

# 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

<b>第1章</b>	<b>序論</b>	<b>1</b>
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
<b>第2章</b>	<b>提案設計工程の事前情報</b>	<b>4</b>
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
<b>第3章</b>	<b>RA を組み込んだ設計工程の提案</b>	<b>8</b>
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
<b>第4章</b>	<b>適用ユースケース</b>	<b>10</b>
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

---

<b>第 5 章</b>	<b>提案工程の適用結果</b>	<b>12</b>
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
<b>第 6 章</b>	<b>納言</b>	<b>14</b>
6.1	本論文のまとめ . . . . .	15
6.2	今後の課題 . . . . .	15
	<b>謝辞</b>	<b>16</b>

# 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 [ ] や操作性向上のための UI 設計 [ ] 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 [ ] や ISO 規格 [ ] 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 [ ] や運搬ロボット [ ] 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、本研究を行う上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

## 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		(立案者、リーダー、チーム参加者、承認者等)	初回: (改訂履歴)																																																					
ライフサイクル該当箇所	設定(試用)、運用(通常使用)、保守(トラブル処理を含む)	分析方法(ツール)	積算法(一部加算法を適用)																																																					
概要 [決定] [通常使用] 使用 ①お客さんが注文した飲み物を配膳するために、カフェスタッフは飲み物をロボットの中庭(トレイ)に載せる ②トレイには最大4つの飲み物を置く ③ロボットはタブレットでカフェの環境を確認して、運搬操作をする ④ロボットの動作は前後・回転・音の移動・コマンドによる特定モーションがある ⑤ロボットは飲み物をバックヤードから床へ配膳する ⑥操作者はロボットを通じて床でお客さんと会話する ⑦操作者は必要に応じてロボットにモーション動作をさせる ⑧配膳後バックヤードに戻る ⑨操作者は障害物を回避して、安全に配膳を行う ⑩操作者は休憩を気にしながら時間を配けて、操作をする ⑪ロボットが障害物を検知したら移動又はモーション動作を停止する ⑫アーム関節部に飲み込みを検知したらモーション動作を停止する ⑬運搬経路を確認したらスタッフ・操作者にお知らせ ⑭ロボットは外部から停止するための非常停止ボタンが設置されている ⑮操作者の疲労を検知して操作者とスタッフにお知らせ ⑯床のマップを操作画面に表示させる [保守]	リスクの見積/評価基準 リスク見積値: $R = S \times (F + P_s + A)$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>頻度/時間</th> <th>危険度の発生確率: <math>P_s</math></th> <th>危害を回避又は制限できる可能性: <math>A</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>連続的/常時</td> <td>高い</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>頻繁/長時間</td> <td>起こり得る</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>時々/短時間</td> <td>起こり難い</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>まれ/稀間的</td> <td>低い(まれ)</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	頻度/時間	危険度の発生確率: $P_s$	危害を回避又は制限できる可能性: $A$	連続的/常時	高い	4	頻繁/長時間	起こり得る	3	時々/短時間	起こり難い	2	まれ/稀間的	低い(まれ)	1																																								
頻度/時間	危険度の発生確率: $P_s$	危害を回避又は制限できる可能性: $A$																																																						
連続的/常時	高い	4																																																						
頻繁/長時間	起こり得る	3																																																						
時々/短時間	起こり難い	2																																																						
まれ/稀間的	低い(まれ)	1																																																						
合理的に予想できる制限の使用	合 理 的 に 予 見 可 能 な 限 制 使 用 [決定] [通常使用] ①スタッフが飲み物を置くときに誤って倒してしまう ②トレイに客席に客席に飲み物を置くことでパランスを崩す ③客席客がロボットに倒れたり客席客による運搬妨害をする ④濡れた床でロボットに転ぶ ⑤濡れた地面を移動する ⑥お客さんなどのバックリに配膳が多くなり、ロボット同士や人間との接触、衝突事故が発生する ⑦通路上に客席客の荷物が置いてあったことによりロボットの運路が阻害される ⑧お客さんが飲み物を取るときに、こぼしてロボットが濡れる ⑨お客さんが飲み物を取るときに、ロボットが動いてしまう ⑩注文品や客席客の荷物の間違いによる誤配膳 ⑪運搬途絶 ⑫資格のない者がロボットを操作する ⑬長時間操作の疲労による誤操作 ⑭運搬経路による濡れ(液体・液体・音) ⑮ネットワークの脆弱性による運搬操作の中断 ⑯操作者の操作ミスによる誤作動・衝突 ⑰カメラの死角による接触・衝突 ⑱緊急時の操作者の混乱 [保守] ①レストランなどの飲食店内の客席間の通路や、ホールとキッチン間の通路のみで使用する、段差のある階段や屋外などでは使用しない ②ロボットの使用時間は11:00~19:00(営業時間)(本稼働を除く) ③ロボットは床に貼られた黒線の上を移動する ④品切れ時は利用2時間	<table border="1"> <thead> <tr> <th>危害の発生確率: <math>F + P_s + A</math></th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> <th>11</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>回復に長期治療(1月以上)を要す</td> <td>4</td> <td>12</td> <td>16</td> <td>20</td> <td>24</td> <td>28</td> <td>32</td> <td>36</td> <td>40</td> <td>44</td> </tr> <tr> <td>回復に医療措置を要す</td> <td>3</td> <td>9</td> <td>12</td> <td>15</td> <td>18</td> <td>21</td> <td>24</td> <td>27</td> <td>30</td> <td>33</td> </tr> <tr> <td>応急手当で回復可能</td> <td>2</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>14</td> <td>16</td> <td>18</td> <td>20</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>対処不要(一時的な痛み等)</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>11</td> </tr> </tbody> </table>	危害の発生確率: $F + P_s + A$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	回復に長期治療(1月以上)を要す	4	12	16	20	24	28	32	36	40	44	回復に医療措置を要す	3	9	12	15	18	21	24	27	30	33	応急手当で回復可能	2	6	8	10	12	14	16	18	20	22	対処不要(一時的な痛み等)	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11
危害の発生確率: $F + P_s + A$	3	4	5	6	7	8	9	10	11																																															
回復に長期治療(1月以上)を要す	4	12	16	20	24	28	32	36	40	44																																														
回復に医療措置を要す	3	9	12	15	18	21	24	27	30	33																																														
応急手当で回復可能	2	6	8	10	12	14	16	18	20	22																																														
対処不要(一時的な痛み等)	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11																																														
見積値 $R$	評 価	リスク低減の必要性																																																						
15以上	リスクは高く、受け入れられない。	必須、技術的方策が不可欠																																																						
7~14	リスクの低減が必要。ただし、条件付(他に方策がない、低減が現実的でない)で許容可能	必要、技術的方策が困難な場合は警告表示及び管理の方策を講じる * ALARPとして考慮もありえる																																																						
6以下	リスクは十分に低い。	不要																																																						

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  $P_s$ 、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

ここでは構築するな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



ここでは構築するな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

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