

課題名	E-0904 低炭素車両の導入によるCO ₂ 削減策に関する研究
課題代表者名	近藤美則（独立行政法人国立環境研究所 社会環境システム研究領域 交通・都市環境研究室）
研究実施期間	平成21～22年度
累計予算額	78,784千円（うち22年度 37,319千円） 予算額は、間接経費を含む。
研究体制	<p>研究体制</p> <p>(1) 実使用燃費の見える化と電動車両導入効果の推計に関する研究（独立行政法人国立環境研究所）</p> <p>(2) 電動車両用充電設備の設置における問題とその解決策に関する研究（独立行政法人産業技術総合研究所）</p> <p>(3) 次世代電動車両の性能評価と導入における問題と解決に関する研究（独立行政法人国立環境研究所）</p>
研究概要	<p>研究概要</p> <p>1. はじめに</p> <p>低炭素社会づくりに向けて、都市、農村、交通等の多様な分野でのビジョンの構築と実現に関する研究が急務とされている。提案者らが環境省地球環境研究総合推進費「S-3-(5)技術革新と需要変化を見据えた交通部門のCO₂削減中長期戦略に関する研究」を介して作成した「低炭素社会に向けた12の方策」では、運輸部門（旅客）の方策として、「歩いて暮らせる街づくり」を提案し、目指すべき将来像として中心市街地をつなぐ公共交通機関の導入、安心して歩ける地域の実現、乗用車の電動化を挙げている。こうした将来像の実現には、交通行動の転換を促す街づくり面の対応と車両等技術の開発普及面での対応との融合が極めて重要である。</p> <p>また、中央環境審議会地球環境部会のH20.4.3付け報告「低炭素社会づくりに向けて」においても、低炭素型の都市・地域づくりとして、「LRTやバス等の公共交通の走行空間や徒歩・自転車による移動環境の整備、環境的に持続可能な交通の実現」と、消費者の低炭素選択の実践のために、「使用している機器のCO₂排出量の『見える化』の推進」が重点戦略として掲げられている。さらに、低炭素型の交通システムの構築として、「交通インフラの結節性の向上などによりシームレスな交通を促進」するとともに制度的インフラ整備において、「低炭素を実践する主体を表彰」するなどの奨励的手法を「適材適所で組み合わせ、効率的に対策を推進することが重要」と述べられている。</p> <p>低炭素型の社会の実現の一翼を担う低炭素型車両の開発と普及を着実に進めていくためには、短期的には、販売される車両の実使用条件下でのCO₂排出量の「見える化」が極めて重要である。低炭素型車両としては、既存のハイブリッド車(HEV)に加え、プラグインハイブリッド車(PHEV)、電気自動車(BEV)などの電動車両が有力視されている。ただ、BEVへの転換は電池の性能とコストの面で容易ではないと考えられる。電動車両の広範な普及を実現するためには、電力会社が取組みつつある郊外型大型商業施設や時間貸駐車場への充電設備の設置だけでなく、中期的には、家庭等での充電設備の設置可能性に関して具体的な検討が必要である。また、中長期的には、電動車両の特性を生かすとともに、交通行動の転換を同時に促すことを想定すると、小型パーソナルモビリティ(1人乗り移動機械)や、架線から常時給電しなくても充電済の二次電池等で走行可能な軽量軌道交通(LRT)等を含めた、広義の意味での電動車両の導入が有力な選択肢となる可能性が高いと考えられる。</p> <p>2. 研究目的</p> <p>低炭素社会に向けた低炭素型の交通システムの実現に資することを旨として、低炭素型車両の導入によるCO₂削減策の視点から、以下の研究を行う。短期的削減策として、低炭素型車両の普及と開発をより確実とするため、販売される車両の実使用条件下でのCO₂排出量の評価を行い、信頼性の高い数値の「見える化」を行う。短中期的削減策として、電動車両の大量普及に際して課題になると考えられる家庭等の端末における充電設備の整備に関して、居住形態と電動車両の利用形態に応じて必要かつ実現可能な充電設備の性能を明らかにし、電動車両の着実な普及を担保する方法を充電インフラ側から提案する。中長期的削減策として、パーソナルモビリティとLRT等の組み合わせによる次世代型交通システムの評価を通して、地域特性に応じた実現可能性の高い提案を行う。</p>

3. 研究の方法

(1) 実使用燃費の見える化と電動車両導入効果の推計に関する研究

車両に対する燃費表示は、試験法に定められた方法で得られた燃費（以下、カタログ燃費とよぶ。）であり、実使用時の燃費より格段によい。その要因の1つは、カタログ燃費を測定する走行モードが車両の最高出力（駆動力）に関わりなく、最も駆動力の小さい車両が走行可能なように構成され、実使用条件よりも最高速度や加速度が小さく、燃費の良い走り方となっているためである。そこで、乗用車に対する長期間の実態調査をもとに乖離を生み出す要因を分析し、実使用条件でのCO₂排出係数を再現する試験方法（走行モード）を開発する。試験車両に対してその方法（走行モード）に基づいたシャシーダイナモ試験により、CO₂排出量を独自に計測し、車両間で比較を行う。さらに、既存の各種走行モードを用いたシャシーダイナモ試験を行い、車両の速度と駆動力に対応したCO₂排出量が推計できるCO₂排出量エンジンマップを作成する。これと車載型の走行動態記録計を搭載した乗用車から取得した長期間の実使用データを組み合わせ、走行パターンや冷始動および補機使用による実使用燃費への影響を明らかにする。さらに、長期間の実使用データをもとに、市販されているBEVおよびPHEVの導入可能性を家庭での充電を前提に推定し、現実的に代替可能な車両の割合を明らかにする。

(2) 電動車両用充電設備の設置における問題とその解決策に関する研究

各地域における家庭での電力契約及び、冬季の電力機器の使用実態を調査し、現在の家庭における電力契約・使用状況で追加的な設備投資なしでの電動車両の充電可能性を解明する。自動車需要データの解析から、現在の自動車の使用実態を踏まえた実用的な電動車両の電池走行可能距離（航続距離）の目標値を検討するとともに、家庭での普通充電により現在の自動車需要の中でBEVに代替可能な需要を算出し、それにとまなうCO₂削減量の推計を行う。既存自動車に対する電気自動車のライフサイクル全体でのCO₂排出量の優位性を検証するために、電気自動車のライフサイクルインベントリ分析を行い、搭載する電池容量がCO₂排出量に与える影響に関する感度分析を行う。また、低価格HEV・BEV・乗用車型PHEVなどの相次ぐ市販化と、いわゆる「エコカー補助金」「エコカー減税」の実施による消費者の電動車両に対する受容性の変化を、コンジョイント分析によって解析する。さらに、消費者の電動車両に対する受容性を踏まえ、電池性能の向上・電池量産効果による価格低下が達成された場合の2020年時点における電動車両の普及可能性とCO₂削減可能性の分析を行う。

(3) 次世代電動車両の性能評価と導入における問題と解決に関する研究

地域に適した移手段の評価のために、個人用移手段から公共交通機関まで統一された方法で評価を行う。移手段に係るエネルギー消費量、CO₂排出量、移動速度、移動可能距離、維持費等のデータを文献調査等により収集し、データベースを作成する。個人用移手段である電動アシスト自転車、電動バイク、小型電気自動車等については実態調査により実性能を評価、データベースに加える。現在主流のエンジン車については、サブテーマ（1）の成果を取り込む。さらに、作成したデータベースをもとに、地域特性に適した交通手段への変更の評価を可能とするため、CO₂削減量試算ツールを作成する。試算ツールの入力データとして、輸送量データベースを作成するとともに、データのない新たな交通手段の性能を理論的に推定するための交通手段推定ツールを整備する。また、日本への導入可能性を検討するために、低炭素移手段の導入と普及に関する先進的な取り組み事例を実測やインタビューにより調査し、要点を整理する。

4. 結果及び考察

(1) 実使用燃費の見える化と電動車両導入効果の推計に関する研究

24台の市販車両を対象にシャシーダイナモ試験を行い、加減速度と最高速度を実態に合わせて10%増加させた独自の走行モードを用いてCO₂排出係数を推計した結果、ユーザー入力式実燃費データベースであるe燃費で得られる排出係数と概ね近い値が得られた。ユーザーデータの蓄積を待たずに実態に近いCO₂排出係数を推計できる点が本手法の利点である。なお、定速走行時の数値を推計に盛り込むことで特にハイブリッド車の推計値のさらなる改善が期待できると考えられた。

また、多様な条件下でシャシーダイナモ試験を行ってエアコン等補機類の使用時の排出増分を推定するとともに、エンジン制御コンピュータの速度情報と駆動力からCO₂排出量を推定するエンジンマップを作成した。このマップに車載型の走行動態記録計を用いて蓄積してきた長期実使用データを適用してCO₂排出量と内訳を推計した結果、走行パターンによって20～59%、冷始動と補機使用によって13～31%の増分があると考えられた。

さらに、つくば市における長期間の実使用データを用いて電気自動車を家庭充電のみで使用する場合の適用可能性を検討し、18台分のデータ中、電池容量が9kWhの車両では1台、16kWhと24kWhでは4台が完全に代替可能となった。また、電池容量の拡大に伴う車両の大型化は航続距離の延伸効果を相殺する可能性が示唆された。代替の判定基準を移動日の100%ではなく93%に仮定すると、電池容量9kWhの車両で10台、16kWhと24kWhでは17台が代替可能となった。すなわち、少数の長距離移動時にレンタカーや急速充電を利用することが受容されれば、大半の車両は電気自動車で代替可能であると考えられた。一方、HEVに比べたPHEVの効果の試算では、短距離中心に利用される車両にはPHEVを使うメリットが大きく長距離中心ではメリットが小さいこと、電池を大型にすると重量増となり特に短距離利用の車両に悪影響を及ぼす場合があること、炭素排出係数の小さな電源を利用すると効果が大きくなること等が明らかとなった。

(2) 電動車両用充電設備の設置における問題とその解決策に関する研究

各地域の家庭における電力契約状況及び、冬季の電力機器使用実態を調査し、現在の家庭での電力契約・使用状況で電動車両を普通充電する場合、深夜は他の電力機器使用への影響はないが、午前中や夕方から深夜にかけてはアンペア契約制の場合にはブレーカーが落ちる可能性があり、家庭での電力マネジメントが必要であるとの示唆が得られた。

自動車需要データの統計解析から、現在の自動車の使用実態を踏まえた実用的な電動車両の電池走行可能距離の目標値として、軽乗用車では約60km、乗用車では約100kmが抽出された。また、同調査及び家庭での電力使用データの解析結果を用いて、現在の自動車需要の中で家庭での普通充電により電気自動車に代替可能な需要と、それにともなうCO₂削減効果を算出した。家庭での充電電圧が100Vで電気自動車の航続距離が短い場合には（軽乗用車：フル充電14時間、航続距離60km、乗用車：フル充電28時間、航続距離100km）、軽乗用車・乗用車はそれぞれ走行量全体の58%、39%がBEVに代替可能であり、それによるCO₂削減効果は軽乗用車・乗用車はそれぞれ58%、39%であると推計された。市販中のBEVの充電電圧は、より充電時間を短くし、かつ家庭で使用されている既存の電気機器の電力消費量への影響を極力減らすために200Vが推奨されているが、現在の自動車使用では停止時間が長い需要が多いため、充電時間短縮によるBEVへの代替効果は大きな変化がない（軽乗用車・乗用車それぞれの走行量全体の79%、69%）。その一方で航続距離の延伸によってBEVに代替可能な自動車需要が多く、BEVの大幅普及には航続距離の延伸が必要不可欠であると示唆された。

既存自動車に対するBEVのライフサイクル全体でのCO₂排出量の優位性を検証するために、BEVのライフサイクルインベントリ分析を行い、搭載する電池容量がCO₂排出量に与える影響に関する感度分析を行った。低価格HEV・BEV・PHEV車の市販化と、いわゆる「エコカー補助金」「エコカー減税」の実施による消費者の電動車両に対する受容性の変化を、コンジョイント分析によって解析した。CO₂排出量が少ないBEV・PHEV車は自動車部門のエネルギー・環境問題解決策の鍵と考えられているが、HEV車が身近なものとなりつつある状況で、価格が高く、また航続距離の制約もあるBEV・PHEV車に対する消費者の現在の評価は必ずしも高くない。価格低下や航続距離の延伸だけでなく、電動車両に充電された電力を家庭用電源で使用する、もしくは系統電力で利用する、いわゆるVehicle to Gridの実施による高付加価値化といったインフラ側での対策、現在の補助金や減税などの優遇策に類似する、あるいは代わる施策の実施など、BEV・PHEV車に対する受容性を高め、社会に幅広く普及させていくための方策が必要であると考えられた。さらに消費者の電動車両に対する受容性を踏まえ、電池性能の向上・電池量産効果による価格低下が達成された場合の2020年時点における電動車両の普及可能性の分析を行い、交付される補助金の額が電動車両の普及率とそれによるCO₂排出削減に大きな影響を与えることを確認した。

(3) 次世代電動車両の性能評価と導入における問題と解決に関する研究

移動手段の選定と導入によるCO₂削減量等の評価のために、手段に関わるデータベース構築と定量・定性データ収集、地域ごとの自動車の利用状況とCO₂排出量の把握、CO₂削減量試算ツールの開発、欧州等における実態調査を行った。次世代電動車両評価データベースは、個人用から公共交通機関まで、人力からモータやエンジンを使った人工動力までの移動手段を対象として実態および文献調査等によりデータを収集し、基本データ、データ集約、速度帯別実走行燃費、燃料種データ、使用資源等のシート別に整理した。パーソナル電動車両は、計測器を取付け、つくば市内で実走行利用を通じた性能評価を行い、データベースに反映した。自動車利用の地域特性については、人口密度別に1日の走行距離とCO₂排出量の地域差を明らかにし、上記データベースにおける低炭素車両の適用範囲を把握した。これらをもとに地域特性を考慮したCO₂削減量試算ツールを開発、相模原市のデータにより利用可能性を確認した。

一方、欧州における電動乗合車両に関する実態調査では、ア)架線の無い区間はエンジン走行で走るトロリーバスは、路線バスを代替する電動車両となりうること、イ)トラムは周辺環境によって運行速度が変化すること、ウ)トラムはパーク&ライドと組み合わせ、自動車利用を代替する役割を担っていることを把握した。また、低炭素移動手段の利用促進に関して、自転車の旅行速度に合わせて信号を制御している道路”GreenWave”に関する調査から、より確実な実現には、インフラ整備だけではなく、利用実態調査や利用者の意識調査に基づく整備計画や制度の策定、教育・普及啓発など、ソフト面の取り組みの同時推進が重要と思われた。一方、環境先進都市として知られる米国オレゴン州ポートランドでは逆に信号周期を短く設定して、車の利用抑制に繋がる対応を取っていた。都市・地域の目標毎に異なる対応が必要であることを確認した。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

- 低燃費車両を対象として、多様なモードにおけるシャシーダイナモ試験を行い、実使用条件下におけるCO₂排出係数を推計した。これにより、満タン時給油量と走行量のユーザー申告に基づく車種別燃費等の実績値が蓄積されて平均値が求められるよりも先に、低燃費車両の実使用時の性能値とその内訳が分かり、消費者の選択や生産者の技術開発の方向付けとなることが期待できる。
- 車載型の走行動態記録計を用いた長期実使用データとシャシーダイナモ試験結果を組み合わせ、実使用時における補機使用を含むCO₂排出係数の個人差および季節変化とその内訳を示した。消費者の選択や生産者の技術開発の方向付けとなることが期待できる。
- 車載型の走行動態記録計を用いたつくば市の乗用車の長期実使用データに基づき、家庭での充電のみを前提とする場合の電気自動車の代替可能性を検討し、利用日の100%を代替可能なのは電池容量が16kWhの電気自動車18台中4台だが、約7%の非日常的な長距離移動日には急速充電やレンタカー、他の交通手段で対応すると仮定すれば17台が代替可能となることを明らかにした。この結果は電気自動車の適用可能性の推計精度の向上に役立ち、低炭素な電気自動車の普及促進に貢献する。
- 地域別の電力契約・冬季における電力機器使用状況に関する調査から、電動車両を充電する時間帯によっては家庭における電力マネジメントの必要性があることを示した。
- 自動車の使用実態を踏まえたトリップチェーンの解析から得られた軽乗用車・乗用車の航続距離の目標値は、今後の自動車代替電動車両開発の1つの指針となることが期待できる。
- 自動車の使用及び家庭での電力使用の実態を踏まえた、現在の自動車需要におけるBEVへの代替可能性の検討は、既往の研究では考慮されてこなかったトリップチェーンの発着時間・停止時間と走行距離の関係、さらには自動車非使用時間帯における家庭での普通充電の可能性を踏まえた点で新規性がある。
- 電動車両の相次ぐ市販化やいわゆる「エコカー補助金」「エコカー減税」の実施により、2010年3月末には保有台数が98万台を数えるなど、電動車両の中でも特にHEV車はいわゆる「エコカー」として消費者の強い支持を得た。本研究でコンジョイント分析によって得られた電動車両に対する消費者の選好結果から、HEV車だけでなく、CO₂排出の面ではより効果が高いものの、現状では価格・航続距離の面で制約が高いBEV・PHEV車も含めた電動車両の大幅普及に向けた課題を抽出した。
- 電池の性能向上・価格低下と消費者の選好を踏まえた、軽乗用車代替電気自動車の普及可能性分析から、BEV購入時に交付される補助金の額が普及率向上・CO₂排出量削減に大きな影響を与える可能性が示唆された。
- これまでは別々に存在した移動手段のデータに関して、個人用から公共交通機関、人力からエンジンや電気モータを含む駆動方式について幅広く網羅した統一的なデータベースを構築した。地域特性に応じて適切な低炭素交通手段の組み合わせを選択するために有益なデータベースとなる。
- 自動車利用の地域特性の分析から、人口密度1,000人/km²未満と10,000人/km²以上の地域では比較的長距離の自動車利用からのCO₂排出量が多いことを明らかにした。上記データベースにおいて、低炭素車両の適用範囲を明らかにすることに活用できる。
- GPSを用いた現地調査を行い、トロリーバスおよび専用軌道/併用軌道LRTの速度データを取得した。サブテーマ1の手法を援用して、実際の走行パターンに基づく性能値を推計することで、上記データベースに軌道系電動車両の性能値を組み込むことが可能となる。

- 自転車利用に関して先進的な取り組みを行っている欧州の政策担当者にヒアリングを行い、確実な利用促進に必要な取り組み等に関する情報を得た。適切な交通手段の導入と確実な推進に向けた政策について、評価研究手法の提案に活用できる。
- 低炭素交通まちづくりに先駆的に取り組んだ米国オレゴン州ポートランドの担当者群にヒアリングを行い、20年～30年先を見越したビジョンの共有と投資、住民の積極的参加がキーとの情報を得た。成功するまちづくりに必要な要素、例えば地域の将来に対する意見を検討し合う場の確保、地域の主体の積極的参加を進める方策等の提案に利用できる。

(2) 環境政策への貢献

- 車種別の実使用時に近いCO₂排出係数の公表に向け、関係各機関（環境省、国土交通省、経済産業省）との調整・議論を行っている。
- 電動車両の普及に向けて、経済産業省が平成21年度電気自動車普及環境整備実証事業で急速充電器の整備とそのビジネスモデル化に関して実証試験を行っている。これらハード面での開発状況に本研究で実施している需要面での評価を組み合わせることにより、より早期に電動車両の大幅普及による温室効果ガス削減が図れることが期待できる。
- 国土交通省の第2回交通基本法検討会におけるヒアリングにおいて、本研究成果である環境からみた交通まちづくりの方向性を提示し、交通基本法の検討に貢献した。
- 環境省の地球温暖化対策地方公共団体実行計画（区域施策編）策定研修会において、本研究成果である市区町村別の自動車CO₂排出量マップおよびデータベースを提供し、区域施策策定における活用方法について指導を行った。
- 環境省の中期目標検討会地域づくりWGにおいて、本研究成果である環境からみた交通まちづくりの方向性を提示し、ロードマップ策定に貢献した。

6. 研究者略歴

課題代表者：近藤美則

1964年生まれ、神戸大学工学部卒業、博士（工学）、現在、独立行政法人国立環境研究所 主任研究員

主要参画研究者

(1)：松橋啓介

1971年生まれ、東京大学工学部卒業、博士（工学）、現在、独立行政法人国立環境研究所 主任研究員

(2)：工藤祐揮

1972年生まれ、東京大学工学部卒業、博士（工学）、現在、独立行政法人産業技術総合研究所安全科学研究部門 研究員

(3)：近藤美則（課題代表者に同じ）

7. 成果発表状況

(1)査読付き論文

- 1) 加藤秀樹、小林伸治、近藤美則、松橋啓介（2009）一般道における最高速度抑制のエコドライブ効果に関する評価、第29回交通工学研究発表会論文集、209-212
- 2) 加藤秀樹、松橋啓介、小林伸治、近藤美則（2010）交通量・信号制御の影響を考慮したエコドライブ効果の評価. 土木学会土木計画学研究・論文集、27(5)、917-924
- 3) 加藤秀樹、小林伸治、近藤美則、松橋啓介（2010）長期実走行データに基づいたCO₂排出量に関する寄与要因の推定. 自動車技術会論文集、41(5)、1155-1160
- 4) Kato H., Kondo Y., Matsushashi K., Kobayashi S. (2010) Carbon dioxide emission factors of HEVs depending on travel speed, 25th World Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exhibition, CD-ROM
- 5) Kondo Y., Kato H., Matsushashi K. (2010) Evaluation of electric vehicles based on long-term travel activity data of passenger cars. 25th World Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exhibition, CD-ROM
- 6) Kudoh Y., Motose R. (2010) Analysis of vehicle range for practical plug-in electric

vehicles in Japan”, Proceedings of the Fifth International Conference and Exhibition on Ecological Vehicles and Renewable Energies, CD-ROM

- 7) Kudoh Y., Motose R., Yamanari M., Dowaki K. (2010) Changes of Japanese consumers' preference for electric vehicles, Proceedings of the 25th International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exhibition, CD-ROM

(2) 査読付論文に準ずる成果発表

- 1) 松橋啓介 (2009) 地球環境時代の交通システムのビジョンと実現策. 都市計画, 279, 25-28
- 2) 松橋啓介 (2009) 低炭素都市の実現に向けたLRTの役割. IATSS Review, 34 (2), 39-46
- 3) 松橋啓介 (2010) 運輸部門からのCO₂排出量の中長期的削減に向けた対策. 大西隆, 小林光編著, 低炭素都市, 学芸出版社, 82-103
- 4) 松橋啓介 (2010) 第1章 自転車と環境. 都市型コミュニティサイクル研究会編, コミュニティサイクル, 化学工業日報社, 1-21
- 5) 松橋啓介 (2010) 低炭素都市. 3R・低炭素社会検定実行委員会編, 3R・低炭素社会検定公式テキスト-持続可能な社会をめざして-, ミネルヴァ書房, 350-351