



季刊誌

2018

J-PARC

JAPAN PROTON ACCELERATOR RESEARCH COMPLEX

NO. 11



iMATERIA

MLF BL20

茨城県のビームラインとは？
MLF 産業利用の現在

interview

中性子で物体の内部を見る

今井英人×石垣徹

中性子で 物体の内部を見る

利用する側の日産アークの今井氏と、管理運用する側の茨城大の石垣氏による「iMATERIA対談」。iMATERIAを使って何をどのように研究しているのか？どのような事が分かってきたのか？

iMATERIA とは？

石垣：J-PARC の物質・生命科学実験施設 (MLF) は、加速器で発生させた陽子ビームを水銀のターゲットに衝突させ、水銀原子が破碎されて生じた中性子を利用する施設です。中性子は 23 本のビームラインに取り出され、それぞれ装置が設置されています。

MLF が建設されるときに、地元である茨城県も産業利用に貢献したいということになり、我々茨城大学と協力して、iMATERIA と iBIX という 2 台の装置を作りました。そのうち iMATERIA は、粉末の結晶構造解析を主な目的とした装置です。iMATERIA は分解能（物体を細かく見る性能）を X 線の装置と同程度とし、これまで X 線で調べたデータと比較しやすいとしています。茨城県の装置なので、広く研究や産業で利用していただけるようにしています。

－ X 線で見るとは、どう違うのでしょうか？

石垣：原理的には X 線と同じです。X 線が物体の内部を通ると、波の回折が起きます。中性子は粒子ですが波としての性質もあるので、ある波長を持った波として回折が起きます。これを解析して、材料の中の原子の並び方や大きさなどを調べます。

中性子のメリットは、軽い元素を見分けられることです。X 線は重い元素しかよく見えないので、レントゲン写真ではカルシウムを含む骨や、胃の検査ではバリウムが見えます。中性子はもっと軽い水素やリチウム、酸素などの軽い元素も見分けることができます。

未来の電池「全固体電池」を丸ごと観察

－ iMATERIA を利用しているのは、どんな方ですか？

今井：私は日産アークという企業で研究をしています。主に分析や解析を通じて研究成果を製品開発につなげるのが仕事です。

これからの自動車は電動化の方向に進んでいます。リチウムイオン電池を使った電気自動車、水素を使う燃料電池自動車など、エネルギーデバイスの研究が必要です。さらに、航続距離を伸ばすためには車体の軽量化も必要で、鋼板だけでな

く特殊合金やプラスチックを組み合わせたマルチマテリアル。これらが研究の主なターゲットになっています。

－ リチウムイオン電池のどんな研究をしているのでしょうか？

今井：最新の電気自動車「リーフ」の航続距離は 400km で、急速充電すると 30 分で 8 割ぐらい充電できます。さらに利便性を高めていくために、たとえばガソリンの給油と同じように 1 分で急速充電できる次世代の電池を研究しています。従来の電池ような液体の電解液ではなく、固体の電解質を使う全固体電池です。高速で充放電するためには、固体電解質の中をリチウムイオンがなるべく速く動かないといけないのですが、iMATERIA ではイオンが動くようすを調べることができます。

また、電池の中の電極の表面も重要です。電極を作ったままではだめで、表面に不動態膜を形成することで安定した充放電ができます。これが厚くなりすぎると充放電できなくなって電池の寿命が縮んだりしますし、逆に性能を良くするようなものができる場合もある。そういう構造をしっかりと見るのも重要です。

電池というのは一つの材料ではなく、いろんなものを組み合わせていますから、材料だけで測った性能が電池になっても出ていかわからないんですね。iMATERIA へ持ってくると、実際に電池を充放電しながら、その中に入っている材料の構造がどう変わるか、設計通りにできているかを検証することができるわけです。

－ 電池をまるごと iMATERIA に入れて観察するのですか？

今井：まるごと入れて充放電のようすを観察する、その場観察、オペランド計測ということをしています。

石垣：今までは素材の情報がわかっていても、それを使って作ったものが良い性能になるかは、作って試してみないとわかりませんでした。そうして試してみても、なぜそうなるのかはよくわかっていなかった。iMATERIA などの新しい観察手法が発達して、実際に電池などを使っている状態で観察できるようになったので、中で何が起きているのか解明できるようになりました。従来は何が起きているかを想像しながら対策を練ってきたのが、こんなことが起きているのならこういう対策をしましょう、とスムーズに開発を進められるようになるはずです。

燃料電池や車体材料もその場で観察

－ 充電式の電気自動車に続いて、燃料電池自動車も注目されていますが、まだ高価ですね。

今井：燃料電池自動車のコストの中で一番高いのは、触媒に使用する白金（プラチナ）です。自動車 1 台分で数十万円分の白金を使っていますから、これを減らす必要があります。現在は多孔質のカーボンに白金の微粒子を分散していますが、すべての白金が触媒として有効に使われているわけではありません。その利用効率を上げるために、iMATERIA で水の動きを調べています。燃料電池で反応が起くと水ができるので、その部分

に白金が使われているとわかるのです。

もうひとつは白金以外の材料、たとえばチタンやニオブなどの酸化物でも同じような反応を起こせることがわかっていますが、白金ほどの出力を得ることはできていません。触媒に酸素と水素がくっついて、反応して電気が起きるということを繰り返すのですが、そのターンオーバー（繰り返し）が白金より桁違いに遅いのです。たとえば酸素と触媒の結合が強すぎるのが原因であれば、原子の距離を正確に測ることでその強さがわかる。そういった材料の比較ができます。

－ 車体の軽量化に必要な材料の研究はどんなものですか？

石垣：我々茨城大学のチームも、自動車の軽量化に必要な高強度でしなやかな金属を研究しています。金属の結晶の方向を解析するのですが、高温の金属を急速に冷やす「焼き入れ」を観察できるよう、iMATERIA の中で試料をガスで冷却する設備を整備しています。

iMATERIA を「つかう」

今井 英人

株式会社日産アーク
デバイス解析部

iMATERIA を「つくる」

石垣 徹

茨城大学
フロンティア応用原子科学研究センター
産学官連携教授

今井：もうひとつは、異なる材料同士の接合です。溶接の場合、金属が溶けて混ざり合って固まるわけですが、たとえばX線は分厚い金属を透過できないので表面しか見えません。中性子を使えば、溶けた部分と溶けていない部分の違いやその境目など、内部の構造も見ることができます。

もっとパワフルな中性子で見えないものを解き明かす

ー 今後、どんなことを期待していますか？

今井：ユーザーの立場からはやはり、中性子の強度ですね。今は30分かかる測定があるとして、30分以内で充電が終わってしまう電池を作ったら、測定中に充電が終わってしまいます。充電の様子を刻々と観察するには1分とか、短時間で測れると良い。中性子の強度を上げると、そういうこともできるようになります。

石垣：現在は加速器が出せるフルパワーを使えていません。陽子ビームを水銀に当てて中性子を発生させるのですが、この容器を改良しなければいけません。* J-PARCの皆さんが、今までにない強い中性子を発生させる挑戦をしています。

ー 研究の面白さはどんなことでしょうか。企業と大学での違いはありますか？

今井：大学生のときにJRR-3という原子炉で実験をしてからかれこれ20年間、



建設中の iMATERIA

中性子を使って物質の性質を調べることができました。民間企業は最終的にどう役に立つか、という出口を意識して研究するのが一番大きな違いですね。材料を製品に組み込んだときどれだけ性能を発現するかといった複雑な現象を、いろいろな物理の法則で統一的に理解することで、はじめて性能を制御することができます。そこをクリアにすることは非常に面白いし、それが役に立てばなおさらやりがいがあります。

石垣：私は大学院で「ちょっと違うものを見てみたい」と思い、中性子を使った実験をしました。ちょうどその頃、酸化物超伝導体が見つかった結晶構造を調べることで、わからないものを明らかにしていくのは楽しいなと思いました。複雑なものを制御するのが今井さんの研究ですが、我々は見えにくかったものを

見えるようにする。それは複雑なものでもシンプルなものでも、やはり楽しいです。

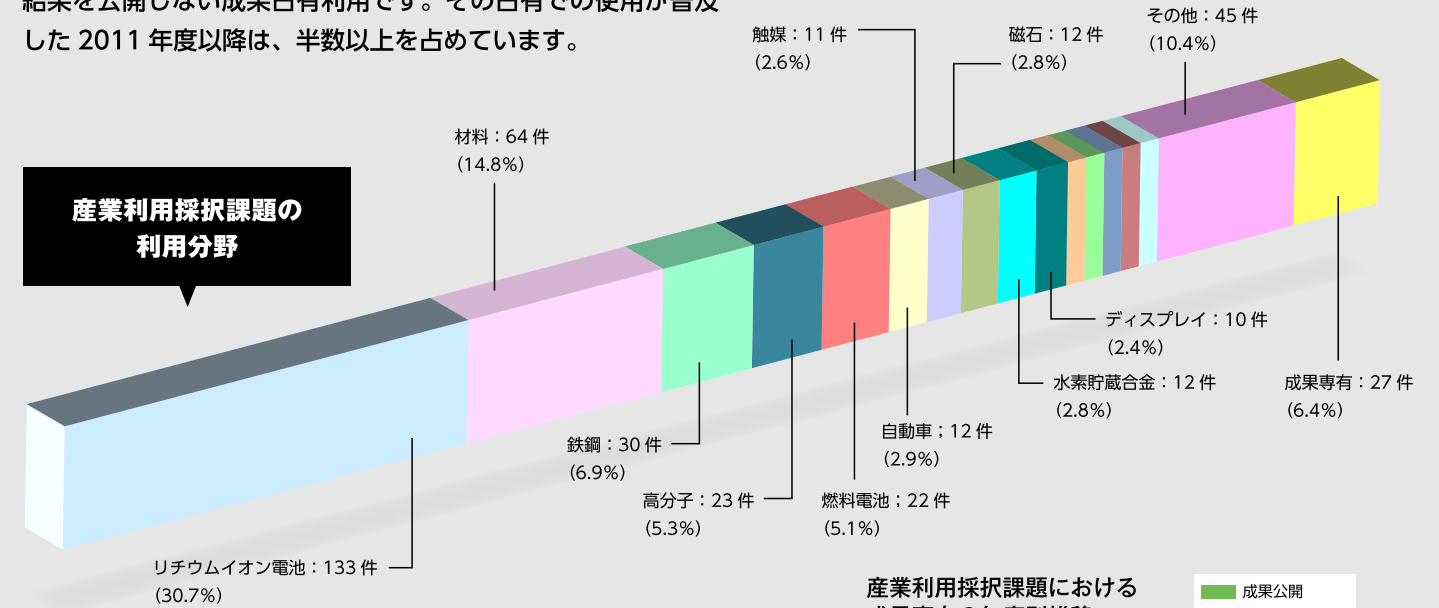
ー 企業と大学、異なる道を歩んで一緒に仕事をしているのですね。

石垣：みんな J-PARC の MLF という同じ施設を使っている仲間です。J-PARC には加速器を動かす人がいて、中性子を発生させる担当の人がいて、発生した23本の中性子ビームラインがあります。それらのビームラインにはそれぞれ KEK や JAEA など、いろんな方がいます。一緒になって、中性子のビームを使う施設のメンバーです。

* 1 MW (メガワット) が当初の目標ですが、現在は 500 kW で運転しています。世界最高強度を目指す J-PARC では、中性子の標的容器の耐久性の向上や冷却システムの安定性など、問題の一つずつ解決しながら、段階的に強度を高めています。

iMATERIA の産業利用

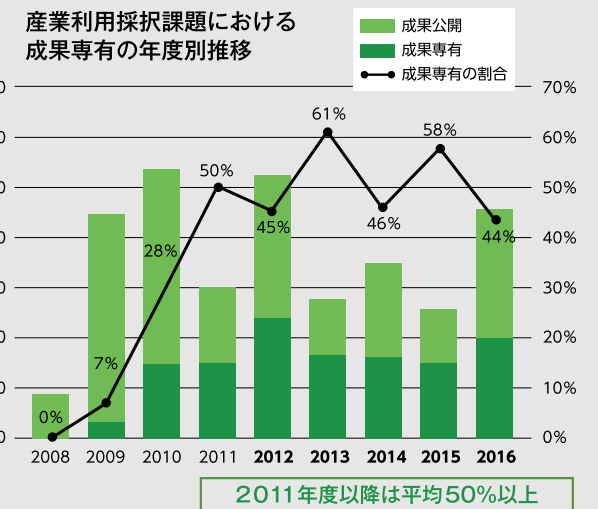
iMATERIA は、業界を問わず、より多くの人に使っていただくため、様々な取組を行っております。そのひとつが、企業など、結果を公開しない成果占有利用です。その占有での使用が普及した 2011 年度以降は、半数以上を占めています。



J-PARC/MLFにおける産業利用の状況

県BLがJ-PARC/MLFの産業利用全体の約60%

・産業利用課題	328 件
・県プロジェクト課題	252 件
・J-PARC 課題	137 件
合 計	717 件



ユーザーにとって
使いやすい施設である
ための取り組み

環境の整備

- 課題は随時募集し、申し込み後最短 45 日で実験可能
- 経験のある方向けにメールインサービスを行っている
- 10 時間無料のトライアルユースがある

定期的な普及活動

- 学会等にブースで出展している
- 各種研究会を 15 回程度行っている (1 年平均)

利用機会を
広げるための
iMATERIA の特徴

①多様な試料に対応

- ・粉末
- ・金属材料
- ・集合組織

②多様な環境で測定ができる

- ・0.6 K ~ 1273 K
- ・真空、大気、不活性ガス、水素還元雰囲気など
- ・通電や引張り試験も可能

様々な用途にあわせたホルダ

集合組織用
ホルダ



小角散乱用
ホルダ



粉末回折用
ホルダ



iMATERIA

茨城県材料構造解析装置



様々な環境で測定できる 高能率汎用中性子回折装置

J-PARCの物質・生命科学実験施設 MLF には、茨城県が所有するビームラインが2本あります。そのうちの1本が、**茨城県材料構造解析装置 BL20 iMATERIA** です。産業利用を目的とした iMATERIA は、高分解能な粉末回折や全散乱、小角散乱など、多様な解析手法を組み合わせることで、材料の結晶構造を多面的に解析できます。幅広い温度環境（0.6 K [− 272.5 °C] ～ 1273 K [1,000 °C]）や、多様な雰囲気（真空、不活性ガス、水素還元雰囲気、通常の大気）、さらには通電や引張試験・圧縮負荷試験など、多様な条件で測定でき、自動試料交換機構で連続的に多種の試料を測定することも可能な「高能率汎用中性子回折装置」です。また、年間を通じていつでも応募できる公募スケジュールや測定代行サービスなど利用システムも充実しており、ハード面とソフト面の両面から産業界に貢献します。

iMATERIAにおける 3種類の測定方法

粉末回折

粉末試料に中性子線を当てると、試料の原子配列に応じて回折のパターンができます。この回折パターンを詳細に解析することで、試料の結晶中の原子の構造を知ることができます。iMATERIA では、リチウムイオン電池の開発などでこの手法が用いられています。

全散乱

中性子線の回折パターンを解析することで、試料中の原子間距離や配位数などを、原子構造を明らかにする手法です。試料中の原子配列に規則性がない場合に特に威力を発揮します。iMATERIA では集合組織の解析やアモルファス構造の解析に用いられ、鉄鋼材料やガラス材料の開発に貢献しています。

小角散乱

試料に中性子線を当てた際に、およそ5°以下の小さな角度の散乱波の強度を精度良く測ることで、ナノスケールの構造を解析する手法です。iMATERIA では燃料電池の触媒の解析などに用いられています。

