

JST news

未来をひらく科学技術

2023

2

February

特集

ALCA-SPRING 次世代蓄電池開発の軌跡



03 – 特集 ALCA-SPRING 次世代蓄電池開発の軌跡

材料からデバイスまで一気通貫
チーム研究で世界をリード

全固体電池チーム

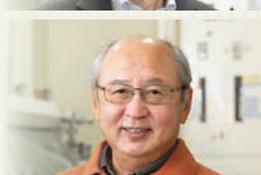
06 – 安全、高出力を可能にする
固体電解質

正極不溶型リチウム-硫黄電池チーム

09 – 新概念の電解質で
長年の課題を克服

次々世代電池チーム

10 – 活物質にMgや空気を採用
高性能化を目指す



12 – 連載 どうやって実現する? 明るく豊かなゼロエミッション社会 第8回 2050年脱炭素に不可欠 大気中からCO₂を直接回収

14 – NEWS & TOPICS

- ◆ 水素脆化しないアルミニウムを創製
- ◆ 水蒸気侵入をガラス並みに防ぐ薄膜
ほか

16 – さきがける科学人

学生との距離が近い高専で
研究と教育の担い手を目指す

東京工業高等専門学校 電子工学科 准教授
水戸 慎一郎



JSTは、シンクタンク機能、研究開発、産学連携、次世代人材育成、科学と社会との対話など、多岐にわたる事業を通じて、持続可能な開発目標(SDGs)の達成に積極的に貢献していきます。



▶ P.16



▶ P.3, P.12



▶ P.16



▶ P.3, P.12, P.16



▶ P.3, P.12

編集長：安孫子 満広

科学技術振興機構(JST)広報課

制作：株式会社エフピーアイ・コミュニケーションズ

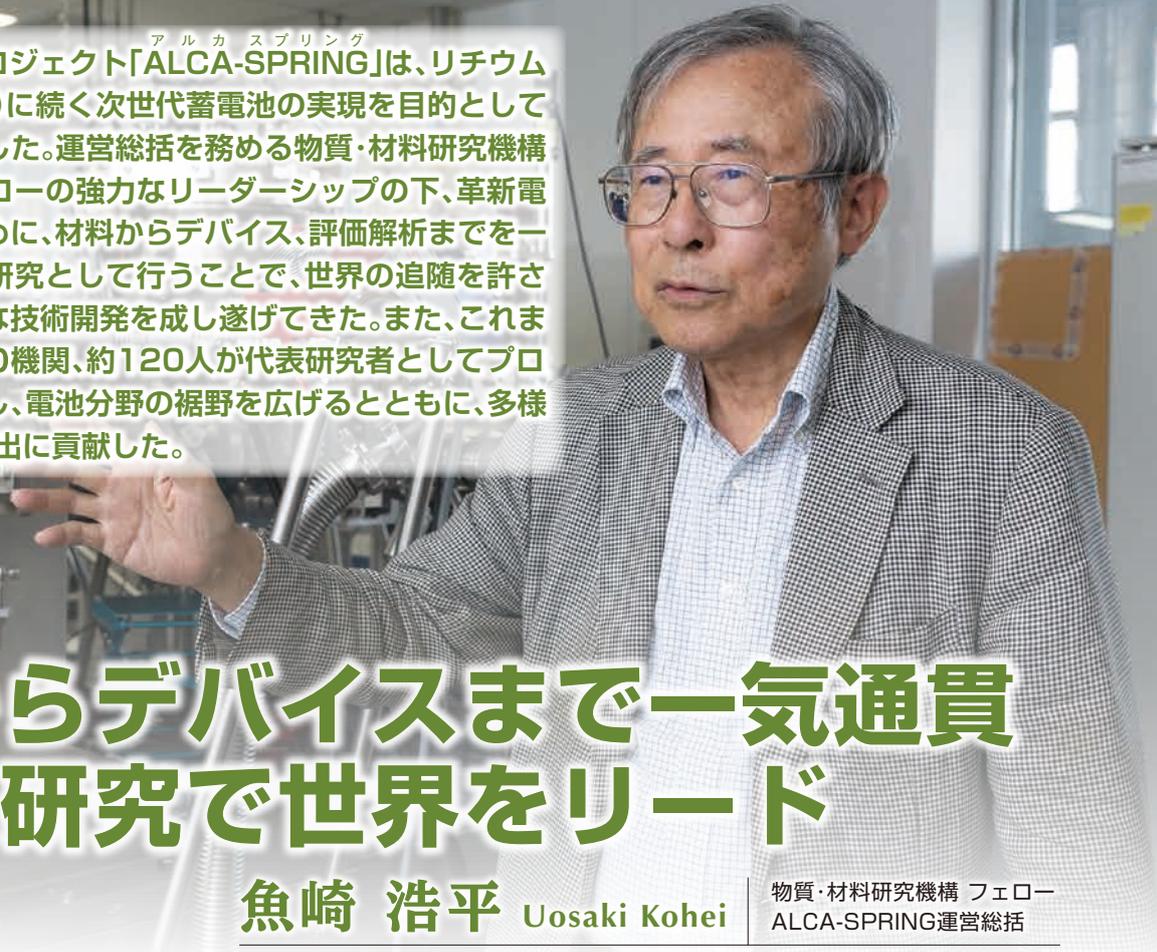
印刷・製本：株式会社丸井工文社

特集

ALCA-SPRING 次世代蓄電池開発の軌跡

OVERVIEW ■

アルカスプリング
次世代蓄電池プロジェクト「ALCA-SPRING」は、リチウムイオン電池(LIB)に続く次世代蓄電池の実現を目的として2013年に発足した。運営総括を務める物質・材料研究機構の魚崎浩平フェローの強力なリーダーシップの下、革新電池を実現するために、材料からデバイス、評価解析までを一気通貫のチーム研究として行うことで、世界の追従を許さないハイレベルな技術開発を成し遂げてきた。また、これまでの10年間で50機関、約120人が代表研究者としてプロジェクトに参画し、電池分野の裾野を広げるとともに、多様な人材の育成・輩出に貢献した。



材料からデバイスまで一気通貫 チーム研究で世界をリード

魚崎 浩平 Uosaki Kohei

物質・材料研究機構 フェロー
ALCA-SPRING運営総括

オールジャパンの研究体制 実用化に備え知財管理も強化

スマートフォンやタブレット端末など、さまざまな電子機器の稼働を支えているものの1つに蓄電池がある。2050年カーボンニュートラル実現に向け、電力の需給調整用途や急速に普及が進む電気自動車用の車載電池など、国内外の蓄電池市場は拡大の一端をたどっている(図1)。中でも、繰り返し充放電に耐え小型かつ軽量でパワフルなLIBは、今後需要がさらに伸びると考えられている(図2)。

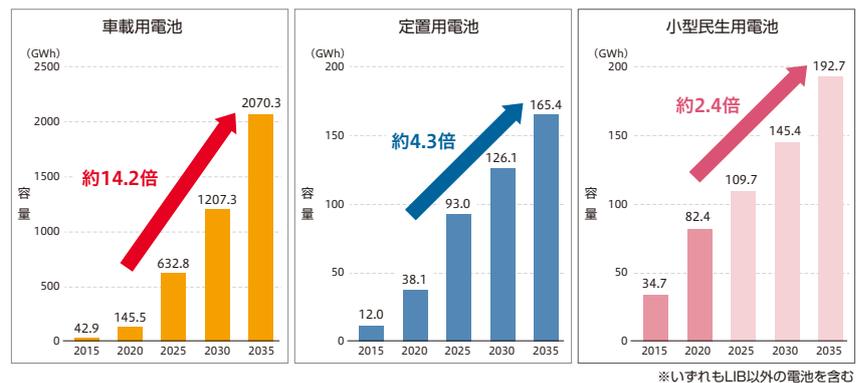
しかし、LIBにも課題がある。LIBは現在の2倍程度の容量が設計限界と言われており、今後の大容量化・低コスト化のためには従来にはない、まったく新しい蓄電池技術が必要だ(図3)。また、電気自動車などへの搭載においては、走行に必要なエネルギー

密度の向上や充電時間の短縮、経年劣化の防止、発煙・発火のリスク軽減といった技術的な課題も山積している。さらには資源の枯渇も指摘されており、これらの課題を克服する次世代蓄電池の開発は、世界中で急務となっている。

こうした情勢を受け、グリーン・

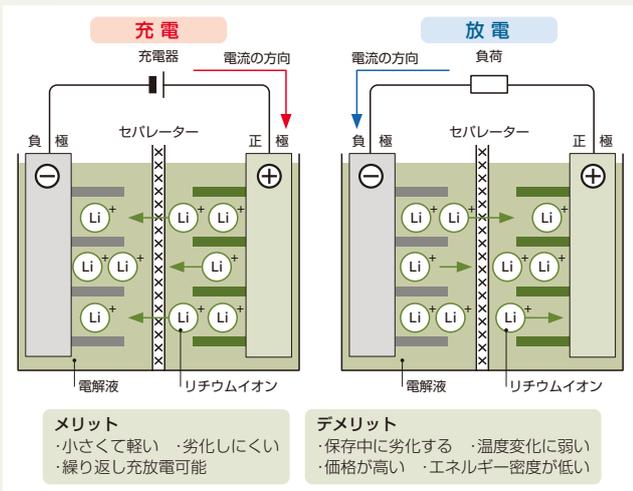
イノベーションの創出を目指す先端的低炭素化技術開発(ALCA)の特別重点技術領域として、13年7月に次世代蓄電池プロジェクト(ALCA-SPRING)が発足した。3回のステージゲート評価を経て、18年度からは「全固体電池(硫化物型、酸化物型)」「正極不溶型リチウム-硫黄電池」

図1 世界の蓄電池市場予測(容量ベース)



出典: 経済産業省「蓄電池産業の現状と課題について」第1回蓄電池産業戦略検討官民協議会資料3を基にJSTが加工・作成

図2 LIBの模式図



「次々世代電池(金属-空気電池、マグネシウム(Mg)金属電池)」、そして、実用化加速を目的としてリチウム(Li)金属負極の評価・解析をチーム横断で行う「リチウム金属負極特別研究ユニット」に再構成された(図4)。

ALCA-SPRINGが目指しているものは3つある。1つ目は基礎技術の深化によるゲームチェンジングな次々世代蓄電池技術を確立し、徹底したサイエンスに基づく新材料の探索・開発と、それを生かした電池システムを構築すること。2つ目は最終的に革新電池を実現するという観点を明確に持ち、個別材料の最適化に留まらず、電池設計から正・負極、電解質材料開発、電池総合技術、評価解析までを一気通貫で行うプロジェクト体制を整えること。そして3つ目はシステム・戦略研究に基づいた明確

な知財ポリシーをプロジェクト開始当初から設定し、世界の追従を許さない圧倒的な技術開発を確立することだ。「これらを推進していくことにより、低炭素社会実現の可能性を高め、国内外へ貢献することを目指しています」と魚崎さん

は事業の方向性を語る。

このうち知財マネジメントについては、当初から知財管理委員会を設置し、特許出願審査や外部発表審査を実施し、各種の調査、解析、啓発・教育、検索支援、出願支援、サブライセンスの一括管理などを行っている。特に重要と判断される特許出願案件については、海外市場を含む事業化を見据えた強い権利保護を進めている。

横断的な連携と最新の共用設備研究の効率化・高度化に貢献

ALCA-SPRINGの特徴の1つは、電池開発という明確な出口に向けたトップダウン型研究だ。従来の電池研究は電極、電解質などの分野に分かれ、それぞれがベストを目指すものの、組み上げる段階で相性が悪く高性能な電池にならない、ということがよくあった。「限られた予算で目標を達成するためには、これまでのやり方を抜本的に変える必要がありました。ALCA-SPRINGではチーム内外でしっかりと連携し、『電池を作る』という目標に一丸となって取り組んでもらいました」と魚崎さんは振り返る。

研究開発の方向性については、産官学の有識者で構成される「ALCA-SPRING 分科会」からも助言を行ってきた。現地視察やヒアリングで直接研究者と議論するだけでなく、日々変化する社会情勢や各国の動向も踏まえ、広い視野で研究のより良い方向性を示してきた。「ステージゲートにおいて、サイエンスという観点だけでなく、次世代蓄電池の開発という最終目標に向けた達成度を評価し、厳しいですがテーマを中止するということもありました。体制見直しの中で、積極的に電池分野外から研究者を入れることでこれまでに無いブレイクスルーを生み出すことができました」と語る。

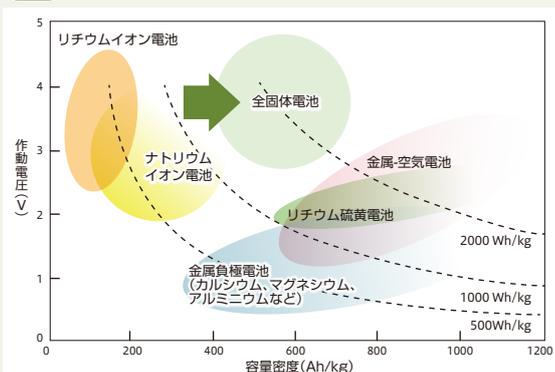
さらに、プロジェクト内外の横断的な連携が促進された。例えば、評価・解析を集約化したり、開発の軸となる共通材料技術を利用したりと、さまざまな研究の効率化が図られた。リチウム金属負極特別研究ユニットでは、Li負極の効率及び劣化の支配要因の解明や電解液の最適化、Li金属負極の作製、フルセルでの検証など、実電池に最適なLi金属電極の研究を担い、各チームで円滑な情報共有ができるようになった。こうしたアプローチは世界でも例がない、先導的なものだという。

さらに、2012年の補正予算で物質・材料研究機構(NIMS)に整備された「蓄電池基盤プラットフォーム」も、効率的な研究推進に大きく寄与している。これは、NIMS、産業技術総合研究所、早稲田大学の3カ所に設けられた小型蓄電池の試作から材料の分析評価まで行うことができる共用設備だ(図5)。ALCA-SPRINGの研究開発を優先的に支援することとされており、電池材料の分析・解析技術のさらなる高度化が実現された。

省庁を超えた成果の橋渡し 次世代担う若手人材も育成

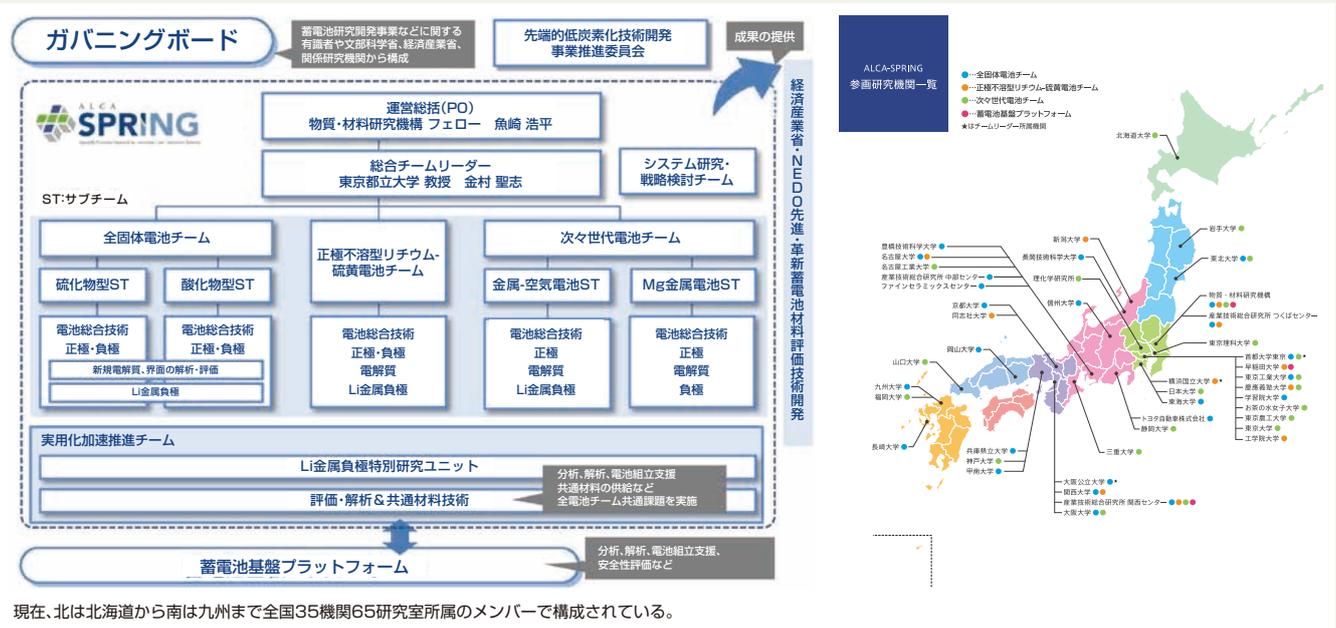
現在、ALCA-SPRINGは企業など

図3 さまざまな電池のエネルギー密度



出典:新エネルギー・産業技術総合開発機構「NEDO 二次電池技術開発ロードマップ2013」を基にJSTが加工・作成

図4 ALCA-SPRINGの運営体制と参画機関



の外部組織・機関だけでなく、省庁の壁も超えた連携体制を構築し、実用化に向けた研究開発を加速させている。全固体電池チームは、18年4月、研究進捗の著しい硫化物型全固体電池の社会実装を加速させるため、成果の一部を新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の先進・革新蓄電池材料評価技術開発プロジェクト「SOLID-EV」へ「成果の橋渡し」を行った。

また、正極不溶型リチウム-硫黄電池チームおよび硫化物型全固体電池サブチームでは、技術研究組合リチウムイオン電池材料評価研究センター(LIBTEC)の外部連携部と連携し、電極・電池のスケールアップ検討や、実用電池でのエネルギー密度試算、プロセス適用性の検討を進めている。金属-空気電池サブチームも、18年4月に実用化を目指した応用研究部分を民間企業との共同開発に移管した。これは「軽量電池の具体的な用途に向けた開発ニーズを持っていた企業と、より長期的視点でブレイクスルーを目指す」という当プロジェクトの方向が一致した結果実現したもので、ALCA-SPRINGの成果が企業との実用化研究に結び付く好例にな

るでしょう」と魚崎さんは今後の展開に期待を寄せる。

加えて、ALCA-SPRINGの成果として魚崎さんが強調するのは、若手人材の育成だ。これまでは大きな研究プロジェクトに博士課程の学生が関わることはあっても、修士課程の学生はなかなか難しいのが現状だった。一方、ALCA-SPRINGでは、修士課程の学生はもちろん、学部生もチームの主体として研究に関わっているというから驚きだ。「私たちのプロジェクトの面白さに惹かれて、修士・博士に進学する学生も増加しました。また、経験を生かして電池材料メーカーや自動車メーカーなどの企業や公的機関に即戦力として就職する学生もいます」と魚崎さんは効果を強調する。

22年春時点で、ALCA-SPRINGの研究に関わった学生(学部生・修士・博士)は700人以上に達しており、企業や公的機関、大学に就職した学生は600人以上。このうち、電池関連企業に就職した学生は460人以上に上る。「次世代蓄電池の開発は、これからも10年、20年と続いていきます。ALCA-SPRINGで経験を積んだ多くの学生がさまざまなステージへ進み、技術とスキルを深化させることによって、電池や電池関連技術の持つ限りない可能性を拓き、ひいては未来の循環型社会の実現に貢献していくことを期待しています」。魚崎さんは世界を席巻する次世代蓄電池の実現とともに、明るい未来も見つめている。

(TEXT:片柳和之、PHOTO:石原秀樹)

図5 蓄電池基盤プラットフォームの設備の一例



電池開発・評価などに必要な設備が整っており、ALCA-SPRING内外の研究者に提供されている(左)。グローブボックスで作業している様子(右)。

全固体電池チーム

安全、高出力を可能にする 固体電解質

蓄電池の需要拡大が期待されている中、より安全性の高い次世代電池の開発が求められている。大阪公立大学の辰巳砂昌弘学長率いる硫化物型全固体電池サブチームと物質・材料研究機構の高田和典研究拠点長率いる酸化物型全固体電池サブチームでは、電解質を固体にすることで大容量、高出力かつ安全な全固体電池の開発を進めている。

辰巳砂 昌弘 Tatsumisago Masahiro

大阪公立大学 学長
ALCA-SPRING全固体電池チーム・リーダー兼硫化物型全固体電池サブチーム・リーダー

高田 和典 Takada Kazunori

物質・材料研究機構 エネルギー・環境材料研究拠点 拠点長
ALCA-SPRING酸化物型全固体電池サブチーム・リーダー

温度変化に強く性能が安定 イオンの移動速度に課題

小型、軽量で高出力なリチウムイオン電池(LIB)はスマートフォンや電気自動車(EV)にも採用されるなど、いまや私たちの社会には欠かせない存在だ。一方で、正極・負極との間を満たす電解質に可燃性の液体を使っており、バッテリーが高温になったり内部でショートが起きたりすると、発火する恐れがある。カーボンニュートラル実現に向け、今後はより大規模、大容量の蓄電池が必要になると考えられており、安全性の向上が急務となっている。

これに対し、電解液の代わりに固体の電解質を用いる全固体電池への注目が高まっている(図1)。ALCA-SPRINGでは、チームリーダーを務める大阪公立大学の辰巳砂昌弘学長の下、電解質として有望視されている硫化物と酸化物に着目して開発を進めている(図2)。基本的な仕組みはLIBと変わらず、イオンが電解質を通して正極と負極の間を移動することで電気の流れが生まれる。違いは、固体の電解質が正極と負極の間を隔てるセパレーターとしても作用する点だ。

また、全固体電池はリチウム(Li)イオンだけが電解質内を移動するため、副反応や劣化が起こりにくい。「加えて、EV搭載や過酷な環境での利用を想定した場合、全固体電池は温度変化にも強い点が大きな強みです」と辰巳砂さんは語る。LIBの電解液は、有機化合物を含むために低温では粘度が高くなり、充放電性能が低下し、高温になれば電解液が蒸発し、電池として機能しなくなる。そのため、場所を取る冷却装置が欠かせない。

全固体電池はメリットも多いが、実用化に向けた課題は、流動性のない固体中でイオンを

いかに高速で移動させるかだ。また電池が高い性能を発揮するには、電極活物質と電解質を隙間なく接合する必要がある。「液体と違い、固体同士を常に密着させることは難しいのです。うまく接合しないと活物質の膨張や収縮によって界面が剥がれたり、電極に亀裂が入ったりしてしまうのです」と語る。こうした課題を解

図1 全固体電池の模式図

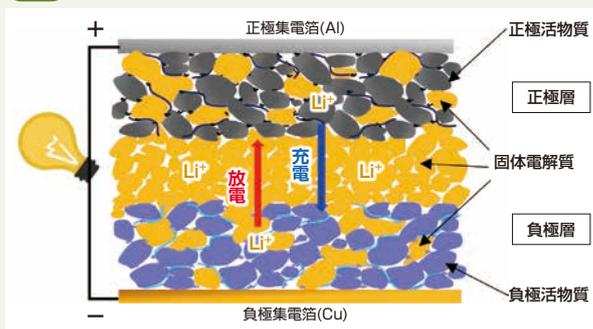
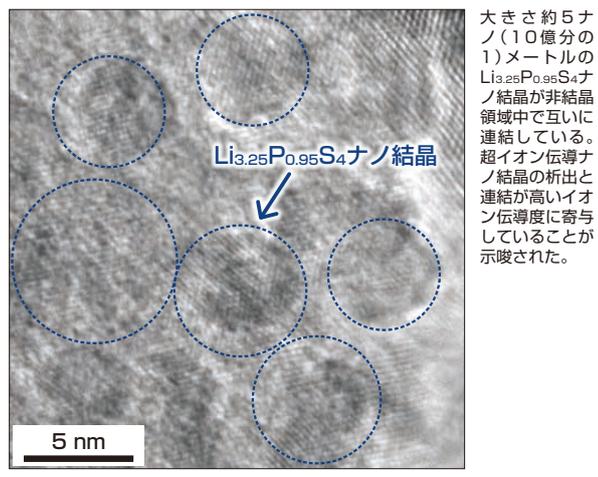


図2 硫化物系電解質と酸化物系電解質の比較

	硫化物系固体電解質	酸化物系固体電解質
イオン伝導度	10 ⁻² S/cm 現行電解液より高い	10 ⁻³ S/cm 現行電解液と同等
安定性	大気中の水分とも反応 有害な硫化水素を発生	大気中で安定～やや不安定
材料合成	不活性雰囲気下、真空封止状態	大気中
電池製造プロセス	室温での加圧成型で製造可能 室温成型で低い粒界抵抗	高温での焼結が必要 焼結後も高い粒界抵抗

図3 ガラスセラミックスの高分解能電子顕微鏡像



大きさ約5ナノメートル(10億分の1)メートルのLi_{3.26}P_{0.95}S₄ナノ結晶が非結晶領域中で互いに連結している。超イオン伝導ナノ結晶の析出と連結が高いイオン伝導度に寄与していることが示唆された。

砂さんたちは、硫化リチウム(Li₂S)と五硫化二リン(P₂S₅)の化合物である、無機固体電解質Li₂S-P₂S₅(LPS)に着目。透過型電子顕微鏡(TEM)で加熱前後の状態を直接観察し、ガラスの結晶化挙動の特徴と超イオン伝導相の生成プロセスを明らかにした(図3)。

決するため、現在世界中で全固体電池の研究開発が行われている。

発熱に伴う劣化メカニズムを解明 他の電池材料への応用にも期待

辰巳砂さんが率いる硫化物型全固体電池サブチームでは、当初は2つのタイプの電池開発を進めていた。1つは現行のLIBの固体化を目指す「第一世代全固体電池」、もう1つはその先を見据えた「次世代全固体電池」だ。前者は負極に黒鉛系、正極にニッケル(Ni)やマンガン(Mn)、コバルト(Co)の酸化物を用いる3元系、電解質に硫化物を用いる。後者は負極に高エネルギー密度化が期待できるLi、正極に硫黄系活物質、電解質に硫化物系を用いる。

前者は順調に研究開発が進み、世界トップレベルの導電率を持つ固体電解質の開発や最適な電極構造が明らかになってきたことから、実用化に向けての研究を加速するため、18年に新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「SOLiD-EVプロジェクト」へ移管された。その後の5年間は、次世代の硫化物型全固体電池に特化して進めている。

全固体電池のカギは、高いイオン伝導度を持つ固体電解質の開発だ。そのため、電解質の状態や挙動を明らかにする必要がある。そこで辰巳

また、熱安定性評価の重要性も強調する。実用化のためには発熱や発火を抑え、安全性を確保することが必要だ。発熱は電池の寿命を縮める要因にもなるため、発熱挙動の評価や要因を解明することが欠かせない。そこでLPSとLiNi_{1/3}Mn_{1/3}Co_{1/3}O₂(NMC)からなる正極複合体に注目した。TEMを用いた加熱その場観察によって、材料の熱的安定性や起こり得る化学反応、正極複合体の発熱反応の要因を解析した。

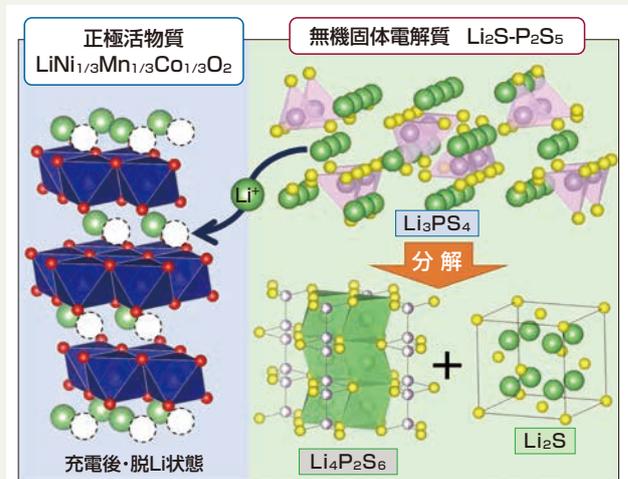
すると、NMC-LPS正極複合体の発熱反応は、Li₃PS₄の分解によって生成されるLi₄P₂S₆やLi₂Sの結晶化に伴う発熱が関与している可能性が判明した。「この発熱挙動の解析手法は、他の電池材料への応用にも期待できます」と辰巳さんは成果を語る(図4)。今後、結晶化プロセスにおける活性化エネルギーの計算も進め、発熱反応の要因をさらに明確化していくという。

新たな正極で容量が飛躍的に改善 2000サイクルでも劣化なし

辰巳砂さんらは、新たな固体電解質も発見している。それまでもLi、P、S、ゲルマニウム(Ge)の化合物であるLGPS硫化物系固体電解質などでイオン伝導率が高いことを見いだした。さらに、新たにスズやケイ素を組み合わせた組成で、液体の電解質に匹敵する11ジーメンズ毎センチメートル(S/cm)のイオン電導率を示す超イオン伝導体を発見した。超イオン伝導体は、固体中を液体のようにイオンが動き回る性質を持つ。既存材料の課題を解決するという知見も明らかになっており、固体電解質の物質群の多様性が拡大すれば、電池設計の幅も大きく広がることが期待される。

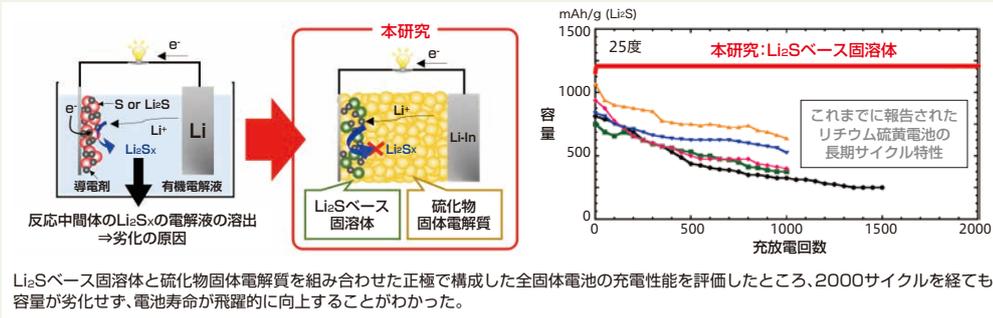
また、硫化物型リチウム硫黄全固体電池では、Li₂Sベース固溶体と硫化物固体電解質を組み合わせた正極を開発し、正極の容量および寿命を飛躍的に改善した。「2000サイクル充放電を繰り返しても、容量劣化は観測されず、長寿命化を実現しています」と話す(図5)。辰巳砂さんは今後もさまざまな機関と連携しながら、安全で高エネルギー密度の次世代型電池の実現に挑み続ける。

図4 充電後NMC-LPS正極複合体で生じるLPSの分解反応



充電後、脱Li状態になった正極活物質と無機固体電解質間のLiイオンの移動を観察した結果、NMC-LPS正極複合体の発熱反応には、Li₃PS₄の分解によって生成されるLi₄P₂S₆やLi₂Sの結晶化に伴う発熱が関与している可能性が見いだされた。

図5 ALCA-SPRINGで開発された正極複合体と全固体電池の充放電曲線



酸化物型は大気中で合成可能 堅くて脆いため接合に課題

全固体電池のもう1つのサブチームであるALCA-SPRING酸化物型全固体電池サブチームを率いるのは、物質・材料研究機構エネルギー・環境材料研究拠点の高田和典拠点長だ。酸化物型は、硫化物型よりも化学的に安定で、大気中での合成や管理がしやすい。例えば硫化物型のように水との反応で有毒ガスが出る心配もないので、プロセスコストを抑えられる。

「酸化物型の課題は、硫化物型に比べイオン電導度が1桁低いうえ、硬くて脆い材料なので、電極との接合性に難がある点です」と高田さんは語る。接合では高温焼結が必須となるが、その際に電極・電解質間で元素の相互拡散により異相が生じ、内部抵抗が高まってしまった。

高田さんらは、これらの問題を解決するため2つのアプローチで研究を進めている。高い接合性を持つ電解質のイオン伝導度を上げていく方

法と、高いイオン伝導性を持つ電解質の接合性を高めていく方法だ。前者はLi超イオン伝導体(LISICON)型酸素酸塩、後者はガーネット型酸化物が有望だという。これらの組成を変えながら、優れた特性を持つ電解質の開発に取り組んでいる。

世界初・60度でバルク型を動作 探索データベース構築・活用へ

技術的な変革をもたらした成果の1つが新たな接合方法の導入である。それまでゾル・ゲル法やフラックス法を用いていたが、液体の電解質を1層ずつ塗布・焼結するため、手間がかかるうえ、精度も上がらなかった。そこで、高田さんらは積層セラミックコンデンサーの積層方法に 응용が可能な独自の接合技術を確認。電解質を微細の粉体にし、積層して一気

に焼結することで、効率と精度の大幅な向上を図った。

また、電気化学コンピュータ断層撮影X線吸収微細構造法「オパールCT-XAFS」の開発も研究を大きく前進させた。「これは電極内の粒子の複雑な動きを『その場観察』できるようにした

新しい手法です。不具合の原因や問題点なども明確になり、迅速かつ的確な対応が可能になりました」と高田さんは語る。

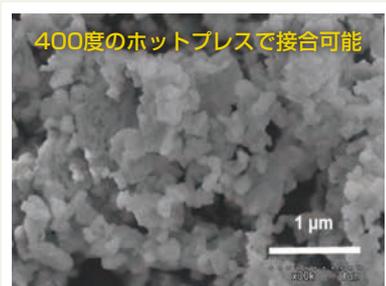
すでに成果も生まれている。ガーネット型電解質では、400度という低温焼結での電池作製に成功した。「焼結温度が低ければ活物質との化学反応を抑制でき、より安定して電池を作ることが可能です」。同時に、世界で初めて、60度でバルク型電池の作動に成功(図6)。その後、20~25度の室温下での作動も実現した。また、LISICON型でも安定性の高い電解質を開発し、量産性に富むグリーンシート法でのフルセルの作製に成功している(図7)。

数々の成果が報告される中、高田さんは慎重な姿勢も崩さない。酸化物型はまだ未知の領域であり、この先、2つも3つも山を越える必要があるという。しかも、酸化物型の研究の歴史は古く、広範囲な探索がすでに行われた系での探索は、今まで以上の困難が予想されるという。

一方で歴史が古いということは、積み重ねてきた研究データも膨大だということだ。「現在、ALCA-SPRING固体電解質探索タスクフォースを設置し、ネガティブデータを含めたデータベースの構築を進めているところです。ビッグデータを活用したブレークスルーが生まれることを期待しています」と高田さんはALCA-SPRINGの先も視野に捉えている。

(TEXT:片柳和之、PHOTO:石原秀樹)

図6 ガーネット微粒子を採用したLTO/NMC電池



バルク型電池としては世界で初めて室温付近での動作を確認できた。60度での平均作動電圧は2~2.5ボルト付近。

図7 LLZT-LGVO-LBO複合固体電解質グリーンシート



非常に薄いですが、丈夫で充放電特性にも優れている。量産することもできるため、固体電池の積層や大型化への道を拓いた。

特集

ALCA-SPRING 次世代蓄電池開発の軌跡

OVERVIEW ■

正極不溶型リチウム-硫黄電池チーム

新概念の電解質で 長年の課題を克服

硫黄は無機酸化物系材料に代わる蓄電池の正極活物質として注目されているが、充放電の過程で反応中間体が電解液に溶出しやすく、クーロン効率の向上は長年の課題だった。これに対し、横浜国立大学先端科学高等研究院の渡邊正義特任教授率いる正極不溶型リチウム-硫黄電池チームは、融点が低くイオンのみからなる「イオン液体」から出発した新概念の電解質を開発して中間体の溶出を抑えることに成功し、高い重量エネルギー密度を有するリチウム硫黄(Li-S)電池を実現した。

渡邊 正義 Watanabe Masayoshi

横浜国立大学 先端科学高等研究院 特任教授
ALCA-SPRING正極不溶型リチウム-硫黄電池チーム・リーダー

理論容量大きく安価な硫黄正極 中間体の電解液溶出がネックに

電気自動車の普及で需要が高まっているリチウムイオン電池(LIB)だが、課題の1つは電池材料の安定的な調達だ。例えばレアメタルのコバルトは近年価格が高騰しており、いずれ供給が追いつかなくなるとも懸念されている。そこで注目されているのが、大量輸入される原油の脱硫過程から得られ、また火山国の日本では比較的豊富に存在する硫黄だ。

単体では1分子が8つの原子からなる環状構造をとり、16個の電子が充放電に関与する。そのため理論容量は、一般的なLIB正極の約10倍にあたる、1672ミリアンペア時毎グラムに達する。こうした利点を生かし、正極に硫黄(S)、負極にリチウム(Li)を用いたのがLi-S電池だ(図1)。

しかし、Liの溶解・析出反応がうまく進まず短絡したり、硫黄は放電によって80パーセントも体積膨張したりと、課題も多い。「中でもLi-S電池の充放電反応の途中で生成する中間体である多硫化リチウム(Li₂S_x)が、電解液に溶出し放電容量やクーロン効率が著し

く低下してしまうのが大きな問題でした」と語るのは、ALCA-SPRING正極不溶型リチウム-硫黄電池チームリーダーを務める横浜国立大学先端科学高等研究院の渡邊正義特任教授だ。

実用レベルの大型パウチセル試作 高い重量エネルギー密度を達成

渡邊さんらは、この問題に2つの側面から臨んだ。1つは反応中間体が溶解しない電解液の開発である。着目したのは、渡邊さんがかねてより研究を進めてきたイオン液体だ。イオンのみで構成され、燃えない、蒸発しにくい、電気を通すといった性質から、水、有機溶媒に次ぐ「第3の液体」とも呼ばれる。しかし、粘度が高く、これまでに電池に必要なレベルの輸送特性を持つものはなかった。

そこで、リチウムイオンに強い親和性を持つ非プロトン性極性溶媒の「グライム」と、Li塩を等モルで混合した「溶媒とイオン液体」を作製した。「比較的良好な輸送特性を持つとともに、イオン性の物質が溶けにくくなる性質があり、Li₂S_xの溶解を抑えられると考えました。また安全性の面からも、燃えにくいイオン液体を使うメリットは大きいですからね」と着想の肝を語る。

これがゲームチェンジャーとなり、その後性能のより優れたスルホラン系電解質を開発。その電解質とチタンブラック添加正極、ビス(フルオロスルフォニル)アミド(FSA)アニオン添加電解液を組み合わせた大型セル

図2 パウチセルのLi-S電池



を試作し、350ワットアワー毎キログラムという高い重量エネルギー密度を達成した(図2)。

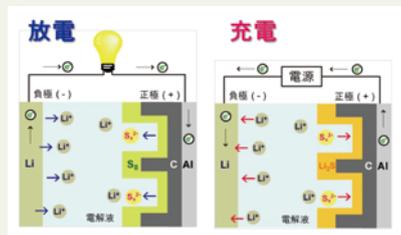
もう1つは、正極側からのアプローチだ。硫黄は絶縁体のため、正極に用いるときは導電性のある炭素を混ぜた複合体を用いるが、マイクロ孔だけを持つ炭素を用い、その孔に硫黄を閉じ込めて溶出を防止した。余分な炭素によるエネルギー密度の低下などの問題は残るが、期待は大きい。

これらの開発は、研究に多角的な広がりを見せている。「今後は、繰り返し特性や、どの位速く充放電できるかを表すレート特性などの課題を解決するとともに、高分子を用いたLi-Sポリマー電池や硫化リチウム(Li₂S)を正極に用いた電池などの開発にも積極的に取り組んでいきます」と渡邊さんは展望を語る。

Li₂S正極の電池は、すでに正極物質の動作確認を行っており、技術研究組合リチウムイオン電池材料評価研究センター(LIBTEC)との共同研究も進んでいる。Li-S電池は、次世代蓄電池として世界の注目を浴びる可能性を秘めているのだ。

(TEXT:片柳和之、PHOTO:石原秀樹)

図1 Li-S電池の模式図



次々世代電池チーム

活物質にMgや空気を採用 高性能化を目指す

従来の蓄電池を凌駕する、より安価で高性能、さらに幅広い用途にも対応し得る次々世代電池の開発が進んでいる。東京都立大学大学院都市環境科学研究科の金村聖志教授率いるサブチームはマグネシウム(Mg)、大阪大学大学院基礎工学研究科の中西周次教授率いるサブチームは空気中の酸素(O₂)をそれぞれ電極活物質に採用し、高容量で高いサイクル特性を持つ電池の開発を目指す。

金村 聖志 Kanamura Kiyoshi

東京都立大学 大学院都市環境科学研究科 教授
ALCA-SPRING次々世代チーム・リーダー兼Mg金属電池サブチーム・リーダー

中西 周次 Nakanishi Shuji

大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授
ALCA-SPRING金属-空気電池サブチーム・リーダー

資源は豊富、安全・高容量も 電池の全体像明確化が課題に

脱炭素社会実現の切り札となる再生可能エネルギーは天候などの影響を受けやすく、変動する再生エネルギー由来電力の発電量を平準化するためには蓄電池との併用が欠かせない。東京都立大学大学院都市環境科学研究科の金村聖志教授が率いる次々世代電池チームでは、次世代のさらに先を行く次々世代蓄電池の開発を目指し、大気中でも安定で資源量の豊富なMgを用いた蓄電池と、より軽量の蓄電池を目指す金属-空気電池を対象に研究を展開している。

金村さんはMg金属電池サブチームのリーダーも兼任している。手掛けるのは負極にMg、正極に酸化

系や硫化物系などの材料を使う電池だ。Mgは鉱山だけで85億トン、海水には1800兆トンあるとされている豊富な資源だ。「融点は650度とLiよりも高く安全で、体積当たりの電気容量も高い物質です。現在リチウムイオン電池(LIB)で使われているグラファイトより、約6倍も高容量です」とMgの可能性を説く。

蓄電池材料として期待の高まるMgだが、課題も多い。Mg負極は絶縁性の不動態被膜が形成されやすく、正常な溶解・析出の可逆反応が起こりにくくなる。つまり、最適な充放電ができずサイクル寿命が短くなる。また、正極にも問題がある。「Mgイオンの酸化物あるいは硫化物への挿入・脱離反応の抵抗が大きいのが問題になっています」と金村さんは指

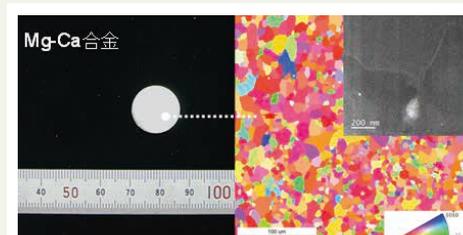
摘する。加えて、電解質やセパレーターとの適切な組み合わせも見いだされておらず、多くの研究者が挑んできたが、Mg金属電池の全体像は未だつかめないままだった。

異種金属を添加し容量20%向上 100回超の高サイクル特性を実現

金村さんはこのサブチームで、新たに電解質開発の研究者と構造材料としてのMg合金開発を専門とする研究者の共同研究を立ち上げ、最適な負極を探索した。その結果、結晶方位を制御し、20マイクロ(100万分の1)メートル程度の微小な結晶粒で構成されたMg金属材料に原子濃度0.3パーセントという極微量の異種金属を添加することによって、電気化学的な活性を大きく向上することを世界で初めて突き止めた。「カルシウム(Ca)を添加した合金材(Mg-Ca)を負極に用いた場合、純Mg金属よりも容量が約20パーセント向上しました」と金村さんは語る(図1)。

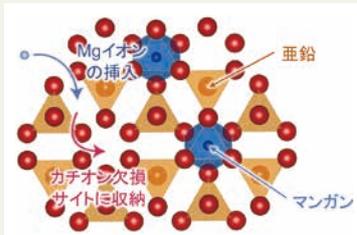
続いて、サイクル劣化を抑制する正極材料を探索した。候補としては硫化物系、硫黄、酸化物系などがあるが、硫化物系、硫黄は電圧が低いこと

図1 開発したMg-Ca合金材の微細組織



さまざまな配向の微結晶が均質に混ざっていることがわかる。異分野の冶金学的アプローチを取り入れたことが功を奏した。

図2 ZnMnO₃正極材料の模式図



スピネル型と呼ばれる構造の中にあるカチオン欠損にMgイオンを挿入(放電)、脱離(充電)する。

から、酸化物系を中心に検討を進めた結果、亜鉛(Zn)とマンガン(Mn)からなる酸化物・ZnMnO₃で、高容量と高サイクル特性の両立に成功した(図2)。「2~3ボルト級の高電位で、容量は約100ミリアンペア時毎グラムを保ちつつ、100日以上安定的に100サイクル超の充放電を行うという高いサイクル特性を実現しました」と語る。その後、より可逆的にMgイオンが脱挿入できる酸化Mnも新たな正極活物質として提案している。

また、電池には欠かせない電解液として弱配位性のアニオンを用いた電解液、セパレーターには3次元規則多孔性構造がそれぞれ有効であることもわかり、これらを組み合わせたMg金属電池を形成し、フルセル動作もすでに実施済みだ。「これは、Mg金属電池の全体像を明確にした世界で初めての成果です」と自信を見せる。しかし、金村さんは実用化に向けて、エネルギー密度300ワット時毎キログラム(Wh/kg)、サイクル数300回以上という、高い目標を掲げる。今後は実電池設計の観点から必要な材料・部材に絞り込み、フルセルでの実証に挑む。

目標から逆算して課題を設定「究極の蓄電池」に丸で挑む

もう一方の金属-空気電池サブチームが手掛けるのは、文字通り「空気」を利用した蓄電池だ。正極で空気中の酸素を、負極にLiを使う(図3)。理論重量エネルギー密度がLIBに比べて格段に大きいことから「究極の蓄電池」といわれている。

だが、開発は極めて困難だ。電極や電解液などの各要素技術の開発がそもそも難しいことに加え、それらを電池系として統合する際に各要素技術が互いに干渉して狙った性能が出ないことも多い。また、活物質として酸素を利用するが故に発生する活性酸素種が、正極や電解液を分解してしまうのも大きな問題だ。

そこで、これらの課題解決を期待され18年にサブチームリーダーに就任したのが、大阪大学大学院基礎工学研究科の中西周次教授だ。残りの研究期間で大きな成果を上げるために、中西さんは抜本的な見直しに着手した。「チーム共通の大目標からバックキャスト的に課題を設定し、一丸となって取り組む体制へとチームを再編しました。また、そのための仕掛けとして、チームの中心に各要素技術の電池統合評価の役割を担う『集中研』を配置しました」(図4)。

各研究グループにおける個別の成果に対し、集中研において実電池の観点からの再評価を実施する。その評価結果は、速やかに各研究グループへとフィードバックされる。こうしたループを回すことで、効率的な成果の共有・蓄積が可能になった。また、電池開発を研究対象にしたことが無い有機合成や炭素ナノ材料などの研究者を新たにチームに招き入れ、科学的ブレークスルーを得るための下地を構築した。

電極と電解液の開発が突破口に500Wh/kg級を達成

こうして生まれた成果の1つが、500Wh/kg級の重量エネルギー密度を持つ金属-空気電池だ。金属-空気電池では、負極から電解液へ溶出したLi⁺が酸素の還元生成物と結合し、正極上に過酸化リチウム(Li₂O₂)が析出する。この析出量によって放電容量が決まるため、正極は高空隙率、かつ高比表面積の材料であることが望ましく、またサイクル性向上の観点から、電解液には可逆性高く電極反応を進行させる機能が求められる。

「私たちは、多孔性カーボン正極や、電極反応の可逆性を向上させるレドックスメディエーターを含んだ電解液を新たに開発しました」と中

図3 金属-空気電池の模式図

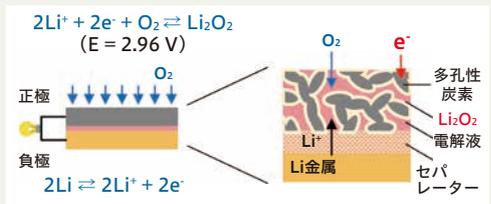
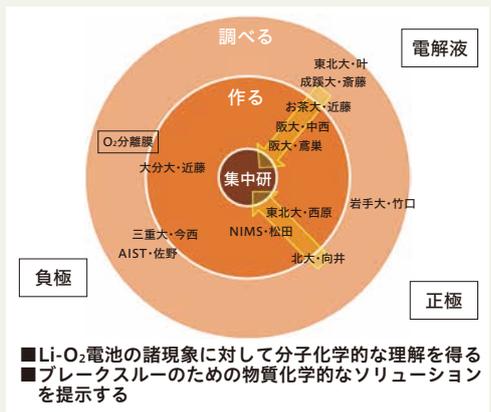


図4 金属-空気電池サブチームの体制



西さんはブレークスルーの成果を挙げる。こうした成果を実用に資する技術へとさらに昇華させるためには、揺らぎない基礎的知見を獲得することが重要だ。中西さんは、そのような考えに基づき、正極反応の可逆性向上に関する顕著な成果を挙げた。酸素同位体の¹⁶O₂と¹⁸O₂を巧みに使い、放電前と放電後のLi₂O₂積層構造を分析した。その結果、放電・充電の両反応が進行する実際の反応場を特定することに成功した。この知見は、Li-O₂電池のサイクル寿命を改善する大きなヒントとなった。

今後の目標はエネルギー密度500Wh/kgを維持しつつ、サイクル寿命を高めていくことだという。そのためには、正極反応の制御や新規電解液の開発、電池反応に対する分子論的理解の獲得など、解決すべき課題は多い。「道のりは険しく、失敗も繰り返していくでしょう。しかし、失敗からは改善に向けての大きな学びを得ることができます。それらの積み重ねが新たな可能性を拓き、次の成果につながるかと考えています」と中西さんは空気電池開発の展望を笑顔で語る。

(TEXT:片柳和之、PHOTO:石原秀樹)

どうやって
実現する？
明るく豊かな
ゼロエミッション
社会

連載
【第8回】

越 光男 Koshi Mitsuo

低炭素社会戦略センター 特任研究員

岩崎 博 Iwasaki Hiroshi

低炭素社会戦略センター 特任研究員

2050年脱炭素に不可欠
大気中からCO₂を直接回収

若手商社員・皆川豊を主人公としたストーリー仕立てで、低炭素社会戦略センター(LCS)が発行する提案書を読み解く連載の第8回。今回は2050年の脱炭素社会実現に不可欠とされる大気中から二酸化炭素(CO₂)を直接回収する技術について、越光男特任研究員と岩崎博特任研究員にお話を伺った。

強アルカリ溶液と反応させ吸収
脱離には900度の高温が必要

皆川：本日もよろしくお願ひいたします。先日、谷口昇副センター長と大友順一郎特任研究員より、大気中から直接CO₂を集めるDirect Air Capture(DAC)と呼ばれる技術が進んできているとお聞きしました。今日はその最新動向を伺いに来ました。大気中のCO₂濃度を増加させない技術は、脱炭素社会実現のカギですね。

越：そうですね。「ネガティブエミッション」と呼ばれる、温室効果ガスを回収して除去する技術が注目されています。DACはその1つです。

皆川：発電所などの排ガス中のCO₂を回収する方法はありますが、大気中からCO₂を捕集するDACは、難しそうです。

越：大気中のCO₂濃度は0.04パーセントと低濃度なので、排出源からの10～15パーセントという高濃度の

CO₂を回収するのとは、技術がかなり異なります。1999年に米アリゾナ州立大学のクラウス・ラックナー教授がDACを提案して以来、有効性や、実現可能性が絶えず議論されてきました。

皆川：研究開発はどのくらい進んでいるのですか？海外ではベンチャー企業が開発を進めているとか。

越：脱炭素の達成には世界全体で2050年までに、1年間で1ギガ(10億)トンのCO₂を捕集しなければならない計算ですが、現在、1万トン程度しかDACで捕集できておらず全然足りません。日本では実用化されていませんが、これから必須の技術なので、開発をする意義は大きいと思います。

皆川：どのようにCO₂を捕集するのか教えてください。

越：世界では主に2つの方法で技術開発が進んでいます。1つは吸収液を使う方法、もう1つが固体吸着剤を使う

方法です(図1)。吸収液を使う方法では、強アルカリ溶液にCO₂を吸収し、水酸化カルシウムと反応させて炭酸カルシウムの固体にします。これに熱を加えるとCO₂と酸化カルシウムになり、CO₂が回収できます。

皆川：CO₂を吸収させる技術が肝になりそうですね。

越：効率よくCO₂を液体に取り込むには、^{はくたい}莫大な面積が必要です。カナダのカーボン・エンジニアリング社の方法では、気液の接触を良くする工夫をした空気接触装置の表面を水酸化カリウムで濡らし、巨大なファンで空気を当てて反応させます。計画では、直径5メートルのファンを縦に4つ重ねたものを、横に2キロメートル連ねるそうです。

皆川：え！高さ20メートル、横2キロメートルに渡ってファンがぎっしり。想像を絶する大きさです。

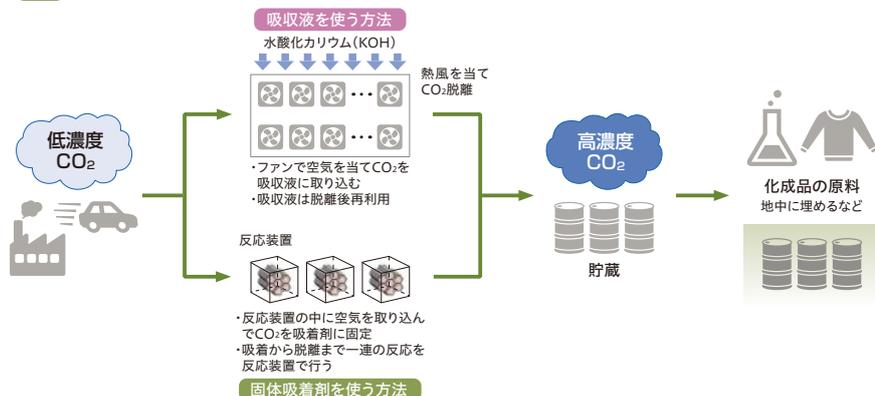
越：このシステムでもCO₂捕集量は1年にわずか90万トンと、必要量に届きません。さらに、炭酸カルシウムの固体を焼く過程で900度という高温が必要になり、莫大な熱エネルギーを使うことも欠点に挙げられます。

精密な多孔質材料の表面に吸着
生産コストとサイクル数に課題

皆川：なるほど。固体吸着剤を使う方法は、どうですか？

越：吸着剤には、多孔質材料の表面にCO₂との反応性が高い分子を固定したものが使われます。スイスのクライ

図1 DAC技術の概要



出典：N.McQueen et al., Progress in Energy, 3 (2021) 032001より筆者編集

ムワークス社の方法では、ナノファイバーセルロースの表面にアミン分子を固定した吸着剤を使います。それを2.5メートル×2.5メートル×1.2メートルの反応装置に入れ、ファンで空気を取り込んで吸着材にCO₂を固定します。その後、箱に残った空気を排出し、100度で加熱してCO₂を脱離させます。この反応装置で吸着と脱離の一連の処理が可能です。

皆川: 必要な熱エネルギーも少なく、この方法の方が期待できそうです。

岩崎: ただし、1年間に90万トンのCO₂を捕集するにも、吸着・脱着操作に各約1万1000個の反応装置が必要です。

越: 加えて、吸着剤のコストが高いというデメリットがあります。表面積を大きくするために精密な表面構造の制御が必要で、ある程度のコストがかかってしまいます。熱を加えることで吸着剤が劣化する問題もあります。カーボン・エンジニアリング社の吸収液の方法では、CO₂を1キログラ

ム捕集するコストが35円なのに比べ、クライムワークス社の吸着剤の方法では117円と高くなっていて、DACが経済的に成立するためには、少なくとも数万回程度の繰り返しサイクルに耐えることが必要です。

皆川: うーん、どちらの方法もまだまだ課題があるように思えます。

熱エネルギー不要の新技术 研究に期待も、CO₂貯留場所が課題

岩崎: いろいろな理由から、固体吸着剤を使う方に発展性があるとして、世界で集中的に研究されています。また新しい発想として、CO₂を脱離するときに熱エネルギーを使わない方法を考えるべきだと言われています。

皆川: そんなことが可能なのですか？

岩崎: 中国やアメリカで盛んに研究されている湿度スイング吸着(MSA)という方法があります(図2)。固体吸着剤を使う方法ですが、CO₂の脱離に水和水の凝集エネルギーを利用するので。

皆川: どういうことでしょうか？

岩崎: 吸着剤に水を加えることでCO₂を固定している吸着剤の周りに水和水が凝集し、その凝集エネルギーでCO₂を脱離します。乾燥させるとCO₂が再び吸着し

ます。熱を加える必要がなく、吸着剤の劣化を抑えられるのも大きなメリットです。

皆川: 説明だけ聞くと簡単そうですが、きっとそうではないですよね。

越: 理論的には成り立つのですが、確立された技術ではないため、私たちはそれを可能にする技術を研究しています。

岩崎: 世界でもまだ実験室規模の研究です。水の問題は非常に重要で、加える水は蒸気で、蒸発させないといけないのか、噴霧した水が均一にかかるのかなども、実証で確かめなければいけません。

皆川: これからの技術開発に大きく期待したいです。さて、CO₂をうまく回収できたとしても、その後はどうするのでしょうか？ 地中に埋めることも検討されているようですが、実現のめどは立っていないとか。

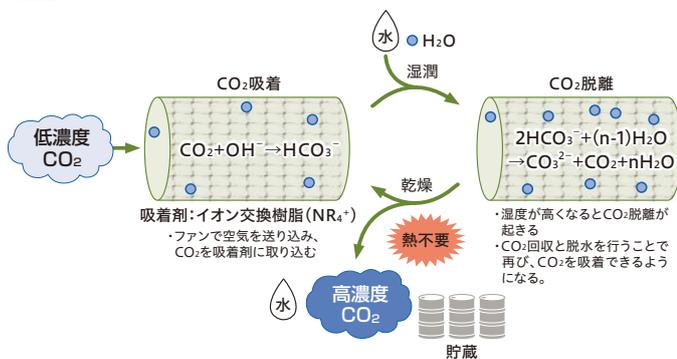
岩崎: 日本で埋められればコストは安く済みますが、海外などに持っていく場合は廃棄物ですから、関係国との協力関係など政治的な課題になりますね。

越: CO₂はグローバルな問題なので、実施体制もグローバルに考えなければなりません。いずれにせよ、DACは2050年脱炭素社会実現のカギなので、実用化に向けて国内でも今すぐ研究を進めることが重要だと思います。

皆川: わが社も新事業に注目して、いち早く投資や事業提携を考えなければいけませんね。今日はありがとうございました。

(TEXT:岩崎茜, PHOTO:楠聖子, 福井智一)

図2 湿度スイング吸着(MSA)の仕組み



出典: X. Shi et al. J.Chem.Phys., 149 (2018) 164708より筆者編集

ワンポイントアドバイス

東京大学 先端科学技術研究センター 教授 杉山 正和

大気中からCO₂を直接回収する仕組みとして忘れてはならないのが、植物です。品種にもよりますが、植物はCO₂を回収するだけでなく、有用な炭化水素、特に糖類として資源化してくれます。ただし、現行の植物では面積効率が極めて悪く、食料生産や生態の保全を考えると、年間1ギガトンのCO₂固定はとて見込めません。したがって、冗談のように巨大な扇風機の集合体であるDAC装置も、世界中のどこかには設置する必要が出てくるでしょう。ただし、DAC装置を駆動するエネルギー自体もCO₂フリー化する必要があることから、再生資源と未利用地が豊富に得られる立地を選ぶことになるでしょう。同時に、せっかく回収したCO₂は、単に埋めるのではなく、植物にならって有用な化学資源に転換したいですね。そのための技術開発も進められています。

ワンポイントアドバイス

東京大学 未来ビジョン研究センター 准教授 菊池 康紀

変動性の自然エネルギーの活用や廃熱利用、回収したCO₂の製品利用など、多様な技術を適材適所に組み合わせ、DACシステムを設計できるようになれば、気候変動問題への大きな貢献となるでしょう。ただし、何をするにもエネルギーや材料、設備が必要となるため、低炭素社会の実現のためにはライフサイクルの視点が不可欠です。常に俯瞰的な評価に基づく改善を意識できると、確実な社会革新へと繋げられるように思います。

研究成果

戦略的創造研究推進事業CREST

研究領域「革新的力学機能材料の創出に向けたナノスケール動的挙動と力学特性機構の解明」

研究課題「ナノ～マクロを繋ぐトモグラフィ：界面の半自発的剥離」

水素脆化しないアルミニウムを創製

ナノ粒子置き換え、輸送機器の軽量化に期待

アルミニウム (Al) 合金は、軽量で加工しやすいことから自動車の車体などにもよく用いられています。しかし、水素が入り込むと強度や延性が低下する水素脆化や、数カ月～数年の歳月を経て突然破壊する応力腐食割れが生じます。これまでさまざまな研究が行われてきましたが、最も小さな元素である水素の解析は難しく、脆化のメカニズムや防止策が見いだせないまま、Alの強度は長らく向上していませんでした。

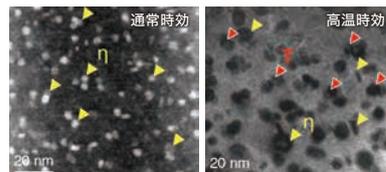
九州大学大学院工学研究院の戸田裕之主幹教授らの研究グループは、原子レベルのシミュレーションを行った結果、Tナノ粒子と呼ばれるナノ粒子内部に水素を強力かつ大量に吸蔵できることを発見しました。さらに、Alの強化に用いられている η ナノ粒子の一部をTナノ粒子に置き換えることで、強度や靱性を保ったまま、水素脆化しない高強度Alが創製できることを明らかにしました。

また研究グループは、高分解能X線CTを用いた実験を行い、水素が η ナノ粒子の表面に集中することで材料に損傷をもたらしていることを解明しました。さらに η ナノ粒子の一部をTナノ粒子に置き換えたAlでは含有する水素が劇的に

減少し、脆化を効果的に防止するとともに、亀裂が発生した場合は破壊の進行を強力に抑えることも確認できました。

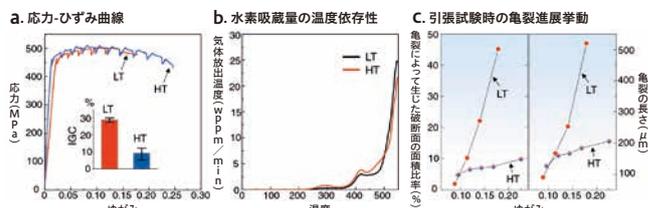
工業化を見据え、安価で機能的かつ容易な製造法が見いだされており、導入されればAlの信頼性は長期間保証されることとなります。今後はカーボンニュートラル時代に求められる航空機、新幹線、自動車などの各種輸送用機器の軽量化を果たす重要な手段としても注目されます。

LT(通常時効)材とHT(高温時効)材の透過電子顕微鏡画像



LT(通常時効)材(左)とHT(高温時効)材(右)の透過電子顕微鏡画像。HT材ではLT材に比較し、多くのTナノ粒子の生成が確認された。

LT材とHT材の比較



Tナノ粒子を含むHT材では同量の水素吸蔵量においても延性が増加。亀裂が発生しても水素脆化を強力に抑制することが確認された。

開催報告 世界科学フォーラム2022

「社会正義のための科学」に向け議論

国際課題解決を目指し、118カ国の約3000人が集う

科学と社会とのあるべき相互関係や人類が直面するグローバルな課題への科学の役割について議論を交わす隔年の国際会議、「世界科学フォーラム」(WSF)が2022年12月6日～9日、南アフリカ共和国のケープタウンで開催されました。JSTは「サイエンスアゴラ2022」に引き続き、「日本学術会議若手アカデミー」(YAJ)との共催でセッションを開き、知識生産や利益の分配における格差を解消し、公共善につながる科学のエコシステムをどのように構築できるか議論を掘り下げました。

アフリカ大陸で初めての開催となった第10回目のWSFは、「社会正義のための科学」をテーマに118カ国から3000人を超える参加者が集いました。5つのサブテーマ、「人間の尊厳のための科学」・「気候正義のための科学」・「アフリカの可能性を解き放つ科学」・「外交のための科学」・「望む社会を実現するための科学」が設けられ、国際的な社会課題の解決につながる実行可

能な行動を、科学者の国際協力によって推進する必要性が強調されました。また5つのテーマを柱に、科学の役割についての宣言文が採択されました。

23年3月には、米ワシントンDCにて「人類のための科学」をテーマに米国科学振興協会(AAAS)年次総会が開催される予定です。JSTは危機における公正な移行に関するセッションを開催し、国際課題に取り組む科学や政策関係者とのネットワークを構築していきます。



JST-YAJセッションの様様(写真は「World Science Forum 2022」公式サイトより引用)。政策形成に若手科学者の声を届けていくために各国の若手アカデミーがさらに連携していく必要性が述べられた。

研究成果

研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP)

研究課題「デジタルファブリケーションに対応する安価・ウェットプロセスによるガラス並みのバリア構造の開発」

産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム(OPERA)

研究課題「マテリアル×プロセスイノベーションによる革新的ソフト3D界面の創製とやわらかものづくり革命への展開」

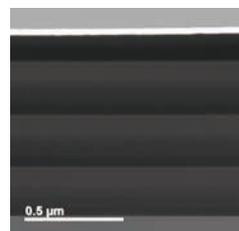
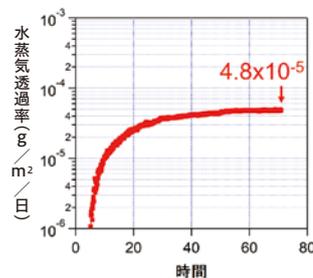
センター・オブ・イノベーション(COI)プログラム「フロンティア有機システムイノベーション拠点」

水蒸気侵入をガラス並みに防ぐ薄膜

印刷＆紫外光照射で生成、包装分野への展開も

ポテトチップスの包装内部や太陽電池などのデバイスには、酸素・水蒸気などのガスの侵入を防ぐバリア技術が利用されています。従来の真空成膜法は高いバリア性能を実現できますが、生産性が低く高コストな上に、二酸化炭素の発生量も多く環境に負荷がかかります。

これに対し、山形大学有機エレクトロニクスイノベーションセンターの碓里善幸教授らは、より安価な印刷・塗工プロセスを用いてガラス並みの高いバリア性能を目指してきました。今回研究チームは、溶解可能なSi-Nを主鎖としたポリシラザンを塗った後に、室温・窒素下で波長172ナノ(10億分の1)メートルの真空紫外光を当てることで、最短2分という短時間で緻密な無機膜を生成することに成功しました。この膜の水蒸気透過率は1日1平方メートル当たり、わずか 4.8×10^{-5} グラムとこれまでの記録を1桁以上更新するガラス並みの性能を示しまし



今回開発に成功した無機膜の水蒸気透過率は、1日1平方メートル当たり 4.8×10^{-5} グラムと真空成膜に迫る勢いだっただ(左)。バリア構造の断面透過型電子顕微鏡(TEM)画像を見ると、非常に緻密な膜が形成されていることがわかる(右)。

た。これは、印刷で作る水蒸気バリアとしては世界最高性能です。また、光学的に透明で屈曲性を持つことから、さまざまな用途のデバイスに利用可能です。

Society5.0達成に向けIoTデバイスが急増する中、デバイスを保護するバリア技術の需要は今後も高まると予想されます。特定部分への印刷も可能なため、研究チームは「欲しい場所に欲しいバリア」の実現に向けて、インクジェットプロセスによるバリア膜の研究開発も進めています。今回は水蒸気バリア性能の向上が目的でしたが、酸素バリア性能にも応用できると考えられるので、長期的にはデバイスのみならず、食品・医療などの包装分野への展開も目指します。

開催報告

国際卓越研究大学に関するシンポジウム開催
大学ファンドの支援を通じて日本の大学が目指す将来の姿

2022年11月29日、内閣府・文部科学省との共催で大学ファンドに関する初めてのシンポジウム「大学ファンドを通じた世界最高水準の研究大学の実現に向けて～国際卓越研究大学構想への期待～」を開催しました。シンポジウムには、全国の大学や企業などから会場・オンライン合わせて約1300人が参加しました。22年12月に公募を開始した世界最高水準の研究大学の実現を目指す「国際卓越研究大学」構想がメインテーマです。

当日は、内閣府・文部科学省による同構想の意義や背景に関する講演に加え、各界で活躍する方々を招き、事前に参加者から寄せられた意見も取り入れながらパネルディスカッションを行いました。モデレーターに内閣府総合科学技術・イノベーション会議常勤議員上山隆大氏、パネリストとして、フューチャー株式会社代表取締役会長兼社長グループCEO金丸恭文氏、自然科学研究機構機構長川合真紀氏、復興庁参与・福島国際研究教育機構理事長予定者山崎光悦氏を迎え、企業経営における目線やこれまでの大学での経験に基づき、同構想への要望や期待について約80分間にわたって熱い議論が交わされました。最後に、JST橋本和仁理事長

のあいさつをもってシンポジウムは閉会となりました。

同構想を支援する財源の確保を目的として、21年度よりJSTは10兆円規模の大学ファンドの運用を始めました。大学ファンドの運用益は全国の優秀な博士課程学生への支援にも活用予定です。科学技術の発展を通じた日本の未来を考える機会となりますので、ぜひ当日の動画や資料をご覧ください。



国際卓越研究大学の概要



<https://www.jst.go.jp/report/2022/221205.html>

さがける 科学人

vol.124

水戸 慎一郎 Mito Shinichiro

東京工業高等専門学校 電子工学科 准教授

Profile

広島県出身。2011年豊橋技術科学大学大学院工学研究科電気・電子情報工学専攻博士後期課程修了。博士(工学)。アリゾナ大学College of Optical Sciences客員研究員、豊橋技術科学大学高専連携推進センター連携准教授などを経て、17年より現職。18年～19年、21～22年にA-STEP研究者。



ブラハでの学会に行く途中、立ち寄ったドバイ国際空港にて。学生とのディスカッションはもちろん、訪れた先で得られるインスピレーションや経験も大切にしています。

Q1. 学生時代を振り返って

A1. 小学生の頃からものづくり好き ロボコン部では夜遅くまで没頭

小学生の頃からものづくりが好きで、よく木製おもちゃを自作して遊んでいました。「ドラえもん」や「キテレツ大百科」に登場する道具の仕組みにも興味津々で、将来こんな面白い装置を作れたらいいなと思っていました。

中学卒業後は広島商船高等専門学校に進み、ロボコン部に入部。大会出場に向けて、夜遅くまで開発に没頭した経験やスキルが、A-STEPでのデバイス開発に生かれています。

その後、取得した博士号を生かして働きたいと考えていた時に、大学の指導教員に今の職を紹介いただきました。高専の良さを理解している自信がありましたし、大学よりも教員と学生の距離が近い環境が研究の刺激になるのではないかと考え、就職を決めました。

Q2. 高専での研究について

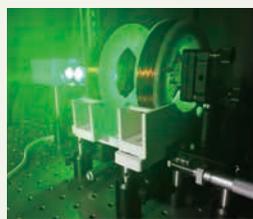
A2. 乱数生成とIoTデバイスの開発 地元企業と連携し社会実装へ

情報セキュリティなどの世界では、情報をやりとりする際に外部からデータを読み取られないよう、「乱数」を使っています。しかし、近年情報量が爆発的に増えており、今後さらに大量の乱数が必要になると言われています。この乱数不足の解決に、携わってきた磁気光学と光変調器の研究が応用できるのではないかと考えました。

乱数を発生させるには、物理現象を引き起こす「ノイズ源」が必要です。スマート

フォンなどに使われているイメージセンサーは、小さな部品で大容量のアナログデータを高速でデジタル変換できる上、広く普及しているため安価で入手できます。そこで、私たちは磁気工学材料とイメージセンサーを組み合わせた「量子物理乱数生成器」を世界で初めて提案しました。今は、USBメモリーサイズで現行の100倍に相当する毎秒1ギガビット(ギガは10億)の生成能力を目指しています。

一方で、産学連携にも力を入れています。東京高専の卒業生が社長・社員を務める地元の中小企業が樹脂射出成形を行っていたため、研究室で開発したセンサーのカバーの製作を相談したことがきっかけで工場の電力使用量を監視する新しいセンサーの共同開発につながりました。A-STEPの支援も得て高専の研究室がデバイスを提案・開発し、企業に量産・製品サポートを担ってもらうことで、お互いの得意分野を生かしました。企業側も開発を通してノウハウを手に入れたことで業務の幅が広がったようで、Win-Winの関係を築けた思い入れのあるデバイスです。



このセンサーは多くの企業で実際に使っ

イメージセンサーをノイズ源の要とした乱数生成器は安価でサイズも小さく、そのうえで大量の乱数を供給することができます。

ていただいています。他にも、AIで二酸化炭素濃度を推定する機器や狩猟的な監視システムの開発なども行ってきました。

Q3. 研究者を目指している人に一言

A3. 失敗を乗り越える過程も成果 プロセスを楽しめる人になろう

研究開発の中で学生たちと悩み、苦しんだ日々は数えきれません。1つの工程で延々と試行錯誤を繰り返したこともありましたが、「上手くいった」「上手くいかなかった」両方の結果が自身の確かな糧となっており、失敗を乗り越えた過程も研究における成果なのだと感じています。

研究とは一朝一夕では成されない、長い道のりです。だからこそ結果だけでなく、そこに至るまでのプロセスを楽しめる人になってほしいです。私自身は、今後も高専という教育の

現場で指導の皆さんを積むとともに、磁気光学の担い手の1人として分野を盛り上げていければと思っています。

(TEXT: 横井まなみ)



学生との距離が近い高専で 研究と教育の担い手を目指す



JSTnews

February 2023

発行日/令和5年2月1日

編集発行/国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)総務部広報課

〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3サイエンスプラザ

電話/03-5214-8404 FAX/03-5214-8432

E-mail/jstnews@jst.go.jp JSTnews/https://www.jst.go.jp/pr/jst-news/



最新号・バックナンバー