

交通流改善およびエコドライブでの CO₂ 削減ポテンシャルの推計

Estimation of CO₂ Reduction Potential by Traffic-flow Smoothing and Eco-driving Promotion

今 泉 秀 俊*

Hidetoshi IMAIZUMI

仙 石 浩 嗣**

Koji SENGOKU

要 旨

日本全国のフローティングカーデータの解析により、交通流改善とエコドライブの普及によってどの程度 CO₂ 削減ポテンシャルがあるかのケーススタディを試みた。使用したデータはエコアシストが搭載されているハイブリッド自動車のものであり、これまでの研究では運転回数を重ねると約 10% の燃費向上があると報告されている。まず対象のフローティングカーデータを重回帰分析することで燃費を被説明変数とし、交通流とエコドライブに関する項を説明変数とする多項式を求めた。説明変数は現在の分布とエコドライブが普及し交通流が改善された想定条件の分布を設定した。その想定条件を多項式に反映することにより、現在と想定条件における燃費頻度分布を求め、その差から CO₂ の削減ポテンシャルを算出した。想定条件においては主に交通流改善により 18% の燃費改善ポテンシャルが算出された。一方エコドライブは、エコアシストの約 10% の改善に加え、1% の燃費改善ポテンシャルが算出された。さらに CO₂ 削減ポテンシャルの 3 分の 2 が旅行速度 30 km/h 以下の走行での改善であることがわかった。

ABSTRACT

A case study was conducted by analyzing floating car data from throughout Japan to determine the CO₂ reduction potential due to traffic-flow smoothing and eco-driving promotion. The data used in this study is from hybrid cars equipped with Eco Assist, which has been reported in past studies to enhance fuel economy by approximately 10% as the number of driving times increases. First, multiple regression analysis was performed on the subject floating car data to obtain a polynomial with fuel economy as the explained variable and items related to traffic flow and eco-driving as the explanatory variables. The explanatory variables set the present distribution and the distribution under the assumed conditions of eco-driving promotion and smoothed traffic flow. These assumed conditions were applied to the polynomial to obtain the fuel economy frequency distributions for the present and assumed conditions, and the CO₂ reduction potential was calculated from the difference between the two. The assumed conditions were calculated to have a fuel economy enhancement potential of 18%, mainly due to traffic-flow smoothing. On the other hand, eco-driving was calculated to have fuel economy enhancement potential of 1% over and above the approximately 10% enhancement of Eco Assist. In addition, it was found that 2/3 of the CO₂ reduction potential was enhancement when driving at a travel speed of 30 km/h or less.

1. まえがき

温室効果ガスおよびエネルギー消費削減気運の高まりに応じ、乗用車部門においては各国の燃費規制が強化されている。一方で乗用車単体のカタログ燃費改善だけでなく、燃料の多様化、実走行における燃費を向上させるエコドライブなどの効率的利用や交通流の改善などの統合的な対策の重要性が認知されつつある。

* 四輪 R&D センター

** 本田技研工業株式会社

エコドライブについては、講習会やバーチャルトレーナ、エコアシスト、外付け燃費計などによる効果が個々に評価され、10% から 30% の燃費改善効果の報告がある^{(1), (2)}。また交通流改善については、信号制御の変更や道路整備、高度道路交通システム (ITS)、交通需要マネジメント (TDM) など個々にさまざまな燃費効果などの報告がある⁽³⁾⁻⁽⁵⁾。しかしそれらの効果は交通状況に大きく依存しており、日本全体での交通流と燃費の相関データが

ほとんど取得できなかったことから、日本全体の CO₂ 削減ポテンシャルを定量化したものはなかった。

しかし著者らは携帯電話回線等を利用した車載ナビゲーションシステムから公道での走行データを分析し、エコドライブが普及し交通流が改善した想定条件における CO₂ 削減ポテンシャルの算出をおこなっている⁽⁶⁾。

さらに本稿では CO₂ 削減ポテンシャルの算出にくわえてそのポテンシャルについて分析をおこない、どのような車の使われ方で燃費改善効果が大きいのか、CO₂ 削減効果が大きいかを明確にする。

2. 分析対象データの概要

2.1. 分析対象車両

本研究ではハイブリッド自動車のフローティングカーデータの分析をおこなった。対象ハイブリッド自動車の諸元を Table 1 に示す。本車両にはエコロジカル・ドライブ・アシストシステム (エコアシスト) が搭載されている。

エコアシストとは、Fig. 1 のような ECON スイッチを押すだけで燃費優先の制御をおこなう ECON モード機能、Fig. 2 ようにリアルタイムに燃費により運転ができていくかをメータに表示するコーチング機能、Fig. 3, Fig. 4 のようにドライバのエコ運転度を採点しアドバイスをおこなうティーチング機能のことである。

エコアシストは、5000 台の新車納入直後から半年間の燃費データ分析により、Fig. 5 のように約 10% の燃費向上効果があることが報告⁽¹⁾されている。本研究においてはこのエコアシストによる約 10% の燃費向上に加えさらにエコドライブによりどれだけの CO₂ 削減ポテンシャルがあるかの算出をおこなう。

2.2. フローティングカーデータ

2003 年より始まったフローティングカーデータ (以降、データと呼ぶ) による交通情報システムは、会員が走行した道路のリンク旅行時間をインターナビ情報センタで収集と処理をおこない、会員ごとの要求に応じたリンク旅行時間をカーナビに配信し、道路交通情報通信システム (VICS) 情報を補完すると共に最適なルートを提供

Table 1 Specifications of hybrid cars

Type	1.3L i-VTEC+IMA
Number of engine cylinders and layout	Inline-4
Max. engine output	65 kW
Motor type	Synchronous motor
Max. motor output	10 kW
Transmission	CVT
Vehicle weight	1130 - 1150 kg

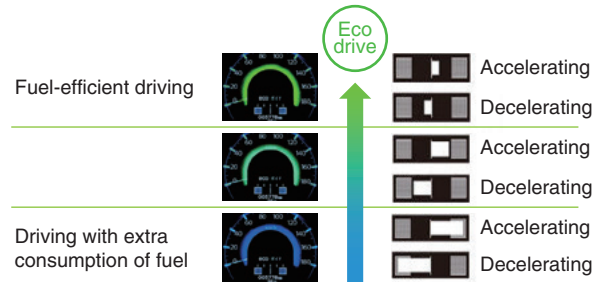


Fig. 2 Real-time fuel-efficient driving guidance at speedometer



Fig. 3 Display scores current driving performance



Fig. 4 Advice for enhancing fuel economy at Internavi system display

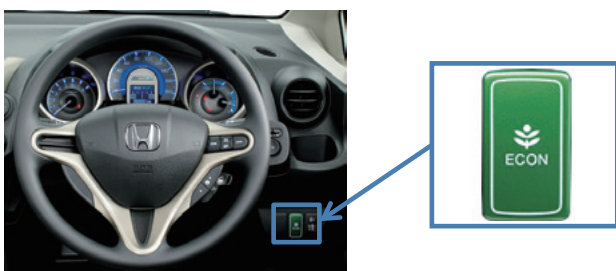


Fig. 1 ECON switch

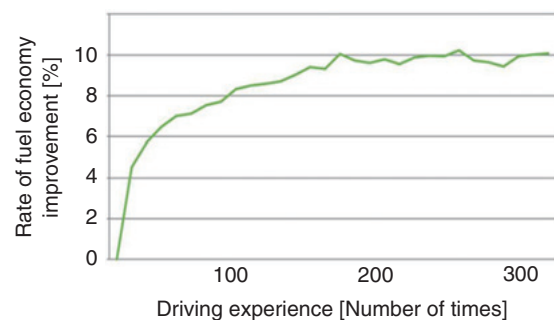


Fig. 5 Effect of fuel economy improvement due to the eco-assist system

するものである (Fig. 6).

さらに一部の車両では、会員から燃料消費量などの情報もセンタに送信され解析し、会員に省燃費ルートなどとして提供している。

会員からアップロードされるデータは、平日で約 200 万 km, 土日で約 290 万 km, その累積距離は 2010 年末で約 18 億 km を超えた。Fig. 7 は 2009 年 8 月 15 日に会員からアップロードされたデータを可視化したもので、日本中からデータを取得できているのがわかる。

本研究では、ハイブリッド自動車の 2010 年 10 月から 2011 年 6 月までに日本全国から収集された総走行距離 7882 万 km のデータについて解析をおこなった。解析をおこなうデータは、走行中に取得されるさまざまな種類のデータを、各車両の一日の平均燃費、一日の平均車速など、一日単位で平均化した数値とした。

2.3. 現状の交通流と燃費の関係

Fig. 8 に取得されたデータの平均旅行速度と燃費および

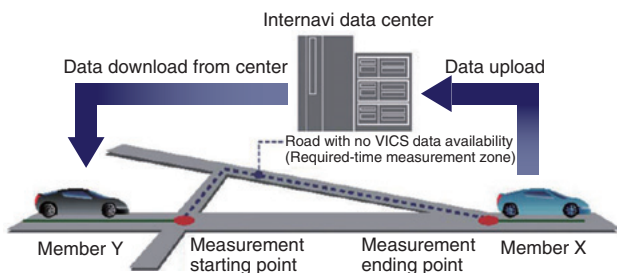


Fig. 6 Chart of floating car data traffic information system

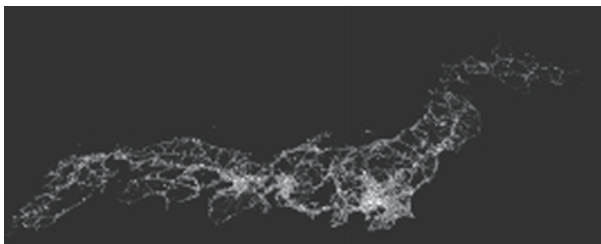


Fig. 7 Visualization of floating car data

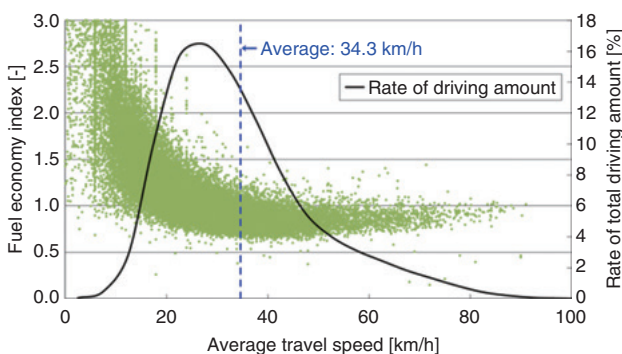


Fig. 8 Average travel speed and fuel economy index

走行量との関係を示す。なお本稿における燃費は、各燃費値 (L/km) を全体の平均燃費 γ (L/km) で除したものを燃費指数 (Fuel economy index) として表している。

データの平均旅行速度は 34.3 km/h であり、国土交通省が 5 年ごとに調査をおこなう平成 22 年度道路交通センサスの昼間 12 時間平均旅行速度 36.4 km/h と同等である。走行頻度は平均旅行速度付近ではなく 20 km/h から 30 km/h が大きいことがわかる。

また燃費指数も広く分布しており、旅行速度が低いほど燃費指数が高く分布の広がりも大きい。

3. CO₂ 削減ポテンシャルの算出方法

3.1. 算出方法の全体像

ここではエコドライブの普及および交通流改善による CO₂ 削減ポテンシャルの算出と、どのような車の使い方や燃費改善効果が大きいのか、CO₂ 削減効果が大きいのかを明確にする方法を示す。

3.1.1. CO₂ 削減ポテンシャルの算出

本研究においては Fig. 9 のように現在と想定条件の燃費分布の差から平均燃費向上ポテンシャルすなわち CO₂ 削減ポテンシャルの算出をおこなう。

現在と想定条件の燃費分布は以下の手法で作成する (Fig. 10)。

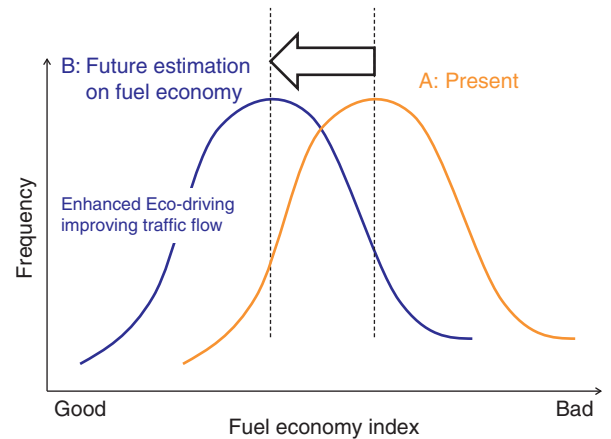


Fig. 9 How to estimate CO₂ reduction potential

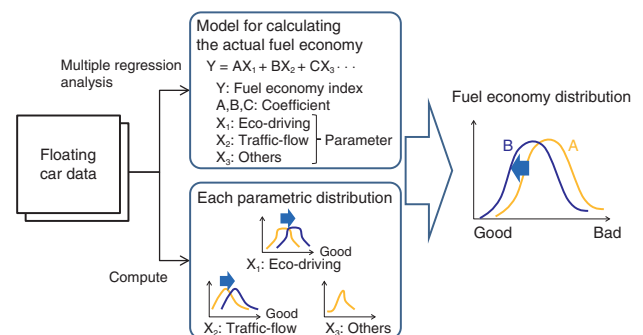


Fig. 10 How to estimate fuel economy distribution

Table 2 In-use fuel economy factors

Factors	Explanatory variable
Efficiency of engine and transmission	Average travel speed
Wasted heat from braking	Acceleration energy equivalent
Driver behavior	Eco-driving rating result
Warm up	Distance Outdoor temperature
Air conditioner	Outdoor temperature
Electricity load	Not adopted
Air pressure in a tire	Not adopted
Road surface, grade	Not adopted
Maintenance defects	Not adopted

- (1) エコドライブや交通流に関する説明変数を含めた実燃費算出モデルをデータの重回帰分析により作成する。
- (2) データからエコドライブや交通流に関する説明変数の分布を求める。
- (3) 各説明変数の分布をモデルに反映し、現在の燃費の分布を算出する。
- (4) エコドライブが普及し交通流が改善した想定条件の各説明変数の分布を設定する。
- (5) 各説明変数の分布をモデルに反映し、想定条件の燃費分布を算出する。

3.1.2. 燃費向上および CO₂ 削減分布の算出方法

どのような車の使われ方で燃費向上率および CO₂ 削減効果が大きいのかの明確化については、エコドライブと交通流に関する各説明変数と燃費向上率および CO₂ 削減量の関係をグラフ化して分析をおこなう。

3.2. 実燃費算出モデルの作成

取得されたデータの中から無作為抽出したデータを分析し燃費指数 Y を説明する重回帰モデルを作成する。

説明変数は Table 2 で示すような試験モード以外の燃費低下要因をもとに、平均旅行速度の逆数 τ [s/m]、単位距離当たり加速エネルギー当量 A [m/s²]、エコ運転度採点結果 P [pt: 評点]、旅行距離の逆数 d [1/m]、出発地の一日の平均気温 T [°C] を採用した。加速エネルギー当量とは、大口⁽⁷⁾らの研究による増速時の到達速度の 2 乗値から増速時の初速の 2 乗値を引いたものの総和をとったものであり、エコ運転度採点結果とは、本ハイブリッド自動車に搭載されているエコアシストで算出されたドライバのエコドライブ指標での運転評価結果である (Fig. 11)。なお採用した説明変数の他に電気負荷やタイヤ空気圧などの実燃費低下要因もあるが、データ取得都合により不採用とした。

3.3. 実燃費モデル

重回帰分析により得られたモデルは式 (1) となった (重相関係数 $R=0.88$, データ数 $n=914$)。

$$Y = 0.62 + 10.3\tau + 0.97A - 1.6 \times 10^{-3}P - 7.6 \times 10^{-3}T + 212d \quad (1)$$

データ取得都合で不採用とした説明変数があったが、非常に高い相関係数を得ることができた。

得られたモデルにおいて、交通流とエコドライブに関する各説明変数と燃費指数の関係を Fig. 12 から Fig. 14 に示す。但し、本グラフでは他の説明変数は全て平均値を代入した。

平均旅行速度が上がると燃費指数が低くなっているのがわかる (Fig. 12)。

また単位距離当たり加速エネルギー当量が低くなると燃費指数も低くなることわかる (Fig. 13)。さらに平均旅



Fig. 11 Vehicle onboard display for eco-driving rating results

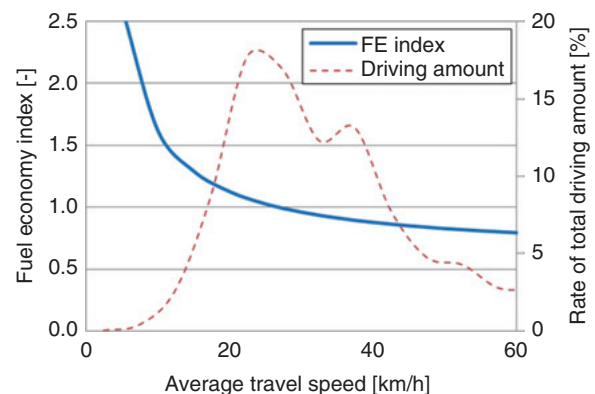


Fig. 12 Relation between average travel speed and fuel economy index for model

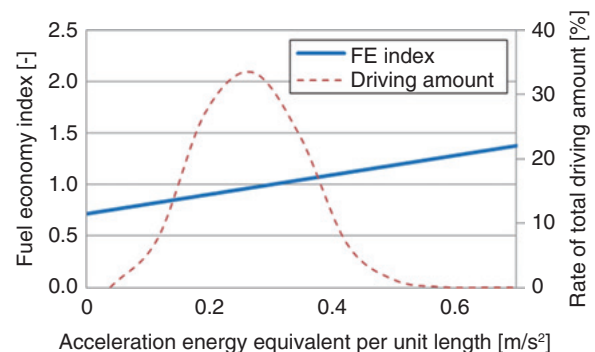


Fig. 13 Relation between acceleration energy equivalent per unit length and fuel economy index for model

行速度および単位距離当たり加速エネルギー当量については、それぞれに対する燃費が広く分布しており、それらを改善することで燃費が向上する可能性があることがわかる。

一方エコ運転度採点結果は、得点の高い所に分布が集中している (Fig. 14)。これは本ハイブリッド自動車にエコアシストが搭載されており、本データのドライバーは高いエコドライブスキルを身につけているからと推測される。

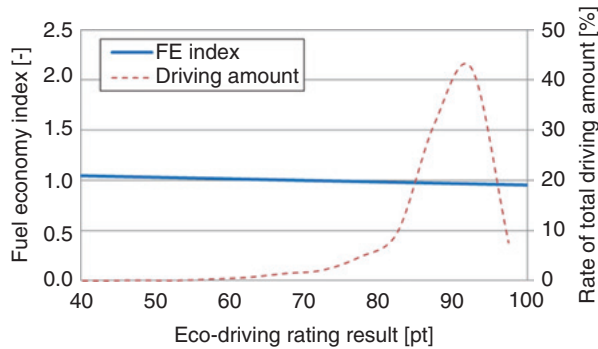


Fig. 14 Relation between eco-driving rating result and fuel economy index for model

4. CO₂ 削減ポテンシャルの推定

ここでは交通流改善とエコドライブの推進が図られたと想定した条件ではどの程度のCO₂が削減されるポテンシャルがあるかケーススタディをおこなう。

4.1. 想定条件

算出の際に分布変更をおこなう交通流とエコドライブに関連する説明変数は、平均旅行速度の逆数 τ と単位距離当たり加速エネルギー当量 A およびエコ運転採点結果 P とする。

なお単位距離当たり加速エネルギー当量およびエコ運転度採点結果の頻度は旅行速度域により偏りがあるため (Fig. 15, Fig. 16)、旅行速度域別に頻度変更をおこなう。

単位距離当たり加速エネルギー当量とエコ運転採点結果についてのここでの想定は、各旅行速度域別に前者は現在の最高値が中央値になるような頻度変更を、後者は現在の最低値が中央値になるような頻度変更を想定した (Fig. 17)。

これらはドライバーが信号情報に合わせて無駄な加減速を減らすグリーンウェーブ走行支援システムなどでの実現が期待される。

一方平均旅行速度については、Table 3のような高度信号制御⁽³⁾やバイパス整備⁽⁴⁾などの道路整備の過去の事例を参考にした。それぞれの施策の相乗効果なども想定できるが、ここでは60 km/hを上限として一律10 km/h向上させることとした。

Table 3 Travel-speed smoothing

Type	Effect
Profile signal control	10 km/h
Bypass road construction	6 km/h

4.2. 燃費推定結果とCO₂削減ポテンシャル

4.2.1. 交通流の改善

Fig. 18に3.1.1.項の方法で算出した単位距離当たり加速エネルギー当量と旅行速度の向上による燃費分布の変化を示す。単位距離当たり加速エネルギー当量の向上により平均8%、さらに旅行速度の向上とで平均18%の燃費向上効果およびCO₂削減ポテンシャルがあることが算出できた。

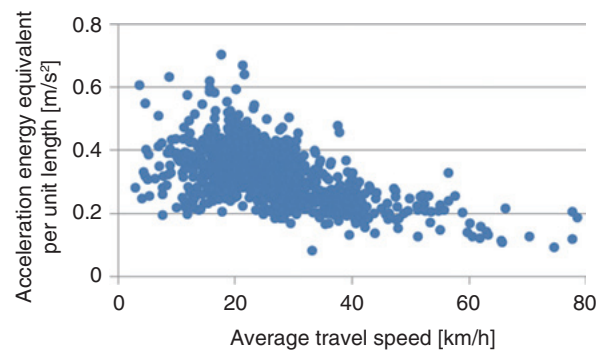


Fig. 15 Relation between average travel speed and acceleration energy equivalent

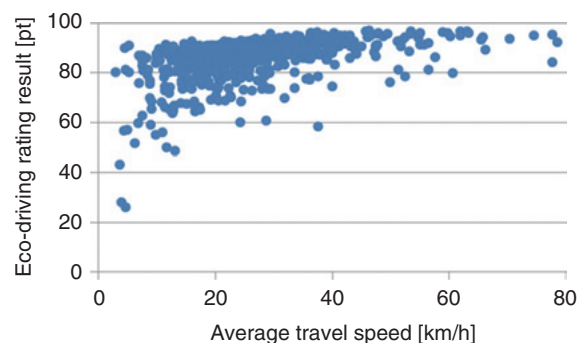


Fig. 16 Relation between average travel speed and eco-driving rating result

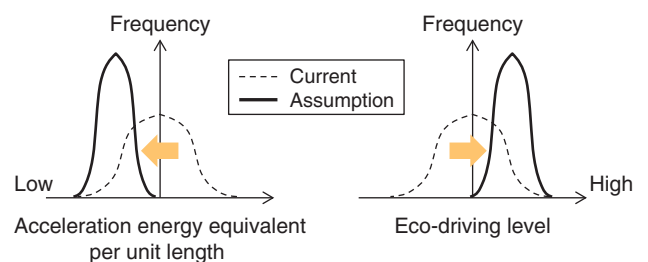


Fig. 17 Assumption for fuel economy improvement

4.2.2. エコドライブ

同じく 3.1.1. 項の方法でエコ運転度採点結果の向上による燃費変化の算出をおこなった。本ハイブリッド自動車はエコアシストが搭載されており、今井ら⁽¹⁾の約 10% の向上に加えてさらに 1% の燃費改善効果があることがわかった。

4.3. 燃費向上および CO₂ 削減分布

想定条件における燃費向上と CO₂ 削減ポテンシャル分布を分析した。4.2.2. 項の結果から、本ポテンシャル算出でのエコドライブによる効果は小さいので、交通流改善すなわち単位距離当たり加速エネルギー当量および旅行速度向上での分布を分析する。

Fig. 19 は単位距離当たり加速エネルギー当量と旅行速度向上による燃費向上率の分布であるが、平均旅行速度が低く単位距離当たり加速エネルギー当量が高かったデータの燃費向上幅が大きい。特に 30 km/h 以下のデータで 4.2.1. 項で算出した平均の燃費向上率の 18% 以上の効果が確認できる。

一方、走行量を加味した交通流改善による CO₂ 削減ポテンシャル 18% の旅行速度別の内訳を Fig. 20 に示す。旅行速度 30 km/h 以下は燃費向上幅が大きいことに加え走行距離の多くを占めることから (Fig. 8), CO₂ 削減ポテンシャルの 3 分の 2 を占めている。

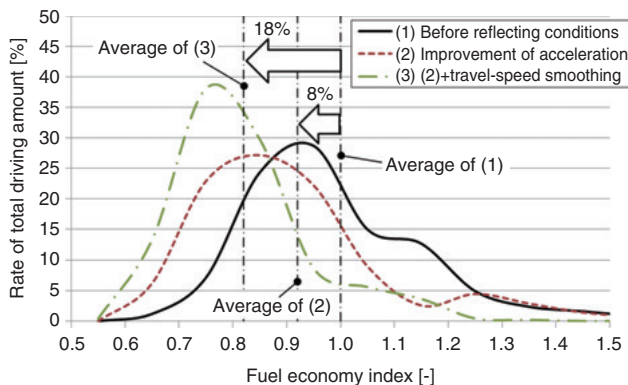


Fig. 18 Potential for fuel economy improvement

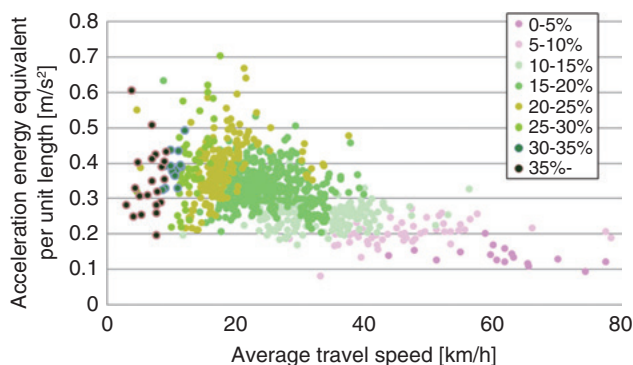


Fig. 19 Distribution of fuel economy improvement

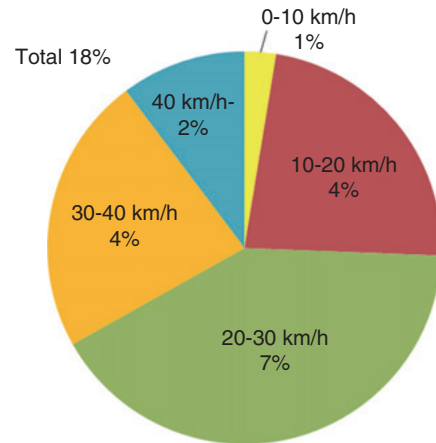


Fig. 20 Distribution of CO₂ reduction potential

5. まとめ

本研究では、フローティングカーデータから燃費指数を表す多項式を求め、想定条件における交通流の改善とエコドライブの推進による CO₂ 排出量削減のポテンシャル算出を試みた。

この結果、主に交通流の改善による CO₂ 削減ポテンシャルが 18% あると推計された。エコドライブについては、既往研究ではエコアシストの効果は 10% あるとされているが、さらに 1% の CO₂ 削減ポテンシャルが算出された。

また燃費改善率および CO₂ 削減ポテンシャルが高いのは旅行速度が 30 km/h 以下のときであることがわかった。

以上より、想定条件における交通流改善とエコドライブでの CO₂ 削減ポテンシャルが推計され期待効果大きいことが確認されたことで、車両単体での対策に加え統合的対策の重要性と都心部などの旅行速度の低い地域の対策が重要であることが示された。

なお交通流の改善およびエコドライブは、CO₂ 削減だけでなく旅行時間の短縮や燃料費の削減などにも有効であるため、今後も今回の想定条件の具現化方法を検討していくと共に、今後の社会全体での取組みに期待したい。

参考文献

- (1) 今井武, 益田卓朗, 石藤雄一郎, 仙石浩嗣: 低炭素社会実現に向けて、テレマティクスができること—先進のテレマティクスサービスによる環境への取り組み—, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.48-10, p.11-14(2009)
- (2) 交通エコロジー・モビリティ財団: エコドライブの普及報告書, p.46(2007)
- (3) Miyagi, H.: The Experiment on Intelligent Signal Control by Profile Signal Control, ITS World Congress (2009)

- (4) 国土交通省道路局 地球温暖化防止のための道路政策会議:地球温暖化防止のための道路政策会議報告, p.22(2005)
- (5) エネルギーITS 研究会, エネルギーITS の普及に向けて, p.24(2008)
- (6) 今泉秀俊, 仙石浩嗣:フローティングカーデータの解析による交通流改善及びエコドライブでの CO₂ 削減ポテンシャルの検討, 第 28 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス (2012)
- (7) 大口敬, 片倉正彦, 谷口正明:都市部道路交通における自動車の二酸化炭素排出量推定モデル, 土木学会論文集, 695 巻, 54 号, p.125-136(2002)

■ 著 者 ■



今泉秀俊



仙石浩嗣