

二酸化炭素固体吸収材等研究開発事業 中間評価報告書

平成25年3月
産業構造審議会産業技術分科会
評 価 小 委 員 会

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成20年10月31日、内閣総理大臣決定）等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」（平成21年3月31日改正）を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

経済産業省において実施している二酸化炭素固体吸収材等研究開発事業は、地球温暖化対策の重要な選択肢の一つとして期待されている二酸化炭素回収・貯留（CCS）の実用化を図るために、CO₂の分離回収エネルギーコストを大幅に削減する二酸化炭素固体吸収材の開発を平成22年度より実施しているものである。

今回の評価は、この二酸化炭素固体吸収材等研究開発事業の中間評価であり、実際の評価に際しては、省外の有識者からなる平成24年度CO₂固定化・有効利用分野評価検討会（座長：持田 勲 九州大学 炭素資源国際教育研究センター 特命教授）を開催した。

今般、当該検討会における検討結果が評価報告書の原案として産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会（小委員長：平澤 冷 東京大学名誉教授）に付議され、内容を審議し、了承された。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

平成25年3月

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会

委員名簿

委員長	平澤 冷	東京大学名誉教授
	池村 淑道	長浜バイオ大学 バイオサイエンス研究科研究科長・学部学部長 コンピュータバイオサイエンス学科教授
	大島 まり	東京大学大学院情報学環教授 東京大学生産技術研究所教授
	太田 健一郎	横浜国立大学 特任教授
	菊池 純一	青山学院大学法学部長・大学院法学研究科長
	小林 直人	早稲田大学研究戦略センター教授
	鈴木 潤	政策研究大学院大学教授
	中小路 久美代	株式会社S R A先端技術研究所所長
	森 俊介	東京理科大学理工学研究科長 東京理科大学理工学部経営工学科教授
	吉本 陽子	三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 経済・社会政策部主席研究員

(委員敬称略、五十音順)

事務局：経済産業省産業技術環境局技術評価室

平成24年度CO2固定化・有効利用分野評価検討会
委員名簿

座長	持田 勲	九州大学 炭素資源国際教育研究センター 特命教授
	伊藤 高敏	東北大学 流体科学研究所 教授
	金子 憲治	株式会社日経BP クリーンテック研究所 上席研究員
	釜谷 広志	電気事業連合会 立地環境部長
	川上 浩良	首都大学東京 都市環境学部 教授
	芝尾 芳昭	イノベーションマネジメント株式会社 代表取締役
	徳永 朋祥	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授
	松方 正彦	早稲田大学 理工学術院 教授

(敬称略、五十音順)

事務局：経済産業省産業技術環境局地球環境連携・技術室
資源エネルギー庁資源・燃料部石炭課

二酸化炭素固体吸収材等研究開発事業の評価に係る省内関係者

【中間評価時】

(平成24年度)

産業技術環境局 環境政策課 地球環境連携・技術室長 八山 幸司 (事業担当室長)

産業技術環境局 産業技術政策課 技術評価室長 岡本 繁樹

二酸化炭素固体吸収材等研究開発事業中間評価

審議経過

○第1回中間評価検討会（平成24年11月13日）

- ・評価の方法等について
- ・プロジェクトの概要について
- ・評価の進め方について

○第2回中間評価検討会（平成25年1月16日）

- ・評価報告書(案)について

○産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会（平成25年3月15日）

- ・評価報告書(案)について

目 次

はじめに

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会 委員名簿

平成24年度CO₂固定化・有効利用分野評価検討会 委員名簿

二酸化炭素固体吸収材等研究開発事業の評価に係る省内関係者

二酸化炭素固体吸収材等研究開発事業中間評価 審議経過

	ページ
中間評価報告書概要	i
第1章 評価の実施方法	1
1. 評価目的	2
2. 評価者	2
3. 評価対象	3
4. 評価方法	3
5. プロジェクト評価における標準的な評価項目・評価基準	3
第2章 プロジェクトの概要	6
1. 事業の目的・政策的位置付け	7
2. 研究開発目標	14
3. 成果、目標の達成度	20
4. 事業化、波及効果について	58
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等	60
第3章 評価	69
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	70
2. 研究開発等の目標の妥当性	73
3. 成果、目標の達成度の妥当性	75
4. 事業化、波及効果についての妥当性	77
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	79
6. 総合評価	81
7. 今後の研究開発の方向等に関する提言	84
(参考) 今後の研究開発の方向等に関する提言及び対処方針	86
第4章 評点法による評点結果	88
第5章 評価小委員会のコメント及びコメントに対する対処方針	91
参考資料	
参考資料1 経済産業省技術評価指針	
参考資料2 経済産業省技術評価指針に基づく標準的評価項目・評価基準	

中間評価報告書概要

中間評価報告書概要

プロジェクト名	二酸化炭素固体吸収材等研究開発事業																							
上位施策名	資源エネルギー・環境政策																							
事業担当課	産業技術環境局 環境政策課 地球環境連携・技術室																							
<p><u>プロジェクトの目的・概要</u></p> <p>大規模発生源から分離回収した二酸化炭素（以下「CO₂」という。）を地下深部の塩水性帯水層に貯留する技術開発が地球温暖化対策の重要な選択肢の一つとして期待され、先進国を中心に盛んに行われている。</p> <p>気候変動に関する政府間パネル（IPCC）が2005年にまとめた「二酸化炭素回収・貯留（CCS）に関する特別報告書」では、世界全体におけるCO₂地中貯留のポテンシャルが約2兆トンと大きく、世界全体排出量の70年分にも相当すると見込まれている。また、国際エネルギー機関（IEA）の「エネルギー技術展望2012」では、CCSは、今後も長期的に極めて重要な役割を果たすとし、産業部門において大幅なCO₂排出量削減目標の達成を可能にする有望な技術であるとしている。</p> <p>このような背景のもと、我が国においても、地球温暖化対策としてCCSの実用化に向けた対応を速やかに進めることが求められており、CCSの実用化に資するため、コストを低減する技術、特に全コストの6割以上を占めるCO₂の分離・回収技術の高度化・低コスト化が不可欠であり、技術開発の加速化が必要とされているところである。</p> <p>本事業ではCO₂の分離回収エネルギーコストを大幅に削減するため、日米両国の研究機関が協力して、お互いが有する技術を活用した二酸化炭素固体吸収材等に関する基礎研究を行う。</p> <p>固体吸収材は化学吸収法と異なり、蒸気放散によるエネルギー損失を無視できるためCO₂分離回収エネルギーの低減の可能性がある。また、固体吸収材はアミンを吸収剤として固体の基材（担体）に担持させたもので、化学吸収液の開発で蓄積した知見を活用することで固体吸収材の高性能化が期待できる。</p>																								
<p>予算額等（委託） （単位：千円）</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">開始年度</th> <th style="width: 20%;">終了年度</th> <th style="width: 20%;">中間評価時期</th> <th style="width: 20%;">事後評価時期</th> <th style="width: 20%;">事業実施主体</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>平成22年度</td> <td>平成26年度</td> <td>平成24年度</td> <td>平成27年度</td> <td>公益財団法人地球環境産業技術研究機構</td> </tr> <tr> <td>H22FY 予算額</td> <td>H23FY 予算額</td> <td></td> <td>総予算額</td> <td>総執行額</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">180,000</td> <td style="text-align: center;">129,495</td> <td></td> <td style="text-align: center;">309,495</td> <td style="text-align: center;">271,762</td> </tr> </tbody> </table>					開始年度	終了年度	中間評価時期	事後評価時期	事業実施主体	平成22年度	平成26年度	平成24年度	平成27年度	公益財団法人地球環境産業技術研究機構	H22FY 予算額	H23FY 予算額		総予算額	総執行額	180,000	129,495		309,495	271,762
開始年度	終了年度	中間評価時期	事後評価時期	事業実施主体																				
平成22年度	平成26年度	平成24年度	平成27年度	公益財団法人地球環境産業技術研究機構																				
H22FY 予算額	H23FY 予算額		総予算額	総執行額																				
180,000	129,495		309,495	271,762																				

目標・指標及び成果・達成度

(1) 全体目標に対する成果・達成度

個別要素技術	目標・指標		成果	達成度
	最終時点	中間時点		
(1) 新規固体吸収材の開発				
① 新規固体吸収材の材料開発	CO ₂ 吸脱着量差 > 5.0 mol/kg の固体吸収材を開発する。	CO ₂ 吸脱着量差 > 2.9 mol/kg の固体吸収材を開発する。	CO ₂ 吸脱着量差 > 4.7 mol/kg の固体吸収材を開発した。	達成
② 新規固体吸収材のプロセス検討	分離回収エネルギー < 1.5 GJ/t _{-CO2} 達成の目途をつける。	分離回収エネルギー < 2.5 GJ/t _{-CO2} 達成の目途をつける。	シミュレーションにより分離回収エネルギー < 2.1 GJ/t _{-CO2} の見通しを得た。	達成
(2) 化学吸収液の評価を行う標準的手法の開発				
③ CO ₂ 分離回収プロセスのプロセスシミュレータ構築	アミン吸収剤の物性・CO ₂ 吸収特性に関して感度解析を実施し、先進的なアミンを評価する。	RITE 吸収剤を対象にプラント試験を実施し、CO ₂ 分離回収技術のプロセスシミュレータを構築する。	RITE 吸収剤を対象に、10 t _{-CO2} /d 規模のプラント試験データを収集するとともに、CO ₂ 分離回収プロセスのプロセスシミュレータを構築した。	達成
④ アミン吸収剤特性の発電システムへの影響検討	アミン吸収剤特性が発電システムに与える影響を感度解析し、化学吸収液評価結果を取り纏め、実用化促進を図る。	アミン吸収剤を発電システムレベルで評価するためのプロセスシミュレータを構築する。	アミン吸収剤特性の影響を評価するためのツールとなる CO ₂ 回収型発電システムのプロセスシミュレータを構築した。	達成

(2) 目標及び計画の変更の有無

なし

<共通指標>

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	取得ライセンス料	国際標準への寄与
1	0	1	0	0	0	0

評価概要

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

CCS は地球全体の CO₂ 排出量の大幅削減を可能とする革新的技術と位置付けられているが、今後の CCS の実用化に向けては多くの課題も存在する。特に、CO₂ の分離・回収にかかるコストが全体の約 6 割を占めており、CO₂ 分離・回収におけるコスト削減は CCS 技術普及のための重要なテーマとなっていることから、本事業の目的・政策的位置付けは妥当である。

また、CCSの実用化に当たっては、技術開発による安全性向上やコストダウンのほか、制度的、社会的課題を解決する必要がある。実用化時点でのビジネスモデルも明確になっていない現時点では、民間企業には技術開発のインセンティブが働きにくく、国の関与の必要性は極めて高い。

一方、固体吸収材料の性能が優れていることは示されているが、CO₂分離・回収技術として他の方法も存在する中、どのような技術ポートフォリオを描き、どのような優先順位で研究開発投資を行うのかの道筋を示していく必要がある。科学的・技術的意義だけでなく、システムを含めたコスト面（特にアミン吸収液に比べ）においても本事業に優位性があることを示すことが必要である。

2. 研究開発等の目標の妥当性

最終目標として、現行の化学吸収方式で最も高い性能を大幅に超える数値目標が設定されていることは評価できる。

一方、もともと米国先行の技術であったことから、中間評価の目標として、現行の先行技術レベルの最高値と同等の目標値を設定しているが、先進的、革新的、先導的と主張できるようより挑戦的な目標の設定を期待したい。

実用化するうえで低コスト化が重要な課題であることから、コストを意識した目標を設定することが必要である。また、目標値とコストの整合性を図り、オーバースペックになることを回避して貰いたい。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

固体吸収材としては世界最高レベルの吸脱着量を実現し、優れた成果を上げたことは評価できる。特に耐水性に優れている点は今後の実用化を考えると大きな特徴となる。学術賞という目に見える成果も良い。また、発電所への適用を想定したプロセスシミュレータを構築したことは、事業化を定量的なデータをもとに考える上で、たいへん有効になると評価できる。

一方、回収エネルギーがシミュレーション値であることを考えると、実験による確認が必要である。また、エネルギー効率面でVSAが良いのか、TSAが良いのかなどのシステムの最適化を検討する必要がある。

特許の問題があると思うが、技術内容が開示されていない部分があるため、新規性などを正しく判断することが難しい。

費用に比して論文や特許の数が少なく、今後、積極的に論文や特許を出すことで知財の賢明な確保を準備して貰いたい。

また、この成果によってCO₂の分離・回収にかかるコストがどの程度低減できるかを示す必要がある。

4. 事業化、波及効果についての妥当性

民間企業との協力を念頭に開発スケジュールを立てていることは評価できる。民間企業との協力を推進することで、早期の実用化を目指して欲しい。また、本研究開発で得られた化学吸収法の評価手法を公開することは、民間企業等の活用によって技術革新が進むことが期待される。

材料の高い性能を考えると、今後他分野での実用化が期待される。また、材料の設計法も学術的には価値ある成果であり、材料合成の分野への波及効果が期待できる。

一方、実用化を目指すならば、プロセスの概念設計とコスト評価まではプロジェクトに取り込む必要

がある。

また、実用化には大規模実証試験を通じて技術的な課題を抽出することも必要であることから、今後、実用化に先だて、大規模実証試験での実証が望まれる。

なお、商用技術、製品は国内外に販売できる認識も堅持して、成果に基づいた波及効果を明らかにするとともに、事業化の見通しを具体的に示して欲しいという意見があった。

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性

CO₂削減は国際社会全体の問題となっており、世界各国が協力して取り組むべき課題となっている中で、米国 NETL との共同開発体制を構築し研究開発を加速させていくやり方は、開発プロセスの短縮にも繋がり評価できる。また、研究開発に当たっては、権利が侵害されない配慮もされており、今後もさらに徹底して貰いたい。

資金も研究の進捗状況に応じて適切に配分されている。また、シンポジウムを主催し、情報発信に努めている。

一方、費用対効果については、現状の分離回収コストから比較することも良いが、CCS 以外の削減手段（太陽光、風力などの再生可能エネルギーで抑制した場合）との比較もあれば、CCS の有益性をより分かり易く示せるのではないかと考える。

また、知的所有権等の様々な課題は存在するとは思われるが、今後の事業化を考えると、知財の活用を念頭に他の研究機関や企業等との交流を積極的に推進することが望まれる。

6. 総合評価

CO₂削減効果の高い CCS を実用化するためには、今後、更なる低コスト化・高度化が必要であり、特に全コストの6割以上を占める CO₂の分離・回収の技術は重要である。固体吸収材料の科学的・技術的な新規性、独創性は高く評価できる。目標を上回る世界最高レベルの吸脱着量を実現する優れた成果を上げており、今後、計画通り進めば事業化に期待が持てる。

一方、実用化に当たっては、低コスト化が課題であり、今後は、プロセスとコストを意識した研究開発とする必要がある。また、目標値とコストの整合性を図り、オーバースペックになることを回避して貰いたい。

評価が適切にできるよう、目玉となる技術内容の開示を工夫して貰いたい。

回収エネルギーがシミュレーション値であることを考えると、実験による確認が必要である。

実用化には大規模実証試験を通じて技術的な課題を抽出することも必要であることから、今後、実用化にあたっては、大規模実証試験での実証が望まれる。

また、知的所有権等の様々な課題は存在するとは思われるが、今後の事業化を考えると、知財を念頭に他の研究機関や企業等との交流を積極的に推進することが望まれる。

7. 今後の研究開発の方向等に関する提言

- ・ 今後は、プロセスとコストを意識した研究開発を進めることが必要である。
- ・ アメリカの特許が如何に包括的なのが懸念されるので、アミンおよび担体からなる固体吸収材を生かした物質ならびに応用について、早期に価値のある知財を確立することが望まれる。

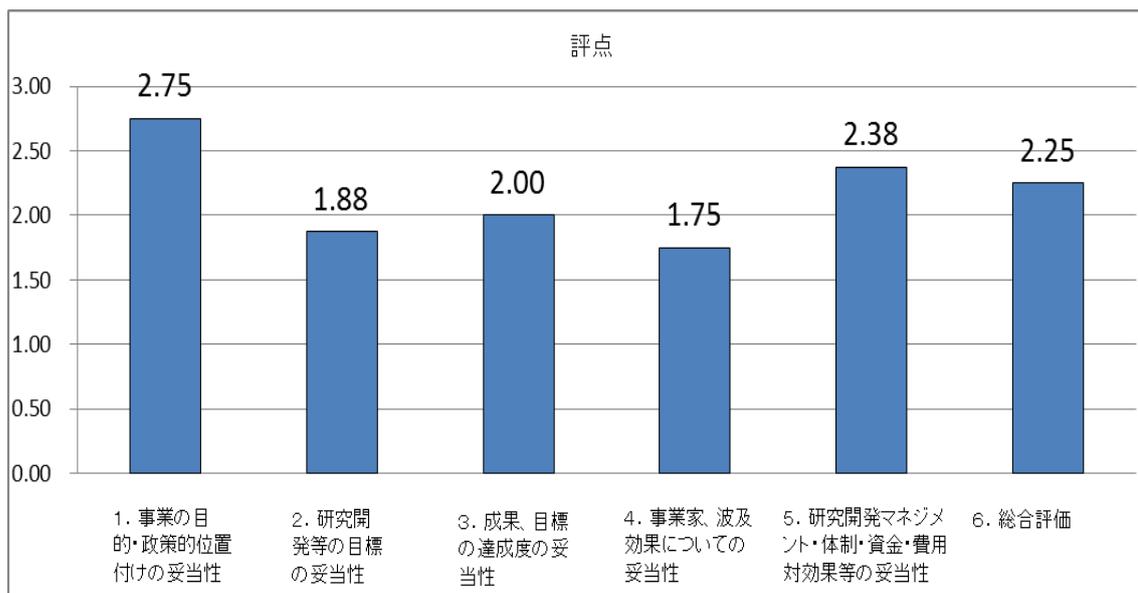
- ・中間評価の現時点ですでに良好な研究成果がでてきているので、さらに現在の目標値を大きく上回る高い値を目指し研究開発を加速して貰いたい。また、国際研究開発の良い事例となるよう、国際的な交流等を積極的に推進することが望まれる。
- ・実用化は国内に限定するのではなく、EORなどで期待の大きい海外にも展開していくことが、地球全体のCO₂を削減するうえで重要である。今後、実用化にあたっては、海外プロジェクトへ参加し、収入を期待したい。
- ・CCS以外の分野への応用も検討して貰いたい。

評点結果

評点法による評点結果

(二酸化炭素固体吸収材等研究開発事業)

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員	F 委員	G 委員	H 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.75	3	2	3	3	3	3	2	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	1.88	2	2	3	2	1	2	1	2
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.00	2	2	2	2	1	2	2	3
4. 事業化、波及効果についての妥当性	1.75	2	1	3	2	0	3	1	2
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	2.38	3	2	3	2	1	3	2	3
6. 総合評価	2.25	2	2	3	2	2	3	1	3



第 1 章 評価の実施方法

第1章 評価の実施方法

本プロジェクト評価は、「経済産業省技術評価指針」(平成21年3月31日改定、以下「評価指針」という。)に基づき、以下のとおり行われた。

1. 評価目的

評価指針においては、評価の基本的考え方として、評価実施する目的として

- (1) より良い政策・施策への反映
- (2) より効率的・効果的な研究開発の実施
- (3) 国民への技術に関する施策・事業等の開示
- (4) 資源の重点的・効率的配分への反映

を定めるとともに、評価の実施にあたっては、

- (1) 透明性の確保
- (2) 中立性の確保
- (3) 継続性の確保
- (4) 実効性の確保

を基本理念としている。

プロジェクト評価とは、評価指針における評価類型の一つとして位置付けられ、プロジェクトそのものについて、同評価指針に基づき、事業の目的・政策的位置付けの妥当性、研究開発等の目標の妥当性、成果、目標の達成度の妥当性、事業化、波及効果についての妥当性、研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性の評価項目について、評価を実施するものである。

その評価結果は、本プロジェクトの実施、運営等の改善や技術開発の効果、効率性の改善、更には予算等の資源配分に反映させることになるものである。

2. 評価者

評価を実施するにあたり、評価指針に定められた「評価を行う場合には、被評価者に直接利害を有しない中立的な者である外部評価者の導入等により、中立性の確保に努めること」との規定に基づき、外部の有識者・専門家で構成する検討会を設置し、評価を行うこととした。

これに基づき、評価検討会を設置し、プロジェクトの目的や研究内容に即

した専門家や経済・社会ニーズについて指摘できる有識者等から評価検討会委員名簿にある8名が選任された。

なお、本評価検討会の事務局については、指針に基づき経済産業省産業技術環境局環境政策課地球環境連携・技術室及び資源エネルギー庁資源・燃料部石炭課が担当した。

3. 評価対象

二酸化炭素固体吸収材等研究開発事業（実施期間：平成22年度から平成24年度中頃）を評価対象として、研究開発実施者（公益財団法人地球環境産業技術研究機構）から提出されたプロジェクトの内容・成果等に関する資料及び説明に基づき評価した。

4. 評価方法

第1回評価検討会においては、研究開発実施者からの資料提供、説明及び質疑応答、並びに委員による意見交換が行われた。

第2回評価検討会においては、それらを踏まえて「プロジェクト評価における標準的評価項目・評価基準」、今後の研究開発の方向等に関する提言等について評価を実施し、併せて4段階評点法による評価を行い、評価報告書(案)を審議、確定した。

また、評価の透明性の確保の観点から、知的財産保護、個人情報で支障が生じると認められる場合等を除き、評価検討会を公開として実施した。

5. プロジェクト評価における標準的な評価項目・評価基準

評価検討会においては、経済産業省産業技術環境局技術評価室において平成21年6月1日に策定した「経済産業省技術評価指針に基づく標準的評価項目・評価基準について」のプロジェクト評価（中間・事後評価）に沿った評価項目・評価基準とした。

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

(1) 事業目的は妥当で、政策的位置付けは明確か。

- ・事業の政策的意義（上位の施策との関連付け等）
- ・事業の科学的・技術的意義（新規性・先進性・独創性・革新性・先導性等）

- ・社会的・経済的意義（実用性等）
- (2) 国の事業として妥当であるか、国の関与が必要とされる事業か。
- ・国民や社会のニーズに合っているか。
 - ・官民の役割分担は適切か。

2. 研究開発等の目標の妥当性

- (1) 研究開発等の目標は適切かつ妥当か。
- ・目的達成のために具体的かつ明確な研究開発等の目標及び目標水準を設定しているか。特に、中間評価の場合、中間評価時点で、達成すべき水準（基準値）が設定されているか。
 - ・目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

- (1) 成果は妥当か。
- ・得られた成果は何か。
 - ・設定された目標以外に得られた成果はあるか。
 - ・共通指標である、論文の発表、特許の出願、国際標準の形成、プロトタイプの作製等があったか。
- (2) 目標の達成度は妥当か。
- ・設定された目標の達成度（指標により測定し、中間及び事後評価時点の達成すべき水準（基準値）との比較）はどうか。

4. 事業化、波及効果についての妥当性

- (1) 事業化については妥当か。
- ・事業化の見通し（事業化に向けてのシナリオ、事業化に関する問題点及び解決方策の明確化等）は立っているか。
- (2) 波及効果は妥当か。
- ・成果に基づいた波及効果を生じたか、期待できるか。
 - ・当初想定していなかった波及効果を生じたか、期待できるか。

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性

- (1) 研究開発計画は適切かつ妥当か。
- ・事業の目標を達成するために本計画は適切であったか（想定された課題への対応の妥当性）。

- ・採択スケジュール等は妥当であったか。
 - ・選別過程は適切であったか。
 - ・採択された実施者は妥当であったか。
- (2) 研究開発実施者の実施体制・運営は適切かつ妥当か。
- ・適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか、いたか。
 - ・全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか、いたか。
 - ・目標達成及び効率的実施のために必要な、実施者間の連携／競争が十分に行われる体制となっているか、いたか。
 - ・成果の利用主体に対して、成果を普及し関与を求める取組を積極的に実施しているか、いたか。
- (3) 資金配分は妥当か。
- ・資金の過不足はなかったか。
 - ・資金の内部配分は妥当か。
- (4) 費用対効果等は妥当か。
- ・投入された資源量に見合った効果が生じたか、期待できるか。
 - ・必要な効果がより少ない資源量で得られるものが他にないか。
- (5) 変化への対応は妥当か。
- ・社会経済情勢等周辺の状況変化に柔軟に対応しているか（新たな課題への対応の妥当性）。
 - ・代替手段との比較を適切に行ったか。

6. 総合評価

第2章 プロジェクトの概要

第2章 プロジェクトの概要

1. 事業の目的・政策的位置付け

1-1 事業の目的

化石燃料は今後とも我が国の主要なエネルギーソースであり、持続的な経済成長と地球温暖化防止の観点から、化石燃料の利用に伴う温室効果ガス排出の削減技術の研究開発が求められている。大規模発生源から分離回収した二酸化炭素（以下「CO₂」という。）を地下深部の塩水性帯水層（以下「帯水層」という。）に貯留する技術開発が地球温暖化対策の重要な選択肢の一つとして期待され、先進国を中心に盛んに行われている。

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）が2005年にまとめた「二酸化炭素回収・貯留（CCS）に関する特別報告書」では、世界全体におけるCO₂地中貯留のポテンシャルが約2兆トンと大きく、世界全体排出量の70年分にも相当すると見込まれている。

また、国際エネルギー機関（IEA）の「エネルギー技術展望2012」では、CCSは、今後も長期的に極めて重要な役割を果たすとし、産業部門において大幅なCO₂排出量削減目標の達成を可能にする有望な技術であるとしている。さらに長期的に気温上昇を2°Cに抑えるシナリオにおいて、CCSは2050年までのCO₂累積削減量の最大20%を占めると試算され、もしCCSを放棄すれば、必要とされる電力分野の追加投資額は40%増加し、今後40年間で総額2兆ドルに達するとしている。

我が国においても、地球温暖化対策としてCCSの実用化に向けた対応を速やかに進めることが求められており、CCSの実用化に資するため、コストを低減する技術、特に全コストの6割以上を占めるCO₂の分離・回収技術の高度化・低コスト化が不可欠であり、技術開発の加速化が必要とされているところである。

本事業ではCO₂の分離回収エネルギーコストを大幅に削減するため、優れた技術を保有する日米両国の研究機関が協力して、お互いが有する技術を活用したCO₂分離・回収技術に関する研究開発を実施する。

固体吸収材は化学吸収法と異なり、蒸気放散によるエネルギー損失を無視できるためCO₂分離回収エネルギーの低減の可能性がある。また、固体吸収材はアミンを吸収剤として固体の基材（担体）に担持させたもので、化学吸収液の開発で蓄積した知見を活用することで固体吸収材の高性能化が期待できる。

また、固体吸収材等のアミン吸収剤は、CO₂分離回収性能だけでなく、火力発電所等のCO₂排出源を含めたシステム全体を対象とするエネルギー及びコストの評価が必要となっている。アミン吸収剤のシステムレベルの評価手法の開発には、従来の吸収剤に関して高度なシミュレーション技術を有する研究機関と

の協力により、先進的な吸収剤のシミュレーション技術の高度化が期待できる。

以上に示したCCS技術開発の現状を勘案し、CO₂分離回収技術の高度化を目的に、米国研究機関と連携・協力し、以下に示すアミン吸収剤をベースにした固体吸収材の開発（新規固体吸収材の開発）及びプロセスシミュレーション技術の高度化（化学吸収液の評価を行う標準的手法の開発）について検討する。

（1）新規固体吸収材の開発

二酸化炭素の分離回収コストの大幅削減のため、追加しなければならない熱量を下げることにより高効率な回収が可能なアミノ基を固体に担持した新規の固体吸収材を開発する。具体的には、新規固体吸収材用アミンおよび担体の探索を行うとともに、それらを用いた新規固体吸収材の合成とそれらの物性測定を行い、性能を評価する。

（2）化学吸収液の評価を行う標準的手法の開発

先進的なアミン吸収剤をシステムレベルで評価するための標準的な手法を開発することを目的に、吸収剤の基礎試験データを蓄積するとともに、それらのデータを用いてこれまで開発してきたプロセスシミュレーション技術の汎用化を行う。また、プロセスシミュレータを用いて吸収剤を評価し、その結果を比較することによりシステムレベルでの評価手法の高度化を図る。これらを通じて固体吸収材プロセスを開発するための基礎的知見を得る。

これらを通じて、アミン吸収剤をベースにした新規固体吸収材の開発及びプロセスシミュレーション技術の高度化を図り、革新的な二酸化炭素分離回収技術を開発する。

1-2 政策的位置付け

本プロジェクトは、CCS の実用化に向けて、分離回収した CO₂ を帯水層に長期的に安定かつ安全に貯留する技術を開発するものであり、G8 北海道洞爺湖サミット首脳宣言、エネルギー基本計画、地球温暖化対策基本法案において、以下のように位置付けられている。

○G8 北海道洞爺湖サミット首脳宣言（平成 20 年 7 月 8 日）

我々は、2020 年までに CCS の広範な展開を始めるために、各国毎の様々な事情を考慮しつつ、2010 年までに世界的に 20 の大規模な CCS の実証プロジェクトが開始されることを、強く支持する。

○エネルギー基本計画（平成 22 年 6 月 18 日閣議決定）

（火力発電の高度化）

2020 年頃の CCS の商用化を目指した技術開発の加速化を図るとともに、今後計画される石炭火力の新増設に当たっては、CCS Ready の導入を検討する。また、商用化を前提に、2030 年までに石炭火力に CCS を導入することを検討する。

○地球温暖化対策基本法案（平成 22 年 10 月 8 日閣議決定）

（革新的な技術開発の促進等）

第 19 条 国は、地球温暖化の防止及び地球温暖化への適応に資する技術の高度化及び有効活用を図るため、再生可能エネルギーの利用、安全の確保を基本とした原子力発電、エネルギーの使用の合理化、燃料電池、蓄電池並びに二酸化炭素の回収及び貯蔵に関連する革新的な技術その他の地球温暖化の防止及び地球温暖化への適応に資する技術の開発及び普及の促進のために必要な施策を講ずるものとする。

また、本事業は平成 22 年度までは経済産業省の定める施策名「30 温暖化対策」の中で「温室効果ガスを大きく削減する革新技術」の一部として位置付けられ（図 1-1）、平成 23 年度以降は経済産業省の定める施策名「3 資源エネルギー・環境政策」の中の「環境政策」において「温暖化対策に係る革新技術」の一部として位置付けられている（表 1-1）。



図 1-1 平成 22 年度施策評価書(事後)に見られる温暖化対策の推進

表 1-1 事後評価書（平成 23 年度に実施した政策の評価書）

「資源エネルギー・環境政策」（抜粋）

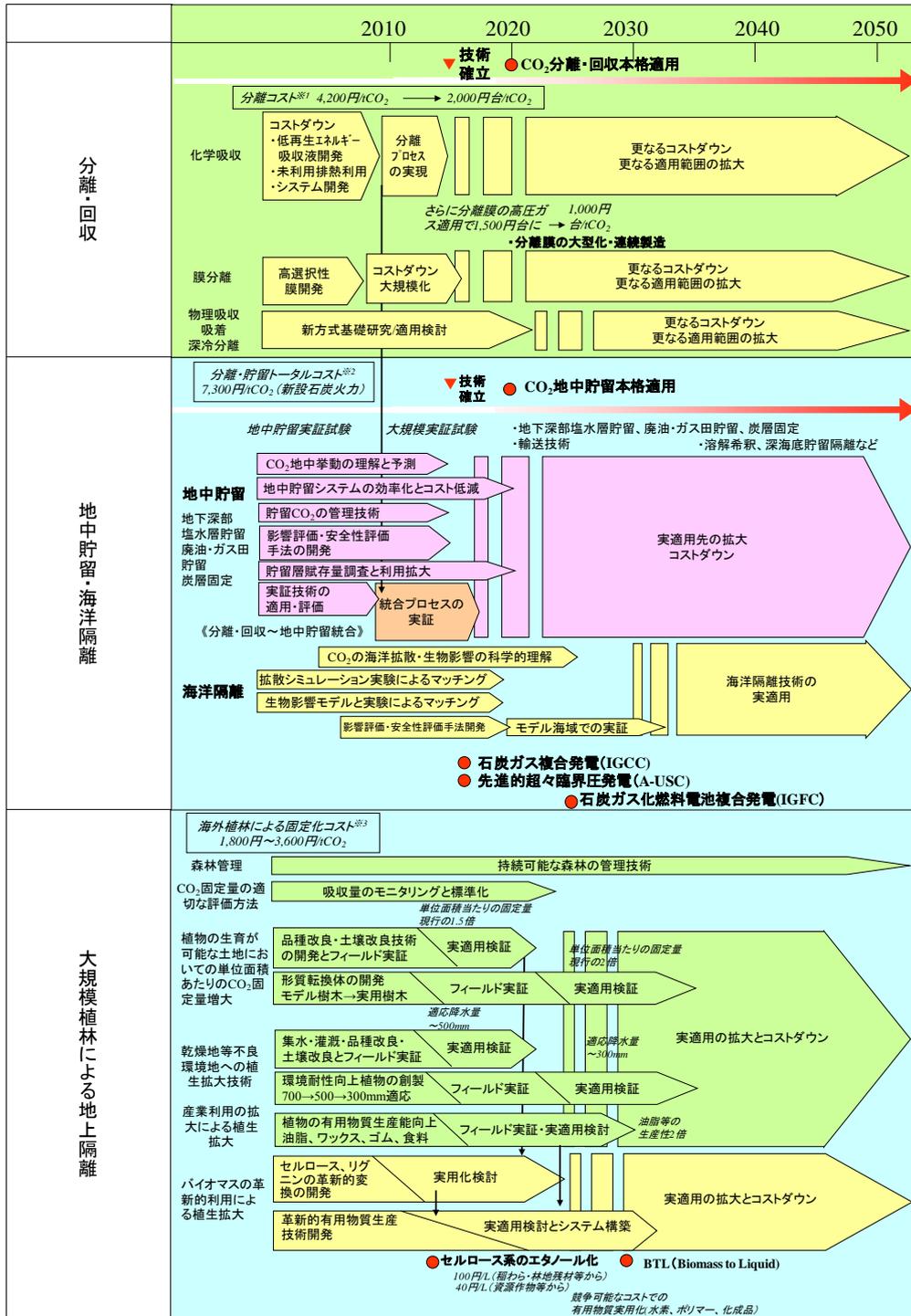
【環境政策】に係る政策軸の概要

○温暖化対策

温室効果ガスの排出削減に向けて、短期的には温室効果ガス排出削減に資する事業活動の促進、技術の開発・普及の推進、京都メカニズムの活用等によって「京都議定書」の 6%削減約束を達成するとともに、中期的には 2020 年から発効するすべての国が参加する将来枠組み構築に向けた国際交渉への対応と国内対策の検討、長期的には革新的な技術の開発と既存先進技術の普及を通じて地球全体での温室効果ガスの排出削減を実現し、将来にわたって我が国が地球温暖化問題に着実に対応しつつ、国際的に競争力ある経済活動を持続させることを目的とする

さらに、経済産業省では、技術開発を推進するにあたり「技術戦略マップ」を策定している。技術戦略マップは、新産業の創造やリーディングインダストリーの国際競争力を強化していくために必要な重要技術を絞り込むとともに、それらの技術目標を示し、かつ研究開発以外の関連施策等を一体として進めるプランを総合的な技術戦略としてとりまとめたもので、いわば、産学官の研究開発投資の戦略的実施のナビゲーターともいうべき俯瞰的ロードマップとなっている。平成 22 年 6 月に取りまとめた「技術戦略マップ 2010」の「環境」領域において設定された 4 つの政策目標のうちの「CO₂固定化・有効利用分野」の技術ロードマップにおいて、本プロジェクトは分離・回収技術として位置付けられている（図 1-2）。

CO₂固定化・有効利用分野の技術ロードマップ



※1 分離回収: 新設石炭火力(830MW)、回収量:100万t-CO₂/年、7MPaまでの昇圧含む、蒸気は発電所の蒸気システムから抽気 [コストベース:2001年]
 ※2 地中貯留: 上記分離回収コスト+パイプライン輸送20km+圧入(昇圧15MPa、10万t-CO₂/年・井戸) [コストベース:2001年]
 ※3 植林: 植林周期7年伐採+萌芽再植林、バイオマス生産量20m3/ha・年、植林管理費17-31%、用地リース費:50\$/ha・年

<出典: 技術戦略マップ 2010>

図 1-2 CO₂固定化・有効利用分野の技術ロードマップ

1-3 国の関与の必要性

1-3-1 背景

地球温暖化問題は、その予想される影響の大きさや深刻さに鑑み、人類の生存基盤に関わる最も重要な問題の一つとなっている。我が国は、平成 17 年 2 月に発効した地球温暖化対策のための国際的な枠組である京都議定書を締結し、1990 年比で 6%削減を達成する国際的な約束を果たすべく取り組みを進めている。京都議定書第一約束期間以降の国際的な枠組については現在交渉中であるが、将来にわたっても我が国が地球温暖化問題に着実に対応し、温室効果ガスの削減努力を続ける必要がある。

こうした状況の下、二酸化炭素回収・貯留（CCS）技術は、大規模に地下深部の帯水層に CO₂ を貯留する手法として、世界各国で注目され、実証試験や実用化検討が行われており、わが国でも 1,461 億トンの概算貯留可能量^{*}、世界全体では 2 兆トンの貯留可能量^{*}が算出されている有望な CO₂ 削減技術と位置付けられている。一方で、CCS 実用化に当たっては、全コストの 6 割以上を占める CO₂ 分離回収コストの大幅な低減が不可欠である。

※それぞれ平成 17 年度 RITE 試算及び 2005 年 IPCC レポート

1-3-2 CO₂ 分離回収技術に対する国の関与の必要性

CCS は、追加的エネルギーコストを掛けて CO₂ を削減するといった点において省エネルギーや再生可能エネルギーとは異なる温暖化対策に特化した技術であり、CCS の導入には経済的インセンティブが働かない。また、CCS の実用化に当たっては、技術開発による安全性向上やコストダウンのほか、制度的、社会的課題を解決する必要がある。実用化時点でのビジネスモデルも明確になっていない現時点では、民間企業には技術開発のインセンティブが働きにくく、国が主導し、実用化に向け産学の力を結集し事業を進めていく必要がある。

2. 研究開発目標

2-1 研究開発目標

CCS は地球温暖化対策の重要な選択肢の一つとして期待されており、その実用化のために低エネルギー・低コスト型の二酸化炭素（CO₂）分離回収技術の開発が必要である。また、経済産業省は平成 21 年 5 月に米国エネルギー省とエネルギー・環境分野における研究開発について協力することに合意している。ここで CCS 技術は本合意の対象とする技術分野の一つであり、優れた技術を保有する日米両国の研究機関の連携・協力により、CO₂ 分離回収技術を高度化させ、CCS の技術開発を加速することとしている。

公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）は、米国 National Energy Technology Laboratory（NETL）において研究実績のある CO₂ 高効率回収・低エネルギー消費型の固体吸収材に注目している。固体吸収材とは、化学吸収液に使用されるアミン等の吸収剤を固体（担体、基材）に固定化または含浸させた CO₂ 分離吸収材料である（図 2-1）。固体吸収材による CO₂ 分離回収技術は化学吸収法と異なり、蒸気放散によるエネルギー損失が無視できるため、CO₂ 分離回収エネルギーの低減の可能性がある。この研究はアミンを吸収剤として固体の担体に担持させた固体吸収材の開発で、RITE が蓄積するアミン吸収剤とそのデータベースを活用することで固体吸収材の高性能化が期待できる。

また CCS の実用化促進のためには、CO₂ 分離回収技術を、CO₂ 発生源を含めたシステムレベルで評価する手法の確立が必要となる。特に、アミンを用いた CO₂ 分離回収技術は、発電所内の蒸気および電力を消費するため、発電プロセスと組み合わせた検討が必要である。RITE は、これまでに低エネルギー・低コスト型のアミン吸収剤を開発し（経済産業省補助事業「低品位廃熱を利用する二酸化炭素分離回収技術」（平成 16～20 年度）、世界トップレベルの低 CO₂ 分離回収エネルギー（2.5 GJ/t_{CO2}）を達成している。そこで、固体吸収材の材料開発と並行して、プロセスシミュレーション技術の高度化を進めるため、蓄積したアミン吸収剤の研究結果および NETL のプロセス性能評価技術をベースに、CO₂ 発生源を含めたシステム全体を対象とするアミン吸収剤のプロセスシミュレーション技術を構築する。

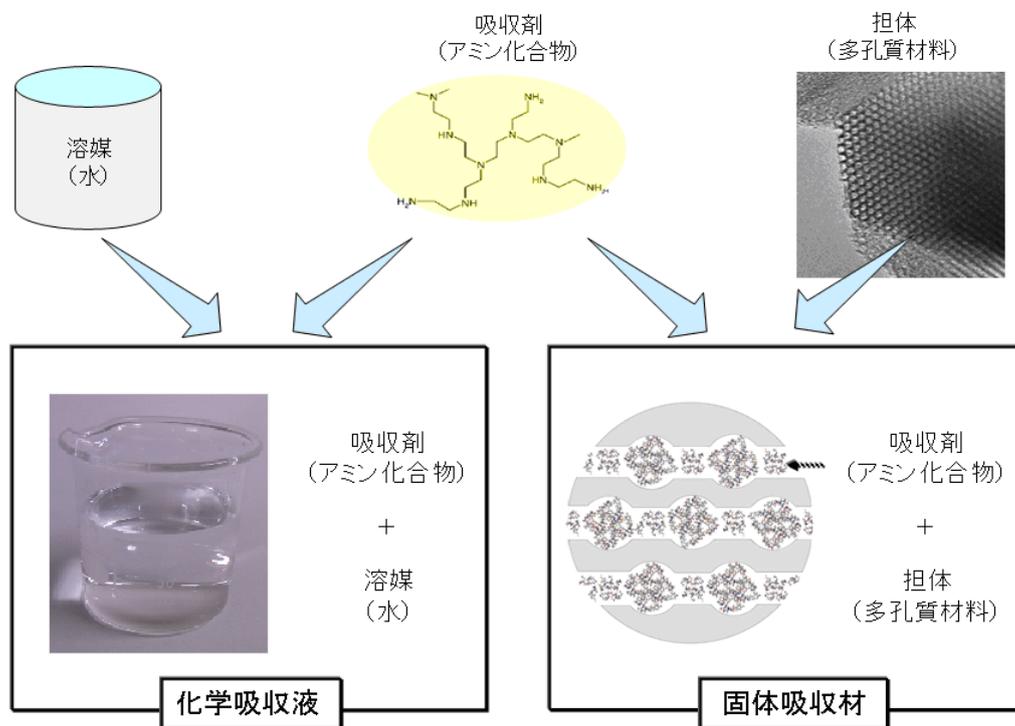


図 2-1 固体吸収材のコンセプト

以上に示した CCS 技術開発の現状を勘案し、米国研究機関の NETL と連携・協力し、アミン吸収剤をベースにした固体吸収材の開発およびシステムレベルの評価手法の開発を、平成 22 年度からの 5 カ年の計画で実施し、革新的な二酸化炭素分離回収技術を開発する。

実施項目を以下に示す。

(実施項目)

(1) 新規固体吸収材の開発

① RITE 化学吸収液と NETL 担体の組み合わせによる固体吸収材の評価

固体吸収材の候補液として RITE 化学吸収液の評価を行う。また NETL が開発した担体に RITE 液を担持させた固体吸収材の作製を試み、その性能を評価する。また、これらを実施するための協力体制を構築し、情報交換を行う。

② 新規固体吸収材の開発と計算化学による検討

①の情報交換を通じて、固体吸収材の開発手法を構築し、RITE 保有の化学吸収剤およびそのデータベースを利用した新規固体吸収材の開発を進める。同時に、量子化学計算などの計算化学を活用して CO₂-アミン-担体の吸着特性への影響を解析し、開発をより効率的に進める。

③ 新規固体吸収材を用いた CO₂ 分離回収技術のプロセス性能評価

ラボ試験や小型プロセス評価試験から得られる結果とプロセスシミュレーションの結果をもとに新規固体吸収材のプロセス性能を評価し、高性能固体吸収材の開発を進める。

④ 新規固体吸収材の性能向上とプロセス最適化

開発目標である CO₂ 分離回収エネルギー < 1.5 GJ/t.CO₂ の達成に向けて、新規固体吸収材の開発とプロセス最適化を検討する。

(2) 化学吸収液の評価を行う標準的手法の構築

⑤ NETL の評価手法による RITE 吸収剤の性能評価

アミン吸収剤の評価手法に関して NETL と情報交換を実施する。また、NETL と協力して RITE 吸収剤の性能を評価し、その結果の精度および使用した評価手法の有用性を検討する。

⑥ CO₂ 分離回収プロセスの試験データ集積とプロセスシミュレータの開発

RITE 吸収剤の物性値および解析パラメーターを収集し、RITE および NETL のプロセスシミュレータをベースとして CO₂ 分離回収技術のプロセスシミュレータを構築する。また、RITE 吸収剤のプラント試験データを集積し、プロセスシミュレータの解析精度を向上させる。

- ⑦ CO₂分離回収設備を有する発電システムのプロセスシミュレータの開発**
⑥で構築したCO₂分離回収技術のプロセスシミュレータを石炭燃焼発電プラントと結合し、発電システムを対象としたプロセスシミュレータを構築する。更に、CO₂分離回収プロセスの操業条件等が発電システムに与える影響について検討する。
- ⑧ プロセスシミュレーションによるアミン吸収剤の評価手法の汎用化検討**
⑥、⑦で開発したプロセスシミュレータを用いた吸収剤の評価手法を、RITE 吸収剤以外のアミンに対して適用し、性能を評価する。更に、得られた評価結果の妥当性を検討するとともに、プロセスシミュレータの課題を抽出する。
- ⑨ アミン吸収剤の評価手法の高度化**
プロセスシミュレーションによるアミン吸収剤の評価手法について⑧の検討をもとに、個々の吸収剤特性を精度良く反映させることが可能なモデリング技術を検討し、アミン吸収剤の評価手法を高精度化する。

2-1-1 全体の目標設定

先に述べたプロジェクト全体の目標を表 2-1 にまとめて以下に示した。

表 2-1 全体の目標

目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
<p>石炭火力発電所の燃焼排ガスを対象に、CO₂分離回収エネルギー < 1.5 GJ/t_{CO2} を達成するための基盤技術を完成する。</p>	<p>固体吸収材開発に関して、CO₂分離回収エネルギー < 2.5 GJ/t_{CO2} に目途をつける。 また、アミン吸収剤のCO₂分離回収技術および発電システムのプロセスシミュレータを構築する。</p>	<p>現行の化学吸収法で最も性能が良いものはCO₂分離回収エネルギー2.5 GJ/t_{CO2}である。したがって、中間目標はそれを上回るCO₂分離回収エネルギー < 2.5 GJ/t_{CO2}とした。また、固体吸収材は蒸気損失等の低減が可能であり、RITE アミン吸収材の適用により消費エネルギーの大幅低減の可能性があることから、最終目標を < 1.5 GJ/t_{CO2}とした。 また、固体吸収材を評価する上で、その適用先である発電所を含めたシステムレベルのプロセスシミュレーション技術の確率が必要である。</p>

2-1-2 個別要素技術の目標設定

個別要素技術の最終目標、中間目標および設定理由を表 2-2 に示した。

表 2-2 個別要素技術の目標

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
(1) 新規固体吸収材の開発			
① 新規固体吸収材の材料開発	CO ₂ 吸脱着量差 > 5.0 mol/kg の固体吸収材を開発する。	CO ₂ 吸脱着量差 > 2.9 mol/kg の固体吸収材を開発する。	NETL の現状値 (2.9 mol/kg) と試算結果による。最終目標は既報の上限値を超える材料開発を目指す。
② 新規固体吸収材のプロセス検討	分離回収エネルギー < 1.5 GJ/t _{CO2} 達成の目途をつける。	分離回収エネルギー < 2.5 GJ/t _{CO2} 達成の目途をつける。	現行の吸収液の性能が 2.5 GJ/t _{CO2} (開発目標が 2.0 GJ/t _{CO2}) であり、それをさらに上回ることを目標とした。
(2) 化学吸収液の評価を行う標準的手法の開発			
③ CO ₂ 分離回収プロセスのプロセスシミュレータ構築	アミン吸収剤の物性・CO ₂ 吸収特性に関して感度解析を実施し、先進的なアミンを評価する。	RITE 吸収剤を対象にプラント試験を実施し、CO ₂ 分離回収技術のプロセスシミュレータを構築する。	近年の多くの先進的なアミン吸収剤が開発されており、それらを評価対象の範囲内に含める必要がある。
④ アミン吸収剤特性の発電システムへの影響検討	アミン吸収剤特性が発電システムに与える影響を感度解析し、化学吸収液評価結果を取り纏め、実用化促進を図る。	アミン吸収剤を発電システムレベルで評価するためのプロセスシミュレータを構築する。	低エネルギー消費型の CO ₂ 分離回収技術に関して、発電システムレベルからの評価法が必要である。その構築により技術比較が可能となり、CCS 実用化促進に資する。

3. 成果、目標の達成度

3-1. 成果

3-1-1. 全体成果

本事業では、新規固体吸収材の開発および評価手法の開発を実施し、二酸化炭素分離回収エネルギー低減の可能性を検討した。成果概要を以下に示す。

(1) 固体吸収材の開発

RITE 既開発固体吸収材において CO₂ 回収エネルギーのシミュレーション試算を実施し、2.1 GJ/t_{CO2} が得られる見込みを得た。また、米国 NETL との間でこれまでの研究成果を共有するとともに、二酸化炭素固体吸収材を試作して性能評価・改良を行った。計算化学的手法により、固体吸収材の性能予測モデルを構築し、新規アミン構造を提案した。二酸化炭素吸収量の大きな固体吸収材 (5.1 mol/kg) を見出し、CO₂ 吸脱着量差が 4.7 mol/kg であることを確認した。NETL における CO₂ 吸脱着量差の開発ターゲットが 3~6 mol/kg 以上であり、NETL の現状値 (2.9 mol/kg) と比較して非常に大きな値が得られた。

(2) 化学吸収液の評価を行う標準的手法の開発

先進的なアミン吸収剤を評価するプロセスシミュレーション技術として、RITE 吸収剤を対象とした CO₂ 分離回収プロセスのプロセスシミュレータを構築した。また、東芝保有の 10 t_{CO2}/d 規模のパイロットプラント設備において、石炭燃焼排ガスを対象に RITE 吸収剤による CO₂ 分離回収試験を実施し、プロセスシミュレーションに必要なプロセスデータを取得するとともに、低 CO₂ 回収エネルギー (2.9 GJ/t_{CO2}) の結果を得た。発電システムのプロセスシミュレータ開発に関しては、NETL のプロセスシミュレーション技術を情報収集し、アミン吸収剤特性の影響評価が可能な CO₂ 回収型発電システムプロセスシミュレータを構築した。これにより、アミン吸収剤の性能が発電システムに及ぼす影響を定量的に評価することが可能になった。

3-1-2. 個別要素技術成果

(1) 新規固体吸収材の開発

固体吸収材とは、化学吸収液に使われるアミン等の吸収剤を固体（担体、基材）に固定化または含浸させた CO₂ 分離吸収材料である。固体吸収材は、化学吸収液と異なり、再生時に蒸気損失が無視できることなどから分離回収エネルギーの低減が期待される（図 3-1）。本事業では、分離回収エネルギーが 1.5 GJ/t_{CO2}（中間目標：2.5 GJ/t_{CO2}）以下を達成し得る固体吸収材の開発および CO₂ 分離回収プロセスの構築を目的とした。

RITE が開発した化学吸収液は世界トップレベルの低反応熱であり、本吸収液を固体に担持すると蒸気損失等に起因する再生エネルギーの低減により、化学吸収液法による 2.5 GJ/t_{CO2} の分離回収エネルギーを大幅に改善できると期待される。そこで、本事業では RITE の化学吸収液をベースとする新規固体吸収材の試作を行った。また、それに先立ち、RITE で保有する固体吸収材を用いてプロセス性能評価の予備検討も実施した。

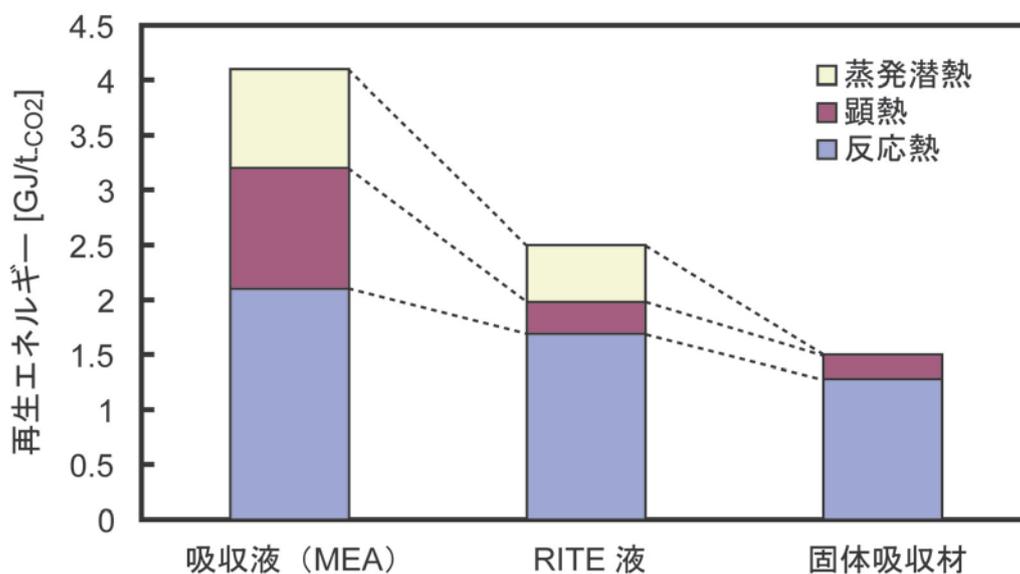


図 3-1 固体吸収材による再生エネルギー低減効果

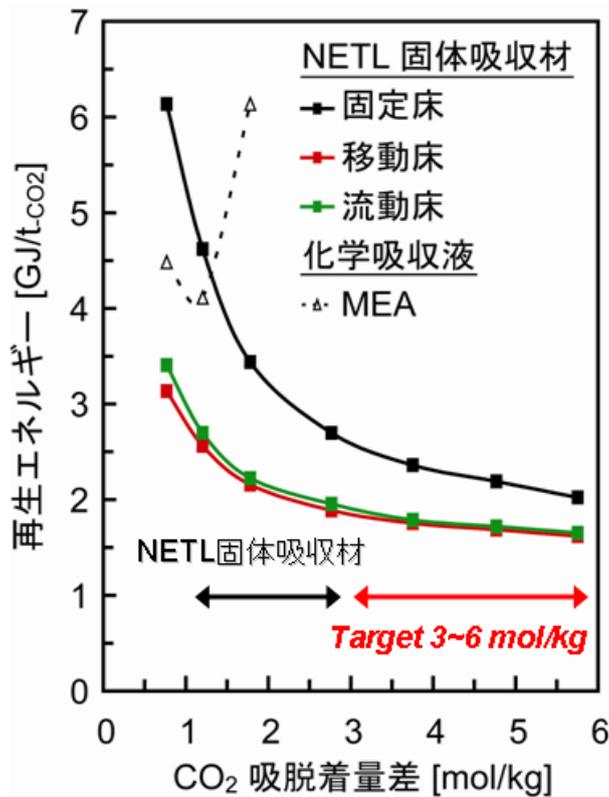


図 3-2 NETL の CO₂ 分離回収エネルギー試算

(M.L Gray et al., Energy Fuels, 2009, 23, 4840-4844 をもとに作成)

図 3-2 に示すように、NETL の CO₂ 分離回収エネルギー試算によると、CO₂ 吸脱着量差が 2.9 mol/kg 程度の固体吸収材を移動床あるいは流動床の TSA (Thermal Swing Adsorption: 温度スイング吸着) プロセスに適用すると 2.0 GJ/t.CO₂ の分離回収エネルギーに達することが報告されており、さらに高 CO₂ 吸脱着量差の固体吸収材となると CO₂ 分離回収エネルギー 1.61 GJ/t.CO₂ に到達する可能性が示されている。これに RITE が保有する低反応熱のアミン吸収剤を適用すれば、事業目標値の 1.5 GJ/t.CO₂ 程度にまで低減可能であると思われる。そこで、吸収液開発においても活用実績のある計算化学的手法による検討も含め、高 CO₂ 吸脱着量差が期待できる新規固体吸収材の開発も実施した。

(中間評価までの実施内容: 固体吸収材開発)

- ① 固体吸収材の CO₂ 分離回収プロセス性能評価 (予備検討)
- ② RITE 吸収剤をベースとする新規固体吸収材の試作
- ③ 計算化学を用いた高性能材料予測
- ④ 高 CO₂ 吸脱着量差 (吸収量) を有する新規固体吸収材の開発

① 固体吸収材の CO₂ 分離回収プロセス性能評価（予備検討）

RITE ではこれまでに各種アミノシランをメソポーラスシリカにグラフト法で担持した固体吸収材の開発を行っている（図 3-3）。トリアミンを担持したメソポーラスシリカは、アミンの CO₂ 吸収に関わる利用効率が高く、水蒸気共存条件下でも CO₂ を吸収除去できること、アミンと CO₂ の反応はアミノ基のペアサイトと CO₂ によるカルバメートの形成反応であり、アミンの高密度担持が CO₂ 吸収に有効であることがわかっている。また、これらの知見から、細孔容積の大きなメソポーラスシリカ MSU-H を担体に用いて作製した TA/MSU-H(II)は、CO₂ の吸収量が 3.1 mol/kg まで増大し（図 3-4）、高性能な CO₂ 吸収材として知られているゼオライト 13X の乾燥条件下での CO₂ 吸収量と同等の CO₂ 吸収量が水蒸気共存条件下においても得られることがわかっている。また、30 回の繰返し性能評価後（60℃吸収、120℃脱離）も吸収性能は安定していることを確認しており、本材料に関してはプロセス検討に必要な各種基礎物性データが得られていることから、固体吸収材のプロセス予備検討を実施した。

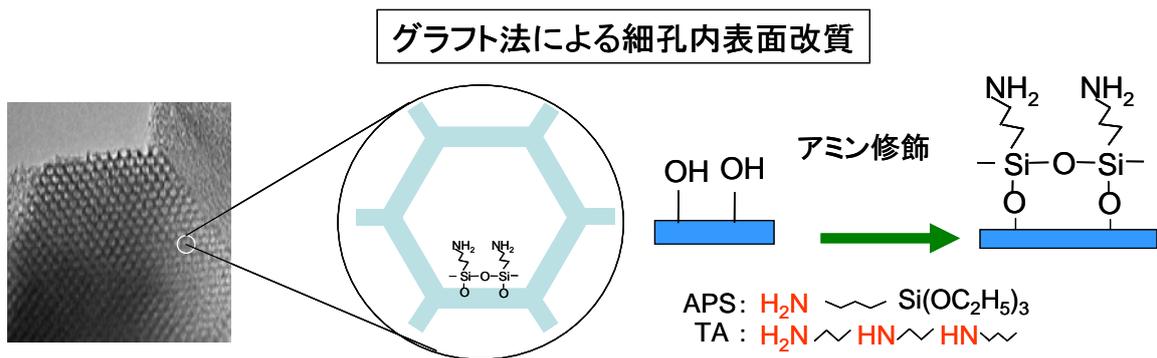
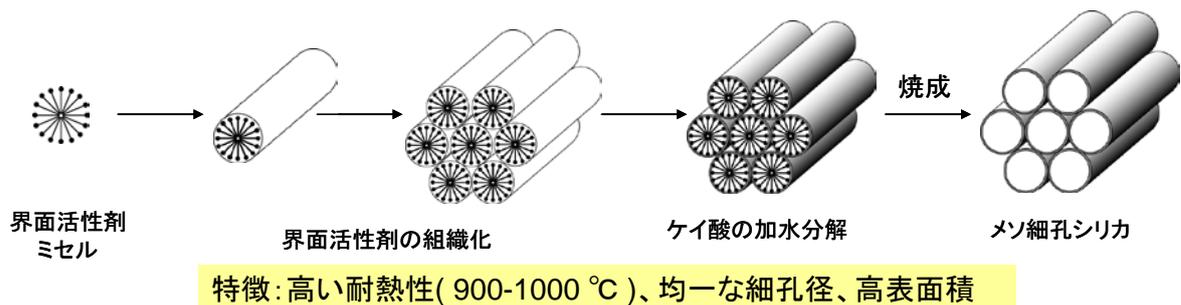


図 3-3 RITE 開発アミノシラン修飾メソポーラスシリカの概要

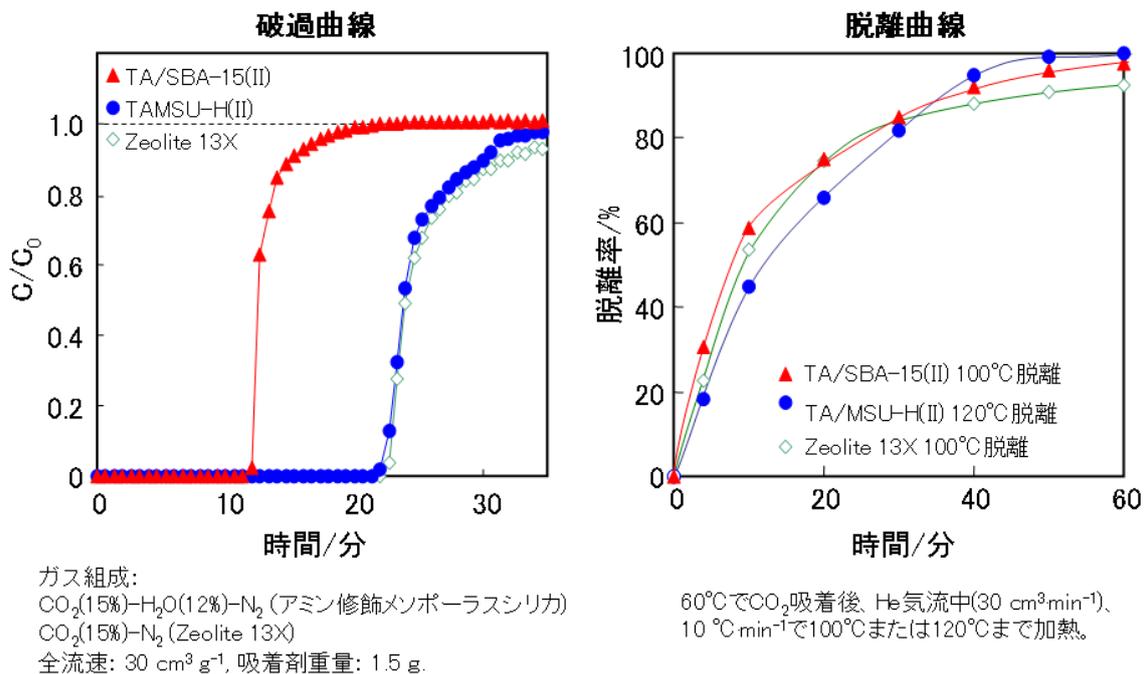


図 3-4 RITE 開発アミノシラン修飾メソポーラスシリカの CO₂ 吸収・脱離特性

TSA (Thermal Swing Adsorption) プロセス

TA/MSU-H(II)を用いて TSA のプロセスシミュレーションを行った。そのシミュレーションのフローを図 3-5 に示す。TSA のシミュレーションは 1 塔の吸収塔に対し「吸収工程」「洗浄工程」「加熱工程」「減圧工程」「冷却・昇圧工程」の 5 工程を 1 サイクルとして計算を行い、ある程度計算結果が一定となったところで定常とみなした。なお、各工程は以下のとおりである。

(a)吸収工程：

Feed より固体吸収材が充填された吸収塔「B2」にガスを供給し、CO₂ の吸収を行わせる。CO₂ が除去されたガスは塔頂より出てゆく。

(b)洗浄工程：

洗浄工程は回収 CO₂ の濃度を上げるために行われ、回収された CO₂ の濃度により必要に応じて使用される。洗浄工程が必要な場合は、回収 CO₂ を塔底より供給し、塔頂より吸収材の空隙に存在するガスを追い出すことにより CO₂ 濃度を上げる。

(c)加熱工程：

CO₂の脱離を促すため加熱を行う。シミュレーション上、加熱は外気温度を高温にし、外気からの伝熱により行った。

(d)減圧工程：

塔内の圧力を下げ、吸収したガスを脱離させ塔底より拔出し CO₂ を回収する。

(e)冷却・昇圧工程：

外気の温度を下げ吸収塔を冷却するとともに、塔内の圧力を吸収圧力まで昇圧するため、塔頂より窒素リッチガスを導入する。

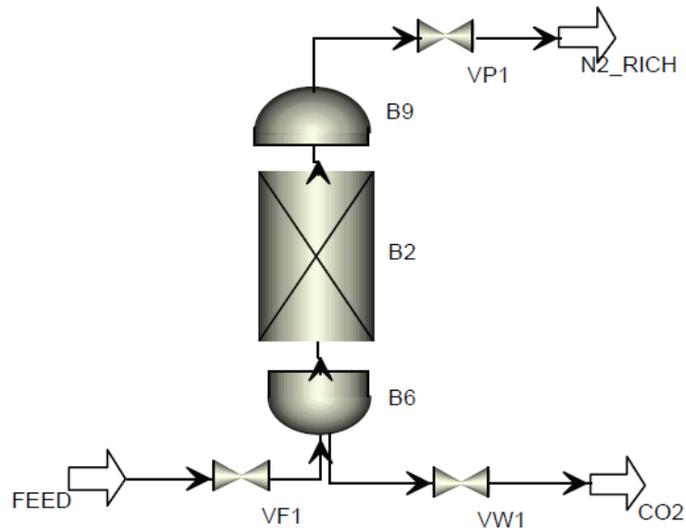


図 3-5 TSA 計算の Aspen Absorber フロー

また、TSA のプロセスシミュレーションを行うために使用した計算条件を表 3-1 に示す。

表 3-1 本検討における計算条件

項目	単位	値
ガス処理量/塔	Nm ³ /h	79.497
原料ガス組成	%	CO ₂ : 14
原料ガス温度	°C	60
原料ガス圧力	MPa	0.117
回収 CO ₂ 濃度	%	98.4
CO ₂ 回収率	%	90
吸収圧力	MPa	0.117
吸収温度	°C	60
脱離温度	°C	105
CO ₂ 回収圧力	MPa	0.01

試算の結果、TSA の 1 サイクルに必要な熱量は $2.59 \text{ GJ/t}_{\text{CO}_2}$ と見積もられた。その内訳は、図 3-6 に示すとおりである。全熱量に対する吸収材顕熱の割合は 33% と比較的小さかった。それは、吸収温度と再生温度の差が小さいこと、吸収材の吸収能力に起因している。

消費エネルギーはおおよそ吸収材の顕熱と反応熱の和にほぼ等しいので、TSA で CO_2 分離回収を行う場合の消費エネルギーを $1.5 \text{ GJ/t}_{\text{CO}_2}$ 以下にするためには、反応熱が出来る限り小さい固体吸収材が必要になると思われる。ただし、反応熱を低くすることは、温度変化に対する吸収量変化が低減するため、TSA で CO_2 分離回収を行う場合、吸収材顕熱が相対的に増加する。従って、相互のバランスをとった最適点が存在すると考えられる。

VSA (Vacuum Swing Adsorption) プロセス

前述の TSA は温度を高めることで CO_2 の脱離を促すのに対し、VSA では温度を変えずにスチームで CO_2 分圧を低下させて脱離を促す。このことから、温度を上下させないために固体吸収材や装置の顕熱分のエネルギーが不要のため、再生エネルギーの低減が期待される。

計算の結果、VSAでの再生エネルギーは $2.14 \text{ GJ/t}_{\text{CO}_2}$ となり、TSAの $2.59 \text{ GJ/t}_{\text{CO}_2}$ より小さくなった。(図3-6) このことにより、同じ固体吸収材を使用してもVSAの方がTSAに比べ再生エネルギーを低減でき、分離回収エネルギーが既存の化学吸収法の $2.5 \text{ GJ/t}_{\text{CO}_2}$ 以下に達する可能性が示された。また、低温のスチームで再生が可能であるため、低品位な廃熱を利用した再生プロセスを構築できれば、実質的に必要となる分離回収エネルギーが大幅に低減できる可能性がある。

以上の結果から、VSA プロセスが再生エネルギー低減に適していると考えられる。ただし、本シミュレーションは予備検討として行ったもので、条件の最適化によって更に再生エネルギーを低減できる可能性がある。

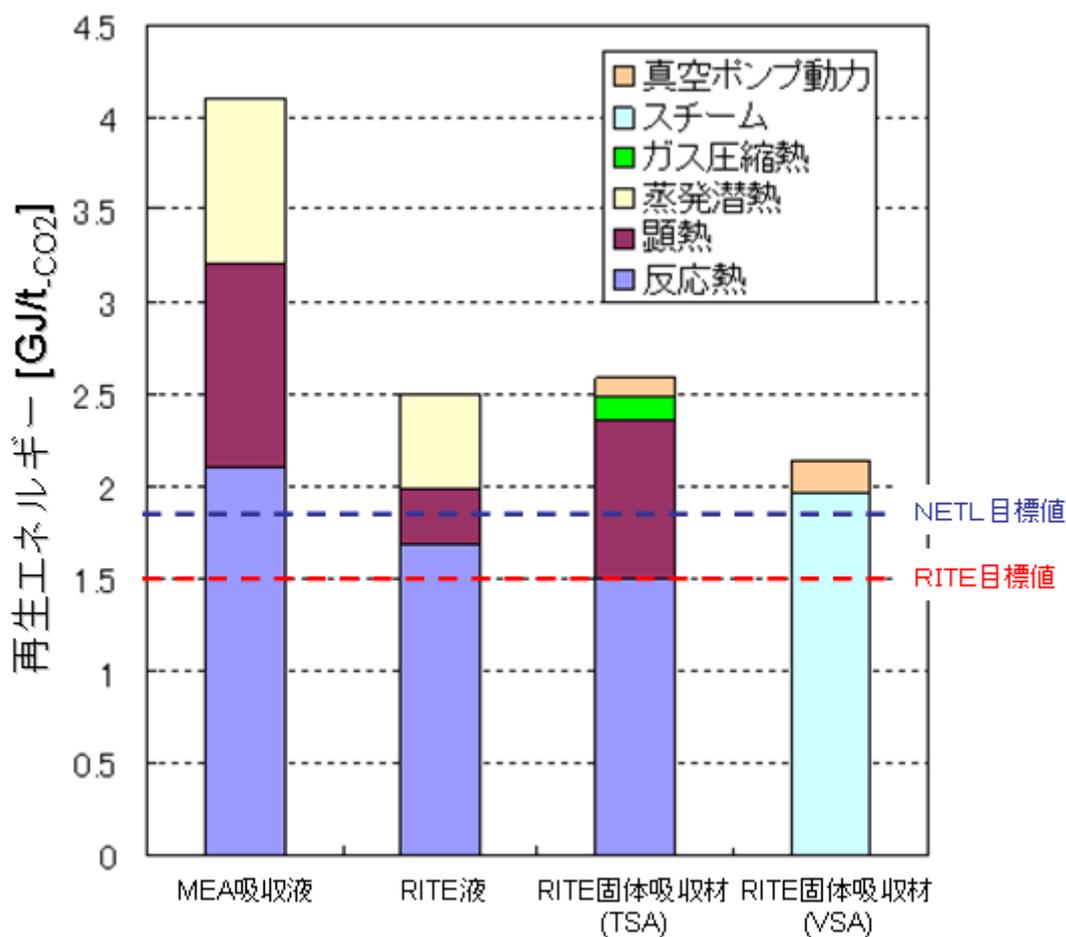


図 3-6 プロセスシミュレーション結果の比較

② RITE 吸収剤をベースとする新規固体吸収材の試作

米国国立研究所 NETL では常圧排ガス用 CO₂ 分離回収技術の開発において固体吸収材の研究を実施している。固体吸収材としては、ゼオライト、アルカリおよびアルカリ土類金属化合物、活性炭、金属有機構造体などが知られているが、それぞれに短所があり、アミンを多孔質材料に担持したものに着目した。米国特許 7,288,136 号には、多孔質のポリメチルメタクリレート (PMMA) 等にテトラエチレンペンタミン (TEPA)、ペンタエチレンヘキサミン (PEHA)、ヘキサエチレンヘプタミン (HEHA)、1-(2-ヒドロキシエチル)ピペラジンを担持した固体吸収材を利用して二酸化炭素を除去する方法が記載されている。また、アミン類を固体に担持すると脱離再生時に水溶液系で存在する余分な水分の加熱に関わるエネルギーが削減できるため、省エネルギー型の二酸化炭素回収技術となり得るとしている。さらに、米国特許 6,908,497 号には、モノエタノールアミン (MEA)、ジエタノールアミン (DEA)、ジイソプロパノールアミン (DPA)、ポリエチレングリコールジメチルエーテル (PEGDL) をベントナイトなどの粘土鉱物の層間に浸み込ませて担持した固体吸収材による二酸化炭

素の除去方法が記載されている。

二酸化炭素の回収方法は、化学吸収液あるいは固体吸収材への二酸化炭素の吸収工程、および、二酸化炭素を吸収した化学吸収液あるいは固体吸収材からの二酸化炭素の脱離工程から成るので、効率良く二酸化炭素を回収するには、吸収工程が高効率に行われるだけでなく、脱離工程も高効率に行われる必要がある。先行技術では、アミンを固体に担持することにより得られる固体吸収材の二酸化炭素吸収量について報告しているが、脱離工程を高効率で行うことに関しては検討されていない。

RITE 吸収剤担持固体吸収材の性能評価

RITE が開発したアミン吸収剤は既報アミンと比べて低反応熱であることから、既報アミンを担持した NETL 開発の固体吸収材よりも反応熱に起因する再生エネルギーの低減が見込める。そこで、前述の米国特許 7,288,136 号での多孔質のポリメチルメタクリレート (PMMA) を担体としたアミン担持固体吸収材の調製方法を参考にして、RITE 吸収剤担持 PMMA 固体吸収材を調製した。

固体吸収材の吸収・脱離性能に対するアミン種の影響を調べるため、RITE 吸収剤担持 PMMA の比較として、モノエタノールアミン (MEA)、ジエタノールアミン (DEA)、および *N*-メチルジエタノールアミン (MDEA) を PMMA に 40wt% 担持した固体吸収材を調製し、CO₂ 吸収・脱離性能を評価した (図 3-7)。

その結果、RITE 吸収剤担持固体吸収材は他のアミン担持固体吸収材と比べて、50°Cでの脱離性能が最も高いことが明らかとなった。また、上述のアミン構造を比較すると、アミノ基周りにある程度の立体障害置換基を持つヒンダードアミンが脱離性能に優れるという傾向が見られた。ヒンダードアミンの水溶液に二酸化炭素が吸収される場合、一般には重炭酸イオンが主生成物であることがわかっているが、吸収量が少ない段階では有意な量のカルバメートが生成しているという事実がある。さらに、カルバメート生成反応の活性化自由エネルギーは重炭酸イオン生成反応のそれよりも低く、アミンに二酸化炭素が近づくと、素早くカルバメートの C-N 結合が形成される。このようなヒンダードアミンの特徴は化学吸収液開発に利用されているが、固体吸収材に適用しても高脱離性能に繋がるのが期待できる。

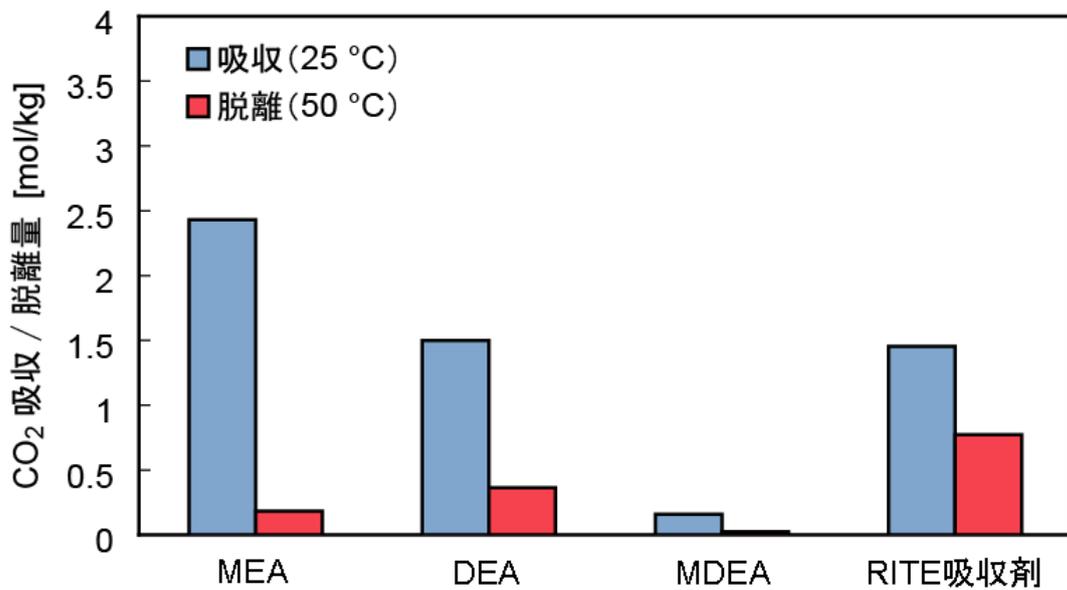


図 3-7 各種アミン 40wt%担持 PMMA 固体吸収材の CO₂ 吸収・脱離性能

次に、CO₂ 分離対象のガス組成を想定して、共存水蒸気が RITE 吸収剤担持 PMMA の CO₂ 吸収・脱離性能に及ぼす影響を調査した (図 3-8)。水溶液系において、RITE 吸収剤は CO₂ を吸収した際に重炭酸イオンを形成する点がカルバメートアニオンを形成する他のアミンとの違いであり、RITE 開発液の優れた脱離性能の由来であると推定されている。そのため、RITE 吸収剤を担持した PMMA は加湿条件で水が吸着されることにより CO₂ 吸収量が増すと予想されるが、加湿した混合ガスを供給しても、吸収量および脱離量に顕著な差が見られなかった。乾燥条件と加湿条件の CO₂ 吸収・脱離性能に変化が見られなかったことから、固体吸収材は水溶液系とは異なる機構で CO₂ を吸収していると推察される。

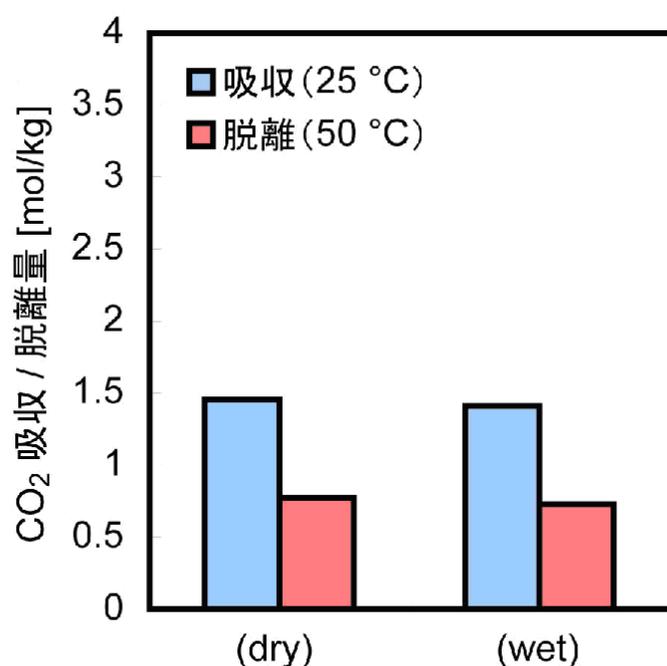


図 3-8 RITE 吸収剤担持 PMMA の CO₂ 吸収・脱離性能への共存水蒸気の影響

吸収・脱離繰り返し試験

固体吸収材を用いたCO₂の分離回収では吸収と脱離が繰り返される。そこで、最も脱離性能に優れたRITE吸収剤担持PMMAに対して、吸収・脱離繰り返し試験を実施した。

図 3-9 において、縦軸は固体吸収材充填塔出口のガス中の CO₂ 濃度、横軸は経過時間を意味している。RITE 吸収剤を担持した固体吸収材は 25°Cと 50°Cで繰り返し吸収・脱離を行っても、吸収量と脱離量に変化はなく、安定であり、連続使用が可能であることがわかった。また、前述のように、その CO₂ 脱離性能が従来のアミン吸収剤と比較して高く、吸収性能と脱離性能とのバランスがとれているという利点を有していた。

しかしながら、本固体吸収材での CO₂ 回収量を増やすためにより高い温度 (70°C) で脱離を行うと、繰り返し試験中に徐々に吸収量と脱離量が減少した (図 3-10)。これは、高温ではアミンが徐々に飛散してしまうためである。このことから、本固体吸収材では、回収量を増やすためにより高い温度で脱離を行なうことができないため、プロセスあるいは材料の改良等の検討が必要である。

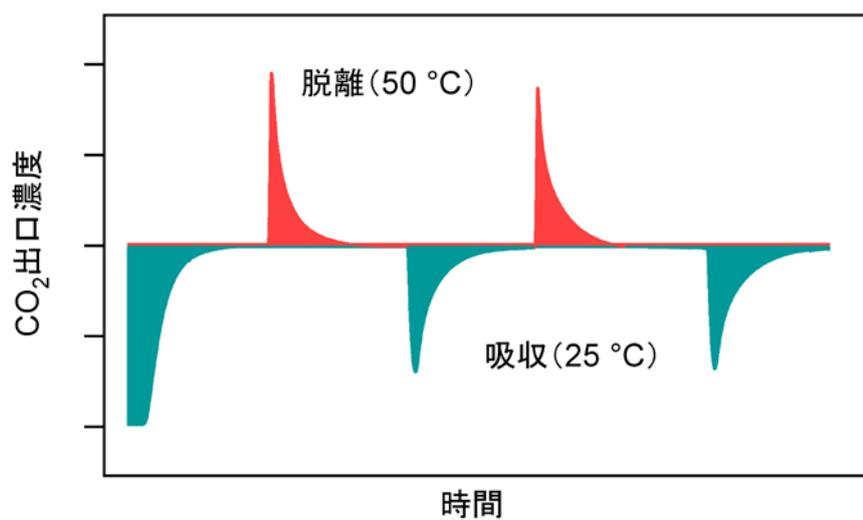


図 3-9 RITE 吸収剤担持 PMMA の CO₂ 吸収・脱離繰り返し試験結果
(25°C吸収・50°C脱離)

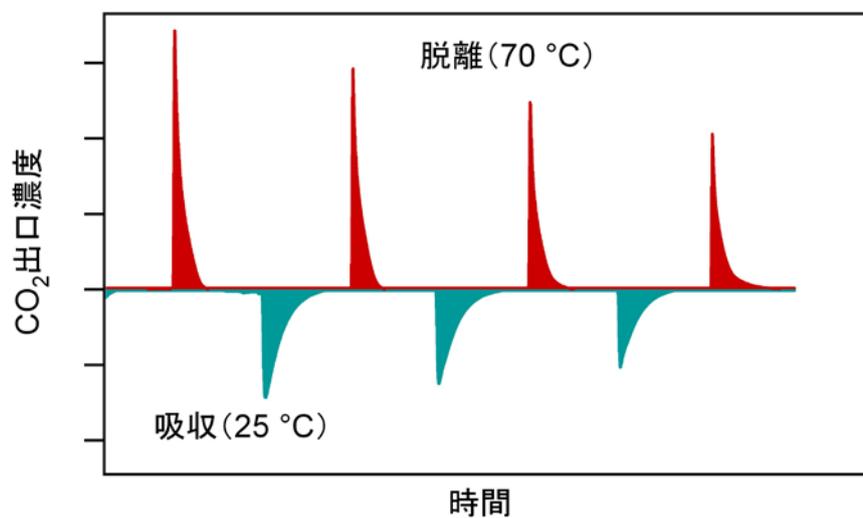


図 3-10 RITE 吸収剤担持 PMMA の CO₂ 吸収・脱離繰り返し試験結果
(25°C吸収・70°C脱離)

③ 計算化学を用いた高性能材料予測

上記の結果を踏まえて、量子化学計算を用いて、二酸化炭素の吸収反応機構をより詳細に理解し、固体吸収材における性能予測モデルを構築することで、高性能が期待される新規アミン吸収剤の提案を試みた。

吸収反応機構の理解

吸収反応機構を検討するにあたっては、二酸化炭素がアミンによって吸収される際に起こる化学結合の変化だけでなく、その反応が起こる場を形成する分子についても考慮する必要がある。すなわち、水溶液中での反応であれば、溶媒である多数の水分子を考慮に入れた検討を行う必要がある。また、固体吸収材における吸収反応機構を検討する場合でも、細孔内の水分子やガス中の水蒸気の存在、あるいはスチームを利用した再生法などを想定すると、水分子の果たす役割を理解しておくことの必要性は大きい。

以上のような観点から、量子化学計算を用いて、二酸化炭素の吸収反応機構を分子レベルで解析した。

二酸化炭素はアミンと次のように反応しカルバメートとなる。



また、水分子の存在下では、次のような反応で重炭酸イオンとなる。



ここで R^1R^2NH は 1 級アミンもしくは 2 級アミン、 R^1 および R^2 は置換基を表わす。1 級および 2 級アミンでは反応(1)および反応(2)がともに進行し、二酸化炭素が吸収されるとカルバメートと重炭酸イオンがある割合で共存することになる。それらの割合をカルバメート生成比として次のように定義した。

$$r = [R^1R^2NCOO^-]/[HCO_3^-] \quad (3)$$

カルバメート生成反応(1)と重炭酸イオン生成反応(2)はそれぞれ異なる特徴を持つ。一般に、カルバメート生成反応は反応速度が大きい。また、重炭酸イオン生成反応では吸収量が多くなる。したがって、カルバメート生成比 r は吸収材料の性能に関わる重要な要素の一つであるといえる。本事業では、カルバメート生成比 r に関して ^{13}C -NMR 分光法による高精度の定量分析を実施し、その結果に対する量子化学計算による解析 (図 3-11 および図 3-12) から、アミンの分子構造とカルバメート生成比の関係を考察した。その結果、カルバメート生成比 r を高精度で予測し得る量子化学計算手法を見出した。

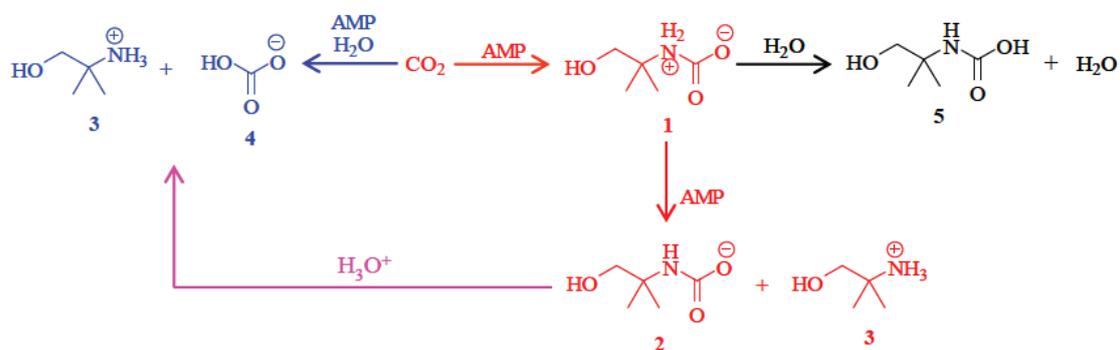


図 3-11 AMP の二酸化炭素吸収機構

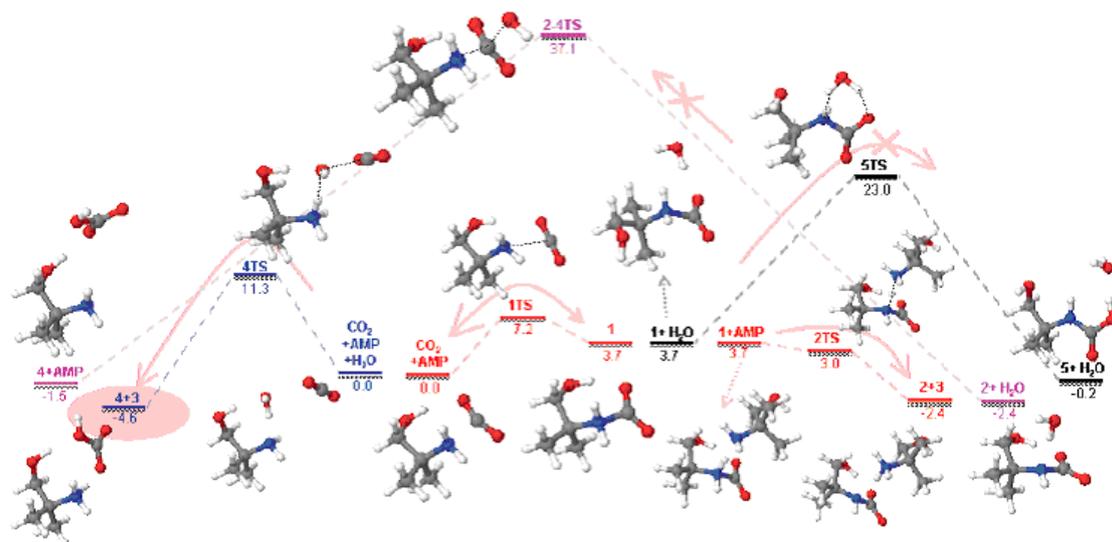


図 3-12 AMP の二酸化炭素吸収機構に対する量子化学計算による解析結果 (太線下の数値は自由エネルギーの相対値[kcal/mol])

性能予測モデルの構築

前述のように、吸収材料の分離回収性能においては、吸収量のみならず脱離量も重要なパラメーターである。上述の量子化学計算手法を適用した結果、カルバメート生成反応(1)と重炭酸イオン生成反応(2)の反応自由エネルギーの差(式(4))が固体吸収材のある条件下における二酸化炭素脱離量と良い相関を持つことを見出した(式(5)および図 3-13)。

$$\Delta\Delta G = \Delta G_1 - \Delta G_2 \quad (4)$$

$$D = A \exp(-\Delta\Delta G) + B \quad (5)$$

ここで、D はアミンを担持した固体吸収材の加熱再生時の二酸化炭素脱離量、A および B はフィッティングによって得られる定数である。

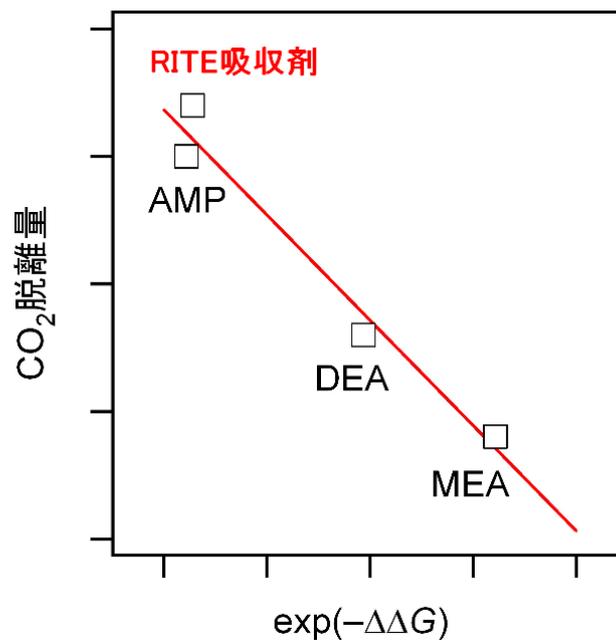


図 3-13 CO₂回収量予測モデル

図 3-13 の予測モデルによると、カルバメート生成反応(1)と重炭酸イオン生成反応(2)の反応自由エネルギーの差が小さいほど、二酸化炭素の脱離性能に優れている。ヒンダードアミンである RITE 吸収剤や AMP ではアミノ基周りの立体障害によりカルバメートが不安定になるという計算結果が得られており、分子構造から高い脱離性能を予測することが可能となった。

新規アミン吸収剤の提案

表3-2に反応自由エネルギーの計算結果をまとめる。ここでは、従来のアミンに関する計算結果に加えて、新規アミンとして検討した一連の候補から、一部のアミンについての計算結果を示す。

表3-2 COSMO-RSによる反応自由エネルギー計算結果¹⁾

	ΔG_1	ΔG_2	$\Delta \Delta G$
MEA	-22.75	-18.82	-3.93
MPEA	-20.66	-18.14	-2.52
AMP	-18.37	-17.05	-1.32
EAE	-20.09	-17.70	-2.39
PAE	-18.80	-16.31	-2.48
DEA	-18.35	-15.42	-2.93
RITE吸収剤	-18.69	-17.22	-1.47
市販アミンA	-20.45	-19.23	-1.22
新規アミンB	-20.57	-19.61	-0.97
新規アミンC	-21.50	-20.81	-0.69

¹⁾ Free energy of reactions (1) and (2) in infinitely dilute aqueous solutions at 298.15 K in units of kcal/mol.

表3-2でカルバメート生成反応(1)の反応自由エネルギー ΔG_1 を比較すると、市販アミンAおよび新規アミンB、Cはいずれも、MEAやMPEAと同程度であり、他のアミンよりも低い値となった。このことから、本アミン系は二酸化炭素との反応性が高く、カルバメートが生成しやすいと予測される。特に、高性能2級モノアミン（EAE, PAE, RITE吸収剤）に比べ、二酸化炭素との高い反応性が示唆されている点は注目に値する。

カルバメート生成反応(1)と重炭酸イオン生成反応(2)との反応自由エネルギー差 $\Delta\Delta G$ の計算結果を放散量予測モデルに適用すると次のようなことがいえる。ポリアミン系はAMPやRITE吸収剤と同程度（市販アミンA）、あるいはそれ以上（新規アミンB、新規アミンC）の放散性が期待できる。

以上のような計算結果と考察から、新規固体吸収材に担持するアミンとして、高性能が期待できる分子構造を見出すことができた。

④ 高 CO₂ 吸脱着量差（吸収量）を有する新規固体吸収材の開発

CO₂ 分離回収プロセスにおける装置サイズ等の観点から、固体吸収材の CO₂ 吸脱着量差は 3~6 mol/kg 程度に開発ターゲットが置かれている。すなわち、CO₂ の吸収性能は装置コストに大きく影響する。前述の RITE 吸収剤担持 PMMA では 25°Cでの CO₂ 吸収量は 1.5 mol/kg であり、開発ターゲットに達していない。

RITE ではこれまでの研究で、アミノ基の高密度担持が CO₂ 吸収量増大に大きく寄与することをアミノシラン修飾メソポーラスシリカの系において見出している。この CO₂ 吸収量増大は、高密度担持によりアミンのペアサイトが構築され、CO₂ とのカルバメート形成が起りやすくなることに起因している(図 3-15)。

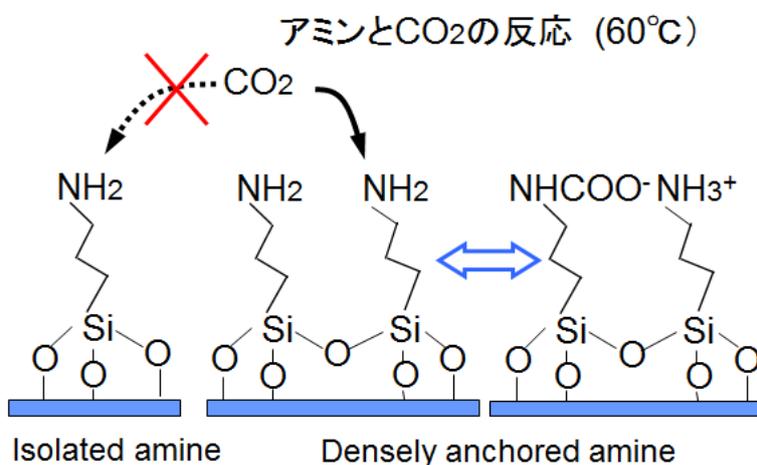


図 3-15 アミノシラン修飾メソポーラスシリカの CO₂ 吸収反応機構

また、RITE 吸収剤担持固体吸収材は CO₂ 回収量を増大させるために脱離温度をより高温にすると吸収剤が飛散し、性能が低下してしまう。そこで、担体中にアミンを安定に保持する目的で、低揮発性（高沸点）アミンを高密度に担持する手法について検討した。なお、前述のように、計算化学的アプローチによっても本アミンの固体吸収材適用における優位性は示されている。

低揮発性アミンの高密度担持

前述の RITE 吸収剤担持固体吸収材では 100°C までの温度上昇の間に担持したアミンが 8 割以上揮散した一方で、低揮発性アミン A を担持した固体吸収材は 100°C までの温度上昇の間に数パーセントの重量減少（吸着している水分に相当）のみであった（図 3-16）。このことから、当初の想定どおり、担体中にアミンが安定に留まっていることが確認された。

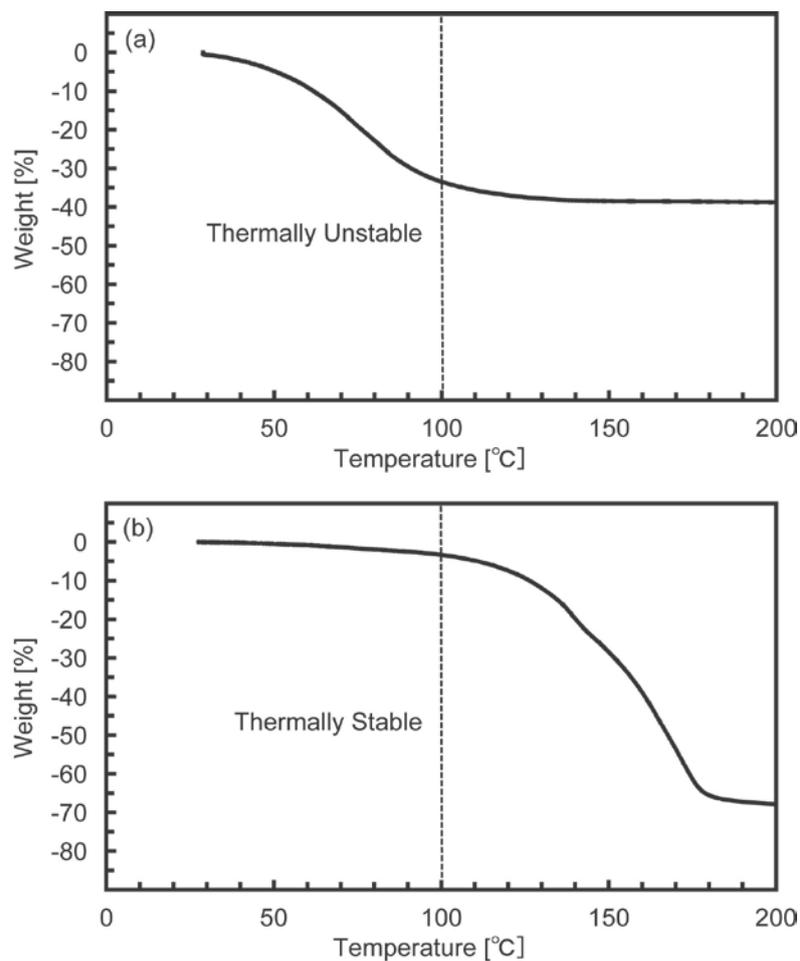


図 3-16 TG 曲線：(a)40wt% の RITE 吸収剤担持固体吸収材、(b)70wt% の低揮発性アミン A 担持固体吸収材

CO₂ 吸収量増大の検討

アミンが多孔質担体の細孔内に充填されることで固体吸収材が構築されている。そのため、アミンの充填量（担持量）は多孔質担体の細孔容積により空間的に制限されると考えられる。そこで、各種担体に対する低揮発性アミン A の担持量上限を担体の細孔容積と液体アミンの密度から求めた（表 3-3）。当然のことながら、細孔容積が大きい方がアミン担持量の上限值も大きい。

表 3-3 低揮発性アミン A 担持固体吸収材における担持量上限の見積り

細孔容積 [cm ³ /g]	担持量上限 [wt%]
1.22 (MSU-H)	55.0
1.76 (HMS)	63.8
2.29 (PE-SBA-15)	69.6
2.31 (MSU-F)	69.8
2.38 (PE-MCM-41)	70.4

表 3-3 に示したアミン担持量の上限を踏まえた上で、アミン担持量が CO₂ 吸収量に与える影響を検討した（表 3-4 および表 3-5）。担持量上限が 55wt% に対し 10wt% という低密度担持であるときは、CO₂ 吸収量は 0.4 mol/kg でアミン効率が 0.15 と非常に低い値であった。しかし、29wt%、43wt% と担持密度を上げていくと、その CO₂ 吸収量は 2.1、3.8 mol/kg と増加するだけでなく、アミン効率も 0.28、0.34 と向上することがわかった。この現象はアミノシランをグラフト担持したメソポーラシリカでも確認しており、その理由は高密度担持によりアミンのペアサイトが増え、CO₂ 吸収時のカルバメート形成に有利に働くためである。

表 3-4 低揮発性アミン A 担持 MSU-H の CO₂ 吸収特性 (担持量上限 : 55wt%)

アミン担持量 [wt%]	CO ₂ 吸収量 ¹⁾ [mol/kg]	アミン効率 [mol.CO ₂ /mol.N]
10	0.4	0.15
29	2.1	0.28
43	3.8	0.34

¹⁾ 15 kPa-CO₂, 60°C

表 3-5 低揮発性アミン A 担持 HMS の CO₂ 吸収特性 (担持量上限 : 64wt%)

アミン担持量 [wt%]	CO ₂ 吸収量 ¹⁾ [mol/kg]	アミン効率 [mol.CO ₂ /mol.N]
47	3.3	0.27
55	3.7	0.26
61	3.1	0.20

¹⁾ 15 kPa-CO₂, 60°C

しかし、担持量上限までアミンを含浸担持させた固体吸収材が最も CO₂ を吸収するわけではない。表 3-5 に示すように、担持上限 64wt% にほぼ近いアミン担持量を有する固体吸収材では、それよりも少ない担持量の固体吸収材よりも CO₂ 吸収量が低下してしまう。これは、CO₂ 分子が吸収される際に要するスペースの有無が関与していると考えられる (図 3-17)。

以上を総括すると、基本的には、N 原子含有量が多いほど CO₂ 吸収量も大きい傾向にあるが、担持量上限付近では CO₂ 分子の入り込むスペースの問題から吸収量が低下する恐れがある。

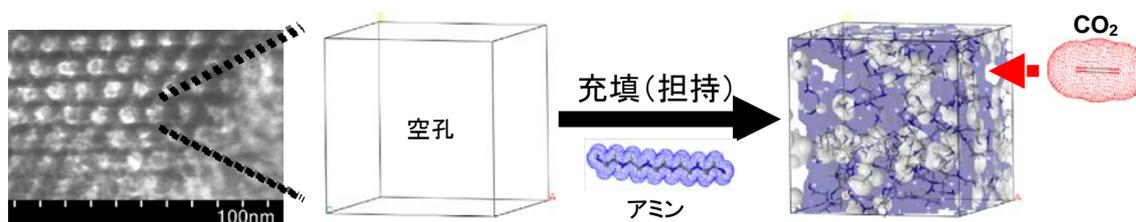


図 3-17 固体吸収材中の CO₂ 吸収イメージ図

そこで、CO₂の吸収に要する空間を考慮したアミン担持量上限をアミン液の密度や分子体積などから見積った。その結果、低揮発性アミンを高密度担持することでCO₂吸収量上限が9 mol/kg程度の材料設計は可能であることが明らかとなった。

これらの検討結果をもとに、低揮発性アミンを高密度に担持したRITE固体吸収材を作製し、既報の固体吸収材の中でも世界トップクラスのCO₂吸収量5.1 mol/kg (CO₂分圧15 kPa)を有することを確認した(図3-18および図3-19)。

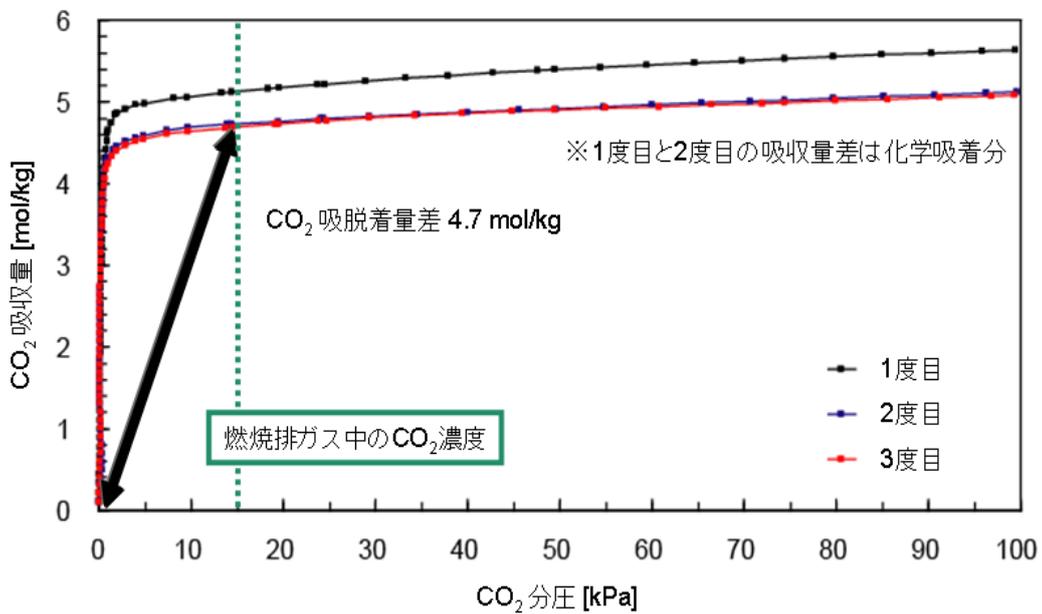


図 3-18 高密度アミン担持 RITE 固体吸収材の CO₂ 吸着等温線

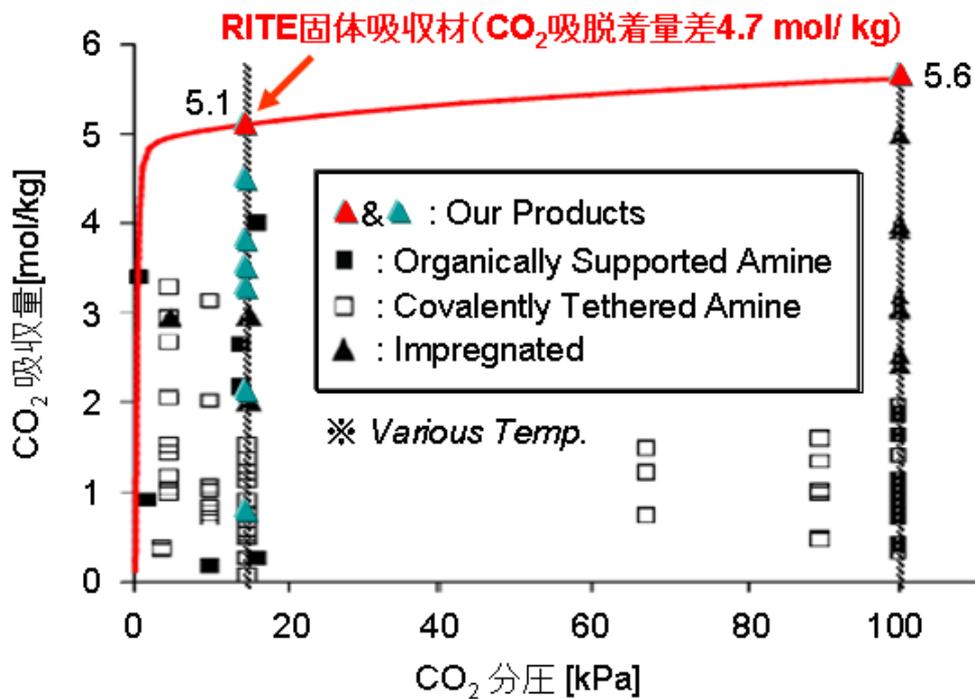


図 3-19 各種固体吸収材の CO₂ 吸収量比較

(S. Choi, J. H. Dress, C. W. Jones, *ChemSusChem* 2009, 2, 796-854.をもとに作成)

本事業における、固体吸収材の開発目標は CO₂ 吸脱着量差として 5.0 mol/kg (中間目標 2.9 mol/kg) 以上である。したがって、次に本アミン担持 RITE 固体吸収材の CO₂ 吸脱着量差を評価した。

60°Cで吸着等温線を測定した後、He 流通下 120°Cで固体吸収材を再生して、また 60°Cで吸着等温線を測定した結果、図 3-18 に示すように、高密度アミン担持 RITE 固体吸収材の CO₂ 吸脱着量差は 4.7 mol/kg であり、中間目標 (> 2.9 mol/kg) を達成し、最終目標の CO₂ 吸脱着量差 > 5 mol/kg に近い値が得られた。今後、> 5 mol/kg を達成して、プロセス検討を実施する予定である。

RITE 合成新規アミン担持固体吸収材の性能評価

前述の計算化学的アプローチにより分子設計指針が得られたため、設計指針に基づいて新規アミンを合成し、多孔質支持体に担持させた新規固体吸収材を調製した。

本固体吸収材の CO₂ 吸収・脱離特性を評価した結果、性能予測モデルで示されたとおり、脱離性能（PSA 容量）に優れることが確認された（図 3-14）。N 原子数が等しい市販アミンを左図に示し、右図には RITE 合成新規アミンの結果を示す。両者の CO₂ 吸収量はほぼ等しいが、RITE 合成新規アミンは減圧再生で回復する可逆的な CO₂ の吸着量（PSA 容量）が著しく向上することが明らかとなった。

本材料は低温での PSA プロセスも視野に入れて、吸収容量増大等の検討を実施中である。

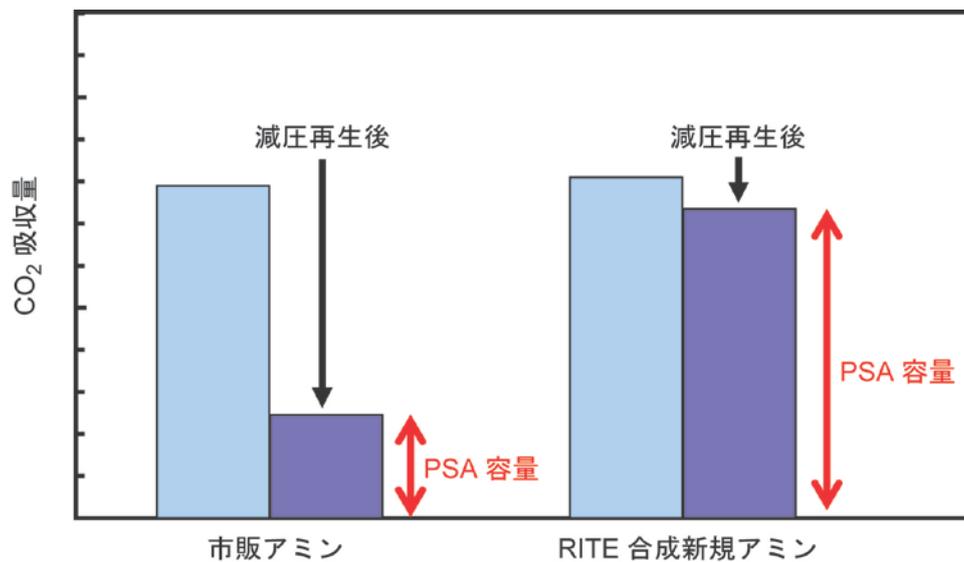


図 3-14 PSA 容量比較

(2) 化学吸収液の評価を行う標準的手法の開発

固体吸収材等のアミンを用いた CO₂ 分離回収技術の実用化には、CO₂ の分離回収に蒸気および電力を必要とすることから、発電プロセスを含めたシステム全体の検討を実施しなければならない。そこで、固体吸収材の材料開発と並行して、システムレベルでの CO₂ 回収技術の評価を行う標準的手法を開発する(図 3-20)。要素技術として、①CO₂ 分離回収プロセスシミュレータ構築、および②アミン吸収剤特性の発電システムへの影響検討を行う。なお、ここでの成果は、CO₂ 回収実施者に対して先進的なアミン吸収剤を評価するための技術情報となり得ることを見込んでいる。

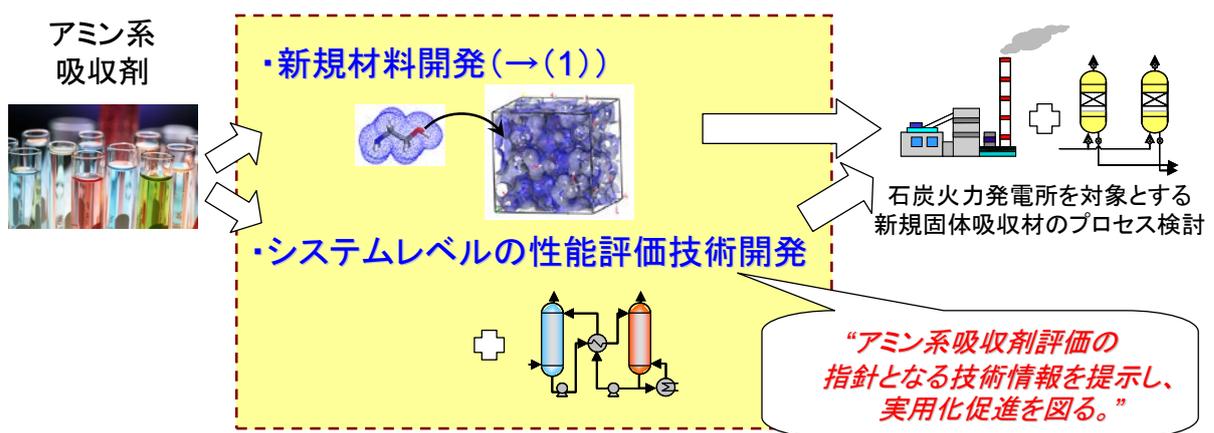


図 3-20 アミン吸収剤（化学吸収液）の評価を行う標準的手法の開発の要素技術項目

① CO₂分離回収プロセスのプロセスシミュレータ構築
CO₂分離回収プロセスの試験データ集積

RITE は、RITE 吸収剤のプロセスデータ収集を東芝に委託し、(株)シグマパワー三川発電所内に設置された東芝所有の 10 t_{CO2}/d パイロットプラント設備（図 3-21）にて CO₂ 分離回収試験を実施した。設備は、石炭焚きボイラの燃焼排ガスを対象に CO₂ を分離回収しており、排ガスの CO₂ 濃度は約 12% である（表 3-6）。

本試験の目的は、アミン吸収剤のプロセスシミュレータ構築に利用できるプロセスデータを収集することであり、異なる試験条件での定常状態でのプロセスデータ収集が必要であった。試験は平成 22 年 10 月に延べ 10 日間 16 条件を実施した。

その結果、供給熱量および液ガス比の操業条件に対して、感度良い系統だったプロセスデータを収集すると共に、吸収剤性能を評価し得る結果を得た。



図 3-21 東芝のパイロットプラント試験設備

表 3-6 排ガス条件

- ・石炭焚きボイラ排ガス
- ・2100Nm³/h
- ・約12%_{CO2}

図 3-22(左)は、液ガス比を $2.5[\text{L}/\text{Nm}^3]$ に固定し、供給熱量（スチーム量） $[\text{GJ}/\text{h}]$ を変更したときの CO_2 回収率および CO_2 分離回収エネルギーの結果である。スチーム量の増加により CO_2 回収率が上昇するが、 CO_2 分離回収エネルギーも増加している。スチーム量の増加により放散塔上部の蒸気放散量が増加したためである。

図 3-22(右)は、スチーム量を $1.2[\text{GJ}/\text{h}]$ に固定し、液ガス比を $[\text{L}/\text{Nm}^3]$ を変更したときの CO_2 回収率および CO_2 分離回収エネルギーの結果である。液ガス比の増加は、放散塔の熱供給不足を引き起こし、 CO_2 回収率の低下と CO_2 分離回収エネルギーの増加に繋がっている。

今回のプラント試験はプロセスシミュレータ構築のためのデータ収集が目的であったが、RITE 吸収剤の結果を他の吸収剤のパイロットプラント試験結果と比較した（図 3-23）。今回の試験の RITE 吸収剤の最良値は、 CO_2 回収率約 90%、 CO_2 回収エネルギー $2.9 \text{ GJ}/\text{t}_{\text{CO}_2}$ であった。

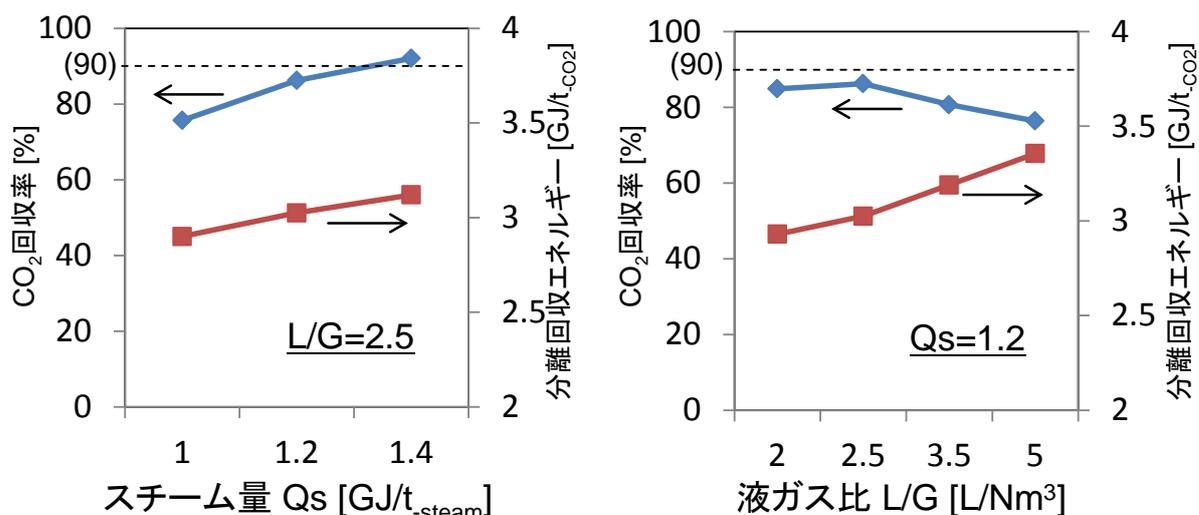


図 3-22 RITE 吸収剤のプラント試験結果
(左：供給熱量の影響、右：液ガス比の影響)

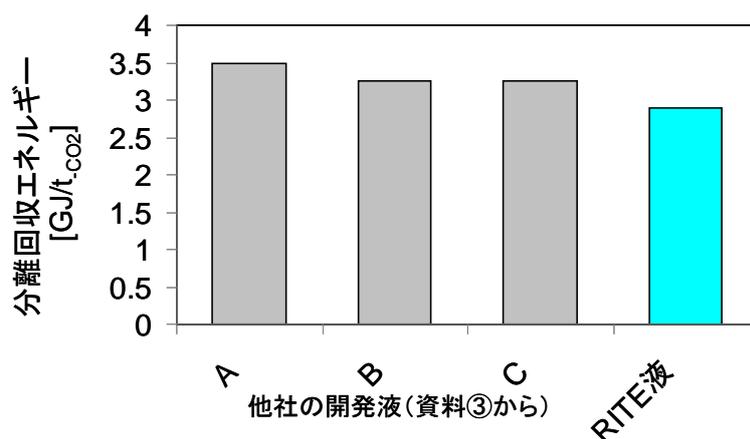


図 3-23 RITE 吸収剤の性能
(資料③: 1st PCCC, Abu Dhabi, 2011 会議報告)

アミン吸収剤特性の物性及び反応のモデル化とプロセスシミュレータ構築

(a) モデリング

アミン吸収剤の評価手法として、汎用プロセスシミュレーションソフト AspenPlus を用いてプロセスシミュレータを構築する。一般的なプロセスシミュレーションソフトは AspenPlus を含めて、従来から知られているアミン吸収剤（例えば、モノエタノールアミン (MEA)、メチルジエタノールアミン (MDEA)）等のプロセスシミュレーションには比較的容易に適用可能であるが、企業や研究機関が開発している先進的な吸収剤にはプロセスシミュレータの構築に困難さを伴う。そこで、先進的な吸収剤の一つである RITE 吸収剤を対象にプロセスシミュレータを構築し、物性・CO₂ 吸収特性等をソフト上に組み込むモデリングの作業を明示する。

RITE 吸収剤は、イソプロピルアミノエタノール (2-(Isopropylamino) ethanol, IPAE)) を主たる化学種として使用している。しかし、AspenPlus の汎用ソフト上に IPAE に関するデータはまとめられておらず、ユーザーが物性値を組み込む必要がある。IPAE について、Aspen Plus V7.1(以下、A+)を用いて、実験室で測定された気液平衡データをもとに AspenPlus 上にデータを組み込んだ。以下に、具体的な気液平衡データの組み込みに関して記述する。なお、IPAE は、カチオン化された IPAE を IPAE⁺、アニオン化された IPAE を IPAE⁻COO⁻として表示している。

液中でのイオン解離反応を以下に定義する。以降、反応式の説明は以下の反応式番号を使用する。

- (1) $IPAE^+ + H_2O \leftrightarrow IPAE + H_3O^+$
- (2) $CO_2 + 2H_2O \leftrightarrow HCO_3^- + H_3O^+$
- (3) $HCO_3^- + H_2O \leftrightarrow CO_3^{2-} + H_3O^+$
- (4) $IPAECOO^- + H_2O \leftrightarrow IPAE + HCO_3^-$
- (5) $2H_2O \leftrightarrow H_3O^+ + OH^-$

反応式(2)、(3)、(5)については、AspenPlus の組み込みの係数をそのまま使うことにし、(1)、(4)の反応式の定数を実験データより決定する。なお、AspenPlus において、平衡定数 $\ln(K_{eq})$ は、以下のように定義されている。

$$\ln(K_{eq}) = A + B/T + C \times \ln(T) + D \times T$$

実験値の組み込みで、上式の各係数 A~D を求めるには、各温度における $\ln(K_{eq})$ を求め、その後、最小二乗法により各係数をフィッティングする方法を取る。

図 3-24 および図 3-25 に pH および CO_2 -アミン水溶液の気液平衡に関する測定値とモデル推算結果を示す。図 3-24 の pH の図が示すとおり、25°Cにおける CO_2 Loading のモデル推算結果は、測定値を十分にフィッティングした値である。一方、 CO_2 -アミン水溶液の気液平衡は、40°Cの値が 20%程度低い CO_2 Loading の値を示したが、70°Cでは 26 kPa 付近での値、および 110°Cでの 203 kPa 付近での値は精度良くフィッティングされた。

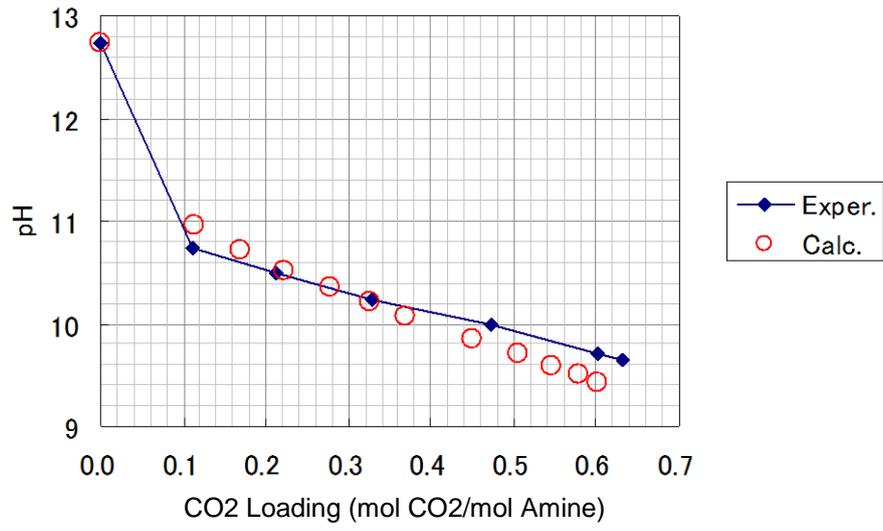


図 3-24 pH の試験値と計算値の比較

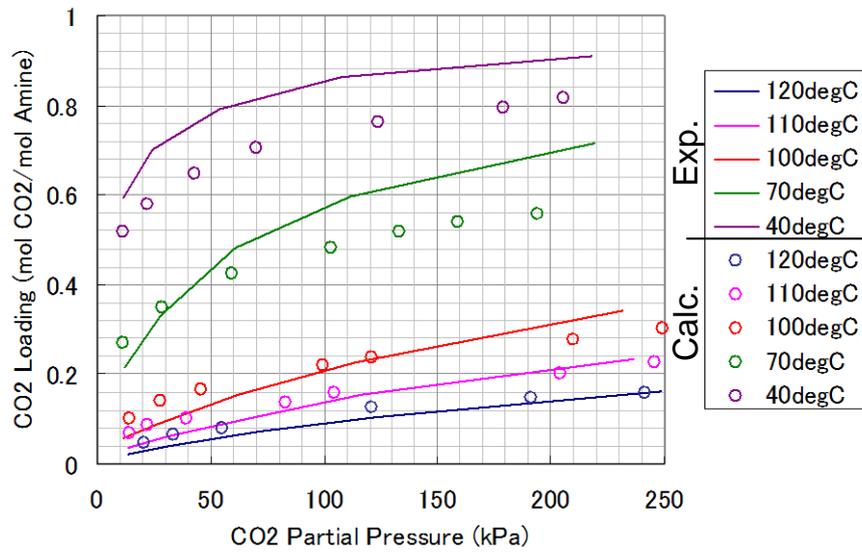


図 3-25 気液平衡データと組み込んだモデルの比較

(b) プラント試験のプロセスシミュレーション

10 t_{CO2}/d 規模のプラント試験データを対象に、(a) で構築した RITE 吸収剤の物性モデルを用いてプロセスシミュレーションを実施し、得られた推算結果を検討した。プロセスフローは、図 3-26 に示すように、吸収塔・放散塔各 1 基の最もシンプルなプロセスである。

図 3-27 に推算結果をプラント試験結果とともに記す。プロセスシミュレーション結果は、誤差 4% 内でプラント試験結果を推算した。また、CO₂ 回収率および CO₂ 分離回収エネルギーへのスチーム量の影響を感度良く解析している。

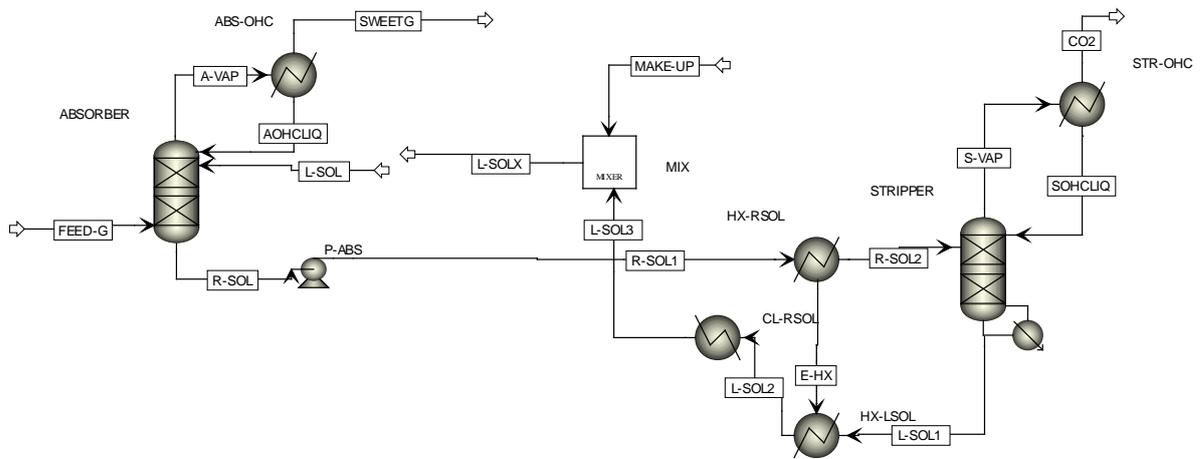


図 3-26 CO₂ 分離回収技術のプロセスフロー

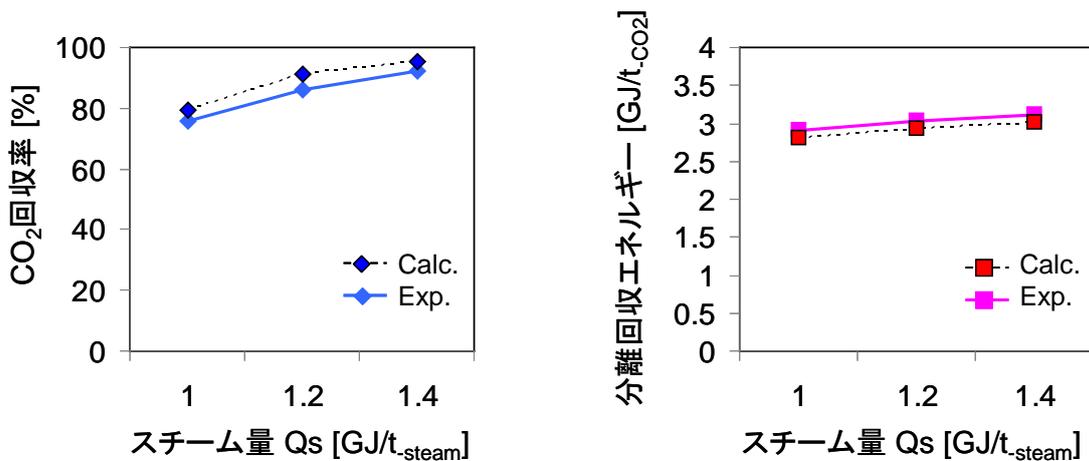


図 3-27 RITE 吸収剤のプロセスシミュレーション結果

② アミン吸収剤特性の発電システムへの影響検討

CO₂分離回収設備を有する発電システムのプロセスシミュレータ構築

火力発電所排ガスからアミン吸収剤で CO₂ を分離回収する場合にどのようなシステムが想定され、CO₂ 回収プロセスがシステムにどのような影響を与えるかについて検討した。既設の石炭火力発電所で CO₂ 回収に必要となる熱に対して利用可能となる廃熱は存在しないため、発電用蒸気タービンから蒸気を一部抽気して、吸収剤再生に利用するシステム（熱統合システム）しか選択肢がない。そこで、石炭火力発電所に CO₂ 回収装置を付設する場合、その熱源として発電用の蒸気を一部抽気して利用する最適な熱統合システムと、統合によるアミン吸収剤の CO₂ 分離回収エネルギーの影響に関して、プロセスシミュレーションソフト AspenPlus を用いて解析を行った。

微粉炭火力発電所の発電システムについて、モデル構築は、NETL 報告書（“Cost and Performance Baseline for Fossil Energy Plants (DOE/NETL-2007/1281)”）に記載の石炭火力発電システムのプロセスシミュレーションを参考にした（図 3-28）。

表 3-7 に CO₂ 回収の発電システムへの影響を示す。CO₂ 回収設備および圧縮設備の設置により、附属機器圧縮動力が追加されている。また、吸収剤の再生のために蒸気を抽気するため、発電用の蒸気が減少し発電端出力が低下している。以上の結果、CO₂ 回収の導入によって、発電効率に 9.6%のペナルティが発生している。

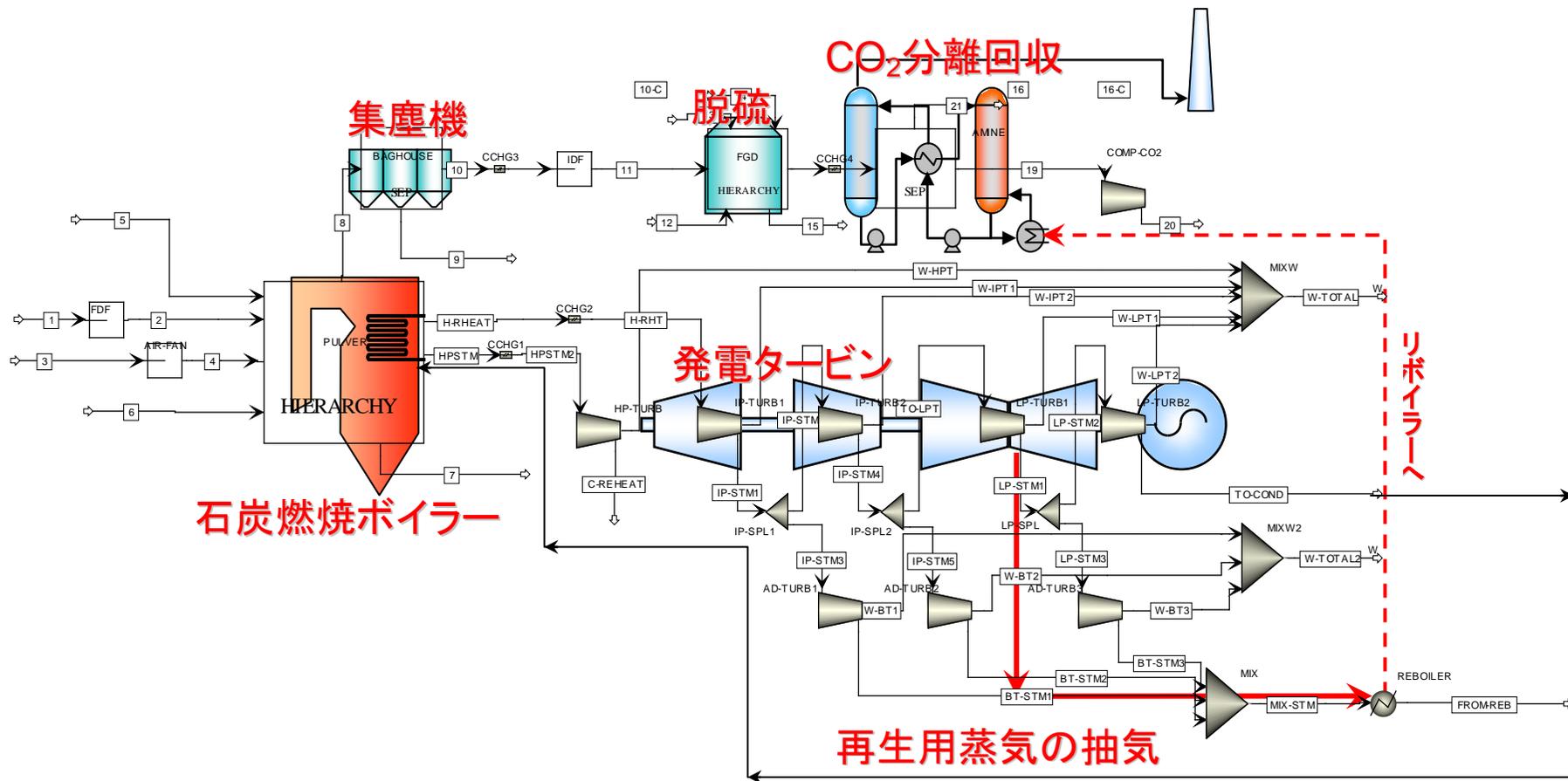


図 3-28 微粉炭炊き火力発電所のプロセスフロー

表 3-7 CO₂ 回収の発電システムへの影響

		ベース	CO ₂ 回収
石炭量	[t/h]	293	←
供給石炭熱量(HHV)	[MW]	1160	←
CO ₂ 回収量(90%回収)	[t/h]	-	780
化学吸収液再生熱量	[GJ/t _{CO2}]	-	3.0
附属機器・圧縮動力	[MW]	27	55
送電端出力	[MW]	518	434
発電効率のペナルティー	[%]	-	9.6%

図 3-29 にアミン吸収剤の CO₂ 分離回収エネルギーが発電効率に及ぼす影響を示す。CO₂ 分離回収エネルギー低減が発電効率の向上に繋がることを、Kathor や Dave らの既往の研究と同様に推算している。また、吸収剤の再生温度低下も発電効率の向上に結びつくことが示された。

今後、今回構築した発電システムのプロセスシミュレータをベースに、アミン吸収剤特性の影響評価を実施する計画である。

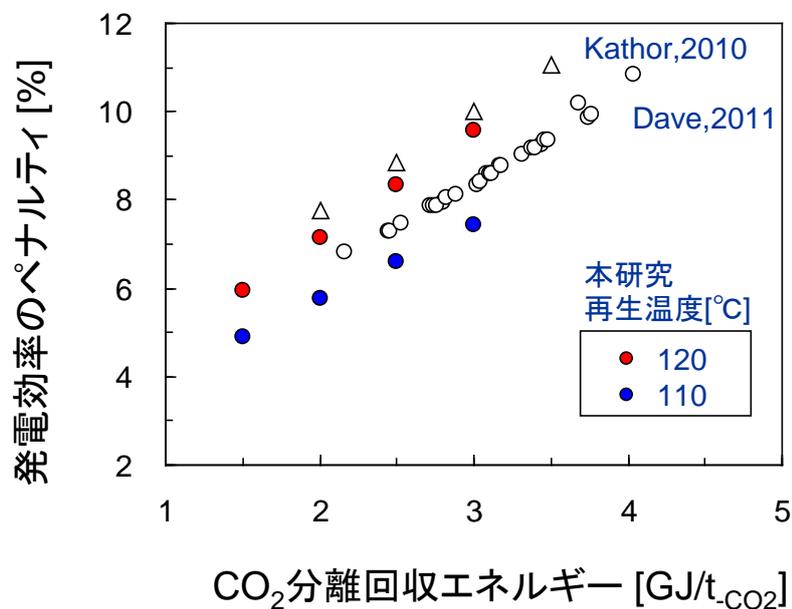


図 3-29 CO₂ 分離回収エネルギーの発電効率への影響

3-1-3. 特許出願状況等

表 3-8 特許・論文等件数

要素技術	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	取得ライセンス料	国際標準への寄与
固体吸収材の開発	1	0	1	0	0	0	0
液評価手法の開発	0	0	0	0	0	0	0
計	1	0	1	0	0	0	0

表 3-9 論文、投稿、発表リスト

	題目・メディア等	時期
論文	Energy Procedia「Development of Amine-Modified Solid Sorbents for Postcombustion CO ₂ capture」	H24.10 受理
	「CO ₂ Solubility and Species Distribution in Aqueous Solutions of 2-(Isopropylamino)ethanol and 2-(Propylamino)ethanol」	準備中
	「Isotherms and Isosteric Heats of Adsorption for CO ₂ in Amine-Functionalized Mesoporous Silicas」	準備中
投稿	二酸化炭素の有効利用技術 サイエンス&テクノロジー(株) 発行 「2章 二酸化炭素の分離回収技術開発の現状」	H22.7 発行
	エネルギー・資源 通巻 195 号 Vol.33 No.5 p39-43.「新規 CO ₂ 分離回収技術開発の動向」	H24.9 発行
	Applied Energy 「A Review of Efficiency Penalty in Coal-Fired Power Plants with Postcombustion CO ₂ Capture」	準備中
発表	第 49 回触媒研究懇談会「二酸化炭素の分離回収・貯留技術開発の動向」	H23.7
	日本吸着学会 25 周年記念シンポジウム「二酸化炭素の分離回収・貯留技術開発の動向」	H23.11
	化学工学会関西支部化学工学会イノベーション研究会「化学吸収液に関する技術」	H24.8
	化学工学会関西支部化学工学会イノベーション研究会「二酸化炭素分離回収技術(固体吸収材)の展開」	H24.8

表 3-9 (続き) 論文、投稿、発表リスト

	島津セミナー（触媒および多孔質材料の応用展開）「二酸化炭素分離回収技術開発への多孔質材料の応用展開」	H24.8
	第 26 回日本吸着学会研究発表会「アミン担持メソ多孔体における二酸化炭素吸収反応の解析」	H24.11
	GHGT-11「Development of Amine-Modified Solid Sorbents for Postcombustion CO ₂ Capture」	H24.11

3-2 目標の達成度

表 3-10 に中間目標に対する各要素技術の達成度を示す。各項目とも中間目標を達成しており、計画通り進行している。

表 3-10 目標に対する成果・達成度の一覧表

要素技術	目標・指標 (中間評価時の目標)	成果	達成度
(1) 新規固体吸収材の開発			
新規固体吸収材の作製	CO ₂ 吸脱着量差 > 2.9 mol/kg の固体吸収材を開発する。	CO ₂ 吸着量量差 > 4.7 mol/kg の固体吸収材を開発した。	達成
新規固体吸収材のプロセス検討	分離回収エネルギー < 2.5 GJ/t _{CO2} 達成の目処をつける。	シミュレーションにより分離回収エネルギー < 2.1 GJ/t _{CO2} の見通しを得た。	達成
(2) 化学吸収液の評価を行う標準的手法の開発			
CO ₂ 分離回収プロセスのプロセスシミュレータ構築	RITE 吸収剤を対象にプラント試験を実施し、CO ₂ 分離回収技術のプロセスシミュレータを構築する。	RITE 吸収剤を対象に、10 t _{CO2} /d 規模のプラント試験データを収集するとともに、CO ₂ 分離回収プロセスのプロセスシミュレータを構築した。	達成
アミン吸収剤特性の発電システムへの影響検討	アミン吸収剤を発電システムレベルで評価するためのプロセスシミュレータを構築する。	アミン吸収剤特性の影響を評価するためのツールとなる CO ₂ 回収型発電システムのプロセスシミュレータを構築した。	達成

4. 事業化、波及効果について

4-1 事業化の見通し

平成 26 年度までに、連続回収試験等により、材料安定性や耐久性評価を行う。連続試験の結果を踏まえ、材料およびプロセスの改良を実施し、目標を達成し得る要素技術を完成する。現在は基盤技術研究フェーズではあるが、本技術分野に興味を示す民間企業もあり、本成果を元に平成 27 年度以降は民間企業との協力、技術移転等を通じて、実用化研究を推進する。

実用化研究終了後は、特に、事業用ボイラー等、早期に実用化が見込まれる分野から先行して実用化を推進し、大規模化対応等、順次適用範囲を拡大していくことを想定している。

また、化学吸収液の評価手法に関しては、成果物をホームページ等に公開し、CO₂回収技術のユーザーである発電所やボイラー使用者はもちろんのこと、広く社会・国民に技術情報を提示し、アミン吸収剤の CO₂ 分離回収技術の早期実用化に資する予定である。

これらの技術開発を通じて、革新的CO₂分離回収技術の2020年頃までの実用化を図る予定である。

4-2 波及効果

本研究を通じて、低コスト・省エネルギー型の CCS 技術の早期実用化が期待されると同時に、小規模分散型の CO₂ 回収・利用分野など、様々な CO₂ 排出源への適用拡大が期待される。

特に、事業開始当初の目的とは直接関係しないものの波及して得られた成果として、本事業を通じて RITE アミン吸収剤の低温での良好な脱離性能は、より低温低圧領域での CO₂ 分離への適用が可能なが明らかとなった。現在、閉鎖空間（有人宇宙活動）用の CO₂ 除去への適用可能性が検討されている。さらに、民間企業により発電所以外の発生源からの分離への適用可能性についても検討されている。また、本研究を通じて、水蒸気共存下高圧で CO₂ 吸着量の大きな新規多孔質材料（MOF、ピュアシリカゼオライト）が見出されており、高圧ガスからの省エネルギー型 CO₂ 分離プロセスに適用できる可能性がある。

CO₂ 分離回収プロセスおよび発電システムのプロセスシミュレータは、ユーザーの詳細なプロセス検討に利用可能である。また、今回の対象は石炭火力発電所の燃焼排ガスからのアミン吸収剤による CO₂ 分離回収技術を対象としていたが、IGCC 等の新規発電技術や膜分離技術への検討に発展させ、CO₂ 排出源と CO₂ 分離回収技術のベストマッチを検討することが可能となる。

表 4-1 波及効果に関連する論文および発表リスト

	題目・メディア等	時期
論文	Journal of Chemical Engineering of Japan, 2012, Vol.45 No.6 p395-400 「 Study of Gas Adsorption Properties of Amidoamine-Loaded Mesoporous Silica for Examining its Use in CO ₂ Separation」	H24.6
	Journal of Materials Chemistry, 2012, Vol.22 No.38 p20186-20189 「Pure Silica CHA Type Zeolite for CO ₂ Separation Using Pressure Swing Adsorption at High Pressure」	H24.10
	「 Synthesis and Characterization of Hydrophobic Porous Coordination Polymer for Precombustion CO ₂ Capture」	準備中
発表	化学工学会第 43 回秋季大会 「省エネルギー型二酸化炭素分離用吸着剤の合成と機能評価」 ※分離プロセス部会賞受賞	H23.9
	化学工学会第 43 回秋季大会 「各種アミノシランを用いたアミノ修飾 MCM-41 の CO ₂ 吸着特性」	H23.9
	化学工学会第 77 回年会 「各種アミン修飾メソ多孔体の水蒸気共存条件下における二酸化炭素吸着特性評価」	H24.3
	日本化学会第 92 春季年会 「疎水的空孔を有する新規多孔性配位高分子の合成と水蒸気共存下での二酸化炭素吸着特性」 ※優秀講演賞（学術）受賞	H24.3

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等

5-1 研究開発計画

本研究開発は、公募による選定審査手続きを経て、公益財団法人地球環境産業技術研究機構が経済産業省からの委託を受けて実施した。実施に際しては、CO₂ の分離回収エネルギーコストを大幅に削減しうる先進技術の研究開発を推進することを目的として、米国研究機関の NETL と連携・協力して研究を推進する開発計画を策定した。

固体吸収材による CO₂ 分離回収技術は化学吸収法と異なり、蒸気放散によるエネルギー損失が無視できるため、CO₂ 分離回収エネルギーの低減の可能性がある。この研究はアミンを吸収剤として固体の基材（担体）に担持させた固体吸収材の開発で、RITE が蓄積するアミン吸収剤とそのデータベースを活用することで固体吸収材の高性能化が期待できる。

また RITE は、これまでに低エネルギー・低コスト型のアミン吸収剤を開発し（経済産業省補助事業「低品位廃熱を利用する二酸化炭素分離回収技術」（平成 16～20 年度）、世界トップレベルの低 CO₂ 分離回収エネルギー（2.5 GJ/t_{CO2}）を達成している。そこで、固体吸収材材料開発と並行して、蓄積したアミン吸収剤の研究成果および NETL のプロセス性能評価技術をベースに、CO₂ 発生源を含めたシステム全体を対象とするアミン吸収剤のプロセスシミュレーション技術の構築が急がれている。これに関しても NETL のプロセスシミュレーション技術を活用し、技術の完成を図ることができる。

固体吸収材の開発に関しては、平成 24 年度までは特に表 14 中の実施項目①、②に注力し、NETL が開発した固体吸収材の担体と RITE 液を組み合わせた固体吸収材の作製を試み、その性能を評価するとともに、評価結果を元に計算化学を併用して、高性能が期待できる材料系を中心に、アミン、担体、担持方法など、材料探索を行う。平成 25 年度以降は特に、小型回収試験装置を用いて各種条件下での CO₂ 回収性能を評価し、得られたデータから固体吸収材を用いた最適分離プロセスの検討を行うとともに、プロセス検討結果をフィードバックして最適な材料の検討、改良を実施し、回収エネルギー 1.5 GJ/t_{CO2} を達成しうる固体吸収材を開発する。

アミン吸収剤の評価手法の開発は、平成 23 年度まで表 5-1 中の実施項目⑥、⑦に注力した。具体的には、高性能化学吸収液の一つである RITE 開発液を対象とするプラント試験、アミン吸収剤による CO₂ 分離回収技術のプロセスシミュレータの構築、およびアミン吸収剤を発電所全体のシステムレベルで評価するためのプロセスシミュレーション技術を構築した。平成 24 年度以降は、NETL との共同研究等を通してアミン吸収剤のプロセスシミュレーション技術の精度

向上を図る。また、発電システムにおけるアミン吸収剤特性の影響について感度解析を実施し、低エネルギー・低コスト型の CO₂ 分離回収技術を評価・検討する。

以上の実施項目をもとに、平成 26 年度までに、回収エネルギー1.5 GJ/t_{CO2} を達成し得る革新的な二酸化炭素分離回収技術の要素技術の完成を目指す。

表 5-1 研究開発計画

	H22	H23	H24	H25	H26
<u>新規固体吸収材の開発</u>					
① RITE 吸収剤と NETL 担体の組み合わせによる新規固体吸収材の開発					
② 新規固体吸収材の開発と計算化学による検討					
③ 新規固体吸収材を用いた CO ₂ 分離回収技術のプロセス性能評価					
④ 新規固体吸収材の性能向上とプロセス最適化					
<u>化学吸収液の評価を行う標準的手法</u>					
⑤ NETL の評価手法による RITE 吸収剤の性能評価					
⑥ CO ₂ 分離回収プロセスの試験データ集積とプロセスシミュレータの開発					
⑦ CO ₂ 分離回収設備を有する発電システムのプロセスシミュレータの開発					
⑧ プロセスシミュレーションによるアミン吸収剤の評価手法の汎用化検討					
⑨ アミン吸収剤の評価手法の高度化					

5-2 研究開発実施者の実施体制・運営

(1) 実施体制

本研究開発は、公募による選定審査手続きを経て、公益財団法人地球環境産業技術研究機構が経済産業省からの委託を受けて実施した。実施に際しては、研究開発実施者である RITE の化学研究グループ（グループリーダー：中尾真一）による統括管理体制のもと、研究計画、進捗状況管理、経費配分と執行管理に当たっている。

また、温暖化問題は我が国一国の問題ではなく、国際協力の下で解決されるべき課題であり、対策技術の開発も国際的な協力の下で実施することが好ましい。このため、米国 DOE(Department of Energy)の NETL(National Energy Technology Laboratory)との研究協力体制を構築している。NETL は米国エネルギー省の中心的な研究機関であり、CO₂ 分離回収技術について、既存のアミン吸収剤を用いた多くの試験結果を基に高度なシミュレーション技術を構築している。2009 年には NETL と研究協力テーマの議論を行い、固体吸収材の開発およびプロセスシミュレーション技術について協力して研究することに合意している。本年度は、知的財産権の適切な取り扱いを取り極めた契約の下に、より効果的な研究協力体制を築き、事業の促進を図る計画とした。

また、大学の有識者からなる推進委員会を設置し、研究開発の推進を図るとともに、事業を効率的に進めるため、再委託先として東芝株式会社（パイロットプラント試験）、長瀬弁護士事務所（NETL との契約締結作業）が参加した。

これらの実施体制を以下に示す（図 5-1 および図 5-2）。

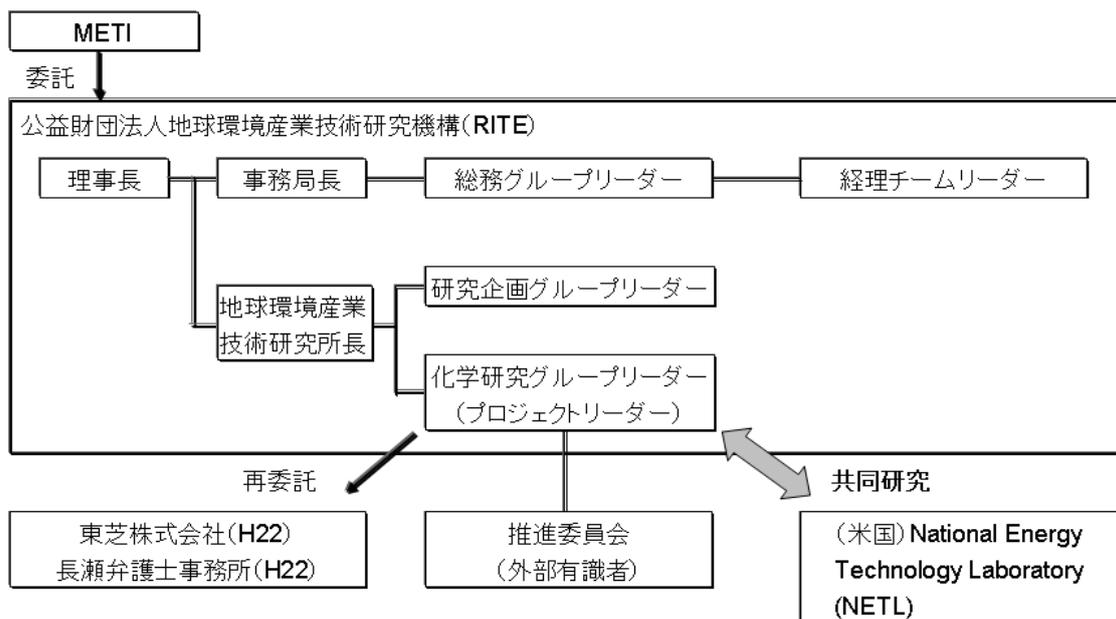


図 5-1 研究開発実施体制

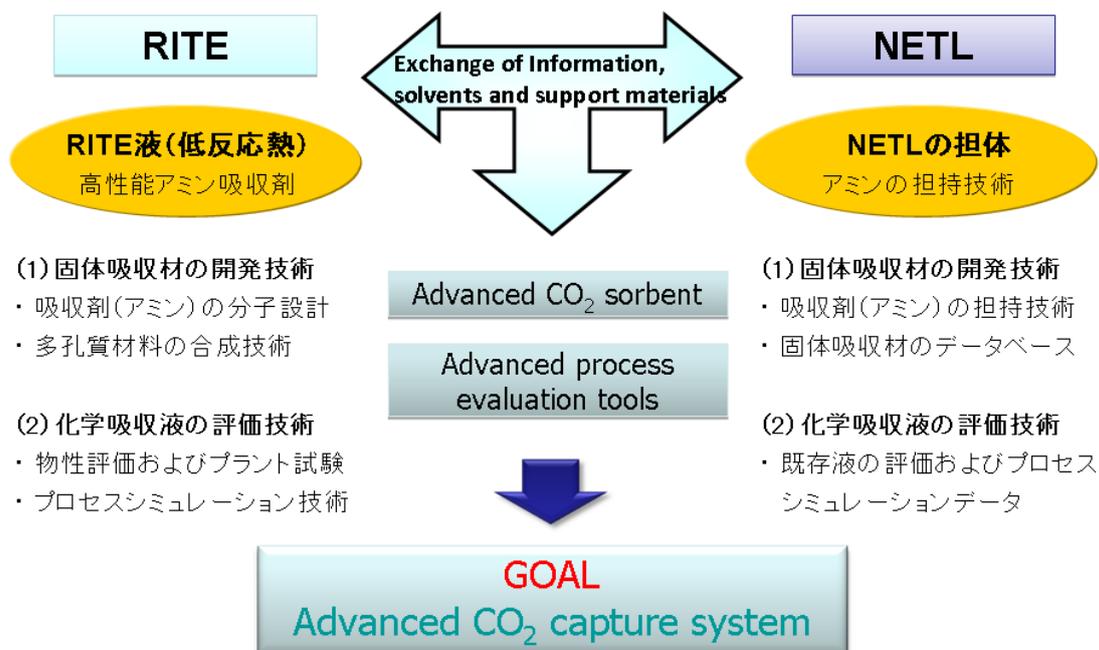


図 5-2 日米研究機関の協力体制

(2) 国民との科学・技術対話の推進

本研究活動の内容や成果を社会・国民に対して分かりやすく説明することを目的として、以下の活動を実施した。

① 大学院大学における研究・教育活動

RITE 化学研究グループは国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学の物質創成科学研究科において連携研究室（環境適応物質学研究室）を担当し、温暖化対策技術に関する講義と配属学生の研究指導を実施している。講義（先端物質科学特論）では、研究目的、内容等、研究成果の講演や受講者との対話を行うとともに、配属学生 of 修士論文、博士論文指導を通じて技術の理解を深める活動を実施した。

② シンポジウムの開催

RITE がこれまで推進してきた低炭素社会実現に向けての温暖化対策シナリオ提案、CO₂ 分離回収技術、CO₂ 地中貯留技術、バイオリファイナリー技術に関する研究・開発の成果と今後の展望について、世界の最新動向・日本の現状を踏まえて以下の研究活動報告を実施した。

平成 24 年度

「革新的環境技術シンポジウム～グリーン成長を目指して～」(2012 年 12 月 5 日開催 伊藤謝恩ホール (東京))

平成 23 年度

「革新的環境技術シンポジウム ～低炭素・グリーンイノベーションの実現に向けて～」(2011 年 12 月 1 日開催 全社協・灘尾ホール (東京))

平成 22 年度

「革新的環境技術シンポジウム ～低炭素・グリーン化社会の実現に向けて～」(2010 年 12 月 2 日開催 全社協・灘尾ホール (東京))

③ セミナー、研究会等での研究成果の講演・説明

従来の専門分野に特化した学会以外に以下のセミナーや研究会で本事業への取り組みについて研究活動報告を実施した。

平成 24 年度

島津セミナー（触媒および多孔質材料の応用展開）「二酸化炭素分離回収技術開発への多孔質材料の応用展開」（2012 年 8 月 29 日 島津製作所（京都））

化学工学イノベーション研究会「化学吸収液に関する技術」・「二酸化炭素分離回収技術開発（固体吸収材）の展開」（2012 年 8 月 3 日開催 RITE（京都））

5-3 資金配分

年度ごとの資金配分を以下の表 5-2 に示す。

平成 22 年度は、化学吸収液の早期実用化促進を先行して進めるために、東芝でのプラント試験データ取得等、化学吸収液の評価を行う標準的手法の開発に資金を重点的に配分した。平成 23 年度以降は、次世代の二酸化炭素分離回収技術として期待される新規固体吸収材の開発への資金配分を徐々に増加させている。

表 5-2 資金配分 (単位：百万円)

年度 平成	22	23	24	合計
固体吸収材等研究開発事業 (合計)	174	98	136	408
新規固体吸収材の開発	59	61	82	202
化学吸収液の評価を行う標準 的手法の開発	115	37	54	206

5-4 費用対効果

本事業の効率性を判断するに当たっては、事業を実施することによって得られる CO₂ の削減量のみならず、事業による市場創出等の経済効果をも考慮することが必要である。他方で、これら効果については、今後の金融・税制優遇措置や京都メカニズムの適用によって大きく変わる可能性があり、現段階では定量的評価は困難である。なお、IEA「エネルギー技術展望 2010」等に示されているとおり CO₂ 排出削減量を CCS の導入によって実現することとなれば、CCS 市場は大規模なものとなることが想定される。

本事業は、二酸化炭素回収・貯留（CCS）の実用化を目的とし、そのために総コストの 6 割以上を占める分離回収コストを低減する技術を開発するものである。本事業の二酸化炭素回収技術を実用化し、発電所等の大規模発生源からの CO₂ 分離に適用することで、CO₂ の分離に要するコストを現状の約 4,200 円/t_{CO2} を 2,000 円台/t_{CO2} に削減することが見込まれる。

温暖化対策としての CO₂ 貯留は、それ単独では経済的価値を産み出しにくい技術であるが、これらの事業成果により、CO₂ 貯留の経済的障害を緩和することができるようになり、CO₂ 貯留の実用化に向けて着実に前進することができるものとする。

我が国の帯水層への CO₂ 貯留可能量は、カテゴリ A の基礎試錘データがあるもので約 52 億トン程度、全体では 1,461 億トンと見込まれている。また、カテゴリ A 帯水層への CO₂ 貯留に関しては、他の温暖化対策オプションに比べて経済的に有利であるとのモデル評価結果がある。現状で約 4,200 円/t_{CO2} の分離回収技術が 2,000 円台/t_{CO2} になれば、トン CO₂ あたり 1,200~2,200 円の便益があり、カテゴリ A 帯水層可能量 52 億トンの CO₂ 貯留に適用した場合に、約 6 兆 2 千億円~11 兆 4 千億円程度の便益が得られることになる。本事業の効果により CO₂ 貯留の実現性が増すばかりでなく、カテゴリ A に相当する CO₂ を処理した場合に限っても、CO₂ 処理費用を低減する効果は莫大なものであり、本事業は研究開発費を大きく上回る十分な費用対効果を有するものと判断される。

5-5 変化への対応

本事業計画当初と比較して、原子力発電の状況が大幅に変化しており、今後、エネルギーの消費による CO₂ 排出量の増加が予想されるため、日本における化石燃料の安定的な使用のためには CCS の早期実用化が不可欠である。

そのためには、日本が得意とする CO₂ 分離回収技術のより一層のコスト低減・省エネルギー化とその実用化が急務であり、日本独自で開発した CO₂ 分離回収技術を世界に普及することで、国際貢献することが重要である。したがって研究開発を実用化研究にスムーズに移行させることが重要であり、基盤技術研究フェーズではあるが、民間企業との打合せ、情報収集を積極的に行っている。

また本事業は、米国国立研究所（NETL）と連携、協力しつつ、新しい二酸化炭素分離回収技術を開発するものであり、双方の有する先進的な技術や知見によって本事業で成される知的財産の適切な取扱いについては、実施者間で共同研究契約を締結することが必要である。

当初、共同研究契約において、NETL は米国連邦法（第 15 巻第 63 章「技術革新」§3710a）で定められた契約書フォーマット（CRADA）の適用を検討したが、この契約では、共同研究で発生した知財は米国国内で優先的に実施する必要があるなど、日本側の適正な権利が侵害されるものとなっていた。そのため両国政府間で協議を重ね、平成 23 年 4 月に国家間不平等条項等を解消すべく上記 CRADA を修正した、新たな契約基本案（short form CRADA）を、両国政府協議の下、作成することとなった。RITE は、平成 23 年 7 月に両国政府から当該契約基本案が提示されたことを受けて、8 月から NETL との契約書交渉を再開し、平成 24 年 5 月に RITE-NETL 間の共同研究契約を締結した。

以上の契約に係る手続きのため、平成 22 年度事業について、共同研究契約下での実施項目（NETL における RITE 開発吸収剤をベースとした新規固体吸収材の作製と評価、NETL 保有の装置による RITE 吸収剤の評価試験等）の期間内実施が不可能となった。しかし、NETL とは公開ベースの技術情報交換を通じて、RITE は新規固体吸収材開発および化学吸収法のプロセスシミュレーション技術に関する最大限の計画遂行とその成果を挙げ、最小限の計画変更により平成 22 年度事業を完遂した。また、共同研究は平成 24 年 5 月から開始されており、平成 24 年度事業以降の研究開発に反映する予定である。

第 3 章 評価

第3章 評価

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

CCSは地球全体のCO₂排出量の大幅削減を可能とする革新的技術と位置付けられているが、今後のCCSの実用化に向けては多くの課題も存在する。特に、CO₂の分離・回収にかかるコストが全体の約6割を占めており、CO₂分離・回収におけるコスト削減はCCS技術普及のための重要なテーマとなっていることから、本事業の目的・政策的位置付けは妥当である。

また、CCSの実用化に当たっては、技術開発による安全性向上やコストダウンのほか、制度的、社会的課題を解決する必要がある。実用化時点でのビジネスモデルも明確になっていない現時点では、民間企業には技術開発のインセンティブが働きにくく、国の関与の必要性は極めて高い。

一方、固体吸収材料の性能が優れていることは示されているが、CO₂分離・回収技術として他の方法も存在する中、どのような技術ポートフォリオを描き、どのような優先順位で研究開発投資を行うのかの道筋を示していく必要がある。科学的・技術的意義だけでなく、システムを含めたコスト面（特にアミン吸収液に比べ）においても本事業に優位性があることを示すことが必要である。

【肯定的意見】

○CCSは地球全体のCO₂排出量の大幅削減を可能とする革新的技術と位置付けられているが、今後のCCSの実用化に向けては多くの課題も存在する。特に全コストの6割以上を占めるCO₂の分離・回収技術の高度化や低コスト化が不可欠であり、これらの課題の克服さらには潜在する課題を明らかにするためには、国の関与の必要性は極めて高い。（A委員）

○CO₂削減においては、CCSの実用化は有望な技術として着目されとり、先進国においてはCCSの具体的なパイロットプロジェクトが既に始まっている。しかし、一方でCCSにおけるCO₂削減コストは高く経済性がないのが現状であり、そのことがCCS技術の普及の最大の障害要因になっていることも事実である。特に、CCSにおいてCO₂の分離・回収にかかるコストが全体の約6割を占めており、CO₂分離・回収におけるコスト削減はCCS技術普及のための重要なテーマとなっている。（H委員）

○固体吸収材料の科学的・技術的な新規性、独創性は高く評価できる。政策的な必要性や国内外への普及を目指す社会的かつ経済的な重要性も理解でき、事業の目的・政策的位置付けは妥当である。（B委員）

- CCSはCO₂の分離回収から始まる。それのための技術開発を行うのが本事業であり、その意味に於いてCCSの基幹をなすもので非常に重要である。
(E委員)
- 研究実施母体の今までの成果に基づき、重要な課題に対する研究を実施するものであり、その位置づけは妥当である。(D委員)
- 福島原発の事故は原子力エネルギー政策に大きな影響を与え、一方で原子力発電を補完するクリーンエネルギーは高コストにあり、普及までには相当な時間を要することが見込まれる。その中で、今後の電力不足を補うには当面は化石燃料に頼った発電方式に頼らざるを得ず、現実に電力会社や企業は火力発電の増設や設備強化へと動いている。ただでさえ、CO₂による温暖化が叫ばれている中で、CO₂を増やす要因が益々増えていることは深刻な問題となっており、CO₂削減技術の普及は待ったなしの状況となってきた。(H委員)
- CO₂捕捉は、日本の強みの分野であり、一層の強化を目的とする研究は推進すべきである。但し、日米共同で始まり提案がアメリカ側にあった点が引かかる。成果は優れているが。(C委員)
- CCSは、省エネや効率化技術と違い、それ自体が経済的価値を生み出さない。経済的なインセンティブが生まれるとすると、炭素税や排出権取引制度のようなCO₂排出をコスト化する制度が前提になる。しかし、国連気候変動枠組み条約締約国会議の動向を見ると、ポスト京都議定書の枠組みにますます不透明感が増しており、政策的にCO₂排出をコスト化する動きが強まってはいない。
だが、気候変動問題は、異常気象の頻発など、何らかの世界的なイベントをきっかけに、再び国際的に取り組みが活発化し、CO₂排出のコスト化のリスクが顕在化する可能性もある。こうした事業性の予測が難しい問題に関しては、国が主導する意義は大きい。(F委員)
- 二酸化炭素の吸着回収プロセスに対して新規な吸収材を開発することは、二酸化炭素回収技術の省エネルギー化に対して資するものと評価できる。また、二酸化炭素回収技術は、そのままでは経済的にペイすること困難であるが、一方、その実用が必要とされた際の対応する手段をわが国として保有すること、および二酸化炭素回収技術が、エンジンメーカーなどが海外で事業展開する際に不可欠な現状を考えれば、わが国独自の当該技術の開発は、広く国民のニーズと合致すると言えるので、公的資金によってその開発を支援すべき案件と判断できる。(G委員)

【問題点・改善すべき点】

- 民間では、国内外でアミン吸収液をベースとしたCO₂分離回収の実用化を目指す

した取り組みが急速に進んでいる。固体吸収材料の性能が優れていることは分かるが、国の事業として進めるには、科学的・技術的意義だけでなく、システムを含めたコスト面（特にアミン吸収液に比べ）においても本事業が優位性であることを示す必要がある。（B委員）

- CO₂分離・回収技術として、本事業の固体吸収材等の研究開発事業以外の方法も存在する中で、本事業を含めてどのような技術ポートフォリオを描き、実行性や経済性の観点からどのような優先順位で研究開発投資の配分を行うのかがよくわからないし、説明がなされていない。優先順位とその理由等がわかるような説明が欲しいし、ポートフォリオの中では、技術成果によって優先順位が変わることもあるので、事業のアウトカムをベースに適宜優先順位と投資配分を積極的に見直して頂きたい。（H委員）
- 低炭素社会の実現に向けて、CCSの革新的技術には期待しているところであるが、国の事業としては実用化を見据えたシステム開発を強く意識すべきである。システム開発には大規模実証試験を通じて技術的な課題の抽出が不可欠であることから、国の主導のもとで複数の大規模実証試験の実施が求められる。（A委員）
- 新規性、先進性等の観点では、他の先行技術と比較して、一線を画した目標とは言えない。（G委員）
- 回収したCO₂を積極的に利用するCCU(CO₂回収・利用)やCCR(CO₂回収・再利用)の試みが欧米を中心に活発化している。従来の油田へのEOR(回収増進)だけでなく、化学工程への利用やハウス栽培や藻の培養などへのCO₂活用だ。こうした試みはまだ事業性などの検証が十分ではないものの、技術開発が進展しビジネスモデルとして成立した場合、CO₂回収が純粋に経済的な価値を生む可能性もある。すでに欧米ではCCUを目指すベンチャー企業も登場している。国内でもこうした動きを睨みつつ、民間企業を巻き込んだ取り組みにつなげていくことも考えてほしい。（F委員）

2. 研究開発等の目標の妥当性

最終目標として、現行の化学吸収方式で最も高い性能を大幅に超える数値目標が設定されていることは評価できる。

一方、もともと米国先行の技術であったことから、中間評価の目標として、現行の先行技術レベルの最高値と同等の目標値を設定しているが、先進的、革新的、先導的と主張できるようより挑戦的な目標の設定を期待したい。

実用化するうえで低コスト化が重要な課題であることから、コストを意識した目標を設定することが必要である。また、目標値とコストの整合性を図り、オーバースペックになることを回避して貰いたい。

【肯定的意見】

- 現行の化学吸収方式で最も性能が高いものでCO₂分離回収エネルギーが2.5 GJ/t. CO₂であることに対して、本事業では分離回収エネルギーを最終的に1.5GJ/t. CO₂以下にすることを目指しており、目標として妥当であると考えられる
CO₂吸脱着量差に対する目標値に対しても、NETLにおける現状の最高値である2.9mol/kgを大幅に超える5.0mol/kgを設定していることは、野心的であり評価できるものである。(H委員)
- 数値設定は、最高レベルを目指した挑戦的な水準であり評価できる。中間評価の目標値も、段階を踏んだ進展を目指すのであれば妥当である。(B委員)
- NETLの性能(2.9mol/kg)以上、RITE液の2.5GJ/t-CO₂を上回ることを中間目標したのは、世界的にトップレベルを目指す上では妥当に思う。(F委員)
- 現行の先行技術レベルと同等の目標を立てることは必要であったと判断できる。(G委員)
- 目標は適切に設定されているものと考えられる。(D委員)
- CO₂分離回収エネルギーを大幅に削減するために必要な二酸化炭素固体吸収材の技術性能について、具体的な数値目標が設定されていることは評価できる。また、固体吸収材の研究開発に実績のある米国国立研究所と共同研究することは効率的である。(A委員)
- 中間評価として目標を達成できている。(C委員)

【問題点・改善すべき点】

- もともと米国先行の技術であったこともあって、当初は同等の性能を発揮する剤の開発が目標とされていたと理解した。科学技術的には、取り組みが特に難しい内容とは思えず、もっと高い目標を掲げないと、先進的、革新的、先導的とまでは言えない。(G委員)

- 最終目標値は技術イノベーションを必要とする非常に高いレベルの目標を立てており評価できるが、中間評価段階における目標値は現状レベルの最高値と同等(CO₂ 吸脱着量差 2.9 mol/kg, 分離回収エネルギー2.5 GJ/t. co₂ 以下)とした無難な値を設定しており、目標値としての意味をなしていないと思える。(H委員)
- 投ずる予算や理論点的な技術可能性を鑑みれば、最初からもっと挑戦的な数値目標を設定する意気込みも持っていただきたい。(F委員)
- 目標が低すぎる(当初から目処のたった目標になっている)。
目標の設定の仕方を、より論理的にすべきである。やみくもに従来より性能を上げる、あるいは他の技術(NETLなど)よりも良くするというだけではなく、経済性や国家戦略に沿った計画を立て、何時までにどの程度性能を上げるのかを具体的数値として示す、各課題に重みを付ける(優先順位をつける)などが必要である。(E委員)
- 本研究開発ではCO₂の分離回収エネルギーの削減を第一義として目標設定がされているようであるが、実用化するうえで低コスト化も重要な要素であることから、具体的なコスト目標も設定することが必要ではないか。(A委員)
- 学術的には評価できる目標値が設定されているが、コスト面での整合性が示されていないため、オーバースペックになる可能性もある。(B委員)

3. 成果、目標の達成度の妥当性

固体吸収材としては世界最高レベルの吸脱着量を実現し、優れた成果を上げたことは評価できる。特に耐水性に優れている点は今後の実用化を考えると大きな特徴となる。学術賞という目に見える成果も良い。また、発電所への適用を想定したプロセスシミュレータを構築したことは、事業化を定量的なデータをもとに考える上で、たいへん有効になると評価できる。

一方、回収エネルギーがシミュレーション値であることを考えると、実験による確認が必要である。また、エネルギー効率面でVSAが良いのか、TSAが良いのかなどのシステムの最適化を検討する必要がある。

特許の問題があると思うが、技術内容が開示されていない部分があるため、新規性などを正しく判断することが難しい。

費用に比して論文や特許の数が少なく、今後、積極的に論文や特許を出すことで知財の賢明な確保を準備して貰いたい。

また、この成果によってCO₂の分離・回収にかかるコストがどの程度低減できるかを示す必要がある。

【肯定的意見】

- 固体吸収材としては世界最高レベルの吸脱着量を実現し、優れた成果を上げた。特に耐水性に優れている点は今後の実用化を考えると大きな特徴となろう。(B委員)
- 先行の米国技術を凌駕する剤の開発に成功したことは評価できる。(G委員)
- 目標を上回る世界トップの性能を達成したのは、たいへん評価できる。(F委員)
- 上限に近いCO₂吸脱着量差を実現できたことは、優れた成果である。学術賞を受賞していることは、目に見える成果である。(E委員)
- 成果としては、吸脱着量差4.7mol/Kg以上、及び、分離回収エネルギー2.1GJ/tCO₂以下を達成し、より最終目標の達成を期待させるところまで来ているので、充分成果があったと思われる。(H委員)
- 開発した二酸化炭素固体吸収材は設定した目標を上回る技術性能を見出しており、早期の実用化に期待が持てる。現段階では、最終的な目標に向かって着実に研究開発を達成していると評価できる。(A委員)
- アミンの固定化という共同発想に基づいて、担体およびアミンを工夫し、優れた成果をあげている。(C委員)
- 順調に研究が進んでおり、成果が出されていると判断される。材料開発において、極めて吸脱着量差が大きい材料を見出したことは高く評価される。

(D委員)

- 発電所への適用を想定したプロセスシュミレータを構築したことは、事業化や実用化を定量的なデータをもとに考える上で、たいへん有効になると評価できる。(F委員)
- 先進的な吸収剤のプロセスシミュレータが存在しない中で、今後のCO2固定吸収剤の有力な候補であるRITE吸収剤に対してのプロセスシュミレータを構築できたことは、RITE吸収剤をベースとした今後の固定吸収剤の開発事業において、大きな成果であったと言える。(H委員)

【問題点・改善すべき点】

- 回収エネルギーはシミュレーション値であることを考えると、実地試験での実証が必要である。また、エネルギー効率面でVSAが良いのか、TSAが良いのかなどのシステムの最適化を至急検討する必要がある。(B委員)
- 実用化の目処をはかるためにはコスト評価が必要であり、今回、設定目標を上回る成果を上げていることを踏まえれば、この成果によってコストはどのくらいになるのかも合わせて示す必要があるのではないか。(A委員)
- 特許の問題があると思うが、技術内容が開示されておらず、新規性などを正しく判断することは難しい。また、開発剤のコスト評価がしっかりと行われたとは言えない。(G委員)
- 特許がない。費用に比して論文発表が少ない。守秘のために論文発表できないとすれば、特許を出すべきである。(E委員)

4. 事業化、波及効果についての妥当性

民間企業との協力を念頭に開発スケジュールを立てていることは評価できる。民間企業との協力を推進することで、早期の実用化を目指して欲しい。また、本研究開発で得られた化学吸収法の評価手法を公開することは、民間企業等の活用によって技術革新が進むことが期待される。

材料の高い性能を考えると、今後他分野での実用化が期待される。また、材料の設計法も学術的には価値ある成果であり、材料合成の分野への波及効果が期待できる。

一方、実用化を目指すならば、プロセスの概念設計とコスト評価まではプロジェクトに取り込む必要がある。

また、実用化には大規模実証試験を通じて技術的な課題を抽出することも必要であることから、今後、実用化に先だって、大規模実証試験での実証が望まれる。

なお、商用技術、製品は国内外に販売できる認識も堅持して、成果に基づいた波及効果を明らかにするとともに、事業化の見通しを具体的に示して欲しいという意見があった。

【肯定的意見】

- 実用化を進めるに当たっては民間企業との連携が必要不可欠であり、民間企業との協力を念頭に開発スケジュールを立てていることは評価できる。また、本研究開発で得られた化学吸収法の評価手法を公開することは、民間企業等の活用によって技術革新が進むことが期待される。（A委員）
- 現状が基盤研究の段階である中で、民間企業が本技術の実用化に興味を示していることは非常に好ましいことである。民間企業との協力を推進することで、早期の実用化を目指して欲しい。（H委員）
- 企業でプロセス化を検討しているとのコメントがあり、肯定的に評価できる。（G委員）
- 統合されたプロセスとしての技術の実用化に関しては、さらに検討が必要と思われるが、実施の方向性に関しては見通しがあるものと判断した。（D委員）
- 材料の高い性能を考えると、今後他分野で実用化させる可能性はある。また、材料の設計法も学術的には価値ある成果であり、材料合成の分野への波及効果は期待できる。（B委員）
- アミン吸着剤を固体吸収材に担持させ、一時的にCO₂を吸収・脱離させる、という一連の仕組みは、自動車の直噴エンジンやディーゼルエンジンなどリーン燃焼時の排ガス浄化に使われる「NO_x還元吸蔵触媒」の機能を連想させる。

CO₂の固体吸収材は、排ガス触媒と同様、乾式でコンパクトゆえに、将来的には分散電源に適用し、回収したCO₂を利用するCCUシステムへの展開も考えられる。高性能なCO₂固体吸収材が実用化できれば、CCSの枠を超えた産業技術として、CO₂排出のコスト化を前提にせずとも、自立的に普及する可能性もある。（F委員）

○見通しは立っているが、他分野への波及も考えられる。（C委員）

【問題点・改善すべき点】

- 実用化を目指すならば、プロセスの概念設計とコスト評価までは当初からプロジェクトに取り込むべきではないか。それによって、はじめて実用化可能な開発剤の性能、コストが正しく評価できることになるはずである。また、企業化検討されているとのことであったが、その内容は明らかではないので、そのレベルは評価が難しい。（G委員）
- 2020年を目標とした場合、至急実用化研究フェーズに移行する必要がある。吸収塔による評価により、新たな問題点が浮上する可能性もある。事業化を考えると、コスト試算が行えていない現状を危惧している。（B委員）
- 成果に基づいた波及効果が生じていない。
事業化の見通しが具体的でない。（E委員）
- 実用化には大規模実証試験を通じて技術的な課題を抽出し、その分離回収技術に適したシステム開発が必要であることから、大規模実証試験を積極的に推進していくべきである。（A委員）
- 技術ルートマップにおいては、2020年頃に革新的な分離回収技術の実用化を設定しているが、技術ルートマップのタイムスケジュールを気にせず、できるものはどんどん前倒しして頂きたい。（H委員）

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性

CO2削減は国際社会全体の問題となっており、世界各国が協力して取り組むべき課題となっている中で、米国 NETL との共同開発体制を構築し研究開発を加速させていくやり方は、開発プロセスの短縮にも繋がり評価できる。また、研究開発に当たっては、権利が侵害されない配慮もされており、今後もさらに徹底して貰いたい。

資金も研究の進捗状況に応じて適切に配分されている。また、シンポジウムを主催し、情報発信に努めている。

一方、費用対効果については、現状の分離回収コストから比較することも良いが、CCS以外の削減手段（太陽光、風力などの再生可能エネルギーで抑制した場合）との比較もあれば、CCSの有益性をより分かり易く示せるのではないかと考える。

また、知的所有権等の様々な課題は存在するとは思われるが、今後の事業化を考えると、知財の活用を念頭に他の研究機関や企業等との交流を積極的に推進することが望まれる。

【肯定的意見】

- 研究開発体制として米国NETLとの共同開発体制を構築して進めていることは評価に値する。CO2削減は国際社会全体の問題となっており、世界各国が協力して取り組むべき課題となっている中で、率先して国際協力の関係を構築し研究開発を加速させていくやり方は、他事業にも参考となる開発体制のモデルでもある。（H委員）
- 国内のCCS研究をリードするRITEを主体に、米国研究機関、CCSプラントの事業化を目指す東芝と組んだ体制は、基礎研究の段階としては適切であろう。（F委員）
- 化学吸収法の改善点であるCO2分離回収エネルギーの低減を固体吸収材の開発で見出したことは有意義であり、また一から固体吸収材を開発するのではなく、実績のある米国国立研究所の固体吸収材を使うことは開発プロセスの短縮にも繋がり非常に評価できる。（A委員）
- CCSは国際的な取り組みであるので他国の研究機関と協調することは良いことである。協調に当たって、権利が侵害されないように配慮していることも良いことである。（E委員）
- お互いの強みを生かした協力体制を築き、研究が実施されている。資金も研究の進捗状況に応じて配分されており、適切に運用されている。（B委員）
- シンポジウムを主催して情報発信に努めているのは良いことである。（E委員）

- スケジュール等については特に異論はない。（G委員）
- この項目がすべてについて妥当である。（C委員）

【問題点・改善すべき点】

- 費用対効果の考え方として、現状の分離回収コストから比較することも良いが、CCS以外の削減手段（例えば貯留可能量52億トン分のCO₂を太陽光、風力などの再生可能エネルギーで抑制した場合）との比較もあれば、CCSの有益性をより分かり易く示せるのではないか。（A委員）
- 知的所有権等の様々な課題は存在するとは思われるが、今後は米国だけでなくその他EU先進国を含めた国際協力の枠組みも視野に入れ、積極的に研究開発成果の共有や情報交換を行い、知的交流を通して新たなアイデアを醸成しイノベーションを実現して頂きたい。（H委員）
- 予算額から考えると、協力体制の規模が小さいように感じる。他の研究機関、企業を積極的に取り込む必要はないか？（B委員）
- 当初より、よりコストとプロセスを意識したプロジェクトであった方が良いのではないか。（G委員）

6. 総合評価

CO₂削減効果の高いCCSを実用化するためには、今後、更なる低コスト化・高度化が必要であり、特に全コストの6割以上を占めるCO₂の分離・回収の技術は重要である。固体吸収材料の科学的・技術的な新規性、独創性は高く評価できる。目標を上回る世界最高レベルの吸脱着量を実現する優れた成果を上げており、今後、計画通り進めば事業化に期待が持てる。

一方、実用化に当たっては、低コスト化が課題であり、今後は、プロセスとコストを意識した研究開発とする必要がある。また、目標値とコストの整合性を図り、オーバースペックになることを回避して貰いたい。

評価が適切にできるよう、目玉となる技術内容の開示を工夫して貰いたい。

回収エネルギーがシミュレーション値であることを考えると、実験による確認が必要である。

実用化には大規模実証試験を通じて技術的な課題を抽出することも必要であることから、今後、実用化にあたっては、大規模実証試験での実証が望まれる。

また、知的所有権等の様々な課題は存在すると思われるが、今後の事業化を考えると、知財を念頭に他の研究機関や企業等との交流を積極的に推進することが望まれる。

【肯定的意見】

○CO₂削減効果の高いCCSを実用化するためには、今後、更なる低コスト化・高度化が必要であり、特に全コストの6割以上を占めるCO₂の分離・回収技術は重要であることから、実用化に向けた定量的な目標水準や明確な開発スケジュールを定めている本研究開発は非常に評価できる。今後とも国主導のもと積極的に推進していくべきである。（A委員）

○固体吸収材料の科学的・技術的な新規性、独創性は高く評価できる。政策的な必要性や国内外への普及を目指す社会的かつ経済的な重要性も理解でき、事業の目的・政策的位置付けは妥当である。固体吸収材としての数値設定は、最高レベルを目指した挑戦的な水準であり、中間評価の目標値も、段階を踏んだ進展を目指すのであれば妥当である。また、その数値は世界最高レベルの吸脱着量を実現し、優れた成果を上げた。特に耐水性に優れている点は今後の実用化を考えると大きな特徴となろう。今後、システム化が計画通り進めば事業化に期待が持てる。（B委員）

○二酸化炭素回収技術の開発は公的資金の適切な支援により進めることは妥当である。吸収材の開発は重要な技術要件であり、良好な吸収性能をもつ剤の開発に成功している。（G委員）

○日米の共同としてスタートし、工夫により優れた成果をあげている。（C委

員)

- 本事業によって固体吸収材の性能が大きく向上している。(E委員)
- 湿式プロセスで得た知見を生かしつつ、乾式でより高性能化を目指す、という研究開発の方向性は、今後の応用可能性を広げる点で、たいへん評価できる。短期間で目標を上回る成果を着実に達成しており、今後の発展性が期待できる。(F委員)
- 国際協力を推進するため日米政府に対して、国際協力を容易ならしめる新たな平等な契約フォーマットを作成させ、その新たな契約フォーマットの先駆けとしてRITE-NETL間の共同契約を締結した意義は大きい。新たな国際協力の可能性を広げ、他の様々な事業の推進にも好ましい影響を与えることが期待できる。さらに、契約締結に想定以上に時間を要し、NETLとの本格的な協力関係の構築が大幅に遅れたにもかかわらず、成果としてCO₂吸着量差が4.7mo/kgの固定吸収剤を開発できたこと、及び分離回収得エネルギーが2.1GJ/co₂以下を実現できたことは評価に値する。(H委員)
- 順調に研究を進めているものと判断される。今後、最適なプロセスを見出し、実用化に向けてさらに研究を進めていただきたい。(D委員)

【問題点・改善すべき点】

- プロセス、コストをもっと当初より意識した開発が進められるべきと思われる。知財の件がありやむを得ないのかもしれないが、目玉となる技術内容が開示されないので、評価が難しい。とくに今後は、プロセスとコストの検討をより積極的に取り入れた研究開発とされるとよいのではないかと。(G委員)
- 民間では、国内外でアミン吸収液をベースとしたCO₂分離回収の実用化を目指した取り組みが急速に進んでいる。固体吸収材料の性能が優れていることは分かるが、国の事業として進めるには、科学的・技術的意義だけでなく、システムを含めたコスト面(特にアミン吸収液に比べ)においても本事業が優位性であることを示す必要がある。さらに、高い数値目標を上げているため学術的には評価できるが、コスト面での整合性が示されていないため、オーバースペックになる可能性もある。また、回収エネルギーはシミュレーション値であることを考えると、実地試験での実証が必要である。2020年の事業化を考えると、至急実用化研究フェーズに移行する必要がある。吸収塔による評価により、新たな問題点が浮上する可能性もある。事業化を考えると、コスト試算が行えていない現状を危惧している。また、予算額や今後の事業化を考え、必要であれば他の研究機関、企業を積極的に取り込む必要がある

。(B委員)

- 実用化には大規模実証試験を通じて技術的な課題を抽出し、その分離回収技術に適したシステム開発が必要であることから、大規模実証試験の積極的な実施が不可欠である。また、実用化の最大の課題である低コスト化も考慮する必要があるため、コスト評価もすべきである。(A委員)
- 費用対効果を明確にし、その向上を計る必要がある。(E委員)
- 湿式・コンパクトという技術の性格上、大規模なCCSプラントだけでなく、小規模な分散電源でのCCS、化学工場や農業と連携したCCUへの適用も踏まえた視点を加えてほしい。(F委員)
- スタート点で発想の知財がどうなっているか、材料に限定されない工夫を是非考えて欲しい。(C委員)

7. 今後の研究開発の方向等に関する提言

- ・ 今後は、プロセスとコストを意識した研究開発を進めることが必要である。
- ・ アメリカの特許が如何に包括的なのかが懸念されるので、アミンおよび担体からなる固体吸収材を生かした物質ならびに応用について、早期に価値のある知財を確立することが望まれる。
- ・ 中間評価の現時点ですでに良好な研究成果がでてきているので、さらに現在の目標値を大きく上回る高い値を目指し研究開発を加速して貰いたい。また、国際研究開発の良い事例となるよう、国際的な交流等を積極的に推進することが望まれる。
- ・ 実用化は国内に限定するのではなく、EORなどで期待の大きい海外にも展開していくことが、地球全体のCO₂を削減するうえで重要である。今後、実用化にあたっては、海外プロジェクトへ参加し、収入を期待したい。
- ・ CCS以外の分野への応用も検討して貰いたい。

【各委員の提言】

- プロジェクトとしては、とくに今後は、プロセスとコストの検討をより積極的に取り入れた研究開発とされることを望みたい。(G委員)
- プロセス、コストをもっと当初より意識した開発が進められるべきと思われる。知財の件がありやむを得ないのかもしれないが、目玉となる技術内容が開示されないことは、評価を困難にしている。守秘義務契約などはした上で、もう少し技術内容の開示がされることが、評価の精度を高めることにつながる。(G委員)
- 液体流通系の固体化の発想は新しくないが、担体とアミンを工夫し、優れた成果をあげている。アメリカの特許が如何に包括的かが懸念されるので、アミンおよび担体からなる固体吸収材を生かした物質ならびに応用について、早期に価値のある知財を確立して欲しい。(C委員)
- 天然ガスからのCO₂除去への応用は、天然ガスの需要が今後拡大することを踏まえれば適当な目標と思われる。(E委員)
- 中間評価の現時点ですでに良好な研究成果がでてきているので、既存の目標値であるCO₂吸脱着量差5.0Mol/kgの個体吸収剤の開発、分離回収技術1.5GJ/t CO₂以下にとらわれず、さらに現在の目標値を大きく上回る高い値を目指し研究開発を加速して頂きたい。また、新たな技術ブレークスルーを実現するためにも、NETLとの連携だけでなく欧州各国とも技術連携、人的交流、情報交流を積極的に推進し、あらたな国際研究開発の良い事例となるような進め方をプロジェクトメンバーの方々にアイデアを出し合い進め行って頂きたい。(H委員)

- CCSの技術開発は、温暖化防止対策として極めて重要なものであり、特に全コストの6割以上を占めるCO₂の分離・回収技術は早急な低コスト化・高度化が望まれるが、実用化に当たっては国内に限定するのではなく、寧ろEORなどで期待の大きい海外を中心に展開していくことが、地球全体のCO₂を削減するうえで重要である。国内での大規模実証試験可能なサイトが限られているなか、案件の多い海外でのプロジェクトに積極的に参加し、国主導のもと実用化に向けて本研究開発を推進して頂きたい。(A委員)
- CCS以外の分野への応用を検討すべきである。(E委員)
- CO₂の回収システムは、地底への貯留という純粋に環境改善目的の技術から、回収したCO₂をいかに有効に活用するか、という経済価値を生む新ビジネスを前提にした産業技術としての側面が急速に強まっている。ソーラーフェエル(太陽燃料)として、急速に脚光を浴びている藻や人工光合成デバイスによる炭化水素油生産が将来的に事業化されれば、「CO₂」はその生産性を高める材料として経済価値を持つことになる。すでにハウス栽培へのCO₂投入による生育向上の取り組みは事業として成立しており、オランダでは大規模なCO₂輸送パイプラインが化学工場からハウス栽培地帯に繋がっている。CO₂固体吸収材を使ったシステムは、こうしたCCUとの適合性が高いと思われる。うまくいけば、世界展開を視野入れた戦略技術になる可能性を秘める。今後は、こうした視点を加えた研究テーマを加え、それにあった研究体制を組んでいただきたい。(F委員)

今後の研究開発の方向等に関する提言に対する対処方針

提 言	対 処 方 針
<p>○ 今後は、プロセスとコストを意識した研究開発を進めることが必要である。</p> <p>○ アメリカの特許が如何に包括的なのが懸念されるので、アミンおよび担体からなる固体吸収材を生かした物質ならびに応用について、早期に価値のある知財を確立することが望まれる。</p> <p>○ 中間評価の現時点ですでに良好な研究成果がでてきているので、さらに現在の目標値を大きく上回る高い値を目指し研究開発を加速して貰いたい。また、国際研究開発の良い事例となるよう、国際的な交流等を積極的に推進することが望まれる。</p> <p>○ 実用化は国内に限定するのではなく、EORなどで期待の大きい海外にも展開していくことが、地球全体のCO2を削減するうえで重要である。今後、実用化にあたっては、海外プロジェクトへ参加し、収入を期待したい。</p>	<p>○ 本事業は、従来の CO2 回収コスト 4,200 円/t-CO2(吸収液法で 3 GJ/t-CO2に相当)に対して、CO2分離回収エネルギーを1.5GJ/t-CO2 へと半減することを目標とし、その結果プロセス全体として回収コストが 2,000 円台/t-CO2 までに低減することを目指している。この目標を達成するため、平成25年度に CO2 小型回収試験装置を導入し、分離プロセスおよびコストの評価を実施することとしている。</p> <p>○ これまでに新規のアミン化合物を合成し、固体吸収材としての優れた低温再生性能を確認している。今後は、これをもとに基盤となる特許を取得して参りたい。</p> <p>○ ご指摘を踏まえ、今後新規開発材料に適した再生プロセスの検討等、より高い研究開発成果を目指した研究開発も視野に入れて参りたい。 また、国際交流については、米国 NETL と共同研究契約を締結しており、今後とも積極的に情報交換等を進めて参りたい。</p> <p>○ 今後実用化に当たっては、本事業の成果をもとに民間企業と連携し、海外プロジェクトへの参加についても検討して参りたい。</p>

○ CCS以外の分野への応用も検討して貰いたい。

○ これまでに開発した固体吸収材の低温低圧域での良好な吸脱着性能を生かした有人宇宙活動用 CO2 除去等 CCS 以外の分野への応用について検討しているところである。

第4章 評点法による評点結果

第4章 評点法による評点結果

「二酸化炭素固体吸収材等研究開発事業」に係るプロジェクト評価の実施に併せて、以下に基づき、本評価検討会委員による「評点法による評価」を実施した。その結果は「3. 評点結果」のとおりである。

1. 趣 旨

評点法による評価については、産業技術審議会評価部会の下で平成11年度に評価を行った研究開発事業(39プロジェクト)について「試行」を行い、本格的導入の是非について評価部会において検討を行ってきたところである。その結果、第9回評価部会(平成12年5月12日開催)において、評価手法としての評点法について、

(1)数値での提示は評価結果の全体的傾向の把握に有効である、

(2)個々のプロジェクト毎に評価者は異なっても相対評価はある程度可能である、との判断がなされ、これを受けて今後のプロジェクト評価において評点法による評価を行っていくことが確認されている。

また、平成21年3月31日に改定された「経済産業省技術評価指針」においても、プロジェクト評価の実施に当たって、評点法の活用による評価の定量化を行うことが規定されている。

これらを踏まえ、プロジェクトの中間・事後評価においては、

(1)評価結果をできる限りわかりやすく提示すること、

(2)プロジェクト間の相対評価がある程度可能となるようにすること、

を目的として、評価委員全員による評点法による評価を実施することとする。

本評点法は、各評価委員の概括的な判断に基づき点数による評価を行うもので、評価報告書を取りまとめる際の議論の参考に供するとともに、それ自体評価報告書を補足する資料とする。また、評点法は研究開発制度評価にも活用する。

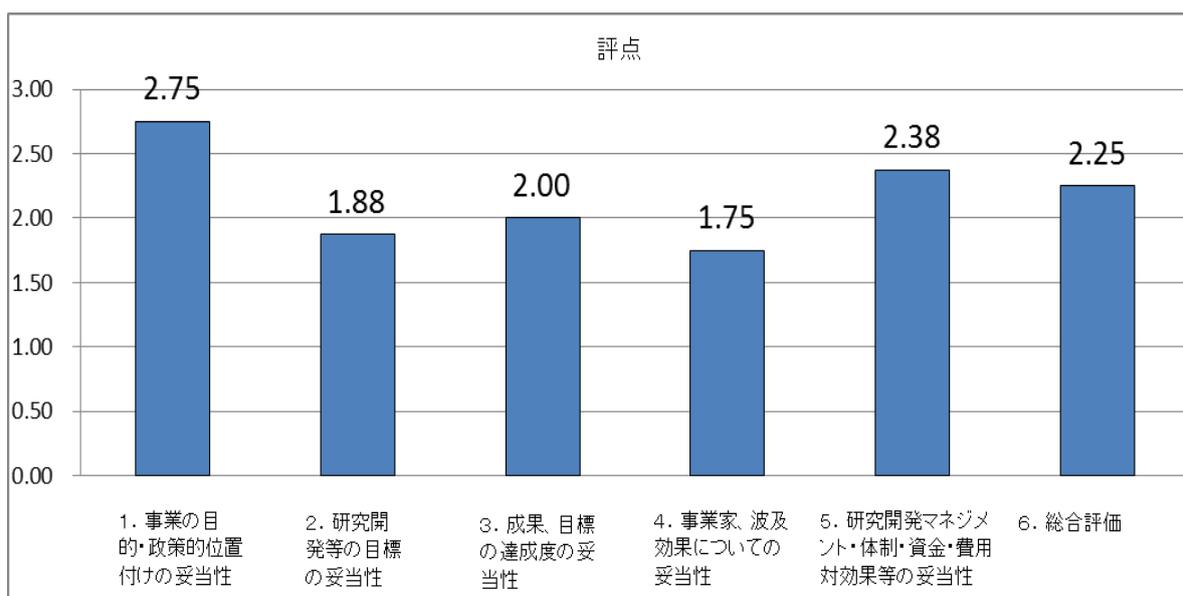
2. 評価方法

- ・各項目ごとに4段階(A(優)、B(良)、C(可)、D(不可)<a, b, c, dも同様>)で評価する。
- ・4段階はそれぞれ、A(a)=3点、B(b)=2点、C(c)=1点、D(d)=0点に該当する。
- ・評価シートの記入に際しては、評価シートの《判定基準》に示された基準を参照し、該当と思われる段階に○を付ける。
- ・大項目(A, B, C, D)及び小項目(a, b, c, d)は、それぞれ別に評点を付ける。
- ・総合評価は、各項目の評点とは別に、プロジェクト全体に総合点を付ける。

3. 評点結果

評点法による評点結果
(二酸化炭素固体吸収材等研究開発事業)

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員	F 委員	G 委員	H 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.75	3	2	3	3	3	3	2	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	1.88	2	2	3	2	1	2	1	2
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.00	2	2	2	2	1	2	2	3
4. 事業化、波及効果についての妥当性	1.75	2	1	3	2	0	3	1	2
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	2.38	3	2	3	2	1	3	2	3
6. 総合評価	2.25	2	2	3	2	2	3	1	3



第5章 評点小委員会のコメント及び コメントに対する対処方針

評価小委員会のコメント及びコメントに対する対処方針

本研究開発事業の評価に係る評価小委員会のコメント及びコメントに対する推進課の対処方針は、以下のとおり。

(コメント)

これまでの研究開発により、従来よりも進んだ技術が実現されている点は評価できる。長年かけて開発された技術については、大気にCO₂を放出するのをとどめるという意味の使い方だけでなく、それ以外の使い方での実用化も検討して貰いたい。

(対処方針)

ご指摘を踏まえ、これまでに開発した技術についてはCO₂の大気への放出抑制以外の適用可能性も検討してまいりたい。

經濟產業省技術評価指針

平成 2 1 年 3 月 3 1 日

目次

経済産業省技術評価指針の位置付け	1
I. 評価の基本的考え方	4
1. 評価目的	4
2. 評価の基本理念	4
3. 指針の適用範囲	5
4. 評価の類型・階層構造及びリンケージ	5
5. 評価方法等	5
6. 評価結果の取扱い等	6
7. 評価システムの不断の見直し	7
8. 評価体制の充実	7
9. 評価データベース等の整備	7
10. 評価における留意事項	7
II. 評価の類型と実施方法	9
II. 1. 技術に関する施策評価	9
(1) 事前評価	9
(2) 中間・終了時評価	9
II. 2. 技術に関する事業評価	10
II. 2. 1. 研究開発制度評価	10
(1) 事前評価	10
(2) 中間・終了時評価	10
II. 2. 2. プロジェクト評価	11
(1) 事前評価	11
(2) 中間・終了時評価	11
II. 2. 3. 競争的資金制度による研究課題に関する評価	12
(1) 事前評価	12
(2) 中間・終了時評価	13
II. 3. 追跡評価	14

経済産業省技術評価指針の位置付け

経済産業省技術評価指針（以下、「本指針」という。）は、経済産業省が、経済産業省における技術に関する施策及び技術に関する事業（以下、「技術に関する施策・事業」という。）の評価を行うに当たって配慮しなければならない事項を取りまとめたガイドラインである。

本指針は、「産業技術力強化法」（平成12年法律第44号）第10条の規定、「科学技術基本計画」（平成18年3月閣議決定）、「研究開発システムの改革の推進等による研究開発能力の強化及び研究開発等の効率的推進等に関する法律」（平成20年法律第63号）第34条の規定及び「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成20年10月内閣総理大臣決定）（以下、「大綱的指針」という。）に沿った適切な評価を遂行するための方法を示す。

同時に、「行政機関が行う政策の評価に関する法律」（平成13年法律第86号）（以下、「政策評価法」という。）に基づく「経済産業省政策評価基本計画」（以下、「政策評価基本計画」という。）に沿った、経済産業省政策評価のうち研究開発に関する部分の実施要領としての性格を持つ。したがって、技術に関する施策・事業についての評価の結果は、政策評価基本計画に基づき実施される事前評価及び事後評価に適切に反映・活用を図る。

技術評価は、政策評価法上要請される評価を含め政策評価の一環としての位置付けを有することから、本指針は、技術に関する施策・事業の成果や実績等を厳正に評価し、それを後の技術に関する施策・事業の企画立案等に反映させる政策サイクルの一角としての評価の在り方について定めるものである。

ただし、技術に関する施策・事業に係る評価は、競争的資金制度による研究課題、プロジェクトといった研究開発の内容や性格、実施体制等の態様に応じた評価方法に拠るべきであるとともに、評価の厳正さと効率性を両立するためには、評価をとりまく様々な状況に応じた臨機応変な評価手順を設定する必要がある。さらに、評価手法は日進月歩であり、今後よりよい評価手法が提案されることも十分考えられる。したがって、本指針では共通的なルール及び配慮事項を取り上げることとし、より詳細な実施のプロトコルは評価マニュアルの作成等により記述することで、機動的な実施を図ることとする。

研究開発機関が自ら実施する評価をその機関の自己改革の契機とするような自律的なシステムの構築に努め、研究開発を実施する独立行政法人が、大綱的指針及び本指針に沿って、研究開発評価の実施に関する事項について、明確なルールを定め、研究開発評価の実施及び評価結果の活用が適切かつ責任を持って行われるよう、所管官庁としての責務を果たすものとする。

◎本指針における用語については、次に定めるところによる。

- ・競争的資金制度：資金を配分する主体が、広く一般の研究者（研究開発に従事している者又はそれらの者から構成されるグループをいう。）、企業等又は特定の研究者、企業等を対象に、特定の研究開発領域を定め、又は特定の研究開発領域を定めずに研究課題を募り、研究者、企業等から提案された研究課題の中から、当該課題が属する分野の専門家（当該分野での研究開発に従事した経験を有する者をいう。）を含む複数の者による、研究開発の着想の独創性、研究開発成果の先導性、研究開発手法の斬新性その他の科学的・技術評価又は経済的・社会的評価に基づき、実施する課題を採択し、当該課題の研究開発を実施する研究者等又は研究者等が属する組織若しくは企業等に資金を配分する制度をいう。
- ・研究開発制度：資源配分主体が研究課題を募り、提案された課題の中から採択した課題に研究開発資金を配分する制度をいう。
- ・プロジェクト：具体的に研究開発を行う個別の実施単位であり、明確な目的や目標に沿って実施されるものをいう。研究開発制度（競争的資金制度を含む）による研究課題は、本指針上プロジェクトには該当しない。
- ・研究開発機関：国からの出資、補助等の交付を受けて研究開発を実施し、又は研究開発の運営管理を行う機関をいう。
- ・技術に関する事業：具体的に研究開発を行う個別の実施単位をいい、「研究開発制度（競争的資金制度を含む）」、「プロジェクト」及び「競争的資金制度による研究課題」により構成される。
- ・技術に関する施策：同一又は類似の目的を有する技術に関する事業のまとまりをいい、当該目的との関係で必要な研究開発以外の要素（調査等）を含む場合がある。
- ・政策評価書：本指針において用いる「政策評価書」とは経済産業省政策評価実施要領を踏まえた評価書をいう。
- ・政策サイクル：政策の企画立案・実施・評価・改善（plan-do-check-action）の循環過程をいう。
- ・評価システム：評価目的、評価時期、評価対象、評価方法等、評価に係るあらゆる概念、要素を包含した評価制度、体制の全体をいう。
- ・推進課：技術に関する事業を推進する課室（研究開発担当課室）をいう。推進課は、評価結果を反映させるよう努力する義務がある。
- ・主管課：技術に関する施策の企画立案を主管する課室及び予算等の要求事項を主管する課室をいう。
- ・査定課：予算等の査定を行う課室（大臣官房会計課、資源エネルギー庁総合政策課等）をいう。
- ・有識者等：評価対象となる技術に関する施策・事業について知見を有する者及び研究開発成果の経済的・社会的意義につき指摘できる人材（マスコミ、ユーザ、人文・社会学者、投資家等）をいう。
- ・外部評価者：経済産業省に属さない外部の有識者等であって、評価対象となる技術に関する施策・事業の推進に携わっていない者をいう。
- ・外部評価：外部評価者による評価をいい、評価コメントのとりまとめ方法としてパネルレビュー

(評価者からなる委員会を設置(インターネット等を利用した電子会議を含む。)して評価を行う形態)による場合とメールレビュー(評価者に対して郵便・FAX・電子メール等の手段を利用して情報を提供し、評価を行う形態)による場合とがある。

- 評価事務局：技術に関する施策・事業の評価の事務局となる部署をいい、評価者の行う評価の取りまとめ責任を負う。
- 評価者：評価の責任主体をいい、パネルレビューによる場合には外部評価者からなる委員会が責任主体となる。また、評価の結果を踏まえて、資源配分の停止や変更、技術に関する施策・事業の内容の変更に責任を有するのは企画立案部門である技術に関する施策・事業の推進課及び主管課である。
- 終了時評価：事業終了時に行う評価であり、事業が終了する前の適切な時期に行う終了前評価と事業の終了直後に行う事後評価がある。

I. 評価の基本的考え方

1. 評価目的

(1) より良い政策・施策への反映

評価を適切かつ公正に行うことにより、研究者の創造性が十分に発揮されるような、柔軟かつ競争的で開かれた研究開発環境の創出など、より良い政策・施策の形成等につなげること。

(2) より効率的・効果的な研究開発の実施

評価を支援的に行うことにより、研究開発の前進や質の向上、独創的で有望な優れた研究開発や研究者の発掘、研究者の意欲の向上など、研究開発を効果的・効率的に推進すること。

(3) 国民への技術に関する施策・事業の開示

高度かつ専門的な内容を含む技術に関する施策・事業の意義や内容について、一般国民にわかりやすく開示すること。

(4) 資源の重点的・効率的配分への反映

評価の結果を技術に関する施策・事業の継続、拡大・縮小・中止など資源の配分へ反映させることにより資源の重点化及び効率化を促進すること。また、研究開発をその評価の結果に基づく適切な資源配分等通じて次の段階に連続してつなげることなどにより、研究開発成果の国民・社会への還元効率化・迅速化に資すること。

2. 評価の基本理念

評価の実施に当たっては、以下の考え方を基本理念とする。

(1) 透明性の確保

推進課、主管課及び研究開発機関においては、積極的に成果を公開し、その内容について広く有識者等の意見を聴くこと。評価事務局においては、透明で公正な評価システムの形成、定着を図るため、評価手続、評価項目・評価基準を含めた評価システム全般についてあらかじめ明確に定め、これを公開することにより、評価システム自体を誰にも分かるものとするとともに、評価結果のみならず評価の過程についても可能な限り公開すること。

(2) 中立性の確保

評価を行う場合には、被評価者に直接利害を有しない中立的な者である外部評価の導入等により、中立性の確保に努めること。

(3) 継続性の確保

技術に関する施策・事業においては、個々の評価がそれ自体意義を持つだけでなく、評価とそれを反映した技術に関する施策・事業の推進というプロセスを繰り返していく時系列のつながりにも意義がある。したがって、推進課及び主管課にとって評価結果を後の技術に関する施策・事業の企画立案等に反映させる際に有用な知見を抽出し、継続性のある評価方法で評価を行うこと。

(4) 実効性の確保

政策目的に照らし、効果的な技術に関する施策・事業が行われているか判断するための効率的評価が行われるよう、明確で実効性のある評価システムを確立・維持するとともに、技術に関する施策・事業の運営に支障が生じたり、評価者及び被評価者双方に過重な負担をかけるこ

とのない費用対効果の高い評価を行うこと。

3. 指針の適用範囲

- (1) 本指針においては、多面的・階層的な評価を行う観点から、経済産業省における具体的に研究開発を行う個別の実施単位である研究開発制度、プロジェクト及び競争的資金制度による研究課題である技術に関する事業並びに同一又は類似の目的を有する技術に関する事業のまとめである技術に関する施策を評価対象とする。
- (2) 国費の支出を受けて技術に関する事業を実施する民間機関、公設試験研究機関等の評価については、当該事業の評価の際等に、これら機関における当該事業の研究開発体制に関わる運営面に関し、国費の効果的・効率的執行を確保する観点から、必要な範囲で評価を行う。
- (3) 上記(2)の規定にかかわらず、独立行政法人が運営費交付金により自ら実施し、又は運営管理する技術に関する事業については、独立行政法人通則法（平成11年法律第103号）及び大綱的指針に基づいて実施されるものであり、本指針の対象としない。なお、技術に関する施策には、これら事業は含まれるものとする。
- (4) 評価の種類としてはこの他に研究者等の業績の評価が存在するが、これは研究開発機関の長が評価のためのルールを整備した上で、責任を持って実施することが基本であり、本指針の対象としない。

4. 評価の類型・階層構造及びリンケージ

(1) 実施時期による類型

評価はその実施時期により、事前評価、中間・終了時評価及び追跡評価に類型化される。

(2) 評価の階層構造

経済産業省における技術評価では、技術に関する施策・事業での評価を基本的な評価単位とするが、政策効果をあげるために、特に必要があると認められるときには、関連する複数の技術に関する施策・事業が有機的に連携をとって

体系的に政策効果をあげているかを評価することとする（これは経済産業省政策評価実施要領における「政策体系評価」に対応するものと位置付ける。）。

(3) 実施時期による評価のリンケージ

中間・終了時評価は、技術に関する施策・事業の達成状況や社会経済情勢の変化を判断し、計画の見直しや後継事業への展開等の是非を判断するものである。また、事前評価での予想が実際にどのような結果となったか、予算措置は妥当であったか等を確認することにより、事前評価の方法を検証し得るものである。したがって、中間・終了時評価の結果をその後の産業技術政策・戦略の企画立案や、より効果的な事前評価の評価手法の確立に反映させるよう努めるものとする。

また、中間・終了時評価の結果は、追跡評価にて検証されるものである。

5. 評価方法等

厳正な評価を行うためには、評価方法、評価項目等に客観性を持たせることが必要であること

から、本指針をはじめ評価実施に係る諸規程等を整備の上、公開するものとする。

技術評価室は本指針を踏まえ、評価マニュアル等を策定するとともに、円滑な評価の実施のための指導及び評価システムの維持管理を行う。

(1) 施策原簿

技術に関する施策の基本実施計画書、政策評価書等をもって施策原簿とする。施策原簿を作成・改定した場合は、速やかにその写しを技術評価室へ提出する。

(2) 事業原簿

技術に関する事業の基本実施計画書、政策評価書等をもって事業原簿とする。研究開発制度及びプロジェクトの事業原簿を作成・改定した場合は、速やかにその写しを技術評価室へ提出する。

(3) 評価項目・評価基準

評価の類型及び技術に関する施策・事業の態様等に応じて標準的な評価項目・評価基準を技術評価室が別に定めることとする。

(4) 評価手続・評価手法

評価の類型に応じて適切な評価手法を用いるものとする。なお、複数の事業間の相対的評価を行う場合等においては、評点法の活用が有効と考えられ、評価の類型及び対象案件の態様に応じ適宜活用することが望ましい。

(5) 評価の簡略化

評価の実施に当たっては、評価コストや被評価者側の過重な負担を回避するため、評価対象となる事業に係る予算額が比較的少額である場合には、評価項目を限定する等の簡略化を行うことができるものとする。なお、簡略化の標準的な方法については技術評価室が別に定める。

6. 評価結果の取扱い等

(1) 評価結果の取扱い

評価事務局は、評価終了後速やかに評価書の写しを技術評価室に提出する。技術評価室は全ての評価結果について、これまでに実施された関連調査及び評価の結果、評価の実施状況等を踏まえつつ意見をまとめ、査定課、秘書課及び政策評価広報課に報告することができる。

(2) 予算査定との関係

査定課は、技術評価室から事前評価及び中間評価の評価書の提出を受けた場合は、技術評価室の意見を踏まえつつ技術に関する施策・事業の評価等を行う。事前評価に関しては査定課の評価を終えた事前評価書に記載された技術に関する施策・事業の内容をもって、推進課又は主管課と査定課との間の合意事項とみなし、査定課はこれを踏まえて予算査定を行う。中間評価に関しては、査定課は中間評価結果を踏まえて予算査定を行う。

(3) 評価結果等の公開の在り方

評価結果及びこれに基づいて講ずる又は講じた措置については、機密の保持が必要な場合を除き、個人情報や企業秘密の保護、知的財産権の取得等に配慮しつつ、一般に公開することとする。なお、事前評価については、政策立案過程の透明化を図る観点から、評価事務局は予算が経済産業省の案として確定した後に、公開するものとする。パネルレビューを行う場合にお

ける議事録の公開、委員会の公開等については、「審議会等の透明化、見直し等について」（平成7年9月閣議決定）に準じて行うものとする。

7. 評価システムの不断の見直し

いかなる評価システムにおいても、評価は評価者の主観的判断によってなされるものであり、その限りにおいては、完璧な客観性、公平性を求めることは困難である。したがって、評価作業が終了するたびごとにその評価方法を点検し、より精度の高いものとしていく努力が必要である。また、本指針については、こうした一連の作業を踏まえ、原則として毎年度見直しの要否を検討する。

8. 評価体制の充実

評価体制の充実を図るため、研究者の評価者としての活用などにより評価業務に携わる人材を育成・確保するとともに、研究開発費の一部を評価費用に充てるなど評価に必要な資源を確保する。

9. 評価データベース等の整備

技術評価室は、国内外の適切な評価者を選任できるようにするため、及び個々の評価において普遍性・信頼性の高い評価を実現するため、個々の技術に関する施策・事業についての研究者、資金、成果、評価者、評価結果等をまとめたデータベースを整備する。

また、競争的資金制度による研究課題に関する評価など、審査業務等を高度化・効率化するために必要な電子システムの導入も促進する。

10. 評価における留意事項

(1) 評価者と被評価者との対等性

① 評価者と被評価者との関係

評価作業を効果的に機能させるためには、評価者と被評価者の双方が積極的にその知見と情報を提供し合うという協調的関係と、評価者もその評価能力を評価されるという意味で評価者と被評価者とが相互に相手进行评估するという緊張関係とを構築し、この中で、討論を行い、評価を確定していく必要がある。

この際、評価者は、不十分な成果等被評価者が自ら進んで提示しない事実があるかどうかを見極める能力が要求される。一方、被評価者は、評価対象の技術に関する施策・事業の位置付けを明確に認識するとともに、評価結果を正確に理解し、確実にその後の技術に関する施策・事業の創設、運営等に反映させていくものとする。

② 評価者に係る留意事項

研究者が評価者となる場合、評価者は、評価作業を評価者自らの研究を妨げるものとして捉えるべきではなく、自らの研究の刺激になる行為として、積極的に取り組むことが必要である。

また、研究開発成果を、イノベーションを通じて国民・社会に迅速に還元していく観点から、産業界の専門家等を積極的に評価者に選任する。

③ 被評価者に係る留意事項

被評価者は、評価を事業の質をより高めるものとして積極的に捉え、評価は評価者と被評価者の双方の共同作業であるとの認識の下、真摯な対応を図ることが必要である。

(2) 評価の不確実性

評価時点では見通し得なかった技術、社会情勢の変化が将来的に発生し得るという点で評価作業は常に不確実性を伴うものである。したがって、評価者は評価の精度の向上には、必然的に限界があることを認識した上で、評価時点で最良と考えられる評価手法をとるよう努めることが必要である。かかる観点からは、厳正さを追求するあまりネガティブな面のみを過度に減点法で評価を行うこととなると、将来大きな発展をもたらす技術を阻害するおそれがある点にも留意する必要がある。

また、成果に係る評価において、目標の達成度合いを評価の判定基準にすることが原則であるが、併せて、副次的成果等、次につながる成果を幅広い視野からとらえる。

(3) その他の留意事項

① 海外の研究者、若手研究者の活用

研究者には、研究開発の発展を図る上で専門的見地からの評価が重要な役割を果たすものであることから、評価者としての評価への積極的参加が求められる。一方、特定の研究者に評価実施の依頼が集中する場合には、評価への参加が大きな負担となり、また、評価者となる幅広い人材の養成確保にもつながらないことから、海外の研究者や若手研究者も評価者として積極的に参加させることなどにより評価者確保の対象について裾野の拡大を図るよう努める。

② 所期の成果を上げられなかった研究開発

研究開発は必ずしも成功するとは限らず、また、失敗から貴重な教訓が得られることもある。したがって、失敗した場合には、まずその原因を究明し、今後の研究開発にこれを生かすことが重要であり、成果を上げられなかったことをもって短絡的に従事した研究者や組織、機関を否定的に評価すべきものではない。また、評価が野心的な研究開発の実施の阻害要因とならないよう留意しなければならない。

③ 数値的指標の活用

論文の被引用度数、特許の申請状況等による成果の定量的評価は一定の客観性を有するが、技術に関する施策・事業においては研究分野や内容により、その意味は大きく異なり得るものであり、必ずしも研究開発成果の価値を一義的に表すものではない。したがって、これらを参考資料として有効に活用しつつも、偏重しないよう留意すべきである。

④ 評価結果の制度間での相互活用

研究開発をその評価の結果に基づく適切な資源配分等を通じて次の段階の研究開発に連続してつなげるなどの観点から、関係府省、研究開発機関及び制度を越えて相互活用するよう努める。

⑤ 自己点検の活用

評価への被評価者等の主体的な取組を促進し、また、評価の効率的な実施を推進するため、推進課及び主管課は、自ら技術に関する施策・事業の計画段階において具体的かつ明確な目標とその達成状況の判定基準等を明示し、技術に関する施策・事業の開始後には目標の達成状況、

今後の発展見込み等の自己点検を行い、評価者はその内容の確認などを行うことにより評価を行う。

⑥ 評価の国際的な水準の向上

研究開発の国際化への対応に伴い、評価者として海外の専門家を参加させる、評価項目に国際的なベンチマーク等を積極的に取り入れるなど評価に関して、実施体制や実施方法などの全般にわたり、評価が国際的にも高い水準で実施されるよう取り組む。

II. 評価の種類と実施方法

II. 1. 技術に関する施策評価

技術に関する施策の評価は、当該技術分野全体の方向性等を勘案しつつ、当該施策の下に位置付けられる技術に関する事業のまとまりを俯瞰する形で、各事業の相互関係等に着目し、個々の事業に係る評価結果を踏まえて行う。

(1) 事前評価

新規の技術に関する施策の創設に当たって行う。

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手続・評価手法

外部評価を行う。

評価対象とする技術に関する施策は、技術評価室が推進課及び主管課と協議の上、定める。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

(2) 中間・終了時評価

技術に関する施策創設後、一定期間継続的に実施しているものについて、技術に関する施策ごとに中間・終了時評価を行う。

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手続・評価手法

施策原簿、成果報告、運営状況報告等を基に外部評価を行う。

評価対象とする技術に関する施策は、技術評価室が推進課及び主管課と協議の上、定める。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

中間評価については、実施が4年以上にわたる又は実施期間の定めのない技術に関する施策について3年程度ごとに定期的に行う。なお、モニタリング（進捗状況を把握する作業）については毎年行うこととする。

終了時評価については、当該技術に関する施策の成果を切れ目なく次の技術に関する施策につなげていく場合には、当該技術に関する施策が終了する前の適切な時期に終了前評価を行うこととし、その他の場合には、当該技術に関する施策の終了直後に事後評価を行うものとする。

なお、中間・終了時評価は、効果的・効率的な評価の実施の観点から、技術に関する施策を構成する技術に関する事業の評価を前提として実施する。

II. 2. 技術に関する事業評価

II. 2. 1. 研究開発制度評価

研究開発制度評価は、個々にその目的・政策的位置付け、目標、成果、目標の達成度、必要性、効率性、有効性等について、事前評価及び中間・終了時評価を行う。

(1) 事前評価

新規の研究開発制度の創設に当たって行う。

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課

③ 評価事務局

推進課

④ 評価手続・評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。研究開発制度について制度実施予定期間及び中間評価の時期の妥当性に関して評価する。

(2) 中間・終了時評価

研究開発制度創設後、一定期間継続的に実施しているものについて、研究開発制度ごとに中間・終了時評価を行う。

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び研究開発機関

③ 評価事務局

推進課又は研究開発機関（独立行政法人であって、研究開発制度の推進部門から独立した評価部門が評価を行う場合に限る。）。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手続・評価手法

事業原簿、研究開発制度から得られた成果、研究開発制度の運営状況等を基に外部評価を行う。また、必要に応じ、評点法の活用による評価の定量化を行うこととする。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

中間評価については、実施期間が5年以上の研究開発制度又は実施期間の定めのない研究開発制度については、その目的、内容、性格、規模等を考慮し、3年程度ごとに定期的に行う。なお、モニタリング（進捗状況を把握する作業）については毎年行うこととする。

終了時評価については、当該研究開発制度の成果を切れ目なく次の研究開発制度につなげていく場合には、当該研究開発制度が終了する前の適切な時期に終了前評価を行うこととし、その他の場合には、当該研究開発制度終了直後に事後評価を行うものとする。

なお、中間・終了時評価は、効果的・効率的な評価の実施の観点から研究開発制度に関する評価結果の情報を集積し、関連する技術に関する施策の評価に際しその情報を提供する。

II. 2. 2. プロジェクト評価

プロジェクト評価は、個々にその目的・政策的位置付け、目標、成果、有効性、効率性等について評価を行う。事前評価及び中間・終了時評価を行う。

(1) 事前評価

新規のプロジェクトの創設に当たって行う。

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課

③ 評価事務局

推進課

④ 評価手続・評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。プロジェクトについて実施予定期間及び中間評価の時期の妥当性に関して評価する。

(2) 中間・終了時評価

プロジェクト創設後、一定期間継続的に実施しているものについて、プロジェクトごとに中間・終了時評価を行う。

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課、研究開発機関及び実施者（研究開発機関から委託又は補助を受けてプロジェクトを実施する機関又は個人をいう。）

③ 評価事務局

推進課又は研究開発機関（独立行政法人であって、事業の推進部門から独立した評価部門が評価を行う場合に限る。）。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手続・評価手法

事業原簿、成果報告、運営状況報告等を基に外部評価を行う。また、必要に応じ、評点法の活用による評価の定量化を行うこととする。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

中間評価は、実施期間が5年以上のプロジェクト又は実施期間の定めのないプロジェクトについては、その目的、内容、性格、規模等を考慮し、3年程度ごとに定期的に行う。なお、モニタリング（進捗状況を把握する作業）については毎年行うこととする。

終了時評価は、当該プロジェクトの成果を切れ目なく次のプロジェクトにつなげていく場合には、当該プロジェクトが終了する前の適切な時期に終了前評価を行うこととし、その他の場合には、当該プロジェクト終了直後に事後評価を行うものとする。

なお、中間・終了時評価は、効果的・効率的な評価の実施の観点から個別プロジェクトに関する評価結果の情報を集積し、関連する技術に関する施策の評価に際しその情報を提供する。

II. 2. 3. 競争的資金制度による研究課題に関する評価

競争的資金制度に提案された個々の研究課題について、当該競争的資金制度の目的に照らして、目標・計画、科学的・技術的意義、実施体制、実用化の見通し等について評価を行う。複数の候補の中から優れた研究課題を採択するための事前評価及び目標の達成状況や成果の内容等を把握するための中間・終了時評価を行う。

(1) 事前評価

新規研究課題の採択時に行う。

① 評価者

外部評価者。

研究課題の採択の際、被評価者と同じ研究開発機関に所属する等の専門家は排除する必要があるため、例えば評価事務局はあらかじめ全評価者名を公表し、被評価者に対して申請時に利害関係者の存在を併せて書面にて宣誓することを求める等の措置を講ずる。また、評価者には秘密保持を義務付ける。

なお、評価者としてふさわしい者であることを示すため、評価者の業績又は実績について適切な時期にホームページ等で公開する。

② 被評価者

研究課題の提案者

③ 評価事務局

推進課又は研究開発機関

④ 評価手続・評価手法

研究課題の採択に当たっては、エフォート（一研究員の全研究活動時間のうち当該競争的資金制度による研究活動に充てる時間の割合をいう。）の明記を原則求める。また、被評価者と利害関係のない有識者等によるパネルレビュー又はメールレビューによる評価を行う。採択に当たっては、他の競争的資金制度による研究課題等との重複が生じないようにする。評価事務局は研究課題の提案者へ不採択の結果を通知する場合には、原則として評価項目別に詳細な評価内容を提示するとともに、不採択となった提案者からの問い合わせに応じるための環境を整備する。

なお、研究課題の評価に際しては、研究分野や当該競争的資金制度の趣旨を踏まえ、必要に応じて、主に業績が十分に定まらない若手研究者等について、マスキング評価の導入を図ることとする。主に中堅以上の研究者に関する研究者としての評価は、所属組織や機関のみに着目するのではなく、過去の実績を十分に考慮した評価とする。

また、研究者の研究遂行能力を示している過去の研究実績について、定量化を試みつつ、研究者としての評価を過去の実績を十分考慮して行った上で研究課題の採否を決定する。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。研究課題について実施予定期間及び中間評価の時期の妥当性に関して評価する。

(2) 中間・終了時評価

研究課題の目標達成度の把握とともに研究課題の継続、拡大・縮小、中止等の資源配分の判断、および必要に応じ被評価者に対する支援的助言を行うための評価。

① 評価者

外部評価者

なお、評価者としてふさわしい者であることを示すため、評価者の業績又は実績について適切な時期にホームページ等で公開する。

② 被評価者

研究課題の実施者

③ 評価事務局

推進課又は研究開発機関。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手続・評価手法

事業原簿、成果報告、運営状況報告等を基に外部評価を行う。

競争的資金制度による継続的な研究の必要性及びプロジェクトへの発展の可能性（主として技術シーズの創造を目的とする研究の場合に限る。）の有無が判断できる手法により評価を行う。

また、研究課題の終了時評価の結果については、採択された研究課題ごとに定量化されたも

のについては結果を公表する。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

中間評価については、実施期間が5年以上の研究課題又は実施期間の定めのない研究課題については、その目的、内容、性格、規模等を考慮し、3年程度ごとに定期的に行う。

終了時評価については、当該研究課題の成果を切れ目なく次の研究課題又はプロジェクト等につなげていく場合には、原則、当該研究課題が終了する前の適切な時期に終了前評価を行うこととし、その他の場合には、当該研究課題終了直後に事後評価を行う。

II. 3. 追跡評価

終了して数年経った技術に関する施策・事業を対象に、その研究開発活動や研究開発成果が産業、社会に及ぼした効果について調査し、その調査結果を基に現在の視点から総合的に評価を行う。

(1) 評価者

外部評価者

(2) 被評価者

評価対象となる技術に関する施策・事業及びこれに関連する技術に関する施策・事業に携わった推進課及び研究開発機関

(3) 評価事務局

推進課又は技術評価室

(4) 評価手続・評価手法

過去の事業原簿等の文献データ、関連部署・機関及びその他関係者等からの聞き取り調査等による情報を基にパネルレビュー又は第三者機関への委託による外部評価を行う。また、可能な限り定量的な評価に努める。

(5) 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

(6) 実施時期

技術に関する施策・事業終了後、成果の産業社会への波及が見極められる時点とする。

経済産業省技術評価指針に基づく
標準的評価項目・評価基準

平成23年7月

経済産業省産業技術環境局

技術評価室

目 次

	ページ
はじめに	1
I. 技術に関する施策評価	3
II. 技術に関する事業	6
II-1 プロジェクト評価	6
II-2 研究開発制度評価	9
II-3 競争的資金による研究課題に関する評価	13
III. 追跡評価	16

はじめに

研究開発評価に当たっては、公正性、信頼性さらには実効性の観点から、その対象となる研究開発の特性や評価の目的等に応じて、適切な評価項目・評価基準を設定して実施することが必要である。

本標準的評価項目・評価基準は、経済産業省における技術に関する施策及び技術に関する事業の評価を行うに当たって配慮しなければならない事項を取りまとめたガイドラインである経済産業省技術評価指針に基づき、評価方法、評価項目等に一貫性を持たせるために、標準的なものとして、技術評価室が定めるものである。

なお、本標準的評価項目・評価基準は、あくまで原則的なものであり、必ずしも全てそのとおりとしなければならないものではなく、適切な評価の実施のために評価対象によって、適宜、変更することを妨げるものではない。

I. 施策評価

【事前評価】

1. 目的

- ・ 施策の目的は特定されていて、簡潔に明示されているか。
- ・ 当該施策の導入により、現状をどのように改善し、どのような状況を実現しようとしているのか。

2. 必要性

- ・ 国（行政）が関与する必要があるか。

（注1） 背景として、どのような問題が当該施策の対象領域等に存在するのか。

また、その問題の所在や程度を数値、データや文献により具体的に把握しているか。

（注2） 行政関与の必要性や妥当性について、その根拠を客観的に明らかにする。

具体的には、妥当性を有することを説明する場合、これらニーズや上位目的に照らした妥当性を可能な限り客観的に明らかにする。また、「市場の失敗」と関連付けて行政の関与の必要性を説明する場合には、「行政関与の基準」の「行政関与の可否に関する基準」により、必要性を明らかにする。

（注3） 行政目的が国民や社会のニーズ又はより上位の行政目的に照らして妥当性を有していること、民間活動のみでは改善できない問題であって、かつ、行政が関与することにより改善できるものが存在することを明らかにする。

3. 施策の概要

- ・ 施策全体としての概要を適切に記述しているか。
- ・ 当該施策を構成する事業を網羅し、個々の事業について記載しているか。

（注） 施策の概要の記載において、施策の中間・事後評価時期を記載する。

4. 目標、指標及び達成時期

（1）目標

- ・ 具体的にいつまでにいかなる事業をどの程度実施し、どの水準から事業を開始し、どの水準の成果を達成するのか。目的と照らして、明確かつ妥当な目標を設定しているか。
- ・ 政策の特性などから合理性がある場合には、定性的な目標であっても良いが、その場合、目的として示された方向の上で目指す水準（例えば、研究開発成果による新規市場の創設効果など）が把握できるものとなっているか。

（注） 目標は、資金提供やサービス提供の量といった施策の実施の直接的な結果（アウトプット）だけでなく、施策の目的を具現化した効果（アウトカム：実施の結果、当該施策を直接に利用した者以外にも生ずる効果等）についても設定する。

（2）指標及び目標達成時期

- ・ 適切な指標を設定しているか。毎年のモニタリングとして測定可能なものとなっているか。
- ・ 当該指標により当該目標の達成度が測定可能なものとなっているか。

- ・ 目標達成時期は明確かつ妥当であるか。

(注) <共通指標>

- ・ 論文数及びそれら論文の被引用度数
- ・ 特許等取得した知的所有権数、それらの実施状況
- ・ 特に、製品化に際しての実施権供与数、取得実施権料
- ・ 国際標準形成への寄与

5. 中間・事後評価の時期及び方法

- ・ 事前評価書に、中間・事後評価の時期を設定しているか。
- ・ 目標達成や運用の状況を、いつ、どのようにして計測し、また、検証するかを明らかにしているか。
- ・ 事前評価段階で、評価方法を定めているか。

(注1) 施策の中間評価は、技術評価指針に基づき、4年以上の事業期間である施策について、実施する。

なお、技術評価指針における「中間評価」は、政策評価法上においては「事後評価」の 카테고リーに整理される。

(注2) 事業の実施状況モニタリングは、過度のコストを伴う等非現実的な実施が前提とならないように配慮し、各指標値を得る情報源及び入手頻度等は明確にする。

6. 有識者、ユーザー等の各種意見

- ・ 当該施策の企画・立案過程において参照した外部の意見や要請等を施策全体及び個別事業毎に具体的に記述しているか。

7. 有効性、効率性等の評価

(1) 手段の適正性

- ・ 目的や目標を達成するために採り得る政策手段にはどのようなものがあるか。その中で、提案している施策が最も優れていると考える根拠は何か。
- ・ 採ろうとする政策手段が目的や目標の達成に役立つ根拠及び程度を明らかにしているか。

(2) 効果とコストとの関係に関する分析（効率性）

- ・ 要求予算規模、想定減税規模、機会費用その他の当該政策手段に伴い発生するコストを明確にしているか。
- ・ 各選択肢についての社会的便益と社会的費用の比較（費用便益分析、費用効果分析、（社会的便益が同等な場合は）コスト分析等）を行っているか。定量的な評価が困難な場合は、少なくとも、各々の想定される結果の長所・短所の定性的な比較に基づいて行っているか。

(3) 適切な受益者負担

- ・ 政策の目的に照らして、政策の効果の受益や費用の負担が公平に分配されるか。

【中間・事後評価】

1. 施策の目的・政策的位置付けの妥当性

(1) 施策の目的の妥当性

- ・ 施策の目的が波及効果、時期、主体等を含め、具体化されているか。
- ・ 技術的課題は整理され、目的に至る具体的目標は立てられているか。
- ・ 社会的ニーズに適合し、出口（事業化）を見据えた内容になっているか。

(2) 施策の政策的位置付けの妥当性

- ・ 施策の政策的位置意義（上位の政策との関連付け、類似施策との関係等）は高いか。
- ・ 国際的施策動向に適合しているか。

(3) 国の施策としての妥当性、国の関与が必要とされる施策か。

- ・ 国として取り組む必要のある施策であり、当省の関与が必要とされる施策か。
- ・ 必要に応じ、省庁間連携は組まれているか。

2. 施策の構造及び目的実現見通しの妥当性

(1) 現時点において得られた成果は妥当か。

(2) 施策の目的を実現するために技術に関する事業が適切に配置されているか。

- ・ 配置された技術に関する事業は、技術に関する施策の目的を実現させるために必要か。
- ・ 配置された技術に関する事業に過不足はないか。
- ・ 配置された技術に関する事業の予算配分は妥当か。
- ・ 配置された技術に関する事業のスケジュールは妥当か。

3. 総合評価

Ⅱ. 技術に関する事業評価

Ⅱ－１ プロジェクト評価

【事前評価】

1. 事業の目的・政策的位置付け

(1) 事業目的は妥当で、政策的位置付け（上位の施策における位置付け）は明確か。

(2) 官民の役割分担は適当か。

※ 事業目的の妥当性、政策的位置付けを技術戦略マップを用いて説明し、官民、国と地方公共団体、他省庁との役割分担についても記述すること。目標（目指す結果、効果）については、技術戦略マップのロードマップとの整合性を説明すること。

2. 研究開発目標の妥当性

①目標（目指す結果、効果）は、具体的かつ明確か。

②目標達成度を測定・判断することが容易な指標が設定されているか。

※ 事業の進捗を示す指標については、技術戦略マップのロードマップ、技術マップを参考に設定すること。

③最終目標に至るまでのマイルストーンとして戦略的に中間目標が立てられているか。

※ 事業の目指す結果、効果については、技術戦略マップのロードマップとの整合性をとったマイルストーンを設定すること。

④中間・事後評価時期が明確に設定されているか。

3. 有効性・効率性等

(1) 手段の適正性

①他の政策手段（事業を実施しない場合の影響を含む。）との比較検討において、提案する事業が最も優れている根拠が明確であるか。

②実施する事業が目的や目標の達成に役立つ根拠は明確か。

・目的達成のための妥当なスケジュール、予算となっているか。

・事業終了後の実用化や事業化のシナリオは明確になっているか。

※ 技術戦略マップの導入シナリオを用いて、研究開発事業と関連事業の関係を説明すること。

・研究開発実施者の事業体制・運営は適切かつ妥当であるか。

(2) 効果とコストに関する分析

・可能な限り、各選択肢についての社会的便益と社会的費用の比較（費用便益分析、費用効果分析、コスト分析等）が行われているか。定量的な評価が困難な場合

は、少なくとも、各々の想定される結果と長所・短所の定性的な比較に基づいて行う。

(3) 適切な受益者負担

- ・ 実用化、事業化のシナリオを踏まえて、事業者等が得る利益に応じて適切な負担を求める委託費や補助制度となっているか。

※知的基盤・標準整備等のための研究開発に特有の評価項目

- ・ 成果に公共性は見込まれているか。
- ・ 成果の公共性を担保するための措置が想定されているか、又は標準化した場合に得られる経済効果は十分にあるか。無差別に公開されるものであるか。
- ・ 公共財としての需要は見込まれているか。
- ・ 公共財整備のための技術を民間能力を活用して開発することの妥当性はあるか。
- ・ 成果を国際標準として提案する場合に、他国から賛同を得られる見通しはあるか。

【中間・事後評価】

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

- (1) 事業目的は妥当で、政策的位置付けは明確か。
 - ・ 事業の政策的意義（上位の施策との関連付け等）
 - ・ 事業の科学的・技術的意義（新規性・先進性・独創性・革新性・先導性等）
 - ・ 社会的・経済的意義（実用性等）
- (2) 国の事業として妥当であるか、国の関与が必要とされる事業か。
 - ・ 国民や社会のニーズに合っているか。
 - ・ 官民の役割分担は適切か。

2. 研究開発等の目標の妥当性

- (1) 研究開発等の目標は適切かつ妥当か。
 - ・ 目的達成のために具体的かつ明確な研究開発等の目標及び目標水準を設定しているか。特に、中間評価の場合、中間評価時点で、達成すべき水準（基準値）が設定されているか。
 - ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

- (1) 成果は妥当か。
 - ・ 得られた成果は何か。
 - ・ 設定された目標以外に得られた成果はあるか。
 - ・ 共通指標である、論文の発表、特許の出願、国際標準の形成、プロトタイプの作製等があったか。

(2) 目標の達成度は妥当か。

- ・ 設定された目標の達成度（指標により測定し、中間及び事後評価時点の達成すべき水準（基準値）との比較）はどうか。

4. 事業化、波及効果についての妥当性

(1) 事業化については妥当か。

- ・ 事業化の見通し（事業化に向けてのシナリオ、事業化に関する問題点及び解決方策の明確化等）は立っているか。

(2) 波及効果は妥当か。

- ・ 成果に基づいた波及効果を生じたか、期待できるか。
- ・ 当初想定していなかった波及効果を生じたか、期待できるか。

* 知的基盤・標準整備等の研究開発の場合、以下の評価項目・評価基準による。

4. 標準化等のシナリオ、波及効果の妥当性

(1) 標準化等のシナリオは妥当か。

- ・ J I S 化や我が国主導の国際規格化等に向けた対応は図られているか。

(2) 波及効果は妥当か。

- ・ 成果に基づいた波及効果を生じたか、期待できるか。
- ・ 当初想定していなかった波及効果を生じたか、期待できるか。

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性

(1) 研究開発計画は適切かつ妥当か。

- ・ 事業の目標を達成するために本計画は適切であったか（想定された課題への対応の妥当性）。
- ・ 採択スケジュール等は妥当であったか。
- ・ 選別過程は適切であったか。
- ・ 採択された実施者は妥当であったか。

(2) 研究開発実施者の実施体制・運営は適切かつ妥当か。

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか、いたか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか、いたか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な、実施者間の連携／競争が十分に行われる体制となっているか、いたか。
- ・ 成果の利用主体に対して、成果を普及し関与を求める取組を積極的に実施しているか、いたか。
- ・ 国民との科学・技術対話を効果的に実施したか、又は実施することとしているか。（ただし、公募要項に当該対話を実施することが明記されている研究開発で、3千万円以上の公的研究費の配分を受ける研究開発を実施する研究者等を対象とする。）ここで、国民との科学・技術対話とは、研究活動の内容や成果を社会・

国民に対して分かりやすく説明する、未来への希望を抱かせる心の通った双方向コミュニケーション活動をいう（「国民との科学・技術対話」の推進について（基本的取組方針）（平成 22 年 6 月 19 日））。

（3）資金配分は妥当か。

- ・資金の過不足はなかったか。
- ・資金の内部配分は妥当か。

（4）費用対効果等は妥当か。

- ・投入された資源量に見合った効果が生じたか、期待できるか。
- ・必要な効果がより少ない資源量で得られるものが他にないか。

（5）変化への対応は妥当か。

- ・社会経済情勢等周囲の状況変化に柔軟に対応しているか（新たな課題への対応の妥当性）。
- ・代替手段との比較を適切に行ったか。

6. 総合評価

Ⅱ－２ 研究開発制度評価

※複数の制度の制度構造評価を実施する場合、参考に示す評価項目・評価基準に留意する。

【事前評価】

1. 事業の目的・政策的位置付け

（1）事業目的は妥当で、政策的位置付け（上位の施策における位置付け）は明確か。

（2）官民の役割分担は適当か。

- ※ 事業目的の妥当性、政策的位置付けを技術戦略マップを用いて説明し、官民、国と地方公共団体、他省庁との役割分担についても記述すること。目標（目指す結果、効果）については、技術戦略マップのロードマップとの整合性を説明すること。

2. 目標の妥当性

①目標（目指す結果、効果）は、具体的かつ明確か。

②目標達成度を測定・判断することが容易な指標が設定されているか。

- ※ 事業の進捗を示す指標については、技術戦略マップのロードマップ、技術マップを参考に設定すること。

③最終目標に至るまでのマイルストーンとして戦略的に中間目標が立てられているか。

- ※ 事業の目指す結果、効果については、技術戦略マップのロードマップとの整

合性をとったマイルストーンを設定すること。

④目標達成時期及び中間・事後評価時期が明確に設定されているか。

(注) 指標及び目標達成時期は、事業全体及び採択テーマごとに設定する。

3. 有効性・効率性等

(1) 手段の適正性

①他の政策手段（事業を実施しない場合の影響を含む。）との比較検討において、提案する事業が最も優れている根拠が明確であるか。

②実施する事業が目的や目標の達成に役立つ根拠は明確か。

・目的達成のための妥当なスケジュール、予算となっているか。

・事業終了後の実用化や事業化のシナリオは明確になっているか。

※ 技術戦略マップの導入シナリオを用いて、当該事業と関連事業の関係を説明すること。

・事業の運営体制・組織は効率的となっているか。

・事業の目的に照らして、個々のテーマの採択プロセス（採択者、採択評価項目・基準、採択審査結果の通知等）は妥当か。

・他の事業との関連において、重複等はないか。

(2) 効果とコストに関する分析

・可能な限り、各選択肢についての社会的便益と社会的費用の比較（費用便益分析、費用効果分析、コスト分析等）が行われているか。定量的な評価が困難な場合は、少なくとも、各々の想定される結果と長所・短所の定性的な比較に基づいて行う。

(3) 適切な受益者負担

・実用化、事業化のシナリオを踏まえて、事業者等が得る利益に応じて適切な負担を求める委託費や補助制度となっているか。

4. 有識者、ユーザー等の各種意見

・有識者等の意見を活用しているか。

【中間・事後評価】

1. 制度の目的及び政策的位置付けの妥当性

(1) 国の制度として妥当であるか、国の関与が必要とされる制度か。

(2) 制度の目的は妥当で、政策的位置付けは明確か。

(3) 他の制度との関連において、重複等はないか。

2. 制度の目標の妥当性

(1) 目標は適切かつ妥当か。

- ・ 目的達成のために具体的かつ明確な目標及び目標水準を設定しているか。特に、中間評価の場合、中間評価時点で、達成すべき水準（基準値）が設定されているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

3. 制度の成果、目標の達成度の妥当性

(1) 制度としての成果は妥当か。

- ・ 得られた成果は何か。
- ・ 設定された目標以外に得られた成果はあるか。
- ・ 共通指標である、論文の発表、特許の出願、国際標準の形成、プロトタイプの作製等があったか。

(2) 制度としての目標の達成度は妥当か。

- ・ 設定された目標の達成度（指標により測定し、中間及び事後評価時点の達成すべき水準（基準値）との比較）はどうか。

4. 制度採択案件に係る事業化、波及効果等その他成果についての妥当性

(1) 成果については妥当か。

- ・ 当該制度の目的に合致する成果は得られているか。
- ・ 事業化が目標の場合、事業化の見通し（事業化に向けてのシナリオ、事業化に関する問題点及び解決方策の明確化等）は立っているか。

(2) 波及効果は妥当か。

- ・ 成果に基づいた波及効果を生じたか、期待できるか。
- ・ 当初想定していなかった波及効果を生じたか、期待できるか。

5. 制度のマネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性

(1) 制度のスキームは適切かつ妥当か。

- ・ 目標達成のための妥当なスキームとなっているか、いたか。

(2) 制度の体制・運営は適切かつ妥当か。

- ・ 制度の運営体制・組織は効率的となっているか、いたか。
- ・ 制度の目標に照らして、個々のテーマの採択プロセス（採択者、採択評価項目・基準、採択審査結果の通知等）及び事業の進捗管理（モニタリングの実施、制度関係者間の調整等）は妥当であるか、あったか。
- ・ 制度を利用する対象者はその目標に照らして妥当か。
- ・ 個々の制度運用の結果が制度全体の運営の改善にフィードバックされる仕組みとなっているか、いたか。
- ・ 成果の利用主体に対して、成果を普及し関与を求める取組を積極的に実施しているか、いたか。
- ・ 国民との科学・技術対話を効果的に実施したか、又は実施することとしている

か。(ただし、3千万円以上の公的研究費の配分を受ける研究開発で、公募要項に当該対話を実施することが明記されている研究開発を実施する研究者等を対象とする。)ここで、国民との科学・技術対話とは、研究活動の内容や成果を社会・国民に対して分かりやすく説明する、未来への希望を抱かせる心の通った双方向コミュニケーション活動をいう(「国民との科学・技術対話」の推進について(基本的取組方針)(平成22年6月19日))。

(3) 資金配分は妥当か。

- ・資金の過不足はなかったか。
- ・資金の内部配分は妥当か。

(4) 費用対効果等は妥当か。

- ・投入された資源量に見合った効果が生じたか、期待できるか。
- ・必要な効果がより少ない資源量で得られるものが他にないか。

(5) 変化への対応は妥当か。

- ・社会経済情勢等周囲の状況変化に柔軟に対応しているか。
- ・代替手段との比較を適切に行ったか。

6. 総合評価

(参考) 制度構造評価

<複数制度の俯瞰的評価>

1. 複数制度のバランス、相対的位置の妥当性

- ・他の制度との重複により効率が低くなっていないか。結果的に類似し重複や非効率が目立つ制度となっていないか。
- ・産業技術戦略や内外情勢変化に即した制度の配置、構成となっているか。
- ・目標のレベル、国が関与すべき程度、実用化時期の想定等に関して、複数制度の相対的位置、複数制度間の政策目的に照らした整合性は妥当か。
- ・利用者から見て、制度間の相違(趣旨、対象者、要件等)が分かりにくいものとなっていないか。一方、複数の制度間で申請書類の様式が必要以上に異なり、利用者側に不都合な負担をしいることとなっていないか。

<個別制度の方向性項目>

2. 俯瞰的にみた個別制度の方向性

- ・内外情勢変化、他の制度との相対関係、個別制度評価の結果等を踏まえ、個別制度の継続、統廃合、新設の必要性はどうか。国の関与の度合いはどうか。

- ・統廃合を行う必要はなくても、運用面における連携、協調の必要性はどうか。

Ⅱ－３ 競争的資金による研究課題に関する評価

＜ア. 主として技術シーズの創造を目的とする競争的資金制度の場合＞ 【事前評価】

1. 目標・計画

- ・制度の目的（公募の目的）に照らして、研究開発目標・計画が具体的かつ明確に設定されているか。その目標の実現性、計画の妥当性はどうか。

2. 科学的・技術的意義（新規性、先進性、独創性、革新性、先導性等）

- ・最新の研究開発動向・水準からみて新規性はあるか。
- ・研究開発内容について独創性はあるか。
- ・飛躍的に技術レベルを高めるような技術的ブレークスルーポイントがあるか。

3. 実施体制

- ・研究開発代表者に十分な研究開発管理能力があるか。既に、相当程度の研究開発実績を有しているか。
- ・研究開発内容に適した研究開発実施場所が選定されているか。
- ・研究開発を行う上で、十分な研究開発人員（研究開発分担者）及び設備等を有しているか、また、研究開発を推進するために効果的な実施体制となっているか。

4. 実用化の見通し

- ・研究開発の成果が実用化に結びつく可能性があるか。
- ・実用化された場合に、産業・社会への波及効果は認められるか。
- ・研究開発代表者又は研究開発チームに属する研究開発分担者が、当該研究開発の基礎となる特許を有しているか、又は出願中であるか。
- ・国内外で関連の特許が押さえられていないか。

5. 想定される選択肢内の比較

- ・事業の提案に当たり、選択肢の吟味を行っているのか。提案する手段が最も優れていると考える根拠は何か。

【中間・事後評価】

1. 目標・計画

- ・技術動向等の変化に対応して、事業の目的や計画は妥当であったか。
- ・成果は目標値をクリアしているか。

2. 要素技術から見た成果の意義

- ・ 科学的・技術的意義（新規性、先進性、独創性、革新性、先導性等）が認められるか。

3. 実施体制

- ・ 研究開発管理能力、研究開発実施場所、研究設備等実施体制は適切であったか。
- ・ 国民との科学・技術対話を効果的に実施したか、又は実施することとしているか。（ただし、3千万円以上の公的研究費の配分を受ける研究開発で、公募要項に当該対話を実施することが明記されている研究開発を実施する研究者等を対象とする。）ここで、国民との科学・技術対話とは、研究活動の内容や成果を社会・国民に対して分かりやすく説明する、未来への希望を抱かせる心の通った双方向コミュニケーション活動をいう（「国民との科学・技術対話」の推進について（基本的取組方針）（平成22年6月19日））。

4. 実用化の見通し

- ・ 成果に関する特許の出願予定はあるか。
- ・ 実用化に向けた具体的な計画があるか。

<イ. 主として研究開発成果を早期に実用化することを目的とする競争的資金の場合>

【事前評価】

1. 必要性

- ・ 制度の目的に照らして、国の支援が必要な事業であるか。
- ・ 当該事業に対する社会的なニーズが具体的かつ明確となっており、ニーズを満たすために相当程度有効な事業であるか。

2. 目標・計画

- ・ 制度の目的（公募の目的）に照らして、技術開発目標・計画が具体的かつ明確に設定されているか。その目標や計画は実現性が高い妥当なものとなっているか。
- ・ 実用化（事業化）に向けた具体的な計画を有し、実用化（事業化）の可能性が高いものとなっているか。

3. 新規性、先進性、技術レベル

- ・ 革新的な新製品の開発に取り組むものであるか。
- ・ 既存製品の延長ではあるが経済性の格段の向上や新機能の付加が認められるなど、新規性・先進性を有しているか。
- ・ 技術開発の難易度が既存の技術水準に比して高い事業であるか。

4. 実施体制

- ・事業を的確に遂行するために必要な開発体制及び能力を有しているか。既に、関連する研究開発等の事業経験があるか。

5. 実用化（事業化）の見通し

- ・当該研究開発の基礎となる研究開発成果が確実なものとなっているか。
- ・実用化による産業・社会への波及効果は認められるか。
- ・実用化による市場の創出効果が大きいか。または市場を占めるシェアが大きいか。
- ・実用化した製品が継続的に受け入れられる市場環境にあるか。
- ・事業化に結びつくための生産に必要な資源の確保や、販売ルートを保有しているか。
- ・事業化に結びつくための（競争相手に対する）優位性が存在するか。

【中間・事後評価】

1. 必要性

- ・社会的なニーズを満たすために相当程度有効な事業であったか。国の支援が必要な事業であったか。

2. 目標・計画

- ・技術動向等の変化に対応して、事業の目的や計画は妥当であったか。
- ・成果は目標値をクリアしているか

3. 要素技術から見た成果の意義

- ・新規性、先進性が認められるか。

4. 実施体制

- ・開発体制及び能力は適切であったか。
- ・国民との科学・技術対話を効果的に実施したか、又は実施することとしているか。
（ただし、3千万円以上の公的研究費の配分を受ける研究開発で、公募要項に当該対話を実施することが明記されている研究開発を実施する研究者等を対象とする。）ここで、国民との科学・技術対話とは、研究活動の内容や成果を社会・国民に対して分かりやすく説明する、未来への希望を抱かせる心の通った双方向コミュニケーション活動をいう（「国民との科学・技術対話」の推進について（基本的取組方針）（平成22年6月19日））。

5. 実用化（事業化）の見通し

- ・ 成果に関する特許出願、国際標準の提案の予定はあるか。
- ・ 実用化に向けたスケジュールや体制は明確になっているか。
- ・ 実用化による産業・社会への波及効果は認められるか。
- ・ 実用化による市場の創出効果が大きいか。または市場を占めるシェアが大きいか。
- ・ 実用化した製品が継続的に受け入れられる市場環境にあるか。
- ・ 事業化に結びつくための生産に必要な資源の確保や、販売ルートを保有しているか。
- ・ 事業化に結びつくための（競争相手に対する）優位性が存在するか。

VI. 追跡評価

I. 波及効果に関する評価

I-1. 技術波及効果

(1) 実用化への進展度合

- ・ プロジェクトの直接的および間接的な成果は、製品やサービスへの実用化にどのように寄与したか、あるいは寄与する可能性があるか。特許取得やその利用状況、市場環境の変化、競合技術の台頭等を踏まえて評価する。

- ①プロジェクト終了後に実用化した製品やサービスは数多くあったか。
- ②プロジェクトの成果から今後実用化が期待される製品やサービスはあるか。
- ③多額の実施料収入を生み出す等、インパクトのある技術が得られたか。
- ④外国での特許取得が行われたか。
- ⑤基本特許を生み出したか。

(2) プロジェクト成果からの技術的な広がり具合

- ・ プロジェクトの成果により直接的に生み出された技術は、関連技術分野に技術面でのインパクトを与えたか。派生技術には、プロジェクト実施当時に想定されていたもの、想定されていなかったものを含めてどのようなものがあり、それらはどのように利用されているかを踏まえて評価する。

- ①数多くの派生技術を生み出したか。
- ②派生技術は多くの種類の技術分野にわたっているか。（当該技術分野、他の各種技術分野）
- ③直接的に生み出された技術又は派生技術を利用した研究主体は数多くあるか。
- ④直接的に生み出された技術又は派生技術を利用する研究主体は産業界や学会に広がりを持っているか。（参加企業、大学等、不参加の同業種の企業、その他の産業等）
- ⑤参加企業等が自ら実施する研究開発の促進効果や期間短縮効果はあったか。

(3) 国際競争力への影響

- ・ 直接的に生み出された技術の成果技術や派生技術により、国際競争力はどのように強化されたか。

- ①我が国における当該分野の技術レベルは向上したか。
- ②外国と技術的な取引が行われ、それが利益を生み出しているか。
- ③プロジェクトの技術分野に関連した外国での特許取得は積極的になされているか。
- ④国際標準の決定に対し、プロジェクトはメリットをもたらしたか。
- ⑤国際標準等の協議において、我が国がリーダーシップをとれるようになったか。
- ⑥外国企業との主導的な技術提携は行われたか。
- ⑦プロジェクトが外国の技術政策に影響を与え、その結果技術交流が促進されたり、当該分野で我が国がイニシアチブをとれるようになったか。

I-2. 研究開発力向上効果

(1) 知的ストックの蓄積度合

- ・特許や、研究者のノウハウ・センス・知識等の研究成果を生み出す源となる知的ストックはどのような役割を果たしたか。それらはプロジェクト終了後も継承され、次の研究の芽になる等、今後も影響を持ち得ることができるか。

- ①当該分野における研究開発は続いているか。
- ②プロジェクト終了後にも、プロジェクトに参加した研究者が派生技術の研究を行っているか。
- ③プロジェクトの終了時から現在までの間に、知的ストックが将来的に注目すべき新たな成果（画期的な新製品・新サービス等）を生み出す可能性は高まっているか。

(2) 研究開発組織の改善・技術戦略への影響

- ・プロジェクトは、研究開発組織の強化・改善に対してどのように役立ったか。あるいは、実施企業の技術戦略に影響を与えたか。

- ①企業を超える研究開発のインフラとして、学会、フォーラム、研究者間交流等の公式・非公式の研究交流基盤は整備され、活用されているか。
- ②企業間の共同研究の推進等、協力関係、良好な競争的關係が構築されたか。
- ③顧客やビジネスパートナーとの關係の変化が、經濟性を向上させたか。
- ④技術の管理組織を再編成する契機となったか。
- ⑤研究開発部門の再構成等、社内の組織改編は積極的に行われたか。
- ⑥研究開発の予算規模が増減する契機となったか。
- ⑦プロパテント等の特許戦略に対する意識が高くなったか。
- ⑧知的ストックは、企業の技術戦略にどのような影響を与えたか。

(3) 人材への影響

- ・プロジェクトは研究者の効率的・効果的配置や能力の向上にどのように寄与したか。

- ①国内外において第一人者と評価される研究者が生まれたか。
- ②論文発表、博士号取得は活発に行われたか。

- ③プロジェクト従事者の企業内での評価は高まったか。
- ④研究者の能力向上に結び付くような研究者間の人的交流が行われたか。
- ⑤関連分野の研究者増員が行われたか。
- ⑥国内外から高く評価される研究機関となったか。

I-3. 経済効果

(1) 市場創出への寄与

- ・新しい市場を創造したか。また、その市場の拡大に寄与したか。

(2) 経済的インパクト

- ・生産波及、付加価値創出、雇用創出への影響は大きかったか。

- ①直接的に生み出された技術や派生技術の実用化により、製品の売り上げと利益は増加したか。
- ②直接的に生み出された技術や派生技術の実用化により、雇用促進は積極的に図られたか。

(3) 産業構造転換・活性化の促進

- ・プロジェクトが産業構造の転換や活性化（市場の拡大や雇用の増加等）にどのような役割を果たしたか。

- ①プロジェクトが、各関連産業における市場の拡大や雇用の増加等に寄与したか。
- ②プロジェクトが新たな産業の勃興や、既存市場への新規参入、あるいは既存市場からの撤退等をもたらしたか。また、それらが市場全体における雇用に影響したか。
- ③プロジェクトが生産業務の改善や更新に結びついたことにより生産性・経済性は向上したか。

I-4. 国民生活・社会レベルの向上効果

- ・プロジェクトによって新たな製品・サービスが実用化されたこと、プロジェクトの成果の応用による生産性の向上や顕著なコストダウン、デファクトを含めた規格化を促進したこと等の事例がある場合、それらは、例えば下記に挙げる項目にそれぞれどのような影響をもたらしたか。

(1) エネルギー問題への影響

- ・エネルギー問題の解決に寄与した効果としてどのようなものが考えられるか。

(2) 環境問題への影響

- ・環境問題の解決に寄与した効果としてどのようなものが考えられるか。

(3) 情報化社会の推進

- ・情報化社会の推進に寄与した効果としてどのようなものが考えられるか。

(4) 安全、安心、生活の質

- ・国民生活の安全、安心、生活の質の向上に寄与した効果としてどのようなもの

が考えられるか。

- ①国民生活の利便性を向上させた事例が存在するか。
- ②国民生活の安全性の向上に寄与したか。
- ③プロジェクトの成果は、身障者や高齢者の多様な生活を可能にしたか。また、個の自立を支援するものであるか。

I-5. 政策へのフィードバック効果

(1) その後の事業への影響

- ・プロジェクトの成果や波及効果、改善提案、反省点等がその後の研究開発プロジェクトのテーマ設定や体制構築へ反映されたか。

(2) 産業戦略等への影響

- ・プロジェクトの直接的・間接的な成果が実用化したり、関連の研究開発基盤ができたこと等による、その後の産業戦略等への影響があったか。

II. 現在の視点からのプロジェクトの評価

II-1. 国家プロジェクトとしての妥当性

- ・国のプロジェクトとしてどのような効果があったか。Iに示した各効果を総合的に評価する。
- ・現在（追跡評価時点）から見て、国が関与する必要性があったか。また、関与の方法や程度は妥当であったか
 - ①多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない場合。
 - ②環境問題への先進的対応等、民間企業には市場原理に基づく研究開発実施インセンティブが期待できない場合。
 - ③標準の策定、データベース整備等のうち社会的性格が強いもの（知的基盤）の形成に資する研究開発の場合。
 - ④国の関与による異分野連携、産学官連携等の実現によって、研究開発活動に新たな付加価値をもたらすことが見込まれる場合。
 - ⑤その他国が主体的役割を果たすべき特段の理由がある場合。

II-2. 目標設定

- ・当時の技術動向、市場動向、社会環境、政策目的等から見て、目標設定の方向性とそのレベルは妥当であったか。

II-3. プロジェクト実施方法

- ・プロジェクトの計画策定、スキーム（予算制度）、実施体制、運営方法等の実施方法が現在の視点から見て妥当であったか。

Ⅱ－４．Ⅱ－１～Ⅱ－３の評価結果を踏まえ、プロジェクト終了時の事後評価の妥当性

- ・事後評価で行われた評価結果は、追跡評価の時点から見て妥当であるか。

(現在の事後評価項目の例示)

目的・意義の妥当性、目標の妥当性、計画内容の妥当性、国のプロジェクトであることの妥当性、研究開発体制・運営の妥当性、研究開発成果の計画と比較した達成度、実用化の見通し（成果普及、広報体制、波及効果）、総合評価、今後の提言

- ・今後の最終評価において改善すべき評価方法、考慮すべき要因等を提案。

Ⅱ－５．プロジェクト終了後のフォローアップ方法

- ・プロジェクトの成果の実用化や普及に対して、プロジェクト終了後のフォローアップ体制が適切であったか。後継の国のプロジェクトを立ち上げる必要は無かったか。
- ・不適切な場合の改善点、より効果を発揮するための方策の提案。