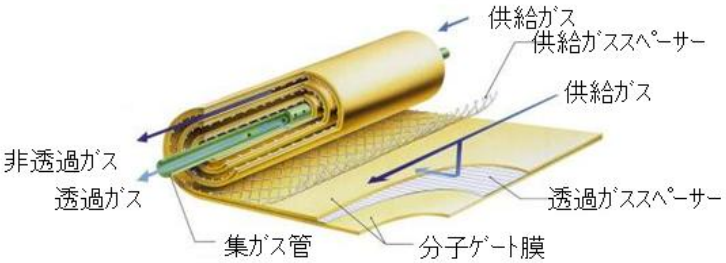
(膜面積：1.2 cm^2)



(膜面積：58 cm^2)

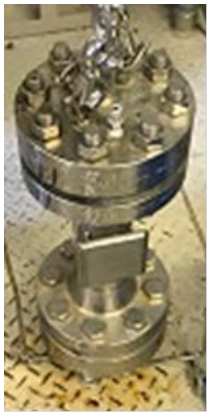
ラボスケールの平膜（膜面積：1.2～58cm^{2}程度）

②膜エレメント



大面積の膜を用いた構造体で、膜とその支持体および流路材などの部材を一体化したもの

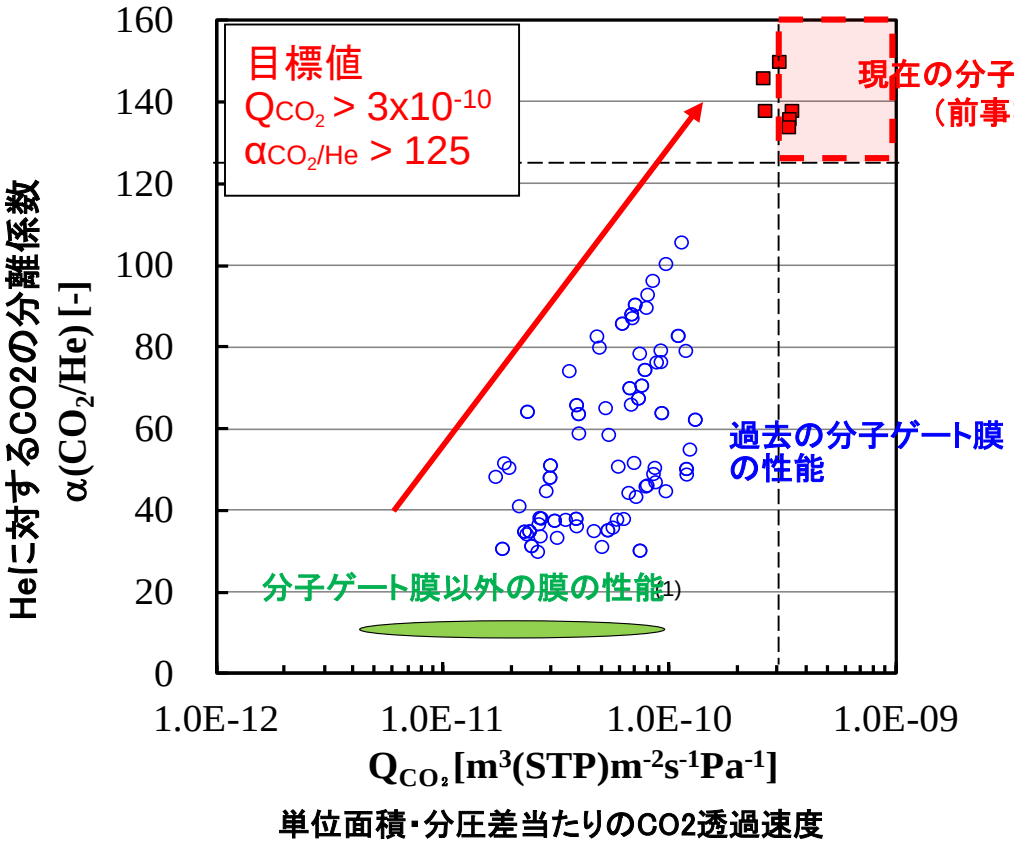
③膜モジュール



膜エレメントとそれを収納する容器（ハウジング）を組み合わせたもの。

1．4　本技術の優位性（1）

- **前事業で開発した分子ゲート膜（単膜）の分離性能（中圧条件（0.7MPaA））**
  ラボスケール試験レベルで目標分離性能を達成
  海外での他のCO_2分離膜の性能と比較しても、最高水準の分離性能を達成



Q_{CO_2}：　膜の単位面積、単位分圧差当りのCO_2の透過速度（読み方はパーミアンス）

α（CO_2/He）：　分離係数（CO_2ガスとHeガスの透過速度（パーミアンス）の比）

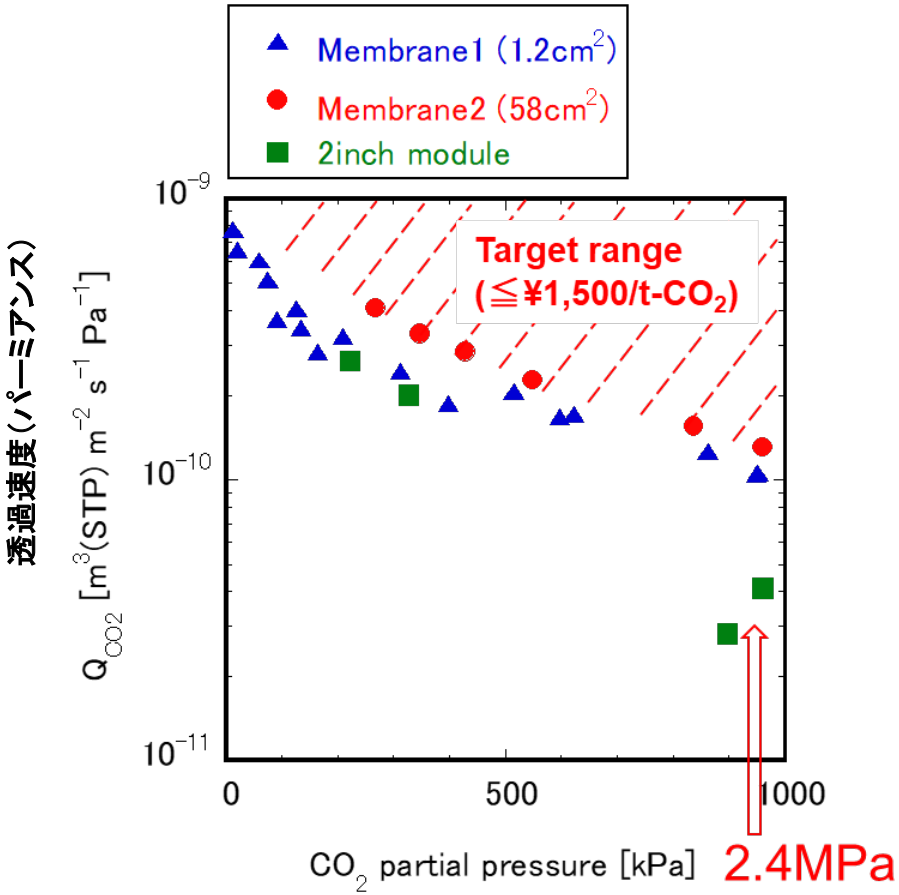
測定条件：
温度：85℃；供給側：全圧0.7MPa,
混合ガス組成CO_2/He=80/20 vol./vol.,
湿度50～80%RH；透過側：大気圧

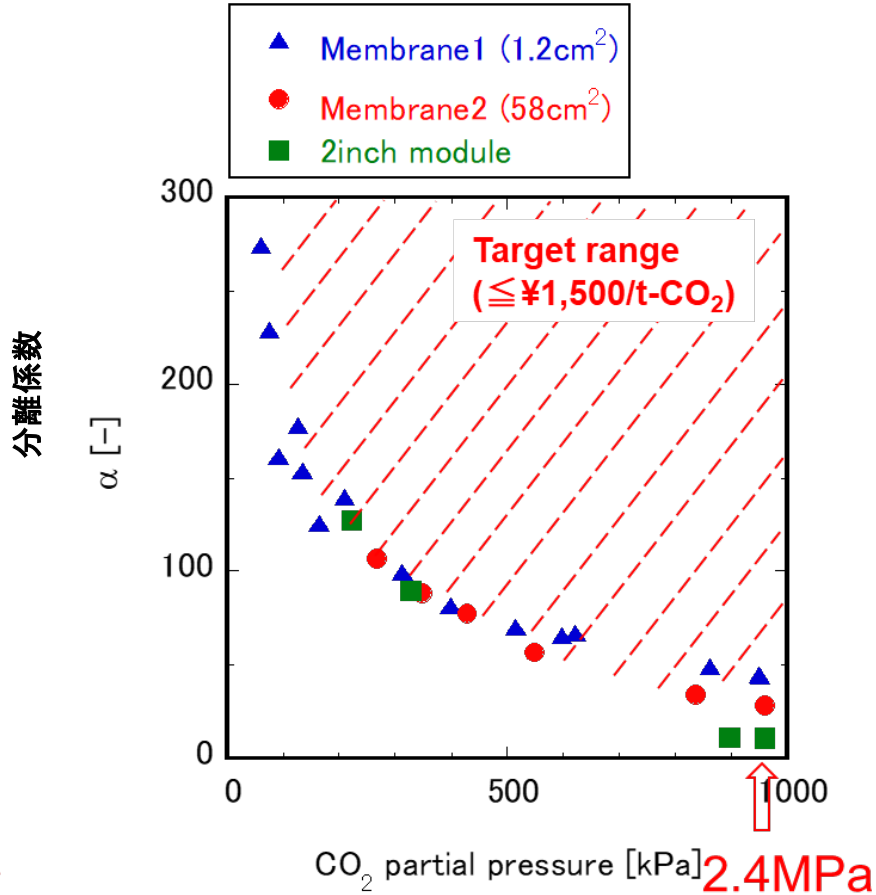
出典：（1）H. Lin, B. Freeman *et al.*, *Science*, 311, 639-642 (2006)

※模擬ガス試験においては、安全上の理由から、H_2の代替ガスとしてHe（ヘリウム）を使用

1．4　本技術の優位性（2）

➢ **前事業で開発した分子ゲート膜（単膜）の分離性能（高圧条件（2.4MPaA））**
ラボスケール試験レベルで目標分離性能を達成





操作条件: 85℃, 供給ガス: 0.7～2.4MPaA; 透過側: 大気圧(Ar sweep gas)

1．5　事業の年次展開予定

年度	H27FY 2015	H28FY 2016	H29FY 2017	H30FY 2018	H31FY 2019
	ラボスケール・模擬ガス試験 →			ラボ／ベンチスケール・実ガス試験 →	
（1）実機膜モジュール[1)]の実用化研究	模擬ｶﾞｽ試験に基づくﾌﾟﾛｾｽ適合性の確認及び、課題抽出と解決	連続製膜とｴﾚﾒﾝﾄ化の課題抽出と解決	中間評価	実ｶﾞｽ試験結果を反映した単膜、膜ｴﾚﾒﾝﾄの最適化	ｼｽﾃﾑ検討のための実ｶﾞｽ試験装置の基礎検討
（2）実ガス試験による実用化研究	実ｶﾞｽ試験ﾌﾟﾛｾｽ・装置の基礎検討 実ｶﾞｽ試験計画	実ｶﾞｽ試験装置の検討・設計・製作・設置		実ｶﾞｽを用いた単膜、膜ｴﾚﾒﾝﾄの検証試験及び、課題抽出と解決	
（3）経済性評価・取りまとめ	模擬ｶﾞｽ試験結果に基づく経済性評価の検討			実ｶﾞｽ試験結果に基づく経済性評価の検討	経済性評価とりまとめ

膜エレメント技術確立　ＯＣＧ実ガス試験ＧＯ／ＳＴＯＰ判断

1）膜モジュール：大面積膜の構造体（膜エレメント）＋容器（ハウジング）

2. 事業アウトカム

事業アウトカム指標 （妥当性・設定理由・根拠等）	目標値（計画）	達成状況 （実績値・達成度）	原因分析 （未達成時）
CO_2分離・回収コスト1,500円/t-CO_2以下を達成する膜モジュール*3を用いたCO_2膜分離システム*4を確立し、実用化すべく、平成31年度までに、実用化段階（百万t-CO_2/年規模を想定）でCO_2分離・回収コスト1,500円/t-CO_2以下を達成し得る膜分離システムを実現する膜エレメント*2を開発する。	（事業開始時）【平成27(2015)年度】 模擬ガス試験において、CO_2分離回収コスト1,500円/t-CO_2以下を達成し得る膜分離システムを実現する単膜*1を開発する。	（達成）CO_2分離・回収コスト1,500円/t-CO_2以下を達成するために設定した分離性能をラボ試験レベルで実現した。	
	（中間評価時）【平成29(2017)年度】 量産化を念頭においた連続製膜を行い、模擬ガス試験において、CO_2分離・回収コスト2,100円/t-CO_2以下を達成し得る膜分離システムを実現する膜エレメント用単膜*6を開発する。	（達成）連続製膜処方*5により作製した単膜を用いて、CO_2分離・回収コスト目標を達成した（1,790円/t-CO_2）。 【現時点（平成30年度）】薄膜化、膜組成最適化等を行い、最終目標性能達成の目処をつけた。	
	（事業終了時）【平成31(2019)年度】 実ガス試験において、CO_2分離・回収コスト1,500円/t-CO_2以下を達成し得る膜分離システムを実現する膜エレメントを開発する。		
	（事業目的達成時）【2030年度頃】 CO_2分離・回収コスト1,500円/t-CO_2以下を達成する膜分離システムを確立し、実用化する。		

*1単膜：ラボスケールの平膜（膜面積：1.2～58cm^2程度）
*2膜エレメント：大面積の膜を用いた構造体で、膜とその支持体および流路材などの部材を一体化したもの
*3膜モジュール：膜エレメントとそれを収納する容器（ハウジング）を組み合わせたもの。
*4膜分離システム：膜モジュールを用いてCO_2分離回収を行うための複数の機器から構成される系統。
*5連続製膜処方：大面積膜の連続製膜（基材を連続的に搬送し、連続的に製膜溶液を塗布して乾燥させる製膜方法で、本プロジェクトでは塗布幅320㎜、塗布長さ約20mを検討。塗布長さは-100m以上も可能）のための製膜溶液調製や製膜等に関する手順。均一で膜欠陥の無い大面積膜を得るためには、連続製膜レシピ処方の確立が重要な技術課題である。本プロジェクト中で検討を進め、処方を決定した。
*6膜エレメント用単膜：連続製膜処方により作製したラボスケールの平膜（膜面積：約6m^2）。

3.　事業アウトプット（1）

事業アウトプット指標 （妥当性・設定理由・根拠等）	目標値（計画）	達成状況 （実績値・達成度）
分離・回収コスト1,500円/t-CO2以下を実現する分離膜、実機膜モジュール、膜分離システムの技術を確立するために、以下の3項目を設定した。 （1）実機膜モジュールの実用化研究：　実用化を想定した連続製膜、膜エレメント化技術を確立し、IGCCプロセス適用条件でのプロセス適合性（耐圧性、耐乾燥性、耐久性、耐不純物性）を付与する。 （2）実ガス試験による実用化研究：　IGCCプロセス用の実ガス試験装置を製作・手配し、実ガス試験により膜エレメントの性能を評価し、技術課題を抽出する。 （3）経済性評価・取りまとめ：模擬ガス、実ガス試験結果を用いた実機での膜分離システムを検討し、経済性評価を行う。	（事業開始時）【平成27(2015) 年度】 模擬ガスを用いて、単膜におけるプロセス適合性（耐圧性、耐乾燥性、耐久性、耐不純物性）を確認	（達成）模擬ガスを用いて単膜におけるプロセス適合性を確認した。
	（中間評価時）【平成29(2017) 年度】 ①-1. 連続製膜とエレメント化技術の課題抽出と課題の解決。 ①-2. 実用化条件で製造した膜と膜エレメントをIGCCプロセス適用条件での耐圧性、耐久性等のプロセス適合性を確認する。 ①-3. 模擬ガス試験において、分離性能低下が2年間で25%以内である膜エレメント用単膜を開発する。 ①-4. 模擬ガス試験においてCO2分離・回収エネルギー0.9GJ/t-CO2以下を達成し得る膜分離システムを実現する膜エレメント用単膜を開発する。 ②IGCCプロセスによる実ガス試験装置の製作、手配。 ③模擬ガス試験結果に基づく経済性評価を行う。	（達成） ①-1. 量産化を念頭において、実用化を想定した連続製膜、膜エレメント化技術の開発を進め、連続製膜の目処をつけた。 【現時点（平成30(2018)年度）】 薄膜の連続製膜に成功した。また、膜エレメントのスケールアップに関する設計指針を得た。 ①-2.単膜の耐圧性、耐久性等のプロセス適合性について確認した。 ①-3. 連続製膜の単膜で分離性能低下が2年間で25%以内を達成し得るデータ（600時間の耐久性試験から推算）を取得した。 ①-4. 連続製膜処方により作製した単膜を用いて、CO2分離・回収エネルギー目標を達成した。（0.53GJ/t-CO2） ②IGCCプロセスの種々の前処理設備を有する米国UK-CAER*における実ガス試験設備を使用するよう調整した。 【現時点（平成30(2018)年度）】 米国UK-CAERにおいて、単膜評価装置の準備を完了し、平成30年度後半に単膜の実ガス試験を実施する予定である。また、平成31年度の膜エレメント評価に向けて、評価装置の準備を進めている。 ③経済性評価を行い、事業アウトカムの目標値を達成することを確認した。

＊UK-CAER：米国ケンタッキー大学応用エネルギー研究センター（University of Kentucky, Center for Applied Energy Research）の略

3. 事業アウトプット（2）

事業アウトプット指標 （妥当性・設定理由・根拠等）	目標値（計画）	達成状況 （実績値・達成度）
分離・回収コスト1,500円/t-CO2以下を実現する分離膜、実機膜モジュール、膜分離システムの技術を確立するために、以下の3項目を設定した。 （1）実機膜モジュールの実用化研究： 実用化を想定した連続製膜、膜エレメント化技術を確立し、IGCCプロセス適用条件でのプロセス適合性（耐圧性、耐乾燥性、耐久性、耐不純物性）を付与する。 （2）実ガス試験による実用化研究： IGCCプロセス用の実ガス試験装置を製作・手配し、実ガス試験により膜エレメントの性能を評価し、技術課題を抽出し、解決する。 （3）経済性評価・取りまとめ： 模擬ガス、実ガス試験結果を用いた実機での膜分離システムを検討し、経済性評価を行う。	（事業終了時）【平成31(2019)年度】 ・実ガス試験結果に基づき、プロセス適合性に関する要因を把握し、その課題について解決する。 ・実ガス試験において、分離性能低下が2年間で25%以内である膜エレメントを開発する。 ・実ガス試験において、CO2分離回収エネルギー0.5GJ/t-CO2以下を達成し得る膜分離システムを実現する膜エレメントを開発する。 ・実ガス試験結果に基づく経済性評価を行う。	

〈共通指標実績〉

論文数	論文の 被引用度数	特許等件数 （出願を含む）	特許権の 実施件数	ライセンス 供与数	国際標準への 寄与	プロトタイプ の作成
2	-	12	0	0	1	0

3．1　実機膜モジュールの実用化研究（1）

連続製膜とエレメント化技術の課題抽出と課題解決

➢ 連続製膜機を用いた製膜検討

・従来の枚葉製膜と比べ、一定長さ以上の大面積塗布が可能で生産性の高い連続製膜での分離膜の製膜技術を開発した。

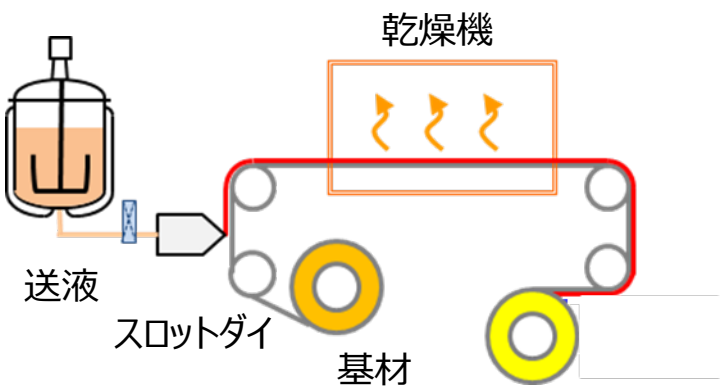
➢ 連続製膜に適した製膜処方の検討

・スロットダイ（塗布装置）での塗布条件、溶液粘度、塗布後の溶液乾燥温度の最適化を図り、連続製膜に最適な製膜処方を検討した。

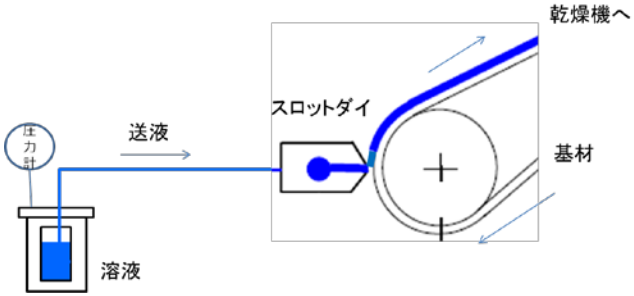
➢ 連続製膜で作製した膜の性能評価

・連続製膜で作製した膜について、単膜（58cm2）と試作した膜エレメント（2インチ径、220mm）で性能評価を実施した。

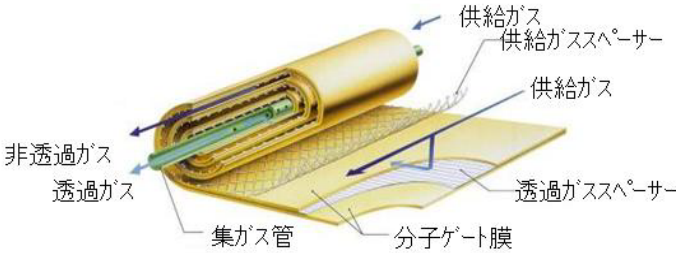
・膜エレメントのCO2の透過性能は、単膜での測定結果と同等の値が得られた。



【連続製膜装置の模式図】



【スロットダイ（塗布装置）の模式図】



【膜エレメント模式図】

●膜エレメントと単膜の評価結果

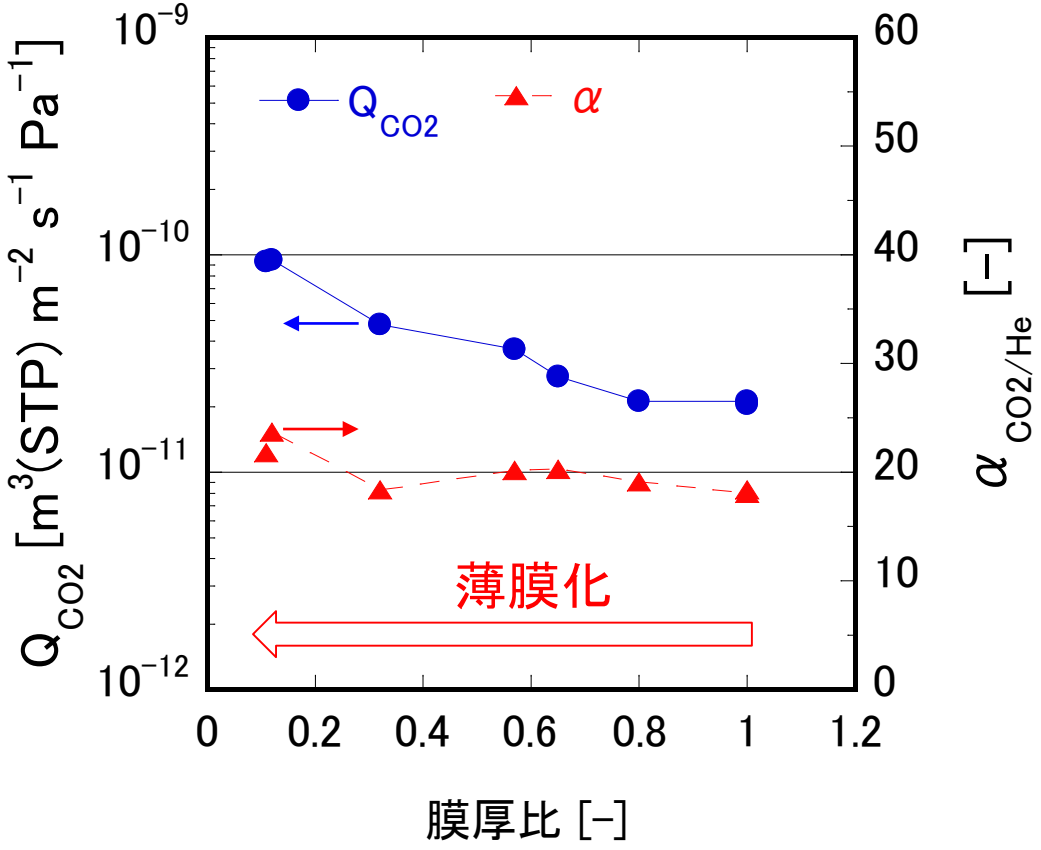
	CO2透過速度	He透過速度	分離係数（CO2/He）
	Q_{CO2}	Q_{he}	α
	[m³(STP)/m²/s/Pa]	[m³(STP)/m²/s/Pa]	
膜エレメント	1.83E-11	1.54E-12	11.9
単膜	1.94E-11	1.18E-12	16.5

測定条件：　温度：85℃；供給側：全圧2.4MPa, 混合ガス組成CO_2/He=40/60 vol./vol., 湿度70%RH；透過側：大気圧

３．１　実機膜モジュールの実用化研究（2）

連続製膜 薄膜化検討

- 薄膜化により、CO2透過目標性能を達成する見込みを得た。
- 薄膜化しても、選択性は維持

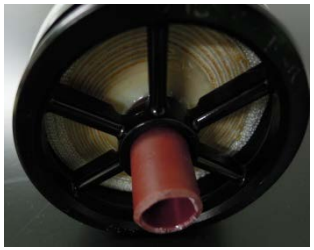
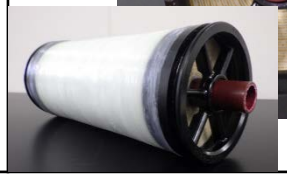


※　評価条件　切り出した平膜(8cm^2）での評価
85℃, CO_2/He=40/60, 供給側: 400m L/min, Sweep無し, 60%RH, 2.4 MPa

３．１　実機膜モジュールの実用化研究（３）

エレメント化スケールアップ検討

4インチエレメントを試作し、リーフ長を長くして良好に試作できることを確認し、
スケールアップ時の設計指針を得た。

エレメント	2インチ	4インチ（A）（改良前）	4インチ（B）（改良後）	実機相当 8インチ
リーフ*1長	200～300mm	200～300mm ※2inchと同じ	700～900mm	700～900mm（透過圧損次第で最適化必要）
試作結果		✕ リーフ長が短く ハンドリング難 	○ ハンドリング良好  	（4インチの知見に基づき検討予定）

*1 リーフ：　膜と透過ガススペーサーから構成され、集ガス管に接着して使用する大面積シート。
リーフ長は集ガス管への巻取り長さに対応する。

３．１　実機膜モジュールの実用化研究（4）

IGCCプロセス条件下でのプロセス適合性の確認

➢ 分離膜システムにおける膜モジュールのプロセス適合性（耐圧性・耐久性、耐不純物性、湿度依存性）について、開発した単膜を用い評価試験を行った。

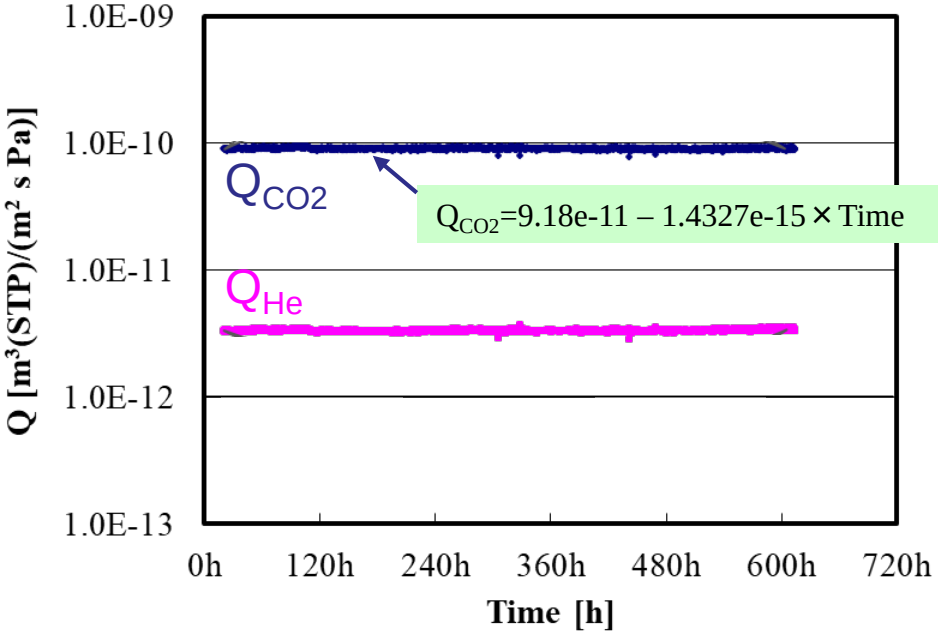
●プロセス適合性に関する評価試験

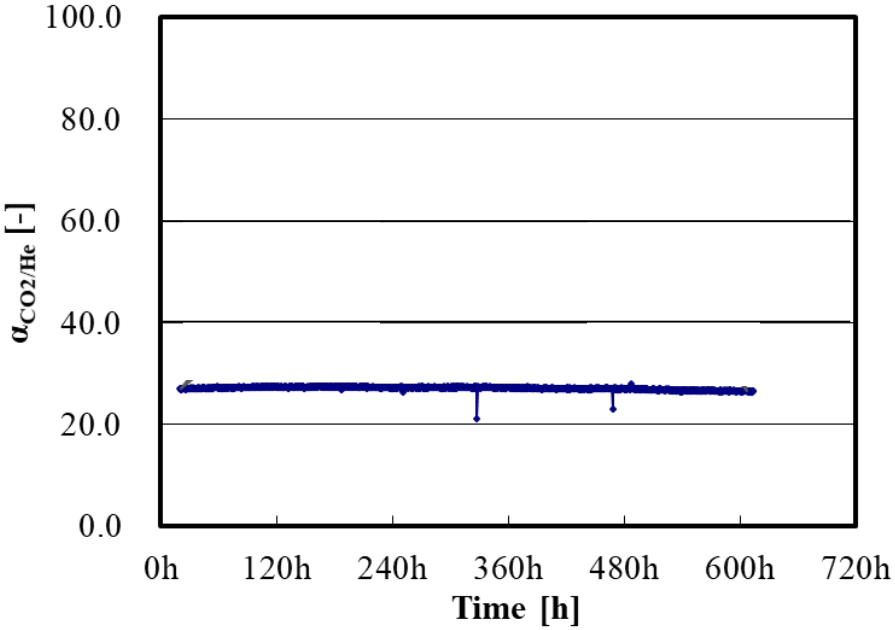
項目	実施内容
耐圧・耐久性	・単膜を用いた模擬ガス試験において、分離膜システムとして想定する85℃、2.4MPaの条件下における分離性能の経時変化を評価し、高圧下における約600時間の耐久性を確認した。 ・分離性能低下が2年間で25%以内が期待できるデータを取得した。 （（QCO2低下率： 25%／2年（16,000h）））
耐不純物性	・IGCCガス化炉からのガスにはCH4、H2S、COSなどの微量不純物が含まれており、このうちH2Sは膜劣化への影響が懸念される。 ・H2Sについて、分離膜システムとして想定する85℃、2.4MPaの条件下で曝露試験を実施。 ・曝露試験前後の分離性能に大きな差異は見られず、H_2Sに対する耐性を確認した。
湿度依存性（耐乾燥性）	・実ガス試験では、湿度変動がより大きくなる事が想定され、広い湿度範囲でCO2分離性能が低下しないこと（耐乾燥性）が望まれる。 ・分離膜システムとして想定する85℃、2.4MPaの条件下で、小型高圧試験装置を用いて、分離性能の湿度依存性を把握した。

３．１　実機膜モジュールの実用化研究（5）

プロセス適合性：耐圧・耐久性（単膜）

IGCC想定全圧（2.4MPa）における単膜の耐圧・耐久性を小型高圧試験装置にて確認





測定条件：
温度：85℃；供給側：全圧2.4MPa, 混合ガス組成CO_2/He=40/60 vol./vol., 湿度60%RH；透過側：大気圧

2.4MPaの高圧条件での模擬ガス試験において、単膜に関して、約600時間の耐久性を確認した。（Q_{CO2}低下率：25%／2年（16,000h））

3．1　実機膜モジュールの実用化研究(6)

プロセス適合性：耐不純物性(H_2S)

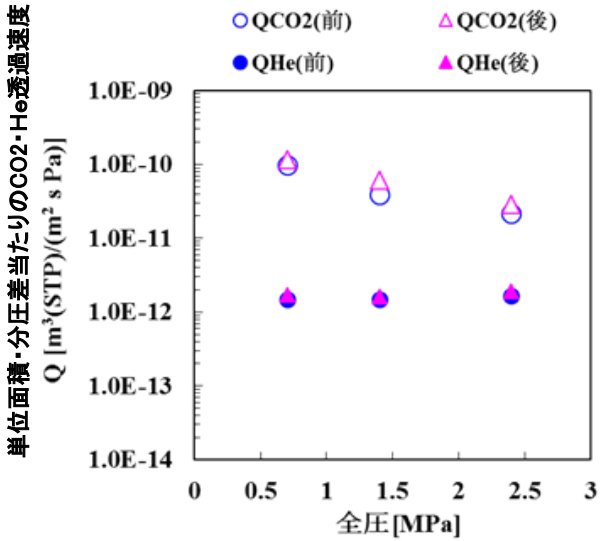
●曝露試験条件

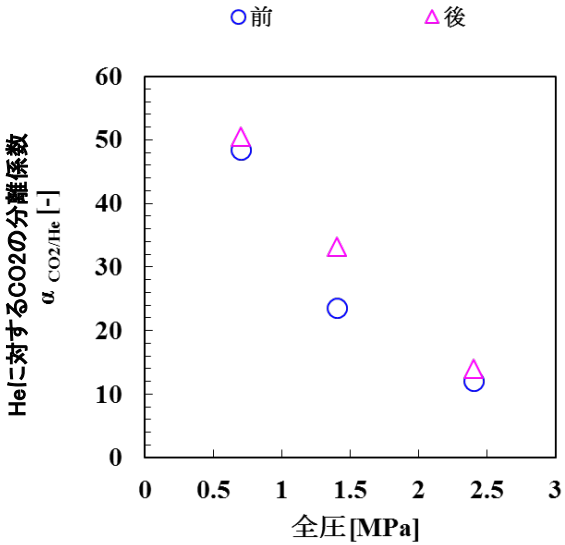
・圧力：2.4MPa以上；温度：85℃±3℃；ガス組成：CO_2(33%)＋H_2S(500ppm)＋N_2バランス(湿度：約80%RH)

・試験期間：7日間

●曝露試験前後の分離性能

("前"：曝露試験前、"後"：曝露試験後)

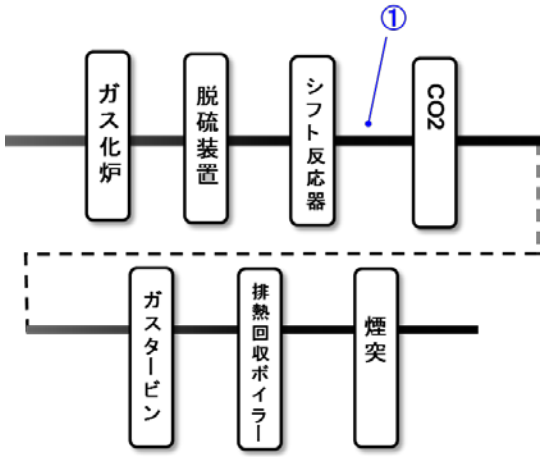




測定条件：
温度：85℃；供給側：全圧2.4MPa，混合ガス組成CO_2/He=40/60 vol./vol.，湿度60%RH；透過側：大気圧

曝露試験前後で分離性能はほぼ同程度
→H_2Sに対する耐性を確認した。

●IGCCプロセス(参考)



・脱硫装置：COS転化器(前段)によりガス中のCOSをH_2Sに変換後、脱硫装置(後段、湿式)により、ガス中のH_2Sは吸収される。
・排熱回収ボイラー：ガスタービンの排ガス中の熱を回収し、その熱で蒸気タービン用の蒸気を作り出す装置。

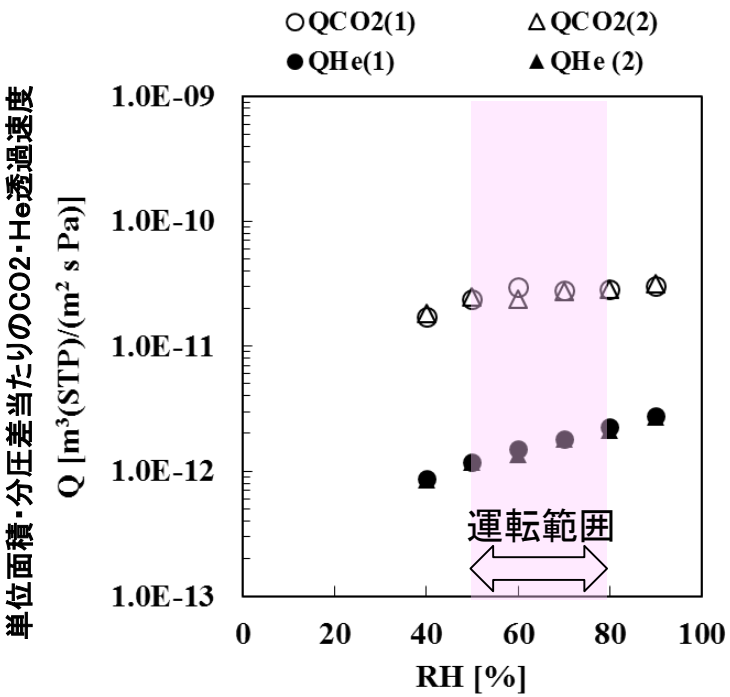
●IGCCにおける不純物(参考)

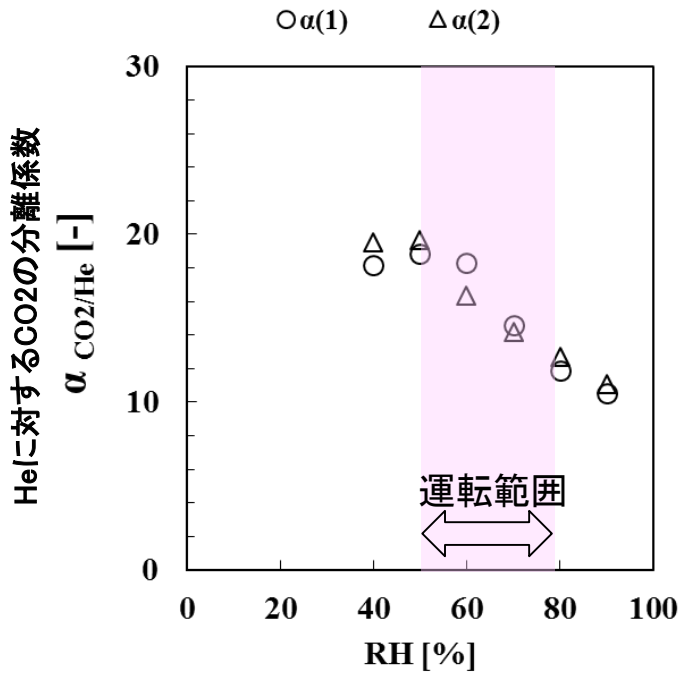
成分	①(ドライベース)	単位
CO_2	36.4	vol.%
CO	2.9	vol.%
H_2	53.3	vol.%
N_2, Ar	7	vol.%
CH_4	0.4	vol.%
H_2S	30	ppm
COS	10	ppm

３．１　実機膜モジュールの実用化研究（7）

プロセス適合性：湿度依存性

分離性能の湿度依存性を小型高圧試験装置で確認



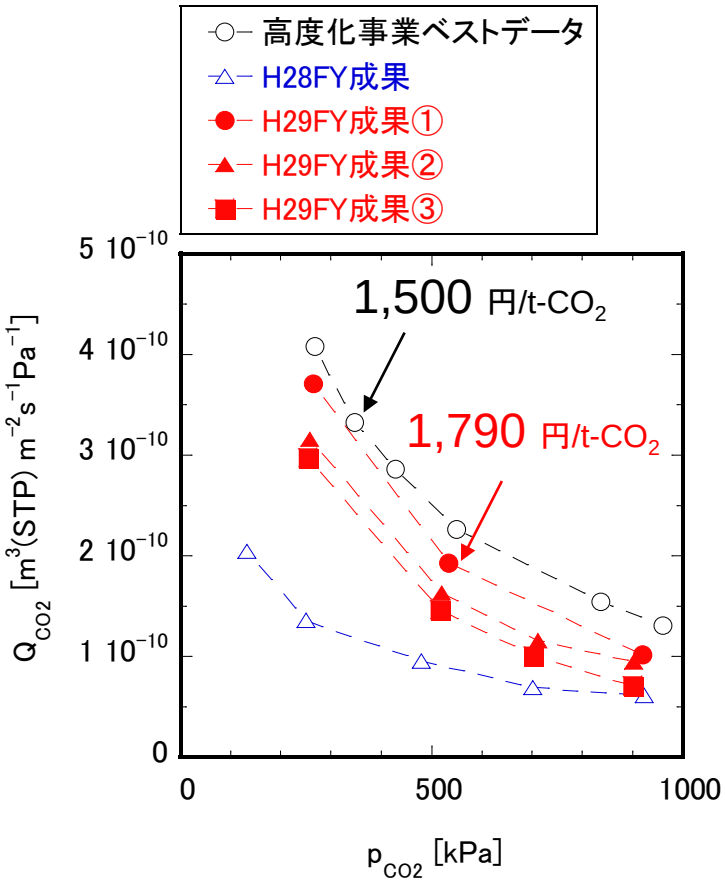


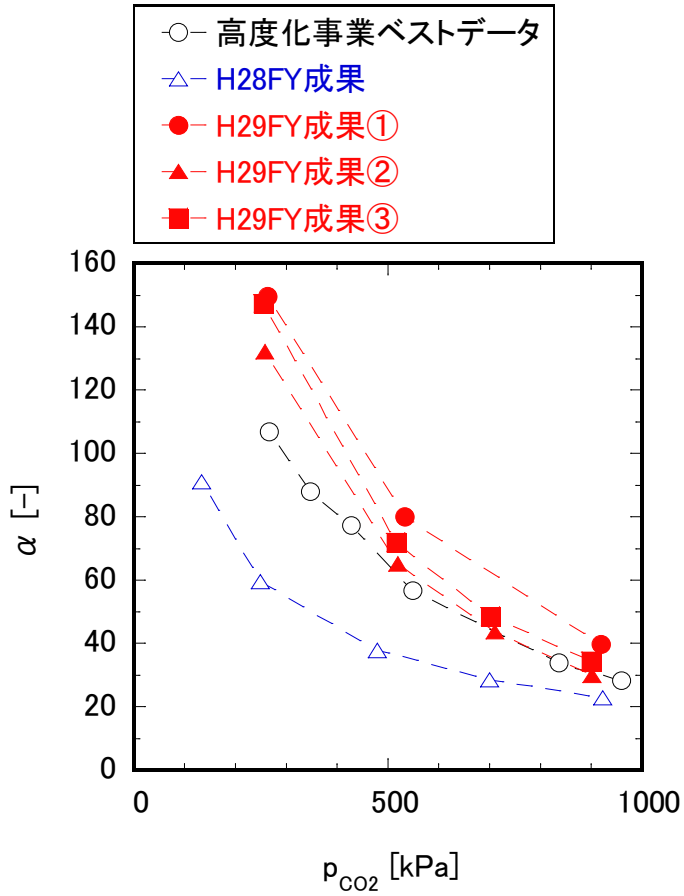
測定条件：
温度：85℃；供給側：全圧2.4MPa, 混合ガス組成CO_2/He=40/60 vol./vol., 湿度40～90%RH；透過側：大気圧

シミュレーションに反映させるために、
分離性能の湿度依存性を把握した。

3．1　実機膜モジュールの実用化研究(8)

分子ゲート膜の分離性能(CO_2分圧依存性)





連続製膜処方で作製した膜においても、薄膜化と膜組成の最適化により、中間評価のコスト目標値(≦2,100円/t-CO_2)を達成し、最終目標(≦1,500円/t-CO_2)達成の目処をつけた。

⇒ 「H29FY成果①」のデータを用いて、必要膜面積、コスト試算を実施(→スライド21)

３．２　実ガス試験による実用化研究（1）

IGCCプロセスによる実ガス試験装置の設計、製作

- 国内IGCCでの長期試験実施(次フェーズ)のために、現事業での実ガス試験が必須。
  ⇒ 実ガス試験プロセス・装置の基本計画を検討する。
- 実ガス試験の実施について、国内では新たな設備が必要となるため、既存設備が活用できる海外での実ガス試験実施について検討する。

水性ガスシフト反応器、各種前処理設備を保有する試験サイトとして、米国National Carbon Capture Center（NCCC）が有望な候補地と判明（H28年度）し、実ガス試験を計画
⇒平成29年9月　**NCCCのPre-combustion設備の稼働停止決定**
⇒試験サイトを**米国ケンタッキー大学応用エネルギー研究センター（UK-CAER）**に変更

上記の経緯のため、平成29年度は単膜評価ユニットの基本設計まで実施し、単膜評価ユニットの製作、設置、試運転については、平成30年度に繰越して実施した。

ケンタッキー大学（UK-CAER）

石炭ガス化炉（酸素吹き）＋シフト反応器＋ガス精製

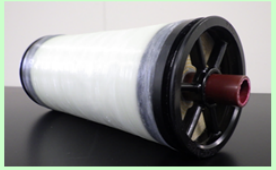
石炭使用量　1Ton/Day
ガス流量　80Nm^3/h

シフト反応 ↓ ガス精製

https://www.netl.doe.gov/File%20Library/Events/2015/gas-ccbtl-proceedings/Gasification-and-CTL-Workshop-Presentation-2015-UKCAER.pdf

MGM技術研究組合

単膜



膜エレメント

供給ガス組成（例）

CO_2	36.4%
CO	2.9%
H_2	53.3%
N_2, Ar	7%
CH_4	0.4%
H_2S	30ppm
COS	10ppm

加湿器 → 単膜 膜エレメント → 非透過ガス

↓ 透過ガス → 各種ガスの定量分析

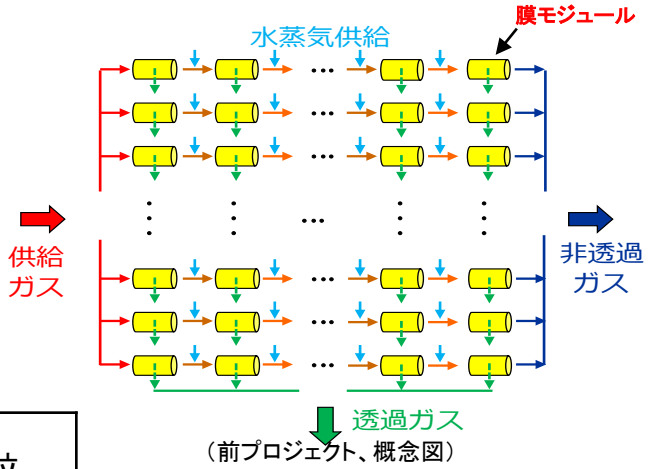
3．3　経済性評価

模擬ガス試験結果に基づく経済性評価

➢　連続製膜処方により作製した単膜を用いて試算
・CO2分離・回収エネルギー：0.53GJ/t-CO2（中間目標：0.9GJ/t-CO2以下を達成）
・CO2分離・回収コスト：1,790円/t-CO2（中間目標：2,100円/t-CO2以下を達成）

●試算条件

実機プラントに膜モジュールを直列多段に構成した場合を想定し、シミュレーションソフトを用い、エネルギーとコストを試算



（前プロジェクト、概念図）

（前提条件）
1）CO_2回収量　1,000,000 t/年（63,000 Nm^3/h）
2）CO_2回収率　90 %
3）ガス組成（シフト反応後）
　CO_2　36.3 vol%（ドライベース）
　H_2　63.7 vol%（ドライベース）
　H_2O　相対湿度（80%RH）によって設定
4）ガス条件
　供給側圧力　2.4MPaA
　透過側圧力　大気圧
5）温度　85℃

●CO_2分離回収エネルギー試算結果

項目	計算値	単位
蒸気使用量	24.1	t/h
蒸気原単位	0.192	t/t-CO_2
電力使用量	77	kW
電力原単位	0.616	kWh/t-CO_2
合計エネルギー原単位	0.53	GJ/t-CO_2

・必要エネルギーの大部分は、膜の性能発揮に必要な水分を確保する水蒸気
・膜分離に必要な圧力は供給ガスの圧力をそのまま使用するのでガスの圧縮などの動力は不要
・表中の電力は、照明、制御等の一般的な雑電力

●CO_2分離コストの試算結果

項目	計算値	単位
CO_2回収量	123.8	t/h
膜面積	210,000	m^2
蒸気使用量	24.1	t/h
設備費	670	円/t-CO_2
膜費用（膜エレメント及び容器費用）	560	円/t-CO_2
変動費	560	円/t-CO_2
処理費合計	1,790	円/t-CO_2

４．当省(国)が実施することの必要性

- CCSは、生産性向上、省エネルギーなどに寄与せず、利益の向上に資さない地球温暖化問題への対応に特化した技術で、外部不経済（ある経済主体の行動が、その費用の支払いや補償を行うことなく、他の経済主体に対して不利益や損失を及ぼすこと。例えば、公害。）であるため、研究開発に経済性が無く、市場原理だけでは、その導入を図ることは困難である。

- 国が主導して、CCSの技術実証やコストの低減、安全性の担保や貯留適地の確保、社会的受容性の確保等を実施し、その上で制度的枠組みを構築するなど、CCS導入に向けた環境整備を行って行く必要がある。

5.　事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

事業アウトカム達成に向けたスケジュール

FY2011　2015　2018　2019　2025　2030

- 基盤技術研究フェーズ
- 実用化研究フェーズ
- 実証フェーズ
- 商用化フェーズ

研究・開発体制

次世代型膜モジュール技術研究組合

＋　IGCC関係企業との連携
（電力会社、エンジニアリング会社等）

1）二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業（H27FY～）
（計画・課題）

- 実ガス等の実用化試験による技術課題の抽出、解決
- 実用化段階の分離・回収コスト1,500円/t-CO_2以下の達成
- 実機膜モジュールシステムの開発

2）実証フェーズ・商用化フェーズにおける課題

- IGCC実ガス、実機での長期試験、大規模な実証試験による実績の蓄積
- 膜、モジュールの商業生産プロセスの検討、膜大面積化、量産体制の構築
- CO_2分離膜プロセス採用に向けた活動

5．1　事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

知財管理の取り扱い

特許権等の帰属特許法を踏まえ、原則として発明者（研究者）主義としつつ、発明者の所属企業・機関の「職務発明規定」に準拠して機関帰属とする。※

共同発明に係る権利持分比率を決める場合は、原則として、発明に対する貢献度（寄与率）で特定する。※

シナジー効果を確保する観点から、当該プロジェクトにおいて発生した知財については、原則としてプロジェクト内は非独占実施とする。※

※ただし、製品化、実用化に向けて(a)特許の一括管理（共有化）、(b)クロスライセンス、(c)独占的実施等による方が有効と考えられる場合等、慎重に検討を行ったうえで、決定、採用する。

実証や国際標準化

実証に関しては、本事業終了後、石炭火力発電所等における大規模実証を経て、CCSの制度的仕組みの導入により、本格導入が進むものと想定される。

国際標準化に関しては、ISO/TC265において、CCSに関する標準化が進められている。特に、回収に関するWGについては、我が国が、WGコンビーナ（主査）と事務局を務めており、回収技術の国際標準を主導している。本事業を実施することにより得られたデータや記録等の成果については、技術パッケージ及びマニュアルとして整理する。それらをもとに、国際標準化の際にはISO/TC265国際規格のシード文書としての活用や、これらを活かした国際規格の積極的な提案が図れるようにするとともに、日本の企業の産業競争力強化に資するよう努める。

性能や安全基準の策定

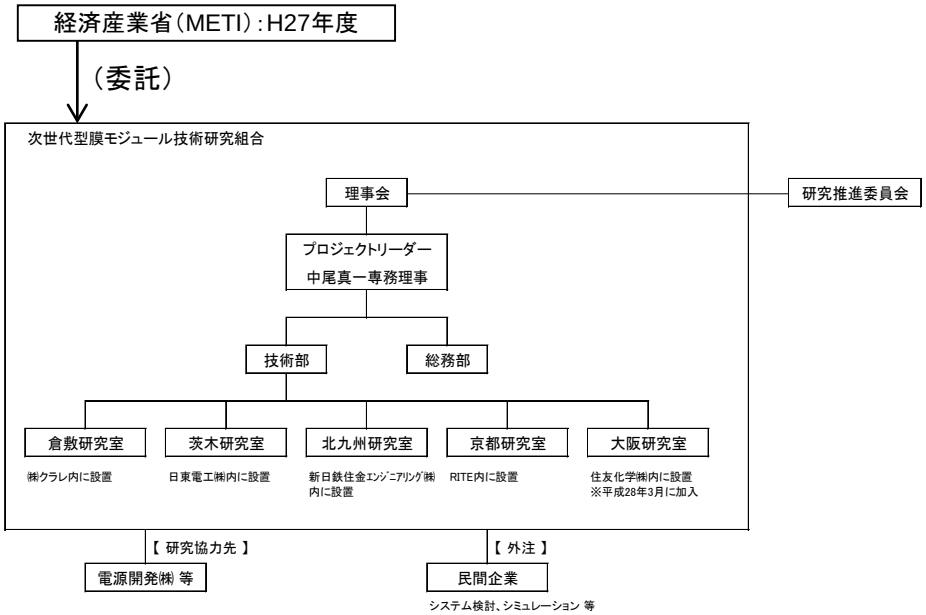
本事業を実施することにより得られたデータや操業記録等をもとに、技術の性能指標や操業における安全基準を抽出・整理する。これにより、関連業界における安全性基準の策定が進むことを見込んでいる。さらに、これらを国際規格にも反映するよう努める。

成果のユーザー

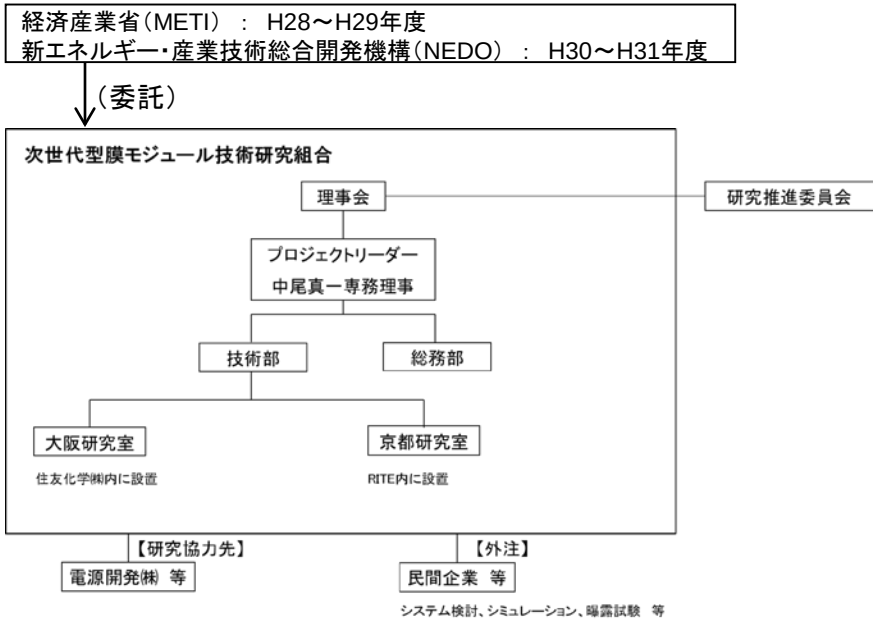
実用化研究終了後の主な導入先はIGCC発電所が想定されるが、IGFC（石炭ガス化燃料電池複合発電）等の新規技術の開発にも利用できる。したがって、ユーザーとしては、電力事業者、設備製作に関してはエンジニアリングメーカー等があげられる。

６．研究開発の実施・マネジメント体制等

○平成27年度実施体制図



○平成28年度以降の実施体制図



（1）実施体制の変更

・平成23年2月に、CO2分離膜の基盤技術を有し膜素材を担当するRITEと㈱クラレ、分離膜モジュールを担当する日東電工㈱、エンジニアリングを担当する新日鉄住金エンジニアリング㈱からなる次世代型膜モジュール技術研究組合を設立し、素材から膜モジュール、システムまでの一貫した研究体制を構築、平成２７年度より本事業を実施。
・平成28年3月に、膜エレメント製作技術等のCO2分離膜モジュールの基盤技術を有する住友化学㈱が参加し、より実ガス試験の実施に向けた体制へ変更、㈱クラレ、日東電工㈱、新日鉄住金エンジニアリング㈱は、基礎開発段階の当初の役割を果たし、その成果を次世代型膜モジュール技術研究組合へ技術移転した上で、同技術研究組合を脱退。
・平成28年度以降は、RITE、住友化学（株）の２社にて本事業を実施している。

（2）実施体制について

・平成27～29年度は経済産業省からの委託事業として実施
・平成30 ～31年度はNEDOからの委託事業として実施
・プロジェクトリーダーを選任して、プロジェクト全体のとりまとめを行い、方針の提言、研究開発の進捗管理を行う。
・学識経験者等から構成される有識者委員会を設置し、研究実施内容について評価・助言を行う。
・CO_2回収設備のユーザーとなる電力会社からの協力を得ながら研究を進める。
・プロセス適用性の付与、実機膜モジュール、膜システム開発及び実ガス試験については、技術的知見を有する研究開発機関、民間企業が研究開発を実施する。
・以上の実施体制を戦略的に構築することにより、有効かつ効率的な研究開発を実施することとしている。

7. 費用対効果

（1）膜分離方式のコスト目標

		膜モジュール による分離方式	従来型 アミン吸収液方式 （技術戦略マップ参照*）
回収コスト	円/t-CO2	1,500	4,200

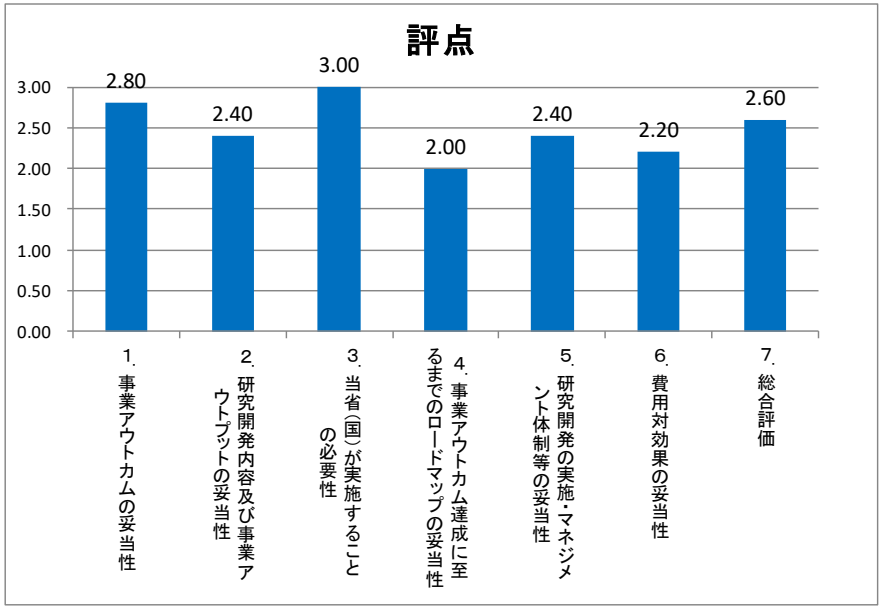
（2）費用対効果

- 本事業のアウトカムにより、分離回収コストが現状よりも2,700円/t−CO2低減出来る場合を仮定すると（現状で約 4,200 円/t−CO2 の分離・回収技術が1,500円/t−CO2 になれば）、たとえば、50万kWのIGCCから回収の場合（CO2を年間260万t回収と想定）、IGCC１基当たり69億円/年のコスト削減となる。

8. 中間評価の結果（平成29年度実施）

中間評価結果報告書

- 評点法による評価



【評価項目の判定基準】
評価項目1.～6.
3点：極めて妥当
2点：妥当
1点：概ね妥当
0点：妥当でない

7. 総合評価
（中間評価の場合）
3点：事業は優れており、より積極的に推進すべきである。
2点：事業は良好であり、継続すべきである。
1点：事業は継続して良いが、大幅に見直す必要がある。
0点：事業を中止することが望ましい。

- 総合評価コメント

外部不経済のCCS事業においては、事業の道筋がつくまでは国が支援すべきと考える。模擬ガス試験と膜の連続製造の開発は、着実に進んでおり、早期に実ガス試験に移り、実用化へのめどを付けることが期待される。国際的優位性や、市場の占有率などは事業実施時期に強く依存するため、早期の実用化を望むとともに、本技術の成果を最大限に生かすためにも、導入シナリオや制度的な仕組みの導入を早期に検討する必要性を感じる。外部有識者の意見を取り入れるなど柔軟に研究をマネジメントしている点は評価できる。

他方、再エネの導入状況も視野に入れる必要も有り、実用化に向けたスピードも最重要指標のひとつと考える。技術課題の早期解決に向けてオープンイノベーション的な手法を活用するなどし、早期の実用化を期待したい。また、わかりやすい説明を様々な形で示すなど、広く国民に理解されるような取り組みも必要である。

8．1　中間評価の結果（平成29年度実施）

中間評価報告書

今後の研究開発の方向等に関する提言	提言に対する対処方針
● 実ガス試験の段階に入ると、想定しない様々な問題が発生し、進捗の遅れや費用の拡大につながりかねないリスクもある。早期実用化に向けて、実ガス試験サイトの研究機関と十分に事前検討を行うと共に、国内外の技術や知見を有する企業に協力を依頼するなど、適宜発生する問題に柔軟に対応しプロジェクトを進めていただきたい。	● 実ガス試験段階における様々な問題に対しては、実ガス試験サイトの研究機関と十分に事前検討を行うと共に、必要に応じて国内外の技術や知見を有する電力会社、エンジニアリング会社等の企業に協力を依頼するなど、柔軟に対応しプロジェクトを進めていく。
● 量産化に向けては、膜の性能のバラツキの許容目標を設定し、その範囲に収まるよう技術を確立していただきたい。	● 量産化に向け、膜の性能のバラツキの許容目標を設定し、その範囲に収まるように、連続製膜工程の温度や速度等のプロセス条件、塗工液粘度等の物性の許容範囲を明確化して、技術を確立する。
● CCSを進めるには、分離回収技術だけで無く貯留技術実証も早急に安全に進める必要があり、広く国民の理解を深め、貯留場所の確保を促進すべきと考える。	● CCS技術の実用化に向け、本プロジェクトの他、大規模CCS実証事業、貯留適地調査事業、安全にCCSを実施するための研究開発事業を着実に進めていく。

８．２　中間評価の結果（平成29年度実施）

評価WGの所見及び所見を踏まえた改善点等

評価WGの所見

＜研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性＞

- オープンイノベーション的な手法を活用するべく、具体的な計画を作成し検討すること。
- Ａ（先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発）事業におけるスケールアップの課題、Ｂ（二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業）における量産化の課題、等を解決して、ＣＯ２分離回収コストの低減という一番大きな課題克服を期待したい。中間評価以降、さらにそれらの課題解決に向けて戦略的かつ効率的に事業を進行させること。

＜研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性＞

- このプロジェクトだけで関連する事業全体が終わるわけではなくて、今後は実証、さらに商用に向けて国の戦略が必要となるので、事業後半において十分留意すること。

評価WGの所見を踏まえた改善点（対処方針）等

＜研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性＞

- ご指摘を踏まえ、実用化に向けた技術課題の早期解決に向け、オープンイノベーション的な手法の活用等について検討してまいります。
- 中間評価以降も、課題解決に向けて本事業を戦略的かつ効率的に進行すべく、事業計画を精査し事業を進めてまいります。

＜研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性＞

- ご指摘を踏まえて、事業の後半においては、ＣＣＳの実証試験事業の結果や制度的仕組みの検討状況等にも十分留意し事業を推進していきます。