



主要8セクターにおける トランジション技術の整理と セクター分析

— 北海道大学・三菱UFJ信託銀行
共同研究 年次調査報告書 2025年度 —

Contents

はじめに：共同研究の背景と目的	3
エグゼクティブ・サマリー	4
1. 共同研究の体制	5
2. 主要8セクター別トランジション技術の概要及び セクター分析	7
3. おわりに：今後の共同研究における方向性	16
4. Appendix	
(1)北海道大学研究員の研究紹介	21



はじめに

気候変動への対応は、環境負荷の低減という観点にとどまらず、企業活動の持続可能性や産業構造の転換、さらには中長期的な投資判断とも密接に関係する重要な論点となっています。世界各国において脱炭素化に向けた取組みが進展する中で、その移行過程における技術選択や事業運営、資金配分のあり方については、多面的かつ慎重な検討が求められています。

特に、温室効果ガス排出削減を進めながら経済活動を維持・発展させていく「トランジション」の局面においては、短期間での一律な対応が困難な分野も多く、業種や事業特性に応じた段階的な取組みが不可欠とされています。このため、脱炭素化の進め方そのものが重要な検討対象となっており、技術的な実現可能性や社会実装の条件を踏まえた現実的な議論が求められています。

また、アジア地域に目を向けると、タクソノミーやサステナブルファイナンスに関する制度整備が進展しており、脱炭素化に資する技術や事業に対する投資環境は着実に変化しています。その一方で、各国・地域における政策目標や産業構造、エネルギー事情は多様であり、脱炭素化へのアプローチも一様ではありません。こうした状況下では、個別技術の特性や導入条件を丁寧に整理し、移行の選択肢を複眼的に捉える視点が重要となります。

トランジションの局面における脱炭素化技術（以下、トランジション技術）には、CO₂分離回収、水素・アンモニア、メタネーション、バイオマス、蓄電池など、様々なものが含まれます。これらの技術は、技術成熟度、コスト構造、必要とされるインフラ、制度的前提条件などに大きな違いがあり、商用化に向けた課題もそれぞれ異なります。そのため、どの技術がどの分野においてどのような役割を果たし得るのかについては、個別具体的な整理が不可欠です。

こうした技術の多様性は、企業の事業戦略や投資判断においても重要な論点となります。金融機関や投資家にとっては、脱炭素化に関わる技術や事業について、短期的な経済性のみならず、中長期的な排出削減効果や事業継続性、将来的な発展余地を含めて理解することが求められています。そのためには、技術的背景や制約条件に関する基礎的な知見を整理し、評価の前提となる情報を共有することが重要となります。

日本においては、2050年カーボンニュートラルの実現に向けた政策的枠組みとしてGX推進法が制定され、官民連携による脱炭素投資を促進する取組みが進められています。脱炭素成長型経済移行債の発行開始など、資金面での枠組みも整備されつつあり、脱炭素化技術の社会実装を支える環境は着実に形成されています。こうした政策動向を背景に、トランジション・

ファイナンスにおいても、技術の実現可能性や移行計画の妥当性をどのように整理・評価するかが重要な検討課題となっています。

さらに近年では、中東情勢等に起因するエネルギー需給の不確実性や地政学的リスクへの関心も高まっており、脱炭素化とエネルギー安定供給、経済活動の維持という複数の要請を同時に考慮する必要性が指摘されています。このような複雑な課題に対しては、単一の主体による対応には限界があり、産学官金の連携を通じた知見共有や議論の積み重ねが重要となります。

本報告書はこうした背景を踏まえ、トランジション技術を取り巻く現状と主要な論点を整理するとともに、各セクターと脱炭素技術との関係性、ならびに商用化に向けた課題を明らかにすることを目的としています。北海道大学が有する脱炭素技術に関する学術的知見と、金融機関における実務的な視点を組み合わせることで、技術評価や移行プロセスに関する理解を深めることを目指します。本研究を通じて、トランジション技術に関する知見を段階的かつ体系的に整理し、企業や金融機関、政策関係者による検討や対話の基盤となる情報を提供することで、実務及び政策議論の高度化に資することを期待しています。

エグゼクティブ・サマリー

- 本報告書はトランジションの局面における主要セクターを対象に、トランジション技術と各セクターとの関係性を体系的に整理し、技術的実現性、商用化に向けた課題や将来の位置づけを俯瞰的に理解することを目的としている。
- 具体的にはCO₂分離回収、水素・アンモニア、メタネーション、バイオマス、蓄電池等の技術について、北海道大学による学術的・技術的知見と金融機関によるセクター分析・実務的視点を組み合わせて検討した。
- また、技術とセクターの関係性を可視化することで、セクター横断的な比較・検討を可能としている。こうした整理を通じて、本レポートは投資先企業とのエンゲージメントや政策当局を含む幅広いステークホルダーとの建設的な対話を促進するためのきっかけとなることを目指す。

セクター	主な関連技術	サマリー	頁
鉄鋼	 水素・アンモニア  CO ₂ 分離回収	高炉を前提とした既存設備活用と、直接水素還元等の抜本技術を複線的に進めることが重要。	8
化学	 水素・アンモニア  バイオマス  CO ₂ 分離回収	連産品構造を踏まえ、エネルギー転換と炭素循環を一体で進める必要がある。	9
電力	 水素・アンモニア  CO ₂ 分離回収	安定供給を大前提に、政策と整合した時間軸での現実的な脱炭素移行が重要。	10
ガス	 メタネーション  水素・アンモニア	熱需要を支える社会インフラとして、燃料転換と供給網整備を長期視点で推進。	11
石油	 バイオマス  水素・アンモニア	安定供給機能を維持しつつ、精製プロセスの低炭素化と脱炭素燃料への転換が必要。	12
紙・パルプ	 CO ₂ 分離回収  バイオマス	省エネ・燃料転換に加え、森林資源を活かした長期的な吸収・固定戦略が強み。	13
セメント	 CO ₂ 分離回収  水素・アンモニア	プロセス由来・エネルギー由来双方の排出対応が不可欠で、脱炭素難易度は特に高い。	14
自動車	 蓄電池  水素  バイオマス	走行時排出の削減には、電動化だけでなく、電力・燃料側の脱炭素化を同時に進めることが不可欠。	15

共同研究の体制

技術・経済・政策が一体となったエコシステムを市場に導入し、健全なサステナビリティ産業を育成

本取り組みは北海道大学と三菱UFJ信託銀行が進める包括的な連携のもとで実施する複数の施策の一つとして位置づけられる共同研究である。大学の研究・教育機能と金融機関の実務知見を結び付け、人材育成、政策提言、社会実装までを一体的に進めることで、サステナブル（トランジション）投資、そしてサステナビリティ産業の育成を通じた持続可能な社会の実現を目指す。



北海道大学

「持続可能なwell-being社会の実現」
脱炭素成長型地域経済の実現



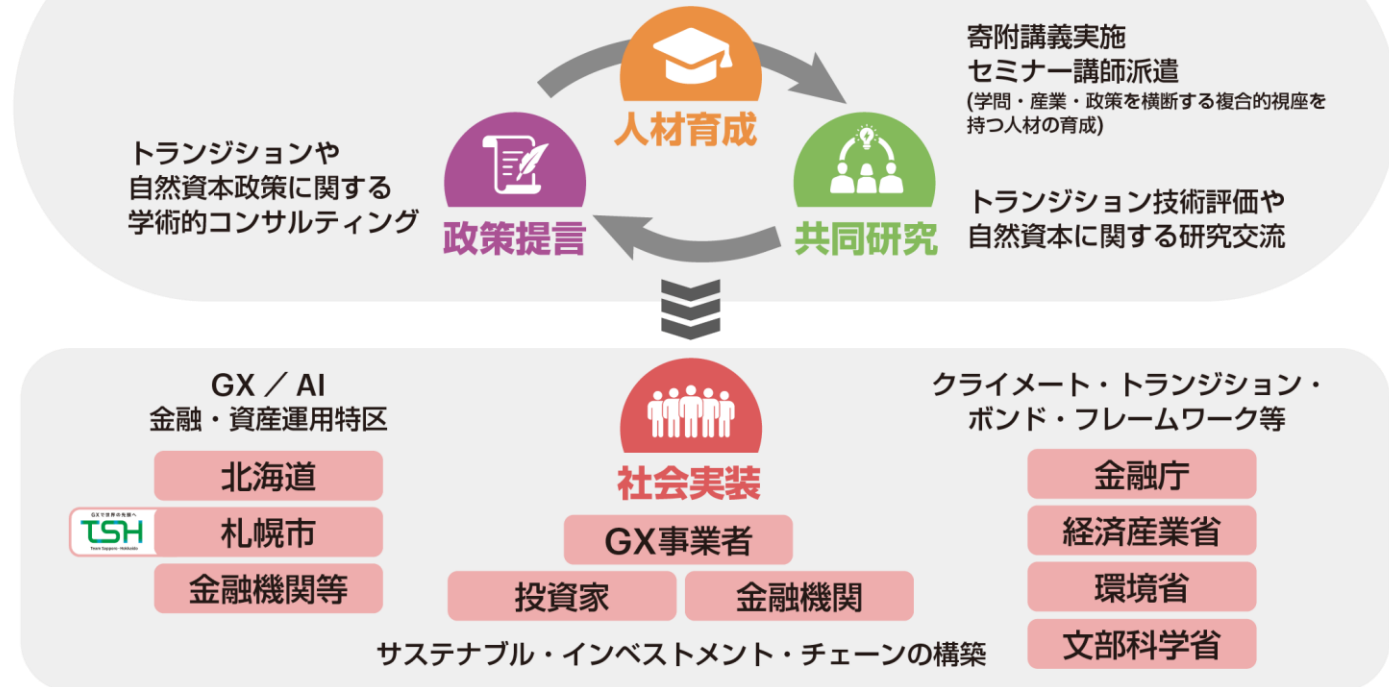
三菱UFJ信託銀行

MUFG

「私たちの投資、サステナブルな未来へ」
サステナブル投資（トランジション投資）の推進



大学と金融機関によるサステナビリティの共創モデル



**主要8セクター別
トランジション技術の概要及び
セクター分析**

(1) 鉄鋼分野 — 水素活用及び電炉化を通じた低炭素化の取組み —

技術概要



水素・アンモニア

■ 高炉水素還元製鉄

既存の高炉の還元を使用するコークスの一部を水素に代替し水素の還元率を高めることでCO₂排出量を低減する技術である。国家プロジェクトであるCOURSE50と後継のSuper COURSE50では、製鉄所内外の水素を活用した還元製鉄と所内の排ガスに含まれるCO₂を分離・回収し、再利用することで、排出量を従来の高炉と比べてCO₂排出量の削減が可能である。技術的な課題は、水素還元は吸熱反応であるため炉内温度の高温維持が難しい点である。商用化に向けては、既存の高炉を活用するため初期投資負担は少ないものの、安価で安定したグリーン水素の確保が重要になる。

■ 直接水素還元製鉄

鉄鉱石を直接還元炉で水素を加熱して還元鉄を製造する技術である。CO₂は排出せず、水のみ発生することから脱炭素化の切り札とされている。技術的な課題は、直接還元鉄に適した高品位鉄鉱石は供給が限られているため、低品位鉄鉱石を使用した場合の生産性・操業安定性・品質確保である。また、水素還元は吸熱反応であるため炉内の温度を維持する熱供給も必要となる。商用化までには、新たな直接還元炉の初期投資負担、安価で安定したグリーン水素や再生可能エネルギー電力の確保が必要になる。

その他

■ 大規模電気炉

電炉は鉄スクラップを電気で溶解し、主に汎用鋼を製造しているが、大型化により高炉に近い生産効率と高級鋼の製造を実現する技術である。CO₂排出量は、電炉は鉄スクラップを電気で溶解するため電力が必要であるが、鉄鉱石の還元工程がないため、電源構成にもよるが従来の高炉法と比べて排出量を大幅に削減できるポテンシャルを持つ。削減量は原子力及び再生可能エネルギー由来の電力をどの程度導入できるかに依存する。技術的な課題は、主に原料となる鉄スクラップに混入している不純物の除去や大型化である。また、商用化までには、大規模設備の初期投資負担や原料となる良質なスクラップを大量に確保することが必要になる。

リサーチ分析

鉄鋼業の概要

鉄鋼業は素材産業として、自動車、建設、船舶、産業用機械など幅広い用途に鉄鋼製品を供給する基幹産業である。鉄の主な製造工程は、鉄鉱石をコークスで還元（鉄鉱石から酸素を取り除く）する高炉法と還元過程のないスクラップを原料とした電炉法に分けられる。2024年度の国内粗鋼生産の74%が高炉法、26%が電炉法である。高炉法は電炉法に比べて、還元過程でCO₂を多く排出するものの、エネルギー効率、生産性、品質などの面で優れている。特に高張力鋼（ハイテン）や電磁鋼板など高級鋼は、自動車産業を中心に幅広い産業で活用され、日本の産業競争力を下支えしている。

鉄鋼業のCO₂排出量

鉄鋼業の2023年度のCO₂排出量は131百万トンと国全体の13%、産業部門全体では最大で39%を占める。排出源は80%以上が高炉法によるもので、鉄鉱石をコークスで還元する工程で大量に発生する。日本の鉄鋼業は、省エネ技術の普及が進み廃熱・副生ガスの活用などにより、高炉・電炉とも世界最高水準のエネルギー効率を達成している。また、鉄の再利用も進みリサイクル率は既に90%以上に達している。

鉄鋼業のCO₂排出量削減目標と実績

一般社団法人日本鉄鋼連盟は、鉄鋼業全体のCO₂排出量の削減目標（スコープ1・2）について、2030年度での2013年度比30%削減、2050年度でのカーボンニュートラル実現を掲げている。2024年度の実績は2013年度比25.8%削減まで進んでいる。大手高炉3社の粗鋼生産1トン当たりの排出量は2021年度からほぼ横ばいで、削減は主に粗鋼減産による影響が大きい。2024年度末の国内高炉数は国内需要減、中国やインドの生産拡大、脱炭素化などから、2024年度末に20基以下まで減少している。

CN計画と注目技術との関係

鉄鋼業が2050年度のカーボンニュートラルを実現するためには、長期的には水素で鉄鉱石を還元するためCO₂を排出しない「直接水素還元製鉄」の技術開発を進めるとともに、短期的には既存設備を活用した低炭素化の技術開発など複線的に進める必要がある。これら取組みでも一定量のCO₂の排出は避けられないため、CCUS（CO₂回収・利用・貯留）も同時に進める必要がある。また、安価で安定したグリーン水素や電力の供給体制の整備、グリーンスチール市場の形成も不可欠である。注目した3技術は、低炭素化に向けて、第1に既存の高炉を活用しコークスの代わりに水素の還元率を高める「高炉水素還元製鉄」第2に脱炭素化の切り札となる「直接水素還元鉄」、第3に高炉から「大規模電気炉」への転換である。

(2) 化学分野 — エネルギー転換及び炭素循環に向けた対応 —

技術概要



水素・アンモニア ■エネルギー転換

我が国の各部門におけるCO₂排出量を見ると、全産業部門の中で鉄鋼・非鉄に続いて化学の割合が高い。化学産業ではエネルギー起源の排出に加え、ナフサ等の原料利用による非エネルギー起源の排出も存在する。

エネルギー多消費産業である化学産業は、系統電力からの購入だけではなく自家発電所を保有し、さらに安価な燃料である石炭を幅広く活用している。

製造プロセスにおける電力や熱源を、化石燃料から太陽光、風力、原子力等、脱炭素エネルギー由来の電力、CO₂フリー水素、CO₂フリーアンモニアなどへ転換していく必要がある。具体的には、アンモニア加熱ナフサ分解炉などの革新的なプロセス技術の実用化を推進しているが、このほか高効率化・省エネルギー化に向けた設備投資や技術導入を継続してCO₂排出量を着実に削減していけるかに注目している。



CO₂分離回収 ■CCS・CCU

CCS (Carbon dioxide Capture and Storage、二酸化炭素回収・貯留技術) は発電所や化学工場などから排出されたCO₂を、ほかの気体から分離して集め、地中深くに送り込み、地下深くの安定した地層の中に貯めることで、大気中に放出されるCO₂を減らす技術。他方、CCU (Carbon dioxide Capture and Utilization) は分離・貯留したCO₂を利用しようというものだ。

一部の既存化学プロセスでは、技術的・経済的にプロセスからの排出をカバーするために、CO₂回収・貯留 (CCS) 技術の導入も検討されているが、その導入コスト・運用コストの低減、貯留サイトの確保が大きな課題となっている。CO₂利用技術 (CCU) においては、エネルギー効率向上とコスト削減がポイントとなる。現状ではCCU技術の多くは実用化レベルには至っていない。



バイオマス ■ケミカルリサイクル

ケミカルリサイクルは、使用済みプラスチックを化学的に分解し、元の化学成分に戻して再利用するリサイクル技術である。日本の化学業界はカーボンリサイクルの技術開発に注力しており、炭素循環型経済のビジネスモデルへの移行に向けた取組みは、資源が乏しい我が国の特性に照らしても、温暖化対策等の観点からも社会・経済的意義は大きい。

EUが先行的に循環経済への移行に向けた政策を推進しているが、我が国においてもGX戦略と同様に「成長志向型」の循環経済を確立するための法整備が進められている。

ケミカルリサイクルの技術は進展しているが、多様な種類の廃プラスチック (混合、複合、汚染されたものなど) に対応できる処理技術の確立、処理量の大規模化、そして効率的なプロセス開発が課題。

リサーチ分析

化学産業の基盤構造と特徴

化学産業は原油精製の副産物の「ナフサ」を原料とするサプライチェーンを中心に、ポリエチレン等の汎用品から半導体素材等の最先端素材まで、自動車や医療など幅広く産業を下支えしている。一つの工程で同時に複数の製品が生産される「連産品」により製造されていくことも化学産業の大きな特徴で、一つの工程の変化がその製品のみならず、下流の他の製品に影響を与える構図となっている。

技術力を基盤とした日本企業の戦略

化学産業における世界的な再編の中、日本企業の占める立ち位置は大きく変化しており、日本企業は、規模を追求する戦略から一線を画す方向へシフトしている。

日本企業が注力している機能性化学品とは、感光性、強磁性、高導電率、絶縁性、高遮熱性、反応促進性能等、特定の機能面に着目して用いられる付加価値の高い化学品の総称で、個々の市場規模は小さいものの、世界シェア60%以上の材料が70種類と、高いシェアを維持している。日本の化学企業は、約1000億円規模の市場において高いシェアを獲得している。

我が国は、長年の技術蓄積をベースに、出口企業からの厳しい要求やすり合わせ等を通じて技術力を高めてきた。今後のカーボンニュートラル時代に向けても拡大していくことが見込まれる機能性材料市場において、高い技術力にさらに磨きをかけ、世界のトップを維持しながら、グローバル市場獲得に向けて取組みを加速させることが必要だ。

グローバル市場獲得に向けて、自己の優れた技術に着目し、発展させる形でイノベーションを起こし、革新・先端素材におけるシェアを拡充。モビリティや半導体等のエレクトロニクスに加え、今後、異業種・異材料分野の協業により、ますます拡大が見込まれるヘルスケア、医療福祉機器、バイオ製品等でのさらなる展開が期待される。

サプライチェーンの構造変化

各国で地域ブロック圏ごとのサプライチェーン構築の動きがある中、半導体素材など最先端かつサプライチェーンの基幹技術に関し、経済安全保障的観点も踏まえた立地戦略の構築が必要だ。また、平時は付加価値が低く、生産拠点を他国に移した物資についても、供給不安が産業に広く影響する場合もあり、機動的な対応が求められる。化学メーカーからの供給が滞ることによる社会経済への影響は大きい。

近年、革新的なデジタル技術をコアにしたベンチャー企業が注目されるなど、取り組みの遅れていた素材産業においても、ベンチャー企業の育成が徐々に進むとともに、それらを積極的に活用する企業の動きが活発化しており、今後の動向に注目している。

(3) 電力分野 — 安定供給と脱炭素の両立に向けた移行シナリオ —

技術概要



水素・アンモニア

■アンモニア混焼・専焼

石炭火力発電所で使用する燃料の一部・全部を燃焼時にCO₂を排出しないアンモニアに置き換えて発電を行う技術。既存の火力発電設備を維持しつつCO₂排出を削減できる点が強みである。加えて、肥料用途を中心としたアンモニア利用に関わる既存の製造・輸送・貯蔵のインフラも活用できる。一方、混焼率向上・専焼化に向けては、排ガス中NO_x増加の抑制、燃焼ガスの輻射特性変化による発電効率の低下、着火の不安定性などの技術的な課題が残る。また毒性があり安全性への配慮も必要となる。政府は2030年代後半に50%-60%混焼の実用化を掲げて、技術開発を後押しする方針である。アンモニアの20%混焼については、JERAの碧南火力において大規模実証が行われ、技術的な目途がつつきつつある。

■水素混焼・専焼

LNG火力発電所で使用する燃料の一部・全部を燃焼時にCO₂を排出しない水素に置き換える技術。既存の発電用ガスタービン設備を用いてCO₂排出が削減できるメリットがある。現段階においてはグリーン水素の製造コストが高いこと、海外での水素製造を見据えたサプライチェーンの構築と、その輸送・貯蔵インフラ整備に非常に大きな経済負担が必要となることなどが主要な課題である。また、水素の燃焼性の高さに起因する、排ガス中のNO_x増加の抑制及び燃焼振動の抑制などの技術的な課題が残る。政府は2030年代後半にガス火力で30%混焼を実用化することを目標に掲げるとともに、水素の供給コストに対しても2050年に化石燃料と同程度の水準に引き下げることを目指している。国内企業ではJERAが2030年代前半から商用運転開始を目指す方針を示している。



CO₂分離回収

■CCUS

発電所から排出されるCO₂を回収・利用・貯留するCCUSは、電力分野において、エネルギーの安定供給と脱炭素を同時に実現するための不可欠な技術と位置づけられる。一方、社会実装に向けては、CO₂分離・回収のコスト低減に加え、CO₂の長距離輸送網や地中貯留サイトの整備、CO₂変換効率の向上、地域住民の理解醸成など多くの課題が残る。政府はCCUSへの投資を促す支援制度の検討やコスト低減に向けた技術開発に取り組む方針である。国内では、電源開発と九州電力が火力発電所における排ガス由来のCO₂を回収してマレーシア沖で貯留する国際連携プロジェクトを計画しているほか、北海道電力はIHIと協力し石炭火力向けの大規模CO₂回収設備の実証を進めている。

リサーチ分析

電力業界の脱炭素は安定供給とのバランスが求められる

日本のCO₂排出量のうち、電力由来の間接排出は約4割を占めており、電力分野における脱炭素は政策的な重要性が非常に高い。一方、地政学リスクや自然災害リスクの高まりによるエネルギー安定供給の要請や、データセンター建設に伴う電力需要の増加が、脱炭素の取組みを難しくしている。化石燃料ベースの発電量が依然6割を超える日本では、今後脱炭素に対して大規模な投資を進める必要がある。また送配電網や蓄電システムなど、再エネ発電を支えるインフラを整備することも不可欠となる。電力の安定供給と脱炭素化を両立するため、電力業界にとっては、地域と共生した再エネ発電の拡大や、安全性確保と地域理解を前提とした原子力の活用など、既存技術を用いた取組みを進めることが、当面の重要事項になると考える。

トランジション技術の将来計画の信頼性を高める必要

電力分野のトランジション・ロードマップでは、長期的な脱炭素に向けて、水素・アンモニア・バイオマスの混焼及び専焼、CCUSの活用による火力電源の脱炭素化、次世代型太陽電池、浮体式洋上風力発電、次世代型地熱発電、既設の原子力発電、次世代革新炉などの技術を現時点における有望技術と位置づけている。これらのトランジション技術の社会実装に向けては、当該技術の実現性や成熟度とともに、燃料調達長期安定性（価格・品質・数量）、電力販売契約の確実性、設備の保守・修繕計画、第三者認証など排出削減効果の透明性の確保、将来の環境規制変更リスク、地元対話の状況などについて各社が取組みを強化することで、将来の事業計画の信頼性を高めることが必要と考える。

国のエネルギー政策との連動が一段と重要に

2025年2月に示された第7次エネルギー基本計画は、投資回収の予見性を高めて脱炭素電源の供給力を抜本的に強化する方針を示している。特に次世代型太陽電池（ペロブスカイト太陽電池）など国際的に日本が競争力を発揮できる技術分野では長期的な政策支援が期待できる。政府は、電力分野の脱炭素化について、国のエネルギー政策と一体的に進めていくべきという立場を明確にしている。国内の電力業界各社にとっては、自社の事業戦略や脱炭素計画を国のエネルギー政策と整合性の高いものにすることが、事業計画の信頼性や脱炭素計画の実現可能性を高める上でこれまで以上に重要になると考える。

(4) ガス分野 — 既存インフラを活用した低炭素化の進展 —

技術概要

メタネーション ■ サバティエメタネーション

CO₂と水素を反応させて合成メタン（CH₄）を生成する技術。技術成熟度が高い上、既存の都市ガスインフラを活用して脱炭素を進められる利点がある。また分離回収したCO₂の有力な用途にも位置づけられる。一方、水電解とメタン合成を経ることでエネルギー効率が下がる点、強い発熱反応を伴うため熱管理が難しく触媒劣化を招きやすい点などの技術的な課題も残る。加えて将来のグリーン水素の調達コストの抑制も必要になる。政府ロードマップは2030年代の商用スケールでの導入を目指している。現在、INPEXと大阪ガスが連携し、大規模メタネーションシステムを用いた導管注入の実証やスケール化に向けた事業性評価が進められている。

■ バイオメタネーション

微生物がCO₂と水素を食べてメタンを作る自然プロセスを利用してバイオメタンを生成する技術。既存のガス設備で利用可能なことに加え、化学反応であるサバティエ反応と異なり常温・低圧での反応が可能で、設備の劣化や安全性への対策コストが低い点が強みである。一方で、生物反応であるため高速化や大規模化が難しい点は商業化に向けた課題となる。加えて将来のグリーン水素の調達コスト抑制も重要なポイントである。政府は2030年までに600Nm³/日以上の実機レベルでの運転実証と生成ガスの既存都市ガス設備での利用実証を目指している。大阪ガスは関西万博会場にてバイオメタネーションの実証実験を実施した。

水素・アンモニア ■ 水素の利活用

政府の技術ロードマップは水電解、海外からの輸送、国内の水素供給網整備、工業炉や燃料電池への水素利用など、水素の製造や直接利用を、ガス分野の脱炭素に向けた重要な取組みに位置づけている。水素はエネルギー効率がが高く、燃焼時にCO₂を排出しない点が強みである一方、グリーン水素の調達コストや供給インフラの整備、エンドユーザー側での燃焼機器の転換など、多大な社会的コストが必要になる点が大きな課題である。政府はパイプラインやタンクなど水素サプライチェーンの整備に対する支援のほか、化石燃料と水素価格との価格差に基づいた支援制度も整備し、長期的視点で脱炭素に向けた水素活用を後押しする方針である。

リサーチ分析

ガス業界の脱炭素は技術的／経済的な難易度が高い

日本の民生・産業部門の消費エネルギーの約6割は熱需要で占められ、ガスはその主要な供給源として社会基盤を支えている。一方、都市ガス起源のCO₂排出量は全体の約1割を占め、日本の脱炭素戦略における重要分野である。都市ガスのライフサイクル排出の8割以上が燃焼段階で発生すること、特に鉄鋼・化学など高温帯を必要とする産業では電化による代替が難しい分野が存在することから、長期的には、水素・合成メタンなどへの燃料転換を通じてガスそのものの脱炭素化を実現する必要がある。このような燃料転換に向けた技術的なハードルや、インフラ整備を含めた社会的コストの大きさを勘案すると、ガス分野の脱炭素は、電力分野と比べてより難易度が高いと考える。

短期的には効率化と燃料転換が重要に

ガスそのものの脱炭素を実現するには時間が必要となるため、熱需要における当面の排出削減の取組みとして、熱利用の省エネ・効率化技術の導入や、石炭・石油から燃焼時のCO₂排出量が低いLNGへの燃料転換を進めることが重要となる。具体的な取組みとして、LNG輸送に用いる超低温（マイナス162度）の冷熱の活用、高効率バーナーによる燃料使用量の削減、コジェネレーションや燃料電池を用いた分散型エネルギーシステムによる熱利用の効率化などがある。こうした排出削減の取組みにより低炭素化を進めることは、将来の革新的な脱炭素技術の実用化に伴う社会的なコストを低減させることにもつながる。

長期的に脱炭素技術確立とコスト低減が不可欠

ガス分野の脱炭素に向けては、合成メタン、水素、グリーンLPガスの拡大に向けた技術開発が特に重要となる。これらの技術の社会実装に向けては、エネルギー技術の成熟度、再エネ電力やCO₂を含む原料調達の価格安定性、ガス需要や販売契約の確実性、脱炭素インパクトの透明性、政策支援の持続性を見通しなどをベースに、将来のCF計画の信頼性を高めることが重要と考える。日本の第7次エネルギー基本計画は、LNG・天然ガスから合成メタンへの転換をガス分野の脱炭素の主要な対策と位置づけ、2030年度の1%程度の導管注入や、メタネーションの大量導入を可能とする基盤技術の確立を目標に掲げる。政策支援の見通しが明確である点は、社会実装に向けたサポート要因である。

(5) 石油分野 — 脱炭素燃料の導入と供給体制の検討 —

技術概要



バイオマス

■ バイオ燃料

バイオ燃料は、植物や廃食油、廃棄物などから製造される。これら原料となる植物等が、成長過程で大気中のCO₂を吸収することから、カーボンニュートラルな燃料とみなされている。

これまで、国内ではとうもろこし、さとうきび等から製造されたガソリン代替のバイオエタノールを利用してきた（輸入が大半）。軽油代替のバイオディーゼル燃料は、自治体等が廃食油等を回収・精製し、自治体のバスや清掃車等の燃料として利用されるなど、地産地消の取組みとして進められている。

我が国の各部門におけるCO₂排出量を見ると、産業部門に続き運輸部門の割合が高い。このため、バイオ燃料の導入拡大についても推進し、バイオ燃料及び合成燃料の活用によって液体燃料のカーボンニュートラル化の実現が重要である。



バイオマス / 水素・アンモニア

■ SAF

航空業界の国際機関であるICAO（International Civil Aviation Organization、国際民間航空機関）において、国際航空輸送分野における2024年以降のCO₂排出量を、2019年のCO₂排出量の85%以下に抑えるという厳しい目標が2022年10月のICAO総会で採択された。航空分野の国際的なCO₂排出削減に向けた規制を背景に、ジェット燃料の代替となる持続可能な航空燃料（SAF、Sustainable Aviation Fuel）の需要が高まっている。SAFの導入促進を目指す世界経済フォーラム内の「クリーン・スカイズ・フォー・トゥモロー・コアリション」は、世界の航空業界で使用される燃料におけるSAFの割合を、2030年までに10%に増加させることを宣言。またワンワールドは加盟社全体で、各航空会社は自社で使用する燃料について、その10%をSAFに置き換えることを宣言している。エタノールをジェット燃料用に改質する技術（ATJ）により、バイオエタノールをSAF用途にも利用可能。

その他

■ 天然ガス・LNG（低炭素エネルギー）

天然ガスは現在、主に火力発電の燃料や、家庭で利用する都市ガスなどに利用されており、次世代エネルギーとして注目される水素を製造する際にも使われる。石炭や石油と比べて環境汚染物質の排出量が少ないという特性もあり、カーボンニュートラルの実現に向けて、注目を集めるエネルギー資源である。

世界のLNG市場は拡大基調にあり、今後のLNG市場を見通す上で、ポイントとなるのがLNG生産プロジェクトの動向である。大型プロジェクトが予定されているが、昨今の物価や金利が上昇する中、人材や部材の確保も容易ではないと見られるため、プロジェクトが順調に立ち上がっていくかに注目している。

リサーチ分析

石油業界が直面する課題

石油は国民生活・経済活動に不可欠なエネルギー源であり、災害時には可搬性・機動性等に利点があることから、エネルギー供給の「最後の砦」となっている。ウクライナ侵攻や中東紛争といった地政学リスクの高まりもあって、石油業界は脱炭素化とエネルギーの安定供給の両立という難しいかじ取りを迫られている。

我が国のエネルギー政策では天然ガス・LNGを、「現実的な移行期の燃料」として位置づけているが、化石燃料の一種であるため、中長期的にはエネルギーのグリーン化を着実に進めていく必要がある。

石油精製の脱炭素化と燃料転換

石油業界のカーボンニュートラル実現に向けては、1) 原油処理の低炭素・脱炭素化、2) 脱炭素燃料への転換による製品燃焼の脱炭素化が必要。1) の原油処理の低炭素化・脱炭素化では、①省エネ・高効率化はこれまでもかなり進めてきたので、今後の「のりしろ」があるのがポイントとなる。②CO₂回収に関する技術開発は広がりを見せているが、回収プロセスのエネルギー消費や長期貯留の安全性、貯留用地の確保など課題も多い。2) 低・脱炭素燃料への転換は、主なものとして以下が挙げられる。①水素・アンモニアは、安定的かつ大量に供給するための海外水素の活用、国内での水素製造基盤の確立に加え、需要サイドでの利用拡大等が社会実装に向けて不可欠だ。②植物や廃棄物等を原料とするカーボンニュートラルなバイオ燃料では、バイオエタノール（ガソリン代替）やバイオディーゼル（軽油代替）の利用が世界的に進んでいる。

燃料供給体制の整備

現在、ICAOのCO₂排出削減枠組の達成に向け、SAFの導入が必要とされており、各国で製造技術開発やサプライチェーン構築の検討が活発化している。わが国では2026年1月に経済産業省や国土交通省などが、航空会社が支払うSAF購入費の一部を利用者に負担してもらう方針を示した。具体的な仕組みは今後検討されるが、SAFの導入拡大に向けた取組みが大きく一歩踏み出したので、需要拡大に対する石油元売り各社の設備投資を後押しするだろう。

製油所やサービスステーション等の事業再構築といった燃料供給機能の適正化に向けた取組みでは、脱炭素に貢献する一方、地域経済や雇用への影響等の「公正な移行」にも目配りが欠かせない。

(6) 紙・パルプ分野 — 製造プロセスの低炭素化及び森林資源の活用 —

技術概要



CO₂分離回収

■大気中からのCO₂吸収（早生樹・エリートツリー）

原料となる森林資源を保有する製紙業界では、早生樹やエリートツリーといった成長が早い樹種の開発・造林を通じて、大気中のCO₂を吸収・固定する取組みを行っている。森林面積あたりのCO₂吸収量の拡大（1.5倍以上）を図ることにより、社会全体のカーボンニュートラルへの貢献も期待される。直接的なCO₂固定効果が見込まれるものの、特定の樹種が拡大することによる病害・気候変動への脆弱性、水資源や生態系への影響の可能性は課題となる。一方、CO₂吸収・固定化という環境価値を創出しつつ、将来の安定的な原料確保につながる点は、製紙業界の事業特性を活かした強みといえることができる。

その他

■キルンの電化

パルプ製造における中核工程であるカルシネーション工程（石灰石を900-1000度で加熱）で用いられるキルンの熱源を重油や天然ガスから電気に置き換えることで、排出削減を図る取組み。燃焼由来の排出削減が可能になる一方、石灰石の化学反応に伴うプロセス由来の排出は減らすことができない。また高温反応の電化は難易度が高い上、既存工程との適合性の確保も必要になるなど、現段階においては技術的に解決すべき点が依然残る。加えて、十分な量の再エネを確保できることが前提であり、将来の電力調達体制の整備やコストの安定化も課題となる。一方、期待できる排出削減効果が大きい点は強みである。

■抄紙機ドライヤーの電化

原料パルプから紙を製造する工程で使用される乾燥設備を電化する取組み。抄紙プロセスでは、99%水分を含んだパルプを搾水や熱で乾燥させる必要がある。課題としては、大量の再エネ電力の確保が必要となる点や、電化乾燥設備の技術成熟度が低い（既存抄紙機との統合や製品品質への影響）点などがあげられる。一方、排出削減効果が大きい点はメリットである。乾燥工程においては、電化への取組みとともに、水の代わりに空気を使用することで乾燥工程のエネルギー削減を図るドライシートフォーミングや、熱を用いたプレスで乾燥時の熱需要削減を図る高効率プレス技術など、効率化の技術と組み合わせることで排出削減を図ることも重要となる。

リサーチ分析

紙・パルプ産業は日本のネットゼロ実現に果たす役割が大きい

紙・パルプ産業は、森林樹木由来の原料を用いて新聞紙や段ボール紙、ティッシュペーパー等の生活必需品を安価かつ安定的に供給する基盤産業である。高水準の古紙回収と再利用を通じ、循環型社会の形成にも寄与している。一方、製造工程で多くの熱と電気を必要とする紙・パルプ産業は、国内製造業で4番目に多いCO₂を排出する産業であり、日本全体のネットゼロ実現に果たす役割が大きい。また、製造過程で石灰石分解に伴う排出が不可避免的に生じるセメント産業と比べると、技術的な脱炭素の余地は大きい。豊富な森林資源を背景にバイオマス燃料を安価に入手可能な欧米と異なり、日本では独自の脱炭素アプローチが求められる。

生産活動における省エネ・燃料転換をさらに進める必要がある

日本製紙連合会では、省エネルギー設備・技術の導入や、再エネ（水力、太陽光、風力、地熱、バイオマス）利用率の拡大を脱炭素への重要な取組みに挙げている。実際に、業界大手である王子HDは、今後もエネルギー消費単位の低減（5年平均1.0%以上）を続けるとともに、再エネ利用率を60%以上に高めることにより、2030年度までに石炭専焼ボイラ8基を廃止する計画である（石炭を用いる国内ボイラは2018年度時点で16基）。政府の技術ロードマップは、廃棄物のエネルギー利用やコージェネレーション導入、エネルギー管理システムの導入も重要な取組みに掲げている。加えて、原料輸送に関わる排出削減も進められている。

革新技術に加え、事業特性を活かした長期的取組みにも注目

製紙業界の地球温暖化対策ビジョンは、長期的に、抄紙機ドライヤーとキルンの電化、プレスでの水分量低下によるドライヤーでの乾燥効率の改善、高効率なパルプ製造方法の開発、エネルギー効率の高い黒液濃縮設備の開発など製紙プロセスに関連した革新技術の実用化に取組む方針を示す。これらの社会実装には、既存ラインへの導入に伴う操業リスク、強度など製品品質への影響、設備改造の費用、将来の保守／修繕負担などの見通しが明確になる必要がある。また製紙業界においては、原料となる森林資源の育成を通じたCO₂吸収固定の拡大も重要である。具体的に王子HDは2040年度に2018年度排出量の50%相当分を森林により吸収固定する計画である。これに加えて、原料パルプからバイオ化学品・バイオ燃料を製造することで社会全体の低炭素を目指す取組みも、紙・パルプ業界の事業特性を活かした戦略的な取組みとして注目できる。

(7) セメント — 長期的な視点を踏まえた脱炭素化への対応 —

技術概要



CO₂分離回収 ■炭酸塩の生成 (CCUS)

セメント原料を高温で焼成するロータリーキルンで発生したCO₂を分離・回収して炭酸塩を製造し、それを人工石灰石に生成することでセメント原料に利用する技術。セメント分野における排出量の約6割を占めるプロセス由来CO₂の削減効果が期待される。一方、実用化に向けては、CO₂の分離・回収や炭酸塩生成のプロセスの安定性・効率性の向上、セメント製品の品質確保、既存設備とのプロセス統合や設備の耐久性などの技術的な課題の解決に、長期的に取り組む必要がある。現在、国の政策支援をうけて、住友大阪セメントと大成建設が炭酸塩化技術を用いたCO₂回収型セメント製造プロセスの開発に取り組んでいる。



水素・アンモニア ■水素・アンモニアの利用

原料の焼成過程において、水素・アンモニアをキルン（回転窯）の燃料として用いることで、エネルギー由来のCO₂排出量を削減する取組み。高温での燃焼が可能であり既存設備への適合性も高いことが利点で、セメント協会の長期ビジョンでは、2050年までに水素・アンモニア・合成メタンなどゼロエミッション燃料との混焼を50%に増やすことを目標としている。一方、燃料の安定供給とコスト抑制は大きな課題であり、実用化に向けては水素・アンモニアの長期契約や供給網整備を進める必要がある。UBE三菱セメントは、宇部工場においてアンモニアを熱エネルギー源として用いる商業規模での実証実験を行っている。

その他

■クリンカ比率の低減

製造時に多量のCO₂を排出するセメント原料であるクリンカの使用比率を下げる目的で、石膏・高炉スラグ等を混合材として用いる取組み。セメント産業の長期ビジョンは、2050年に向けてクリンカ比率を0.85から0.825に下げることが目標とする。技術成熟度が高く、大規模な設備改造が不要な点が強みである一方、混合材の増加が製品品質・セメント規格の適合性に影響を及ぼすリスクや、原料調達安定性確保が課題となる。加えて廃棄物の使用原単位の維持も求められる。現在、日本セメント協会では普通セメント中の少量混合成分比率を現状の5%から10%へ引き上げるJIS（日本の標準製品規格）改正のための実証データ整理を進めている。

リサーチ分析

セメント業界は脱炭素のハードルが高い

セメントは社会インフラを支える重要な建材である。防災投資や老朽インフラの更新が見込まれる日本においては、今後もセメント製品の品質確保と安定供給が不可欠となる。またセメント産業は、廃棄物の受入れを通じてサーキュラーエコノミーにも貢献している。一方で同産業は日本の温室効果ガス排出量の約4%に相当するCO₂を排出する高排出セクターである。原料である石灰石の脱炭酸反応に伴うプロセス由来CO₂が不可避的に生じることに加え、製造過程における1450度の高温焼成の燃料の多くを化石燃料に依存するためエネルギー由来CO₂の排出も多い。セメント分野では製造プロセス（排出量の約6割）とエネルギー転換（同約4割）の両面の対応が求められ、脱炭素の難易度は他分野以上に高いといえる。

当面は省エネ技術活用や燃料転換がポイントに

当面の排出削減に向けた対応としては、これまで進めてきた省エネ設備の導入や、再エネ・天然ガス・バイオマスへの燃料転換が重要になる。加えて、廃棄物の燃料・原料利用や、触媒剤活用による燃焼温度の低下も、早期の排出削減効果が期待される。住友大阪セメントでは、化石エネルギー代替率の向上や熱効率改善、電力消費の削減を通じて、エネルギー由来のCO₂原単位を2030年度までに2005年度比30%削減する計画を明らかにしている。これらの取組みに対しては、操業の安定性や製品品質への影響、安全規制・認証取得の見直しなども勘案した上で、運転コストの経済性を考える必要がある。

長期的な革新技術への取組みを継続する必要がある

セメント分野における脱炭素技術の開発は長期にわたることが想定され、脱炭素電源や水素供給インフラ、CCUSなど他分野の社会システムの整備状況にも左右される。また、自然災害が多く建築材料に高い強度が求められる日本固有の事情も存在する。各社は引き続きクリンカ比率低減に取り組むとともに、エネルギー由来の排出削減に向けて水素・アンモニア・合成メタン等のゼロエミッション燃料の混焼を進めることが重要と考える。一方、プロセス由来の排出を完全になくすことは困難とされることから、セメント製造プロセスからのCO₂回収技術をはじめとして、将来のCCUS実用化への取組みを継続することが業界の脱炭素には不可欠となる。政府は、こうした革新技術の開発を今後も継続的に支援する必要があると考える。

(8) 自動車分野 — 次世代電池・水素・燃料が描く将来像 —

技術概要



蓄電池

■ 高性能蓄電池（全固体電池）

全固体電池は、リチウムイオン電池に使用される有機系の電解質溶液を固体電解質に置き換えた次世代電池である。安全性、航続距離、耐久性などは、現在主流となっているリチウムイオン電池を上回ることが期待され、BEV普及を加速させる技術である。固体電解質は不燃性で熱暴走リスクが低く、副反応も少ない。また、リチウム金属負極の採用により高いエネルギー密度の実現も可能である。CO₂排出量も電池の軽量化による電費の改善から削減が期待される。技術課題は、固体電解質と電極の接触面でイオン移動が制限される界面抵抗の低減、リチウム金属負極の安定利用、固体電解質のイオン電導の制約から急速充電が難しいことなどである。また、商用化までには量産効果を含めた部材と製造プロセスのコスト低減や充電設備の拡大が必要になる。

■ 燃料電池車

燃料電池車は、水素を燃料に化学反応で電気を発生させ、モーターを駆動する技術である。車載の高圧水素タンクに充填した水素を燃料電池スタックで空気中の酸素と反応させて発電する。既に乗用車やバスが販売されているが、車両価格の高さや水素ステーション不足により普及が遅れている。CO₂排出量は、グリーン水素であれば走行時に水のみを排出するためゼロである。水素はエネルギー密度が高く、充電時間が短いため、商用車など長距離・重量物輸送に適している。車両価格を引き下げる技術的な課題は、高価な白金触媒を用いる燃料電池スタックや炭素繊維強化プラスチックを用いる高圧水素タンクなどのコスト低減化である。また、商用化までには安価な水素製造、輸送インフラ、水素ステーションの拡大が必要になるが、商用車から普及が進んでいくとみられる。



バイオマス

■ バイオ燃料（E10、E20）・合成燃料

E10、E20はガソリンにバイオエタノールをそれぞれ10%、20%混合した燃料であり、合成燃料（e-Fuel）は水素とCO₂を合成して製造した脱炭素燃料である。いずれも既存の内燃機関やインフラを活用でき、CO₂排出量はE10・E20は低減、e-Fuelは大幅な削減が可能である。バイオエタノールは製造技術が確立し、世界各国でガソリンに混合され、一般車両で利用されている。普及に向けた技術的な課題は、E10は日本でも既存車両に活用できるが、E20はエタノールの吸水性・腐食性による部品劣化リスクなど、e-Fuelは合成プロセスにより燃料特性の変化への対応などが必要にある。商用化までにはバイオ燃料の原料を生産する農地の確保、合成燃料は大量のグリーン水素や電力など供給体制の整備とコストの低減などが重要となる。

リサーチ分析

自動車産業の概要

日本の自動車産業は、完成車、部品、販売・サービス企業を中心に、鉄鋼、金属、石油化学、半導体など幅広い関連産業を抱える基幹産業である。自動車は品目別貿易収支で最大の貿易黒字を計上し、日本の産業競争力を支えている。近年は脱炭素化や技術革新などを背景に、電動化や自動運転など産業構造の転換期にある。2024年末の国内四輪車保有台数は78.7百万台、年間生産台数は8.2百万台、年間販売台数は4.4百万台、平均使用年数（乗用車）13.3年である。乗用車の年間販売台数に占めるバッテリー電気自動車（BEV）と燃料電池車（FCEV）は合計で3%にとどまるが、ハイブリッド車（HV）なども含めると60%を超える。

自動車産業のCO₂排出量

自動車は製造工程よりも走行時のCO₂排出量が多く、2024年度の運輸部門の排出量187百万トンのうち、自動車は160百万トンを含め、国全体の16%に相当する。2024年度の完成車メーカー主要8社の総排出量では99%以上がスコープ3であり、内訳は走行時など製品使用（カテゴリ11）が81%、購入した製品（カテゴリ1）が17%である。一般社団法人日本自動車工業会（以下、自工会）のライフサイクルアセスメント（LCA）によれば、再生可能エネルギー比率が低い現状の日本の電源構成では、HV、BEV、FCEVの排出量はあまり大差がないとしている。自動車産業のカーボンニュートラルには、電動化に加えて電力の脱炭素化を同時に進めていく必要がある。

自動車産業のCO₂排出量削減目標と実績

自工会は、2050年度までに自動車のライフサイクル全体でカーボンニュートラルを達成する方針を掲げている。多くの完成車メーカーも同様の目標を掲げ、スコープ1及び2、3の2050年度カーボンニュートラルや中間目標を設定している。政府の「地球温暖化対策計画」では、運輸部門のCO₂排出量の削減目標を2013年度比で2030年度が35%、2040年度が64~82%削減としている。2024年度の実績は180万トンと16%削減にとどまり、目標達成には削減ペースの加速を進めていく必要がある。

CN計画と注目技術との関係

日本の完成車メーカーは、地域のエネルギー特性に応じた多様な動力源の自動車を提供する「マルチパスウェイ戦略」により、カーボンニュートラルを推進している。バッテリーや水素燃料を活用した電動化やバイオ燃料や合成燃料を用いた内燃機関の高効率化などに取り組んでいる。この中で特に注目した技術は、第1に安全性、航続距離、耐久性を向上させるBEV用の全固体電池である。第2に商用車を中心とした水素など燃料電池車、及び第3にバイオ燃料を混合したガソリン（E10・E20）や合成燃料対応車の普及拡大である。

おわりに

本報告書では、2050年ネットゼロの実現に向け、CO₂分離回収、水素・アンモニア、メタネーション、バイオマス、蓄電池などのトランジション技術を対象として、それぞれの技術が抱える商用化に向けた技術的課題や論点を整理するとともに、金融機関がこれらの分野に関与する際に想定される課題や機会について検討を行ってきました。

トランジション技術は技術成熟度、コスト構造、制度的前提条件、不確実性の程度などが分野ごとに大きく異なります。このため、短期的な経済合理性のみを基準とした評価には限界があり、技術の特性や導入段階を踏まえた整理が求められることが、本共同研究を通じて改めて認識されました。

一方で、将来的な排出削減効果や産業構造転換への貢献、エネルギー供給面での位置づけなどを中長期的な視点で捉えた場合、脱炭素化技術への関与は、一定の条件のもとで新たな事業機会や成長可能性と結び付くことも考えられます。そのため、金融機関による資金供給やエンゲージメントにおいても、リスクと機会を併せて整理し、段階的に検討していく視点が重要となります。

本報告書の執筆を通じて、北海道大学が有する脱炭素化技術に関する学術的知見と、金融機関における実務的な問題意識を共有することで、個別技術の実現可能性や技術的制約、今後の発展余地について理解を深める機会が得られました。学術的知見は技術の評価や論点整理を行う上での重要な基盤となるものであり、実務的な検討を行う際の前提情報として有用であると

考えられます。

このように、アカデミアと金融機関がそれぞれの立場から知見や視点を持ち寄ることで、脱炭素化技術に対する多面的な理解が進み、トランジションに関する検討をより具体的かつ実践的に進めるための基盤が形成されることが期待されます。

こうした研究活動を通じて、日本の政策当局、投資先企業、機関投資家など多様なステークホルダーとの対話を重ねることで、金融、脱炭素化技術、政策の間に存在する考え方や期待の違いを整理し、共有することが可能となります。制度的枠組みが整備されつつある中で、各主体が情報や課題を持ち寄りながら、現実的かつ段階的なトランジションの進め方を検討していくことが重要です。

脱炭素化とエネルギー安定供給、経済活動の維持といった複数の課題を同時に考慮することは容易ではありませんが、受益者の皆さまからお預かりした大切な資産を中長期的な視点で守り、育てていくという資産運用会社の使命のもと、アカデミア、金融機関、政策関係者等が連携し、知見を積み重ねていくことで、トランジションのあり方についてより具体的な検討が可能になると考えます。

本研究は、脱炭素化技術に対する理解の深化にとどまらず、今後の投資判断やエンゲージメント、政策議論を行う上での共通言語となることが期待されます。研究を通じて社会の持続的成長に貢献するとともに、その成果を受益者の皆さまへ還元する好循環を創出するため、着実に議論・対話を進めてまいります。



共同研究研究員の紹介

共同研究研究員の紹介



北海道大学副学長・大学院工学研究院工学
研究院長・工学部長
GX先導研究センター長

幅崎 浩樹 氏



北海道大学大学院
工学研究院 応用化学部門 准教授

多田 昌平 氏



北海道大学大学院
理学研究院 化学部門 教授

松井 雅樹 氏



北海道大学大学院 工学研究院 環境工学部門
教授 グリーン・トランスフォーメーション先導
研究センター副センター長 総長補佐 サステ
イナビリティ推進機構 カーボンニュートラル
推進部門長

石井 一英 氏



北海道大学大学院
工学研究院
機械・宇宙航空工学部門 教授

田部 豊 氏



北海道大学大学院 工学研究院
応用化学部門 教授

松本 謙一郎 氏



北海道大学大学院 工学研究院
応用化学部門 教授

菊地 隆司 氏



北海道大学大学院
工学研究院 准教授

坪内 直人 氏



北海道大学大学院
工学研究院 教授

北垣 亮馬 氏



北海道大学大学院
工学研究院 附属 エネルギー・
マテリアル融合領域研究センター
教授

能村 貴宏 氏



北海道大学大学院
農学研究院 森林科学分野 講師

斎藤 秀之 氏



北海道大学大学院
地球環境科学研究院 教授

野呂 真一郎 氏



北海道大学大学院
経済学研究院 准教授

酒本 隆太 氏



北海道大学大学院
工学研究院 教授

橋本 望 氏



三菱UFJ信託銀行 サステナブルインベストメント部

エグゼクティブリサーチャー
中井 勝之 (中央下段)

シニアリサーチャー 村越 彩乃 (右上段)
増田 政紀 (左下段)

木村 海翔 (中央上段)

シニアリサーチャー 内藤 寿彦 (右下段) 石塚 柊翠 (左上段)

ご留意事項

- 本資料は、お客さまに対する情報提供のみを目的としたものであり、当社が特定の有価証券・取引や運用商品を推奨するものではありません。
- 本資料は、官公庁・政府関係機関、国立研究機関、業界団体、企業が公表する統合報告書、決算説明会資料その他一般に入手可能な情報等を基に、一定の前提条件の下で作成したものであり、一部には当社による整理、分析及び試算を含みます。本資料に記載された情報は、資料作成時点において当社が信頼できると考える情報に基づいておりますが、その正確性、完全性、最新性、有用性、将来予測の実現可能性又は特定の目的への適合性について、当社はいかなる保証を行うものではありません。
- 本資料に掲載している当社の見解につきましては資料作成時におけるものであり、経済環境の変化、相場の変動、年金制度もしくは税制などの変更などにより、予告することなく内容を変更することがございますので、予めご了承ください。
- 本資料に記載されている数値は過去のデータや一定の前提値などに基づく分析及びシミュレーションであり、将来の運用成果などを約束するものではありません。また、分析手法、モデル及びシミュレーション手法についても必ずしも完全なものではなく前提値に大きく左右される可能性があり、その内容も情報の提供時から予告なく変わる可能性がありますので、ご注意ください（前提値には当該資料に記載した内容のほか、分析手法、モデル、シミュレーションの内容も含まれます）。
- 当社はいかなる場合がありましても、本資料の提供先ならびに提供先から本資料を受領した第三者に対して、直接的、または間接的なあらゆる損害について、賠償責任を負うものではありません。また、本資料の提供先ならびに提供先から本資料を受領した第三者の当社に対する損害賠償請求権は明示的に放棄されていることを前提とします。
- 本資料の著作権は三菱UFJ信託銀行株式会社に属し、目的を問わず無断で引用または複製することを禁じております。

三菱UFJ信託銀行株式会社

〒105-7322

東京都港区東新橋1-9-1 東京汐留ビルディング

www.tr.mufg.jp/mufgam-su/



Appendix.
北海道大学研究員の紹介

北海道大学研究員の紹介

氏名

略歴



幅崎 浩樹

北海道大学大学院工学研究院教授。電気化学を基盤としたエネルギー変換・貯蔵材料に関する研究を推進している。2023年より工学研究院長・工学部長、2025年よりGX先導研究センター長、2026年より副学長を兼務し、大学及び部局の運営に携わるとともに、全学的なGXの推進に取り組んでいる。東北大学理学部卒業、理学博士。東北大学金属材料研究所助手、北海道大学大学院工学研究科助教授を経て現職。電気化学会フェロー。



石井 一英

北海道大学大学院工学研究科衛生工学専攻修了・同専攻博士後期課程退学後、1997年、同大学工学研究院助手に着任。助教・准教授を経て2018年より現職。主に、環境工学及び廃棄物管理工学に関する研究に従事。廃棄物・バイオマス・再生可能エネルギーなどの地域資源を利用した持続可能な社会構築に向けて、技術開発と社会実装の両面から研究を行っている。2020年度～2023年度は北海道大学ロバスト農林水産工学国際連携研究教育拠点代表として、農学部・水産学部・工学部の連携融合型の研究を牽引した。2024年度からは総長補佐、カーボンニュートラル推進部門長として、北大キャンパスのゼロカーボンに向けた実務と産学官連携の実証事業に従事している。2025年度からはグリーントランスフォーメーション（GX）先導研究センター副センター長として、北海道・札幌市のGX・金融資産特区と連携しながら、北海道及び全国でのGX研究を推進している。主な研究内容は、マテリアルフロー解析に基づくライフサイクルアセスメント及び経済分析、環境配慮行動を促す行動変容、バイオマス利活用技術（堆肥化、メタン発酵、微細藻類培養、炭化・熱分解など）。著書には“Multicriteria Evaluation of Biogas Plants Receiving Food Waste from a Broad Area Considering Different Spatial System Boundaries and Stakeholders”, Journal of Solid Waste Technology and Management, Vol. 50, Issue 2, pp.512-526, 2024.、“Combined microalgae cultivation and cow manure digestate treatment in a novel membrane raceway reactor: Emphasizing the effect of membrane material and pore size”, Separation and Purification Technology, Vol.363, Part1. 132073, 2025など。



菊地 隆司

主な研究テーマは、CO₂水素化による炭化水素と含酸素化合物の合成、エネルギーキャリアの電気化学的合成、水蒸気電解、炭化水素改質による水素製造、燃料電池によるエネルギーキャリアの直接変換。1997年に東京大学工学部化学システム工学科で博士号（工学）を取得、スイス連邦工科大学チューリッヒ校（1997～1998年）及び東京大学（1998～2000年）にて博士研究員、九州大学大学院総合理工学研究院、助手（2000～2001年）、京都大学大学院工学研究科、助手（2001年）、助教、准教授（2001年～2008年）、東京大学大学院工学研究科、准教授（2008年～2022年）、2022年より北海道大学大学院工学研究院応用化学部門教授。著書に水素利用技術集成 Vol.6: 炭素循環社会に向けた製造・貯蔵・利用の最前線 (Vol.6),エヌ・ティー・エス ISBN-13 : 978-4860438937,2024/4/22、CO₂由来液体燃料の最前線,CMC出版 ISBNコード : 978-4-7813-1819-6,2024/9/12、水素エネルギー利用拡大に向けた最新技術動向,CMC出版,2021/11、触媒総合辞典,触媒学会編,朝倉書店(2020.8)、進化する燃料電池・二次電池 -反応・構造・製造技術の基礎と未来社会を支える電池技術-,化学工学会関東支部編,三恵社(2019.2)など。



北垣 亮馬

2006年に東京大学大学院にて博士（工学）を取得後、同大の特任助教や講師などを歴任した後、2018年より北海道大学准教授に着任、2022年4月より現職。建築材料やコンクリート工学を専門としている。研究では、セメント系材料への二酸化炭素固定（カーボンサイクル、Direct-Air-Capturing）技術や、解体コンクリートの再資源化、建設系高分子材料の耐久性評価など、建築分野の資源循環と脱炭素化に注力しています。また、IoTセンサを活用した建設管理の効率化や、不動産性能の可視化といったIoT、DX的なアプローチによる研究も実施している。2026年の著書に、“Spectral characterization and carbonation depth visualization of concrete using hyperspectral imaging”, Cement and Concrete Composites, 2026、“Preventing unintended carbonation in hardened cement paste powder during thermogravimetric analysis”, JOURNAL OF ANALYTICAL AND APPLIED PYROLYSIS, 2026がある。

北海道大学研究員の紹介

氏名

略歴



斎藤 秀之

北海道大学大学院農学研究院講師。静岡大学農学部卒業、岐阜大学連合農学研究科にて博士（農学）を取得。北海道大学大学院農学研究科助手・同研究院助教を経て現職。北海道大学GX先導研究センター連携教員を2026年から兼務。専門は造林学、森林ゲノム生理生態学。研究内容は、森林動態と物質生産・炭素固定機能の環境応答ならびに気候変動影響評価、荒廃地の森林再生・修復などであり、これまで北海道の森林林業のほか、日本全国のブナ林、ロシア永久凍土地帯のシベリアタイガ、インドネシアの荒廃した泥炭湿地林など、様々な地域と気候帯に成立する森林をフィールドにして教育研究に従事してきた。現在では、バイオスティミュラントによる樹木の機能開発やカーボンニュートラル社会の実現に向けた農林業資材（光波長変換フィルムや生分解性プラスチック）の活用技術の開発などにも取り組む。著書には共同著者・編著として「森林の科学（朝倉書店）」、「北海道の森林（北海道新聞社）」、「北の森づくりQ&A（富士プリント）」、「Tropical Peatland Ecosystems（Springer）」、「Symptom of environmental change in Siberian permafrost region（Hokkaido University Press）」などがある。



酒本 隆太

慶應義塾大学商学部卒業、東京大学大学院（公共政策修士）、筑波大学大学院（経営学修士）、英国エクセター大学大学院（Msc. Economics and Econometrics with Distinction）を経て、英国ヘリオットワット大学院博士課程を修了（Ph.D.）大和住銀投信投資顧問株式会社、ワイジェイFX株式会社、岡山大学准教授を経て現職。専門はアセットプライシング、国際金融、計量ファイナンス。著書に“Risk price decomposition and the output gap”, *Financial Review*, 2025, Vol.60(1), 121-146.、“Global foreign exchange volatility, ambiguity, and currency carry trades (with Takao Asano and Xiaojing Cai)”, *Journal of Banking and Finance*, 2025, Vol.178, 107508.、“The Time-Varying Risk Price of Currency Portfolios (with Joseph P. Byrne and Boulis Ibrahim)”, *Journal of International Money and Finance*, 2022, Vol.124, 102636. など。



多田 昌平

2014年に東京大学大学院工学系研究科博士課程を修了。ETH Zürich客員研究員、成蹊大学理工学部研究員、東京大学大学院工学系研究科特任助教、茨城大学大学院理工学研究科助教などを経て、2022年に北海道大学大学院工学研究院助教、2024年より准教授。触媒化学を専門とし、CO₂水素化反応を基盤とした有価物変換プロセスの開発に従事。反応機構の解明と触媒設計を通じて、カーボンニュートラル社会の実現に資する新たな物質変換技術の創出を目指している。2022年文部科学大臣表彰若手科学者賞受賞。



田部 豊

2004年に北海道大学大学院工学研究院助教授（後に准教授）に着任し、2019年から現職。研究は、機械工学を基盤とするエネルギー、脱炭素に焦点を当てており、目的は「CO₂排出量の大幅削減と持続可能なエネルギーシステムの開発」である。研究テーマは、電気化学エネルギー変換デバイス（固体高分子形燃料電池及びレドックスフロー電池）における輸送現象、及び将来の社会エネルギーシステムなどに関するものであり、燃料電池内の移動現象解明と高度化、寒冷地向け燃料電池内の凍結現象解明、大容量レドックスフロー電池内の移動現象解明、Li-air電池の高出力化に向けた移動現象解明、水素・高温熱供給のための電気化学デバイス開発、北海道の持続可能なエネルギーシステムの提案などである。2000年に東京工業大学大学院理工学研究科でCO₂ハイドレート、海洋隔離に関する研究で博士（工学）の学位を取得。その後、荏原製作所に4年間勤務。著書に“Evaluation of non-humidified high-temperature polymer electrolyte fuel cell system by heavy-duty vehicle driving simulations”, *Int. J. Hydrogen Energy*, 198 (2026) 152610.、“Electricity storage and hydrogen generation system using the electrochemical reaction of lithium and water”, *Int. J. Hydrogen Energy*, 100, (2025) 853.、“Analysis of electricity prices for power supply toward a social optimum for installed wind and solar power utilization”, *Mechanical Engineering J.*, 10(5) (2023) 23-00084.、“Component Analysis of Oxygen Transport Resistance Increased due to Water Accumulated in a PEFC”, *J. Electrochemical Society*, 169(12) (2022), 124510. など。

北海道大学研究員の紹介

氏名

略歴



坪内 直人

資源・エネルギー・環境の3問題を解決するため、主に劣質・未利用化学資源の高度利用法の開発を推進。具体的には、現在未利用の炭素資源（バイオマスや低品位褐炭など）をクリーンエネルギーや高価値化学原料などに効率よく変換できるプロセス、低品位鉄鉱石（リモナイトや脈石を多く含む鉱石など）をアップグレードし製鉄原燃料化するシステム、二次資源から有価元素を回収する手法ならびに排出されたCO₂を再利用する技術の開発に従事。また、食品ロス等の視点から、海洋生物資源の鮮度管理システムに関する化学工学的研究も実施。これらの成果は、SDGs（持続可能な開発目標）の目標7、9、13、14の達成に大きく貢献可能。東北大学で博士（工学）を取得し、現在、北海道大学大学院工学研究院の准教授。著書に“種々の炭素質物質から調製した活性炭の細孔性状とCO₂吸着性能”，Carbon Resources Conversion 2025, 8(1), 100237. Top Cited Paper Award 2025 (KeAi Publishing Communications Ltd.)など。炭素源として15種のバイオマスと石炭、窒素ソースとしてメラミン、賦活剤としてK₂CO₃を用いて活性炭を製造する系統的研究を行ったところ、いずれも細孔構造が顕著に発達し、CO₂吸着に最適なマイクロ細孔径は0.5~1.2 nmであることが明確に示された。



能村 貴宏

北海道大学工学部材料工学科卒業。同大学工学院材料科学専攻博士課程修了。博士（工学）。2024年10月より、北海道大学大学院工学研究院附属エネルギー・マテリアル融合領域研究センター 教授。潜熱蓄熱技術を基盤とした廃熱回収技術、エクセルギー再生技術、蓄エネルギー技術、及び新製鉄法の研究開発に従事。2018年より一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター IEA 蓄熱分科会 委員、2024年よりJournal of Energy Storage (Elsevier)誌のAssociated Editor。



野呂 真一郎

1994年東京都立大学理学部化学科入学。2000年に京都大学大学院工学研究科博士課程進学。2003年博士（工学）取得。同年より理化学研究所基礎科学特別研究員、2004年に北海道大学電子科学研究所へ移動し、助手、助教、准教授を経て、2017年より現職。専門は錯体化学、多孔性材料であり、多孔性金属錯体を用いた地球温暖化ガスや水中汚染物質の高効率吸着除去に関する研究に従事。著書に二酸化炭素の分離・回収と資源化・転換 - 技術資料集 - （分担執筆）など。



橋本 望

北海道大学にて博士号取得（2004年）後、電力中央研究所に入所し、火力発電関係の研究に従事。石炭火力発電所における燃料の多様化や微粉炭燃焼数値シミュレーションの高精度化、液体焚ガスタービンの燃料多様化技術等の研究を実施する。2015年より北海道大学の准教授、2025年より同教授として、宇宙船内や月面等環境における火災安全性、アンモニアや水素などのカーボンニュートラル燃料の燃焼特性解明等、様々な液体燃料の液滴蒸発特性、固体燃料粒子群の火炎伝播特性、固体粒子からの揮発分放出特性解明やモデル化など、基礎燃焼学に基づく研究に従事。2023-2024年にスタンフォード大学のProf. Ihme研究室にて客員准教授として航空燃料の加熱平板における自己着火特性に関する研究にも従事。JSTさきがけ研究では、固体燃料粒子群とアンモニアの混焼火炎伝播特性のメカニズムを解明し、NEDO先導研究ではアンモニアの高温空気燃焼場における基礎的な燃焼特性を解明してきた。これまでに、日本機械学会奨励賞及び論文賞、日本燃焼学会奨励賞及び論文賞、粉体工学会技術賞、日本エネルギー学会進歩賞などを受賞。著書に“Chapter 43 Flame propagation characteristics of coal-ammonia co-firing”, CO₂ free ammonia as an energy carrier - Japan's insights, pp. 613-624, Springer Nature Singapore Pte Ltd., アンモニア混焼, カーボンニュートラルへの化学工学CO₂分離回収, 資源化からエネルギーシステム構築まで, pp. 142-153, 丸善出版など。

北海道大学研究員の紹介

氏名

略歴



松井 雅樹

京都大学工学研究科材料工学専攻 修士課程修了後、2001年トヨタ自動車（株）に入社。第3材料技術部（東富士研究所）にて、リチウムイオン電池、全固体電池に関する研究に従事。また、2006年～2008年まで、首都大学東京都市環境科学研究科 環境調和・材料化学専攻 博士後期課程に社会人ドクターとして、大学での研究に従事。学位取得後、トヨタ北米先端研究所（ミシガン州アナーバー市）に出向し、Managerとして、蓄電池材料研究グループの立ち上げに従事。北米での任期を終えた後に、トヨタ自動車を退社し、アカデミックキャリアに転向。2012年三重大学大学院工学研究科特任准教授、2013年科学技術振興機構さきがけ研究者（専任）、2015年三重大学大学院工学研究科准教授、2016年神戸大学大学院工学研究科准教授を経て2021年11月より現職。専門分野は無機材料化学、固体イオニクス。次世代蓄電池を目指した新規固体イオニクス材料の探索に従事するほか、セラミックス材料製造時のCO₂排出量を大幅に低減するハイドロフラックス法を開発し、社会実装に向けた研究を推進中。執筆論文にRannosuke Maeda, Ryo Nakanishi, Minoru Mizuhata, and Masaki Matsui, *Inorganic Chemistry*, 62, 18830 (2023)、Masaki Matsui*, Ayumi Wada, Yasuaki Matsuda, Yasuo Takeda, Oasamu Yamamoto and Nobuyuki Imanishi, *Chemical Communications*, 51 3189-3192(2015)、Masaki Matsui, *Journal of Power Sources*, 196 7048-7055 (2011)など。



松本 謙一郎

理化学研究所で博士研究員、東京理科大学で助教を経て、2007年より北海道大学助教、2012年より同准教授、2018年より同教授。微生物産生ポリエステルであるポリヒドロキシアルカン酸の合成、関連する酵素の改変及び反応機構の解析、ポリマー材料の開発などの研究に従事。2024年より日本生物工学会の英文誌 *Journal of Bioscience and Bioengineering* の英文誌編集委員を担当。東京大学工学系研究科化学生命工学専攻で博士号を取得。著書にバイオプラスチックPHAのブロック共重合体合成酵素の進化工学的機能拡張, *バイオサイエンスとインダストリー*, 2022年など。

参考文献

- ・ 「ANA統合報告書2025（2024年度）」、ANAホールディングス株式会社、2025年
- ・ 「CCS（二酸化炭素回収・貯留）について」、日本CCS調査株式会社／国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構／資源エネルギー庁 資源・燃料部 燃料環境適合利用推進課 CCS政策室、2024年6月更新
- ・ 「CCS実証プロジェクト」、日本CCS調査株式会社／苫小牧CCS実証試験センター／国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構／資源エネルギー庁 資源・燃料部 燃料環境適合利用推進課 CCS政策室、2025年6月更新
- ・ 「COURSE50 / Super COURSE50 関連公開資料」、COURSE50 / Super COURSE50 事業関係機関
- ・ 「Daigasグループ統合報告書2025」、大阪ガス株式会社、2025年
- ・ 「J-POWERグループ統合報告書2025」、電源開発株式会社、2025年
- ・ 「JALグループ統合報告書2025（2025年3月期）」、日本航空株式会社、2025年
- ・ 「JERAグループ統合報告書2025」、株式会社JERA、2025年
- ・ 「SAF製造に向けて国内外の企業がいよいよ本格始動」、「エネこれ」、資源エネルギー庁、2024年9月24日
- ・ 「Watt's Next（九電グループ統合報告書）2025」、九州電力株式会社、2025年
- ・ 「外国貿易概況 日本」、外務省
- ・ 「化学産業のカーボンニュートラルに向けた国内外の動向」、経済産業省 製造産業局、2023年1月25日
- ・ 「化学産業の現状と課題」、経済産業省 製造産業局 素材産業課、2021年12月21日
- ・ 「カーボンニュートラル、循環型社会の実現に向けた日本の化学産業のスタンス：社会改革を牽引するソリューションプロバイダー」、一般社団法人日本化学工業協会、2025年9月19日
- ・ 「カーボンニュートラル行動計画 2024年度実績」、一般社団法人日本鉄鋼連盟
- ・ 「カーボンニュートラルを目指すセメント産業の長期ビジョン」、一般社団法人セメント協会、2020年3月策定、2022年3月改訂
- ・ 「自動車工業2025」、一般社団法人日本自動車工業会

参考文献

- 「水素社会推進法」、経済産業省、2024年10月23日施行
- 「第7次エネルギー基本計画」、資源エネルギー庁、2025年2月18日
- 「電力分野のトランジション・ロードマップ」、資源エネルギー庁、2022年2月策定、2025年11月更新
- 「統合報告書2025」、住友大阪セメント株式会社、2025年
- 「『トランジションファイナンス』に関するガス分野における技術ロードマップ」、経済産業省、2022年2月策定、2025年11月更新
- 「『トランジションファイナンス』に関する化学分野における技術ロードマップ」、経済産業省、2022年11月策定、2025年12月更新
- 「『トランジションファイナンス』に関する紙・パルプ分野における技術ロードマップ」、経済産業省、2022年11月策定、2025年12月更新
- 「『トランジションファイナンス』に関する石油分野における技術ロードマップ」、経済産業省、2022年2月策定、2026年2月更新
- 「『トランジションファイナンス』に関するセメント分野における技術ロードマップ」、経済産業省、2022年3月策定、2025年10月更新
- 「地球温暖化対策計画」、内閣官房／環境省／経済産業省
- 「全国粗鋼生産」、一般社団法人日本鉄鋼連盟
- 「日本の温室効果ガス排出量データ」、国立研究開発法人国立環境研究所
- 「日本製紙連合会サステナビリティレポート2025」、日本製紙連合会、2025年
- 「バイオ燃料の政策について」、経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部 燃料供給基盤整備課、2025年4月22日
- 「王子グループ統合報告書2025」、王子ホールディングス株式会社、2025年