

INAMO:ロボットと人と環境が生み出す 新たなインタラクティブパズル

馬場 翔太郎^{1,a)} 吉田 広平¹ 竹田 泰隆¹ Ravindra De Silva¹ 岡田 美智男¹

概要: INAMO は離合集散を繰り返すパネル型ロボット。1体では何も出来ないけれど、複数集まると他のINAMOを軸にしながら回転により移動することで、INAMOの配置により様々な模様を作り出すことが出来る。時にはもどかしく感じるような動きに、人が思わず触りたくなる気持ちを引き出す。本研究では、ロボット、人、そして環境が生み出すアドホックなコミュニケーションによる新しいパズルゲームを提案する。

INAMO: The Novel Interactive puzzle created by robots, user and environment

BABA SHOTARO^{1,a)} YOSHIDA KOHEI¹ TAKEDA YASUTAKA¹ RAVINDRA DE SILVA¹
OKADA MICHIO¹

Abstract: INAMOs are panel type robot that repeats alliance and capable of being formulate the rules by coactions with other particles. INAMOs don't capable do anything alone, however they can coactions (crowd), move by rotating toward produce a variety of patterns through synchronizing the coactions of the particles (INAMOs). Moreover, coactions and patterns of the INAMOs behaviors are evoke the unconsciousness reaction (e.g participant unintentionally want to interact with INAMOs) from the participants. Since, our study is motivation to explore patterns of ad-hoc communication by using the interaction of robots, participants, and environment through the novel puzzle game.

1. はじめに

「パズル」と言えば、どのようなものを想像するだろうか。クロスワードパズルが好きだという人もいれば、将棋やチェスの駒を使ったものを思い浮かべる人もいるだろう。これらのパズルに共通しているのはどれもひとりで遊ぶものであるということである。パズル自身は動かずじっとして、遊ぶ人の動作にのみ依存し、試行錯誤しながら解答を見つける。勿論、これこそがパズルの醍醐味でもあるが、これはときに単調さを生み、飽きを感じさせてしまう場合もある。

ここで提案するのは INAMO という離合集散を繰り返すパネル型ロボットを用いたインタラクティブパズルで

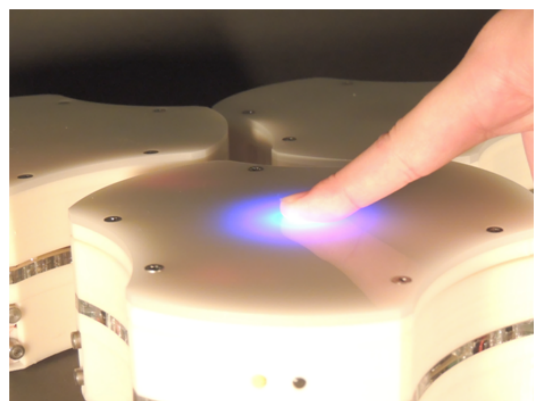


図 1 INAMO

Fig. 1 Appearance of INAMO

ある (図 1)。INAMO は 1 台では何も出来ない群ロボットで、複数集まることでようやく意味のあるものになる。

¹ 豊橋技術科学大学
Toyohashi University of Technology
^{a)} baba@icd.cs.tut.ac.jp

INAMO は自律的に動きながらも、人や環境に影響されて様々な状態を形作ることができる。人は、あらかじめプログラムされている、設計されていると感じてしまうような動きには本当の楽しさを感じられない。パズルの自律的な動きと、人の介入による「アドホック（場当たりの）」で予測できない振る舞いであるからこそ、人に対して新しい発見を提供し、創発的コミュニケーションの楽しさを演出できるのではないだろうか。また、INAMO の動きは、ときにもどかしく感じさせ、思わず関わりたくなるような振る舞いをして人に対しコミュニケーションを誘発する。これらの INAMO の特徴を上手にパズルに生かすことができれば面白いものとなるのではないかと考えた。本論文では、INAMO を用いて共創的なインタフェースを構築し、アドホックなコミュニケーションの生成を試みる。また、システムの実装概要、インタラクション事例、パズルの実装についての紹介する。

2. アドホックなコミュニケーション

局所的な相互作用による偶発的なコミュニケーションの連鎖を「アドホックなコミュニケーション」と呼ぶ。

2.1 状況に埋め込まれた行為

相互行為のリアリティを支えるものは何か [1]。この問題の典型例として「サイモンの蟻」と呼ばれる議論がある [2][3]。「砂浜を歩く蟻の残した足跡は、なぜ複雑な絵模様を描くのか」と考えるとき、その複雑さの要因を一方的に蟻個体へと帰属させやすい。一方で、砂浜という環境の複雑さにその要因を帰属させるという考え方もある。俯瞰的立場から見れば当の行為の主体性は蟻に帰属したものに映るであろうし、微視的に見れば蟻をそうさせたのは環境の持つ複雑さによるものとみなせる。しかし、行為の理由はどちらか一方に帰属するわけではなく、両者の間に分かち持たれたものだろう。同様に、私たちの日々の振る舞いも必ずしも意識的に成されるわけではなく、自身をとり囲む環境や状況から制約を受けた結果として、行われていることが数多くある [4]。例えば、街中で横断歩道を渡る際に白線を踏み外さないよう踏み出す足取りや、路地に敷き詰められたタイルのパターンに気をとられ歩幅を変えるという調整を、なにげなく行っている経験はないだろうか。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」[5] のもつ制約に導かれる事によって、場当たりに生成された行為と言える。

2.2 遊びにおける創発性と不利益

局所的な相互作用を通して発生する「創発現象」は、トップダウンに設計者が予見して作りこんだのではない大局的現象として、人と人工物のあいだに実世界ならではの身体性を伴う関り合いをもたらすことが期待できる [6][7]。多

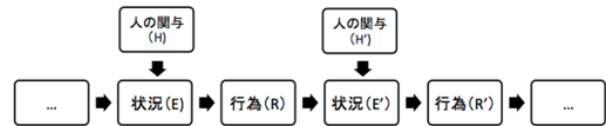


図 2 インタラクションのモデル

Fig. 2 Chain of the interactive model

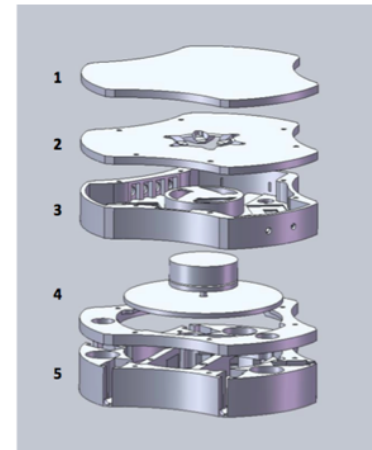


図 3 システム構成

Fig. 3 Designing architecture

様な遊び方を提供する遊具でさえも、デザイナーがそれを使って子ども達がどのように遊ぶかを全て予見しているとは考え難い [8]。一見して使い道の分からない道具は、わかりやすさ・使いやすさを追求するインタフェース研究の価値観から相反するものの、こうした「わかりにくさ」や「つかいにくさ」をあえてシステムに取り入れることは、ユーザーにとっての使いたくなる気持ちを引きだしている。このような効用は不利益の一種といえるだろう [9][10]。

3. INAMO

INAMO は複数体で組み合わせることで群衆運動するパネル型ロボットである。

ロボットのいずれかを押さえつくと、そのパネルはその場から移動できなくなる。この動けなくなったパネルは、他のロボットの動きの起点となり、そこに周囲のパネルが纏わり付くように集まることでパネルが次々に新しい状況を作り出す。このように、ロボット群の作りだす状況に人が関与しつつ、一緒に行為を生み出すことができる (図 2)。

3.1 INAMO の構成

INAMO は機能ごとに分割されたレイヤーを積み重ねることで実装されている (図 3)。

赤外線センサ：第 1 レイヤー及び第 2 レイヤーに赤外線によるタッチセンサを搭載している。タッチセンサは赤外線発光部と受光部から成る。赤外線は上面の亚克力層を透過し、物体からの反射を検出することで物体の近接を検知する。

フルカラー LED：第2レイヤーには高輝度フルカラー LED 搭載している。INAMO の内部状態に基いて明滅による情報呈示と上面からのタッチ検出と連動して動作することで物体検知の表示を行う。

赤外線通信：第3レイヤーには六角形の各頂点に赤外線通信機を搭載している。側面センサはそれぞれ固有のパターンで発光し、20~30mm 程度までの隣接す個体を個別に認識することが可能である。

制御回路：i) 統合制御回路，ii) モータドライバ，iii) IR 通信回路，iv) ZigBee 通信回路，v) バッテリ保護回路などを搭載している。ii)~v) の回路は全て，i) の統合制御回路に繋がっており，ここに搭載されているマイコン (Renesas 社製 SH7125) によって管理・制御される。モータドライバでは，INAMO に内蔵されているブラシレスモータからの回転信号を基に，モータの駆動・管理を行っている。ここでは，モータの速度・加速度を自由に変えるために，モータにかかる電圧・電流を調整している。IR 通信回路は，第4層における，INAMO 間通信を実現するための通信処理を行っている。具体的には，統合マイコンから送られてきた信号を赤外線通信用に加工し，また，どの方向に送信するかを決めるチャンネル制御を行っている。ZigBee 通信回路は，INAMO と制御用の PC を接続するための回路である。バッテリ保護回路では INAMO に内蔵されている LiPo バッテリを常に監視し，バッテリの不具合を未然に防ぐ役割を持つ。特に LiPo バッテリは厳密な電圧の管理が必要であり，本回路によって多重の保護を行う。

移動機構：第4レイヤーに内蔵された高速回転するフライホイールに対し，ブレーキをかけ発生する反慣性モーメントによって運動する。また，接合機構として電磁石を用いている。また動作の潤滑のため，本体底面にはボールキャスタを装着している。

3.2 INAMO の動作

群体移動のための基本動作を2個体での動作を例に説明する(図4)。まず，a) 電磁石によって相互に接続している状態から，b) 電極の反転による結合の解除，及びフライホイール制動によって生じる慣性モーメントによって回転する c) 移動先の接点にある電磁石によって再び接合し，運動の1ステップを完了する。この運動を基本動作として INAMO は群れとしての形状を変化させていく。

4. インタラクション事例

ここでは INAMO を用いたインタラクション事例を示す。

愛知県豊橋市の福祉施設であるこども未来館ココニコにおいて2日間の展示を行い，来場者と INAMO の関わり方を観察した。展示環境はいずれも水平な机上を用意し，ロボットの動きの妨げになる障害物の設置は行っていない。来館者は親子連れや，子ども同士のペア，子ども1人

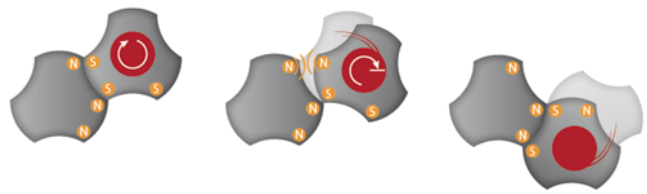


図4 2体による移動運動

Fig. 4 Dynamic locomotion of INAMOs

といった単位で施設を利用している。当日の施設来館者は初日約200人(大人100人，子ども100人)，2日目約250人(大人100人，子ども150人)であった。

4.1 事例1：対面的インタラククション

まず INAMO に対し子どもが1人で向かい合う状況でのインタラククションについて述べる。システムの動作状況によって子どもの振る舞いの傾向に差異があることを確認できた。

LEDの明滅：光の明滅に合わせて手をかざすという関わり方を観察した。また，周期的な発光は，INAMO と共に構成する次の状態へ遷移するタイミングを調整するリソースとして用いられていると考えられる。

回転動作：それぞれの INAMO が運動の前段階として行うフライホイールのチャージに合わせて，様々な調整を観察した。回転の妨げにならないように手を引っ込める，回転の支点を創りだすために角の部分の指で押さえる，運動の勢いを体感するために回転しようとする INAMO をあえて押さえつけるなどである。運動に必要な予備動作は対面したものにとって次の動作を予期させるものであり，個人にとって多様な関わり方を引きだす傾向があるといえるだろう。

積極的に動作した場合：人の接近にあわせて稼働率を上げたところ，という傾向が見られている。このことはシステムが自律性をもっている(かのように感じられる)ことの強調は周囲の人間を引き寄せ，より長いコミュニケーションを引き出せる可能性を示唆している。

積極的に動作しない場合：凹凸形状を生かした組み合わせを試行錯誤する様を多く観察できた。これらの遊びは形状の特徴によるもので，システムとの調整といった相互作用と呼べるものは起こらない事がわかる。凹凸な形状を手掛りとして任意に組み上げたとしてもそれは予め規定されているパターンの1つをなぞったものといえる。その意味で，自律性を全く持たないシステムとそれを動かす子どもとの間の関係は一方向的であった。

また，長時間遊んでいた子どもの中には，変形する群れの形状に合わせて群れの動きを制約することで次々に移動運用を繰り返し，歩行運動のような振る舞いを作り出して



図 5 子どもとのインタラクション
Fig. 5 Interacting with INAMOs

いた。自律性をもつロボットは人の投機的な振る舞いを引き出し、その振る舞いを受けて次の行為のリソースとすることでロボットは新たな状況を作り出せる。この繰り返しのよって人とロボットの間には共に創りあげる関係性を立ち上げる事ができる。

4.2 事例 2：多人数インタラクション

システムとの対面的なインタラクションに加えて、複数人の子どもや親子連れが遊ぶ様子も観察できた。コミュニケーション場に複数人の子どもが参加する際、INAMO は「場」を共有した遊びを提供することで人と人をつなぐインタフェースとして機能している。

たとえば、図 5 に示す状況では LED の明滅は女の子達の間にはリズムの共有をもたらしていた。はじめはバラバラであった女の子たちの動きは、INAMO の明滅に同調し、徐々に同じタイミングで手をかざすようになっていく。また、親子の間には INAMO の挙動や組み合わせについて「つぎはあれがうごくのではないか」、「ここをくっつけばいいのではないか」といった指差しや共同注意を通じたコミュニケーションも確認している。

このように、INAMO のもつ新奇性や挙動の不定さは人と人を共同行為やコミュニケーションへと引きつけるソーシャルメディアとして発展する可能性があること、また、子どもの探索行為や試行錯誤を引きだす知育遊具としての働きが確認できた。

5. インタラクティブパズル

INAMO は正六角形の変形した形であることから、平面充填（平面内に有限種類の平面図形（タイル）で隙間なく敷き詰める操作）が可能であるため、パズルに適しているのではないかと考えた。本章では INAMO のインタラクティブパズルとしての可能性と、実装例について述べる。



図 6 インタラクティブパズル
Fig. 6 Variety of puzzle patterns

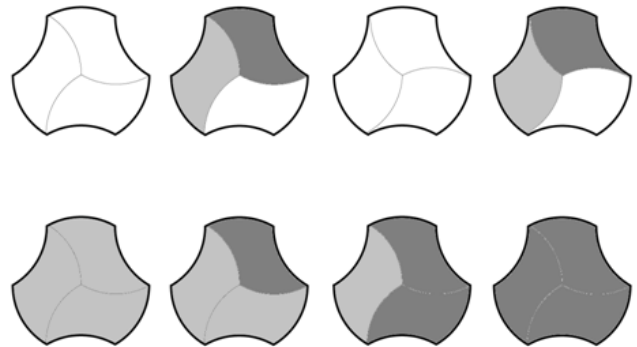


図 7 配色パターン
Fig. 7 Color combination for a puzzle

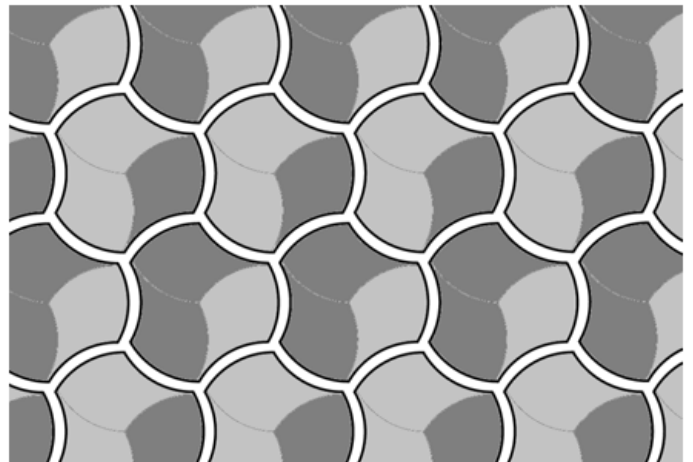


図 8 模様例 1
Fig. 8 An example for a puzzle design-1

5.1 写真・絵等

図 6 のように、INAMO の表面に絵や画像を貼付けたパズルを考える。INAMO は従来のパズルとは違い、パズル (INAMO) 自身がパズル完成を嫌がるかのような動作を行う。これが思い通りに動かせないというもどかしさを感じさせ、インタラクションへの動因を引き出すことが狙いである。

5.2 幾何学模様

また、幾何学的な模様を INAMO 表面に貼付けることを考える。具体的には図 7 のような図形である。これにより通常のパズルのような正解は存在せず、INAMO の状態によって様々な模様を表すことが出来る (図 8)。その模様は人、INAMO そして環境からも影響されながら作り出されていくアドホックなものである。3つの要因が上手く重なり、共創的に関わり合いながらひとつのものを作り上げていく、という部分に今までは無い面白さがあると思う。それぞれ単一の主体や局所的な相互作用だけでは作り出し得なかったものが、全てが組み合わせることで生み出されるのである。

図 7 では INAMO の表面を 3 分割し、それぞれの領域を色で塗り分ける。これにより、INAMO の集まり方により様々な模様を生み出すことが可能となる。例えば、2色で塗り分ける場合を考えても、そのパターンは 4つ存在し、それぞれ異なった配色の INAMO が組み合わせることで幾つもの模様を生み出す。

図 8 の例は 2 色の INAMO が 2 パターンの場合である。また、図 9 も同様に 2 色であるがパターンが若干異なる。すると、このように全く雰囲気の違った模様が生み出される。さらに 3 色のパターンを用いると図 10 のようなものを作り出すことが可能である。このように、配色の数やパターン数によって様々な模様を生み出すことができる。INAMO の数によってある程度制限はされるものの、非常に多くのパターンを生成可能であり、どのような模様が生まれるかという楽しみにも繋がる。

さらに牛柄 (図 11) のようなものも考えた。INAMO の各辺の中点を通るように牛柄を表面に描く。牛柄は各 INAMO で異なるため、組み合わせたときに様々な柄の形が現れる。INAMO 3 体でひとつの柄を表している場合もあれば、4 体、5 体の場合もある。どのように組み合わせられても違和感の無いような模様配置のため、多くのパターンを表現することが可能である。

5.3 LED

INAMO 表面に実装されているフルカラー LED により様々な色を表すことが可能である。この LED の色で INAMO のエネルギーチャージの様子を示すことができる。人が触れるタイミングを見計らうことが可能となり、よりゲーム性が増すだろう。また LED の発色により INAMO が生きているかのようなイメージを持たせることも可能である。

6. まとめと展望

本研究では、人が操作するのみならず、パズル自身が動き、また環境にも依存しながら新しい状況を生み出すという新しいパズルの形を提案した。これは人の操作のみでも、

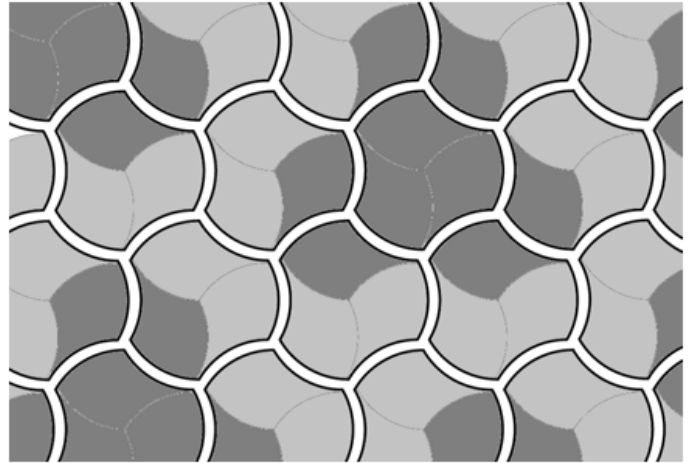


図 9 模様例 2

Fig. 9 An example for a puzzle design-2

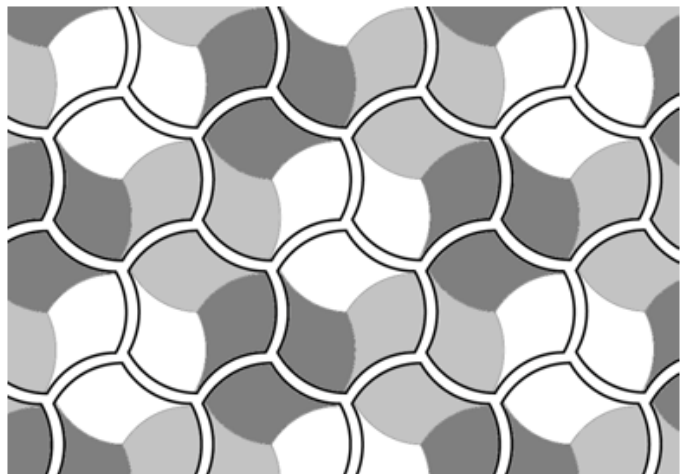


図 10 模様例 3

Fig. 10 An example for a puzzle design-3

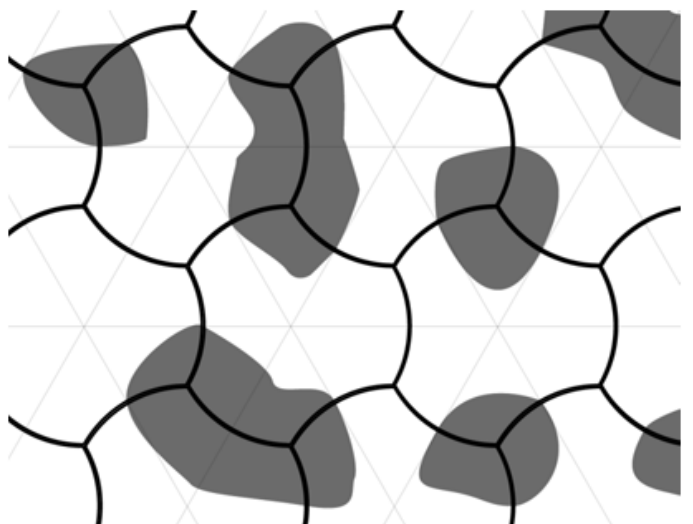


図 11 牛柄

Fig. 11 Patterns of skin's cow for the puzzle



図 12 フルカラー LED

Fig. 12 Visual appearance of LED (blinking and color changes)

INAMO 自身の動作のみでも作り出すことができない。このように何が創発されるかわからないという楽しさと、パズル自身が動いてしまうという一種のもどかしさが組み合わせることで、より面白いパズルが作れるのではないかと考えた。そのために INAMO の表面にはどのような模様等が適切かについて検討した。特に幾何学模様や牛柄に関してはどのような組み合わせでも違和感の無いように模様が合う必要がある。

今後は、さらに検討を重ね、インタラクティブパズルとして最も適した模様とは何かについて考えていきたい。また、フルカラー LED (図 12) に関しても、模様との兼ね合いを考えながら、生物らしく、そしてよりエンターテインメント性の高い表現方法について模索していく予定である。

4 章で示したように、展示に際して複数の子どもたちや親子連れとの関わりを観察し知見を得た。INAMO というシステムのステップに子どもの行為は引き出され、その行為によってシステムの状態は再び規定される。規定されたシステムはさらに変化を繰り返すことで子どもの行為を規定する。これら相互規定的な絶えざる共創プロセスのなかで子どもたちは自信にとっての遊びを試行した。結果として予め使用法の教示を受けていないにもかかわらず、INAMO の挙動を取り込みながら自信にとっての遊び方を創発したといえる。

こうしたことから、INAMO はインタラクティブパズルとしてだけでなく、アドホックなコミュニケーションを指向した共創的なインタフェースとして、様々な可能性が考えられる。今後は共創的な場を構築するメディアとしてのはたらしにも注目し、どのような振る舞いが人と人との協調を引き出す要因となるのかを探ると同時に、コミュニケーション場において構成される関係性への影響についても議論を展開したいと考えている。

さらに INAMO は群ロボットとしての特性も持っており、1) ロボット間相互作用 2) 群体-人間間相互作用 3) 人-

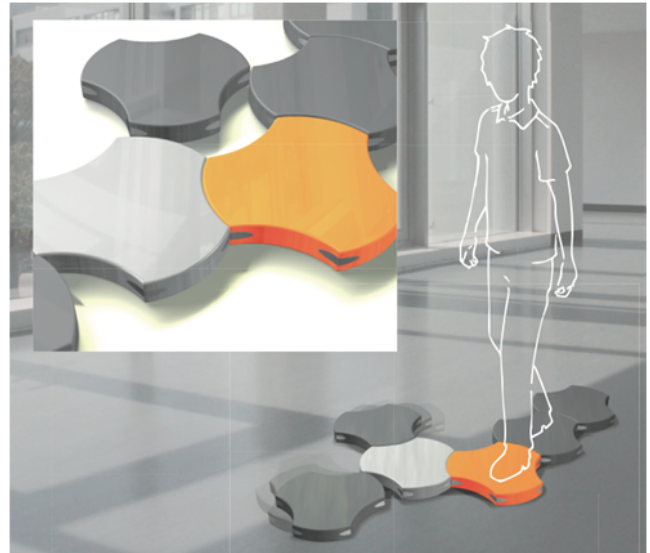


図 13 ナビゲータ

Fig. 13 Concept of the navigation system

環境間をつなぐインタフェースである。こうした INAMO というプラットフォームの特徴を生かした応用例についても構想している。

図 13 は人の搭乗によって環境インタフェースとして、人のためらいやロボットの挙動の不安定さといった要素を制約として引き受けながらアドホックなナビゲーションを生み出し、搭乗者自身だけでは思いも寄らない気づきを得られる可能性がある。

こうした INAMO のプラットフォームの特徴を生かし、共創プロセスのメカニズムの解明について構造的なアプローチをつづけていきたいと考えている。

参考文献

- [1] 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、身体性とコンピュータ、bit 別冊、岡田美智男、三嶋博之、佐々木正人 (編); 共立出版、220/232(2000).
- [2] 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) .
- [3] Simon, H. A.: The Sciences of the Artificial; The MIT Press (1969).
- [4] サッチマン.L.A: プランと状況的行為; 産業図書,(1999).
- [5] 清水博, 久米是志, 三輪敬之, 三宅美博: 場と共創; NTT 出版,(2000).
- [6] 柴田崇徳 (編集), 福田敏男: 人工生命の近未来; 時事通信社,(1994).
- [7] 伊藤宏司編著: 知の創発; NTT 出版,(2000).
- [8] 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).
- [9] 川上浩司: 不便から生まれるデザイン; 化学同人,(2011).
- [10] 川上浩司, 他: 不便の効用に着目したシステムデザイン? インに向けて; ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.11, No.1, pp.125-133 (2009).