

**日本経営システム学会
イノベーション指向データ分析研究部会
講演論文集**

**Vol.5, No.1
ISSN 2758-0024 (Online)**

2021 年度第 3 回研究会

**広島工業大学地域連携技術研究協力会
情報システム研究部会 2021 年度研究会**



開催日時： 2022 年 2 月 22 日 (火) 13:00~17:30

開催場所： オンライン

参加費： 無料

主催

広島工業大学 地域連携技術研究協力会 情報システム研究部会

<http://www.it-hiroshima.ac.jp/research/hit2/>

日本経営システム学会「イノベーション指向データ分析」研究会

<http://matsumotolab.com/~jams/>

プログラム

開催挨拶

13:00-13:05 松本慎平

(日本経営システム学会イノベーション指向データ分析研究部会主査)

学生発表セッション 1 (講演 12分, 質疑 3分)

13:05-13:50 マルチメディア (3件)

学生発表セッション 2 (講演 12分, 質疑 3分)

14:00-15:00 コンピュータ応用 (4件)

特別講演 (質疑含む)

15:15-16:15 吉川裕之先生 (広島工業大学情報学部准教授)

題目: 情報技術を利用した分子・バイオセンシングの実用化展開

学生発表セッション 3 (講演 12分, 質疑 3分)

16:25-17:25 センシング (4件)

閉会挨拶

17:25-17:30 林孝典

(広島工業大学地域連携技術研究協力会 情報システム研究部会・部会長)

学生発表セッション 1 (講演 12 分, 質疑 3 分)

座長 : 加藤浩介 (広島工業大学)

13:05-13:50 マルチメディア (3 件)

ID: 1 pp.1-5

題目 : VR を用いた体験型プログラミング学習システムの提案及び開発

著者 : 岡山凌, 山岸秀一 (広島工業大学)

ID: 2 pp.6-9

題目 : 合成音声を用いた動画教材の成績と受講者の音声合成への馴染みの
関連性の分析

齊藤雄路 (広島工業大学)

ID: 3 pp.10-16

題目 : 音声通話アプリケーションの受信パケットを用いた受聴品質
推定モデルの提案

著者 : 岡田樹, 林孝典 (広島工業大学)

学生発表セッション2（講演12分，質疑3分）

座長：林孝典（広島工業大学）

14:00-15:00 コンピュータ応用（4件）

ID: 4 pp.17-19

題目：災害支援型自動販売機設置場所の閲覧・投稿システムの開発

著者：山本大輝，山岸秀一（広島工業大学）

ID: 5 pp.20-22

題目：第一原理計算によるFe-Cr-Ni合金の組成の違いによる磁性変化の研究

著者：仲田麻朗，山岸秀一（広島工業大学），杉内栄夫（中国電力）

ID: 6 pp.23-28

題目：アクセシビリティ改善のための統計グラフの読み上げ手法

著者：大塚雅仁，垣内洋介（広島工業大学）

ID: 7 pp.29-34

題目：メッシュ型近距離無線ネットワークの構築支援システム

著者：織田悦至，濱崎利彦（広島工業大学），

香川達也，濱田一生（株式会社TCC）

特別講演（質疑含む）

15:15-16:15 司会：濱崎利彦（広島工業大学）

情報技術を利用した分子・バイオセンシングの 実用化展開

吉川裕之

広島工業大学情報学部 准教授

近年、微量の血液や唾液などに含まれる特定の分子（バイオマーカー）を定量するバイオセンサと、人工知能（AI）、IoT（Internet of Things）、ウェアラブルデバイス、ビッグデータ解析など急速な発展を続けるデジタル技術を融合した「デジタルヘルス」により、様々な知識や情報がリアルタイムで共有され、新しい価値が生まれると期待されている。さらにコンピュータや情報科学の発展は、分光イメージング、プラズモニクス、1細胞解析など、分子・バイオ計測の先端研究にも繋がっている。本講演では、これまで発表者が取り組んできた分光測定やバイオセンサ開発について説明し、情報技術との融合による技術の高度化、実用化について展望する。

学生発表セッション3（講演12分，質疑3分）

座長：垣内洋介（広島工業大学）

16:25-17:25 センシング（4件）

ID: 8 pp.35-36

題目：広島湾における牡蠣養殖場のクロロフィル濃度分布

著者：磨有祐実，赤城大吉，濱崎利彦（広島工業大学）

ID: 9 pp.37-39

題目：海面撮影画像を用いたクロロフィル濃度観測装置

著者：赤城大吉，濱崎利彦（広島工業大学），尾首俊幸（株式会社シリウス）

ID: 10 pp.40-46

題目：ビル内を移動するロボットの屋内測位システム

著者：山田一稀，大谷幸三（広島工業大学）

ID: 11 pp.47-48

題目：バランス Wii ボードを用いた重心動揺計測と可視化システムの開発

著者：篠原拓登，松本慎平（広島工業大学），健山智子（滋賀大学）

VR を用いた体験型プログラミング学習システムの提案及び開発

広島工業大学 岡山 凌
広島工業大学 山岸 秀一

Proposal and development of experience-based programming learning system using VR device

Hiroshima Institute of Technology Ryo Okayama
Hiroshima Institute of Technology Shuichi Yamagishi

1 はじめに

近年、小学校でプログラミング教育が必須となるなど、IT 人材の育成が活発となっている。小学校でのプログラミング学習だけでなく、U-22 プログラミング・コンテストや情報処理技術者試験の実施など、日本全体で IT 人材の育成や発掘が盛んに行われている[1]。特に、現在の小学校でのプログラミング教育では、ブロック遊びの感覚で手軽に学習を行うことができるソフトウェアも開発され、小学校内のプログラミングの授業で実際に利用されている[2]。一方、仮想現実 (VR) 技術の進歩が目覚ましく、教育や産業など様々な分野で注目を集めている[3]。VR の特徴としては、没入感があり能動的な体験を行えることが挙げられる。そして、VR を利用した能動的な学習システムを用いることで、より効果的な学習が期待できる[4]。そこで、本研究では、VR を用いた体験型プログラミング学習システムを提案する。関連研究として、人型ピクトグラムを用いたプログラミング学習環境の開発がある[5]。これは、ピクトグラムと呼ばれるグラフィックシンボルのうち、人型のものをプログラムによって動かすことで、プログラミング学習を行うものであり、同調的学習と視覚的顕在化の特徴を持つ。学習者がプログラムソースを記述することでピクトグラムを動かすことができ、出力結果に対する自発的な関与を作り出して学習

効果の向上に繋げることを狙いとしている。そこで、本研究では、VR 空間の中で動作による「プログラミング」を行うことで、逆にプログラムソースを出力することができるシステムの提案と開発を行う。

2 研究概要

従来のソースコードを記述して行うプログラミング (図 1) から、変数や構文といった要素をコンポーネントとして置き換え、VR 空間上に表示して操作できるようにすることで、視覚的かつ効果的にプログラミング学習を行うことができるシステムの構築を目指す。これを「形のあるプログラミング学習」と呼ぶことにする (図 2)。

```
int main(void){  
    int variable = 1;  
    printf("%d", variable);  
    return 0;  
}
```

図 1 従来のプログラミング

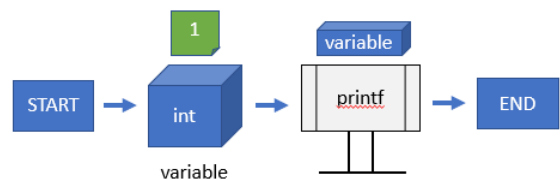


図 2 視覚的なプログラミング

なお、本研究では、学習言語として C 言語を採

用する。

3 開発環境

本システムでは、VR 機器として Oculus Rift CV1 (図 3) を使用する。また、開発プラットフォームとして Unity2020.3.3f1 を、そして、VR 開発サポートアセットとして Oculus Integration を採用する。Oculus Integration を採用することで、コントローラーを用いたリアリティのある体験を作り出すことが可能となる。Oculus Integration には、Oculus の VR コンテンツの開発をサポートするプレハブやスクリプト等が統合されており、Unity と Oculus を用いた VR 開発には必要不可欠なアセットとなっている。以上の開発環境を用いることで、リアリティのある体験を作り出し、VR 空間上で没入感のあるプログラミング学習システムの構築が可能になる。



図 3 Oculus Rift CV1

4 コンポーネント

4.1 コンポーネントの種類

本システムでは、最終的に利用者が配置したオブジェクトに対応した C 言語のソースコードを出力することで、実際にコンパイルして実行し、出力結果を確認できるようにする。これは、「形のあるプログラミング学習」で作成したものと実際にコーディングを行ったコードを比較することで、

プログラミングの理解を深める狙いがある。コード化のために、コードコンポーネントとコード変換用タイル (図 4) をコンポーネントとして用意する。コードコンポーネントとは、Scanf や Printf を始めとした関数等をコンポーネントに置き換えたもの (図 5) である。本システムでは、ユーザが配置したコードコンポーネントをコード変換用タイルが読み込むことで、ファイルに適切なコードを記述する仕組みとなっている。

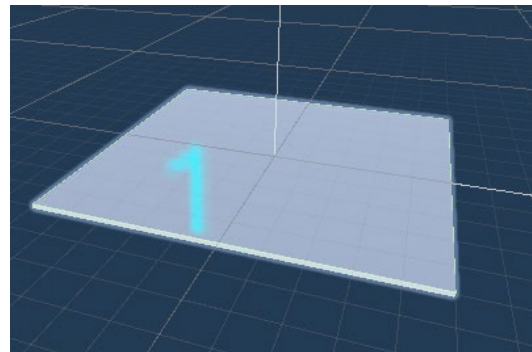


図 4 コード変換用タイル

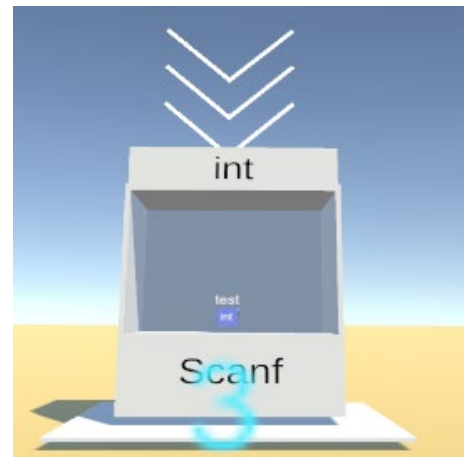


図 5 Scanf を表すコンポーネント

4.2 コンポーネントのコード化

コンポーネントには、それぞれテンプレートコード及びユーザ定義コードを用意する。ここで、テンプレートコードとは、コンポーネントの状態に関らず記述される固定のコードである。また、ユーザ定義コードとは、コンポーネントの出力の際にユーザが内容を定義することで記述が変化するコードのことである。例えば、int 型の変数 a を

出力する Printf コンポーネントでは、初めにテンプレートコードとして「printf」を記述し、次にユーザ定義コードとして「“%d”, a」を記述し、最後にテンプレートコードとして「);」を記述する。

4. 3 コンポーネント以外のコード化

前項で Printf コンポーネントのコード化を例に挙げたが、その他にも main 関数や標準入出力を扱うためのファイルのインクルードについても、コード化を行う必要がある。これらについても、本システムではテンプレートコードとして扱う。そのため、コンポーネントを設置せずにコードの出力を行うと、図6に示すようなコードが出力される。

```
#include <stdio.h>
int main(void){
    return 0;
}
```

図6 デフォルトで出力されるソースコード

4. 4 コード出力処理

前項で紹介したテンプレートコード及びユーザ定義コードを組み合わせ、ユーザの想定したコードを出力する。コード出力の際には、図7に示すUIパネルにファイル名を入力し、「Create SourceFile」ボタンを押すことでC言語のソースファイルを生成できる。なお、ファイル生成のディレクトリは「C:\¥Test¥ファイル名.c」としている。図8にソースコード生成のフローチャートを示す。なお、フローチャートにある「Source Tile」とは、前項で紹介したコード変換用タイルのことである。コード変換用タイルには、それぞれ番号が振られており、正しい順番にコンポーネントをコード化することによって、利用者が想定したコードを出力することが可能となる。処理が完了し

ていないコード変換用タイルがなくなるまで、対象のタイルに設置されたコンポーネントの取得を行う。設置されたコンポーネントのコード化は、各コンポーネントに別途アタッチした専用のスクリプトを実行することで、コンポーネントの状態に適したソースコードを出力する。

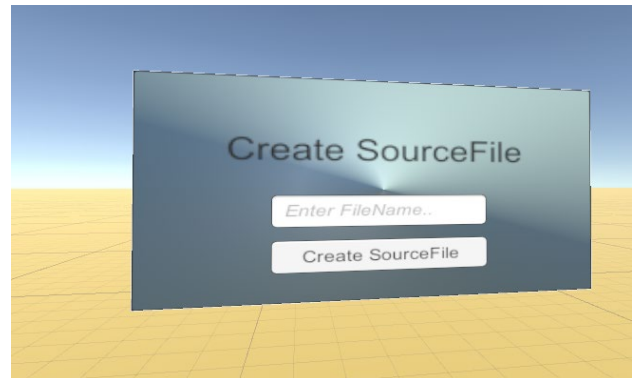


図7 コード生成用UIパネル

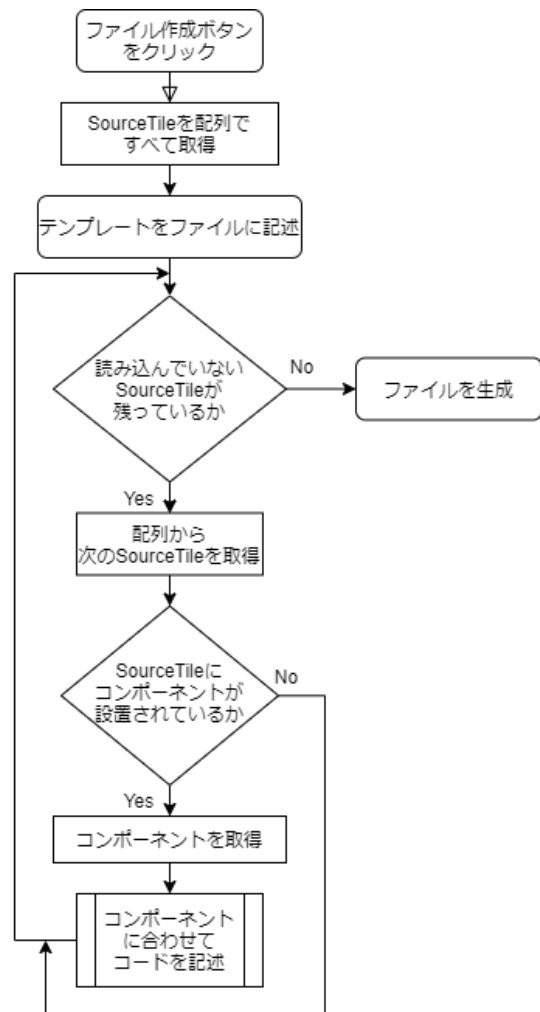


図8 コード生成のフローチャート

5 実装機能

本システムでは、入力処理 (Scanf 関数)、出力処理 (Printf 関数)、変数宣言、四則演算、数値コンポーネント生成、条件分岐 (IF 文)、及び、繰り返し処理 (While 文) を行うことができる。変数宣言では、変数の箱を VR 空間に出現させ、それを用いて入出力処理や計算の実装を行うことができ、従来のプログラミングと比べて視覚的に理解しやすい形となっている。例えば、四則演算コンポーネントを、変数と数値を利用して設置すると図9のようになる。

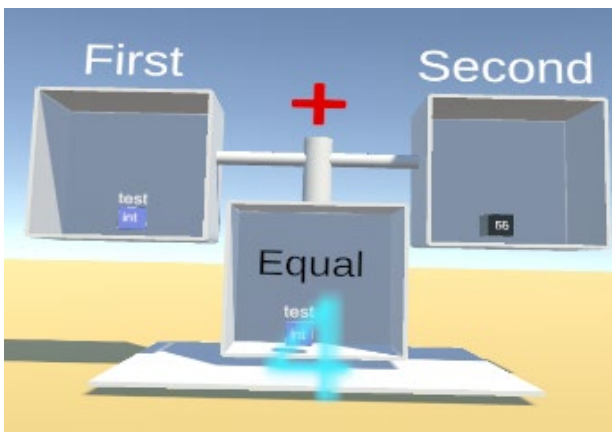


図9 コンポーネントの設置例

6 システムの操作

6.1 コントローラー操作

変数コンポーネント、数値コンポーネント、及び UI パネルについては、主にコントローラーを使用して操作を行う。本システムでは、手元のコントローラーは VR 空間上で図10のように表示される。コントローラーの表示には、Oculus Integration に組み込まれている Left (Right) HandAnchor を採用している。また、コントローラーを用いてコンポーネントを掴む・投げる・ボタンを押すなどの操作を可能にするために、OVR Grabber, Distance Grabber, 及び Distance Grabbable といったスクリプトをアタッチしている。コントローラーからはレーザーポインタを照

射しており、これは UI パネルの操作やコンポーネント操作の際に、照準を当てやすくするためである。

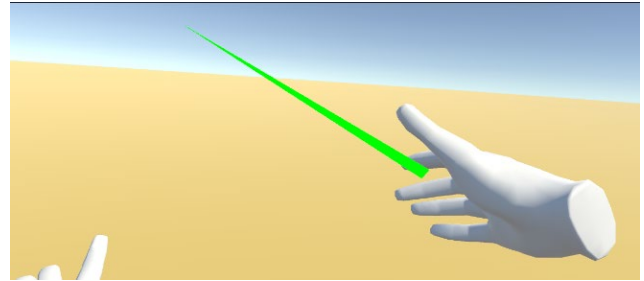


図10 コントローラーの表示

6.2 UI・コンポーネント操作

UI・コンポーネント操作には、前項で紹介したコントローラーを使用する。UI パネルの操作は、図11に示すように、操作したいコンポーネントにカーソルを当て、コントローラーのボタンを押すことで行う。

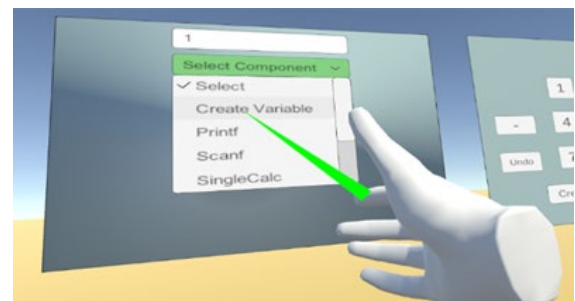


図11 UI コンポーネントの操作様子

変数コンポーネントや数値コンポーネントは、他のコンポーネントで必要になる。その際には、コンポーネントを掴んで設置することで使用する。コンポーネントを掴むと、図12に示すようにコンポーネントを持ち運ぶことができる。

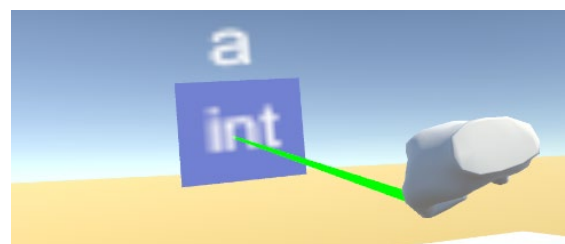


図12 コンポーネントの掴み操作

7 考察

本システムは、アルゴリズムの基本である「順次」、「分岐」、および「繰り返し」の3つの基本構造の学習ができる実装内容となっており、プログラミングの学習環境として最低限の要件を満たしている。しかし、幾つかのUIコンポーネントの操作で、キーボード入力が必要となるなど、VRの没入感を阻害する大きな課題点がある。また、コンポーネントの形状についても、視覚的顕在化の観点から一目見て機能が分かるものである必要があるが、本システムについては疑問が残る。ただ、コンポーネントを実際に生成・操作することで、能動的な学習が行えるシステムとなっており、本システムの「形のあるプログラミング」による学習は、従来のプログラミングと比べて抽象性を緩和することができ、特に初学者に対しての学習効果は期待できる。また、本研究では実装に至らなかったが、あらかじめ典型的な問題を用意しておき、利用者がこれらの問題を解答しながらプログラミングを行う機能があれば、より幅広い学習者層を対象にした学習効果が期待できる。こういった機能は、プログラミング的思考を成長させることにも繋がるとされている。文部科学省の「小学校段階における論理的思考力や創造性、問題解決能力の育成とプログラミング教育に関する有識者会議」では、「プログラミング的思考とは、自分が意図する一連の活動を実現するために、どのような組み合わせが必要であり、一つ一つの動きに対応した記号を、どのように組み合わせたらいいのか、記号の組み合わせをどのように改善していけば、より意図した活動に近づくのか、といったことを論理的に考えていく力である」と報告されている[6]。これらの機能についても、本システムの次の目標として実装を検討していきたい。

8 結論

本研究では、プログラミング学習の効果を向上させるために、VR技術を用いた体験型プログラミング学習システムの提案と開発を行った。ここ

では、基本的な入出力、四則演算、分岐、及び繰り返しの各処理の実装を行った。今後は、使用できる関数を増やし、また、典型的な問題を事前に用意することで、利用者にアルゴリズムとプログラミングの基礎を効果的に学べるシステムにしていく予定である。さらに、VRの特徴をより効果的に利用するために、関数コンポーネントの外観にも工夫を凝らしたい。また、アンケート調査を実施することで、システムの有用性の評価も行う予定である。

参考文献

- [1] 経済産業省：IT人材の育成
https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/jinzai/index.html
- [2] 宮本 賢治, 河野 翔: 小学校におけるScratchを用いたプログラミング授業の実践と検証, 日本産業技術教育学会誌, 60巻, 1号, pp. 19-28 (2018)
- [3] 星 貴之, 檜山 敦, 稲見 昌彦: VR/AR/MRの産業分野への応用展開, 精密工学会誌, 83巻, 6号 (2017)
- [4] 鄭松奎, 寺島信義: 教育分野におけるVRを用いた3次元立体文化映像コンテンツの活用に関する研究, 第72回情報処理学会全国大会講演論文集, pp. 35-36 (2010)
- [5] 伊藤 一成: ピクトグラム——人型ピクトグラムを用いたプログラミング学習環境, 情報処理学会論文誌, 教育とコンピュータ, Vol. 4, No. 2, p. 47-61 (2018)
- [6] 文部科学省: 小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について, 教育課程部会教育課企画特別部会, 2016

合成音声を用いた動画教材の成績と受講者の音声合成への馴染みの 関連性の分析

広島工業大学大学院工学系研究科 齊藤雄路

Analysis of the relationship between the grades of video teaching materials using synthetic audio and the familiarity of students

Graduate School of Science and Technology, Hiroshima Institute of Technology Yuro Saito

1 はじめに

人の声を人工的に作り出す音声合成技術は様々な分野で利用されている^[1,2]。音声合成技術の発展とそのソフトウェアの普及により教育分野でも音声合成は近年に積極的に利用されている。例えば大学講義の資料の音声解説にも合成音声の読み上げが用いられている。

教育分野では、昨今のコロナ禍によるリモート講義の普及があり、教材の中では今まで以上に音声合成技術は活用されつつある。動画教材は教授者の情報開示機能の拡張や代替に用いられてきた。このことより動画ベースのオンデマンド授業はスムーズに受け入れられた。また、動画学習に対する有用性もいくつかの研究にて示唆されている^[3]。一方、講義動画での音声合成が一般的になりつつある半面、音声合成の学習効果については十分に議論されてこなかった。前回の研究^[4,5]では音声合成が教授者による声と同程度の学習効果を有するのか、そうではないのかといったことの調査を行い、

実験結果をT検定によって分析した。本論文では前回の実験にて、同時に行ったアンケートのオンデマンド授業や音声合成に対し馴染みがあるかという部分について、相関を調査する。

2 従来の研究

従来の研究においてオンデマンド型の講義で一般的に教材として配布されているプレゼンテーション動画によるコンテンツを対象とする。プレゼン

テーション動画は話速が程よくノイズの少ない女性のプレゼンテーションと、話速が早くノイズが目立つ男性のプレゼンテーションを教材とした。それぞれに、話者自身の声によるプレゼンテーション動画と、話者の声ではなく音声合成が当てられた動画を用意することで、計4種を用意し、学習効果を明らかにした。具体的には、コンテンツA、コンテンツBそれぞれ通常版と音声合成版を用意し、通常版をコンテンツA、B、音声合成版をコンテンツA'、B'とした。音声合成は感情やイントネーションの工夫を行わず、タイミングを話者音声に合わせる程度にとどめた。全ての被験者は、通常コンテンツと音声合成コンテンツ両方で学習を行った。学習後、学習内容の理解度を問うテストを行うと共に、認知負荷^[6]、感情プロフィール^[7,8]、動機付け^[9]の3つの観点から学習効果を評価した。

3 研究方法

前回の研究内容と並行して、音声合成やオンデマンド授業への慣れ、集中力の有無などの5個の項目と合成音声の得点と話者音声の差についてそれぞれアンケートを取り、疑似講義参加者のウェブ授業への慣れの度合いを調査した。本研究の疑似講義に用いた資料は前回と同じものである。具体的には日本語のTedトークとし、被験者30人を動員し、15人ずつ2つのグループに分けて実験を行った。コンテンツの長さは20分、理解度テストの制限時間は10分、問題数は15問とした。

合成された音声聞くことに慣れていますか？ *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
 いいえ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ はい

動画学習は得意ですか？ *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
 いいえ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ はい

記憶力はある方ですか？ *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
 いいえ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ はい

集中力はある方ですか？ *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
 いいえ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ はい

好奇心はある方ですか？ *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
 いいえ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ はい

図1 アンケート内容

1は実際に用いたアンケートから該当部分を抜き出したものである。

合成音声の動画を聞いた結果から話者の音声そのままの動画のテスト結果を引いた差をXとし、これとアンケートの質問内容の相関係数について求める。質問内容はそれぞれ

- (a) 合成された音声を聞くことに慣れていますか？
- (b) 動画学習は得意ですか？
- (c) 記憶力はある方ですか？
- (d) 集中力はある方ですか？
- (e) 好奇心はある方ですか？

である。これらの結果を図2にまとめた

X	a	b	c	d	e
10	10	6	0	0	7
-8	0	0	0	0	10
-1	2	5	3	6	6
-15	4	3	4	3	6
-8	10	8	7	10	10
-9	2	8	7	7	7
-6	10	10	9	9	10
-8	8	7	4	6	7
-4	7	3	2	3	7
9	10	10	7	8	8

0	10	10	7	10	7
-2	10	10	7	3	10
-7	2	5	3	3	4
19	10	6	8	8	8
8	8	9	7	8	8
8	10	10	6	4	5
-2	10	5	6	4	5
8	8	8	7	7	10
7	10	8	5	7	7
-3	10	3	3	3	10
15	8	5	5	3	4
-8	10	9	5	6	10
1	0	7	8	8	8
14	10	3	1	6	7
-12	1	2	6	3	7
6	8	10	8	7	3
-4	8	3	2	7	6
-17	3	3	0	0	5
-12	6	6	3	3	3
-16	10	10	0	0	10

図2 アンケートの結果とテスト結果の差

図2に示したアンケート結果について相関係数を求めたところ、

Xとaの間には $r = 0.428609$

Xとbの間には $r = 0.214036$

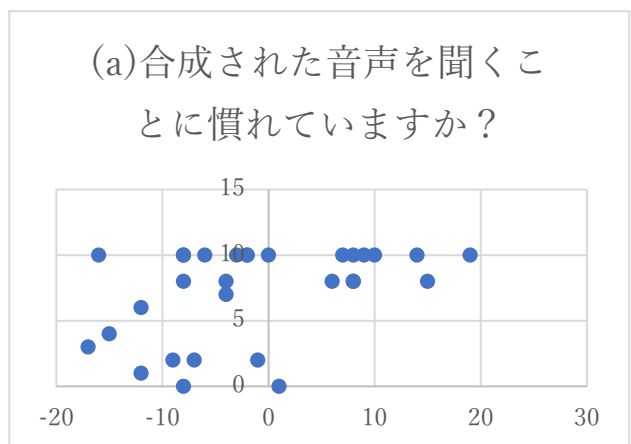
Xとcの間には $r = 0.307658$

Xとdの間には $r = 0.346339$

Xとeの間には $r = -0.07092$

のように結果が得られた。

また、合成音声の動画を聞いた結果と話者の音声そのままの動画のテスト結果の差と各アンケートの回答をそれぞれ対応させ、散布図としたものを図3にまとめた。



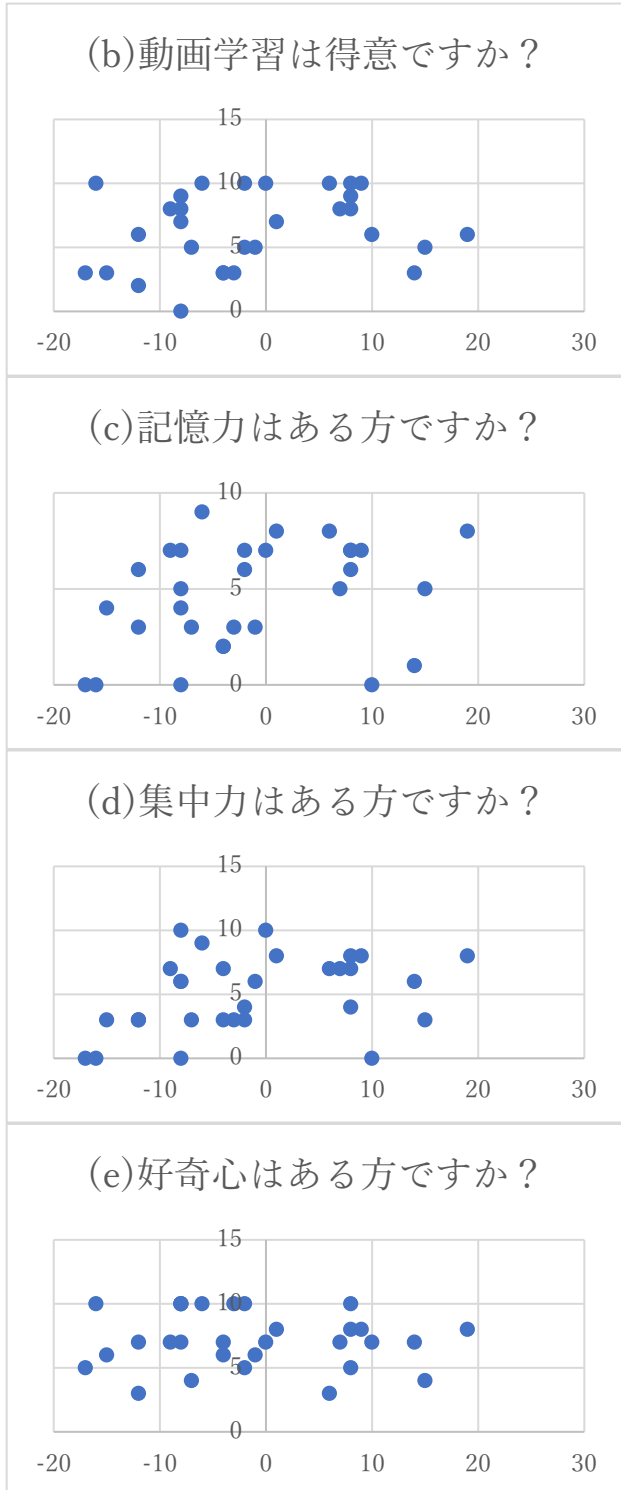


図3 Xとa~eの散布図

これらの分析結果から、(a)かなり相関がある、(b)~(d)やや相関がある、(e)ほとんど相関がないとわかった。

今回の結果について合成音声への馴染みとテスト結果には正の相関があると予想したが、予想通り相関があった。一方、好奇心の有無については相

関がみられなかったことからテスト結果と講義内容は関連が見られないと言える。

このことから、日常的に音声合成に馴染みのない受講者にとって、音声合成による講義は負担になると考えられる。この点について今後の実験では、音声合成に調整を加えた音源、インストール時の調整の音声合成音源、人の声の3つを比較することで、音声合成による学習を行う上で違和感を与える原因を特定できると考えられる。

4 結論

本研究では、2つの動画教材における音声合成の有用性評価、分析の先行研究について、実験後行ったアンケート結果との相関を求めた。結果、記憶力や動画学習の得意不得意も孫奂が見られたものの、音声合成への慣れ、不慣れが最も湯良い相関を示した。このことから音声合成を用いた講義が普段から音声合成に馴染みのない受講者には負荷を掛ける可能性が示唆された。

今後は音声合成への調整が負荷を軽減する可能性の調査と、負荷を軽減することが証明された場合、どのようなパラメータが合成音声の違和感を低減するかについて調査を行う。

参考文献

- [1] S. Lemmetty, History and Development of Speech Synthesis. Helsinki University of Technology (2004).
- [2] 広瀬啓吉 (2000) 21世紀に向けての音声合成の技術展望. 情報処理, Vol. 41, No. 3, pp. 277-281.
- [3] B. Means, Y. Toyama, R. Murphy, M. Bakia, K. Jones, Evaluation of evidence-based practices in online learning: A meta-analysis and review of online learning studies, U.S. Department of Education (2009).
- [4] 斉藤雄路, 松本慎平, 寺西大, 動画教材における音声合成の有用性評価に関する基礎的研究

- [5] 齊藤雄路, 松本慎平, 寺西大, 2 つの動画教材における音声合成の有用性評価, 分析

- [6] J. Sweller, Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive science*, 12(2), 257-285 (1988).

- [7] D. McNair, M. Lorr, L. Doppleman, POMS Manual for the Profile of Mood States. San Diego, CA: Educational and Industrial Testing Service (1971)

- [8] J. P. Heuchert, D. M. McNair, Ph.D, 横山和仁, 渡邊一久, Profile of Mood States 2nd Edition, 金子書房 ('2015)

- [9] M. Keller, 鈴木克明, 学習意欲をデザインする ARCS モデルによるインストラクショナルデザイン, 北大路書房 (2010) *Research*, pp. 1518-1521 (1997)

音声通話アプリケーションの受信パケットを用いた 受聴品質推定モデルの提案

広島工業大学大学院 工学研究科 情報システム科学専攻 岡田 樹, 林 孝典

Proposal of Listening Quality Estimation Model Using Received Packets for Voice Call Applications

Major in Information Systems and Science, Graduate School of Science and Technology,
Hiroshima Institute of Technology, Itsuki Okada, Takanori Hayashi

1 はじめに

インターネット技術を用いた音声通話の手段として、VoIP(Voice over IP)技術を用いた IP 電話の他に様々な音声通話アプリケーションを利用する機会が増加している。また、近年のコロナ禍によってテレワークやオンライン講義などの機会も増加しており、オンラインコミュニケーションの音声品質の重要性が高くなっている。電話番号が付与されている IP 電話は適切な品質になるようにネットワーク品質が設計・管理されているが、音声通話アプリケーションではそのような品質設計・管理がなされていない。そのため、駅や商業施設など人が多く集まる場所での利用や移動中での利用は、ネットワーク品質が低下し、会話が困難になるような音声品質の劣化が生じることがある。したがって、音声通話アプリケーションを快適な品質で利用してもらうためには、ユーザ体感品質(QoE: Quality of Experience)に基づいたサービス提供前の品質設計だけでなく、サービス提供中の品質可視化、それに基づく品質制御の実施が求められる。

サービス提供中における音声品質を取り扱った客観品質推定評価法として、ITU-T 勧告 P.564[1]がある。P.564 では特定の品質推定モデルを勧告するのではなく、モデルの性能に関する要求条件の規定に留まっており、主な用途として運用・保

守目的での伝送品質のモニタリングやサービスプロバイダとユーザ間の SLAs (Service Level Agreements)をサポートすることが考えられている。音声通話におけるパケット損失パターンの影響について、IP 電話を対象にした検討[2]や超広帯域音声を対象にした検討[3]がなされており、バースト損失はランダム損失よりも劣化が著しくなることが報告されている。また、IP 電話サービスにおいては、バースト損失において、損失数が一定であれば、連続損失数によって主観品質結果は同程度の結果であったが、超広帯域音声では、連続性および損失パターンによる品質特性の違いが報告されている。また、具体的なパケットレイヤ品質推定モデルの検討として、文献[4]では、音声セグメントの平均ビットレートを用いて符号化歪みに関する音声品質を推定し、さらにパケットロスの影響を考慮して全体的な音声品質を評価することで E-model よりも優れた性能を示している。文献[5]では、機械学習アルゴリズムであるランダムフォレスト利用し、評価パラメータの重要性を与えることで優れた性能を示した。これらの検討は IP 電話を想定しているため、パケットヘッダに記録されているシーケンス番号を利用しているが、音声通話アプリケーションではシーケンス番号などの情報が利用できない場合もある。また、音声通話アプリケーションにおける無音圧縮技術などは考慮されていないといった問題がある。

本研究では、音声通話アプリケーションのパケットレイヤ品質推定モデルの構築を目的とし、受信パケットから QoE を推定する方法を提案する。具体的には無音圧縮技術を用いた音声通話アプリケーションの受信パケットを用いて、ネットワークで発生するパケット損失やパケット転送遅延揺らぎの影響を考慮し、受聴品質を推定するモデルを検討した。また、品質推定モデル構築時に用いた評価音声（学習データ）とは異なる非学習データを用いて、提案モデルの有効性を検証した。

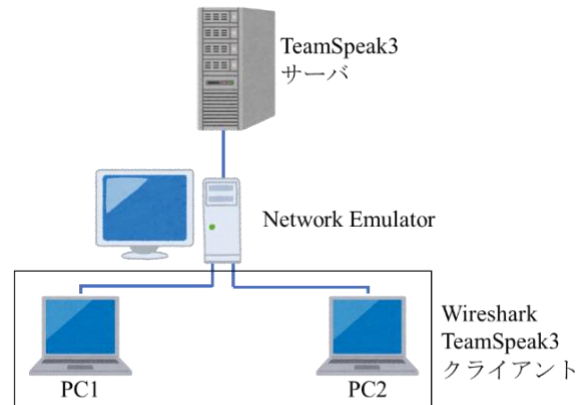


図1 評価音声の実験系

2 主観品質評価実験

2.1 主観品質評価実験系

ネットワーク品質が音声通話アプリケーションの QoE に与える影響を分析するため、主観品質評価実験を実施した。本検討では、音声通話アプリケーションの QoE として音声の受聴品質を対象として評価を行った。ネットワーク品質を変化させるために構築した実験系を図1に示す。PC1 から音声ファイルを再生し、PC2 で受信した音声を録音する。また、音声を録音する際、PC2 の受信パケット情報をパケット測定・解析ツールである Wireshark を用いて取得した。同時に推定精度の確認のため、PC1 の送信パケット情報も取得した。音声通話アプリケーションとして、TeamSpeak3 を使用し、通信経路上に Network Emulator(NE) により、ネットワーク品質を制御した。音声符号化方式は広帯域音声符号化方式である OPUS(7.7 kbit/s) を使用し、入力信号レベルが一定以下の場合、音声パケットを送信しない無音圧縮技術を適用した。

2.2 評価音声

評価に用いた音声コンテンツは、電気通信大学の高橋弘太研究室の話速バリエーション型音声データベースで公開されている音声[6]を使用し、有音率 30, 43, 58, 75 [%]となる約 10 秒の音声を用いた。また、音声コンテンツの発話者は、30%, 58%の音声は女声、43%, 75%の音声は男声とした。

ネットワーク品質は NE でパケット損失率を 0, 5, 10, 20 [%], パケット転送遅延揺らぎを 0, 50, 100 [ms]で変化させた。パケット損失は、ITU-T 勧告 G.191[7]で規定されている“Discreate Gilbert Eliot Channel Model”を用いてランダム（バースト性指標値 0.2）とバースト（バースト性指標値 0.8）で発生させた。パケット転送遅延揺らぎは 1000ms を平均とした標準偏差で発生させた。パケット損失率が増加すると、音声パケットの一部が欠損し、音が途切れたり、雑音のように知覚される。パケット転送遅延揺らぎが増加すると、音の途切れや音声パケットをアプリケーションのバッファで処理できなくなることでバッファから溢れた音声パケットは破棄され、音声加工されたように知覚される。

評価音声は、有音率を変化させた音声コンテンツ毎に、パケット損失、パケット損失パターン、パケット転送遅延揺らぎを変化させた計 84 条件とした。

2. 3 評価方法

評価は、ITU-T 勧告 P.800[8]で規定されている絶対範疇尺度 (ACR: Absolute Category Rating) 法を用い、表 1 に示す 5 段階品質尺度で評価してもらった。主観品質は得られた評点から平均オピニオン評点 (MOS: Mean Opinion Score) を導出した。評価者には、作成した約 10 秒の音声を各自の PC で再生してもらい、評価してもらった。音声の再生にはヘッドフォンまたはイヤフォンを使用してもらった。ここで、評価者は音声品質に関する非専門家 16 名 (学生) とした。

表 1 5 段階品質尺度

評点	評定語
5	非常に良い
4	良い
3	普通
2	悪い
1	非常に悪い

3 品質推定モデル

本稿で提案する品質推定モデルにおける品質推定の流れを図 2 に示す。受信パケットを取得すると、最初に無音圧縮技術により無音と判断された箇所と有音と判断された箇所を推定する。その後、パケット損失率とパケット転送遅延揺らぎを推定する。そして、推定したこれらのパラメータを用いて QoE を推定する。

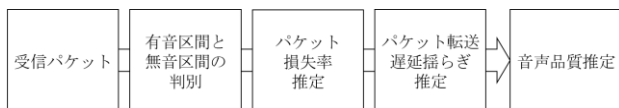


図 2 品質推定モデルの流れ

次に各ステップを詳細に説明する。受信パケット数はパケット損失の他に無音圧縮技術によって有音率によっても変化する。そのため、有音率による受信パケットの変化を考慮して品質推定モデル

を構築する必要がある。まず始めに有音区間と無音区間の推定を行う。今回提案した品質推定モデルでは、パケット受信間隔から、有音区間と無音区間の判断を行う。実験で使用した音声通話アプリケーションの TeamSpeak3 では、有音区間での音声パケットは 20ms 毎の一定間隔で送信される。パケット損失や無音区間が発生すると受信パケットの受信間隔が伸びることになる。パケットが連続的に損失することよりも、無音区間のため連続的にパケットが送信されない場合が多いと想定されるため、受信パケットの受信間隔が閾値 (今回の検討では 6 パケット) より長ければ、無音区間と判断した。無音圧縮技術は、音声の入力レベルが一定以下になると音声パケットを送信しなくなるが、音声の入力レベルが一定以下になり即座に適用されず、無音となってからしばらくはデータの転送を行う。また、音声通話アプリケーションによっては、音声によってデータ量が変化するものがある。実験で使用した音声通話アプリケーションの TeamSpeak3 では、音声がないパケットは音声があるパケットよりもデータ量が小さくなる。そのため、音声によってデータ量が変化するアプリケーションを対象にデータ量を用いたモデルも検討した。データ量を用いるモデルでは、受信パケットのデータ量が閾値よりも大きいパケットが届いてからデータ量が閾値よりも小さいパケットが届くまでの間を有音区間とし、データ量が閾値よりも小さい値となってから、次に閾値よりもデータ量が大きい値となるまでの間を無音区間と判断した。

次のステップではパケット損失率を推定する。データ量を用いないモデルでは、無音区間と判断した時間から無音区間により送信されなかったパケット数を推定する。無音区間と推定したパケット数と受信パケット数の合計を受信時間から推定される全て有音で損失なく転送された場合の受信パケット数 (今回は 500 パケット) から減算し、パケット損失数を推定する。受信パケット数と推定したパケット損失数からパケット損失率を推定した。一方、データ量を用いるモデルでは、有音

区間と判断した時間を 20ms で除算し、その時間に送られるパケット数を推定する。そのパケット数から受信パケットの中でデータ量が閾値よりも大きい有音と判断されるパケット数を減算し、パケット損失数を推定する。有音と判断されたパケット数と推定したパケット損失数からパケット損失率を推定した。

次のステップではパケット転送遅延揺らぎを推定する。このステップでは、データ量を用いないモデルとデータ量を用いるモデルは同様の方法で推定を行った。パケット転送遅延揺らぎが発生するとパケット受信間隔が変化することになるため、無音区間と判断した区間のパケット受信間隔を除いた、パケット受信間隔をパケット転送遅延揺らぎのパラメータとして扱う。受信間隔の最大値では突発的な値を取得する可能性があるため、本検討では受信間隔の上位 5% の値を取得し、TeamSpeak3 のパケット送信間隔である 20ms を引いた値をパケット転送遅延揺らぎの品質パラメータとして導出した。ただし、パケット損失が発生するとパケット受信間隔も長くなるため、両者の交互作用項も品質推定パラメータとして使用することとした。

最後のステップでは、推定したパケット損失率とパケット転送遅延揺らぎを品質推定パラメータとして、主観品質評価実験で得られた MOS 推定する。また、パケット損失率やパケット転送遅延揺らぎが同程度の場合では、有音率が高い方が劣化を知覚する回数が多くなり、MOS の低下が大きくなる可能性がある。このため、有音率も品質推定パラメータの候補とすることとした。有音率は、データ量を用いるモデルは有音区間から推定し、データ量を用いないモデルは、受信パケット数から推定した。MOS を推定する式の候補として、MOS を心理間隔尺度に変換した P 値を目的変数として一次関数とする式と MOS を目的変数として指数関数とする式を検討した。説明変数としては、品質推定パラメータである推定パケット損失率と推定遅延揺らぎ、推定有音率とした。こ

こで、MOS を心理間隔尺度に変換する式を式(1)に示す[9]。また、音声品質を推定するモデル式の候補を式(2)、式(3)に示す。式(2)、式(3)における *loss* は推定パケット損失率、*jitter* は推定パケット転送遅延揺らぎ、*voice* は推定有音率である。ここで $a_1 \sim a_{14}$ は定数で、回帰分析により導出した。

$$P = \ln\{(MOS - 1)/(5 - MOS)\} \quad (1)$$

$$P = (a_1 \text{voice} + a_2) \text{loss} + (a_3 \text{voice} + a_4) \text{jitter} + (a_5 \text{voice} + a_6) \text{loss} \cdot \text{jitter} + a_7 \quad (2)$$

$$MOS = a_8 e^{\{(a_9 \text{voice} + a_{10}) \text{loss} + (a_{11} \text{voice} + a_{12}) \text{jitter}\} + (a_{13} \text{voice} + a_{14}) \text{loss} \cdot \text{jitter}} \quad (3)$$

4 主観品質評価結果と推定モデルの性能評価

4. 1 主観品質評価結果

受信パケット数と MOS の関係を図 3 に示す。図 3 より、受信パケット数と MOS には相関がなく、受信パケット数から MOS を推定することは難しいことが分かる。これは、受信パケット数がパケット損失の他に無音圧縮技術により、音声コンテンツの有音率によって変化したためである。

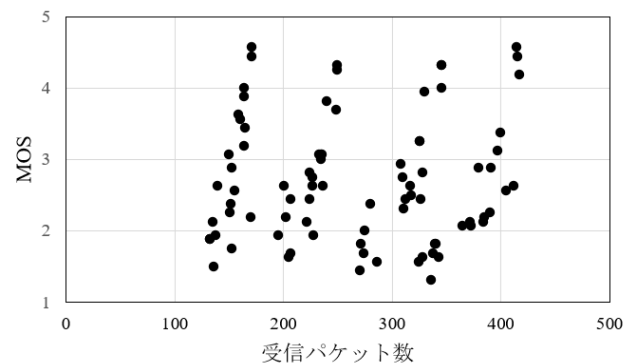


図 3 受信パケット数と MOS の関係

推定パケット損失率と MOS の関係を図 4 に、推定パケット転送遅延揺らぎと MOS の関係を図 5 に示す。推定パケット損失率と推定パケット転

送遅延揺らぎの推定にデータ量を用いた場合を白丸 (○), データ量を用いない場合を黒丸 (●) で示す. 図 4, 5 共にパケット損失とパケット転送遅延揺らぎの両者の影響を含めたデータである. 図 4 から推定パケット損失率が増加すると MOS が低下する傾向が得られた. 図 5 から推定パケット転送遅延揺らぎと MOS には相関が見られない. これは, パケット損失率が主要因であり, パケット損失率が支配的になったためだと考えられる.

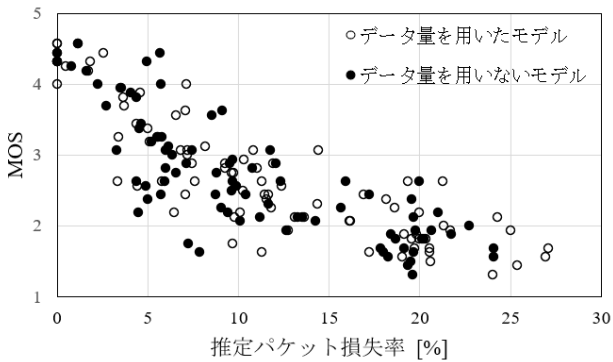


図 4 推定パケット損失率と MOS の関係

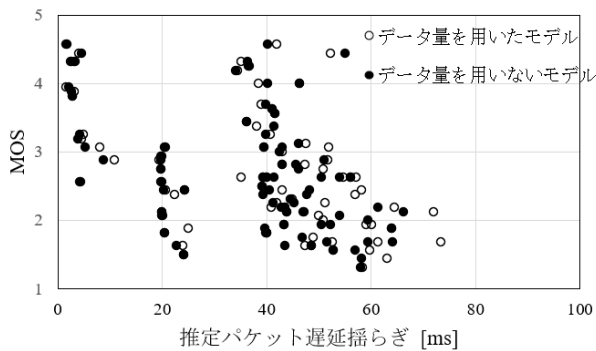


図 5 推定パケット転送遅延揺らぎと MOS の関係

また, 図 6 にパケット損失パターンと MOS の関係を示す. 図 6 では, パケット損失パターンによる影響をみるため, NE によるパケット転送遅延揺らぎの設定値が 0ms の値のみを示した. 推定パケット損失率には, データ量を用いたモデルを使用し, ランダム損失を白丸 (○), バースト損失を黒丸 (●) で示し, パケット損失がないデータはバツ (×) で示す. 図 6 から, パケット損失パターンによる品質劣化特性の違いは見られなかった.

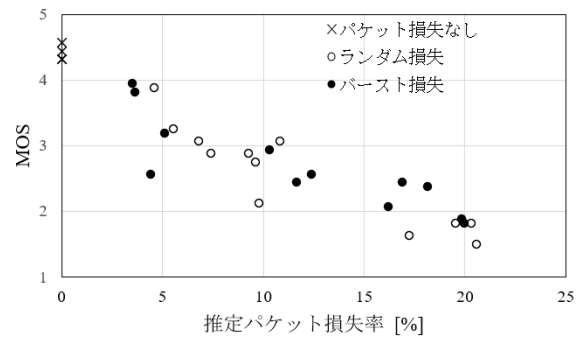


図 6 パケット損失パターンと MOS の関係

4. 2 学習データによる性能評価

主観品質評価結果を用い, 式(2)と式(3)で回帰分析を行った結果を示す. 式(2), 式(3)を用いて推定された MOS (推定 MOS) と実測の MOS (実測 MOS) の相関係数は, データ量を用いた場合がそれぞれ 0.878, 0.889 となり, データ量を用いない場合はそれぞれ 0.844, 0.850 となった. しかし, 説明変数の係数の有意確率 p 値が 0.05 を上回っていたため, 説明変数を削り, 説明変数の係数の p 値が全て 0.05 を下回り, 相関係数が高くなる式(4)をモデル式として採用した. ここで, $a_{15} \sim a_{17}$ はそれぞれ定数である.

$$MOS = a_{15}e^{(a_{16} \cdot voice + a_{17}) \cdot loss} \quad (4)$$

式(4)を用いた場合の推定 MOS と実測 MOS の関係を図 7 に示す. データ量を用いるモデルを使用した結果は白丸 (○), データ量を用いないモデルを使用した結果は黒丸 (●) で示す. 相関係数はそれぞれ, 0.882, 0.836 となった. 図 7 において推定 MOS が高い値において, 推定 MOS よりも実測 MOS が高い値を示している. そのため, 式(5)の形に平均 2 乗誤差が最小になるように非線形回帰で近似を行った.

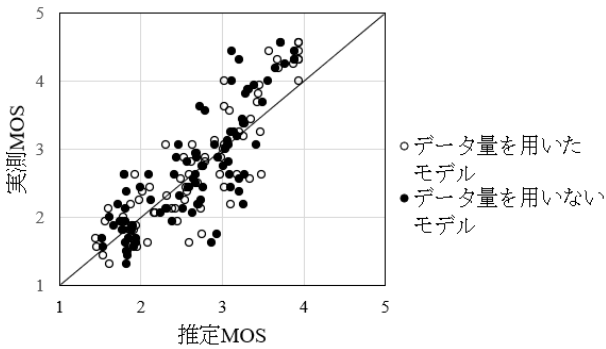


図7 式(4)による推定 MOS と実測 MOS の関係

$$MOS = 1 + Ae^{(B \cdot voice + C)(loss - D)} \quad (5)$$

ここで、 A, B, C, D は定数であり、その値を表2に示す。式(5)を用いた場合の推定 MOS と実測 MOS の関係を図8に示す。凡例は図7と同様であり、相関係数はそれぞれ、0.896, 0.852となった。図8と図7を比較すると、推定 MOS が高い値において実測 MOS との差が小さくなっていることが分かる。

表2 モデル式の定数の値

係数	データ量を用いたモデル	データ量を用いないモデル
A	3.679	2.371
B	-3.697×10^{-4}	-8.310×10^{-4}
C	-4.954×10^{-2}	-3.076×10^{-2}
D	-1.650	4.512

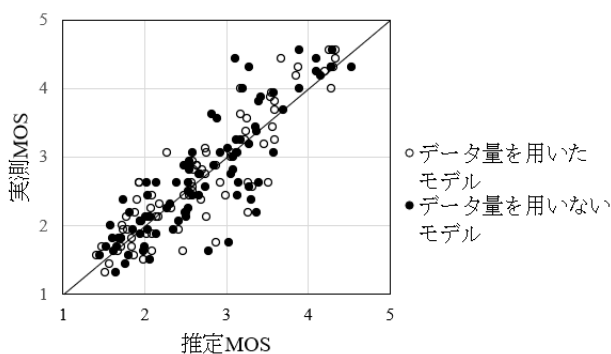


図8 式(5)を用いた推定 MOS と実測 MOS の関係

4. 3. 非学習データによる性能評価

提案モデルの品質推定性能を検証するため、非学習データを用いた評価を行った。主観品質評価実験系は、2.1節と同様である。

評価に用いた音声は、電気通信大学の高橋弘太研究室の話速バリエーション型音声データベースで公開されている音声から学習データとは異なる音声を使用し、有音率約30～約75 [%]となる約10秒の音声、8コンテンツ（男声4コンテンツ、女声4コンテンツ）を用いた。また、ネットワーク品質は、パケット損失率が支配的となっていたため、パケット転送遅延揺らぎを0, 100[ms]とし、パケット損失率を0, 5, 10, 20[%]でランダムとバーストで発生させた。評価音声はパケット損失率、パケット損失パターン、パケット転送遅延揺らぎ、有音率を変化させた64条件に学習データに用いた主観品質評価実験との枠組みの違いの影響を補正する必要性を判断するため、学習データとして用いた MOS が異なる評価音声8条件をアンカー条件として加えた計72条件を評価した。評価方法は2.3節と同様の方法とし、評価者は非専門家16名（学生）とした。

実験の結果から、まず、アンカー条件としたデータの MOS は、学習用データと非学習用データの間で相関係数0.990となり、ほぼ同じ値が得られた。このため、得られた評価値を補正することなく取り扱った。

非学習データの推定 MOS と実測 MOS の関係を図9に示す。凡例は図7と同様であり、相関係数はそれぞれ、0.910, 0.906となり、提案したモデルの推定精度が高いことが確認できた。図9を詳細に見ると、推定 MOS が約3.2に対して実測 MOS が約1.5の場合や、推定 MOS が約3.3に対して実測 MOS が約4.5の場合など、推定誤差が大きくなった点も存在した。これは、パケット損失箇所の偏りの違いによって品質劣化の知覚のされ方が変わった場合や、パケット損失による品質劣化の発生箇所と発話音声の位置関係の違いが影響したと考えられる。品質劣化が知覚された箇所

が名詞や動詞などの重要な箇所では、助詞や接続詞などの重要ではない部分よりも品質劣化に対し敏感に反応することがある。パケット損失の発生仕方による違いは、有音区間全体でパケット損失率を推定するのではなく、パケット毎の受信情報を用いてパケット損失が発生した箇所を推定することで推定精度を向上できる可能性がある。一方、音声コンテンツの内容の違いは現状のパケットレイヤ品質推定モデルでは判断することができず、メディアレイヤで発話内容の解析が必要となる。

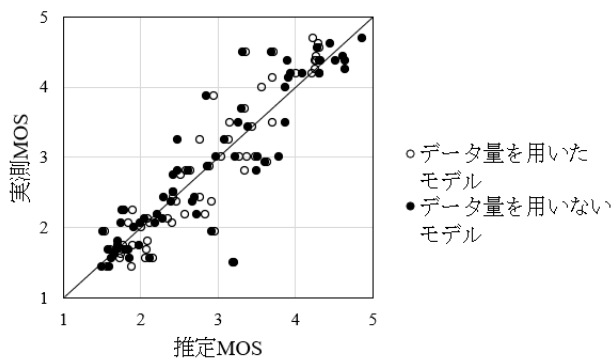


図9 非学習データの推定 MOS と実測 MOS の関係

5 まとめと今後の課題

本稿では、音声通話アプリケーションの受信パケットから有音率を考慮し、パケット損失率を推定することで受聴品質を推定するパケットレイヤ品質推定モデルの提案を行った。非学習データを用いて提案したモデルの有効性を検証した結果、高い相関を示し、高精度に受聴品質を推定できることを確認した。

今後は、品質推定パラメータを有音区間全体で推定するのではなく、パケット受信情報を用いて、品質劣化箇所を推定する方法を検討する必要がある。

参考文献

[1] ITU-T Rec. P.564, “Conformance testing for voice over IP transmission quality

assessment models,” November 2007.

- [2] 青木仁志, 倉島敦子, “IP 電話サービスにおける主観品質評価,” コミュニケーションクオリティ研究会, 信学技報, CQ2019-3, pp.13-18, April 2019.
- [3] 倉島敦子, 恵木則次, “バースト損失劣化に対する POLQA の推定精度検証,” 信学総大, B-11-23, March 2021.
- [4] J. Liangliang, Y. Fuzheng, “A Packet-layer Quality Assessment System for VoIP,” Proc. 3rd International Conf. on Multimedia Technology, pp.715-722, November 2013.
- [5] W. Zou, F. Yang, X. Li, “A Packet-Layer Quality Assessment System for VoIP Using Random Forest,” IEEE International Conference on Computer and Information Technology, pp.710-714, September 2014.
- [6] 高橋弘太, “話速バリエーション型音声データベース”, 電気通信大学, <http://www.it.cei.uec.ac.jp/SRV-DB/>, (参照 2022-01)
- [7] ITU-T Rec. G.191, “Software tools for speech and audio coding standardization,” January 2019.
- [8] ITU-T Rec. P.800, “Methods for subjective determination of transmission quality,” August 1996.
- [9] R. D. Prosser, J. W. Allnatt, and N. W. Lewis, “Quality grading of impaired television pictures,” Proc. IEE, vol.111, no. 3, pp.491-502, March 1964.

災害支援型自動販売機設置場所の閲覧・投稿システムの開発

広島工業大学 山本 大輝

広島工業大学 山岸 秀一

Development of a browsing and posting system for the locations of disaster relief vending machines

Hiroshima Institute of Technology Daiki Yamamoto

Hiroshima Institute of Technology Shuichi Yamagishi

1 はじめに

地震などの災害発生時に、自動販売機に搭載されている電光掲示板に災害情報を流したり、残っている飲料を無償で提供する災害支援型自動販売機がある。近年では、2011年3月11日に発生した東日本大震災でも、約400万台の災害支援型自動販売機が稼働し、8万8千本以上の飲料が無償で提供された[1]。しかし、災害時に自動販売機が設置されている場所を事前に把握していなければ、迅速に利用することは困難である。ところで、自動販売機の設置場所を地図上に表示するシステムとして、コカ・コーラ社のスマートフォンアプリケーション[2]や、キリンがWebサイト上で運営しているサービス[3]がある。しかし、これらのシステムやサービスには災害支援型自動販売機の掲載はなく、あくまで自社の自動販売機の紹介を行っているだけである。そこで、災害支援型自動販売機の設置場所の閲覧と新規設置場所の投稿を行うことができ、更に付加情報を表示させることで、災害時における自動販売機の迅速な利用を支援するシステムの開発が本研究の目的である。

2 研究概要

本研究の閲覧・投稿システムは、Webアプリケーションとして開発する。Webブラウザから利用できるようにすることで、スマートフォンアプリケーションのようなダウンロードが不要になり、災害時にも迅速に利用することができる。自動販売機設置場所の閲覧については、Webサイトの画面上に地図を表示し、地図上にマーカーを設置することで、自動販売機の設置場所を示す。なお、Webサイトの画面上に地図を設置するに当たっては、JavaScriptのWeb地図ライブラリであるLeafletを使用する。また、新規設置場所の投稿については、サイトに登録されていない自動販売機をユーザーが見つけた場合、その場所の緯度経度、コメント文、最寄りの避難場所、及び自動販売機の写真をサイト上にあるフォームに入力してデータベースに登録することができる。なお、写真はファイル名のみデータベースに登録され、写真自体はサーバーにアップロードされる。これらの情報が登録された後、データベースにある新規設置場所のデータをWebサイトが読み込み、地図上にマーカーとして表示する。

3 開発環境

本システムを開発するにあたって使用するプロ

プログラミング言語は、JavaScript と PHP である。また、システムの動作環境には XAMPP を使用する。XAMPP は Web アプリケーションの実行に必要なソフトウェアを集めたものであり、本研究で使用する Web サーバー、データベース管理システム共に、XAMPP に搭載されている Apache と MySQL を使用する。

4 実装

研究概要に示した仕様に従って、システムの開発を行った。本システムを構成する閲覧機能と投稿機能の実装と稼働の様子を、それぞれ 4.1 と 4.2 に示す。図 1 は、本システムの閲覧機能と投稿機能の処理の流れである。

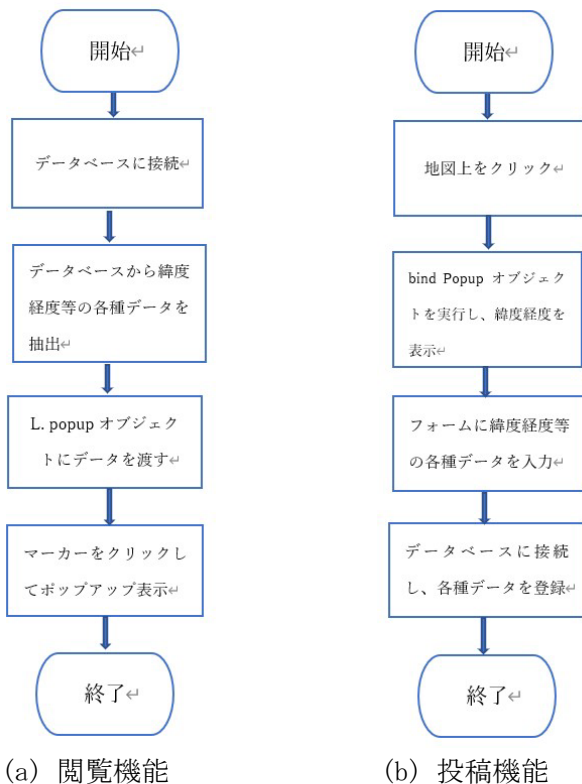


図 1 システムの処理の流れ

4.1 閲覧機能

地図上にあるマーカーをクリックすると、コメント文、最寄りの避難場所、及び自動販売機の写真がポップアップ表示される。これは、Leaflet.js

の L.popup オブジェクトを実行することで行う。図 2 にマーカーをクリックした際の様子を示す。なお、地図上にマーカーが密集すると見えづらくなるので、最寄りの避難場所別に自動販売機の設置場所を検索できる機能を実装した。図 3 に示すフォームに避難場所名を入力すると、入力された避難場所以外が掲載されたマーカーを削除する関数が実行され、検索された場所を最寄りの避難場所とするマーカーのみを表示することができる。全てのマーカーを再度表示させる場合は、再表示ボタンをクリックすることで Web サイトがリロードされ、全てのマーカーが表示される。



図 2 マーカークリック時のポップアップ表示

コメント:

最寄りの避難場所:

緯度:

経度:

自動販売機の写真をアップロードしてください

選択されていません

図 3 検索フォーム

4.2 投稿機能

新規自動販売機の設置場所を地図上でクリックすると、Leaflet.js の bindPopup オブジェクトが実行され、緯度と経度がポップアップ表示される。その際、クリックした地点の緯度と経度がフォームに送信され、自動入力される。その後、コメント文、最寄りの避難場所、及び自動販売機の写真をフォームに投稿しデータベースに登録を行うことで、新たな自動販売機の設置場所がデータベースから参照され、マップ上にマーカーが設置される。図4に地図上をクリックしたときのポップアップ表示を、また、図5に投稿フォームを示す。



図4 地図上クリック時のポップアップ表示

コメント:

最寄りの避難場所:

緯度:

経度:

自動販売機の写真をアップロードしてください

選択されていません

図5 投稿フォーム

また、図6にシステム全体の画面構成を示す。上部の地図に表示されているマーカーをクリックすることで、既に登録されている災害支援型自動販売機の最寄りの避難場所や自動販売機の写真等がポップアップ表示される。また、上部の地図の該当箇所をクリックし、投稿フォームに、コメント文、最寄りの避難場所、及び自動販売機の写真を入力することで、自動販売機設置場所の新規投

稿ができる



図6 システム全体の画面構成

5 まとめ

災害発生時に災害支援型自動販売機の設置場所の閲覧や新規設置場所の投稿を行うことができ、更に付加情報を表示させることで迅速な利用を支援する Web アプリケーション・システムの開発を行った。今後は、利用者の現在地から自動販売機までのルートを自動検索する機能を実装する予定である。また、実際に本システムを利用してもらい、アンケート調査などによって、システムの利便性の評価も行っていきたい。

参考文献

- [1] 島林勇弥：地域社会にとってなぜ災害支援型自動販売機が必要なのか？，地域安全学会梗概集，No43，pp39-42（2018）
- [2] コカ・コーラ社：Coke On(コーク オン)おトクで楽しいコカ・コーラ公式アプリ，Coke On 紹介公式サイト
<https://c.cocacola.co.jp/app/>
- [3] KIRIN：Tappiness の設置場所，KIRIN 公式サイト
<https://map.tappiness.kirin.co.jp/map/>

第一原理計算による Fe-Cr-Ni 合金の組成の違いによる磁性変化の研究

広島工業大学 仲田 麻朗

広島工業大学 山岸 秀一

中国電力 杉内 栄夫

First principles studies of the magnetic change by the difference in composition of Fe-Cr-Ni alloy

Hiroshima Institute of Technology Mao Nakata

Hiroshima Institute of Technology Shuichi Yamagishi

The Chugoku Electric Power co., inc. Takao Sugiuchi

1 研究目的

超々臨界圧火力発電所内で使用されるボイラチューブには、ステンレス鋼や高クロム鋼などが用いられるが、これらの内側には、温度 600°C、圧力 24.5 MPa といった高温・高圧な蒸気が通り、また、外側は 1000°C を超える燃焼ガスに晒されている。このような使用環境が更に過酷となれば、材料に甚大な影響を与え、チューブ破損などのトラブルに繋がる場合がある。チューブに用いられる金属は、高温中に応力が加わると時間の経過とともに徐々に変形し、それが進行すると金属組織に数 μ m 程度のボイドが派生し、それらが連結することで破断に至る[1]。そのような場合には、高効率プラントの停止を余儀なくされ、燃料費の増大といった問題が発生することになる。超々臨界圧ボイラの過熱器管や再熱器管等に、火 SUS304J1HTB (Super304H) と呼ばれるクリープ破断強度に優れたオーステナイト鋼[2]が使われているが、それでもクリープ損傷に至ったケースがある。そのため、劣化の早期発見が重要になるが、その診断手法は未だ確立されていない。そこで、同ボイラチューブの内圧クリープ及び熱時効試験片を作製し、ECT・SQUID 分離型方式等の高感度磁気センサを使用して、透磁率や導電率変化状況から診断が可

能か、また、その結果が劣化と相関のある指標を捉えているかについて、組織及び磁性観察等によって確認が行われている[3]。本研究では、その結果が妥当であるか、また、実験により観察できない細部の磁性発現状況について理論的解析により評価・確認する必要があるため、Super304H の磁性の発現現象を理論計算により明らかにする。特に、Super304H を構成するオーステナイト鋼の主成分である鉄(Fe)に対し、質量比(製造時)17~19%の含有量を有するクロム(Cr)、及び7.5~10.5%の含有量のニッケル(Ni)のみを考慮して、それらの欠乏領域と濃化領域(σ 相:磁性無し)の粒界にボイドが派生するため、Fe, Cr, Niの含有比率を変化させたときの電子状態と磁性の変化を第一原理計算によって解析する(Cu, Mn, Nb等の他元素は省略)。なお、第一原理計算とは、実験データや経験パラメータを用いず理論的にシュレディンガー方程式(Kohn-Sham方程式)を解く方法である。

2 研究方法

2.1 研究概要

鉄(Fe)-クロム(Cr)-ニッケル(Ni)合金の電子状態を、密度汎関数理論(DFT)[4,5]によるコンビ

ュータシミュレーションにより解析する。DFT とは、電子密度の汎関数を用いて系のエネルギーを最小にするように全電子密度を決定することにより、Kohn-Sham 方程式を解く方法であり、次の、(1)~(3)で定式化される。このとき、系の全エネルギーは(4)で表され、これが最小値となるような電子状態を求める。

$$\left\{ -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + v(r) \right\} \phi_i(r) = \varepsilon_i \phi_i(r) \quad (1)$$

$$\rho(r) = \sum_{i=1}^N |\phi_i(r)|^2 \quad \left(\int \rho(r) dr = N \right) \quad (2)$$

$$v(r) = v_{\text{ext}}(r) + e^2 \int \frac{\rho(r')}{|r-r'|} d^3r' + \frac{\delta E_{\text{xc}}[\rho(r)]}{\delta \rho(r)} \quad (3)$$

$$E[\rho(r)] = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i - \int \rho(r) v(r) d^3r + \int \rho(r) v_{\text{ext}}(r) d^3r + \frac{e^2}{2} \iint \frac{\rho(r)\rho(r')}{|r-r'|} d^3r d^3r' + E_{\text{xc}}[\rho(r)] \quad (4)$$

DFT による電子状態の計算には、第一原理ソフトウェア QUANTUM ESPRESSO [6]を使用する。QUANTUM ESPRESSO は、電子の波動関数と電荷密度を平面波で展開し、また、擬ポテンシャルを用いて原子の持つ価電子のみを扱う。Super304H は、Fe, Cr, Ni, Cu, Mn, Nb などを含むオーステナイト合金であるが、使用中の高温高压の条件下で組成の変化が起こり得る。そこで、含有量の多い Fe, Cr, 及び Ni を取り上げ、この Fe-Cr-Ni 合金について、各元素の含有比率を変えて DFT による電子状態計算を行い、電子密度状態と磁性の変化を測定する。そして、物理実験による組織及び磁性観察の結果と照合することにより、素材の劣化時に現れる物性値の特性を明らかにする。

2. 2 条件設定

本研究では、Fe の高温時に現れる結晶構造である面心立方格子(FCC)を用い、これを 2 格子結合した合計 8 個の原子による単位格子を採用する。そして、単位格子中の Fe 原子を、Cr 原子や Ni 原子に置き換えることで組成の異なる Fe-Cr-Ni 合金を作成する。図 1 に、各元素の個数(Fe, Cr, Ni)が、例えば、(6,1,1), (5,2,1), (5,1,2)の場合の単位格子の結晶構造を示す。

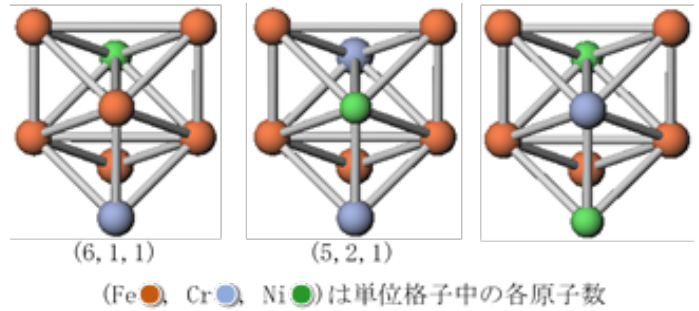


図 1 Fe-Cr-Ni 合金の単位格子の構造

この単位格子を使い、QUANTUM ESPRESSO による DFT を用いた第一原理計算を行う。なお、DFT 計算において、波動関数及び電荷密度を平面波展開する時のカットオフエネルギーは、それぞれ、75 Ry, 800 Ry とする。また、逆空間を離散化する k 点メッシュには $8 \times 8 \times 8$ を用いる。QUANTUM ESPRESSO による第一原理計算によって、次に示す全磁化 m_t と絶対磁化 m_a を求めることにより、磁性の有無を調べる。

$$m_t = \int dr (n_{\text{up}}(r) - n_{\text{down}}(r)) \quad (5)$$

$$m_a = \int dr |n_{\text{up}}(r) - n_{\text{down}}(r)| \quad (6)$$

4 計算結果

Fe-Cr-Ni 合金の単位格子の構造を、表 1 に示す Super304H の組成を元に決定する。表 2 に Super304H に含まれる Cr や Ni の含有量を変化させた場合の単位格子を示す。(6,1,1)は Super304H に対する Cr 欠乏 (Ni 弱過剰) 状態、(5,2,1)は Cr 及び Ni 過剰状態、そして、(5,1,2)は Cr 欠乏 (Ni 強過剰) 状態を示す。また、表 3 に Ni を含まない場合の単位格子を示す。(7,1,0)は Cr 欠乏状態、(6,2,0)は Cr 弱過剰状態、そして、(5,3,0)は Cr 強過剰状態を示す。

表 1 Super304H(製造時)化学成分(新日鐵住金)

元素	Fe	Cr	Ni	Cu	Mn	Nb
質量[%]	64.8~	17.00~	7.50~	2.50~	1.00 max	0.30~
	71.2	19.00	10.50	3.50		0.60
元素	Si	C	N	P	S	Mo
質量[%]	0.30 max	0.07~	0.05~	0.04 max	0.01 max	0.00
		0.13	0.12			

表2 Fe-Cr-Ni合金の組成 (Niを含む)

組成	(6, 1, 1)		(5, 2, 1)		(5, 1, 2)	
	個数	質量[%]	個数	質量[%]	個数	質量[%]
Fe	6	75	5	63	5	62
Cr	1	12	2	24	1	12
Ni	1	13	1	13	2	26
合計	8	100	8	100	8	100

表3 Fe-Cr-Ni合金の組成 (Niを含まない)

組成	(7, 1, 0)		(6, 2, 0)		(5, 3, 0)	
	個数	質量[%]	個数	質量[%]	個数	質量[%]
Fe	7	88	6	76	5	64
Cr	1	12	2	24	3	36
Ni	0	0	0	0	0	0
合計	8	100	8	100	8	100

これらの単位格子を用いて、QUANTUM ESPRESSOによるDFT計算を実施した。計算で得られた磁化の値を表5と表6に示す。なお、表4には、比較のために単位格子の8個の原子を全て同一種類にした純金属についても計算を実施し、磁化の値を求めた。表5より、Niを含む場合には、Cr欠乏 (Ni弱過剰) 状態、Cr及びNi過剰状態ともに磁性を持たないことが分かる。また、Cr欠乏 (Ni強過剰) 状態では僅かな磁性を持つことが分かる。一方、表6に示すように、Niを含まない場合では、いずれの場合も磁性は見られなかった。

表4 純金属の磁化

	Fe	Cr	Ni
全磁化 [mag/atom]	0.00	0.00	0.72
絶対磁化 [mag/atom]	0.00	0.00	0.84

表5 Fe-Cr-Ni合金の磁化 (Niを含む場合)

組成	(6, 1, 1)	(5, 2, 1)	(5, 1, 2)
全磁化 [mag/atom]	0.00	0.00	0.01
絶対磁化 [mag/atom]	0.00	0.00	0.11

表6 Fe-Cr-Ni合金の磁化 (Niを含まない場合)

組成	(7, 1, 0)	(6, 2, 0)	(5, 3, 0)
全磁化 [mag/atom]	0.00	0.00	0.00
絶対磁化 [mag/atom]	0.00	0.00	0.00

以上の結果により、Fe-Cr-Ni合金では、Super304H(製造時)の組成に対するCrの欠乏状態

や過剰状態では磁性を持たないが、Niの強過剰状態では僅かに磁性を持つことが分かった。

5 結論

火力発電所ボイラチューブの劣化診断手法確立に向けた磁性発現状況の理論的検証のために、Fe-Cr-Ni合金について、密度汎関数理論 (DFT) を用いた第一原理計算を行い、元素の含有比率を変えた場合の磁性の変化を調べた。その結果、Fe-Cr-Ni合金ではCrの欠乏状態や過剰状態では磁性を持たないが、Niの強過剰状態では僅かに磁性を持つことが分かった。今後は、より多くの原子から成る単位格子を用いることで、よりSuper304Hの組成に近いモデルによる解析を行う予定である。

参考文献

- [1] 片岡敏明: ボイラチューブ余寿命診断手法に関する研究, エネルギー総研レビュー, 2巻, 52号, pp. 4-5 (2018)
- [2] 仙波潤之他: 高効率火力発電電熱管用高強度ステンレス鋼管 SUPER304H(火 SUS304J1HTB)の開発, まてりあ, 46巻, 2号, pp. 99-101 (2007)
- [3] 三浦滉大他: オーステナイト系ステンレス鋼中の加工誘起マルテンサイトの組織形態と磁気特性の相関, 日本金属学会誌, 78巻, 10号, pp. 375-380 (2014)
- [4] P. Hohenberg, W. Kohn: Inhomogeneous electron gas, Physical Review, vol.136, no. 3B, pp. 865-871 (1964)
- [5] [5] W. Kohn, L. J. Sham: Self-Consistent Equations Including Exchange and Correlation Effects, Physical Review, vol.140, no. 4A, pp. 1133-1138 (1965)
- [6] P. Giannozzi et al.: QUANTUM ESPRESSO: a modular and open-source software project for quantum simulations of materials, J. Phys.: Condensed Matter 21, 395502 (2009)

アクセシビリティ改善のための統計グラフの読み上げ手法

広島工業大学 情報学部 情報工学科 大塚 雅仁, 垣内 洋介

Reading method of statistical graphs for improving accessibility

Faculty of Applied Information Science, Department of Computer Science,

Hiroshima Institute of Technology Masahito Otsuka, Yosuke Kakiuchi

1 背景

昨今のニュースや新聞では、「新型コロナウイルス感染者数」「ワクチン接種率」といった統計グラフをよく目にする。膨大なデータをわかりやすくまとめたり、データの特徴や傾向を分析したりする手段として、グラフは有用である。グラフを用いることで、ただの数字の羅列でしかなかったデータが視覚的にわかりやすい情報として提示できる。

例えば、日付とコロナウイルスの新規感染者数を示すデータが365日分表にまとめられた場合と、そのデータをもとに作られた棒グラフがあったとする。ここから、1日の新規感染者が最も多い日を探す場合を考えてみると、表から探す場合、最初の行から最後の行までを1つずつ見ながら大きな値を探し出すのが一般的である。しかし、グラフならば1列に並んだ棒から、1番背の高い棒を探すだけでよい。よって、データをもとにグラフとして提示する方が、直感的に理解しやすいと言える。そのため、日常のあらゆる場面でグラフが使われている。逆に膨大なデータを表として掲載している新聞やネットニュースはあまり見かけない。

しかし、グラフよりも表でデータが示されたほうがわかりやすいと感じる場合もある。例えば、音声読み上げソフトを利用してコンピュータを操作している視覚障害者が情報を得る場合である。音声読み上げソフトは画面上のテキストを読み上げるため、画像ではなくテキストとして提示され

た表が必要である。

しかし、新聞やネットニュースなどの媒体に表もグラフも両方を掲載するという方法は、紙面の大きさなどを考えると現実的ではない。そこで、本研究では視覚障害者の統計グラフの読み取りを支援する手法を提案する。

2 関連研究

視覚障害者のグラフ読み取りをサポートするツールとして、NASAが開発したxSonify[1]というツールがある。これを使うと、グラフを音に変換することで視覚障害者でもグラフの読み取りが可能になる。このツールではグラフの画像データを入力することで、グラフの数値の変化をもとにした音を出力する。X-Y軸のあるグラフに対して、横軸の変化を時間、縦軸の変化を音階とするような形でグラフの画像から音楽のような音を出力することでグラフ全体の形を読み取れるようになっている。しかし、音階の変化のみではグラフの数値を正確に読み取ることは難しい。そこで、グラフの数値を正確に読み取れる新たな読み取り手法が必要であると考えた。

3 研究目的

本研究では、棒グラフと円グラフの2つについて情報を読み取り、読み上げ用のテキストを出力する手法を提案する。研究を行うにあたり、次の3点を達成するような手法を開発することが

研究の目的である。

1点目は、凡例の名前と数値を関連付けて読み取る点である。先行研究において、横軸は時間軸として処理されている。そのため、「月別の降水量」のような数値の時間的な変化を表したグラフであれば問題なく読み取れる。しかし、「地域ごとの人口」のような数値の比較を目的にしたグラフではその目的を達成できるとは考えにくい。なぜなら、グラフの横軸の内容を音声化できないため、どの項目がどのくらいの値なのかを理解できないからである。そこで、本研究では、グラフの縦軸と横軸を読み取り、凡例の名前と数値を関連付けて読み取れるようにする。

2点目は、グラフから数値を正確に読み取る点である。先行研究では、数値の変化を読み取り、グラフ全体の形を理解することはできるが、個々の値を読み上げるわけではないため、数値の詳細を理解するのは難しい。また、数値の変化が音階に置き換わっているため、実際の数値がどのくらいであるのかは想像でしかわからない。そこで、グラフから数値を正確に読み取る必要があると考えた。

3点目は、出力形式はテキストデータとする点である。出力形式をテキストデータにすることで、音声読み上げソフトが読み上げることが可能になる。さらに、テキスト形式の出力とすることで音を聞き分けるよりも正確な情報の理解が可能になる。本論文では、以上の3点を可能とする統計グラフの読み上げ手法の提案を行う。

4 棒グラフの読み取り手法

4.1 手順

棒グラフの読み取りは、以下の4つの手順で行う。入力画像の例を図1に示す。

手順1：画像中の棒が書かれている座標を調べる。多角形の頂点座標の検出を行い。検出された多角形のうち頂点数が4つのもののみを棒として動的配列に記憶させる。

手順2：文字認識を行い、文字の内容と文字の

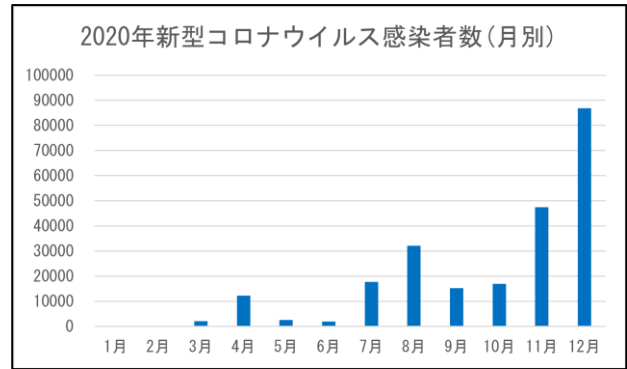


図1 棒グラフ読み取りの入力画像例

座標を検出する。このとき、グラフの棒の部分を白塗りした画像を新規に作成し、その画像で文字認識をすることで、文字認識の誤検出を減らすようにしている。

手順3：検出された文字の座標と内容をもとに、縦軸と横軸の内容を分析する。縦軸の分析では、文字認識の結果の中から数字のみで構成された文字列のみを取り出す。横軸の分析では、手順1で検出した棒の下側に書かれた文字のみを取り出す。また横軸に関しては、隣接したり重なり合ったりして検出された文字は1つの文字列としてまとめている。

手順4：棒で表された数値の大きさを計算する。ここでは、手順1と手順3の処理結果をもとに、グラフの縦1ピクセル当たり変化と縦軸の数値の変化の比率を計算する。その比率を使ってグラフ中の棒が表す数値の大きさを計算する。また、横軸上に文字が検出されているにもかかわらず対応する棒が存在しない場合、その部分の値は0とする。

以上の処理により、グラフの情報を取得する。

4.2 情報の読み上げ

4.1節の手順で、グラフの情報を取得することができた。取得できた情報は、項目名とその項目に対応する数値である。最終的には、これらの取得できた情報を視覚障害者にも理解できる形で出力する方法が必要である。本研究では、音声読み上げソフトが読み上げるためのテキストを画面上に表示させる。しかし、取得した情報をすべて読

み上げると理解しにくい可能性がある。そこで、対話型処理を用いて利用者の知りたい統計情報だけを出力する。この処理を実装することで、利用者が知りたい情報だけをピンポイントで取得することができると考えている。

具体的には、文字列によるコマンドの入力によって、出力する情報を選択できる。本研究では表1のようなコマンドを実装した。表内のNは自然数の引数、Sは文字列の引数であることを表しており、実際に使用する際は適切な値をそこに入力する必要がある。

コマンドの入力によって出力される読み上げ用のテキストを表2に示す。表中のNは引数、「○○」は項目名、「△△」は数値を表している。

表1 実装したコマンドの一覧

コマンド	出力内容
search(S)	文字列Sと一致する項目名に対応する数値を出力する
top(N)	上位N個の数値と項目名を出力
bottom(N)	下位N個の数値と項目名を出力
aver	すべての数値の平均値を出力する
median	すべての数値の中央値を出力する
sum	すべての数値の合計値を出力する

表2 出力されるテキストの例

コマンド	出力されるテキスト
search(S)	○○(Sに対応する項目名)は、△△です。
top(N) / bottom(N)	上位(下位)N個を大きい(小さい)ほうから順に出力します。 1位は、○○の△△です。 2位は、○○の△△です。 … N位は、○○の△△です。
aver (sum)	平均(合計)値は、△△です。
median	中央値は○○の△△です。

さらに、プログラムの終了時に取得した情報の一覧をCSVファイルとして表形式にまとめて出力する。これによってグラフの詳細な数値を自由に参照できるのではないかと考えた。

4.3 実験結果

実験では、プログラムが正常に動作しているか実際に画像を入力し、プログラムの実行結果から判断する。判断基準は以下の3点である。

1. グラフの真値とプログラムが読み取った実測値を比較し、極端な差がないこと
2. 数値と項目名の関連付けが正しく行われていること
3. 棒のない項目に対しては数値として0を出力していること

以上について目標達成しているか検証を行う。

実際に図1の画像に対して読み取りを実行した結果を表3に示す。表の左側はグラフ作成に使用した真値であり、右側が測定値である。

表3 図1に対する実験結果

1月	17	1月	0.000
2月	225	2月	0.000
3月	1992	3月	1723.038
4月	12187	4月	11904.627
5月	2477	5月	2192.958
6月	1865	6月	1566.398
7月	17651	7月	17387.021
8月	32129	8月	31797.887
9月	15194	9月	14880.784
10月	16867	10月	16603.822
11月	47501	11月	47148.590
12月	86925	12月	86621.828

実験結果より、判断基準の1・2を満たしていると言える。また、図1中の1月と2月の軸を見ると、棒が描画されていないため、測定値が0となっている。このことから、判断基準3も問題なく達成されていることがわかる。

5 円グラフの読み取り手法

5.1 手順

円グラフの読み取りは、以下の6つの手順で行う。入力画像の例として図2のような凡例付きの円グラフを考える。

手順1: 円を検出する。円は中心のx座標、y座標、半径の長さの3つの整数で変数に記録される。また、円が複数検出された場合は半径が最も大きいものを除外する。

手順2: 手順3で線分の検出をするための画像を描画する。入力された画像上の検出された円の中心に白い点を上書きする。これによって、なす角が180°の2つの線を1つの線と誤った検出することがなくなる。さらに円の円周上に白い線を描画し、円の輪郭線を消す。こうしないと、円の輪郭線と領域を区切る線がつながっているため、1つの線として検出することができない。そこで、直線と交わっていた円の輪郭線を白い円で塗りつぶすことで、独立した1つの線分として検出できるようになる。手順2のイメージを図3に示す。図中の中央の図形は白で描画した部分を黄色で表示した画像である。

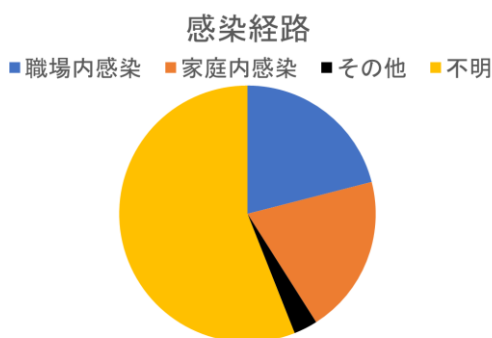


図2 円グラフ読み取りの入力画像例

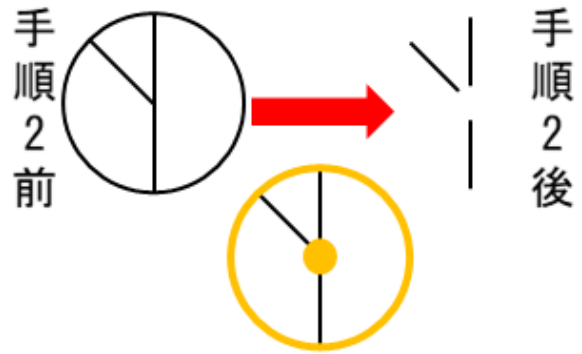


図3 手順2 実行前後変化の概略

手順3: 線分の検出をする。線分の検出によって、円を区切る直線がどこにあるのかがわかる。線分は線の始点と終点のx座標、y座標の4つの整数で変数に記録される。

手順4: 多角形の検出を使い四角形を検出する。

手順5: 文字認識を行い、文字の内容と文字の座標を検出する。このとき、手順1と手順4で検出した円や四角形を白色で塗りつぶすことで、文字認識の誤検出を減らしている。

手順6: 扇ごとに情報を計算する。円と線の情報をもとに円グラフを構成している各扇の大きさと、扇の各画素の色の平均値を求める。このとき、扇の大きさを百分率で求める。

手順7: 凡例の四角形の情報を計算する。四角形の右側に書かれた文字をその四角形の対応する文字列として変数に保存し、四角形と同じ色の扇の凡例の名前とする。

手順6と手順7は円グラフの各要素を網羅するまで繰り返す。

以上の処理により、グラフ中の情報を取得する。

5.2 実験結果

実験では、プログラムが正常に動作しているか実際に画像を入力し、プログラムの実行結果から判断する。判断基準は以下の4点である。

1. グラフの真値とプログラムが読み取った実測値を比較し、極端な差がないこと
2. 数値と項目名の関連付けが正しく行われていること

3. 項目名の記述された場所が画像中のどこにあっても読み上げられること

以上について目標達成しているか検証を行う。

図2の円グラフ画像に対して読み取りを行った実験結果を表4に示す。また、図4、図5として示した別の円グラフに対しても実験を行った。そのときの真値と結果を、図4は表5に、図5は表6に示す。表の左側はグラフ作成に使用した真値であり、右側が測定値である。

真値と測定値を比較すると、どれも誤差は1未満であり、項目名も同じであるため、判断基準1・2は達成できていると考えられる。また、3つの画像を比べると、それぞれ項目名の長さや書かれている場所は異なる。しかし、表を見るとどのグラフも正常に読み取れていることがわかる。このことから判断基準4も問題ないことがわかる。

表4 図2に対する実験結果

-39	10.1	-39	10.047
40-49	21.6	40-49	21.559
50-59	31.3	50-59	31.311
60-69	20.9	60-69	20.885
70-	16.2	70-	16.199

表5 図4に対する実験結果

希望する	30.5	希望する	30.403
どちらかという と希望する	31.9	どちらか という希望 する	31.888
どちらか という希望 しない	14.1	どちらか という希望 しない	14.140
希望しない	7.8	希望しない	7.840

表6 図5に対する実験結果

職場内感染	21	職場内感染	20.960
家庭内感染	20	家庭内感委	19.970
その他	3	その他	2.998
不明	56	不明	56.072

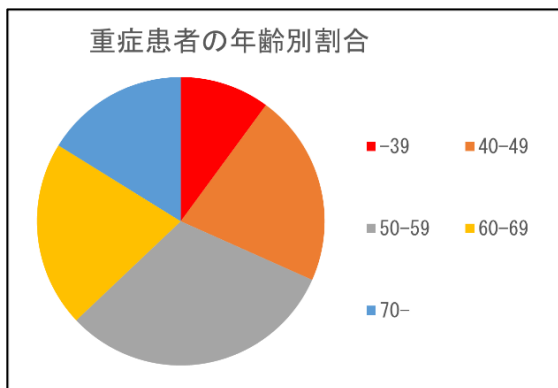


図4 円グラフ読み取りの入力画像例

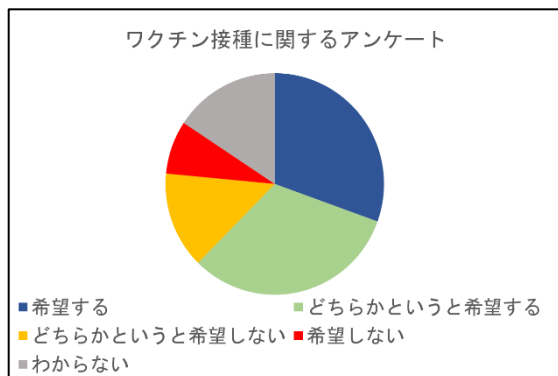


図5 円グラフ読み取りの入力画像例

6 開発環境と使用ツール

6.1 開発環境

開発にはCPUがインテル第6世代 Corei7-6700 プロセッサ(64bit), OSがWindows 10 Homeのパソコンを使用した。また、開発言語にC++を使用し、統合開発環境はMicrosoft社のVisual Studio 2019を使用した。

6.2 使用ツール

本研究では、画像処理や文字認識のために以下の3つのライブラリやツールを使用した。

6.2.1 OpenCV [2]

OpenCVはオープンソースの画像処理ライブラリである。本研究では、画像の入出力・画像変換・特徴解析等を使用した。本研究ではバージョン

4.5.1 を使用した。

6.2.2 Tesseract [3]

Tesseract はオープンソースの光学式文字認識エンジンである。Tesseract はコマンドラインから文字認識を実行でき、100 以上の言語を認識可能である。さらに、実行結果は PDF や HTML, TSV などの形式でファイル出力できる。本研究では、バージョン 5.0.0 を使用した。

6.2.3 nkf Network Kanji Filter [4]

nkf はテキストファイル中の Shift JIS や UTF-8 といった文字コードを相互に変換するソフトウェアである。nkf はコマンドライン上で実行できる。本研究では、バージョン 2.1.5 を使用した。

7 まとめ

本研究では、視覚障害者の統計グラフのアクセシビリティを改善するため、統計グラフの読み取り手法を提案した。画像ファイルから画像処理の特徴検出や文字認識を利用して、グラフ上に表現された情報をテキストに置き換えることができた。また、コマンドによって、グラフ内の特定の情報や統計量を読み上げることも可能である。

棒グラフは、棒の長さや縦軸の目盛りから各棒の表す値から求め、横軸の項目名と関連付ける。また、円グラフは、各要素の大きさを面積比で求め、色の情報をもとに項目名と関連付ける。

実験では数値読み取りの正確性や文字と数値の関連付けを検証した。この実験では、棒グラフ円グラフともに問題なく数値の読み取りと関連付けを行えた。また、四角形のない項目の数値を 0 として処理する機能も正常に動作していることが分かった。円グラフでは、項目名の記載されている位置が画像のどこにあっても問題なく読み取れることも確認できた。

今後の課題として、読み上げ可能なグラフの形

式が少ないことが挙げられる。現在は、棒グラフや円グラフの中のごく限られた形式のものにしか対応していない。そのため、棒グラフや円グラフでも形状によっては読み上げられない画像がある。これを改善するためには、より多くの形式を想定したプログラムが必要である。また、同様の形式であっても、文字が傾いていたり、グラフの塗りつぶしや線がドットになっていたりすると読み取れない。これを解決するためには、特徴解析や文字認識の精度向上のための更なる手法が必要になるのではないかと考えている。

さらに、本研究では、読み上げ用のテキストを画面上に出力することしかできていないので、実際に、音声読み上げソフトと連携した出力結果の読み上げも試してみる必要がある。

参考文献

- [1] Candey, R.M.; Schertenleib, A. M. and Diaz-Merced, W. L. : "Xsonify Sonification Tool for Space Physics", 12th International Conference on Auditory Display, 2006.
- [2] Home - OpenCV
<<https://opencv.org/>>(2022/01/11 アクセス)
- [3] GitHub - tesseract-ocr/tesseract: Tesseract Open Source OCR Engine (main repository)
<<https://github.com/tesseract-ocr/tesseract>>(2022/01/11 アクセス)
- [4] nkf Network Kanji Filter プロジェクト日本語トップページ - OSDN
<<https://ja.osdn.net/projects/nkf/>>(2022/01/13 アクセス)

メッシュ型近距離無線ネットワークの構築支援システム

広島工業大学 織田悦至, 濱崎利彦

株式会社 TCC 香川達也, 濱田一生

Construction support system for mesh-type short-range wireless networks

Hiroshima Institute of Technology, Etsushi Oda, Toshihiko Hamasaki

TCC Co. Ltd., Tatsuya Kagawa, Issei Hamada

1 研究目的

IoT (Internet of Things) 技術が様々なものづくりの分野に貢献している中、スマート農業[1-3]やドローンアグリ[4-6]など、農林業の分野でも官民一体となってセンサネットワークの活用が進められている。一般に、センサネットワークに適用されるトポロジーは、ピアツーピア型、スター型、マルチホップ型、メッシュ型に分類される。このようなセンサネットワークでは、それぞれのトポロジーを活かした動作時間や送信電力の同期などの特性を持つエンドデバイスが推奨されている。

2000年代に入ると、民間の低消費電力無線ネットワーク技術が急速に普及し、アドホックのセンシングモジュールによって100mから1kmの距離でマルチホップ技術が実用化された。このようなアプリケーションは、橋梁などインフラの維持管理やここで注目している農林業など屋外用途にも用いられている。

そこで、本研究の目的は、設置型センサノードのネットワークを構築する際に、実際のシステム構築に先立って、一般ユーザーが必要最小限の中継ノードの位置を示す手段を提供することである。このシステム構築の基本となるのは、保守・管理コストを削減するための低消費電力化の問題である。

ネットワーク全体の寿命という観点からは、消費電力に基づいて各センサノードの通信周波数やデ

ータ量を想定したネットワーク再構成アルゴリズムが検討されている[7,8]。

しかし、エンドユーザの視点では、実際の現場でどのようにしてロバストなセンサネットワークを構築するかを知る必要がある。そこで、テスト機器を用いて実際の通信の安定性を確認しながら、ノードで構成されるネットワークのトポロジーを可視化するツールが報告されている[9]。このツールの問題点は、基本的に予測機能がないことである。

必要なセンサノードの位置はユーザに知られているため、センサノード間の通信安定性、必要な中継ノードの数、対応する中継ノードの位置を予測する必要がある。

そこで我々は、一般の農家において信頼性が高く、費用対効果の高いWSNを構築できるよう、スマートフォンとサーバーを使った支援アプリケーションツールを考えた。この成果の一部は、すでにいくつかの学会で発表してきている。[10-13]。本システムの適用に適したシナリオの例として、日本の典型的な村を選び、最大高低差100mの急斜面にある棚田が500m間隔で多数存在していることを挙げた。現在は森の深さの見込み[14]や稲の成長状態の違いによる植生[15]などを考慮しながら電波伝搬特性への影響を考慮したモデルを適用するアルゴリズムに拡張していつている。

本稿では、従来発表の論文[13]を拡張し、森林や水田地帯における電波伝搬のモデルを実測に基づ

いて適用した例について述べる。第2章では、中継ノードの位置を予測するためのアプリケーションツールの概要を説明する。第3章では、高低差のある地形や森林を想定した場合の LOS(Line of Sight)及び NLOS(Non-LOS)の伝搬距離に基づいた中継ノード配置アルゴリズムについて詳細に説明する。森林や田園での電波伝搬のワーストケースモデルを適用し、さらにフェイルセーフの概念も取り入れたネットワーク構築アルゴリズムに拡張する。第4章では、実際の地形や森林・水田環境を考慮したネットワーク構築の例により、本支援システムの有用性を示す。第5章では、クライアント側でのアプリケーションの利用ステップを示し、最後に第6章で結論をまとめる。

2 センサネットワーク構築支援アプリケーションツールのコンセプト

図1に、本アプリケーションツールのコンセプトを示す。ユーザは、スマートフォンの画面上で、必要なセンサノードと、ネットワーク全体を制御するコーディネーターノードの設定位置を指定する(ステップ1)。これらのセンサノードの位置情報は、共通の4Gキャリアを介してサーバーに転送する。

サーバーは、河川を含むオープンソースの地形情報をもとに、すべてのセンサノードの送信可能範囲を推定し、画像情報をもとに森林や農地の境界地図を自動解析する(ステップ2)。ここで、自動解析ツールは現在開発中であるため、このステップは現時点では手動で行う。

各ノード間の相互の伝送距離関係に基づいて、各ノードは必要に応じて1つ以上の追加の中継ノードと直接リンクする。ノード間の LOS または NLOS の状態を決定することは、最適なモデルの選択(ステップ3)に関係するため、ネットワーク構築のための最も重要な作業である。そして、最終的に結ばれたネットワークの2次元あるいは3次元地図データをスマートフォンのディスプレイに転送する(ステップ4)。

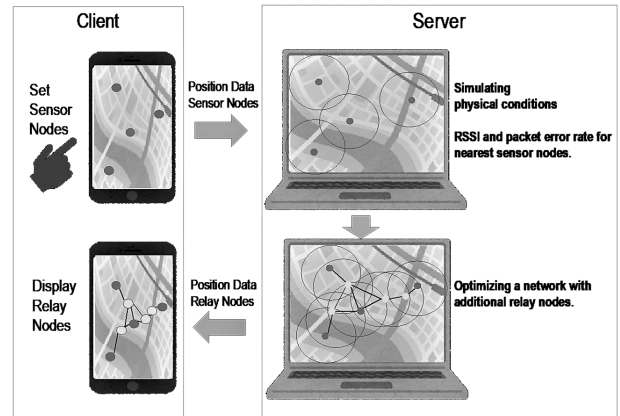


図1 アプリケーションシステムの動作図

起伏のある地形における森林を介した中継ノードによるセンサネットワーク構築アルゴリズム

ここでは、仮想的に設定された地形を用いて、中継ノードを備えたセンサネットワークを構築するアルゴリズムを述べる。谷間に川が流れる水田や、森林が広がる水田などの地形を想定している。あらかじめ、特徴的な場所に6台のセンサノードが設置されている。地図上のメッシュの交点の間隔は5mで、各交点には位置座標、高度値、空間情報(開けた場所、水田、森林)が関連付けられている。2.4GHzと920MHzそれぞれに対して、すべてのメッシュ交差点において、各センサノードからのRSSIの劣化をシミュレーションする。

3.1 クラスタ内のネットワーク接続

図2にクラスタ内のネットワーク構築の流れを示す。まず、(a)に示すように、すべてのセンサノードの送信範囲を求める。各センサノードにおける電波の伝搬特性を以下に示す。

ノードA: 森林のある平らな水田

ノードB: AとCの間の伝送範囲内

ノードC: 川のある棚田

ノードD: 水田の棚田

ノードE: 森林のある水田

ノードF: 森林のある平らな水田

各センサノードからのRSSIの劣化は、すべての

メッシュの交点でシミュレートされ、送信エリアは前章で示した概念によって定義される。

次に、(b)に示すように、隣接する送信範囲の間で重複する領域を探索する。各センサノードの送信範囲が2つ以上重なっている場合、その集合をここではクラスタと定義する。したがって、ここで示した例は、3つのクラスタに分けられる。 $\{A, B, C, D\}$, $\{E\}$, $\{F\}$ の3つのクラスタに分けることができる。

ノードAとB、ノードBとCのように、隣接する2つのセンサノードが互いの通信範囲内にある場合、これらのノード間に対応するリンクが作成される。第3段階では、図(c)に示すように、クラスタ内の残りのオーバーラップ領域に中継ノードを配置する。(c)に示すように、クラスタ内の残りのオーバーラップ領域に中継ノードを配置し、オーバーラップ領域の隅と残りのセンサノードとの間のすべてのRSSIを比較する。

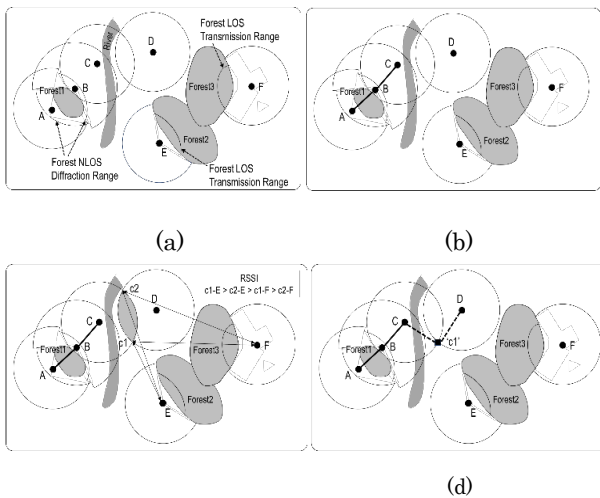


図2 クラスタ内のネットワーク構築手順を示す模式図。初期の伝送範囲シミュレーション (a)、3つのオーバーラップした伝送エリアを結ぶリンク (b)、RSSI比較手法 (c)、中継ノードを導入して新たなオーバーラップエリアを作るリンク (d)。

この比較を行うことで、より堅牢な通信を保証することができる。この例では、 $c1-E > c2-E > c1-F > c2-F$ という関係になり、 $c1$ の位置に中継ノードを配置することになる。そして、(d)に示すように、隣接するノードCとDは、中継ノード「 $c1$ 」を介して接続することができる。

3. 2 クラスタ間のネットワーク接続

続いて、新たに配置された中継ノード「 $c1$ 」の送信範囲をシミュレーションし、オーバーラップ領域を特定するために新たな探索を行う。この例では、図3 (a)に示すように、「 $e1$ 」-Fと「 $e2$ 」-Fの場合について、この処理を繰り返す。この処理をもとに、図3 (b)に示すように、新たな中継ノード「 $e1$ 」が追加される。

中継ノードを含むノード間で送信範囲の重複がなくなった場合、残りのセンサノードと他のノード間のRSSIを比較し、それぞれの送信範囲のエッジ(またはリム)を定義する。ここで、Forest2と3はクラスタ間に位置しているため、通信強度が低下していることに注意が必要です。仮にForest2、3が平地であった場合、図2のケースのように、 $d1-f1$ 、 $e3-f2$ 間のRSSI劣化量(この場合は距離)と、送信範囲の最短の縁を比較することになる。その結果、 $d1-f1$ のRSSIが $e3-f2$ のRSSIよりも良いと判断され、図3 (d)に示すように、ノードDから追加の中継ノード「 $d1$ 」、「 $f1$ 」を経由してノードFに至る経路でクラスタが接続される。

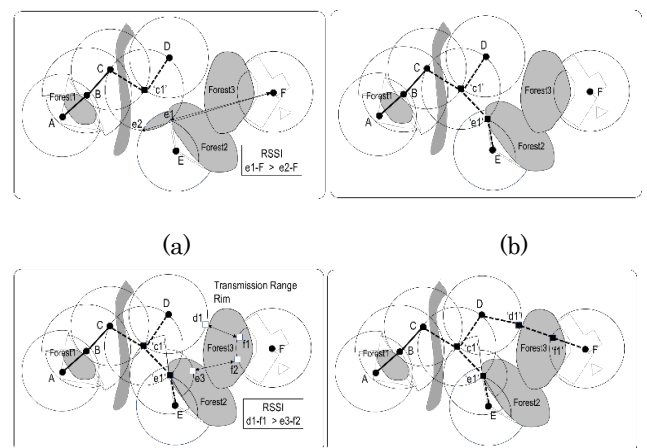


図3 中継ノードを追加した場合のクラスタ間のネットワーク構築手順を模式的に示す。RSSIの比較 (a)、中継ノードを導入したクラスタ間リンク (b)、送信範囲のRSSI比較ステップ (c)、複数の中継ノードを導入して作成したクラスタ間のリンク (d)を示す。

3.3 フェイルセーフを取り入れた中継ノードの設置コンセプト

ここまでは、ノード数を最小にするための設計フローを説明した。図3(d)の結果に示すように、中継ノード‘c1’を除くすべてのノードは、1本の接続線で隔てられている。このネットワークでは、あるノードで電池切れや事故などの通信障害が発生した場合、そのノードが通信不能になった後も、すべてのノードが連鎖的に接続されたままになります。そのため、それぞれのノードから所定の距離内に追加の中継ノードを配置するフェイルセーフ対策が施される。

すでに手順で述べたように、クラスタを接続する際には、最も近い接続された送信エッジ(リム)のRSSI強度を比較する。図4に示すように、副ライン‘c1’-‘e2’、‘e3’-‘f2’を追加すれば、信頼性を向上させることができる。クラスタ内では、交差する伝送範囲リム‘a’と‘c2’から、相互に接続された伝送範囲リムの1つを選択することができる。

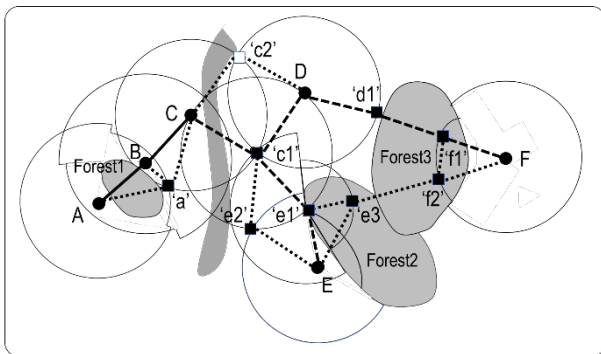


図4 フェイルセーフを指向したネットワーク設計の概念図。

4 起伏のある地形における森林を介した中継ノードによるセンサネットワーク

ベンチマークには広島県山間部の志和地域を考えた。この地域の稲作の特徴として、傾斜地の標高と日照の違いにより、3種類の米が栽培されていることが挙げられる。モニタリングのためには、

代表的な場所、特に丘陵地の近くにセンサノードを設置する必要がある。平坦地では、2.4 GHzと920 MHzでネットワークの配置に違いはない。そこで、森林を囲むように水田や棚田が配置されている傾斜地に着目し、伝搬の違いを確認した。図5では、森の部分濃いグレーで示す。棚田での中継ノードとクラスタ間の接続に明らかな違いがある。図5の2.4 GHzでは、森林を迂回するように中継ノードを追加してクラスタを接続し、森林内の長距離でのRSSIの劣化が考慮されている。

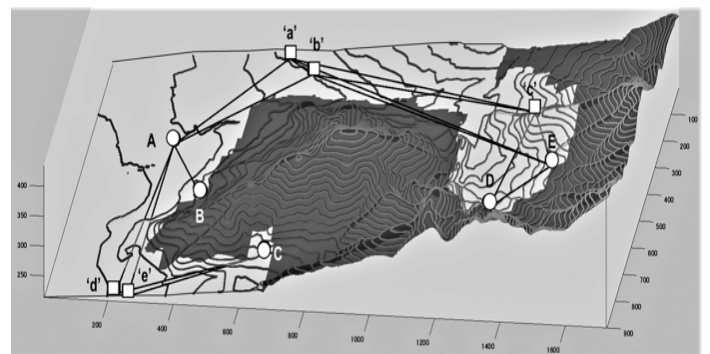


図5 2.4GHzのセンサノード接続連携シミュレーション例。丸と四角で示したノードは、それぞれセンサノードと中継ノードである。

920 MHzでは、図6に示すように、棚田のエッジや森林を超えて接続されている。フェイルセーフの観点から、920 MHzでは追加する中継ノードの数を減らし、2.4 GHzではより多くの中継ノードを追加していることがわかる。

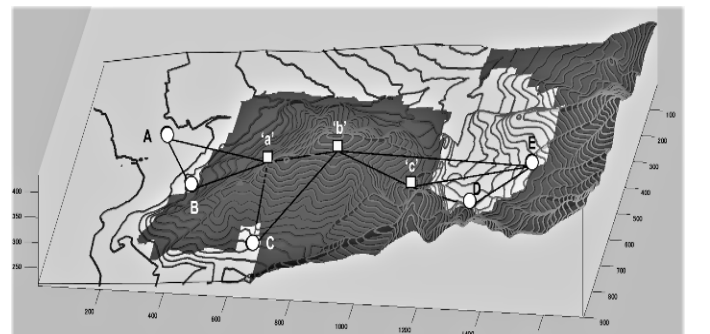


図6 920 MHz場合のセンサノード接続連携シミュレーション例。丸と四角で示したノードは、それぞれセンサノードと中継ノードである。

5 クライアント側の表示

クライアント側では、以下の手順で操作を行う。

- 1：検索ボックスに地名を入力し、対象地域に移動する。
- 2：地図上で2点を指定し、検証を行う範囲を指定する。
- 3：地図上にノード（コーディネータ、ルーター、エンドデバイスの3種）を設置し、サーバーへ入力情報が送信されます。（図7）
- 4：ネットワークシミュレーション及びマッピングを実行する。
- 5：サーバーから取得した新しいルーターノードを設置していない中間結果の伝送可能範囲とノードの接続情報を表示する。（図8）
- 5：サーバーから取得した最終結果の伝送可能範囲とノードの接続情報を表示する。（図9）
- 6：最後に航空写真に標高データを貼り付けた3Dモデルも同時に見せることでより地形を理解しやすいようにしている。（図10）



図7 地図にノードを設置して表示

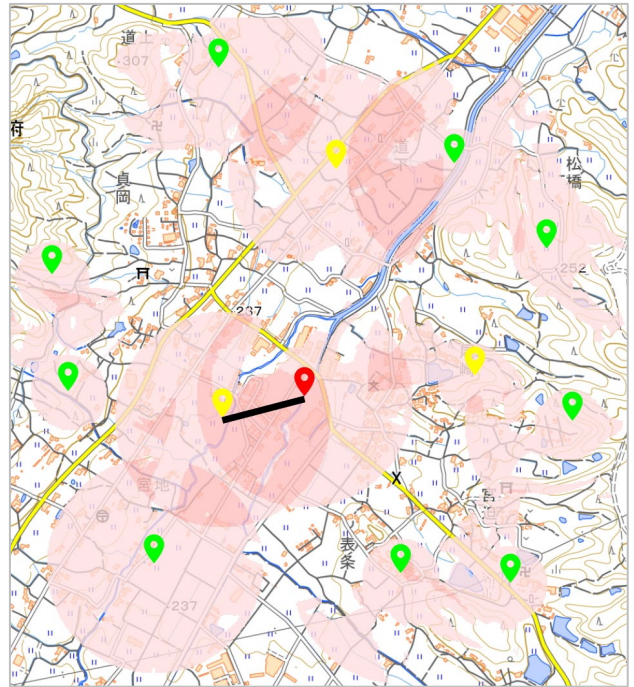


図8 新しいルーターノードを設置していない中間結果のシミュレーション結果の伝送可能範囲とノード間の接続情報を表示

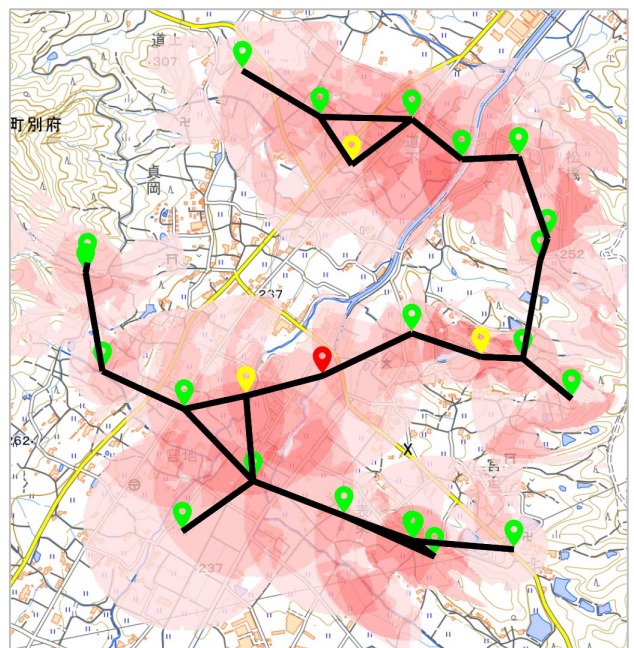


図9 最終のシミュレーション結果の伝送可能範囲とノード間の接続情報を表示

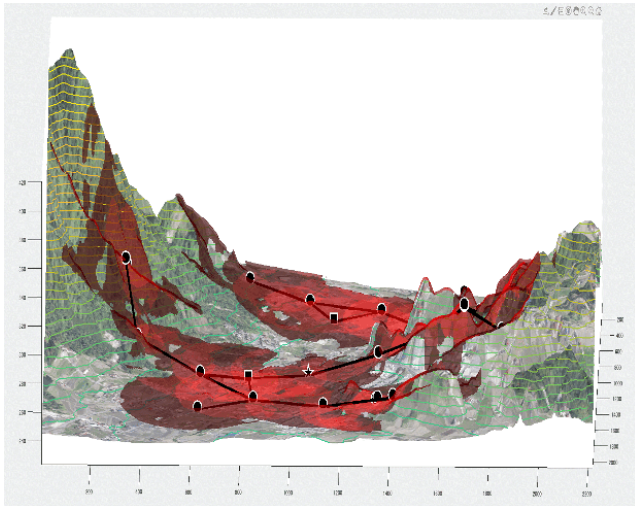


図10 航空写真に伝送可能範囲とノード位置、接続可能情報を表示した3Dモデル

6 結論

農林業におけるアドホック WSN の設計・展開を支援するための概念的なツールを提示し、実際の地形・環境データを基にその運用結果を示した。この設計ツールを用いて、適切な数の中継ノードを経済的に追加することで、森林で隔てられた複数の水田地帯を結ぶネットワークを構成できることが示された。今回開発した構成アルゴリズムは、各ノードのフェイルセーフを考慮した上で、中継ノードを容易に配置できるという点で大きなアドバンテージがあると考えている。今後の課題としては、送受信機の高さも設計パラメータとして考慮したツールを作成するためのアルゴリズムを開発すること、地形情報(建物、森林、道路等)をデータ化する事とデータとの照合である。今回発表したツールの利点は、森林や農村部での実測で検証された電波伝搬モデルを使用していることである。さらに、伝搬モデルの高さ依存性の精度を植生、反射、回折などで向上させるプロジェクトを計画している。

参考文献

- [1] Smart agriculture, <https://smart-agriculture.org/>
- [2] North American climate smart agriculture, <https://www.nacsa.net/>
- [3] White paper, "Food, Agriculture, Rural", 2018, 2019, 2020, Japan, Ministry of Agriculture, Forestry and

Fisheries.

- [4] Federal Aviation Administration, <https://www.faa.org/news/faa-proposal-would-ground-drones-for-many-farmers-ranchers>
- [5] American Farm Bureau Federation, <https://www.agfoundation.org/>
- [6] A. K. Saha, J. Saha, R. Ray, S. Sircar, S. Dutta, S.P. Chattopadhyay, H.N. Saha, "IOT-based drone for improvement of crop quality in agricultural field," in *Proc. 2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)* Las Vegas, 8-10 Jan. 2018.
- [7] Z. Cheng, M. Perillo, and W.B. Heinzelman, "General network lifetime and cost models for evaluation sensor network deployment strategies," *IEEE Trans. Mobile Computing*, Vol.7, No.4 April 2008, pp. 484-497
- [8] C.F. Wang and J.W. Ding, "The optimum sensor redeployment scheme using the most frangible clusters set," *Computer Communications*, Elsevier, vol.31, 2008, pp.3492-3502.
- [9] Y. Nishimura, M. Yoshida, and K. Yoshihara, "Development of sensor node installation support tool, (in Japanese)" *IEICE Communication Society Magazine*, vol.8, no.1, 2014, pp39-45.
- [10] 織田悦至, 河内洗貴, 濱崎利彦, "ワイヤレスセンサネットワーク構築支援アプリケーション, -最適な中継ノード設置-, "コミュニケーションクオリティ研究会, 電子情報通信学会, CQ2020-35, 9月2020.
- [11] 織田悦至, 河内洗貴, 濱崎利彦, "ワイヤレスセンサネットワークの最適中継ノード設置支援アプリケーション," 電気・情報関連学会中国支部連合大会, R20-10-01-01, 10月2020.
- [12] 織田悦至, 河内洗貴, 濱崎利彦, "ワイヤレスセンサネットワーク構築支援アプリケーション, -RSSI予測モデル式の推定-, "短距離無線通信研究会, 電子情報通信学会, SeMI2020-18, 11月2020.
- [13] E. Oda, K. Kawauchi, and T. Hamasaki. "Support application for configuring optimal relay nodes in wireless sensor networks," *Proc. 2021 IEEE Topical Conference on Wireless Sensors and Sensor Networks*, San Diego. 306-IX676, 2021.
- [14] T. Tokunou, R. Yamane and T. Hamasaki. "Near earth propagation loss model in forest for low power wireless sensor network," *Proc. of 2017 USNC-URSI Radio Science Meeting*. San Diego.
- [15] D. Kuramoto, T. Tokunou and T. Hamasaki, "Vegetation effect in paddy field for a wireless sensor network," *Proc. of 2018 USNC-URSI Radio Science Meeting*, Boston.

広島湾における牡蠣養殖場のクロロフィル濃度分布

広島工業大学 磨 有祐実, 赤城 大吉, 濱崎 利彦

Distribution of chlorophyll concentration in oyster farms in Hiroshima Bay

Hiroshima Institute of Technology Ayumi Togi, Daikichi Akagi, Toshihiko Hamasaki

1 はじめに

海域に生息する植物プランクトンは海における食物連鎖の土台である。広島湾では牡蠣養殖が盛んにおこなわれており、牡蠣の餌である植物プランクトンの量の把握は、牡蠣いかだの位置決定に重要である。

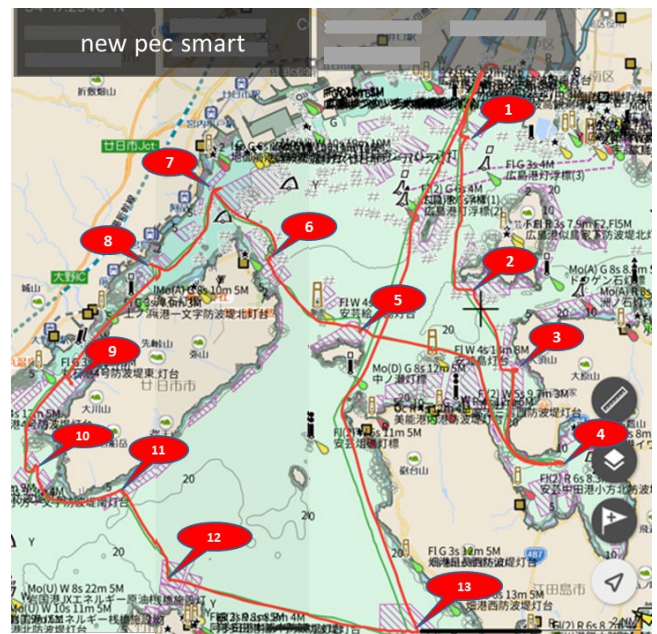
植物プランクトン量の把握にはクロロフィル a 濃度が用いられる。クロロフィルは葉緑素とも呼ばれ、特にクロロフィル a はすべての藻類に含まれている。Morel(2001)らの研究により、クロロフィル a 濃度と浮遊(藻類および非藻類)粒子による可視光スペクトル吸収の変動はそれぞれの波長に対して関連付けられている[1]。我々はこの手法を応用し、牡蠣筏周囲に直接設置可能なカメラ搭載の小型ブイの開発を進めてきている[2]。ここでは、その機構のリファレンスとして広島湾の牡蠣養殖場のクロロフィル a 濃度を測定し、その季節による変動の傾向を見出すことを目的に測定・分析を行った結果について報告する。

2 実験

2020年12月、2021年3,5,7,8,10,11月の計7回、広島湾沖の海域13地点(図1)にて、クロロフィル a 濃度の測定を行った。これまでもほぼ同じ海域において、第六管区海上保安部海洋情報部によるクロロフィル濃度の測定が巡視船を用いて定期的に行われてきている[3]。これに対して、我々は上記の通り牡蠣筏に直接設置することを目的として、水深10m程度の牡蠣筏設置場所も含めた牡蠣筏設置エリアでの測定を行なった。

観測時間帯は9時から15時の間である。海表面の海水を採取し、クロロフィル a 濃度は笠原理化学工業株式会社製 CHL-30N を使用して測定した。

測定バラツキは濃度が高いほど大きくなるので、一度採取した海水を5回測定し、海水を入れ替えて同様に5セット測定することで、1地点につき25回分のクロロフィル a 濃度センサ値を取得した。図1において、測定海域の番号は測定した順番を、それを結ぶ赤い線は測定のために移動した航路を示している。



3 分析

各地点でのクロロフィル a 濃度を、測定日別に図2に示す。同じ観測日でも、地点によってクロ

クロロフィル a 濃度は大きく違うことが分かる。

大黒神島北部の地点 13 は稚貝を採取する地点であり 1 年を通してクロロフィル a 濃度の変化が少ない。廿日市本土と宮島を挟む海岸部 7, 8, 9 は河川からの陸地栄養分の流入により高いクロロフィル a 濃度を示している。また、宮島西域の 10, 11 は一年を通じてやや波浪は高いが水深は浅く比較的高い濃度を示している。また、沿岸からやや離れた阿多田島の養殖海域(地点 12)では、やはり濃度は低めとなっている。この海域は西風による波浪が岩国沖から直接伝搬してくるので、波の高さも格段に高くなる事が原因と考えられる。

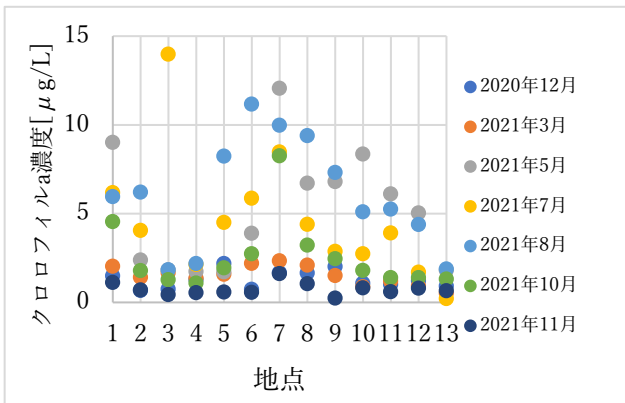


図2 各地点でのクロロフィル濃度

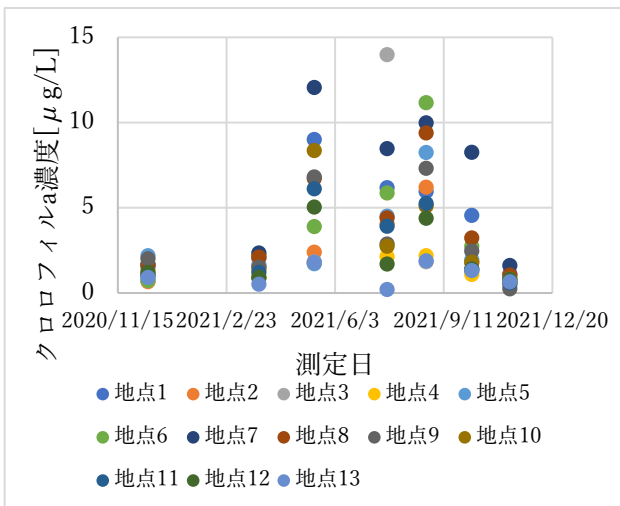


図3 測定日ごとのクロロフィル濃度

図3に各測定日でのクロロフィル a 濃度を、地点ごとに示す。12月と3月、11月のクロロフィル a 濃度はどの地点でも低い値であり、5月から

10月にかけては地点によって差が大きい。これらの事から、11月から3月の秋から冬にかけてクロロフィル a 濃度は全体として低く、6月から8月頃に増加のピークを迎えていることが分かる。またクロロフィル a 濃度の増減は地点によって異なることも分かる。

4 考察

データは 2021 年のデータのみであり、平均的なクロロフィル a 濃度の季節と地形との関係を把握するには不十分だが、大凡の傾向として一年のうち 11 月から 3 月にかけての冬の間は植物プランクトンが少なく、地点によって 6 月から 8 月頃に増加のピークを迎えると考えられる。

また、一年を通してクロロフィル a 濃度が著しく低い海域があることも分かった。

5 おわりに

本研究では牡蠣の餌となる植物プランクトンの量を把握するために指標として使用されるクロロフィル a 濃度に着目し、広島湾の牡蠣養殖場におけるクロロフィル a 濃度値を測定した。クロロフィル a 濃度には地点ごとに季節による変化の特徴だけでなく、水深の影響もあることが判明した。

今後は深さを含めたクロロフィル a 濃度データをより長期間測定し、地点ごとの特徴を分析することで、より効率的な牡蠣養殖に生かせると思う。また、潮の流れを含めた分析も有効であると思う。

参考文献

- [1] A. Morel and S. Maritorena, “Bio optical properties of oceanic waters”, Journal of Geophysical Research, Vol. 106, NO. C4, PAGES 7163–7180, April 15, 2001.
- [2] 松本亜弓, 赤城大吉, 濱崎利彦, “内海養殖 IoT 向け複合センサブイの開発”, 2020 IEEE SMC Hiroshima Chapter 若手研究会, オンライン, July 2021.
- [3] 第六管区海上保安部海洋情報部 広島湾の水質情報
https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN6/2_kai_syo_new/suishitu/hiroshimawan.html

海面撮影画像を用いたクロロフィル濃度観測装置

広島工業大学 赤城 大吉、濱崎 利彦
株式会社シリウス1 尾首俊幸

Chlorophyll concentration observation device using sea surface images

Hiroshima Institute of Technology Daikichi Akagi, Toshihiko Hamasaki
Sirius1 Co., Ltd. Okubi Toshiyuki

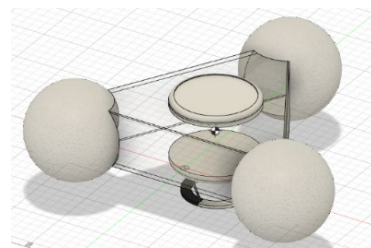
1 はじめに

海域に生息する植物プランクトンは、牡蠣養殖などの無給餌養殖業において餌とされる。そのため養殖業者にとって植物プランクトン量を把握することは重要であると言える。植物プランクトンの量的情報の指標としてクロロフィル濃度が用いられる。Morelらの研究によりクロロフィル濃度と浮遊粒子によるスペクトル吸収の変動は、それぞれの波長に対して関連付けられている[1]。また従来機器として対象に光を当てた蛍光反応からクロロフィル濃度がわかるクロロフィルセンサが開発されている。しかしクロロフィルセンサは高価で測定対象を現地にて採取する必要がある。

このことから我々はカメラモジュールを用いて安価にクロロフィル濃度をセンシングする事を目指す。画像を用いたクロロフィル濃度をセンシングする手法の一つとして衛星を用いたリモートセンシングが挙げられる[2]。リモートセンシングでは衛星画像を用いることで広域での観測が可能となる。しかし、衛星画像によるクロロフィル濃度のセンシングは画像の撮影タイミングによって雲がノイズとして影響してしまうことがある。そこで本研究では、センサやカメラモジュールを搭載したブイで海洋情報のセンシングを行うとともに、クロロフィルセンサを用いてクロロフィル濃度を測定した。その後、取得したデータの関係性から海面撮影画像を用いたクロロフィル濃度の推定を行った。

2 試作ブイ

今回の実験で使用した機器として、アクリル板と発泡スチロールを用いてブイを試作し、その中にカメラモジュール(SONY IMX219PQ)、加速度センサ(ADXL345)、水温センサ(DS18B20)を接続したRaspberry Pi Zero WHと動作電源として用意したモバイルバッテリーを搭載した。試作ブイの概略を図1に示す。



試作ブイの概略

3 実験

実験は、2020年12月、2021年3月、5月、7月、8月、10月、11月に広島湾沖の海域13地点にて観測を行った。クロロフィル濃度は、現地にて海水を採取、笠原理化学工業株式会社製CHL-30を使用し測定を行った。また測定値のばらつきを考慮して、一度採取した海水で5回の測定を行う。そして海水を入れ替え5セット続けることで、1地点につき25回分のクロロフィル濃度を測定している。海面画像の撮影は海にセンサブイを浮かべ、Raspberry Pi Zero WHにあらかじめ用意していたプログラムを動作させることで1地点につき20

枚の画像データ、加速度データ、水温データを取得した。図2に撮影した画像の一例を示し、図3にセンサブイの動作風景を示す。

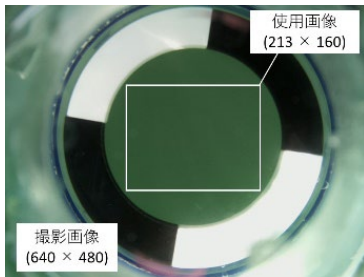


図2 撮影画像



図3 センサブイ動作風景

4 クロロフィル濃度推定式

クロロフィル濃度推定式は、上記の実験により取得したクロロフィルセンサによる測定結果とカメラモジュールで撮影した海面画像から得られた可視光スペクトルの分布に対して指数近似を行うことで推定式の導出を行った。推定式導出の際に使用した可視光スペクトルとして図2に示す海面撮影画像にトリミングを行った使用画像のRGB値であるBとRを用いている。図3にクロロフィル濃度とBの分布、図4にクロロフィル濃度とRの分布を示す。

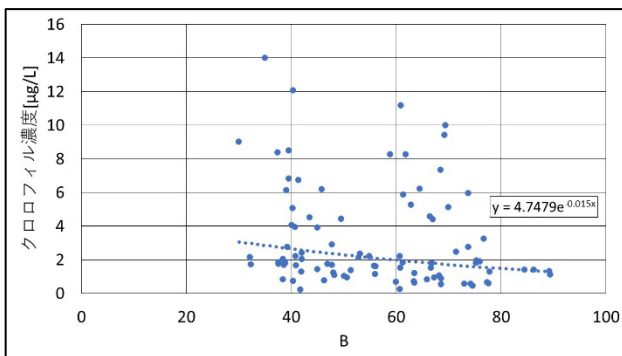


図4 クロロフィル濃度とB分布

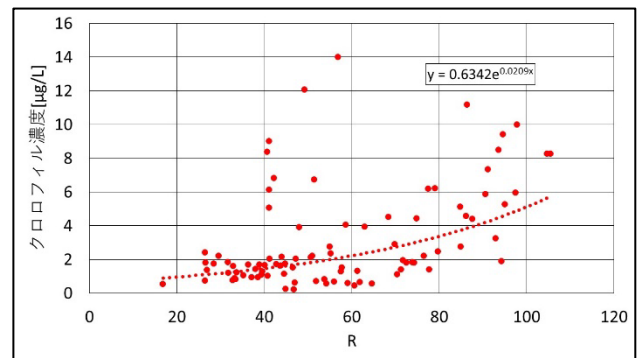


図5 クロロフィル濃度とR分布

図4と図5で示した分布に指数近似を行うことで式(1)、式(2)を導出した。式(1)のBや式(2)のRは使用画像内のRGB値のことである。

$$(Chl [\mu g/L] = 4.7479e^{0.015B}) \quad (1)$$

$$(Chl [\mu g/L] = 0.6342e^{0.0209R}) \quad (2)$$

5 結果

図4、図5で用いたクロロフィル濃度と使用画像のRGBの値であるB、Rを使用することによって、式(1)と式(2)のクロロフィル濃度の推定精度に対する検証を行った。検証を行った際のクロロフィル濃度の実測値と推定値の差であるMAE(平均絶対誤差)を表1に示し、クロロフィル濃度の最大値と最小値、式(1)と式(2)から算出した推定値の最大値と最小値を表2に示す。またクロロフィル濃度と式(1)および式(2)より算出した推定値の箱ひげ図を図6に示す。

表1 検証時のMAE(平均絶対誤差)

	式(1)	式(2)
MAE	2.01	1.68

表2 クロロフィル濃度と推定値の最大値・最小値

	max	min
CHL	13.98	0.20
B	3.03	1.24
R	5.76	0.90

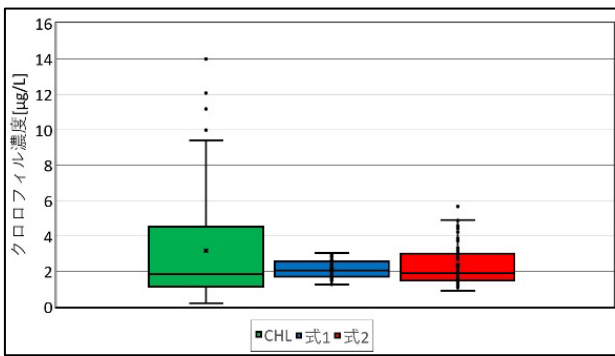


図6 クロロフィル濃度と推定値の箱ひげ図

6 考察

表1より、クロロフィル濃度の推定精度はMAEが低いという点から式(1)よりも式(2)の方が高いことがわかる。式(1)よりも式(2)の推定精度が高いことの要因分析として測定したクロロフィル濃度と使用画像のRGB値の相関係数を算出した。測定したクロロフィル濃度と使用画像のRGB値の相関を表3に示す。表3の結果からクロロフィル濃度の推定精度は相関係数の強さに関係していると考えられる。

表3 クロロフィル濃度とRGB値の相関

	B	G	R
CHL	-0.21	0.11	0.47

2、図6より式(1)と式(2)のどちらともクロロフィル濃度が6 µg/L以上の値を推定できていないことがわかる。要因としてはクロロフィル濃度が高い値と低い値のデータ数に偏りがあるためだと考えた。図4や図5で使用しているデータの点数は91点ある。その中でクロロフィル濃度が6 µg/L以上の値は16点だった。また推定式の導出で行った指数近似が最小二乗法をベースに行われていたことから、導出した推定式がクロロフィル濃度の低い値に影響を受けていると考えられる。

7 おわりに

本研究では、カメラモジュールで撮影した海面画像を用いることでクロロフィル濃度の推定を行った。結果からクロロフィル濃度と撮影画像の

RGB値との相関関係を確認することができた。またクロロフィル濃度と撮影画像のRGB値の分布から指数近似により導出した推定式ではクロロフィル濃度が6 µg/L以上の値を推定することができないことが明らかになった。今回明らかになった課題として使用している画像のRGB値のばらつきが大きいことそしてクロロフィル濃度が高い地点のデータが少ないことが挙げられる。今後は画像のRGB値のばらつきを考慮した撮影や分析を行っていくことや継続的に実験を行いクロロフィル濃度が高い地点のデータを増やすことでクロロフィル濃度の推定精度を高めていく。RGB値のばらつきを考慮した分析には、図2の撮影画像に写る白黒のリングの値を反映させることで天候や時間帯による明るさの違いを考慮した分析を行う。クロロフィル濃度が春季や夏季に高い値を見せる[3]。今後の実験は行う日程を調節しクロロフィル濃度が高くなる時期に焦点を当てた計画を立てていく。以上のことを進めると同時に海洋情報に対する理解を深めることで観測機器の完成度を高めていく。

参考文献

- [1] A. Morel and S. Maritorena, "Bio-optical properties of oceanic waters: A reappraisal" J. of Geophysical Research, Vol. 106, No. C4, pp. 7163-7180, April 15, 2001.
- [2] Y. Oguro, T. Konishi, S. Ito and C. Miura, "An Estimation Method of Appropriate Chlorophyll-a Concentrations via the Linear Combination Index for Sentinel-2/MSI Data in Hiroshima Bay", Proc. 42nd Asian Conference on Remote Sensing (ACRS), ACRS21-094, 10 pages, online (November 2021).
- [3] 山口峰生, 今井一郎, 松尾豊, "広島湾における植物プランクトンの現存量と光合成速度の季節変化", 南西水研研報, No. 28, pp. 63-72(1994)

ビル内を移動するロボットの屋内測位システム

広島工業大学 山田一稀, 大谷幸三

An Accurate Indoor Positioning System for Mobile Robot

Hiroshima Institute of Technology Kazuki YAMADA and Kozo OHTANI

1 はじめに

近年、日常の様々な社会活動において、労働者の仕事を効率化あるいはロボットに代替させるために、ICT (Information and Communication Technology) を利用した RoboticBase と呼ばれるプラットフォームを構築する流れがある(図1)。そこでは、オフィスビルや商業施設などの屋内で清掃や点検、警備、搬送などを行う各種ロボットの活躍が期待されている。そのようなサービスロボットの普及拡大を図るためには、ビル内におけるロボットの位置を安定的に検出する技術(BPS: Building Positioning System)が必要不可欠となる。しかし、現状屋内でロボットの位置を測位する技術は、利用する媒体や測位原理によって精度やコストが異なり、GPS(Global Positioning System)のように高精度で安定した方法が確立されていない。また、セキュリティの観点からロボットにカメラを搭載した画像計測の導入が困難であり、さらにLiDARなどのセンサを多用するとロボットが高コスト化するという問題がある。そこで本研究では、ビルの床や天井、側壁などに埋め込んだ安価な無線タグの電波強度や伝搬時間をもとに、必要最小限のセンサを搭載したロボットが自己位置を推定することを前提条件として利用可能な技術を検討した。

2 屋内測位の概要

BPS で用いられる媒体もしくは要素技術には複数の手法が存在する。

(1) WiFi

既知の位置にある複数の WiFi アクセスポイント

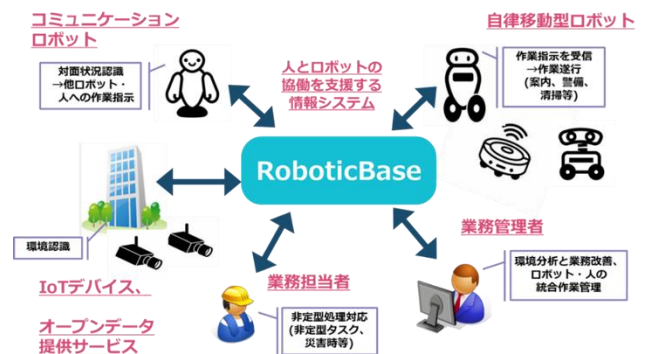


図1 RoboticBase[2]

(周波数帯)までの電波強度から、現在位置を推定する。WiFi アクセスポイントは既に多くの場所に敷設されているため追加設備コストを抑えられるが、BLE と比べて測位精度が劣る。

(2) BLE (Bluetooth Low Energy)

既知の位置にある複数のビーコン (Bluetooth 電波発信端末) までの電波強度から、現在位置を推定する。ビーコンは小型かつ省電力であるため柔軟な設置が可能であるが、電波の干渉および反射によって精度が悪化する場合もある。コストの精度のバランスに優れている。角田の研究[3]では、BLE を利用したビーコン「iBeacon」を用い、室内での測位実験を行なったが、電波反射の影響や分解能の問題から高精度な測位はできなかった。

(3) SmartFinder(BLE の応用)

SmartFinder(屋内位置情報プラットフォーム)[4]は、関西大学環境都市工学部で研究開発された革新的な屋内測位技術をクラウドシステム化したものである。アンカーデバイスとタグ、サーバで構成されており、サーバにおいて自己組織化アルゴリズム(SOL: Self-Organizing Localization)に

より測位端末間の通信関係から位置を推定する。従来のビーコン（図 2.10）の課題である測定エリアへの大量の定点ビーコンの設置と維持管理コストを抑えるため、定点ビーコンを最小の3つとし、測位対象のネットワークの隣接関係から測位する。測位対象が多くなればなるほど精度が上がる。また、特別な知識やノウハウなしで導入可能で、位置の決まっていない多数のデバイス用いて位置推定を行うこともできる。間島の研究[5]では SmartFinder を用い、通路の測位を行なったが、1 m ~5 m 程度の大きな誤差が測位された。本研究のニーズに合う環境では高精度な測位ができなかったため、違うアプローチでの測位や他の要素技術との組み合わせが必要になる。

(4)UWB(Ultra Wide Band)

30 m 程度の間隔で設置したセンサのうち、最低 2 台のセンサから発信された UWB 信号の到達時間差と入射角度を利用して測位する。UWB 受信専用タグが必要であり現時点では高コストであるが、量産化に適したデバイスの開発は進んでおり、屋内測位精度は数 10 cm 程度である。

その他の手法としては、GPS 衛星と同じプロトコルの信号を発信する IMES 送信機を屋内に設置し、各 IMES 送信機に設定された緯度・経度・高さ情報を読み取って位置推定を行う IMES や、超音波を発するスピーカーを屋内に複数設置し、移動体に取り付けたマイクで集音することにより、現在位置を推定する超音波等がある。

以上のように、既存の技術は基本的に発信機(基地局)と受信機(移動体)を組み合わせ、媒体の受信強度や到達時間などから位置を算出するものであり、媒体の違いやデバイスの配置によって精度やコストが異なる。サービスロボットの自己位置推定を想定した場合、BPS には位置精度が 0.3 m 以内であること、リアルタイム性が高いこと、3次元測位が可能であること、小型・軽量・安価・低消費電力であることなどが求められる。さらに、RoboticBase の観点から BIM(Building Information System)等の建物情報とロボットが移動する現実空間の環境情報を連携できることが

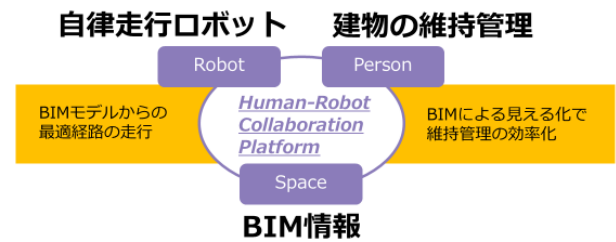


図 2 BIM のイメージ[6]

望ましい。

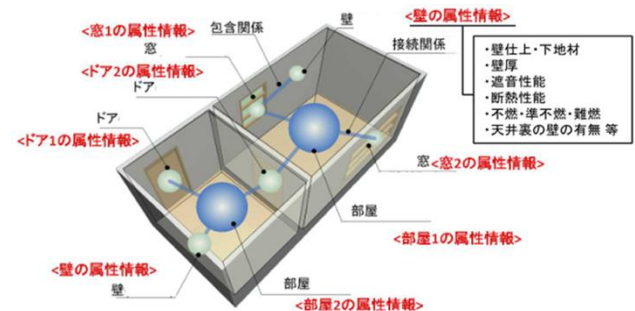


図 3 Human-Robot Collaboration Platform[7]

3 BIM による建築業界の ICT 化

現在、建築業界では 2DCAD を用いた 2 次元の図面で作られた設計図が主流である。2DCAD に代わり生まれた設計手法が BIM(Building Information Modeling)である。BIM では図面を三次元で扱うことができ、壁や設備等に属性情報を与えられるなど、図面に様々な付加価値を与えられるシステムとなっている。近年では、建物を構成する様々な要素に属性を与えられることを利用し、IoT・AI 技術などの ICT 化への取り組みも行われている。本研究でも BIM のような技術を活用し、位置測位を行うタグを BIM に属性情報として与え、画面上に表示した地図からロボットの移動指示や位置表示等を行うことを目標としている。本研究でもこの技術を活用し、位置測位用タグの属性情報を BIM に与え、画面上に表示した地図からロボットの移動指示や位置表示等を行うことを目標としている。このようなシステムの開発することで、将来的にはビルでの資材搬入、病院での病院食搬入など人間にかかる負担緩和や

省人化に期待できる。

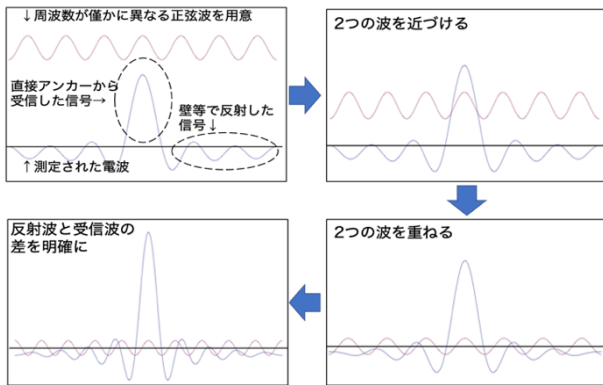


図4 ハイゼンベルクの不確定性原理[8]

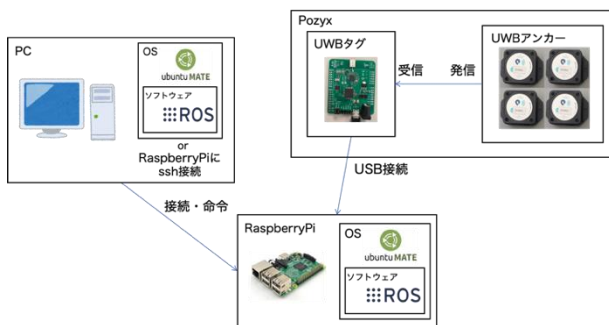


図5 実験環境

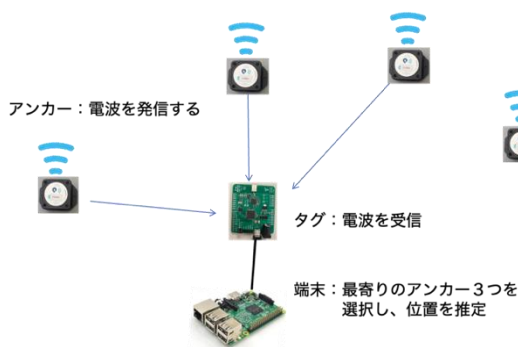


図6 Pozyxによる三点測位

4 選定した測位手法の概要

4.1 UWBによる測定原理

本研究では、BPS に対する要件を満たす候補技術として、UWB を選定した。UWB とは、短距離、広帯域通信を目的とした無線技術のことで、数 10 cm 程度の精度で測位できるため、BLE 等と比べると圧倒的に測位精度が高いという利点がある。専用の電波発信機(アンカー)と受信機(タグ)を用意し、アンカーからの電波飛行時間(Time Of

Flight, TOF)を電波の速さ(光速 $c=3.0 \times 10^8 \text{m/s}$)で割ることで 2 つの端末間の距離を求めることができる。

$$d = TOF / c$$

発信されるパルス波を検知するために、図4に示すハイゼンベルクの不確定性原理を用い、周波数が僅かに異なる複数の正弦波信号を組み合わせることでパルス波のピークを作り出し、正確なタイミングを抽出しやすくしている。この原理を用いると、ある帯域幅 Δf^* が与えられたときに、パルスの幅 Δt をおおまかに決定することができる。このとき、以下の式が成立する。

$$\Delta f \Delta t \geq 1/4\pi$$

4.2 構築した測位システム

本研究では、UWB を用いた測位キットである「Pozyx[9]」をベースにしてシステムを構築した。Pozyx は UWB 信号による三点測位ができる点や、Arduino, RaspberryPi と互換性がある点の特徴である。図5は実験環境の概要図である。実験環境は RaspberryPi と UWB 測位システムの Pozyx を中心に構成し、PC から RaspberryPi に無線接続をしてプログラムの実行を行う。

Pozyx はタグ(電波受信機)とアンカー(電波発信機)から構成されており、タグは USB を介して RaspberryPi に接続し、測位結果の処理等を行っている。アンカーは測位したい範囲を内包するように設置し、電波を発する。

測位方法について説明する。図6に示すように、タグと有線接続で繋がっている RaspberryPi が、アンカーからの信号を到達時間順に 3 台選び、位置推定を行なっている。4 台以上のアンカーがある場合は到達時間順に 3 台が選ばれる仕組みになっている。

5 測位実験

5.1 実験環境

本実験では、BPS の運用で想定される環境で測

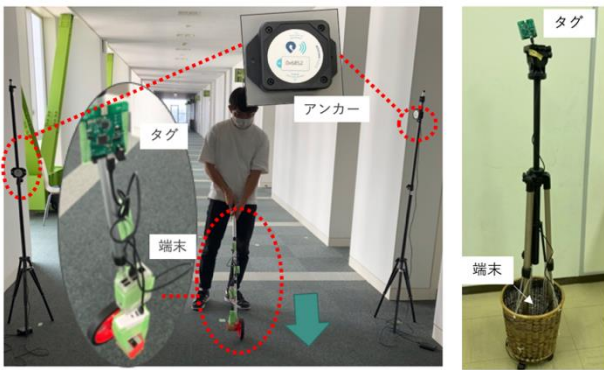


図 7 測位実験の環境

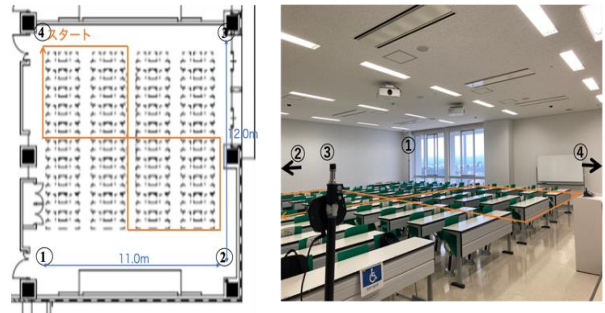


図 10 測位環境 B の実験環境

表 1 測位環境とアンカーの設置場所

	測位環境	アンカーの設置場所
A	通路や細長い部屋	通路のみ
B	正方形に近い部屋	教室内
C	壁など遮蔽物がある空間	通路と教室を跨いで
D	複数の部屋	複数部屋に跨いで

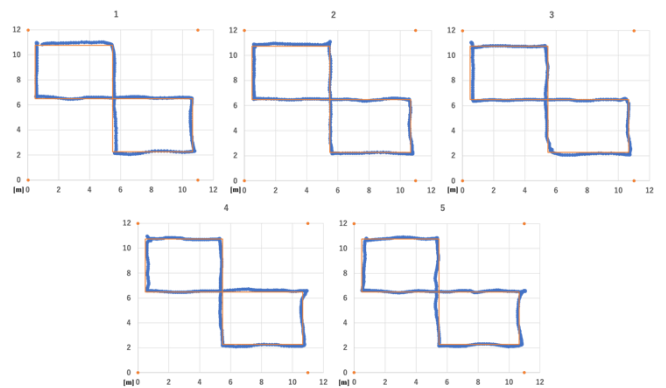


図 11 測位環境 B の実験結果



図 8 測位環境 A の実験環境

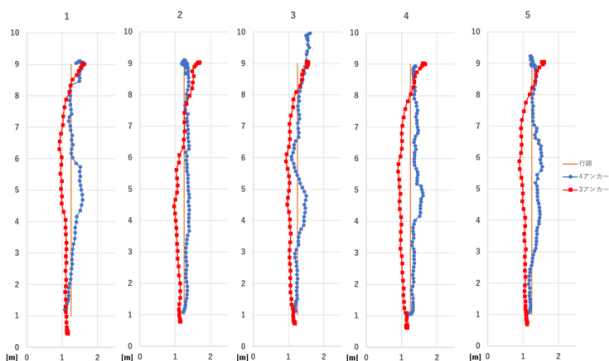
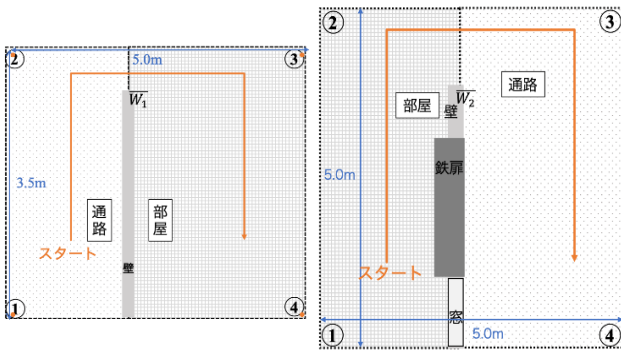


図 9 測位環境 A の実験結果

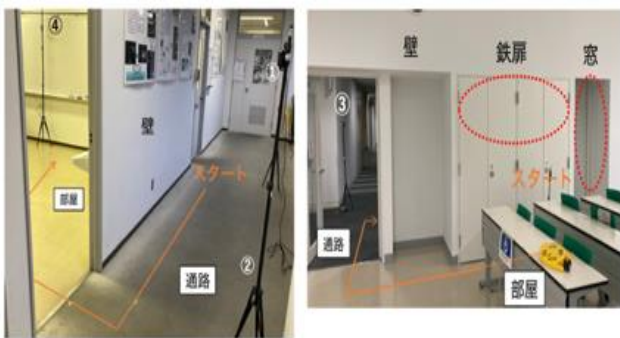
位精度を調査する。タグは手持ちあるいは台車を用い、測定者が歩いて動かす。アンカー4台の設置高さは1.5mに固定し、歩く速度も約0.7m/sとしている。図7に実験環境の様子、タグを取り付けた様子を示す。

5.2 測位環境 A

本実験では、通路（通路幅2.5m，奥行き10.0m）にアンカーを4台あるいは3台設置した場合のそれぞれの精度を検証する。図8に実験環境を示す。丸で囲んだ番号がアンカーを4台用いた場合、四角で囲んだ番号は3台用いた場合の設置場所を示している。それぞれのアンカー配置で5回測位した結果を図9に示す。丸い座標で示されているのがアンカーを4台、四角座標で示されているのが3台で測位した場合の測位結果である。実線は真値であり、実際に歩いた軌跡を表している。グラフ上部の数字1~5の順に測位を行っている。最大誤差は両方0.4m程度であり、僅かに目標精度に到達しなかった。また、4台で測位したときは0.0~0.4mの誤差が満遍なく測位されるのに対し、3台では緩やかにずれ、最終的に0.4mのずれが発生した。このことから、アンカーの設置位置と台数による測位傾向が異なることも本実験から判明した。



(a)実験環境を上から見た図(左壁 $\overline{W_1}$, 右壁 $\overline{W_2}$)



(b)実験環境の写真(左壁 $\overline{W_1}$, 右壁 $\overline{W_2}$)

図 12 測位環境 C の実験環境

5. 3 測位環境 B

本実験では、会議室や教室など正方形に近い一般的な部屋で測位を行う。アンカーは部屋の四隅に設置する。実験環境を図 10, 5 回測位した結果を図 11 にそれぞれ示す。最大誤差は 5 回目の方向転換時の 0.35 m となったが、それ以外の場所では 0.25 m 以内となっている。通路で測位した場合と比較すると、最大誤差は小さく、測位範囲が縦横どちらかに大きい空間よりは正方形に近い空間の方が、測位精度が高くなることもわかった。

5. 4 測位環境 C

壁越しにアンカーを設置した場合の測位精度を検証する。厚さ 0.13 m の壁(以下壁 $\overline{W_1}$)と、厚さ 1.24 m で電波を透過しない鉄扉が存在する壁(以下壁 $\overline{W_2}$)の 2 箇所を実験する。図 12 に壁 $\overline{W_1}$, 壁 $\overline{W_2}$ の実験環境を示す。壁 $\overline{W_1}$, 壁 $\overline{W_2}$ での実験環境で 5 回測位した結果をそれぞれ図 13, 図 14 に示す。壁 $\overline{W_1}$ の場合は、測位精度は 0.35 m 程度となり、

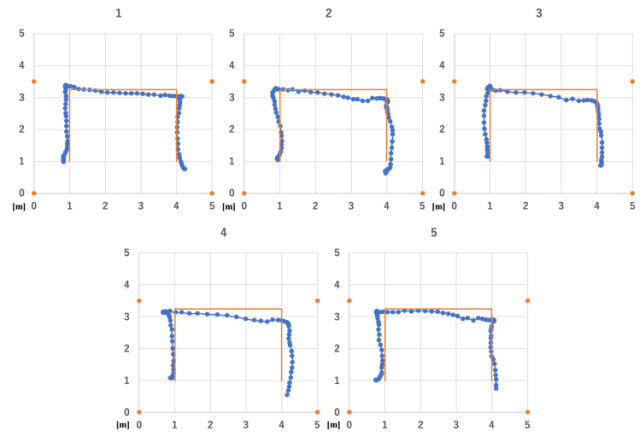


図 13 測位環境 C(壁 $\overline{W_1}$)の実験結果

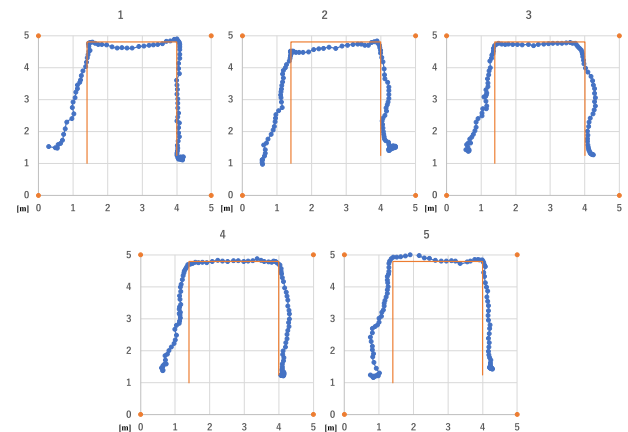


図 14 測位環境 C(壁 $\overline{W_2}$)の実験結果

こちらも僅かながら目標の精度では測位できなかったものの、薄い壁程度であれば、ずれは大きくならないことがわかった。一方で壁 $\overline{W_2}$ の場合、測位誤差は最大で 1.0 m 程度となり、壁 $\overline{W_1}$ と比較すると測位精度が大きく下がったため、障害物の構成素材が測位精度に影響を及ぼすことがわかった。そのため、測位範囲上に電波を反射する物質がない環境での測位が高精度化するための条件であると言える。逆に、壁 $\overline{W_1}$ 程度であれば、部屋と廊下に跨いでアンカーを設置してもある程度の測位精度は保証できると言える。壁 $\overline{W_2}$ のような環境で測位を行う場合、構成物を取り除くことは現実的でないため、アンカーの配置や増設で電波減衰の影響を最小限にとどめるか、障害物の電波反射率等から測位パラメータを補正する方法でアプローチしていくのが望ましい。

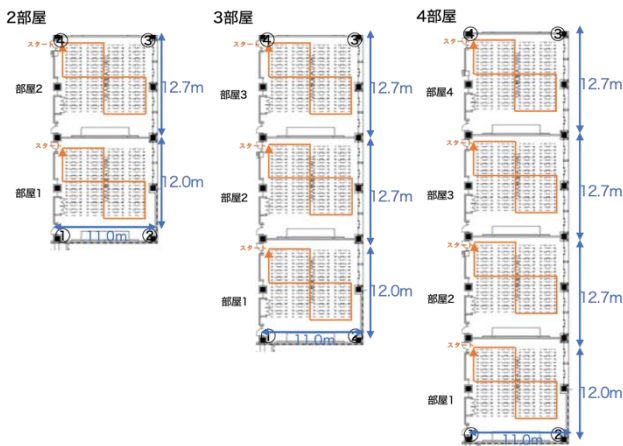


図 15 測位環境 D での実験環境

5. 2 測位環境 D

アンカー4 台での最大測位範囲を調べるために、複数の部屋に跨いでアンカーを設置し、測位精度を検証する。実験環境を上から見た図を図 15 に示す。部屋の規格は図 10 と同じであり、同規格の部屋が連続して複数並んでいる。2 部屋で実験した結果を図 16, 3 部屋で実験した結果を図 17 に示す。2 部屋に跨いでアンカーを設置した場合は最大誤差が 0.6 m 程度となり、測位精度が下がった。3 部屋に跨いでアンカーを設置した場合は、中央の部屋 2 では測位自体はできているものの、誤差が最大 5 m 程度となり、一部測位データがない区間(データの欠損)もあった。部屋 1, 部屋 3 で測位した場合は十分な電波信号が受信できず、測位結果が全く出なかった。4 部屋の場合も同様の結果となった。以上の結果より、アンカー間距離 25 m 程度が測位範囲の目安であるが、更なる測位精度の改善が必要である。

6 まとめ

本研究では、搬送や清掃等を行うロボットを屋内で有効活用するために、屋内測位技術(BPS)の検討を行った。その中でも、測位精度に優れている無線技術である UWB に注目し、移動ロボットの運用で予想される環境で検証実験を行った。その結果、UWB では数 10 cm の精度で屋内測位が可能であり、他の屋内測位手法より優れているこ

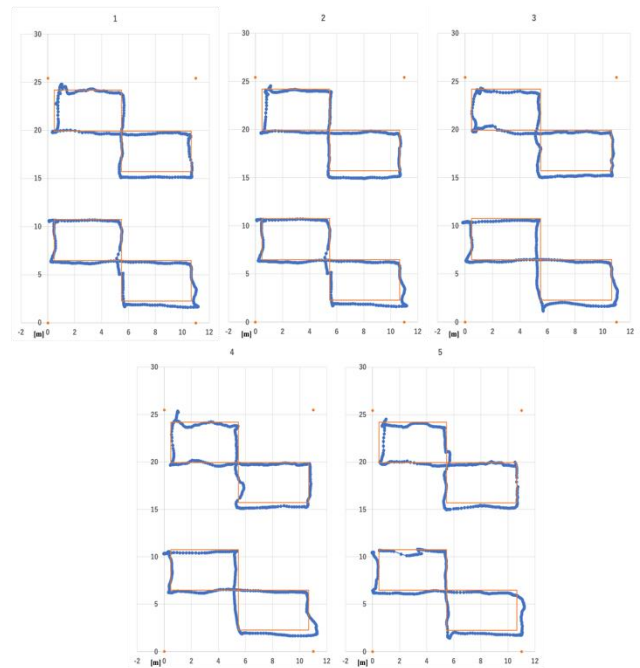


図 16 測位環境 D (2 部屋)での実験結果

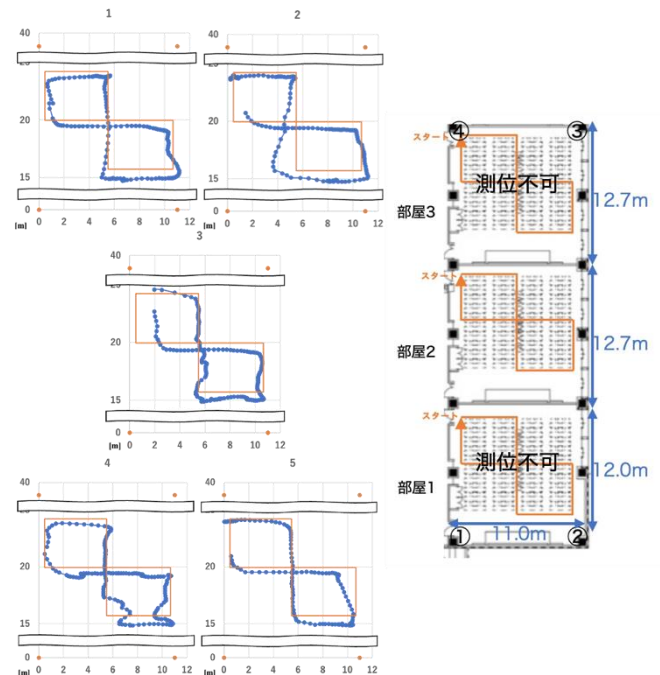


図 17 測位環境 D (3 部屋)での実験結果

とがわかった。しかし、本実験の測位環境では最大誤差が 0.4 m 程度となり、障害物の影響を受けた場合は 1m 程の誤差が生じる結果となった。ただ、アンカーの設置台数を 3 台から 4 台で変えて同じ範囲を測位すると測位結果の傾向も異なることや、測位範囲内に電波を減衰あるいは通さない物質があると大幅に測位精度が落ちることも実験

を通じて判明したため、改善の余地は十分にあると言える。今後は、アンカーを増設するか、電波を受信しやすいように配置を変え、精度を改善すること目標としたい。また、BIMと連携することを踏まえたシステム環境の整備も必要になってくる。測位アルゴリズムについてはアンカーの初期位置のずれやタイムラグの解消を行い、測位の安定性を向上させることが必要になると考えられる。システム面では、BIMで作成した屋内地図に測定した位置情報をどういった形で組み込むか、ROSで動作する測位システムとどのように紐付けるといった点を検討することが挙げられる。BIMがROSと連携することができると、測位システムだけでなく、ロボットの動作やデータの集積等も容易に行えるため、本研究の最終目標達成へ大幅に近づくことができると考える。

参考文献

- [1] ロボットによる社会変革推進会議, ロボットを取り巻く環境変化と今後の施策の方向性～ロボットによる社会変革推進計画～, 2019.
- [2] TIS株式会社 RoboticBase, https://www.tis.co.jp/news/2018/tis_news/20181016_1.html, 2018.10
- [3] 角田聖.”BIMと連携した清掃ロボットの屋内測位システム～精度補償技術～”,令和2年度広島工業大学情報工学科卒業論文,2021.2
- [4] 北之馬貴正, 新居英志, 安達直世, 滝沢泰久, SmartFinder:大規模屋内施設における集約型自己組織化スマートデバイス位置推定方式とその評価, 情報処理学会論文誌, Vol.59, No.2, 462-472, 2018.2
- [5] 間島直樹.”BIMと連携した清掃ロボットの屋内測位システム～BLEを使った測位技術～”,令和2年度広島工業大学情報工学科卒業論文,2021.2
- [6] 長井大典. “Building Positioning System (BPS)の構築と展開”, pp.11, 2019
- [7] 国土交通省.”建築BIM推進会議(仮称)の設置について”, pp.3, 2019/4, <https://www.mlit.go.jp/common/001286932.pdf> (アクセス日: 2022/01/28).
- [8] Pozyx.”How does ultra-wideband work?”. <https://www.pozyx.io/pozyx-academy/how-does-ultra-wideband-work> .(アクセス日: 2022/01/26).
- [9] “Pozyx”. <https://www.pozyx.io/>(アクセス日: 2022/01/26).

バランスWiiボードを用いた重心動揺計測と可視化システムの開発

広島工業大学 篠原拓登, 松本慎平

滋賀大学データサイエンス教育センター 健山智子

1 研究目的

重心動揺検査は臨床現場で体のバランス感覚の検査として、めまい・ふらつきの診断やリハビリテーションの治療効果の評価に利用されている[1,2]。この重心動揺は専門的なデバイスで測定されるが専門的・高価といった課題から臨床以外での測定例が少ない。また重心動揺の可視化手法として前後、左右を軸とする2次元軌跡ライン図の重心動揺図があるが、臨床現場で用いられる重心動揺の可視化は、2次元ライン状可視化のみであり、時系列に沿った重心動揺の確認は行われていない。そこで本研究では民生用デバイスであるバランスWiiボードを用いて重心動揺計測システムを構成し、取得したデータの時系列情報を含めた可視化を行う。またk-means++アルゴリズムを用いて重心動揺の分類を可視化し考察を行う。以上からデータ計測・収集とその可視化システムを構成し、解析を行うための基盤とする。

2 重心動揺測定

重心動揺とは直立姿勢時における身体の微小な揺れである。このシステムは足底に置かれた平面上に載せ、平面を支える圧力計への入力から圧力中心点を計算する。臨床では静止状態に十分近い場合フォースプレートの圧力中心は重心とほとんど誤差がないとみなし、フォースプレートの圧力中心位置を重心位置として用いる。臨床における重心動揺計測は一般的にグラビコーダGW-5000が使用される。グラビコーダは三角形のフォースプレートでありJIS規格に準拠した品質、性能である。しかし、臨床で用いられるデバイスは高価格かつ専門性が高く、臨床現場以外での利用に不向きである。そこで本研究は引用文献[3,4,5]を参考とした手法である民生用デバイスであるバランスWiiボードを用いた測定をおこなう。バランスWiiボードは四角形状のフォースプレートで測定はコンピュータとBluetoothで無線接続することで従来法と同様に行う。計測の体勢について図1に示す。今岡ら[2]は開眼・閉眼状態にてそれぞれ足を閉じた状態の2つの状態で、サンプリング周波数は20Hzとして測定をおこなった。本研究は

これと同様に開眼・閉眼状態にてそれぞれ足を閉じた状態の2つの状態で測定し、サンプリング周波数は100Hzとした。計測対象は日常生活に支障なく、計測8時間以前に飲酒がない男子大学生9名とし、計測期間は2021年2月から2021年4月の2ヶ月間、計測時間は開眼・閉眼ともに65秒間、最初の5秒間を取り除いた60秒間とする。



図1 重心動揺の計測体勢

3 重心動揺の可視化とシステムの構築

臨床では前後左右の2次元での線状可視化が一般的である。図2に示すように臨床ではこの可視化をもとに重心動揺図の上下、左右の動きの範囲および分布の様子のパターンから、4つの型として定義し区分する。専門機器を用いた測定の可視化結果とバランスWiiボードによる測定の可視化結果の比較を図3に示す。この可視化からバランスWiiボードが重心動揺の観測に有効であることが確認された。重心動揺は前後・左右軸の経時変化として測定される。しかし動揺に影響を与える経時時間を加えた前後・左右の経時変化を同時に確認する試みは行われていない。そこで本研究では前後・左右の経時時間変化を3次元での可視化をおこない動揺の確認も同時におこなう。

動揺の型	中心が定まりづらい	中心が定まる
狭域に動揺	前後型	求心型
広域に動揺	びまん型	多中心型

図2 臨床現場で用いられる重心動揺分類

比較	前後型	求心型	びまん型	多中心型
従来法 日本橋				
本手法1 Line				
本手法2 3DLine				

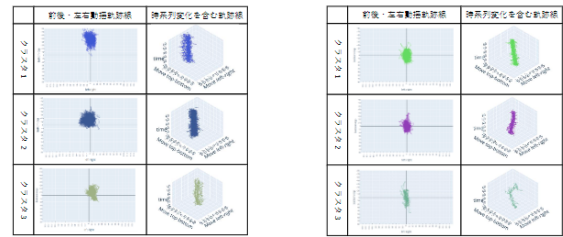
図3 従来法と本手法の比較

4 k-means++アルゴリズム

可視化結果より重心動揺の型分類も同様に行えると考えられる。本稿では k-means++アルゴリズムを利用し客観的な重心動揺の分類を行う。クラスタリングの流れを以下に示す。

1. 各サンプル x_i の中からランダムに1セット選び、それをクラスタ中心 c_1 とする。
2. 重み付き確率分布 $\frac{D(x)^2}{\sum D(x)^2}$ を用いて新しいクラスタ中心 c_i を選択する。
3. 2の工程をk個のクラスタ中心が選定できるまで繰り返す。
4. 選ばれたクラスタ中心を初期値として標準的なk-means法を行う。

被験者9名の開眼・閉眼を1セットとした16セット、144件を分析に用いる。特徴量は前後・左右の動揺時間成分12000とした。本研究ではエルボー法からクラスタ数を6クラスと推定し分類を行う。クラスタリング結果を図4(a)に示す。この結果から単に各計測の重心動揺の測定位置で分類されることが確認された。そこで重心動揺の動揺傾向に沿った分類を目的として各データの前後・左右軸平均値をゼロに位置合わせしたデータを用いて更に分類をおこなう。平均値位置合わせデータを用いたクラスタリング結果を図4(b)に示す。この結果は二次元のみの軌跡可視化では分類傾向の確認が困難であったが、3次元時空間上での可視化から似た動揺傾向のデータに分類され、アウトライヤーとなるデータが分離されることを確認した。



(a) 位置合わせなしデータ (b) 平均値位置合わせデータ
 図4 6クラス分類結果の一部

5 終わりに

本研究ではバランス Wii ボードによる日常生活を不自由なく行える20代男子大学生の重心動揺の取得と取得した重心動揺データの詳細な可視化システムの構成を行った。また一般的に臨床現場における重心動揺の分類として主観的評価による形の分類が行われるが、本稿では重心位置合わせ後に k-means アルゴリズムを用いた教師無しクラスタリングを行うことで重心動揺の形の分類とアウトライヤーの抽出が可能であることを確認した。

参考文献

- [1] 内山靖. 姿勢バランスの定量的評価. 理学療法学, Vol. 24, No. 3, pp.109-113, 1997.
- [2] 今岡薫, 村瀬仁, 福原美徳. 重心動揺検査における健常者データの集計. Equilibrium Research, Vol. 56, No. 12Supplement, pp. 1-84, 1997.
- [3] Brian L Cone Daniel J Goble and Brett W Fling. Using the wii fit as a tool for balance assessment and neurorehabilitation: the first half decade of “wii-search”. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, Vol. 11, No. 12, pp. 1-14, 2014.
- [4] GyuChang Lee Dae-Sung Park. Validating and calibrating the nintendo wii balance board to derive reliable center of pressure measures. Sensors (Basel), Vol. 14, No. 10, pp. 18244-18267, 2014.
- [5] Julien Audiffren and Emile Contal. Preprocessing the nintendo wii board signal to derive more accurate descriptors of statokinesigrams. Sensors (Basel), Vol. 16, No. 1208, 2016.