

# エージェントベースモデリングによる複雑構造変位型システムの信頼性評価

## —ヒューマノイド型ロボットの信頼性評価とメンテナンス問題への適用—

A study on performability evaluation for structurally complex displacement systems using agent base modeling

愛知県立大学 情報科学部 地域情報科学科 伊東 寛人, 市川貴久

指導教員：奥田 隆史

### 1 はじめに

我々の研究グループでは、ヒューマノイド型ロボット（以下、HR）を利用した娯楽や教育等のサービスに関する研究開発を行っている [1](図1)。HRは、サービスに基づく歩行等の動作に応じて複数の関節や部品（以下、ノード）が連携しながら、その位置が時間とともに変化していくシステム（以下、複雑構造変位型システム）として解釈することができる。

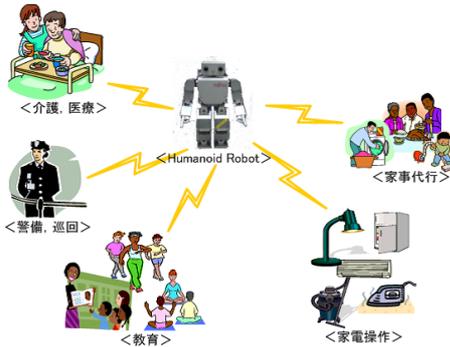


図1 HRを利用したサービス

複雑構造変位型システムが、目的のサービスを安定して提供し続けるためには、そのシステムの信頼性を評価し、その信頼性を維持するように構成部品の修理や交換などのメンテナンスを実施する必要がある。しかしながら、マルコフモデル等の確率モデルを応用する既存の信頼性評価手法では、個々のノードの故障過程はマルコフ性を有しその発生も独立で生じるものと仮定する必要がある [2]。そのため、HRのようにノード間の独立性を仮定できないようなシステムの信頼性を評価することは困難である。

そこで本研究では、複雑構造変位型システムの信頼性評価を行うために、個々のノードをエージェントとして扱うエージェントベースモデリング [3] に基づいた信頼性評価手法を提案する。提案手法では、各ノードの故障間隔や寿命等をエージェントの属性、各ノードの故障による影響をエージェント間の相互作用により表現することで、複雑構造変位型システムの信頼性評価を実施する。以下、2節ではエージェントモデリングについて記述し、3節ではヒューマノイド型ロボットの性能評価について数値例を示して整理し、最後に4節で論文をまとめる。なお、**広義な意味での信頼性問題**として、付録にマルチエージェントモデリングによる高速道路におけるETCゲートの配置問題の研究結果(文献 [8] で発表)もまとめておく。

### 2 エージェントベースモデリング

本研究では、図2に示す複雑構造変位型システムと故障したノードの修理を行う修理メンテナンス工場からなる、故障・修理系を考える。なお、複雑構造変位型システムはノードの集合  $V$  とその結合関係により規定されるものとする。

ここで、図2の故障・修理系を、修理メンテナンス工場を環境 ( $E$ )、個々のノードをエージェント ( $Na$ ) としたマルチエージェントシステムとして捉える。

本研究で想定する  $E$  と  $Na$  の属性について以下に示す。

#### 環境 ( $E$ )

$E$ には、修理を担当する修理工が  $k$  人いる。修理工は、 $Na$  が故障状態である場合に修理率関数  $\mu_V(t)$  で修理を行うものとする。この時の修理ルールを  $RM$  とする。

#### エージェント ( $Na$ ) の属性

各  $Na$  は、内部状態「正常、故障、修理中」の3状態を有し、正常  $Na$  は故障率関数  $\lambda_V(t)$  で故障するものとする。また、 $Na$  は故障による影響度  $B_V$  を持ち、他の正常  $Na$  に対して影響を与える場合もあるものとする。

#### 複雑構造変位型システム

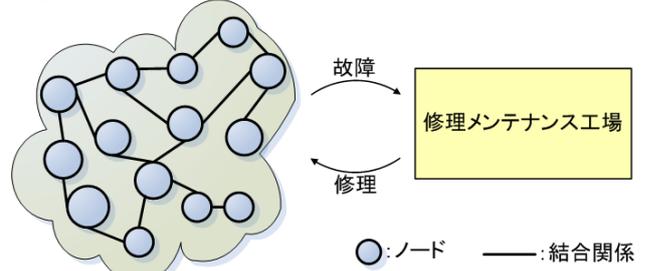


図2 複雑構造変位型システムの故障・修理系

### 3 ヒューマノイド型ロボットの信頼性評価

本研究で対象としたHRは、(株)富士通オートメーション社製のHOAP-2[4]である。HRは15部位 ( $V=\{\text{頭H, 胸Ch, 腰W, 左-右肩L(R)-S, 左-右肘L(R)-E, 左-右手L(R)-W, 左-右股L(R)-Cr, 左-右膝L(R)-K, 左-右足L(R)-A}\}$ ) から構成され、図3に示す結合関係を持つものとして信頼性評価を行う。

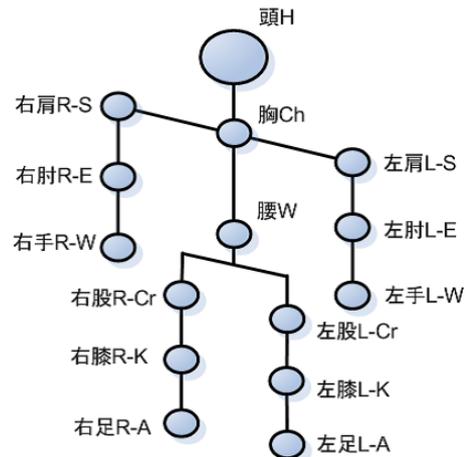


図3 HRの結合関係

$E$  のパラメータ設定は、 $k=1$ 、 $RM$  は FIFO 又はバッチ処理方式 (一括で修理する) とする。また、 $\mu_V(t)$  は指数分布とし、そのパラメータは  $\mu_V$  とする。 $Na$  のパラメータ設定は、次の5つの Case A~E を想定した。なお、Case A~D は  $RM$  を FIFO とし、Case E は  $RM$  をバッチ処理方式とした。

Case A: 各  $Na$  の故障は、全て等しく  $\lambda_V(t)$  はポアソン分布と

し、そのパラメータは  $\lambda_V=0.0083$ (回/月) とする ( $B_V$  は考慮しない)。

Case B: 各  $Na$  は Case A と同様の  $\lambda_V(t)$  を持つが、 $B$  を考慮し、隣接した正常  $Na$  の  $\lambda_V$  が  $(1+B_V)\lambda_V$  と変動するものとする。ただし、 $B_{Ch}=10$ ,  $B_W=8$ ,  $B_{L(R)S,L(R)Cr}=6$ ,  $B_{H,L(R)E,L(R)K}=4$ ,  $B_{L(R)W,L(R)A}=2$  とする。

Case C: 各  $Na$  の  $\lambda_V(t)$  は異なる ( $B_V$  は考慮しない)。 $\lambda_{H,Ch,W}(t)$  はポアソン分布とし、そのパラメータは  $\lambda_{H,Ch,W}=0.0083$ (回/月)、他  $Na$  の  $\lambda_V(t)$  は一様分布とし、そのパラメータは区間1~10年 ( $\lambda_V=0.083\sim 0.0083$ (回/月)) とする。

Case D: 各  $Na$  の  $\lambda_V(t)$  はポアソン分布とするが、そのパラメータ  $\lambda_V$  はそれぞれ異なる (影響  $B_V$  は考慮しない)。  
 $\lambda_{Ch}=0.0083$ ,  $\lambda_W=0.01041$ ,  $\lambda_{L(R)S,L(R)Cr}=0.0138$ ,  
 $\lambda_{H,L(R)E,L(R)K}=0.0208$ ,  $\lambda_{L(R)W,L(R)A}=0.0416$ (回/月) とする。

Case E: Case B と同様の  $\lambda_V(t)$  と  $B_V$  を持つが、 $RM$  はバッチ処理方式とする。

シミュレーションにより計算した、 $\mu_V=0.5$  の場合の各 Step ごとの完全稼働確率を図4に、 $\mu_V$  をパラメータとした定常状態での完全稼働確率  $\pi_0$  を図5に示す (シミュレーション期間は10,000ヶ月とした)。 $\pi_0$  は、長時間経過したときに故障ノード数が0の確率である。図4と図5の関係は、図4の  $\mu_V$  の値を変化させ、その時の定常状態での完全稼働確率が図5となる。

なお、シミュレーションには (株) 構造計画研究所 [5] のマルチエージェントシミュレータ artisoc を利用した。

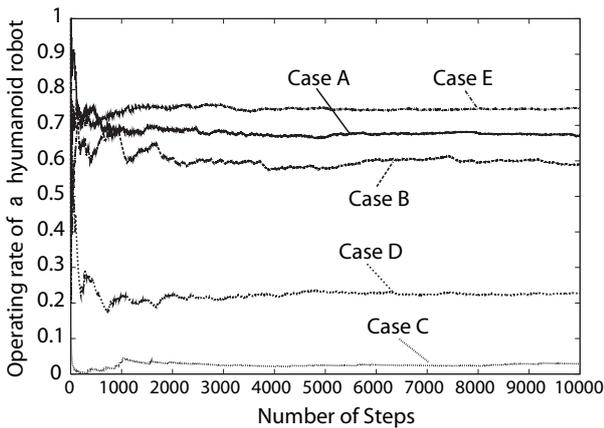


図4 各 Step ごとの完全稼働確率 ( $\mu_V=0.5$ )

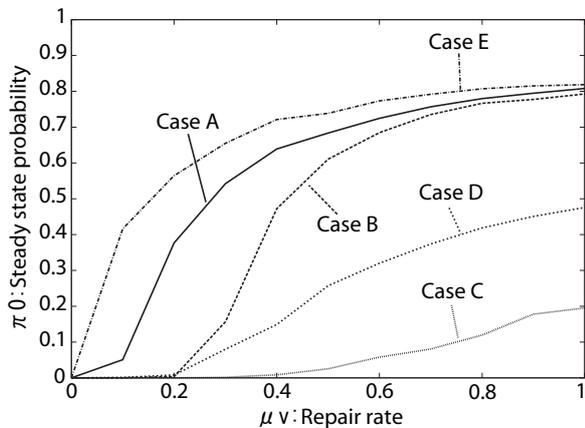


図5  $\mu_V$  をパラメータとした  $\pi_0$

図4と図5から、 $\pi_0$  は Case B,C,D の方が Case A よりも大きく下回っているため、故障ノードの影響、故障率関数の違いを考慮し保全間隔等を検討していく必要があることがわかる。ま

た、Case E の  $\pi_0$  は他よりも大きく上回る結果となった。このことから、高信頼性となる保全政策等を検討していかなければならないといえる。

以上より、提案手法は、既存の手法では評価することが困難である、複数のノードが同時に故障する場合 (Case A)、故障ノードの影響を考慮した場合 (Case B)、故障率関数が異なる場合 (Case C,D)、修理ルールが異なる場合 (Case E) など様々なケースを、エージェントや環境に与えるパラメータを変更することで容易に表現できることが確認できる。

一方で、シミュレーションによる計算時間が膨大になる。例えば、Case A に各部位がランダムに1部位ずつ故障するという設定を追加し、既存の手法での数値計算時間とシミュレーションによる計算時間を比較すると、既存の手法では約0.12秒であるのに対し、シミュレーションでは、10,000ステップで328秒も要した (コンピュータ環境は、CPU:Xeon1.99GHz、メモリー:1GB)。

#### 4 おわりに

本研究では、複雑構造変位型システムの信頼性評価を行うために、個々のノードをエージェントとして扱うエージェントベースモデリングに基づいた信頼性評価手法を提案した。数値例で、提案手法は、既存の手法では評価することが困難である、故障ノードの影響や故障率関数の違いなど様々なケースを容易に表現できることを確認した。今後の課題としては、より実践的に評価するために経年劣化や気温の影響等を考慮できるように拡張することが挙げられる。また、計算時間を減らすようなシミュレーションアルゴリズムを検討したい。

#### 参考文献

- [1] 前田郁夫, 吉原貴仁, 茂木信二, 堀内浩規, 奥田隆史, 井手口哲夫, “ユビキタスノードとヒューマノイド型ロボットとの連携動作による家電遠隔操作の実装と評価,” 信学技報, IN2004-170, pp.49-54, Jan. 2005.
- [2] 奥田隆史, 石井直人, 井手口哲夫, “ヒューマノイドロボット型ロボットのパフォーマンスモデル,” 電子情報通信学会 2006 年総合大会, A-9-1.
- [3] 山崎重行, 奥田隆史, 井手口哲夫, 田学軍, “エージェントベースモデルによるコンテンツ配信網におけるリクエストパターン生成手法,” 電子情報通信学会論文誌, Vol.J89-B, No.12, pp.2265-2270, 2006.
- [4] (株) 富士通オートメーション, HOAP-2 取扱説明書, 2004.
- [5] (株) 構造計画研究所, <http://mas.kke.co.jp/>.
- [6] 伊東寛人, “エージェントベースモデリングによる構造変位型システムの信頼性評価に関する研究,” 愛知県立大学平成18年度卒業研究.
- [7] 奥田隆史, 伊東寛人, “マルチエージェントベースモデリングの信頼性・保全性問題への適用,” 2007 年春季研究発表会, pp.13-18, May. 2007.
- [8] 奥田隆史, 伊東寛人, “ITS におけるコンテキスト・アウェアネス・システムの性能評価,” 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2006 年秋季研究発表会, 2-G-2, オーガナイズド・セッション 交通と OR, pp.300-301, Sep. 2006.
- [9] 伊東寛人, 奥田隆史, 井手口哲夫, 田学軍, “マルチエージェント・モデルを利用した ETC ゲート最適配置手法の提案,” 情報学ワークショップ 2006, pp.103-106, Sep. 2006.

# マルチエージェントモデルを利用した ETC ゲート最適配置手法の提案

## 1 はじめに

年々自動車の台数は増加し、有料道路において渋滞が多く発生しており特に、料金所付近で多く発生している。そのため、料金所における渋滞緩和策として、自動料金収受システム：ETC(Electronic Toll Collection System) が導入され、平成 18 年 7 月にはその利用率は 59.7% に達している [9]。この利用率の増加により、料金所における渋滞は少しずつ緩和している。しかしながら、近年、ETC 利用率に見合わない ETC 専用ゲート(以下、ETC ゲート)の配置により、ETC 搭載車(以下、ETC 車)のゲートでの待ち時間が ETC 非搭載車(以下、一般車)の待ち時間よりも増加する待ち時間逆転問題 [8] 等、新たな問題が生じている。そこで、ETC 利用率に見合うように、ETC ゲートの配置数等を適切にし、自動車の待ち時間を短縮することが重要となる。

配置数を適切にするための評価手法として、多く用いられているのが待ち行列理論である。しかしながら、待ち行列理論による評価手法では、「列の一番短い所を選び、各ゲートそれぞれに並ぶ等」の自動車の特徴を考慮すると、そのままでは対応しきれなくなる。

そこで本研究では、個々の自動車をエージェントとして扱うエージェントベースモデリングに基づいた評価手法を提案する。提案手法では、各自動車の到着間隔や各ゲートにおけるサービス時間等をエージェントの属性により表現することで、有料道路料金所における ETC ゲート配置数に関する評価を行う。

## 2 エージェントベースモデリング

本研究では、図 6 に示す自動車(ETC 車、一般車)、ゲート(ETC ゲート、一般ゲート)からなる、有料道路料金所モデルを考える。

ここで、図 6 のモデルを、ゲート(ETC ゲート、一般ゲート)や料金所の面積等を環境( $E$ )、個々の自動車(ETC 車、一般車)をエージェント(ETC 車: $C_e$ 、一般車: $C_n$ )としたマルチエージェントシステムとして捉える。

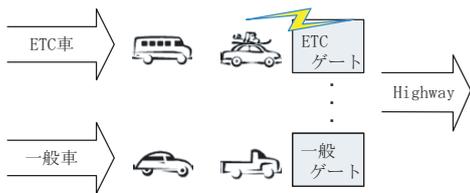


図 6 有料道路料金所モデル

本研究で想定する  $E$  と  $C_e$ ,  $C_n$  の属性について以下に示す。

### 環境 ( $E$ )

料金所の面積やエージェント発生場所からゲートまでの距離を  $Area$  とする。各ゲートの数は、ETC ゲート  $i$  台、一般ゲート  $j$  台とする。ゲートは全て横一列に並んでいるものとし、ゲートでサービスを受けられるエージェントは必ず 1 台ずつとする。

### エージェント ( $C_e$ , $C_n$ ) の属性

総到着率関数  $\lambda(t)$ (そのパラメータ  $\lambda^{-1}$  の内、 $C_e$  の割合は  $\alpha\%$  とする) で各  $C_e$  と  $C_n$  は料金所に到着し、 $C_e$  は ETC ゲートへ、 $C_n$  は一般ゲートへ速度  $a$  で移動するものとする。この時に、ゲートの行列が最も短く、今いる場所から最も近いゲートを判断して移動するものとする(途中で自身の目の前に他のエージェントが止まっていたら一旦停止する)。

各ゲートに到着すると、各  $C_e$  はサービス率関数  $\mu_e(t)$ 、各  $C_n$

はサービス率関数  $\mu_n(t)$  で料金等の支払いを行うものとする。

## 3 数値例

$E$  のパラメータ設定は、 $Area$  は料金所の面積を  $250\text{m} \times 325\text{m}$ 、エージェント発生場所からゲートまでの距離を  $285\text{m}$  とする。また、 $i=1$ ,  $j=1 \sim 3$  とする。

$C_e$ ,  $C_n$  のパラメータ設定は、 $\lambda(t)$  はポアソン分布とし、そのパラメータは  $\lambda^{-1}=100$  台(台/時)~1,000 台(台/時)とする( $\alpha\%=70\%$ ,  $a=18(\text{km/h})$ )。また、 $\mu_e(t)$  は ETC を利用するため一定分布とし、そのパラメータは  $\mu_e^{-1}=4(\text{s/台})$  とする。 $\mu_n(t)$  は現金やカードで支払うため指数分布とし、そのパラメータは  $\mu_n^{-1}=15(\text{s/台})$  とする。

$\lambda^{-1}$  をパラメータとしてシミュレーションにより計算した各ゲートでの平均待ち時間  $W$  を図 5 に示す(シミュレーション期間は 1 時間とした)。

なお、シミュレーションには(株)構造計画研究所 [5] のマルチエージェントシミュレータ KK-MAS を利用した。

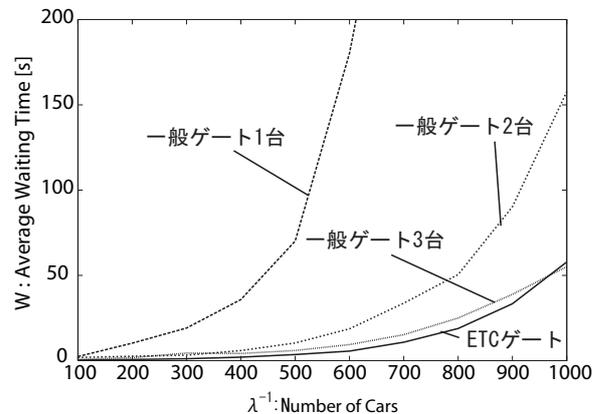


図 7  $\lambda^{-1}$  をパラメータとした平均待ち時間  $W$

図 7 から、ETC ゲート 1 台、一般ゲート 3 台の場合では、総到着数が 900[台/時] をこえたあたりから待ち時間の逆転が生じている。これでは、ETC の待ち時間短縮という利便性が失われ、ETC 普及率の増加の障害となると考えられるので適切ではない。よって、最適なゲート配置数は ETC ゲート 1 台、一般ゲート 2 台となる。

以上より、提案手法は、エージェントや環境に与えるパラメータを変更することで各ゲートの配置数等の評価が容易となることが確認できる。

## 4 おわりに

本研究では、有料道路料金所における ETC ゲート最適配置手法について、個々の自動車をエージェントとして扱うエージェントベースモデリングに基づいた評価手法を提案した。数値例で、提案手法は、エージェントや環境に与えるパラメータを変更することで各ゲートの配置数等の評価が容易となることを確認した。今後の課題としては、より実践的に評価するために混用ゲート(ETC/一般)も考慮した場合を検討することや、自動車の長さや速度の変化、道幅等を考慮できるように拡張することが挙げられる。