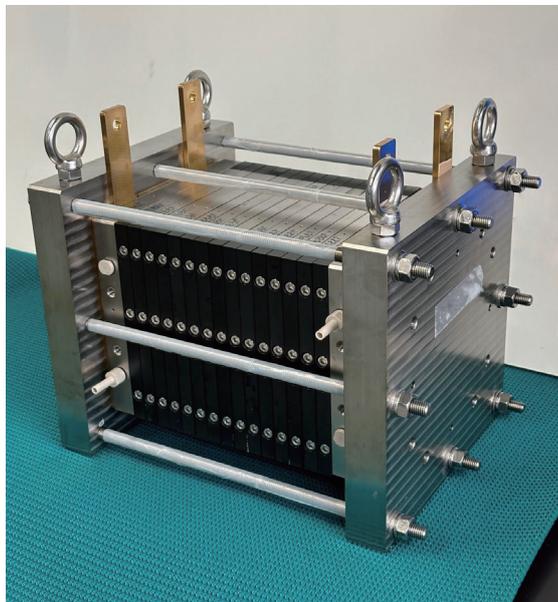


CO₂を価値ある物質に変換する電解システム



電極サイズ100 cm²のセルを10層積層したCO₂電解セルスタック

Cell stack for carbon dioxide (CO₂) electrolysis consisting of 10 cells with 100 cm² electrode area



実証用CO₂電解システム

CO₂ electrolysis system for demonstration

2050年のカーボンニュートラル実現のため、二酸化炭素(CO₂)を価値ある物質に変換するCO₂電解システムの早期社会実装が求められている。社会実装には、CO₂を高スループットで大量に有価物に変換することが重要なため、CO₂電解システムの大型化、高耐久化の検証を実施した。

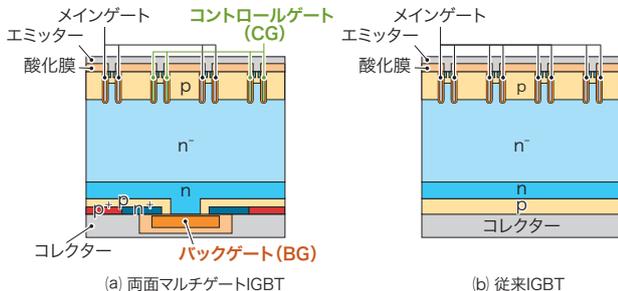
電極サイズ100 cm²のセルを10層積層したCO₂電解セルスタックを作製し、これを実装したベンチスケールの実証用CO₂電解システムを試作して、連続運転の動作検証を行った。このシステムは、CO₂の処理量を増大させるために開発した高性能なCO₂電解還元触媒及びCO₂電解還元電極技術を導入しており、CO₂から一酸化炭素(CO)への年間最大1 tの変換が可能である。

実証では、社会実装に重要な実環境下を模擬した条件での動作検証を行った。石炭火力発電所などから発生する排出ガスから分離回収したCO₂分離回収ガス利用時の影響を明らかにするため、CO₂分離回収ガス成分に含まれる微量不純物を添加して模擬CO₂分離回収ガスを作製し、そのガスを用いてCO₂電解セルの動作を行うことで、CO₂電解還元触媒の不純物耐性を確認した。この結果、純CO₂ガス利用時と比べて触媒性能に大きな変化はなく、用いた触媒は不純物耐性を持つことが分かった。更に、再生可能エネルギー利用時に重要な、電力変動時のCO₂電解セルの追従特性評価も行った。再生可能エネルギーの電力変動を模した周期的に変動する模擬電源を利用したところ、CO₂電解セルは、電力変動に追隨して動作可能であることを確認した。

今後、更なるシステムの大型化や、CO₂の処理速度の向上を進め、カーボンニュートラルの実現に貢献していく。

この成果の一部は、環境省の委託事業「二酸化炭素の資源化を通じた炭素循環社会モデル構築促進事業(多量二酸化炭素排出施設における人工光合成技術を用いた地域適合型二酸化炭素資源化モデルの構築実証)」で得られたものである。

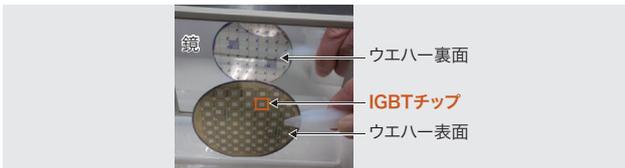
パワーエレクトロニクスシステムの高効率化・電力損失低減に貢献する両面マルチゲートIGBT技術



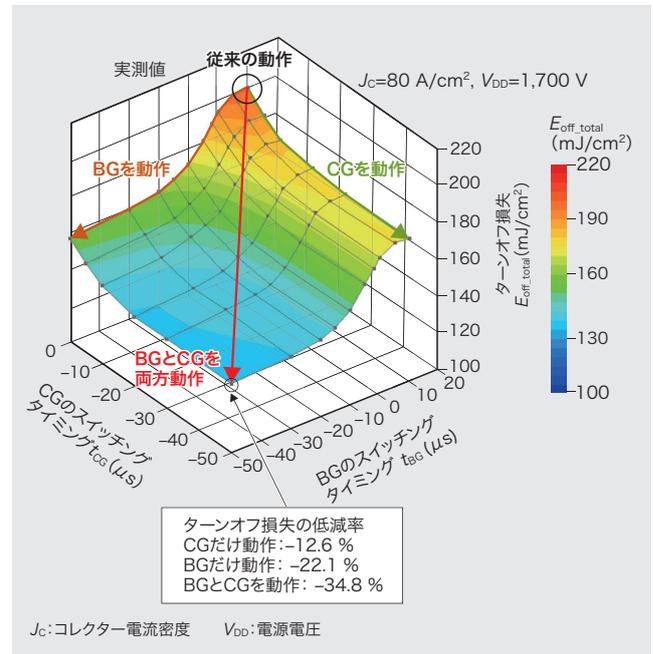
p: p型半導体 p+: 不純物濃度が高いp型半導体 n: n型半導体
 n+: 不純物濃度が高いn型半導体 n-: 不純物濃度が低いn型半導体

両面マルチゲートIGBTと従来IGBTのデバイス断面図

Comparison of cross-sectional views of single-back and double-front gate-controlled insulated-gate bipolar transistor (SDG-IGBT) and conventional IGBT



試作した両面マルチゲートIGBT
 Prototype SDG-IGBT



従来IGBTと両面マルチゲートIGBTのスイッチング損失の比較
 Comparison of switching loss for conventional IGBT and SDG-IGBT

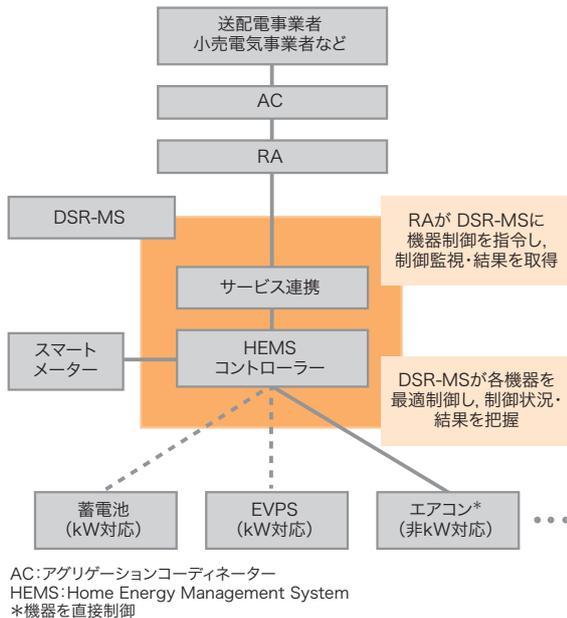
カーボンニュートラルの実現に向け、風力発電や電気自動車などのモーターを駆動するパワー半導体IGBT（絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ）の電力損失の低減が重要である。IGBTは、デバイス内部に電子と正孔の対を高密度に蓄積することで抵抗を低減し、高い耐圧と小さな導通損失を両立させている。一方、蓄積した電子正孔対は、オンからオフのスイッチング動作（ターンオフ）時に、デバイス外部に排出される過程で大きな損失を引き起こすことがある。電子正孔対の密度に依存した導通損失とターンオフ損失の間のトレードオフに対して、これまでIGBTチップの厚みを薄くすることで性能改善を図ってきたが、改善効果は飽和傾向で限界が見えてきている。

今回、新たなブレークスルー技術として、従来のIGBTに対し、チップの表と裏の両面にゲートを一ずつ追加し、計三つの独立に制御可能なゲートを持つ両面マルチゲートIGBTを開発した。この素子では、オン状態の電子正孔対を高密度に維持して、低い導通損失を実現すると同時に、ターンオフ時には追加したゲートだけを事前に駆動して電子正孔対の密度を減らすことで、ターンオフ損失を低減できる。更に、片面だけにゲートを追加した従来のマルチゲートIGBTと比べ、電子正孔対が排出される領域が、デバイス内の全域に拡大される特長を持つ。この効果により、ターンオフ損失は、従来の標準IGBTに対して最大で34%の低減、片面マルチゲートIGBTに対しては12～22%の低減を実現した。

今後、新規の両面マルチゲートIGBT技術の発展、及び各種機器への採用により、パワーエレクトロニクスシステムの省エネ化を促進し、カーボンニュートラルの実現に寄与することが期待できる。

この成果は、国立大学法人 東京大学生産技術研究所の平本研究室、及び東芝デバイス&ストレージ(株)との共同研究で得られたものである。

「VPPにおける需要家エネルギーリソースの活用に関するガイドライン第2版」を公開



DSR-MSを活用したDR制御システム

Application of DSR-MS to demand-response (DR) control system

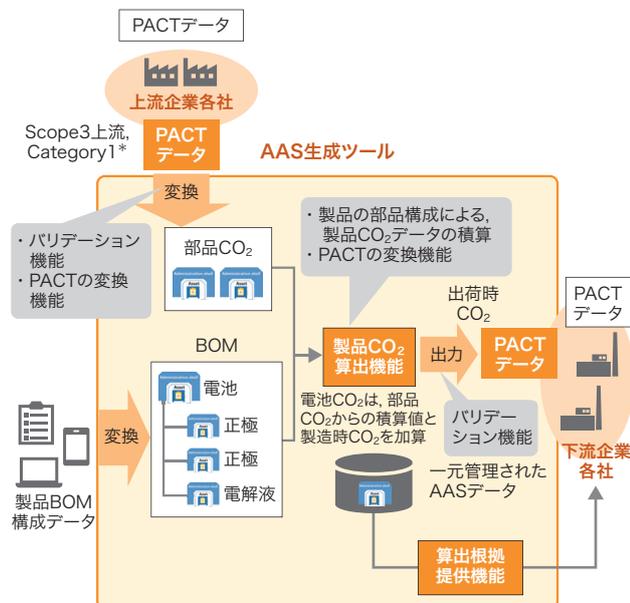
一般社団法人 日本電機工業会 (JEMA) IoT・スマートエネルギー専門委員会のVPP分科会 (17社参加・エコーネットコンソーシアム連携) を主導し、「VPPにおける需要家エネルギーリソースの活用に関するガイドライン (通称: VPPガイドライン) 第2版」を公開した。

各種制度設計や需要家リソースの開発動向など、カーボンニュートラル達成に向けた最新の動きを反映し、VPP (仮想発電所) サービス事業者であるRA (リソースアグリゲーター) による「需要家のエネルギー機器群活用のより正確・確実なDR (デマンドレスポンス) 制御」を対象に改訂した。蓄電池やEVPS (電気自動車パワーステーション) などの需要家リソースを束ねて制御するDSR-MS (Demand Side Resources - Energy Management System) を定義するとともに、DSR-MSとRA間のデータ定義の改訂や、ECHONET Lite Web API (Application Programming Interface) の活用例などが記載されている。

今後も、群制御や機器個別計測、周波数制御などの新しい課題に対応するため、活用・更新していく。

研究開発センター

製品CO₂データの流通を実現するデータ相互運用技術



BOM: Bill of Materials
*GHGプロトコルで定義された、温室効果ガスのサプライチェーン排出量の国際的な算定・報告基準

データ相互運用技術による製品CO₂データ流通実証実験の概要

Overview of product carbon footprint exchange experiment using data interoperability technology

データ相互運用技術を実装するための“AAS (アセット管理シエル) 生成ツール”を使用して、製品のカーボンフットプリント (CFP) データ (製品CO₂データ) の流通を推進している。この取り組みにおいて、一般社団法人 電子情報技術産業協会 (JEITA) のGreen x Digitalコンソーシアムが主催する「仮想サプライチェーン上におけるCO₂データ連携」実証実験に参加し、製品CO₂データの算定とデータ連携の実証実験を行った。

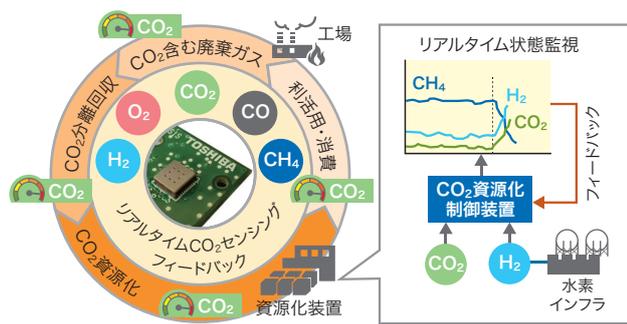
具体的には、PACT^(注)データモデルとAASデータモデルの一元管理機能や、PACTデータの正確性を保証するバリデーション機能、製品CO₂算出機能、PACTの入出力・変換機能など、データ相互運用技術として開発した機能を提供した。

この実証実験により、PACTデータモデルとAASデータモデルの相互運用が可能であること、製品CO₂データやその算出根拠データをAASで一元管理できることを確認した。AAS生成ツールによってPACT形式の製品CO₂データの正確な算出と流通が保証され、この実証実験の成功に貢献した。

(注) 持続可能な開発のための経済人会議 (WBCSD) が主催する、製品CO₂データを流通するための共通フレームワーク。

研究開発センター

■ 超小型・高速応答MEMSガスセンサーを用いた混合ガスセンシング技術



H₂:水素 O₂:酸素 CH₄:メタン
(a) カーボンサイクルにおける主要発生ガス



(b) 素子構造

(c) 評価用に試作したモジュール

MEMS熱伝導型ガスセンサーの素子構造と評価モジュール
Structure of microelectromechanical system (MEMS) for thermal conductivity gas sensors and its evaluation module

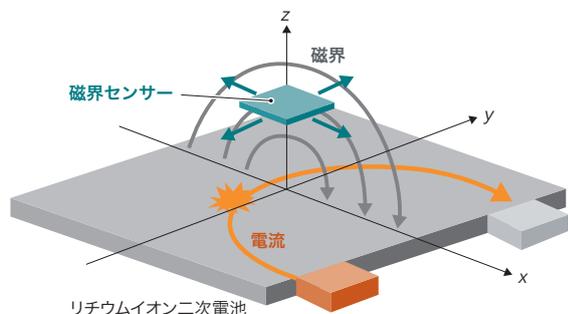
カーボンニュートラルの実現には、CFPデータの高信頼化が不可欠である。現行の温室効果ガス排出量の算定方法やCO₂換算による推定データは、精度が低く、信頼性に疑問が指摘されている。

そこで、CO₂や水素など3種以上の異なる物質で構成される混合ガスをリアルタイムに直接センシングできる技術を開発した。複数のMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 熱伝導型ガスセンサーを数mmサイズの超小型チップ内に集積し、各センサーのデータをアルゴリズム処理することで、混合ガスそれぞれのガス濃度を実環境でリアルタイムに計測できる。これにより、従来の混合ガス濃度計測技術であるガスクロマトグラフィーに対し、1/200以下のサイズへの小型化と、150倍以上の高速化を実現した。

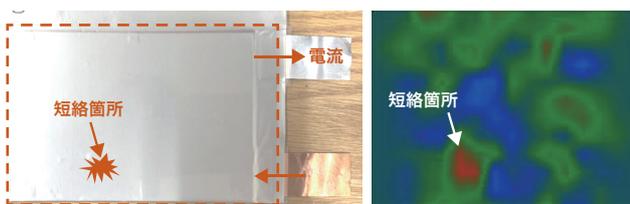
開発した技術は、CFPデータの高信頼化やCO₂の分離回収・資源化技術の高効率運用などへの適用に加え、水素社会インフラの水素漏洩(ろうえい)の検知や、屋内空気質モニタリング、呼吸ヘルスケアなど様々な分野への応用展開が期待できる。

研究開発センター

■ 非接触で二次電池の欠陥を検出できる超高感度小型磁界センサー



磁界顕微鏡の模式図
Magnetic field microscope schematic



(a) 測定サンプル外観

(b) 磁界像

短絡欠陥を持つリチウムイオン二次電池の磁界像
Magnetic field image of secondary lithium-ion battery with short-circuit defect

超高感度な磁界センサーは、非接触で微弱な電流を磁界として検出でき、二次電池、半導体素子・回路の欠陥検出や劣化診断などでの活用が期待されている。

今回、巨大磁気抵抗効果(GMR)素子で、変調信号が周波数分離される磁界変調技術において、変調成分を消去できる独自の反位相ブリッジ回路を開発し、10 Hzにおける検出限界を地磁気の1/10⁶にあたる6 p (ピコ: 10⁻¹²) T/√Hz にまで下げること成功した。また、素子の磁界集束効率を改善し、素子サイズを2×8 mmに小型化できた。開発したセンサーと交流磁界の変調/復調機構を磁界顕微鏡装置に実装することで、リチウムイオン二次電池内部の短絡欠陥を磁界像として可視化でき、短絡箇所が同定できることを実証した^(注)。

この成果の一部は、内閣府が推進し、管理法人である国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託事業である「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第2期/フィジカル空間デジタルデータ処理基盤」で得られたものである。

(注) (株)Integral Geometry Scienceにて自社所有のサンプルを測定。

研究開発センター

■ 大容量化と超急速充電が可能なチタンニオブ酸化物負極を用いた大型二次電池セルのパイロット試作

項目	諸元
外観	
定格容量	55 Ah
電圧範囲	2.95 ~ 1.50 V
セル寸法	157×200×13 mm (161×253×13 mm 端子, シール部分含む)
交流インピーダンス (1 kHz)	約0.45 mΩ
体積エネルギー密度	334 Wh/L (端子, シール部分を除く)

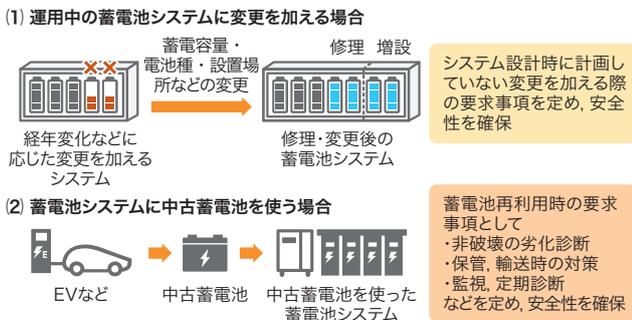
パイロット試作した大型ラミネートセルの諸元
Specifications of large pouch cell for trial production

カーボンニュートラルの実現に向けて、稼働頻度が高く過酷環境下で使われる商用車の電動化が求められている。当社は、従来のリチウムイオン電池の黒鉛負極と比べて体積当たり2倍の容量を持ち、超急速充放電・安全性・寿命に優れるチタンニオブ酸化物 (TNO : Titanium Niobium Oxide) を負極とする次世代電池を開発している。

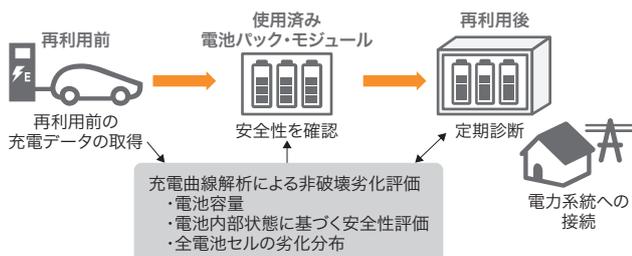
今回、実用化に向けて低コストニオブ原料を用いたTNO負極を開発した。コストダウンに伴う不純物の影響を最小限とするTNOの合成方法を見だし、公称容量55 Ahの大型電池セルを、パイロットラインで試作した。試作電池は、リン酸鉄リチウムイオン電池に匹敵する334 Wh/Lの高い体積エネルギー密度、10分間で80%充電可能な超急速充電性能、4,000回の繰り返し急速充放電で初期容量の95%以上の電池容量を維持する長寿命、及び高安全性を持つことを確認した。従来のリチウムイオン電池では適用が困難な大型商用車や重機への展開により、カーボンニュートラルの実現に貢献していく。

研究開発センター

■ 蓄電池システム安全規格の非破壊安全性評価手法に付記された充電曲線解析法



IEC 62933-5-3に基づく定置用蓄電池システムの安全対策
Safety requirements for stationary energy storage systems based on IEC 62933-5-3



充電曲線解析法を用いた電池再利用時の非破壊安全性評価
Non-destructive evaluation of battery repurposing safety using charging curve analysis

蓄電池として使用されるリチウムイオン電池は、電気自動車 (EV) や再生可能エネルギーの導入に向けて、急速な市場拡大が進んでいる。その一方で、発火・爆発や性能の急低下など、電池劣化に伴う安全性低下の問題も顕在化してきた。

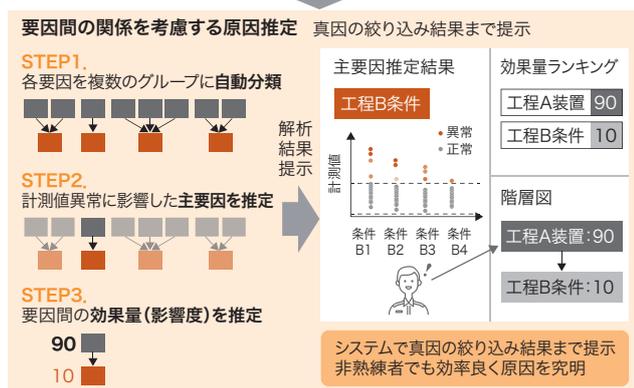
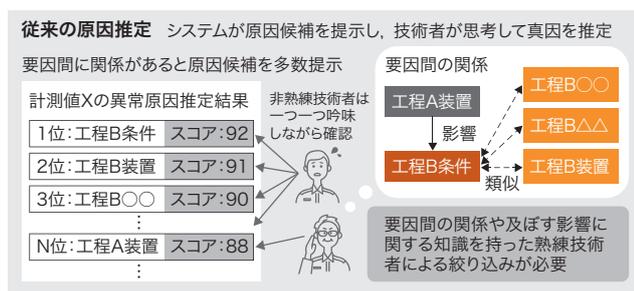
当社は、電池の電極材料の過度な劣化が電池発火の原因となり得ることを明らかにし、非破壊で電池内部の材料劣化を推定する充電曲線解析技術を開発した。

運用中蓄電池の安全性評価のデジュール化を目指し、独立行政法人 製品評価技術基盤機構、及び一般財団法人 電気安全環境研究所 (JET) と連携して技術実証を進めた。その結果、国際電気標準会議 (IEC) のTC120国内委員会から提案された蓄電池再利用時などの非破壊安全性評価を要求する規格であるIEC 62933-5-3は、劣化後蓄電池の安全性評価手法として充電曲線解析法が付記され、2023年10月に発行された。

この規格は中古電池の部品認証 (JETリユース電池認証) にも展開されており、顧客各社と連携し、充電曲線解析の活用による蓄電池システムの安全運用・車載リチウムイオン電池のリユース促進に貢献していく。

研究開発センター

■ SCiB™ 製造工程のデータ解析による異常原因究明のスキルレス化



要因間の関係を考慮する原因推定技術の概要

Overview of cause estimation method considering relationships among multiple factors

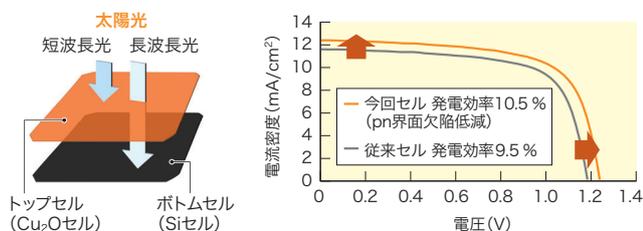
研究開発センター

SCiB™の生産拠点である柏崎工場では、自社開発した異常原因解析システムを製造工程の計測値異常監視に活用し、異常予兆の早期発見及び原因究明を効率化することで生産性向上を図っている。

従来のシステムでは、計測値異常の原因候補となる製造工程の要因が原因らしさのスコア順に提示されるが、互いに関係する原因候補があると、これらが高いスコアで多数提示される場合がある。このため、要因間の関係を把握した熟練技術者によって原因究明の調査対象とする原因候補を絞り込む必要があり、非熟練技術者でもシステムの活用を容易にする機能が求められていた。

そこで、要因間の関係を考慮し、注目すべき原因候補の数を絞り込んで提示する原因推定技術を開発した。要因間の関係をデータに基づき決定し、計測値異常への影響が大きい主要因と、主要因に影響を及ぼす親要因を原因候補とし、効果量(影響度)を合わせて提示することで、原因候補の絞り込みを自動化した。必要な原因候補を残しつつ、提示する原因候補数を平均1/10に削減し、原因究明のスキルレス化を実現した。

■ 発電効率10%を超えるCu₂OセルをSiセルに積層した高効率タンデム太陽電池

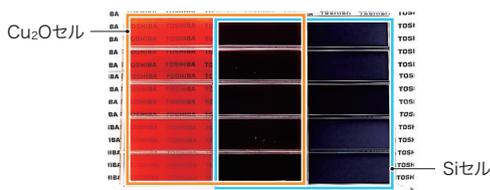


タンデム太陽電池の模式的な構造図

Schematic diagram showing structure of tandem solar cell with transparent cuprous oxide (Cu₂O) cell

pn界面欠陥を低減したCu₂Oセルの電流密度-電圧特性の改善

Improving current-voltage (IV) characteristics of Cu₂O cells by reducing defects at p-n interface



*Cu₂Oセルの発電エリアサイズは実用サイズの125×42 mm

開発中の大型Cu₂Oセル(左側2列)を同サイズに加工した市販品のSiセル(右側2列)に中央(1列)で重ねたサンプル

Two arrays of large Cu₂O cells in development (orange) overlapping two arrays of commercially available silicon (Si) cells cut to same size as Cu₂O cells (light blue)

限られた設置面積で必要な大電力を供給できる、亜酸化銅(Cu₂O)太陽電池セルをシリコン(Si)太陽電池セルに積層した、タンデム太陽電池を開発している。キーとなる透過型のCu₂Oセルは、当社が2019年に開発に成功したものである。

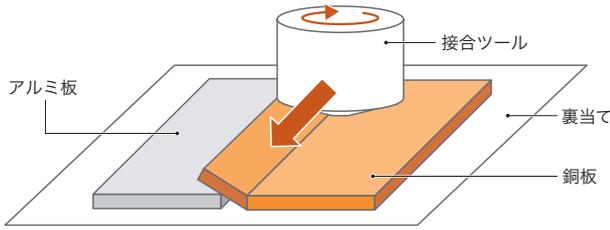
今回、Cu₂Oセルの発電効率低下の主要因であるpn界面(p:p型半導体, n:n型半導体)欠陥を低減することで、タンデム構造での発電効率30%達成に必要なCu₂Oセルのマイルストーン効率10%を超える、世界最高効率^(注)10.5%を実現した。今後、Cu₂O太陽電池のサイズを量産タイプのSi太陽電池と同じサイズまで拡大する大型化開発を進め、2025年度をめどにセル製造技術を確認し、実用サイズのタンデム太陽電池セルで高効率実証を目指す。また、タンデム太陽電池を用いた充電なし電気自動車をはじめとするモビリティー応用につなげ、カーボンニュートラル社会の実現に貢献していく。

この成果の一部は、NEDOの委託業務の結果得られたものである。

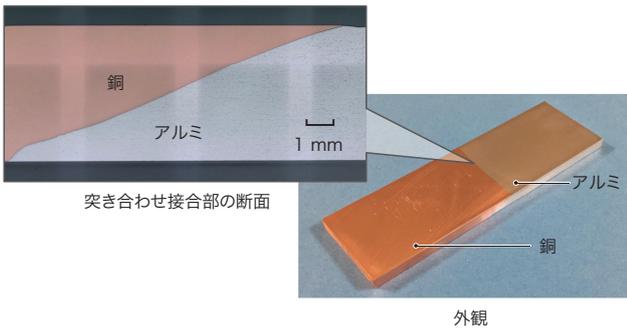
(注) 2023年12月現在、当社調べ。

研究開発センター

■ 機器の軽量化による消費エネルギー低減へ寄与する異種金属接合技術



接合方法
Schematic showing butt-joining method



銅-アルミ接合品
Butt-jointed plate consisting of copper and aluminum

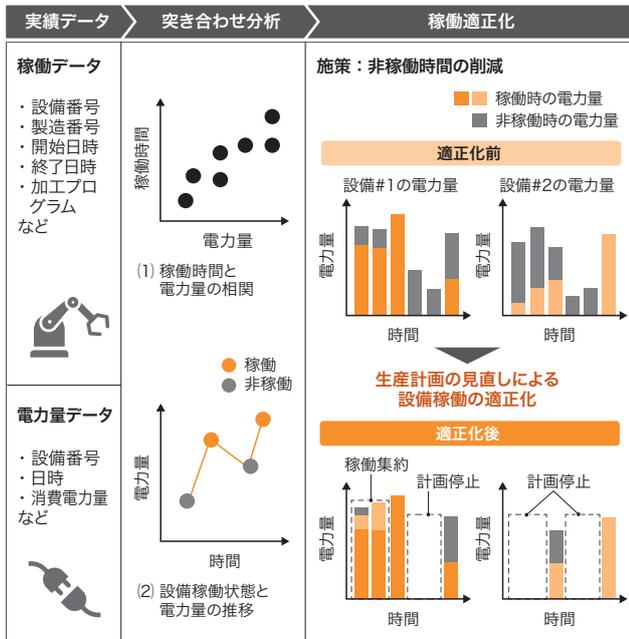
銅製の通電部品の一部をアルミニウム（以下、アルミと略記）へ変更して機器を軽量化し、消費エネルギーを削減することが検討されている。

アルミへの部分代替では、銅とアルミの接合が必要になる。この接合で高強度を維持するには、銅とアルミの間に隙間なく金属間化合物を生成し、かつ、その厚さを数 μm 程度に抑制することが求められる。従来、このような接合は拡散接合で達成されていたが、コストなどの問題があった。

今回、銅板とアルミ板の一部を重ね、回転した接合ツールで加圧して、摩擦熱により銅とアルミの共晶熔融を起こし、融液を押し出すとともに重ね部を変形させて突き合わせ接合部を得る新たな接合技術を開発した。接合面の金属間化合物の厚さは $2\mu\text{m}$ 以下であり、高い強度を持つ。更に、接合に要するエネルギー量が従来技術より少なく、大気中で行えることから、機器組立工程での実施も可能である。開発した技術は、モーターや電動機、車両機器、各種バスバー、端子などへの適用が期待できる。

生産技術センター

■ 温室効果ガス排出量の削減に寄与する設備稼働の適正化手法



設備データ分析による設備稼働適正化手法
Machine operation optimization via data analysis to reduce greenhouse gas (GHG) emissions

東芝グループでは「人と、地球の、明日のために。」の経営理念に基づき、事業活動で排出される温室効果ガスの削減によるカーボンニュートラルの推進に取り組んでいる。製造過程で排出する温室効果ガスの削減に向けて、製造設備の稼働データと電力量データの突き合わせ分析により稼働時と非稼働時の待機電力量を見える化・分析し、設備の稼働を適正化する手法を構築した。

この手法を用いて、機械加工設備の稼働時間と電力量の関係や設備の稼働状態と電力量の変化を分析し、稼働集約や計画停止などの生産計画を見直し、非稼働時間を削減する施策を検証した。機械加工設備で構成される製造ラインに適用した結果、計画停止時の設備運用設計により、非稼働時の温室効果ガス排出量を64%削減できることを確認した。この手法を広く展開することで、温室効果ガスの大幅な削減を目指していく。

生産技術センター