

Energy Outlook

International Institute for Carbon-Neutral Energy Research

May
2017

世界をリードする冷媒研究の 国際拠点誕生

I²CNER 附属次世代冷媒物性評価研究センター (NEXT-RP)
主要メンバーによる座談会

Special Interview

高田 保之

九州大学 I²CNER 副所長、教授・WPI 主任研究者 /
NEXT-RP センター長

宮良 明男

佐賀大学 教授 /
九州大学 I²CNER NEXT-RP WPI 招へい教授

小山 繁

九州大学 I²CNER WPI 教授 /
NEXT-RP 副センター長

赤坂 亮

九州産業大学 教授 /
九州大学 I²CNER NEXT-RP WPI 招へい教授

東 之弘

九州大学 I²CNER NEXT-RP WPI 教授

Bidyut Baran Saha

九州大学 I²CNER NEXT-RP 教授・WPI 主任研究者

Special Interview



世界をリードする冷媒研究の 国際拠点誕生

九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 (I²CNER)

附属次世代冷媒物性評価研究センター (NEXT-RP) 主要メンバーによる座談会

一般にはあまり馴染みがないながらも、生活や産業を支える上で極めて重要な物質がある。冷凍空調に欠かせない冷媒である。ところが、現在使われている代替フロンは、地球温暖化係数(GWP)が高く、温暖化への悪影響が危惧される。地球に優しい新世代冷媒の開発が喫緊の課題となる中、2016年4月1日、I²CNER内部の組織としてNEXT-RPが設置された。そこで主要メンバーを集めて、設立の経緯から課題、将来の展望などを聞いた。

新規冷媒研究の国内拠点を目指す

小山 繁(以下:小山): 多くの方は既にご存じのことかと存じますが、初めに少し、冷媒を取り巻く歴史的な経緯を説明します。冷凍機やヒートポンプの作動媒体として使われてきたCFC(クロロフルオロカーボン)やHCFC(ハイドロクロロフルオロカーボン)などのフロン系冷媒は、オゾン層破壊物質であることが判明し、1987年のモントリオール議定書によって使用規制がかかるようになりました。これにより開発されたのが、代替フロンHFC(ハイドロフルオロカーボン)です。ところがHFCはGWPが高いために、これも1997年の京都議定書により削減対象となりました。CFCは2010年に世界で全廃、HCFCは2020年に先進国においては原則全廃、さらにHFCに関しては2016年10月の国際会議(MOP28)において、日本を含む先進国は2036年までに2013年比で生産量の85%削減が課せられています。このような国際情勢ですので、新たな低GWP冷媒の開発は待ったなしの状況であり、日本には新規冷媒研究をリードする国際的責任があります。そこでNEXT-RPでは、環境負荷をミニマルに抑えるゼロODP(オゾン層破壊係数

ゼロ)、低GWPを両立する新規冷媒の熱物性、熱交換特性及びリサイクル基本性能に関する基盤研究に取り組む運びとなりました。

高田 保之(以下:高田): I²CNERに対してはテクノロジートランスファーが期待されていることを踏まえて、NEXT-RPでも基盤研究の社会への還元を重視しています。その意味で単なる研究者間の連携プロジェクトではなく、外部に存在を明確に示す研究センターとしての設置が望ましいと考えました。

日本唯一の冷媒研究機関に 寄せられる期待

東 之弘(以下:東): 地球温暖化防止の観点から冷媒研究の重要性は、産業界も含めて広く認識されているものの、あくまで基盤研究であり企業収益に直結するものではありません。そのため研究継続の難しさを痛感していたところでした。しかも冷媒は最終的にさまざまなユーザーが想定されるため、基盤研究の段階ではニュートラルなアカデミックの立場からの標準化が望まれます。その意味でもNEXT-RPにおいて知的

基盤を固める研究に取り組む意義は非常に大きいと考えます。

宮良 明男(以下:宮良):外部の期待については、研究者と企業の2つの方向性があります。個々の研究者が所属する研究機関内の研究グループによる従来型の取組では到達レベルに限界がありました。これに対してNEXT-RPでは世界各地から研究者が集まり協力しながら切磋琢磨が行われる中で、従来とは次元の異なる成果を出せるものと期待されています。一方企業からは、基盤研究のレベル向上が応用につながると期待する声やNEXT-RPに研究を依頼したいとの声を学会などでよく聞くようになりました。

赤坂 亮(以下:赤坂):日本の低GWP冷媒の研究は、世界的に注目を集めるレベルにあります。この分野において世界の研究をリードする日本で、専門的な研究所が立ち上がることは、海外に対して大きな訴求効果があります。冷媒物性研究は各国でさまざまに行われていますが、その実態は必ずしも産業界のニーズにマッチしたものはなっていません。そこでNEXT-RPに対しては、現状のニーズを把握し今後の国際的な動向も予測した上での新たな共同研究提案なども期待されています。

Bidyut Baran Saha(以下:Saha):効率的にカーボンニュートラル社会を構築するためには、冷凍空調システムにおけるエネルギー効率の向上が欠かせません。そのカギを握るのが次世代の低GWP冷媒です。NEXT-RPが新規冷媒の熱物性情報について新たな成果を公開し、潜在ニーズを抱える企業と連携できれば、飛躍的な進歩を望めます。I²CNERの内部研究者としては、NEXT-RPによる学際的な研究連携の推進にも期待します。

高まる期待に応えるための今後の課題

高田:海外には既に冷凍空調関連の研究拠点がいくつもあります。アメリカならI²CNERと関係の深いイリノイ大学にACRC(冷凍空調研究センター)があり、メリーランド大学とパデュー大学にも研究所があります。中国でも上海交通大学と清華大学に研究所があります。これらに共通するのが、国からの資金に加えて、企業から潤沢な資金が寄せられていることです。そ

の意味で企業からの受け皿のなかった日本で、専門的な研究機関が立ち上がることには大きな意義があります。発足時点でこれだけの精鋭が揃っている組織は、国内では他になく、NEXT-RPに寄せられる期待の大きさを強く感じます。今後の私たちの戦略的な課題は2点、第1がテクノロジートランスファーの視点での産業界との連携強化であり、第2は日本唯一の冷媒研究の拠点となるNEXT-RPの世界における認知向上です。

小山:戦略を具体化するうえでのポイントは3点あります。まず低GWPかつゼロODPな新世代冷媒についての物性研究、次に、新世代冷媒を実際のシステムで活用する際の特性評価に関する研究、最後に、幾つかの冷媒候補とシステムの組み合わせの中から最適なシステム提案を行うことです。決して容易とはいえない目標をクリアするための必須の要件となるのが、外部からの資金調達です。高田先生が述べられたように、アメリカでは3大学に対して産業界が巨額の研究費を投資しています。これに対して日本では専門組織がなかったために、企業の研究投資は海外に向かうしかありませんでした。こうした資金の流れを一変させることもNEXT-RPの重要なミッションです。与えられた課題とミッションをクリアすることで、モントリオール議定書に定められたシビアなHFC削減目標を達成することに貢献できればと考えています。

東:冷媒という一般にはあまり知られていない物質の研究に特化した研究所が設立されたこと自体に、重大な意義があります。組織運営に携わる者としては、研究成果を出すことはもちろんのこと、センターの持続的な運営にも注力する必要があります。その一環としてNEXT-RPの認知向上を図るため、国内外から著名な研究者を招いて、2016年10月にキックオフシンポジウムを開催しました。会場でも強く感じたのが、NEXT-RPに寄せられる期待感の大きさです。国内外を問わず、また産学ともにこのような研究センターの設置が望まれていたことを強く感じました。NEXT-RPの発展のために、研究者間だけにとどまらず政府や産業界とも幅広い連携体制の構築に努めます。

宮良:海外での冷媒研究では著名な教授の下に数多くのポストドクや研究者が集まり、一気に研究が進められています。これに対して日本では、どこかの研究室で先駆的な研究

高田 保之



九州大学I²CNER 副所長、教授・WPI主任研究者/NEXT-RPセンター長、冷媒物性データベース作成および国際連携推進部門

小山 繁



九州大学I²CNER WPI教授/NEXT-RP副センター長、ヒートポンプの伝熱特性およびサイクル性能評価部門

東 之弘



九州大学I²CNER WPI教授/NEXT-RP冷媒の熱力学性質および輸送性質計測部門

が行われたとしても、一研究室で進めている限りスピード感に乏しく、海外の研究センターがそのテーマを取り上げて先行してしまうケースが多く見られました。その意味ではNEXT-RPが、日本における冷媒研究のスタイルを大きく変えると期待しています。九州大学I²CNERを中心として大学間連携ネットワークが生まれ、このネットワークが新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)、さらには産業界と連携することで、最先端レベルの研究を集中的に推進することが求められています。

赤坂: 国際連携については、海外の研究機関との連携強化によりNEXT-RPのプレゼンス向上に努めます。既にアメリカ、イタリア、ドイツ、中国、韓国等の研究者と国際ワークショップを定期的に開催しており、他にも情報交換も積極的に行っています。今後は海外から冷媒の研究者を招いたセミナー開催に加えて、海外の研究機関と研究協定を結び、学生の交流も含めた共同研究を進めていく予定です。海外との共同研究成果を国際会議や論文で発表することにより、これまで接点のなかった研究者や企業との新たなパイプ作りに結びつきます。物性研究の最終的な出口となるソフトウェアについても、研究成果を速やかに産業界に発信できる仕組み作りに取り組みます。

Saha: 何より強調したいのは、他国との研究連携の重要性です。現時点で新規冷媒の研究に取り組んでいるのは、アメリカ、イギリス、ドイツ、中国等ですが、インドやシンガポール、マレーシア等もこの分野には強い関心をもっています。NEXT-RPでは、このような国々との連携も図りながら、低GWP冷媒の研究開発を世界レベルで先導していきたいと考えています。NEXT-RPが成功をおさめた暁には、I²CNERの他の研究部門にも良い刺激となるはずで

冷媒研究に関する世界最高の研究機関へ

高田: 冷凍空調産業には、今後大きな発展が見込まれています。これまで経済的な制約のために空調設備を使えなかった発展途上国で、今後は一気に普及すると予測されています。また冷房の必要性がなかったヨーロッパ諸国でも、今後は温暖

化の影響により冷房が求められるようになるでしょう。産業としての規模拡大が見込まれる中で、エネルギー消費を抑え、地球環境に優しい冷媒に対する必要性は高まる一方です。アメリカには熱交換器の得意なイリノイ大学、圧縮機に強いパデュー大学、ソフトウェアを得意分野とするメリーランド大学があり、ここに流体を専門とするNEXT-RPが加わることで、多様な研究連携が加速します。こうした活動を強力に推進するためには、それに見合う予算確保が必須の課題であり、国からの予算だけに頼るのではなく、広く産業界からの支援も取り入れることが必要です。研究体制をしっかりと固めた上で、研究者の意識向上や若手育成に努めたいと考えます。

小山: 冷凍空調とは、具体的には冷凍機とヒートポンプのことであり、それぞれカバーする領域は、温度帯により次の3つに分けられます。1つは冷凍、低温領域であり、低温の維持が重要な基盤技術となります。次が生活環境に関わる温度帯で常温からお湯を作る100°Cぐらいまでで、この領域では特に省エネが求められます。さらに産業用として工場などで放出される100°C程度の廃熱をヒートポンプを利用することで、200°C程度の熱源として利用するニーズもあります。これらに加えて、200°C程度の熱源で発電するためのオーガニックランキンサイクルの新世代作動媒体の研究も重要です。これらを踏まえて、革新的な冷凍機やヒートポンプシステムを早ければ5年後、遅くとも10年後にはNEXT-RPから提案できればと考えています。また、後継者育成に関しては、日本の空調機メーカーの生産拠点となっている、ASEAN諸国の人材育成も重要な課題と捉え、そうした国々の学生や社会人育成も担うことを視野に入れています。

東: NEXT-RPでは、予算措置が付かないにもかかわらず大学間の連携が実現しました。これは非常に稀なケースであり、研究参加者からは、純粋に使命感に燃える強い意志を感じます。盛り上がった気運を成果に着実につなげるためにも、予算獲得を今後の重要課題と認識しています。また「センター」と名が付いてはいるものの、実質的にはハブ(拠点)として機能し、関係各機関との連携を図ることも必要です。後に続く世代の人材育成も考えながら、世界的に認知される研究センターを目指して関係者一同、全力で取り組む覚悟ですので、ぜひともご支援、ご協力を賜りますようお願いいたします。

宮良 明男



佐賀大学 教授/九州大学I²CNER WPI招へい教授 / NEXT-RP冷媒の熱力学性質および輸送性質計測部門

赤坂 亮



九州産業大学 教授/九州大学I²CNER WPI招へい教授 / NEXT-RP冷媒物性データベース作成および国際連携推進部門

Bidyut Baran Saha



九州大学I²CNER 教授・WPI主任研究者 / NEXT-RP冷媒物性データベース作成および国際連携推進部門

NEXT-RPキックオフシンポジウム @ I²CNER



NEXT-RP発足から半年を迎えた2016年10月7日(金)、I²CNER研究棟内でキックオフシンポジウムを開催し、連携研究機関や冷媒製造メーカー、冷凍空調機器製造メーカー等から多くのご参加をいただきました。また、シンポジウム基調講演者の方々には、I²CNERの施設見学をしていただき、幅広い研究への取組についての確かなアドバイスをいただきました。

施設見学:主な訪問先



東之弘教授 研究室
(NEXT-RP)



高田保之教授 研究室
(熱科学研究部門)



小江誠司教授 研究室
(触媒の物質変換研究部門)



久保田祐信教授 研究室
(水素適合材料研究部門)

ご寄稿メッセージ ~ NEXT-RPキックオフシンポジウム基調講演者より ~



慶應義塾大学 渡部康一 名誉教授

NEXT-RPの責務として、この特定分野においてタイムリーに成果を集約することを最優先させるべきなのは言うまでもありません。国際社会に信頼される情報を発信し、斬新かつ創造性に富んだ研究活動を行うことで、次世代冷媒への関心をより一層高められるはずです。まずは、NEXT-RPの中に体系的な研究プログラムを目指したロードマップ構築を行うべきです。そのためには、NEXT-RPの研究プログラムを作り、多くの経験豊富な専門家に助言を求めた上で、最終版のロードマップを作り上げていくのが望ましいでしょう。



米国立標準技術研究所 (NIST) エリック・W・レモン博士 (REFPROP開発者)

NEXT-RPにおける共同研究は、研究を進める上で非常に重要な役割を担うのではないのでしょうか。方法としては2つあり、1つは、研究者に各自の最新の研究について議論するよう促すこと。おのずと新たな連携が生まれるはずです。そしてもう1つは、研究成果の評価を行い、今後の研究の優先事項を見極めることで、作業の重複による労力の無駄を避け、研究費を確保する上で大いに役立つでしょう。研究は個々のグループに割り当てられるのではなく、連携して進めていくことで、より効果的な研究へと繋がっていくと考えます。



イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校 アンソニー・M・ジャコビ教授

NEXT-RPは優秀な教授陣が尽力されていることもあり、設立当初から大変評判が高いです。その高い評価を有効活用して、関連分野において大きな影響力のある研究者を招いたシンポジウム等を定期的で開催し、意見交換を行うとよいでしょう。まずはどのようなパートナーシップを構築すべきか検討し、教育機関や企業、様々な団体との結束は何よりも強力なものであることを再認識し、そのパートナーシップを継続できるよう、個人レベルでの関係性も強化していくことをお勧めします。



1 [FeFe]-ヒドロゲナーゼ及びその修飾タンパク質遺伝子群を 発現させた組換え大腸菌の細胞反応の光触媒水素生産への応用

Yuki Honda, Hidehisa Hagiwara, Shintaro Ida,
and Tatsumi Ishihara
Angewandte Chemie - International Edition
DOI: 10.1002/anie.201600177

[FeFe]-ヒドロゲナーゼは高い水素生成活性を示す生体触媒であり、本酵素と無機半導体を組み合わせた無機-生体ハイブリッド光触媒による水素生産は効率の観点から注目されている。しかしながら、[FeFe]-ヒドロゲナーゼの利用においては、酵素の安定性や精製に係る時間やコストが課題であった。そこで、より安定でかつ調製が容易な [FeFe]-ヒドロゲナーゼ遺伝子群を発現させた組換え大腸菌の細胞を直接利用する新規な反応系を考案した(図1)。図2のように、酸化チタン、電子メディエータ、組換え大腸菌を含む反応溶液に対して光照射をした際に水素が生成され、無機光触媒と細胞反応の組み合わせによる水素生産が可能であることを実証した。本研究は、I²CNERのロードマップが掲げる高効率な光触媒の実現に向けた試みの1つである。反応系の最適化を進めることで、クリーンかつ貴金属を使用しない安価で高効率な水素生産の実現に貢献できると考えられる。

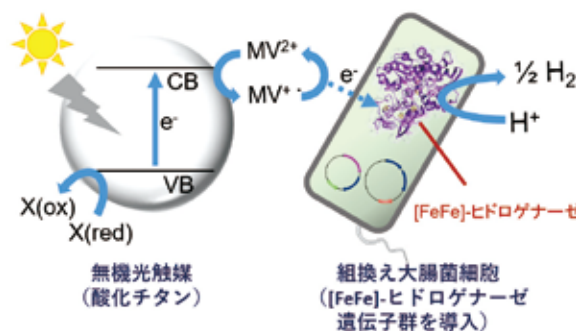


図1 無機半導体と組換え大腸菌の細胞反応を組み合わせた無機-生体ハイブリッド光触媒反応系

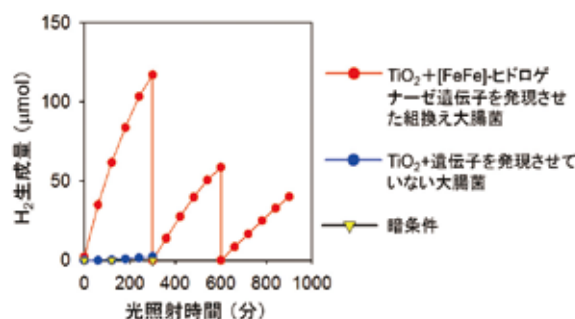


図2 酸化チタンと組換え大腸菌細胞の混合溶液への光照射による水素生成

2 多層ポリエチレンイミン/酸化グラフェンコーティングの異なる 雰囲気中におけるマクロスケール超低摩擦

Prabakaran Saravanan, Roman Selyanchyn, Hiroyoshi Tanaka, Durgesh Darekar,
Aleksandar Staykov, Shigenori Fujikawa, Stephen M. Lyth, and Joichi Sugimura
ACS Appl. Mater. Interfaces 2016, 8, 27179–27187
DOI: 10.1021/acsami.6b06779

ナノ、分子スケールにおける超低摩擦(摩擦係数0.005以下)発現に関する研究は多々あるにもかかわらず、マクロスケール(現実の機械要素)における実現はいつも容易でない。私たちは、高い柔軟性を持つレイヤーバイレイヤー膜形成法により調製したポリエチレンイミン/酸化グラフェン多層膜を固体潤滑材として用い、空気、真空、水素及び窒素ガス中においてそのトライボロジー特性を調査した(図1a)。図1bで見られるように、実アプリケーションの荷重領域において乾燥窒素中で超低摩擦(摩擦係数<0.01)が得られたが、空気中ではそれより20倍高い値となった。このことは、摩擦によるエネルギー消費を20倍抑制していることに等しい。この超低摩擦現象は、乗用車や列車などの滑り要素を持つ機械に大きな影響を与え、それは日常的に機械に依存している私たちの生活に大きなインパクトを与えるものとなるであろう。

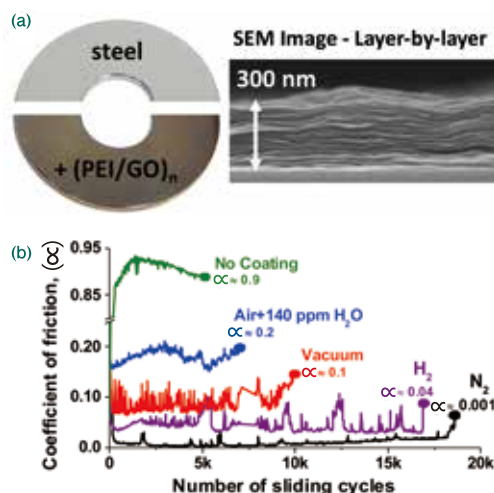


図1 (a) 鋼基板とコーティング試験片(左) 鋼表面のコーティング膜の断面SEM像(右) (b) 摩擦係数(COF)の摩擦サイクルに対する推移

3

新たに提案されたニッケル当量式に基づくオーステナイト系ステンレス鋼の水素適合性評価

Setsuo Takaki, Shigenobu Nanba, Kazunari Imakawa, Arnaud Macadre, Junichiro Yamabe, Hisao Matsunaga, and Saburo Matsuoka

International Journal of Hydrogen Energy
DOI: 10.1016/j.ijhydene.2016.06.193

水素適合材料部門では、優れた耐水素脆化特性を有する高強度・低コストなオーステナイト系ステンレス鋼の開発を進めている。オーステナイト系ステンレス鋼の耐水素脆化特性は、オーステナイト安定度と密接に関係しており、現在の国内規格では、オーステナイト安定度を表す指標であるニッケル当量を用いて、ステンレス鋼の水素適合性が評価されている。しかし、現行のニッケル当量式にはオーステナイトを安定化させる窒素の影響が含まれていない。ニッケルを低減する代わりに窒素を添加することは、新しいステンレス鋼を開発するための重要な方向性の1つである。本研究では、窒素を含むステンレス鋼の水素適合性を評価するための新たなニッケル当量式を提案した。新たに提案されたニッケル当量式は、優れた耐水素脆化特性を有する高強度・低コストなオーステナイト系ステンレス鋼の開発に貢献し、水素エネルギー社会の普及・拡大に貢献できる新しい水素適合性評価法と期待される。

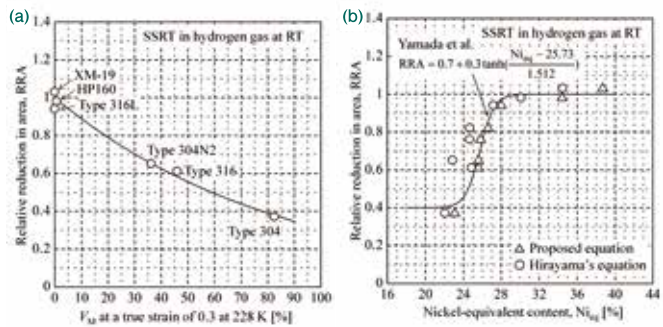


図1 相対絞りRRA、加工誘起マルテンサイト量 ΔV_M 及びニッケル当量 Ni_{eq} の関係:(a)相対絞りRRAと223 Kで真ひずみ $\epsilon = 0.3$ を与えた後の加工誘起マルテンサイト量 ΔV_M の関係;(b)相対絞りRRAとニッケル当量の関係。図1には窒素を含むステンレス鋼の実験結果が含まれており、現行の式(Hiramaya's equation)と提案の式(Proposed equation)と比較すると、提案の式の方が現行の式よりも実験結果を良く再現可能ということがわかる。

4

酸性溶液中での酸素還元反応のための金属フリー窒素ドーパカーボンフォーム触媒

Jianfeng Liu, Shundo Yu, Takeshi Daio, Mohammed. S. Ismail, Kazunari Sasaki, and Stephen M. Lyth

Journal of the Electrochemical Society
DOI: 10.1149/2.0631609jes

燃料電池は、内燃機関から徐々に置き換わることが可能なエネルギーデバイスである。しかしながら、用いられる白金触媒が高価で、耐久性などの問題もあることから、白金を使用しない鉄を含む窒素ドーパカーボン(CNx)などが研究されている。この研究では、CNxをモデル触媒として活用し、鉄を含まない系で酸素還元反応(ORR)に対する窒素の役割について評価を行った。グラファイト化されたCNxは比較的高い触媒活性を酸性溶液中で示した(反応電子数3.6)。これはORRにより水生成が進行していることを表す4電子反応が、鉄を含まない系においても進行したことを示している。高表面積、グラファイト化による電子伝導性の向上、3級窒素を多く含むこと等が、高活性の理由として考えられる。この研究は、安価な燃料電池触媒設計の向上につながり、燃料電池の普及に寄与する技術である。

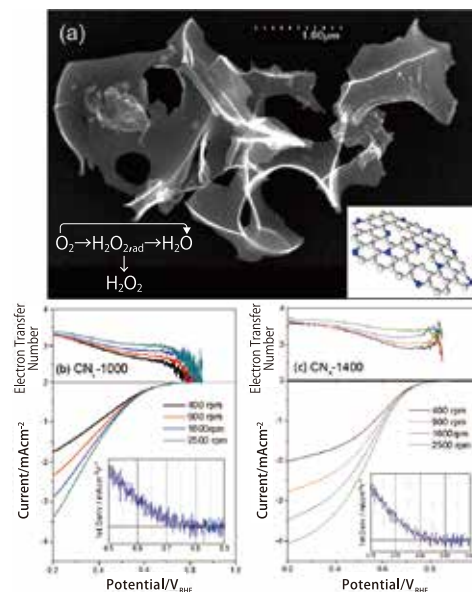


図1 (a)CNxの走査型電子顕微鏡像。酸素還元反応(図左)とCNxの化学構造(図右)。(b)1000℃、(c)1400℃でグラファイト化したCNxのリニアスイープボルタンメトリー、酸素還元反応の電流密度、電子移動数、オンセットポテンシャル。



5 撥水及びナノ構造超撥水表面の凝縮液滴をとおした熱輸送

Shreyas Chavan, Hyeongyun Cha, Daniel Orejon, Kashif Nawaz, Nitish Singla, Yip Fun Yeung, Deokgeun Park, Dong Hoon Kang, Yujin Chang, Yasuyuki Takata, and Nenad Miljkovic
Langmuir, Vol. 32, pp.7774-7787, 2016
DOI: 10.1021/acs.langmuir.6b01903

濡れにくい表面における水蒸気の凝縮を支配するメカニズムを理解することは、エネルギー及び水に対する広範な応用にとって非常に重要である。本研究はI²CNER熱科学研究部門のロードマップにおいて、相変化熱輸送(Area 2: HMT-1)及びナノスケール熱輸送(Area 1: TP-3)に関連するものである。接触角90°から170°の濡れにくい表面における個々の液滴の伝熱特性に関する2次元軸対称数値シミュレーションを行い、熱輸送の大部分は三相界面において発生し、そこでの局所熱流束は液滴頂部のそれに比べて4桁大きいということが明らかになった。環境制御型操作型電子顕微鏡を用いて、撥水及びナノ構造超撥水領域からなる試料における凝縮液滴の成長を調べ、固定接触点モード及び固定接触角モードの両方において、液滴の成長は数値シミュレーションと極めて良好に一致することが分かった。この研究成果は、濡れにくい表面における気液相変化熱輸送の基本的な理解と信頼性のあるモデリングに対して局所熱輸送の影響を解析することの重要性を示すものである。本研究成果は相変化熱輸送を利用する各種エネルギー機器における効率改善に貢献する。

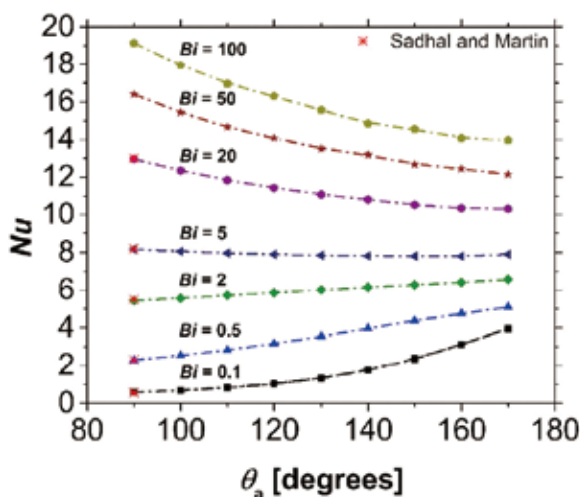


図1 異なるビオ数に対するみかけの前連接角の関数としての液滴ヌセルト数。

6 CO₂排出のない電力循環を実現する高選択的ナノ触媒を開発するための実験及び計算化学からのアプローチ

Miho Yamauchi, Naoki Ozawa, and Momoji Kubo
Chemical Record
DOI: 10.1002/tcr.201600047

触媒の物質変換研究部門は、アルコール/カルボン酸レドックス対の高選択的な電気化学反応をとおしてCO₂を排出することなく電気エネルギーを循環する新しいシステムの概念を提案している。既に、私たちは、CO₂の排出なしに貯蔵及び輸送が容易な液体燃料であるアルコールから電力を得るためのFe族ナノ合金触媒及び酸化廃棄物であるカルボン酸の電気化学的還元によりアルコールを製造するためのTiO₂触媒の開発に成功している。本論文では、選択的な電気化学反応を可能とするナノ粒子触媒を構築するためのデザイン概念を実験的及び量子化学的な視点から提案した。本成果は、再生可能な電気エネルギーを有効利用と持続可能な社会の実現に大きく寄与すると期待され、触媒の物質変換研究部門における最終目標の1つであるカーボンニュートラルサイクルの実現に大きく貢献するものである。

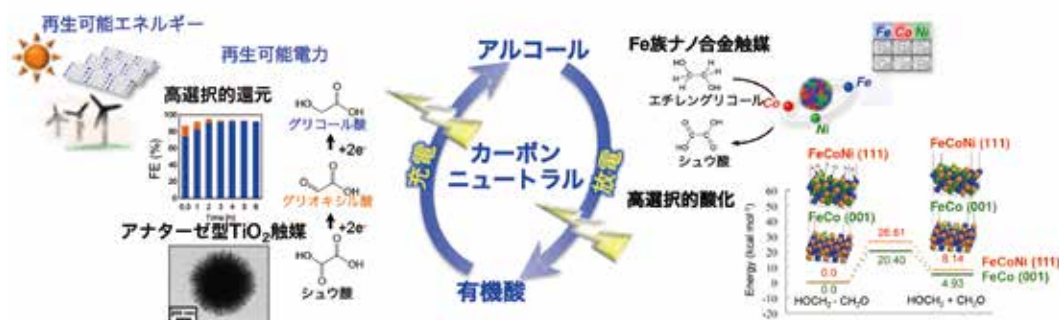


図1 精密に設計された触媒上におけるアルコール/カルボン酸レドックス対の高選択的な触媒反応により、CO₂フリーの電力循環が実現する。