

自動車の電化と 二次電池の課題

運輸部門の電力化推進

電力中央研究所「電気と環境のフォーラム」

1 運輸部門のCO₂排出削減

わが国では、運輸部門のCO₂排出量は国全体の排出量の20%を占め、年間に約2億5千万tにもなる。運輸部門での主たるCO₂排出源は、自動車、鉄道、航空、船舶などであり、エネルギー源の大半を化石燃料、とりわけ、ガソリンや軽油などの石油燃料に依存している。従って、電動駆動を利用する電化推進によりエネルギー効率を向上させ、化石燃料依存度を低減することができれば、CO₂削減に大いに寄与する。

運輸部門でのCO₂排出は、図・1に示されるように、自動車からの排出が約90%を占める[1]。内燃機関を利用する自動車は分散型の燃焼利用と言え、電化により集中型にシフトすることでエネルギーを高効率に利用し、CO₂排出を抑制できる。最近では、リチウム二次電池を搭載した高性能な電気自動車（EV）の開発や導入が話題になってきた。二次電池技術の進展もあり、EVが脚光を浴び、本格的な普及に向けて、国内外でEV・PHEVの開発と、それに搭載する二次電池の軽量・コンパクト化などの高性能化に関する

研究開発が活発化している。

一方、航空や船舶、大型トラックなど、大きな重量を一度に遠くまで運搬する分野では、電化推進は難しい。二次電池は、エネルギー密度において液体燃料よりもはるかに小さく、二次電池に充電されたエネルギーのみでの駆動・長距離輸送は夢である。しかしこの分野では、バイオ液体燃料利用やハイブリッド化技術、輸送のモーターシフトにより、化石燃料依存度の低減や省エネ化が期待できる。現在、航空と船舶の分野では、機体や船体の軽量化、バイオ燃料の混合利用、電気とのハイブリッド

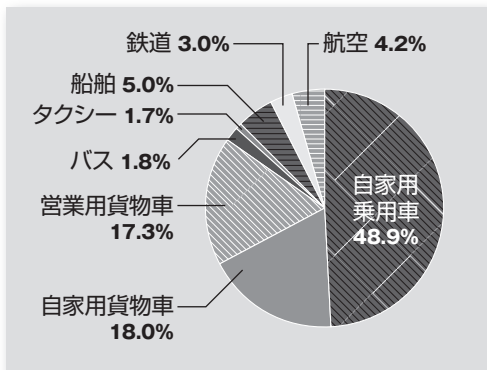


図-1 わが国の運輸部門のCO₂排出量の内訳(2005年度)[1]
自動車排出量の約90%を占め、そのうち自家用乗用車が半分にも及ぶ



池谷知彦

電力中央研究所 材料科学研究所 首席研究員 先進機能材料領域リーダー、工学博士。「二次電池利用技術」課題責任者。



紀平庸男

電力中央研究所 材料科学研究所 主任研究員。リチウムイオン電池など、蓄電池の性能評価、劣化診断に関する研究に従事。



田村英寿

電力中央研究所 地球工学研究所 主任研究員 都市・街区の屋外熱環境や室内温熱環境の数値予測、気象予測などの研究に従事。



佐藤 歩

電力中央研究所 環境科学研究所 主任研究員。火力発電所の大気環境影響評価、分散型電源普及時の影響予測、都市の大気環境の研究に従事。

化技術による高効率化が進められている。特に船舶では、電動モーターを利用したハイブリッド化により、船体形状の自由度も上がり、より効率的な船体設計が進められている。

貴重な化石燃料のより高効率な利用を進め、CO₂排出削減と化石燃料の延命化を図るためには、電化の可能な分野では精力的に推進し、電化が困難な分野では、CO₂排出がゼロと見なされるバイオ燃料などを積極的に利用したハイブリッド化による電化を進めることが肝要である。

2 自動車分野の電化

乗用車では、1990年代末に市場投入された電気(電動)と内燃機関を組み合わせたハイブリッド自動車(H E V : Hybrid electric vehicle)が近年普及し、CO₂排出量削減に寄与している。最近では、系統からの電力を積極的に利用するプラグインハイブリッド自動車(P H E V : Plug-in

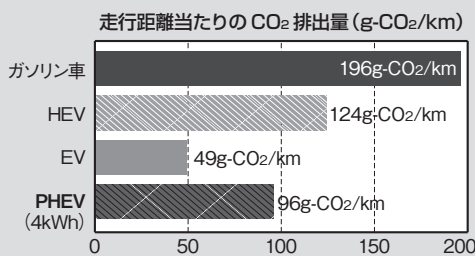
H E V)、さらには、電気のみで駆動するEVの普及への期待が高まっている。

EVは、古くは19世紀から2次電池とともに技術開発が進められてきたが、いまだ普及には至っていない。70年代以降のオイルショックや公害問題などから、日本でもEV技術開発は進められてきているが、いずれも実用化には至ることはなかった。この数年の動きは「三度目の正直」を合言葉として、産官学が一体となって、二次電池開発やインフラ整備などが進められている[2]、[3]。

EVは、系統電力をエネルギー源として二次電池に充電して走行するため、大幅な省エネ、CO₂排出量削減が期待できる(図-2) [4]。ライフサイクルアセスメント(L C A) 評価では、モーターや電池の製造時のCO₂排出が、エンジンの製造に比べて多くなる可能性がある。一方でEVは、系統電源での発電時のCO₂排出を加味した走行時のCO₂排出量は、内燃自動車よりも少なく、製造か

ら走行までを含めたトータルではCO₂排出削減効果の方が大きくなる。ただし、車両に搭載する二次電池の寿命が短いと電池交換が頻繁になり、製造時のCO₂排出量が増え、CO₂排出削減効果が小さくなる懸念がある。また、現状の二次電池のエネルギー密度では、ガソリン車なみに一充電走行

図-2 乗用車各種の走行距離当たりのCO₂排出量



注1) ガソリン車、HEV、EVは、「JHFC総合効率検討結果」[4]より引用。電力の排出原単位は、420g-CO₂/kWh
 注2) PHEV (4kWh) : PHEVの搭載電池容量を4kWhとし、全走行距離の40%はEV走行可能 (8km/kWh) として試算。

距離を数百kmとするのは困難であり、そのため、市中での急速充電を含む充電インフラ整備の推進が必要である。

現在、市販されているH E Vは、電動により制動時のエネルギー回生や高低負荷時のアシストにより、高効率な燃料消費で走行することができる。さらに、現状のH E Vよりも搭載する電池容量を増やして、系統電源から充電して、電動走行できる距離を長くしたP H E Vが提案されている。短距離は電動走行、長距離はハイブリッド走行と、両者の良いところ取りをして、利便性を維持しながら、併せて省エネとCO₂排出削減を進めようとするものである。

EVと並んで、水素エネルギーを利用する燃料電池自動車(F C V)への期待がある。水素を搭載して一充填で長い距離を走行し、さらに、急速な充填が可能として燃料電池電気自動車(F C E V)の実用化が進められている。しかし、現状のF C V技術では、燃料電池の性能などに加

えて、水素製造、高圧での水素貯蔵技術（タンク、圧縮機など）でのエネルギー効率向上に課題があり、実用化までには少し長い時間を要する[5]。

小型乗用車での単位走行距離当たりのCO₂排出量試算では、ガソリン車を基準にすると、内燃機関と電動とのハイブリッド化により、4割程度のCO₂排出量の削減が期待できる（図・2）[4]。さらにEVでは、7割以上の削減が期待できる。また、従来のHEV（約4kWh）に増やしたPHEVでは、5割の削減が可能と見込まれる。PHEVでは、将来、二次電池の高性能化により搭載する電池容量を倍の8kWhに増やせば、全走行距離の90%程度がEVモードの電動走行でカバーできると見積もることができ、EVと同等のCO₂排出量削減効果が期待される。乗用車の全車両をEVやPHEVに代替できれば、7千万tのCO₂排出の削減が見込め、軽貨物車両まで代替を進めれば、

約1億tの削減が期待できる。

当面は、駆動系では、EVの電動駆動に加えて、PHEVの電気と内燃機関のハイブリッド利用、燃料では化石燃料と電気エネルギーのハイブリッド利用を進め、現状の利便性を損なうことなく、省エネやCO₂排出抑制を進めていくことになるであろう。その中で、より電気利用の比率を上げ、化石燃料依存度を下げて、化石燃料の延命化を図りながら、低炭素社会の実現に資する必要がある。

3 自動車の電化推進による都市の環境負荷低減・省エネ

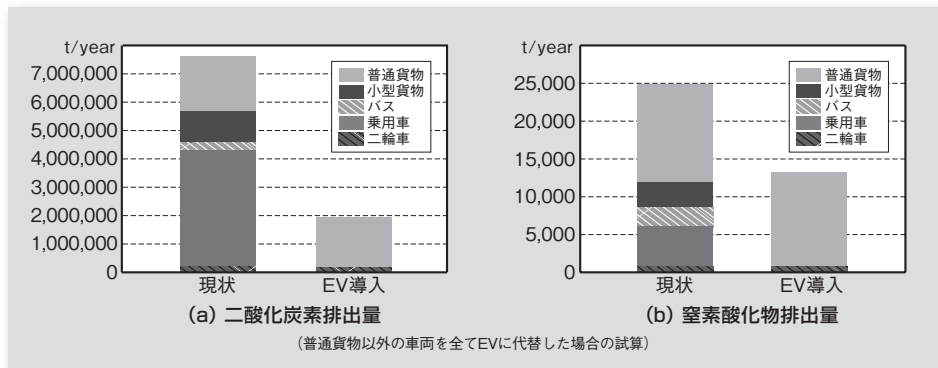
EVやPHEVなどが大量普及すると、CO₂排出削減に加えて、窒素酸化物（NO_x）や粒状物質（PM）の排出削減や騒音の抑制も期待できる。分散型の内燃機関燃焼から集中型へのシフトにより、オフィスや住宅地区などの市街地での排熱を削減でき、市街地のヒートアイランド現象の緩和も期待できる。

東京23区を対象とした電力中央

研究所（以下、「電中研」と呼ぶ）の試算[6]では、大型トラックなどを含む普通貨物を除いた乗用車、小型貨物、バスなどをEVへの代替による電動走行にシフトできれば、CO₂排出量の75%、NO_x排出量の45%、PM排出量の20%の削減が可能と試算できた（図・3）。

これらの削減が進めば、トンネルや地下・屋内駐車場の換気設備に必要な動力エネルギーや維持管理コストを削減できる。また、自動車からの騒音が少なくなれば、騒音対策のための遮蔽構造や居住空間の密室化も不要となる。さらに、自動車からの排熱が削減できれば、ヒートアイランド緩和が期待できる。23区内を走行する車両をEVに代替した場合、ヒートアイランド緩和に関する試算では、夏季晴天時の都心部では、8時ごろには0・4℃程度、14時ごろには0・15℃程度の低下が見込め、昼間の電力需要ピーク時には、23区全体で電力需要3〜4万kW（一般家庭1万軒分程度の電力需要）の削減が見込まれている（図・4）。

図-3 東京23区におけるEV代替による排気ガス排出量の変化[6]



普及に至ることはなかった。本格コスト高も重なり、これまで本格的EVは一充電走行性能に限られ、

4 電気自動車普及に向けて

今後、民生部門と運輸部門での電化、電力シフトの進展によりヒートアイランド緩和が進めば、副次的効果でビルや住宅での冷房需要も減り、冷房設備からの排熱も減少し、さらに、ヒートアイランド緩和が進み、一層のエネルギー消費削減が期待できる。

的な普及のためには、EVの走行性能を決定付ける二次電池の高性能化と、急速充電を含む充電インフラの整備などが不可欠である。経済産業省でも、新エネルギー利用および自動車技術の両分野から実用化・普及を推進している。2006年には、EV実用化のキーテクノロジーである二次電池・モーター技術開発にかかわる課題とインフラ整備に関する取りまとめと提言を行った[2]。特に、二次電池技術については、エネルギー密度を現状の倍以上に大幅向上を

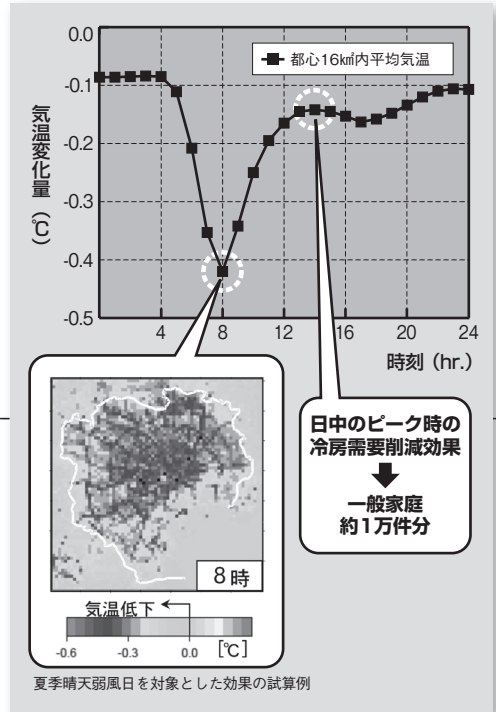


図-4 東京23区におけるEV代替によるヒートアイランド緩和効果の例（普通貨物以外の車両を全てEVに代替した場合の試算）[6]交通量の多い朝方の通勤時間帯に緩和効果が大きくなる

目指す野心的な開発目標を設定した（図・5）。

とめた提言を基に、EVやPHEVの普及促進を目的にした「EV・PHVエコタウン構想」

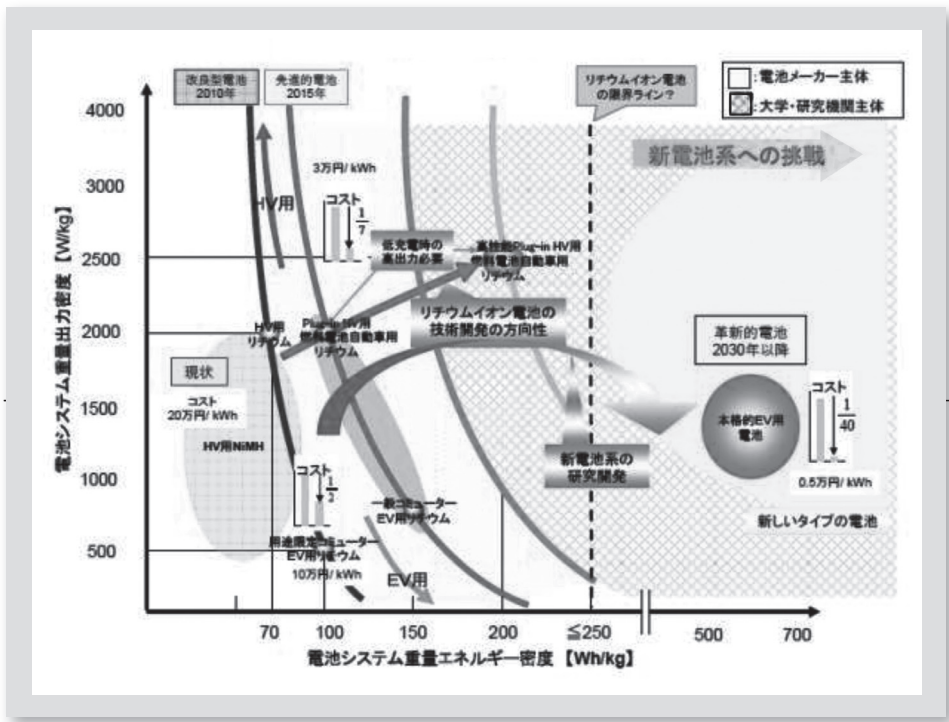


図-5 経済産業省「次世代自動車用電池の将来に対する提言」で示された二次電池開発の方向性[3] 横軸は搭載できる容量を示す重量当たりのエネルギー容量 (Wh/kg)、縦軸は加速性能を示す重量当たりの出力性能 (W/kg)。各曲線は、技術進展による性能向上を示す。リチウム二次電池の限界エネルギー密度は、250Wh/kg程度と試算。

[7]を打ち出し、都道府県レベルの自治体でのEV導入・インフラ整備などの普及支援を進めている。基本的なEVへの充電は、原則として車両利用をしない夜間の普通充電が望まれるが、EVの一充電走行距離の短さを補うためにも、また、安心感のために、急速充電設置の要望がある。加えて、利便性・安心感の確保のために勤務時間中での職場や仕事先での充電、昼食や休憩、ショッピング中における充電の要求がある。これら駐車中の普通充電による補充電のために、屋内外での駐車場や路肩などでのコンセントの設置も必要である。導入初期段階から利用分野や費用対効果を考慮して適切に充電設備を配置する必要がある。レストランやショッピングセンター、コンビニなどでは、充電インフラを提供するサービスを活用したビジネスモデルもあるかもしれない。

電力供給においては、EV、PHEVは新たな需要となり、安定して供給するためにも、普及の進ちよくに合わせた供給インフラ

体制を確認していくことが大切である。デマンドサイドマネジメントを活用してEVの充電制御が可能となれば、系統・配電での安定化にも活用できる。さらには、EVと配電系統を連系して、EVの二次電池を電力貯蔵システムとして活用する方法(V2G・Vehicle to Grid)などの提案もあり、住宅などのバックアップ電源に加えて、太陽光発電などの不安定な再生可能エネルギーの安定化や住宅電力負荷の平準化にも活用できよう。

わが国は、約8千万台の自動車車両を有しており、半分をEV代替するとしても十数年を要すると予想される。一般利用者に、ガソリン自動車に比べてコスト高で利便性の劣るEVを普及するには、インフラ整備に加えて、導入普及のための補助金や制度による支援が不可欠である。さらに、積極的なEV利用に拡大するには社会的な合意を得る必要がある、省エネ・CO₂削減に向けた意識の共有化および啓発活動が必要となる。

5 電化推進に向けた二次電池の役割と課題

EVでも、数十kWhの二次電池を搭載すれば、定速走行での一充電走行距離は数百kmとなり、ガソリン自動車に匹敵する距離を走行できる。しかし、市街地走行、冷暖房と曇り止めのデフロスターの作動などによる実際の走行条件では、一充電走行距離は70%以下にまで低下してしまう。早期のEVやPHEVの実用化と普及のためには、搭載する二次電池の開発においては、さらなる高エネルギー密度化や高出力密度化により軽量・コンパクト化を進めて走行距離を延ばし、加えて、高エネルギー・高出力密度化の時にも長寿命と長期のより高い安全性の確保を図ることも重要である。

EVやPHEVの電動による一充電走行距離は、車両に搭載する二次電池容量で決定される。経済産業省で取りまとめられた提言では、EV用電池研究開発において、現状の重量エネルギー密度

1000～1500Wh/kgを500Wh/kg以上、併せて出力密度1000W/kg以上とした大幅な性能向上を目指す野心的な目標が提示されている(図・5)。これらの目標値まで性能が至れば、現状のガソリン自動車と同等の一充電走行距離を確保できるとして設定された値である。現在、実用化の期待されているリチウム二次電池では、限界エネルギー密度で250Wh/kg程度が限界であり、目標を達成するには、従来のリチウム電池とは異なる、斬新な電池系での研究開発が必要となる[3]、

[8]。EV運用では、二次電池に長寿命が求められる。前述のように頻繁に搭載電池の交換があれば、CO₂排出量が増加する懸念がある。また、EVの早期実用化に向けて、より長寿命な二次電池を開発するためには、短期間に長い寿命性能を確認できる評価技術が必要である。5～10年以上の寿命を有する二次電池を1カ年程度の短期間に開発するためには、数倍以

上の加速で評価できる手法が求められる。電中研では、国のプロジェクト「次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発」に参画し、加速寿命劣化手法の研究開発を実施している(図・6)。二次電池の温度環境や充電状態などを因子



図-6 電中研でのEV・PHEV用リチウム二次電池の加速劣化試験設備(赤城試験センター)
左:高性能電池実験棟、右:加速劣化試験設備



として、数倍以上の加速可能性を示すことができた[9]。現在は、PHEV運用方法を考慮した試験条件を検討している。電中研では、EVやPHEV用リチウム電池の実用化開発を支援するために、電池性能評価試験方法や加速劣化試験方法の提案を、産業総合研究所と日本自動車研究所とともに連携して進めている。

また、電中研では、安全性・信頼性を重視して、高安全リチウム電池の研究開発を進めており、高電圧に耐え、揮発性が低くて燃えにくい固体電解質を利用した全固体型リチウム電池の実用化を目指している(図・7)[10]。全固体型電池では、高い電圧にも安定するため、4V以上でも作動し、エネルギー密度の向上も期待できる。

また、全固体型電池であるため、従来の電池形状にとらわれず、積層構造や薄膜型も成形できる。当面は、オール電化住宅でのバックアップ電源など、エネルギーセキュリティと利便性向上を目指しているが、今後、出力密度の向上

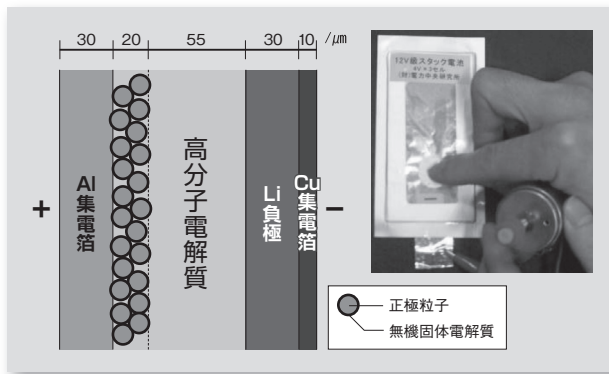


図-7 全固体型リチウム二次電池の構造と試作電池
左:正・負電極で固体高分子電解質を挟んだ電池構造、右:薄膜電池構造の試作電池でモータを作動。

などによる高性能・大容量化技術が進歩すれば、高安全なEV用二次電池としての適用も望める。二次電池技術は、EV・PHEVの実用化のみならず、太陽光・風力発電などの出力が不確実かつ変動する電源の電力貯蔵技術

EVやPHEVの普及は、系統電源のCO₂低排出源化やゼロエミッション化が進むことにより、CO₂排出量の削減に一層の寄与をする。EV・PHEVの本格的な普及に向けて、積極的な車両の導入・利用、および、ユーザーの利便・

運輸部門の電化・電力シフトは、CO₂排出量の削減と化石燃料依存度の低減が期待でき、環境負荷の低減とエネルギーセキュリティ確保の観点で、将来に向けて着実に進むべき方向である。特に、

6 運輸部門の電力化に向けて

術としても重要である。当所では、将来の電力系統である次世代グリッド(第9回の連載で紹介予定)の研究を進めており、この中ではEVやPHEVに搭載される二次電池も含めて、さまざまな設置形態の二次電池を想定し、再生可能エネルギー電源の有効活用や電気の効率的利用、利便性向上などの実現を目指している。

安全性を考慮したインフラ整備が必要である。電中研では、二次電池技術および利用技術の研究開発に加えて、将来の本格的普及に向けた導入効果評価・電力供給体制について検討を進めていく予定である。

参考文献

- [1] 国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィス「日本の温室効果ガス排出データ」2005年
- [2] 池谷「電池技術の変遷」エンジンテクノロジー 2005年、vol. 39、pp. 25
- [3] 経済産業省・新世代自動車の基礎となる次世代電池技術に関する研究会
「次世代自動車用電池の将来に対する提言」平成18年8月
<http://www.meti.go.jp/press/20060828001/20060828001.html>

- [4] 日本自動車研究所JHFC総合効率検討特別委員会「JHFC総合効率検討結果」報告書
平成18年3月
- [5] NEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップ2008
- [6] 池谷、田村、佐藤、馬場、田頭「EV導入による都市環境負荷低減効果の評価」電中研報告 Q08030
- [7] 経済産業省EV・PHVタウン構想推進検討会
<http://www.meti.go.jp/committee/materials/g80425d.html>
- [8] 小久見「リチウム二次電池」オーム社 平成20年発行など
- [9] 紀平、寺田、池谷 第23回電気自動車国際シンポジウム 2006年12月、米国アナハイム、または、WEVA Journal, Vol. 2, Issue 2
- [10] 小林、関、大野、三田、宮代、P.Charest, A.Guieff, K. Zagib: 「全固体型リチウムイオン電池の開発(Ⅰ)ー炭素系負極適用による低コスト電池作製プロセスの提案ー」電中研報告Q07018

訂正

エネルギーフォーラム2009年4月号の目次E&E「低炭素社会実現の鍵を握る原子力発電」は、3月号のタイトルでした。正しくは「電力供給への地球温暖化リスクに備える」です。訂正してお詫び致します。なお、本シリーズの第1回から第7回までのタイトルは次の通りです。

第1回

低炭素社会実現のための「電化シナリオ」 2008年11月号

第2回

民生部門のエネルギー効率化および燃料転換によるCO₂削減ポテンシャル 2008年12月号

第3回

低炭素化に挑む火力発電技術 2009年1月号

第4回

ヒートポンプの役割と課題 2009年2月号

第5回

低炭素社会実現の鍵を握る原子力発電 2009年3月号

第6回

電力供給への地球温暖化リスクに備える 2009年4月号

第7回

自動車の電化と二次電池の課題 2009年5月号