

鳥取県環境学術研究等振興事業費補助金研究実績報告書（環境創造部門）

研究期間（1年目/3年間）

研究者 又は 研究代表者	氏名	(ふりがな) こうの きよたか 河野 清尊
	所属研究機関 部局・職	米子工業高等専門学校 電子制御工学科・教授 電話番号 0859-24-5136 電子メール kohno@yonago-k.ac.jp
研究課題名	とっとり弥生の王国におけるICTを活用した統合広域観光ガイドシステムの開発	
研究結果	<p><b>【統合広域観光ガイドシステムの基礎実験】</b></p> <p>(1) 景観再現機能 ⇒ 【研究成果】 [1]</p> <p>(1-1) 妻木晩田遺跡での景観再現</p> <p>① 堅穴住居の3DCG再現機能について、組み上げ表示機能（住居が組み上がる様子の再現）および背景表示機能（VR空間上で当時の風景の再現）の強化を行った。</p> <p>② 「むきばんだまつり(9/23)」において特別企画『堅穴住居を3次元CGで再現!』を実施した。遺構展示館の堅穴住居跡でAR/VR再現のデモを行い、来場者へのアンケート調査を行った。</p> <p>(1-2) 青谷上寺地遺跡での景観再現</p> <p>妻木晩田遺跡での成果を用いて発掘物のAR/VR再現について検討を行った。その結果、収蔵展示室の360°映像を撮影し、これをHMDやタブレット端末で見ることのできる『遠隔VR見学システム』を開発することにした。</p> <p>(2) 多国語機能</p> <p>多国（言）語化するコンテンツおよびサーバー側での切り替え機構を検討した。</p> <p>(3) Pepperの自律移動機能 ⇒ 【研究成果】 [2], [3]</p> <p>① 遠隔操作によりPepperを移動させる機能を実現した。これを用いて「むきばんだまつり(9/23)」において「弥生の館」の実物資料展示コーナーの説明を行わせた。</p> <p>② 発光ランドマークと全方位カメラによる自己位置検出方法を用いた自律移動の実験を行った。</p>	
研究成果	<p>研究成果として以下の2点が得られた。詳細は発表論文[1]～[3]を参照のこと。</p> <p>(1) 発光ランドマークと全方位カメラによる自己位置検出方法を用いることで、Pepperの自律移動を実現できることが分かったこと。</p> <p>(2) 史跡公園化に向けて整備途中の青谷上寺地遺跡をどのように観光客にPRするかを検討した結果、360°映像を用いた『遠隔VR見学システム』が適しているという結論を得たこと。</p> <p>学会等で以下の通り発表を行った。研究成果[1]～[3]を添付する。</p> <p>[1] 小林峻平, 地頭知章, 河野清尊, “とっとり弥生の王国における住居・生活のAR/VR再現”, 第26回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, pp. 125-126, 2017年11月。</p> <p>[2] 清水 航, 河野清尊, “多色発光型ランドマークによる自己位置検出を用いたPepperの自律移動”, 第26回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, pp. 79-80, 2017年11月。</p> <p>[3] 清水 航, “Pepperを用いた受付・案内ロボットの開発”, 平成29年度米子高専専攻科特別研究論文集, pp. 59-64, 2018年3月。</p>	

<p>次年度研究 計画</p>	<p>【統合広域観光ガイドシステムのプロトタイプ開発と評価】</p> <p>(1) <u>景観再現機能</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・3DCGでのAR/VR再現機能の強化および遠隔VR見学システムの開発を行う。</li> </ul> <p>(2) <u>多言語機能</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ガイドコンテンツの作成と切り替え機構の実現と動作確認を行う。</li> </ul> <p>(3) <u>Pepperの自律移動機能</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・自律移動しながら館内案内ができるようにする。</li> </ul> <p>(1)～(3)について、両遺跡においてデモとアンケート調査を実施し改善点を明らかにする。</p>	
<p>報告責任者</p>	<p>所属・職 氏名</p>	<p>総務課 企画・社会連携係 福留のぞみ</p> <p>電話番号 0859-24-5007 電子メール kikaku@yonago-k.ac.jp</p>

- 注1) 表題には、環境創造部門、地域振興部門、北東アジア学術交流部門のいずれかを記載すること。
- 2) 「研究期間（ 年目/ 年間）」及び「次年度研究計画」は、環境創造部門及び地域振興部門において記載すること。
- 3) 研究者の知的財産権などに関する内容等で、非公開としたい部分は、罫線で囲うなど明確にし、その理由を記すこと。
- 4) 研究実績のサマリーを併せて提出すること。

## とっとり弥生の王国における住居・生活の AR/VR 再現

○小林 峻平\* 地頭 知章\* 河野 清尊\*

\* 米子工業高等専門学校

## AR/VR Reproduction of Residence and Life for the Tottori Yayoi no Okoku

○Shunpei KOBAYASHI\*, Tomoaki JITO\*, Kiyotaka KOHNO\*

\*National Institute of Technology, Yonago Collage

**Abstract:** We have worked on the study of “The Development of Reproduction Landscape System using AR for the Tottori Prefectural Mukibanda ruins historical park.” In this paper, we present an enhancement of AR/VR reproduction functions, and propose a AR/VR reproduction system for the Tottori Yayoi no Okoku.

## 1. 緒言

本研究では、これまで鳥取県立むきばんだ（妻木晩田）史跡公園向けの AR と Beacon を用いた景観再現システムの開発に取り組んできた。<sup>1),2)</sup> このシステムは、遺跡の位置検出に GPS と Beacon を使用し、遺跡の復元状態（埋め戻されている、復元されていない、復元されている）に応じて種々のコンテンツを AR 再現しようというものである。多数ある遺跡の中でも特に、復元されていない遺跡であり、竪穴住居跡を発見当時の状態で保存してある「遺構展示館」において、3DCG を用いた竪穴住居の AR 再現に力を入れて取り組んできた。<sup>3)</sup>

本研究では、妻木晩田遺跡の「遺構展示館」における 3DCG による竪穴住居の AR/VR 再現の機能強化を図るとともに、同じ弥生時代の生活の跡が多数残る青谷上寺地遺跡の発掘成果を取り入れて、両遺跡（「とっとり弥生の王国」）において当時の生活をよりリアルに AR/VR 再現するシステムの提案を行う。

なお、本研究は、平成 29 年度鳥取県環境学術研究等振興事業の補助を受けて行っている。

## 2. とっとり弥生の王国

鳥取県内には弥生時代の代表的な遺跡として、妻木晩田遺跡と青谷上寺地遺跡がある。

妻木晩田遺跡は、国立公園大山のふもと「晩田山」の、美保湾（日本海）を一望できる標高 90～150m の丘陵にある、面積が 156ha にもおよぶ国内最大級の弥生集落遺跡であり、弥生時代の住居跡が多数残っている。1999 年 12 月 22 日に国の史跡に指定され、鳥取県によって保存・整備が図られている。

一方、青谷上寺地遺跡は、鳥取市の青谷平野に位置し、弥生時代前期末から古墳時代前期初めにかけて存在し、稲作・漁労を営みながら海を介して交易を行っていた港湾集落と考えられ、典型的な低湿地遺跡で、弥生人の脳をはじめとする多彩な遺物が出土している。

鳥取県では、これらの異なる特徴を有し補完し合う両遺跡を貴重な歴史文化遺産として活用し、「とっとり弥生の王国」として新たな価値の創造、発信に取り組んでいる。

## 3. 竪穴住居の 3DCG による AR 再現

景観再現システムでは、代表的な復元されていない遺跡である「遺構展示館」内の竪穴住居跡について、3DCG で竪穴住居を作成し、それを AR 再現することに取り組んだ (Fig. 1).



Fig.1 AR Reproduction for Tateana Residence

この AR 再現については、屋内では GPS の誤差大きいこと、また、Beacon 発信機を使っても位置検出の誤差が大きいことが実験より確かめられたので<sup>2)</sup>、タブレット端末の位置と方向を固定して AR 再現することにした。

## 3.1 竪穴住居の 3D モデルの作成

遺構展示館内の最も大きな遺跡 (S1-117 号住居) と、その近くに住居跡が残っている遺跡 (118 号住居) を復元するため、史跡公園から 7 本柱竪穴住居および 4 本柱竪穴住居の復元設計図をお借りし、これをもとに、3DCG 作成ソフトである LightWave2015 を用いて竪穴住居の 3D モデルを作成した (Fig. 2, Fig. 3) .



Fig.2 Complete Drawing



Fig.3 Sectional Drawing

## 3.2 AR 表示用アプリの開発

作成した竪穴住居の 3DCG をタブレット上に表示させる iOS アプリケーションを Unity を用いて開発した。

タブレット端末の位置と方向を固定した状態で、竪穴住居跡に合致して 3DCG を AR 表示できるように、3DCG の大きさ・位置・角度が調整できる機能を実装した (Fig. 4) .



Fig.4 AR Reproduction

アプリケーションには以下の機能を実装した。

- ①全体表示機能  
タブレットの画面上に竪穴住居の 3DCG モデルの全体像を表示する。
- ②左半分表示機能  
竪穴住居の 3DCG モデルの左側半分のみ表示する。
- ③右半分表示機能  
竪穴住居の 3DCG モデルの右側半分のみ表示する。
- ④非表示機能  
竪穴住居の 3DCG モデルを非表示にし、竪穴住居跡が見えるようにする。
- ⑤位置角度調整機能  
竪穴住居跡に一致するようにするために、竪穴住居の 3DCG モデルの位置・角度を調整する。
- ⑥住居切り替え機能  
7 本柱住居と 4 本柱住居のどちらを表示するか切り替える。

#### 4. 竪穴住居の 3DCG 再現機能の強化

##### 4.1 追加した機能

平成 28 年 9 月 22 日に開催された「むきばんだまつり」で行ったデモにおいて、住居が作成される様子が見たい、当時の景観も合わせて見たいなどの意見が挙がったので先の機能に以下の二つの機能を追加した。

###### (1) 組み上げ表示機能

竪穴住居の外観・内装だけでなく、どのようにして竪穴住居が組み立てられたのかを知ってもらうために 3D モデルをパーツ分けし、アニメーションを作成して住居が組み上がっていく様子を再現した (Fig. 5)。

###### (2) 背景表示機能

これまでは遺構展示館内の住居跡を背景として AR 再現を行ってきたが、VR 空間上で当時の風景を再現し、竪穴住居の背景として用いることでよりリアルに再現することができると考え、プロトタイプを作成した (Fig. 5)。

##### 4.2 イベントでのデモ

平成 29 年 9 月 23 日に行われた「むきばんだまつり」において機能強化を行なった AR/VR 再現システムを来場者に使ってもらった (Fig. 6)。アンケート調査では、38 人から回答をいただき、そのうち 36 人 (94%) から 4 段階評価の上位 2 つ (面白かった、まあまあ面白かった) の好評価をいただいた。問題点・改善点としては以下の意見が寄せられた。

- ①弥生人が生活している様子を再現すること。
- ②背景を実際の風景に近づけること。
- ③遺構展示館のどこからでも移動しながら住居を再現できるようにすること。



Fig.5 Display of Building



Fig.6 Demonstration

#### 5. とっとり弥生の王国向け再現システム

丘陵地帯に住居跡が多数残る妻木晩田遺跡、低湿地帯に生活の跡が多数残る青谷上寺地遺跡、この異なる特徴を有し補完し合う両遺跡を、ICT を活用して統合し、両遺跡において弥生人の生活をよりリアルに AR/VR 再現するシステムを提案したいと考えている。

##### (1) 3DCG 再現機能の強化

妻木晩田遺跡の住居跡や青谷上寺地遺跡の水路跡および発掘品などをよりリアルに再現するため、新しく 3DCG を作成し AR/VR 表示できるようにする。

##### (2) 遠隔見学システム

妻木晩田遺跡と青谷上寺地遺跡の間は約 60km 距離が離れているため、両遺跡を見学するためには時間を要する。これを解決するために、遺跡の 360° 映像を使い、HMD など一方で一方の遺跡にしながら他方の遺跡も見ることができシステムを開発する。

##### (3) 多言語化

海外からの来場者にも説明を理解してもらうために、コンテンツの多言語化および自動切り替えをできるようにする。

#### 6. 結言

今後は、竪穴住居の 3DCG による AR/VR 再現機能の一掃の強化を図るとともに、「とっとり弥生の王国」向けの AR/VR 再現システム (統合広域観光ガイドシステム) の開発に取り組む予定である。

#### 参考文献

- 1) 鷲見知洋, 河野清尊: 鳥取県立むきばんだ史跡公園における AR 機能を用いた景観再現システムの開発, 第 23 回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, pp. 124-125 (2012)
- 2) 鷲見知洋, 河野清尊: 鳥取県立むきばんだ史跡公園向け景観再現システムにおける Beacon を用いた位置検出, 第 24 回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, pp. 198-199 (2015)
- 3) 地頭知章, 小林峻平, 河野清尊他: 鳥取県むきばんだ史跡公園向け景観再現システムにおける竪穴住居の AR 再現, とっとりテクノロジーイノベーションミーティング 2016 ポスター発表, (2016)

# 多色発光型ランドマークによる自己位置検出を用いた Pepper の自律移動

○清水 航\* 河野 清尊\*

\* 米子工業高等専門学校

## Autonomous Moving of the Pepper Using Self-localization with Multicolored Lighting Landmarks

○Kou Shimizu\* and Kiyotaka Kohno\*

\*National Institute of Technology, Yonago College

**Abstract:** We have developed a companion program using the Pepper for the Tottori prefectural Mukibanda ruins historical park. We made the Pepper guide visitors in one place. However, there was a request from visitors to make Pepper explain items while moving. Therefore, we are developing a function of autonomous moving in predetermined indoor areas using multicolored lighting landmarks and omnidirectional camera.

### 1. 緒言

コミュニケーションロボット Pepper を用いた鳥取県立むきばんだ史跡公園(以下「史跡公園」と呼ぶ)向けの受付・案内プログラムを開発してきた。<sup>1),2)</sup>

これまで、Pepper を1箇所固定して、来館者に説明や案内を行わせていたが、来館者等から館内を移動しながら展示物の説明ができるようにしてほしい、という要望が寄せられた。

そこで、本研究では、館内の所定の範囲内(「弥生の館」の「実物資料展示」コーナー)において、Pepper を遠隔操作で移動させる機能および自律移動させる機能の実現に取り組むことにした。Pepper の自律移動機能を実現するためには自己位置検出が必要になるが、設置の容易さおよび柔軟性の高さから、多色発光型ランドマークと全方位カメラを用いる方法を採用することにした。

なお、本研究は、平成 29 年度鳥取県環境学術研究等振興事業の補助を受けて行っている。

### 2. 受付・案内プログラムの開発

これまで、史跡公園の遺構展示館において館内説明を行わせる受付・案内プログラムの開発を行ってきた(Fig.1)。

開発した受付・案内プログラムの構成をFig.2 に示す。まず初期画面を表示し、頭をタッチすることでメニュー画面に移行するようにした。メニュー画面において、キーワードを聞き取るか項目をタッチされると対応した機能を実行し、終了すると再びメニュー画面に戻る。



Fig.1 The companion robot for Mukibanda

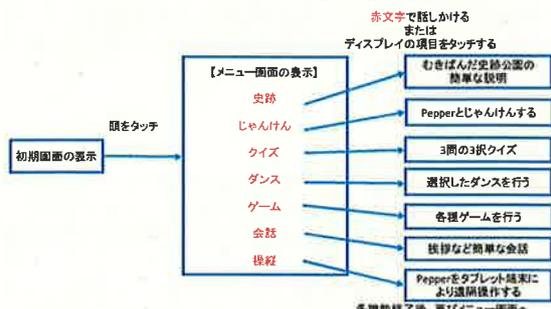


Fig.2 The composition of the companion program for Mukibanda

### 3. Pepper の遠隔操作

Pepper が館内を移動しながら説明を行えるような移動機能として、遠隔操作による方法と、決まった順路に沿って自律移動する方法が考えられる。

本研究では、まず遠隔操作による方法の実現に取り組む、むきばんだ史跡公園でデモを行った。

#### 3.1 遠隔操作プログラムの概要

遠隔操作による方法の実現として、Pepperをタブレット端末によって遠隔操作して移動させる機能を開発した。タブレット端末としてiPad Air(iOS10.3.3)を、端末上で実行するアプリの開発言語としてSwift3.1を使用した。

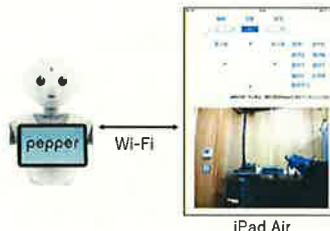


Fig.3 The application for remote control of the Pepper

iPad上のアプリの実行画面をFig.3 に示す。本アプリはPepperの移動機能と展示物の説明機能、視界のモニタリング機能の3つの機能で構成されている。

Pepperの移動方向として前後左右の4方向と、その場での左回転および右回転を実装した。各移動方向のボタンを押すと移動を開始し、ボタンから指を離すと移動を終了する。

展示物の説明を行うため、一箇所ずつ説明の開始ボタンを用意している。また、説明を中断するボタンも用意した。さらに、画面の下半分にはPepperの視界のモニタリング画面を表示するようにした。

#### 3.2 史跡公園でのデモ

2017年9月23日に開催された「むきばんだまつり」において、史跡公園内「弥生の館」の実物資料展示コーナーの展示物の説明のデモを、本機能を用いて行った。タブレット端末による遠隔操作によって、Pepper を展示品と展示パネルの間の通路を1方向に移動させ、5箇所の説明地点で説明を行わせた(Fig.4)。



Fig.4 The demonstration of remote control

結果として、Pepperを移動させながら、展示品の説明ができることが確認できた。しかし、Pepperが移動する際に移動方向に対して左右にずれが発生することがわかった。これは床面の凹凸およびPepperの向きを手動で調整することによる誤差が原因であったと考えられる。また、Pepper周辺に人が立つことがあり(特に子ども)、安全面での対策が必要であることがわかった。

#### 4 Pepperの自律移動

Pepperを自律移動させる機能として、自己位置検出による方法やライントレースによる方法、マッピングによる方法等が考えられる。本研究では、設置の容易さと拡張性・柔軟性に優れていることから、ランドマーク(LEDを使用)と全方位カメラによる自己位置検出方法を採用することにした。

##### 4.1 システム構成



Fig.5 The composition of the Pepper's autonomous moving system

複数のランドマーク(色分けしたLED)を館内壁面に設置し、全方位カメラとRaspberry Pi(座標計算・通信)をPepperの背面に固定する(Fig.5)。

##### 4.2 自己位置検出方法

Pepper(点P)と3つのランドマーク(点A, B, C)の位置関係をFig.6に示す。O<sub>1</sub>は点P, A, Bの3点を、O<sub>2</sub>は点P, C, Bの3点を通る円の中心である。また、ランドマークA, B, Cの座標はあらかじめ分かっているものとする。

Pepperがx軸から姿勢角θだけ回転した軸をx'軸とする。このx'軸を基準として、ランドマークとPepperの相対角度φ<sub>A</sub>, φ<sub>B</sub>, φ<sub>C</sub>を全方位カメラの画像から検出し、Fig.6中のφ<sub>1</sub>, φ<sub>2</sub>を求める。

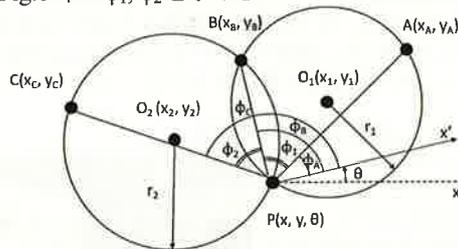


Fig.6 Position of the Pepper and three landmarks

するとO<sub>1</sub>を中心とする円の半径r<sub>1</sub>とO<sub>1</sub>の座標(x<sub>1</sub>, y<sub>1</sub>)は次の式で求められる。

$$r_1 = \frac{\sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2}}{2 \sin \varphi_1} \dots (1)$$

$$x_1 = x_A + r_1 \cos \left\{ \tan^{-1} \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \pm \left( \frac{\pi}{2} - \varphi_1 \right) \right\} \dots (2)$$

$$y_1 = y_A + r_1 \sin \left\{ \tan^{-1} \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \pm \left( \frac{\pi}{2} - \varphi_1 \right) \right\} \dots (3)$$

O<sub>1</sub>の座標は2つ求まるが、φ<sub>1</sub>の大きさおよび点Pの移動可能範囲から絞る。同様に、r<sub>2</sub>と(x<sub>2</sub>, y<sub>2</sub>)を求める。すると、Pepperの平面座標(x, y)および静止座標系のx軸を基準としたPepperの姿勢角θは次の式で求められる。

$$x = x_1 + r_1 \cos \left\{ 2 \tan^{-1} \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} - \tan^{-1} \frac{y_B - y_1}{x_B - x_1} \right\} \dots (4)$$

$$y = y_1 + r_1 \sin \left\{ 2 \tan^{-1} \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} - \tan^{-1} \frac{y_B - y_1}{x_B - x_1} \right\} \dots (5)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y_A - y}{x_A - x} - \varphi_A \dots (6)$$

この自己位置検出値をRaspberry Piを通してPepperへ伝達する。Pepperは受け取った自己位置検出値を用いて、現在位置と向きを確認しながら、スタート地点から次の説明地点へと移動を繰り返す。

##### 4.3 自律移動の実験と課題

「弥生の館」の実物資料展示コーナーでは、Fig.7に示すように四隅の1.8m程度の高さに色分けしたランドマーク(赤, 青, 黄, 緑)を設置する。3.2で述べたデモと同様のコースを、Pepperに自律移動させる予定である。

予想される課題・問題としては、来館者に隠れてランドマークが認識できなくなることや、来館者への衝突という安全性の問題がある。前者はランドマークや全方位カメラの取り付け位置の調整、後者はPepperに備わっている衝突防止機能の利用によって対処する予定である。

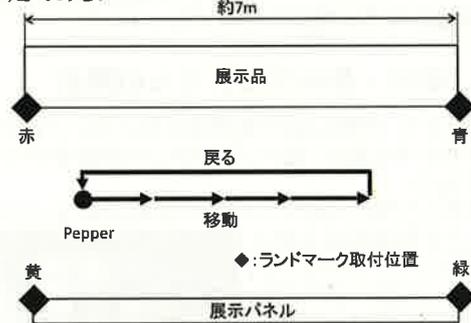


Fig.7 Mounting position of landmarks

#### 5. 結言

Pepperが館内を移動しながら説明を行えるような移動機能として、遠隔操作による移動機能を実現し、自律移動については自己位置検出方法を提案した。

今後は実験を行い提案した自律移動方法の有効性を評価する。

#### 参考文献

- 1) 清水航, 河野清尊他: Pepperを用いた受付・案内ロボットにおける画像認識による人への対応, 第24回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, pp.148-149(2015)
- 2) 清水航, 河野清尊: Pepperを用いた受付・案内プログラムの開発と評価, 第25回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, pp.54-55(2016)

# Pepperを用いた受付・案内ロボットの開発

Development of the Companion Robot Using the Pepper

清水航

Kou SHIMIZU

米子工業高等専門学校 専攻科 生産システム工学専攻

National Institute of Technology, Yonago College,  
Advanced Course, Department of Production Systems Engineering

コミュニケーションロボットを用いたユーザーインターフェース実現の1つとして、Pepperを用いた鳥取県立むきばんだ史跡公園向けの受付・案内プログラムを開発してきた。Pepperを1箇所固定して、来館者への説明や案内を行わせていたところ、館内を移動しながら展示物の説明ができるようにしてほしい、という要望が寄せられた。

そこで、史跡公園内の「弥生の館」の実物資料展示コーナーにおいて、Pepperが移動しながら説明を行う機能の実現に取り組むことにした。そのために、Pepperを遠隔操作で移動させる機能および自律移動させる機能を開発した。

遠隔操作する機能については実際に史跡公園でデモを行って実用性を確認した。自律移動については全方位カメラとランドマークを用いた自己位置検出方法を提案し、検証実験を行い、有効性を確認した。

**Key Words:** Pepper, 遠隔操作, 自己位置検出

## 1. はじめに

音声認識機能とカメラ等を搭載し、会話や感情認識、身振り手振りを使って人とのコミュニケーションをとることのできるコミュニケーションロボットが普及し始めており、今後、IoT機器やインターネットに対するユーザーインターフェースとしての発展が期待されている。

そこで、本研究では、コミュニケーションロボットを用いたユーザーインターフェース実現の1つとして、Pepperを用いた鳥取県立むきばんだ史跡公園（以下「史跡公園」と呼ぶ）向けの受付・案内プログラムを開発してきた[1][2]。

Pepperを1箇所に固定して、来館者への説明や案内を行わせていたところ、来館者等から館内を移動しながら展示物の説明ができるようにしてほしい、という要望が寄せられた。

そこで、史跡公園内の「弥生の館」の実物資料展示コーナーにおいて、Pepperが移動しながら説明を行う機能の実現に取り組むことにした。そのために、Pepperを遠隔操作で移動させる機能および自律移動させる機能を開発した。

## 2. 受付・案内プログラムの開発

### 2. 1 Pepper の概要

Pepperは、アルデバランロボティクス社がソフトバンク社のニーズに対応して開発した世界初の感情認識パーソナルロボットである。搭載された各種センサによって、人

の声や表情から感情を認識し、人間と共生することを目標に作られている[3] (Fig.1)。

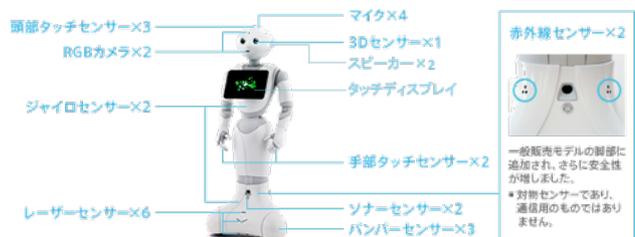


Fig.1 Pepperと各種センサ

### 2. 2 Pepper のプログラム開発環境

PepperにはNAOqi OSが搭載されており、開発環境としてChoregraphe（コレグラフ）が用意されている。Choregrapheは、アルデバランロボティクス社の人型ロボットNAO用に用意された開発ツールである。

Choregrapheの主な機能として、以下が挙げられる。

- アプリの作成とシミュレーション
- アプリの実機へのインストール・実行
- ロボットの状態のモニター

様々な機能を持ったボックスをドラッグ&ドロップによって配置し、信号線でつなぎ合わせることにより、アプリを作成することができる (Fig.2)。

Fig.3に示すように、話す、ポーズ指定、顔認識、日付の取得、頭のタッチセンサの検知、ifなどの信号制御、対話等の様々なボックスが用意されている。

ボックス内はプログラミング言語Pythonで記述されて

おり、処理の追加・修正やボックスの新規作成が可能である。

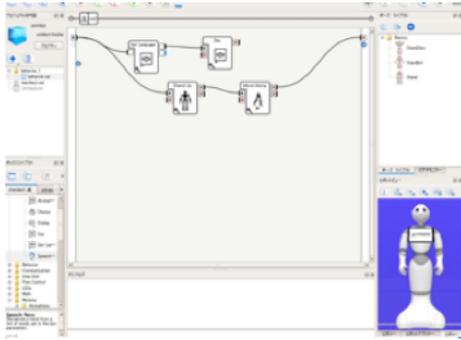


Fig.2 Choregraphe を用いたアプリ作成の例

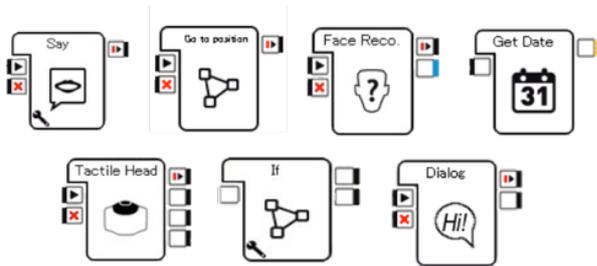


Fig.3 Choregraphe のボックスの例

### 2. 3 受付・案内プログラム

これまで、史跡公園の遺構展示館において館内説明を行わせる受付・案内プログラムの開発を行ってきた。(Fig.4) 開発した受付・案内プログラムの構成を Fig.5 に示す。まず初期画面を表示し、頭をタッチすることでメニュー画面に移行するようにした。メニュー画面において、キーワードを聞き取るかディスプレイの項目をタッチされると対応した機能を実行し、終了すると再びメニュー画面に戻る。



Fig.4 史跡公園向け受付・案内ロボット (2016年4月30日「GWは、むきばんだ日和」)

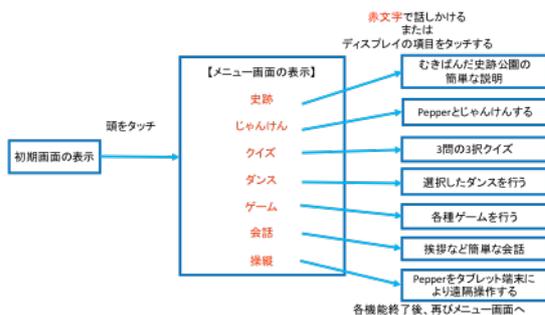


Fig.5 史跡公園向け受付・案内プログラムの構成

### 2. 4 外部ディスプレイへの画像表示

Pepperの胸部に搭載されているタッチディスプレイは小さいため、沢山の人が囲まれるとディスプレイが見えなくなるという問題があった。これを解決するために、画像をタッチディスプレイに表示すると同時に、外部の大型ディスプレイにも同じ画像を表示する機能を作成した。

本機能の概要をFig.6に示す。Choregrapheによるアプリインストール用のPCとPepperはWi-Fiで接続されている。Pepper胸部のディスプレイに表示する画像は基本的に事前に用意し、PCに保存されている。そのため、画像ファイル名をPCへ送信し(①)、PC側のアプリでは、そのファイル名を元に、指定したフォルダから画像を開いて全画面表示するようにした(②)。

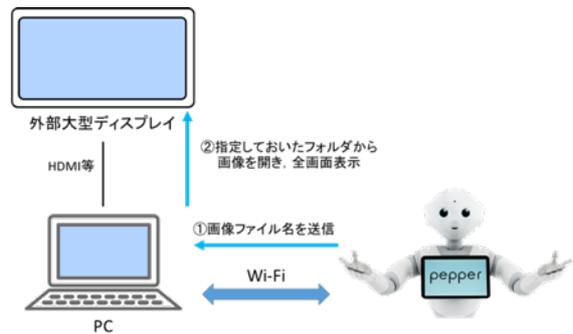


Fig.6 外部ディスプレイへの画像表示

### 3. Pepperの遠隔操作

これまででは、Pepperを1箇所に固定して、来館者への説明や案内を行わせていたが、館内を移動しながら展示物の説明ができるようにしてほしい、という要望が寄せられた。そこで、Pepperが館内を移動しながら説明を行う機能の実現に取り組んだ。

Pepperが館内を移動しながら説明を行えるようにする方法として、遠隔操作による方法と、決まった順路に沿って自律移動する方法が考えられる。本研究では、まず遠隔操作による方法の実現に取り組み、史跡公園でデモを行った。

#### 3. 1 遠隔操作機能の概要

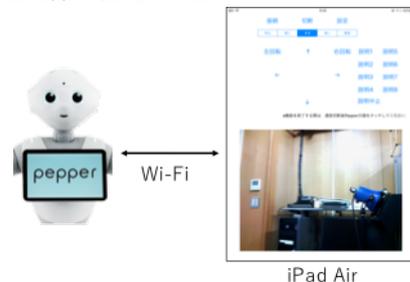


Fig.7 Pepper の遠隔操作アプリケーション

遠隔操作による方法を実現するため、Pepperをタブレット端末によって遠隔操作する機能を開発した。本機能では、タブレット端末としてiPad Air(iOS10.3.3)を、端末上で実行するアプリの開発言語としてSwift3.1を使用した。

iPad上のアプリの実行画面をFig.7に示す. 本アプリはPepperの移動機能, 展示物の説明機能, 視界のモニタリング機能の3つの機能で構成されている.

Pepperの移動方向として, Pepperから見て前後左右の4方向と, その場での左回転および右回転を実装した. 各移動方向のボタンを押している間, Pepperが移動する. また, 5段階の速度調節も可能である.

展示物の説明を行うため, 説明を行う箇所ごとに説明の開始ボタンを実装した. また, 説明を中断するボタンも用意した. さらに, 画面の下半分にはPepperの視界のモニタリング画面を表示するようにした.

### 3. 2 史跡公園でのデモ

2017年9月23日に開催された「むきばんだまつり」において, 史跡公園内「弥生の館」の実物資料展示コーナーの展示物の説明のデモを, 本機能を用いて行った. タブレット端末による遠隔操作によって, Pepperを展示品と展示パネルの間の通路を1方向に移動させつつ, 5箇所の説明地点で展示物の説明を行わせた (Fig.8, 9).



Fig.8 遠隔操作のデモ  
(2017年9月23日「むきばんだまつり」)

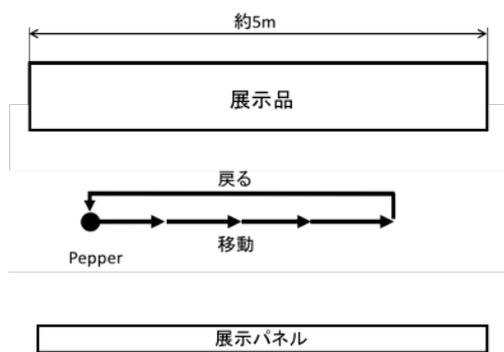


Fig.9 遠隔操作デモのコース

結果として, Pepperを移動させながら, 展示物の説明ができることが確認できた. しかし, Pepperが移動する際に移動方向に対して左右にずれが発生することがわかった. これは床面の凹凸およびPepperの向きを手動で調整することによる誤差が原因であったと考えられる. また, Pepper周辺に人が立つことがあり (特に子ども), 安全面での対策が必要であることがわかった.

## 4. 自己位置検出を用いたPepperの自律移動

Pepperを自律移動させる機能として, 自己位置検出による方法や, ライトレースによる方法, マッピングによる方法等が考えられる. 本研究では, 設置の容易さと拡張性・柔軟性に優れていることから, ランドマーク (LEDを使用) と全方位カメラによる自己位置検出方法を採用することにした[4] [5].

### 4. 1 システム構成

複数のランドマーク (色分けしたLED) を館内壁面に設置し, 全方位カメラとRaspberry Pi (座標計算・通信用) をPepperの背面に固定する (Fig.10). 全方位カメラ・Raspberry PiのPepperへの取付けには吸盤式のカメラマウント等を用いる (Fig.11).

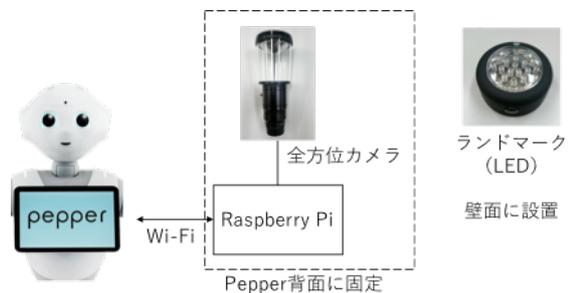


Fig.10 Pepperの自律移動機能のシステム構成



Fig.11 Pepperへの全方位カメラの取付け

自己位置検出の際には, 全方位カメラによってPepperから見たランドマークの相対角度を検出する. この相対角度からRaspberry Piを用いてPepperの座標および向きをRaspberry Piを用いて計算し, Pepperへ伝達する.

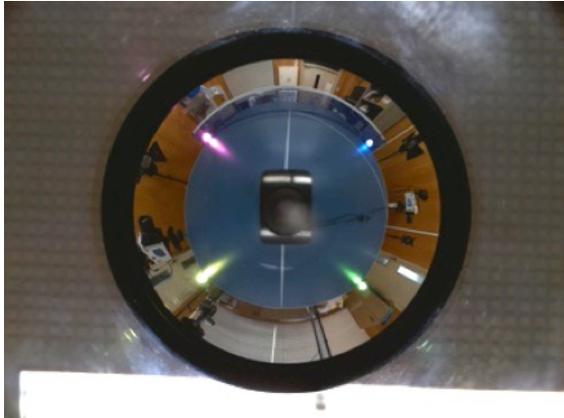
### 4. 2 ランドマークの相対角度の検出

ランドマークの相対角度の検出は以下の手順で行う (Fig.12).

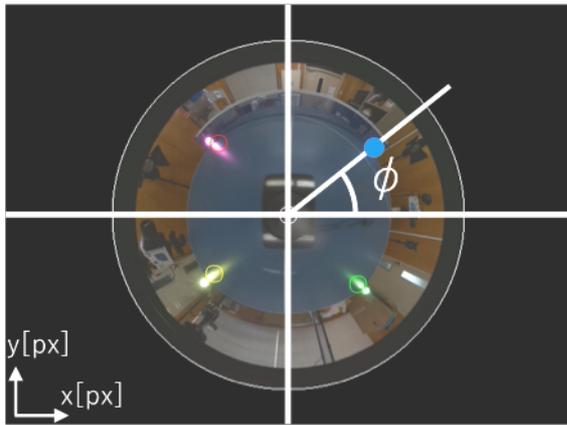
1. 全方位カメラを用いて全方位画像を撮影する (a).
2. 画像の不要な部分を円形にマスク処理を行う.

3. 画像左下隅を原点として、各ランドマークの中心の、画像上の座標（ピクセル値）を検出する。
4. ランドマークの相対角度  $\phi$  を(1)式で計算する (b) .

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\text{ランドマークの}y\text{座標}-\text{画像中心の}y\text{座標}}{\text{ランドマークの}x\text{座標}-\text{画像中心の}x\text{座標}} \quad (1)$$



(a) 元画像



(b) 相対角度の計算  
Fig.12 相対角度の検出

#### 4. 3 自己位置の計算

Pepper (点P) と3つのランドマーク (点A, B, C) の位置関係をFig.13に示す.  $O_1$ は点P, A, Bの3点を,  $O_2$ は点P, C, Bの3点を通る円の中心である.  $x'$ 軸はPepperの正面方向である. また, ランドマークA, B, Cの座標はあらかじめ分かっているものとする.

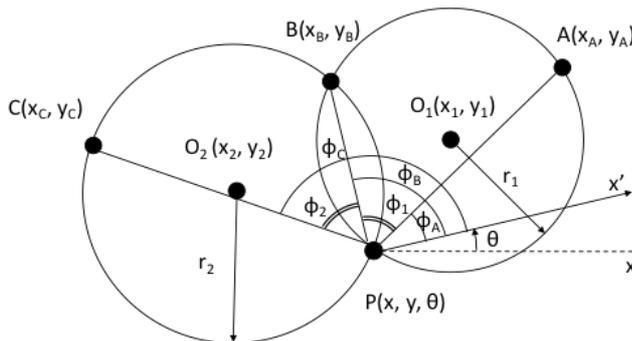


Fig.13 Pepperとランドマークの位置関係

$x'$ 軸を基準として, 6.2の手順でランドマークとPepperの相対角度  $\phi_A, \phi_B, \phi_C$  を全方位カメラの画像から検出し, Fig.11中の  $\phi_1, \phi_2$  を求める. すると  $O_1$  を中心とする円の半径  $r_1$  と  $O_1$  の座標  $(x_1, y_1)$  は次の(2)~(4)式で求められる.

$$r_1 = \frac{\sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2}}{2 \sin \phi_1} \quad (2)$$

$$x_1 = x_A + r_1 \cos \left\{ \tan^{-1} \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \pm \left( \frac{\pi}{2} - \phi_1 \right) \right\} \quad (3)$$

$$y_1 = y_A + r_1 \sin \left\{ \tan^{-1} \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \pm \left( \frac{\pi}{2} - \phi_1 \right) \right\} \quad (4)$$

$O_1$  の座標は2つ求められるが,  $\phi_1$  の大きさおよび点Pの移動可能範囲から1つに絞る. 同様に,  $r_2$  と  $(x_2, y_2)$  を求める. すると, Pepperの平面座標  $(x, y)$  および静止座標系の  $x$  軸を基準としたPepperの姿勢角  $\theta$  は次の(5)~(7)式で求められる.

$$x = x_1 + r_1 \cos \left\{ 2 \tan^{-1} \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} - \tan^{-1} \frac{y_B - y_1}{x_B - x_1} \right\} \quad (5)$$

$$y = y_1 + r_1 \sin \left\{ 2 \tan^{-1} \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} - \tan^{-1} \frac{y_B - y_1}{x_B - x_1} \right\} \quad (6)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y_A - y}{x_A - x} - \phi_A \quad (7)$$

この自己位置検出値  $x, y, \theta$  を Raspberry Pi で計算し, Pepperへ伝達する. Pepperは受け取った自己位置検出値を用いて, 現在位置と向きを確認しながら, 決まったコース上を移動する.

#### 5. 自己位置検出方法の検証実験

本手法の有効性を検証するため, 以下の手順で2回の検証実験を行った.

##### 5. 1 検証実験(1)-狭い領域(卓球台上)-

ランドマークを狭い範囲に置き, 計算方法およびプログラムのチェックを行った.

1. LEDに赤・青・緑・黄のセロハンを貼り, 色分けした.
2. 4色に色分けしたランドマークを点灯させ, Fig.14の位置に設置した.
3. Fig.15に示す12箇所の測定位置で, それぞれ姿勢角  $\theta$  を  $0, 90, 180, 270$  [deg] の4方向について自己位置検出 (画像の解像度  $640 \times 480$  px) を行った.



Fig.14 実験の様子(1)

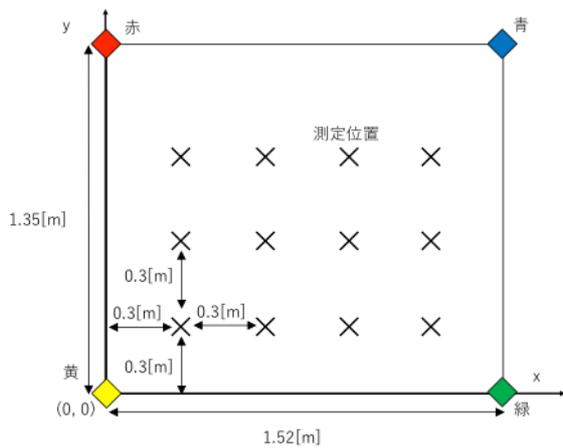


Fig.15 自己位置検出の測定位置 (1)

実験結果をFig.16に示す。

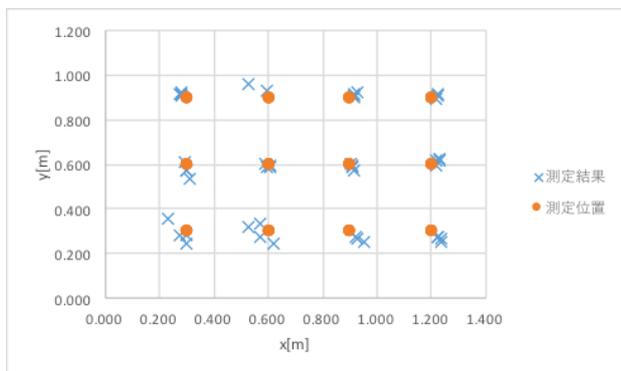


Fig.16 実験結果 (1)

## 5. 2 検証実験 (2) -広い領域 (廊下) -

史跡公園の「弥生の館」の実物資料展示コーナーでの使用に近い状況での検証を行った (Fig.17) .

1. LEDを色分けした.
2. 色分けしたランドマークを点灯させ, Fig.18の位置に, 1m程度の高さに設置した.
3. Fig.16に示す24箇所の測定位置で, 姿勢角 $\theta$ が $0[\text{deg}]$ の1方向について, カメラを1m程度の高さに置いて自己位置検出 (解像度 $1280 \times 960\text{px}$ ) を行った.

実験結果をFig.19に示す。



Fig.17 実験の様子 (2)

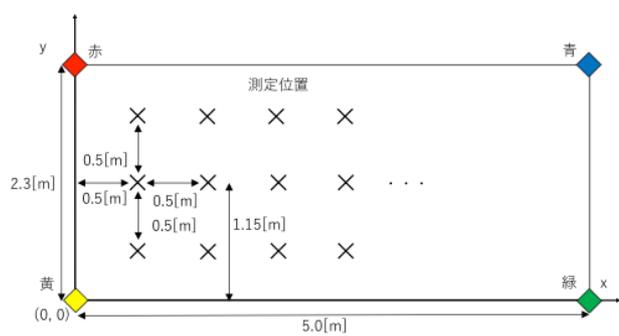


Fig.18 自己位置検出の測定位置 (2)

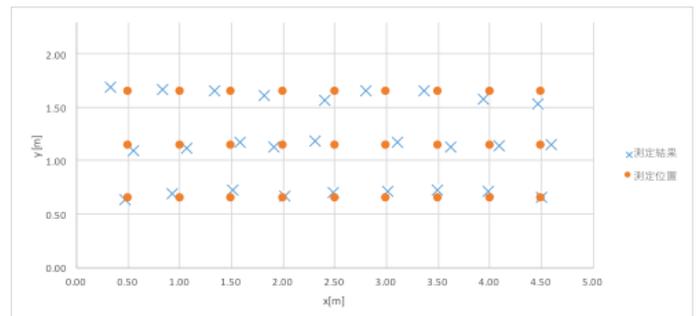


Fig.19 測定結果 (2)

## 5. 3 考察

誤差は実験 (1) では平均で $x: 0.021[\text{m}]$ ,  $y: 0.023[\text{m}]$ ,  $\theta: 1.3[\text{deg}]$ , 最大で $x: 0.077[\text{m}]$ ,  $y: 0.061[\text{m}]$ ,  $\theta: 4.3[\text{deg}]$ となった. また実験 (2) では, 平均で $x: 0.084[\text{m}]$ ,  $y: 0.036[\text{m}]$ ,  $\theta: 3.5[\text{deg}]$ , 最大で $x: 0.20[\text{m}]$ ,  $y: 0.12[\text{m}]$ ,  $\theta: 8.7[\text{deg}]$ となった. この誤差の原因としては, ランドマークの座標認識時の誤差およびランドマーク・Raspberry Pi 設置時の誤差が考えられる.

また, 測定不可が実験 (1) で計48回中4回あった. この原因としては, ランドマークの認識失敗または誤認識が考えられる. これについては, 認識時の閾値の調整およびランドマークの発光色の調整, 解像度の増加等で対処可能である. 実験 (2) では測定不可となることは無かった. これはランドマークに貼るセロハンを複数重ねることによる発光色の調整, 解像度の増加などの改良の結果と思われる.

誤差の平均値は,  $x, y$ については実験 (1) ・ (2) ともにランドマーク設置間隔の1~2%程度,  $\theta$ については実験 (1) で角度変更間隔の1%程度であり, 十分小さいといえる. よって本手法は自己位置検出方法として有効だと考えられる.

## 5. 4 自律移動の手順

遠隔操作のデモにより, Pepper周辺に特に子どもが立つことが多いことが分かったため, 自律移動の際には衝突への対策が必要である. そこで, Pepperの移動方法として, 障害物を回避して移動するPepper専用のAPI [6]を採用することにした. これは, 移動前に周囲の障害物をPepper脚部

に備わっているレーザセンサやソナーセンサで検知し、障害物を回避する進路で目的地へ向かう移動方法である。障害物が多くて移動不可能な場合や、進路上に障害物が現れた場合には移動をやめ、通知する。また、Pepper脚部のセンサの検知範囲の関係上、一度に移動できるのはPepperから半径3m以内の範囲である。

1回の自律移動の流れをFig.20に示す。目的地の座標・目的地での姿勢角はあらかじめ分かっているものとする。

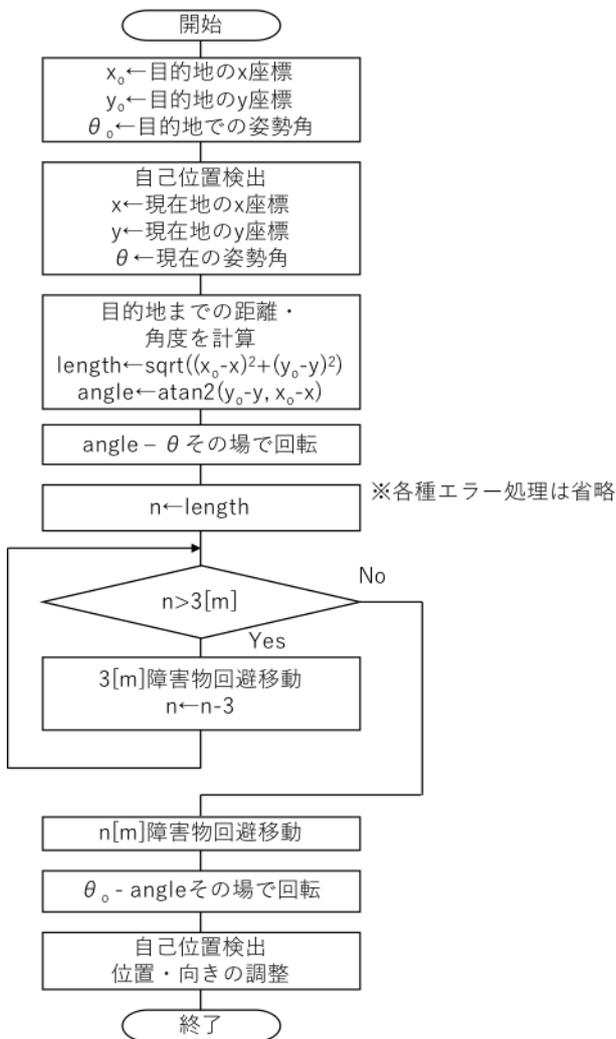


Fig.20 Pepperの自律移動のフローチャート

自己位置検出を行い、目的地までの距離・角度を計算する。目的地の方向を向いた後、目的地まで3m以内なら目的地までそのまま移動、3m以上なら3m刻みで移動していく。到着したら目標の姿勢角になるよう回転する。

その後、もう一度自己位置検出を行い、位置と向きの調整を行う。これは障害物を回避しながらの移動や、床面の凹凸などによる位置・向きの誤差の補正が目的である。

なお、全方位カメラとRaspberry PiをPepperの背面に固定するため、自己位置検出値と実際のPepperの座標との誤差および自己位置検出時のPepperの姿勢が問題となる。前者についてはカメラの位置とPepperの座標の基準点（Pepperの脚の先端等）の水平距離を事前に測定し、x, yの値を補

正する。後者については、全方位カメラが水平となるPepperのポーズを作成し、自己位置検出の際にそのポーズへの移行および固定することで対処する。

## 6. まとめ

本研究を通して取り組み学んだことを以下にまとめる。

- (1) Pepperを用いて鳥取県立むきばんだ史跡公園向け付・案内プログラムを開発した。
- (2) Pepper胸部のディスプレイが、人に囲まれると見えにくくなる問題の解決策として、外部ディスプレイへの画像表示機能を作成した。
- (3) タブレット端末を用いた遠隔操作によってPepperを移動させる機能を開発し、デモを行って実際に移動・説明ができることを確認した。
- (4) ランドマークと全方位カメラを用いた自己位置検出方法を提案し、検証実験によって有効性を確かめた。本手法を用いたPepperの自律移動機能を作成した。

今後の課題は以下の通りである。

- (1) 本研究で提案した自己位置検出方法を用いたPepperの自律移動プログラムの完成と実験
- (2) 2018年5月に史跡公園で行われる「GWは、むきばんだ日和」での自律移動のデモ

## 参考文献

- [1] 清水航, 河野清尊他: Pepperを用いた受付・案内ロボットにおける画像認識による人への対応, 第24回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, pp.148-149(2015).
- [2] 清水航, 河野清尊: Pepperを用いた受付・案内プログラムの開発と評価, 第25回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, pp.54-55(2016).
- [3] SoftBank, Pepper製品仕様, <https://www.softbank.jp/robot/consumer/products/spec/> (2018.2.2).
- [4] 湯原達也: 不整地を走行する自律型移動ロボットの自己位置検出と走行経路修正, 平成28年度米子工業高等専門学校特別研究論文集, pp.93-98(2017).
- [5] 清水航, 河野清尊: 多色発光型ランドマークによる自己位置検出を用いたPepperの自律移動, 第26回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, pp.79-80(2017)
- [6] Aldebaran, ALNavigationAPI, <http://doc.aldebaran.com/2-5/naoqi/motion/alnavigation-api.html> (2018.2.2).