

② エコドライブ時の CO₂ 削減効果の検証とリアルワールドエミッションの解析

ーディーゼル貨物車運転時のエコドライブ運転技術と CO₂, NO_x 排出特性との関係ー

環境研究領域
慶應義塾大学大学院

※佐藤 進 鈴木 央一 袋 宣子
宮 雅芳 飯田 訓正

1. はじめに

運輸部門からの CO₂ 削減, 地球温暖化ガス削減を目的として, 最新車両には高度なエンジン燃焼技術, 排気後処理技術, 低燃費新技術の導入, 空気抵抗を低減した車両デザインなど, 様々な技術が投じられている。しかしこれらの車両の新技術による CO₂ 低減, 地球温暖化ガス低減の効果は, 新車両の導入に伴い効果が現れる。運輸部門全体での削減のためには, 車両単体の改良に加え, 道路インフラ, 交通流制御, ドライバの運転操作, バイオ燃料の導入などについて総合的な対策が必要である。その中で運転操作の改善方法の1つであるエコドライブは新車両, 使用過程車のいずれに対しても即効性があると考えられるため, その削減効果に関する研究⁽¹⁾がこれまでなされてきた。

これらの研究ではエコドライブにより CO₂ 削減, 燃費改善効果は示されているものの, NO_x 等の有害排出成分への影響は明らかになっていない。エコドライブを総合的に評価するためには, 新車両および使用過程車において燃費改善効果のみならず排出ガスへの影響があるか否か, 同じエコドライブの方法を新車両と使用過程車に適用可能かどうか, 異なる方法を実践すべきかどうか, といった視点が必要となる。

本報では, 交通エコロジー・モビリティ財団が定めた「トラックのエコドライブ講習の認定基準」⁽²⁾に含まれる「エコドライブのための運転技術項目」に加えて, 同項目に含まれている「不要なアイドリングの抑制 (アイドリングストップ)」「早めのシフトアップ」「穏やかな発進と加速 (ふんわりアクセル)」による CO₂ 削減効果を評価した。ディーゼル貨物自動車に車載型排出ガス計測システムを搭載し, 市街地ルートを運転方法と積載量を変化させて走行し, CO₂ 排出量, NO_x 排出量を評価した。

2. 試験方法および解析手法

2. 1. 試験車両および車載型排出ガス計測システム

表 1 に試験車両の諸元を, 図 1 に本研究で用いた車載型排出ガス計測システムを示す。積載条件は表 1 に示す通り, 空積載, 半積載, 全積載の 3 条件を設定し, 荷室内に設置したタンク内の水量およびウェイトによって重量を調整した。車載型排出ガス分析装置を荷室内に搭載し, CO₂, NO_x, CO, THC の排出量を計測した。また GPS による車両位置計測, ECU 信号から車両速度, エンジン回転数の検出も行った。

路上走行時の排出ガス挙動を解析するには, 車両にかかる走行抵抗を把握することが重要である。そこで走行抵抗の1成分である勾配抵抗を高精度で計測するために, 著者らの開発したジャイロセンサとハイトセンサによる道路勾配計測法⁽³⁾を用いた。また燃費は排出ガス量からカーボンバランス法にて算出した。

表 1 試験車両諸元

Vehicle weight	3430 kg
Maximum pay-load	3000 kg
Vehicle weight at the on-road testing	3975 kg (No-payload) 4795 kg (Half-payload) 6505 kg (Full-payload)
Transmission	6MT
Number of cylinders	4
Engine displacement	2.999 L
Compression ratio	17.5
Max. engine power	110/2800 kW/rpm
Max. engine torque	375/1600 Nm/rpm
EGR system	Cooled EGR
Aftertreatment system	DOC, DPF
Adapted regulation	2005 regulation

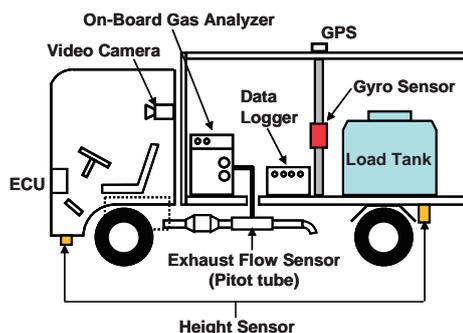


図 1 車載型計測システム

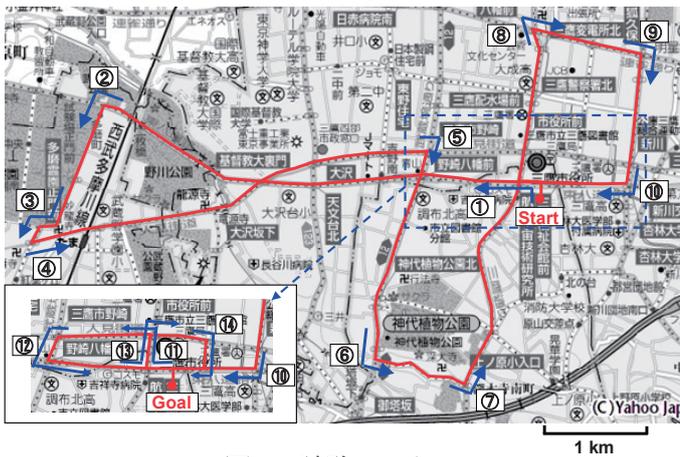


図2 試験ルート

2. 2. 路上走行試験ルートおよび試験方法

路上走行試験で走行した市街地ルートの地図を図2に示す。交通研を発着点とする22.2 kmのルートである。路上走行時の試験は、2人のドライバーにより行った。1人のドライバーは「通常運転」と「アイドリングストップ」を担当した。通常運転は、実際の交通流に合わせて運転を行い、エンジン回転数の使い方やアクセルの踏み方に制限は設けていない。アイドリングストップ運転実施時は、車両が停止した際に車両のアイドリングストップ機能を使用し、それ以外は通常運転と同じ運転を行った。もう1人のドライバーは「早めのシフトアップ」「ふんわりアクセル」を担当した。早めのシフトアップを実施する場合には、エンジン回転数を2000 rpm以下に極力抑える運転を行い、ふんわりアクセルの実施時はエンジン回転数に制限は設けないもののアクセルの踏み込み量を最小限に抑える運転を行った。これらの4種類の運転方法について、各積載条件（空積載、半積載、全積載）でそれぞれ複数回の走行試験を実施した。

3. 試験結果

3. 1. 路上走行試験結果の解析方法

路上走行試験では、各積載条件、各運転方法で複数回走行したが、走行ルートは同一にしているものの、試験時の交通状況が異なるため、トータルの走行時間や平均速度にばらつきが生じる。今回行った試験では、各積載条件と各運転方法について最低3回の走行を実施したが、実際に全ての走行試験の走行時間は、最小で3801秒、最大で4659秒となっている。そこで本報ではそれらの試験結果の中から、各積載条件において、ルート全体での平均速度が1 km/h以内、かつ

車両停止部分を除いた平均速度が2 km/h以内に収まる結果を抽出し比較を行った。そのことにより試験時の交通状況が同等の条件で比較することが可能である。またこのように平均速度が同等のデータを抽出した場合に、結果が同等となることも確認済みである。

3. 2. 運転方法の違いが燃費・仕事量に及ぼす影響

前節で述べた方法に従い、空積載条件における各運転方法の結果を抽出した表が表2である。表中の結果は、左から「通常運転 (Normal Driving)」「アイドリングストップ (Idling Stop)」「早めのシフトアップ (Early Shift-up)」「ふんわりアクセル (Gentle Acceleration)」の結果である。またそれぞれの運転方法における、ルート全体での走行時間 t_{total} 、平均速度 v_{ave} 、燃料消費量 $E_{fuel,total}$ 、CO₂排出量 $E_{CO2,total}$ 、NO_x排出量 $E_{NOx,total}$ を示した。図3には同条件における燃費 E および仕事量 W_{act} を示す。燃料消費量 $E_{fuel,total}$ および燃費 E の結果を見ると、アイドリングストップ、早めのシフトアップ、ふんわりアクセルの実施による改善効果が見られる。特にアイドリングストップによる燃費改善効果が最も高いことが分かる。また通常運転と比較して、アイドリングストップ、早めのシフトアップでは同等の仕事量が確保されているが、ふんわりアクセルでは約0.2 kWh減少する。早めのシフトアップ実施時は通常運転と同等の仕事量が確保できるものの、ふんわりアクセル実施時はルート全体で平均速度が同等であっても、アクセル操作を緩やかにしたことによって仕事量が減少する結果となった。

表3、図4に半積載条件における試験結果を示す。半積載条件でもアイドリングストップ、早めのシフトアップ、ふんわりアクセルの実施による燃費改善効果が見られ、アイドリングストップによる燃費改善効果が最も高い。また仕事量の値もアイドリングストップ、早めのシフトアップで通常運転と同等以上が確保されるものの、ふんわりアクセルでは仕事量が減少する。これは空積載条件での結果と同じである。

表4、図5に全積載条件における試験結果を示す。まず仕事量の結果から見ると、アイドリングストップ、早めのシフトアップで通常運転と同等以上が確保され、ふんわりアクセルで仕事量が減少する、という結果となり、これは空積載条件、半積載条件と同じ傾向にある。しかし燃料消費量および燃費の結果を見ると、アイドリングストップによる改善効果は得られる

表 2 各運転方法実施時の結果 (空積載条件)

No-payload Condition	Normal Driving	Idling Stop	Early Shift-up	Gentle Acceleration
Total Driving Time t_{total} [s]	4101	4167	4158	4225
Average Speed v_{ave} [km/h]	19.5	19.1	19.2	18.9
Average Speed w/o Vehicle Stop Section $v_{ave,w/o,s}$ [km/h]	27.2	27.0	26.8	26.9
Fuel Consumption $E_{fuel,total}$ [g]	2070	1640	1975	1968
Total CO ₂ Emission $E_{CO_2,total}$ [g]	6535	5179	6242	6213
Total NOx Emission $E_{NOx,total}$ [g]	28.8	22.3	28.8	16.1

表 3 各運転方法実施時の結果 (半積載条件)

Half-payload Condition	Normal Driving	Idling Stop	Early Shift-up	Gentle Acceleration
Total Driving Time t_{total} [s]	4489	4659	4619	4444
Average Speed v_{ave} [km/h]	17.9	17.2	17.3	18.0
Average Speed w/o Vehicle Stop Section $v_{ave,w/o,s}$ [km/h]	24.5	26.0	26.0	25.4
Fuel Consumption $E_{fuel,total}$ [g]	2386	1920	2024	2058
Total CO ₂ Emission $E_{CO_2,total}$ [g]	7541	6067	6407	6505
Total NOx Emission $E_{NOx,total}$ [g]	35.6	31.7	32.7	19.3

表 4 各運転方法実施時の結果 (全積載条件)

Full-payload Condition	Normal Driving	Idling Stop	Early Shift-up	Gentle Acceleration
Total Driving Time t_{total} [s]	3894	3903	4032	4067
Average Speed v_{ave} [km/h]	20.6	20.6	19.9	19.8
Average Speed w/o Vehicle Stop Section $v_{ave,w/o,s}$ [km/h]	26.9	28.5	26.7	26.4
Fuel Consumption $E_{fuel,total}$ [g]	2714	2401	2740	2936
Total CO ₂ Emission $E_{CO_2,total}$ [g]	8619	7543	8700	9291
Total NOx Emission $E_{NOx,total}$ [g]	56.7	55.6	48.8	31.8

ものの、早めのシフトアップ、ふんわりアクセルでは悪化する結果となった。これは車両重量が重いためにエンジンマップ内で燃費の悪い領域を多用することが原因と考えられる。

3. 3. 運転方法の違いが CO₂ 排出量・NOx 排出量に及ぼす影響

次に CO₂ 排出量および NOx 排出量に対する影響を解析した。図 6 に空積載条件における各運転方法での単位距離当たりのルート平均 CO₂ 排出量 $E_{CO_2,X,RT}$ 、NOx 排出量 $E_{NOx,X,RT}$ および単位仕事量当たりの CO₂ 排出率 $E_{CO_2,W,RT}$ および NOx 排出率 $E_{NOx,W,RT}$ を示す。表 2 に示したルート全体での CO₂ 排出量 $E_{CO_2,total}$ 、NOx 排出量 $E_{NOx,total}$ の値も併せて考えた場合、アイドリングストップ、早めのシフトアップ、ふんわりアクセルにより CO₂ 排出量を削減することが可能である。一方

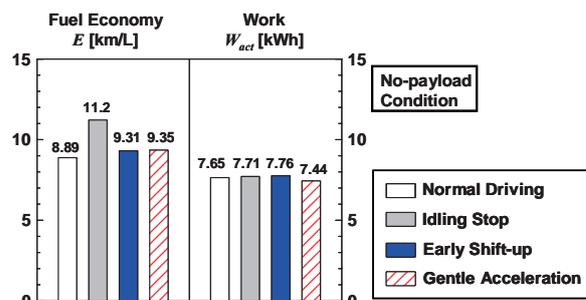


図 3 各運転方法実施時の燃費、仕事量 (空積載条件)

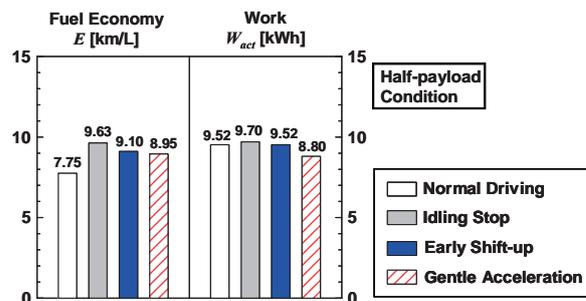


図 4 各運転方法実施時の燃費、仕事量 (半積載条件)

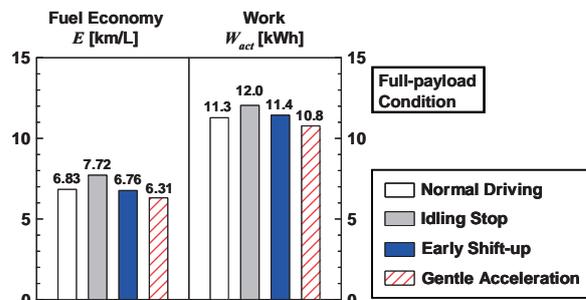


図 5 各運転方法実施時の燃費、仕事量 (全積載条件)

で NOx 排出量を比較した場合、まずアイドリングストップでは CO₂ 排出量と同等の削減効果がある。次に早めのシフトアップを実施した際には、NOx の削減効果は無いことが分かる。これは早めのシフトアップを実施した際には、エンジン使用領域が通常運転時と比較して低エンジン回転、高エンジントルク側にシフトすることで、EGR 率の低い領域を使用することとなり、NOx の削減効果が発現しないためと考えられる。またふんわりアクセルを実施した場合には、ルート平均 NOx 排出量、NOx 排出率どちらの値も大きく減少していることが分かる。これはふんわりアクセルの操作により、EGR 率の高い低エンジントルクの領域を多用することとなり、NOx 排出量を抑えることができたためと考えられる。

図 7 に半積載条件における各運転方法での単位距離当たりのルート平均 CO₂ 排出量、NOx 排出量および単位仕事量当たりの CO₂ 排出率および NOx 排出率を示す。アイドリングストップ、早めのシフトアップ、

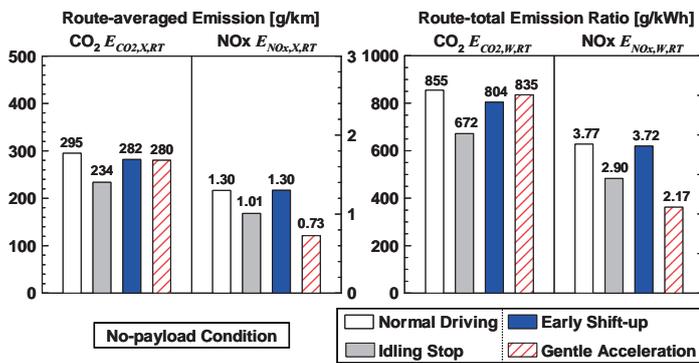


図6 各運転方法実施時のCO₂排出量, NO_x排出量
(空積載条件)

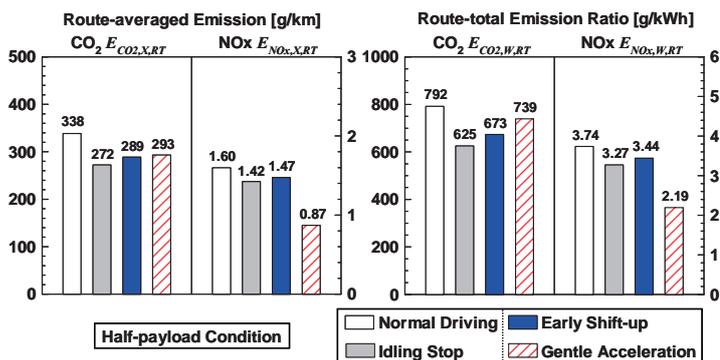


図7 各運転方法実施時のCO₂排出量, NO_x排出量
(半積載条件)

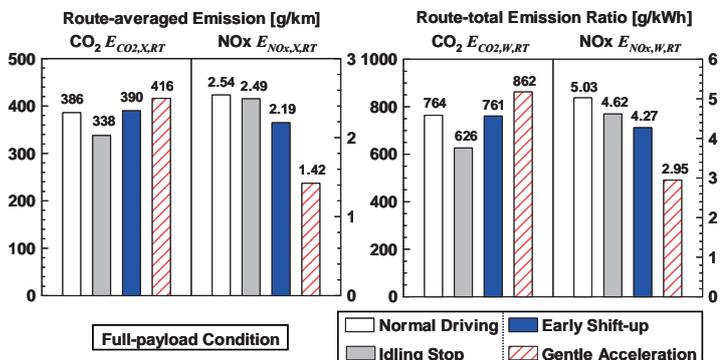


図8 各運転方法実施時のCO₂排出量, NO_x排出量
(全積載条件)

ふんわりアクセルによるCO₂排出量削減効果は空積載条件と同じである。またNO_x排出量についても、アイドリングストップにより減少し、早めのシフトアップの削減効果がほとんど無く、ふんわりアクセルにより大きく削減できる、という結果は空積載条件と同様の傾向を示している。

次に図8に全積載条件における各運転方法での単位距離当たりのルート平均CO₂排出量, NO_x排出量および単位仕事量当たりのCO₂排出率およびNO_x排出率を示す。CO₂排出量はアイドリングストップの場合

は減少するものの、早めのシフトアップでは通常運転と変わらない結果となり、またふんわりアクセルでは排出量が増加する結果となった。一方、NO_x排出量は、空積載条件、半積載条件と比較して非常に排出量が高くなっていることが分かるが、通常運転の結果と比較してアイドリングストップ、早めのシフトアップ、ふんわりアクセル、いずれの場合にも減少した。特にふんわりアクセルによるNO_x排出量の削減効果は、空積載、半積載条件と同様に高いことが分かった。

3. まとめ

- (1) アイドリングストップは、いずれの積載条件（空積載、半積載、全積載）においてもCO₂排出量削減、NO_x排出量削減が可能であった。
- (2) 早めのシフトアップは、空積載・半積載条件ではCO₂排出量削減の効果があるが、NO_x排出量の削減効果がない。また全積載条件ではCO₂排出量は変化しない。これは低エンジン回転域の全負荷トルクに近い領域を多用するためと考えられる。
- (3) ふんわりアクセルは、空積載および半積載の条件ではCO₂排出量削減の効果に加え、高いNO_x排出量削減効果が見られた。全積載条件ではCO₂排出量は悪化する結果となったが、これはCO₂排出量が比較的高い低エンジントルク領域を多用するためである。ただしこの領域はEGR率が高い領域のためNO_x排出量を抑えることができる。
- (4) これらのエコドライブ運転方法のCO₂排出量, NO_x排出量に対する効果は、本報で試験した新長期規制対応車両に限らず、本研究で使用した試験車両と同じ排出ガス対策, 燃費対策を採用している車両であれば効果的と考えられる。
- (5) 将来的にOBD規格等が統一化されれば、エンジン使用状態をモニタリングして、CO₂, NO_x排出量を削減する運転をドライバに指示できる車載型の運転支援機器が開発可能と考えられる。

4. 参考文献

- (1) 加藤ら, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.66-08, pp.1-4 (2008)
- (2) 交通エコロジー・モビリティ財団HP, <http://www.ecomo.or.jp/environment/ecodrive/data/truck-nintei.pdf>
- (3) 佐藤ら, 自動車技術会論文集, Vol.39, No.5, pp.163-168 (2008)