



SELF-DISTRIBUTED NEXT GENERATION SMART COMMUNITY

自律分散型次世代スマートコミュニティ

先端的低炭素化技術開発 ALCA

(Advanced Low Carbon Technology Research
and Development Program)



ALCA事業統括
橋本 和仁

(物質・材料研究機構理事長)

温室効果ガス排出の低減を目指した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 (ALCA) が2010年に発足しました。ALCAでは、創エネルギー、蓄エネルギー、省エネルギーなどの科学技術によってCO₂の排出を抑制し、低炭素社会の形成を目指しています。

ALCAでは既存の化石エネルギー依存社会から脱却するべく科学技術パラダイムを大きく転換する「ゲームチェンジングテクノロジー」の創出を目指します。採択時には比較的少額の課題を多数採択する「スモールスタート」から始まり、研究期間中には継続／中止について厳密な評価「ステージゲート評価」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。また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。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を推進していきます。

ALCAでは、ゲームチェンジングな取り組みを共通の基盤として、明確な出口を目指した「トップダウン提案型」(特別重点技術領域)と個々の研究者の自由な発想に基づく「ボトムアップ提案型」の技術領域の二系統から研究開発を推進しています。「トップダウン提案型」の特別重点技術領域では、新しい科学技術として取り組んできた個々の要素技術を集積することを目指しています。同時に、実用化に向けて成果を橋渡することも視野に入れ、他省庁との連携も推進しています。一方、「ボトムアップ提案型」は研究者の自由な発想に基づく研究課題という意味ですが、“将来の低炭素社会への貢献”を果たすための課題解決型基礎研究を進めています。

さらに、2015年度より「ボトムアップ提案型」に「自律分散型次世代スマートコミュニティ」をはじめとした「実用技術化プロジェクト」を新たに設置しました。「実用技術化プロジェクト」では、低炭素社会に向けて明確な目標を設定し、要素技術開発を統合しつつ実用技術化の研究開発を加速していきます。

ALCA 運営体制

- 事業統括 (PD)・運営総括 (PO)
- 先端的低炭素化技術開発 (ALCA) 事業推進委員会

特別重点技術領域

- 次世代蓄電池
- ホワイトバイオテクノロジー

革新技術領域

- 太陽電池および太陽エネルギー利用システム
- 超伝導システム
- 蓄電デバイス
- 耐熱材料・鉄鋼リサイクル高性能材料
- バイオテクノロジー
- 革新的省・創エネルギー化学プロセス
- 革新的省・創エネルギーシステム・デバイス

実用技術化プロジェクト

- 高品位大口径Ga_N基板の開発
- 液体水素冷却による超伝導電気機器の開発
- 低CO₂排出型次世代火力発電用新規耐熱材料の開発
- 省エネルギー社会に向けた革新的軽量材料の創製
- 自律分散型次世代スマートコミュニティ
- バイオマスの化成品化およびポリマー化のための高効率生産プロセスの開発
- 生物資源の制御によるバイオマス・有用成分の増産
- 高効率エネルギー機器システム実現のための先進的産業用電気機器の開発
- 新規材料および新機構による熱利用技術
- 光マネジメントによるCO₂低減技術
- 炭素循環化学システムの高効率化
- 革新的な細胞制御法や育種法による高効率バイオ生産の技術開発

自律分散型 次世代スマートコミュニティ



運営総括 (PO)
出来 成人
神戸大学 名誉教授



温室効果ガス排出削減の一環として、再生可能エネルギーを積極的に導入した低炭素社会コミュニティの形成が推進されております。本プロジェクトではALCA当初の基盤研究の選別された成果を引き継ぎ、低炭素化自律分散エネルギー社会を目指した、災害に強いスマートコミュニティを念頭に、中核的なインフラであるスマートビルディング・スマートホーム・スマートモビリティなどをターゲットにサイエンスを基盤としたコア技術の創出と、その社会実装のための技術課題の解決を目指しています。

上記目的達成のため、再生可能エネルギーを起点とするエネルギー変換フローを図1のように考え、これを支える様々な技術について研究開発を進めてきました。

材料レベルから見直した新規高効率太陽電池の開発、及び日照量による発電量の変動や季節・時間帯による消費量の変動をバランスさせる安全で革新的な蓄電デバイスを開発します。また、高出力・長寿命の高効率燃料電池をこれらに組み合わせることによって、スマートコミュニティにおける再生可能エネルギーの安定供給を目指します。さらに、革新的な断熱技術や超低消費電力機器を導入することによって、先進的な省エネルギー化も同時に図ります。

これらの領域において、ALCAの特徴である新しい視点・基礎科学に基づき、スモールスタートとステージゲートにより研究課題の選択と集中を行いました。その結果、研究開発フェーズの異なる技術を、社会実装に向けたバリューチェーン(図2)に沿って、プロトタイプ of 作製・評価・実証の段階に進めることができました。それらの成果は、産業界や他の実用化を目指したプロジェクト・ファンドによる支援に間断なく繋げることができました。また、同時にそれらの研究過程において得られた様々な知見・成果について、論文・学会発表を通じた学術的貢献を行うこともできました。今後、他の技術開発分野への波及効果が期待されます。

今回得られたプロトタイプは、実用に向けたシステム化や更にその先の社会実装には、まだまだ課題解決を必要とするものであることは否めませんが、これらの成果を起点とした新たなサイエンスを基に、低炭素社会の形成が進むことを念じてやまない次第です。

〈 謝辞 〉

ご助言をいただいた評価委員の皆様及び、ご支援いただいた皆様に御礼を申し上げます。

図1 再生可能エネルギーを起点とするエネルギー変換フロー

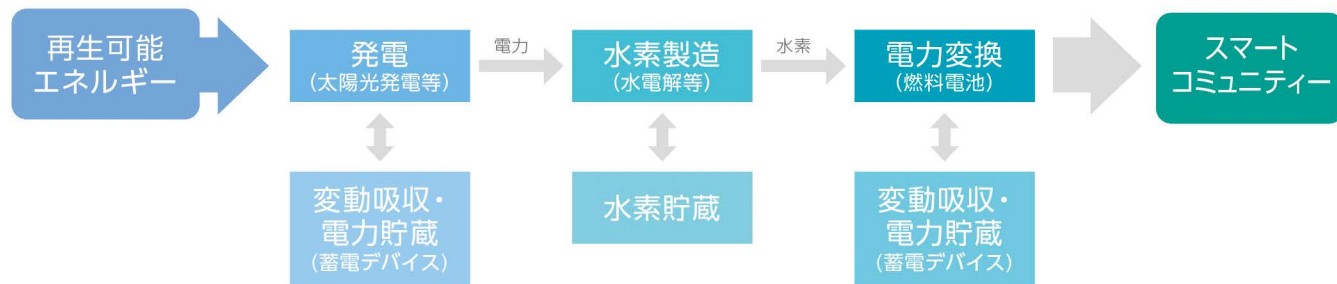


図2 社会実装に向けた研究開発のバリューチェーン(多岐にわたる技術領域)



燃料電池カソード触媒機能を有する カーボンアロイの開発と評価



研究開発代表者

尾崎 純一

群馬大学
大学院理工学部
附属元素科学国際教育研究センター
教授

共同研究 機関

日清紡ホールディングス(株)

研究概要

これまでに開発した高性能カーボンアロイ触媒を徹底解析することで活性発現及び劣化メカニズムを解明し、高性能触媒設計指針を得た。

研究分担

群馬大学は、従来触媒およびモデル触媒を用いた基礎研究を行い、触媒設計指針を提示した。日清紡ホールディングス(株)は触媒劣化要因の開明とその対策法の開発を行った。

計画

燃料電池にはレアメタルである高価な白金が触媒として使われており、普及拡大への障害となっている。当グループでは、白金等の貴金属を使用しないカーボンアロイ触媒の開発を進めてきた。本事業では2010年より実施のALCA研究で開発した高性能カーボンアロイ触媒を解析することで活性発現及び劣化メカニズムを解明し、高性能触媒の設計指針を得ることを目的とした。本事業を進める上で、湾曲網面が活性点であることを定量的に示すこと、白金触媒との劣化挙動の比較から劣化要因を明らかにすることに着眼した。

成果

- 各種評価法を駆使し活性点が湾曲した網面であることを明らかにした。
- 触媒劣化が副生成物である過酸化水素により引き起こされることを明らかにし、その対策も提示した。
- 湾曲網面がカソード反応において、反応物である酸素吸着を促進すること、フェルミ準位を上昇させ熱力学的に有利な状況にすることを明らかにした。

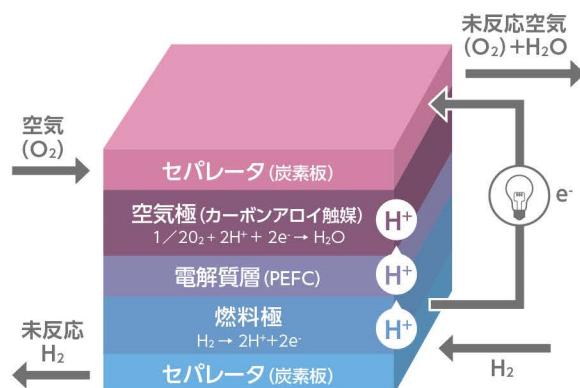
スマートコミュニティへの貢献

- 水素を燃料とした分散化電源の普及を促進
- カーボン材料で低炭素社会を実現

今後の予定

- 社会実装に向け、本事業で得られた指針を活用し、更なる耐久性の向上を図る。
- スケールアップに向けて湾曲網面(活性点)の安定制御と定量化・定量化を実現する。
- 日清紡ホールディングス(株)で量産化と燃料電池への適用開発を行う。
- 水電解、CO₂還元、空気電池などの触媒として適用を進める。

図1 カーボンアロイ触媒によるFCのコンセプト



燃料電池の化学反応式: $H_2 + 1/2 O_2 \rightarrow H_2O + \text{電気}$

図2 湾曲網面の大きさを表すパラメータの発見による触媒活性点の解明

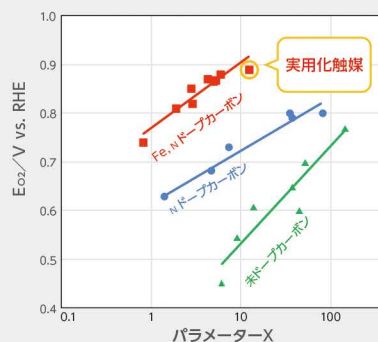


図3 Ballard社 ポータブル型燃料電池
世界初! 白金代替触媒を用いた固体高分子形燃料電池(PEFC)



日清紡開発「カーボンアロイ触媒」を空気極に採用

先進ハイブリッドキャパシタ (AdHiCap) に関する研究

共同研究機関

早稲田大学

研究概要

疑似容量性の電極と水系電解液を用いた4V級大容量ハイブリッドキャパシタの研究開発。

研究分担

杉本渉 (信州大学) はグラファイト系複合負極開発とセル全体の開発を担当。手嶋勝弥 (信州大学) は固体電解質と負極の界面設計、門間聰之 (早稲田大学) は負極の劣化機構解明と抑制技術の開発、古山通久 (信州大学) は界面と物質移動のシミュレーションを分担。



研究開発代表者

杉本 渉

信州大学
先鋭材料研究所 / 繊維学部
教授

計画

- 経緯 / ねらい / 目的: 高電圧水系ハイブリッドキャパシタを開発し、長寿命、急速かつ大容量な蓄電を可能にする。
- 着眼 / 課題 / 解決策: 水系電解液で大容量特性を示す酸化物系レドックスキャパシタ正極を使っても高電圧作動を実現するために、水に安定な固体電解質を用い、グラファイト負極を使用できるようにした。
- 性能目標: リチウムイオン電池に匹敵するエネルギー密度をリチウムイオンキャパシタ並みの出力密度の実現が目標。

成果

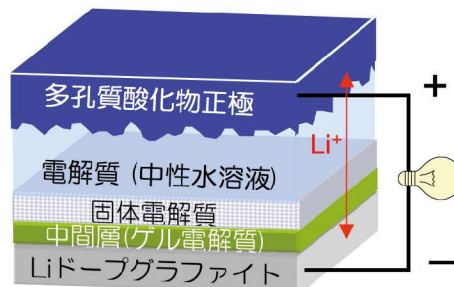
- 水に安定なLiプレドーピンググラファイト複合負極と高容量酸化物系レドックスキャパシタ正極 (1,000Wh/kg-正極) を組み合わせ、水系電解液で4Vの充電電圧を実現した。
- 水溶液中のLiイオンをLi源としたLi再ドーピング法を開発し、2万サイクルで劣化率10%を達成した。30%減を寿命とすれば、5万サイクルを超えるサイクル寿命を見通す技術である。
- 金属Li不要の安全かつ低価格な水溶液プレドーピング法を開発した。水系電解液ならではの特徴を活かして、犠牲対極にオーバーサイズ活性炭を適用し、水溶液中の塩をLi源とした。
- 固体電解質を用いて2種類の電解質を併用する新型ハイブリッドキャパシタの概念を示した。

今後の予定

- 波及効果: 既存の二次電池に代わる自動車の主電源やスマートグリッドの負荷平準化への応用に期待。
- スケールアップ課題: 体積エネルギー密度の向上に向けた積層セルの開発及びセル抵抗の低減が課題。
- 社会実装への課題: セル製造プロセスの簡略化が急務。実用化に向け、自動車メーカーなど川下企業とタイアップし、大型実用セルの試作を進める。

図1 4V級水系ハイブリッドキャパシタ

Advanced Hybrid Capacitor (AdHiCap)



正極: 疑似二重層容量による充電
負極: 黒鉛へのLiインターカレーション

図2 AdHiCapの外観と構成例



正極最大容量: 1000 Wh/kg-正極
動作電位: 最大4.3V、最小2.8V
充電回数: 2万サイクル
電極面積: 1cm²
作動温度: 常温~60℃作動
正極材料: RuO₂ナノシート、MnO₂、グラフェンなど
水系電解液: Li₂SO₄、酢酸緩衝液、Water-in-saltなど
固体電解質: Li伝導性ガラス、ゲルネット型など
負極材料: 炭素材料、TiO₂系、Si系など

現状技術での到達推定値(極群*)

- ・体積エネルギー密度: 646 Wh/L
- ・体積出力密度: 5 kW/L
- ・重量エネルギー密度: 284 Wh/kg
- ・重量出力密度: 2.2 kW/kg

*極群: 電極、電解質、セパレーター

高効率水素製造水蒸気電解 / 燃料電池可逆作動デバイスの開発



研究開発代表者

内田 裕之

山梨大学
グリーンエネルギー研究センター
教授

共同研究
機関

(株)ノリタケカンパニーリミテド

研究概要

変動の大きな再生可能電力で水蒸気電解して水素製造・貯蔵し、必要時に固体酸化物形燃料電池で発電可能な可逆作動デバイスを研究・開発。

研究分担

山梨大学は可逆作動セル用電極の作用・劣化機構の解析をもとに高性能・高耐久電極を開発。ノリタケはセルスタックとシール材を開発。

計画

- 経緯 / ねらい / 目的: SOEC / SOFC 運転温度が下がっても高性能な電極を開発し、高耐久化を図る。
- 目標: 750℃、0.5 Acm⁻²、SOEC での初期電圧効率 ≥ 96%。電極の劣化機構を解明し、最も劣化の激しい電解初期 1000 時間の電圧劣化率を 1% 以下に抑制する。実用サイズのセル・ショートスタックの製造法と、高効率運転のキーとなる水素ガスシール法を確立する。

成果

- 緻密で均一な酸素極用 SDC 中間層調製法を開発 (特許取得) し、初期性能と耐久性を大幅に向上。加速劣化試験で 5500 時間以上の耐久性を実証。
- SOEC 運転時の世界的な課題「水素極 / 電解質界面付近の Ni 減少による性能劣化現象」を解明。本 P J 開発の二重層型水素極の有効性を示した。
- SOEC / SOFC 可逆交互運転により劣化が大幅に抑制されることを発見。初期 1000 時間の電圧劣化率 1% 以下を達成し、劣化抑制機構を明らかにした。
- セルスタックの製造法を確立。水素ガス封止性の見通しを得た。



図3 単セル (120mm 角) を 10 層積層したショートスタック

今後の予定

- 波及効果: SOEC / SOFC 可逆作動デバイスのみでなく、高効率 SOEC は Power-to-Gas に重要。開発酸素極と水素極は SOFC にも広く適用可能。
- スケールアップ課題: 更なる高電流密度運転を検討し、セル面積・枚数の削減による低コスト化。
- 社会実装: システム化 / 実証実験を経て、大型化・低コスト化実証。2030 年頃の実用化に向けた、電機及びエネルギー関連企業等との共創を希望。

図1 可逆作動デバイスのコンセプト

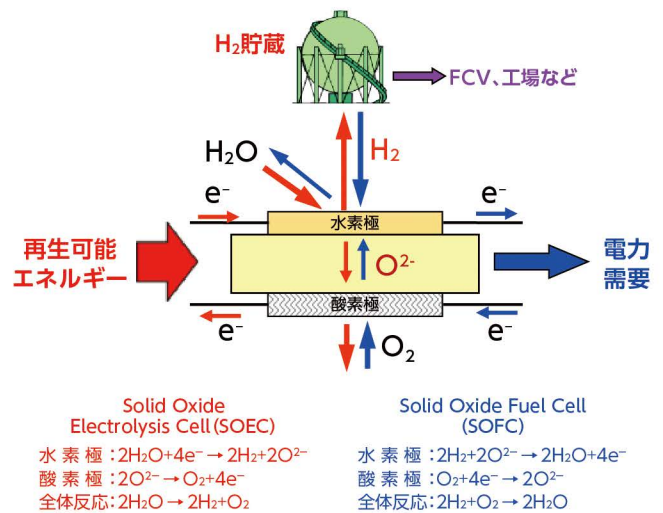
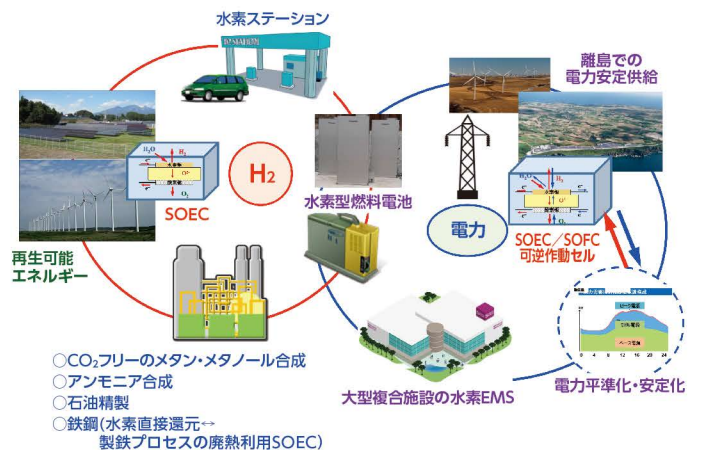


図2 スマートコミュニティ

水素と電力がスムーズにつながる社会の実現に貢献したい。



水素 / 空気二次電池 (HAB) の開発

共同研究 機関

大分大学、FDK (株)、日本重化学工業 (株)、東洋アルミニウム (株)

研究概要

高エネルギー密度と安全性の両立が期待できる水素 / 空気二次電池の社会実装へ向けて、電池構成材料 (触媒、導電材、電極、水素吸蔵合金) から二次電池までの実用技術化を2大学と3企業による産学連携体制で実施。

研究分担

酸素触媒・導電材・空気極 (同志社大、大分大、東洋アルミニウム)、水素吸蔵合金・負極 (FDK、日本重化学工業)、電池 (同志社大、FDK)



研究開発代表者

盛満正嗣

同志社大学
大学院理工学研究科
教授

研究課題の特徴・計画・目標

- HABは水系空気二次電池で可燃性材料を使用せず、かつ放電生成物が空気極を閉塞することによる放電制限がない唯一の空気電池。
- 高エネルギー密度 (1000Wh/L) かつ優れた充放電サイクル特性 (300サイクル以上) の実現に必要な電池材料と単セルの開発を実施。
- 水素吸蔵合金負極 (2000Ah/L)、酸素触媒 (過電圧 0.2V以下)、空気極 ($\pm 500\text{mA}/\text{cm}^2$) に対する目標値を設定し、計画を実行。
- HABの基本となる3種類のセル (オープンセル・ラミネートセル・アクティブセル) を開発して充放電特性やサイクル特性を評価。

研究成果のさらなる展開

- 環境省CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業に採択! 課題名「再エネ普及拡大へ向けた水素 / 空気二次電池 (HAB) および蓄電システムの技術開発・実証」を2019年6月から開始。
本事業にて社会実装に向けた実デバイスの課題抽出と、その克服に向けた技術開発を遂行。
- FDK (開発代表者)、日本重化学工業、同志社大、大分大によりHABユニット、モジュール、システムの開発と実証試験を実施。
- 2022年をめどにHABモジュールの量産と販売を開始予定。

https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cpttv_funds/ongoing.html

成果

- 設定した目標値以上の性能を達成し、実用化の可能性を実証。
- 酸素還元と酸素発生の両方に高活性なパイロクロア酸化物ナノ粒子の合成に成功。活性評価の新技术法タンディスク法も開発。
- 空気極の導電材に内部構造制御に適したNiコート粒子を開発。
- HABに適した高容量密度の水素吸蔵合金および負極を開発。
- アクティブセルで500サイクル以上の安定な充放電を実証。
- 10Ah級セルの設計と試作評価を実施し、充放電データを取得。

図1 HABセルの構成と電池反応

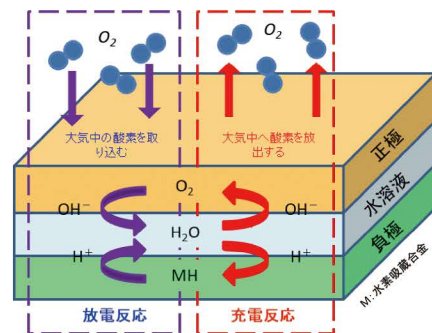


図3 HABの社会実装イメージ

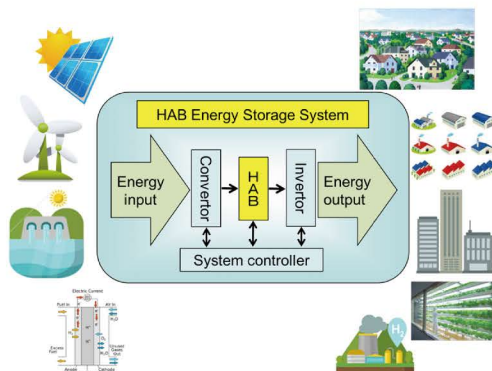
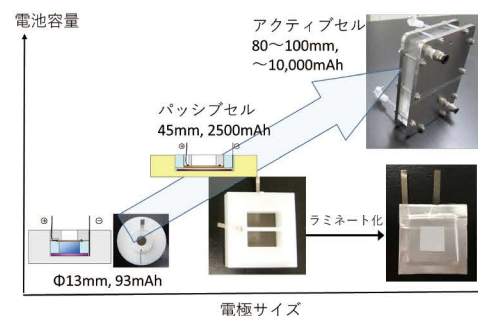


図2 開発したHABセルの種類と電池容量



実施課題リスト

研究期間	研究課題名／研究代表者
2015-2016	液体燃料を蓄電媒体とする白金フリー燃料電池自動車 山口 進 (ダイハツ工業株式会社 技術開発センター 先行技術開発室 担当役員)
2015-2016	未来型薄膜太陽電池を用いたタンデム太陽電池の開発 山田 明 (東京工業大学 工学院教授)
2016-2017	低炭素社会に資するグラフェンキャパシタの開発 唐 捷 (物質・材料研究機構 エネルギー・環境材料研究拠点 グループリーダー)
2016-2017	中低温イオン液体を用いたナトリウム二次電池の開発 萩原 理加 (京都大学大学院 エネルギー科学研究科 教授)
2015-2017	有機無機ハイブリッド高効率太陽電池の開発 宮坂 力 (桐蔭横浜大学 医用工学部 特任教授)
2015-2018	有機無機ハイブリッドエアロゲルを基材とする多用途断熱材の開発 中西 和樹 (京都大学大学院 理学研究科 准教授)
2015-2019	燃料電池カソード触媒機能を有するカーボンアロイの開発と評価 尾崎 純一 (群馬大学大学院理工学府 附属元素科学国際教育研究センター 教授)
2015-2019	先進ハイブリッドキャパシタ (AdHiCap)に関する研究 杉本 渉 (信州大学 先鋭材料研究所／繊維学部 教授)
2016-2019	高効率水素製造水蒸気電解／燃料電池可逆作動デバイスの開発 内田 裕之 (山梨大学 クリーンエネルギー研究センター 教授)
2017-2019	水素／空気二次電池の開発 盛満 正嗣 (同志社大学大学院 理工学研究科 教授)

評価委員

安部 武志

京都大学 大学院工学研究科
教授

石川 正司

関西大学 化学生命工学部
教授

入江 寛

山梨大学
クリーンエネルギー研究センター
教授

大須賀 篤弘

京都大学 大学院理学研究科
教授

境 哲男

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
特任教授

酒井 夏子

産業技術総合研究所
イノベーション推進本部
副本部長

堤 敦司

東京大学
教養学部附属教養教育高度化機構
特任教授

山本 高久

京セラ株式会社 研究開発本部
システム研究開発統括部長

国立研究開発法人 科学技術振興機構 (JST)
未来創造研究開発推進部 低炭素研究推進グループ

〒102-0076 東京都千代田区五番町7番地 K's五番町

Tel:03-3512-3543 Fax:03-3512-3533 E-mail:alca@jst.go.jp <https://www.jst.go.jp/alca/>