

## 8. 自動車分野の CO<sub>2</sub> 排出量評価プログラムの開発

— 走行パターン及びエンジンマップ推定アルゴリズムの構築 —

環境研究領域                      ※坂本 一朗      後藤 雄一      佐藤 進  
みずほ情報総研株式会社      相馬 明郎      小林 元

### 1. はじめに

省エネルギー法の改正（平成 18 年 4 月施行）により、特定荷主および特定運送事業者に省エネ計画の提出、エネルギー使用状況等の定期報告が義務付けられることとなった。現在、トラックの CO<sub>2</sub> 排出量評価手法は改良トンキロ法が推奨されているが、精度が十分ではなく、また、エコドライブなどの省エネ効果が反映できない等の課題がある。高い精度でエコドライブ等の省エネ効果を評価するためには走行速度、積載量、車種等のデータを処理して CO<sub>2</sub> 排出量を算出する必要があるが、中小事業者が 99% を占める運送事業者では、その対応が困難な状況である。

そこで国土交通省は、運送事業者等が効果的な省エネ計画を策定できるようにするため、自動車分野の CO<sub>2</sub> 排出量評価プログラムの構築事業を平成 18 年度から 20 年度までの 3 カ年計画で実施し、当研究所においてプログラムの開発を行った。

これまでに、プログラムの概念設計<sup>①</sup>を行い、これ基にプロトタイププログラムを開発し、アルゴリズムを検証した<sup>②</sup>。本報では、運送事業者が CO<sub>2</sub> 排出量を予測評価できる完成プログラムの概要について紹介するとともに、代表的な走行パターンや車種別のエンジンマップを推定するアルゴリズム、及び本プログラムの計算例について簡単に述べる。

### 2. CO<sub>2</sub> 排出量評価プログラムの全体像

改良トンキロ法は走行中の車両の状態は考慮されていないため、例えば、アイドリングストップを実施したとしても、その評価を行うことは出来ない。そこで本プログラムは自動車の走行状態から見た CO<sub>2</sub> 排出量を評価できるプログラムとした。

最近の貨物自動車のエンジンの燃焼は、トルクとエンジン回転数のマップによって燃料噴射量が制御さ

れている。燃料噴射量と CO<sub>2</sub> は等価と見なせるため、トルクとエンジン回転数で決まる CO<sub>2</sub> 排出原単位のエンジンマップを作成すれば、CO<sub>2</sub> 排出量を求めることができる。トルクとエンジン回転数を直接計測することは困難であるが、国土交通省のホームページで公開されている車速変換プログラム<sup>③</sup>に速度パターンと車両の諸元を入力することにより、トルクとエンジン回転数の時間の履歴を計算することができる。速度パターンや CO<sub>2</sub> 排出原単位のエンジンマップは、ユーザー（運送事業者等）がプログラムに入力することは困難であるため、プログラムの中で推定している。

図 1 にプログラムの全体像を示す。ユーザーは、運行に基づく情報と車両に基づく情報を入力する。より詳細な情報を入力することにより CO<sub>2</sub> 排出量の評価精度が向上する。さらに CO<sub>2</sub> 排出量の削減対策の評価を可能とするために、エコドライブの実施状況の入力項目を設定している。計算部では速度パターンを作成する。ユーザーが入力した運行の情報に基づき統計的手法により、実際の運行に出来るだけ近い速度パターンを推定する。作成した速度パターンを基に車速変換プログラムによりトルクとエンジン回転数の履歴に変換し、車両の情報を基に推定した CO<sub>2</sub> 排出原単位のエンジンマップから CO<sub>2</sub> 排出量を計算する。出力部では、一運行ごとに CO<sub>2</sub> 排出量の計算結果を出力する。計算結果の出力形式は数値及びグラフで表示し、エコドライブ実施状況による CO<sub>2</sub> 排出量の削減対策についても出力する。

### 3. 本プログラムの特徴

多くの運送事業者では、すでにエコドライブ等の対策により CO<sub>2</sub> 排出量の削減に取り組んでいると考えられるが、省エネ計画を策定するに当たり、どのような対策を行えば、どの程度 CO<sub>2</sub> を削減できるかを定

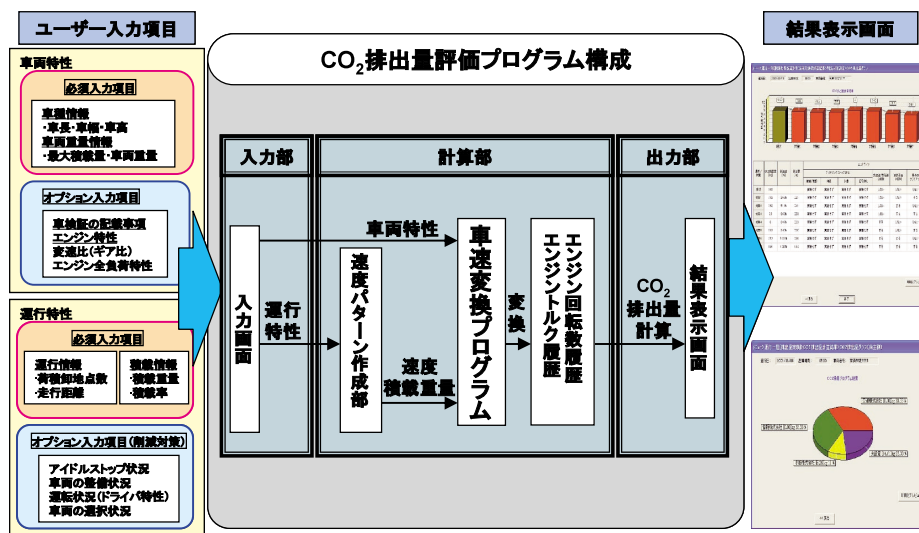


図1 CO<sub>2</sub>排出量評価プログラムの全体像

量的に評価することは困難であると考えられる。本プログラムは、省エネ計画の策定に活用できるように、CO<sub>2</sub> 排出量及び削減量を事前に評価できることが最大の特徴である。そのため、ユーザーが把握可能な最小限の情報（運行またはトリップの距離、時間、積載品）を基に、速度パターンを推定するアルゴリズムを構築した。また、CO<sub>2</sub>排出原単位のエンジンマップについても、現在保有している6車種の実測に基づくマップを基に、それ以外の車両について推定するアルゴリズムを構築した。本プログラムは、上記のアルゴリズムを組み込み、運送事業者における実際の運行に対応できる走行パターンと、重量車燃費基準に対応しているトラックのほとんどに適用が可能な、汎用性の高いプログラムとなっている。以下に、走行パターン及びエンジンマップの推定方法の概要を述べる。

### 3. 走行パターン及びエンジンマップの推定方法

#### 3. 1. 速度パターンの推定方法

図1のプログラムの全体像に示す速度パターンは、トラックが出庫してから入庫するまでの運行（トリップチェーン）を、荷積卸地点の間のトリップに分割した、トリップを発進してから停止するまでのショートトリップの組み合わせで構成する。プログラムではショートトリップの速度パターンを推定している。

まず、運送事業者の協力を得て1万3千以上の運行に関するデジタコデータを入手し、全運行をショートトリップに分割した。ショートトリップの速度パターンの基本型を図2に示す台形と仮定し、入手したショートトリップも図3に示すように加速区間、定常区間、減速区間の3つに分類した。加速区間と減速区間

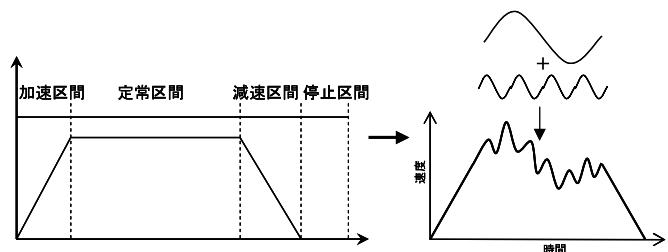


図2 ショートトリップの速度パターンの基本型

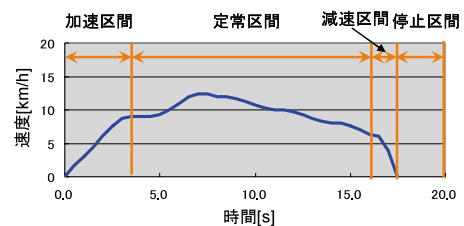


図3 入手したショートトリップの区間分類

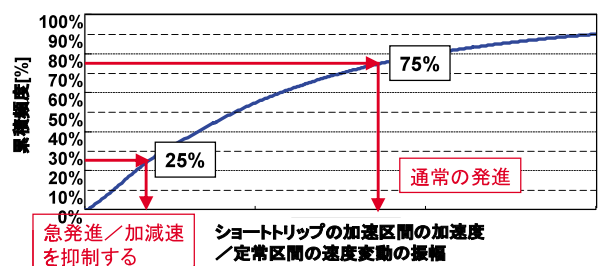


図4 累積頻度（上記はショートトリップの加速度の例）

については、入手したショートトリップの加速度及び減速度について図4に示す累積頻度を求め、通常の発進の場合は75%の値を、急発進・急加速を抑制した運転の場合は25%の値を用いている。定常区間については、ショートトリップの定常区間の速度変動を周波数分析し、各周波数ごとに図4に示すように振幅の累積頻度を求め、通常の運転は75%の値を、加減速の少な

い運転を行った場合は 25%の値の振幅を持つ波形を生成し、それらの波形を合成し（図 2 参照）、定常区間の速度変化とした。

上記のようにしてショートトリップを求め、時間が短いものから順番に配置していき、トリップの走行距離に達するまで繰り返して配置することによってトリップを構成した。

### 3. 2. エンジンマップの推定

CO<sub>2</sub> 排出量を計算するためには、CO<sub>2</sub> 排出原単位のエンジンマップが必要となるが、全車種のマップを用意することは现阶段では難しいため、既存のマップを基に推定するアルゴリズムを構築した。

まず、対象となるエンジンのトルクカーブを推定する。車両のカタログ等に記載されているトルクカーブと出力のカーブの形状から、8つのカテゴリに分類した。自動車諸元表のデータから、最大トルク回転数 ( $Ne_{Tmax}$ )、最大出力回転 ( $Ne_{Pmax}$ )、最大トルク ( $T_{Max}$ ) が分かるため、この値からカテゴリごとにトルクカーブを特徴付ける値を規定した。一例を図 5 に示す。この場合は、アイドル回転数、最大出力回転数及び最大回転数のときのトルク値を、それぞれ最大トルクに規定した係数をかけて求めることとしている。

次に、CO<sub>2</sub> 排出量が最も高くなるエンジン回転数域 ( $Ne_{CO2\_h}$ ) を、 $Ne_{Tmax}$  と  $Ne_{Pmax}$  から算出する。これまでの実験結果を基に、 $Ne_{Tmax}$  と  $Ne_{Pmax}$  がほぼ一致する場合にはその回転数での CO<sub>2</sub> 排出量が最も高く、一方、 $Ne_{Tmax}$  と  $Ne_{Pmax}$  が離れている場合には、中央の回転数での CO<sub>2</sub> 排出量が最も高くなると定義した（図 6 参照）。このエンジン回転数域を基準に、実測値を基に作成した相対トルク  $T_{Rel}$  の関数  $f(T_{Rel})$  をかけることによってマップを推定した。

### 4. 計算精度の検証

本プログラムの CO<sub>2</sub> 排出量の評価結果は、開発目標（当該車種のエンジンマップ使用条件での計算値と実測値との誤差 10%以下）を十分に満たしていることは実証している<sup>2)</sup>が、運行条件によっては、速度パターンとエンジンマップの推定精度が不十分な場合もある。そこで、本プログラムの計算精度を検証する。

当研究所が保有している車両を用いて実際の運送事業者の運行を再現したときの走行条件で計算を行い、その結果を実測値と比較する。この実測値は、エコドライブ等は全てなしで走行した結果である。上記 3. 1 で述べたように、本プログラムでは、速度パタ

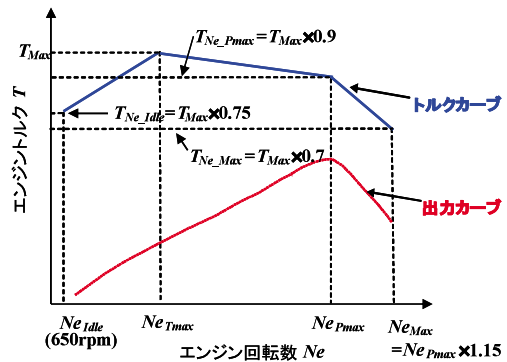


図 5 トルクカーブの推定方法の一例

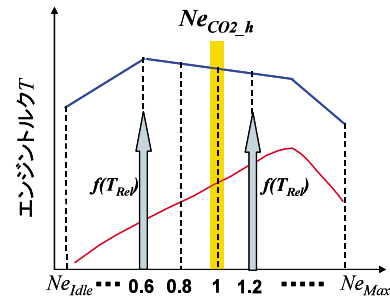


図 6  $Ne_{CO2\_h}$  の定義方法と CO<sub>2</sub> 排出原単位の推定方法 ( $Ne_{Tmax}$  と  $Ne_{Pmax}$  の差が 200rpm 以上の場合、相対トルク  $T_{Rel}$  の関数  $f(T_{Rel})$  として表現)

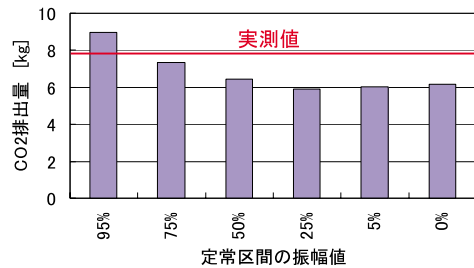


図 7 定常区間の振幅値の違いによる CO<sub>2</sub> 排出量の変化  
 一の推定において、通常の運転と、急発進の抑制や速度変動の少ない運転を、頻度分布から求めた値で規定している。ここではその値の妥当性を検証する。一例として、定常区間における振幅値を変えたときの CO<sub>2</sub> 排出量の変化を図 7 に示す。振幅値が小さくなるにつれて CO<sub>2</sub> 排出量が小さくなっているが、25%以下ではほとんど変化がなかった。通常の運転としている 75%の値の結果は、実測値のマイナス 10%程度あり、最小限の入力項目で開発目標をほぼ満たしている。本プログラムは、技術的な裏付けを基にした推定を行っていることから、データを蓄積することにより精度の向上が図れると考えられる。なお、累積頻度の値を用いるかについては、直接精度に影響するため、実測データを蓄積分析することによってさらに改善を図っていく必要がある。

## 5. 本プログラムによる計算例

本プログラムは、省エネ計画の策定に活用できるものを目指している。そのためには、どのような対策を行うことによってどの程度 CO<sub>2</sub> を削減できるかを把握する必要がある。本プログラムでは、図 8 に示す削減対策設定画面により、エコドライブ等の実施による CO<sub>2</sub> 排出削減量が計算できる。エコドライブによる削減効果として評価できる項目は以下の通りである。

- ① アイドリングストップ（信号待ち、待機、荷積卸におけるオンオフ）
- ② 急発進・急加速の抑制（ふんわりアクセル）
- ③ 波状運転の抑制（加減速の少ない運転）
- ④ 早めのシフトアップ

上記の①は、実施割合ごとの評価が可能である。②、③及び④は、本プログラムでは実施の有無で評価している。計算例を表 1 に示す。4 で検証した走行を基準値として、各対策を順番に実施したときの計算条件と計算結果を示す。図 9 は、計算条件ごとの CO<sub>2</sub> 排出量の比較をグラフ表示したものである。このように各対策の実施による削減量（削減率）の算定が可能であり、省エネ計画の策定に利用可能である。上記以外にも、エアコンの使用（オンオフと外気温度と車内の設定温度条件での評価）、導風板やエコタイヤの装着による低減効果が評価できる。また、図 8 の中に項目として挙がっていないが、低燃費トラックの導入による効果や、最大積載量を超えない範囲での積載量の違いの評価ができることから共同輸配送による CO<sub>2</sub> の低減などについても評価が可能であり、運送事業者が実施可能な対策に可能な範囲で対応している。

## 6. まとめ及び今後の展開

運送事業者が CO<sub>2</sub> 排出量の現状や削減量を把握可能にするため、前報で紹介したプロトタイププログラムを基に、走行パターンとエンジンマップの推定アルゴリズムを開発し、その概要と計算例を紹介した。

本プログラムにより、運送事業者・荷主は、輸送にかかる CO<sub>2</sub> 排出量をより正確に算定、把握することができるようになると考えられる。この点を踏まえれば、CO<sub>2</sub> 排出量を評価する“共通のものさし”として、改正省エネ法への対応のみならず、運送事業者の環境対策の推進に貢献できる可能性がある。なお、プログラムの活用には、運送事業者・荷主の双方にとってメリットのある方法での活用が図られるよう配慮することが必要である。そのためには、さらに、①

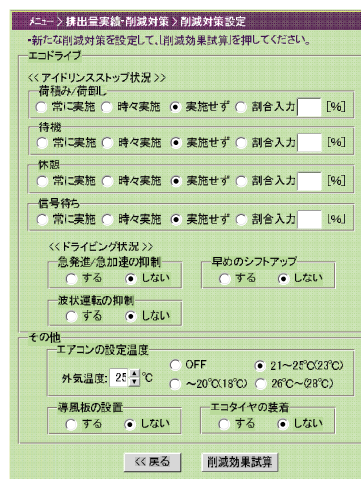


図 8 プログラムの削減対策設定画面

表 1 CO<sub>2</sub> 排出量の計算条件

|     | CO <sub>2</sub> 排出量[kg] | 削減量[kg] | 削減率[%] | アイドリングストップ |    |    |      | 急加速・急発進の抑制 | 波状運転の抑制 | 早めのシフトアップ |
|-----|-------------------------|---------|--------|------------|----|----|------|------------|---------|-----------|
|     |                         |         |        | 荷積み/荷卸     | 待機 | 休憩 | 信号待ち |            |         |           |
| 基準  | 7.35                    | -       | -      | ×          | ×  | ×  | ×    | ×          | ×       | ×         |
| 対策1 | 6.91                    | 0.44    | 5.91   | ○          | ×  | ×  | ×    | ×          | ×       | ×         |
| 対策2 | 6.69                    | 0.66    | 8.86   | ○          | ○  | ×  | ×    | ×          | ×       | ×         |
| 対策3 | 6.69                    | 0.66    | 8.86   | ○          | ○  | ○  | ×    | ×          | ×       | ×         |
| 対策4 | 5.82                    | 1.53    | 20.5   | ○          | ○  | ○  | ○    | ×          | ×       | ×         |
| 対策5 | 5.79                    | 1.56    | 20.9   | ○          | ○  | ○  | ○    | ○          | ×       | ×         |
| 対策6 | 4.95                    | 2.40    | 32.2   | ○          | ○  | ○  | ○    | ○          | ○       | ×         |
| 対策7 | 4.70                    | 2.65    | 35.6   | ○          | ○  | ○  | ○    | ○          | ○       | ×         |

○：常に実施、×：実施しない

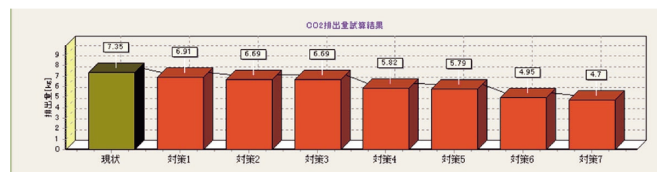


図 9 表 1 の計算条件による CO<sub>2</sub> 排出量の比較

車両データベースの定期更新・充実、②入力可能な対策の追加、③関連機器メーカー等によるデジタコデータ活用のための更なるプログラムの拡張、といったプログラムの改良、発展を一層進めることが望ましいと考えられる。

## 謝 辞

本プログラムに開発に当たり協力頂いた運送事業者、計装機器メーカー、車両メーカーを始め、関係各位に謝意を表す。

## 参考文献

- (1)佐藤他、自動車分野の CO<sub>2</sub> 排出量評価プログラムの開発—プログラムの概念設計について—、平成 19 年度交通安全環境研究所研究発表会講演概要、pp13-16
- (2)坂本他、自動車分野の CO<sub>2</sub> 排出量評価プログラムの開発—プロトタイププログラムの開発について—、平成 20 年度交通安全環境研究所研究発表会講演概要、pp7-10
- (3)[http://www.mlit.go.jp/jidosha/sesaku/environment/osen/2\\_osenj.htm](http://www.mlit.go.jp/jidosha/sesaku/environment/osen/2_osenj.htm)