

### 3. 超小型車の導入に向けた課題とその解決への提案

環境研究領域  
交通システム研究領域

※水嶋 教文 新国 哲也  
工藤 希 大野 寛之

#### 1. 超小型車の導入に向けた課題

日本国内における乗用車の平均乗車人数は1.3人と少なく、公共交通機関と比較してエネルギー効率が極めて低い。運輸部門における温室効果ガス排出量を削減するためには、ユーザは公共交通機関の積極的な利用に加え、低炭素な移動手段を選択しなければならない。しかしながら公共交通が十分に整備されていない地域において、自家用乗用車は移動手段として不可欠である。特に少子高齢化社会を迎える日本では、高齢者にやさしいモビリティ<sup>(1)</sup>の確保が急務である。

国土交通省は平成24年5月に超小型車の認定制度を導入する計画を発表した。超小型車とは、道路運送車両法で定める軽自動車と第一種原動機付自転車(4輪)(以下、ミニカー)の間に位置付けられ、図1に示す2人乗り程度の小型の車両のことをいう。このような超小型車を導入した場合、誰もが容易に想像できるのが安全性の問題である。図2に、既存の軽自動車とミニカーについて、対乗用車の衝突事故データから人的被害の割合を分析した一例を示す<sup>(2)</sup>。本データより、ミニカーにおいては軽自動車の場合よりも衝突事故時における死亡・重傷の割合が高いことが一目瞭然である。ミニカーについては軽自動車や普通車とは異なり衝突安全基準が設けられておらず、かつ車両が軽量であるためにこのような状況となっていることが推測される。

以上より、超小型車の導入に際しても同様の問題が想定され、安全性の確保については重要な課題としてあげられる。ただし、軽自動車のように安全性を確保するために車両を強固に設計すると、車両重量が増大



図1 超小型車の例 (東京モーターショー2011より)

するため、本来有する超小型車の利点が損なわれてしまう。ここでは、従来の軽自動車とは異なる考え方の安全基準を適用することが求められる。

#### 2. 被害軽減のための最高速度の抑制

衝突時における運動エネルギーを軽減できれば同時に被害も軽減できるため、本検討では、超小型車の安全性確保の手段として最高速度の抑制に着目した。衝突時の速度の低下による人的被害の軽減については図2からも明らかである。一方で、速度の遅い車両が従来の交通環境下を走行することで、交通流を阻害し、他の車両の利便性の低下、渋滞による燃費の悪化、同時に、交通環境全体でのCO<sub>2</sub>排出量の増大等が懸念される。そこで本報では、新たに自動車の燃料消費量、CO<sub>2</sub>排出量等の詳細な計算方法を反映した交通流シミュレーションを用いることで、超小型車に設けられた最高速度制限が、従来の交通環境下における交通流に及ぼす影響を解析した。さらに、これに伴う平均速度、旅行時間、燃料消費量、およびCO<sub>2</sub>排出量への影響を評価することで、超小型車に対する最高速度抑制の可能性について考察した。

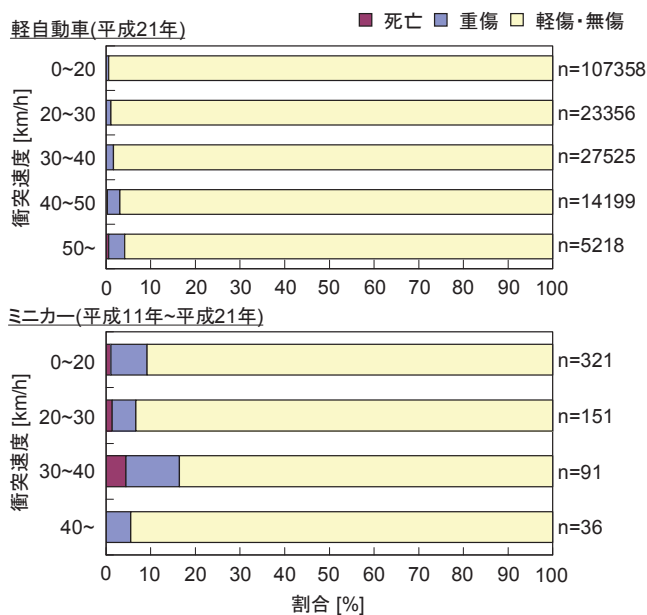


図2 対乗用車の衝突事故における人的被害の割合

### 3. 交通流シミュレーションの方法

本検討においては、旅客輸送の一部を従来の乗用車から超小型車に置き換えた際の交通流への影響を評価する目的から、交通安全環境研究所が開発した都市交通シミュレータ<sup>(3)</sup>を活用し、車両一台一台の挙動を模擬するマイクロシミュレーション(離散モデル)にて取り扱った。以下に、今回新たに導入した燃料消費量、CO<sub>2</sub>排出量等の計算方法、および計算条件を示す。

#### 3. 1. 燃料(電力)消費量・CO<sub>2</sub>排出量の計算方法

燃料消費量は、自動車のタイヤが路面になす仕事率を、原動機効率 および駆動系動力伝達効率で除することで得ることが可能である。

自動車のタイヤが路面になす仕事率 $P$  [kW]は、以下に示す式(1)で説明される。

$$P = \frac{F \cdot dx/dt}{1000} = \frac{F \cdot V}{1000} \quad (1)$$

ここで、 $F$  は走行に必要な駆動力[N]、 $dx$  は距離の変化量[m]、 $dt$  は時間の変化量[s]である。

走行に必要な駆動力 $F$  [N]は、以下に示す運動方程式(2)で表される。

$$F = R_r + R_l + R_s + R_a \quad (2)$$

ただし、 $R_r$  は転がり抵抗[N]、 $R_l$  は空気抵抗[N]、 $R_s$  は登坂抵抗[N]、 $R_a$  は加速抵抗[N]であり、以下の式により算出される。

$$R_r = \mu_r \cdot m \cdot g \cdot \cos \theta \quad (3)$$

$$R_l = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot A \cdot V^2 \quad (4)$$

$$R_s = m \cdot g \cdot \sin \theta \quad (5)$$

$$R_a = (m + \Delta m) \cdot \alpha \quad (6)$$

ここで、 $\mu_r$  は転がり抵抗係数、 $m$  は車両重量[kg]、 $g$  は重力加速度[m/s<sup>2</sup>]、 $\theta$  は道路勾配[rad]、 $\rho$  は空気密度[kg/m<sup>3</sup>]、 $C_d$  は空気抵抗係数、 $A$  は車両前面投影面積[m<sup>2</sup>]、 $\Delta m$  は回転部分相当重量[kg]である。つまり、道路勾配を0 rad (平坦路)と仮定すると、仕事率 $P$  [kW]は速度 $V$  [m/s]と加速度 $\alpha$  [m/s<sup>2</sup>]の関数となる。これに対して式(7)を用いることで、速度 $V$ 、加速度 $\alpha$ に対する瞬時燃料消費率 $fc_{V\alpha}$  [L/s]、あるいは瞬時電力消費量 $ec_{V\alpha}$  [kWh/s]を算出することが可能である。

$$fc_{V\alpha} = \frac{P}{\eta_d \cdot \eta_{th} \cdot d_{fe}} \quad , \quad ec_{V\alpha} = \frac{P}{\eta_d \cdot \eta_{mi} \times 3600} \quad (7)$$

ここで、 $\eta_d$  は駆動系伝達効率、 $\eta_{th}$  はエンジン熱効率、 $d_{fe}$  は燃料エネルギー密度[kJ/L]、 $\eta_{mi}$  はモーターインバータ効率である。

原動機の効率を算出するためには原動機の回転数およびトルクに対する運転領域を選定し、運転領域に応じた効率を与えなければならない。運転領域の選定には、タイヤ径および動力伝達装置のギア比を考慮する必要がある。特に、原動機がエンジンの場合は変速機を用いているため、運転条件に応じたギア位置を選定する必要がある。変速機に無段変速機(CVT)を用いている車両に対してはギア比を自在に選定できるものと仮定し、同一出力条件でエンジン熱効率が最大となるエンジン運転領域とした。有段変速機(MT、AT、AMT)を用いている車両に対しては、各ギア位置における駆動力余裕率(= 最大駆動力/必要駆動力)を算出し、文献<sup>(4)</sup>と同様の方法でギア位置を選定した。図3に、本計算に用いた各種原動機の効率を示す。詳細については、既報<sup>(5)</sup>を参照のこと。

本交通流シミュレーションでは、車種ごとに上述の計算式により算出した速度と加速度に対応する瞬時

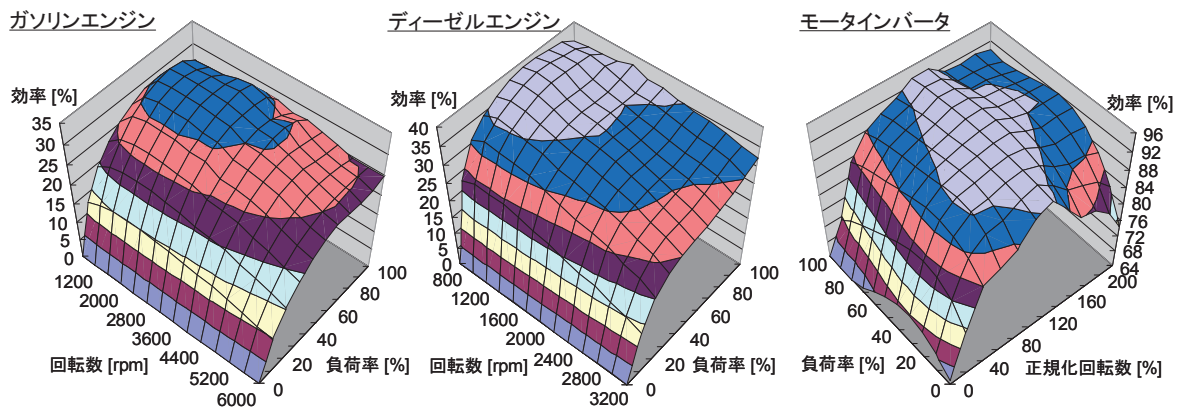


図3 瞬時燃料・電力消費量の算出に使用した各種原動機の効率データ

燃料消費量または瞬時電力消費量のテーブルを参照し、それを時間で積分することで、燃料あるいは電力の消費量を計算する方法とした。

さらに、上記の方法で算出したガソリン、軽油、電力消費量に対して、CO<sub>2</sub> 排出係数を乗ずることでCO<sub>2</sub> 排出量を算出した。本検討においては、環境省が定めるCO<sub>2</sub> 排出係数<sup>(6)</sup>を使用し、以下のように定めた。ただし、電力については平成24年1月に公表された平成22年度の値であり、総合エネルギー統計における外部用発電と自家用発電を合計した排出係数の直近5カ年平均を算出した代替値を使用した。

- ガソリン： 2.322 kg/L
- 軽油： 2.624 kg/L
- 電力： 0.559 kg/kWh (平成22年度代替値)

### 3. 2. シミュレーション条件

超小型車の利活用場面の一つに観光地の周遊が想定されているため、京都市を対象にシミュレーションを実施した。対象地域と道路の制限速度を図4に示す(破線内)。本地域は、南北に走る堀川通(片側2~4車線)と烏丸通(片側2~3車線)、および北部エリアを東西に走る今出川通(片側2車線)を中心とした領域である。

設定した交通量データは、今出川通、堀川通および烏丸通近辺の交通量調査データと、平成17年度交通センサデータに基づいて決定した。いずれのデータとも平日の通勤ラッシュ時を対象としている。

表1には本シミュレーションで設定した車種の仕様を示す。超小型車に対してはガソリンエンジンの場合と電気自動車の場合の両方を想定し、普通車からの転



図4 シミュレーションの対象地域詳細(京都市)

換率を0%、1%、5%、10%、20%、50%とすることで台数を決定した。超小型車の最高速度は20 km/h、30 km/h、40 km/h、50 km/h、60 km/hの5ケースでシミュレーションを実施した。各車両の速度および加速度は、自車の速度、前方車両の速度、前方車両との車間距離に応じて計算する追従モデルを導入しているため、速度の遅い超小型車が前方を走行している場合は、後続車両の速度および加速度にも影響を及ぼすことになる。

図5に、各車両の仕様に基づいて算出した瞬時燃料あるいは電力消費量を示す。

表1 各種車両の仕様

車両区分	超小型車		普通車(乗用車)	大型車(貨物車)	バス
原動機区分	ガソリン	電気	ガソリン	ディーゼル	ディーゼル
全長 [m]	2.500	2.500	4.610	6.510	10.510
全幅 [m]	1.300	1.300	1.695	2.185	2.490
重量 [kg]	470	470	1345	4660	10290
乗員(55 kg) [人]	2	2	2	1	38
エンジン排気量	250		1997	4009	7545
モータ					
最高出力 [kW]		12/57			
最大トルク [kW]					
動力伝達装置	CVT		CVT	MT	MT
ギア比					
1 速				5.979	3.487
2 速				3.434	1.864
3 速				1.862	1.409
4 速				1.297	1.000
5 速				1.000	0.750
6 速				0.759	0.652
最終減速比	—	13.4	—	4.1	6.166
タイヤ直径 [m]	—	0.466	—	0.726	0.9655
転がり抵抗係数	0.01	0.01	0.01	0.00886	0.00655
空気抵抗係数	0.362	0.362	0.362	0.6146	0.4205

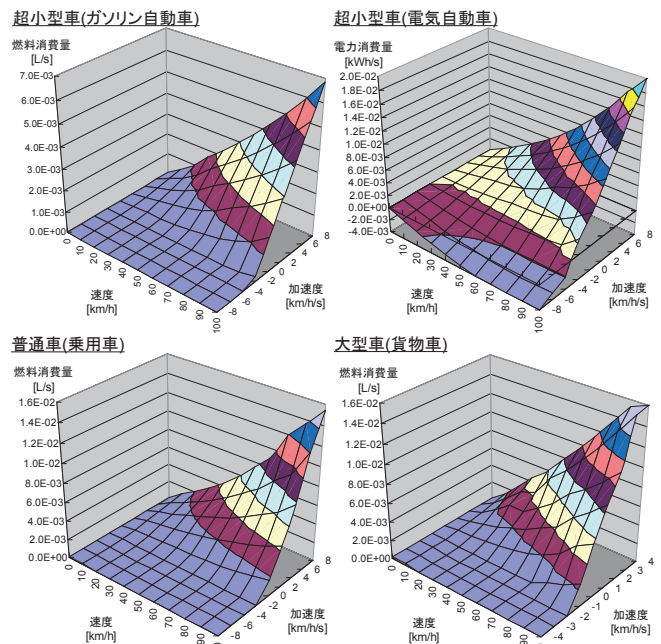


図5 交通流シミュレーションで使用した瞬時燃料消費量および瞬時電力消費量



#### 4. 交通流シミュレーション結果および考察

##### 4. 1. 超小型車の導入が平均速度へ及ぼす影響

最高速度が異なる超小型車を導入率1%、5%、10%、20%、50%の各ケースで導入した際の各車種の平均速度の解析結果を図6に示す。

本対象地域においては、道路の制限速度が最大で50 km/hであるため、超小型車の最高速度が50 km/hの場合と60 km/hの場合ではほぼ同一の結果が得られた。超小型車の平均速度は最高速度が低下するほど低下し、導入率の違いによる影響は最高速度20 km/hの場合を除き、大きくはない。最高速度20 km/hにおいては、導入率の増加とともに平均速度が低下する結果となった。また、超小型車の最高速度が20 km/hおよび30 km/hの場合、最高速度の低下とともに普通車(乗用車)と大型車(貨物車)の平均速度は低下し、超小型車の導入率が高い条件ほどその傾向は顕著に現れた。最高速度が道路の制限速度のみに依存している普通車(乗用車)および大型車(貨物車)においては、周囲の走行車両によって速度が変化する。このため、最高速度が20 km/hおよび30 km/hの超小型車が導入された場合は導入率が高いほど平均速度も低下する結果となった。

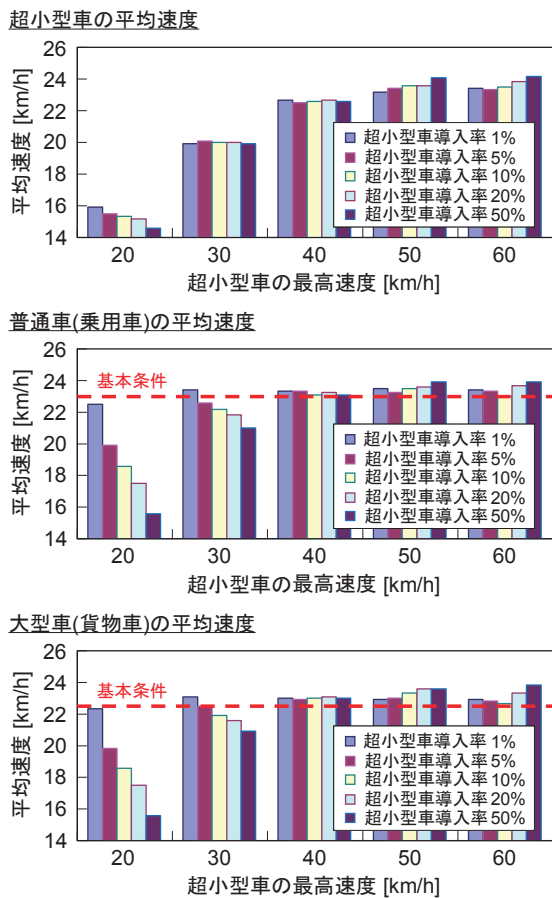


図6 超小型車を導入した際の各車種平均速度の変化

##### 4. 2. 超小型車の導入が平均旅行時間へ及ぼす影響

前節で解析した平均速度を元に、京都駅～金閣寺間 8.8 kmのルートを走行したと仮定した際の平均旅行時間を算出した結果を図7に示す。

超小型車の平均旅行時間については、最高速度20 km/hおよび30 km/hで旅行時間が悪化していることが明らかである。特に最高速度20 km/hにおいては基本条件での平均速度の約1.5倍に増加した。最高速度30 km/hにおいては基本条件での平均速度の1.2倍程度となった。このような速度の遅い超小型車が多く導入されることで、普通車(乗用車)および大型車(貨物車)の交通流も阻害される。超小型車の最高速度が20 km/hおよび30 km/hの場合、導入率の上昇に伴い普通車(乗用車)および大型車(貨物車)においても旅行時間が増大することが確認された。超小型車の最高速度が40 km/h以上の場合、いずれに車種に対しても導入率の増大による旅行時間の悪化は確認されなかった。

##### 4. 3. 燃料消費量および電力消費量の評価

###### (1) 超小型車がガソリン自動車の場合

超小型車の原動機がガソリンエンジンであると仮

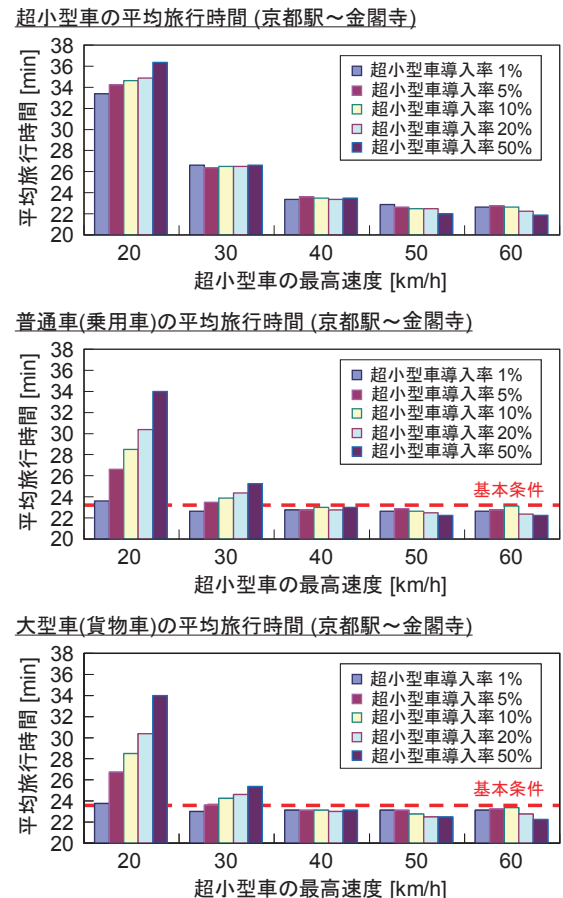


図7 超小型車を導入した際の各車種の京都駅～金閣寺間平均旅行時間の変化

定した場合の各車種の平均燃費の結果を図8に示す。

超小型車については最高速度が低くなるほど燃費性能が向上する結果が得られた。これは、走行速度の低い方が走行に必要なエネルギーを抑制できるためである。また、最高速度20 km/h～40 km/hの場合は導入率の増加によりわずかに燃費性能が改善できている。これは、道路占有面積が減少し(渋滞が短くなり)、よりアイドル運転が減少したためと推測される。

普通車(乗用車)の平均燃費においては、超小型車の最高速度が20 km/hで大幅な悪化に繋がっている。周囲に速度の遅い超小型車が走行している場合、普通車も平均速度が低下する。ガソリン自動車においては、速度の低い条件でエンジンの効率が悪化するため、燃費の悪化を招いてしまう。また、自車の経路上に超小型車が出現、消滅を繰り返すと、無駄な加減速が発生するため、エネルギー消費量が増大する。これらの要因により、最高速度が20 km/hの超小型車が導入された場合には、普通車(乗用車)の燃費が著しく悪化したものと考えられる。一方、超小型車の最高速度が30 km/hおよび40 km/hにおいては燃費の優れた速度で安定して走行することが可能となり、超小型車の導入率

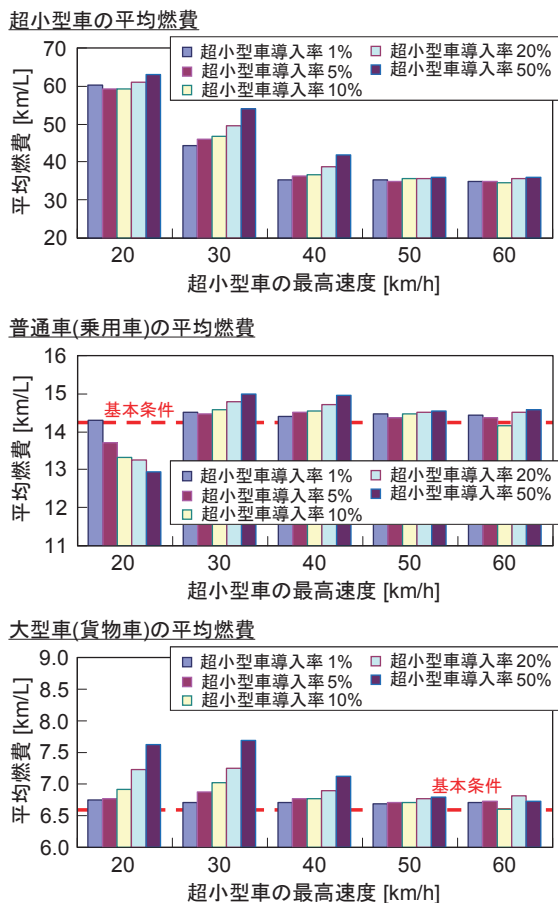


図8 超小型車を導入した際の各車種平均燃費の変化

の増加により燃費が改善したものと考えられる。

大型車(貨物車)においては、最高速度20 km/h～40 km/hの超小型車を導入した場合、導入率の増大とともに平均燃費が改善する結果となった。これらの理由は普通車(乗用車)の場合と同様であると考えられる。ただし、ディーゼル自動車の場合は、エンジンの運転領域が低負荷域の場合でもガソリンエンジンほどの効率の悪化はないため、超小型車の最高速度が20 km/hの場合においても導入率の増大とともに平均燃費が改善する結果となった。

## (2) 超小型車が電気自動車の場合

超小型車が電気自動車の場合の電力消費量(電費)を図9に示す。交通流、平均速度、平均旅行時間および他の車種の平均燃費等への影響は前項と同様のため、ここでは超小型車の電費の解析結果のみを示す。

図8に示したガソリン自動車の場合と同様に、超小型車の最高速度の低下とともに平均電費が向上する結果となった。これは、走行速度が低い条件では走行に必要なエネルギーを抑制できるためである。また、超小型車の導入率の違いによる電費への影響はガソリン自動車の場合と比較して小さい。これは、電気自動車の場合、車両の停止時にモータも停止するため無駄なエネルギー消費がないことと、原動機であるモータの効率は運転領域の違いによる影響がガソリンエンジンと比較して小さいことに起因する。

## 4. 4. CO<sub>2</sub>排出量の評価

図10にガソリン自動車の場合、電気自動車の場合のそれぞれにおける超小型車のCO<sub>2</sub>排出量の解析結果を示す。ただし、電気自動車の場合は実際には走行時にCO<sub>2</sub>排出されないが、消費した電力量に応じてCO<sub>2</sub>を排出したものと見なした。

同図より、電気自動車はガソリン自動車と比較して全体的に低いCO<sub>2</sub>排出量となっていることがわかる。

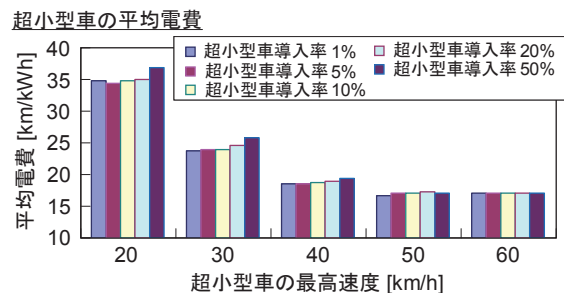


図9 超小型車を導入した際の超小型車の平均電費の変化

これは、個々の車両にエンジンを搭載するよりも、国内の電源構成により得られる電力を使用した方がCO<sub>2</sub>排出量が低減できることを意味している。最高速度の違いに対するCO<sub>2</sub>排出量への影響は、燃費あるいは電費の結果からも明らかであり、最高速度が低くなるにつれてより走行抵抗の少ない条件で走行可能となるためにCO<sub>2</sub>排出量も低減した。

これらの超小型車を導入した際の全車両のCO<sub>2</sub>排出量削減効果を図11に示す。なお、ここでは超小型車を導入していない基本条件におけるCO<sub>2</sub>排出量を100%としている。同図より、超小型車の最高速度がいずれの場合においても、超小型車の導入率の上昇に伴いCO<sub>2</sub>排出量削減効果が得られる結果となった。そ

の効果は、超小型車が電気自動車の場合の方が、ガソリン自動車の場合よりもわずかに大きい。例えば、超小型車導入率20%では、ガソリン自動車の場合、約10%前後、電気自動車の場合、約15%前後のCO<sub>2</sub>排出量削減効果が見込める。これは、前述したとおり電力のCO<sub>2</sub>排出係数が0.559 g/kWhでの結果であり、電源構成に占める原子力発電の割合によって変化する。概算としては、CO<sub>2</sub>排出係数0.8 g/kWh程度でガソリン自動車の場合と同程度のCO<sub>2</sub>削減効果となることが予想される。

### 5. 超小型車の最高速度抑制の可能性

交通流シミュレーションにより、超小型車の最高速度を40 km/h程度とすることで、他の車両の交通流(平均速度、旅行時間)および燃費の悪化を抑制しつつ、CO<sub>2</sub>排出量を抑制可能であることが示された。ただし、本交通流シミュレーションではドライバの個々の運転特性や車両性能の違いを考慮できていない。これらの因子による交通流への影響、例えば、前方車両に対するあおりやそれに伴う無駄な加減速等により、渋滞や燃費悪化を引き起こすことも考えられる。

以上より、本検討結果は定性的な結果として捉える必要があるものの、安全性の確保を狙いとした超小型車の最高速度抑制については、一つの方策として検討に値することを見出した。

### 参考文献

- (1) 「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、2011年2月
- (2) 「超小型自動車の安全性評価に係る調査」報告書、国土交通省自動車局 技術企画課、2011年3月
- (3) 工藤 希、佐藤 安弘、水間毅、“軌道系交通の導入評価のための都市交通シミュレータ”、第44回土木計画学研究発表会・講演集、No.292、2011
- (4) 新・道路運送車両の保安基準(省令・告示全条文)、交文社、別添41
- (5) 水嶋 教文、工藤 希、新国 哲也、大野 寛之、“自動車の燃費計算を反映した交通流シミュレーションによる超小型車の最高速度に関する研究”、第46回土木計画学研究発表会・講演集、2011
- (6) 「平成22年度の電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等の公表について(お知らせ)」、環境省ホームページ、2012年1月、<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14702>

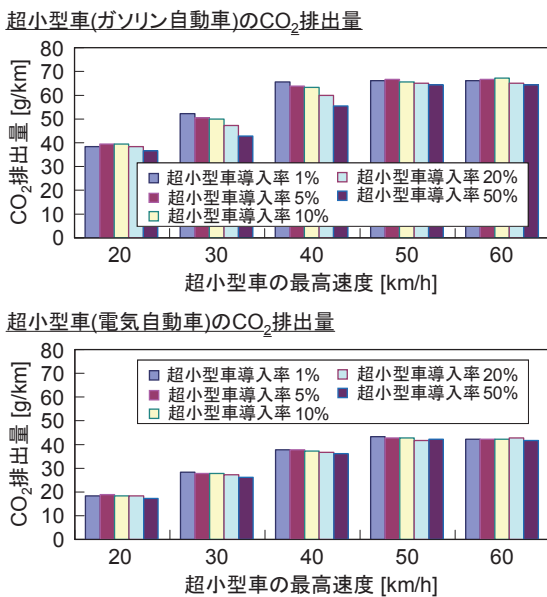


図10 超小型車のCO<sub>2</sub>排出量解析結果

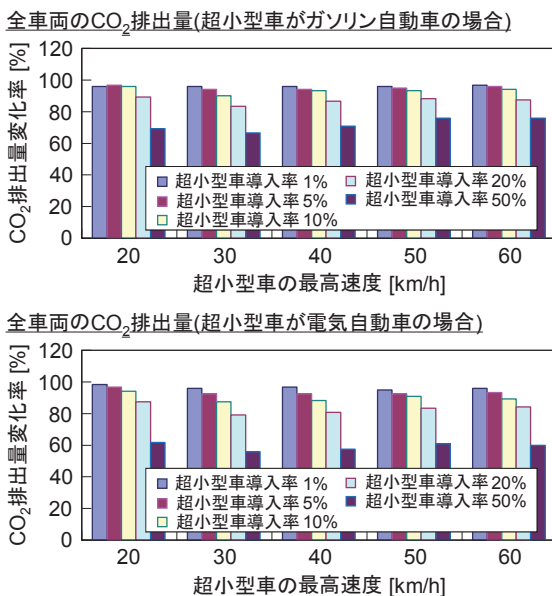


図11 全車両のCO<sub>2</sub>排出量削減効果(基本条件 = 100%)