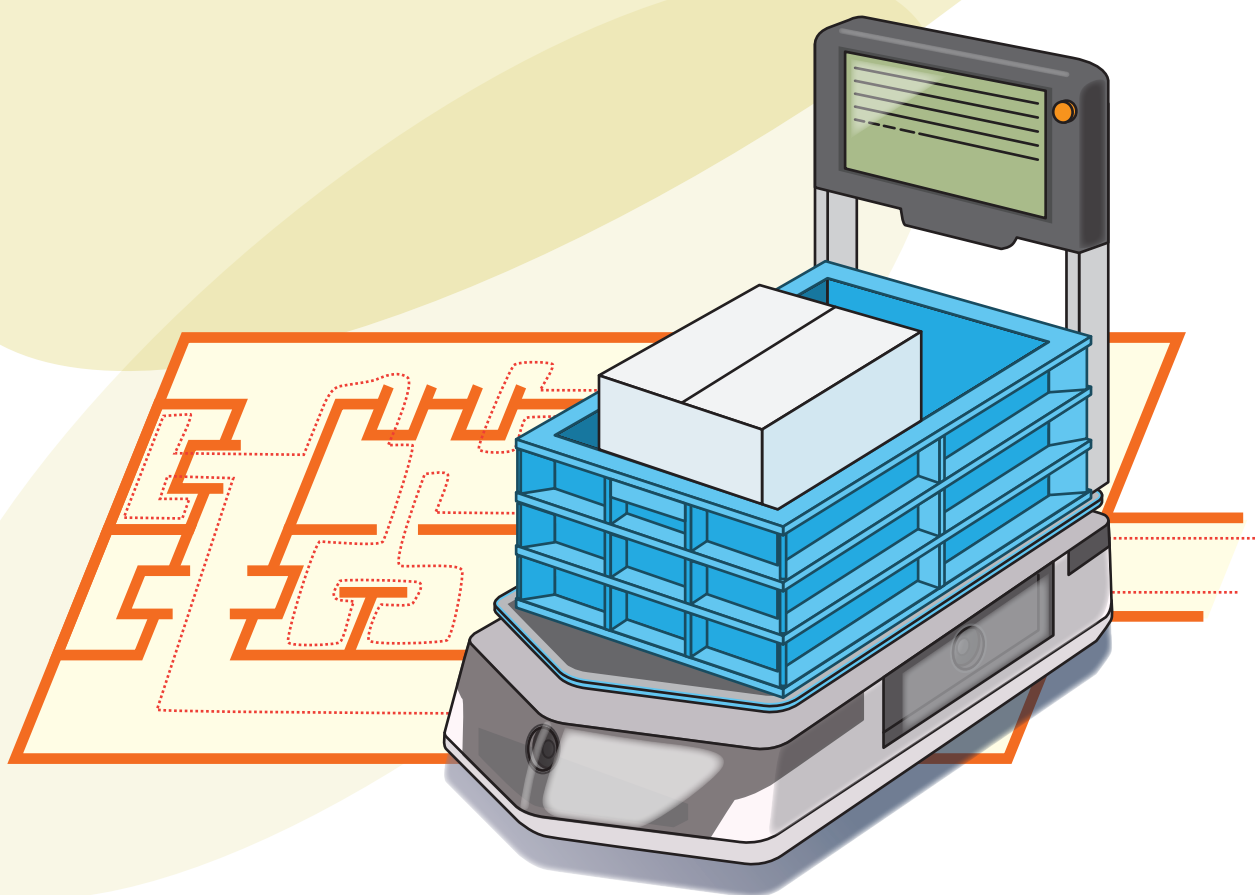


自律走行台車(AMR)の安全化と 実証試験プロトコル

—関係者が知っておくべきAMRの安全確保の手順—



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

自走自律制御機械の 安全方策の確立に向けて

近年、自動走行など自律的に作業を行う機械（以下「自走自律制御機械」といいます。）の産業現場への導入に向けた開発が進んでいます。

自走自律制御機械の一つに自律走行台車があります。従来の無人搬送車が床面等に埋め込まれた電線等により誘導されるのに対し、LiDAR（Light Detection and Ranging）、SLAM（Simultaneous Localization and Mapping）等の新たな技術により、自己位置を把握したり、周辺の地図を生成したりして、目的地まで自律的に移動することができる機械です。そのため、従来の無人搬送車がAGV（Automatic Guided Vehicle）と呼ばれるのに対し、自律走行台車はAMR（Autonomous Mobile Robot）とも呼ばれます。

LiDAR : Light Detection and Ranging

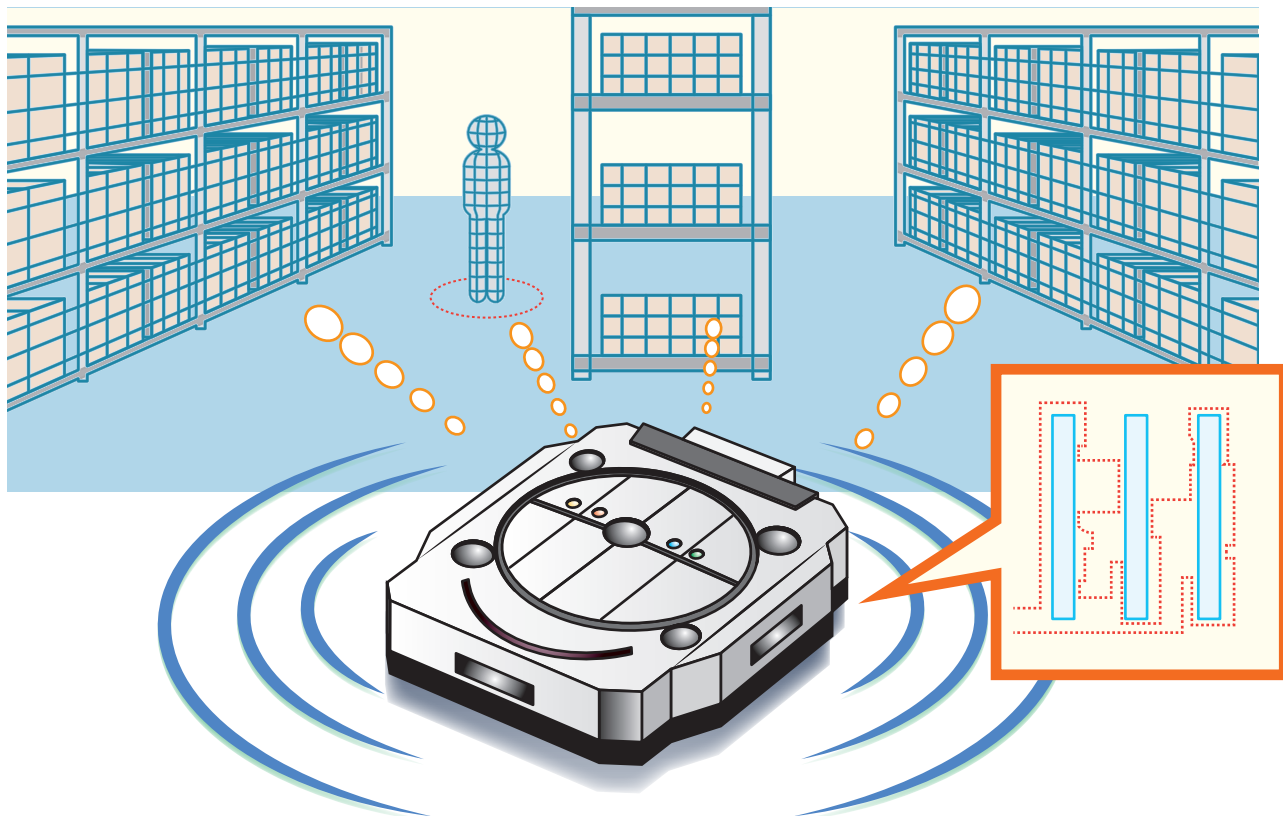
レーザーを、方向を変えながら、パルス状に照射し、物体に反射されて返ってくるまでの時間から対象物までの距離、方向などを測定するセンサ。Laser Range Finderとも呼ばれる。
（JIS D6801:2019「無人搬送車システムに関する用語」参照）

SLAM : Simultaneous Localization and Mapping

自己位置確定方法の一つ。壁や柱などの表面までの距離をLiDARやカメラで計測し、周辺の環境地図を作成するとともに、環境地図上の自己位置を推定するシステム。
（JIS D6801:2019「無人搬送車システムに関する用語」参照）

AMRでは、前後、左右、斜めなど自由に走行できる「メカナムホイール」や「オムニホイール」などの車輪を採用しているのもあるのが特徴の一つです。

自律走行台車においては、走行経路に障害物を発見したときにその障害物を避けて通る、又はその場で停止する、などの機能があります。従来の機械の安全化では、機械の本来機能のための制御と安全のための制御機能を分離することが原則ですが、自律走行台車の障害物を避けて通る等の機能は、機械の本来機能であるとともに安全のための機能であることを考えると、その原則が適用できない場合があることを考慮する必要があります。



本リーフレットでは、自律走行台車を例に、自走自律制御機械の設計・製造事業者や使用事業者が、その安全機能についての実証試験のプロトコルを作成する際に参照していただけるよう、その留意点を示しています。

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

なお、本リーフレットは、あくまで概要のみ示すものであり、詳細については厚生労働省の Web サイト (<https://www.mhlw.go.jp/index.html>) に掲載予定の「令和2年度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」を参照して下さい。報告書に関するお問合せは、中央労働災害防止協会技術支援部までご連絡ください。(連絡先は最終ページを参照ください)



◀ 厚生労働省 Web サイト
<https://www.mhlw.go.jp/index.html>

自律走行台車の安全化と 実証試験プロトコル

自律走行台車（AMR）の安全性を確保するには、リスクアセスメントに基づいた安全方策の検討とその妥当性の確認とからなる検証が必要です。

この検証の一環として行う実証試験の手続き（として試験方法を順序立てしたもの）が、実証試験プロトコルです。

実証試験プロトコルの作成手順は以下のとおりです。

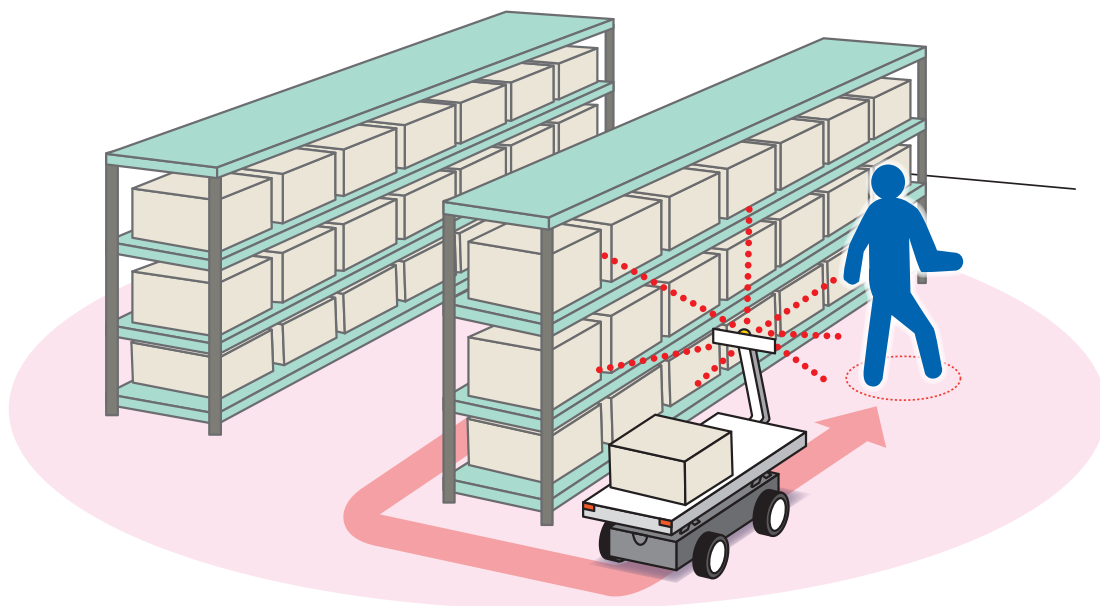
実証試験プロトコルの作成手順

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（安全対策^{*1}）を策定する。
4. 保護方策の安全機能が正しく働くかを検証するための実証試験プロトコルを作成する。

^{*1}：いわゆる安全装置の設置など

本リーフレットでは実証試験プロトコルを例示しますが、これは、AMR（を含むシステム）の仕様及び使用環境を想定するとともに、対象とする危険源も限定して作成したものです。例示した結果が唯一ではなく、また完全な事例でもないことに注意して下さい。

今回例示するのは、AMR を含む、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す（下図参照）。



リスクアセスメント及び保護方策の例

5

自走自律制御機械の安全機能についての 実証試験プロトコルの作成例

リスクアセスメントの結果に基づき策定した保護方策について、その適否を判定するための検証の一環として行う実証試験プロトコルの例を以下に示します。

これは、AMR が追従走行（作業者の後ろを追従して走行している場合）の例となりますが、その詳細及びほかの例については、報告書を参照して下さい。報告書では、AMR の動作機能の観点から、追従走行のほか、From-To 走行、死角、制御不具合を取り上げています。

追従走行での例

(1) 想定

薬品のロジスティックセンターの中で作業者の後ろを追従して走行している。この通常走行時の危険状態（原因）／危険事象（結果）の例として「目標となる棚が間近になるなどで追従走行時に先導者する作業者が立ち止まる、あるいは歩行速度が遅くなる。／前方先導者に追突する。」が考えられる。

(2) 実証試験プロトコルの例

以下の例は、(1) の想定の下でのものである。

試験1 書類確認 PLr*2 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 PLr 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 PLr を満たし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（例：レーザースキャナーとコンタクタ）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 PLr 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服を着用させる。）を 2m/s で移動させ（ひもで牽く等）、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。

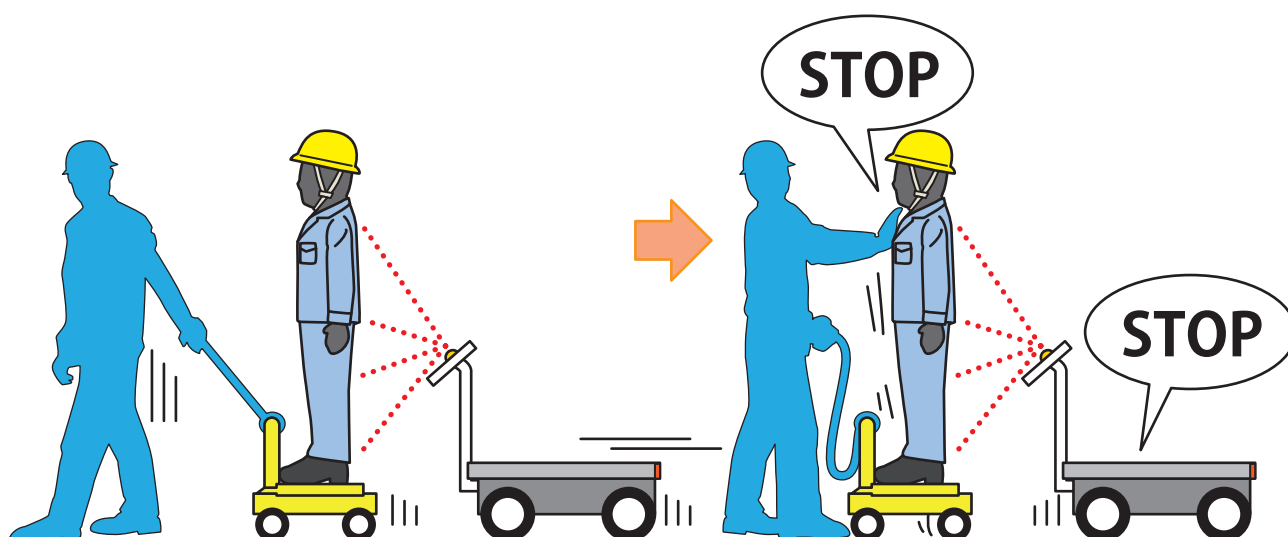
停止後にマネキンと台車の距離を計測し 30cm 以上あれば適とする。

*2：制御システムの安全関連部が有すべき信頼性

実証試験プロトコル作成に当たっての留意点

左記の実証試験プロトコルの作成例は、AMR（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ケーススタディーですが、このケーススタディーも踏まえ、実証試験プロトコル作成に当たっては、以下の留意が必要です。

- 実証試験プロトコルでは、試験の手順だけではなく、具体的な判断基準を提示します。
- 左記ケーススタディーは一定条件下でのものであり、条件が異なれば、リスクアセスメントの結果及び保護方策も異なります。保護方策が異なれば、対応する実証試験プロトコルも異なります。
- 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、保護方策の策定、実証試験プロトコルの決定、妥当性確認（実証試験の実施）は一連の流れですが、各段階において再評価等の必要が生じた場合には、前の段階に戻ります。
- 汎用品として製造された AMR を使用する場合には、ユーザー（及びシステムインテグレータ）において、リスクアセスメントから実証試験プロトコル作成、妥当性確認までを行います。



参考文献

自律走行台車の安全化に関連し以下のような文献が参考になります。JIS 規格や ISO 規格については、一般財団法人日本規格協会から入手することが可能です。

- 1) ISO 3691-4 : 2020 “Industrial trucks - Safety requirements and verification - Part 4: Driverless industrial trucks and their systems”（一般社団法人日本産業車両協会が中心となって令和3年度に JIS 化の作業が始まる予定です。JIS 化ののちは、下記 3）の規格から差し替えられる予定です。）
 - 2) JIS D 6801 : 2019 “無人搬送車システムに関する用語”
 - 3) JIS D 6802 : 1997 “無人搬送車システム—安全通則”
 - 4) 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”
 - 5) 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）
 - 6) 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動作業型ロボット”
 - 7) 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”
 - 8) 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”
 - 9) 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”
 - 10) 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”
-

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

中央労働災害防止協会技術支援部

TEL 03-3452-6375 （直通） **Email** sidouka@jisha.or.jp