

【産業競争力懇談会 2020年度 研究会 最終報告】

【カーボンニュートラル研究会】

2021年2月12日

産業競争力懇談会 **COCN**

【エクゼクティブサマリ】

1. 本研究会の基本的な考え方

2020年10月、日本は「2050年カーボンニュートラル」を宣言した。同年末12月25日には政府により「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」がとりまとめられ、これから日本の総力をあげての取り組みが開始される。CO2Nでは2018年より約2年をかけて、産業界が取り組むべきエネルギーテーマについて、継続的な討議を行ってきた。そして2020年度より、カーボンニュートラルに向けての主要課題である「革新的洋上風力発電システム」と「浮体式原子力発電研究会」の2つの推進テーマとともに、産業界としてすべての可能性を検討する目的で、林業再生・木質バイオマス研究会、中小水力・揚水発電研究会、DAC (Direct Air Capture、大気中CO₂の回収)研究会の3つの研究会からなる「カーボンニュートラル研究会」を立ち上げた。

カーボンニュートラル研究会は、革新的洋上風力発電と浮体式原子力発電とともに、会員企業・実行委員会メンバーの討議の中から選定された、いわばCO2Nのトップダウンテーマともいえるべきものである。カーボンニュートラル研究会では、合同活動フェーズでの有識者ヒアリングを通じて、各研究会テーマの現状と課題をオープンかつ俯瞰的に把握した後、個別活動フェーズで各テーマの論点を深掘りし産業界視点で整理、取り組み課題の洗い出しを行う。課題の洗い出しの結果、産業界として自発的に取り組むべきテーマが見出されれば、次年度以降のCO2N推進テーマプロジェクトとしての取り組みを検討する。

2. 検討の視点と範囲

(1) 各研究会の現状認識

【林業再生・木質バイオマス研究会】

カーボンニュートラルで安定なエネルギー源として、林業のエコシステムを構築することは、森林国家である日本にとっての重要課題である。

【中小水力・揚水発電研究会】

分散電源あるいは変動再エネの調整用電源として期待されているカーボンニュートラルな水力発電について、事業性の観点からの俯瞰的かつ多面的な検討は喫緊の課題となっている。

【DAC (Direct Air Capture、大気中CO₂の回収) 研究会】

カーボンニュートラルを目指してDACの国家的な取り組みが開始された中で、産業界視点での技術的フィジビリティの検討は喫緊の課題となっている。

(2) 各研究会の検討内容

【林業再生・木質バイオマス研究会】

技術的な側面から森林資源を効率的に木質バイオマス化しエネルギーとして活用するプロセスを検討し、高樹齢森林の更新、適切な間伐の促進などによる炭素固定能力の向上を目指す。

【中小水力・揚水発電研究会】

分散電源あるいは変動再エネの調整用のカーボンニュートラル電源として、また防災・減災の視点で理解を深め、事業性と産業競争力に資する俯瞰的かつ多面的な検討を行う。

【DAC (Direct Air Capture、大気中CO₂の回収) 研究会】

ムーンショットでの基礎研究～要素技術研究の段階から、技術的フィジビリティを産業界視点で見えておき、研究開発の確度を上げるとともに、将来の事業化を目指してのビジネスモデルやエンジニアリング課題の整理を行う。

3. 次年度の活動に向けての方向性

カーボンニュートラル研究会は、2020年9月10日にキックオフとして第1回の合同フォーラムを開催して以来、短い期間ではあったが、2回の合同フォーラムと個別研究会での活動を通じて、3つの研究会での論点と取り組み課題を以下のように整理することができた。

【林業再生・木質バイオマス研究会】

- (1) 「エネルギーの森」を実現する育種、苗木の生産から伐採にいたる森林サイクルの構築
- (2) 輸入木質バイオマス原料の国産化にむけた木材燃料化の合理化、規格化
- (3) 都市の木質化と木材加工（製材、CLT*化）技術の推進

* CLT : Cross Laminated Timber、直交集成材

【中小水力・揚水発電研究会】

- (1) ΔkW 価値の重要性
- (2) 系統安定化への寄与
- (3) 最新技術による機器・システムの高度化
- (4) 防災・減災とのシステム連携

【DAC (Direct Air Capture、大気中CO₂の回収) 研究会】

- (1) ネガティブエミッション技術の可能性の探索と精査
- (2) エンジニアリング課題の整理
 - 様々なプロセス方式（液体・固体吸収剤、膜分離等）の優位性と理論限界の明確化
 - 具体的なターゲットを想定したプロジェクト化
- (3) 事業化視点での課題の整理
 - 事業化を国内で支援する公的な制度（税制、カーボンプライシング等）および規格・標準化（CO₂回収量把握法等）の検討と働きかけ
 - 将来的に事業になり得る社会モデルの提案
 - 海外との連携（太陽光発電利用として中東砂漠地帯等）

多くの参加メンバーが必ずしもエネルギーテーマを専門としない中で、主に合同フォーラムの有識者ヒアリングと総合討議を通じて、産業界が関与すべき分野を特定しつつ論点を整理し、取り組み課題を洗い出した。各研究会で提案された取り組み課題の中には、専門家にはない新鮮な切り口もあり、カーボンニュートラル研究会活動の大きな成果と考える。

各研究会が取りまとめた上記の論点と取り組み課題の中から、的を絞って議論を深め、次年度のCO₂N推進テーマにつなげることを目指して、引き続き検討していく。

【目次】

はじめに	1
研究会メンバー	2
1. カーボンニュートラル研究会の背景と目標	4
1-1. 研究会活動に至る経緯	
1-2. 研究会を構成する3つ研究会	
1-3. 研究会の出口と目標	
2. カーボンニュートラル研究会・合同活動フェーズ	10
2-1. 第1回合同フォーラム	
2-2. 第2回合同フォーラム	
3. カーボンニュートラル研究会・個別活動フェーズ	14
3-1. 林業再生・木質バイオマス研究会	
3-2. 中小水力・揚水発電研究会	
3-3. DAC (Direct Air Capture、大気中CO ₂ の回収) 研究会	
4. 次年度の活動へ向けての方向性	22
DAC研究会補足資料	23
引用資料	28

【はじめに】

地球温暖化によりもたらされる気候変動危機への対応は、SDGsの達成に向けての最重要の取組みである。気候変動による異常気象、生態系や環境の破壊は、甚大な自然災害に加えて様々な疾病・感染症等を引き起こし、人々の暮らしと命に重大な危機を及ぼしている。世界規模での温暖化対策が急務であり、人為起源CO₂の排出量を実質ゼロにする「カーボンニュートラル」は、欧州をはじめとして世界の潮流になりつつある。我が国政府でも「2050年カーボンニュートラル」を宣言し、これから日本の総力をあげての取組みが開始される。

政府の「2050年カーボンニュートラル」は、日本の針路をはっきりと示した。産業界も不退転の決意でこれに呼応し、新しい環境・エネルギー対応技術の開発に注力し新ビジネスを立ち上げ、課題解決とともに価値創出や雇用創出等につなげていく。

カーボンニュートラルの実現は、これまでの社会とは異なる「脱炭素社会」の構築を意味しており、社会構造の大きな変化に伴い産業構造も非連続に変化する。「脱炭素社会」による産業構造の新陳代謝は、産業界にとっての新たな挑戦である。その実現の鍵となるのは、次世代型太陽電池、カーボンリサイクルをはじめとした、革新的なイノベーションである。「2050年カーボンニュートラル」目指して、今後実用化・社会実装を見据えた研究開発が加速的に進められていく。

2050年を目指した長期的なテーマに、イノベーションの主体である産業界が自発的に取り組むためにも、産業界の視点で技術的なフィジビリティを中心に、課題を俯瞰的に把握し具体的な取り組みを検討していく必要がある。CO₂CNでは2018年より約2年をかけて、産業界が取り組むべきエネルギーテーマについて継続的な討議を行ってきた。本カーボンニュートラル研究会の3つのテーマ、林業再生・木質バイオマス、中小水力・揚水発電、DAC（Direct Air Capture、大気中CO₂の回収）は、その討議の中での効果と重要性の観点から選定した。これまでの会員企業等からのボトムアップのテーマではなく、重要性の観点からの、いわばCO₂CNのトップダウンテーマともいえるべきものである。

カーボンニュートラル研究会は、合同活動フェーズにおいて、ミニフォーラム形式での有識者ヒアリングを通じて、各研究会テーマの現状と課題をオープンかつ俯瞰的に把握した後、個別活動フェーズで各テーマの論点を深掘りし産業界視点で整理、取り組み課題の洗い出しを行う。課題の洗い出しの結果、産業界として自発的に取り組むべきテーマが見出されれば、次年度以降のCO₂CN推進テーマプロジェクトとしての取り組みを検討する。

カーボンニュートラル・脱炭素は、短期的には産業への制約であるが、長期的には巨大なビジネスチャンス、変化への機会でもある。日本の産業競争力強化に大きく貢献するこの取り組みを、本研究会を通して加速的に進めていく所存である。

【研究会メンバー】

・推進テーマリーダー

COCN 実行委員 五十嵐 仁一（ENEOS 総研株式会社、合同フェーズ総括）
COCN 実行委員 久保 祐一（第一三共株式会社）
COCN 実行委員 水落 隆司（三菱電機株式会社）

・メンバー機関：

ENEOS 株式会社
ENEOS 総研株式会社
鹿島建設株式会社
キャノン株式会社
株式会社小松製作所
住友化学株式会社
株式会社地球快適化インスティテュート
株式会社東芝
東芝エネルギーシステムズ株式会社
トヨタ自動車株式会社
日本電気株式会社
株式会社日立製作所
日立三菱水力株式会社
株式会社本田技術研究所
三菱ケミカル株式会社
株式会社三菱総合研究所
三菱電機株式会社
国立研究開発法人産業技術総合研究所
国立研究開発法人理化学研究所
株式会社理研鼎業

・オブザーバー機関：

かたばみ興業株式会社
一般財団法人エネルギー総合工学研究所
国立研究開発法人科学技術振興機構
京都府公立大学法人京都府立大学
一般財団法人新エネルギー財団
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
公益財団法人地球環境産業技術研究機構

・COCN 実行委員：

森山 善範（鹿島建設株式会社）
高村 藤寿（株式会社小松製作所）

- ・ COCN 企画小委員 : 金枝上 敦史 (三菱電機株式会社)
中山 慶祐 (ENEOS 株式会社)
- ・ COCN 事務局長 : 中塚 隆雄
- ・ COCN 副事務局長 : 佐藤 桂樹 (トヨタ自動車株式会社)

1. カーボンニュートラル研究会の背景と目標

1-1. 研究会活動に至る経緯

2020年10月、日本は「2050年カーボンニュートラル」を宣言した。以下は昨年末2020年12月25日に政府により提示されたグリーン成長戦略[1]の概要である。

「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」

- 2020年10月、日本は、「2050年カーボンニュートラル」を宣言した。
- 温暖化への対応を、経済成長の制約やコストとする時代は終わり、国際的にも、成長の機会と捉える時代に突入。
 - 従来の発想を転換し、積極的に対策を行うことが、産業構造や社会経済の変革をもたらし、次なる大きな成長に繋がっていく。こうした「経済と環境の好循環」を作っていく産業政策 = グリーン成長戦略
- 「発想の転換」、「変革」といった言葉を並べるのは簡単だが、実行するのは、並大抵の努力ではできない。
 - 産業界には、これまでのビジネスモデルや戦略を根本的に変えていく必要がある企業が数多く存在。
 - 新しい時代をリードしていくチャンスの中、大胆な投資をし、イノベーションを起こすといった民間企業の前向きな挑戦を、全力で応援 = 政府の役割
- 国として、可能な限り具体的な見通しを示し、高い目標を掲げて、民間企業が挑戦しやすい環境を作る必要。
 - 産業政策の観点から、成長が期待される分野・産業を見いだすためにも、前提としてまずは、2050年カーボンニュートラルを実現するためのエネルギー政策及びエネルギー需給の見通しを、議論を深めて行くに当たっての参考値として示すことが必要。
 - こうして導き出された成長が期待される産業（14分野）において、高い目標を設定し、あらゆる政策を総動員。
- 電力部門の脱炭素化は大前提
 - 再エネ ……最大限導入。系統整備、コスト低減、周辺環境との調和、蓄電池活用。
 - 洋上風力・蓄電池産業を成長分野に
 - 水素発電 …… 選択肢として最大限追求。供給量・需要量の拡大、インフラ整備、コスト低減。
 - 水素産業を創出
 - 火力+CO2回収 …… 選択肢として最大限追求。技術確立、適地開発、コスト低減。
 - 火力は必要最小限、使わざるを得ない（特にアジア）
 - カーボンリサイクル・燃料アンモニア産業の創出
 - 原子力 …… 確立した技術。安全性向上、再稼働、次世代炉。
 - 可能な限り依存度は低減しつつも、引き続き最大限活用
 - 安全性に優れた次世代炉の開発

【CO2の部門別排出割合】



- 電力部門以外は、「**電化**」が中心。熱需要には、「**水素化**」、「**CO2回収**」で対応
 - **電力需要は増加** → **省エネ関連産業**を成長分野に

産業 … **水素還元製鉄**など製造プロセスの変革
 運輸 … **電動化**、バイオ燃料、水素燃料
 業務・家庭 … **電化**、**水素化**、**蓄電池**活用

- **水素産業**、**自動車・蓄電池産業**、**運輸関連産業**、**住宅産業**を成長分野に

- 蓄電 … **カーボンニュートラルは電化社会**
 - グリーン成長戦略を支えるのは、**強靱なデジタルインフラ**＝「**車の両輪**」
 - デジタルインフラの強化 → **半導体・情報通信産業**を成長分野に

電力 … スマートグリッド（系統運用）、太陽光・風力の需給調整、インフラの保守・点検等
 輸送 … 自動運行（車、ドローン、航空機、鉄道）
 工場 … 製造自動化（FA、ロボット等）
 業務・家庭 … スマートハウス（再エネ＋蓄電）、サービスロボット等

- 全ての分野において、技術開発から、**社会実装** + 量産投資による**コスト低減**へ
- 機械的な試算によると、この戦略により、**2030年で年額90兆円、2050年で年額190兆円程度の経済効果**が見込まれる。

グリーン成長戦略では、「国として、可能な限り具体的な見通しを示し、高い目標を掲げて、民間企業が挑戦しやすい環境を作ることが必要である」として、2050年カーボンニュートラルを実現するためのエネルギー政策及びエネルギー需給の絵姿を、参考値として示している（図1-1）。

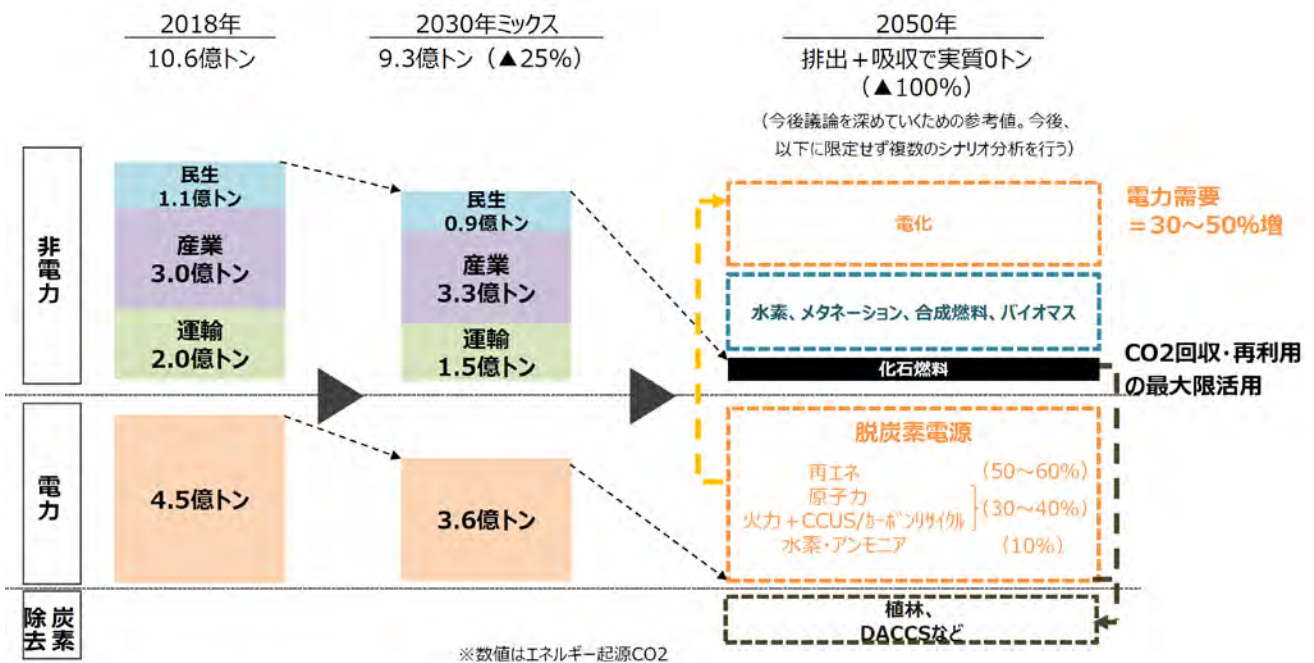


図1-1 2050年カーボンニュートラル実現の絵姿

グリーン成長戦略は、こうして導き出された成長が期待される 14 分野の産業において、高い目標を設定し、あらゆる政策を総動員する。

2020 年 12 月のグリーン成長戦略に先立ち、2020 年 1 月、政府により「革新的環境イノベーション戦略」が策定されている[2]。カーボンニュートラルを可能とする革新的技術の確立のために、重要な技術領域として①非化石エネルギー（電力供給）、②エネルギー・ネットワーク、③水素、④カーボンリサイクル（CCUS）、⑤ゼロエミ農林水産業の全 5 分野について、温室効果ガス削減量が大きく、日本の技術力によって大きな貢献が可能な 39 のテーマが設定された。本戦略では革新的技術を 2050 年に確立することを目指し、要素技術開発から実用化・実証開発までの、具体的なシナリオとアクションが示されている。

2020年7月には、革新的環境イノベーション戦略の着実な実行に向けて、「グリーイノベーション戦略推進会議」が設置され、集中的な検討が開始された。さらに2020年10月の「2050年カーボンニュートラル宣言」を受け、カーボンニュートラルに向けての検討内容が「2050年の革新的技術の確立を目指す」から「2050年の社会実装に向けて検討を加速する」に前倒しされた。

「2050年カーボンニュートラルの実現」を目指した長期的なテーマに、イノベーションの主体である産業界が自発的に取組むためにも、産業界の視点で、技術的なフィジビリティを中心に、課題を俯瞰的に把握し具体的な取り組みを検討していく必要がある。

COCNでは、「脱炭素化」の方向性をはじめ政府が示した「第5次エネルギー基本計画（2018年7月）」に呼応して、2018年7月に「2050年に向けたエネルギー分野の技術的課題とブレークスルー」を提言した[3]。

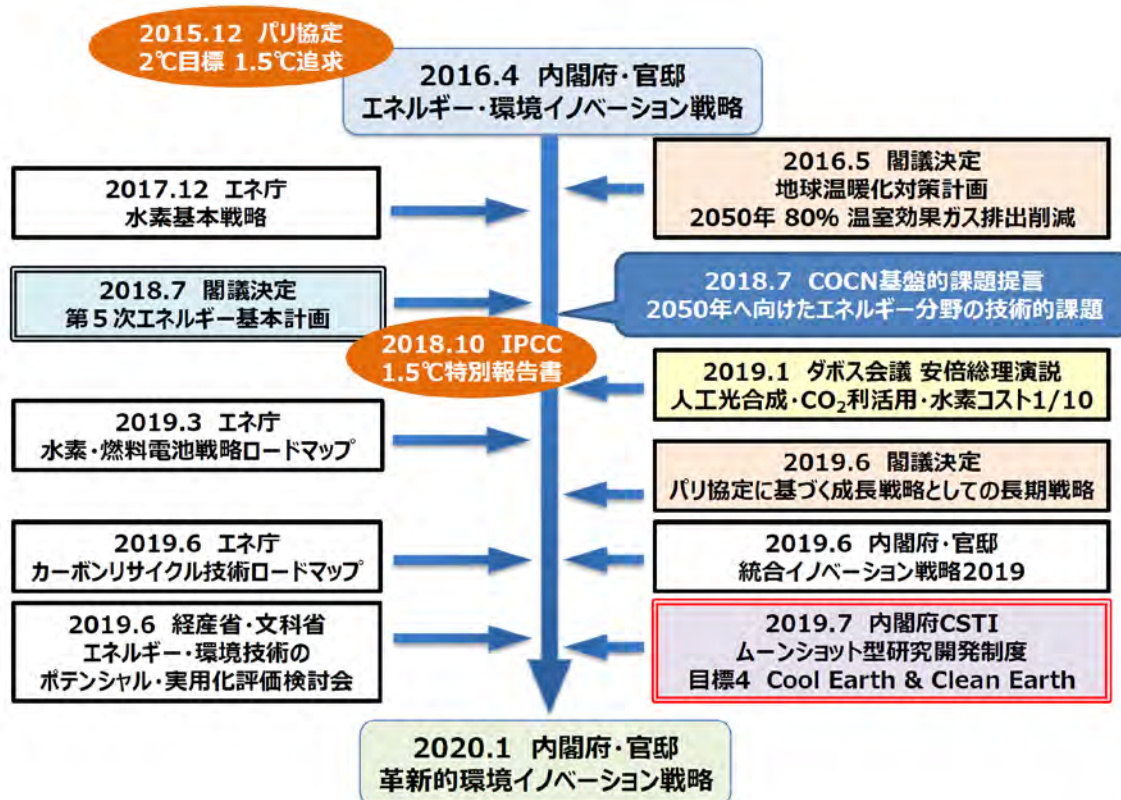


図 1-2 革新的環境イノベーション戦略への道程と COCN エネルギー分野提言の位置付け

図1-2に、本提言の位置付けを、2015年12月のパリ協定を契機に2016年4月に策定された「エネルギー・環境イノベーション戦略（NESTI2050）」から昨年1月の「革新的環境イノベーション戦略」に至るまでの、政府のエネルギー・環境関連の取り組みとともに示す。2018年10月にIPCC総会において採択された「1.5°C特別報告書[4]」（地球温暖化を1.5°Cに抑える排出経路では、人為起源CO₂排出量が2050年前後に正味ゼロ（＝カーボンニュートラル）に達するとの予測）以来、脱炭素化の世界の潮流に合わせるべく、政府の取り組みが加速していることが見て取れる。

COCN提言「2050年に向けたエネルギー分野の技術的課題とブレークスルー」では、脱炭素化に向けた第5次エネルギー基本計画の推進を強く支持した上で、2050年を見据えた「持続可能なエネルギーシステム」に向け、技術的なブレークスルーが特に必要な6分野を、その重要性の順に提示している（図1-3）。さらにこれら6分野の技術的ブレークスルーを産学官によって実現するため、基礎的な研究から20～30年後の実装までを、「科学的レビューメカニズム」に基づいてステージゲートの運営できる、継続的な大型の国家プログラムを立ち上げるべきであると提言した。

「2050年に向けたエネルギー分野の技術的課題とブレークスルー」

脱炭素化に向けた第5次エネルギー基本計画の推進を強く支持した上で、2050年を見据えた「持続可能なエネルギーシステム」に向け「技術的なブレークスルー」が特に必要な6分野を提示



1) 再生可能エネルギー

- ① 変動電源の技術とコストの課題
- ② 二次電池のブレークスルー
- ③ 火力発電の高効率化と燃料の多様化



2) 原子力エネルギー

- ① 中小型炉と次世代炉の開発
- ② バックエンドの課題解決
- ③ 地質・地盤の科学的知見の確立
- ④ 原子力人材の育成



3) 水素システム

- ① 多様な用途開発
- ② 水素のコスト課題
- ③ 地域特性に合わせた水素システム
- ④ 原子力人材の育成



4) CCUS (CO₂ Capture, Utilization and Storage)
分離・回収したCO₂と水の光分解により得た水素との合成によるCO₂の資源化



5) 高度システム化と個別技術の深耕による最適インフラ構築
高効率エネルギーネットワーク



6) 産業部門における省エネルギー技術

図1-3 COCN提言「2050年に向けたエネルギー分野の技術的課題とブレークスルー」

2018年7月のエネルギー分野の提言以来、COCNでは会員企業とのミニフォーラム活動等を通じて、エネルギー分野についての具体的な取り組みテーマを検討してきた。特に「革新的環境イノベーション戦略」が策定された2020年1月より、実行委員会での推進テーマ発掘活動を加速した。2020年3月にはミニフォーラムを開催し、「電力」「鉄鋼」「化学」の3分野の脱炭素に関わる取り組みについて、東京電力HD、日鉄総研、地球快適化インスティテュート（三菱ケミカルHD）からの講演をもとに、会員企業・実行委員会メンバーとラウンドテーブル形式で総合討議を実施した。総合討議の主な論点を以下に示す。

- ・原子力を除けば電力分野では 2050 年 80%減に届く可能性があるのは日本では洋上風力しかない。洋上風力の日本の大きな問題は水深および台風に対する強度保持に起因する高コスト。
- ・80%削減に向けての電力脱炭素化は、洋上風力を最大ケースだけでは無理。ガス火力への水素やアンモニアの混焼、さらには専焼も視野に入るが、原子力の活用が必要。
- ・鉄鋼分野も化学分野もその他の産業も、置かれている状況は同じ。脱炭素電力を出来るだけ使い、カーボンを使いながら CCS・CCU をするか、水素を使うかである。
- ・DAC (Direct Air Capture、大気中 CO₂の回収) と一部の人工光合成で約 20%削減、バイオ由来、森林吸収を含めて約 20%削減、全体で 80%削減にもっていかないといけない。

この後の実行委員会での集中的な討議を経て、2020 年 6 月に、2020 年度 COCN 推進テーマとして、林業再生・木質バイオマス研究会、中小水力・揚水発電研究会、DAC 研究会の 3 つの研究会からなる「カーボンニュートラル研究会」を立ち上げた。会員企業からの自発的な提案テーマとは異なり、実行委員会による発案テーマであり、各研究会のリーダーはいずれも実行委員が務めている。

なお主要な論点であった洋上風力と原子力に関しては、同様に今年度より、「革新的洋上風力発電システム」と「浮体式原子力発電研究会」の 2 つの推進テーマが活動している。

1-2. 研究会を構成する3つ研究会

本カーボンニュートラル研究会は、「革新的環境イノベーション戦略」で示されたシナリオ・アクションを踏まえつつ、また産業界が深掘りすべき重要課題として、テーマ発掘活動で選定した以下の3つの研究会から構成する。

(1) 林業再生・木質バイオマス研究会

カーボンニュートラルで安定なエネルギー源として、林業のエコシステムを構築することは、森林国家である日本にとっての重要課題

(2) 中小水力・揚水発電研究会

分散電源あるいは変動再エネの調整用電源として期待されているカーボンニュートラルな水力発電について、事業性の観点からの俯瞰的かつ多面的な検討は喫緊の課題

(3) DAC (Direct Air Capture、大気中CO₂の回収) 研究会

カーボンニュートラルを目指してDACの国家的な取組みが開始されつつある中で、産業界視点での技術的フィジビリティの検討は喫緊の課題

1-3. 研究会の目標と出口

本カーボンニュートラル研究会は2つのフェーズで活動し、それぞれの目標は以下の通りである。

①カーボンニュートラル研究会・合同活動フェーズ

エネルギー問題は、個別の技術開発に加えて、規制や社会受容性等の共通する課題が複雑に絡み合う。ミニフォーラム形式での有識者ヒアリングを3つの研究会合同で実施し、各研究会での取り組み課題をオープンかつ俯瞰的に把握する。

②各研究会・個別活動フェーズ

(1) 林業再生・木質バイオマス、(2) 中小水力・揚水発電、(3) DACの3研究会毎に、合同活動フェーズでの検討結果を踏まえて、取組みの現状を把握、確認しながら産業界視点で論点を整理し、課題の洗い出しを行う。課題の洗い出しの結果、あるいはその過程において、産業界として自発的に取り組むべきテーマが見出されれば、次年度以降のCO₂削減推進テーマプロジェクトとしての取り組みを検討する。

2. カーボンニュートラル研究会・合同活動フェーズ

2-1. 第1回合同フォーラム

カーボンニュートラル研究会のキックオフとして、3つの研究会合同でミニフォーラム形式での有識者ヒアリングを実施した。講演ならびに総合討議での有識者・聴講者を交えた意見交換を通じて、各テーマの現状と課題の理解のみならず、エネルギーテーマに共通する課題を俯瞰的に把握し、参加メンバー全体で共有化することを目的とした。なお本合同フォーラムは、多岐にわたる視点での活発な議論を期待して、研究会メンバーのみならずCOCN会員にも広くオープンとした。

日時： 2020年9月10日（木） 13:30～16:30

参加者：カーボンニュートラル研究会参加メンバーおよびCOCN会員（90名）

内容：

（1）「木質バイオマス発電・熱利用のための国内資源活用に向けた課題と将来展望」

株式会社三菱総合研究所 上條 善康氏、宮崎 昌氏

（2）「中小水力・揚水発電の現状・課題と将来展望」

一般財団法人新エネルギー財団 鳥谷 宗治氏

（3）「CO₂分離回収技術の開発状況とDACへ向けての課題と将来展望」

公益財団法人地球環境産業技術研究機構 余語 克則氏、山田 秀尚氏

各研究会で事前に掲げた検討課題は以下の通りである。講演と総合討議での意見交換を通じて、各研究会個別の活動につながる課題の抽出と絞り込みを行った（討議内容と絞り込みの結果は、3.カーボンニュートラル研究会・個別活動フェーズの章を参照）。

（1）林業再生・木質バイオマス研究会

技術的な側面から森林資源を効率的に木質バイオマス化しエネルギーとして活用するプロセスを検討し、高樹齢森林の更新、適切な間伐の促進による炭素固定能力の向上を目指す。

- ① 植林から間伐、伐採、燃料化、輸送にいたるプロセスの機械化、情報化
- ② 木質バイオマスボイラーの熱電併給化、港湾地区木質バイオマスボイラー燃料の国産化
- ③ 石炭火力発電の木質バイオマス混焼割合の改善
- ④ 早成樹・高度炭素固定化樹の遺伝子操作などによる品種開発

（2）中小水力・揚水発電研究会

分散電源あるいは変動再エネの調整用のカーボンニュートラル電源として、また防災・減災の視点で理解を深め、事業性と産業競争力に資する俯瞰的かつ多面的な検討を行うことを目的とする。

- ① 調整電源としての運用の高度化
- ② 防災システムとの連携
- ③ 着手から運転開始までのリードタイム、初期コスト、事業予見性の課題
- ④ 系統連系容量不足、連系費用の負担
- ⑤ 維持管理コストの低減
- ⑥ 上記の解決に資する新技術の開発（例）海水揚水発電など
- ⑦ 関連する多様な法規制（電気事業法、森林法、自然公園法など）の緩和・支援制度の充実
- ⑧ 開発ポテンシャルと事業地点の発掘

(3) DAC研究会

ムーンショットでの基礎研究～要素技術研究の段階から、技術的フィジビリティを産業界視点で見えておき、研究開発の確度を上げるとともに、将来の事業化を目指してのビジネスモデルやエンジニアリング課題の整理を行う。

- ① 具体的な技術とメカニズムの理解
- ② 日本（ムーンショット）・海外の取り組み状況
- ③ CO₂削減効果と経済性の定量的評価
- ④ ビジネスモデルと産官学の役割
- ⑤ 我が国の競争力評価と海外展開を含めた導入戦略

総合討議に当たっては以下を共通の論点とした。研究会メンバーに加えて参加したCOCN会員企業との討議により、新たな解決の切り口や方向性を見出すことを試みた。

- ✓ 技術的な成熟度、チャレンジ
- ✓ 制度面の制約、行政の動き
- ✓ 地理的な資源の偏在性や地域活性化
- ✓ 防災やレジリエンス
- ✓ デジタル化／CPS（サイバーフィジカルシステム）による課題解決と運用の高度化

2-2. 第2回合同フォーラム

革新的環境イノベーション戦略の実行に向けて設置された政府の「グリーイノベーション戦略推進会議」では、10月の「2050年カーボンニュートラル宣言」を受け、重要分野についての道筋を、年末を目途に取りまとめることとした。この「2050年カーボンニュートラルの実現」に向けた実行計画が、1章に示した「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」として2020年12月25日に公開されたものである。

第2回合同フォーラムでは、グリーイノベーション戦略推進会議ワーキンググループ委員の方を講師にお招きし、革新的環境イノベーション戦略の進捗状況をヒアリングするとともに、意見交換を行った。

日時：2020年12月3日（木） 15:00～16:30

参加者：カーボンニュートラル研究会参加メンバー（45名）

内容：「革新的環境イノベーション戦略の進捗状況とNEDOにおける取組み」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）

技術戦略研究センター 環境・化学ユニット長

グリーイノベーション戦略推進会議ワーキンググループ委員 土肥 英幸氏

革新的環境イノベーション戦略の進捗状況の中では、11月の第3回グリーイノベーション戦略推進会議での「カーボンニュートラルにとって重要な分野の基本的な考え方」が興味を引いた。実行計画は2050年までの「社会実装」を意識して対応の方向性をまとめることとされ、以下の基本的な考え方が示されていた。いずれも12月25日の「グリーン成長戦略」に明記されているものである。

- ① 2050年カーボンニュートラルに不可欠な重要分野を特定
- ② 社会実装を強く促すための制度・仕組み作り
- ③ 産業・市場としての重要性を明示

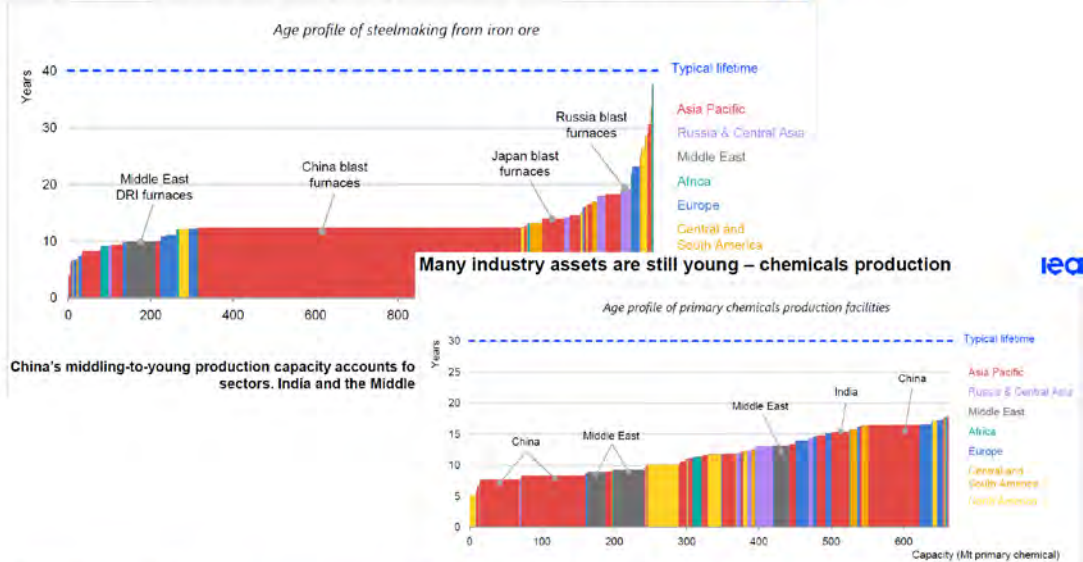
講演では、脱炭素戦略で日本のかなり先を行っている国際エネルギー機関IEAによる「IEAが考えるゼロエミッション達成の道筋」、そしてこれらを受けた最近のNEDO活動のトピックについても紹介があった。

図2-1はIEAのEnergy Technology Perspective (ETP) 2020-Launch Presentation(2020年9月)からの紹介である。世界には発展途上国を中心としてまだ多くの若い製造設備（鉄鋼の高炉、化学プラント等）があり、産業構造の転換に向けての大きな課題であることが示された。「2050年カーボンニュートラル実現」の困難さを改めて実感した。

DAC等のネガティブエミッション技術関連では、風化促進（炭酸塩化）の検討が世界で活発化していることが紹介された（図2-2）。炭酸塩化技術については現在NEDOで調査中とのことであるが、エネルギー関連技術の多様さを認識し、柔軟かつスケールの大きい発想の重要性を、メンバー間で共有した。

■ 多くの製造設備がまだ若い

Many industry assets are still young – iron and steel production



ETP2020, Launch Presentation
 36 <https://iea.blob.core.windows.net/assets/02da78a9-03a5-47f4-873e-1c8e6748ce70/ETP-2020-Launch-Slides.pdf>

図 2-1 世界におけるまだ若い製造設備（鉄鋼の高炉、化学プラント）

DAC (Direct Air Capture)

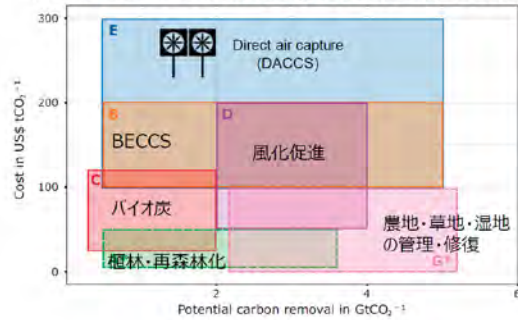


- DACとCCSや固定化との組み合わせはネガティブエミッション技術
- 大きな削減ポテンシャルを持つが、コストおよびエネルギー原単位の大幅改善が課題

DACのエネルギー原単位の試算

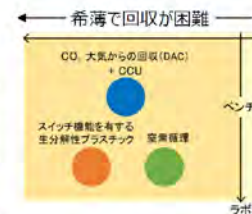
DAC設備・研究論文	CO ₂ 回収コスト ^{*1} (\$/tCO ₂)	CO ₂ 回収原単位 ^{*2}	
		電気エネルギー 原単位 (kWh/tCO ₂)	電力原単位 原単位 (kWh/tCO ₂)
Climeworks 製造能力: 50,000/year	現在のコスト: 600 2025年頃の目標コスト: 100	9.0	450
Carbon Engineering 製造能力: 35,000/year	現在のコスト: 94-232	5.3	366
Global Thermostat 製造能力: 4,000/year	現在のコスト: 150 将来達成可能なコスト: 50	4.4	160
APS 2011 NaOH case 	-	6.1	194

ネガティブエミッション技術のCO₂回収コストとポテンシャル



ムーンショット型研究開発制度

大気中のCO₂をターゲットにした炭素循環が、窒素循環やスイッチ機能を有する生分解性プラスチックとともにムーンショット目標4における挑戦的研究開発の例として挙げられる



ムーンショット目標4
 「2050年までに、地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現」研究開発構想
<https://www.nedo.go.jp/content/100904072.pdf>

53 Negative emissions, Environmental Research Letters(2018),
 53 エネルギー・環境技術のポテンシャル・実用化評価検討会報告書(2019)を元にTSCで作成

第1回グリーンイノベーション戦略推進会議WG NEDO資料より 36

図 2-2 ネガティブエミッション技術の CO₂回収コストとポテンシャル

3. カーボンニュートラル研究会・個別活動フェーズ

3-1. 林業再生・木質バイオマス研究会

国土の3分の2を森林が占める日本は、世界有数の森林資源に恵まれた国である。日本の森林蓄積エネルギーは国内1次エネルギー総供給量（23EJ/year）のほぼ2倍あり、仮に森林のライフサイクルを50年とすると、毎年4%のエネルギー供給ができる。森林から得られる木質バイオマスは風力や太陽光とは異なり、天候に影響されない安定エネルギー源であり、かつ長期的な観点からカーボンニュートラルである。

一方、京都議定書において、日本は森林で1,300万炭素トンを固定化する約束をしているが、樹齢の高齢化により、固定化効率が悪くなっている。また高齢化したスギ、ヒノキは花粉を大量に生成し、花粉症が蔓延。花粉症による経済損失は一日2,000億円にのぼるという報告もある。

これらは、現在の林業の抱える諸課題、すなわち（1）木製品の安い輸入材や石化製品、金属による置き換え、（2）急峻な斜面や複雑な所有権による大型機械の運用困難、（3）従事者の減少、高齢化、などに起因するものであるが、解決に向けたさまざまな取り組みが検討されている。

以上を踏まえ、林業再生・木質バイオマス研究会は、技術的な側面から森林資源を効率的に木質バイオマス化しエネルギーとして活用するプロセスを主に下記の観点から検討し、高樹齢森林の更新、適切な間伐の促進などによる炭素固定能力の向上を目指すこととした。

- ① 植林から間伐、伐採、燃料化、輸送にいたるプロセスの機械化、情報化
- ② 木質バイオマスボイラーの熱電併給化、港湾地区木質バイオマスボイラー燃料の国産化
- ③ 石炭火力発電の木質バイオマス混焼割合の改善
- ④ 早成樹・高度炭素固定化樹の遺伝子操作などによる品種開発

研究会には7社3大学・機関が参加、2回の合同フォーラムと1回の個別研究会を開催し、参加メンバーによる議論から、多くの論点のあることが再認識された。そこで今後のCO2Nにおける方向性について、議論の中から抽出した下記の項目についてアンケートを実施した。

- * 早生樹の品種改良、育種
- * 苗木の生産、植樹
- * 森林の計測、データベース化
- * 路網の整備、木材ロジの効率化
- * 伐採（間伐を含む）の機械化、自動化
- * 成熟人工林の回生
- * 木材加工（製材、TLC化、燃料化（チップやペレット））の合理化、規格化
- * 木材を原料とする化成品の開発、事業化
- * 都市の木質化（木造高層建築、大規模建築、構造物の木質化）
- * 「エネルギーの森」の実現
- * 木質バイオマスの熱電併給

- * 輸入木質バイオマス原料の国産化
- * 森林再生へのファンディング、ESG 投資の応用
- * 人工林から自然林への転換

アンケートの結果を総合すると、大きく以下の三つの論点があると考えられた。

(1) 「エネルギーの森」を実現する育種、苗木の生産から伐採にいたる森林サイクルの構築

森林をエネルギーの供給源として永続的に活用する「エネルギーの森」構想に多くの賛同がえられた。この実現には、植樹から伐採にいたる樹木のライフサイクル短縮のための育種、苗木生産、植樹の合理化、森林の管理コスト（間伐など）の低減、伐採に必要なアクセスの整備、機械化・自動化など、一連の技術開発を協調的に進める必要がある。また各要素技術だけではなく、ライフサイクル全体のコストや実現可能性について議論を進める必要がある。

(2) 輸入木質バイオマス原料の国産化にむけた木材燃料化の合理化、規格化

港湾地域における木質バイオマス発電は、燃料に多くの輸入材を用いている。これらの輸入材は伐採地における環境破壊が懸念されることと、国内資源の有効活用の観点から、国産化が強く求められている。国産木質バイオマス燃料の利用促進のために、木材チップやペレットの規格化、製造技術の向上、運搬・貯蔵などのロジスティックスの改善などについて議論が必要であろう。

(3) 都市の木質化と木材加工（製材、CLT*化）技術の推進

森林のもつ二酸化炭素固定化能力の観点からすると、木材を燃料にするまでの期間が長ければ長いほど固定できる二酸化炭素を増やすことができる。鉄や石化化成品が用いられてきた資材を、木材を高性能化（高強度化、高耐火性など）することにより、建材として大規模・高層建築に用いたり、さまざまな構造物に用いる都市の木質化を推進すべきである。これら都市の木材は建築・構造物の耐久年度を過ぎた後は、木質バイオマス燃料として無駄のない活用を図ることができる。

* CLT : Cross Laminated Timber, 直交集成材

以上、本報告書をもって、合同フェーズにおける林業再生・木質バイオマス研究会の活動は一旦クローズするが、上記の各論点の中から、的を絞って議論を深めることができないうか、引き続き検討していく予定である。

3-2. 中小水力・揚水発電研究会

豊富な水資源に恵まれた我が国は、古くからベースロード電源の一角として水力発電の開発が進められてきた。直近（2019年度）の国内の水力発電量は、発電電力量合計1兆2224億kWhの7.9%に当たる963億kWhを占める[5]。水力発電の供給力は既存の2,829万kW以外にも技術的・経済的に利用可能な未開発の包蔵水力が1,987万kWあるとされている[6]。

一方、需要の少ない時間帯に余剰電力で上部貯水池へ水を汲み上げ、需要が増加する時に発電する揚水発電は、数分以内に揚水・発電の切り替えができるため、即応性の調整力はもちろん、大規模電源脱落のアンシラリーサービスやピーク電力需要に備えた予備力、電力を位置エネルギーとして蓄える巨大な蓄電池として重要であるが、揚水発電設備利用率が全国でわずか3%しかないという課題が指摘されている[7]。

河川監視システムや気象観測システム等と電力ネットワークをデータ連携させ、AIによる予測技術など最新技術を加えることで、調整電源としての運用効率向上だけでなく、一般水力の防災・減災など我が国が抱える社会課題解決に大きく貢献できる可能性がある。

以上を踏まえ、中小水力・揚水発電研究会は、分散電源あるいは変動再エネの調整用のカーボンニュートラル電源として、また防災・減災の視点で理解を深め、事業性と産業競争力に資する俯瞰的かつ多面的な検討を行うことを目的とし、以下8つの課題を提示するところから活動を開始した。

- ① 調整電源としての運用の高度化
- ② 防災システムとの連携
- ③ 着手から運転開始までのリードタイム、初期コスト、事業予見性の課題
- ④ 系統連系容量不足、連系費用の負担
- ⑤ 維持管理コストの低減
- ⑥ 上記の解決に資する新技術の開発（例）海水揚水発電など
- ⑦ 関連する多様な法規制の緩和・支援制度の充実
- ⑧ 開発ポテンシャルと事業地点の発掘

研究会には7社2機関が参加し、2回の合同フォーラムと1回の個別研究会を開催した。参加メンバーによる様々な議論がなされたが、大別して以下の4つの論点が挙げられた。

（1） Δ kW 価値の重要性

再エネの拡大に伴い、電力需要と供給の細かい変動によって頻繁に発生する需給の不一致を解消する「 Δ kW 価値」の重要度が高まる。一般送配電事業者が調整力を調達するための需給調整市場が21年4月に開設され、再生可能エネルギーの発電予測誤差を調整するための三次調整力②の取引が開始される。揚水発電はより高速の一次の調整力や二次の調整力に対応できるだけでなく、可変速揚水によって周波数変動を瞬時に解消する能力もある。電気事業者の揚水は既に太陽光発電の調整力として運用されているが、一次調整力と二次調整力の大部分はガバナフリー機能を備えた電気事業者が保有する火力機に依存している。また、最

近は多くの原子力が止まっており、火力発電量がかなりの割合に達しているという事情もある。50年のカーボンニュートラルの実現のためには水力と揚水を活かす Δ kW市場の立ち上げと適切な価格形成が期待される場所であるが、まだ市場価値として広く認められるに至っていないのが現状である。 Δ kW市場の適切な価格形成の実現に向けて、主要なステークホルダーが議論し、ルール整備や環境整備を行うことが重要である。

(2) 系統安定化への寄与

水力発電は、数分で発電機を運転しフル出力まで持っていくことができる高い負荷追従性を持つとともに原子力や火力機と同様に慣性力を備え、わずかな周波数変動にも敏感に対応できるため、需給バランス調整や周波数制御など、系統安定化に寄与できる特長がある。また、ブラックスタートと呼ばれる大規模停電時の最初の立ち上げ電源としての機能も重要である。ただ、再生可能エネルギーの導入により、発電力を送る送電線の容量が逼迫してきており、有望な地点があっても送電できない事例が出てきている。日本版コネク&マネージにより既設の送電設備を最大限に活用しながら再生可能エネルギーの接続可能量を増大する仕組みが検討されているが、電力の供給信頼度の観点からは送電容量の増強が求められる。また、局所的に送電容量の足りない地域に揚水発電を設置することも有用である。

(3) 最新技術による機器・システムの高度化

模型水車の試作・実験を繰り返すことなく、三次元流れ解析シミュレーションによって高効率な水車を設計する技術の高度化が期待されている。新型の高効率水車に置き換えることで、発電量が大幅に増える実績もある。一方、落差や出力に応じて回転速度を変化させる可変速発電機のさらなる高性能化も期待される。また、高コストの導水路トンネルを最新のロボット技術で掘削するなど、建設工事への新技術適用も重要である。

さらに、最新のAIやIoT技術を導入することで、運用の高度化が可能になると期待される。そのためには関係するシステム間でのデータ連携が重要であり、関係する省や自治体、電力会社などステークホルダーを横断する議論が重要である。

(4) 防災・減災とのシステム連携

発電専用のダムは、発電事業者が発電計画に基づきダム運用を行っていたが、国が、発電用ダムに対して洪水調整用として事前放流を要請するなど、発電事業者との調整が始まっている。事前放流の課題は、夏期などの電力需要が多いときに最大の運転ができないことや、豊水期の放流で、無効放流が生じる可能性があることなどが挙げられる。

これを解決するために、最新のIoT、AI技術を活用し、河川監視システムや気象観測システムと電力ネットワークを高度にデータ連携させ、サイバーフィジカルシステムとしてダム運用の高度化を図ることが期待されている。例えば、水力発電所を有するダムでは、何時間後の台風による河川水位の上昇量が定量的に予測できれば、効率的な事前放流で水害を防ぐことができ、かつ発電量としても最大化することができる。

また、スマートシティの電源の一つとして中小水力発電所を組み入れることで、系統や電

源変動の規模に合わせた蓄電池との併用など適切な系統制御による系統安定への効果が期待できる。また、事故時、発電所の出力に応じた系統切り替えや、電力変動に対応した時定数等の調整を行う機能の付加により、昼夜を問わずスマートシティへの安定した電力供給が期待できる。

本報告書をもって、合同フェーズにおける中小水力・揚水発電研究会の活動は一旦クローズするが、上記 4 つの論点の中から、的を絞って議論を深めることができないか、引き続き検討していく予定である。

3-3. DAC研究会

「革新的環境イノベーション戦略」39 テーマの第 39 番目として設定されたDAC (Direct Air Capture) は、「1.5°C目標」の達成に向けて、2050 年までに温室効果ガス排出量を正味ゼロ（カーボンニュートラル）にするには不可欠の技術とされている。38 番目までの革新的技術開発で、製品製造工程やエネルギー供給等からのCO₂排出を限りなく抑制しつつ、一旦、大気中にやむなく排出されたCO₂を回収・無害化するDACを用いて、CO₂排出を正味ゼロにする。

DACをはじめとするネガティブエミッション技術は、とりわけ2020年10月の政府の「2050年カーボンニュートラル宣言」の後、その役割と重要性が注目されている。図3-1は、2020年11月の第3回グリーンイノベーション戦略推進会議で示された、ネガティブエミッション技術の役割である[8]。

大気中の低濃度CO₂（約400ppm）の分離回収のためには、これまでにない新たな分離膜や化学吸収剤等の要素技術と、大量のガスハンドリング等のプロセス化・システム化技術が必要とされる。

DACは、2020年1月に提示されたムーンショット目標4「2050年までに、地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現」研究開発プロジェクトの重要テーマとして取り上げられた。同年8月に関連する8件のプロジェクトが採択され（補足資料表1）、我が国の2050年カーボンニュートラルに向けて、アカデミアを中心とした本格的な取組みが始まった[9]。補足資料図1に一例として、新たな分離膜を用いた大気中CO₂の回収プロジェクトの概要を示す。

DACは欧州でいくつかの研究開発例があるが、現状では回収効率が低く高コスト、高エネルギー消費であり、実現までのハードルは高いとされている。産業界が自発的に取り組むのはまだ先の話であるが、ムーンショットで開始した基礎研究～要素技術研究の段階から、技術的フィジビリティを産業界視点で見ておき、研究開発の確度を上げる必要がある。その観点から、DAC研究会では以下を検討した。

- ① 具体的な技術とメカニズムの理解
- ② 日本（ムーンショット）・海外の取り組み状況
- ③ CO₂削減効果と経済性の定量的評価
- ④ ビジネスモデルと産官学の役割
- ⑤ 我が国の競争力評価と海外展開を含めた導入戦略

研究会には10社6機関が参加した。昨年9月の第1回合同フォーラムでのRITEの講演「CO₂分離回収技術の開発状況とDACへ向けての課題と将来展望」において、具体的な技術とメカニズム、国内外の取り組み状況を概観しつつ、DACの現状技術レベルの概要を把握した。表3-1に、欧米における各種DAC技術の分離回収エネルギーとコストを示す。世界初の商用プラントを運転中のスイスClimeworks社の設備では、分離回収エネルギーは9.0GJ/t-CO₂（高効率LNG発電の電力を使っても、回収するのと同量のCO₂が発電により発生）、コストは600\$/t-CO₂（排ガス中CO₂回収の10倍以上）であり、実用化に向けてのハードルがきわめて高いことを確認した。

DACは2050年カーボンニュートラルの実現には不可欠の技術であるが、その実用化に向けては、基礎研究・要素技術研究レベルでの多くの技術的ブレークスルーが必要である。このようなDAC

の重要性と課題を、第1回合同フォーラムに続くDAC個別研究会と第2回合同フォーラムで討議、明確化した後、次年度以降のCOCN推進テーマとしての今後の方向性と産業界の関わり方を検討した。

研究会では、産業界の視点から、以下の3点を2050年カーボンニュートラルに向けてのDAC技術の課題として掲げ、アンケート形式で参加メンバーの意見を収集した。

- (1) ネガティブエミッション技術の可能性の探索と精査
 - ・DACCS (Direct Air Capture with Carbon Storage)
 - ・BECCS (Bioenergy with Carbon Capture and Storage)
 - ・森林吸収・植林：CO₂吸収量の精査と炭素クレジットの取扱い
(林業再生・木質バイオマス研究会との共同での取組み等)
- (2) エンジニアリング課題の整理
 - ・液体吸収剤と固体吸収剤の吸収効率／空気流量の比較
 - ・膜分離技術のブレークスルーと課題の整理
 - ・コンプレッサー等の重要エンジニアリング機器の設計と開発
 - ・全体プロセスの設計
- (3) 事業化視点での課題の整理（システムインテグレーション）
 - ・ゼロエミッション電源との連携（再エネ or 原発）
 - ・他のシステムとの連携（CO₂からの有用物質の製造等）

補足資料 表3、表4に、各項目における参加メンバーからの意見・コメントと、次年度以降の取組みへの関わり方のアンケート回答を示す。

いずれも産業界からの積極的な関与が期待されている(2)エンジニアリング課題と(3)事業化視点での課題に、多くの意見・コメントが寄せられている(補足資料・表3)。挙げられた意見の要約を4章「次年度の活動へ向けての方向性」に今後の取組み課題として示す。また補足資料・表4に示すように、次年度以降もCOCNで引き続き検討を進めるべきとの意見が大多数であった。

今年度のDAC研究会は検討の期間も短く、研究会のスタート時に掲げた①～⑤の課題について、ある程度理解は進んだものの、十分な議論が尽くされているとは言い難い。

DACは、「2050年カーボンニュートラルの実現」への不可欠な技術とされていることから、次年度に向けての推進テーマの組成が今後の大きな課題である。しかしながらDACは、国家プロジェクト「ムーンショット」で基礎研究が始まったばかりの、事業化は10年以上先の基礎技術である。このような長期的な研究開発について、事業化に向けての産業界としての切り口を見出すのは容易ではない。COCNを中心とした、産業界を挙げての取組みが必要と考えられる。

グリーンイノベーションの方向性

- 2050年カーボンニュートラルという困難な課題を実現するためには、
 - ① 既存の技術を最大限に活用・普及を推進し、**新たな技術の社会実装**に重点的、計画的に取り組むことが重要。各国ともこれに取り組んでいる。
 - ② 省エネ、電化、電源の脱炭素化、水素化を進めても、化石燃料を使わない姿は現実的ではなく、**CO₂を回収・貯留するネガティブエミッション技術も重要**であること
 - ③ **脱炭素化が難しい産業部門における技術・対策**については、長期的な不確実性があるため、**複数のオプション**で取り組んでいく必要があることも、十分に意識して検討する必要がある。

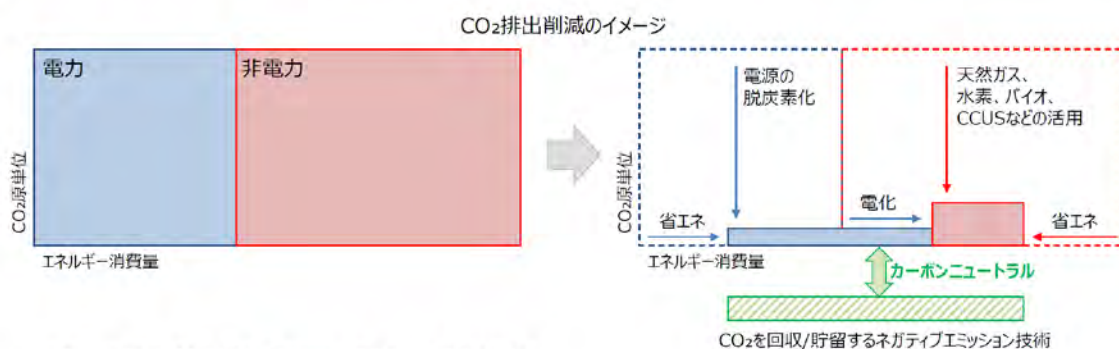


図 3-1 グリーンイノベーションの方向性とネガティブエミッション技術の役割

表 3-1 各種DAC技術の分離回収エネルギーとコスト

DAC技術に関する世界の動き②

各社公開情報、ICEF[Direct Air Capture of Carbon Dioxide]



一部実用化されているもののエネルギー・コストに課題があり

会社名	材料	CO ₂ 分離回収エネルギー・コスト	備考
Climeworks (スイス)	アミン修飾フィルター (固体吸収材でフィルターは樹脂)	9.0GJ/t-CO ₂ , 600\$/t-CO ₂ (2025年頃目標コスト100\$/t-CO ₂)	世界初の商用プラント(900t-CO ₂ /year)を発売、これまでに8か所に導入済み。エネルギーとコストが高い。
Carbon Engineering (Canada)	KOH/Ca(OH) ₂ を含む水溶液	5.3GJ/t-CO ₂ , 94-232\$/t-CO ₂	Occidental Petroleum社と50万t-CO ₂ /yのDACプラント2基を2022年に稼働予定。唯一アルカリ水溶液を使用し、エネルギー・コスト削減余地がない。
Global Thermostat (USA)	アミン含有セラミックス (固体吸収材)	4.4GJ/t-CO ₂ , 150\$/t-CO ₂ (将来達成可能なコスト: 50\$/t-CO ₂)	ジョージア工科大と協力、これまでに6基の導入実績。消費エネルギーの低減が課題、4,000t-CO ₂ /yearのパイロット設備を建設。
Center for Negative Carbon Emissions (USA)	イオン交換樹脂 (アミン系)	220\$/t-CO ₂ (将来達成可能なコスト: 30\$/t-CO ₂)	除湿⇄加湿のサイクルで吸脱着、Artificial treeを高速道路沿いに設置を提案
The VTT Technical Research Center (Finland)	イオン交換樹脂 (アミン系)	8.9GJ/t-CO ₂	Day/night capture cycle方式で、1~2kg-CO ₂ /day

4. 次年度の活動へ向けての方向性

カーボンニュートラル研究会は、2020年9月10日にキックオフとして第1回の合同フォーラムを開催後4ヶ月弱の短い期間ではあったが、合同フォーラムと個別研究会での活動を通じて、3つの研究会での論点と取り組み課題を以下のように整理することができた。

林業再生・木質バイオマス研究会

- (1) 「エネルギーの森」を実現する育種、苗木の生産から伐採にいたる森林サイクルの構築
- (2) 輸入木質バイオマス原料の国産化にむけた木材燃料化の合理化、規格化
- (3) 都市の木質化と木材加工（製材、GLT*化）技術の推進

* GLT : Cross Laminated Timber、直交集成材

中小水力・揚水発電研究会

- (1) Δ kW 価値の重要性
- (2) 系統安定化への寄与
- (3) 最新技術による機器・システムの高度化
- (4) 防災・減災とのシステム連携

D A C 研究会

- (1) ネガティブエミッション技術の可能性の探索と精査
- (2) エンジニアリング課題の整理
 - 様々なプロセス方式（液体・固体吸収剤、膜分離等）の優位性と理論限界の明確化
 - 具体的なターゲットを想定したプロジェクト化
- (3) 事業化視点での課題の整理（システムインテグレーション）
 - 事業化を国内で支援する公的な制度（税制、カーボンプライシング等）および規格・標準化（CO₂回収量把握法等）の検討と働きかけ
 - 将来的に事業になり得る社会モデルの提案
 - 海外との連携（太陽光発電利用として中東砂漠地帯等）

多くの参加メンバーが必ずしも研究会テーマを専門としない中で、主に合同フォーラムの有識者ヒアリングと総合討議を通じて、産業界が関与すべき分野を特定しつつ論点を整理し、取り組み課題を洗い出した。各研究会で提案された取り組み課題の中には、専門家にはない新鮮な切り口もあり、カーボンニュートラル研究会活動の大きな成果と考える。

本報告書をもって、合同活動フェーズを中心としたカーボンニュートラル研究会の活動は一旦クローズする。各研究会が取りまとめた上記の論点と取り組み課題の中から、産業界として自発的に取り組むべきテーマとして、次年度COCN推進テーマ活動につなげることができないか、引き続き検討していく予定である。

表 1 NEDO ムーショナル目標 4 「2050 年までに、地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現」 研究開発プロジェクト

(1) 温室効果ガスを回収、資源転換、無害化する技術の開発

研究開発プロジェクト	プロジェクトマネージャー
電気エネルギーを利用し大気 CO ₂ を固定するバイオプロセスの研究開発	国立研究開発法人産業技術総合研究所 加藤 創一郎
大気中からの高効率 CO ₂ 分離回収・炭素循環技術の開発	国立大学法人金沢大学 児玉 昭雄
電気化学プロセスを主体とする革新的 CO ₂ 大量資源化システムの開発	国立大学法人東京大学 杉山 正和
C ⁴ S*研究開発プロジェクト *C ⁴ S : Calcium Carbonate Circulation System for Construction (建設分野の炭酸カルシウム循環システム)	国立大学法人東京大学 野口 貴文
冷熱を利用した大気中二酸化炭素直接回収の研究開発	国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学 則永 行庸
大気中 CO ₂ を利用可能な統合固定・反応系 (quad-C system) の開発	国立大学法人東北大学 福島 康裕
“ビヨンド・ゼロ” 社会実現に向けた CO ₂ 循環システムの研究開発	国立大学法人九州大学 藤川 茂紀
資源循環の最適化による農地由来の温室効果ガスの排出削減	国立大学法人東北大学 南澤 究

上記のほか、(2) 窒素化合物を回収、資源転換、無害化する技術の開発 (2 件)、(3) 生分解のタイミングやスピードをコントロールする海洋生分解性プラスチックの開発 (3 件) が採択されている。

“ビヨンド・ゼロ”社会実現に向けたCO₂循環システムの研究開発

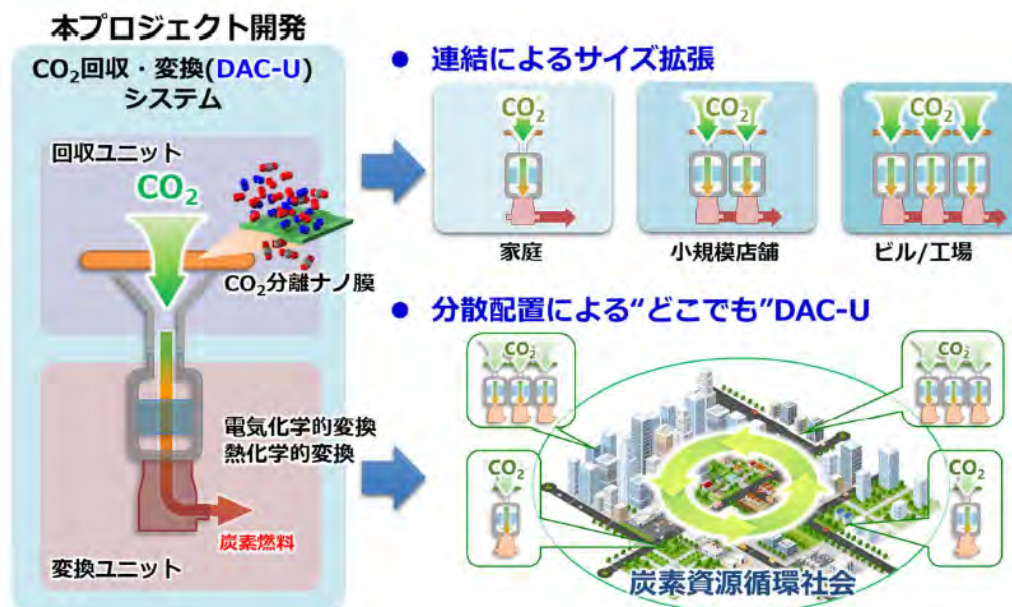
プロジェクトマネージャー：国立大学法人九州大学 藤川茂紀

連絡先：fujikawa.shigenori.137@m.kyushu-u.ac.jp

研究開発概要：

大気中のCO₂濃度を低下させ、地球温暖化を抑止することは、人類共通課題である。本提案では、大気中の希薄なCO₂を膜で回収し、それをオンサイトで資源化する、分散配置型のCO₂循環システムを開発する。これによって、地球温暖化の主たる原因であるCO₂削減と炭素資源循環を実現する。

具体的には、独自ナノ膜技術によって開発された、桁違いのCO₂透過性を有する革新的な分離ナノ膜を出発点とし、選択性が向上したCO₂分離ナノ膜からなるCO₂回収ユニットと、回収したCO₂を炭素燃料に高効率で変換するユニットを開発する。この二つのユニットを自在に連結し、大気からのCO₂回収から炭素燃料変換までを一貫して行う「Direct Air Capture and Utilization (DAC-U)システム」を創製する。またこのシステムに、相互連結による高い拡張性を持たせる。これにより、太陽光発電システムと同様に、導入スペース、用途、条件に合わせて、家庭用の小規模からビル等の中規模まで対応するサイズスケラブルなオンサイトシステムとなる。この革新的なDAC-Uシステムによって、地上に広く存在する大気から、場所に依存することなく、どこでも(ユビキタス)CO₂の回収とその資源化を図り、気候変動問題の解決だけでなく、炭素資源の地産地消並びに資源循環によるエネルギーロバスト(robust, 堅牢)な社会構築を実現する。



委託予定先：

国立大学法人九州大学、国立大学法人熊本大学、国立大学法人北海道大学

図1 ムーンショットでのCO₂分離回収研究開発プロジェクトの一例

表2 DAC研究会アンケート結果-1 DAC技術の課題に関する意見

<p>(1) ネガティブエミッション技術の可能性の探索と精査</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 森林による CO₂吸収量の精査、およびその評価方法についての議論はネガティブエミッションを進める上で非常に重要な論点との認識。是非来年度以降 COCN で取り扱って欲しい。 ・ 森林による CO₂吸収の次の拡がりとして、ブルーカーボン（海草等での CO₂固定）が日本ではポテンシャルが高いと考える。 ・ IOEF で BiCARS と言う名称で、エネルギー利用ではなく、バイオマスのネガティブエミッションとしての炭素貯蔵能に期待するロードマップが公表された（BECCS 以外にも森林吸収やバイオチャーなど）。今後この傾向が強まると考えられるので、これらとのコスト比較や可能性量などが必要と考える。 ・ 吸収源として CCS、森林に加え、炭酸塩化も考慮してはどうか。 ・ DAC だけでなく、他の技術も含めた俯瞰的な視点での議論も重要。 ・ 炭素クレジットの取り扱いなど、政策関連について議論したい。 ・ DAC 技術だけでは解決できないカーボンニュートラルに向けた課題について、その方向性を提示し、政策へ提言やアライアンスを考えていくことが必要。 	<p>(2) エンジニアリング課題の整理</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ エンジニアリング課題の整理については、基本的には事業者が取り組むべきと考えるが、一方で研究会ならではの良い観点がしやすい項目でもある。引き続き検討を進めることは、最終的に社会にとってプラスとなる（良い結果に繋がりがやすい）と感じる。 ・ どの場面の CO₂回収か、というあたりも特定してみてもどうか。例えば満員電車などでは、CO₂濃度も若干高い。大きな装置はムリであるが。 ・ 現存する技術を最大限ストレッチしてどこまで目指せるのかを、折々考える必要がある。その際には、単なる「検討」ではなく、具体的なターゲットを想定したプロジェクト化が有効と考える。 ・ まずはプロセスとして、どのような方式を考えようということとのセット。 ・ 電気化学的な吸脱着方式も制御性の面から可能性があるのでは。 ・ 方式毎に理論限界を明確にすることが有用ではないか。 ・ どうしても従来の高濃度 CO₂排ガス処理からの発想に縛られてしまいが、新しいモチーフでもあり、もっと自由に考えて良い。例えば分離エネルギー源も高濃度 CO₂処理では全く無視されている太陽熱を使う、頑張って高濃度まで濃縮せず、%オーダーに留めておいて従来の回収技術につなぐなど。エネルギー消費を抑えて、確実にネガティブエミッションになる技術を追求していければと考える。
---	--

(3) 事業化視点での課題の整理（システムインテグレーション）

- ・ ゼロエミ電源（地熱など）との連携について議論したい。
- ・ DACの事業化は、まずは回収CO₂を商業利用(U)し、最終的には永久貯蔵(S)の割合を増やしていくことが本来の使命。前者の場合は排ガス由来のより安価で豊富なCO₂との競合、後者では回収しても価値の無い産業廃棄物扱いのため民間主導での事業化は進まないことが懸念される。このため、DAC事業の立ち上げにおいては、CO₂吸収隔離に対する制度的な優遇処置の整備が重要と考える。米国では、連邦45Q優遇税制や加州のLSTF制度などで、DACを進める企業に対する公的サポートが整備されることで、DACプラントの立ち上げ計画などの具体的な動きがみられる。欧州グリーンディールでは10年間で1兆ユーロもの投資計画が発表されており、DACを含む脱炭素対策関連大型プロジェクトの誕生に拍車がかかっているように見受けられる。日本においても、これら先行する欧米の制度を調査し、参考としながらDACの事業化を国内で支援する公的な制度はどうあるべきかを議論し、産業界からの政策提言にまとめるとも、検討テーマのひとつに掲げてはどうか。
- ・ DACが国内事業として成立するためには、関連企業連携や産学連携による吸収剤や回収システムの開発が加速されることを前提に、共通のDAC向けCO₂回収試験設備の設置や、小規模～大規模のCO₂回収システム立ち上げに対する公的サポート体制の強化がもっと充実することが重要と考える。本活動を通じて、政府からより国内DAC開発の現状に適した公的支援を得られるような働きかけができると良いと考える。
- ・ カーボンプライシングを事業化視点での議論に組み入れはどうか。今のところ、DAC事業者には収入はなくコストだけなので、CO₂が商品として売れる仕組みを特定して行く必要がある。売り物がないと、コスト削減の目標も立たない。CO₂の民間取引が可能になっている海外の例はない。CCUSはあるが、規模としてCO₂削減と言えるレベルではない。
- ・ 再エネ電源や原発には、人によって託す思いに差が大きいと思われ、最新技術の動向と社会的受容性を考えるには、現状は「検討」として様々な考えや情報を広く調査する段階と考える。
- ・ 2050年ゼロエミッション化を目指す上ではネガティブエミッション技術に今後注目が集まると考えられる。一方国内での大規模型の対応は原子力での対応以外は難しいと考えられるので、海外との連携をイメージした対応になるかと考えている。またPV利用として砂漠地帯への設置となるのであれば、大気中水の回収も可能なシステムにはできないか。技術的には難しいが。
- ・ 貯蔵・輸送がシステム上重要（コスト、削減効果）、再エネ利用の場合は負荷変動対応が重要。
- ・ 再エネや温暖化ガス削減は、どうしても経済採算性の問題から事業になりにくい。ある条件を満たせば将来的に事業になり得る社会モデルを提案するようなプロジェクトの組成を検討する必要がある。一例として人口減時代の分散型システムを想定した「再エネ水素システムをベースとするCCUシステム・植物工場」があり、企業や大学にそのような合意者（合意部門）が立ち上がりつつある。

表3 DAC研究会アンケート結果-2 次年度以降の検討の方向性と取り組みへの関わり方

	検討の方向性について			参加の意向について		
	テーマ化を指して積極的に検討する	引き続き検討を進める	COCNとしては検討対象外	積極的に参加	検討メンバーとして参加	参加しない
(1) ネガティブエミッション技術の可能性の探索と精査 ・DACCS (Direct Air Capture with Carbon Storage) ・BECCS (Bioenergy with Carbon Capture and Storage) ・森林吸収・植林：CO ₂ 吸収量の精査と炭素クレジットの取扱い (林業再生・木質バイオマス研究会との共同での取組み等)	2	18	1	1	17	3
(2) エンジニアリング課題の整理 ・液体吸収剤と固体吸収剤の吸収効率/空気流量の比較 ・膜分離技術のブレークスルーと課題の整理 ・コンプレッサー等の重要エンジニアリング機器の設計と開発 ・全体プロセスの設計	4	16	1	2	12	7
(3) 事業化視点での課題の整理(システムインテグレーション) ・ゼロエミッション電源との連携(再エネ or 原発) ・他のシステムとの連携(CO ₂ からの有用物質の製造等)	4	15	2	2	16	3

* 研究会参加10社、5機関から回答。同一組織から複数名の回答あり。

引用資料

- [1] 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略／経済産業省
<https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012.html>
- [2] 革新的環境イノベーション戦略／内閣府・官邸
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tougou-innovation/pdf/kankyousenryaku2020.pdf>
- [3] 2050年に向けたエネルギー分野の技術的課題とブレークスルー／産業競争力懇談会
<http://www.cocn.jp/material/180709.pdf>
- [4] IPCC Special Report on Global Warming of 1.5°C
<https://www.ipcc.ch/sr15/>
- [5] 電力調査統計結果概要（2019年度分）／資源エネルギー庁
https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/electric_power/ep002/pdf/2019/0-2019.pdf
- [6] 日本の水力エネルギー量／資源エネルギー庁
https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/database/energy_japan001/
- [7] 日本における蓄電池システムとしての揚水発電のポテンシャルとコスト／科学技術振興機構
<https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/fy2018-pp-08.pdf>
- [8] 2050年カーボンニュートラルに向けたグリーンイノベーションの方向性／第3回グリーイノベーション戦略推進会議
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/green_innovation/pdf/gi_003_04_00.pdf
- [9] NEDO ムーンショット目標 4「2050年までに、地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現」研究開発プロジェクト／新エネルギー・産業技術総合開発機構
https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100161.html

一般社団法人 産業競争力懇談会（COCN）

〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2-2-1

日本プレスセンタービル 4階

Tel : 03-5510-6931 Fax : 03-5510-6932

E-mail : jimukyoku@cocn.jp

URL : <http://www.cocn.jp/>

事務局長 中塚隆雄