愛着形成を通じた発達研究のための 写実的な子供型表情表出ロボット Affetto の開発

○石原尚 (阪大院)　吉川雄一郎 (JST ERATO)
浅田稔 (JST ERATO，阪大院)

Affetto: a child robot with realistic facial expressions

*Hisashi ISHIHARA (Osaka University), Yuichiro YOSHIKAWA (JST ERATO),
Minoru ASADA (JST ERATO, Osaka University)

Abstract— Mutual attachment in caregiver-child relationship is considered to play a crucial role for social development of a child. In the field of cognitive developmental robotics, some child robots have been created to reveal the mechanism under such a developmental process. However, most of these robots have not been provided with a realistic childlike appearance and facial expressions, which seem important for inducing caregiver's attachment. In this paper, we introduce our new child robot, Affetto, that has realistic face and facial expressions of 1- to 2-year-old child, and discuss what kinds of issues on child development can be examined by using it.

Key Words: Cognitive developmental robotics, Child robot, Realistic appearance, Mutual attachment

1. はじめに

ヒューマノイドロボットは人間に代わって仕事を行う存在としてだけでなく，人間自身を知るための研究プラットフォームとして用いるべく開発が進められてきた．すなわち，人間に近い運動機能や社会的機能を備えたロボットを実現することを通じて，それらの機能がいかにして達成されているかを知る，という試みである．さらに近年では，そもそもそれらの機能を人はいかにして獲得しているのかという発達の仕組みの理解に注目が集まっている．このような研究分野は認知発達ロボティクス [1] などと呼ばれており，発達の仕組みを検証するためのプラットフォームとして，子供型のロボットがいくつか開発されている [2, 3, 4, 5, 6].

発達の仕組みを理解する上では，主体の学習と，その学習を支える場の双方について考慮する必要がある．これまでの研究では，ある特定の社会的やりとりの場面を取り上げ，その中での学習の機構が議論されることが多かった．しかし主体の学習に力点が置かれることが多く，想定する場は学習者と養育者が互いに決められたタスクをこなしあうだけの人工的で固定的なものになりがちであり，実際の発達の場面として再現度が高いとは言えなかった．

人の乳児と親の間には，互いに密接な関係が形成されることを求め，それを維持するように積極的に働きかけあう傾向が見られる [7]．このような，乳児と親の間に形成される愛着関係は，乳児の社会的な能力の発達の足場を提供しているといわれている．例えば，親は乳児の行為が未熟であってもその背後にある意図や感情などの心的状態を汲み取って応答する傾向にあり，このように乳児の行為に積極的に解釈を加えてフィードバックを返す傾向も乳児の発達を促す要因となっている可能性がある（[8] に詳しい）．認知発達ロボティクスの分野でもこのような親の解釈による誘導的な発達の仕組みを検証する試みが始められている [9]．しかしながら，このような発達を支える場がいかにして形成されるのかについて，十分には検討されてこなかった．すなわち，このような発達を再現するためのロボットがどのような形態や振る舞いを備えていればよいかは明らかでなかった．

Fig.1 Affetto の外観及び内部構造

親との愛着関係の形成を可能にし，乳児の発達を支えるような親行動を引き出しているのは乳児のどのような性質なのだろうか．このことを調べる一つのアプローチとして，見かけも含めてできるだけ乳児に近いものを作ることを通じ，その本質に迫るアプローチが考えられる．しかし，従来の子供型ロボットの多くは，忠実に乳児らしい外観を備えておらず，また乳児に近い外見を備える数少ないロボットも，必ずしも豊かな表情を表出可能ではなかった．

そこで本研究では，1，2 歳程度の子供の外観を持ち，豊かな表情を表出可能なロボット Affetto（アフェット：イタリア語で愛情の意．愛情を持って感情豊かに柔らかく，を意味する音楽用語にも使われる）の開発に取

り組む．本報告では，開発したロボット頭部の表情表出機能について紹介し，これを用いて可能になる，人との愛着関係の形成過程を考慮した発達の仕組みの理解に向けた今後の課題について議論する．

2. ロボットの概要

Affetto の外観及び内部構造を Fig. 1 に示す．内部機構は繊維強化プラスチック製の外殻で保護され，その外殻はウレタンエラストマー製の皮膚のマスクで覆われる．この皮膚は軽く触っただけで変形するほどの柔らかさを有し，また表面は滑らかである．外殻にマスクを装着した状態での頭のサイズは，1，2 歳の子供の頭部寸法データに基づき，縦幅 170[mm]，横幅 140[mm]，奥行き幅 150[mm] とした．運動自由度は合計 12 であり，Fig. 2 にその配置を示す．

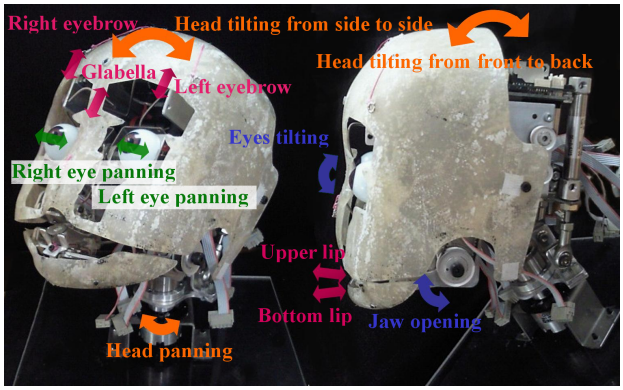

Fig.2 駆動部の配置（赤の矢印がワイヤ，青がタイミングベルト，緑がリンク機構により DC モータの駆動力が伝達され，また橙がエアアクチュエータにより駆動されていることを表す）

外殻及び皮膚のマスクは，乳児の写真を基に造形した粘土彫刻を用いて作成した．真顔のマスクからの変形で自然な笑顔を表出させるのは容易ではないと判断し，口を開き，口角の上った笑顔の状態のマスクを作成した．実際の乳児の型を取らずに粘土彫刻で型の作成を行ったのは，乳児の自然な笑顔の型を取ることが容易ではなかったためである．彫刻を行う際にできるだけ写実性が損なわれないよう，均整のとれた顔出ちの乳児モデルを選んだ上で，できるだけモデルの顔の造形を忠実に再現するようにした．

機構部には DC モータが互い違いに納められており，その上部にはモータコントローラ類，下部には人工声帯を収めるための空間が設けられている．表情表出のためのモータの回転軸は機構部側面から突出しており，この軸に固定されたプーリで，顔面皮膚に連結されているワイヤを巻き取ることで皮膚背面を引張り，表面形状を変形させる．皮膚を引張る箇所及び向きは，皮膚表面が自然な表情表出を実現するように，マスク完成後に探索的に行った．ワイヤ駆動方式による表情表出の自由度は，眉間の上下，左眉の上下，右眉の上下，上唇の前後突出，下唇の前後突出の計 5 自由度とした．また，顎開閉の駆動は皮膚の部分的な変形が目的ではないため，ワイヤ駆動方式は採用せず，タイミングベルトで駆動力を伝達する方式とした．また，両眼の駆動力の伝達にはリンク機構及びタイミングベルトを用い，左右独立のパン軸回転と，非独立のチルト軸回転の計 3 自由度の駆動を可能にした．上記の機構により表出可能な表情の例を Fig. 3 に示す．

Fig.3 表出可能な表情の例

機構部下部にはユニバーサルジョイントが取り付けられており，その後部に平行に配置された二つのエアシリンダで頭部全体のロール軸及びピッチ軸回転を制御する．ユニバーサルジョイントの下部にはエアロータリアクチュエータが配置されており，頭部全体のヨー軸回転も可能である．上記のように，首の駆動にはエアアクチュエータを用いているため，鼻や頬をつついたりといった接触やりとりにも対応可能である．

3. 研究の展開

3·1 相互模倣を介した言語体系や表情体系の共有と分化の研究

Affetto は，既存の子供型ロボットと比較してより人間らしい表情表出が可能であるため，養育者が乳児に対して行う応答により近い応答を引き出すことが可能であると期待される．

人は，他者に対して無意識に自身を投影し，無意識に模倣したり共感したりする傾向がある．このような傾向は乳児に対する時にも見られ，親は意図や感情があまり発達していないと考えられる月齢の乳児に対してさえ，その行動の背後には自身と同じような意図や感情があるとみなして振る舞う傾向を持つことが報告されている（maternal mind-mindedness[10]）．そして，親が乳児の行為に積極的に社会的な解釈を加えるこのような性質が，乳児を実際に社会的な存在になるように発達を促している可能性が議論されている（[8] に詳しい）．

このような親の性質により，親による乳児の模倣がその解釈によってバイアスされ，その模倣の内に親の解釈の仕方（すなわち社会性）を乳児に学び取らせるということ考えられる．筆者らは，この仮説を検証す

るべく，親と子の母音の発話の相互模倣やりとり場面を再現する計算機シミュレーションを実施した [11]．このシミュレーションにおいて，親は乳児の発話をより母国語母音らしく，またより精度のよい模倣らしく解釈するバイアスを持つことを考慮し，相互の模倣やりとりを行わせたところ，乳児が母音模倣能力を発達させるとともに親と同じ母音体系を獲得する過程が再現された．このようなバイアスは，親が乳児に母国語母音の発話と自身の模倣を無意識に期待することにより生じると考えられ，特に後者のバイアスに関しては，筆者らの行った心理実験により期待度との相関を示唆する結果が得られている [9]．

このような仕組みによる発達を実際の人とロボットのやりとりにおいて再現するためには，乳児に対するのと同程度の上記のような期待を無意識に持たせる必要がある．このような期待が乳児のどのような性質によって引き出されているかは明らかではないが，養育者と近い，人らしい外見は少なからず関係しているであろうと考えられる．従って，Affetto を養育者役の人間と相互模倣させることを通じて，養育者と同じ言語体系や表情体系を獲得可能であることを確認することが今後の課題となる．

3·2 機能学習のためのやりとりを誘発させる情動表出の研究

Affetto は，人間に近い形態を持ち，また豊かな情動表出が可能であるため，従来の子供型ロボットと比較してより強く養育者の共感が誘われることで，より強い愛着関係が形成され，学習のためのやりとりを自発的に形成することが可能になると期待される．

相互模倣や共同注意，物体命名といった母子間によく観察されるやりとりの中で可能になる学習の仕組みがいくつか提案されているが（[1] 参照），そもそもこのようなやりとりがどのように生起し，維持するか，ということについては十分には検討されてこなかった．親は，乳児の情動表出を手がかりにして乳児を満足させるように働きかけを変化させていると考えられるため，Affetto の情動表出機能を用いて，どのようなタイミングでどのように振舞えば，学習を達成させるようなやりとりを誘発できるかを調査することで，明示的な教示のない自然環境化での発達の再現と検討が可能であると考えられる．このために，Affetto に視覚や聴覚，触覚などの各種感覚器官を実装することも今後の課題の一つである．

3·3 写実的な表情表出をベースとしたマルチモダルな乳児らしさの研究

本報告の段階では，Affetto は主に視覚的な側面でしか乳児に近い性質を備えていなかった．親は，視覚以外の情報からも乳児から刺激を受け，親行動を誘発させられている可能性が考えられ，そのような効果はおそらく相乗的に働くであろう．

そこで，Affetto に視覚以外の他の感覚，例えば触覚（柔らかさ，温度）や聴覚（乳児らしい声を生成する人工発声器官），あるいは嗅覚（ベビーパウダーやミルクの匂い）面での乳児らしさを追加し，さらに効果的に親行動を誘発させられるようにすることを考えている．

4. 結論

1，2 歳程度の子供の外見に近い情動表出可能なロボット Affetto の頭部を開発した．このようなロボットの実現により，情動表現を適切に用いることによって養育者との愛着関係を構築し，固定的でなく自然な社会的相互作用の中で社会的機能を発達させる仕組みを実世界で検証することが可能になると考えられる．

参考文献

[1] M. Asada, K. Hosoda, Y. Kuniyoshi, H. Ishiguro, T. Inui, Y. Yoshikawa, M. Ogino, and C. Yoshida. Cognitive developmental robotics: a survey. *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development*, Vol. 1:1, pp. 12–34, 2009.

[2] C. Breazeal and B. Scassellati. how to build robots that make friends and influence people. *Proc. IROS99*, pp. 858–863, 1999.

[3] G. Metta, F. Panerai, and G. Sandini. Babybot: a biologically inspired developing robotic agent. *Proc. SPIE*, Vol. 44, pp. 42–53, 2000.

[4] H. Kojima. *Socially Intelligent Agents: Creating Relationships with Computers and Robots*, chapter Infanoid: A Babybot that Explores the Social Environment, pp. 157–164. Springer US, 2002.

[5] T. Minato, Y. Yoshikawa, T. Noda, S. Ikemoto, H. Ishiguro, and M. Asada. Cb2: a child robot with biomimetic body for cognitive developmental robotics. *in Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Human. Robots*, 2007.

[6] G. Sandini, G. Mertta, and D. Vernon. The icub cognitive humanoid robot: an open-system research platform for enactive cognition. *In 50 years of artificial intelligence*, pp. 358–369, 2007.

[7] J. Bowlby. *Attachment and loss: Volume 1: Attachment.* New York: Basic Books, 1969.

[8] 篠原郁子. 子どもの心的理解の発達を支えるものとは–養育者の敏感性及び mind-mindedness の役割. 京都大学大学院教育学研究科紀要, Vol. 51, pp. 357–370, 2005.

[9] 石原尚, 若狭みゆき, 吉川雄一郎, 浅田稔. 乳児母音発達における親の期待の持つ誘導的効果: 発達シミュレーション及び音声模倣実験による検討. 日本認知科学会第２７回大会抄録集（to appear）, 2010.

[10] E. Meins. *Security of attachment and social development of cognition.* Psychology press, 1997.

[11] H. Ishihara, Y. Yoshikawa, K. Miura, and M. Asada. How caregiver's anticipation shapes infant's vowel through mutual imitation? *Autonomous Mental Development*, Vol. 1:4, pp. 217–225, 2009.