

東海大学紀要

情報理工学部

Vol. 21 2021

目次

紀要論文

色の視覚性短期記憶に関する研究の動向	…………… 川島淨子, 高雄元晴	1
--------------------	------------------	---

研究室紹介

幾何アルゴリズム研究の最新結果	……………	譚 学厚	5
要介護者の QOL 向上のための生活			
プログラム生成システムの開発	……………	浅川 毅	7
視線計測技術の最新研究成果	……………	竹村憲太郎	9
ヒューマンマシンシステム研究室（稲葉研究室）	……………	稲葉 毅	11
知能ロボットおよびシステムに関する研究事例紹介	……………	村松 聡	13
先端ロボティクス研究室（稲垣研究室）	……………	稲垣克彦	15

PROCEEDINGS
OF THE
SCHOOL OF INFORMATION
SCIENCE AND TECHNOLOGY
TOKAI UNIVERSITY
SERIES J
CONTENTS

VOL.21 2021

Papers

Studies on visual short-term memory of color: a review	 Seiko Kawashima, Motoharu Takao	1
New results on geometric algorithms	 Xuehou Tan	5
Development of a life program generation system to improve the QOL for person requiring care	 Takeshi Asakawa	7
New results on eye-tracking technologies	 Kentaro Takemura	9
Human-Machine Systems Laboratory (Inaba Lab.)	 Takeshi Inaba	11
Introduction of research for intelligent robots and systems	 Satoshi Muramatsu	13
Advanced robotics lab. (Ingk Lab.)	 Katsuhiko Inagaki	15

色の視覚性短期記憶に関する研究の動向

川島淨子^{*1}, 高雄元晴^{*2}

Studies on visual short-term memory of color: a review

by

Seiko Kawashima, Motoharu Takao

(received 5 Sept. 2021 & accepted 14 Sept. 2021)

Abstract

The capacity for color vision in primates, such as humans and monkeys among mammals, is essential for discriminating between edible fruits and toxic plants, and is an important function that has characterized the evolution of primates. Although primates are equipped with the ability to perceive many colors instantly and process them in the brain, the mechanism of color memory has not yet been elucidated. The purpose of this paper is to summarize the past research on visual short-term memory for color, to identify the areas of research that have not yet been studied extensively, and to extend the results to provide suggestions for future research. In particular, focusing on the accuracy and the time required for recognizing color stimuli on visual short-term memory by using visual delayed match to sample (vDMTS), we report the research trends on the effects of match and mismatch conditions in which only two color stimuli were changed, the effect of the positions of stimulus presentation on the recognition of color placement mismatches, and the effect of a Stroop task involving letter information in addition to color.

Keywords: 1. visual short-term memory 2. color 3. recognition 4. match/mismatch 5. spatial representation 6. visual field 7. stroop effect

1. 諸言

哺乳動物の中でもヒトやサルといった霊長類の色覚の能力は、食用の果物と毒性の植物を判別するのに不可欠なものであり、霊長類の進化を特徴づける重要な機能といえる(Gray, 2002)。霊長類には、多くの色を瞬時に認知し脳内で処理をする色覚の能力は具えられているものの、色の記憶のメカニズムはまだ解明されていない部分がある。本論文は、認知科学分野において重要なテーマである色の視覚性短期記憶に関して、これまでの研究の動向をまとめることで、明らかになっていない研究領域を明確化し、今後の研究へ展開することを目的とする。

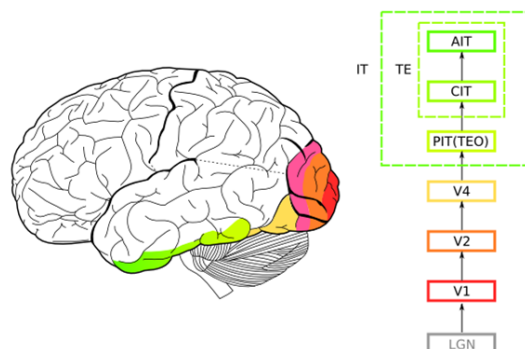
本論文の構成を次に示す。まず第2章では、知覚、認知、及び記憶のメカニズムについて概説する。続く第3章では本研究の根幹となる色の視覚性短期記憶の認知過程に係る研究の現状と課題について述べる。最後に、第4章では、今後の研究として研究領域、研究内容へ展開する。

2. 視覚性刺激の知覚、認知、短期記憶の概観

2.1 視覚性刺激の知覚

はじめに、視覚性刺激の知覚について述べる。ヒトは新しい状況に対応する際、認知機能が重要な役割を担う。色の視覚性短期記憶は、眼球内に入射した光が網膜の最外層にある錐体でとらえられ、その後、網膜においてごく短時間だけ視覚性感覚記憶

(visual sensory memory: VSM)として保持される。図1に脳内伝達経路を示す。網膜から伸びる視神経を通して脳に送られた情報は、第一次視覚野(V1)へ投影される途中で、視交叉によって左視野に入力された情報は右半球の脳へ、右視野に入力された情報は左半球の脳へ送られる。このように、視野に対応した明確な左右半球差が生じることは、ラテラルリティ(laterality)として知られている。色、及び形の情報は、主に第一次視覚野(V1)、第二次視覚野(V2)、第四次視覚野(V4)を経て、側頭連合体につながる腹側経路で処理される。一方、空間の位置や運動に関する情報は、頭頂連合体へつながる背側経路で処理される。このように、2つの経路を経て、物体と位置の関係性は把握され、情報として保持されている。



出典

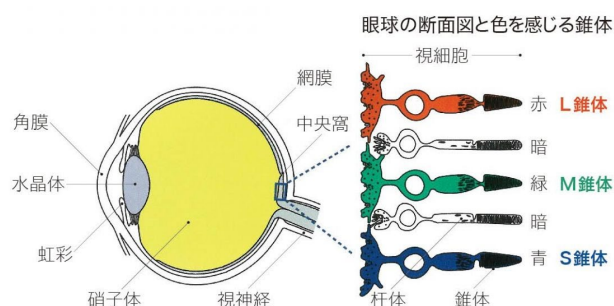
<https://xtech.nikkei.com/dm/atcl/feature/15/032300023/00021/?ST=tomorrow&P=2>

図1 脳内伝達経路

*1 客員研究員、東海大学情報理工学部情報科学科

*2 教授、東海大学情報理工学部情報科学科

次に視覚性色刺激について述べる。図 2 に、眼球の断面図と色を感じる機能について示す。網膜の中心窩付近には、色彩を構成する要素である波長選択性に関する錐体細胞が多く分布している。錐体はその形態によって 3 種類 (S,M,L 錐体) に分類され、それぞれの錐体の分光吸収特性は異なっており、その違いは発現している視物質 (visual pigment) の性質に依存する。S (Short) 錐体 (青錐体) は青視物質 (吸収極大波長 419nm) ,M (Middle) 錐体 (緑錐体) は緑視物質 (吸収極大波長 531nm) ,L (Long) 錐体 (赤錐体) は赤視物質 (吸収極大波長 558nm) を発現しており、眼に入った光がどのような波長成分を有するかに応じて、各視物質を介して各錐体が作用する。各錐体の活動度の相対的な違いは脳に伝えられて処理され、色として知覚される。赤と緑の混合光と、黄色の単色光が区別できないのは、これらの機構による。このように、ヒトは 3 種類の錐体の相対比によってすべての色を知覚している。



出典: <https://cud.nagoya/basic>

図 2 眼球の断面図と色を感じる機能

2.2 知覚の情報処理過程

次に、視覚性刺激の短期記憶について述べる。記憶には、ごく短時間だけ視覚性感覚記憶 (visual sensory memory: VSM) ,数十秒の視覚性短期記憶 (visual short-term memory: VSTM) ,それ以上の視覚性長期記憶 (visual long-term memory: VLTM) がある。前述のとおり、眼球内に入射した光が網膜の最外層にある錐体でとらえられた後、網膜においてごく短時間だけ視覚性感覚記憶 (visual sensory memory: VSM) として保持され、その後、網膜内のニューロンにより情報処理されるが、その中でも、網膜から伸びる視神経を通して脳に送られた色情報は、第一次視覚野 (V1) を経て脳の表層にある下側頭葉にある第四次視覚野 (V4) に伝えられ、視覚性短期記憶 (visual short-term memory: VSTM) として登録される (Sligte, Scholte, & Lamme, 2009)。なお、VSM は 100 ~ 300ms の間保持されることが明らかとなっている (Neisser, 1967)。その後の記憶は、VSTM として数十秒間の間は保持されることが知られている。それ以降の視覚性長期記憶 (visual long-term memory: VLTM) は、数十秒以上の長期にわたる半永久的な記憶である。VSM から VSTM への移行には選択的注意 (Selective Attention) が、また VSTM から VLTM への移行にはリハーサルなどの操作が関与している。Atkinson & Shiffrin (1968) が報告したモダルモデル (図 3) と呼ばれる初期のモデルや Goodale & Milner (1992) の研究により、情報処理の過程で一時的に必要な情報を覚えておく短期記憶の機能的側面に注目したワーキングメモリー (working memory) という概念が提唱され、多くの研究がこのモデルに基づいてなされている。

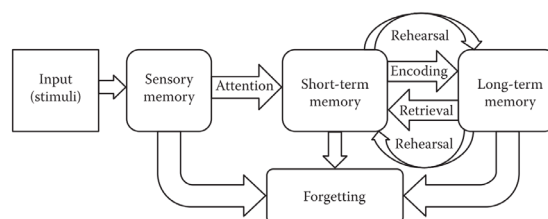


FIGURE 10.2 Atkinson and Shiffrin memory model. (From Atkinson, R. C. and Shiffrin, R. M. *The Psychology of Learning and Motivation*, 2, 89–195, 1968.)

ワーキングメモリーと短期記憶は、構造的にはほぼ同じ概念だが、ワーキングメモリーの中核には中央実行系 (central executive) があり、そこで情報を処理しつつ保持するのに必要な “注意” の制御機能を備えている。加えて、サブシステムの調整や課題遂行に必要な処理資源の配分 (allocation of resources) などの注意の制御機構としての役割も担っていることも特徴である。このように、選択的注意という能動的な機能が、感覚記憶から短期記憶へ移行するのに重要な役割を担うとされている。

2.3 記憶の過程

次に、記憶の過程について述べる。記憶には、覚えるはたらき (符号化 (encoding) , または記銘 (memorization)) ,それを蓄えるはたらき (貯蔵 (storage) , または保持 (retention)) ,そして取り出し思い出すはたらき (想起 (retrieval) , または検索 (recollection)) の三つの過程がある (宮田・賀集, 2004)。3 つめの想起は、さらにその方式から、保持された記憶を自らそのまま呼び起こす再生 (recall) ,保持された記憶を以前経験したものであると同定する再認 (recognition) ,持っている記憶のいくつかを組み合わせる再現される再構成 (reconstruction) に大別される。

3. 色の視覚性短期記憶の過程に係る研究と課題

本章では、研究の根幹となる色の視覚性短期記憶の認知過程に係る研究について述べる。短期記憶における色の再認の研究は、視覚刺激の要素、情報処理のメカニズム、脳の関連部位に関するものが多く研究され、現在に至っている。視覚刺激の要素の研究は、色と形に注目したことが多い。

3.1 色の視覚性刺激の要素の研究

ヒトは、視覚性刺激を記憶するとき、色と形の 2 つの刺激の要素を統合して記憶するのか、別々に記憶するのかで議論が分かれている。Luria & Vogel (2011) は、ヒトは視覚的ワーキングメモリーの限られた容量を最大限にいかすために各要素を統合して記憶すると報告している。また Luck & Vogel (1997) は色のみと色と形を組み合わせた記憶の研究において、記憶できる刺激の数に差がなく、かつ刺激の要素にも依存しなかったことから、色と形は一緒に記憶されると報告した。しかし一方で、その後、Schneegans & Bays (2017) は、色、形 (向き) ,位置を変えた刺激を呈示した実験において、色と形は分けて記憶されることを報告、Brady, Konkle, Alvarez, & Oliva (2013) はソファなどの実在する物体の画像を刺激に用いた研究において、色の記憶が形の記憶よりも時間経過の中で早く忘却することから別々に記憶し

ていることを明らかにし、現在の主流となっている。色と形の関係性に関しては、Delvenne & Dent (2008)は2色に配色された3つのひし形の記憶の研究において、色のみを記憶する際はレイアウトに依存しないが、それぞれ2色の配色の記憶ではレイアウトが影響することから、ヒトは配色を記憶する場合はレイアウト、向きなどの空間的特徴に関することを参考に行っていることを示唆している。また、その後、Woodman & Vogel (2008)は記憶の保持に必要な注意の集中度をみた時、色のみよりも形のみを記憶したほうが集中度は高まることを示した。これまでのところ一致した結果は得られていない。

3.2 視覚遅延見本合わせにおける色と形の研究

次に、VSTM に関する最初の色刺激と後で提示する色刺激が一致する場合（以後、マッチ条件と称する）と不一致の場合（以後、ミスマッチ条件と称する）の再認の正確さ、再認にかかる時間に与える影響に関する研究について述べる。記憶の測定法としては、再生によるものと再認によるものに大別される。再生によるものには、節約法、系統予言法、対連学習法、自由再生学習法がある。一方、再認によるものとして再認法がある（今井・宮田・賀集, 2004）。再認法とは、VSTM に関し、マッチ条件とミスマッチ条件の再認の正確さ、再認にかかる時間に与える影響に関して測定する方法である。視覚遅延見本合わせ(visual delayed match to sample: vDMTS)は、その一つである。Liang & Liu (2017)は5つの図形に5色を組み合わせた刺激を用いた研究で、マッチ条件と比べて、ミスマッチ条件では再認の正確さ、反応時間が有意に低下すると報告している。これに反して、Downing (2000)は、形(顔、物体)、サイズを変えた刺激を用いた研究で、マッチ条件と比べて、ミスマッチ条件では再認の反応時間は長くなるが、再認の正確さについては有意な結果が得られなかったと報告しており、これまでのところ、再認の正確さ、再認にかかる時間に与える影響に関して一致した結果は得られていない。

3.3 刺激の提示視野の研究

刺激の提示視野(上,下,右,左)が視覚的短期記憶に与える影響であるラテラルリティーに関し、Feng & Spence (2014)とLevine & McAnany (2005)は、異方性があり、方向に依存することを明らかにしている。Previc (1996)とFeng & Spence (2014)は、視覚探索、カテゴリー判断の研究において、下視野に比べて、上視野は優れることを報告している。カテゴリー判断とは、刺激のカテゴリーを判定する課題である。それに反し、Genzano, Nocera, & Ferlazzo (2001)とRezec & Dobkins (2004)は、8つのブロック図形の再認、形状識別の研究において、下視野に比べて、上視野は劣ると報告している。右視野、左視野について、Berry (2002)は写真画像の認知の研究で、リアルな色 (realistic color)は右視野に比べて、左視野は優位であるが、逆に写真反転プロセスによるリアルでない色は左視野に比べて、右視野が優位であると報告している。しかしながら、色の視覚的短期記憶において、色のみを変化させたマッチ条件、ミスマッチ条件における刺激の提示視野が再認に与える影響に関する研究は、これまで行われてこなかった。

3.4 色の記憶方法に関する研究

視覚性刺激の色情報の短期記憶は、言語に依存するか、視覚に依存するかは多くの研究がされてきた（荳坂・池田, 2006）。色

は、言語、すなわち色名で記憶され、色のついた文字においては、色から認識される色情報と文字の意味から認識される色情報が一致しない場合、色の記憶と文字の記憶が互いに競合し迅速かつ正確に認知出来なくなる。この現象はストループ効果として知られており（Stroop, 1935）、ヒトの認知活動の様々な妨害刺激 (distracter)の一つとされている。また、荳坂・池田 (2006)は、記憶の過程で機能する脳の関連部位に関する研究で、言語（言語的ワーキングメモリ）に依存するののか、視覚（視覚的ワーキングメモリ）に依存するののかを、色カテゴリーに着目して機能的磁気共鳴脳画像法 (f-MRI) を用いて研究した。その結果、基本色で定義される色カテゴリーをクロスする場合は、左半球の下前頭回や下頭頂小葉が強く活動することから言語的ワーキングメモリが働き、一方で同じ色カテゴリー内の場合は、右半球の下前頭回が強く活動し視覚的ワーキングメモリが働くことを、日本人被験者の実験で明らかにした。しかし、被験者の出身国などの属性による効果に着目した研究は、これまで行われてこなかった。

4. 今後の研究について

ヒトは、新しい状況に対応する際、認知機能が重要な役割を担う。周りのものの認知、状況判断の時間の短縮に関与する視覚性刺激の色の情報の認知、記憶は重要であるが、色の記憶のメカニズムはまだ解明されていない部分がある。本論文は、色の視覚性短期記憶に関し、これまでの研究の動向をまとめることで、明らかになっていない研究領域を明確化し、今後の研究へ展開することを目的とした。

これまで見てきたように、色の視覚的短期記憶の中で、視覚遅延見本合わせを用いた色のみを変化させたマッチ条件、ミスマッチ条件、色の刺激の提示視野が再認に与える影響、また色に加えて文字情報が関与するストループの色の視覚性短期記憶における影響、さらに刺激を提示する視野が再認の正確さ、再認にかかる時間に及ぼす影響について研究する必要がある。

引用文献

- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Memory Retention and Recall Process. *Psychol Learn Moti*, 2, 219–224.
- Berry, L. H. (2002). Cerebral Laterality in Color information. *Proceedings of Selected Research Presentations at the Annual Convention of the Association for Educational Communications and Technology*, IR 014 539, 055-070.
- Brady, T. F., Konkle, T., Alvarez, G. A., & Oliva, A. (2013). Real world objects are not Represented as bound units: independent forgetting of different object details from visual memory. *J Exp Psychol Gen*, 142, 791-808.
- Delvenne, J.F., & Dent, K. (2008). Distinctive shapes benefit short-term memory for color associations, but not for color. *Percept Psychophys*, 70, 1024-1031.
- Downing, P. E. (2002). Interactions between visual working memory and selective attention. *Psychol Sci*, 11, 467-473.
- Feng, J., & Spence, I. (2014). Upper Visual Field Advantage in Localizing a Target among Distractors. *I-Perception*, 5, 97-100.
- Genzano, V. R., Nocera, F.D., & Ferlazzo, F. (2001).

- Upper/lower visual field asymmetry on spatial relocation memory task. *Neuroreport*, 12, 1227-1230.
- Gray, P. (2002). *Psychology* 4th ed, 153-159. NY, USA: Worth Publishers.
- Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends Neurosci*, 15-1, 20-25.
- Liang, T., Hu, Z., & Liu, Q. (2017). Frontal theta activity supports detecting mismatched information in visual working memory. *Front Psychol*, 8, 1-8.
- Levine, M.W., & McAnany, J. J. (2005). The relative capabilities of the upper and lower visual hemifields. *Vision Res*, 45, 2820-2830.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390, 279-281.
- Luria, R., & Vogel, E. K. (2011). Shape and color conjunction stimuli are represented as bound objects in visual working memory. *Neuropsychologia*, 49, 1632-1639.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. Appleton-Century-Crofts, New York.
- Previc, F. H. (1996). Attentional and Oculomotor Influences on Visual Field Anisotropies in Visual Search Performance. *Vis Cogn*, 3, 277-302.
- Rezec, A., & Dobkins, K. (2004). Attentional weighting: A possible account of visual field asymmetries in visual search?. *Spat Vis*, 17, 269-293.
- Schneegans, S., & Bays, P. M. (2017). Neural architecture for feature binding in visual working memory. *J Neurosci*, 37, 3913-3925.
- Sligte, I. G., Scholte, H. S., & Lamme, V. A. F. (2009). V4 Activity Predicts the Strength of Visual Short-Term Memory Representations. *Neurosci*, 29, 7432-7438.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *J. Exp. Psychol*, 18, 643-662.
- Woodman, G.F., & Vogel, E. K. (2008). Selective storage and maintenance of an object's features in visual working memory. *Psychono B Rev*, 15, 223-229.
- 今井寛・宮田洋・賀集寛 (2004). 心理学の基礎, 164-165.
- 荳坂直行・池田尊司 (2006). 色のワーキングメモリの脳内表現. *日本色彩学会誌*, 30, 197-203.

研究室紹介：幾何アルゴリズム研究の最新結果

譚 学厚*

Introductory Article: New results on geometric algorithms

by

Xuehou Tan*

(received on Dec. 15, 2021 & accepted on Dec. 23, 2021)

Abstract

We introduce our recent results on geometric algorithms. They include two (first) polynomial-time algorithms for the touring rays problem and the minimum intersecting polygon problem, an improved stretch factor of Delaunay triangulations of points in convex position, and three almost optimal algorithms for planar 2-center problems.

Keywords: The touring rays problem; Stretch factor of Delaunay triangulations; Planar 2-center problems

1. Introduction

The research in Tan Lab is mainly on the design and analysis of geometric algorithms. In the subsequent section, we introduce the following three new results: (1) two polynomial-time algorithms for the touring rays problem and the minimum intersecting polygon problem, (2) an improved stretch factor of Delaunay triangulations of points in convex position, and (3) almost optimal algorithms for three variants of the planar 2-center problem.

2. Recent results

2.1 Polynomial-time algorithms for the touring rays and related problems

Shortest paths are of fundamental importance in computational geometry, robotics and autonomous navigation. For a given set of points, the Euclidean Traveling Salesman Problem (TSP) asks for a shortest route (closed curve) that visits each given point. An interesting variant of the problem, called the Traveling Salesman Problem with neighborhoods (TSPN), deals with a given set of the regions; the tour is asked to visit at least one point of each region. Since the Euclidean TSP is NP -hard, TSPN is NP -hard, too.

Although TSPN is NP -hard, an interesting result is that the Traveling Salesman Problem for n lines in the plane can be solved in polynomial time. The polynomial-time result on the TSP for lines is due to the fact that all

neighborhoods (lines) are unbounded. It is then natural to ask whether the Traveling Salesman Problem for n rays in the plane, which is also called the *touring rays* problem, can be solved in polynomial time. A ray (half-line) is described by a source point and a direction, from which the ray emanates.

A related problem, called the *minimum-perimeter intersecting polygon* (MPIP) problem, has also been studied in the literature. For a given set S of line segments in the plane, it asks for a polygon P of minimum perimeter such that P contains at least one point of every line segment in S . Whether or not the touring rays and MPIP problems can be solved in polynomial-time stand open for about two decades.

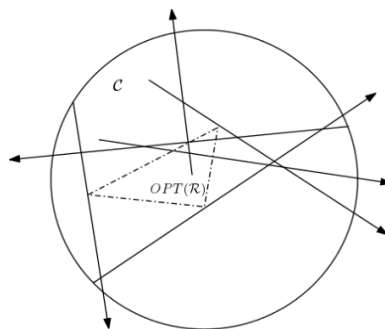


Fig. 1. An instance of the shortest path visiting six rays.

In 2020, we had successfully presented the polynomial-time ($O(n^5)$) algorithms for the touring rays and MPIP problems [1][2]. Our results solve two long-standing open problems in computational geometry. We reduced the touring rays (as well as MPIP) problem

* 東海大学情報理工学部コンピュータ応用工学科

to that of computing a shortest route that intersects a set of ray-segments inside a circle; at least one endpoint of every ray-segment is on the circle (Fig. 1), and showed that computing the shortest route visiting all ray-segments in the circle is related to the solution of the well-known watchman route problem.

This work was awarded the BEST PAPER AWARD in the 14th International Conference on Algorithmic Aspects in Information and Management (AAIM), August, 2020.

2.2 Improved stretch factor of Delaunay triangulations

Let S be a set of n points in the plane, and let $G(S)$ be such a graph that each vertex corresponds to a point in S and the weight of an edge is the Euclidean distance between its two endpoints. For a pair of points u, v , denote by uv the line segment connecting u and v , and $|uv|$ the Euclidean distance between them. Denote by $G(a, b)$ the shortest path in $G(S)$ between two points a, b in S , and $|G(a, b)|$ the total length of path $G(a, b)$. The graph $G(S)$ is said to approximate the complete graph of S if $|G(a, b)|/|ab|$, called the *stretch factor* of $G(S)$, is upper bounded by a constant, independent of S and n . See Fig. 2. It is then desirable to identify classes of graphs that approximate complete graphs well and have only $O(n)$ edges (in comparison with $O(n^2)$ edges of complete graphs), as these graphs have potential applications in geometric network design problems.

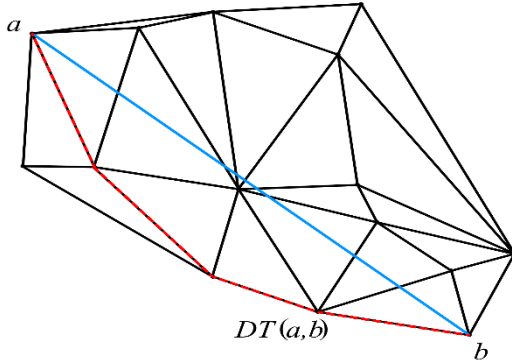


Fig. 2. A path $DT(a, b)$ in the graph $DT(S)$.

Denote by $DT(S)$ the planar graph of the Delaunay triangulation of S . The stretch factor of Delaunay triangulations was first shown to be 5.08, which was later improved to 1.998. On the other hand, a lower bound 1.5932 on the stretch factor of $DT(S)$ has been also known. Determining the worst possible stretch factor of the Delaunay triangulation is a long-standing open problem in computational geometry.

The stretch factor of $DT(S)$ for the points in convex position has been also studied. A set of points is said to

be in *convex position*, if all points form the vertices of a convex polygon. The previously known stretch factor in this special situation is 1.88.

Very recently, we proved that the stretch factor of $DT(S)$ for the points in convex position is 1.82 [3]. The same stretch factor may hold for the set of points in general position. We are working in this direction.

2.3 Almost optimal algorithms for planar 2-center problems

The *2-center problem* for a set S of n points in the plane asks for two congruent circular disks of the minimum radius, whose union covers all points of S . We studied three variants of the planar 2-center problem. The first is to cover a set of points in convex position, and the second is that the asked disks of the minimum radius are previously known to have a non-empty overlap and a point in the overlap is given. Also, we considered the 2-center problem for a convex polygon P , whose goal is to find two centers inside P such that the maximum distance from any point of polygon P to its closest center is minimized.

We presented $O(n \log n)$ time and $O(n)$ space algorithms for these three problems [4]. Our results are almost time-optimal, as the lower bound on the planar 2-center problem is $\Omega(n \log n)$. The novelty of our algorithms, except for the space optimality, is their simplicity: Our algorithms are built on the standard algorithms for computing the Delaunay triangulation and furthest-site Voronoi diagram of a point set, which are easy to implement.

One of our results leads to an $O(n (\log n)^2)$ time solution to the planar 2-center problem, improving upon the previously known time bound by a factor of $(\log \log n)^2$, which was established two decades ago. Moreover, our method can be generalized to solve the three-dimensional 2-center and other p -center ($p \geq 3$) problems.

References

- [1] X. Tan, Polynomial-time algorithms for the touring rays and related problem, AAIM'2020, *Lect Notes Comput. Sci.* **12290** (2020) 1-12.
- [2] X. Tan, The touring rays and related problems, *Theoretic Computer Science* 866 (2021), 43-55, Elsevier.
- [3] X. Tan, C. Sakthip and B. Jaing, Improved stretch factor of Delaunay triangulations of points in convex position, COCOA'2019, *Lect Notes Comput. Sci.* **11949** (2019) 473-484.
- [4] X. Tan, Almost optimal algorithms for planar 2-center problems, Submitted to *IEICE*.

研究速報：要介護者の QOL 向上のための 生活プログラム生成システムの開発

浅川 毅*

Development of a life program generation system to improve the QOL for person requiring care

by

Takeshi Asakawa

(received Dec. 16, 2021 & Dec. 23, 2021 accepted)

Abstract

At nursing care sites, life programs are implemented for improving the QOL of facility users. To create the life program, it is important to carefully examine and set the QOL items for each user. However, the sites are lack of manpower on a daily basis, it is difficult to focus on improving of QOL. Therefore, we first selected the QOL items from the areas of "activity" and "participation" of ICF and scrutinizing based on a questionnaire survey of 355 facilities. Then, we developed an automatically life program generation system determined priority of QOL item based on each information for assessment sheet. This system consists of an application operated by the staff of care facility and a database that stores and manages data. The application works on the browser that is commonly used to improve the convenience of each facility. In this paper, we discuss the details of the developed system.

Keywords: QOL, life program generation, database

1. はじめに

2019 年版高齢社会白書によると、少子高齢化が進み高齢者の割合が 28.4%となっている[1]. それに伴い、介護現場ではスタッフの処遇等の状況からも慢性的な人手不足となっている。これにより、スタッフの負担増加による手厚い介護の実現が難しく、要介護者の QOL 向上に注力することが難しい状況にある。この状況を改善すべく、国は 2025 年を目途に、最期まで自分らしい暮らしを持続可能となるように、地域包括ケアシステムの構築を推進している。また、自立支援介護として、伴走型介護を掲げ課題解決へ取り組んでおり、日常の家事や利用者一人一人の将来像・状態像に基づき、“自立”を叶える為に支援する[2]. QOL に関しては、コンピュータシステムで活用できるように QOL に関する評価尺度を定めた研究や、地域包括ケアシステム構築を先進的に進めている広島県尾道市の取り組みを解説及びその成功要因を解説したものや、利用者の栄養管理を円滑に行うことを目的とした介護福祉職間の連携シートに関する研究等が挙げられる[3]-[5]. このように、徐々に QOL に関する取り組みが推進されつつある。本研究では、伴走型介護に着目し、介護者の負担を極力抑えつつ、要介護者の QOL 向上を狙い、QOL 評価項目及びその尺度を提案した上で、要介護者の生活プログラムを自動生成するシステムを開発した。

2. システムの開発

2.1 システムの開発手順

まず、アセスメントシート及びチェックシート、生活プログラムの項目や尺度について検討し、素案を作成した。その後、作成したものに関して、介護現場の知見に基づく内容を盛り込むことで、実使用に即したシステムの開発を目指した。

2.1.1 QOL 項目とその尺度

介護分野の論文で用いられているキーワードと ICF における「参加」と「活動」の項目及び「ICF 参加活動項目」をもとに、「第 5 回社会保障審議会統計分科会 生活機能分類専門委員会資料 4-1」に注目し、施設用と家庭用それぞれのチェックシートを作成した[6][7]. また、評価尺度については、各項目に対してケアマネージャーの視点より、日常生活に関する「具体的参加目標」に対する「活動項目」と 5 段階の「活動目標」を定めた。

2.1.2 生活プログラム

可能な限り専門用語を使わずに施設と家庭の両方で使える形式にした。施設では担当者、家庭では可能な限り本人がチェックを行う。さらに、セルフケアを意識したカレンダー式の自己チェックシートを生活プログラムに適用した。

2.2 施設へのアンケート調査

内容の充実及び施設における重点項目や改善点の把握を目的とし、東京都と神奈川県内の公益社団法人全国老人福祉施設協議会会員の 355 施設を対象に、アンケート調査を実施した。優先度を把握する為に、必要から不必要までの 4 段階で回答してもらい、リッカート尺度により回答を点数化し、全体の QOL 項目 74 項目の中から上位 30%の 44 項目を生活プログラムでの QOL 項目に採用した[8]. また、アンケート結果より 1 日で評価する

QOL 項目数を「6 個」とした。

2.3 生活プログラム生成システムの開発

2.3.1 システムの概要

Fig.2.1 にシステムの構成を示す。介護施設の職員が操作を行うアプリケーションとデータの蓄積と管理を行うデータベースによって構成されている。介護施設より Web ブラウザを介して、学内に構築したインターネットサーバーにアクセスし、生活プログラムの生成及び履歴管理の処理がサーバー上で実行される。利用者それぞれに対して、アセスメントシートの各情報をもとにして、ケアすべき ICF の参加と活動のカテゴリに基づいた QOL 項目の優先度を決定し、生活プログラムを自動生成する。得られた生活プログラムの評価結果をシステムに蓄積し、分析することにより、次の生活プログラムを自動生成する。全履歴はシステムのデータベースに蓄積され、利用者の状況や経過の把握・分析が可能であり、家庭での日々のケアを促すセルフチェックカレンダーの印刷も可能である。開発環境としては、プログラミング言語として php、サーバーを管理する OS として CentOS 6.10、web ブラウザ上で web ページとして情報提供する web サーバーは Apache 2.2.15、履歴を蓄積する為のデータベースサーバーを MySQL として開発した。

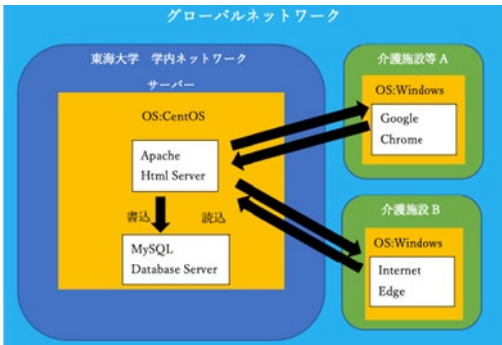


Fig. 2.1 システム構成

3. 結果および考察

3.1 アプリケーションの試行結果

介護施設担当者によるシステムの試行を行った。その結果、「生活歴の下にかかりつけ主治医の入力欄を作る」、「現在・過去の生活状況の欄が狭い」、「項目内容に家庭生活の内容が入っていないので追加する」等の改善意見が得られた。また、項目欄の不足やカテゴリの色分け等、改良への軽微な指摘を受けたものの、概ね実用レベルに達している評価結果であった。

3.2 介護現場での生活プログラムの試行結果

介護現場において、開発したアプリケーションにより生活プログラムを自動生成し、10 人の利用者を対象に生活プログラムを実施した。利用者の状況（認知症の有無、寝たきり度、認知度、ADL、IADL、施設サービスの利用内容）に対して、生活プログラムの実施結果（参加目標の優先度設定、生活シートの活動目標設定、目標の評価、総合的活用度）について評価を行った。評価結果を Table1 に示す。評価の結果、寝たきりの利用者に対しては、生活の目標設定が出来ず開発したアプリケーションを適用することはできなかったが、多少でも自立的活動が可能である場合は、効果的に利用可能であることが示唆された。（本評価は、対象介護施設を運営する株式会社創生の倫理規約に基づいて実施された。）

Table1 介護現場での評価結果

入力	要介護度	認知症	寝たきり	認知度	ADL	IADL	サービス利用	参加目標の優先度	生活シート 活用状況	目標評価	活用度
1	要介護 1	有	J1	III b	歩行・移動自立入浴や更衣等以外は一部介助、それ以外は自立	全て介助	デイ	認知症あるも、ADL やや自立であり、社会参加できているため、目標選択が容易であった	選択しやすかった	しやすかった	○
2	要介護 2	有	A1	II b	爪切り、洗髪、髪剃り以外は声かけ一部介助、それ以外は自立	全て介助	訪問看護	認知症あるも、ADL やや自立であり、社会参加できているため、目標選択が容易であった	選択しやすかった	しやすかった	○
3	要介護 5	有	C2	M	全て介助	全て介助	デイ、訪問介護、訪問看護、福祉用具貸与	寝たきりであり、目標選択が困難であった	選択しやすかった	寝たきりであり、活動していないため、評価が難しく、いつになっても目標クリアにならない	×
4	要介護 4	有	J2	M	入浴、爪切り、髪剃り、歯磨き以外は自立	全て介助	デイ	重度認知症であるも、ADL は自立しているため、目標選択が容易であった	選択しやすかった	しやすかった	○
5	要介護 1	有	J1	II b	入浴、更衣以外は自立	全て介助	デイ	認知症あるも、ADL はほぼ自立であり、社会参加できているため、目標選択が容易であった	選択しやすかった	しやすかった	○
6	要介護 1	有	J1	II b	全て自立	買い物、金銭管理、洗濯、交通手段は一部介助、それ以外は自立	デイ	認知症あるも、程度であり、ADL は自立しているため、目標選択が容易であった	選択しやすく、2 回目以降の目標設定の変更ができ、レベルアップしやす	評価しやすく、目標クリア後、次の目標へ設定変更できる	◎
7	要介護 1	有	J1	II b	入浴、更衣、洗髪、歯磨き以外は一部介助、それ以外は自立	全て介助	デイ	認知症あるも、程度であり、ADL は自立しているため、目標選択が容易であった	選択しやすく、2 回目以降の目標設定の変更ができ、レベルアップしやす	評価しやすく、目標クリア後、次の目標へ設定変更できる	◎
8	要介護 2	無	J1	I	全て自立	買い物以外は自立	デイ	認知症もなく自立しているため、目標選択が容易であった	選択しやすく、2 回目以降の目標設定の変更ができ、レベルアップしやす	評価しやすく、目標クリア後、次の目標へ設定変更できる	◎
9	要介護 3	無	A2	II b	入浴は全介助、それ以外は、ほぼ一部介助	電話と安全確認は一部介助、それ以外は全て全介助	通所リハ、訪問看護、訪問介護、福祉用具貸与	体力と下肢能力が著しく低下しているため、歩行できることとトイレに一人で歩行しているため、目標選択がしやすかった	選択しやすかった	しやすかった	○
10	要介護 4	有	A2	IV	爪切り、髪剃りは全介助、それ以外は一部介助	全て介助	通所リハ、ショートステイ、福祉用具貸与	寝たきりであり、通所リハビリで歩行訓練しており、目標選択がしやすかった	選択しやすかった	しやすかった	○

3.2 実証実験

東京都と静岡県 4 施設に対して実証実験を行った。実験の結果、生活プログラムの内容や QOL のケアに対しては、ほとんどの施設の賛同を得られた。QOL 項目や内容がきめ細かく、ケアマネージャーの書類作成の際の参考になるなど、付加的な評価もいただいた。課題としては、一般的には本システムはケアマネージャーが操作することになり、ケアマネージャーの立場からすると、アセスメントシートの項目は、幾度もデータとして入力していて、2 度手間になっている。また、東京都と静岡県では、管轄に提出する書類の書式や内容が若干異なるため、システムに対する全国的な統一化が困難との意見もあった。今後、本システムを普及させるためには、各地域におけるケアマネージャーが作成するデータを集約して標準化 + α （オプション）に対応できる形でシステムを改良する必要がある。

（本研究は、公益社団法人全国老人福祉施設協議会平成 30 年度調査研究助成によるものである。）

参考文献

- 1) 内閣府. (2020) 令和 2 年版高齢社会白書.
- 2) 公益社団法人全国老人福祉施設協議会. <http://www.roushikyo.or.jp/contents/>
- 3) 浅川毅, 奥山恵理子, 菅野真紀. (2020) 要介護者の QOL 向上のための項目と評価尺度の提案. 日本早期認知症学会誌. Vol.13, No.1:58-63.
- 4) 川越雅弘. (2008) 我が国における地域包括ケアシステムの現状と課題. 海外社会保障研究. No.162:4-15.
- 5) 西山順博, 小山茂樹, 佐々木雅也, 伊藤明彦. (2014) QOL を高める在宅栄養管理. 静脈経腸栄養. Vol.29, No.3:825-831.
- 6) 厚生省老人保健福祉局企画課長. (1998) 介護サービス計画書の様式及び課題分析標準項目の提示について.
- 7) WHO. (2002) 障害者福祉研究会 (編) ICF 国際生活機能分類—国際障害分類改定版, 中央法規出版.
- 8) James Dean Brown. (2011) Likert item and scales of measurement?:10-14.

研究紹介：視線計測技術の最新研究成果

竹村 憲太郎*

Introductory Article : New results on eye-tracking technologies

by

Kentaro Takemura*

(received on Dec. 17, 2021 & accepted on Dec. 23, 2021)

Abstract

Eye-tracking research, which we have studied since 2013, are classified into three topics: gaze estimation in the real world, corneal imaging, and invisible reference. This paper introduces the results of these researches and describes further research subjects.

Keywords: Eye-tracking, Corneal imaging, Invisible reference

1. はじめに

竹村研究室は、2013 年度より東海大学情報理工学部コンピュータ応用学科にてスタートし、視線計測技術及び能動的音響センシングに関する研究に取り組んできた。しかしながら、現在、大きな転換の時期を迎えており、ビジョンベースの研究を中心に今後展開していくため大きく舵を切ったところである。そこで、本稿ではビジョンベースの研究で中心となる視線計測技術の研究を紹介する。視線計測技術には様々なアプローチが提案されている[1]が、多様な環境で利用できるように技術の研究開発を進めており、アプローチ毎に以下に紹介する。

2. 実環境に対する注視点・注視対象推定

装着型視線計測装置で推定される注視点は、一般にシーンカメラから得られる画像(以下、シーン画像)上の点として求められる。そのため、自由に動き回る場合には、定量的な解析や実世界とのインタラクションが困難である。そこで我々の研究グループは、早くから Visual SLAM を視線計測技術に取り入れることを提案し、成果を挙げている[2]。現在は、視線計測技術に SLAM を取り入れた研究も増えており、我々の成果が装着型の計測技術の発展に寄与したと言える。しかしながら、シーン画像上の注視点を求めるには、ユーザが複数の基準点を注視するユーザキャリブレーションが必要であり、視線計測装置の常時利用を目指す上で、問題であった。

そこで、ユーザインタフェースの分野で用いられている滑動性眼球運動を用いた注視対象の推定手法を、実世界の注視対象推定及び注視点推定に応用することにも取り組んでいる。ユーザインタフェースの分野では、動きのあるメニューと眼球運動の相関を計算することで注視対象を判定していたが、我々はシーン画像から運動する対象とその軌跡を抽出することで実現した[3]。また、図 1 に示すように、電動車椅子に搭載された LiDAR で検出された歩行者に対する注視判定も、同様の手法で実現している[4]。LiDAR と視線計測装置間の幾何的な位置関係

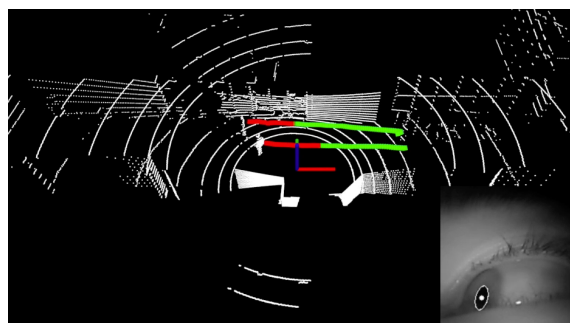


図 1 滑動性眼球運動を用いた歩行者への注視推定

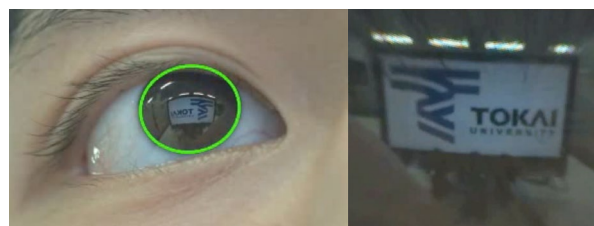


図 2 リモート型装置による角膜イメージング

を定義することなく利用することが可能であり、電動車椅子だけでなく自動車などに搭載されたセンサとの連携も期待できる。

3. 角膜イメージング

装着型視線計測装置は、シーンカメラを必要とするため、プライバシーの観点から常時利用するデバイスとして大衆に受け入れられることが難しい。この問題に対して我々は、角膜表面に反射する環境の情報を抽出する角膜イメージングを視線計測技術として捉え、反射画像から歪みを取り除き、注視対象の推定を実現している[5]。また、図 2 に示すように、装着型ではなく、リモート型でも角膜イメージングを実現するため、顔

* 東海大学情報理工学部コンピュータ応用工学科

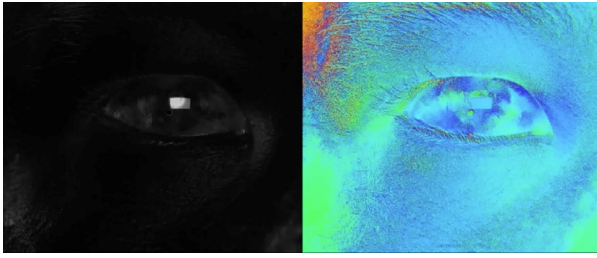


図3 偏光を用いたディスプレイ領域の抽出

追跡用の3次元モデルと眼球モデルを統合することを提案している[6].

しかしながら、従来の視線計測技術は近赤外光を用いて瞳孔を追跡する手法が一般的であり、抽出する環境情報が反射する虹彩領域を安定して追跡することが困難であった。この問題には、RGB-IRカメラを用いた手法を提案している[7]。RGB-IRカメラは、近赤外と可視画像が同時に得られるため、近赤外画像で得られた瞳孔領域と3次元眼球モデルを用いて、虹彩領域を求めることが可能である。これによって、臉の影響を受けずに安定した角膜イメージングを実現している。

4. 不可視な基準点

ディスプレイ上の注視点を高精度に推定する手法では、複数の近赤外LEDをディスプレイのコーナや既知の3次元位置に基準点として配置し、その反射点を用いて視線の計測が行われてきた。そのためディスプレイと一体型で装置を開発する必要があり、装置の大型化が避けられず、一般への普及に課題があった。そこで我々は、近赤外LEDに代わる新しい基準点の研究開発に取り組んでいる。

アプローチの一つ目は、偏光を用いた基準点である。液晶ディスプレイから照射される光は、ディスプレイ内部にある偏光フィルタによって直線偏光されている。そこで、図3に示すように、偏光カメラを用いて角膜表面を撮像し、偏光度及び偏光角度の情報を算出し、ディスプレイ領域を検出する。これによって、近赤外LEDをディスプレイコーナ等に配置することなく、Cross-Ratio Methodを用いて注視点推定を実現している[8]。また、近赤外LEDを複数用いた視線計測手法では、反射点の識別を正確に行う必要があるが、近赤外光に偏光フィルタを取り付け、ユニークな角度に直線偏光した近赤外光を照射することで、識別する手法を提案している[9]。

アプローチの二つ目は、臨界融合頻度を考慮したマーカの高速表示である[10]。高速な点滅は臨界融合頻度を超えると点灯しているように見えることはよく知られている。そこで、e-Sportsの普及によって、入手が容易となった高速ディスプレイを用いてマーカを高速に表示画面の間に挿入する。高速カメラで角膜表面に反射している画像情報を撮像すると、高速マーカで提示している不可視な基準点を抽出することができる。マーカ検出には複数枚の画像を用いるが、固視中は眼球姿勢に大きな変化はなく、検出された基準点の座標を用いて注視点が推定可能である。

5. まとめ

本稿では、2013年度から2021年度において取り組んだ視線計測技術関連の研究について、大きく三つに分類し、その成果について紹介した。視線計測技術は、ヘッドマウントディスプレイに組み込まれるなど、一般への普及も進みつつあるが、その利用は未だ限定的である。常時利用可能なインタフェースとして用いるには、引き続き計測技術の改善が必要不可欠であり、今後も学生と共に取り組む予定である。

謝辞

これらの研究の一部は、JSPS 科研費 JP18H03279, JP21H03486, JP21K19800 の助成および、総務省戦略的情報通信研究開発推進事(SCOPE) 若手 ICT 研究者等育成型研究開発の委託によるものである。

参考文献

- 1) 長松隆 菅野祐介, 竹村憲太郎, キャリブレーションフリー視線計測手法の研究動向, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.23, No.1, pp.73-88 (2021).
- 2) Kentaro Takemura, Kenji Takahashi, Jun Takamatsu, and Tsukasa Ogasawara, Estimating 3-D Point-of-Regard in a Real Environment Using a Head-Mounted Eye-Tracking System, IEEE Trans. on Human-Mach. Syst, Vol. 44, Issue 4, pp.531-536, (2014).
- 3) Yuto Tamura and Kentaro Takemura, Estimating Point-of-Gaze using Smooth Pursuit Eye Movements without Implicit and Explicit User-Calibration, in Proc. of ETRA, Short Papers, No.3 (2020).
- 4) Yuto Ito and Kentaro Takemura, Estimating Focused Pedestrian using Smooth-Pursuits Eye Movements and Point Cloud toward Assistive System for Wheelchair, in Proc. of SMC, pp.404-410 (2021).
- 5) Kentaro Takemura, Tomohisa Yamakawa, Jun Takamatsu and Tsukasa Ogasawara, Estimation of a focused object using a corneal surface image for eye-based interaction, J. of Eye Movement Research, 7(3):4, pp.1-9 (2014).
- 6) Takamasa Utsu and Kentaro Takemura, Remote corneal imaging by integrating a 3D face model and an eyeball model, in Proc. of ETRA, Short Paper, No.44 (2019).
- 7) 山岸健太, 竹村憲太郎, RGB-IR カメラを用いたハイブリッドな瞳孔・虹彩同時追跡, 計測自動制御学会論文集, Vol.55, No.8, pp.491-498 (2019).
- 8) Masato Sasaki, Takashi Nagamatsu, and Kentaro Takemura, Screen corner detection using polarization camera for cross-ratio based gaze estimation, in Proc. of ETRA, No. 24 (2019).
- 9) Kouki Koshikawa, Masato Sasaki, Takamasa Utsu, and Kentaro Takemura, Polarized Near-Infrared Light Emission for Eye Gaze Estimation, in Proc. of ETRA, Short Papers, No. 2 (2020).
- 10) Kento Seida and Kentaro Takemura, Eye Gaze Estimation using Imperceptible Marker Presented on High-Speed Display, in Proc. of ETRA, Short Papers, No. 7 (2021).

研究室紹介: ヒューマンマシンシステム研究室 (稲葉研究室) 稲葉 毅*

Introductory Article: Human-Machine Systems Laboratory (Inaba Lab.)

by

Takeshi Inaba*

(received on Dec. 22, 2021 & accepted on Dec. 23, 2021)

Abstract

In the Inaba Lab., we mainly conduct research on human-machine systems. In this paper, we introduce the recent research results of the laboratory. First, we introduce our research on the control of power-assisted systems for easy positioning, and then on direct teaching of cooperative robots. Finally, research on computer interfaces in virtual spaces is introduced.

Keywords: Human-machine system, Power assist system, Human-machine interface

1. はじめに

東海大学情報理工学部コンピュータ応用工学科稲葉研究室では、人間がロボットやコンピュータなどの機械を操作・操縦するシステムを対象に、操作しやすいシステムとするための設計法について検討している。本稿では、人間と操作対象が閉ループ系を構成する **Human-in-the-loop** (手動制御系) の考え方に基づいたパワーアシストシステムの制御に関する研究や仮想空間コンピュータインタフェースに関する研究などについて紹介する。

2. 研究成果

2.1. 位置決めしやすいパワーアシストシステムの制御

重量物の運搬・組み付けや加工作業などを支援するパワーアシストシステムを、作業者にとって使いやすくするための制御手法を検討している。パワーアシストシステムは人間と機械からなる閉ループ系であるので、機械側の動特性だけでなく、機械側から見た人間の機械的動特性 (手先インピーダンス) も重要になる。本研究室ではこれまでに、この手先インピーダンスが作業者の姿勢と作業方向によって変化するだけでなく、機械側の動特性に応じて適応的にも変化することに着目し、手先を目標位置に保持しやすくなるような機械側動特性の決定法について検討してきた。しかし実際の作業では、ある初期位置から目標位置まで手先を移動して停止するような一連の動作 (位置決め動作) を考える必要があり、その場合は動作のフェーズに応じて機械側の特性を適切に変化させる必要がある。そこで、機械側の粘性 D を (1) 式のように操作力 f_h に応じて変化させることを考える。これは操作力が大きい目標位置近くまでの移動動作時には粘性を小さくし、操作力が小さい終盤の位置決め動作時には粘性を大きくして止めやすくすることを実現する簡便な手法である。その上で、パラメータである初期粘性 D_0 と感度

係数 A を操作者の上腕の表面筋電位に基づいて自動調整する手法を考案した¹⁾。

$$D(f_h) = D_0 \frac{A}{|f_h| + A} \quad (1)$$

図1のようにリニアアクチュエータと力センサを組み合わせた実験装置を構築し、操作者の上腕に取り付けたアームバンド型のセンサで表面筋電位を測定しながら実験を行う。

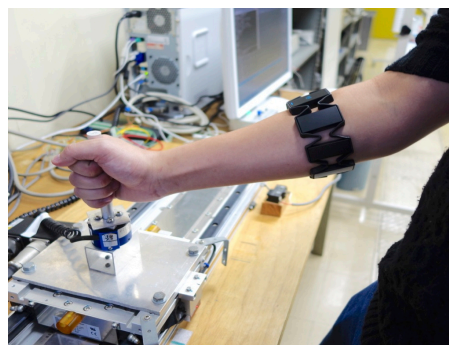


図1 パワーアシスト実験の様子

この際、機械側のパラメータが適切に設定されていないと、移動に大きな力が必要であったり、位置決め時に不要に力む必要があるなど、表面筋電位信号が大きくなる。そこで、移動開始から位置決め完了までの一連の動作の間の表面筋電位信号の総和が小さくなるように (1) 式の感度係数 A を繰り返し学習によって調整する手法を実現した。複数の被験者に対し実験した結果を図2に示す。被験者によらず数回の試行で表面筋電位信号が小さくなり、操作性のよい粘性変化パターンが実現できていることが確認できた。さらに、もう一つのパラメータである初期粘性 D_0 については、目標位置付近での操作者の姿勢に大きく依存することも見出した。今後は操作者の姿勢に応じてパラメータを自動調整する手法についても検討する。

* 東海大学情報理工学部コンピュータ応用工学科

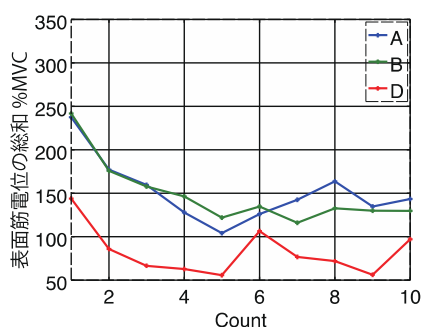


図2 パラメータ学習の結果例

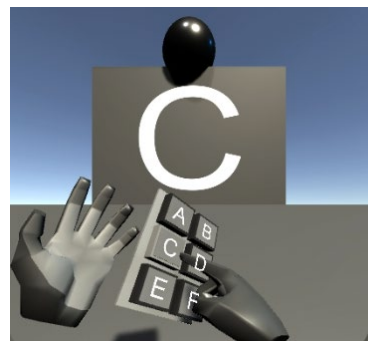


図4 仮想空間におけるインタフェースの例

2.2. 作業姿勢による操作者の動特性変化を考慮した人協働型ロボットのダイレクトティーチング

少子高齢化により生産年齢人口が減少する中、次世代ロボットの一つとして人協働型ロボットが有望視されている。人間とロボットが直接触れて作業を行う状況の一つとして、ロボットのダイレクトティーチングがある(図3)。これは、組み立てや搬送作業を行うロボットに位置や軌道を教示する際に操作端末を使った遠隔操縦をするのではなく、直接操作者がロボットをつかんで移動させる方法である。しかし、快適に精度よく教示するには、先のパワーアシストシステムと同様にロボット側に適切な動特性を持たせる必要がある。特に、操作者は全身を使った動作になるため、作業姿勢によって機械力学的な特性も大きく変化し、操作性に大きく影響することもわかってきた。そこで、本研究室のこれまでのパワーアシストシステムに関する研究成果を応用し、ダイレクトティーチングの制御手法に展開することを検討している。

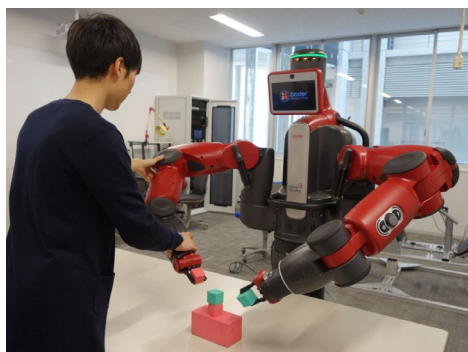


図3 人協働ロボットのダイレクトティーチング

2.3. 立体視仮想作業系における操作性評価

近年、VR(仮想現実)やAR(拡張現実)、MR(複合現実)といったものが注目され、安価なHMD(頭部装着型表示デバイス)の登場により仮想空間が広く活用されてきている。この仮想空間への没入感を高めるため、マウスやコントローラではなくジェスチャー入力機器のような身体の動作を入力とする機器を用いる検討も行われている(図4)。このような入力に対応したインターフェースを開発する際、それがユーザにとって快適であるかを評価するモデルが必要となる。

本研究ではハンドトラッキング装置によって操作者の手先姿勢を取り込んだ上で仮想空間内に描画し、仮想空間内でターゲットをポインティング作業する実験システムを構築した。その上で、ポインティング作業における操作性のモデルとしてよく用いられるFittsの法則を拡張することを検討している²⁾。その結果、HMDによる立体視が適切に実現されている環境であれば、ターゲットの奥行き方向の移動距離よりも、ターゲットの上下方向の移動距離のほうが操作時間に大きく影響することなど、新たな知見が得られている。

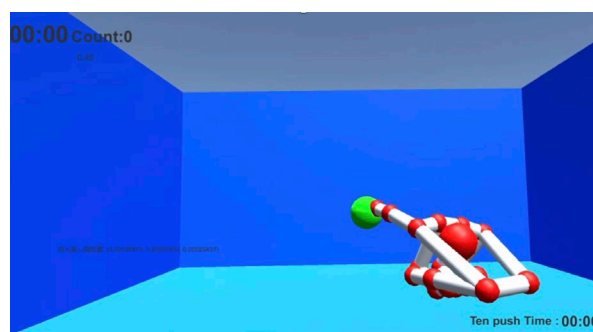


図5 ポインティング作業評価実験の様子

3. おわりに

稲葉研究室における主にヒューマンマシンシステムに関する研究について紹介した。これら以外にも体感特性を考慮したレーシングシミュレータに関する研究や、CMG(Control Moment Gyro)を応用したドローンの姿勢制御³⁾など、制御理論の応用研究も行なっている。研究室のwebサイト(<https://www.inba-lab.org>)でも紹介しているので参照して欲しい。

参考文献

- 1) 稲葉ほか:位置決めしやすいパワーアシストシステムの制御 -表面筋電位による操作性評価と手先姿勢に応じたパラメータ調整-,SI2019(2019)
- 2) 白倉ほか:ハンドトラッキングによる仮想3次元空間上でのポインティング作業へのFittsの法則の拡張モデル, SI2021(2021)
- 3) 大内ほか:並進系を考慮したシングルCMGによるドローンの姿勢制御, 日本機械学会論文集, vol. 87, no. 895, pp.1-22(2021)

知能ロボットおよびシステムに関する研究事例紹介

村松 聡*

Introduction of research for intelligent robots and systems

by

Satoshi Muramatsu*

(received Dec. 23, 2021 & accepted Dec. 25, 2021)

Abstract

In recent years, there has been a lot of research on intelligent robots and systems that collaborate with humans. In my laboratory, we are studying various intelligent robots, such as a mobile robot that recognizes images of the driving environment and plans its route, and an intelligent robot that performs tasks based on human speech. In this paper, we introduce some examples of our research on these intelligent robots.

Keywords: Intelligent robot, Intelligent system

1. はじめに

近年、少子高齢化に伴う労働力不足を解消することを目指し、人間の生活空間で各種作業を支援する協働ロボットなどの知能システムに対する需要が高まってきている。

このような知能システムは自動運転機能を有する移動ロボットや物体を巧みに操作可能なマニピュレータ型ロボットなど多岐にわたり、ディープラーニング技術やコンピュータの性能向上に伴い、目覚ましい発展を遂げている。

筆者の研究室でも走行環境を画像認識して経路計画を行う移動ロボットや、農作物の周辺情報を認識して作業計画を行うシステムなど種々の知能ロボット、知能システムに関する研究開発を行っており、本稿ではこれら筆者の研究室で研究開発した種々の知能システムについて研究事例を紹介する。

2. 知能ロボットに関する研究事例紹介

2.1 風景認識に基づく自律移動ロボットのナビゲーション

自動運転をはじめとする自律移動ロボットを実現するための技術要素は大きく分けて「自己位置推定」、「経路計画」、「障害物回避」であり、これらの要素に欠かすことができないものが環境をモデル化したデータ（環境地図）である。

環境地図はロボットに搭載したレーザスキャナやカメラなどの外界センサの計測情報や IMU などの内界センサの情報に基づいて SLAM と呼ばれる手法によって作成される。

この手法は事前にロボットを走行させる環境でセンサ情報を計測しておく必要があり、大規模な環境を想定する場合は多大な時間的、計算的コストがかかってしまう。

一方で本研究室では人間の経路計画手法に着目し、従来のロボットのように幾何的な地図情報に基づかない移動ロボットのナビゲーション手法について研究開発を行っている[1]。

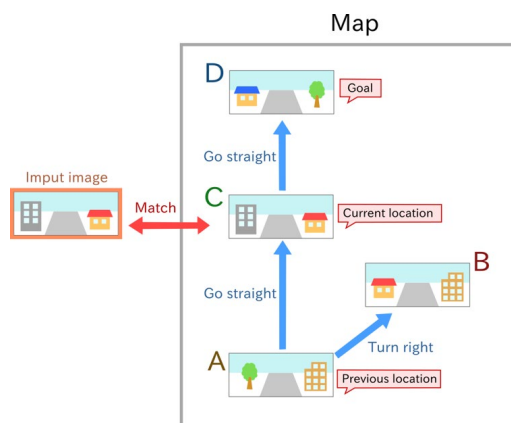


図1 グラフによる環境モデル化

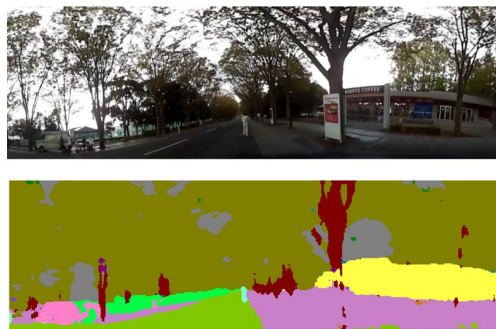


図2 風景画像のセグメンテーション

人間はロボットのように厳密な幾何情報を持った地図がなくとも「2つ目の信号を右に曲がる」「次の交差点を左折する」などのトポロジカルな情報であっても自身が観測している情報からこれに合った行動を行い、目的地までナビゲーションすることができる。ここで人間が行っている上記のナビゲーションは交差点や曲がり角、信号などの環境内の特徴的な情報を基点としてこれらを結んだようなグラフとして環境をモデル化してい

鍋を	ナベ	ナベ	鍋を	名詞-普通名詞-一般
ぐるぐる	オ	ヲ	を	助詞-格助詞
かき混ぜ		グルグル		グルグル
てください	テ	カキマゼ	て	かき混ぜる
		クダサイ		助詞-接続助詞
				クダサル
				下さる 動詞

図3 形態素解析結果（鍋をぐるぐるかき混ぜてください）

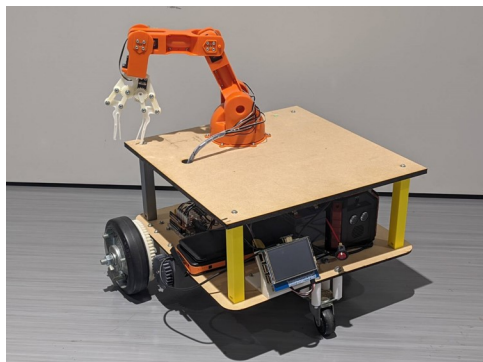


図4 マニピュレータ搭載型移動ロボット

と考え、このグラフ構造を環境地図としてモデル化することで従来の地図作成のコストを大幅に削減しつつ自己位置推定や経路計画を行う手法を提案する。

本手法では、先に述べたように交差点や曲がり角、特定の建物前などの箇所をノードとして、これらを結んだグラフとして環境をモデル化する。ここで図1のように各ノードにはその基点となる箇所において撮影した風景画像をノード識別（自己位置推定）のための情報として付与し、さらにノード間を遷移するためのロボットの行動ルールを付与しておく。

ロボットに搭載したカメラで撮影した風景画像に対して図2のようにセマンティックセグメンテーションより画像内に写っている物体を認識し、分割した各領域の配置をその画像の特徴ベクトルとして計算する。この特徴ベクトルを同様に計算して付与しておいた各ノードの特徴ベクトルと比較することで現在、ロボットがどのノードに存在しているのかを識別する。

ノード識別後は目的地とするノードまでの経路はグラフ探索することで計画可能であり、各ノードまでの遷移は先に述べたように「直進」「右に曲がる」などのノード遷移ルールに基づいて移動ロボットを自動走行制御することで実現する。

以上の提案手法はキャンパス内において実証実験済みであり、本手法によって詳細な幾何的環境地図を用いることなく、簡便にモデル化された環境地図によってロボットをナビゲーション可能であることを確認している。

2.2 オノマトペに基づく動作インタフェース

現在、産業分野で活動している協働ロボットの動作教示はダイレクトティーチングによるものかティーチングペンダントによるものが主流であるが、これらはロボットの機械的構造やその運動特性、作業特性の把握が必要であるなど誰でも簡単に与えられる形になっていないと考えられる。

一方で人間間での作業指示、特に日本語話者同士での状況を鑑みると、「その紐をぐいっと引っ張って」、「ハンドルをぐるぐる回して」などのように言葉で自身が所望する動作を相手に齟齬が少なく伝えられていることが分かる。



図5 提案手法による動作の様子（紐をぐいぐい引いて）

これは「ぐいっ」や「ぐるぐる」といったオノマトペが動作の様子を含んだ語彙となっており、発話内の動詞や対象となる名詞といった語句と組み合わせることで量的情報がなくともその動作軌跡などを共通認識として表現できることによる。

本研究ではこの点に着目し、オノマトペによってロボットの動作指示を自然言語で行うインタフェースを実現する[2]。

提案手法ではまず日本語に存在する 4500 語のオノマトペを調査し、「くるくる」など第3者の動作を表現するものなのか、「しくしく」など自身や第3者の感情を表すものなのかを分析し、動作表現に関するもののみを抽出した。

その後「回す」、「押す」などの協働ロボットで想定する動作毎に対応するオノマトペをクラスタリングし、動詞と対となるオノマトペのデータベースを作成した。

次に動詞対にクラスタリングしたオノマトペに対して被験者30名へ感性評価を行い、得られたデータから KJ 法によってどのような動作（速度や軌道、力）によってロボットを制御するかという動作ルールを定義した。

自然言語による人—ロボット間の動作指示においては図3に示すように音声認識を行ったのちに認識した文章に対して形態素解析を行い、ここから対象（名詞）、オノマトペ、動き（動詞）を抽出する。

以上より、形態素解析によって得られた対象に対して定義したオノマトペの動作ルールに従って動詞に適した形で協働ロボットの動作を制御する。図4に示すマニピュレータ搭載型移動ロボットを作成し、提案したインタフェースの検証を行った結果、自然言語によってロボットに足して簡便に所望の動作を実施させることができることを確認した（図5）。

3. おわりに

本稿では筆者の研究室で研究開発を進めている知能ロボット、システムの事例について簡単に紹介した。どちらも実環境によって想定通りに動作することを確認しており、今後は人や物の運搬や協働作業現場での性能試験など、定量的な有効性評価を実施していきたい。

参考文献

- 1) A.Nanba, S.Muramatsu. et al, "Consideration of Landscape recognition for topological localization", IEEE Industrial Electronics Society pp.4257-4262, 2018, .
- 2) Y.Yamane, S.Muramatsu et al, "Development of non-task-oriented dialogue system for human friendly robots", IEEE Int'l Conf. on Human System Interaction, pp.50-55, 2020.

研究室紹介: 先端ロボティクス研究室 (稲垣研究室) 稲垣 克彦*

Introductory Article: Advanced robotics lab. (Ingk Lab.)

by

Katsuhiko Inagaki*

(received on Dec. 24, 2021 & accepted on Dec. 25, 2021)

Abstract: Inagaki Laboratory (Ingk Lab.) conducts comprehensive research and development of various mobile robots, including the development of actual machines. In this paper, three types of robots, leg-wheeled robot, spherical pedal type controller for omnidirectional robot and magnetic wheeled type of mobile robot are introduced.

Keywords: Robotics, Mechatronics, mobile robot, robot controller

1. はじめに

当研究室では、ロボットおよびメカトロニクス分野を対象に、各種の研究・開発を行っている。ロボットの中でも特に各種移動ロボットに関する機構の設計とその運動制御に関する研究を幅広く実施している。これに加え、メカトロニクス分野の教育自身も研究テーマとしている。本稿では前者について、近年における当研究室の研究テーマを中心に紹介する。

2. 研究に関する基本方針

当研究室における研究テーマは、原則として総合的な実機開発を伴っている。この為、開発に伴う各種スキルの獲得が、学部生および大学院生の実践的教育に密接に結びついている。ハードウェアについては、学部の専門であるコンピュータや電子回路に関する分野だけでなく、機械的なハードウェア分野の開発についても、CAD や 3D プリンタ等の各種工作機械を利用して自主開発を行っている。

3. 研究事例の紹介

3.1. 省自由度型脚車輪ロボット

車輪式と脚（歩行）式は陸上における移動方式として、その大半を占める。前者は移動効率（速度やエネルギー消費）について、後者は適応能力（対地適応性）について、それぞれ優れている。したがって、これら二者を融合した機構である脚車輪型移動を実現できれば、両者の長所を活かす事ができる可能性がある。しかし、単純な設計で脚車輪ロボットを開発しても、その移動効率は実用に供する事ができるような性能にはならない。本研究では、機構設計に省自由度設計という概念を導入し、最小限の自由度（関節数）で脚車輪型移動を実現する方法を模索している。具体的には、六角形状の閉リンク構造を持った胴体を導入し、3自由度だけで6脚の相対的な位置を決定できる設計としている。6脚のうち一部の脚先には、アクチュエータの要らない受動型車輪を設置している。そして、胴体形状を変化させながら、車輪の姿勢を能動的に変化させる事

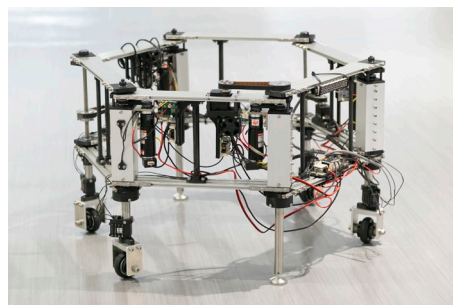


図1. Leg-wheeled robot with reduced DOF

で、車輪によるスケーティング動作（これをグライド推進という）を実現している。図1は開発したロボットの外観である。

3.2. 球体ペダルによる全方向移動機構の操縦システム

自動車等に代表される一般的な移動機構は、2自由度で構成されており、移動機構の速度や胴体回りの角速度に拘束条件がある。超信地旋回（いわゆるその場旋回）や横方向への移動が実現不可能なのは、この条件によるものである。逆を言えば、拘束条件がなければ、速度ベクトルと胴体回り角速度を独立して自由に制御する事が可能であり、前述の動作も実現できる。一般に、これを実現可能な移動機構を全方向移動機構と呼び、その実現には3自由度機構を適用する必要がある。

全方向移動機構を人間が操縦する事を考えると、操縦すべき自由度が1自由度増える事になるため、いわゆるハンドルとアクセル（+ブレーキ）のような2自由度系を対象とした操縦システムは適用できない。よって、全方向移動機構に適した専用の操縦装置を開発する必要がある。また、搭乗型の全方向移動機構の実用化シーンを考えると、狭所内で頻繁に移動や姿勢回転を繰り返すような、生産ライン等の現場における活用が考えられる。この場合、両手は各種作業の為に空けておく事が好ましく、足を使った操縦が望まれる。

これに鑑みて、本研究では小型の競技用ボールを全方向移動機構の操縦装置として適用することにした。このボールは全方向移動機構の車輪としても利用され

* 東海大学情報理工学部コンピュータ応用工学科



図 2. Controller for omnidirectional robot

るオムニホイールという部品を使って、下部が支持されており、トラックボールのように全方向へ回転できるようになっている。この装置で、ボールを自動車のアクセルペダルのように足で操り、 x, y の各軸回りの回転角度をそれぞれ y, x 方向への速度ベクトルの指示量として利用し、 z 軸回りの回転角度を胴体回りの角速度の指示量として用いる仕様である。

この際、注意しなければならないのは、自動車のアクセルペダルが踏み込み量に応じて復元力を発生させる仕様となっているのと同様に、ボールの回転角度に応じてボールが原点姿勢へ復帰させるような復元力を生じさせる必要がある点である。この機能を実装しない場合、操縦者がボールの原点姿勢を認識する事が極めて困難になり、操縦性が著しく低下する懸念がある。

そこで、機構では前述のオムニホイールに DC モータを取り付け、サーボロックによって復元力を生成するようにしている。図 2 は開発した全方向移動機構用の球体ペダル型操縦装置の外観である。

3.3. トンネル施工用セントル表面移動機構

トンネルには様々なタイプのものがあるが、その中でも最も代表的なものが、いわゆる山岳トンネルである。山岳トンネルでは、発破や削岩機等で岩盤を破碎した後、トンネル内に下処理（吹付けコンクリートの覆工、ロックボルトの設置、防水シートの設置等）を施した後、二次覆工と呼ばれるトンネル内壁のコンクリート施工作業を行う。この作業では、最初に図 3 に示すセントルと呼ばれる構造体をトンネル内部に搬入する。このセントルの断面はトンネル断面より一回り小さくなっており、セントル外壁とトンネル内壁の間に幅 30cm 程の隙間を生じる。ここにコンクリートを流し込む事で内壁を施工する方法を取る。コンクリートの硬



図 3. Centre for tunnel construction



図 4. Magnetic wheel mobile robot for centre

化後、セントルを降下させた上で、約 10m のセントル長分だけ、セントルを奥に移動させ、同様の作業を繰り返していく。この際、コンクリート施工の作業員はセントル内部において作業を行う必要があるが、その空間は極めて狭く、この空間からセントルに設けられた窓を通してセメント流し込みの為のホースや、締固め作業用のパイプレータを、前述の空間に投入する必要がある、コンクリート覆工作業は過酷なものになっている。

本研究は、セントルの表面を自在に移動可能な移動機構を開発する事で、締固め作業用の自動化や、覆工の状況の監視を行えるようにするシステムの実現を目指している。図 3 に示すように、セントル表面の斜度は垂直を上回る傾斜の部分もあり、その移動は容易ではない。しかし、幸いな事にセントルは鋼鉄製である上に表面は滑らかになっている。この性質を利用し、車輪自身が磁石となっているマグホイールと呼ばれる車輪を利用する事で、磁力によってセントル表面に吸着する構造の移動機構を開発している。この際、一部の車輪でもセントル表面から離れてしまうと、吸着力が急激に失われ、落下事故等につながる恐れがある。これを回避する為、車輪には特殊な受動自由度を設け、セントルの曲面に柔軟に対応できるような機構を設けている。また、4 輪の車輪にスリップが生じないように、個々の車輪に独立してモータを設置すると共に、各モータを研究室で開発したサーボモジュールで速度制御している。図 4 は実際のセントルで移動実験を行っている時の様子である。

4. おわりに

本稿では、当研究室において実施している各種ロボット・メカトロニクスシステムについて紹介した。今後とも、実機開発を伴う総合的なシステム開発を行っていきたい。

参考文献

- [1] K.Nohara, K.Inagaki, "A Study of Gliding Locomotion by Leg-wheeled Robot with Reduced DOF", Int. conf. on advanced intelligent mechatronics AIM2018, pp.1276-1281 (2018)
- [2] T. Siri Wattanalard, R. Sugimoto, K. Inagaki, "The Spherical Pedal Control Device for Omni-Directional Mobile Robot Manipulation", Int. conf. on climbing and walking robots and the support technologies CLAWAR2021, pp.1-11 (2021)
- [3] 康, 熊井他, "トンネル施工の為のセントル外壁移動ロボットの開発", SICE 第 22 回システムインテグレーション部門講演会, pp.2135-2137 (2021)

東海大学情報理工学部紀要委員会

委員長 譚 学 厚
委員 高 雄 元 晴

EDITORIAL COMMITTEE OF PROCEEDINGS OF
THE SCHOOL OF INFORMATION SCIENCE
AND TECHNOLOGY
TOKAI UNIVERSITY

Chairman Xuehou TAN
Member Motoharu TAKAO

本紀要の論文は、情報理工学部紀要委員会
掲載可と判定された原著論文である。

東 海 大 学 紀 要 情報理工学部

Vol. 21 2021

2022年 3月31日 発行

発行所 東海大学情報理工学部

〒259-1292 神奈川県平塚市北金目4-1-1
tel 0463-58-1211
