

パネル型ロボット〈INAMO〉を介した 相互的な遊びの構成について

香川 真人^{1,a)} 馬場 翔太郎¹ 竹田 泰隆¹ デシルバ ラビンドラ¹ 岡田 美智男¹

概要: 私たちは、日頃から身の回りで様々な遊びを行う。遊びは協力や競争など、他者との繋がりから成り立つものが多い。人とロボットの間でも、このような繋がりを意識した相互的な遊びを組織することが可能だろうか。本研究では、人とロボットの相互的な遊びの構成を議論する前に、人と人の遊びについてINAMOを使って検証を進めている。本発表では、INAMO の実際の動作を紹介しながら、相互的な遊びについて議論したい。

Organizing Reciprocal Play mediated by Panel-type Swarm Robots 〈INAMO〉

KAGAWA MASATO^{1,a)} BABA SHOTARO¹ TAKEDA YASUTAKA¹ P. RAVINDRA S. DE SILVA¹
OKADA MICHIO¹

Abstract: In the context of playing, we engaged in a variety of actions and behaviors while considering the states of the conditions. During this context, sometime we have to induce the competitive interaction with opposition, but with a playing-mate we have to establish the cooperation. It is often those are made up toward the connection with others. Since, would be able to organize a mutual play that was conscious of such connection between human and robot? In this study, we discuss about the potentials in the structure of the mutual play of human and robot by exploring the human-to-human interaction through the INAMO. Moreover, paper is discussed about the interactive structure of the INAMO while considering the context of mutual-play.

1. はじめに

私たちは幼少のころから様々な遊びを日々の生活の中で行ってきた。最近では、テレビゲームやインターネットゲームなど昔に比べて遊びの形態は変化してきているが、他人との協力や、競い合いを楽しむといった遊びの本質は不変的である。遊びは小さな子どもに限らず大人も日常の中で何らかの遊びを行っている。そうした中で近年、エンタテインメントロボットと呼ばれるロボットが多く現れ、私たちの生活に浸透している。

これまでエンタテインメントロボットと呼ばれるものと人との「遊び」といえば、人からのアプローチに対して



図 1 INAMO

Fig. 1 Appearance of the INAMO

¹ 豊橋技術科学大学
Toyohashi University of Technology

^{a)} kagawa@icd.cs.tut.ac.jp

用意された数パターンの返答の中から返事をするなどあらかじめ作りこまれた反応を返すのみであった。しかし、このような綿密に作りこまれた反応しか返すことの出来ないロボットに対して、人ははじめは新奇さからか楽しそうに遊ぶものの、決められた道筋を辿ることしかできないロボットに飽きを感じてしまう。一方で、人と人が遊ぶ状況を考えるとどうだろうか。人と人が遊ぶ場合には、互いに相手のことを意識しながら、相手の行動に対し自身の行動を決定、もしくは相手の次の手を予想するなど、互いの行動が他者との関係によって作り上げられていく。人とロボットとの間にもこのような相互的な関係を構築することが出来れば、より人が遊ぶことを楽しめるようなロボットを作ることが出来るのではないだろうか。

本研究では、人とロボットの相互的な遊びの構成を議論する前に、人同士の場合での遊びにおいて、どのような相互的な関係が現れるか考える。特に本稿では、我々が開発しているパネル型ロボット群 INAMO (図 1) を用いて遊びにおいて人と人との間にどのような関係が形成されるかについて実際の動作を紹介しながら、相互的な遊びについて議論していきたい。

2. 本研究の背景

遊びは私たちが日常生活をしていく中で小さな子どもから大人まで、何気なく行っているものであり、必要不可欠なものである。ホイジンガは人間が遊ぶ動物であることから自らを「遊ぶ人(ホモ・ルーデンス)」と呼んだ [1]。遊びは時代によって形を変えており、無数にあり、種類も様々である。このような多様性を持っているにも関わらず、「遊び」という言葉は私たちにくつろぎやリスク、巧妙といった概念を呼び起こさせ、さらに休息や楽しみといった雰囲気をも伴わせる [2]。

また、遊びには様々な種類が存在し、カイヨワは遊びをアゴン(競技)、アレア(賭け)、ミミクリ(模倣)、イリンクス(渦巻き)の4つに分類した [2]。ほとんどの遊びはこの4つに振り分けることが出来る。私たちが開発、研究している INAMO も群行動をしていくことから、偶然や賭けを楽しむアレアや別の INAMO を踏み台にしていくといった、他者と競い合うアゴンといった要素が含まれる。さらに遊びには、この4分類に含まれないものとして、「創造的な要素」や「意味生成的な要素」もあると考えられる。これは、偶然や競い合いの中から想定していなかった新しい遊びの形や、周囲との意外な関係など、そこから生まれる意味自体を楽しむというものである。様々な遊び方を提供する遊具も、デザイナーがそれを使って子どもたちがどのように遊ぶかをすべて予見しているとは考え難い [3]。子どもたちがその遊具で実際に遊んでみることで、新しい遊び方を子どもたちが遊具と共に生み出し、作りあげていくこと自体が楽しみの一つになっているように思える。

本研究で提案する INAMO は、その動きがある程度は予想することが出来るものの、思いがけない動きに対して、その偶然を楽しみながら遊ぶことのできるコンテンツである。このような偶然から生み出される INAMO の形状や動作には創発的な面白さもあると考えられる。

2.1 相互行為と創発

私たちが日々行っている振る舞いや行動はすべて自らが意識的に行っているわけではない。自分がある周りを取り囲む環境や状況から制約を受けた結果として行われていることも多い [4]。「砂浜を歩く蟻の足跡は、なぜ複雑な模様を描くのか」という「サイモンの蟻」 [5][6][7] と呼ばれる議論がある。その複雑さの要因を考えると、私たちは蟻個体へと帰属させやすい。その一方で、その要因は砂浜という環境の複雑さにあるという考え方がある。子どもの頃、道路にある白線からはみ出さずに歩いた経験がある人は少なくないだろう。自分の意思で白線の上を歩いているように思えても、実際は白線という環境に自分が歩かされているとも考えられる。

このように、私たちの一見複雑な行動も「サイモンの蟻」と同様に、周囲の「場」 [8] の持つ制約に導かれる事によって、場当たりの生成された行為と言える。このような場当たりの行為が生成されることで、遊びにおける偶然性などが生まれ、予測が難しくなり、より面白いものが生み出されると考えられる。

また、このように創発された行為には、トップダウンに設計者が作りこんだものではなく、人とロボットの間で身体性を伴う関わり合いをもたらすことが期待できる [9][10]。

2.2 ロボットと遊び

これまでの人の相手をするロボットの多くは、常に人に「遊ばれる」存在であり、人と「遊ぶ」といったことは出来なかった。人からの一方的なアプローチに対して、作りこまれた一定の返答を返すだけに過ぎず、受け身な姿勢を取るばかりであった。このような、一方的な関係を遊びということは出来ず、人はロボットで遊んではいてもロボットが人と遊んでいることにはならない。人の目的を達成するために、ロボットが補助をしている場合がほとんどである。

では、ロボットが人と遊ぶような状況を生み出すには何が必要だろうか。その要素として、人と人が遊び合う状況を考えてみたい。人と人が遊びあう場合、一方的にアプローチをするのではなく、相手や周囲の状況から、自分の行動を決定したり、相手がどのように行動するかを予測をしたりしている。人と人が遊びあう場合では、目的の達成のために、相手を利用したり、利用されるといった関係が構成される。人とロボットの遊びの場合では人の目的に合わせて行動するのではなく、ロボット自らが自らの目的を達成するために人を利用することが出来れば、ロボット

も人で遊んでいるということが出来るのではないだろうか。例えば、コンピュータ将棋は対戦相手である人を欺きながら自らの勝利に向かって行動している。自らの目的に向かって行うこの行動はある意味、人に対して遊んでいると言えるだろう。ロボットにとっての遊びは、自らの目的や欲求にアプローチする上で、人を利用していくことではないかと考える。また、このような遊びは、子どもたちが行う運動等を獲得する発達のための遊びに近い。単なる学習行動ではなく、過程そのものを楽しむことでロボットが遊んでいるような状況を生み出せると考えられる。

3. パネル型ロボット〈INAMO〉

INAMO はパネルのような形状を持ったロボット群である。INAMO 底面にはキャスターが付けられているが INAMO 単体ではその場で回転するだけであり、移動することは出来ない。移動には、慣性を利用した回転動作と INAMO の頂点 6 箇所についている電磁石の極性を切り替えることにより他の INAMO と接続、分離し群れを形成することにより行う。

形状は正六角形を変形した形状をしており、平面充填（平面内を平面図形（タイル）で隙間なく敷き詰める操作）が可能である。

3.1 動作原理

INAMO はフライホイールによる慣性を利用した回転動作と電磁石により動作する。フライホイールを高速回転させ、逆回転に切り替えることで発生する慣性モーメントにより INAMO 自身が回転する。

1 体のみでの操作では、その場でコマのようにただ回転するだけで移動することはできない。しかし、複数体集まることで INAMO 同士が連結、分裂し群れとなることで、互いに利用し、利用されながら移動することが可能である。ここでは、INAMO の群体運動の基本動作 2 体の場合を例に挙げ説明する（図 2）。

- (1) 図のように 2 体の個体が電磁石により相互に接続されている状態からスタートする。
- (2) 回転したい方向を考慮し、電磁石の切り替えを行う。この状態でフライホイールを回転させ、逆回転による慣性モーメントにより回転する。
- (3) 回転先では再び電磁石により接続され、移動が完了する。

また、INAMO 3 体がある一点で連結する場合がある。このような場合、1 体の INAMO の電磁石の極性が不安定になり回転動作に影響を与えてしまう。このことを避けるために、ある一点で連結した場合には、INAMO に割り当てられている固有の ID が最も小さいものの電磁石を消磁するようにしている（図 3）。

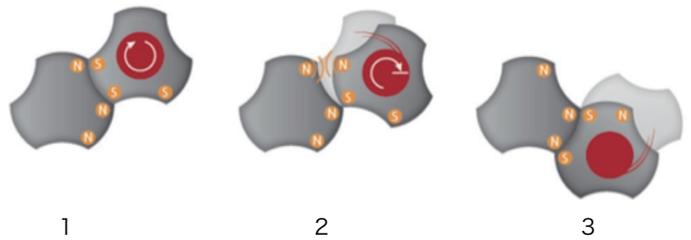


図 2 2 体による群体移動

Fig. 2 Dynamic locomotion of INAMOs toward rotating around each other



図 3 3 体による群体移動

Fig. 3 INAMOs are connecting each other while considering the dynamic locomotion

3.2 INAMO の構成

INAMO のシステム構成を図 4 に示す。INAMO には以下のような機能が搭載されている。

- フライホイール（ブラシレス DC モータ）

INAMO には独特な移動を行うために必要不可欠であるフライホイールと呼ばれる金属製の円盤が内蔵されている。このフライホイールを高速回転させ、逆回転を行うことで生じる慣性モーメントを利用し INAMO 自身を回転させる。人と身体的なインタラクションを伴うコンテンツにおいて、この機構は、外部にアクチュエータ等が露出していないため、タイヤ等に比べて安全である。

- 電磁石

タイル型の電磁石が INAMO の頂点 6 箇所に取り付けられている。この電磁石の極性を切り替えることで他の INAMO と連結、分離を行う。また、どの電磁石が ON となっているかをわかりやすくするために電磁石上部に LED を搭載しており、視覚的に励磁状態を確認することが出来る。LED は 2 色あり、電磁石の極性によって色が変わるようになっている。

- IR 通信

INAMO 間の通信には赤外線を用いている。INAMO はそれぞれ固有の ID を所有しており、互いに通信しあうことでどの方向に他の INAMO がいるかを認識することが可能である。この機能により、上記の電磁石を接続状態に合わせて自動的に切り替えるこ

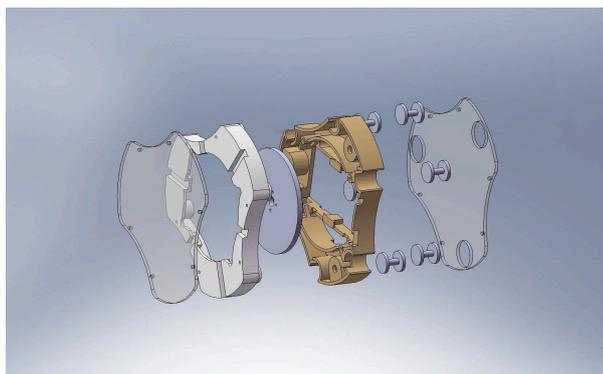


図 4 INAMO のシステム構成

Fig. 4 System configuration of INAMO

とが可能である。

- 制御回路

INAMO 自身の様々な動作の管理・制御を行うためにマイコン (Renesas 社製 SH7125) が搭載されている。このマイコンにより以下の回路の制御を行っている。

- モータドライバ

INAMO に内蔵されているブラシレス DC モータからの回路信号を基に、モータの駆動管理を行う。ここでは、モータにかかる電圧・電流を調整し、モータの速度・加速度を自由に変更することが出来る。

- 無線通信回路

INAMO と制御用 PC とを接続するための回路である。PC からの命令を各 INAMO に送信することが可能である。コントローラからの命令も、一度 PC で処理した上で ZigBee により INAMO へ送信される。

- バッテリー保護回路

INAMO に内蔵されている LiPo バッテリーを常に管理し、バッテリーの不具合未然に防ぐ役割を持つ。特に、LiPo バッテリーは厳密な電圧管理が必要であり、本回路によって多重の保護を行う。

- コントローラ

各 INAMO を操作するためのコントローラを用意した (図 5)。コントローラにはジョイスティックが接続しており、直感的に INAMO を操作することが出来る。コントローラからのデータは、PC に送られ処理された後 INAMO に送信され、INAMO の動作に繋がる。

3.3 コントローラによる操作

各 INAMO にそれぞれ対応したコントローラを用いることにより、手動で INAMO を操作することが出来る。コ



図 5 コントローラ

Fig. 5 Controller of the INAMO

ントローラのジョイスティックにより、INAMO のフライホイールの回転量、回転方向、逆回転のタイミングをコントロールすることが出来る。倒した量に比例してフライホイールの回転数を決めることが出来、ジョイスティックを基に戻したタイミングでモータが逆回転する。また、INAMO 同士を繋いでいる電磁石の極性は、IR 通信により自動的に切り替わる。これにより操作者はモータの操作のみに集中することが出来る。

操作を行う際、タイミングよく自分の INAMO を操作しなければ、他者の操作している INAMO や自動で動いている INAMO と上手く連携を取ることが出来ず、群れから離れたりと、思ったように勢いよく回転せずに元の位置に戻ったりと、一種のもどかしさのようなものを感じる。

4. INAMO による相互的な遊び

3.1 章で述べたように、INAMO は単独ではその場で回転することしか出来ず、他の INAMO を踏み台のように利用しなければ移動することは出来ない。この動作原理から互いに利用し、利用される相互的な関係が不可欠である。

そこで、INAMO による遊びの例としてレースゲームのようなものを考える。これは、スタートとゴールを用意し、初めにゴールをした INAMO が勝利するというものである。それぞれの INAMO には各操作者が操作するものと、自律的に動作するものを混在させる。INAMO の移動特性上、他者を利用し群れとならなければ移動することが出来ない。そのため、自分勝手に動くことが出来ず、他の INAMO を利用したり、時には利用されたりしながら群れとしての行動を形作る。INAMO の特性上、スタートしてからある程度までは自律している INAMO や他者の INAMO と協力しながらゴールを目指していくと考えられる。しかしゴール直前ではそれぞれの INAMO が自身の勝利のために行動する。ここでは特に相手の動きに左右され利用し、利用される相互的な関係が如実に現れてくる。

ここで、自律している INAMO に利用された際には、出し抜かれた、踏み台にされたと感じ、操作者はどこかで INAMO に遊ばれているような感覚を覚えるのではないだ

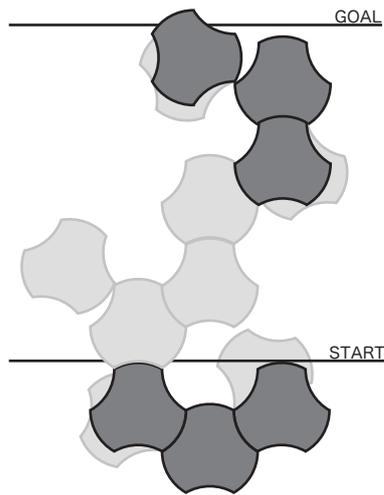


図 6 コンテンツ例

Fig. 6 Figured depicted how INAMOs are connecting with each other by considering the goal

ろうか。この INAMO の行動はあらかじめ作りこまれたものではなく、その時の状況に応じて INAMO 自身が他の INAMO をうまく利用しながら自らの勝利という目的を達成しようとするものである。2 章でも述べたように、人の目的に対する補助を行うわけではなく、ロボット自身が自らの目的にアプローチするために人を利用していくという状況が、ロボットが人と遊ぶという状況に近いと考えられる。

このような INAMO との相互的な遊びにおいて、操作者は自らの意図・意識していることが INAMO の状態によって変化していく。INAMO の操作には他者を利用することが前提であるため、INAMO を完全にコントロールすることが出来ない。このことより、INAMO と共同して遊びを作っていくことが出来るようになる。

5. おわりに

本論文では、これまでにあった、人からロボットへの一方的な遊びではなく、ロボットと人との相互的な遊びの関係について述べた。また、そのためのプラットフォームとしてパネル型ロボット INAMO を開発し、INAMO を用いた人とロボットの遊びについて議論した。

これまでのエンタテインメントロボットのように、ロボットが人の目的に対して補助を行うのではなく、ロボット自身の目的や欲求に対してアプローチする過程で人を利用していくことがロボットが人と遊ぶ状況にあると考えた。そのような状況を作り出すことが出来れば、これまで人からのロボットへの一方的な遊びでしかない人とロボットとの相互的な遊びが実現できるようになる。

INAMO は、他の INAMO を利用し群れを成さなければ行動することができない。このことから、INAMO が行動するためには他者を利用し、時には利用される関係が

必要不可欠である。人が操作する INAMO を踏み台として自律的に動く INAMO が利用したとき、INAMO による遊びが行われたと考えられる。したがって、人が一方的に INAMO で遊んでいるわけではなく、INAMO も人で遊んでおり、人とロボットとの相互的な遊びが行われているのではないだろうか。

今後の課題として、ロボットが人と遊んでいる、と人が感じられるものについて議論したいと考えている。

さらに、INAMO というプラットフォームの、群ロボットとしての特性を生かして共創的な場を構築するメディアとしてのはたらきに注目している。また、コミュニケーションの場において構成される関係性への影響についても議論していきたい。

謝辞 本研究の一部は科研費基礎研究 (B)26280102 によって行われている。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- [1] ホイジンガ:『ホモ・ルーデンス』; 中公文庫 (1973).
- [2] ロジェ・カイヨワ:『遊びと人間』; 講談社 (1990).
- [3] 川上浩司, 三嶋博之, 塩瀬隆之, 岡田美智男: インタフェースとしての遊び・遊具に対する考察; ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.6, No.4, pp.1- 10(2004).
- [4] サッチマン, L.A.:『プランと状況的行為』; 産業図書, (1999).
- [5] 岡田美智男:社会的な相互行為とそのリアリティを支えるもの, 岡田美智男, 三嶋博之, 佐々木正人 (編), 『身体性とコンピュータ』, bit 別冊, 共立出版, 220/232(2000).
- [6] 岡田美智男:『口ごもるコンピュータ』; 情報処理学会編情報フロンティアシリーズ (9), 共立出版 (1995).
- [7] Simon, H. A.: The Sciences of the Artificial; the MIT Press (1969).
- [8] 清水博, 久米是志, 三輪敬之, 三宅美博:『場と共創』; NTT 出版, (2000).
- [9] 柴田崇徳 (編集), 福田敏男: 『人工生命の近未来』; 時事通信社, (1994).
- [10] 伊藤宏司編著: 『知の創発』; NTT 出版, (2000).