

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-

愛知県立大学 情報科学部 地域情報科学科
市川貴久 伊東寛人 奥田隆史

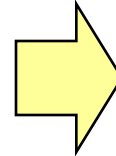
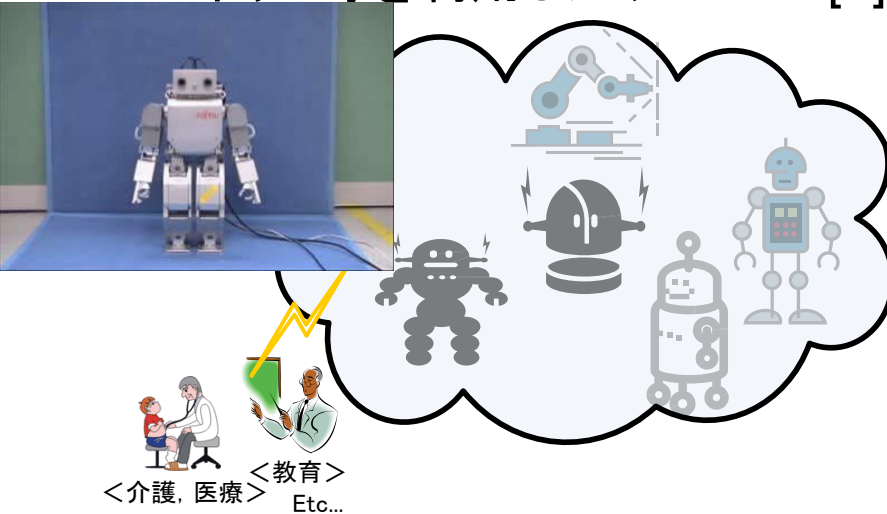


発表構成

1. 研究の背景と目的
2. エージェントベースモデリング
3. ヒューマノイド型ロボットの信頼性評価
4. まとめと今後の課題

研究の背景と目的

ロボット等を利用したサービス [1]



複雑構造変位型システム

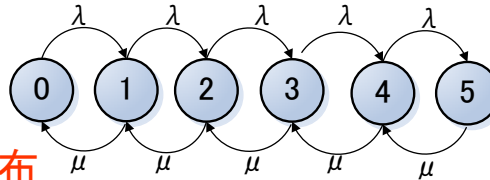
安定稼動条件

- 動作生成
- 故障等に対する信頼性
- 品質 etc...

■ 既存の手法

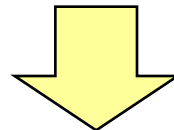
- マルコフモデル[2]

マルコフ性, 独立, ポアソン分布



ex: 故障ノードの影響,
ポアソン分布でない場合 etc...

マルコフモデルでは対応が困難



様々な故障パターンに対応

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の提案

Reference

- [1]Takashi OKUDA, "A New Metrology of Usability Test for New Communication Media-Humanoid Robot System", IEEE International Professional communication Conference 2006, 6pages, Saragosa Springs, NY, Oct. 23-25, 2006.
[2]河路他, "関節接続構造表現に着目したネットワーク・ヒューマノイド型ロボットの保全モデルの検討", 情報学ワークショップ2006, pp.239-242
[3]山崎重行他, "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", A-9-1, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J89-B, No. 12, pp.2265-2270, 2006.

エージェントベースモデリング

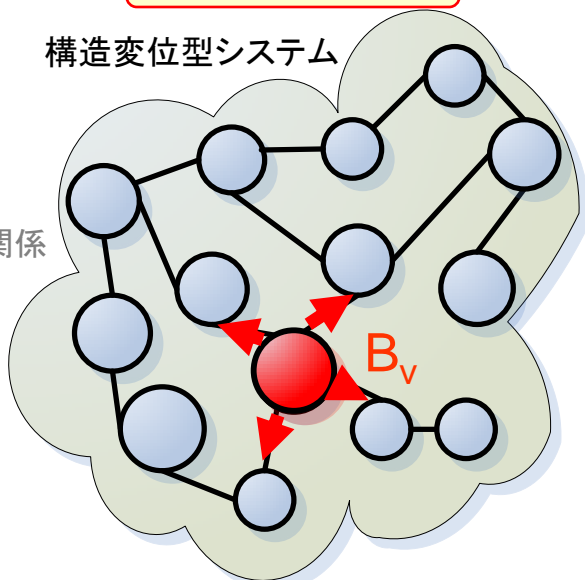
故障・修理系 → マルチエージェントシステムとして捉える

エージェント(Na)

構造変位型システム

○:ノード

—:結合関係



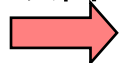
ノードの集合Vと結合関係

エージェント(Na)の属性

- 内部状態「正常, 故障, 修理中」
- 故障率関数: $\lambda_v(t)$
- 故障による影響度: B_v

$\lambda_v(t)$

故障

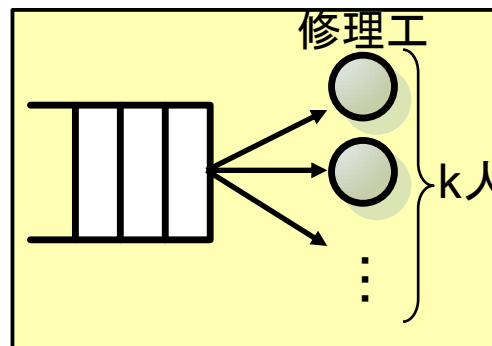


修理

$\mu_v(t)$

環境(E)

修理メンテナンス工場



環境(E)

- 修理工: k人
- 修理率関数: $\mu_v(t)$

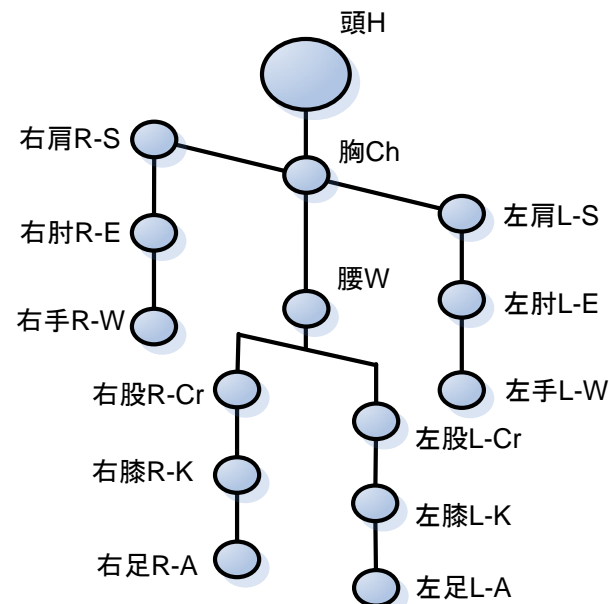
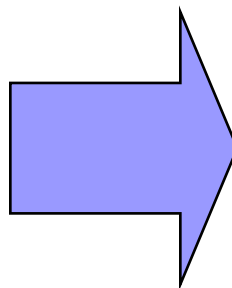
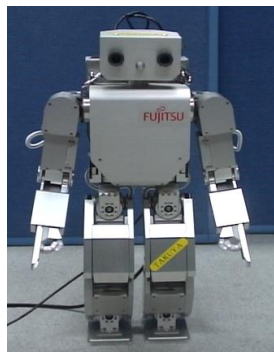
ヒューマノイド型ロボットの信頼性評価

■ 評価項目

対象としたヒューマノイド型ロボット

□ HOAP-2

■ (株)富士通オートメーション社製[4]



15部位から構成される

$$V = \{H, Ch, W, L(R)S, L(R)E, L(R)W, L(R)Cr, L(R)K, L(R)A\}$$

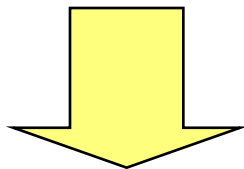
各部位をエージェント(Na)として捉える

マルチエージェントシミュレータ: artisoc[5]を利用

信頼性評価指標

■ 信頼性

- 「アイテムが与えられた条件で規定の期間中，要求された機能を果たすことができる性質」

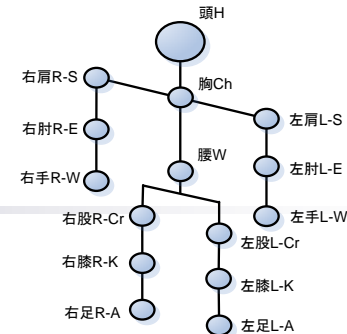


規定の期間中，要求された機能を果たすことができる割合

完全稼動確率 π_0

定常状態において故障ノード数が0の確率

数値例



■ 故障のパターン(Naのパラメータ)設定

□ Case A 基本モデル

- 全て等しく $\lambda_v(t)$ ポアソン分布, $\lambda_v=0.0083$ (回/月)
- B_v : 考慮しない

□ Case B ポアソン分布としない場合

- $\lambda_{H,Ch,W}(t)$: ポアソン分布, $\lambda_{H,Ch,W}=0.0083$ (回/月)
- 他Naの $\lambda_v(t)$: 一様分布, 区間1~10年($\lambda_v=0.083 \sim 0.0083$ (回/月))
- B_v : 考慮しない

□ Case C 故障ノードの影響

- Case Aと同様の $\lambda_v(t)$
- 隣接した正常Na: $(1+B_v)\lambda_v$ と変動

$B_{Ch}=10, B_W=8, B_{L(R)S,L(R)Cr}=6,$
 $B_{H,L(R)E,L(R)K}=4, B_{L(R)W,L(R)A}=2$
 (子ノードから親ノードへの B_v : 半減)

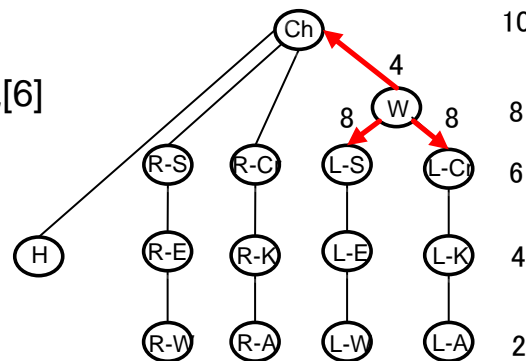
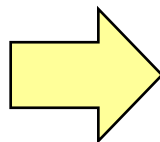
□ Case D 故障率パラメータの違い

- 全て等しく $\lambda_v(t)$ はポアソン分布
 - パラメータはそれぞれ異なる(B_v : 考慮しない)
- $\lambda_{Ch}=0.0083, \lambda_W=0.1041, \lambda_{L(R)S,L(R)Cr}=0.0138$
 $\lambda_{H,L(R)E,L(R)K}=0.0208, \lambda_{L(R)W,L(R)A}=0.0416$ (回/月)

□ Case E 修理ルールの違い

1. Case Bと同様の $\lambda_v(t)$ と B_v

ツリー構造表現[6]



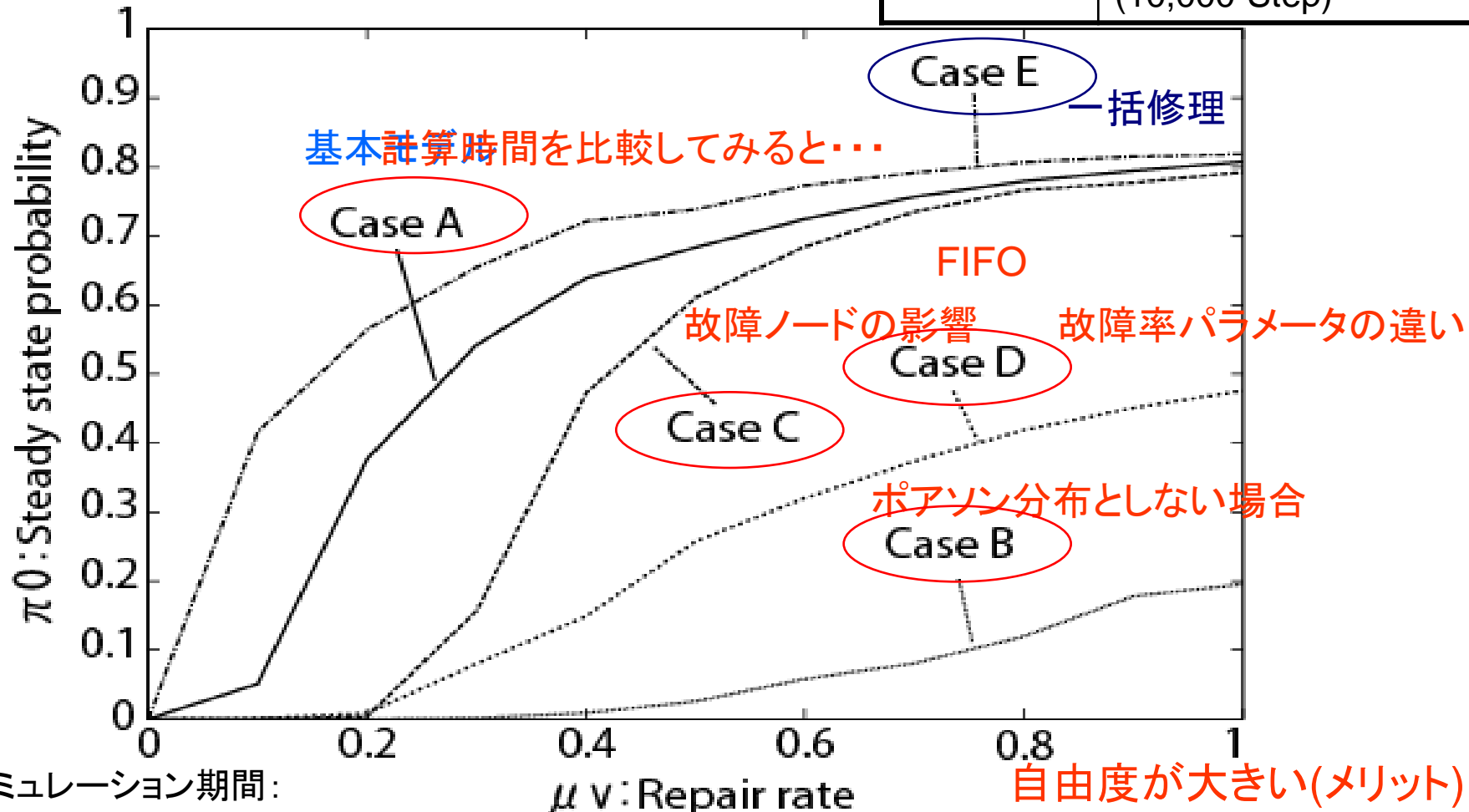
■ 環境(E)のパラメータ設定(固定)

- $k=1$, 修理ルール: Case A~DはFIFO, Case Eは一括修理
- $\mu_v(t)$: 指数分布, パラメータ: μ_v

シミュレーション結果

計算時間が膨大(デメリット)

既存の手法	提案手法
約0.12秒	約328秒 (10,000-Step)



- シミュレーション期間:
10,000-Step(約833年)
- 5回の平均値

保全間隔等の検討
保全政策等の検討

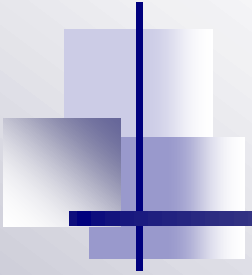
まとめと今後の課題

■ まとめ

- 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
 - 個々のノードをエージェント
 - 修理メンテナンス工場を環境
- 自由度が大きい(メリット)
- 計算時間が膨大になる(デメリット)

■ 今後の課題

- 計算時間を減らすシミュレーションアルゴリズムの検討
- 経年劣化や気温の影響等を考慮
- 使用期間を考慮した評価



ご清聴ありがとうございました

付録

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

発表構成

1. 背景と目的
2. マルチエージェント・モデルによるゲート最適配置
3. 数値例
4. まとめと今後の課題

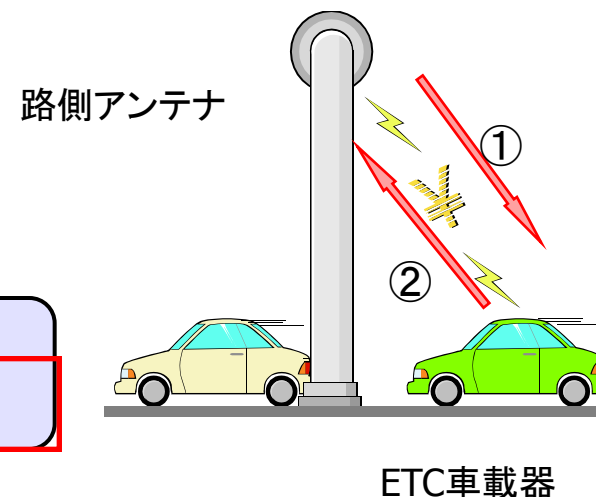
研究の背景と目的

ETC(Electronic Toll Collection): 自動料金収受システム

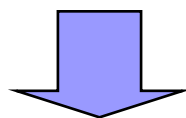
- 平成13年3月 サービス開始
- 平成18年7月 ETCの利用率約60%[2]

根本的な渋滞の緩和には至っていない

- 料金所付近のボトルネック現象による渋滞の発生
- ETC利用率に見合わないETCゲート配置による渋滞の発生



各料金所毎に合わせたETCゲートの配置が重要



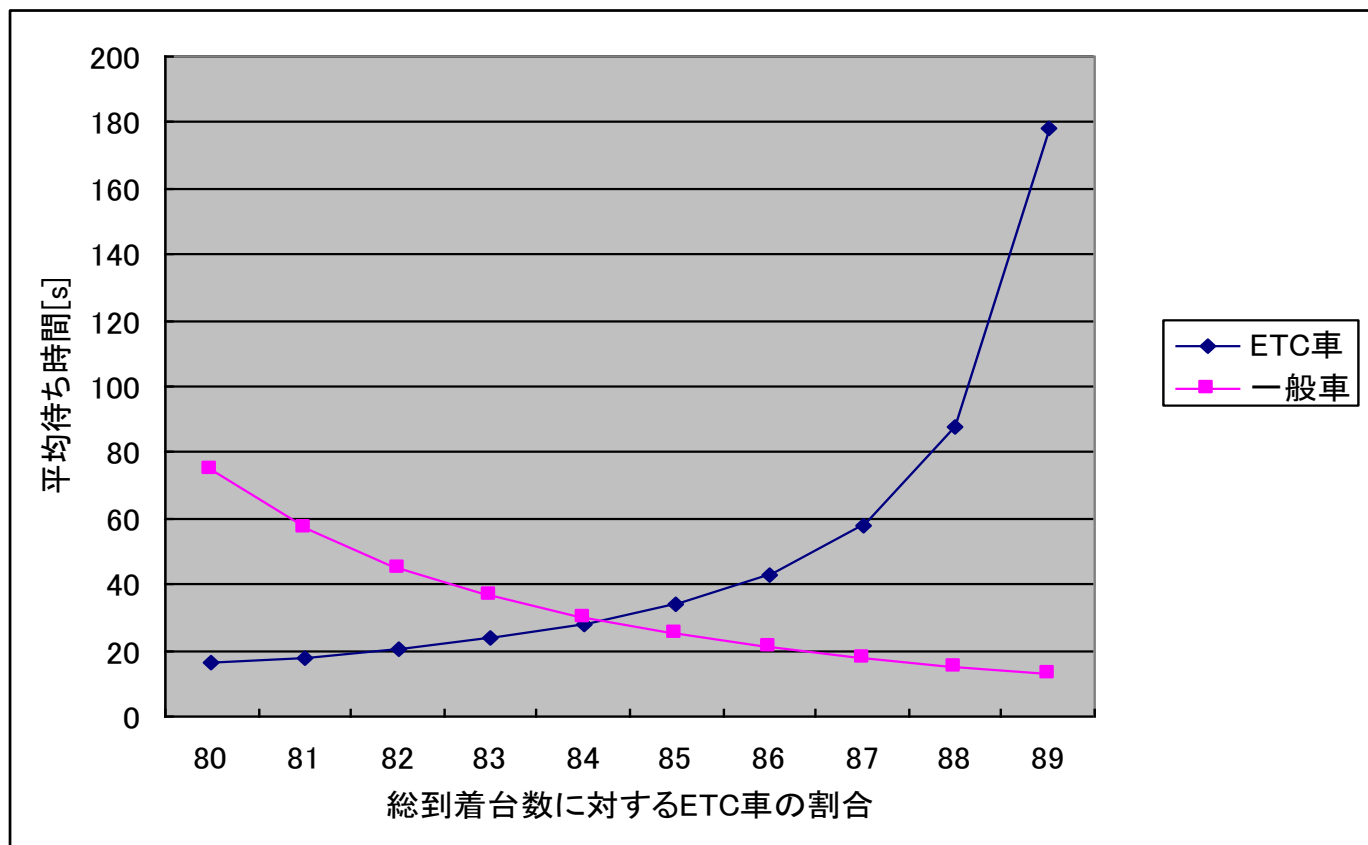
ETC利用率に見合ったETCゲート最適配置手法の提案

設置する数

より待ち時間を短縮できるように、ゲートを配置する

ETC利用率に見合わないETCゲート配置

- ETCゲート(M/D/1)1台, 一般ゲート(M/M/1)1台

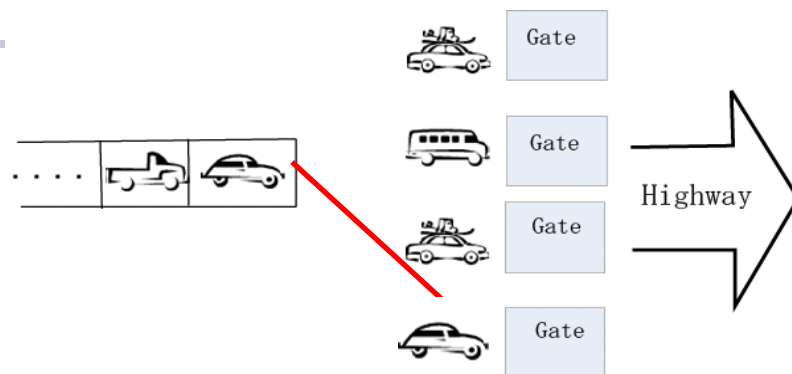


Reference [3]奥田隆史, 伊東寛人, "ITSにおけるコンテキストウェアネスシステムの性能評価", 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2006年秋季研究発表会(愛知大学), pp300-301.

ゲート最適配置方法

■ 数理モデル

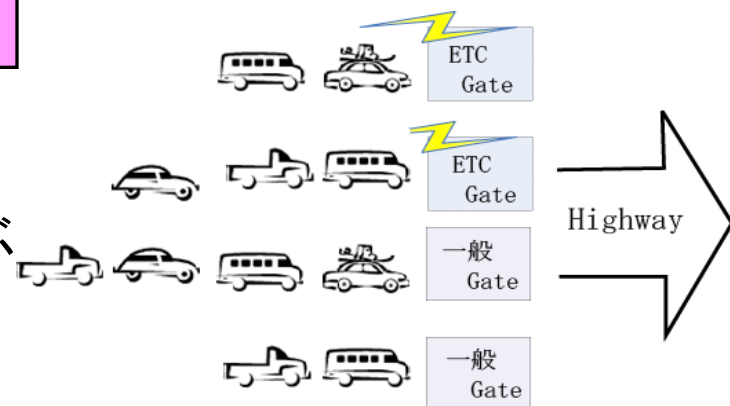
- 待ち行列理論[4]



現実での自動車の挙動

- ゲートそれぞれに並ぶ
- 動的に変化する行列のなかから短い列を選ぶ
etc...

既存の待ち行列理論では、対応が難しい



■ マルチエージェント・モデルを利用

Reference [4]Vidyadhar.G.Kulkarni, Modeling,Analysis,Design and Control of Stochastic Systems(Springer Texts in statistics), Springer Verlag, New York, 1999.

マルチエージェント・モデル

- エージェントを自動車(ETC車, 一般車), 環境をゲート(ETCゲート, 一般ゲート)と料金所の面積等
 - ゲートそれぞれに並ぶ
 - 動的に変化する行列から最小の列を選ぶ
 - ETCゲートと一般ゲートのサービス時間の違い etc...

より現実に即した有料道路料金所のモデルを実装

- マルチエージェント・モデルをコンピュータ上で構築

●Swarm
●Starlogo
●KK-MAS
●artisoc
etc...

KK-MAS[6]を用いて, ETCゲート最適配置シミュレータの開発

Reference

[6]構造計画研究所, <http://www2.kke.co.jp/>.

有料道路料金所モデル

- エージェントを自動車(ETC車, 一般車), ゲート(ETCゲート, 一般ゲート)



エージェントの属性

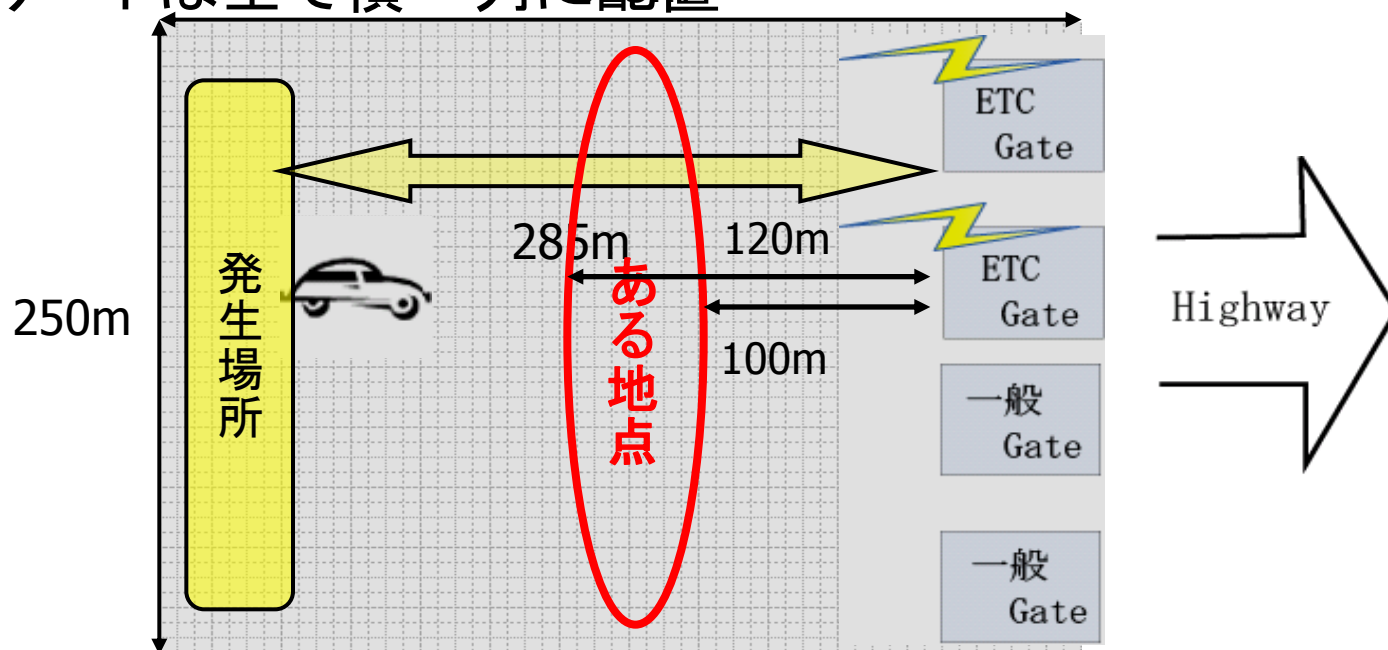
■ 自動車エージェント

- 「ETC車ならETCゲートへ」
- 「一般車なら一般ゲートへ」
- 「今いる場所から最短距離のゲートへ」
- 「全ゲートの車両数を確認し、最小車両数のゲートを目的地とする」

発生直後とある地点にたどり着いた時の2回行う

環境

- 1セルを5m × 5m, 料金所の面積325m × 250m(65セル × 50セル), 自動車エージェント発生場所からゲートまでの距離を285m(57セル)
- ゲートでのサービスは必ず1台ずつ
- ゲートは全て横一列に配置

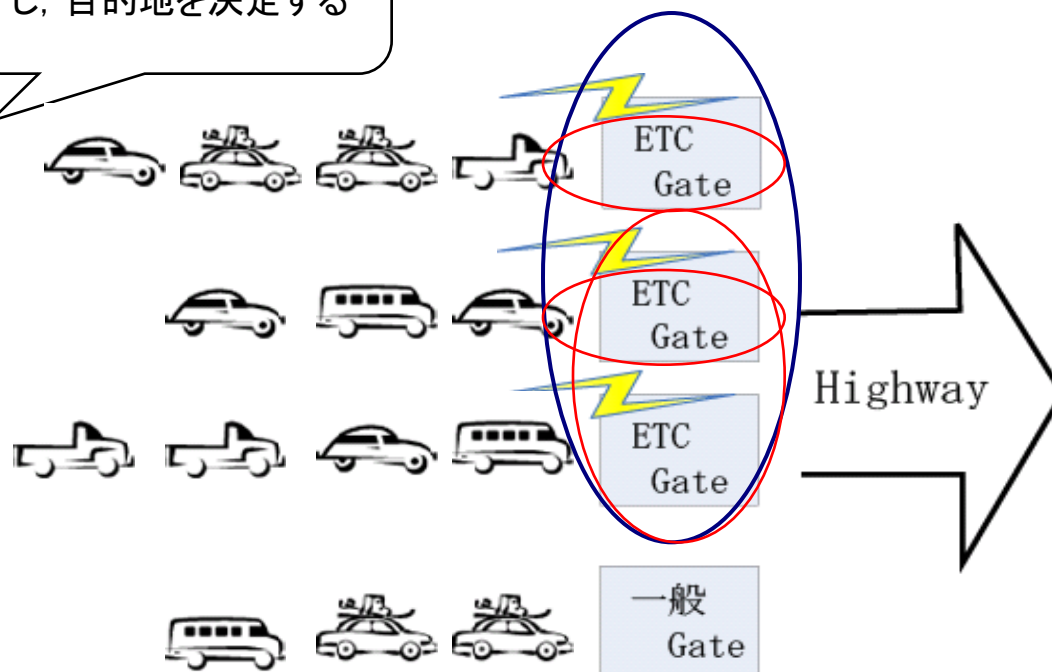


料金所での自動車の行動

今いる場所から最短距離のゲートへ向かう

②再度、車両数を確認し、目的地を決定する

①発生直後に全ゲートの車両数を確認し、最小車両数のゲートを目的地とする



本線へ

数値例

パラメータ	数値例	
総到着台数	100～1000[台/時]のポアソン過程[7]	
ゲート処理時間	ETCゲート: 4[s/台]の一定サービス 一般ゲート: 15[s/台]の指数サービス (数値は文献[8]を参照)	
自動車の速度	18[km/時](1-Stepで1進む)	
ETC端末利用率	70%	
総ゲート数	4台まで (ETCゲート, 一般ゲートともに必ず1台はあ	
ETCゲート	一般ゲート	●シミュレーション時間は 1時間(1000-Step)とする ●出力は平均待ち時間
1台	1, 2, 3台	
2台	1, 2台	
3台	1台	

Reference

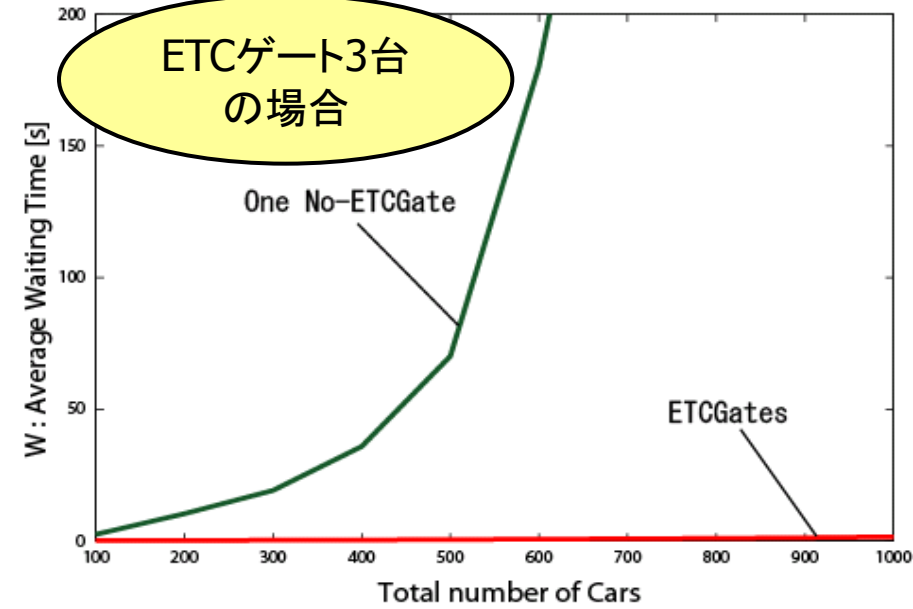
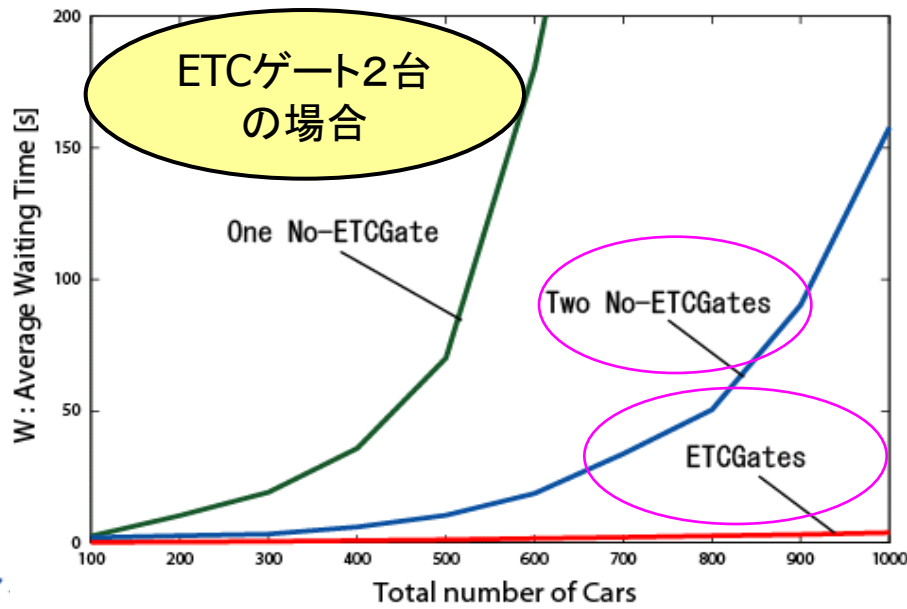
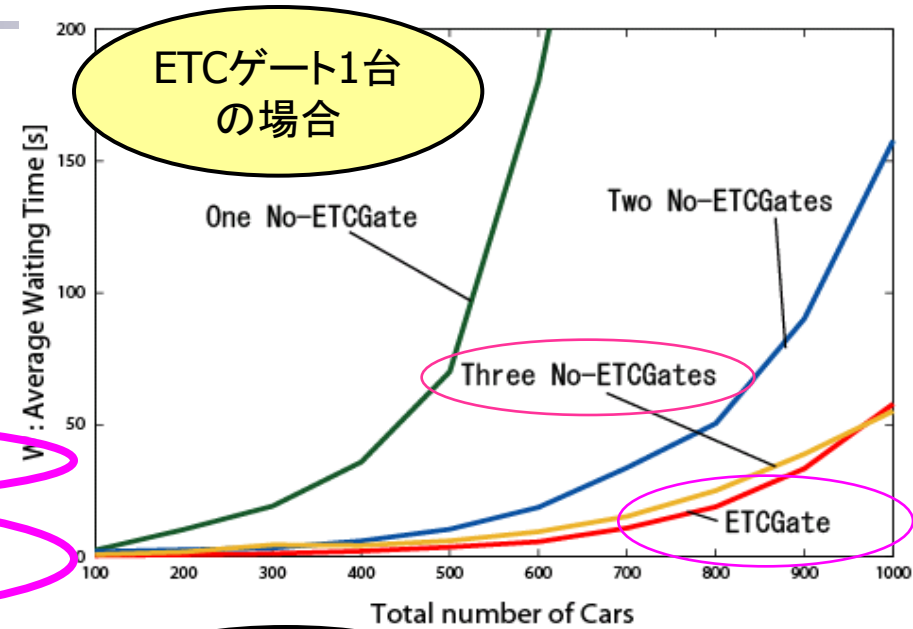
[7] 伏見正則, 確率と確率過程, 講談社, 1990.

[8] 財団法人 道路システム高度化推進機構, <http://www.go-etc.jp/riyouthouhou/Santo/riyouthou.html>

シミュレーション結果

■ 総到着台数と平均待ち時間との関係

ETCゲート	一般ゲート
1台	2台
1台	3台
2台	2台



まとめと今後の課題

■ まとめ

- マルチエージェント・モデルにより, 有料道路料金所を実装したシミュレータを開発
- 数値例により, ETC端末利用率に見合ったゲートの組み合わせ(設置数)を示した

■ 今後の課題

- 混用ゲート(ETC / 一般)も考慮した場合の検討
- ゲートの配置位置による違いの検討
- 料金所の実データによる検討
- 車両の長さ, 自動車の速度の違い, 道幅, 運転者の思考などを考慮した場合のシミュレータの拡張

まとめと今後の課題

■ まとめ

- マルチエージェント・モデルにより, 有料道路料金所を実装したシミュレータを開発
- 数値例により, ETC端末利用率に見合ったゲートの組み合わせ(設置数)を示した

■ 今後の課題

- 混用ゲート(ETC / 一般)も考慮した場合の検討
- ゲートの配置位置による違いの検討
- 料金所の実データによる検討
- 車両の長さ, 自動車の速度の違い, 道幅, 運転者の思考などを考慮した場合のシミュレータの拡張

混用ゲートも考慮した場合

■ 自動車エージェント

- 「ETC車ならETCゲート, 混用ゲートへ」
- 「一般車なら一般ゲート, 混用ゲートへ」

■ 利点



より少ないゲート数で
ETC車, 一般車へのサービスの向上

混用ゲートも考慮した場合

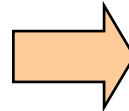
■ ゲート配置(各ゲート種必ず1台はある)

●ゲート配置

●総到着台数1000[台/時]

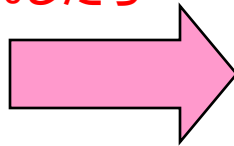
平均待ち時間(s)

ETCゲート	一般ゲート	混用ゲート
1台	1台	1台
2台	1台	1台
1台	2台	1台
1台	1台	2台



ETCゲート	一般ゲート	混用ゲート
18.363	135.589	80.209
2.8432	103.482	89.257
6.373	21.167	14.848
7.185	56.229	33.652

90%したら



ETCゲート	一般ゲート	混用ゲート
8.155	12.516	8.178
4.203	13.998	6.421
10.113	4.392	10.295
4.642	10.373	6.9815

数値例(シミュレーション精度の確認)

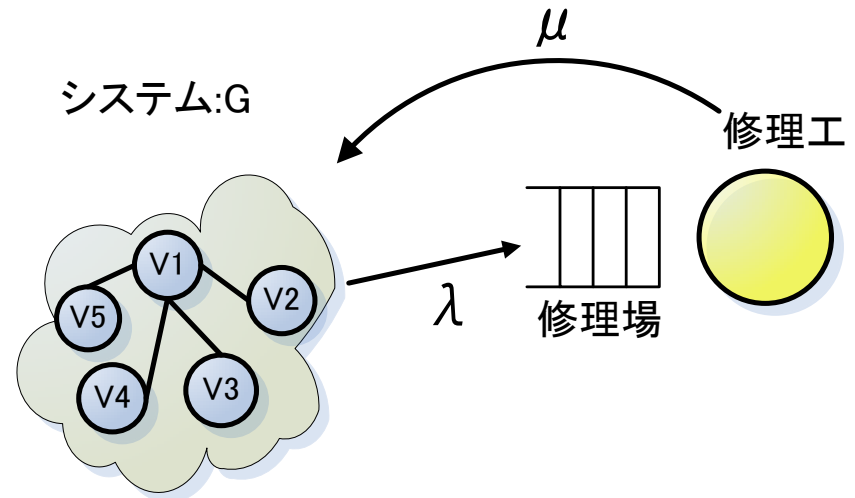
まずは、シミュレータの設定が正しいのか確認

■ シミュレータの入力項目

- 故障率: $\lambda v=0.01666$ (回/ヶ月)(ポアソン分布)
- ノードの数: $N=5$
- つながり方J

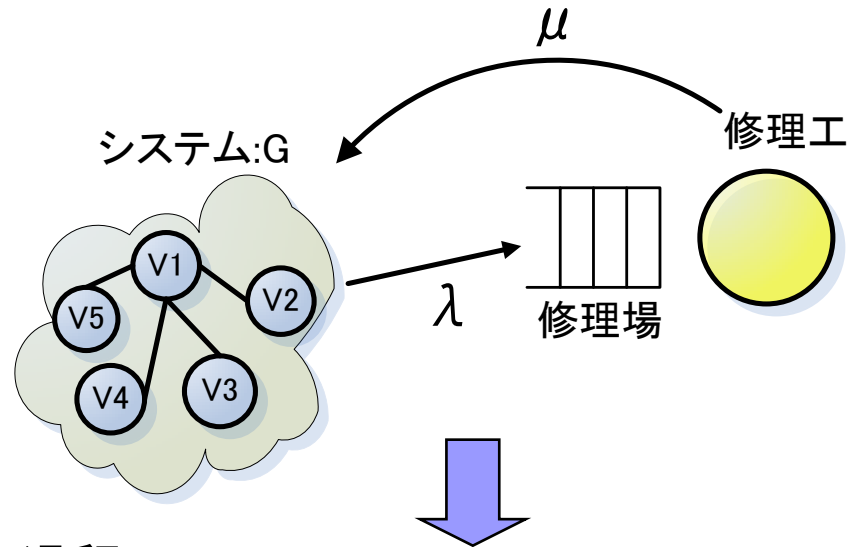
$$j = \begin{matrix} & v_1 & v_2 & v_3 & v_4 & v_5 \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

- 壊れ方: Broken(J)は考えない
 - 独立している
- 修理率: μv は変数(指数分布)
- 修理方法: Repair method={FIFO}



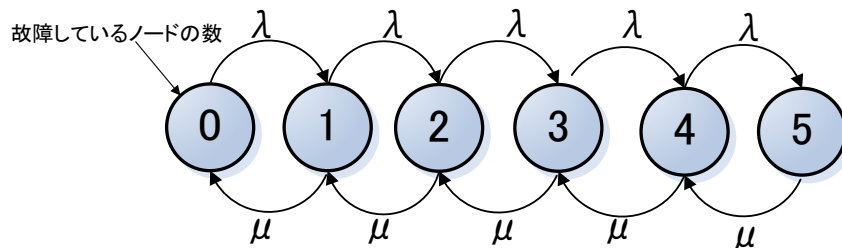
マルコフ過程と比較

シミュレーション精度の確認



■ マルコフ過程

- 一つずつ故障していく



■ シミュレータ

- 一つずつ故障するものとする

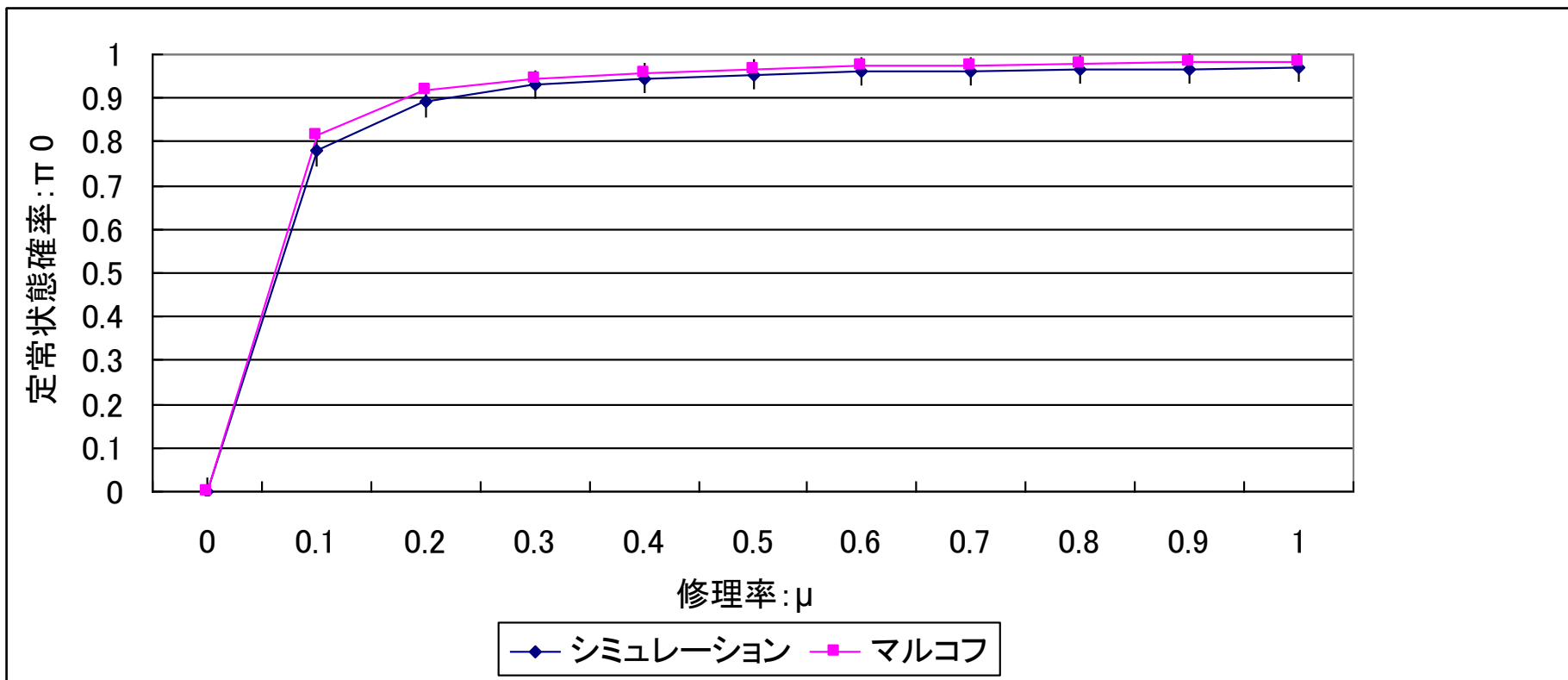
- 故障するノードはランダムに選ばれ、一つのノードが故障したら、次の故障が発生するものとする。

- シミュレーション時間は10000-Stepとし、5回の平均値をとる

定常状態確率 π_0 を出力し、比較していく

シミュレーション精度の確認

- マルコフモデルによる数値計算結果とシミュレーションによる出力結果
- 信頼区間95%の区間に入っている



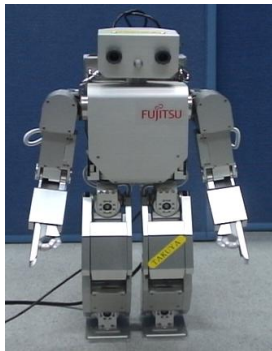
動作を考慮したパフォーマンスビリティ評価

■ 評価指標

- 定常状態パフォーマンスビリティ (SSP : Steady-State Performability)[6]

状態空間Sの下での状態iの π_i とその利得を用いる

$$SSP = \sum_{i \in S} r_i \pi_i$$



初期状態「Stand」

$$r_i = \begin{cases} 1 : & \text{動作 } M \text{ の初期状態「Stand」からの使用部位が全て正常である} \\ 0 : & \text{動作 } M \text{ の初期状態「Stand」からの使用部位が故障 であるとき} \end{cases}$$

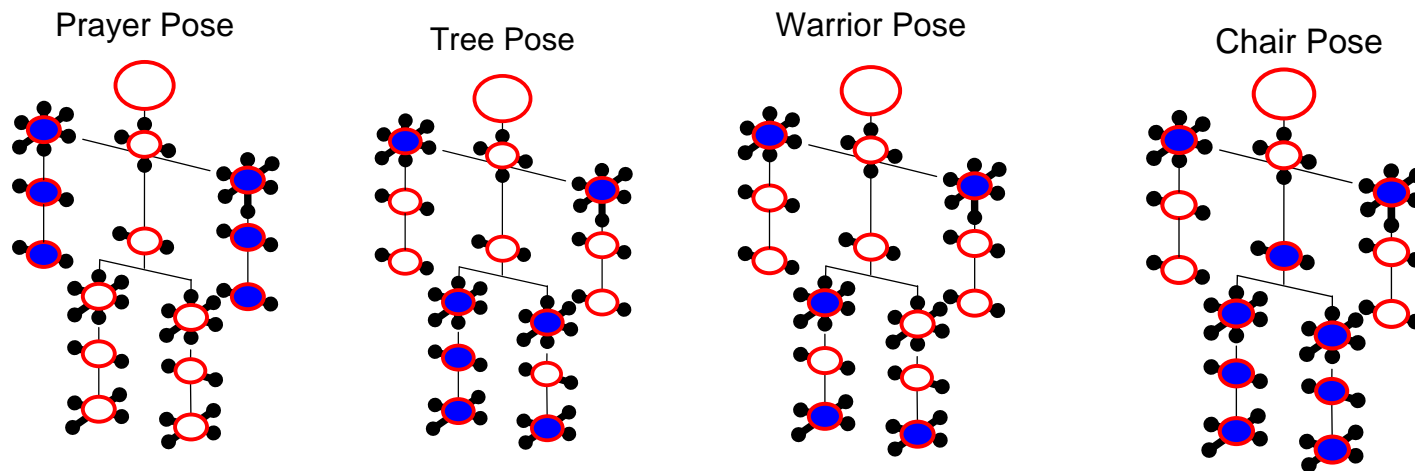
対象動作と使用部位

対象とした動作M[1]と使用部位

文献[7]の「OHAYOGA」の動作

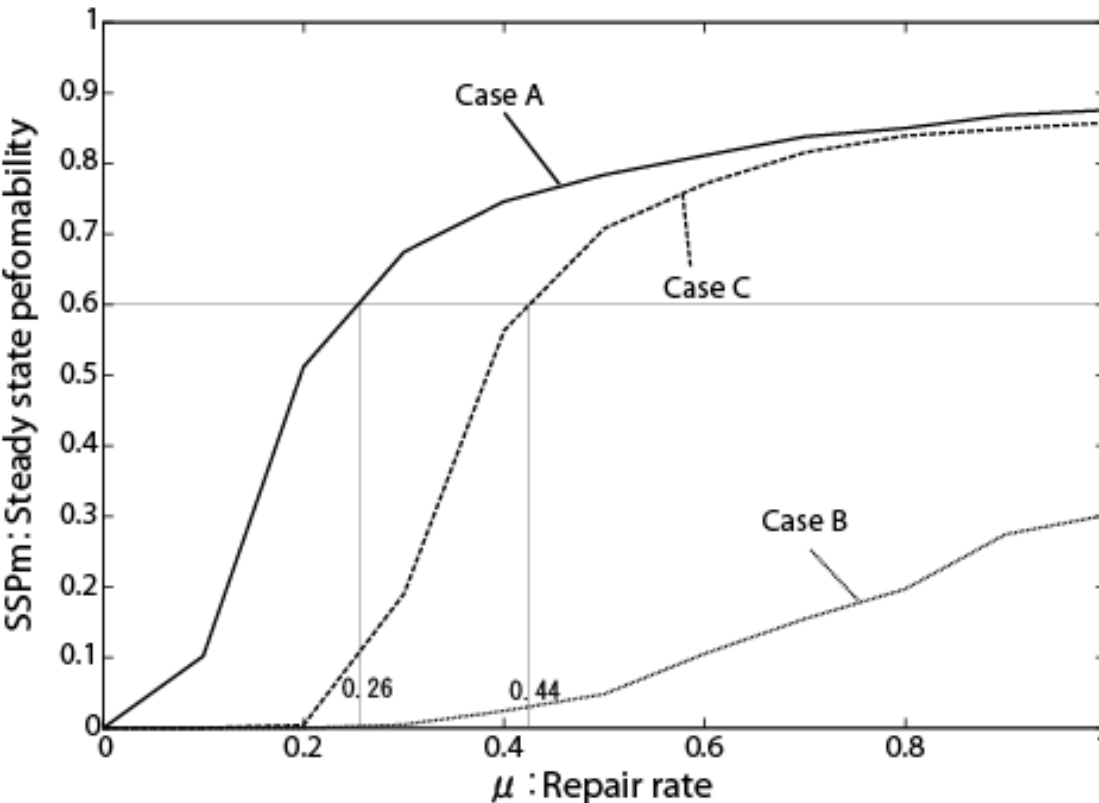
動作名		使用部位														
		Head	Chest	Waist	RShould	RElbow	RWrist	LShould	LElbow	LWrist	RCrotch	RKnee	RAnkle	LCrotch	LKnee	LAnkle
合掌	Prayer Pose				○	○	○	○	○	○						
木のポーズ	Tree Pose				○			○			○	○	○	○		○
英雄のポーズ	Warrior Pose				○			○			○		○			○
椅子のポーズ	Chair pose			○	○			○			○	○	○	○	○	○

初期状態「Stand」からの使用部位 ●



シミュレーション結果(Chair Pose)

■ μ_v をパラメータとしたSSP_M



Case A

1ヶ月に0.26回のメンテナンス

3.84ヶ月に1回

Case B

1ヶ月に0.44回のメンテナンス

2.27ヶ月に1回

Case C

no data

保全政策を実施しなければならない

様々なケースを考慮し、保全政策等を検討していかなければいけない



	CASE				
	A	B	C	D	E
ポアソン分布	○	×	○	○	×
影響度	×	×	○	×	×
故障パラメータ	固	固	固	変	固
修理ルール	FIFO				一括