

JACI NEWS LETTER

Japan Association for Chemical Innovation
公益社団法人 新化学技術推進協会

No.90 2025.1

HEADLINE

- 01 多様な方向から化学を
- 02 GSC話題
自然界の窒素循環と微生物によるN₂O排出抑制
- 04 研究最前線
窒素酸化物を資源化する触媒材料の開発とプロセスの設計
- 06 JACIピックス
化学の革新力が切り拓く2050年の社会
- 08 第14回JACI/GSCシンポジウム開催のお知らせ

多様な方向から化学を



一般社団法人
日本化学連合
会長 関 隆広

インターネットや AI 技術が不可欠となった今日、絶え間なく寄せられる情報に意識が奪われ、私たちの価値観が揃いがちになることを少し心配している。時には外からの情報を脇におき、ゆっくり身の回りを眺めてみてはどうだろうか。フェライトの父と呼ばれ、アルミナ製造技術の特許収入に基づいて東京工業大学に資源化学研究所を設立し、初代所長を務められた加藤与五郎先生が、戦中 1942 年に「創造の原点」という著作を発表されている（すでに絶版だが加藤科学振興会の HP にて公開）。出版後 80 年以上を経ているが、欧米への追従を強く嫌った先生の深く柔軟な思想は今も全く色あせない。その中で大発明・大発見についての考察があって、そこには「ささいなことに目をつけ」「将来へのビジョンをもち」「たゆまず努力をする」とある。ここでハッとさせられるのは、「ささいなことに」ということで、決してその時代で広く価値が認められているものではなさそうだ。結果的に大きな影響を及ぼしうる新たな発明や価値観は、案外身の回りの足元に転がっているかもしれない。

さて、13 の主要な化学系学協会を会員として構成される日本化学連合では、2011 年の世界化学年から化学コミュニケーション賞を設け、化学の教育や社会的に功績のあった個人および団体を顕彰している。これまでこの賞は、本務とは関わらない活動を対象としてきた。しかし、最近は学術側の個人受賞に偏る傾向にあるので、2 年前から企業等の団体の活動については、本務と重なっても化学の重要性や社会的な意義と教育的効果のわかりやすいものであれば対象とするように改めた。学術と産業は化学の発展にどちらも欠かせない車の両輪だからである。ぜひ貴協会の会員の方々も、社会へ開いた活動をされている方や部署があれば、積極的な応募を考えていただけると幸いである（詳しくは日本化学連合の HP を参照してください）。当連合では、日本の化学がより元気になるように、多様な方向から化学の活動に係る支援を行っていきたくと考えている。

HPニュースレター
バックナンバー



自然界の窒素循環と微生物によるN₂O排出抑制

東北大学大学院生命科学研究所 特任教授 南澤 究

1. はじめに

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 報告書は、人為的な温室効果ガスの排出が地球温暖化の原因であると断定した。二酸化炭素 (CO₂) 以外に、メタン (CH₄) と一酸化二窒素 (N₂O) も地球温暖化を起こしている人為的な温室効果ガスである。N₂OはCO₂の約300倍の温暖化係数を持ち、大気中の半減期121年の長寿命温室効果ガスである。産業革命以降現在までのN₂Oの地球温暖化への寄与度は6%であるが、大気N₂O濃度の急激な増加 (年4%) から、パリ協定の目標達成のために排出削減が求められている^{1, 2)}。

N₂Oは成層圏オゾン層の最大の破壊ガスでもあり、今世紀後半に紫外線の増加による皮膚がんや白内障の増加が想定されている。人為的なN₂O排出の約6割は農業由来で、化学肥料・堆肥の施用やマメ科作物の栽培によって発生しており、微生物を介した自然界の窒素循環と深く関わっている^{1, 2)}。

2. 自然界の窒素循環

カナダのスミルは、「20世紀最大の発明はHarber-Bosch 法によるアンモニア合成の工業化である」と述べている。もし工業的なアンモニア合成法が利用されていなければ、世界人口は現在の半分以下の30億人であると推定されている。化学窒素肥料の生産と利用は人類の食糧生産を大幅に増加させたが、環境問題を引き起こしてきた²⁾。例えば、人為起源の窒素の大部分は、土

壤を経由してN₂Oの大気放出と地下水への窒素溶脱により環境中へ拡散し、人間の健康、生態系、気候変動に深刻な影響を及ぼしている (図1)。

3. 微生物によるN₂O発生削減

COP29の開催時に国連・FAO・INMSから出た報告書²⁾では、人為的なN₂O発生を2050年までに40%削減し、2020年のレベル以下にすることが提案されている¹⁾。ここでのN₂O削減策は主に農地などの窒素管理が主な手段として提案されている。例えば、土壌や作物の診断やマメ科作物利用などに基づいた窒素肥料の削減や堆肥製造

法の改変である。N₂Oは微生物の窒素循環過程で生成・消去されるので、やはり微生物によるN₂O発生削減技術が重要と考えられる。

4. 根粒菌によるN₂O発生削減

根粒菌はマメ科植物の根に根粒という組織を形成し、植物の光合成産物を使って大気中のN₂ガスを一気に還元してアンモニア (NH₃) を生成する。したがって、根粒は植物の窒素肥料工場となるが、寿命がくると根粒が崩壊しアンモニアを生成し、やはりN₂Oを生成する (図1)。しかし、一部のダイズ根粒菌はN₂O還元活性を保有して

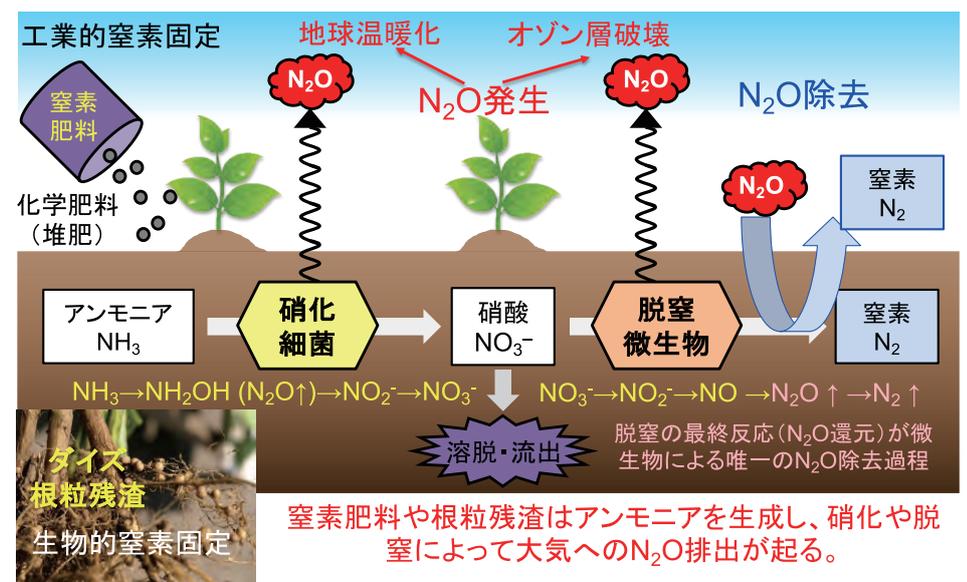


図1 微生物による窒素形態変化
窒素肥料やマメ科作物残渣はアンモニアを生成し、(i)硝化過程、(ii)脱窒過程で、温室効果ガスN₂Oを生成する。一方、N₂O削減は脱窒過程の最後でN₂OからN₂への還元反応で起る。

一酸化二窒素 (N_2O) は CO_2 の約300倍の温暖化係数を持ち、大気中の半減期121年の長寿命温室効果ガスである。今までの人為的 N_2O 排出の地球温暖化への寄与度は6%であるが、成層圏オゾン層破壊ガスとしての負の側面もある。 N_2O 排出の約6割は農業由来で、化学肥料・堆肥の施用やマメ科作物の栽培などによって発生しており、微生物を介した自然界の窒素循環と深く関わっている。本稿では、(i)自然界の微生物による窒素循環と(ii)根粒菌などの微生物による N_2O 発生削減の研究について紹介する。

おり、 N_2O を N_2 に無害化できる。実際、 N_2O 還元活性の高い根粒菌を接種し N_2O 発生を減らすことに圃場レベルで成功し (図2)³⁾、 N_2O 還元活性の極めて高い根粒菌の分離とそのメカニズムについて明らかにした^{4, 5)}。微生物接種により温室効果ガス N_2O 発生を減らせた初めての事例である。

5. 一般微生物による N_2O 発生削減

微生物による N_2O 発生削減策は根粒菌だけではない。近年、メタン発酵消化液と N_2O 削減微生物を活用する事例が報告された⁶⁾。一般に、メタンガスは発電に使い、発酵後の消化液を肥料として利用する際に N_2O が発生する。メタン発酵消化液でも土壌でも活躍する N_2O 削減微生物を利用することにより、メタン発酵消化液を肥料として農

地に散布した際の N_2O 排出を削減できた⁶⁾。

6. おわりに

本稿では自然界の窒素循環と微生物による N_2O 排出抑制の近年の動向について概説した。1年前に本内容を JACI 東京で講演したところ、会員企業様の Harber-Bosch 法によるアンモニア合成プラントを見学する機会を得た。世界の食糧生産を支えてきた工業的窒素固定の歴史的役割を感じつつ、微生物による窒素固定や N_2O 削減のイノベーションを進める必要性も感じたところである。

参考文献

1. UNEP・FAO・INMS: Global Nitrous Oxide Assessment (2024): <https://www.unep.org/resources/report/global-nitrous-oxide-assessment>
2. 南澤究、妹尾啓史 (編) エッセンシャル土壌微生物学、講談社 (2021).
3. Itakura M. *et al.* Nature Climate Change 3: 208-212 (2013).
4. Sánchez C and Minamisawa K. Front Microbiol. 10: 1943 (2019).
5. Wasai-Hara, S. *et al.* Sci. Rep. 13, 18862 (2023).
6. Hiis *et al.* Nature 630: 421-428 (2024).

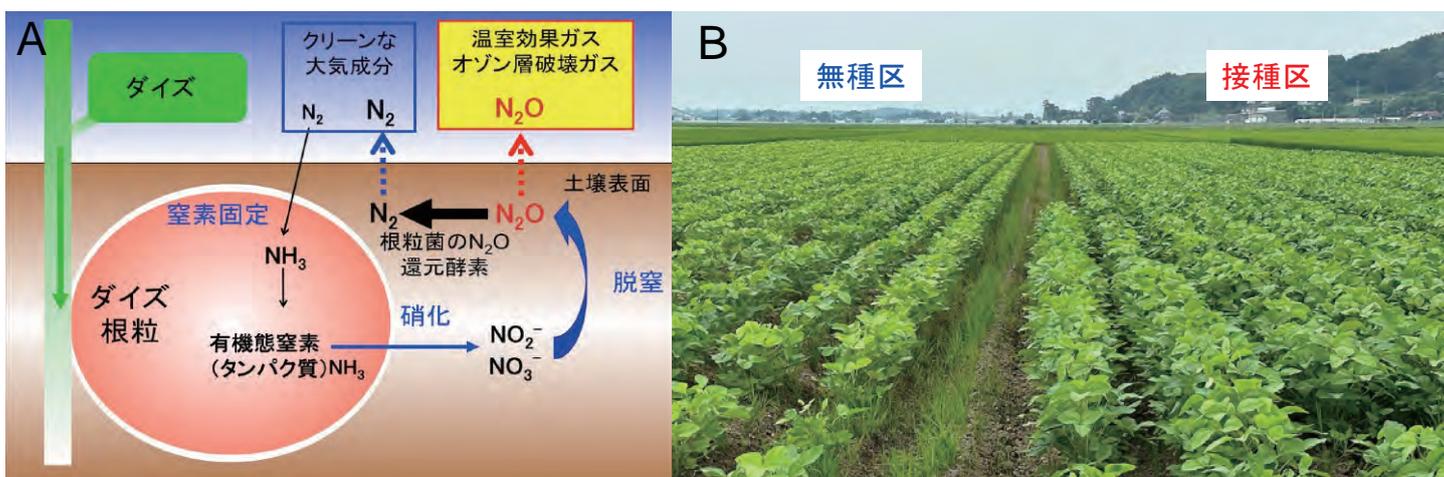


図2 N_2O 削減根粒菌の接種
(A) 基本原理、(B) 生産現場圃場での接種試験風景

窒素酸化物を資源化する触媒材料の開発とプロセスの設計

産業技術総合研究所 極限機能材料研究部門 ナノポーラス材料グループ 研究グループ長 木村 辰雄

窒素酸化物 (NO_x) は大気汚染物質であり、年々、排出量が制限される中、燃焼技術や浄化技術により経済成長と環境問題／健康問題の解決を両立してきた。ばい煙発生施設及び鉍煙発生施設のような固定発生源から排出されるNO_xの推移は2005年頃から減少に転じ、2020年度 (国内) は41.7万トンになる¹⁾。持続可能な窒素管理に関する行動計画では燃料アンモニア (NH₃) の普及拡大にはNO_xの排出抑制技術が欠かせないことが謳われている反面²⁾、燃焼時に発生するNH₃由来の亜酸化窒素 (N₂O) が0.4%を超えて排出されると二酸化炭素 (CO₂) の排出削減効果が相殺されてしまうことが指摘されている³⁾。

環境浄化技術の高度化だけでは経済活動の維持と環境問題の解決が両立できなくなりつつあるとの懸念から、環

境問題の解決に必要なコストを有価資源の確保に振り替えることを着想し、2019年頃から我々の研究グループでは、有害でも反応性が高いNO_xを化学原料とするNH₃の選択合成に着手した。排煙脱硝装置で使用している程度のエネルギーしか利用しない前提条件の下、触媒材料の開発及びプロセスの設計を進めている。同時期に公開された窒素循環経済の勧めに係る国連環境計画のレポートに出会い⁴⁾、我々の取り組みが独りよがりになっていない気がして安堵した。

生態系の窒素循環に産業活動から排出される窒素化合物を加え、窒素原子を含む化合物が分子変換を伴いながらも循環利用される様子をイメージしている。社会実装されている無害化技術と我々が取り組む資源化技術に係る主要な反応式を図1にまとめた。従来の

NH₃合成法 (ハーバー・ボッシュ法、HB法) では化学的に極めて安定な窒素 (N₂) を高温高压下で水素化する。ほとんどは肥料として消費されるが、脱硝還元剤として利用する安水や尿素はNO_xを無害化する際にN₂に戻る。我々の着想は高温燃焼により発生するNO_xを窒素源として利用することから始まる。反応性の高いNO_xは、常圧、温和な温度で反応する。メタン (CH₄) の水蒸気改質で製造した水素 (H₂) をNO_xからNH₃を合成する反応 (NO_x to NH₃、NTA反応) に利用する。再生可能エネルギー由来のグリーンH₂を利用したいが、現時点ではHB法に利用するH₂を転用するイメージで問題ない。

資源化技術に必要な触媒材料の開発、並びに反応過程の理解に係る詳細は研究論文、及び解説記事を参照して欲しい^{5) - 8)}。反応過程の可視化

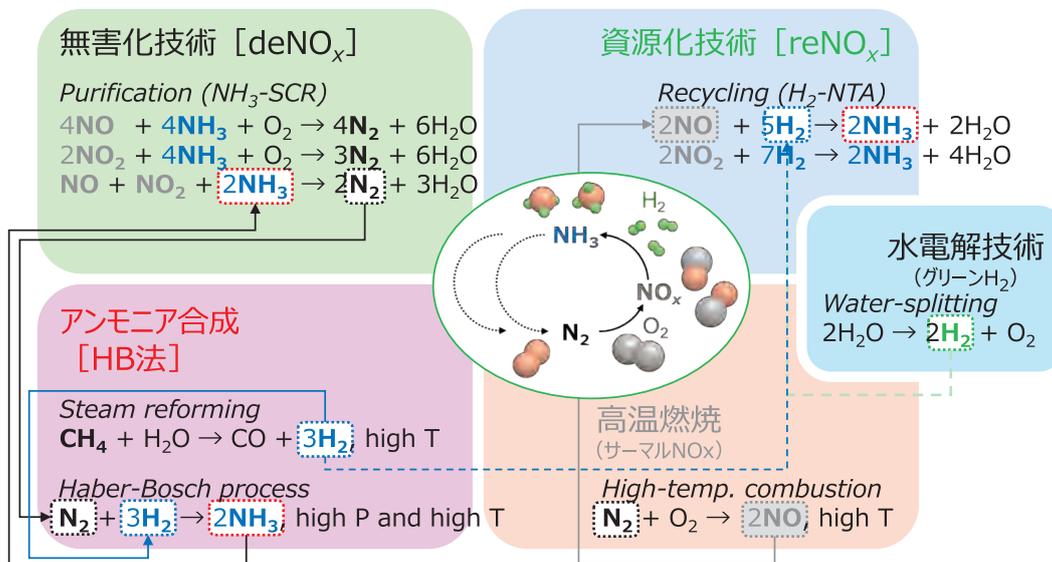


図1 NO_xの無害化技術と資源化技術の比較：HB法で合成したNH₃をNO_xの無害化で消費する反応経路と高温燃焼で発生するNO_xを化学原料とする反応経路

環境浄化と資源確保を両立する方法論として、分子状の化学物質を対象とする資源化反応が提案されており、世界各国が進める二酸化炭素 (CO₂) の化学原料化が代表的である。地球環境の浄化能力を超えた窒素化合物が環境中に蓄積、或いは排出され続けている現状を鑑み、本稿では、窒素資源の循環利用に向けた議論を喚起するため、有害な窒素酸化物 (NO_x) を選択的に有価資源であるアンモニア (NH₃) に資源化するための我々の取り組みを紹介する。

を目的として反応場の模型や反応過程の動画を制作している。素反応毎のスナップショットを図2に示しておく。我々の資源化技術の特徴は、自動車用希薄燃焼ガソリンエンジンの排ガス浄化技術として有名なNO_x吸蔵還元 (NO_x Storage Reduction, NSR) 反応に学び、水素還元を阻害する酸素 (O₂) や生成したNH₃を消費する可能性がある一酸化窒素 (NO) を取り除くため、導入ガスを切り替えて吸蔵と還元を交互に繰り返すプロセスを採用したことにある。独自合成した酸化物系メソポーラス材料を触媒担体として、金属触媒と吸蔵成分を複合化したナノ複合触媒材料を中心に性能評価を進めている^{5), 6)}。例えば、白金 (Pt) 触媒と酸化バリウム (BaO) を複合化した場合、250℃付近で吸蔵NO_xのNH₃化率が高くなる。Pt触媒の粒子サイズや材料組成の組み合わせでNH₃化に適した反応温度は変化する。吸蔵量が少ない場合にNH₃化率は高くなり、NO_xの全量

回収と全量NH₃化が可能なプロセス条件も確認している。

固定発生源から排出されるNO_x (濃度数十ppm程度) から供給可能なNH₃は単純計算で23.6万トン/年になる。点源の総量になるが、NH₃を脱硝用還元剤としてその場で消費する等、施設規模に応じて利用技術を適切に選択する必要はある。排煙脱硝装置の通過前 (濃度数百ppm程度) に適用すれば窒素源として有効利用する可能性が見えてこないだろうか。対象物は希薄であり、NO_xの濃縮が必要になるとともに、利用技術によってはNH₃を液化するコストも生じるため、投入エネルギーの全体最適化や経済合理性もよく考えなければならない。将来社会を描きながら、環境問題と資源問題の同時解決を目指し、NO_x以外の窒素酸化物を対象とする資源化技術の開発にも着手していきたいと考えている。

- 1) 大気汚染物質排出量総合調査 (環境省、令和2年度実績) 2023年2月28日公開
- 2) 持続可能な窒素管理に関する行動計画 (環境省) 2024年9月27日公開
- 3) P. Wolfram, P. Kyle, X. Zhang, S. Gkantonas, S. Smith, *Nature Energy*, **2022**, *7*, 1112.
- 4) UNEP (2019) . *Frontiers 2018/2019: Emerging Issues of Environmental Concerns*, UN Environment Programme, Nairobi.
- 5) A. Tomita, R. Wakabayashi, T. Kimura, *Catal. Sci. Technol.*, **2023**, *13*, 2927.
- 6) Y. Zhang, A. Tomita, R. Wakabayashi, T. Kimura, *J. Mater. Chem. A*, **2024**, *12*, 8262.
- 7) T. Kimura, *Chem. Rec.*, **2024**, *24*, e202400094.
- 8) T. Kimura, *J. Jpn. Petrol. Inst.*, **2024**, *67*, 209.

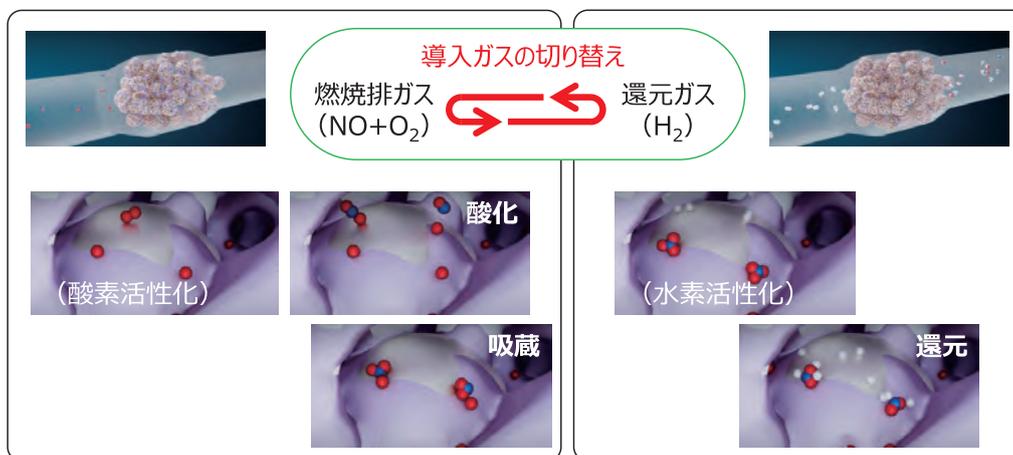


図2 導入ガス切替式のNSR反応のスナップショット：NOをNO₂に酸化した後にNO₃⁻として吸蔵する様子と吸蔵NO_xを水素還元してNH₃が生成する様子

化学の革新力が切り拓く2050年の社会 ～サステイナブル社会実現に向けた戦略～ 「基本戦略編2.0」を発行

JACI戦略提言部会では、我が国の化学産業の国際競争力強化とプレゼンスの向上を図り、社会の持続的発展と経済の健全な成長に寄与することを目指し、化学産業の取るべき戦略を戦略提言書として纏めています。

これまで発行された戦略提言書は、基本戦略編、分野別戦略編および個別戦略編の3つの階層から構成されており、2018年6月には以降のグランドデザインとなる基本戦略編1.0を発行致しました。

基本戦略編1.0では、シナリオプランニングの手法を用い、30年後の顕在化した未来を示す標準シナリオを作成し、GSCの「東京宣言2015」*に謳われた、①地球環境との共生、②社会的要請の充足、③経済合理性の3つの軸（以下、「GSC3軸」と記載）を基準に評価を行いました（図1）。

そして、(1) 資源・環境・エネル

ギー、(2) 水・食糧・農業、(3) 移動体、(4) ヘルスケア、(5) 電子・情報の5分野を重要分野と設定し、化学産業がとるべき戦略を提言してきました。

2018年度以降は、基本戦略編1.0における提言を具体化すべく、重要5分野の中から、移動体以外について順次分野毎に深掘りした分野別戦略編や、特定分野に特化した個別戦略編を纏めてきました（図2）。

その後、新型コロナ（COVID-19）パンデミック、カーボンニュートラル達成を目指すサステイナブル社会、米中対立、ウクライナ・ロシア戦争を起因とする資源確保問題、半導体の需給バランスの崩壊等、昨今の著しい外部環境変化を鑑み、特にカーボンニュートラルに密接に関係する資源・環境・エネルギー分野、移動体分野を中心に基本戦略編1.0を改訂することとしまし

た。今回は、現在社会からのフォアキャストと2050年の未来社会からのバックキャストのギャップを議論し、「化学の革新力が切り拓く2050年の社会～サステイナブル社会実現に向けた戦略～（基本戦略編2.0）」として取り纏め、2024年6月に発行致しました（図3）。



図3 戦略提言書 「基本戦略編2.0」

* https://www.jaci.or.jp/about/page_11.html



図1 化学産業の目指す方向性



図2 戦略提言書の展開

【化学産業の目指す方向性】

基本戦略編2.0においても基本戦略編1.0との方向性に違いはなく、GSC 3軸毎に標準シナリオを作成し、複数の分野への貢献を結集する事で、GSC 3軸の同時達成を目指しました。

【対象とした重点6分野】

化学産業の貢献が期待できる分野として、重要5分野に住宅・建築・インフラ・防災分野を加えた以下6分野に絞り込み、分野毎の望ましい姿と化学産業の貢献ととるべき戦略について議論しました。(⑥は概論のみで、次回の分野別戦略編で詳述予定)

- ① 資源・環境・エネルギー
- ② 移動体
- ③ 水・食糧・農業
- ④ 電子・情報

- ⑤ ヘルスケア
- ⑥ 住宅・建築・インフラ・防災

【化学産業がとるべき重点戦略】

日本の化学産業は「化学産業の革新力で、地球環境との共存を目的としたサステイナブル社会実現に向けて、安心・安全の社会的要請に応えつつ、経済合理的ビジネスを具現化する」存在となっているべきと結論付けました。そして、各重要分野における望ましい姿、化学産業の貢献と戦略を踏まえ、その総括的な重点戦略として、以下の3つを取り纏めました(図4)。

1. カーボンニュートラル社会の実現
2. 外部環境を極小化できるレジリエント社会の構築
3. 新社会システム構築のための経済合理的ビジネスへの貢献

本提言がJACI会員企業・団体をはじめとする日本の化学産業に関わる企業・団体にとって、戦略策定の参考になれば幸いです。

戦略提言書「基本戦略2.0」は、以下の頁からダウンロードできます。

https://www.jaci.or.jp/public/page_03.html



戦略提言書ダウンロードリンク先

「化学産業のあるべき姿」：化学産業の革新力で、地球環境との共生を目的としたサステイナブル社会実現に向けて、安心・安全の社会的要請に応えつつ、経済合理的ビジネスを具現化する		
<p>重点戦略1： カーボンニュートラル社会の実現</p>	<p>重点戦略2： 外部環境影響を極小化できるレジリエント社会の構築</p>	<p>重点戦略3： 新社会システム構築のための経済合理的ビジネスへの貢献</p>
<p>1. 化石資源に依存しないエネルギー・化学原料調達構築</p> <ul style="list-style-type: none"> ・バイオマス、CO₂活用によるプラスチック等化学品製造 ・グリーン水素、アンモニア活用 ・洋上風力等、次世代再生可能エネルギー発電への貢献 ・次世代原子力、核融合発電、宇宙太陽光発電システム開発への貢献 <p>2. 化学製品の高度循環システムの構築</p> <ul style="list-style-type: none"> ・マテリアル、ケミカルリサイクル技術によるプラスチック廃棄量の極小化 ・CNコンビナート構築 ・モノマテリアル化関連技術開発 ・素材への生分解性付与 	<p>1. 誰もが健康に暮らせる安全・安心社会構築</p> <ul style="list-style-type: none"> ・医療・ヘルスケアサポート技術による社会恒常性維持 ・感染症対策のキー素材開発と普及 ・先進医療（再生医療・遺伝治療）の低コスト社会実装 <p>2. 水・食糧の安定供給とシステム化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・低コスト淡水化技術、水循環システム（飲用、工業用）の構築 ・革新的食糧生産、加工技術の開発 	<p>1. デジタル、半導体技術の深化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・パワー半導体技術の推進 ・SiC、GaN半導体の普及 ・ダイヤモンド半導体の開発 ・生成AIの産業活用促進 <p>2. 移動手段の高度化・多様化・快適化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・空飛ぶクルマを始めとする新移動体の開発 ・革新蓄電池技術開発による長時間駆動電源の確保 ・低コスト軽量化素材の開発と供給 ・快適・省エネ空間の創出

図4 化学産業がとるべき重点戦略



第14回JACI/GSCシンポジウム 開催予定

日程：2025年7月15日（火）～16日（水）

場所：一橋大学一橋講堂

第14回JACI/GSCシンポジウムでは、多岐にわたる領域における将来課題を解決するため従来の化学の枠を超えた新たなアプローチ“Beyond Chemistry”について議論します。皆様の参加をお待ちしております。

問合せ先：公益社団法人 新化学技術推進協会(JACI)
TEL：03-6272-6880 E-Mail：jacigsc14@jaci-gsc.com

参加申込2月中旬より



第14回新化学技術研究奨励賞 募集中

募集期間：2024年12月6日(金)～2025年2月6日(木)

募集課題：全13課題 助成金：1件につき100万円

応募方法、募集内容詳細は下記HPを参照ください。
https://www.jaci.or.jp/recruit/page_02_14_2025.html

問合せ先：公益社団法人 新化学技術推進協会(JACI)
TEL：03-6272-6880 E-Mail：jaciaward14@jaci.or.jp

募集中、締切2月6日

編集後記

謹んで新年のご挨拶を申し上げます。今号では、JACI事業の一つとして推進している国や産業界への提言「化学の革新力が切り拓く2050年の社会－サステナブル社会実現に向けた戦略－(基本戦略編2.0)」につ

いてご紹介しました。GSC普及活動以外にも、講演会、技術セミナー、技術調査、研究支援、人材育成などについて随時発信してまいります。皆様にご活用いただけるよう努めてまいりますので、今年もJACIへのご指導ご鞭撻を何卒よろしくお願い申し上げます。



JACIニュースレター

発行 公益社団法人新化学技術推進協会 (JACI)
〒102-0075 東京都千代田区三番町2
三番町KSビル2F

TEL: 03-6272-6880

<https://www.jaci.or.jp/>

<https://twitter.com/JACIGSCN2000/>

<https://www.youtube.com/@jaci1341>

編集 JACI 総務部

JACIのGSCネットワークは、次の団体で構成されています。

(国研) 科学技術振興機構、(一財) 化学研究評価機構、(公社) 化学工業会、(一社) 化学情報協会、関西化学工業協会、(一社) 近畿化学協会、合成樹脂工業協会、(公社) 高分子学会、(公社) 高分子学会高分子同友会、(公財) 相模中央化学研究所、(国研) 産業技術総合研究所、(一社) 触媒学会、(国研) 新エネルギー産業技術総合開発機構、(独行) 製品評価技術基盤機構、石油化学工業協会、(公社) 石油学会、(公財) 地球環境産業技術研究機構、(公社) 電気化学会、(地独) 大阪産業技術研究所、(公社) 日本化学会、(一社) 日本化学工業協会、日本吸着学会、(公社) 日本セラミックス協会、(一社) 日本顔料工業会、日本バイオマテリアル学会、(一社) 日本分析機器工業会、(一社) 日本膜学会、(一財) バイオインダストリー協会、(国研) 物質・材料研究機構、(一社) プラスチック循環利用協会、(公社) 有機合成化学協会、(国研) 理化学研究所

