

〈一般研究課題〉 ネットワーク・ヒューマノイド型ロボットシステム  
の最適保全スケジュールの研究—継続的な生活環境充実・生活水準向  
上サービス提供のための—  
助成研究者 愛知県立大学 奥田 隆史



## ネットワーク・ヒューマノイド型ロボットシステムの最 適保全スケジュールの研究—継続的な生活環境充実・生 活水準向上サービス提供のための—

奥田隆史  
(愛知県立大学)

### A study on optimal maintenance schedule of network humanoid robots for life service applications

Takashi OKUDA  
(Aichi Prefectural University)

#### Abstract

Network robots system is a connection system of some robots and ubiquitous network. Various types of network robots will be created through linkage between robots and ubiquitous networks. Subsequently, multifaceted and diversified services would be realized through collaboration and interactions among robots. So, it is very important to evaluate the performance of the network robots system. In the past, most modeling work kept performance and dependability separate. Initially, the dependability of the system might have been satisfied, and then the performance has overly optimistic assessment. In this paper, firstly, we introduce our developed network humanoid robot system. Secondly, to improvements on this lead to the design of degradable systems such as our network humanoid robot system, we propose a performability model of the system and then evaluate the performability of our network humanoid robot system.

#### 1. はじめに

ユビキタスネットワークとロボットが融合する「ネットワークロボット」の実現は、新たなライフスタイルの創出、高齢化・医療介護問題等の様々な社会的問題への対応だけでなく、我が国発のICT社会の構築にも貢献することが期待されている。ネットワークロボットフォーラム[1]で

は、ネットワークロボットを、従来型のロボットのように身体性を有する「ビジュブル型ロボット」、ユーザ端末や公共端末のディスプレイに現れる「バーチャル型ロボット」、街や部屋などの環境側に埋め込まれたカメラやセンサー群や衣服のウェアブルセンサー群などが一体化した「アンコンシャス型ロボット」の3タイプに分類している。さらに、これらのネットワークロボットが、ネットワークを介して協調・連携していく構想も含まれている[2]。なお、我々の研究グループではユビキタスネットワークとヒューマノイド型ロボットとの融合を指向しているため、「ビジュブル型ロボット」というよりも、「ネットワーク・ヒューマノイド型ロボット」と称することになっている。

ここで、「ユビキタス」という言葉は、「ユビキタス社会」、「ユビキタスネットワーク」、「ユビキタスコンピュータ」等、様々な言葉と結びついて用いられている。これらは同じ表現を使っても、様々な文脈で使われており、使われる文脈により意味が大きく違うことがある。そこで、ユビキタスを3層で考えることが提唱されている[3]。最下位層が「システム・インフラ」、中間層が「インタラクション」、最上位層が「サービスコンテンツ」である。「システム・インフラ」層ではネットワーク環境として何を使うかについて、「インタラクション」層ではサービスやコンテンツをどのような方法でユーザに取り出すかについて、「サービスコンテンツ」層ではどのようなサービスやコンテンツを人間に提供すべきかについて議論する。本稿での「ネットワークロボット」の議論は、「インタラクション」層と「サービスコンテンツ」層に属する。

さて、新たなライフスタイルの創出、高齢化・医療介護問題等の様々な社会的問題の解決手段として「ネットワーク・ヒューマノイド型ロボット」を捉えたと、横断的視座で研究する必要がある。つまり、複雑化する問題の解決には知の統合が不可欠であるという理由で生まれた社会技術[4][5]という視点、横断型基幹科学技術という視点[6]が必要であろう。

さらに、両技術の視点に加えて、サービス・サイエンス[7][8][9]という視点も必要で、ロボット(サービス)を利用する側の気持ちを理解することも必要となる。例えば、世相を反映することで有名な椎名誠氏のエッセイに、以下の文章：

ロボットも実用化の時代に入っているというが、もうひとつ心配なのはいまの携帯電話程度でこれほど大変な操作説明書が必要なことから、ロボットとなるといったいどのくらいの操作全集を読まなくてはならないのだろうか。難しく複雑でいいかげんイライラして買ったばかりのロボットにあたりちらし、操作を間違えてロボットの鉄の腕に口なんかをねじ曲げられたりしないだろうか。

がある[10]。この文章は国内ユーザを念頭においたエッセイの一部であるが、重要なことを示唆している。ロボットを他国へ輸出し、世界市場を形成するとすると、単独の技術だけの問題ではなく、社会ロボット学<sup>1</sup>の視点、輸出国の文化や社会慣習などをも勘案したビジネスモデルやサービスモデルを検討することが必要になる[11][12][13][14]。

加えて、「サービスは掛け算」という言葉[15]があるように、サービスは掛け算で評価される。そのため、サービスの一部でも0(ゼロ)(良くないサービスや悪いサービス)という評価を受けてしまうと、サービス全体の評価はゼロになってしまうということも考慮する必要がある。ネットワーク・ヒューマノイド型ロボットの場合、ネットワーク×ヒューマノイド型ロボットという掛け算により、様々なサービスの展開をすることができる。一方で、ある水準以上のサービスを提供す

るためには、どちらも高信頼なシステムにする必要がある。

このような背景の下、著者の研究室では、ネットワークロボットを利用する家庭用アプリケーションを開発し、そのアプリケーションを国内だけでなく国際的に普及させるためにはどうするかという問題意識を持ち、「ネットワーク・ヒューマノイド型ロボット」について研究を推進している。

以下では、第2章では本研究で実装したネットワーク・ロボットシステムについて述べ、第3章では信頼性の評価に使用した指標と、シミュレーションモデルについて述べる。第4章では数値例によりメンテナンススケジュールを考察する。第5章では本稿をまとめるとともに今後の課題について述べる。

## 2. 実装ネットワーク・ロボットシステム

ネットワークロボットとはロボットとユビキタスネットワークを融合させたもので、この融合によりロボットはその可能性を広げることができ、ヒューマノイド型や産業用のアーム型といった一般に想像される形状のロボットだけではなく、センサーやセンサーネットワークを利用し環境情報や人間行動をモニターしながら周囲と協調しながら適切なサポートを行うもの、ネットワーク上の仮想空間で行動するものといった新しいタイプのロボットが考えだされている。これらは「ビジュアル型」、「アンコンシャス型」、「バーチャル型」の3タイプに分類されるが、これらの3タイプのロボットは、個々に動作するだけでなく、ネットワークを通じて互いに協調・連携をすることにより、より高度で多様なサービスをすることが可能になる[1][2]。

さて、これまで本研究室で実装してきた「ヒューマノイド型ロボット」を利用して実装したサービスは、以下の3つである。

- (i) SMAP: Our Robots are Approaching to Next Generation SMAP
- (ii) PREGO: Patrol Robots for Environments monitoring GO
- (iii) OHAYOGA: Our Humanoid robots Assist YOGA learning

(i)は、人と自動車の共生というコンセプトで、名古屋で開催された世界ITS(Intelligent Transport Systems)会議で披露したものである。同僚の村上和人教授の車型ロボットと5体のヒューマノイド型ロボットとが、人気グループSMAPの音楽に合わせてダンスをするというデモンストレーションをした。このデモンストレーションは、日本人のロボット好き[16]ということもあって多数の観客が訪れ、その模様は一般紙に掲載された[17][18]。(ii)は、ユーザの携帯電話からのメッセージにより家電やヒューマノイド型ロボットを遠隔制御するシステムである。なお、ロボットはメッセージにより遠隔制御されるだけでなく、自律的に異常事態の場所へ移動し、そこでの画像情報を送信することもできる[19]。このアプリケーションでは、ユーザへ画像情報を送信する。場合によっては、蓄積的に画像情報を利用するというよりも、緊急状態では、むしろリアルタイムで利用する必要がある。そのため、ネットワークを介在した制御理論の問題も検討する必要がある。(iii)はヨーガ(yoga)のインストラクターをロボットに代行させるもので、インターネット上に置いたヨーガ動作のデータベースから、ヨーガ動作データをダウンロードし、自宅でいつでもヨーガの練習ができるというシステムである[20][21]。

これらの(i)~(iii)で開発してきたヒューマノイド型ロボットの実装技術を基盤として、本研究

で実装したシステムの構成図を図1に示す。システムは五つの系で構成され、左からセンサー系、センサーネットワーク系、サーバ系、無線ネットワーク系、ロボット系となる。

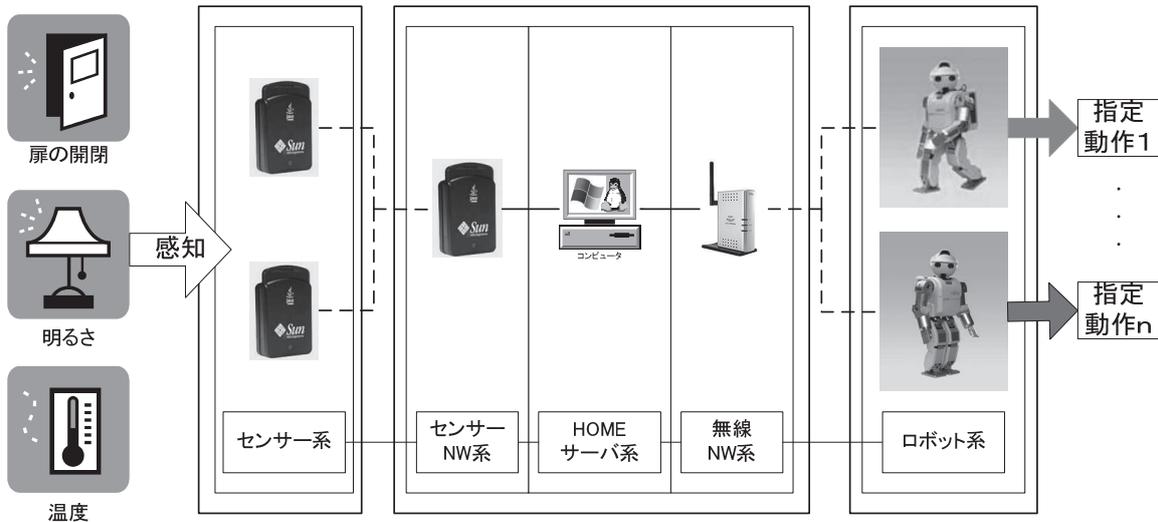


図1 実装システム概要

実装システムの動作フローは以下のとおりである。

1. センサー系では(今回は加速度センサーのみ利用)は、入室者の扉開閉加速度値をセンシングする。続いて、センサーデバイスは加速度値を、センサーネットワークを介してサーバ系へ送信する。
2. サーバ系は受信加速度値に応じて、ロボット(単体あるいは複数体)に指定する動作を決定する。続いて、無線ネットワークを介してロボットへ動作を指定する。
3. ロボット系では、指定されたヒューマノイド型ロボットが指定動作をおこなう。動作終了後、サーバ系へ動作終了の報告をするとともに、動作指定待機状態へ戻る。

なお、実装システムの各系で利用した機器は、

- センサー系: (株)サン・マイクロシステムズ製SunSPOT
- センサーネットワーク系: (株)サン・マイクロシステムズ製SunSPOT
- ロボット系: (株)ミヤチシステムズ製ヒューマノイド型ロボットHoap-3
- サーバ系: Windows-PC
- 無線ネットワーク系: (株)corega 製アクセスポイントCG-WLAPGMN

である。なお、SunSPOT[22]は3軸加速度、照度、温度をセンシングしなおかつ無線によりその値を送信するセンサーデバイスと、センサーデバイスからのセンシングデータを受信するとともに、その受信データをパソコン(本研究ではWindows-PCを利用)へ送信することが可能である。[22]。Hoap-3は2足2腕、可動軸を首、手などに有し関節自由度28の研究用ヒューマノイド型ロボットで、CCDセンサー、マイク、スピーカー、LEDなどを有する。画像認識や音声認識・合成をすることができ、無線LAN接続、バッテリー駆動にも対応している[23]。

### 3. 信頼性評価モデル

実装したネットワーク・ロボットシステムを利用して、ある水準以上のサービスを提供するためには、実装システムを構成するセンサー系、センサーネットワーク系、サーバ系、無線ネットワー

ク系、ロボット系の各々を高信頼な系にする必要がある。さらに、ネットワーク・ロボットシステムを普及させるためには、構成機器の障害や故障、ソフトウェアの不具合があったとしても、安全にかつサービス品質を一定以上に維持する必要がある[24]。サービス品質は、コストやリライアビリティ、アベイラビリティ、パフォーマンスといった指標を組み合わせ、総合的に評価されるものであり、その維持のためには、適切な点検・部品交換[25]、ソフトウェア更新[26]といった従来型の保守保全対応だけでなく、メモリクリアなどを目的とする再起動対応[27]を実施するタイミングなどを明らかにする必要がある。

本研究の信頼性評価のために以下の仮定：

- 各系の故障はそれぞれ独立して発生するものとし、故障が発生すると同時にシステムは停止し、故障要素は修理サーバへ移動し直ちに修理を受ける。
- 各系の故障はそれぞれ独立して発生するものとし、故障が発生すると同時にシステムは停止し、故障要素は修理サーバへ移動し直ちに修理を受ける。修理終了後、ただちにシステムは稼働すると仮定する。
- 故障発生過程、修理過程は各系により異なるものとする。

をおくと、開発システムの信頼性評価モデルは図2のようになる。

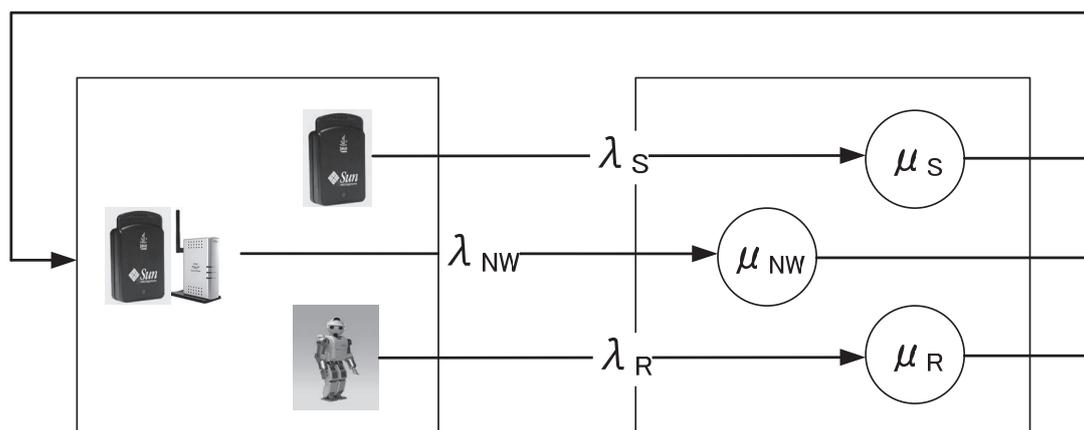


図2 信頼性評価モデル

なお、図2において $\lambda_{NW}$ 、 $\lambda_S$ 、 $\lambda_R$ はそれぞれネットワーク系、センサー系、ロボット系の故障率(単位時間あたりの平均故障数、平均故障間隔時間の逆数)である。また $\mu_{NW}$ 、 $\mu_S$ 、 $\mu_R$ は各系の平均修理率を示している。

以下、故障発生過程と修理過程について説明する。

### 故障発生過程

図1の実装システムは5系からなる複雑なシステムであるため、信頼性評価モデルをそのままデザインすることは困難である。そこで、実装システムのテスト中に生じた故障・不具合が発生した場所(系、要素)とその累積回数との関係を利用すると、その階層ホログラフィックモデル[28]は図3となる。ここで、センサー系は加速度センサーとセンサーネットワーク接続部品に集約した。センサーネットワーク系と無線ネットワーク系は、不具合が生じた場合の切り分けが困難であるため中央に記載したネットワーク系として整理した。ロボット系は関節モータ、無線LANデバイス、ロボット制御部品(CPUと記載)とバッテリーに集約した。なお、サーバ系は故障頻度が他のシステ

ムに比較し大幅に少なかったため壊れないものと仮定した。

階層ホログラフィックモデル<sup>2</sup>では、各系の要素数が多いほど、その系が故障する確率が高いことを示している。つまり、図3の各系はロボット系、センサー系、ネットワーク系の順に故障や障害が発生しやすいことを示している。例えば、要素数が一つのネットワーク系の故障確率を $p$ とすると、センサー系(要素数2)の故障確率は $2p$ 、ロボット系(要素数4)の故障確率は $4p$ に、それぞれ比例することになる。

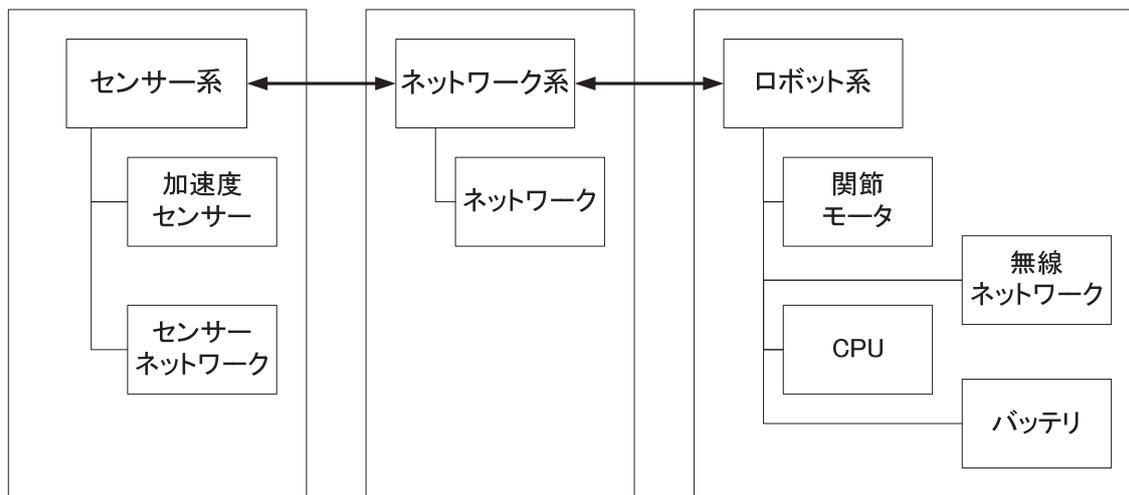


図3 実装システムの階層ホログラフィックモデル

### 修理過程

各系の修理時間は、それぞれ平均修理時間 $1/\mu_{NW}$ 、 $1/\mu_S$ 、 $1/\mu_R$ の指数分布に従うものとする。なお、各修理率は不等式 $\mu_{NM} \leq \mu_S \leq \mu_R$ を満足する。この不等式は、ネットワーク系は市販の無線LANデバイスを利用しているため故障や不具合は少ないこともあり、利用者は予備デバイスを準備する可能性は低いことが想定されるため、修理や交換のために要する時間はむしろ大きくなることを意味している。一方、ロボット系やセンサー系は再起動等で修理に対応できることを示している。また、ロボット系は文献[29][30]で導入したパフォーマンスバリエーション(performability)を考慮すると、複数関節が故障したとしても指定動作は可能であるため相対的には修理時間を最小とした。

ロボット系のパフォーマンスバリエーションとは、当該システムの一部が故障したとしても、ミッションを果たすことができる可能性を示すものである。例えば、“ある地点へ移動せよ”というミッションがヒューマノイド型ロボットに与えられた場合、理想的な移動手段は歩行することである。しかしながら、腕の部品が故障していた場合、足だけを利用して移動することができる。ヒューマノイド型ロボットは複数の部品から構成されているが、一方で部品が多いため代替手段も多くすることが可能となる。

### 4. 数値例

ここでは、第3節で導入した信頼性評価モデルを利用し、数値シミュレーションにより、以下の特性：

- 1.アベイラビリティの時間変動特性
- 2.平均修理時間ーアベイラビリティ特性

### 3.初期化行動ーアベイラビリティ特性

を明らかにし、ネットワーク・ヒューマノイド型ロボットのメンテナンススケジュールを検討する。

なお、以下の各グラフは、システムを一週間連続稼働(604,800[sec])することを想定したシミュレーションを5回実施、その平均アベイラビリティ(正常稼働時間/604,800[sec])を示している。ネットワーク系、センサー系、ロボット系の平均故障間隔、平均修理時間は表1に従うものとする。なお、乱数発生や確率分布発生を正確にトレースするため、乱数発生ルーチンには、乱数発生に定評のあるMesquite Software社(米国テキサス州) [31]のCsim19を利用した。

表 1 各系の平均故障間隔・修理時間

	平均故障間隔[sec]	平均修理時間[sec]
ネットワーク系	345,600	86,400
センサー系	172,800	43,200
ロボット系	86,400	21,600

#### アベイラビリティの時間変動特性

ここでは、故障の発生が

- (1)全系が指数分布
- (2)全系が対数正規分布
- (3)NW 系のみが対数正規分布

に従って発生した場合の平均アベイラビリティを計算する。なお、各系の修理時間は前節で仮定したように指数分布に従う。ここで、対数正規分布はネットワーク系の故障間隔を示す分布として研究されており[32]、そのパラメータは平均と標準偏差である<sup>3</sup>。本数値例では分散を平均の1割とした。

計算結果を図4に示す。各条件の収束値(平均アベイラビリティ)は(1)が0.394901、(2)が0.993899、(3)が0.497389となった。

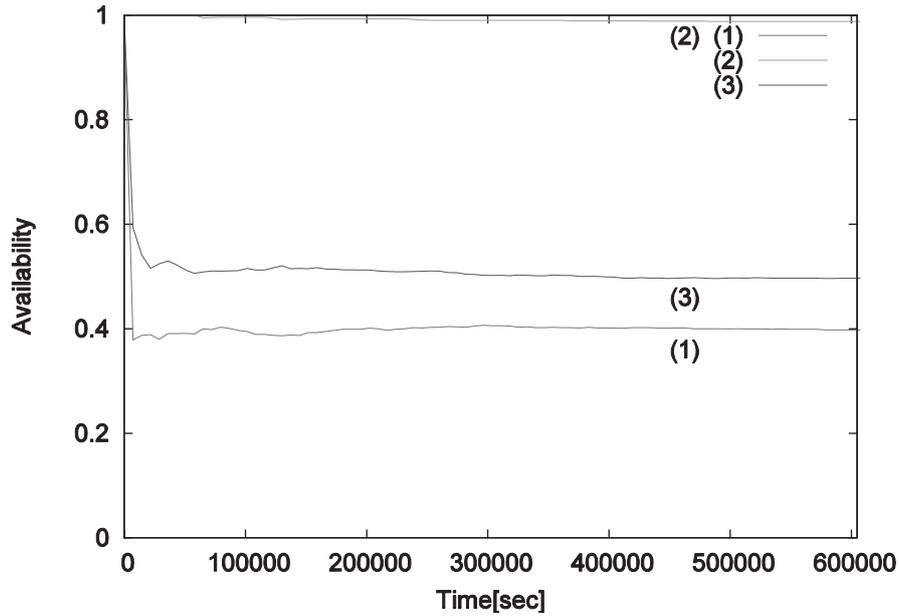


図 4 平均アベイラビリティ曲線

#### 平均修理時間ーアベイラビリティ特性

(1), (2), (3)の各場合において、ロボットの平均修理時間を1時間～7日に変化させた場合のアベイラビリティの変化を求める。ただし、センサー系の平均修理時間はロボットの2倍、ネットワーク系は4倍として設定した。計算結果を図5に示す。

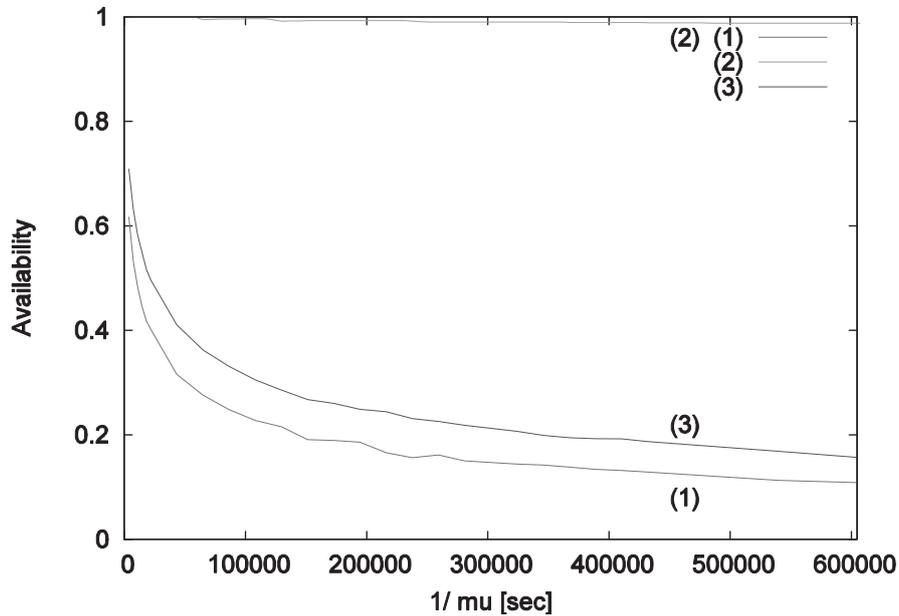


図 5 平均修理時間ーアベイラビリティ曲線

#### 初期化行動ーアベイラビリティ特性

ここでは上記の(1)と(3)において、以下の初期化処理A～E:

A: ある系が故障したときに全てを点検・修理する

B: 自系よりも平均故障間隔が長い系が故障したときに全てを点検・修理する(ある系が故障した場合、故障した系よりも壊れやすいものも念のために点検・修理する)

C：一定間隔12時間で点検・修理する

D：一定間隔1日(24時間)で点検・修理する

E：一定間隔2日(48時間)で点検・修理する

を実施した倍の平均アベイラビリティを調べる。

計算結果を表2に示す。表において、(1-{|A, B, C, D, E|})は全ての系の故障が指数分布に従って故障する場合、(3-{|A, B, C, D, E|})はネットワーク系のみ対数正規分布で故障する場合を示す。例えば、(1-A)は「指数分布に従って全系が故障する場合、ある系が故障したときに全てを点検・修理する」場合、(3-B)は「ネットワーク系のみ対数正規分布に従って故障する場合、自系よりも平均故障間隔が長い系が故障したときに全てを点検・修理する」場合を表現している。

表2 初期化処理と平均アベイラビリティ

全系の故障分布：指数分布		ネットワーク系のみ対数正規分布に従う	
	平均アベイラビリティ		平均アベイラビリティ
(1-A)	<b>0.544233</b>	(3-A)	<b>0.585838</b>
(1-B)	0.440542	(3-B)	0.527545
(1-C)	0.402581	(3-C)	0.497796
(1-D)	0.402272	(3-D)	0.496822
(1-E)	0.400761	(3-E)	0.496782

結果から、最も小さい平均故障間隔時間と同じ、もしくはそれ以上の時間で定期的に初期化処理をおこなうよりも、本システムでは故障発生時にまとめて初期化をおこなったほうが、アベイラビリティが向上することがわかった(太字を参照)。

参考までに全系の初期化処理を指数分に従って実施した場合の数値結果を表3に示す。

表3 指数分布初期化処理と平均アベイラビリティ

全系の故障分布：指数分布		ネットワーク系のみ対数正規分布に従う	
	平均アベイラビリティ		平均アベイラビリティ
(1-F)	<b>0.414587</b>	(3-F)	<b>0.509770</b>
(1-G)	0.407477	(3-G)	0.497665
(1-H)	0.406829	(3-H)	0.499482
(1-I)	0.402505	(3-I)	0.497171
(1-J)	0.401953	(3-J)	0.501265

なお、表中のFは平均初期化処理間隔1時間、Gは同6時間、Hは同12時間、Iは同24時間、Jは同48時間を示している。結果より、最も短い平均故障間隔よりも短い平均間隔で初期化を行わないと大きな改善はみられないことがわかる(太字参照)。

## 5. まとめ

ユビキタスネットワークとロボットが融合するネットワークロボットのプロトタイプシステムとして小規模な生活支援用ネットワーク・ロボットシステムの実装をおこなった。実装したシステムはセンサーが加速度を感知し、感知値に応じた動作をヒューマノイド型ロボットがするというものである。このようなネットワーク・ロボットシステムの普及には構成機器の障害や故障、ソフトウェアの不具合があったとしても、安全にかつサービス品質を一定以上に維持する必要がある。そこで、本研究では、ネットワーク・ロボットシステムのサービス品質を維持するためのメンテナンススケジュールを検討する基礎研究として、開発中システムを事例とするネットワーク・ロボットシステムの信頼性評価モデルを提案し、各種条件下におけるアベイラビリティを計算するとともに、メンテナンススケジュールの考察をした。

今後は、実データに基づいた実装システムの故障間隔・修理時間分布の同定、需要予測を反映したメンテナンススケジュールリングアルゴリズムを研究し、サービス品質維持までも含めたビジネスモデルを提案したい。また、SF作家でもありロボット関係の著述作家でもある瀬名秀明氏[33]が指摘しているように、私たち生物は有史以来、コミュニケーションできるものは生命あるものだという前提で進化を続けてきた。つまり、生命とコミュニケーションは同じだった。ところがここに来て一見ただけでは相手が生命だとわからないものが大量に世界に溢れつつある。ヒューマノイド型ロボットもその一つになりつつある。ヒューマノイド型ロボットを実社会で真に利用するために、プロトタイプシステムを構築しながら、その構築過程で体験するロボットのモータの音、重量感などを体験しながら、社会に普及することを具体的に想像しながら研究を進めていきたい。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、平成21年度研究開発助成(一般研究課題)を賜った財団法人日比科学技術振興財団に深く御礼申し上げます。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] ネットワークロボットフォーラム, <http://www.scat.or.jp/nrf/> .
- [2] 土井美和子, 萩田紀博, 小林正啓, 『ユビキタス技術ネットワークロボット—技術と法的問題』, オーム社, 2007.
- [3] 森博彦, “ユビキタスの3層モデルと人間中心設計—人間中心のユビキタス社会の実現に向けて—”, 計測と制御, vol. 47, no. 2, pp. 77–81, 2008.
- [4] 堀井秀之, 『問題解決のための「社会技術」分野を超えた知の協働』, 中央公論社, 2004.
- [5] 小宮山宏, “知の構造化と社会技術”, 社会技術研究論文集, vol. 3, pp. iv – xiii, 2005.
- [6] 木村英紀, “横断型基幹科学技術とは何か”, 学術の動向, pp. 33-37, August 2005.
- [7] 丹羽邦夫, “サービスサイエンス：サービスイノベーションを目指す多分野融合的アプローチ”, 一橋ビジネスレビュー, vol. 54, no. 2, pp. 70–84, 2006.
- [8] 日高一義, “サービス・サイエンスの出現：サービス・サイエンスについての動向”, 情報処理学会学会誌, vol. 47, no. 5, pp. 467–472, 2006.

- [9]北陸先端科学技術大学院大学MOTコース編集委員会編集, 『サービスサイエンス』, エヌ・ティ・エス, 2007.
- [10]椎名誠, “風まかせ赤マント No. 789:しのぶと一からやりなおします”, pp. 102—110, 週刊文春2006年5月18日.
- [11]妹尾堅一郎, “サービスマネジメントに関する5つの 이슈: サービスとモノづくりの関係から脱ニーズまで”, 一橋ビジネスレビュー, pp. 104--119, vol. 54, no. 2, 2006.
- [12]野口悠紀夫, 『モノづくり幻想が日本経済をダメにする』, ダイヤモンド社, 2007.
- [13]Steven Levy, *The Perfect Thing: How the iPod Shuffles Commerce, Culture, and Coolness*, Simon & Schuster, 2007.
- [14]林信行, 『iPhoneショック ケータイビジネスまで変える驚異のアップル流ものづくり』, 日経BP社, 2007.
- [15]中野博, 『サービスは「かけ算」!』, 東洋経済新報社, 2009.
- [16]“Japan’s humanoid robots: Better than people”, *The Economist*, Dec. 20, 2005.
- [17]JAF Mate編集, “ロボットたちの競演。ダンスショーは必見”, ITS未来博みどころガイド, 2004.
- [18]“ITS世界会議: すぐそこまできている夢の近未来交通社会を体感”, 中部財界, vol. 42, no. 12, pp. 16—19, 2004.
- [19]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”, 電子情報通信学会情報ネットワーク研究会, IN2004-170, pp. 49--54, 2005.
- [20]Takashi OKUDA, “A New Metrology of Usability Test for New Communication Media Humanoid Robot System”, *Proc. of IEEE International Professional Communication Conference 2006*, 6 pages, Saratoga Springs, NY, 2006.
- [21]Takashi Okuda, “A New Transforming Method from Tacit Knowledge to Explicit Knowledge by Using a Humanoid Robot for Verbalization”, *Proc. of IEEE International Professional Communication Conference 2007*, 10 pages, Seattle, WA, 2007.
- [22]サン・マイクロシステムズ SunSPOTWorld, <http://www.sunspotworld.com/>.
- [23]ミヤチシステムズ, <http://www.miyachi-sys.com/services/robot/hoap3/index.html>.
- [24]奥田隆史, “ネットワーク・ヒューマノイド型ロボットを利用した家庭用アプリケーションの評価について”, 信学技報, CQ2009-32, vol. 109, no. 191, pp. 39-44, 2009.
- [25]三根久, 河合一, 『信頼性・保全性の基礎数理』, 日科技連, 1984.
- [26]熊本博光, 『モダン信頼性工学』, コロナ社, 2005.
- [27]大和田尚孝, 『システムはなぜダウンするのか知っておきたいシステム障害, 信頼性の基礎知識』, 日経BP社, 2009.
- [28]下平和利, Hua Xu, “階層ホログラフィックモデリング法の適用によるリスクアセスメントプロセス改善の試み”, 統計数理研究所 統計数理, vol.54, no.1, pp.105-122, 2006.
- [29]Takashi OKUDA, Yoshimi SAGO, Naoto ISHI and Xuejun TIAN, “Performance and Performability Evaluations for Networked Humanoid Robot System”, *Proc. of IEEE The*

- International Conference on Dependable Systems and Networks*, pp.48-49, Yokohama, 2005.
- [30] Takashi OKUDA, Yoshimi SAGO, Ikuo MAEDA, Tetsuo IDEGUCHI, Xuejun TIAN, “Performability Evaluation of Network Humanoid Robot System on Ubiquitous Network, *Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference 2005*, 5pages, Dallas, TX, 2005.
- [31] Mesquite Software, <http://www.mesquite.com>.
- [32] 船越裕介, 松川達哉, “通信ネットワークの保全度計算に関する検討”, 信学技報, vol.109, no.191, CQ2009-30, pp.27-32, 2009.
- [33] 瀬名秀明, “人間の想像力”, 日本経済新聞, 2009年11月8日朝刊.

<sup>1</sup>社会の各種場面(公共施設、教育現場、家庭など)におけるロボットと人との関わりに関する基本問題とその解決方法(異文化間での比較等)についての研究等

<sup>2</sup>複数の階層的な構造が混在するシステムの信頼性評価やリスクマネジメントモデルを構築するためには、多面的な考え方が重要である。階層ホログラフィックモデリング法とは、複数の視点からシステムの故障状況を多面的に記述し、異なる視点から得られた故障状況をオーバーラップさせていくことによって、全体のシステムを構築するという手法である。

<sup>3</sup>対数正規分布の確率分布、密度関数、平均値、分散を以下に示す。ただし、 $\mu$ は平均、 $\sigma$ は標準偏差をとする。

$$F(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_0^t \frac{1}{x} \exp\left\{-\frac{(\log x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} dx, \quad 0 < t$$

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \frac{1}{t} \exp\left\{-\frac{(\log t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\}, \quad 0 < t$$

$$E(X) = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right)$$

$$V(X) = e^{2\mu+2\sigma^2}(e^{\sigma^2} - 1)$$