

## 笑いを通じた人間とロボットのインタラクションに関する研究

## 第5報: 足裏の撫でを通じたくすぐりロボットの開発

## Study on human-robot interaction through laughter

## -5th report: Development of a tickling robot by stroking sole-

○ 岸竜弘 (早大 理工学研究所) 野澤孝司 (目白大)

黒岩大典 下村宗一郎 鐘婷婷 河合雅央 日塔和宏 野村幸暉 横山裕也 (早大院)

セッササルバトーレ (早大理工学術院) 橋本健二 (早大高等研究所・早大ヒューマノイド研究所)

高西淳夫 (早大理工学術院・早大ヒューマノイド研究所)

Tatsuhiko KISHI, Research Institute for Science and Engineering Waseda University

Takashi NOZAWA, Mejiro University

Daisuke KUROIWA, Souichirou SHIMOMURA, Tingting Zhong, Mao KAWAI, Kazuhiro NITTO, Kouki NOMURA,  
Hiroya YOKOYAMA, Graduate School Waseda University

Salvatore SESSA, Waseda University

Kenji HASHIMOTO, Waseda Institute for Advanced Study / Humanoid Robotics Institute Waseda University

Atsuo TAKANISHI, Waseda University / Humanoid Robotics Institute Waseda University

**Abstract:** In order to utilize laughter widely for prevention and cure of mental disease, mechanism of human laughter should be clarified. Especially, tickling is focused in consideration of simple relationship between stimuli and reaction. In our previous research, we found that robots cannot make humans feel ticklish continuously by single tickling stimuli for single body part. The purpose of this research is to develop a robot that tickles the other body part together with underarm done by our previous hardware. Through preliminary experiment, stroking sole is chosen as target tickling motion. Hardware was developed based on required specification calculated from human measurement. Stroking motion was achieved by roller. This roller is pressed to human sole through constant force spring. Also, the roller is driven across long-side of sole by ball screw. The result of experimental evaluation shows that the developed robot succeeds to make humans feel ticklish.

**Key Words:** Mechanism, Robotics, Human-Robot Interaction, Tickling, Laughter

## 1. はじめに

精神疾患は世界の疾病負担の最大の要因であるとされる<sup>(1)</sup>。日本でも、精神疾患の患者数が急増しており5大疾病中最大の患者数を持つに至っている<sup>(2)</sup>。ここで、抗うつ状態の抑制、不安・緊張・痛み等の緩和、痴呆症状進行の抑制、ストレス軽減など「笑い」の心理的な健康増進効果を示唆する研究結果は、医学や心理学を中心に多数報告されている<sup>(3)</sup>。演者らはロボット技術を定量性・再現性を備えた笑い誘発刺激の作成に利用することで人間の笑い誘発メカニズムを解明し、これを「笑い」の健康増進効果の活用につなげることを目指した研究に取り組んできた。

これまで、関連研究には視覚・聴覚を通じたロボットによる笑い誘発刺激の生成に関するものがある。この代表例として漫才や言葉遊びといった言語表現によるものがあった<sup>(4,5)</sup>。演者らもロボット全身動作を通じた非言語表現による笑い誘発に注目し、誇張した表現に対応させるため標準的なヒューマノイドの4倍以上の高速動作が可能な腕部をもつ等身大の2足ヒューマノイド KOBIAN-RIV を開発した<sup>(6)</sup>。さらに、このロボットを用いて観察者に面白い印象を与える全身動作を生成する手法を開発してきた。

一方、人間同士のインタラクションにおいては相手の笑いを誘発する手段として視覚・聴覚刺激のみならず「くすぐり」による触覚刺激が頻繁に用いられる。くすぐりによる触覚刺激は、刺激と反応の関係が視覚刺激や聴覚刺激に

比べより単純で効率的な笑い誘発を実現する可能性をもつものと考えられる。これまでくすぐりによる笑い誘発をロボットと関連付けた例は Blakemore らが行った手の平部位に触覚的くすぐり刺激を遅延して提示すると自己操作においても他者による装置の操作と同様なくすぐったさの感覚が感じられたという報告<sup>(7)</sup>がある。また、Harris らは被験者にロボットがくすぐると伝えた場合でもくすぐったさを感じ、笑いが誘発されたことから人間はロボットによるくすぐりによっても笑いを誘発される可能性を示した<sup>(8)</sup>。しかし、ロボットにより人間を積極的にくすぐることで笑い誘発を目指した研究例はない。

したがって、演者らはロボットによる定量性・再現性を備えたくすぐり刺激を実現させることを目指した研究に取り組んできた。これまでに脇腹の揉み動作<sup>(9)</sup>、よってくすぐり刺激を印加し、人間の笑いを誘発するロボットを開発した。これによって定量的なくすぐり刺激を実現し、実際に人間の笑い誘発が実現されたこと、ロボットの動作を定量的に調整することで刺激を印加された実験参加者の印象が変化したことを確認し、くすぐりロボットの人間のくすぐったさの感覚の解明への効果を示した。

ただし、同時にこのロボットを用いた実験においては刺激に対する慣れによって継続的にくすぐったさを感じさせることができない問題が明らかとなった。人間もくすぐりが得意な人は同じ部位に同じくすぐりを連続的に行うのではなく、様々なくすぐりの方法・部位を変化させながらく

くすぐりを行っている。ロボットも複数の手法・部位に対し同時または交互に刺激を印加できればより効果的な笑い誘発刺激の実現が期待される。また、より多様なくすぐりの手法をロボットにより実現できれば、くすぐりの方法に依存しない人間のくすぐったさの感覚一般の解明につながれると考えられた。このような考えのもと、まずはくすぐりの手法を増やすために同じく脇の下に対し、撫で動作を行うロボットを開発した<sup>(10)</sup>。本研究は、さらにくすぐり部位を多様化するため、脇の下に加え体の別の部位をくすぐるロボットの開発と評価を目的とした。

本研究は、早稲田大学倫理委員会の審査を受け、承認(2015-156)に基づき実施された。

## 2. くすぐりの実現方法と要求仕様の決定

### 2.1 くすぐり刺激を入力する部位と手段

人間が触覚刺激から感じるくすぐったさの程度には、その印加位置が大きく影響を与えることが分かっている。Harris は実験により人間の体の様々な部位にくすぐり刺激を印加し、人間がもっとも強くくすぐったさを感じる部位は脇の下であることを明らかにした<sup>(11)</sup>。したがって、これまでの研究においてはくすぐり刺激を印加する位置は脇の下としてきた。一方、これまで複数の部位を同時にくすぐった場合に効果的な部位の組み合わせは明らかになっていなかった。したがって、これまでに開発した脇の下をくすぐるロボットと組み合わせるために効率的なくすぐり部位を明らかとするための実験を行った。

実験では6名(男性6名、平均年齢21.0歳(S.D. 1.26歳))の参加者にくすぐり刺激を印加した。くすぐる部位はHarrisの研究において「脇の下」の他に人間が高いくすぐったさを感じるとされた「首筋」、「足裏」、「膝」とした。くすぐり刺激を入力する手法はこれらの部位全てに刺激を印加できるものとして「撫で」とした。実験では脇の下を揉むロボットの刺激を印加した5秒後に別の部位にくすぐり刺激を追加する方法で刺激を印加した。

くすぐったさの評価は以下の方法で行った。まず、脇の下を揉むロボットの刺激のみを印加し、これを評価の基準としてもらった。次に、脇の下を揉むロボットに加え、別の部位にくすぐり刺激を与え、これらを組み合わせたくすぐったさを脇の下を揉むロボットの刺激のみから感じた主観的なくすぐったさを3とした場合の1から5の5段階評価で回答してもらった。この実験の結果をFig. 1に示す。この結果を見ると、脇の下を揉むロボットに加えてくすぐった際、最もくすぐったさを感じやすい部位は「足裏」であることがわかった。したがって、本研究で開発するロボットで刺激を印加する部位を足裏に定めた。

### 2.2 くすぐり刺激の入力方法

開発するロボットが目標とするくすぐり動作は、「足裏」をくすぐる手段として最も一般的である「撫で」とした。ロボット開発の要求仕様を求めるため、人間がこのくすぐり動作を行った際の軌跡や速度、印加する力を計測する実験を行った。

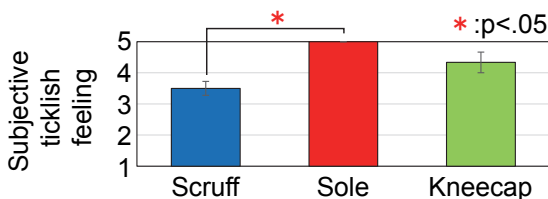


Fig. 1 Subjective ticklish feeling corresponding to the parts of the body. In this experiment, the participants were stroked those parts with rubbing underarm. The score was statistically analyzed by Tukey's method.

### 2.2.1 軌跡

足裏を撫でる指の動かし方を様々に変化させながら印象を比較した結果、撫でる方向は足の長辺方向としたほうが、また指をそろえず、ばらばらに動かしたほうがより強くくすぐったい印象を与えることがわかった。また、足裏をくすぐる位置は1箇所固定せず、長辺方向に前後させることが有効であることがわかった。したがって、ロボットが実現するくすぐり動作にこれらの特徴を持たせることとした(Fig. 2)。

ロボットが実現すべき動作を定量的に決定するため、足裏を撫でる動作中の人間の指先の軌跡を光学式のモーションキャプチャシステムであるOPTOTRACKを用いて計測した。くすぐり刺激を印加する実験者の人差し指の指先にマーカーを取り付け、別の実験者の足裏を撫でるくすぐり動作をしてもらい、この際の軌跡を取得した。この結果、指先の軌跡は足裏の形状をなぞるものであることがわかった。さらに、足裏を撫でる指先の足裏への接触距離を計測した。これは実験者の指先に絵の具を付け、足裏を撫でた際に足裏に残る絵の具の長さにより計測した。この結果、足裏についての絵の具の長さは平均で27mmであった。

### 2.2.2 印加する力

ロボットが足裏を撫でる動作中に印加すべき力を決定するため、人間が足裏を撫でる動きの間に発生している力を計測する実験を行った。足裏に圧力センサ(FSR400)を貼り付け、この上で撫で動作を行って圧力を計測した。取得した結果から指先にかかる力の最大値を算出すると2.4[N]となった。

### 2.2.3 速度

ロボットの動作速度を決定するため、2・2・1で取得した軌跡から周波数の平均値を算出した。この結果、3.1Hzの動作が必要であることがわかった。

## 2.3 ロボットの要求仕様

以上から要求仕様をまとめると、まずロボットは足の長辺方向に指をばらばらに接触させるように撫でる動作を行う必要があることがわかった。指先の動作の軌跡は足裏に沿い、足裏に接触する長さは平均で27mmであった。指先に発生する力は最大で2.4Nと求められた。また、各指は3Hzの周期で足裏に接触する必要があることがわかった。

## 3. ハードウェアの開発

2.3で定めた要求仕様を満たし、開発されたハードウェアの全体像を像と、機構の配置をFig. 3, Fig. 4に示す。まず、単純な構造で指先を足裏に周期的に接触させる方法として、ローラに接触点を取り付け、これを回転させて足裏に接触させる構造を採用した。ローラを支える円板には6本の支柱を渡し、これに足裏に接触するこまを取り付けた(Fig. 5)。この支柱にこまを取り付ける位置とこまの直径を変更することで、足裏に接触する周期と接触距離を調整することが可能である。また、こま自体の厚さや材質を変

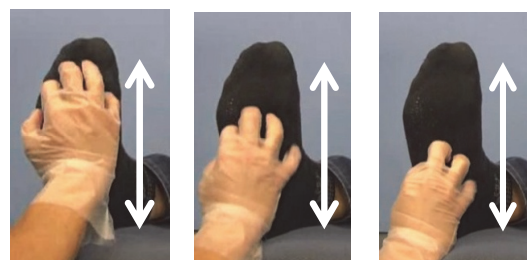


Fig. 2 Target motion (Stroking the sole surface)

更することで、足裏への接触時の感触を調整することも可能である。本研究における実験においてはそれぞれ、こまの取り付け位置は3本の指が交互に当たる動作を再現する位置、こまの直径は足裏にこまが接触する長さから 25mm とした。こまの厚さは人間先の寸法の指を参考に 5mm とした。こまの材質は実験的にくすぐったさが高まる硬さとしてポリアセタール製とした。さらに、こまが直接足裏にあると痛みが感じられたため、ローラ全体を覆う布を取り付けた。ローラを回転させるモータはロボット全体の大きさを小さくするためローラの中に搭載した。

このローラを定荷重ばねによって足裏に押し付けることで、常に一定の力を作用させる構造とした (Fig. 6)。この構造は、人間が実験中に足を動かした場合にも、想定外に大きな力の作用を防ぐことにもつながる。また、足裏の長辺方向に前後に移動させるため、ボールねじによってローラと定荷重ばねを支えるベース部分を足裏の長辺方向に前後に移動させる構造を加えた (Fig. 7)。ローラを回転させるモータ、ボールねじによって機構を前後に移動させるモータにはエンコーダを取り付け、マイコンによりローラの回転速度、前後方向の移動速度、くすぐり刺激の印加位置を制御した。

また、再現性のあるくすぐり刺激の印加のためには、人間に対しローラの位置を固定する必要がある。このため、開発したロボットの上部にアルミフレームを用いた箱状の構造を作り、この上にすね当てを取り付けた。人間の足首をこのすね当てにバンドで固定することで、ローラと足首の相対位置を固定できるようにした (Fig. 3, 4)。

#### 4. 評価実験

##### 4.1 実験方法

開発したロボットが刺激を印加された人間にくすぐったさを与え、笑いが誘発されるかを評価することを目的とした実験を行った。実験には 15 名 (全て男性, 平均年齢 21.3 歳 (S.D.1.53)) が参加した。実験には、本研究で開発された

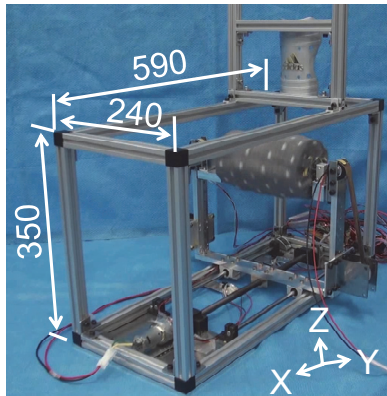


Fig. 3 Overview of the developed hardware

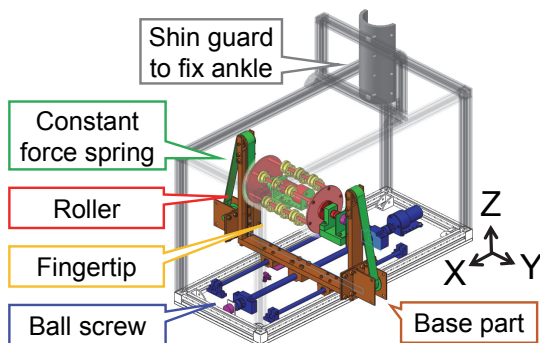


Fig. 4 Placement of the mechanism on the developed hardware

足裏を撫でてくすぐるロボットと、これまでに開発した脇腹を揉んでくすぐるロボット、肋骨をなでるロボットの 3 台のロボットを使用し、それぞれによるくすぐりの印象を比較する方法で実施した。

脇腹を揉むロボット、肋骨を撫でるロボットは、開発時に定めた位置に刺激を印加した。足裏を撫でるロボットは、実験参加者の足首をベルトでロボットに固定して刺激の印加位置を固定した。実験参加者にはアイマスクとヘッドホンを着用させ、服装は薄手のシャツ 1 枚に統一した。足裏をくすぐる側の足は裸足とした。ロボット動作直前から動作終了までの間、ヘッドホンからはロボットの動作音が聞こえなくなる程度で環境音を再生した (Fig. 8)。実験条件を変化させないため、肋骨を撫でるロボットおよび足裏を撫でるロボットは実験を通し、実験参加者に固定したままとした。

印象は以下の方法で記録した。まず、実験中の被験者の反応をビデオで記録した。反応は表情により以下の 3 つに分類した。まず、噴出し笑いが見られた場合には「笑い」として記録した。噴出し笑いが見られないもの、表情が笑顔に変化した場合には「笑顔」として記録した。これらの両者が見られない場合には「無反応」として記録した。これにあわせ、アンケートによりロボットのくすぐりから感じた主観的なくすぐったさを記録した。記録は Visual Analog Scale (VAS) により行った。さらに、くすぐったさの持続時間を計測するため、実験参加者にはロボットの刺激

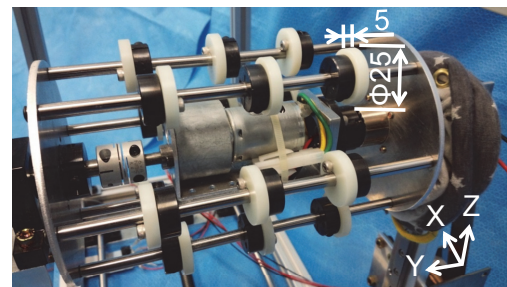


Fig. 5 Structure of the roller part

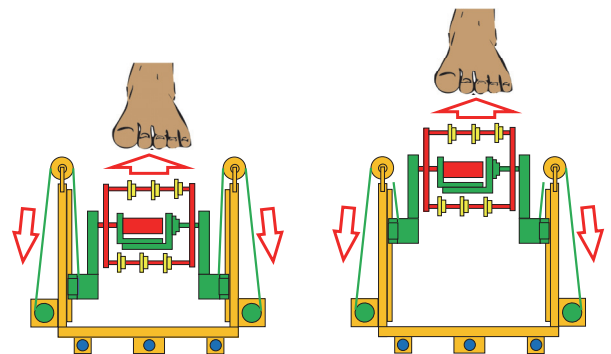


Fig. 6 Mechanism to keep the tickling force consisted of constant force spring

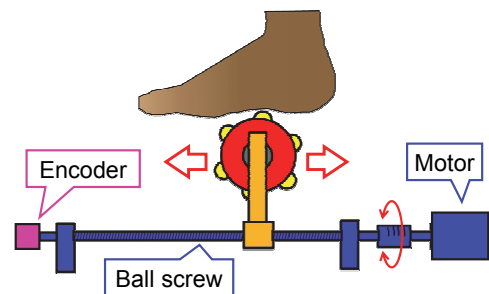


Fig. 7 Mechanism to change the tickling position

からくすぐったさを感じなくなった際に手を挙げてもらい、実験開始から手が挙がるまでの時間を計測した。

4.1 実験結果

まず、実験参加者の笑い反応の結果を Fig. 9 に示す。この結果をみると、「笑い」と「笑顔」の内訳に差はあるものの、今回使用した3台のロボットで実験参加者の反応はほぼ同じであることがわかる。

一方、Fig.10 に示した主観的くすぐったさに関する結果を見ると、足裏を撫でるロボットは実験参加者に最も高いくすぐったさを感じさせたことがわかる。また、Fig.11 に示した主観的くすぐったさの持続時間に関する結果を見ても、足裏を撫でるロボットが最も長い時間主観的くすぐったさを感じさせたことがわかる。これらの結果は、これまで開発したロボットと比較しても本研究で開発したロボットが足裏を撫でる動作を通じ実験参加者に十分なくすぐったさを与えていることを示していたといえる。

5. 結論・今後の展望

精神疾患の予防・治療に役立てるため、人間の笑い誘発

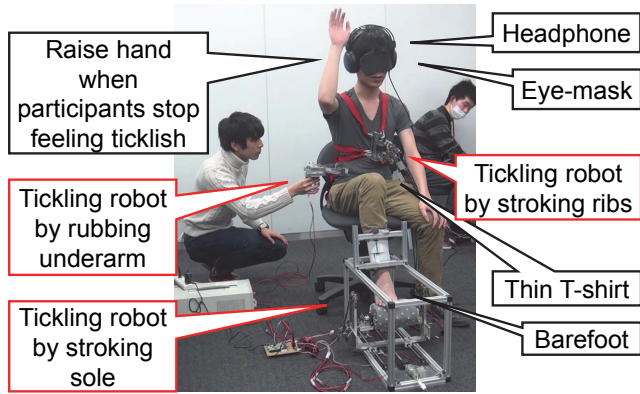


Fig. 8 Experimental setup

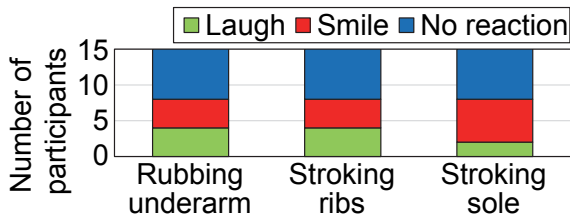


Fig. 9 Laughter reaction

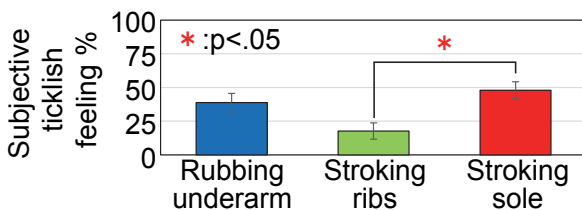


Fig. 10 Subjective ticklish feeling

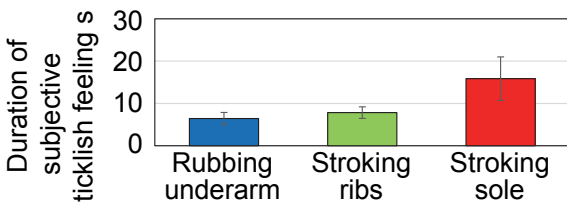


Fig. 11 Duration of subjective ticklish feeling The score was statistically analyzed by Tukey's method.

メカニズムの解明に取り組んでいる。特に、刺激と反応の関係が単純なくすぐりに注目した。単一の手法・部位へのくすぐりのみでは刺激に対する慣れの問題があったため、くすぐりを与える部位を増やすことをめざした。脇の下へのくすぐりに加えた場合に効果が高いものとして、足裏を撫でるくすぐりを選定した。人間のくすぐりの解析から得た要求仕様に基づき、ハードウェアを開発した。撫で動作はローラの回転により実現した。人間の足の動きによらず、一定の力で撫で刺激を加えるため、定荷重ばねによりローラを足裏に押し当てる構造を採用した。また、ローラ全体をボールねじにより移動し、くすぐる位置を足の長辺方向に移動できるようにした。評価実験の結果、開発されたロボットは人間にくすぐったさを感じさせることができたことが確認された。今後、これまでに開発されたロボットを複合的に使用したくすぐり刺激を実現したい。

謝辞

本研究は早稲田大学理工学研究soおよび早稲田大学ヒューマンノイド研究所、早稲田大学次世代ロボット研究機構の下で実施された。本研究で用いられた 3DCAD はソリッドワークス・ジャパン株式会社より提供され、本研究の一部は JSPS 特別研究員奨励費 (25・915), JSPS 科研費 25220005, 26540137, 三菱財団研究助成, 早稲田大学特定課題研究助成費 (2014S-091, 2016K-368) の支援を受けた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- (1) K.Demyttenare, WHO World Mental Health Survey Consortium et al. "Prevalence, severity, and unmet need for treatment of mental disorders in the World Health Organization World Mental Health Surveys", JAMA, vol. 29, no.21, pp. 2581-2590, 2004.
- (2) "厚生労働省 精神疾患のデータに関するウェブサイト", <http://www.mhlw.go.jp/kokoro/speciality/data.html/>
- (3) 三宅優他: "健康における笑いの効果の文献学的考察", 岡山大学医学部保健学科紀要, vol. 17, no. 1, 2007.
- (4) 林宏太郎他: "ロボット漫才—社会的受動メディアとしての二体のロボットの利用—", 日本ロボット学会誌, vol. 25, no. 3, pp.381-389, 2007.
- (5) 青木哲他: "Raspberry Pi を利用した小型漫才ロボットの開発", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2015講演論文集, 1A1-J01, 2015.
- (6) 柳野浩志他: "笑いを通じた人間とロボットのインタラクションに関する研究 (第2報: 高速動作が可能な腕部の開発および動作速度と面白さの関係)", 日本ロボット学会第33回学術講演会予稿集, 2014.
- (7) Blakemore, S.J. "Why can't you tickle yourself?" Neuroreport, Vol. 11, R 11-16, 2000.
- (8) Harris, C.R.: "Can a machine tickle?" Psychonomic Bulletin & Review, Vol. 6, pp. 504-510, 1999.
- (9) 岸竜弘他: "揉み動作によるくすぐりで人間の笑いを誘発する一自由度ロボットハンドの開発", 日本ロボット学会第33回学術講演会予稿集, 2014.
- (10) 岸竜弘他: "笑いを通じた人間とロボットのインタラクションに関する研究 (第4報: 肋骨の撫でを通じたくすぐりロボットの開発)", 日本IFTtoMM会議シンポジウム前刷集 (第22回), 2016.
- (11) Harris, C.R. "The mystery of ticklish laughter," American Scientist, Vol. 87, pp. 344-352, 1999.