

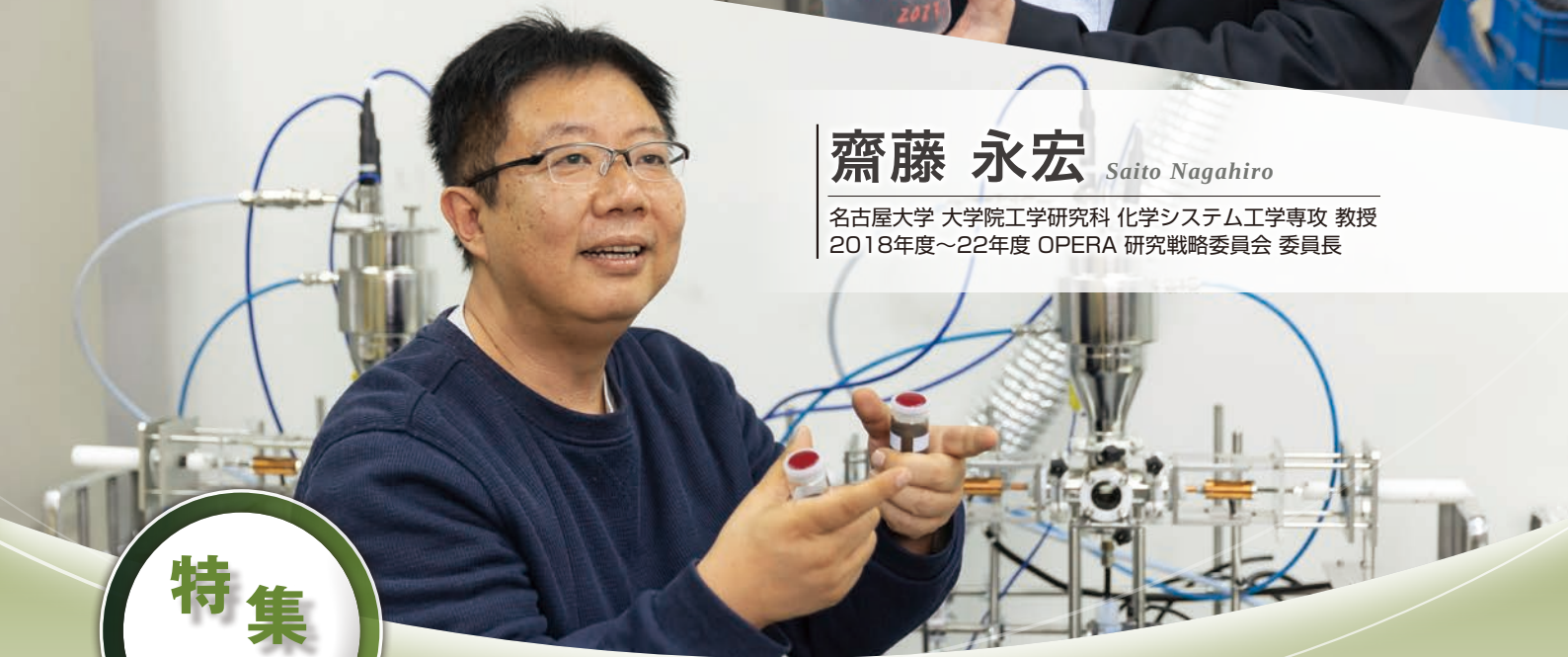
北 英紀 *Kita Hideki*

名古屋大学 大学院工学研究科 化学システム工学専攻 教授
2018年度～22年度 OPERA 領域統括



齋藤 永宏 *Saito Nagahiro*

名古屋大学 大学院工学研究科 化学システム工学専攻 教授
2018年度～22年度 OPERA 研究戦略委員会 委員長



特集

OVERVIEW

末永く暮らせる地域づくり目指し エネルギー・物質を効率的に循環

エネルギーや物質を効率よく循環させる技術は、豊かで安全・安心な地域社会を構築するためには不可欠なものとなりつつある。OPERA「物質・エネルギーリノベーション共創コンソーシアム」では、東海・北陸地域の物質とエネルギーの有効活用技術の開発や社会実装を通して、人々が住み慣れた地域で末永く暮らしていけることを目指している。プロジェクトを率いてきた名古屋大学大学院工学研究科の北英紀教授と齋藤永宏教授に、コンソーシアムの狙いや成果、今後の展望などについて聞いた。

高齢化社会における地域づくりを考える上で、キーワードの1つに「Aging in Place(AIP)」という言葉がある。年を重ねても住み慣れた地域で、自分らしく安全に生活していくという価値観を表したものだ。これまでと同じ場所で、ずっと安全・安心に暮らすことができ、その恵みを次世代に継承していけることは、高齢者に限らず、誰にとっても望ましい生活であり、1つの幸せの形と言え

このAIPをテーマに研究開発を進めるのは名古屋大学大学院工学研究科の北英紀教授だ。領域統括として、OPERA「物質・エネルギーリノベーション共創コンソーシアム」を率いている(図1)。コンソーシアムには名古屋大学、信州大学、大阪公立大学、芝浦工業大学、東京理科大学の5大学と会員企業16社が参画し、併設するアドバイザー委員会の助言も受けながら、エネルギーエコシステムにおける物質・エネルギーの高度な循環の確立を目指して研究開発を進め

一見すると、研究テーマがAIPとか
け離れているようにも思えるが、北
さんとともにコンソーシアムを牽引^{けんいん}
する同研究科の齋藤永宏教授はテ
ーマに込めた思いをこう語る。「昔から
自分の居場所はどこだろうという思
いがあり、AIPは私自身のテーマでも
ありました。OPERAでは大きな未来
を描く研究ができると知り、自分た
ちの研究を通じて、AIPに貢献でき
ることを突き詰めて考え、提案しまし
た」。

一口に安全・安心な暮らしと言っても、目指す像はさまざまだろう。そこで北さんたちは、始めにOPERAにおける「AIPを満たす社会」として、世界有数の工業地帯であると同時に農業や漁業、畜産も盛んという中部地域の特徴を基に、先端技術を生かして安定した雇用や高い教育レベルを担保し、充実した地域コミュニティの上に伝統、文化、スポーツなどが振興する豊かな社会を設定した。

次に、安全・安心で豊かな暮らしのベースには、産業や人々の生活基盤を支えるエネルギーが安定的に供給され、経済活動で排出された大量の廃棄物を適切に処理できる持続可能な地域であることも、重要な要素として含まれると考えた。ここなら、自分たちの研究が生かせると確信し、地域社会に活力と安心をもたらす「地域資源活用型エネルギーエコシステム」の構築を目標に掲げた。この構想の下で「高度循環システムの構築」と「エネルギーの地産地消と安定供給」という2つの資源サイクルを組み合わせ、大学のシーズを存分に活用した研究活動を進めている。

「工場の排熱や農業廃棄物、有害物などはそのままでは無価値です。しかし、排熱や廃棄物を資源として高い価値を持つ有価値物にリノベーションできる技術の開発がエコシステム構築のカギになります」と北さんは狙いを語る。地域に豊富にある物質やエネルギーを最小限のロスで変

地域社会に活力と安心をもちます「地域資源活用型エネルギーエコシステム」の構築
新たな価値“**Aging in Place**”の追求：住みなれた地域で元気に未永く生活し次世代に継承

● 新反応プロセス
● 触媒・人工光合成
● ソリューションプラズマ
● フラックスコーディング
● 水蒸気プロセス
● ナノ構造制御

● CH₃OH
● 水素

● 創出 有機物質

● 地域資源
● エネルギーサイクル

● 創出
● 次世代燃料電池
● 地域実装型電池

● エネルギー変換
● 科学的LCA
● 蓄熱システム

● 再生
● CO₂

● 物質変換
● 物質サイクル
● ヘテログラフェン

● 再生 固定化
● モミ殻
● 間伐材
● 廃材活用

● 地域資源
● 物質サイクル
● エネルギーサイクル

● 物づくり人場

1) 物質とエネルギー間の変換、蓄積、輸送を最小限のロスで実現する技術の開発
2) 地域社会への協同の実装

1) <物づくり> 高効率な物質・エネルギー利用・再利用技術の基盤研究
2) <人づくり> リハビリアーツの視点を併せ持つ次世代リーダーの育成
3) <場づくり> 産学官金連携オープンプラットフォームの構築

「Aging in Place」のコンセプトの下、物質とエネルギーの2つの資源サイクルを組み合わせた「地域資源活用型エネルギーエコシステム」の構築を目指している。

地域資源活用型エネルギーエコシステムを構築するための基盤技術の創出 物質・エネルギーリノベーション共創コンソーシアム

領域統括：北 英紀（名古屋大学）

アドバイザー委員会

【幹事機関】
名古屋大学：
領域統括：北 英紀

コンソーシアム運営委員会
(最有意志決定機関)
委員長：北 英紀

信州大学：
研究責任者：手嶋勝弥

大阪公立大学：
研究責任者：吉田 朋子

芝浦工業大学：
研究責任者：芹澤 聖

東京理科大学：
研究責任者：寺島千晶

コンソーシアム事務局
(名古屋大学
未来社会創造機構内)

研究開発課題1 運営委員会
研究開発課題責任者：吉田 朋子

研究開発課題2 運営委員会
研究開発課題責任者：齋藤 宏宏

研究開発課題3 運営委員会
研究開発課題責任者：北 英紀

幹事員企業

石橋金属興業(株) 実施責任者：榎本 裕司	いすゞ自動車(株) 実施責任者：茂原 健
エー・ウォーター(株) 実施責任者：西川 晃司	航オーク製作所 実施責任者：芹澤 和泉
㈱コベルココ研研 実施責任者：河合 孝哉	研化学工業(株) 実施責任者：寺部 敬樹
㈱デンソー 実施責任者：平松 秀彦	トヨタ自動車(株) 実施責任者：永井 隆之
東レエンジニアリング(株) 実施責任者：畠山 辰男	ナリアース 実施責任者：夫 恒範
日空工業(株) 実施責任者：石上 辰男	航放電精密加工 研究所 実施責任者：藤江 廣太郎
航北陸テクノ 実施責任者：木倉 崇	航本田技術研究所 実施責任者：豊田 裕介
航セマト 実施責任者：平田 享寛	航名城ナノカーボン 実施責任者：榎本 剛

研究戦略委員会
委員長：齋藤 宏宏
【0機構と合同】
・フェーズアップ推進
・実証システムの企画
・新規研究テーマ検討
・アウトリーチ活動

**研究戦略パートナーシップ
フォーラム**
(協賛企業との研究戦略連携)

知財管理委員会
委員長：鬼頭 雅弘
・知財運営
・特許・知財戦略

人材育成委員会
委員長：則永 行樹
・学生教育体制検討

**3P人材育成
産学連携教育プログラム**
(協賛企業との人材育成連携)

一般員企業

3P : Professional, Practice, Philosophy

図3 もみ殻を原料とするセラミックス部材の製造プロセス



換、蓄積、輸送し、それを地域社会に根付く産業の中でうまく再利用できれば、目指している豊かな社会に近づく確かな1歩となることは間違いないだろう。

3000トンのもみ殻を燃やし新蓄熱体の開発に取り組む

コンソーシアムが研究開発課題に設定するのは①安価で高性能な触媒の開発②安価で高効率なエネルギーデバイスの開発③高効率熱マネジメントシステム並びにその設計・評価技術の開発だ。5年に及ぶ研究の成果として、もみ殻の完全循環構想が挙げられる。稲作の盛んな富山県射水市では、もみ殻の野焼き処理を禁止されて以来、毎年約3000トンも廃棄しなければならず大きな負担となっていた。

バイオマス産業都市構想を掲げる同市は、もみ殻を高付加価値の物質に変換したいと、北陸テクノ(射水市)や大学との共同研究を通じて、非晶質シリカが生成できる条件を明らかにし、そのための炉を開発した。灰の主成分である非晶質シリカは水に可溶であるため、土中に浸透しやすいことからまず肥料として利用技術が進んだ。OPERAではさらに、付加価値の高い物質であるケイ素(Si)及びその炭化物、窒化物などの高機能材原料に転換するための技術開発を進めている(図3)。最終的に目指すのはもみ殻の完全循環システムであり、燃え残った灰だけではなく燃焼時の排熱や二酸化炭素(CO₂)も有効活用し、廃熱は蓄熱体に貯めて温水プールや病院などの熱を利用する場所に運び、熱を取り出すという構想である。

熱の効率的な活用でカギとなった

のは、新たな蓄熱体の開発だ。上記のような遠隔地への熱輸送には化学反応を利用した蓄熱が有望であり、OPERAでは水と接触させることで高い出力を生じる反応系を見いだした。

また工業炉の熱効率向上にも高温蓄熱体は必須である。一般的にはファインセラミックスの一種であるアルミナが用いられている。数十秒で吸熱・蓄熱の切り替えはできるが、短時間の加熱で温まるのは球体の表面だけで、内部はほとんど熱回収に寄与していないことがわかった。そこで北さんは、通常は白色のアルミナの球を黒く、かつ中空にすることで放射効果を利用し内外面から熱吸収させることで回収率を向上させた(図4)。

さらに、蓄熱量を大きくするため、物質の相が変わるときに発生する潜熱も利用する蓄熱体の開発に取り組

図4 アルミナ中空構造体

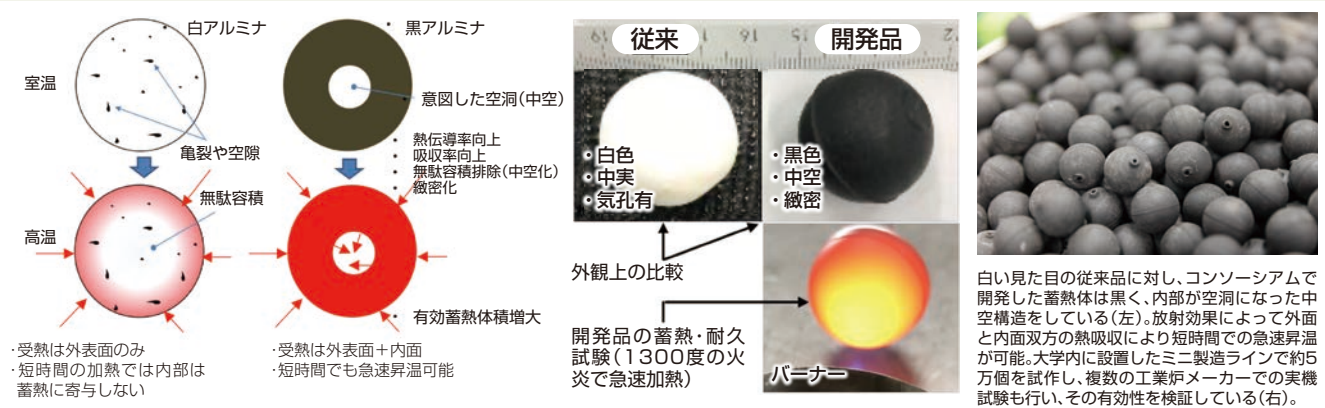


図5 ヘテロカーボン複合解析用データベース



んだ。当初、中空のアルミナ内部に熱伝導率の高い銅を入れたコアシェル型の蓄熱体を作ったところ、大気中で溶融すると銅がアルミナと激しく反応して漏れ出し、注入口が封止できなかった。そこで、ビーズ状の銅と、銅とアルミニウム合金の粉末を^{じゅうてん}充填したところ、注入口周辺で大気に触れることで原料の一部が、アルミナシェルと反応して自己シール機能が発現した。「時間が進むほどシール機能が強化されることもわかり、1100度で1000時間の耐久試験もクリアしました。現在、実用化に向けて企業とさらなる検討を進めています」と、北さんは笑顔を見せる。

しかし、こうした部分的な改善に加えて、循環システム全体を俯瞰し、全体の効率を改善することも必要である。そこで、北さんたちは大規模循環システム全体を評価・設計するグラフツールの開発にも乗り出した。循環システムではさまざまなエネルギーや物質が形態、構造を変えながらその資源性が消費されていく。このエネルギーと物質の共通の資源性を一元的に示すのがエクセルギーであり、循環の際のエクセルギーの消費量を簡便に計算でき、また消費の大きいプロセスが可視化され、システム全体の省エネ化を実現するとい

う。「循環システムといった大規模なシステムを対象として設計する例は極めて少なく、企業の理解も進んでいません。しかし、社会の持続発展に向けては、個々の研究の進展だけではなく、それらが統合されてどうなるかという総合知をいかに得るかが重要です」と北さんは決意を口にする。

ヘテロカーボンのDBを構築 プラズマ材料合成も手掛ける

一方、齋藤さんが主に手掛けるのは、グラフェンをはじめとしたナノカーボン材料だ。カーボンはリチウムイオン電池や燃料電池など、多岐にわたるエネルギーデバイスへの活用が期待されている半面、炭素原子

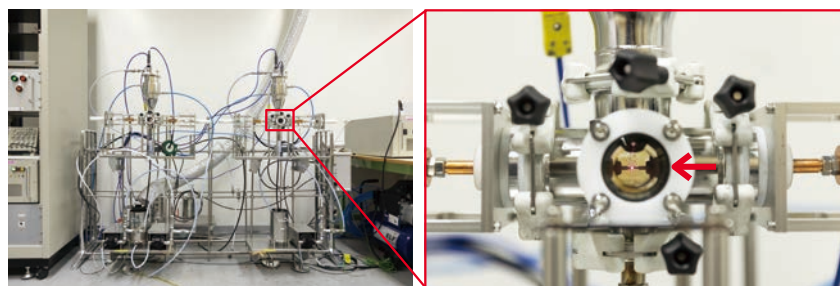
の一部がホウ素原子や窒素原子に置き換わった組成や構造が多様で正確な構造分析が難しいといった問題があった。そのため、これまでは研究者の勘と経験に基づいて、材料開発やデバイスの改良が行われてきた。

そこで、齋藤さんはヘテロカーボンを正しく理解するための「ヘテロカーボン複合解析用データベース」の開発を手掛けてきた(図5)。新たな構造解析技術を開発するところからはじまり、AIなどを用いた解析やマテリアルズ・インフォマティクス(MI)にも活用しやすい分析・物性データを揃えていった。DB作成にあたっては、大学からはサーバー構築やライセンス処理の支援を、中部地域の企業からはサンプル提供を受けた他、参画企業各社の計測技術や材料化学技術なども集結させた。

現在、カーボン約300種、データ数4万件以上と、カーボン材料としては圧倒的な優位性を誇る。「データ数を増やすことではなく、実際に自分たちが実験したデータだけを入れることにこだわりました。企業の方にも正確性や信頼性が高いと評価されているのはそのためでしょう」と齋藤さんは説明する。実際にDBを用いて材料の粒径を設定し、特徴量解析を行ったところ有効性を確認することができた。今後は利用料などを支払う形でより多くの研究者が活用できる仕組みを整えていくとのことで、デバイスの性能向上への貢献が期待される。

他にも、齋藤さんはソリューション

図6 ソリューションプラズマによるグラフェンの合成



齋藤さんの研究室では、専用の装置を用いたカーボン材料の開発が進められている。写真は、ベンゼンからグラフェンを生成している様子。拡大図中央のオレンジの光がプラズマで、気泡は水素。発生した水素ラジカルが還元剤として働き、グラフェンが生成する。

ンプラズマ材料合成を長年手掛けて
いる(図6)。芳香族系のベンゼンやトル
エンなどの溶媒でソリューション
プラズマを発生させることで、カー
ボン材料を合成する手法だ。グラ
フェンをはじめとしたカーボン触媒
は、燃料電池用に用いられる白金触
媒の代替として注目されている。現
在までの研究でこれまでの触媒に比
べて白金の使用量は10分の1に削減
され、耐久性も10倍に上がっており
社会実装が期待されている。

大学内外に推進室や新法人設立 産学連携でシーズを社会に橋渡し

企業との共同研究では、機密情報
や知的財産の取り扱いなど、多くの
現実的な問題が伴う。トラブルを避
けるために、事前に厳密な取り決め
をするケースも多い。「今回、私たち
は事前の契約を最小限にし、問題が
出てきたときに都度話し合うという
スタイルをとりました。これはAIPと
いうコンセプトに共感した企業のみ
に参画いただいたからこそできたこ
とです」と齋藤さんは説明する。目先
の成果ではなく、AIPという大きなビ
ジョンを目指した研究だという共通
認識があることで、落としどころも
見つけやすくなる。これが功を奏し、
紹介してきたような多様な成果に結
実している。

「OPERA開始時に大学内にでき
たオープンイノベーション推進室と
の連携ができたことも大きな成果で
す。組織として産学連携を進められ
る体制が整いました。培ったノウハ
ウを他のプロジェクトにも生かし
たいですね」と北さんは語る。また、
2023年10月にはコンソーシアム
の成果を活用する新法人も設立予定
だ。クロスアポイントメント制度を
利用して齋藤さんも新法人に籍を置
くという。「大学外の法人とすること
で、より柔軟な資金運用も可能にな
ります。オープンイノベーションの
ロールモデルにしたいですね」と齋

図7 3P人材育成産学連携教育プログラム



「Professional」、「Philosophy」、「Practice」の3つの「P」から成るユニークな人材育成プログラムを実施し、研究開発と並行して研究者や学生の人材育成に注力している。

藤さんも意気込む。

こうした新しい取り組みは、次世代人材育成の取り組みにも波及している。目指すのは、実社会で自律的に活躍できる「**プロフェッショナル**」、自ら豊かさとは何か、幸せとは何かを考え、そのために自分は何ができるかを考えられる「**フィロソフィー**」、行政・地域と連携して実社会の課題の認識・解決に向える「**プラクティス**」の3要素を兼ね備えた「3P人材」だ(図7)。コンソーシアムでは3P人材育成産学連携教育プログラムを設立し、経済的支援も含めた人材育成を進めている。

「AIPのように遠くに目標を置くことで、学生も目的意識を持って研究に取り組

めますから、将来、より発展的な結果をもたらすのではないかと思います」と齋藤さんも期待を寄せる。コンソーシアムでは、研究開発はもちろん、大学のシーズを社会に橋渡しするために産学連携の新たな仕組みを定着させ、人材育成にも継続して取り組むことで、地域社会をより豊かにする活動を続けていく。

(TEXT:桜井裕子、PHOTO:石原秀樹)

