

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 31 日現在

機関番号：37501
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22560399
 研究課題名（和文）プレゼンス（存在感）が感じられるテレコミュニケーションを可能にする
 信号処理の研究
 研究課題名（英文）Study of Signal Processing Technique for Presences sharing
 Tele-Communications
 研究代表者
 福島 学（日本文理大学 工学部 教授）
 研究者番号：40238473

研究成果の概要（和文）：本研究は、1）共同作業における「存在感（プレゼンス）」、2）計測技術、3）再構築、4）効果検証、を行った。その結果、1）主観評価実験から聴覚による立体感知が優位であること、空間知覚にインパルス応答狭帯域包絡線情報が有用であること、2）等価空間印象を与える計測、移動体の位置計測と微振動検出、3）空間印象再構築、環境変化に頑強な音像定位制御、4）プラグインツール開発、社会的評価、が得られた。

研究成果の概要（英文）：In this study, 1) Presence in co-operative work, 2) Measurement Technique, 3) Re-construct technique, 4) Confirmation, are done. As a result, 1) acoustic events are dominant in presence perception, envelope of narrow banded impulse response includes rich parameters for spatial recognition, 2) measurement technique and parameter estimation for same spatial impression, moving object time tracing technique and shallow vibration detecting technique, 3) spatial re-constriction technique, robust sound image localizing technique, 4) plug-in tool development, social evaluation, are cleared.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成 22 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
平成 23 年度	600,000	180,000	780,000
平成 24 年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：通信・ネットワーク工学

キーワード：信号処理

1. 研究開始当初の背景

近年推奨されている地域・産学官民連携や、従来から実施されている院内学級や離島教育において用いられる「遠隔会議・授業」において、生じる「疎外感」や「一体感の欠如」が「協働作業」を困難にしている。本研究は「テレコミュニケーションによる協働作業の本質」を見極め、重要視されているにもかかわらず十分な取り組みがなされていない相手の「プレゼンス（存在感）」を感じさせるテレコミュニケーション技法の確立を目

指すものである。

研究代表者は、「ISFN(Interactive Sound Field Network)の研究（研究開発）」（通信・放送機構研究助成、1998年7月～2003年3月）で「空間情報を含む双方向通信」に取り組み、電話で重要な「言語情報」以外の「音響情報」が「同じ空間を共有している感覚」に重要であることを発見している。このことは「教室音響に関する研究」（電気通信普及財団研究助成、1998年4月～1999年3月31日）において実空間の伝送特性に特徴がある

こと、「一般家庭の警備を目的とした音場把握システムの研究」(セコム財団研究助成, 2000年4月~2001年3月)においてその特徴が実空間と対応していることを通して検証している。さらに、「一体感のある合同学習を可能にする遠隔双方向教育システムのための音響系の開発」(科学研究費 基盤研究(B)(2) 14380084, 2002年4月~2005年3月)においてそれらが「一体感」を想起する要因であることを明らかにしている。しかし、「プレゼンス (存在感)」が一体感を感じるのに重要であることがわかっていても、具体的にそれを活用することで円滑に協働作業を行うための「テレコミュニケーションツール」にまでは至っていない。

また、研究代表者は2006年から(社)日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門主催の九州地区競技会である「ロボメカ・デザインコンペ」に実行委員として参画している。ここでは、ロボティクス・メカトロニクスに関して「製品」を意識したアイデアコンテストであり、工学系学生とデザイン系学生のコラボレーションによって競う競技である。この運営に際して、価値観の異なる分野の学生同士のコラボレーションをサポートする際に「学生のモチベーション」を維持するには「仲間意識の持てるコミュニケーション」が必要であり、電話やメールでのやりとりを重ねるよりも「対面でのミーティング」が重要であることを経験している。さらに、2000年から研究室単位で週1回程度の割合で他大学との合同ゼミを開催しているが、それぞれの研究室毎でのディスカッションが白熱する程、お互いに「疎外感」が増加することを経験している。特に「報告会」や「勉強会」のように「目的」が明確でモチベーションが高い場合は「参加者の努力」でミーティングが成立するものの、モチベーションが低下していたり双方に差がある場合に「疎外感」を感じたり「相手側でやっている」という意識が生じ、ミーティングが成立しきれない場合が多くなる。これは、日本文理大学と近隣大学の学生同士での協働作業においても同様の現象が生じている。1998年に実施した院内学級と小学校を通信回線で接続して開講された授業においても院内学級の児童が授業中に離席するといった現象で確認されている。

これまで「プレゼンス (存在感)」のような「感覚」形成に関しては技術的伝送基準として取り扱われることがなく「信号レベル」での伝送規約が重要視されており、「感覚形成」に対する工学的アプローチによる理論構築を行う試みは見られなかった。特に会議や授業のような「明確な目的」がある場面においては「モチベーションが維持できないのは参加者の怠慢」との見方が強く、同一空間で

の一体感のある協働作業に比べて効果が低下していることに対する「コミュニケーションツールとしての改善」には至っていない。

本研究では、「感覚」形成に踏み込んだコミュニケーションツールを構築することを目的とし、特に協働作業で重要な「プレゼンス (存在感)」という「感覚」を対象としている点がユニークである。これにより、遠隔地間でのスムーズな協働作業が行えるだけでなく、例えば登校拒否や引きこもり問題を緩和するためのツールや、法定伝染病による登校禁止期間対策用ツールとしての利活用も考えられ、関連分野にこれまでに無い市場を形成する可能性を有している。

2. 研究の目的

「プレゼンス (存在感)」とは動作に伴う音等によって「存在」を感じる感覚である。グループワークにおいて「一緒に作業している」という感覚は重要であるが、「相手の存在」を感じていることが「グループとしてのモチベーション」に関係している。本研究ではこの「プレゼンス (存在感)」を感じる遠隔コミュニケーションを「プレゼンスベース・テレコミュニケーション」と呼ぶ。プレゼンス (存在感)を感じる要因を計測し、その特徴量を抽出・符号化・伝送し、相手の空間で再構築する計測と信号処理の技術を確認することを目的とする。

3. 研究の方法

人が活動する際に生じる音や視界に入るといった「非言語情報」に着目し、その中の何が「プレゼンス (存在感)」を感じさせるのかを明らかにする。特に会議の場合に感じる「プレゼンス (存在感)」が「視界に入っていないかでも感じる」ことに注目し、まずは「音響信号」から解析を行い、最終的には「視覚情報」を含む「プレゼンス (存在感)」を感じさせる「物理的要因」を明らかにし、それを的確に「収録」する手法と、それを「再構築」し人に感じさせる手法を確認する。さらには「通信」で生じる「遅延」を考慮した「伝送」手法を確認する。これらをまとめることで「プレゼンスベース・テレコミュニケーション」ツールを開発し、年1回開催されるロボメカ・デザインコンペ(Manabu Fukushima(9th), et.al(12), "Future Dream!" Review of the 2007 Robotics-Mechatronics Design Competition", Journal of Robotics and Mechatronics Vol.21, No.2, 2009)の参加者を被験者としてその効果を検証する。これにより「プレゼンス (存在感)」が「テレワーク」における「協働意識」をサポートするための工学的基準を提示する。

4. 研究成果

本研究は、テレコミュニケーションでの利用が目標であるため、次の項目で成果を区分し整理する。

- 1) 共同作業における「存在感 (プレゼンス)」: 「存在を感じたい対象」として「対象物 (何を)」「対象空間 (どこで)」の調査。
- 2) 計測技術: 伝送対象を想起させる物理刺激を生成するために必要な現実事象の数値化。
- 3) 再構築: 伝送先で数値化した現実事象を構築する手法確立。
- 4) 効果計測: 実際の協働作業への研究成果を導入、および成果利活用ツール構築。

[共同作業における「存在感 (プレゼンス)」]

視覚刺激として 3D 映像, 2D 映像, 映像無し, 聴覚刺激としてバイノーラル音, モノラル音, 音無しの信号を用意し, それぞれを映像音「共に無し」以外の組み合わせで 8 種類の刺激信号を用意した。各刺激の名称の対応を表 1 に示す。

表 1 刺激の名称対応表

視覚刺激 \ 聴覚刺激	3D映像	2D映像	映像なし
	バイノーラル音	V3A2	V2A2
モノラル音	V3A1	V2A1	A1Only
音なし	V3Only	V2Only	—

それらを一対に組み合わせ, 64 通りの刺激対を作り, それを被験者にランダムに与え, どちらの刺激が「より周囲の人の存在感を感じるか」を「深く考えず, 直感で」判定させた。それを尺度化した結果と有意差検定結果を図 1 に示す。

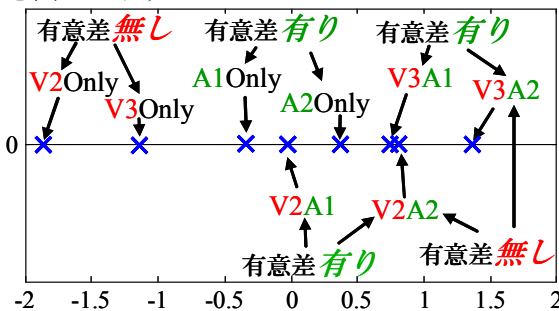


図 1 プロットした尺度値と有意差の有無

図 1 は映像は 3D と 2D で有意差は無いが, 音は有意差があることを示している。

これは, 視野角から生じる死角が「見えていない範囲からの情報」に対して聴覚で補完しているものと考えられる。立体感とは「相手の知覚」において重要な要素であり「存在感

(プレゼンス)」において対象(「何を)」を感じる重要な要素である。この結果から「存在感 (プレゼンス)」において「対象物 (何を)」を知覚するには聴覚情報が重要であることがわかった。

次に, この結果に基づいて「存在感 (プレゼンス)」の中でも「どこで」を感じる要因調査として和室や洋室のような室種類を知覚する要因調査を実施した。ここでは, インパルス応答の時間構造を搬送波と包絡線の積であると仮定し, また聴覚特性が特定帯域以上の周波数において包絡線を知覚していることに着目し, 室知覚と物理特性の対応を調査した。その結果, 図 2 に示すように室のインパルス応答の狭帯域包絡線情報が室種知覚に寄与していることが分かった。図 2 は数種類の和室および洋室のインパルス応答の狭帯域包絡線間相関係数が室種により分布が異なり, その分布と図中 A の記号として示している主観評価実験結果が対応していることを示している。

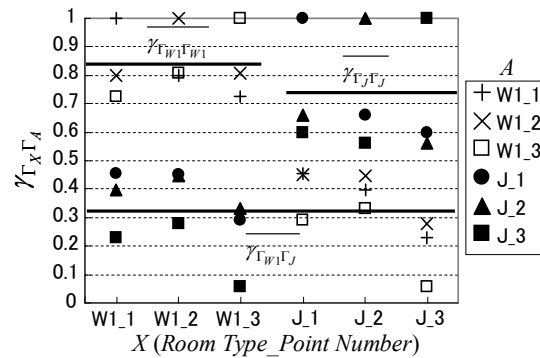


図 2 室種類による狭帯域包絡線間相関係数の違い (W: 洋室, J: 和室)

図 2 は, 室のインパルス応答のうち, 狭帯域包絡線情報が対象空間 (どこで) を知覚するのに寄与していることを示している。

[計測技術]

実音場に等価な空間印象に想起する信号を作成できれば正しく計測できていると判断出来ると考え, AIR と RIR の心理実験を行った。その結果, 図 3 となり, 計測が正しく行えているとともに再構築に必要な特徴量が明らかにできたと判断する。ここでは, 空間情報 (どこで) の中でも特に重要な「広さ」感の結果を示している。実音場のインパルス応答から作成した刺激で想起された空間印象を特徴量から生成したインパルス応答で再生できることは, テレコミュニケーションで課題となる「伝送量」に起因する「伝送遅延」を最小化するという意味で有用な計測技術であると判断する。

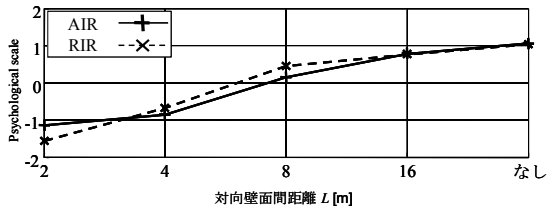


図3 対向壁面間距離の変化（パルス列の間隔の変化）と「広さ」の心理尺度値の対応（実線：AIR: Artificial Impulse Response, 破線：RIR: Real Impulse Response）

さらに一般に用いられる物理指標に対応する心理尺度値を調べ伝送遅延を最小化するために必要最小限の特徴量を調べたその結果、図4に示すとおり、変異点が明らかとなった。

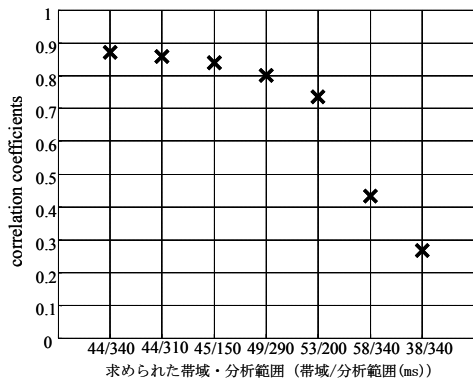


図4 物理指標と「広さ」感の心理尺度値の相関係数

対象物までの距離を計測する技術として波長が長く死角が少ない音響信号による計測を考えた。その結果、図5に示すように移動する対象物までの距離を計測することができ、その時間追従性が8mレンジで時速43 km/h（秒速12 m/s）まで可能であることを明らかとした。

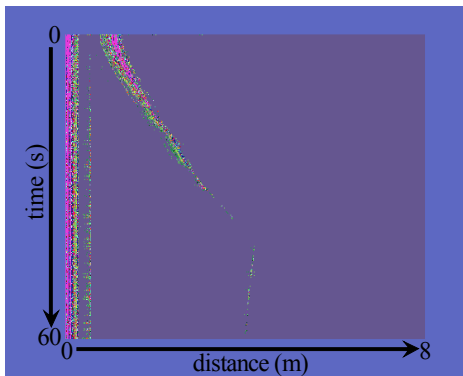


図5 移動する対象物までの距離検出結果例（8mレンジ）

さらに対象物の状況を計測する技術として、距離推定手法で得られる結果の位相情報

から対象物の微振動計測手法を考えた。その結果、発音しない程度の対象物微振動を検出および周期を計測出来ることを明らかとした。

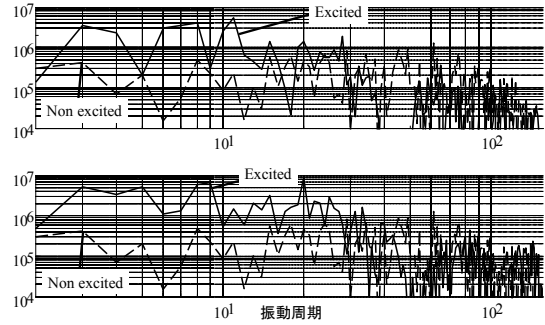


図6 微振動発生状況検出例

〔再構築〕

空間情報（どこで）を実音場のインパルス応答の特徴量から再構築すること、およびテレコミュニケーションにおける伝送量低減と即応性確保のため再構成したインパルス応答の加工を行った。図7に空間情報の中でも基本である「広さ」感について、インパルス応答初期部包絡線を変化させることで所望の音場の「広さ」を知覚する信号生成に成功したことを示している。図は横軸に制御時に想定した「広さ」感心理尺度を示しており、縦軸に主観評価実験結果から得られた「知覚された広さ」感心理尺度を示している。両者の相関係数 γ が0.86であることから、空間情報の基本である「広さ」感の再構築として考案した信号処理手法が適切であると判断している。他の空間印象の再構築に関しても「広さ」と同様にインパルス応答から抽出した特徴量に対して処理を施し、再生信号を生成するためのインパルス応答を作成することで心的印象が実音場と等しくなる信号処理が可能となっている。

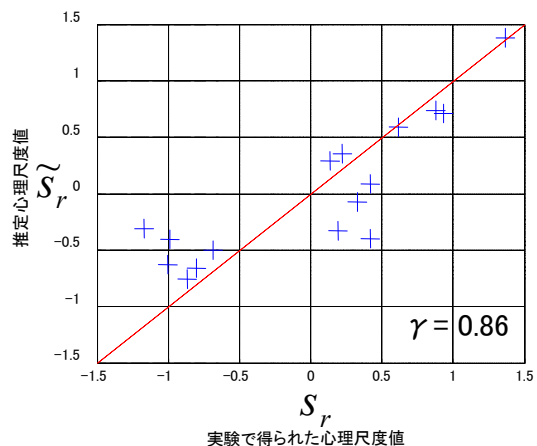


図7 聴取実験から得られた心理尺度値 s_r と推定心理尺度値 \tilde{s}_r の散布図

対象物（なにを）を再構築するには、一般的に利用可能な再生環境において、実空間に

ある音源と対応する音像を再構築しなければならぬ。ここでは、正中面に近接して配置した2ch音響再生装置において、チャンネル間遅延とチャンネル間振幅を調整する手法を用いて計測情報を再構築する手法を考えた。

図8に正面方向に配置した音響再生装置(図中△)からの音響信号放射により、被験者左90度に音像を制御した際の被験者が知覚した音像点(図中×)の分布図を示す。図8は分布が左90度方向に音像制御できていることを示している。

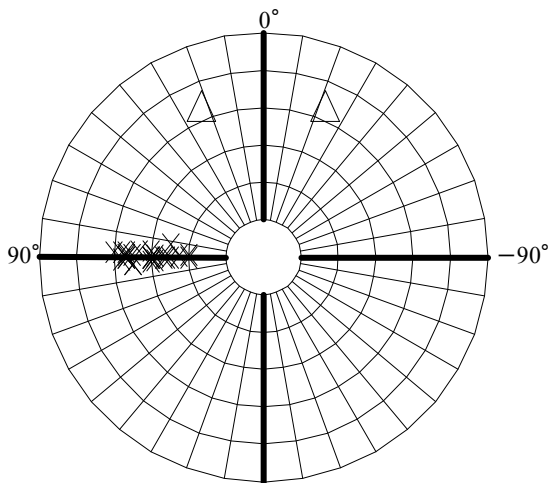


図8 正中面近接配置2ch音響再生装置(図中△)での音像制御(音像知覚点を×で表示)した例

【効果検証】

本研究は、「感覚」形成に踏み込んだコミュニケーションツールを構築することを目的とし、特に協働作業で重要な「プレゼンス(存在感)」という「感覚」を対象としている。このため、価値観の異なるグループで見受けられる「一緒に作業している『相手』の存在感(プレゼンス)」を伝送することで、スムーズなコミュニケーションを可能とすることが目的である。

そこで、本研究で得られた成果を価値観の異なるグループ作業に導入することで、本当に研究成果が効果的であるかを検証する。

ここでは、(社)日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門主催の九州地区競技会である「ロボメカ・デザインコンペ」を実施対象とした。このコンペはロボティクス・メカトロニクスに関して「製品」を意識したアイデアコンテストであり、工学系学生とデザイン系学生のコラボレーションによって競う競技である。このため、参加学生は大きくわけて、芸術系の価値観を持つ学生と、工学系の価値観を持つ学生、の2つに類別される。さらに工学系はメカニクス、エレクトロニクス、インフォマティクス、に価値観を持つ学生がおり、中にはビジネス的価値観

を持つ学生が居る。さらに、応募時期が後期期間中であり、長期休業期間と異なり「互いのライフサイクルにずれ」が生じ、いやおうなしにテレコミュニケーションを必要とする状況である。

被験者となる参加学生は、過去5カ年の前年度重複率(経験者の比率)が本年度もほぼ同じであり、参加学生数もほぼ同数であった。また、学生の活動開始時のモチベーションもほぼ連年同様であった。

取り組みの結果、過去5カ年の取り組みにおいて第一次審査を通過することが出来なかったものが図7に示す「優秀作品賞」を受賞するに至った。

さらに、そこでの活動で生まれたアイデアから2つのビジネスコンテストに応募するに至り、そちらも図8に示す「奨励賞」を受賞するに至った。これらは、協働作業において「一緒に作業している仲間」を感じることで生まれた「仲間意識」に起因するものと参加者が評価している。

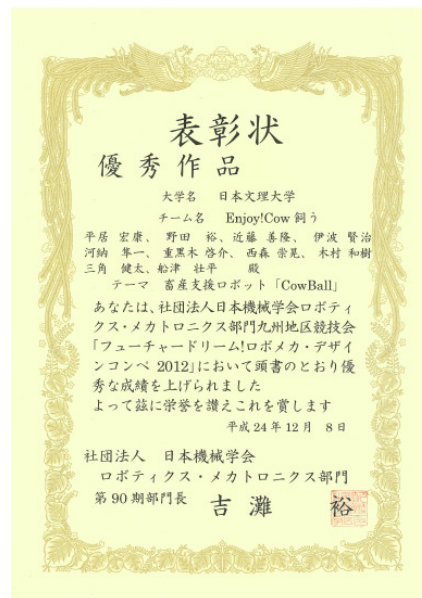


図7 ロボメカ・デザインコンペ2012 優秀作品賞



図8 おおいた学生起業家コンテスト奨励賞

受賞は着眼点および学生により変化するものであり、それだけで成果評価は出来ないが、参加学生の活動状況を、研究開始時の活動状況と比較して、行動の中で「そこに居ない仲間」の存在を「意識」していると思われる行動が散見されていることから、本研究成果が有用であると判断している。

5. 主な発表論文等

〔国際会議〕(計1件中1件)

1.1 "The steady talker characteristics represented by the NARROW Banded Speech voice Energy Changes (NA-SEC) for talker identification", Keita Sugio, Yoshitaka Kondo, Kouji Yoshikawa, Yumi Sasaki, Manabu Fukushima, Michiko Kazama, Mitsuo Matsumoto, Hirofumi Yanagawa, Kyushu-Youngnam Joint Conference on Acoustics 2011, 204, 2011

〔大学紀要等〕(合計9件中3件)

2.1 "プレゼンス(存在感)が感じられるテレコミュニケーションのための信号処理手法開発における主観評価検証実験状況計測装置の精度に関する研究", 近藤善隆, 河納隼一, 重黒木啓介, 平居宏康, 福島学, 黒岩和治, 日本文理大学紀要, 第41巻, 第1号, pp44-51, 2013

2.2 "プレゼンス(存在感)が感じられるテレコミュニケーションに必要な現実事象計測手法", 福島学, 黒岩和治, 近藤善隆, 安鍾賢, 重黒木啓介, 平居宏康, 日本文理大学紀要, 第40巻, 第2号, pp. 26-36, 2012

2.3 "ロボメカ・デザインコンペを通じたプロジェクト型教育の実践例", 福島学, 足立元, 坪倉篤志, 濱田大助, 吉森聖貴, 黒岩和治, 吉川浩司, 井下貴朝, 日本文理大学紀要, 第39巻, 第1号, pp28-37, 2011

〔学会発表〕(合計27件中3件)

3.1 "インパルス応答を用いた距離推定における推定精度の検討", 近藤善隆, 河納隼一, 稲毛貴幸, 福島学, 松本光雄, 中山雅人, 中迫昇, 柳川博文, 日本音響学会 2013 年春季研究発表会講演論文集, 1-P-36, 2013

3.2 "主観評価実験における被験者の状況把握に関する研究", 近藤善隆, 河納隼一, 重黒木啓介, 平居宏康, 福島学, 松本光雄, 柳川博文, 黒岩和晴, 電子情報通信学会応用音響研究会, EA2012-108, pp. 159-164, 2012

3.3 "プロジェクト型教育における価値観の異なる学習者同士の協働に関する一検討", 井下貴朝, 西丸翔, 近藤善隆, 豊永和基, 吉川浩司, 坪倉篤志, 足立元, 福島学, 教育システム情報学会学生研究発表会, pp280-281, 2011

〔コンペ等〕(合計5件中5件)

4.1 "ICT で叶える「安心できる畜産業・安全で楽しい食生活」を両立する「生産者から消費者」連携育成ビジネス", 平居宏康, 野田裕, 近藤善隆, 伊波賢治, 河納隼一, 重黒木啓介, 三角健太, 船津壮平, おおいた学生起業家コンテスト, 2013 (奨励賞受賞)

4.2 "CowBall", 平居宏康, 野田裕, 近藤善隆, 河納隼一, 西森崇晃, 木村和樹, 伊波賢治, 重黒木啓介, 船津壮平, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門, フューチャードリーム!ロボメカ・デザインコンペ 2012, 2012 (優秀作品賞受賞・一般公開展示)

4.3 "ICT でかなえる「安心できる畜産業」と「安全で楽しい食生活」を両立する「生産者から消費者」連携育成ビジネス", 平居宏康, 野田裕, 近藤善隆, 伊波賢治, 河納隼一, 重黒木啓介, 三角健太, 船津壮平, 九州ニュービジネス協議会, 第12回大学発ベンチャー・ビジネスプランコンテスト, 2012 (一次審査通過)

4.4 "地域活性化ロボット「N2」", 財前亮太, 近藤善隆, 安鍾賢, 熊谷辰彦, 西森崇晃, 重黒木啓介, 平居宏康, 伊波賢治, 利光翔, 武中大幸, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門, フューチャードリーム!ロボメカ・デザインコンペ 2011, 2011 (一般公開展示)

4.5 "地域連携型サポートロボット「メッシュ」", 井下貴朝, 泉陽亮, 吉川浩司, 宮崎満, 杉尾啓多, 伊田匠, 近藤善隆, 西丸翔, 豊永和基, 西森崇晃, 利光翔, 武中大幸, 重黒木啓介, 伊田司, 梶原雄太, 園田将之, 福永雄亮, 熊谷辰彦, 財前亮太, 折式田菜卯, 葉山志穂, 前里阿衣里, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門, フューチャードリーム!ロボメカ・デザインコンペ 2010, 2010 (一般公開展示)

〔受賞〕(合計1件中1件)

5.1 "日本機械学会教育賞", 青木幹太, 池内秀隆, 池田毅, 今戸啓二, 岩村誠人, 牛見宣博, 木野仁, 木室義彦, 清田高德, 相良慎一, 榊泰輔, 白石元, 林喜章, 平野剛, 福島学, 森園哲也, 諸麦俊司, 日本機械学会, 2013 年 4 月 19 日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福島学 (FUKUSHIMA MANABU)

日本文理大学・工学部・情報メディア学科・教授

研究者番号: 40238473