

ヒューマノイドロボットと人間とのインタラクションにおける ロボット評価システムの開発

Development of a robot evaluation system in the interaction between a humanoid robot and a robot

○伊藤加寿子（早稲田大学理工学術院）
三輪洋靖（独立行政法人 産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究センター・
早稲田大学 先端科学・健康医療融合研究機構 生命医療工学研究所・
早稲田大学 ヒューマノイド研究所）
忽滑谷裕子 齊藤稔（早稲田大学大学院）
Massimiliano Zecca（早稲田大学 先端科学・健康医療融合研究機構 生命医療工学研究所）
高信英明（工学院大学工学部・早稲田大学 ヒューマノイド研究所）
Stefano Roccella, Maria Chiara Carrozza, Paolo Dario（ARTS Lab, Scuola Superiore Sant'Anna）
高西淳夫（早稲田大学理工学部・早稲田大学 ヒューマノイド研究所）
Kazuko ITOH, Waseda University, itoh@suou.waseda.jp
Hiroyasu MIWA, AIST, Waseda University
Yuko NUKARIYA, Minoru SAITO, Massimiliano ZECCA, Waseda University
Hideaki TAKANOBU, Kogakuin University
Stefano Roccella, Maria Chiara Carrozza, Paolo Dario, Scuola Superiore Sant'Anna
Atsuo TAKAMISHI, Waseda University

Personal robots, which are expected to become popular in the future, are required to be active in joint work and community life with humans. Such robots must have no bad physical or psychological effect on humans. The psychological effect of a robot on humans has been subjectively measured using questionnaires. However, it has not been objectively measured yet. Human emotion and the consciousness direction can be measured by physiological parameters and body motion, respectively. Therefore, the bioinstrumentation system WB-1 was developed in order to objectively measure the psychological effect of a robot on a human. It can measure physiological parameters such as respiration, heart rate, perspiration and pulse wave, and arm motion. Analyzing human stress in the interaction with a robot from electrocardiogram, the robot could generate a motion for decreasing the stress.

Key Words: Interaction, Bioinstrumentation, Physiological Parameter, Motion Capture.

1. はじめに

現在もっとも普及しているロボットである産業用ロボットを使用する場合、複雑な手順や方法でロボットの行動を指示しなければならない。しかし、近年、人間との共生や共同作業を目的とした新しいロボット、パーソナルロボットが登場し、その活躍の場は、エンターテインメントや福祉・医療といったより人間の生活空間に近い場へと広がりつつある。このようなロボットは、将来、家庭の中で人間と共に作業するようになると期待されているが、そのためには、身体的および心理的に人間に悪影響を与えないよう設計する必要がある。

ここで、ロボットが人間に与える心理的影響に着目してみると、これまで、アンケート方式による主観的計測しか行われていない。しかし、驚くと心拍が速くなる等、人間の情動の変化は生理指標に現れ、人間がこれを意識的にコントロールすることは極めて難しい[1]。また、人間は何らかの意思をもって体を動かしており、特に人間が意識を向けている方向は、人間の体の動きを計測することによって求められる。実際、食べ物を手にとる動きが見られれば、意識が食べ物にあることや、その人間が空腹であることが理解できる。そこ

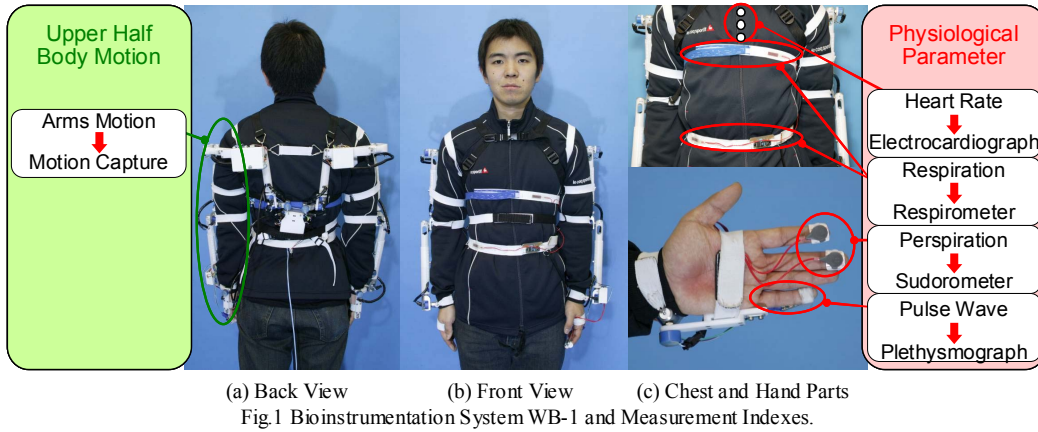
で、本研究では、人間とロボットのインタラクションにおいて、人間がロボットからどのような心理的影響を受けるか、人間の生理指標と体の動きより客観的に評価するシステムの構築を目指した。そして、これを用い、人間のストレスの計測を試みた。

2. ハードウェア

本研究では、生理指標として、被験者の動作が計測データに影響を及ぼしにくい、心電・呼吸数・発汗・脈波、体の動きとして、腕の動きに着目し、図1のような生理指標計測システムWB-1(Waseda Bioinstrumentation system No.1)を開発した。WB-1の総重量は2.2[kg]で、電池により駆動される。

2.1. 生理指標計測

ここでは、生理指標の計測方法について述べる。まず、心電は心臓の活動によって生ずる微弱な電流の変化のことであり、体表面の特定の部位に電極を貼ることによって計測することができる。本研究では、筋肉が活動したときに生じる微弱な活動電流を測定可能な筋電計を製作し、動いている際



(a) Back View (b) Front View (c) Chest and Hand Parts
Fig.1 Bioinstrumentation System WB-1 and Measurement Indexes.

に他の筋肉の影響を受けないよう、筋肉が少なく心臓に近い大胸筋の隣に縦に電極を貼ることにした。計測された波形を図2に示す。ここで、波形のピークをR波というが、閾値を設定しR-R波間隔 Δt_h を求めることにより、心拍数を求めることができた。

$$\text{心拍数} = \frac{60}{\Delta t_h} [\text{回} / \text{min}] \quad (1)$$

次に、呼吸数についてだが、呼吸法には胸筋を使って肺を伸縮させる胸式呼吸と、横隔膜を使って肺を伸縮させる腹式呼吸とがある。一般に、女性には腹式呼吸が多く、男性には腹式呼吸が多いと言われているが、常に一定の方法で呼吸をしているわけではないので、本研究では胸部と腹部の両方を用いた。測定にはまず、歪ゲージを貼りつけたゴムバンドを胸部および腹部に巻き、呼吸時の変位を取得する。すると、図3のような波形が得られるので、その山と山の間隔 Δt_r から、次のように求められる。

$$\text{呼吸数} = \frac{60}{\Delta t_r} [\text{回} / \text{min}] \quad (2)$$

発汗には、精神性発汗と温熱性発汗があり、精神性発汗は掌と足底、温熱性発汗はそれらを除いた全身の皮膚でみられる。皮膚電位活動は、精神性発汗を電氣的に測定したもので、掌や指先に微弱な電流を流すことによって、皮膚の見かけ上の抵抗変化を調べる通電法と、電流を流すことなく直接電位差を測定する電位法の2種類の測定方法がある。ここでは、指先に電極を貼り電流を流す通電法により、皮膚電位活動を測定した。図4にその波形を示す。発汗は、手の甲をさすると生じると言われている。そこで、実際に手の甲をさすったときが破線部分であるが、これにより皮膚電気抵抗が低下していることがわかる。

また、血液が心臓から大動脈に押し出されると、血管内の圧力が変化していく。その圧力変化が抹消方向に伝わっていくときの波動が脈波で、血管内の圧力変化によって示される圧脈波と、血管の容量変化によって示される容量脈波がある。ここでは、血中のヘモグロビンという物質を用いて容量脈波を測定することにした。この物質は、ある波長帯の光に強い

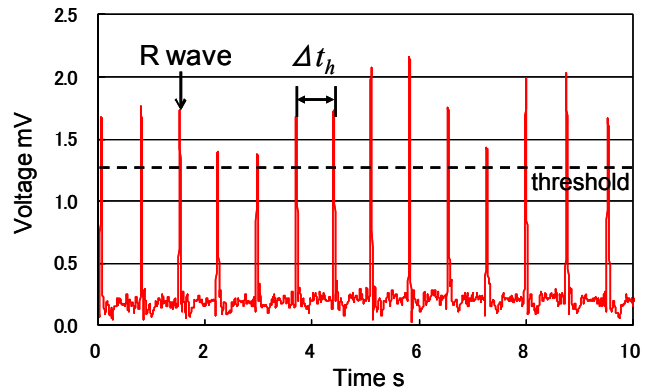


Fig.2 Electrocardiogram and Measurement Method of Heart Rate.

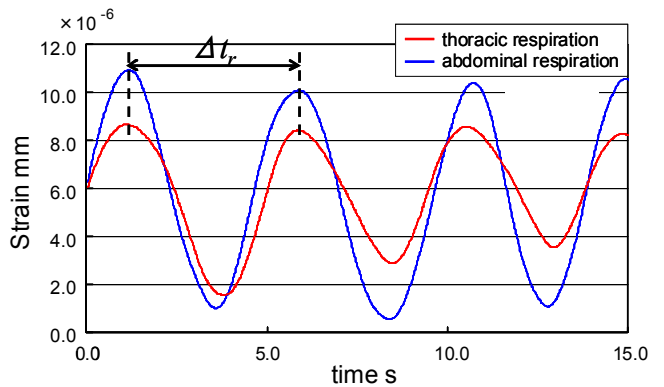


Fig.3 Thoracic and Abdominal Respirations.

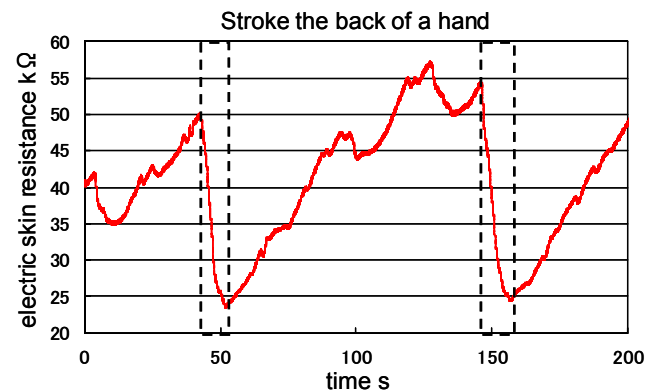


Fig.4 Perspiration measured on the fingertips.

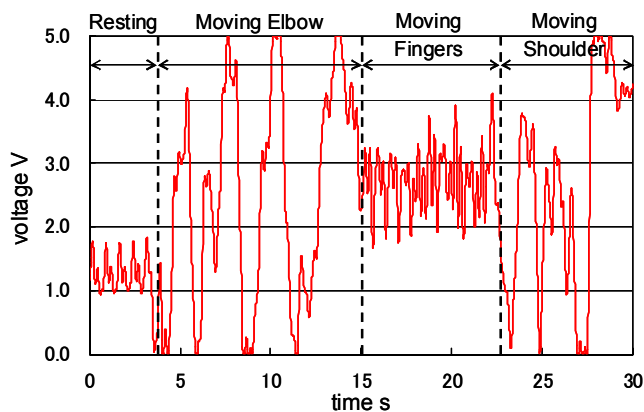


Fig.5 Pulse Wave Measured in Various Conditions.

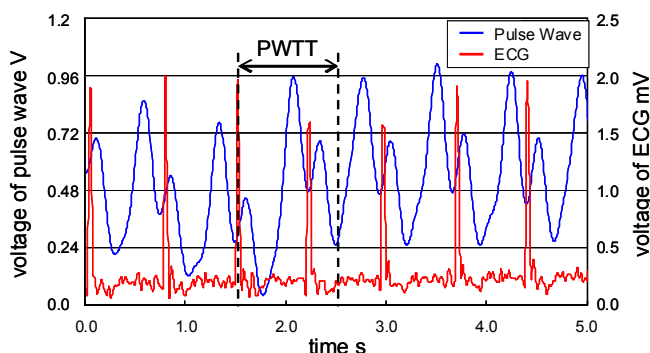


Fig.6 Measurement Method of PWTT.

吸収スペクトルを持っているため、生体にその波長帯の光を照射すると、その透過光の強度によりヘモグロビン量を求めることができる。これは、血管の容量変動に従って変化するので、容量脈波を得ることが可能である。本研究では、手の小指に LED の光を照射し、その透過光をフォト・ダイオードで測定することにより、脈波を求めたが (図 5)、安静時には安定した波形が描かれるものの、手首・肘・肩が動くと血管が圧迫され波形が乱れてしまうので、腕の動きが計測されなかったときにだけ、データとして用いることとした。

最後に、人間の血管は血圧が上昇すると硬くなり、降下すると軟らかくなるといわれている。そこで、脈波をデータとして用いることができるときは、心電と脈波から PWTT (Pulse Wave Transit Time) を求め、血圧の相対的な変化を測定することとした。PWTT とは、心電の R 波の立ち上がりから、その波が脈波として伝播し終わるまでの時間のことで (図 6)、血管が硬いと脈波の伝播速度が速くなり PWTT は小さくなるが、血管が軟らかいと脈波の伝播速度が遅くなり PWTT は大きくなる。

2.2. 腕の運動計測

本研究では、腕の動きを計測するために、安価で、使用環境に左右されない機械式モーションキャプチャを開発した。一般に、人間の腕は 7 自由度で構成されていると言われていたが [2]、肩をすくませたりすると肩の回転中心が動いてしまうため、7 自由度では表すことができない。そこで、図 7 に

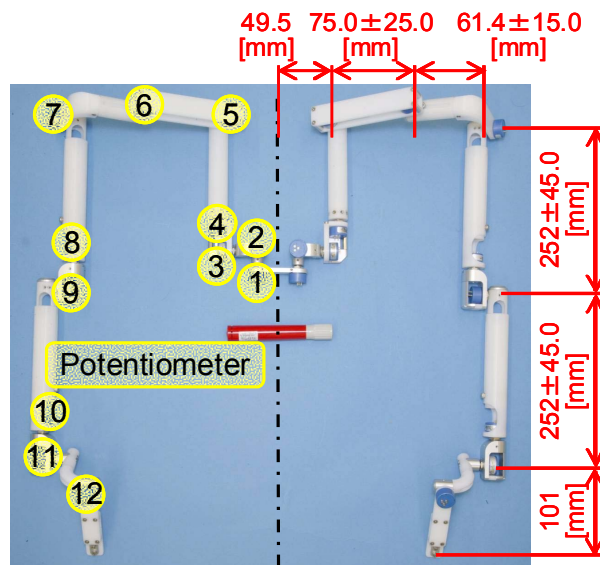


Fig.7 Mechanical Motion Capture System.

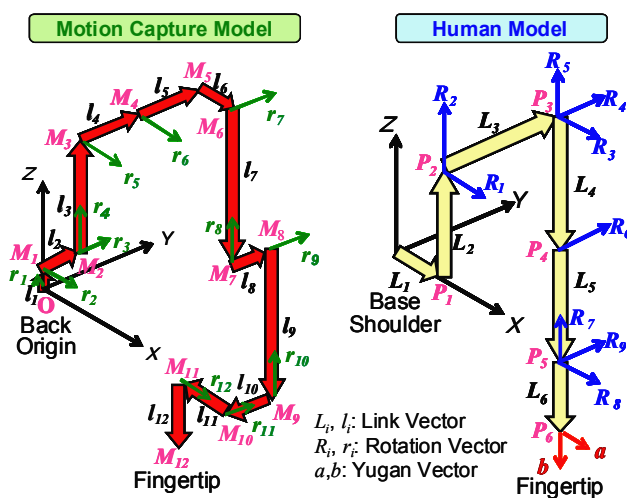


Fig.8 Conversion from Motion Capture Model to Human Model.

あるように、背中の原点から肩までが 6 自由度、肩から手首までが 6 自由度の片腕計 12 自由度とし、各関節にポテンシオメータを配置した。そして、有顔ベクトル法 [3] を使い、片腕 7 自由度の人間の剛体リンクモデル、および片腕 12 自由度のモーションキャプチャの剛体リンクモデルを定義し (図 8)、ポテンシオメータのデータから人間の腕の動きを算出した。

3. 評価実験

3.1. モーションキャプチャの評価実験

まず、開発した機械式モーションキャプチャの評価実験を行った。ここでは、図 9 のように原点を固定し、そこから一定距離の 683 [mm] 離れた先にある 100 [mm] 間隔の格子状の点をポイントしていく。このときの、実際の点の座標と計測

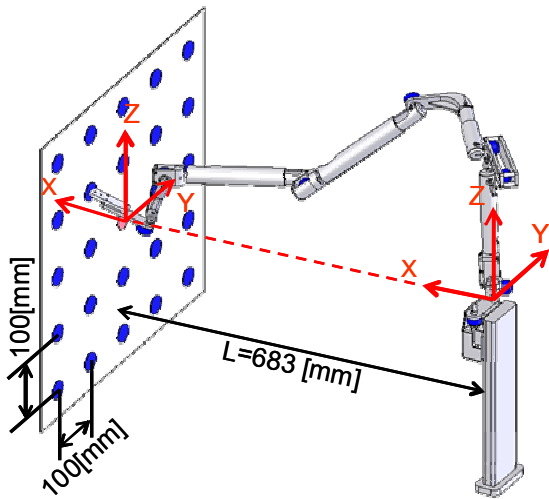


Fig.9 Experimental System of Motion Capture.

Table 1 Experimental Results of Motion Capture System

	Average Error [mm]	Maximum Error [mm]
X	26.5	53.3
Y	9.7	42.0
Z	16.9	30.0

された手先位置との平均誤差および最大誤差を表 1 に示す。平均誤差は X 方向に 26[mm], Y 方向に 10[mm], Z 方向に 17[mm]で、人間の意識の方向を求めるためには充分であると考えられる。

3.2. ロボットに対するストレス評価実験

ここでは、ロボットとインタラクションしている人間の心電図よりストレスを計測し、ロボットの客観的評価を試みた。まず、心電図より R-R 間隔 Δt_h を取得し、その時間変化を高速フーリエ変換 (FFT) にて周波数解析すると、0.1[Hz]付近と 0.3[Hz]付近にピークが現れる。0.1[Hz]付近のピークは MWSA (血圧性変動) といい、交感神経および副交感神経の影響を受け、緊張すると大きくなる。一方、0.3[Hz]付近のピークは RSA (呼吸性変動) といい、副交感神経のみの影響を受け、緊張すると小さくなる。従って、MWSA/RSA を求めることにより、人間のストレスを計測することが可能である。本実験では、情動表出ヒューマノイドロボット WE-4RII (Waseda Eye No.4 Refined II) [4][5]を用いて、人間が WE-4RII に接しているときにストレスが上昇した場合、ロボットが握手を求めることによって人間のストレスを減少させることができるかどうかを検証した。その結果、図 10 に見られるように、はじめロボットは被験者に提示されていた赤いボールを追従していたが、被験者のストレスが上昇し、ある閾値を超えると、握手をすることによってストレスを減少させられることが確認できた。

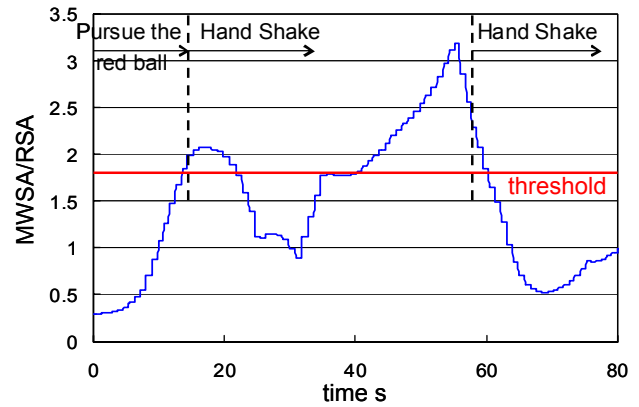


Fig.10 Experimental Result of Human Stress

4. 結論と今後の展望

本稿では、ロボットが人間に与える心理的影響を客観的に評価する生理指標計測システム WB-1 (Waseda Bioinstrumentation system no.1) を開発した。これは、心電・呼吸数・発汗・脈波、腕の動きを計測することが可能で、これを用いることにより、ロボットとインタラクションをしている人間のストレスを計測することに成功した。

今後は、さらにロボットの評価を行うとともに、労働作業の評価、ロボットの遠隔操作、ロボットパターン生成などにも応用が可能であると考えられる。

謝 辞

本研究は早稲田大学ヒューマノイド研究所で行われた。本研究所のヒューマノイドコンソーシアムへの参加企業に対して感謝の意を表す。また、本研究はヒューマノイド国際研究所 ROBOCASA にて行われた。イタリア外務省文化交流振興局の研究・振興産業応用事業に感謝する。さらに、本研究の一部は、岐阜県からの委託である WABOT-HOUSE プロジェクトにより行われた。ここに謝意を表す。最後に、研究にご協力頂いた Scuola Superiore Sant'Anna の ARTS Lab, (株) NTT ドコモ, ソリッドワークス・ジャパン(株), 早稲田大学理工学総合研究センター, 早稲田大学文学部木村裕教授, 長野祐一郎先生, 吉田菜穂子先生に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- [1] 日本 ME 学会, “医用電子生体工学 ME 事典”, コロナ社, 1978.
- [2] I.A.KAPANDJI/荻島秀男 監訳/嶋田智明 訳, “カパンティ 関節の生理学 I 上肢”, 医歯薬出版株式会社, 1986.
- [3] 広瀬茂男, “ロボット工学”, 裳華房, 2003.
- [4] Hiroyasu Miwa, et al., “Effective Emotional Expressions with Emotion Expression Humanoid Robot WE-4RII”, Proceedings of IROS2004, pp.2203-2208, 2004.
- [5] Stefano Roccella, et al., “Design, fabrication and preliminary results of a novel anthropomorphic hand for humanoid robotics: RCH-1”, Proceeding of IROS2004, pp.266-271, 2004.