

# HRP-ロボット保護技術に関する研究開発 その3

## — 人間型ロボット用保護ウェアの耐環境性能について —

後久 卓哉\* 柳原 好孝\* 上野 隆雄\*\*

**要 約：** 人間協調・共存型ロボットシステム研究開発（以下、HRP）後期課程では、実用化が期待されている応用分野のニーズを踏まえ、共通の研究開発基盤（プラットフォーム）の提供を受け、応用技術の研究開発を行った。HRP 代行運転分野では、緊急の災害対応時や悪環境等を想定して、人間型ロボットを遠隔から操作し、人に代わって産業車両を操作することを目標に研究開発を行った<sup>1)</sup>。人間型ロボットが、緊急の災害対応や悪環境下での作業を行うためには、いままですべてが扱われてきた室内環境とは異なり、屋外の様々な気象条件や周辺環境に対応する必要がある。

開発を行った人間型ロボット用保護ウェアは、ロボットの機動性に影響を与えず、モータの発熱による内部温度上昇を考慮したもので、着用させるだけで、屋外雨天時の作業を可能とした。

**キーワード：** 人間型ロボット、保護ウェア、耐環境性能

**目 次：** 1. はじめに  
2. 開発条件  
3. 素材試験  
4. 耐環境性能試験

5. まとめ

### 1. はじめに

HRP 代行運転分野では、緊急の災害対応時や悪環境等を想定して、人間型ロボットを遠隔から操作し、人に代わって産業車両を操作することを目標に研究開発を行った。

人間型ロボットは、いままですべて屋内のみで歩行や踊りなどパフォーマンスを行ってきた。しかし、人間型ロボットを屋外で使用するためには、内部の大部分をコンピュータで占めている本体を、降雨や埃から保護する必要がある。また、同時に着座型の産業車両に搭乗させるためには、外部との接触による本体の破損を防止する必要がある。接触用の保護具に関しては、前報で、基礎実験について述べた。<sup>2)</sup>

本報告では、屋外環境下で人間型ロボットが活動可能な、耐環境用保護ウェア（写真1）に関して、はじめに行った素材試験と防水性、放熱性及び機動性の耐環境性能試験結果について報告する。

### 2. 開発条件

HRPは、プラットフォーム提供型のプロジェクトであり、同じ仕様の人間型ロボットを用いて、複数のグループが研究を行うものである。したがって、人間型ロボット用保護ウェアは、プラットフォームであるロボット（HRP-1S<sup>2)</sup>）を改造することなく、着用させるだけで、屋外での作業を可能とするものでなければならない。また、ロボットの機能や制御に影響なく使用できることも条件としてあげられる。

耐環境用保護ウェアの開発条件を以下に示す。

1) 装着対象人間型ロボットは、プラットフォームである



写真1 保護ウェア

HRP-1S とする

- 2) 鉛直からの水滴に対し、ロボットに有害な影響を与えない構造であること
- 3) 着用によるロボットの温度上昇は、制御に悪影響を与えないレベルであること
- 4) ロボットの機動性に影響を与えないこと
- 5) 静電気によりロボットの制御機器に影響を与えないこと

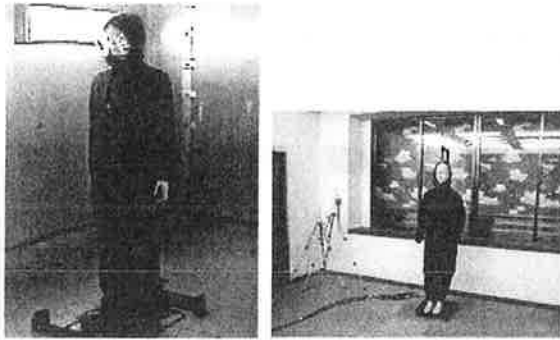


写真2 防水性試験(左), 放熱試験(右)

表1 防水性試験結果

|      | 生地が吸収した水の質量<br>(g) | 生地内部に浸透した水の質量<br>(g) |
|------|--------------------|----------------------|
| A社-A | 12                 | 3                    |
| A社-B | 2                  | 3                    |
| A社-C | 21                 | 5                    |
| B社   | 37                 | 0                    |
| C社   | 21                 | 1                    |
| ビニール | 1                  | 3                    |

### 3. 素材試験

人間型ロボット用保護ウェアに適した生地を選定するために、まず人間用の雨具や登山用具、アウトドア用品で使用している生地について予備調査を行った。ここでは防塵性、電気的特性、耐久性、耐水度および重量を比較項目とした。次に予備調査結果をもとに選定した3社5種類の生地を対象に、防水性、放熱性および結露の比較試験を縫製した状態で行った。縫製は、試験を実施する人間型のロボットダミーの形状に合わせ、人間用の合羽形状とした。また、一般に市販されているビニール合羽も比較のため試験を実施した<sup>3)</sup>。

#### 3.1 防水性

人間型ロボット内部への水の浸入は、ロボット故障の原因となるため、保護ウェアの防水性は重要である。

防水性試験は人工気象室<sup>4)</sup>で行い、人工気象室内に、選定した生地により合羽形状に縫製し装着させたロボットダミーを設置した(写真2左)。降雨条件は、台風等の大雨時を想定し、室温20℃、湿度60%、降雨量180(mm/h)で、15分間行うこととした。生地内側への水の浸入を測定する方法として、予め合羽内側に、ろ紙を貼り付けた。降雨前後の合羽と、ろ紙の質量差を計量し、生地が吸収した水の質量と、生地内部に浸透した水の質量を測定した。ろ紙は、東洋ろ紙社製のNo.1タイプを使用した。

試験結果を表1に示す。試験結果から、生地が吸収した水が最も少ないものは、A社-Bであったが、内部に浸透した水が確認された。また、生地内部に浸透した水が最も少ないものはB社製であったが、生地が吸収した水が最も多かった。

表2 事前温度測定結果

| 部位    | 頭    | 胸    | 背中   | 腹    | 腰    | 上腕   |
|-------|------|------|------|------|------|------|
| 温度(℃) | 30.4 | 30.3 | 28.7 | 32.8 | 39.0 | 34.9 |
| 部位    | 前腕   | 手    | 大腿   | 下腿   | 足    |      |
| 温度(℃) | 36.4 | 36.0 | 29.4 | 32.4 | 34.2 |      |

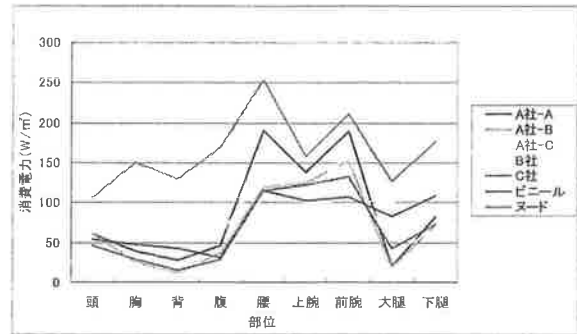


図1 消費電力測定結果

#### 3.2 放熱性

放熱性試験は、選定した生地により合羽形状に縫製し装着させたサーマルマネキンを用い環境実験室<sup>4)</sup>内で行った(写真2右)。サーマルマネキンの温度設定は、事前にロボットプラットフォーム各部位の動作時温度分布をサーモグラフィーで撮影し、発熱状況を測定したデータをもとに行なった(表2)。

試験は、サーマルマネキンの制御装置からの各ヒータ部単位面積あたりの消費電力量を20分間、5分間隔で計測した。

試験の結果を図1に示す。この図は、サーマルマネキン各部位単位面積当たり消費電力量を示している。消費電力量が非着衣時の消費電力により近い電力を消費している生地が、放熱効果が高い生地といえる。したがって、A社-Aと、B社の生地は消費電力が多く、放熱性に優れている事がわかる。特に腰、上腕、下腕についてはA社-Aが、その他の部分についてはB社の生地の放熱性が優れている。

#### 3.3 結露性

人間型ロボットに保護ウェアを着用させ、温度差のある空間を移動すると保護具が結露することが予想される。結露もまたロボット制御機器に有害な影響を及ぼす可能性があるため、温度差による結露が少ないことも重要な事項である。

試験は、人工気象室で行い室温22℃、湿度80%と室温5℃、湿度60%の二つの空間を移動させ合羽重量の変化を計測することで実施した。また、選定した生地を合羽形状に縫製しサーマルマネキンに装着させ、ロボットプラットフォーム動作時の発熱量に設定し、二つの空間を移動後の合羽の結露性を試験するとともに、合羽単体での結露性の試験も行った。

試験結果を表3に示す。試験結果から、サーマルマネキンにロボットプラットフォーム動作時の発熱量に設定した条件の方が、合羽単体を二つの空間を移動させたときに比べ、結露は少ない事がわかった。また、生地別では、A社-AとB社製は結露が多く、A社-Cとビニールは結露が少ないことがわかった。

表3 結露試験結果

|      | 合羽状態 | 合羽質量(g) |        | 質量変位(g) |
|------|------|---------|--------|---------|
|      |      | 移動前     | 移動後    |         |
| A社-A | 着衣   | 1002.8  | 1005.5 | 2.7     |
|      | 単体   | 1004.6  | 1008.7 | 4.1     |
| A社-B | 着衣   | 780.7   | 779.6  | -1.1    |
|      | 単体   | 777.4   | 779.9  | 2.5     |
| A社-C | 着衣   | 620.3   | 620.8  | 0.5     |
|      | 単体   | 622.2   | 622.5  | 0.3     |
| B社   | 着衣   | 996.7   | 1000   | 3.3     |
|      | 単体   | 1000.8  | 1005.5 | 4.7     |
| C社   | 着衣   | 844.1   | 843.1  | -1      |
|      | 単体   | 843.3   | 848.3  | 5       |
| ビニール | 着衣   | 504.8   | 506.7  | 1.9     |
|      | 単体   | 506.4   | 508.6  | 2.2     |

表4 防水性試験条件

| 設定項目 | 設定条件    |
|------|---------|
| 室温   | 20.1℃   |
| 湿度   | 67%     |
| 降雨量  | 228mm/h |
| 降雨時間 | 15min   |

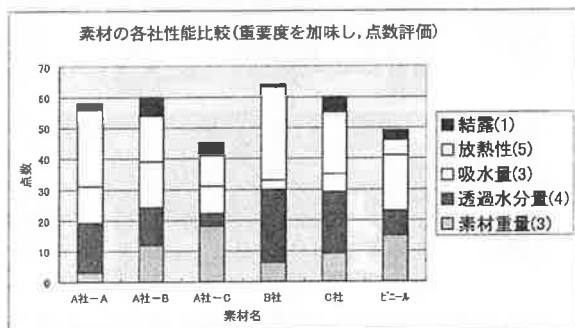


図2 素材の各社性能比較

3.4 試験結果まとめ

予備調査および試験結果をもとに、人間型ロボット用保護ウェア性能の重要度を加味し、生地を比較を行った(図2)。その結果、B社製(ナイロン系3層構造)は、単位面積あたりの質量が最も大きいが、総合的に優れていた。また、A社-Aは、強度が最も高く、動きが大きく強度が必要とされる箇所に適しており、A社-Bは、最も軽量であった。C社製は、素材表面の保水量が最大であった。比較結果を踏まえ、同時に HRP-1S への装着時の荷重負担を軽減するために複数の生地を併用することを検討したが、縫製後に縫製箇所の耐浸水性能を維持するため、裏面にシームテープ(防水テープ)を貼ることを考慮し、B社製生地のみで製作することとした。B社製のみで製作すると、質量はおおよそ 1.5kg と推定されたため、事前にロボット重心付近に 2kg のウェイトを取付け、歩行動作を行い、保護ウェア質量が動作に影響を与えないことを確認した。

4. 性能評価試験

4.1 耐環境性能試験

4.1.1 防水性

保護ウェアに使用したB社製生地は、耐水圧 0.29 [MPa] であり、降雨などの水が生地表面から浸透することはない。しかし、縫製した際の縫い目から水が浸入することが考えられる。そこで、縫い目にはシームテープ(防水テープ)を裏面から



写真3 防水性試験



写真4 縫製部ろ紙

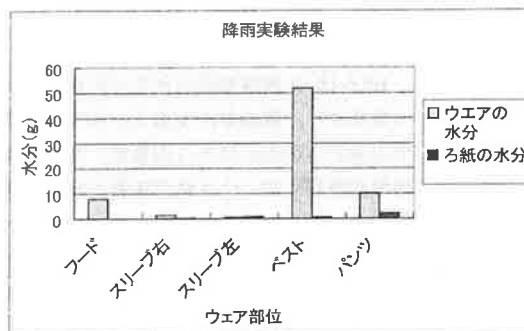


図3 降雨試験データ

表5 降雨試験結果

| 部位  | 試験結果   |
|-----|--|
| パンツ | パンツの裾部より水の質量が計測されており、床から跳ね返った雨滴がパンツとダミーの間から染み込んでいた。また、当該箇所のウェア生地も水を吸収しており、この水の質量が計測されたものである。 |
| ベスト | 保護ウェアの生地が吸収した水が最も多い部位である。要因は、バックパック部の表面積が大きいこと、首の後部に水滴が溜まることが考えられる。                          |
| フード | フード部の前面周囲に、ゴム紐を通して生地の収縮性を持たせるため、全体の生地とは異なる生地を使用した。この生地が水を吸収しやすく、質量が大きく計測された。                 |

表6 放熱実験動作条件

| 保護ウェア | 動作条件    | 計測時間 (min) | 計測間隔 (sec) |
|-------|---------|------------|------------|
| 未着用   | 電源投入前   | 10         | 5          |
|       | 電源ON状態  | 35         |            |
|       | サーボON直立 | 40         |            |
|       | 下半身動作   | 25         |            |
|       | 上半身動作   | 12         |            |
| 着用    | 電源OFF   | 80         | 60         |
|       | 電源ON状態  | 40         | 5          |
|       | サーボON直立 | 40         |            |
|       | 下半身動作   | 25         |            |
|       | 上半身動作   | 12         |            |
|       | 電源OFF   | 140        | 60         |

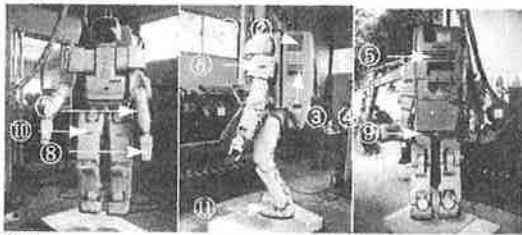


図4 温度測定箇所

貼り、対策を施した。

防水性試験は、HRP-1S と同等形状のダミーを用い、人工気象室で実施した（写真2）、試験条件を表4に示す。試験では、縫製箇所および開口部からの水の染み込み量を、生地縫製箇所裏面および開口部周囲裏面に貼ったろ紙の重量を試験前後で比較し評価した（写真3）。

試験結果を図3に示す。図から、パンツ、ベスト、フードから水分が計測された事がわかる。それぞれの要因を表5に示す。

全体では、開口部周囲や縫い目を通して水が染み込んだ箇所は無く、IP規格等級1<sup>5)</sup>を満足した。

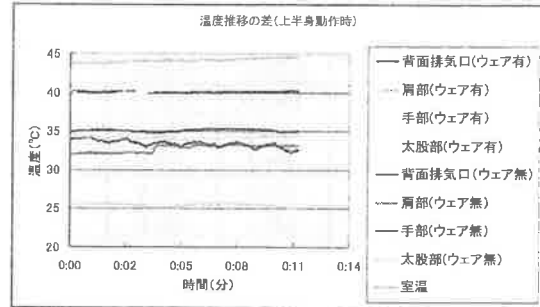


図5 放熱試験結果

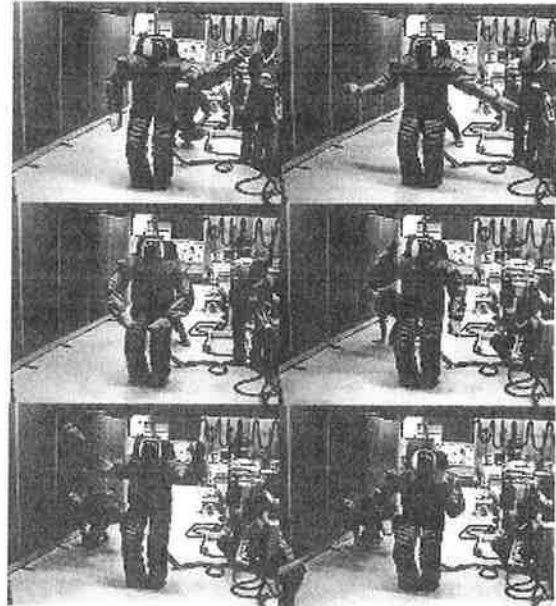


写真5 機動性確認

#### 4.1.2 放熱性

HRP-1S に熱電対を取付け、データロガーにより保護ウェア着用・未着用時の各条件での温度変化を計測し、その温度上昇の差を比較した。

温度測定は、室温 25℃の環境下表5に示す各状態で行い、高温による制御機器の熱暴走を避けるため、一般的なパソコンの使用温度条件と同等の 60℃以下を目標とした。計測は、事前の温度計測結果<sup>3)</sup>を基に、温度上昇が顕著な11箇所（図4）で行った。

試験は、電源投入後温度上昇が安定した状態で行い、クレーンでロボットを吊り上げ、下半身動作を、屈伸運動連続20回（約3分30秒）、1分間隔で5回、上半身動作を、上半身のみのプログラムによるパターン再生動作（約1分）、1分間隔で6回実施した。

試験の結果を図5に示す。ウェア着用による温度上昇は、肩部が一番大きく、22℃、次いで、手部、最も差が小さい箇所は、背面排気口であり、その差は6℃であった。計測中の最高温度

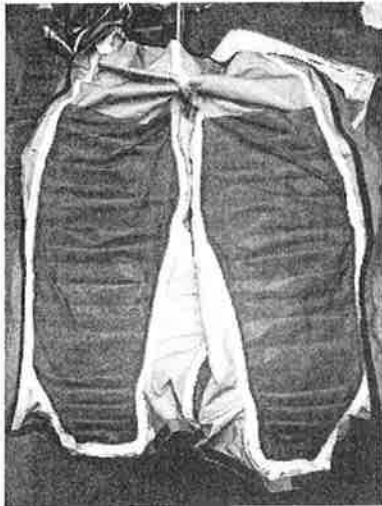


写真6 パンツ裏面挟み込み防止ネット

は44.6℃で、その箇所は上半身動作時の肩部であった。

したがって、室温 25℃の環境下においては、保護ウェア着用による温度上昇範囲は制御機器への影響を与えない範囲内であることが確認された。

#### 4.2 機動性試験

ロボットの機動に対する影響について、はじめに保護ウェアを着用させ HRP-1S の各軸を単独で動かし、生地の張りや過不足がないか確認を行った。次に、プログラミングされた複合動作で、生地の張りがいいか、ロボットの動作に影響を与えないか確認を行った(写真5)。

大きく屈曲する脚部を保護するパンツ部と、ねじりと屈曲を伴う腕部を保護するスリーブ部に蛇腹構造を採用したことから、生地の張りは発生しなかった。また、蛇腹構造の保護ウェア裏面は、隙間の開いた肘、膝、手首の関節部に生地の挟み込みを防止する伸縮ネット(写真6)を貼り付けた効果から、挟み込みも発生しなかった。

#### 4.3 電気的保護性能

保護ウェアに使用した生地は、静電気を発生しにくいものを

#### 参考文献

- 1) 横井一仁, 中嶋勝己, 他 2 名: 人間型ロボットによる産業車両の遠隔運転 (HRP 代行運転分野) 第 20 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, (2002)
- 2) K. Yokoi, F. Kanehiro, et al., A Honda Humanoid Robot Controlled by AIST Software, Proc. IEEE-RAS Int. Conf. Humanoid Robots, pp. 259-264 (2001).
- 3) 平成 13 年度 新エネルギー・産業技術総合開発機構委託 人間協調・共存型ロボットシステム研究開発 (石油精製システム合理化研究開発) (2002.3)
- 4) 東急建設(株)ホームページ, <http://const.tokyu.com/index.html>
- 5) IEC (国際電気標準会議) 規格 (IEC60529 [IECS29:1989-11])
- 6) 柳原好孝, 上野隆雄, 他 7 名: 人間型ロボットによる建設機械の作業評価実験 (HRP 代行運転分野), 第 21 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, (2003.9)
- 7) 平成 14 年度 新エネルギー・産業技術総合開発機構委託 人間協調・共存型ロボットシステム研究開発 (石油精製システム合理化研究開発) 成果報告書(2003.3)

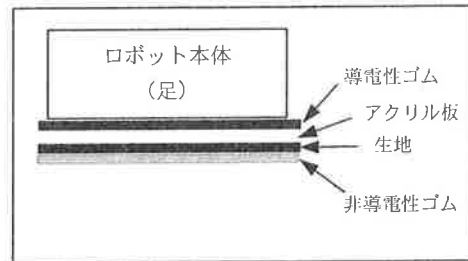


図6 ブーツ底面

表7 ゴムの電気特性

| 種類         | 体積固有抵抗 ( $\Omega/\text{cm}$ 25℃) |
|------------|----------------------------------|
| アクリルニトリルゴム | $10^2 \sim 10^3$                 |
| シリコンゴム     | $10^{14}$                        |

選定した<sup>3)</sup>。しかし、ブーツは、ロボットが外部と常に接している箇所であるため、外部からの電気的影響により制御機器を破損させる恐れがある。そこで、ブーツ内部には、導電性のアクリルシリコンゴムを使用してブーツとロボットを同電位とし、外部と接触する裏面には、非導電性のシリコンゴムを使用した(図6)。使用したゴムの体積固有抵抗を表7に示す。

#### 5. まとめ

従来、屋内のみで扱われてきた人間型ロボットは、保護ウェアを着用することにより、屋外の雨天環境下で作業を行うことに世界で初めて成功した。

これにより、人間型ロボットの活動範囲を屋内から屋外へと可能性を大きく広げた。

具体的には産業車両等代行運転分野では、遠隔操作された保護ウェア着用人間型ロボットを用い、着座姿勢運動型バックホウの代行運転を雨天時屋外において実現した<sup>6) 7)</sup>。

しかし屋外環境には、より劣悪な条件もあるため、今後はさらに、夏期における炎天下や暴風雨などに対応した保護ウェアを開発することで、人間型ロボットによる産業車両代行運転の目標である、悪環境下からの人間の解放を実現したいと考えている。

Research and Development of the Robot Protection Technology for “HRP” Vol. 3  
- Environment durable performance of the protective clothing for a Humanoid Robot -

T.Gokyyu, Y.Yanagihara, and T.Ueno

Currently, humanoid robots have been researched and developed with indoors. The humanoid robot HRP-1S is also an indoor robot. However, it is expected that a robot often uses in the open air, for example, almost all industrial vehicle are operated in the open air. We should protect the humanoid robot against the rain and dust outside.