ダンスロボットの開発とその主観的評価

松浦 壮一* 藤城 智子*
山本 一道** 井口 信洋*

Development of Dancing Robot and its Subjective Judgement

Soichi MATSUURA

Tomoko FUJISHIRO

Kazumichi YAMAMOTO

Nobuhiro IGUCHI

Dancing robots are a kind of performance robots. It is not only to be able to dance but also to be able to make spectators feel familiar and mild. For this purpose, this dancing robot was manufactured after consideration factors of subjective judgement. Image design technique was adopted for familiar shape and SMA actuator was adopted for smooth action of arms and legs. It was investigated that spectators' image for this dancing robot with Semantic Differential Technique what was one of subjective judgement technique in psychology. This dancing robot's achievement was finally evaluated with a respect to its familiarity. As a conclusion of this development, it was indicated that Semantic Differential Technique gave basis of psychological engineering design of performance robots.

Key Words : Performance Robot, Dancing Robot, Subjective Judgement, Psychological Engineering Design, Semantic Differential Technique

1. 緒 言

ダンス・ロボットは、パフォーマンス・ロボットの1つの形態であり、音楽に合わせたダンスというパフォーマンスにより、人々に安らぎや楽しい感覚を与える事を目的とし、産業用ロボットと対照的な種々の概念を持つ。すなわち、産業用ロボットでは、その評価を生産性や効率に求めることができるのに対し、ダンス・ロボットでは、スタイルや動作パターンに対する好感度が、重要な評価因子となる。

以上の事を踏まえてダンス・ロボットを製作した。コンセプトを「柔らかさ」「親しみやすさ」「可愛らしさ」においてスタイリング設計を行ない、「滑らか」で「優しい」動作のために、形状記憶合金アクチュエータを手足の駆動に用い、バレエの型を実現した。また、ロボット全体は、任意方向に舞台上を移動できる。

産業ロボットが、効率などで評価されるように、製作したパフォーマンス・ロボットに最終的に評価と反省を与え、以降の設計製作の量にしなければならない。しかし、上に述べた様に、パフォーマンス・ロボットの評価因子は、完全に観賞者の主観に委ねられており、観賞者個人個人の趣味の差も大きく、産業用ロボットに較べて一般的な評価が困難となる。そこで、本論文では、心理学で利用されている主観的評価法の1つであるSD法 (semantic differential technique) をマイコン上で実現し、パフォーマンス・ロボットの評価を試みた。

2. 開発諸元と方法

2.1 スタイリング設計

パフォーマンス・ロボットの第1目的は、観賞者に安らぎや楽しい感覚を与えることであるので、スタイリング設計が重要である。本ロボットは、イメージをアンデルセン童話の「鉛の兵隊」に登場するバレリーナに求めた。ロボットの外形設計に当たっては、曲面設計法・モアレ計測法¹⁾などの手法にて、そのイメージ・スケッチ、

原稿受付 1990年6月15日

* 早稲田大学理工学部

** エイム研究所

Fig. 1 Design of Performance Robot

イメージ・モデルを作製した。

2.2 実機の諸元

イメージ・モデルをベースに、実機のハードウェア設計を行なった。外観図を Fig. 1, 外観写真を Fig. 2 に示す。

このロボットの肩関節・肘関節・膝関節には、それぞれ $\phi 0.25$ [mm] の細線による形状記憶合金アクチュエータが取り付けられ、パルス通電することにより手足が可動する。また、全体の移動は、XY 軸方向に置かれた2つのステッピング・モータの回転を、底部の球形車輪に伝えることにより行なっている。XY 軸2つのステッピング・モータの回転数及び回転比を制御することにより、縦横斜めの任意方向に移動できる。

Fig. 2 The appearance of dancing robot (F)

以上の動作は、8ビットマイコンにて制御される。ブロック図を Fig. 3 に示す。動作パターンは、プログラムとして ROM に格納されており、手足の動作と全体の移動を同期させた演技を行なう。なお、ロボットはワンボード・マイコンを搭載した自立型動作が基本であるが、通信ケーブルを用いた外部コンピュータからのマニュアル操作型動作も可能である。

本体及び手足には、エポキシあるいはアクリル樹脂を使用して、軽量化を図っている。

2.3 性能結果

このロボットは、形状記憶合金アクチュエータにて駆動され、肩関節垂直方向 60 [deg], 肘関節 120 [deg], 膝関節 90 [deg] の屈曲と伸展ができた。その結果、クラシック・バレイの基本動作をとることが出来た。動作例を Fig. 4 に示す。音楽に合わせて連続的にダンスを

Fig. 3 System diagram

することができたが、形状記憶合金の作動時定数が、0.01 [sec] 程度であるので、激しい動作に対する追従性は劣っていた。ロボットを取り付けている台車は、平均 30 [mm/sec] で移動する。

3. SD 法による主観的評価

心理学の分野では、以前からオスグッドの開発した SD 法による心理測定が行なわれている²⁾。最近では、この方法は物理系や工学系分野にも利用され、主観的評価として定着しつつある³⁾。前述したように、パフォーマンス・ロボットは、観賞者に「やさしい」等の感情を抱かせることができたかにより、その評価が行なわれるが、それは、個々人の主観的評価である。そこで、SD 法による評価を試みた。

まず、このダンス・ロボットの写真を、Fig. 5 に示す他のパフォーマンス・ロボットの写真と一緒に被検者に提示し、印象を答えてもらう。具体的には、Table 1 に示したアンケート用紙上の 15 の形容詞対のそれぞれに関して、どちらの形容詞に印象が近いかを数直線上にマークしてもらう方法である。

今回は、大学生男女 10 人ずつの被検者を得た。その

アンケートを元に、分析を行なった。アンケート採取以降の諸作業は、16 ビットパーソナルコンピュータにより行なった。その手順を Fig. 6 に示す。形容詞対の相関係数の計算結果を Table 2 に示す。次に因子析出の計算を行なう。因子析出とは、

$$R = A_1A_1^t + A_2A_2^t + A_3A_3^t + \dots \quad (1)$$

R : 相関係数マトリックス

Table 1 couples of adjectives in this questionnaire

adjective number	Couples of adjectives	
1	面白い	つまらない
2	可愛い	にくらしい
3	柔らかそうな	硬そうな
4	親しみやすい	近寄りがたい
5	滑らかな	ごつこつしている
6	好き	嫌い
7	頑丈な	きゃしゃな
8	きれいな	汚い
9	大きい	小さい
10	より人間に近い	いかにも機械的
11	強い	弱い
12	明るい	暗い
13	新奇的な	ありふれた
14	温かな	冷たそうな
15	家に一台欲しい	いらない

Fig. 4 Action of dancing robot

Table 2 coefficient of correlation

adjective number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	100	27	-03	22	32	41	-16	23	-18	02	-07	25	15	-03	06
2		100	16	05	37	42	24	-09	24	-22	00	00	36	12	11
3			100	40	16	18	41	10	-22	45	01	-18	-12	21	12
4				100	36	28	09	28	-28	32	26	-06	-05	21	40
5					100	56	13	05	13	15	14	31	18	29	41
6						100	28	06	-06	12	12	34	12	27	20
7							100	-07	-10	18	36	11	-11	18	-01
8								100	-37	03	08	23	25	-12	31
9									100	-30	04	-21	34	30	00
10										100	-05	25	-15	31	17
11											100	04	21	20	32
12												100	28	20	23
13													100	46	50
14														100	52
15															100

A_i : 第 i 因子列ベクトル

のように、行列をベクトルの積と和に分解することである。因子析出計算結果を Table 3 に示す。この場合は、3次で近似できた。すなわち、それぞれの形容詞対は、表を横に見て、(第1因子, 第2因子, 第3因子)という

座標を得ることが判る。形容詞の位置をグラフィックスで表現した例を Fig. 7 に示す。画面を見ながら、表示面の選択・座標軸の回転・座標軸への距離の和を最小にする回転角度の計算などが行える。以上の操作により、似

かよった形容詞対を集めてグループとし、また互いに直交関係にある形容詞対グループを捜し出す。この例では、Fig. 7 の図中で曲線に囲まれたように、3つの形容詞対グループが見つかった。これらの方向に延びる直交軸を持つ空間を意味空間と呼び、ロボットは、これらの視点から人々から捉えられていることが分かる。また、これらの形容詞対グループに属さない他の形容詞対は、分析に有益でないとして無視する。

次に、実際に分解できた主因子に対して、特徴を人々にアピールできる名称をつける。すなわち、これが意味空間の座標軸名となる。この作業だけは、プログラムが介在できず、分析者の腕で、分かりやすくなりたり分かりにくくなったりする工程である。

次に、ロボット毎の意味空間上の位置を計算する。あるロボットに対して、アンケートの平均値を座標軸毎にそれぞれ計算して、それをそのロボットの意味空間上の座標とする。今回つけた座標軸名と、各々のロボットの意味空間上の座標を、Table 4 に示し、それを3次元グラフィックスで表現した例を、Fig. 8 に示す。

この分析システムの性能を早さから評価してみる。項目別の実行時間を、Table 5 に示す。アンケート入力後は、合計で平均 30 [sec] 程度しかからず、何もせずに計

P

K

B

Fig. 5 Performance Robots

算結果を待つだけの時間は、最高で 10 [sec] なので、イライラさせられることもなかった。いろいろなアンケートに対して、いろいろなグループ分けするなどの分析を多数行なっても苦にならないであろう。

Table 3 factor loading

adjective number	factor loading		
	1st factor	2nd factor	3rd factor
1	0.358	0.223	0.156
2	0.319	0.396	0.516
3	0.410	-0.477	0.284
4	0.553	-0.346	0.093
5	0.617	0.306	0.282
6	0.641	0.222	0.375
7	0.340	-0.282	0.176
8	0.338	-0.164	-0.278
9	-0.166	0.541	0.085
10	0.377	-0.342	-0.098
11	0.313	-0.089	-0.087
12	0.414	0.220	-0.334
13	0.356	0.541	-0.380
14	0.487	0.251	-0.180
15	0.618	0.128	-0.403
weight	15.955	11.462	9.144
%	43.6	31.3	25.0

また、この分析システムは、操作が対話型であり、また、Fig. 7 や Fig. 8 に示すように、グラフィックス表示

Table 4 factor score

factor		elements		values of robots			
No.	name	No.	adjectives	B	P	K	F
1	ぬくもり	12 14	暖かい 温かな	-0.025	0.475	0.050	-0.025
2	やさしさ	3 4	柔らかな 親しみやすい	-0.250	0.650	0.475	-0.375
3	目を引く	1 5 6	面白い 清らかな 好き	0.283	0.317	1.117	0.717

Table 5 run period of programs and input

type of works	circumstance	run period T sec
questionnaire input	20 men × 4 concepts	180
calculating coefficient of correlation		10
calculating factor loading		7
rotation axis	15 couples of adjectives	10 (average)
3D graphic	4 concepts	1

Fig. 6 Process of Semantic Defferential Technique with personal computer

Fig. 7 Display of adjectives' positions

Fig. 8 3D display of each robot's position in Image Space

による表現が基本であるので、分析結果を数値からでなく、見た目で捉えることができる。すなわち、全体の作業は、SD法の原理を知らなくてもかまわず、操作がすぐに憶えられ、数字に苦手な人でも、因子評価が行えるわけである。

4. 結果に対する考察

ダンスをするロボットという開発目的であるために、企画段階から「柔らかさ」「親しみやすさ」「可愛らしさ」を感じるようにスタイリング・デザインした。また、静かで滑らかな動作を行なわせるために形状合金アクチュエータを使用し、脚も屈伸できる機能を付した。その結果、バレエの基本姿勢がとれ、動きは滑らかであった。しかし、形状記憶合金アクチュエータ使用による応答限界があり、すばい動作はできなかった。しかし、形状記憶合金の加熱方法を改良すれば、0.01 [sec] までの応答は、可能となるはずである。また、全体移動用の機構も、ステッピング・モータのパワーアップや伝達部の改善により、移動速度の向上が期待できる。これは、今後の課題である。

以上のハード機能評価と同時に、観賞者の主観的評価が重要である。SD法の利用を試みた結果、「温もり」「やさしさ」「目を引く」という3つの評価軸で、パフォーマンス・ロボットが評価されていると想像できた。また、15の形容詞対の内、「一家に一台欲しい」「新奇的な」「より人間に近い」等の形容詞は、類似範疇の形容詞対が見つけれられず、直交性もなく、評価それ自体に何ら貢献しないことが判った。あまりに複雑な表現で、人により形容詞の解釈自体が大きく異なってしまったためと思われる。今後のアンケートでは、新しい形容詞対と差し替えるなどの方策が必要である。しかしながら換言すれば、SD法を行なうことにより、適切な評価のため、形容詞を淘汰できた訳であり、自己改良が可能である。このように、今後の評価に応用できることも、SD法の特徴である。ソフトウェアの操作性や速度などについては、専門家でなくても使用でき、グラフィック表示により、判定がわかりやすく、かつ容易に行えるという簡便性が得られた。

パフォーマンス・ロボットに対する主観分析結果であるが、Fig. 8から判るように、検体Kが特に好意的な評

価を得られたようである。ダンス・ロボットFは、目を引くという因子で高得点だったが、狙いとした「温もり」「やさしさ」では、他に比して少々難があるようである。両因子で得点の高かったPの結果を参考にすると、柔らかな布地を使うというのは、得点を稼ぐいい方法と思われる。また、「やさしさ」の点で、BFとPKが好対照をなしている。Kがメタリック調であるのにも関わらず、「やさしい」評価を得ている点から考えて、裾広がりな外形が「やさしさ」を演出しているのではないかとと思われる。

今後ダンス・ロボットの開発において、スケッチの段階で、また演技動作時にSD法を用い、改良の一助としたい。

5. ま と め

- ① ダンス・ロボットを開発した。このロボットは、バレエの手足の基本形をとることができる。
- ② このロボットは、観賞用となるので、「やわらかさ」「親しみやすさ」「可愛らしさ」のイメージを持つことを目標として、デザインをした。
- ③ 形状記憶合金アクチュエータを用いて、動作を静かに、滑らかにした。
- ④ SD法で、このロボットの印象の主観的評価を行なった。また、前報パフォーマンス・ロボットのSD評価結果と比較し、検討した。
- ⑤ SD法の対話型因子分析グラフィック表示ソフトを開発した。

なお、本研究は、東京電力(株)開発研究所からの委託研究であることを付記して、ここに感謝の辞を呈するものである。

参 考 文 献

- 1) 設計美学：日経メカニカル (1987) 10/30 日号
- 2) 岩下豊彦：SD法によるイメージの測定、川島書店(1987)
- 3) 長町三生：自動車と感性工学、自動車研究 11 刊1号 (1989), 2-6
- 4) 井口信洋、内田 純、木村裕美、濱島幸生：パフォーマンス・ロボットの開発、日本ロボット学会誌第6巻5号 pp.33-41, 1988
- 5) Z80 の使い方、オーム社 (1983)
- 6) マイコン知能ロボットの招待、月刊 ASCII (1985) 3 月号