家庭用ロボットの事故発生リスク低減のための音声対話に基づく取扱方法確認システムの研究
～人と機械の新しい関係性の提案～

西沢　俊広

システム情報工学研究科

筑波大学

2012年3月

概要

１．はじめに

家庭用ロボットを運用するユーザが，従来にない新しい機能を利用する場合に，①その機能を利用する際のルールをユーザが理解している，②環境がその機能を利用するのに適した状態となっている，ことが求められる．この確認がされないまま新しい機能を利用すると，事故の危険性が高まるなど好ましくない状況になる可能性がある．一方，ユーザの理解度や環境の状態をロボットが正確に認識した上でその機能を提供することを完全に自動化することは技術的に困難である．従って，メーカはユーザに取扱説明書や注意ラベルを確認し正しい使い方を理解させ，事故の発生リスクの低減を図ることに取り組んできた．しかし，ユーザが取扱説明書を読まずに事故が発生する事例がある．この問題に対処する方法として，ロボットが提供する新しい機能にはあらかじめ制限をかけておき，ユーザの取扱方法の理解についてユーザとロボットの音声対話に基づき確認し，機能制限を解除することで，事故の危険性を低減する手法と取扱方法確認システムを提案する．筆者は取扱方法確認システムに必要な音声認識，音声合成，対話システムの基盤となる技術開発に取り組んだ．さらにこれらの技術を統合し，ユーザの取扱方法の理解を音声対話で確認した上でサービスを提供するロボットを試作した．そしてそのシステムをユーザに体験してもらい，その様子の観察とユーザのアンケート結果により提案手法の有効性を確認した．

２．家庭用ロボットにおける事故発生リスクの低減－問題の設定

家庭用ロボットはいままでに存在しない新しいサービスをユーザに提供する．ユーザがその製品を扱う知識が十分であるとはいえないため，ユーザが取扱説明書を読まないでロボットを利用した場合に，事故が発生するリスクがある．そこで本研究では事故の発生リスクを低減するために，ユーザに確実に取扱方法を理解させるシステムを構築することを目的とした問題設定をする．

メーカにはロボットにどのようなリスクが存在するのかをアセスメントすることが求められる．リスクのアセスメントの結果，機能的な安全方策を施し，致命的な事故が発生するリスクはロボットの機能として可能な限り低減する．しかしながら，家庭内で動き回るロボットには，安全の確保をユーザの運用に委ねないといけないリスクがある．

それは，ロボットが段差などから転落をするという例であり，これは移動するロボットの共通のリスクである．そこで，このリスクを回避するためにはユーザに正しい取扱方法として段差のあるところでは使わないことを理解してもらい，それに従って運用してもらう必要がある．以上に述べたように，本研究の目的は，ユーザのロボットの取扱方法の理解を深め，事故の発生リスクを低減することにある．

３．音声対話に基づく取扱方法確認システムの提案と検討

３．１．事故のリスク低減と発声という行為

労働安全の分野では，安全確認をするための行為をして，指を指し，安全を確認したことを発声させる指差確認を推奨している．なぜなら，発声した内容は人に強く意識させる効果があると一般的にいわれているためである．また，誰でも理解可能な文章を発声することができれば，その発声をした人はその文章を理解していると見なすことができる．この発声する行為の効果や利点を鑑みると，家庭用ロボットの取扱方法に関する文章をユーザに発声させることでユーザの意識を高め，誤った取扱による事故の発生リスクを低減できるという効果が期待できる．

３．２．取扱方法確認システムの提案

ある機能を利用するときに，ユーザがその機能の使い方を理解しているか，その機械を使うのに適切な状況か，を対話でロボットがユーザに確認し，ユーザが回答することでその該当する機能の提供をする．機械が音声対話でユーザに確認することにより，ユーザがロボットの取扱方法を理解していることを確認でき，事故発生リスクを低減できる．

３．３．取扱方法確認システムを実現するために要求される音声対話機能

取扱方法確認システムには音声認識，音声合成，対話シナリオ管理機能が必要である．

取扱方法確認システムはユーザの音声による発話を認識することで，ユーザが機能の使い方を理解しているか，機械を使うのに適切な状況であるか，を確認する．そのため音声の認識精度が高いことが要求される．取扱方法確認システムは機械からユーザに音声で話しかけ，ユーザに発話を要求する．そのため，ユーザにとって聞き取りやすい音声合成が必要となる．さらに取扱方法確認システムの開発においては，機械とユーザの対話シナリオを簡単に実装可能なことが求められる．

４．家庭用ロボットの事故の発生リスクと取扱方法確認システムの実装

４．１．家庭用ロボットPaPeRoの開発

NEC社は家庭用ロボットPaPeRoを開発しており,NEC社に所属する筆者は事故の発生リスクを低減するためのPaPeRoの安全設計を担当した.PaPeRoは家庭で子供が扱うことを想定し，玩具，電動玩具，情報技術機器に関する国際安全規格を満たす設計をし，万が一ユーザがなめた場合でも中毒をおこさない材料を採用し，発煙・発火がない保護回路を組み込んだ電気設計とした．さらに（１）衝突時の怪我を防止する丸い構造，（２）挟み込みを防ぐ稼動部の隙間を極力狭くする構造，（３）軽量化と低出力モータ採用，により事故のリスクを低減した.

PaPeRoの安全設計に取り組んだが，機能的に安全が確保できない残留リスクとして，（１）段差からの転落により人に怪我をさせる，（２）火の元に衝突することで火災を発生させる，の二つが残った．残留リスクについては，取扱説明書や取扱方法確認システムによりユーザに確実にそのリスクを伝達し，ユーザの運用にゆだねることにした．なお，これらの残留リスクはPaPeRoだけでなく，家庭内で自立的に動き回るロボットに共通のリスクである.

４．２．取扱方法確認システムの実装の検討

4.1節で洗い出した残留リスクを低減するため，取扱方法確認システムをPaPeRoに搭載することを検討した．リスクアセスメントの結果，残留リスクのある機能については機能制限をかける．そして該当する機能を実行する際に，それに関する取扱方法の注意事項をユーザに理解させるため，音声でやりとりする.

４．３．実験のためのプロトタイプシステムの実装

ユーザにロボットの取扱方法を理解させるための取扱方法確認システムのプロトタイプをPaPeRoに搭載した．今回の実装したプロトタイプシステムでは，移動機能を制限し，PaPeRoがユーザに机の上で使用することの危険性を伝えるという設定にした．取扱確認シナリオでは，PaPeRoが机の上で利用することの危険性をユーザに伝達し，床の上で使用するようにユーザに依頼し,安全な状態になったかの確認する質問をユーザにする.

対話の第一ステップでは,ロボットが段差のあるところ利用することの危険性をユーザに伝達し，安全な状態にするようにユーザに依頼し，安全な状態になったかの確認する質問をユーザにする．第二ステップでは，ロボットがユーザに守ってほしい取扱方法をユーザに音声で約束するように依頼する.ユーザが音声にて約束を発話したことを認識した場合には第三ステップへ進み,ユーザに約束をしたことを確認できたため機能の

提供を開始することを伝達し，移動機能の制限を解除する．

４．４．プロトタイプシステムの評価

提案したユーザの理解の確認対話の考え方の有用性を確認するために，先進ユーザとして大学生21人を対象に4章で説明したシステムを利用する体験をしてもらった．筆者はユーザの利用状況を観察するとともに，実験の後でアンケートとインタビュにより意見を収集した．さらに，家電製品を扱うときの取扱説明書の安全に関する記事を読むかといった安全性の意識についてアンケート調査をした．

21人中20人はPaPeRoによる自分の取扱方法の注意点の説明を理解し，PaPeRoの指示に通りにPaPeRoをテーブルの上から床に下ろす行動をし，次いでPaPeRoの指示に従って，「段差のあるところでは使いません」という約束を発話した．今回の実装を適用した例では，以下のプロセスが確認された．

①機械が人に取扱方法の注意点を伝達することで人がその注意事項に従って行動をする．

②さらに，人が注意点を理解しそれを遵守することを約束として発話し，機械が人の約束の内容を発話したことを認識することで機能が提供される．

PaPeRoを見た第一印象でPaPeRoは机の上から転落しない機能を十分に有している，と誤解した人21人中6人いた．このことより，取扱方法をユーザに説明し，その誤解を解くことの重要性がわかる．このユーザの誤解は，「ロボット」だから大丈夫であるという期待から生じている可能性があり，ロボットの機能の限界をユーザに理解させることは重要であると考えられた．また，ロボットが音声で使い方を説明することについて，わかりやすかったと回答した人が21人中20人であった．このことより，PaPeRoとの音声による取扱確認対話が有効であることが確認できた．

５．提案システムの有用性に関する考察と検討

ユーザが取扱方法を理解したかについて対話で確認する取扱方法確認システムは，従来の警告ラベルや取扱説明書のみではユーザが見落としたり，取扱説明書を読まなかったりする問題を解決し，取扱方法を確実にユーザに伝達することにより，事故のリスクを低減する．具体的にはロボットが自ら事故のリスクのある機能に関して自分の取扱方法を説明し，自分を正しく利用するとユーザが約束したことを確認した上でその機能を提供する．PaPeRoを利用しランダム移動（散歩）という機能に関する取扱方法確認シナリオのプロトタイプを21人のポテンシャルユーザに体験してもらい，そのやりとりを観察することで，本手法の有効性があることが確認できた．また，PaPeRoの音声合成と音声認識の機能が本手法を実現するために必要な能力をもつことも確かめられた．

６．結論

本論文では音声対話に基づきその機能制限を解除する取扱方法確認システムについて提案しその実現性とその有効性について検討した．とくに，ユーザの理解を音声対話で確認した上で機能制限を解除するシステムについては，実装したプロトタイプと，ポテンシャルユーザによるプロトタイプ利用時の意見収集の結果を報告し，本システムがユーザの取扱方法の理解を促進することが確認された．

今後，新しい機能を提案する色々な機械やロボットが日常生活で使われることが生じると予想される．その際に機能についてのユーザの十分な理解と，ユーザやまわりの状況がその機械やロボットがその機能を発揮するのに適した状況になっているか否かが重要となるケースが多く存在すると考えられる．本論文で提案した手法は，基本的にまずその機能にはロックをかけておき，それを機械側が大丈夫と判断した上で，ロックを解除することとし，その判断を音声対話で行うものである．この考え方は今後，機械やロボットとユーザの新しい関係を作り出す可能性もあると考えられる．

付録

本研究と関係する以下の２件のトピックについては付録とした．

付録１．「家庭用ロボットPaPeRoのリスクアセスメント」

付録２．「取扱方法確認システム普及のための音声対話モジュールの開発」

目次

概要 ____ i

目次 ____ a

1. はじめに ____ 1

1.1. 研究の背景 1

1.2. 研究の目的 4

1.3. 従来の研究と本研究の位置づけ 5

1.4. 本論文の構成 6

2. 家庭用ロボットにおける 事故発生リスクの低減ー問題の設定 ____ 8

3. 音声対話に基づく取扱方法確認システムの提案と検討 ____ 10

3.1. 事故のリスク低減と発声という行為 10

3.2. 取扱方法確認システムの提案 12

3.3. 取扱方法確認システムを実現するために 必要な機能 16

3.3.1. 音声対話機能 16

3.3.2. ユーザ識別機能 17

3.3.3. サービス提供管理機能 18

4. 家庭用ロボットへの取扱方法確認システムの応用と評価 ____ 20

4.1. 家庭用ロボット PaPeRo 20

4.1.1. PaPeRo の開発 20

4.1.2. 家庭用ロボット PaPeRo の安全設計 23

4.1.3. PaPeRo における残留リスク 27

4.2. PaPeRo への取扱方法確認システムの実装の検討 29

4.3. 評価のためのプロトタイプシステムの実装 31

4.3.1. システムのベースとなる PaPeRo の機能 32

4.3.2. 取扱方法確認システムのシナリオの実装 33

4.4. プロトタイプシステムのユーザ利用体験結果と評価 36
4.4.1. プロトタイプ利用環境とユーザの体験の手順 37
4.4.2. ユーザの利用体験の結果 38
4.4.3. システムに関するアンケート 38
4.4.4. ユーザの利用体験評価の考察 43
5. 提案システムの有用性に関する考察と検討 44
5.1. 従来の取扱説明書の課題 45
5.2. ユーザの取扱方法の理解の確認手段 46
5.3. ロボット以外の応用例 47
5.4. ユーザが偽りの対話をする可能性 50
5.5. メーカの説明責任の履行の記録 51
5.6. 人と機械の新しい関係 52
6. 結論 53
6.1. 本研究の成果 53
6.2. 今後の展開 54
謝辞 55
参考文献 56
付録1 家庭用ロボット PaPeRo の リスクアセスメント 60
1. ロボットの安全設計の考え方 （安全設計のコンセプト） 61
1.1. PaPeRo の安全設計コンセプト 61
1.2. チャイルドケアロボットとしての安全設計コンセプト 65
1.3. 耐久性・信頼性のコンセプト 69
1.4. 安全性チェック項目について 70
1.5. 想定するユーザとロボットとのインタラクション 74
1.5.1. ユーザの条件 74
1.5.2. インタラクション 74
2. 危険原 75

3. ロボットの仕様 76
3.1. ロボットの概要仕様 76
3.2. 稼動部に関する仕様 77
3.3. 稼動部の安全対策に関する仕様 79
3.4. 放射（音波，光波，電波）に関する仕様 81
3.5. その他の仕様 82
4. リスクアセスメント 84
4.1. リスク分析欄の記号について 84
4.2. リスクアセスメント表 85
5. 結論 90
付録 2 取扱方法確認対話普及のための 音声対話モジュールの開発 91
1. はじめに 92
2. 音声対話モジュールの概要と機能 93
2.1. 音声対話モジュールハードウェア 93
2.2. 音声対話モジュールソフトウェア 94
3. 音声対話モジュールソフトウェアの実装形態 97
4. PaPeRo-mini を利用した音声対話モジュールの性能評価 99
4.1. PaPeRo-mini への組み込み 99
4.2. 音声認識および音源方向検出機能の性能評価 99
5. 結論 103
付録 2 参考文献 104
付録 3 研究業績目録 105
査読付雑誌論文 106
査読付国際会議論文 107
報告 108

1.はじめに

1.1. 研究の背景

製品安全に対するメーカの責任が大きくなってきた.ロボットの製品安全については,経済産業省が次世代ロボット安全性確保ガイドライン[1-1] を発行した. そして現在,NEDOにより生活支援ロボット実用化プロジェクトが実施されており人と共存するロボットの安全性の研究がされている[1-2]. さらに世界的にもサービスロボットの安全性に関する国際標準規格のISO13482の制定が進められている[1-3]. 家庭で利用されるロボットを製造するメーカにはロボットを利用するユーザが怪我や感電をしたり,火災を発生させたりしないよう, 安全を確保する責任がある[1-4].

しかしロボットの安全設計にあたり, メーカがリスクアセスメントを実施し, ロボットに技術的な安全方策を施しても,ロボットは自ら動くものである以上必ず事故の発生リスクが残留する.従ってメーカは残留したリスクについてはロボットの運用やロボットの取扱に注意をしてもらうよう,ユーザに委ねる必要がある. この種のユーザに求められる運用に関する注意事項は, 取扱説明書などに記載し, ユーザはそれに従って操作・利用することが期待される. なお, 消費生活用製品の取扱説明書に関する指針についてはJIS S 0137 (ISO/IEC Guide37) [1-5]が発行されており, 指針はユーザに正しい取扱方法を理解させることが事故のリスク低減に重要な要素であるとし,ユーザに理解しやすい取扱説明書を作成することを要求している.

さて,家庭内で自律的に動き回るロボットのニーズが高まってきおり,いくつかのロボットが商品化されている. 例えば, 掃除を支援する掃除ロボット, ペットロボットなどがある. 掃除ロボットとしてiRobot 社がRoomba を発売している[1-6]. ペットロボットとして過去にソニー社が犬型ロボットAIBO を発売していた[1-7]. また, 最近ではUGOBE 社が恐竜型ロボットPLEO を発売している[1-8].さらにコミュニケーションロボットとして, ifoo 社がifbot を発売している[1-9]. NEC社は家庭で利用される子供と接するコミュニケーションロボットPaPeRoを開発した[1-10].これらのロボットは家庭の中でユーザと共存し,ロボットとユーザが接触するなどのふれあう利用シーンが想定される.

Roomba, AIBO, PLEO, ifbot, PaPeRoの写真を図1-1～図1-5に示す.



図 1-1. iRobot 社の掃除ロボット Roomba
（iRobot 社 HP より）



図 1-2. Sony 社 AIBO
（Sony 社 HP より）



図 1-3. ifoo 社の ifbot
（ifoo 社 HP より）



図 1-4. Ugobe 社の PLEO
（Ugobe 社 HP より）



図 1-5. NEC 社の PaPeRo
(NEC 社 HP より)

この種の，家庭内である程度自律的に動くロボットについては，メーカは怪我などの事故についてどのような危険性があるのか十分なリスクアセスメントを実施し，可能な限りのリスク低減をしなければならない．ほとんどのリスクはロボットの機能的な安全方策により対策ができる．しかし，家庭で自律的に動き回るロボットにはリスク回避をユーザの運用に委ねざるを得ない共通の問題が存在する．その問題とは，例えば階段等からロボットが転落して人に怪我をさせることと，蚊取り線香やストーブなどの火元にロボットが衝突し火災が発生することである．この種のリスクを回避するためには，メーカはユーザに段差や火元がないところでロボットを利用することを求める．

1.2. 研究の目的

現状は自律的に移動するロボットの転落による怪我のリスクや火災のリスクを回避するために，警告ラベルや取扱説明書によりユーザに正しい利用方法を説明し，ユーザに安全な運用を委ねざるを得ない．しかし現実には，ユーザは取扱説明書をしっかりと読まずに，もしくは十分に理解せずにロボットを利用する恐れがあり，それにより事故が発生するリスクが存在する．そこで，本論文ではこの種の事故発生リスクを低減するために，ロボットの取扱方法をロボット自身が対話によってユーザに説明し，さらにユーザが取扱方法を理解したことをロボットが確認したうえで，リスクが内在している機能を提供するという手法を提案し，その有効性と実現性を検証することを目的とする．

1.3. 従来の研究と本研究の位置づけ

ロボットの安全性に関する研究については，様々な取り組みがおこなわれている．大きく三つのテーマがある．一つ目の研究はロボットの事故の発生リスクを低減するための安全機能に関するものである．二つ目としては，ロボットの機能だけでなく運用まで含めた上でシステムとして安全を担保する枠組みに関するものである．三つ目としては，ロボットの安全を認証する社会システムに関するものである．

経済産業省およびNEDOが次世代ロボットに関する実用化に向け安全性のガイドラインの案を提示し，2005年に開催された愛・地球博を実証実験の場として安全性の検証に取り組んだ[1-11][1-12]．NEC社はチャイルドケア領域のサービスロボットとしてPaPeRoを開発し，愛・地球博に出展した．筆者はPaPeRoのハードウェア開発と安全設計を担当し，PaPeRoが引き起こす事故のリスクアセスメントを実施した[1-13]．詳細は付録1「家庭用ロボットPaPeRoのリスクアセスメント」で述べる．

愛・地球博の取り組みは継続され，現在はNEDOが生活支援ロボット実用化プロジェクトを実施している[1-14]．本プロジェクトは平成21年度から平成25年度までの5年計画で，生活支援ロボットとして産業化が期待されるロボットを対象にし，ロボットの安全に関わる試験を実施し，安全性等のデータを取得・蓄積・分析し，具体的な安全性検証手法の研究開発を実施することを目的としている．本プロジェクトの成果により，2010年12月に生活支援ロボット安全検証センターがつくば市に設置された[1-15]．

また，サービスロボットを設計する技術者向けに，安全設計の技術力向上を目的としてサービスロボット安全技術者認定講座がNPO国際レスキューシステム研究機構とNPO安全工学研究所により開催されている[1-16]．

サービスロボットの安全性を向上し実用化する研究は確実に進んでいるものの，ロボットは動き回る以上，火災や人に怪我をさせる事故が発生するリスクを0にすることはできない．この事故の発生リスクを低減するためには，ユーザがロボットを安全に正しく運用することが必要である．

従来のメーカの取り組みとしてはユーザに正しい使い方を理解させるために，メーカは取扱説明書や注意ラベルを利用している．しかしながら，ユーザが取扱説明書や注意ラベルをよく認識せずに事故が発生した事例が数多く存在する．例えば，機密情報が記載された書類を裁断するシュレッダーは取扱説明書には子供がいない環境で利用するように明記されていたが，ユーザが子供のいる環境で利用し，子供の手を引き込み怪我をさせるという事故が発生した[1-17][1-18]．（ただし本問題についてはシュレッダーメーカは子供がいる環境で利用されることを想定し，子供の手を引き込まないような設計が容易に可能であったため，筆者はメーカが取扱説明書に注意事項を記載していたと

しても免責されるとは考えない.）

そこで，筆者はユーザに正しい使い方を理解させるために，従来の取扱説明書や注意ラベルといった手段だけではなく，もう一歩踏み込んで，ロボットとユーザの音声の対話を活用することに着目した．それは，ロボットがユーザに取扱方法を自ら説明するとともに，ユーザに取扱方法を発声させ，その音声をロボットが確認することで事故のリスクが内在される機能を提供するというアイデアである．筆者が愛・地球博に出展したPaPeRo が引き起こす可能性のある事故の残留リスクをいかに低減するかを検討し，PaPeRo の音声対話機能を活用するというアイデアを創出した．本アイデアは従来他のメーカや大学で取り組んだ事例はない，筆者は特許性があると考え特許庁に「取扱方法確認装置」として特許を出願をした[1-19]．

従来の製品でも音声を利用してユーザに注意を促すような製品は存在する．例えば銀行の自動引き落とし機では音声でユーザにガイドをする端末がある[1-20]．また，他の例では駅の券売機で音声でユーザにガイドをする端末がある[1-21]．しかしながら，これらの製品は一方的に取扱方法をユーザに伝えるのみに機能しか有しておらず，ユーザが実際に取扱方法を理解しているかの確認はされていなかった．

1.4. 本論文の構成

第 1 章「はじめに」では，まず本論文の研究の背景と目的，そして従来の研究について述べ，筆者が本研究に取り組む背景について説明する．

第 2 章「家庭用ロボットにおける事故発生リスクの低減－問題の設定」では，筆者は本研究の目的を明確にし，取り組むべき問題の設定をする．

第 3 章「音声対話に基づく取扱方法確認システムの提案と検討」では，ユーザの発声という行為について考察し，ロボットとユーザが対話をし，ユーザに取扱方法の発声を促す取扱方法確認システムについて提案する．さらに取扱方法確認システムを実現するために必要な機能として音声対話機能，ユーザを識別する機能，サービス提供管理機能のそれぞれの要求事項について検討する．

第4章「家庭用ロボットへの取扱方法確認システムの応用と評価」では，NEC社が開発した家庭用ロボットPaPeRoを対象として取扱方法確認システムを適用したプロトタイプを開発し，実際のユーザとの体験評価の結果を報告する．本章では，まずPaPeRoの機能および安全設計について紹介し，PaPeRoのリスクアセスメント結果と残留リスクについて報告する．次に，PaPeRoの残留リスクのうち特にPaPeRoが段差から転落することによる事故のリスクを例題として，取扱方法確認システムのプロトタイプを試作について詳細を述べる．最後にユーザの利用体験を実施し，有用性と実現性の評価結果について報告する．

第5章「提案システムの有用性に関する考察と検討」では，従来の取扱説明書の課題についてアンケートを実施して明らかになった内容を報告する．また，ユーザの取扱方法の確認手段として音声を利用することの有効性について検討する．さらにロボット以外への取扱方法確認システムの応用について検討し考察する．また，ユーザに偽りの対話をされた場合についての考察を加える．さらにメーカの説明責任について検討し，最後に人と機械の新しい関係性について考察する．

第6章「結論」では本研究の成果と今後の展開について報告する．

2. 家庭用ロボットにおける事故発生リスクの低減－問題の設定

家庭用ロボットはいままでに存在しない新しいサービスをユーザに提供する. そのため，ユーザは新しいサービスの取扱方法に関する知識を十分に有しているとはいえず，もしユーザが取扱説明書を十分に読まずにロボットを利用すると，事故が発生するリスクがある.

一般的にメーカは装置の機能的に安全な設計をし，事故のリスクをできる限り低減する. しかしながらメーカが装置の機能として安全方策をしてもに技術的に困難なために事故のリスクを許容できるレベルに低減できない場合がある. その場合，メーカはユーザが安全に装置を利用できるようにユーザに取扱方法を理解させることをしなくてはならない. そのために，メーカは取扱方法説明書や注意ラベルなどを使い，ユーザにわかりやすく取扱方法と危険性を伝えることが要求される.

JISが制定した家電製品の取扱説明書のガイドライン[1-2]によれば，取扱方法を正しくユーザに伝えることが事故の防止の要諦であり，メーカにわかりやすい取扱説明書を作成することを要求している.

従来，メーカは技術的に解決が困難な装置の事故のリスク低減をユーザの運用に委ねるために取扱方法説明書や注意ラベルを利用したが，ユーザが取扱説明書や注意ラベルを読まなかったり，十分に理解をしないことが原因で事故が発生する事例がある. 具体的な例として1.3節「従来の研究」で，シュレッダーの事故の例を述べた.

具体的に掃除ロボットを例に検討する. 掃除ロボットは段差から転落を防止するセンサを搭載しても誤作動をする可能性があり，掃除ロボットが段差から転落し人に怪我をさせるリスクがある. そこで，ユーザは掃除ロボットの機能を利用する際には，「段差で掃除ロボットを使わない」という機能の使い方を理解し，「段差のない」状態で利用する必要がある. そしてメーカにはその取扱方法をユーザにわかりやすく伝えることが要求される. しかしながら，ユーザが取扱説明書をよく読まずに「段差がある」環境で掃除ロボットを利用し，掃除ロボットが段差から転落し事故が発生する可能性がある.

ロボットがユーザが機能の使い方を知っているかについて判断することを技術的にセンシングすることは困難である. またそのロボットの機能を使えるような「段差がない」という環境を誤検出なしにセンシングすることは技術的に困難である.

具体的な例として，家庭内で動き回る機能を有するロボットが段差などから転落しそれが人にあたり怪我をさせるという事故の発生リスクがある. これは移動するロボット

の共通のリスクである．メーカとしては，この事故のリスク低減のために転落防止のための安全装置を組み合わせることに取り組むが，残念ながらリスクを完全に0にすることは，技術やコスト的に困難である．そこで，このリスクを回避するためにはユーザに正しい取扱方法として段差のあるところでロボットを使わないことを理解してもらい，それに従って運用してもらう必要がある．

以上に述べたように，本研究の目的は事故の発生リスクを低減することにあり，そのために，ユーザのロボットなどの装置の取扱方法の理解を深めることにある．そこで本研究であつかう問題を，ユーザにロボットの取扱方法を確実に理解させる方式を検討し，検討したシステムを試作し，その機能をロボットに組み込むことで，ユーザのロボットの取扱方法の理解を促し，総合的に事故の発生リスクを従来の取扱説明書よりもさらに一回り安全なものとできたかの有用性と実現性を検証する，ことに設定する．図2-1で本研究の目的と問題の設定を図示する．

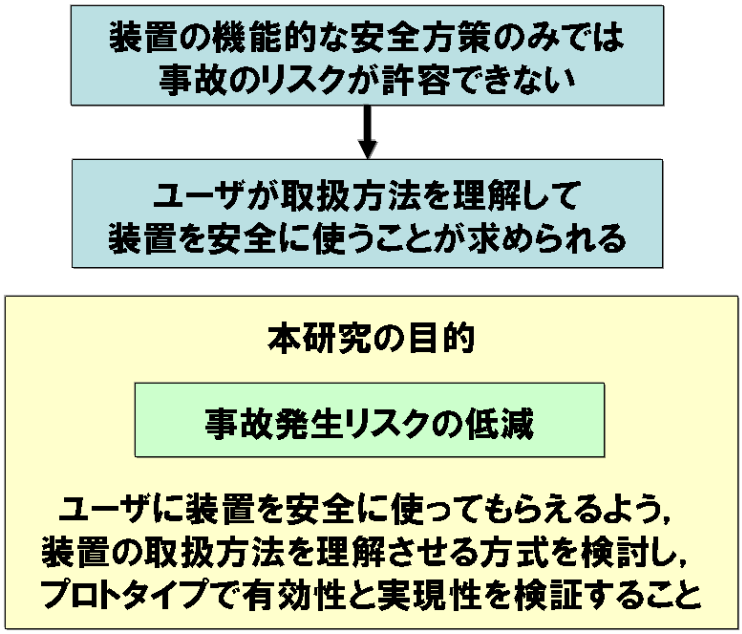


図 2-1. 本研究の目的と問題の設定

3. 音声対話に基づく取扱方法確認システムの提案と検討

3.1. 事故のリスク低減と発声という行為

家庭用ロボットの事故のリスクを低減するためには，ユーザが正しい取扱方法に従って利用する必要がある．従来の装置において，ユーザに正しい取扱方法を理解させる役割を担うのはその装置の取扱説明書や装置に貼られた注意ラベルであった．家電製品の取扱説明書のガイドラインによれば，取扱方法を正しくユーザに伝えることが事故の防止の要諦であり，わかりやすい取扱説明書の作成するよう要求している．家庭用ロボットの事故のリスクを低減するためには，家庭用ロボットの取扱方法をユーザに確実に伝達することが重要である．従来は実際に家庭用ロボットが使わる場面において，ユーザが正しい取扱方法を理解しているかを確認するということはされていなかったが，もしこれが実現できればより事故の発生リスクが低減できる可能性がある．

そこで本論文では，ユーザが正しい取扱方法を理解しているかをロボットが確認することの実現性について検討した．筆者は人の理解の確認方法について，人の発声する行為に着目した．人に発声する行為をさせることにより，発声した人は発声した内容を理解しているということが確認でき，さらに発声した内容はより発声した人に強く意識されるという効果がある．

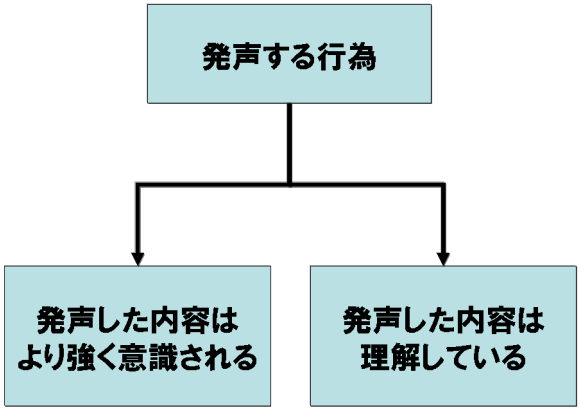


図 3-1 発声する行為の意味

ある内容を発声した人は発声した内容をより強く意識するという効果があると考えられる．労働安全の分野では，安全確認をするための行為をして，安全確認をする対象物に指を差し，安全を確認したことを発声させる指差確認を推奨している．飯山は指差唱呼の発声することの効果として，呼称が意識（注意力）をより長く，強く対象に集中させることを挙げている[3-1]．重森は指差換呼によるエラー防止効果の体感ソフトウェアを開発し，指差換呼の効果を検証した．ここでは信号が提示された直後に対応するボタンを押すというタスクのエラー発生率が，発声しない（換呼なし）場合よりも発声した場合（換呼あり）の方が5分の1に低減することが示されている[3-2]．このことから，ユーザに取扱方法に関する具体的な文章を発声させることで，ユーザにその文章の内容を強く意識をさせる効果が期待できる．

何らかの内容についてそれを発声した人がその内容を理解しているかどうかについては一般的には不明である．しかしながら難しい内容ではなく一般的に誰にでも理解できるようなわかり易い文章を発話することができれば，その内容を発話した人はその内容を理解しているといってよいだろう．然るに，取扱方法に関する具体的でわかり易い文章をユーザが発声する行為がなされた場合，ユーザは取扱方法を理解しているとみなすことができる．例えば，ユーザが日本語で「段差のあるところでロボットを使わない」というわかり易い文章を発声すれば，当然，発声したユーザは発声した文章を理解していると考えて妥当である．例えば日本語を理解していない人に「段差のあるところでロボットを使わない」と発声させることは困難であろう．従って，わかり易い文章を発声すれば，それを理解している，または，理解した，と見なすことができると考えられる．

以上の検討の結果により，ユーザに取扱方法を発声するという行為をさせることで，ユーザがロボットを正しく取り扱うことを強く意識させることとなり，結果として事故発生リスクを低減できるという効果が期待できる．さらに，ユーザの取扱方法を発声する行為をロボットが確認できれば，ロボットはユーザが発声した内容を理解しているものとして判断してよい．

なお，本研究の目的はユーザに取扱方法を理解させることにある．事故のリスクを低減するためにユーザが理解した取扱方法に従うという善意を前提としており，ユーザが悪意をもって取扱方法を理解しているにもかかわらずそれに従わないことにより事故が発生することについては，本研究での扱う問題の範囲外となる．ユーザが理解した取扱方法に従うかどうかについては別途検討が必要である．

3.2. 取扱方法確認システムの提案

家庭で扱うロボットによる怪我，火災といった重大事故に伴う残留リスクについては，ユーザが安全性とリスク回避のための注意事項を十分に認識し理解した上で，それに沿ってロボットを運用・操作することが求められる．従来は警告ラベルや取扱説明書などにより，ユーザに運用・操作方法を指示していた．しかしながらこの手法では，ユーザが警告ラベルや取扱説明書を読まずにロボットを運用・操作し事故が発生するリスクがある．

そこで，使い方を誤ると重大な事故を発生させるリスクを有するサービスについて，ロボット自身がユーザに取扱方法を説明し，ロボットはユーザがそれを理解したことを対話によって確認し，その上でユーザにそのサービスを提供する，取扱方法確認システムを提案する[3-3]．本提案システムは，ユーザにロボットの正しい使い方の理解を促進し，さらにユーザの理解が確認されないかぎり事故のリスクを内在するサービスを提供しない．その結果としてロボットが引き起こす事故の発生リスクの低減が期待できる．

取扱方法確認システムは，事故のリスクを内在するサービスを提供する情報処理機能やヒューマンインタフェース機能を有するロボットなどの装置に搭載され，ユーザとの間で音声を使って次の手順で対話を実行する．

（1）事故のリスクを伴うサービスについては制限をかけておく．
（2）ユーザが装置のリスクを伴う制限されたサービスをはじめて実行しようとするときに，装置自身が音声により該当する機能を使う上でのリスクと取扱方法を説明する．
（3）ユーザはどう取り扱うかの文章を発声し，約束する．
（4）装置はユーザの音声を認識することにより，ユーザが取扱方法を理解したと認識し，リスクが伴うサービスの制限を解除し，サービスの提供を開始する．

本手順のフローチャート図を図3-2に示す．

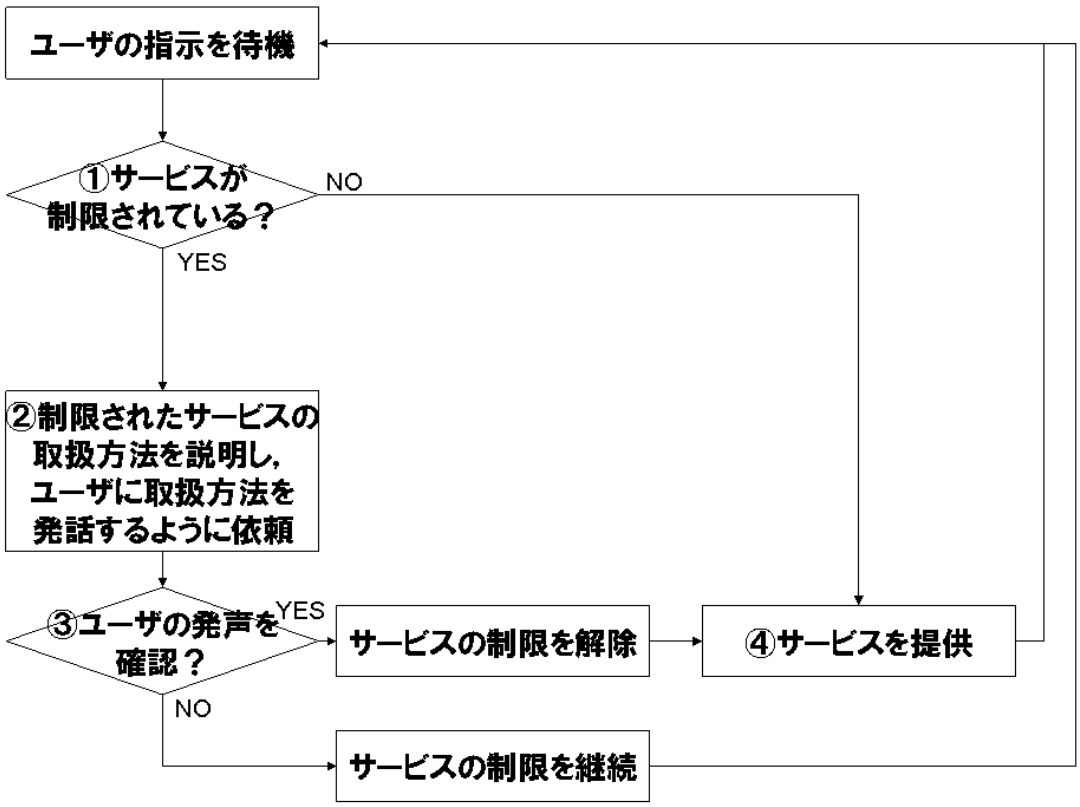


図 3-2 取扱確認システムのフローチャート図

取扱方法確認システムはこの手続きによりユーザに該当する装置によって引き起こされる事故のリスクについての理解とそれを回避するための取扱方法に関する理解を促す．さらに取扱方法確認システムはユーザが理解した取扱方法をユーザに発声させ，その音声を認識することでユーザが取扱方法を理解していると確認する．ユーザは音声で取扱方法を発話することで，取扱方法を強く意識することとなり，装置を注意しながら運用することとなる．

取扱方法確認システムが装置の利用方法の注意点を説明した後，単に「はい」か「いいえ」で回答させる方法も考えられる．しかし，これだとユーザが利用方法を理解していない状況であっても「はい」と回答できてしまう．それを回避するためには，ユーザに具体的な取扱方法の文章を復唱させることが重要である．ユーザに文章を発声させることにより，ユーザにその文章を強く意識させる効果があり，かつユーザがその内容を理解していると判断することができる．

次に具体的な例として，家庭内で動き回るロボットに取扱方法確認システムを適用する例を考える．家庭内で動き回るロボットは段差から転落し，転落したロボットが人に衝突し，人に怪我をさせてしまう事故が発生するリスクを有する．そのため，ユーザはロボットを段差があるところでは使わないという取扱方法を理解し，それに従ってロボットを利用することが求められる．この例を取扱方法確認システムの手順を適用すると，図3-3に示すやりとりとなる．

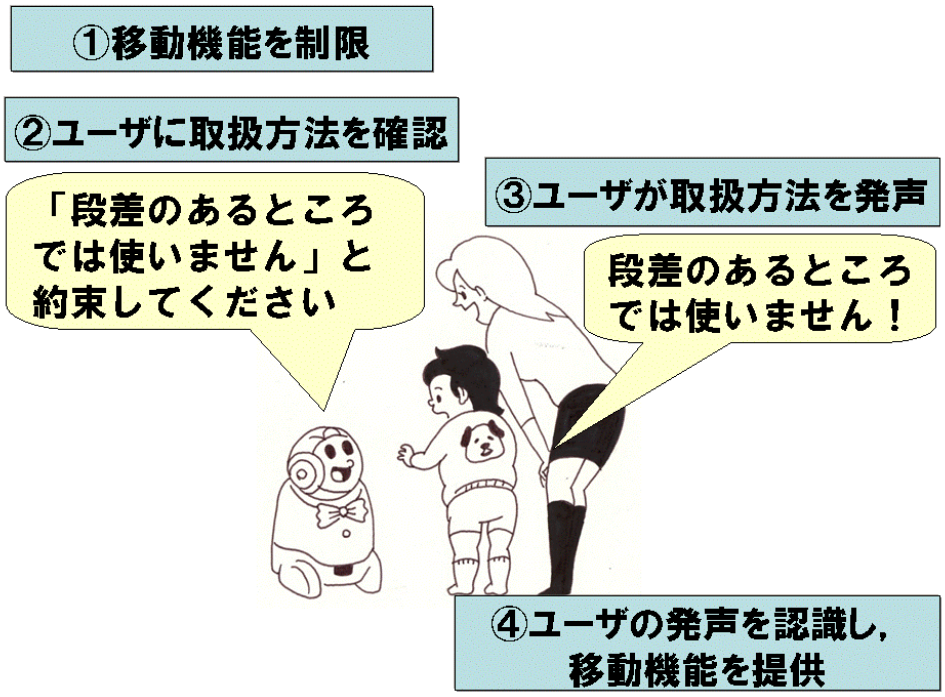


図 3-3 取扱方法確認システムの例

この例の手順は次になる．

（1）リスクを伴う移動機能については制限をかけておく．
（2）ユーザが移動機能をはじめて実行しようとするときに，ロボット自身が音声により「段差があるところでは使わない」という取扱方法を説明する．
（3）ユーザは「段差のあるところでは使いません」と発声し，約束をする．
（4）ロボットはユーザの音声を認識することにより，ユーザが取扱方法を理解したと認識し，移動機能の制限を解除し，移動を開始する．

この手続きにより，ユーザは音声で「段差のあるところでは使いません」と発声することになり，取扱方法を確実に理解し，ロボットを注意しながら運用することとなる．その結果，ロボットが段差から転落する事故の発生リスクが低減される．

これは，単に説明文を復唱させ，その音声をロボットが認識するにすぎないとも考えられる．しかし，本システムではユーザによる復唱はユーザの理解を示しているとしており，その復唱した音声をロボットが認識することでロボットがユーザの状況を判断している．そして，そのやりとりの中で，ロボットはユーザに「段差では使わない」といった約束をさせる内容の文章を発声させている．このような本システムの対話は従来の音声対話システムと比較すると一段深いレベルでのコミュニケーションとなっていると考えられる．

3.3. 取扱方法確認システムを実現するために必要な機能

取扱方法確認システムを実現するためには，それを実装するロボットなどの装置には，情報処理機能やヒューマンインタフェース機能としてにはユーザに対して取扱方法を音声対話で確認するための音声対話機能と，どのユーザに対して取扱方法の確認をしてサービス提供の制限を解除したかを記憶するためのユーザ識別機能とサービス提供管理機能を有することが要求される．

本節では，これらの取扱方法確認システムを家庭用ロボットに搭載するために必要となる機能について述べる．

3.3.1. 音声対話機能

取扱方法確認システムを実装するロボットにはユーザに対して取扱方法を音声対話で確認するための音声対話機能が必要である．音声対話を実現するためには，（1）ユーザの音声による発話を認識するための音声認識機能，（2）ロボットが音声でユーザに取扱方法を説明するための音声合成機能，（3）ロボットとユーザのやりとりとなるシナリオを制御するためのシナリオ制御機能，があればよい．それぞれの機能に要求されることを以下に示す．

（1）音声認識機能

取扱方法確認システムはユーザの音声による発話を認識することで，ユーザが機能の使い方を理解しているか，機械を使うのに適切な状況であるか，を確認する．そのため音声の認識精度が高いことが要求される．

発声するユーザの口と，ロボットのマイクは1m～2m程度はなれている．音声信号は距離の二乗に反比例してパワーが減衰する．さらに，家庭で利用することを想定すると，テレビや台所などの水作業の音など雑音が多い．そのため，雑音に強い音声認識が必要となる．

また取扱方法確認システム取扱方法を確認するために，ユーザに取扱に関する文章を発声させる．そのため音声認識機能としては長文の音声を認識する能力が要求される．

さらに取扱方法確認システムを家庭ロボットで利用することを想定すると，家庭にい

る複数人数の家族と音声で対話することが要求される．そのため，本システムには不特定話者の音声認識機能が必要となる．

（２）音声合成機能

取扱方法確認システムは機械からユーザに音声で話しかけ，ユーザに発話を要求する．
そのため，ユーザにとって聞き取りやすい音声合成が必要となる．特にユーザは子供であったり高齢者であることを想定する必要がある．そのため，取扱方法確認システムにはロボットがゆっくり確実に取扱方法を説明するための発話をする機能が要求される．
また，取扱方法確認システムが発声する取扱方法が複数あるため，音声を事前に声優に収録しそれを再生することは困難である．そこでシステムが発声する取扱方法の文章はテキストで作成し，そのテキストを合成音声で発話する機能が要求される．

（３）対話シナリオ制御機能

取扱方法確認システムでは，ロボットが提供する事故のリスクがある機能ごとに，ロボットがユーザに取扱方法を説明し，ユーザがロボットにその取扱方法でロボットを利用することを発声しロボットに伝えるという，シナリオを複数搭載する必要がある．
そのためロボットとユーザの対話シナリオを簡単に設計できることが要求される．
さらに，実際にユーザとロボットの対話の評価をし，ユーザに取扱方法が伝わるか，ユーザが取扱方法を発声できるかといった対話シナリオの妥当性を確認し，対話シナリオの内容を改善することが必要となる．よって，対話シナリオの内容が容易に変更できることが要求される．

3.3.2. ユーザ識別機能

ユーザがロボットの事故のリスクがある機能を利用するときに，毎回，取扱方法を確認する対話をすることは，ユーザにとって非常に使い勝手が悪い．そのため，取扱方法確認システムはどのユーザに対して取扱方法の確認をしたかを記憶し，取扱方法の確認をしたユーザに対しては取扱方法の確認の対話を省略する機能が提供されるとよい．さらに，取扱方法を確認する対話をする際にはロボットの顔をユーザの方向に向け対話をすることで，対話をしている状態であることを身体的な関係性をもって，ユーザに認識してもらうことが必要となる．
これらの機能を実現するためには，（１）ユーザを識別するためのユーザ識別機能，

（2）取扱方法を確認する対話をユーザとするときに識別したユーザの方に顔を向けるユーザ追従機能，が必要である．それぞれの機能に要求されることを以下に示す．

（1）ユーザ識別機能

ユーザの識別は顔の画像情報を利用し，ロボットに対して操作することなしに識別が完了する機能が必要である．

一般的にユーザを識別する方式としては，顔画像以外に静脈や指紋，声紋といった生体情報を利用することが考えられる．しかしながら，静脈や指紋，声紋といった生体情報を利用するためには，ユーザを識別させるための手続きが必要であり，そのためだけにロボットとやりとりが発生するのでユーザの使い勝手が悪い．よって，ユーザのロボットに顔を見せただけでユーザを識別する機能が実現できることが望ましい．

（2）ユーザ追従機能

音声で対話をするやりとりをする際には，音声だけでなく，ロボットとユーザの間での身体的な関係性として，ロボットがユーザの方を向くといった動作をすることが求められる．

ロボットがユーザの顔の方向を向く機能がないと，ユーザはロボットから話しかけられていることに気がつかないという問題が発生する．また，ユーザが取扱方法を発声する際にも，話しかける相手がいたほうが発声をしやすいとメリットがある．

3.3.3. サービス提供管理機能

取扱方法確認システムはどのユーザに対して取扱方法の確認をしたかを記憶し誰にサービス提供の制限解除をしたのかを管理する機能が必要である．このサービス提供管理機能により取扱方法の確認をしたユーザに対しては取扱方法の確認の対話を省略する機能が提供することが可能となる．

また，サービス提供管理機能はユーザが取扱方法を確認する対話をした時間も記録する．取扱方法を確認する対話をしてから数週間といった時間が経過した場合には，再度取扱方法を確認する対話を実行し，ユーザに取扱方法を思い出してもらうこともできる．

ユーザによっては正しい取扱方法を理解したといったのに，正しい取扱方法をせずに誤った取扱方法によりロボットを利用することがある．センサ等によりロボットがこの

状況を認識した場合には，そのユーザに再度取扱方法を復唱させる．具体的な例を述べると，誤った取扱方法としてユーザが段差のあるところでは利用しないという約束をしたのにもかかわらず，段差検出センサが反応し段差が存在する環境でロボットが使われていることが判明した場合にユーザが正しい取扱方法で利用していないことをロボットが認識できる．さらに，何度取扱方法の確認をしても適切な運用をしないユーザには該当する機能の提供をしなくする制御をする．

ユーザが同種のロボットを扱うときに，一度他のロボットで特定の機能に関する取扱方法を確認したユーザが，別のロボットで同じ機能を利用する際には，再度取扱確認の手続きをする必要はない．そこで，ロボットの機能を利用する際の取扱確認を実行したユーザについては，ユーザの識別ID と取扱確認をした機能ID をネットワーク上のサーバに記録するなどの方法も考えられる．これによりそのユーザが別のロボットを利用するときには，取扱確認シナリオにおいて，ネットワークサーバ上でそのユーザの過去の履歴を調べ，取扱確認の手続きの省略や簡略化などの制御を行なうことが可能となる．

ロボット上に本節で述べた音声対話機能，ユーザ識別機能，サービス提供管理機能があれば，取扱方法確認システムを実現でき，ユーザとロボットの間で取扱方法を確認する対話をして事故のリスクを有するサービスを適切なユーザに提供することが可能となる．

4. 家庭用ロボットへの取扱方法確認システムの応用と評価

家庭用ロボットに取扱方法確認システムを応用し，評価をした．家庭用ロボットとしては筆者がNEC社で開発した家庭用ロボットPaPeRoを対象とし，これに取扱方法確認システムのプロトタイプを実装した．さらにPaPeRoの事故を引き起こす可能性がある移動機能の取扱方法を例に取扱方法確認システムを先端ユーザに体験してもらいこれを評価した．

本章では，まず4.1節にて家庭用ロボットPaPeRoの機能を説明し，PaPeRoの残留リスクについて述べる．次に4.2節で残留リスクの機能に関して，取扱方法確認システムを適用することについて述べ，4.3節でPaPeRoへの取扱方法確認システムの実装について述べる．最後の4.4節でPaPeRoに搭載した取扱方法確認システムのユーザ評価の結果とそれに関する考察について述べる．

4.1. 家庭用ロボットPaPeRo

4.1.1. PaPeRoの開発

筆者はNEC社で家庭で人と共に暮らすパートナー型ロボットの研究開発を行なってきた．音声対話や顔認識などの機能を持ち，一緒に遊んだり，お話ししたり，家電製品の操作やインターネットの情報アクセスを支援するような，小型コミュニケーションロボットの開発に取り組み，これまで1999年にパーソナルロボットR100，2001年にパーソナルロボットPaPeRoを開発した[4-1][4-2]．筆者は特にハードウェア，安全設計，行動制御の開発を担当した．

パーソナルロボットPaPeRoはスタンドアローン型ロボットであり，専用の梱包箱に入れることによって宅配便でどこにでも手軽に送ることができる．これまで，100家庭や老人ホーム，病院，幼稚園でモニタ評価を行ない，また科学館などで開催されるロボット展にも60ヶ所以上に出展しながら，認識技術などの課題を抽出し改善すると共に，パーソナルロボットの応用領域を探ってきた．家庭モニタ評価や展示会では，高齢者や子供に特に人気であり，高齢者の相手をしたり見守るロボットとしてや，子供と遊んだり一緒に勉強したりするロボットとしての可能性が感じられた[4-3]．

さて，PaPeRoを家庭内で利用する際に，安全設計をするためにはどのような応用分野で利用するのかについて具体化する必要がある．そこで，本論文では，家庭用製品で一番安全性を配慮する必要がある子供をユーザとして想定し，チャイルドケア領域での応用を前提とした安全設計に取り組んだ．チャイルドケアロボットは，家庭用ロボットの中でも特に子供を対象とするロボットであり，子供と接しつつ，見守り，知育，教育などにおいて，子供や保護者をアシストするロボットである．

チャイルドケアロボットに求められる機能としては，子供の見守り機能（居場所の通知，映像・音声の送出，子供の体調確認，危険の察知など），子供と遊ぶ機能（歌をうたう，踊る，童話・物語を読み聞かせる，なぞなぞ，クイズなど），道徳教育機能（きちんとあいさつをする，正しい話し方をするなど），教育機能（常識，数，算数，英語，地理など）などが考えられる．そのほか，ロボットが子供のいる場所まで移動する機能が必要となる．以上の用途に利用可能なチャイルドケアロボットを実現するためには，個人識別能力，コミュニケーション能力，安全性，耐久性，信頼性等が必要である．さらに，チャイルドケアロボットは3～12才の子供と2時間程度，安全に楽しく過ごすことのできる能力が必要である．NEC社はこれらの機能を有するチャイルドケアロボットを2005年に開発し愛・地球博に出展した．筆者はNEC社に所属しチャイルドケアロボットのハードウェア設計およびリスクアセスメントを実施し，機能および運用面での安全設計を担当した．[4-10][4-11][4-12][4-13][4-14][4-15][4-16]

チャイルドケアロボットPaPeRoの外観を図4-1に示す．



図 4-1 チャイルドケアロボット PaPeRo の外観

次にPaPeRoのソフトウェアを開発する環境であるRoboStudio について説明する．

RoboStudioは，パーソナルロボットPaPeRo の研究開発の中で培ってきた仕組みや知見をベースに構成された，人とコミュニケーションを行うロボットの開発を支援するロボットソフトウェアのための実行および開発環境である[4-4]．特に認識技術からロボット記述言語に至るまですべての階層においてロボットに適したソフトウェア体系を提供することを特徴としている．RoboStudio は図4-2 に示すように，大きく(1) 実環境で使える音声・顔画像認識機能，(2) ロボット全体の制御を統括するロボットバーチャルマシン，(3) シナリオと呼ぶロボット専用のアプリケーションの開発ツール，(4) コミュニケーションの実現を支援するデータベース処理機能から構成されている．

RoboStudio のソフトウェアには，大きく「ワーカ」と「シナリオ」の２つが存在する．

「ワーカ」は，機構の動作やセンシングなどロボットが実現可能な基本機能毎にC++言語で実装されるモジュールである．RoboStudio の構成要素として提供しているワーカとしては，音声合成ワーカ，音声認識ワーカ，顔画像認識ワーカなどがあり，これらのワーカは，カメラやマイクなどのデバイスへの適合の手順が必要なものの，ロボットに共通なハードウェア抽象層として利用することができる．

「シナリオ」は，ワーカを使役し，ランダム移動（散歩）や会話などのロボットの行動をRoboStudio が提供する専用のスクリプト言語を用いて実装する．

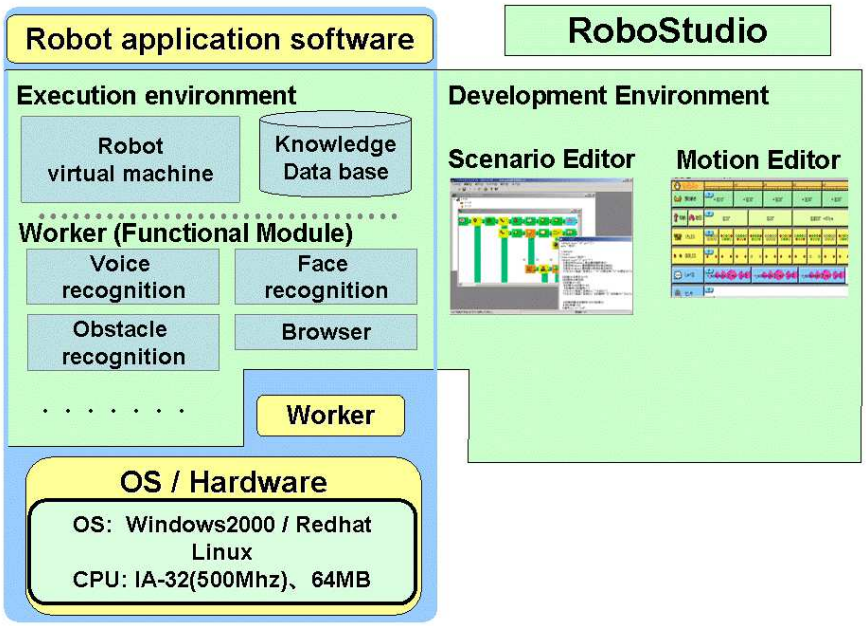


図 4-2. RoboStudio のアーキテクチャ

4.1.2. 家庭用ロボット PaPeRo の安全設計

筆者は本研究に先立ち，家庭用ロボットのPaPeRoの安全設計に取り組んだ．産業用ロボットでは，ISO で機械安全の国際規格が定義されている．一方，人と共存するサービスロボットにおいては，今のところ安全に関する規格としてISO 13482[1-3]が策定中の状況である．筆者はPaPeRoの安全設計にあたり，安全設計の基本的な考え方の規格であるISO 12100 に基づくリスクアセスメント[4-5] を実施し，家庭での運用まで含めたリスク低減に取り組んだ．リスクアセスメントの具体的な内容については付録1「家庭用ロボットPaPeRoのリスクアセスメント」に示し，本節では概要について述べる．

PaPeRo の開発・評価にあたり，国際安全規格であるEN 71 (Safety of toys) [4-6], EN 50088 (Safety of electric toys) [4-7], ISO 60950 (Safety of information technology equipment) [4-8] を適用した．EN71 では，14歳以下の子供が単独で扱うことを想定する製品を玩具と定義している．PaPeRoが家庭に導入された場合には14歳以下の子供が単独で扱うことが想定されるので，サービスロボットの安全規格であるISO 13482の適用だけでは不十分であり，玩具の安全規格も適用すべきであると考えた．

さらにPaPeRoは，情報機器についての規格であるISO60950 で定義されるノートPC にセンサ，モータといったデバイスを統合した装置とみなすことができる．情報機器に関する電気特性についてはこのの安全規格を適用した．PaPeRoに搭載された安全方策のためのセンサの図4-3 に示す．

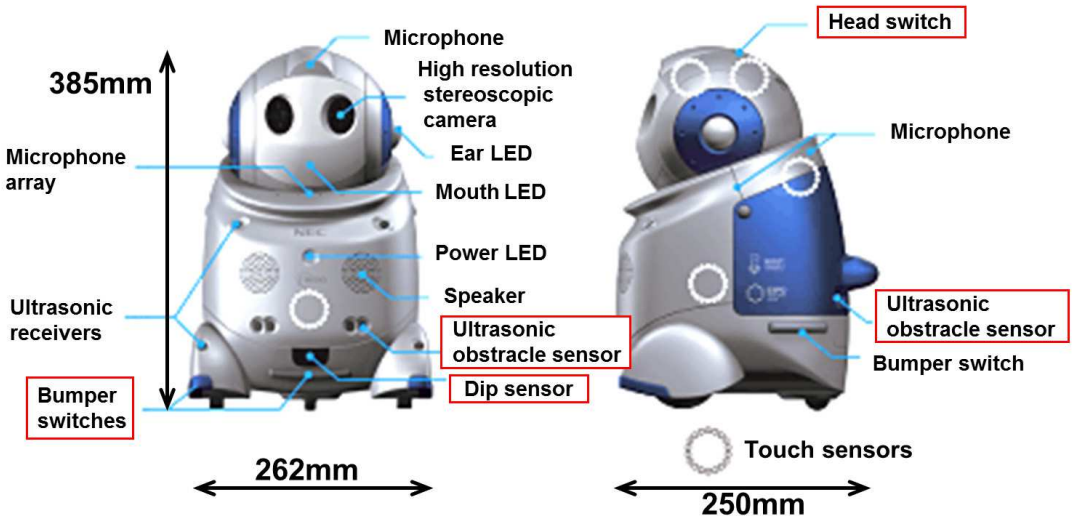


図 4-3. PaPeRo の安全方策のためのセンサ

PaPeRoの安全設計のポイントは以下の3点である.

(1) PaPeRo の出力するエネルギーの制限

PaPeRo などの家庭用ロボットによる怪我のリスクを低減するためには質量を小さく,速度を遅くすることで,PaPeRo の出力するエネルギーを少なくすることが重要である.PaPeRoは約6[kg] とし, またモータは, 定格出力約3[W] の力の小さいものを利用している. モータ軸での最大トルクは0.0363[N-m]である. またPaPeRo の最大移動速度は20[cm/s] であり,移動時にPaPeRo が出力する最大エネルギーは0.12[J] に制限されるため, PaPeRo が能動的に動くことによる怪我のリスクは十分少ない.

(2) 機構による安全方策

機構的には指などを巻き込む, 引き込む, 挟み込むことがない設計が重要である.PaPeRo の筐体は曲面を基調としており, 先端部, エッジ部はすべて丸みを帯びている曲面とした. また可動部の隙間についてはすべて3[mm] 以下とした. そのために巻き込み, 引き込み, 挟み込みのリスクは十分少ない. 図4-4にこの安全を施した機能の写真を示す.

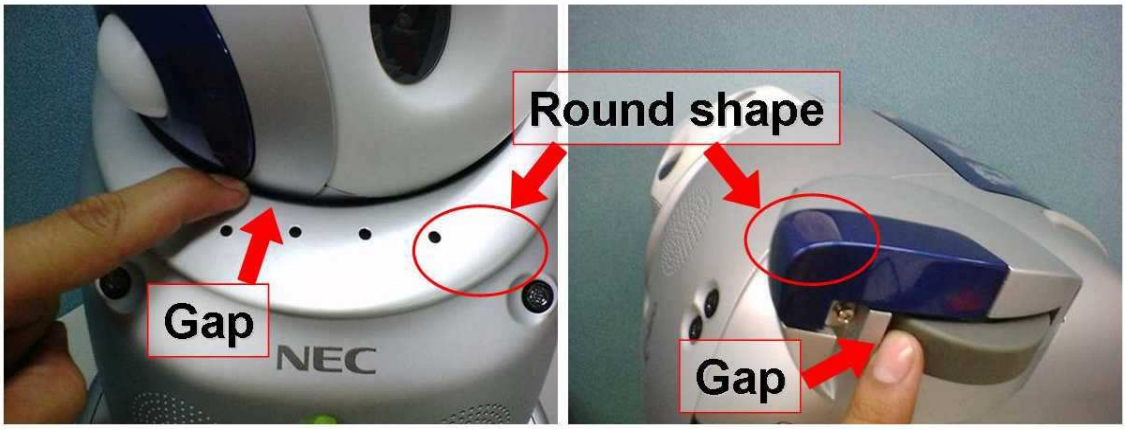


図 4-4. PaPeRo の機構上の安全設計

(3) センサ・保護回路による安全方策

PaPeRo には前方と後方に，超音波障害物センサを搭載しており，超音波センサにより障害物を検出した場合，障害物がない方向に旋回するか，停止する．そのためPaPeRoの衝突のリスクが低減されている．PaPeRo の衝突が発生しやすい車輪の前方2 箇所，胴体の下1 箇所，胴体後方に2 箇所にバンパスイッチを設置し，さらに，緊急時にメカニカルな動作を停止するために，頭の天頂部にスイッチを設置してある．超音波センサとバンパスイッチの搭載箇所を図4-5に示す．これらのスイッチが接触，押下されたときにはモータへの電源供給が直接停止されるようになっている．さらに，ソフトウェアや制御システムに不具合があっても確実に停止するように，モータには過電流保護回路，過負荷保護回路が搭載されており，異常状態になった場合にはモータの電源供給を停止する．一方，センサには故障リスクが必ず伴うのでそれへの対処も必要である．衝突回避のセンサおよびコントローラの構成を図4-6に示す．この図で示されるように，PaPeRoでは様々な衝突回避のためのセンサや保護回路が搭載されており，またモータの出力を停止するための信号の伝達経路は階層ごとに独立している．これにより，センサ故障による衝突のリスクも十分に低減されている．

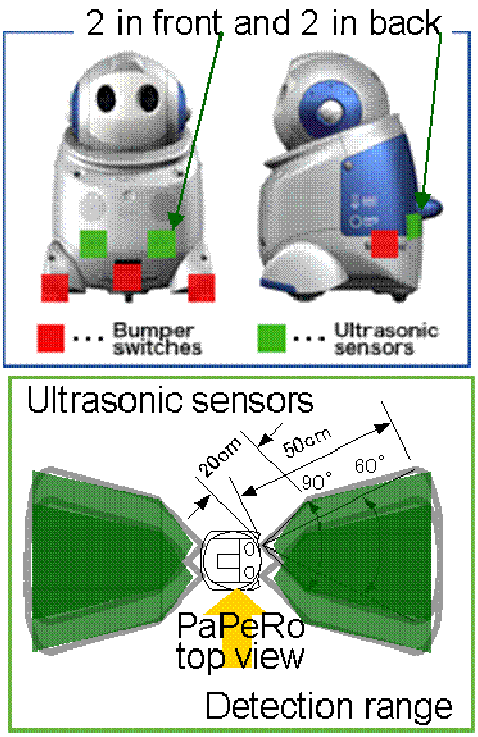


図 4-5. 超音波センサとバンパスイッチ

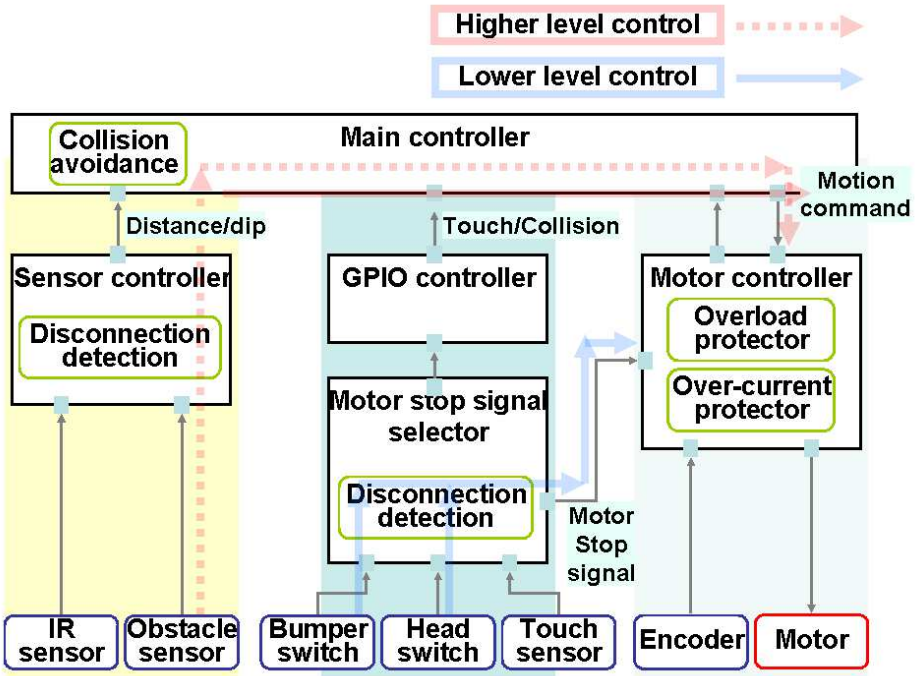


図 4-6. 多重の安全保護回路ブロック図

4.1.3. PaPeRo における残留リスク

PaPeRoが家庭で子供が利用することを想定し，ISO 12100 に基づいたリスクアセスメントを実施し,残留リスクを明確にした. リスクアセスメントのフローチャートを図4-7に示す.

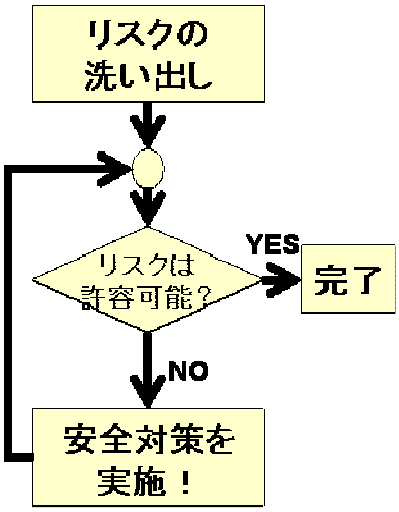


図 4-7. ISO12100 のリスクアセスメントの作業手順

その結果，感電，ロボット自体の発煙・発火，機構による怪我，使用している材料の中毒についてのリスクは許容できるレベルに到達した. しかしながら自律的に移動することに伴う，技術的に回避が困難な残留リスクとして次の二つが残った.

(1) 階段等からロボットが転落して人に怪我をさせる.
(2) 火元にロボットが衝突し火災が発生する.

これらのリスクを完全に回避することは技術的に困難である. それは段差や火元を検出するセンサには必ず誤検出が発生することを防げないのが理由である.

PaPeRo では具体的に段差を検出する手段として，ロボット下部に赤外線による反射センサを搭載し床の存在を検出し,床がない場合には停止する機構が組み込まれている. しかしながら床材によって誤検出をする可能性があり，ロボットの転落リスクが残る. さらに火災発生の危険源となる火元として蚊取り線香やストーブが家庭内に存在する可能性があり，これにロボットが衝突し転倒させ火災を発生させるリスクがある. この

リスクを低減するため，超音波センサを搭載しこれらと衝突をさせない機構を組み込んでいる．しかしながら，障害物の材質により検出できずに火元と衝突するリスクが残る．

以上に述べたように，段差からロボットが転落することで人に怪我をさせるリスクと，火災のリスクを低減するための機構を搭載しているもののリスクを完全に排除することは困難であった．またリスクを限りなくゼロにするため，これらの危険状態の検出性能を上げるためにセンサを多く搭載するという選択は，ロボットの重量やサイズおよび製造コストの問題で現実的ではない．

そのため，PaPeRo の利用にあたっては，段差や火元のあるところで利用することによるリスクをユーザに確実に伝達し，ユーザが怪我や火災が発生しないように注意をしながら運用をする必要がある．なお，この二つのリスクはPaPeRo だけでなく家庭内で動き回る機能を提供するロボットの共通のリスクであるといえよう．

PaPeRoのリスクアセスメントの詳細を，付録１「家庭用ロボットPaPeRoのリスクアセスメント」に示す．

4.2. PaPeRo への取扱方法確認システムの実装の検討

家庭で扱うロボットによる怪我，火災といった重大事故に伴う残留リスクについては，ユーザが安全性とリスク回避のための注意事項を十分に認識し理解した上で，それに沿ってロボットを運用・操作することが求められる．従来は警告ラベルや取扱説明書などにより，ユーザに運用・操作方法を指示していた．しかしながらこの手法では，ユーザが警告ラベルや取扱説明書を読まずにロボットを運用・操作し事故が発生するリスクがある．

そこで，この問題に対処するため提案した取扱方法確認システムのプロトタイプをPaPeRoに搭載し，それにより有用性と実現性を評価することにした．特にここでは，3.3節「取扱方法確認システムを実現するために要求される機能」で説明した機能のうち，音声対話機能に着目し，実際の先進ユーザにPaPeRoとユーザの間で取扱確認システムが提供する取扱方法に関する対話を実現できるのか，特にユーザが取扱方法を理解しロボットに対して取扱方法を発声する行為をするのかを評価することとした．音声対話機能に着目した理由は，取扱方法確認システムを実現するにあたって，以下の3点が最も基本的な要素と考えられるからである．

（１）ユーザがロボットが発声する音声によってロボットの取扱方法を理解できるか？
（２）ユーザが発声するロボットの取扱方法に関する文章をロボットが認識できるか？
（３）ユーザとロボットの音声でのやりとりが成立するか？

プロトタイプの実装においては，4.2節で明らかにした残留リスクのうち，ロボットが移動する際に段差から転落しユーザに怪我をさせるというリスクを選び，この機能について取扱方法確認システムの有効性を確認することにした．すなわち，取扱方法確認システムのプロトタイプが提供する音声対話に従って，ユーザがPaPeRoの移動機能を利用するにあたっての「段差があるところでは使わない」という取扱方法を理解するか，また，ロボットがサービスを提供する前にユーザの「段差があるところでは使わない」という取扱方法の発声を音声認識して判断できるか，を確認する．

この例に対して取扱方法確認システムの動作は次になる.

(1) 事故の発生リスクを伴う移動機能については制限をかけておく.
(2) ユーザが移動機能を伴うサービスをはじめて実行しようとするときに, PaPeRo自身が音声により「段差があるところでは使わない」という取扱方法を説明する.
(3) ユーザは「段差のあるところでは使いません」と発声し, 約束をする.
(4) PaPeRoはユーザの音声を認識することにより, ユーザが取扱方法を理解したと認識し, 移動機能の制限を解除し, それ以後移動を伴うサービスが指示されたときに提供する.

この取扱方法確認システムの動作により, ユーザは音声で「段差のあるところでは使いません」と発声することになり, PaPeRoの取扱方法を確実に理解し, 以後その取扱方法に注意しながらPaPeRoを利用することとなり, その結果, PaPeRoが段差から転落する事故の発生リスクの低減が期待される.

4.3. 評価のためのプロトタイプシステムの実装

提案した取扱方法確認システムの実現性と有効性の評価のため，以下の機能をPaPeRo上に実装した．

PaPeRoの移動を伴う機能のひとつにランダム移動（散歩）機能がある．ランダム移動（散歩）機能は，PaPeRoの周辺のエリアをまわりの物体にぶつからないように部屋の中をランダムに動き回る機能である．この機能にはPaPeRo は床面に段差のある所ではそれを検出できずに転落するというリスクが残留しており，この機能を実行させるに当たっては，ユーザはあらかじめ段差が無いなどの環境の安全性を確かめることが求められる．そこで，本プロトタイプにおいては，例としてPaPeRoのランダム移動（散歩）機能を対象にして取扱方法確認システムを適用した対話を行うことにした．実装したプロトタイプの対話のシナリオは，PaPeRoがユーザがランダム移動（散歩）機能を利用する際に，PaPeRoを机の上で使用することの危険性を伝えるという利用シーンを設定し，PaPeRoを段差のない床の上で利用するという取扱方法をユーザに伝達するという内容で実装した．

取扱方法確認システムの実装にあたり，PaPeRoに搭載されている次の機能を利用した．

（1）音声合成：取扱方法を音声で説明する機能．
（2）音声認識：ユーザの応答した音声を認識する機能．
（3）シナリオ：取扱方法を確認する対話を行う機能．

以下，これらのPaPeRoに搭載されている機能の詳細について説明する．

4.3.1. システムのベースとなる PaPeRo の機能

ここでは試作した取扱方法確認システムで利用したPaPeRoに搭載されているのベースの機能である，音声合成，音声認識のそれぞれの詳細について述べる．

（１）音声合成

PaPeRo には，そのプログラム上でテキストを与えて，それに従って合成音声を生成する機能が搭載されている[4-9]．PaPeRoの音声合成は対話収録音声を元にして生成させており，人間に近い聞き取りやすい発声が可能である．また，発声のさせ方として，声の高さ，発声速度，エフェクト機能，数字読みモードなどをコマンドにより制御可能である．これによりかわいらしい効果をつけた音声を発生させている．

（２）音声認識

PaPeRo には不特定話者に対する音声認識機能が搭載されている．また，PaPeRo の音声認識システムは家庭環境などの環境のノイズが大きいところで利用されることを想定し，ノイズキャンセラ機能を搭載していることが特徴である．ノイズキャンセラは，音声用と雑音用マイクロホンをロボットの前面と背面に設置し，両者の信号を適応フィルタで処理し，雑音を推定して音声用マイクロホンの信号から減算することにより，音声に混入する雑音を消去する．実環境評価により，認識率が最大65%改善し，57[dB] の雑音に対して無雑音と同等の認識率を達成できることが示されている[4-10]．

（３）シナリオ

PaPeRoのソフトウェア開発環境のRoboStudioには，機構の動作や音声認識・音声合成などロボットの基本機能毎にC++言語で実装されるモジュールである「ワーカ」と，ワーカを使役しランダム移動（散歩）や会話などのロボットの行動をスクリプト言語を用いて実装されるモジュールである「シナリオ」という２つの階層のモジュールがある．

取扱方法確認システムのユーザとロボットの対話を制御する機能は，RoboStudioのシナリオとして実装した．

4.3.2. 取扱方法確認システムのシナリオの実装

取扱方法確認システムのプロトタイプは，以下の四つのシナリオの単位で構成した．

(a) ランチャーシナリオ：PaPeRo が提供する機能を選択する対話のやりとり．
(b) 取扱方法確認シナリオ：取扱方法を確認するための対話のやりとり．
(c) ランダム移動（散歩）シナリオ：ランダム移動（散歩）機能を実行する．
(d) 応答シナリオ：あいさつや自己紹介といった音声の指示にPaPeRoが反応を返す．

シナリオの遷移図を図4-8に示す．ランダム移動（散歩）シナリオはロボットが移動するというユーザが注意すべき取扱方法が存在するため，初期状態でランダム移動（散歩）シナリオの実行を制限する．ランチャーシナリオは，「散歩して」「こんにちは」といったユーザの音声指示を待ち，音声が入力されたときに，その音声に対応するシナリオに遷移する．

ランチャーシナリオで「こんにちは」「お名前は」といったあいさつなどの指示を受けた場合に応答シナリオに遷移し，PaPeRo にそれぞれ応答として「こんにちは」「PaPeRoです」と発話させる．

ランチャーシナリオで「散歩して」と指示された場合には，まずはランダム移動（散歩）シナリオの制限状態を確認する．

ランダム移動（散歩）シナリオが制限されていない場合にはランダム移動（散歩）シナリオに遷移する．

ランダム移動（散歩）シナリオが制限されている場合には取扱確認シナリオを実行する．取扱確認シナリオで，ユーザに対して取扱方法を説明しユーザが取扱方法を発話し取扱方法を確認できた場合には，ランダム移動（散歩）シナリオの制限を解除し，ランダム移動（散歩）シナリオに遷移する．もし取扱確認ができない場合にはランダム移動（散歩）シナリオの制限を継続し，ランチャーシナリオに遷移する．

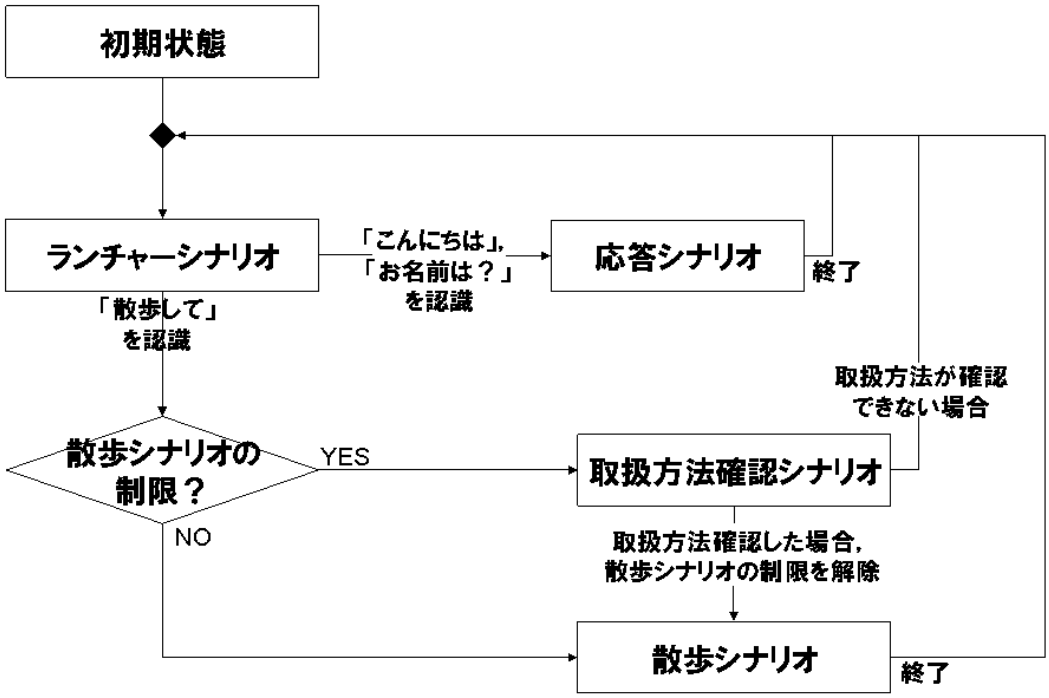


図 4-8 プロトタイプのシナリオの遷移図

本プロトタイプの具体的な対話シナリオのシーケンスを説明する．表4-1に取扱確認シナリオの対話シーケンスを示す.

取扱確認シナリオの第一ステップでは，ロボットが段差のあるところで利用することの危険性をユーザに伝達し，安全な状態にするようにユーザに依頼し，安全な状態になったかの確認をする質問をユーザにする．ユーザが安全な状態にしたと質問に音声で回答した場合には第二ステップに進む．ユーザが安全な状態にしたという回答をせずタイムアウトした場合には，機能提供をしないことをユーザに伝達し，ランチャーシナリオに戻る.

取扱確認シナリオの第二ステップでは，ロボットがユーザに守ってほしい取扱方法をユーザに音声で約束するように依頼する．ユーザが音声にて約束を発話したことを認識した場合には第三ステップへ進む．約束の音声認識がされずタイムアウトした場合には，機能を提供しないことをユーザに伝達し，ランチャーシナリオに戻る.

取扱確認シナリオの第三ステップでは，ユーザに約束をしたことを確認できたため機能の提供を開始することを伝達し，ランダム移動（散歩）シナリオに遷移する.

図4-9に取扱シナリオの対話のフローチャートを示す.

表 4-1. プロトタイプシステムの対話シーケンス

Step	Content of the dialogue
Initial state	Robot：（机の上にある状態） User：「散歩して」
Step 1	Robot：「私は段差のあるところでは落ちてしまいます. 段差のあるところでは使わないでください. 段差の上にある場合には床におろしてください. 床におろしたら, “おろした”といってください. お願いします. 」 User：（ロボットを下ろした後に）「おろした」
Step 2	Robot：「ありがとうございました. ではお散歩する前に約束してください.“段差のあるところではつかいません”といってください. 」 User：「段差のあるところでは使いません」
Step 3	Robot：「約束しましたよ. 必ず段差のないところで使ってくださいね. では散歩します. 」（散歩開始）

4.4. プロトタイプシステムのユーザ利用体験結果と評価

先端ユーザに4.3節で説明した取扱方法確認システムのプロトタイプを体験してもらうことで，取扱方法を確認するため音声対話（ロボットが取扱方法を説明し，ユーザがその取扱方法の文章を発声し，ロボットがユーザの音声を認識してサービスを提供するという対話のやりとり）が成立するかの実現性と，提案した取扱方法を確認する対話の考え方の有用性を確認した．

先端ユーザとして大学生21人を対象に4.4節で説明したシステムを体験してもらった．先端ユーザがPaPeRoの取扱方法を確認する対話を体験をしてもらう様子を観察するとともに，体験の後でアンケートとインタビュにより意見を収集した．あわせて，家電製品を扱うときの取扱説明書の安全に関する記事を読むかといった安全性の意識についてアンケート調査をした．

音声対話の実現性については，PaPeRoが取扱方法をユーザに説明し，ユーザに「段差であるところでは使いません」と発声させてPaPeRoが移動機能の制限を解除することができるかどうかによって，PaPeRoとユーザの音声対話が成立したかを判定した．取扱方法を確認する対話の有用性については，体験後，ユーザに対してアンケートとインタビューで，ロボットの取扱方法を理解できたかをヒアリングして評価した．

利用体験の様子の写真を図4-9に示す．

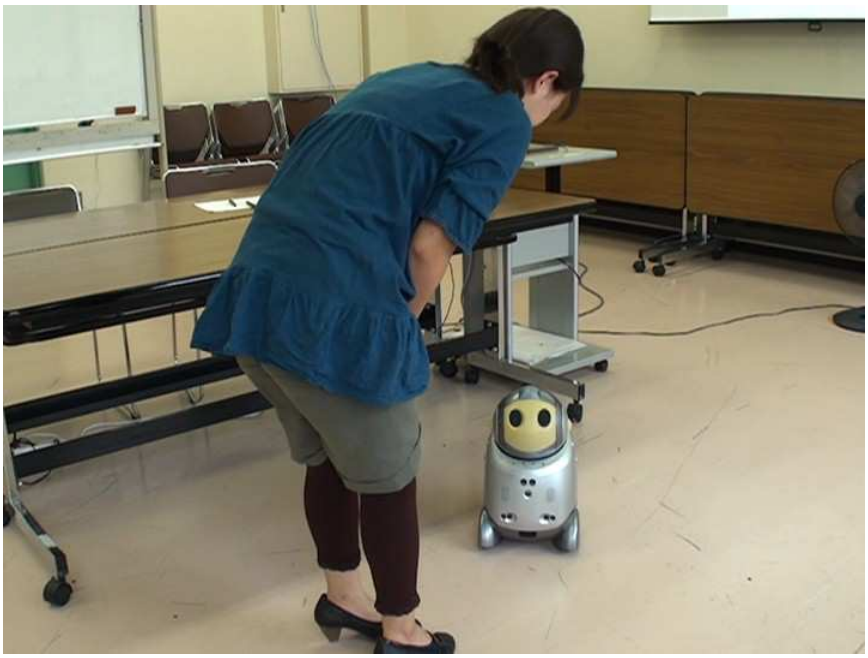


図 4-9. 先端ユーザによる利用体験の様子

4.4.1. プロトタイプ利用環境とユーザの体験の手順

ユーザにPaPeRoとの取扱方法を確認する対話を体験してもらった利用環境について説明する．50平米程度の部屋の中に120[cm]×180[cm]のテーブルを置き，その上にロボットを乗せた状態を初期状態とした．利用環境の部屋は通常の教室であり，声の反響がおきたり，また部屋の外の廊下での話し声や屋外のセミなどの虫の音などが入ったりし，音声認識の誤作動を起こす可能性のある雑音が少なくない状況であった．利用環境の間取り図を図4-10に示す．

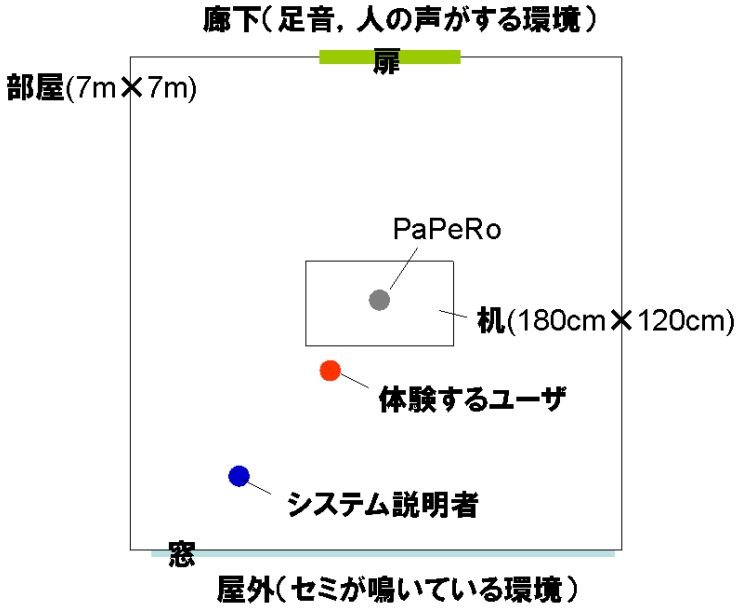


図 4-10 利用環境の間取り図

次に利用体験の手順について説明する．始めにシステム説明者と体験してもらうユーザが二人で部屋に入った．そして，システム説明者がユーザに対してPaPeRoとの対話の方法について説明した．次にユーザにPaPeRo に対して，「こんにちは」「お名前は」といったあいさつのやりとりをしてもらい，PaPeRoとの音声対話の方法を練習してもらった．その後に，ユーザに「散歩して」とPaPeRoに指示するよう依頼した．ユーザがPaPeRoに「散歩して」と指示した，PaPeRo は表4-1 の対話シーケンスを実行した，システム説明者はPaPeRo とユーザの対話には介在せず単にユーザを観察した．

4.4.2. ユーザの利用体験の結果

21 人のポテンシャルユーザが本プロトタイプシステムを利用し体験した様子を報告する．21 人中20 人はPaPeRo による自分の取扱方法の注意点の説明を理解し，PaPeRo の指示に通りにPaPeRoをテーブルの上から床に下ろす行動をし，次いでPaPeRo の指示に従って，「段差のあるところでは使いません．」という約束を発話した．

これにより，PaPeRoの有する音声認識の認識性能および音声合成のユーザへの聞き取りやすさの性能があれば，提案した取扱方法確認対話のやりとりが21人中20人という高い割合で成立したことが確認できた．

21人中1人についてはロボットの発話を聞き取れず，PaPeRoが発声した「段差のあるところでは使わないでください．」の「段差」を「台車」と聞き間違え，約束するときにもユーザは「台車のあるところでは使わない．」と発話した．その発話をPaPeRoは「段差のあるところでは使わない」と誤認識し，ランダム移動（散歩）機能を実行した．すなわち本ケースでは，人が「段差」を「台車」と聞き間違え，PaPeRo が「台車」を「段差」と誤認識をしたことで，システムのやりとりが成立してしまい，本来は提供してはいけないランダム移動（散歩）機能が実行されてしまうという問題が発生した．この例では，本プロトタイプシステムの音声合成の聞き取りやすさ，ユーザの音声の認識精度では，21分の1でやりとりのミスが発生したといえるが，他の21分の20は意図した通りの対話が成立した．

4.4.3. システムに関するアンケート

本アンケートの目的は，PaPeRo の外観の与える印象でロボットが提供する機能に関して誤解を与える可能性がないかを調査することと，PaPeRo が説明したことを理解できたかを調査することである．アンケート結果を表4-2～4-4に示す．

PaPeRo を見た第一印象でPaPeRo は机の上から転落しない機能を十分に有している，と誤解した人が21人中6 人いた．このことより，取扱方法をユーザに説明し，その誤解を解くことの重要性がわかる．このユーザの誤解は，「ロボット」だから大丈夫であるという期待から生じている可能性があり，ロボットの機能の限界をユーザに理解させることは重要であると考えられた．

また，ロボットが音声で使い方を説明することについて，わかりやすかったと回答した人が21人中20 人であった．このことより，PaPeRo との音声による取扱確認対話が有効であることが確認できた．

一方で今回の対話の感想をきいたところ，21 人中15 人が楽しい，おもしろい，21 人中8 人が先進的であると肯定的な回答をした．

一方，21人中5 人が取扱方法の確認のための対話をすることが面倒くさい，手間がかかるという回答をした．本実験で利用したプロトタイプシステムでは3.3節で説明したサービスの提供の制限解除したユーザを記録し，一度取扱方法の確認をしたユーザに対しては，取扱方法の対話を省略してサービス提供するという，サービス提供管理機能は実装していなかったが，この機能の必要性が示唆されたと考えられる．

表 4-2. プロトタイプシステムを利用した感想のアンケート結果-1

Question	Answer (number of respondents = 21)			
「ロボットを見た第一印象で動くときに机の上から落ちないようになっていると思いましたか？」	「思った」	「どちらかといえば思った」	「どちらかといえば思わなかった」	「思わなかった」
	1	5	10	5
「ロボットが自分から使い方を説明しましたが理解できましたか？」	「理解できた」	「どちらかといえば理解できた」	「どちらかといえば理解できなかった」	「理解できなかった」
	18	2	1	0

表 4-3. プロトタイプシステムを利用した感想のアンケート結果-2

ロボットと約束する行為について感じたことにチェックを入れてください（複数回答可）	
面倒くさい	5
面倒くさくない	10
また約束したい	6
約束したくない	1
楽しい	7
つまらない	0
先進的	8
おもしろい	15

表 4-3. プロトタイプシステムを利用した感想のアンケート結果-3

体験していただいたロボットの機能について感想をご自由に記入ください.	
体験者	感想
A	・約束と言うのが可愛くておもしろかった. ・もう少し一緒に散歩してみたい.
B	・音声を聞き取ってくれないことがあったのが気になった.
C	・ロボットと約束すること自体興味深い. ・約束を守らなかったときにどう安全を確保するのか，責任の所在をどうするのか課題がありそう. ・こちらの言動に対するリアクションがあるというのはかわいい.
D	・ロボットの声や話し方が聞き取りやすかった．話すスピードもちょうどよいと感じた.
E	・何度か一度では聞き取ってくれなかったところがあるので，同じことを何度もいうのは面倒だと思った ・かわいい.
F	・こういうロボットを生まれて初めて見たのですが，かわいらしく親しみやすいと感じた ・自分の声に反応してくれてうれしかった
G	・ユーザに同意をもとめるロボットは新鮮だった.
H	・使い方を口頭でで説明し同意をもらうことはいろいろな年齢の人にも対応できるよいシステムだと感じた. ・このようなロボットが人の生活をフォローするインタフェースになるとよい
I	・チョコチョコ動くのがかわいかった ・動き回るときのためにセンサーなどがついていればいいと思う
J	・ロボットとやりとりをするコミュニケーションは楽しいと思った. ・少しやりとりの際に戸惑うことがあった．本当にロボットの言ったとおりに行動してよいのか.
K	・PaPeRo がしゃべり続けるので，間にあいづちをいれたい.
L	・ロボットが取扱について自主的に約束をするのがおもしろい. ・遊んでいるときや，起こった出来事ごとにに対応した何パターンかの取扱方法について，随時お知らせしてくれるとうれしく，便利に思える.
M	・会話ができるようなものは初めてでおもしろかった.
N	・動きがかわいらしくて癒された．また遊びたいと思った.
O	・人に自分の声が聞き取りづらいといわれるが，ロボットにも自分の声が聞き取りづらかったようだ.
P	・愛玩用ロボットとしておもしろいと思った.

Q	・会話をしているかのような感覚をえることができ，緊張感や気をつかうといった不安感がやわらいだ. ・取扱説明書で文面で細々と書いてあるものを読むよりは，気をつけるべきことを音声で聞くほうがわかりやすいと思った.
R	・音声認識をしないことが何度かあった．認識してくれないとコミュニケーションのテンポが悪くなる. ・約束については面倒だと感じる. ・会話の流れとしては少しだけとまってしまい，かたまった.
S	・話しかける言葉が決まっていることが窮屈に思えた.

4.4.4. ユーザの利用体験評価の考察

PaPeRoに実装した表4-1の対話シーケンスを適用した取扱方法を確認するプロトタイプシステムと実際の先端ユーザとのやりとりにおいて，以下のプロセスが実現された．

（1）機械が人に取扱方法の注意点を伝達することで人がその注意事項に従って行動をする．
（2）人が注意点を理解しそれを遵守することを約束として発話し，機械が人の約束の内容を発話したことを認識することで機能が提供される．

利用体験をした21人中20人という多くのケースでやりとりが成立し，ユーザにPaPeRoの取扱方法を理解たことは，PaPeRoの音声認識と音声合成性能が十分な性能を有していることが確認できたと言える．

本取扱方法確認システムは対話によりロボットがユーザに取扱方法を理解をさせることが目的である．21人中20人もの高確率でやりとりが成立し，本システムがユーザに取扱方法を理解させることができたことを踏まえると，現状の音声認識性能や音声合成の聞き取りやすさの性能のレベルで，ロボットが引き起こす事故の発生リスクの低減に十分に寄与できると考えられる．

5.提案システムの有用性に関する考察と検討

取扱方法確認システムは，音声によるロボットとユーザの対話により，従来の警告ラベルや取扱説明書のみではユーザが見落としたり，取扱説明書を読まなかったりする問題を解決し，取扱方法を確実にユーザに伝達することにより，事故のリスクを低減する．具体的には，ロボットが自ら事故のリスクのある機能に関して自分の取扱方法を説明し，自分を正しく利用するとユーザが約束したことを確認した上でその機能を提供する．PaPeRo を利用しランダム移動（散歩）という機能に関する取扱方法確認シナリオのプロトタイプを21 人のポテンシャルユーザに体験してもらい，そのやりとりを観察することで，本手法の有効性が示唆された．また，PaPeRo の音声合成と音声認識の機能が本手法を実現するために必要な能力をもつことも確かめられた．

以下本提案システムの有用性や他への応用に関して考察と検討を加える．

5.1. 従来の取扱説明書の課題

従来の取扱方法を伝達する取扱説明書をユーザがどのように扱っているかについて,今回の利用体験に参加した先端ユーザ21人にアンケートを実施した.家電やPCなどのソフトウェアを扱うときに取扱説明書などを読んでいるかを確認したアンケートの結果を表5-1に示す.アンケート結果より,ユーザは取扱説明書を読むが,安全に利用するための項目については読まない人が21人中14人と割合が高い.

また,形式的なやりとりの効果を調査するため,一例としてソフトウェアのインストール作業を題材にユーザにアンケートを行った.アンケートの結果,ソフトウェアのインストール時に表示される契約文に"同意する" ボタンを,契約文読まずに押してしまうユーザが21 人中19 人いることがわかった.このことは形式的な対話では安全に必要な情報を確実に提供することができないことがあることが示唆され,ユーザに取扱方法を理解させることの重要さが浮かび上がった.

一方,プロトタイプシステムの利用体験結果においては,参加者はほとんど抵抗なく安全な取扱方法の確認プロセスを受け入れており,本手法の対話によってロボットが自ら自分の安全な使い方を説明することが有効であることが確認できた.

表 5-1. 取扱説明書に関するアンケート

Question	Answer (number of respondents = 21)			
「家電製品を購入したときに取扱説明書を読みますか?」	「必ず読む」	「読むことが多い」	「読まないことが多い」	「まったく読まない」
	2	12	7	0
「取扱説明書の“安全にお使いいただくために”の項目を読みますか?」	「必ず読む」	「読むことが多い」	「読まないことが多い」	「まったく読まない」
	0	7	13	1
「ソフトウェアのインストール時に提示されるライセンス契約の“同意する”や“理解した”といったボタンを押すときに契約文を読みますか?」	「必ず読む」	「読むことが多い」	「読まないことが多い」	「まったく読まない」
	0	2	16	3

5.2. ユーザの取扱方法の理解の確認手段

今回のプロトタイプでは,ユーザがロボットから提示された取扱方法を音声で復唱することにより,ユーザが理解したとロボットが認識する.別の実装として,タッチパッドの手書き入力機能やキーボードにより取扱方法を入力する形態にしても,ユーザが取扱方法を理解したことをロボットが確認できる.

また現在は音声認識の能力の限界からユーザが理解したことを「復唱」によって確認しているが,将来的にはどう理解したかなど,理解内容を別の表現で伝えてもらうことができれば,より確実な確認ができよう.

機械がユーザに機械の取扱方法をガイドする例は従来から存在する.例えば,銀行のATM などでは,端末の画面上や音声で使い方を案内する例がある.しかし,これらの装置ではユーザが実際に使い方を理解したかどうかを認識はしていない.

また,ソフトウェアなどで契約文章を提示し,ユーザがそれに同意をしたかを「はい」または「いいえ」で確認するものがある.しかしながら,これらの装置もユーザが契約文章を本当に理解しているかどうかを認識していない.本論文で提案したシステムは,ユーザに伝達した取扱方法をユーザに具体的かつわかり易い文章として発声させることがポイントである.ユーザが具体的かつわかり易い文章を発声できれば,その文章の内容はユーザが意識しているか否かによらず理解していると考えられる.そして,機械がユーザの発声の音声を認識することをもって,ユーザが利用方法を理解していると判断している.この,機械がユーザの理解を判断して機能提供する点が従来のシステムと大きく違うといえよう.

5.3. ロボット以外の応用例

取扱方法確認システムは，ユーザと機械が約束をすることで機能を提供する．よって，事故のリスク低減といった目的だけでなく，違う目的にも応用することができる．ロボットの事故のリスク低減以外の応用例について検討した結果を示す．

（１）テレビゲーム機への応用

子供がテレビゲームで遊ぶシーンでは，親との間にゲームをする前に宿題を終わらせるといったルールを決めている家庭がある．親が不在の状況で，子供が宿題を終わらせたかを機械がセンシングすることは困難である．そこで，宿題が終わった状態になったかどうかについては，子供に判断させ発声させる．具体的には，テレビゲーム機の電源をONにしたときに，テレビゲームから子供に対して「宿題が終わっていますか？」と確認をし，子供が「宿題は終わりました」と発声することで，テレビゲームの電源投入の制限を解除することが考えられる．図5-1にテレビゲームへの応用のイメージ図を示す．

このシステムも，わざわざ子供に「宿題は終わりました」と発声させることにより，ゲームは宿題を終わらせてから遊ぶという意識を子供に強く持たせることを可能にすると考えられる．

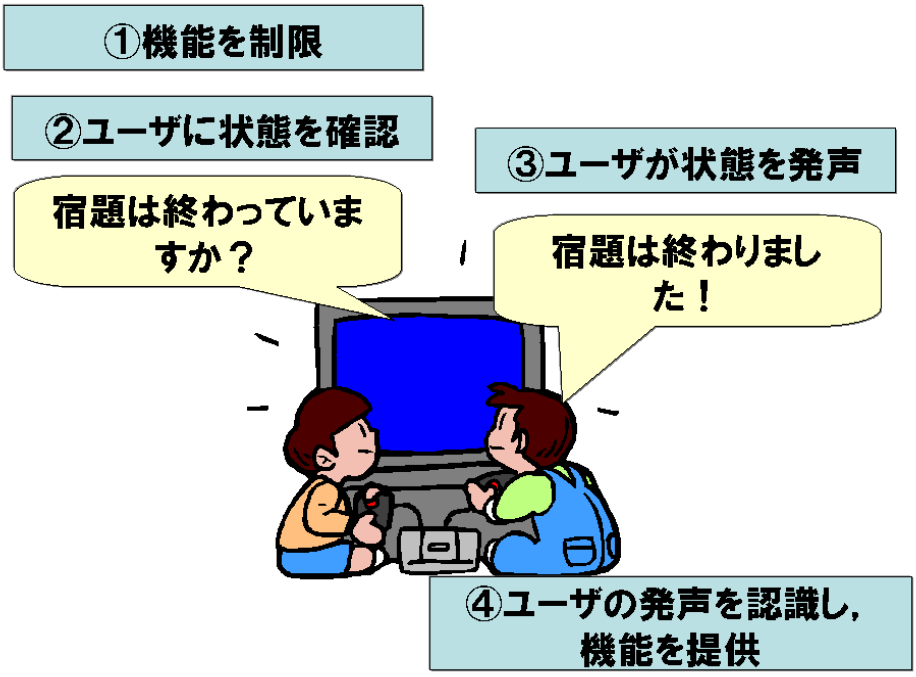


図 5-1. テレビゲームへの応用

（２）自動車への応用

ドライバが自動車を運転するシーンでは，ドライバが様々な車両や車両周辺の状態を確認しつつ運転をすることが求められる．具体的な例として自動車のエンジンを始動するシーンを説明する．ドライバは自動車から「自動車の周囲の安全確認をしましたか？」と確認を求められ，ドライバはそれに応じて実際に自動車周囲の安全を確認した後に「自動車の周囲の安全確認をしました．」と発声する．この音声対話のやりとりを機械が認識すると，エンジンを始動する機能制限を解除する．自動車の周囲の完璧な安全確認はセンサなどを組み合わせて実現するのは困難である．その問題を解決するために，機械はドライバに具体的な動作の確認をすることを依頼し，ドライバが安全の確認したことを音声対話で機械に伝えるという考え方である．図5-2に自動車への応用のイメージ図を示す．

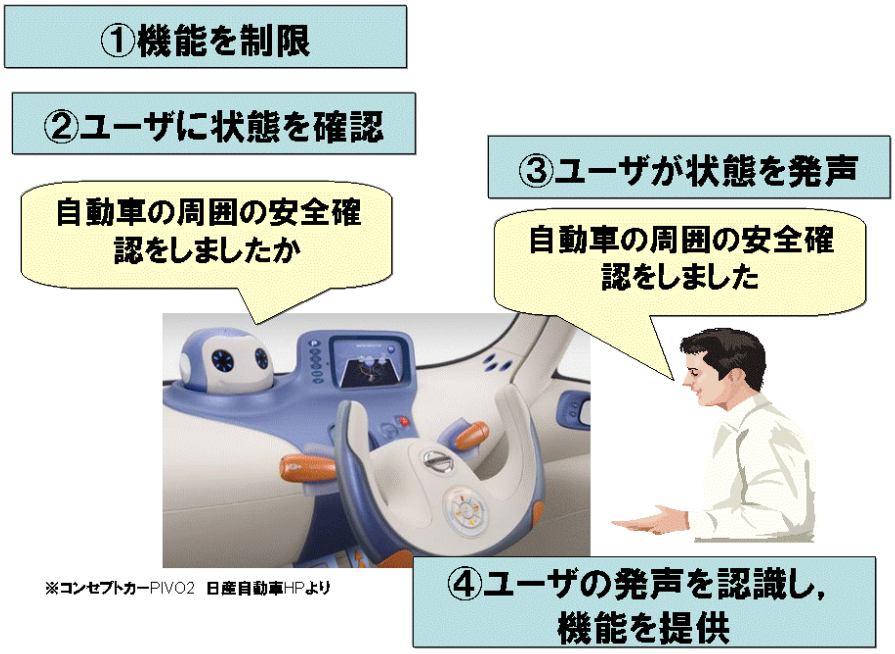


図 5-2 自動車への応用

上に示した応用例はユーザの状態や機械の周辺の状態など，機械が直接センシングすることが困難な状態をユーザが確認した結果を機械に音声で伝えることにより，機能制限を解除するアイデアである．

提案したテレビゲームや自動車のカーナビゲーションシステムでは，音声認識と音声合成機能が搭載されている製品が多く発売されている．よって，本提案手法の導入はハードウェアの制約が少なく比較的容易に実現できると考えられる．

（3）応用を広げる方法

提案した取扱方法確認システムの普及のためには，音声対話機能を有しない家電製品や機械にこのような対話機能を盛り込むことが容易に実現できるモジュールが必要になる．付録2に，音声対話機能を様々な装置に組み込み可能にするために筆者が開発した音声対話モジュールについて記載した．

5.4. ユーザが偽りの対話をする可能性

取扱方法確認システムの目的は，ユーザに取扱方法を理解させ，ユーザに具体的な取扱方法を発声させることでユーザの理解を一層深くさせることにある．一方，取扱確認対話システムでは，ユーザが意図的に偽って機械に音声入力した場合にもサービスの制限を解除することになり，その対処をすることができない．

例えば，ロボットを「段差で使わない」と約束をしたのにも関わらず，それに従わないで利用するようなユーザがいる可能性がある．本システムはユーザに「段差で使わない」という発声をさせることで，ロボットを段差で使ってはいけないことを理解しているとして，移動機能の制限を解除する．

これをメーカの責任の観点から見るとき，メーカが取り組むべきことは，ユーザに段差で使ってはいけないという取扱方法を理解してもらい，その取扱方法に従ってユーザが機械を利用するようにお願いをすることにある．メーカは提案した取扱方法確認システムを適用することで，その責任を果たすことは可能である．したがって，ユーザが正しい取扱方法を理解しているにもかかわらず，誤った取扱方法をして事故が発生した場合には，メーカはその責任はユーザが負うべきであると主張することができる．

5.3節で，取扱方法確認システムの他への応用例として，テレビゲームの例を取り上げた．この例は事故のリスク低減を目的としているわけではないが，宿題が終わっていない子供がゲームをするために「宿題を終わった」と偽りの発言をした場合に，システムはそれを判断できずにゲームを提供することとなる．この問題については，子供が状態を確認する対話の相手をテレビゲームの画面上に親を模擬したキャラクターや子供が気に入っているキャラクターとすることで，子供の偽りの発話を防止する可能性もあり，これについては別途検討する必要があると考えられる．

5.5. メーカの説明責任の履行の記録

メーカはユーザに正しい取扱方法を説明する責任を負う. 問題はたとえメーカが丁寧に取扱方法を説明をしても事故が発生したときにその説明責任の履行を検証することが難しい点にある.

ロボットとユーザの取扱方法を確認する対話のやりとりについては, ロボットに搭載されたカメラにより記録をすることができる. それによってメーカにとってはユーザにリスクを伝達するという説明の責任を果たしたことを証明する記録を残すことが可能である.

取扱方法確認対話はユーザに取扱方法の理解を促進するものである. ユーザが悪意をもって取扱方法確認対話で偽の復唱をし, ロボットから提示された取扱方法を守らずに利用するとすれば, 当然ながら事故が発生するリスクは残っている. 本対話の記録機能があることで, ユーザに対して, ユーザは「取扱方法を知らなかった」と言うことができなくなり, 正しい取扱方法についての理解を意識することをある程度強制する可能性がある. 結果として, 本システムによりユーザの誤った取扱による事故の発生リスクが減少することとなり, それに起因する事故の発生件数が抑制されるという社会的な効果が期待できる.

5.6. 人と機械の新しい関係

取扱方法確認システムを体験したユーザへのヒアリングで「約束する相手がロボットだからよい．」「ロボットと約束をする行為が新鮮だった．」という意見があった．これは，ユーザがロボットの人格的な性質を感じることで，約束をするという行為を受け入れている可能性を示唆している．一方で，「ロボットが言ったとおりに行動してよいのか，やりとりの際に戸惑うことがあった．」という意見もあった．

いずれにせよ，本手法は単にユーザから指示を受けて動作するだけでなく，機能を提供しないことを含むという点で，ユーザとロボットの間の新しい関係を示すものといえよう．

また，提案した手法はユーザが機械に対して約束するという行為を機械が認識することで事故のリスクが存在する機能の提供を開始するという，従来の機械にはないやりとりを行うものである．従来の機械と人間との対話より一段深いレベルのコミュニケーションが行われているといえよう．

6. 結論

6.1. 本研究の成果

はじめに筆者は本研究で取り扱う問題を設定し目的を明らかにした．本研究の大きな目的は，家庭用ロボットが引き起こす事故の発生リスクを低減することにある．そのための手段としてロボットの正しい取扱方法についてユーザの理解を深めることに着目した．そして本研究は，ユーザの取扱方法の理解を促すための方式を検討し，検討した方式を検証するための具体的なプロトタイプを実装し，総合的に事故の発生リスクを従来の取扱説明書よりもさらに一回り安全なものにできるかを検証することを目的とした．

次に筆者は取扱方法確認システムを提案した．提案システムは，使い方を誤ると重大な事故を発生させるリスクを有するサービスについて，ロボット自身がユーザに取扱方法を説明し，ロボットはユーザがそれを理解したことを対話によって確認し，その上でユーザにそのサービスを提供するものである．本提案システムは，ユーザにロボットの正しい使い方の理解を促進し，さらにユーザの理解が確認されないかぎり事故のリスクを内在するサービスを提供しない．その結果としてロボットが引き起こす事故の発生リスクの低減が期待できる．

そして筆者は取扱方法確認システムに必要な機能を明らかにした．取扱方法確認システムを実現するためには，それを実装するロボットなどの装置には，情報処理機能やヒューマンインタフェース機能としてにはユーザに対して取扱方法を音声対話で確認するための音声対話機能と，どのユーザに対して取扱方法の確認をしてサービス提供の制限を解除したかを記憶するためのユーザ識別機能とサービス提供管理機能を有することが要求されることを明らかにした．

さらに筆者は家庭用ロボットに取扱方法確認システムを応用したプロトタイプを実装し，有用性と実現性を評価をした．家庭用ロボットとしては筆者が NEC 社で開発した家庭用ロボット PaPeRo を対象とし，これに取扱方法確認システムのプロトタイプを実装した．さらに PaPeRo の事故を引き起こす可能性がある移動機能の取扱方法を例に取扱方法確認システムを先端ユーザに体験してもらいこれを評価した．その結果，PaPeRo に実装した取扱方法確認システムのプロトタイプと，実際の先端ユーザとのやりとりにおいて，以下のプロセスが実現された．

(1) 機械が人に取扱方法の注意点を伝達することで人がその注意事項に従って行動をする.
(2) 人が注意点を理解しそれを遵守することを約束として発話し，機械が人の約束の内容を発話したことを認識することで機能が提供される.

また，この評価を実施することで，PaPeRoの音声合成と音声認識の性能が本手法を実現するために必要な能力をもつことも確かめられた.

最後に筆者はロボット以外への取扱方法確認システムの応用について検討し考察した．また，ユーザに偽りの対話をされた場合についての考察を加えた．さらにメーカの説明責任について検討し，最後に人と機械の新しい関係性について考察した.

6.2. 今後の展開

本論文では家庭用ロボットにおける事故発生リスク低減のために人と機械がお互いに認識していることを確認する対話をしたが，本アイデアは家庭用ロボットに限らず他への応用展開の可能性もあると考えられる．本論文で提案した取扱方法確認システムは，今後，家庭用ロボットなどに実装され，事故の発生リスクを低減する重要な要素になる可能性を有すると考えている.

本研究については課題がいくつか残されている．以下に述べる.

（1）取扱方法確認システムの導入コストと、事故発生時の賠償コストの比較が必要であろう．本システムを導入するためには，音声認識機能など装置のコストアップが避けられない．一方，残留リスクによって，事故発生時の賠償コストが変わってくる．そこで，どのような残留リスクについて取扱方法確認システムの導入するとコスト的に適切なのかを検証する方法を検討することが求められる.

（2）取扱方法確認システムは，ユーザに対して約束させる行為を求める．システムがどのくらいの長さの文章の約束を要求して対話が成立するのか，システムがどのくらいの回数の約束をユーザに要求しても許容されるのかなど，ユーザビリティの観点での評価をすることが求められる.

（3）取扱方法確認システムを導入するための手順の明確化が必要である．今回のプロトタイプはある一例に着目し実装をしたが，取扱方法確認システムを導入するにあたってのプロセスを一般化することが必要であろう．どのようなリスクアセスメントを実施するかの手順，どういう機能に取扱方法確認システムを適用すべきかの判断方法，どういう対話シナリオを提供すべきかなど，システム導入の手順の明確化が求められる.

謝辞

本研究は，筆者が所属するNEC社のパーソナルロボットの研究開発の一環として行われた．筆者はロボットの実用化を目指し，2005年に開催された愛・地球博において家庭で子供が扱っても安全なロボットの開発に取り組んだ．本研究のアイデアは，将来家庭にロボットが導入されていく中で，ロボットが引き起こす可能性のある事故のリスクを少しでも減少させたいという筆者の思いの中で閃いたものである．筑波大学においては，筆者はこのアイデアを深化させ，またこの考え方に基づくプロトタイプをPaPeRoに実装しその有効性と実現性の検証を実施した．

筑波大学での研究は，工学博士 油田信一 筑波大学システム情報工学研究科教授の指導のもとで実施した．同教授には研究をすすめるにあたり，適切かつ熱心なご指導とご助言をいただいた．

工学博士 坪内孝司 筑波大学システム情報工学研究科教授，博士(工学) 大矢晃久 筑波大学システム情報工学研究科 准教授，博士（工学） 中内靖 筑波大学システム情報工学研究科 准教授，工学博士 大場光太郎 産業技術総合研究所知能システム研究部門ディペンダブルシステム研究グループ長には本論文のまとめ及び研究結果の発表でご指導をいただき，貴重なご助言をいただいた．

知能ロボット研究室の諸氏には技術的な議論と息抜きにおつきあいいただいた．特に木下和樹氏には，研究に関する議論とユーザの利用体験会の支援をしていただいた．また、油田季紀氏には英語の指導をしていただいた。

博士（情報学） 藤田善弘 NEC中央研究所 シニアマネージャー，工学博士 高野陽介 NEC中央研究所 主管研究員，工学博士 福住伸一 NEC中央研究所 研究部長，山下信行 NECパーソナルソリューション技術本部 エキスパートには，本研究に利用するPaPeRoと音声対話モジュールを筑波大学に貸し出していただくとともに，研究を進めるにあたっての貴重なご助言をいたいた．NEC旧ロボット開発メンバーの諸氏には研究の議論におつきあいた．

最後に妻 裕子と息子 明人夢，未来には研究を進めるにあたり暖かい応援をいただいた．

その他，多くのご協力とご支援を頂いた皆様に感謝の意を表する．

参考文献

[1-1] 経済産業省: ″次世代ロボット安全性確保ガイドライン（案）″, 2007.

[1-2] NEDO 機械システム部: （ロボット・新機械イノベーションプログラム)「生活支援ロボット実用化プロジェクト」基本計画,2009 年

[1-3] International Organization for Standardization: ISO 13482 ″ Robots and robotic devices - Safety requirements for non-industrial robots - Non-medical personal care robot ″, 2011

[1-4] 製造物責任法（平成六年七月一日法律第八十五号）

[1-5] 日本工業規格: JIS S 0137 (ISO/IEC Guide 37)「消費生活用製品の取扱説明書に関する指針」

[1-6] 道方しのぶ: ″掃除ロボット「ルンバ」の秘密″, オーム社, ロボコンマガジン, 2008 年 4 月号, 2008.

[1-7] 藤田雅博, 景山浩二他: ″ロボットエンターテインメント用開発環境 OPEN-R について″, 日本ロボット学会誌, Vol.21, No.6, 2003.

[1-8] 影木准子:″恐竜型ロボット「プレオ」誕生″, オーム社, ロボコンマガジン, 2007 年 12 月号, 2007.

[1-9] 加納政芳, 吉田宏徳他:″感性会話型ロボット「ifbot」の表情制御の感情空間へのマッピング″, 情報処理学会第 66 回全国大会, 2004.

[1-10] 藤田善弘: ″パーソナルロボット PaPeRo の開発″, 計測と制御, Vol.42,No.6, 2003.

[1-11]井上博允 :「愛・地球博ロボットプロジェクトから学ぶもの」, 日本ロボット学会誌 24 巻 2 号, 2006/32

[1-12]愛知万博のロット安全性ガイドライン調査専門委員会:「愛知万博のロボット安全性ガイドライン」,2005/2

[1-13] 西沢俊広, 他:「愛知万博で実証運用するロボットの安全性設計・運用時の安全性」, 日本国際博覧会協会　ロボット安全性ガイドライン調査専門委員会, 2005/3

[1-14]貞本敦史:「NEDO 生活支援ロボット実用化プロジェクトの概要」, 日本ロボット学会誌 29 巻 9 号,2011/11

[1-15] (財) 日本自動車研究所プレスリリース:「生活支援ロボット安全検証センターの完成について」, 2011/1/28

[1-16] NPO 国際レスキューシステム研究機構,NPO 安全工学研究所: 「サービスロボット安全技術者認定講座」http://www.rescuesystem.org/safety/update.html

[1-17]経済産業省プレスリリース:「紙用シュレッダーによる幼児の指切断事故に関する調査の結果について」, 2006/10/20

[1-18]張伸, 他:「子供の製品事故の現状と事故情報システムの課題」, 社会技術研究論文集 Vol.6, 2009/3

[1-19] 西沢俊広:「取扱い方法確認装置」, 特願 2007-290964, 2007 年 11 月 8 日

[1-20]山岡和彦,他:「お客さま視点での利便性と環境性能を追求した新型 ATM の開発」, NEC 技報 Vol.64 No.2, 2011/5

[1-21]伊藤昌子,他:「次世代の顧客操作型端末に関する研究」,日立評論 Vol.93 No.11, 2011/11

[3-1]飯山雄次: ″指差唱呼の効果と応用ーその科学的背景″, 安全, 31(12), 1980 年.

[3-2]重森雅嘉: ″指差換呼によるエラー防止効果の体感ソフトウェアの開発″, 第 234 回鉄道総研月例発表会講演要旨, 2010 年 5 月.

[3-3]西沢俊広: 「取扱い方法確認装置」, 特願 2007-290964, 2007 年 11 月 8 日

[4-1] 藤田善弘: “パーソナルロボット R100”, 日本ロボット学会誌, 18, 2, p.40, 2000.

[4-2] 藤田善弘: “パーソナルロボット PaPeRo の概要”, RSJ2001, 2001.

[4-3] 藤田善弘: “パーソナルロボット PaPeRo の開発”, 計測と制御, Vol.42, No.6, 2003.

[4-4] 高野陽介他: ″ロボットソフトウェア開発環境 RoboStudio の設計″,日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2004, 2004.

[4-5] International Organization for Standardization: ISO 12100 ″Safety of machinery″, 2003

[4-6] European Standard: EN 71 ″Safety of toys″, 1988.

[4-7] European Standard: EN 50088 ″Safety of electric toys″, 1996.

[4-8] International Electrotechnical Commission: IEC 60950 ″Safety of information technology equipment″, 2002

[4-9] 芹沢昌宏, 近藤玲史: ″コンパクト音声合成向け有音素片データベースのマルチパルス圧縮方式″, 2004 年電子情報通信学会総合大会, 2004.

[4-10] 佐藤幹, 杉山昭彦他: ″チャイルドケアロボット PaPeRo の耐雑音音声認識″, 第 23 回日本ロボット学会学術講演会, 2005.

[4-11] 大中慎一, 西沢俊広, 他, 「チャイルドケアロボット PaPeRo」, 電子情報通信学会 サイバーワールド時限研究会 (CW), 2006 年 3 月

[4-12] 西沢俊広, 他, 「チャイルドケアロボット PaPeRo のインタラクション」, 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会, 2005 年 12 月

[4-13] 藤田善弘，西沢俊広，他，「パーソナルロボット PaPeRo の開発と愛・地球博での実証実験」，電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会（PRMU），2005 年 9 月

[4-14] 藤田善弘，西沢俊広，他，「チャイルドケアロボット PaPeRo の概要」，日本ロボット学会 学術講演会，2005 年 9 月

[4-15] 西沢俊広，他，「チャイルドケアロボット PaPeRo のハードウェアと安全性」，日本ロボット学会 学術講演会，2005 年 9 月

[4-16] 船田純一，西沢俊広，他，「チャイルドケアロボット PaPeRo における超音波タグの利用」，日本ロボット学会 学術講演会，2005 年 9 月

付録 1 家庭用ロボット PAPERO の リスクアセスメント

本付録は筆者が 2005 年の愛・地球博にチャイルドケアロボット PaPeRo を出展する際に実施したリスクアセスメントの報告書[※]をベースに，本論文のために改訂・追加・修正したものである．

※西沢俊広，他，「愛知万博で実証運用するロボットの安全性設計・運用時の安全性」，日本国際博覧会協会　ロボット安全性ガイドライン調査専門委員会，　2005 年 3 月

1.ロボットの安全設計の考え方（安全設計のコンセプト）

1.1. PaPeRo の安全設計コンセプト

PaPeRoは,NEC社において家庭環境への導入を目標として開発されたロボットである.筆者はPaPeRoの安全性を考慮した設計を担当した.特に,危険性に関しては以下の５項目に分類し,これらの危険性毎に基準を定めて,それらを満たす設計を行った.

・発煙・発火の危険性
・感電の危険性
・怪我の危険性
・やけどの危険性
・その他の危険性

本開発の目標である幼児,児童を対象とした安全性としては,以下の点に配慮している.PaPeRoは本質的に安全にするために,小型軽量化によりロボット本体が発生させるエネルギーを家庭での動作が最低限できる性能として安全にすることを目指した.PaPeRoの重量は5kgで,大きさは高さ385mm,幅248mm,奥行き245mmである.稼動箇所は車輪2軸,頭2軸であり,採用しているモータは20Wクラス,モータ軸での最大トルク0.0363N-mの出力の小さなものを採用している.移動性能は最大速度20cm/secである.よって,安全対策のためのセンサが全て動作せずに,幼児・児童にロボットが衝突する状況が発生する場面であっても,幼児・児童に大怪我をさせない安全な重量かつ運動性能としている.

形状は,写真１に示すように曲面,球体を基調としたものになっており,鋭利な先端部を持たない形状を実現している.



写真１　曲面を基調としたデザイン

また，写真２に示すように３ｍｍ以上のスリットが存在せず，手が触れられる場所にギア，回転軸などの機構部分を配置しない構造とし，幼児，児童の指等が挟まることのない構造を実現している．



写真２　安全性を考慮した駆動部分

落下試験に関しては，玩具メーカの車輪付玩具の落下試験基準を参考にして，１５ｃｍ落差で上下左右前後各方向1回の落下試験を行い，シャープエッジやバリおよび部品脱落が発生しないことを確認し，さらに，１８ｃｍ×１１段の階段からの落下試験も行い（写真３），これについてもシャープエッジやバリおよび部品脱落が発生しないことを確認し，これらの試験を通した安全な材質を採用している．



写真３　階段落下試験

また，水濡れ試験を行い（写真４），ロボット動作中に誤って水等がロボットにかかった場合においても，発煙，発火しないことを確認している．



写真４　水濡れ試験

動作制御の面では，超音波センサを用いて障害物を検出し，衝突前に停止するよう動作制御を行っている．さらに赤外線センサを用いて段差を検出し，落下前に停止するよう動作制御を行っている．また，同様に赤外線センサを用いて，転倒したことを検出し，転倒時には停止するよう動作制御を行っている．さらに，持ち上げられたことを検出し，持ち上げないように使用者に注意を促すことにより，落下による事故を未然に防止する工夫も行っている．

1.2. チャイルドケアロボットとしての安全設計コンセプト

家庭用ロボットで利用させるシーンを検討する上で,一番安全性に配慮をしなくてはいけない応用領域はチャイルドケアである.そこで,チャイルドケアロボットとしての従来型のPaPeRoの機能拡張とのための改造を実施するとともに,子供が利用することを前提とした安全設計を検討し,リスクアセスメントを実施した.

開発するチャイルドケアロボットは,ハードウェアはPaPeRoを基盤としながら,機能拡充に伴う改造を行うため,改造箇所に関して再度同様な検査や,それに応じた安全対策手段の追加が必要となった.

例えば,危険性の高い部分には,接触,または接触しそうなことを検出するセンサ等を追加し,未然に停止可能な動作制御を行うなどの対策を実施した.また,各センサの故障時は,動作部が停止するように動作制御を行うようにし,故障時に暴走する危険性を極力低下させた.

また,実環境で人とインタラクションするロボットという新規性から考えても,安全性の基準が明確ではないため,技術実証運用を行いながら,実際の使用状況で発生する危険性の洗い出しを行い,危険を未然に防止すると共に,安全性をさらに向上させるための開発をした.

安全性の規格としては以下の国際安全性規格に沿った形で設計・評価をした.

・EN71-1 Safety of toys - part 1: Mechanical and physical properties
・EN71-2 Safety of toys - part 2: Flammability
・EN71-3 Safety of toys - part 3: Migration of certain elements
・EN50088 Safety of electric toys

なお今回ベースとするPaPeRoは当初より玩具としての設計がされていないので,上記の規格の評価で不合格となる項目が残った.評価不合格となった項目による残留リスク,それに対する安全方策,ロボット展示のメリット・リスクのデメリットのバランスによって,最終的に出展するロボットを完成させた.

以下に改造項目を記載する．

・デザインの変更

デザインを以下のように変更する．従来のPaPeRoのデザインを踏襲しつつ，未来的なイメージを持たせた．さらに，安全のためのバンパスイッチや，人を検出するためのセンサの追加には統一感をもたせるための配慮をした．図１，２にロボットの正面，後面，左右側面の外観を示す．



図１　チャイルドケアロボットの外観 前面，後面



図２　チャイルドケアロボットの外観 側面

・バンパスイッチの搭載

ロボットの移動中に障害物に衝突した場合に安全に停止するためのセンサ．ロボット胴体下部の突出した部分にメカニカルスイッチを配置した．

・超音波タグレシーバの搭載

子供に超音波タグを装着させることで，子供の3次元位置を測定し，安全に移動するための情報を得るためのセンサ．

・タッチセンサの搭載

子供とロボットの接触によるインタラクションを実現するためのセンサ．ロボットが子供に接触中かを検知して安全のために駆動部を停止するためにも利用する．

・筐体の素材（強度，塗料）

材料についてはMSDSを確認し，毒性のない，除燃性の素材を採用した．

・ロボットの運動による事故に対するリスク低減方策

上記の改造を実施することによるロボットの運動によって発生する事故に対するリスク低減方策についてのハード構成図を以下に示す．衝突や人を轢くといった事故に対して複数のセンサが危険な状態を検知し多重にモータを停止することを実現した．図3

にロボットの衝突リスク低減のための保護回路のブロック図を示す.

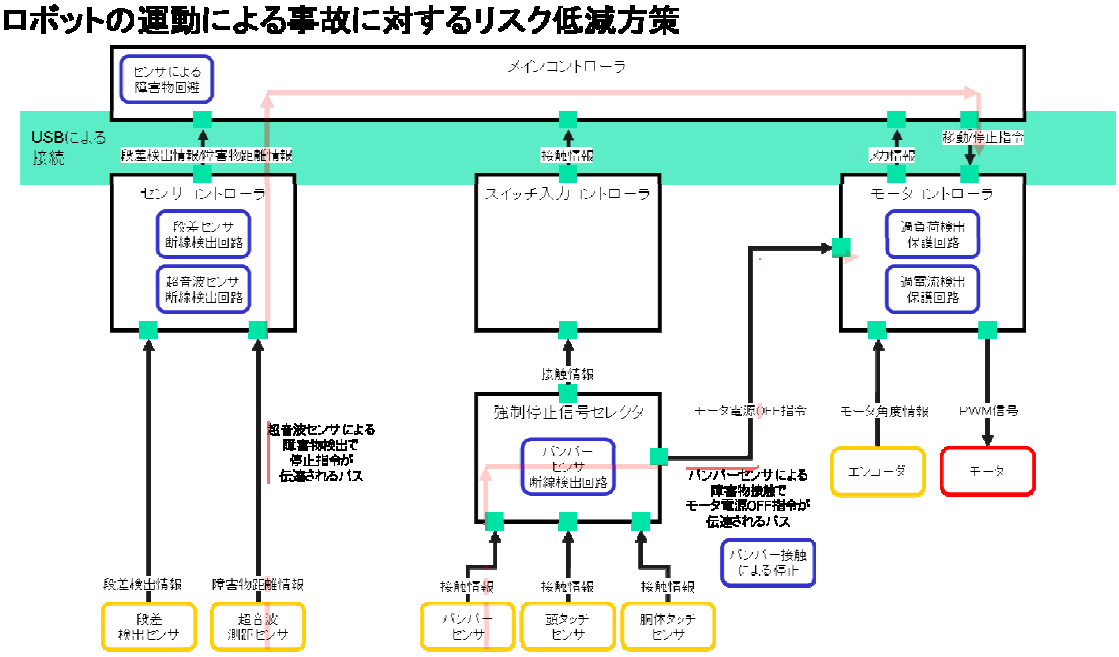


図３　ロボットの衝突リスク低減のための保護回路のブロック図

1.3. 耐久性・信頼性のコンセプト

チャイルドケアロボットの耐久性・信頼性は，従来から実証試験に使用してきたPaPeRoを基盤として，さらに向上した．

ベースロボットPaPeRoは，家庭環境への導入を目標として開発され，各種の耐久性・信頼性について考慮した設計とした．

ハードウェアの面では，動作部の繰り返し動作試験や，可動部のケーブルの断線試験等を行い，実用上問題のない耐久性を確認した．また，専用の検査ソフトウェアを開発し，故障箇所の診断が容易に行えるようなシステムを実現した．さらに，各種センサやモータ等の関連部品を個別ユニット化した構成として，故障時にも容易に故障箇所を特定し交換できる構成を実現した．

ソフトウェアの面では，システムを構成する各種モジュールでエラー等が発生した場合にも，操作不能，いわゆるフリーズ状態とならずに，継続動作可能である場合には，問題発生箇所をユーザに提示し修理を促し，また，継続動作不可能である場合には，正常動作中の部分について通常終了処理を行い，システムを終了する構成を実現した．

ベースロボットPaPeRoは，上記のような設計により，３年間にわたる各種研究・実験・開発・フィールドワーク・デモンストレーション活動でおいても，簡単な補修作業のみでの運用を実現している．また，モニタ評価等による家庭環境での評価でも，現在１００家庭，延べ１０００時間程度の運用を行っているが，事故やトラブルが発生していない実績を得ている．

本開発では，ベースロボットPaPeRoを基盤としながら，ハードウェア，ソフトウェアの機能拡充に伴う改造を行った．よって，改造箇所に関してもベースロボットと同等の耐久性・信頼性を実現した．さらに技術実証運用をしながら，さらに耐久性・信頼性を向上させるための改善を実施する計画である．

1.4. 安全性チェック項目について

ベースロボットPaPeRoは2000年に開発された．PaPeRo開発時の安全性に関するチェック項目を示す．本チェック項目はNEC社のコンシューマ向け製品であるPCなどの設計時に利用されている安全性チェック項目を参考に作成したものである．2000年4月に当時のロボット開発の担当部門であるインキュベーションセンターに所属していた筆者が中心となって策定し，評価した．表1にPaPeRoの安全性チェック項目を示す．

※表の対応状況の見方
“○” = 対応済み
“規” = ロボットで対応すべき規格が未定
“未” = 未評価
“外” = 適用外，評価不要

表１．PaPeRo 安全性チェック項目（2000 年 4 月作成）

チェック項目		対応状況
1	製品に適用する安全規格は明確になっていること	規
	適用する安全規格の要求事項はすべて満たすこと	規
	製品本体および取扱説明書に，製造物責任（PL）を考慮した表示がされていること	規
2①	定格電圧の 2 倍まで電源電圧を上げても，発煙および発火が生じないこと	未
2②	電源コードは屈曲試験に合格したものを使用すること	○
	電源コードを重量物の下に敷かない旨の事項が取扱説明書または別冊子に記載してあること	○
	電源コードを折り曲げたままストレスをかけない様にする旨の事項が取扱説明書または別冊子に記載してあること	○
2③	コンピュータなどの外部電源使用時の注意事項が適切であること	外（外部電源を使用しない）
	極性が逆のプラグを使用した場合もしくはバッテリを逆挿入した場合に，発煙発火が生じないこと	外（バッテリが逆挿入できない構造）
	バッテリは逆挿入できない構造になっていること	○
	DC端子およびバッテリ端子には，極性表示がされていること	○
	定格以上のDC電源を接続されても，発煙発火が生じないこと	未
	ACアダプタのプラグが，装置の他の端子へ挿入できないこと	○
2④	ACインレットのプラグが抜けかかった状態で，近傍の可燃物に引火するような放電，火花，過熱状態が発生しないこと	未
2⑤	タンタルコンデンサを使用している場合は近傍の可燃物に引火する状態が発生しないこと	外（タンタルコンデンサ

		未使用）
	タンタルコンデンサの耐圧は使用個所に加わる電圧の 3 倍以上であること	外（タンタルコンデンサ未使用）
	タンタルコンデンサは電源部に使用しないこと	外（タンタルコンデンサ未使用）
3①	擬似雷試験の結果に問題ないこと	未
3②	誤って少量の水を上からこぼした場合，電源部に達しても危険が生じないこと	○
	水がかかった場合に使用をすぐに中止する旨の禁止事項および修理指示に関する事項	○
3③	開口部の位置，寸法は製品に適用する安全規格の要求事項を満たすこと	規
	身近にある導電物（コイン，ヘアピン，クリップ，針，その他）が内部に入った際，電源部に触れやすい構造になっていないこと	○
	異物が内部に入った場合，使用をすぐに中止する旨の禁止事項および修理指示	○
3④	3mm を超えるスリットが存在しないこと	○
3⑤	絶縁用部品は安全試験の実績があるものを使用すること	外（AC ラインなし）
3⑥	部品の性能，空間・側面距離，絶縁電圧は製品に適用する安全規格の要求事項および社内規格を満たすこと	外（AC ラインなし）
	電源部のショートおよびオープン試験結果に問題が生じないこと	外（AC ラインなし）
3⑦	身近にある導電物（コイン，ヘアピン，クリップ，針，その他）を放熱スリットおよびその他隙間から内部へ差し込んだ場合，感電する部分に触れないこと	○
3⑧	ACライン間および一次二次間のパターン周辺 30mm 以内に電解コンデンサを配置しないこと	○
4①	湿度やほこりが多い場所，水や油が散る場所，高温になる場所での使用を禁止	○
	結露した状態での使用を禁止する旨の事項を取扱説明書または別冊子に記載してあること	○
	屋内用製品を屋外で使用することを禁止する旨の事項を取扱説明書または別冊子に記載してあること	○
	放熱口をふさぐこと，放熱の悪い場所での使用することを禁止する旨の事項	○
	使用温度および湿度範囲の制限の事項を取扱説明書に記載してあること	○
	転ばせた姿勢で使用する事は禁止する旨の事項を取扱説明書に記載すること	○
4②	保管条件の制限の事項を取扱説明書に記載してあること	○
4③	15㎝の落差で上下左右前後各方向 1 回落とし，シャープエッジやバリおよび部品脱落が発生しないこと	○
	段差の無い面で使用する旨の事項を取扱説明書または別冊子に記載してあること	○
5①	モータロック（ショートモード）による発煙，発火およびやけどを想定して使用モータを選定すること	○
	モータロック試験（0.1H）および連続運転試験（4H）にて発煙，発火およびやけどを生じないこと	○
	回路上でモータロック（ショートモード）による発煙および発火の対策を行うこと	○
	やけどの危険性がある場合は製品本体および取扱説明書に警告表示を行うこと	外（やけどの危険性なし）

	警告表示は見やすい位置および大きさであること	外（警告表示は不要）
5②	開口部をふさいで温度試験を行った場合，製品本体の表面温度は 60℃を超えないこと	○
	製品表面温度が 60℃を超えた場合には，製品本体および取扱説明書に警告表示を行うこと	外（60℃は超えず）
	警告表示は見やすい位置および大きさであること	外（警告表示不要）
5③	製品の使用者にヒューズを交換させない構造になっていること	外（ヒューズ未搭載）
5④	ジャックは抜差し回数15000回で断線，被覆部のひび割れなど生じないこと	未
	正しいジャックの抜差しの方法を取扱説明書に記載すること	○
6①	エンクロージャに使用するプラスチックはUL燃焼グレードが 94V-0 以上であること	○
	製品内部の電源（一次）側周辺以外にあるプラスチック部品は，UL燃焼グレードが 94HB 以上	○
	エンクロージャに使用するプラスチックは燃焼することによって有毒ガス（ダイオキシン，臭素など）を発生する成分を含まない	○
6②	製品内部の電源（一次）側周辺にあるプラスチック部品は，UL燃焼グレードが 94V-2 以上	○
	製品内部の電源（一次）側周辺以外にあるプラスチック部品は，UL燃焼グレードが 94HB 以上	○
	プラスチック部品は燃焼することによって有毒ガス（ダイオキシン，臭素など）を発生する成分を含まない	○
7①	製品を使用する際，電源部に接触しない構造になっていること	○
	エンクロージャを開けてはならない旨の事項を製品本体および取扱説明書に記載してあること	○
8①	手が触れられる場所にギア，回転軸などの機構部分が存在しないこと	○
8②	製品使用および清掃の際，シャープエッジやバリでけがをするような個所が無いこと	○
	運搬および据付の際，シャープエッジやバリでけがをするような個所が無いこと	○
	運搬または持上げる際に車輪，頭部，センサ類に手をかけない様に，その旨の事項を取扱説明書	○
	サービスの際，シャープエッジやバリでけがをするような個所が無いこと	○
	製品本体エンクロージャに上下左右前後方向に各 500Nの圧縮荷重を加えて，シャープエッジやバリが発生しないこと	未
8③	製品の使用者が手のつめを引っ掛けて開けられる構造の場合，シャープエッジなどに指が触れてけがをする個所が存在しない	○
	スイッチを押すことによりシャープエッジなどに指が触れてけがをする個所が存在しないこと	○
	取扱説明書に正しいカバー，ドアの開け方を記載していること	○
8④	可動部の隙間は 3 ㎜以下とし，摺動面に凹凸が存在しないこと	○
	車輪や頭部など可動部に指がはさまれた場合，指を巻き込まずに稼動部は停止	○
	走行しているロボットに手を出さない旨の事項を取扱説明書または別冊子に記載してあること	○
8⑤	容易に外れる部材に小部品が存在しないこと	○

8⑥	非常停止スイッチは常時閉回路であること	○
8⑦	各種障害検出センサの検出範囲をそれぞれ取扱説明書に表示をすること	○
	各種障害検出センサをふさがない旨の警告表示を取扱説明書に記載すること	○
9①	音声を発生する機能に関する部品が故障した場合に，大音量を発する部品が存在しないこと	○
	存在する場合はそれらの部品の信頼性を確認すること	外（大音量を発する部品が存在せず）
9②	光線を発生する機能に関する部品が故障した場合に，人体に影響のある強度で発光する部品が存在しないこと	○
	存在する場合はそれらの部品の信頼性を確認すること	外（強い光を発する部品が存在せず）
9③	リモコン信号の誤動作が無いこと	○
9④	間口が19cm以上のものは窒息防止の警告表示を取扱説明書に記載すること．また袋には穴を設けること	外（間口 19cm 以下）
9⑤	電池本体および取扱説明書への表示に関し，適応する法規制，団体自主規制を満たすこと	規
	破損した（液漏れした）電池に関して，使用を中止するとともに乳幼児の手の届かない場所へ置くなどの処置をする旨の警告表示	○
9⑥	廃棄に対する注意表示が必要な場合は，その旨製品本体および取扱説明書に表示をすること	○
	廃棄およびリサイクルのための分解作業の際，危険な個所が存在しないこと	○
9⑦	梱包重量が 20kg以上の場合梱包箱に持ち運びに関する注意事項をわかりやすく表示	外（製品用梱包箱なし）
9⑧	多段積載制限表示は梱包箱の見やすい場所に記載すること	外（製品用梱包箱なし）
9⑨	スイッチ，センサ，カメラ，マイク，その他可動部は汚損および改造は行わない旨の事項を取扱説明書に記載すること	○

1.5. 想定するユーザとロボットとのインタラクション

1.5.1. ユーザの条件

一般家庭での利用を想定する．ユーザとしては7歳以上（小学生）の子供が単独で扱うことを想定する．一般家庭で利用することを想定する．

1.5.2. インタラクション

ユーザとロボットのインタラクションを以下に示す．

・保守時のロボット操作
  ― ロボットの運搬
  ― バッテリ交換
  ― 充電のためのAC接続
・ロボットの操作
  ― ロボットの運搬
  ― 音声認識による操作
  ― 画像認識による操作
  ― 無線LANで接続されたPCとPDA，携帯電話による操作
  ― タッチセンサの操作
・危険回避のためのロボット操作
  ― 頭スイッチを押すことによりロボットを停止する
  ― ロボットを持ち上げて危険な状態を回避する

2.危険原

全ての安全方策のためのセンサが故障した状態でどのような最悪の事故が発生するのかについて説明する．これらの危険源に対しては，ユーザに取扱説明書などで正しい使い方を伝え，リスク低減をユーザにゆだねる．

○　ロボットの運動による危険源

・ロボットの段差からの落下

ロボットには段差を検出するためのセンサが搭載されているが，このセンサが故障した場合には段差から転落する可能性がある．段差の下に人がいる場合に怪我をさせる可能性がある．

○　子供からロボットへの働きかけによる危険源

・子供からロボットへの衝突

子供が走り回りロボットにつまずき，子供が転倒して怪我をする可能性がある．

・子供がロボットを転倒・投げることによる他の子供への衝突

ロボットは6kgと軽量のために，子供（デモに参加していただく4歳～12歳の幼児・学童）によって持ち上げたり，転倒させたりすることが可能である．子供がロボットを転倒，持ち上げて投げることにより，そのロボットが他の子供に衝突すると，力のかけ具合により子供が怪我をする可能性がある．

○　ロボットの動作環境による危険源

・ロボットを燃焼させることができる熱源による火災

ロボットには熱源を検出するためのセンサは搭載されていない．そのために，ロボットを燃焼させることができる空調設備や照明などの設備があった場合，その近傍にロボットが接近し停止すると，ロボットが燃焼して火災が発生する危険がある．

3.ロボットの仕様

3.1. ロボットの概要仕様

ロボットの概要仕様を表２に示す．寸歩図を図４に示す．

表２ ロボットの仕様

移動範囲・環境	想定作業	対人環境	操作・制御	特徴
・平地移動 ・屋内 ・無軌道	・チャイルドケアサービス（人に近づく，人を探す，ダンス） ・充電 ・非定常作業（保守・点検，トラブル処理）	・特定の人（デモに参加する子供，オペレータ）との干渉あり	・自律動作 ・一部オペレータによる遠隔操作あり	・平行2車輪駆動による移動ロボット ・コミュニケーションのための頭部を有する（2軸）

ロボットの名称：チャイルドケアロボットPaPeRo

形式：NPR220

分類：移動ロボット，コミュニケーションロボット

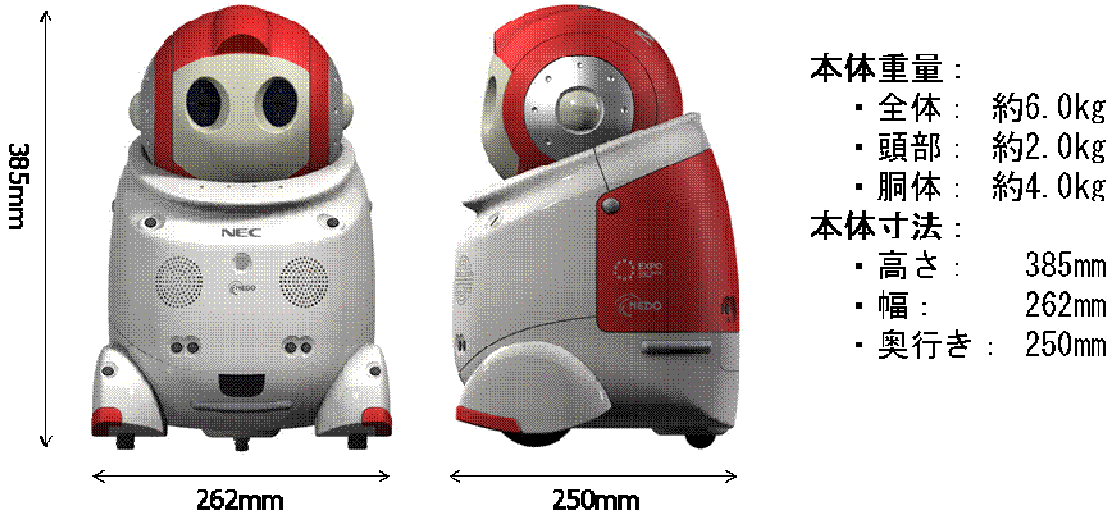


図４：チャイルドケアロボット PaPeRo の寸法図

3.2. 稼動部に関する仕様

稼動部に関する仕様を以下に示す.

制御軸数:

本体移動2軸（平行二輪駆動＋キャスタ），頭2軸

動作範囲・最高速度:

・移動性能：

最大直進速度	0.20m/sec
最大直進加速度	1.40m/sec^2
最大旋回角速度	110deg/sec
最大旋回角加速度	1000deg/sec^2

・頭部運動性能：

最大角速度	360deg/sec
最大角加速度	2000deg/sec^2
上下動作範囲	80deg
左右動作範囲	260deg

位置精度:

・移動：

1m移動時に1cm以内

・頭部：

1deg以内

動力:

・全ての軸にDCモータ（フジマイクロ製 FMR4029LC）を利用し，エンコーダのフィードバックによる位置・速度制御を実施している.

・モータ性能：

入力電圧	12V
最大モータ軸トルク	0.0363N-m
最大電流	1.7A
無負荷時の最大回転数	4750rpm

稼動部のトルク，力，エネルギー：

・車輪軸：

ギア比	28.57
動作時の入力電圧制限	7.06V
動作時の最大軸トルク	0.606N-m
静止時の入力電圧制限	1.41V
静止時の最大軸トルク	0.122N-m

・頭上下軸，左右軸：

ギア比	36.16
動作時の入力電圧制限	7.06V
動作時の最大軸トルク	0.767N-m
静止時の入力電圧制限	0.71V
静止時の最大軸トルク	0.077N-m

・ロボット全体：

本体移動時最大運動力	8.4N
本体移動時最大運動エネルギー	0.12J

可搬能力：

なし

3.3. 稼動部の安全対策に関する仕様

稼動部の安全対策に関する仕様を以下に示す.

障害物センサによる停止:

本ロボットには,障害物センサとして超音波測定距離センサ(前方および後方の障害物との距離を測定),バンパスイッチ(胴体下部への障害物との接触を検地)を搭載する.

前方,および後方25cm以内に障害物を検出した場合には,障害物の場所に応じて前進または後退を停止することにより,障害物との接触が発生しないようにしている.障害物の検出から停止までの時間は最大500msかかる場合があり,最大速度で移動している場合には停止までに最大10cm移動する可能性がある.

バンパスイッチにはロボットの胴体下部突出部にメカニカルスイッチを搭載することにより実現する.バンパスイッチに障害物が接触したことを検知している間,モータへの電力供給を停止する.停止までの時間は最大10msecかかる可能性があり,最大速度で移動している場合には停止まで最大0.2cm移動する可能性がある.

・超音波測定距離センサの検出範囲は以下の図5のとおりである.

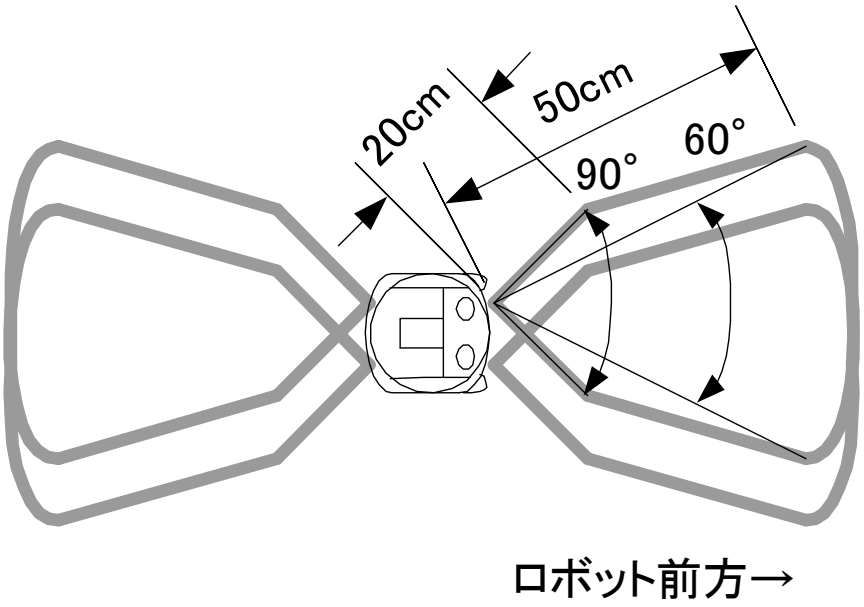


図5. 超音波測定距離センサの検出範囲

頭スイッチによる停止:

頭スイッチは頭の頂点で人にアクセスしやすい場所に配置される.頭スイッチが押されたことを検知している間, モータへの電力供給を停止する. 停止までの時間は最大10msecかかる可能性があり, 最大速度で移動している場合には停止まで最大0.2cm移動する可能性がある.また頭スイッチのケーブルが切断した場合にはスイッチONの状態として検知する.

ロボット本体の周囲にタッチセンサを配置する.これらのタッチセンサはロボットと人がふれあいロボットが反応をするために利用するが,人がロボットに接触している間にロボットが動作することは危険である. よって, 頭スイッチと同様にタッチセンサが接触を検知している間, モータの電力供給を停止する.

過負荷検出による停止:

駆動部のモータに対して電圧を印加しトルクが発生しているにもかかわらず駆動部が動作しないことをエンコーダより検知した場合,駆動部に過負荷がかかっていると判断し, モータへの電力供給を停止する. 車輪については車輪軸にトルク0.358N-mが発生している状態で2.5秒動作しない場合に過負荷と判断する. 頭については回転軸にトルク0.155N-mが発生している状態で2.5秒動作しない場合に過負荷と判断する.

エンコーダのケーブルが断線した場合,モータに電圧を印加しても駆動部が動作したことを検出できないために過負荷検出が発生し, モータへの電力供給を停止する.

過電流検出回路による停止:

モータおよびモータコントローラの電源供給部に過電流検出回路を搭載している.これにより, モータが短絡した場合の発火, 発煙, の誤動作を防ぐ. モータおよびモータコントローラに8A以上の電流が流れた場合に,過電流検出としてモータおよびモータコントローラへの電源供給を停止する.

3.4. 放射(音波, 光波, 電波)に関する仕様

放射に関する仕様を以下に示す.

音声出力スピーカ

・個数　2台（ステレオ）
・最大出力　1個あたり1W

超音波測距センサ

・個数　送信機4台
・距離測定時　出力0.3Wで5msec送出

・出力周波数　40kHz

LED

・個数　17個
・最大出力　1個あたり0.1W

赤外線近接センサ

・個数　1個
・最大出力　0.15W

無線LAN

・IEEE802.11bの仕様に準拠　（他の規格を採用する可能性あり）

携帯電話

・FOMAの仕様に準拠

3.5. その他の仕様

その他の仕様について，以下に示す.

バッテリ

・連続稼働時間　　約1時間～2時間（ロボットの動作部位，CPU処理負荷による）
・充電時間　約4時間
・電圧　　11.1V
・容量　　5.4Ah
・バッテリセル　　三菱電機製 18650L
※CEマーキングに準拠した評価を実施

周辺機器：

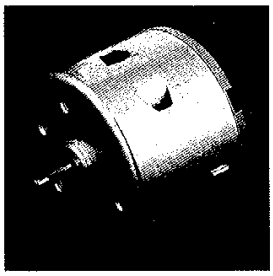
・ACアダプタ（充電用，CEマーキング取得済み）
・音声認識サーバ（NEC社製PC）
・ヘッドセット（子供が装着する，複数人数の音声認識および子供の識別・位置検出のために利用）

材質：

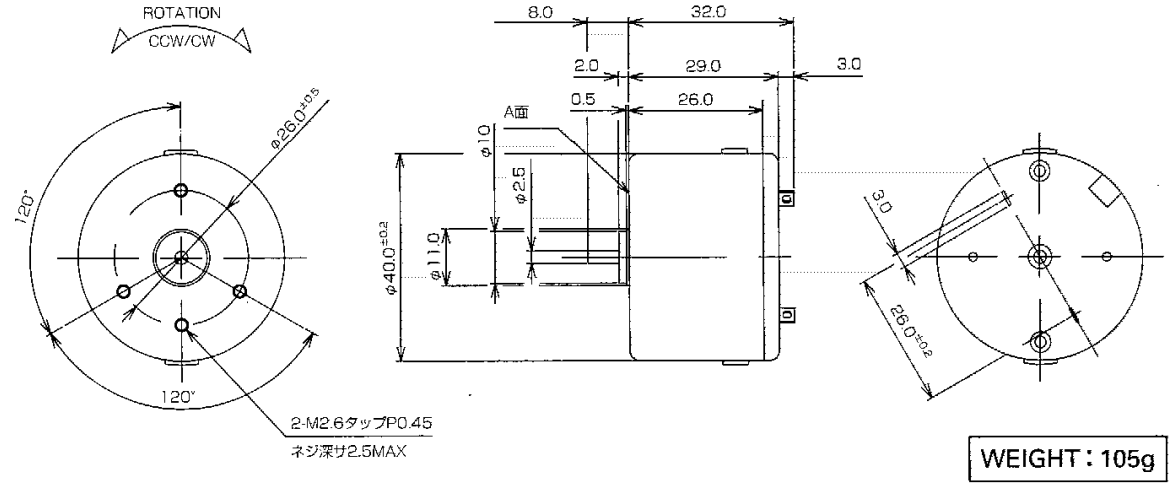
・接触や舐めたりすることがあっても危険のない毒性のないものを採用する.
・燃焼グレードが高いプラスチック部材を採用する.

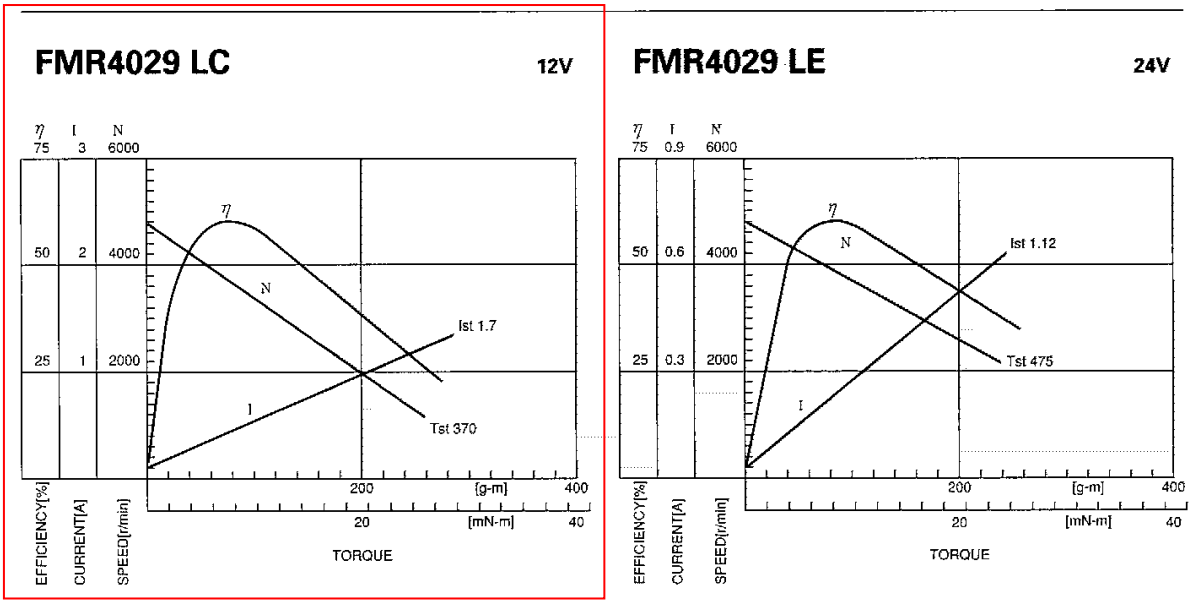
モータの仕様：

フジマイクロ製 FMR4029LC （赤枠）



MODEL	VOLTAGE		NO LOAD		AT MAXIMUM EFFICIENCY				STALL		
	OPERATING RANG	RATED	SPEED	CURRENT	TORQUE		SPEED	CURRENT	TORQUE		CURRENT
			r/min	A	g-cm	mN-m	r/min	A	g-cm	mN-m	A
FMR4029 LC	6～15	12	4750	0.1	74	7.25	3800	0.42	370	36.3	1.70
FMR4029 LF	6～15	12	6400	0.115	84	8.23	5400	0.63	537	52.7	3.41
FMR4029 LJ	10～30	24	3300	0.027	55	5.39	2650	0.12	279	27.4	0.50
FMR4029 RS	10～30	24	5750	0.05	77	7.55	4800	0.25	467	45.8	1.26
FMR4029 LE	10～30	24	4800	0.05	84	8.23	3950	0.24	475	46.6	0.67





4.リスクアセスメント

4.1. リスク分析欄の記号について

リスク分析欄の記号の意味を以下に示す.

・酷さ：重症×，軽症（全治1週間程度の怪我を想定）△，なし○
・頻度：頻繁×，時々△，稀○
（1日の使用で一度でも危険原因にアクセスが可能な場合頻繁とする）
・回避：不可×，可能△，容易○
・見積もり：算出方法を図６に示す.

※重みについては図6のＷ１の列で評価した.
※見積もり結果の危険度が十分に低く傷害の可能性が無しの場合には，見積もりの欄に“－”を記入し，欄をグレーに塗りつぶした.
※チャイルドケアロボット試作機完成後に評価が必要な項目については，欄を黄色に塗りつぶした.
※同一行の安全方策がなされていることを前提として酷さの見積もり結果を評価した.

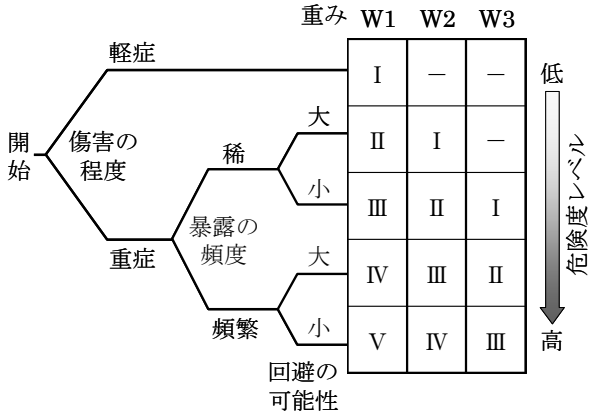


図６．リスク分析の見積もり算出に利用した表

4.2. リスクアセスメント表

リスクアセスメント結果を表３に記載する.

表３ リスクアセスメント表

移動の動作に関して

想定作業	危険原因（危険状態・危険事象）	安全方策	リスク分析				残留リスク	運用上の低減方策
			酷さ	頻度	回避	見積もり		
チャイルドケアサービス（人に近づく，人を探す，ダンス）	移動するロボットとの衝突による怪我（安全方策のためのセンサが故障した場合）	・軽量かつトルクの小さい仕様としている	△	×	○	I	接触箇所によっては転倒して怪我をする可能性あり	・取扱説明書に記載.
	旋回するロボットとの衝突による怪我（安全方策のためのセンサが故障した場合）	・軽量かつトルクの小さい仕様としている	△	×	○	I	接触箇所によっては転倒して怪我をする可能性あり	・取扱説明書に記載.
	移動するロボットに轢かれることによる怪我（安全方策のためのセンサが故障した場合）	・軽量かつトルクの小さい仕様としている	△	×	○	I	轢かれ方（接触部位・接触方向・角度）によっては怪我をする可能性あり	・取扱説明書に記載.
	車輪のすきまへの指の引き込みによる怪我	・隙間を狭くする（3mm 以下）	△	×	○	I	故意に隙間に指をいれると引き込まれる可能性が残されている	・取扱説明書に記載.
	車輪のすきまへの髪の毛の巻き込みによる怪我	・隙間を狭くする（3mm 以下）	△	×	○	I	故意に隙間に髪の毛などの細いもの入れると巻き込む可能性がのこされている	・取扱説明書に記載.
	転落したロボットとの衝突による怪我	・小型軽量にする	×	×	○	Ⅳ	階段から転落する可能性がある.	・取扱説明書に記載.

	ロボットにつまずくことによる怪我	・小型軽量にする	△	×	○	I	走り回る子供に対してロボットがそれを回避できないので，子供が転倒して怪我をさせる可能性がある	・取扱説明書に記載.
	移動するロボットとの衝突による怪我	・バンパセンサ，障害物センサによる停止機能 ・頭スイッチによる停止 ・過負荷検出による停止	○	×	○	―	リスクは許容できる	
	旋回するロボットとの衝突による怪我	・バンパセンサ，障害物センサによる停止機能 ・頭スイッチによる停止 ・過負荷検出による停止	○	×	○	―	リスクは許容できる	
	移動するロボットに躓かれることによる怪我	・バンパセンサ，障害物センサによる停止機能 ・頭スイッチによる停止 ・過負荷検出による停止	○	×	○	―	リスクは許容できる	

頭の動作に関して

想定作業	危険原因 （危険状態・危険事象）	安全方策	リスク分析			残留リスク		運用上の低減方策
			酷さ	頻度	回避	見積もり		
チャイルドケアサービス（人に近づく，人を探す，ダンス）	頭のすきまへの指の引き込みによる怪我	・隙間を狭くする（3mm 以下） ・頭スイッチによる停止	△	×	○	I	故意に隙間に指をいれると引き込まれて怪我をする可能性が残されている	・取扱説明書に記載.
	頭のすきまへの髪の毛の巻き込みによる怪我	・隙間を狭くする（3mm 以下） ・頭スイッチによる停止	△	×	○	I	故意に隙間に髪の毛などの細いもの入れると巻き込み怪我をする可能性がのこされている	・取扱説明書に記載.

保守に関して

想定作業	危険原因（危険状態・危険事象）	安全方策	リスク分析			残留リスク		運用上の低減方策
			酷さ	頻度	回避	見積もり		
保守作業（充電，電池交換）	水をかけることによる感電，発火・発熱・発煙	・過電流検出による電源断 ・オープンショート試験で発熱・発煙・発火がないことを確認	○	×	×	―	リスクは許容できる	
	すきまへの導電性物体の差しこみによる感電	・すきまから導電性物体を差し込める範囲に電力接点を配置しない	○	×	×	―	リスクは許容できる	
	AC アダプタに接触することによる感電	・電極に接触できないようにコネクタ形状を工夫	○	×	×	―	リスクは許容できる	
	バッテリの端子に接触することによる感電	・電極に接触できないようにコネクタ形状を工夫	○	×	×	―	リスクは許容できる	

子供のいたずらに関して

想定作業	危険原因（危険状態・危険事象）	安全方策	リスク分析			残留リスク		運用上の低減方策
			酷さ	頻度	回避	見積もり		
全ての状況において	子供がロボットを持ち上げて投げて他の子供に衝突させることによる怪我	・重量を軽量化する	×	×	○	Ⅳ	子供がロボットを投げる時の力の加え具合によって他の子供に怪我をさせる	・取扱説明書に記載.
	子供がロボットを転倒させて他の子供に衝突させることによる怪我	・重量を軽量化する	×	×	○	Ⅳ	子供がロボットを転倒させる時の力の加え具合によって他の子供に怪我をさせる	・取扱説明書に記載.
	水をかけることによる感電，発火・発熱・発煙	・過電流検出による電源断 ・水をかける実験で発熱・発煙・発火がないことを確認	○	×	×	―	リスクは許容できる.	

	すきまへの導電性物体の差しこみによる感電	・すきまから導電性物体を差し込める範囲に電力接点を配置しない	○	×	×	―	リスクは許容できる.	

放射(光，音，電波)に関して

想定作業	危険原因（危険状態・危険事象）	安全方策	リスク分析			残留リスク		運用上の低減方策
			酷さ	頻度	回避	見積もり		
すべての状況において	内蔵機器から電磁波が出力される	・VCCI クラス A を満たすことを評価	○	×	×	―	リスクは許容できる.	
	スピーカから大音量が出力される	・最大出力 1W	△	×	○	I	耳をスピーカにあてている状態だと 90db 以上の音がでるために連続してその音を聞き続けると耳に障害がある可能性あり.	・取扱説明書に記載.
	超音波センサから超音波が出力される	・最大出力 0.3W	○	×	×	―	リスクは許容できる.	
	LED から可視光線が出力される	・最大出力を安全な範囲に抑える	○	×	×	―	リスクは許容できる.	
	赤外線近接センサから赤外線が出力される	・最大出力を安全な範囲に抑える	○	×	×	―	リスクは許容できる.	
	無線 LAN から電波が出力される	・規格に準拠した装置を内蔵する	○	×	×	―	リスクは許容できる.	

発煙，発火，やけどに関して

想定作業	危険原因（危険状態・危険事象）	安全方策	リスク分析			残留リスク		運用上の低減方策
			酷さ	頻度	回避	見積もり		
すべての状況において	ロボットを燃焼させることが可能な熱源(ストーブなど)に対する衝突，近傍で停止することによる発火	・難燃性部材の採用	×	×	×	V	・熱源の検出可能なセンサを搭載していないため，回避できない問題となる	・ユーザにストーブがない環境で利用してもらうよう，取扱説明書に記載.

	ロボット内蔵回路の発熱による発火	・難燃性部材の採用 ・オープンショート試験/開口部をふさぐ試験の実施により発火がないことを確認	○	×	×	―	リスクは許容できる.	
	ロボット内蔵回路の発熱による発煙	・難燃性部材の採用 ・オープンショート試験/開口部をふさぐ試験の実施により発煙がないことを確認	○	×	×	―	リスクは許容できる.	
	ロボットの発熱部に接触することによるやけど	・放熱FAN停止で温度試験を行い，製品本体の表面温度が60℃を超えないことを確認	○	×	×	―	リスクは許容できる.	

材料の毒性に関して

想定作業	危険原因 （危険状態・危険事象）	安全方策	リスク分析			残留リスク		運用上の低減方策
			酷さ	頻度	回避	見積もり		
すべての状況において	ロボットに接触する，直接なめるといった行為に対する材料の毒性	・毒性のない部材の採用	○	×	×	―	リスクは許容できる.	
	ロボットに接触する，直接なめるといった行為に対する材料の毒性	・子供によって小さいパーツを取り出せない構造，強度にする	○	×	○	―	リスクは許容できる.	

5.結論

リスクアセスメントの結果，感電，ロボット自体の発煙・発火，機構による怪我，使用している材料の中毒についてのリスクは許容できるレベルに到達した. しかしながら自律的に移動することに伴う, 技術的に回避が困難な残留リスクとして次の2 つが残った.

(1) 階段等からロボットが転落して人に怪我をさせる.
(2) 火元にロボットが衝突し火災が発生する.

これらのリスクを完全に回避することは技術的に困難である. それは段差や火元を検出するセンサには必ず誤検出が発生することを防げないのが理由である.

PaPeRo では具体的に段差を検出する手段として，ロボット下部に赤外線による反射センサを搭載し床の存在を検出し, 床がない場合には停止する機構が組み込まれている. しかしながら床材によって誤検出をする可能性があり，ロボットの転落リスクが残る. さらに火災発生の危険源となる火元として蚊取り線香やストーブが家庭内に存在する可能性があり，これにロボットが衝突し転倒させ火災を発生させるリスクがある. このリスクを低減するため, 超音波センサを搭載しこれらと衝突をさせない機構を組み込んでいる. しかしながら, 障害物の材質により検出できずに火元と衝突するリスクが残る.

以上に述べたように, 段差からロボットが転落することで人に怪我をさせるリスクと, 火災のリスクを低減するための機構を搭載しているもののリスクを完全に排除することは困難である. またリスクを限りなくゼロにするため，これらの危険状態の検出性能を上げるためにセンサを多く搭載するという選択は, ロボットの重量やサイズおよび製造コストの問題で現実的ではない.

そのため，PaPeRo の利用にあたっては，段差や火元のあるところで利用することによるリスクをユーザに確実に伝達し, ユーザが怪我や火災が発生しないように注意をしながら運用をする必要がある. なお，この二つのリスクはPaPeRo だけでなく家庭内で動き回る機能を提供するロボットの共通のリスクであるといえよう.

付録 2 取扱方法確認対話普及のための音声対話モジュールの開発

本付録は筆者が 2008 年に開発した音声対話モジュールに関する解説記事[※1，※2]をベースに，本論文のために改訂・追加・修正したものである．

※1 岩沢透，西沢俊広，他，「音声認識モジュールのアーキテクチャとその評価」，日本ロボット学会誌，2009 年 3 月
※2 西沢俊広，他，「音声認識モジュールの PaPeRo-mini への組込と評価」， 日本ロボット学会誌， 2009 年 3 月

1. はじめに

本論文で提案した取扱方法確認システムを様々な機器に応用展開するためには,応用する機器に音声対話機能を搭載する必要がある. しかしながら, 実環境でハンズフリーを前提とした音声対話機能は周囲の生活雑音や発話距離の遠さといった技術課題があり, 音声対話機能を様々な機器に搭載することは非常に困難である.

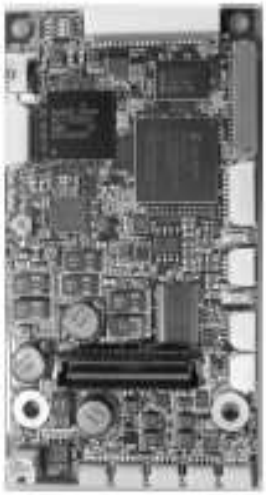
NEC社はパーソナルロボットPaPeRo [1] の研究開発を通じ, 家庭環境をターゲットとした音声認識技術の研究開発を行っている[2]. 本付録で説明する音声対話モジュールは, PaPeRo で培われた音声認識技術, 音声合成技術, 並びに多チャンネル音声入力を利用した雑音抑圧技術や音源方向検出技術に関する機能をコンポーネント化した名刺サイズの小型モジュールである. この音声対話モジュールを活用することで, 音声対話機能を容易に搭載することができ,取扱方法確認システムを様々な機器に応用展開することが可能となる. 筆者はNEC社において, 音声対話モジュールのハードウェア設計およびハードウェアの評価を担当した.

本付録では, 音声対話モジュールのハードウェアとソフトウェアに関する概要と, 筆者がNEC社にて開発を担当した小型パーソナルロボットPaPeRo-mini を利用し行った単語音声認識機能と音源方向検出機能の性能評価について述べる.

2. 音声対話モジュールの概要と機能

2.1. 音声対話モジュールハードウェア

音声対話モジュールのハードウェア外観と仕様を図1 に示す. 音声対話モジュールは, メインプロセッサに携帯電話用アプリケーションプロセッサMP211 [3] を使用し, 小型・省電力なハードウェアモジュールを実現している. ハードウェアモジュールはメインボードのみが最少構成であり, 必要に応じAUDIO ボードやメモリ増設用の拡張ボードを接続し使用する. 音声入力はメインボード上の2ch 同期音声入力2 系統とAUDIO ボードの16ch 同期音声を選択的に使用可能である. このように多チャンネルの同期音声を選択的に使用し, 音声処理可能なのが音声対話モジュールの特徴の一つである. 他にも, 音声出力や画像入出力, LCDなどのインタフェースを装備している.



項目	スペック
CPU	MP211 (ARM9 (192MHz) x3, DSP (SPX-K6 192MHz) x1)
メモリ	メインメモリ128MB, Flash 64MB, 拡張メモリ 128MB (拡張ボード接続時)
音声入力	メインボード 2ch x 2 AUDIOボード16ch (AUDIO ボード接続時)
音声出力	2chライン出力, 2ch スピーカ出力
画像	カメラ入力、ビデオ出力、LCD 1系統
その他	USB, LAN, IrDA, GPIOなど
サイズ	55mm x 100mm x 32mm (AUDIOボード、拡張ボード使用時)

図 1 ハードウェア外観と主な仕様

2.2. 音声対話モジュールソフトウェア

音声対話モジュールソフトウェアは,音声対話モジュールハードウェア上に音声対話に必要となる機能を実装したものである. ここでは, 基本機能として開発した, 単語音声認識機能, 音源方向検出機能, 音声合成機能について説明する.

音声対話モジュールソフトウェアの構成図を図2 に示す.

ソフトウェアの各機能は, Linux (Mobilinux 4.0) 上にNEC社で開発したロボット用制御統合プラットフォームRoboStudio を移植したRobot 用VM (RobotVM) 上に構築される.各々の機能は,OMG 標準のロボット用ミドルウェアであるRT ミドルウェア[4] に対応したRT コンポーネントとして提供される[5]. RT コンポーネント化は, 産業技術総合研究所で開発中のOpenRTM-aist を利用し行う. 各々のコンポーネントには, コンポーネントの機能を実行するコマンドと外部への結果出力を行うイベントが定義されている. 外部アプリケーションは, ネットワーク経由で各機能を提供するRT コンポーネントに接続し, コマンドを送信しコンポーネントの機能を実行させ, 結果をイベントとして受信する. コンポーネントからの出力は, XML 形式のデータとして返送される. 図2 の記載例は音声認識コンポーネントが出力する音声認識結果イベントの出力例である. 音声認識結果イベントは, SpeechRecognized というイベント名を持ち, 認識結果の単語名やグループ名などの文字列を出力する.

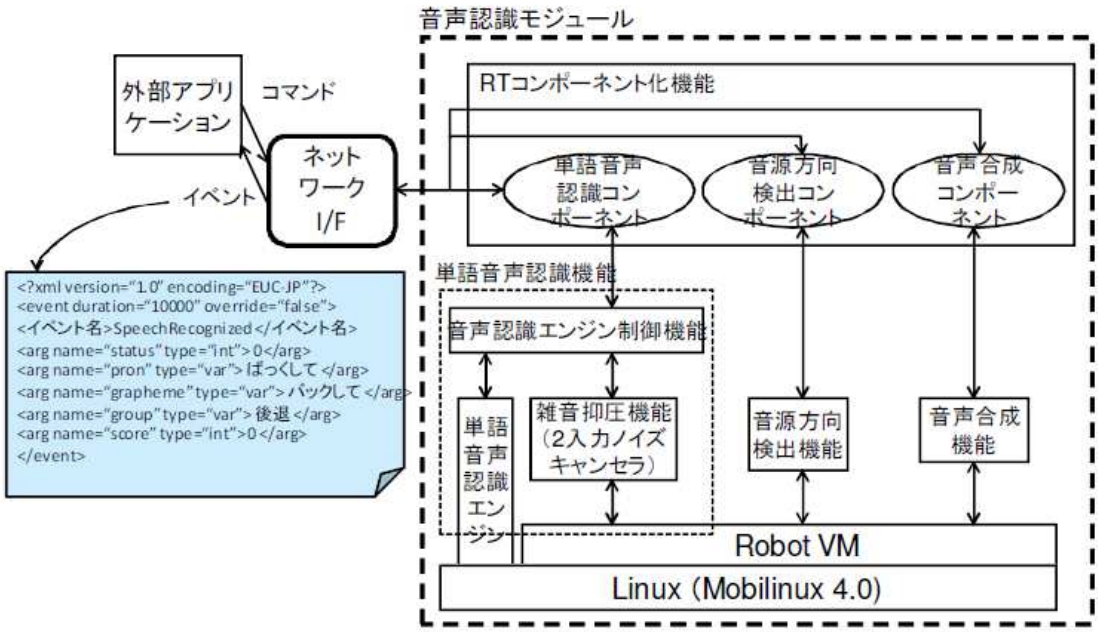


図 2 音声対話モジュールソフトウェア構成図

```
<?xml version="1.0" encoding="EUC-JP"?>

<grammar xmlns="http://www.w3.org/2001/06/grammar"
      xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
      xsi:schemaLocation="http://www.w3.org/2001/06/grammar
                  http://www.w3.org/TR/speech-grammar/grammar.xsd"
      xml:lang="ja" tag-format="nec-tgm-0.2"
      version="1.0" mode="voice" root="Start">

<rule id="Start">
 <one-of>
  <item> ぜんしん <tag> grapheme="前進" group="前進" </tag></item>
  <item> ばっく <tag> grapheme="バック" group="後退" </tag></item>
 </one-of>
 <ruleref uri="#garbage"/>
</rule>

<rule id="garbage">
 <one-of>
  <item> して </item>
  <item> してください </item>
 </one-of>
</rule>

</grammar>
```

図 3 音声認識辞書の記述例

次に，各々の機能の詳細について説明する.

単語音声認識コンポーネント単語音声認識コンポーネントは,音声認識辞書に登録した単語を対象とした音声認識処理を行う.外部アプリケーションから音声認識辞書と音声認識開始コマンドを受信することで動作し,音声認識停止コマンドを受信するまで音声認識処理をして結果を出力する.単語音声認識機能は,認識の前段処理として2 入力ノイズキャンセラを利用した雑音抑圧処理を行うことが可能である.本機能に搭載の2入力ノイズキャンセラは,雑音用のマイクへ漏れこむ発話音声を推定することにより低歪の雑音消去が可能である[6].このため,歪み音声への音響モデル適合をすることなく音声認識を行うことが可能である.

音声認識辞書は,W3C勧告済の記述仕様であるSRGS(Speech Recognition Grammar Specification)[7] のサブセットに対応している.図3 に音声認識辞書の一例を示す.音声認識辞書は外部でコンパイルし,作成されたネイティブ形式の辞書を音声対話モジュールアップロードし使用する.

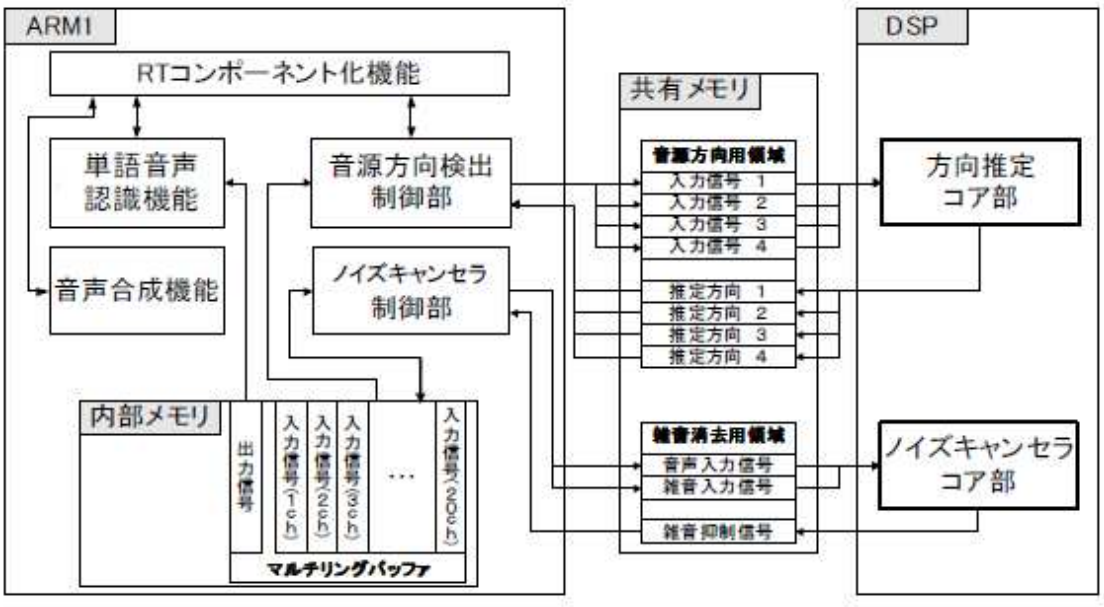


図 4 基本機能の実装形態

音源方向検出コンポーネント音源方向検出コンポーネントは，複数の音声入力信号(3または4 チャネルに対応)の相関から音の到来方向の推定を行う．本機能に搭載の音源方向検出アルゴリズムは，近接音場に適応した方向推定を行うことにより，音源とマイクが同一水平面上になく距離も十分に離れていない場合においても正確な音源方向推定が可能である[8]．初期設定としてマイク配置に関するパラメータを与えることで動作可能となる．外部アプリケーションは，音源方向検出コンポーネントに対し開始コマンドを送信し，停止コマンドを送信するまで音源方向検出結果を取得することができる．

音声合成コンポーネント音声合成コンポーネントは，入力したテキストデータの読み上げを行う．音声対話モジュールに搭載の音声合成エンジンは，組込用途向けのコンパクトかつ高音質な音声合成機能を提供している．

3.音声対話モジュールソフトウェアの実装形態

音声対話モジュールソフトウェアの基本機能の実装形態を図4 に示す.

単語音声認識, 音声合成, RT コンポーネント化に関する機能は1 個のARM コアで動作可能である. 2 入力ノイズキャンセラと音源方向検出は, 単体のARM コアでは処理性能不足で音声処理遅延が発生するため, 1 個のARMコアとDSP チップに機能分割され実装されている. 2 入力ノイズキャンセラと音源方向検出は, 外部からのコマンドによる動作制御や音声入力の制御を行う制御部がARM 上で動作し, 信号処理演算を行うコア部がDSP 上で動作する. ARM とDSP 間の音声データ及び演算結果の伝達は共有メモリを介して行う. ノイズキャンセラコア部は, 入力信号を共有メモリから取得し, 音声側入力に混入する雑音成分と雑音側入力に混入する音声成分をそれぞれ個別の適応フィルタで推定し, 推定結果を各信号から差し引くことにより雑音抑制信号を生成する. 生成された雑音抑制信号は, ノイズキャンセラ制御部からマルチリングバッファの出力信号を介し音声認識機能へ入力される. 方向推定コア部は, 入力信号を共有メモリから取得し, マイクロホンペア毎の推定方向値を求める. このようにして得られたマイクロホンペア毎の推定方向は, 音源方向検出制御部に受け渡され最終方向が確定される[9].

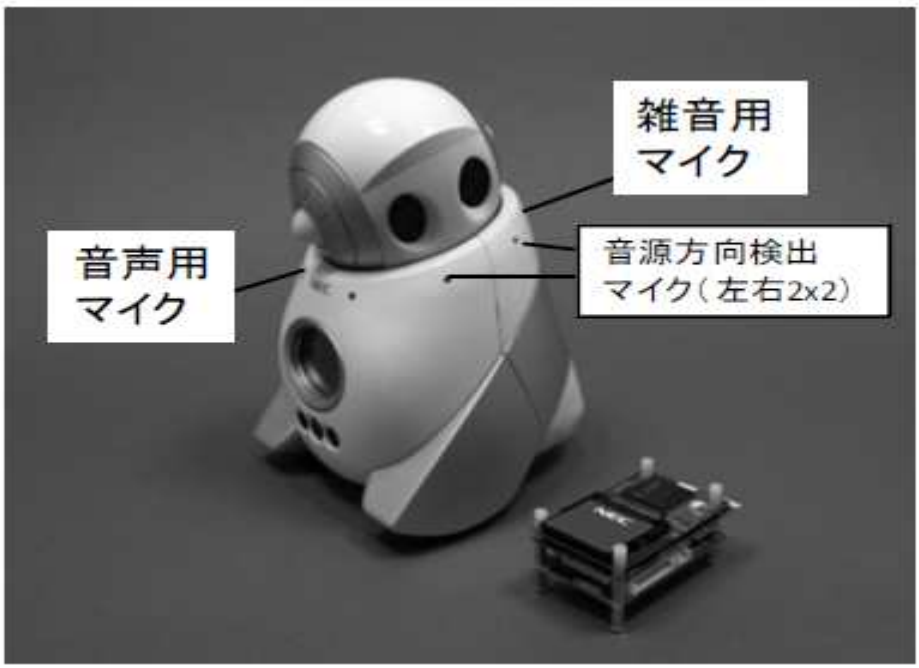


図 5 PaPeRo-mini の外観とマイク位置

単語音声認識機能と音源方向検出機能は処理遅延なしに同時使用することが可能である．音声合成機能は他の機能とは排他で動作する．

4.PAPERO-MINI を利用した音声対話モジュールの性能評価

4.1. PaPeRo-mini への組み込み

今回開発した音声対話モジュールを,小型パーソナルロボットPaPeRo-mini へ組み込み,2 入力ノイズキャンセラと結合した単語音声認識機能と音源方向検出機能の性能評価を行った.

PaPeRo-mini の外観と主な仕様を図5 に示す. 音声入力用のマイクは, 襟の周囲に8個の無指向性マイクが直径140mm の円形状に等間隔に配置される. このうち左右側面の4 個を音源方向検出用に, 右前方と左後方の2 個を音声認識用 (2 入力ノイズキャンセラの音声用と雑音用) に使用している.

4.2. 音声認識および音源方向検出機能の性能評価

単語音声認識機能と音源方向検出機能の評価環境を図 6 に示す. 評価は, 一般家庭環境に PaPeRo-mini を持ち込み, 発話音声と雑音音声をスピーカから再生し収録した音声を利用し行った. 収録環境における平常時の騒音レベルは 40dB であった.

単語音声認識機能の評価は, PaPeRo-mini の正面方向(0 度方向), 距離 1.0m, 高さ 1.0m に設置したスピーカから成人男・成人女・子供合計 9 名が各 50 単語発話した音声を音量 70dB で, 背面方向(90, 135, 180 度方向), 距離 1.0m, 高さ 1.0m に設置したスピーカからテレビ CM を音量 60～65dB でそれぞれ再生した際の, 2 入力ノイズキャンセラの有無に対応した音声認識率を比較した. 音声認識には, 50 単語に雑音棄却用の抑制単語を加えた辞書を用いた.

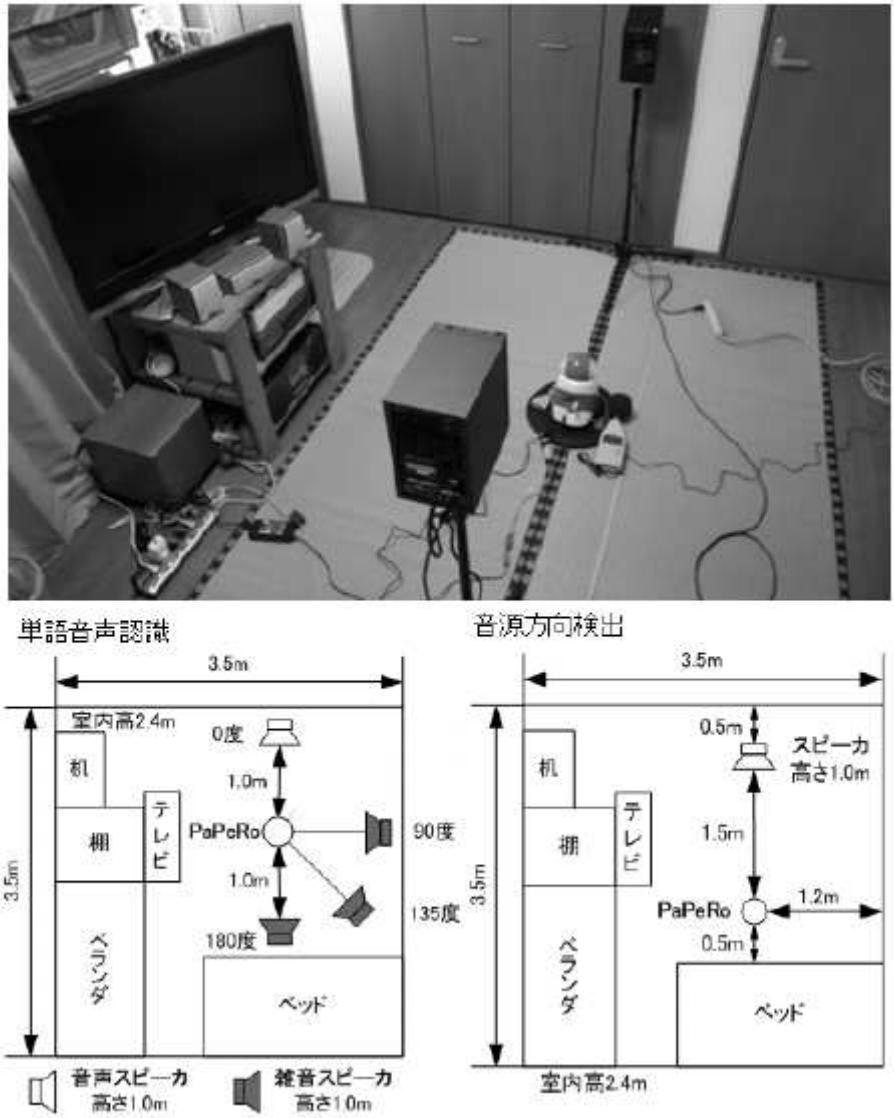

単語音声認識
3.5m
室内高2.4m
0度
1.0m
机
棚
テレビ
PaPeRo
90度
1.0m
135度
3.5m
180度
ベランダ
ベッド
音声スピーカ
高さ1.0m
雑音スピーカ
高さ1.0m
音源方向検出
3.5m
0.5m
スピーカ
高さ1.0m
机
1.5m
棚
テレビ
3.5m
PaPeRo
1.2m
0.5m
ベランダ
ベッド
室内高2.4m

図 6 評価環境

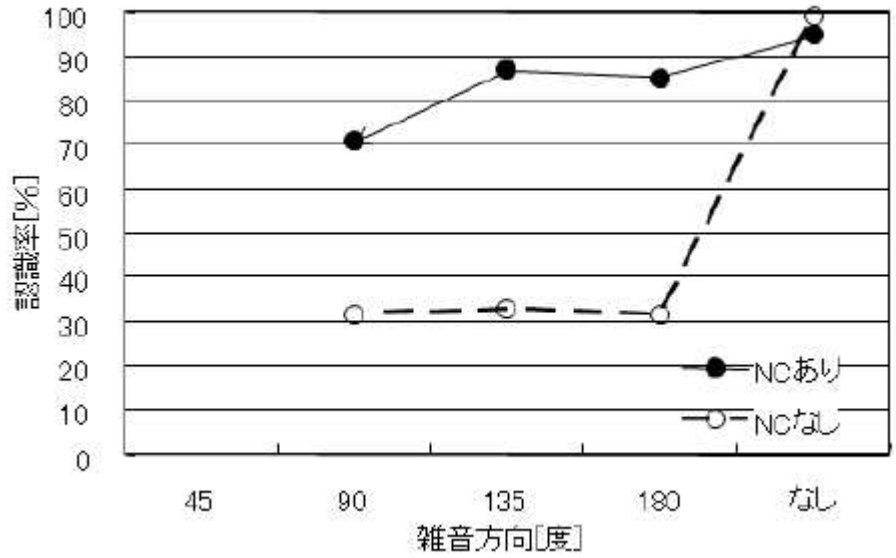


図 7 単語音声認識機能評価結果

音源方向検出機能の評価は，距離1.5m，高さ1.0m に設置したスピーカから男女合計5名の呼びかけ音声を音量75dB で10 回ずつ再生し，距離1.5m に配置したPaPeRo-miniを30 度ずつ12 方向に回転させて，音源方向検出を行った．音源方向検出の正解率の評価にあたっては，音声入力角度± 15 度の値を正解とした．

単語音声認識機能の評価結果を図7 に示す．雑音ありの場合の音声認識率は，2 入力ノイズキャンセラを使用することにより40%～54%改善し，雑音入力角度が90 度，135 度，180 度すべての条件において70%を上回る認識率を得られた．雑音なしの場合の音声認識率は，2 入力ノイズキャンセラを使用すると音声歪の影響により低下するが，その差は約2 %とわずかなものであった．

次に，音源方向検出結果を図8 に示す．

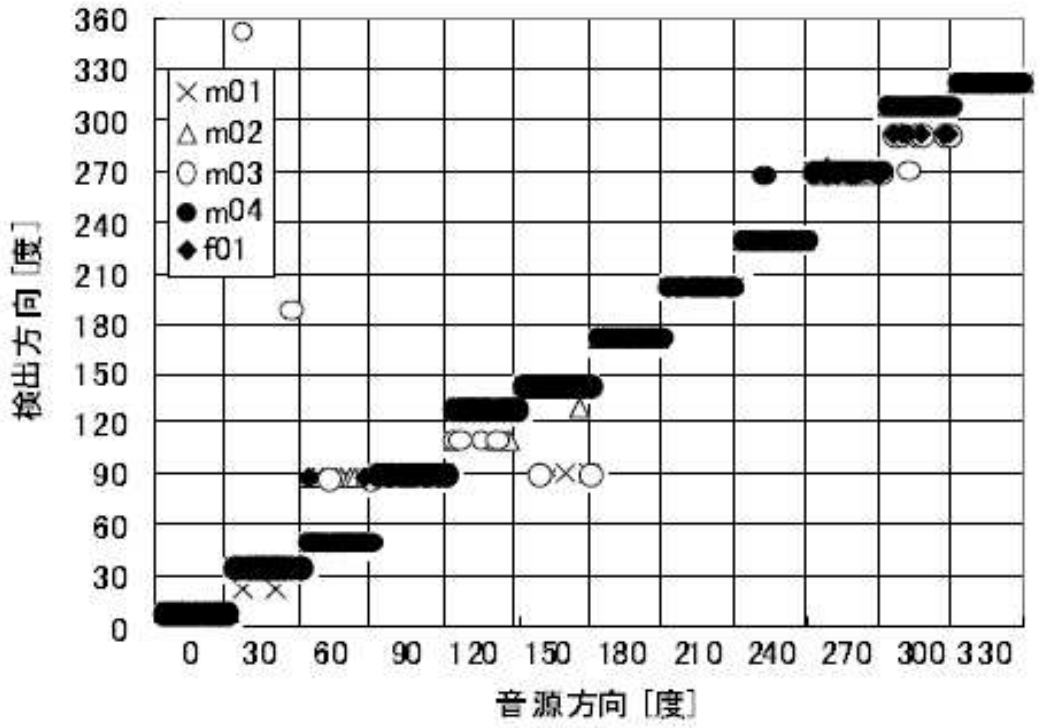


図 8 音源方向検出機能評価結果

図8 は，横軸に30 度ごとの音の到来方向角度，縦軸に音源方向検出結果をプロットしたものである．横軸が0 度から30 度の間のプロットは音の到来方向角度が0 度の場合の結果である．図8 を参照すると，一部の音源方向において± 30 度程度の誤検出がみられるが，概ね正しい方角が得られていることが分かる．音声入力角度± 15 度以内を正解とした場合の全方向に対する平均正解率は83%であった．

5.結論

音声対話モジュールの概要とPaPeRo-mini を利用した単語音声認識機能と音源方向検出機能の性能評価について述べた. 音声対話モジュールは, PaPeRo で培われた音声認識技術, 音声合成技術, 音源方向検出技術のさまざまな装置への水平展開を可能とする小型ハードウェアモジュールである. 様々な機器に音声対話機能を搭載することが困難なことが, 取扱方法確認システムの普及の障害になっていた. しかしながら今回開発した音声対話モジュールは, 取扱方法確認システムを搭載したい装置に組み込むことで, 該当する装置に音声対話機能を容易に組み込むことができる.

PaPeRo-mini を利用した性能評価では, 単語音声認識率70 %以上(背景雑音あり), 音源方向検出の正解率80 %以上が得られることが確認できた.

音声対話モジュールは, NEC社 を含めた5 社のロボットにおいて搭載評価がなされ, 単語音声認識機能と音源方向検出機能に関し本報告と同等の性能が得られている. 今後は, モジュールの速度面, 精度面の性能向上を図る一方で, 普及に向けた検討を継続する予定である. また, アプリケーション開発環境についても, 現状は機能ごとに一つのRTコンポーネントが対応しているが, 今後はコンポーネントの粒度を細分化し, 汎用性やカスタマイズ性を向上させることで生産性の向上を検討していく予定である.

付録 2 参考文献

[1] Y. Fujita, "Personal Robot PaPeRo", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.14 No.1, pp.60-63, 2002.

[2] 岩沢, "パーソナルロボット PaPeRo の音声認識インタフェース", 人工知能学会 AI チャレンジ研究会論文集, Vol.13, pp.17-23, (2001).

[3] S. Torii, et al, "A 600MIPS 120mW 70 μA Leakage Triple- CPU Mobile Application Processor Chip," ISSCC 2005, Digest of Technical Papers, pp.136-137, 2005.

[4] N. Ando, et.al , "Composite Component Framework for RT-Middleware (Robot Technology Middleware)", IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2005), pp.1330-1335, 2005.

[5] 高野他, "ロボットプラットフォーム RoboStudio による RT コンポーネントの実現", Proc. RoboMec2007, 1P1-C02, 2007.

[6] M. Sato, et.al, "An Adaptive Noise Canceller with Low Signal- distortion Based on Variable Stepsize Subfilters for Human- robot Communication", IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E88-A, No.8, pp.2055-2061, 2005.

[7] http://www.w3.org/TR/speech-grammar/

[8] 佐藤他, "パーソナルロボット PaPeRo における近接話者方向推定と 2 マイク音声強調", 人工知能学会 AI チャレンジ研究会 Vol.22,

[9] 佐藤他, "小型音声対話モジュールによる耐雑音音声認識", 人工知能学会 AI チャレンジ研究会 Vol.26, pp.65-70, (2007).

付録 3 研究業績目録

査読付雑誌論文

(1) 西沢俊広, 木下和樹, 他,「家庭用ロボットの事故発生リスク低減を目的とする取扱方法確認対話システム」, 日本ロボット学会誌, 採録決定

(2) Miki Sato, Toshihiro Nishizawa, et al., ″A Compact Speech Dialogue Module and Its Evaluation on a Personal Robot PaPeRo-mini″, IEICE TRANSACTIONS on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, 2009/4

査読付国際会議論文

(1) Toshihiro Nishizawa, Shin'ichi Yuta, et al., "Proposed System of Unlocking Potentially Hazardous Function of Robot Based on Verbal Communication", IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2011), 2011/12

(2) Miki Sato, Toshihiro Nishizawa, et al., "A Compact Speech Dialogue Module and Its Evaluation on a Personal Robot PaPeRo-mini", IEEE International Conference on Acoustics Speech & Signal Processing (ICASSP2009), 2009/4

(3) Tetsuya Munekata, Toshihiro Nishizawa, et al., "New Learning Environment for Enhancing Storytelling Activities of Children with Intellectual Disabilities/Autism Using a Personal Robot in the Classroom", ACM International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI2009), 2009/2

(4) Akitoshi Okumura, Toshihiro Nishizawa, et al., "Multimedia Blog Creation System through Dialogue with Intelligent Robot", Annual Meeting of the Assoc for Computational Linguistics (ACL2007), 2007/6

(5) Nobuaki Takanashi, Toshihiro Nishizawa, et al., "Complete Modular Links for Hyper Redundant Robots", COE/Super Mechano-Systems Workshop, 1999/2

(6) Nobuaki Takanashi, Toshihiro Nishizawa, et al., "Complete Modular Links as a Motion Agent for Virtual-real World ConNEC 社tion", International Conference on Virtual Systems & Multimedia (VSMM1996), 1996/9

(7) Toshihiro Nishizawa, Shin'ichi Yuta, et al., "A Development of Autonomous Tractor for Agricultural Field - Positioning System and Its Experiment", International Symposium on Robotics and Manufacturing (ISRAM1996), 1996/5

(8) Toshihiro Nishizawa, Shin'ichi Yuta, et al., "An Implementation of On-board Position Estimation for a Mobile Robot - EKF Based Odometry and Laser Reflector Landmarks Detection", IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA1995), 1995/5

報告

査読なし雑誌等論文

(1) 岩沢透，西沢俊広，他， 「音声認識モジュールのアーキテクチャとその評価」，日本ロボット学会誌，2009 年 3 月

(2) 西沢俊広，他， 「音声認識モジュールの PaPeRo-mini への組込と評価」， 日本ロボット学会誌， 2009 年 3 月

(3) 西沢俊広,他,「サービスロボットの安全化事例～チャイルドケアロボット PaPeRo」,日本ロボット学会誌， 2007 年 11 月

(4) 西沢俊広，他， 「愛知万博で実証運用するロボットの安全性設計・運用時の安全性」，日本国際博覧会協会　ロボット安全性ガイドライン調査専門委員会， 2005 年 3 月

(5) 西沢俊広， 「レーザ反射板をランドマークとして用いた自立移動体のための自己位置自動修正システム」， 筑波大学大学院 理工学研究科 修士論文， 1996 年 3 月

(6) 西沢俊広，他， 「チャイルドケアロボット PaPeRo の安全性」， 日本ロボット工業会 専門誌 「ロボット」， 2006 年 1 月

(7) 西沢俊広，他， 「レーザ反射板をランドマークとして用いた移動ロボットの自己位置推定システム」， 日本工業出版 専門誌 「光アライアンス」， 1995 年 12 月

査読なし国際・国内会議論文

(1) 棟方哲弥, 西沢俊広, 他, 「パーソナルロボットを用いた特別支援教育の新しい学習環境の提案」, 電子情報通信学会 教育工学研究会 (ET), 2009 年 1 月

(2) 杉山昭彦, 西沢俊広, 他, 「A Single-chip Speech Dialogue Module and Its Evaluation on a Personal Robot "PaPeRo-mini"」, 信号処理シンポジウム (SIP), 2008 年 11 月

(3) 杉山昭彦, 西沢俊広, 他, 「耐雑音音声認識技術を搭載した小型ロボット試作機」, JEITA シンポジウム「音声技術の普及へ向けて」, 2008 年 10 月

(4) 奥村明俊, 西沢俊広, 他, 「コミュニケーションエージェントによるメッセージ理解とモバイル情報提供」, 情報科学技術フォーラム (FIT), 2008 年 9 月

(5) 西沢俊広, 他, 「音声認識モジュールおよび PaPeRo-mini の開発 」, エンターテイメントロボットフォーラム (ERF), 2008 年 4 月

(6) 西沢俊広, 他, 「パーソナルロボット PaPeRo の研究開発」, 計測自動制御学会 共創システム部会, 2007 年 10 月

(7) 奥村明俊, 西沢俊広, 他, 「ロボットとの対話によるマルチメディアブログ創作と評価」, 情報科学技術フォーラム (FIT), 2007 年 9 月

(8) 奥村明俊, 西沢俊広, 他, 「Evaluation of Multimedia Blog Creation Robot」, 人工知能学会 言語・音声理解と対話処理研究会 (SIG-SLUD), 2007 年 7 月

(9) 西沢俊広, 他, 「サイバーとリアルをつなぐ自律的に動作する情報端末の安全設計 ―パーソナルロボット PaPeRo の事例報告―」, 電子情報通信学会 サイバーワールド時限研究会 (CW), 2007 年 6 月

(10) 高野陽介, 西沢俊広, 他, 「ロボットプラットフォーム RoboStudio による RT コンポーネントの実現」, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMEC), 2007 年 5 月

(11) 奥村明俊, 西沢俊広, 他, 「ロボットとの対話によるマルチメディアブログ創作システム」, 言語処理学会 年次大会, 2007 年 3 月

(12) 大中慎一, 西沢俊広, 他, 「チャイルドケアロボット PaPeRo」, 電子情報通信学会 サイバーワールド時限研究会 (CW) , 2006 年 3 月

(13) 西沢俊広, 他, 「チャイルドケアロボット PaPeRo のインタラクション」, 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会, 2005 年 12 月

(14) 藤田善弘, 西沢俊広, 他, 「パーソナルロボット PaPeRo の開発と愛・地球博での実証実験」, 電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU), 2005 年 9 月

(15) 藤田善弘, 西沢俊広, 他, 「チャイルドケアロボット PaPeRo の概要」, 日本ロボット学会 学術講演会, 2005 年 9 月

(16) 西沢俊広, 他, 「チャイルドケアロボット PaPeRo のハードウェアと安全性」, 日本ロボット学会 学術講演会, 2005 年 9 月

(17) 船田純一, 西沢俊広, 他, 「チャイルドケアロボット PaPeRo における超音波タグの利用」, 日本ロボット学会 学術講演会, 2005 年 9 月

(18) 山下信行, 西沢俊広, 他, 「パーソナルロボット“PaPeRo”の開発(3)」, 日本デザイン学会 研究発表大会, 2004 年 6 月

(19) 西沢俊広, 他, 「パーソナルロボット PaPeRo における自発的な行動メカニズム」, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMEC), 2003 年 5 月

(20) 安藤友人, 西沢俊広, 他, 「パーソナルロボット PaPeRo におけるソフトウェア開発環境の試作と評価」, ロボティクス・シンポジア, 2003 年 3 月

(21) 西沢俊広, 他, 「パーソナルロボット PaPeRo の概要」, 筑波大学 感性評価構造モデル特別プロジェクト 研究会, 2001 年 9 月

(22) 西沢俊広, 他, 「パーソナルロボット PaPeRo のセンシングと自律行動」, 日本ロボット学会 学術講演会, 2001 年 9 月

(23) 西沢俊広, 他, 「パーソナルロボット PaPeRo のハードウエアアーキテクチャ」, 日本ロボット学会 学術講演会, 2001 年 9 月

(24) 西沢俊広, 他, 「超多自由度モジュラ型関節ロボットの運動学」, 日本ロボット学会 学術講演会, 1997 年 9 月

(25) 高梨伸彰, 西沢俊広, 他, 「探索検査用超多自由度ロボットの開発」, 日本機械学会 ロボメカ・シンポジア, 1997 年 8 月

(26) 西沢俊広, 他, 「レーザ反射板をランドマークとして用いた移動ロボットの自己位置自動修正システム」, 日本ロボット学会 学術講演会, 1995 年 11 月

(27) 西沢俊広, 他, 「レーザ反射板をランドマークとして用いた移動ロボットの自己位置推定」, 日本ロボット学会 学術講演会, 1994 年 11 月

(28) 西沢俊広, 他, 「Safety Design for Childcare Robot, PaPeRo」, Workshop on Technical Challenges for Dependable Robots in Human Environments, 2005 年 6 月

講義, セミナー等

(1) 西沢俊広, 「コミュニケーション知能の研究開発」, 岡山大学大学院 産業技術実践講義, 2008 年 12 月

(2) 西沢俊広, 「コミュニケーション知能の研究開発」, 筑波大学 総合科目, 2008 年 10 月

(3) 西沢俊広, 「サービスロボットの安全化事例 ―チャイルドケアロボット PaPeRo―」, 日本ロボット学会 ロボット工学セミナー, 2007 年 11 月

(4) 西沢俊広, 「パーソナルロボットの研究開発 ― ロボットとパフォーマンス―」,

筑波大学 総合科目， 2007 年 10 月

(5) 西沢俊広，「ロボットの機構やセンサの働き」， サイエンスキャンプ for 麻布高校 PaPeRo で体験するロボット開発， 2007 年 7 月

(6) 西沢俊広，「チャイルドケアロボット PaPeRo の開発」， 大阪電気通信大学 先端技術工学特論， 2005 年 7 月

(7) 西沢俊広，「チャイルドケアロボット PaPeRo」， 日本ロボット学会 ロボット工学セミナー， 2005 年 4 月

(8) 西沢俊広，「ロボットのこころ」， 日本科学未来館 特別展「ロボット Go Go 」 セミナー， 2003 年 7 月

特許(登録済み)

(1) 西沢俊広，「ロボット，ロボット制御装置，制御方法，及びコンピュータ読取可能な記録媒体」， 特願平 10-365027， 1998 年 12 月 22 日

(2) 西沢俊広，「ロボット装置」， 特願平 10-307605， 1998 年 10 月 28 日

(3) 西沢俊広，「ロボットの操作装置」， 特願平 09-337261， 1997 年 12 月 8 日

特許(公開済み)

(1) 西沢俊広，「操作支援方法，操作支援システム，操作支援装置，及び操作支援プログラム」， 特願 2008-317585， 2008 年 12 月 12 日

(2) 西沢俊広，「データ記録システム，端末及びデータ記録方法」， 特願 2008-521111，2008 年 12 月 10 日

(3) 西沢俊広, 「目的地案内システム及び目的地候補登録方法並びにプログラム」, 特願 2008-262437, 2008 年 10 月 9 日

(4) 西沢俊広, 「取扱い方法確認装置」, 特願 2007-290964, 2007 年 11 月 8 日

(5) 西沢俊広, 「走査型距離計測装置」, 特願 2007-143467, 2007 年 5 月 30 日

(6) 西沢俊広, 「ロボット, ロボット制御方法, ロボット制御プログラム, ならびに思考装置」, 特願 2004-274201, 2004 年 9 月 21 日

(7) 西沢俊広, 「掃除機制御装置, 掃除機, ロボット, および掃除機制御方法」, 特願 2004-267541, 2004 年 9 月 14 日

(8) 西沢俊広, 「ロボット装置」, 特願 2001-032082, 2001 年 2 月 8 日

(9) 西沢俊広, 「ロボットおよびその制御方法」, 特願 2001-022487, 2001 年 1 月 30 日

(10) 西沢俊広, 「ラベル貼付装置」, 特願平 11-211008, 1999 年 7 月 26 日

(11) 西沢俊広, 「多自由度マニピュレータの位置決め装置及び位置決め方法並びにそれを実行するためのプログラムを格納した記録媒体」, 特願平 09-137348, 1997 年 5 月 28 日