2022

NIMS NOW

NATIONAL INSTITUTE FOR MATERIALS SCIENCE

No. 2

2020

2019

2021

2018

2022

2017

2016

その先を描く

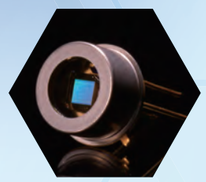
2021年。
創立20周年を迎えた節目のこの年、
NIMSは大きな飛躍を遂げた。

次世代電池、液体水素、マテリアルDX…
材料開発を取り巻く重要課題で
次々と大型国家プロジェクトが始動。
さらに、日本の産業力強化に貢献するオープンイノベーションの動きも加速した。
化学、全固体電池に加え、医薬品関連でも国内の代表的な企業がNIMSに集結し、
会社の壁を越えた研究開発がすでに始まっている。

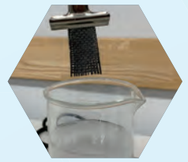
その背景にあるもの……。
それは、日本の材料研究を自らが支えるという自負と、
社会課題解決を目指した日々の研究活動。
そして、研究成果を最大化するために行ってきた組織改革が花開いた結果だ。

2022年。よりよい未来を創り出すための、さらなる飛躍の年へ!
NIMSの、躍進の1年を振り返る。

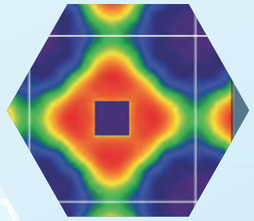
Draw the Future



President's interview
2022年度は集大成の時期 p.4



2021
NIMS
Press Release
INDEX! p.8



次世代電池開発 p.12

液体水素 p.10

化学MOP p.14

医薬品関連MOP p.15

President's interview
2021年を振り返る

2022年度は将来に向けた NIMSの大きな流れを完成させる時期

国の研究機関として社会的課題の解決に貢献する研究開発を行うには、組織としての研究力と個々の研究力を高める必要があると、組織改革やマネジメント強化を推し進めてきた橋本和仁理事長。7年間の中長期計画の6年目に当たる2021年度は、これまで積み重ねてきた試みが花開いたと話す。さまざまなプロジェクトで中心的役割を果たすNIMS。総決算となる2022年度に向けた熱い思いを聞いた。

橋本和仁
Kazuhito Hashimoto
物質・材料研究機構（NIMS）理事長

自由発想研究と組織への貢献の両立

2021年度は、カーボンニュートラルに向けたエネルギー関連研究や、材料開発の手法そのものを大きく変えるポテンシャルを持つマテリアルDXの推進など社会からの要求が高い分野において大きな進展がありました。さらに産業界との連携においてもこれまで積み重ねてきた試みがいよいよ花開きはじめ、新たな業界との連携も始まるなど大いに発展しました。7年間の中長期計画も6年を経過し、これまで進めてきた組織改革やマネジメント強化もかなり浸透してきたと感じています。

私は理事長に着任してから、全ての研究者に対して「エフォートの50%は個人の興味に応じて自由にテーマを設定し研究に取り組んでいい。一方、残りの50%はNIMSの組織ミッションのために働いてほしい」と伝えてきました。NIMSは国の研究機関ですから、研究を通じて社会に貢献することが使命です。国が定めた方針に沿って、さまざまな社会的課題の解決を目指した研究開発が求められています。一方で、組織としての研究力を高めるためには、個々人の研究力を高める必要があります。そのためにエフォートの半分を自由発想研究に使うことを認めています。これは私の研究者時代の経験から、研究力を高めるためには自分の好きな研究を行うことが一番だと確信しているからです。

この意味するところはオーケストラをイメージすると分かりやすいでしょう。オーケストラのメンバーそれぞれは、ソリストとしても世界で活躍し、個人としての力を備えた奏者であることが望まれます。優れた人たちが集まればオーケストラとしても素晴らしい演奏になるはずです。しかし、ここで注意も必要です。オーケストラでは皆が自分を押し出してはいけない。曲に応じて、主役になるパートの人がいれば、サポートに回ることが必要になる人もいます。このことはNIMSという研究組織にも同じことが言えます。

そこで、ソリストとして50%は自分の好きな研究を存分にやっていい。しかし、残りの50%はオーケストラの一員として、チームとしてのパフォーマンス向上を優先してくださいとお願いしているわけです。この方針を徹底させるに当たり、組織においても、個人としても、持てる力を存分に発揮し、最大のパフォーマンスを生み出せるよう、最適な研究・支援体制の構築や適切な予算配分を行っています。また個人評価も個人業績と組織的貢献が可能な限りそれぞれ50%に近くなるよう実施しています。

この考えをNIMSのメンバーは皆よく理解し、実践してくれていると思います。そして成果として現れてきていると感じています。例えば研究力の代表的な目安となる論文発表数ですが、NIMS全体の論文数は毎年増え続け、現中長期計画の開始前の2015年は1222報だったのが、2021年はすでに1553報に達しています（2022年2月15日時点での集計値）。また、論文の量だけでなく質も向上してきています。優れた論文の指標としてよく使われるトップ1%論文、10%論文の割合がNIMSは日本の大学・公的研究機関の中ではトップ、世界でもトップクラスの研究大学等と並ぶレベルになっています。さらに競争が激化する科研費の獲得額が増えていることからも研究力の向上は見てとれます。

組織的研究活動においても今年度NIMSは二次電池や液体水素分野で新たな大型国家プロジェクトに採択されました（p.10～12参照）。さらに詳しくは後述いたしますが、文部科学省において今年度から開始された我が国アカデミアのマテリアルデータを集めるプラットフォーム事業において、これまでNIMSが作ってきたシステムを日本全体に広める方針のもと、NIMSは中核拠点として選定されました。民間との共同研究においてもソフトバンクとの空気電池開発プロジェクトで大きな成果を発表するなど大きな動きがありました（p.13参照）。

このように、自由発想研究と組織ミッション研究への貢献をそれぞれ50%で行うという方針がしっかりと個々の研究者に行き渡ったことにより、それが成果として目に見える形で現れてきたと思える1年間でした。

日本の産業力強化を目指すMOPの整備

個々の会社との共同研究だけではなく、同業多社がNIMSを場としてオープンイノベーションを推進するMOP（マテリアルズオープンプラットフォーム）という取り組みを本中長期計画から始めています。これは同じ業界の中で競い合っている複数の企業が、壁を越えて共通基盤的な研究をNIMSという場において共同で取り組むという大変野心的な試みです。

一例をあげると、化学業界の国内大手である旭化成、住友化学、三井化学、三菱ケミカルの4社に対しこの試みを提案し、2016年に化学MOPをスタートさせました。長らく競い合っている企業同士の協働ですから、各社とも意義は理解しつつも当初はかなり慎重、というより疑心暗鬼であったように思います。そこでテーマ設定に当たってはNIMSが御用聞きよろしく各社の意向を何度も聞きまわり、調整しました。その結果、基本的ポリマー材料のマテリアルズ・インフォマティクスをターゲットに、データ収集とAI解析を共同で行うことをテーマとして設定し、研究を進めてきました。開始後5年たちましたが、大変うまく進んでおり、各社の満足度も高いように思います。今や4社だけでなく、より多くの企業へと広げられないかという要望が産業界側から出るに至っているほどです。

もう一つ例を紹介するのであれば、今年度発足した医薬品関連MOPが面白いですね。日本の医薬品メーカーは、世界の企業と比べると規模が大きくありません。そこで連合で取り組むという選択肢は魅力的です。もちろん新たな薬の化合物を得ること自体は各社の要であり、競争相手と組むことは決してできないでしょう。しかし得られた候補物質を薬の形にする製剤化技術の開発などは、皆で協力して行うことは可能なはずです。そのような提案に対し、国内の代表的医薬品メーカー11社が参加してスタートしました。大きな成果を期待しているところです（p.15参照）。他にも現在、全固体電池MOPが稼働しており、また来年度には磁石MOPも発足する予定です。

NIMSの研究者にとってこうした企業間の連携を仲立ちし、助ける仕事は本来の研究からはかけ離れているかもしれません。メインプレーヤーはあくまで企業の人たちであり、NIMSのメンバーは黒子に徹することになるからです。先ほど述べた典型的なサポートに回るパートです。けれども、日本の産業界に対する貢献という意味では、大きいと確信しています。

マテリアル先端リサーチインフラ事業の中核拠点（メインハブ）に

現中長期計画で組織として注力した取り組みの一つに、材料開発のDX（デジタルトランスフォーメーション）化があります。特にAI・データ科学を材料開発に取り入れた

マテリアルズ・インフォマティクスがアカデミアのみならず企業の開発現場にも広がる中で、その基盤となるデータの重要性が増しています。NIMSは材料データプラットフォームの構築を強力に推し進めてきています。

例えば効率的に材料データを集める仕組みの1つとして、測定した高品質なデータを装置からデータサーバへ自動的に転送するシステムを構築しています。すでに150台ほどの装置で稼働しており、さらなる拡大を図っています。装置によってデータの出力形式は統一されていないため、そのままのデータを集めても意味がなくフォーマットを揃えてから蓄積する必要があります。さらにサンプルに関する情報やデータを取った時の条件など、いわゆるメタデータも重要です。これらが揃ってこそデータは有効に活用することができます。そこで、NIMSではデータを自動的に翻訳してフォーマットを揃え、生データとメタデータを自動的にサーバに貯めるシステムを構築しました。加えてセキュリティの強化も必須であり、この事業はとても労力とお金のかかる仕事です。実際NIMSではこれまでデータプラットフォーム事業にかなり大きな人的、資金的資源投入を行ってきています。

これだけかけて整備しているデータプラットフォームです。ただデータを集めるだけではなく、上手く活用するための仕掛けも重要です。そこでデータ活用型の研究を支援する新たな制度を今年度スタートさせました。実験研究者がデータ駆動型研究の専門家と共同で研究するというのが条件です。開始してまだ半年ほどですが、先日報告会を行ったところ、すでに研究者自らが驚くほどの予想を上回る大きな成果が現れていました。宝の山かもしれないと思われてきたデータは、本当に宝の山である可能性が高いという自信を持つに至りました。いま世界中でデータ活用型研究が加速していますが、NIMSは世界のトップクラスを走っているに違いないと自負しています。

こうした取り組みを当初はNIMSの中だけで行ってきましたが、国立研究開発法人としては良いものは日本全体に広げていく義務があると考えています。そこで数年前から、NIMSのシステムを全国展開することを文科省に働きかけてきました。その結果、今年度から「マテリアル先端リサーチインフラ」という文科省の新事業が開始されました。これは全国に5つのハブを設定し、大学と国研合わせて25の法人からのデータを共有、クラウドサーバにデータを蓄積するプロジェクトです。ここにNIMSはこれまで得た技術やノウハウをすべて提供し、また全国のデータ中核拠点としてこの事業全体を統括する役割も担っています。

このようにアカデミアの生み出すデータを根こそぎ集めてデータベース化するというのは世界にもない極めてチャレンジングな事業です。規模が大きくなることでセキュリティの問題、利用者をどのように限定していくのかなどの課題も生まれます。解決すべき課題は多くありますが、まさに国運をかけたプロジェクトにおいてNIMSは中心的役割を果たすことになります。

カーボンニュートラル社会に向けて重要な二次電池と液体水素

カーボンニュートラル実現への取り組みも、NIMSの大きな活動の一つです。中でも二次電池の開発においては、ここ数年力を注いできました。そして今年度、文科省の「先進蓄電池研究開発拠点」として採択されました。二次電池の研究開発における日本のアカデミアの中核機関として位置づけられたといってよいと思います。とくに全固体電池に関しては、前述のMOPでの活動も含め、アカデミアだけでなく産業界も含めた我が国全体の中核研究機関を目指しています。

水素液化のための磁気冷凍試作機。

カーボンニュートラルに向けたNIMSのもう一つの軸は液体水素関連研究です。「液体水素を作る」と「液体水素下での材料の安全性を評価する」という2つのプロジェクトが行われています。前者のプロジェクトでは今年度、世界に先駆けて磁気冷凍法による水素液化に成功しました。これは従来の液化法に比べて液体水素製造コストを大きく低減する可能性を持つ技術です。早速、産業界からも注目され共同研究が開始しました。

後者の安全性評価では、液体水素下という極限状況下で、長期的安定性を評価する必要があります。NIMSにはもともと高温高圧下での長期にわたる材料の信頼性を調べるクリープ試験や、液体水素を燃料とするJAXAのロケット開発において極低温下での材料信頼性の試験を行うなどの実績があります。現在、液体水素下での安全性を評価する公的機関は日本にはなく、海外に依頼せざるを得ない状態です。水素社会に向けた激しい国際競争においては、材料評価というような基幹的なことは海外に頼むのではなく国内で行える体制を整えるべきです。NIMSはその評価実施機関となることを期待されて今年度、NEDOプロジェクトに採択されました(p.10-11参照)。

さらにNIMSではカーボンニュートラル社会実現に向けて、熱電発電、太陽電池などの研究にも取り組んでいます。材料研究機関として様々な関連研究を先導していこうと思っています。

桜地区のベンチャーインキュベーション棟。

NIMS発ベンチャーを積極的に支援

スタートアップベンチャーの活性化が国の大きなテーマですが、NIMSにおいても様々な制度を作ってサポートしています。今年度は大きなニュースがありました。2000年に誕生したNIMS発第一号のベンチャー企業「オキサイド」が上場を果たしたのです。この影響もあるのかもしれません。NIMS内でもベンチャー起業に興味を持つ研究者が増えていると感じています。こうした研究者を後押しするため、特許収入などのNIMSの自己収入の中から1億円を基金として用意し、優れたNIMS発のベンチャーに出資する制度を創設しました。最近、外部の専門機関による評価プロセスを経て、断熱材と遮熱材の研究・開発を行う株式会社Thermalyticaを機関出資第1号として選定し、出資を行ったところです。

また、桜地区をベンチャー推進のための地区と位置づけ、ベンチャー企業が集う研究棟を整備しました。今後、ベンチャー支援の取り組みを加速したいと思っています。

世界トップレベル研究者の特別公募

研究力強化の一環として、世界トップレベルの物質・材料研究を推進する研究リーダーの特別公募も今年度開始しました。世界の優れた研究者に応募してもらうため、最大1億円のスタートアップ資金を提供することを目玉としました。政府やマスコミからも大きな注目を集めています。これまでに多くの応募があり、現在、採用候補者と詳しい条件などの交渉段階に進んでいる案件もあります。さらに引き続き優れた研究者を広く募集中です。

この公募に応募してくる研究者にはすでに海外で素晴らしいポジションにつき、恵まれた研究環境にいる研究者も多くいます。そのような一人になぜ応募したのかを問うたところ「NIMSの研究環境に惹かれたため」という答えが返ってきました。日本の研究者を取り巻く環境は世界と比べると悪化していると言われていますが、NIMSは違う。NIMSの研究環境は世界から見ても魅力的であることがうかがえます。これまでの方向を堅持し、研究環境の向上にさらに取り組もうと考えています。

「今年度のこうした様々な分野の目覚ましい成果を踏まえ、来年度は特に何に力を入れて取り組むか?」という問いに対しては、その答えは「全てに!」と答えたいと思います。現中長期計画の総決算となる2022年度は、現在に至る成果の集大成の時期と位置づけ、次期につなげることが重要だと考えています。

2021 NIMS

Press Release INDEX !

NIMSは物質・材料研究のトップランナーとして、
次世代へつなげる新たなマテリアルサイエンスの未来を創り出しています。
今年度のNIMSの歩みを振り返りましょう。

各リリースの詳細はこちら⇒

1.19　新機構の“横型”熱電効果を実証
熱電材料と磁性材料の組み合わせで巨大な熱起電力を生成、熱電技術の応用展開に新たな道

2.19　小さな磁場変化だけで大きな磁気冷凍効果が得られる現象を発見
永久磁石で小型・省電力な液体水素貯蔵・輸送システムへの応用に期待

3.5　磁場に強い超伝導を実現する新たなメカニズムを発見
原子レベルの厚さで起こるスピンのひねりが鍵　量子コンピュータ素子などへの応用に期待

3.10　溶接しても超長疲労寿命な第二世代FMS合金を開発
耐荷重性の高い十字型溶接が可能に　長周期地震動に強い新型制振ダンパーの普及に貢献

東日本大震災で問題になった長周期地震動の揺れを繰り返し吸収し、大きな地震から建物を守るFMS合金。制振ダンパー用にNIMSが開発したこの合金がさらに進化。従来比10倍の疲労耐久性はそのままに、FMS合金同士を溶接しても割れが発生しない新成分の第二世代FMS合金を開発しました。合金板を断面十字やH字に接合できるようになることで、より高い荷重に耐えられるなど制振ダンパーの高性能化が期待されます。

4.1　NIMS構造材料データシートの発行について
炭素鋼の長時間クリープ試験材の金属組織を収めた微細組織写真集など6冊を公開

4.13　銅酸化物高温超伝導体の電子状態の定説が覆る
一次元的な動きの重ね合わせをコンプトン散乱で初観測

4.17　半世紀以上熱電変換の最高性能を誇るBi_2Te_3系に匹敵する新規材料を開発
希少元素を大幅削減して高性能化とモジュール化に成功　熱電変換普及への貢献に期待

4.22　NIMSとUMI、素材・化学分野の起業・事業化を相互協力覚書を締結

4.27　いつでもどこでも使える、使い捨て型の一酸化窒素ガス発生器を開発
肺高血圧・感染症・外傷などを原因とする急性呼吸不全の重症化抑制に向けた応用が期待

5.14　インド工科大学ハイデラバード校（IITH）と材料研究のための学術連携センターを開設
コロナ禍後の研究交流強化を目指して

5.20　歯車の再利用可否の判定手法を共同開発

5.24　めちゃくちゃ硬い！『ヤシガニ』のハサミの驚くべき内部構造
生物の謎に迫るハサミ内部の3D表示に成功、究極の強靭化材料の組織・構造を探求

提供：一般財団法人 沖縄美ら島財団

甲殻類最強の挟む力を持つ「ヤシガニ」のハサミ。ライオンの噛む力と同じ強力なパワーでなぜ壊れないのか? NIMSは、その複雑な組織構造の3次元可視化に成功。鉄鋼並みに硬い層の内側に、それより軟らかい多孔質層があり、クッションのような役割を担うことで、軽さと強靭さを兼ね備えていました。希少生物の謎に迫るだけでなく、究極の材料強靭化を実現する大きなヒントとなると期待されます。

5.27　「2元表面アーキテクトニクス」による微細印刷エレクトロニクスを確立

5.27　1Vで動作する高性能薄膜トランジスタを印刷のみで作製
「低温焼結塗布型シリカ」による多層印刷を確立

6.3　テントウムシ脚裏の接着原理を解明
なぜ、ガラスの上でも硬い脚先が滑らないのか。40年の議論にピリオド

6.4　特別公募「世界トップレベルの物質・材料研究を推進する研究リーダー」を開始

6.14　トロトロも、そよそよも、トロそよも数値で見分ける
液体から気体まで切れ目無くカバーする粘度測定法の開発に成功

6.21　嗅覚センサーと機械学習でニオイのデジタル化と見える化に挑む
「擬原臭：限られたサンプルの中で基準となるニオイ」を選ぶ

嗅覚センサーと機械学習を利用することで、限られたニオイサンプルの中から、基準となるニオイ「擬原臭（ぎげんしゅう）」を選定する技術を開発しました。様々なニオイを数種類の擬原臭の混合比で表すという、ニオイの「デジタル化」が可能となります。デジタル化により、色のようにニオイも分解・合成が可能となり、ニオイの記憶、学習、送信、理解、さらには見える化も促進できる技術です。

6.25　医薬品関連マテリアルズオープンプラットフォーム発足
⇒P.15インタビュー参照

7.21　限定性・偏向性のあるデータから新材料を推薦するシステムを開発
永久磁石で小型・省電力な液体水素貯蔵・輸送システムへの応用に期待

7.29　ペプチド水溶液に浸すだけで熱硬化性プラスチックをリサイクル
炭素繊維強化プラスチック (CFRP) 再利用への新戦略

飛行機や自動車の軽量化に向けて利用が拡大する炭素繊維強化プラスチック（CFRP）。炭素繊維を熱硬化性樹脂であるエポキシ樹脂で固めることで、軽量かつ高い強度を実現していますが、エポキシ樹脂の分解が難しくCFRPのリサイクルを妨げていました。今回、天然由来のペプチド水溶液に浸すだけでエポキシ樹脂が分解できる技術を開発。分解した樹脂も回収し再利用できるため、CFRPの再利用をはじめ、熱硬化性樹脂を利用する幅広い産業分野でリサイクルの促進が期待されます。

8.5　COVID-19の簡易診断の感度を劇的に向上させる濃縮・精製法の開発

8.27　NIMS Award受賞者に
安藤 恒也 氏、Allan H. MacDonald氏、Pablo Jarillo-Herrero氏の3名が決定

8.30　水素は軟らかい金属を好む?
水素化物の出現を支配する因子を解明

9.8　ポータブルなエチレンセンサーの試作機を開発
簡単な操作で青果物の適正管理を実現

9.27　NIMSと大阪大学大学院情報科学研究科が“博士人材育成”の連携講座を設置
サイバー空間とフィジカル空間の融合技術で社会課題を解決へ

10.11　ヒトの目の様に錯覚する人工視覚素子を開発
ソフトウェアを用いない画像処理を可能に

10.25　最少の実験回数で高い予測精度を与える汎用的AI技術を開発
材料開発のDX：NIMS、旭化成、三菱ケミカル、三井化学、住友化学の水平連携で実現

11.9　人工ニューラルネットワークで明らかになった高温超伝導の隠れた起源

11.9　高エネルギー分解能LaB_6ナノワイヤ電界放出型電子銃の開発
透過電子顕微鏡による原子分解能像観察にも利用可能

11.15　機械学習を活用した効率的なネオジム磁石の高特性化に成功
限られた実験データから最小限の実験でネオジム磁石の最適な作製条件を予測

電気自動車などの駆動モーター用として需要が急増しているネオジム磁石について、その作製条件を変化させて得た実験データに機械学習を適用することにより、最小限の実験回数で磁石特性を最大化できることを実証しました。

12.9　超高温・大面積ナノ薄膜装置（超高温LB膜製作装置）の開発に成功
200℃にも迫るウエットプロセスで高配向有機半導体ナノ薄膜の製造が可能に

12.15　500Wh/kg級リチウム空気電池を開発
世界最高レベルのエネルギー密度を実証
⇒P.13インタビュー参照

12.20　令和3年度「秀でた利用成果」の発表について

12.24　室温で量子輸送可能な2.8nmのカーボンナノチューブトランジスタ
熱・応力誘起らせん構造転移による金属CNT内半導体ナノチャネルの実現

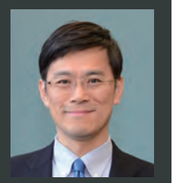
12.24　NIMSが「PRアワードグランプリ2021」のグランプリを受賞

NIMSは、(公社)日本パブリックリレーションズ協会主催の「PRアワードグランプリ2021」において最高賞であるグランプリを受賞しました。登録者17万人以上のYouTubeチャンネル「まてりある's eye」の高い訴求力を活用し、一般公開や材料コンテストで多くの若者に材料科学の魅力を訴えかけたこと、およびこれがきっかけで材料系の大学に進学したとする若者が数多く現れるなど、次世代の行動に変化を起こした広報活動が高く評価されました。

液体水素

水素社会の実現に向けた 液化水素用材料の研究開発が本格始動

水素社会実現に向け、水素を効率的に液化する磁気冷凍方式の実用化が期待されている。NIMSでは、最適な磁気冷凍システムの開発を行うとともに、水素の液化に特化した磁性体の開発を進める大型プロジェクトが始動中。すでに新開発のシステムで水素の液化にも成功した。液体水素材料研究センターの清水禎センター長に、開発の現状と今後の課題を聞いた。



液体水素材料研究センター長
NMRステーション長
清水 禎
Tadashi Shimizu

水素サプライチェーン 4つの技術課題

水素はカーボンニュートラルを実現させる上で重要な新エネルギーの一つです。日本は島国でパイプラインによる輸入ができないことから、天然ガスを海外の生産国で液化してタンカーで運ぶというLNGサプライチェーンを世界に先駆けて確立してきました。その結果、日本は世界一のLNG消費国になっています。そして現在、日本は世界に先駆けて水素のサプライチェーン構築を目指しているところです。

水素は単体では存在しないので、水などの水素化合物を分解して作り出す必要があります。そのため、エネルギーの安い国で水素を製造し液化してタンカーで運ぶことになるのですが、これはLNGの時と構図が似ています。

水素のサプライチェーンは、産業構造的に「水素の製造」「水素の液化」「水素の輸送と貯蔵」「水素の利用」という4つの要素からなっていますが、いずれの要素においても大きな課題があり、それを克服するためには材料分野での技術開発が求められています。

LNGの時は、日本がビジネス化するよりも前に欧米が基礎技術を開発し、世界標準と国際ルールを確立してしまいました。そのため、サプライチェーンに関わる主要製品やその検査料など、利益率の高い部分を今でも欧米に独占されているのが現状です。その点、水素分野では技術の世界標準は現時点でまだ整備されていないので、日本が先導的役割を果たせるようになる可能性を秘めているのです。

水素サプライチェーン4要素の技術課題の概要を紹介しましょう。「水素の製造」は化学反応を高効率化する課題であり、高性能な触媒の開発が鍵となります。水素の原料は水または化石燃料なので、水を水素と酸素に分離する触媒や、化石燃料を水素と炭素と酸素に分離する触媒などを開発する必要があります。「水素の液化」については、水素の価格を押し上げている主な原因が液化工程なので、その効率を劇的に向上させることが目的です。「水素の輸送と貯蔵」では、水素脆化と低温脆化に耐えられる安全性を担保しつつ、価格も抑えられる輸送・貯蔵用の材料の技術を確立する必要があります。「水素の利用」では、燃料電池の応用範囲を乗用車以外のシステムにも拡大するためそれぞれの用途に適した新材料を開発する必要があります。NIMSはこれらの課題を解決しうる材料技術の基盤を持っており、これからの取り組みが大いに期待されているところです。

そのうち、水素の液化技術について少し詳しく説明します。水素は液体状態にすると体積が気体の約800分の1になり、運搬や貯蔵などが現実的に行えるようになります。つまり、水素エネルギーを普及させるために液化は欠かすことができません。けれども、液化点が20K（-253℃）と低温のため、大きなエネルギーが必要になるという問題がありました。

水素を液化するためにこれまで使われてきたのは気体冷凍方式という技術です。これは気体を圧縮・膨張させることで温度を下げるもので、エアコンや冷蔵庫にも使われています。その技術自体は200年以上前の産業革命期にエンジンなどの熱機関とほぼ同時期に生まれたものであり、これ以上の大きな革新は見込めません。現状の水素液化装置は従来方式による欧米製品が世界市場を独占しており、建設コストや液化効率などの観点から、水素社会の実現に大きなネックになっています。

水素分野で先導的役割を果たす 技術開発

そこで、液化効率を上げる方法としてNIMSが注目したのが「磁気冷凍」の技術です。これは磁性体に磁石を近づけると温度が上がり、離すと温度が下がる性質を利用したものです。磁性体が受ける磁場の強さを変えるだけでよいため、気体冷凍方式に比べて効率が圧倒的によくなると期待されているものです。

この磁気冷凍方式の技術開発において日本は以前から世界を先導してきましたが、中でもNIMSでは長年にわたって研究してきた実績があります。磁気冷凍方式は、ゲームチェンジングの可能性を持つ歴史的にも重要な技術課題なのです。

これを水素の液化に応用するため、2018年にはJSTの「未来社会に必要な革新的水素液化技術」プロジェクトの主軸として、「磁気冷凍技術による革新的水素液化システムの開発」がスタートしました。そして今年度、NIMSは新開発の磁気冷凍方式での液化に成功、画期的な第一歩を踏み出したのです。

この成功を受け、実用化に向けて今後力を入れるべき開発のポイントは2つあります。

1つめはシステム開発です。計算機を用いた数値解析を取り入れることにより、現在は、最適な方法を効率よく探ることができるようになってきています。今回液化に成功できたのも、数値解析の助けも借りて磁気冷凍用のシステム設計を行ってきたことが大きな要因の一つだと考えています。

2つめは磁性体材料の開発です。水素の液化点である20Kで最高の性能を出せるような磁性体の研究はこれまでになかったため、今後は水素の液化に特化した新材料を開発する必要があります。最適な物質を探るためにも機械学習を取り入れ、確実な手応えを得ているところです。今後は液化量を増やすなど、未来社会の姿を変える実用化へ向けた技術の開発を行っていきます。

水素液化のための磁気冷凍試作機と開発チームの神谷宏治グループリーダー。

Pick Up

構造材料研究拠点
副拠点長
片山英樹
Hideki Katayama

構造材料研究拠点
材料強度基準グループ
主幹研究員
小野嘉則
Yoshinori Ono

NIMSはNEDOのプロジェクトで、液化水素運搬船や貯蔵用のタンクなどの液化水素関連機器に使用される材料の機械特性評価を行う。今、桜地区に新しく整備する試験装置や施設など評価試験場を設計中だ。プロジェクトの現場を担う片山英樹と小野嘉則が現状を話してくれた。

片山 水素の社会実装を促すには、供給設備の大型化による供給コストの削減と、大規模な水素需要の創出を同時に行う必要があります。とりわけ前者を実現する上では、液化水素の製造、輸送・貯蔵、利用に関わる設備や機器を構成する材料の信頼性評価を適切に行うことが重要であり、その基盤となる評価設備の整備が必要となります。

小野 NIMSは、2021年度にNEDOの「グリーンイノベーション基金事業／大規模水素サプライチェーンの構築プロジェクト」において、「液化水素関連機器の研究開発を支える材料評価基盤の整備」というテーマで採択され、プロジェクトを進めることになりました。液化水素の普及に向けて、極低温水素環境下試験設備を整備して、液化水素運搬船や貯蔵用のタンクなどの液化水素関連機器に使用される材料の機械特性評価を行います。NIMSはこれまでJAXAと協力して、液体ロケットエンジン材料の極低温下での機械特性評価を行ってきた実績があります。また、水素環境での評価試験を大がかりな設備を使用することなく行える「中空試験片方式」を開発しました。これらの実績や技術は本プロジェクトに貢献しうるものと考えています。

片山 本プロジェクトがスタートしてからおよそ半年。桜地区に新しい評価試験場を整備すべく、現在、評価試験のための試験装置の設計や、それらの装置を設置する施設の設計などを進めています。

次世代電池開発

電池開発の中核拠点へ、機能を強化

全固体電池やリチウム空気電池をはじめ次世代の革新的電池開発をリードするNIMS。今年新たに「先進蓄電池研究開発拠点」が正式発足し、AI技術などを活用し、電池開発設計・解析プロトコルの研究を進めている。高田和典拠点長に次世代電池開発の現状と今後の課題について聞いた。

エネルギー環境材料研究拠点 拠点長
高田和典
Kazunori Takada

寿命が長く、信頼性の高い全固体電池の開発

1991年、ニッケル水素蓄電池とリチウムイオン電池という小型で容量の大きな二次電池が登場したことで、携帯電話やノートPCの普及が急速に進むなど、電池の新しい用途、市場が開かれました。そして現在、電気自動車の普及が本格化するなど、リチウムイオン電池ではカバーしきれないほどの高い性能を持つ電池の要望が高まっています。

多くの次世代電池が開発される中で、NIMSは主に全固体電池とリチウム空気電池という2つの電池の開発に携わっています。

全固体電池とは、電池内の電解質に液体ではなく固体を使ったものです。蓄電量を増やすことができ、充電に時間がかからないことから、電池の性能が飛躍的に高まると期待されています。さらに、リチウムイオン電池よりも寿命が長くなると言われています。自動車などは最低でも10年以上の使用に耐える必要があるため、寿命が長く、信頼性の高い全固体電池の開発が待たれています。

たとえばトヨタは全固体電池の車を試作し、実用化へ向けて開発を進めていると発表していますが、それは固体に硫化物を使用したものです。硫化物を使うと非常に高い性能が出るため、まずは硫化物での実用化が進められていますが、一方で、水分と反応しやすく空気中に出すことができません。製造プロセスが大きな制約を受けることになり、当然コストもかかります。

酸化物型に取り組む「全固体電池MOP」

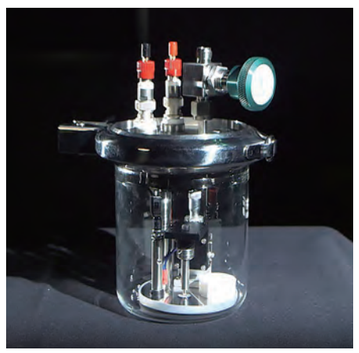
NIMSでは、空気中でも安定で扱いやすい酸化物、いわゆるセラミックを電解質に使った全固体電池の実用化に向けて、性能の向上と、製造プロセスの研究開発を行ってきました。その成果を基盤に、自動車メーカー、材料や電池メーカーなどと共同で酸化物型の全固体電池に取り組む「全固体電池MOP」を2020年に立ち上げました。

硫化物を使った電池の性能はリチウムイオン電池を超えたとも言われますが、製造工程が厄介でコストがかかり、長期的視点に立つと酸化物を使った電池を手がけたいという考えの企業はとても多いのです。一方で、酸化物ではまだまだ性能が低く、社内では実用化へのギャップが大きい材料の研究開発に取り組みにくいという事情もあります。それなら皆でそのギャップを超えようと、NIMSが中心になって声をかけて実現したのが全固体電池MOPです。コロナ禍にあって思うように進まない部分もありますが、現状、酸化物型固体電池を開発するための基盤作りや、開発の道具作りを進めているところです。

リチウム空気電池に関しては、ソフトバンクと連携して開発に取り組み、成果を上げています。また、JST（科学技術振興機構）のALCA-SPRING（次世代蓄電池プロジェクト）というプロジェクトにはNIMSの研究者も多く参加しており、資源的な制約が低いマグネシウム電池なども手がけています。

さらに今年度は、NIMS内に先進蓄電池研究開発拠点を正式発足。これまでトライアンドエラーを重ねることで開発を進めてきましたが、AI技術などを活用して効率の良い開発の手順を構築しようということで、電池開発設計・解析プロトコルの研究を進めています。

このように、今年度は全固体電池、リチウム空気電池を2本の柱としながら、次世代電池開発プロジェクトの多くに関わってきました。今後も引き続き、NIMSが中心となって革新的な電池の開発、実用化に貢献できればと考えています。



全固体電池の試作セル。

Pick Up

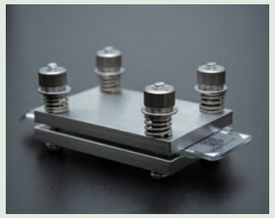
フェロー・理事長特別参与
魚崎浩平
Kohei Uosaki

エネルギー・環境材料研究拠点
二次電池材料グループ
松田翔一
Shoichi Matsuda

空気電池開発

ソフトバンクと連携して開発しているリチウム空気電池が500Wh/kgを実証。さらなる軽量高エネルギー電池の可能性を探索している。魚崎浩平と松田翔一に実用化に向けた今後の研究について聞いた。

魚崎　現在のリチウムイオン電池に比べて性能がはるかに優れる電池として、NIMSではALCA-SPRINGの支援のもとでリチウム空気電池の基礎研究を進めてきました。2018年には、ソフトバンクと共同で「NIMS-SoftBank 先端技術開発センター」を設立。携帯電話基地局やHAPS（成層圏で稼働する通信プラットフォーム）などに向けて、実用化を目指した研究、開発を進めています。その結果、リチウム空気電池として、500Wh/kgという世界最高レベルのエネルギー密度（電池容量）を実現し、2021年12月にプレス発表を行いました。



独自材料である多孔性カーボン電極を適用した高エネルギー密度リチウム空気電池セル。

松田　現在のリチウムイオン電池は負極がグラファイト、正極がリチウムイオン含有金属酸化物で、いずれも重いものです。一方で、空気電池は、負極が金属リチウムという軽い素材で、正極には大気中の酸素を使うため電池の中に入っている必要さえない。計算上は、エネルギー密度が10倍以上高くなることになります。ただし、実際の電池には電解液やセパレータ、梱包材などが含まれるため、実用レベルではおよそ2倍から3倍というところになるでしょう。

魚崎　もちろん単にエネルギー密度を上げるだけなら、すでにALCA-SPRINGの研究の中でも高密度を実現しています。けれども二次電池であるため、実用化には安定した充放電のサイクルを実現することも重要です。HAPSを想定しても、およそ200回は充電できる性能が必要になるでしょう。エネルギー密度を上げるとサイクル数（充電できる回数）が下がるのが通常なのですが、エネルギー密度とともにサイクル回数も同時に上げるという努力を基礎から徹底的に行ってきました。

松田　今回の実績のポイントは2つあります。1つめは、電解液量を削減した実用に近い電池の状態で500Wh/kgを達成したことです。これまでの研究では、高いサイクル数を実現していたとしても、充放電時の電気量が少なかったり、電解液が過剰量搭載されているなど、実用的な電池からかけ離れていた条件での評価がほとんどでした。2つめは、正極の多孔性カーボン電極の開発です。電池反応に直接寄与しない補強材などの使用量を最小限に抑えながら、カーボン粉末主体で十分な機械的強度を有した自立膜の作成に成功しました。

魚崎　エネルギー密度上げるのは電池全体の課題なのですが、電解液の量やケース、セパレータ、集電体などを含めた総重量について、実用化への条件を考えずに行っているものが多い。実用化を目指し、シビアな条件の中で行い実績を上げているのがNIMSならではの特徴です。

松田　今回の発表した内容は、2年ほどの年月をかけて手作業で作成してきた約3000個の電池評価の成果です。一方、現在ではロボットによる自動化技術を取り入れ、ひと月で500個ものセルを作れるようになりました。さらにMaDIS(統合型材料開発・情報基盤部門）と連携して取得したデータを機械学習で解析し、次に行うべき実験を見定めることで実験が非常に効率化され、これまでの工夫やノウハウとの組み合わせによってより研究が進むようになっています。データ科学を利用した研究についても、近日中に発表予定です。

魚崎　ソフトバンクセンターの活動に関しては、軽量な電池を開発することが最終的な目標であるため、空気電池のみならず他の電池系についても研究の幅を広げています。今後はリチウム空気電池の研究に力を入れると同時に、広く高エネルギー密度電池の可能性を探索していきます。

自動実験ロボットにより高エネルギー密度リチウム空気電池のセル作成プロセスを高速化。

MOP

化学MOP

材料物性の予測精度を向上させるAI技術を開発。次世代に求められる材料を探る

同業多社の共通基盤的な研究に取り組んでいる化学MOP。研究者として、そして4社の調整役としても活動するグループリーダー中西尚志に、現状の手応えと成果を聞いた。

国際ナノアーキテクトニクス研究拠点
フロンティア分子グループ グループリーダー
中西尚志
Takashi Nakanishi

化学メーカーが協業し共有データベースを構築

これからの時代に必要になる難易度の高い課題に共通して取り組み、国際競争力を高めるために、企業の枠を超えた水平連携の場が有効であるという思いから発足した化学MOP（Materials Open Platform）。NIMSが各化学メーカーに働きかけて、2017年、旭化成、住友化学、三井化学、三菱ケミカルの4社とともに正式に始動しました。

同業多社が協力して開発を行うというのは新しい取り組みだったため、当初はどんな協調テーマに挑むかというところから手探りを重ねてきました。そこで取り上げることになったのが、当時分野として遅れ気味であったデータ科学を駆使した高分子材料の開発です。

高分子は種類も多く、幅広い特性を持つために、統一データを取ることは簡単ではなく、また、どのようなデータを集めれば技術に有効活用できるかということもわかっていない状態でした。幸い、日本の化学メーカーは世界的に見てもレベルが高く、各社が手を組むことで世界のトップレベルと渡り合う技術を持つことができると考えたわけです。そこで汎用高分子であるポリオレフィンを対象に、MI（マテリアルズ・インフォマティクス）の基盤技術を構築しようということになりました。

当初は、各企業が持っているデータ、すでに使わなくなったデータを集めるという案もありましたが、各社が持ち出す際の基準が厳しい。ならば、共通の基盤となるデータベースを一から作ろうということになり、企業側の専門家と協力し、NIMSがその準備から担当してきました。

多様な性質を持つ高分子素材に関して有効なデータを得るため、高分子の種類にして300種以上、4万5千点を超えるデータを集めることができました。装置や測定の仕方などのルールを決め、全てのサンプルに対し統一フォーマットでデータを取るということはこれまでになかったため、他に類例を見ない非常に緻密で貴重なデータベースを構築することができました。

収集したデータを基に新しいAI技術を開発

このデータベースは、化学メーカー 4社とNIMSの共通財産であり、このデータを応用して新しい技術を探る基盤となっており、各社、非常に有効な取り組みと手応えを感じているところです。企業からのMOP参加者も、当初は20名ほどであったのが、現在では40名以上になっています。国内トップの研究・技術者たちがフラットに協力し、情報交換できる場はこれまでになかったため、参加者たちにとって大きなモチベーションになっていますし、若手技術者の育成に非常に役立っています。

確かに成果は上がっているものの、秘匿情報も多くあるため、具体的な内容を公開する機会がこれまではありませんでした。今後、日本の国際競争力を高めるためにも、化学MOPの活動を広く知ってもらうことも重要です。最先端のMI技術開発でありながら、結果として秘匿情報に極力触れずに成果の公表に至りました。ここで手がけたのが、少ない実験回数で精度の高い結果を得るためのAI技術の開発。今年度、その成果を論文の形で発表しました。この技術は、高分子材料に限らず様々な材料開発にも応用できる汎用技術です。そのため、国内外において大きな反響を得ることができました※。同業の他の企業からの問い合わせも増えてきており、化学MOPの注目度が上がった手応えを感じています。

化学MOPは、来年度で6年目になります。そろそろまとめられるところはパッケージ化し、次に業界で必要とされてきているものを探り、取り組みをシフトさせる時期にきているのではないかという話し合いもなされています。

これからも毎年内容をアップデートしながら、次の時代に化学業界に求められるものを見極め、産業界、国力の底上げにつながるような取り組みにしたいと考えています。

※プレスリリースはこちら
https://www.nims.go.jp/news/press/2021/10/202110250.html

医薬品関連MOP

医薬品マテリアルサイエンスのトップランナーをめざす

2021年度にスタートした製薬会社をつなぐ医薬品MOP。世界の大手製薬会社に対抗するために自ら日本の製薬会社に声をかけたのがグループリーダー川上亘作。このプロジェクトを発足するにあたっての想いと今後の展望を聞いた。

機能性材料研究拠点
医療応用ソフトマターグループ グループリーダー
川上亘作
Kohsaku Kawakami

海外大手製薬企業との技術格差を解決

今年度、製薬会社11社とともに医薬品MOPを立ち上げました。この医薬品MOPでは、抗体医薬や核酸医薬などを中心に化合物の物性評価と製剤開発に関わる研究を行っています。

医薬品というと化合物そのものばかりが注目されがちですが、製品化するためには製剤化技術もとても大切です。たとえばコロナワクチンは、分解されやすいメッセンジャー RNAを脂質の粒子で包むことで、はじめて人体に投与し、さらに体内で有効に働かせることができます。有効成分となる化合物だけでは製品にならないといういい例です。

世界の大手製薬企業では大きなマテリアルサイエンスの部門があり、製剤化合物の物性評価や製剤化などを行なっています。けれども、日本の製薬企業ではマテリアルサイエンスに従事する人員はごく少数です。各社に散らばったこれらの人たちをまとめて、海外の大手企業に対抗するための指揮をとるとしたら、まさにNIMSこそが適任ではないかと思います。

今後、マテリアルサイエンスがさらに重要になる背景には、バイオ医薬品への対応があります。これまで医薬品は低分子化合物が中心でしたが、最近では抗体や核酸などの生体高分子を利用するなどモダリティ（治療手段）が多様化し、バイオ医薬品なしには戦えない時代になっています。それに対応できる技術を確立したいというのは各社に共通する願いでした。

日本の製薬会社は能力的には決して低くないのですが、海外のトップ企業と規模が違うため、マテリアルサイエンスに集中して取り組むだけの余力がなく、バイオ医薬品の時代になって技術格差がどんどん広がっています。それを、このMOPで解決しようというわけです。

技術手法や評価手段を見直し、整備する

現在、(1) 抗体医薬の分析法確立、(2) 抗体医薬の製剤化技術の開発、(3) 核酸医薬の物性評価法確立、(4) 低分子薬物の消化管吸収メカニズムの解明、(5) 非晶質医薬品の安定化、(6) イオン液体の製剤利用の6つの共同研究グループが同時に活動しており、各社が複数のグループに参加しています。各研究成果はそのテーマに参加していない企業にも共有されます。スタートしたばかりなのでまだ大きな成果は出ていませんが、各グループとも手応えは出てきました。

たとえば同じような技術でも各社やり方が違ったり、データが違ったりということがあったため、技術手法や評価手段を見直し、整備することで意思統一と効率化をはかっています。

会社によって考え方が異なる理由として、日本企業が外に情報を出すのを嫌ってきたという背景があります。けれども情報を内部に抱えたままでは開発手法が外部から理解してもらえず、これは開発において障害になることがあります。医薬品は開発の手順も大事で、それが不適切だと市場に出すのが遅れてしまいます。情報を公開するリスクは誰もが理解していますが、公開しないリスクへの認識は高くなかったのが実情です。

治療する疾患が違っていても、製剤化技術では共通点も多いです。それなら基礎的な製剤技術は皆で技術開発したほうが効率がいい。特にバイオ医薬品に関しては、今後各社それぞれが同じことをするのではなく、協働できるところは一緒に技術を上げていくことで遥かにいい結果が得られるはずです。

MOPの主要な研究成果は一般に公開する予定です。いい技術であればどんどん真似してもらえばいい。学会での発表や論文化を積極的に行い、その成果を世界で認知してもらいます。真似をされている限りは自分たちがトップランナーですから、先頭を走って開発のルール作りをするという方向でやっています。

新たに参加したいという問い合わせもあり、今後参加企業も増えるかもしれません。研究テーマについても、要望があれば随時話し合って、新しい課題に取り組んでいきたいと考えています。

NIMS NOW vol.22 No.2　通巻193号 2022年3月発行
国立研究開発法人 物質・材料研究機構

〒305-0047　茨城県つくば市千現1-2-1　TEL 029-859-2026　FAX 029-859-2017　E-mail inquiry@nims.go.jp　Web www.nims.go.jp

定期購読のお申し込みは、上記FAX、またはE-mailにて承っております。　禁無断転載　© 2022 All rights reserved by the National Institute for Materials Science

表紙写真：2021年を彩ったNIMSの研究成果から抜粋　撮影：石川典人　デザイン：Barbazio株式会社　編集：嵯峨佳生子（Lasant）　文：嵯峨崎文香

R70
古紙配合率 70% 再生紙を使用しています
VEGETABLE OIL INK
植物油インキを使用しています

ISSN 2436-3502