

## AI チャレンジ研究会(第 50 回)

*Proceedings of the 50th Meeting of Special Interest Group on AI Challenges*

### CONTENTS

- アームロボット用非接触給電のための直列共振回路における多層円板コンデンサの提案…………… 1  
福森 康洋†, 植村 渉†, 栗井 郁雄‡  
† 龍谷大学, ‡ 株式会社リューテック
- 無線コントローラにおける制御対象の選択方法に関する一考察…………… 6  
清水 謙汰, 辻 和輝, 植村 渉  
龍谷大学
- 調光可能な可視光通信に関する一考察…………… 9  
北沢 堯宏, 清水 謙汰, 福森 康洋, 植村 渉  
龍谷大学
- ドールハウスの世界に入ったように対話できるドールハウスシステムの提案…………… 13  
川端 菜央, 光永 法明  
大阪教育大学

日時:2018年3月11日

場所:龍谷大学 セミナーハウス ともいき荘 2階 研修室

*Ryukoku University SEMINAR HOUSE "TOMOIKISO", March 11th, 2018*

一般社団法人 人工知能学会  
Japanese Society for Artificial Intelligence

# アームロボット用非接触給電のための 直列共振回路における多層円板コンデンサの提案

Multilayer disc capacitor in series resonant circuit for wireless power transmission on an arm robot

○福森 康洋, 植村 渉, 粟井 郁雄

Yasuhiro FUKUMORI, Wataru UEMURA and Ikuo AWAI

龍谷大学, 株式会社リューテック

Ryukoku University, Ryu-tech

fukumori@vega.elec.ryukoku.ac.jp, wataru@rins.ryukoku.ac.jp, awai@ryutech.com

## Abstract

アームロボットの電力線が疲労切断の危険性及びケーブルによってアームの動きが阻害, 制限される問題に対して, 共振回路による非接触給電法を用いる研究が成されている. アームロボットには上腕部分に近づくにつれて, 小型化していくタイプがある. この場合, アームの上腕部分の関節へ近づくほど受電装置のスペースも小さくなる. その状況下でも全体の共振周波数を保つには共振回路の素子である円板コンデンサの直径を小さくしても容量が変化しない方法, あるいはコイル側のインダクタンスを増加する方法が必要となる.

本論文は関節部に取り付けるコンデンサ及びコイルを小型化する手法について検討する. また実際にそれらを用いた共振回路を作製し, その伝送効率やアーム部分の多段化に適した回路構造についても検討していく.

## 1 はじめに

近年, アームロボットの高速度性が向上し, それに伴い, アームロボットの関節は幾度も屈曲する. その影響により, アームロボットに取り付けている電力線に負荷がかかり, 疲労断線することが危惧されている. また, アームロボットに幾本も取り付けている電力線はロボットの屈曲, 回転を阻害する危険性がある. それらの問題の解決策として, 非接触給電が求められている.

従来方法では共振回路をアームロボットに組み込み, その共振回路に必要な静電容量成分であるコンデンサとして回転円板コンデンサを取り付ける. それにより, 円板コンデンサが関節部分を担う方法が提案されている[1]. しかし, アームロボットには上腕に行くほどアームが細

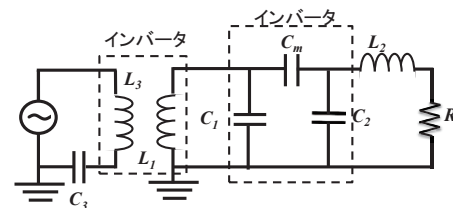


Figure 1: 従来のアームロボット用共振回路

く, 小型化するタイプも存在する. そのアームロボットに実装する場合, 共振回路の要素であるコンデンサ, コイルを小型化する必要がある. その場合静電容量はコンデンサの面積に依存するので, 容量が減少する. それに伴い, 共振周波数が変化する. この時, 全体の共振周波数を一定に保つ方法が必要になる.

また, 従来法の回路は Figure 1 のように, 不安定な対地容量を防ぐためにコンデンサを縦続に接続する[2]. その際, コンデンサはインバータを形成しインピーダンスが反転する. そのため, コイルのインバータでインピーダンスをさらに反転し, 元に戻す必要があり, 回路構造が複雑になる. さらに, Figure 1 の回路は並列共振回路を構成し, Figure 2 のように共振周波数帯近傍でのインピーダンス虚部が大きく変動する. インピーダンス虚部が 0 から遠ざかるほど伝送効率は低下していく. また, アームロボットは, 複数の関節で構成しているのでその関節ごとに共振回路が必要になる. したがって, 共振周波数を全て一致させる際には, Figure 1 のような回路を用いた多段化は, 多少の誤差が大きな伝送効率の低下へ直結する.

## 2 共振回路

### 2.1 コイル

コイルの小型化の際にはインダクタンスと Q 値も考慮しなければならない. Q 値とは, コイルの良さを表す指標

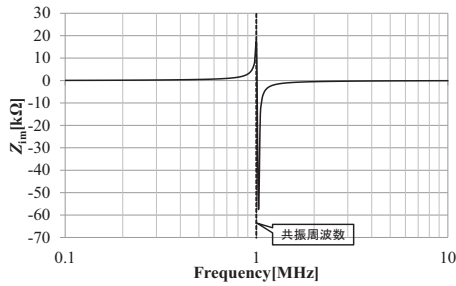


Figure 2: 並列共振時のインピーダンス虚部の変化

であり、式1で求めることができる[3].

$$Q = \frac{\omega L}{R} \quad (1)$$

コイルには巻き方によりいくつかの種類が存在する。例えば、2次元平面上で銅線を渦上に巻いたコイルをスパイラルコイルと呼ぶ。このコイルの場合、高いQ値が得られるが、インダクタンスが小さくなる。インダクタンスは銅線の巻数を増加することで増えるが、その代わりにQ値が下がる。また、巻数を増加することで広いスペースが必要となる。したがって、スパイラルコイルは本研究の意向に沿わない。本研究ではこのトレードオフを考慮し、スパイラルコイルに比べ、Q値が下がる代わりに小型で大きなインダクタンスを得ることのできるフェライトコアを用いたソレノイドコイルを共振回路のコイルとする。ソレノイドコイルは銅線を螺旋状に巻いたコイルのことである。

## 2.2 コンデンサ

コンデンサの容量Cは物質の比誘電率を $\epsilon_r$ 、空気の誘電率を $\epsilon_0$ 、コンデンサの面積をS、極板同士の距離をdとした時の式2から求められる。

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d} \quad (2)$$

式2より、コンデンサの容量は、面積の大きさに依存するとともに、コンデンサ同士の距離にも依存することがわかる。また、コンデンサ同士の合成容量は並列に接続することでその数に比例して増加する。そこで、我々は銅貼り基板をFigure 3のように多層に重ね合わせ互い違いに銅線を接続し、導通することで並列に接続させる。これにより、容量を増加させることが可能である。また、式2よりコンデンサ同士の距離が近づくほど容量は増加する。Figure 3において、距離dとは銅貼り基板の誘電体の厚さとなる。したがって基板が薄ければ薄くなるほど容量は増加し、かつ複数枚利用に必要なスペースを縮小することができる。それに伴い、コンデンサの面積Sの大きさを最小限に抑え、小型化することが可能になる。また、コンデンサは極板2枚一対で動作するので、n枚の円板がある場合、できるコンデンサはn/2個となる。しかし、

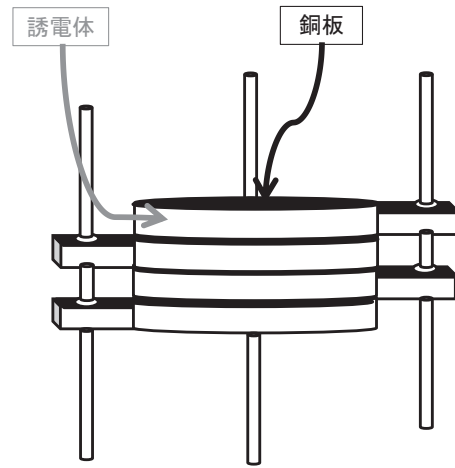


Figure 3: 誘電体多層円板コンデンサ

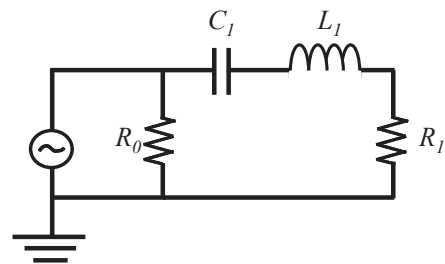


Figure 4: 直列共振回路

Figure 3の場合、中で挟まれている円板同士もコンデンサとしての働きをするのでコンデンサはn-1個として動作する。

## 2.3 直列共振回路

前節で述べた通り、従来法の回路では回路の多段化への対応が困難となる。したがって、本研究では対地容量を無視できるものとしてFigure 4のような直列共振回路を作製した。直列共振回路にすることで、インバータが不要となり、かつFigure 2と比較するとFigure 5のように共振周波数帯近傍でのインピーダンス虚部の変動が緩やかである。これにより、回路の多段化の際に、共振周波数を一致するのが容易となる。

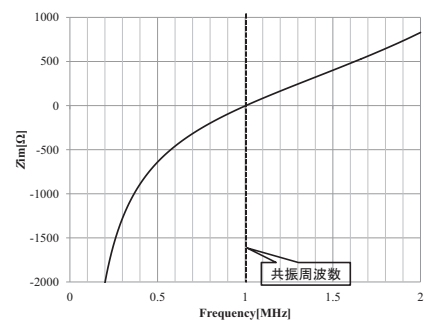


Figure 5: 直列共振時のインピーダンス虚部の変化

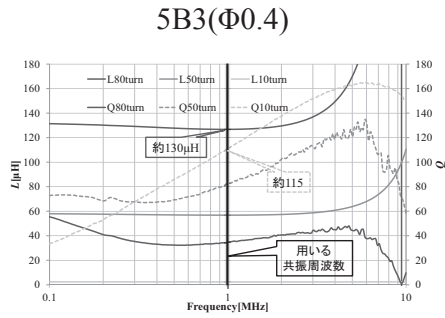


Figure 6: コイルのインダクタンスと Q 値 ( $\phi 0.4$ )

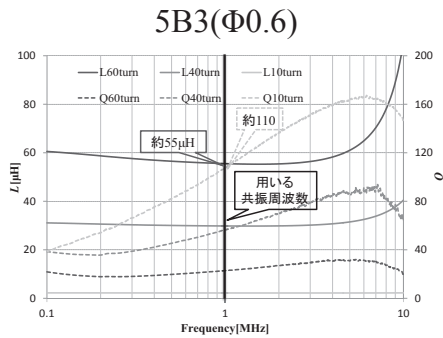


Figure 7: コイルのインダクタンスと Q 値 ( $\phi 0.6$ )

### 3 検証実験

#### 3.1 ソレノイドコイル

本研究では共振周波数を 1MHz とする。本節では、用いるフェライトコアの最も高い Q 値を得ることができる周波数帯を調べ、ソレノイドコイルとして用いる際に 1MHz 帯での使用に適しているかを検証する。直径 6.15mm のトミタ電機製 Ni-Zn フェライトコア 5B3 に対し、銅線 0.4mm, 0.6mm( $\phi 0.4, \phi 0.6$ ) を 1 重の均等巻きにし、Vector Network Analyzer (VNA) を用いて巻数をパラメータとした周波数に対するインダクタンス, Q 値を測定した。結果はそれぞれ Figure 6, Figure 7 となった。結果より、 $\phi 0.4, \phi 0.6$  ともに、Q 値が最も高くなる周波数帯域は 5 ~ 6MHz 近傍となった。しかし、巻数が増加し、インダクタンスが増加していくと、5MHz 近傍でコイルが自己共振を始めている。これより、1 重巻きで大きいインダクタンスが必要な場合、最も Q 値が高くなる 5MHz 帯よりも 1 ~ 3MHz 帯での使用が適している。

#### 3.2 誘電体多層円板コンデンサ

本節では前節で述べた誘電体多層円板コンデンサの効果を検証する。銅貼り基板の FR-4 ( $d = 1.5\text{mm}$ )、レジン基板 ( $d = 0.3\text{mm}$ ) をそれぞれ用いて円板を作製し、6 枚を重ね合わせ、Figure 3 を作製する。それぞれの容量と Equivalent Series Resistance (等価直列抵抗, ESR) を測定する。Figure 8 より、FR-4 に比べ、レジン基板は厚さが薄いため、円板同士の距離  $d$  が小さくなり、容量が 3.5

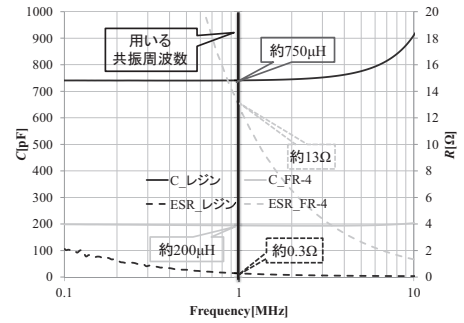


Figure 8: コンデンサの容量と等価直列抵抗

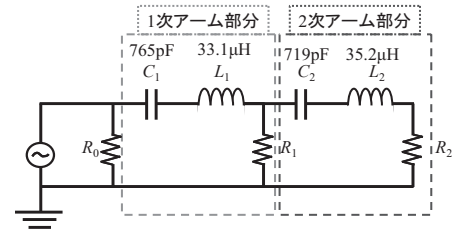


Figure 9: 2 段直列共振回路

倍大きくなった。また、理想的なコンデンサは静電容量が大きいほどインピーダンスが低く、かつ周波数が高くなるほどインピーダンスが低くなるのに対して、実際のコンデンサには抵抗成分やインダクタンス成分が含まれており、この抵抗成分が等価直列抵抗である。インダクタンス成分があると周波数が高くなると静電容量とは対称的にインピーダンスが高くなる。また、コンデンサの容量とインダクタンス成分の共振周波数帯では等価直列抵抗の値がインピーダンスになる。等価直列抵抗が高くなると、発熱や、電圧低下などの問題が発生するので極力抑えることが好ましい。Figure 8 より、レジン基板は、FR-4 に比べ等価直列抵抗も約 45 倍小さくなった。

#### 3.3 直列共振回路のインピーダンス虚部と電力

本研究では直列共振回路を Figure 9 のように作製し、電源側から近い負荷抵抗を順に 0 次, 1 次, 2 次側負荷抵抗とし、それぞれ  $R_0, R_1, R_2$  とした。これらの負荷抵抗をアームロボットのサーボモータと想定する。サーボモータは動作開始時には大電力を必要とするが、動作安定後要求する電力は減少する。さらに、印加する電圧は一定であることからサーボモータの抵抗値は動作の状態に変動する。この動作を想定し、それぞれの負荷を独立に変動し、その際の電源から見たインピーダンス  $Z$  を VNA で測定する。他の抵抗は  $100\Omega, 390\Omega$  で固定する。Figure 9 ~ 12 の結果から 0 次から 2 次のどの負荷が変化しても、電源から見たインピーダンスの虚部は  $0\Omega$  近傍で維持することができ、多段化した際に共振周波数の調整が容易にできることがわかる。また、対地容量の影響も無視できる程度のものだと確認できた。

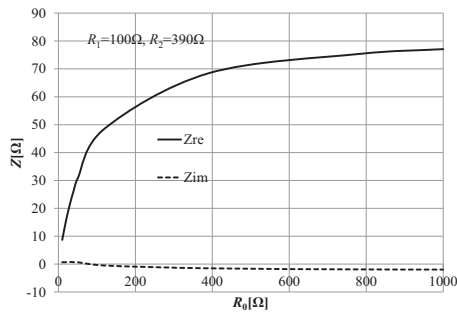


Figure 10: 0次負荷を変化させた時の電源側から見たインピーダンス

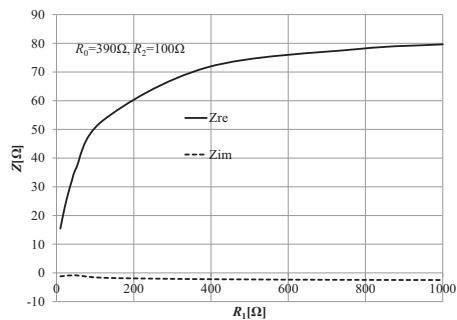


Figure 11: 1次負荷を変化させた時の電源側から見たインピーダンス

さらに、同様の条件でのそれぞれの負荷抵抗に供給される電力をオシロスコープにて確認し、オシロスコープの値より、負荷の変化量に対するその他の負荷にかかる電力を Figure 13 ~ 15 に示す。変動した負荷抵抗側では負荷抵抗の変化量に応じて電力が変化したが、それ以外の一定値の負荷抵抗側では、ほぼ一定の電力を安定して供給することができていた。これにより、多段化し、それぞれのサーボモータが独立に動作することで、負荷抵抗が変動した場合にも安定して電力を供給することができることを確認した。

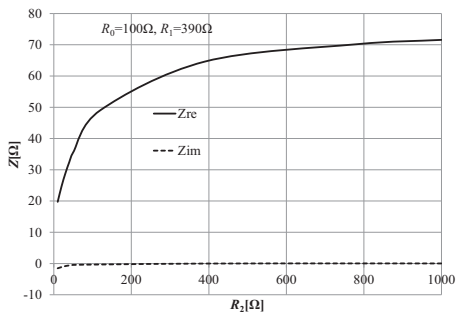


Figure 12: 2次負荷を変化させた時の電源側から見たインピーダンス

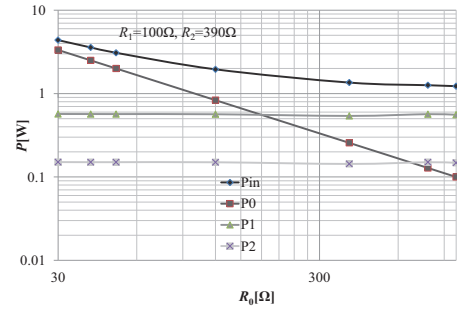


Figure 13: 0負荷を変化させた時に生じる電力

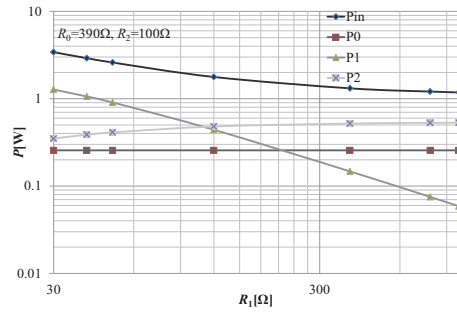


Figure 14: 1次負荷を変化させた時に生じる電力

#### 4 おわりに

アームロボットに対して円板コンデンサを用いた非接触給電方法が提案されている。それに対して、先端部分への移行に伴いアームが細くなるタイプのアームロボットには共振回路の小型化が必要となる。また、提案されていた回路では多段化する際、共振周波数を一定に保つことが困難である。これに対して、銅板を多層に重ねることで小型の複数並列接続されたコンデンサを実現した。また、コイルはインダクタンスと小型化のトレードオフを考慮し、フェライトコアを用いた。回路を直列共振回路にすることで、多段化の際にも共振周波数を一定に保つ事が容易となり安定した電力供給を可能とした。今後は、本実験で用いた材料よりもより優れた結果を出すことを確認したが、時間の都合上実装し検証することのできなかつたレジン基板、トロイダルコアをそれぞれコンデンサ、コイルとした共振回路を作製し、現回路との性能比較する必要がある。

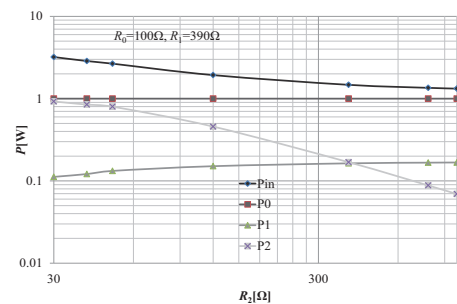


Figure 15: 2次負荷を変化させた時に生じる電力

## 参考文献

- [1] 粟井郁雄, 川辺健太郎「多関節アーム・ロボット模型への非接触給電の実験」, RF ワールド, No.38, CQ 出版, pp.105 - 119, (2017).
- [2] 福森康洋, 植村渉, 粟井郁雄「アームロボットに対する誘電体多層円板コンデンサを用いた非接触給電システムの小型化」, IEEE CE ソサイエティ西日本合同チャプタ主催1月研究会, 2018年1月21日.
- [3] 粟井郁雄「とことん基礎から理解する磁界共鳴型ワイヤレス給電」, 日経エレクトロニクス第2回, No. 1069, pp. 100 - 108, (2011).



# 無線コントローラにおける制御対象の選択方法に関する一考察

How to select the robots by a wireless controller.

清水 謙汰, 辻 和輝, 植村 渉

Kenta SHIMIZU, Kazuki TSUJI and Wataru UEMURA

龍谷大学

Ryukoku University

shimizu@vega.elec.ryukoku.ac.jp, wataru@rins.ryukoku.ac.jp

## Abstract

近年、労働者人口の減少や大量生産から変種変量生産への移行に伴う工場の自動化により、自律移動ロボットや加工機器といった機器の導入が進んでいる。労働者は、製品の組立などの作業を行うのではなく、それらを行うロボットや機器等の機器の管理が主な仕事となる。このとき、これらの機器は遠隔で制御するため、無線接続が重要となる。制御対象の機器が別の場所に移動していたり、ラインの組み替えで機器の配置が変わっていたりするため、制御対象の識別番号を調べるのが困難になることが多い。そこで、可視光通信を併用することで、制御対象の機器を視覚的に選択するシステムを提案する。制御する機器の選択に可視光通信を使うことで、可視光を照射した機器のみ制御対象とすることが可能となり、制御対象の選択の簡単化が可能となる。

提案法として、可視光通信で照らした機器を制御対象とし、無線コントローラで制御する方法を検討する。可視光通信で選択された機器のみがコントローラで制御されるが、制御情報は従来通りイーサネットを用いて送信する。その際にブロードキャスト通信にて、同一ネットワークに接続されている全機器に制御情報を送信し、可視光通信で選択された機器のみがその制御情報に従うこととする。コントローラには識別番号を付与しておき、その識別番号を可視光通信で送信する。制御対象の機器は可視光通信で受信した識別番号と同一の識別番号のコントローラから送られる制御情報のみを実行することで、複数のコントローラの使用にも対応する。

制御対象の選択のしやすさを調べるため、制御

対象の選択や切り替えを含めた作業時間の比較を行った。被験者4人に全方位移動ロボット3台をこちらが指定した順番で配置する実験をしてもらい、配置に費やした時間を測定した。これを1)従来法1:3台のロボットそれぞれに対応するコントローラを選択する方法、2)従来法2:ボタンを用いて移動するロボットを選択する方法、3)提案法:可視光通信を用いて移動するロボットを選択する方法の3種類の選択方法で行った。結果、従来法1はコントローラを持ち替える必要があったため時間がかかった。また、ロボット三台では従来法2と提案法では平均時間に大きな差は出なかった。しかし、作業時間の幅は提案法が最も小さかった。このことから、提案法は操作ミスが最も少なく、使いやすい無線コントローラであると考えられる。

## 1 はじめに

近年、労働者人口の減少や大量生産から変種変量生産への移行に伴う工場の自動化により、自律移動ロボットや加工マシンの導入が進んでいる[1]。労働者は、製品の組立などの作業を行うのではなく、それらを行うロボットやマシンの管理が主な仕事となる。このとき、これらの機器は遠隔で制御するため、無線接続が重要となる(Figure 1)。しかし、制御対象の機器が別の場所に移動していたり、ラインの組み替えで機器の配置が変わっていたりするため、制御対象の識別番号を調べるのが困難になることが多い。そこで、可視光通信を併用することで、制御対象の機器を視覚的に選択するシステムを提案する。制御する機器の選択に可視光通信を使うことで、可視光を照射した機器のみ制御対象とすることが可能となり、制御対象の選択の簡単化が可能となる。

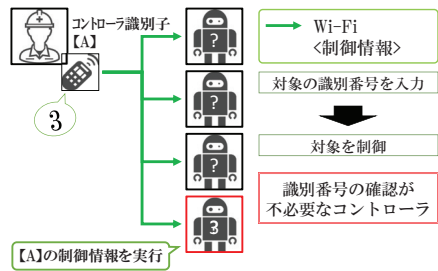


Figure 1: 無線コントローラを用いて複数の複数の機器を制御する方法

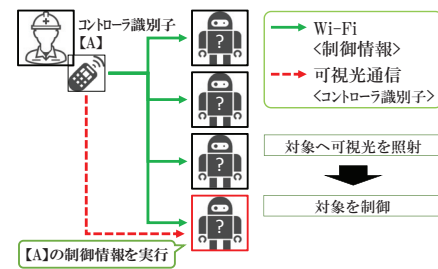


Figure 2: 提案するロボット制御システムの概要

## 2 可視光通信

可視光通信は無線通信の一種であり、目に見える可視光線を使用して通信を行う[2]。可視光の点滅パターンを変えることでデジタル情報を重畳し通信を行うが、点滅速度を高速にすることで人間の目には常時点灯しているように見えるため、懐中電灯のような単なる照明としても扱うことができる。可視光通信は光の当たっているところが受信可能となるため、通信範囲を人の目で知覚できる上に、強い指向性を持っているといった他の無線通信には無い特徴があり、制御対象の選択には適している。

## 3 可視光通信による制御対象の選択

可視光通信で照らした機器を制御対象として、無線コントローラで制御する方法を検討する。提案するシステムの構成図を図2に示す。コントローラ毎に付与された識別番号を可視光通信で送信し、制御情報を従来通り Wi-Fi を用いて送信する。その際に制御情報はブロードキャスト通信にて、同一ネットワークに接続されている全機器に送信する。可視光通信で選択された機器は受信した識別番号と同一の識別番号のコントローラから送られる制御情報のみを実行する。

## 4 実験と評価

制御対象の選択のしやすさを調べるため、制御対象の選択や切り替えを含めた作業時間の比較を行う。実験には3台の全方位移動ロボットを用いる。図3のようにフィールドを用意し、その中に全方位移動ロボットを3台配置

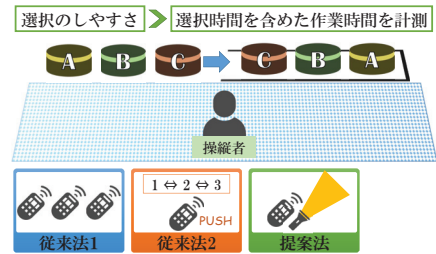


Figure 3: 実験環境. ロボットの順番を入れ替える作業の時間を比較.

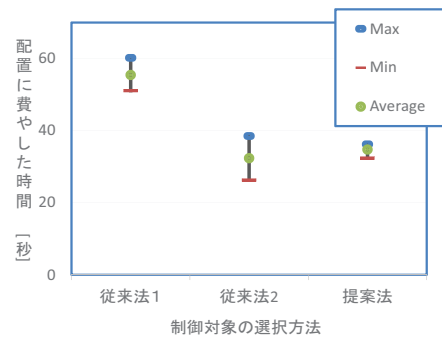


Figure 4: ロボット配置に費やした時間の比較

し、左から1番, 2番, 3番とする。この3台の全方位移動ロボットを図3下のように、左から3番, 2番, 1番となるように配置作業を行ってもらう。その際、被験者の位置は自由、太線で描かれた枠を超えて移動することはできないというルールを設けることで、最低5回は機器を選択する状況を作る。これを被験者4人に対して、以下の3種類の制御対象の選択方法で実施し、配置作業に費やした時間を計測する。

1. 従来法1：3台のロボットそれぞれに対応するコントローラを選択する方法（コントローラの見目は同一で、被験者はどのコントローラがどのロボットに対応しているのか分からない）。
2. 従来法2：ボタンを用いて移動するロボットを選択する方法（被験者はどのボタンがどのロボットに対応しているのか分からない）。
3. 提案法：可視光通信を用いて移動するロボットを選択する方法。

実験の結果を図4に示す。結果より、従来法1はコントローラを持ち替える必要があったため時間がかかった。また、ロボット三台では従来法2と提案法では平均時間に大きな差は出なかった。しかし、作業時間の幅は提案法が最も小さかった。このことから、提案法は操作ミスが最も少なく、使いやすい無線コントローラであると考えられる。



## 5 おわりに

本研究では制御対象の選択の簡単化のために、可視光通信を用いた制御対象が選択可能な無線コントローラを提案した。提案法では視覚的に選択できるため、機器の数が増えても選択ミスが生じない使いやすいコントローラだと言える。また、提案したコントローラは、複数機器の同時制御を可能としているが、複数機器の同時移動では機器の向きが一致していないと移動方向が一致しない問題が生じるため、今後はこの問題に対する検討を行いたいと考えている。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 15K16313 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] Tim Niemueller, et al., “The Carologistics Approach to Cope with the Increased Complexity and New Challenges of the RoboCup Logistics League 2015”, Automation, Communication and Cybernetics in Science and Engineering 2015/2016, pp. 619-635, 2015.
- [2] 中川 正雄, 可視光通信コンソーシアム, “可視光通信の世界—LEDで拓く「あかりコミュニケーション」”, 工業調査会, 2006.

## 調光可能な可視光通信に関する一考察

About lighting level of the visible light communication.

北沢 堯宏, 清水 謙汰, 福森 康洋, 植村 渉

Takahiro KITAZAWA, Kenta SHIMIZU, Yasuhiro FUKUMORI and Wataru UEMURA

龍谷大学

Ryukoku University

kitazawa@vega.elec.ryukoku.ac.jp, wataru@rins.ryukoku.ac.jp

### Abstract

光に情報を重畳して通信を行う可視光通信では、通信範囲が目に見える特徴がある。一方、人間の目で見えるため、情報に応じて明るさが変化する変調を使うと、ちらつきとして視認され、望ましくない。それゆえ、一般に赤外線リモコンで使われるパルス幅変調を使うことが難しく、パルスの位置で情報を送るパルス位置変調を使うことが多い。パルス位置変調では、例えば4スロットで1シンボルを送る場合、その4スロットの中の1スロットだけをONにし、他の3スロットをOFFにすることで、2値の情報を送ることができる。この方法では、常時ONにする場合と比べ、明るさが1/4になり、暗く感じる。一方、このONとOFFを反転した反転パルス位置変調を使うと、1スロットがOFFで3スロットがONになるため、明るさは3/4となり、さほど暗くならない。本研究では、これらパルス位置変調と反転パルス位置変調を組み合わせることで、1/4や3/4以外の明るさを可変できる変調方式を提案する。人間の目視によるちらつきの評価をするとともに、通信性能の確認を行う。

### 1 はじめに

可視光通信とは、可視光帯域の電磁波を通信媒体とし、可視光線の点滅に応じて情報を符号化する無線通信である。一般家庭や公共施設の照明がLight Emitting Diode (LED) 化しているが、LEDは応答速度が速く高速点滅が可能であり、それら照明機器を可視光通信の送信機として利用できる。通信範囲が目に見える特徴がある一方、明るさの急激な変化等でちらつきが発生するため、情報によって明るさが変化しない変調方式が必要とされる。人間の目で知覚する明るさは、残像の関係もあり、発光強度だけ

でなく発光時間も関係する。例えば、蛍光灯は交流で点滅しているが、人間の目でその点滅を見ることはできず、常時点灯しているように見える。一方、壊れかけの蛍光灯は、単位時間で累積した発光強度が変化するため、ちらつきを感じる。そのため、単位時間当たりの累積発光強度が一定である変調方式として、パルス位置変調 (Pulse Position Modulation: PPM) 方式と反転パルス位置変調 (Inversed PPM: i-PPM) 方式が一般的に使われている。

照明機器には、明るさを自由に変更することが必要である。これを調光という。LEDの明るさは、流れる電流の大きさによって変化するが、一般に電圧で制御するため、明るさの調整が難しい。そのため、擬似的なアナログ出力として、パルスの幅を調整することで、調光を行う。一般に調光制御方式として、ONとOFFの時間比率を変更するパルス幅変調 (Pulse Width Modulation: PWM) 方式を用いる。PWM方式は、サーボモータの角度指定などにも使われているアナログ変調方式であるが、ここではアナログ情報を載せるのではなく、明るさがアナログ値と対応する使い方である。

ここで、可視光通信を照明機器に適用する場合、PWM方式を用いて情報を送ると、情報に応じて明るさが変化し、ちらつきが発生する。一方で、PPM方式やi-PPM方式を用いると、ちらつきは生じないが、明るさを変えることができない。

本研究では、可視光通信の調光可能な変調方式を検討する。

以下、2章ではパルスを用いたちらつきのない可視光通信の変調方式について紹介し、3章にて調光可能な変調方式を提案する。その変調方式の性能を4章にて確認し、5章で本論文をまとめる。

### 2 パルス変調

本章では、パルスを用いた変調方式について紹介する。

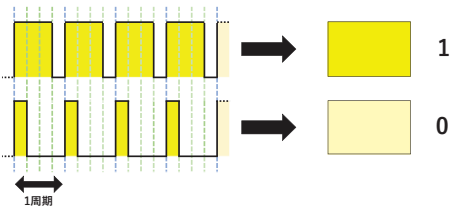


Figure 1: PWM方式での情報の割り当て

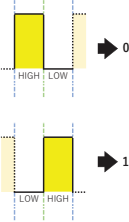


Figure 2: 2値PPM方式での情報の割り当て

## 2.1 パルス幅変調 (PWM) 方式

PWM方式は、搬送パルスの時間軸上でのHIGHの時間が入力信号によって変化する変調方式である (Figure 1)。1周期において、HIGHの時間とLOWの時間の比 (duty比) が、入力信号に合わせて変化することで、情報を割り当てる。例えば、2値のデジタル通信として使う場合には、HIGHの時間が長ければ“1”の情報を、LOWの時間が長ければ“0”の情報を示す。

PWM方式は、主に赤外線を通信媒体としている赤外線通信で使用されている。また、1周期においてHIGHの時間のみ、もしくはLOWの時間のみ確認できれば情報を得ることができるため、簡単な受信回路やプログラムで対応できる。ただし、送信する情報によって、LEDの発光時間が変わるため、消費電力が安定せず、可視光通信の場合はちらつきが発生する。

## 2.2 パルス位置変調 (PPM) 方式

PPM方式は、搬送パルスの時間軸上での位置が、入力信号によって変化する変調方式である。一度に送るビット数によって、スロットの数を変えることができ、そのスロットの中の何番目のスロットにパルスがあるか (=スロットがONになっているか) によって情報を割り当てる。例えば、2値のデジタル通信として使う場合には、2スロット用意し、最初のスロットがHIGHの場合は“0”の情報を、2つ目のスロットがHIGHの場合は“1”の情報を示す (Figure 2)。

スロットを4つ用意した場合は、4値PPMとなり、1シンボルで4通りの情報を送ることができる (Figure 3)。そのため、一度に2bitの情報が送信できる。このとき、シンボルの組み合わせによっては、HIGHとLOWの数に偏りが生じる場合があるが、人間の目で知覚できる範囲の時間軸で見ると、HIGHとLOWの比率が一定であるため、

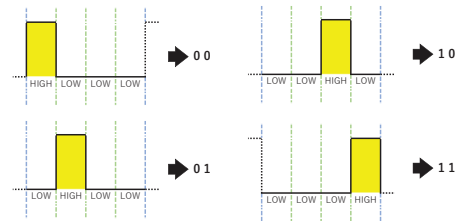


Figure 3: 4値PPM方式での情報の割り当て

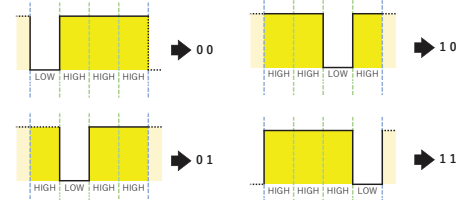


Figure 4: 反転4値PPM方式での情報の割り当て

ちらつきは感じない。そのため、照明との整合性が高い。

## 2.3 反転パルス位置変調 (i-PPM) 方式

i-PPM方式は、PPM方式のHIGHとLOWが反転した変調方式である。ただし、2値PPM方式の場合は、HIGHとLOWの比率が1:1であるため、反転しても本質的には変わらない。4値以上の場合に、明るさが変わる (Figure 4)。

PPM方式の時と同様に、1シンボル内のHIGHとLOWの比率が一定であるため、ちらつきが感じない。また、多値化するほどHIGHの時間が長くなるため、明るくなる。LEDもしくは受光素子の応答速度の関係で、多値化したときに1スロットの時間を変えられない場合、例えば2倍の情報を送る場合、2倍の時間がかかるため、通信速度としては同じになる。しかし、HIGHとLOWの比率が変わるため、明るさが変わる特徴がある。

## 2.4 明るさ

一般に、「明るさ」と言うときには、照度、輝度、光度、光束など異なる意味を持つ場合がある。例えば、輝度は、光源を見た時にどれだけ明るく見えるかを示す。光度であれば、ある方向に向けての単位立体角あたりの光束の量を示す。前者は光を見ている人 (受信機) にとっての明るさであり、後者は発光体 (送信機) が発している明るさである。ここでは、調光の観点での明るさと、可視光通信の観点での明るさの違いについて説明する。

光束は、光源から放射されるエネルギーのうち、人の目に入った際に光と感じるエネルギー量を表す。単位は  $Lm$  (ルーメン) である。LEDのデータシート等では、発光効率の単位として  $Lm/W$  を用いることが多い。光束の値が大きければ光は遠くまで届き、逆に小さければ届く距離は短くなる。可視光通信では、光束の値が通信距離に比例

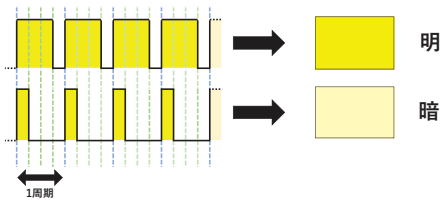


Figure 5: PWM 調光方式

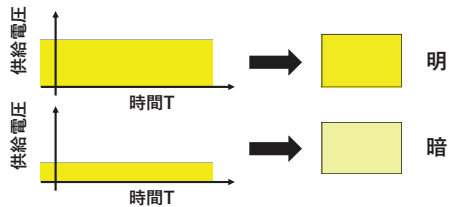


Figure 6: アナログ調光方式

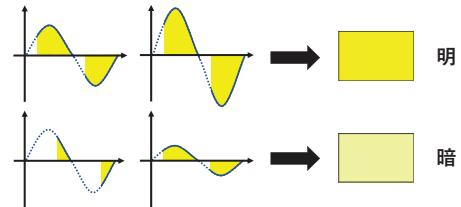


Figure 7: 位相制御方式

4PPM : i-4PPM	調光率	8 Bit				
		1 Symbol	1 Symbol	1 Symbol	1 Symbol	
4 : 0	25.0 %	4PPM	4PPM	4PPM	4PPM	明
3 : 1	37.5 %	4PPM	4PPM	4PPM	i-4PPM	明
2 : 2	50.0 %	4PPM	4PPM	i-4PPM	i-4PPM	明
1 : 3	62.5 %	4PPM	i-4PPM	i-4PPM	i-4PPM	明
0 : 4	75.0 %	i-4PPM	i-4PPM	i-4PPM	i-4PPM	明

Figure 8: Mixed-PPM

し、また同じ距離であれば光束の値が大きいほど受光強度が強くなるためノイズの影響が小さくなる。そのため、光束の値は、通信の性能に大きく関係する。

照度は、単位面積あたりに照射する光束の量を示す。単位は  $Lx = Lm/m^2$  (ルクス) である。照明機器の仕様書には、発光体の性能であるため光束の値が載っていることが多い。しかし、人間が感じる明るさは受信感度であるため、照度である。そのため実際に照明機器として使う際には、照度の値が重要となる。

調光システムは、一般にスタンド型照明機器やフロアスタンド等の身近なところに使用されている。本節では、一般的に使用されている調光制御方式をまとめる。

PWM 方式を使用している調光制御方式について説明する (Figure 5)。この方式では、1 周期内の duty 比を制御することで、調光を行う。HIGH の比率が大きければ明るく、LOW の比率が大きければ暗くなる。0%から100%までの調光を実現できる。

可変抵抗等を用いることでLEDの供給電流を制御する調光制御方式について説明する (Figure 6)。抵抗値の変化により流れる電流値を制御する。LEDは電流値に応じて明るさが変わるため、調光ができる。電圧が一定であれば、抵抗値と電流値は反比例の関係にあるため、明るさの調整が難しい。交流波形の1周期において、発光素子に流れる電流波形を切り取る調光制御方式である (Figure 7)。ランプ電流が多い、または波形切断時間が短いほど明るく、ランプ電流が少ない、または波形切断時間が長いほど暗くなる。明るさが、流れる電力の実効値で決まる白熱電球との整合性高いことが特徴である。

### 3 混合パルス位置変調方式の提案

本章では、調光を行うための変調方式として、duty 比が一定であるため、ちらつきが起こりにくい4PPM方式

とi-4PPM方式に注目する。送信情報に割り当てる変調方式を、数シンボル単位で割合を変化する方法を提案する。例えば、8シンボルの送信情報に対して、前半4シンボルは4PPM方式で送り、後半4シンボルはi-4PPM方式で送る。受信機側では、混在した異なる変調方式の信号を受信するが、1シンボル毎にHIGHとLOWの数を数えることで、どちらの方式で送っているのかが判定できる。これにより、ちらつきが起こらず、かつ調光ができる可視光通信が可能になる。この変調方式を混合パルス位置変調 (Mixed PPM) 方式と呼ぶことにする。

### 4 実験と評価

本章では、Mixed PPM方式を通信の観点と調光の観点から評価する。そのため1)可視光通信としての通信特性、2)ちらつきの認知、の2点を評価する。1)、2)の評価を行うため、各調光時の通信可能距離とBERの測定と、各調光時におけるちらつきに関するアンケートを行う。今回は8Bitの情報送信を想定し、Mixed PPM方式を適用した (Figure 8)。1)の測定方法として、各調光率に対して272bitの情報を25,000回測定した。結果をFigure 9にまとめる。2)の測定として、20代の被験者10人に対し、通信時のちらつきの聞き取りを行った。Mixed PPM方式を適用した場合にちらつきを感じるか、また、比較対象として、PWM方式の場合にちらつきを感じるかをアンケートにより調査した。結果をFigure 10にまとめる。

### 5 まとめ

本研究では、可視光通信に対し、調光を可能にする変調方式を検討した。通信性能の実験により、従来法である

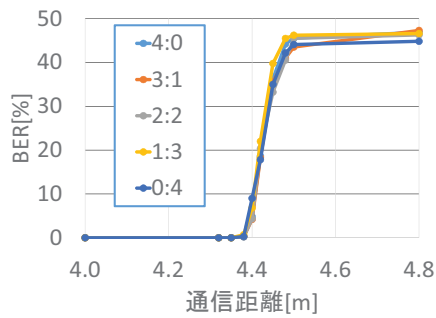


Figure 9: 調光率における距離に対する誤り率

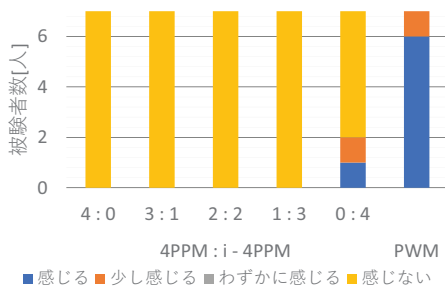


Figure 10: 各調光方法に対するちらつきの感じ方

PPM方式とi-PPM方式と比較して、Mixed PPM方式はほぼ同じBERを示すことが確認できた。また、ちらつきに関する評価アンケートでは、PWM方式に対して提案法はちらつきを感じないという声が多かった。

## 謝辞

本研究はJSPS 科研費 15K16313 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] 中川 正雄, 可視光通信コンソーシアム, “可視光通信の世界—LEDで拓く「あかりコミュニケーション」”, 工業調査会, 2006.
- [2] 山岸 誠仁, “高輝度/パワーLEDの活用テクニック”, CQ出版株式会社, (2008年)
- [3] 明るさ計算, <http://tomari.org/main/java/hikari.html>, (最終確認日:2018/01/22)

# ドールハウスの世界に入ったように対話できるドールハウスシステムの提案

Proposal of a doll house system that you can make conversation with a doll in the house

川端 菜央, 光永 法明

Nao Kawabata and Noriaki Mitsunaga

大阪教育大学

Osaka Kyoiku University

mitunaga@cc.osaka-kyoiku.ac.jp

## Abstract

人形の世界に入りたい、遊んでみたいという夢をもつ子どもは多いのではないだろうか。本論文では、カメラを組み込んだ人形の映像をみることでドールハウス内を人形の視点でみて、人形と対話できるドールハウスシステムを試作し、試作したシステムを5歳と10歳の女の子に遊んでもらいその様子を観察したので報告する。



図 1: USB カメラを鼻の位置に埋め込んだ人形

## 1 はじめに

子どもの遊びに人形を使った遊びがある。人形遊びには人形以外に、ドールハウスとよばれる人形の大きさに合わせた家を使うことがある。ドールハウスシステムは人形の世界観に合わせた家や小物などから構成されており、人形や小物、家などを配置して、人形の世界を創造して遊ぶことができる。

ドールハウスの中には精巧に作られていてその世界に入りたいと思わせるものや、その世界の人形が目の前で動いてくれたらと思わせるものもある。そういった夢を実現するため、新井ら [1] はドールハウス内をヘッドマウントディスプレイ (HMD) に映しだし、ドールハウスの世界を体験する方法を検討している。一方、尾崎ら [2] は実世界のドールハウスと仮想世界をつなぐ提案をしており、東藤ら [3]、尾崎と椎尾 [4] はテレビ CM のように人形に子どもが触れることなく、人形が動いてしゃべるようなドールハウスを実現する方法を提案している。

本研究ではドールハウスの世界を人形の視点で見て、ドールハウスの人形と対話ができるシステム (以下、ドールハウスシステム) を考える。人形の視点を得るため、人形にカメラを載せるがカメラ画像は HMD ではなくディスプレイに映し、ドールハウスの人形を手で動かして遊ぶ一般的な遊び方を妨げないようにする。そしてカメラを載せた人形とドールハウス内の人形が対話して見える

距離になったときに、ロールプレイングゲームで見られるような対話ができるようにする。

本稿では、実際にドールハウスシステムを作成し、5歳と10歳の子どもが遊ぶ様子を観察したので報告する。以下、第2章ではドールハウスシステムの概要を述べ、第3章で子どもの様子を観察した環境を示す。第4章で子どもの遊んだ様子を報告し、第5章で考察をし、最後にまとめを述べる。

## 2 ドールハウスシステムの概要

実装したシステムは Windows 10 上に OpenCV を用いて構築し、ドールハウスに株式会社エポック社のシルバニアファミリーを用いる。シルバニアファミリーに含まれるショコラウサギファミリーの一体に図 1 のように小型の USB カメラ (株式会社ミヨシ, UC-01, 直径 5.5mm, 約 30 万画素, 画角: 約 60 度) を埋め込む。このカメラの画像をディスプレイに表示することでドールハウスの世界を人形の視点で見られる。人形同士が正面に向かい合って対話しているように見える距離 (55mm~150mm)、角度 ( $\pm 25$  度) のとき (図 2) にあるとき、カメラ画像内の人形をテンプレートマッチングで検出する。テンプレートは図 3





図 2: 2 体の人形が対話する距離



図 3: 人形をみつけるためのテンプレート画像の例

のように人形の服と頭部の一部を含むようにした。人形を検出するとカメラ画像上に四角を表示する(図 4)。四角を表示しているときに特定のキーを押すとカメラ画像が対話画面になる。対話は人形のアニメーション動作から始まる挨拶で開始する(図 5①～④)。用意したシナリオの台詞を録音しておき、人形の映像にあわせて音声を再生して字幕を表示する。人形からは発問をするが子どもからの応答の認識はせず、一定時間が経過したら次の台詞に移るようにしている(④～⑥)。用意したシナリオが終わると F キーを押すように促す(⑦)。F キーを押すとカメラ画像の表示に切り替わる。

### 3 ドールハウスシステムの評価環境

本学内の教室にカーペットを敷き、その上にドールハウスシステムを設置した(図 6) 対話システムのウィンドウはディスプレイ左上で、右には人形検出時に表示する四角の色が対応する人形を示している。ショコラウサギファミリーの人形 4 体(図 7)を認識するようにし、それぞれの人形と初めて会ったときと 2 回目以降に会ったときの 2 種類の対話を用意した。またシルバニアファミリーの他の 9 体の人形も用意した。

評価には、幼稚園に通っている 5 歳の女の子と小学校 4 年生の 10 歳の女の子の姉妹に母親と共に来てもらった。二人とも普段からシルバニアファミリーで遊んでいる。普段、シルバニアファミリーで遊ぶときには 30 分から 1 時間程度遊ぶ。対話の際に呼びかける名前は、5 歳の女の子



図 4: テンプレートマッチンでカメラ画像内に人形をみつけると四角を表示する

の名前とし内容もその子がわかる簡単なものとした。

作成したシステムで遊んでもらう前に、普段のドールハウスで遊んでいる様子を見せてもらい、しばらくしてカメラを内蔵した人形をみせてカメラを通した画像が見れることを説明した。その後、作成したシステムを体験してもらい、インタビューをした。遊び始めてからインタビューまで約 2 時間かかった。

### 4 子どもの遊び方

ドールハウスと人形で遊ぶときには、人形の手足を曲げ伸ばしてポーズをつけたり、服を人形間で交換して着せ替えたり、ドールハウスの中や外の箱に並べるなどしていた。ドールハウス外の箱はお風呂や、部屋に見立てていた。このとき二人は人形のしゃべる内容を声にはしていなかった。母親によると、以前にしゃべっているところがかわいくて笑ってしまい、それを気にしてそれ以降、5 歳の女の子は声に出して遊んでいないということであった。

ドールハウスと人形でしばらく遊んだあと、図 1 のカメラをつけた人形を出し、ディスプレイの電源を入れてカメラ画像を見せた。5 歳の女の子は自分にカメラを向けてディスプレイの映像を見て、人形が自分のことを見てると話した。2 人の女の子は、カメラ付きの人形をドールハウスの中に入れ、窓から外を見たり、ベッドに寝かせたりして、人形の視点でのドールハウスを見ていた。10 歳の女の子の方がこのような行動を長く行っていた。

その後、人形と対話する方法を説明すると、2 人とも自分でキーボードを操作し、人形が話しかけると声を出して返答して、複数回人形との会話を楽しんでいった。5 歳の女の子は人形が自分の名前を呼び、姉の名前を呼ばないことに気づくと、自分が人形に見られているからだと思ったようで、母親の後ろに隠れたり、姉が操作するように言ったりしていた。また「二人になったらどうなるの?」や、くまの人形(シルバニアファミリーに含まれる)を持って

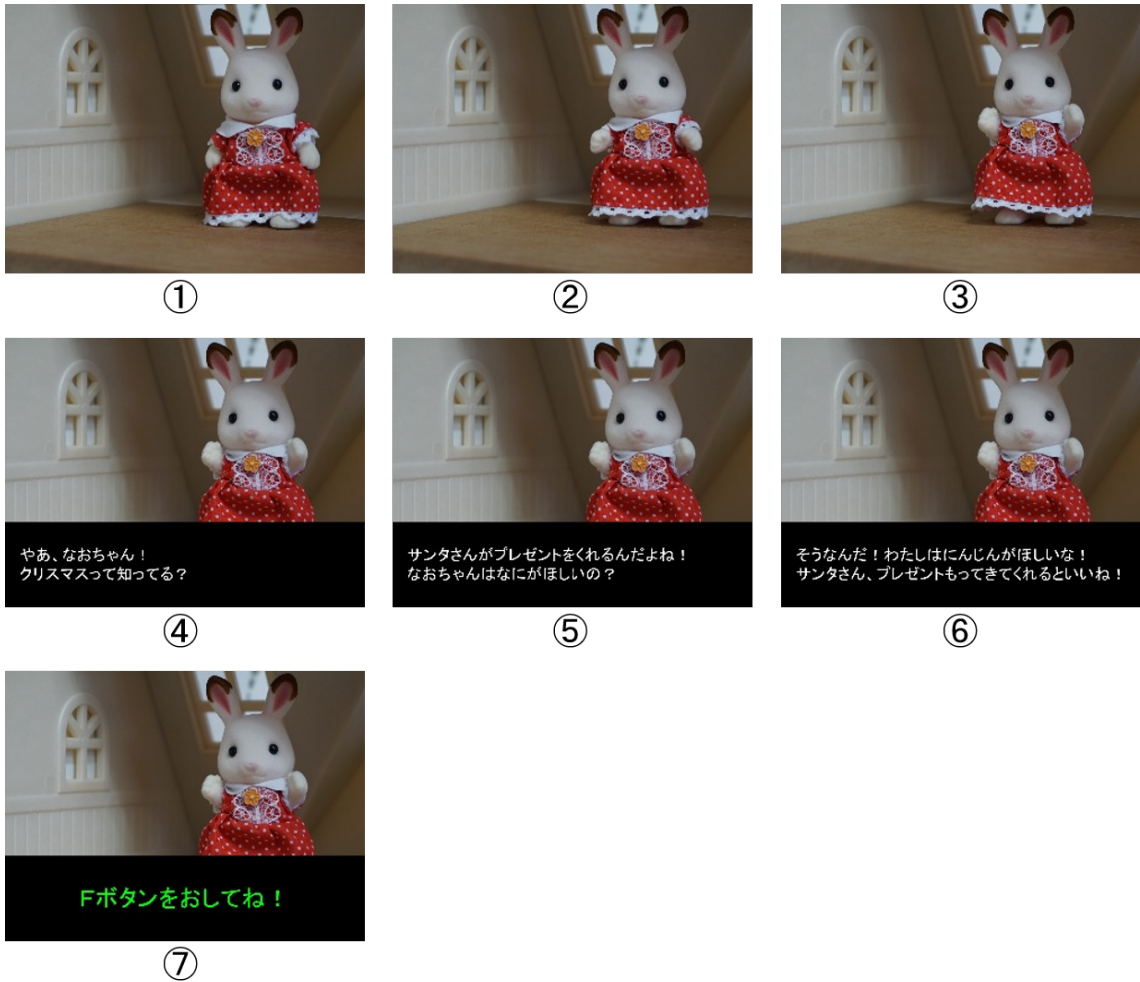


図 5: ロールプレイングゲームのような人形のアニメーション動作と人形からの発話の様子。①～⑨の順に切り替わる。①～④はアニメーション動作で、⑤～⑨は一画面で構成している。



図 6: 床にカーペットを敷き、ドールハウスシステムを設置した。ディスプレイの右に人形検出時に表示する四角の色が対応する人形を示している。



図 7: 対話を用意した4体のショコラウサギファミリーの人形

きて、「この子ではできないの?」と著者の一人に尋ねた。10歳である姉は、初めはしっかり人形に話しかけ、人形が自分たちと本当に会話をしているように感じていたようだが、途中からは決められた台詞が流れていると気付いているようだった。

## 5 インタビューの結果

人形で遊び終わったあとのインタビューでは、5歳の女の子は「その場にある13体の人形のうち、一番お気に入りの人形はどれか」という質問に対し、「ショコラウサギのお父さん」と答えた。理由は「会話ができたから」と答えており、人形と会話ができたと嬉しく思っているようである。ただし、他の3体の人形との会話も体験しており、特定の人形を選んだ理由は不明である。

10歳の女の子は「どこを面白いと思ったか」という質問に対し、「人形と会話ができたとよりも、カメラを搭載した人形を動かしたことが面白かった」と答えた。「人形の目線だとなんか思った」と話しており、今までにない視点でドールハウスを見ることができたと考えられる。また、「このカメラ付きの人形を使って、他にどんなことがしてみたいか」という質問に対しては、「人形を自分の指示で動かしたい」と答えた。これは、「右に曲がって」と言うと人形が右に曲がるように、人形が動かしたいのだと考える。

2人の母親は、2人の様子を見たあとに研究内容を聞き「ドールハウスの中を人形の目線で見ることはできるのは面白い」と答えた。「家で会話内容を作り替えることができ、2人がやってみたいと言ったら、手伝うことは可能か」という質問に対しては、可能であると答えた。AとBも、「会話内容を作り替えることができたらやってみたい」と答えた。

## 6 まとめ

本論文ではドールハウスの世界を人形の視点で見て、人形と対話ができるドールハウスシステムを作成し、5歳と10歳の子どもがシステムで遊ぶ様子を観察しインタビューした結果を報告した。遊んだ姉妹は興味を持っており、新しい遊び方になる可能性は十分にあると考える。

## 参考文献

- [1] 新井瑛子, 古川正紘, 南澤孝太, 舘: テレグジスタンスの研究(第73報):ミニチュア・ドールハウスの世界を体験するための視覚伝送系設計, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013(Robomec2013), 2P1-Q13, 2013.
- [2] 尾崎 保乃花, 的場 やすし, 椎尾 一郎: 実世界人形遊びを拡張する仮想ドールハウス, ソフトウェア科学会 WISS 2017 論文集, No. 81, 1-A15, 2017.
- [3] 東藤 絵美, 吉池 俊貴, 馬場 哲晃, 串山 久美子: 非接触給電を用いたドールハウス型人形玩具の提案, インタラクシオン 2013, 情報処理学会, 2013.
- [4] 尾崎 保乃花, 椎尾 一郎: コンピュータ強化されたドールハウスの提案と実装, 情報処理学会第79回全国大会講演論文集, 7Y-03, pp. 4-259 - 4-260, 2017.

© 2018 Special Interest Group on AI Challenges  
Japanese Society for Artificial Intelligence  
一般社団法人 人工知能学会 AI チャレンジ研究会

〒162 東京都新宿区津久戸町 4-7 OS ビル 402 号室 03-5261-3401 Fax: 03-5261-3402

(本研究会についてのお問い合わせは下記にお願いします.)

---

**AI チャレンジ研究会**

主 査

公文 誠

熊本大学 大学院先端科学研究部

**Executive Committee Chair**

**Makoto Kumon**

Faculty of Advanced Science and  
Technology, Kumamoto University  
kumon @ gpo.kumamoto-u.ac.jp

主 幹 事 / 担 当 幹 事

光永 法明

大阪教育大学 教員養成課程 技術教育講座

**Secretary**

**Noriaki Mitsunaga**

Department of Technology Education,  
Osaka Kyoiku University

担 当 幹 事

植村 渉

龍谷大学 理工学部 電子情報学科

**Wataru Uemura**

Department of Electronics and Informat-  
ics, Faculty of Science and Technology,  
Ryukoku University

幹 事

鈴木 麗壘

名古屋大学 大学院情報学研究科 複雑系科学専攻

**Reiji Suzuki**

Department of Complex Systems Science,  
Graduate School of Informatics,  
Nagoya University

中 臺 一 博

(株) ホンダ・リサーチ・インスティテュート・  
ジャパン / 東京工業大学 工学院  
システム制御系

**Kazuhiro Nakadai**

Honda Research Institute Japan Co., Ltd.  
/ Department of Systems and Control  
Engineering, School of Engineering,  
Tokyo Institute of Technology

---

SIG-AI-Challenges web page; <http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~challeng/>