

7. 超小型モビリティの導入に向けた国内の動向と交通研の取り組み

交通システム研究領域
環境研究領域

※水嶋 教文 大野 寛之
新国 哲也

1. はじめに

2011年3月の東日本大震災以降、各分野において省エネルギーに対する社会的要求が高まり、今後も継続して取り組むことが求められている。運輸部門においては、自家用乗用車から公共交通機関へのモーダルシフトを加速させることが省エネルギー対策として効果的であることはいうまでもない。しかしながら、公共交通機関が発達していない地方においては自家用乗用車が主たる移動手段であるため、自動車単体での抜本的な省エネルギー対策も不可欠である。

一方、国内の自家用乗用車については、平日の平均乗車人数は1.3人とされている。このため、通勤や買物等の日常用途に対しては、4~7人乗り程度の乗用車の利用を止め、1~2人乗り程度の超小型の車両を利用することが、省エネルギーの観点からもスマートな移動といえる。

本講演では、日常用途として乗用車を代替可能かつ乗車定員1~2名程度の小型・軽量車両を想定した超小型の車両(以下、「超小型モビリティ」という)に着目し、これらの導入に向けた国内の動向調査と交通安全環境研究所における検討成果について述べる。

2. 超小型モビリティの導入に向けた国内の動向

2.1. 次世代都市用超小型自動車研究検討会(平成8~11年度)とその課題

現在の道路運送車両法において乗車定員2名の自動車を当てはめた場合、軽自動車の保安基準を遵守する必要がある。そこで、平成8年度~平成11年度にかけて、当時の交通安全公害研究所と運輸省自動車交通局(現、国土交通省自動車局)は学識経験者および自動車メーカー代表から構成される「次世代都市用超小型自動車研究検討会」を設立し、超小型自動車の研究開発指針等を示した⁽¹⁾。当時のコンセプトに基づいて市販化された自動車の一例を図1に示す。これらの自動車には前述したとおり軽自動車の保安基準が適用されており、乗用車と同様の衝突安全基準も課せられてい

る。このため、約600~800kg程の車両重量を有し、4人乗り軽自動車と比較しても大きな差異がない。

図2に車両(+試験乗員2名110kg)の重量と燃費の関係を市販車両のデータに基づいて整理した。この結果から、図1に示した車両ほどの重量を有する場合、従来の軽自動車と比較して大幅な燃費の改善は見込めず省エネルギー効果はほとんどないといえる。一方、図2からは自動車の燃費は車両重量に概ね反比例することがわかり、自動車単体での抜本的な省エネルギー対策を実施するためには車両の大幅な軽量化が効果的である。例えば、車両重量を400kg程度に軽減すれば、ガソリン車でさえも40km/L程の燃費性能が得られると予測される。

以上より、省エネルギーを狙いとした超小型モビリティに求められることは、従来の乗用車からの大幅な軽量化である。そのためには、軽自動車未満の新たな車両規格を導入すると共に、その利用形態を考慮して法規を見直すことが求められる。



日産自動車(株)製 ハイパーミニ (車両重量: 840 kg)

スズキ(株)製 ツイン (車両重量: 570~720 kg)

図1 過去に市販化された2人乗り超小型自動車の例

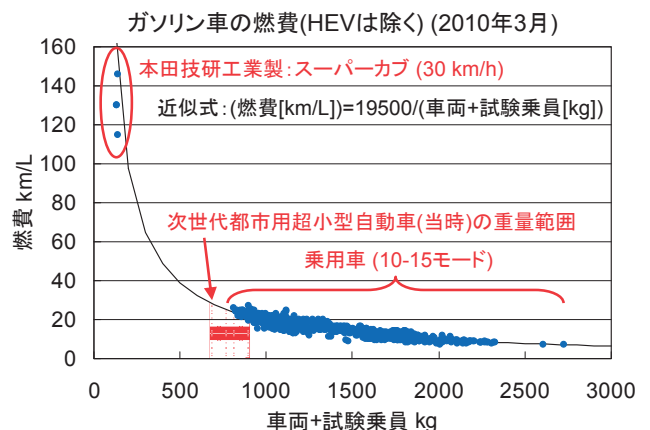


図2 市販車データに基づいた車両重量と燃費の関係

2. 2. 平成21年度以降の国土交通省の動向

軽自動車未満の新たな車両規格導入の必要性については、アンケート調査や実証実験を通じて詳細に把握する必要がある。同時に、超小型モビリティに相当する新たな車両規格を導入した際の課題についても検討を実施しなければならない。このような背景の中、国土交通省都市・地域整備局(現、都市局)および自動車交通局(現、自動車局)では、平成21年度に「電気自動車等の導入による低炭素型都市内交通空間検討調査」を実施し、超小型モビリティの普及可能性、CO₂削減効果、走行空間等を検討している⁽²⁾。なお、本調査事業においては、超小型モビリティのみならず電動バスやこれら環境対応車向けの充電施設の配置に関する検討も実施している。

本検討のうち超小型モビリティに関わる結果の一例として、超小型モビリティの普及が見込まれる交通領域を図3に、全国都市交通特性調査のデータから試算した超小型モビリティの利用率を図4に示す。例えば、1人で乗用車を利用してトリップ長10km以下を移動するケース、および65歳以上の高齢者が徒歩で

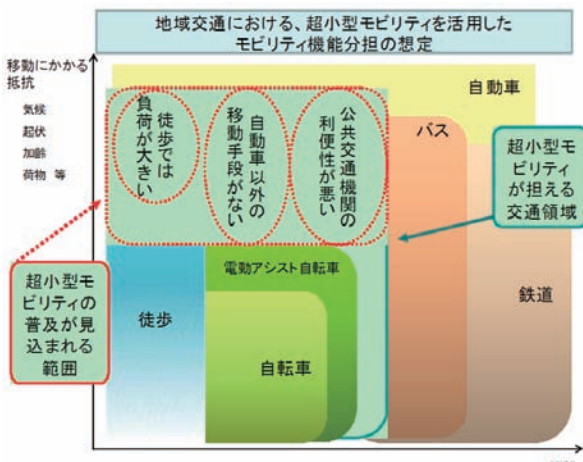


図3 超小型モビリティの普及が見込まれる交通領域 (出典：国土交通省)

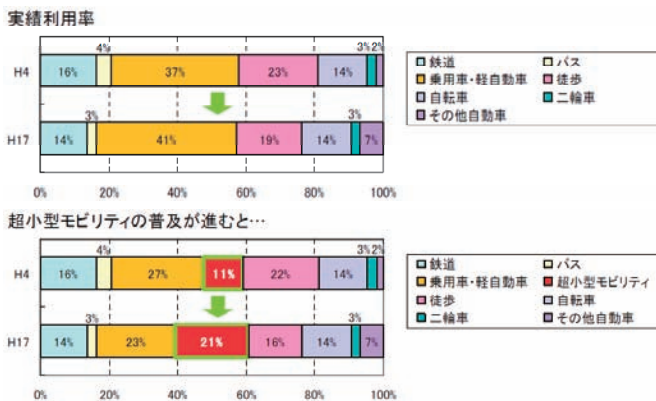


図4 交通手段別利用率の変化 (出典：国土交通省)

移動するケースを超小型モビリティでの移動に転換した場合、超小型モビリティの利用率は平成17年度のデータからは最大で21%になるという試算結果が得られている。また、平成4年度データによる試算結果と比較すると、超小型モビリティの利用率は乗用車の利用率が高い平成17年度の方がより高い値であるという結果が示されている。

同局は平成21年度の調査で得られた結果を受け、平成22年度に「超小型モビリティの利活用に関する実証実験等による調査業務」を実施し、超小型モビリティの利活用場面、車両要件の把握、および走行・駐車空間の検討を行った。図5に実証実験の実施地域と実施形態を示す。これらの地域の内、桐生市、福岡市、宗像市については主に1人乗り超小型電気自動車(ミニカー※)を、京都府については2人乗り小型電気自動車(軽自動車)を利用し、レンタル、カーシェアリング、体験走行会等により利活用場面を検証している。また、千代田区についてはオフィス街の小口配送を対象に、ミニカーおよび軽自動車タイプの電気自動車を用いた実証実験を行っている。一方、豊田市についてはパーソナルモビリティ(立ち乗りタイプ)の体験走行会を実施している。

これら実証実験の結果から、超小型モビリティの利活用場面としては個人ユーザの買物や地域活動などの移動手段、および新聞配送、宅配便等の小口配送と



図5 実証実験の実施地域および実施形態 (出典：国土交通省)

※原動機付自転車(3輪以上)：排気量50cc以下、または定格出力0.6kW以下、乗車定員1名、最高速度60km/h

しての用途などが想定され、2名程度の乗車定員、十分な原動機出力および積載量の確保といった車両要件が併せて確認された。平成23年度以降の課題としては、シミュレーション等による走りやすい走行空間の検討、およびより実際の利用に即した実証実験による導入モデルの検証等があげられる。同局は平成23年度にこれらを検討するため「超小型モビリティ等電気自動車による地域交通システムのあり方調査検討業務」を実施している。

2. 3. 地方自治体（道府県）の動向

超小型モビリティの導入には、省エネルギー対策という狙いの他に、高齢者の移動手段の確保や地域活性化といった狙いもある。このため、地方自治体では、このような車両の導入に意欲的に取り組んでいる。具体的には、福岡県知事を会長とする「高齢者にやさしい自動車開発知事連合」（35道府県知事）のもとに設立された「高齢者にやさしい自動車開発委員会」において、平成21年度から高齢者にやさしい自動車のコンセプトを検討し、国に対して新たな車両規格の創設を要請すると共に、自動車メーカーに開発を促すという活動がなされている⁽³⁾。

表1に本委員会が平成22年度時点でまとめた高齢者にやさしい自動車の仕様コンセプトを示す。本車両コンセプトは運転支援機能として、①アクセルとブレーキの踏み間違い事故を防止する機能、②出会い頭事

表1 高齢者にやさしい自動車の仕様コンセプト
(出典：高齢者にやさしい自動車開発委員会)

サイズ	○長さ 2.3 ～ 2.8 m ・運転スペースのほか荷物スペースにも配慮 ○幅 1.3 ～ 1.4 m ・横に2人が座れるスペースを確保 ○高さ 1.5 ～ 1.6 m ・高齢者があまり腰を曲げないで乗り降りができる高さ
定員	2名
最高速度	60 km/h 以下 ・生活道路および一般道路は走行可。 ・高速道路は走行不可
航続距離	60 km 程度 ・エネルギー使用の多いヒータ使用時でも航続距離30 km 程度を確保
車両重量	700 kg 以下
燃料の種類	電気(バッテリー) ・家庭用電源でも充電可
最高出力	10 kW ～ 20 kW ・混合交通下でスムーズな運転ができる加速性能を確保 ・山間部における十分な登坂性能を確保

故を防止する機能、③右折時の事故を防止する機能、④追突事故を防止する機能、⑤知覚機能を補助する機能、⑥体力・筋骨格系機能を補助する機能、⑦情報処理機能を補助する機能を盛り込んでいる。また、主な特徴は、乗車定員2名かつ最高速度60 km以下(高速道路は走行不可)という点であり、狭い道路でも小回りの利く操作性のよい車両を念頭に置いている。参考として、本委員会がコンテストで応募し、最優秀作品に選定した車体デザインを図6に紹介する。なお、本車両コンセプトは、各道府県の約1万人の高齢者を対象に実施した大規模なアンケート調査の結果および高齢者の運転特性に基づいてまとめられている。

アンケート調査の結果では、購入する際の希望価格帯も示されており、約50%の回答者が100万円以下(軽自動車以下)の価格帯を望んでいることが明らかとなった。上記で示した機能には技術・コスト的に現時点では困難なものも含まれるが、本車両コンセプトは、実際の高齢者が求める理想の自動車として具現化された一つの大きな成果であり、国や自動車メーカーへの提言といった今後の活動が注目される。

なお、平成23年度においては2人乗り小型車に対する実証実験を、前述の国土交通省のプロジェクトとして福岡県内で実施する予定である。

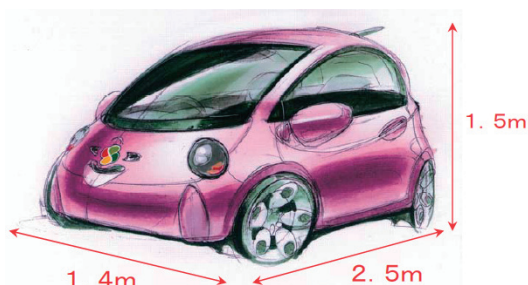


図6 高齢者にやさしい自動車デザイン最優秀作品
(出典：高齢者にやさしい自動車開発委員会、
デザイン：花岡大輔氏)

2. 4. その他、大学等の動向

慶応義塾大学のグループでは文部科学省からの委託を受け、コミュニティ科学、モビリティ科学、人間調和科学を融合することで、図7に示すような子供から高齢者までの全ての人が自由かつ安全に移動でき、交流が容易で暮らしやすい創造的・文化的な社会(コ・モビリティ社会)を創成することを狙いとした研究を実施している⁽⁴⁾。同大学は、平成19年度にコ・モビリティ研究センターを設立し、複数の企業および自治体との共同研究を実施し、社会実証実験も行っている。

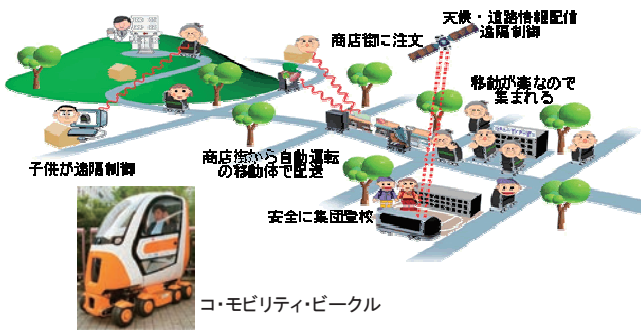


図7 慶応義塾大学が提案するコ・モビリティ社会
(出典：慶應義塾大学コ・モビリティ研究センター)

香川大学のグループでは、国際交通安全学会の研究プロジェクトとして平成20年度から「超高齢化都市に要求される移動の質とスローモビリティに関する研究」を実施し、道路交通インフラの観点から実証実験を行っている⁽⁵⁾。具体的には、高松市の中心市街地に設置された自転車走行指導帯を利用し、スローモビリティ(一人乗り超小型電気自動車)の走りやすさ、安全性、他のモビリティとの共存性を確認している。この結果、図8に示す道路ダイエツト(自動車の一方通行化によるスローモビリティ用走行指導帯の設置)と組合せると、安全性を確保した上での他のモビリティとの共存が可能であることが示されている。

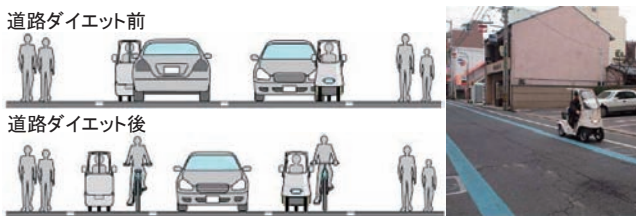


図8 道路ダイエツト前後の他のモビリティとの共存
(出典：香川大学土井研究室)

以上、超小型モビリティに関連する代表的な実証研究例を紹介したが、この他にも超小型電気自動車に係る研究は多くの大学等で実施されている。今後、行政は大学等が実施しているこれらの研究の成果を踏まえ、施策に反映させる必要がある。

3. 交通安全環境研究所における検討成果

3. 1. 検討の背景

前述のように、交通安全環境研究所は国が設置する委員会への参加等を通じて超小型モビリティ像を明確化する取り組みを行うとともに、将来の普及を見据え、試験法などの法整備に必要となる技術的な検討を開始している。以下にその概要を説明する。求められる超小型モビリティの姿をまとめると最大で乗車定

員2名かつ高速道路を利用しない近距離の移動手段ということが浮き彫りとなった。これらを満足するには、①既存の法規で定められている車両区分を見直す、②軽自動車の保安基準を満たした2人乗り車両を導入する、という2通りの方法が考えられる。しかしながら、②に関しては2. 1. 節で述べたとおり車両重量の軽減が困難であり、省エネルギー対策としての意義が薄れてしまう。

そこで、①による超小型モビリティ導入のための基礎検討として、2人乗り超小型モビリティに必要な原動機の出力要件、およびこれらの省エネルギー・環境負荷低減効果を解析した。

3. 2. 解析方法

解析は、以下に示す車両の運動方程式を解くことにより実施した。図9に斜面での力の釣り合いを示す。

自動車の走行に必要な駆動出力 P [W]は

$$P = F \cdot dx/dt = F \cdot V \quad (1)$$

で表される。ここで、

$$F = R_r + R_l + R_s + R_a \quad (\text{駆動力[N]})$$

$$R_r = \mu_r \cdot m \cdot g \cdot \cos \theta \quad (\text{転がり抵抗[N]})$$

$$R_l = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot A \cdot V^2 \quad (\text{空気抵抗[N]})$$

$$R_s = m \cdot g \cdot \sin \theta \quad (\text{登坂抵抗[N]})$$

$$R_a = (m + \Delta m) \cdot \alpha \quad (\text{加速抵抗[N]})$$

V は車速[km/h]、 μ_r は転がり抵抗係数、 m は車両重量[kg]、 g は重力加速度[m/s²]、 θ は勾配[rad]、 ρ は空気の密度[kg/m³]、 C_d は空気抵抗係数、 A は車両前面投影面積[m²]、 Δm は回転部分相当重量[kg]である。

式(1)で得られた駆動出力から次式を解くことで、必要な原動機の出力 P_p [W]を算出した。

$$P_p = P/\eta_d \quad (P > 0) \quad P_p = 0 \quad (P \leq 0) \quad (2)$$

ここで、 η_d は車両の駆動系機械効率である。

さらに、次式により車両の燃量消費率 FC [km/L]あ

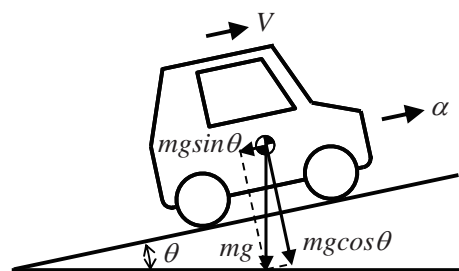


図9 斜面での力の釣り合い

るいは電力量消費率 EC [km/kWh]を算出した。

$$FC = \frac{D}{W_p / (\eta_{th} \cdot d_{ge})} \quad (3)$$

$$EC = \frac{D}{W_p / \eta_m - E_r} \times 3.6 \times 10^5 \quad (4)$$

ここで $W_p = \int_{t=0}^T P_p dt$ (原動機の総仕事量[J])

$$E_r = \eta_r \cdot \int_{t=0}^T P dt \quad (総回生エネルギー[J])$$

D は総走行距離[km]、 η_{th} は平均エンジン熱効率、 d_{ge} はガソリンのエネルギー密度[J/L]、 η_m は平均モータ効率、 η_r は減速時の平均エネルギー回収効率である。

なお、本検討においては $\mu_r = 0.0084$ 、 $C_d = 0.39$ 、 $\eta_{th} = 0.20$ 、 $\eta_m = 0.90$ 、 $\eta_r = 0.45$ と一定で計算を実施した。

解析条件としては、表2に示す3通りの走行を想定して解析を実施した。図10に条件Aにおける走行パターンを示す。条件Aでは高速を除く一般的な走行を、条件Bでは坂道におけるスムーズな発進を、条件Cでは急勾配において立ち往生しない条件を想定した。環境負荷の解析は条件Aのみで実施した。

解析で仮定した車両は、1人乗りおよび2人乗りの超小型モビリティと4人乗り軽自動車である。各車両の重量については、市販されている類似車両を参考に決定した。具体的には、ガソリン車と電気自動車ではパワートレイン系(バッテリーを含む)を除いた重量を車体重量として同一と仮定し、ガソリン車に対してはエンジン等のパワートレイン系重量(車体重量の10%と仮定)を、電気自動車に対してはモータ等のパワートレイン系重量(車体重量の5%と仮定)およびバッテリー重量を車体重量に加算して決定した。

表2 解析に用いた走行条件

条件	A	B	C
モード	JC08 (1033sec 以降の高速走行除外)	加速度 2.7 km/h/s 車速 0-30 km/h	加速度 1.0 km/h/s 車速 0-10 km/h
勾配 %	0	12	30

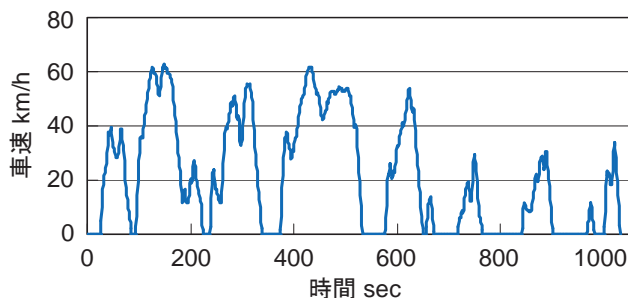


図10 条件Aの走行パターン

3. 3. 原動機出力要件の検討

図11に各種車両で算出した原動機の必要最大出力を示す。なお、1人乗り、2人乗り、4人乗りの各車両に対して4点の解析を実施しているが、これらは航続距離を0、50、100、150 kmと変更することでバッテリー搭載量を変化させたものである。また、乗員重量は1人当たり55 kgを考慮し、2人乗り以上の車両に対しては2名乗車を仮定した。この結果、原動機の最大出力は条件Bの登坂条件を走行できるよう決定することで、他の条件の走行に必要な出力も十分に得られることがわかった。また、2人乗り超小型モビリティの場合、例えば欧州で市販予定の図12に示す車両(車両重量450 kg)を想定すると、最大出力11 kW程度の原動機が必要であるといえる。これは、原動機が内燃機関の場合には、図13に示した市販車両のデータに基づくと排気量200 cc程度のものに相当する。

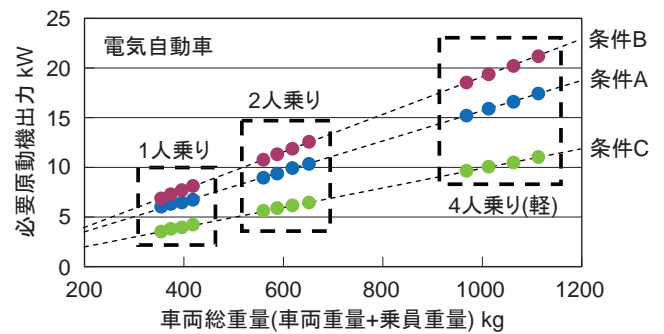


図11 車両総重量に対する必要原動機出力の解析結果



図12 欧州で市販予定の2人乗り超小型モビリティ(ルノー(仏)製: Twizy、車両重量450 kg)

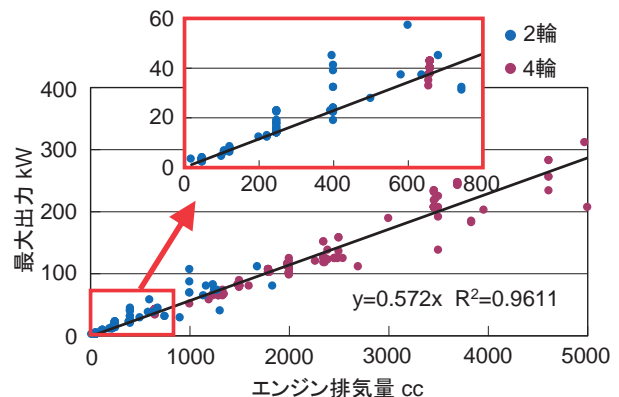


図13 エンジン排気量と最大出力の関係

3. 4. 省エネルギー・環境負荷低減効果の検討

図 14 に各種車両で算出した燃量消費率あるいは電力量消費率と各種車両による CO₂ 排出量を示す。なお、CO₂ 排出係数については、ガソリン 2.32 kg/L、電力 0.332 kg/kWh を使用した⁶⁾ (電気については東京電力(株)管内を想定した。また環境大臣・経済産業大臣により公表された排出係数の調整後排出係数を使用した)。2 人乗り超小型モビリティは、1 人乗りのものと比較すると重量増により燃料消費率あるいは電力量消費率が悪化してしまうものの、4 人乗り軽自動車に対して大幅な軽量化が期待できるため、燃量消費率あるいは電力量消費率の改善が可能であることが示された。また、CO₂ 排出量に関しては、超小型化に加えて電動化することで大幅に低減でき、得られた値を乗車人員で除することで公共交通並みの CO₂ 排出量 (g/人 km) となることがわかった。これは、発電時の電源構成に原子力や水力が含まれることと、電気自動車の場合は減速時のエネルギー回生が可能になることが大きな要因である。ただし、電源構成については今後の動向に注目する必要がある。

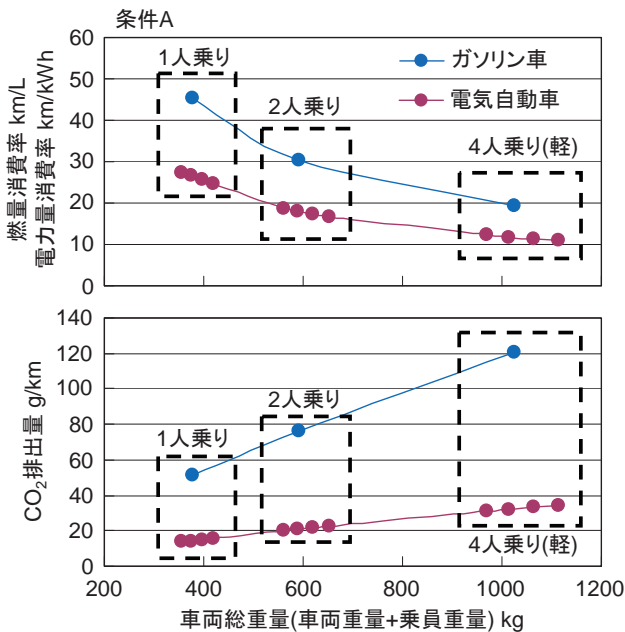


図 14 車両総重量に対する燃量消費率(電力量消費率)および CO₂ 排出量の解析結果

4. おわりに

超小型モビリティの導入に向けた国内の動向を紹介すると共に、交通安全環境研究所の取り組み成果の一部を報告した。利用者が求める超小型モビリティの要件として注目すべきは乗車定員 2 名という点であり、環境負荷の改善を狙いとしてこのような超小型モ

ビリティを導入するためには、ミニカー(50 cc)と軽自動車(660 cc)の間に新たな車両規格を設け、法改正を実施する必要がある。ただし、安全性にも配慮した導入が求められるため、どのような利活用の場面が想定されるかといった検証を行い、走行速度や道路環境等の利用実態に即した安全基準を設けなければならない。また、車両の安全基準のみならず、街づくり、ITS を含む道路インフラ等の今後の動向と併せて検討する必要がある。

一方で、車両単体での省エネルギー・環境負荷低減効果は大きいということが示されたが、超小型モビリティが導入された際に社会全体としてどの程度の省エネルギー・環境負荷改善効果が得られるか、といった定量的な議論は未だなされていない。今後、交通安全環境研究所では、交通流シミュレータを用いて走行速度の変化等による交通流や渋滞への影響を解析し、省エネルギー・環境負荷改善効果を定量的に試算する予定である。また、利便性の評価やコストに関する検討も行う予定である。さらに、これらの技術データを基に、超小型モビリティの導入を加速するための技術的支援を行政に対して実施していく。

参考文献

- (1) 「次世代都市用超小型自動車研究検討会」報告書、運輸省自動車交通局・交通安全公害研究所、平成 12 年 3 月
- (2) 「電気自動車等の導入による低炭素型都市内交通空間検討調査(その 3)」報告書、国土交通省都市・地域整備局 都市計画課、平成 22 年 3 月
- (3) 「高齢者にやさしい自動車開発委員会」報告書、高齢者にやさしい自動車開発委員会、平成 23 年 2 月
- (4) 慶應義塾大学コ・モビリティ研究センター ホームページ、<http://co-mobility.com/>
- (5) 土井、他、超高齢化都市に要求される移動の質とスローモビリティに関する研究、国際交通安全学会 平成 22 年度研究調査報告会資料、平成 23 年 4 月
- (6) 環境省、算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧(平成 22 年 3 月改正後)、<http://www.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/material/itiran.pdf>