

令和2年度 厚生労働省委託

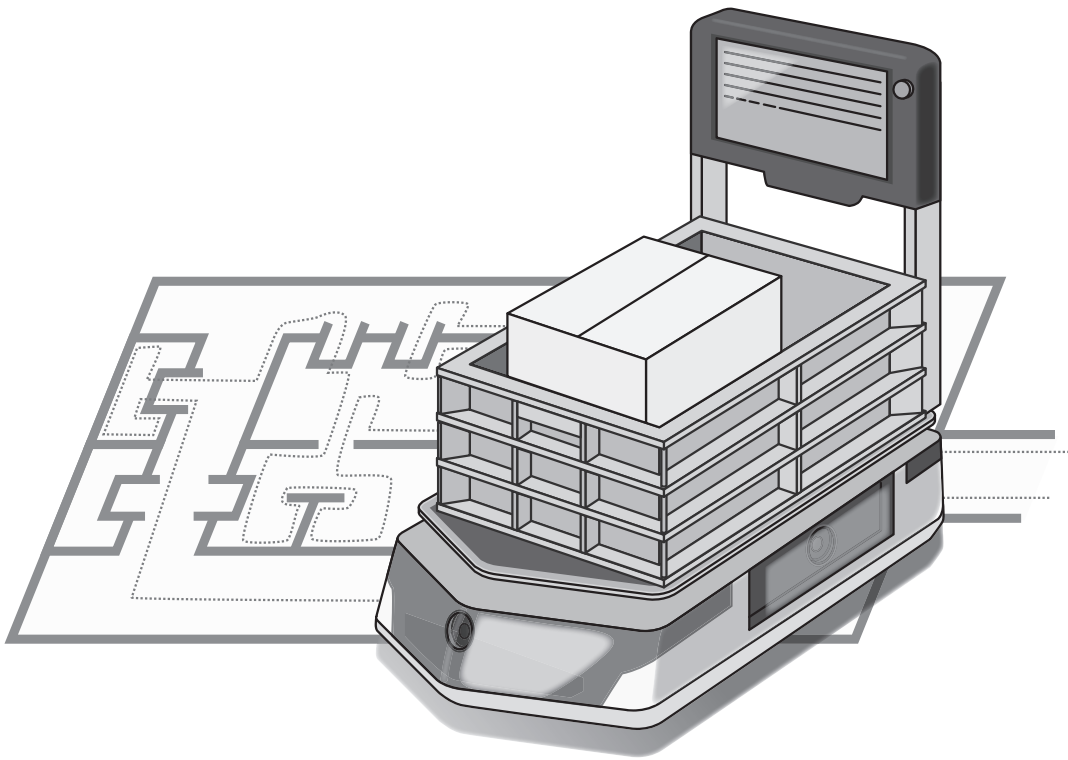
# 技術革新に対応した機械設備の 安全対策の推進事業 報告書

令和3年3月  
中央労働災害防止協会



令和2年度 厚生労働省委託

# 技術革新に対応した機械設備の 安全対策の推進事業 報告書



令和3年3月  
中央労働災害防止協会



令和2年度 厚生労働省委託  
技術革新に対応した機械設備の安全対策の推進事業 報告書  
目 次

第1章 事業の目的	1
第2章 事業の経過について	
1 検討委員会と2つのワーキンググループの設置	3
2 委員会及びワーキンググループにおける審議	4
3 自走自律制御機械のメーカー及びユーザーに対する実地調査等	9
第3章 自走自律制御機械の安全化とその検証の手順	
1 リスクアセスメント	11
2 リスクアセスメントの手順	12
3 リスクアセスメント結果とリスク低減方策	28
4 まとめ	28
第4章 自走自律制御機械メーカー・ユーザーに対する実地調査等の結果	
1 概要	31
2 調査方法	31
3 メーカーに対する調査結果と考察	37
4 ユーザーに対する調査結果と考察	61
5 自律走行搬送に関わる技術動向	83
6 まとめ	84
第5章 自走自律制御機械の安全確保に関する実証試験のプロトコル作成例	
1 追従走行1	90
2 追従走行2	91
3 追従走行3	92
4 From-To 走行1	93
5 From-To 走行2	94
6 From-To 走行3	95
7 From-To 走行4	96
8 From-To 走行5	97
9 死角	97
10 制御不具合1	107
11 制御不具合2	109
12 まとめ	110
第6章 まとめ	
1 本事業の概要	111
2 メーカー及びユーザーに対する実地調査・ワーキンググループにおける 主な検討事項と結論	111
3 プロトコル作成ワーキンググループにおける主な検討事項と結論	112
4 総括	112
5 新技術の社会実装にあたっての留意事項	113
附録 革新的技術の受け入れに際して検討すべき事項	
1 テクノロジーアセスメントについて	115
2 アセスメント手法に関する考察	116



# 第1章 事業の目的

近年の人工知能（AI）やGPS等の技術革新の進展により、自動走行が可能で自律的に作業を行う機械（以下「自走自律制御機械」という。）の産業現場への導入を目指し、開発が進んでいる。こうした技術革新の進展を見越した上で、これら自走自律制御機械による労働災害防止を図るための安全方策が早期に確立されることが求められる。

自走自律制御機械の安全性を担保するシステム（安全関連システム）の設計手法については、現時点で確立したものはないが、機能安全（新たに電気等制御の機能を付加することによるリスク低減措置）の考え方（IEC 61508、ISO 13849）を基礎とすることが可能である。機能安全の考え方を基礎とした手法は、具体的には、①リスクアセスメントにより、危険事象に応じ、特定された危険事象を防止するために必要な要求安全機能を決定する。次に、②危険事象の頻度や重篤度等に応じた要求安全度水準（危険側故障確率）を決定する。最後に、③設計された要求安全機能が要求安全度水準を満たしているかを評価する。

しかし、革新技術を応用した自律制御では、①について、従来のリスクアセスメント手法が直接には活用できない場合が考えられる。このため、自律制御による機能制御システムから独立させた安全関連システム（自律制御でないもの）を設ける等の配慮が必要となる。

さらに、安全関連システムに自律制御を導入する場合、③の要求安全機能の信頼性の評価も困難である。自動走行可能な自律制御機械の安全関連システムの要素技術（環境認識（センサー）、状況理解・制御（AI等）、運転等（アクチュエーター））は、開発途上であり、それら要素技術を組み合わせた安全関連システムの安全度水準（危険側故障確率）の評価手法も定まっていない。

以上を踏まえると、自走自律制御機械の安全性を担保するためには、プログラム制御による安全関連システムと自律制御による機能制御を独立させることも含め、機械の仕様や使用環境等に応じた安全機能の実証試験を十分に行うことが必要不可欠である。さらに、実証試験を適切なものとするためには、そのプロトコル、即ち、保護方策（安全方策）が適切に機能できることを検証するために行う実証試験の方法を順序立てた手続き（以下「実証試験プロトコル」という。）を、有効かつ適切なものとする必要がある。

本年度事業においては、自走自律制御機械の安全性を確保するため、前年度事業において取りまとめた実証試験プロトコルの策定に当たって留意すべき事項等を踏まえ、関係事業者等に対する実態調査を行った上で、その結果を分析するとともに、以下の、自走自律制御機械に係る安全評価の考え方等について検討することとした。

- 1) プログラム制御による安全関連システムを自律制御による通常制御システムから独立して設けることに関する考え方
- 2) 選定された特定の機械に関連する要素技術（環境認識（センサー）、状況理解・制御（AI等）、運転等（アクチュエーター）など）の開発状況及び安全評価の現状
- 3) 自走自律制御機械に係る安全評価の考え方
- 4) 1)から3)を踏まえた、今後の実証試験プロトコルのあり方

本報告書では、薬品ロジスティックセンターにおける自走自律制御機械を例に、実証試験プロトコルを例示した。単に実証試験プロトコルを示すだけでなく、その作成過程（仕様の決定－リスクアセスメントの実施－保護方策の検討－保護方策の妥当性の実証試験法であるプロト

コルの決定)を詳細に第3章、第5章で記載している。

また、実態調査の結果からは、メーカー及びユーザー間の情報交換の必要性や、システムインテグレーターへの関与の有効性も浮き上がってきた。これは、適切なリスクアセスメント、更には実証試験プロトコルを作成するためには、自走自律制御機械の仕様や使用環境等をメーカー及びユーザーにおいて共有することが必要であり、それなくして適切な保護方策もないことを示している。実態調査の詳細は第4章に記載している。



## 第2章 事業の経過について

### 1 検討委員会と2つのワーキンググループの設置

本事業の目的に沿って、自走自律制御機械の安全対策を検討するため、「技術革新に対応した機械設備の安全対策検討委員会」を設置するとともに、本検討委員会の下に、事業の速やかな進行を図ることを目的として、自走自律制御機械メーカー、ユーザー等に対する調査を行う「実態調査ワーキンググループ」と、自律自走制御機械の安全化に関する実証試験のプロトコルの作成等を行う「プロトコル作成ワーキンググループ」を設置した。

なお、2つのワーキンググループ間で、それぞれの審議・検討内容を共有化していくことが有効ということから、一方のワーキンググループの会合には、もう一方のワーキンググループの座長が原則として参加している。

委員会及びワーキンググループの委員は次の通り(敬称略、委員50音順)

#### 技術革新に対応した機械設備の安全対策の検討委員会

[委員長]

- ・福田 隆文 (長岡技術科学大学 システム安全専攻 教授)

[委員]

- ・大西 正紀 (S-Tech Lab(エステック ラボ) 代表)
- ・齋藤 剛 (独立行政法人 労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 機械システム安全研究グループ 上席研究員)
- ・貞本 敦史 (株式会社東芝 生産技術センター ロボット製品化技術推進プロジェクトチーム スペシャリスト)
- ・中坊 嘉宏 (国立研究開発法人 産業技術総合研究所 インダストリアルCPS研究センター ディペンダブルシステム研究チーム 研究チーム長)
- ・橋本 秀一 (株式会社デンソーウェーブ FA・ロボット事業部 技術部技術管理室)
- ・馬場 勝彦 (SKソリューション株式会社 ソリューションビジネス部)
- ・濱島 京子 (独立行政法人 労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 機械システム安全研究グループ 上席研究員)
- ・藤原 清司 (国立研究開発法人 産業技術総合研究所 インダストリアルCPS研究センター ディペンダブルシステム研究チーム 主任研究員)
- ・三好 孝典 (長岡技術科学大学 システム安全専攻 教授)
- ・山田 陽滋 (名古屋大学 大学院工学研究科 機械システム工学専攻 機械知能学講座 教授)

## 実態調査ワーキンググループ

### [座長]

- ・齋藤 剛 (独立行政法人 労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 機械システム安全研究グループ 上席研究員)

### [委員]

- ・濱島 京子 (独立行政法人 労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 機械システム安全研究グループ 上席研究員)
- ・藤原 清司 (国立研究開発法人 産業技術総合研究所 インダストリアルCPS研究センター ディペンダブルシステム研究チーム 主任研究員)
- ・三好 孝典 (長岡技術科学大学 システム安全専攻 教授)

## プロトコル作成ワーキンググループ

### [座長]

- ・大西 正紀 (S-Tech Lab (エステック ラボ) 代表)

### [委員]

- ・橋本 秀一 (株式会社デンソーウェーブ FA・ロボット事業部 技術部技術管理室)
- ・馬場 勝彦 (SKソリューション株式会社 ソリューションビジネス部)
- ・藤原 清司 (国立研究開発法人 産業技術総合研究所 インダストリアルCPS研究センター ディペンダブルシステム研究チーム 主任研究員)
- ・福田 隆文 (長岡技術科学大学 システム安全専攻 教授)

## 2 委員会及びワーキンググループにおける審議

### (1) 第1回委員会(令和2年7月2日(木)開催)

新型コロナウイルス感染拡大の現状を踏まえ、インターネットを介したリモート会議対応も併行して実施した。これ以降の開催形態も同様とした。

前年度の技術革新に対応した機械設備の安全対策検討委員会に引き続き、福田委員を委員長に、全会一致で選任した。対象とする機械は、引き続き、自走自律制御機械とし、より具体的な対象を決めて実効性のある成果物となるよう、絞り込んだ安全性試験の手順(実証試験プロトコル)を検討することとした。対象となる機械は、工場等産業現場で使用される機械を中心とした。

実態調査対象事業場については、委託事業の仕様書に示されたユーザーに限定せず、メーカーやシステムインテグレーターも含め柔軟に選定することとした。

プロトコルを検討する対象のイメージについては、例えば「30m離れた倉庫か

ら加工ステーションに部品を運ぶ自走自律制御の機械」が想定された。最終的には、医薬品のロジスティックセンターで使用する自走自律制御機械 (Autonomous Mobile Robot : AMR) とした。危険事象の想定では、「自走自律」をキーワードに考えることとした。

また、調査に使用する事前調査票については、メーカー、ユーザーそれぞれの調査を念頭に、前年度の調査票に追加すべき事項を各委員から挙げてもらうこととした。

## (2) 第 2 回委員会 (令和 2 年 8 月 25 日 (火) 開催)

今年度事業の対象機械とも関連の深い無人搬送車に関する国際規格「ISO3691-4:2020」についての JIS 規格化を進めることとしている一般社団法人日本産業車両協会の高瀬専務理事をオブザーバとしてお招きし、JIS 化の概要をご紹介いただいた。本規格については、国内事情に合わせ、修正する箇所も含まれ、「MOD(修正)」規格として位置づけられる。また本規格の中で危険源リストや要求事項、保護方策などの記載もあることから有効な資料として位置づけられた。

実態調査対象については、各委員からの紹介、昨年度調査協力事業場関係の事業場、インターネットからの検索などにより候補事業場を挙げ、交渉が進められていることを事務局から紹介した。

なお、委託事業の仕様書では、事業場の調査は実地調査(事業場訪問による調査)により行うとしていたが、新型コロナウイルスへの感染が問題となっている現状において、インターネットを介したリモートによる調査を可能とするよう、契約書類の修正等の措置を厚生労働省と事務局の間で調整することとした(後日契約改正が行われリモートによる調査が可能となった。以下リモート調査も含め「実地調査等」という。)

自走自律制御機械の具体的作業例、その仕様書と安全性確認のための実証試験プロトコル作成については、それに専念するためのワーキンググループを設置することが有効として、プロトコル作成ワーキンググループを設置することとした。

また、事業場調査を担当する実態調査ワーキンググループを別に設置した。

両ワーキンググループの構成は、前述のとおりである。

## (3) 第 1 回実態調査ワーキンググループ (令和 2 年 9 月 4 日 (金) 開催)

前年度の経験から、守秘義務に関しては十分な配慮をすることとした。

プロトコル作成ワーキンググループの検討が進む中で、実際の現場ではどうかを知りたい場合が考えられるが、聞き取り調査後の追加ヒヤリングは前年度も実

施していることであり対応は可能である。

事前調査票については、引き続きワーキンググループ内で検討し、検討委員会に諮っていくこととした。その中で、実証試験プロトコル作成に関連し、安全機能に関してどんな試験を実施しているかは聞き取り必須事項とした。

リモートも含む実地調査等の日程及び事前調査票の調査先への配布のスケジュールは事務局を中心に決めていくこととした。

#### (4) 第1回プロトコル作成ワーキンググループ(令和2年10月2日(金)開催)

プロトコル作成の対象とする自律走行台車について、分担した委員により事前に作成した仕様書等の資料を基に審議した。リスクアセスメントを行う際に、ISO3691-4(JIS D 6802 改正予定版)の危険源リストを参考とすることとした。

プロトコル作成の考え方としては、自律走行台車とその作業の例について、どのような危険源があるかを調べ、リスクアセスメントを行い、どのようにリスク低減を行うか決めていき、そのリスク低減方策についてどのような試験を行うかを考えていくこととした。

リスクアセスメントシートの左端の列に、ISO3691-4の付属書Bの危険源リストの危険源を記入し、具体的な危険事象を検討し、リスクの見積もり・評価をしていくようにした。

危険源の表現については、ISO12100に示された「原因」と「結果」の組み合わせがイメージしやすいため、このまとめ方で進める。

リスクアセスメントシートについては、中災防が実施している機械安全に関する研修で用いている保護方策の確実性の要素を採用することとした。

今後各自リスクアセスメントシートを分担して完成させることとした。

#### (5) 第2回プロトコル作成ワーキンググループ(令和2年11月17日(火)開催)

プロトコル作成の対象とする具体的作業について仕様書や作業レイアウト図を基に、具体的に設定した。自律走行台車については、自ら位置を確認し経路を判断して動く自律自走式の台車と、作業者に追従して動く追従式搬送台車の2種類が使用されていることとした。

リスクアセスメントシートの、危険源・危険事象等の欄については、わかりやすいよう座長判断で修正する。例えば最初のリスクレベルの評価がIVで低減方

策後にリスクレベルがⅡに下がったものについて方策が正しいかどうかを確認/試験する方法が、「実証試験のプロトコル」として考える。

転倒の危害については、そのひどさのばらつきは考えられるが、今回の場合は一律に「打撲程度」として進める。ただし、その判断をしたことについての注記は記載する。

## (6) 第3回委員会(令和2年11月25日(水)開催)

メーカー3社、ユーザー4社への聞き取り調査の段取りを進めているところであり、実態調査ワーキンググループ座長より、その概要が紹介された。12月初旬から中旬にかけ、原則としてリモートを活用しながらの実態調査を実施する。ただし、メーカー1社と、その機械を使用している当該メーカー関連会社に対する聞き取り調査は、実物を見学できることから実地で調査することとしている。事前調査票についても調査対象事業場から回答いただいております、守秘義務を考慮し、社名、機械の名称等は伏せた資料で紹介とした。

続いて、プロトコル作成ワーキンググループの検討状況を座長より説明した。リスクアセスメントを行い、保護方策をたて、その実証方法が実証試験プロトコル作成となるとの考え方を示した上で、ワーキンググループ委員により危険源の同定、リスクの見積り・評価、リスク低減方策の欄を埋めていった。作成したリスクアセスメントシートであるが、101項目の危険源/危険事象が抽出されている。検討成果の取りまとめでは、101項目から絞り込み、実証試験プロトコル作成につなげていく予定とする。

なお、他の委員からは、メーカーによるリスクアセスメント・リスク低減だけでよいということではなく、ユーザーにおいてもリスクアセスメント・リスク低減が必要なことは明記すべきとの意見が述べられた。

## (7) 第3回プロトコル作成ワーキンググループ(令和2年12月3日(木)開催)

リスクアセスメントシートの見直し内容を確認した。プロトコル作成対象の危険源については、「追従モード走行で人に衝突する場合」(第5章の「追従走行」)、「From(どこから) To(どこへ)走行で障害物がある場合(同「From To 走行」)、「制御のバグなどで誤動作し人に衝突しそうな場合」(同「制御不具合」)及び「曲がり角などで人が不意に現れる場合」(同「死角」)の4つを上げ、ワーキンググループ委員が分担し、実証試験プロトコルの作成を試みることにし

た。なお、実証試験プロトコルには、仕様書等の書類において必要な機能について確認する行為も含まれるものとする。

#### (8) 第4回プロトコル作成ワーキンググループ(令和2年12月21日(月)開催)

前回プロトコル作成ワーキンググループで分担した4種類の危険源・危険事象について各担当委員から実証試験プロトコル作成までが説明された。それぞれの発表について相互に意見を交換し、次回検討委員会までに修正することとした。なお、本来機能の制御部と安全関連部については、プロトコル作成ワーキンググループの担当個所では、独立した関係として取り扱うこととした。

#### (9) 第4回委員会(令和3年1月8日(金)開催)

プロトコル作成ワーキンググループ座長より、リスクアセスメントシートのとりまとめと、プロトコル作成例について紹介された。危険源リストについては、IS03691-4の危険源リストのほか、サービスロボット関連規格(JISB8445等)の危険源リストについても掲載することとした。プロトコル例は、薬品のピッキング現場の事例をあげているが、これはあくまで「ひな形」であることを明記することとした。

実態調査ワーキンググループからは調査票の取りまとめ内容とその考察(報告書第4章)についての説明があった。対象としたA社からG社まで7社のうち、G社については、海外から輸入された機械を図書館等のピッキングに使用できるようにアレンジしている企業であり、システムインテグレーターとの見方もできるが、ユーザー向け調査票に記載とした。また、A社に対するD社、B社に対するE社はメーカーとその製品である自律走行台車を使用する関連会社の関係であり、メーカー側がシステムインテグレーターの役割も担っていた。そうした関係については、報告書の中でも説明をすることとする。

報告書の目的の中で、メーカーとユーザーの役割とインターフェイス、さらにシステムインテグレーターの存在についても言及することとした。

リーフレットの構成について、事務局が説明したが、表紙を開いた後の2-3ページについては、この事業がなぜ行われたかを導入部として記載するのが良いとなった。調査結果に関連する内容はリーフレットには掲載不要とした。

報告書と、リーフレットの分担を決め次回2月2日の最終委員会で詰めることとした。

## (10) 第5回委員会(令和3年2月2日(火)開催)

本事業の成果物として印刷する報告書とリーフレットの原稿案について審議した。

### 3 自走自律制御機械のメーカー及びユーザーに対する実地調査等

前年度事業において協力いただいた自走自律制御機械メーカーに、機械ユーザーを紹介いただいたり、委員に情報を紹介いただきながら、今年度事業で調査に協力いただける企業(事業場)を選定した。

その結果次の7社に調査の協力をいただいた。

**A社** 前年度も調査に協力いただき、前年度報告書で「A社」として掲載した無人搬送車メーカーである。前年度は製品化前の仮仕様で回答いただいたが、令和2年から販売を開始し、現在、いくつかのユーザーの元で導入を前提に実証試験を行っている段階とのことで改めて本調査に参加いただいた。

**B社** 電機メーカーグループにおいて生産技術の開発研究及び生産設備の製造を担う事業所である。同じグループの産業機器、通信機器の生産拠点である事業所へ、製品検査工程における試験設備の一部として自律移動を行う搬送台車を納入した実績があり、協力いただいた。

**C社** 産業用機器・機械メーカーで、自社製品である協働ロボットアームをガイドレスで走行する搬送台車の荷台に搭載した形態の移動ロボットを販売している。現在、いくつかのユーザーの元で導入を前提に実証試験を行っている段階とのことで、本調査では令和元年に開催された展示会で出展した際の事例を対象に回答いただいた。

**D社** 機械工具・工事用消耗品の卸売業者で、これまで人手で行っていた多品種少量品の倉庫内搬送作業にメーカーA社の搬送台車を導入するとのことで協力いただいた。現在、A社と共同での実証試験を終え、導入を前提に独自に実証試験中とのことである。

**E社** B社と同じ電機メーカーグループの産業機器・通信機器の生産事業所である。情報機器製造検査工程における試験を自動化するにあたり、その搬送機構部分としてB社の自律搬送台車を導入、実稼働しているとのことで協力いただいた。

**F 社** 主に鉄道関連資材を扱う商事業者であり、商業施設等での清掃や一般利用客の荷物搬送といったサービスを提供する実証試験を、7 種のサービスロボットを対象に実施されていることから本調査に参加いただいた。

**G 社** オフィス・文化施設関連設備の製造販売業者で、主に公共文化施設に向けてサービスロボットの販売を行っており、約 3 ヶ月の実証試験を経て、令和 2 年秋から実運用を開始した事例があるとのことで参加いただいた。ただし、ロボット自体は海外製品であり、販売元（国内輸入総代理店）から購入しているもので、G 社では設計や構造に手を加えてはおらず、実施しているのは主に運用先施設での基本設定や施工とのことで、本調査では“ロボットのユーザー”として回答いただいた。

調査対象のうち、D 社は A 社の自律走行台車を用いた多品種少量品の倉庫内搬送作業を行っており、A 社との協力のもと実証試験を実施したうえで実使用を行っていることから、調査の回答については、D 社からの情報も踏まえ、A 社の担当者が代行して行った。また、E 社は B 社と同グループの企業で B 社の自律走行台車を使用して業務を行っており、B 社への調査と同時間内で聞き取り調査に協力いただいた。

調査は、11 月中旬から 12 月中旬にかけ、実態調査ワーキンググループ委員と事務局が担当して行った。



## 第3章 自走自律制御機械の安全化と その検証の手順

次世代のAGVである自走自律制御機械(Autonomous Mobile Robot:AMR)においても、その安全性は、リスクアセスメントに基づく保護方策の策定と、その妥当性を確認する検証作業によって確保される。

この保護方策が適切に機能できることを検証するために行う実証試験の方法を順序立てた手続きが、実証試験プロトコルである。

本章では想定事例(AMR及び使用環境)を定め、これに対するリスクアセスメントを行い対応する実証試験プロトコルを導出した結果を示している。これは一連の作業の理解を容易にするための詳細な例示である。このため例示した結果が唯一ではなく、また完全な事例でもない。

今回検討したAMRシステムは薬品のロジスティックセンターでのピッキングシステムである。

リスクアセスメントはシステムの詳細な仕様決定に基づいて実施された。

### 1 リスクアセスメント

リスクアセスメントはJIS B 9700(ISO 12100)が示すフロー(図1)に従って実施する。

最初に機械類の制限の決定(仕様の決定)を行い、危険源の同定(危険源リストに掲げられている危険源がシステムにあるかどうか)、リスクの見積もり・評価(いくつかの見積もり方法や評価方法がある)を実施する。

リスク評価の結果、リスクが適切に低減されているか判断し低減されていない場合は、リスク低減のプロセスに入る。

AMRのメーカーは開発時にリスク低減を実施し、保護方策を製品に盛り込み安全なAMRを開発する。

一方、システムインテグレーターやユーザーはAMRを組み合わせたシステムを構築する際、AMRを組み合わせたシステムとしてリスクアセスメントを実施し、リスク低減を行わなければならない。

保護方策を策定し、AMRシステムの導入時にシステムインテグレーターやユーザーはシステムとしての保護方策(安全機能)が実際に機能しているか実証試験をする必要がある。

以下に具体的にリスクアセスメントによる保護方策(安全機能)の決定と、その機能の妥当性確認である実証試験方法(プロトコル)について説明する。

## 2 リスクアセスメントの手順

JIS B 9700 (ISO 12100)および JIS B 9705-1 (ISO 13849-1)を組み合わせたリスクアセスメント実施のフローを以下に示す。

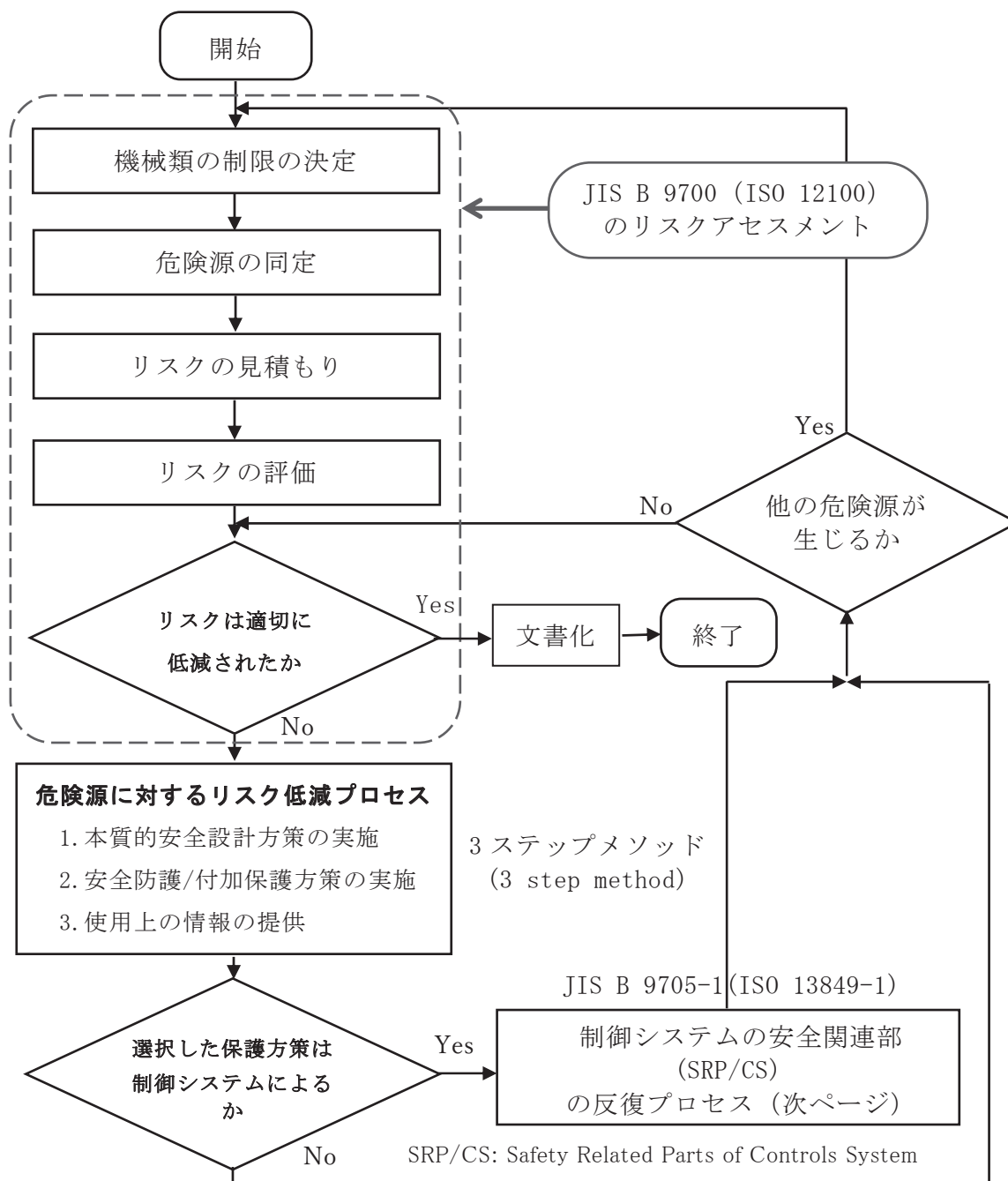


図1 リスクアセスメントのフロー

選択した保護方策が制御システムの場合は、以下のフローで PL（パフォーマンスレベル）を求め、評価する。

PL の詳細については、本稿では省略する。

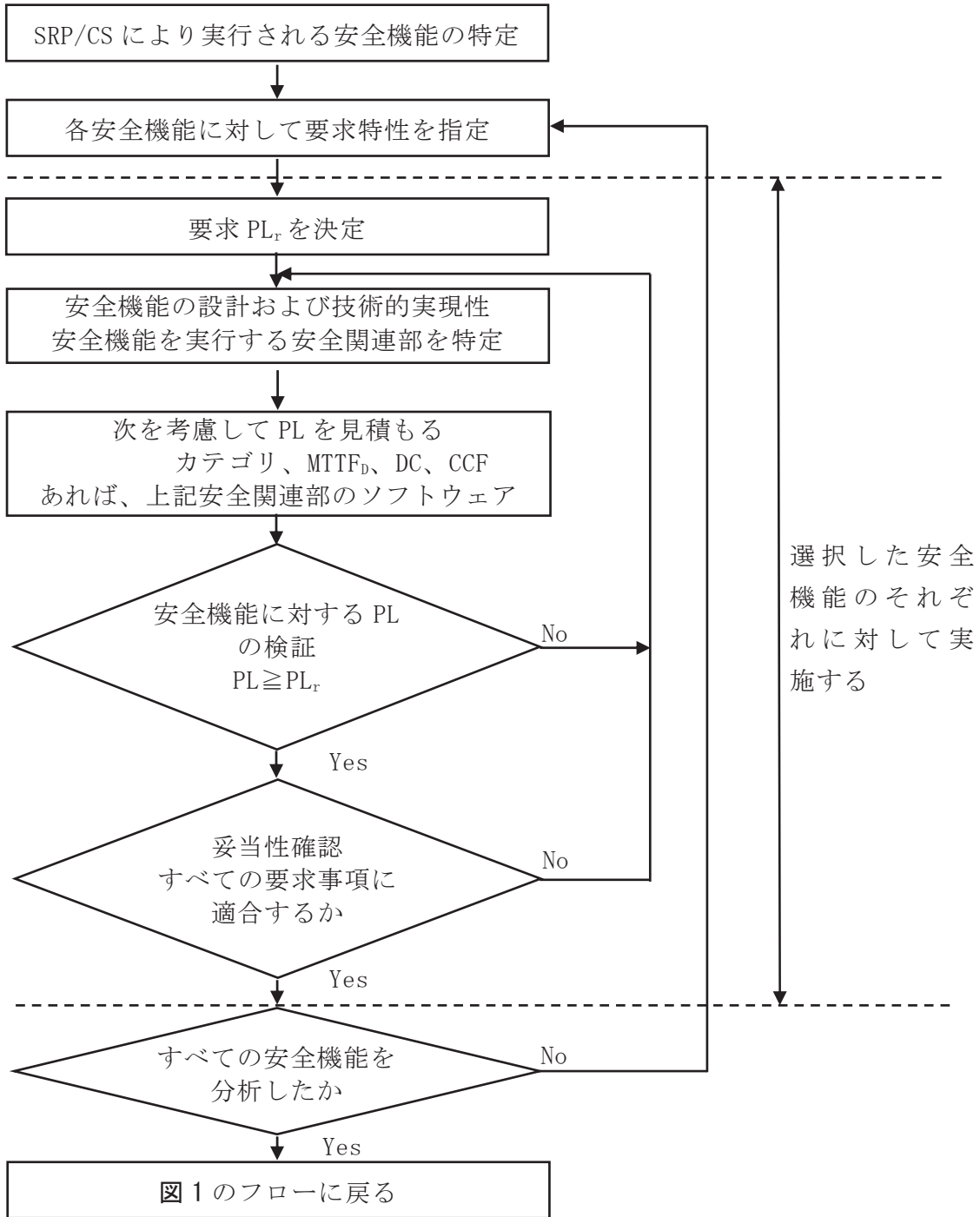


図 2 制御システムの安全関連部 (SRP/CS) の反復プロセス

JIS B 9705-1(ISO 13849-1)では、要求性能レベル(PL<sub>r</sub>: Performance Level required)を、**図 3** のリスクグラフ法によって求める。

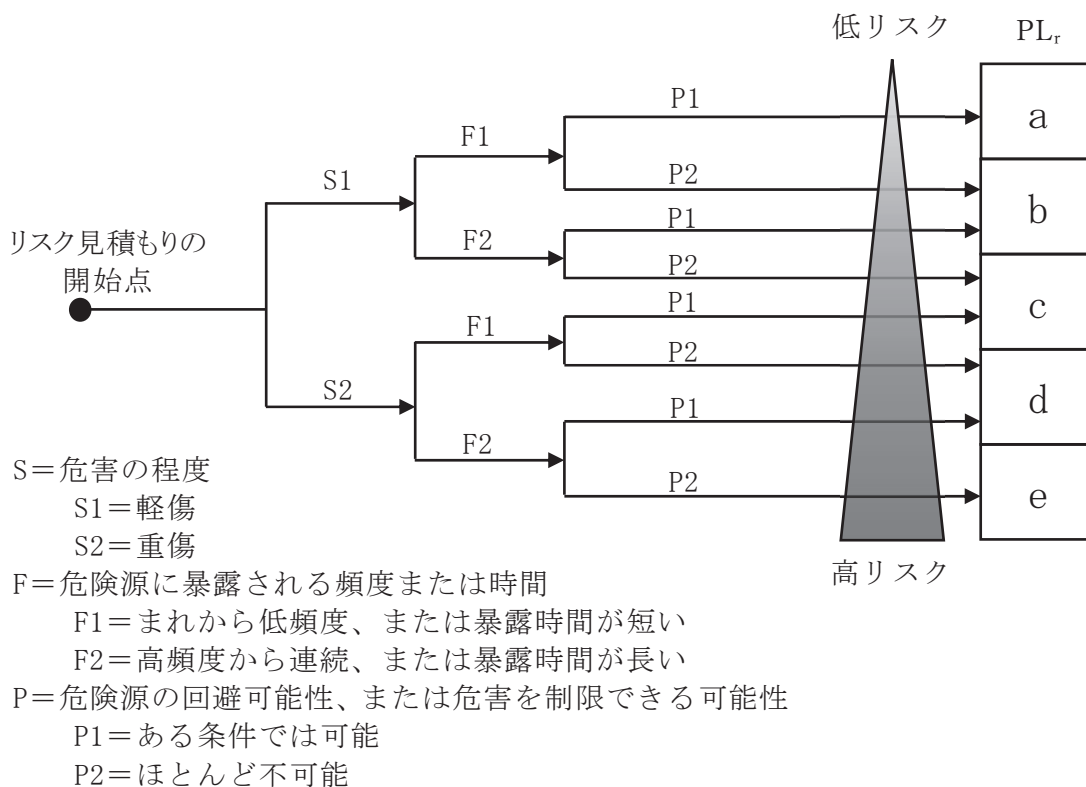


図 3 JIS B 9705-1(ISO 13849-1)の PL<sub>r</sub> 決定法

## (1) 機械の制限仕様の決定

図 1 のフローに従って、機械類の制限(仕様)の決定を行うことにする。

汎用的な AMR システムに対しリスクアセスメントを行うことは困難なため、具体的な検討(リスクアセスメント)を進めるに当たり仮定とするシステムを考えた。

以下に今回検討する AMR システムの仕様を示す。

### ア 型式

JISHA 式自走台車 ABC 型

### イ 用途

- 1) AMR 複数台運用による、コンテナを搭載しての搬送
- 2) 動作指示の実行：移動、From-To の実行

- 3) 自律走行による障害物回避動作、AMR 同士の離合動作
- 4) 人追従動作によるコンテナ/ワーク搬送
- 5) n 対 n、人と AMR との混在運用
- 6) 自律走行時の搬送、走行ルートの自動選択
- 7) コンテナのフロア間移動：エレベータ内へのアクセス（搭乗、降機）が可能

## ウ 主な諸元

- 1) 可搬重量 最大 100kg
- 2) 牽引重量 最大 300kg
- 3) コンテナ搭載数：最大 8 コンテナ
- 4) 同時運用台数：最大 128 台
- 5) 使用場所：屋内専用
- 6) SLAM を用いた自律走行：Safety LiDAR  
立ち入り、進入禁止場所には、マーカーを設置する。
- 7) メカナムホイールを用いた全方位走行（DC サーボによる制御）
- 8) 3D カメラ、Safety LiDAR、Ultrasonic Sensor、バンパースイッチ、レーダーセンサー等を用いた全周囲衝突回避
- 9) 床凹凸、溝、段差などの低床部検出による走行トラブル回避
- 10) 走行速度：最大 2m/s（追従動作モード） 自律走行モード：最大 1.2m/s
- 11) 重量：100kg
- 12) 走行電源：内蔵バッテリー
- 13) バッテリー充電方法：ドッキングステーション（自動/手動）  
or バッテリー カセット交換（手動）
- 14) 耐震性：震度 6 強で転倒しない。
- 15) 感震器による地震自動検出、自動停止（自律走行モード）
- 16) RFID Reader を用いた品質管理：コンテナ IC タグチェック
- 17) 最小通過開口幅：850mm AMR との離合クリアランス 200mm

## エ 使用環境

- 1) フロア材質：コンクリート、リノリウム・エポキシ等によるコーティング床
- 2) 周囲雰囲気：油煙、粉塵は無し。
- 3) 周囲温度：0～40℃
- 4) 周囲湿度：10～90% ただし、結露はない
- 5) 床面表面：水による結露、油汚れがない
- 6) 直射日光が AMR に当たらないこと
- 7) 周辺雰囲気：油煙、引火性ガスはないこと
- 8) 粉塵：車輪がスリップしない程度（配送センターフロアレベル）

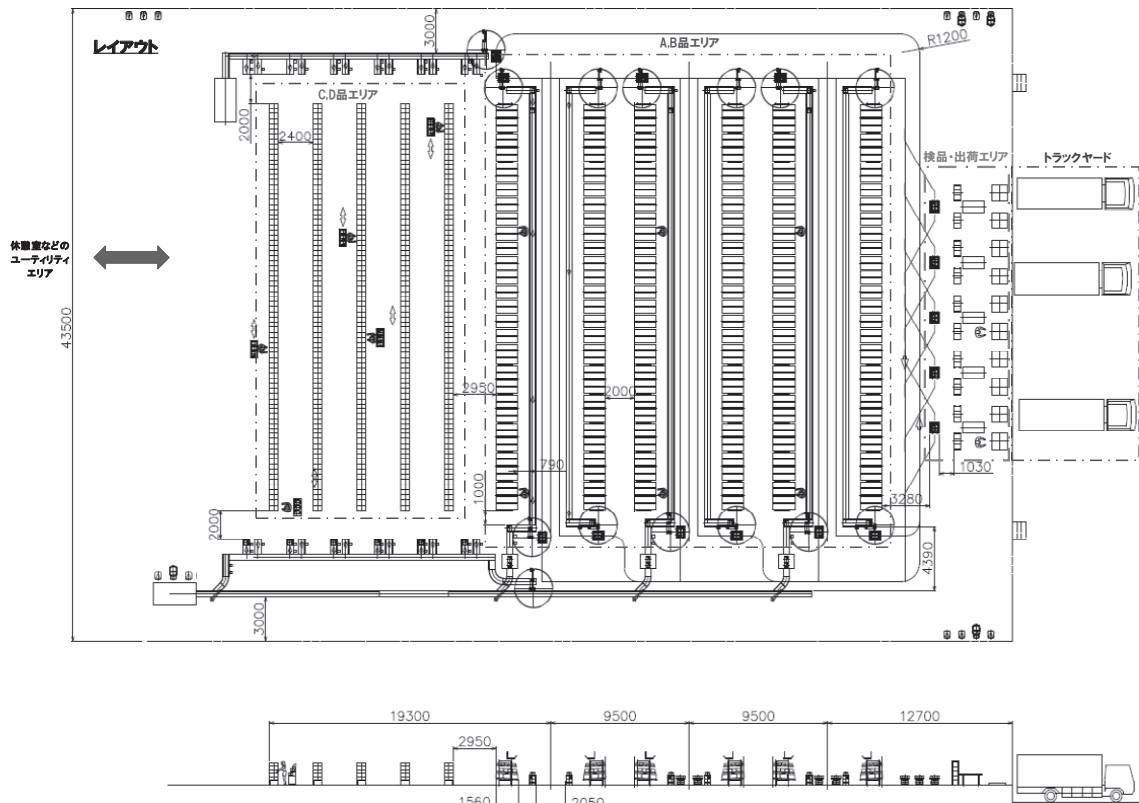


図4 レイアウト図

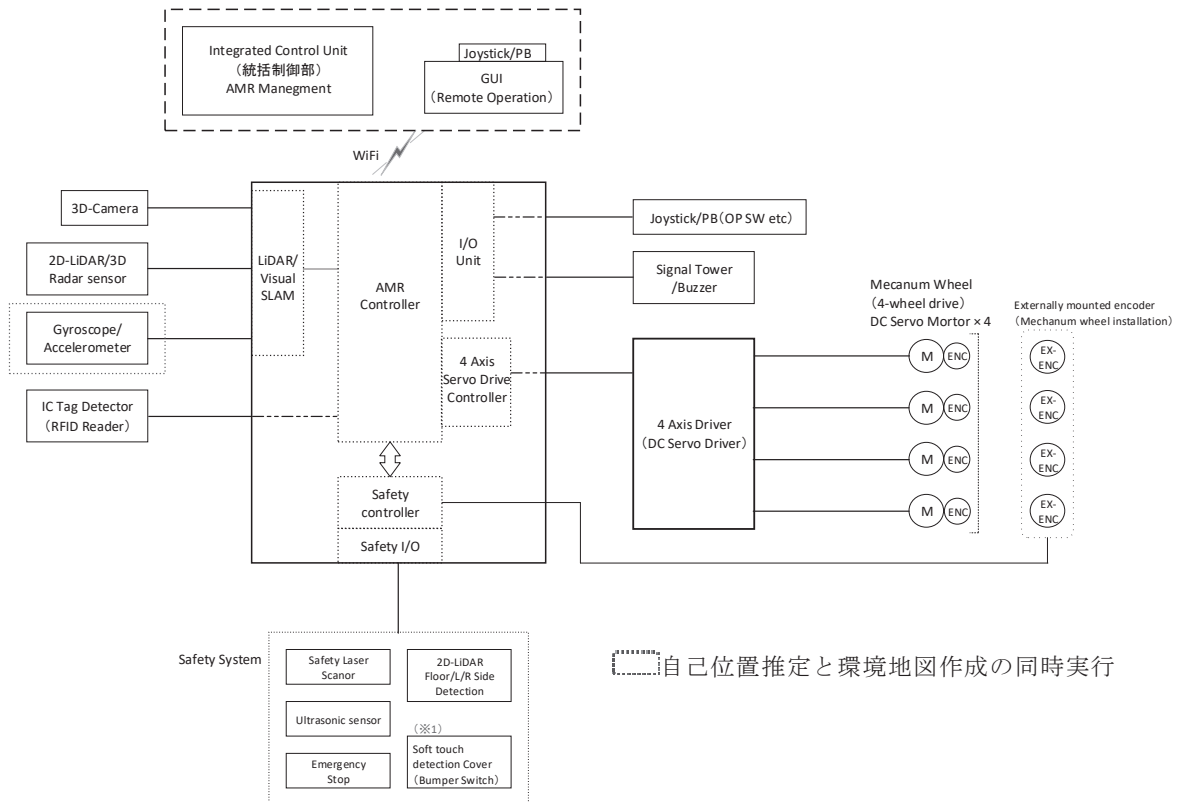


図5 AMRシステム・ブロック図の例

## オ 基本事項及び運用

### 【基本事項】

- 1) 3P の業界をターゲット  
具体的には、医薬品のロジスティックセンター
- 2) レイアウトは、**図 4** 参照
- 3) 設備稼働 24h 月～土曜 24h 稼働 日曜 12h 稼働
- 4) シフト： 月～土 4シフト (6h/人) 日 2シフト (6h/人)
- 5) 作業人員：80 名
- 6) 現場作業員：正社員 1 割 (作業サポートが主、  
トラブル対応などバックヤード)  
パート 9 割 (季節によってアルバイト 1～2 割増)
- 7) 設備管理、保全要員：10 名 (2 直 5 名/直)
- 8) 作業環境：24h 空調 食堂、休憩室有 休憩時間 3h に 1 回 30 分  
(作業についての事前講習あり)  
作業着、保護めがね、帽子支給
- 9) AMR 用充電 ST：14st 設置  
バッテリーユニット充電器：10 箇所
- 10) AMR 使用台数 総数 90 台  
A, B 品エリア：ピッキング時、自律走行タイプ 30 台  
補充時、人追従タイプ 20 台  
C, D 品エリア：ピッキング時、人追従タイプ 20 台  
補充時、人追従タイプ 20 台
- 11) 補充とピッキング作業時間  
作業時間を分ける
- 12) 出荷 月～土：3 回/日 日：1 回/日  
日曜は、出荷後、月曜の出荷段取りを行う。
- 13) トラックバース 5 箇所
- 14) 使用コンテナには、RFID タグを装着 IC タグによる管理
- 15) 出荷検品は、RFID Reader による検品する。
- 16) トラック運転者は、作業詰め所で待機する。  
出荷分が揃ってきたら、検品作業者と一緒にトラックへの  
積み込み作業を行う。
- 17) ピッキングは、A～D 品すべて摘み取り方式  
IC タグ情報によりピッキング場所点灯によりピッキング作業を行う。
- 18) 補充は、A～D 品すべて種まき方式  
IC タグ情報による補充場所点灯により補充作業を行う。

## 【補足説明】

### ・ A, B 品、C, D 品について

ある特定の分野における売り上げは売上げ成績の品目順で上位の 20%が全体の売上げの 80%を占めるというロングテール則に従って分類したもの。

物流業界では、在庫をエリア分けする場合、前述の当該品目 20%~30%を A, B 品に分類し、その他の品目 70~80%を、C, D 品に分類する。

### ・ 摘み取り方式

摘み取り方式とは、作業者が、部品や材料を保管した在庫棚からコンテナ等にピックアップしていく方式のこと。地面に生えた野菜等を摘み取る姿になぞらえ、摘み取り方式と呼ぶ。スーパー等で買い物かごに商品を入れていくイメージである。

### ・ 種まき方式

種まき方式は、摘み取り方式とは逆の方式。

作業者が、決められた場所（在庫棚）に、品物を配って歩く方式のこと。

地面に種をまくイメージになぞらえて、種まき方式と呼ぶ。

コンビニで店員が、決められた場所に商品を補充していくイメージである。

## 【運用】

- 1) 工場で生産された商品がトラックで輸送され、配送センターへ到着。
- 2) 入荷検品作業者が、商品の検品を行い、検品が完了したのから順に所定の棚へ格納。
- 3) 客先からのオーダーに従い、上位系コンピュータは、ピッキング棚（A, B, C, D 品エリア）への商品補充数を算出し、作業者はその算出した数量にしたがい、事前に人追従型自走台車を使用して、ピッキング棚（A, B, C, D 品エリア）へ補充を行う。
- 4) 出荷作業が開始されるタイミングで、コンテナ供給機から空コンテナが供給される。搬送途中でコンテナに取付た IC タグに出荷先、ピッキング情報を書き込む。  
A, B 品のピッキングの場合  
コンテナは、ピッキング作業前ステーションへ自動搬送される。  
C, D 品のピッキングの場合  
コンテナは、C, D 品エリアのステーションへ自動搬送される。
- 5) 作業者は、目の前に到着したコンテナの IC タグを読み取り、各ピッキング棚に表示した必要数量をコンテナに投入し、投入完了ボタンを押下する。



A, B 品のピッキングの場合

下流の次工程ステーションへ送られる。

C, D 品のピッキングの場合

作業者は、他の棚のピッキング作業を行う。

6) 当該コンテナの最終ピッキング作業が終わると

A, B 品のピッキングの場合

最下流の受け渡しステーション、荷積ステーション(以下、荷積 ST)へ送られる。

C, D 品のピッキングの場合

払出ステーション (以下払出 ST) にコンテナを置く。

コンテナは、下流の C, D 品受け渡しコンベア ST または C, D 品用の荷積 ST へ搬送される。

7) コンテナが荷積み ST に到着したら、自律自走台車はコンテナの IC タグ情報を読み取り、出荷検品棚、荷下ステーション(以下、荷下 ST)へ搬送する。

8) 出荷検品作業者は、コンテナの IC タグ情報により、出荷先と出荷品種、数量の検品を行い、出荷時間まで行き先ルート別にコンテナを段重ねして仮置きする。

9) トラックが到着、出荷時間になったら、トラック作業者と出荷検品作業、ピッキング作業でトラックへの積み込みを行う。

以上の作業を、出荷時間を遅延させることがないように、出荷品と人を準備して作業を行う。

作業者の動線は、**図 6** 左側からで、休憩時間や入退場時は、各自の持ち場とユーティリティエリア間の移動となる。

A, B 品と C, D 品の補充は、追従台車を使用して作業者が補充を行う。

出荷については、A, B 品は作業者がピッキングを行いコンテナに投入後、協働ロボットと AMR により出荷兼検品エリアへ搬送、作業者による検品出荷仕分けを行う。

C, D 品は、作業者が追従台車を伴いピッキングを行い、所定分完了後コンベアへ投入、協働ロボットへ搬送され A, B 品投入エリアへ送られ混載動作を行うか直接検品・出荷エリアへ搬送され、検品出荷仕分けを行う。

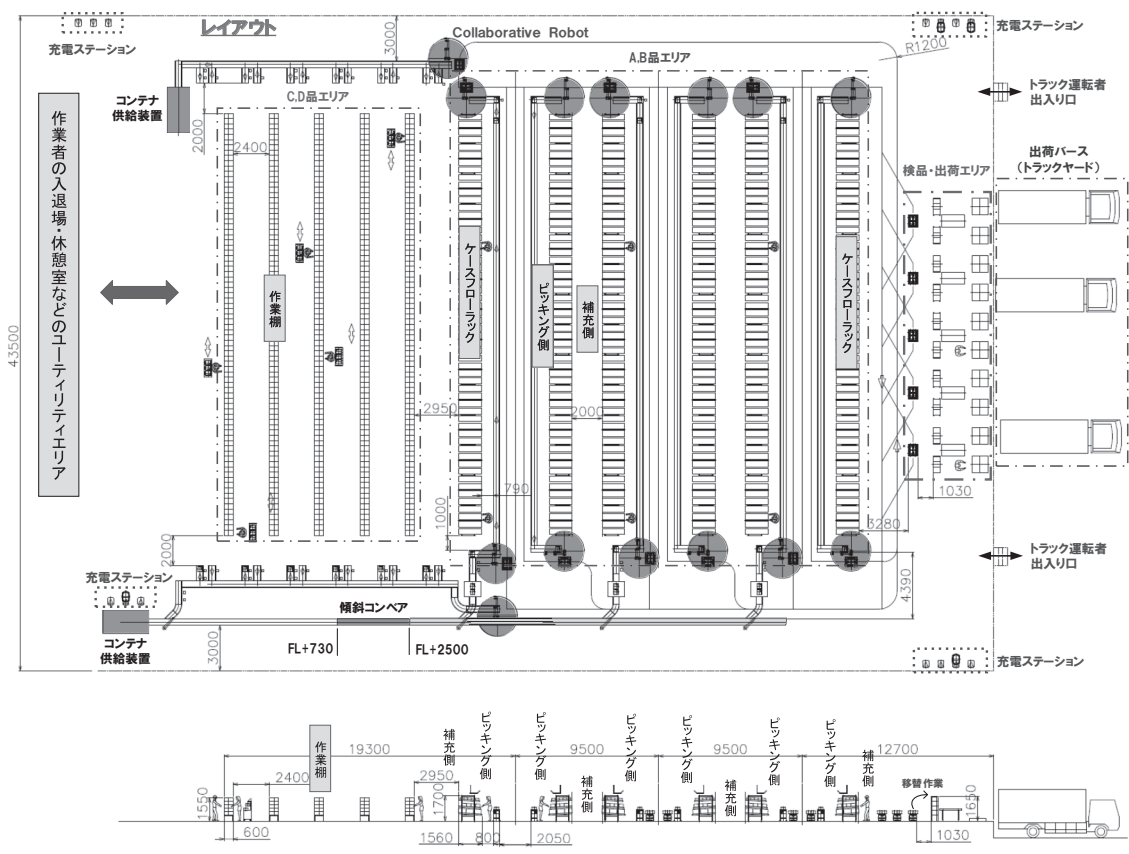


図 6 運用構成図

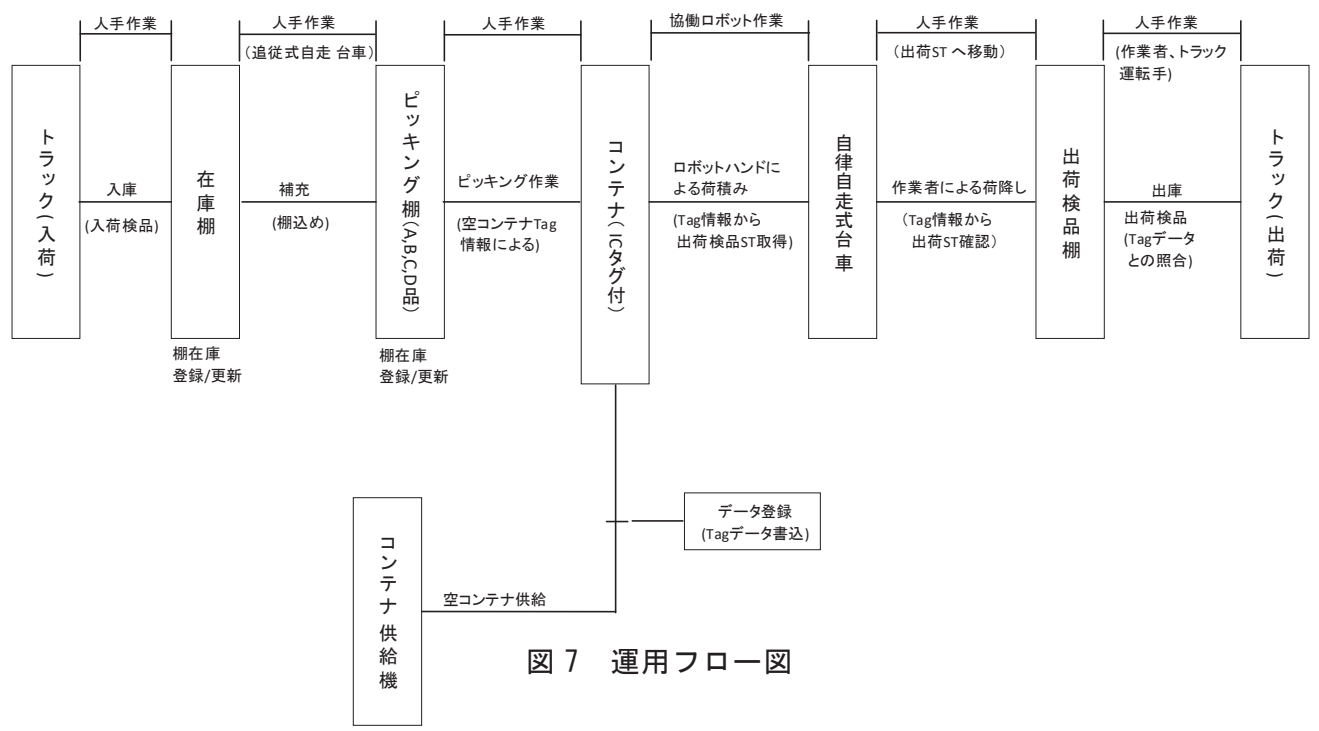


図 7 運用フロー図

## AMR と作業者の動線交差エリア

図 8 は、AMR と作業者が交差する（衝突する）可能性のあるエリアを示している。色の濃いエリアがそれに当たる。

A, B 品エリアの AMR（自律走行）の走行速度と C, D 品補充・ピッキング時の AMR（追従動作）の走行速度は異なる。

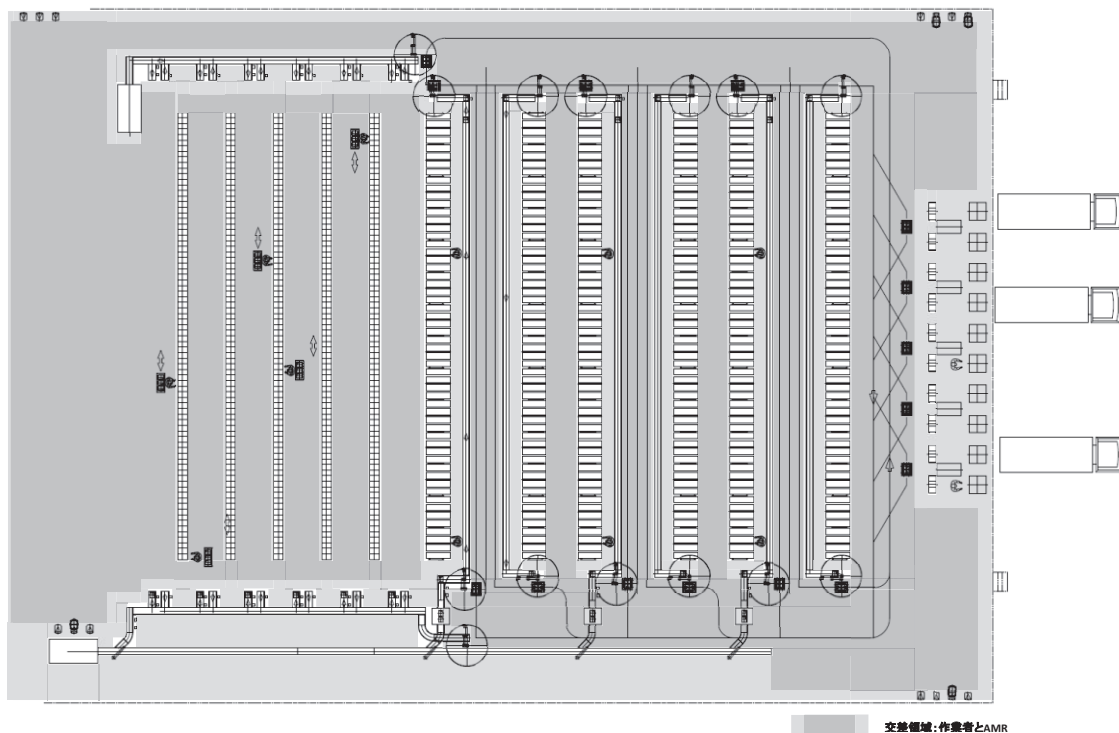


図 8 動線交錯エリア

### 【特記事項】

#### 追従台車の動作について

##### 1. 追従台車の動作パターン

- ① C, D 品の Pick and Place の作業をするときは、作業者に連れ添うように追従する。  
あたかも軌道上（レール上）を走行するような直線的な動作を行う。  
追従は、カルガモ式追従動作のみ。平行式追従動作は今回対象外とする。  
カルガモ式、平行式追従動作については、第 5 章参照。
- ② ユーティリティエリアから Pick and Place (作業) エリアへ移動するときは、作業者の動線に追従して動作、つまり作業者の後をついていく。軌道は、作業者にお任せ。
- ③ Pick and Place 作業中に、作業者が品物を落としそれを拾いに行く

ときなど、通常とちがう動作を行うとき

- ・ 作業者が台車に寄りつくときは、台車は停止したまま
- ・ 台車から離れるまたは左右後方へ回り込む場合は、台車は移動・旋回動作を行い、ついてくる

#### ④ 追従台車の連れ歩き

作業者が作業途中で作業エリアから急遽離れる(生理現象など)場合は、下記2パターン。

- ・ 待機エリアまで連れて行き、その場で停止させる
- ・ 作業しているその場で待機させる

## カ 複数作業者による動線交錯に伴う追従台車の誤追従について

作業動線交差、重なりにより、台車が作業者を誤認識し、違う作業者についていく。

→ 現状のLiDARにより、対象物の位置情報をリアルタイムで認識・判別していれば、ある程度の誤追従防止は可能である。

現状では、複数人が重なった状態で歩行を中断後、移動を開始すると最初に移動を開始した作業者についていく 誤追従の可能性あり。

作業者ごとに識別マーカを用いる方法もあるが、UHF帯のRFIDでは検出範囲が広すぎる(数m～十数m程度)ため使えない。

今回は、作業者同士が重ならないよう運用で逃げることにする。

### 【参考】

作業者が重なった場合の誤認識防止は、作業者のリアルタイム位置情報と追従台車による作業者検出情報を組み合わせることにより技術的には可能であるが、システムが複雑になると判断したため、今回はこの方法は対象外とした。

## (2) 危険源の同定

危険源の同定とは対象となるシステムの、どの部分、どの作業(タスク)などが、危険源リストに掲げられている危険源に当たるかを調べることである。

危険源リストは各規格で附属書として掲載されている。

JIS B 9700(ISO 12100)「機械類の安全性—設計のための一般原則—リスクアセスメント及びリスク低減」附属書Bが基本となっており、その他の規格はこの危険源リストを対応する製品等に当てはめた危険源リストを作成している。

以下にいくつかの危険源リストを示す。

- －JIS B 9700 (ISO 12100) 「機械類の安全性－設計のための一般原則－  
リスクアセスメント及びリスク低減」 附属書 B
- －JIS B 8433-1 (ISO 10218-1) 「ロボット及びロボティックデバイス－  
産業用ロボットのための安全要求事項－第 1 部：ロボット」 附属書 A
- －JIS B 8445 (ISO 13482) 「ロボット及びロボティックデバイス－  
生活支援ロボットの安全要求事項」 附属書 A
- －ISO 3691-4 (JIS D 6802 (JIS 化予定)) 「無人搬送車及びシステム－  
安全要求事項及び検証」 附属書 B

表1 JIS B 9700(ISO 12100)「機械類の安全性－設計のための一般原則－  
リスクアセスメント及びリスク低減」附属書B

No.	種類又は グループ	危険源の例		この規格の 細分箇条
		原因	結果	
1	機械的 危険源	-加速度、減速度	-ひ(轢)かれる	6.2.2.1
		-角張った部分	-投げ出される	6.2.2.2
		-固定部分への可動要素の接近	-押しつぶし	6.2.3 a)
		-切断部分	-切傷又は切断	6.2.3 b)
		-弾性要素	-引込み又は捕捉	6.2.6
		-落下物	-巻き込み	6.2.10
		-重力	-こすれ又はすりむき	6.3.1
		-床面からの高さ	-衝撃	6.3.2
		-高圧	-噴出による人体への注入	6.3.3
以下省略				

表2 JIS B 8433-1(ISO 10218-1)「ロボット及びロボティックデバイス－産業用  
ロボットのための安全要求事項－第1部：ロボット」附属書A

No.	種類	危険源の例		参照 箇条
		原因	結果	
1	機械的 危険源	-ロボットアームの(背面を含む)全ての 部分の(通常又は予期しない)移動	-押し潰し -せん断	4 5.2.1
		-エンドエフェクタ又はロボットセルの 全ての可動部の(通常又は予期しない) 移動	-切傷又は切断 -巻き込み	5.2.3 5.5
		-外部軸の(通常又は予期しない)移動	-引込み又は捕捉	5.6
		-エンドエフェクタの故障(分離)	-衝撃	5.7
		-作業位置でのエンドエフェクタ工具の 移動	-突刺し又は突き通し	5.8.4
		-ハンドリング運転中の機械又はロボッ トセル部品の意図しない移動	-こすれ、擦り傷 -高圧流体/ガスの注入 又は噴出	5.9 5.10 5.11
		-材料又は製品の落下又は放出		5.12
		-ジグ又は把持具の意図しない移動		5.13
		-予期しない開放		5.14
		以下省略		

表3 JIS B 8445 (ISO 13482) 「ロボット及びロボティックデバイスー生活支援ロボットの安全要求事項」 附属書 A

番号	危険源の種別	危険源分析		関連する安全要求事項の箇条
		危険源	潜在的結果	
1	電池充電の危険源、エネルギーの蓄積及び供給の危険源	電池の過負荷	火災、危険な煙又は物質の放出	5.2
2		過放電した電池の充電	火災、危険な煙又は物質の放出	5.2
3		電池活端子との接触	感電	5.2
4		電池の短絡	火災、危険な煙又は物質の放出	5.2
以下省略				

表4 ISO 3691-4 (JIS D 6802 (JIS 化予定)) 「無人搬送車及びシステムー安全要求事項及び検証」 附属書 B

番号	危険源の種類	起こりうること	関連事項	
1	機械的な危険源			
	-加速、減速(運動エネルギー) -機械移動性 -可動部 -回転する要	-轢かれる -押しつぶし -引込み又は捕捉 -衝撃	4.1.3 4.1.4 4.2 4.3 4.5 4.6 4.7 4.8 4.9 4.10 5 6	電气的要求事項 蓄積されたエネルギー要素 ブレーキシステム 速度制御 荷役 操だ(舵) 安定度 保護装置と補完措置 運転モード トレーラのけん引を意図した車両 安全要求事項の検証 使用上の情報
以下省略				

今回のリスクアセスメントでは、ISO 3691-4 (JIS D 6802 (JIS 化予定)) 「無人搬送車及びシステムー安全要求事項及び検証」 附属書 B の危険源リストを採用した。

### (3) リスクの見積もりと評価

リスクの見積もり方法として中央労働災害防止協会の「設計技術者・生産技術管理者のための機械設備のリスクアセスメント実務研修」で使用している方法を使用した。

危害のひどさを表 5 の S1～S4 の 4 段階に分類する

表 5 危害のひどさ

危害のひどさ(S)	ひどさの程度
S1	微傷 (応急手当で済み、業務影響わずか)
S2	軽傷 (治療を要す、不休、業務復帰可)
S3	重傷 (休業、いつか業務復帰可)
S4	重大 (死亡・重い後遺症、業務復帰不能)

危害のひどさについては、通常起こりうる危害とした。

最悪の事態を考えると、人と AMR の衝突に関して以下のことが考えられる。

- ・衝突により転倒し頭部を強打し脳挫傷により死亡する。
- ・出会い頭に人と AMR が衝突し、人がびっくりし心臓麻痺を起こして死亡する。
- ・人と AMR が衝突し切り傷を負い、出血多量で死亡する。

上記のような最悪の事態を考えると衝突はすべて死亡事故 (S4：重大) となってしまう。

このため、本リスクアセスメントでは衝突は S2：軽傷(打撲)の危害として扱った。

表 6 に危険源への接近頻度を F1～F3 の 3 段階に分類する

表 6 危険源への接近頻度

危険源への接近頻度 (F)	接近頻度の例
F1	月に1回未満
F2	月に1回以上 ～日に1回未満
F3	毎日

表 7 に保護方策の確実性を K1～K3 の 3 段階に分類する。

K1～K3 は、JIS B 9700 (ISO 12100) のリスク低減のためのスリーステップメソッドに対応する。



ソッドに対応する。

K1 はステップ 1 およびステップ 2 に対応する。K2 はステップ 2 の保護方策が施されているが、不十分である。K3 は保護方策が実施されていない状態である。

表 7 保護方策の確実性

保護方策の 確実性 (K)	保護方策の確実性のレベル
K1	本質的安全設計方策(最初から織り込み済み)、 又は隔離の原則、停止の原則が正しく適用され、 危害の発生を確実に防止できる (人に頼らない方策)
K2	安全柵やカバー等はあるが、扉が施錠されていない、 又は柵を越えることができる等、危険区域に進入できる。 侵入した時機械が止まる安全装置がない等(一部人に頼る)
K3	安全柵やカバーがない又は簡易的で進入を防止する手 段となっていない。(トラロープ、表示だけ等) (人の注意かに頼る方策＝信頼性が低い) (設計のRAIは、保護方策なしのこのレベルからスタートする)

S : 危害のひどさ、F : 危険源への接近頻度、K : 保護方策の確実性の 3 つのパラ  
メータの組み合わせから表 8 で示すリスクレベル (I ~ IV) を導出する。

表 8 リスクレベルの導出

		保護方策の確実性								
		K1			K2			K3		
		接近頻度			接近頻度			接近頻度		
		F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3
危害の ひどさ	微傷 (S1)	I	I	I	I	II	II	II	II	II
	軽傷 (S2)	I	I	II	II	III	III	III	III	III
	重傷 (S3)	II	II	II	III	III	IV	IV	IV	IV
	重大 (S4)	II	II	II	IV	IV	IV	IV	IV	IV

表 9 はそれぞれのリスクレベルに対する対応方針を示したものである。  
保護方策によるリスク低減を行って、リスクレベル I または II にもっていく。

表 9 リスク対応方針

リスク レベル	評価基準	リスク対応方針
I	些細	適切に低減されたレベルであり、 新たな保護方策は不要
II	軽微	最初の見積りでは、工学的方策を検討する 再見積りでは許容可能なレベルとして、ユー ザーに管理的な方策の実施等の、機械 危険情報を提供する
III	中程度	許容不可能なレベル。現在の技術レベルで 実行可能な最大限のリスク低減を行っても、 IIIに留まる場合は、ユーザーと協議して使用 する場合もある
IV	重大	許容不可能なレベル。このままではユ ーザーには譲渡できない

### 3 リスクアセスメント結果とリスク低減方策

プロトコル作成ワーキンググループで実施したリスクアセスメントの結果の抜粋を次ページ以降の表 10 リスクアセスメントシートに示す。

全体で 101 項目が抽出された。なお、これがすべてではなく、また対策も記載以外にも考えうる。

システムの仕様によって別のリスクアセスメントが行われることも考えられるが、今回検討した AMR システムの仕様に従ってリスクアセスメントを実施した。

リスクアセスメントシートは、中央労働災害防止協会が使用している表を修正して使用した。

危険源としては、先にも述べた ISO 3691-4(JIS D 6802(JIS 化予定))「無人搬送車及びシステム—安全要求事項及び検証」附属書 B の危険源リストを採用した。

「危険事象が発生する状況／危険状態／起こりうる状況(原因)」から「危険事象/起こりうること 危害(結果)」を記述し、そのリスクを見積もる。

その後、方策として「保護方策」と「安全機能」を記述する。

この方策を実施した場合のリスクの再見積を行う。

結果として、「方策実施後の評価」「方策の適否の判定法」を記述してある。

この「方策の適否の判定法」が最終的な実証試験プロトコルとなる。

リスクアセスメントによる「方策の適否の判定法」の詳細な実証試験プロトコル作成例を「第 5 章 自走自律制御機械の安全確保に関する実証試験のプロトコル作成例」で述べる。

### 4 まとめ

実証試験プロトコルを作成するに当たり手順は以下となる。

1. 対象とするシステムの仕様及び使用環境を正確に記述する。
2. システムに対してリスクアセスメントを行う。
3. 危険源に対する保護方策を策定する。
4. 保護方策の安全機能が機能するか検証するための実証試験プロトコルを作成する。

この実証試験の順序だった具体的な手続きが実証試験プロトコルとなる。

表 10 リスクアセスメント表

リスクアセスメント実施結果	リスクアセスメント実施結果				リスクアセスメント実施結果				リスクアセスメント実施結果				リスクアセスメント実施結果			
	危険事象の発生頻度		危険事象の発生頻度		危険事象の発生頻度		危険事象の発生頻度		危険事象の発生頻度		危険事象の発生頻度		危険事象の発生頻度		危険事象の発生頻度	
	危険事象の発生頻度	危険事象の発生頻度	危険事象の発生頻度	危険事象の発生頻度	危険事象の発生頻度	危険事象の発生頻度	危険事象の発生頻度	危険事象の発生頻度	危険事象の発生頻度	危険事象の発生頻度	危険事象の発生頻度	危険事象の発生頻度	危険事象の発生頻度	危険事象の発生頻度	危険事象の発生頻度	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	



## 第4章 自走自律制御機械メーカー・ユーザーに対する実地調査等の結果

### 1 概要

本事業では、昨年度、技術革新を応用した「自走自律制御機械」の安全対策、ならびに、検証のための実証試験について、このような機械を設計・製造又は開発しているメーカーを訪問し実地調査を行った。これを踏まえ、本年度では、引き続きメーカーを対象に自走自律制御機械の現状や開発動向、安全上の課題を調査すると共に、自走自律制御機械を導入又は導入を検討しているユーザーを対象に、このような機械を導入する上での安全性の評価や管理、メーカーとの協議について実態を調査することとした。

調査する機械／システムの範囲については、昨年度の調査を踏襲し、製造・生産現場で使用される「無人搬送システム」及び「物流ピッキング／搬送作業システム」を主たるターゲットとしつつ、一般の人を対象に施設などの公共環境で作業を行う「サービスロボット」を含む方針とした。この方針の下で協力を仰げる事業場を募り、最終的に、メーカーとして3社（以下、A社、B社、C社という。）、ユーザーとして4社（以下、D社、E社、F社、G社という。）を調査した。

本章では、得られた調査結果をメーカーとユーザーに分けて報告すると共に、本事業の目的である自走自律制御機械の実証試験プロトコルの策定において留意すべき事項を明確にする上で重要と考えられる点についてメーカー・ユーザー双方の観点から考察する。

### 2 調査方法

昨年度と同様、調査は「調査票」を使用したもので、調査前までに対象事業場に調査票を送付して可能な範囲で回答いただき、後日、その回答に基づいて調査担当者が面談にて内容を確認、必要に応じて補足・拡充し、最終的に実地調査結果票とする方法で行った。メーカー及びユーザーに事前に送付した調査票の様式（事前調査票）をそれぞれ表1と表2に示す。

メーカー向け事前調査票において、項目1～9は、「自走自律制御機械」の仕様、保護方策、AIなどの革新的技術の利用などに係る部分である。昨年度の調査項目に準じた内容であるが、昨年度の経験を踏まえ、調査対象者からより積極的な回答を促すために自走自律機能や用途などの例示を増やした。項目10～13は、リスクアセスメント、設計段階で実施する機能試験、さらに、安全上必要なユーザーへの要求事項など、本調査の目的である安全性確保及び実証試験プロトコルの策定を把握するために修正・追加した項目である。項目14と15は、昨年度では「その他」としていた項目で、本年度は内容が明確となるようにした。

一方、ユーザー向け事前調査票は本年度新規に作成したもので、項目1～9は、自走自律制御機械自体に関する項目で、内容及び調査する視点はメーカーと同様であるが、質問文や例示に関しては機械を導入する立場に立った記載としている（例えば、項目3、

5、8、9)。また、項目 10～12 は、本年度の目的としている自走自律制御機械を導入する上での安全性の評価や管理、メーカーからの情報提供に関する項目で、メーカー向け調査票に準じた構成とした。

表 1 事前調査票（メーカー向け）

調査項目		回答欄
1	対象機械	名称／型番  主な仕様(走行速度、搬送質量等) (カタログや取扱説明書がいただければそれで結構です。)
2	自律走行機能・搬送機能の概要	例) LiDAR による距測情報を、あらかじめ入力された工場内地図と照合して自己位置を推定し、走行経路を生成する(指令は出発位置、到着位置及び進入禁止区域だけで、経路は指令にない)。障害物を検知した場合には停止する。荷の移載はステーションとの光通信で行う。
3	使用目的・用途の概要(使用環境又は搬送物など)	例) 主な用途としては、①工場内での資材運搬／物流倉庫でのピッキング、②小売店内での商品供給、③小規模飲食店での配膳
4	使用状況／使用条件	典型的な導入システム数及び 1 システムに含まれる搬送車台数  同一区域内で同時に運転可能な搬送車の台数  搬送車 1 台の連続運転可能時間
5	導入環境は、次のいずれに該当しますか。①～④の中から選んで丸をつけてください。  導入環境の想定について何かコメントがあれば、空欄に記入ください。	① 公共の人と混在 ② 作業者と混在 ③ 人とは分離 ④ その他  → ①～③に該当しない理由を教えてください。  注:「混在」とは、対象機械が走行する領域に人が立ち入ることがあること。「分離」とは、対象機械が走行する領域と人がいる場所が柵等の物理的障害物で分離されていること。
6	自律移動制御に関わる災害防止のため、次のような安全装置(安全機能)を採用していますか。	① 非常停止ボタン ・台車に設置 ・遠隔から操作  ② 障害物検出装置 ・接触検知 ・非接触検知  ③ 警報装置

		④ その他の技術的方策 (本質的安全設計、安全装置、安全機能など)
7	自律移動制御に、AI(人工知能)を採用していますか。	例)ナビゲーション、経路計画、障害物と人の判別、異常(故障)検知
8	AIを採用している場合、その機能はシステムの安全機能に関係しますか。右欄の①～③の中から選んでください。	① 安全機能にAIは関わっていない。 ② 安全機能にAIが関わっている。 → 安全機能を教えてください。 ③ どちらとも言えない。 → 理由を教えてください。
9	対象機械システムの構成では、機能制御部と安全関連部を区別していますか。	
10	リスクアセスメントを実施していますか。 実施している場合、 ・どのような危険源リストを使われましたか。 ・又は、どのような基準、JIS規格、国際規格に記載されている危険源、危険状態、危険事象を当てはめられましたか。	
11	上欄のリスクアセスメント等を通して抽出された自律制御機能に係る想定される主な危険源・危険状態・危険事象はどのようなものでしたか。	
12	当該機械の災害防止に係る機能等を確認するために、開発段階で、使用現場又は現場と同等の環境(路面状況や照度などを再現した環境)において実施している性能試験又は機能テストがあれば、具体的に教えてください(ユーザーと共同で実施するものも含みます)	① 自主的に実施しているもの ・ 自社試験環境において実施 ・ ユーザーの使用環境において実施 ② ユーザーからの要望を受けて実施したことがあるもの 例1) 周囲の障害物/人への衝突回避性能の確認: ・ 予定の最大積載重量物を搭載した状態で試験片に向けて走行させ、仕様通りの距離で検知・停止できることを確認する。 ・ 進行方向前方で、使用環境にいる人の服装をしたマネキンを横切るように移動させ、検知して停止するか調べる。 例2) 自律走行に係る安全機能の確認: ・ 導入時に、追従走行時に対象者を見失ったとき及び対象者以外がすぐそばを通ったときの挙動を調べる。 ・ 走行中に、LiDARを疑似的に故障させ、挙動を調べる。 例3) 場所に依存する危険源に対する安全機能の確認: ・ 段差に対する対応として、地図情報に進入禁止のデータを書き込み、進入しないことを確認する。 ・ ビーコンで床の貼付の進入禁止マークを検出し、停止することを確認する。

		例 4) 起動時のセルフチェック機能の確認: ・ センサとコントローラ間の配線を疑似的に断線させ、起動時のセルフチェックで異常を検出できるか調べる。
13	現場で作業者との接触による災害などを防ぐために、ユーザーに要求・依頼している事項などに関し、以下の点について教えてください。	
	ユーザーから提供が必要な情報(現場でなければ分からない条件など)	例 1) 使用環境路面の段差や油濡れの有無。 例 2) 使用環境の照度・影の有無。 例 3) 接近の可能性のある人の服装。
	ユーザー側で実施してもらう安全防護(柵の設置など設備対策)	
	運用開始前に、ユーザー側で実施してもらう試験、性能確認(ユーザーだけで実施してもらうもの。ユーザーと協力して実施する試験はここには含みません)	例 1) 予定の最大積載重量物を搭載した状態で、経路逸脱、転倒などが起こらないか確認するよう、運用マニュアルで規定している。 例 2) 場所に依存する危険源に対する対応: 段差に対する対応として、地図情報に進入禁止のデータを書き込み、進入しないことをするよう、運用マニュアルで規定している。
	運用後に継続して行う点検など試験、性能確認(運転前点検、定期検査など)	例 1) 混在するのが公共の人と想定しているため、求めている。 例 2) 柵によって台車走行中の運転経路内への立ち入りは禁止されるため、求めている。 例 3) 社内規定により、出入り業者を含め、走行領域内に立ち入る人にはゴーグル・ヘルメット・グローブの着用を義務付けるよう求めている。
	個人用保護具以外の管理的方策を求めていますか。	① 立ち入り禁止措置の実施 ② 使用権限管理の整備
	運用開始前に、ユーザー側の作業者などを対象に、機械の使用に係る講習や操作訓練などを実施していますか。	
14	自律制御機能に係る無線通信でのサイバーセキュリティ対策について、教えてください。	① 無線通信方式(Wi-Fi、Bluetooth など) ② 無許可の接続(侵入)を防止する対策
15	現在、開発に取り組んでおられる自律走行搬送に係る要素技術があれば、教えてください。	① 環境認識手段、人検知センサなど ② 状況判断・制御方式(AI の利用)など ③ 駆動方式(アクチュエーター)など

表 2 事前調査票 (ユーザー向け)

調査項目		回答欄
1	対象機械	名称/型番  主な仕様(走行速度、搬送質量等)



		(カタログや取扱説明書がいただければそれで結構です。)
2	自律走行機能・搬送機能の概要	例) LiDAR による距測情報を、あらかじめ入力された工場内地図と照合して自己位置を推定し、走行経路を生成する(指令は出発位置、到着位置及び進入禁止区域だけで、経路は指令にない)。障害物を検知した場合には停止する。荷の移載はステーションとの光通信で行う。
3	使用目的・用途の概要(使用環境又は搬送物など)	例) 材料棚から加工ステーションまでのワーク運搬、及び、加工ステーションから搬出口までの加工品運搬
4	使用状況/使用条件	典型的な導入システム数及び 1 システムに含まれる搬送車台数  同一区域内で同時に運転可能な搬送車の台数  搬送台車 1 台の連続運転可能時間
5	導入環境は、次のいずれに該当しますか。①～④の中から選んで丸をつけてください。  導入環境の想定について何かコメントがあれば、空欄に記入ください。	① 公共の人と混在 ② 作業者と混在 ③ 人とは分離 ④ その他  → ①～③に該当しない理由を教えてください。  注:「混在」とは、対象機械が走行する領域に人が立ち入ることがあること。「分離」とは、対象機械が走行する領域と人がいる場所が柵等の物理的障害物で分離されていること。
6	自律移動制御に関わる災害防止のため、次のような安全装置(安全機能)が採用されていますか。	① 非常停止ボタン ・台車に設置 ・遠隔から操作  ② 障害物検出装置 ・接触検知 ・非接触検知  ③ 警報装置  ④ その他の技術的方策 (本質的安全設計、安全装置、安全機能など)
7	自律移動制御に、AI(人工知能)が採用されていますか。	例) ナビゲーション、経路計画、障害物と人の判別、異常(故障)検知
8	AI が採用されている場合、その機能はシステムの安全機能に関係しますか。右欄の①～③の中から選んでください。	① 安全機能に AI は関わっていない。 ② 安全機能に AI が関わっている。 → 安全機能を教えてください。 ③ どちらとも言えない。

		→ 理由を教えてください。 例) 障害物回避機能がどういう原理で作動するかについては、メーカーに問い合わせなければ分からない
9	対象機械システムの構成では、機能制御部と安全関連部を区別されていますか。	
10	リスクアセスメントを実施していますか。 実施している場合、 ・どのような危険源リストを使われましたか。 ・又は、どのような基準、JIS 規格、国際規格に記載されている危険源、危険状態、危険事象を当てはめられましたか。	
11	上欄のリスクアセスメント等を通して抽出された自律制御機能に係る想定される主な危険源・危険状態・危険事象はどのようなものでしたか。	
12	自律走行中に現場で作業者との接触による災害などを防ぐために実施していることに関し、以下の点について教えてください。	
	メーカーからどのような情報をもたらしていますか。また、必要でしょうか。	① メーカーから提供された情報 ② メーカーに提供してほしい情報
	運用開始前に、当該機械の災害防止に係る機能等を確認するため、使用現場又は現場と同等の環境において、性能試験又は機能テストを実施しましたか。	① メーカーから実施が指定されたもの ② 自主的に実施しているもの 例 1) 進行方向前方で、使用環境にいる人の服装をしたマネキン仕様通り検出できるか確認した。 例 2) 段差に対する対応として、地図情報に進入禁止のデータを書き込み、進入しないことを確認した。
	運転前点検、定期メンテナンスなどで実施している性能試験又は機能テストはありますか。	① メーカーから実施が指定されたもの ② 自主的に実施しているもの 例 1) 毎回の運転開始時に、試験片に向けて走行させ、仕様通り停止することを確認している。 例 2) 立入禁止区域の変更時には、正しく進入しないことを確認している。
12	接近する可能性のある人に個人用保護具(保護めがね／ゴーグル、保護帽、グローブ等)の使用を定めていますか。	例 1) 混在するのが公共の人と想定しているため、規定していない。 例 2) 柵によって台車走行中の運転経路内への立ち入りは禁止されているため、規定していない。 例 3) 社内規定により、出入り業者を含め、走行領域である工場内に立ち入る人にはゴーグル・ヘルメット・グローブの着用を義務付けている。
13	自律制御機能に係る無線通信でのサイバーセキュリティ	① 無線通信方式(Wi-Fi、Bluetooth など)

	対策について、教えてください。	② 無許可の接続(侵入)を防止する対策
14	現在、開発に取り組んでおられる自律走行搬送に係る要素技術があれば、教えてください。	① 環境認識手段、人検知センサなど ② 状況判断・制御方式(AIの利用)など ③ 駆動方式(アクチュエーター)など

### 3 メーカーに対する調査結果と考察

#### (1) 調査結果

メーカー3社の各調査項目に対する事前回答及び面談による調査結果をまとめた「実地調査結果票」を表3～5にそれぞれ示す。

A社は、昨年度も調査に協力いただき、「A社」として報告した無人搬送車メーカーである。昨年度は製品化前の仮仕様で回答いただいたが、今年から販売を開始し、現在、いくつかのユーザーの元で導入を前提に実証試験を行っている段階とのことで改めて本調査に参加いただいた。B社は、電機メーカーグループにおいて生産技術の開発研究及び生産設備の製造を担う事業所である。同じグループの産業機器、通信機器の生産拠点である事業所へ、製品検査工程における試験設備の一部として自律移動を行う搬送台車を納入した実績があり、協力いただいた。C社は、産業用機器・機械メーカーで、自社製品である協働ロボットアームをガイドレスで走行する搬送台車の荷台に搭載した形態の移動ロボットを販売している。現在、いくつかのユーザーの元で導入を前提に実証試験を行っている段階とのことで、本調査では昨年開催された展示会で出展した際の事例を対象に回答いただいた。

以下では、概ね調査項目順に、各社の結果を比較する形で概説するとともに、実証試験プロトコルの策定において留意すべき事項、ならびに、自走自律制御機械の安全性に関わる現状と動向、ユーザーとの連携について考察する。

表3 実地調査結果票（メーカー向け）－ A社 －

調査項目		回答
1	対象機械	<p>【事前回答】 搬送台車</p> <p>主な仕様(走行速度、搬送質量など) 車体質量:80 kg 可搬質量:60 kg 自走速度:8 km/h モーター:100 W ×4個 車輪:オムニホイール(全方向移動可能)</p> <p>【調査結果】 － ガイドレスでの自動搬送及び前方を歩く人に追従する方式での搬送を行える台車。昨年度の報告書において「A社」として報告した製品。</p>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 今年から販売を開始した。現在は、いくつかのユーザーの元で、導入を前提に実証試験を行っている段階。</li> </ul>
2	自律走行機能・搬送機能の概要	<p><b>【事前回答】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ LiDARによる距測情報を、あらかじめ入力された周辺地図と照合して自己位置を推定</li> <li>・ 走行経路は、行先に応じてロボットが生成</li> <li>・ 障害物を検知した場合には回避または停止、再経路生成する。</li> <li>・ 荷の移載は手動が基本(自動移載はカスタマイズ対応)。</li> <li>・ タグレスでヒト追従による搬送が可能。</li> </ul> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- レーザーセンサの距測データを基にSLAM技術を用いて自己位置を推定し、経路を自動生成するガイドレス走行、又は、前を歩く人を検知・認識し、一定の距離を保ちながら追従する追従式走行で荷の運搬を行う。台車同士が追従し合うことも可能。</li> <li>- 距測データと入力された地図が大きく異なる場合は、「エラー」と判断して停止する。</li> <li>- 地図情報は、メーカーが使用環境を手動で走行させ、SLAM技術を用いて作成する。設備のレイアウト変更など、地図変更が必要な場合にはメーカーが対応する。</li> </ul>
3	使用目的・用途の概要(使用環境又は搬送物など)	<p><b>【事前回答】</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>①工場内での自動搬送・追従搬送。</li> <li>②倉庫内でのピッキング支援(手押し台車代替・自動搬送)。</li> <li>③空港・店舗・ホテルでの手荷物/商品搬送。</li> <li>④飲食店での配膳・回収。</li> </ol> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 用途としては、産業用に限定せず、サービス業用途も考えているとのこと。</li> <li>- 荷の移載は手動が基本とのこと、人との物理的インタラクションは想定していない。</li> <li>- 一つの荷を複数台で運ぶ搬送も想定していない。</li> </ul>
4	使用状況/使用条件	
	導入システム数及び一つのシステムに含まれる搬送車台数	<p><b>【事前回答】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 工場内での自動搬送・追従搬送: 1~30 台 / システム</li> <li>・ 倉庫内でのピッキング支援: 2~20 台 / システム</li> <li>・ 空港・店舗・ホテルでの手荷物/商品搬送: 1~5 台 / システム</li> <li>・ 飲食店での配膳・回収: 1~3 台 / システム</li> </ul> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 各アプリケーションにおいて設計側で想定している台数。</li> <li>- 倉庫内でのピッキング支援について、1台しか使用しない例はないであろうとのこと。</li> <li>- 空港・店舗での使用、飲食店での使用については、実際の施設・店舗を借りて実証試験をすでに行っている。</li> <li>- 雑踏の中では自己位置をロストし易い傾向があるとのこと。</li> </ul>
	同時に運転する搬送車の台数	<p><b>【事前回答】</b></p> <p>100台想定。</p>

		<p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 上記のとおり。</li> </ul>
	搬送台車1台の連続運転可能時間	<p>【事前回答】</p> <p>6時間。</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 上記のとおり。</li> </ul>
5	<p>導入環境は、次のいずれに該当しますか。①～④の中から選んで丸をつけてください。</p> <p>導入環境の想定について何かコメントがあれば、空欄に記入ください。</p>	<p>【事前回答】</p> <p>①公共の人と混在 ②作業者と混在 ③人とは分離</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 用途としては、産業用に限定せず、サービス業用も考えられている。</li> <li>- アプリケーション次第では、産業用・サービス業用のどちらでも、人と分離する使用形態が考えられることから、③が選択されている。</li> </ul>
6	<p>自律移動制御に関わる災害防止のため、次のような安全装置(安全機能)を採用していますか。</p>	<p>【事前回答】</p> <p>省略(調査結果に含めて報告する)</p> <p>【調査結果】</p> <p>1 非常停止装置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 台車に非常停止ボタンを前後に2個設置。動力遮断系は自律移動制御系とは独立。</li> <li>- 無線式の遠隔操作パッドで操作できる停止機能を実装している。緊急停止の扱いで、Wi-Fiが届かない場合は停止操作情報が当該機まで伝わらないため、停止できない。ただし、再起動のためには、安全確認の意味から台車上のリセット装置を操作しなければならないようにしており、遠隔での再起動操作は行えない。</li> </ul> <p>2 障害物検出装置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 接触式検知手段として、台車全周を4分割してバンパセンサを設けている。作動したセンサにより検知対象物と接触した方向を識別することが可能。</li> <li>- 環境認識(SLAM)用途のレーザーセンサが2台設置しており、台車周囲360°、走行面(床面)から高さ350 mmの平面を走査、環境認識(障害物検知)及び自己位置推定を行う。高さ350 mmの二次元平面での検知であり、それ以外の高さにある障害物は非接触では検知できない。</li> <li>- レーザーセンサは安全用途の製品ではない。</li> </ul> <p>3 警報装置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- メロディホンを搭載しており、発車・停車の合図を発する。また、人又は障害物を検出したが回避できず、障害物停止した場合に発音する。</li> <li>- LEDランプにより、機台状態(正常/異常、動作モード、進行方向)を表示する。</li> </ul> <p>4 その他の技術的方策(本質的安全設計、安全装置、安全機能など)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ドライブレコーダ(いたづら防止、異常解析)。</li> <li>- 円形ボディ。</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 制御:自動走行禁止・一方通行エリア制御、交差点一時停止、走行前警告音など(事前に入力した地図上で、進入禁止エリア、自動走行禁止エリア、一方通行エリア、あるいは、交差点前で警告音を発するなど、特別な区画を設定でき、自律移動可能な範囲の制限や特定の機能の作動などが指定できる)。</li> <li>- 走行面の段差検知機能は搭載していない。</li> </ul>
7	自律移動制御に、AI(人工知能)を採用していますか。	<p><b>【事前回答】</b> 使用していない。ただし、地図作成にSLAM技術を使用している。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 機械学習(ディープラーニング)を用いた認識/推定を行う制御機能は使用されていない。</li> <li>- 自律走行にSLAM技術を用いており、人工知能技術の一端と見做すことができるが、設計者はこれをAIとは見做していない。</li> <li>- 追従する対象を間違える(違う人についていく)誤判断は起こり得ること。ただし、進行方向と速度から障害物との距離を判断し、回避/停止するようにしている。</li> <li>- 同一区画に複数台が走行可能だが、上位システムで管理するのではなく、個々が追従相手と障害物を認識して自律移動を行う。</li> <li>- 組み込まれた地図情報、取得した環境情報、モーターのエンコーダ情報などが矛盾をきたした場合には停止。</li> </ul>
8	AIを採用している場合、その機能はシステムの安全機能に関係しますか。右欄の①～③の中から選んでください。	<p><b>【事前回答】</b> ①安全機能にAIは関わっていない。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 自律移動にSLAM技術が用いられており、経路逸脱の検出や禁止エリアへの進入防止が推定した自己位置に基づく判断で実行される。このため、自己位置推定の誤りが災害に至る重大なリスクと見做される場合は、柵を設けるなど他の方策が必要になるとのこと。</li> <li>- 市販しているレーザーSLAM搭載の無人フォークリフトでは、衝突防止/障害物の検知は、SLAMとは独立した別のセンサ・処理系で実行されている。</li> </ul>
9	対象機械システムの構成では、機能制御部と安全関連部を区別していますか。	<p><b>【事前回答】</b> 現状していない(ISO 3691-4準拠時には要検討)。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- バンパセンサ及び非常停止ボタンによる停止は、別システムの回路で構成されている。</li> <li>- ISO 3691-4の発行に伴ってJIS D 6802が改訂された場合は、JISに準拠する予定でいるとのこと。</li> </ul>
10	リスクアセスメントを実施していますか。	<p><b>【事前回答】</b> 実施している。危険源リストはJIS B 8445を使用(記載が豊富なので)。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ISO 3691-4の附属書Bについては、次期製品から考慮する予定とのこと。</li> <li>- 搬送台車を対象にした定形のリスクアセスメント結果を既に有しており、これを基に、個々のシステムごとに必要な項目を追加する形で行っている。</li> </ul>

		- 取扱説明書とは別に、残留リスクマップを提供している。
11	上欄のリスクアセスメント等を通して抽出された自律制御機能に係る想定される主な危険源・危険状態・危険事象はどのようなものでしたか。	<p><b>【事前回答】</b>  危険源：機械的危険源  1) 危険状態：追従制御からの切替忘れ  危険事象：追従が継続していることに気づかず、機器が走行できない段差等に移動してしまい、機器が段差で転倒し、作業者に接触。  2) 危険状態：意図しない作業員への追従  危険事象：追従対象者と機器の間を横切った人(A)に追従対象が移り、追従されていることに気が付かないAにより機器が走行できない段差等に移動してしまい、機器が段差で転倒し、作業者に接触。</p> <p><b>【調査結果】</b>  - 許容段差については、顧客との打ち合わせ時に残留リスクとして説明している。  - また、使用は1フロア面内としており、階段からの落下までは考慮していないとのこと。  - 段差のある区画を進入禁止エリアに設定しても、進入防止機能はSLAM技術を用いた自己位置推定に基づいて実行されるため、柵を設けるなど他の方策が必要になる。</p>
12	当該機械の災害防止に係る機能等を確認するために、開発段階で、使用現場又は現場と同等の環境(路面状況や照度などを再現した環境)において実施している性能試験又は機能テストがあれば、具体的に教えてください(ユーザーと共同で実施するものも含みます)。	
	自主的に実施しているもの	<p><b>【事前回答】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 自社試験環境において実施：  安全上の構造チェック(角部確認など)  バンパ停止試験  安全機能試験(異常検出)  安定度(加減速、非常停止時、段差通過)  非常停止制動  坂道停止保持  EMC  転倒試験(衝突時、過積載)  断線リーク、帯電、絶縁耐力等  LIB保護回路</li> <li>・ ユーザーの使用環境において実施：  実証試験により、実運用下で確認。</li> </ul> <p><b>【調査結果】</b>  - 社内のAGV試験項目に従った内容。  - ユーザーの使用環境においては、停止精度や制動距離などが要求仕様を満足しているか実証試験で確認している。</p>
	ユーザーからの要望を受けて実施したことがあるもの	<p><b>【事前回答】</b>  なし。</p> <p><b>【調査結果】</b>  - ユーザーから要望を受けた試験はないとのこと。</p>

13	現場で作業者との接触による災害などを防ぐために、ユーザーに要求・依頼している事項などに関し、以下の点について教えてください。
ユーザーから提供が必要な情報（現場でなければ分からない条件など）	<p>【事前回答】 使用環境の周囲温度、路面状況（路面種類、段差、傾斜）及び積載重量。</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 地図情報はメーカーで作成するので、通路幅などは必要ではないとのこと。</li> <li>- 路面状況は、耐久性に大きく影響する。</li> <li>- 太陽光の入射状況を確認している。</li> <li>- 使用環境条件については、放射電磁ノイズも実測している。</li> </ul>
ユーザー側で実施してもらう安全防护（柵の設置など設備対策）	<p>【事前回答】 物理的な安全防护策なし。</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 上述のように、進入禁止エリアへの誤進入が重大なリスクである場合には、柵の設置が必要。</li> </ul>
運用開始前に、ユーザー側で実施してもらう試験、性能確認	<p>【事前回答】 なし。</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 実証試験をユーザーと共に進めるので、特になしとのこと。</li> </ul>
運用後に継続して行う点検など試験、性能確認（運転前点検、定期検査など）	<p>【事前回答】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 始業前点検（ランプチェック／ブザー、非常停止ボタン、バンパの有効性）。</li> <li>・ 定期点検。</li> </ul> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 以上を取り扱いマニュアルに規定している。</li> <li>- 定期点検は、停止機能・性能の繰り返し確認などで、毎月の実施。</li> </ul>
接近する可能性のある人に個人用保護具（保護めがね／ゴーグル、保護帽、グローブ等）の使用を求めていますか。	<p>【事前回答】 安全靴。</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 着用を取り扱いマニュアルに規定している。</li> </ul>
個人用保護具以外の管理的方策を求めていますか。	<p>【事前回答】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>①立ち入り禁止措置の実施 なし。</li> <li>②使用権限管理の整備 安全教育受講者のみ。</li> </ol> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 上記のとおり。</li> </ul>
運用開始前に、ユーザー側の作業者などを対象に、機械の使	<p>【事前回答】 操作教育、安全教育を実施している。 安全教育の主な項目：</p>



	用に係る講習や操作訓練などを実施していますか。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 走行路面上の水・油・ごみ等の除去(清掃)</li> <li>・ 走行路への飛び出し</li> <li>・ 車両への過積載・偏荷重</li> </ul> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 安全教育は15分くらい。現状ではメーカーが実施するが、今後はインストラクターを養成し、ユーザー内で展開する形態も考えている。</li> </ul>
14	自律制御機能に係る無線通信でのサイバーセキュリティ対策について、教えてください。	<p>【事前回答】</p> <p>①無線通信方式(Wi-Fi、Bluetoothなど) Wi-Fi。</p> <p>②無許可の接続(侵入)を防止する対策 エンタープライズ認証。</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 回線速度を悪化させる、セキュリティ上の問題となるなどの理由から、まず無く、ユーザーの既存の通信環境を利用することはない。</li> </ul>
15	現在関心を持って調査されている自律走行搬送に係る要素技術などがあれば、教えてください。	<p>【事前回答】</p> <p>3次元環境認識、3次元障害物検知。</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 現在は二次元平面での検知であり、障害物を十分に検知できていないと考えており、3D-LiDARやステレオカメラの使用に興味がある。</li> <li>- 自己位置をロストする率を低減させたいと考えている。</li> </ul>

表4 実地調査結果票（メーカー向け） - B社 -

調査項目		回答
1	対象機械	<p>【事前回答】</p> <p>搬送台車</p> <p>主な仕様(走行速度、搬送質量等)</p> <p>本体質量:120 kg</p> <p>可搬質量:30 kg</p> <p>走行速度:0.5 m/s</p> <p>車輪: 4輪メカナムホイール</p> <p>寸法: W600×D600×H900(台車部分はH400以下)</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 今年、販売を開始した製品。本調査では、搬送台車単体ではなく、情報機器製造検査工程における試験設備の一部として系列企業に導入され、現在、実稼働中のものを対象に回答いただいた。</li> <li>- 4つの車輪がメカナムホイールであり、各車輪の回転方向及び速度を制御することで全方向移動が可能。</li> </ul>
2	自律走行機能・搬送機能の概要	<p>【事前回答】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ROS (Robot Operating System)を使用した地図作成、SLAM、自律移動制御。</li> <li>・ セーフティレーザスキャナの測距情報を使用。</li> <li>・ 作業による発進ボタン押下操作。</li> <li>・ 上位システム(PC)による走行シナリオ指令。</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 周囲の人や障害物検知による自律的な回避動作(非安全系)。</li> <li>・ セーフティレーザスキャナ (Type 3) による保護停止 (安全系)。</li> </ul> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- セーフティレーザスキャナの測距情報を基に、走行中、自己位置推定及び経路生成を行う。</li> <li>- 地図情報は、事前にメーカーが使用環境を手動で走行させ、SLAM技術を用いて作成する。設備のレイアウト変更など、必要な場合にはユーザー側で書き換えが可能。</li> <li>- 別にデプスカメラを搭載しており、指定位置では、これを用いた高精度位置決め(停止精度±10 mm)が可能。</li> <li>- 発進ボタンは操作盤上に設置。</li> </ul>
3	使用目的・用途の概要 (使用環境又は搬送物など)	<p>【事前回答】</p> <p>情報機器製造検査工程における製造品の搬送及び自動検査。</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 当該搬送台車、多関節ロボット及び試験設備で構成される試験システムの中で、検査対象製品の搬送及び試験中の保持を行う。</li> <li>- 人用の通路を走行経路としている。</li> <li>- 試験は人の立ち入りを禁止している区画でロボットを用いて実施。</li> <li>- 人との物理的インタラクションは想定しておらず、人への追従、一つの荷を複数台で運ぶ搬送も想定していない。</li> </ul>
4	使用状況／使用条件	
	導入システム数及び一つのシステムに含まれる搬送車台数	<p>【事前回答】</p> <p>システム一式に搬送台車1台。</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- あくまでも本事例での台数。</li> </ul>
	同時に運転する搬送車の台数	<p>【事前回答】</p> <p>回答なし。</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 同一区画で複数台を走行させることは可能。台数に制限は設けていない。</li> </ul>
	搬送台車1台の連続運転可能時間	<p>【事前回答】</p> <p>回答なし。</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 約3時間。</li> <li>- 本事例では検査工程を1回終えるごとに、バッテリー残量に応じて充電している。</li> </ul>
5	導入環境は、次のいずれに該当しますか。①～④の中から選んで丸をつけてください。 導入環境の想定について何かコメントがあれば、空欄に記入	<p>【事前回答】</p> <p>②作業者と混在</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- リスクアセスメントではJIS B 8445 を参照しているが、産業用途を想定している。</li> <li>- 関連する作業員全員、本搬送台車が作業エリア内で稼働していることを知っている。</li> </ul>

	ださい。	
6	自律移動制御に関わる災害防止のため、次のような安全装置(安全機能)を採用していますか。	<p>【事前回答】 省略(調査結果に含めて報告する)</p> <p>【調査結果】</p> <p>1 非常停止装置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 台車に非常停止ボタンを前後左右に4個設置(左右の2個はユーザーの要望)。動力遮断は自律移動制御系とは独立した系で実行。再起動にはリセット操作が必要。</li> <li>- 遠隔で操作する非常停止機能は搭載されていない。外部(上位コントローラ)から無線により起動・停止操作を行うことは可能。</li> </ul> <p>2 障害物検出装置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 接触式検知手段として、台車の前後下方にバンパスイッチが設けられている。</li> <li>- 全方向移動は可能であるが、進行方向は前方を基本としており、また、後退は速度を0.3 m/sに制限している。</li> <li>- 非接触式検知手段として、前方は安全認証を取得したセーフティレーザスキャナ(Type 3)により検知する。検知範囲は台車中央を中心に270°、走行面(床面)から高さ220 mmの平面。防護エリア切り替え機能を有する。</li> <li>- 後方の検知は、台車の左右及び中央にある3つの赤外線センサで行う。</li> </ul> <p>3 警報装置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 電子音警報器を搭載しており、発車・停車の合図をする。人に回避を促す警報を鳴らすことは考えていない。</li> <li>- 運転状態表示灯(シグナルタワー)により、エラー発生などを表示する。</li> </ul> <p>4 その他の技術的方策(本質的安全設計、安全装置、安全機能など)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 充電は、接触式/非接触式のどちらにも対応可能。本事例では、ユーザーの要望により、充電端子の露出がない非接触充電システムにて行うようにしており、また、発煙・発火が起りにくいリチウムイオン電池を採用している。</li> <li>- 進入禁止エリアなどの設定は上位コントローラにより行う。</li> <li>- 走行面の段差検知機能は搭載していない。</li> <li>- 電源OFF時に手で取り付けるストッパーがある。</li> </ul>
7	自律移動制御に、AI(人工知能)を採用していますか。	<p>【事前回答】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ SLAM自律移動方式(ガイドレス)である</li> <li>・ 障害物と人の判別は行っていない。</li> <li>・ 異常(故障)検知にAIは使用していない。</li> </ul> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 自律走行にSLAM技術を用いており、人工知能技術の一端と見做すことができるが、設計者はこれをAIとは見做していない。</li> <li>- 同一区画に複数台が走行する場合は、上位システムで管理する。</li> </ul>
8	AIを採用している場合、その機能はシステムの安全機能に関	<p>【事前回答】</p> <p>①安全機能にAIは関わっていない。</p>

	係しますか。右欄の①～③の中から選んでください。	<b>【調査結果】</b> - 自律移動にSLAM技術が用いられており、進入禁止区画の認識は自己位置推定に基づいて実行される。仮に、自己位置推定の誤りが災害に至る重大なリスクと見做される場合は、下部バンパスイッチを物理的障害物で作動させるなど他の方策が必要になるとのこと。
9	対象機械システムの構成では、機能制御部と安全関連部を区別していますか。	<b>【事前回答】</b> 区別している。  <b>【調査結果】</b> - セーフティレーザスキャナ及びバンパセンサの検知信号は、モーターの動作制御処理システムを介さず、モーター電源をリレーで断路する。 - 非常停止ボタンによる停止は、別系統の回路で構成されている。
10	リスクアセスメントを実施していますか。	<b>【事前回答】</b> 実施している。危険源リストはJIS B 8445附属書A を使用。  <b>【調査結果】</b> - リスクアセスメントでは、JIS D 6802、ISO/DIS 3691-4、ANSI/ITSDF B56.5も参考に行っているとのこと。
11	上欄のリスクアセスメント等を通して抽出された自律制御機能に係る想定される主な危険源・危険状態・危険事象はどのようなものでしたか。	<b>【事前回答】</b> 自律走行制御の誤りによる人との衝突 ・無線通信が途切れたことで制御を失い人と衝突 ・周囲の固定物との間での人の挟まれ  <b>【調査結果】</b> - 仮に、自己位置推定の誤りが災害に至る重大なリスクと見做される場合(例えば、進入禁止エリアへの進入が災害を起因するおそれのある場合)は、下部バンパスイッチを物理的障害物で作動させるなど他の方策が必要になるとのこと。
12	当該機械の災害防止に係る機能等を確認するために、開発段階で、使用現場又は現場と同等の環境(路面状況や照度などを再現した環境)において実施している性能試験又は機能テストがあれば、具体的に教えてください(ユーザーと共同で実施するものも含みます)。	
	自主的に実施しているもの	<b>【事前回答】</b> ・自社試験環境において実施: 走行中に機能制御部を意図的に停止させ停止するかを確認した。 障害物を進路に投入し、停止するかを確認した。  ・ユーザーの使用環境において実施: 走行中に機能制御部を意図的に停止させ停止するかを確認した。 障害物を進路に投入し、停止するかを確認した。  <b>【調査結果】</b> - 出荷試験の一環としての内容。
	ユーザーからの要望を受けて実施したことがあるもの	<b>【事前回答】</b> 非常停止スイッチの押下および復帰試験を実施した。  <b>【調査結果】</b> - 導入にあたり、ユーザーから非常停止ボタンの増設の要望を受けており、その機能や操作性、復帰手順などについて確認したとのこと。

13	現場で作業者との接触による災害などを防ぐために、ユーザーに要求・依頼している事項などに関し、以下の点について教えてください。
ユーザーから提供が必要な情報（現場でなければ分からない条件など）	<p><b>【事前回答】</b>          使用空間の形状寸法情報          ・ 使用環境路面の状態。          ・ 太陽光の入射有無。          ・ 周囲の作業者の作業位置および動線。          ・ 床面固定（アンカー）の可否。</p> <p><b>【調査結果】</b>          - 大きな溝、穴、下り階段などについては、あらかじめ教えられていなければ対応できない。</p>
ユーザー側で実施してもらう安全防护（柵の設置など設備対策）	<p><b>【事前回答】</b>          床面に走行領域、停止位置を白線貼付で、転回位置をトラテープ貼付で表示してもらう（ただし、台車自体はこれらの表示を認識して動作してはいない）。</p> <p><b>【調査結果】</b>          - 提供した残留リスクマップへの対応として要求している。          - 台車の動作範囲が作業者に容易に認識できるようにしたいとのユーザーの要望もあった。</p>
運用開始前に、ユーザー側で実施してもらう試験、性能確認	<p><b>【事前回答】</b>          特になし。</p> <p><b>【調査結果】</b>          - 仕様策定や実証試験をユーザーと共に進めるので、特になしとのこと。          - 狭い走行経路を設定して試験していただいたところ、通り抜けできない条件では停止することを確認した。</p>
運用後に継続して行う点検など試験、性能確認（運転前点検、定期検査など）	<p><b>【事前回答】</b>          ・ 日常点検（外観目視、異物付着有無、ねじ緩み、表示類の点検）を実施する。安全機能の試験は行わない。          ・ 車輪等の機械要素の点検（一か月ごと）。安全機能の試験は行わない。</p> <p><b>【調査結果】</b>          - 上記のとおり。</p>
接近する可能性のある人に個人用保護具（保護メガネ／ゴーグル、保護帽、グローブ等）の使用を求めていますか。	<p><b>【事前回答】</b>          現場運用ルールに準じた作業着、作業帽の着用等。安全靴の着用は求めている。</p> <p><b>【調査結果】</b>          - 上記のとおり。</p>
個人用保護具以外の管理的対策を求めていますか。	<p><b>【事前回答】</b>          ①立ち入り禁止措置の実施          特になし。          ②使用権限管理の整備          異常発生時の手順を定めている。</p> <p><b>【調査結果】</b>          - エラー等で停止した際の対処手順を定めているとのこと。</p>

	運用開始前に、ユーザー側の作業員などを対象に、機械の使用に係る講習や操作訓練などを実施していますか。	<p><b>【事前回答】</b> 取扱説明書およびメンテナンス説明書に基づいて操作方法、点検方法およびメンテナンス方法についての講習を実施した。</p> <p><b>【調査結果】</b> - 他に、残留リスクマップを提供している。 - 使用前のトレーニングプログラムが用意されている。これは、他の製品も同様。</p>
14	自律制御機能に係る無線通信でのサイバーセキュリティ対策について、教えてください。	<p><b>【事前回答】</b> ①無線通信方式(Wi-Fi、Bluetoothなど) Wi-Fi。 ②無許可の接続(侵入)を防止する対策 エンタープライズ認証。</p> <p><b>【調査結果】</b> - 通信環境は新規に設置しており、既存環境を利用してはいない。</p>
15	現在関心を持って調査されている自律走行搬送に係る要素技術などがあれば、教えてください。	<p><b>【事前回答】</b> 全方向移動ロボット用安全速度監視モジュールの開発。</p> <p><b>【調査結果】</b> - 台車の移動方向及び速度に応じてレーザースキャナの防護エリアを自動的に切り替えることを考えており、このための安全関連系として4輪の回転方向及び回転速度を計算し、さらにエンコーダのエラーを検出できるモジュールを開発しているとのこと。</p>

表5 実地調査結果票（メーカー向け） - C社 -

注:以下に記載されているすべての回答内容は製品化前の仮仕様である。

調査項目	回答
1 対象機械	<p><b>【事前回答】</b> 移動ロボット</p> <p>主な仕様(走行速度、搬送質量等) ロボット:人協働ロボット(10 kg可搬) 動作モード:人協働モード 自走部寸法:幅:650 mm 長さ:863 mm 車体質量:350 kg(荷台など付帯物は除く) 自走速度:60 m/min(直線部) 走行方式:2輪差動(DCサーボ駆動)、スピントーン旋回 誘導方式:SLAM バッテリー容量:45Ah(バッテリー1個) 充電方式:非接触充電</p> <p>※本ロボットは製品化前の開発品(試作品)であり、よって、上記も仮の仕様に基づく参考値である。</p> <p><b>【調査結果】</b> - ガイドレスで走行する搬送台車の荷台に協働ロボットアームを搭載した形態。</p>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- ただし、台車とロボットアームが同時に動くことはない制御としている（走行中はロボットアーム停止、ロボットアーム動作中は走行停止するようインターロックを構成している）。</li> <li>- 搬送台車、ロボットアーム共に自社製品。ロボットアームはシリーズ展開しているもので、協働ロボットとして第三者機関の認証を受けている。</li> <li>- 現在、いくつかのユーザーに対して、導入を前提に実証試験を行っている段階。本調査では、展示会で出展した際の事例について回答いただいた。</li> <li>- 荷の積載数は、上記の台車の場合4～5個とのこと。</li> <li>- 搬送台車の寸法は、一例であって、より大きい場合もある。ただし、転倒防止のために一定の重量は必要と考えているとのこと。</li> </ul>
2	自律走行機能・搬送機能の概要	<p><b>【事前回答】</b> LiDARによる距測情報を、あらかじめ入力された工場内地図と照合して自己位置を推定し、走行経路を生成する(指令は出発位置、到着位置及び進入禁止区域だけで、経路は指令にない)。また磁気テープ走行への切替も指令にて可能。障害物を検知した場合には停止／回避を選択可能。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- SLAM技術により、自己位置推定及び経路自動生成を行う。</li> <li>- 地図作成は事前に行うが、その際にSLAM技術を用いる。</li> <li>- 上位コントローラからの指令で磁気テープのガイドによる走行への切り替えが可能。</li> <li>- 障害物を検知した場合には、入力地図上の指定に応じて停止／回避を選択する。</li> </ul>
3	使用目的・用途の概要(使用環境又は搬送物など)	<p><b>【事前回答】</b> 主な用途としては、①工場内での部品のピッキング・配膳。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 部品のピッキング、配膳の他、任意位置に停止して組み立て作業を行うフレキシブルな自動組立ラインを実現することも可能。</li> <li>- ただし、人に追従する搬送、一つの荷を複数台で運ぶ搬送は想定していない。</li> <li>- 人との物理的インタラクションは、JIS B 8433-2に示されている「協働ロボットの用途」の範囲。</li> </ul>
4	使用状況／使用条件	
	導入システム数及び一つのシステムに含まれる搬送車台数	<p><b>【事前回答】</b> 展示会のデモシステムでは、移動ロボット3台。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 上記のとおり。</li> </ul>
	同時に運転する搬送車の台数	<p><b>【事前回答】</b> 台数は制限していないが、システムを構築する上で、応答性能を鑑みて決定されると考えている。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 40～50台も可能ではあるが、実際のアプリケーションとしては、1フロアに数台使用されるのが典型的になるであろうとのこと。</li> </ul>

	搬送台車1台の連続 運転可能時間	<p>【事前回答】 約2時間。</p> <p>【調査結果】 - 上記のとおり。</p>
5	導入環境は、次のい ずれに該当します か。①～④の中 から選んで丸をつ けてください。 導入環境の想定に ついて何かコメント があれば、空欄に 記入ください。	<p>【事前回答】 ②作業者と混在</p> <p>【調査結果】 - 産業用機械として、工場や倉庫内での使用が想定されている。</p>
6	自律移動制御に関わ る災害防止のため、 次のような安全装置 (安全機能)を採用し ていますか。	<p>【事前回答】 省略(調査結果に含めて報告する)</p> <p>【調査結果】</p> <p>1 非常停止装置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 本事例では台車に非常停止ボタンを1個設置。ただし、前後2個とするなど、設置する個数や位置はユーザーの仕様に合わせるとのこと。</li> <li>- 展示会出展時は非安全関連部から独立した構成とはしていなかった。</li> <li>- 遠隔操作による非常停止は一般に応答時間が長く、このため有効性に乏しいと考えており、標準機では搭載していない。保護装置又は上位コントローラによって開始する停止機能があれば、非常停止を行う必要はないと考えているとのこと。ただし、ユーザーの要望があった場合は、設備側とロボット側に安全PLCを装備して実現する予定。</li> </ul> <p>2 障害物検出装置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 接触式検知手段は備えていない。</li> <li>- 非接触式検知手段は、前方に設けたLiDAR (SLAM用) 1台及び台車前後端に設けたセーフティスキャナーセンサ (Type 3) 2台。</li> <li>- ただし、展示会の時は、ロボットの協働運転モード時のみセーフティスキャナーセンサを機能させ、台車走行時は前後に設けた距測センサ (LRF) で障害物検知を行っていた。</li> <li>- 距測センサは2次元平面も併用。検知面の高さは約150 mm。</li> </ul> <p>3 警報装置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- メロディホンと台車下部にLED表示灯を搭載している。</li> <li>- メロディホンは主に発車・停車の合図を発する。人に回避を促す警報を発することは考えていない。</li> </ul> <p>4 その他の技術的方策(本質的安全設計、安全装置、安全機能など)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 接触時の怪我を軽減するようカバーに丸みを持たせている。</li> <li>- ロボットアームは協働ロボットとして第三者機関の認証を受けている。</li> <li>- エンドエフェクタはユーザー側で装備するもので、そのリスクの解析及び低減はユーザーが実施するものと考えている。</li> <li>- 走行面の段差や過度の傾斜を検知する機能は搭載していない。</li> </ul>



7	自律移動制御に、AI（人工知能）を採用していますか。	<p>【事前回答】 使用していない。ただし地図作成にSLAM技術を使用している。</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 自律走行にSLAM技術を用いており、人工知能技術の一端と見做すことができるが、設計者はこれをAIとは見做していない。</li> <li>- 人と障害物の識別は行っていない。</li> </ul>
8	AIを採用している場合、その機能はシステムの安全機能に関係しますか。右欄の①～③の中から選んでください。	<p>【事前回答】 ①安全機能にAIは関わっていない。</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 安全機能は機能制御系とは独立した安全関連系として実現すべきと考えている。</li> <li>- マニピュレータの制御においても、AIを用いた画像処理を用いているが、機能的制御の範囲に留めてあり、手先経路の逸脱を監視することや経路生成が許容される範囲を制限することなどは機能安全を適用する。</li> </ul>
9	対象機械システムの構成では、機能制御部と安全関連部を区別していますか。	<p>【事前回答】 台車部分に関しては区別していない。ロボットアーム部分に関しては区別している。</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 台車部分に関して、展示会時は区別してはなかったが、標準機では、安全関連部（セーフティスキャナーセンサと安全PLCによる保護停止機能）と非安全関連部を区別すること。</li> <li>- 今後、搬送台車の走行・操舵制御も協働ロボットのコントローラで行うようになれば、自律搬送機械のすべての駆動軸が機能安全で監視する対象になるのではないかと考えている。</li> </ul>
10	リスクアセスメントを実施していますか。	<p>【事前回答】 実施している。危険源リストはJIS B 9700の付属書Bとして記載されている「危険源、危険状態及び危険事象の例」を参考にしている。</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 上記の他、ロボットアームは、協働ロボットとして認証された製品であり、JIS B 8433-1、2及びTS B 0033に従っている。また、搬送台車部は、JIS D 6800シリーズを参照している。</li> <li>- これらの規格において、移動ロボットとして構築しているが故に適合できない要求事項（電氣的接地など）については、ユーザーと相談して対応している。</li> </ul>
11	上欄のリスクアセスメント等を通して抽出された自律制御機能に係る想定される主な危険源・危険状態・危険事象はどのようなものでしたか。	<p>【事前回答】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 異物を本体が跳ね飛ばして異物が接触</li> <li>・ 埃・ごみのセンサ部への付着による誤認識により接触</li> <li>・ 急加速／急減速動作による本体の転倒により接触</li> <li>・ 本体の予想外の動作で周辺者が驚いて転倒</li> </ul> <p>など</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 上記の他、“本体がアンカーで固定されていないことから、マニピュレータ手先にかかる負荷反力で転倒すること”も挙げられた。これを防</li> </ul>

		<p>止する方策として、本体質量を増すことなども考えている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ただし、伸ばしたマニピュレータの手先を押されることや周囲の構造物に引っ掛かるなどといった外乱の影響までは考慮していない。</li> <li>- 使用は1フロア面内としており、階段からの落下までは考慮していない。</li> </ul>
12	当該機械の災害防止に係る機能等を確認するために、開発段階で、使用現場又は現場と同等の環境(路面状況や照度などを再現した環境)において実施している性能試験又は機能テストがあれば、具体的に教えてください(ユーザーと共同で実施するものも含まれます)。	<p>自主的に実施しているもの</p> <p><b>【事前回答】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・自社試験環境において実施: 基本性能試験(JIS D 6805をベースにする)。</li> <li>・ユーザーの使用環境において実施: 展示会の際、展示会場でデモ動作試験を行った。</li> </ul> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- JIS D 6805をベースにした基本性能試験は最低限の項目。FMEAの結果に基づき、機能テストが必要なものを洗い出している。</li> <li>- 成績記録もJIS D 6805の付表を参考にしているとのこと。</li> </ul>
	ユーザーからの要望を受けて実施したことがあるもの	<p><b>【事前回答】</b></p> <p>路面状況(段差・床材)を変化させての走行試験を実施したことはある。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ユーザーの要望が標準の設計仕様とは異なる場合に、それを満足していることを示す目的で試験を実施する。例えば、特に滑りやすい環境での使用が要求されたことがあり、路面状況やタイヤの素材を変えて制動性能をテストしたことがある。</li> </ul>
13	現場で作業者との接触による災害などを防ぐために、ユーザーに要求・依頼している事項などに関し、以下の点について教えてください。	<p>ユーザーから提供が必要な情報(現場でなければ分からない条件など)</p> <p><b>【事前回答】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・移動ロボットの走行路面ができるだけ平坦であること。</li> <li>・ほこり、粉塵、油煙、水などの少ない場所であること。</li> <li>・引火性、腐食性の液体及びガスなどの存在しない場所であること。</li> <li>・大きな衝撃及び振動などを受けない場所であること。</li> <li>・大きな電氣的ノイズがかからない場所であること。</li> </ul> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 仕様を受けた段階からユーザーと協議して進めており、上記のような内容について話し合い、設計に反映させているとのこと。</li> </ul>
	ユーザー側で実施してもらおう安全防護(柵の設置など設備対策)	<p><b>【事前回答】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ロボットを含む装置・システムとして、お客様の環境にてリスクアセスメントを必ず実施のうえ、安全防護の施工をお願いしている。</li> <li>・停電や非常停止、緊急停止に対する安全対策を実施頂く。</li> </ul> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 停電時にラインは停止しても搬送台車は停止しないことなどについて、リスクアセスメント及び保護方策の実施をユーザーに依頼している。</li> </ul>

<p>運用開始前に、ユーザー側で実施してもらう試験、性能確認</p>	<p><b>【事前回答】</b> 今後検討。</p> <p><b>【調査結果】</b> - 仕様を受けた設計初期の段階からユーザーと協議して進めており、引き渡しまでに必要なテストは終了しているので、特にないとのこと。</p>
<p>運用後に継続して行う点検など試験、性能確認（運転前点検、定期検査など）</p>	<p><b>【事前回答】</b> 今後検討。</p> <p><b>【調査結果】</b> - 保安関連部品などは毎月の点検が望ましく、ユーザーの負担にならない範囲で協議して定め、マニュアルに記載している。 - 必要があれば、系列のエンジニアリング会社にレクチャーし、実施してもらおう。 - 運転前点検は、点検間隔（日常、〇〇時間後など）を定めた一覧で示している。点検項目の例としては ・安全装置（方法は目視、聴音、操作にて）。 ・障害物検知の動作確認。 ・各種センサの損傷及び動作確認。 ・警告灯の点灯及び警報音のチェック。</p>
<p>接近する可能性のある人に個人用保護具（保護めがね／ゴーグル、保護帽、グローブ等）の使用を求めていますか。</p>	<p><b>【事前回答】</b> ・展示会では、柵によって一般客は立ち入り禁止とした。 ・想定する実運用では、作業者との混在であり、作業者はリスクアセスメントによりヘルメット・ゴーグル等の着用の義務が想定される。</p> <p><b>【調査結果】</b> - メーカーからは指定しない。あくまでも、事業場の安全管理の一環として、一般的に保護具の着用が義務付けられているであろうと想定しているとのこと。</p>
<p>個人用保護具以外の管理的方策を求めていますか。</p>	<p><b>【事前回答】</b> ①立ち入り禁止措置の実施 ユーザー側のリスクアセスメントを求めており、ユーザーに一任。 ②使用権限管理の整備 ユーザー側のリスクアセスメントを求めており、ユーザーに一任。</p> <p><b>【調査結果】</b> - 特別教育の実施など、産業用ロボットに係る安全規則は案内している。 - JIS B 8433-2にあるように、システムのリスクアセスメント及び保護方策の実施は、ユーザー側（システムインテグレータ側）で考える事項である。</p>
<p>運用開始前に、ユーザー側の作業者などを対象に、機械の使用に係る講習や操作訓練などを実施していますか。</p>	<p><b>【事前回答】</b> 実施する見込み。</p> <p><b>【調査結果】</b> - ユーザーの要望に応じて実施するが、現状では、初期の段階からユーザーと協議して進めており、引き渡しまでには十分に操作できるようになっている。 - 産業用ロボットの特別教育のように制度化されると良いと考えていると</p>

		のこと。
14	自律制御機能に係る無線通信でのサイバーセキュリティ対策について、教えてください。	<p>【事前回答】</p> <p>①無線通信方式(Wi-Fi、Bluetoothなど) Wi-FiはWPA2等のWi-Fi機器に搭載の暗号機能を利用。</p> <p>②無許可の接続(侵入)を防止する対策 基本プライベートIPアドレス運用かつ、IPアドレス指定。</p> <p>【調査結果】</p> <p>- 既存の通信環境を利用することはまず無く、専用に導入するのが通例。</p>
15	現在関心を持って調査されている自律走行搬送に係る要素技術などがあれば、教えてください。	<p>【事前回答】</p> <p>サーボモータ利用。</p> <p>【調査結果】</p> <p>- 前述したように、今後、より高精度な走行・操舵制御が求められ、車輪も協働ロボットのコントローラで制御される軸として扱われるようになれば、人との協働作業において、自律搬送機械のすべての駆動軸が機能安全で監視する対象になると考えているとのこと。</p>

## (2) 対象機械

項目1の調査結果より、本調査で対象となった機械の形態は、A社、B社については自律移動が可能な搬送台車、C社は協働ロボットアームを備えた移動ロボットである。いずれも市販されている製品であり、A社、C社については、現在、実証試験の段階にあるが、B社については既に実稼働している。

主な仕様として、走行速度に関しては、これまで搬送台車業界では60 m/minが最高走行速度の基準<sup>1)</sup>として採用されてきた。しかし、2020年2月に発行された無人搬送車の安全要求事項を扱う国際規格ISO 3691-4:2020<sup>2)</sup>では、一部の要求事項で運転区域の分類(固定構造物等へ向かう時の走行方向の隙間、台車側面の固定構造物等との隙間及び人員検出手段の状態による分類)に応じて走行速度の上限を規定しているが、最高走行速度自体に制限は設けられていない。実際、A社では60 m/minを超える速度を設定していた。他2社は最高走行速度を60 m/min以下としているが、現在、ISO 3691-4は技術的変更を加えられることなくJIS化が検討されており、今後、高速の搬送台車が標準的となることは確実と見込まれ、人との衝突防止に関わる保護方策がより重要になると考えられる。

一方、最大質量(本報告書では本体質量+可搬質量とする)については、A社とB社はほぼ同じであるが、C社は(これは仕様の一例で、展示会出展時の質量であるが)搭載しているロボットアームの手先にかかる負荷反力で転倒することを防止する方策として、本体質量を重くしているとのことであった。走行時の最大運動エネルギーを低減する方策に軽量化があるが、ロボットアームの有無によらず、意図しない接触や衝突による本体の転倒を防止するよう質量及びその分布を設計することは重要であり、衝突と

転倒の双方のリスクに対するリスク低減戦略の中で総合的に検討される必要がある。

他方、項目 3～5 の調査結果より、想定されている用途として、A 社は、昨年度と同様、産業用途の他に、ホテルや小売店舗での手荷物／商品搬送、飲食店での配膳などサービス業での利用を挙げたが、B 社、C 社は産業用に特化しているとの回答であった。ただし、いずれにも共通して、同一環境内での複数台の稼働を行う（又は前提としている）とのことであった。複数台の稼働では、走行ルートの競合や他台車とのすれ違い、他台車の進入により障害物回避のための空間が失われることなどが起った場合の経路決定法（これには、B 社のように上位システムで管理する方法、台車同士が通信して調停を図る方法などが考えられる）が重要となり、その誤りに起因するリスクは十分に解析されていなければならない。

また、C 社から、部品／製品等の搬送に留まらず、製造ラインの任意位置に停止し、搭載しているロボットアームで組立などの作業を行う用途が挙げられ、想定している作業には人との直接的な相互作用（物理的インタラクション）を伴う作業も含むとの回答があった。ただし、ロボットアームは協働ロボットとして第三者機関の認証を受けた自社製品で、想定する作業も JIS B 8433-2 : 2015 の附属書 E<sup>3)</sup>に記載されている範囲に限っており、また、台車の移動とロボットアームの作動は同時には行われないインターロックを構成しているとのことであった。

なお、本調査の範囲では、一つの荷を複数台が協調して搬送する用途は想定されていなかった。

### (3) 自律移動制御

項目 2 及び 7 より、3 社とも自律移動制御には、事前に入力した地図情報に基づき、LiDAR 等で得た測距情報から自己位置推定及び経路生成を行う SLAM 又はこれに類する技術（昨年度報告したように、自己位置推定と環境地図更新を同時に行ってはいない場合は SLAM に必ずしもあたらない。以下、これらを単に SLAM 技術という。）が用いられている。ただし、機械学習や深層学習を用いた認識／推定を行う制御機能までは採用されておらず、さらに、総じて自律移動に用いている SLAM 技術を設計者は「AI」とは見做していなかった。また、本年度の調査でも、環境側に設けたセンサや人に装着したデバイスなどを用いて走行領域内の人や物を認識する搬送システムは確認されなかった。

地図情報は、メーカーが使用環境を手動で走行させる方法で SLAM 技術を使って作成する例が多い。ただし、設備のレイアウト変更などに伴う地図情報の修正・更新については、メーカーが担当するとした A 社とユーザーが実行できるとした B 社とがあり、必ずしも認識が一致していないことが分かった。この点については後の(5)項で改めて述べる。

## (4) 保護方策及び安全機能

### ア 障害物検知手段

人と搬送台車との衝突リスクを低減する方策として、現行の無人搬送車システムの国内規格 JIS D 6802 : 1997<sup>4)</sup>では、接触式検知手段（バンパ）の装備を必須とし、これだけでは安全に停止できない場合に非接触式検知手段を備えることとしている。しかし、2021年2月に発行された ISO 3691-4 では、検知手段の作動方式を区別せず、両者に適用される性能基準と試験方法を定めており、現在これと整合する方向で JIS D 6802 の改正が検討されている。このような背景から、現在、各社が様々な考え方で障害物検知を行っていることが本調査で明らかになった。

項目 6 及び 9 の調査結果より、A 社は、非接触式手段として SLAM 用のレーザーセンサ 2 台により走行面から高さ 350 mm の平面を検知している。このため、350 mm 以外の高さにある障害物は検知できず、また、センサは安全用途の製品ではない。ただし、台車下部に全周をカバーするバンパスイッチを備え、走行制御系とは別系統の回路で処理している。これは現行 JIS D 6802 に従った考え方である。一方、C 社は、非接触式検知手段のみの構成としており、ISO 3691-4 に基づいた考え方と言える。展示会の際は、都合により、台車前後に設けた距測センサ（LRF）で走行面から高さ 150 mm を検知していたそうであるが、標準機では安全用途の LiDAR（Type 3）と安全 PLC によって保護停止機能を実現するとのことである。他方、B 社は、接触検知手段と非接触検知手段の両方を装備している。ただし、非接触式検知手段に関し、前方の検知は安全用途の LiDAR（Type 3）で行うが、後方は後退速度を 0.3 m/s に制限した上で赤外線近接センサを用いている。なお、この 0.3 m/s は、ISO 3691-4 で人検知のための保護装置を一時的に自動中断（ミュート）する場合などに対して適用される制限速度に基づくものである。

以上のように、各社の安全コンセプト（システム全体の衝突リスクの低減戦略）の違いにより、現在、接触／非接触式検知手段の組合せ（位置付け）に様々なバリエーションが存在している状況が分かった。検知手段の検知能力が想定される使用環境条件下で損なわれないことの確認は、実証試験プロトコルにおいて必ず考慮される事項であるが、この結果から、すべての検知手段／停止機能に一律に基準を設けるのではなく、対象となる検知手段／停止機能の衝突リスク低減に寄与する度合いに基づき、試験の回数や評価の厳しさに反映することも考えられる。ただし、昨年度報告したように、自律移動制御の一環として実行される障害物回避を、単に停止の機会を減らし稼働を維持するための機能と位置付けるのではなく、システム全体のリスク低減に一定の貢献や関与を見込む場合（例えば、SLAM 技術による障害物回避機能の存在を前提に、人又は物に接近する頻度（危険源への暴露頻度）を「低」と見積もり、その結果、障害物回避が失敗した際に衝突を防止する保護停止機能に要求される安全性能レベルを低く設定する場合）、自律移動制御が安全に関連しないとは一概に言えず、メーカーの安全コンセプト

を十分考慮した検討が必要である。

## イ 非常停止装置

非常停止ボタンについては、3社とも台車本体に設けており、標準機では動力遮断は自律移動制御系とは独立した回路で実行するとのことであった。ボタンの個数や配置は、ユーザーの要求に応じて設計するとのことで、B社からは、設計段階では台車前後に設置していたが、要望に従って左右側面にも増設したとの話もあった。

また、3社とも、遠隔で台車を停止する機能は備えているが、これらを安全機能として認められる非常停止とは位置付けてはいないことが確認された。ケーブルレス操作による非常停止は一般に信頼性や応答時間に問題があり、有効性に乏しいとの見解もあった。

## ウ 制御システムの安全関連部／非安全関連部の分離

制御システムの構成において、非常停止など安全機能の実行に関わる安全関連部を台車の走行などに関わる機能制御部分（非安全関連部）と分離することについては、3社とも基本安全原則<sup>5)</sup>として考慮すべき事項と認識していたが、現時点では、その実施までは各社の判断であり、相違が見られた。ただし、ISO 3691-4では各々の安全関連機能に対して JIS B 9705-1<sup>6)</sup>が定めるパフォーマンスレベル（PL）が指定されており、今後、メーカーにおいては、JIS D 6802がその整合規格として改正されることを見据えたリスク低減戦略の確立が重要になって来ると思われる。

## エ その他の技術的方策

地図情報上に進入禁止や一方通行などを指定する特定の領域を設定でき、自律移動可能な範囲を制限する又は特定位置で一旦停止させることが可能なものが多く、自走自律走行機械の標準的機能と考えられることが分かった。ただし、本調査の範囲では、総じて、これらは SLAM 技術を用いた自己位置推定に依存した機能であり、自己位置推定の誤りによって指定領域で意図しない挙動をする可能性のあることが分かった。この点については(5)項で詳述する。

一方、B社から、充電システムを充電端子の露出がない非接触方式としたことと併せて、発煙・発火が起り難いタイプの Li-ion 電池の採用が挙げられた。A社も項目 12 の回答で LIB 保護回路を自社内環境で実施する試験項目に挙げており、また、昨年度の調査ではリスクアセスメントを通じて抽出された危険源・危険事象として「Li-ion 電池からの発火による火災」が挙げられていた。JIS B 8445 の危険源リストにも、電池の過負荷又は過放電した電池の充電による火災が含まれており、自走自律制御機械に特有な危険源として配慮すべき事項と考えられる。

## (5) 安全機能での革新的技術の利用

調査の結果、3社とも、自律移動制御に、現在 AI と呼ばれる機械学習等を用いていないが、SLAM 技術を用いて自己位置推定や周囲環境認識を行っており、これには人又は障害物との衝突回避機能が盛り込まれていることが確認された。ただし、これらの衝突回避機能を故障がリスクの増加に直ちにつながる「安全機能」と位置付けてはおらず、構成や手段に相違はあれど、衝突リスクの低減には既に確立されている安全技術（具体的には、自律移動制御系とは別系統の回路で処理される保護停止機能を備える方策）を採用している。このため、項目 8 の事前回答では、3社とも「安全機能に AI は関わっていない」との回答であった。ただし、これは、自走自律制御機械が人と衝突する事態を最も典型的な災害と捉え、「安全機能」として衝突を防止する保護停止を中心に考えた場合に限って言えることである。

前述したように、本年度の調査では、自走自律制御機械の多くがあらかじめ地図情報上に設定した特定の領域への進入を防止する機能（以下、進入防止機能という。）を有しており、これが SLAM 技術を用いた自己位置推定に依存していることに着目した。そして、項目 8 に関する面談の過程で、進入防止機能が単なる機能的な制御機能に留まらず、リスク低減に大きく寄与する可能性のあることが明らかになった。

進入禁止を設定する領域として、例えば、転倒・転落に至る段差や階段、路面が滑り易い領域、人が対する隙間のない狭量空間、人が集合するエリア、爆発性・毒性物質を集積している場所を設定する場合、自己位置推定の誤りに起因した台車の進入は重大なリスクと見做され得る。そして、自己位置推定に基づかない他の方策（例えば、ガードを設置する、バンパスイッチを物理的に作動させる、敷設したマーカーを検出する）によって当該リスクの低減が進入防止機能の成否に係りなく達成されていなければ、進入防止機能は安全機能に位置付けられ、リスクアセスメントの結果に応じた安全性能を有する安全関連系で実行される必要がある。さらに、地図情報及び進入防止領域の設定情報は重要な安全関連情報として扱わなければならないと、設備のレイアウト変更などに伴うこれらの情報の書き換えをユーザーに委ねるとした場合には、適切な変更／修正が行われ、それらが十分に機能することを担保する仕組みの構築も必要になる。

本年度の調査では、3社とも、(7)項で後述するように、発注を受けた段階からユーザーと密に仕様を協議しつつシステム構築を進めてきている。上記の進入防止に関しては、例えば、1フロア面内の平坦な範囲を走行領域として指定すると共に、現地で実証試験を行い、路面の滑り易さなど含めた走行に関わる不具合の確認や走行領域内に前述したような危険区域が無いことの確認をしており、総じて、自己位置推定に基づく進入防止機能の誤りに重大なリスクを見積もってはいなかった。また、仮に何らかの災害が想定される場合には、柵を設けることや下部バンパスイッチを障害物で物理的に作動させるなど、他の保護方策を講じるとの回答であった。



## (6) リスクアセスメント

項目 10 の調査結果にあるように、3 社とも設計・製造段階でのリスクアセスメントを実施しており、その必要性については広く理解されていることが確認された。具体的な実施方法として、標準的な搬送台車を対象にした定形のリスクアセスメント結果を既に有しており、これに基づき個々のシステムごとに必要な項目を追加する形で行っているとの回答もあった。ただし、走行は 1 フロア面内の範囲に限定しており、階段からの落下、段差や障害物への乗り上げによる転倒までは考慮しておらず、必要があれば前述した進入防止領域として設定するとの回答が多かった。「許容段差については顧客との打ち合わせ時に残留リスクとして説明している」との回答もあった。

なお、協働ロボットアームを搭載している C 社においては、ロボットアーム部は基本的に JIS B 8433-1 : 2015<sup>7)</sup>、8433-2 及び TS B 0033 : 2017<sup>8)</sup>に従っているが、移動ロボットとして構成しているが故に適合できない事項（例えば、電気的接地）についてはユーザーと相談して対応しているとのことであった。

一方、リスクアセスメントで参照されている規格としては、① JIS D 6800 シリーズ (JIS D 6802)、② ISO/DIS 3691-4、③ ANSI/ITSDF B56.6<sup>9)</sup>といった無人搬送車の規格の他、④ JIS B 9700<sup>10)</sup>、⑤ JIS B 8445<sup>11)</sup>が挙げられた。ただし、JIS D 6802 と ANSI/ITSDF B56.6 には危険源リストは掲載されていないので、ここでは要求事項の内容が危険源同定などで参考にされたものと考えられる。ISO 3691-4 の発行を受け、これらがその整合規格として改正されれば、①～③は統一されることになるであろう。

項目 11 で各社から挙げられた危険源／危険事象については、これらは、JIS B 9700、JIS B 8445 で扱われているものもあるが、自走自律制御機械に特有な危険源／危険事象が含まれており、実証試験プロトコルの策定において考慮しておく必要がある。

なお、A 社と C 社に関しては、現在は複数のユーザーの元で導入を前提に実証試験を行っている段階とのことで、その過程を通じて危険源／危険事象を洗い出しているものと推察されるが、この点については第 4 節 (5) 項で改めて述べる。

また、JIS B 8445 の危険源リスト (表 A.1) は、生活支援ロボットを対象としたものであるが、調査した範囲で 2 社が参照していた。昨年度報告したように、自律移動制御に関連する危険源として「移動中の不安定性」、「活動空間内での安全関連物体の検知失敗」、「誤った自律的判断」、「位置確認及びナビゲーションの誤差による危険源」など参考となるものが多い。

## (7) 性能試験及び機能テスト

項目 12 の調査結果より、設計・開発段階において自社試験環境で実施する性能試験

／機能テストに関しては、3社とも独自に試験項目や判定基準を社内基準として整備し、いわゆる「出荷前検査」として実施しているとの回答であった。C社は、最低限の項目として JIS D 6805<sup>12)</sup>をベースにする基本性能試験があり、さらに、FMEAの結果に基づいてテストが必要な機能を特定しているとのことである。また、A社からは、具体的な検査項目として以下が挙げられた：

- ・安全上の構造チェック（角部確認など）
- ・坂道停止保持
- ・バンパ停止試験
- ・EMC試験
- ・安全機能試験（異常検出）
- ・転倒試験（衝突時、過積載）
- ・安定度（加減速、非常停止時、段差通過）
- ・断線リーク、帯電、絶縁耐力等
- ・非常停止制動
- ・Li-ion バッテリー保護回路

一方、ユーザーの使用環境で実施する性能試験／機能テストに関しては、B社の回答のように、自社で実施した試験を再確認することが一つに挙げられる。ただし、より一般的には、発注を受けた段階でのユーザーの要望が標準の設計仕様とは異なる場合に、それを満足していることを確認又は実証する目的で試験を実施していることが分かった。各社の例を挙げると、A社は停止精度や制動距離などが要求仕様を満足しているかを確認、B社は走行中に機能制御部を意図的に停止させ停止するかを確認、C社は特に滑り易い環境での使用が要求された際に路面状況やタイヤの素材を変えて制動性能を確認したとのことである。

面談を通じて、本事業で検討している自走自律制御機械を用いた搬送システムは、一般的にユーザーごとに仕様が異なり、このため、比較的初期の段階からメーカーとユーザーが協議を重ねて進めていくのが通常とのことであった。さらに、現時点では、革新的技術を用いた搬送システムについてはまだ経験が少なく、各社とも慎重な対応を取っている傾向にあることも感じられた。特に、今回調査した3社においては、いずれも、仕様策定の段階からユーザーと協議を重ねており、その過程で、使用環境での検証が必要な機能や動作を特定し、ユーザーの使い方の調査も踏まえてユーザーと共同で性能試験や機能テストを実施しているとのことであった。

## (8) ユーザーへの要求事項

項目13の調査結果より、まず、ユーザーから提供が必要な情報として複数から回答のあったものを挙げると、①使用環境の路面状況（路面種類、段差、傾斜）、②太陽光の入射状況、③放射電磁ノイズであった。前述したように、今回調査した3社においては、いずれも仕様を策定していく初期の段階からユーザーと協議を重ねており、上記の情報については、その中で入手し設計に反映しているとのことである。実証試験もユーザーと共に進めてきており、このため、運用開始前にユーザーが実施する性能確認は3

社とも不要との回答であった。また、3社とも、ユーザーにはリスクアセスメントの実施を要求しているが、ユーザー側で実施する安全防護を初めから指定しているメーカーはなかった。

一方で、運転前点検／定期点検については、保護装置や安全機能の試験を含める場合と含めない場合とに回答が分かれた。個人用保護具や管理的方策に対する回答も一様でなく、必ずしも認識が一致していないことが分かった。

なお、運用開始前の操作訓練について、A社、B社は、操作方法や点検方法、安全上の留意事項について講習を実施している。また、C社は、現状では引き渡しまでに十分に操作できる状態になっているため行っていないが、今後は実施する方向で検討しているとのことであった。C社から「産業用ロボットの特別教育のように制度化されると良い」との意見があったが、前述したように地図情報や進入防止領域の設定情報が安全関連情報と位置付けられ、かつ、その変更・修正をユーザーが行うことが標準的となるのであれば、必要な措置と考えられる。

## 4 ユーザーに対する調査結果と考察

### (1) 調査結果

ユーザー4社の各調査項目に関する事前回答及び面談による調査結果をまとめた「実地調査結果票」を表6～9にそれぞれ示す。D社は、機械工具・工事中消耗品の卸売業者で、これまで人手で行っていた多品種少量品の倉庫内搬送作業にメーカーA社の搬送台車を導入するとのことで協力いただいた。A社と共同での実証試験を終え、現在、導入を前提に独自に実証試験中とのことである。なお、本調査での事前調査及び面談での回答は、D社の情報を踏まえてA社が代理して行っている。E社は、B社と同じ電機メーカーグループの産業機器・通信機器の生産事業所である。情報機器製造検査工程における試験を自動化するにあたり、その搬送機構部分としてB社の自律搬送台車を導入、実稼働しているとのことで協力いただいた。F社は、主に鉄道関連資材を扱う商事業者であり、商業施設等での清掃や一般利用客の荷物搬送といったサービスを提供する実証試験を複数のサービスロボットを対象に実施されていることから本調査に参加いただいた。G社は、オフィス・文化施設関連設備の製造販売業者で、主に公共文化施設に向けてサービスロボットの販売を行っており、約3ヵ月の実証試験を経て、今年秋から実運用を開始した事例があるとのことで参加いただいた。ただし、ロボット自体は海外製品であり、販売元（国内輸入総代理店）から購入しているもので、G社では設計や構造に手を加えてはおらず、実施しているのは主に運用先施設での基本設定や施工とのことで、本調査では“ロボットのユーザー”として回答いただいた。

以下では、各社の調査結果を比較する形で概説するとともに、実証試験プロトコルの

策定において留意すべき事項、ならびに、自走自律制御機械の安全性の評価や管理に関わる現状と動向、メーカーとの連携状況について考察する。

表6 実地調査結果票（ユーザー向け）－ D社 －

注:以下の質問には、ユーザーD社からの情報を踏まえ、A社が代理して回答した。

	調査項目	回答
1	対象機械	<p><b>【事前回答】</b> 搬送台車</p> <p>主な仕様(走行速度、搬送質量など) 車体質量:80 kg 可搬質量:60 kg 自走速度:8 km/h モーター:100 W×4個 車輪:オムニホイール(全方向移動可能)</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 機械工具・工事用消耗品の卸売業者</li> <li>- これまで人手で行っていた多品種少量品の倉庫での搬送に、メーカーA社の搬送台車を導入予定。</li> <li>- メーカーと共同での実証試験を終え、現在、導入を前提にユーザー独自に実証試験を実施中。</li> <li>- 自動倉庫はすでに複数有しているが、このような搬送台車を扱うことは過去になく、今回が初めてである。</li> <li>- 実証試験を行うにあたり、安全の観点から、ロボットの最大運動エネルギーについては特に考慮はしていない。</li> </ul>
2	自律走行機能・搬送機能の概要	<p><b>【事前回答】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ LiDARによる距測情報を、あらかじめ入力された周辺地図と照合して自己位置を推定</li> <li>・ 走行経路は、行先に応じてロボットが生成</li> <li>・ 障害物を検知した場合には回避または停止、再経路生成する。</li> <li>・ 荷の移載は手動が基本(自動移載はカスタマイズ対応)。</li> <li>・ タグレスでヒト追従による搬送が可能。</li> </ul> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- このような機能があることは説明を受けて理解しているが、技術的な詳細までは把握していない。</li> <li>- 受け入れ試験の際に、動作は確認した。</li> </ul>
3	使用目的・用途の概要(使用環境又は搬送物など)	<p><b>【事前回答】</b> 倉庫内でのピッキング支援(手押し台車代替・自動搬送)。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 倉庫内でのピッキング支援であるが、現在、自動搬送や追従搬送など様々な利用方法を実証試験中。</li> </ul>

4	使用状況／使用条件	<p>【事前回答】 導入システム数：システム1式、車両2台。 同時運転台数：2台。 運転状況：11時間(5時間使用→1時間充電→5時間使用)。</p> <p>【調査結果】 - 上記のとおり。</p>
5	使用環境は、次のいずれに該当しますか。①～④の中から選んで丸をつけてください。	<p>【事前回答】 ②作業者と混在</p> <p>【調査結果】 - 倉庫内に関連業者などD社以外の作業者が入ることはない。</p>
6	自律移動制御に関わる災害防止のため、次のような安全装置(安全機能)が採用されていますか。	<p>【事前回答】 省略(調査結果に含めて報告する)</p> <p>【調査結果】 - 技術的詳細については、表3:実地調査結果票(A社)の項目6を参照。 - 基本的な機能については、実証試験でテストし、確認した。 - 高さ350 mmの平面検知であり、それ以外の高さにある障害物は認識できないことは説明を受けた。 - ただし、その他は、台車の操作方法以外は、詳しい内容の説明は求めている。</p>
7	自律移動制御に、AI(人工知能)が採用されていますか。	<p>【事前回答】 AIの採用なし。</p> <p>【調査結果】 - 自律移動制御に特に大きな危険性は感じていない。 - 機械学習などが採用されているかどうか、自律移動制御がどのように実現されているのか、技術的な詳細については把握していない。</p>
8	AIが採用されている場合、その機能はシステムの安全機能に関係しますか。右欄の①～③の中から選んでください。	<p>【事前回答】 回答なし。</p> <p>【調査結果】 - 技術的な詳細については把握していない。</p>
9	対象機械システムの構成では、機能制御部と安全関連部が区別されていますか。	<p>【事前回答】 分からない(メーカーに問い合わせしていない)。</p> <p>【調査結果】 - 設備導入に際し、このような観点で審査等はしていない。</p> <p>※ メーカーA社によれば、特に大企業でFAで使用する場合は厳しい基準が設けられていることもあるが、倉庫業では比較的少ないとのこと。</p>
10	リスクアセスメントを実施していますか。	<p>【事前回答】 リスクアセスメントを実施している。メーカーより提示された残留リスクマップを基にしている。</p>

		<p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 残留リスク一覧及び残留リスクマップを基に、メーカーと共同でリスクアセスメントを実施した。</li> <li>- 当該作業については、これまで人手で行ってきたので、機械に関わることはほとんどなかった。</li> <li>- 「機械の包括的な安全基準に関する指針」について詳しくは知らない。</li> </ul>
11	上欄のリスクアセスメント等を通して抽出された自律制御機能に係る想定される主な危険源・危険状態・危険事象はどのようなものでしたか。	<p><b>【事前回答】</b> 特になし。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 現在、実証試験を通じて、洗い出しを行っている段階。</li> </ul>
12	自律走行中に現場で作業者との接触による災害などを防ぐために実施していることに関し、以下の点について教えてください。	
	メーカーからどのような情報をもらっていますか。また、必要でしょうか。	<p><b>【事前回答】</b></p> <p>①メーカーから提供された情報 取扱説明書(取り扱いの注意、残留リスクマップ)</p> <p>②メーカーに提供してほしい情報 特になし。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- メーカーと共同で仕様策定、リスクアセスメント、実証試験を行っており、基本的な操作については説明を受けている。</li> <li>- 地図情報はメーカーが作成する。</li> </ul>
	運用開始前に、当該機械の災害防止に係る機能等を確認するため、使用現場又は現場と同等の環境において、性能試験又は機能テストを実施しましたか。	<p><b>【事前回答】</b></p> <p>①メーカーから実施が指定されたもの 特になし。</p> <p>②自主的に実施しているもの 特になし。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- メーカーと共同で実証試験を行った。現在、さらに独自で試験を行っている段階。</li> </ul>
	運転前点検、定期メンテナンスなどで実施している性能試験又は機能テストはありますか。	<p><b>【事前回答】</b></p> <p>①メーカーから実施が指定されたもの</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 始業前点検(ランプチェック/ブザー、非常停止ボタン、バンパの有効性)</li> <li>・ 定期点検</li> </ul> <p>②自主的に実施しているもの 特になし。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 運転前に、走行範囲に落下物・障害物がないことの確認及び走行範囲の清掃を実施している。</li> </ul>
	接近する可能性のあ	<b>【事前回答】</b>

	る人に個人用保護具(保護めがね/ゴーグル、保護帽、グローブ等)の使用を定めていますか。	安全靴(ロボット有無に関係なく、着用)。  【調査結果】 - 転倒対策、足先への落下物対策として、着用を社内規定で定めている。
13	自律制御機能に係る無線通信でのサイバーセキュリティ対策について、教えてください。	【事前回答】 ①無線通信方式(Wi-Fi、Bluetoothなど)Wi-Fi。 ②無許可の接続(侵入)を防止する対策メーカー任せ。  【調査結果】 - 既存の通信環境は利用せず、新規に設置した。
14	現在関心を持って調査されている自律走行搬送に係る要素技術などがあれば、教えてください。	【事前回答】 特になし。  【調査結果】 - 上記のとおり。

表7 実地調査結果票(ユーザー向け) - E社 -

調査項目		回答
1	対象機械	<p>【事前回答】 搬送台車</p> <p>主な仕様(走行速度、搬送質量など) 本体質量:120 kg 可搬質量:30 kg 走行速度:0.5 m/s 車輪:4輪メカナムホイール 寸法:W600×D600×H900(台車部分はH400以下)</p> <p>【調査結果】 - 産業機器、通信機器などの開発・製造業者 - 情報機器製造検査工程における試験を自動化するにあたり、その搬送機構部分としてB社の搬送台車を今年導入。 - 導入にあたり、社内の機械・電気及び運搬作業の専門委員会によって、安全面の審査を行った。 - 既存の安全通路内を通行することから通路幅に応じた車体サイズを希望した。 - 自律移動を行う搬送台車の導入は今回初めて。</p>
2	自律走行機能・搬送機能の概要	<p>【事前回答】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ROS (Robot Operating System)を使用した地図作成、SLAM、自律移動制御。</li> <li>・ セーフティレーザスキャナの測距情報を使用。</li> <li>・ 作業者による発進ボタン押下操作。</li> <li>・ 上位システム(PC)による走行シナリオ指令。</li> <li>・ 周囲の人や障害物検知による自律的な回避動作(非安全系)。</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>・セーフティレーザスキャナ (Type 3) による保護停止 (安全系)。</li> </ul> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 上記専門委員会の審査を通じて、上記の機能については理解している。</li> </ul>
3	使用目的・用途の概要 (使用環境又は搬送物など)	<p>【事前回答】</p> <p>情報機器製造検査工程における製造品の搬送及び自動検査。</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 当該搬送台車、多関節ロボット及び試験設備で構成される試験システムの中で、検査対象製品の搬送及び試験中の保持を行う。</li> <li>- 人用の通路を走行経路としている。</li> <li>- 試験は人の立ち入りを禁止している区画でロボットを用いて実施。</li> </ul>
4	使用状況/使用条件	<p>【事前回答】</p> <p>導入システム数: システム1式、搬送台車1台。 同時運転台数: 1台。 運転状況: 記載なし。</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 検査工程を1回終えるごとに、バッテリー残量に応じて充電している。</li> </ul>
5	使用環境は、次のいずれに該当しますか。①～④の中から選んで丸をつけてください。	<p>【事前回答】</p> <p>②作業者と混在</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 上記のとおり。</li> </ul>
6	自律移動制御に関わる災害防止のため、次のような安全装置 (安全機能) が採用されていますか。	<p>【事前回答】</p> <p>省略 (調査結果に含めて報告する)</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 技術的詳細については、表4: 実地調査結果票 (B社) の項目6を参照。</li> <li>- 非常停止ボタンが台車の前後下部にしかなく、このため、本体左右の容易に届く高さが増設することを要求した。</li> <li>- 充電は、充電端子の露出がない非接触充電システムにて行うよう要求した。</li> <li>- 作業者に容易に認識できるよう、台車の走行領域と停止位置を床面に白線貼付で、転回位置をトラテープ貼付で表示している (ただし、台車自体はこれらの表示を認識して動作してはいない)。</li> </ul>
7	自律移動制御に、AI (人工知能) が採用されていますか。	<p>【事前回答】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・SLAM自律移動方式 (ガイドレス) である</li> <li>・障害物と人の判別は行っていない。</li> <li>・異常 (故障) 検知にAIは使用していない。</li> </ul> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 搬送台車を導入する初めてのケースとして、今後の見本ともなるよう、慎重な安全審査が行われた。</li> </ul>
8	AIが採用されている場合、その機能はシステムの安全機能に	<p>【事前回答】</p> <p>①安全機能にAIは関わっていない。</p>



	関係しますか。右欄の①～③の中から選んでください。	<b>【調査結果】</b> - 上記のとおり。
9	対象機械システムの構成では、機能制御部と安全関連部が区別されていますか。	<b>【事前回答】</b> 区別されている。  <b>【調査結果】</b> - 安全関連部が区別されていないと、安全審査において承認が難しい。メーカーからブロック図を入手している。
10	リスクアセスメントを実施していますか。	<b>【事前回答】</b> 実施している。OHSMS規格に基づき、危険源・状態・可能性あるリスクを想定し、改善している。  <b>【調査結果】</b> - リスクアセスメントは安全審査に必要。通常のAGVと本機とでリスクがどう異なるか調査し、結果を提出している。
11	上欄のリスクアセスメント等を通して抽出された自律制御機能に係る想定される主な危険源・危険状態・危険事象はどのようなものでしたか。	<b>【事前回答】</b> ・ 人・台車との接触・挟まれ。 ・ 異常走行。  <b>【調査結果】</b> - 停電時の状況(周囲に光源がなくなった状態)も考慮している。 - マップ外への逸脱は自己位置推定に基づいて判断されるが、人及び障害物への接近・接触はセーフティレーザスキャナ及びバンパセンサで検知されるので、自己位置推定の誤判断に対する方策は特に講じていない。 - 走行マップはメーカー側で作成。マップ外に逸脱しないこと、強制的に逸脱させた場合は停止することは確認している。 - マップを変更する場合は、メーカーに依頼する。
12	自律走行中に現場で作業員との接触による災害などを防ぐために実施していることに関し、以下の点について教えてください。	
	メーカーからどのような情報をもらっていますか。また、必要でしょうか。	<b>【事前回答】</b> ①メーカーから提供された情報 ・ 製作仕様書 ・ 取説(保守メンテナンス含む) ・ リスクアセスメント ・ デモ走行のVTR  ②メーカーに提供してほしい情報 記載なし。  <b>【調査結果】</b> - 残留リスク情報も提供された。 - リスクアセスメント結果は、保護方策及び安全機能を把握するのに利用した。
	運用開始前に、当該機械の災害防止に係る機能等を確認するため、使用現場又は	<b>【事前回答】</b> システム導入時にメーカーによる現場での以下の機能確認に立ち合い、確認した。 ・ 走行中に機能制御部を意図的に停止させ停止するかを確認した。

	現場と同等の環境において、性能試験又は機能テストを実施しましたか。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 障害物を進路に投入し、停止するかを確認した。</li> <li>・ 非常停止スイッチの押下および復帰試験を実施した。</li> </ul> <b>【調査結果】</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 要望した非常停止ボタンの増設に関し、操作性について試験した。</li> </ul>
	運転前点検、定期メンテナンスなどで実施している性能試験又は機能テストはありますか。	<b>【事前回答】</b> ①メーカーから実施が指定されたもの <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 走行経路の点検(異物等有無の確認)</li> <li>・ 車輪の外観確認(割れ・欠けがないこと・清掃)</li> </ul> ②自主的に実施しているもの <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 作業前点検(走行経路・緊急停止機能・ランプ点灯・異音等)</li> <li>・ 定期点検(車輪の外観・軸受け部分の清掃)</li> </ul> <b>【調査結果】</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- メーカーから指定された項目を各点検手順に落とし込んで実施している。</li> <li>- 定期点検は月1回。</li> </ul>
	接近する可能性のある人に個人用保護具(保護めがね/ゴーグル、保護帽、グローブ等)の使用を定めていますか。	<b>【事前回答】</b> 台車の走行経路・エリア内には、接近する可能性がある人を想定していないことと、自律走行・緊急停止機能があり、保護具等の使用は定めていない。 <b>【調査結果】</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 通常の社内規定に従い、搬送台車に特別なものは規定していない。</li> <li>- 本試験システムに関しては、高電圧を扱う場面があり、人手で実施していた時は感電保護を規定していたが、自動化により不要になった。</li> </ul>
13	自律制御機能に係る無線通信でのサイバーセキュリティ対策について、教えてください。	<b>【事前回答】</b> ①無線通信方式(Wi-Fi、Bluetoothなど)Wi-Fi。 ②無許可の接続(侵入)を防止する対策エンタープライズ認証。 <b>【調査結果】</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 通信環境は新規に設置しており、既存環境を利用してはいない。</li> </ul>
14	現在関心を持って調査されている自律走行搬送に係る要素技術などがあれば、教えてください。	<b>【事前回答】</b> 記載なし。 <b>【調査結果】</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 搬送台車に搭載されたカメラ画像を介して、落下物など異常の早期検出や作業者の不安全行動監視など行い、AI技術により警報を発するなど、安全管理の手段としての利用に関心を持っているとのこと。</li> </ul>

表8 実地調査結果票(ユーザー向け) - F社 -

調査項目	回答
1 対象機械	<b>【事前回答】</b> 複数のロボット等を取り扱っているため、記載できない。

		<p>発売前のものが多く、仕様の開示には、メーカーの許可が必要。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 主に鉄道関連資材を扱う商事業者。</li> <li>- 商業施設等での清掃や一般利用客の荷物搬送といったサービスを提供する実証試験を、自律移動ロボット(清掃・消毒作業ロボット3種、荷物搬送ロボット4種など)を対象に実施している。</li> <li>- これ以外にも、随時、追加で種々のロボットを実験対象としている。ただし、マニピュレータを備えたものは含まれていない。</li> <li>- ロボットは実証試験用に貸借品と言う形である。</li> <li>- 実証試験は、非営業区域又は非営業時間内(夜間)で行われている。</li> <li>- 実証試験を行いながら、ロボットのデモンストレーションの場としても位置付けており、自律移動ロボットの導入を検討している関係のある企業・団体を対象にデモを行うこともある。</li> </ul>
2	自律走行機能・搬送機能の概要	<p><b>【事前回答】</b></p> <p>LiDARを用いた自己位置推定をはじめ、各社、様々な自律走行機能です。技術情報については、ユーザーの立場であり、詳細は分からない。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 実装されている機能そのものは実証試験の対象であり、様々な場合を想定して実際のロボットの振る舞いを観察し、課題を洗い出している段階とのこと。</li> <li>- ただし、その機能を実現している技術については、取扱マニュアルやメーカーの口頭説明等を通じて理解した範囲。</li> </ul>
3	使用目的・用途の概要(使用環境又は搬送物など)	<p><b>【事前回答】</b></p> <p>実証試験であり、あくまでもデモ。手荷物搬送、飲料搬送など。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 施設の清掃・消毒作業を目的としたロボットが3種、手荷物や飲料の搬送を目的としたロボットが4種など。</li> <li>- 荷物の積み下ろしは人手で行うようにしており、基本的に、人との物理的インタラクションは意図していない。ただし、一部に、人の手元まで搬送物を差し出すリフト機能等を有するロボットはある。</li> </ul>
4	使用状況/使用条件	<p><b>【事前回答】</b></p> <p>導入システム数: ロボットは実証試験用に貸借したもので、正式に導入したものではない。各社それぞれのシステムで、統合や一括管理はしていない。</p> <p>同時運転台数: すれ違い動作の実験などで、同時に複数のロボットを稼働させることがある。</p> <p>運転状況: 実稼働はしていない。デモが必要な場合に、都度、対応している。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- システム数は、現在は各機種1台。</li> <li>- 異なる機種を同一エリアで実験することはある。</li> <li>- 実証試験は非営業時間内(夜間)で行われており、最長でも4時間が限度とのこと。</li> </ul>
5	使用環境は、次のい	<b>【事前回答】</b>

	<p>ずれに該当しますか。①～④の中から選んで丸をつけてください。</p>	<p>④その他 非営業エリアに、B to Bのお客さまを招き、デモを行っている。</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 実証試験を行いながら、ロボットのデモンストレーションの場としても位置付けており、関係のある企業・団体からの見学を受け入れている。</li> <li>- なお、B to Bとは、例えば、オフィスビルの入居企業、商業ビルや飲食施設のテナント、公共交通施設の清掃業者等で、ロボットの導入を検討している事業者。</li> </ul>
6	<p>自律移動制御に関わる災害防止のため、次のような安全装置(安全機能)が採用されていますか。</p>	<p>【事前回答】 省略(調査結果に含めて報告する)</p> <p>【調査結果】</p> <p>1 非常停止装置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 実証試験に参加するにあたっての条件の一つとして、本体上の人が容易に操作できる位置に非常停止ボタンの設置を求めている。なお、走行速度が速くないため(現状、最大 4 km/h程度)、人が非常停止ボタンを押すのにロボットに追い付けなかったことは、これまでにない。</li> <li>- 遠隔操作で非常停止を行うロボットは現時点ではない。</li> <li>- ただし、大きな商業施設や公共施設においては、火災など非常事態の際に、ロボットを一斉に停止させる必要があるとは考えている。しかし、この場合も、避難通路上で停止しないなどの工夫が必要。消防法との兼ね合いも考慮する必要がある。</li> </ul> <p>2 障害物検出装置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 非接触検知手段には、LiDAR、カメラ、超音波センサなどが用いられている。ただし、検知範囲が前方のみで、後方から接近する人を認識しないものが多い。</li> <li>- 接触検知手段を備えているロボットは少ない。</li> <li>- 現在は、機能の確認をし残存リスクを共に洗い出している実証試験の段階であり、これら検知機能に関わる制御系が安全関連部として、機能制御部と区別されているかまでは把握していない。</li> </ul> <p>3 警報装置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ロボットごとに様々なものがあり、エラーが発生した際には光などで分かるようになっている。</li> <li>- 実証試験では一般エリアは基本的に走行しないので、警報やアラームを具備していない場合もある。</li> <li>- 実導入の際には、警報音やアラームではなく、音声での協力喚起が標準装備になると思っている。ただし、音量等の課題は残る。</li> </ul> <p>4 その他の技術的方策(本質的安全設計、安全装置、安全機能など)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 進入禁止エリアの設定</li> <li>- 階段からの転落防止機能</li> <li>- 本体に柔軟な素材を使用したものがある。</li> <li>- 充電方法は、全てケーブルを接続するか、有接点の装置を用いた接触充電。高出力・高周波の電磁波を使うような非接触充電については、人体への影響なども考慮しなければならないと考えている。</li> </ul>
7	<p>自律移動制御に、AI</p>	<p>【事前回答】</p>

	(人工知能)が採用されていますか。	<p>ユーザーの立場なので、AIが採用されているかどうかは確認していない。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 実証試験の範囲であり、自律移動制御がどのように実現されているのか、AIが採用されているかどうか、技術的な詳細については把握されていないとのこと。</li> <li>- ユーザーとしては、実行される機能(性能)には興味があるが、使用されている技術の詳細には特に関心を持ってはいない。</li> </ul>
8	AIが採用されている場合、その機能はシステムの安全機能に関係しますか。右欄の①～③の中から選んでください。	<p><b>【事前回答】</b></p> <p>ユーザーの立場なので、AIが採用されているかどうかは確認していない。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 何か不具合があれば停止するようになっていることは確認している。</li> </ul>
9	対象機械システムの構成では、機能制御部と安全関連部が区別されていますか。	<p><b>【事前回答】</b></p> <p>ユーザーの立場であり、技術的なことの詳細は確認していない。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 実証試験の範囲で、ユーザーが思っていない動作をしたときは、メーカーに問い合わせるようにしている。</li> </ul>
10	リスクアセスメントを実施していますか。	<p><b>【事前回答】</b></p> <p>自社内で独自にリスクアセスメントの議論は行った。ただし、詳細は非公表としている。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 社内で独自にガイドラインを作成している。エレベータやエスカレータの安全基準、農業用ロボットの安全ガイドライン等を参考とした。</li> <li>- 主として、①人との衝突、②障害物(ガラスを含む)との衝突、③床面の傾斜や段差での転倒、④階段からの転落等に関して、対策を確認するようにしている。</li> <li>- その結果、実証試験では、常に動作を監視する人を随伴させ、異常発生時には非常停止することを標準とした。</li> <li>- 転倒については、「人と衝突しても転倒しないこと」、ならびに、「人がもたれかかって体重をかけても転倒しないこと」を確認している。</li> </ul>
11	上欄のリスクアセスメント等を通して抽出された自律制御機能に係る想定される主な危険源・危険状態・危険事象はどのようなものでしたか。	<p><b>【事前回答】</b></p> <p>自社内で独自にリスクアセスメントの議論は行った。ただし、詳細は非公表としている。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 周囲環境の誤認識(周囲の障害物が急に退かされた)によって、その場を回転するといった意図しない動作をしたことがある。</li> <li>- 通路が十分空いているのに、壁ギリギリの所を通過したことがある。</li> </ul>
12	自律走行中に現場で作業者との接触による災害などを防ぐために実施していることに関し、以下の点について教えてください。	
	メーカーからどのような情報をもたらっていますか。また、必要でしょうか。	<p><b>【事前回答】</b></p> <p>①メーカーから提供された情報 仕様書、操作マニュアル等</p> <p>②メーカーに提供してほしい情報</p>

	記載なし。  【調査結果】 - 運用開始前に設定方法や基本事項に関する指導を受けた。 - マッピングに関しては、ユーザーが実施することであり、詳細を開示し、自由に設定できるようにしてほしい。
運用開始前に、当該機械の災害防止に係る機能等を確認するため、使用現場又は現場と同等の環境において、性能試験又は機能テストを実施しましたか。	【事前回答】 ①メーカーから実施が指定されたもの デモ運用前に複数回、メーカー立ち合いの元、現地で機能テストを行った。  ②自主的に実施しているもの 記載なし。  【調査結果】 - メーカー担当者が現地を訪れ、必要な情報、例えば、①通路幅等の環境の測量、②床面の段差や傾斜、③現地での通信速度等の情報を収集していった。 - さらに、基本的な機能テストを実施し、停止性能(制動距離)等を確認していった。 - リスクアセスメントで挙げられた方策、特に、ガラスを含めて環境を認識でき、施設を傷つけないかについては自主的に確認している。
運転前点検、定期メンテナンスなどで実施している性能試験又は機能テストはありますか。	【事前回答】 ①メーカーから実施が指定されたもの 特にない。  ②自主的に実施しているもの 特にない。不具合があれば、稼働させずにメーカーに連絡する。  【調査結果】 - マニュアルに基づいて、始動時に状態を確認し、不具合があればメーカーに連絡している。
接近する可能性のある人に個人用保護具(保護めがね/ゴーグル、保護帽、グローブ等)の使用を定めていますか。	【事前回答】 特に定めていない。  【調査結果】 - 上記のとおり。
13 自律制御機能に係る無線通信でのサイバーセキュリティ対策について、教えてください。	【事前回答】 ユーザーの立場なので、技術的詳細は確認していない。  【調査結果】 - 実証試験を行うにあたり、必要な通信環境はロボットメーカーがそれぞれ設けた臨時的仮設備で整備している。施設に備わる環境は一切利用していない。 - インターネット回線等を使用しない通信の場合、システム構成図などを提出してもらい、双方で確認を行っているとのこと。 - 通信回線が途絶することはしばしばある。
14 現在関心を持って調	【事前回答】

<p>査されている自律走行搬送に係る要素技術などがあれば、教えてください。</p>	<p>エレベータ連携ができないと実装導入はないので、上下移動をテーマに対応できる要素技術に関心がある。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 自律移動機械との連携を前提に設置された昇降設備ではなく、既存の昇降設備との連携が低コストで実現できることが必要と考えている。</li> <li>- エレベータ内における通信の確保も課題。</li> </ul>
---	--

表9 実地調査結果票（ユーザー向け） - G社 -

調査項目	回答
<p>1 対象機械</p>	<p><b>【事前回答】</b> サービスロボット</p> <p>主な仕様(走行速度、搬送質量等)            本体質量:50 kg            可搬質量:30 kg            走行速度:1.0 m/s            寸法:W500×D500×H1200            連続作業時間:4時間            最大登坂角度:5°</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- オフィス・文化施設関連設備の製造販売業者。</li> <li>- 公立公共施設にて、約3ヵ月の実証試験を経て、今年秋から実運用を開始。</li> <li>- ただし、ロボット自体は、販売元(国内輸入総代理店)から購入しているもので、設計や構造に手を加えてはおらず、実施しているのは運用先となる施設での基本設定やQRコード設置施工などであることから、本調査では“ユーザー”として回答いただいた。</li> <li>- 自律移動を行うロボットを扱うことは今回初めて。</li> <li>- 高速で動くロボットでないと思っているが、最大運動エネルギーの観点で検討してはいない。</li> </ul>
<p>2 自律走行機能・搬送機能の概要</p>	<p><b>【事前回答】</b> 天井に貼付したQRコードを本体に取付けた天井カメラで読み込み、走行経路を生成する。次に、出発位置、停止位置を覚えさせ、進入禁止領域を設定する。障害物を検知した場合は、避ける領域(進行できる経路)があるときは障害物を回避、避ける領域が無ければ停止する。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 誘導方式はQRコード式。QRコードの設置、および、出発位置、停止位置、進入禁止領域の設定は運用前に実施しており、使用時は、上部タッチパネルを介して停止位置の指定(選択)をした後、走行開始ボタンを押す。</li> <li>- 搬送物の載荷は施設職員が手で行う。</li> <li>- 駆動輪は左右2輪で、他に従動輪4輪で機体を支える。走行は、前進及びその場旋回のみで、後進は行わない。</li> <li>- 目的の停止位置到着後、荷降ろしは一般客が手で行う。ロボット本体上部に手をかざして赤外線センサを反応させると出発位置への帰還</li> </ul>

		<p>を開始する(本来の仕様では“上部に触れること”が動作開始操作であったが、コロナ禍対策として非接触にしているとのこと)。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 上位コントローラは有しておらず、経路の選択、変更、記憶など一切の走行制御はロボット本体のLinuxをOSとする処理部で行う。現在走行位置を表示する装置も特には設けていない。</li> <li>- データのアップデートやエラー対応、充電時間などの機能設定の変更は、操作パッド又はWindowsの汎用PCからWi-Fi経由で行う。</li> <li>- 以上については、販売元から提供された情報を基に、実証試験を通じて把握したとのこと。</li> </ul>
3	使用目的・用途の概要(使用環境又は搬送物など)	<p><b>【事前回答】</b> 公共施設における物品の搬送(保管場所から品物の貸与を要望している一般客までの配達)。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ロボットに三段の棚が設けてあり、それぞれに10 kgまでの物品を載せることができる。</li> <li>- 現時点では、保管場所からの配達のみで、一般客から貸与品を回収することは行っていない。</li> </ul>
4	使用状況/使用条件	<p><b>【事前回答】</b> 導入システム数:システム1式、ロボット1台。 運転状況:日中、施設開館時間(平日:10時間30分)稼働。閉館時間中(夜間)に充電。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 現時点では1施設1台での運用。</li> <li>- 複数台を同時に走行させることは可能。その際、すれ違いなどの経路調停は、ロボット同士がWi-Fi経由で相互通信して行う。</li> <li>- 連続走行可能時間は実質4時間が限度であるが、走行頻度はそれほど高くなく、現状では日中の稼働時間内で充電が必要となったことはないとのこと。</li> <li>- 走行距離は往復で約35 m。施設職員が状況を視認(監視)できる範囲としている。</li> <li>- 階段、段差や傾斜のない平坦な領域で、路面はフロアマット。</li> <li>- 基本的には子供(小学校低学年までを想定)が大人の同伴なしには入らないエリアで、飲食も禁止されている。</li> </ul>
5	使用環境は、次のいずれに該当しますか。①～④の中から選んで丸をつけてください。	<p><b>【事前回答】</b> ①公共の人と混在</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 公共施設での運用であり、高齢者、子供、視覚や聴覚に障がいのある人と混在。</li> <li>- 実証試験は、施設職員及び一般利用客がいる状況で実施。ただし、コロナ禍の影響で来館者はそれほど多くはなかったとのこと。</li> </ul>
6	自律移動制御に関わる災害防止のため、次のような安全装置(安全機能)が採用されていますか。	<p><b>【事前回答】</b> 省略(調査結果に含めて報告する)</p> <p><b>【調査結果】</b> 1 非常停止装置</p>



		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 容易に操作できる位置に非常停止ボタンは備えていない。</li> <li>- 本体下部のカバー内に非常停止（動力遮断）装置が電源ボタンなどと共にある。誤作動や発火などの緊急時に使用するもので、樹脂製の保護カバーで蓋がされており、基本的に操作しない仕様。</li> <li>- 遠隔操作で非常停止は行えない。</li> </ul> <p>2 障害物検出装置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 非接触検知手段として、赤外線センサと超音波センサを備え、障害物を検出する。ただし、検出領域は走行方向である前面のみ。</li> <li>- 本体下部前面にも赤外線センサがあり、足先などを検出できる。</li> <li>- 障害物が検出されなくなれば自動的に走行を再開する。</li> <li>- 接触検知手段（バンパースイッチ）は備えていない。</li> </ul> <p>3 警報装置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 障害物を検出して停止したときは、退避を促す音声案内を発する。</li> <li>- 施設側の要望で、視覚障害者の存在を考慮し、メロディを鳴らしながら走行する設定としている。</li> <li>- 施設側の要望で、エラーで停止した等の障害発生時のアラームは発しない設定としている（施設職員による監視が前提）。</li> <li>- 表示灯は備えていない。</li> </ul> <p>4 その他の技術的方策（本質的安全設計、安全装置、安全機能など）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 積載物の有無（落下）を検知する手段は備えていない。現状では、品物は箱に入れて搬送棚の中央に載せるよう施設職員に依頼している。</li> <li>- 進入禁止エリアは、運用開始前に“障害物”として記憶させている。強制的に押し出すなどすると、進入直前で停止する。</li> <li>- 充電装置は有接点のターミナル。充電時間設定に基づき、ロボット自らが戻って充電する。</li> </ul>
7	自律移動制御に、AI（人工知能）が採用されていますか。	<p>【事前回答】</p> <p>走行を行うたびに、最短ルートを導き走行します。</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 経路は、ロボットが独自に探索、選択判断する。</li> <li>- 最初は目的地到達まで時間を要するが、走行を数回重ねると一定のパターンに収束する。このため、学習機能のようなものが搭載されているようであるが、AIとは見なしていないとのこと。</li> <li>- 詳細なことは、販売元から特に説明は受けていないとのこと。</li> </ul>
8	AIが採用されている場合、その機能はシステムの安全機能に関係しますか。右欄の①～③の中から選んでください。	<p>【事前回答】</p> <p>①安全機能にAIは関わっていない。</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 人と障害物を判別する機能はない。</li> <li>- 詳細なことは、販売元から特に説明は受けていないとのこと。</li> </ul>
9	対象機械システムの構成では、機能制御部と安全関連部が区別されていますか。	<p>【事前回答】</p> <p>設計製造者及び販売元から説明を受けておらず、詳細は把握していない。</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 障害物検出による保護停止や、設定した領域への進入禁止などの制</li> </ul>

		御機能が、どのようなシステム構成で処理・実行されているかまで、販売元から説明を受けておらず、把握していないとのこと。
10	リスクアセスメントを実施していますか。	<p>【事前回答】 していない。</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 販売元、導入先施設らと協議の上、起こり得る事態を想定し、基本的な実証試験の項目を検討したが、“リスクアセスメント”という形でまとめではない。</li> <li>- JIS規格やガイドラインなどは特に検討していない。“機械の包括的な安全基準に関する指針”も詳細は把握していない。</li> <li>- あくまでも施設職員が、ロボットの挙動及び周囲の人の接近を監視し、対処できる範囲を走行領域と定めて運用としている。</li> <li>- 走行領域は十分な幅があり、緊急事態(停電、火災、地震)の際に来館者の避難路を妨害することは想定していない。</li> </ul>
11	上欄のリスクアセスメント等を通して抽出された自律制御機能に係る想定される主な危険源・危険状態・危険事象はどのようなものでしたか。	<p>【事前回答】 記載なし。</p> <p>【調査結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 実証試験で検討した項目のうち、主なものを挙げると、以下のとおり： <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 前方を通行する人を検知できることの確認</li> <li>・ 光量の不足／過多、汚れなどにより、カメラがQRコードを読み取れなかった場合の挙動</li> <li>・ 赤外線センサに西日や散乱光が当たり、機能しない場合の挙動</li> <li>・ 乗り越え可能な段差の確認、ならびに、乗り越えられない場合(過負荷の場合)の挙動</li> <li>・ 本体をどの程度押すと転倒するかの確認、など</li> </ul> </li> <li>- センサ類の不具合発生時に停止することは仕様だが、実際に故障させる試験までは実施していない。</li> <li>- 施設内での運用ということで、路面が濡れて滑り易い状態になることは想定していない。</li> <li>- 施設側より、特に6歳以下の子供の考慮が求められた。子供が後ろから抱き着いた場合を実験し、倒れないことを確認している。ただし、施設職員が監視しているので子供が走ってロボットに向かってくることまでは考慮していないとのこと。</li> <li>- バッテリに関しては、これまでの自社製品での経験も少なく、懸念はある。ただし、販売元が他に展開している事例で、水に濡れても特に不具合は発生していないと聞いており、耐久性など含めて注視している状態。</li> </ul>
12	自律走行中に現場で作業員との接触による災害などを防ぐために実施していることに関し、以下の点について教えてください。	
	メーカーからどのような情報をもらっていますか。また、必要でしょうか。	<p>【事前回答】</p> <p>①メーカーから提供された情報 過去、接触事故がないとのこと、特になし。</p> <p>②メーカーに提供してほしい情報 過去の接触事故情報</p> <p>【調査結果】</p>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 販売元からは、操作マニュアル、プログラミングマニュアルは提供されたが、それ以外はなく、定期点検項目は要求をして提出してもらったとのこと。</li> <li>- 施設向けの取扱説明書は、新規に制作した。</li> <li>- (販売元が展開している他の事例で発生した) 事故情報については、直ちに報告してもらいたい。販売元から報告があれば、対応を検討する。</li> </ul>
	運用開始前に、当該機械の災害防止に係る機能等を確認するため、使用現場又は現場と同等の環境において、性能試験又は機能テストを実施しましたか。	<p><b>【事前回答】</b></p> <p>①メーカーから実施が指定されたもの 走行経路の確認。その後、走行中に障害物を回避するか動作確認。</p> <p>②自主的に実施しているもの 特になし。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 販売元、導入先施設らと協議の上、基本的な実証試験の項目を検討した。</li> </ul>
	運転前点検、定期メンテナンスなどで実施している性能試験又は機能テストはありますか。	<p><b>【事前回答】</b></p> <p>①メーカーから実施が指定されたもの</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 髪の毛が絡まることがあるため、車輪の定期点検・清掃。</li> <li>・ センサ部およびQRコード読取りカメラ部の定期清掃。</li> </ul> <p>②自主的に実施しているもの 特になし。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 定期点検・清掃の項目については、協議している中で、販売元に提案して追加となった内容が多い。</li> <li>- 赤外線センサ及び超音波センサの検出動作など安全機能について、定期的な確認までは実施していない。</li> </ul>
	接近する可能性のある人に個人用保護具(保護めがね/ゴーグル、保護帽、グローブ等)の使用を定めていますか。	<p><b>【事前回答】</b></p> <p>混在するのが公共の人と想定しているため、規定していない。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 保守点検においても、施設職員が本体カバーを開ける作業は設定しておらず、保護具は必要ない。不具合があれば、運転せず連絡することと定めている。</li> </ul>
13	自律制御機能に係る無線通信でのサイバーセキュリティ対策について、教えてください。	<p><b>【事前回答】</b></p> <p>①無線通信方式(Wi-Fi、Bluetoothなど) Wi-Fi。</p> <p>②無許可の接続(侵入)を防止する対策 特になし。</p> <p><b>【調査結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 現状では施設に既存のFree Wi-Fiを暫定的に使用しているが、通信負荷及びセキュリティの両面で、今後、専用の環境を整備する予定でいる。</li> </ul>
14	現在関心を持って調	<b>【事前回答】</b>

査されている自律走行搬送に係る要素技術などがあれば、教えてください。	記載なし。 <b>【調査結果】</b> - 現在は固体の品物の搬送に限定しているが、液体物の搬送に関してこぼさないための免振技術に関心があるとのこと。
------------------------------------	---

## (2) 対象機械

対象とした機械は、D社はA社製の自律搬送台車、E社はB社製の自律搬送台車である。また、F社については、清掃・消毒作業ロボット3種及び荷物搬送ロボット4種などを対象に実証試験を行っている。いずれもSLAM技術を用いた自律走行が可能で、マニピュレータを搭載しているものは含まれていないが、人の手元まで搬送物を差し出すリフト機構などをもつロボットはあるとのことである。G社も搬送台車に類するサービスロボットであり、荷の移載は施設職員又は一般客が手で行う。誘導方式は、本調査の範囲では唯一、天井に貼付したQRコードを本体上部の画像カメラで読込むことで自己位置を認識するQRコード式であり、指定された目標停止位置までの走行経路を自律的に生成・変更するものであった。前述したように、本調査時点では、D社、F社は実証試験の段階にあり、E社、G社は既の実稼働している。

機械の仕様として、本体の寸法や質量、搬送能力は様々であるが、本体質量及び可搬質量を考慮して概算した最高速度での運動エネルギーを見ると、G社のサービスロボットは、JIS B 8446-1 : 2016<sup>13)</sup>で人との衝突のリスクが受容可能とされる領域A (93 J 以下)<sup>14)</sup>に該当する仕様であった。詳細は割愛するが、F社のロボットの中にも、領域Aに該当する仕様のもが含まれていた。

一方、項目3～5の調査結果より、用途は、D社、E社は産業用、F社、G社はサービス業用である。複数台の稼働について、D社は一倉庫内で2台を同時運転するとしており、F社は異なるメーカーのロボットを同一環境内で実験する場合があるとのことであった。経路決定に関わる設計思想や仕様が異なる機械が混在する場合には、個々の機械の経路決定の誤りばかりでなく、互いの経路決定方法の不整合に起因するリスクも考慮する必要がある。

また、4社とも、基本的に人との物理的インタラクションは作業に含めてはいないとの意見であった。ただし、F社が試験しているロボットの中には、人の手元まで搬送物を差し出すリフト機構を有するものもあり、また、G社のロボットは、目標位置到着後、出発位置への帰還を開始する際、本体上部に触れることで走行を再開する仕様であった（現在は、非接触検知に変更されている）とのことで、本体又は移載装置の一部に人が接触した条件での挙動については、リスクアセスメント及び実証試験プロトコルの策定において考慮すべき事項と考えられる。

### (3) 保護方策及び安全機能

#### ア 障害物検知手段

項目6の調査結果より、F社からは、非接触検知機能には、LiDAR、カメラ、超音波センサなどを用いられているが、検出区域が前方のみで後方から接近する人を認識しない場合もあるとの回答があった。G社も、走行は前進及びその場旋回のみで後進は行わないことから、前方のみに赤外線近接センサと超音波センサを備えているとのことであった。接触検知手段（バンパースイッチ）を備えているロボットは少なかった。E社（B社）については、第3節（4）項で述べたように、非接触式と接触式の検知手段が備えられている。ただし、後退速度を0.3 m/sに制限した上で、後方の非接触検知には赤外線近接センサを用いている。

以上のように、本調査の範囲では、台車の走行方向や速度に一定の制限を設け、主に進行しない方向については、障害物検知を行わない又は主とする進行方向に比べ簡易な手段を用いている例が複数確認された。後退や全方向移動が構造的には可能で、進行方向や速度を走行制御の一環として制限している場合、当該機能は安全機能として適切に評価・検証されなければならない。

#### イ 非常停止装置

非常停止ボタンについて、D社（A社）、E社（B社）は、第3節（4）項で述べたように、台車本体に設けられており、動力遮断は自律移動制御系とは独立した回路で実行される。F社は、本体上の人容易に操作できる位置に設置していることを、実証試験参加の条件として求めているとのことである。これは、F社が、（5）項で述べるように、実証試験を開始するにあたって行ったリスクアセスメントの結果、種々の危険事象に対する保護方策の一つとして「試験中は常に動作を監視する人をロボットに随伴させ、異常等があれば非常停止する」ことを採用したためである。

一方、G社のサービスロボットは、容易に操作できる位置ではなく、本体下部のカバー内に非常停止（動力遮断）装置が電源ボタンなどと共に設置されている。樹脂製の保護カバーで蓋がされ、誤作動や発火などの緊急時のみに使用する仕様とのことで、メーカーが設計・製造段階でのリスクアセスメントの結果、容易に操作できる位置への非常停止ボタンの設置を不要と判断したためと推察されるが、G社では詳細は把握していないとのことであった。

遠隔で操作可能な非常停止機能については4社とも実装していなかった。ただし、F社からは、大きな商業施設や公共施設において、火災など非常事態の際、ロボットを一斉に停止させることの必要性について言及があり、合わせて、避難通路上で停止してしまう可能性や消防法との兼ね合いなど解決すべき課題が挙げられた。サービス業用途に限らず、産業用途においても、この二つの側面、すなわち、①地震、火災、停電など緊

急時における自走自律制御機械の挙動や取扱い、ならびに、②自走自律制御機械が不適切な場所で停止する（走行不能になる）状況については、機械の導入にあたってリスクの検討が必要な事項と言えよう。

## ウ 進入防止機能

第3節(5)項で述べた「進入防止機能」について、F社では、使用環境内に通路幅が狭い箇所のほか、下り階段、ガラス製の構造物などがあり、これらへの進入、衝突、接近を防止する方策の一つとして、これらの場所を進入禁止エリアに設定する場合もあるとのことであった。また、G社も、自己位置の認識はQRコード式であるが、走行が許可された範囲以外の領域及び柵など走行範囲内の障害物を進入禁止エリアとして設定している。これらの事例は、進入防止機能が、単に搬送システムの稼働効率を維持する目的で利用されることはなく、そこには何らかの安全上の目的が含まれているのが一般的であることを示唆している。

第3節(5)項で述べたように、設定した領域への進入に見積もられるリスクの大きさ及びこれに対するシステム全体のリスク低減戦略次第では、進入防止機能は安全機能と見做され、適切に評価・検証しなければならない。

## (4) 革新的技術及び保護方策に対するユーザーの認識

項目6～9の調査結果より、革新的技術及び保護方策に対するユーザー各社の理解について考察する。

まず、E社では、導入するにあたり、安全衛生に関わる専門委員会（搬送台車を含む本試験設備については、電気・機械専門委員会及び高所・運搬作業専門委員会が該当）によって、通常の生産設備の導入時と同様に安全面の審査が行われたとのことである。自律移動を行う搬送台車を扱うケースは初めてであることから、審査は特に慎重に行われたとのもので、このため、担当者らは、メーカー（B社）と協議を重ね、自律走行制御や安全対策の内容について把握し、その上で、非常停止ボタンの増設や非接触充電システムの採用などを要求していた。制御システムにおける安全関連部と非安全関連部の区別に関しても、メーカーからブロック図を入手し、審査に備えたとのことである。

一方、D社は、導入に際し、安全審査まではしてはいないが、これまで経験の無い搬送台車ということで、発注初期の段階からメーカー（A社）と共同で仕様策定、リスクアセスメント及び実証試験を行ってきており、その過程で基本的な機能について確認していた。ただし、障害物検知の検知範囲が特定の高さの平面に限られており、低い姿勢でいる作業員や高さの低い障害物、あるいは、高い位置に吊り下げられた／飛び出した障害物は検知できないことの説明は受けたが、その他の自律走行制御や安全機能について、動作そのものは実証試験を通じて理解しているが技術的な詳細までは把握してはい

ないとのことであった。A 社によれば、特に大手企業において製造ライン等で使用する場合は厳しい社内基準が設けられていることもあるが、倉庫業では比較的少ないのが現状との意見もあった。また、G 社についても、自律走行制御や安全機能については、販売元から基本的な情報は提供されたが、主には実証試験を通じて自ら調査・把握したとのことであった。F 社は、実証試験の範囲であり、自律移動制御がどのように実現されているのか、AI が採用されているか、技術的な詳細については特に把握されていないとのこと、実行される機能（性能）には興味があるが技術の詳細までは分からないとの回答であった。

以上のように、E 社の例を除き、自走自律制御機械に実装された個々の制御機能がどのように動作するのかについては実証試験などを行って把握に努めているものの、どのように実現されているのか技術的な詳細までは理解してはいないのが現状であることが分かった。前述した進入防止機能を例にすれば、これが SLAM 技術を用いた自己位置推定に依存している場合、その誤りによる進入防止の失敗が想定されなければならないが、限られた期間での実証試験の中では、このような機能失敗が発生し自己位置推定の誤りの影響が認識されるとは限らない。このため、個々の制御機能についてメーカーから説明を受け、その原理や構成を把握し、起こり得る事態をリスクアセスメントで十分想起しておくことが重要となるが、これを実施している（できる）ユーザーはまだ限られているのが現状と言えるよう（リスクアセスメントと実証試験の関係については、次の（5）項で詳述する）。また、安全機能についても、用いる検知手段などの機能上（仕様上）の限界や環境的外乱の影響による不作動は実証試験を通じて把握できる場合もあるが、危険側故障の発生確率に関しては達成されている安全性能を指標としなければ検討できず、メーカーから「残留リスク」として説明を受ける（あるいは、機械の仕様を協議している過程で情報提供を求める）必要があると言える。

ただし、面談を通じて、ユーザーが技術的な詳細を理解することには一定の限界があるとも感じられた。機械学習など革新的技術について、ユーザーが十分な知識を有しているとは限らず、メーカーはこの前提に立って、機械の制御機能に潜在するリスクを説明する必要がある。また、安全機能についても、メーカーが達成しているパフォーマンスレベル（PL）<sup>9)</sup>や安全度水準（SIL）<sup>15)</sup>を提示することがユーザーにとって必ずしも有効とは言えない。安全関連部と非安全関連部が分離されていることも、メーカーが安全機能をどのように扱って設計したかの指標とはなり得るが、両者の分離はあくまでも要求される安全性能を達成する上での設計方策の一つに過ぎず、危険側故障の発生確率を表すものではない。このため、例えば、要求される安全性能を決定する際に行ったリスクアセスメントの結果に基づいて、機能失敗の際に想定される危害の酷さ、見積もった暴露頻度及び回避可能性を提示するなど、ユーザーが実証試験や追加の保護方策の必要性を判断する際に活用し易い形での情報提供を検討する必要があると考えられる。

なお、項目 12 の調査結果より、メーカーからの残留リスク情報の提供について、産

業用途で利用する D 社、E 社は、いずれもメーカー（A 社、B 社）より残留リスク情報が提供されたとの回答である。特に、E 社は、リスクアセスメントの結果も入手し、保護方策及び安全機能を把握するのに利用していた。労働安全衛生規則第 24 条の 13<sup>16)</sup>に基づき対応と推察され、メーカーが残留リスク情報の提供の必要性について十分認識していることを示唆する結果と言える。一方、サービス業用途で利用する G 社からは、販売元からは操作マニュアル及びプログラミングマニュアル以外に提供された情報はなく、「定期点検項目」は G 社から要求をして提出されたとの回答があった。

## (5) リスクアセスメントと実証試験

改めて、項目 10～12 の調査結果より、ユーザー各社のリスクアセスメント及び実証試験の実施について概説する。

E 社は、導入に際しての安全審査に必要な情報として、リスクアセスメントを行い、従来の無人搬送車とのリスクの差異を調査して結果を提出したとのことである。この過程で、メーカー（B 社）に非常停止ボタンの増設を要求し、実証試験では、メーカーによる現場での機能確認に立ち合い、障害物検知による保護停止、走行マップ外に逸脱しないことや強制的に逸脱させた場合は停止することを確認すると共に、非常停止ボタンの操作性について検証している。また、F 社は、実証試験を行うにあたってリスクアセスメントを実施している。詳細は公開頂けなかったが、自社がもつエレベータやエスカレータなど付帯設備の安全基準、ならびに、「農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン」<sup>17)</sup>等を参考としたもので、その結果、種々の危険事象に対する方策として「試験中は常に動作を監視する人をロボットに随伴させ、異常等があれば非常停止する」を標準と定めたとのことである。実証試験については、停止性能など基本的な機能テストは、メーカー担当者が現地を訪れ、通路幅や床面の段差など必要な情報の収集とともに実施していったとのことである。これに対し、自主的には、ガラス製構造物を含めて環境を認識でき施設や付帯設備を傷つけないか、階段からの転落は防止されているかなど、リスクアセスメントで懸念された事項を確認したとのことである。

一方で、D 社は、前述したように残留リスク一覧及び残留リスクマップを基にメーカー（A 社）と共同でリスクアセスメントを実施してはいるが、「機械の包括的な安全基準に関する指針」<sup>18)</sup>（以下、「機械包括安全指針」という。）は詳しくは知らないとのことである。危険源・危険事象等の抽出についても、現在、独自に行っている実証試験の中で洗い出しを行っている段階とのことであった。また、G 社は、販売元、導入先施設らと協議の上、起こり得る事態を想定し、西日や散乱光の影響で赤外線近接センサが機能しない場合、カメラの汚れなどにより QR コードを認識できない場合、段差を乗り越えられない場合などを実証試験の項目として設定したが、これをリスクアセスメントという形では行っておらず、また、その際 JIS 規格やガイドライン、機械包括安全指針も参



照はしなかったとのことであった。なお、最終的に施設での運用にあたっては、施設職員がロボットの挙動及び周囲の人の接近を監視することを定め、職員が対処できる範囲のみを走行領域としたとのことである。

以上のように、本調査の結果、実証試験の実施に先んじてリスクアセスメントを行って安全性を評価している場合と、実証試験そのものを危険源・危険事象を洗い出す場と位置付けている場合があることが分かった。機械設備を導入する事業場は機械包括安全指針に従ったリスクアセスメントの実施が努力義務規定として設けられている。しかし、機械包括安全指針において、危険源を同定しリスク低減を図るべき機械に労働者が関わる作業等に「運搬、設置、試運転等の機械の使用の開始に関する作業」（第3の6イ）は含まれてはいるが、本事業で検討している「実証試験」については明確には言及されておらず、「危険源同定」と混同されている可能性がある。また、サービスロボットについては、「生活支援ロボット及びロボットシステムの安全性確保に関するガイドライン」<sup>19)</sup>が公表されており、実証実験を実施する者の責務として「実証実験に先立ち、リスクアセスメントを行い、安全性の確保を目的とした基本的な計画を立案すること」が規定されている。ここで「実証実験」とは「ロボットを実際の場面で使用し、実用化に向けての問題点を検証すること」と定義されており、本事業が検討している「実証試験」とは趣を異にするものであるが、「実証試験を実施するにあたり、それに先立ってリスクアセスメントを行い、基本的な計画を立案すべき」という点は共通しており、参考になる。ただし、本調査の範囲では、本ガイドラインの存在に言及したサービスロボットユーザーの回答はなく、現状ではまだ十分には認知されていないことが示唆された。

## 5 自律走行搬送に関わる技術動向

表3～5の項目14、15及び表6～9の項目13、14より、自律走行搬送に関わる技術動向についてメーカーとユーザーの回答を併せた形で報告する。

まず、無線通信方式について、本調査の範囲では6社からWi-Fiを利用するとの回答があった。回線速度の悪化やセキュリティ上の問題を理由に、既存の無線LAN環境が使用されることは通常なく、専用の環境を新規に構築するのが一般的とのことである。なお、Wi-Fiのセキュリティにはエンタープライズとパーソナルの2種があるが、メーカー2社がエンタープライズ認証を用いていた。無線LAN環境の保護という点からは望ましい対応と言えるが、エンタープライズ認証には専用サーバを設ける必要があり、その運用にネットワークの知識も要求される。このため、いずれも、メーカーがユーザーと一体となってシステムを構築し、ネットワーク設定等を担ったものと推察される。一方で、専用通信環境の構築やユーザー側でのエンタープライズシステムの管理運用が難しい場合には、リスクアセスメントにおいて危害だけでなく情報セキュリティのリスクも踏まえた通信環境の検討が望まれる。

次いで、要素技術の開発動向について、メーカーについては、いずれも安全に関わる技術が挙げられた点が注目される。自律走行搬送の利用を確実に普及させていくために、安全が最も重要な課題と認識されていることを示した結果と言える。一方で、ユーザーの回答は、総じて自律走行搬送の利用をさらに拡大する方向の内容のものであった。このうち、F社の回答にある「エレベータと自律移動機械の連携」は昨年度の調査でも指摘のあった事項であり、関心を集めていることが示唆された。具体的には、搬器及び昇降路の出入口へのアクセス、戸の開閉との同期、搬器内での通信確保など、様々な技術的課題が挙げられているが、何よりも、狭小空間である搬器内での人との共存に係る問題を技術的保護方策によって解決することが必要である。

一方、高度化する自律制御ソフトウェアはその高機能化にあわせ複雑さと規模を拡大しており、今回調査対象となった機器においても SLAM や自己位置推定、画像処理など高度なソフトウェア技術が採用されている事例があった。現状これらの技術利用は安全関連機能としての利用を想定していないと考えられるが、高度な技術要素を安全関連システムとして構築する場合、その高信頼開発のコストは極めて高く、開発負荷が課題となることが懸念される。一方で、ロボットソフトウェア開発の分野ではソフトウェア部品を共通化し、モジュールとして組み込むことで高度な機能実装を簡易化するロボット用ミドルウェアの利用が広がっている。最も広く知られているロボット用ミドルウェアとして、Open Source Robotics Foundation が推進する ROS(Robot Operating System)がある<sup>20)</sup>。国産では、産業技術総合研究所が開発した RT ミドルウェア<sup>21)</sup>が知られている。他に YARP(Yet Another Robot Platform)<sup>22)</sup>、Orocos(Open Robot Control Software)<sup>23)</sup>など、複数の環境が存在する。これらロボット用ミドルウェアはセンサやアクチュエータ、高度なアルゴリズムなどをソフトウェアモジュールとして取り扱うことができるため、既存のソフトウェア資産を活用しつつ、相互の接続関係とパラメータを設定することで効率よく高度な機能を備えたロボット開発が可能とされる。また、データの可視化やシミュレーション、動作ログの管理や分析、個々のモジュールのバージョン管理などの周辺ツールが充実しているため、ロボット開発の効率に大きく寄与し得る。今回の調査対象でも ROS をミドルウェアとして採用した事例が存在するなど存在感を増しており、今後、利用は広まっていくものと考えられる。いずれ想定される安全関連システムとしての観点では、RT ミドルウェアに安全認証取得を想定した組み込み実装<sup>24)</sup>が存在するほか、ROS のバージョン 2 ではリアルタイム処理を強化するとともに、安全システムとしての利用を想定した開発モデルであるとされており、選択肢として視野に入るものと期待されている。

## 6 まとめ

本章では、メーカー3社とユーザー4社に対して行った調査の結果を報告し、自走自

自律制御機械の安全対策などの現状と動向を概説すると共に、本事業の目的である自走自律制御機械の実証試験プロトコルの策定における留意事項の明確化に関して重要と考えられる点を、メーカーとユーザー双方の観点から考察した。

調査したメーカーは、いずれも販売を開始した又は現在実証試験を実施している段階にあり、また、ユーザーもこのような機械を初めて導入する事業場であった。一般的に、搬送システムは、ユーザーごとに仕様が異なり、このため比較的初期の段階からメーカーとユーザーが協議を重ね、仕様策定や実証試験・機能テストを進めて行くのが通常とのことで、さらに、現時点では、メーカーとユーザーとも自律移動を行う搬送システムについてはまだ経験が少なく、慎重な対応を取っているように感じられた。

調査の結果、自律移動制御について、現在 AI と呼ばれる深層学習などの革新的技術を導入している例は本年度の調査でも見られなかった。しかし、ほとんどの機械が SLAM 技術を用いて自己位置推定や周囲環境認識を行っており、これに基づいて、人又は障害物との衝突回避機能や地図情報上に設定した特定の領域への進入防止機能を実現していることが確認された。メーカー各社は、このような機能を「安全機能」として位置付けてはならず、衝突リスクの低減には自律移動制御系とは別システムの停止制御系を備えるなどの方策を、特定領域への誤進入に対しては下部バンパスイッチを障害物で物理的に作動させるなどの方策を講じるとの回答であった。

ただし、このような自律移動制御に関して、技術的詳細まで把握していたユーザーは少なく、リスクアセスメントで自己位置推定や環境認識の誤りに起因するリスクを見落とす可能性は高いと考えられた。面談を通じて、現時点では、メーカーとユーザーが設計初期の段階から協議を重ね、仕様策定や使用環境調査、実証試験を共同で行っていることで補完されている印象を受けたが、今後は、メーカーが、個々の制御機能に潜在するリスクをユーザーが理解し易い形で明確に伝え、必要に応じて実証試験のプロトコル策定において考慮されるようにすることが重要と考えられる。

また、台車の走行方向や速度に一定の制限を設け、主に進行しない方向については、障害物検知を行わない又は主とする進行方向に比べ簡易な手段を用いている例が複数確認された。後退や全方向移動が構造的には可能で、進行方向や速度を走行制御の一環として制限している場合、当該機能は安全機能として適切に評価・検証されなければならない。

一方、実証試験については、メーカーとユーザーの双方から試験項目設定の考え方を調査し、具体的な項目例も抽出することができた。ただし、現状では、実証試験の実施に先んじてリスクアセスメントを行って安全性を評価している場合と、実証試験そのものを危険源・危険事象を洗い出す場としている場合があった。機械設備を導入する事業場は機械包括安全指針に従ったリスクアセスメントの実施が求められるが、「実証試験」については明確には言及されておらず、危険源同定と混同されている可能性がある。改めて、本事業において、リスクアセスメントと実証試験の関係を明確化し、標準となる実証試験プロトコルの策定を示すことが重要と言える。

## 参考文献

- 1) 中央労働災害防止協会“無人搬送車安全対策研究委員会報告書”p.25(1989年3月)
- 2) ISO 3691-4 : 2020 “Industrial trucks - Safety requirements and verification - Part 4: Driverless industrial trucks and their systems”
- 3) JIS B 8433-2 : 2015 “ロボット及びロボティックデバイス—産業用ロボットのための安全要求事項—第2部：ロボットシステム及びインテグレーション” 附属書 E (協働ロボットの用途の概念)
- 4) JIS D 6802 : 1997 “無人搬送車システム—安全通則”
- 5) JIS B 9705-2 : 2019 “機械類の安全性—制御システムの安全関連部—第2部：妥当性確認”
- 6) JIS B 9705-1 : 2019 “機械類の安全性—制御システムの安全関連部—第1部：設計のための一般原則”
- 7) JIS B 8433-1 : 2015 “ロボット及びロボティックデバイス—産業用ロボットのための安全要求事項—第1部：ロボット”
- 8) TS B 0033 : 2017 “ロボット及びロボティックデバイス—協働ロボット”
- 9) ANSI/ITSDF B56.5 : 2019 “Safety Standard for Guided Industrial Vehicles”
- 10) JIS B 9700 : 2013 “機械類の安全性—設計のための一般原則—リスクアセスメント及びリスク低減”
- 11) JIS B 8445 : 2016 “ロボット及びロボティックデバイス—生活支援ロボットの安全要求事項”
- 12) JIS D 6805 : 1994 “無人搬送車—特性・機能試験方法”
- 13) JIS B 8446-1 : 2016 “生活支援ロボットの安全要求事項—第1部：マニピュレータを備えない静的安定移動作業型ロボット”
- 14) 中央労働災害防止協会“令和元年度 厚生労働省委託 技術革新に対応した機械設備の安全対策の推進事業 報告書” pp.53-54 (2020年3月)
- 15) JIS B 9961 : 2008 “機械類の安全性—安全関連の電気・電子・プログラマブル電子制御システムの機能安全”
- 16) 労働安全衛生規則の一部を改正する省令 (平成24年厚生労働省令第9号)
- 17) 農林水産省 “農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン”
- 18) 厚生労働省 “機械の包括的な安全基準に関する指針” (平成19年7月31日付け基発第0731001号)
- 19) 経済産業省 ロボット革命・産業 IoT イニシアティブ協議会 “生活支援ロボット及びロボットシステムの安全性確保に関するガイドライン (第一版)”
- 20) ROS <https://www.ros.org/>
- 21) 国立研究開発法人産業技術総合研究所 “OpenRTM-aist”  
<https://www.openrtm.org/openrtm/>

- 22) YARP Yet Another Robot Platform <https://www.yarp.it/git-master/>
- 23) Orocos “Open Robot Control Software” <https://orocos.org/>
- 24) 株式会社セック “RTMSafety 機能安全対応 RT ミドルウェア”  
<https://www.sec.co.jp/ja/rd/rtmsafety.html>

## 第5章 自走自律制御機械の安全確保に関する 実証試験のプロトコル作成例

本章では、第3章で抽出された危険源に対応して、その方策の妥当性を確認するための実証試験プロトコルの作成について、具体例を用いて示す。報告書において全ての適用事例(アプリケーション)に対しての実証試験プロトコルを示すことはできない。むしろ、第3章、本章を通じて読むことで、その作成手順、作成の考え方を理解いただきたい。その際の注意事項を示す。

- 本章で示すのは、自律自走に関する項目である。従って、(AMR(自律走行台車)・AGV式で共通の) 走行自体による危険に関する実証試験プロトコル(例えば、ブレーキ性能の測定)は含んでいない。実際に製品を開発・設計する際にはこれらも含めて検討することが必須である。同様に、不当な鋭利な突起がないかの目視検証なども、実際の自律走行台車では検討すべき事項であるが、第3章、本章では取り上げていない。
- 適用事例(アプリケーション)を参照してリスクアセスメントを具体的に行うことで、有効な保護方策や実証試験プロトコルが見いだせる。本報告書では、薬品のロジスティックセンターでの使用を例示している。同じ自律走行台車であっても異なる場所で使用するには、その環境に応じてリスクアセスメントを行う必要がある。このことは、第4章でのヒアリング調査でも、自律走行台車の使用環境を含めて検討していることに通じる<sup>脚注1</sup>。
- 以降の11例では、具体的に試験実施条件、判断基準が示されている。(プロトコル1では) マネキンを移動する速度、判断基準のマネキンと自律走行台車との最小距離など具体的な数値が記載されている。これが妥当性の判断基準であり、数値化したものが不可欠である。
- 上記判断基準は、論理的、合理的に決定されなければならない。(プロトコル1では) マネキンと自律走行台車の最小距離30cmと規定しているが、先導者に追突して転倒させないためである。そのためには5cmでもよいが、併せて実使用において制動距離が伸びることも考慮して30cmとしている。また、試験時の積載重量を最大過般重量としているのも、同じ考えである。
- 死角に関する実証試験プロトコルでは、柵の形状にも触れているが、自律走行台車搭載センサで人の接近を検知できることが必要であるからである。保護方策によっては、機械の仕様の決定に戻って、(機械使用空間の仕様である)柵の形状を指定することも必要になる。

---

<sup>1</sup> 自律走行台車が汎用品として販売されることになった場合には、ユーザー(インテグレーターを含む)がリスクアセスメントから実証試験プロトコル作成、妥当性の確認までを行う能力が求められる。

- リスクアセスメントから保護方策を決定しているが、保護方策が異なれば、それに対応して実証試験プロトコルも異なる。
- 以上のように、機能を果たすための設計、制限の決定、リスクアセスメント、保護方策の決定、実証試験プロトコルの決定、妥当性試験は一連の流れではあるが、前の段階に戻ることもある。

第3章に示したリスクアセスメント結果に基づく「方策の適否の判断法」を踏まえ、詳細な妥当性確認である実証試験プロトコルを作成した。

実証試験プロトコル作成に当たっては、自律走行台車システムに一定の仕様を想定し実施したリスクアセスメントの結果のうち、動作機能の観点から大きく以下の4項目に絞った。

1. 追従走行、2. From-To 走行、3. 死角、4. 制御不具合

以下、4項目についての実証試験プロトコル例を示す。

実証試験プロトコルの例は以下の項目について作成している。1で一定の使用環境を想定するとともに、2で対象とする危険源を限定しており、これらは3に示す実証試験プロトコルの例を作成する上での条件となっている。

なお、作成に当たっては、JIS B 9700(ISO 12100)、JIS B 9705-1/2(ISO 13849-1/2)などの規格の知識を前提とした。

1. 走行

どのような自律走行台車の走行状況かを示す。

2. 危険状態(原因)／危険事象(結果)

リスクアセスメント表で記述されているどの状態で何が起こるかを記述している。

3. 実証試験プロトコル

上記1. 2. の条件下での実証試験プロトコル案を示す。

# 1 追従走行 1

## (1) 走行

作業者の後ろを追従して走行している。

## (2) 危険状態(原因)／危険事象(結果)

追従走行時に先導者が立ち止まるあるいは歩行速度が遅くなる。／前方先導者に追突する。

## (3) 実証試験プロトコル

### 試験 1 書類確認 PL<sub>r</sub>の選定

リスクアセスメントに対応して JIS B 9705-1 (ISO 13849-1) 附属書 A のリスクグラフ法あるいは適切な方法により PL<sub>r</sub> を選定していることを、関係書類（リスクアセスメント結果、要求パフォーマンス選定書）で確認する。適用規格がある場合には、規定の PL<sub>r</sub> を用いていることを確認する。

### 試験 2 書類確認 制御システムの安全関連部の設計と PL の妥当性

次の事項などを書類（回路図、機能ブロック図、計算書など）で確認する。その際、JIS B 9705-2 (ISO 13849-2) を参照する。

- 安全関連部が機能制御部から独立している。
- 適切なカテゴリーを選定している。
- カテゴリーに対応する指定アーキテクチャーとなっている。
- 計算で使用する数値、ポイントなどは適切である。
- 計算結果から、設計した制御システムの安全関連部の PL が PL<sub>r</sub> 以上となっている。

### 試験 3 停止試験

周囲には固定物（棚、壁など）がない状況で行う。

マネキン（通常使われる色の作業ズボンを着衣させる<sup>脚注2</sup>。）を 2m/s で移動させ（ひもで牽く等）、自律走行台車を追従走行で追従させる。

定常走行状態になったら、マネキンを停止させる。

マネキンにぶつからず停止すればよい。

停止後にマネキンと台車の距離を計測し 30cm 以上あれば適とする。

---

<sup>2</sup> レーザースキャナーは、反射率 5 パーセント未満のもの検出は不完全である。



#### 試験 4 減速試験

周囲には固定物（棚、壁など）がない状況で行う。

試験 3 での適を確認後、本試験を行う。

2m/s で追従走行が定常になった後、(マネキンを停止させずに) マネキン速度を 0.5m/s とする。

速度低減後、定常状態になるまでの間、なった後ともに、自律走行台車がマネキンに追突することなく、0.5m/s で追従走行を継続することを確認する。追突の有無は目視（観察）で判断し、追突が認められなければ適とする。

#### 試験 5 太陽光試験

周囲には固定物（棚、壁など）がない状況で行う。

自律走行台車前方に白色光光源を設置して、試験 3 を行う。

白色光光源は、台車部で 65,000lx の照度となるものとする<sup>脚注3</sup>。

マネキンにぶつからず停止すればよい。

停止後にマネキンと台車の距離を計測し 30cm 以上あれば適とする。

いずれの試験も最大積載状態で行う。

## 2 追従走行 2

### (1) 走行

作業者の後ろを追従して走行している。

### (2) 危険状態(原因)／危険事象(結果)

追従走行時に先導者が急に方向転換する。／周囲の者に衝突する。

### (3) 実証試験プロトコル

周囲には固定物（棚、壁など）がない状況で行う。

マネキン（通常使われる色の作業ズボンを着衣させる。）を 2m/s で移動させ（ひもで牽く等）、自律走行台車を追従走行で追従させる。

通常走行状態になったら、マネキンをできる限り早く左に 50cm 移動させ（例えば、左にも牽引ひもを付けておく。）、その後左方へ（方向点検して方向へ継続して）2m/s で移動させる。

---

<sup>3</sup> 夕日の太陽光照度を模擬。参考例 [http://www.inx-eng.co.jp/support/pdf/tp\\_lightBasic.pdf](http://www.inx-eng.co.jp/support/pdf/tp_lightBasic.pdf)

次のいずれかになればよい。

- 再び先導者に追従する。
- その場で停止する。

次の場合には不適となる。

- 制御不能状態になって走行を継続する。

試験状況を観察し、再び先導者に追従するあるいは停止すれば適とする試験は最大積載状態で行う。

### 3 追従走行 3

#### (1) 走行

幅が限られている C, D 品エリアの通路を作業者に追従（並走）している。この際には台車の側面の固定物への接近検知は停止している。

#### (2) 危険状態(原因)／危険事象(結果)

C, D 品エリアで作業者と追従中、作業者が自律走行台車の反対側に回りこもうとする。／自律走行台車が作業者に追従しようとして作業者と衝突する。

#### (3) 実証試験プロトコル

##### 試験 1 図面による確認

- 自律走行台車本体周りの固定ガードを下方に延ばし、下端と床との間に足の甲が入らないようになっているかの確認である。
- 図面でガード下部と床面の間の距離が妥当な値になっていることを確認する。この際には、5 パーセントイルの値を使用する。
- 妥当な値の根拠は、適切なデータ（例えば、「人体寸法データベース 1991-92-寸法項目一覧 | 研究チーム | 人工知能研究センター (aist.go.jp)」(<https://www.airc.aist.go.jp/dhrt/91-92/data/list.html>)) などから決定されていることを確認する。
- 実際には靴の厚みがあるが、裸足を想定する。

##### 試験 2 実機による確認

- 自律走行台車本体周りの固定ガードを下方に延ばし、下端と床との間に足の甲が入らないようになっているかの確認である。
- 台車を平らな床面で停車した状態で行う。

- ダミー靴（足甲（足裏から甲間の厚み）は日本人の5パーセンタイル値で決める。）を台車と床面の間に差し込みが、ダミー靴が車輪に達しないことを確認する。
- ダミー靴の大きさは適切なデータ（例えば、「人体寸法データベース 1991-92-寸法項目一覧 | 研究チーム | 人工知能研究センター (aist.go.jp)」 (<https://www.airc.aist.go.jp/dhrt/91-92/data/list.html>))などから決定する。
- 実際には靴の厚みがあるが、裸足を想定する。

## 4 From-To 走行 1

### (1) 走行

自律走行台車が SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) を用いて目的地まで自律走行モードで走行中。

### (2) 危険状態(原因)／危険事象(結果)

自律走行台車が地図情報にない障害物（放置された物体）を検出して急停止に対して、周囲の人（自律走行台車後方の随行者）がそれを回避できず（急停止に気付かないを含む）自律走行台車に衝突し、けが（微傷）をする。

### (3) 実証試験プロトコル

#### 1) 目視検査

- ・ 自律走行台車の後方部に突起物がなく、表面が滑らかなことを確認。
- ・ 衝突時の衝撃を吸収できる素材（ウレタン材など）が貼られているか確認。

#### 2) 評価試験

以下の条件で自律走行台車の停止性能を計測する。

- ・ 走行面に障害物を配置する。障害物の大きさ、色、表面性状によって検知応答に影響する場合は、最も検知しやすいものを選択する。
- ・ 走行中の自律走行台車<sup>\*1</sup>を障害物検知によって緊急停止させ、そのときの自律走行台車の減速開始<sup>\*2</sup>から停止までの惰走距離（制動距離）と停止に要する時間（制動時間）を計測する<sup>\*3</sup>。

## 【注】

- \*1：自律走行台車は、最高速度 2.0 m/s で走行させる。
- \*2：空走距離（障害物検知から減速開始間に走行する距離）を除外する。
- \*3：計測器はレーザー距離センサを用いる。

例) 株式会社村上技研産業

[https://www.murakamigiken.co.jp/product/distance/LDS-8H?utm\\_source=yahoo&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=DistanceMeasure\\_BI&yclid=YSS.1000333437.EAIaIQobChMI5qW01aDP7QIVJ9WWCh3azgG5EAAYAiAAEgLbB\\_D\\_BwE](https://www.murakamigiken.co.jp/product/distance/LDS-8H?utm_source=yahoo&utm_medium=cpc&utm_campaign=DistanceMeasure_BI&yclid=YSS.1000333437.EAIaIQobChMI5qW01aDP7QIVJ9WWCh3azgG5EAAYAiAAEgLbB_D_BwE)(閲覧 令和 3 年 1 月 26 日)

### 3) 使用上の情報

- ・ 取扱説明書に障害物検知時の惰走距離と停止時間が記載されていることを確認する。
- ・ また記載値が 2) の評価試験値と一致することを確認する。
- ・ 注意文書「自律走行台車が障害物検知によって急停止することがある。」との一文が取扱説明書に記載されている。

### 4) 図面の確認

- ・ 走行モータの動力オフでブレーキが作動するか、電気回路図で確認する。

## 5 From-To 走行 2

### (1) 走行

自律走行台車が SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) を用いて目的地まで自律走行モードで走行中。

### (2) 危険状態(原因)／危険事象(結果)

自律走行台車が地図情報にない障害物を検出して、急に方向転換し、周囲の人（特に脇の随行者）に衝突し、けが（微傷）をさせる。

### (3) 実証試験プロトコル

#### 1) 目視検査

- ・ 自律走行台車の側面に突起物がなく、表面が滑らかなことを確認。
- ・ 衝突時の衝撃を吸収できる素材（ウレタン材など）が貼られているか確認。

#### 2) 評価試験

以下の条件で自律走行台車が側面の人に衝突しないことを評価する。

- ・ 走行面に障害物を配置する。障害物の大きさ、色、表面性状によって検知応答に影響する場合は、最も検知しやすいものを選択する。障害物の位置によって自律走行台車の回避行動が異なる場合は、複数の障害物位置で評価試験する。
- ・ 人に見立てた障壁板を側面障害検知外の境界線に配置する。
- ・ 走行中の自律走行台車<sup>\*1</sup>に障害物検知させ、そのときの自律走行台車の回避動作で側面の障壁板に衝突しないことを評価する。

**【注】**

\*1：自律走行台車の最高速度 2.0 m/s で走行させる。

## 6 From-To 走行 3

### (1) 走行

自律走行台車が SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) を用いて目的地まで自律走行モードで走行中。

### (2) 危険状態(原因)／危険事象(結果)

自律走行台車が床にある進入禁止マーカを検出し損ない、機械自体の転落、積み荷の転落で、周囲の人（特に随伴者）に当たる。

### (3) 実証試験プロトコル

以下の方法で試験を実施する

#### 1) 試験条件

- ・ 自律走行台車 最大積載量を台車に搭載
- ・ 走行条件 直進（最高速度）、旋回（最少旋回径、かつ可能な最高速度）
- ・ マーカ 仕様上で最小サイズ

#### 2) 試験動作

自律走行台車を進入禁止マーカに向けて自律走行台車を走行させ、進入禁止領域手前で停止できるか、以下のように条件を変えて試験する

- ① 新品のマーカを使用
- ② マーカに欠けをつける（欠けのサイズは状況に応じて決定すること）
- ③ マーカに検出が困難となる条件を追加する（汚れなど）
- ④ ②と③の条件の組合せ

#### 3) 使用上の情報

- ・ 上記評価試験で明らかになったマーカを検出できない条件を取扱説明書に

記載する

- ・ 定期点検項目に進入禁止マークが入っているか確認する。

## 7 From-To 走行 4

### (1) 走行

自律走行台車が SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) を用いて目的地まで自律走行モードで走行中。

### (2) 危険状態(原因)／危険事象(結果)

自律走行台車が位置を見失い、急な増速、方向転換して、周囲の人（特に随行者）に当たる。

### (3) 実証試験プロトコル

エラー停止距離と時間の計測

以下の方法で試験を実施する

#### 1) 試験条件

- ・ 自律走行台車 最大積載量を台車に搭載
- ・ 走行条件 直進（最高速度）、旋回（最少旋回径、かつ可能な最高速度）
- ・ GPS

#### 2) 試験動作

走行中の自律走行台車への GPS 信号を停止させる。

- ① エラー停止するか、エラー表示は仕様書通りかを評価
- ② GPS 信号停止から自律走行台車が停止するまでの惰走距離と惰走時間を計測する。

試験は走行中の自律走行台車が開始点に到達時に GPS 信号を停止させ、自律走行台車の停止地点までの距離と時間を計測する。

#### 3) 使用上の情報

- ・ GPS 位置喪失時の自律走行台車の惰走距離と惰走時間が取扱説明書に記載されているか確認
- ・ 自律走行台車が GPS 受信喪失時に上記の惰走の危険があることを安全上の情報として取扱説明書に記載されているか確認

## 8 From-To 走行 5

### (1) 走行

自律走行台車が SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) を用いて目的地まで自律走行モードで走行中。

### (2) 危険状態(原因)／危険事象(結果)

自律走行台車のブレーキ機能が喪失して惰走し、周囲の人に当たる。

### (3) 実証試験プロトコル

自律走行台車の「ブレーキ機能」がサーボモータ制御＋減速機（ハーモニックドライブなど）＋車輪の摩擦力で発生・維持する前提でブレーキ機能を評価する場合は以下になると考える。

#### 1) 試験条件

- ・ 自律走行台車 最大積載量を自律走行台車に搭載
- ・ 走行条件 直進（最高速度）、旋回（最少旋回径、かつ可能な最高速度）
- ・ GPS

#### 2) 試験動作

走行中の自律走行台車に停止信号を送り、自律走行台車を停止させる。停止するまでの距離が仕様数値内であるかを計測する。

- ① 停止距離と停止に要する時間は仕様書通りかを評価
- ② 車輪径と車輪面が取扱説明書に規定の基準値に適合してるか評価

#### 3) 使用上の情報

- ・ 取扱説明書に停止距離と停止までの時間が掲載されているか確認
- ・ 取扱説明書にブレーキ機能点検要領が記載されているか確認

## 9 死角

### (1) 走行

自律走行台車が SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) を用いて目的地まで自律走行モードで走行中にカーブを曲がる場合。

### (2) 危険状態(原因)／危険事象(結果)

自律走行台車人が人を検出するのが遅れ(検出ミス)により衝突する。

### (3) 実証試験プロトコル

- 1) 自律走行台車のスタート位置（3ポジション）を変えて検証する（下図1参照）。
- 2) テストピース（作業者）を左右方向からそれぞれ矢印のように自律走行台車とのインターセプトコースを走らせる。
- 3) 自律走行台車がL1寸法の位置に来たらテストピース（作業者）を走らせる。L1寸法は、自律走行台車の走行速度（高速、減速中、低速時）により決定する。
- 4) 自律走行台車が正常に減速停止し、テストピース（作業者）と接触しないことを確認。自律走行台車は、脚と脚の隙間部分から移動するテストピースを検出する。
- 5) テスト回数は、各10回程度行う。

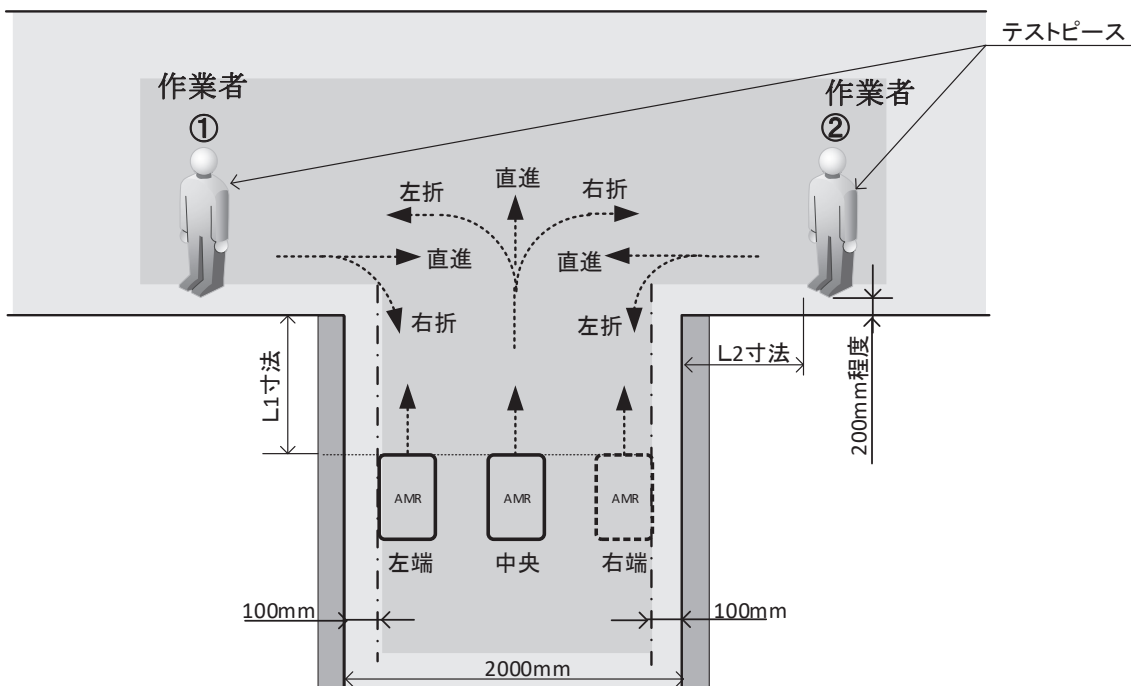


図1

#### 【 Note 】

自律走行台車に使用するLiDARは、選定したメーカー・型式により分解能が異なるため、距離に応じて対象の検出幅が変わることを考慮して検証を考えなければならない。さらに、応答速度については数十ms～100ms程度あるため、対象物との相対位置を考慮する必要がある。



## 実証試験プロトコル条件

### 1) 自律走行台車仕様書より

自律走行速度 : 1200mm/sec

旋回半径 : 1200mm (走行速度 1200mm/sec、周囲状況により 500mm/sec に減速)

作業速度 : 2000mm/sec (直進)、右左折時 1000mm/sec に減速する。

床と車輪の動摩擦係数 : 0.5~0.6 を想定

### 2) その他

自律走行台車の加速度 : 加速時 0.25G 減速時 : -0.25G とする。

作業者は、自律走行台車を視認したら 500mm 以内の制動距離で停止する。

設置エリアに設置するものは、パーテーション (壁に見立てたもの) やコンベア、棚に見立てた、擬似的な物を配置する。

イメージは、下記参照

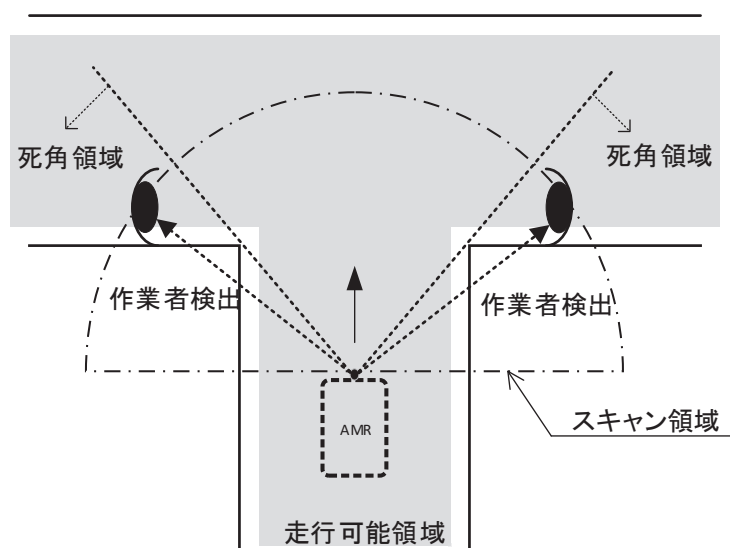


図 2

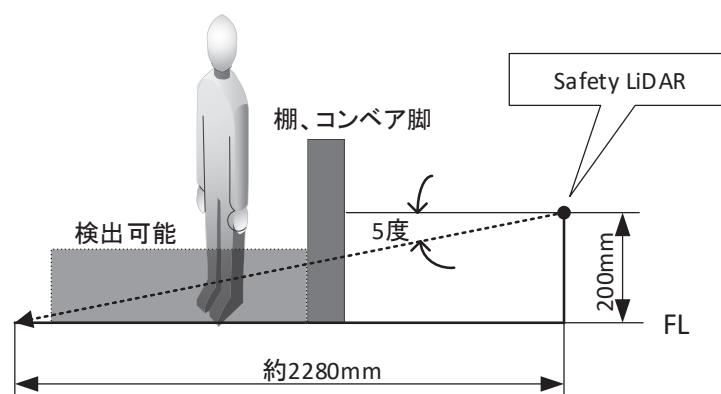


図 3

コーナーレイアウトが、コンベヤ・格納棚・フローラックなどで、FL から 200~300mm 程度の領域が見通せる空間がある場合

1) パターン1 (コーナー部の死角領域が見通せる)

自律走行台車に俯角 5° に設置した LiDAR (Safety LiDAR) でコーナー部の死角領域を検出する機能がない場合 (図 2 参照)、表 1 の L1 寸法それぞれに対して、表 2 の条件で試験を行う。

試験回数は、各 5~10 回程度。

表 1

		L2 寸法 (1000mm 固定)	
		L1 寸法 (単位: mm)	
		500	
		1000	
		1500	
		2000	
		2500	
		3000	

表 2

			作業者①		作業者②	
			直進	右折	直進	左折
自律走行台車	左端	左折				
		直進				
		右折				
	中央	左折				
		直進				
		右折				
	右端	左折				
		直進				
		右折				

可否判定条件

自律走行台車は、停止かつ

- : 作業者と自律走行台車がぶつからない。
- △ : ギリギリかわせた、軽い接触程度 (10N 未満)
- × : 作業者と衝突 (10N 以上)

2) パターン2 (コーナー部の死角領域が見通せる)

俯角 5° に設置した LiDAR (Safety LiDAR) でコーナー部の死角領域を検出する機能がある場合 (図 3 参照)。

死角エリアの作業員（移動体）を検出したら、自律走行台車は 500mm/sec に減速して走行する。表 3 の L1、L2 寸法それぞれに対して、表 4 の条件で試験を行う。試験回数は、各 5～10 回程度。

表 3

		L2 寸法 (単位 : mm)		
		500	1000	2000
L1 寸法 (単位 : mm)	500			
	1000			
	1500			
	2000			
	2500			
	3000			

表 4

			作業員①		作業員②	
			直進	右折	直進	左折
自律走行台車	左端	左折				
		直進				
		右折				
	中央	左折				
		直進				
		右折				
	右端	左折				
		直進				
		右折				

**可否判定条件**

自律走行台車は、停止かつ

○ : 作業員と人がぶつからない

△ : ギリギリかわせた、軽い接触程度 (10N 未満)

× : 作業員と衝突 (10N 以上)

自律走行台車は、作業員を検出したら減速動作に入っていることは必須条件。

減速時の速度 : 500mm/sec

コーナーレイアウトがパーテーションなど壁の状態、コーナーの先 (FL から 200～300mm 程度も含む) の領域が見通せない場合 レイアウトは、図 2 を参照

【Note】

1. 試験を行う場合、自律走行台車の動作ログを収集、動作解析ができるようロギング機能を持たせる。  
自律走行台車の動作が OK/NG にかかわらず、動作指示や検出状態が 100%トレースできるようにする。
2. テスト結果が NG の場合、自律走行台車のコーナー旋回時の速度を落とす。

3) パターン3 (作業者が認識できない)

自律走行台車に搭載した LiDAR (Safety LiDAR) で壁を認識したら、コーナー部手前 1000mm 手前で 500mm/sec に減速を開始、500mm/sec で旋回走行を行う。

表5のL1寸法それぞれに対して、表6の条件で試験を行う。

試験回数は、各5~10回程度。

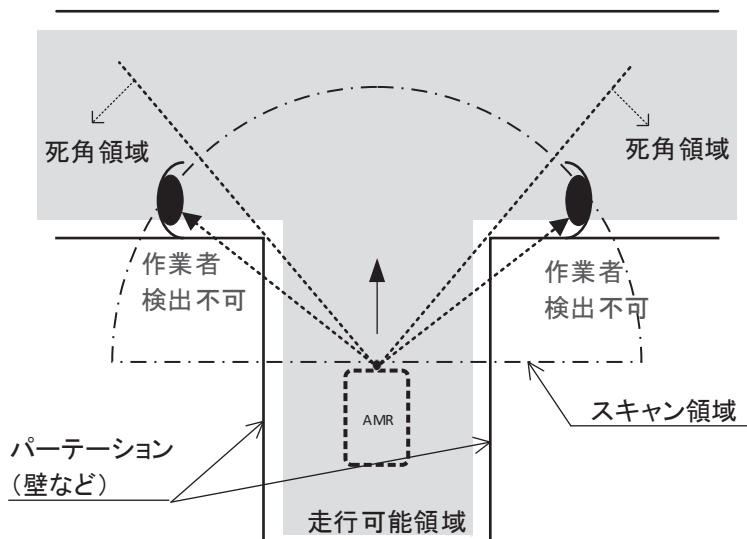


図4

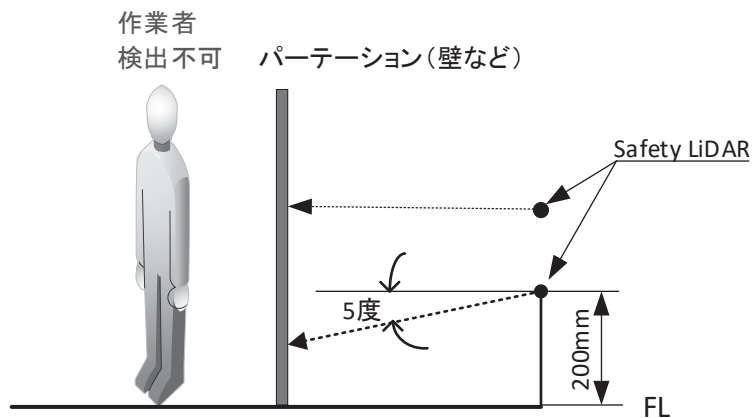


図5

表 5

		L2 寸法 (1000mm 固定)
L1 寸法 (単位 : mm)	500	
	1000	
	1500	
	2000	
	2500	
	3000	

表 6

			作業者①		作業者②	
			直進	右折	直進	左折
自律走行台車	左端	左折				
		直進				
		右折				
	中央	左折				
		直進				
		右折				
	右端	左折				
		直進				
		右折				

### 可否判定条件

自律走行台車は、停止かつ

- : 作業者と自律走行台車がぶつからない。
- △ : ギリギリかわせた、軽い接触程度 (10N 未満)
- × : 作業者と衝突 (10N 以上)

### 追従型自律自走台車 追従形態について

オムニホイールの場合、平行式追従動作は可能であるが、今回はカルガモ式追従（後ろをついてくる）動作に限定する。

追従方式は、下図のカルガモ式追従動作）に限定とし、平行式追従動作は今回対象外とする。

なお、追従型自律走行台車は後ろをついてくる動作は行うが、作業者が台車に

近づいてくる時は、停止したままとする。

作業者が、台車の側方への回り込み動作をおこなったときは、LiDAR の検出範囲外とならないように旋回動作を行い、検出状態を維持する。

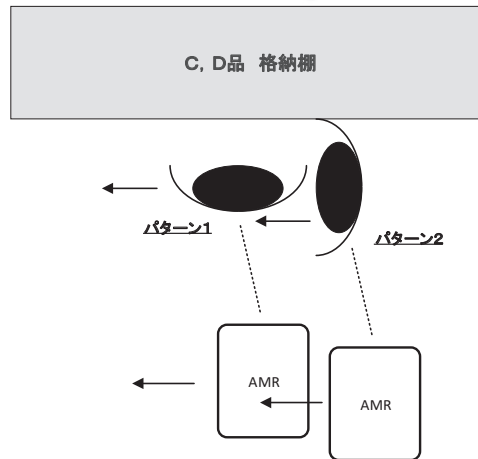
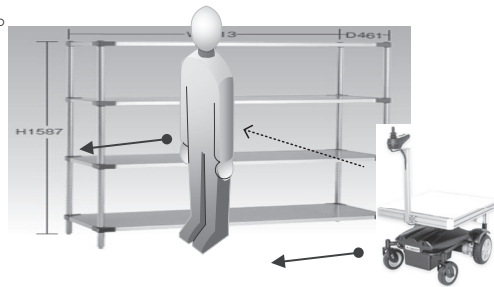
### 並行式追従動作：対象外

1) 人が横に移動すると、その動作に合わせて自律走行台車も横に平行移動する

(パターン1)。

2) 人の左右側面を検出して、その動作に合わせて自律走行台車も移動する

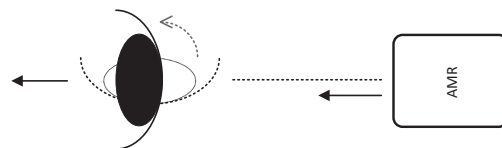
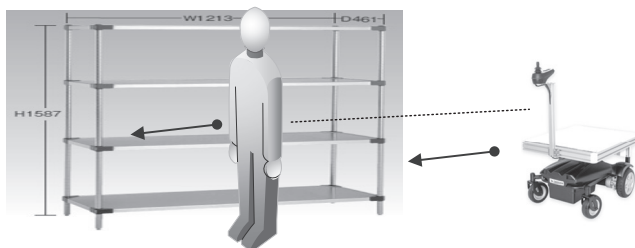
(パターン2)。



### カルガモ式追従動作：対象動作

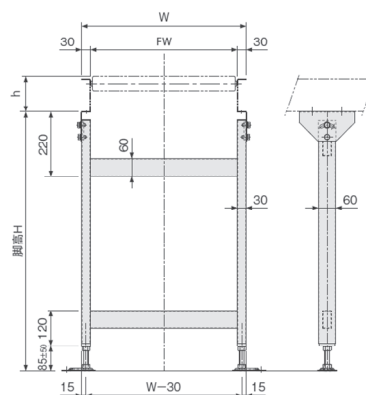
人が横に移動すると、自律走行台車は後ろをついてくる(カルガモ式追従動作)。

今回は、この動作のみとする(下図参照)。

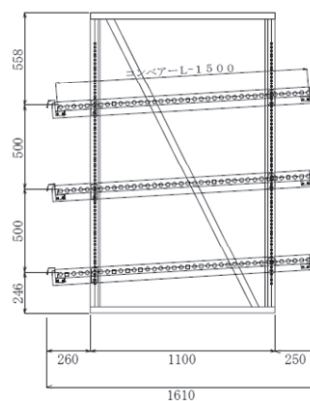
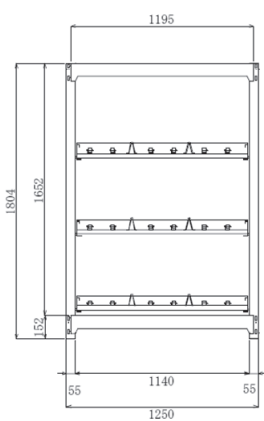


障害物例（参考）

1) コンテナ搬送用コンベア

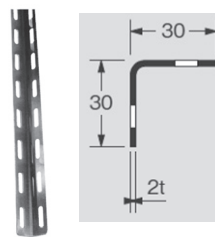


2) A, B 品用 ケースフローラック

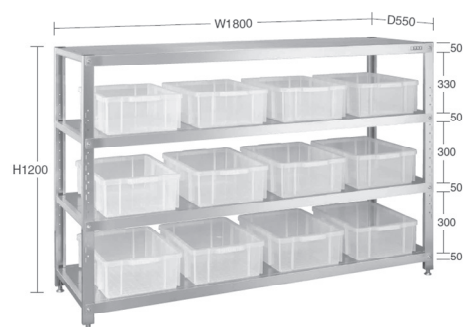


3) C, D 品用 コンテナ格納棚





フレーム構造及び寸法





## 10 制御不具合 1

### (1) 走行

走行中

### (2) 危険状態(原因)／危険事象(結果)

故障による急加速や急旋回によって周囲の人や物に衝突する

### (3) 実証試験プロトコル

#### 試験 1 書類確認 制御システムの安全関連部の設計と PL の妥当性

JIS B 9705-1 (ISO 13849-1)に基づいて、前後進および旋回速度制御に関して速度超過検出および速度制御の逸脱監視が PL c 以上であることを書類確認によって示す。その際 JIS B 9705-2 (ISO 13849-2)を参照する。

この場合時間あたりの危険側故障率 PFH は  $3 \times 10^{-6}$  未満が示されねばならない。以下は開発段階で求められる典型的な条件のうち主要なものである。

- ・ カテゴリー 2 以上の故障検出機能を有する冗長構成
- ・ 十分吟味された安全原則
- ・ 用途にあった規格適合部品の選定と影響の対策
- ・ 年  $2.93 \times 10^{-4}$  未満の危険側故障時間 MTTF<sub>D</sub>
- ・ 共通原因故障方策 CCF の評点で 65 点以上
- ・ 危険側故障診断範囲 DC<sub>avg</sub> が 60% 以上
- ・ V 字モデル開発の各ステップでの設計レビューと検証。
- ・ 以上のエビデンスとなる設計、製造、試験の各段階に関するドキュメント管理。

#### 試験 2 速度指令の故障注入試験

周囲に障害物のない環境、または障害物検知機能を停止した状況で試験を行う。

運用規定の範囲内で、最大質量を積載しておく。

ハードウェアまたはソフトウェア的な故障注入によって、速度制御指令に反する異常速度状態を発生させ、ただちに制動などの安全状態に移行できることを確認する。

故障注入はモータドライバへの指令信号乗っ取りや回転計への欺瞞信号、外力による車体牽引、ダイナモメータに類する回転体による車輪の外力駆動など機器に応じた方法を選択する。

異常速度は最大、最大の 3/4、最大の 1/2、最大の 1/4、停止、逆方向の少なくとも 6 パターン、その際の速度指令は最大、最大の 1/2、停止の少なくとも 3 パターンで、指令速度と異常速度が一致しないすべての組み合わせについて 2 回以上試行する。異常速度へは可能な限り最大加速で遷移するものとする。

全方向車輪などによるホロノミックな移動機構を用いる場合、全周 8 方向について同様に実施する。

指令速度を超過しない速度異常が安全に影響しない場合はこの条件の試行を割愛してよい。

故障注入開始から 0.1 秒以内、または移動距離 20cm 以内に安全状態（非常停止状態）に移行できることを確認する。

### 試験 3 旋回指令の故障注入試験

周囲に障害物のない環境、または障害物検知機能を停止した状況で試験を行う。

運用規定の範囲内で、最大重量を積載しておく。

ハードウェアまたはソフトウェア的な故障注入によって、操舵制御指令に反する異常操舵状態を生じせしめ、ただちに制動などの安全状態に移行できることを確認する。

故障注入はモータドライバへの指令信号乗っ取りや角度計（ジャイロスコープ）への欺瞞信号、外力による車体牽引、ダイナモメータに類する回転体による車輪の外力駆動など機器に応じた方法を選択する。

異常操舵角は左右それぞれについて最大、最大の 3/4、最大の 1/2、最大の 1/4、そして停止の少なくとも 9 パターン、その際の操舵指令は左右それぞれの最大、最大の 1/2、そして停止の少なくとも 5 パターンで、指令操舵角と異常操舵角が一致しないすべての組み合わせについて 2 回以上試行する。異常操舵角へは可能な限り最大操舵角速度で遷移するものとする。

全方向車輪などによるホロノミックな移動機構を用いる場合や、対向二輪の差動による旋回機構を用いる場合は、超信地旋回（スピンスターン）で実施する。そうでない場合は、想定される最大速度で前進中の操舵を実施する。

指令速度を超過しない速度異常が安全に影響しない場合はこの条件の試行を割愛してよい。

故障注入開始から 0.1 秒以内、または予定走行軌道から 20cm 以内の逸脱で安全状態に移行できることを確認する。

### 補足説明

機器の自己診断による故障検知を受けての制動は他の項目でも触れられておら

ず、独立した評価項目が必要と考えられるためここに定めた。この問題の実証試験プロトコルは、故障が危険事象につながる確率が十分に低いことを示すものとなる。しかしながらこの点 JIS B 9705 (ISO 13849) シリーズが定めるパフォーマンスレベルの証明とほぼ同義である。ここではリスクアセスメントシートの内容に基づき PL c を要求 PL と定め、JIS B 9705-1:2019 (ISO13849-1:2015) 附属書 K 表 K.1 の値に則り典型的な達成条件を示した。PFH は各項目の複合によって算出されるため、極めて信頼性の高い部品に基づくカテゴリ 1 構成によっても達成しうるなど調整余地があることは省略した。

## 1 1 制御不具合 2

### (1) 走行

追従走行中

### (2) 危険状態(原因)／危険事象(結果)

走行制御の不調／急加速や急旋回によって荷崩れを起こし、先導者や周囲の人に衝突する

### (3) 実証試験プロトコル

#### 試験：急加速、急制動による貨物

前提：自律走行台車について、十分な荷崩れ防止構造を設けるとともに、積載の最大量や積載方法、積載に使用する補助機材など運用規定を定めておく。

試験環境：本試験では自律走行台車は前進または後進または旋回ののち制動を行う。これに応じ、進行方向あるいは旋回方向を上り傾斜とする場合と下り傾斜とする場合のそれぞれについて試行する。傾斜の大きさは自律走行台車の想定する走行環境の最大傾斜とする。また機器の想定する最大重量の貨物を、自律走行台車の運用規定が許す範囲で可能な限り不安定に搭載すること。機器の位置および走行速度は非接触の測距計および速度計により計測し、規定条件を満たすことを確認すること。

最大加速試験：自律走行台車に可能な最大加速を行い、貨物が落下しないことを確認する。前後それぞれについて行う。

最大制動試験：自律走行台車に可能な最大速度での走行状態から最大制動をかけ、貨物が落下しないことを確認する。前後それぞれについて行う。

最大旋回試験：自律走行台車に可能な最大角加速度の旋回を行い、貨物が落下しないことを確認する。左右それぞれについて行う。

最大旋回制動試験：自律走行台車に可能な最大速度での旋回状態から最大制動をかけ、貨物が落下しないことを確認する。左右それぞれについて行う。

#### 補足説明

リスクアセスメントシートでは荷崩れは急な加速や旋回によるものと想定されているが、ここでは急制動も含め荷崩れリスクへの対策としている。

## 1 2 まとめ

本章で示した実証試験プロトコルの作成例は、自律走行台車（を含むシステム）の仕様及び使用環境（薬品のロジスティックセンターでのピッキングシステムとしての使用）を想定するとともに、対象とする危険源も限定するなど、一定の条件の下での例である。つまり、第 3 章及び本章は 1 つのケーススタディーに過ぎないが、この中から、(1)仕様の設定・リスクアセスメントから始まる実証試験プロトコル作成までの一連の流れを理解し、また(2) 実証試験プロトコルでは具体的な判断基準を提示することが必要であることを理解して頂きたい。

## 第6章 まとめ

### 1 本事業の概要

近年の人工知能（AI）やGPS等の技術革新の進展により、自動走行が可能で自律的に作業を行う機械（自走自律制御機械）の産業現場への導入を目指し、開発が進んでいる現状を考え、こうした技術革新の進展を見越した上で、これら自走自律制御機械による労働災害防止を図るための安全方策が早期に確立されることが求められる。この目的の一助となるべく、本調査・査研究を行った。

本事業は、自律自走の焦点を当て、大きく二つの活動を行った。一つは、現状を把握するための実態調査である。もう一つは自走自律機械の仕様及び使用環境等を想定した上での実証試験プロトコル作成手順の例示である。以下、主要な成果を示す。

### 2 メーカー及びユーザーに対する実地調査・ワーキンググループにおける主な検討事項と結論

実態調査を実施することで、自走自律機械の現状を把握し、実証試験におけるプロトコル作成において留意すべき点を明確にすることとした。対象はメーカー、ユーザーの両方とした。

詳細は第4章に記載の通りである。

- I. 地図作成や自己位置推定にSLAM等、先導者の認識などの先端的技術を用いて、自走あるいは追従走行などを行っているが、AI等で安全に関する判断を行って走行を制御するという事例はなかった。
- II. メーカーにおいては、ユーザーと使用環境、使用状況などを打ち合わせの上、設計、リスクアセスメント、保護方策の決定を行っている。ユーザーは使用環境でのリスクアセスメントを行っていた、あるいは実証試験を行うことで危険事象の抽出を行っていた。
- III. このことから、メーカーが一般的な仕様を決め、それに応じたリスクアセスメントを行い製品を提供し、ユーザーはその中から選択して購入し使用する、という訳ではないことが分かった。
- IV. メーカーあるいはユーザーの下で性能試験を実施する中に、安全に関する事項も含まれていた。つまり、安全機能の実証試験の手順、判断基準（プロトコル）を決めていると考えられる。
- V. 走行機能に関する制御部と安全関連部を一部区別していない例があった。

以上より、プロトコル作成ワーキンググループでリスクアセスメントから実証試験プロトコル例の作成までを行う際にも、一定の技術水準を前提に（SLAM等は考慮するがAI等は考慮しない）、対象とする自走自律制御機械についても一般的な仕様ではなく一定の仕様を想定するとともに、使用環境を詳細に決定して行うこととしている。

### 3 プロトコル作成ワーキンググループにおける主な検討事項と結論

実態調査ではプロトコル作成までの手順を把握できないので、仮想的に自走自律制御機械の仕様を設定の上、検討した。

そのプロセスの詳細は第3章、第5章に記してある。ここでは、その中で経験した点、留意した点などを記す。

- 使用環境、使用状況が決まらなると、適切なリスクアセスメントが実施できない。
- 上記2のI.より、安全制御部にはAI等を使用しない。また、ISO 12100, ISO 13849, IEC 61508に準拠して、安全関連制御部と自走自律制御部とは分ける。
- リスクアセスメントから保護方策の決定まで一貫した流れとして行い、それをリスクアセスメントシートとして記載する。保護方策の妥当性を確認するための実証試験の手順等を詳細に定めたものが実証試験プロトコルとなる。
- 実証試験プロトコルにおける試験方法、判定方法の記述は、実証試験の実施、その結果による適否の判断が可能なレベルまで具体的に記述する。

記載の例は、医薬品ロジスティックセンターで使用される自律走行台車（主に、追従走行、起点・終点を指示した走行(From To 走行)）についてのものである。使用条件などが変わっても、記載の手順は使用できる。

### 4 総括

以上の、両ワーキンググループの取組みで明らかになったこと、あるいは提示されたことを踏まえ、検討委員会において検討したところを、第1章に掲げた目的①～④に沿ってまとめると、次のようになる。

#### 1) プログラム制御による安全関連システムを自律制御による通常制御システムから独立して設けることに関する考え方

実態調査を行った範囲では、メーカーによっては、本来機能の制御部と安全関連部を区別していない例があったが、各社とも JIS B 9705-1 (ISO 13849-1) 等の機能安全規格を意識しており、安全関連部が必要であることは認識されていた。一方、ユーザーでは独立しているかを明確には把握していない場合(メーカーに問い合わせしていない場合を含む)が多かった。

JIS B 9705-1 (ISO 13849-1)、JIS C 0508 (IEC 61508) では、安全関連部 (JIS B 9705 では「制御システムの安全関連部」、JIS C 0508 では「安全関連系」という。) を走行に関する制御部と区別することが原則とされており、第3章、第5章では、両制御部を分離した例を示した。

#### 2) 選定された特定の機械に関連する要素技術(環境認識(センサー)、状況理解・制御(AI等)、運転等(アクチュエーター)など)の開発状況及び安全評価の現状<sup>脚注1</sup>

SLAMによる自己位置推定はすでに実用的に使われていることがわかった。一方、AIと統合して自律走行のための制御を行っている例は、面談による調査の範囲内ではなかった。また、現状では、AI等の自律判断を組み込んだ安全の制御システムは市販品レベルの製品はないと

<sup>1</sup> 参考文献3)の第3章5(自律自走のための技術, pp.21-28)も参照されたい

思われる。

SLAM で必要な外観センサーである 3D-LiDAR、レーザーセンサーやステレオカメラ等は市販品がある。

安全関連制御は I(センサーなどの入力部)-L(論理判断部)-O(出力部)から構成されるが、それらの開発状況は概ね次のようである。これらは、実態調査においても使用されていることが確認できた。

- I(センサーなどの入力) 安全用途で使用するための衝突防止用レーザーキャナ、接触検知用バンパースイッチなどは市販されている。
- L(論理判断) 安全用途のチャンネル間監視などを組み込んだ PLC, リレーユニットなどは市販されている。
- O(出力) モータへの電力を遮断するコンタクタなど市販されており、購入できる。また JIS C 61800-5-2<sup>1)</sup>(IEC 61800-5-2<sup>1)</sup>)の安全要求事項を満たす可変速モータドライバを用いることで速度監視、速度制御、トルク制限、停止が実現できる。

### 3) 自律自走制御機械に係る安全評価の考え方

安全制御を司る安全関連の制御系を機能制御と分けることは、工作機械等の据付機械を含め多くの機械で確立されている。

安全関連部が有すべき信頼性は、リスクアセスメント(リスクグラフを含む)に基づく ISO 13849-1 の PLr(要求パフォーマンスレベル)あるいは IEC 61508, IEC 62061 の要求 SIL(安全度水準)で決定される。次いで、安全関連部を設計し、PLr 以上の PL あるいは要求 SIL 以上の SIL であることを検証する手順が確立している。

AI 等を安全関連部に使用する例は実態調査でも見いだせなかった。研究段階での検討は藤原らによるもの<sup>2)</sup>などがあるが、産業用の機械で使える機器やソフトウェアなどの実用レベルで市販されている事例はなく、安全評価法も定まっていない。

なお、複合的にセンサーを用いる際に適用できる IEC/TS 62998-1<sup>4)</sup>は主に信頼性評価を扱っている規格であり、安全に関する判断機能を規定しているものではない。

### 4) 1)から 3)を踏まえた、今後の実証試験のプロトコルのあり方

現時点では安全の判断に AI 等を用いられていないので、安全関連部の評価は JIS B 9705 等に従って行えると考えられる。

しかし、追従走行、SLAM による自己位置推定などでは、追従すべき先導者の見失いや自己位置推定の失敗に起因する異常走行も考慮しなければならないなど、リスクアセスメントにおいて、自律制御ゆえに起こりうる危険事象を十分に抽出することが大切である。

## 5 新技術の社会実装にあたっての留意事項

本報告書では、ヒアリングから現時点では、位置推定や経路の決定に自律的な判断を用いているが、安全の判断に自律的な判断を用いた例はなかった。しかし、今後、ニューラル・ネットワーク等が一層発展し、その結果、安全の判断を委ねることについても、その可否も含め検討されることとなるであろう。つまり、全く新しい技術の社会での使用である。その際には、社会実装が可能か検討するフェーズがあり、また、技術そのもののアセスメントからスタートしなければならない。これらの点を重要と考え、今回の報告の範囲外であるが、革新的技術の受け入れに際して検討すべき事項として、附録 1 にテクノロジーアセスメント

について、付録2にアセスメント手法に関する考察について、その考え方の一つを示した。

また、自走自律制御機械の今後のAI技術活用に向けて次のステップとしては、LiDARに代表される環境情報取得技術やSLAM等の環境認識に関する情報処理技術の安全関連化が考えられる。

LiDAR等ハードウェアは、IEC 61496:Safety of machinery - Electrosensitive protective equipment<sup>5)</sup>のシリーズの枠組みの中で、国際安全規格としての標準化が検討されている。また、SLAM等の環境認識のための情報処理についてもソフトウェア安全ライフサイクルへのVモデル適用や、ソフトウェア仕様の検証にメーカーは取り組んでいくであろう。

そして、PST (Process Safety Time) あるいはRT (Reaction Time) で保障される安全距離までの自走自律制御機械の接近に対して、非安全関連系としての確率論に根差す環境認識等の情報処理をいかに組み込むかなど、検討が進められることを期待する。

## 参考文献

- 1) JIS C 61800-5-2:2019 可変速駆動システム (PDS) —第5—2部: 安全要求事項—機能安全 (IEC 61800-5-2:2016 Adjustable speed electrical power drive systems - Part 5-2: Safety requirements - Functional)
- 2) 藤原清司、角保志、尾暮拓也、中坊嘉宏、「機能安全において人工知能安全の取りうる産方針と安全判断のための非対称判定方法」、日本機械学会論文集、Vol.84、No.864、18-0007、2018
- 3) 中央労働災害防止協会 “令和元年度 厚生労働省委託 技術革新に対応した機械設備の安全対策の推進事業 報告書” pp. 21-28 (2020年3月)
- 4) IEC 62998-1:2019 Safety of machinery - Safety-related sensors used for the protection of persons (機械類の安全性—人の保護のために使用する安全関連センサ) (JISは未制定)
- 5) JIS B 9704 機械類の安全性—電氣的検知保護設備 (IEC 61496: Safety of machinery - Electro-sensitive protective equipment)



# 附録 革新的技術の受け入れに際して検討すべき事項

## 1 テクノロジーアセスメントについて

技術的な限界に対してどのような評価を行い、その結果に基づいていかに対処すべきかを論じる必要がある。まず、新しい技術を対象として、これを社会に導入する前に安全性・経済性・倫理性などに関する社会的影響を総合的に評価することをテクノロジーアセスメント (TA) と呼ぶ。特定技術の社会への普及を目指すことが前提となることから、TA には通常、幅広い社会的議論の場が設けられることが多く、分析対象の境界も確定されないことに特徴がある。しかしながら、本稿ではその影響因子を安全性に特化して、特定の技術が実装された場合の影響を知る上で、同定された技術的な限界が導入されるコミュニティに与えると想定される負の影響を検討するものである。これは、リスクアセスメントの結果として見積もられたリスクを小さくするために、技術的方策と絡めてどのような使用上の制限をあらかじめ設けるかの議論に留まるものであり、ISO 12100「機械類の安全性－設計のための基本概念、一般原則」の枠組みに収めることができ、TA の枠組みで議論するにはおよばないと判断された。

この問題は、まず製造物責任 (PL : Product Liability) の観点から、人工知能 (以下、AI) について捉えておく必要がある。すなわち、AI による認識段階あるいは判断上の誤り (以下、AI エラー) を予見できなかったとする抗弁 (「開発危険の抗弁」のこと、製品を流通させた時点における科学・技術知識の水準によっては、内在する危険を発見することが可能でない場合に製造者等が免責され得るとするもの) がまかり通るか否かという議論に答えを与えておく必要がある。これについては、仮に当該 AI エラーを設計者が具体的に予見できなかったとしても、何らかの判断誤りを犯すであろうということは予見できるわけである。したがって、この AI エラーの確率が、他の代替技術の場合に比べて大きい場合には、この誤りによってもたらされると想定されるリスクのシナリオに対応できるソフトウェア上の工夫や、それを回避する機構をロボットに備えておくことはできるわけであるから、これらの製造者としての活動を怠った場合には、法律上は開発危険の抗弁が認められることはないとは判断するのが妥当である\*注。

\*注 : NEDO 生活支援ロボット及びロボットシステムの安全性確保に関するガイドライン (第一版) / サブ WG 報告書 60 頁 4.5 法規制・倫理 4. 5. 1 法的責任の観点 (3) 民事責任 (g) 免責事由 i) 開発危険の抗弁 より

つぎに、安全技術に関する規格観点からも、AI エラーを捉えておくことができる。すなわち、機能安全の規定によれば、安全度水準が高くなるほど AI やその他の確率的なアルゴリズムを極力回避するように求めている。機能安全の概念下において、ソフトウェアに関する安全要求事項は、対象システムのとくに下位の物理層に近い階層を対象として、そのリスク抑制性を問うものであるが、フォールトに対してこれを故障に導かないような方策を考える際に AI を用いることは望ましくなく、フォールトの是正のための 1) 要求仕様、2) 本質的な設計上のフォールトを含まないようにすること、3) 単純さや理解のしやすさ、4) 是正の適切性、5) 検証や試験、のそれぞれの観点において、むしろ問題を複雑化するものとして、SIL2 以上では NR (Not Recommended) を要求している。

以上から、AI のソフトウェア導入は、以下のようにまとめることができる。すなわち、ロボットによるコントローラの上位レベルの IL0 (Input-Logic-Output) 諸相において利用する場合には、確率的な取り扱いであることを念頭に、リスクに対する対応 (低減) 方策をきちんと仕様に設けること、そして、物理層に近い下位レベルのフォールト是正機能については、確率的なリスク抑制性能の低下 (AI エラー) が極力回避されるよう、AI を推奨するものではないこと、の 2 点である。

## 2 アセスメント手法に関する考察

この観点の議論に関して、具体的に本委員会で対象とする自律走行ロボットによる外界認識性能の信頼性を例に掲げる。初期的なリスクアセスメントの結果、原理的、物理的に極めて困難と考えられる見誤りあるいは見失いのハザードが同定されたとする。この場合、ISO 12100にしたがって、見積もられるリスクの大きさやこれに対する評価の結果に応じて方策を考案する必要がある。技術が周囲環境に与える負の影響が過大だと判断された場合、まず後者の物理層に近い下位レベルのフォールト是正については、そもそもソフトウェアフォールトによる問題に解消を生じないような工夫を凝らすことができる。原理上の見失いの原因が透明な窓ガラスによるものに対して、異なる検出原理的をもつ複数種類のセンサを適用することにより問題の解消に努めたり、あるいはガラスを擦りガラスにする等環境要因を整えたりすることによりリスクを極力小さくする方策が考えられる。

しかしながら、外界認識の精緻化要求にしたがい、LIDARのような技術しか使えない状況下では、ソフトウェアに依存することになり、state-of-the-art を超えるとして要求されている「SIL2 以上ではNR (Not Recommended)」に反することになる。この点に関して技術的には、構造の一部として窓をとらえることにより、窓自体が見失われても周囲（フレーム）から障害物の一部と同一視したり、窓越しに検出される物体を窓と同一視するといった提案がなされており、これを実装した場合に残される、配慮すべき視点として、3) 単純さや理解のしやすさ、4) 是正の適切性をどう担保するか？という問題を解消するための技術に高い関心が集まってきている。以下、この枠組みの事例を紹介する。

たとえば、DARPA では、XAI (Explainable AI) と呼ばれる技術の方向性に対する検討がなされている(図1)。これは、ニューラルネットワークや数理的解析的な手法にもとづく機械学習によって得られた結果に対して Explainability (説明可能性) を要求し、その程度を定量化できるようにすることによって、人間が機械学習のそれぞれの機能に関する理解を深めることができるようにするという概念である。この目的を達成するために、技術的には、Explainable Model (説明を可能にするモデル) と explanation interface (説明インターフェイス) を備える必要がある、としている。このような枠組みによって、技術の適正な評価や査定が行えるようになると期待されるのである。

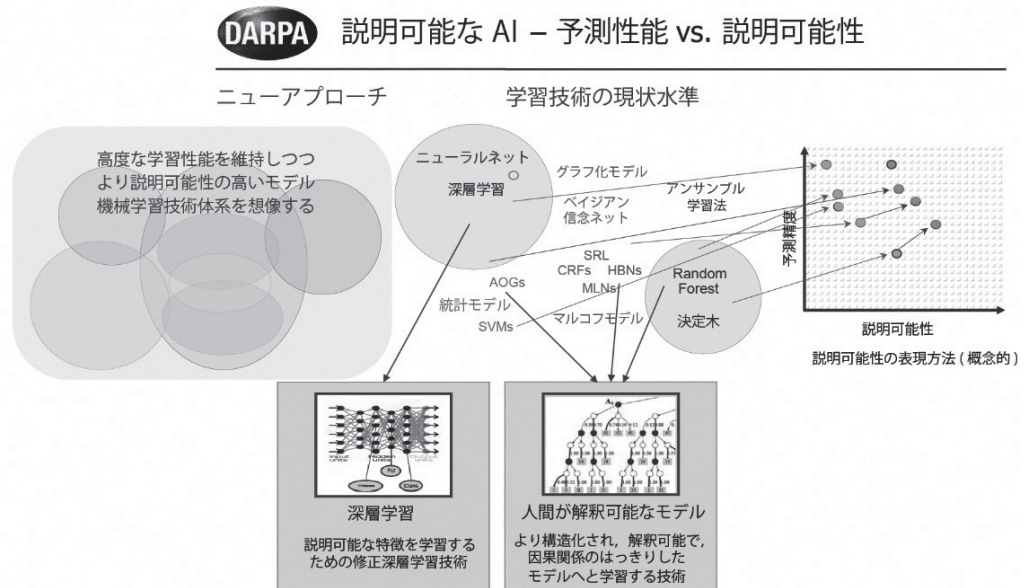


図1 DARPA で検討されている XAI

具体的に、先のポイントクラウドから窓ガラスとしての認識を行う技術を対象とした場合に、まずたとえば、CNN (Convolutional NN) による認識性能結果を Explainability とこれに基づく Prediction Accuracy (予測精度) の関数としてプロットする。より具体的には CNN を用いて窓越しの物体を窓と一体化して捉える、あるいは SVM (Support Vector Machine) を用いて同じことを繰り返し行い、並列的に学習を繰り返す。そして、その結果を RF (Random Forest) によって、異なる決定木をつぎつぎと構成していくことにより、認識対象に基づく説明可能性と交差検証結果としての予測精度によって表現することにより、人間によって理解と判断がなされやすいように定量表現する。



---

# 技術革新に対応した機械設備の 安全対策の推進事業 報告書

---

令和3年3月

中央労働災害防止協会 技術支援部

〒108-0014 東京都港区芝5-35-2

TEL03-3452-6375 FAX03-5445-1774

Eメール sidouka@jisha.or.jp

