

# 強奪と濡衣：スマート情報環境とインタフェースロボット間の のバランスデザイン

Snatch and Shift: Balancing design between smart information environment and  
interface robot

駒込大輔<sup>1</sup> 小野哲雄<sup>2</sup>

Daisuke Komagome<sup>1</sup> and Tetsuo Ono<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Future University-Hakodate

<sup>2</sup> 公立はこだて未来大学システム情報科学部

<sup>2</sup> Future University-Hakodate

**Abstract:** In the smart information environment (SIE) which controls information environment with users' action, the users feel psychological sense of incongruity for the system through errors caused by imperfection of the model. In addition, the interface robot (IR) which controls information environment interactively with users needs to show its ability and functions to the users in order to construct long-term relation. In this paper, we try to convert "negative works" of SIE into "positive works" IR by applying expression directions called Practical Magic we suggest among them as balancer. Therefore, we conducted the experiment A to inspect whether a user belongs to a robot for the cause of environmental changes (the perception of causality), afterwards we conducted the experiment B to inspect whether a user notices abilities of the robot and he/she uses the robot to control environmental devices (function discovery and function use), and report the results.

## 1. はじめに

環境知能とは、人々が暮らす生活空間の中に、ネットワークに接続されたセンサ機能とアクチュエータ機能を備えた情報デバイスが点在し、人間と相互作用しながらライフサポートを行うユビキタスシステムである[1]。我々は、環境知能をスマート情報環境とインタフェースロボットの2つのアプローチに大別し、それぞれが抱える問題をユーザの因果性知覚を利用して、両者の間にバランスを与えることで解決することを試みる。

スマート情報環境（以下 SIE）とは、ユーザの日常生活の中の行動データを収集・蓄積し、ユーザの行動に合わせて日々の生活をリアルタイムでサポートするシステムである[2]。最も単純なシステムが自動ドアである。赤外線センサによって、人は手を使うことなく、ただ歩くだけで部屋から部屋へ移動することができる。しかし、SIE の理想的なシステムは非常に複雑で容易に実現できない。センサから収集したデータがどのような意味を持っているのか、他のデータとどのように関連しているのか、最も大

きな問題は、最終的にアクチュエータを動かす際に（例えば、扇風機をつける）、ユーザにとって正しくない動作を引き起こし、SIE に対する不信感や不快感を持たれることである。そのような問題を解決するために、ベイジアンネットワークを導入している研究事例がある[3]。ベイジアンネットワークとは、行動履歴などの大量のデータの中の変数間の情報量を網羅的に計算し、因果的な関係を抽出した確率モデルのことである[4]。ベイジアンネットワークによって「ある時に、ある人が、ある行動をとった」時、「何かをしたい確率」や「何か起きる確率」を求めることができる。しかし、求めた確率から正しくない閾値を設定してしまう問題は消えていない。また、Weiser は Calm Technology という概念を提案し、ユビキタス技術そのものが重要なのではなく、ユビキタス環境がユーザにとっていかに透明になるかが重要であると主張している[5]。

一方、インタフェースロボット（以下 IR）とは人との対話能力を持った擬人化メディアであり、IR を通して生活環境内の様々なデバイスを操作することを目的としている[6]。IR は対話的に環境内の情報機

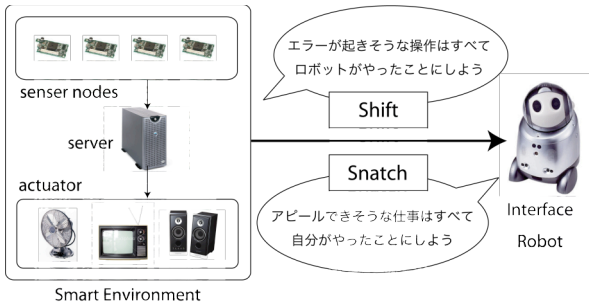


図 1. 強奪(Snatch)と濡衣(Shift)のコンセプト

器を操るインタフェースとしての機能だけでなく、生活を共にするパートナーとして、ユーザや家族を楽しませることができるだろう。しかし、ロボットがどのような機能・能力を備えているのかが分からないという問題や飽きて使われなくなってしまう問題がある。それらを解決するために、マニュアルフリーという研究事例がある[7]。しかし、それだけでは飽きや長期的関係を維持する難しさを解決できない。ロボットがユーザのためだけに行動するのではなく、ロボット独自の意図・嗜好に基づく行動指針を持っているということをユーザに気付かせる必要がある。ロボットが有する機能の発見とロボットの持つ行動指針の多様性の理解がユーザとロボットの関係を長期的に維持すると考える。

環境知能というアプローチで、センサとロボットが連携して行動予測と支援を行う研究[8]はあるが、環境側のアクチュエータ動作とロボット動作の関連性をユーザの認知的側面から実験的に検証している例は少ない。そこで、本研究では、“強奪と濡衣”というコンセプトのもと、環境側のアクチュエータ動作とロボットのビヘイビアの因果関係をユーザがどのように知覚し、その後のロボットインタラクションにどのような変化を与えるか検証した。

## 2. 提案するシステムデザイン

本節では、我々が提案するコンセプトを述べ、関連する概念としてロボットに対するユーザモデルと因果性知覚について説明する。また、コンセプトの核である Practical Magic と呼ぶロボットの表現指針とバランスデザインについて述べ、最後にコンセプトのシステムモデルを簡潔に説明する。

### 2. 1. 強奪と濡衣のコンセプト

センサ、アクチュエータ、ロボットを含めた知能化環境において、ロボットの特性とユーザの認知特性をうまく利用することで、SIE 側の問題点(1.1 節)および IR 側の問題点(1.2 節)を解決することを試みる。我々のアプローチを“強奪”と“濡衣”という

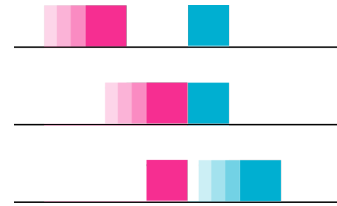


図 2. ラUNCHING効果による因果性知覚

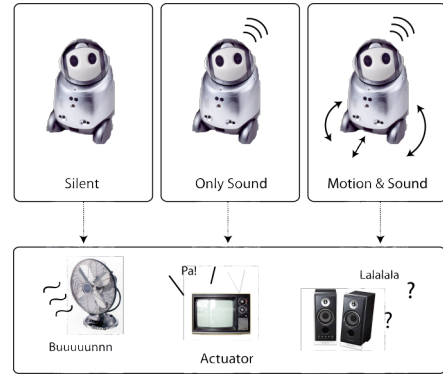


図 3. Practical Magic による因果性知覚

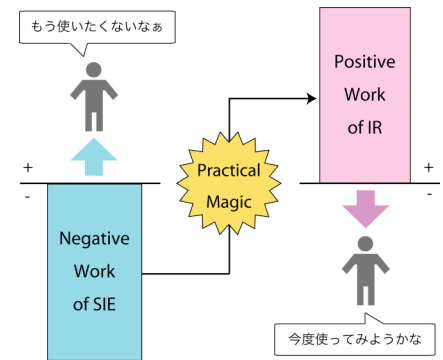


図 4. バランスデザイン

2つの概念を用いて説明する (図 1 参照)。

#### 強奪

SIE 側のアクチュエータ動作とその効果を、ロボットが行った“シゴト”としてユーザに主張する。それにより、ロボットに対するユーザ側の能動的な対話行動(依頼行為)を引き出し、長期的なインタラクションへと導く。

#### 濡衣

SIE 側の確率モデルに基づく確信度の低い(エラーが起こるかもしれない)アクチュエータ動作をロボットの操作に見せかけることで、ユーザのSIEに対する不信感や違和感を排除し、ユーザに意識されないユビキタス環境(Calm Technology)を実現する。

### 2. 2. ロボットに対する因果性知覚

ロボットは擬人化された機械であり、ユーザのロボットに対するイメージや対話方法は未だに固定されていない。社会的な振る舞いをするロボット研究

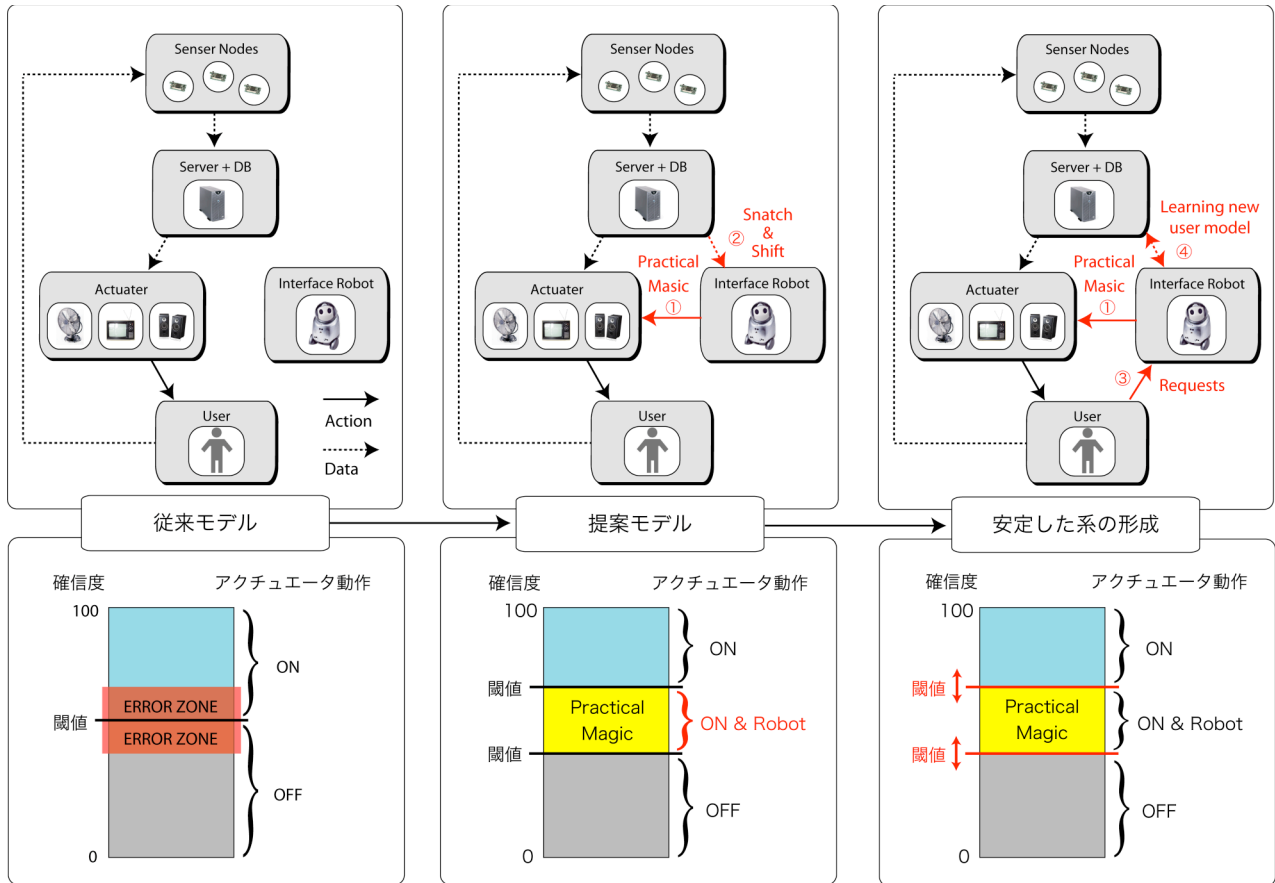


図5. 強奪と濡衣のモデル（上：インタラクションモデルとデータの流れ，下：アクチュエータの確率動作モデル）

[9]の一方で、ロボットに盛り込む機能をどうデザインするかが議論されている。我々は、ロボットは擬人化による社会性とコンピュータによる通信機能が融合した存在であるが故に、ユーザの経験モデルに無い現象(Practical Magic: 2.3 節)に対しても因果性知覚を引き起こすと考えている。因果性知覚とは「2対象の動きを原因と結果の関係として知覚すること」である。例えば、図2に示すようなラウンチング効果などの物理現象に対して我々人間は因果性を感じる。Michotte は「因果性知覚は経験によるものではなく、生得的に身につけた知覚能力であり、あらゆる事象は慣化によって因果性知覚を形成する可能性がある」と述べている[10]。そこで、ユーザはロボットの表現効果と環境動作との間に新たな因果性を形成すると考えている。

### 2. 3. Practical Magic

ユーザに対して新たな因果性知覚を形成するロボットの表現行為および設計指針を Practical Magic (現実的魔法) と呼ぶ。アニメや映画の中で魔法使いは遠くの物体を操作することが出来る。視聴者は「現実ではない世界の現象」として当たり前前に受け止め、

作品にのめり込む。我々は、ロボットに魔法の機能（離れた物体を非物理的方法で操作する機能）を持たせたとしても、ユーザは当然の現象として知覚することができると考えている。ロボットに対するユーザモデルが機械性と擬人性の狭間で不安定に揺らいているため、このような現象が起こりえると予想する。本研究で行った実験では、図3に示す3種類の Practical Magic をアクチュエータが動作する直前のビヘイビアとしてロボットに与えた。

### 2. 4. バランシングデザイン

Practical Magic を利用して SIE 側のネガティブワークを IR 側のポジティブワークに変換する。ネガティブワークは「ユーザに“もう使いたくない”と思わせるような行為」と定義し、SIE 側のアクチュエータ動作エラーが該当する。ポジティブワークは「ユーザに“今度使ってみよう”と思わせる行為」と定義し、IR の機能発見をきっかけとしたユーザの IR に対する能動的対話行為（依頼行為）が該当する。

### 2. 5. 提案モデル

図5にコンセプトのインタラクションモデルとア

クチュエータの確率動作モデルを提示する。従来の方法では、SIE 側のみでシステムモデルを構築しているため、設定閾値付近でエラー（ユーザが不気味に感じる環境動作）が起こる。しかし、我々が提案するモデルでは、エラー領域に Practical Magic を適用することで、エラーを防ぐことが出来ると考えている。さらに、Practical Magic によって、ロボットに対するユーザの対話行動を誘発し、SIE 側のセンサだけでは把握できないようなユーザの個性・嗜好をロボットインタラクションから得ることができ、さらにユーザとロボットの対話関係を継続させることができると考えている。そのようなバランスを維持するために、本研究では以下を実験的に検証する。

1. ユーザは Practical Magic によって、アクチュエータの動作の原因をロボットの操作によるものと認識するか（実験 A：因果性知覚実験）

2. もし、そうであれば、後にユーザはロボットに対して能動的にタスクの依頼を試みるか（実験 B：依頼行為誘発実験）

### 3. 実験 A

本節では、ユーザがロボットの行為 (Practical Magic) と環境変化の間に因果性を感じるかどうかを検証した実験 A について述べる。

#### 3. 1. 目的

本研究のコンセプトである「強奪と濡衣」を実現するためには、環境側のアクチュエータ動作と因果性を感じるようなロボットのビヘイビア (Practical Magic) をデザインし、評価・検証する必要がある。そこで、まずはロボットのビヘイビア (Practical Magic) を要因とした比較実験を実施し、環境動作との間にどの程度因果性を感じるのかを検証した。

#### 3. 2. 手続き

本実験では、被験者に対してただ椅子に座っているよう教示した。実験時間は 2 分間で、実験中被験者は前方の大型ディスプレイでアニメを鑑賞している。実験開始から 40 秒後に左前方のライトが消灯し（環境動作 1）、さらにその 40 秒後に右前方の扇風機が作動する（環境動作 2）。この際、ロボットの振る舞い (Practical Magic) を要因として、① Silent 条件、② Only Sound 条件、③ Motion and Sound 条件の 3 つの条件を用意する（図 3 参照）。ロボットは NEC 社製の PaPeRo を使い、同社の RoboStudio でビヘイビアを実装した。条件②ではロボットの操作音（ビッ）の 1 秒後にデバイスが動作するようデザインした。条件③では操作対象の方向へ向きを変え、30cm 前進した時に操作音を出すようデザインした。被験

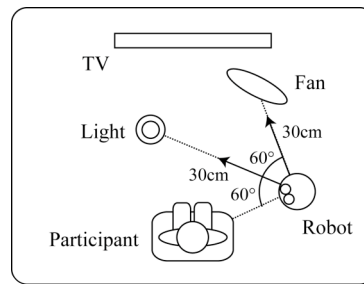


図 6. 実験 A の環境

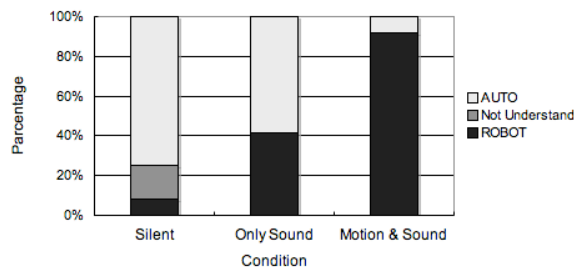


図 7. 扇風機が消えた時の因果性知覚

者は大学生 39 名（条件①：12 名，条件②：15 名，条件③：12 名）で，PaPeRo と対話した経験は無い。

#### 3. 3. 評価方法および仮説と予測

実験が終了した後、質問紙に答えてもらう。Q1 ではライト、Q2 では扇風機はどのようにして作動したかを質問した（「自動的に」「わからない」「ロボットが動かした」の中から選択）。また、それぞれ、環境動作の違和感に関する質問、およびロボットに対する印象評価を 6 段階スケールで実施した。

**仮説** Practical Magic（条件②、③のロボットのビヘイビアデザイン）によって、ユーザは環境動作の原因をロボットの操作として認識する。

**予測** 質問紙の Q1 および Q2 で、条件①よりも条件②、③の方が「ロボットが動かした」と有意に答える。

#### 3. 4. 結果と考察

##### Practical Magic と因果性知覚

図 7 より、ライト消灯時および扇風機作動時に、Motion & Sound 条件(light:42%,fan:92%)>Only Sound 条件(25%,42%)>Silent 条件(0%,8%)の順で、「ロボットが操作した」と回答していることが分かる。因果性を感じた割合(fan)を  $\chi^2$  検定した結果、Motion & Sound 条件が期待度数よりも有意に高く、Silent 条件が有意に低かった( $\chi^2(2) = 15.067, p < 0.01$ )。このことから、Practical Magic を成立させるためには、音だけよりも、操作対象への指向性を表現する動きが重要であると言える。つまり Practical Magic は環境アクチ

ユーザとの間の空間をシームレスに繋げるための知覚効果を表現する必要があるだろう。

### Practical Magic とロボットの意図推測

扇風機が作動したと思う理由を記述させた際に、条件間で「わからない」と答えた割合を比較した。その結果、Motion & Sound 条件(25%) < Only Sound 条件(27%) < Silent 条件(50%)となった。わずかではあるが、Practical Magic によって、Silent 条件との間に差が見られた。また、Motion & Sound 条件での記述例として、「ロボットが人間にとって丁度良い温度にした」などが見られた。このことから、因果性を感じるとユーザ側が勝手にロボットの行為の意図を憶測する可能性があると考えられる。

### ロボットに対する印象

因果性に関する質問以外に、ロボットについての印象を質問した。その結果、5つの質問項目(興味ある、役に立つ、遊びたい、賢い、ほしい)の内、「役に立つ」と「賢い」というロボットの機能・能力を評価する2つの項目で、一元分散分析(ANOVA)の結果、Motion & Sound 条件と Silent 条件間で有意傾向があった( $p < 0.1$ )。このことから、Practical Magic によって、ユーザが IR の機能・能力に関心を抱く可能性があることが期待できる。

## 4. 実験 B

本節では、ユーザが Practical Magic に因果性を感じることによって、ロボットに対して能動的に対話(依頼)するかを検証した実験 B について述べる。

### 4. 1. 目的

本研究のコンセプトである「強奪と濡衣」を実現するためには、ロボットが環境を操作したことをユーザに理解させ、ロボットとのインタラクションに発展させる必要がある。そこで、ユーザが Practical Magic の後に、能動的にロボットに対してユーザが抱えているタスクを依頼するかどうかを検証した。

### 4. 2. 手続き

実験 B の被験者は実験 A の被験者に再び後日参加してもらった。実験環境を図 8 に示す。被験者は入室後ソファに座り、テレビに映っている教示スライドを見ながら実験を進めてゆく。被験者の条件は実験 A と統一している。実験開始約 20 秒後にスピーカーから音楽が流れる。このとき、実験 A と同様の3つの条件で Practical Magic を行う。その後、被験者にロボットと対話してもらう。対話内容は次の3つで、すべての条件に共通している。①ロボットに「パペロ」と呼びかけてもらう。②ロボットに「パペロ サッカーして」と指示してもらう。③ロボッ

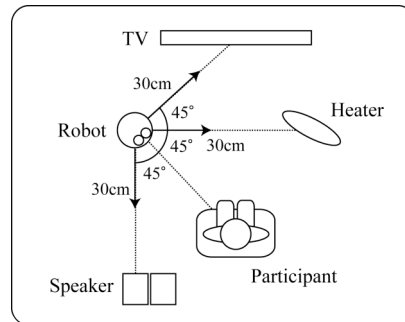


図 8. 実験 B の環境

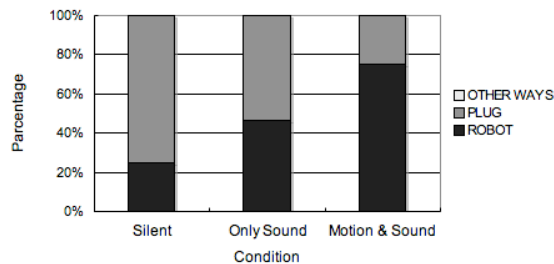


図 9. 被験者がスピーカーを消した方法の割合

トに「パペロ ダンスして」と指示してもらう。いずれも被験者の発話後、ロボットは反応を示す。その後、被験者に次の3つを教示する。①スピーカーを消す ②テレビを消す ③退室する。被験者は実験 A と同じ 39 名で、PaPeRo ロボットを用いている。

### 4. 3. 評価方法および仮説と予測

#### 行動評価

被験者にスピーカーとテレビの電源を切るよう教示するが、あらかじめスピーカーとテレビの操作パネルを操作不能にしておき、本体の側にコンセントを置いた。そのため、被験者がとる行動として①コンセントを抜く、②ロボットに依頼する、③そのままにする、という3つの選択肢を想定した。そこで、ビデオ記録と質問紙によって、被験者がどのような行動をとったかを評価し、条件間で比較・分析する。

#### 主観評価

実験が終了した後、質問紙に答えてもらう。質問紙では、実験 A と同様の主観評価および、行動評価に付随してその方法に抵抗を感じたかどうかを6段階スケールで回答してもらった。

**仮説** Practical Magic によって、人は環境動作の原因をロボットの操作に帰属させ、その後能動的にロボットに対してタスクを依頼するようになる。

**予測** 行動評価で条件①よりも、条件②、③の方がロボットに依頼する割合が多くなる。また、質問紙でロボットに依頼した方が、その方法に対して抵抗感を抱かないと評価する。

## 4. 4. 結果と考察

### Practical Magic とロボットへの依頼

図9から、電源を切る際にロボットに依頼した被験者の割合は、Motion & Sound 条件(speaker:75%, TV:75%) > Sound 条件(47%, 60%) > Silent 条件(25%, 25%)という結果となった。ロボットへ依頼した割合(speaker)を $\chi^2$ 検定した結果、Motion & Sound 条件が期待度数よりも有意に高く、Silent 条件が有意に低かった( $\chi^2(2)=6.045, p<0.05$ )。実験 A で効果的だった Practical Magic によって、ユーザはロボットが環境を操作したと感じ、そのことがユーザの能動的なロボットへの依頼行為を引き起こしたと考えられる。

### 2 行動の抵抗感の比較

情報機器の電源を消すのにロボットに依頼した場合とコンセントを抜いた場合での抵抗感を比較・分析した。分散分析の結果スピーカーを消す際、ロボットに依頼した方がコンセントを抜くよりも心理的抵抗が有意に低かった( $p<0.05$ )。また、その後のTVを消す際、引き続きロボットに依頼した方がコンセントを抜くよりも心理的抵抗がより低くなるという強い有意差が出た( $p<0.01$ )。

### Silent 条件での因果性知覚

Silent 条件で約17%の被験者が Practical Magic に因果性を感じ、25%の被験者がロボットに依頼して電源を消した。ロボットが全く動かずとも、モノを操作したと感じるという結果から、ユーザはロボットに対して独自の解釈の基づくモデルを持っているということが理解できる。

## 5. 議論・まとめ

実験 A の結果から、Motion & Sound 条件が最も強く Practical Magic に因果性を感じることが分かった。また、実験 B の結果から、Motion & Sound 条件の被験者の75%が情報機器の電源を切る際に、ロボットに依頼することが分かった。このことから、「強奪と濡衣」のコンセプトを実現するためには、ユーザに対してアクチュエータとロボット間の指向性を動きとして提示する必要がある。また、因果性を感じた条件の方がロボットの能力に関する印象が良かったことも、SIE 側のエラーが IR 側のシゴトに変換される可能性が示唆された要因となるだろう。更に、ロボットに依頼した方がコンセントを抜くよりも心理的抵抗がないことから、Practical Magic が IR の有効性を高めることができるだろう。今後は「強奪と濡衣」のコンセプトを更に発展させ、Practical Magic について以下を検証する。

### 意図の創出

Practical Magic の後に、ロボット-アクチュエータ

間のインタラクションを設定することで、ロボットが意図や独自の行動指針を持つようにデザインする。**因果性知覚の効果範囲**

ユーザが実際にどの程度の範囲まで Practical Magic によって因果性を感じるかを調査する。

### 表現の体系化

前進後退や音以外にも、操作対象や状況によって効果的なロボットの表現方法を体系化する。

### 模倣による学習

模倣されることによって、Practical Magic がユーザにとって知能化環境との新たなインタラクション方法となり得るかを検証する[11]。

## 参考文献

- [1] Sato T.: Robotic room: human behavior measurement, behavior accumulation and personal/behavioral adaptation by intelligent environment, Proc. of *Advanced Intelligent Mechatronics*, pp.515-520, (2003)
- [2] Rocker C., Janse M D., Portolan N., and Streitz N.: User Requirements for Intelligent Home Environments: A Scenario-Driven Approach and Empirical Cross-Cultural Study, Proc. of *The Smart Objects and Ambient Intelligence Conference*, pp.111-116, (2005)
- [3] Motomura Y., Nishida Y.: Computational Intelligence in Everyday Life, Proc. of *IEEE Symposium on Foundations of Computational Intelligence*, (2007)
- [4] Pearl J.: Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems, Morgan Kaufmann Publishers, (1988)
- [5] Weiser M.: The Computing for the Twenty-First Century, *Scientific American*, pp.94-104, (1991)
- [6] Yoshimi T., Matsuhira N., Suzuki K., Yamamoto D., Ozaki F., Hirokawa J., and Ogawa H.: Development of a concept model of a robotic information home appliance. *ApriAlpha*, Proc. of *Intelligent Robots and Systems*, pp.205-211, (2004)
- [7] Kobayashi K., Yamada S., and Kitamura Y.: Action Sloping for Increasing Awareness of Robot's Function, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 10, No. 1, pp. 37-46, (2008)
- [8] 中内靖: 環境知能化による行動認識とロボットによる支援, *IEICE Technical Report*, HCS2005-24, (2005)
- [9] Breazeal C L.: *Designing Social Robots*, The MIT Press, (2002)
- [10] Michotte A E.: *The perception of causality*, Basic Books, (1963)
- [11] 駒込大輔, 鈴木道雄, 小野哲雄, 山田誠二: RobotMeme: 模倣による人-ロボットの周知的相互適応, *ヒューマンインタフェース学会誌*, Vol.10, No.1, pp.47-57, (2008)