

被覆接触によるロボットの性格印象変化における外観の影響

山下裕基^{†1} 石原尚^{†1} 池田尊司^{†2} 浅田稔^{†1}

大阪大学大学院工学研究科^{†1} 金沢大学子どものこころの発達研究センター^{†2}

1. 概要

ロボットの外見や声の印象の違いが、人に与える「強そう」や「かわいらしい」といった性格印象を変えることはよく知られているものの、ロボットの触り心地の影響について体系的な理解はなされていない。触り心地の印象と性格印象の関連を明らかにするため、著者らはこれまでに子供型アンドロイドロボットを人に触れさせる実験を実施し、腕部表面の被覆の柔らかさが異なる条件で触り心地とロボットに対して感じる性格の両印象の関連を調べてきた。そして、触り心地が変わることによって性格印象も変わることを示してきた。しかし、外見が異なる場合であっても同様の性格印象の変化がもたらされるかは明らかでない。そこで本研究では、アンドロイドロボットの顔面被覆部を剥がし、機械部分が剥き出しになっている外見条件で同様の実験を実施し、触り心地の印象と性格印象の関係を分析した。

2. 緒言

言語コミュニケーションの質が非言語的要因に左右されるように[1]、社会的インタラクションの質も様々な非社会的要因に左右される。ソーシャルロボティクスの分野においては、人とロボットの間的身体的なインタラクションを取り入れることによる社会的相互作用の質の向上が図られている[2]。そのように触れ合いが可能なコミュニケーションロボットの設計における大きな問題の一つは、どのような触感の被覆を選べば、人がロボットに触れた際にもロボットの印象を損なうことなく、適切に向上させられるかである。ロボットの見た目の印象が、人がロボットに感じる性格印象に影響することは知られているが[3-6]、視覚以外の感覚モダリティの印象も性格印象に影響することが考えられる。例えば、人の声の音量や調子は感情の状態を含めた印象を聞き手に伝えるし[7]、また、工業製品に触ったときの触感もその品質の印象や魅力に影響する。それゆえ、ロボットの被覆の触感もロボットの性格印象に影響を及ぼすことは十分にありうることである。

これまでに、いくつかの先行研究で接触を介した人とロボットのインタラクションが試みられ[8-11]、その著者らは、ロボットに心地よい触感の被覆を持たせることで、人の精

神的な側面に影響を与えようとしてきた。しかし、製作者が意図したように性格印象を向上させるロボットの触感を厳密に設計することは簡単ではない。なぜなら、どのような触感がどのような性格印象の変化に影響を与えるのかについて、部分的な印象調査はなされているものの[12-14]、触感と性格印象の関係について体系的な分析がなされていないためである。

我々は触感と性格印象の間にいかなる因果関係が存在するかを明らかにするため、図1に示すような子供型アンドロイドロボット Affetto[15]を用いた印象評価実験を実施し、触り心地が変わることによって性格印象も変わることを実験的に示してきた[16]。この実験では、ロボットの前腕部を覆う被覆の柔らかさが異なる複数の条件を用意し、その被覆の触り心地とロボットに対して感じる性格の両印象を7段階スケールのSD法(触感印象について19項目、性格印象について46項目)で日本人20人の実験参加者に評価させた。そして、それぞれの印象の評価点に対して因子分析を実施して次元を圧縮し、その結果抽出された触感4因子、性格印象3因子の間で触感から性格印象へどのような因果関係があるかをパス解析によって調べた。その結果、触感印象の好感因子(気持ち良い、心地よい、好きな、などの形容詞対で構成)から性格印象の親近感因子(好きな、快い、気持ちのよい、などの形容詞対で構成)へは正の因果関係があること、触感印象の弾性感因子(はりがある、締めりがある、抵抗感がある、などの形容詞対で構成)から性格印象の力量感因子(たくましい、強い、頼もしい、などの形容詞対で構成)へは正の因果関係がある一方で、触感の滑感因子(滑らかな、きめが細かい、構造が単純な、などの形容詞対で構成)及び自然感因子(丸い、湿っている、丸々としている、などの形容詞対で構成)から性格印象の力量感因子へは負の因果関係があるという拮抗的な因果があること、また触感印象の好感因子と弾性感因子からはともに性格印象の快活感因子(おしゃべりな、うるさい、陽気な、などの形容詞対で構成)へ正の因果関係があるという協働的な因果があることが見出された。また一方で、各因子について、被覆ごとの評価得点の比較を行った[17]。その結果、最も触感が好ましく、また親近感が高いと評価された被覆は、成人男性が腕の力を抜いた場合や成人女性が腕に力を込めた場合の前腕腹側の中央部に近い表面硬さのものであった。

^{†1} YUKI YAMASHITA, HISASHI ISHIHARA, MINORU ASADA, Graduate School of Engineering, Osaka University

^{†2} TAKASHI IKEDA, Research Center for Child Mental Development, Kanazawa University

以上の結果は、子供アンドロイドロボットの見た目を統一した状況で得たものであり、このような因子間の因果関係や、最も好ましい触感と親近感を与える被覆の表面硬さが、ロボットの見た目に対しても不変であるかは明らかでない。例えば、外見がより機械的な印象を与えるものである場合には、より硬い被覆の触感がより好ましく、また親近感も高いと評価される可能性がある。そこで本研究では、以前の実験で用いたロボットの顔の皮膚部分を剥がし、機械部分をむき出しにした状態で同様の実験を行い、因子分析とパス解析を実施することにより、ロボットの外見の違いの影響について考察する。



図 1 先行研究で用いたアンドロイドロボットの外観[16]

3. 方法

3.1 参加者

本実験では参加者として 16 名の日本人（合計平均：22.0 歳， $SD=1.6$ ；男性 8 名：平均 21.9 歳， $SD=1.9$ ，女性 8 名：平均 22.3 歳， $SD=1.2$ ）を対象に実験を行った。

3.2 ロボット

図2に示すように子供型アンドロイドロボットの Affetto を椅子の前の机に載せ、顔の被覆は装着せず中の機構が見える状態とした。このアンドロイドは上半身のみで上には服を着ている。この左腕に本実験で使用する柔軟被覆を装着する、なお手先部分には手袋をかぶせており、先端部分が見えないようにした。実験では実験参加者に前腕部にのみ直接接触することができる設定とし、それ以外の部分は服で覆った。この柔軟被覆は着脱可能であり、実験の時には硬さの異なる 4 種類の被覆 A, B, C, D を参加者に触らせた。図3は柔軟被覆の構造を表しており、形状は円筒状で、長さが 105mm で直径が 40mm のものを作成した。この被覆はシリコンゴムでできており、これに可塑剤(Smooth-On 社製)と増粘剤(Smooth-On 社製)を加えることで粘弾性を変え、配合比は表1に示したとおりである。またこの柔軟被覆の表面は薄いフィルムで覆っており ($7\mu\text{m}$)、表面性状はすべての被覆で統一した。硬さは A から D の順番で柔らかくなっており、C と D の被覆は A と B の被覆より粘性が高いものを採用した。



図 2 今回の実験で使った顔の被覆無し”Affetto”

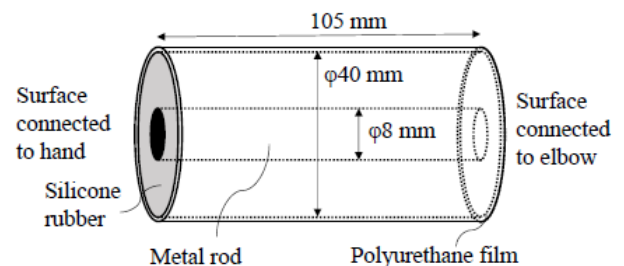


図 3 装着した柔軟被覆

表 1 可塑剤と増粘剤の配合比

Forearm	Plasticizer(%)	Thickener(%)
A	10	0
B	50	0
C	10	30
D	20	30

4. 結果

4.1 因子分析

我々は触感とロボットの印象の関係を定量的に分析するため、多次元の尺度から共通因子を導き出す因子分析を行った。結果、触感に関する 4 つの因子 (BIC=-289.05, RMSEA=0.092) とロボットの印象に関する 3 つの因子 (BIC=-2442.62, RMSEA=0.128) が抽出された。以下の表にそれぞれの抽出された因子の因子負荷量をまとめる。ここで抽出された 4 つの触感因子をそれぞれ、「好感」、「弾性感」、「なめらか感」「自然感」と、またロボットの性格印象因子をそれぞれ、「親近感」、「力量感」、「優等生感」と名づけた。

表 2 因子負荷量 (触感, 顔被覆なし)

	好感	弾性感	なめらか感	自然感
気持ちのよい	(1.00)			
好きな	(.93)			
良い	(.91)			
心地よい	(.88)			
ほりがある		(.99)		
締りがある		(.94)		
抵抗感がある		(.84)		
柔らかい		(-.75)		
滑りやすい			(.83)	
丸々としている				(.77)
丸い				(.66)
寄与率(%)	39	32	15	14

表 3 因子負荷量 (ロボットの性格印象, 顔被覆なし)

	親近感	力量感	優等生感
心地よい	(.91)		
快い	(.88)		
癒される	(.85)		
愛らしい	(.84)		
安心感のある	(.83)		
気持ちのよい	(.82)		
近づきやすい	(.81)		
かわいらしい	(.79)		
好きな	(.76)		
親しみやすい	(.74)		
良い	(.74)		
人間的な (心が) 温かい	(.72)		
安全な	(.65)		
親切的な	(.65)		
飽きのこない	(.62)		
たくましい		(.82)	
強い		(.81)	
頼もしい		(.78)	
きちんとした		(.75)	
強気な		(.73)	
勇敢な		(.69)	
のんびりした		(-.65)	
こわれにくそうである		(.62)	
積極的な		(.61)	
静かな			(.78)
まじめな			(.71)

落ち着いた			(.66)
寄与率(%)	55	28	17

4.2 パス解析

ロボットの前腕に実装された被覆の触感がロボットの性格印象にどのような影響を及ぼすのかを調べるために、パス解析を行った。この解析では因子分析で抽出した触感4因子と性格印象3因子間の関係についての関係について前者が後者にどの程度の影響を及ぼしているかを調べている。結果、触感の好感と性格印象の親近感の間 ($\beta=0.871$, $p<0.001$) に、触感のなめらか感と性格印象の親近感の間 ($\beta=-0.27$, $p=0.004$) に、触感の弾性感と性格印象の力量感の間 ($\beta=0.785$, $p<0.001$) に有意なパスがみられた。また、触感の好感と性格印象の力量感の間 ($\beta=0.169$, $p=0.099$) には有意傾向がみられた (図 4)。

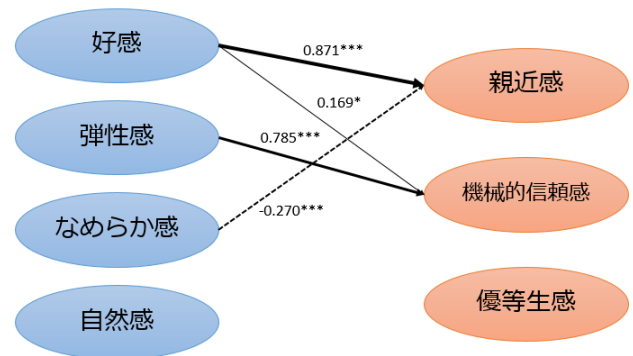


図 4 パス解析図

4.3 分散分析

本実験で使用した4つの被覆について、触感4因子、性格印象3因子の計7つの因子における因子得点を比べるため1因子4水準の実験者内計画による分散分析を行った。水準間の比較には Bonferroni 法による多重比較補正を行った。まず、触感4因子について述べる。好感に関して有意な主効果がみられ ($F(3,45) = 4.474$, $p < 0.01$)、多重比較の結果、Aの得点が最も低く、AとC、AとDの間に有意差が、またAとBの間に有意傾向が見られた。弾性感に関しては主効果が有意で ($F(3,45) = 75.464$, $p < 0.01$)、多重比較の結果AからDの順番に因子得点が下がっていき、すべての被覆間で有意差がみられた。なめらか感に関しては主効果が有意ではなかった。自然感に関して有意な主効果がみられ ($F(3,45) = 8.211$, $p < 0.01$)、多重比較の結果、Aから順番に大きくなり、AとC、BとC、AとBに有意差が、またBとDに有意傾向がみられた。

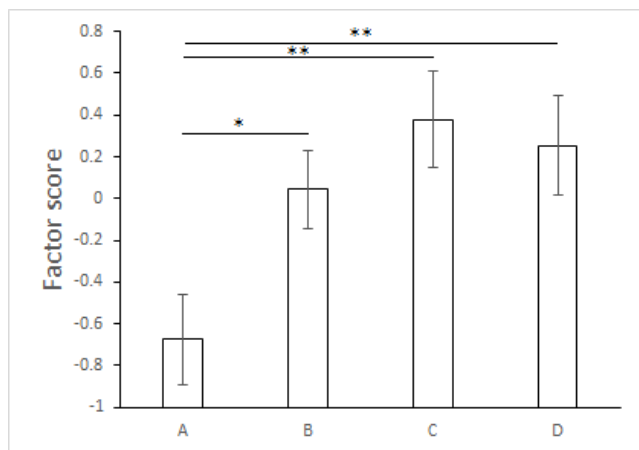


図 5 触感「好感」の因子得点
 *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$

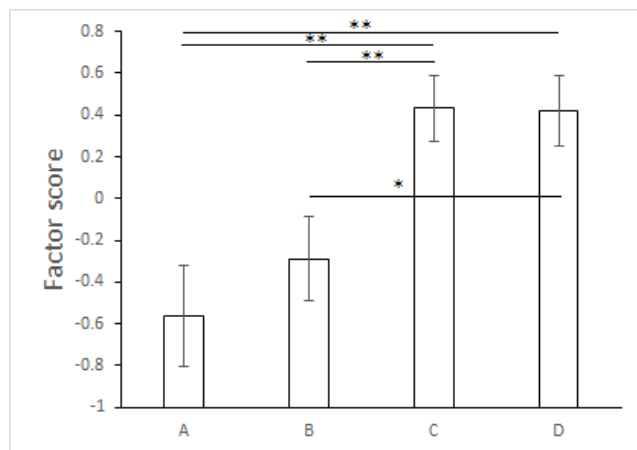


図 8 触感「自然感」の因子得点

次にロボットの性格印象 3 因子について述べる。親近感に関して有意な主効果がみられ ($F(3,45) = 2.462, p < 0.01$), 多重比較の結果, スコアは A が一番低く, 他の被覆のスコアはほぼ同じであり, A と D, A と B の間に有意差が, また A と C の間に有意傾向が見られた. 力量感に関して有意な主効果がみられ ($F(3,45) = 75.464, p < 0.01$), A から D の順番にスコアは下がっていった, また A と B 間以外の被覆で有意差がみられた. 優等生感に関して ($F(3,45) = 2.462, p = 0.075$) は主効果に有意傾向が認められ, C と D, A と C の間に有意傾向がみられた.

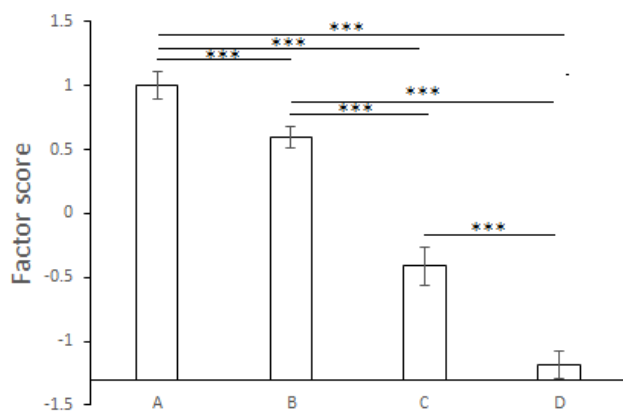


図 6 触感「弾性感」の因子得点

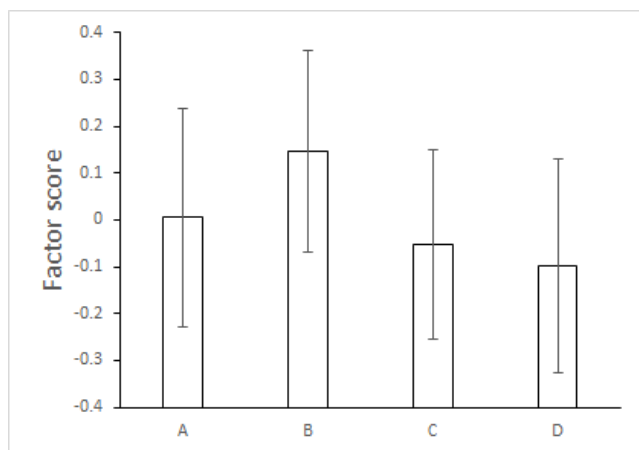


図 7 触感「なめらか感」の因子得点

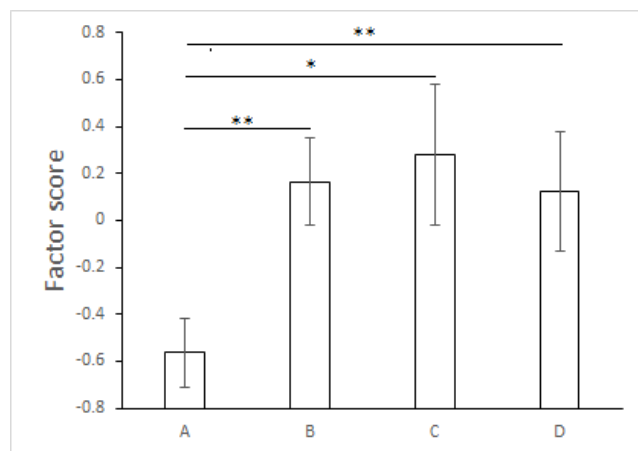


図 9 ロボットの性格印象「親近感」の因子得点

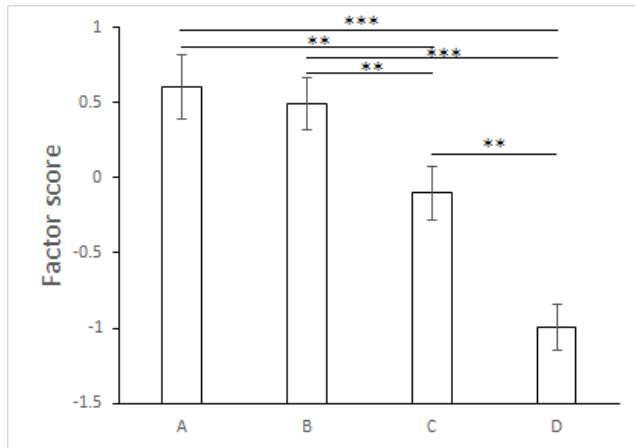


図 10 ロボットの性格印象「力量感」の因子得点

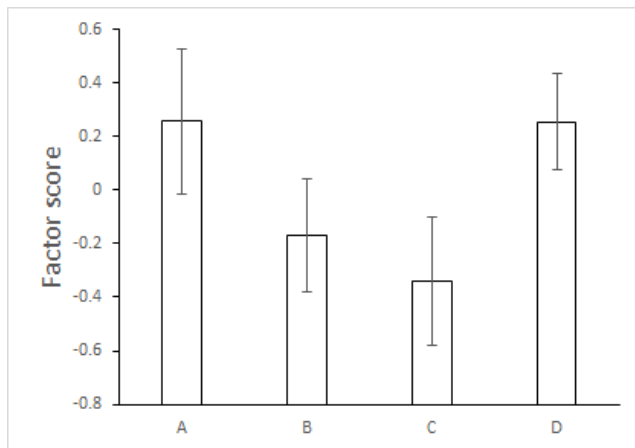


図 11 ロボットの性格印象「優等生感」の因子得点

5. 考察

まず被覆の有無での因子分析の結果を比較する。触感に含まれる形容詞対を比較すると、好感と弾性感を構成する形容詞対は同様のものであった。残りのなめらか感では構成する形容詞対の中で、「(きめが)粗い」が減っているが、主となる形容詞対は変化していない。そこで4つ目の因子に着目すると被覆ありのときは「丸々としている」、「湿っている」が形容詞対として表出していたが、被覆なしでは、「湿っている」の項目が消え、「丸々としている」と「丸い」となっている。この原因として、顔の被覆がなく金属的で無機質な外観が、ヒトの肌に感じるような湿り気の評価が有効に作用しなくなった可能性がある。

次にロボットの性格印象に着目すると因子自体は2つめまでは同じであるが3つ目の因子が大きく異なり、被覆ありの時は、「快活感」に、被覆なしの時は「優等生感」になっており、それぞれ主だった形容詞対は「おしゃべりな」「うるさい」「陽気な」と「静かな」「まじめな」「落ち着いた」となっており、逆の意味を持つ因子として抽出された。これも人間のような見た目を持つときと機械のような見た目を持つときで外観の与える印象によって性格印象の主軸

が反転することを示唆している。このように外観は触感だけではなく、それに対する評価者側のロボットの性格印象の評価軸をも変える可能性がある。

表 4 因子負荷量 (触感, 顔被覆あり 文献[16]より翻訳)

	好感	弾性感	なめらか感	自然感
気持ちの良い	(.97)			
心地よい	(.97)			
好きな	(.85)			
良い	(.79)			
はりがある		(.91)		
締りがある		(.88)		
抵抗感がある		(.76)		
柔らかい		(-.69)		
滑らかな			(.85)	
(きめが)粗い			(-.75)	
丸い				(.59)
湿っている				(.52)
鋭い				(-.52)
寄与率(%)	36	31	19	14

表 5 因子負荷量 (ロボットの性格印象, 顔被覆あり 文献[16]より翻訳)

	親近感	力量感	快活感
好きな	(.99)		
快い	(.93)		
気持ちのよい	(.90)		
心地よい	(.90)		
良い	(.90)		
親しみやすい	(.79)		
癒される	(.78)		
近づきやすい	(.75)		
愉快的な	(.73)		
愛らしい	(.73)		
飽きのこない	(.65)		
安心感のある	(.64)		
かわいらしい	(.63)		
人間的な	(.61)		
たくましい		(.92)	
強い		(.91)	
頼もしい		(.87)	
男性的な		(.83)	
勇敢な		(.79)	
強気な		(.78)	
きちんとした		(.66)	
素直な		(-.66)	

のんびりした		(-.65)	
優しい		(-.64)	
おしゃべりな		(.82)	
静かな		(-.81)	
陽気な		(.79)	
明るい		(.69)	
積極的な		(.66)	
活発な		(.66)	
元気な		(.65)	
寄与率(%)	44	33	23

次にロボットの性格印象のなかで親近感に注目すると、先行研究で親近感が最も高かった被覆が人間に近い硬さを持つCであったため(図12)、これは外観による影響ではないかと考え、そこから見た目と同調した触感を持つ柔軟被覆を選んだ時に、ロボットへの親近感が上昇するのではないかと仮説を立てた。しかし、実際に被覆を外した状態で同様の実験を行うと、機械のような見た目から想起される一番硬い被覆のAの被覆が他の被覆に比べて因子得点が下がる傾向となった。これは外観の影響は触感との同調ではなく恒常性の維持に現れた可能性がある。実験後に実験参加者に対して、自由に意見を述べてもらったところ第1印象で「怖い」、「不気味だ」といった印象を抱いたため、その不気味さを和らげる柔らかい被覆使用時のロボットの性格印象の親近感が向上したことが考えられる。

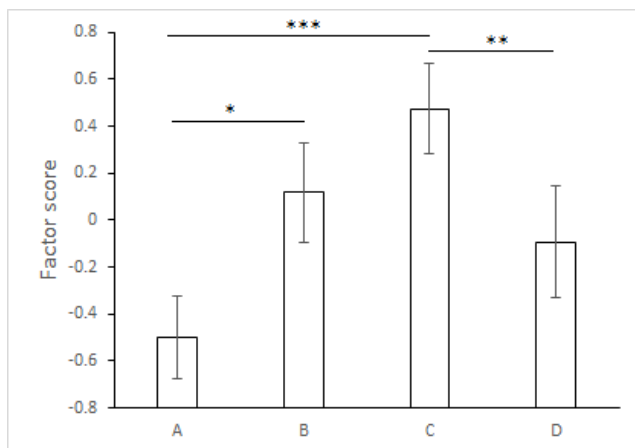


図12 被覆あり時のロボットの性格印象「親近感」の因子得点(文献[17]より改変)

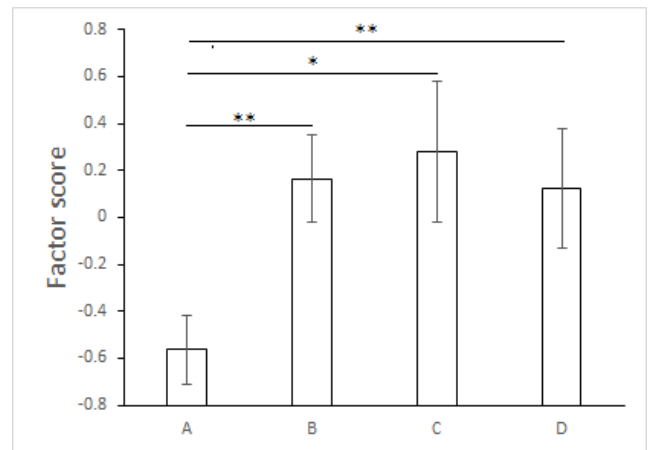


図13 被覆なし時のロボットの性格印象「親近感」の因子得点

6. 結言

本実験では、被覆接触によるロボットの性格印象の変化に及ぼす外観の影響を調べるために、先行研究で用いたロボット(図1)と本研究で用いた顔の被覆を外したロボット(図2)で比較をした。その結果、外観に併せた触感を持つ被覆のときに、ロボットへの親近感が向上すると仮説を立てたが、顔の被覆がない場合、外観の第1印象から人間に与える不安を打ち消すような最も柔らかい被覆が低評価グループから高評価グループに分類されるようになった。このため外観を変えることで触感がロボットの性格印象に与える影響を変えることが分かった。

本実験では因子分析によって先行研究と同じ数の因子が抽出されたが、因子内に含まれる形容詞対は必ずしも同一ではなく、顔の被覆の有無で異なる評価空間を用いていたところに限界がある。両条件において因子の構造を同じくしたときに、その因子得点に対して顔の被覆の有無を要因に組み込んだ2要因の分散分析を行うことで、先に述べた親近感への影響を詳細に検討することができるであろう。

さらにパス解析に着目すると、触感から性格印象への因果関係は、顔の被覆ありとなしでは因果のパスの有無が一部異なるものの、最も因果の強い二つの関係性(好感から親近感、また弾力感から力量感への正の因果)は変わらず存在することがわかった。

また見た目によって好感や親近感の高い被覆の硬さは変化するが、見た目が機械的であればより硬い皮膚が好まれるといった単純な関係ではなく、むしろ最も柔らかい被覆の好感が相対的に上がっているとも考えられる。見た目がなぜ、どのように触感や性格印象の評価に影響するのかを明らかにするにはさらなる実験が必要である。

謝辞

本研究はJSPS 科研費 JP15K18006 及び JP24000012 の助成を受けたものです。

付録

付録 A.1 本研究で用いた形容詞対 (触感)

柔らかい	硬い
丸い	四角い
締まりがない	締まりがある
(構造が) 単純な	(構造が) 複雑な
はりがある	たるんでいる
好きな	嫌いな
心地よい	心地悪い
(きめが) 粗い	(きめが) 細かい
なじむ	なじまない
悪い	良い
軽い	重い
気持ちのよい	気持ちの悪い
乾いている	湿っている
丸々としている	ほっそりとしている
抵抗感がある	抵抗感がない
鋭い	鈍い
滑りやすい	滑りにくい
滑らかでない	滑らかな
大きい	小さい

付録 A.2 本研究で用いた形容詞対 (ロボットの性格印象)

安心感のある	恐怖感のある
うちとけた	堅苦しい
かわいらしい	にくらしい
近づきやすい	近づきにくい
気持ちの悪い	気持ちのよい
心地よくない	心地よい
親しみやすい	親しみにくい
面白い	つまらない
愉快的な	不愉快的な
厳しい	優しい
頼りない	頼もしい
悪い	良い
(心が) 暖かい	(心が) 冷たい
おしゃべりな	無口な
不活発な	活発な
だらしない	きちんとした
たくましい	弱々しい
せかせかした	のんびりした
ふまじめな	まじめな
老いた	若い
強い	弱い
疲れた	元気な

わがままな	思いやりのある
親切的な	不親切的な
機械的な	人間的な
不潔な	清潔な
静かな	うるさい
積極的な	消極的な
素直な	強情な
明るい	暗い
陰気な	陽気な

参考文献

- [1] Ekman P. Communication through nonverbal behavior: A source of information about an interpersonal relationship. In: Affect, cognition and personality. 1965. p. 390-442.
- [2] Argall BD, Billard AG. A survey of tactile human-robot interactions. Robotics and Autonomous Systems. 2010;58(10):1159-1176.
- [3] Macdorman KF. Subjective ratings of robot video clips for human likeness, familiarity, and eeriness: An exploration of the uncanny valley. In: Iccs/cogsci-2006 long symposium: Toward social mechanisms of android science. 2006.
- [4] Bartneck C, Kanda T, Ishiguro H, Hagita N. Is the uncanny valley an uncanny cliff? In: The 16th IEEE international symposium on robot and human interactive communication. 2007. p. 368-373
- [5] Kanda T, Miyashita T, Osada T, Haikawa Y, Ishiguro H. Analysis of humanoid appearances in human-robot interaction. IEEE Transactions on Robotics. 2008;24(3):725-735
- [6] Castro-Gonzalez A, Admoni H, Scassellati B. Effects of form and motion on judgments of social robots' animacy, likability, trustworthiness and unpleasantness. International Journal of Human Computer Studies. 2016;90:27-38
- [8] Cramer H, Kemper NA, Amin A, Evers V. The effects of robot touch and proactive behaviour on perceptions of human-robot interactions. In: International conference on human robot interaction. 2009. p. 275-276.
- [9] Cramer BH, Kemper N, Amin A, Wielinga B, Evers V. 'Give me a hug': The effects of touch and autonomy on people's responses to embodied social agents. Computer Animation and Virtual Worlds. 2009;20:437-445.
- [10] Yohanan S, MacLean KE. The role of affective touch in human-robot interaction: Human intent and expectations in touching the haptic creature. International Journal of Social Robotics. 2012;4(2):163-180.
- [11] Cooney MD, Nishio S, Ishiguro H. Importance of touch for conveying affection in a multimodal interaction with a small humanoid robot. International Journal of Humanoid Robotics. 2015;12(01):1550002.
- [12] Shirado H, Nonomura Y, Maeno T. Development of artificial skin having human skin-like texture. Transactions of the Japan

- Society of Mechanical Engineers Series C. 2007;73(726):541{546.
- [13]Mori Y, Saito Y, Kamide H. Evaluation of impression for hug dolls. Journal of Japan Society of Kansei Engineering. 2012;11(1):9-15.
- [14]Endo N, Iida F, Endo K, Mizoguchi Y, Zecca M, Takanishi A. Development of the anthropomorphic soft robotic hand WSH-1R. In: Proceedings of the 1st IFToMM Asian conference on mechanism and machine science. 2010. p.250162.
- [15] Ishihara H, Asada M. Design of 22-DOF pneumatically actuated upper body for child android 'Affetto'. Advanced Robotics. 2015;29(18):1151-1163.
- [16] Yuki Yamashita, Hisashi Ishihara, Takashi Ikeda, Minoru Asada. Path Analysis for the Halo Effect of Touch Sensations of Robots on Their Personality Impressions, in Proc. of international conference on social robotics (ICSR). Nov 2, 2016.
- [17] Yuki Yamashita, Hisashi Ishihara, Takashi Ikeda, and Minoru Asada. Investigation of causal relationship between touch sensations of robots and personality impressions by path analysis. (Under review.)