



特集
1

低炭素社会の実現を目指す挑戦的研究開発

ゲームチェンジング・テクノロジー



この200年余にわたって人類社会が排出し続けた温室効果ガスを着実に削減していくには、新たな発想や研究手法、画期的な原理の構築が求められている。JSTの「先端的低炭素化技術開発 (ALCA※事業)」は、ハイリスクだが独創的な「ゲームチェンジング・テクノロジー」によって低炭素社会を実現しようという挑戦的な試みである。化石資源に頼り切ってきたこれまでのエネルギー社会の“ゲーム”に終わりを告げ、全く新しい概念とルールを自ら作り出し、低炭素社会の実現を確実なものとしようとするのがゲームチェンジング・テクノロジーだ。例えば、500キロ走れる電気自動車を目指して、新しい材料を利用する新型の高性能なバッテリーの開発。テレビやパソコンなどの利用者の両目だけに集中的に画像情報を送ろうという超低消費電力のディスプレイ (表示装置) の開発が進む。これまでの世界をひっくり返すようなゲームチェンジングを目指す研究を紹介する。 ※Advanced Low Carbon Technology R&D Programの略

Part.1

温暖化抑制の革新技术を生み出す



研究開発成果1

「イオン液体」を用いた蓄電デバイス

イオン液体を用いた蓄電技術を
産業界の力も借りて
育てていきたい。



研究開発代表者

渡邊 正義

わたなべ・まさよし 横浜国立大学大学院 工学研究院 教授 工学博士

1978年、早稲田大学理工学部卒業。83年、早稲田大学工学博士。88年~90年、米国ノースカロライナ大学化学科客員研究員、92年より横浜国立大学工学部講師、助教授を経て98年度より現職。2012年より電気化学会副会長、高分子学会関東支部長。



蓄電デバイスに用いられる「リチウムイオン液体」

プラスとマイナスの電気を帯びた「イオン」だけからなる物質で、通常は食塩のように室温では固体として存在するが、イオン間の相互作用が弱いものは室温付近でも液体状態で存在する。これがイオン液体で、ほとんど蒸発せずに燃えないことから、有機溶媒に代わる液体として注目を集めている。

500km走れる電気自動車のために革新的二次電池

電池には1回放電したら使い捨ての一次電池と、充電して繰り返し使える二次電池の2種類がある。二次電池でよく知られているのが鉛蓄電池で、その他にもハイブリッドカーにも使われているニッケル水素電池やスマートフォン、パソコン、電気自動車などに使われている最もエネルギー密度※の高いリチウムイオン電池がある。

ところが、現在市販されている電気自動

車は1回の充電で最長200km程度しか走れない。世界的な目標としては1回の充電で500km走行できる革新型的二次電池への期待が大きく、そのためにはエネルギー密度が500Wh/kg以上の性能が求められる。さらに最低1,000回の充放電寿命が必要だ。

「これを達成するには、現行の最高性能のリチウムイオン電池では理論的にこのエネルギー密度をクリアできません。また、大型化に向けての難点の1つは有機溶媒を使っているため、揮発性が高く、発火の危

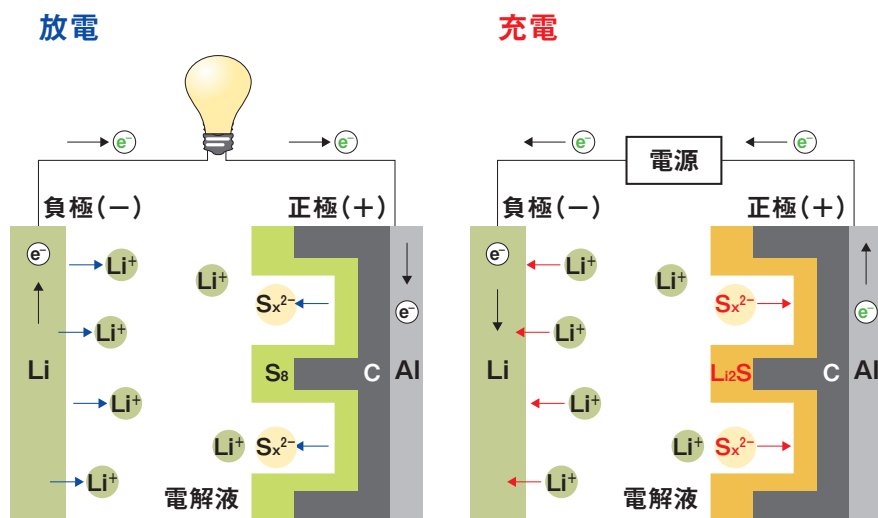
険性があることです。そこで、全く新しい原理の電池が求められているのです」と、このALCAプロジェクトの代表を務める渡邊正義さんは話す。

【用語解説】

※ エネルギー密度

電池の性能評価の方法で、単位重量あたり、単位体積あたりで、どれだけのエネルギーを蓄電できるかを表す数値。一般に〔Wh/kg〕や〔Wh/L〕で表される。

■ 「ワタナベ・エレクトロライト」の充放電特性およびサイクル特性



正極に硫黄+炭素、負極にリチウム、電解質にイオン液体を積み重ねて作られた試験用のセル（ポタン電池）。

「ワタナベ・エレクトロライト（電解質）」と呼ばれるイオン液体電解質を用いることで硫黄正極からの硫黄を抑制してリチウム硫黄電池を実現するという全く新しい発想。現在のリチウムイオン電池に比べて、容量が約10倍も大きくなり、繰り返し充電・放電しても性能が落ちにくいという優れた特性を持っている。

「ワタナベ電解質」を使った新しい蓄電池を開発

渡邊さんたちは20年近く「イオン液体」という物質を研究してきた。イオン液体は、プラス、マイナスのイオンだけからなる液体で、さまざまな分野で注目を集めている物質だ。液体なのに蒸発しない、燃えないなどの優れた特長を持つため、このイオン液体を電池の電解質として利用する研究が世界中で行われている。

「これまでの研究は、イオン液体は燃えないから安全な電池ができるという発想でした。しかし、イオン液体を使うと、出力性能が落ちてしまうという問題がありました。私たちは、これまでの研究を生かして、イオン液体だからこそ実現できる高性能な電池ができないかと考えました」

それが、硫黄を利用した硫黄電池だ。

日本は火山国なので資源的に硫黄が豊富にある。また、環境規制が厳しいため、輸入された原油から硫黄を完全に除去した石油やガソリンを使っている。石油精製会社では脱硫による大量の硫黄を保持しているが、革新的な使い道がない。1kgあたり10円前後と

いう低価格も魅力的だ。さらに、現在のリチウム電池よりも理論的には蓄えられる電気容量が10倍ほど高いこともわかっている。

では、なぜ、これまで硫黄電池が実用化されていないか？ それは、①電池寿命が短い、②電池としての反応が非常に遅い、③電池の正極では反応物である硫黄がたまることで電気を生むが、その反応の過程で硫黄が電解質に溶けてしまう、という3つの問題があったからだ。

「特に硫黄が溶け出すことは、蓄電池として機能しなくなるので大きな問題です。これまで、固体電解質などを用いて物理的にこの溶出をブロックするような研究がありましたが、私たちはイオン液体を用いれば硫黄が溶け出さないのではないかと仮説を立てました」

イオン液体は、その特徴としてイオン同士の相互作用が弱いため、硫黄の放電生成物とも相互作用が弱く溶け出さないのではと考えた。硫黄電池に使える新しいイオン液体を検討し、電解質にイオン液体、正極に硫黄粉末と炭素、負極にリチウムメタルを使った新しい硫黄電池を試作したところ、硫黄の電解質への溶解を抑制することに成功した。

さらに、現在のリチウムイオン電池に比べて、容量が約10倍も大きくなり、充電と放電を繰り返しても性能が落ちにくい安全な電池開発にめどをつけることができた。この成果は、「ワタナベ・エレクトロライト（電解質）」という名前が付き、昨年韓国で開催されたリチウム電池の学会で発表され、大きな反響を呼んでいる。

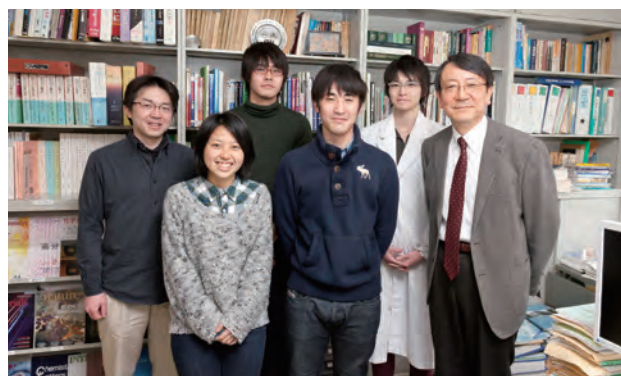
安価で高性能な蓄電池を目指す

化石資源はいつか使いはたす時が来る。太陽光にしても風力にしても、発電した自然エネルギーをそのままでは使えない。電圧や周波数のコントロールが必要となり、一度蓄電して直流から交流に変換しなくてはならないからだ。この二次電池では、安い材料で高性能を実現できる可能性があるため、自動車や家庭、工場、地域などに電気をため、蓄電に活用できたらと渡邊さんは考える。

「今の電力供給は、発電所で大量のエネルギーを集中的に作り、遠隔地まで送電線で送る考え方です。これからの低炭素社会はCO2を排出しないこと以外に、小さなコミュニティ単位で電力を自給し、お互いに助け合う分散型エネルギーシステムを作ることが必要です。そういう時代が10年から20年後に訪れた時には、このような蓄電池が不可欠になるものと思います」

蓄電池の開発は、電子や電荷の輸送がどのように起きるかという分子・イオンレベルの研究から、硫黄を使いこなすための材料研究、さらに、実際の蓄電池の設計まで広い範囲にまたがっている。そのため、他大学や他研究機関の研究者とそれぞれ得意な分野で協力しながら進めている。

ALCAでのプロジェクトは5年の研究期間を予定しているが、プロジェクト発足時に目標に掲げた500Wh/kg以上のエネルギー密度の実現に手応えを感じ始めた渡邊さん。イオン液体を用いた蓄電技術にさらに磨きをかける。実用化のステップは企業との産学連携で進めていく。低炭素社会への道筋がようやく見え始めてきた。



横浜国立大学大学院工学研究院の研究室で、研究代表者の渡邊正義教授（右）、獨古薫准教授（左）と研究チームの皆さん。



研究開発成果2

逆転の発想の超低消費電力ディスプレイ

さまざまなディスプレイで、超低消費電力を目指します。

研究開発代表者

川上 徹

かわかみ・とおる

東北大学未来科学技術共同研究センター
客員准教授 工学博士

1991年、東北大学工学部卒業。96年、東北大学工学部大学院博士課程後期修了。2005年、東北大学・未来科学技術共同研究センター講師を経て、08年より現職。



膨大な光エネルギーを無駄にしてきた

テレビをはじめパソコン、タブレット、スマートフォンなど、生活の場にはさまざまなディスプレイがあふれている。相当な数量に上っているだけに、それぞれの消費電力の大幅な削減ができれば低炭素社会に向けて大きなインパクトをもたらす。これらのディスプレイの消費電力を劇的に削減するゲームチェンジング技術の開発を目指すALCAプロジェクトの代表を務めるのが川上さんだ。

ディスプレイの基本概念を根本的に変えたいと考えた理由はこうだ。私たちが普段目にしている液晶などのディスプレイは、表面からあらゆる方向に光を出しているが、目の網膜に達しているのはカメラの絞りに相当するわずか2~8mmの虹彩（アイリス）を通して入ってくる光だけ。これ以外の光は全て無駄となっているため、ディスプレイ全体の1/10,000~1/100,000の光しか利用されないのだ。まさに膨大なエネルギーを無駄にしているのである。

1/10~1/100の超低消費電力を実現

そこで、川上さんたちが開発しているのが、逆転の発想から生まれた「空間結像アイリス面型技術」と呼ばれる方式。無駄な光を省き、ユーザーの両目近くだけに全画像情報の光を集光して「空間結像アイリス面

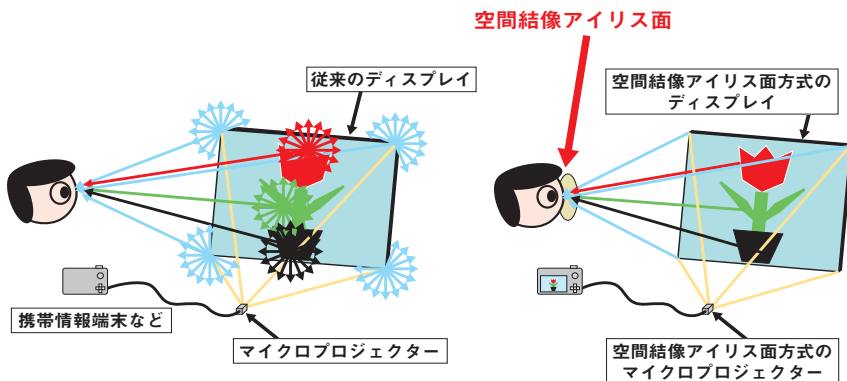
を構成する。ユーザーの目がどこにあるかを認識するのは、現在デジカメに搭載されている被写体の顔を認識するアイトラッキング技術を使う。

人間の目が空間結像アイリス面を通してディスプレイを見つめると、目の水晶体レンズが網膜上にきれいな画像情報を結像する。人間の目が移動すると、その動きを認識して空間結像アイリス面も移動する。だから人間が体を動かしても光強度は全く変わらないわけだ。この方式により、従来はディスプレイの全面に放出していた光エネルギーの無駄をなくすることができる。試算では、従来型の

1/10~1/100の超低消費電力を実現できるというから驚きだ。特に、スマートフォンやタブレット、パソコン、カーナビのように個人専用の利用には大きな効果が期待できる。

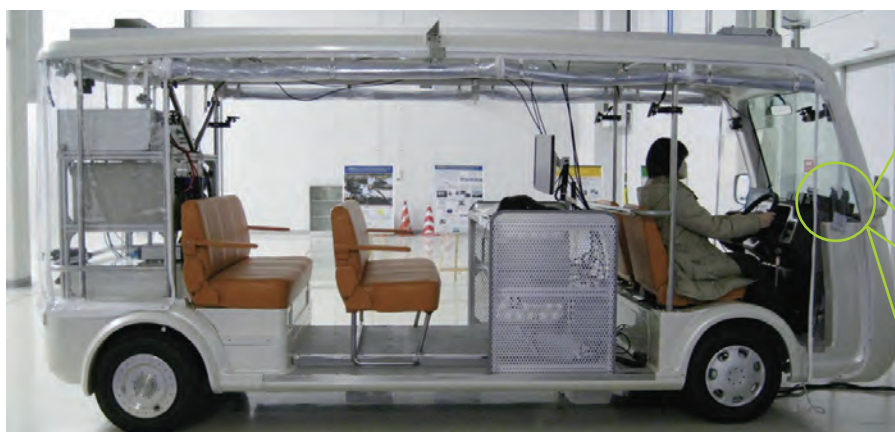
川上さんはその省エネ効果をこう語る。「もし、日本の世帯数4,900万世帯に消費電力200Wの60インチ大画面液晶テレビが普及し、1日3時間視聴したとすると、1年間で511万トンのCO₂を排出することになってしまうので、それが1/10になると460万トンのCO₂排出を減らすことができます。これは火力発電タービン約7分分の排出量に相当する削減となるのです」

空間結像アイリス面型・超低消費電力ディスプレイの仕組み

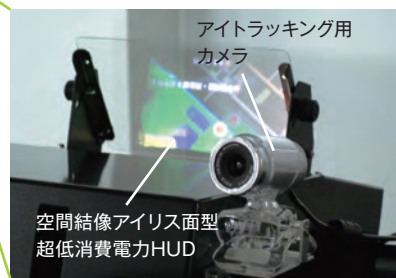


左が従来のディスプレイ、右が川上さんのプロジェクトが研究を進めている空間結像アイリス面方式のディスプレイ。ユーザーの両目近くに小さな空間結像アイリス面を設け、全画像情報の光を角度的にも空間的にも均一に集光、網膜上にきれいな画像情報を結像する。ユーザーの目がどこにあるかを認識するアイトラッキング技術により、人間の顔が移動すると、光の方向を変え、空間結像アイリス面を移動させるので、光強度が全く変わらないという理想的な状態を作り出す。

■EVバスに搭載した、空間結像アイリス面型・超低消費電力HUDとアイトラッキングシステムの全景



表示画像 (412cd/m² : 2.5W)



アイトラッキング用
カメラ

空間結像アイリス面型
超低消費電力HUD

空間結像アイリス面方式を、具体的に自動車用のヘッドアップディスプレイ (HUD) に適用した例。このHUDの搭載は、経済産業省のIT融合プロジェクトの一環として行った。ドライバーは目線を大きく動かすことなく、安全に前面の視覚情報を見て運転することができる。

1画面で“2役”の表示もできる

このALCAプロジェクトは3年半の予定で続けられているが、その開発ステップは大きく4ステップにわたる。

第1ステップで開発を目指すのが車載用のヘッドアップ・ディスプレイ (HUD)。クルマの計器類やナビゲーション画像をフロントガラスに映し出すディスプレイだ。ドライバーは目線を動かすことなく、安全に運転情報を見られる。消費電力は16.5インチ液晶ディスプレイの1/10に当たるわずか

4Wで、液晶ディスプレイと同じ明るさ200~300cd/m²を達成する。しかも、画像表示面に拡散がないので、直射日光による画像の見にくさも起こりにくい。

「HUDに関してはマルチビュー機能も研究中で、横方向に空間結像アイリス面を増やすと、複数の画像をフロントガラスに同時に映して、角度により別々の画像を見ることができます。ドライバーはナビを見ているが、助手席ではDVDを鑑賞するという“2役”が1枚のフロントガラスで可能になるのです」

次の第2ステップは、A4程度のパソコンのディスプレイ開発。これは既存製品の

1/10程度の超低消費電力ディスプレイの実用化を目指す。これなら外出先でバッテリー切れの心配もいらない。画像は本人にしか見えないので電車内でのぞかれる心配もなくなる優れたものだ。

最終段階までに超省エネ大型ディスプレイを開発・普及

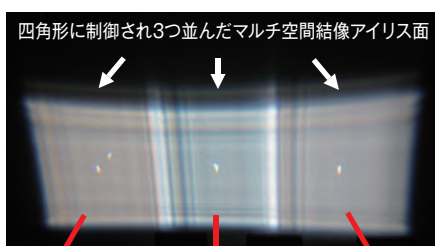
続く第3ステップは50~80インチ・ディスプレイの実用化だ。大型ディスプレイは、今後、個人向けにも普及していくと予想されるので、消費電力が既存製品の1/10となる16~35Wに削減される効果は大きい。

最終目標は、現在の大型液晶テレビからのディスプレイ置き換えである。今後、この分野は韓国、台湾、中国メーカーに席卷されるだろう。ただし、次世代の大型テレビは低消費電力化が最重要である。この超省エネ大型ディスプレイの実現には、日本が得意としている微小レンズなどの光学技術や光学フィルム技術の応用が必要であり、テレビ市場で日本の家電メーカーが再度復権を果たすためのキーテクノロジーにもなるはずだ。

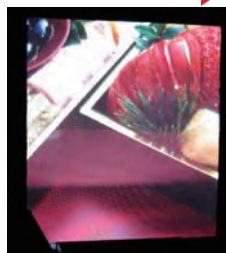
「もちろん、本プロジェクトの目標が達成されたとしても、それが世の中に普及しなければCO₂削減にはつながりません。その意味で製品の価格はシビアに考える必要があります。部材数を極力減らして市場に受け入れられる技術開発を狙いたいですね」

2年前の福島第一原子力発電所事故をきっかけに、電力不足の危機を切実に感じ、革新的省エネ技術の実現に向けてこのプロジェクトをスタートさせた川上さん。実際の製品が陽の目を見る日はきっと近いはずだ。

■マルチビュー機能の搭載が可能なHUD



四角形に制御され3つ並んだマルチ空間結像アイリス面



左側アイリス面からのディスプレイ撮影画像



中央アイリス面からのディスプレイ撮影画像



右側アイリス面からのディスプレイ撮影画像

横方向に空間結像アイリス面を増やして、別々の画像をそれぞれ同時に映すと、ディスプレイに向かう角度によって異なる画像を見ることができる (マルチビュー機能)。



Part.2

省エネ・創エネに大きなスケールで貢献する

挑戦的テクノロジーの研究を最長10年間支援

二酸化炭素（CO₂）排出量を削減し、低炭素社会の実現を目指すには、国の政策目標に応じて、大学や研究機関などのアカデミアによるいっそうの貢献が求められる。アカデミアの持つ基礎研究能力こそがエネルギー問題を解決する革新的な技術の源泉であり、その実用化と社会への普及がCO₂の削減につながっていくといえるからだ。

低炭素社会の実現に、文部科学省は基礎研究や観測分野の開発支援を行ってきたが、さらに、アカデミアの力を活用して、「省エネ」「創エネ」に貢献する研究戦略を加えた。こうした政策を背景に、ALCA事業創設の意義について、全体のリーダーを務める事業統括の橋本和仁さんはこう話す。

「エネルギー問題の研究は、わが国の優れた基礎研究をもとに、既存の技術をさらに発展させていく『積み上げ型』がこれまで多かったのです。しかし、ALCAは違います。エネルギー問題を根本から解決していくために、既存の考え方を大転換するような研究展開をしてもらおうというものです。ゲームチェンジング・テクノロジーというのは、今までの技術体系の中では考えられなかったブレークスルーをもたらす革新技術という思いを込めた言葉なのです」

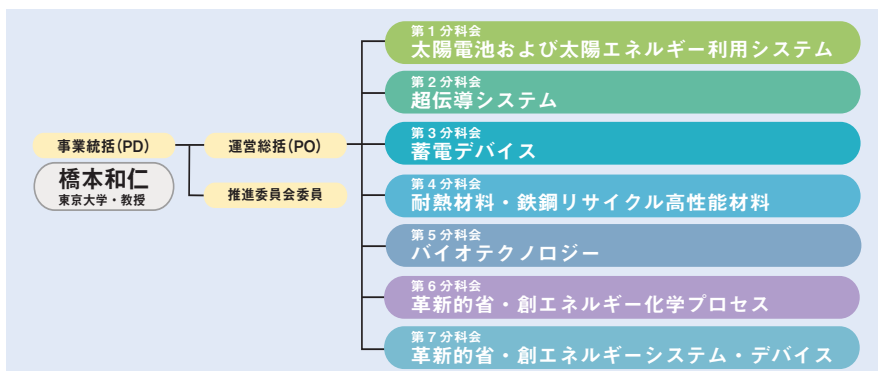
ALCAは1つの研究課題を最長10年間にわたって支援する長期プロジェクトだ。夢のある研究を長く支援し続けていくことで、未来社会に貢献するグリーン・イノベーションを作り出すことを狙っている。

厳しいステージゲート評価 継続か中止かを判定

夢のある研究を続けてほしい。しかし、夢だけでは社会に貢献することはできない。ALCAでは失敗を恐れない思い切った提案を受け入れるが、中には思い通りにはいかないプロジェクトも出てくる。そこで、競争的な環境下で研究プロジェクトの成功率を高めるため、研究開発の実施期間中に、研究を継続させるか中断させるかを厳しく判断する「ステージゲート評価」を実施している。

ステージゲート評価とは、当初設定した時期や目標の達成度を厳しく評価し、プロジェクトを継続させるか中止させるかの判断をするプロセスをいう。事業統括の橋本さんを中心に7つの分科会の運営総括（PO）と

ALCA体制図（先端的低炭素化技術開発事業推進委員会）



分科会委員が研究開発の進捗を公平に評価し、その結果によっては、計画の大幅な見直しや中止を行う。また反対に、成果が上がっている研究は研究費の増額もあり得る。

「昨年、最初のステージゲート評価を初めて実施しました。それまで文部科学省の個人への研究費で、期間中に打ち切った例はなかったので反響も大きかったといえます」

ステージゲート評価における基準は何か。1つは、客観的な指標として数値目標を立て、達成したかどうかをみる方法である。しかし、数値目標はあくまで指標であり、それを達成しただけで通過できるとは限らない。重要なことは、POと研究者がひざを詰めて話し合い、最終目標に近づいていくための計画にPOが納得できるかどうかである。その意味でも、ALCAではPOの権限と指導力が極めて重大な責任を負っているといえる。

目的はただ1つ、低炭素社会への貢献

「誤解しないでいただきたいのは、ステージゲートを通しなかったからといって、成果がなかったということでは決してありません。あくまでもALCAの目的は、低炭素社会、省エネ・創エネに対して大きなスケールで貢献でき

る研究でなければならないということ。実際、通過できなかったプロジェクトもサイエンスとしては素晴らしい研究ばかりです」

ALCAでは、基礎研究の成果だけでなく、実用化の見通しも求められる。しかし、実際に進めていると、研究者に最終的な応用まですべてを要求するのは厳しいのではないかという議論があり、今後出口側にいる産業界との協力も働きかけていきたいと橋本さんはいう。

「地球温暖化という非常に大きな課題に立ち向かっていくには、事業を推進する私たちと開発を担う研究者たち、さらに、官民が一体となって、研究成果を社会に還元していく道筋をつけることが重要です。それを実現するための壮大なモデルケースがALCAだと考えています」

2030～50年における豊かな低炭素社会への大転換に挑戦していくゲームチェンジング・テクノロジー。まさに、試合の流れを一気に変えようというALCAの先端プロジェクトの数々から目が離せない。



橋本 和仁 はしもと・かずひと
東京大学教授 理学博士

1978年、東京大学理学部化学科卒業、80年、同大学院理学系研究科修士課程修了。91年、同大学工学部合成化学科助教授を経て、97年より同大学先端科学技術研究センター教授、ならびに、2004年同工学系研究科応用化学専攻教授。2010年よりALCA事業統括。