

感性情報を考慮した動作制御システムの構築に関する基礎的検討

A Basic Study on the Construction of a Motion Control System

Including Kansei-Information Processing

○最上 秀*, 朝香佑太*, 松尾健史*, 三浦 武*, 田島克文*

○Shu Mogami*, Yuta Asaka*, Kenshi Matsuo*, Takeshi Miura*, Katsubumi Tajima*

*秋田大学

*Akita University

キーワード：ロボット動作(robot motion), 感性情報 (Kansei information)

連絡先：〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1 秋田大学大学院 工学資源学研究科
三浦 武, Tel.: (018)889-2329, Fax.: (018)837-0406, E-mail: miura@ipc.akita-u.ac.jp

1. はじめに

近年, ロボットは, 産業分野に留まらず, 様々な分野への応用がなされてきており, それは人と接する分野にも及んでいる. 文献 1) で述べられているように, ロボットというのは, 当初は事業の高効率化や, 人間が行うには危険な作業を代行するために生み出されたものであった. しかし, 現在においては, 開発当初の目的とは全く異なり, 人にできない作業というよりは, むしろ人と同じように作業することが求められ始めている.

そのため, 文献 1) で述べられている「優しさ」, 言い換えると, 人に「快さ」や「安心」といった印象を抱かせることが, 人と接する分野におけるロボット技術の重要な

課題となっている.

上記のような課題を解決するため, 実際にロボットを動作させた際の感情分析の実験が行われ始めている²⁾. しかし, ロボット動作の根本となる単純動作に焦点を絞った感情分析はほとんど行われていない.

そこで, 本研究では, 感性情報を考慮した動作制御システムの構築を目的として, まず, 単純動作に対して人がどのような感情を抱くのかを明らかにし, 次に, 得られた結果を用いて, 希望する感情を抱かせるような動作を実現するシステムを構築するための基礎的な検討を行う.

具体的には, 単関節のアームシステムを対象とし, まず, 単純な繰り返し動作の様子を視覚的刺激として被験者に与える実験を行い, 単純動作に対する感情因子を抽出

する．次に，抽出された感情の再現に関して，アームによって物体を移動させるシステムを用い，その様子を視覚的刺激として被験者に与える実験を行って，より実際の動作に近い動作を与えた場合における課題を検討する．

2. 実験全体の構成

第 1 章で述べたように，本研究では単関節のアームを用いた動作制御システムを用いて実験を行う．ここでは，その動作を被験者が決められた時間だけ観察するという形で実験が実施される．実験は，単純動作を対象とした第 1 段階のものと，実動作により近い形の動きで物体（本研究では紙コップ）を移動させる第 2 段階のものに分けられる（これ以降では，前者を反復動作実験，後者を運搬動作実験と呼ぶこととする）．

このとき使用されるアームは，人の腕における前腕部および手の部分を模して作成した．また，アームの色としては感情に影響をおよぼさないようにすることを考慮し，無彩色でかつ明度も中程度である N5（灰色）を用いている．

反復動作実験では，動作に対する感情を確認するために，種々の概念の「意味」を定量的に測定する Semantic differential technique(SD 法)³⁾を用いて実験を行い，得られた値を因子分析⁴⁾することで，単純動作に対する感情因子を抽出する．

第 1 章で述べたように，運搬動作実験では，反復動作実験で抽出された感情を実現するため，より実動作に近い動作である物体を移動させる動作に対する感情を，SD 法を用いた実験で取得し，得られた値と実験

において用いられた種々の動作のそれぞれを特徴づける動作パラメータとの関係から，希望する感情を再現する動作制御が可能かどうかを検討する．

以下では，第 3 章で反復動作実験について，第 4 章で運搬動作実験について述べる．

3. 反復動作実験

3.1 実験条件

反復動作実験に用いた実験装置を図 1 に示す．この実験では，図 1 に示すような形で肘の屈曲・伸展を生成している．ここで，実際の動作は基本ステップ角 1.8deg のステップモータによって生成される．アームの長さは 315mm となっており平均的な人の前腕部および手の部分の長さより若干短くなっている．また，動作角度は 50.4~180deg の範囲としている．また，屈曲・伸展を交互に繰り返す動作を生成している．

実験において用いたサンプル動作の詳細を図 2 に示す．具体的には，三角波状および台形波状の角度変化波形 ((a)および(b)) と三角波状，台形波状および正弦波状 ((c), (d)および(e)) の速度変化波形を用いた．図 2 において， T は屈曲および伸展の 1 周期に要する時間， θ_m は回転角度， V_m は最大速度をそれぞれ示している．

ここで，サンプル動作のパラメータを表 1 に示す．(a)および(b)では θ_m および T を段階的に変化させて動作サンプルを生成した．また，(c)，(d)および(e)は V_m および T を段階的に変化させて動作サンプルを生成した．最終的に動作サンプルは 87 個となる．

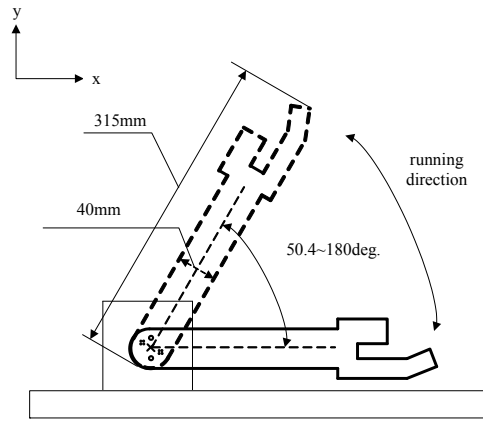


図1 反復動作実験の実験装置

Fig. 1 Experimental system for the reciprocal-motion experiment.

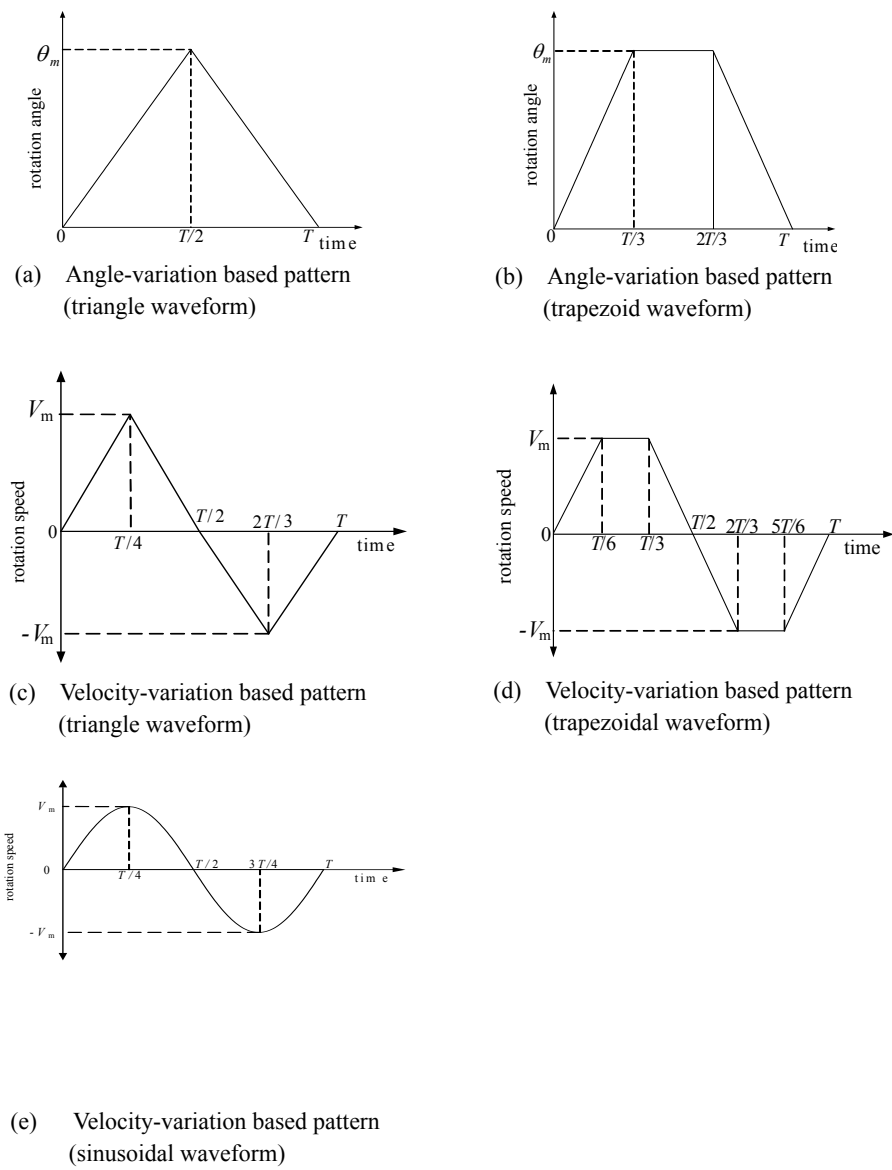


図2 サンプル動作の詳細

Fig. 2 The details of sample movements.

表 1 サンプル動作のパラメータ

Table 1 The parameters of sample movements.

(a) Angle-variation based pattern (triangle waveform)			(b) Angle-variation based pattern (trapezoid waveform)		
θ_m [deg.]	T [s]		θ_m [deg.]	T [s]	
52.2	0.8	1.2	54	1.2	1.8
54	0.8	2.4	55.8	1.2	3.6
106.2	1.6	2.4	108	2.4	3.6
108	1.2	4.8	109.8	1.8	7.2
162	1.6	3.6	163.8	2.4	5.4
162	2.4	7.2	163.8	3.6	10.8

(c) Velocity-variation based pattern (triangle waveform)		(d) Velocity-variation based pattern (trapezoidal waveform)		(e) Velocity-variation based pattern (sinusoidal waveform)	
V_m [min ⁻¹]	T [s]	V_m [min ⁻¹]	T [s]	V_m [min ⁻¹]	T [s]
105.0	0.40	84.00	0.48	150.0	0.30
141.7	0.54	105.0	0.60	150.0	0.40
178.5	0.68	126.0	0.72	150.0	0.50
90.00	0.48	67.50	0.54	120.0	0.40
120.0	0.64	86.25	0.69	120.0	0.56
150.0	0.80	105.0	0.84	120.0	0.72
67.50	0.96	54.00	0.72	90.00	0.40
92.25	0.82	67.50	0.90	90.00	0.70
117.0	1.04	81.00	1.08	90.00	1.00
40.50	1.08	30.00	1.20	60.00	0.48
54.00	14.4	39.00	1.56	60.00	0.96
67.50	1.80	48.00	1.92	60.00	1.44
29.25	1.56	22.50	1.80	30.00	1.00
38.25	2.04	28.12	2.25	30.00	2.00
47.25	2.52	33.75	2.70	30.00	3.00
13.50	3.60	9.000	3.60	15.00	2.40
17.25	4.60	12.00	4.80	15.00	4.00
21.00	5.60	15.00	6.00	15.00	5.60
5.700	7.60	4.500	9.00	7.500	3.20
7.500	10.0	5.700	11.4	7.500	6.20
9.300	12.4	6.900	13.8	7.500	9.20

SD 法による実験で用いる形容詞対群としては、人に接する分野で利用されるロボットに求められ得る感情を考慮して、10 尺度用意した。今回の実験では、各サンプル

に対して図 3 に示すような 7 件法評定の質問紙の該当部に○を記入してもらう。被験者には、屈曲・伸展を 1 周期とし、1 サンプルあたり 10 周期分の動作を、ランダムな



図 3 反復動作実験に用いた尺度

Fig. 3 The scales used for the reciprocal-motion experiment.



図 4 反復動作実験装置の全体図

Fig. 4 The general view of the reciprocal-movement experiment.

順序で 29 サンプル観察してもらう。実験には被験者として 20 歳代の男性 11 名に参加してもらっている。よって、1 サンプルあたり 3 ~ 4 人分の評定値が得られることとなる。3 波長形昼白色の蛍光灯を補助照明に用いている北窓の部屋を使用して、図 4 に示すような配置で実験を行う。なお、実験は被験者同士の影響を避けるため個別に

表 2 因子分析結果

Table 2 The result of factor analysis.

尺度	第1 因子負荷量	第2 因子負荷量	第3 因子負荷量	共通性
力強い⇔弱い	0.9525	0.01828	0.02444	0.9302
速い⇔遅い	0.9454	0.05863	0.1800	0.9399
派手な⇔地味な	0.9283	-0.02170	0.2326	0.9442
緩やか⇔激しい	-0.8688	0.3484	-0.1389	0.9107
なめらかな⇔ぎこちない	0.8588	0.3838	0.2155	0.9343
心地よい⇔不快な	-0.06972	0.9052	0.2092	0.8749
安心する⇔危険な	-0.3364	0.8784	-0.1104	0.9027
繊細な⇔粗い	0.02444	0.8155	0.1930	0.8203
人間的な⇔機械的な	0.1223	0.7307	0.4780	0.9861
興味がわく⇔興味がわかない	0.3351	0.04222	0.6684	0.9868
寄与率	49.54%	32.43%	7.371%	
因子名	速さ	快さ	興味	

行われている。

3.2 実験結果

ここでは、第 2 章で述べたように、実験で得られたデータを因子分析を行って感情因子を抽出する。本研究では評定値の個人差の影響は評価対象としていないので、因子分析には各サンプルに対する被験者全員の平均評定値を用いる。

また、因子分析には主因子法³⁾および基準バリマックス法⁴⁾を用いた。表 2 にその結果を示す。

まず、第 1 因子負荷量を見ると、「速い⇔遅い」「緩やか⇔激しい」といった、動作速度に関わる形容詞対の因子負荷量が高いことから、本研究では第 1 因子を「速さ (Speed)」の因子と命名した。

次に、第 2 因子負荷量を見ると、「心地よい⇔不快な」や「安心する⇔危険な」といった、人がその動作を見て気持ち良く感じるか否かに関係している形容詞対の因子負荷量が高いことから、本研究では第 2 因子を「快さ (Pleasantness)」と命名した。

最後に、第 3 因子負荷量を見ると、「興味がわく⇔興味がわかない」の形容詞対のみ因子負荷量が高いことから、第 3 因子を「興

味 (Interest)」と命名した。

以上のことから、単純動作に対して人は「速さ (Speed)」、「快さ (Pleasantness)」、「興味 (Interest)」の3つの感情を抱くことが推測される。

4. 運搬動作実験

4.1 実験条件

次に、反復動作実験の結果から得られた感情因子を用いて、運搬動作実験を行う。実験装置を図5に示す。ここで、動作制御は反復動作実験と同様に基本ステップ角 1.8deg のステッピングモータを用いて行う。図5に示されるように、運搬動作実験では動作角度を $\theta_r = 61.2\text{deg}$ としている。ここでは、直線移動を想定し、アームの先端が描く弧と、始点と終点を結ぶ弦の長さの差が5%程度となるように考慮してこの角度を決定した。

実験時には、アームの先端部分に白色の紙コップ（飲み口部分で直径 65mm）を持たせ、コップを右から左へ移動させる動作を生成している。紙コップを用いた理由としては、日常生活の中で手にする機会が多く、また動作制御を行うにあたり、アームに持たせる物体は軽量のほうが好ましかったことが挙げられる。

ここでは、移動中の速度変化として図6のような速度波形を与えた。これらの動作波形は、時刻 $T/2$ (T : 動作全体の時間) で加速度の符号が切り替わる等加速度運動となっている。具体的には次式のようになる。

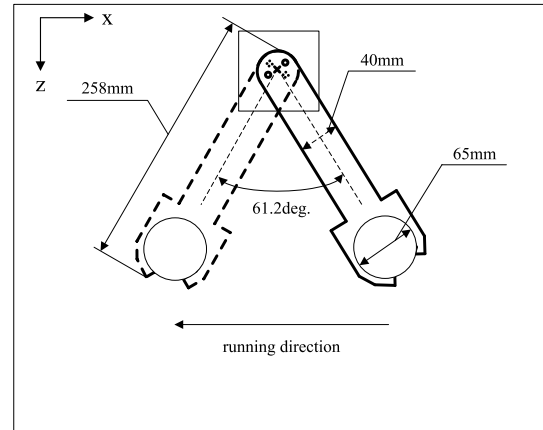


図5 運搬動作実験の実験装置

Fig. 5 Experimental system for the transportation-motion experiment.

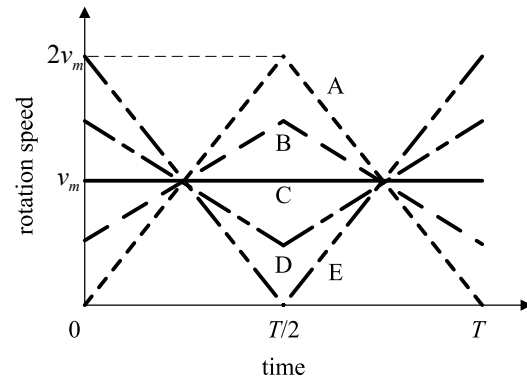


図6 サンプル動作における速度波形

Fig. 6 Waveforms in sample movements.

$$v(t) = \begin{cases} a(t - \frac{T}{4}) + v_m & (0 \leq t < \frac{T}{2}) \\ a(\frac{3}{4}T - t) + v_m & (\frac{T}{2} \leq t \leq T) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 a は加速度、 $v_m = \theta_r / T$ は定速駆動時($a = 0$)の速度である。

図6において、最大速度が $2v_m$ となる波形のうち、 $0 \sim T/2$ で正の加速度をとるものをA、負の加速度をとるものをEとしている。また、動作時間 T 内で加速度が0であるものをCとし、AおよびCの中間の加速度をとるものをB、EおよびCの中間の加速度

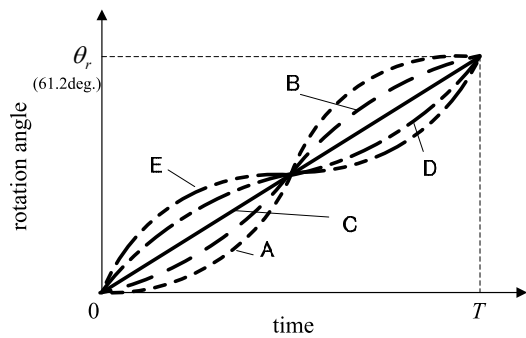


図 7 角度波形

Fig. 7 Waveforms of angle variation.

表 3 サンプル動作のパラメータ

Table 3 The parameters of sample movements.

$T[s]$	$a[\text{deg/s}^2]$				
	A	B	C	D	E
0.5	979.2	489.6	0	-489.6	-979.2
1.0	244.8	122.4	0	-122.4	-244.8
1.5	108.8	54.40	0	-54.40	-108.8
2.0	61.20	30.60	0	-30.60	-61.20
2.5	39.17	19.58	0	-19.58	-39.17
3.0	27.20	13.60	0	-13.60	-27.20
3.5	19.99	9.992	0	-9.992	-19.99
4.0	15.30	7.650	0	-7.650	-15.30

をとるものを D としている。

上記の速度変化により得られる角度変化を図 7 に示す。A の動きとしては、緩やかに始動して徐々に加速し、時刻 $T/2$ で最大速度をとったのち徐々に減速し、緩やかに停止する動作となる。逆に E では、急速に始動して徐々に減速し、時刻 $T/2$ で速度が 0 になったのち徐々に加速し、急速に停止する動作となる。また、C は加速度 0 の定速動作である。さらに、B は A および C の中間の動作であり、D は E および C の中間の

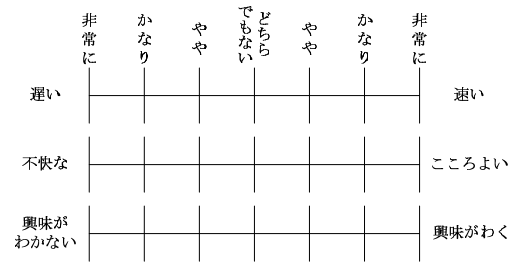


図 8 動作感情の尺度

Fig. 8 The scales used for the transportation movement experiment.



図 9 運搬動作実験装置の全体図

Fig. 9 The general view of the transportation movement experiment.

動作である。

表 3 に各サンプル波形の動作パラメータを示す。ここでは、動作時間 T を 0.5s から 4.0s まで 0.5 きざみに 8 通り用意し、動作時間ごとに図 6 に示した 5 種の加速度でサンプル動作を生成する。最終的に、動作サンプルは 40 個となる。

反復動作実験と同様に、運搬動作実験でも SD 法を用いた実験を行う。SD 法に用いる形容詞対は、反復動作実験の結果得られた、「速さ」、「快さ」、「興味」の感情因子に対応したものを使う。

実験では、各サンプルに対して、図 8 に

示すような 7 件法評定の質問紙の該当部に ○ を記入してもらう。被験者には、運搬動作を 1 サンプルにつき 1 回、ランダムな順序で 20 サンプルを観察してもらう。なお、希望があればもう 1 度だけ動作を見せる。実験には被験者として、20 歳代の男性 8 名に参加してもらっている。よって、1 サンプルあたり 4 人分の評定値が得られることとなる。ここで、反復動作実験と運搬動作実験の被験者に重なりはない。また、実験には反復動作実験時と同じ部屋を使用しており、図 9 に示すような配置で実験を行った。なお、実験は被験者同士の影響を避けるため個別に行われている。

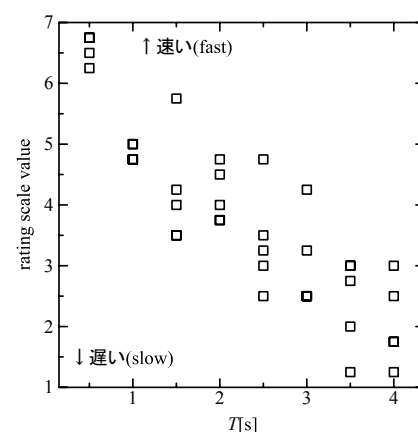
4.2 実験結果

ここでは、SD 法によって得られた評定値と、各動作サンプルを特徴づけるパラメータである動作時間 T および加速度 a との関係を検討する。

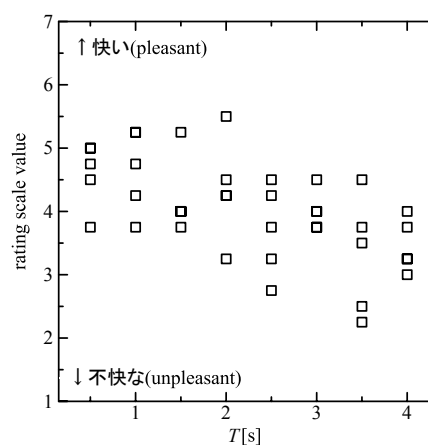
はじめに、各感情因子の評定値と動作時間 T の関係を見る。図 10 に、評定値と動作時間 T の関係を示す。縦軸は、各々の感情因子に対する被験者の平均評定値となっている。

すべての因子において、動作時間 T が長くなると、評定値が小さくなる傾向がみられたため、相関係数の算出および検定⁶⁾を行った。それぞれの結果をまとめたものを表 4 に示す。結果として、すべての因子に関して、有意水準 1% および 5% で有意な負の相関がみられた。

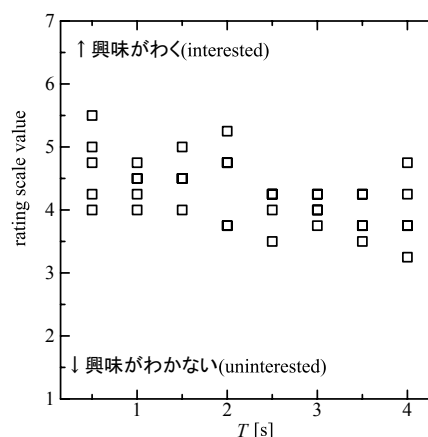
次に、各感情因子の評定値と、加速度 a の関係を見る。図 11 に、評定値の分布を示す。ここでは、全体の傾向を把握しやすく



(a) Speed



(b) Pleasantness



(c) Interest

図 10 評定値と動作時間の関係

Fig. 10 Relationship between rating scale value and operating time.

表 4 相関係数の検定

Table 4 Test of correlation coefficient.

Speed	$r = -0.885$	$t_0 = -11.73$	$ t_0 > t$	○
Pleasantness	$r = -0.585$	$t_0 = -4.447$	$ t_0 > t$	○
Interest	$r = -0.532$	$t_0 = -3.870$	$ t_0 > t$	○

$t(n-2, 0.05) = 2.024$ (significance level: 5%)
 $t(n-2, 0.05) = 2.712$ (significance level: 1%)
 $t_0 = r\sqrt{n-2} / \sqrt{1-r^2}$
 n : number of samples ($n=40$), r : correlation coefficient

するため、横方向の水平軸を加速度 a の平方根としている。また、図中の曲線は、動作時間 T ごとの加速度－評価値面における 2 次の近似曲線である。

図 11 を見ると、すべての因子において、動作時間 T が増加するにつれ近似曲線が規則的に変化している。具体的には、速さについては、 T が小さい領域では直線的であるが、 T が増加すると下に凸→直線→上に凸と変化している。快さに関しては上に凸→直線→下に凸、興味は直線→下に凸→直線→上に凸のように変化している。また、その形は $a = 0$ を中心に、左右対称に近いものもあれば、正負どちらか一方の値が突出しているものもある。

4.3 考察

ここでは、上記の結果から感情に則した動作制御が可能であるかどうかの検討を行う。

まず、動作時間 T について考察する。図 10 および表 4 より、すべての因子は動作時間 T に対して負の相関を持っており、動作時間 T が長くなると評価値が小さくなることが分かった。これは、「速さ」に関しては、動作時間 T が長くなるほど最高速度が低く

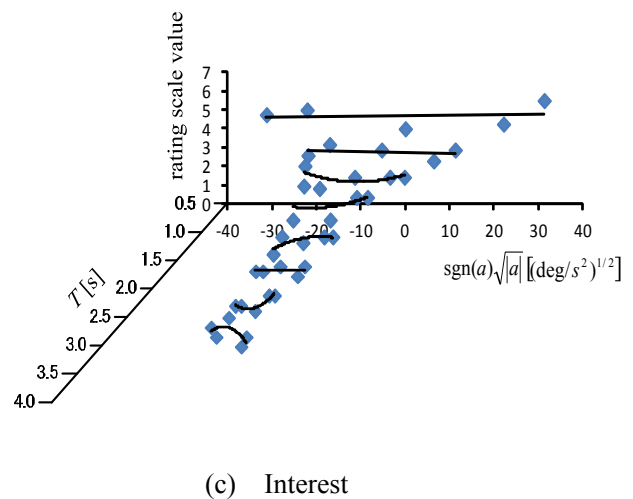
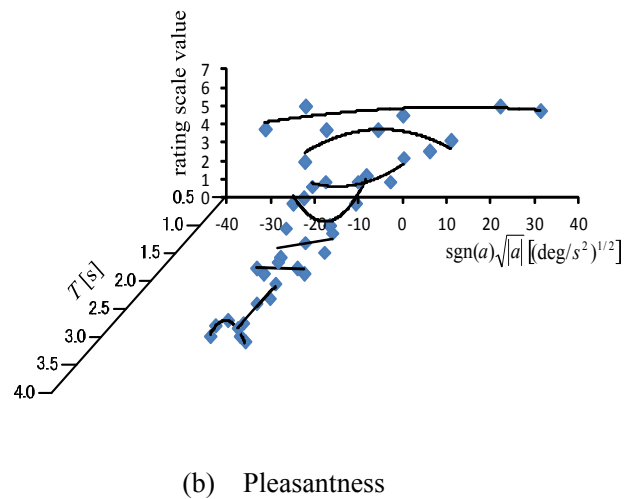
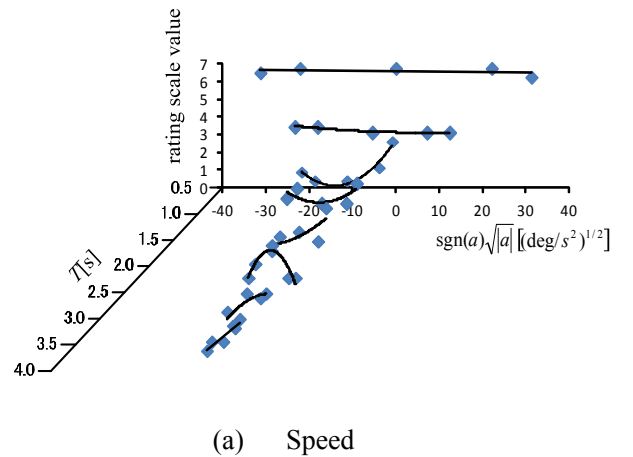


図 11 評価値と加速度の関係

Fig. 11 Relationship between rating scale value and acceleration.

なるためだと考えられる。また、「快さ」と「興味」に関しては、動作時間が長くなるにつれ、最大速度が遅くなり、動作がぎこちなくなるためだと考えられる。

すべての因子に関して、それらの評定値は動作時間 T との間に線形な相関関係が見られることから、目標となる評定値を設定した場合に、それを実現する T 値を与える手続きを比較的容易に構成できると考えられる。

次に、加速度 a について考察する。図 11 に示したように、すべての因子において、動作時間の変化に応じて近似曲線が規則的に変化しているように見える。また、加速度の正負に対して非対称な傾向も若干ではあるが見られる。前述したように、動作時間はそれぞれの感情の評定値から決定できる可能性があることが示されている。これを利用して、先に動作時間を決めておけば、図 11 中の加速度－評定値面上において、与えられた評定値から加速度を決定することが可能になると考えられる。しかし、近似曲線の形によっては、候補となる点が 2 つとなる場合もあり得るので、その場合にどのように対処するかが今後の課題となる。

5. おわりに

本研究では、単関節のアームを用いた動作制御システムを用いて実験を行い、単純動作に対して人が抱く感情を抽出し、また、抽出した感情の再現が可能であるかを検討した。結果として、次のようなことがわかった。

- (1) 単純動作に対して、人は「速さ」、「快さ」および「興味」の感情を抱く。

- (2) 物体を移動させるような動作に関しては、人に与えたい感情値から動作時間を決定することが可能であると考えられる。

- (3) 先に動作時間が定まれば、加速度も同時に決定できる可能性が示された。

以上のことから、「速さ」、「快さ」、「興味」の感情の再現に関して、物体を移動させるような動作に関しては、希望する感情を抱かせるような動作を実現するシステムの構築ができる可能性が示された。

参考文献

- 1) 加藤一郎:21 世紀のロボット, 88/114, 工業調査会 (1993)
- 2) 村川賀彦, 十時 伸: サービスロボットによる「ふるまい」の評価－商業施設での試験運用－, 信学技法, **HCS2006-54**, 31/36(2006)
- 3) C. E. Osgood, G. J. Suci, and P. H. Tannenbaum : The Measurement of Meaning, University of Illinois Press Urbana, 1/30 (1957)
- 4) 芝 祐順: 因子分析法, 105/126, 東京大学出版会 (1979)
- 5) 管 民郎: 初心者がらくらく読める多変量解析の実践 上, 161/207, 現代数学社 (1993)
- 6) 小林龍一: 相関・回帰分析入門(改), 59/62, 東京河北印刷 (1972)