This article is a technical report without peer review, and its polished and/or extended version may be published elsewhere.

第 29 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集（2024 年 9 月）

コプター: 人間と共に行動しながら 自律的に動作するモノにおけるデザイン要件の検討

Copter: A Design Inquiry for Objects that Move Autonomously While Coexisting with Humans

髙木歩実 [1)*], 直井駿 [1)*], 中村玲香 [1)*], 中條麟太郎 [2)], 矢作優知 [2)3)], 松井克文 [4)], ソンヨンア [1)]
Ayumi TAKAGI[1)*], Syun NAOI[1)*], Reika NAKAMURA[1)*], Rintaro CHUJO[2)], Yuchi YAHAGI[2)3)], Katsufumi MATSUI[4)], Young ah SEONG[1)]

1) 法政大学 デザイン工学部（〒 162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33, {ayumi.takagi.9q, syun.naoi.6k, reika.nakamura.9k}@stu.hosei.ac.jp, seong@hosei.ac.jp）
2) 東京大学 大学院学際情報学府（〒 113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1, {chujo, yahagi}@hc.ic.i.u-tokyo.ac.jp）
3) 日本学術振興会特別研究員 DC
4) 東京大学 産学協創推進本部（〒 113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1, matsui.katsufumi@mail.u-tokyo.ac.jp）

概要: 人工知能技術の発展により，自律的に振る舞うエージェントが人間と同等の自然な速度で周囲の世界とインタラクションすることが可能となった．近い将来，このようなエージェントがモノに組み込まれ日常生活に溶け込む世界に向けて，モノとヒトがどのように共存していくことが望ましいかを検討する必要がある．しかし，技術の進展が迅速であり，望ましい社会についてのコンセンサスを形成することも困難であるため，従来の課題解決型の研究では明確な解決策を示すことができない．そこで本研究では，プロトタイピングを通じてどのような課題が存在するのかを探索的に明らかにすることを目的とする．その第一歩として，人間とともに行動しながらも自律的に世界と関わるデバイス「コプター」のデザインを題材として，モノとヒトの共存のあり方を探索的に検討する．

キーワード： エージェント，モノ，オートエスノグラフィー，自律

1. はじめに

生成 AI をはじめとした人工知能技術の著しい発展により，コンピューターが人間と同等の自然な速度で周囲の世界とインタラクションすることが可能となっている． 例えば，OpenAI が発表した生成 AI「GPT-4o」のデモでは，カメラとマイクの入力を用いることで，リアルタイムかつ自然なテンポで周囲の状況を踏まえた会話ができることが示された [1]．ロボットやバーチャルアシスタントへの生成 AI の導入が進む中で，これらのエージェントはますます複雑で高度なタスクを人間に対しても自然な方法や速度でこなすようになるだろう．近い将来，周囲の環境と関わりながら自律的に動作するエージェントがさまざまなモノに組み込まれ，私たちの日常生活に自然に溶け込む未来がやってくることが予想される．そのため，モノとヒトが共存して互いに補完し合う新たな生活様式に向けて，テクノロジーをデザインする必要がある．

しかし，この技術的進歩は，人間がテクノロジーをデザインする方法にも影響を与える可能性がある．人工知能技術を活用することで，必ずしも人間が全ての動きを設計しなくとも，ロボットやバーチャルアシスタントなどのエージェントが，主体的かつ自律的に自らの行動を設計し動作する事が可能になる．このようなエージェントは，Wakkary ら [1] が IoT デバイスのデザインにおいて主張したように，人間とのインタラクションのみを志向するものではなく，人間と周囲の環境を含めた非人間からなる複雑なインタラクションの中で動作していると捉えることが適切である．このように捉えると，自律的に動作するデバイスの設計にあたっては，人間工学やユーザビリティの知識と技術を用いて使いやすいインタラクティブシステムの設計と開発を目指す，従来の人間中心設計（Human-centered Design: HCD）のアプローチでは不十分である．主体的かつ自律的に自らの動きを設計し動作するモノをデザインする上では，モノと人間の間に生じる複雑なインタラクションを理解する必要があるのではないだろうか．

そこで本研究では，「マテリアル・スペキュレーション (Material Speculation) [2]」と呼ばれる探索的な手法を用いて，人間とともに移動しながらも自律的に動作するモノのデザイン要件を検討する．マテリアル・スペキュレーションとは，研究上の問いに対応した仮説的な人工物をデザインし，それを日常的に体験することを通じて，問いに対す

＊ 共同筆頭著者
[1] https://openai.com/index/hello-gpt-4o/

© 2024 日本バーチャルリアリティ学会

図 1: コプターを装着している人

る答えを探索的に明らかにする手法である．新しい技術が次々と登場する現代において，その影響範囲や結果を事前に予測することは難しいため，従来の課題解決型のアプローチでは望ましい社会を検討することが困難になりつつある．技術の進化に伴う新たな課題が複雑かつ多面的で存在する現在では，想像力を最大限発揮できる迅速な方法として，マテリアルスペキュレーション以外にも，SF プロトタイピングやスペキュラティブデザインなどの探索的なアプローチの実践が進んでいる．

具体的には，人間とともに移動しながらも自律的に動作する帽子型デバイス「コプター」を設計し，設計したデバイスとともに生活する様子をオートエスノグラフィで記録分析する．オートエスノグラフィーとは，研究者自身の体験から得られるデータを元に，深い洞察を導き出す手法である．この手法を用いることで，人間とデバイスのインタラクションにおける微細な側面を捉えられることが期待される．以上の調査を踏まえて，人間とともに行動しながら自律的に動作するモノにおけるデザイン原則や指針を考察するとともに，今後の研究の可能性についても議論する．

2. 先行研究

周囲の環境と関わりながら自律的に動作するエージェントのデザインについて，代表的な先行研究を説明する．

ソンら [3] は，モノが社会の中で自律的かつサステイナブルに再生する在り方「rapoptosis」を提案した．プロトタイプとして，洋服棚で一定期間使われていない服が自動的に落下するシステムを設計し，モノの自律性が再価値化に与える影響をワークショップで評価した．Table-non-table [4] の研究では，稀にかつ僅かに自律的に動く台座の上に紙の束を重ねることで作られたテーブルを，ユーザーがどのように認識して利用するかを調査した．マテリアル・スペキュレーション [2] の手法を用いて，自律的に動作するモノの動きに対して，それを見た人が恣意的に解釈を見出していく様子が見出された．Morse Things [1] は，ネットワークに接続してモールス信号でやり取りする陶器のボウルとカップのセットである．Table-non-table と同様にマテリアル・スペキュレーション [2] の手法を用いて 6 週間の調査が行われ，自律的に動作するモノと人間の差異に対する認識や，モノに対する愛着が生じたことがわかった．

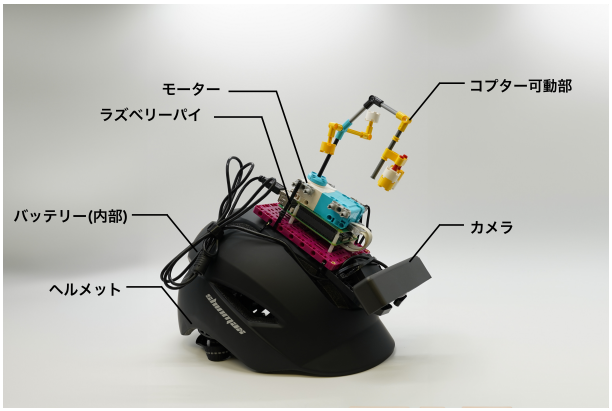

図 2: コプター構成図

3. 帽子型デバイス「コプター」

コプターは，人の頭の上に装着され，周囲の環境に応じて自律的に回転する帽子型デバイスである（図 1）．モノが室内の特定の場所に置かれていた先行研究 [1, 3, 4] と異なり，コプターには自律的に動作しながらも常に人間とともに移動し続けるという特徴がある．

コプターの構成図を図 2 に示す．コンピュータは Raspberry Pi 5(8GB)，モーターとして LEGO® Education Large Angular Motor を採用し，アドオンボードとして Raspberry Pi Build HAT をコンピュータに接続した．カメラは Raspberry Pi Camera V2，もしくは市販の Web カメラをコンピュータに接続した．電源は，単三電池 6 本からなる電池ボックスから供給した．モーターに接続して回転するコプター可動部は，レゴブロックを用いて各自で自由に設計できるようにした．これら一式はヘルメットに固定され，人の頭に装着できるようにし，計 3 台実装した．

コプターにはそれぞれ「性格」を付与した．コプター可動部も含めてコプターが完成したのちに，GPT-4o にコプ

© 2024 日本バーチャルリアリティ学会

ターの写真を送信し，コプターの「性格」を得た．本研究では，著者のうち 2 名が 3 つのプロトタイプを作成したところ，プロトタイプ 1 の性格はエネルギッシュで冒険心の強いチームプレイヤー，プロトタイプ 2 の性格は友好的で穏やかなのんびり屋，そしてプロトタイプ 3 の性格は効率的かつ現実的で地道な努力家となった．

コプターの動作は，取り付けられたカメラから撮られる周囲の映像を用いて，GPT-4o が自動的に生成した．具体的には，周囲の映像とコプターの性格を GPT-4o の API を通じて送信した上で，出力されたモーターの動作パターンを示した JSON ファイルの記載に従ってモーターが動作するようなプログラムを Python で作成し，コンピュータ上で動かした．

4. 調査

本研究では，設計したデバイス「コプター」と人間のインタラクションを捉えるために，デバイスとともに実際に生活する様子を，マテリアル・スペキュレーション [2] とオートエスノグラフィの手法を用いて調査した．

具体的には，著者のうち 3 名（第一著者から第三著者まで．それぞれ A1，A2，A3 とする）が，3 つのコプターのプロトタイプを用いて，表 1 で示す様々な作業を約 1 日コプターと共に遂行し，フィールドノートを記録した．後日，著者 3 名はグループディスカッションを行い，コプターとの生活経験を発表するとともに，それぞれの気づきについて議論した．ディスカッションを実施した後，録音データから作成された逐語録に対してコーディングを行った．

表 1: それぞれの著者がコプターとともに行った作業

著者	作業
A1	ご飯を食べる，動画を観る，スマートフォンを操作する，勉強する
A2	作業する
A3	作業する，ご飯を食べる，スマートフォンを操作する，廊下に出る
A1・A2・A3 が共同で実施	ゼミに参加する，ご飯を食べる，会議に参加する，ボードゲームをする

5. 結果

ディスカッションのデータを分析したところ，「コプターと自己の境界の揺らぎ」「コプターに対する主観的価値の変化」という 2 つの主要なテーマが見つかった．以下にそれぞれについて説明する．なお，引用中の括弧は著者が加えた注釈である．

5.1 コプターと自己の境界の揺らぎ

5.1.1 他者としてのコプター

著者らは多くの場合，コプターを自分とは異なる存在であると認識していた．例えば A2 は，みんなで食事をする場面において「他の人のコプターを見て，（装着者は）黙々と食べてるのに，コプターは活発に動いたり好き勝手してて，見てて面白かった」と述べている．また A1 は，一人で食事をする場面において「（ご飯を食べて）美味しいなって思った時に，1 人で食べてたら〈中略〉シーンってなるけど，〈中略〉コプターが，察してはくれてないけど動いてるから，寂しくなかったよね.」（A1）と述べた．これは，コプターを自分とは異なる存在として認識することで，そばに誰かがいる感覚を得られたことを意味している．

5.1.2 自分の延長としてのコプター

一方で，コプターと自身が同一の存在であるように感じる場面も多かった．例えば A2 は，講義を静かに受講しなければいけない場面でコプターが激しく動作すると，装着している人にはコプターの動作を制御する余地がないにも関わらず，コプターの行動の責任が自分にあるように感じたことを報告した．A1 は「（講師が）ちゃんとお話をしっかりしてくれてて，その時にコプターがブワーって動くと，〈中略〉コプターが悪いわけだけど，つけてる自分も悪いみたいな」「ある意味，子供がなんかするみたいなのと〈中略〉似てる」と述べていたほか，A3 は「今なうでつけてる人同士だったらさ，だいぶ寛容になるよね」と述べており，コプターと自己が異なる存在であることを理解しながらも，保護者としての責任や罪悪感を感じることや，コプターと自分の関係を，保護者と子供の関係と重ねて考えていることがわかった．

5.1.3 コプターの存在感の変化

また，装着時にコプターの存在を忘れている場面も見られた．例えば，著者らが共同でゲームをする場面では「いざゲームをやったりすると，〈中略〉存在を感じることはなかった．存在忘れてた．完璧.」（A1），「普通にカードゲームが楽しかった」（A3）と述べており，集中するとコプターの存在を意識しなくなることが報告された．A3 は「頭の上につけて装着してると，〈中略〉動きが見えないし，雑音だけでたまに頭が揺さぶられる感じで」と述べており，コプターの装着位置によって存在感の認識が変化する可能性が示唆された．

さらに，コプターに対する意識は状況によって変化する可能性がある．例えば A2 は「ふと眠くなった瞬間とかに，コプターが動いて，ちょっとびっくりして目が覚める」「コプターが自分についている（という）〈中略〉認識が切り替わる」と述べた．これは，コプターの存在感が急激に変化したことで，装着者の意識に影響を及ぼした事例だと言える．

5.2 コプターに対する主観的価値

5.2.1 コプターの動作に対する解釈

著者らがコプターの動作に対して，主観的に意味を解釈して理解しようとする様子が見られた．例えば「コプターにとっては，別になんか私が何をしてようとどうでもいいじゃん．だけど，〈中略〉自分に都合のいいように解釈できて，たまに励まされる」（A3），「コプターが動くたびに，なんか，励まされてるような，早く食べろみたいな，催促され

© 2024 日本バーチャルリアリティ学会

てるような感じがしたっていう．本当に，ただ主観なんだけど」（A1）などの発話がみられた．

コプターの動作はモーターの回転に限定されており，かつ周囲の環境に応じて自律的に動作するようにプログラムされているため，装着者はコプターの動作の意図を知ることはできない．そのことで，コプターに対する解釈が限定せず，主観に開かれたものになったことがわかる．P1 が「コプターは（私たち）のために動いてるわけじゃなかったんだけど，気がついたら私たちのためになってた」と述べるように，コプターの動作に対する主観的な解釈は，コプターの価値の認識に影響した可能性がある．

5.2.2 コプターに対する愛着

著者らは，コプターと共に過ごす中でコプターに対する愛着がわいたことも報告した．「なんかわからないけどおもろいみたい」（A3）「考えることが楽しい人に刺さる」（A1）「完全に理解できないからこそ来る愛着」（A3）などの発話が示す通り，先述したコプターの動作に対する解釈の多義性と，それに伴う「わからなさ」（A2）が愛着につながっている可能性が示唆された．また A3 は「勢い良すぎてパーツが壊れちゃったりしてたけど，〈中略〉1 番最初に作った時は偶然出来上がって， 1 パーツずつくっつけて偶然出来上がった形だったけど，もう出来上がってからはみんな壊そうとしないというか，その形に戻そうとするみたいなのがあって，愛着みたいなのが湧いてるかな.」と述べており，自分でコプター動作部を組み立てた上で，壊れた時にも自身で直したことで愛着が増した可能性も示唆された．

6. 考察

以上の結果を踏まえて，「境界の揺らぎ」と「主観的価値の変化」のそれぞれの観点から，人間とともに行動しながら自律的に動作するモノの望ましいデザイン要件について論じる．

6.1 自律的に振る舞うモノと人の境界の揺らぎのデザイン

本研究でコプターと装着者の境界に揺らぎが生じた原因として，コプターが頭に装着して常に人とともに行動するデバイスであったことが指摘できる．コプターが頭に装着されていたことで，装着者はコプターを視界に入れることなく，頭上の揺れやモーター音でその存在を認識することになる．しかし，これらは無視できる程度の刺激であるため，コプターの存在に揺らぎが生じ，集中してないときや眠い時などに「都合よく」（A1）コプターの存在が立ち現れることとなった．これは，人間と共生するエージェントのデザインでは，従来の機能的（doing）なエージェントだけでなく，「ただ何もしないで傍にいてくれる」（being）エージェントも重要であると述べた高橋らの先行研究 [5] を踏まえると，人の便益を目的とした機能性を持っていないコプターも「being」的価値を提供していた可能性がある．自律的に動作するデバイスの設計においても，必ずしも人間の役に立つ機能のみを求めるするのではなく，その存在に揺らぎを残したデザインが望ましいと考えられる．

6.2 自律的に振る舞うモノに対する主観的価値のデザイン

本研究では，コプターの動作に対する解釈の多義性が愛着につながっている可能性が示唆された．これは，Wakkary ら [1] が，Morse Things の実践から見出した「理解できないものへの愛着」が，人間とともに動作するモノに対しても生じる可能性を示唆している．Morse Things で用いられる食器は，互いにモールス信号で会話をするが，参加者はモールスシングスを完全に理解することはできないと知りながらも継続的な考察と解釈を行っていた．著者らがコプターに対して抱いた愛着は，Morse Things における愛着と類似するモノであると考えられる．

その一方で，自分でコプターを組み立てるという主体的な行為による愛着の形成，新たな可能性も示唆された．これは自分で家具を組み立てることで家具に対する評価が高くなる「IKEA 効果」 [6] に類するものであると考えられる．そのため，完全に自律的に動作するデバイスであっても，人間の手を加える余地を残してデザインすることが望ましいと考えられる．

7. まとめと今後の展望

本研究では，人間とともに行動しながらも自律的に世界と関わる帽子型デバイス「コプター」を題材として，コプターとともに著者が生活する様子をオートエスノグラフィで記録し分析することで，人間とともに行動しながら自律的に動作するモノにおけるデザイン要件を検討した．その結果，「境界の揺らぎのデザイン」と「主観的価値のデザイン」という二つの要素を発見した．今後はより長期間にわたる調査を行うとともに，コプターの動作にバリエーションを設けることで，今回明らかにしたデザイン要件をより詳細に検討することを目指す．

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP23K28374, JP22KJ1010 の支援を受けた．

参考文献

[1] Wakkary, R., *et al.*: Morse Things, *Proc. ACM DIS*, pp. 503–514, (2017).

[2] Wakkary, R., *et al.*: Material speculation, *Proc. AA 2015*, Aarhus University, pp. 97–108, (2016).

[3] ソンヨンア, *et al.*: rapoptosis: モノの再価値化のための自律的な別れ方のデザイン, Vol. 23, No. 3, pp. 251–254, ヒューマンインタフェース学会論文誌, (2021).

[4] Wakkary, R., *et al.*: Unselfconscious Interaction, Vol. 28, No. 4, pp. 501–520, *Interacting with Computers*, (2016).

[5] 高橋英之, *et al.*: 心のインフラとして機能する寄り添うバーチャルビーイングの創成を目指して，人工知能, Vol. 38, No. 4, pp. 464–470, (2023).

[6] Norton, M. I., *et al.*: The IKEA effect, Vol. 22, No. 3, pp. 453–460, *Journal of Consumer Psychology*, (2012).

© 2024 日本バーチャルリアリティ学会