



Hydrogenomics

Vol. 6
2020

変幻自在な水素を「使いこなす」ためのサイエンス

Hydrogenomics

News Letter



CONTENTS

- P1 A03-1 計画研究紹介
- P3 A04 計画研究紹介
- P5 若手サイエンティストのご紹介
- P6 研究ハイライトのご紹介
- P7 直近の論文投稿 / 共用装置のご紹介 / 今後の予定



計画研究 A03-1 「高速移動水素による 次世代創蓄電デバイスの設計」

大阪大学 教授 福井 賢一

～界面における
プロトンダイナミクスの解明～

電極近傍に生じる電気二重層界面の最適化について研究をされていますね。A03-1での研究内容を詳しく教えてください。

研究計画A03-1の役割は、水素の「高速移動」機能を極限まで高め、プラスチックフィルム中での水素の移動現象を格段に促進することです。最終的には、燃料電池と全固体二次電池の利点を組み合わせたこれまでにない全く新しい創蓄電デバイスの創製を目指しています。その中でも、物理化学的な観点から、プロトンやプロトン+電子の「高速移動」のダイナミクスを解析して、システム創製に生かして行くのが私のグループの役割です。私の研究グループでは、電子移動が起こる電極の界面（いわゆる電気二重層領域）の動作下（Operando）での解析を可能とする新規手法の開発を行ってきました。その中でも、電位印可した（表面に電荷をもった）固体電極と近接する「液体の局所構造情報」を得られる顕微鏡手法（EC-FM-AFM）と、分子内もしくは分子間の電子遷移に伴う深紫外、遠紫外域の吸収分光（EC-ATR-FUV）が

本研究で利用する解析方法です。例えば後者は化学種によって吸収帯が異なるため、その深さ方向分析をすることで、創蓄電デバイスの鍵となる「水素を貯蔵・放出する高分子」における化学種変換の速度、つまり水素の移動能を評価することができます。

福井先生が開発された、顕微鏡「電気化学周波数変調原子間力顕微鏡（EC-FM-AFM）」を用いて解析されていることを詳しく教えてくださいませんか。

2010年に世界に先駆けて開発・発表したこの顕微手法は、探針先端が感じる力を高感度で検出することで、上記のように「液体の局所構造情報」を得ることができます。それは、必ずしも液体を構成する一つ一つの分子を観察できるということではなく、時間平均した液体分子の存在確率の分布や、時間平均した液体分子間のネットワークの強さを反映しています。例えば、水中にある固体の表面に、水分子の大きさと同じ程度の一定振幅となるように共振させた探針を近づけながらその共振周波数の変化を記録する（後で力に変換可能）と、水分子の大きさ程度の間隔でピーク

が見られます。これは構造力と呼ばれ、探針先端が固体表面に堰き止められることでできた水の層を突き抜けるときの斥力を反映しています。固体の種類によらずこうした一連のピークが観察され、そのピークの間隔や大きさはX線散乱など他の手法で観測される水の層の厚みや層内の水分子の密度と良く対応するケースも多く報告されています。

一方、我々のEC-FM-AFM装置を用いて、電解質水溶液の中でグラファイト電極の電位を変化させながらこうしたピークを観測すると、電位と電解質の種類に応じてその大きさに顕著な差が現れます。HClO₄水溶液中ではグラファイト表面が正に帯電するほどピークは小さくなりますが、H₂SO₄水溶液中ではまったく逆にピークが大きくなるのです。電位によって水の密度がそれほど大きく変わるとは考えられないため、この実験結果を報告した2014年の論文では、水分子間の水素結合ネットワークの強さ（言うなれば水の層の硬さ）を観測したものだという仮説をもって実験結果を説明していました。

ただし、分子そのものの動きを観測できているわけではないので、計算科学的な知見が必要不可欠であると考え、古

典分子動力学(MD)計算によって、電荷をもつグラファイト電極に近接する水分子の挙動を解析しました。その中でも、特に印象深い結果を右図のグラフに示します。この図は、グラファイト電極に面する水分子の動き易さ(縦軸である拡散係数)が $\pm 1\text{V}$ 程度の電位の印加によって2倍程度変わること示しています。また、その動き易さを決定する大きな要因が、横軸である周囲の水分子との平均水素結合数であることも示唆しています。グラファイト表面が正に帯電するほど、隣接する水分子は一つの水素原子を表面法線方向に向けた配向が安定になり、周囲の水分子と水素結合を作り易くなるため(有効な水素結合数が増え)、水分子が動き難くなります。一方、負に帯電するほど、隣接する水分子は二つのO-H結合を表面平行から僅かに表面側に向けた配向の割合が多くなり、周囲の水分子と水素結合を作り難くなるため(有効な水素結合数が減り)、水分子の動きは容易になるのです。つまり、電荷的に偏りのある水分子が静電引力で表面にとどめられている訳ではありません。さらに、電解質イオンの種類(溶けている塩の種類)によって、電極近くに近づいてくるイオンの周囲にある水の配向と動き易さが変調されるため、差異が見られることも分かります。上記のEC-FM-AFMで観測した界面近傍の水分子の水素結合ネットワークの強さは、このMD計算の結果から、より深く理解することができました。EC-FM-AFM測定やMD計算は、プロトンのダイナミクスを直接扱うことはできませんが、界面で生じる水分子の水素結合ネットワークはプロトンリレーに直接関わるものでもあるので、本研究領域にも大いに関係する成果であると思います。

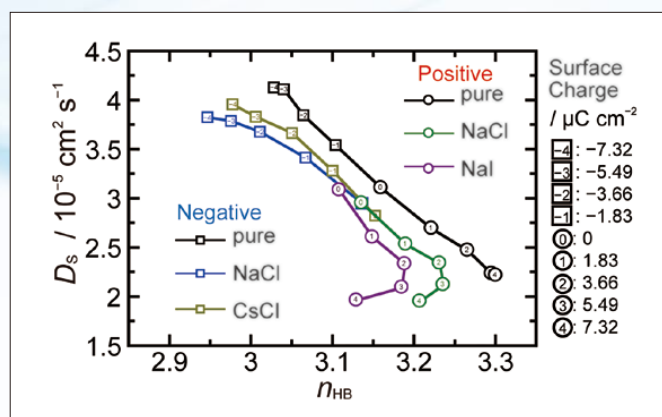


図4 電解質水溶液中で、電荷をもつグラファイト表面に隣接する水分子の動き易さと有効水素結合数との関係(MD計算による結果)

研究の醍醐味を聞かせてください。

新しく開発した界面解析手法により、分子スケールに迫り、かつ高い精度で定量化した解析結果を提供すること、そしてそこから考えもしなかった新現象を見いだせることです。私は学生時代、超高真空という限りなくクリーンな環境において、固体表面の触媒作用がいかんして発現するのか、という研究からスタートしています。吸着分子の環境やエネルギーを、精緻にかつ可逆に制御できる環境として電気化学界面に興味をもち、そうした環境でも上記の例のように分子スケールで解析できるような手法を開発してきました。これらの成果は、企業の方々にも広く関心をもっていただき、複数の共同研究を進めるとともに、企業から社会人博士課程の学生さんも複数受け入れています。そして、デバイスのその場解析へとその範囲を広げ、変幻可能な水素を使いこなすことを目指す本領域の計画研究にも加えていただくことにつながりました。また、これらの取り組みに対し、表面・界面科学の代表的学会である日本表面真空学会から2020年度の学会賞をいただくことができました。

今後の目標を教えてください。

本領域の研究に携わる全国の方も同様だと思いますが、4月からの2ヶ月間

は、計算科学以外の実験を行うことができませんでした。6月から少しずつ、安全を確保しながら研究活動を進める試行を開始したところです。冒頭写真は、緊急事態宣言がでる直前のスキー場ですが、これまでの私のグループのモットーでもあった「日常も楽しみながら研究も楽しむ」を再び実践できる形も模索することになります。

最初に述べたように、研究計画A03-1で目指す創蓄電デバイスの鍵となる、「水素を貯蔵・放出する高分子」における化学種変換の速度、つまり水素の移動能を分光学的に評価し、それを材料およびシステム設計に還元しながら研究を推進・加速することが、当面の目標です。それをもう少し広く拡大して考えると、静的な界面の局所分析だけではなく、デバイスがまさに動作する(Operando)条件での界面局所解析という私のグループが特に力を入れている内容に繋がります。電界効果トランジスタ(FET)の動作中のキャリア分布や界面キャリア伝導をアシストする界面分子の挙動の解析は既にできつつありますし、二次電池の充電電中の界面の分析も精力的に進めています。こうした解析手法や解析結果が、本領域で目指す水素機能の発現やその理解につながっていくと期待し、精一杯取り組んで行きたいと思っています。



計画研究 A04 「高活性水素の精密制御による 新規反応プロセスの創出」

東京大学 教授 吉信 淳

～水素透過合金を利用した
触媒反応場の創出をめざして～

雰囲気X線光電子分光(AP-XPS)測定を通して、高活性水素の反応場を研究されていますね。A04での研究内容を詳しく教えてください。

ハイドロジェノミクスにおける我々のグループの目的の一つは、モデル触媒を作製して表面における高活性水素と吸着種をいかに上手に反応させるかを研究することです。そのために、雰囲気X線光電子分光(AP-XPS)などの表面分析装置を駆使して、水素が関わっている物質の電子状態や化学状態を観測しています(残念ながらXPSでは水素そのものの電子状態を直接観測することは難しい)。我々の利用するAP-XPS装置はSPRING-8のBL07LSU(東京大学放射光分野融合国際卓越拠点)に数台あるエンドステーションの一つです。物性研究所の軌道放射物性研究施設播磨分室が実質的にBL07LSUの運営を行なっています。このAP-XPSは数10mbar雰囲気中での測定が可能です。電子分光器の電子レンズの差動排気部に四重極質量分析計が取り付けられており、試料表面近傍の気相分子を観測することもできます。つまり、物

質(例えば触媒)の表面と吸着種をXPSで、気体分子(反応物と生成物)を質量分析計で、実時間でオペランド観測をすることができます。

我々の研究課題の中から、単原子合金モデル触媒を作製し、その物性と機能について調べた研究をご紹介します。CuはCOやCO₂を還元(水素化)してメタノールを合成する場合の触媒として有名です。しかし、水素分子の解離活性は、高い活性化障壁があるために、極めて低いです(図1aの赤いポテンシャル曲線)。そこで、メタノール合成に適したCuの触媒機能を保持しつつ水素分子の解離活性を上げることを目的として、Cu表面にPdを少量蒸着することにより、Cu表面原子とPd原子が置換した単原子合金モデル触媒を作製しました(図1b)。この単原子合金表面に水素分子を導入すると、Pdサイトでは活性化障壁がほとんどないので水素分子が容易に解離し(図1aの青いポテンシャル曲線)、スピンオーバーした水素原子がCuサイトに吸着します(図1b)。Cuサイトに吸着した水素原子を直接捉えることはなかなか難しいのですが、最近IRASを用いてCu-Hの振動を測定することができました。Cuサイトに吸着した水素原子はCuサイトからは活性化障壁のために脱離しに

くいので、表面に吸着した他の吸着種と相互作用して反応を起こす確率が増えると予想しています。現在、ホルメートの水素化やCO₂の活性化と水素化に取り組んでいますところ。これらの知見をもとに、水素透過金属膜を利用して高活性水素を創出し触媒反応へ応用する予定です。

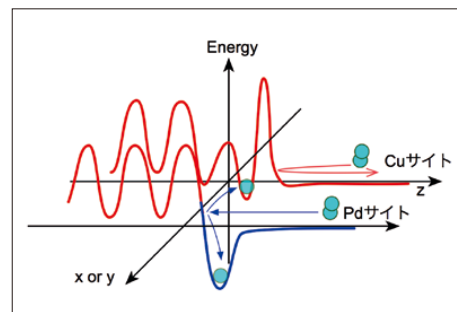


図1a／CuサイトおよびPdサイトにおける水素分子の解離吸着ポテンシャルエネルギー曲線

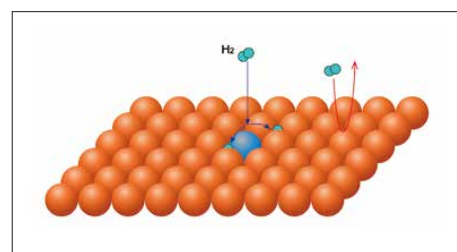


図1b／単原子合金Pd-Cu(111)表面における水素解離のモデル

異分野と多くの連携研究を進めていますが、手応えはいかがですか。

物性研は共同利用研究所ですので、これまで様々な研究者と共同研究をしておりまして。2009年に「Hydrogen and

Water in condensed matter physics (水素と水の物性物理)」という物性研主催の国際シンポジウムを常任先生と一緒に開催いたしました。その時のメンバーが、本ハイドロジェノミクスにも加わっています。ハイドロジェノミクスが始まり、連携研究はさらに広がっています。例えば、それまで私が扱ってこなかった有機金属錯体の中には、グローブボックス内で扱う必要のある反応性の高い錯体があり、SPring-8のビームラインBL07-LSUにグローブボックス・システムを整備していただきました。異分野の研究者とのコラボレーションは、測定のための試料作りから始まります。合成化学者との連携研究は緒についたばかりで、実験上の様々な難題を克服しながら研究を進めており、成果はこれからといったところです。ハイドロジェノミクスでは、様々な理論研究者が参加していることも魅力です。例えば、我々の表面反応キネティクスの定量解析から得られた吸着エネルギーや反応の活性化エネルギーの精密な実験値は、濱田先生らのファンデルワールス力を含めた密度汎関数理論計算のベンチマークとなっており、実験と理論が切磋琢磨しながら進歩するのを実感しています。

吉信先生ご自身の研究経歴について聞かせてください。

私は京都生まれの京都市育ちで、京都大学の理学研究科大学院卒業まで28年間ずっと京都にいました。大学院の時は、研究室の先生(当時の恩地勝教授、西嶋光昭助教授)と先輩の指導を受けて、高分解能電子エネルギー損失分光装置の製作と、それを用いた表面振動分光を行っていました。半導体や金属表面における原子や分子の吸着と表面反応を研究しておりましたが、その中にPd(110)表面のフォノンや水素吸着面の研究があります。

水素分子の解離吸着によりPd(110)表面の再構成が低温から室温にかけて起こるのです。「三つ子の魂百まで」とはよく言ったもので、今でもこの系に立ち戻り最新の機器で実験をすることがあります。

1989年3月に博士課程を修了したのち、ピッツバーグ大学化学科表面科学センターのJohn T. Yates, Jr.教授のもとで博士研究員として2年を過ごしました。アメリカ滞在中に、天安門事件、ベルリンの壁崩壊、湾岸戦争など世界史に残る出来事があり、中国やヨーロッパからの留学生・ポスドクそしてアメリカ人の世界観や常識の違いを実感しました。Yates研究室では、金属表面における表面光化学、赤外反射吸収分光などを行い、吸着状態やキネティクスの精密測定がいかに重要であるかを学びました。

1991年4月に帰国し、理化学研究所の基礎科学特別研究員として表面界面工学研究室(青野正和主任)に着任しました。そこでは、走査型トンネル顕微鏡(STM)の立ち上げを任されました。前任者や周りの研究者のアドバイスを受け孤軍奮闘の結果、Si(111)(7x7)の美しい原子像が見えた時は感動しました。この表面では、単原子操作、アセチレン吸着、Si(111)($\sqrt{3}\times\sqrt{3}$)-Ag表面への原子状水素(!)曝露効果などをSTMで観察しました。青野研での研究会を通じて、塚田捷先生と初めてお会いしたのもこのころです。1992年4月からは理化学研究所・表面化学研究室(川合真紀主任)のパーマメントの研究員として採用され、赤外反射吸収分光(IRAS)、STM、HREELSなどを用いて金属表面の分子の吸着状態や反応について基礎的な研究を行いました。

1997年7月に六本木の物性研究所に異動しました。物性研に移って初めて採択された科研費が特定領域研究「プロチウム新機能」の公募研究で、その課題名は

「プロチウムにより誘起される金属表面の低次元ナノ構造の探策と物性」でした。領域代表者の岡田益男先生をはじめ、深井先生など重鎮の先生から、材料と水素について多くのことを学びました。そして、当時の中堅・若手だった研究者の面々が、現在リーダーとして活躍しておられます(折茂先生!)。物性研は2000年4月に柏キャンパスに移転し、現在に至っています。

研究室での研究の様子を教えてください。

本年度の研究室メンバーは、私のほかに、助教1名、技術専門員1名、博士課程学生2名、修士課程学生4名です。流行っている研究テーマよりも、「10年後に総説や教科書・参考書に引用されるような先駆的あるいは新しい概念や解釈を提示するような基礎的研究を目指せ」とメンバーには言っています。表面科学における水素は重要な研究テーマの一つで、COやCO₂の水素化、炭化水素の改質などの触媒反応、燃料電池における電極反応、グラフェンCVDプロセスなどでは、常に水素は重要な役割を果たします。我々の研究室の大学院生はそれぞれ研究テーマを持っていますが、どこかで水素が関係しています。図2はSPring-8 BL07LSUで撮影した吉信研究室メンバーの写真です。BL07LSUのAP-XPSは通常のX線源によるオフライン実験も可能ですので、興味のある方は是非声をかけてください。



図2 SPring-8 BL07LSUにて：吉信研究室のメンバー (2019/6/11撮影)



東北大学金属材料研究所 北條 智彦

東北大学金属材料研究所秋山研究室助教の北條と申します。秋山教授にご指導いただきながら、おもに自動車用超高強度鋼板の水素脆化に関する研究を行っております。現在、自動車には燃費の向上と衝突安全性の向上が要求され、構造部材に用いられる鋼板の高強度化が進んでいるため水素脆化が問題となります。私は塑性変形時に相変態をとまなう自動車用高強度鋼板(高強度低合金TRIP鋼板)に注目し、高強度低合金TRIP鋼板の水素脆化特性、および水素脆化メカニズムの解明の研究を進めております。これまでに、秋山研究室ではオーステナイト→マルテンサイト変態時の水素放出を検出することに成功し、高強度低合金TRIP鋼板に予ひずみを付与することによって耐水素脆化特性が向上することを明らかにしてきました。水素脆化は鉄鋼材料の機械的特性を低下させる現象であり、水素は“悪者扱い”されていますが、鋼中への水素侵入の制御、鋼中の水素存在状態、水素の局在化の制御をすることにより高強度鋼板の水素脆化の抑制、耐水素脆化特性の向上が達成されると期待されます。

本プロジェクトにおいてさまざまな研究者の方々と連携をして鋼中への水素侵入を制御する表面層の検討、鋼中の水素局在化の要因の究明などを行っていきたくて考えております。ご指導ご鞭撻いただきますよう、よろしくお願いいたします。



兵庫県立大学大学院生命理学研究科 西川 幸志

初めまして。兵庫県立大学 大学院生命理学研究科の西川幸志と申します。私はタンパク質のX線結晶構造解析が専門ですが、現在は、水素の分解・合成を触媒する酵素:ヒドロゲナーゼを対象として、結晶構造解析の手法のみにとらわれず分光学的手法なども取り入れながら構造生物学的な研究を行っています。ヒドロゲナーゼは、常温・常圧で高効率な反応を触媒することから人工触媒への応用が期待されている酵素で、酵素の発見から100年あまり研究が続けられてきていますが、詳細な触媒反応機構や基質輸送のメカニズムは未だ明らかになっていません。ヒドロゲナーゼは生理的な触媒反応に加え、水素・重水素同位体交換反応やパラ・オルト核スピン異性体変換反応を触媒することが知られており、これらの反応を総合して解析することで、反応機構の詳細を調べることができると考えられます。そのため、我々はラマン分光法を利用して、酵素反応に伴うこれらの同位体や異性体の時間変化を追跡する手法を新たに開発し、速度論的解析を行っています。また、中性子結晶構造解析法を用いて酵素分子中の水素を直接観測することにも取り組み、より多方面からヒドロゲナーゼの反応機構を明らかにしようと研究に励んでいます。

本新学術領域研究の中で生物試料を扱う研究は少数派ですが、皆さんと協力しながらハイドロジェノミクスを推進していきたいと思っています。ご指導ご鞭撻のほど、何卒よろしくお願いいたします。



東京大学工学系研究科 佐藤 龍平

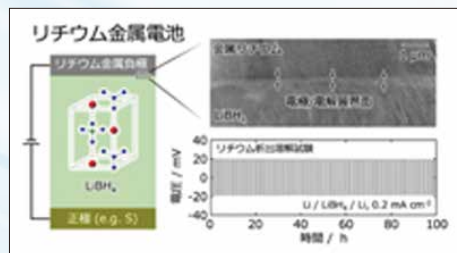
初めまして。東京大学の佐藤龍平と申します。材料の高機能化のため近年の材料合成は、高温高压等極限の条件下で行われていたり、多様な元素を含んだものが多く、結晶構造を推定することが困難な場合が数多く見られます。そこで現在、私は結晶構造推定のための実験データ同化分子動力学計算手法の開発を行っております。

XRDや中性子散乱等の実験は構造の情報を含んでおり、これらの実験データから“ポテンシャル”を作ることができれば、実験上得られている求めたい構造が最安定で他の準安定構造では不安定な“ポテンシャル”を作ることができます。これを、分子動力学計算に使われているDFT計算や原子間ポテンシャルと合わせることで、準安定構造で計算が止まってしまう可能性を大きく減らし、求めたい構造を効率的に得るような手法が実験データ同化分子動力学計算です。この手法の利点としては、(1)XRDのみでは決定困難な水素位置も同定可能(水素データ同化)(2)実験データから作った“ポテンシャル”を組み合わせるため、近似された原子間ポテンシャルやニューラルネットポテンシャルが利用可能であり従来のDFT計算に基づいた手法より短い時間で多くの試行が可能ということが挙げられます。

現在、この手法が数多くの未知結晶構造に普遍に利用できるプロセスの検討中の段階です。ハイドロジェノミクスの皆様と協力し、実験上得られている未知結晶構造について一緒に考えさせていただき、当手法のプロセスを確立すると共に皆様の材料の機能化・設計に貢献できるような仕事ができれば幸いです。ご指導ご鞭撻のほど何卒よろしくお願いいたします。

研究ハイライト紹介-1

東北大学材料科学高等研究所 助教 木須 一彰



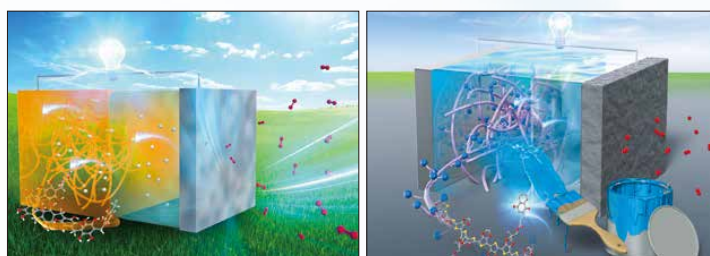
LiBH₄系錯体水素化物がリチウム金属負極に対して高い電気化学/化学的安定性を有することを電気化学測定にて実証

錯体水素化物は、高いリチウムイオン導電率・広い電位窓・金属リチウムに対する優れた安定性から全固体リチウム電池の固体電解質として注目されています。代表的な錯体水素化物固体電解質であるLiBH₄は高いリチウムイオン導電率を示すことから、全固体リチウム電池への応用が検討されている一方、金属リチウムの溶解析出に対する安定性の実証や、それらを含めた電池評価の議論は十分に行われていませんでした。本研究では、リチウム全固体電池の安定動作に向けて、LiBH₄系固体電解質の各種安定性評価および電池特性の評価を行いました。リチウム析出溶解試験における電圧応答の平坦性は安定性の指標となっており、錯体水素化物LiBH₄はこれまでに報告されている固体電解質の中で最も高い安定性を有していることが明らかになりました。

水素化物の電気化学特性やそのメカニズムにおける特異性は、リチウムイオン伝導体において見出されただけではなく、マグネシウムなどの多価イオンを含む水素化物においても近年注目されています。本研究で用いた各種電気化学的手法を応用することで、多価イオン伝導体としての水素化物の評価手法確立や新規材料探索に活かします。さらに多価イオン伝導のメカニズムの理解に向け、現在は公募研究先端計測グループ(A05-1 犬飼先生)との共同研究を進めています。

研究ハイライト紹介-2

早稲田大学先進理工学研究科 一貫制博士課程4年 岡 弘樹



有機レドックス高分子を負極とした高い出力・耐久性を有する空気二次電池の創製

有機レドックス高分子は、可逆に酸化還元するレドックス活性な部位を有する高分子であり、少量の電解質を含んで非晶質に凝縮した相(レドックス凝縮相)は、固体でありながら素早く電荷輸送するとして、基礎解明および応用に向けた研究が進んでいます。一方で、電解質水溶液を用いた空気二次電池は、その高い環境適合性、酸素を電極活物質とすることによる高い容量から、実用化に向けた期待が高まっていますが、(1)塩基性電解液に起因する炭酸塩の析出、(2)金属負極上でのデンドライトの形成、による低いサイクル特性が課題でした。本研究では、酸性水電解液、負極として酸耐性強い有機レドックス高分子を使用することにより、空気二次電池として高いサイクル特性(500サイクル以上でも劣化無)を達成しました。さらに同電池は、有機レドックス高分子での高速な電子・プロトンの交換反応により、高い出力(高速充放電)でも動作しました。有機レドックス高分子での素早い電荷・水素輸送は本研究から見出され、現在、さらなる高速化に向けて最適な分子設計の追究に取り組んでいます。

以上の高速移動水素に関連した有機レドックス高分子の新知見のもと、次世代創蓄電デバイスの設計にむけて、領域内での共同研究も進めています。この場をお借りし改めまして、新学術領域研究「ハイドロジェノミクス」での先生方のご支援・連携に深く感謝申し上げます。

"Neutron diffraction study on the deuterium composition of nickel deuteride at high temperatures and high pressures"

Hirofumi Saitoh, Akihiko Machida, Takanori Hattori, Asami Sano-Furukawa, Ken-ichi Funakoshi, Toyoto Sato, Shin-ichi Orimo, and *Katsutoshi Aoki

Physica B: Condensed Matter, 587, 412153(1-6), 2020, DOI:10.1016/j.physb.2020.412153

"Molecular Insights into the Ligand-Based Six-Proton and -Electron Transfer Processes Between Tris-ortho-Phenylenediamines and Tris-ortho-Benzoquinodimines"

Takeshi Matsumoto, Risa Yamamoto, Masanori Wakizaka, Akinobu Nakada, and *Ho-Chol Chang

Chem.-Eur. J., 2020, in press, DOI: 10.1002/chem.202001873

"Dinitrogen Activation and Hydrogenation by C₅Me₄SiMe₃-Ligated Di- and Trinuclear Chromium Hydride Complexes"

Takanori Shima, Jimin Yang, Gen Luo, *Yi Luo, and *Zhaomin Hou

J. Am. Chem. Soc., 2020, 142, 9007-9016, DOI: 10.1021/jacs.0c02939

"Probing dynamics of carbon dioxide in a metal-organic framework under high pressure by high-resolution solid-state NMR"

*Munehiro Inukai, Takuya Kurihara, Yasuto Noda, Weiming Jiang, Kiyonori Takegoshi, Naoki Ogiwara, Hiroshi Kitagawa, and Koichi Nakamura

Phys. Chem. Chem. Phys., in press, 2020, DOI:10.1039/D0CP01216E

共用装置のご紹介

高圧合成装置

- シーティーファクトリー、圧力(固体圧縮)3-6GPa、温度300-1000K
- 水素化物の高温高圧合成に使用
- 遷移金属元素のまわりに水素が高配位した「高配位型水素クラスター」を有する多様な高密度水素化物の合成に利用されている、Hy-draの愛称の高圧合成装置です。領域内連携で新たな高密度水素化物を探索しましょう。
- 設置場所: 東北大 折茂研究室



今後の予定

- 2020年8月20日(木)-21日(金) 「第3回ハイドロジェノミクス研究会」をオンラインにて開催いたします。
- 2020年10月頃 「第6回若手育成スクール」を開催いたします。
(詳細が決まり次第、WEBに掲載予定)
- 2020年11月27日(金)-28日(土) 「第6回全体会議」を東京大学物性研究所にて開催いたします。

[東北大 折茂研究室 テクニカル・マネジメントサポート]

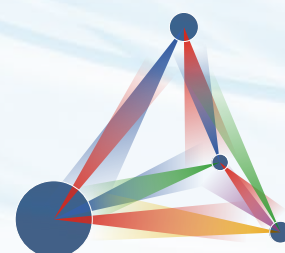
TEL: 022-215-2093

mail: secretary@hydrogenomics.jp

[東京工業大学 一杉研究室 マネジメント・アウトリーチ]

TEL: 03-5734-2636

mail: outreach@hydrogenomics.jp



Hydrogenomics