

付 録

- A.1 生理指標計測システム WB-1
- A.2 動作計測
- A.3 生理指標計測

A.1 生理指標計測システム WB-1

Fig.7.4 に示した心電は、生理指標計測システム WB-1 (Waseda Bioinstrumentation system No.1) にて計測した。

近年、人間との共生や共同作業を目的としたパーソナルロボットが盛んに研究されており、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、これまでは、アンケート方式による主観的計測しか行われてこなかった。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[88]。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、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作より客観的に計測することが可能な生理指標計測システム WB-1 を開発した。Fig.A.1 に概要を示す。これは、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、体の動作として、腕の動作を計測することができ、総重量は 2.2[kg]である。

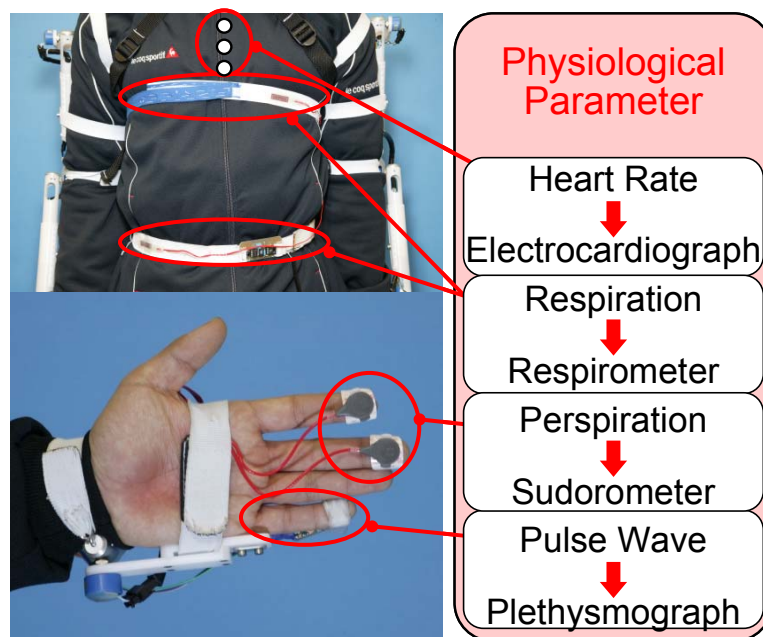
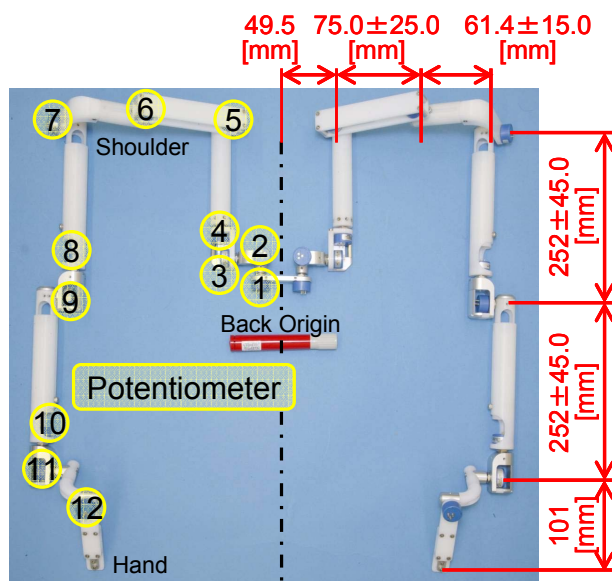


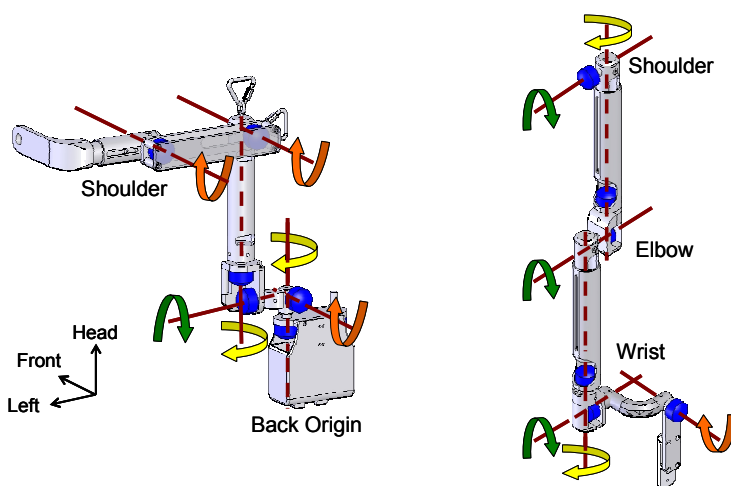
Fig.A.1 Overview of Bioinstrumentation System WB-1

A.2 動作計測

腕の動作を計測するために、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[89], 肩をすくませたりうな垂れ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、Fig.A.2のように背中から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。



(a) Whole View



(b) From Back Origin to Shoulder

(c) From shoulder to Wrist

Fig.A.2 Movement of Human Shoulder

そして、有顔ベクトル法[90]を用い、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 (Fig.A.3), モーションキャプチャの各座標から順運動学により人間の各関節位置を求め、さらに逆運動学により人間の各関節角度を算出した. Fig.A.4 に WB-1 を用いた腕の動作計測の様子を示す. 下部にあるディスプレイには、モーションキャプチャのデータから算出された人間の腕の動作が表示されている. これより、WB-1 を用いることによって、黄色の立方体を投げたり受け取ったりする動作が計測できていることがわかる.

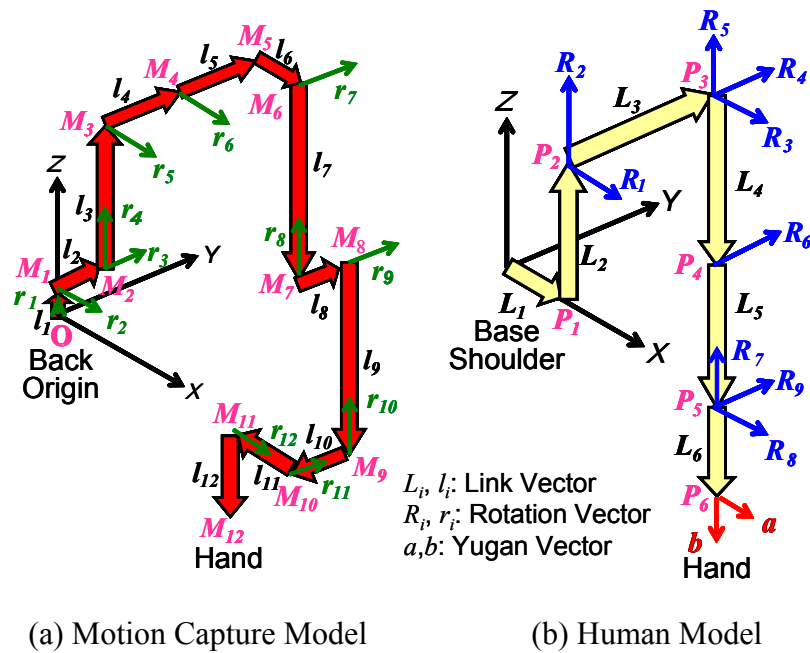


Fig.A.3 Conversion from Motion Capture Model to Human Model



Fig.A.4 Measurement of Arms Motion.

A.3 生理指標計測

A.3.1 心電

次に、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をいい、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。ここでは、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 Fig.A.5 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 HR を求めることができる。

$$HR = \frac{60}{\Delta t_h} \text{ [bmp]} \quad (\text{A.1})$$

A.3.2 呼吸

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、女性には胸式呼吸が多く、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

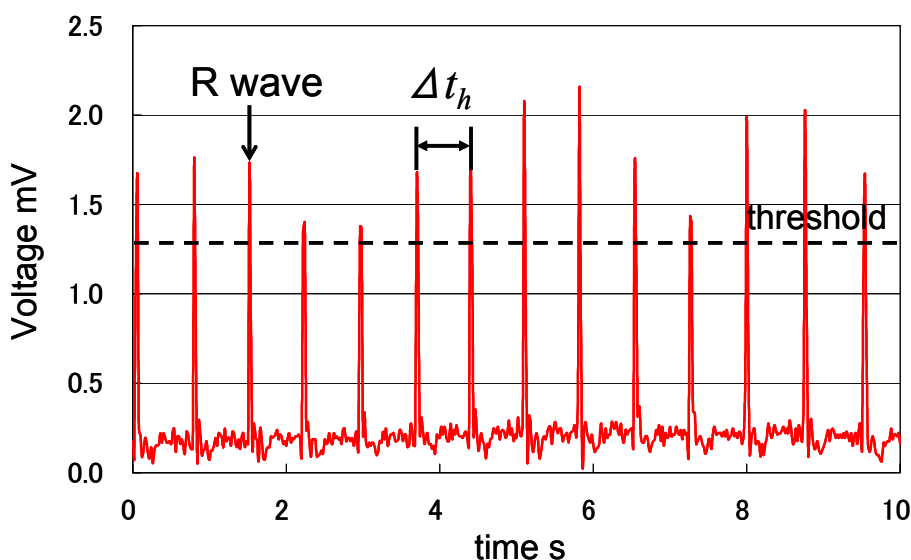


Fig.A.5 Measured ECG and Measurement Method of Heart Rate

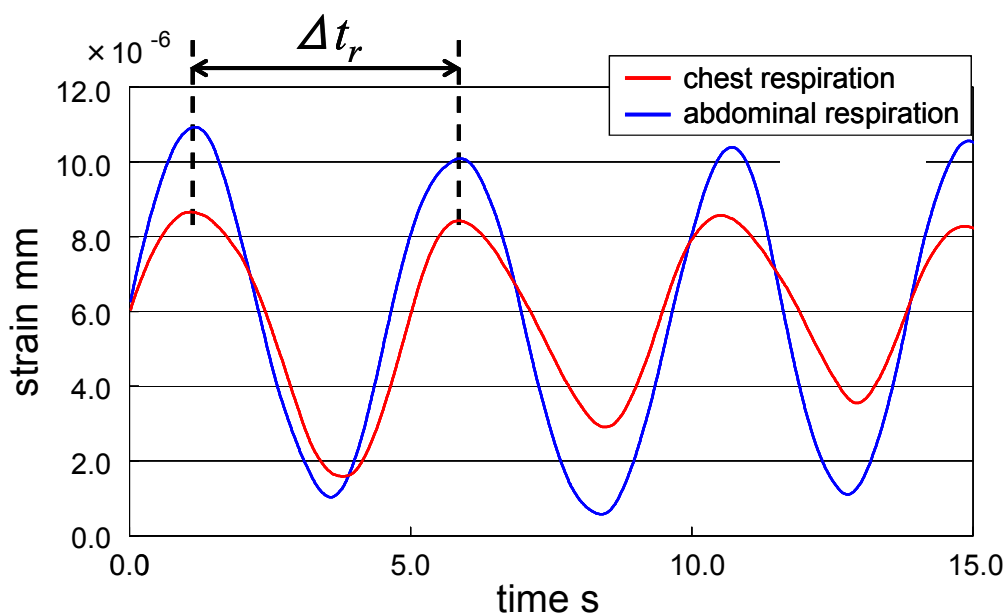


Fig.A.6 Thoracic and Abdominal Respirations

部と腹部の両方において測定することとした。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、Fig.A.6 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、式(A.2)により呼吸数を求める。

$$RR = \frac{60}{\Delta t_r} \text{ [bmp]} \quad (\text{A.2})$$

A.3.3 発汗

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見られる。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。Fig.A.7 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。

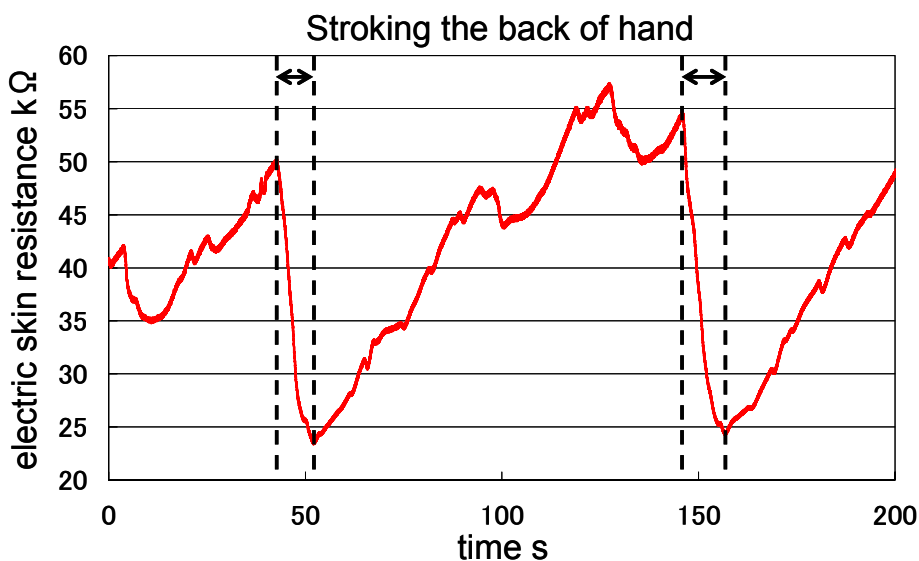


Fig.A.7 Perspiration Measured on the Fingertips

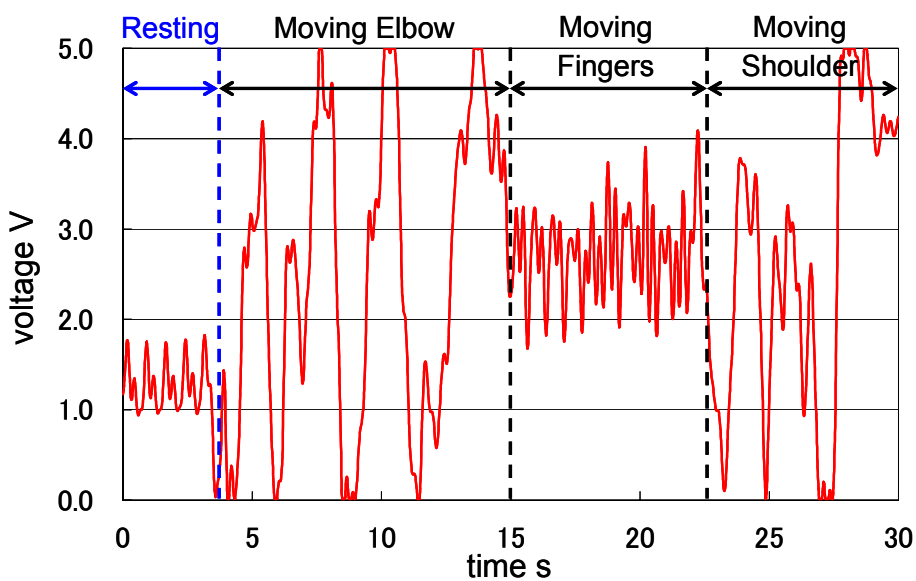


Fig.A.8 Pulse Wave Measured in Various Conditions

A.3.3 脈波

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。その圧力変化が末梢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。従って、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 (Fig.A.8)、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。