

コンビナートの カーボンニュートラル化は進むか

日本の臨海コンビナートには、石油製品、石油化学、鉄鋼などのCO₂多排出な素材産業が集積する。日本の産業の脱炭素化のためには、コンビナートのカーボンニュートラル化が不可欠であるが、脱炭素エネルギーや脱炭素マテリアルの技術は、多くが開発途上で転換は容易ではない。

本レポートでは、鹿島、京葉、川崎、中京、堺・泉北、水島、周南、大分の8つの主要なコンビナートについて、カーボンニュートラル化に向けてどのような将来構想を掲げているのか、またエネルギーとマテリアルの脱炭素化についての取り組みの現状はどうなっているのかについて概観する。

2024年10月



株式会社 旭リサーチセンター

主幹研究員 石井 由紀

まとめ

- ◆「2050年カーボンニュートラル」達成のためにはCO₂多排出産業であるエネルギーや素材産業が集積するコンビナートの脱炭素化は重要である。2021年頃から、グリーンイノベーション基金創設、CO₂多排出産業の低炭素化への移行のための技術ロードマップ策定、GXリーグ設立など、官民が協調した産業の脱炭素化への取り組みが本格化している。(P. 2)
- ◆鹿島、京葉、川崎、中京、堺・泉北、水島、周南、大分の主要8コンビナートのうち、川崎、中京、水島、周南、大分の5つのコンビナートで将来構想が策定されており、脱炭素エネルギーは水素／アンモニアへの転換、脱炭素マテリアル（原材料、素材製品）は廃プラスチックの資源循環、バイオマス原材料の活用、排出したCO₂の再資源化などへの取り組みを掲げている。(P. 3～12)
- ◆コンビナートの脱炭素化が容易でない理由は、コンビナートは企業間で設備を共有化しており、取り組みには産業間連携が必要であること、エネルギーもマテリアルも石油資源由来であるが代替技術は開発途上であることなどである。(P. 12～13)
- ◆コンビナートの脱炭素エネルギーへの転換については、京葉、大分を除く6コンビナートで、低炭素な水素／アンモニアの海外調達による供給拠点化を検討している。鹿島は北関東広域向けのアンモニア受入・供給拠点化、川崎は液化水素形態での輸入実証、中京はJERAが年間100万トン超のアンモニア輸入を計画、堺・泉北は三井化学を中心にアンモニア受入・供給体制作りを検討、水島はMCH（メチルシクロヘキサン）を用いた水素調達、周南はアンモニア導入と供給インフラ整備の検討などである。水素／アンモニアの利活用については、京葉と周南でのナフサ分解炉燃料のアンモニアへの転換実証、川崎での羽田空港旅客ターミナル向け水素発電コジェネレーション導入、中京での地域産水素活用による工場の燃料転換促進、水島での水素還元製鉄技術の実証などがある。(P. 14～18)
- ◆バイオマス燃料の事例は、周南でのバイオマス燃料の原料用「早生樹」の植林や、バイオマス発電導入などがある。(P. 18～19)
- ◆コンビナートにおける脱炭素マテリアルへの転換については、廃プラスチックのケミ

カルリサイクルは、解重合法、油化法、ガス化法がある。PS 解重合法の事例は、京葉のデンカによる設備稼働、また水島の PS ジャパンによる実証がみられた。油化法は鹿島で三菱ケミカルと ENEOS が共同で、また京葉で出光興産子会社のケミカルリサイクル・ジャパンが設備稼働に向けて取り組んでいる。堺・泉北では三井化学が熱分解油を使用した化学品の生産を開始している。ガス化法による水素製造は、川崎でレゾナックが実施、中京で、岩谷産業、豊田通商、日揮ホールディングスの 3 社が周辺自治体と廃プラスチックの再商品化の取り組みを検討している。(P. 21~23)

◆バイオマス原料への転換はバイオナフサとバイオエタノールの活用がある。バイオナフサの事例は、京葉で出光興産がバイオマススチレンモノマー製造、堺・泉北で三井化学がバイオナフサをクラッカーに投入、水島で ENEOS がバイオパラキシレン製造のほか、大分でレゾナックが取り組みを開始した。またバイオエタノールから化学品を製造する技術開発に住友化学や旭化成が取り組んでいる。(P. 23~25)

◆コンビナート企業が炭素循環について共同検討する動きが、京葉内の五井・蘇我地区、堺・泉北、周南、大分でみられる。また個社での取り組み事例は、鹿島の AGC や周南のトクヤマがそれぞれ CO₂ 由来のメタノール製造を検討、また周南で東ソーが自社開発の回収剤を使用する CO₂ 回収・原料化設備新設を発表している。(P. 26~27)

◆コスト低減のための革新的 CO₂ 分離回収技術の開発も行われており、レゾナックと日本製鉄が新規固体吸着材の開発に、また住友化学が分離膜を用いた工場排ガス等からの CO₂ 分離回収システムの開発に取り組んでいる。(P. 27~28)

◆化学企業同士が連携して脱炭素マテリアルへの転換を検討している。三井化学、丸善石油化学、住友化学が京葉での、また三井化学、旭化成、三菱ケミカルが西日本での連携を検討しているほか、京葉で出光興産と三井化学が、2027 年度をめどに三井化学側にエチレン生産設備を集約すると発表している。(P. 29)

◆コンビナート産業の成長とカーボンニュートラル実現の両立を期待させる動きとして、製油所の水素供給拠点化のような新産業拠点への転換、水素社会推進法などの政府支援の活用による先行した水素利用社会実現、花王や資生堂のような日用品ブランドオーナーの再生材利用促進などへの取り組みなどに注目したい。(P. 30)

目次

【用語・略語集】	1
はじめに	2
1 主要コンビナートの概況とカーボンニュートラル将来構想.....	3
1.1 各コンビナートの概況と将来構想.....	3
1.2 コンビナートの脱炭素化が容易でない理由.....	12
2 コンビナートにおける脱炭素エネルギーへの取り組み.....	14
2.1 水素／アンモニアへの取り組み.....	14
2.2 バイオマス燃料の供給／活用の取り組み.....	18
3 コンビナートにおける脱炭素マテリアルへの取り組み.....	21
3.1 廃プラスチックのケミカルリサイクル.....	21
3.2 再生可能な化学品原料.....	23
3.3 CO ₂ を資源化する炭素循環.....	26
3.4 大手化学企業がカーボンニュートラルに向けて共同検討する動き.....	29
おわりに	30

【用語・略語集】

(1) 用語・略語

- ・ケミカルリサイクル：化学反応を用いて、ポリマーを分解してモノマーや化学品にするリサイクル法。
- ・マテリアルリサイクル：単一の種類のプラスチックを粉砕、洗浄して再び造粒するとうように機械的にリサイクルする方法。日本では再生ペットボトル生産でよく使われている手法。
- ・EOR： Enhanced oil recovery の略で、石油増進回収法。油田の地下に火力発電所等で排出される CO₂ を注入し、その圧力で自噴しない原油を回収する技術。
- ・CCS： Carbon dioxide capture and storage の略で、二酸化炭素回収・貯留技術。発電所や工場などから排出された CO₂ を、他の気体から分離して回収し、地中深くに圧入し、貯留する技術。
- ・CCU： Carbon dioxide capture, utilization の略で、分離・回収した CO₂ を利用する技術。EOR も CCU の 1 種。
- ・SAF： Sustainable aviation fuel（持続可能な航空燃料）の略で、廃食油やバイオエタノールなど、再生可能な原料から製造したジェット燃料。

(2) プラスチック略号

PE： ポリエチレン

PP： ポリプロピレン

PS： ポリスチレン

SM： スチレンモノマー

ABS 樹脂：アクリルニトリル・ブタジエン・スチレンの 3 種のモノマーを共重合させた樹脂

PVC： ポリ塩化ビニル

はじめに

日本では 2020 年 10 月に「2050 年カーボンニュートラル」が宣言され、2030 年度の温室効果ガス削減目標が「2013 年度比 46%削減」と大幅に引き上げられた。

この目標達成のためには日本の CO₂ 排出量の 3 割強を占める産業部門の低炭素化は不可欠であり、特に CO₂ 排出量が多いエネルギーや化学、鉄鋼などの素材産業が集積する臨海部のコンビナートの低炭素化・脱炭素化への取り組みは重要である。

2021 年 6 月にカーボンニュートラル社会に向けた産業転換と経済成長の両立を目指す「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が発表された。コンビナートのエネルギーや素材産業の脱炭素化にも関わる「水素／燃料アンモニア」「カーボンリサイクル／マテリアル」を含む重点 14 分野について、企業の脱炭素技術の研究開発から社会実装までを 10 年間に亘り支援する、総額 2 兆円規模の「グリーンイノベーション基金」が創設された。

また 2021～22 年に、鉄鋼、化学、石油のそれぞれの分野についてのトランジション・ファイナンスを促すための技術ロードマップが経済産業省から発表され、これらの産業の脱炭素化のための技術手段や導入時期などの基準が示された。さらに 2022 年に、官・学と協働して日本の GX（グリーントランスフォーメーション）を牽引する企業連携の枠組みとして、GX リーグが設立された。このように 2021 年以降、官民が協調してカーボンニュートラルへの取り組みを本格化していった。

コンビナートの脱炭素化については、グリーン成長戦略でも触れられているが、2022 年 3 月に「カーボンニュートラルコンビナートの実現に向けた論点整理（経済産業省）」が発表された。既存事業の維持や保護でなく、コンビナートが持つポテンシャルを最大限活用して、カーボンニュートラル社会実現のためのエネルギーと原材料や素材製品などのマテリアル転換の戦略拠点となることへの期待が示された。

このような背景のもと、コンビナートではエネルギーとマテリアルの脱炭素化が進められている。第 1 章で主要コンビナートの概況と将来に向けたカーボンニュートラル化の方針について、第 2 章でコンビナートにおける脱炭素エネルギーへの取り組みについて、第 3 章でコンビナートにおける脱炭素マテリアルへの取り組みについてみていく。

1 主要コンビナートの概況とカーボンニュートラル将来構想

本レポートでは、エチレン生産設備を持つ8つのコンビナート、鹿島、京葉、川崎、中京、堺・泉北、水島、周南、大分を取り上げる。

1.1 各コンビナートの概況と将来構想

各コンビナートの規模や特徴を概観するために、石油化学、石油精製、鉄鋼の主要企業や、エチレン生産能力、石油精製能力、粗鋼生産量、主要火力発電所について表1のように整理した。コンビナートによって、規模、製油所や製鉄所などの有無、主要企業なども異なっている。

表1 主要8コンビナートの現状の概況

		色付けが濃い順に1位~4位							
コンビナート地区名	鹿島	京葉	川崎	中京	堺・泉北	水島	周南	大分	
石油化学	エチレン生産能力 (千トン/年、2023年12月末)	485	2097	895	493	455	496	623	618
	石油化学コンビナート 主体企業 ()内はエチレン生産能力 (千トン/年)	三菱ケミカル (485)	出光興産 (374) 三井化学 (553) 丸善石油化学 (480) 住友化学 (京葉エチレン 690)	ENEOS (895)	三菱ケミカル 東ソー (493)	三井化学 大阪石油化学 (455)	三菱ケミカル 旭化成 (三菱ケミカル 旭化成エチレン 496)	出光興産 (623)	レゾナック (618)
石油精製	石油精製能力 (千バレル/日、2023年3月)	203	639	317	501	241	350	—	136
	企業	鹿島石油 (ENEOSグループ)	出光興産 コスモ石油 富士石油 大阪国際石油精製	ENEOS 東亜石油	出光興産 昭和四日市石油 コスモ石油	コスモ石油 ENEOS	ENEOS	—	ENEOS
鉄鋼	粗鋼生産量 (万トン/年) * 日本製鉄は 2020年度、 JFEスチールは 2022年度	445	日本製鉄 (570) JFEスチール (227)	329 (2023年9月閉鎖)	557	—	788	—	839
	企業	日本製鉄	日本製鉄、 JFEスチール	JFEスチール	日本製鉄	—	JFEスチール	—	日本製鉄
主要火力発電所		JERA鹿島 (都市ガス) 鹿島共同 (副生ガス・ 石炭)	JERA千葉、富津 (LNG) 君津共同 (副生ガス・ 石炭)	JERA川崎、東扇島 (LNG)	JERA四日市、知多 (LNG) JERA碧南 (石炭)	関西電力 堺港、 南港 (LNG)	中国電力 水島 (天然ガス・ 石炭) 中国電力 玉島 (天 然ガス・ 重油・原油)	中国電力 新小野田 (石炭)	九州電力 新大分 (LNG)

丸善石油化学：コスモエネルギーグループ、大阪国際石油精製：ENEOSグループ、東亜石油：出光興産グループ、大阪石油化学：三井化学100%子会社
京葉エチレン：出資比率 丸善石油化学55%、住友化学45%、三菱ケミカル旭化成エチレン：出資比率 三菱ケミカル、旭化成50%ずつ

(各種資料より ARC 作成)

8コンビナートのうち、堺・泉北を除く7つのコンビナートで、カーボンニュートラルコンビナートを推進する協議会が設置され、川崎、中京、水島、周南、大分の5つのコンビナートで将来構想が策定されている。それぞれのコンビナートの概況と将来構想について以下にまとめる。

1. 1. 1 鹿島コンビナート

鹿島では、三菱ケミカルがエチレン生産設備を、ENEOS グループの鹿島石油が石油精製設備を、日本製鉄が粗鋼生産設備を持つ。

鹿島では、2021年3月に「鹿島臨海工業地帯の競争力強化に向けた将来ビジョン」が策定されている。「競争力の高い生産体制づくり」「スマート保安の推進」「新産業の創出」を3本の柱としており、「新産業の創出」について、水素エネルギーの普及啓発や副生水素の活用検討などの水素社会に向けた取り組み、洋上風力発電関連産業の創出を挙げている。ただし、既存産業の脱炭素化の具体策や脱炭素化ビジョンについては記載がない。既存事業の市況悪化、設備老朽化による保安コスト負担増、人手不足などの問題の対応に苦慮しており、脱炭素化対応への圧力も感じてはいるものの、この時点では具体的な議論に至らなかったようである。

2021年8月に、茨城県が中心となって、港湾やコンビナートのカーボンニュートラル化について検討する「いばらきカーボンニュートラル産業拠点創出推進協議会」が設置された。「アンモニアサプライチェーン構築・利用ワーキンググループ」には、主要コンビナート企業も参加しており、コンビナートのみでなく、北関東を含む広域を需要地として鹿島港や常陸那珂港をアンモニアの受入拠点として新産業創出を目指す構想の検討を行っている。アンモニアは石炭を多用する鹿島コンビナートのエネルギー転換に役立つと期待される。

また2022年9月に、茨城県と三菱ケミカルの両者で、循環型コンビナートの形成や茨城臨海部を拠点としたカーボンニュートラル産業拠点の創出に向けての戦略的パートナーシップ協定を締結している。両者は①ケミカルリサイクルによるプラスチック資源循環、②バイオマス由来原材料への転換、③コンビナート排出のCO₂の再資源化、④新エネルギーや再生可能エネルギーの確保などにおいて連携する。三菱ケミカルは技術開発や、茨城県内における技術実証や他企業との連携・協力の推進を行い、茨城県は国の支援制度活用や県による支援の検討、国・研究機関・県内立地企業や市町村との連携・協力推進、新エネルギー確保に向けた取り組み支援を行うとしている。

1. 1. 2 京葉コンビナート

京葉は、エチレン生産能力が国内の3割強、また石油精製能力も国内の2割を占める日本最大のコンビナートである。エチレン生産設備は出光興産、丸善石油化学、京葉エチレン、三井化学の4ヵ所、石油精製設備は出光興産、コスモ石油、富士石油、大阪国際石油精製の4ヵ所、また粗鋼生産設備は日本製鉄とJFEスチールの2ヵ所がある。2022年11月に「京葉臨海コンビナートカーボンニュートラル推進協議会」の第1回が開催されたが、その後の動きや京葉全体をまとめる構想の発表はない。他のコンビナートに比べてかなり規模が大きく、主体となる企業数も多いため、全体構想をまとめる難しさがあると推察される。一方で、五井・蘇我地区など、地区限定でコンビナート企業が連携してカーボンニュートラル化を検討する動きもみられる。

1. 1. 3 川崎コンビナート

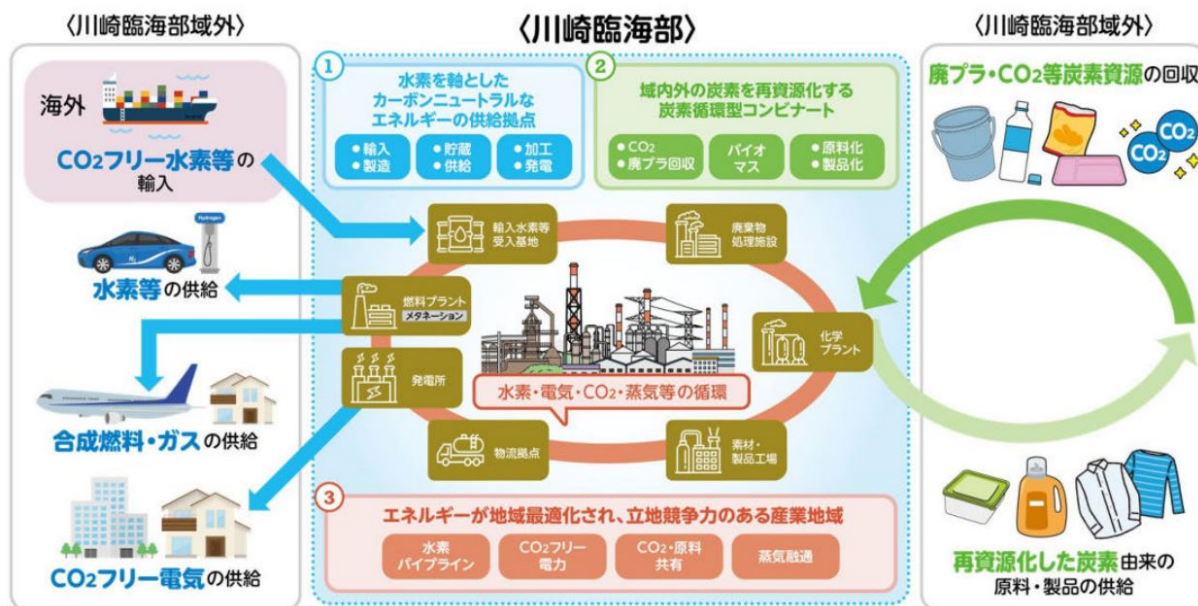
川崎コンビナートは、ENEOSが日本最大生産能力のエチレン生産設備を、またENEOSと東亜石油が石油精製設備を持つ。粗鋼生産設備についてはJFEスチールが2023年9月に高炉を休止した。

川崎市は2013年に「川崎臨海部水素ネットワーク協議会」（2022年6月に「京浜臨海部水素ネットワーク協議会」に改称）を発足させ、2015年には「水素社会実現に向けた川崎水素戦略」を策定するなど、他地区に先駆けて水素社会実現のために企業との連携を図ってきた。2022年3月策定の「川崎カーボンニュートラルコンビナート構想」においても、水素を軸としたカーボンニュートラルなエネルギー供給拠点化を目指している。首都圏から回収する廃プラスチックのリサイクルや臨海部の工場が排出するCO₂などを再資源化する炭素循環を掲げている。構想の具体的な取り組み推進のために、2022年5月に「川崎カーボンニュートラルコンビナート形成推進協議会」が設置された。会議は「川崎市カーボンニュートラルレポート形成推進協議会」と合同で、2024年3月までに5回開催されており、参画企業は90社に達した。

川崎市は主要企業と個別の連携も図っている。コンビナート内に製油所を持つENEOSとは、協議会発足以前の2021年11月に臨海部における水素普及拡大のための連携協定を締結している。また2023年9月に川崎市は液化水素サプライチェーンの構築を目指

す川崎重工業と川崎臨海部における水素利用拡大や周辺地域への水素由来エネルギーの供給に関する調査・実証を含む連携協定を締結している。

図 1 2050 年の川崎臨海部コンビナートのイメージ図



(出所：川崎市「川崎カーボンニュートラルコンビナート構想」)

1. 1. 4 中京コンビナート

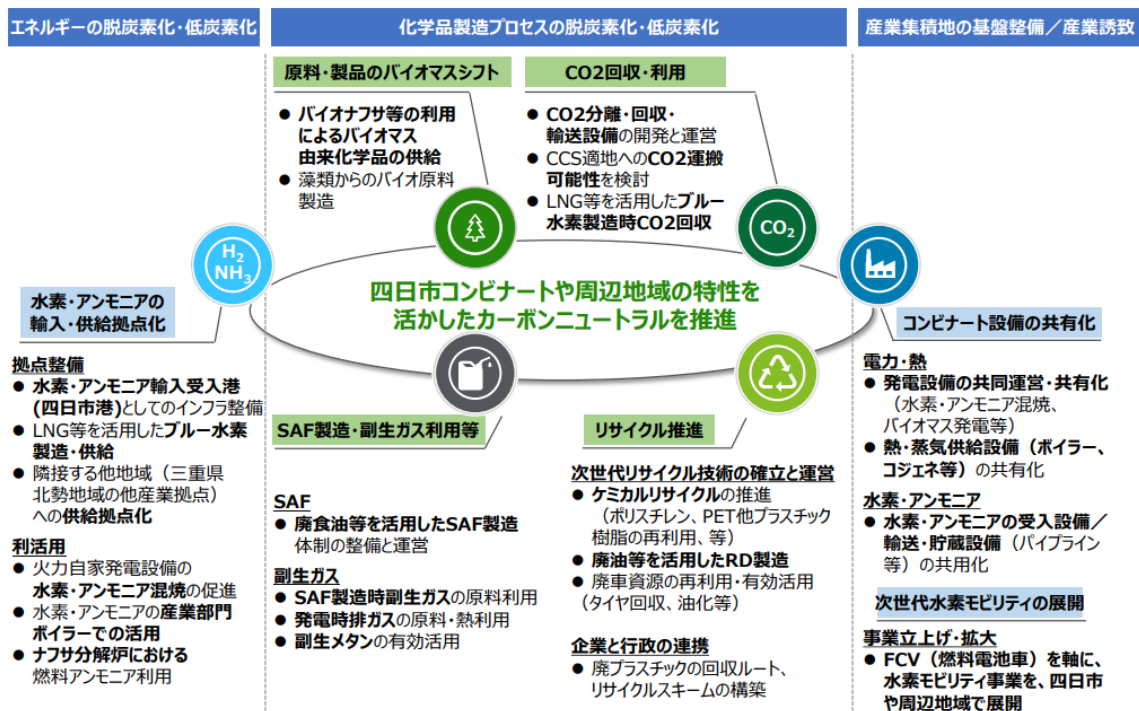
中京には、東ソーのエチレン生産設備、出光興産、昭和四日市石油、コスモ石油の3ヵ所の石油精製設備、日本製鉄の粗鋼生産設備がある。

中京圏では2022年2月に、四日市・知多コンビナートがある港湾エリアのほか、やや内陸のトヨタの自動車工場などを含む広範囲において、自治体、経済団体、20企業が参加する「中部圏水素・アンモニア社会実装推進会議」が設置され、2023年3月に「中部圏水素・アンモニアサプライチェーンビジョン」が策定されている。発電所や製油所、製鉄所、石油化学などが集積する港湾エリアだけでなく、その内陸側にある工場地域でも利活用を進めて、中部圏全体で大規模需要を作り出し、水素エネルギー活用拠点を実現する計画となっている。

2023年3月に、中京地区の主要コンビナートの四日市コンビナートが「2050年カー

ボンニュートラル化に向けた検討報告書」のなかで将来ビジョンを発表しているが、中部圏推進会議と足並みを揃えて取り組む姿勢で、エネルギーの脱炭素化については、水素／アンモニアの輸入・供給拠点化を目指している。また、原材料のバイオマス活用、ケミカルリサイクル促進、SAF製造、CO₂の分離・回収・再利用などを掲げる。2023年7月にその実現のために「四日市コンビナートカーボンニュートラル化推進委員会」を開催し、6つの部会を設置している。廃食油由来のSAF製造と副生ガスの活用を検討する「生産プロセス部会」、エチレン生産設備でアンモニア燃料を使用した際に発生する余剰メタンや混焼時発生CO₂の活用を検討する「副生ガス利活用検討部会」のほか、「ケミカルリサイクル連携部会」「水素・アンモニア拠点化検討部会」「共同インフラ設備連携検討部会」「広域・他業種連携部会」がある。

図2 2050年の四日市コンビナートの将来ビジョン（グランドデザイン）



（出所：四日市市「四日市コンビナート2050年カーボンニュートラル化に向けた検討報告書」）

1. 1. 5 堺・泉北コンビナート

堺・泉北は三井化学のエチレン生産設備、コスモ石油とENEOSの石油精製設備があるが、粗鋼生産は行われていない。コンビナートのカーボンニュートラルに向けた協議会の設置や将来ビジョンの策定は行われていない。

2023年6月に三井化学が「大阪工場カーボンニュートラル構想」を策定しており、原燃料転換やCCU、CCSに関して、コンビナートの他企業と連携を目指すとしている。

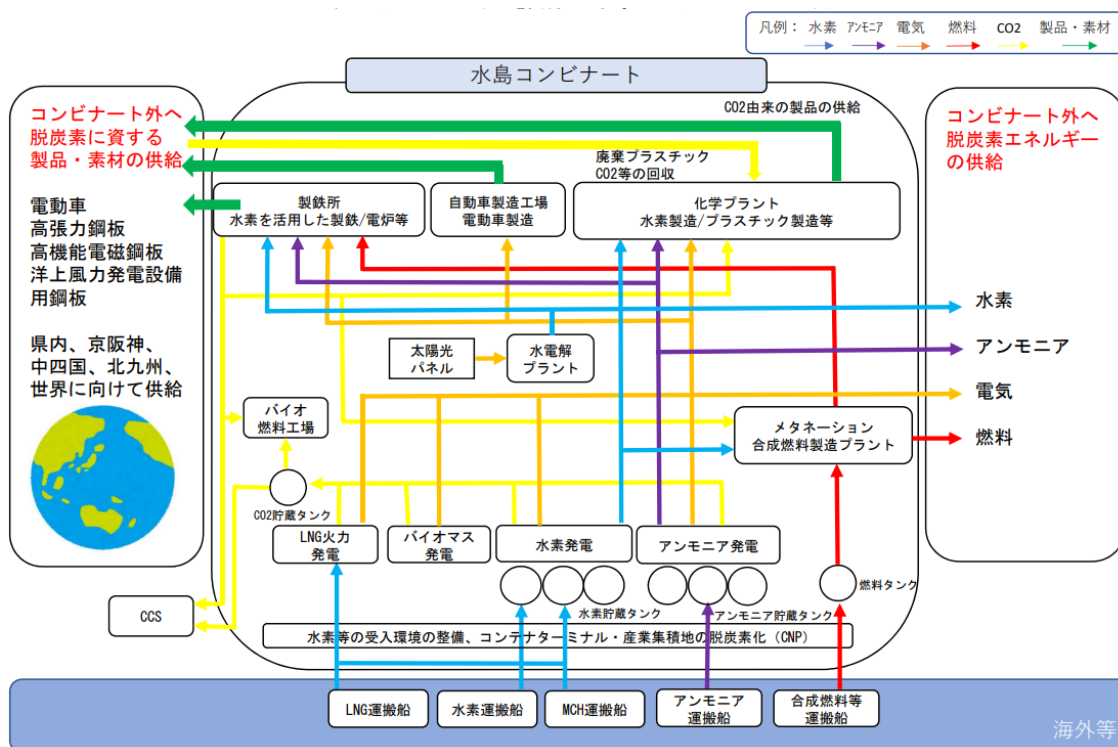
1. 1. 6 水島コンビナート

水島では、エチレン生産設備を旭化成と三菱ケミカルが合弁で持ち、ENEOSが石油精製設備を、JFEスチールが粗鋼生産設備を保有する。

2011年に「ハイパー&グリーンイノベーション水島コンビナート総合特区」に指定され、国から規制の特例措置や助成金を受けて、企業間連携の高度化など競争力強化に取り組んできた。2023年3月策定の「水島コンビナートの2050年カーボンニュートラル実現に向けた取組方針」でも、今後のカーボンニュートラルに向けた先進的な取り組みを行う上で、各種規制が障壁になる場合に規制緩和の提案により他地区に先行して事業が実施できる可能性があるなど、総合特区の強みが活かせると期待している。

2050年の目指す姿として「脱炭素エネルギーの受入／生産／供給」「炭素循環マテリアルの受入／生産／供給」を掲げるが、具体的手段は今後検討するとしている。このほか、三菱自動車の組み立て工場や関連機械工場など、素材産業以外の工場も立地する水島ならではの方針として「脱炭素に資する製品・素材の生産／供給」を掲げており、EV、高張力鋼板・高機能電磁鋼板、洋上風力発電設備用鋼板など、環境・エネルギーに貢献する高機能・高付加価値製品の供給拠点として、競争力を強化する。

図 3 2050 年カーボンニュートラルを実現した水島コンビナートイメージ図



(出所：水島コンビナート発展推進協議会カーボンニュートラルネットワーク会議
「水島コンビナートの 2050 年カーボンニュートラル実現に向けた取組方針」)

1. 1. 7 周南コンビナート

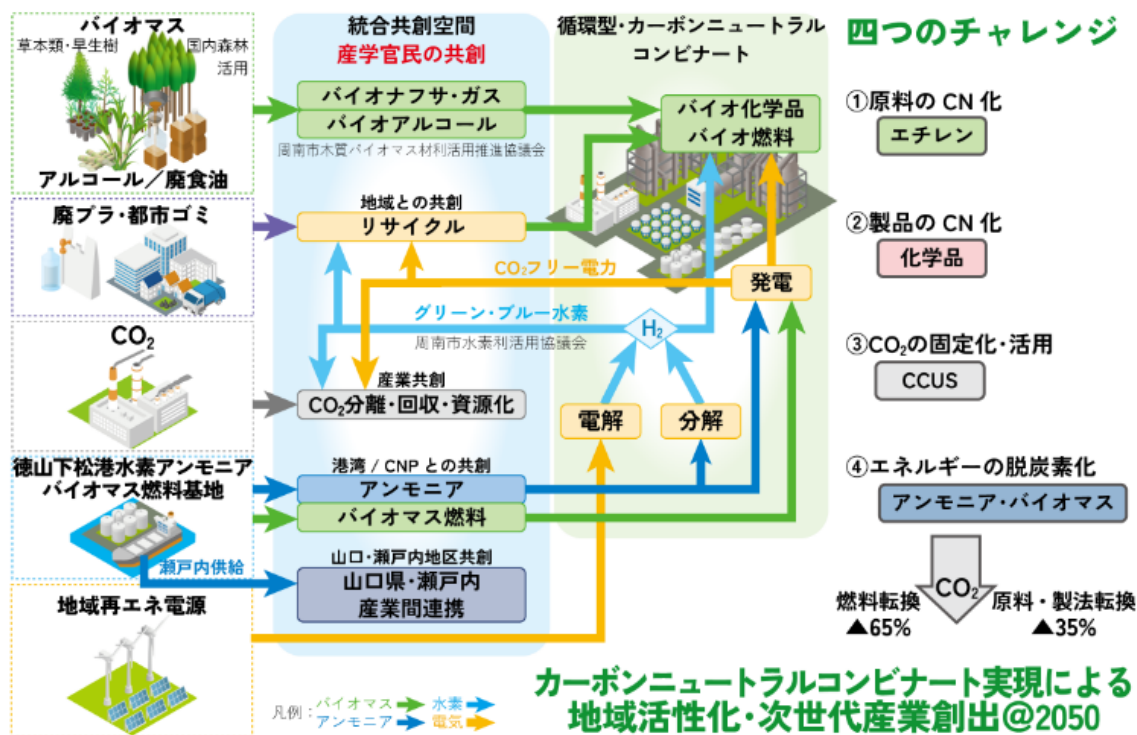
出光興産が徳山製油所にエチレン生産設備を持つが、石油精製設備は 2014 年に停止している。粗鋼生産設備はない。

2022 年 1 月に「周南コンビナート脱炭素推進協議会」が設置され、2023 年 5 月に「周南カーボンニュートラルコンビナート構想」と「周南コンビナートカーボンニュートラルロードマップ」が発表された。アンモニア／バイオマス利用によるエネルギーの脱炭素化、バイオマスや廃プラスチック／都市ごみのリサイクル／バイオマス利用による製品の脱炭素化、コンビナートが排出する CO₂ の固定化／活用などに取り組む。

コンビナート内の発電所などの主要エネルギー源は石炭であるため、石炭の代替燃料となるアンモニア、バイオマスに注目している。ロードマップでは、2030 年までのフェーズ 1 ではアンモニア、バイオマス活用によるエネルギーの脱炭素化、2040 年までのフェーズ 2 では炭素循環技術導入やバイオ原料活用による製品や原料の脱炭素化に

取り組む計画である。また、地域産のバイオマス活用に具体的に取り組んでいる点特徴的である。

図 4 周南カーボンニュートラル構想



(出所：周南市「周南カーボンニュートラルコンビナート構想」)

周南コンビナートの将来構想の発表は 2023 年であるが、2021 年頃からコンビナートの主要企業が共同で、木質バイオマス材生産事業の検討や 2022 年採択の資源エネルギー庁の補助金採択事業「周南コンビナートアンモニア供給拠点整備基本検討事業」を実施するなど、他のコンビナートと比較しても早くから産業間連携による具体的な取り組みが行われていた。

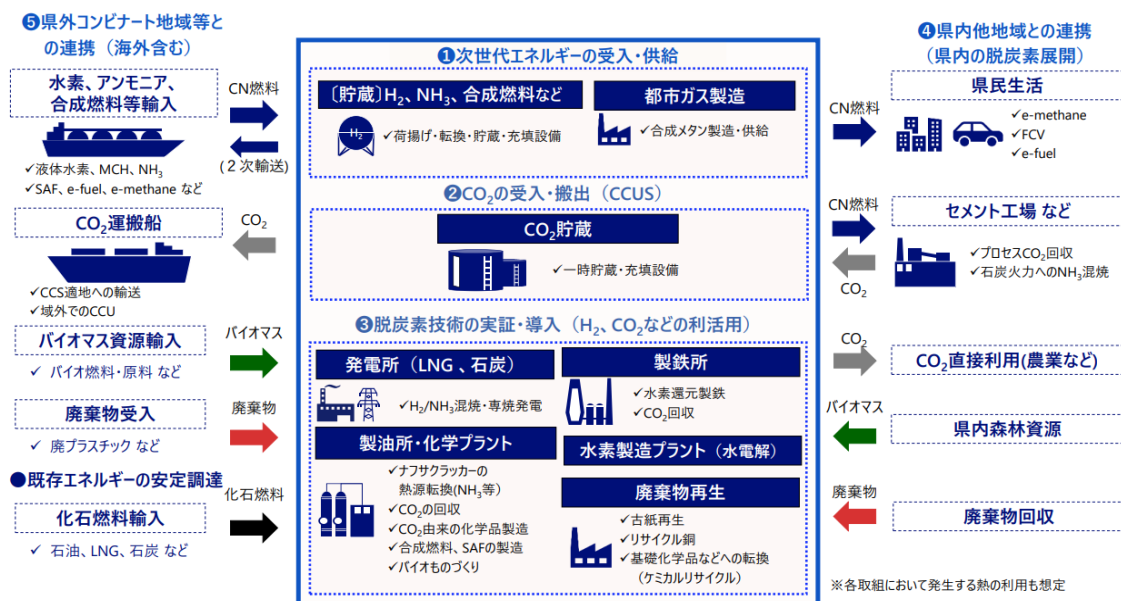
1. 1. 8 大分コンビナート

レゾナックのエチレン生産設備、ENEOS の九州唯一の製油所、日本製鉄の粗鋼生産量日本一の製鉄所など、九州で最も重工業が集積している。2020 年の大分県の CO₂ 排出量は全国 13 位、人口一人あたりでは全国 1 位であった。県の排出量の約 8 割が産業部門からの排出であり、コンビナートの脱炭素化は自治体にとっても重要な課題である。

大分コンビナート企業協議会内の検討チームの提案により、2023 年 8 月に「『グリーン・コンビナートおおいた』推進会議」を設置、2024 年 1 月に「『グリーン・コンビナートおおいた』推進構想」を発表している。構想によると、脱炭素エネルギーは、主に水素を海外から調達し、脱炭素マテリアルは、コンビナートから排出される CO₂ を分離回収して化学品などの原料として再利用する計画であるが、試算結果では、再利用量のポテンシャルは排出量の 4 分の 1 程度である。残りの 4 分の 3 は海外貯留地への CO₂ 輸送による CCS、または県内の森林資源を活用したカーボンオフセットなどを検討するとしている。大分コンビナートは大型船受入可能な設備がある強みがあり、県外を含む周辺の自治体に対してもエネルギー供給拠点や CO₂ 回収拠点となることによって、規模の利益を実現するとしている。

一方で、水素キャリアから水素を取り出す装置や水素貯蔵設備、また CO₂ の一時的貯留設備などを建設するための用地不足、人口減少や近隣県への流出による人手不足、大規模な水素需要が見込める大都市圏近郊の事業所と比べて企業の大分への投資優先順位が劣後する可能性があるなどの懸念点も挙げている。個別の脱炭素技術検討などはコンビナート企業協議会内で行うが、このような事業環境整備については、グリーン・コンビナートおおいた推進会議を中心に取り組むとしており、大分県、大分市など自治体が用地確保や県外との連携を、各企業は構想実現に向けて事業所と本社との連携強化を、また産官学が協力して人材育成を図るなど、役割分担とロードマップが示されている。

図5 2050年に向けた大分コンビナートの目指す姿



(出所：「グリーン・コンビナートおおいた」推進会議『『グリーン・コンビナートおおいた』推進構想』)

1.2 コンビナートの脱炭素化が容易でない理由

各コンビナートのカーボンニュートラル構想の概要についてみてきたが、コンビナートの脱炭素化推進は決して容易ではない。その理由は大きく2つある。

1.2.1 産業間連携による推進が不可欠

コンビナートは、競争力強化のためにコンビナート内企業で設備を共有化するなど高度に生産効率化を図ってきた。よって、脱炭素化のための生産設備変更などの取り組みは1社ではできず、関係各社が連携して実施する必要がある。

一方で、連携によるメリットとして、脱炭素化投資を共同負担できること、川上に当たる企業がエネルギーや原料を脱炭素化すれば、川下の企業の脱炭素化にも寄与することなどが挙げられる。リーダーシップをとって関係各社と調整しながら、エネルギーや原料の転換を推進する企業が存在するかどうかカギとなる。

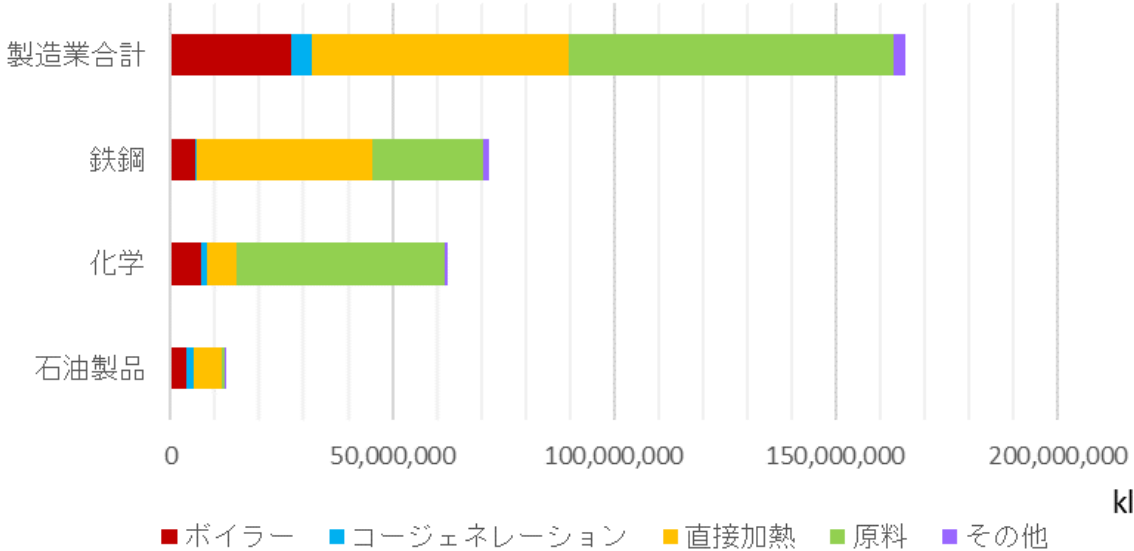
1.2.2 エネルギーもマテリアルも石油資源由来、代替技術手段は開発途上

コンビナートは石油化学、石油製品、鉄鋼など、石油資源由来の燃料や製品原料を大量に消費するCO₂多排出の重工業が主要産業である。経済産業省「令和5年石油等消

費動態統計年報」によると、これら3産業で製造業全体の石油資源消費の約9割を占める。製造プロセスにおいて高温の熱需要が多いなどエネルギーの電化が困難な分野であるため、化石燃料の利用量が多い。また化学の石油資源消費については、燃料消費が24%、原料使用が75%となっており、エネルギーのみでなく、原料や製品などのマテリアルの脱炭素化も重要な課題となっている。しかしながら、これらの産業の脱炭素化のための代替技術は多くが開発途上であり、脱炭素化のためにはコンビナート企業自らが、多額の費用を投じて研究開発や実証を行いながら推進することが必要である。

一方で、2023年5月にGX推進法が成立し、国がGX経済移行債発行により調達した資金をもとに、企業の脱炭素化に向けた先行投資を支援する仕組みが発表された。化学、鉄鋼の製造プロセス転換や水素、資源循環、CCSなど脱炭素化社会に向けた新産業創出などへの投資も支援対象になっている。

図6 製造業の石油資源由来燃料・原料消費量



(経済産業省「令和5年石油等消費動態統計年報」よりARC作成)

2 コンビナートにおける脱炭素エネルギーへの取り組み

コンビナートにおけるエネルギーの脱炭素化手段は、低炭素（製造時の CO₂ 排出量が一定基準以下）な水素／アンモニア、バイオマス燃料の活用などの事例がみられる。

2.1 水素／アンモニアへの取り組み

2.1.1 水素／アンモニア供給拠点化、サプライチェーン構築への動き

低炭素な水素／アンモニアの供給拠点化への具体的な取り組みは、京葉、大分を除く 6 コンビナートでみられた。供給については、主に海外からの調達が想定されている。現段階の試算では国内生産よりコストメリットがあること、大量消費に耐えうる量の安定的確保が可能なこと、燃料輸入に適した港湾を持つメリットを活かせることなどが理由である。また、水素は気体のため、液体化して貯蔵・輸送する技術である水素キャリアの研究開発、実証が行われている。水素キャリアは、気体の水素を -253℃ に冷却した「液化水素」、トルエンと水素を結合させて生成した「MCH（メチルシクロヘキサン）」、水素と窒素を触媒で反応させて生成した「アンモニア」のいずれかが検討されている。アンモニアはそれ自体が燃焼しても CO₂ を発生しないカーボンニュートラル燃料であり、水素キャリアとしての活用のみでなく、石炭の代替燃料としても検討されている。

どの水素キャリアを選択するかは各地域の事情に応じて異なる。例えば石炭火力発電がなく将来的に水素を代替燃料とできる天然ガス発電が主であるなど、大量の水素活用が期待される地域では、液化水素や MCH が検討されることが多い。その一方で、輸送技術や気体の状態の水素に戻すプロセス技術が実証段階で確立していないという課題もある。また、アンモニアは製法や輸送技術は確立されているが、水素で利用する場合は再び水素に戻さなくてはならず非効率である。

（1）鹿島：北関東広域のアンモニア受入・供給拠点化を目指す

2024 年 5 月に、JERA、日本製鉄、AGC、鹿島南共同発電、東京電力エナジーパートナー、茨城県が申請した「常陸那珂を起点とした北関東広域アンモニア／水素サプライチェーン整備に関する調査事業」が、資源エネルギー庁の令和 6 年度「非化石エネルギー等導入促進対策費補助金（水素等供給基盤整備事業）」の調査事業に採択された。

国の助成金制度を活用して、鹿島コンビナートを含む北関東広域へのアンモニア受入・供給拠点化調査を開始している。

(2) 川崎：液化水素サプライチェーン構築を目指す

日本水素エネルギー（川崎重工業の子会社）、ENEOS、岩谷産業が、NEDO のグリーンイノベーション基金事業として液化水素サプライチェーンの商用化の実証を行っている。

2021～2022 年に豪州－神戸間で、川崎重工業が建造した世界初のプロトタイプの液化水素運搬船による、 -253°C の液化水素の輸送に成功している。現在の取り組みは商用化に向けたもので、2023 年 6 月に経済産業省が発表した「水素基本戦略」における目標 CIF コスト水準である 2030 年 30 円/ Nm^3 （化石燃料の約 1.5 倍）実現を目指し、豪州南東部のビクトリア州から川崎臨海部まで、年間数万トンの商用規模の液化水素の海上輸送技術を確立する。水素の原料には安価で安定供給可能な褐炭を使用し、CCS により低炭素化する。水素受入供給拠点は、地域の新産業拠点としての活用が期待されている川崎臨海部の JFE スチールの高炉跡地に整備される。

(3) 中京：出光興産と JERA を中心に伊勢湾における水素の受入拠点整備を検討

2022 年 6 月に、出光興産と JERA は、伊勢湾地区における水素サプライチェーン構築に向けた共同検討の覚書を締結し、推進会議と連携して、海外調達した水素受入拠点の整備や輸送、供給ネットワーク構築を検討する。JERA は、世界大手のアンモニア肥料製造企業であるヤラ・インターナショナル ASA の子会社と米 CF インダストリーズ・ホールディングスのそれぞれと協業して、2040 年までにメキシコ湾岸から合計年間 100 万トン超のブルーアンモニアを調達する計画を発表している。2030 年までに「20%アンモニア混焼運転」を本格稼働させる予定の碧南石炭火力発電所の燃料としても使用する。

(4) 堺・泉北：三井化学を中心に水素／アンモニア導入検討に動く

2023 年 8 月に、三井物産、三井化学、IHI、関西電力が、大阪の臨海工業地帯における水素／アンモニアのサプライチェーン構築に向けた共同検討に関する覚書を締結したと発表している。アンモニアの受入、貯蔵、供給拠点の整備などに関する検討や、関西・瀬戸内地域での利活用先の拡大に向けた調査などに取り組むとしており、その一環として、三井物産、三井化学、IHI の 3 社が申請した「大阪堺・泉北地域におけるアン

モニア供給拠点整備の事業性調査事業」が、2024年5月に経済産業省・資源エネルギー庁「令和6年度非化石エネルギー等導入促進対策費補助金（水素等供給基盤整備事業）」に採択されている。他地区では大手エネルギー企業が受入・供給体制作りを牽引しているが、堺・泉北では、「大阪工場カーボンニュートラル構想」を掲げる三井化学が中心的な役割を担っている。

（5）水島：MCHを水素キャリアとする水素サプライチェーン構築を目指す

2023年10月にENEOSとJFEスチールが、水島コンビナートにおけるCO₂フリー水素の利活用に関する共同検討を開始したと発表し、MCHの形態で海外調達する水素サプライチェーンの構築を目指している。ENEOSは水島製油所を水素受入・貯蔵・供給の拠点とすることを検討している。MCHは水素とトルエンの結合により生成された液体で、常温常圧で大型石油タンカーや備蓄タンクを利用して輸送、貯蔵できる。製油所の石油精製装置の脱水素機能を用いて水素とトルエンを分離して水素を取り出すなど、この手法は石油関連インフラを活用できるメリットがある。

（6）周南：脱石炭のためにアンモニア導入を計画、供給インフラ整備検討も開始

周南は石炭火力発電を多用しているなど、石炭の代替燃料としてアンモニアを活用できる。2030年までに周南コンビナートにおける年間100万トン超のカーボンフリーアンモニア供給体制を確立することを目指している。

エネルギー供給側の出光興産と需要側のトクヤマ、東ソー、日本ゼオンの4社が共同でアンモニアのサプライチェーン構築に取り組んでおり、政府の補助金制度を積極的に活用しているのも特徴である。4社は2022年には、資源エネルギー庁「非化石エネルギー等導入促進対策費補助金」事業に採択された「周南コンビナートアンモニア供給拠点整備基本検討事業」にて、出光興産の徳山事業所の貯蔵施設を周南コンビナートにおけるアンモニアの共通供給拠点として、コンビナート各社（需要側）へ供給するインフラ整備の検討を行った。そして、続いて2024年5月に、4社が申請した「周南地区アンモニア広域供給拠点、域内パイプライン整備及び燃焼設備検討事業」が、資源エネルギー庁の「非化石エネルギー等導入促進対策費補助金」事業に再び採択され、より具体的な設備の検討を行っている。

アンモニアの調達については、2024年2月に、出光興産が三菱商事とともに、米国の天然ガス由来のメタノール・アンモニア製造業者 Proman のクリーンアンモニア製造プロジェクト（三菱重工の技術使用）に参画している。同プロジェクトは、2030年までに120万トン／年の生産開始を計画しており、出光興産は徳山事業所、三菱商事は今治のLPGターミナルを受入れ拠点とした国内供給を行う。

2.1.2 水素／アンモニア利活用拡大

水素／アンモニアの利活用拡大の動きは、京葉、川崎、中京、水島、周南でみられた。

（1）京葉：ナフサ分解炉燃料のアンモニアへの転換に取り組む

三井化学、丸善石油化学、東洋エンジニアリング、双日マシナリーの4社が、NEDOグリーンイノベーション基金「ナフサ分解炉の高度化技術の開発」の採択事業として、2030年商業炉実証を目標にナフサ分解炉燃料のアンモニアへの転換に取り組んでいる。

（2）川崎：羽田空港に水素発電コージェネレーション導入

2024年4月に日本空港ビルデングとENEOSが、2030年頃、羽田空港旅客ターミナルでのCO₂フリー水素利用実装実現を目指す連携協定を締結した。京浜臨海部の水素供給拠点から羽田空港旅客ターミナルへ水素を供給し、国内空港初の水素発電コージェネレーション導入によるCO₂フリーの電力・熱を、旅客ターミナルビルに供給する。

（3）中京：地域産水素供給による、地域工場の水素への燃料転換の早期実現へ

「中部圏水素・アンモニアサプライチェーンビジョン」によると、水素の海外調達が可能になるのは2030年以降である。それ以前の2020年代後半には、域内で生産した水素を使用して周辺の工場などでの活用拡大に取り組む。岩谷産業と豊田通商と日揮ホールディングスの3社は廃プラスチックのガス化法ケミカルリサイクルによる水素製造を検討しており、2023年5月に、中部圏の14市町村と原料の廃プラスチックの回収システム構築についての検討を開始している。水素製造能力約1万トン／年で、2020年代中頃の実現を目指す。また東邦ガスは2024年6月に知多緑浜工場で天然ガスを原料とした水素製造プラントの稼働を開始している。またユーザー企業のバーナーや炉を用いた水素燃焼試験および技術支援を行うサービスを提供するなど、工場での水素利用の裾野を広げる取り組みも行っている。

(4) 水島：水素還元製鉄技術の実証

JFE スチールは、NEDO グリーンイノベーション基金事業の「外部水素や高炉排ガスに含まれる CO₂ を活用した低炭素化技術等の開発」において、水素投入量を大幅に増やすことによる大規模な水素還元技術や、高炉排ガスに含まれる CO₂ からのメタン生成など、高炉法による製鉄プロセスからの CO₂ 排出を 50%以上削減する技術の開発に取り組んでいる。西日本製鉄所（倉敷地区）で、2029 年試験高炉実証を検討しており、この試験炉や製鉄所内の燃料用途での水素利用を見込む。

(5) 周南：商業用ナフサ分解炉でアンモニアの 2 割超混焼実証に成功

2024 年 2 月に出光興産は国内初の商業用ナフサ分解炉でのアンモニア燃焼に成功した。資源エネルギー庁「石油供給構造高度化事業費補助金」事業で、IHI が開発したアンモニア専焼用バーナーを使用した商業用ナフサ分解炉でのアンモニア燃焼実証を行い、燃料の 2 割超をアンモニアに切り替える実証に成功した。

2.2 バイオマス燃料の供給／活用の取り組み

周南でバイオマス燃料の地産地消への取り組みがみられた。地域産の木質バイオマス材の利活用推進を目的に、2021 年 1 月に「周南市木質バイオマス材利活用推進協議会」が設置された。2021 年 12 月に協議会メンバーの出光興産、東ソー、トクヤマ、丸紅は、周南市と「市有林を活用した森林整備・バイオマス材生産等共同実証事業」の連携協定を締結し、2022 年 12 月にバイオマス燃料の原料用に、早く育つ「早生樹」の植林を行っている。

コンビナート企業はバイオマス発電の取り組みを進めている。トクヤマは、2022 年 9 月に徳山営業所敷地内でバイオマス混焼発電所（発電者：周南パワー、トクヤマ 20% 出資）の商業運転を開始した。また 2023 年 12 月にオランダのベンチャー企業 Yilkins Drying Solutions 社の技術を導入し、徳山製造所に、ブラックペレット（BP）開発用パイロットプラントを 2025 年 10 月完成予定で建設すると発表している。BP は木質バイオマス（ホワイトペレット）を低酸素状態で加熱処理し石炭の性状に近づけたペレットで、処理前よりエネルギー密度が 20%程度高くなる。BP は将来的に世界で需給がひっ迫することが想定されるため、自社生産により安定確保に取り組む。

出光興産は徳山製油所跡地の一部を活用してバイオマス専焼の発電所を建設し、2023年1月から発電を開始している。東ソーも南陽事業所にて火力1基を廃止し、バイオマス発電所を2026年発電開始を目標に建設している。

表2 「脱炭素エネルギー」への取り組み事例

	鹿島	京葉	川崎	中京	堺・泉北	水島	周南
水素／アンモニア	供給		【日本水素エネルギー、川崎重工業、ENEOS、岩谷産業】 ★2030年液化水素運搬実証完了を目標に、輸入液化水素サプライチェーン構築	【出光興産、JERA】 伊勢湾地区における水素のSC構築を共同検討する覚書締結（2022年6月）	【三井化学、関西電力、三井物産、IHI】 水素／アンモニアサプライチェーン構築検討（2023年8月）	【ENEOS、JFEスチール】 コンビナートでのCO ₂ フリー水素の受入・貯蔵・供給拠点の整備および利活用に関する検討利活用共同検討開始（2023年10月）	【出光興産、東ソー、トクヤマ、日本ゼオン】 ★「周南地区アンモニア広域供給拠点、域内パイプライン整備及び燃焼設備検討事業」採択（2024年5月）
			【レゾナック】 2003年から廃プラスチックのガス化ケミカルリサイクル設備によるアンモニア製造実施。化学原料のほか、燃料電池車用水素やアンモニア船燃料としても供給（2024年7月）	【岩谷産業、豊田通商、日揮ホールディングス】 廃プラスチックのガス化ケミカルリサイクル設備による低炭素水素製造。約1万トン／年、2020年代中頃開始（2023年5月）	【三井化学、三井物産、IHI】 ★大阪堺・泉北地域におけるアンモニア供給拠点整備の事業性調査（2024年5月）	【出光興産、IHI】 三菱商事と、米国製造業者Promanのクリーンアンモニア製造プロジェクト（三菱重工の技術使用、ブルーアンモニア）に参画し、2030年までに120万トン／年の生産開始を目指す。出光興産は徳山事業所、三菱商事は今治のLPGターミナルを受入れ拠点とした国内供給を行う。（2024年2月）	
バイオマス燃料	供給		【ENEOS、日本空港ビルディング】 羽田空港の水素発電コージェネレーション導入（2024年4月）	【JERA】 ★碧南の石炭火力発電所で混焼実証試験を終了し、商業運転に向けた工事着工を発表。（2024年6月）		【JFEスチール】 ★西日本製鉄所（倉敷地区）の試験高炉で、2029年から製鉄プロセスからのCO ₂ 排出削減技術実証開始を検討。この試験炉や製鉄所内の燃料用途での水素利活用（2023年10月）	【出光興産、IHI】 ★徳山営業所の商業用ナフサ分解炉でアンモニア燃料転換実証を行い、投入熱量比2割程度までにおいてアンモニアが安定燃焼可能であることを確認（2024年3月）
			【三井化学、丸善石油化学、東洋エンジニアリング、双日マシナリー】 ★ナフサ分解炉燃料のアンモニア転換実証事業開始（2022年2月）			【旭化成】 倉敷市と連携して下水汚泥由来のバイオガスからバイオメタン精製技術を実証中	【周南市、出光興産、東ソー、トクヤマ、丸紅】 周南市とコンビナート企業と市有林を活用した木質バイオマス燃料生産共同実証事業で植林開始（2022年12月）
バイオマス燃料	利活用						【東ソー】 南陽事業所にバイオマス発電所を2026年4月稼働で新設することを決定。木質系燃料のほか、建築廃材やRPFなど廃棄物系燃料も利用する。将来的にはバイオマス専焼を目指す。（2022年7月）
							【トクヤマ】 徳山営業所敷地内でバイオマス混焼発電所（発電者：周南パワー）商業運転開始（2022年9月）
							【トクヤマ】 自家発電所の燃料転換の一環として、徳山製造所にブラックペレット開発用パイロットプラントを2025年10月完成に向けて建設（2023年12月）

★グリーンイノベーション基金事業

★資源エネルギー庁 令和6年度「非化石エネルギー等導入促進対策費補助金（水素等供給基盤整備事業）」

★資源エネルギー庁 令和5年度「石油供給構造高度化事業費補助金（次世代燃料安定供給のためのトランジション促進事業のうち化石燃料供給事業再構築支援事業）」

（ ）内の年月は発表年月

（プレスリリースなど各種資料より ARC 作成）

3 コンビナートにおける脱炭素マテリアルへの取り組み

原材料や製品などのマテリアルの脱炭素化手段は、廃プラスチックのケミカルリサイクル、バイオマスなど再生可能資源を原料とする化学品、コンビナートの排ガスからCO₂を分離・回収して化学品の原料とする炭素循環などの取り組みである。

3.1 廃プラスチックのケミカルリサイクル

廃プラスチックのケミカルリサイクルは、解重合法、油化法、ガス化法などの手法による取り組みがみられた。

解重合法は PET や PS など単一種類の廃プラスチックを化学的に解重合してモノマーに戻し、再重合する。再重合の段階では既存の設備が活用できる。油化法は、PE、PP、PS などの混合廃プラスチックを熱分解によって油化し、熱分解油を生成する。熱分解油は石油と同様に扱えるため、石油精製設備や石油化学設備が利用できる。ガス化法は混合廃プラスチックを高温でガス化して化学品などの原料となる合成ガスを生成する。PVC などを含む多様な混合廃プラスチックに対応できることが特徴である。

3.1.1 解重合法活用事例

(1) 京葉：デンカがポリスチレンの解重合ケミカルリサイクルプラント稼働

京葉で、2024 年 3 月にデンカが千葉工場に使用済みポリスチレンの解重合法によるケミカルリサイクルプラントを竣工した。年間の処理能力は 3,000 トンで、当初は工場で発生した端材など産業由来原料でリサイクルを開始する。

2024 年 5 月に千葉県市原市、デンカ、東洋スチレンの 3 者で、ポリスチレンケミカルリサイクルに関する事業連携協定を締結し、7 月から市内の公共施設など 14 ヶ所で回収を開始している。

(2) 水島：PS ジャパンがポリスチレンの解重合法によるケミカルリサイクル実証

2023 年 9 月に、旭化成子会社の PS ジャパンが水島工場でポリスチレンの解重合ケミカルリサイクル実証設備の新設を発表し、実証実験に取り組んでいる。

3. 1. 2 油化法活用事例

油化ケミカルリサイクルの事例は、鹿島、京葉、堺・泉北でみられた。

(1) 鹿島：三菱ケミカルと ENEOS が油化ケミカルリサイクル設備立ち上げへ

三菱ケミカルは、茨城事業所で ENEOS と共同で油化ケミカルリサイクル設備を建設している。油化技術は、三菱ケミカルがイギリスの Mura Technology から導入し、年間処理能力 2 万トン、2024 年稼働を目指している。生成した熱分解油は、両社の既存の石油精製設備やナフサラッカーに投入し、廃プラスチック由来のエチレンやプロピレンなどを生産する。

(2) 京葉：出光興産が油化ケミカルリサイクルチェーン構築に取り組む

2023 年 4 月に、出光興産と廃プラスチックの油化技術を持つ環境エネルギーが、油化ケミカルリサイクルによる熱分解油生産を行う合弁会社「ケミカルリサイクル・ジャパン」を設立した。8 月に千葉県市原事業所で油化ケミカルリサイクル設備建設を開始しており、年間処理能力 2 万トンで、2025 年後半の商業運転開始を目指している。廃プラスチックは首都圏から回収する。生産した熱分解油は、隣接する出光興産の既存の石油精製設備およびナフサラッカーで化学品や燃料などに再製品化される。

また出光興産は原料となる使用済みプラスチックの調達体制構築についても、大手リサイクラーのテラレムグループと前田産業の 2 社と共同で取り組んでいる。

(3) 堺・泉北：三井化学が熱分解油を使用した化学品製造開始

2024 年 3 月に、三井化学が、大阪工場（堺・泉北コンビナート内）で廃プラスチック由来の熱分解油を使用した化学品の生産を開始している。この熱分解油は、熱分解油メーカーの CFP が同社の岡山工場で、産業由来の廃プラスチックを原料として生産したものを調達している。

同月に、三井化学、花王、CFP は、花王製品由来の廃プラスチックの循環スキーム構築検討を発表している。花王の工場から出た廃プラスチックを CFP で油化し、その熱分解油を原料に三井化学がプラスチックを製造して再度花王製品に使用する。

3.1.3 ガス化法活用事例

ガス化ケミカルリサイクルの事例は、川崎、中京でみられる。

(1) 川崎：レゾナックがガス化法による低炭素アンモニア生産

レゾナックが川崎事業所で、2003年から20年の長期に亘り、ガス化ケミカルリサイクルを実施している。自治体が回収した家庭からの混合廃プラスチックなどを原料とし、年間6万4千トンの処理能力を持つ。生成された合成ガスから水素とCO₂を取り出し、水素は、近隣の東急REIホテルの燃料電池設備や燃料自動車向け水素ステーションなどに供給するほか、アンモニアの原料に使用している。またCO₂はドライアイスや炭酸飲料、医療用炭酸ガスの原料に使用している。

2024年7月には、日本郵船の世界初の商用アンモニア燃料船（タグボート「魁」、8月竣工）向けに、世界初の試みとして廃プラスチック由来の低炭素アンモニア燃料を供給した。

(2) 中京：ガス化法リサイクルで自治体と廃プラスチック再商品化に取り組む

岩谷産業、豊田通商、日揮ホールディングスの3社は、2022年12月に「名古屋港近郊における廃プラスチックガス化設備を活用した低炭素水素製造事業」の協業検討に合意している。2023年5月に3社は、愛知、岐阜、三重、静岡の14市町村などと「廃プラスチックのケミカルリサイクルによる水素製造検討会」を発足した。2022年4月に施行されたプラスチック資源循環法のもと、新規に家庭から排出される使用済みプラスチックの再商品化に取り組む自治体とともに、地域の効率的な廃プラスチックの収集を検討し、廃プラスチックの回収量を確保する。廃プラスチック処理能力8万トン／年、水素製造能力1万トン／年を見込み、2020年代中頃の稼働を目指す。

3.2 再生可能な化学品原料

バイオナフサやバイオエタノールなど、再生可能なバイオマス原料を使った化学品の製造または技術開発が行われている。

バイオナフサは、廃食用油などから作られるバイオマス由来のナフサで、原油由来のナフサと混ぜて既存の設備で使用することができる。これによって製造された製品は実際には100%バイオマス原料由来のものではないが、マスバランス方式という手法を

適用すれば、バイオナフサ投入量に応じた割合で、バイオマス原料由来という特性を一部の製品に片寄せして割り当て、割り当られた製品をバイオマスプラスチックとみなすことができる。例えば、投入原料の3割がバイオマス由来であった場合、製品の3割をバイオマス由来製品、残る7割を原油由来製品とすることができる。一方、バイオエタノールを原料とする技術はまだ開発途上であるが、商用化に向けて活発に取り組まれている。バイオエタノールからエチレン、プロピレン、そのほかの基礎化学品を直接生産するため、製品は100%バイオマス由来化学品となる。

3.2.1 バイオナフサ活用事例

京葉、堺・泉北、水島、大分の4つのコンビナートでバイオナフサ活用の取り組みがみられた。いずれも、フィンランドのNeste社が生産したバイオナフサを使用している。

(1) 京葉：出光興産がバイオマススチレンモノマー製造

出光興産がバイオマスナフサを使用したバイオマススチレンモノマーを製造しており、2023年に複数の誘導品生産メーカーと、バイオマススチレンモノマーを原料としたPSやABS樹脂の生産に合意している。

(2) 堺・泉北：三井化学がバイオナフサをクラッカーに投入

三井化学が2021年に大阪工場でナフサクラッカーにフィンランドのNeste社のバイオナフサを投入し、化学品の生産を開始したと発表した。

(3) 水島：ENEOSがバイオパラキシレン製造を開始

2023年にENEOSがバイオナフサを使用して、サントリーのペットボトル向けにバイオパラキシレンの製造を開始したと発表している。

(4) 大分：レゾナックがバイオナフサ使用製品製造

2024年5月に、レゾナックは、丸紅、Neste社と協業して、バイオナフサを使ったエチレンやプロピレンなどの製品製造事業を開始すると発表している。

3.2.2 バイオエタノール由来化学品開発事例

京葉コンビナートで住友化学が、バイオエタノールから化学品を製造する技術開発について2つの取り組みを行っている。1つは、バイオエタノールまたは積水化学工業が生産する廃棄物由来のエタノールを原料としたエチレンの製造技術開発で、2022年4

月に試験プラントを千葉工場に設置し、2025 年事業化に向けて技術確立に取り組んでいる。2022 年 7 月に、住友化学は、積水化学工業、資生堂と 3 社で、この技術を活用して、資生堂の店頭で回収したプラスチック製化粧品容器を、再生ポリオレフィン化して容器に再利用する循環モデル構築に向けた取り組みを開始したと発表している。

もう 1 つは、NEDO のグリーンイノベーション基金事業として、バイオエタノールから直接プロピレンを製造するコンパクトで低コストの新プロセスの開発を行っている。2023 年 10 月に千葉工場内に実証設備建設を開始しており、2025 年前半完成を目指す。

上記以外にも、商用化時期、場所は発表されていないが、旭化成がバイオエタノールから、単一のプラントでエチレンのほか、プロピレン、ベンゼン、トルエン、キシレンなど複数の基礎化学品を直接生産できる技術の開発に取り組んでいる。また、三菱ケミカルが、2022 年 3 月に、豊田通商と 2025 年事業化を目標にバイオエタノールを原料とするエチレン、プロピレンおよびその誘導品の製造・販売の検討を開始したと発表している。このほか、出光興産が、主に SAF の原料として調達するバイオエタノールの一部を利用してバイオエチレンの生産を行うとしている。

表 3 「脱炭素マテリアル」ケミカルリサイクルとバイオマス原料の事例

	鹿島	京葉	川崎	中京	堺・泉北	水島	大分
ケミカルリサイクル	【三菱ケミカル、ENEOS】 廃プラ油化ケミカルリサイクル設備、2024年夏稼働目標	【出光興産など】 廃プラ油化ケミカルリサイクル設備、2025年稼働目標 【住友化学、丸善石油化学】 ★廃プラの直接分解によるオレフィン製造技術開発、2030年までに確立目標 【デンカ】 ポリスチレンの解重合ケミカルリサイクル設備竣工。年間処理能力3千トン（2024年3月） 市原市と7月から拠点回収開始で合意（2024年5月）	【レゾナック】 2003年から廃プラのガス化ケミカルリサイクル開始	【岩谷産業、豊田通商、日揮ホールディングス】 廃プラのガス化ケミカルリサイクルによる低炭素水素製造の協業検討に合意、水素製造能力 約1万トン/年、2020年代中頃開始目標（2023年5月）	【三井化学】 廃プラ由来熱分解油クラッカー投入（2023年3月）	【PSジャパン】 ポリスチレンの解重合ケミカルリサイクル実証設備新設（2023年9月）	
再生可能な化学原料	バイオナフサ バイオエタノール	【出光興産】 バイオマスSM生産 ・東レ：バイオSMを使用したABS樹脂製造合意（2023年2月） ・PSジャパン：バイオSMを使用したポリスチレン製造（2023年11月） 【住友化学】 エタノールからエチレンを製造する試験プラント設置（2022年4月） 【住友化学】 ★バイオエタノールからPP直接製造実証設備建設、2025年完成目標	【ENEOS、日本触媒、三菱商事】 バイオマス由来のエチレン・エチレン誘導品製造販売検討（2021年8月）	【出光興産、DIC】 バイオマスSMを利用したポリスチレン製造検討合意（2023年3月）	【三井化学】 バイオナフサクラッカー投入（2021年）	【ENEOS】 バイオバラキシレン製造（2023年）	【レゾナック】 バイオナフサを使用した製品製造事業開始発表（2024年5月）
						【旭化成】 バイオエタノールから、直接エチレン、プロピレン、ベンゼン、トルエン、キシレンなどの基礎化学品を製造する技術開発	

★グリーンイノベーション基金事業

() 内の年月は発表年月

(企業ニュースリリースなど各種資料より ARC 作成)

3.3 CO₂を資源化する炭素循環

3.3.1 コンビナート排出のCO₂回収・利活用の共同検討

コンビナートの排ガスからCO₂を分離・回収して活用するためには、産業間連携が必須で、京葉の五井・蘇我地区、堺・泉北、周南、大分の4地区で検討が開始されている。

(1) 京葉の五井・蘇我地区：産業間連携によるカーボンリサイクル事業化検討

京葉コンビナートの一部である五井・蘇我地区で、横河電機とコンビナート企業9社（岩谷産業、宇部マテリアルズ、KHネオケム、コスモ石油、JFEスチール、JNC、デンカ、丸善石油化学、UBEエラストマー）は、2021～22年度にNEDO事業「コンビナート等における産業間連携を活用したカーボンリサイクル事業の実現可能性調査／千葉県五井地区産業間連携調査」を実施した。その結果、個社よりも産業間連携で取り組む方が、CO₂の排出削減や排出したCO₂の回収や有効利用が促進できる可能性があるとわかり、2022年12月に10社は、同地区のカーボンニュートラル実現に向けた共同検討実施の覚書を締結した。2030年までに五井・蘇我地区のCO₂排出量削減に関する事業化および2050年の同地区のカーボンニュートラルに必要な施策を検討している。2023年8月にはAGCとエア・ウォーターも参画を発表した。

(2) 堺・泉北：三井化学と大阪ガスがコンビナート排出のCO₂回収・利活用検討

2023年5月に、三井化学と大阪ガスが、泉北コンビナートから排出されるCO₂の回収・利活用の共同検討を開始したと発表した。三井化学の大阪工場の製造プラント・用役設備や、大阪ガス泉北天然ガス発電所から排出されるCO₂を分離回収し、回収したCO₂を、メタンやメタノールなどの原料として資源化して利活用することや、地中貯留（CCS）することなどを想定している。

(3) 周南、大分：NEDO事業でカーボンリサイクル事業の実現可能性調査実施

周南と大分は、NEDOの「産業間連携によるカーボンリサイクル技術実装推進事業」にそれぞれ採択され、コンビナートにおけるカーボンリサイクル事業の実現可能性調査を2024～25年度に各コンビナートで実施する。コンビナート企業は、周南では、トクヤマ、日本ゼオン、出光興産、東ソー、日本ステンレスが参加、大分ではレゾナックが参加している。

3.3.2 個社のCO₂分離・回収、利活用技術導入

先行的に、個社で自社工場排出のCO₂を回収し再資源化に取り組む事例も、鹿島、周南でみられた。

(1) 鹿島：AGCがガラス製造時排出のCO₂を原料とするメタノール製造販売事業検討

鹿島では、2023年8月にAGCが、三菱ガス化学のメタノール製造技術によって、建築用ガラス製造時に発生するCO₂を原料として、メタノールを製造し販売する検討を開始したと発表している。AGC鹿島工場にて2030年頃までに事業化を目指す。

(2) 周南：トクヤマがメタノール製造検討、東ソーがCO₂回収・原料化設備を新設

周南でも、2022年6月に三菱ガス化学とトクヤマが、トクヤマの徳山製造所内で生じる排ガス由来のCO₂と苛性ソーダ製造から生じる副生水素を原料としたメタノールの製造販売の事業化検討を開始したと発表している。メタノールはトクヤマの化学品原料として使用するほか、三菱ガス化学のメタノール販路で、環境循環型の化学品を要望する顧客へ販売する。

2023年4月に、東ソーが自社開発したアミン系の回収剤を使用するCO₂回収・原料化設備を、南陽事業所に新設すると発表している。2024年秋に運転開始予定で、年間4万トンのCO₂を燃焼ガスから回収する。回収したCO₂はイソシアネート製品の原料に使用する。

3.3.3 コスト低減を目指した革新的CO₂分離回収技術開発への取り組み

現状のCO₂分離回収技術は主にアミン水溶液などのCO₂吸収液を用いた化学吸収法で、多くはEOR（原油増進回収）などCCU目的で利用されてきた。比較的回収効率の良い高圧・CO₂高濃度のガスが対象であったため、発電所や工場の低圧・CO₂低濃度排ガスからのCO₂を低コストで効率的に分離回収できる技術はまだ確立されていない。アミン水溶液を用いた技術も改良が進んでいるが、コストは現状のCO₂1トンあたり4,000円程度から半分の2,000円台に下げるのが限界とみられている。

グリーンイノベーション基金事業として、さらなるコスト低減を目指し、固体吸収法や膜分離法など、CO₂着脱や吸収材再生のエネルギー消費がより低い新手法の開発が進められている。コンビナート主要企業の動きとしては、レゾナックと日本製鉄が6大

学（大分、大阪、京都、千葉、名古屋、北海道）と共同で、材料の構造が柔軟に変化して CO₂ 分子のみを安定的に取り込める新規固体吸着材の開発を行っているほか、住友化学が京都大学内のガス分離・精製技術会社 00Y00（ウーユー）と共同で、分離膜を用いた工場排ガス等からの CO₂ 分離回収システムの開発に取り組んでいる。ともに 2028 年度以降に実ガス実証を予定している。

表 4 主要コンビナート企業の「炭素循環」への取り組み

	鹿島	京葉	堺・泉北	水島	周南	大分
コンビナート排出のCO ₂ 回収・利活用検討		【千葉県五井・蘇我地区（横河電機、コンビナート企業）】 2021～22年実施のNEDO産業間連携調査結果を受け、CO ₂ マネジメントシステムの導入やCO ₂ 回収と有効活用について事業化検討	【三井化学、大阪ガス】 泉北コンビナート排出のCO ₂ の回収・利活用の共同検討（2023年5月）		【出光興産、東ソー、トクヤマ、日本ゼオン、日本ステンレス参加】 ★周南コンビナートにおける産業間連携カーボンリサイクル事業の実装に向けた調査（実施期間2024～25年度）	【レゾナック参加】 ★大分コンビナートにおける産業間連携によるカーボンリサイクル事業の実現可能性調査（実施期間2024～25年度）
CO ₂ 分離回収技術					【東ソー】 南陽事業所に自社開発のアミン系の回収剤を使用するCO ₂ 回収・原料化設備を新設し、年間4万トンのCO ₂ を燃焼ガスから回収する。24年秋運転開始で回収したCO ₂ はイソシアネート製品原料に使用（2023年4月）	【レゾナック、日本製鉄】 ★コンビナート排出CO ₂ の分離回収技術開発（実施期間2022～30年度）
CO ₂ 利活用技術	【AGC、三菱ガス化学】 2030年頃までにガラス製造時排出のCO ₂ を原料としたメタノールの生産・販売を開始（2023年8月）			【三菱ガス化学】 コンビナート排出のCO ₂ からメタノールを生成する大型実証プラント設置を検討中（2024年2月報道）	【トクヤマ、三菱ガス化学】 トクヤマの工場内発生CO ₂ と水素を活用したメタノールの製造販売事業化検討に合意（2022年6月）	

★グリーンイノベーション基金事業 ☆その他の政府補助金事業 ()内の年月は発表年月

(企業ニュースリリースなど各種資料より ARC 作成)

3.4 大手化学企業がカーボンニュートラルに向けて共同検討する動き

多様な脱炭素マテリアルへの転換に対応するために、エチレン設備を保有する大手化学企業同士で連携する動きがある。

京葉コンビナートにおいて、それぞれエチレン生産設備を所有する三井化学、丸善石油化学、住友化学（京葉エチレンに丸善石油化学と出資）の3社は、2023年2月に、カーボンニュートラル化に向けた検討を共同で進めるための覚書を締結したと発表した。原料の脱石油資源化に向けて、バイオマスの活用やケミカルリサイクル、マテリアルリサイクルのプロセス開発・実装を目指すとともに、バイオマス原料の確保や廃プラスチックの回収に関する検討を進める。また、ナフサ分解炉などの製造設備の燃料転換とそれに付随するインフラの整備についての検討も行う。

2024年3月には出光興産と三井化学の2社が2027年度をめどに千葉地区の出光興産エチレン生産設備を停止し、三井化学に集約すると発表しており、低炭素化・資源循環に対応した事業転換に備えて設備合理化に動いている。

さらに、コンビナートを超える動きもあり、2024年5月に三井化学、旭化成、三菱ケミカルの3社は、西日本に各社が保有するエチレン生産設備について、脱炭素化のための原燃料転換などの検討を連携して進めると発表した。西日本では、三井化学は堺・泉北に、旭化成と三菱ケミカルは水島に合弁でエチレン生産設備を持っており、地区を超えた今後の動きが注目される。

おわりに

コンビナート主力産業である石油化学、石油製品、鉄鋼は、ともに内需縮小傾向で、生産設備能力過剰という問題を抱えている。エチレン生産については、石油化学工業会によると、2022年以降の設備稼働率は8割程度で、今後も国内需要の頭打ちと、中国のエチレン生産能力拡大などによる輸出減少が続くと予測されている。石油製品は、石油連盟によると、2022年の石油精製設備の稼働率は約8割で、近年では2023年10月にENEOS和歌山製油所、2024年3月に西部石油（出光興産子会社）山口製油所が停止された。鉄鋼についても、JFEスチールが2023年9月に東日本製鉄所京浜地区（川崎）の高炉を休止したほか、日本製鉄が2025年3月末に鹿島の高炉1基の停止を発表している。コンビナート企業の脱炭素化は、生産設備再編や構造改善との両立も課題である。

一方で、コンビナート産業の成長とカーボンニュートラル実現の両立を期待させる動きもあり、今後の注目点として以下に3つ挙げたい。

（1）新産業拠点への転換

水島や周南の事例のように製油所を水素／アンモニアの受入・供給拠点化する検討や、川崎のJFEスチールの高炉跡地を液化水素受入地に活用する動きなど、脱炭素化をコンビナートの新産業創出の機会とする動きがみられた。

（2）政府支援による先行した水素利用社会実現

2024年5月に成立した「水素社会推進法」にて、低炭素水素（アンモニア、合成メタンなども含む）供給事業に、既存の石油資源由来の原燃料との価格差支援や水素の輸送・貯蔵に関わるインフラ整備支援を実施する制度の導入が決定された。制度活用により、大規模水素供給事業を開始するコンビナートが現れることが期待される。

（3）日用品ブランドオーナーが脱炭素マテリアルの需要創出

再生材やバイオマスを利用した化学品は石油資源由来の製品より高コストで、その価値が認められづらい。一方で、花王や資生堂のように、ブランドオーナーが自社の廃プラスチックの循環スキームを構築する動きもみられる。このような需要サイドの脱炭素マテリアル採用の方針拡大によって、需要が創出されることを期待したい。

<本レポートのキーワード>

コンビナート、カーボンニュートラルコンビナート、脱炭素エネルギー、水素、アンモニア、脱炭素マテリアル、ケミカルリサイクル、炭素循環、新産業創出

(注) 本レポートは、ARC のWEB サイト (<https://arc.asahi-kasei.co.jp/>) から検索できます。

このレポートの担当

主幹研究員 石井 由紀

E-mail ishii.ys@om.asahi-kasei.co.jp

<https://arc.asahi-kasei.co.jp/contact/>