

卒業論文

題目

サービスロボットの遠隔操作に対する
リスクアセスメントに関する研究

指導教員

大原 賢一 教授

220447701
松野 有希

令和8年1月7日

名城大学
理工学部メカトロニクス工学科

論文概要

近年, サービスロボットは人手不足や働き方の変化により, 社会での需要が高まっている。一方, 設計段階においてリスクアセスメントが十分に考慮されていない場合, 運用時に想定外のリスクが発生して危険である。本研究は, サービスロボットの設計時・運用時における安全性確保向上を目的として, リスクアセスメントを組み込んだ設計工程を提案する。

本研究では, 提案した設計工程を自動化レベルの異なる4つのサービスロボットのユースケースに適用し, ダイアグラムを用いて危険源及びリスクの整理を行った。その結果, 自動化レベルの違いにより発生するリスクの種類や発生要因に差異が生じることが明らかとなった。また, 設計初期段階でリスクを明確化することで, 設計上のリスク低減策や運用ルールを

まだ、

検討しやすくなることが示された。ゆえに, 本研究で提案した設計工程は, サービスロボット導入時の安全性検討を支援する有効な手法であるといえる。

目 次

第1章 序論	1
1.1 研究背景	2
1.2 従来研究	2
1.3 研究目的	2
1.4 おわりに	3
第2章 提案設計工程の事前情報	4
2.1 はじめに	5
2.2 リスクアセスメントの概要	5
2.2.1 リスクアセスメントシートの概要	5
2.2.1.1 表紙	6
2.2.1.2 初期分析・評価シート	7
2.2.1.3 方策後再分析シート	7
2.2.1.4 基本仕様	7
2.2.2 SafeML とは	7
2.3 ロボットシステムの設計工程	7
2.4 自動化レベル	7
第3章 RA を組み込んだ設計工程の提案	8
3.1 従来設計工程の課題	9
3.2 新規提案工程の概要	9
3.3 各工程の詳細	9
第4章 適用ユースケース	10
4.1 対象ユースケースの概要	11
4.2 自動化レベルの定義	11
4.3 各LOA のユースケース	11

目次

第 5 章 提案工程の適用結果	12
5.1 ダイアグラム化結果	13
5.2 同定された危険源・リスク	13
5.3 設計時の注意点	13
5.4 考察	13
第 6 章 納言	14
6.1 本論文のまとめ	15
6.2 今後の課題	15
謝辞	16

図目次

2.1 cover of RA sheet	6
---------------------------------	---

表目次

第 1 章

序論

1.1 研究背景

近年, サービスロボットは少子高齢化やパンデミックによる働き方の変化により, Fig. 1.1 のような家庭内用掃除ロボットや Fig. 1.2 のような倉庫内運搬ロボット等, 様々な職業でロボットの普及が進んでいるといえる. 社会においては多様な役割を担い始めており, 特に遠隔操作型のサービスロボットは, 介護, 物流, 接客などの幅広い応用が期待されている. 実際に遠隔操作に関する先行研究も行われており, 将来的にはマニピュレータのある遠隔操作ロボットの需要は高まると考えられる.

1.2 従来研究

遠隔操作に関する研究では, 新規 VR デバイスやソフトウェアに対応するためのシステム構築^[1] や操作性向上のための UI 設計^[2] 等, 操作者の負担軽減や操作の直感性向上に貢献したものが数多くある. しかし, こういったロボットを扱いやすくする研究だけでは社会実装するための安全面への配慮が不十分といえる. 安全性を確保するためにはリスクアセスメント (Risk Assessment, 以下 RA とする) が重要である.

RA とは, Jis 規格^[3] や ISO 規格^[4] 等の国際規格に基づく工学・安全工学のプロセスであり, リスクを完全に排除するのではなく, 許容可能な水準まで低減することを目的とした手法である. RA では体系的にリスク低減を行うリスクアセスメントシートというツールがある.

遠隔操作ロボットシステムに対して, RA を実施した研究としては, レストランの配膳ロボット^[5] や運搬ロボット^[6] を対象に RA を実施し, 安全性を検討した事例が報告されている. しかし, このような研究事例は未だ少なく, 多様なユースケースを想定した検討は十分に行われていない. その結果, 遠隔操作ロボットシステムの設計・導入時に参照可能な知見が不足し, 安全設計の考え方や実施数段階が設計者個人に依存することで, 運用者が個別に適応する必要が生じ, さらに設計思想が共有されない場合には安全設計がブラックボックス化する. その結果, 運用時に安全設計の意図や制約条件が十分に理解されないまま操作が行われ, 認知負荷が増大し, ヒューマンエラーが発生する可能性があるという課題がある.

1.3 研究目的

そこで本研究では, 遠隔操作のサービスロボットを対象に, 包括的なユースケースのもと, 個別事象ごとのリスクを整理し, 設計工程における安全設計プロセスを体系的に示すことを目的とする. また, 包括的なユースケースにリスクアセスメントを実施することで

ロボット導入時に活用可能な知見やテンプレートの創出を目指す。以下に、本研究のアプローチを示す。

1. 既存の設計工程(SysMLを参考とした工程)にRAの工程を組み込んだ新たな設計工程の提案
2. 自動化レベルごとに分類した4つのロボットユースケースに対する提案工程の適用

1.4 おわりに

本章では、本研究を行うまでの背景と課題を示した。新たな安全設計プロセスを体系的に示すために、RAを組み込んだ新たな設計工程を示す。

第 2 章

提案設計工程の事前情報

2.1 はじめに

本章では、本研究で使用する RA, SysML, 自動化レベルについて説明する。また、従来のロボットシステムの設計工程および従来の RA 手法を整理し、本研究の位置づけを確認する。

2.2 リスクアセスメントの概要

リスクアセスメント [1] とは、JIS 規格や ISO 規格に基づき、機械類に存在する危険源を体系的に洗い出し、それらによって生じるリスクを評価・低減するための規定である。RA の目的は、リスクを完全に排除することではなく、許容可能な水準まで低減することで安全性を確保する点にある。RA は、

1. リスクシナリオの特定
2. 危険源の特定
3. リスクの評価
4. リスク低減策の検討

という手順で実施される。具体的には、機械類の使用目的や使用環境を考慮しながら、危険源を同定し、それらが引き起こすリスクを評価する。その後、各リスクに対して適切な低減策を検討・実施し、リスクが許容可能な水準に達していることを確認する。RA は、機械類の設計段階から運用段階まで継続的に実施されるべきであり、安全性の確保において重要な役割を果たす。

2.2.1 リスクアセスメントシートの概要

また、RA を実施するためのツールとしてリスクアセスメントシート（以下 RA シートとする）がある。RA シートとは、RA を体系的に実施するための支援ツールであり、設計者や導入者が危険源の特定からリスク評価、低減策の検討までを一貫して行うことを目的として用いられる。本研究では、サービスロボットを対象とした RA を実施するために、Excel 形式の RA シートを用いる。RA シートは、

1. 表紙
2. 初期分析・評価シート

2.2. リスクアセスメントの概要

3. 方策後再分析シート

4. 基本仕様

以下に各シートを説明する。

2.2.1.1 表紙

表紙では主に、意図した使用、予見できる誤使用、意図した空間/時間制限、リスク見積もりの計算方法を記載する。

対象ロボット名称		実施者	実施日
カフェ配膳ロボットOriHimeD		(立派者、リーダー、チーム参加者、承認者等)	初回 (仮打版)
ライフサイクル各段階			分析方法(ツール) 積算法(一部が算法共通)
計画			リスクの種類/評価基準
開発			リスク充積量:R = S × (F + P + A)
実装			直される頻度又は時間:J
運用			危険事象の発生確率:P
監視			危険を回避又は制限する可能性:A
合規			危害の発生確率:F + P + A
使用上の制限			危害の潜伏:S
保守			回復に長期治療(1年以上)を要す:4
廃棄			回復に医療措置を要す:3
リサイクル			応急手当で回復可能:2
再利用			対処不要(一時的な痛み等):1
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			3 4 5 6 7 8 9 10 11
リサイクル			3 4 5 6 7 8 9 10 11
再利用			3 4 5 6 7 8 9 10 11
廃棄			

Figure 2.1: cover of RA sheet

今回使用した RA シートリスク値の計算では積算法(一部加算法)を使用する。この計算方法では、リスク値 R を、危害のひどさ S と、危険にさらされる頻度 F、発生確率 Ps、回避可能性 A の和との積で表す。

$$R = S \times (F + P_s + A) \quad (2.1)$$

各指標は、RA シートに基づき定性的に評価し、その組み合わせからリスクレベルを算出する。本研究では、リスクレベルが 7 以上の項目に対して低減策を検討する。

2.2.1.2 初期分析・評価シート

2.2.1.3 方策後再分析シート

2.2.1.4 基本仕様

2.2.2 SafeML とは

2.3 ロボットシステムの設計工程

2.4 自動化レベル

第3章

RAを組み込んだ設計工程の提案

3.1. 従来設計工程の課題

ここでは構築するにかしらのシステムを説明する。

3.1 従来設計工程の課題

3.2 新規提案工程の概要

3.3 各工程の詳細

第4章

適用ユースケース

4.1. 対象ユースケースの概要

ここでは構築するにかしらのシステムを説明する。

4.1 対象ユースケースの概要

4.2 自動化レベルの定義

4.3 各LOAのユースケース

第 5 章

提案工程の適用結果

5.1. ダイアグラム化結果

ここでは検証の方法と結果について述べる。ボリュームによって適宜、部や章を分ける。

5.1 ダイアグラム化結果

5.2 同定された危険源・リスク

5.3 設計時の注意点

5.4 考察

第 6 章

納言

6.1 本論文のまとめ

6.2 今後の課題

謝辞

本研究に携わる機会を与えていただき、終始親切なご指導をいただきました名城大学理工学部メカトロニクス工学科大原賢一教授に心からの感謝を申し上げます。

参考文献