

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330309

研究課題名(和文) ユーザモデルと機能デザインアプローチによる元気高齢者向けコミュニティロボティクス

研究課題名(英文) Community Robotics for healthy elderly people based on user-model and functional design approach

研究代表者

山口 亨 (Yamaguchi, Toru)

首都大学東京・システムデザイン研究科・教授

研究者番号：40251079

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：安心・安全機構とQoLの向上には、個々のユーザーの特性を把握しその特性を活かしたコミュニティ構築が重要である。そこで、元気高齢者ユーザーの心身の活性化と共助コミュニティ形成によるQoL向上と安心安全を目的として、ユーザーモデルと機能デザインアプローチによる支援システムの開発を行った。一例として、移動操作支援において、ユーザーの心理的特性の獲得方法を提案し、心理的特性を考慮した移動操作支援システムを提案した。また、歩行支援において、ユーザーの身体的特性の獲得方法を示し、身体的特性を考慮した歩行支援システムを提案した。これらの提案手法に基づいて、車椅子型ロボットに実装しその有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：Community support system according to each user's personal attribute is important factor for safety and security and quality of life. Therefore, I focused on revitalizing of healthy elderly people physically and mentally, and supporting mutual assistance community by using user-model and functional design approach. As one of the achievement, I proposed methods; robot control support system according physiological attribute, and walking support system according physical attribute. I implemented the proposed method for a wheelchair robot, and evaluated the effectiveness.

研究分野：知能情報処理

キーワード：知能ロボット ユーザーモデル

### 1. 研究開始当初の背景

3.11 の被災では、グローバルな安心・安全機構は十分に機能せず、地域の世話人の働き、すなわちローカルな機構により被災後の QoL の向上が成立している。この機能している被災に強い柔軟なローカルの安心・安全機構と QoL 向上においては、それぞれのユーザ個々の 1) 特性をよく把握した上で個々のもつ特性を生かし 2) 共助のコミュニティを構築している特長がある。2003 年から JSAE(自動車技術会) フォーラムを実施している「ヒューマトロニクス」においては、Step.1:ユーザの特性をよく把握した(ヒューマンセンタード)で、Step.2:ネットワークによりコミュニティを自動形成(コミュニティセンタード)を目指している。このため、前述 1)2) の安心・安全の機構を学び実現することが可能であり、このヒューマトロニクスへ生かしていくことが重要となる。

ヒューマトロニクスの Step1 としての人理解の例として、ジュスチャインタラクショシステム事例が挙げられる。Step1 で培われた人を理解する技術を中心として、さらにネットワーク技術を活用することで、人を見守り支援する安心安全 Life と QoL 向上への活用が期待されている。

### 2. 研究の目的

元気高齢者ユーザの心身の活性化と共助コミュニティ形成により QoL (Quality of Life) 向上と安心安全をもたらす「ユーザモデルと機能デザインアプローチによる元気高齢者向けコミュニティロボティクス」の基盤を確立する。提案のコミュニティロボティクスは、従来の 1 人のユーザ向けヒューマンセンタードを「コミュニティセンタード」へ進展させ、コミュニティ中心志向により QoL 向上と共助による安心安全の効果をもたらすロボティクス(機能エージェント)基盤の実現を目的とする。ユーザの心身の活性化と QoL 向上では共助コミュニティ形成が必須であり、ユーザの特徴キーワードを用いたユーザ間のマッチングに、機能エージェントが関与し円滑なコミュニティ形成へ進展させる。

#### (1) ユーザモデルと機能デザインのヒューマトロニクスアプローチによる安心安全と QoL 向上

人を見守り安心・安全・QoL 向上へとつなげるためには、図 1 に示すように、まず Step1 の人理解において、個々の人の特性を把握し、個人の持つ特性を生かすことが重要となる。さらに、ネットワークコミュニケーションとして共助のコミュニティへと展開する必要がある。そこで、我々が着目しているのが「ユーザモデル」と「機能デザイン」である。個々のユーザの特性を把握し個人に合わせたシステムを構築することは可能であろう、しかし、人の特性や状態は日々変化するものであり、一人の人間から得られるデータのみでは、適

切なサービスを提供し続けることは難しい。そこで、Step2 におけるネットワークコミュニティの概念に基づいて、ユーザモデルを構築することによって、類似するユーザグループからフィードバックを受けることが可能となる。さらに、ユーザモデルに合わせて機能をデザインすることによって、人に合わせたサービス提供が可能となり、過信や不信を取り除く、安心支援へとつながる。

#### (2) ヒューマンセンタードのユーザモデルの構築

近年、IT 機器やロボットエージェントが普及してきている。これらのシステムを活用するためには、ユーザのシステムへの深い理解が必要となっている。しかし、すべての人がシステムに対して深い理解をすることは困難である。特に、高齢者などの機器の操作を苦手とする人々は、システムの高機能化と共に、その恩恵を十分に受ける事ができない。このようなデジタルデバインドが問題となっている。この問題を解決するために機器の操作が苦手な人にとっては、その恩恵を受られるシステムが望まれている。それゆえ、人間がシステムを理解し、使い方を学ぶというアプローチではなく、システム側が人を理解するというアプローチが重要となる。しかしながら、システム側からユーザへアプローチする上で、システムが誰に対しても一定条件の基に、同様にサービスや支援を行うのでは問題の解決とは言い難い。そのため、ユーザにとって適したアプローチへ繋げるためにもユーザモデルが重要視され、システムがユーザモデル毎にサービスや支援を行うことが問題の解決につながる(図 1(右))。



図 1 ユーザ個人のヒューマンセンタードからコミュニティセンタードへ

ユーザモデルとは、ユーザに関する予測を行うために内部的にシミュレートを行うモデルである。従来のシステムの多くはユーザ自身がコマンドとシステムの挙動(システムモデル)を習得し、状況に応じて正しく操作することが要求される。一方、システム側がユーザに関するモデル(ユーザモデル)を持ちユーザの属性が正しく推定できれば、ユーザ

はごく自然に振舞うだけで簡単にシステムを利用することができる。ユーザモデルを構築することによって、ユーザの負荷を削減することができ、また、誰に対しても同様な単一の支援ではなくユーザに合った支援へ繋げることが可能となる。

### 3. 研究の方法

ユーザモデルと機能デザインアプローチによる元気高齢者向けコミュニティロボティクスの実現に向けて、(1)「心」：精神力維持のためのヒューマンセンタードロボティクス手法 (2)「身」：身体能力維持のためのヒューマンセンタードロボティクス手法センサネットワークによる身体動作データからの特徴キーワード獲得手法の実現、の2項目で研究を進めた。

#### (1)「心」：精神力維持のためのヒューマンセンタードロボティクス手法

①対話に基づく特徴キーワード獲得：図2の上の1-1)に、スマートフォンのバーチャルロボットとの対話で、ユーザが興味のもつ特徴キーワードを獲得する。1-2)で後述する行動ログからのデータを対話の活性化においても活用する。図2の右に、この特徴キーワード構築事例を示す。事例では、会話からの「クラシック」や行動からの「料理」を、興味あるプラス側の特徴キーワードとし、獲得する。  
②行動ログの認識と特徴キーワード獲得：図2の中間の1-2)に、行動ログからの特徴キーワード獲得事例を示す。センサからの加速度データを用いた行動ログの認識では、事例ベース推論を用いる。ユーザの行動からよく現れる事象として特徴キーワード獲得する。図2の事例では、「料理」が獲得される。

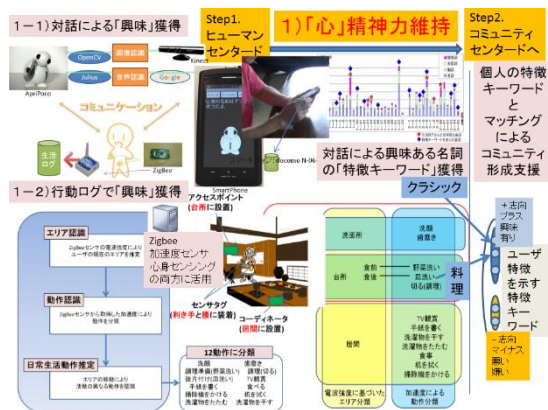


図2 対話と行動ログからの特徴キーワード獲得

#### (2)「身」身体動作認識と特徴キーワード獲得

図3に、身体動作認識による特徴キーワード獲得手法を示す。3D加速度センサのデータを、データマイニング手法を用いてクラスタリングし、ユーザモデルを作成する。図3の事例では、特徴キーワード構築として、右足が悪いとのマイナス志向の獲得例である。ユーザ

個々に合うサービス機能デザインが供給される。図では、悪い方の足側で、常に見守りしながら並走するサービスを実施する。悪い方の足を動かす場合は、見守りロボットは停止し安全を確保する。



図3 身体動作からの特徴キーワード獲得

### 4. 研究成果

車椅子型ロボットは介助サポートロボット(VECTOR製: Buddy)を用いた(図4左)。このロボットは車椅子としての基本機能である走行機能に加えて、ロボットの肩から腕にかけてユーザが手を掛けることができる手すりになっている。また座席の昇降が可能であるため手すりの高さを変えることが可能である。走行と座席の昇降はそれぞれのモータコントローラで駆動する。これらのモータコントローラにPCからシリアル通信で制御コマンドを送り、ロボットの制御を行う。

車椅子型ロボットで虚弱高齢者への支援を実現するために様々なセンサやデバイスを取り付けた。ロボットの顔には、表情の変化や発話などを行うためにタブレット(ASUS製: NEXUS7)を使用した。このロボットに追加したセンサは、ユーザ認識用にカメラセンサ(ASUS製: Xtion Pro Live)をロボットの座席の背もたれに一台、移動操作支援用に対象物や障害物を検知する測域センサ(北陽電機製: URG-04LX-UG01)を駆動部の後方に1台、歩行支援用にユーザの姿勢を解析するための上半身データと足首データを測定するためにロボットの座席の背もたれ中央と駆動部の前方に1台ずつ、そして歩行支援用にユーザの左右の手すりの握りを検知するためのタッチセンサ(Touchence製: Shokacpot)をロボットの輪形状の手すりに左右一つずつである。図4に示すように、これらのセンサやデバイスをPCで制御する。この車椅子型コミュニケーションロボットを用いて、心理的特性を考慮した移動操作支援システム、および身体的特性を考慮した歩行支援システムの開発を行った。

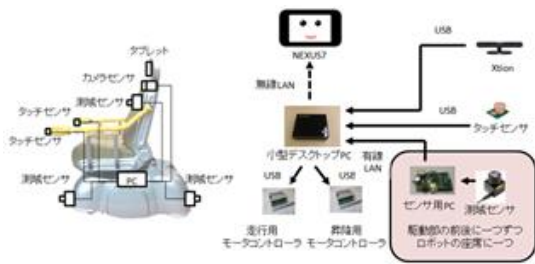


図 4 車椅子型コミュニケーションロボット

### (1) 心理的特性を考慮した移動操作支援

本研究において、ユーザの心理的特性はユーザが危険を感じて減速操作する位置を指標とした。ユーザの減速操作する位置を計測する方法として、バーチャルでの車椅子の運転から取得する手法を提案する。この手法であれば、リアルでの運転の前にユーザの運転傾向を取得し、移動操作支援をすることが可能である。そこで、この手法の有効性を検証するためにバーチャルでの運転とリアルでの運転にどのような関係性があるか実験を行い、いくつかのアンケートを実施した。バーチャルでの運転は電動車椅子を遠隔操作することにより実現した。リアルでの運転は最高速 6km で走行ができる VECTOR 製のシルバーカートを使用した。アンケートは操作における恐怖心と車の運転経験などに関するものである。実験では、20 代学生の熟練者 1 人と 20 代学生の初心者 6 人にバーチャルでの運転とリアルでの運転の両方において、車椅子の利用場面であるベッドに近づく移動を 3 回ずつ行ってもらった。移動において、電動車椅子の初速は人間の歩行速度である時速 4km に設定し、被験者の減速操作する位置は測域センサを用いて計測した。

移動操作において、計測値にばらつきがある人は危険な操作をする可能性が高いと考えられる。そこで、計測値の散布度を表す標準偏差を算出し、熟練者とその他の人の値の違いを比較した。被験者 A~E の標準偏差 (R) は、100~200mm に収まり、F, G が突出した値になっていた。そこで、熟練者と標準偏差の値が近い人と標準偏差の値が離れている人の共通点をアンケートから探してみたところ、前者は 5 人中 4 人が車の運転経験がある人で、後者は 2 人中 2 人が車の運転経験がない人であることがわかった。前者のうちの車の運転経験がない人については、スティック操作を必要とされるゲーム経験歴が 7 年であることがアンケートからわかり、車の運転経験がなくとも熟練者に近い標準偏差の値で操作することができたのではないかと考える。そこで、本研究では車の運転経験がある人は自身で安全な操作ができる、そして車の運転経験がない人は誤操作をする可能性が高いというモデル分けを行った。また、被験者 7 人の平均値 (R) に対する平均値 (V) の比率は 1~2.2 の中でばらつき、7 人中 5 人の値は 1.14~1.28 に収ま

ることがわかった。そこで、本研究では 5 人の値の平均値である 1.21 をバーチャルでの運転からリアルでの運転傾向を推測する計算値に用いる

本研究で提案する移動操作支援システムは、車の運転経験がない人である誤操作をする可能性が高い人向けに、事前にバーチャルでの運転からユーザの心理的特性を取得し、リアルでの運転において減速アシストを行う。まず、ユーザにはバーチャルでの運転を行ってもらい、バーチャルでの運転の減速位置 (Distance (V)) を測定する。そして、評価式により、Distance (V) からリアルでの運転時にユーザが危険を感じない快適な減速位置 (Distance (R)) を算出する。評価式を式 (1) に示す。式 (1) の数値 1.21 とは先の実験で得られた数値である。

$$Distance(R) = Distance(V) \times 1.21$$

算出された Distance (R) を用いて、リアルでの運転の減速アシストを行う。減速アシストにおいて、推測されるユーザの快適と感じる減速位置でユーザが減速操作をしていなければ、電動車椅子が自動で減速アシストを行う。また、衝突防止のために 300mm で緊急停止を行う。このため、ユーザが移動操作に不慣れな際、そして操作を誤った際でもユーザは危険を感じない快適な移動をすることが可能になる。

### (2) 身体的特性を考慮した歩行支援

高齢者が自立した生活を送るための前提条件として、日常生活の基本動作である歩行機能が重要だと考えられる。また、歩くことは肉体的・精神的な健康を保つ上で有用であることが指摘されている。歩行支援において、理学療法士は被介護者の手を引くことで、彼らの体重心を導きながら足の振り出しを促す。このように健康的な人の歩行時の体重心を再現することで、被介護者は積極的に足の筋力を使うことができる。歩行支援システムは、この理学療法士の支援知識を基に、ユーザの身長に応じて体重心を正しく導くことを目的に開発した。

歩行支援システムにおいて、ユーザが歩行支援を受ける際、彼らを支える車椅子型ロボットの手すりが適した高さになれば、正しく体重心を導くことができない。また、歩行能力に悪影響を及ぼす可能性がある。そこで、測域センサを用いてユーザの身長に対する手すりの高さを算出し、ユーザの身長に応じた手すりの高さに調節する。この支援において、身長に対する手すりの高さは人が肘を 30° 曲げたときの地面からの高さ (身長に対する 51.3~52.1%) を参考にした。

ユーザの身長に応じた手すりの高さに調整した後、ロボットは歩行支援を開始する。本研究で採用する歩行支援システムは踏み込み姿勢の解析から導出した評価式により、足が

上半身よりも前に踏み込んだ際に、ロボットが移動を開始し、次の足が踏み込まれないようなら移動を停止する。この評価式を以下の式(2)に示す。ロボットによる歩行支援のイメージを以下の図5に示す。

$$d_t = d_t^u - d_{xt}^f \quad (2)$$

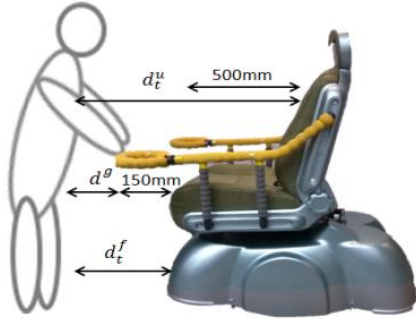


図5 ロボットによる歩行支援

$d_t^u$  は、時間  $t$  におけるロボットの座席の背もたれとユーザの上半身との間の最も短い距離である。 $d_{xt}^f$  は、時間  $t$  におけるロボットの移動ユニットとユーザの足との間の最も短い距離である。 $d_t$  が 400mm (座席の長さ-踏み込み歩幅: 500mm - 100mm) 以上になった時、ユーザが踏み込みを検知し、ロボットは後方に移動する。このように、ロボットはユーザの歩幅に合わせて移動をすることで、ユーザとロボットの距離が離れて、ユーザの姿勢が前のめりになることはなくなる。また、ユーザの足がロボットの左右に外れて踏み込まれたときは、踏み込まれた方向とは逆に旋回し、利用者を常に真後ろに捕らえるように動作をする。この条件は  $d_{xt}^f$  の  $y$  軸座標である  $d_{yt}^f$  によって決まる。 $d_{yt}^f$  が 200mm 以上ならば、ロボットは左に曲がり、 $d_{yt}^f$  が -200mm 以下ならば、ロボットは右に曲がる。そのため、ロボットは常にユーザを正面に向けることができる。

### (3) 評価実験

心理特性を考慮した移動操作支援システムの実験を、運転経験がある20代学生4人と運転経験がない20代学生3人に行い、5段階評価によるアンケートを実施した。実験では通常の移動操作、衝突防止機能付き移動操作、また支援システムを用いた移動操作を行ってもらった。支援システムを用いた移動操作における評価において被験者全員の評価の平均値は4以上という結果になり、また、運転経験ある人のみでは平均4.0点、運転経験のない人のみでは平均4.2点という結果になり、運転経験のない人の方が少しだけ高い評価を得ることができた。本実験において被験者が少ないという問題が挙げられ、運転経験のある人と運転経験のない人で評価にあまり差を得ることができなかったが、支援システムを用いた移動操作は他の移動操作に比べ高い評

価を得ることができ、有用性を確認することができた。

さらに身体特性を考慮した歩行支援システムについて、20代学生を対象に実験を行った。実験の様子を図6に示す。被験者には膝をついた姿勢と直立の姿勢により150cmと170cmの身長を実現してもらった。実験の結果、ロボットの高さは76cmと85cmになり、ユーザの身長に合わせた手すりの高さに調整することができた。また、ロボットは発話をしながら被験者の足の振り出しに合わせて移動を行うことができた。

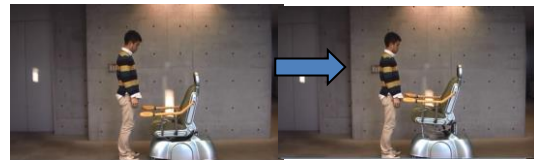


図6 歩行支援システムの実験

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Yoshinobu Akimoto, Eri Sato-Shimokawara, Yasunari Fujimoto, and Toru Yamaguchi, "Model-Based Simulation for Power Supply Leveling over a Wide Area by Electric Vehicles in Home Sector", Journal of Signal Processing, Vol. 18, No. 5, pp. 251-249, 2014 (査読有)
- ② Eri Sato-Shimokawara, Yoshinobu Akimono, Yasunari Fujimoto, Toru Yamaguchi, "Intelligent Table Robot to Assist People with Gait Disturbance by User-Motion Recognition with Sensor Network", Global Perspectives on Artificial Intelligence, Vol. 2, No. 2, 2013 (査読有)

[学会発表] (計 34 件)

- ① Yihsin Ho, Eri Sato-Shimokawara, Toru Yamaguchi, and Norio Tagawa, "A Health Care Robotic System Considering

- Individual Life Rhythm”, 2015 Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence (TAAI 2015), pp.195-199, 2015年11月20日-2015年11月22日, 台南(台湾)
- ② Eichi Tamura, Yoshihiro Yamashita, Yihsin Ho, Eri Sato-Shimokawara, Takao Nishitani, and Toru Yamaguchi, “Wearable Finger Motion Input Interface System with GMM Foreground Segmentation”, 2015 Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence, (TAAI 2015), pp. 213-220, 2015年11月20日-2015年11月22日, 台南(台湾)
- ③ Shota Mitsumura, Yoshinobu Akimoto, Eri Sato-Shimokawara, and Toru Yamaguchi, “Development of Remote Controllable Visiting Robot Considering Local Situation”, 25th 2014 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS 2014), pp. 206-208, 2014年11月9日-2014年11月12日, 名古屋大学(愛知県・名古屋市)
- ④ Yoshinobu Akimoto, Eri Sato-Shimokawara, Yasunari Fujimoto, and Toru Yamaguchi, “An Effectiveness of Model-Based Development with User Model in Consideration of Human”, The 21st International Conference on Neural Information Processing (ICONIP2014), pp. 587-594, 2014年11月3日-2014年11月6日, Sarawak(Malaysia)
- ⑤ Yoshinobu Akimoto, Eri Sato-Shimokawara, Yasunari Fujimoto and Toru Yamaguchi, “A Model-Based System Development of a Walking Support Wheelchair Robot”, 2014 14th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2014), pp. 613-618, 2014年9月22日-2014年9月25日, 京畿(韓国)
- ⑥ 【Invited】Toru Yamaguchi, “User Model based System Integration Toward from Human Sensing Big Data to Community Centric System Integration”, 2014 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), pp.15 2014年8月18日-2014年8月22日, 台北(台湾)
- ⑦ Yoshihiro Yamashita, Takao Nishitani, Toru Yamaguchi, Bunken Oh, “Software implementation approach for fingertip detection based on Color Multi-Layer GMM”, 2014 IEEE 18th International Symposium on Consumer Electronics (ISCE 2014), pp. 142-143, 2014年6月22日, 濟州島(韓国)
- ⑧ Yihsin Ho, Toru Yamaguchi, Yoshihiro Kawagishi, Eri sato-Shimokawara, Norio Takawa, “Construction of User Model for An Assistance System with Sensor Network”, The 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), pp.8257-8262, 2013年11月11日, Vienna (Austria)
- ⑨ Yoshinobu Akimoto, Eri sato-Shimokawara, Toru Yamaguchi, “Peak Shift Simulation with Persona by Electric Power Supply Leveling with Electric Vehicle”, The 3rd International Workshop on Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, SS2-1, 2013年10月18日-2013年10月21日, 上海(中国)
- ⑩ Tetsuya Kaneko, Kouhei Tanaka, Yihsin Ho, Yasunari Fujimoto, Toru Yamaguchi, “Attendant Robot for Elderly Service Using Sensor Network System”, The 2013 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2013), TF-005967, 2013年5月28日-2013年5月31日, 台北(台湾)
- ⑪ Yoshinobu Akimoto, Takuya Mizutome, Yihsin Ho, Toru Yamaguchi, “A Possibility of the Power Supply Leveling By Using Electric Vehicles As Storage Batteries”, The 2013 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2013), TF-008699 pp.244-249, 2013年5月28日-2013年5月31日, 台北(台湾)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山口 亨 (YAMAGUCHI, Toru)  
 首都大学東京・システムデザイン研究科・教授  
 研究者番号：40251079

### (2) 研究協力者

新田 收 (NITTA, Osamu)  
 首都大学東京・人間健康科学研究科・教授

山下 利之 (YAMASHITA, Toshiyuki)  
 首都大学東京・人文科学研究科・教授

下川原 英理 (SHIMOKAWARA, Eri)  
 首都大学東京・システムデザイン研究科・助教

藤本 泰成 (FUJIMOTO, Yasunari)  
 首都大学東京・システムデザイン研究科・特任研究員