

# [ i ] カーボンニュートラルの実現に向けた環境対応技術 2050年カーボンニュートラルに向けた スマートパワーマネジメントに関する研究開発 EV社会の実現に寄与するエネルギーエコシステム

世界各国では、2050年カーボンニュートラルに向けて、一次エネルギー起源のCO<sub>2</sub>削減のために発電の脱炭素化、自動車・船舶・航空機や農業・産業システムの電動化（動力を電気に変える）とともに、CO<sub>2</sub>を直接回収・除去するなどネガティブエミッション技術の開発を加速している。特に、2050年ネットゼロエミッションの達成には、2035年をめどに自動車の生産を電気自動車（EV）やプラグインハイブリッド車（PHV）などへ100%移行する必要があると考えられている。その実現には、車両だけでなく、ドライバーやオーナーに対して使い勝手のよいエネルギーマーケットを作り、運用基盤となるエネルギーエコシステムを築くことが求められる。

本稿では、車両や定置電池、ビルシステムを効率よく連携させる双方向マルチポート充放電技術、オンボード急速充電技術や次世代充電ソリューションに向けた取り組みを紹介する。

中津 欣也 | Nakatsu Kinya

熊崎 寿久 | Kumazaki Toshihisa

叶田 玲彦 | Kanouda Akihiko

井出 一正 | Ide Kazumasa

築島 隆尋 | Tsukishima Takahiro

## 1. はじめに

全世界で自動車のCO<sub>2</sub>直接排出量は経済産業省によると全体の24%を占めており、EV（Electric Vehicle）の普及が環境や経済を大きく変革する可能性を秘めている。EVの特長は、カーボンニュートラルに向けた燃料ミックスに対する多様化を容易にし、石油への依存を減らして温室効果ガスや汚染物質の排出量を削減でき、持続可能な環境や安全・安心なエネルギー循環を作り出す動力源となりうる点である。しかし、EV社会の実現には、EV普及と併せて世界中の街や大都市が持つさまざまな環境でもEVオーナーやドライバーに対して使い勝手のよいエネルギーマーケットを作り、各地域社会に対して効率のよいエネルギーエコシステムの提供が必要となる。

## 2. EV社会の動向と課題

世界各国では、これまでもEVの普及に向けた法整備や補助の強化が進められ、2020年のEV登録台数は約1,000万台にまで伸びてきている。しかし、IEA（International Energy Agency）が示す持続可能な社会の実現に向けては、2030年までにEVを2億3,000万台にまで増やす必要がある。一方、充電器の数は過去5年間で7倍の130万口（30%が急速充電口）に増加してきたが、2030年のEV急増（およそ20倍）に向けて増強とともにエネルギーエコシステムの構築が急務となる。EU（European Union：欧州連合）では、相互接続された充電インフラネットワークの構築を計画しており、2030年までに10台のEVに対して1口の充電器比率へ整備することとしている。また、EV保有数トップの中国では、2020年に普通充電器

図1 | 環境価値と経済価値を両立するエネルギーエコシステム

点在する再生可能エネルギーサイト、需要家サイトやEVに対して、蓄電池やEV充電器、ビルファシリティの負荷と協調した需給統合制御を行う。



(22 kW以下) の設置が65%増の約50万口、急速充電器が44%増の約31万口とインフラの整備を急いでいる。また、商業車では、IEA目標として2030年にトラック390万台、バス360万台をEVへ移行することが求められている。この実現には、大型電池への充電インフラの整備が大きな課題であり、1 MW以上のメガチャージャーが必要となり、電力網への影響が避けられない。

今後急速に拡大するEV充電市場では、使い勝手のよいエネルギーマーケットと連動したエネルギーエコシステムの構築が不可欠であり、分散エネルギー資源の協調利用や、EVなどの利便性を高める充電放電機器、再生可能エネルギー由来の電力を管理できるデジタル化された電力システムの運用がますます重要となる(図1参照)。今後10年間で電力需要は、最終エネルギー消費量の18%から30%に増加すると予想されており、2050年カーボンニュートラルに向けては、電動化とともに電力制御技術の成長を加速させる必要がある。

本稿では、急速に広がるEV社会に向け、EVや定置電池、ビル内の大型ファシリティを効率よく連携させるマ

ルチポート充放電技術、オンボート型の急速充電システム技術や次世代充電ソリューションに向けた取り組みを紹介する。

### 3. マルチポート充放電技術

今後、大規模なV2H/V2G (Vehicle to Home/Vehicle to Grid) に向けてエリア内の複数のEVや点在する電池を効率よく管理するために、数百キロワット級の大電力の充放電が可能な電力融通システムの需要が増加すると予想される。例えば、ビル内の駐車場や商業施設などで設置することで、EV充電に加えて施設や近隣エリアの電力ピークカットや再生可能エネルギー利用率の向上などの付加価値を提供できるようになる。

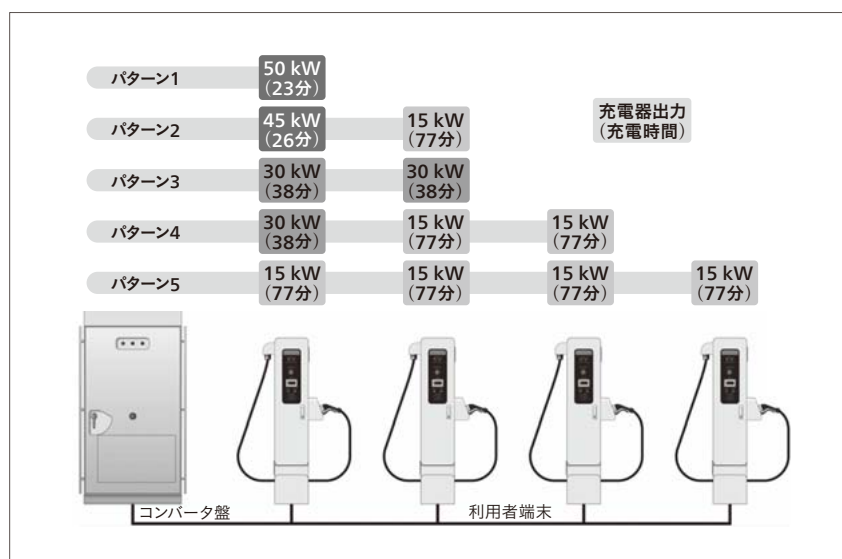
#### 3.1

##### 充電待ち時間を短縮するマルチポートEV急速充電器

EVの普及とともにビル内の駐車場、コンビニエンスストア、ショッピングモールや住宅街などでさまざまな形態の充電器の需要が増加すると予想される。しかし、利便性や設置スペース、さらには投資回収などユーザーやオーナーの課題を解決する必要がある。日立は、分離型マルチEV急速充電器を製品化しており、15 kW出力のAC/DC (Alternating Current/Direct Current) コンバータ4台を搭載したコンバータ盤と最大4台の利用者端末 (EVポート) を組み合わせ、変換器とEVポートの間の接続を自在に切り替えることができる。さまざまな充電組み合わせパターンで複数台のEVへ同時充電ができるため、充電待ち時間を短縮可能となる(図2参照)。

図2 | 分離型マルチポートEV急速充電器の構成と出力パターン

15 kWのAC/DC (Alternating Current/Direct Current) 変換器4台を内蔵したコンバータ盤と、1~4台の利用者端末の接続を需要に応じて切り替えることで、最大4台のEVを同時充電可能とする。



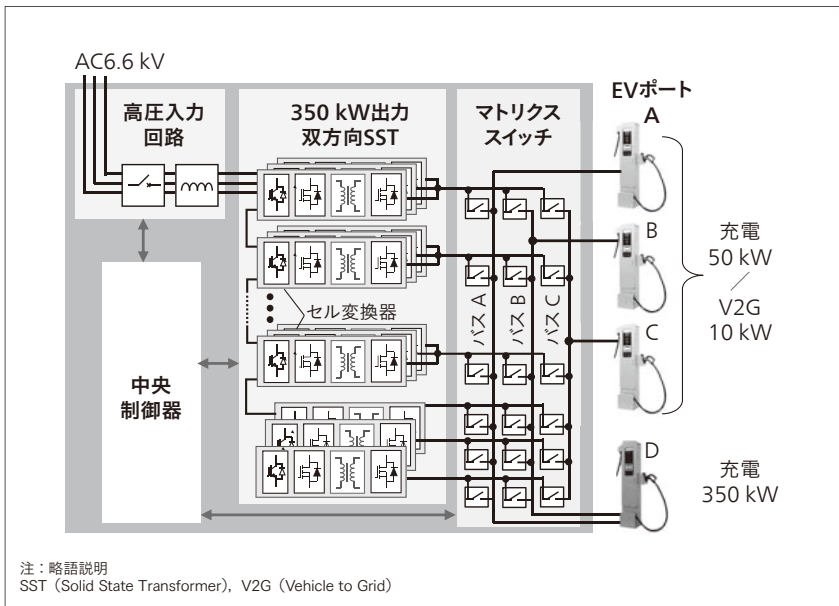
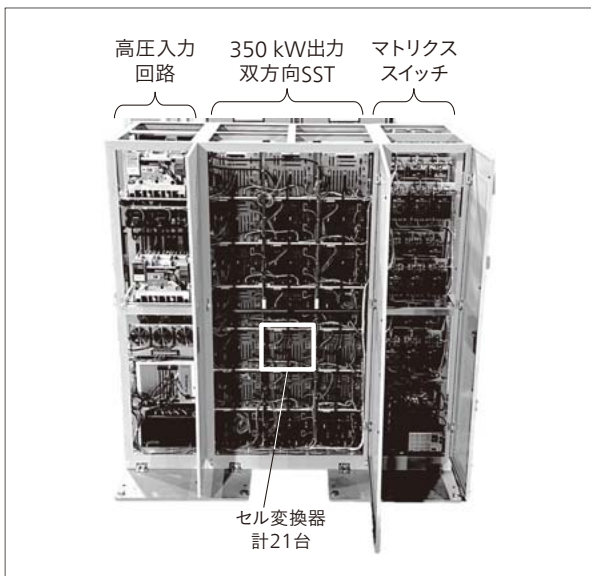


図3| 350 kW出力、V2G機能を備えた大容量双方向マルチポート充放電器の概要

セル変換器として17 kWの高周波絶縁双方向AC/DCコンバータを7段直列に接続し、三相分を構成する。マトリクススイッチで出力先を切り替える。

図4| 350 kW出力とV2G機能を備えた大容量双方向マルチポートEV急速充放電試作器の外観

左側に高圧入力回路、中央部に17 kWのセル変換器21台、そして右側にマトリクススイッチをコンパクトに実装している。



レキシブルに接続して多用途な出力電圧や電流を作り出せる。

本構成により、入力AC 6.6 kVなどの商用交流電源を送受電する最大350 kWの双方向マルチポート充電器を実現している。このような構成にしたことで大容量化の障害となっていた受変電トランスが不要となり、従来のトランスを用いた変換システムと比べて設置面積を約40%削減できた点が特長である。また、各セル変換器のDC側と各EVポートの間にマトリクススイッチを設け、電源事情やドライバーの希望に合わせてスイッチを切り替えることで接続可能なEV台数を調整し充放電能力を容易に増減することができる。

例えば深夜は、21台のEVに17 kWで並列充電したり、昼間は急速50 kWを7台に同時に提供したり、他の充電を一時止めて1台に対して超急速充電350 kW (~900 V) を出力するなど、出力をインテリジェントに切り替えることで、各ドライバーやビル・テナントのファシリティごとの時々刻々と変化する要求に応えられる。

一方、各セルが別々のEVに接続され異なる電力を供給するには、直列接続したセル変換器の入力AC側で分担電圧の不平衡が生じる。極端な負荷不平衡時でも各セルの分担電圧を均一化するには、直列セルのうち最大電力を扱うセルと各セルとの電力差の合計が所定値以内に収まるように分担電圧を制御しなければならない。本試作器では、各セルの電力差の合計が所定値以内になるように各充電ポートへの割り当てセル変換器数の最適化を行い、マトリクススイッチの切り替えで分担電圧不平衡の課題を解決している。

### 3.2

#### 双方向マルチポート充放電器の大容量高機能化技術

今後のEVでは、航続距離を延ばすだけでなく社会システムの一部として機能することが求められる。搭載された電池を有効に活用するには、大電力を短時間に双方向に配電できる機能が必要となる。ここでは、試作した双方向マルチポート充放電器について解説する<sup>1)</sup>(図3, 図4参照)。

試作器は、双方向SST (Solid State Transformer) を内蔵した17 kWの高周波絶縁双方向AC/DCセル変換器を21台用いて構成し、入力のAC側を7段直列接続させ一相分を三つ組み合わせ、各21台のセル変換器の出力をフ

## 4. 車載充電システム技術

今後、地上の急速充電器の増強には大きな投資が必要となる。また、太陽光発電（PV：Photovoltaic）など再生可能エネルギーによる発電の増強も併せて進めていかなければならない。これら投資を最小限に抑えながらも利便性のよいエネルギーエコシステムを提供することが求められる。

現在のEVでは、2モータを搭載し制御性や回生特性を向上する方式が増加しており、車載された駆動インバータを充電器の一部として利用することで地上設備を軽減し、急速充電可能な車載充電システムの構成も考えられる。そこで、従来の地上急速充電器によるPV連携充電方式と、走行用インバータ2台を用いた際の急速充電機能を持つEV[以下、「cEV」(On-board fast battery charging Electric Vehicle)と記す。]による充電方式の構成や拡張性を比較した（図5参照）。

従来は、PVのDC発電電力をDC/DCコンバータ、イン

バータ、変圧器を経由させてAC配電系に送り、AC配電系を介して変圧器、インバータ、DC/DCコンバータをさらに経由することにより、急速充電器を通して車載電池へ充電される。一方、cEVは、PVのDC発電電力をDC/DCコンバータで電圧調整しDCのままcEVに直接充電でき、変換時に生じる損失を最小限に低減できる<sup>2)</sup>。cEVに必要なDCMPU（DC Multi-functional Power Unit）は、走行用インバータ2台と出力切り替えスイッチ、高周波トランスから構成され、充電時に絶縁型DC/DCコンバータとして機能させる（図6参照）。

このとき、YΔ結線の三相トランスを用いることで三相DAB（Dual Active Bridge）コンバータとして動作し、スイッチング損失を大幅に低減可能なソフトスイッチングにより入力されたDC電力を昇降圧して電池へ効率よく充電できる<sup>3)</sup>。ソフトスイッチングの運転領域は、 $V_1$ を図5のDC充電ポート電圧、 $V_2$ を車載電池の電圧とし、 $v_{u1}$ がトランス1次側のu相電圧、 $v_{u2}$ が2次側のuv相間の電圧、これらの位相差を $\phi$ とした際に、 $\phi$ と $V_1/V_2$ に対するソフトスイッチング可能領域、不可領域を決めることができる。この領域を確認しながら初期状態から満充電

図5 再生可能エネルギーPV×自己充電EV連携方式

従来の方式ではAC配電系を介してEVの車載電池が充電される。本提案のPVとcEVは2者で連携され、PVはDCのままcEVに直接充電される。

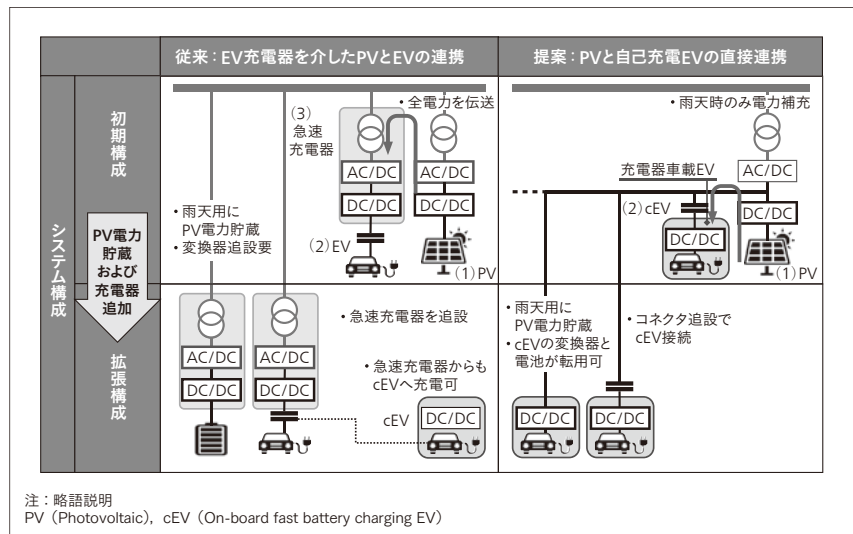
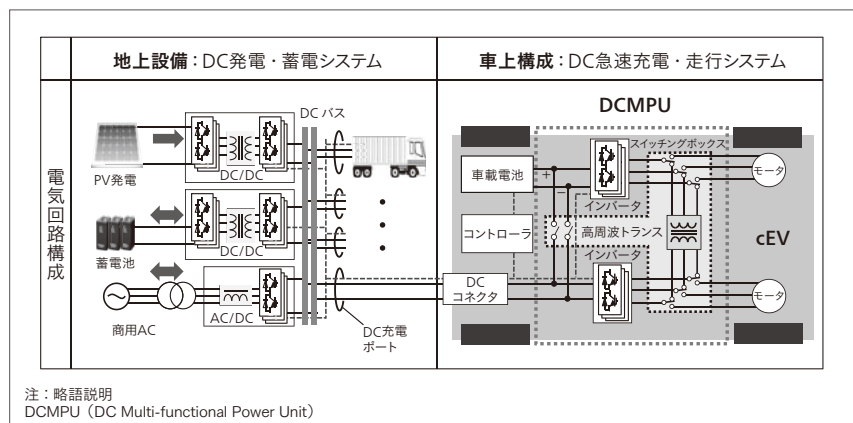


図6 EV駆動用インバータを急速充電にも活用するcEV

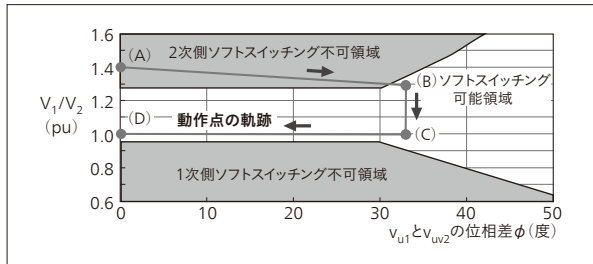
DCMPUは、充電時にDCコネクタからインバータ、高周波トランスを介して絶縁型DC/DCコンバータを構成して電池に充電する。





## 図7| 充電動作時のDCMPU回路の動作

三相DABコンバータは、(A) から (B) に至る初期の僅かな時間を除き、(B) から (C) を経由して (D) に至るほぼ全過程でソフトスイッチングによる充電電が可能である。



までの負荷軌跡を見てみると、初期状態で電池両端の電圧が低く電圧比 $V_1/V_2$ の値がソフトスイッチング可能な範囲にないA点から充電を開始し、速やかに $\phi$ を増加させると電池に電流が流れはじめ、ただちにBへ遷移する。B点からC点へ、そしてD点に遷移する過程は、A点からB点に遷移する時間より十分に長い時間が必要のため、ソフトスイッチングによる充電を安定して行うことが可能となる（図7参照）。

## 5. 次世代充電ソリューションに向けた取り組み

### 5.1

#### 再生可能エネルギーとスマートEV充放電

特定の場所・時間帯にEVの充電が集中した場合、電力需給バランスや系統設備に大きな影響を与えるリスクがある。一方、EVに対し適切な場所・時間帯に充放電を行うことで、再生可能エネルギーの大量接続がもたらす不安定さへの解決策にもなりうる。

日立が2011年からの6年間に米国ハワイ州マウイ島で取り組んだNEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）スマートコミュニティプロジェクト

#### 図8| グローバル先進地域での取り組み

米国ハワイ州マウイ島における実証（左）、英国シリー諸島の実証（右）を示す。



トでは、再生可能エネルギー比率がすでに30%を超えていた（2014年3月時点）マウイ島において、一般家庭のEV約200台の充電タイミングを制御し、電力ピークをシフトし夜間風力発電の有効活用を実証した。また、一般家庭の太陽光発電が急速に普及したマウイ島では、電力系統への需要が日没とともに急激に上昇するというダックカーブ現象が発生していた。この問題を緩和する施策として、EVから一般家庭もしくは直接系統へ電力を放電するV2H/V2Gの有効性を合わせて実証した<sup>4)5)</sup>（図8左参照）。

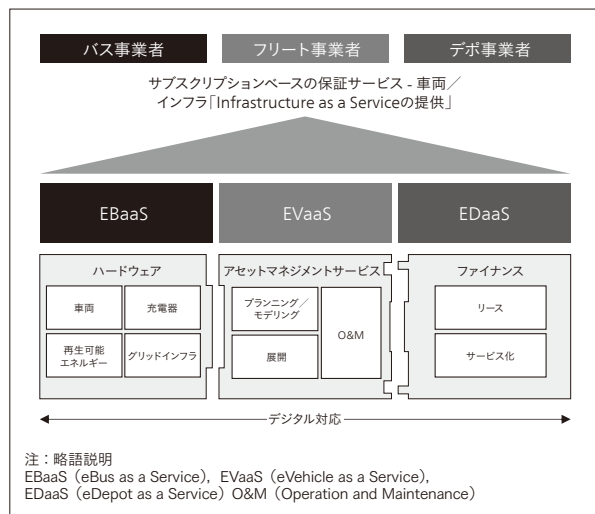
車両電動化と再生可能エネルギーの組み合わせがもたらすもう一つの可能性は地域創生である。その地域で発電された再生可能エネルギーを、その地域の足となるモビリティに利用するモデルでは、エネルギー代金が地域内で循環し、地域経済の活性化に貢献できる。

英国シリー諸島は、英国南西部のランズエンド岬から約45 kmの沖合に位置する島々で人口は僅か2,200人ほどだが、観光客が毎年10万人以上訪れる。日立は2015年にシリー諸島の自治体とパートナーシップを結び、欧州地域開発基金から資金援助を受け、島の公営住宅、消防署、海水淡水化プラントの屋根、空港近くの敷地などに太陽光発電設備を導入した。日立のIoT（Internet of Things）プラットフォームにより電力消費パターンを学習し、家庭全体での電力の貯蔵・使用方法を最適化した。さらに2018年に設立された非営利の地域ベンチャー企業が島内の事業者向けにEVのカーシェアサービスを導入し、地域のエネルギーとモビリティのサービスを通じた炭素排出量削減の加速と地域経済の活性化に貢献している。現在、シリー諸島においては、EVを電力需給の調整力として活用するV2Gの実証を継続して実施している（図8右参照）。

一方、再生可能エネルギー比率の高い欧州では都市部でバスのEV化が始まっている。都市部のEVバスの特長

図9|EVバス/EVフリート事業者のデジタル化

必要なサービスを組み合わせる「ターンキー」型のAs a Serviceを示す。



は、路線の距離、運行間隔、車両基地での滞在時間など運行条件が多様多様な点である。日立ABBパワーグリッド社（2021年10月より日立エナジー社に社名変更）では、車両基地での省スペース充電設備、プラグタイプやパンタグラフタイプの充電口、駐車場での瞬間充電方式などさまざまな充電ソリューションを用意し、複雑な運行管理に対する導入時のコンサルティングなどと合わせて提供している。現在、スイスのジェノバ市、イタリアのミラノ市などでEVバスへの転換をリードしている。

5.2

カーボンニュートラルの実現に向けて

日立は、こうしたグローバル先進地域での経験や技術を基に、バス事業者、フリート事業者に向けて、EV車両、充電設備、再生可能エネルギー設備などのハードウェアと、それらアセットを管理するアプリケーション、そしてファイナンスサービスを、AI（Artificial Intelligence）などのデジタル技術と合わせてパッケージ化し、必要なサービスを組み合わせる「ターンキー」型のAs a Serviceの提案を欧州から開始し、順次グローバル各地域に展開する。これにより、電動化に伴って生じる設備管理、エネルギー管理、EV運用の最適化など顧客の負荷を軽減し、経済的で速やかな電動化への移行をサポートするとともに、脱炭素社会の実現に貢献していく（図9参照）。

6. おわりに

カーボンニュートラルに向けたEV社会の実現には、ド

ライバーやオーナーに対して使い勝手のよいエネルギーマーケットを提供することが必要である。本稿では、運用基盤となるエネルギーエコシステムの構築に必要な双方向マルチポート充放電技術、オンボート型の急速充電システム技術や次世代EV充電ソリューションについて述べた。

今後、これら基盤技術をさらに改良することで、脱炭素社会の実現に向けて環境負荷を軽減する製品やサービスを提供していく。

参考文献

- 1) 叶田玲彦, 外: SSTを用いた多出力EV充電器におけるセル変換器の負荷均等化, 令和3年電気学会 産業応用部門大会No.1, pp.89~92 (2021.8)
- 2) 井出一正, 外: 自家消費PV発電と自己充電EVのシステム連携ソリューション, 日立評論, 102, 2, 239~243 (2020.3)
- 3) 吉岡颯太, 外: EV駆動用インバータを三相DABコンバータに適用したcEV用急速充電器の提案, 令和3年電気学会 産業応用部門大会 (2021.8)
- 4) 江村文敏, 外: スマートシティを構成する自動車関連技術とグローバル展開, 日立評論, 95, 11, 786~790 (2013.11)
- 5) 笠井真一: マウイ島を例とした島嶼域スマートグリッドの構築, 都市環境エネルギー, Vol. 110, pp. 18~22 (2015.3)

執筆者紹介

	<b>中津 欣也</b> 日立製作所 研究開発グループ 制御イノベーションセンター 所属 現在, パワーエレクトロニクス, インバータ, パワーモジュール, 電源システムの研究開発に従事 工学博士 電気学会会員, エレクトロニクス実装学会会員, 自動車技術会会員, 電子情報通信学会会員, IEEE会員
	<b>熊崎 寿久</b> 株式会社日立アイイーシステム 電力情報システム本部 所属 現在, EV充電器やDCグリッドシステムなどパワエレ製品の開発・設計に従事
	<b>叶田 玲彦</b> 日立製作所 研究開発グループ 電動化イノベーションセンター 産業機器システム研究部 所属 現在, 現在, 電力変換器の回路および制御に関する研究開発に従事 電気学会上級会員
	<b>井出 一正</b> 株式会社日立パワーソリューションズ 兼 日立製作所 エネルギービジネスユニット ゼロカーボン事業推進センター 所属 現在, エネルギーソリューション事業の開発に従事 工学博士 電気学会フェロー, IEEE Senior Member
	<b>築島 隆尊</b> 日立製作所 社会イノベーション事業推進本部 所属 現在, 主に脱炭素, 環境テーマの事業創生に従事 工学博士