

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 23 日現在

機関番号：13102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25560074

研究課題名(和文) 想定外の事故を無くすシステム安全の統一的モデルとその教育法の開発

研究課題名(英文) Development of a unified model of system safety in order to reduce unexpected accident and the related teaching method

研究代表者

木村 哲也 (Kimura, Tetsuya)

長岡技術科学大学・その他の研究科・准教授

研究者番号：70273802

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：安全規格に基づくサービスロボットの安全設計を、ロボット開発者による直接的な安全設計と、安全規格開発者による間接的な安全設計の2つのフェーズに分けてモデル化を行った。本研究を通じた海外事例の調査などから、標準化は「想定外を想定する」活動に通じることが示された。このモデルを福島原発廃炉ロボット開発に応用し、関係者へのヒヤリングを通じて、本モデルを用いることで社会的に合理的なコストでサービスロボットの安全設計が推進できる可能性が示唆された。また、得られたモデルに基づくリスクアセスメント教育教材を作成し、高専生を対象にした模擬講義を通じてその妥当性を検討した。

研究成果の概要(英文)：A model of safety design method for a service robot based on safety standards had been developed in the research, where the design method is decomposed into two parts: design by a robot designer and design by a standard developer. In the model, it had been shown that the standardization can be related to "consideration of unexpected cases" based on the examination of foreign examples. The model applied to the development of FUKUSHIMA-DAIICHI recovery robot and the validity of the model was confirmed through hearing of the related people. A teaching material of risk assessment based on the proposed model had been developed and the validity was examined through a lecture to the students in a college of technology.

研究分野：システム安全

キーワード：国際安全規格 標準化 ロボット システム安全 ロバスト制御 モデル化 判例

1. 研究開始当初の背景

安全技術と安全マネジメントを規格・法令に基づき統合的に適用するシステム安全の概念は、最高の安全性が求められる航空宇宙分野や軍事分野を中心に発達し、2000年ごろより国際安全規格として生産現場でも体系化が進められてきた。

申請者はサービスロボットの実用化研究に取り組んでおり、システム安全の思想を反映したサービスロボット安全規格 ISO 13482 が 2013 年に発行されることを受け、その教育カリキュラムの開発に取り組んでいる。カリキュラムの開発中に、利用環境・使用者などの不確実性と多様性を多く含むサービスロボットのシステム安全の構造を統一的に表現する枠組みが存在せず、そのことにより効率的なサービスロボット安全の教育法が確立されていないことが、本申請の背景となっている。

2. 研究の目的

安全技術と安全マネジメントを規格・法令に基づき統合的に適用し最高の安全を達成するシステム安全の概念は、航空宇宙分野や軍事分野を中心に発達し、近年は生産現場にも国際安全規格と共に導入されている。システム安全を適切に適用することで事故の未然防止が可能になり、想定外の事故を無くす事が可能となる。しかし個別分野で発達してきたシステム安全を統一的に教授する手法はこれまで存在しない。本申請では、ロバスト制御系設計の手法を基盤に、安全設計をその設計・評価手順も考慮した「ことづくり」としてモデル化を試み、分野に依存しない統一的なシステム安全の教授法を開発を行う。ここでは特に、不確実性と多様性が他分野より多く安全設計が困難なサービスロボット分野を例にとり、開発教授手法の有効性を検証する。

3. 研究の方法

サービスロボットの開発プロセスの中で、安全設計に関係する技術規格がどのような制約条件として現れるのか、また安全の評価尺度として裁判がどのような構造を持つのか、ロバスト制御系設計論を基盤として「ことづくりモデル」の構築を行う。モデル構築では、幾つかのロボットとシナリオを通じてモデルの基本構造を明らかにする。また、モデルに基づきサービスロボット向けリスクアセスメント学習教材を作成し、ロボコン教育における学習効果を通じて、得られたモデルの妥当性検証を行う。

4. 研究成果

「ことづくりモデル」の構築：安全規格に基づくサービスロボットの安全設計を、ロボット開発者による直接的な安全設計と、安全規格開発者による間接的な安全設計の2つのフェーズに分けてモデル化を行った。日本で

は標準化・規格化への取り組みが限定的であるため、後者の安全設計の観点ではこれまでサービスロボットではあまり議論されてきていなかったが、本研究を通じた海外事例の調査[1]などから、標準化は「想定外を想定する」活動に通じることが示された。また安全の評価尺度としての裁判の判断の基盤となる法理の概念も調査をした。以上で得られた情報を、ロバスト制御の観点からモデル化を試みた。ロバスト制御理論で用いられるモデルは、ノミナル値とモデル化誤差で特徴づけられるが、安全設計でのモデル化を、ここでは次の形式でモデル化した。

- ノミナル値 = 意図する使用 + 合理的予見可能な誤使用 (設計者による安全設計)
- モデル化誤差 = 想定外の事象 (規格作成を通じた安全設計)

このモデルを JAEA で実施されている福島原発廃炉ロボット開発に応用した。廃炉ロボット関係者へのヒヤリングを通じて、不確かさの多いサービスロボットの安全設計が、本モデルを用いることで社会的に合理的なコストでサービスロボットの安全設計が推進できる可能性が示唆された。

また、このモデルの観点から、労働災害防止対策に見る想定外への対応を考察した。労働災害は、機械の設計者・安全管理者・使用者にとって「想定外」の事象が起こることが原因であり (事故が想定される機械は使用されない)、労働災害防止対策では想定外への対応が行われている。梅崎らは文献[2]で労働災害防止対策での想定外への対応のあり方を次のように説明している：労働災害は次のように分類できる

- タイプ A 災害 頻度が高い災害
- タイプ B 災害 災頻度は低いが重篤度の高い災害 (例：化学プラントの爆発事故)

タイプ A 災害は、災害を事前に予想してリスクベースで対策を立てやすい。しかし頻度の少ないタイプ B 災害は、想定外の災害となりやすく、適切なリスク見積もりが困難である。このため梅崎らは、タイプ B 災害への労働災害防止対策として、確率論であるリスクベースの対策ではなく、確定論に基づく「安全確認型」による対策を提案している。この対策では、安全目標を設定し、機械の安全状態を「根拠に基づく安全理論 (EBS)」で確認して、機械が安全目標内であることを確認できたときのみ機械の使用を許可することを基本としている。EBS では、利用できる「根拠 (エビデンス)」の例として安全規格に基づく認証等を取り上げている。EBS ではまた、根拠 (エビデンス) を利用する上の「基本原則」や「手続き上の要件」も例示している。

この安全確認型による機械の使用では、機

械は想定内の状況でしか使用を許されない。機械に想定外の事象が起こった場合は、機械を一旦安全状態（一般には停止状態）とし、安全確認が行われた後に機械は使用を許される。安全確認型では、想定外の事象を想定内とすることは、安全規格等の作成段階で考慮されることになる。防爆性を例にとり、この考え方を災害対応ロボット開発に適用すると次のようになる。

1. 安全目標の決定（例：人と同等かより高い防爆性をロボットは有する。）
2. EBS による事前の安全性の確認ロボットの防爆性が安全目標を満たすことを、根拠（エビデンス）に基づき確認する（例：防爆安全規格に基づく防爆性の確認。）
3. 安全確認型による現場での運用現場では安全確認できる場合でのみ原則利用する（例：可燃性ガス濃度のモニタリング）。安全確認が不確かな場合は、現場責任者の判断で利用の可否を判断する（例：カメラ画像により移動環境の状況を確認し、ロボットの移動に伴うメカニカルスパーク発生の有無を判断する。）
4. 標準化活動による現場情報の継承現場での経験を、技術規格等の形で根拠（エビデンス）に反映し、現場の教訓を次につなげる。

本モデルを基本として、安全規格と判例も統合したりリスクアセスメント学習教材を作成し、高専ロボット関係者に模擬講義をおこない、提案モデルの妥当性の検討を行った。講義へのアンケート結果から、提案モデルを用いることで安全設計の系統的理解が推進されたと考えられた。一方、模擬講義では、高専生に理解の容易な具体例が必要との意見が出され、本モデルを用いた安全設計のより深い理解に通じる教育手法の課題が示された。

ここで提案するモデルに基づく想定外を想定する安全設計では、メーカー（第一者）、ユーザー（第二者）、そして標準専門家等の三者構成による標準化活動が重要であるが、災害対応ロボット開発では標準化活動分野に十分な人材がいない。ここでは、エコノミックガーデニング（EG）[3] と呼ばれる地方経済の開発手法に着目した。EG とは地方の経済（エコノミック）開発において、大企業誘致等のゼロサム型のアウトサイド・インでなく、地方の中小企業を育てる（ガーデニング）インサイド・アウトを重視する手法である。EG では、以下の項目を実施することで中小企業育成を推進する。

- インフラ：商業や一般的な生活の質（例えば、道路、教育、文化的施設）を維持するために不可欠な地域社会資産の構築及び支援。
- 接続性：企業所有者や重要な資源提供者（例えば、業界団体、公共部門支援

者、学術機関）間の交流及び意見交換の改善。

- 市場情報：伝統的に大企業に提供されてきた資源に匹敵する市場、顧客、競合他社に関する競争力のある情報へのアクセス。

また EG では、「ガゼル」と呼ばれる急成長する中小企業を見つけ出し積極的に支援することで、活動を効率的に行う。

この EG を災害対応ロボット開発での標準化活動の推進に応用すると、次の活動の実践が考えられる。

- インフラ：標準化活動の理解や実践に必要な情報へのアクセスの支援（例：規格の開示、現場情報の公開）
- 接続性：他分野で実績のある標準化活動団体等との交流支援。三者構成の強化（例：模擬災害現場での STM 総合評価会 [1]）
- 市場情報：標準化活動のベストプラクティスの公開。標準化活動がどのようにロボット開発に役立つか経済的分析結果の開示。

参考文献

[1] Adam Jacoff, et.al, Guide for Evaluating, Purchasing, and Training with Response Robots Using DHS-NIST-ASTM International Standard Test Methods, http://www.nist.gov/el/isd/ks/response_robot_test_methods.cfm

[2] 梅崎、濱島, "第三次産業の労働災害防止対策に関する技術基準等の検討," 労働安全衛生総合研究所特別研究報告, JN10SH-SRR-NO.43, 101/108, 2013

[3] アメリカ合衆国中小企業庁, アメリカ中小企業白書(2006年版), (訳:(財)中小企業総合研究機構, 出版:同友館), 2007

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計1件)

木村哲也、想定外を想定する災害対応ロボット開発と標準化、日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会2015講演論文集、1A1-V03(1)-(2)、2015

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

木村 哲也 (KIMURA, Tetsuya)

長岡技術科学大学・技術経営研究科・准教

授

研究者番号：25560074