

3. CCSの円滑な導入手法の検討

CCS を気候変動対策のための政策的オプションに係る事業として推進するためには、技術開発のみならず、一般市民を含む、CCS に関わるすべてのステークホルダの社会的合意形成や、関連法規制枠組の整備、インセンティブを含む導入促進施策の整備等の政策形成が極めて重要である（資料編 3-3、3-4 参照）。本項目においては、5つの小項目（国内外の動向調査、経済性等評価、社会受容性の検討、円滑な導入手法の検討、海外展開の検討）について調査を行い、CCS の円滑な導入のための施策立案に資する情報提供を行う（資料編 3-5、3-6 参照）。

3.1. 国内外の動向調査

本項目に関して、本年度は、主に CCS に関する技術・制度及び電力業界の動向を中心に調査を行った。

3.1.1. CCS に関する国内外の技術・制度及び関連動向調査

CCS に関する国内外の技術、制度及び関連動向について文献調査等により情報収集を行い、整理した。

現在使用されている国内外の技術に関しては、世界の大規模 CCS プロジェクトについて概要を整理した（資料編 3-7 から 3-9 参照）。操業中のプロジェクトは 12 件あり、回収能力は合計で 2,600 万 t-CO₂/年である。操業中・建設中・計画中のプロジェクトは米国、欧州、中国に集中しており、また、海域で帯水層に貯留するプロジェクトは、Sleipner と Snohvit（いずれもノルウェー）の 2 件のみであることがわかった。

CCS のコストに関しては、低炭素電源の平均発電原価、CCS 付火力電源のコスト比較、及び CCS のコスト優位性について整理した（資料編 3-11 から 3-14 参照）。IPCC 第 5 次評価報告書によると、CCS を実施しない場合の削減コストは、標準的な技術利用を仮定した場合の削減コストに対して、138%増加（平均値）するとされていることがわかった。

CCS に関連する制度については、経済的手法、直接規制的手法、および枠組規制的手法の観点から、手法を整理した（詳細は 3.4 参照）。

また、CCS の動向調査の一環として、CCS に関する世界最大の国際会議「GHGT-12」（2014/10/6-9、米国テキサス州・オースティン市）に参加し、CCS の技術や制度等の最新動向について情報収集を行った。

CCS の技術については、特に分離回収技術に注目して情報収集を行った。

- **SaskPower Boundary Dam ICCS プロジェクト**

カナダ Shell Cansolv 社のグループより、世界発の商業規模の石炭火力燃焼後回収・貯留プロジェクトである **SaskPower Boundary Dam ICCS Project** (2014年9月開始) について報告があった。大規模な分離・回収を実現するための現実的な課題として、アミン溶液の供給に係る課題が挙げられていた。また、エネルギー効率として **2.3 GJ/CO₂-ton** 未満を達成したことが報告された。

- **排出量モニタリング検討**

ノルウェー **CO₂ Technology Centre Mongstad (TCM)** のグループから、MEA 溶液を用いた分離・回収プロセスの排出量モニタリング結果について報告があった。吸収塔から大気への排出量のモニタリングについては、MEA の排出が全試験期間において数 ppb～数百 ppb の低い水準であり、アンモニアおよびメチルアミンの排出も数 ppm の水準に抑えられ、また、ニトロソアミン類およびニトロアミン類の多くは検出下限値以下であった。水洗浄システムが、大気中への排出を効果的に抑制できると報告された。

- **アミン類等の環境中運命の評価**

Imperial College London のグループから、大気中に排出されたアミン類等の環境リスク評価を実施するための、環境中運命に係る検討について報告があった。具体的には、大気化学におけるモデル化スキームと大気拡散モデルとを統合し、分離・回収プロセスから排出されるアミン類等の環境中運命を評価するための手法が構築されていた。ケーススタディとして、イギリス最大の分離・回収パイロットプラントである **Ferrybridge CCPilot 100+** を対象とした評価が実施されており、当該プラントから **2-3 km** の地点においてアミン類等の濃度が最も高くなるとの推計結果が報告された。

CCS の制度については、特に法規制や金融手法に注目して情報収集を行った。

- **長期的責任**

Global CCS Institute から、CCS に関する長期的責任の法規制についての考察が報告された。特に豪州のビクトリア州、カナダのアルバータ州、及び英国にフォーカスして比較されていた。責任は3つのタイプに分けられており、それらは、市民の責任 (**civil liability**)、当局の責任 (**administrative liability**)、及び排出量取引責任 (**emissions trading liability**) である。排出量取引責任においては、貯留された **CO₂** の漏洩を規定する必要がある。3つの国・地域の規則とも広範囲の責任を規定しており、モデルとして参考となるが、あくまでも法制度としては初期段階であり、プロジェクトレベルでテストされていないことが課題と

して挙げられていた。

- Class VI 坑井の金融責任手法

米国 DOE/NETL から、Class VI 坑井の金融責任手法について報告があった。貯留の実施者（オペレーター）のビジネスリスクや地質リスクを第三者が補うファンドの提案があった。金融責任の方法としては、自己保険、信託ファンド、抵当債券、信用状等が紹介された。また、貯留層をモデルとしたケーススタディが行われており、貯留層がドーム型構造（dome structure）のときは自己保険がコストを最小にすることができることが報告された。

- Boundary Dam プロジェクトの LCA

カナダの ArticCan Energy から、Boundary Dam プロジェクトの LCA 評価について報告があった。2つのケース、すなわち、回収なしケース（150MW の褐炭炊き発電）と、回収ありケース（150MW+燃焼後回収+石油増進回収+石油精製+燃料使用）との比較評価がなされていた。Excel ベースのソフトウェア (GaBi5) を用いており、LCA 法としては TRACI が用いられていた。結果として、回収ありケースは回収なしケースと比較して、温室効果が削減され、大気環境は改善するが、水の環境負荷がおおむね増加するということが報告された。

3.1.2. 長期的エネルギー及び電力需給分析による環境配慮型 CCS の優位性・課題の比較整理

3.1.2.1. 電力システム改革の動向

電力システムの改革は 1990 年代より始まっているが、2011 年の東日本大震災・福島原発事故を受けて、急速に、そして抜本的に改革が進展している。すなわち、これまで垂直統合事業を担ってきた一般電気事業者を発電、送配電、小売の 3 つの事業領域に（基本的に）法的分離（分社化）した上で、発電、小売については参入を完全に自由化しつつ、新規参入者も含め、送配電網を公平に利用できるルール作りを目指している。

平成 25 年 2 月に電力システム改革専門委員会がまとめた最終報告を受け、改革は 3 段階に分けて進めるスケジュールとなっている（表 3-1、図 3-1）。

表 3-1 電力システム改革の経過等

年	改革の内容
1995	第一次改革(発電市場改革 IPP入札制度導入)
1999	第二次改革(小売部分自由化～特別高圧)
2003	第三次改革(小売自由化範囲拡大～高圧まで拡大)
2008	第四次改革(卸取引所改革、系統利用ルール改善)
2011	東日本大震災・福島原発事故
2012	電力システム改革議論
2013	電気事業法改正 (第1段、広域的運営推進機関の設立 等)
2014	電気事業法改正 (第2段、小売全面自由化 等)
2015	電気事業法改正を目指す (第3段、発送電分離 等)
2016	小売全面自由化実施
2018年-20年	発送電分離 (未定)

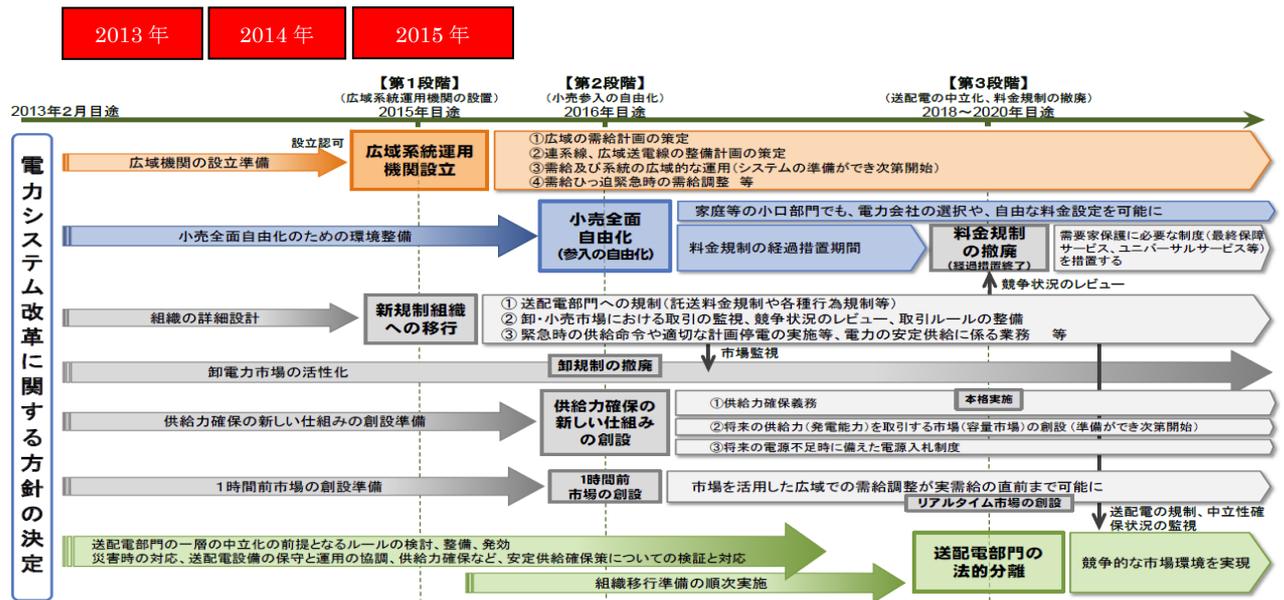


図 3-1 電力システム改革のロードマップ

(出典) 電力システム改革専門委員会報告書、2013年2月

3.1.2.2. 一般電気事業者の卸供給入札及び各電気事業者の電源整備の計画

一般電気事業者 5 社が火力電源入札を実施しており(表 3-2)、その設備規模は合計 1,070 万 kW となり、供給開始時期は 5～10 年後で、これらの電源は 2050 年時点でも稼働することとなる。

表 3-2 一般電気事業者における火力電源入札の実施状況 (平成 26 年度)

電力会社	募集規模	供給開始時期	供給期間	年間基準利用率
東北電力	60 万 kW	2020 年 6 月～2022 年 6 月	原則 15 年間 (10～20 年の範囲で選択可能)	70～80%
東北電力	60 万 kW	2023 年 6 月～2024 年 6 月	原則 15 年間 (10～20 年の範囲で選択可能)	40～50%
東京電力	600 万 kW [*])	2019～2023 年度	原則 15 年間 (5～15 年の範囲で選択可能)	70～80%
中部電力	100 万 kW	2021～2023 年度	原則 15 年間 (10～30 年の範囲で選択可能)	70～80%
関西電力	150 万 kW	2021 年 4 月～2023 年 7 月	原則 15 年間 (10～30 年の範囲で選択可能)	70%
九州電力	100 万 kW	～2021 年 6 月	原則 15 年間 (10～30 年の範囲で選択可能)	70～80%
計	1,070 万 kW			

出典：各電力会社の HP

注*) 平成 24 年度入札 (260 万 kW) の未達分 (192 万 kW) を含む

3.1.2.3. 電力業界全体で二酸化炭素排出削減に取り組む自主的枠組の構築に関する動向

電気事業連合会は、二酸化炭素排出削減目標として表 3-3 に示す内容を掲げており、近年の状況は図 3-2 に示すとおりである。

表 3-3 二酸化炭素排出削減に取り組む自主的枠組（電気事業連合会）

電気事業では CO₂ 排出抑制に対する目標設定に当たり、お客さまの使用電力 1kWh（キロワット時）当たりの CO₂ 排出量（使用端 CO₂ 排出原単位）を指標として取り上げ、次の通りとしています。

2008～2012 年度における使用端 CO₂ 排出原単位を、1990 年度実績から平均で 20%程度低減（0.34kg-CO₂/kWh 程度にまで低減）するよう努める。

目標設定の考え方

地球温暖化対策として目標とすべき電気の使用にともなう CO₂ 排出量は、お客さまの使用電力量と使用端 CO₂ 排出原単位を掛け合わせて算出できます。このうちお客さまの使用電力量は、天候やお客さまの電気の使用事情といった電気事業者の努力が及ばない諸状況により増減することから、電気事業者としては、自らの努力が反映可能な原単位の低減を目標として採用しています。

（出典）電気事業連合会. “温暖化問題に対する考え方、CO₂ 排出抑制目標”.

http://www.fepc.or.jp/environment/warming/taisaku/co2_mokuhyou/index.html, (参照 2015-02-09)

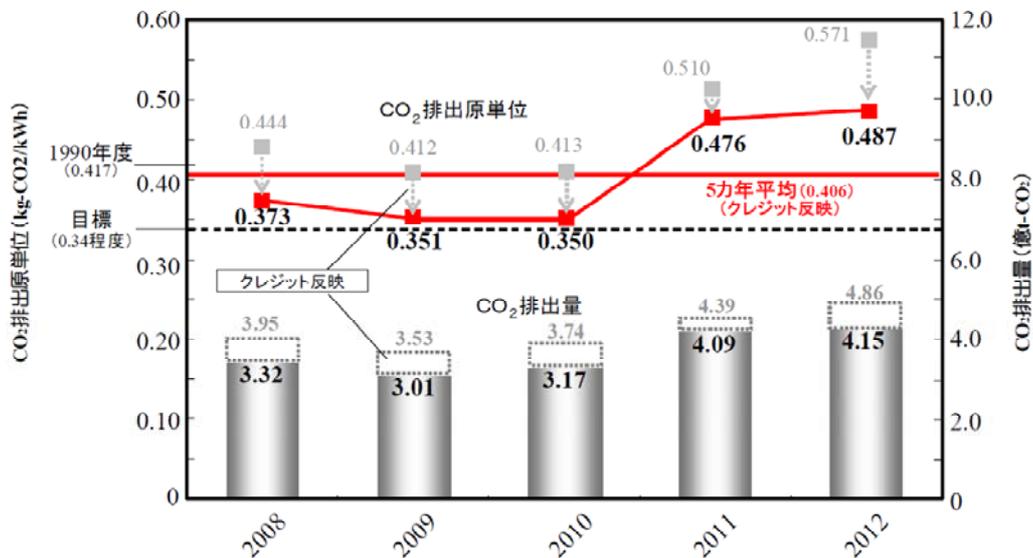


図 3-2 二酸化炭素排出削減の近年の状況（電気事業連合会）

（出典）電気事業連合会、電気事業における地球温暖化対策の取組み（平成 25 年 11 月）

3.1.2.4. CCS Ready 及び CCS 導入の課題

CCS/CCS Ready 導入の課題については、3.4.1（円滑かつ効果的な CCS 導入策の検討）に整理した。

3.1.2.5. 米国及び諸外国の排出規制等に関する動向

資料編 3-10 に米国における新設火力発電所の CO₂ 排出基準案、資料編 3-11 から 3-12 に米国における既設発電所の CO₂ 排出規制案をまとめた。他の諸外国としては、英国（資料編 3-13）、カナダ（資料編 3-14）、及び中国（資料編 3-15）に関して、石炭火力発電所の CO₂ 排出基準または石炭消費量の目標値について整理を行った。

3.1.2.6. 環境配慮型 CCS の優位性及び課題に関する整理

環境配慮型 CCS を構成し得る要素について整理を行った。環境配慮とは、自然環境への配慮と社会環境への配慮とに大別して考えることができる。各々について想定される要素を以下に示す。

【環境配慮型 CCS の要素（例）】

- 自然環境への配慮
 - CCS 各プロセスにおける CO₂ 排出量
 - 各プロセスで排出される化学物質による環境負荷
 - 操業による生物多様性の保全に対する影響
- 社会環境への配慮（≒社会受容性の向上）
 - CO₂ 漏出リスク
 - エネルギーコストへの影響
 - 経済効果、雇用創出効果、副次的効果
 - 漁業等の既往経済活動への配慮

これらの要素と、CCS における各プロセスとの関係を表 3-4 に示す。

表 3-4 環境配慮型 CCS の要素と CCS プロセスとの関係性

環境配慮型 CCS の要素	CCS プロセス			
	分離・回収	輸送*1	貯留*2	モニタリング
自然環境への配慮				
CO2 排出	○	○	○	○
環境負荷	○	—	△	—
生物多様性	△	○	○	○
社会環境への配慮				
CO2 漏出リスク	—	△	○	—
エネルギーコスト	○	○	○	○
経済効果等	○	○	○	○
漁業等への配慮	△	○	○	○

○：関係性が大きい、△：関係性が小さい、—：関係性がほとんどない

*1 液化を含む *2 坑井掘削を含む

次に、他の技術との比較整理を資料編 3-16 から 3-19 に示す。CCS 配備石炭火力、CCS 配備天然ガス火力は、太陽光や風力等の再生可能エネルギーによる発電よりも発電原価が低く、太陽光や風力はさらに系統安定化対策費用が必要となるため、コスト差はさらに広がると考えられる。

資料編 3-20 は、IPCC 第 5 次評価報告書（AR5）第 3 作業部会報告書における、技術制約が世界全体での温室効果ガス排出削減コストに及ぼす影響に関する分析結果である。450 ppm シナリオ達成のための削減コストの増加割合（種々の分析結果の平均値）は、原子力発電の利用がなくなるケースで+7%、太陽光・風力の導入が限定的であるケースで+6%、バイオマスの導入が限定的であるケースで+64%であるのに対し、CCS なしのケースでは+138%と増加割合が突出して高く、温暖化対策における CCS 実施の重要性が示されている。

3.2. 経済性等評価

シャトルシップ CO₂ 輸送方式を中心として、事業全体の経済性、及びライフサイクル CO₂ 排出量について評価を行った。

3.2.1. 経済性評価

3.2.1.1. 評価対象ケース

発電技術別の CCS 一貫配備の火力発電所につき、輸送距離別に CCS コストと発電コストを試算した。本検討の評価範囲を資料編 3-21 に示す。CCS 一貫配備とは、本検討では、以下の設備を配備し運転保守管理をするシステムとしている。

- 火力発電
- CO₂ 回収
- CO₂ 液化
- シャトルシップ輸送・圧入
- 貯留、及び閉鎖・閉鎖後長期監視

発電技術は、超臨界圧石炭火力 (Supper Critical ; SC)、超々臨界圧石炭火力 (Ultra Supper Critical ; USC)、石炭ガス化複合発電 (Integrated Coal Gasification Combined Cycle; IGCC)、天然ガス複合発電 (Natural Gas Combined Cycle; NGCC) の 4 種類とした。発電容量は全て 75 万 kW とし、超臨界圧石炭火力のみ参考ケースとして 4.5 万 kW も対象とした。

また、シャトルシップによる液化 CO₂ の海上輸送距離は、185km、600km、970km の 3 つのケースについて検討した。

3.2.1.2. 前提条件

経済性評価の前提条件について (資料編 3-22 参照)、まず発電設備に関しては、GCCSI (2011) [1]及び GCCSI・Worley Parsons (2009) [2]をもとに発電容量で補正して推計を行った。また、回収設備に関しては、GCCSI (2011) [1]をもとに CO₂ 回収量で補正して推計した。シャトルシップ方式での輸送・圧入に関しては、エネルギー総合工学研究所・産業技術総合研究所 (2013) [3]のデータを利用した。なお、シャトルシップは液化 CO₂ の積載量 3,000t 級の船舶を想定した。液化・陸上設備は GCCSI (2011) [1]をもとに CO₂ 液化 (=回収) 量で補正して推計した。貯留・閉鎖・監視については、RITE (2013) [4]における貯留概算費用 (沖合海域、事前調査・建設・操業・廃坑・モニタリング) をもとに CO₂ 貯留 (=回収) 量で補正して推計した。

なお、CO₂ 回収および圧縮・液化に必要なエネルギーは、発電所の所内利用を想定して

評価を実施した。

以下の表 3-5 から表 3-8 に、各火力発電所の諸元を示す。

表 3-5 超臨界圧石炭火力発電所の諸元

項目	単位	CCS 配備前	CCS 配備後
発電能力（発電端）	万 kW	75	75
所内率	%	5.2%	16.8%
設備利用率	%	80.0%	80.0%
発電量（送電端）	GWh/年	4,982	4,373
発電量（発電端）	GWh/年	5,256	5,256
発電効率（送電端）	%	39.4%	28.3%
発電効率（発電端）	%	41.6%	34.0%
熱消費量	TJ/年	45,525	55,625
石炭発熱量	GJ/t	26.6	26.6
石炭消費量	t/年	1,711,453	2,091,151

表 3-6 超々臨界圧石炭火力発電所の諸元

項目	単位	CCS 配備前	CCS 配備後
発電能力（発電端）	万 kW	75	75
所内率	%	4.6%	14.6%
設備利用率	%	80.0%	80.0%
発電量（送電端）	GWh/年	5,014	4,486
発電量（発電端）	GWh/年	5,256	5,256
発電効率（送電端）	%	44.6%	33.2%
発電効率（発電端）	%	46.8%	38.9%
熱消費量	TJ/年	40,468	48,644
石炭発熱量	GJ/t	26.6	26.6
石炭消費量	t/年	1,521,351	1,828,712

表 3-7 石炭ガス化複合発電所の諸元

項目	単位	CCS 配備前	CCS 配備後
発電能力（発電端）	万 kW	75	75
所内率	%	14.97%	25.36%
設備利用率	%	80.0%	80.0%
発電量（送電端）	GWh/年	4,469	3,923
発電量（発電端）	GWh/年	5,256	5,256
発電効率（送電端）	%	41.1%	28.5%
発電効率（発電端）	%	48.3%	38.2%
熱消費量	TJ/年	39,145	49,469
石炭発熱量	GJ/t	26.6	26.6
石炭消費量	t/年	1,471,600	1,859,754

表 3-8 天然ガス複合発電所の諸元

項目	単位	CCS 配備前	CCS 配備後
発電能力（発電端）	万 kW	75	75
所内率	%	1.75%	7.31%
設備利用率	%	80.0%	80.0%
発電量（送電端）	GWh/年	5,164	4,872
発電量（発電端）	GWh/年	5,256	5,256
発電効率（送電端）	%	50.8%	43.70%
発電効率（発電端）	%	51.7%	47.1%
熱消費量	TJ/年	36,594	40,135
LNG 発熱量	GJ/t	54.6	54.6
LNG 消費量	t/年	670,216	735,068

また、表 3-9 に各設備の設備投資を示す。

表 3-9 CCS 一貫配備の火力発電所の設備投資（億円）

発電所種類	超臨界圧石炭火力発電			超々臨界圧石炭火力発電			石炭ガス化複合発電			天然ガス複合発電		
	185km	600km	970km									
1. 発電設備	1,898			1,997			2,351			724		
2. CO2 回収設備	1,671			1,556			891			1,223		
3. CO2 液化設備	248			221			220			118		
4. シャトルシップ輸送設備	477	635	776	424	562	685	423	561	683	227	293	352
4-1. 陸上設備	170			155			155			93		
4-2. シャトルシップ建造	260 (2.0 隻)	418 (3.4 隻)	558 (4.3 隻)	226 (1.7 隻)	364 (2.8 隻)	487 (3.7 隻)	226 (1.7 隻)	363 (2.8 隻)	486 (3.7 隻)	109 (0.8 隻)	175 (1.3 隻)	234 (1.8 隻)
4-3. 圧入設備	47			43			43			26		
5. 海底地下貯留設備	296			269			269			162		
設備投資合計	4,589	4,747	4,888	4,467	4,604	4,727	4,154	4,292	4,414	2,455	2,521	2,580

(注) 貯留設備廃棄・監視については、操業費の積立費用として計上する。

(出典) GCCSI (2011) 等

3.2.1.3. CCS コスト評価結果

発電技術別 (SC、USC、IGCC、NGCC) の CCS 一貫配備の 75 万 kW 火力発電所の CCS コストにつき輸送距離別 (185km、600km、970km) に検討・試算した (表 3-10、図 3-3、資料編 3-23 から 3-24)。輸送距離 600km を例に CCS コストの低い順に例にみると、IGCC が 8,496 円/t-CO₂ (アボイデット・コスト 15,162 円/t-CO₂)、SC が 9,677 円/t-CO₂ (同 15,982 円/t-CO₂)、USC が 9,845 円/t-CO₂ (同 15,441 円/t-CO₂)、NGCC が 13,128 円/t-CO₂ (同 17,391 円/t-CO₂) である。この 4 つの発電技術の平均は 10,287 円/t-CO₂ (同 15,826 円/t-CO₂) である。NGCC の CCS コストが一番低い IGCC と比べ 55%高いが、アボイデット・コスト (排出回避コスト) では 15%高いだけであることが特徴である。

次に、CCS のコスト構造について輸送距離 600km を例に見ると (表 3-10、図 3-4)、回収が 46%、液化が 20%、輸送圧入が 27%、貯留が 6%、廃坑・監視が 1%となっていることが明らかとなった。

また、CCS 一貫配備の電力コスト (表 3-10、図 3-5) については、輸送距離 600km のケースを例にとって説明すると、SC が 17.9 円/kWh、USC が 16.0 円、IGCC が 17.9 円、NGCC が 14.0 円である。NGCC の CCS 部門のコストは 4.7 円/kWh であり IGCC を含む石炭火力の 57%である。なお、本評価において燃料価格は、石炭が 10,900 円/トン (410 円/GJ)、LNG が 57,000 円/トン (1,044 円/GJ) と設定した。

表 3-10 発電技術別・輸送距離別の CCS コスト

火力技術	輸送距離	CCSコスト (円/t-CO ₂)		CCS一貫配備発電コスト (円/kWh)			CCSコストの構成比					CO ₂ 排出原係数 (kg-CO ₂ /kWh)		
		CCSコスト	アボイデット・コスト	発電	CCS	合計	回収	液化	輸送・圧入	貯留	閉鎖・監視	CCS配備前	CCS配備後1 (注1)	CCS配備後2 (注2)
超臨界圧石炭火力 (SC)	185km	8,953	14,907	8.5	8.6	17.2	49.3%	21.8%	21.7%	5.9%	1.3%	0.801	0.153	0.239
	600km	9,677	15,982	8.5	9.3	17.9	45.6%	20.2%	27.6%	5.4%	1.2%	0.801	0.153	0.241
	970km	10,300	16,907	8.5	9.9	18.5	42.9%	19.0%	31.9%	5.1%	1.1%	0.801	0.153	0.242
超々臨界圧石炭火力 (USC)	185km	9,128	14,422	7.9	7.5	15.4	49.5%	21.6%	21.4%	6.1%	1.4%	0.705	0.130	0.203
	600km	9,845	15,441	7.9	8.0	16.0	45.9%	20.0%	27.1%	5.6%	1.3%	0.705	0.130	0.205
	970km	10,461	16,316	7.9	8.6	16.5	43.2%	18.9%	31.4%	5.3%	1.2%	0.705	0.130	0.206
石炭ガス化複合火力 (IGCC)	185km	7,780	14,052	9.9	7.3	17.2	40.8%	25.4%	25.1%	7.1%	1.6%	0.751	0.148	0.232
	600km	8,496	15,162	9.9	7.9	17.9	37.3%	23.2%	31.4%	6.5%	1.5%	0.751	0.148	0.234
	970km	9,112	16,115	9.9	8.5	18.4	34.8%	21.7%	36.1%	6.1%	1.4%	0.751	0.148	0.235
天然ガス複合火力 (NGCC)	185km	12,444	16,575	9.3	4.5	13.8	59.2%	16.8%	16.5%	6.0%	1.6%	0.361	0.057	0.091
	600km	13,128	17,391	9.3	4.7	14.0	56.1%	15.9%	20.8%	5.6%	1.5%	0.361	0.057	0.092
	970km	13,715	18,090	9.3	5.0	14.2	53.7%	15.2%	24.2%	5.4%	1.4%	0.361	0.057	0.092

注1: 設備運用CO₂排出量含まない場合

注2: 設備運用CO₂排出量含む場合

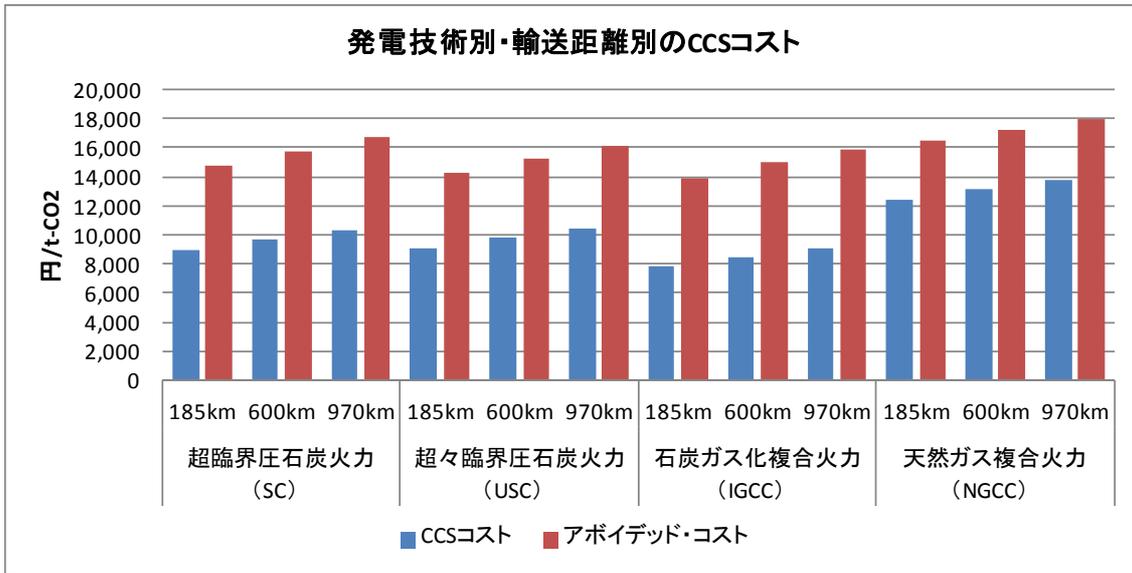


図 3-3 発電技術別・輸送距離別の CCS コスト

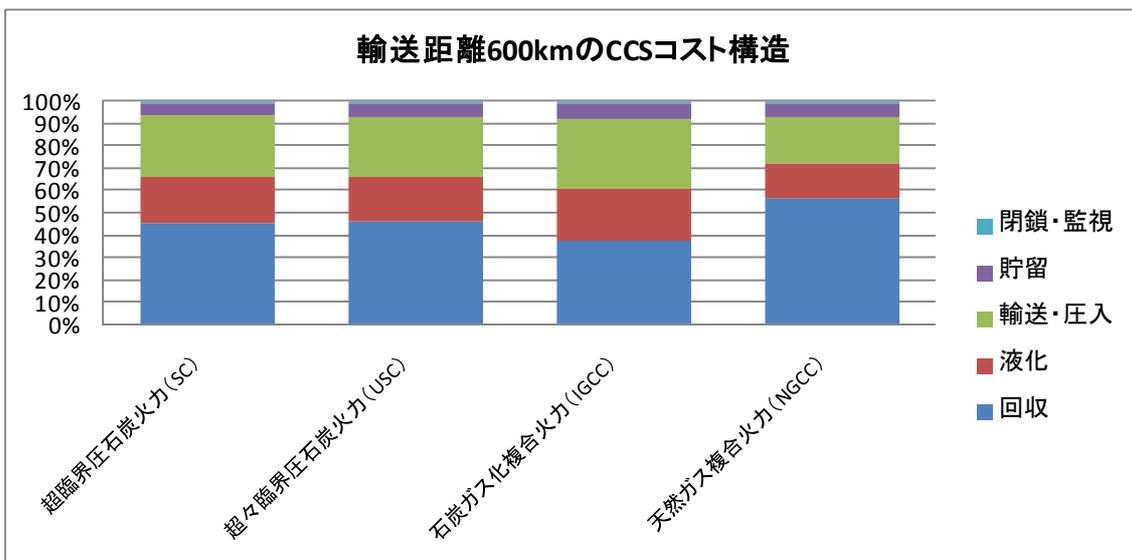


図 3-4 輸送距離別と発電技術別の CCS コスト構造

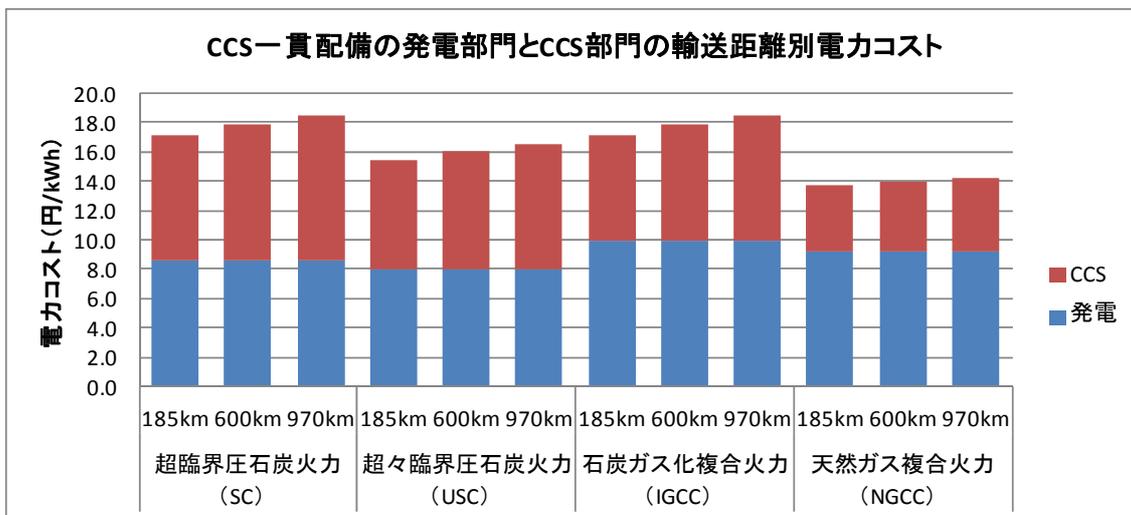


図 3-5 CCS 一貫配備の発電部門と CCS 部門の輸送距離別電力コスト

3.2.1.4. シャトルシップ輸送と海底パイプラインのコスト比較

3.2.1.3 において評価対象とした 6 ケースについて、海底パイプライン輸送との比較を行った。海底パイプライン輸送と比較するに当たり、シャトルシップ輸送では輸送・圧入コストの他に回収 CO₂ を液化するコストが加わることから、液化コストを試算し加算した。

結果は、30 万トンケースではシャトルシップ利用では 5,560~6,820 円/t-CO₂ と算出されたのに対し、海底パイプライン利用では 7,120~37,310 円/t-CO₂ と輸送距離に比例してコストが増加した。400 万トンケースでは、前者が 3,910~5,250 円/t-CO₂、後者が 4,150~21,750 円/t-CO₂ となった (表 3-11、図 3-6)。算出結果より、海底パイプラインのコストがシャトルシップを下回るのは、30 万トンケースにおいて輸送距離約 150km 以下、400 万トンケースにおいて輸送距離約 190km 以下の場合であることがわかった。

表 3-11 シャトルシップ輸送と海底パイプライン輸送のコスト比較

シャトルシップ方式と海底パイプライン方式のCO₂輸送・圧入コスト比較

	Case 1: 4.75万kW石炭火力発電所 30 万t-CO ₂ 輸送量			Case 2: 75万kW石炭火力発電所 399.6 万t-CO ₂ 輸送量		
	3,000 m ³ シャトルシップ			3,000 m ³ シャトルシップ		
	輸送距離(km)	Case1-1	Case1-2	Case1-3	Case2-1	Case2-2
海底パイプライン高圧液相輸送・圧入方式 円/t-CO ₂	185	600	970	185	600	970
シャトルシップ液化CO ₂ 輸送・圧入方式 円/t-CO ₂	7,117	23,081	37,314	4,148	13,453	21,750
CO ₂ 液化 ^(注1) 円/t-CO ₂	5,558	6,236	6,817	3,913	4,632	5,250
輸送・圧入 円/t-CO ₂	2,400	2,400	2,400	1,960	1,960	1,960
	3,158	3,836	4,418	1,953	2,672	3,290

注1: CO₂輸送システムの概念設計(エンジニアリング協会平成25年8月21日)より推計

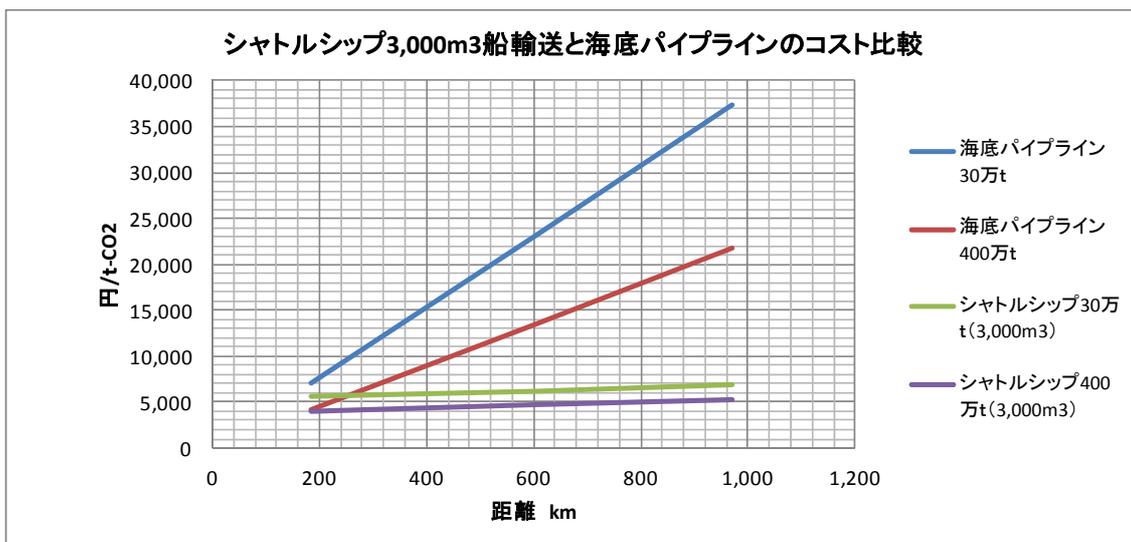


図 3-6 シャトルシップ輸送と海底パイプライン輸送のコスト比較

3.2.2. ライフサイクル CO2 評価

CCS は発電所やプラント等における CO2 排出量を大きく削減する有効な手段の一つであるが、各プロセス（回収、圧縮・液化、輸送、圧入等）において CO2 排出が生じるため、CCS の実施による CO2 排出削減効果を正しく評価するためには、事業全体としての CO2 排出量を定量的に把握することが必要と考えられる。本事業では、CCS 配備火力発電のライフサイクル CO2 評価を実施した。CO2 の輸送方式については、経済性評価と同様に積載量 3,000m³のシャトルシップで輸送・圧入する方式にて、それぞれ輸送距離 185km、600km、970km の 3 ケースを評価した。輸送量及び排出源については、年間 30 万トン輸送ケース（4.75 万 kW 石炭火力（超臨界））及び年間 400 万トン輸送ケース（75 万 kW 石炭火力（超臨界）、75 万 kW 石炭火力（超々臨界）、75 万 kW 天然ガス火力）の計 4 ケースを想定した。

ライフサイクル CO2 の評価範囲を資料編 3-21 に示す。対象とした評価範囲は発電（燃料採掘、燃焼等）、回収（吸収液・苛性ソーダの製造・輸送、CO2 回収）、輸送・圧入（圧縮・液化、ローディング、シャトルシップ輸送、船上圧入）である。なお、CO2 貯留段階（モニタリング等）における CO2 排出については、信頼できるエネルギー消費量のデータが得られなかったため評価範囲外とした。また、各設備の建設プロセスや設備を構成する各機器の製造プロセス、設備構成素材の製造プロセス等は評価範囲外とした。

各種前提条件は次の通りである。各発電設備の諸元については、経済性評価と同様とした（表 3-5、表 3-6、表 3-8 参照）。CO2 の回収方法はアミン溶液による化学吸収法を想定し、回収率は 90%と設定した。石炭火力からの CO2 回収における消費エネルギーについては

Katoら[5]を参照し、回収プラントの消費電力については湯ら[6]を参照し設定した。天然ガス火力からのCO₂回収における消費エネルギー及び回収プラントの消費電力についてはNETL[7]を参照し設定した。吸収液・苛性ソーダの製造・輸送に関わるCO₂排出量については、みずほ情報総研[8]を参照し算出した。圧縮・液化から船上圧入に至るプロセスについては、経済性評価と同様に産業技術総合研究所[3]を参照しエネルギー消費量を設定した。

評価結果を図 3-7 および資料編 3-25 に示す。なお、ライフサイクルCO₂排出量は、kWh（送電端）あたりのCO₂換算温室効果ガス排出量（g-CO₂eq/kWh）として算出した。年間30万トン輸送ケース（4.75万kW石炭火力（超臨界））では、CCSを実施しない場合の排出量1,068g-CO₂eq/kWhに対し、CCSを実施する場合は328～338g-CO₂eq/kWhの排出量となり、CCSの実施によって発電（燃焼）によるCO₂排出量をおよそ75～76%削減することが示された。なお、CCS実施時には所内電力の消費増加により送電端電力量が低下するため、燃料の上流プロセス由来のkWh（送電端）あたりCO₂排出量は見かけ上増加するので、CO₂排出削減率の分子としてはCCS実施時のCO₂排出量からCCS非実施時の上流プロセス由来の排出量を除いた値を用いて計算を行った（図 3-7 の点線より上の部分で削減率を算出した）。

年間30万トン輸送ケース（4.75万kW石炭火力（超臨界））におけるCCS実施時のCO₂排出量の内訳としては、発電（燃料採掘・輸送）が最も多く4割強、次いで発電（燃焼）が3割程度を占めていた。前者は燃料の石炭を採掘・輸送する過程におけるエネルギー消費に起因するCO₂排出であり、後者は発電所におけるCO₂回収プロセスにおいて回収されず大気中に放出されるCO₂である。次いで多いのが回収時の電力消費（1割程度）であり、圧縮・液化（1割程度）が続いた。シャトルシップ輸送・圧入におけるCO₂排出量は全体に占める割合が1割未満と低いため、輸送距離が変わってもライフサイクル全体のCO₂排出量はほとんど変化しないことが明らかとなった。

年間400万トン輸送ケース（75万kW石炭火力（超臨界）、75万kW石炭火力（超々臨界）、75万kW天然ガス火力）では、CCSの実施により発電（燃焼）によるCO₂排出量の76～82%削減に貢献する可能性があることが明らかとなった。CCS実施時のCO₂排出量の内訳は年間30万トン輸送ケースと同様の傾向を示し、天然ガス火力の場合では発電（燃料採掘・輸送）に起因するCO₂排出量が6割程度と大きな割合を占めていた。

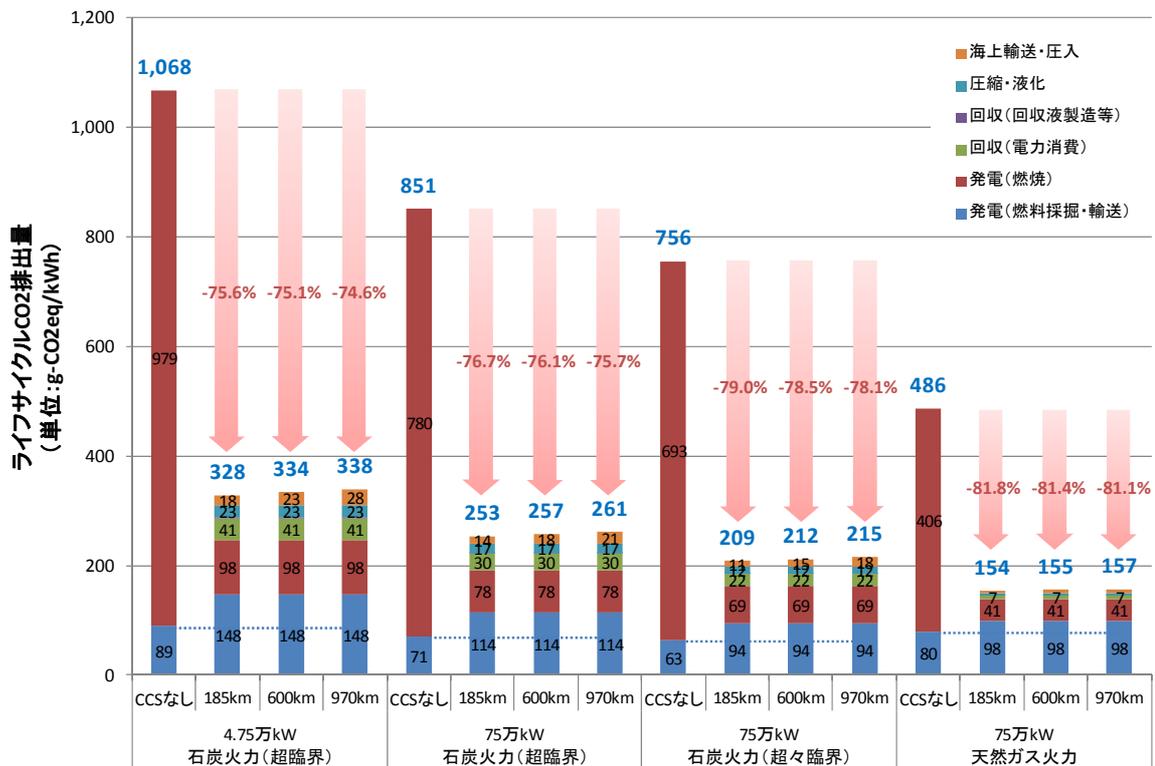


図 3-7 kWh (送電端) あたりのライフサイクル CO2 排出量評価結果

評価を行った全てのケースにおいて、CCS 実施時における CO2 排出量の内訳としては燃料の上流プロセス (採掘・輸送) が最も大きな割合を占めていた。上述の通り、CCS 実施時には送電端での発電電力量が減少するため、上流プロセスからの排出量は kWh (送電端) あたりで見ると増加する結果となっている。今後、さらに CO2 排出量を低減していくためには、技術開発により回収時のエネルギー消費や回収プラントの電力消費を低減し、CCS のエネルギー効率を高めることが望まれる。加えて、CO2 回収率については現状 90% が想定されているが、技術的には回収率をさらに高めることも可能と言われており、エネルギー消費量やコストとのバランスにはなるが、回収率を高めることで CO2 排出量を低減できる可能性もあると考えられる。さらに、本評価では全てのケースにおいて積載量 3,000m³ のシャトルシップを想定し試算を行ったが、年間 400 万トン輸送ケースのような大規模輸送を行う場合には、船舶サイズや輸送パターンの最適化を行うことで、シャトルシップ輸送に起因する CO2 排出量をさらに低減することも可能と考えられる。

3.3. 社会受容性の検討

CCS の円滑な実施のためには、一般市民を含む、CCS に関わるすべてのステークホルダの合意形成が必須である。本項目では、各ステークホルダの現状の認識について把握するとともに、今後の理解やコミュニケーションにおける条件や課題について整理を行う。

3.3.1. ステークホルダの認識の把握

国内のステークホルダを対象とした調査としては、東京大学他が 2005～2006 年に実施した調査がある。当該調査においては、ステークホルダ（電力、石油・ガス、製造業、NGO 等）向けにアンケート調査を実施し、その結果から、CCS に関して経済性や立地（適所の存在、地域の社会的受容性）などが課題であることは世界共通の認識となっている中、日本の電力会社では課題として意識の度合いは他国（北米、欧州）の電力会社よりも高いこと（図 3-8 参照）、CCS の実施・普及に関して電力、石油・ガス企業において肯定的であり NGO が消極的ながらも認める傾向が見られること（図 3-9）が定量的に示されている（板岡ほか（2007）[9]参照）。

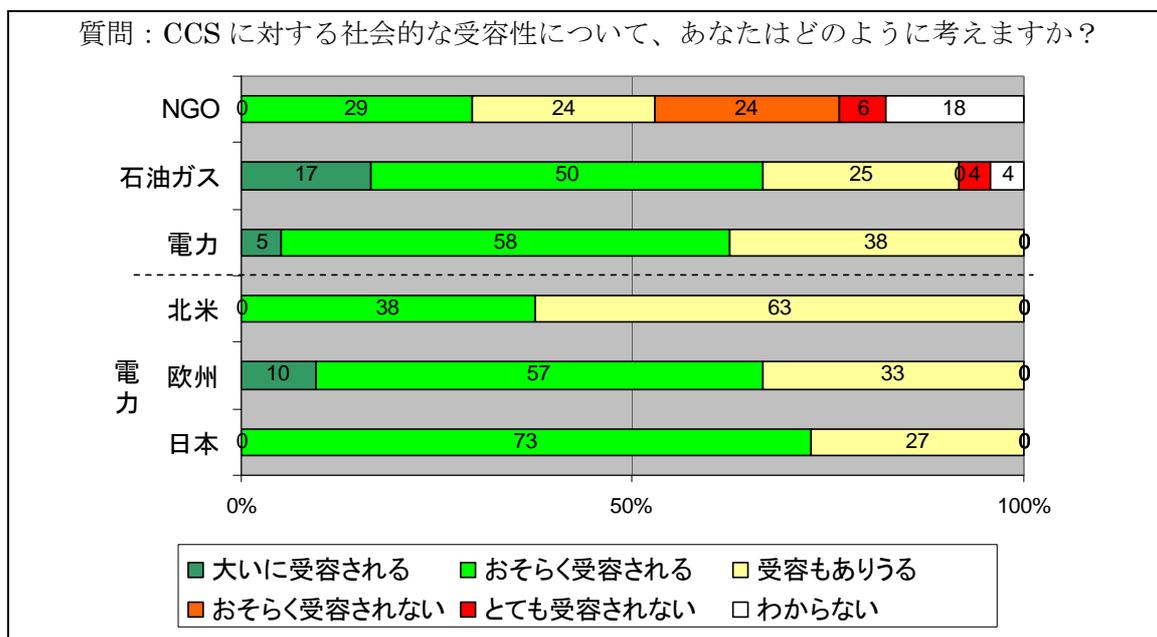


図 3-8 CCS の社会受容性に対する意見
 (出典) 板岡ほか (2007) [9]

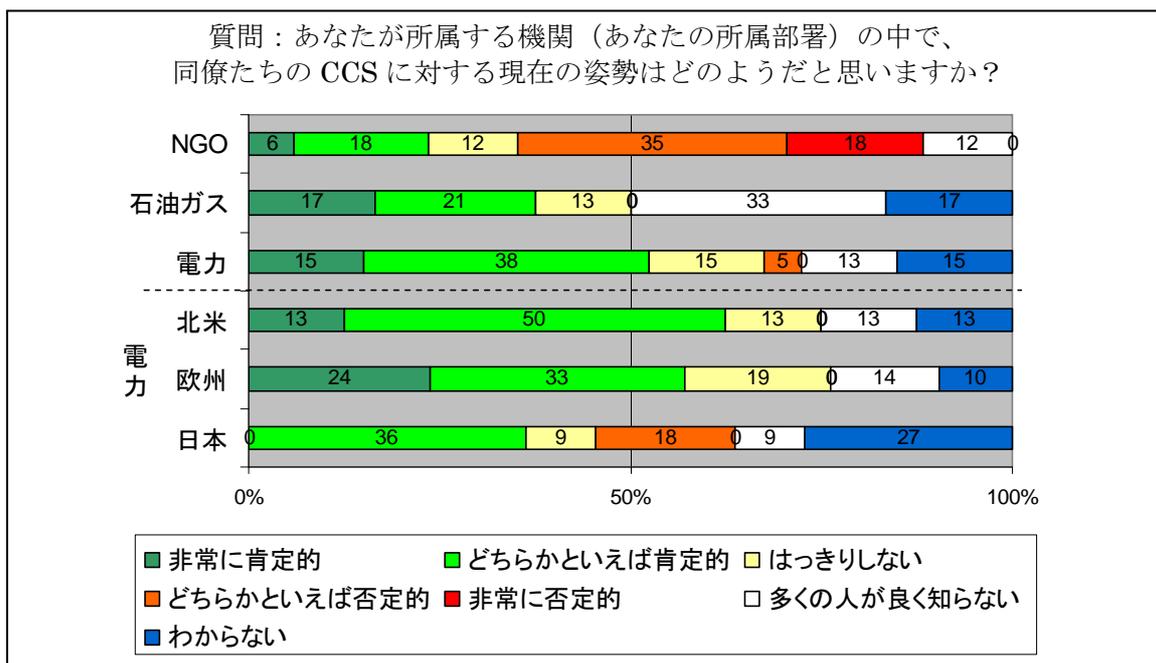


図 3-9 CCS に対する同僚たちの態度
 (出典) 板岡ほか (2007) [9]

日本のステークホルダの CCS に関する認識・意見について、過去の研究等による知見を表 3-12 にまとめた。

表 3-12 CCS に関するステークホルダと現状の認識

ステークホルダ	状況	実施機関
事業実施者以外の企業	2005～2006年調査では、CCSの普及に対して肯定的。電力は経済性や立地（社会受容性等）が課題であるという認識が特に強い。	東京大学、産業技術総合研究所、電力中央研究所、みずほ情報総研
NGO、メディア	2005～2006年調査では、CCSの普及に対して消極的ながらも肯定。	(同上)
エキスパート（学識者等）	これまでに調査された事例はないが、CCSの信頼性醸成を進めていく上で重要な役割を果たすものと考えられるため、情報提供及び対話・協働が必要と考えられる。	—
一般市民	CCSの認知度は、2003年、2007年と比較して2014年はやや増加傾向。一方、CCSを他の温暖化対策と平行して推進していくことに対する意見や海底下の地層に貯留することに対する意見としては、2003年、2007年と比較して2014年では「どちらともいえない」が大きく増加した。	産業技術総合研究所、みずほ情報総研、九州大学、等

次に、本事業において実施したヒアリングおよびプレアンケート調査結果の概要を示す。本事業では、企業、環境 NGO 等に、アンケート調査への回答及びその理由についてヒアリングを実施した。

- ・ CCS の大規模普及の妨げになり得る原因について
 - 社会受容性は重要な課題になるとの意見が多く、中でも「NGO 団体の受容性」の影響が大きいのではないかとの意見が比較的多かった。
 - ◇ NGO の、特に否定的な意見はフォーカスされやすいこと、SNS（ソーシャルネットワークサービス）での情報伝播の影響が大きいことなどが指摘された。
 - ◇ CCS は、その実施の便益が温暖化対策に限定されるため、社会受容性に関わる発言者、または正当性を与える主体が限定されることが NGO の影響力の大きい理由ではないかとの考えが示された。
 - ◇ 「地域住民の受容性」が重要との意見も多かった。CO₂ 排出源と貯留場所の負担の公平性（地域間の公平性）について、特に国レベルでは、同じ国で回収・貯留を行わない場合、国際的な視点で地域間の公平性を損なうと考えられ、課題として指摘された。
 - 経済性についても、大規模普及の妨げになり得るとの意見が多かった。
 - ◇ 経済的な正当性が重要との指摘が多かった。また、炭素価格がつかない中での CCS 実施は困難であること、再生可能エネルギー等の他の低炭素技術・温暖化対策技術との比較においてコストが低いことが重要であるとの意見があった。
 - 適した貯留場所を見つけることや、CO₂ 排出規制、CCS によるクレジットの勘定（アカウンティング）も、重大な原因として指摘された。
- ・ CCS の大規模普及の推進を支持するための、説得力を持ち得る理由について
 - 上記の「CCS の大規模普及の妨げになり得る原因」と同様に、社会受容性、特に NGO 団体の受容性が重要であるとの意見が多かった。
 - CCS 実施によりエネルギーセキュリティが確保されること、発展途上国での化石燃料による発電量の急増等による喫緊の温暖化対策の必要性、追加的対策として実施できる（既存のインフラを利用できる）こと、技術が十分に確立されていること等は特に、社会受容性向上につながる可能性があるため情報提供が必要であるとの指摘があった。
 - 鉄鋼、セメント等の工業プロセスの熱利用における CO₂ 大幅削減については手段が限られているため、CCS の実施を検討すべきという意見もあった。

3.3.2. CCS の社会受容性向上及び合意形成に向けた戦略の検討

3.3.2.1. 合意形成のための全体的枠組みの明確化

3.3.2.1.1. 社会的受容に関する現状

3.3.2.1.1.1. CCS プロジェクト

各国で計画された CCS プロジェクトの中には、中止や遅延が生じているものも含まれており、これらに対して Ashworth ら (2014) [10]は社会的受容性や幅広いステークホルダの合意形成の観点から調査・分析を行っている (資料編 3-26 参照)。ここでは、事業環境、コミュニケーション、事業計画及びマネジメントの各分野において社会的受容性に関する諸要因を挙げ、それぞれについて各プロジェクトの取り組みを「考慮・対応されず事業に重大な影響を与えた」、「考慮されたが対応が十分ではなかった」、「適切に対応され事業に好ましい影響を与えた」といった定性的な指標を用いて評価している。この結果、Barendrecht (オランダ: 3 年以上の遅延と地域の反対により中止) や Carson (アメリカ: ビジネス上の理由等により中止) といった事例においては、地域のステークホルダとのコミュニケーションや、サイト選定プロセスや技術仕様あるいは事業計画の立案・変更に関与する機会等の点で取り組みが不十分であったことがその要因の一つであるとしている。

以上の評価例にも示されているように、CCS 事業の円滑な推進のためには、技術あるいは経済的な側面に加えて、幅広いステークホルダとのコミュニケーションや意思決定への関与の機会を適切に設けること等による社会的受容性の向上が重要な要件の一つになると考えられる。

3.3.2.1.1.2. 他分野の事例

原子力分野における高レベル放射性廃棄物地層処分の場合においても、事業推進における社会的受容性向上のための取り組みの重要性が指摘されている (資料編 3-27 参照)。例えば、地層処分事業の進展が見られるスウェーデン (サイトを決定し許認可申請中) やフィンランド (サイトを決定し、国及び地方議会が承認しており、2020 年操業開始予定) では、以下のような共通の特徴が見られる。

- 地質環境調査に基づき科学技術的基準に照らして潜在的適地の絞り込みを行う候補地選定プロセス
 - 中立的機関 (環境省内原子力廃棄物評議会 (スウェーデン) や規制機関 (STUK: フィンランド)) によるリスクコミュニケーション及び住民との継続的な対話の場の構築
- 他方、我が国では、これまで全国の市町村からの公募によるサイト選定が進められて来たが、誘致を検討した自治体ではいずれも、誘致賛成派 (首長、議員、住民グループ等) による応募準備の後、当該市町村内での反対により撤回、あるいは県知事・周辺市町村の反対に

より撤回という経緯を辿っている。このような状況を踏まえ、科学技術的基準に照らして適地を絞りこむことを含む「申し入れ型」の処分地選定プロセスを取り入れるとともに、住民参加を含む社会的受容性の向上に向けた取り組みの重要性が認識されている（山口（2012）[11]参照）。

我が国における地層処分事業に関連してもう一つ着目すべき点は、事業を行う当該地域の賛成にもかかわらず周辺の地域や県の反対により誘致が撤回されている事例が多く見られることである。事業自体の特徴の差異や社会環境の相違を考えれば、このような状況が CCS 事業にも生じると考えることは性急に過ぎるとしても、当該地域における受容性に加えて、周辺地域を含むより幅広い層の理解を得ることは、上述した事態を避ける上でも、また、翻って当該地域の合意形成を促進する上でも望ましいものであることは論を待たない。この点は、サイトが特定される以前の現時点で幅広い層を対象とした受容性の検討を行うことが重要と考える背景である。

3.3.2.1.2. 本事業における課題解決のアプローチ

3.3.2.1.2.1. 社会的受容性に関する問題認識

現状では、我が国における CCS についての認識は必ずしも高くはなく、また、一般には積極的に支持する層も見当たらない。このような状況は、近年しばしば批判の対象となっている欠如モデル（科学技術が社会一般に支持されない理由は大衆の知識の欠如であり、専門家による正確な知識の啓蒙によって科学技術への支持が得られるという考え方）によって解釈できるような単純なものではなく、以下に述べるような複合的要因を持つ社会科学的現象として捉える必要があると考えられる。

Corry and Riesch (2012)[12]は、欧州における環境 NGO の CCS に対する種々の主張や言説に関するテキスト分析を行い、その結果、

- 知識ギャップの存在：気候変動問題や CCS 技術の有効性に関する科学・技術的知識に含まれる不確実性
- 問題認識の多様性：環境問題及び経済社会問題に対する信条 (belief) がステークホルダ毎に異なること

が組み合わされることによって、それぞれの団体は、立場の違いに応じて不確実性の幅の中で（ある時には意図的に）異なる解釈をすること、そして、このことが CCS の実施についての賛否を分つ要因となっていることを指摘している（資料編 3-29 参照）。

環境問題及び経済社会問題に関して情報発信力を持ち、公衆の問題認識に対しても一定の影響力を持つと考えられる環境 NGO 等が、それぞれ異なる見解を提示し、また、それらが事業主体や政府のものとも異なるといった状況は、CCS に対する公衆の認知と幅広い合意

形成に向けた取り組みを考える本検討の開始にあたり、注目すべき重要な点であるとする。

3.3.2.1.2.2. 課題解決のアプローチ

本事業における課題解決のアプローチを資料編 3-28 に示す。

本検討では、前項で述べた問題認識に基づき、まず、Corry and Riesch (2012) [12]と同様の手法で、我が国における環境 NGO 諸団体の信条や価値観の調査を行った(3.3.2.1.3.1)。また、この調査を通じて、これらの団体が、それぞれの立場に応じて、気候変動問題や CCS 技術の有効性に関する科学・技術的知識に含まれる不確実性の幅の中でどのような解釈を採用し、どのような主張を行っているかを整理した。

このような調査・整理は、次に行う「より多数が受け入れることのできる説明・主張の探索」(3.3.2.1.3.2)の起点となるものであり、ここでは、信条の異なる諸団体がどのようにして意見を調整しそれぞれが受け入れることのできる共通の政策として具体化するかという観点から検討を加え、特に CCS の位置づけについて受け入れやすい (accommodate しやすい) 提案を行った。そして、このような提案を雛形として、本事業を一つの技術ブランドとして幅広く支持してもらうためのデザイン (ブランディング) を試みた (3.3.2.1.3.3)。また、3.3.2.2 では、合意形成支援の方法論やツール及び適用事例について、文献調査により整理を行った。

他方、CCS に関する現状の科学技術知識に含まれる不確実性についても対応が必要である (3.3.2.3)。本検討では、まず、知識ベースの構築を通じて、関連する多様な科学技術知識や情報としてそれらに含まれる不確実性の所在を整理した。そして、ALARP (As Low As Reasonably Practicable) の考え方に照らして、合理的な範囲でリスク低減のための努力を尽くすことが種々のステークホルダからも見ることが出来るような、信頼醸成を目指したりリスクマネジメントの在り方を提案した。加えて、このようなリスクマネジメントの手法を、実際に、特に本事業に特徴的な技術要素に適用することを試行した。

以上のような検討を通じて得られる成果のうち、特に

- 環境配慮型 CCS のブランドデザイン
- 合意形成の戦略
- 包括的知識ベース

等は、本事業の後続する段階においても活用可能なツールになるものとする。

3.3.2.1.3. 合意形成に向けた戦略の検討

3.3.2.1.3.1. ステークホルダの認識に関する調査

Corry and Riesch (2012)[12]で実施した調査では、環境 NGO 諸団体の認識や見解の多様

性を、

- 温暖化対策に求める要件 (solution definition) の多様性：直接的対策（温暖化の要因となる CO2 排出量の低減）～根本原因の改善（化石燃料に依存した大量消費社会からの脱却）
- CCS の定義 (problem definition) の多様性：分離・回収・輸送・貯蔵それぞれのための技術の集合体としての CCS～化石燃料消費を前提とした社会・経済構造に組み込まれた温暖化抑制のための社会的枠組みの一つ

という二つの基軸で整理し、各団体の位置づけと CCS についての認識を対応づけている（資料編 3-29 参照）。

本検討では、我が国の環境 NGO 等 12 団体が公開している種々の資料に対して、テキストの収集及び分析を行い、資料編 3-30 に示すような結果を得た。

欧州と比較した場合の我が国の特徴の一つは、CCS 自体に関する意見や主張は比較的少なく、各団体の主要な主張に関連した付随的な問題として言及される程度であることであり、また、特に東日本大震災以降、温暖化防止に加えてエネルギーセキュリティの問題が重要視されている点が特筆すべき点である（資料編 3-31）。

上記の点を踏まえ、我が国における「多様性の軸」として、まず、problem definition については、欧州の例のように CCS 自体の捉え方（「技術の集合体」あるいは「制度も含めた社会的枠組み」という点よりも、優先すべき課題が温暖化防止であるかエネルギーセキュリティの確保であるかという点を重視すべきと考えられる。また、solution definition については、欧州の例と同様に、直接的対策と根本原因の改善に近い基軸が存在するものの、上記の問題設定に即して、温暖化防止およびエネルギーセキュリティの両者についてこのような多様性の切り口を適用する必要がある。

以上の検討に基づき、各 NGO 団体の立ち位置のマッピング及び CCS についての見解の整理を行った結果を資料編 3-31 にまとめる。

3.3.2.1.3.2. より多数が受け入れることのできる説明・主張の探索

前節で述べた調査・分析結果を踏まえて、ここでは、ACF (Advocacy Coalition Framework) 分析（関心を持つ複数の有力な組織・団体が、ある科学技術的言説を共有することで連携し、それぞれの信条に即した政策の実現を目指す可能性を分析する手法）を行い、資料編 3-31 に示した環境 NGO の 3 つのグループ及びエネルギー関連産業や CCS 事業者といった多様なステークホルダーが社会的に連携できる可能性を探索した。その結果は資料編 3-32 に示す通りであり、ここでは、各グループの中核的信条（団体のアイデンティティに関わるものであり調整が困難である信条）を変えることなく、付属的主張（政策実現の

ためにある程度調整可能な信条) を調整するメカニズムの例を示している。

このように、異なるグループの中核的信条が以下の 2 点で一見矛盾あるいは競合している状況における連携の鍵となるのは、二者択一とするのではなく双方が納得し得る形で問題を解決することのできる方策の存在である。

- ① 「温室効果ガス（特に CO₂）の大幅削減が必要」に対して「CO₂ 削減よりもエネルギーセキュリティを優先すべき」
- ② 「CCS によって現在の社会・産業構造を急激に変化させること無く CO₂ 排出量の大幅な削減が可能である」に対して「CCS は再生可能エネルギーを活用したカーボンフリー社会といった根本的解決策の先延ばしである」

ここで、上記の①に関しては、エネルギーセキュリティと温室効果ガスの大幅削減とを両立させることがまさに CCS の眼目とするところの一つであり、むしろ、このような（見かけの）矛盾・競合が顕在化することは、解決策としての CCS の導入を促進する機会になるものと考えられる。また、②の競合・矛盾解消の方策として、上述した根本的解決策への「橋渡し」として期間を限って CCS を導入することにより、現在の社会・産業構造に影響を与えずに、早急に CO₂ 排出量の大幅な削減を目指すという説明・主張を提案することが考えられる。ここで、連携の要件となるのは、脱炭素・脱大量消費社会の実現を目指すグループ 1 によって「橋渡しとしての CCS」が受容されること、そして、主目的としてのエネルギーセキュリティを、環境を犠牲にすることなく実現することを目指すグループ 3 によって、「橋渡しとしての CCS」を前提とした石炭火力導入促進という戦略が採用されることである。併せて、CO₂ 排出量増大につながる可能性のある火力発電所の新規増設を牽制する方策の一つとして CCS を消極的に支持しているグループ 2 によって CCS 自体のメリットが理解されること、そして、エネルギー関連産業等による事業推進の協力が得られるような制度設計等が構築されることが必要となる。

さらに、上述した各グループの中核的信条に関わる（見かけの）矛盾・競合を解消することに加えて、各ステークホルダが連携する上では、それぞれの付属的主張を調整することが必要となる。このためには、以下に例示するようないくつかの重要な課題に取り組むことが必要と考えられる。

- CCS の必要性に関する国民や事業者の理解：将来のエネルギーポートフォリオやロードマップ及びその中での「橋渡し」としての CCS の位置づけの明確化
- CCS 実施に関するインセンティブに配慮した制度設計（経済的手法：FIT、税制優遇、排出量取引、炭素税等、規制的手法：排出基準、事業法の整備等）
- CO₂ 回収から貯留まで一貫した事業における技術の実証及びリスクマネジメント、長期的責任の所在の明確化・監視継続方法や期間の具体化等

3.3.2.1.3.3. 環境配慮型 CCS のブランドデザイン

ブランドデザインのねらいは、環境配慮型 CCS に関する連携の潜在的パートナー（産業界、NGO、大学や研究機関等）及び公衆における積極的支持層を獲得することであり、具体的な内容としては、以下を行うものである。

- 当該技術の機能的価値に加えて表示的価値と意味的価値を創造することにより、他の技術からの明確な区別を可能とし、競合するオプションに対する「競争優位性」を連想させるブランドを表出
- ブランドにふさわしい認識やそれに伴う評価や信頼といったイメージ作りのためのコミュニケーション施策の立案と実行

ブランドデザインでは、ブランドのポジションを特定することによってコア価値を作り出すことが要となる（資料編 3-33 参照）。この様な取り組みの一環として、本年度は、前節で述べた「橋渡しの技術」としての CCS に着目して広報ツールを試作した。代表的な試作例を資料編 3-34 に示す（他のものについては資料編 3-35～3-38 参照）。

次年度は、試作した広報ツールをターゲット層に提示して、以下のような意見聴取・評価を行うことが有用と考えられる。

- メディアヒアリング
- フォーカスグループインタビューでの評価調査
- Web 公告に対するオンラインアンケート

3.3.2.2. 合意形成支援の方法論やツール及び適用事例の整理

3.3.2.2.1. 合意形成支援の方法論やツールの調査・整理

合意形成のプロセスにおいては、上記のような連携が全ての主要なステークホルダとの間に成立していない状況も十分に想定され、このような状況においては、異なるステークホルダ間の矛盾・競合する意見や価値観の調整と accommodation（受け入れ・共生）のプロセスについても検討を加えることが必要と考えられる。このようなプロセスで重要な点は、相互の主張や価値観を理解するための双方向のコミュニケーションを促進するとともに、競合・矛盾する主張間の二者択一に陥ることなく、双方が納得しやすい新たな提案を生み出すことのできる柔軟な取り組みを含めることである。ここで、合意形成に向けた方策の要点をまとめると、資料編 3-40 のようになる。なお、accommodation へのプロセスとしては資料編 3-40 に示すような 6 つのステップが考えられるが、本検討では、各ステップで適用可能と考えられる既存の合意形成支援の方法論やツールを調査した。

調査結果を表 3-13 および資料編 3-39 にまとめる。

表 3-13 合意形成を支援する方法論やツールとその概要

概要	
ソフトシステムズ方法論 (SSM)	ソフトシステムズアプローチのうち、最も普及度が高い方法論。複雑な対象を分析するための方法論であり、「何を」「どうする」といった形での行動案の導出を目指す分析手法。現実世界の問題点を洗い出して、まず、理論上はどのようにすべきかを考え、次に理論と現実世界を対応させて現実性を追加し、実行可能な形を明らかにした上でそれを実行に移す[13]。
ゲーム理論	経済社会における様々な意思決定の相互依存関係を数理的で厳密な方法論を用いて分析する理論。ゲーム的状况を数理モデルを用いて定式化し、プレイヤー（意思決定し行動する主体）の間の利害と対立と協力を分析する[14]。
ランドスケープ理論	下記の MAS のなかでも、集団内のエージェントが他のエージェントに対してアライアンス（提携）を交渉する過程をシミュレートしようとする理論[15]。
コンセンサス・ビルディング	利害関係者の代表者による直接対話で実施される。つまり、行政が市民から意見を聞いて取りまとめるのではなく、さまざまな意見を持った市民、そして関係する行政機関が直接対話して、提言をつくりだす[16]。
パブリックインボルブメント (PI)	行政機関が主体となって行われるソーシャル・コミュニケーションで、オーソライズに先立つ合意形成を目的とした一連の取り組み。事前調査、進め方の検討、PI の実施、フィードバックという大きく 4 つのステップがある[17]。
戦略的環境アセスメント (SEA)	個別の事業実施に先立つ「戦略的(Strategic)な意思決定段階」、すなわち、政策(Policy)、計画 (Plan)、プログラム(Program)の「3 つの P」を対象とする環境アセスメント[18]。
仮想評価法 (CVM)	意見の抽出プロセスにおいて、定量的（金銭的価値）な評価を行う手法であり、予算枠の検討や代替案の比較検討等、ステークホルダの意見を具体的な事業計画に盛り込むことを支援する[19]
討論型世論調査 (DP)	一般的な世論調査では情報を与えていない市民の意見を得るが、それに対し、普通の市民がある問題について十分な情報を得て、様々な意見を聴き、じっくり考える機会が与えられたらどのような考えにたどりつくのかを調査する方法[20]。
サイエンスコミュニケーション	科学・技術に関する専門的な情報や知識を一般の人々（非専門家）にも理解しやすい形に変換し伝える行為。サイエンスカフェ、漫画・小説・映画等、インターネット上での動画の配信、関連する科学的事実についての実験（実演）、見学や実地演習、ゲームといった様々な形態がある[21]。
マルチエージェントシミュレーション (MAS)	個々のエージェントの振る舞い方、エージェント同士の相互作用、周囲環境との相互関係をモデル化し、多数のエージェントを仮想的に環境下に発生させ、それらがボトムアップにいかなる振る舞いを見せるかを観察する手法[22]。
コンセンサス会議	政治的、社会的利害をめぐって論争状態にある科学的もしくは技術的課題に関して、非専門家からなるグループが専門家に質問し、専門家の答えを聞いた後で、この課題に関する合意を形成し、最終的に彼らの見解を記者会見の場で公表するためのフォーラム[23]。
熟慮型民主主義 (deliberative democracy)	間接民主主義における市民の無力感を補い、彼らの意見を反映するための政治学的モデル。専門的な知識が求められるが社会に対する広範な影響を及ぼす可能性のある問題というコンセンサス会議と同様のテーマが選ばれる。（コンセンサス会議とは参加者の選定方法が異なる）[24][25]

3.3.2.2.2. 適用事例の調査

資料編 3-39 に挙げた方法論やツールのうち、CCS や本事業の特徴から、例えばステップ 4 にはサイエンスコミュニケーション、コンセンサス会議及び討論型世論調査等の適用が考えられ、また、ステップ 5 にはソフトシステムズアプローチ（ソフトシステムズ方法論）等の適用が考えられる。そこで、これらの方法論やツールについての適用事例の調査を行った（資料編 3-40）。

3.3.2.2.2.1. サイエンスコミュニケーション

CCS 分野におけるサイエンスコミュニケーションの適用事例を以下に示す。

- 日本 CCS 調査株式会社は、CCS の基本に関する「漫画」形式のクリエイティブノンフィクションを作成し、2012 年の京都での GHGT-11 会合で発表した。
- カナダの非営利組織 Mindfuel は、「CO2 Connection」というタイトルのオンラインゲームを開発した[26]。ゲームのキャラクターが CO2 の回収・貯留を通じて地域の CO2 を低下させるという内容であり、CO2 フットプリントの計算を学べるようになっている（図 3-10、左）。
- 2010 年、英国エネルギー・気候変動省（DECC）は、国民を議論に引き入れる手助けとなるよう、2050 カリキュレーターを構築した[27]。国民は、英国の温室効果ガスを 2050 年までに 80%削減するため、様々なシナリオを試すことができる（図 3-10 右）。



図 3-10 サイエンスコミュニケーションの適用事例

3.3.2.2.2.2. コンセンサス会議

- 北海道の農政部食品政策課では、遺伝子組み換え作物に関するリスクコミュニケーションの一環として、コンセンサス会議を実施した[28]。
- 2009 年に気候変動問題をテーマとして、世界 38 カ国で約 100 人ずつの市民が同時に

話し合う市民参加型会議 World Wide Views (WWViews) が開かれた。コンセンサス会議の開発で知られるデンマーク技術委員会 (DBT) が世界各国に開催を呼びかけたもので、日本でも京都市において開催された。会議は、コンセンサス会議だけでなく、熟議型世論調査 (deliberative opinion poll) の要素も取り入れて設計された[29]。

3.3.2.2.2.3. 討論型世論調査

慶応義塾大学 DP 研究センターの支援のもと、政府は「エネルギー・環境の選択肢に関する討論型世論調査」を実施した[30]。討論資料を読むことにより、エネルギー選択において支持するシナリオが変化したと考えられている。

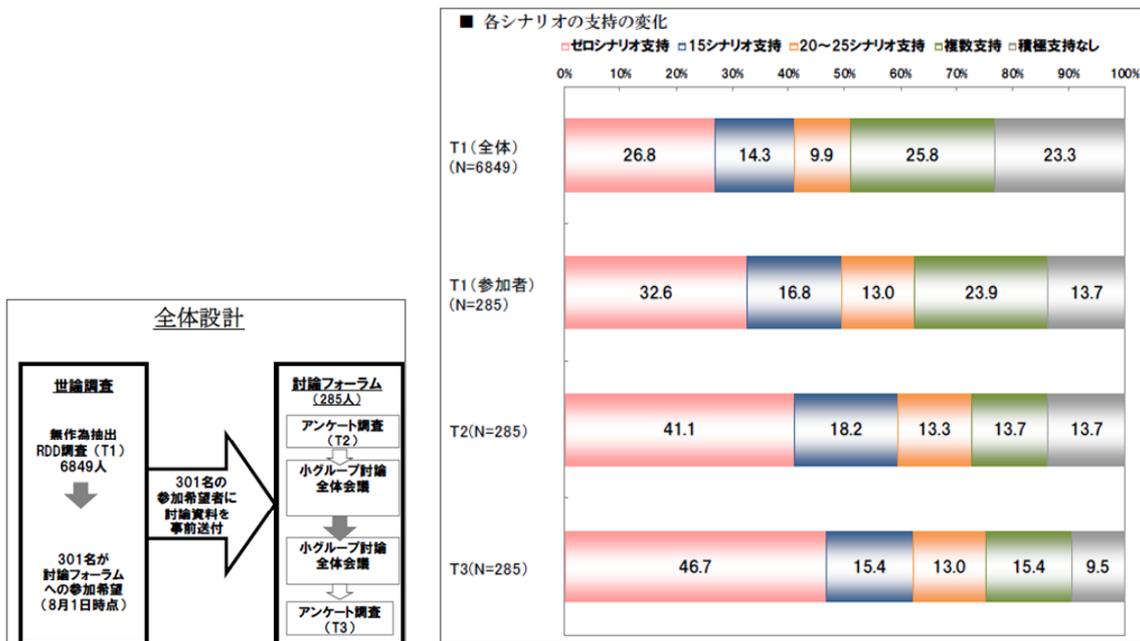


図 3-11 エネルギー・環境の選択肢に関する討論型世論調査

3.3.2.2.2.4. ソフトシステムズ方法論

火力発電所などの大規模エネルギー施設に関する景観計画プロセスの合意形成を目的とし、ソフトシステム方法論が用いられた (本間 (2003) [31]参照)。景観計画の全作業プロセスが、Checkland ら (1990) [32]の示した 7つのステージから成るモデル (図 3-12) に対応させて分類整理され、合意形成のポイントとなる作業ユニットの明確化を通じて、合意形成支援のための景観計画プロセスを提案した。

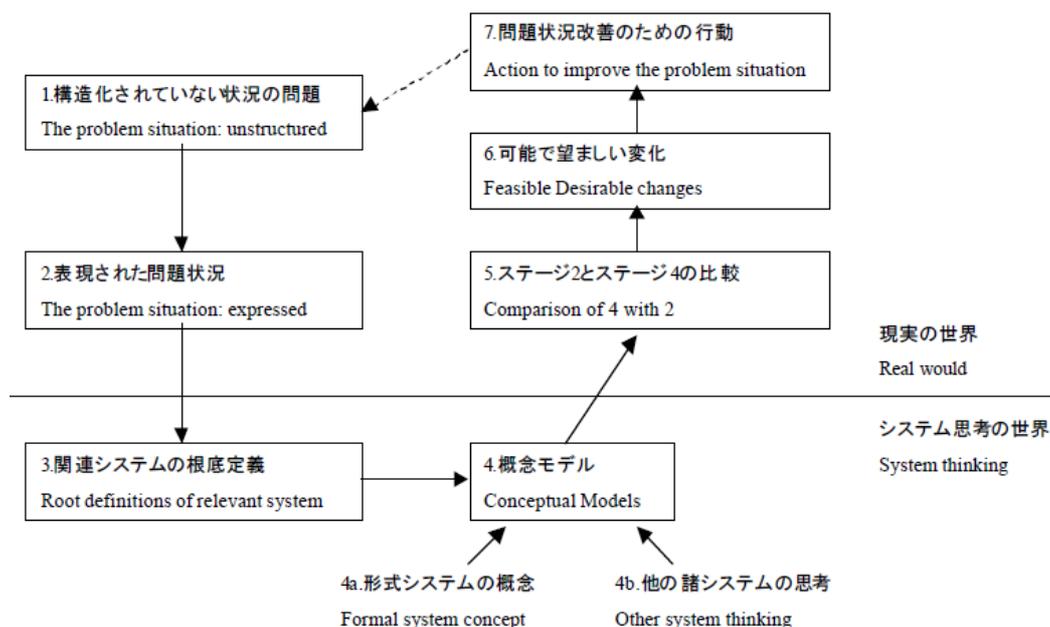


図 3-12 ソフトシステムズ方法論

3.3.2.3. 知識ベースの構築及び知識ギャップと課題抽出の試行

CCS に関する現状の科学技術知識には多くの不確実性が含まれている。そこで、本検討では、知識ベースの構築を通じて、関連する多様な科学技術知識や情報に含まれる不確実性の所在を整理する。また、ステークホルダとの信頼醸成を目指したリスクマネジメントの在り方を提案し、さらに、それを本事業に特徴的な技術要素に適用することを試行する。

3.3.2.3.1. 知識ベースの構築

合意形成に向けた知識ベースの構築は、論証モデル及び ESL (Evidential Support Logic) の手法を用いて行うこととした。

今年度は、論証モデルとして「CCS Knowledge Base」を開発した。

3.3.2.3.1.1. CCS Knowledge Base の開発

CCS Knowledge Base は論証モデルの構築を支援し、知識の構造化に資することを目的として開発したツールである。

ユーザは CCS Knowledge Base の主張エディタや討論エディタにおいて、主張や討論を構成する保証や反証をアイコンとしてつなげる形で階層構造化し、比較的簡単に論証モデルを構築することができる。討論エディタには、保証および反証を作成する上で必要となる論証スキームを用意している。論証スキームは、ある主張を支持するような「証拠」と「保証」

の組み合わせを、証拠の種類や保証の方法に関して類型化したものであり、それぞれの組み合わせのタイプに対する潜在的な反論としての「批判的質問」のリストを含むものである。論証スキームを用いることにより、討論に一定のルールが導入されるとともに、論証スキームは保証と反証の作成におけるテンプレートとして機能することになる。

3.3.2.3.1.2. CCS Knowledge Base の機能

- 主張エディタ
 - 主張の追加・編集・削除の機能を有し、主張を階層構造化して表示する。
- 討論エディタ
 - 階層構造化した末端の主張を起点として、討論を追加・編集・削除する。討論は保証と反証の連鎖として行う。
- ナレッジノート
 - 保証を支持する裏付けとなる参考資料を登録する。

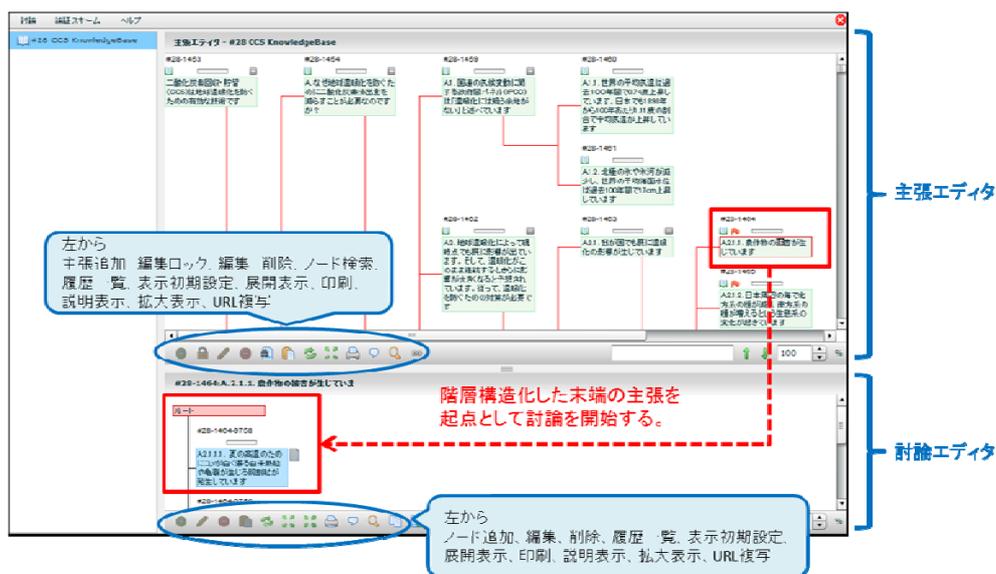


図 3-13 CCS Knowledge Base の構成

3.3.2.3.1.3. CCS Knowledge Base の概要

CCSに関連する多様な科学知識・情報及び不確実性を、資料編 3-41 及び 3-42 に部分的に例示したような「CCS Knowledge Base」として整理した。

CCS Knowledge Base では、例えば、「CCS は地球温暖化を防ぐための有効な技術です」という上位の命題に対して、

- なぜ地球温暖化を防ぐために二酸化炭素排出量を減らすことが必要なのですか？

- CCS とはどのような技術なのですか？
- CCS を行うとどのようなメリットがあるのですか？
- CCS の実施に対する障害や、実施した場合に生ずるような問題はないのですか？
- その他にはどのような地球温暖化対策があるのですか？

という 5 つの主要な疑問を割り当てた。

そこからさらに、Q&A の形式で徐々に具体的あるいは詳細な論点に踏み込むような階層構造によって、関連する知識や情報が体系的なコンテキストの中に適切に埋め込まれるようなフレームワーク（論証モデル）を採用した。

3.3.2.3.1.4. ESL 手法による信頼性評価

次年度は、CCS Knowledge Base の中で挙げられている命題のうち、重要なものに対して、ESL (Evidential Support Logic) 手法による試行を実施する予定である。ESL とは、問題を細分化した階層構造に対して、末端の各命題が、対応する証拠によってどの程度支持あるいは否定されるかを専門家等の意見（主観確率）として表現するとともに、下位の各命題が正であった場合に上位の命題が正となる条件付き確率（重み）に基づき、下位から上位へと「確からしさの程度」を積算していくことによって、最上位の命題が正しいことにどの程度確信がもてるかを評価する手法である。また、末端の各証拠の支持の割合が 1% 増した場合に、それが階層構造を伝播して最上位命題の支持をどの程度向上するかを算出する「感度解析」によって、信頼性向上のために充実させるべき論拠の重要度の分類を行うことができる。

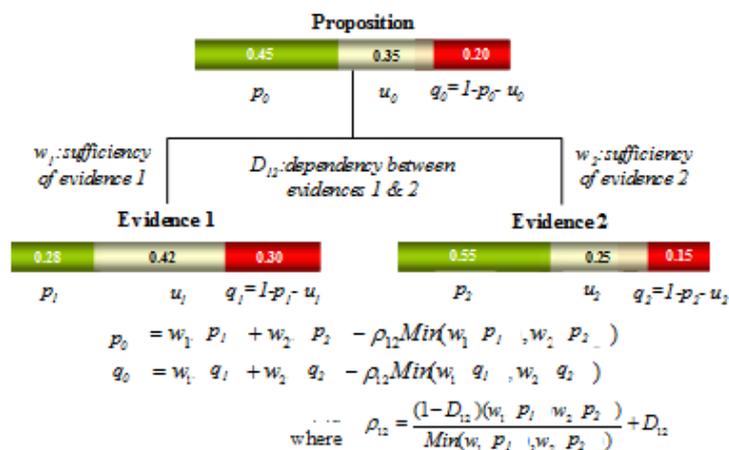


図 3-14 ESL における信頼性評価の算出方法

このような信頼性評価は、3.3.2.3.2 で示すリスクマトリクスによる ALARP 評価の判断において用いることができる（資料編 3-43 参照）。

3.3.2.3.2. 知識ギャップと課題抽出の試行

3.3.2.3.2.1. 関連する科学知識・情報及び不確実性の所在の整理

知識ギャップの例としては、リスク（貯留層からの CO2 漏洩による環境影響など）、経済性（将来の分離・回収コスト等の低減可能性など）、規模・効果（貯留可能量過大評価の可能性など）が挙げられ、それぞれについて価値観や信条によって幅のある解釈がされる可能性がある。今年度は資料編 3-44 に示すとおり、解釈の幅について整理を行った。次年度は、より多くのステークホルダに受け入れられる説明・主張を明らかにするために、調査結果の分析に基づき抽出した重要な知識ギャップ（不確実性）について、関連する不確実性の程度及び対応する解釈上の幅を分析する。

3.3.2.3.2.2. 信頼醸成を目指したリスクマネジメント

近年のリスクマネジメントにおいては、リスク認知は主観的なものであり、「受け入れることのできないレベル」と「広く受け入れるレベル」の間に状況によっては我慢することのできる（ALARP: As Low As Reasonably Practicable）領域が存在するという考え方が広まりつつある（HSE, the Health and Safety at Work etc. Act 1974[33]等を参照）。ALARP 領域では、更なるリスク低減対策が実施できないかあるいは効用に対してコストが明らかに過剰であることが示された場合にのみ受け入れることができるとしており、英国*やノルウェー[34]等では、CCS に対しても ALARP に基づく規制が適用されている（資料編 3-45 参照）。

このようにリスクを認知する側の立場から基準を考えるという視点は、社会的受容性という観点からリスクマネジメントを考える上で極めて重要な視点と考えられる。

*ALARP に基づく HSE の”the Health and Safety at Work etc. Act 1974” が 2013 年 4 月から off shore を含む CCS に適用されることとなった

以上のような社会的受容性の観点から見たリスク基準の考え方にに基づき、本検討では以下の手順でリスクマネジメントを試行し、また、これを通じて信頼醸成に資する方法論の具体化を図る。

- ① シャトルシップからの圧入段階を例として、種々の懸念事象（波浪、地震、海中の温度躍層の影響等）を網羅的に検討し、想定すべき異常や事故の可能性を網羅した FEP（Features, Events and Processes）リストを作成する。

- ② 異常や事故の原因に対してボウタイ分析を行い、事故原因の因果関係及び影響の伝播を明確にするとともに、予防的対策や影響低減・修復策を抽出する。
- ③ それぞれの異常や事故に対して、発生可能性と影響の程度のランク付け（リスクランキング）及びリスクマトリクスを用いた定性的な評価を行い、予防的対策や影響低減・修復策によるリスク低減効果を把握するとともに ALARP 分析を行う。

まず、リスクマネジメントにおける基盤的知識の整備として、本事業における重要技術の一つであるフレキシブルライザーを対象として、有識者へのヒアリングに基づき、IEA による FEP リストと同様の構成の FEP リストを作成した。具体的には、6 つの大分類（システム構成、開発・使用段階、劣化・破損要因、健全性管理（Integrity management、検査・モニタリング、及び修復・廃止措置）について計約 90 個の FEP を抽出・整理した。詳細は資料編 3-46 を参照されたい。

次に、フレキシブルライザーに関するガイドラインやハンドブック[35][36]に記載された情報及び有識者へのヒアリングに基づき、これらの FEP 間の因果関係について整理した上で、「脅威や事故原因」→「異常・事故」→「影響の伝播」の順に主要な FEP の影響伝播をボウタイモデルとして構造化した（資料編 3-47 参照）。また、このボウタイモデルに対して、脅威や事故原因に対する予防的措置、異常や事故の早期検出による回避策、及び影響緩和・修復策として適用し得る技術的オプションを抽出した。

今後は、上記の検討に引き続き、本事業の関係者によるワークショップを行い、ALARP に基づくリスクマネジメントのガイドラインを参照しつつ定性的リスク評価を試行する予定である。ここでは上記のボウタイ分析結果及び予防的対策や影響緩和・修復策に基づき、それぞれの異常や事故に対して、発生可能性と影響の程度のランク付け（リスクランキング）及びリスクマトリクスを用いた定性的な評価を行い、予防的対策や影響低減・修復策によるリスク低減効果を把握し、ALARP 分析を行う（資料編 3-48 参照）。なお、前述のように、ALARP 分析の判断においては、ESL 手法を用いる。

また、上記の試行により、本事業の特徴の一つでもあるシャトルシップからの圧入に関連するリスク要因を抽出してそれぞれの重要度を把握するとともに、重要なリスクについての予防策や影響緩和策を具体化する。さらに、ALARP 分析により各対策の費用対効果を可視化することで、多くのステークホルダが納得できるようなリスクマネジメント計画を具体化することが、社会的受容性の観点から重要と考える。

3.3.2.4. まとめ及び今後の課題

3.3.2.1 で示したように、CCS の円滑な推進のためには、CCS の社会的受容性向上が重要な要件となり、このためには、今回行った環境 NGO 等のステークホルダの認識や価値観の調査結果を踏まえ、連携に向けた潜在的パートナー間での主張の調整や交渉が重要と考えられる。また、環境問題やエネルギー問題に関する知識と発進力を持つこれらの団体や産業界を含めて相互の主張が整合的なものとなるような状況を作り出すことと併せて、これと整合的な形で CCS に関する一般の認知と支持の拡大を図ることが望ましい。このような取り組みの一環として、今年度の検討では、CCS のブランドデザインを試行した。今後は、このようなアプローチの有効性等についてメディアヒアリングやフォーカスグループインタビュー等の種々の手法で評価・確認を行いつつ、広報ツールやコミュニケーション戦略の改善を図ることが必要である。

なお、上記のような連携が全ての主要なステークホルダとの間に成立しない状況も十分に想定されるものであり、このような状況において、異なるステークホルダ間の矛盾・競合する意見や価値観の調整と accommodation（受け入れ・共生）のプロセスについても検討を加えることが必要と考えられる。このようなプロセスで重要な点は、相互の主張や価値観を理解するための双方向のコミュニケーションを促進するとともに、競合・矛盾する主張間の二者択一に陥ることなく、双方が納得しやすい新たな提案を生み出すことのできる柔軟な取り組みを含めることである。3.3.2.2 における合意形成支援の方法論やツールの調査結果のとおり、ソフトシステムズアプローチ等の手法を適用することが考えられたが、CCS 及び本事業の特徴を踏まえて手法の具体化や最適化を今後行っていくことが必要と考えられる。

一方で、CCS に関する現状の科学技術知識には多くの不確実性が含まれている。そこで 3.3.2.3 では、知識ベースの構築を通じて、関連する多様な科学技術知識や情報としてそれらに含まれる不確実性の所在を整理した。また、ステークホルダとの信頼醸成を目指したりスクマネジメントの在り方を提案し、さらに、それを本事業に特徴的な技術要素に適用することを試行した。

上述の本検討における主要な成果を、合意形成に向けた方策の要点に統合すると、資料編 3-49 のとおりとなる。

今年度の成果を踏まえ、上記の課題も含めた次年度の実施計画は以下の通りである。

- 環境配慮型 CCS のブランドデザイン
- 広報ツールやコミュニケーション戦略の改善
- CCS 及び本事業の特徴を踏まえた合意形成手法の具体化や最適化
- 多様なステークホルダのニーズを踏まえた知識ベースの拡充

- ESL 手法による信頼性評価
- ALARP に基づくリスクマネジメントのガイドラインを参照した定量的リスク評価（本事業の関係者によるワークショップの実施）
- 合意形成に向けた非専門家と専門家間の対話と協働の試行
- 合意形成支援プラットフォームの基本設計

3.4. 円滑な導入手法の検討

3.1 から 3.3 をふまえ、CCS の導入に向けた課題の整理、及び解決方策の検討を行った。本年度は、円滑な導入に欠かすことのできない CCS に関連する制度論について議論を実施するとともに、副次的効果について検討を行った。

3.4.1. CCS の導入に向けた課題の整理及び解決方策の検討

CCS の導入に向けた政策・措置等に関して、以下の 3 点での課題があると考えられる。

- ① CCS/CCS Ready の導入に向けた課題（技術面、経済面、環境面）
- ② CCS 導入のインセンティブ（経済的手法／規制的手法）検討（FIT、税制優遇、排出量取引、事業法、排出基準等）
- ③ CCS 導入に向けた課題（長期的責任/監視期間、回収方法）

①については、資料編 3-50 から 3-56 に諸外国（EU、英国、オランダ、豪州、米国、カナダ・アルバータ州）の CCS 関連法制度についてまとめた。CCS Ready に関しては、CCS Ready 関連制度について資料編 3-57 に整理した。資料編 3-58 の Capture Ready 発電所の用地面積の参考値に示されるように CO₂ 回収施設に相当の面積が必要になると想定されるが、我が国においては諸外国と比較して地価が高く、敷地の問題が CCS の実現性及び経済性に大きな影響を与えると考えられる。この点に関しては、架構構造によるコンパクト化や浮体式 CO₂ 回収設備（必要に応じて回収・圧縮・液化・貯蔵の任意のユニットを浮体上に設置）の研究事例（資料編 3-59 参照）等もあり対応策として考えられる。

②の経済的手法に関しては資料編 3-60 から 3-66 に整理した。

本検討では、CCS の導入に向けた政策・措置のうち、特に制度論について、有識者へのヒアリングを実施した。ヒアリング結果から抽出した論点及び参考となる考え方を、表 3-14 に示す。

表 3-14 CCS に関連する制度論に対する論点

	論点	考え方の例
CCS/CCS Ready に関する論点		
CCS/CCS Ready 導入の対象	<ul style="list-style-type: none"> ・ CO2 回収は排出事業所内又は隣接地で行い、事業と一体的な検討が必要と考えられるが、輸送や貯留は、事業者の初期設計として何を求めることが有効か。 ・ CCS は 2020 年頃の実用化を目指しているところ、できるだけ早期に排出削減に寄与するためには、どのような対象（事業種、燃料種、規模等）について優先的に検討することが有効か。 ・ どのような法制度/基準/目標等を根拠として導入を求めることが有効か。 	<p><導入対象></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 製造業（鉄鋼・セメント・石油化学等）に関しては、CCS/CCS Ready 製品の競争力への影響を考慮すべき。 ・ 貯留は大規模であることが必要。 <p><先行導入対象></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 天然ガス火力は CO2 排出係数が小さく、排ガス中の CO2 濃度も 5% と小さいため、化学吸収法では反応しにくく、効率が悪い。 ・ 新設/既設については、世界的な CCS 事例を見ても、だいたい既設に導入されている。
CCS 導入による出力低下	<ul style="list-style-type: none"> ・ 二酸化炭素分離回収設備の導入による出力の低下（20～30%）にどのように対応すべきか。 ・ 20-30%*出力が低下するとされている。（出典：M.Bohm et al,2007、*全量回収の場合であり、圧縮を含む） ・ これを見込んで出力を大きくする場合、環境影響評価手続の開始前に判断が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1,000MW の送電端出力を持つ発電所が、CCS を実施して 800MW まで出力が低下する場合でも、系統としては 1,000MW に対応する必要がある。ユーティリティ（冷却水等）の容量にも考慮が必要。 ・ 例えば 120 万 kW×5 基相当の出力が必要な場合、CCS 前提で 6 基作っておき、普段は 100 万 kW×6 基で運転し、1 基が停止したときは 120 万 kW×5 基でバックアップするという考え方がよいのではないか。
CO2 回収率	<ul style="list-style-type: none"> ・ 回収率は、回収設備の仕様に大き 	<燃焼前回収>

	<p>く影響するが、例えば部分回収（石炭火力の 50%回収で天然ガス並にする等）とフル回収でコストはどの程度変わるか。</p> <ul style="list-style-type: none"> フル回収の場合、どの程度の回収率が妥当か。回収方式ごとに異なるか。（2050 年 80%削減目標の前提：すべての石炭火力 90%回収、すべての石油/天然ガス火力 85%回収） 	<ul style="list-style-type: none"> IGCC の場合の目安として、フル回収で 200bar まで昇圧する場合は、20%のコスト上昇・20%の送電端効率低下、50%回収の場合は、10%のコスト上昇・10%の効率低下となる。 <p><燃焼後回収></p> <ul style="list-style-type: none"> 部分回収が可能であり、CO₂ 回収設備を機動的に止めたり動かしたりすることが可能。 <p><酸素燃焼></p> <ul style="list-style-type: none"> 酸素燃焼法については、原理的に 100%回収ということになる。 <p><その他></p> <ul style="list-style-type: none"> CO₂ 排出量が年間総量で定められている場合は、電力需要が大きい日は CCS をとめて発電し、電力需要が小さい日は CCS を実施するといった、CO₂ 計画という考え方があり得るのではないか。 システムを安定化させているのは火力発電（ガス火力）である。火力が CCS のためにベースロードとして固定されると、誰がシステムを制御するのかという議論になるのではないか。
<p>CCS 導入のインセンティブ（経済的手法/規制的手法等）に関する論点</p>		
<p>有効なインセンティブ</p>	<ul style="list-style-type: none"> CCS 導入を促すため、どのようなインセンティブ（経済的手法/規制的手法等）が有効か。 コスト負担軽減のための経済的手法（FIT、炭素税、排出量取引、税制優遇等）は有効か。 	<p><経済的手法></p> <ul style="list-style-type: none"> CCS を義務付けないのであれば、事業者が CCS を選択したときに何らかのインセンティブが必要。 経済横断的に炭素税や排出権取引などを導入したうえで、CO₂ にプ

	<ul style="list-style-type: none"> • CO2 の排出基準を設定し、義務付けることは有効か。 • 関連する既存の法規制について、適正化が有効なものはあるか。 • CCS 事業全体をカバーする事業法は有効か。 	<p>ライシングして、国全体でそれに見合ったエネルギー消費をしていくという政策導入もある。</p> <ul style="list-style-type: none"> • FIT 型かインセンティブ型で、なおかつ、排出削減量に応じた仕組みの方が良いと思う。CCS の回収率により FIT が決まる仕組みがあってもよいのではないか。 <p><法制度等></p> <ul style="list-style-type: none"> • 温暖化対策法のような枠組みでオーバーアーチングに規定し、その運用手段として環境アセスなどの個別法があるというのが理想ではないか。 • 国の政策として 2050 年まで 80% 削減ということがあるので、それを満たすための自主的な取り組みの一環として CCS を位置づけ、CCS を選択した事業者に対するガイドラインを作ればよいのではないか。
<p>圧入後の監視期間、CO2 回収方法</p>		
<p>海洋環境の監視期間</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 事業者は、海底下に CO2 が貯留されている限り、海防法による許可を 5 年毎に申請し続ける必要があり、様々な監視事項のための経済的負担も大きい。 • 「監視終了を可能とする条件」や「監視の継続期間の目安」を示すことは有効か。 	<ul style="list-style-type: none"> • EU のように一定期間の監視でよいのではないか。 • 海外の事例から、監視の継続期間の「相場観」は、トータルで 20～50 年。年限の目安のほかに、監視を長期的に官民で分担するかどうかについても取り決めが必要である。監視の継続期間の目安として次の例が考えられる。 <p style="padding-left: 40px;">A 官民の分担なし（米国 UIC プログラムの考え方を参考とし</p>

		<p>た場合の例：事業者だけが 50 年間の監視を行う。)</p> <p>B 官民の分担あり (欧州 CCS 指令及び豪州改正 OPA 法の考え方を参考とした場合の例：事業者が 5~20 年の監視を行い、引き続き、国が 15~30 年の監視を行う。)</p> <ul style="list-style-type: none"> • CO2 の処分は国の機関、たとえば公社が実施して、モニタリングの費用は何年分かを事業者に供託させる、といった仕組みも考えられるのではないか。
CO2 回収方法	<ul style="list-style-type: none"> • 海洋汚染防止法施行令では、アミン回収法の基準を定めているが、他の手法による回収について実施の目途は立っているか。 	<ul style="list-style-type: none"> • 化学吸収法の中にもアミン以外の手法があり、細分化されている。新規技術に法律が間に合わないと、開発しづらい。手法を限定しない網羅的な指針を作っていただけるとありがたい。 • 重金属など有害なものが混ざってなければ、CO2 は 9 割程度でいいのではないか。

3.4.2. 副次的効果の検討

CCS 事業による副次的効果について、本年度は特に経済効果に着目し定量化を行った。また、海洋開発人材の育成、及び海洋資源開発についても文献調査を行い整理した。

3.4.2.1. 経済効果（経済波及効果、雇用創出効果）

CCS 実施の経済波及効果・雇用創出効果の算出事例に関する文献調査結果を資料編 3-67 から 3-69 に示す。苫小牧地点における CCS 大規模実証試験における経済波及効果及び雇用創出効果については新聞報道がなされている。また、内閣府（2007）[37]では、CCS の普及による経済波及効果先となる産業部門について分析を行っている。

本事業においては、3.2.1において算出した経済性評価結果を用いて、平成17年（2005年）産業連関表を用いた産業連関分析により経済波及効果及び雇用創出効果の試算を行った。

表 3-15 に、経済効果の試算に用いた費用を示す。試算においては、回収から貯留までを対象とした。

表 3-15 経済効果試算に用いた費用

	設備投資 (億円)	操業費 (百万円/年)
CO2回収	1,671	8,190
CO2液化	248	6,674
シャトルシップ輸送設備		
陸上設備	170	724
シャトルシップ	260	1,773
圧入設備	47	1,886
海底地下貯留設備	296	374

経済効果（経済波及効果、雇用創出効果）の試算結果を表 3-16、表 3-17 に示す。設備投資（表 3-16）に関しては、投入費用に対して約 2.7 倍の経済波及効果、約 4 万人の雇用創出効果が見込まれるとの結果となった。操業費（表 3-17）に関しては、年間投入費用に対して約 2.1 倍の経済波及効果、約 1,500 人の雇用創出効果との結果となった。

なお、経済効果の算出結果の解釈には以下の注意点がある。

- ・ 産業構造（相互依存関係等）は連関表作成対象年当時のものである。そのため、連関表を用いて算出する経済効果は連関表作成対象年時点の産業構造をもとに算出される。
- ・ 発生した需要に応えるだけの生産余力がない場合や需要が在庫で賄われる場合、生産波及は実際上中断する。
- ・ 算出した経済波及効果の達成時期は明らかにならない。
- ・ 産業連関表対象地域全体の産業構造をモデル化したものであるため、産業連関表対象地域の一部への経済波及効果を取り出すことはできない。また、産業連関表対象地域外からの波及効果や産業連関表対象地域外への波及効果は計測できない。
- ・ あくまで想定した費用（投資）及び最終需要部門に基づいた算出であるため、経済効果算出結果はそれらの不確実性の影響を受ける。
- ・ 雇用創出効果は必ずしも新規雇用を指すものではなく、必ずしも計算どおりの雇用の増加が見込めるとは限らない。

表 3-16 経済効果試算結果（設備投資）

費用投入部門	費用合計	経済波及効果 (直接+1次+2次)	投入額合計に 対する比	雇用創出 効果	投入100万円 あたりの 雇用創出効果
一般産業機械	24,800 百万円	69,498 百万円	2.80	3,418 人	0.14 人
特殊産業機械	188,800 百万円	516,841 百万円	2.74	25,884 人	0.14 人
船舶・同修理	26,000 百万円	78,182 百万円	3.01	3,341 人	0.13 人
その他の対事業所 サービス	29,600 百万円	61,752 百万円	2.09	7,182 人	0.24 人
合計	269,200 百万円	726,274 百万円	2.70	39,825 人	0.15 人

表 3-17 経済効果試算結果（操業費）

費用投入部門	費用合計	経済波及効果 (直接+1次+2次)	投入額合計に 対する比	雇用創出 効果	投入100万円 あたりの 雇用創出効果
石炭・原油・天然ガス	2,260 百万円/年	5,107 百万円/年	2.26	239 人	0.11 人
有機化学工業製品 (除石油化学基礎製品)	769 百万円/年	2,175 百万円/年	2.83	55 人	0.07 人
電力	13,957 百万円/年	27,311 百万円/年	1.96	967 人	0.07 人
水道	137 百万円/年	311 百万円/年	2.26	14 人	0.10 人
水運	2,497 百万円/年	5,510 百万円/年	2.21	222 人	0.09 人
合計	19,620 百万円/年	40,412 百万円/年	2.06	1,498 人	0.08 人

3.4.2.2. 海洋開発人材の育成

日本の海洋基本計画[38]においては、「海洋に関する国民の理解の増進と人材育成」に対して表 3-18 の「海洋に関する施策に関し、政府が総合的かつ計画的に講ずべき施策」を挙げている。

シャトルシップ方式の要素技術開発やトータルシステムの検討・実証、坑口設備を含む貯留技術開発・検討、及び大水深におけるモニタリング等は、いずれも世界で初めての試みであり、海洋基本計画における「海洋立国を支える人材の育成と確保」で謳われている中長期的な発展が期待できる産業分野の人材・技術の専門家の養成・確保や海洋分野の基礎的・先端的な研究の推進に資すると考えられる。また、シャトルシップ方式の CCS 事業が実現すれば、海洋域での船舶運航業務・貯留業務・モニタリング業務等が数十年の長期にわたり発生するため、それらを担う専門的人材を大学等で育成し続ける必要がある。

表 3-18 海洋に関する施策に関し、政府が総合的かつ計画的に講ずべき施策
：海洋に関する国民の理解の増進と人材育成

(1) 海洋に関する教育の推進

- 小学校、中学校及び高等学校において、学習指導要領を踏まえ、海洋に関する教育を充実させる。また、それらの取組の状況を踏まえつつ、海洋に関する教育がそれぞれの関係する教科や総合的な学習の時間を通じて体系的に行われるよう、必要に応じ学習指導要領における取扱いも含め、有効な方策を検討する。
- 海洋関連の副教材の作成を促進する。また、海洋に関する教育の実践事例集や手引きなどの指導資料の作成、教員研修の充実等を通じ、教育現場が主体的かつ継続的に取り組めるような環境整備を行う。
- 海洋に関する教育の総合的な支援体制を整備する観点から、学校教育と水族館や博物館等の社会教育施設、水産業や海事産業等の産業施設、海に関する学習の場を提供する各種団体等との有機的な連携を促進する。
- 海洋に係る夢を抱き、感動を覚えるなど、海洋の魅力を実感できるよう、学協会等との協力の下、アウトリーチ活動を重視した取組等を推進する。

(2) 海洋立国を支える人材の育成と確保

ア 特定分野における専門的人材の育成と確保

- 海洋や水産に関する教育を行う高等学校において、現場実習等を通じた実践的な教育を促進するとともに、実習船等の着実な整備を引き続き推進する。
- 高等専門学校や海洋系・商船系・水産系の大学・大学校において、海洋・海事・水産の分野における専門的人材を育成する。また、水産業及びその関連分野における人材を確保するため、将来の担い手の漁業への参入促進、実践的な専門教育の充実、女性の参画の促進等を図る。さらに、日本人船員を計画的に確保するため、退職海上自衛官等が船員として就業するための環境整備を引き続き行う。
- 中長期的な観点から今後発展が期待できる海洋に関する産業分野の人材や技術の専門家を養成・確保するため、産業界や国の関係機関等における技術開発と大学等における教育・研究が連動して一体的に行われる取組を推進する。
- 国際的な研究プロジェクトにおいてリーダーシップを発揮できる研究者を養成するため、異分野の研究者が国際的な環境の下で研究を進めることが出来るような機会の確保と拡大を図る。

イ 海洋に関する幅広い知識を有する人材の育成と確保

- 大学及び大学院の学生の海洋に関わる理学・工学・農学等の基礎的な能力を培うとともに、若手研究者の自発性・独創性を伸ばしていくため、大学や研究機関等における海洋分野の基礎的・先端的な研究を推進する。
- 大学等において、学際的な教育及び研究が推進されるようカリキュラムの充実を図るとともに、産業界等とも連携しながらインターンシップ実習の推進や、社会人再教育等の実践的な取組を推進する。

○IMO、UNESCO/IOC、大陸棚限界委員会、国際海洋法裁判所等の海洋分野の国際機関に、引き続き我が国からの人的貢献を行う。

ウ 地域の特徴をいかした人材の育成

○地域の特徴をいかした多様な知的海洋クラスターの創出や、地域に根ざした海洋産業の創出等の観点から、様々な制度を通じて、地域における産学官連携のネットワークづくりを推進する。

○海洋に関する学部等を持つ大学が、それぞれの教育理念に基づき、各地域において特色ある教育研究を行うため、練習船、水産実験所、臨海実験所等の共同利用を推進する。

(略)

(出典) 海洋基本計画[38]より抜粋

3.4.2.3. 海洋資源開発

CCS 事業、とりわけ沖合域における海底下貯留を行う事業においては、海洋モニタリング計画について検討を行う必要があり、CO₂ の海底からの漏洩や海水中での挙動予測に関する技術の検討が行われる。海域でのメタンハイドレート開発において、メタン漏洩や環境影響評価の観点から同様の検討が行われていることから[39]、CCS 事業の推進によりメタンハイドレート開発への副次的効果が期待される。

また、貯留された CO₂ の地中挙動に関するシミュレーション技術は、CO₂ を利用した石油増進回収 (CO₂-EOR) に援用できるため、石油や天然ガスの開発分野に対しても副次的効果が期待される。

3.5. 海外展開の検討

環境配慮型 CCS について、海外への展開を見据えて、関連機関との連携を検討するとともに、展開手法等を検討する。

3.5.1. 展開手法等の検討

本年度は、我が国と関係の深い東南アジア諸国のうち、インドネシアの動向について調査を行った。資料編 3-70（東南アジアにおける貯留ポテンシャル）に示すとおり、インドネシアは CO₂ 貯留ポテンシャルの高い地層の分布が確認されるほか、JCM の対象国でもある。

資料編 3-71 に、インドネシアの Gundih CCS Project について、文献調査及びプロジェクト関係者からの聞き取り等の結果をもとに概要を示す。Gundih CCS Project は研究目的の CCS 実証事業であり、CO₂ 貯留やモニタリング技術の確立を目指している。関係者によると、インドネシアで事業を実施する上では、現地パートナーを見つけ、提携して事業に取り組み、あらゆるステークホルダと良い関係を構築していくことが重要であるとのことであり、次年度は関連機関との連携方策について検討していく予定である。

3.5.2. 二国間クレジット制度の有効性や課題、解決方法についての整理

二国間クレジット制度（JCM）は、日本と相手国とが共同で開発、実施している「様々な取組（various approaches）」の一つである。日本からの温室効果ガス排出削減・吸収への貢献を、測定・報告・検証（MRV）方法論を適用し、定量的に適切に評価し、日本の排出削減目標の達成に活用するとともに、クリーン開発メカニズム（CDM）を補完し、地球規模での温室効果ガス排出削減・吸収行動を促進することにより、国連気候変動枠組条約の究極的な目的の達成に貢献することを基本概念としている[40]。

日本と JCM に係る二国間文書に署名した国は、モンゴル、バングラデシュ、エチオピア、ケニア、モルディブ、ベトナム、ラオス、インドネシア、コスタリカ、パラオ、カンボジア、メキシコの 12 ヶ国である。モンゴル、バングラデシュ、エチオピア、ケニア、モルディブ、ベトナム、ラオス、インドネシア、パラオ、カンボジアとの間で、それぞれ合同委員会を開催しているほか、インドネシアとの合同委員会において、2014 年 10 月に JCM 第一号プロジェクト（工場空調及びプロセス冷却用のエネルギー削減）を登録済みである[40]。

CCS に関連するプロジェクトとしては、経済産業省・NEDO の「平成 25 年度二国間クレジット制度実現可能性調査（FS）／MRV 適用調査／実証事業」におけるメキシコのプロジェクトがある（図 3-15）。

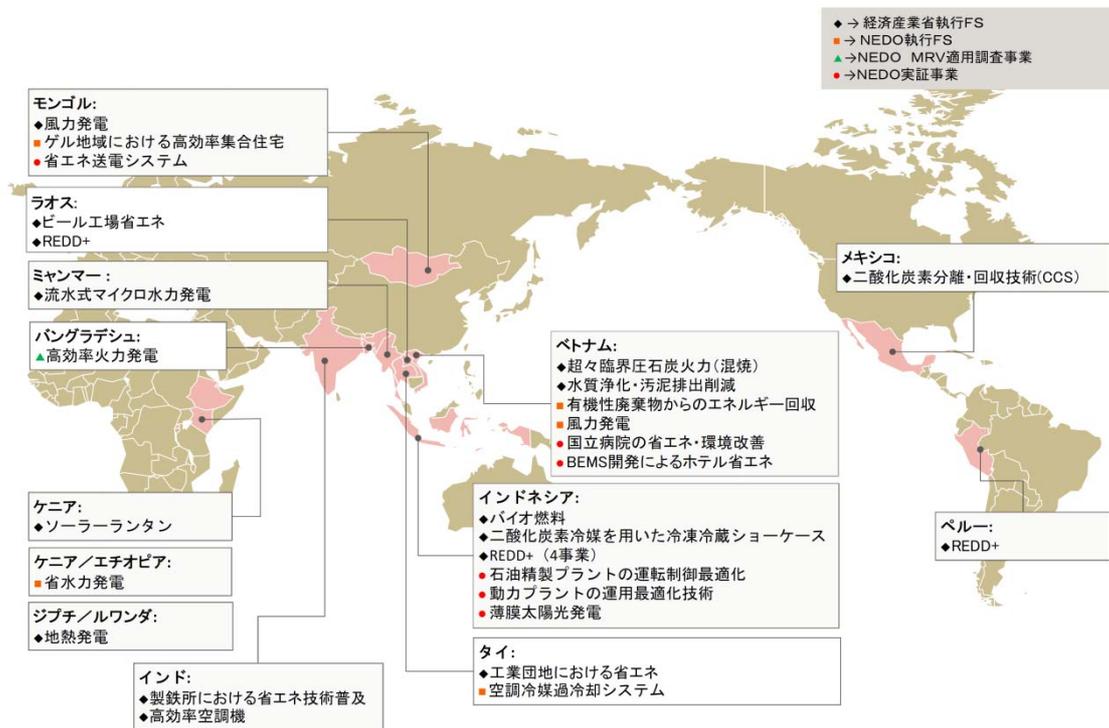


図 3-15 【経済産業省・NEDO】平成 25 年度二国間クレジット制度実現可能性調査 (FS) /MRV 適用調査/実証事業

(出典)「二国間クレジット制度(Joint Crediting Mechanism (JCM))の最新動向」(2015) [40]

以下の表 3-19 に、メキシコのプロジェクトの概要、及び示唆される課題・解決方法について整理する。

表 3-19 メキシコの回収・貯留プロジェクト概要

<p>方法論タイトル</p>	<p>“Recovery of anthropogenic CO₂ from GHG emission sources and its storage in an oil reservoir with enhanced recovery in Mexico”</p> <p>人為起源の温室効果ガス発生源の石油増産回収を伴う CO₂ 回収・貯留</p>
<p>プロジェクト適格性</p>	<p>適格性基準は以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 回収・貯留対象 CO₂ に関する要件 <ul style="list-style-type: none"> ➤ 対象となる CO₂ は人為起源であること ➤ 対象となる CO₂ を利用してオンショア油田の石油増産回収を行うこと ● 回収・貯留に関する制度 <ul style="list-style-type: none"> ➤ 対象とする CO₂ を供給する産業に対して、回収・貯留義務付け規制が存在しないこと ➤ 対象とする CO₂ を供給する産業では、大気中に CO₂ を放散していること ● 貯留層の選定 <ul style="list-style-type: none"> ➤ 越境プロジェクトではないこと ➤ 試掘により貯留の対象層が緒元（貯留層は深度 800m 以深、厚さ 10m 以上、孔隙率平均 10 %以上、浸透性平均 10mD 以上、キャップロックの厚さ 20m 以上）を満たすこと ➤ 試掘により貯留対象層が前述の基準値を満たさない場合は、方法論に示される貯留層モデルによる圧入シミュレーションを実施し、漏洩リスクの検討を行うこと（CDM における手印済み方法論および JCM にて過去検討された方法論など類似案件をレビューし、貯留層設定の緒元について保守的な数値となるよう留意。）
<p>プロジェクトバウンダリ</p>	<p>石油増産回収に伴う CO₂ 回収・貯留に関する施設の全て。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● CO₂ 回収施設 ● 処理施設 ● パイプラインなどの搬送機器および搬送設備 ● 圧入サイトの受入施設

	<ul style="list-style-type: none"> ● 圧入施設 ● 地下部分 ● 貯留サイトの閉鎖および後段階において CO2 プルームが長期的に安定した際に予想される CO2 貯留サイトの縦および横方向境界
リファレンス排出量	<p>適格性基準を満たす石油増産回収設備が受け取る CO2 量をリファレンス排出量と設定。</p> <p>(石油産出に伴うフレアリング等、既存施設からの CO2 排出量は考慮しない (ベースライン排出量から差し引く) ことで、保守的なシナリオになるよう留意。)</p>
プロジェクト排出量	<p>次の要素を考慮して算出。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● バウンダリ内の施設電力消費に伴う CO2 排出量 ● バウンダリ内の施設燃料消費に伴う CO2 排出量 ● バウンダリ内の施設からのフレアリングに伴う CO2 排出量 ● バウンダリ内の施設からの CO2 漏洩量 ● 地表からの CO2 漏洩量 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 地表面からの漏洩量については、IPCC・CCS 特別報告書における、地表面からの漏洩割合のデフォルト値を採用
排出削減量	<p>リファレンス排出量からプロジェクト排出量及びリーケージ排出量を差し引くことにより算出。</p> <p>(全ての排出源をプロジェクトバウンダリに含めているため、リーケージ排出量は考慮しない。)</p>
モニタリング計画	<p>地表面からの漏洩割合について「IPCC のデフォルト値が改定された場合には、過去に遡って係数の修正を行う。ただし、漏洩割合が改善 (漏洩割合が小さくなるような) 改定がなされた場合には、保守的見積もるため係数の改定は行わず、現行の値を継続利用することとする。」と設定。</p>
JCM と連携した CCS 事業の促進に向けた政策の提言	<ul style="list-style-type: none"> ● 巨大な初期投資に対する支援 <ul style="list-style-type: none"> ➢ CCS 事業および CCS-EOR 事業いずれの場合でも、巨大な初期投資が前提となるため、長期間にわたるプロジェクトリスクが障害となっている。

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 当該事業を JCM の枠組みの中で行う際には、JBIC・NEXI による JCM 特別金融スキーム (JSF : JCM Special Financing Scheme) を用いて、適正に初期投資のリスクシェアができる仕組みを構築する。 ● 合同委員会によるパイロットプロジェクトへの支援 <ul style="list-style-type: none"> ➤ ステークホルダとの調整に多くの時間と費用を要することが懸念され、それが原因となってプロジェクト組成が遅延していく可能性があるため、その対策として合同委員会の場を活用する。 ➤ 登録された JCM プロジェクトについては、その早期実現を合同委員会に参加している政府関係者に確認し、許認可の取得やその他のプロジェクト推進上の支援を効率よく得られるようにする。 ➤ これにより、事業者の負担軽減につながるとともに JCM プロジェクトとして登録することのインセンティブが高まると考えられる。
--	--

(出典) 日本総合研究所 (2014) [41]をもとに作成

上記に示すとおり、大規模な初期投資に対する支援や合同委員会の場を活用したプロジェクト推進に加え、将来的には、ホスト国の社会受容性等の観点からの検討も必要であると考えられる[42]。

3.6. 参考文献

- [1] Global CCS Institute. Economic Assessment of Carbon Capture and Storage Technologies 2011 Update. 2011.
- [2] Global CCS Institute; Worley Parsons. Strategic analysis of the global status of carbon capture and storage. Report 2: Economic Assessment of Carbon Capture and Storage Technologies. 2009.
- [3] エネルギー総合工学研究所・産業技術総合研究所. 平成 20 年度～平成 24 年度成果報告書 革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト 発電から CO₂ 貯留までのトータルシステムのフィジビリティ・スタディー 発電からの CO₂ 貯留に至るトータルシステムの評価. 2013.
- [4] 地球環境産業技術研究機構 (RITE) . CCS の実現に向けた RITE の取組の現状と展望. 2013.
- [5] Yasuhiro Kato, Shinji Murai, Daigo Muraoka, Takehiko Muramatsu, Satoshi Saito. Evaluation of carbon dioxide absorption by amine based absorbent. Energy Procedia 37 (2013) 325-330.
- [6] 湯 龍龍, 横山 隆壽, 窪田 ひろみ, 下田 昭郎. “日本における CCS 付き微粉炭火力発電のライフサイクルアセスメント—CCS 導入による環境・健康リスク—” 電力中央研究所報告 (2013.3)
- [7] NETL. Cost and Performance Baseline for Fossil Energy Plants. (2010)
- [8] みずほ情報総研. 平成 18 年度京都メカニズム関連技術普及等事業「二酸化炭素回収隔離事業における京都メカニズム利用技術調査」報告書 (2007)
- [9] 板岡健之, 齋藤文, 藤井康正, 島田荘平, 鈴木達治郎, 杉山大志, 赤井誠. 二酸化炭素回収貯留技術に関するステークホルダーの考え方の国際調査. 科学技術社会論学会 2007 年度年次研究大会予稿集. 2007.
- [10] Peta Ashworth, Judith Bradbury, C.F.J. (Ynke) Feenstra, Sallie Greenberg, Gretchen Hund, Thomas Mikunda and Sarah Wade. Communication, project planning and management for carbon capture and storage projects: An international comparison(2014)
- [11] 山口聡. “高レベル放射性廃棄物最終処分施設の立地選定をめぐる問題” 国立国会図書館調査及び立法考査局資料 レファレンス (2010.2)
- [12] Olaf Corry and Hauke Riesch : Beyond ‘for or against’, Environmental NGO-evaluations of carbon capture and storage as a climate change solution, in: The Social Dynamics of Carbon Capture and Storage, Nils Markusson, Simon

- Shackley, Benjamin Evar (editors), London, Earthscan (2012).
- [13] ピーター・チェックランド, ジム・スクールズ, (妹尾他監訳). ソフトシステムズ方法論. 有斐閣, 1994, 412p, ISBN4-641-07573-5.
- [14] 岡田章. ゲーム理論. 有斐閣, 1996, 485p, ISBN978-4-641-16382.
- [15] 木嶋 恭一. ランドスケープ理論とその周辺. オペレーションズ・リサーチ, 2004.
- [16] 交渉学と合意形成, “交渉学講座 11: コンセンサス・ビルディング”
<http://www.mmatsuura.com/negotiation/lect/lecture11.html> (参照 2015-3-16)
- [17] 長澤光太郎, 宮崎俊哉, 松浦正浩. 公共政策における新しい合意形成のあり方—三菱総合研究所所報 37, 三菱総合研究所, (2000)
- [18] 環境影響評価情報支援ネットワーク, “戦略的環境アセスメント”
<http://www.env.go.jp/policy/assess/2-4strategic/> (参照 2015-3-16)
- [19] 日本工営株式会社技術本部中央研究所, “PI を促進するための定量化手法”
http://www.n-koei.co.jp/business/research-development/research_and_development_center/pdf/2107aj.pdf (参照 2015-3-16)
- [20] 猪原健弘. 合意形成学. 勁草書房, 2011, 282p, ISBN978-4-326-30196-6.
- [21] Japan NUS Co., Ltd. “Development of CCS Communications Framework for Japan (Phase 3)”, Global CCS Institute, (2014)
- [22] 生天目章. マルチエージェントと複雑系. 森北出版株式会社, 1998, 272p, ISBN4-627-82561-7.
- [23] 環境省, “協働による持続可能な地域づくりのための手法・ツール集”, 平成 20 年 3 月.
- [24] J.S.Fishkin and P.Laslett ed., “Debating Deliberative Democracy”, Blackwell Publishing. 2002.
- [25] A.Gutmann and D.Thompson, “Why deliberative democracy?”, Princeton University Press. 2004.
- [26] Wonderville. “CO2-connection”.
<http://www.wonderville.ca/asset/CO2-connection>, (accessed 2015-03-13).
- [27] ENERGY & CLIMATE CHANGE, “2050”
<http://my2050.decc.gov.uk/>, (accessed 2015-03-13).
- [28] 北海道. “遺伝子組換え作物コンセンサス会議”.
<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/shs/shokuan/gm-consensus.htm>, (参照 2015-03-13).
- [29] 北海道大学 科学技術コミュニケーション第 7 号. “小特集 World Wide Views”
<http://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/handle/2115/42645>, (参照 2015-03-16).

- [30] 慶応義塾大学 DP 研究センター, “エネルギー・環境の選択肢に関する討論型世論調査”
http://keiodp.sfc.keio.ac.jp/?page_id=243, (参照 2015-03-13)
- [31] 本間里見. “大規模エネルギー施設における景観計画プロセスに関する研究”, 早稲田大学大学院理工学研究科 博士論文審査報告書(2013.3).
- [32] Checkland PB and Scholes J : *Soft Systems Methodology in Action*. Chichester : John Wiley and Sons. 1990.
- [33] HSE. *the Health and Safety at Work etc. Act*. 1974.
- [34] J. Aarnes, M. Carpenter, T. Flach, S. Solomon, O. K. Sollie, K. Johnsen and O. Røsner. *CO2QUALSTORE Guideline for Selection and Qualification of Sites and Projects for Geological Storage of CO2*. DNV Report 2009-1425. 2010.
- [35] Bai, Y and Bai, Q, *Subsea Pipelines and Risers*, Ocean Engineering Series, Elsevier. 2005.
- [36] Oil & Gas UK, *Guidance Note on Monitoring Methods and Integrity Assurance for Unbonded Flexible Pipes*. 2010.
- [37] 内閣府経済社会総合研究所 (委託先 : 日本エネルギー経済研究所) . 総合的な経済・エネルギー・環境分析に資する技術情報の整備のための研究. 2007.
- [38] 首相官邸総合海洋政策本部. 海洋基本計画 (平成 25 年 4 月 26 日閣議決定) . 2013.
- [39] メタンハイドレート開発実施検討会 (第 24 回). “資料 6-5 環境チーム 平成 24 年度事業報告 平成 25 年度事業計画”. 経済産業省.
http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004108/pdf/024_06_05.pdf , 2013-04-05.
- [40] 二国間クレジット制度(Joint Crediting Mechanism (JCM))の最新動向. 2015.
- [41] 日本総合研究所. 平成 25 年度調査報告 地球温暖化対策技術普及等推進事業 報告書. 2014.
- [42] みずほ情報総研株式会社・産業技術総合研究所・千代田化工建設株式会社. 平成 25 年度シャトルシップによる CCS を活用した二国間クレジット制度実現可能性調査委託業務. 2014.