

スマートホーム連携型昆虫追い出しシステムのPoC

愛知県立大学 *兵藤 悠也 HYODO Yuya

愛知県立大学 奥田 隆史 OKUDA Takashi

*愛知県立大学 情報科学部 情報科学科 情報システムコース

*〒 480-1198 愛知県長久手市茨ヶ廻間 1522-3

*E-mail: is131067@cis.aichi-pu.ac.jp

1. はじめに

近年、スマートホームなど、IoTの普及が急激な速度で進んでいる[1]。スマートホームとは、情報技術を用いて家電や住宅機器などを遠隔コントロールできる住宅のことである[2][3]。これにより、いっそう快適で安全な屋内生活が提供されつつある。

しかし、屋内生活の中で不快や危険をもたらす問題は、未だ存在する。例えば、害虫の進入があげられる。害虫とは日常の暮らしの中で不快感を与える昆虫や、皮膚炎などの害を与える昆虫、衣類を食害する昆虫などの総称である[4]。

進入した害虫への主な対処法は殺虫剤の使用である。しかし、殺虫剤の使用は、薬剤により環境への悪影響や人体への健康被害をおよぼすため、望ましくない[5]。

上記の対応策として、昆虫の走性（刺激源に向かって移動する性質）を利用した色彩板トラップや電撃殺虫器などが開発された。しかし前者については無害虫の巻き込み殺虫による生態系への悪影響、後者については高電圧による爆発・火災の危険性などの問題がある[6]。

そこで本研究では、昆虫の走性に着目し、スマートホームと連携させた新たな昆虫追い出しシステムを提案するとともに、この提案システムがどれほどの有効性を持つのかをマルチエージェント・シミュレーション(MAS)により検証する(PoC:Proof of Concept[7][8][9])。

以下、第2節では昆虫の性質と殺虫剤使用における問題点、第3節ではスマートホームとその活用システムについて述べる。第4節ではスマートホーム連携型昆虫追い出しシステムのMASモデル、第5節では昆虫追い出し時間特性について述べ、最後に、第6節ではまとめと今後の課題を述べる。

2. 昆虫の性質と殺虫剤使用問題

本節では、昆虫が環境によってどのような行動をとるのか、その性質について述べ、その後、殺虫剤の問題点について述べる。第2.1節では昆虫の性質について述べる。第2.2節では、殺虫剤使用の問題点についてまとめる。第2.2.1節では薬剤を使用した殺虫剤、第2.2.2節では昆虫の性質を利用した現在の殺虫剤の問題点について述べる。

2.1. 昆虫の性質

昆虫の構造はシンプルであり、ヒトの脳の100万分の1の数の神経細胞からなる小さな脳を持つといわれている[10][11]。しかしながら昆虫は、反射や本能的行動、記憶学習行動、社会行動といった複雑な行動を状況に応じて発現する[12]。特に本能的な行動要素に大きく依存しており、多くの場合、嗅覚、味覚、視覚、聴

覚などの感覚刺激に依存している[13]。これらの環境情報を神経系により受容・処理し、行動を発現させている。例えば、蚊は化学物質を感じると感覚器によって人の排出する二酸化炭素を感じとり、人に近づく行動を発現する。[14]。また、蛾は視覚によって光を認識し、光源に近づく行動を発現する[15]。

このように、特定の感覚刺激を受けると移動が起こる性質を、走性という[16]。走性には、刺激源に近づく正の走性と、刺激源から遠ざかる負の走性がある。また光・化学物質・水分・温度・磁場・重力など、刺激源にはさまざまな種類がある。本研究では、走光性（光刺激により移動する性質）と、走化性（特定の化学物質の濃度勾配により移動する性質）に着目した。第3.2節で、この性質を利用した新たな昆虫追い出しシステムを提案する。



図 1: 走性

2.2. 殺虫剤使用の問題点

害虫の主な対処法として、薬剤を含む殺虫剤の使用が挙げられる。また薬剤を含まず、昆虫の性質を利用した殺虫剤も存在する。しかしながら、これらの殺虫剤にはさまざまな問題がある。以下にその問題をまとめる。

2.2.1. 化学物質を含む殺虫剤

全世界での農薬出荷量は推定6百万トンとされ、莫大な量の化学物質が世界規模で農作物に施用されている[5]。しかし、環境におよぼす影響評価は十分とはいえない[17]。実際にはかなりの部分が土壌に残留し、環境を汚染している。また、家庭での使用においても多くの健康被害が報告されている[18]。環境汚染と健康被害の観点から殺虫剤の問題点を以下にまとめる。

環境汚染

薬剤を含む殺虫剤の中には、ネオニコチノイド系殺虫剤と呼ばれるものがある。これは、ネオニコチノイドという化学物質を含む殺虫剤であり、畑の土壌の汚染源であることが明らかになっている[5]。また、この成分は農耕地の周辺の植物にも到達し、高濃度の有効成分が原因で標的外の授粉生物やその他の生物に対する危険をおよぼす。

また、土壌に水が浸透する過程で、残留するネオニコチノイドが浸出することにより、地下水が汚染されることも問題である。多くの国の水質調査において、ネオニコチノイドによる汚染が、農業廃水、郊外や都市部の水路、飲料水、および水処理場の廃水など広範囲におよぶことが示されている。

殺虫剤の使用が世界中で増加し続け、土壌や施用された樹木の葉中の残留物が水系へ流入するにつれ、残留濃度は増加し続けている。

健康被害

身近にある化学物質に関する世論調査では、農薬・殺虫剤・防虫剤が「安全性に不安がある化学物質」第1位にあげられている [19]。その理由として、薬剤を吸い込んだ場合や手についた場合などに、人の健康に害はないのだろうかという不安があげられている。

実際に厚生労働省による病院モニター報告では、殺虫剤使用による健康被害が報告されている。具体的な事例として、乳幼児、認知症患者などの危険認識能力が十分でない者による誤飲・誤用や、適用量を明らかに超えた使用などがある。これにより、眼や皮膚等の痛み、呼吸困難などの症状が発症する [18]。

上記のように殺虫剤の誤用や過使用は健康被害をおよぼすため、取扱には厳重な注意を払う必要があると同時に、周りの幼児や認知症患者の行動にも注意を払う必要がある。

2.2.2. 昆虫の性質を利用した殺虫対処

昆虫の性質である走性の中でも、特に走光性は応用的にも重要であり、施設園芸や露地栽培の光環境を人工的に操作して、害虫の進入・増殖を抑える防除法、すなわち「光防除」の研究開発が進んでいる [15][20]。「光防除」は農薬の使用量を減らし、環境負荷を抑えた防除体系を確立するために貢献すると考えられ、農業、林業、製造業、小売業、学術研究、医療など様々な産業現場や日常生活において、光源を刺激源として付与したトラップが既に利用されている。代表的な実用技術例として、昆虫の紫外光への強い走光性を利用して、太陽光の反射を利用する色彩板トラップや、ブラックライトを用いた電撃殺虫器などがある。幅広く応用されつつある一方で、生態系への悪影響や安全性の低さが問題となっている。

例えば、走光性を持つのは害虫のみに限らないため、無害虫を巻き込んで殺虫してしまい、生態系へ悪影響を与えてしまう。また、電撃殺虫器は高電圧であるため、取扱には注意が必要であり、設置箇所や周辺環境によっては爆発や火災の恐れがある [6]。

環境負荷を抑えた防除体系の確立という観点から、光による害虫防除は魅力的な昆虫管理技術としての可能性を秘めている一方で、生態系や安全性についての考慮をさらに深める必要がある。

3. スマートホームとその活用システム

本節では、近年注目を集めているスマートホームについてまとめ、本研究でどのように活用するのかを述べる。第 3.1 節ではスマートホームの特徴について述べ、第 3.2 節ではスマートホームを活用した昆虫追い出しシステムを提案する。

3.1. スマートホームの特徴

近年、モノのインターネット IoT (Internet of Things) の可能性が注目され、さまざまな製品やサービスに組み込まれつつある [1]。IoT とは、身の回りにあるさまざまなモノにセンサーや通信機能が備わり、それらがインターネット上の Web サーバー群のように相互に自由に更新する情報処理ネットワークシステムのことである。IoT では、モノがソフトウェアで自律的に制御され、センサーデータが人手を介さずに無線・有線のネットワークを通じて近接する他のモノや近隣のコンピュータや遠隔のデータセンサーと共有され、そのデータを多種多様なソフトウェアで収集・分析・可視化することでさまざまな目的のサービスを短期間に開発してモノの利用者へ迅速かつ安価に提供できる。

IoT が実現できた要因の一つは、コンピュータと通信機器の小型低価格化である。温湿度や加速度や心拍数などを計測し、送信できる部分を腕時計や眼鏡に内蔵して消費者に提供することも可能となった。二つ目の要因は、モバイル通信の普及である。日本では、動画も閲覧できる高速モバイル通信が普及し、少量のデータなら月額百円程度で通信可能となった。こうした情報処理技術・サービスの急速な進化が IoT の普及の原動力となっている。

IoT は AI と組み合わせられて生活や産業の効率・安全・利便性を飛躍的に高めると期待されている。生活分野では、家電・住宅・自動車・衣服・リストバンドなどにセンサーと通信機能を持たせて暮らしの利便性・快適性・安全性・健康を高めるサービスが開発・提供されている。

本研究では特に、家電・住宅における IoT のサービス、「スマートホーム」に着目した。「スマートホーム」の他に、「スマートハウス」という言葉も耳にすることがある。その違いについて以下にまとめる [2][3]。

スマートハウス

スマートハウスとは、家電やメーターなどを HEMS (ヘムス: Home Energy Management System) と呼ばれるシステムで管理して、エネルギーの「見える化」と「制御」をおこなう住宅のことである。HEMS が電力やガス、水道などの消費量を目で見える形で表示してくれるので、節約がしやすくなる。スマートハウスはこのような省エネや節約に重きを置いていることが特徴である。

スマートホーム

スマートホームとは、インターネットに接続できる家電をスマホやスマートスピーカーで操作できる住宅のことである。家電をインターネットに接続することで、例えば以下のようなサービスを導入することができる。

- ・目覚ましを止めれば自動的に部屋の明かりがつく
- ・家に近づくと自動で暖房が起動する
- ・スマホを操作すれば家の鍵が開く

スマートホームはこのような利便性に重きを置いていることが特徴である。

スマートホームは大別すると、「デバイス」と「管理システム」の 2 つからなる [21]。デバイスとは、色や

明るさを自由に変えられる照明や、スマホで遠隔操作できるロボット掃除機など、実際に動くものごとである。管理システムとは、デバイスをコントロールする司令塔の役割である。例えば、音声で家電を操作できるスマートスピーカーがこの管理システムにあたる。管理システムとデバイスを組み合わせて快適な暮らしを実現している。

3.2. スマートホーム連携型昆虫追い出しシステムの提案

スマートホームにより、屋内の窓やカーテン、照明を遠隔操作することも可能になる。これにより、屋内の調光が可能となり、進入した昆虫を、走光性により屋外へ誘導することが可能であると考えた。また、走化性を持つ昆虫に対しては、ある化学物質を保有する空調機を窓際に設置しておき、風とともに化学物質を屋内の内側に放出することで、昆虫を窓際へと誘導することが可能であると考えた。

以上のことから、屋内調光設備や空調設備の遠隔操作が可能であるスマートホームと連携させることで、進入した昆虫を効果的に、安全に追い出すシステムである「スマートホーム連携型昆虫追い出しシステム」を提案し、その有効性をMASにより検証する。

4. 提案システムのMASモデル

検証にはMAS(マルチエージェント・シミュレーション)のartisoc[22][23]を用いる。本研究で想定するエージェントは5種類。すなわち自律エージェントである昆虫エージェント、非自律エージェントである窓エージェント、照明エージェント、空調機エージェント、家具エージェントである。

以下、第4.1節では昆虫エージェントのルール、第4.2節では窓エージェントのルール、第4.3節では照明エージェントのルール、第4.4節では空調機エージェントのルール、第4.5節では家具エージェントのルールを述べる。そして第4.6では想定する屋内空間について述べる。

4.1. 昆虫エージェントのルール

昆虫エージェントは単位時間ごとに次の5ステップ:(S1) 周辺環境調査, (S2) 移動方向決定, (S3) 障害物回避方向決定, (S4) 移動, によって行動する。各ステップについての詳細を以下に示す。

(S1) 周辺環境調査: 自身の半径10cmの環境 X を調査する。ここで、 X は2要素(光量 L , 化学濃度 C)を持つ。

水平方向では、周囲8方向の環境 $X_i (i = 0, 1, 2, \dots, 7)$ を調べる。ここで、昆虫エージェントを中心とした単位円を考え、 x 軸の正の方向、すなわち0度方向を $i = 0$ とする。そこから、45度方向を $i = 1$, 90度方向を $i = 2$ と、反時計回りに8方向調べていく。

鉛直方向では、自身の上下 X_{high}, X_{low} を調べる。

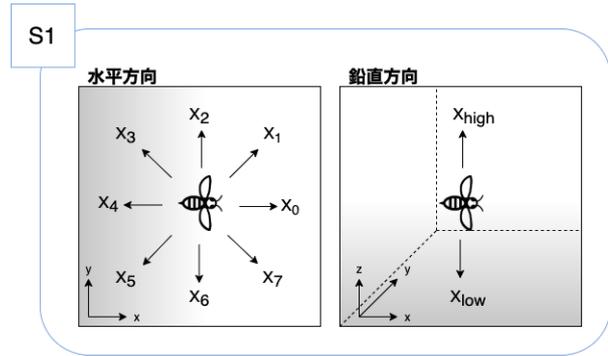


図2: 昆虫エージェントのルール S1

(S2) 移動方向決定: (S1)の結果から移動方向を決定する。

水平方向では、 X の各要素の $\max\{X_0, X_1, \dots, X_7\}$ に対して、方向 d を $(45i - 20 \leq d \leq 45i + 20)$ の範囲から決定する。ここで、 X の各要素の $\max\{X_0, X_1, \dots, X_7\}$ について、どちらも一意に定まらず、その方向が等しい場合、方向 $d = 45i$ と決定する。反対に、どちらも一意に定まらない場合、現在方向の左右30度の範囲から方向 d を決定する。

鉛直方向では、各要素に対して $d_{high}(X_{high} > X_{low})$ か、 $d_{low}(X_{low} > X_{high})$ を決定する。ここで、どちらも一意に定まる場合は、光量 L の結果を優先する。反対に、どちらも一意に定まらない場合、ランダムで上下を決定する。

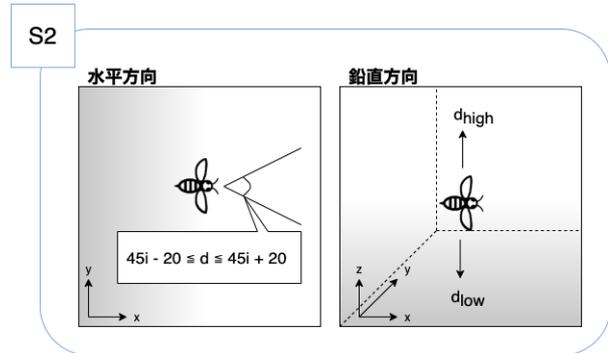


図3: 昆虫エージェントのルール S2

(S3) 障害物回避方向決定: 方向決定したのち、前方距離0~20cmの範囲に障害物が存在するならば、ランダムで左右方向を決定する。

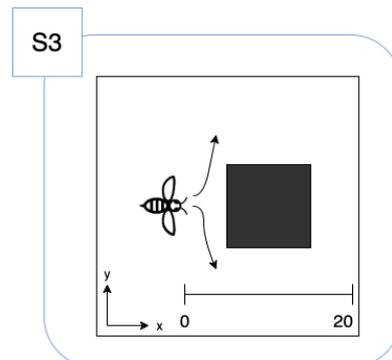


図4: 昆虫エージェントのルール S3

(S4) 移動: 決定した方向に, 水平方向では0~20cm, 鉛直方向では0~10cmの範囲で値を決めてその距離移動する.

4.2. 窓エージェントのルール

本研究では, 窓とカーテンをセットにしたものを窓エージェントと呼ぶ. 窓エージェントは2状態 (open 状態, close 状態) を持ち, 昆虫エージェントとの距離に応じて状態を切り替えることで調光する. すべての窓エージェントの初期状態は open 状態であり, open 状態の窓エージェントは光量に影響を与えない. 一方で, close 状態の窓エージェントの周囲 (半径 3m) は窓に近いほど光量が減少する. 窓エージェントは, open 状態の窓エージェントが一つになるまでと, それ以降とで異なるルールを持つ.

open 状態の窓エージェントが一つになるまでは, 昆虫エージェントから最も距離の離れた open 状態の窓エージェントを順番に close 状態にする.

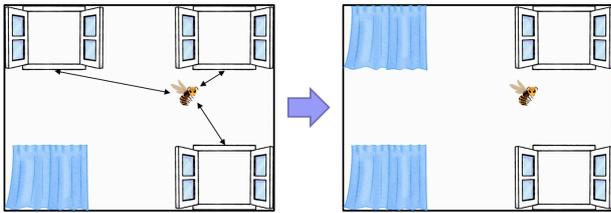


図 5: 窓エージェントのルール (Close)

それ以降では, 昆虫エージェントから最も距離の近い窓エージェントを open 状態, それ以外の窓を close 状態にして昆虫エージェントとの距離に応じて open 状態の窓エージェントを更新する.

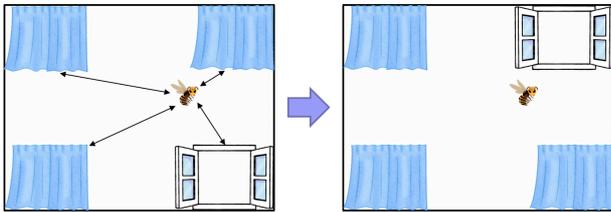


図 6: 窓エージェントのルール (Open)

4.3. 照明エージェントのルール

照明エージェントは2状態 (OFF 状態, ON 状態) を持ち, 昆虫エージェントの位置に応じて状態を切り替えることで調光する. すなわち, 昆虫エージェントが照明エージェントよりも空間の内側に存在するとき, 昆虫エージェントから最も距離の近い照明エージェントは ON 状態に切り替わる.

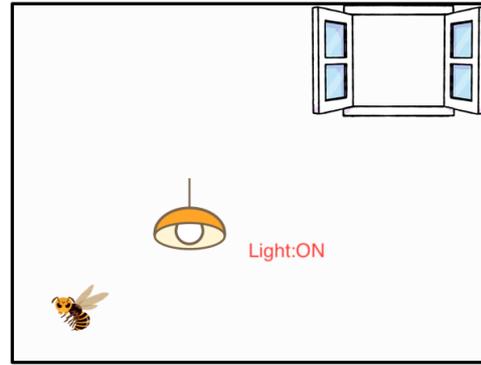


図 7: 照明エージェントのルール (On)

昆虫エージェントが照明エージェントよりも外側に移動したとき, ON 状態だった照明エージェントは OFF 状態に切り替わる.

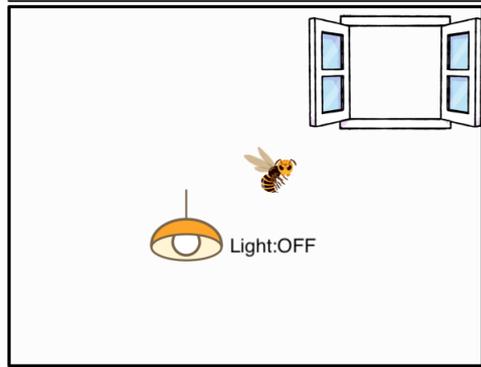


図 8: 照明エージェントのルール (Off)

4.4. 空調機エージェントのルール

空調機エージェントは昆虫エージェントを誘引する化学物質を保持する. 単位時間ごとに空間の中心に向かって化学物質を放出し, 化学濃度を調節する.

4.5. 家具エージェントのルール

家具エージェントは昆虫エージェントにとって障害物となる. 家具エージェントは各空間に以下のように配置されている.

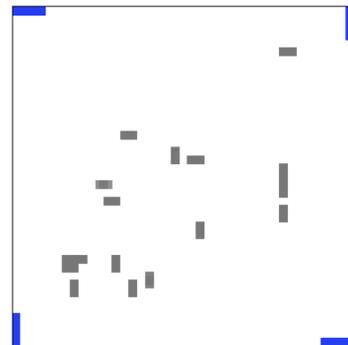


図 9: 家具エージェント配置図

4.6. 想定屋内空間

シミュレーションを実行するにあたり、窓(Windows)・照明(Lights)・空調機(ACs)操作の可不可から6通りの屋内空間を想定した。すなわち、スマートホームと非連携のN空間、照明のみ操作可能なL空間、窓のみ操作可能なW空間、空調機のみ操作可能なAC空間、窓・照明操作可能なW-L空間、窓・空調機操作可能なW-AC空間の6通りである(表1参照)。すべての空間は1辺の長さが4mの64m³の広さをもち、家具エージェントを保有している。

空間名	窓(Windows)操作	照明(Lights)操作	送風機(Blower)操作
N	不可	不可	不可
L	不可	可	不可
W	可	不可	不可
AC	不可	不可	可
W-L	可	可	不可
W-AC	可	不可	可

表 1: 屋内空間一覧表

5. 昆虫追い出し時間特性

各空間で5000回シミュレーション実行した、その平均追い出し所要時間を図10に示す(エラーバーは95%信頼区間を表す)。

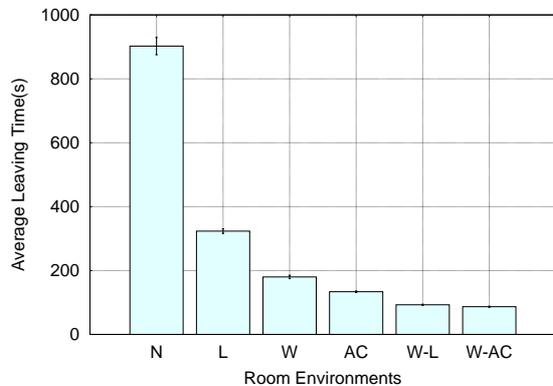


図 10: 平均追い出し所要時間グラフ

また、連携空間(N空間以外)の平均追い出し所要時間を非連携空間(N空間)と比較し、時間短縮率を算出した(表2)。

空間名	平均所要時間 [s]	時間短縮率
N	902.55	-
L	321.20	64.17%
W	179.95	80.06%
AC	133.73	85.18%
W-L	92.79	89.72%
W-AC	86.84	90.38%

表 2: 昆虫追い出し所要時間とN空間比較短縮率

結果から、昆虫エージェント追い出し所要時間が最も短いのはW-AC空間であり、時間短縮率は約90%で

あった。W-L空間も同様に約90%の時間短縮に成功しており、続いてAC空間は約85%、W空間は約80%、L空間は約65%と、大幅な時間短縮に成功している。

これらのことから、光量や化学物質など、昆虫の感覚を刺激するものをスマートホームの機能で調節することで、追い出し時間を短縮させることが可能だとわかり、走性を持つ昆虫に対してスマートホーム連携型昆虫追い出しシステムが有効であることがわかる。

特に、W-AC空間やW-L空間といった、複数の設備を連携させた空間では大きな効果がみられ、さまざまな感覚刺激を昆虫に与えることでさらに容易に誘導できると考えられる。

6. おわりに

本研究では昆虫の走性を利用したスマートホーム連携型昆虫追い出しシステムを提案した。また、その有効性をMASにより検証した。

シミュレーション結果から得られた平均追い出し所要時間、および非連携空間と比較した時間短縮率から、調光設備や空調設備と連携させることで走性により効果的に屋外へ追い出せることが明らかとなった。

本研究ではスマートホーム内のみにおける研究だったが、スマートホーム間の連携にモデルを発展させること、またこのモデルを人間の避難行動に発展させることなどが今後の課題としてあげられる。

参考文献

- [1] 境野哲, "IoTへの期待と課題 ~IoTシステム開発者、利用者の心得~", 情報の科学と技術, Vol.67, No.11, pp.560-565, 2017.
- [2] 環境ビジネスオンライン, 『スマートハウス』, <https://www.kankyo-business.jp/dictionary/000191.php>, 閲覧日2020年1月28日.
- [3] SmartHacks Magazine, 『何が違うの? スマートハウスとスマートホームの違いを調べてみた』, <https://smarthacks.jp/mag/25393>, 閲覧日2020年1月28日.
- [4] 生活害虫防除剤協議会, 『生活害虫生息ガイド』, <https://www.seibokyo.com/home/harmful/>, 閲覧日2020年1月28日.
- [5] The Task Force on Systemic Pesticides, 『浸透性殺虫剤の生物多様性と生態系への影響に関する世界的な統合評価書 更新版』, <https://www.actbeyondtrust.org/wp-content/uploads/2019/11/WIA2JP-1.pdf>, 閲覧日2020年1月28日.
- [6] 電気設備の知識と技術, 『電撃殺虫器・捕虫器の仕組み』, <https://electric-facilities.jp/denki3/dengeki.html>, 閲覧日2020年1月28日.
- [7] IoT用語辞典, 『PoC (Proof of Concept)』, <https://www.keyence.co.jp/ss/general/iot-glossary/poc.jsp>, 閲覧日2020年1月28日.

- [8] ビジネス onIT, 『「PoC」とは何か | その本質とメリット、ITプロジェクトにおける意義』, <https://www.business-on-it.com/1002-poc/>, 閲覧日 2020 年 1 月 28 日.
- [9] キーマンズネット, 『PoC とは? 実証実験との違い、進め方、成功の秘訣 (ひけつ) を解説』, <https://www.keyman.or.jp/kn/articles/1802/07/news130.html>, 閲覧日 2020 年 1 月 28 日.
- [10] 神崎亮平, 『サイボーグ昆虫、フェロモンを追う』, 岩波書店, 2014.
- [11] 京都大学大学院農学研究科応用生物科学専攻, 『昆虫生理学分野』 <http://www.appbio.kais.kyoto-u.ac.jp/laboratory/konchuuseirigaku.html>, 閲覧日 2020 年 1 月 28 日.
- [12] 神崎亮平, ”昆虫の神経系と適応行動”, 日本ロボット学会誌, Vol.23, No.1, pp.27-31, 2005.
- [13] 井濃内順, 『匂いと昆虫の巧みな世界—匂いに支配されている昆虫の不思議—』, フレグランスジャーナル社, 2013.
- [14] Turner, S., Li, N., Guda, T. et al, ”Ultra-prolonged activation of CO₂-sensing neurons disorients mosquitoes”, NATURE, Vol.474, No.2, pp.87-91, 2011.
- [15] 弘中満太郎, 針山孝彦, ”昆虫が光に集まる多様なメカニズム”, 日本応用動物昆虫学会誌, Vol.58, No.2, pp.93-109, 2014.
- [16] 生きるものに魅せられて, 『生物の行動や反応にはどのような種類がある?』 <http://www.appbio.kais.kyoto-u.ac.jp/laboratory/konchuuseirigaku.html>, 閲覧日 2020 年 1 月 28 日.
- [17] 小堀陽一, ”虫を殺さない殺虫剤を探す”, 化学と生物, Vol.40, No.9, pp.598-599, 2002.
- [18] 厚生労働省医薬・生活衛生局審査管理課化学物質安全対策室, 『2018 年度 家庭用品等に係る健康被害病院モニター報告』, <https://www.mhlw.go.jp/content/11124000/000581263.pdf>, 閲覧日 2020 年 1 月 28 日.
- [19] 環境省事業化学物質アドバイザー石井員良, 『暮らしの中の化学物質』, <https://www.pref.aichi.jp/kankyo/katsudo-ka/jigyoo/prtr/02kenmin/torikumi/seminor/29kenminsiryoo02.pdf>, 閲覧日 2020 年 1 月 28 日.
- [20] 霜田政美, ”昆虫の光に対する反応と害虫防除への利用”, 植物防疫, Vol.68, No.10, pp.594-598, 2014
- [21] prebell, 『【実例つき】スマートホームってなに? 導入のメリットと 4 つの注意点を解説!』, https://prebell.so-net.ne.jp/tips/pre_18011801.html, 閲覧日 2020 年 1 月 28 日.
- [22] 山影進, 『人口社会構築指南 artisoc によるマルチエージェントシミュレーション入門』, 書籍工房早山, 2007.
- [23] 兼田敏之, 『artisoc で始める歩行者エージェントシミュレーション』, 書籍工房早山, 2010.