

ECO-Dash を用いたダンプトラックの省燃費運転教育の実例

前田建設工業株式会社	正会員	○ 平田 昌史
前田建設工業株式会社	正会員	西川 浩二
前田建設工業株式会社	正会員	武部 篤治
前田建設工業株式会社	正会員	安井 利彰
前田建設工業株式会社	正会員	山本 達生
前田建設工業株式会社		城山 晃一

1. はじめに

(一社)日本建設業連合会¹⁾では、建設施工段階で排出される CO₂ を、2020 年度までに 1990 年度比で 20%削減する目標を掲げており、その具体的方策として、CO₂ 削減効果が高く、手軽に実施することが可能な建設車両の省燃費運転教育を推進している。省燃費運転マニュアル²⁾によると、省燃費運転教育を実施することにより、平均 20～30%の高い燃費向上効果（CO₂ 削減効果）が得られると報告されている。また、著者ら³⁾が実施した重ダンプを対象とした省燃費運転教育でも、10～15%程度の燃費向上効果が見られた。しかしながら、燃費は車両性能や作業状況・走行条件等によって変化するため、教育前後の燃費を単純に比較するだけでは、その効果を正確に評価することは困難である。また、教育前から十分な省燃費運転を実施している優良ドライバーの場合、教育後の改善効果は低くなるため、その評価を見誤る可能性も高い。

このような背景から、著者ら⁴⁾はダンプトラックを対象として、省燃費運転の実施状況を定量的に評価するシステム（ECO-Dash : ECO-Drive Assessment System for Heavy vehicles）を提案している。この手法では、エコドライブ車載機で取得したダンプトラックの車両速度、エンジン回転速度を用いて理想的な省燃費運転モデルを作成し、実燃費と比較した「省燃費運転達成率」という指標を用いて評価する。この省燃費運転達成率には、ダンプトラックの車両性能や走行条件が考慮されているため、ドライバーの省燃費運転技術のみを評価することが可能である。

本論文では、この省燃費運転達成率を用いた評価をトンネル施工現場の土砂運搬用ダンプトラックに対して行い、この評価結果を用いて教育・指導を実施した

表-1 省燃費運転のポイントと年間の省エネ効果²⁾

省燃費運転のポイント	省エネ効果（年間）
① アイドリングの抑制	2缶
② 急発進・急加速を避ける	24缶
③ 早めのシフトアップ・遅めのシフトダウン	18缶
④ 波状運転の防止	29缶
⑤ 惰性運転の多用	7缶
⑥ 下り坂でのエンジンブレーキの併用	25缶
⑦ 経済速度での走行	24缶

単位：ドラム缶（200L）

効果について紹介する。なお、本論文では CO₂ 排出量は燃料消費量と比例関係にあるとして、CO₂ 削減効果を燃費の向上率に置き換えて改善効果を評価している。

2. エコドライブ車載機とダンプトラック

2.1 スマートフォンを用いたエコドライブ車載機

建設施工現場では、工事の進捗や作業状況の変化に伴い、ダンプトラックや重機等も日々入れ替わることが多い。このため、簡易に載せ替えが可能なエコドライブ車載機が必要である。ここでは、ダンプトラックの OBD（On-Board Diagnostics）から、運行データ（車両速度、エンジン回転速度）をスマートフォンへ転送するエコドライブ車載機（CAR-Wi⁵⁾、写真-1 参照）を使用した。この車載機は、写真-2 に示すようにダンプトラックの OBD コネクタに差し込むだけで簡易に設置でき、従来のエコドライブ車載機に比べ安価に導入することが可能である。また、スマートフォンには表-1 に示す省燃費運転のポイントの簡易評価結果がリアルタイムで表示され（写真-3 参照）、低い評価が継続されると、音声による注意喚起がなされるアプリケーションを導入している。

キーワード ダンプトラック、省燃費運転教育、スマートフォン

連絡先 〒179-8914 東京都練馬区旭町 1-39-16 前田建設工業株式会社 技術研究所 TEL 03-3977-2242

2.2 計測対象のダンプトラック

新名神高速道路のトンネル施工現場を運行する土砂運搬用ダンプトラック 2 台に対して、スマートフォンを用いた車載機を設置し、その運行データの計測を実施した。このダンプトラックは、現場で発生する掘削土砂・トンネルずりを、約 5km 離れた盛土施工現場まで運搬する作業に従事しており、1 日あたりの土砂運搬回数は平均 12 回である。表-2 に、ダンプトラックの諸元を示す。2 台のダンプトラックは同型車両（三菱ふそう、PJ-FV50JX、写真-4 参照）であるが、ダンプトラック荷台の艤装の差により、車両長や車両幅等が若干異なっている。なお、ダンプトラックを運転するドライバー 2 名は、共に運転歴 20 年以上のベテランである。

3. 省燃費運転の評価手法

著者ら⁴⁾が提案する省燃費運転の評価手法では、車両速度とエンジン回転速度の 2 つの運行データから、ダンプトラックの運転状況や積荷状況を詳細に分析することで、燃費や省燃費運転を評価する。ここでは、この評価方法の概要について述べる。

3.1 ダンプトラックの積荷状況の判定

ダンプトラックは、積荷状況（車両重量）により燃費が大きく変化するため、ダンプトラックの積荷状況を正確に把握することが重要である。ここでは、ダンプトラックの積荷状況を、図-1 に示す空車・荷積み・実車・荷下しの 4 つの状態に区分する。ダンプトラックでは、ダンプアップ時にエンジン回転速度が通常のアイドリング状態よりも高くなるため、この特性を利用すれば荷下しの判定が可能である。また、荷積みについては、ダンプトラックの運搬距離を利用して判定できる。荷積みと荷下しが判定できれば、荷積みから荷下しまでの間が実車、荷下しから荷積みまでの間が空車となる。このようにして推定した積荷状況は、日報による実際の積荷状態とほぼ一致することが確認されている⁴⁾。

3.2 燃料消費量の算定

エンジンが発揮する軸トルク T は、

$$T = \frac{g}{\eta_m \cdot \eta_f} \cdot \frac{r}{i_m \cdot i_f} \cdot R \quad (1)$$

と表わされる。 g は重力加速度、 η_m は変速機の伝達効率、 η_f は終減速機の伝達効率、 i_m は変速機ギア比、 i_f は終減速機ギア比、 r はタイヤの動的負荷半径である。



写真-1 CAR-Wi⁵⁾

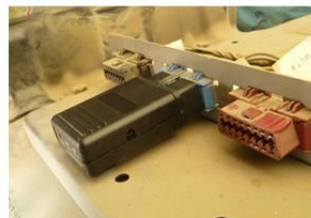


写真-2 CAR-Wi 設置状況



写真-3 評価画面例

表-2 ダンプトラックの諸元

			ダンプトラック A	ダンプトラック B
車	車両長		7.980 m	7.960 m
	車両幅		2.490 m	2.480 m
	車両高		3.180 m	3.200 m
	車両重量		11,060 kg	11,050 kg
	最大積載重量		8,800 kg	8,800 kg
	タイヤ動的負荷半径		0.507 m	0.507 m
	エンジン	内径 × 行程		135 mm × 150 mm
シリンダ数		6	6	
総排気量		12,882 cc	12,882 cc	
最高出力		420 PS / 2,000 rpm	420 PS / 2,000 rpm	
最大トルク		1,810 N・m / 1,100 rpm	1,810 N・m / 1,100 rpm	
アイドリング回転速度		450 rpm	450 rpm	
トランスミッション		種類		7MT
	変速機ギア比	1st	7.005	7.005
		2nd	4.621	4.621
		3rd	2.529	2.529
		4th	1.530	1.530
		5th	1.000	1.000
		6th	0.765	0.765
		7th	0.646	0.646
	終減速機ギア比		6.666	6.666

※ 1 PS (馬力) = 0.7355 kW



写真-4 計測対象のダンプトラック

また、 R は車両抵抗であり、空気抵抗、転がり抵抗、加速抵抗の和であるとして、以下のように定義する。

$$R = \mu_a \cdot A \cdot v^2 + \mu_\theta \cdot M + \frac{\alpha}{3.6} \cdot \frac{M + \Delta M}{g} \quad (2)$$

A は車両前面投影面積、 μ_a は空気抵抗係数、 M は車

両重量、 μ_r は転がり抵抗係数、 ΔM は加速時の回転部分相当重量である。なお、ダンプトラックの積荷状態が実車の場合、車両重量 M が増加し、大きな軸トルクが必要となる。

ダンプトラックの瞬間燃料消費量 F は、式(1)に示す軸トルク T とエンジン回転速度 N を用いて、以下のよう求められる。

$$F = \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{T \cdot N}{\rho \cdot H_u \cdot \eta_e} \tag{3}$$

η_e はエンジンの1行程あたりの正味熱効率である。また、 ρ は燃料の比重、 H_u は燃料の低位発熱量であり、ダンプトラックの燃料が軽油であることから、ここでは燃料の比重 ρ に 0.80g/cm^3 、低位発熱量 H_u に 43000kJ/kg の値を用いた。燃料消費量は、この瞬間燃料消費量 F を積算することで求められ、燃費 f はこの燃料消費量を走行距離で割ることで求められる。図-2は、ダンプトラックAに設置した燃料流量計による実測値と、式(3)を用いて計算した燃料消費量を比較したものである。これらのグラフに示すように、計算値は実測値とほぼ一致しており、精度良く燃料消費量を計算できていることがわかる。

3.3 省燃費運転の評価

実際の運転状態・積荷状況に対して、同じ車両を用いて最も燃費の良い運転をした場合の運転方法を、図-3に示すような加速・経済速度走行・減速の最も単純な運行プロファイル⁶⁾であると考え、ショートトリップ毎に作成した運行プロファイルから、理想的な燃費 f_i を式(3)により計算し、次のように定義したものが省燃費運転達成率 A_E である。

$$A_E = \frac{f}{f_i} \times 100 \tag{4}$$

エンジン性能やギア比等の車両性能の違いは、表-3に示す運行プロファイルの作成条件⁵⁾で考慮され、交通渋滞や信号等の走行条件の違いは、各ショートトリップの移動距離として考慮されるため、省燃費運転達成率 A_E はドライバーの運転技術のみを評価する指標となる。なお、省燃費運転達成率 A_E は運転全般に対する評価であるため、燃費を向上させる具体的な運転方法については別途評価が必要となる。ここでは、表-1に示す省燃費運転のポイントを、教育・指導を必要とする具体的な運転方法であると考え、表-3に示す条件を満たす頻度分布を用いて評価を行っている。なお、表-1では

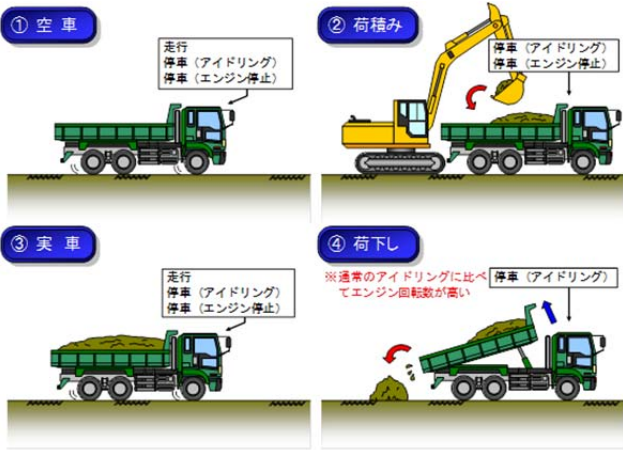


図-1 ダンプトラックの積荷状況の分類⁴⁾

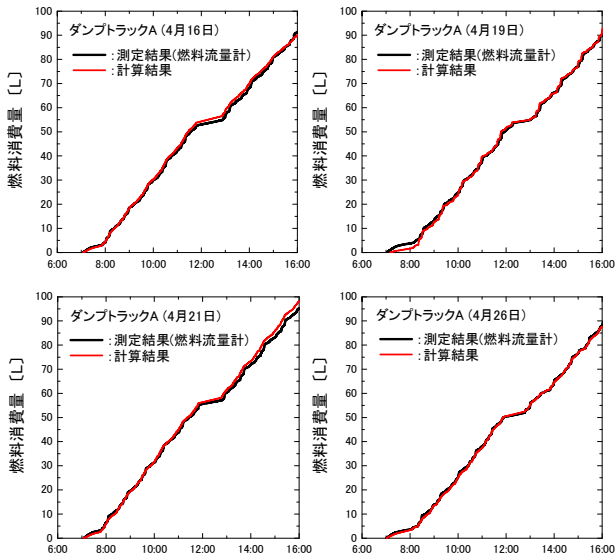


図-2 燃料消費量の比較（実測値と計算値）

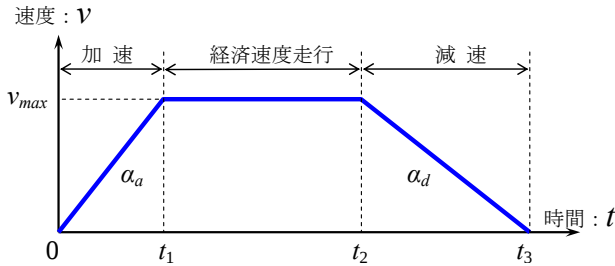


図-3 理想的な省燃費運転モデル⁶⁾

表-3 省燃費運転モデルの作成条件

ギア位置	シフトアップ		加速度		経済速度	移動距離	
	エンジン回転速度 [rpm]	車両速度 [km/h]	空車時 [km/h/s]	実車時 [km/h/s]		空車時 [m]	実車時 [m]
1速	1000	5	4	4	3	3～6	3～6
2速	1300	9	3	3	6	6～18	6～18
3速	1350	16	3	3	10	18～52	18～52
4速	1400	27	3	3	17	52～137	52～137
5速	1200	35	3	3	28	137～231	137～231
6速	1100	42	3	2	36	231～333	231～346
7速	-	-	3	2	43	333以上	346以上

省燃費運転のポイントとして7つの項目が挙げられているが、車両速度とエンジン回転速度のデータでは下り坂の判定ができないため、ここでは除外している。

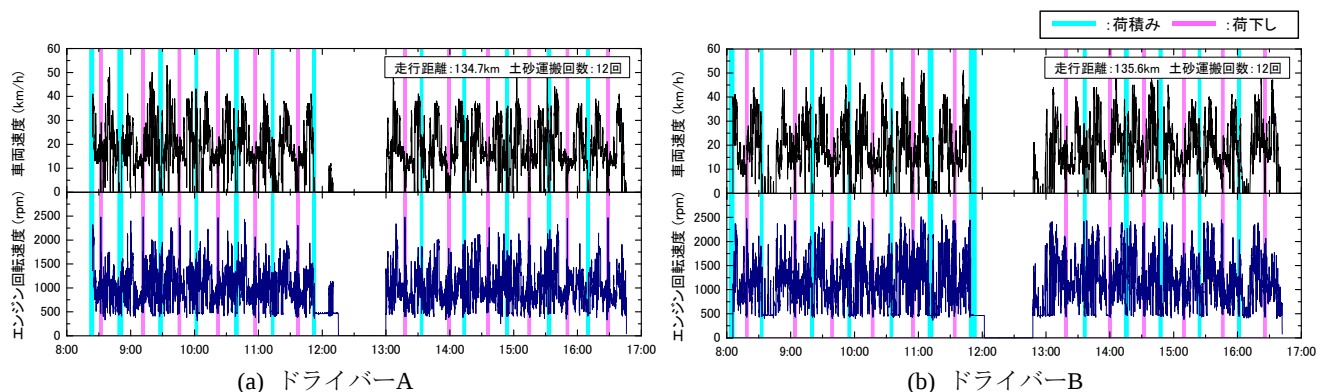


図-4 省燃費運転教育実施前のダンプトラック運行状況

ちなみに、省燃費運転ポイントの各評価点平均値と省燃費運転達成率 A_E の間には相関性が見られる⁴⁾ことから、各項目の評価点アップが省燃費運転達成率の向上、燃費の改善に繋がると考えてよい。

4. 省燃費運転教育前の評価と指導

図-4 は、省燃費運転教育を実施する前に計測したダンプトラックの運行データ（車両速度とエンジン回転速度）の一例である。ここでは、両者の作業内容・走行内容がほぼ等しいと思われる作業日のデータを抽出した。ドライバーA、ドライバーBともに走行距離は約135km、土砂運搬回数は12回である。図-5 は、図-4 に示す車両速度を10km/h毎の頻度分布で整理したものであるが、両者の頻度分布に差は見られず、このことから両者の作業内容・走行内容はほぼ同じであると判断される。

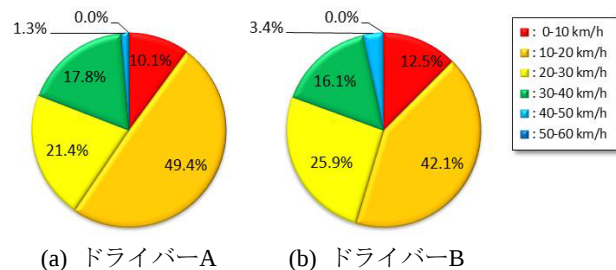


図-5 車両速度の頻度分布（教育実施前）

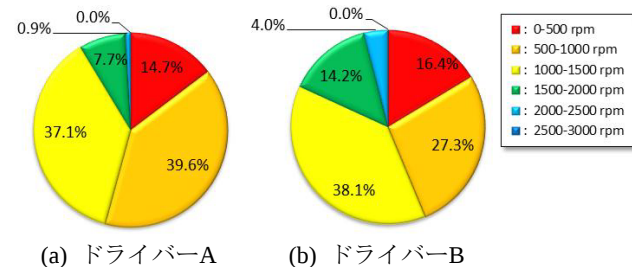


図-6 エンジン回転速度の頻度分布（教育実施前）

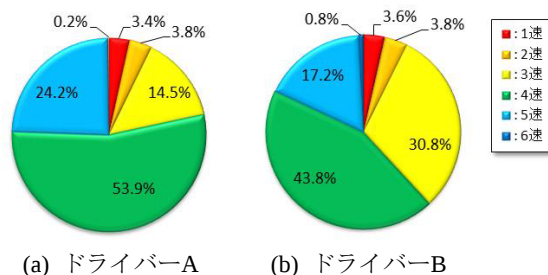


図-7 走行時ギア比の頻度分布（教育実施前）

図-6 は、図-4 に示すエンジン回転速度を500rpm毎の頻度分布で整理したものである。ドライバーAに比べ、ドライバーBの1500rpm以上の運転頻度が高いことがわかる。また、図-7 は走行時のギア比の頻度分布を示したものであるが、ドライバーBの3速での走行頻度がドライバーAの倍以上あり、両者の差が走行時のギア比にあることがわかる。

図-8 は、図-4 の運行データを省燃費運転達成率で評価した結果である。ドライバーAの総合評価点（省燃費運転達成率）は58.0点、ドライバーBの総合評価点は48.1点であり、両者の評価点には約10点の差が見られる。また、これに伴い両者の燃費にも約7%の差が生じている。なお、標準的な運転では、総合評価点（省燃費運転達成率）が50点前後³⁾となることから、ドライバーAは教育を行う以前から省燃費運転が実施されている比較的優良なドライバーであり、ドライバーB

は標準的なドライバーであると判断される。

図-9 は、省燃費運転のポイント6項目の評価結果である。これらのヒストグラムにおいて、青色の棒グラフが占める割合が各項目の点数となる。ドライバーAの場合、省燃費運転を実践できている比較的優良なドライバーであるが、図-9を見ると、「波状運転の防止」と「経済速度での走行」が他の項目と比べ点数が低く、改善の余地があると思われる。なお、土砂運搬先の盛土施工現場では、1日延べ2000台以上のダンプトラックを受け入れており、狭い工事用道路では渋滞も発生

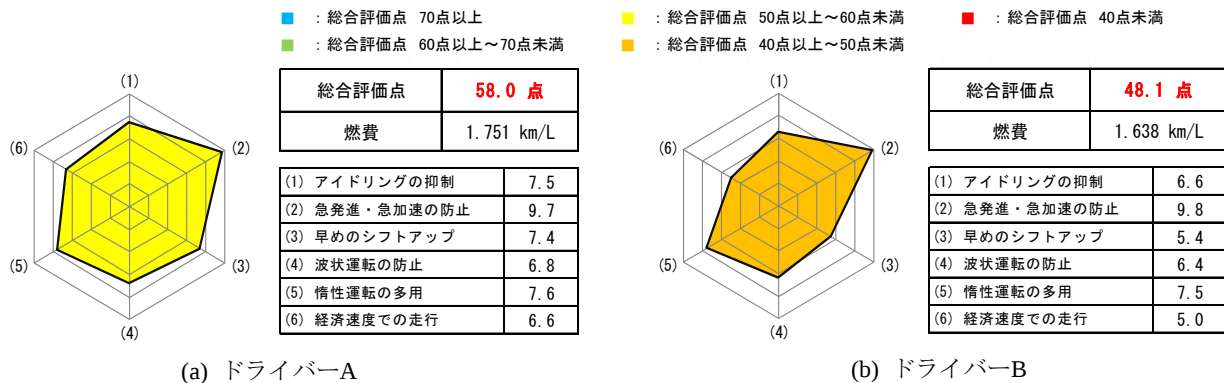


図-8 省燃費運転教育実施前の総合評価点（省燃費運転達成率）と燃費

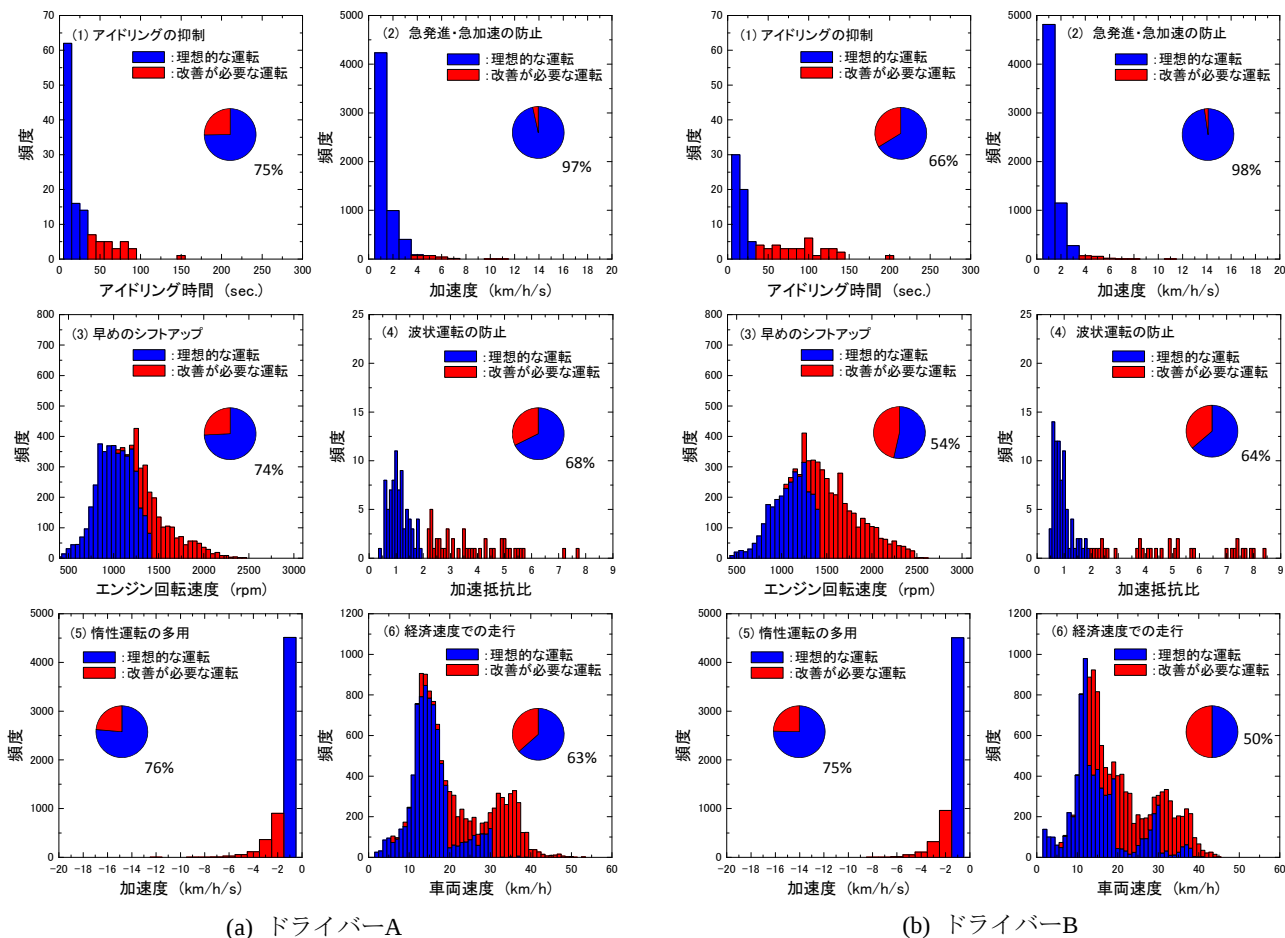


図-9 省燃費運転ポイントの評価結果（教育実施前）

するため、ここでは「波状運転の防止」を改善することは困難であると判断し、「経済速度での走行」の改善を試みた。経済速度のヒストグラムを見ると、速度 30～40km/h に青色の棒グラフが見られない。この経済速度は、ギア比 6 速（表-3 参照）に相当するため、この部分はギア比 6 速で走行することが必要である。但し、「ギア比 6 速での走行」という指導を行った場合、短い移動距離でも強引にギア比を 6 速へシフトアップすることで、急加速が増加することも懸念される。そこで、ドライバーA には「エンジン回転速度 1200～1500rpm での走行」を心掛けるよう指導した。一方、ド

ライバーB の場合、「早めのシフトアップ」と「経済速度での走行」の点数が低いことがわかる。これは、図-7 に示したように、ギア比 3 速での走行頻度が高いことが主要因である。そこで、ドライバーB には早めのシフトアップ、特に「ギア比 3 速から 4 速への早めのシフトアップ」を心掛けるよう指導を行った。

5. 省燃費運転教育後の改善効果

図-10 は、省燃費運転教育を実施した後に計測したダンプトラックの運行データ（車両速度とエンジン回転速度）である。ドライバーA、ドライバーB とともに走行

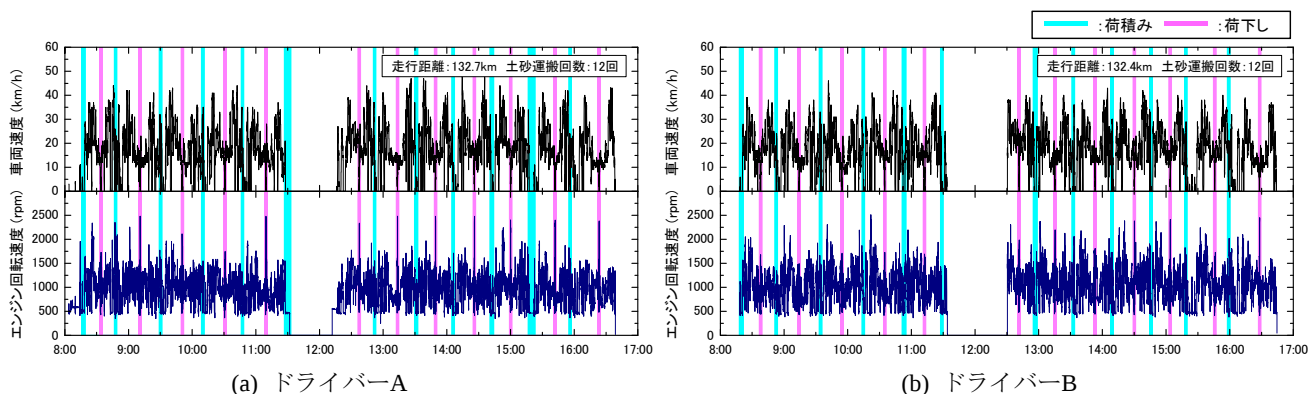


図-10 省燃費運転教育実施後のダンプトラック運行状況

距離は約 137km, 土砂運搬回数は 12 回であり, 図-4 に示した教育実施前とほぼ同じ作業内容・走行内容である。また, 図-11 に示す車両速度の頻度分布も, 教育実施前と明確な差は見られず, 作業内容・走行内容はほぼ同じであると判断される。

図-12 は, エンジン回転速度の頻度分布である。ドライバーA の結果を見ると, 図-6 に示した教育実施前と比較して, 1500rpm 以上の走行頻度が約 1/3 まで減少しており, 「エンジン回転速度 1200~1500rpm での走行」という指導内容を実践していることがわかる。また, ドライバーB についても, 1500rpm 以上の走行頻度が教育実施前の約 1/2 に減少している。

図-13 は, 走行時のギア比の頻度分布である。ドライバーA の結果を見ると, 教育実施前に比べてギア比 6 速での走行頻度が大幅に増加していることがわかる。また, ドライバーB の結果では, ギア比 3 速での走行頻度が減少しており, 「ギア比 3 速から 4 速への早めのシフトアップ」という指導内容を実践していることがわかる。

図-14 は, 図-10 の運行データを省燃費運転達成率で評価した結果である。ドライバーA の総合評価点(省燃費運転達成率)は 62.2 点であり, 教育実施前と比較して約 4 点増加, 燃費は約 3%向上している。また, ドライバーB の総合評価点(省燃費運転達成率)は 56.3 点であり, 教育実施前と比較すると約 8 点増加, 燃費は約 7%向上している。

図-15 は, 省燃費運転のポイントの評価結果である。ドライバーA の場合, 「経済速度での走行」の点数改善を目標としたが, 残念ながら教育前からの点数増加は見られなかった。但し, 図-13 に示したように, ギア比 6 速での走行が増加することによって, 30~40km/h の

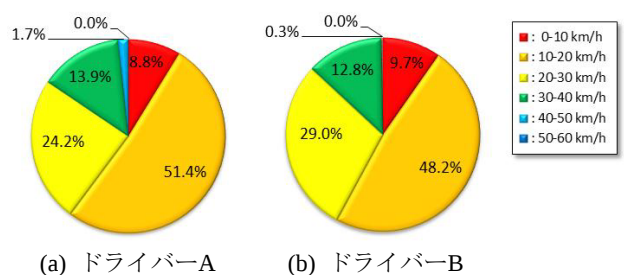


図-11 車両速度の頻度分布 (教育実施後)

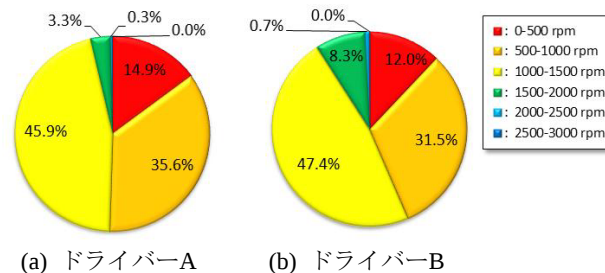


図-12 エンジン回転速度の頻度分布 (教育実施後)

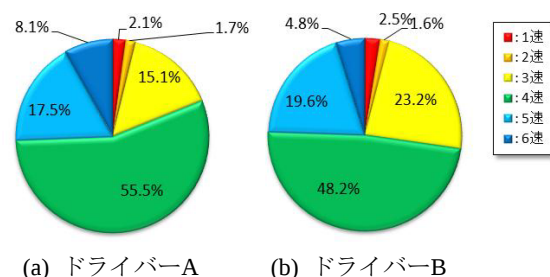


図-13 走行時ギア比の頻度分布 (教育実施後)

ヒストグラムに青色の棒グラフが出現していることがわかる。また, 「早めのシフトアップ」を見ると, エンジン回転速度 1200~1500rpm の頻度が増加することで点数も若干改善されており, これが総合評価点(省燃費運転達成率)と燃費の向上に繋がったと考えられる。また, ドライバーB の場合, 「早めのシフトアップ」における 1500rpm 以上の頻度が減少しており, 点数が大幅に改善されている。また, これに伴い「経済速度での走行」の点数も増加していることがわかる。

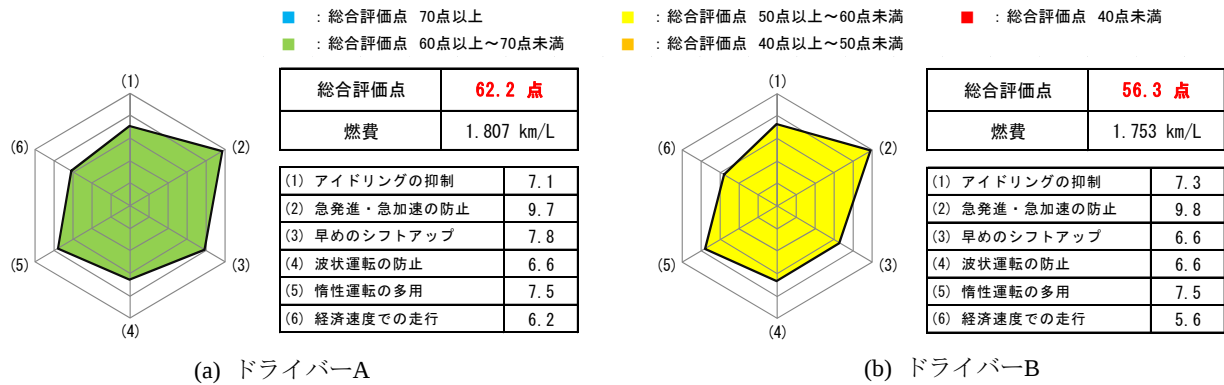


図-14 省燃費運転教育実施後の総合評価点（省燃費運転達成率）と燃費

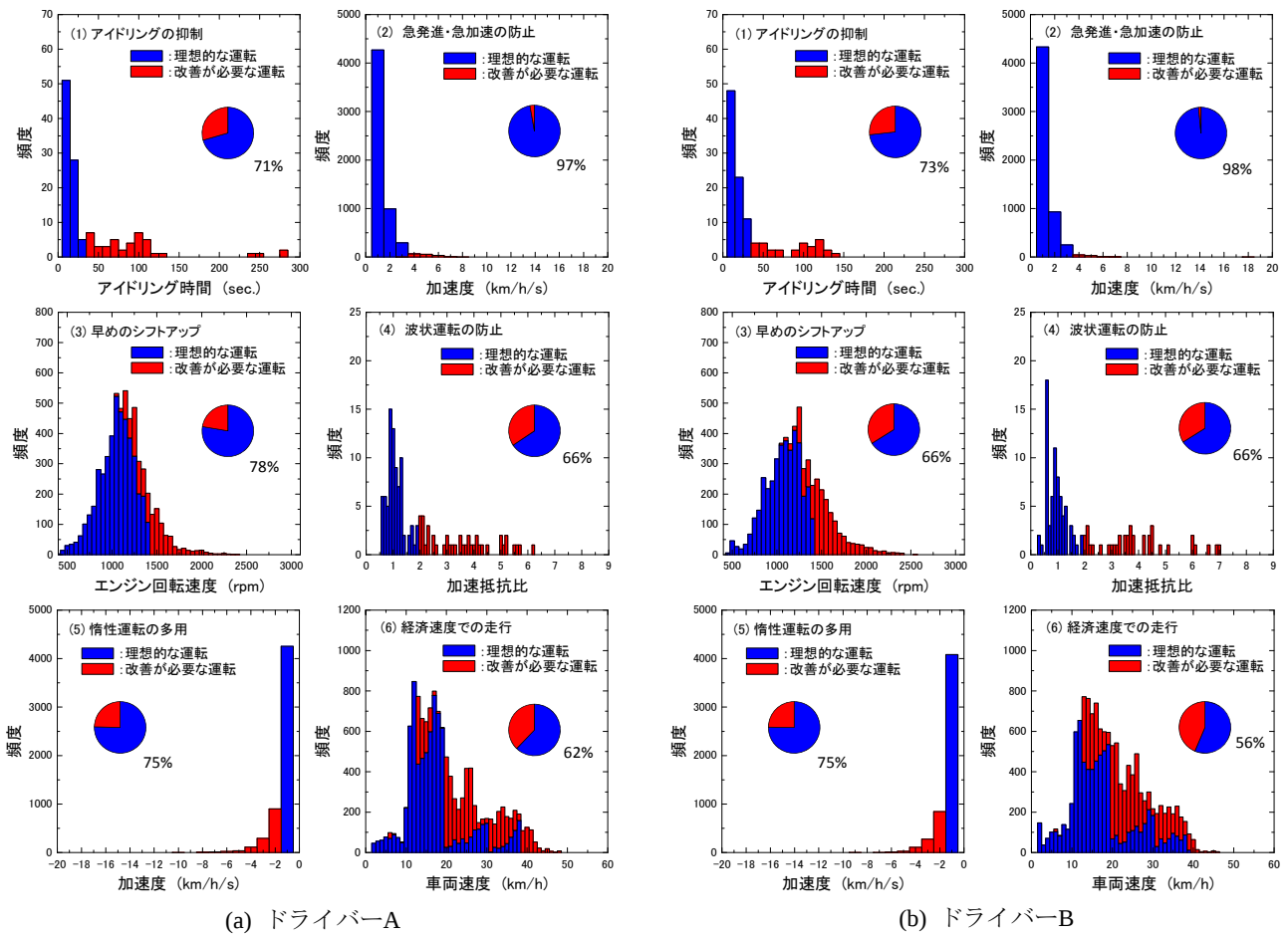


図-15 省燃費運転ポイントの評価結果（教育実施後）

6. おわりに

本論文では、トンネル施工現場を運行する土砂運搬用ダンプトラックに、スマートフォンを用いたエコドライブ車載機を設置し、省燃費運転教育前後の運転状況について比較を行った。この結果、著者らが提案する評価手法を用いれば、教育前においても省燃費運転の実施状況を把握できるとともに、具体的な改善ポイントを教育・指導することが可能である。また、運行データの分析結果から設定した指導内容を実践することで、評価点（省燃費運転達成率）や燃費が向上する

ことも確認した。今回協力していただいた2名のドライバーからも、改善点が分かり易かったとの意見を頂いている。

なお、スマートフォンを用いた運行データ測定は現在も継続中であり、この結果によると、教育実施1ヶ月後には総合評価点（省燃費運転達成率）が徐々に低下する傾向が表れている。省燃費運転教育の効果を継続的に維持するためには、教育・指導を定期的を実施し、適切な省燃費運転方法を定着させる必要があると思われる。

謝辞

本論文を作成するにあたりご協力いただいた (株)テクトム, (株)スマートバリュー, (株)宮本組および NEXCO 西日本新名神兵庫事務所神戸東工事区の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) (一社)日本建設業連合会: 建設業の環境自主行動計画, 第5版, 2014.3.
- 2) (一社)日本建設業連合会: 絵で見る省燃費運転マニュアル, <http://www.nikkenren.com/kankyoudoc/manual.ppt>
- 3) 山本達生, 武部篤治, 遠藤正史, 伊藤雅一, 舟橋政司: 建設重機の省燃費運転支援ツールを活用した CO₂ 削減技術に関する検討, 土木学会第 65 回年次学術講演会, VII-093, pp.185-186, 2010.
- 4) 平田昌史, 山本達生, 安井利彰, 武部篤治, 林まゆ, 舟橋政司: 車両速度とエンジン回転速度を用いたダンプトラックの省燃費運転評価手法の検討, 土木学会論文集 F3(土木情報学), Vol.68, No.1, pp.42-57, 2012.
- 5) (株)テクトム: 車両情報取得用無線 LAN アダプター CAR-Wi, <http://www.techtom.co.jp/CAR-Wi.html>
- 6) 角知憲, 広松新, 厲国権, 大枝義直: 交通機関のエネルギー効率に関わる技術的性格に関わる検討, 運輸政策研究, Vol.3, No.1, pp.14-22, 2000.