

24. 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

(株)キック

渡辺建設 (株)

(株)キック

○才原 勝敏

渡邊 伊三郎

西垣 重臣

1. はじめに

建設発生土、骨材、コンクリートなどの運搬に用いられるダンプトラックのエコ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、エコ運転の励行を指導する事例は希薄である。本論文では、ダンプトラック運転手の運転性向を定量的に記述し、評価する方法について述べる。まず、関連する諸研究開発について報告する。つぎに、本研究開発の目的、トレーニング・データの解析と考察、運転性向の特性値と評価方法について述べる。そして、具現化したシステムの機能とその現場適用事例について報告する。最後に、まとめと今後の課題を示す。

2. 関連する研究開発

本論文に関連して行ってきた諸研究開発について報告する。

これらの研究開発は、「環境に優しい、生産効率のよい、安全な施工を実現するために、安価でポータブルなフィールド・データの計測装置とその計測データの自動収集機能、並びに効率的かつ効果的なデータ交換と情報の利活用を促進するプラットフォームを提供する。」ことを目標としている。これらの研究開発の対象は、建設発生土、骨材、コンクリートなどに関わる積込、運搬、荷下ろしなどの個々の作業とこれらの作業で構成される施工プロセスである。

まず、データの一元管理、施工管理情報の自動作成などの役割を担う施工情報管理システムの研究開発を行った¹⁾。つぎに、作業現場においてフィールド・データを計測・自動収集し、一時保存管理するための作業時点情報管理の研究を行った²⁾。そして、現在、つぎに示す3つの研究開発を行っている。

(1) 積込、運搬、荷下ろしなどの一連の施工プロセスに関する生産性のラインバランス、並びにダンプトラック運転手の運転性向を定量的に記述する

方法³⁾、

(2) 情報通信が遅延/途絶する過酷な作業環境においても耐えられるデータ交換と作業状況実時間遠隔監視に関する情報技術⁴⁾、そして

(3) 建設機械の作業効率とオペレータの操作性向を定量的に記述する方法⁵⁾。

これら研究開発では市販の情報通信機器類をフィールド・データの計測装置として使用している。ここでは、建設機械や車両のメーカー仕様に依存しない、安価でポータブルな情報通信機器類の選択に努めている。さらに、システム機能の開発に際して、選択した情報通信機器類の仕様に可能な限り依存しないように努めている。この事由は、情報通信技術の発展に対応していくために、情報通信機器類の取替えを容易にすることにある。

3. 目的

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⁶⁾。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⁷⁾。

本研究開発は、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し、ヒューマンウェアの向上を図ることを目的とする。この指標は、生産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。ここで、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。

4. トレーニング・データによる解析と考察

GPS ロガを車載した乗用車を使用して3日間の試行運転を行い、運転性向把握方法を検討するためのトレーニング・データを生成した。

この試行運転条件をつぎに示す。

- (1) 2010年1月13日：正規ルートを通常走行した。
- (2) 2010年1月14日：指定外ルートを通常走行した。

このルートは、走行車数が少なく走行条件のよい道路であった。速度を出しやすく、アクセルとブレーキの操作をあまり切り替えずに、運転することができた。

- (3) 2010年1月14日：正規ルートをラフに走行した。

このトレーニング・データの解析と考察を試みた。ここでの考察の視点をつぎに示す。

- (1) 標準偏差の値は分布のバラツキの大きさを示す。

解釈：

- ① 標準偏差値が小さい場合、アクセルやブレーキを緩やかに踏む傾向がある。
- ② 標準偏差値が大きい場合、アクセルやブレーキを強く踏み込むことがある。

- (2) 加速度の歪度

歪度は分布の歪みを示す尺度である。

- ① 正の歪度は分布の形が右に歪んでいることを示す。

解釈：小まめにブレーキを踏むことが多く、アクセルを急に踏む傾向がある。

- ② 「0」近傍の歪度は分布の形が左右対称になっていることを示す。

解釈：加速と減速の仕方が同じである。

- ③ 負の歪度は分布の形が左に歪んでいることを示す。

解釈：小さな加速が多く、ブレーキを強く踏む傾向がある。

- (3) 躍度は瞬間的な(単位時間当たりの)加速度の変化を表す。

解釈：躍度の大きな値は搭乗者に不快感を与え、運転の粗暴性または運転技術の未熟性を示す。

- (4) 平均躍度自乗和

平均躍度自乗和は発生した力の変化の大きさを示す一つの尺度である。平均躍度自乗和を次式により求める。

$$ASJ = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n J_i^2 \quad (1)$$

ここで、ASJ：躍度の自乗和の平均値、 J_i ：i番目の躍度の観測値、 n ：サンプル数である。

解釈：

- ① 平均躍度自乗和が小さい場合はエネルギー効率のよい運転をしていることを示す。

- ② 平均躍度自乗和が大きい場合はエネルギー効率の悪い運転をしていることを示す。

- (5) 速度の平均交叉率

平均交叉率とは、計測データがその平均値を跨いだ回数を示す。平均交叉率を次式で求める。

$$mcr = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{|\operatorname{sgn}(x_i - \bar{x}) - \operatorname{sgn}(x_{i-1} - \bar{x})|}{2} \quad (2)$$

ここで、 mcr ：平均交叉率、 x_i ：i番目の観測値、

n ：はサンプル数、 \bar{x} ：平均値、 sgn ：符号関数である。

解釈：

- ① 平均交叉率が少ない場合は等速走行をしていることを示す。

- ② 平均交叉率が多い場合は、アクセルとブレーキの操作を交互に繰り返すことが多く、運転技術の未熟性を示す。

このトレーニング・データの解析と考察結果をつぎに示す。

走行速度、加速度、躍度、加減速回数の推移グラフを図-1に示す。この推移グラフでは、加速度と躍度の最小値を絶対値で描いてある。

運転性向の考察結果をつぎに示す。

- (1) 正規ルートを通常走行した初日の運転

- ① 速度と加速度の値は平常的なものである。
- ② 加速度の最大値と減速度の最小値の絶対値がほぼ等しい。しかし、躍度の最大値は最小値の絶対値より大きい。さらに、躍度の値と加減速回数の値が大きいことから、

「アクセルとブレーキの操作の切り替えしが多いこと、そしてブレーキよりもアクセルを急に踏む運転をしている。」ことがみてとれる。

- (2) 指定外ルートを通常走行した2日目の運転

- ① 最高速度の値が3日間の中で最も大きい。
- ② 減速度最小値の絶対値は加速度の最大値より大きい。さらに、
- ③ 躍度と加減速回数の値が3日間の中で最も小さい。

結果として「走行条件のよい道路で、速い速度で安定した走行をしている。」ことがみてとれる。

- (3) 正規ルートをラフに走行した最終日の運転

- ① 加速度の標準偏差の値が3日間の中で最も大きい。
- ② 加速度の歪度の値は、他の日は「0」近傍であるの対して、負である。

これらのことから、「アクセルを小刻みに繰り返し、ブレーキを急に踏み込んでいる。」とみてとれる。

- ③ 減速度最小値の絶対値が加速度の最大値より大きい。同時に
- ④ 躍度最小値の絶対値がその最大値より大きい。これらのことから、「ブレーキを急に踏んでいる。」

ことがみてとれる。さらに
 ⑤ 速度の加減速回数が大きい。
 これらのことから、「最終日の運転が3日間のうち
 で最も粗暴なものである。」とみてとれる。

これらの考察結果は前述した試行運転条件とよく
 整合している。

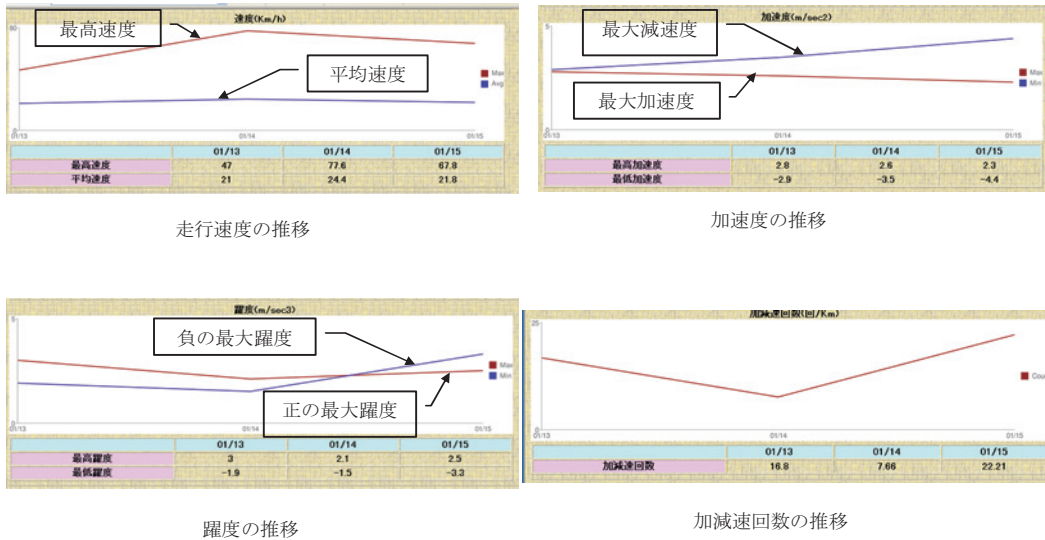


図-1 走行速度、加速度、躍度、加減速回数の推移グラフ

5. 運転性向の評価方法

トレーニング・データの解析と考察結果を踏まえて、運転性向を表現する特性値として、つぎのものを追加する。

- (1) 加減速回数を評価するための加速度の平均交叉率
- (2) 加速度の変化の分布形状をみるための躍度の歪度

これらの特性値に関する評価方法を以下に示す。

個々の運転手の特性値と運転手全員を対象にした特性値を比較し、運転性向をつぎのように評価する。

- (1) 各運転手の平均速度を全体の平均速度を比較する。この平均速度が全体平均速度より速いときは、この運転手は速い速度で走行する傾向がある。
- (2) 加速度と正の躍度について、該当する全体の分布の第三・四分位数より大きい値の頻度が多いとき、この運転手はアクセル操作が粗暴である。
- (3) 減速度と負の躍度について、該当する全体の分布の第一・四分位数より小さい値の頻度が多いとき、この運転手はブレーキ操作が粗暴である。
- (4) 平均躍度自乗和の値が該当する全体の分布の平均躍度自乗和の値より大きいとき、この運転手はエネルギー効率の悪い運転をしている。逆に、小さいときは、この運転手はエネルギー

効率のよい運転をしている。

(5) 速度と加速度の平均交叉率が全体の平均交叉率より大きいとき、この運転手は走行速度が不安定な運転をしている。逆に小さいとき、この運転手は運転技術に優れ、安定した走行速度で運転をしている。

(6) CO2 排出量が該当する全体の分布の第三・四分位数より大きいとき、この運転手はエネルギー効率の悪い運転をしている。

(7) CO2 排出量が該当する全体の分布の第一・四分位数より小さいとき、この運転手はエネルギー効率のよい運転をしている。

違反有無については、つぎのように判断する。

- (1) 最高速度が法定速度を超えると、交通規則に違反している。
- (2) つぎのような運転は、建設現場が定める運搬規則に違反している。

① 指定された運搬ルート以外を走行している。

② 指定された待機場所以外に停車している。

ここで、待機場所とは、積込または荷下ろしの作業を待つために、あらかじめ指定された場所をいう。但し昼食時や休憩時に駐車場に駐車している場合を除く。

表-1 に示すように、加速度と躍度のそれぞれの歪度の正、「0」近傍、負などの組み合わせにより運転性向を評価する。

表-1 加速度と躍度の歪度の値の評価方法

加速度の歪度	躍度の歪度	評価
正	正	小まめなブレーキ操作が多い。時に急加速することがある。
	「0」近傍	小まめなブレーキ操作が多い。加速と減速ともに緩やかな運転をしている。
	負	小まめなブレーキ操作が多い。時に急ブレーキをかけることがある。
「0」近傍	正	加速は急な、しかし減速は緩やかな運転をしている。
	「0」近傍	加速と減速ともに緩やかな運転をしている。
	負	加速は緩やかな、しかし減速は急な運転をしている。
負	正	小まめなアクセル操作が多い。時に急加速することがある。
	「0」近傍	小まめなアクセル操作が多い。加速と減速ともに緩やかな運転をしている。
	負	小まめなアクセル操作が多い。時に急ブレーキをかけることがある。

とで閲覧できる。

(6) 運転手は携帯電話を利用して、自らの運転性向を確認できる。

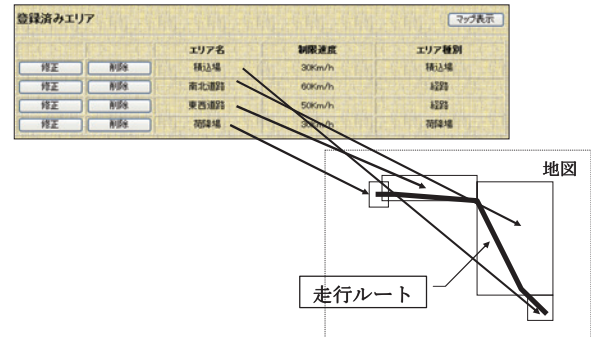


図-2 走行ルートの管理区域の設定例



図-3 一覧表の画面例

6. システム機能

特性値の計算と比較、そして、評価結果の出力を、取得したGPSデータに基づいて、自動的に行うシステムを開発する。システムの個別目標をつぎに示す。

- (1) データ解析と管理諸表作成を時間駆動型で自動的に行う。管理諸表は日報、週報、旬報、月報などの単位で作成できる。
- (2) 道路幅員、車線数、カーブ、交差点、通学路、人口集中地区 (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、管理区域として登録することができる。走行ルートの管理区域の設定例を図-2に示す。
- (3) 特性値を管理区域ごとに整理して一覧表として表示できる。この一覧表の画面例を図-3に示す。
- (4) 運転日報に記述される燃料補給量に基づいてCO2排出量を自動計算する。
- (5) 利用者は、出力結果であるデータ解析結果一覧表、走行履歴の地図上表示、データ解析結果のグラフ表示などを、該当ボタンを押下するこ

7. 現場適用事例

今まで述べてきた考え方と開発したシステムを、その有効性を検証するために、宅地造成工事の盛土材搬入工に適用している。盛土材搬入に用いられるダンプトラック台数は5台である。走行距離は片道約20kmである。作業開始後5日間の特性値の推移を以下に示す。3日目(8月9日)の夕方に、作業開始後2日間(8月6日と8月7日)のGPSデータ解析結果を運転手に配布した。

平均速度の推移を図-4に示す。走行ルートの途中にバイパス道路(基本2車線、一部3車線)があり、この区間で最高速度が発生している。8月10日と8月11日の最高速度及び平均速度は特に減少している。

図-5に加速度の最大値と最小値の推移を、図-6に躍度の最大値と最小値の推移を示す。つぎに、加減速の平均交叉率の推移を図-7に示す。そして、平均躍度自乗和の推移を図-8に示す。

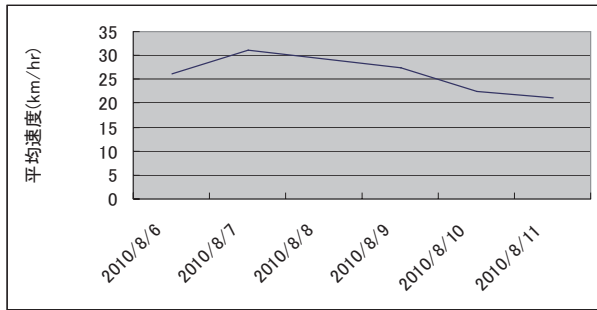


図-4 平均速度と最高速度の推移

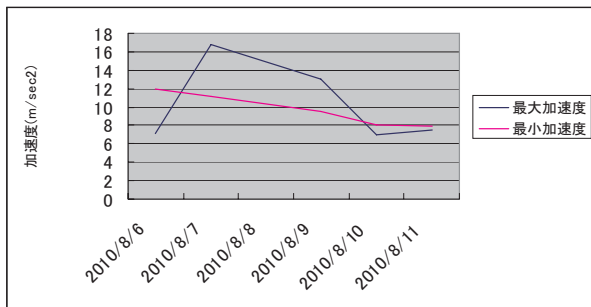


図-5 加速度の最大値と最小値の推移

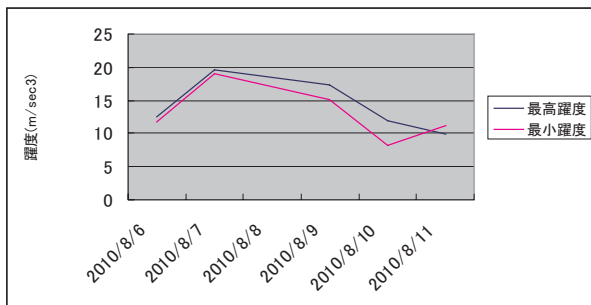


図-6 躍度の最大値と最小値の推移

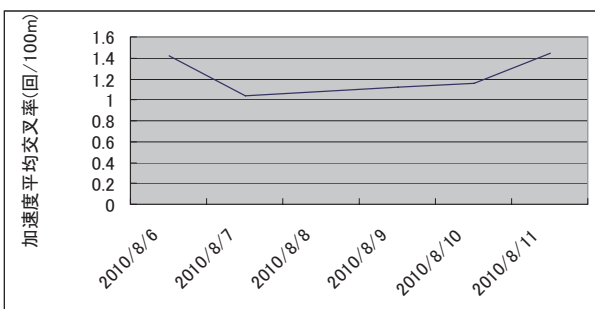


図-7 加減速の平均交叉率の推移

図-5 と図-6 においては、最小減速度と最小躍度を絶対値で描いている。加速度と躍度は減少傾向を示している。

加減速の平均交叉率の値は、100m 当たり 1.04 回から 1.45 回であり、交通量を考慮すると特に

多いとはいえない。ブレーキ操作の時間は短く、アクセル操作にて速度を調整しているとみられる。

平均躍度自乗和は減少傾向にある。特に 8 月 10 日と 11 日の減少が顕著である。前述したように、平均躍度自乗和は力の変化の大きさを示す一つの尺度である。最後の 2 日間はエネルギー効率のよい運転をしているといえる。

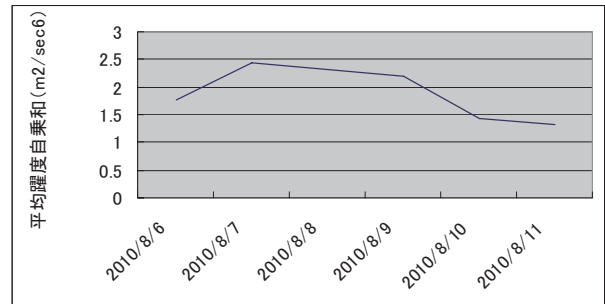


図-8 平均躍度自乗和の推移

これまでのことから、GPS データ解析結果を運転手に配布した後に、各特性値の値が減少していることが分かる。これは、運転性向指標を運転手にフィードバックすることで、自らの運転の仕方を振り返る機会を得て、彼らの運転性向が変化したことを示す。

個々の運転手の特性値が、運転手全員を対象とした特性値の第三・四分位数を超える観測値と、第一・四分位数を下回る観測値を数え上げ、それぞれのサンプル数に対する比率を算出する。個々の運転手の特性値が、運転手全員を対象とした特性値と同じように分布しているとき、第三・四分位数を超える割合と第一・四分位数を下回る割合は 25% 近傍の値になる。

躍度の第三・四分位数を超える割合を表-2 に、躍度の第一・四分位数を下回る割合表-3 に示す。速度と加速度の第三・四分位数を超える割合と第一・四分位数を下回る割合は、紙面の都合上割愛する。

この四分位数との比較分析から、つぎに示す運転性向が分かる。

- (1) 運転手 D の運転操作は、8 月 7 日を除き、走行速度、並びにアクセルとブレーキの操作が安定している。他の運転手と比較して、急加速と急減速は少ないとみられる。運転手 5 人の中で、運転手 D は最も安定した運転操作をしている。
- (2) 運転手 E の運転操作は最も粗暴である。運転手 E は、他の運転手と比較して速度が速いことが多く、アクセルを踏み込み過ぎる傾向がある。さらに、急発進すること、及び急ブレーキをかけることが多い。

(3) その他の運転手の運転操作は、走行速度が不安定であり、アクセルとブレーキの操作の切り替えが多い。そして、急発進することや急ブレーキをかけるときがある。

表-2 躍度の第三・四分位数を超える割合

運転手名	8/6	8/7	8/9	8/10	8/11
A	26.5	26.6	27.2	22.6	30.9
B	28.6	24.5	26.3	26.2	24.7
C	14.2	24.8	20.5	32.5	20.7
D	21.3	26.7	20.7	21.4	20.8
E	28.4	25.7	26.0	32.4	25.6

表-3 躍度の第一・四分位数を下回る割合

運転手名	8/6	8/7	8/9	8/10	8/11
A	24.2	23.5	25.9	19.5	28.8
B	31.7	26.3	28.9	27.6	27.1
C	17.3	27.0	21.9	33.5	20.1
D	23.6	27.8	23.6	23.4	21.9
E	31.4	28.1	27.8	33.8	27.8

これらの割合を考察することで、運転手の運転性向を把握することができる。

本システムの適用により運転性向がどのように変わったかをみるために、5日目の作業終了時に、運転手全員に対してアンケート調査を行った。その結果によると、運転手の意識につきのような変化がみられた。

- (1) 運転手全員が、アクセルとブレーキを強く踏みすぎないように注意し、急に加速しない、及び急に減速をしないように心がけている。
- (2) 車間距離、歩行者、駐車車両などに注意し、強気の運転をしなくなった。

7. まとめと今後の課題

本研究開発で示した特性値は、運転性向をよく表現する。そして、本システムは、職長や元請職員に、エネルギー消費の節減に努め、環境に優しい運転を指導することを目的とした定量的な指導指標を提供するとともに、各運転手に自らの運転を振り返る機会を与える。

今後の課題をつぎに示す。

(1) 運転性向評価を簡易に提示することを目的とした運転性向評価カード提示機能を開発する。運転性向評価カードのイメージを図-9に示す。図中に示した「作業効率のよいエコ運転」とは、

- ① 走行速度の標準偏差の値が小さい。
- ② 加速度と躍度の歪度の値は「0」近傍にある。
- ③ 平均躍度自乗和の値は小さい。

- ④ 速度と加速度の平均交叉率の値が小さい。
- ⑤ 交通規則及び建設現場が定めた運搬規則に違反しない。

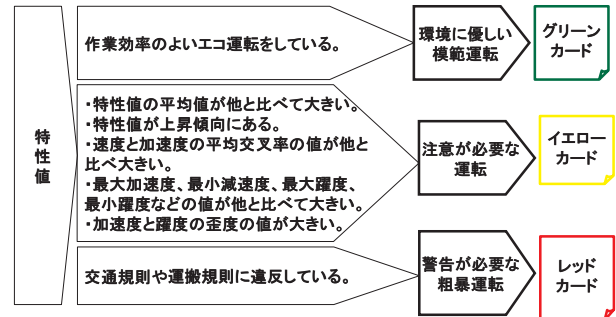


図-9 運転性向評価カードのイメージ

(2) 土運搬の前・後工程において使用される建設機械に関して、ポータブルな機械稼働管理方法とオペレータの操作性向の記述方法について研究し、必要な諸機能を開発する。

参考文献

- 1) S. Nishigaki, H. Sugiura, T. Takamura, H. Ogura and K. Hatori: "Study on Framework of Construction Profile for Collaboration and Intelligent Construction," Journal of Applied Computing in Civil Engineering, Vol.14, pp. 287-298, 2005.
- 2) S. Nishigaki, K. Saibara, F. Matsuda, H. Ogura: "Points on Construction," 25th ISARC 2008, Vilnius, Lithuania, pp. 796-803.
- 3) S. Nishigaki, K. Saibara, Y. Kaneda, T. Oka, M. Hasegwa, H. Ogura, F. Matsuda (2010): "Line Balance and Drive Bearing in Haulage Work," 27th ISARC 2010, Bratislava, Slovakia, pp. 316-325.
- 4) S. Nishigaki, K. Saibara, S. Kitahara, H. Satoh, M. Hasegwa, H. Ogura, F. Matsuda: "LHD Remote Monitoring and Management based on Delay/Disruption Tolerant Network," 27th ISARC 2010, Bratislava, Slovakia, pp. 326-335.
- 5) S. Nishigaki, K. Saibara, S. Kitahara, M. Moteki: "Work Efficiency Evaluation Model," 27th ISARC 2010, Bratislava, Slovakia, pp. 336-345.
- 6) Construction Industry Institute Publication Nos.: 3-1 - Constructability: A Primer, July 1986.
- 7) 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.