社会実験データベースによる 避難支援ロボットの社会受容性の評価手法

浅野 滋* 和田 将典* 佐藤 知正* 保坂 寛*

Evaluation Method of Refugee Assistance Robots by the Data Accumulated in Social Experiments

Shigeru Asano*, Masanori Wada*, Tomomasa Sato* and Hiroshi Hosaka*

This paper studies evaluation method of newly developed Refugee Assistance Robots such as Walk Assistance Robot through social experiments. It is getting important to develop new technology thorough social experiments which are called co-creative social experiments. However there is no standard process or evaluation method regarding co-creative social experiments. In this paper, the data accumulated in social experiments are analyzed to judge the social acceptability of products.

Key Words: Social Experiment, Refugee Assistance Robot, Database

1. 序 論

近年ロボット技術の開発が大きく進展し、サービスロボットが商品化されるなど、社会導入の動きが加速している。また東日本大震災以後、避難者の生活支援が喫緊の課題となり、被災者支援ロボットの事業化が急がれている。ロボットの開発期間を短くするには技術開発と社会受容性評価、すなわち社会実験を同時に行うことが有効であり、社会共創の開発手法とよばれる [1]。しかし本手法の具体的な手順は定式化されていない。そこで本研究では、具体的手順の例示を目的に、福島県の補助金事業である「災害対応避難者アシストロボットおよびその要素技術の改良と産業化、産業集積化事業」（以下、本事業）を対象に、六つの開発テーマを三つの社会受容性評価手法により比較評価する。その結果により、社会実験データベースによる社会受容性評価法と、開発の進捗度評価法を提案する。なお、本論文における社会受容性とは、製品の普及見込みを指す。ニーズ、シーズに加え、法制度、利害対立、生活習慣の地域差などの要因を含む評価指標である。

2. 事業の概要

2.1 本事業の概要

復興庁によると、福島県における震災関連死の精神的・肉体的疲労による死亡原因として、「避難所等への移動中」が約 3 割、

Fig. 1 Six groups of the project

「避難所等における生活」が約 3 割であり、「発災直後からの避難（移動）や避難生活の事情がもとで、徐々に衰弱した事例がほとんどである」とされている [2]。これを解決するため、福島県南相馬市において、本事業が実施された。本事業では Fig. 1 に示す 6 種のロボットが開発された [3]。社会実験は、2014 年 11 月 28 日、2015 年 2 月 7 日、2016 年 1 月 9 日に、現地の避難所等で防災訓練を模して 3 回実施され、1 回めは既存の開発途上品の課題抽出、2 回めは改良品の評価、3 回めは商用化の判断が行われた。本事業という社会実験とは、第三者の実利用による新技術の社会受容性の評価であり、1) 商用化、2) 改良、3) 中止の三つのいずれかの判断を行うものである。

2.2 六つの開発テーマ

歩行支援ロボット [4] は座りながら歩くというコンセプトに基づき、独力で足を使った移動を前提とし、杖よりも体重による加重の免荷が大きく、推進力を補助できるロボットである。

テレプレゼンスロボット（以下 TPR）[5] [6] は避難者とその

原稿受付 2016 年 1 月 28 日

*東京大学

*The University of Tokyo

■ 本論文は提案性（実証実験分野）で評価されました。

支援者を結ぶテレビ会議ロボットであり、プラットフォームとして幅広く利用できる汎用性と、個別のニーズに対処できるカスタマイズ性を、両立させることを目指して開発された。

災害情報システムは、現地住民などの目視によって実際の被害情報を収集し、市役所等が確認したうえで住民が災害状況を共有するシステムである。スマートフォンにより写真や GPS 位置情報を住民から市役所に送信し、リアルタイムに住民へ情報提供することで迅速な避難を可能にする。

被災度判定計は、建物基礎に加速度センサを 1 個設置し、日常的に起こる小さな地震波を入力データとする。その入力地震波を用いた弾塑性応答解析により、地震最大応答変位（層間変位）を算出することで、得られた層間変位と建物被害の相関関係より被災度判定を行う装置である。

健康提案システムは避難者の職歴・スキルや、障害がある場合にはその情報を入力することで、過去の有効であった健康支援サービス事例や地域サービスを検索し、健康支援や高度社会参加に結び付く生活アドバイスと、そのために地域で利用可能な支援サービスを提示する技術である。

仮想同居システム [7] は人の動きを感知するセンサと自由に割り当て可能な赤青緑の 3 色のボタンとを持った通信装置である。各家庭でボタンが光ったときの意味を家族同士であらかじめ決

めておくことで簡単なコミュニケーションがとれる。自由にボタン割り当てを行うことで、遠隔モニタリングと緩いコミュニケーションを実現する。

2.3 事業のプロセス

本事業は短期間に開発と社会実験を繰り返す、不確定要素の多い災害対応技術の社会導入であった。そこで進捗把握は、通常のプロジェクトマネジメントに用いられるガントチャートではなく、課題が発生するごとに要求を定義するアジャイル開発の手法をとった。開発メンバーが全体像を理解するため、動的なプロセスを表現するシステムモデリング言語 SysML [8] を用いて要求事項を図式化した。また週報をもとに要求事項の解決状況を PDS サイクル [9] [10] で記述した。Fig. 2 は SysML で記述した要求図の一部である。例えば歩行支援ロボットは買い物支援、トイレ移乗、アクティブキャスタの三つのグループに分かれ、それぞれ、開発要求が横に続いている。

2.4 本事業の社会実験と評価の結論

前述のとおり南相馬市で 3 回の社会実験を行い成果の分析と評価を実施した。歩行支援ロボット、被災度判定計、健康提案システムは社会受容性があると判断され商用化へ前進し、TPR、仮想同居システムおよび災害情報システムは災害用途での開発中止とした。

Fig. 2 Requirement diagram of our project

3. 社会受容性の評価手法

3.1 評価の必要性と従来手法

社会実験の評価は通常、補助金事業であれば成果報告書により行われる。しかし当初目標に対する達成度のみが客観的に評価され、社会導入に必要なプロセスや、商品化の判断は実施者の自己申告に頼っている。一般に第三者の社会実験に対しては、データの収集も推論も難しい。特に事業化に至らないケースの真の情報は収集が難しい。そこで、報告書等から収集可能な客観的データを用いて、事業の社会導入の可否を客観的に判断する方法が必要となる。社会受容性およびプロジェクト評価の研究としては、ロボット実証実験、道路行政マネジメント、アジャイル開発の品質評価等がある [11]～[15]。共通分類を用意し分類ごとに評価を行えば客観性のある評価結果が得られること、経費支出が分類の一つとなることが示されている。また稗方ら [16] は、新技術の社会実験について、特定地域での実験成果を他地域展開するための提言数が評価指標になるとしている。本開発事業は、被災者支援という緊急課題を扱い、技術開発と利用評価を同時に行うため、社会実験が主たる課題である。そこで、稗方らの社会実験データベースに共通分類を導入する方法、経費支出の分析、その派生である工数分析の3方法を試みる。

3.2 経費支出・工数による分析手法

本手法は、経費支出または工数から事業の進捗を推定するものである。確立した技術の製品化では、精密なガントチャートが存在し、進捗把握は容易である。しかし未確立技術では、先述のように、ガントチャートが作成できないので収集可能なデータから進捗を推定する必要がある。公的資金による補助事業では、経費支出書と業務日誌の定期的な提出を求められることが多い。これらから、経費と工数（人数×時間）の目的と経過が分かり、要素技術開発と社会実験の資源配分比から技術の完成度が推定できると考えた。

3.3 社会実験データベースによる評価手法

本手法は、他地域展開の提言数から事業の進捗を推定するものである。一般に公的資金による社会実験では、当該地域の成果の他地域への展開可能性を報告事項とすることが多い。これに着目して、他地域展開の提言を短文で表し、提言が生じた課題に応じてフェーズ（段階）、種別、原因の三つのタグを付け、蓄積したタグから社会受容性を判断する。フェーズは「準備段階、実施段階、検証段階、実装段階」であり、種別は「技術、運営、参加者、検証、制度」である。また、課題の発生原因は「国・自治体等の制度上の課題、ステークホルダー間の利害調整上の課題、普及等にあたっての効果／課題、社会実験の技術的な課題、グループ間の連携、地域・気候・生活習慣の制約」である。これらのリストから、各1個の項目を選択する。本研究では、社会実験後にタグの選択枝のついた報告様式を開発者に渡し、提言文を集めた。

フェーズについて詳細に説明する。準備段階は社会実験の準備だけでなく、全体の開発計画やコンセプトを立て、開発品の試作を行う段階である。補助金事業では提案書の作成や、予備的な開発も含む。実施段階は社会実験を行う段階、検証段階は社会実験結果を分析し事業化判断を行う段階、実装段階は商品

開発の段階である。この分類は、本研究が社会受容性評価を目的とすることから、社会実験以後を細分化していることに特徴がある。

種別について詳細に説明する。技術はハードウェアソフトウェアを問わず技術開発に関する事項を示す。運営は全体管理や契約・法務・経理など所謂管理業務である。参加者は参加者集めのための広報や住民組織、自治体との交渉などである。検証は社会実験や開発内容の検証、制度は法規制や倫理規定への対応である。

原因は、間接的な理由、遠因となったものを含む。「種別」にも「原因」にも「制度」に関するものがあるが、制度による社会実験への制約のうち、製品そのものに対する制約を「種別」とし、それ以外を「原因」とする。例えば、歩行支援機において、道路交通法の規制を受けるので警察に届け出を行うという提言は、種別として制度に分類される。補助金の助成期間が秋から冬の間のため屋外実験に防寒対策が必要という提言は、種別は運営であり、原因は制度である。

これらのフェーズや種別・原因ごとの提言件数を分析することで当該新技術の社会受容性を判断する。

4. 本事業の社会受容性の評価

本章では本事業の社会受容性の評価を前章で述べた三つの手法で試みた結果を示す。

4.1 経費支出による評価

Fig. 3 は本事業について、費目ごとの支出を時系列に示したものである。本事業の2年めはデータが未公表のため、Fig. 3 は1年めのみを表す。一時期の集中支出や過剰な支出など、明らかな不適切処理の有無は判断できるが、事業が的確に進捗したかは判別できない。これは、経費報告に「フェーズ」、「種別」、「原因」のタグがないため、社会実験の実施規模や技術開発の完成度が判断できないためである。原理的には開発者にタグ付けを義務づけることも可能である。もし提言と同様の分類でタグ付けを行えば、月ごとのリアルタイムでの進捗管理が行える可能性がある。ただし、事務作業が煩雑化するため正しくタグ付けされる保証はなく、現状では第三者が支出から社会受容性を判断することは難しい。

4.2 工数による評価

Fig. 4 は、業務日誌に示される工数を、フェーズと種別ごと

Fig. 3 Budget analysis

Fig. 4 Man-hour analysis

に時系列で示したものである。分類項目は、作業内容の記述から推定した。このデータも1年めのみのデータである。第1回社会実験の前に準備のピークがあり、その後に検証のピークがあり、社会実験については適切な作業が行われたことが分かる。本事業では存在しないが、明らかに不適切な作業があればその抽出も可能である。

しかし、事業自体の進捗と商品化の判断はできない。これは、掛けた時間と成果が比例しないためである。また、提出義務のある業務日誌には、「試作機の耐久性評価」のような簡単な記述しかないので、フェーズと種別の分類は不正確であり、また原因の分類は不可能なためである。

4.3 社会実験データベースによる評価

本事業全体で、145個の提言を収集できた。歩行支援ロボットに関連する4件の提言例を「提言、フェーズ、種別、原因」のリストにより示す。道交法により走行速度の上限が規制されるので、管轄警察に事前に届け出を行っておく、準備、制度、制度、補助金の助成期間が秋から冬までのため、屋外実験に防寒対策が必要だった、準備、運営、制度、社会実験は全グループ共同実施のため、SysML要求図により他グループの課題を理解しておくべき、準備、運営、連携、高齢者に紙のアンケートを行ったところ文字が読めないとの苦情があった。ヒアリングが望ましい、実施、参加者、社会実験

まず、本事業と他事業の提言のフェーズ分布を比較した。Fig. 5は先行研究[16]で事例として取り上げられている「明るい低炭素社会の実現に向けた都市変革プログラム」[17]（以下、低炭素）と本事業との提言のフェーズの分布を示したものである。低炭素は準備と実装が多く提言が広範に分布し、本事業は中期段階に固まる。これは低炭素が基礎研究から即実装のテーマまで含む長期事業であるのに対し、本事業は短期の既存技術改良のみだからである。他地域展開の提言数が、事業の目的と特性を反映することが確認できた。

本事業における個別テーマごとのフェーズ分布をFig. 6に示す。歩行支援機（WAR）は、実施段階に多くの提言が集まった。これは、歩行支援機は3回の全体社会実験に加え、そのほかにも2回の社会実験を行ったためである。一方仮想同居（VTLS）では、準備段階の提言が多数を占めている。これは、仮想同居は開発の進捗が遅く、開発品の社会実験に至らなかったためである。ただし、仮想同居においては、社会実験を実施していな

Fig. 5 Comparison of “Prj. LowCarbon” and “Prj. Minami-souma”

Fig. 6 Proposals sorted by phases

Fig. 7 Proposals sorted by detailed phases

いにもかかわらず、実施段階、検証段階の提言が存在する。これは、他の実験に協力した、個人としての提言でありテーマへの提言ではない。このような提言が存在すると、事業化判断を誤るため、補正する必要がある。仮想同居は準備段階が突出して多く、そもそも分布が異常である。このような分布の異常がある場合には、提言の中身を読み、グラフを補正する必要がある。補正により、仮想同居の「検証」は0となる。

TPR、健康提案システム（LPS）、災害情報システム（DIS）は2回の社会実験を行い、「実施段階」の比率は歩行支援の次に多く、被災度（DES）は1回の社会実験を行い、それらの次に多い。以上から、提言数の分布は、社会実験の進捗の目安となる。

Fig. 7はフェーズをより細かく分けた改良フェーズで分布を取ったものである。稗方の手法は社会実験だけでなく、商品化の実装段階までを含めているが、本研究は社会実験に主眼を置いた。そこで「準備」と「実施」を「コンセプト、試作、性能評価、現地選択調査、詳細計画策定、改良製作、現地実験」に細分化した。被災度判定計と健康提案は、検証に多くの提言が集まっている。これは、技術の完成が早く、ニーズも強かったため、商品化判断まで行ったためである。すなわち、検証の提言数により、商品化の可能性が推定できる。ただし、歩行支援機は商品化されたにもかかわらず検証の比率が低い。これは、社会実験の回数が多く、現地選択調査と現地実験の提言が増えたためである。これらは毎回の実験で提言されたのに対し、検証は最終回のみが報告されたためである。検証比率による判断では、社会実験の回数を考慮する必要がある。

Fig. 8 Proposals sorted by categories

Fig. 9 Proposals sorted by causes

Fig. 8 は種別で提言を分類したものである。TPR は技術と参加者集めに多くの提言がある。これは、技術的な完成度が低いうえに、参加者集めに注力をしなければ被験者が集まらなかったためである。すなわち、技術、需要ともに商品化段階にないことが読み取れる。歩行支援機、健康提案、被災度判定計は、制度の提言が存在する。これらでは社会実験により技術とニーズが検証されたため、普及に必要な制度や法律まで検討したためである。すなわち、制度（種別）の提言数も商品化の可能性を示している。

Fig. 9 は課題の発生原因で提言を分類したものである。歩行支援機、健康提案、被災度判定計は、制度（原因）、ステークホルダー、普及の3課題が顕著に多い。これらは商品化を意識して初めて検討するため、これらの提言数も商品化判断の目安になると言える。

4.4 社会実験データベースによる社会受容性評価の一般化

以上の検討結果をもとに、他地域展開の提言データベースを、ステージゲート法[18]に適用する一般的な方法を示す。ステージゲート法は、プロジェクトを複数のステージ（フェーズに相当）に分け、それぞれのステージの最後にゲートとよばれる評価を行い、1) 次のステージへ進める、2) もう一度同じステージを繰り返す、3) プロジェクトの中止という判断を行うことで、進捗を管理する手法である。提言データは開発から社会実験までのサイクルを終了し、検証を行った時点でのみ作成可能である。このため日々の作業管理には適用できないが、ステージゲートには適用可能である。

社会実験データベースによるステージゲートは、Fig. 10 のようになる。本事業では既存技術を流用したため、社会実験のみを対象に分析したが、一般の開発では研究段階も含むため、これを先頭に追加している。

他地域展開のための提言を研究開発、準備、実施、検証に分け、それらの提言数を求め、適切な補正をかけたうえで、すべてのフェーズの提言が存在すれば、社会実験まで正しく実行されたと判断する。商品化の目安は以下である。1) 制度（種別）の提言が存在する 2) 制度（原因）、ステークホルダー、普及の提言が顕著に多い。

Fig. 10 Stage gate application of social experiment database analysis

5. 結 論

共創的社会実験手法の定式化を目的に、避難支援ロボットの六つの開発テーマを対象に、社会受容性を評価した。評価結果を実際の進捗および事業化状況と比較し、他地域展開のための提言数の分布により、事業の進捗度と課題、成果の商品化の可能性、ステージゲート法における中止/継続の判断の目安が得られることを示した。また経費支出と工数は、現状ではフェーズ、種別、原因と紐づけされていないため、進捗や商品化判断は難しいことが分かった。

社会実験データベースは、現在は、少数の事例で商品化判断などが行えることを示した段階である。最終目的の標準プロセスの構築には、様々な社会実験プロジェクトにおいてデータを収集する必要がある。また、成功事例の共通点を見出すことで、効率的な社会実験手法を標準化できると考えられる。

参 考 文 献

- [1] 日本学術会議機械工学委員会ロボット学科会「ロボット活用による社会課題解決とそれを支える先端研究の一体的推進方策」第22期提言, pp.6-8, 2014.
- [2] 復興庁: 東日本大震災における震災関連死に関する報告, p.1, 2012.
- [3] 佐藤知正, 浅野滋, ほか: “南相馬における避難アシストロボット及び、避難生活アシストロボットの研究開発”, 第33回日本ロボット学会学術講演会予稿集 DVD-ROM, 2M1-01, 2015.
- [4] 和田正義: “アクティブキャストとこれを応用した避難アシストロボット（移動アシスト歩行器）の開発”, 第33回日本ロボット学会学術講演会予稿集 DVD-ROM, M1-04, 2015.
- [5] 山口亨, ほか: “被災時と日常の防災を目的としたソーシャルロボットシステム”, 第33回日本ロボット学会学術講演会予稿集 DVD-ROM, 2M1-05, 2015.
- [6] 武田隆宏, ほか: “すれちがい通信による避難所生活における秘匿情報伝達システムの提案”, 第33回日本ロボット学会学術講演会予稿集 DVD-ROM, 2M1-06, 2015.
- [7] 森下広, ほか: “仮想同居システム～その概念と実装～”, 第33回日本ロボット学会学術講演会予稿集 DVD-ROM, 2M2-05, 2015.
- [8] Friedenthal: “A practical guide to SysML: the systems modeling language,” Morgan Kaufmann, pp.31-46, 2014.
- [9] A. Brown: Organization of Industry. Prentice Hall, pp.215-220, 1947.
- [10] 浅野滋, ほか: “SysMLによるロードマップに基づいたPDSサイクル分析による新技術の社会実装プロジェクトマネジメント”, 第33回日本ロボット学会学術講演会予稿集 DVD-ROM, 2M2-07, 2015.
- [11] 吉村香織: “ナショナルプロジェクトにおけるステージゲート法適用に関する考察”, 研究・技術計画学会年次学術大会講演, vol.24,

pp.630–633, 2009.

- [12] 大西博文：成果志向の道路行政を支援するマネジメント技術研究，国土交通省国土技術政策総合研究所講演資料，2004.
- [13] 佐野浩二，ほか：「研究開発プロジェクトにおける追跡調査・評価手法の開発」，プロジェクトマネジメント学会誌，vol.7, no.4, pp.26–31, 2005.
- [14] 足立直：「アジャイル開発における品質管理の取り組みと評価」，プロジェクトマネジメント学会誌，vol.13, no.2, pp.24–29, 2011.
- [15] 山戸昭三，ほか：「プロジェクトの定量的評価モデルの提案と適用事例」，Journal of Project Management，vol.12, no.4, pp.19–26, 2010.
- [16] 稗方和夫，ほか：社会実験事例データベース構築による知識蓄積，人工知能学会第2種研究会，2014.
- [17] 科学技術振興機構：気候変動に対応した新たな社会の創出に向けた社会システムの改革，明るい低炭素社会の実現に向けた都市変革プログラム最終報告書，2015.
- [18] 山口泰久：「START プロジェクトにおけるステージゲート方式によるプロジェクトの選択・管理について」，研究・技術計画学会 年次学術大会講演要旨集，vol.28, pp.58–61, 2013.

浅野 滋 (Shigeru Asano)

東京大学新領域創成科学研究科大学院修士課程在学中。ロボットを含めた新技術の社会実装のプロセスに興味を持ち，ロボットの社会導入に関する研究を行っている。（日本ロボット学会学生会員）

和田将典 (Masanori Wada)

東京大学工学部精密機械工学科卒業。東京大学新領域創成科学研究科環境学専攻博士課程修了。博士（環境学）。東京大学フューチャーセンター推進機構特任研究員。災害対応ロボット，コミュニティ創成の研究を行っている。（日本ロボット学会正会員）

佐藤知正 (Tomomasa Sato)

1973年東京大学産業機械工学科卒業。1976年同博士課程修了。電子技術総合研究所，東京大学先端科学技術研究センター，東京大学大学院工学系研究科を経て，現在同大学フューチャーセンター推進機構に所属。東京大学名誉教授。知的遠隔操縦ロボット，環境型ロボット，地域ロボットなど，知能ロボットの研究に従事。IEEE 会員。（日本ロボット学会正会員）

保坂 寛 (Hiroshi Hosaka)

1979年東京大学精密機械工学科卒業。1981年同修士課程修了。日本電信電話，東京大学工学系研究科を経て，現在同大学新領域創成科学研究科教授，フューチャーセンター推進機構長。機械振動，メカトロニクスの研究に従事。精密工学会，日本機械学会会員。（日本ロボット学会正会員）