

# 協働ロボットの発話内容及び動作の変化による 運動許容量と疲労の表現

木村 彩香<sup>1\*</sup> 八軒 裕生<sup>1</sup> 玉本 孝哉<sup>1</sup> 藤井 良祐<sup>1</sup> 米澤 朋子<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 関西大学

<sup>1</sup> Kansai University

**Abstract:** 本稿では、協働ロボットを限界のある「生き物」と認識させ、ユーザの労り意識を高めることを目指す。ロボットの運動の量的キャパシティを「体力」として数値化し、作業の繰り返し数や運動停止時間に応じた疲労と回復を体力値に反映する。その値に応じて動作速度や発話内容を変化させ、疲労に伴う速度低下、動作停止を経た回復を表すことで、生物的な限界を概念的に持たせたロボットシステムを試作した。

## 1 はじめに

近年、少子高齢化の進行に伴い、介護、医療、飲食などの分野において深刻な労働力不足が問題となっている。この課題を解決する手段の一つとして、協働ロボットの導入・活用が進められている [1]。しかし、労働力不足を補うために使用されるロボットは、ロボットが活動できる最低限のメンテナンスしか行われず、最大限活用するため故障リスクもある。これは、ロボットは感情を持たない存在とされ、主に労働力としての機能に期待が寄せられているためである。このような考えのもと、ロボットは長時間稼働させられ、不具合や故障といった機械的限界に達して初めてメンテナンスの対象となるケースも少なくない。

このような協働ロボットは消費される労働者となる危険性がある。これは共に働く人間にとって経営者が行う将来的な自分に対する扱いへの投影や、ロボットの中長期利用、および協働ロボットの地位の低下の恐れにつながる。本来は物理的なロボットには身体性が伴うが故の限界があり、管理者や協働者が直感的に理解する必要がある。

ここで、労りの概念を導入する。高齢者や超過勤務者に対し、人は労りを向ける。弱いロボットとしての弱さを前面に出すのではなく、協働するロボットに対する適切な程度の弱さの理解を人間がすることが、今後のヒューマンロボットインタラクションに必要なだと考えた。

そこで本研究では、ロボットの使用者が自主的にロボットのケアを行いたいと思う気持ちを引き出すため、ロボットにキャパシティ（能力や限界）を表現させ、感

情的に訴えるような手法を検討した。労りの意識を引き出すため、運動や労働の量的キャパシティとして「運動許容量」という概念を導入し、それを基準に動作や音声発話に変化を見せることで、人間がロボットに労りが必要な段階を直感的に感じることができる枠組みを提案する。

## 2 関連研究

### 2.1 ロボットと人間のコミュニケーション問題

協働ロボットやコミュニケーションロボット、またはそれらのハイブリッドな性質を備えたロボットたちが世の中に広がりつつある。これらロボットとのコミュニケーションにおいて、人間の感情やロボットに対する印象に与える影響 [2] は、人間同士のコミュニケーションの影響のように少なくない。一方、ロボットと人間のミスコミュニケーションや人間がロボットに対し示すハラスメント [3] などの望ましくない姿勢は、感情的にネガティブな影響を人間に引き起こす [4]。例えば見ているだけで悲しい気持ちになる共感的な反応だけでなく、人間の行動規範や共感能力を長期的に引き下げる恐れまである。またこのような行動は、ロボットに対する理解の低さや過度な恐怖心から起こるともされる [4]。

協働ロボットは人間と共に目的を達成するが、ネガティブな態度の波及効果を及ぼしあうと本来の目的を達成できないだけでなく、導入による欠点のみが残ってしまう。ここで、相互に状況を理解し合い気遣う「労り」の気持ちを持ち合うためには、感情などの内部状態と身体状態を自然に表示することが必要だと考えた。

\*連絡先：関西大学総合情報学研究科  
〒 569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1  
E-mail: {k055790,yone}@kansai-u.ac.jp

## 2.2 ロボットの内部状態表現

人間にとって、身体状態や内部状態としての感情表現を行うことは、上記のようにコミュニケーションにおいて重要である。人は表情や身振りや言葉の抑揚や調子から感情情動を知ることができる [5]。また、日本人は特に音声情報に感情が現れやすい [6]。人間や動物といった生物のコミュニケーションだけではなく、人工的なエージェントやロボットでも感情表現をするものが数多く提案されている。例えばペット型ロボット AIBO は、エックマンのモデル（喜び、悲しみ、怒り、嫌悪、驚き、恐怖）をもとに六つの基本情動量を導入し、6 情動量に対応させている [7]。

しかし、単純な感情的状態の表出は仕事において時に邪魔であり、冷静な作業の中でも互いの問題を回りあう姿勢が、協働ロボットには必要となっていくと考えた。よって本稿における内部状態として、協働の際の労りの気持ちを誘発するために、体力に対する運動量と限界を表示することに着眼した。

## 2.3 ロボットの内部状態表出表現による人間とのインタラクション

ここで、ロボットが表現や行動を示すことによる、人間側のロボットの感情や内部状態に対する理解について述べる。ロボットのパーソナルスペースを表現する研究においては、ロボットの人に近づく距離やロボットの動きにより人はロボットのパーソナルスペースを感じることができることが示されている [8]。また、ロボットが仕草によって自分の心理状態を表現すると、ロボットの感情表現を豊かと感じ、人間性や親しみやすさが向上する [9]。本物の植物を乗せて動く植木鉢型のロボット「PotPet」の研究では、日光を求めて庭を移動、水を求めて徘徊する、水が与えられると回転などして喜ぶなど、自律的に動き、ユーザーの行動に対し即時にフィードバックを返すことにより、ユーザーに興味や愛着を持たせることがわかった [10]。このように、ロボットの表現や行動には、ロボット側の内部状態を推測させ、人間の行動を引き起こしたり変容させたりすることで、インタラクションの呼び水としての効果がある。

協働ロボットの内部状態を人間が把握し、人間の状態もロボットが把握することが、次の仕事の遂行のために必要である。本研究では、この相互理解の第一歩として、体力値の概念とその表出の効果を検討する。

## 2.4 ロボットに対する人間の自主的な行動

ロボットの仕草は人の「志向姿勢」を引き出す役割がある。「弱いロボット」の研究において、〈弱さ〉は積



図 1: AMR (自律走行搬送ロボット)

極的なアシストを引き出す上で重要な役割を果たすことがわかっている [11]。

行動変容を引き起こすロボットの効能は、人間の自主的な行動に結びつける重要な効果として用いられる [12]。また、倫理的に許容される範囲でロボットの表現を用いれば、人間の行動や意識に適度な誘導効果をもたらすことができる [13]。

ヒューマノイドロボットによる、仕事を行いながらの感情伝達を目的とした研究ではロボットの感情伝達により人間によるロボットへの距離調整を誘発している [14]。またぬいぐるみロボットにおいて生理現象を表現する研究では、ユーザーのロボットに対する親密性の印象を高める可能性が示された [15]。

これらの研究はヒューマノイドロボットやぬいぐるみロボットによる実装に留まっており、搬送ロボットによる内部状態表現の例は少ない。

そこで本研究では、日本社会においてその役割が拡大している図 1 のような搬送ロボット [16] に対し、協働ロボットとして人間がケアしようと思う、自主的な気持ちを誘発することを目的とし、ロボットの内部状態を運動の量的キャパシティとして表出するシステムを検討する。ロボットのキャパシティは、動作速度と発話内容の変化により表現する。

## 3 提案システム

### 3.1 システムの目的

本システムは、協働ロボットの運動許容に関わる内部状態を実運動量に応じて段階的に提示することでユーザーへ直感的に伝達し、労り意識や支援の行動を誘発するインタラクションの構築を目指す。

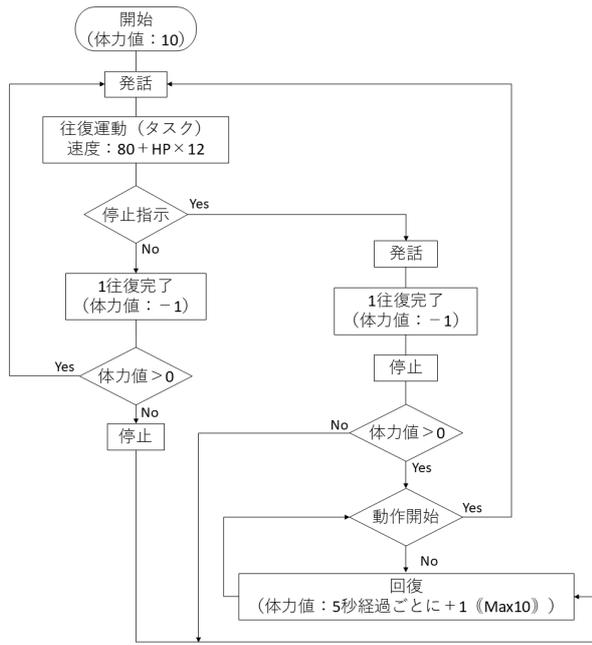


図 2: システムフロー図

### 3.2 システム概要

本システムでは、ロボットのタスクとして往復行動を行う。ユーザがロボットに往復運動を行わせ、任意のタイミングで動作の開始、停止を行う。ロボットの運動の量的キャパシティを体力として数値化し、1) 動作速度と 2) 発話内容に反映させることでロボット自身の余裕状態を表現する。往復運動の継続に伴い体力値が減少すると、往復運動の速度低下、疲労や限界を訴える発話を行う。また、体力値はロボットの動作停止(休憩)によって回復する。(図 2)

### 3.3 システムの構成

ロボット状態制御ユニットとしてまずロボット本体には ELEGOO UNO R3 SMART ROBOT CAR V4.0 WITH CAMERA(図 3)を使用した。

本システムは、ロボットの制御を担う Arduino と、ユーザインターフェースを担う Processing の 2 ユニットで構成され、両者はシリアル通信を介して相互に情報を送り合う。(図 4)

Arduino 側では、ロボットのモータの駆動制御を行うとともに、往復運動の進行に応じた「体力値」の算出および「往復数」のカウントを行う。さらに、これらの数値に基づき、適切な発話内容を決める「音声 ID」の値を決定し、Processing へ送信する。

Processing 側では、受信した「音声 ID」に対応する音声ファイルを再生し、ロボットのセリフとして出力

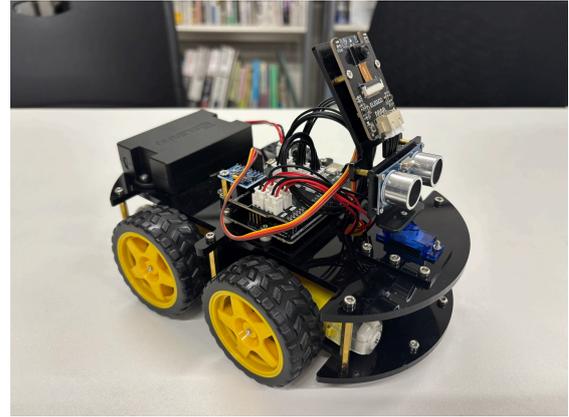


図 3: ELEGOO UNO R3 SMART ROBOT CAR V4.0 WITH CAMERA

する。また、ユーザからの操作入力 (S キーで動作開始、R キーで動作停止) を受け付け、その指示信号を Arduino へ送信することで、ロボットの動作開始および停止を同期制御する。ロボットのセリフの音声は、あらかじめ収録した合成音声を用いる。

本システムは、上記 2 ユニットを用いた 1) 体力値算出部と 2) 運動制御部と 3) 発話制御部から構成される。(図 5)

### 3.4 体力値算出部

体力値算出部では、ロボットの運動の量的キャパシティを「体力」として数値化し、以下のルールに基づき動的に算出する。

- ・初期, 最大値: 体力の最大値を 10 と定義する。
- ・疲労 (減算): 往復運動において 1 往復を達成するごとに、体力値を 1 減算する。
- ・回復 (加算): ロボットが停止状態にあるとき、5000 ミリ秒が経過するごとに体力値を 1 加算し、最大値まで回復させる。

### 3.5 運動制御部

算出された体力値に基づき、ロボットの動作特性を以下の数式を用いて動的に変化させる。

- ・移動速度の制御: 移動速度を体力値に応じて変化させるため、モータの駆動信号として 8bit 分解能 (0-255) の PWM 値  $u$  を用い、 $u = 80 + (\text{体力値} \times 12)$  と定義した。これにより、体力値の減少に伴ってモータの出力が低下するため、ロボットの移動速度も低下させることができる。

- ・動作時間の制御: 次の動作ステップへ移行するまでのインターバルを  $t(\text{動作を行う時間}) = 70000 / (20$

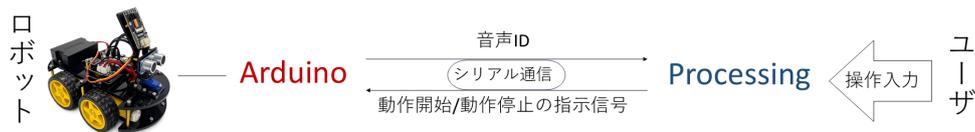


図 4: システムの構成図

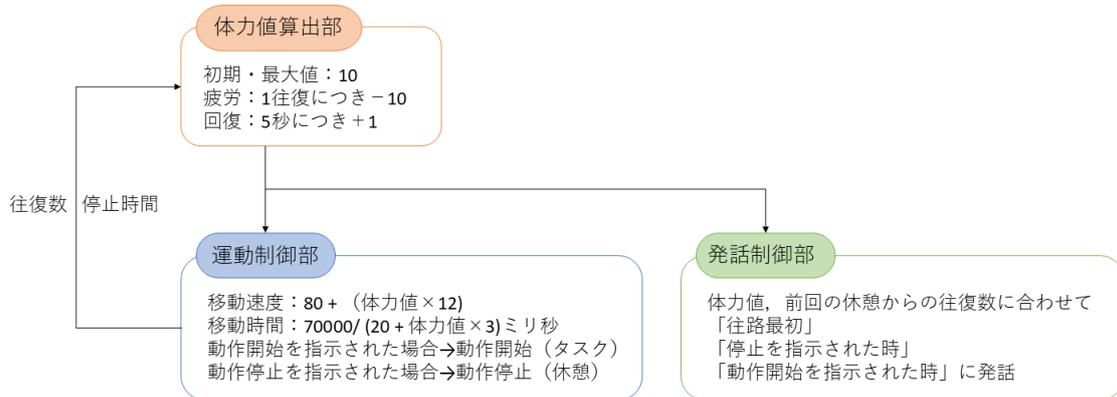


図 5: 運動制御と発話制御に対する更新アルゴリズム

+ 体力値 $\times$ 3) ミリ秒として算出する。体力値が低いほど動作を行う時間が長くなり、動作の「鈍さ」が強調される。

また、キーボード入力により動作開始 (S キー入力) が指示されると往復運動を開始し、動作停止 (R キー入力) が指示されると 1 往復終了後往復運動を辞め停止する。

### 3.6 発話制御部

算出された体力値と前回の休憩からの往復数を考慮し、Processing に格納された音声ファイルを用いて状況に応じた音声フィードバックを行う。体力値に応じた発話内容の一覧を表 1 に示す。

また、音声は内容が変化するだけでなく、体力値が減少するにつれて音声を引き伸ばし、声は低く、発話速度は遅くなり、疲労度合を声の変化により表現する。

## 4 今後の展望

本研究では、協働ロボットを限界のある「生き物」と認識させ、ユーザによるロボットを労る意識を誘発することを旨とし、ロボットの体力量の概念を導入し、往復運動の回数と休憩時間に応じて、疲労・回復度合いを動作速度と発話内容で表現するシステムを提案した。

今回はタスクを往復運動と決め、運動許容量を表現した。しかし、運動の量的キャパシティの中には動作時間、処理能力、バッテリー残量、ハードウェアの限界など、様々な要素がある。そのため、ロボットの行動を決定づけるキャパシティの定義やその複線化を検討する必要がある。また、これらのように観察可能な量ではなく、ロボットが感情を持っていると想定し、ロボットにとって楽な仕事、大変だからやりたくない仕事といったものを決め、それに対してロボットが抱く感情をやる気量としてのキャパシティに考慮することも検討したい。

今回は、ロボットの体力を表現する上で、動作と音を用いた。まず動作について、動くことがタスクの協働ロボットにおいて、内部状態を表現するために意図的に動作を変化させることは、本来の業務に支障をきたす。そのため、協働ロボットにおいて内部状態を表現するには本来の業務に大きな影響のないものを検討する必要がある。例えば、音以外のモダリティとして、ロボットの顔表情や触覚提示などの活用が考えられる。また音について、今回は発話させ、発話の文脈、声の高さと発話速度を変化させた。今後、音声にノイズを混ぜる、鳴き声や呼吸音を使うなど非言語的な音情報を活用することも検討したい。さらに将来的には音声制御モジュールをロボットに搭載することで、独立して内部状態表現を行うシステムとして実装する予定である。

表 1: 音声通知内容と体力値

体力値	往路最初	休憩開始時	休憩後動作開始時
10	がんばるね		がんばるね
9		まだ休憩いらぬのに	またがんばるね
8	まだまだ頑張るよ		休憩させてくれてありがとう、頑張る！
7		休憩させてくれるの？	
6	そろそろ休憩したいな (また休憩したいな)		
5		休憩させてくれてありがとう	休憩できたから頑張るね
4	休憩させて… (また休憩させて、回復できてない)	ありがとう	あと少しだけ頑張るよ
3			
2		やっと休憩できた…	
1		(休憩させてもらえてよかった)	少し休憩できました

( ) は前回休憩から 1-2 往復の時

ロボットにキャパシティを表現させることの本来の目的は、ロボットの使用者に労り意識を持たせ、自主的にロボットをケアしたいと思う気持ちを引き出すことである。そのため、協働者が自主的にケアをしたい、もしくは休憩やメンテナンスが必要だと思う気持ちを引き出す表現を検討していく必要がある。さらに、労り意識への影響を実験により検証することも必須である。これらを通じて明らかになった人間の労り意識への影響のもとに、実際の行動変容の検証にも重点を置く。そして、ロボット側の人間に対する労り意識についても構築し相互に支え合う協働を実現したい。

## 謝辞

本研究は、一部科研費 JSPS 23K11278, 23K11202, 22K19792, 24K02977 の助成を受け実施した。

## 参考文献

- 清水亮太. *AI・ロボットの業務代替による労働の変化の考察*. PhD thesis, Waseda University, 2020.
- Rebecca Q Stafford, Elizabeth Broadbent, Chandimal Jayawardena, Ulrike Unger, I-Han Kuo, Aleksandar Igetic, Richie Wong, Ngaire Kerse, Catherine Watson, and Bruce A MacDonald. Improved robot attitudes and emotions at a retirement home after meeting a robot. In *19th international symposium in robot and human interactive communication*, pages 82–87. IEEE, 2010.
- Masahiro Shiomi, Kurima Sakai, Tomo Funayama, Takashi Minato, and Hiroshi Ishiguro. Robot harassment: Inappropriate behaviors against an android robot during three-year exhibition. In *2025 20th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pages 1634–1637. IEEE, 2025.
- Cass Shum, Hyounae Min, Jie Sun, Heyao Yu, and Zhaoli He. Kicking the robots: the roles of transformational leadership and fear on service robot risk awareness and robot abuse relationship. *Journal of Hospitality and Tourism Technology*, 15(5):934–946, 2024.
- 中村克樹. 非言語コミュニケーションの意義. *学術の動向*, 9(2):28–31, 2004.
- 田中章浩, 小泉愛, 今井久登, 平本絵里子, 平松沙織, et al. 日本人は声重視 顔と声による情動認知の文化間比較. In *日本認知心理学会発表論文集 日本認知心理学会第 8 回大会*, pages 42–42. 日本認知心理学会, 2010.
- 藤田雅博. 感性とロボット ペット型ロボットの感性表現. *日本ロボット学会誌*, 17(7):947–951, 1999.
- Hagen Lehmann, Adam Rojik, and Matej Hoffmann. Should a small robot have a small personal space? investigating personal spatial zones and proxemic behavior in human-robot interaction. *arXiv preprint arXiv:2009.01818*, 2020.
- 田島敬士 and 西田豊明. 人間とロボットの感情的インタラクション. *人工知能学会全国大会論文集*, (0):37–37, 2003.
- 川上あゆみ, 塚田浩二, 神原啓介, 椎尾一郎, et al. Potpet: ペットのようなコミュニケーションをはかる植木鉢型ロボット. *情報処理学会第 73 回全国大会*, 1:6, 2011.

- [11] 岡田美智男. 人とのかかわりを指向する < 弱いロボット > とその展開. *日本ロボット学会誌*, 34(5):299–303, 2016.
- [12] Cynthia Breazeal and Rodney Brooks. Robot emotion: A functional perspective. *Who needs emotions*, pages 271–310, 2005.
- [13] Jason Borenstein and Ronald C Arkin. Nudging for good: robots and the ethical appropriateness of nurturing empathy and charitable behavior. *Ai & Society*, 32(4):499–507, 2017.
- [14] Morten Roed Frederiksen, Katrin Fischer, and Maja Matarić. Robot vulnerability and the elicitation of user empathy. In *2022 31st IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pages 52–58. IEEE, 2022.
- [15] 吉田 直人 and 米澤 朋子. ユーザに対するロボットの生理的働きかけによるコンテンツ覚醒度の増幅と親密感への影響. *知能と情報*, 34(3):579–591, 2022.
- [16] 経済産業省. ロボット新戦略. Technical report, 経済産業省, 2021. 令和3年度 ロボット・AI 関連報告書.