




## 企画調査グループ

 グループリーダー 都筑 秀明	<b>【コアメンバー】</b> サブリーダー・主席研究員 サブリーダー 主席研究員 研究管理チームリーダー 国際標準化チームリーダー・副主席研究員 副主席研究員 副主席研究員 調査役・主任研究員 主幹・主任研究員 主幹・主任研究員	野村 眞 中村 哲 高木 正人 作山 邦夫 青木 好範 出口 哲也 和泉 良人 金星 春夫 東 宏幸 清水 淳一	主幹 主幹          美澄 祐志 倉中 聡
--	---	---	---

## 企画調査グループにおける調査活動概要

### 1. IPCCにおけるAR6に向けた動向

2020年以降の温暖化対策に関する国際枠組み「パリ協定」が、2016年11月に発効した。温暖化に関する最新の科学的知見を提供する役割を担う「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」においても、パリ協定の発効を受けて、2015年から2022年までの「第6次評価サイクル」における各種報告書作成に向けた作業が加速している。

RITEは経済産業省から委託を受け、IPCC関連会合への出席と専門家派遣を通じた情報収集・分析、アウトリーチ活動の準備、総会・レビューに関する調査と報告などを実施している。これらの活動を通じて得られたIPCCにおける第6次評価報告書（AR6）に向けた動向について以下に述べる。

#### 1.1. IPCCの概要

IPCCは、人為起源による気候変化、影響、適応及び緩和方策に関し、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことを目的として、1988年に国連環境計画（UNEP）と世界気象機関（WMO）により設立された。世界の科学者が発表する論文や観測・予測データから、科学的な分析のほか、社会経済への影響、気候変動を抑える対策などについて、政府の推薦などで選ばれた世界の専門家が共同で執筆して評価報告書（AR:Assessment Report）がとりまとめられる。国際的な対策に科学的根拠を与え

る重みのある文書となるため、報告書は国際交渉に強い影響力を持つ。これまで、第5次にわたり、評価報告書がまとめられ、公表されている。

IPCCは、総会、3つの作業部会およびインベントリー・タスクフォースにより構成されている。IPCCの構成を図1に示す。3つの作業部会のうち、第1作業部会は気候システム、気候変動など科学的な根拠に関する評価を、第2作業部会は生態系、社会、経済などの各分野における影響、適応策等に関する評価を、第3作業部会は気候変動に対する対策（緩和策）に関する評価を実施する。また、IPCC総会により意思決定が行われる。評価報告書は作業部会毎に策定され、更にこれらを踏まえた統合報告書が取りまとめられる。

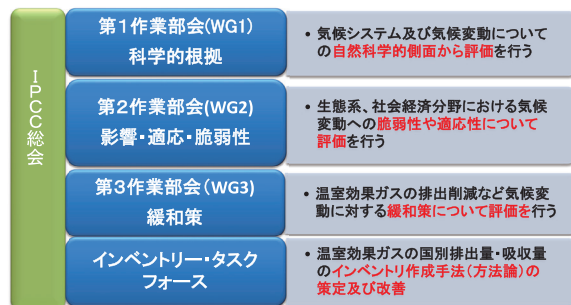


図1 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の構成

### 1.2. AR6サイクルの組織

2015年10月に、IPCC議長としてHoesung Lee氏（韓国）が、副議長としてKo Barrett氏（米国）、

Thelma Krug氏(ブラジル)、Youba Sokona氏(マリ)が選出された。また、第3作業部会の共同議長として Jim Skea氏(英国)、P.R. Shukla氏(インド)が選出された。第3作業部会の副議長は、ハンガリー、イタリア、ニュージーランドなどの国々から計7名が選出されている。今後この体制により報告書が策定されることとなる。AR6サイクルの組織概要を図2に示す。

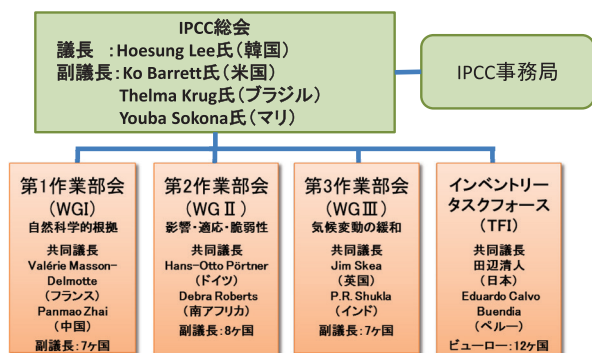


図2 第6次評価報告書サイクルの組織概要

### 1.3. AR6の策定手順

第6次評価報告書 (AR6) の策定手順を図3に示す。まず、政府や関係機関によって選定された専門家が報告書の内容についてアウトライン案を策定し、IPCC総会においてこれを承認する。これを基に、政府や関係機関が報告書の執筆者 (author) を推薦し、IPCCビューロー (IPCC議長および副議長、各作業部会の共同議長および副議長並びにタスクフォースの共同議長) が執筆者を選定する。選定に当たっては、候補者の知識、経験のほか、地域バランスなども考慮される。その後、執筆者会合を開催するなどして、執筆者が議

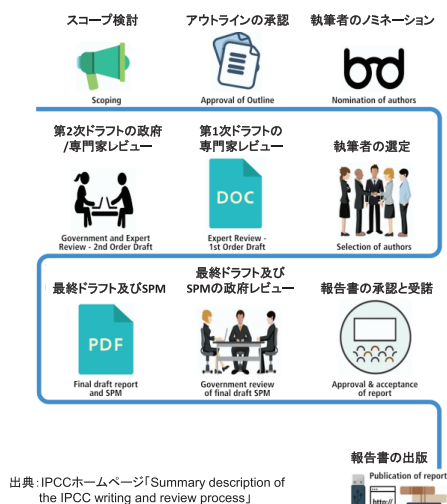


図3 第6次評価報告書の策定手順

論し、執筆し、第1次の報告書案を作成する。この報告書に対して専門家による評価 (レビュー) が行われる。次に、専門家による評価を経て執筆者が作成した第2次の報告書案に対して政府および専門家による評価が行われる。政府および専門家による評価を経て執筆者が作成した報告書および政策決定者向け要約 (SPM) の最終案は、各国政府に送付され、評価を受ける。これらの評価を経て、最終的にIPCC総会において、報告書の承認と受諾がなされる。

### 1.4. AR6WGⅢのアウトラインの概要

政府や関係機関から選出された専門家によるスコoping会合が2017年5月に開催され、アウトラインの議論が行われた。その後、2017年9月のIPCC総会において、各WGのアウトラインが承認された。WGⅢのアウトラインを図4に示す。WGⅢの共同議長である Jim Skea氏によれば、WGⅢのアウトラインの概要は以下の通りである。

まず、第1章では、新たに「カギとなる枠組みのコンセプト」として「持続可能な開発」を盛り込む。第2章から第4章では、排出傾向、排出源、排出経路についてハイレベルの評価を行う。長期の排出経路では排出と吸収のバランスを、中期の排出経路では約束草案 (NDC)、排出のピーク、低排出のための開発戦略について扱う。第5章から第11章では、各セクターに関する分析を行う。第12章では個別のセクターでは捉えられないセクター横断の事項について扱う。第13章では制度、政策を、第14章では国際協力を、第15章では投資、財政を、第16章では技術開発・移転

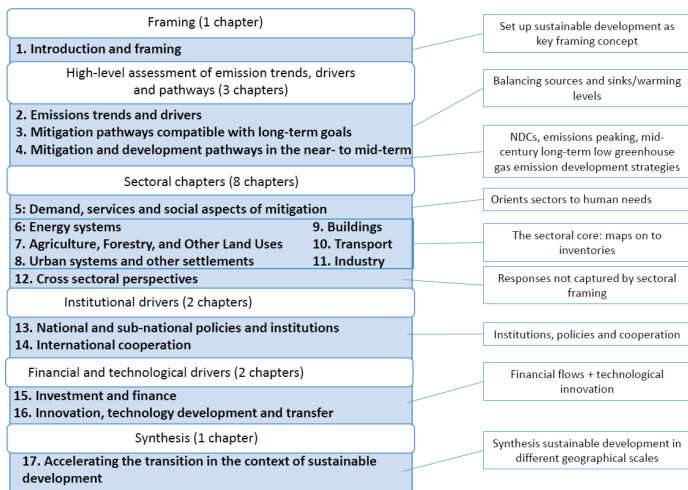


図4 第6次評価報告書のアウトライン

を扱う。最後に第17章では持続可能な開発に関するまとめを行う。

### 1.5. AR6の今後の予定

報告書の執筆者については、2017年9月から10月にかけて各国から候補者が推薦され、2018年2月に執筆者が決定された。

WGⅢの今後の予定を以下に述べる。まず、執筆者会合については、2019年4月に第1回が開催予定で、その後、第4回まで開催される予定である。2019年12月から2020年1月にかけて第1次報告書案 (FOD) の専門家レビューが、2020年6月から7月にかけて第2次報告書案 (SOD) の政府、専門家レビューが、2021年2月から3月にかけて最終報告書案 (FGD) の政府レビューが行われる予定である。そして、2021年7月にIPCC総会において報告書の受理、採択、承認される予定である。

また、WGⅠの報告書については2021年4月のIPCC総会で、WGⅡの報告書については2021年10月のIPCC総会で承認される予定である。統合報告書については2022年にIPCC総会で承認される予定である。なお、AR6サイクルの中では、ARの他に、2018年～2019年にかけて3つの特別報告書、温室効果ガスのインベントリーの手法に関する報告書が取りまとめられる予定である。

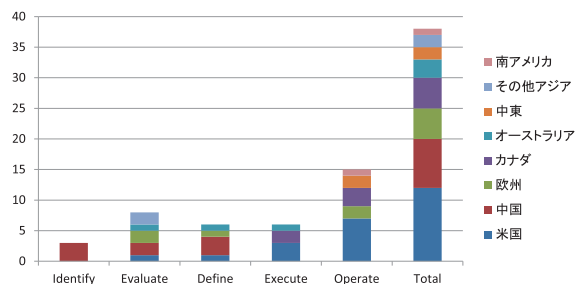
## 2. CCSの導入の現状

### 2.1. 世界におけるCCS大規模プロジェクトの現状

GCCSIの「世界のCCSの動向2017」によれば、世界の大規模プロジェクトの開発状況は、運転中のものが15件、建設中のものが6件、全体で38件となっている (図5参照)。

### 2.2. 船舶によるCO<sub>2</sub>輸送

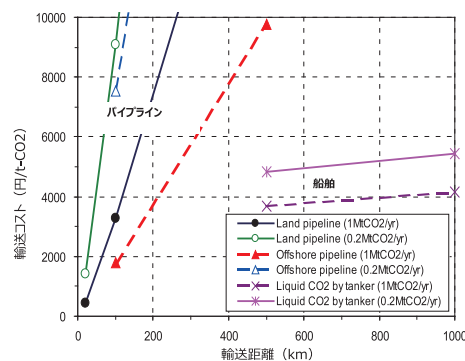
現在運転中の大規模CCSプロジェクトのCO<sub>2</sub>輸送はほとんどがパイプラインとなっている。しかしながら、貯留地点とCO<sub>2</sub>発生源との地理的關係によっては、船によるCO<sub>2</sub>輸送を選択することもあると考えられる。日本においては、貯留可能量は海域に多く存在している。また、CO<sub>2</sub>の大規模発生源は全国の沿岸域に存在していることから、CO<sub>2</sub>の船輸送も選択肢となり得る。図6に、CO<sub>2</sub>/パイプラインと液化CO<sub>2</sub>船による輸送 (100万t-CO<sub>2</sub>/年) のコスト比較を示す。パ



出典: The global Status of CCS 2017 VOLUME 2

図5 世界におけるCCS大規模プロジェクトの現状

イプライン輸送は短距離であればコストは抑えられるが、距離が増加するにつれコストが高くなる。長距離輸送では、船舶輸送がコスト効果的だが、液化設備・動力等で全体的にコスト高となる。ただし、CO<sub>2</sub>輸送コストは、単純に輸送距離のみの問題ではなく、社会受容性、土地制約、経路 (都市、河川、水深、漁場等) などの多くの要因が関連する。



※輸送 = 昇圧/液化 + 輸送 (パイプライン/船舶輸送)  
 ※船輸送: タンカー15,000 t (100万 t CO<sub>2</sub>/時) + 貯蔵出荷設備・受け入れ貯蔵設備  
 ※コストベース: 2001年 出典: CCSワークショップ2007 (RITE)

図6 CCSの輸送コスト比較

ノルウェーでは、セメント工場、アンモニアプラント、廃棄物焼却場からのCO<sub>2</sub>回収、輸送、貯留を行うフルスケールのCCSプロジェクトに関して、現在FS調査が行われている。3か所の回収プラントから回収したCO<sub>2</sub>を一か所の中間ストレージへ集め、そこから船で貯留地点まで輸送する計画となっている。各地点の配置状況を図7に示す。本プロジェクトにおいてCO<sub>2</sub>船舶輸送を選択した理由は、排出源から貯留地点近傍

までの輸送距離が800km程度あり、パイプライン輸送では費用がかかりすぎること、導入初期においては船舶輸送が柔軟で価値あるソリューションであると評価されたことである。船舶輸送の方式については、圧力、温度の違いにより、低圧方式(6~8bar、-50℃)、中圧方式(15bar、-25℃)、高圧方式(45bar、+10℃)の3つが検討されている。どの方式も可能性があるが、中圧方式が技術の成熟度が高い。また、低圧、中圧の場合は圧入に向けて圧力と温度を高めるためのエネルギーが必要になるが、高圧の場合は温度を高める必要はない。FS調査は、2016年から2017年に実施され、2018年から基本設計 (FEED:Front End Engineering and Design) が実施される予定である。



出典: Feasibility study for full-scale CCS in Norway

図7 ノルウェーにおけるfull-scale CCSプロジェクト (CO<sub>2</sub>排出源と貯留地点)

### 3. CCSのISO化の動向

国際標準化機構 (ISO) では、専門委員会 (TC265) を設立し、CCSの規格原案の作成作業が行われている。TCの下に、「回収」、「輸送」、「貯留」、「定量化と検証」、「横断的課題」、「EOR」に関する6つのワーキンググループ (WG) が設置されている。これに対する我が国の体制としては、ISO/TC265国内審議委員会と関連ワーキンググループを設置して対応している。

各WGの活動状況および進捗状況を表1に示す。各WGにおいては、国際規格 (IS)、技術報告書 (TR) 等の策定作業を行っている。

WG1では、回収技術の技術報告書 (TR27912) が2016年5月に出版された。現在、発電分野燃焼後回収技術の性能評価手法に関する国際規格 (ISO27919-1) の開発に着手し、現在最終国際規格案 (FDIS) の段階となっている。また、発電分野燃焼後回収技術の性能確保・維持の評価手続きに関する国際規格 (ISO27919-2) の開発に着手し、現在作業原案 (WD) を作成中である。

WG	標準化の内容	出版目標	出版済み
WG1 (回収)	<ul style="list-style-type: none"> <li>IS (発電分野・燃焼後回収技術性能評価)のFDIS投票準備中。ISO/FDIS27919-1</li> <li>IS (発電分野・燃焼後回収技術性能維持評価)のWD開発中。ISO/WD27919-2</li> <li>セメント分野の回収技術のTR開発準備中。</li> </ul>	IS27919-1: 2018 IS27919-2: 2020	ISO/TR 27912(回収技術): 2016
WG2 (輸送)	<ul style="list-style-type: none"> <li>パイプライン流量保障、その他課題解決のためのTR開発の準備中。</li> <li>今後船舶輸送に関する検討を開始する。</li> </ul>	-	ISO 27913(パイプライン輸送): 2016
WG3 (貯留)	<ul style="list-style-type: none"> <li>圧入オペレーションと圧入設備及び海域貯留のTR開発準備中。</li> </ul>	-	ISO 27914(貯留): 2017
WG4 (Q&V)	<ul style="list-style-type: none"> <li>IS (定量化と検証分野)のWD開発中。ISO/WD27920</li> </ul>	IS:2019	ISO/TR 27915(Q&V): 2017
WG5 (クロスカッティング)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lifecycle risk managementに関する出版準備中。ISO/TR 27918</li> <li>Lifecycle risk managementのTS開発準備中。</li> <li>TR (CO<sub>2</sub> stream composition)のWD開発中。ISO/TR27918</li> </ul>	TR:2019	ISO 27917(ボキャブ): 2017
WG6 (CO <sub>2</sub> -EOR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>IS (CO<sub>2</sub>-EOR)のDIS投票中。ISO/CD27916</li> </ul>	IS:2018	

表1 各WGの最新の活動状況

WG2では、パイプライン輸送に関する国際規格が2016年の11月に出版された。現在、パイプライン輸送におけるフローアシュアランスを含めた課題解決のための技術報告書作成の準備にとりかかるとともに、船舶輸送に関する国際規格について策定するか議論されている。

WG3では、陸域、海域の貯留を対象にした地中貯留に関する国際規格 (ISO27914) が2017年10月に出版された。2018年より、圧入オペレーション・圧入設備に関する技術報告書の開発に着手する。2020年完成を目途としている。

WG4では、定量化と検証分野の情報を集めた技術報告書 (TR27915) が2017年8月に出版された。これを踏まえた定量化と検証に関する国際規格の開発に着手し、2017年4月に作業原案 (WD) を作成した。2018年2月の委員会原案 (CD) 完成を目指している。

WG5では、CCSのクロスカッティング用語に関する国際規格 (ISO27917) について、2017年9月に最終国際規格原案 (FDIS) が承認され、12月に出版された。ライフサイクルリスクマネジメントに関する技術報告書 (TR27918) が2016年11月に承認され、現在出版準備中である。また、CO<sub>2</sub>流の組成に関する技術報告書 (TR27921) の開発に着手し、現在作業原案 (WD) を作成中である。

WG6では、CO<sub>2</sub>-EORに関する国際規格 (ISO27916) が開発中である。現在国際規格原案 (DIS) の段階となっている。

以上の通り、関連の国際規格、技術報告書の開発が進むなど、CCSのISO化が着実に進んでいる。

#### 4. 長期的な視野で大幅なCO<sub>2</sub>の排出削減を担う対策技術の動向

RITEにおいては、長期的な視野で大幅なCO<sub>2</sub>の排出削減を担う対策技術を抽出し、その概要、CO<sub>2</sub>削減ポテンシャル、導入の課題について調査した。図8に抽出した技術の一覧を示す。その中から主な技術について、概要を以下に述べる。

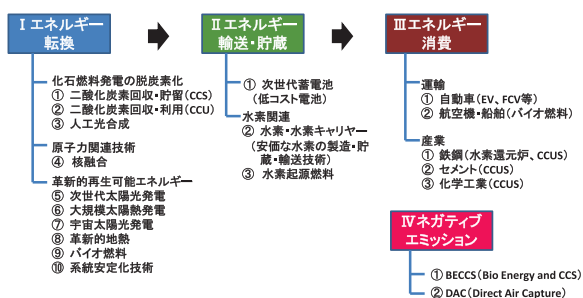


図8 長期的な視野で大幅なCO<sub>2</sub>の排出削減を担う対策技術

#### 二酸化炭素回収・貯留 (CCS)

二酸化炭素回収・貯留 (CCS) は、大規模発生源から大気中へ排出されるCO<sub>2</sub>を分離・回収し、輸送、貯留する技術である。CCS付きの化石燃料発電はIPCCのAR5でも重要な技術と位置付けられ<sup>7)</sup>、再生可能エネルギーの大量導入時のグリッド調整電源としても重要である。CO<sub>2</sub>削減ポテンシャルについて、世界全体での貯留可能量は少なくとも2兆トンと試算されており、世界の総排出量の約100年分に相当する<sup>1)</sup>。導入の課題としては、コスト低減、貯留ポテンシャルおよび貯留性能の不確実性等による事業リスク、CCS事業の枠組みの整備、パブリックアクセプタンス等が挙げられる。

#### 二酸化炭素回収・利用 (CCU)

二酸化炭素回収・利用 (CCU) は、大規模排出源の排ガス等からCO<sub>2</sub>を分離・回収し、有効利用する技術である。現時点でも尿素製造やEORなどで実用化されている。2030年のCO<sub>2</sub>削減ポテンシャルとしては、骨材製造において3~36億トン、燃料製造において7,000万~21億トン、コンクリート向けとして6~14億トンと推測されている<sup>2)</sup>。導入の課題としては、現状と同水準の製造コストを実現する量産技術や大量利用される有価物を高効率に合成できる革新的技術の開発が挙げられる。また、利用の過程で最終的にCO<sub>2</sub>が排出される場合もあるため、削減可能なCO<sub>2</sub>排出量のLCA評価が必要である。

#### 核融合

核融合は、高温・高密度の核融合燃料を閉じ込めて核融合反応を引き起こし、発生した高速中性子のエネルギーを取り出して発電を行う技術である。核融合のCO<sub>2</sub>削減ポテンシャルとしては、2100年の世界全体で発電部門の45%程度を占めるポテンシャルを持つと評価されている<sup>3)</sup>。今後、技術確立のためには、炉構成機器の照射試験と原型炉における発電実証が必要である。また、材料照射試験やブランケット機器試験も重要な課題である。

#### 宇宙太陽光発電

宇宙太陽光発電は、宇宙空間に巨大な太陽電池とマイクロ波送電アンテナを配置し、マイクロ波に変換して地球上に設置した受電アンテナへ送電、地上で電力に再変換し、エネルギー源として用いる技術である。天候や昼夜を問わない安定したゼロエミッション電源として期待できる。CO<sub>2</sub>削減ポテンシャルは、静止軌道にいくつの宇宙太陽衛星を置くかで決まるので、相当のポテンシャルがあると考えられる。導入の課題としては、宇宙への輸送費の低減、長距離無線エネルギー伝送技術の実現、マイクロ波等の安全性の確保、送受電設備の設置場所の確保が挙げられる。

#### バイオ燃料

バイオ燃料は、植物等を変換して燃料化する技術である。燃料を使用した際にCO<sub>2</sub>が発生するが、植物に含まれる炭素は大気中のCO<sub>2</sub>を固定化したものなので、CO<sub>2</sub>排出量は実質ゼロ (カーボンニュートラル) と評価される。CO<sub>2</sub>削減ポテンシャルとしては、AR5では、2050年の全一次エネルギーの35%、液体燃料の70%がバイオエネルギー由来となっている<sup>7)</sup>。ただし、日本では、現状利用可能なバイオマスを全て利用しても日本全体の約3%程度のCO<sub>2</sub>排出量しかカバーできないと試算されている<sup>4)</sup>。導入の課題としては、天然貯存量 (供給量) の限界、他の土地利用との競合問題、植物栽培のための水源確保、人工肥料投入による亜酸化窒素 (N<sub>2</sub>O) の発生可能性が挙げられる。

#### 次世代電池

次世代蓄電池は、「金属-空気電池」、「リチウム硫黄電池」、「金属負極電池」等があるが、いずれも研究段階である。コストの目標として、自動車用のコストを約5千円/kWhなどとなっているが<sup>5)</sup>、コスト低減が大きな課題である。また、リチウムイオン電池の性能限界を超える高い性能を達成し得る可能性のある革

新電池の開発も導入の課題として挙げられる。

### 水素・水素キャリアー

現在検討されている水素キャリアーは、①液体水素、②有機ハイドライド、③アンモニアの3種がある。コストの目標としては、2020年までにガソリン等価で60円/m<sup>3</sup>、2030年までにLNG発電等価の水素発電向けで40円/m<sup>3</sup>となっている<sup>6)</sup>。導入の課題としては、コスト低減、国内水素インフラの整備、水素の用途分野の拡大、水素利用機器の開発、法規制整備などが挙げられる。

### 水素起源燃料

水素起源燃料は、既存エネルギー供給インフラ使用を前提とした、再生可能エネルギー由来の水素を用いた燃料を指す。具体的には、メタン、アンモニア、メタノール等である。製造までのコストは水素直接利用に比べ大きくなるが、輸送・供給コストは既存インフラが使用できる分、小さいと考えられる。バイオ発電から回収したCO<sub>2</sub>などのカーボンニュートラルのCO<sub>2</sub>を利用する場合には、ゼロエミッションに貢献するが、それ以外の場合には、削減可能なCO<sub>2</sub>排出量のLCA評価をすることが必要である。

### BECCS

BECCSは、Bio Energy with Carbon dioxide Capture & Storageの略で、バイオマス発電やバイオ燃料製造プロセスに二酸化炭素回収・貯留（CCS）を組み合わせた技術である。バイオマスは大気中のCO<sub>2</sub>を取り込んでできているため、正味のネガティブ・エミッションをもたらすと考えられている。IPCCでは、2°Cシナリオの多くがBECCSなどのネガティブ・エミッション技術を世紀後半に導入している。世界のBECCSのCO<sub>2</sub>削減ポテンシャルは、2050年時点で3~20GtCO<sub>2</sub>/年の範囲と評価されている<sup>7)</sup>。導入の課題としては、土地の確保、食料との競合、生態系環境への影響、栄養素要求、水の使用量の増加による制限が挙げられる。また、CO<sub>2</sub>の貯留に関する課題としては、CCSと同様に、技術、コスト、社会制度、社会受容問題等も課題として挙げられる。

### DAC

DACは、Direct Air Capture of CO<sub>2</sub> from ambient airの略で、大気中からの化学反応等を利用してCO<sub>2</sub>を回収し、地中等に貯留する技術である。大気中のCO<sub>2</sub>を吸収することはバイオマスと同様だが、成長に水が必要なため降水量の小さな地域には適用で

きないバイオマスと異なり、DACの場合にはその制約は無い。CO<sub>2</sub>削減ポテンシャルは不明だが、貯留を除いてもコストが\$400/tCO<sub>2</sub>~\$1,000/tCO<sub>2</sub>と非常に高く試算されている<sup>8)</sup>。導入の課題としては、高コストで生産性が低いこと、土地の確保、かなりのエネルギーが必要であることが挙げられる。CO<sub>2</sub>の貯留に関する課題はCCSと同様である。

## 5. まとめ

IPCCのAR6サイクルが開始している。各WGのアウトラインが承認され、各国から報告書の執筆者候補が推薦され、2018年2月に執筆者が決定された。WGⅢについては、その後、執筆者会合が開催され、第1次報告書案（FOD）、第2次報告書案（SOD）及び最終報告書案（FGD）のレビューが行われ、2021年7月に報告書が取りまとめられる予定である。

CCSにおけるCO<sub>2</sub>輸送について、貯留地点とCO<sub>2</sub>発生源との地理的關係によっては、船によるCO<sub>2</sub>輸送を選択することも選択肢の一つである。現在、ノルウェーにおいて、3か所の回収プラントから回収したCO<sub>2</sub>を一か所の中間ストレージへ集め、そこから船で貯留地点まで輸送するプロジェクトの調査が行われている。

CCSのISO化についても、関連の国際規格、技術報告書の開発が進むなど、着実に進んでいる。

RITEにおいては、長期的な視野で大幅なCO<sub>2</sub>の排出削減を担う対策技術を抽出し、その概要、CO<sub>2</sub>削減ポテンシャル、導入の課題について調査した。

### 参考文献

- 1) IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage (2005)
- 2) ICEF Roadmap 2016
- 3) RITEシステム研究グループ
- 4) NEDO 再生可能エネルギー技術白書（第二版）4章 2014
- 5) NEDO 二次電池技術開発ロードマップ2013
- 6) NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ2010
- 7) IPCC第5次評価報告書
- 8) National Research Council, The National Academies Press (2015)