

オペレータ操作性向の定量的評価指標の提案

Proposal of Quantitative Indicators to Evaluate Operator's Bearing

(株)まざらん 正会員 ○西垣 重臣

1. 動機

オペレータの状況認識と操作技能の向上,そしてヒューマンエラーの未然防止を図るために,操作性向に係る物理的な手がかり情報を,定量的評価指標とインフォグラフィックスとして,オペレータにリアルタイムに提供することは非常に有意義である。操作性向とは,操作によって励起される建設機械の振る舞いであり,オペレータの操作能力や心的態度をいう。

本論文において,オペレータの操作性向による建設機械の振る舞いを定量的に評価する指標を提案する。ここでの目的は,つぎのとおりである。

- (1) オペレータの技能(操作安定度,学習能力,困難対処能力など)と作業の困難性を定量的に評価する。
- (2) オペレータに,定量的評価をインフォグラフィックスとしてフィードバックすることで,自省する契機を与える。

2. 操作性向定量的評価に関わる特性要因

操作性向定量的評価に関わる物理的な手がかり情報の特性要因を図1に示す。

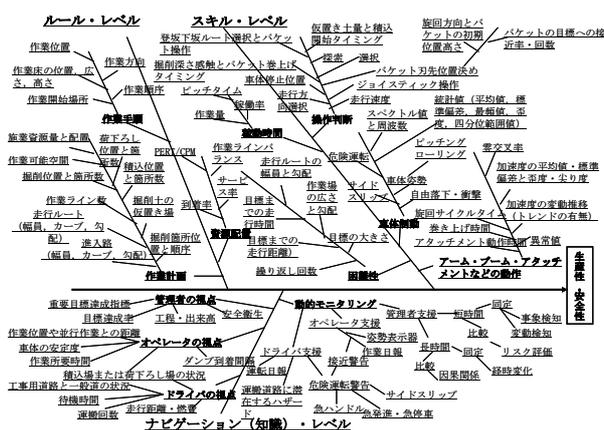


図1 操作性向定量的評価に関わる物理的な手がかり特性要因

建設機械の操作コントロールは,つぎに示す3つレベルに大きく分かれる。

(1) ナビゲーション・レベル

目標,目標への方向付け,目標と現状の不一致など

キーワード オペレータ,操作性向,定量的評価指標

連絡先 〒160-0079 東京都新宿区北新宿 3-4-4-208 (株)まざらん TEL090-4838-1489

み合わせ,筋書きなどの構造的な設定

(2) ルール・レベル

物理的世界に対する定型的な操作状態の再認と記憶されたルールの想起

(3) スキル・レベル

ナビゲーション・レベルのサブ目標を達成するために,建設機械を操作して作業・動作を行う。

図1に示す操作性向定量的評価に関わる特性要因に注目して,操作性向定量的評価指標を導出する数理モデルを整理する。

2. センサ

使用するセンサはスマートフォンに組み込まれている三軸加速度計,三軸角速度計,GPSなどである。バックホウの場合,このスマートフォンをバックホウのアームの根元に取り付ける(図2)。



図2 センサの取り付け状況

3. 操作性向定量的評価指標

操作性評価指標を以下に列挙する。

- (1) 加減速性向: 加速度分布の形状(歪度,尖り度,単峰性,二峰性など)に基づいて加減速性向を判断する。
- (2) エネルギー性評価指標
 - ① 力積 (impulse): 速度応答の和を計算する。
 - ② 加速度の外れ値数: 中央値絶対偏差に基づいて外れ値数を計算する。

る。躍度が小さいことは加速度の変化が小さいことを示し、その運動は滑らかである。

(3) 走行特性指標

① 衝撃と自由落下：三軸合成値 $>1.2G$ のとき衝撃、三軸合成値 $<0.7G$ のとき自由落下が発生しているとする。

② サイドスリップ：操舵角と前後方向加速度と左右方向加速度がなす角度の差を計算する。その差の時系列が連(run)を形成するときサイドスリップが発生したとする。

③ 転倒危険：前後方向加速度と左右方向加速度に相補フィルタを適用して車体姿勢（ピッチングとローリング）を計算する。車体姿勢の時系列が連(run)を形成するとき、転倒危険が発生したとする。

(4) 建設機械の追従制御性の評価

① 動的変位の評価尺度

動的変位のイメージを図3に示す。動的変位はつぎの三つに分かれる。

- a) 動的可変性(MV: Movement Variability)：平均値からの偏差(変化)の分散
- b) 動的偏差(ME: Movement error)：変位絶対値の平均値
- c) 平均変位(MO: Movement offset)：変化の平均値

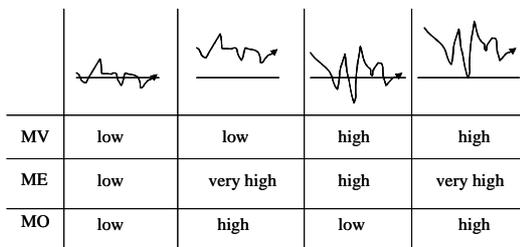


図3 動的変位のイメージ

② リアプノフ指数(Lyapunov exponent)：リアプノフ指数はごく接近した軌道が離れていく度合いを表す量である。

③ 転向角(turn angle)のバラツキ：転向角は建設機械の操舵角を示す。転向角のバラツキは建設機械の並進性を表現する。

④ 走行軌跡の乱れ：正矢(Versine)を計算する。

⑤ 操舵危険指標：操舵危険指標＝走行速度/曲率半径を計算する。さらに、船の操縦性評価に用いられているZ試験を活用し、overshootやundershootを計算する。

⑥ 旋回指標：操舵角とヨー角度の推移グラフを描画する。緩旋回、信地旋回、超信地旋回などを観察する。

(5) 載荷面の平坦性の把握：押土・敷き均し時の三軸合成値を用いて、ブルドーザ通過後の路面形状の変位をKelvin-Voigt modelモデルに基づいて算出する。

(6) 困難性指標:Fitts' LawとSteering lawに基づいて、目標物の大きさと目標物までの移動距離に基づいて困難性を示す。

(7) 意図形成の安定度

① 学習能力：オペレータは、試行回数が増えるにつれて、作業環境に慣れる。そこで、作業所要時間と試行回数の関係を見る。

② 作業環境の変化への素早い対応：作業所要時間と困難性指標の関係を見る。

③ 作業所要時間と熟練と未熟練：特定の課題の試行回数に対する反応時間の対数を見る。

4. 総合評価方法

今までに述べた定量的評価指標ごとに評価者側の主観的な重み(重要性)を加えて、被験者の総合評価を行う。評価者側の主観的な重みの算出に際して、階層分析法(AHP: Analytic Hierarchy Process)を用いる。ここでは、定量的評価指標の重要性について1対比較行列を作成する。この1対比較行列の固有値と固有ベクトルを求めることで、各定量的評価尺度の重要度を定める。評価者が算出された定量的評価指標値を採点する。採点された得点と定量的表指標重要度の重みとの積和を求め、その値を総合評価得点とする。

5. まとめ

本論文で提案した定量的評価指標は、施工現場におけるオペレータの技能評価と指導に役立つ。さらに、オペレータの技能教育と教育効果の評価にも活用できる。

参考文献

- ・ Paul M. Fitts (1954): The Information Capacity of the Human Motor System in Controlling the Amplitude of Movement, the Journal of Experimental Psychology, 47, 381-391.
- ・ 松永昌樹: IMO 操縦性基準について、pp.69-75、No. 223、日本海事協会誌 (II)、1993