

生活支援ロボットの複合環境振動試験による安全性評価方法

Safety Assessment of Life-support Robots by Environment-vibration Combination Test

○ 池田博康 芳司俊郎 (安衛研)

Hiroyasu IKEDA, Toshiro HOUSHI, JNIOSSH

Abstract: An environment-vibration combination test for a mobile life-support robot is implemented under the worst expected environment and road surface conditions. The test parameters change by the robot's specifications, but the standard temperature/humidity and road conditions are decided. The vibration applied to the robot in the environmental chamber is reproduced from the actual running acceleration waveform. The test result is decided passes and fails after comparison of the change of movement and safety functions before and after the test.

Key Words: Environment-vibration Test, Safety Assessment, Life-support Robot

1. はじめに

移動型、搭乗型の生活支援ロボットの实用化に向けて、周囲の人間や搭乗者自身に対する安全機能の装備は必須である。この安全機能は、ロボット設計時に意図した通りの性能を運用中でも維持されねばならない。そのため、関連安全規格 ISO/DIS13482-1⁽¹⁾で要求事項等が規定されつつあるが、ロボットが想定される最悪環境下でこれらの安全機能が影響を受けないかを検証することは記述されていない。

そこで、生活支援ロボットの安全性検証試験の1つとして、ロボットに温湿度ストレスと走行振動を複合して与える環境試験方法を提案し、その試験結果の判定基準について検討する。

2. 複合環境振動試験の目的と試験装置の概要

2-1 試験の目的

一般に、複合環境試験は、システムコンポーネントの信頼性あるいは品質試験として位置付けられており、温度、湿度、振動等の複数の環境下に晒された際の耐久性を検証するために実施される。一方、最終製品に対して複合環境下での安全機能をチェックするための試験は、比較的小型の製品で一部規定している程度であり、ロボットに関しては試験方法や評価基準が規定されていない。

本稿で提案する複合環境振動試験は、安全機能が装備された自律移動型あるいは搭乗操縦型ロボットが、想定される最悪使用環境下(高温・高湿、あるいは低温)で、想定される最悪の走行路環境(段差、凹凸路面等)を連続走行した場合、ロボットに内蔵された制御装置、保護装置等が正常に機能維持できているかを検証するものである。そのため、走行や操舵の運動機能や障害物検知や緊急停止等の安全機能が試験前後で変化したかを調べて、安全性を評価することを目的とする。

2-2 試験装置の概要

複合環境振動試験は、垂直及び水平振動を生成する加振機を内蔵した大型恒温恒湿室内で実施される。走行路環境を恒温恒湿室内で実現することは困難のため、試験対象ロボットを加振機テーブル上に固定し、温湿度可変な環境下でロボットを空走状態にした上で実走行振動を再現させる方法とした。

大型恒温恒湿室は、温度-40~+120℃、湿度30~95%RHの制御範囲を持ち、1℃/minの温度変化が可能である。加振機は垂直振動用と水平振動用の2つの加振テーブル(各1.5m×1.5m平面)を持ち、いずれかを単独で加振される。

その他、対象ロボットのコネクタ等の電気接合部の瞬間

的な断線状態を検出、記録する瞬断検出システム、対象ロボットの実走行振動を記録する加速度計とデータロガーが組み合わされる。

3. 複合環境振動試験方法と実施例

3-1 標準試験条件と手順

試験対象ロボットの形態や仕様によって複合環境振動試験条件は異なるが、公共施設の屋内空間で移動するロボットを想定して、以下の試験の標準条件を設定した。

- ・ 温湿度サイクル：高温 40 または 55℃、高湿 95%RH の 12h 維持を 2 回、続けて低温-10℃の 3h 維持を 1 回
- ・ 加振パターン：点字ドットパネルの連続路面を最高速度で 10s 走行した振動波形に 20s 振動休止を加えて、これを 120 回繰り返し
- ・ ロボット設置：加振テーブル上に動輪を浮かせた状態で固定し、加振パターン再現中は常時最高速度の空走状態
- ・ 車輪空転可能電源供給：連続外部給電のとき常時電源オン、それ以外は満充電バッテリー容量分電源オン

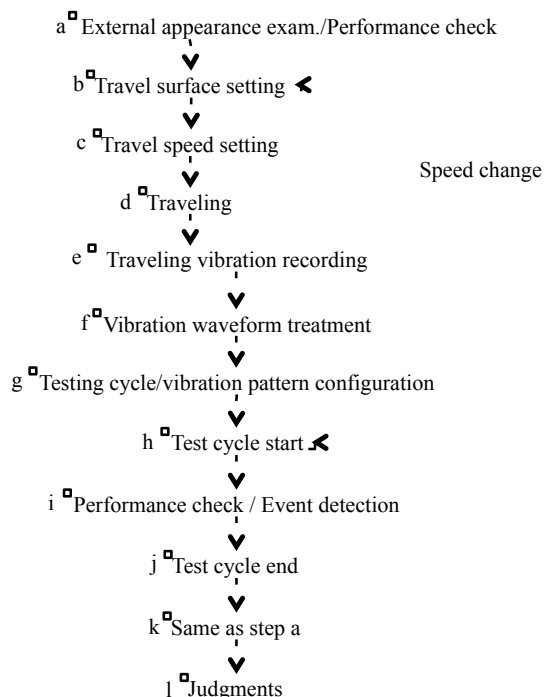


Fig. 1 Environment-vibration combination test flow

複合環境振動試験の手順は Fig. 1 に示すように、実走行振動波形収集 (ステップ b~e) 後、波形加工 (ステップ f) した加振パターンを温湿度サイクルパターンにリンク (ステップ g) して、サイクル試験を実施する。なお、加振機は単一方向の振動を生成するため、ステップ e で 3 軸成分を記録した場合、ステップ h~j については振動方向を変更して繰り返す。

この試験手順では、対象ロボットの各機能の変化を調べるため、3 回の検査ステップを実施する。まず、初期ステップ a では、対象ロボット機構部や保護装置類の取付部位の機械的点検 (目視確認) と必要に応じて電氣的測定 (重要部位の抵抗値、絶縁抵抗値) を事前に実施するとともに、運動機能や安全機能が仕様通りに健全であることを確認する。そして、サイクル試験終了後、ステップ k にてステップ a と同様の検査を行い、差異を調べる。なお、温湿度サイクルの切り替え時 (常温時) に簡単な目視検査と各機能確認を行う (ステップ i)。瞬断イベント (断線/復帰事象とそれらの発生期間) および抵抗トレンドも試験期間中自動的に記録される。

3-2 試験実施例

搭乗型移動ロボットを模擬して、ハンドル型電動車いすを用いて複合環境振動試験を実施した。上述の標準試験条件から変更した項目は、高温 35℃、高湿 85%RH、低温 5℃、ライン点字パネル上を 4km/h で連続走行の 4 点である。垂直加振テーブル上で空走状態の電動車いすを Fig. 2 に示すが、前輪はテーブル上に接地して後輪のみ浮かせている。また、搭乗者の代わりに 60kg の重りをシート上に固定している。なお、全温湿度サイクル 37h 中、1h の加振パターンは高温と低温の静定時に合計 3 回実施した。

この試験結果は、Table 1 に示すように 3 回の検査結果を記述して試験前後の内容を比較することで得られ、機構部、運動機能、安全機能の全てが異常ないことが確認できた。

4. 複合環境振動試験結果の判定基準

ハンドル型電動車いすを用いた試験では異常は確認できなかったが、より複雑で高度な運動・安全機能を有する移動ロボットでは、異常状態が多様となることが予想される。そこで、複数の判定ランクを設定して、ランク毎に要求されるロボットの各機能の挙動を以下に定義する。

- 判定ランク S:** 試験中及び試験後の全ての機能が不変
- 判定ランク A:** 試験中は一部または複数の機能が許容差以内に変動するが、試験後は自動復帰する
- 判定ランク B:** 試験中は一部または複数の機能が許容差を越えて変動するが、安全状態に遷移し、試験後もその状態を維持する
- 判定ランク C:** 試験中は一部または複数の機能が許容差



Fig. 2 Electrically powered scooter vibrating vertically

を越えて変動するが、それが検出されずに安全状態に遷移しない

ここで、機能の許容差とは、例えば、障害物検知用センサの検出領域のずれが想定人体部位幅以内である場合が考えられる。また、安全状態とは移動ロボットではほとんどが停止状態と見なせる。なお、前提条件として、試験前の機構部や全機能は全て健全で正常であることが必要である。

安全機能に関しては、判定ランク A で自動診断や修復機能の効果を勘案しており、ランク B ではインタロック構造を求めている。したがって、一般的に、移動ロボットの安全機能は最低限ランク B 以上で合格と判定される。ただし、ランク B は移動ロボット本来の合目的性を損なうので、ランク A 以上が望ましい。なお、運動機能の判定については、別途性能試験で再評価する必要がある。

5. おわりに

移動型の生活支援ロボットの安全性検証試験の 1 つとして複合環境振動試験方法を提案し、試験結果の判定基準を示した。今後、ロボットタイプ別に標準試験条件を整理するとともに、判定基準について定量的な目安の例を導出することを検討したい。

なお、本研究開発は、NEDO の「生活支援ロボット実用化プロジェクト」の委託業務の一環として実施されたものである。

参考文献

- (1) 山田陽滋: “サービスロボットの安全に関する国際規格の要点について”, サービスロボットの安全性に関するセミナー資料, ロボットビジネス推進協議会, 2012.

Table 1 Environment-vibration combination test result of electrically powered scooter

Check timing	Check item	Mechanical parts	Power supply	Movement function	Safety function	Remarks
Before test cycle		Normal	Normal battery voltage Normal insulation between terminals	Normal travel function	Normal stop performance	
Between test cycles		Normal			Normal stop performance	
After test cycle		Normal	Normal battery voltage Normal insulation between terminals	Normal travel function	Normal stop performance	No water condensation