

# ALCA

Change the game with technologies!





# Are We Causing Global Warming?

## CO<sub>2</sub> as a Greenhouse Gas

地球に入射してきた太陽放射は地表面に到達した後、反射や放射熱として最終的に宇宙に放出されるが、大気存在により、気温の急激な変化が和らげられている。なかでも二酸化炭素は大気中にわずか約0.04%であるとはいえ、地球放射スペクトルの内、赤外線領域を吸収して地表の平均気温を15℃程度に保つのに大きな役割を果たしている。しかしながら、あたかも「温室」効果ガスとして働くこの二酸化炭素こそが、地球温暖化に大きな影響を及ぼしていると言われている所以である。

## Rising Atmospheric CO<sub>2</sub> Concentrations

IPCC(気候変動に関する政府間パネル)はこの四半世紀の間、5つの報告書を公表してきた。特に、2007年に公表された第4次報告書では「20世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは、人為的起源の温室効果ガスの増加が原因であった可能性が高い」とほぼ断定した。19世紀以降、産業の発展に伴い人類は石炭や石油などの化石燃料を大量に消費するようになり、大気中の二酸化炭素の量も200年前と比較して30%程度増加している。





# Towards the Future Low Carbon Society

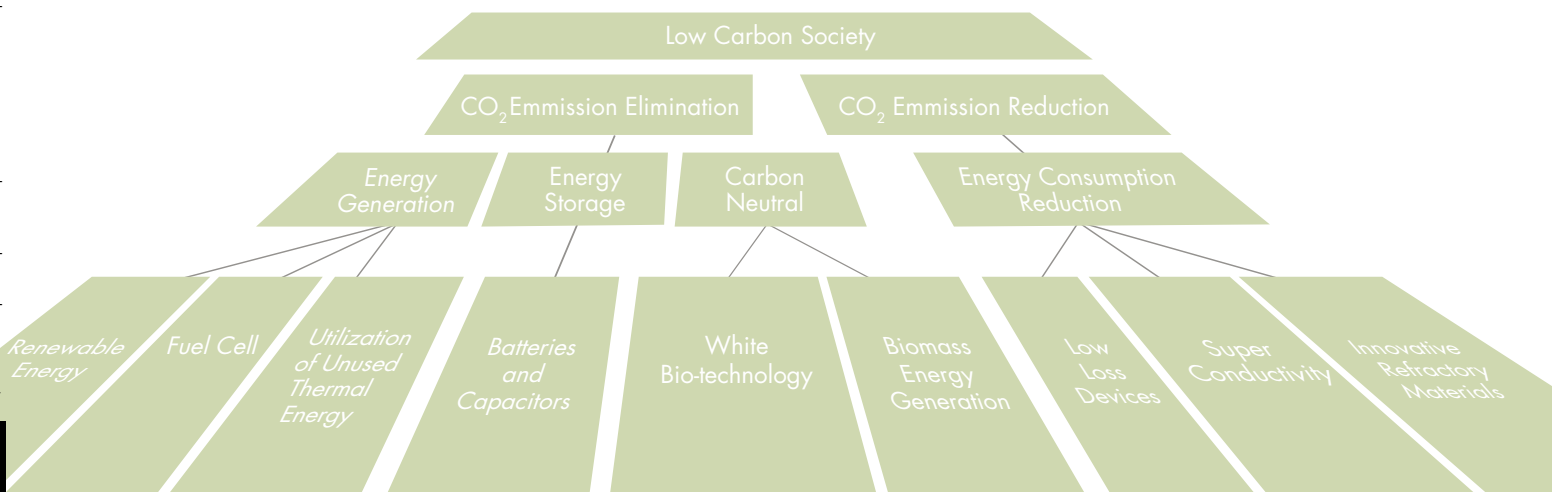
## Mitigation Options for CO<sub>2</sub> Emissions

地球温暖化問題の原因である温室効果ガス、なかでも最も大きな割合を占める二酸化炭素の排出を抑制する社会、すなわち「低炭素社会」を構築することが、世界的な課題となっている。地球温暖化問題の解決には大別して“適応策(adaptation option)”と“緩和策(mitigation option)”の二つのアプローチがあり、この二つを相補的に推進することが重要である。前者は自然や社会の在り方を調整して温暖化による影響を軽減しようというものである。一方、後者は温暖化の原因となる温室効果ガスの排出を抑制しようというものである。化石燃料の効率化や抑制、再生可能エネルギーを初めとする代替エネルギーの利用促進、モーダルシフト、省エネルギー、炭素固定など広範かつ多岐にわたった技術的・政策的な取り組みによって低炭素社会を構築するというものである。

## ALCA Launched to Mitigate Emissions of CO<sub>2</sub> with Game-changing Technologies

こうした国際動向の中、日本国内も温室効果ガス排出の低減に向けた取り組みが始まり、2010年、JSTは緩和策による温室効果ガス排出の低減を目指し、低炭素技術開発に特化した研究プログラムとして先端的低炭素化技術開発(Advanced Low Carbon Technology Research and Development Program; ALCA)を発足させた。緩和策としての技術開発オプションには様々な分野・技術が考えられるが、ALCAではCO<sub>2</sub>の発生そのものを創エネルギー、蓄エネルギー、カーボンニュートラルによって抑制する取り組み、さらにCO<sub>2</sub>発生が不可避な中で極力その排出量を低減する省エネルギー技術の開発に取り組んでいる。

ALCAでは従来の化石燃料に基づいたゲームを変革するという期待を込めてこの革新技術を“ゲームチェンジング・テクノロジー”と呼ぶ。“ゲームチェンジング・テクノロジー”の創出によって温室効果ガス排出量の大幅な削減に貢献するという強い意識の下にALCAは運営されている。



ALCA Mitigation Options



ALCA / Change the game with technologies!



# Next Generation Batteries with High Energy Density

## Innovative Batteries for Electric Vehicles

電気自動車は地球温暖化対策の必須アイテムともいえるが、既に市販されている電気自動車の走行距離はまだ十分に長いとはいえない。電気自動車が本格的に普及するには、1回の充電で500km走行できるようなガソリン車並みの航続性能、すなわち高エネルギー密度と高出力特性を兼備する蓄電池が必須である。現行のリチウムイオン電池では理論的には実現は難しく、いきおいリチウムイオン電池をしのご革新的な次世代蓄電池の開発が待たれるところである。ALCAにおいても殊、蓄電池分野については重点的な取り組みがなされ、現在、種々の車載用次世代蓄電池の研究開発が進められている。

## Key Component for the Smart Grid System

再生可能エネルギーによる発電が順調に増えると、電力システムを安定させるための蓄電池も必要となってくる。太陽光や風力で発電した電気を電力システムに送り社会全体で共有するスマートグリッド(次世代送電網)を実現する上で不可欠なのが定置用大型蓄電池である。例えば、晴天時の太陽光によって増大した発電量をそのまま電力システムに送り込むと送電線内の電圧上昇により電子機器の故障につながることもある。この場合、蓄電池にいったん電気を蓄えることで電圧の上昇を抑制する。逆に太陽光発電の出力が低下した際は蓄電池が瞬時に電力を供給する。このようにスマートグリッドは、太陽光発電の出力の変動と蓄電池に充放電を巧みに制御した創エネルギー・蓄エネルギー・省エネルギーの三位一体システムであり、大容量蓄電池はシステムの要となる。

ALCAでは車載用次世代蓄電池の研究開発を先行的に推進しているが、これらの研究開発から有力な定置用蓄電池がスピンオフすることも期待される。



Photo Provided by TOSHIBA CORPORATION.



#### All-Solid-State Battery with High Safety and Reliability

“全固体電池”は可燃性である有機電解液を用いないことから、発火や液漏れの心配がなく、安全面や耐久面が高められるという大きなメリットがある。また、電極/電解質/電極/電解質・・・と直接積層できることから体積当たりのエネルギー密度の点からも期待できる。

ALCAでは、大阪府大・辰巳砂教授らが硫化物系固体電解質を用いた全固体電池の開発に取り組んでいる。また、NIMS・高田博士らは酸化物系の固体電解質を用いた全固体電池の開発を目指している。

#### Lithium Sulfur battery with Higher Capacity and Lower Weight

リチウム-硫黄電池は正極に比較的安価な硫黄化合物、負極にリチウム合金を用いる。正極に硫黄を使うと蓄電性能が飛躍的に向上することは知られていたが、反応の過程で正極の硫黄が電解液に溶出するという弱点があった。横国大・渡邊正義教授らは“Watanabe Electrolyte”と呼ばれる独自に開発したイオン液体からなる電解液を用いることで、硫黄溶出の課題解決の目処をつけつつある。ALCAでは、この技術をベースに新規リチウム硫黄電池の開発を進めている。

#### Metal Air Battery Using Air as the Cathode

“金属-空気電池”は、空気極(正極)を介して空気中の酸素を取り込み発電する。他の電池と異なり、正極活物質を内蔵する必要が無いことから、その分電池内のスペースに負極活物質を充填でき大容量化が可能になる。充放電に伴って電解液中の金属イオンが負極で析出する(正極との短絡の恐れ)、電解液の揮発する、通気孔の目詰まりが生じるなど技術的課題は今なお山積しており、ALCAでも様々な角度から解決に向けて取り組んでいる。

#### Magnesium-ion Battery with High Capacity

正極に酸化物材料、負極にマグネシウム金属を用いるマグネシウムイオン電池は、1個のイオンが2個の電子を運ぶことから原理的にリチウムイオン電池よりも容量が大きくなる。その反面、マグネシウムイオンは電解質や活物質中を移動しにくく、またマグネシウム表面が不活性化しやすいことから、安定な溶解析出反応を実現できる系は現在のところかなり限られている。ALCAでもマグネシウムイオン電池の創製に向けて、電極活物質に加え、電解液の探索研究を推進している。

#### Sodium-ion batteries based sodium's low cost and natural abundance

稀少資源であるリチウムに比べ資源として豊富なナトリウムを用いる“ナトリウムイオン電池”は、資源調達の観点からも有望である。一方、ナトリウムを用いた電池としては電力貯蔵用NAS電池がすでに実用化されているが、セラミックスを固体電解質に用いるため比較的高温(約300°C)まで加熱する必要があった。ALCAでは京大・萩原教授らが中温(約100°C)作動するナトリウムイオン電池を試作、さらに用途を広げるために作動温度の低温化に取り組み、従来の電解液よりも広範囲な温度域(0~100°C)で作動する新規電解液を開発中である。





# Reducing CO<sub>2</sub> Emissions from Power Plants with Improved Thermal Efficiency

2011年の東日本大震災以降の原子力発電所の稼働停止から国内電力供給における火力発電への依存度が高まり、CO<sub>2</sub>排出量も増大傾向にある。また、2015年秋のCOP21開催を機に、日本政府も2030年時点の望ましい電源構成「ベストミックス」と温暖化ガス排出量削減に向けた検討を重ねている。今後もベースロード電源として火力発電も一定の比率を担うと考えられることから、さらなる高効率化やCCS技術の開発により、CO<sub>2</sub>排出量を大幅に抑える必要がある。

## Developing Materials for Coal-fired Electric Generating Plants

再生可能エネルギーへの期待が高まる一方、エネルギー源としての石炭の価値はコスト的な優位性は高い(1kW時当たりの燃料価格がLNGの半分以下)。従って、今後も一定のニーズは持続することは必至

であるが、天然ガス燃焼と比べ石炭燃焼では発電時に発生するCO<sub>2</sub>は2倍近くになることから、CO<sub>2</sub>排出低減につながる技術革新がますます求められる。

日本の石炭火力は、蒸気タービンの圧力や温度を超々臨界圧(USC; Ultra Super Critical)という極限まで上昇させる最新の方式で熱効率を高めることによってCO<sub>2</sub>排出量の低減を実現している。ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせた石炭ガス化複合発電(IGCC)方式も普及しつつある。これは、石炭をガス化し、この膨張力でガスタービン発電、この排ガスをボイラーに導くという仕組みによって高効率化するというものである。

さらに高温型の固体電解質形燃料電池(SOFC)を組み合わせると発電効率を大幅に高めCO<sub>2</sub>排出量は現行技術比で約30%削減できるIGFC発電方式も現在開発が進められている。

ALCAでは更なる高温化に耐え得る蒸気タービン翼材料あるいはその周辺部材材料に取り組んでいる。





### High Temperature Materials for LNG Gas Turbines

一方、LNGの燃焼で生成された高温のガスでタービンを回す天然ガスタービン発電方式は回転運動エネルギーを得る内燃機関である。LNGは燃焼時のCO<sub>2</sub>排出量や生成する窒素酸化物が他の化石燃料より少ないことから、将来の火力発電設備の主流を担うことが期待される。ガスタービンは高温で動作するため、その排気もまた十分に高温であり、排熱回収ボイラー、蒸気タービンと組み合わせた高効率コンバインドサイクル発電方式(GTCC)の普及も進んでいる。熱効率向上のためガスタービン耐熱温度の高温化が進み、近年では1,500~1,600℃級が採用されてきている。ALCAでも、燃焼温度を1,700度まで高めることができる次世代のガスタービン用耐熱材料が開発されている。ALCAでは更なる高温化に耐え得る蒸気タービン翼材料あるいはその周辺部材材料に取り組んでいる。





# Paradigm Shifts in Chemical Industry with White Biotechnology

光合成によってCO<sub>2</sub>を固定化している植物を原料としているバイオベース製品は、製造時の投入エネルギーをのぞけば、そのライフサイクルにおいてほぼCO<sub>2</sub>の増減に影響を与えない(カーボンニュートラル)特質を有しており、その点から低炭素技術といえよう。バイオマスから化学製品を作るという製造概念はバイオリファイナリーあるいはホワイトバイオテクノロジーと総称されるが、ALCAでこれまでバイオ技術領域と化学

プロセス技術領域で個々に推進してきた要素技術をインテグレートして、2015年よりホワイトバイオテクノロジープロジェクトを開始した。

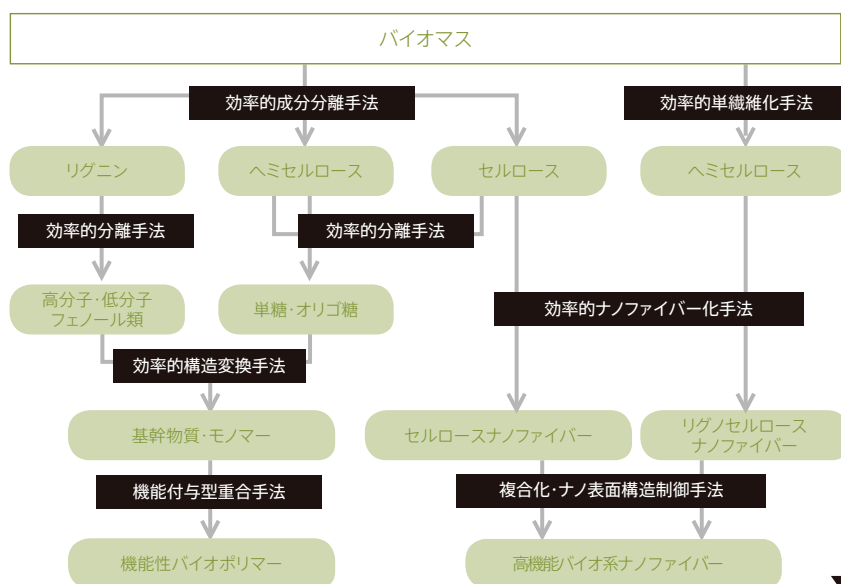
バイオマスはセルロース、ヘミセルロース、リグニン、デンプンなどで構成される。通常、物理化学的な前処理を施した後に、「酵素による糖化プロセス」と「微生物による発酵プロセス」を組み合わせたバイオプロセスによって目的となる基幹



ユーカリバルブ



バイオプラスチックフィルム



リグニン分解物の分離



TEMPO酸化セルロースナノファイバー





Bio-plastic products

物質を生産し、更に“合成化学”や“触媒科学”を基盤とした化学合成プロセスによって様々な機能性バイオポリマーを創製する。バイオプロセスは、高温処理や化学触媒を用いないという点で環境への負荷が低く、また時として化学プロセスよりも省ステップとなるような反応機構の特異性が高い点で有用である。一方、目的となる物質を安定した品質の下、迅速に大量製造する点では化学プロセスはきわめて有効である。

ALCAホワイトバイオテクノロジーでは、このような化学プロセスとバイオプロセスの強みを活かし、(i)バイオマスからの利用可能な成分の分離、(ii)基幹化合物への変換、(iii)機能性高分子化合物の創出といった主要プロセスにおける技術的なボトルネックの解決を目指している。

### Bio-based Polymers Derived from the Biomass

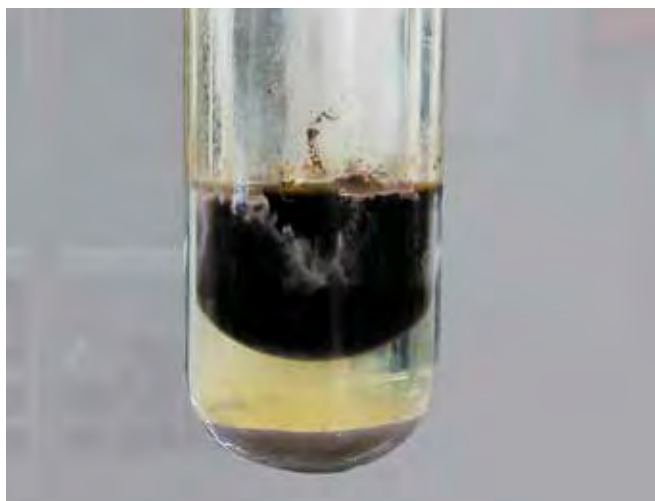
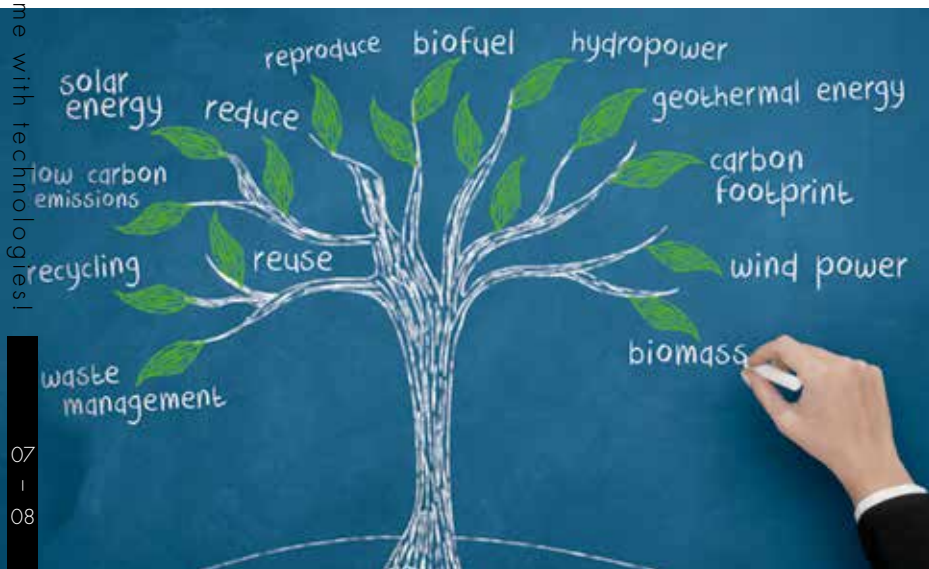
北陸先端科学技術大学院大学の金子達雄准教授らは微生物から得

られるシナモン系分子に光化学的手法を用いて高耐熱性バイオプラスチックを開発した。電装部品を初め金属やガラスの代替材料として様々な技術への展開が期待されている。

NECの位地正年博士らは原料のセルロースを有機溶媒中でゲル状に膨潤させた上でバイオプラスチックを生成する方法を開発し、従来に比べて製造時CO<sub>2</sub>排出量を大幅に低減することに成功した。

### Catalytic Conversion of Biomass to Platform Chemicals

東京工業大学の原亨和教授らは、安価なチタニア(TiO<sub>2</sub>)を原料とした新規固体触媒が水中でも機能し、グルコースを5-ヒドロキシ-メチルフルフラール(HMF)に変換する革新的プロセスを開発した。北海道大学の福岡淳教授らは活性炭をベースにした炭素系触媒でバイオマスから低コストで糖を得ることに成功した。



触媒を用いたHMF合成

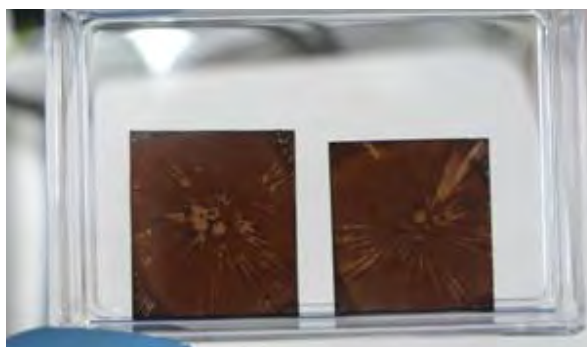


# Renewable Energy

ALCA Mitigation Option01

再生可能エネルギー

温室効果ガスの排出量を大幅に低減するためには、再生可能エネルギー(太陽光, 風力, 水力, 地熱, 太陽熱, 未利用熱, 潮汐, バイオマスなど)を普及させ、これまでの化石燃料に大きく依存したエネルギー構成を再構築しなくてはならない。再生可能エネルギーは、資源の枯渇の恐れがすくないことに加え、発電時や熱利用時に二酸化炭素をほとんど排出しない点で有望視され、実際に温室効果ガスの低減を目指して、世界各国で再生可能エネルギーの導入を推進されている。

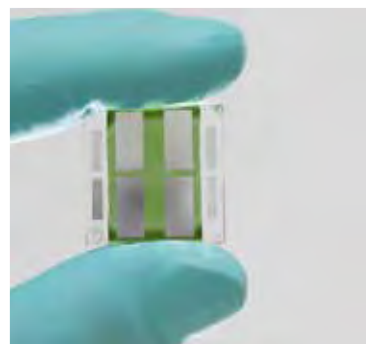


ペロブスカイト型太陽電池の固体薄膜

ガラス基板上800nmまでの可視光を吸収し褐色に着色。“ペロブスカイト型太陽電池”は2009年に桐蔭横浜大学 宮坂力教授らが発見。2012年にScience誌に“10.9%”の発電効率10.9%が実現されたと掲載されたことが現在の熾烈な世界競争につながった。

有機薄膜太陽電池セル

ポリマー半導体の溶液を塗布することで有機薄膜太陽電池のセルを作製。大面積化が可能で、低コストで環境負荷が少ないプロセスで作製できる。また、軽量で柔軟という特長を有する。



燃料電池は、燃料の水素と空気中の酸素をそれぞれ供給し、常温または高温環境で電気化学反応させることにより継続的に電力を取り出すことができる発電装置である。通常の発電システムは燃焼により化学エネルギーを熱エネルギーに変換した後、熱機関により力学的エネルギーを経て電気エネルギーに変換する。一方、燃料電池は通常の発電システムと異なり、化学エネルギーから電気化学反応により直接電気エネルギーへ変換するために発電効率が高い。更に、発電の際に生成する物質は水だけでCO<sub>2</sub>を排出しないという点でクリーンな発電技術という側面も有する。



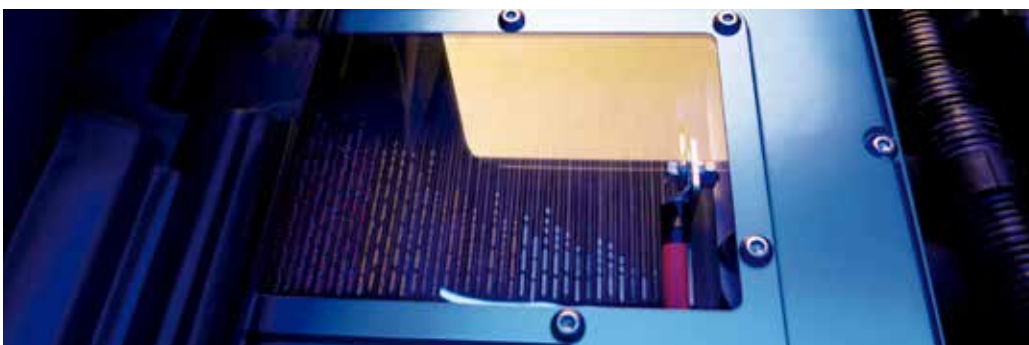
## Clean Energy

ALCA Mitigation Option02

クリーンエネルギー



Photo Provided by DAIHATSU MOTOR CO., LTD.



液体燃料を蓄電媒体とする白金フリー燃料電池

新規のアニオン交換膜を用いることによって貴金属触媒を不要とする燃料電池を実現

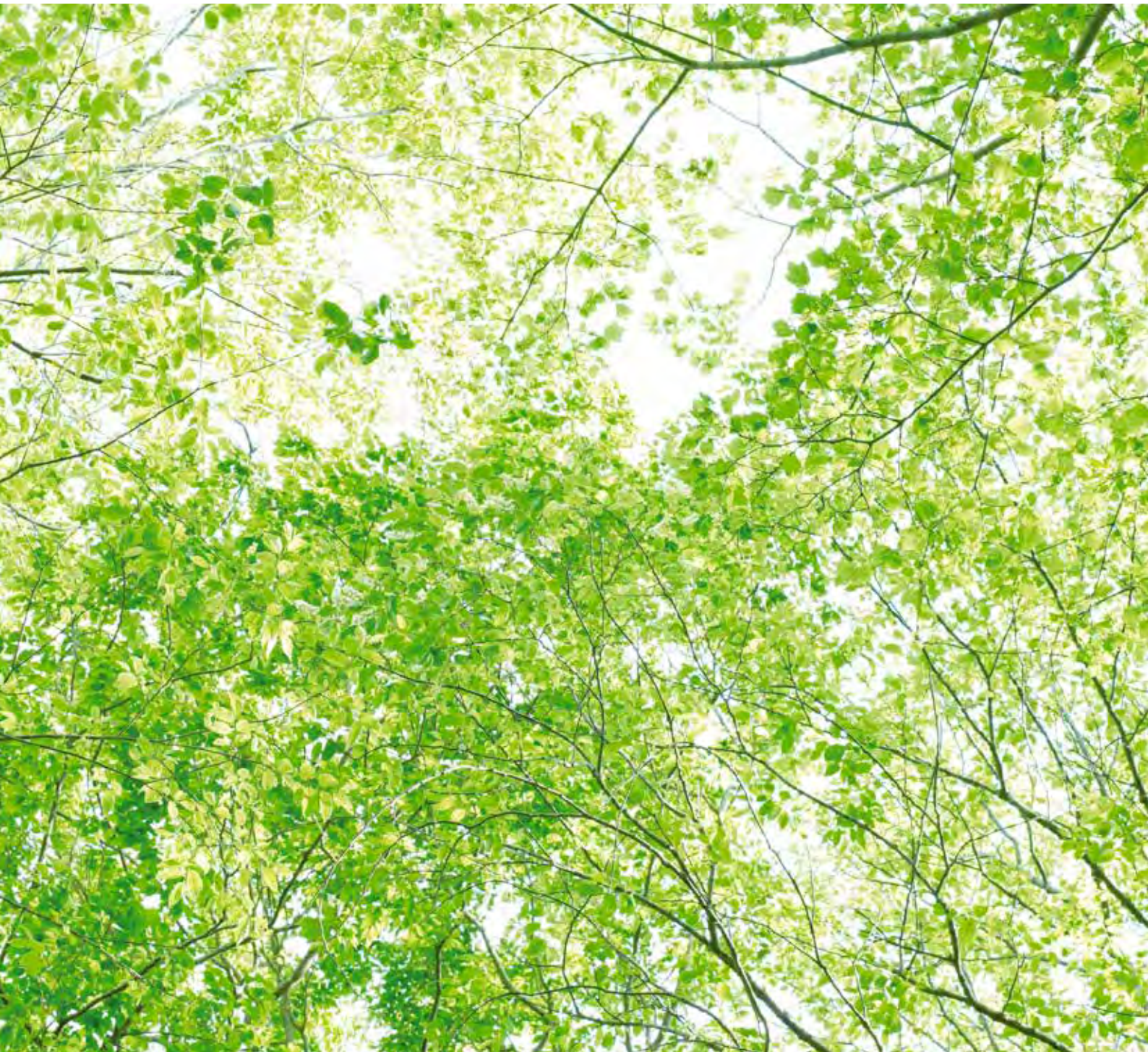


# Carbon Neutral

ALCA Mitigation Option03

カーボンニュートラル

バイオマスを用いた化成品や燃料から排出されるCO<sub>2</sub>は、元々これらのバイオマスが生長過程において吸収したCO<sub>2</sub>を上回ることはなく、従って石油由来からバイオ由来に置き換えることがCO<sub>2</sub>排出の低減につながるというのがカーボンニュートラルの概念である。植物科学と代謝工学をベースに、生物資源であるバイオマスを増産したり、それらから有用成分を効率よく代謝できるようにしたりすることは、環境中のCO<sub>2</sub>を固定し、更に有効に利用するというカーボンニュートラルシステムの構築の促進につながる。



プロトンポンプ過剰発現株(播種後45日目)

細胞膜プロトンポンプをシロイヌナズナの気孔でのみ増加させたところ、気孔の開口が25%ほど大きくなることを発見。植物のCO<sub>2</sub>吸収量(光合成量)が約15%向上し、生産量が1.4~1.6倍増加することを明らかに。農作物やバイオマス資源植物の生産量増加や植物を利用したCO<sub>2</sub>削減への応用が期待。

木質が強化されたポプラ

木質をやることのできない植物に、さまざまな遺伝子を追加導入していくことにより、木質形成可能な新植物を創製。有用成分を分離し易いバイオマス資源の増産へ。



輸送機器, 産業機械, エネルギー転換機械などの社会インフラ基幹材料を革新的軽量材で代替することにより, 低炭素社会型のインフラを構築していく。特に, 鉄道車輛や自動車などの車両の軽量化は燃費の改善に直結することから, CO<sub>2</sub>排出低減効果はきわめて高い。輸送機器原材料の大半を占める鉄鋼をチタンやマグネシウム合金などの非鉄金属や炭素繊維強化プラスチック(CFRP)に置き換えることで抜本的な軽量化を図る。



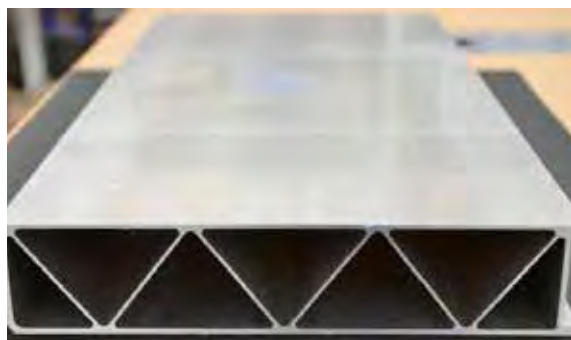
## Light Weight Materials

ALCA Mitigation Option04

軽量構造材料



ALCA / Change the game with technologies!



新幹線構体に応用可能なMg合金の開発

押出加工性に優れたMg合金を開発。新幹線構体などへ適用することで省エネルギー型輸送システムの一翼を担うことが期待される。

新製造プロセスにより作製した粉末チタン

TiCl<sub>4</sub>のMg還元の後、連続的にBi融液中に偏析したBiTi合金の真空蒸留することでTiを分離するというチタン新製造プロセスを提案。現行のバッチ式に比べて生産性やエネルギー効率に優れ、軽量金属であるチタンの一層の普及への貢献が期待される。





# Ultra Low Power Devices

ALCA Mitigation Option05

超低消費電力デバイス

エレクトロニクスの発展に伴い家電を初めとして急激に普及した各種電子機器が消費する電力もますます増加してきている。

さらに、インバータなどの電子機器で制御される電気モーターを動力源とする自動車や産業機械が今後、飛躍的に増加することが予想されている。これらの電子機器の消費電力を低減するためには、基幹となる電子デバイスの損失(ロス)を低減することが最も効果的である。損失を低減し、超低消費電力デバイスを実現することによってCO<sub>2</sub>排出量を大幅に低減することが可能となる。

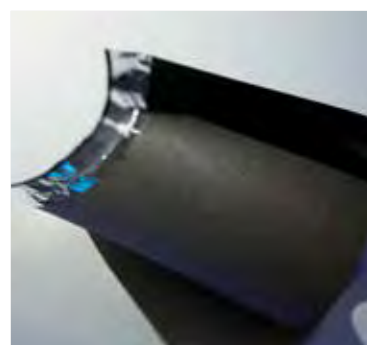


高品質・大口徑 GaNウェハ

Naフラックス法を用いて、原子レベルの欠陥である“転位”の密度が低い高品質GaN基板の大口徑化を作製した。現在、4-inch径を実現、将来的には8-inch大口徑を目指す。損失の低い省電力パワーデバイスへの展開が有望視されている。

グラフェンスーパーキャパシタ

スーパーキャパシタは高い出力特性を有する蓄電デバイスとして有望な技術。独自の手法で作製したグラフェンとカーボンナノチューブ(CNT)の積層型スーパーキャパシタも有力な候補の一つ。



電気抵抗がほぼゼロになるという超伝導の性質を利用することによって、超伝導発電機、超伝導電力ケーブル、超伝導エネルギー貯蔵装置など電力、輸送、産業、情報機器など電気エネルギーを利用する機器の電力損失を大きく低減させることができる。また、温室効果ガスの排出はないが電力変動が大きい再生可能エネルギーの有効利用を拡大できる有力な技術である。



# Superconductor Systems

ALCA Mitigation Option06

超伝導システム

ALCA / Changing the game

with technologies

13 - 14



MgB<sub>2</sub>線材コイル

パウダー・イン・チューブ法によって作製したMgB<sub>2</sub>線材を用いて試作した小型コイル。MgB<sub>2</sub>線材は長尺化が比較的容易であることと高価な希土類を用いていないことから実用化が有望視される。ちなみにMgB<sub>2</sub>が超伝導現象を示すことは2001年に日本で発見された。

20kW級超伝導モーター

輸送機器への実装を目指して実証研究中。超省エネルギー型輸送システムの中核技術として囑望される。





事業統括  
橋本 和仁

KAZUHITO HASHIMOTO

国立研究開発法人物質・材料研究機構  
理事長  
(東京大学 大学院工学系研究科 教授)

理学博士。2007年より東京大学教授。2016年より現職。Innovation in Real Material Award (1998年国際材料学会)。研究分野は光触媒、環境科学、エネルギー変換など。政府公職(2014年3月現在)内閣官房経済再生本部・産業競争力会議議員、内閣府・総合科学技術会議議員、日本学術会議会員。

## 低炭素社会を目指して、革新的な技術を導くために

ALCAも発足して5年が過ぎようとしています。そこで、これまでALCAを運営してきた橋本和仁プログラムディレクターと10人のプログラムオフィサーが一堂に会して、日本の科学技術イノベーション政策としてのALCAの意義や実際に運営するに当たって気づいたことや苦労したことを振り返っていただくとともに、今後のALCAについて語っていただきました。

### 「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目指す。

**橋本(司会):** 世界全体の二酸化炭素排出量を大幅に削減するには、革新的な技術革新の創出が不可欠です。ALCAは、化石資源をベースにしたこれまでのエネルギー社会を革新する低炭素社会を「ゲームチェンジング・テクノロジー」によって実現しようとする挑戦的な研究開発プログラムです。実際に5年間、プログラムオフィサーとしてALCAを運営してみていかがでしたか。

**大崎:** 2030年頃に社会実装が可能な低炭素化技術の開発ということで実用化を強く意識しつつ、ゲームチェンジングテクノロジーの創出という基礎科学としての革新性を求めているところ、加えてステージゲート評価による途中段階での見極めを設定したところにALCAの意義と斬新さがあります。このようなALCAの特徴や研究開発システムの先進性がようやく多くの人に認められてきつつあると感じています。

**原田:** PIとプログラムオフィサーが“低炭素社会の実現”という目標を共有し、いつ、どのようにゲームチェンジするかという建設的な議論によって、研究開発プロセスを明確にしたこともALCAの強みの一つではないでしょうか。ゲーム・チェンジングという抽象的なキーワードを通して、研究開発自体を具体化する

という点できわめてユニークなプログラムだと思います。

**小長井:** ゲームチェンジング・テクノロジーにもいろいろな意味があると思います。例えば、私がプログラムオフィサーを務める太陽光発電の分野では、多くの人が現行の太陽電池材料であるシリコンに置き換わる技術をゲームチェンジング・テクノロジーと捉えたかもしれません。一方で、新しいシリコン系太陽電池の創製もゲームチェンジングテクノロジーに含めてもよいのではないのでしょうか。研究者によってゲームチェンジングテクノロジーについて多少捉え方が違っていてもよいのではないのでしょうか。

**土肥:** ALCAは、20世紀型の科学ではなく21世紀型の科学に取り組む先鞭をつけたのではないのでしょうか。20世紀、科学は真理を探求するもので、科学者は生み出した知の社会的・経済的な価値などは考えてはいけな、と言われてきました。しかし、21世紀の科学では、科学者は知識をつくり出すと同時に、それを社会がどう利用できるのかも考慮しておかないといけません。ALCAは、こうした「社会のための科学」の方法論を構築しつつあると感じています。





### 低炭素社会を指向する基礎科学研究者

近藤: これまで、このような課題解決型の研究開発プログラムには、実用化を視野に入れる工学系に比べ純粋科学に軸足を置く理学系の応募は比較的少なかったのですが、ALCAでは理学系からも多くの応募がありました。中にはあまりにも基礎研究段階にとどまっていて、実用化にほど遠いと思われる提案もありました。ただ、たとえこのような提案が不採択になったとしても、理学系の研究者が提案の過程で自身の基礎研究をベースに社会実装までのシナリオを考えたことには、意義があったと思います。

谷口: 私がプログラムオフィサーを務めるシステム・デバイス技術領域でも、多くの応募者が自身の研究内容を見直しALCAの趣旨に合わせてようと努力をしている様子がかがえしました。その意味では、ALCAは、得てして論文としてまとまりやすい研究分野に固まっていた基礎研究者の意識を変える契機になったと思います。

花田: 私が理事長を務めている財団では、金属材料の分野で優れた成果を上げた研究者への授賞事業を行っています。最近、理学系の研究者から、まさにALCAのような発想の応募が急増しています。日本の科学技術全体が変わりつつあるような気がしています。ALCAは、その先鞭をつけたという定評を得られるようになることがステークホルダーへの説明にもなると思います。

逢坂: ALCAでは、単にゲームチェンジングであるだけでなく、将来の低炭素社会実現からのバックキャスト・アプローチを強く求めています。つまり、低炭素社会の実現という目標に対して、どのような技術が必要か、その技術を創出するためにはどのような研究課題を推進すべきか、という逆算に基づいて研究開発を行うということです。これによって、先程の事例のような理学系をはじめ、多様な研究分野の人が参加し、質・量ともに研究者人口に厚みが増して、チャレンジングな研究開発を推進できました。その結果、ALCAはこれまでにない新たな研究開発システムを体現したのではないのでしょうか。

橋本(司会): ゲームチェンジング・テクノロジーと銘打つ以上、これまでの技術の改良型にとどまっている提案はALCAに採択されません。そうすると、非常に基礎的あるいは理学的なところから研究開発を出発させざるを得ません。基礎科学研究者たちは、自身の研究成果の最終的な応用まで考え

ていないことが多いのですが、そんな研究者層が、近藤先生が言われたように、社会への実装を真剣に考えながら応募してくる訳です。ALCAは、地球温暖化やCO<sub>2</sub>排出の削減といった社会課題の解決をあまり意識していない基礎研究者に参画していただくことが大きな目的の一つでした。その意味ではかなり成功していると思います。また、ゲームチェンジング・テクノロジーにつながる新しいサイエンスは、自身の専門分野を深掘りするだけでなく、いろいろな分野の研究者を巻き込みながら一緒にやらないと生まれてきません。ALCAは、こうした多様な研究者同士の相互作用の場になっています。

### 若手研究者の高いモチベーション

花田: サイトビジット(ALCA研究現場への訪問)で接した若手研究者たちにはモチベーションの高さを感じました。私のこれまでの経験から、よい研究テーマと充実した研究環境がそろると、学生はたいへん意欲的に研究に取り組みます。低炭素社会実現という極めて重要な目標と充実した研究環境がALCAによって与えられていることが、このようなやる気に満ちた雰囲気醸成しているのだと思いました。

橋本(司会): 若手研究者にとって、2050年の低炭素社会は当事者意識をもたざるを得ませんから、今後のALCAでも、科学技術の立場から社会の重要課題の解決にチャレンジする意欲をもつ優秀な人材を育てていきたいですね。若手の人材育成の話題は、あとでまた詳しく触れることにしましょう。

### 早期のステージゲート評価の難しさ

橋本(司会): ゲームチェンジングな研究開発を推進する場合、実現可能性が低いハイリスクな課題も数多く採択しながら、適切なタイミングでそのような課題の継続の可否を見極めねばなりません。そこで、アカデミアが主体の研究プログラムではきわめて異例ですが、ALCAではステージゲート評価を先駆的に取り入れました。ステージゲート評価の趣旨は「低炭素社会実現への貢献」というALCAの目的が評価の基準になっており、基礎研究としての優劣による評価ではありません。外部にはなかなか理解が得られないのですが、基礎研究として優れていてもALCAの目的に合っていない研究課題は、別の基礎研究プログラムで実施してもらうということで選別しています。これはALCAの特徴をよく表わしています。



運営総括

小長井 誠 MAKOTO KONAGAI  
東京都市大学 総合研究所 教授

工学博士。2000年東京工業大学大学院理工学研究科教授。2015年より現職。1999年PVSEC Award, 1999年Pioneers Award, World Renewable Energy Network 2002。研究分野は半導体物性、デバイス、太陽電池、太陽光発電など。



運営総括

大崎 博之 HIROYUKI OHSAKI  
東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授

工学博士。1991年～1993年ドイツ・アーヘン工科大学客員研究員。2004年より現職。パワーエレクトロニクス国際会議IPEC2010論文委員長。研究分野は超電導工学・電気機器学など。



運営総括

逢坂 哲彌

TETSUYA OSAKA

早稲田大学

総長室 参与

ナノ・ライフ創新研究機構 特任研究教授  
理工学術院 名誉教授

工学博士。2015年早稲田大学参与学長代理  
(研究推進)。1999年国際電気化学会バーガ  
モンゴールドメダル賞。研究分野は応用化学、物  
理化学、電気化学、ナノ化学など。



運営総括

花田 修治 SHUJI HANADA

公益財団法人本多記念会 理事長

(東北大学 名誉教授)

工学博士。1987年～2005年3月東北大学金  
属材料研究所教授。2005年東北大学名誉教授。  
2014年より現職。2003年米国金属学会ASM  
フェロー賞。研究分野は金属材料・物性、加工な  
ど。

魚崎: ALCAの2年目(2011年)に限定的に公募された探索ステージでは、初年度の研究費を少額にして多数の課題を採択し、翌年はそれらの課題を1割に絞って研究費を増額し、研究を進めるといふ形をとりました。つまりわずか1年でゲームチェンジング性をチェックしたということです。現在のALCAでも、採択時に実現可能性の判断が困難な場合、短期でステージゲート評価を実施することがあります。ただ、ステージゲート評価までの期間が短期になればなるほど、その間の研究で大きな進展や展開は生まれにくいという矛盾があるように思います。

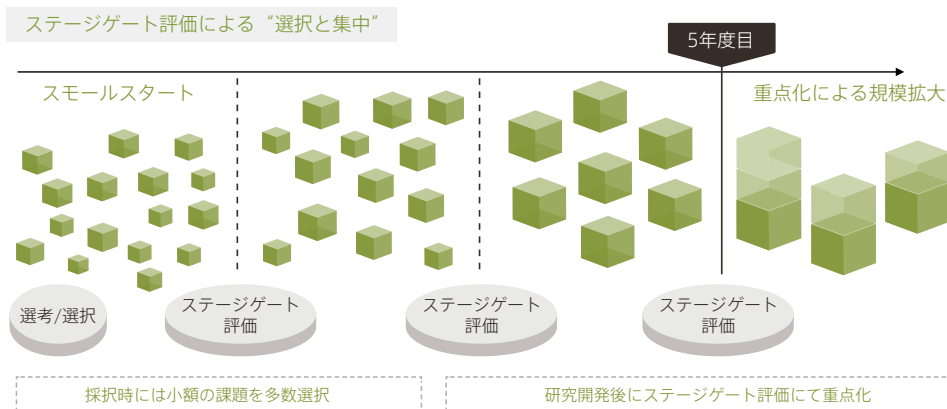
橋本(司会): それは、今後の展開の可能性を評価することで乗り切れるのではないのでしょうか。基礎研究者が、社会への出口を見据えているかどうかは、比較的短期間で判断できます。私たちが短期間でステージゲートを設定しているのは、短期間

の研究成果を求めているのではなく、将来の実現可能性はどうか、社会の出口をしっかりと見据えているかを短期間のうちに見極めようということなのです。

### ステージゲートの数値目標ばかりにこだわらないこと

大崎: 「超伝導システム」技術領域では、超伝導技術をベースにしているものの、ターゲットとする機器やシステムは提案課題ごとに様々です。また、どれも共通する基盤的な材料研究なども含まれており、PIとプログラムオフィサーの間で定量的なステージゲート目標を共有するのは難しいところでは。

魚崎: PIは小さな山の頂に立って「ステージゲートをクリアした」と主張しがちですが、実際は、もっと先に越えるべき大きな山があるのです。ステージゲートの数値目標にばかりこだわるのではなく、



### ステージゲート評価による選択と集中

ALCAはゲームチェンジングな挑戦的課題を積極的に採択しますが、ALCA研究期間中に“ステージゲート評価”を行い、研究開発の継続/中止について厳密な評価が行われます。サイエンスとしての観点のみならず、ALCAの趣旨である「低炭素社会への貢献可能性」という観点からも評価されます。

採択時には比較的少額の課題を多数採択し(スモールスタート)、ステージゲート評価を経て通過した課題は重点化によって研究規模が拡大することになります。図1のように革新技術領域では、当初5ヶ年度のALCAステージゲートを通し、更に後半5ヶ年度に向けたステージゲートを更に通過した課題は研究規模を拡大した形で後半5ヶ年度のALCA研究を推進することになります。(但し、特別重点技術領域「ホワイトバイオテクノロジーによる次世代化成品創出」は5ヶ年度プロジェクトです。)

このようなステージゲート評価による選択と集中によって、2030年の社会実装に向けた研究開発の加速を図ります。尚、集中を行う一方で新規課題の採択も並行して行うことでALCA課題の新陳代謝も促進します。

低炭素社会実現という大きな山を目指しているという道筋を着実にたどっていることが大事です。

**出来:** たしかに数値目標は達成できたが、新しいものは何も出ていないという事例は数多くありました。

**土肥:** 技術創出だけを目的とする数値目標にしばらくされると、サイエンスが狭小化します。冒頭に申し上げましたように、新しい価値の創出も同時に求めていくのが21世紀のサイエンスの姿でもあるはず。

**橋本(司会):** 公的資金によるプロジェクトという点でNEDOプロジェクトと対比できるかもしれません。NEDOプロジェクトも、環境・エネルギー技術を開発していますが、成果を確実に実用化につなげていくために数値目標を厳格に定めています。私たちも数値目標を設定するけれど、数値を完全にクリアすることは必須ではなく、その方向に向かっていて、かつそれを超えられる可能性が示されているかどうかを見ているのです。この点で意味合いは大きく異なります。

### 若い研究者の台頭と活躍が不可欠

**辰巳:** 若いPIのチームに共同研究者として教授や准教授が入ってうまく研究を進めているケースはけっこうありますし、そういうところでは若い助教のアクティビティも十分に感じます。そういう意味では、採択する時のPIの年齢は重要だと思います。

**近藤:** ALCAは、他の研究プログラムに比べて若いPIが多いですね。

**魚崎:** そうですね。若い人がPIになって自分で研究を引っ張っていくのはよいことです。サイトビジットをしていると、若い人が熱意を持ってやっている研究室もあれば、まったく逆のケースに遭遇することもあります。規模の小さい大学でも若い人が引っ張って研究しているところはよい成果を

あげています。ただ、日本の大学のシステムでは、若いPIが研究を進めるのが難しいところがあると思います。

**出来:** その点で言えば、若手PIは研究費を継続的に獲得しなければならないので、ステージゲートをクリアすることを最優先に考える傾向があります。そのためか、マンパワーとして学生が使われているケースも散見されました。プロジェクトの遂行やステージゲート突破へのプレッシャーが、先生方の学生指導に悪影響を与えているのではないかが心配です。

**谷口:** 確かに、ステージゲートを設けたことで、若手研究者はステージゲート突破のために大学院生を手足のように使う傾向が強くなった気がします。このような研究室で育った大学院生は、自ら考えることをしないオペレータ的な研究者になるのではないかと私も危惧しています。文部科学省関連の研究資金である以上、研究の成果に加えて、大学院生をどのように育てたかという視点からも評価が欲しいと思います。

**橋本(司会):** ALCAで若い助教をPIにしてプレッシャーをかけることが、若手がやりづらいシステムを崩すことに役立っているとしたら、本望ですね。ゲームチェンジング・テクノロジーを持続的に創出するには、若い研究者の台頭と活躍が不可欠です。今後は、ALCAを通じて若くて優秀な研究者がいかに育っていくのかも注意していく必要がありますね。

### 中期的な人材配置計画が立てにくい

**近藤:** ステージゲート評価によって研究が中断する可能性がある中で、中期的な人材配置計画が立てにくく、ポスドクなどの雇用が難しい面があります。優秀なポスドクの人たちがALCA研究をしっかりとサポートしてくれれば、学生の教育もより深まるでしょう。



運営総括

近藤 昭彦 AKIHIKO KONDO  
神戸大学 大学院工学研究科  
教授

工学博士。2007年より現職。バイオリファイナリーセンター長(兼任)。研究分野は生物工学、応用微生物学など。



運営総括

辰巳 敬 TAKASHI TATSUMI  
製品評価技術基盤機構  
理事長

工学博士。2013年東京工業大学理事・副学長(研究担当)。2015年より現職。2012年Alwin Mittasch Prize (ドイツ化学工学・バイオテクノロジー協会)。研究分野はゼオライト、触媒・資源化学プロセスなど。





運営総括

谷口 研二

KENJI TANIGUCHI

大阪大学 特任教授

工学博士。佛東芝を経て1996年～2011年大阪大学大学院工学研究科教授。2011年～2016年奈良工業高等専門学校校長。2016年より現職。研究分野は半導体物理、集積回路製造プロセス、半導体デバイス、アナログ集積回路設計など。



運営総括

魚崎 浩平 KOHEI UOSAKI

国立研究開発法人物質・材料研究機構フェロー

理学博士。北海道大学名誉教授。2010年物質・材料研究機構国際ナノアーキテクトニクス研究拠点主任研究者。2013年より現職。2009年BCS賞。2014年日本表面科学会学会賞。研究分野は表面物理化学、界面エネルギー変換など。

ポスドクレベルの優秀な人材をALCAの中でどれだけ雇えるかという点では、何か工夫が必要だといつも考えています。

**土肥**：ポスドクは3～5年くらい1つの所でやったほうがよいことには大賛成です。ただし、長<1カ所に留まることは逆に問題です。ALCAでは制度上10年くらい継続する研究課題がありますが、ポスドクを10年も同じ研究室で雇用するのは避けた方がよいと思います。

**橋本(司会)**：ポスドク雇用の問題はALCAに留まらず日本全体の問題でもあります。日本の科学技術政策において、研究資金が競争的資金に大きくシフトしたことがもたらす根本的な課題です。期限のある競争的資金で雇用したポスドクは3～5年で雇い止めになりますが、ALCAはその3年も保証できないかもしれないという点ではより難しい問題です。現在、国レベルでは、若手研究者をプロジェクト研究ではなく、もっと安定的な資金で雇用できる制度にするという方向に動いています。そこで提案なのですが、最初のステージゲートまでは職員と大学院生が主体となって頑張り、ステージゲートを通過して、安定的に研究環境になったところで更にポスドクにも参画してもらうという形はどうでしょうか。

### ベストチームが編成されているか？

**魚崎**：チーム型ALCAの問題点も少々指摘します。チーム型の場合は、研究メンバーとしての必要性や適性というよりも、チームリーダーとの人間関係で参画しているメンバーがかなり見受けられます。その結果、チームを構成する研究者が玉石混淆になってしまいました。もう一つは、ALCAの趣旨がチームメンバーにはあまり伝わっていないため、ゲームチェンジングテクノロジーに向けた研究というよりは、改良型研究に留まっているということがあります。こうした問題こそ、ステージゲート評価によって是正や改善をしないとイケません。チームリーダーにはメンバーをきちんと選択し集中させることを求めるのですが、先述のように人間関係で選んだメンバーに対しては英断を下しにくい事情もあるようです。こういう状況では、ステージゲートを実施する私たちの責任として、研究体制の最適化を実行するしかないと思っています。

**橋本(司会)**：ALCA研究の目標を達成するためのベストチームが編成されているか、単なる仲間だからという背景でALCA研究に参画することは認めませんということ、これも私たちのメッセージにしましょう。

## これからのALCAに望むこと

### 2050年に活躍するのは今の若手研究者

**近藤**：ALCAに採択された若手研究者には、2050年にも自分たちが活躍できるような基盤をALCA研究を実施している間に築いてもらいたいものです。

**逢坂**：そのためには、よい指導者の下で、寝食も惜しんで研究に没頭できる環境を優秀な若手研究者に与えてあげることが重要です。

**橋本(司会)**：なるほど、優秀な若手研究者にはよい研究環境としっかりと活躍できる場を与えることが重要なですね。

それをALCAの予算でやるとすると、やはりステージゲートを通過して安定した研究体制がある程度できてからではないでしょうか。先ほども話したように、ALCAで若手のPIが採択されたら、学生と一緒に必死にチャレンジして、ステージゲートをパスしたら、さらに若手のポスドクなどを安定的に雇用して展開させるのが理想的な研究体制です。今後は、そのように動いていくと思います。



運営総括

出来 成人

SHIGEHITO DEKI

神戸大学 名誉教授

理学博士。2009年～2015年山梨大学燃料電池ナノ材料センター特任教授。2015年同センター客員教授。2015年より現職。研究分野は無機材料化学、電気化学、界面化学、溶液化学など。



## 産業界との更なる連携を

**大崎:** ALCAは産業界との連携を重視していますが、連携にもいろいろな形があるでしょうから、ある程度フレキシブルな対応ができるとういと思います。

**辰巳:** 有効なステージゲートを設定するためにも産業界との連携は重要です。特に若い研究者は実用化や産業化の仕組みなどについて十分には理解できていないことが多いのです。社会の状況を踏まえて適切なアドバイスをしてくれるのは、やはり産業界です。そこで産業界とは何らかの形で一緒にやらなければいけません。もちろんアカデミアが主体で、産業界は最初のうちにはアドバイザーでもよいのですが、産業界としてはシーズとなるサイエンスが欲しいわけです。ですから、ALCAの研究が企業の技術への橋渡しとしてうまく機能すれば、それがいろいろなことに役立ちます。ステージゲートを有効なものにするためには、今後は、産業界と連携することが必要ですね。

**近藤:** 基礎研究者個人では、いきなり企業と連携を始めるのは難しいところもあります。ALCAコミュニティとして、連携に適した企業を研究者に紹介するなどしながら連携を促進するとういと思います。ALCA研究を社会実装するためには、適時的に適切な企業と連携できるようなシステムティックな取り組みを強化したいと思います。

**橋本(司会):** ALCAの場合、新しい発想を自由に伸ばすだけでなく、産業界から見た時に実際の技術につながるかどうかという情報を入れてもらいながら、研究を展開していくのが理想ですね。

## ポストクの充実に向けて

**土肥:** 「科学のための科学」の研究をチーム型で進めると、一般的に同じ分野の研究者が集まるためにますます専門化します。ところが「低炭素社会実現」という目標掲げるALCAの場合には、おのずと異分野の研究者たちが一つのチームをつくります。このような研究チームでは、研究者同士、切磋琢磨されより研究者としての深みが増すことでしょう。ただし、若手研究者がチームリーダーとして大所帯をまとめながら研究を行うのはなかなか難しいので、若手研究者1人とポストク1人くらいでやるようなシステムをALCAでつくるといいかもしれません。

**出来:** チーム型研究の場合は、確かに研究予算も高額になりますが、同時に構成員が多いことから実際の一人あたりの研究費は必ずしも多くはありません。その中で、まずは必要な実験装置を購入するので、ポストクを雇うための資金的余裕はなかなかないことが多いようです。ポストクを安定して確保できるような体制にしないと、学生を戦力に使ったり、短期決戦をやったりすることになってしまうので、もう少しチーム研究の効率的なマネジメントを考える必要があります。例えば、チームでポストクを雇って、その人を各研究室に派遣するような形など、今後はいろいろな方策があると思います。

**橋本(司会):** ALCAも発足して5年が経ちました。低炭素社会実現という目標に向けて、今後を着実に研究開発を推進していきたいと思います。

国として社会実装を目指しながら、基礎研究としてもより一層の充実も図る—これは大変困難ではありますが、我々の使命としてしっかり取り組んでいきたいと思っています。本日はどうも有り難うございました。



運営総括

**原田 幸明 KOHMEI HALADA**  
国立研究開発法人物質・材料研究機構  
特命研究員

工学博士。2009年物質・材料研究機構元素戦略センター長兼材料信頼性萌芽ラボ長兼環境エネルギー材料萌芽ラボ長。2012年より現職。研究分野は金属工学、エコマテリアル、LCAなど。



運営総括

**土肥 義治 YOSHIHARU DOI**  
公益財団法人高輝度光科学研究センター  
理事長

工学博士。2001年東京工業大学大学院総合理工学研究科教授。2006年マレーシア科学大学名誉博士。2011年理化学研究所社会創成事業本部長。2013年より現職。研究分野は生分解性高分子など。

# TEAM ALCA

TOGETHER EVERYONE  
ACHIEVES MORE



Mr. Akitsugu Koga  
Director



Dr. Hideki Yoshida  
Manager



Mr. Kenji Kaibe  
Chief



Mr. Yasuhiko Amano  
Chief



Ms. Tomoko Terakado  
Research Advisor



Dr. Toshiharu Tominaka  
Chief Research Advisor



Dr. Yoshihiro Arimoto  
Chief Research Advisor



Dr. Tetsumasa Ito  
Chief Research Advisor



Mr. Shinichi Hosaka  
ALCA Management Advisor



Dr. Kunio Kikuchi  
Research Advisor



Mr. Koichi Sugiura  
Research Advisor

# Creating the Low Carbon Society

2030年頃の社会実装を目指したALCAの役割はこれからもますます重要になってきます

2011年の東日本大震災による原子力発電所の事故と稼働停止から国内電力供給における火力発電への依存度が増し、それに伴ってCO<sub>2</sub>排出量も増大傾向にあります。

2015年6月、政府は2030年頃の電源構成として再生可能エネルギーの比率を高め(22~24%)、一方、ベースロード電源として火力発電も一定の比率(石炭火力:26%, 天然ガス火力27%, 石油火力3%)を担うような原案を固めました。

CO<sub>2</sub>排出を低減させ低炭素社会を構築するためには、再生可能エネルギーや高効率火力発電を初めとした創エネルギー・蓄エネルギー・省エネルギー技術開発を総合的に推進していくことがこれまで以上に求められます。



# Contents

- 01 Are We Causing Global Warming?
- 02 Towards the Future Low Carbon Society
- 03 Next Generation Batteries with High Energy Density
- 05 Reducing CO<sub>2</sub> Emissions from Power Plants with Improved Thermal Efficiency
- 07 Paradigm Shifts in Chemical Industry with White Biotechnology
- 09 ALCA Mitigation Options 01  
Renewable Energy
- 10 ALCA Mitigation Options 02  
Clean Energy
- 11 ALCA Mitigation Options 03  
Carbon Neutral
- 12 ALCA Mitigation Options 04  
Light Weight Materials
- 13 ALCA Mitigation Options 05  
Ultra Low Power Devices
- 14 ALCA Mitigation Options 06  
Superconductor Systems
- 15 PD/PO's Talks on ALCA
- 21 TEAM ALCA
- 22 Creating the Low Carbon Society

00 Cover

Extruded Mg-based alloys with high mechanical properties.  
see page 12.