

# 意識と無意識のせめぎあいによる アンドロイドのかわいい仕草の動的表現

## Dynamic Expression of Cute Gestures on Android Robot Driven by the Conflict between Conscious and Unconscious Processes

平山聖輝<sup>1\*</sup> 木下邑輝<sup>1</sup> 大原颯太<sup>1</sup>  
林里奈<sup>2</sup> 石原尚<sup>1</sup>  
Ibuki Hirayama<sup>1</sup> Yuki Kinoshita<sup>1</sup> Sota Ohara<sup>1</sup>  
Rina Hayashi<sup>2</sup> Hisashi Ishihara<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 大阪大学大学院 工学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Engineering, The University of Osaka

<sup>2</sup> ほんわか研究所

<sup>2</sup> Honwaka Laboratory

**Abstract:** In human-robot interactions, cuteness of robots can play a beneficial role because it induces human's motivation to approach the robots. In this study, we aim to realize the robot face that can generate cute gestures dynamically based on the artificial conflict inhibition of unconscious process by conscious process. We modeled the conflict inhibition as the higher-order inhibition command to suppress the undesirable motor commands that automatically generated by lower-order expression systems. We hypothesized that the incomplete dynamic suppression of robots provides cute impression to humans, and that this incompleteness comes from nonlinearity and delay property of higher-order system. This study reports the proposed design of the conflict inhibition system and realized behaviors of an android face controlled by the proposed system.

### 1 緒言

コミュニケーションロボットにとって、「近づきたい」、「そばに置いておきたい」といった接近動機と関連がある [1] とされるかわいさを表現することは、人と親しみやすいインタラクションを行う上で有利に働く。かわいさは、見た目である形態だけでなく、幼児的仕草や弱々しい性格が関連しており [2]、かわいいロボットを実現するうえで、内面の幼さや弱さがにじみ出るような動きを生成させる仕組みの構築が有効である。

個々のかわいい仕草を事前に設計するのではなく、基礎的かつ汎用的な心理機能の実装により、適応的なかわいい仕草を自動生成するアプローチが提案されている。三武 [3] は触覚や視覚から得られた情報の中から注意す



図 1: Appearance of A-Lab Android ST.

べき対象を選択し、視線を向けたり手を伸ばしたりする選択的注意という心理機能を、コンピュータグラフィックスのキャラクタに搭載することで、子猫や赤ちゃんを彷彿とさせるような、かわいい仕草を実現できることを示した。このような幼児的仕草の実装は、幼児や小さい動物の見た目をしたコミュニケーションロボットには有効であると考えられる。一方で、大人の見た目をしたア

\* 連絡先：大阪大学工学部応用理工学科  
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2 - 1  
E-mail: ishihara@mech.eng.osaka-u.ac.jp

ンドロイドロボット（以下、アンドロイド）のようなコミュニケーションロボットに実装すると、幼稚すぎる印象を与えてしまいかねず、適用先は限定的である。

そこで本研究では、弱々しい性格がかわいさにつながるということに着目し、心理機能の実装による適応的なかわいい仕草を、大人の見え目も含んだ幅広い見え目のコミュニケーションロボットで実現することを目的とする。具体的には、より高次の発達段階における葛藤抑制という心理機能に着目し、社会的な規範と照らし合わせて無意識に生起する動作を意識的に抑制しようとした結果、葛藤する仕草により、抑制しきれない弱々しさからかわいいという印象を与えることを目指した。この目的を達成するため、人間における神経生理学や心理学の知見を参考にし、葛藤抑制を再現する葛藤抑制表現システムの設計と実装を行った。本稿では参考にした知見の詳細やシステムの設計、実装結果と結果に対する考察について述べる。

## 2 システム設計

### 2.1 採用するアンドロイド

本研究では、人間の知見を参考にした葛藤抑制表現システムの設計により、大人の見え目をしたコミュニケーションロボットにも実装できる、かわいい仕草を適応的に生成する仕組みの実現を目指す。人間を参考にした葛藤抑制を表現するため、高い表現力を有する人間の顔の皮膚のような表面構造を持ち、多くの動作箇所がありながら、できるだけ大人の見え目に近いアンドロイドを採用する必要がある。そこで、図 1 に示す Android ST（株式会社 A-Lab 製）を使用する。Android ST は 16 箇所の空気圧アクチュエータで駆動されるロボットであり、大人の見え目をしていてかつ、豊富な動作箇所を有しているため、本研究の目的と合致している。

### 2.2 無意識の動作指令の設計

本研究では、無意識の動きを抑制しようとして葛藤する状況における適応的なかわいい仕草を実現することを目的としたため、まずは葛藤抑制を行う状況を固定することを考えた。抑制による葛藤から弱々しさを感じさせる仕草を大人が行う状況を検討し、最終的に「眠さによりあくびや目を閉じる動きが無意識的に生じ、意識的に我慢しようとするも我慢しきれずにかえって変な顔になる」という状況を選定した。

次に、選定した状況において無意識に生起するあくびや目を閉じる動作を、Ekman らが提案する顔の動きの最

小単位である AU (Action Unit) [5] 活性度の時系列に変換することを考えた。本研究では、呼吸やあくび、瞬きのような眠さ表現に利用可能な個別動作の生起と消失を、41 種類の AU の動作指令へ自動変換するために、石原らが提案した減衰波の重ね合わせによる動的表情合成システム [4] を参考にした。具体的には、無意識に生起する動作の活性度  $c(t)$  を、式 (1) のように再活性化する減衰波形としてモデル化したうえで、式 (2) に示す線形変換によって対応する AU の動作指令  $\underline{u}(t)$  に変換する。実装した動作  $c_i(t)$  の名前と対応する振幅  $a_i$ 、減衰比  $\zeta_i$ 、波長  $\lambda_i$ 、再活性時間  $T_i$  の値を表 1 に示す。行列  $\mathbf{Y}$  は動作に対応する AU の重み行列であり、 $\mathbf{u}^0$  は人が眠い状態に見えるときの AU の基準姿勢を示している。これらの値は、あくびや目を閉じる動作ではほぼ半周期で振幅が 0 付近に減衰するように設定した。つまり、活性度が立ち上がった後に滑らかに減少し、もとの値に収束するという単純な生成消失パターンを採用した。呼吸はほとんど減衰せず半周期で再活性するように設定し、瞬きや額は一周周期で振幅が 0 付近に減衰するように設定した。

表 1:  $c_i$  names and their four decaying wave parameters.  $a_i$ ,  $\lambda_i$ ,  $\zeta_i$ , and  $T_i$  denote the wave parameters: amplitude, wavelength, decay ratio, and reaction time, respectively.

$i$	$c_i$ name	$a_i$	$\lambda_i$	$\zeta_i$	$T_i$
1	Breathing	0.25	5.00	0.30	5.00
2	Blinking	1.30	0.75	0.40	7.00
3	Nodding off	0.80	2.00	0.40	16.00
4	Yawing	2.00	10.00	0.80	20.00
5	Eyelid Closing	0.80	3.60	0.70	7.00

$$c_i(t) = a_i \exp\left(-\zeta_i \frac{2\pi}{\lambda_i} t\right) \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda_i} t\right) \quad (1)$$

$$\underline{u}(t) = \mathbf{Y}c(t) + \mathbf{u}^0 \quad (-1 \leq u_j \leq 1) \quad (2)$$

### 2.3 意識的な抑制指令の設計

抑制指令は、無意識に生起する動作指令を参照し、動作指令が目標とする姿勢と乖離している場合に、その動作指令を抑制するように設計する必要がある。よって、目標とする姿勢を  $\mathbf{u}^{target}$  とすると、無意識の動作指令  $\underline{u}(t)$  との偏差  $\mathbf{e}$  を用いてフィードバックを行えば、無意識の動作指令の発生を抑えることができる。

ただし、神経生理学の知見によると、随意運動と不随意運動はそれぞれ異なる神経経路で伝達されており、随意運動のほうが不随意運動に比べて経由する脳内領域が

多いため、伝達に時間がかかることが知られている。具体的には随意運動の指令が最終的に運動野に伝達するまでの時間は、不随意運動の指令が運動野に伝達するまでの時間と比べて 0.5 秒程度遅いことが知られている [6]。この知見に基づき、抑制指令が参照する無意識の動作指令は、0.5 秒遅れた  $\underline{u}(t - 0.5)$  にするものとした。

さらに、心理学の知見によると、実際の物理量とそれを推測した際の心理量はべき関数に比例することが報告されている [7]。例えばある電気刺激を実験参加者に与えた際に、実験参加者が感じる刺激の強さは電気刺激が大きくなるにつれて指数関数的に大きくなることが知られている。したがって遅れて参照した動作指令  $\underline{u}(t - 0.5)$  を、目標姿勢  $\underline{u}^{target}$  から引いた偏差  $e(t)$  の認識も、べき関数に比例すると考えられる。

これらの知見を踏まえ、意識的な抑制指令  $\bar{u}(t)$  は以下に示す式 (4) のように計算した。ここで  $j$  は各 AU の要素番号を示しており、 $k_j$  は各 AU ごとのゲイン、 $\alpha$  は指数を示している。 $e$  は遅れて参照した無意識の動作指令と目標姿勢の偏差であり、式 (3) に示すように計算した。

$$e = \underline{u}^{target} - \underline{u}(t - 0.5) \quad (3)$$

$$\bar{u}_j(t) = k_j |e_j|^\alpha \cdot \text{sgn}(e_j) \quad (4)$$

## 2.4 出力指令とシステム概要

最終的な出力指令  $\underline{u}(t)$  は、式 (5) に示すように、無意識の動作指令  $\underline{u}(t)$  と意識的な抑制指令  $\bar{u}(t)$  を足し合わせることで計算した。また、AU の指令値である  $\underline{u}(t)$  を Android ST の空気圧アクチュエータの指令値  $\underline{p}(t)$  に変換するために、石原らの提案した表情生成システム [4] を参考に、式 (6) のように計算した。行列  $\mathbf{Z}$  は AU の活性度と空気圧アクチュエータへの重み行列であり、 $\underline{p}^0$  は Android ST が無表情に見えるときの空気圧アクチュエータの位置指令値を示している。

$$\underline{u}(t) = \underline{u}(t) + \bar{u}(t) \quad (-1 \leq u_j \leq 1) \quad (5)$$

$$\underline{p}(t) = \mathbf{Z}\underline{u}(t) + \underline{p}^0 \quad (0 \leq p_k \leq 255) \quad (6)$$

設計した葛藤抑制表現システムの全体構成の概要を図 2 に示す。

## 3 パラメータ設計

目標姿勢  $\underline{u}^{target}$  は、眠気を我慢する際に意識する AU の組み合わせとそれぞれの値を示すものである。本研究では「眉を下げる (AU4)」、「目を閉じる (AU43)」、

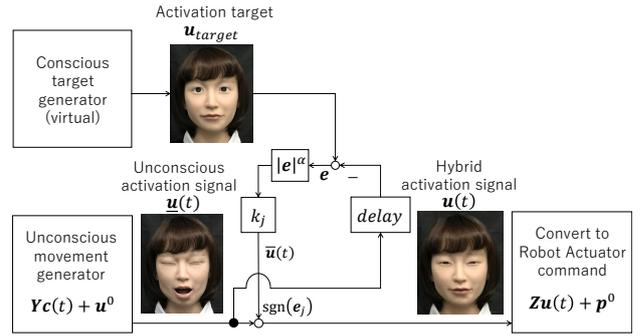


図 2: Overview of the conflict inhibition system.

「口を開ける (AU27)」という 3 つの AU における動作を抑制することを想定し、それぞれの AU の目標値を  $-0.35, -0.2, 0$  とした。この 3 つの AU を抑制対象と呼ぶ。

抑制対象である無意識の動作指令は一度立ち上がって減衰する単峰性に近い形状をしているものの、意識的な抑制指令の計算過程における時間遅れと非線形性に起因して、最終的な出力指令は、図 3 に示すようなより複雑な波形になる。まず、意識的な抑制が開始するまでの間、無意識指令の立ち上がりが支配的となり、あくびなどの眠気動作が現れる (点 a)。その後、意識的抑制が開始し、出力値は減少し始める。このとき、無意識的指令はすでに減少を開始しているため過度な抑制が生じる (点 b)。無意識指令の減少が反映されて意識指令が減少し、再び無意識指令が優勢になり、眠気動作が漏れ出る。 (点 c) 最終的に、ある指令値に収束する。ここで、式 (4) の、ゲイン  $k_j$  は主に点 b での谷の深さに寄与し、指数  $\alpha$  は主に点 c での山の高さに寄与する。

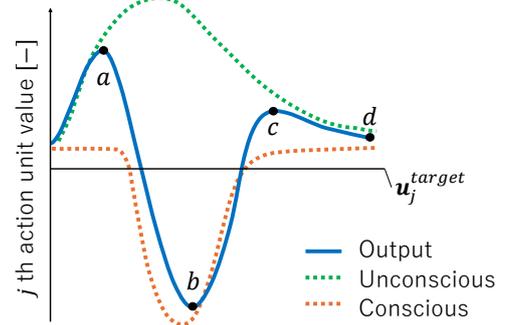


図 3: Overview of output waveform.

本研究では出力波形に現れる特徴的な点  $a, b, c, d$  における工学的要件を整理し、各抑制対象における各点の値の範囲を決定した。各点に要求される値の範囲は表 2 に示し、各点の要求を設定した根拠となる工学的要件は以

下の4つである。点  $c$  については  $c > u_j^{target}$  であればよい  
ため、要求される値の範囲は省略した。

表 2: Required ranges for each point of the action units .

AU number	$a$ range	$b$ range	$d$ range
AU4	-	$-1.00 < b$	$-0.35 < d < 0$
AU43	-	$-0.22 < b$	$0 < d < 0.30$
AU27	$a < 0.75$	$-1.00 < b$	$0 < d < 0.15$

- 点  $a$ : あくびなどの動作が漏れ出たことが伝わるように、できるだけ大きい値が望ましいものの、もはや抑制する意思がないと判断されてしまわないような値に留める
- 点  $b$ : 動作の生起に遅れた分、意識的に過剰な抑制をしている様子が伝わるよう、目標姿勢を下回ることができるだけ小さい値が望ましいものの、眠い状態であることが伝わるような値に留める
- 点  $c$ : 過剰な抑制をやめ、目標姿勢に再び近づこうとするが、偏差の認識のずれにより過剰に弛緩してしまい、目標姿勢を上回る範囲で極大値をとるようにする
- 点  $d$ : 眠い状態であることが伝わる、目標姿勢を下回らない範囲でできるだけ大きな値が望ましいものの、もはや抑制する意思がないと判断されてしまわないような値に留める

表 2 に示す要件を満たすように、ゲイン  $k_j$  と指数  $\alpha$  の値を決定した。眉を下げる AU4 のゲイン  $k_4$  は 0.80, 目を閉じる AU43 のゲイン  $k_{43}$  は 0.64, 口を開ける AU27 のゲイン  $k_{27}$  は 2.40 とした。指数  $\alpha$  はすべての抑制対象に対して 3 とした。

## 4 実装結果と考察

決定したパラメータを実装した結果、AU4, AU43, AU27 それぞれに対して得られた出力波形での点  $a, b, c, d$  の位置と、対応する Android ST の時系列画像を図 4 に示す。AU43 の時系列画像は AU4 と同じ時間であるため省略している。また AU27 の  $d$  の表情は  $c$  のときとほぼ同じ画像であるため、その時の時系列画像も省略している。

各抑制対象における点  $a, b, d$  と  $c - u_j^{target}$  の値は表 3 に示す。それぞれの値は表 2 の範囲を満たしていることがわかる。また  $c - u_j^{target}$  の値が正であることから、 $c$  の値が目標姿勢を上回っていることもわかる。

図 4 に示すように、各抑制対象における Android ST

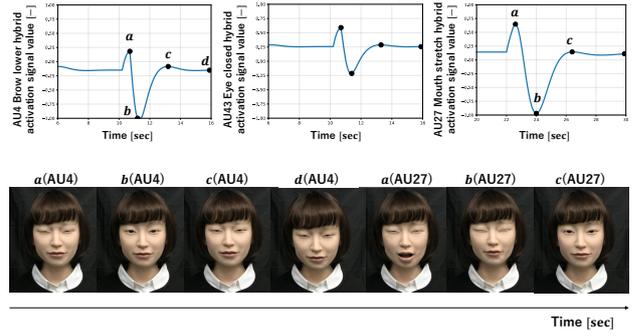


図 4: Resulting waveforms and facial expressions.

表 3: Values of  $a, b, c - u_j^{target}$ , and  $d$  of the each waveform.

AU number	$a$	$b$	$c - u_j^{target}$	$d$
AU4	0.18	-1.0	0.26	-0.15
AU43	0.59	-0.21	0.29	0.26
AU27	0.64	-0.97	0.34	0.11

の表情は、点  $a$  であくびや目を閉じる無意識の動作が漏れ出た様子、点  $b$  で意識的に過剰な抑制をしている様子、点  $c, d$  で過剰に弛緩し眠い状態である様子が伝わる表情となっている。

本研究では、工学的要件から遅れ時間やパラメータを一意に決定した。ただし、得られた結果をもとにそれぞれのパラメータを調整すると、遅れ時間やゲイン  $k_j$ , 指数  $\alpha$  の選び方によってアンドロイドが人に与える性格印象をコントロールできる可能性がある。たとえば、 $\alpha$  の値は、意思の強さの印象に関連する可能性がある。今回、遅れ時間は 0.5 秒と固定したものの、遅れ時間が長くなると、無意識の動作指令が漏れ出る間の時間が長くなるため、 $a$  の値が大きくなる。あくびにおける口 (AU27) ではこの  $a$  の値を大きくすると、あくびが漏れ出ても抑制が始まるまでの時間が長く、抑制する意思の弱い印象が強調されることが見込まれる。逆に遅れ時間を短くして  $a$  の値が小さくなると、あくびが漏れ出たことにすぐ気づき、素早く抑制しようとする意思が強い印象が強調されることが見込まれる。

また、ゲイン  $k_j$  も、意思の強さの印象に影響する可能性がある。ゲイン  $k_j$  を大きくすると、抑制指令における谷が深くなり、出力波形における  $b$  の値が小さくなるため、過剰に抑制したときの表情が強調される。よって抑制する意思が強い性格なのだという印象を与えるには、ゲイン  $k_j$  を大きくすればよいはずである。

$\alpha$  と  $k_j$  は、葛藤抑制の後に収束して現れる顔形の決定にも作用する。各抑制対象の収束値である  $d$  の値は、動

作指令の定常値である  $\mathbf{u}_j^0$  の値から式 (7) のように計算できる。

$$d = \mathbf{u}_j^0 + k_j \left| \mathbf{u}_j^{target} - \mathbf{u}_j^0 \right|^\alpha \cdot \text{sgn}(\mathbf{u}_j^{target} - \mathbf{u}_j^0) \quad (7)$$

$d$  の値は過剰な抑制と弛緩を繰り返したあとの、定常時の表情に関わるが、弛緩した後も目標姿勢に近づこうとする意思が強い性格なのか、抑制する意思が弱く、もはや眠い表情と変わらない顔をしてしまうのか、という印象のコントロールが、ゲイン  $k_j$  と指数  $\alpha$  の選び方によって可能であることが分かる。基準姿勢と目標姿勢の偏差の値にもよるが、本研究ではすべての抑制対象に対して  $\text{sgn}(\mathbf{u}_j^{target} - \mathbf{u}_j^0) = -1$  であったため、ゲイン  $k_j$  を大きくし、指数  $\alpha$  を小さくすることで  $d$  の値を小さくできた。

以上のように、遅れ時間やゲイン  $k_j$ 、指数  $\alpha$  の選び方によってアンドロイドに抱く性格印象をコントロールできる可能性が示唆された。今後は葛藤抑制する状況や、アンドロイドに抱いてもらいたい目的の性格印象に応じて、目標姿勢を適切に生成する機能を追加し、幅広い状況において応用できる葛藤抑制表現システムの実現を目指す。また、印象評価実験を行うことで、葛藤抑制表現システムの妥当性やアンドロイドに抱く印象を調査し、さらにかわいさの評価との関連を明らかにする必要があると考えられる。

## 5 結言

本研究では、コミュニケーションロボットにおいて有効な効果を発揮するかわいさが、弱々しさから表現できることに着目した。そこで幅広い見た目でも弱々しさを表現できると期待される葛藤抑制という心理機能を再現し、アンドロイドに実装することを目的とした。

葛藤抑制表現システムの設計に際し、随意運動と不随意運動の間に遅れが生じるという知見や、心理量が物理量のべき関数に比例するという知見を参考にして、人間に近い振舞いを再現することを目指した。また眉、目、口という3つの抑制対象における出力波形の特徴的な点に対する工学的な要件を整理し、それらを満たす適切なパラメータを設定した。

設定したパラメータを実装した結果、「眠さによりあくびや目を閉じる動きが無意識的に生じ、意識的に我慢しようとするも我慢しきれずにかえって変な顔になる」という状況の表情をある程度再現できたと考える。ただし、実際に葛藤抑制の様子が伝わるものになっているかどうかは、今後印象評価実験による検証が必要である。またパラメータの選び方によってアンドロイドに抱く

性格印象をコントロールできる可能性が示唆された。展望として、目標姿勢を自動で判断する機能を追加することで、状況によらない適応的なかわいい仕草の実現に近づくことが考えられる。今後はかわいさの評価との関連を明らかにしつつ、より汎用的なシステムへの拡張を目指す。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、JSPS 科研費 JP25H01236, JP24K00851, JP25K03425 の助成、および、立石科学技術振興財団研究助成 (A) の支援を受けました。ここに記し、深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] 井原 なみは, 入戸野 宏: 対象の異なるかわいい感情に共通する心理的要因 短報, 広島大学大学院総合科学研究科紀要. I, 人間科学研究, Vol. 7, pp. 37–42 (2012)
- [2] Ujigawa, M.: Classifying the Cause and Effect System of Kawaii, *Transactions of Japan Society of Kansei Engineering*, Vol. 15, No. 1, pp. 39–46 (2016)
- [3] 三武 裕玄: インタラクティブキャラクタにおける「かわいい」表現の研究動向, 情報処理, Vol. 57, No. 2, pp. 132–135 (2016)
- [4] Ishihara, H., Hayashi, R., Lavieille, F., Okamoto, K., Okuyama, T., Osuka, K.: Automatic Generation of Dynamic Arousal Expression Based on Decaying Wave Synthesis for Robot Faces, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 36, No. 6, pp. 1481–1494 (2024)
- [5] Cohn, J. F., Ambadar, Z., Ekman, P.: Observer-based measurement of facial expression with the Facial Action Coding System, *Handbook of Emotion Elicitation and Assessment*, pp. 203–221 (2007)
- [6] Libet, B., Gleason, C. A., Wright, E. W., Pearl, D. K.: Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity, *Brain*, Vol. 106, No. 3, pp. 623–642 (1983)
- [7] Stevens, S. S.: Neural Events and the Psychophysical Law: Power functions like those that govern subjective magnitude show themselves in neuroelectric effects, *Science*, Vol. 170, No. 3962, pp. 1043–1050 (1970)