

2025 年度中間調査報告書

グリーン成長戦略を中心とした俯瞰調査

2026 年 3 月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先名 アーサー・ディ・リトル・ジャパン株式会社

目次

1. 研究開発の内容及び成果等	3
1.1 要約	3
(1) 和文要約	3
(2) 英文要約	3
1.2 本文	4
(1) 調査背景	4
(2) 調査概要	5
(3) 調査内容	7
(4) テーマ別最新動向調査結果	9
[1] 洋上風力発電の低コスト化	9
[2] 次世代型太陽電池の開発	10
[3] 大規模水素サプライチェーンの構築	11
[4] 再エネ等由来の電力を活用した水電解による水素製造	13
[5] 製鉄プロセスにおける水素活用	15
[6] 燃料アンモニアサプライチェーンの構築	17
[7] CO ₂ 等を用いたプラスチック原料製造技術開発	19
[8] CO ₂ 等を用いた燃料製造技術開発	20
[9] CO ₂ を用いたコンクリート等製造技術開発	23
[10] CO ₂ の分離回収等技術開発	25
[11] 廃棄物・資源循環分野におけるカーボンニュートラル実現	27
[12] 次世代蓄電池・次世代モーターの開発	28
[13] 電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・シミュレーション 技術の開発	30
[14] スマートモビリティ社会の構築	32
[15] 次世代デジタルインフラの構築	35
[16] 次世代航空機の開発	38
[17] 次世代船舶の開発	39
[18] 食料・農林水産業の CO ₂ 等削減・吸収技術の開発	41
[19] バイオものづくり技術によるカーボンリサイクル推進	43
[20] 製造分野における熱プロセスの脱炭素化	45
2. 成果	48
3. その他特記事項	48

1. 研究開発の内容及び成果等

1.1 要約

(1) 和文要約

本調査では、グリーンイノベーション基金における 20 の個別プロジェクトを取り巻く市場・競争環境等の最新動向、研究開発マネジメントやモニタリングに必要な情報・データ収集・分析、考察を行った。

「調査項目①：基礎情報の収集」では、個別プロジェクトの基礎情報として、市場動向、技術動向、国際動向、およびルールメイキング動向を調査、整理した。得られた結果を基に、レファレンス情報として基金事業と海外の類似プロジェクト等の研究開発目標・内容等との比較を行い、相違点とその要因分析を行った。また、個別プロジェクトに関連する分野有識者・専門家等にヒアリングを行った。

「調査項目②：基礎情報に関する分析」では、

基礎情報、およびヒアリングでの収集結果に基づき、社会情勢・外部環境の変化等に関する国内外の直近の動向やそれらの変化に伴う競争環境や競合技術の開発状況の変化などを、最新動向として補足説明資料に取り纏め、20 の個別プロジェクトの方向性の妥当性や、モニタリングにおいて今後注視すべき動向等を簡潔に最新動向メモとして取り纏めた。

(2) 英文要約

In this survey, we obtained the latest trends in the market and competitive environment surrounding the 20 individual projects in the Green Innovation Fund, and collected, analyzed, and discussed the information and data necessary for R&D management and monitoring.

In "Survey Item (1): Market trends, technology trends, international trends, and rulemaking trends were investigated and organized as basic information for individual projects. Based on the results obtained, we compared the R&D goals and contents of the Fund projects with those of similar projects overseas as reference information, and analyzed the differences and their factors. Analysis of Basic Information," interviews were also conducted with experts and specialists in the field related to individual projects.

In "Survey Item (2): Based on the results of the collection of basic information and the interviews, we compiled the most recent domestic and international trends related to changes in social conditions and the external environment, as well as changes in the competitive environment and the development status of competing technologies that accompanied these changes, into supplementary explanatory materials as the latest trends, and analyzed the appropriateness of the direction of the 20 individual projects, the latest trends are briefly summarized as a latest trend report, including the validity of the directions of 20 individual projects and trends that should be monitored in the future.

1.2 本文

(1) 調査背景

日本政府は「2050 年カーボンニュートラル」を宣言し、新たな成長戦略として、「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を策定した。これに伴い関連産業の市場獲得を目指し、技術開発支援を目的とした「グリーンイノベーション基金事業」(以下、基金事業という。)が NEDO に創設された。基金事業に限らず NEDO 事業においては、技術開発の成果を着実に社会実装につなげるため、事業期間を通じ、社会情勢の変化を継続的に的確に捉え、市場・技術情報の収集・分析等を基にしたモニタリングが欠かせない。

本調査では、基金事業のプロジェクトを中心に、以下に掲げる必要な情報・データ収集・分析、考察を行い、基金事業を含む NEDO 事業の適切なモニタリングを実施する上で必要となる国内外の競争環境の変化、競争技術の開発状況の変化などを「基礎情報」として取りまとめ、これらの「基礎情報」に変化が有る場合は技術開発や社会実装の目指すべき方向性に関する仮説・シナリオ形成(推論)の作成を行うことを目的とする

(社会情勢) 社会情勢等の変化、市場ニーズ等の変化、その理由・要因

(施策等の変化) 諸外国の政策・施策、戦略、企業活動の状況、その理由・要因

(技術情報) 革新的技術、競合技術の状況、既存技術、実証・社会実装の進展

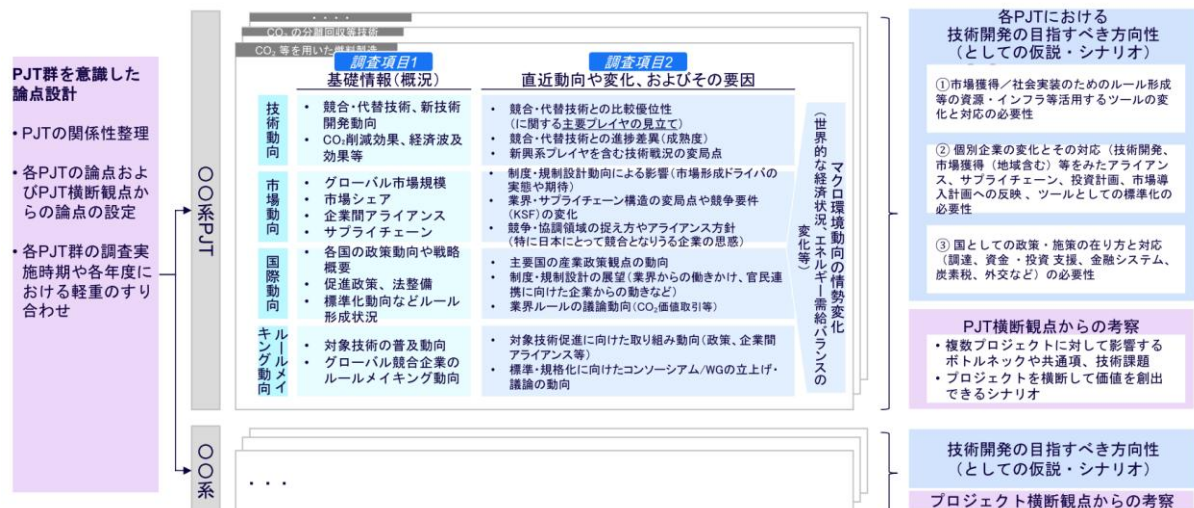
(考察) 対象となる領域・分野における市場獲得の勝ち筋・戦略・戦術、

技術開発の優位性・方向性について一定の仮説の下、分析、論点整理

なお、実施に当たっては、基金事業の各プロジェクト及び関連する技術領域の取り組みを広く分野として捉え、横断的に調査・分析することで、ポートフォリオの重点化やプロジェクト間の連携に係わる考察も行う。

(2) 調査概要

調査内容は、「調査項目①：基礎情報の収集」、及び、「調査項目②：基礎情報に関する分析調査」の方法により、世界の国際情勢、社会情勢変化を捉えつつ、諸外国や国際機関の政策・施策、技術、市場の動向、変化及びその要因の調査、取得、分析を実施した。



図：調査研究の目標

対象範囲は、基金事業において実施中のプロジェクトのうち以下の20のプロジェクトとした。調査、分析等に関してはNEDOのプロジェクト担当課室に基礎情報、分析結果を提供した。

また調査開始前に、関連性の高い複数のプロジェクト間にて共通する横断視点での調査も実施し、個々のプロジェクトへの示唆として付加した。

- [1] 洋上風力発電の低コスト化
- [2] 次世代型太陽電池の開発
- [3] 大規模水素サプライチェーンの構築
- [4] 再エネ等由来の電力を活用した水電解による水素製造
- [5] 製鉄プロセスにおける水素活用
- [6] 燃料アンモニアサプライチェーンの構築
- [7] CO₂等を用いたプラスチック原料製造技術開発
- [8] CO₂等を用いた燃料製造技術開発
- [9] CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発
- [10] CO₂の分離回収等技術開発
- [11] 廃棄物・資源循環分野におけるカーボンニュートラル実現
- [12] 次世代蓄電池・次世代モーターの開発
- [13] 電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・シミュレーション

技術の開発

- [14] スマートモビリティ社会の構築
- [15] 次世代デジタルインフラの構築
- [16] 次世代航空機の開発
- [17] 次世代船舶の開発
- [18] 食料・農林水産業の CO₂ 等削減・吸収技術の開発
- [19] バイオものづくり技術による CO₂ を直接原料としたカーボンリサイクル
の推進
- [20] 製造分野における熱プロセスの脱炭素化

※〔数字〕は、基金事業のプロジェクト通し番号

（３）調査内容

＜調査項目①：基礎情報の収集＞

基礎情報として、技術動向、市場動向、国際動向、およびルールメイキング動向に着目し、基金事業の計画等との相違点・要因分析を行うとともに、技術的関連性やサプライチェーン上の相互関連性にも着目し、関連する NEDO 事業や分野・技術領域の基礎情報についても明らかにし、調査・分析を実施した。また、基礎情報の収集にあたり、公開情報だけでは把握できない内容も収集するため、競合プロジェクト企業や自社で有する技術系のエージェント、国際機関、公的機関等の有識者に対するヒアリングも通じ、最新の国際動向も含めることで基礎情報の高度化を図った。これらを通じ、特に基金事業の研究開発・社会実装推進計画における計画値や目標値、開発計画等との比較を中心に行い、相違点とその要因分析を行った。具体的には下記を検討した。

- ・ 各プロジェクトのモニタリングに必要な基礎情報の調査分析
 - 技術動向：競争、競合関係にある技術の開発動向（アカデミア、企業等の動向）、革新的技術、新たな技術の有無、CO₂ 削減効果（ポテンシャル）、経済波及効果。社会情勢の変化、市場変化を受けた要望される技術の変化、ニーズ、その要因等
 - 市場動向：主要各国（米・独・英・仏・EU・中・韓等）のカーボンニュートラルに関わる政策動向、具体的にはその戦略概要、重点分野と促進政策、法整備等の政策、標準化活動の動向、各国および関係国間のルール形成の状況等とその要因等（主要プレーヤー、スタートアップ等も含む）
 - 国際動向：対象（または関連）プロジェクトの技術の普及、競争力強化に向けたグローバル企業のルールメイキング動向（レギュレーション、デファクト、デジュール）、標準・規格、知財戦略等
- ・ 基金事業の計画等との相違点とその要因分析
 - 研究開発・社会実装推進計画における計画値や目標値
 - 開発計画等との比較、等

＜調査項目②基礎情報に関する分析調査＞

基礎情報として整理した公開・非公開情報の分析を踏まえて、技術開発の目指すべき方向性に関する仮説・シナリオを導出した。具体的には下記を検討した。

- ・ 国内外の社会情勢・外部環境の変化や競争環境の変化等の事実の整理
 - 社会情勢・外部情勢の変化等
 - 競争環境の変化
 - 競争技術の開発状況
- ・ 変化が見られる場合、その要因を踏まえて、技術開発の目指すべき方向性に関する「仮説・シナリオ形成」の構築・分析

- ①市場獲得／社会実装のためのルール形成等の資源・インフラ等活用するツールの変化と対応の必要性
- ②個別企業の変化とその対応（技術開発、市場獲得（地域含む）等をみたアライアンス、サプライチェーン、投資計画、市場導入計画への反映、ツールとしての標準化の必要性
- ③国としての政策・施策の在り方と対応（調達、資金・投資支援、金融システム、炭素税、外交など）の必要性

（４）テーマ別最新動向調査結果

以下に、20 の個別プロジェクト別に、調査項目①と調査項目②の結果を整理した調査結果を示す。

[1] 洋上風力発電の低コスト化（調査期間：2025/6/19～7/22）

- ・ 市場動向においては、2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて、グローバルでは現状の 10 倍超となる約 8～11TW 以上の発電容量が必要とされており、洋上風力については現状比 20 倍超となる約 2TW 程度の導入が必要と見込まれている。今後の導入拡大については、欧州に加え、中国を含むアジア太平洋（APAC）地域が引き続き世界全体の増加を牽引する見通しである。他方、足元では中国を除く APAC、欧州、米国において、着床式・浮体式双方の構造物及び風車で需要が供給を上回ることが予想されており、供給力の増強が課題となっている。
- ・ 風車メーカーの市場シェアについては、米国・欧州・中国のメーカーが大きな割合を占めるが、洋上風力においては中国国内での積極的な導入を背景に中国メーカーが過半を占めている。足元では、2024 年に MingYang が首位となるなど、中国勢の存在感が一層高まっている。地域別には、台湾・韓国が先行し、ベトナム、日本、フィリピンが続く構図となっており、東南アジアでは導入目標の設定や法制度整備も進展している。
- ・ 一方で、2023 年以降は、競争激化による入札価格の下落に加え、パンデミック後のサプライチェーン寸断、資材価格高騰、傭船費上昇、金利上昇等により、事業採算性が悪化している。この結果、欧州を中心に案件中止や事業者の経営悪化が発生しており、洋上風力の発電コストは従来のような急速な低下が見込みにくい状況となっている。加えて、米国では 2025 年 1 月発足のトランプ政権による洋上風力リースの一時撤回もあり、許認可・調査・計画段階にある案件の遅延が懸念される。欧州でも入札不調や延期が生じる一方、英国では条件見直しにより入札が成立するなど、市況の混乱が見られる。
- ・ 技術動向においては、風力発電システムの変換効率が理論限界に近づいていることから、風車の大型化が発電量増加に向けた基本潮流となっている。一方で、近年は単純な大型化のみならず、採算性や製造・保守も含めた総合最適化の重要性が高まっている。欧米では、大型化に加え、シミュレーション、気流モデル、デジタルツイン、係留・海底ケーブルの高度化、生態系影響評価、専用船転換、リサイクル・省資源設計等が主要な研究開発領域となっている。国内では、浮体の低コスト化、UAV やデジタルツインを活用した保守効率化、軸受、タワー、落雷対応、専用船開発等が特徴的な取組となっている。
- ・ 今回特に重要な追加論点として、浮体式洋上風力では、今後の大型案件の本格化を見据え、浮体基礎の選定要因がより明確になっている。現時点では、技術

成熟度の高いセミサブ方式が採用済・予定案件の大半を占めるが、将来的な優位は必ずしも定まっていない。開発事業者が重視するのは、製造時のコスト低減・量産性、施工時のコスト・タクトタイム低減、既存インフラの活用可能性であり、各社は材料最適化、軽量化、モジュール化、標準化、港湾内統合、低喫水設計等を通じて競争力向上を図っている。加えて、浮体基礎メーカーと風車メーカーの連携によるシステム全体最適化の動きも見られる。

- ・ また、新たな視点として、大水深（水深 500m 以上）での浮体式の課題整理が進んでいる。現状では大水深案件は世界的にも限定的であるが、日本、韓国、イタリア、スペイン、ノルウェー、ポルトガル等では将来的に対応が不可欠と見られる。大水深では、係留システムやアレイケーブルの設計、施工、メンテナンスが浅水域以上に大きな制約となることから、合成ロープ、負荷低減装置、共有アンカー、ダイナミックケーブル、デジタルツイン等の技術開発が重要となる。また、FPSO 等を含む石油・ガス分野の技術転用余地が大きい点も特徴である。
- ・ 国際動向においては、EU が 2030 年及び 2050 年の導入目標を掲げ、中国も第 14 次 5 カ年計画の下で、ブレードからナセル、浮体基礎、電気系統まで幅広い研究開発課題を設定している。加えて、台湾では外資活用と国内サプライチェーン形成の両立を図り、韓国では 2025 年 2 月に洋上風力促進法が成立するなど、アジア各国でも制度整備と産業育成の動きが進展している。
- ・ ルールメイキング動向においては、IEC、ABS、BV、DNV、CCS 等が引き続き浮体式を含む規格・ガイドライン整備を進めている。加えて近年は、欧州を中心に、標準化のみならず、持続可能性、環境フットプリント、強靱性等の非価格要素を入札や制度に組み込む動きが強まっている。特に、原材料・部材の域内生産やリサイクル促進、再エネ技術の対外依存低減を重視する制度整備が進んでおり、今後は価格競争力に加え、サイバーセキュリティ、環境性能、調達先の信頼性を含めた総合的な競争力が重要になると考えられる。

[2] 次世代型太陽電池の開発（調査期間：2025/6/19～7/22）

- ・ 市場動向においては、カーボンニュートラル実現に向けて太陽光発電の導入拡大が今後も確実視されており、2050 年には世界の発電電力量の 3～4 割程度を占める中心電源になる見通しである。一方で、現在主流の結晶シリコン太陽電池はバリューチェーンの中国依存度が極めて高く、また日本等では導入適地の不足も課題となっている。こうした中、軽量・柔軟で壁面、窓、荷重制限のある屋根、農地、移動体等への展開が期待でき、かつ原料のヨウ素で日本に一定の競争優位があるペロブスカイト太陽電池が有望視されている。
- ・ 技術動向においては、発電効率、耐久性、大面積化、量産化の各面で海外プレイヤー、特に中国勢の進展が著しい。効率面では、中国系プレイヤーが単接合

セル及びタンデムセルで世界記録を更新し、モジュールでは韓国勢が高効率を達成している。加えて、中国企業を中心に 2m² 級・2.8m² 級の商用サイズ製品が相次いで公表され、GW 級の量産ライン整備も進展している。他方で、本格普及に向けては、耐久性向上、大面積化、量産技術確立、鉛への対応に加え、性能測定条件の統一や劣化メカニズムの解明が引き続き主要課題となっている。

- ・ ペロブスカイト太陽電池の市場導入先について、短中期的には、耐久性要求が比較的 low、軽量性・意匠性の強みを生かしやすい建物壁面・窓、荷重制限のある屋根、電子機器、移動体、農地、宇宙用途等が有望視されている。一方で、中長期的には地上設置や水上設置への展開も期待されており、中国では既に小規模ながら地上設置型や水上での実証・導入が始まっている。
- ・ 国際動向においては、中国、米国、欧州のいずれも、次世代太陽電池を含む太陽電池関連技術への支援を強化している。中国では研究開発支援に加え、工場建設、土地、税制、ユーティリティ等を含む手厚い産業支援により量産化を後押ししている。米国では IRA 等を通じてシリコン系も含めた国内製造回帰を進めるとともに、US-MAP 等のコンソーシアムにより商業化を加速している。欧州でも Horizon Europe 等を通じた支援に加え、新用途開拓や域内製造強化を進めており、各地域とも技術開発に加えてサプライチェーン確保と産業政策を一体で推進している。
- ・ ルールメイキングにおいては、ペロブスカイト太陽電池の性能評価、寿命・耐久性評価に関する国際標準が未整備である中、米国の PACT、US-MAP、中国の CPIA 等が主要プレイヤーを巻き込み標準化議論を進めている。他方で、今回新たに重要性が高まっている論点として、太陽光パネルの廃棄・リサイクル、鉛漏出への対応、ならびに再エネ大量導入に伴う出力制御や蓄電池併設の制度整備が挙げられる。各国では、太陽電池の導入拡大を支える制度として、性能・耐久性評価のみならず、EoL 管理、リサイクル、材料管理、蓄電池導入促進等を含めた包括的なルール整備が進みつつある。

[3] 大規模水素サプライチェーンの構築（調査期間：2025/6/17～7/24）

- ・ 市場動向においては、世界的な水素需要は 2050 年にかけて引き続き増加が見込まれており、ブルー水素・グリーン水素ともに生産拡大が計画されている。一方で、2030 年時点では計画中案件を含めても需要見通しとの間になおギャップが存在し、また最終投資決定（FID）に至る案件割合は限定的であることから、需要創出、長期オフテイク契約、政府支援の継続確保が普及拡大の鍵となっている。加えて、化学、航空燃料、発電等の新規用途拡大も進みつつあり、水素関連プロジェクト数は全体として増加傾向にある。
- ・ 水素キャリア候補である液化水素、LOHC、アンモニアについては、それぞれのメリット・デメリットを踏まえて並行的に開発が進められている。輸送距離、

プロジェクト規模、既存インフラの活用可能性に応じて適材適所があると整理されており、短中距離・小規模では LOHC、中規模では液化水素、長距離・大規模ではアンモニアが有力と見込まれている。現時点で計画中のプロジェクトの約 8 割がアンモニアをキャリアとして選択しており、既存設備を活用しやすいことから主流となっているが、クラッキング技術や毒性対応が引き続き課題である。

- ・ 今回特に重要な追加論点として、水素製造から輸送・利用までを一気通貫で捉える事業展開が強まっている。中国では太陽光発電メーカー、米国では燃料電池メーカー、欧州では既存プレイヤーの再編を通じて、水素製造と需要側を結びつけたバリューチェーン全体での事業化が進展している。短期的には既存設備を活用可能なブルー水素がコスト競争力を持つ一方、2030 年頃に向けては電解装置コスト低下や再エネ電力価格低下によりグリーン水素の拡大が見込まれている。
- ・ 液化水素においては、液化効率の向上に加え、ボトルネックである液化コストの高さ及び長距離輸送時のボイルオフ低減に向けた技術開発が海外でも進展している。Air Liquide や Linde 等による大型液化プラント開発のほか、米国 DOE の下で Shell や CB&I が冷熱を活用した大規模貯蔵タンクを開発し、韓国勢はボイルオフガスを活用したハイブリッド推進系を備える輸送船開発を推進しているが、現状ではボイルオフ率は目標値に達しておらず、長距離大量輸送技術の確立にはなお課題が残る。
- ・ LOHC においては、欧州を中心に水素ハブ拠点の構築を見据えた輸送船開発や実証、提携が進められている。既存の石油・化学インフラを活用できる点が強みであり、初期需要の創出にもつながると期待される。一方で、スケールアップと脱水素化時のエネルギーコストが課題であり、MCH に加えベンジルトルエン等のキャリアも含めて、小規模プラントにおける触媒開発や運転条件最適化の実証が継続されている。
- ・ 水素キャリアとしてのアンモニアにおいては、クラッキング技術及びその後の精製技術が主要なボトルネックとなっている。大規模施設でクラッキングを行う集中型 (Centralized model) は既存技術により比較的構築しやすい一方、需要地近傍で小規模クラッキングを行う分散型 (Decentralized model) では、新規触媒やアンモニアの取り扱いが課題となる。触媒については熱触媒を中心に低温・高転化率化の研究が進められており、精製技術では PSA や膜分離法による高純度水素化の検証が進展している。
- ・ 水素発電においては、Siemens、GE 等の主要メーカーが 2030 年までのガスタービンにおける水素混焼・専焼技術の確立を目標に掲げている。足元では、小型機を中心にグリーン水素の製造・貯蔵・利用を含むバリューチェーン全体での実証が進められており、混焼率の向上や専焼運転の実証も進展している。一方

で、大型タービンの本格実装には大量かつ安価な水素供給の確保が依然として大きな課題となっている。また、アンモニア混焼については石炭火力延命との批判もあり、社会受容性への対応も重要である。

- ・ 国際動向においては、欧州・米国を中心に、低炭素水素製造へのインセンティブ付与、水素ハブ形成、パイプライン整備、輸入促進策が進められている。EUではグリーンディール産業計画や H2Global、欧州水素バックボーン等を通じて域内外の供給確保とインフラ整備を推進し、米国では IRA や地域クリーン水素ハブ支援が進められている。加えて、韓国は輸入主体でアンモニア・液化水素を活用した水素社会構築を目指し、造船や発電用途を中心に支援を進めている。一方で、米国では第二次トランプ政権の成立によりグリーン関連補助金縮小の可能性も示されており、政策継続性には不透明さがみられる。
- ・ ルールメイキング動向においては、水素の認証制度整備と相互承認に向けた動きが加速している。各国では LCA に基づくクリーン水素認証制度の導入が進みつつあるが、基準や制度設計の相違が市場の分断につながる懸念がある。このため、G7、G20、COP 等の場で相互承認に向けた議論が進められており、欧州の CertifHy をはじめ各地域で制度具体化が進展している。また、標準化については、ISO TC197 を中心に大量輸送・貯蔵、サプライチェーン、商用車、鉄道、船舶、航空機等を対象とした規格整備が進められており、水素タービンについても ISO TC192 で検討が進展している。

[4] 再エネ等由来の電力を活用した水電解による水素製造（調査期間：2025/6/17～7/24）

- ・ 市場動向においては、2050 年カーボンニュートラル実現に向けて、水電解装置の大幅な導入拡大が必要とされている。IEA のネットゼロ・シナリオでは 2030 年に 560GW、2050 年に 3,000GW、IRENA の 1.5℃シナリオでは 2030 年に 470GW、2050 年に 5,470GW の導入が必要と想定されており、水電解による水素製造への期待は引き続き大きい。一方で、2024 年の世界市場は 3.4GW（14.2 億 USD）と前年比で約 2 割成長したものの、2030 年見通しの 44.3GW と比較すると依然として小規模であり、水素需要の立ち上がりの遅さ等を背景に、市場拡大ペースはやや鈍化している。
- ・ 各国は導入目標を積極的に掲げており、EU は 2030 年に域内生産・輸入それぞれ 1,000 万トン/年、100GW 相当の電解槽設置を目標に設定している。米国は 2030 年までに 1,000 万トン/年のクリーン水素製造を、中国は 2025 年にグリーン水素 10～20 万トン/年、韓国は 2030 年に国内水素製造 194 万トン/年、そのうちグリーン水素 25 万トン/年を目指している。世界の設備容量は 2024 年に約 5GW に到達し、中国が約 70%を占めるなど導入面でも中国の存在感が大きい。
- ・ 他方で、2030 年に向けて世界で 500GW 超の導入計画が発表されている一方、

2025 年時点で最終投資決定に至った案件は 20GW 程度に留まる。また、生産能力は 2024 年に約 42GW/年と 2022 年比で約 3 倍に拡大しており、現状では需要に対して過剰気味の状況にある。用途面では、モビリティ向けが最大であるが、産業用熱利用やアンモニア・メタノール等の化学品製造向けも多く、再エネ変動に対応するため、既存設備や貯蔵設備と併用する事例、アルカリ型と PEM 型を併用する事例も見られる。

- ・ 水電解装置メーカーの動向としては、2024 年時点で Thyssenkrupp Nucera が最大規模の製造能力を有し、中国の Peric Hydrogen Technology、Sungrow Power Supply、LONGi Green Energy Technology、米国の Plug Power 等が続く。生産能力面では中国、米国、欧州で世界の大半を占めており、日本企業の規模はなお限定的である。
- ・ 技術動向において、アルカリ型では中国の設備コストが 1,600～1,800 円/kW（3.2～3.6 万円/kW）と低く、2022 年時点から更なる低減を実現している。中国企業は 2030 年までに 1,000 円/kW 級を目指している一方、欧州は 500EUR/kW（6.5 万円/kW）程度であり、2030 年に 400EUR/kW を目標としている。欧州は価格面で中国に劣る一方、膜・触媒や安全対応機器の品質が高く、寿命が長い点の特徴である。コスト低減要因としては、欧州では生産ライン自動化、中国では量産化、材料の大量調達、自動化、部材性能向上等が挙げられる。
- ・ アルカリ型の水電解効率は、中国で 4.3～4.4kWh/Nm³、欧州で 4.4～4.5kWh/Nm³ 程度まで改善しており、いずれも 2030 年に 4.3kWh/Nm³ 程度を目指している。ただし、中国製については、低コストと高効率を両立する製品は限定的であり、実運転下でその性能がどの程度維持されるかについては慎重な見方もある。PEM 型では、欧州が設備コスト 980EUR/kW 程度、水電解効率 4.0kWh/Nm³ まで改善しており、膜の薄膜化や触媒塗布技術の高度化、材料見直し等を通じて 2030 年に 3.9kWh/Nm³ を目指している。
- ・ 加えて、新たな論点として SOEC 型の存在感が高まりつつある。現時点で設備容量は 12MW 程度と小さいものの、計画中案件は合計 3GW 規模に達しており、欧州・米国を中心に導入と実証が進む。SOEC 型は高温熱を活用できる環境下で優位性を持ち、水電解効率は 2030 年頃までに 3.2～3.3kWh/Nm³、設備コストも 2.2～6.8 万円/kW 程度まで低減する目標が掲げられている。Bloom Energy、Topsoe、Elcogen 等が生産能力拡張を進めており、中長期的にはアルカリ型・PEM 型に対する有力な選択肢となる可能性がある。
- ・ 国際動向においては、欧州・米国ともに研究開発支援に加え、生産設備投資支援や需要創出支援を組み合わせ、水電解装置産業の育成を進めている。欧州では Horizon Europe やクリーン水素パートナーシップ、IPCEI、欧州水素銀行、NZIA 等を通じて研究開発、製造現地化、需要喚起を一体的に支援しており、欧州水素銀行の第 2 回入札では中国製機器を事実上排除する動きも見られ

る。米国でも、研究開発支援に加え、IRAに基づく製造投資税額控除等を通じて現地生産を後押ししている。

- ・ 中国は、第14次五カ年計画等の下で水素産業育成を進めるとともに、一帯一路参加国とも連携しながら海外展開を進めている。中国製アルカリ型水電解装置は、輸送費や認証取得費を加味しても欧州製より大幅に低コストとされ、完成品輸出に加え、現地生産、EPC連携、ライセンス供与、人材育成、再エネ設備とのパッケージ展開等、市場に応じて多様なビジネスモデルを使い分けている。加えて、現地人材採用や現地企業との提携により、アフターサービスや長期保証の強化も進めつつあり、価格面に加え商業面でも脅威が高まっている。
- ・ ルールメイキング動向においては、欧州で安全装備や認証等の要件が厳格であり、これが中国企業にとって一定の参入障壁となっている。さらに、2023年2月には欧州化学品庁（ECHA）がPFAS規制案を公表し、PEM型に使用されるNafionも対象とされたことから、膜材料を巡る不確実性が高まっている。2024年11月時点では一定条件下で電解槽用途を禁止対象外とする可能性も示されているが、2027年頃の採択、2028年頃からの適用開始が想定されており、今後の制度動向が注目される。こうした中、PFASフリー膜の開発動向も重要性を増している。

[5] 製鉄プロセスにおける水素活用（調査期間：2025/12/24～2026/2/13）

- ・ 市場動向においては、粗鋼生産量の将来見通しが横ばいで推移する方向性に大きな変化はない一方、鉄鋼製品の低炭素化に向けて需要側・供給側双方の対応が進展しており、グリーンスチールは2030年時点で市場の5～25%を占める見通しとなっている。特に欧州を中心に、自動車、建材、機械等の需要家による調達の動きや、供給契約・オフテイク契約等の拡大が進んでいる。もっとも、2025年は、オフテイク契約やパートナーシップ、資本参加の増勢には鈍化がみられる。
- ・ また、水素製鉄の製造コストは、CAPEX、OPEX、エネルギー費の影響を受け、従来法に比べて高く、水素製造コストの高さが市場立ち上げの主要なボトルネックの一つとなっている。現時点ではブルー水素がコスト面で優位にあるが、将来的にはグリーン水素のコスト低減により利用拡大が見込まれている。
- ・ 技術動向においては、短期的な低炭素鋼材・グリーンスチールの製品化手段として、マスバランス方式を活用した商品化、大型電炉の導入、既存プロセスで製造したDRIやHBIの高炉・電炉への活用が進められている。なお、DRI/HBIの高炉装入はCO₂削減に寄与し得るが、グリーンスチールとしての扱いは、削減実績量の算定・検証及びマスバランス等による製品への割当ルールに依存する。国内でも、日本製鉄、JFEスチール、神戸製鋼所がそれぞれマスバランス方式等を活用したグリーンスチールの供給を開始しており、欧州でもArcelorMittal

等が同様のマスバランス方式等を活用した低炭素鋼材の供給を進めている。

- ・ 中長期的な技術開発の方向性としては、高炉での水素活用と水素直接還元の実現を目指す流れに大きな変化はないが、近年は、高炉への水素系ガス吹き込みや、低品位鉄鉱石の活用を志向する技術開発事例が増加している。高炉への水素吹き込みについては、ドイツ Thyssenkrupp、米国 Cleveland-Cliffs、インド Tata Steel、中国 Baowu 等で実機又は実機に近い規模での試験が進められている。
- ・ 加えて、直接還元については、従来の高品位鉄鉱石前提のシャフト炉に加え、低品位鉄鉱石の活用を可能とする技術開発が重要な追加論点となっている。特に POSCO の HyREX、Thyssenkrupp の DRI-SAF、BlueScope や Tenova 等の取組が進展しており、将来的には電炉による還元鉄の熔解・精錬技術に対する有力な競合となる可能性がある。
- ・ また、還元に必要な水素サプライチェーンの確保に向けて、欧州系鉄鋼メーカーを中心に、製鉄所併設の水素製造拠点整備や、水素供給プロジェクトへの参画が進められてきた。他方で、2025 年以降は、高額な水素価格や水素インフラ立ち上がりの遅れを背景に、欧州では ArcelorMittal による複数の水素 DRI-EAF 転換計画の撤回、Thyssenkrupp による水素調達入札の一時停止等、水素利用の動向に鈍化がみられる。米国でも、トランプ政権下で気候変動対策支援が停滞し、水素製鉄実証プロジェクトの一部中止が発生している。これに対し、中国では水素サプライチェーン構築が進展していることを背景に、Baowu や HBIS が引き続き積極的に水素利活用を進めており、各国で技術開発・事業化の進捗に差が生じている。
- ・ さらに、新たな技術潮流として、電解還元、水素プラズマ還元等の新しい製鉄方法の開発が、欧州 ArcelorMittal、米国 Boston Metals、Electra、豪州 Fortescue、Voestalpine 等で進められているが、現時点では小規模商用化にも至っておらず、実用性はなお不透明な段階にある。
- ・ また、水素還元 DRI による高級鋼製造に関する取組は現状限定的であり、SSAB が高強度材や自動車部品への展開を進めるほか、HBIS が自動車向けの水素還元製鉄ラインを立ち上げているものの、いずれもスケールアップや還元ガスの完全な水素化に向けた課題を残している。
- ・ 社会・国際動向においては、欧州では鉄鋼における排出権無償枠の段階的廃止と CBAM 導入に加え、Clean Industrial Deal や Steel and Metals Action Plan 等により、支援策と制度の両面から鉄鋼業の競争力と脱炭素化を促進している。中国でも、鉄鋼業を含む産業への ETS 適用拡大方針が示されるなど、政策面での後押しが進む。他方、米国では、従来はインフラ投資・雇用法や IRA 等による大型支援が進められてきたが、足元では政権交代に伴い、気候変動対策に関わる支援の停滞がみられる。

- ・ ルールメイキング動向においては、2022 年 G7 において IEA がニア・ゼロエミッションスチールの定義案を提示し、2023 年 G7 では、その前段階として、既存の GHG 排出量算定手法の相互運用化及びデータ収集を進める方向が確認された。もっとも、2026 年時点でもグリーンスチールの定義・認証に関するグローバル統一基準は未確立であり、行政機関、国際機関、業界団体、各企業による基準や認証の乱立が続いている。こうした中、ResponsibleSteel、CISA、LESS aisbl の連携など、認証機関間の協調の動きも現れ始めている。米国と EU による「グリーンスチール」協定交渉も継続中であり、今後も国際的な定義・認証・貿易ルール形成の動向が重要となる。

[6] 燃料アンモニアサプライチェーンの構築（調査期間：2025/12/19～2026/2/13）

- ・ 市場動向において、既存のアンモニア市場は、約 8 割が肥料用途として消費され、貿易量は生産量の約 1 割にとどまるなど、引き続き地産地消型かつフラグメント化した市場構造となっている。一方、国際エネルギー機関（IEA）や国際再生可能エネルギー機関（IRENA）等の主要機関は、船舶や発電等の新規用途拡大により、2050 年のアンモニア需要量をそれぞれ約 5.6 億トン、約 6.88 億トンと見込んでいる。特に船舶・発電用途での需要増加が想定される一方、肥料用途の脱炭素化も含めたクリーンアンモニア需要の広がりが注目されている。
- ・ アンモニア価格は、2021～2022 年に高騰した後、足元では従前水準に戻りつつある。中長期的には、LNG 価格の低下や再エネ由来電力コストの低減を背景として、グリーンアンモニアを含めた供給コスト全体の低下が見込まれている。他方で、クリーンアンモニアの将来需要の確度についてはプレイヤー間で見方が分かれており、船舶用途や肥料用途を中心に需要の立ち上がりを慎重にみる事業者も存在する。
- ・ クリーンアンモニアのサプライチェーン構築動向としては、ブルーアンモニア案件数は足元で横ばいである一方、グリーンアンモニア案件数は増加しており、豪州、モーリタニア、エジプト、ブラジル、チリ等が主要な供給地として存在感を高めている。他方で、米国ではインフレ抑制法を背景にブルー案件が集積してきたものの、需要の不確実性やオフテイク契約不足、資本コスト上昇等を背景に、一部大型案件で中断・停止の動きも生じており、供給計画の不確実性が顕在化している。日本向けには総合商社等が上流段階から参画する例が多い一方、韓国では電力・鉄鋼等の需要家が初期段階から参画し、自社向け供給確保を図る動きが見られる。
- ・ 技術動向において、現在アンモニアはほとんど全量がハーバーボッシュ（HB）法によって製造されており、低温低圧化を可能にする触媒開発や、HB 法に依らない電解合成、人工光合成等も進められている。他方で、主要プレイヤーの多くは、今後も当面は HB 法が主流であるとの認識を維持している。加えて、低

温・低圧化による省エネが、分離工程や昇圧、冷却等を含めた製造プロセス全体では必ずしも効率改善につながらない可能性も指摘されており、個別反応条件だけでなく、プラント全体のエネルギー効率、設備費、長期安定運転を含めた全体最適の観点が重要となっている。

- ・ 利用技術については、日本では商用規模の石炭火力における 20%混焼実証や、アンモニアガスタービン専焼技術の開発が進展している。韓国では 2027 年までの 20%混焼実証完了を目指していたが、政策転換により混焼方針を変更しており、中国では石炭火力設備における 35%混焼（30 万 kW 級設備）での実証が進められていたが、その後、進展は見られていない。米国では DOE 支援の下、アンモニア燃料ガスタービン燃焼器の開発が進められているが、主要 OEM の一部では最終的な脱炭素手段として水素専焼や CCS を重視しており、アンモニア利用の位置付けには差が見られる。
- ・ 貯蔵・運搬においては、現在の主流は 2～2.5 万トン級の MGC、最大でも 4 万トン級の LGC であるが、2020 年代後半には 5～6.5 万トン級の実用化、さらに 10 万トン超の運搬船も視野に入っている。タンクについても、現状は 2～3 万トン級が標準である一方、将来的な需要拡大を見据え、10 万トン級以上の大型タンク開発が進められている。直ちに大型化が必要な状況ではないものの、2030～2035 年頃には大規模輸送・貯蔵への対応が課題となる可能性が高い。
- ・ 国際動向においては、日韓は主に発電向けのサプライチェーン構築を推進し、米国は経済支援を背景に自国でのブルー化を基本としてきたが、近年は政策環境の変化も見られる。特に韓国では、従来進めてきたアンモニア混焼活用から、2025 年後半に石炭火力全廃方針を鮮明にする方向へ政策転換が生じている。中国では自国内のグリーンアンモニア案件が進展し、欧州ではアンモニアは主に水素キャリアとして位置付けられている。加えて、インドは国家グリーン水素ミッションの下で、グリーン水素・アンモニアの生産・輸出拠点化を志向しており、新たな供給国として注目される。
- ・ ルールメイキング動向においては、クリーンアンモニアの定義、炭素強度評価、認証制度、バンカリング、安全ガイドライン、発電・船舶用途ごとの規格整備等が進められているが、制度・認証・規格は依然として分散的であり、相互に十分連関していない。ISO では水素・派生燃料関連規格の整備が進み、船舶分野では IMO を中心にアンモニア燃料船の安全ガイドライン整備が進展しているが、こうした議論は主として船上利用に限定され、発電や陸上貯蔵・輸送等への直接的な波及は限定的である。今後の普及に向けては、製造、貯蔵・輸送、利用の各段階で個別に標準化・制度整備を進めていく必要がある。

[7] CO₂等を用いたプラスチック原料製造技術開発（調査期間：2025/10/28～12/12）

- ・ 市場動向においては、化学産業は鉄鋼に次ぐ GHG 多排出産業として、各国の削減目標引上げを受けて CN 対応を加速しており、グローバル・国内の大手化学メーカーは 2050 年 CN 目標や 2030 年削減目標を掲げている。一方で、プラスチック需要は新興国を中心に今後も増加が見込まれ、容器・包装向けの PE、PP、PET や、自動車向けの PP、PU 等を中心に、CN・CE への対応ニーズが引き続き高い。
- ・ 他方、今回の特に重要な論点は、石油化学市場では構造的な供給過剰と低マージンが続いており、コスト増を伴う CN 投資に対して世界的に慎重姿勢が強まっている点である。飲料・消費財メーカー等による再生材利用目標は維持されるものの、一部では目標引下げも見られ、環境対応の方向性は不変である一方、実装速度や受容可能なコストプレミアムには現実的な制約が顕在化している。
- ・ 業界動向においては、製造プロセスの CN 化と、製品の CN・CE 化の双方が進められている。前者では、依然としてナフサ熱分解炉の脱炭素化が重要課題であり、後者では、廃プラ・廃タイヤ・バイオマス・CO₂の原料利用が進展している。特にグローバル大手化学メーカーは、原料調達からリサイクル、製品販売、認証取得までを含めたバリューチェーン全体で提携・買収を進めており、技術開発単独ではなく、原料確保・顧客確保・環境価値訴求を一体で進める動きが強まっている。
- ・ 「ナフサ分解炉の高度化技術の開発」においては、グローバルでは電熱化の開発が主流となっており、BASF、Dow、LG Chem 等が実証や導入検討を進めている。一方で、再エネ電力の大量確保、CAPEX・OPEX 低減、既設炉のレトロフィット等が課題である。アンモニアや水素等の CN 燃料転換も検討されているが、海外では水素転換案件の停止・中止も見られ、足元では経済性が大きな制約となっている。中東や米国では、ガス資源や CCS 貯留層を活かしたブルー水素活用が有望視されるなど、脱炭素手段は地域条件によって分化しつつある。
- ・ 「廃プラ・廃ゴムからの化学品製造技術の開発」においては、グローバルでは廃タイヤ油化、rCB 製造、廃プラ熱分解等の商用化が進みつつあり、Pyrum、LD Carbon、Anellotech、Mura 等のスタートアップを起点に事業展開が加速している。特に廃タイヤ分野では、タイヤメーカーが Tire to Tire や高品質 rCB に強い関心を示しており、ブランド価値や Scope3 削減も含めた需要が期待される。一方で、今後の競争力の鍵は、収率やコストだけでなく、不純物を多く含む原料への対応、分別・前処理、原料自由度向上、及びバリューチェーン構築力にある。
- ・ 「CO₂からの機能性化学品製造技術の開発」においては、旭化成や Covestro がポリカーボネートやポリオール等で既に商用化・ライセンス展開を進めており、米国の Twelve 等のスタートアップによる事業展開も加速している。もっとも、CO₂由来化学品は製造時に多くのエネルギーを要するため、環境価値を訴求する

には製造工程を含めた正味の CO₂ 排出量評価が不可欠である。また、ポリオール等では商用化が進む一方、イソシアネート等は技術的・経済的なハードルが高く、用途ごとの難易度が大きく異なる。

- ・ 「アルコール類からの化学品製造技術の開発 ①グリーン水素（人工光合成）等からの化学原料製造技術の開発・実証」においては、人工光合成は国内で 100m² 級実証が進む一方、海外では依然ラボレベルにとどまっている。グリーン水素製造の主流は引き続き水電解であり、大規模案件、量産化、貴金属使用低減等の開発が進んでいる。CO₂ と H₂ からのメタノール製造も商用化・大型案件形成が進みつつあるが、低炭素水素の供給制約を踏まえると、少なくとも短中期的には化学用途よりも航空・船舶燃料等の用途が優先される可能性が高い。
- ・ 「アルコール類からの化学品製造技術の開発 ②メタノール、エタノール等からの基礎化学品製造技術の開発・実証」においては、中国で CT0/MT0 の商用化が進み、CO₂ や廃棄物・バイオマス由来メタノール経由の CN 製品の製造法の開発も進展している。一方で、今回新たに明確になった重要な視点として、CO₂・水素由来の化学品は、SAF や船舶燃料等と異なり、導入義務や強い規制インセンティブが存在しないため、プレミアム価格を転嫁しにくく、商業化のハードルが極めて高い。
- ・ 国際・ルールメイキング動向においては、EU、日本、米国等でプラスチック資源循環やリサイクル材使用、CCUS、水素支援等に関する制度整備が進んでいる。認証面では、リサイクル材やバイオマス原料については ISCC PLUS 等のマスバランス認証が普及し、業界標準となりつつある。加えて、2025 年にはバイオ・CO₂・リサイクル由来炭素を合算表示できる「OK renewable」ラベルの運用も開始された。一方で、欧州を中心にグリーンウォッシュ対策が強化され、「カーボンニュートラル」等の表現よりも、オフセットに依存しない実排出削減や製品フットプリントを重視する方向へ移行しており、今後は環境価値の訴求方法そのものが重要な競争条件になる。

[8] CO₂ 等を用いた燃料製造技術開発（調査期間：2025/10/29～12/11）

<合成燃料>

- ・ 市場動向においては、電動化・水素化が困難な長距離輸送、航空、建機・農機等の分野を中心に、液体燃料の脱炭素化ニーズが引き続き存在しており、合成燃料の需要は中長期的に拡大すると見込まれている。IEA シナリオでも、導入拡大は 2035 年以降に本格化する見通しである。
- ・ 技術動向においては、製造技術は FT 合成系とメタノール合成系に大別され、現状は既存の技術成熟度の高い FT プロセスの応用が中心である一方、更なる低コスト化・高効率化に向けて、CO₂ 電解、共電解、Direct-FT 等の革新的プロセスも開発が進められている。ただし、現時点でデファクトは確立しておらず、触

媒開発や電解装置の大型化・耐久性向上が主要課題となっている。

- ・ 業界動向においては、欧州を中心に自動車会社、石油会社、スタートアップ等による研究開発・実証が進展しており、北米ではより大規模な案件も進行している。他方で、事業成立には再エネ・水素コストが大きく影響しており、米国、中国、南米等の低コスト地域が有望視される一方、欧州では高コストの水素と不十分なオフテイクにより、案件中止・停滞も顕在化している。
- ・ 国際動向・ルールメイキングにおいては、欧州が Horizon Europe やイノベーションファンド等を通じて技術開発・実証を支援するとともに、RFNBO 認定や ReFuelEU Aviation 等の制度整備を先行して進めている。特に、合成燃料の社会実装には、CO₂削減価値の帰属、排出計上ルール、規格・標準化等の整理が引き続き重要な論点となっている。

<SAF>

- ・ 市場動向においては、航空分野の脱炭素化に向けて SAF 導入の必要性が高まっており、ICAO、ATAG、世界経済フォーラム等により導入目標やコミットメントが示されている。一方で、2030 年時点の必要供給量に対し、既存案件の積み上げによる供給見通しには大きな乖離が存在している。
- ・ 追加的な視点として、近年は欧州を中心に SAF プロジェクトの FID 遅延や撤退が相次いでおり、特に e-SAF は 2030 年目標達成が困難との見方が強まっている。Shell や BP 等の大手企業による HEFA 案件撤退も見られ、長期オフテイク不足と価格不確実性を背景とした需要と供給の相互依存関係が事業化の大きな制約となっている。
- ・ 技術動向においては、現状の供給の大半を HEFA が占めるが、原料制約が大きく、今後は ATJ 及び FT の拡大を経て、長期的には PtL への移行が進むと見込まれている。各方式でコスト低減、反応効率向上、触媒改良等の技術開発が進められており、ATJ では原料多様性、FT では大規模化、PtL では将来的な供給拡大余地が注目されている。
- ・ 国際動向・ルールメイキングにおいては、米国の SAF Grand Challenge や IRA、欧州の ReFuelEU Aviation、EU-ETS 等により導入促進策が強化されている。他方で、混合義務のみでは投資リスクを吸収しきれないことから、英国の保証価格制度やドイツ H2Global のような CfD 型・ダブルオークション型の支援策も導入されつつある。また、現状 SAF は ASTM で既存ジェット燃料へのブレンドが義務付けられているが、SAF100%認証に向けた取組も進展している。

<合成メタン>

- ・ 市場動向においては、グローバル及び日本における主用途は都市ガス分野と見込まれている。日本では 2050 年に都市ガス需要の 90%を合成メタンで代替する目標が掲げられている一方、欧州では水素・バイオメタンが主軸であり、合成メタンは補完的な位置付けにとどまる見通しである。

- ・ 追加的な視点として、近年は欧州でも見通しがやや上方修正され、ENTSO-E/ENTSOG やフランスの報告書では、2050 年時点でガス生産の 1 割前後を占める可能性が示されている。他方で、IEA の近年シナリオでは合成メタン活用が明示的に織り込まれていないなど、将来位置付けには不確実性も残る。
- ・ 技術動向においては、従来型のサバティエ反応に加え、SOEC 共電解、ハイブリッドサバティエ、PEM CO₂還元等の革新的技術が存在する。既存技術であるサバティエ反応では、熱利用を含めた総合効率の低さが課題であり、SOEC 共電解は高効率期待されるものの、低コスト化、スケールアップ、耐久性が課題である。
- ・ 業界・国際動向においては、実証の中心は引き続き欧州であり、現状は従来型サバティエ反応が大宗を占める。ルール面では、低炭素ガス市場パッケージや EU-ETS 改正の中で位置付け整理が進む一方、CN 燃料としての評価や CO₂ 排出カウント、二重計上回避のルール整備が普及の前提となっている。加えて、2024 年には e-NG Coalition 設立が合意され、市場創出や政策提言の動きも始まっている。

<グリーン LPG>

- ・ 市場動向においては、LPG 需要は中国・インドを中心とするアジアで引き続き拡大が見込まれており、グローバルで見ても 2050 年まで拡大する見通しである。日本国内でも郊外・離島地域を中心に需要基盤が存在している。
- ・ 追加的な視点として、LPG の脱炭素化手段としては、短中期では技術成熟度と供給確保の観点から rDME 混合が有力とされている一方、混合上限が存在するため、長期的な完全脱炭素化には合成 LPG やバイオ LPG を含むグリーン LPG そのものの供給拡大が必要と認識されている。
- ・ 技術動向においては、バイオマス由来技術の方が成熟しており、既にバイオ燃料副産物としてのバイオ LPG は商用化されている。一方、CO₂・水素由来の合成 LPG については、プロパネーションやブタネーション等の技術が存在するが、いずれも発展途上であり、技術成熟度、量産性、生産効率を同時に満たす有力技術はまだ確立していない。
- ・ 業界・ルールメイキング動向においては、欧州を中心にバイオ LPG の商用化は進んでいるものの、現状の供給量は需要全体の一部にとどまる。また、グリーン LPG に対する導入目標やインセンティブは未整備であり、環境価値を訴求したブランド販売が中心である。Liquid Gas Europe 等は、再生可能エネルギー指令にてグリーン LPG に関するルール整備やインセンティブ設計を求めている。

<エンジン>

- ・ 市場動向においては、運輸部門は世界の GHG 排出の約 2 割を占め、その中でも自動車の比率が高いことから、内燃機関を含む自動車の CO₂ 排出削減は引き続き重要な課題である。

- ・ 追加的な視点として、近年は EV 販売の伸び悩みを受け、欧州 OEM を中心に EV 偏重路線の見直しが進みつつあり、PHV やレンジエクステンダーを含むエンジン搭載車の位置付けが再評価されている。特に中国では長航続 PHEV/EREV が急速に普及しており、PHV は短中期の電動化を牽引する現実的な選択肢として存在感を高めている。
- ・ 技術・業界動向においては、燃費・熱効率向上に向けた取組が継続しており、日本では SIP で正味最高熱効率 50% 超、米国では SuperTruck2 を通じて Cummins が 55% を達成している。他方、欧州ではエンジン技術者・ノウハウの中国流出も背景に、中国企業や他社との共同開発・調達による「技術逆輸入」の構図も生じている。
- ・ 国際動向・ルールメイキングにおいては、EU が 2035 年以降の内燃機関車販売禁止方針の見直し案を示し、PHV やレンジエクステンダー付き車の販売を認める方向へ転じている。また、燃費・排出規制も一部で緩和されているものの、欧米では国主導の研究開発目標設定や産学連携プロジェクトを通じて熱効率向上が進められている。

[9] CO₂ を用いたコンクリート等製造技術開発（調査期間：2025/10/29～12/4）

- ・ 市場動向について、セメント業界は引き続き CO₂ 大量排出セクターの一つであり、カーボンニュートラル達成に向けた抜本的な対策が強く求められている。政策的要請や金融・需要家からの圧力の高まりを背景に、低炭素セメントの生産量は今後増加する見通しであり、CO₂ 削減手法としては、原料由来 CO₂ 排出量の低減、燃料由来 CO₂ 排出量の低減、CCUS による CO₂ 貯蔵・利用量の増加が主要な方向性となっている。
- ・ 業界構造について、セメント・コンクリート業界は地産地消型の産業であり、地域や国ごとにバリューチェーン構造が異なる。欧州では大手による垂直統合型が中心である一方、北米やアジアではセメント製造とコンクリート製造が分離した分業型の構造を有する。加えて、中国・インドでは地域ごとに多数の生コン事業者が存在し、シンガポールでは輸入セメントを前提とした寡占的な生コン市場が形成されるなど、地域や国ごとの市場特性の差異が顕著である。
- ・ 低炭素コンクリートの商業化に向けては、低炭素製品の定義・検証手法の不在、新規ブレンド製法・新規原料の開発への投資不足、調達モデル未整備、CCUS を含む構造的なコスト上昇、新興技術の成熟度不足、地域社会の理解不足等、複数の課題が存在する。特に、標準・データ基盤の未整備とコスト負担の大きさが普及の制約となっている。
- ・ 技術動向について、CO₂ 削減に向けた取組は主に、クリンカ比率低減等による原料由来 CO₂ 排出量の低減、代替燃料やグリーン電力導入等による燃料由来 CO₂ 排出量の低減、及び CCUS 関連技術開発に大別される。なかでも、2024 年時点で

は、クリンカ比率低減が技術成熟度と削減効果の両面で最も有望とされている一方、安定した代替原料のサプライチェーン構築が課題となっている

- ・ CCUS 関連では、セメント工場排ガスへの分離回収技術の適用は高い削減効果が期待されるものの、低 CO₂ 濃度かつ夾雑物を含む排ガスへの適用が課題であり、アミン法や酸素燃焼法が中心である一方、LEILAC 等の先進技術はなお開発段階にある。欧州では、既存セメント工場への CCS 適用が主流であり、Innovation Fund 支援案件を中心に 2025 年から 2030 年にかけて操業開始が見込まれている。
- ・ Heidelberg Materials 社のノルウェー子会社の Brevik 工場では、セメント産業として世界初の大規模 CCS 施設が導入され、2025 年より操業開始した。同施設で回収・貯留される CO₂ 削減価値を活用し、マスバランスやブック&クレーム方式に基づく低炭素セメント製品“evoZero”の商品化に至っている。
- ・ 一方、原料製造時やコンクリート施工時の CO₂ 削減・固定化については、スタートアップを中心に開発・商業化が進展している。LC3 Project、Hoffmann Green Cement、MCi Carbon、Blue Planet、Carbon Upcycling、Fortera、CarbonCure 等が代表例であり、クリンカ代替、産業副産物活用、CO₂ 注入によるコンクリート製造等の技術が展開されている。ただし、現状の用途は、強度が強く求められる大型構造物よりも、ブロック等のユニット製品や路盤材などが中心である。加えて、CarbonCure 等のように既存製造プロセスへの適用性が高い技術は、ライセンスによる横展開の可能性が高い点も特徴である。
- ・ 今回特に重要な追加視点として、CO₂ 調達手段が、生産プロセス排気の直接利用、DAC、液化 CO₂ 利用の 3 類型に整理された。現状は実証段階のため液化 CO₂ 利用が中心であるが、直接利用は不純物や濃度、DAC はコストの課題をそれぞれ有しており、CO₂ コンクリートの社会実装に向けては、低コストかつ安定的な CO₂ サプライチェーンの構築が重要な論点となっている。
- ・ 国際動向について、欧米等主要地域のセメント協会や GCCA 等によりカーボンニュートラル達成に向けたロードマップが策定されているほか、DOE、ARPA-E、欧州委員会、Innovation Fund 等を通じた技術支援が行われている。また、First Movers Coalition や Concrete Zero 等、需要創出を通じて低炭素コンクリート市場の立ち上げを促す枠組みも形成されている。他方、米国では政策環境に変化が見られ、セメント・コンクリート向けを含む環境対策予算の削減が進みつつあり、今後の政策動向には不確実性もある。
- ・ ルールメイキング動向について、技術の社会実装には標準化と認証の整備が重要であり、コンクリートにおける CO₂ 固定量の評価方法について、GCCA、VCS、Gold Standard、Puro.earth、J-クレジット等で方法論の提案や適用が進んでいる。一方で、信頼性の高い定量化方法論がなお十分に確立していないことから、現時点ではクレジット取引量は限定的である。排出量算定方法について

は、ISO19694-3 と GCCA プロトコルが整合しており、今後は CCUS、焼成クレイ、水素利用等の新技術への対応を含めた更新が進む見込みである。加えて、各国・地域では ASTM、ACI、EN、JIS、JASS5 等の既存規格・基準への適合や見直しも社会実装上の重要である。

[10] CO₂ の分離回収等技術開発（調査期間：2025/8/21～10/8）

- ・ 市場動向においては、2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて、再エネ導入や電動化・水素化を最大限進めた場合でも一定の CO₂ 排出は不可避であり、CO₂ 分離回収技術の需要は引き続き拡大すると見込まれる。CO₂ 分離回収の対象は、現時点では天然ガス・LNG 由来が中心であるが、今後はバイオエネルギー／エタノール、水素・アンモニア・肥料製造、発電・発熱等へ広がる見通しである。加えて、2025 年 2 月時点で CCS 輸送・貯蔵施設 10 件が稼働中又は建設中、200 件以上が計画中、また CO₂ 分離回収施設は 84 件が稼働中又は建設中、300 件以上が計画中であり、輸送・貯蔵インフラを含めた市場形成が加速している。
- ・ 今回特に重要な追加論点として、需要側の動きとして CCU の拡大がより明確になっている。CCU 案件は 2025 年 10 月時点で 9 件が稼働中、2 件が建設中、44 件が計画中であり、欧州が全体の 6 割超を占める。用途別では、船舶燃料向け需要の確実性や化学品原料としての汎用性を背景に、メタノール製造を志向する案件が最も多く、SAF、液化 CO₂、メタン等も続いている。特に FuelEU Maritime や EU ETS を背景として、e-メタノール向けのグリーン CO₂ 需要が高まりつつある点が今年度の特徴的な変化である。
- ・ CCUS のバリューチェーンは、CO₂ 排出、分離回収、輸送、利用・貯留の 4 工程で構成され、それぞれの工程に多様なプレイヤーが存在する。近年は、買収等を通じて複数工程を一気通貫で担うフルバリューチェーン型に加え、ネットワーク・ハブ型、Capture as a service、Transport and/or Storage as a service 等の新たな事業モデルの検討・初期商用化が進んでいる。また、越境 CCS に向けた連携も進展しており、欧州ではノルウェーを中心に二国間協定や MoU が活発化し、アジア太平洋でも日本・マレーシア、韓国・マレーシア、シンガポール・インドネシア間で協力が進んでいる。加えて、欧州では Northern Lights が 2025 年 8 月に初注入を完了し商用運転を開始、日本でも CCS 事業法に基づく特定区域指定や試掘許可が進展しており、CCS は実証段階から実装段階へ移行しつつある。
- ・ 技術動向においては、これまで最も実績の多い化学吸収法が当面主流と見込まれる一方で、各方式においてコスト低減と適用領域拡大に向けた技術開発が進展している。化学吸収法では BASF や Honeywell 等が吸収剤改良や省エネ化を進め、物理吸着法では Svante と BASF が MOF 吸着材の量産化とモジュール化を進めるなど、商用化に向けた前進が見られる。膜分離法では MTR が独自システム

により大幅なコストダウンを志向し、実証規模での検証を開始している。加えて、低濃度排出源向けでは化学吸収法、中小規模排出源向けでは MOF 等を活用した物理吸着法が有望視されており、AI を活用した材料設計や不純物耐性向上も進展している。

- ・ また、技術単体の性能向上に加えて、排出源特性や用途との適合を踏まえたプロセス設計の重要性も高まっている。排出源ごとに CO₂ 濃度、圧力、夾雑物、排出規模が異なるため、適合度の高い技術方式の選定が重要であり、回収した CO₂ の利用・貯留先に応じて純度や夾雑物管理も実装要件となる。さらに、酸素燃焼プロセスと液化回収技術を組み合わせた特定産業向けプロセス開発・実証も欧州で進んでおり、分離回収技術単体ではなく、前後工程を含めたシステム全体での最適化が進みつつある。
- ・ 加えて、CO₂ 分離性能評価技術の観点では、海外では実ガス評価センターの整備が進み、材料・装置・プロセスの実ガス試験を支える基盤が形成されている。ノルウェーの Technology Centre Mongstad や米国の Wyoming Integrated Test Center 等では、第三者機関による評価プロトコルも活用されている一方、日本では従来、実際の燃焼排ガスを用いて CO₂ 分離素材を中立的に評価する試験センターが少なく、一部の日系企業は海外設備を利用してきた。2025 年度に国内初の炭素回収技術評価センター(RCCC)が開設され、実ガス評価基盤の整備が進んでいる。このような、評価基盤の強化は技術開発競争力の向上や知見流出防止の観点からも重要性が高い。
- ・ 国際・ルールメイキング動向においては、欧米を中心に CCUS の導入支援が引き続き強化されている。特に欧州では、EU-ETS 改定、産業カーボンマネジメント戦略、CCS カーボンクレジット認証制度等を通じて、CO₂ 輸送・貯留や越境 CCS も含めた制度整備が進展している。米国では第二次トランプ政権下でクリーン電力や水素への支援見直しが進む一方、CCUS については税額控除の維持や CCU への優遇拡大等、相対的に支援が維持・強化されており、市場への影響は限定的との見方もある。加えて、中国でも国際 CCUS 技術革新・協力組織 (ICTO) の設立等を通じて国家的な取組が活発化しており、欧州、米国、中国、日本、豪州等とも政策支援、炭素価格、補助制度を通じて市場形成を後押ししている。炭素価格は CO₂ 分離回収の社会実装に直結する重要要素であり、引き続き注視が必要である。

[11] 廃棄物・資源循環分野におけるカーボンニュートラル実現（調査期間：2025/8/20～10/10）

- ・ 各産業共通の基盤である廃棄物分野は、世界の GHG 排出量の 3.4%を占めており、産業全体のカーボンニュートラル化のためには同分野の脱炭素化が必須である。世界の廃棄物量は 2050 年までに 34 億トンに増加すると予測され、特にサブサハラアフリカや南アジアで大きく増加する見込みである。世界の廃棄物処理方法においては、発酵やリサイクルの構成比が増加する一方で、焼却処分 の絶対量は長期的に増加傾向と予測されている。
- ・ 市場動向としては、焼却を用いる廃棄物処理・発電分野では中国の市場規模が最も大きく、次いで欧州が続く構図にある一方、今後は東南アジア及びインドでの市場拡大が見込まれている。国内では一般廃棄物の処理量や焼却施設数は減少傾向にあるが、循環利用率は上昇している。
- ・ 今回特に重要な追加視点として、本基金事業は従来の一般廃棄物に加え、将来的には産業廃棄物への適用も視野に入れており、適用可能性のある産業廃棄物が全体の 7 割程度を占めるなど、適用ポテンシャルは高い。産廃のうち、汚泥や動物の糞尿にはバイオメタネーション、混合廃プラスチックや木くずにはガス化の適用可能性がある点は重要な論点である。
- ・ また、先進国では処理方法の転換を促す制度変化が進んでいる。欧州では、埋立低減政策により埋立からリサイクル・焼却等への転換が進むとともに、早ければ 2028 年から廃棄物焼却施設が EU ETS の規制対象となる可能性があり、処理事業者による CCUS 導入や前処理強化が促される見込みである。このため、焼却処理量は一定の増加が見込まれる一方、化石由来 CO₂を分離・回収しなければ CN 性が認められにくくなる方向にある。
- ・ 技術動向においては、廃棄物処理の CCUS 手法として、大きく焼却・CO₂分離回収と再生利用が存在し、再生利用には熱処理と生物処理がある。焼却・CO₂分離回収については、燃焼後回収と酸素燃焼の双方が主要技術であり、前者では酸性ガス残存や都市ごみ由来の排ガス性状変動への対応、後者では酸素製造コストの低減が課題となっている。海外主要設備メーカーでは B&W が両技術を保有し、SLB Capturi も廃棄物焼却施設向け案件を進めている。
- ・ 廃棄物ガス化については、固定床、流動床、噴流床等の方式が存在し、欧州を中心に都市ごみや木質系廃棄物を原料とした開発・実証が進んでいる。他方で、商用化には依然として壁があり、Fulcrum BioEnergy は都市ごみ由来燃料製造の商業プラント稼働後に経営破綻しており、廃棄物由来ガスの洗浄不足や装置劣化が課題として顕在化した。一方、Enerkem や Ecoplanta 等、大規模案件も継続しており、引き続き動向を注視する必要がある。
- ・ バイオメタネーションについては、in-situ 型、ex-situ 型、ハイブリッド型の 3 方式が存在する。欧州・米国では Ex-situ 方式の実証が進むほか、国内では大

阪ガスが下水処理場で in-situ 方式のフィールド試験を実施している。バイオメタネーションは CO₂ 分離工程を経ずにメタン化できる利点がある一方、グリーン水素価格が大きな制約となっており、国内では嫌気性消化施設の普及不足も社会実装上のボトルネックとなっている。

- ・ 国際動向においては、欧州が埋立削減やリサイクル率向上の目標を掲げる一方、米国はリサイクル率目標を中心に据えつつ、DOE が都市ごみのガス化や次世代嫌気性消化等を重要研究開発項目として位置付けている。また、第二次ランプ政権下では CN 関連政策の見直しが進む一方、CCUS については税額控除面で相対的に優遇措置が維持・拡充されており、廃棄物焼却×CCUS 市場への影響は限定的とみられている。
- ・ ルールメイキング動向においては、EU で繊維・食品廃棄物削減に関する規制導入や産業排出指令改正が進むほか、バイオメタンに関しては天然ガス規格に加え、グリッド注入・輸送用燃料利用に係る品質基準が整備されている。一方、米国では事業者ごとにバイオメタンの品質基準が存在しており、統一標準化に向けた取組が進行中である。今後は、廃棄物由来製品の CN 性・CE 性の評価や、グリッド注入品質を含む制度・標準面の動向が重要になると考えられる。

[12] 次世代蓄電池・次世代モーターの開発（調査期間：2025/8/22～10/10）

- ・ 蓄電池に関する市場動向については、世界の電動車市場は引き続き拡大が見込まれており、2030 年に向けて BEV・PHEV の販売増加が続くと予測される。他方、足元では従来想定に比べて BEV の伸びがやや下方修正される一方、PHEV が上方修正されるなど、市場の広がり方には変化も見られる。こうした中、OEM 各社は車両価格及びコスト低減を重視し、エントリーレベルを中心に LFP 採用を一段と加速している。加えて、eVTOL 市場の立ち上がりも見込まれており、車載以外にも含めた次世代蓄電池需要の広がりが注目される。
- ・ 蓄電池に関する技術開発動向については、高性能化・安全性向上・長寿命化を目指す全固体電池などの高性能蓄電池の開発と、液系リチウムイオン電池の高性能化、LFP を中心とする低コスト電池の開発が並行して進められている。特に、OEM 各社の LFP 採用拡大を受けて、電池メーカー各社も車載 LFP やその改良に注力している。他方、全固体電池についても各社が実証や量産目標を公表しているものの、当面は LFP が主流であり、全固体電池の本格市場投入は 2030 年前後以降になるとの見方も示されている。
- ・ 蓄電池に関する産業構造については、Tesla 等の OEM による電池内製化や、Cell to Chassis に代表される車両統合設計の進展を背景に、電池の地産地消及びバッテリーサプライヤーと自動車 OEM との距離の接近が一層進むと見込まれる。生産拠点は中国・欧州・米国の三極化が進む一方で、原材料調達では依然として中国依存が高く、素材・部材段階でのサプライチェーンリスクが大きい。

- ・ 蓄電池のリサイクルについては、欧州系 OEM は欧州系、米系 OEM は米系のリサイクル事業者との連携を進めており、地域ごとのリサイクルスキーム形成が進みつつある。技術面では、従来の乾式に比べて、回収可能資源の幅や GHG 排出の観点から、湿式又はダイレトリサイクルが主流になると見込まれている。また、欧州及び中国では回収率目標や再生材利用、バッテリーパスポート等の制度整備が進んでおり、今後はリサイクル技術そのものに加え、トレーサビリティやカーボンフットプリント対応も重要性を増すと考えられる。
- ・ 蓄電池に関する国際・ルールメイキング動向については、米国 IRA 法、欧州バッテリー規則、中国の黒鉛輸出規制等を背景に、電池原材料の資源開発や製造・組立工場の新設が進展しており、EV 用蓄電池サプライチェーンの再構築が加速している。特に IRA は、北米及び FTA 締結国由来の原料・部材調達を強く促す制度であり、結果として脱中国依存が焦点となっている。加えて、中国による黒鉛規制は、EV 用蓄電池の重要原料に対する供給リスクを改めて顕在化させており、代替技術や供給網再編の必要性が一層高まっている。
- ・ モーターに関する市場動向については、世界の EV 市場拡大に伴い、車載向け主機モーター市場も今後成長が続くと見込まれている。加えて、eAxle 市場も新興系 OEM を中心に拡大が予測されており、駆動システムの電動化が進展している。さらに、eVTOL の開発・実用化が進む中で、航空用途に適した高出力密度モーターへの期待も高まっている。
- ・ モーターに関する技術開発動向については、主に電磁鋼板、磁石、磁性体材料の3分野で開発が進められている。特に、電磁鋼板については、一部でアモルファス合金への置換が進み始めており、高回転時の損失低減や発熱抑制の観点から注目されている。中国では、鉄系アモルファス合金を用いたモータコアが既に EV へ搭載されており、材料置換が実用段階に入りつつある点が新たな動向として重要である。
- ・ モーターに関する国際・ルールメイキング動向については、ロシア・ウクライナ戦争や米中間の緊張の高まり等を背景に、レアアースの中国偏在に対する懸念が一層高まっている。このため、米国・韓国等では、中国偏重のサプライチェーンからの脱却を志向し、精錬・加工拠点の多元化や、レアアース使用量削減技術、レアアースフリー・レス技術の開発が進められている。今後は、モーターの高性能化に加え、供給安定性や経済安全保障への対応が重要な競争軸になると考えられる。

[13] 電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・シミュレーション技術の開発（調査期間：2025/8/20～10/10）

<自動運転 SW>

- ・ 市場動向においては、自動運転ソフトウェア市場は、自動運転車の普及及び自動運転レベルの高度化を背景に拡大が見込まれている。特に、レベル 2 以下中心の市場から、今後レベル 3 や一部レベル 4 の導入が進むことで成長が加速するとみられる。また、自動運転と親和性の高い BEV・PHEV の拡大も需要増加の追い風となっている。
- ・ 技術動向においては、従来の車種ごとの個別開発から、OEM グループ内で共通ソフトウェア基盤（Vehicle OS）を導入し、車種横断でソフトウェアを共用する方向に移行が進んでいる。加えて、複数 OEM に自動運転 SW を提供する動きも見られ、ソフトウェアのデファクト化を志向するプレイヤーも現れている。
- ・ 自動運転レベル 4 では、認知・判断・制御の各プロセスをソフトウェアで一貫して担う必要があり、レベル 3 と比べて、ODD 内での複雑なシナリオに対応するため、より高い安全性・信頼性が求められる。そのため、実車データ収集やクラウドを活用した未知シナリオの蓄積、低頻度事象への対応強化が重要になっている。
- ・ 高精度マップについては、センサーの検知限界や誤差を補完し、ODD 内での完全自動運転を成立させるために、多くの主要 OEM 及び IT 系プレイヤーが導入を前提としてレベル 4 開発を進めている。他方、Tesla のみはカメラを軸としたセンシングと AI により高精度マップを用いない方針を採っており、技術アプローチは一部で分岐している。
- ・ 消費電力低減に関しては、現時点では機能確立が優先され議論は限定的であるが、将来的には画像処理の最適化やセンシング入力 of 簡素化による省電力化が検討されている。特に、End to End はルールベース型に比べて学習・推論とも消費電力が大きいとされており、今後の重要論点の一つである。
- ・ 実証実験は、運転手同乗から無人自動運転への移行が進む一方、事故に伴う走行許可停止やリコールも発生しており、技術的課題はなお残る。商用化については、自家用車向けレベル 3 以上で当初計画から数年単位の遅延が見られる一方、タクシー等の商用用途では限定領域における無人サービスが先行している。
- ・ レベル 3 以上の商用化遅延の主因としては、搭載センサー数増加に伴う採算性課題が大きい。コスト低減に向けては、量産によるデバイス低価格化に加え、センサー構成の最適化や、カメラ主体・イメージングレーダー活用等の低コスト化アプローチも模索されている。
- ・ 業界動向においては、大手 OEM は自動運転 SW をコア競争領域と位置づけ、自社

グループ内での展開を基本としつつ、当面はレベル 3 以下の開発・実装に注力するとみられる。他方、IT 系プレイヤーは中堅 OEM や物流・配車等のサービス事業者とも提携し、自動運転 SW を起点とするエコシステム構築を進めている。ソフトウェア選定においては、安全性が前提条件となる一方、継続的な性能向上・更新支援体制、カスタマイズ性、導入・運用コストが差別化要因となっている。

<自動運転センシングデバイス>

- ・ 市場動向においては、自動運転車の普及と自動運転レベルの高度化に伴い、車両 1 台当たりの搭載センサー数が増加することから、自動運転用センシングデバイス市場は拡大が見込まれている。特に、レベル 3 以上での LiDAR 等の搭載拡大が市場成長をけん引するとみられる。
- ・ 技術動向においては、レベル 4 ではレベル 3 以下に比べて搭載するセンサー数・種類・精度が高度化する一方、今後はセンサーパッケージやソフトウェアの成熟に伴い、構成や数量の効率化が進むと考えられる。現状では、カメラ、ミリ波レーダー、LiDAR の組合せが基本であるが、どのセンサーを主機能とするか、LiDAR の活用度合いをどうするか等については各社で方向性が分かれている。
- ・ センサーフュージョンについては、生データを直接統合する方式と、各センサーで抽出した結果を統合する方式等があり、認識精度の確保と処理負荷・アルゴリズムの簡素さの間でトレードオフが存在する。現時点では、業界全体として最適解は定まっておらず、各社が異なる思想で開発を進めている。
- ・ 省エネ化に関しては、センサーや GPU そのものの低消費電力化に関する議論はなお限定的であり、センサー構成や使用タイミングの最適化、演算効率の向上、経路最適化等が主な方向性として検討されている。安全性・信頼性が採用の前提条件であり、センサー精度や OEM との共同作り込み能力、サポート体制が主要な差別化要因となっている。
- ・ E/E アーキテクチャの採用方針は各 OEM で固まりつつあり、それに応じて車載 SoC への要求も高度化している。SoC 市場は NVIDIA、Qualcomm 等の寡占が進む一方、Mobileye の台頭や、中国 OEM による内製化の動きもみられる。国内では 2023 年 12 月に ASRA が設立され、車載用先端 SoC の共通仕様化や車載化研究が開始されており、2030 年以降の量産車搭載を見据えた動きとして注目される。

<車両・自動運転開発シミュレーションツール>

- ・ 市場動向においては、車両・自動運転開発シミュレーションツール市場は、自動運転普及に伴う効率的な試験・検証需要、シミュレーション高度化ニーズ、AI・機械学習の進展等を背景に拡大が見込まれている。特に、レベル 4 に向けて、実車試験を補完する高精度かつ高速な仮想検証基盤の重要性が高まっている。

- ・ 技術動向においては、主にシナリオ生成ツール、環境モデル、センサーモデル、車両モデルが活用されている。レベル4では、安全に関わる稀なシナリオも含めて効率的に生成し、高精度マップや地域・時間帯・天候等の条件を反映した複雑な仮想環境を再現することが求められる。
- ・ SOTIF 対応の観点からは、「未知で危険なシナリオ」の識別とリスク低減を支援するため、膨大かつ効率的なシナリオ生成機能が重要である。他方、OEM や Tier1 等のユーザー側では、シナリオの網羅性や実デバイス性能の再現性に課題があり、依然として実機試験や自社モデル開発を併用せざるを得ない状況にある。
- ・ こうした課題に対して、主要ベンダはシナリオ生成の効率化やモデル精度向上に注力している。近年は、Cognata や NVIDIA 等にみられるように、生成 AI を活用して環境モデルやシナリオを構築する動きも進んでおり、シミュレーションの高度化・大規模化を支える新たな方向性として重要性が増している。
- ・ 業界動向においては、シミュレーション精度及び実行速度が採用の前提条件であり、幅広いシナリオ・モデルを生成可能なデータベースの豊富さや、専門的知見に基づく導入・開発支援が差別化要因となっている。Ansys や Applied Intuition 等の主要プレイヤーは、高い専門性を有するエンジニアを擁し、他ソフトとの互換性確保や顧客ニーズに応じた作り込みを通じて競争力を確保している。

<共通>

- ・ 国際標準及び機能安全標準化は、ISO 及び WP29 GRVA を中心に進められており、ISO21448 (SOTIF)、ISO26262、UNR155、UNR156 等を通じて、安全、サイバーセキュリティ、OTA に関するルール整備が進展している。車両の電動化・コネクテッド化に伴い、これらへの対応は一層重要となっている。
- ・ 各国の法規整備については、自動運転に関する制度化が進められているが、責任配分や運用条件等はなお発展途上である。レベル4以上では、基本的に OEM が責任主体とみなされる方向で検討されているが、実際にはサプライヤー、利用者、保険会社との契約により責任分担が変わり得る。
- ・ また、AI を活用したシミュレーションについては、完全な機能証明が困難であることから、モデルやツールそのものの完全保証ではなく、分析・妥当性確認等のプロセス管理の適正さを重視する方向で議論が進んでいる。生成 AI 活用の拡大を踏まえると、この点は今後の重要な制度論点となる。

[14] スマートモビリティ社会の構築（調査期間：2025/8/20～10/8）

<社会全体最適を目指したシミュレーションシステム構築>

- ・ 社会全体の計画・オペレーションを最適化し、シミュレーションを実施するアプローチとして、地域単位での電力利用最適化やデータ活用による運行最適

化、自社フリートの運行最適化を見据えた充電インフラ整備・車両調達等の取組が進展している。BIPLOGY の EMS や DiDi の配車・充電データ活用等、実運用を前提とした事例がみられる。

- ・ データ連携基盤については、Apollo PJT、Catena-X、GAIA-X 等のプロジェクトが進展しており、産業横断・企業間でのデータ共有基盤整備が進みつつある。もともと、これらは主としてデータ連携基盤であり、運行管理やエネマネの機能そのものを担うものではない。2025 年 8 月には Catena-X と OPC の戦略協力も公表され、標準化された企業間データ共有の加速が見込まれる。
- ・ 社会全体最適化の前提として、商用車の電動化進展が重要性を増している。商用車の BEV 販売台数は 2024 年約 82 万台から 2030 年約 375 万台まで、FCV も 2023 年約 8.7 千台から 2030 年約 23 万台まで増加が見込まれており、車両の充電管理・稼働管理を含む一体的なエネルギー需給管理の必要性が高まっている。
- ・ 地域全体の最適化においては、バスや物流トラックのように比較的予測しやすい車両に対し、タクシー等のランダム性の高い車両では、充電タイミングや交通・人流シナリオが膨大となるため、予測可能性向上に資するデータ選定や、バッテリー等のエンド側情報を有効に収集する仕組みが課題となる。加えて、運行管理×エネマネに焦点を置く場合でも、物流、福祉、行政、防犯、グリッド負荷、再エネ発電量等との連携を視野に入れた最適化が求められる。

<エネマネ×運行管理>

- ・ エネマネ×運行管理が求められる背景として、商用車の電動化拡大に加え、エネルギーマネジメント市場は 2030 年までに年平均約 11%成長し約 785 億ドル、フリートマネジメント市場は 2028 年までに年平均 14%以上成長し約 560 億ドルとなる見込みであり、運行管理とエネルギー管理の統合ニーズが高まっている。
- ・ 運行管理に関しては、デジタコ、ドラレコ、スマホ等のテレマティクスデバイスから位置情報、速度、走行距離等を取得し、リアルタイム車両管理、走行履歴、ドライバー日報、安全・労務管理等に活用するフリートマネジメントソフトウェア・アプリケーションの高度化が進んでいる。
- ・ BEV の運行管理と一体化したエネマネでは、SOC 等のバッテリー状態を取得し、運行計画に応じて充電タイミングを最適化する取組が進む。DiDi では、充電インフラ、BMS データ、位置情報、人流予測、ドライバー状況等を統合した運行管理を実施している一方、他社車両では取得可能なデータが限定されるなど、BMS データへのアクセス制約が依然として大きな課題である。
- ・ また、大容量バッテリーを搭載した EV バス・トラックを蓄電池として活用するサービス（BaaS 等）や、BEV を用いたアンシラリーサービスも検討されているが、電池劣化を踏まえた TCO、残価管理、リユース・リサイクルを含めた管理が必要となる。加えて、将来的には系統オペレータと連携したダイナミックプライシン

グや系統安定化を考慮した運行管理も想定される一方、フリート側の運用効率最大化と系統側のピークシフトは必ずしも一致せず、両立には高度なデータ統合やインセンティブ設計が必要である。

- ・ 業界動向としては、フリートオペレータ主導で運行効率最大化を軸に系統安定化も図るアプローチが基本である一方、Enel Xのようなグリッドオペレータや充電システムサプライヤが、電力需給情報と充電インフラ情報を用いてフリート運用やTCO管理にソリューションを提供する例もある。UPSは配送最適化とオフピーク充電管理、Amazonはラストマイル配送での大規模EV・充電器導入、ABB系PANIONはクラウド型統合管理基盤を展開している。中国ではバッテリー交換技術の活用も進み、CATL等が標準化・共用化を前提とした交換ネットワーク構築を進めている。
- ・ さらに、自動運転はエネルギー消費が大きい一方、EVは消費低減が求められるため、両者を同一車体で成立させる観点から、自動運転技術の改善や材料軽量化が進められている。特に、自動運転に必要なセンサー数を削減する制御最適化が、消費電力低減の観点で重要と考えられる。

<共通>

- ・ 電動車・EV充電器については、米中欧の各国が積極的に導入支援を進めており、2030年前後の新車販売におけるxEV比率目標や充電ステーション整備目標を掲げている。米国では2030年までに新車販売の50%以上をEV、全米で50万基の充電ステーション整備を目指し、中国では2027年までに新車販売の45%を新エネルギー車とする目標を前倒ししている。EUでもゼロエミッション車化と充電インフラ整備の制度整備が進む一方、2025年にはCO₂規制の算定・罰金適用時期を緩和する改正案も示されている。
- ・ 中国では大型トラックのNEV化が進み、2025年上期には新車の約2割がNEVとなっているほか、商用車・乗用車向けにバッテリー交換ステーション政策を推進している点が特徴である。NIOは2025年1月時点で中国全土に3,101か所の交換ステーションを設置しており、通常約1時間を要する充電を約5分で完了できる点が強みとなっている。
- ・ V2G関連政策は一部地域で見られ始めており、各国ではダイナミックプライシング、グリッド安定化、スマートグリッドに関する政策推進が進んでいる。米国ではカリフォルニア州がV2G充電インフラ整備を推進し、中国では時間帯別料金設定の導入を促進、欧州ではV2G実装に向けた制度整備や2025年までのダイナミックプライシング導入義務化が進められている。
- ・ データに関しては、米国では明確な車両データ政策は限定的である一方、中国及び欧州ではデータ通信や車両データ活用に関する政策が進められており、車両のテレマティクス化を後押ししている。中国ではクラウドセンター整備や基礎データセンター開放、欧州では個人情報保護と企業間の相互運用性確保を重視した戦

略が示されている。

[15] 次世代デジタルインフラの構築（調査期間：2025/8/5～9/24）

<次世代パワー半導体>

- ・ SiC パワーデバイス市場では、引き続き EV 向けが中心市場であり、EV 普及をドライバーとして 2030 年にかけて拡大する見通しである。足元では自動車向けが市場の中核を占め、中長期的には高級車に加えてミドルクラス、さらにローエンド車種への搭載拡大が想定されている。
- ・ OEM からの受注獲得・シェア拡大に向けて、主要パワーデバイスメーカーは SiC ウェハの確保を重視しており、ウェハメーカーの買収、長期供給契約の締結、設備投資、OEM・部品メーカーとの共同開発を活発化させている。OEM は足元では品質・コスト・供給能力を重視しており、デバイスメーカー各社は上流確保と下流顧客接点の双方を強化している。
- ・ OEM によって要求仕様が異なることから、各社はデバイス単体に加え、パワーモジュールやインバータを含む共同開発・提案を強化している。今後は大衆車向けへの展開が進む中で、更なる低コスト化と高品質化、特に耐久性向上がより強く求められる見通しである。
- ・ こうした下流側の動きを受けて、ウェハメーカーは 8 インチ SiC ウェハの量産化を進めている。主要各社は設備投資を進めているものの、歩留まり改善や欠陥密度低減は依然として重要課題であり、量産初期段階からの安定供給とコスト低減の両立が競争力を左右する。
- ・ ウェハの低コスト化に向けては、①バルク成長、②加工プロセス、③エピ成長の各工程で技術開発が進展している。バルク成長方式については各社とも最適方式を見極めている段階にあり、加工では Infineon の Cold Split、SOITEC の SMARTSIC 等の新技術開発が進む。エピ成長は品質・性能に直結するため、各社が独自レシピと製造ノウハウの蓄積を進めている。
- ・ 追加的な視点として、中国の SiC パワー半導体のプレゼンス向上が顕著である。中国勢は現状 4～6 インチ中心ではあるが、8 インチ化に向けた動きも進み、政府支援、国内 EV 需要、価格競争力を背景に上流から下流まで存在感を高めている。現時点ではグローバル大手の技術優位があるものの、今後も動向を注視する必要がある。
- ・ 系統向け SiC パワーデバイスについては、2030 年にかけて EV 向けほどの急成長は見込みにくく、大手メーカーの積極展開も限定的であるが、再エネ・蓄電池用途の拡大に伴い顧客ニーズ次第では動きが加速する可能性がある。
- ・ GaN パワーデバイスについては、2030 年にかけてスマートフォン・PC 向け電源及びデータセンターのサーバ向け電源が市場を牽引する見通しである。現状は SiC に比べて中小規模プレイヤーが市場を寡占しているが、市場拡大に伴って大

手パワーデバイスメーカーの参入が進んでおり、今後は競争激化が見込まれる。加えて、ガリウム供給の中国依存を背景とした資源・サプライチェーンリスクも新たな論点となっている。

<次世代データセンター>

- ・ 市場動向においては、DX 進展、クラウド需要拡大、生成 AI の普及等を背景にデータセンターの電力消費量が急増しており、省エネ化と電力の脱炭素化が重要課題となっている。特に AI データセンターの拡大により、冷却、給電、半導体、ネットワークを含むシステム全体の高効率化ニーズが一段と高まっている。
- ・ 光電融合デバイスに関しては、長距離通信市場では Intel、Cisco、NVIDIA 等が既に製品展開を進めている一方で、チップ内に搭載可能な超小型トランシーバーの開発は限定的であり、国内ではアイオーコアの取組が先行している。今後はチップ間・チップ内通信への適用拡大が焦点となる。
- ・ 光スマート NIC に関しては、従来型スマート NIC では Intel、NVIDIA、Xilinx 等が開発を進めているが、Ethernet、PCIe、CXL 等の通信規格統合まで踏み込んだ動きは限定的である。今後の実装には、通信規格の統合や GAFAM 等を巻き込んだ標準化・エコシステム形成が重要になると考えられる。
- ・ 省電力 CPU に関しては、x86 に加え Arm アーキテクチャの採用が拡大しており、汎用クラウドやエッジ領域での導入が進んでいる。加えて、オープンソースかつ高いカスタマイズ性を有する RISC-V も台頭しており、中国を中心に活用促進の動きが見られるなど、新たなアーキテクチャ競争が生じている。
- ・ 省電力アクセラレータに関しては、Google、Intel に加え、新興企業も含めた開発競争が進んでいる。生成 AI、自動運転、医療系 AI 等の用途拡大を背景に、今後は用途特化型アクセラレータの重要性が高まる見込みであり、光アクセラレータ等の次世代技術も台頭しつつある。
- ・ 不揮発メモリに関しては、MRAM、FeRAM、NRAM 等の技術が検討されているが、現時点では価格・容量面の課題が残る。Intel が MRAM から撤退するなど慎重な見方もある一方、生成 AI 時代の省エネ・長寿命メモリとして引き続き注目されている。
- ・ 広帯域 SSD に関しては、データ量増加に伴う高速化要求を背景に、PCIe 変調方式の改善、CXL 採用、光インターフェース搭載に向けた取組が進められている。特に性能特化型データセンターでは、広帯域化対応が今後の重要な差別化要素になると考えられる。
- ・ ディスアグリゲーションに関しては、IBM や NTT が技術開発を進めており、IBM は自社 AI を活用したリソース最適分配フレームワークを開発している。他方で、外販を前提とした積極的な取組を公表している企業は限定的であり、現時点ではメガクラウド事業者を中心とした競争領域と位置付けられる。

- ・ 追加的な視点として、データセンター分野では、GAFAM 主導のチップ内製化、サーバのオープン化、再エネ調達強化、AI 向け液冷・液浸導入、環境規制・標準化の進展が同時並行で進んでいる。今後は、単体デバイスの性能だけでなく、給電、冷却、通信、環境性能を含めたシステム全体での最適化が競争力を左右する方向にある。

<IoT センシングプラットフォーム>

- ・ 市場動向においては、デジタル化の進展に伴いクラウドへのデータ送信、クラウド上でのデータ貯蔵・処理量が増加し、データセンターの電力消費量の急増が課題となっている。その対応策の一つとして、従来クラウドで処理していたデータをエッジ側で処理するエッジコンピューティングへの期待が高まっており、市場規模もグローバル・国内ともに拡大が見込まれている。
- ・ エッジコンピューティングの価値としては、レイテンシ改善、クラウド側のデータ処理リソース削減、セキュリティ向上が挙げられる。特に、逐次又はリアルタイムで大容量画像データを処理する用途が有望と見られ、自動運転、遠隔医療、監視ソリューション、品質・外観検査、顔認証、顧客属性分析等が主要ユースケースとして想定されている。
- ・ 技術動向においては、エッジ AI／センシングプラットフォームは、オーケストレーション、SoC 関連、特定センシングプラットフォームに大別され、それぞれで重視される成功要因が異なる。全般には、ユースケース適合性、開発者ツールの充実度、拡張性、技術優位性、セキュリティが重要であり、技術革新の速い市場環境下では特に拡張性が重要性を増している。
- ・ エッジ信号処理技術については、従来のスマートフォン向け撮像補助に加え、自動運転、監視、IoT 用途向けの技術開発が進展している。スマートフォンでは Samsung や Qualcomm、車載では Arm、Mobileye、ルネサス、監視・IoT では Axis や Samsung 等が開発を進めており、特に IoT 向けでは ToF センサーと ISP の統合によりシステム消費電力を削減する動きも見られる。
- ・ プラットフォーム開発においては、アプリケーション開発、導入、保守を担うパートナー企業の活用が重要であり、SDK、開発環境、技術サポート等の整備が競争力を左右する。NVIDIA はパートナー活用を前提とした高頻度な機能拡充を進め、Axis はハード起点からソフト・アプリ拡充へ展開、SORACOM は生成 AI 活用によりアプリ開発工数低減を進めるなど、各社ともエコシステム形成を重視している。
- ・ 国際・ルールメイク動向においては、IoT 分野でサイバーセキュリティ、AI 活用、データ保護を軸とした制度整備が進展している。米国では U.S. Cyber Trust Mark、欧州では Cyber Resilience Act が導入され、AI を含むソフトウェア責任やデータローカライゼーション規制も強化されている。技術競争に加え、制度面での対応力も重要性を増している。

[16] 次世代航空機の開発（調査期間：2025/12/19～2026/2/13）

- ・ 市場動向においては、ICAO や G7 交通大臣会合等において 2050 年ネットゼロ目標が採択され、航空分野でも官民一体で脱炭素化に取り組む方向性が明確化している。足元では、既存航空機への適用が容易な SAF が当面の中心的手段と位置付けられており、航空機メーカーやエアライン各社は、調達契約や出資等を通じて SAF の安定確保を進めている。
- ・ 一方で、SAF については、現在主流のバイオ由来燃料がライフサイクル全体でネットゼロではないことに加え、原料制約や投資不足等から供給量が需要に追いつかない可能性が指摘されている。特に欧州では、混合義務導入が進む一方で、資本投下や長期オフテイクの不足によりプロジェクト中止も相次いでおり、SAF 供給制約が次世代航空機導入ニーズを高める可能性がある。加えて、将来的な有力経路として PtL も注目されるが、DAC 由来 CO₂ の回収コスト・エネルギー制約は大きく、普及にはなお課題が多い。
- ・ 次世代航空機の方向性としては、機体サイズや航続距離に応じて適用技術が分化しつつある。コミューター機やリージョナル機では、2030 年前後に水素燃料電池機や電動航空機の実用化が想定されており、特に水素燃料電池についてはリージョナル機サイズを中心に開発が進んでいる。他方、eVTOL や小型コミューター機では現行のバッテリー技術でも全電動化が可能とみられる一方、リージョナル機サイズでは完全電動化はなお困難であり、ハイブリッド電動機の開発が有力となっている。
- ・ 中・長距離路線機においては、蓄電池のエネルギー密度制約から全電動化は難しく、水素燃焼エンジンの活用が有力視されている。ただし、水素利用機の実用化時期は従来想定より後ろ倒しの傾向にあり、Airbus も ZEROe イニシアチブにおいて燃料電池型開発へ重点を移しつつ、実用化時期を 5～10 年延期している。長距離機に水素燃焼を適用する場合には、ジェット燃料比で約 4 倍の容積を要するため、Blended Wing Body 等の新たな機体構造開発も必要となる。
- ・ 技術動向においては、水素利用機では、水素貯蔵タンク、供給システム、燃料電池、水素燃焼エンジン、電動推進システムが主要な開発領域となっている。Airbus は水素供給系、燃料電池、水素燃焼系、電動推進系の地上試験を進めているほか、燃料電池については高温 PEFC や冷却システムの開発、水素タンクについては複合材活用による軽量化検討が進められている。他方、水素燃料電池航空機の飛行実証事例はなお限定的であり、Universal Hydrogen のように飛行実証後に資金調達難から破綻する例も見られる。
- ・ また、新たな追加視点として、技術課題は機体側のみならずインフラ側にも大きい。特に水素燃料電池機では、水素貯蔵そのものよりも空港への水素供給・液化・貯蔵・補給体制の構築が実用化上の主要課題と位置付けられており、

Airbus、Air Liquide、Groupe ADP、ZeroAvia 等による空港インフラや補給モジュールの整備に向けた取組が進展している。

- ・ 電動航空機・eVTOL 分野では、足元で全電動型が先行する一方、20 年代後半以降は航続距離延伸を目的として、バッテリーとガスタービン発電又は燃料電池を組み合わせたハイブリッド化が主流化する兆しが見られる。加えて、充電ステーション網の整備や、無操縦者航空機を含む空域管理ルールの検討も進みつつあり、機体開発だけでなく運航インフラ・制度整備も並行して進展している。
- ・ 国際・ルールメイキング動向においては、ICAO における 2050 年ネットゼロ及び CORSIA 第 1 フェーズの基準見直し、G7 における SAF 導入促進や脱炭素技術研究開発での協働方針の採択など、制度面での後押しが進んでいる。加えて、脱炭素化移行コストへの支援、規制・認証整備、燃料供給インフラ整備等の必要性が指摘されており、今後は水素利用機・電動機の開発及び商業化において、海外 OEM を含む国際連携の重要性が一層高まると見込まれる。

[17] 次世代船舶の開発（調査期間：2025/12/24～2026/2/10）

<水素燃料船の開発>

- ・ 市場動向においては、GHG 削減を目的として代替燃料船の導入が拡大する中、水素燃料船についても中長期的な需要拡大が見込まれている。他方で、足元の導入は LNG・メタノールが中心であり、水素は船舶全体に占める割合がなお小さい。加えて、水素・アンモニア・メタノールはいずれも将来的な供給拡大が期待される一方、現時点では計画中案件のみでは需要に追いつかない懸念がある。
- ・ 技術動向においては、水素はエネルギー密度の低さや貯蔵・保管の難しさから、長距離・大型船への適用に対して海外主要プレイヤーは概して慎重であり、2 ストロークエンジンの開発も限定的である。そのため、こまめな燃料補給が可能な短距離・小型船向けの 4 ストロークエンジンを中心に開発が進められている。また、小型・短距離領域ではバッテリーとのすみ分けも意識されている。
- ・ 水素燃料船に関する国際・ルールメイキング動向においては、IMO が水素燃料船の安全ガイドラインの整備を進めており、2025 年 9 月に最終化、2026 年に承認される見通しである。既存の燃料電池船向けガイドラインを基礎としつつ、水素エンジンも対象に含める方向で議論が進められており、爆発性対策や金属脆化への対応が主要論点となっている。

<アンモニア燃料船の開発>

- ・ 市場動向においては、GHG 削減の観点からアンモニア燃料船が有力な次世代船舶

として位置付けられており、中長期的な需要拡大が見込まれている。主要機関も 2050 年時点でアンモニアが海運燃料の大きな比率を占めると予測している。一方で、ブルー・グリーンアンモニアの供給量は 2030 年時点でも需要に対して不足する可能性が高く、製造の大規模化、高効率化、新製法の確立、海外調達先の確保が重要課題となっている。

- ・ 技術動向においては、海外主要プレイヤーはコスト面やゼロエミッション性の観点からアンモニアを有力な代替燃料と捉えており、2020 年代後半からの運航拡大、2035～2040 年頃からの本格的な市場立ち上がりが期待されている。中国・韓国主要造船各社や Everllence（旧 MAN）、WinGD、Wärtsilä 等は大出力アンモニアエンジンの商用化を進めている。他方で、毒性、燃料供給インフラ、燃料確保、N₂O 対策、漏洩検知・安全システムの統合化が引き続き課題である。
- ・ アンモニア燃料船に関する国際・ルールメイキング動向においては、IMO がアンモニア燃料船向け安全ガイドラインの検討を進め、2024 年 9 月の CCC10 においてガイドライン案を最終化した。今後は、漏洩検知器の閾値設定や毒性エリアの範囲設定等を含む安全ルールの具体化が進むことで、主要船級協会の暫定ルールの共通化と実装が進展することが見込まれる。

<LNG 燃料船のメタンスリップ対策>

- ・ 市場動向においては、LNG 燃料船は脱炭素化に向けた現実的な移行ソリューションとして導入が拡大しており、現在運航中・発注中の代替燃料船の中でも最大のシェアを占めている。主要プレイヤーは LNG をゼロエミッション燃料への移行燃料と位置付けているが、中長期的にはアンモニア等の本格導入に伴い相対的な比重は低下していく見通しである。他方で、Maersk を中心にメタノール採用が拡大しており、2023 年契約の中大型船ではメタノールが大きな比率を占めるなど、新たな競合燃料として台頭している。
- ・ 技術動向においては、LNG は技術成熟度、価格受容性、既存供給網、エネルギー密度の高さから引き続き採用が進んでいる。加えて、Everllenc、Wärtsilä、WinGD 等の主要エンジンメーカーがメタンスリップ削減技術の開発を進めており、酸化触媒、直噴技術、排ガス再利用システム等により、エンジン種別によっては 2030 年までに 2020 年比で 70～90%程度の削減が見込まれている。
- ・ LNG 燃料船のメタンスリップ対策に関する国際・ルールメイキング動向においては、IMO が 2050 年ネットゼロ目標を掲げ、Well to Wake での GHG 削減や経済的手法を含む制度整備を進めているほか、EU では海運 EU-ETS が導入され、排出削減圧力が強まっている。こうした規制強化の下で、LNG は移行燃料として一定の役割を維持しつつも、今後はメタンスリップ削減の実効性が競争力を左右する重要要素となる。

[18] 食料・農林水産業の CO₂ 等削減・吸収技術の開発（調査期間：2025/12/18～2026/2/12）

< バイオ炭 >

- ・ 市場動向においては、世界的な人口増加と所得向上を背景に農作物需要が拡大し、農地面積拡大の余地が限られる中で、農業生産性向上への対応策としてバイオ炭の利用が国内外で進められている。近年は土壌改質による生産性向上に加え、CO₂ 貯留ポテンシャルが着目されており、今後も供給量・利用量ともに拡大する見込みである。特に近年の市場ではアジアの存在感が高まっており、中国がシェア拡大を牽引している。
- ・ 加えて新たな視点として、バイオ炭由来クレジットは現状高価格である一方、国内流通量の増加に伴い今後は単価下落が見込まれている。タイでは Premium T-VER 導入後に取引が急増するなど、政府主導の制度設計が需要創出に寄与した事例も見られ、バイオ炭市場は農業資材市場であると同時にカーボンクレジット市場としての性格を強めつつある。
- ・ 技術動向においては、製造方式として熱分解法が主流であり、製造方式改良、生産効率向上、製造コスト低減、サプライチェーン構築等に関する取組が進展している。バイオ炭の機能については、pH 矯正、養分保持、透水性・保水性向上、土壌微生物活性化等の多様なメカニズムが提案されているほか、近年は穀物由来バイオ炭と家畜排せつ物を併用した土壌改良剤の研究例が多く見られる。
- ・ 一方で、今回特に重要な追加論点として、高機能バイオ炭の開発が挙げられる。バイオ炭自体には農作物の生育促進効果が限定的であるため、微生物等を担持させて機能を高める方向性が注目されているが、国内外ともに実地検証事例はまだ少ない。その中で、国内では TOWING が先行し、量産化や海外展開に向けた動きが見られる一方、国外主要プレイヤーの多くは高機能化に未着手であり、微生物配合等の知見が暗黙知化している点も特徴である。
- ・ 国際・ルールメイキング動向においては、各認定機関とも環境価値として CO₂ 固定量に着目する点は共通している一方、原料、製造方式、適格製品等の要件は機関ごとに異なっている。他方で、Puro. earth 認定プロジェクトが Carbonfuture 市場でも扱われるなど、近年は市場間の統一化の動きも見られる。日本では J-クレジット制度によりバイオ炭の農地施用が制度化されている一方、海外では Puro. earth、Carbonfuture、VCS 等のボランタリー市場が先行しており、制度間の互換性や今後の方法論の収斂動向を注視する必要がある。

< 等方性大断面木材 >

- ・ 市場動向においては、国内外で建築分野への木材利用が進められており、特に

近年は高層建築物への利用が拡大している。世界の木材需要は増加傾向にあり、建築用途向け需要も拡大が見込まれる。国内でも木材需要全体は増加傾向にある一方、4階建て以上の中高層建築物では依然として木造比率が低く、木造化拡大の余地が大きい。

- ・ 国内サプライチェーンに関しては、森林資源の蓄積や木材自給率の改善が進む一方で、伐採効率の低さ、原木流通の多段階性、建材サプライチェーンの分散性等に起因する供給面の課題が依然大きい。また、中高層建築向けの CLT や LVL 等の構造用部材は、性能・コストに勝る欧州材のシェアが大きく、国産材活用拡大には供給体制整備とコスト低減の両面が求められる。
- ・ 技術動向においては、マスティンバーのうち特に CLT が国内外で中高層建築への適用を拡大している一方、コスト面の課題が大きい。これに対し、近年は MPP がコスト競争力や品質安定性、歩留まりの高さから注目されており、米国では高層建築や体育館等への施工事例も現れている。ただし、意匠性や規格整備の面では課題も残っており、直ちに CLT を全面的に代替する状況にはない。
- ・ また、国内外の民間企業では、CLT や LVL を中心に、耐火性・耐震性の向上、工期短縮、建築費削減を企図した新規技術開発が進んでいる。加えて、木造建築は RC 造等に比べ工期短縮や環境負荷低減の利点を有する一方、部材単体ではなお高コストであるため、部材製造から施工までを含めたトータルコストでの評価が重要となっている。
- ・ 国際動向においては、世界的に木造高層建築物の実証・建設が進み、北米を中心に政府支援も拡充されている。国内でも建築基準法改正により耐火規制や構造規制が段階的に緩和され、木造建築を後押しする制度整備が進んでいる。さらに今回の追加論点として、建築物 LCA 制度の整備が進展しており、内閣官房や国交省を中心にライフサイクルカーボン評価の制度設計が進められている点は、今後の木材利用拡大において重要な要素である。
- ・ ルールメイキング動向においては、CLT について、日本の JAS、米加規格 ANSI/APA PRG 320、欧州 EN 規格、ISO 規格等、各国・地域で木材分類や性能規格が整備されている一方、世界レベルでの更なる標準化が求められている。加えて、建材の LCA や CFP・EPD に関する制度整備も進みつつあり、今後は構造性能やコストに加え、炭素貯蔵量やライフサイクル排出も競争力の要素となる見込みである。

<ブルーカーボン>

- ・ 市場動向においては、主にアジア圏の食料向け需要の増加を背景に世界の海藻類生産量は増加傾向にあり、近年は食用用途に加えて CO₂ 貯蔵ポテンシャルが着目されている。藻場・浅場等の保全・再生活動は世界的に進められており、存在量拡大に伴って CO₂ 貯蔵量も拡大する見込みである。他方、海藻養殖事業とし

での成長には、クレジットのみならず海藻需要の喚起も含めた事業性確保が重要となっている。

- ・ 藻類の繁殖・育成に関する技術動向においては、日本では海藻の着生・生育促進機能を有する基盤ブロックと軽量カートリッジを用いた海藻供給システムが想定されている一方、欧米ではブルーカーボン増大やバイオマス生産を企図した沖合での大規模海藻培養システムの設計が進んでおり、設計思想の差異が明確である。韓国では FIRA や MOF を中心に実証が進み、中国でも官民連携の研究プログラムが形成されるなど、東アジアでも動きが活発化している。
- ・ また、新たな追加視点として、海水温上昇への適応を見据えた高温耐性種開発や育種、遺伝子解析、データバンク化等の取組が進展している。国内でも食用海藻類の高温耐性種の開発が進むなど、ブルーカーボン創出と海藻産業維持の両面から品種開発の重要性が高まっている。
- ・ ブルーカーボン創出に関わる技術動向においては、藻類の CO₂ 貯蔵能とその永続性に関する基礎理解に加え、それを定量的に捉える MRV・モニタリング技術の重要性が一段と高まっている。モニタリングでは生態系面積、境界・被度、生態系種別等の把握が必要であり、UAV、ROV、水中 IoT、リモートセンシング等の次世代技術開発が進行中である。特に米国では DOE が MRV 技術を通じて mCDR 産業の発展を促進する支援を進めており、今後の重要論点となる。
- ・ 国際・ルールメイキング動向においては、国連、欧州、米国、中国等でブルーエコノミーや海藻利用促進に向けた政策・プラットフォーム整備が進展している。特に 2025 年には国連が UNGSI を発足させるなど、海藻による多面的価値創出を重視する動きが活発化している。欧米では Seaweed Hub や EU4Algae 等の協業基盤整備も進められている。
- ・ カーボンクレジットに関する国際・ルールメイキング動向においては、海外では Plan Vivo や VCS 等のボランティア市場でブルーカーボンの認証方法論整備が進められており、特に VCS では海藻養殖由来クレジットの方法論検討が進行している。国内では J ブルークレジットの認証・発行実績が増加している一方で、ブルーカーボンは他アプローチと比べて貯蔵効果の信頼性に課題が残る新しい技術であり、今後はクレジット価値向上に向けて、特に信頼性向上の観点から測定・監視・検証の高度化が重要になる。

[19] バイオものづくり技術によるカーボンリサイクル推進（調査期間：2025/12/15～2026/2/12）

- ・ 市場動向においては、世界的に素材製品の需要側がサプライチェーン全体の脱炭素化を求める動きを強めており、低炭素排出素材に対する需要は引き続き拡大する見込みである。特にプラスチック・化成品は需要に対して供給計画の不足が顕著な領域とされており、国内においてもバイオものづくり市場は、脱炭

素政策やバイオ戦略の後押しを背景に拡大が見込まれている。一方で、現時点では環境価値よりも価格条件が優先される傾向が強く、環境価値プレミアムの受容は香料等の小ロット・高付加価値製品に限られる。

- ・ 技術動向のうち DBTL サイクルの開発については、米欧中韓日で主として公共バイオファウンドリや公的支援事業を通じた研究開発が進められており、各プロセスの効率化によるサイクル短縮、基点物質の整備、AI 活用の高度化が進展している。他方で、米国では民間バイオファウンドリの先行企業の再編が進んでおり、単なる自動化基盤の整備に加え、事業継続性を伴うビジネスモデルの確立が課題として顕在化している。加えて、CO₂を原料とするバイオものづくりでは、汎用的な Learn 技術のみならず、対象微生物ごとの Design、Build、Test の知見蓄積が競争力の源泉になっている。
- ・ CO₂を原料としたバイオものづくりの製品開発においては、大きく、微細藻類等の光合成プロセスを利用する方法、水素酸化細菌等の水素の還元力を利用する方法、酢酸生成菌等の水素又は一酸化炭素の還元力を利用する方法の 3 類型が存在し、工業用化学品、バイオ燃料、食品、飼料等の多様な製品が開発対象となっている。近年は、グリーン水素の普及期待や代替タンパク市場の拡大を背景に、水素酸化細菌を活用した開発が特に活発化しており、食品・飼料用途では一部商業化も見られる。他方、光合成プロセスは研究開発の厚みはあるものの、直近では資金繰り悪化に伴う撤退・破産も見られ、スケールアップの難しさが改めて示されている。
- ・ また、CO₂又は CO、H₂を原料とするガス発酵分野では、LanzaTech が商業化で先行しているほか、Again.Bio、Electrochaea 等で実装・実証が進展している。加えて、微生物を用いない CO₂電解還元による化学品製造の開発も進んでおり、Twelve 等による商用プラント建設の動きなど、バイオものづくり以外の競合技術も存在感を増している。
- ・ 研究開発の基盤技術としては、AI と合成生物学の融合が進展しており、タンパク質構造や分子相互作用予測の高度化が微生物設計の効率向上に寄与しつつある。一方で、CO₂を直接原料とするバイオものづくりでは、藻類や水素細菌等の非モデル生物を対象とすることが多く、主要バイオファウンドリでも十分な体制や知見が蓄積されていない領域が残る。このため、プラットフォームの高度化に加え、対象菌種ごとの実験系・培養系・大量培養技術の確立が依然として重要課題である。
- ・ 国際動向においては、米国及び欧州は 2010 年代からのバイオ戦略を継続しつつ、近年は中国も国家戦略としてバイオエコノミー支援を強化しており、国際競争は一層激化している。特に米国では、バイデン政権下で国家生命工学・バイオ製造イニシアチブや大胆目標の提示等が進められた一方、2025 年の第二次トランプ政権発足に伴い関連大統領令が撤回されており、支援体制の先行き不

透明感が高まっている。欧州では Horizon Europe や CBE JU、CEAP 等を通じて支援が継続され、2024 年には EU のバイオものづくり強化方針も示された。中国でも第 14 次 5 カ年計画の下で研究開発拠点整備や投資が進んでいる。

- ・ 国内では、「バイオ戦略」に加え、2024 年に「バイオエコノミー戦略」が策定され、国内のみならず海外市場も含めた市場拡大を目指す方針が示されている。市場規模目標としては、2030 年に我が国全体のバイオエコノミー市場を 92 兆円、うちバイオものづくりを約 53 兆円と見込み、さらに海外分も含め 100 兆円超を目指す構想となっている。加えて、NEDO、JST 等を通じた DBTL やバイオ製造関連の事業も複線的に進められている。
- ・ ルールメイキング動向においては、合成生物学の標準化に向けた国際的議論が ISO 等の標準化機関に加え、財団や研究機関を巻き込む形で進展している。また、遺伝資源のデジタル配列情報（DSI）をめぐる利益配分に関する国際的議論も継続しており、産業利用に関わるルール形成への対応が重要となっている。他方、CO₂を原料とするバイオものづくりを明確に対象とした認証制度は現時点で存在せず、LCA についても統一基準は未整備である。実際には RSB 等の既存認証の活用例は見られるものの、CO₂原料化そのものの環境価値評価や認証の枠組みは発展途上であり、今後の国際動向を注視する必要がある。

[20] 製造分野における熱プロセスの脱炭素化（調査期間：2025/11/10～12/4）

- ・ 産業熱は世界のエネルギー需要の 24%を占め、その多くを化石燃料が担っていることから、脱炭素化に向けては電化や水素等への燃料転換が必要である。特に金属製品の製造で用いられる工業炉は重要な対象であり、国内では金属製品の一次加工・二次加工向けが工業炉基数の約 7 割を占める。鉄鋼・機械分野は国内産業部門のエネルギー起源 CO₂ 排出の過半を占めており、熱プロセスの脱炭素化の重要性は高い。工業炉の世界市場は 2028 年に 2 兆円弱に達し、そのうち燃焼炉は 6 割、電気炉は 4 割になると見込まれている。
- ・ 市場構造においては、工業炉は炉体単体では輸出入が比較的限定的で国内消費中心の市場である。一方で、中国は東南アジア向けの安価な炉で存在感を示し、ドイツ・イタリアは高付加価値炉で競争力を有して輸出超過となっている。
- ・ 需要側では、主要自動車メーカーがサプライヤーに対して具体的な CO₂ 削減目標達成や排出量把握を要請し、一部では契約上カーボンニュートラルを義務付けるなど、強い脱炭素圧力がかかっている。主要鉄鋼メーカーにおいては、上工程の脱炭素化のみならず、下工程を含む製造プロセスの高効率化・エネルギー転換の検討も進みつつあり、再加熱炉や取鍋予熱器での水素活用実証等が開始されている。
- ・ 脱炭素化の方向性としては、短期的には電化が中心であるものの、中長期的には電化では対応が難しい高温・大出力プロセスを対象に、水素等への燃料転換が進

められている。特に熱間圧延向け再加熱炉などでは、必要電力の大きさから燃料転換の重要性が高い。

- ・ 技術動向においては、代替炉として電気炉と代替燃料炉が存在し、代替燃料炉では水素対応が主流である一方、バイオ燃料にも関心が見られる。水素燃焼炉については、安定燃焼、水分生成による耐火材劣化、スケーリング、水素脆化等が課題であり、顧客との共同研究による検証が始まった段階にある。アンモニア燃焼炉については、安全性、燃焼速度・温度制御、NO_x 抑制、窒化による品質低下等の課題を抱えるものの、供給性やコスト面から有望視する動きが見られ、海外でも水面下での検討や一部実証が進みつつある。工業炉のアンモニア燃焼実証が表立って確認されるのは日本が中心であるが、欧州でも顧客要望や業界団体の研究着手が確認されている。
- ・ 今回特に重要な追加論点として、水素炉・アンモニア炉はいずれもなお実証・パイロット段階にあり、普及の前提として燃料供給インフラの確保が大きな制約となっている。グリーン水素は現状コストが高いが、2030 年頃にはブルー水素と同程度、2050 年頃にはそれを下回る水準まで低減する見込みである。一方、工業炉ユーザーは化学産業等に比べて供給優先順位が高くないと見られ、今後は技術開発のみならず、燃料調達・供給網確保の動きも重要になる。また、アンモニアはエネルギー当たりの価格で一定の競争力を有するが、船舶用途等との競合により将来的な供給不足の可能性も指摘されている。
- ・ また、新たな視点として、シミュレーション・デジタルツイン技術の重要性が高まっている。各国では製造分野でのモデリング技術やプラットフォーム構築が進められており、海外工業炉メーカーでも、再加熱炉等を対象にセンサーデータとシミュレーションを組み合わせ、リアルタイムに近い状態把握や品質影響予測を行う取組が顕在化している。従来の装置設計支援に加え、操業条件の変化が品質に与える影響を顧客に提示する用途にも広がっている。
- ・ 研究開発動向においては、米国エネルギー省が Industrial Heat Shot を立ち上げ、2035 年までに温室効果ガス排出量を 85%以上削減可能な産業熱脱炭素技術の開発を目標としているが、主眼は電化、低排出熱源統合、無熱・低熱プロセスであり、燃料代替は中心に位置付けられていない。欧州では、RFCS の下で鉄鋼下工程の再加熱炉における水素燃焼実証やデジタルツイン開発が進められている。これに対し、日本は燃料代替と電化推進の双方で研究開発を進めており、先導的な立ち位置にある。もっとも、米国ではトランプ政権成立以降、DOE 再編により Industrial Heat Shot 関連の体制が不透明化しており、政策継続性には留意が必要である。
- ・ 知財・学術動向においては、熱プロセスにおける水素・アンモニア燃焼に関する論文報告が 2018 年以降活発化しており、特許出願も水素燃焼炉で 2023 年頃から、アンモニア燃焼炉で 2022 年頃から増加している。国別では中国の出願件数が多

いが、国際出願では日本が優位であり、出願人別では三菱重工、明電舎、中外炉工業、川崎重工等の日系企業の存在感が大きい。

- ・ ルールメイキング動向においては、欧州及び英国では CBAM 導入が進められており、高炭素排出製品の輸入規制が強化されつつある一方、米国では連邦レベルでの炭素価格制度が存在せず、同様の動きは見られない。また、熱プロセスの安全性については、北米の NFPA、欧州の CEN、国際標準としての ISO 等により、燃焼及び燃料ハンドリングシステムの安全性に関する要求が定められており、代替燃料の利用においてもこれらへの準拠が必要である。また、アンモニアや水素の輸送規制については、国際的枠組みを前提としつつ、陸上輸送やトンネル通行規制などで各国差が見られる。

2. 成果

本調査において研究発表・講演、論文、特許等に関しては特に公表しておらず、受賞実績も存在しない。

3. その他特記事項

特になし。

契約管理番号：	25100573-0
---------	------------