

2 4. ECO 安全運転指導を支援するダンプトラック運行管理システム

(株) キック
(株) キック

○ 才原 勝敏
西垣 重臣

1. はじめに

ダンプトラックの ECO 運転を励行するために、急発進と急加速の回避、一定速度の走行、点検整備の充実などの定性的な指導が運転手に対して行われる。しかし、運転手の運転性向を定量的に把握して、ECO 安全運転の励行を指導する事例は希薄である。運転性向とは運転の振る舞いであり、運転手の運転態度やスキルを示す。そこで、ダンプトラック運転手の運転性向に関する定量的な指標とその評価方法を提供する研究開発を行ってきた¹⁾。

本論文では、この研究成果を活かして開発した ECO 安全運転指導を支援するダンプトラック運行管理システムについて報告する。先ず、本研究の問題意識と開発方針について述べる。つぎに、本システムの枠組みと主要な機能を説明する。最後に、本論文のまとめを示す。

2. 問題意識

本研究開発の問題意識と関連する研究開発について述べる。

安全運転とエコ運転の励行を図るためには、働き手のコンストラクタビリティ(constructability)とヒューマンウェア(humanware)の向上が重要である。コンストラクタビリティとは、プロジェクト全体の目的を達成するために、計画、エンジニアリング、調達、建設作業に係る施工知識と経験を最適に活用することである²⁾。ヒューマンウェアとは、リーダーシップ(leadership)機能とフォロワシップ(followership)機能、そして両者の相互作用を集合的に示す用語である³⁾。

一般に考えられる車両運行管理システムが想定するワークフローを図 1 に示す。

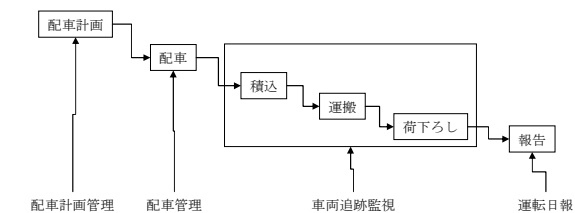


図-1 一般に考えられる車両運行管理システムが想定するワークフロー

ここでは、管理者の視点から、配置計画管理、配車管理、車両追跡監視、運転日報管理などに焦点が当てられ、運転手の視点は希薄であろう。

ECO 安全運転指導を支援するダンプトラック運行管理システムは、個々の運転手及び運行クルー全体の運転性向評価、早期アラーム、運行状況、生産ラインバランスなどの情報を、運転手と管理者に提供することにより、働き手の業務を直接支援することを目指す。ここでは、つぎの事が可能になる。

- ① 運転手が自らの運転性向と作業実績をモニタリングし、追跡・監視できる。
- ② 注意の狭隘によるハザードの見落とし、勘違いや思い込みによる目標の取り違いなどの人的過誤を未然防止するための早期アラームを可能とする。
- ③ 管理者は、運行クルー全体の運転性向評価、運行管理、生産ラインバランスなどの運行状況情報を随時確認できる。

これらの情報は、安全性の向上と環境に優しい作業の励行を目的とした指導・指示を行う元請職員や職長のリーダーシップ、並びに安全で環境に優しい運転を励行する運転手のフォロワシップの向上に役立つと期待される。

3. 開発方針

本システムの開発方針をつぎに示す。

- ① 働き手支援
本研究では運転手を直接支援することを目指す。
- ② 今まで行ってきた研究開発成果の活用
つぎに示研究開発成果を活かす。
 - a) ECO 運転性向定量的評価方法¹⁾
 - b) バックホウを母機としたフリート・マネジメント⁴⁾
 - c) 災害応急復旧工事を支援する施工プロファイル⁵⁾
- ③ 疎結合

市販されているハードウェアとソフトウェアを活用する。これらのツールと本システムは疎結合として、技術の進展と利用者の要求ニーズに対応できるようにする。

④ イージー・オーダ方式

建設現場ごとに要求ニーズは異なる。異なった要求ニーズに容易に対応するために、レディ・メイドの完成したシステムではなく、イージー・オーダ方式で組みたえられるシステムとする。そのため、本システムの一部の機能だけを使用することができる。

⑤ クラウド型のシステム利用

利用者の運用コストを削減するために、クラウド型のシステム利用を可能とする。

4. システムの枠組み

本システムの枠組みを図 1 に示す。本システムは、運行管理システムと運転手支援システム、そしてオペレータ支援システムで構成される。運行管理システムは、データセンタのサーバで稼動する。運転手支援システムは、ダンプトラックの運転席に搭載される。オペレータ支援システムは、バックハウのキャビン室に搭載される⁴⁾。

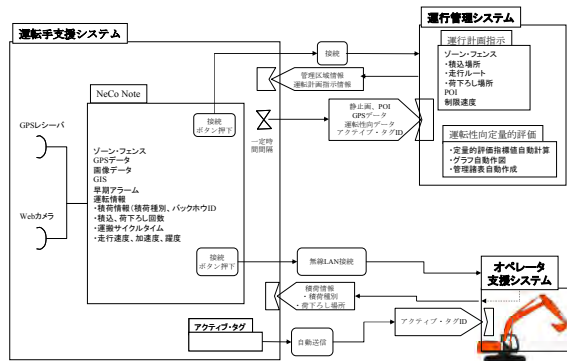


図-1 ECO 運転指導を支援するダンプトラック運行管理システムの枠組み

運転手支援システムは、GPS レシーバ、アクティブ・タグ、Web カメラ、小型 PC、通信端末などのコンポーネントで構成される。これらのコンポーネントは疎結合で連携され、利用者の要求ニーズに応じて搭載される。

最も簡易な使い方の例をつぎに示す。

- ① GPS レシーバとアクティブ・タグだけを運転席に搭載する。
- ② 運転終了後にパソコン経由で運行管理システムに GPS データをアップロードする。
- ③ バックハウに接近してきたダンプトラックのアクティブ・タグは、オペレータ支援システムにより自動検知される。そして、オペレータ支援システムが検知データを運行管理システムに自動送信する。
- ④ 運行管理システムが、GPS データを編集加工して、運行管理情報などを自動生成する。

- ⑤ 利用者は、パソコンまたは携帯電話を使用して、運行管理システムにアクセスすることで、運行管理情報などを閲覧する。

5. 運行管理システム

前述したように、データセンタで管理されるサーバで、運行管理システムは稼動する。運行管理システムの主要な機能を以下に示す。

5.1 ゾーンフェンス

積込箇所、走行ルート、荷下ろし箇所、道路幅員、車線数、カーブ、交差点、通学路、人口集中地区 (DID: Densely Inhabited District)、待機場所などの道路周辺環境を考慮して、走行ルートを区画割りし、重要管理区域として設定できる。本研究では、この重要管理区域をゾーンフェンスと呼ぶ。

ゾーンフェンスの設定画面例を図 2 に示す。カーソルを GIS 上に置くと、その地点の位置情報(緯度経度)が自動表示される。位置情報を確認しながら東西南北の四隅を特定し、名称、区域内規定走行速度などを入力することでゾーンフェンスが登録される。



図-2 重要管理区域を設定

ゾーンフェンスは、積込/荷下ろし箇所や走行ルートを中心として、ダンプトラック待機場所、昼食やトイレ休憩などを考慮して、ある程度の余裕を持って設定される。

GPS データに基づいて、移動体(建設機械、ダンプトラック、作業員など)が設定されたゾーンフェンス内に存在するかを自動判定する。さらに、ゾーンフェンスへの入出時刻、管理区域内滞留時間を自動算出する。移動体が、既定の時間以上、既定の速度以下で走行しているときは、停車しているとみなす。

5.1 運行管理情報

運行管理情報の特長をつぎに示す。

- ① 運行指図情報は、運行管理システムから利用者の携帯電話にメール配信される。後述するように、運転手支援システムから、運行管理シス

テムにアクセスすることで、運行指図情報取得することもできる。

- ③ ダンプトラック走行履歴は GIS 上に表示される。
- ④ ダンプトラック運行データはゾーンフェンスごとに整理されて、一覧表として表示される。
- ⑤ 運転性向評価指標として、速度、加速度、加減速回数、躍度(Jerk)などのデータを算出する。また、速度違反の有無も検出する。
- ④ 運行情報はゾーンフェンスごとに編集加工され、評価指標値の算出と運行管理諸表の作成が自動的に行われる。自動算出される評価指標値を、つぎに示す。
 - a) 作業（積込/荷下ろし）箇所内滞留時間
 - b) 積込/荷下ろしにおける待機台数
 - c) 管理区画（ゾーンフェンス）内走行時間
 - d) 往路走行台数
 - e) 復路走行台数
 - f) 荷積み（往路）運行時間
 - g) 空荷（復路）運行時間
 - h) 積込/荷下ろし延べ台数
 - i) 運搬回数
 - j) 積込/荷下ろし間隔（到着時間間隔）
 - k) 運行サイクルタイム
 - l) バックホウ稼働時間
 - m) バックホウ時間当たり積込量
 - o) 積込/荷下ろし量の合計
 - p) 積込、荷下ろし、運搬などに関するピッチタイム
 - q) 積込、荷下ろし、運搬などに関する作業速度
 - r) 作業経過時間と作業許容残時間

運行情報の出力例を図 3 に示す。さらに、運転手ごと及びクルー全体の運転性向評価情報をグラフ表示することができる。加速度のヒストグラム例を図 4 に、加速度と躍度の推移グラフ例を図 5 に、それぞれ示す。



図 3 運行管理情報の出力例

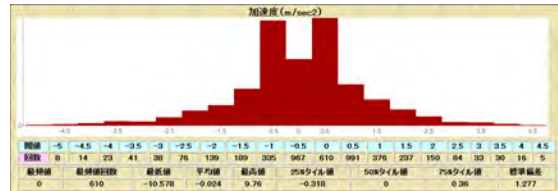


図-4 加速度のヒストグラム例

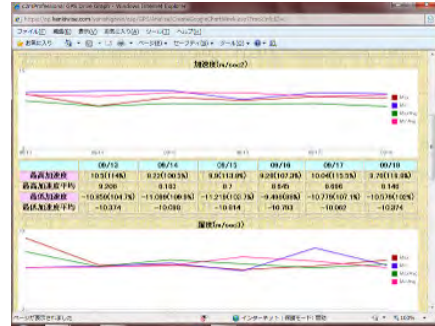


図-5 加速度と躍度の推移グラフ例

5.2 運行状況実時間遠隔モニタリング

運行状況実時間遠隔監視画面例を図 6 に示す。



図 6 運行状況実時間遠隔監視画面例

運行状況実時間遠隔監視画面に表示されるデータは、オペレータ支援システムから一定間隔で自動送信されてきたアクティブ・タグ検知データに基づいて、特定の時間間隔で更新される。利用者は、送信時間間隔とモニタ表示データの更新時間間隔を指定できる。今までの事例ではこの時間間隔を 1 分とすることが多い。

もし、録画と GPS データが運転手支援システムから送信されれば、録画を GIS 上の POI として検索することができる。

5.2 バックホウの配置とダンプトラックの配車台数の評価

平均運行サイクルタイムを平均積込時間で除すと、最大積込量または最大運搬量を得るダンプトラック台数が求まる。

作業（積込）箇所内平均滞留時間の逆数を平均サービス率、平均積込間隔（平均到着時間間隔）の逆数を平均到着率、積込における平均待機台数

を平均待ち行列の長さとする。これらの指標値を待ち行列モデルに適用すると、つぎに示す指標値が求まる^{6), 7)}。

- ① 待ち行列にダンプトラックが存在しない定常確率
- ② バックホウの1時間当たり期待積込量
- ③ ダンプトラックk台数のときの1時間当たり期待積込量

これらの指標値から、バックホウの配置とダンプトラックの配車台数の問題点と改善策に関する知見が得られる。

5.3 運転性向評価カード

運転性向の総合評価として、グリーンカード、イエローカード、そしてレッドカードなどの運転性向評価カードを提示する¹⁾。運転性向評価カードの出力例を図7に示す。

本機能はつぎに示す特長を持つ。

- ① 運転手ごとに運転性向評価カードを発行できる。
- ② 運転手全体の運転性向評価カードを発行できる。
- ③ 運転手は携帯電話でみずからの運転性向評価内容を確認できる。



図-7 運転性向評価カードの出力例

6. 運転手支援システム

運転手支援システムは、運行状況に関する情報を、運転手に運転席で提供することにより、運転手を直接支援することを目的とする。運転手支援システムの諸機能を以下に示す。

6.1 データ交換機能

このデータ交換機能はプッシュ配信とプル配信を担う。その概要を以下に示す

- ① プッシュ配信
 - a) 運行管理システムへのデータ送信Webサービスを利用したデータ交換機能である。一定時間間隔ごとに自動接続し、取得した積荷情報、GPSデータ、録画とPOIのデータなどの情報素片を運行管理システム

に送信する。通信が確保されないときは、再接続したときに自動的に再送信される。

- b) タグIDのバックホウ基地局への送信
- ダンプトラック運転席に車載されるアクティブ・タグは1回/秒の頻度で自らのタグIDを自動発信する。バックホウ車載基地局は半径100m以内に存在するアクティブ・タグのIDを受信し保存する。

- ② プル配信

当該ボタンを押下することで、自動的に接続し、既定の情報を取得する。既定の情報とは、例えば、重要管理区域、速度走行制限、運搬すべき積荷種別などの運行指図情報をいう。

- a) 運行管理システムからデータ取得
 - b) オペレータ支援システムからデータ取得
- 該当ボタンを押下することで、オペレータ支援システムと無線LAN接続する。そして、積み込もうとする積荷の情報を取得する。

6.2 NeCo Note (Network Communication Note)

NeCo Noteは運転手に運行状況に関する情報を実時間ベースにて提供する。

NeCo Noteの主要な機能は、つぎのとおりである。

- ① 走行位置の画面表示
- ② 早期アラーム

注意喚起の情報を提供する機能である。

- a) 重要管理区域（通学路、DIDなど）に接近した既定位置に到達したとき、注意を喚起する情報を画面に表示する。例えば、減速指示と制限速度を画面に表示する。
 - b) 誤積込/荷下ろし未然防止
- 積み込もうとしている積荷の種別情報をバックホウ基地局から取得する。この積荷種別情報を積み込み予定積荷種別情報と突合し、不一致の場合、アラームを画面に表示する。

- ③ 録画とPOI

画像データを録画し、POIとして登録する。画像取得ボタンを押下すると、静止画が自動的に取得され、既定フォルダに格納される。同時に、GPSデータを取得し、物理ファイル名とリンクさせ、データベースに格納する。

- ④ 運転状況実時間モニタリング

運転状況実時間モニタリングのサンプル画面を図8に示す。GPSレシーバから実時間受信したGPSデータを解析して得た運転状況情報を実時間で画面に更新表示する。この運転状況情報は作業実績と運転性向評価指標で構成される。作業実績は一定の時間間隔ごとに算出し、画面に表示する。運転性向評価指標は、重要管理区域、往路と復路、全走行区間などの単位で算出し、画面に表示する。

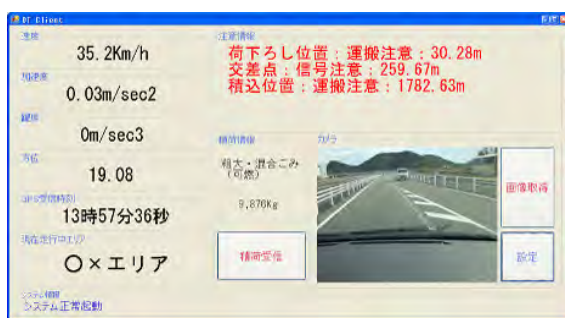


図-8 NeCo Note のサンプル画面

作業実績と運転性向評価指標の情報素片を
つぎに示す。

a) 作業実績

積荷種別、積込位置、荷下ろし位置、積込
回数、荷下ろし回数、運搬回数、サイクル
タイム、運搬累積量など。

b) 運転性向評価指標

平均速度、最高速度、最大加速度、最大減
速度、躍度自乗和平均値、加減速回数（平
均値交叉率）など。

6.3 運転手向け運行状況実時間モニタリングと 運転性向評価カード

運行指図情報、運転手支援システムにより取得
される情報素片、自動生成された運行管理情報な
どは運行管理システムにより一元管理される。手
元の PC または携帯電話を使用して、運行管理シ
ステムにアクセスすることで、これらの情報を閲覧
できる。携帯電話によるこれらの情報の閲覧例を
図 9～図 13 にそれぞれ示す。

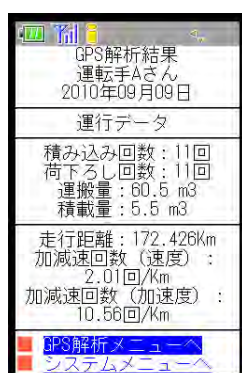


図-9 ある運転手の運行情報

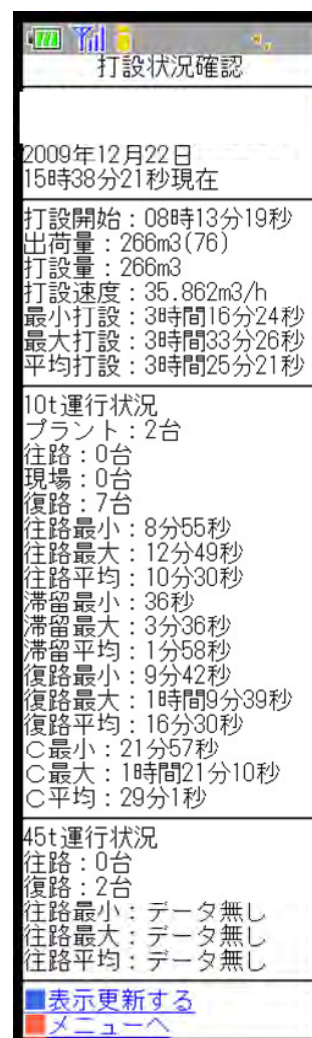


図-10 運行状況実時間遠隔監視情報

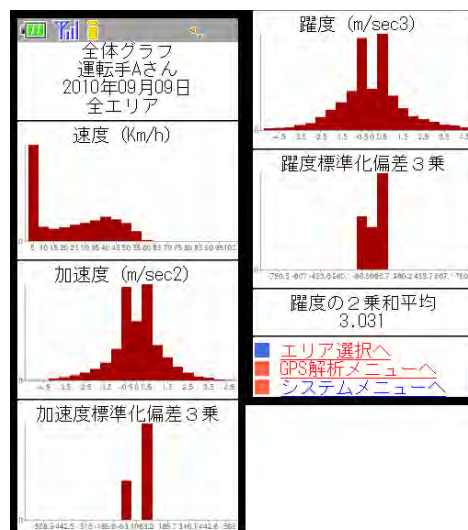


図-11 ある運転手の運転性向評価情報のヒスト
グラム

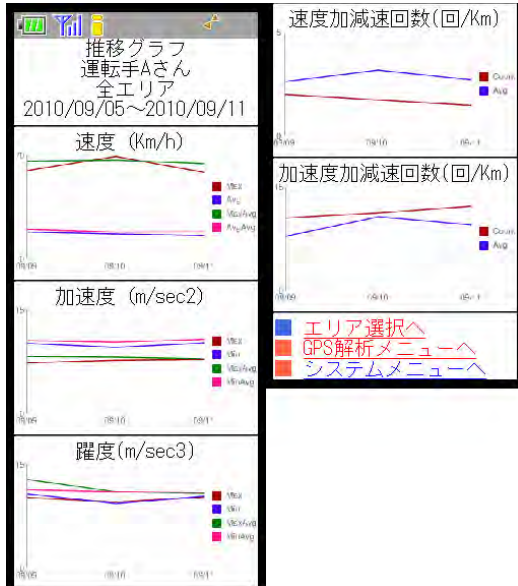


図-12 ある運転手の運転性向評価情報の推移グラフ

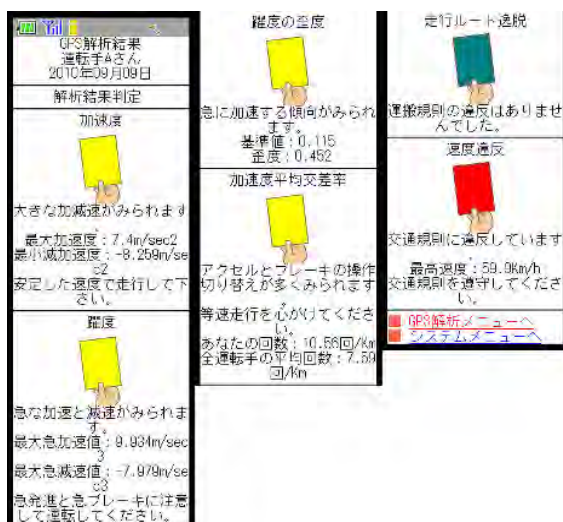


図-13 ある運転手の運転性向評価カード

本論文で述べたECO安全運転指導を支援するダンプトラック運行管理システムは、これらの要求ニーズに応える。

参考文献

- 1) 才原勝敏・西垣重臣：エコ運転指導を支援するダンプトラックICT運行管理システムに関する研究開発，平成22年度建設施工と建設機械シンポジウム論文・梗概集，pp. 101-106, 2010
- 2) Construction Industry Institute Publication Nos.: 3-1 - Constructability: A Primer, July 1986.
- 3) Nishigaki, S., Vavrin, J., Kano, N., Haga, T., Kunz, J. and Law, K.,: "Human ware, Human Error, and Hiyari-hat: a Template of Unsafe Symptoms," Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 120, No. 2, pp. 421-442, 1994.
- 4) 才原勝敏・西垣重臣：バックホウを母機としたフリート・マネジメントに関する研究，平成23年度建設施工と建設機械シンポジウム，2011，投稿中
- 5) 西垣重臣・才原勝敏：災害応急復旧工事を支援する施工プロファイル，平成23年度建設施工と建設機械シンポジウム，2011，投稿中
- 6) A. H-S Ang, W. H. Tang: Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Vol. 2, Decision, Risk and Reliability, John Wiley & Sons, Inc., 1984
- 7) D. Gross, C. M. Harris: Fundamentals of Queueing Theory, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1985.

7. まとめ

災害応急復旧工事の作業環境は，作業に応じて変化し，作業箇所は広域に分散している。これらの作業箇所間を多くのダンプトラックが行き交う。今まで行ってきた，現在行っている，またはこれから行う作業の内容と作業全体の位置づけを理解することは非常に重要である。

ここでは，ダンプトラックの運行を管理するとともに，除石作業や排土作業に伴う建設発生土，災害廃棄物，築堤用土などの種類，並びに搬出元，搬出先ごとに作業の予実績を把握したい。さらに，運行状況を実時間ベースでモニタリングするとともに，定量的な評価指標に基づいて，ECO 運転励行を具体的に指導したい。