

## 動線と評価関数を用いた回避行動シミュレーションに関する研究

片岡 隆之, 金指 正和

### A Study of Avoidance Behavior Simulation using Traffic Line and Evaluation Functions

Takayuki KATAOKA and Masakazu KANEZASHI

#### synopsis

Recently, inspection of factories for safety purposes has been changeable with the advance of technology. At the same time, some new problems for safety purposes also appear. Therefore, upper level managers and workers should always consider a matter in all its aspects of safety activities such as check, inspection, security verification, and so on. In addition, especially workers are necessary to offer it for upper level managers. Then, our study suggests a new avoidance behavior simulation using traffic line and evaluation functions. The purpose is to examine for decreasing disaster rates, enhance the safety of workers, and discuss the efficiency of our study.

Keywords: Risk Management, Avoidance Behavior, Simulation, Traffic Line, Evaluation Functions, Factories

#### 1. はじめに

工場内の安全分野は、従来から様々な問題が提起されている。しかしながら、産業技術の進歩に伴い、次々と新しい問題も登場してきている。

そうした中、作業現場で働く労働者は、常に自らの安全を守るために安全活動の重要性を認識しつつも、未だ実際の現場では、理想どおりに運ばないのが現実である。

言い換えれば、これらの問題への取り組みに対し、適切性に欠ける改善方法をとった場合、再び同じトラブルを引き起こすだけではなく、より大きな災害を引き起こしてしまう可能性がある。

そのため、常に点検、検査、定期確認などを中心とした安全管理について、現場の関係者全員が考慮することにより、より働きやすい現場の構築が求められている[1]。

そこで本研究では、工場内の作業員の“安全性”に着目し、動線と評価関数を用いた回避行動シミュレーション実験を行う。

まず最初に、問題点を明らかにすることで分析をやすくするため、多くの問題を抱えた工場をモデルとしたシミュレーションを実行する。目的として、災害率減少、作業員の作業効率、安全性向上、さらには、作業員に働きやすい現場作りの提供などを達成するための検討を行う。

また、本研究でのシミュレーションは、3つのパターン（対策前、定期確認導入、RFID導入）に分けて、比較実験を検討する。どの手法が作業員の被害率を減少した割合が多く、かつ安全に繋げることができるのか、また、その実験方法で、被害率削減数が少ない場合、なぜ下げることができなかったのかについて分析し考察する。

## 2. 本研究で導入する各手法

### 2.1 動線

動線とは、建物内を人が歩いたり、物が動いたりした跡や方向などを線で示したものである。特に現場作業員が作業効率向上、移動時間短縮を目的とする場合、動線を短くすることと、別の動線と重ならないようにすることが重要である。本研究では、作業員が安全な道を通っているかを判断するために本手法を用いる。その事例を図1に示す。

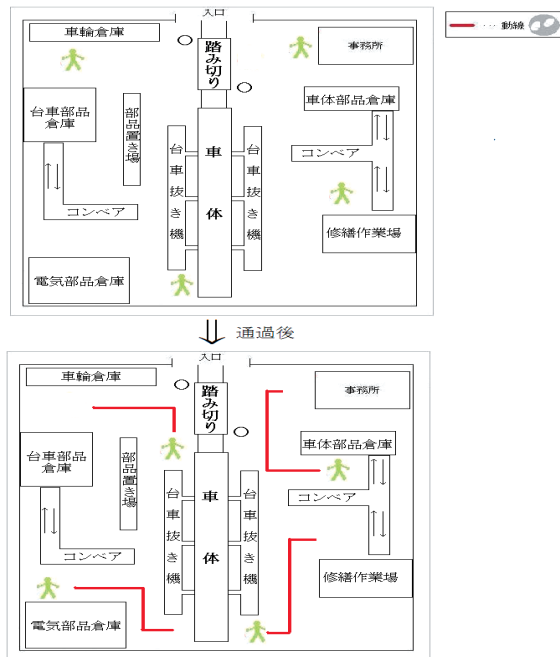


図1. 工場内の動線図

### 2.2 評価関数

評価関数は、主に思考ゲーム(囲碁や将棋、オセロ等)で用いられる方法の一つで、局面の状態を数値に変換し、与えられた局面がどの程度優勢にあたるかを表現する関数のことである。現在の局面が良い場合は正の数値、悪い場合は負の数値で局面の点数を表す[2]。本研究では、現在の現場状況に応じて、評価関数を変動させる。例として、オセロでの評価関数を図2に、本研究での適用例を図3に示す。

100	-40	20	5	5	20	-40	100
-40	-80	-1	-1	-1	-1	-80	-40
20	-1	5	1	1	5	-1	20
5	-1	1	0	0	1	-1	5
5	-1	1	0	0	1	-1	5
20	-1	5	1	1	5	-1	20
-40	-80	-1	-1	-1	-1	-80	-40
100	-40	20	5	5	20	-40	100

図2. オセロによる評価関数

オセロの例では、隅にある石は相手に取られることはないため、隅を取ると有利になる確率が高くなる。また、隅の隣または隅に接するマスに打つと、相手に隅を取られて不利になることが多くなる。したがって、隅には高い点を、その隣と斜めには低い点を与えるのが妥当とされている。

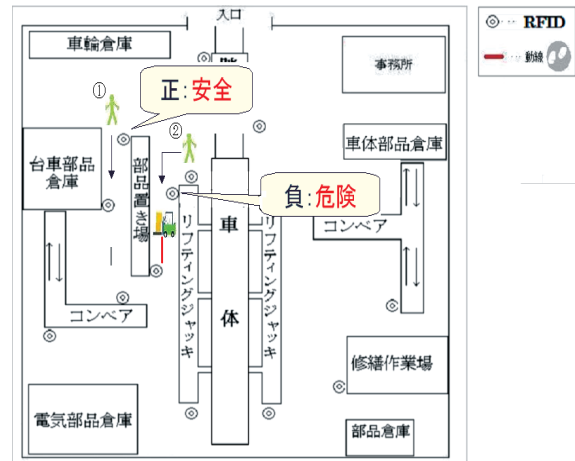


図3. 評価関数の事例

本研究では、図3に示すようなRFID(Radio Frequency Identification)内で評価関数を使用することにより、現在の状態を評価値で表す。例えば、①の作業員は、矢印の方向に真っ直ぐ進行しようとしているが、この場合、危険を示す動線が存在しないため、評価関数は正の値を示し、進行しても安全であることを作業員に知らせる。一方、②の作業員はそのまま進行すると、直前にフォークリフトの動線が近づいており、作業員と衝突する恐れがあるため、評価関数は負の値を示し、危険であることを知らせつつ、安全な道を提供するという場面で用いられている。

### 2.3 ヒヤリハットの法則

作業中や運転中に事故が起きそうな状況に出会い、ヒヤッとしたりハッとしたりしたことを記録して、その原因を全員で究明し同じような状況にあっても事故の要因とならないようにする安全衛生活動のことをいう。

これは、アメリカ人安全技師“ハインリッヒ”が発表した労働災害における発生比率を分析したものであり、そのなかで「ある原因で1回の重大災害[ヒューマンエラー事象(死亡・重症)]が発生した場合、29回の軽症事故[ヒヤリハット事象(かすり傷)]があり、その下には300回の無傷事故[潜在的な危険因子(ヒヤッとする)]が存在する」というものを「1:29:300」と表す法則である。

本研究では、この法則を、各作業現場における作業者の災害発生確率に対して使用する。

## 2.4 RFID (Radio Frequency Identification)

人や物を示す情報を IC チップ内に覚え込ませ、それを無線で読み出す非接触の認識技術のことで、身近な RFID の例として、防犯装置、JR 西日本の「ICOCA」などが挙げられる。本研究では、実験方法の一つとして使用し、作業現場内で作業員や機械などにトラブルが起きてしまう前に危険を知らせるための手法として用いる。

## 3. シミュレーション実験

### 3.1 シミュレーション

シミュレーションとは、実際のシステムの挙動を模擬するための手法や応用の広範囲にわたる集合のことを指す。現実の問題を模擬した装置を準備し、その装置を用いた実験を行い、現実に近い結果を得て、問題解決に役立てるものである[3]。

### 3.2 Arena

Arena は製造業、運送業、サービスシステムなどに関する重大で複雑な再設計などの変化の影響を分析するために作られたシミュレーションソフトで、企業全体の分析や生産性を高めるツールとして使われている。

Arena でのモデル化の代表的な例として、機械、作業員、搬送機器、コンベヤ、貯蔵スペースを有する生産工場や、各々の種類の顧客、店員、ATM、ローン係、貸し金庫を有する銀行、また、工場、倉庫、搬送経路を有する流通ネットワークなどがある。その他にも様々な現場でモデル化されている。また Arena の使いやすさや柔軟性が評価され、世界のビジネス界でも幅広く使われており、他のシミュレーションソフトウェアを抑えて利用実績では世界で約 30% のシェアを獲得している。

### 3.3 シミュレーションモデル図

本研究のシミュレーションは、“鉄道車両工場”を参考モデルとして作成した。このシミュレーション工場の作業工程順を図 4、本研究モデルでの作業員に対する危険度フローチャートを図 5 に示す。なお、図 4 の矢印(→)は一方通行の配送動線を表している。

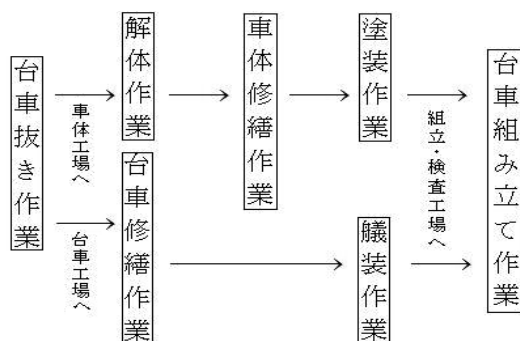


図 4. シミュレーション工場の作業工程順

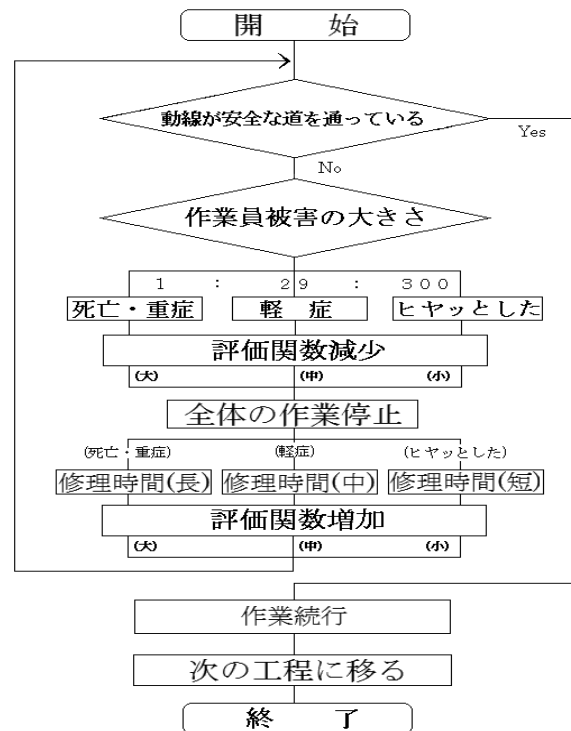


図 5. 「対策前」の作業員に対する危険度フローチャート

### 3.4 前提条件

- (1) シミュレーション期間は 1 年。
- (2) 作業員の 1 日の作業時間は 24 時間。
- (3) シミュレーションのパケット単位は「分」単位で実験。
- (4) 実験方法は、「対策前」・「定期確認のみ」・「RFID」の 3 つのパターンで行い、実験結果を分析する。
- (5) 作業員は各担当作業場に 5 人ずつとする。
- (6) 作業開始時の評価関数の初期値は 0 とする。
- (7) 評価関数が負の場合、作業全体を停止させ、修理作業に取り掛かる。正の場合、作業を続ける。
- (8) 災害が大きいくほど評価関数の減少も大きく、修理時間も長くなる。
- (9) 動線を用いた災害発生確率は各作業現場で異なり、1:29:300 に近い確率で起きる。それ以外は安全とする。
- (10) 各作業現場の災害の大きさは、ヒヤリハットの法則 (1:29:300) の割合で分ける。
- (11) 修理作業は 1 回で修理が終わるとは限らない。
- (12) 修理作業が完了すると、評価関数が増加する。増加量は修理時間が長いほど大きいものとする。
- (13) 定期確認は 1 週間に 1 回工場内全体の作業を停止させ、安全な道を通っているか、危険な部分があるかを確認するために設ける。
- (14) RFID の実験では、RFID 自体にもトラブルがあることを想定する。

### 3.5 シミュレーション実験のルール

本研究では、「対策前」、「定期確認のみ」、「RFID 導入」の3つのパターンでシミュレーション実験の比較を行う。各実験のルールを以下に示す。

- (1) 「対策前」：初期設計から変化なしで作業を進行。実験の性質上、多くの問題を抱えた設定とする。
- (2) 「定期確認のみ」：対策前のフローから新たに評価関数の導入と安全確認のみを設ける
- (3) 「RFID」：定期確認のフローにさらに「RFID」を付け加えることで作業員の被害率削減を強化する。

### 3.6 実験結果

前述のヒヤリハットの各項目における「対策前」の作業員被害率に対する「定期確認」と「RFID」の被害削減率を図6, 7, 8に、「死亡・重傷」作業員被害率を図9に示す。

	定期確認	RFID
台車抜き作業	23.89%	38.79%
解体作業	12.84%	39.88%
車体修繕作業	18.31%	36.78%
塗装作業	19.73%	34.47%
台車修繕作業	18.36%	36.93%
艀装作業	4.22%	27.95%
台車組み立て作業	22.58%	39.45%

図6. 「ヒヤットした」作業員被害削減率

	定期確認	RFID
台車抜き作業	21.48%	29.37%
解体作業	10.55%	23.50%
車体修繕作業	13.81%	19.12%
塗装作業	16.38%	25.86%
台車修繕作業	13.75%	23.67%
艀装作業	13.59%	23.62%
台車組み立て作業	16.77%	27.07%

図7. 「軽症」作業員被害削減率

	定期確認	RFID
台車抜き作業	7.84%	13.15%
解体作業	2.41%	11.45%
車体修繕作業	0.00%	10.68%
塗装作業	4.99%	10.19%
台車修繕作業	3.18%	10.14%
艀装作業	2.25%	9.42%
台車組み立て作業	7.62%	13.37%

図8. 「死亡・重症」作業員被害削減率

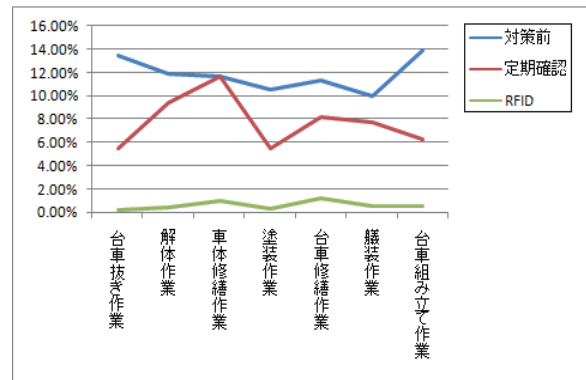


図9. 「死亡・重症」作業員被害率

### 4. 考察

本実験結果から、初期設定の「対策前」で作業を進行させると、どの作業現場でも作業員の被害割合は高くなった。しかし、新たに評価関数と「定期確認」を設けることにより、「対策前」より約10~20%の割合で被害率を下げる事ができた。さらに「RFID」を用いることにより、被害率を数%まで下げることに成功した。今回の結果、RFIDを用いれば、作業員の安全性・作業効率が大きく向上する可能性をもつことが明らかになった。また、図6, 7, 8において最も削減率の大きい項目は、「定期確認」の場合、「ヒヤットした」項目以上に多く散見され、週に1回の「定期確認」導入だけでも充分削減可能と推測される。また「RFID」の場合、RFIDの配置位置が重要であることも判明した。

### 5. おわりに

本研究では、“鉄道車両工場”を参考モデルとした危機回避シミュレーションを実施し、対策前より作業員の被害率を大幅に下げ、安全性・作業効率を向上させる方法を提案した。しかし、今回の実験では、各現場の災害発生率は全て均一確率で、災害を種類別(機械故障、火災、衝突事故等)に分類していない。今後の課題として、機械故障、作業員負傷などを考慮した不確定要素を含んだより幅広い現場に近いモデルで実験出来るように改善していく必要がある。最後に本研究に協力してくれた小城敏弘君に感謝したい。

### 参考文献

- [1] 労働省産業安全研究所長 高橋湛著：「工場安全教本」，槇書店(1958)
- [2] 大崎泰寛，柴原一友，但馬康宏，小谷善行著：「TD(λ)-MC法を用いた評価関数の強化学習」，東京農工大学工学部情報工学科編(2007)
- [3] W.D.Kelton, R.P.Sadowski, D.T.Sturrock 共著，高桑宗右エ門監訳，野村淳一訳：シミュレーション「Arenaを活用した総合的アプローチ」第3版，コロナ社(1999)