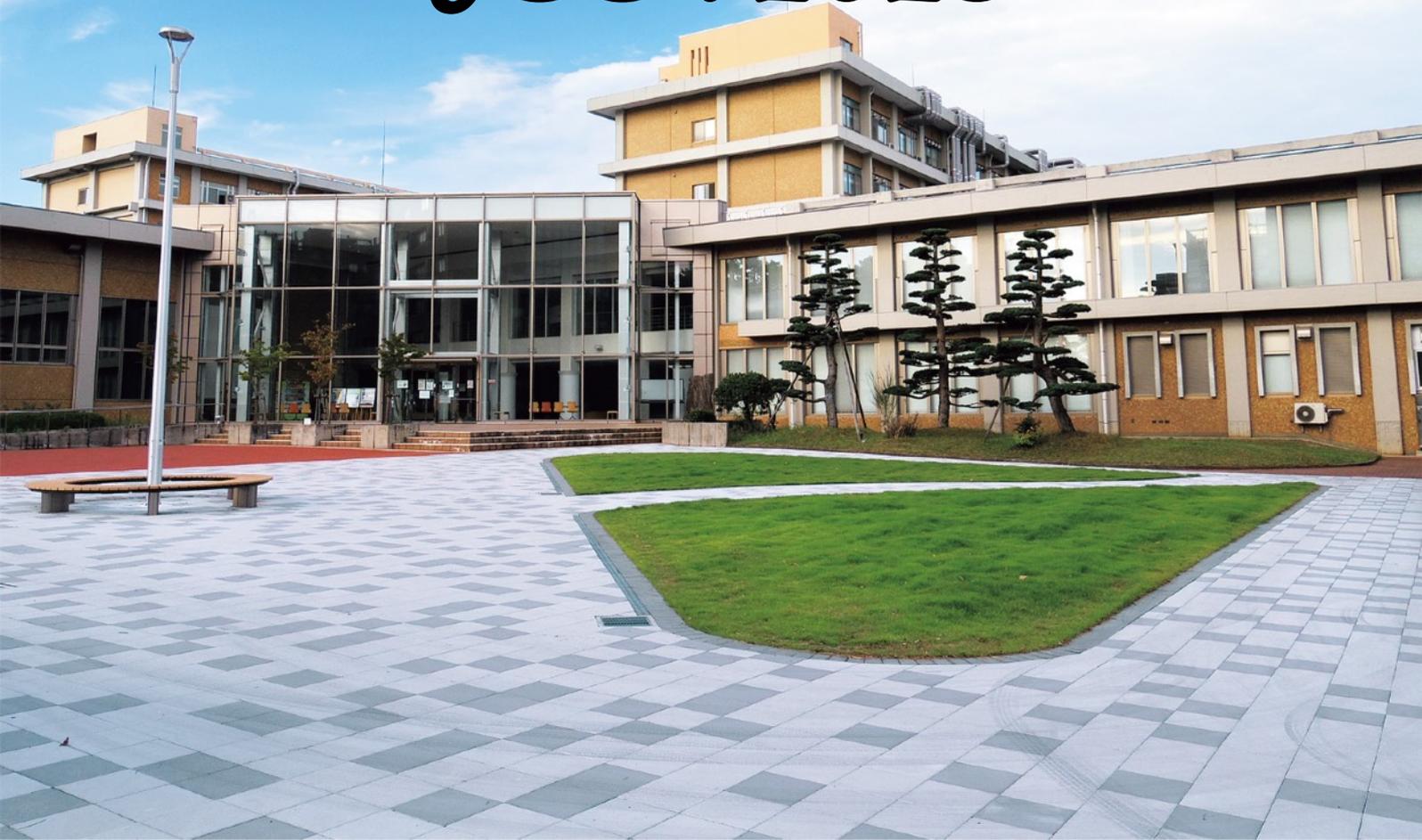


JSST2023



*The 42nd JSST Annual International Conference
on Simulation Technology*

Student Session Proceedings

*Niigata University, Niigata, Japan
August 29 — 31, 2023*

Supporting Companies

CYBERNET



Session Schedule

Day 1: Tuesday, 29th August, 2023				
Time	Room A	Room B	Room C	Room D
10:00 – 10:15	Opening Ceremony			
10:15 – 11:15	Plenary Talk (Symposium 3)			
11:15 – 11:30	Group Photo			
11:30 – 12:30	Symposium 3: Invited Talks Session 1 (2)	OS6 ① Session 5 (3)	OS1 ① Session 9 (3)	
12:30 – 14:00	Lunch Time			
14:00 – 15:00	Symposium 3 ① Session 2 (3)	OS6 ② Session 6 (3)	OS1 ② Session 10 (3)	OS7 ① Session 13 (3)
15:00 – 15:15				
15:15 – 16:15	Symposium 3 ② Session 3 (3)	OS5 ① Session 7 (3)	Symposium 2 ① Session 11 (3)	OS7 ② Session 14 (3)
16:15 – 16:30				
16:30 – 17:10	Symposium 1 ① Session 4 (3)	OS5 ② Session 8 (2)	Symposium 2 ② Session 12 (3)	OS7 ③ Session 15 (2)
17:10 – 17:30				

Day 2: Wednesday, 30th August, 2023

Time	Room A	Room B	Room C	Room D
9:00 – 10:00	Plenary Talk (Symposium 2)			
10:00 – 10:15				
10:15 – 10:55	Symposium 2: Invited Talks Session 16 (2)	OS4 ① Session 19 (3)	OS1 ③ Session 22 (2)	RS ① Session 25 (3)
10:55 – 11:15				
11:15 – 11:30				
11:30 – 12:30	Symposium 2 ③ Session 17 (3)	OS4 ② Session 20 (3)	OS1 ④ Session 23 (3)	RS ② Session 26 (3)
12:30 – 14:00	Lunch Time			
14:00 – 14:40	Symposium 2 ④ Session 18 (3)	OS4 ③ Session 21 (2)	OS1 ⑤ Session 24 (2)	RS ③ Session 27 (2)
14:40 – 15:00				
15:00 – 15:15				
15:15 – 16:00	Shotgun Presentation			
16:00 – 16:15				
16:15 – 18:00		Poster Session		

Day 3: Thursday, 31st August, 2023

Time	Room A	Room B	Room C	Room D
9:00 – 10:00	Plenary Talk (Symposium 1)			
10:00 – 10:15				
10:15 – 11:15	Symposium 1: Invited Talks Session 28 (2)	OS2 ① Session 31 (3)	OS3 ① Session 33 (3)	Symposium 2 ⑤ Session 36 (3)
11:15 – 11:30				
11:30 – 12:10	Symposium 1 ② Session 29 (3)	OS2 ② Session 32 (3)	OS3 ② Session 34 (2)	Symposium 2 ⑥ Session 37 (3)
12:10 – 12:30				
12:30 – 14:00	Lunch Time			
14:00 – 14:40	Symposium 1 ③ Session 30 (3)		OS3 ③ Session 35 (2)	Symposium 2 ⑦ Session 38 (3)
14:40 – 15:00				
15:00 – 15:15				
15:15 – 15:45	Closing Ceremony			

Symposium1

Plenary Talk

Presenter:

Prof. Ryusuke Ae

Division of Public Health, Center for Community
Medicine, Jichi Medical University



Title:

Data analysis project in medical and engineering collaboration by big data in
Kawasaki Disease

Abstract:

Half a century has passed since Dr. Tomisaku Kawasaki first reported patients with Kawasaki disease (KD) from Japan. Recently, KD has been reported worldwide and in children of all races and ethnicities. Some patients with KD develop coronary artery abnormalities, which is a global issue as it is the current leading cause of acquired heart disease in children. Nevertheless, the cause of KD remains unidentified.

In Japan, a nationwide KD survey has been conducted since 1970, aiming to provide evidence that may suggest clues that could help identify KD pathogenesis. To date, the database contains approximately 420 thousand patients with KD; this is one of the largest patient registration databases worldwide. We have established an interdisciplinary research team to analyze KD database as an example of medical-engineering collaboration with effective programming techniques for big data analysis. In this lecture, we talk about the collaboration work with some informative results from big data analysis.

Biography:

Dr. Ryusuke Ae is currently a professor at Jichi Medical University. After graduating from Jichi Medical University in 2003, he was engaged in primary healthcare in rural communities in Hyogo prefecture as a physician for ten years. His medical specialty is general internal medicine (Fellow of the

Japanese Society of Internal Medicine) and geriatrics (Board certified Geriatrician: the Japan Geriatric Society). After his clinical experience, he has been an epidemiologist at Jichi Medical University since 2013. While a Regular Research Fellow at the Centers for Disease Control and Prevention (CDC) during 2018–2019, he received several awards for skilled analysis of complex Kawasaki disease data and a relevant publication. He is interested in practical medical-engineering collaboration to find epidemiological evidence that may result in identifying the etiology of Kawasaki disease.

Invited Talk

Presenter:

Prof. Satoshi Yokojima

School of Pharmacy, Tokyo University of Pharmacy
and Life Sciences



Title:

Theoretical investigation of reversible fluorescent photoswitching molecules upon irradiation with visible light

Abstract:

One of the problems of conventional photoswitches is in the use of UV light as the trigger of the switch in at least one direction. Since UV light induces harmful reactions and since UV light is absorbed at the surface in most materials, it is preferable to use visible or IR light for controlling a photoswitch. Thus, the development of photoswitches controlled by visible or IR light is recently quite active. We theoretically investigated the mechanism of a switch of one of such photoswitching organic molecules, a fluorescent dye attached diarylethene. We show the photoswitching reaction upon irradiation with green light occur due to multiplicity conversion based on intramolecular energy transfer from the excited singlet state of the fluorescent dye to the triplet state of diarylethene.

Biography:

Satoshi Yokojima studied field theory in physics at Keio Univ.. He received PhD in 1995 supervised by Prof. R. Fukuda. He then worked on optical response with Prof. S. Mukamel at Univ. of Rochester. He moved to Univ. of Hong Kong and developed a linear scaling method with Prof. G.H. Chen. After working with Prof. Y.J. Yan on dissipative systems, he studied a charge transfer in DNA with Dr. A. Okada at Univ. of Tsukuba. He joined Dr. S. Nakamura's group at Mitsubishi Chemical and worked on photochromic systems. He moved to Tokyo Univ. of Pharm. and Life Sci. in 2011 and promoted to Professor in 2016.

Invited Talk

Presenter:

Dr. Hiroshi Yokota

Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University



Title:

Simulation study on “torsion” and local structure of chromosome: Loop structure via one side loop extrusion with twist deformation

Abstract:

In eucaryotic cell, during cell division, genome DNA condenses into the rod-like shape so called chromosome. The rod-like shape comes from consecutive loop structures constructed by condensin (protein complex).

Experiments show that condensin binds with DNA through the two binding sites, and then, pushes (extrudes) either of the binding sites. Such a one side loop extrusion creates DNA loops. Molecular dynamics simulations, however, show the fails of the chromosome condensation by only a one side loop extrusion.

In this talk, we would like to talk about loop structures by one side loop extrusion with twist deformation (a kind of “torsion” deformation) based on coarse-grained molecular dynamics simulation. Moreover, each structure is compared with some experiments in vivo and in vitro.

Biography:

Hiroshi Yokota is currently a postdoctoral researcher in Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University. He received his Dr. in Department of physics, Tohoku University in 2019. After he received his Dr., he had been working as a postdoctoral researcher at RIKEN 2019-2023. He has theoretically studied chromosome condensation and polymer crystallization based on soft matter physics.

Symposium2

Plenary Talk

Presenter:

Prof. Masayuki Yokoyama

Sensing and Intellectualization unit / Rokkasho
Research Center,
National Institute for Fusion Science / National
Institutes of Natural Sciences



Title:

Statistical-mathematical thinking in fusion research

Abstract:

“Statistical-mathematical thinking in fusion research” has been proposed, which complements conventional thinking based on plasma-physics. Its main concept is to acquire a model that “fits to the data”, rather than trying to explain the data. It does not necessarily have to be a “big data” but has a strong implication of maximizing data utilization. It can be said that this viewpoint is different from AI, which assumes the existence of big data. A few examples of such thinking will be described in the talk. It will be possible to share issues in fusion research with the statistical mathematics community and challenge them by widening the viewpoints such as plasma physics and statistical mathematics. It is also timely to consider this approach since the measurement becomes limited towards the fusion reactor and the need for estimation of necessary parameters will be increasing.

Biography:

I was born in Niigata in 1969. I completed the doctoral program at Kyoto University (Graduate School of Nuclear Engineering) and became an assistant professor of National Institute for Fusion Science (NIFS) in Jul. 1996. I conducted research mostly related to thermal transport issues of helical plasma (Large Helical Device) and then promoted the initiative to formulate the integrated transport analysis suite, so called TASK3D-a. Based on the accumulated results by TASK3D-a, I have got the interest to

implement a data-science approach and then have proceeded to propose “Statistical-mathematical thinking in fusion research” (this talk). I am currently the director of Rokkasho Research Center of NIFS.

Invited Talk

Presenter:

Prof. Kazuo Kashiya

Civil and Environmental Engineering, Chuo University



Title:

Simulation and Visualization Using XR technology
~Application to Safety and Environmental Problems~

Abstract:

In recent years, the development of XR (VR/AR/MR) has been remarkable, and it is effectively used not only in the field of science and engineering but also in various fields. In this presentation, the simulation and visualization using XR technique for safety and environmental problems are presented.

For the application to safety problem, Tsunami disaster problem is investigated. Tsunamis kill many human beings and damages economic activities seriously, such as the tsunami caused by the Great East Japan Earthquake in 2011. It is very important to develop useful modelling, simulation and visualization methods for tsunami waves in order to perform the planning and design for the community development and the mitigation of disaster. Especially, the visualization is important to understand the power of tsunami and to improve the consciousness of disaster mitigation. In this presentation, the modelling, simulation and visualization methods for tsunami waves are presented. For the modelling method, several GIS, CAD and AUV data are employed. The stabilized finite element method is employed for tsunami based on the shallow water equation. We also propose a visualization system linked to the evacuation simulation to understand the power of tsunami and the importance of the evacuation. The present modelling, simulation and visualization methods are shown to be useful tools for disaster mitigation education.

On the other hand, for the application to environmental problem, noise problem in urban area is investigated. Since noise may affect the human body such as psychological discomfort and sleep disturbance, it is necessary to quantitatively evaluate the noise level when planning and designing soundproofing measures in urban area. In the conventional studies, the

computed noise level is described by the visualization using computer graphic such as iso-surface. Although the visualization is a powerful tool to understand the distribution of noise, it is difficult to recognize the noise level intuitively. In this presentation, noise evaluation systems based on both acoustic wave theory and geometrical acoustic theory are developed. The system exposes to the users the computed noise level with both the auditory information using sound source signal and the visual information using CG image. In order to investigate the validity and efficiency of the method, the present method is applied to several noise problems. The present system is useful for planning and designing tool for various facilities in an urban area, and also for consensus building for designers and the local residents.

Biography:

Dr. Kazuo Kashiya obtained his PhD at Chuo University, Department of Civil Engineering, in 1987. He is currently a professor of the Department of Civil and Environmental Engineering of Chuo University and the director of AI and Data Science Center of Chuo University. His research interests cover many areas of computational mechanics, such as shallow water flow, free surface flow, noise simulation, wind flow, fluid-structure interaction, high performance computing and application of VR/AR/MR in pre and post processing.

He received the encouragement award of computational mechanics JUSE (Japan Union of Science and Engineering) in 1990, the Kawai medal from JSCES (The Japan Society for Computational Engineering and Science) in 2008 and Computational Mechanics Award (Asian-Pacific Association for Computational Mechanics) in 2013, JSCES Achievement Award and IACM (International Association for Computational Mechanics) Fellow Award in 2016 and Achievement Award for Applied Mechanics (Japan Society of Civil Engineers) in 2021.

He is the past President of the JSCES and an executive council member of IACM since 2012. He also serves as the advisory board member of the International Journal for Numerical Methods in Fluids, International Journal for Numerical Methods in Engineering and International Journal of Computational Methods.

Invited Talk

Presenter:

Dr. Emi Narita

Graduate School of Engineering,
Kyoto University



Title:

Development of a neural-network-based turbulent transport model DeKANIS and its application to integrated simulations of fusion plasmas

Abstract:

Fusion power is severely affected by plasma density and temperature, which are usually predicted by integrated codes. Such codes solve transport equations with turbulent fluxes provided by turbulent transport models embedded in the codes. First-principle-based turbulent transport models give reasonable agreement with experiments, but they consume large computational resources. To accelerate integrated simulations, neural-network (NN) based turbulent transport models have been developed, which predict turbulent fluxes about 10^3 times faster than the conventional models. While most NN based models work as surrogate models that mimic the existing ones, our model named DeKANIS is founded on gyrokinetic calculations performed on supercomputers and experimental data. DeKANIS has the feature that reveals the dominant transport processes in the predicted density and temperature based on the gyrokinetic calculations.

Biography:

PhD in Engineering from Osaka University in 2015. Emi Narita started her career at Naka Fusion Institute of QST. She has been engaged in experimental analysis of turbulent transport in fusion plasmas with gyrokinetic codes, transport modelling utilizing machine learning techniques, and development of integrated codes. She moved to the Graduate School of Engineering at Kyoto University in 2023.

Symposium3

Plenary Talk

Presenter:

Prof. Hisashi Morishita

Department of Electrical and Electronic Engineering,
National Defense Academy



Title:

An innovative decoupling method for MIMO antenna element

Abstract:

Recently, the Internet of things (IoT) has become prevalent with applications in countless areas of life. Along with the significant annual increase in the number of IoT devices, data traffic will increase, especially mobile data traffic. Therefore, large channel capacity and high-speed communication is required to satisfy the needs of all users of these devices. Multiple input multiple output (MIMO) is an attractive technique that can achieve a large channel capacity and high-speed communication by using multiple antenna elements in the same system. However, when MIMO antennas are closely placed in a limited space, one important issue is the strong mutual coupling that adversely affects the antenna efficiency. Thus, to improve the antenna efficiency, a reduction in mutual coupling (hereinafter referred to as decoupling) is required.

To date, many decoupling methods have been proposed. Among them, the method using a bridge line (BL) to directly connect antenna elements is considered as one of the simplest and most effective decoupling methods. However, the resonant frequency shifts to a different frequency when the antenna elements are connected directly by a BL. Hence, to shift the resonant frequency toward the desired frequency, the original size of the antenna elements must be adjusted individually. This is considered to be disadvantageous if the methods are applied under design conditions that hinder the implementation, for example, for small wireless modules with antenna. Therefore, to easily decouple the antennas in such cases, an

approach that does not require the adjustment of the original antenna sizes or structure is required.

A simple idea to implement a decoupling method that meets the above requirements is to use parasitic elements (PEs), since PEs will electromagnetically couple the antenna if they are placed in suitable locations close to the antenna. And thus, the antenna characteristics can be adjusted using PEs instead of directly redesigning the original antenna. Based on this idea, this study will utilize the combination of PEs and BLs to reduce the mutual coupling between multiple planar inverted-F antennas (PIFAs), without having to adjust the original antenna sizes or structure. In this study, PIFA was chosen as the research object because it is the type of antenna widely used in compact mobile terminals. Moreover, the design target of this study is to reduce and maintain all the reflection coefficient and mutual coupling for less than -10 dB, which are acceptable levels for MIMO antennas.

Firstly, the proposed method is investigated for two PIFAs with the feeding pins facing each other as a primary study. Using the proposed decoupling method, the mutual coupling decreased from -6.6 to -14.1 dB, and good impedance matching is maintained simultaneously at the desired resonant frequency of 2.0 GHz without having to adjust the original sizes of the PIFAs. Therefore, the total antenna efficiency is improved from 77.4% to 94.6%.

Next, the proposed method is developed to increase the operating frequency band and decouple the two PIFAs at these frequency bands. First, a dual-band design for 1-element PIFA using PE is performed. The PEs are then connected by a BL to decouple the two PIFAs in dual band. By loading the proposed PEs and BL onto the two PIFAs, two resonances with good impedance matching can be obtained at 2.0 and 2.4 GHz. Moreover, the mutual coupling at these frequencies is reduced to -14.6 dB and -14.4 dB, respectively. Therefore, the total antenna efficiency is improved from 77.4% to 95.2% at 2.0 GHz, and from 66.9% to 90.0 % at 2.4 GHz.

Finally, the PEs and BLs are investigated to reduce the mutual coupling between four PIFAs. As the number of PIFAs increases from two to four, decoupling becomes considerably more complicated, and impedance mismatch is also an issue to be considered. Therefore, PEs and BLs are functionally developed to simultaneously achieve low mutual coupling and improved impedance matching of the four PIFAs. The simulated results showed that the proposed method could reduce and maintain all mutual coupling for less than -10 dB, and simultaneously improve the impedance matching at 2.0 GHz. Although the bandwidth is narrow, the antenna efficiency at 2.0 GHz could be significantly improved from 64.2% to 84.8% for

PIFA1 and PIFA4 and from 35.9% to 74.2% for PIFA2 and PIFA3. Therefore, the design target of this study is achieved.

Biography:

Hisashi Morishita received the B.S. degree from National Defense Academy of Japan in 1980, the M.S. and Dr. Eng. Degrees from University of Tsukuba in 1987 and 1980, respectively. From 1990 to 1992, he worked as a research and development officer of JASDF. Since 1992, he has been with National Defense Academy and is currently a Professor in the Department of Electrical and Electronic Engineering. From 1996 to 1997, he was a Visiting Researcher at Communications Research Laboratory, McMaster University, Canada, he was engaged in research on smart antenna system.

He served as a Technical Committee member of the IEICE TG on Antennas and Propagation between 2002 and 2003, a TC member of 2004 and 2007 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), a Secretary of 2002 Interim ISAP and was a Chair of the IEEE AP-S Japan Chapter from 2007 to 2008. He is currently a chair of Research Committee on Multi-dimensional Mobile Communication Networks of JSST.

His research is concerned with mobile communications and small antennas, on which he has published many papers in various major technical journals. Dr. Morishita is a Fellow of IEICE and a Senior Member of IEEE.

Invited Talk

Presenter:

Prof. Tatsuya Yamazaki

Faculty of Engineering, Niigata University



Title:

Multi-Agent Simulation for Urban Disaster Evacuation

Abstract:

Urban-sized evacuation simulation provides us with various knowledge and suggestion before a real disaster happens. Therefore, multi-agent simulation experiments must be useful to verify urban resiliency against disaster and to design city functions to support the evacuees. This talk provides two types of innovative multi-agent simulation experiments. The first developed evacuation simulation model includes human psychological models for evacuee agents. The objective of this model is to make the simulation experiments more realistic and simulated experimental results show that the proposed model provides accurate evacuation behaviors. In the second simulation model, we propose a narrow-area specific messaging system using taxis as information transmitters. As the experimental results, it is found that decentralized and unbiased taxi allocation can accelerate evacuation completion.

Biography:

Tatsuya Yamazaki received the B.E., M.E. and Ph.D. degrees in information engineering from Niigata University, Niigata, Japan, in 1987, 1989 and 2002, respectively. He joined Communications Research Laboratory (at present, National Institute of Information and Communications Technology) as a researcher in 1989. Since August 2013, he has been with the Faculty of Engineering, Niigata University, Niigata, where he is currently a Professor. Currently, he is also the director at the Big Data Activation Research Center of Niigata University.

Invited Talk

Presenter:

Prof. Tomotaka Wada

Department of Electrical, Electronic and Information Engineering, Faculty of Engineering Science, Kansai University



Title:

Development of Emergency Rescue Evacuation Support System (ERESS) for Safe and Secure Life

Abstract:

In recent years, many victims have been caused by sudden disasters such as fires and terrorism all over the world. When disaster information cannot be obtained, evacuees may not be able to choose a safe evacuation route. For this reason, in a disaster, the damage will increase due to the delay in evacuating. In order to reduce the number of victims caused by such sudden disasters, it is very important to promptly provide disaster information to evacuees. Hence, there is a system that quickly detects disasters and provides evacuation guidance. Typical systems include systems using communications such as mobile phones and sensor networks. An example of the former is disaster navigation. This is an evacuation support system that acquires current location information using the GPS function and displays the route from the current location to the evacuation center. However, because information acquisition depends on the server, information cannot be acquired if the server is damaged during a disaster. In addition, it takes time to acquire information because the access to the server is concentrated immediately after the disaster. On the other hand, the latter sensor network is a system composed of multiple sensors and servers. The sensors to be installed are sensors that detect temperature, smoke, gas, etc., and the data acquired by each sensor is managed by the server. It detects the occurrence of a disaster from the acquired data and notifies the evacuees in the building after the detection. However, it is limited to use only where the sensor is installed. Also, if the sensors or servers are damaged, the system will stop functioning. In order to solve these problems, we are developing an emergency rescue evacuation support system (ERESS). ERESS is a system that automatically detects disasters at an early stage by collecting sensor information from

mobile terminals through an ad-hoc network. It provides evacuation support by giving real-time disaster information to evacuees. I explain an overview of the development of this system so far.

Biography:

Tomotaka Wada received B.E. and M.E. degrees in Electrical and Electronic Engineering from Osaka Prefecture University, Japan, in 1995 and 1997, respectively. He received his Ph.D. degree in Communications Engineering from Osaka University, Japan, in 1999. From 1999 to 2006, he was a research associate in the Faculty of Systems Engineering of Wakayama University. In 2006, he joined the Faculty of Engineering at Kansai University, where he is currently professor. His research interests are wireless communications, sensor networks, evacuation support systems, and Intelligent Transport Systems (ITS). He was serving as chair of the IEICE Technical Committee on Intelligent Transport Systems Technology (ITS) from 2019 to 2021, and Information and Communication Technologies for Safe and Secure Life (ICTSSL) from 2022 to 2023. He was also chair of IEEE Communications Society Kansai Chapter from 2020 to 2022. He is a senior member of IEEE and IEICE, and a member of IPSJ, JSST and JASDIS.

Committee

General Chair:

Susumu Fujiwara (Kyoto Institute of Technology)

Conference Chair:

Takahiro Kenmotsu (Doshisha University)

Local Committee Chair:

Keisuke Nakano (Niigata University)

Committee Members:

Kenichi Ito (Niigata Institute of Technology)

Akira Otsuka (Niigata Comprehensive Academy Graduate School of Business Creation)

Tatsuya Kabasawa (National Institute of Technology, Nagaoka College)

Naoyuki Karasawa (Kaishi Professional University)

Kazuyuki Miyakita (Niigata University of International and Information Studies)

Ryusuke Numata (University of Hyogo)

Shugo Yasuda (University of Hyogo)

Masakazu Sengoku (Niigata University / Niigata Comprehensive Academy Graduate School of Business Creation)

Hiroshi Tamura (Chuo University)

Seiki Saito (Yamagata University)

Yoshihisa Fujita (Nihon University)

Satoshi Togo (University of Tsukuba)

Chako Takahashi (Yamagata University)

Makoto Nakamura (National Institute of Technology, Kushiro College)

Masafumi Yoshida (National Institute of Technology, Ube College)

Fumihiro Tamura (National Institute of Technology, Nagaoka College)

Takashi Hara (National Institute of Technology, Kagoshima College)

Yuichi Tamura (Konan University)

Nobuaki Ohno (University of Hyogo)

Ryosuke Ueda (Tohoku University)

Yuki Uchida (National Institute of Technology, Nagaoka College)

Miyuki Yajima (National Institute for Fusion Science)

Hiroyuki Suzuki (Yamagata University)

Hiroaki Ohtani (National Institute for Fusion Science)
Tomoko Mizuguchi (Kyoto Institute of Technology)
Taku Itoh (Nihon University)
Masami Iwase (Tokyo Denki University)
Hiroto Tadano (University of Tsukuba)
Hideki Kawaguchi (Muroran Institute of Technology)
Hiroaki Nakamura (National Institute for Fusion Science)

Table of Contents for Student Session

Day 2: Wednesday, 30th August, 2023

Student Session

Time: 15:15 – 16:00 (Shotgun Presentation)
16:15 – 18:00 (Poster Session)

Room: Room A (Shotgun Presentation)
Room B and C (Poster Session)

Chair: *Seiki Saito (Yamagata University) and Masafumi Yoshida (National Institute of Technology, Ube College)*

- P01** Research on transmission characteristics of disaster relief signals using Bluetooth 1
Ryusei Koike and Tatsuya Kabasawa
- P02** Molecular dynamics simulation of gapped DNA labeled with fluorescent probes5
Takumi Timothy Hashi, Susumu Fujiwara, Tomoko Mizuguchi, Yoshiteru Yonetani, Naoya Shikazono, Ken Akamatu and Hiroaki Nakamura
- P03** Effects of the Chain Length on the Aggregate Structure of Perfluoroalkyl substances ..9
Ryunosuke Yonemori and Tomoko Mizuguchi
- P04** Prognostic medication: whether the macroscopic equation model can also predict dog's medical data of illness by considering difference of division speed of ES cells for human beings and dogs 12
Shun Tomita and Ken Naitoh
- P05** Classification of six macroscopic molecular group in the theoretical model on biochemical reaction processes : for prognostic medication 16
Kami Okazaki, Ken Naitoh and Koichi Shibasaki
- P06** RoI Editing Tool with AI Segmentation for Radiotherapy Simulation20
Xiaoru Xie and Akinori Kimura
- P07** A consideration on setting charging fee for charging while doing something in electric vehicles 22
Kouta Yamamoto, Kazuyuki Miyakita and Keisuke Nakano
- P08** Improvement of Accuracy of Object Detection by Super-Resolution Using Neural Network26
Aoi Shishime, Shota Furukawa and Takashi Hara

P09	Proposal of Parameter Processing in Neural Network	30
	<i>Eiyu Tomimori, Kazuhiro Takeda and Takashi Hara</i>	
P10	Consideration of Double Array Structure in Language Model	34
	<i>Sora Yanagihara, Shota Furukawa and Takashi Hara</i>	
P11	Hand Gesture AI Recognition for Alphabets of Nepali Sign Language	38
	<i>Gurung Sanjeev and Akinori Kimura</i>	
P12	Numerical analysis on expansion dynamics of fuel pellet after ignition in reactor chamber for heavy-ion inertial fusion	40
	<i>Wenzhen Hou, Kazumasa Takahashi, Toru Sasaki and Takashi Kikuchi</i>	
P13	Molecular dynamics simulation of fluorescent dye-labeled DNA with apurinic/aprimidinic sites	42
	<i>Kotaro Masumoto, Susumu Fujiwara, Tomoko Mizuguchi, Yoshiteru Yonetani, Naoya Shikazono, Ken Akamatu and Hiroaki Nakamura</i>	
P14	Particle-Scale and Macro-Scale Computations on the Swelling Process of Superabsorbent Polymer Particles	46
	<i>Niku Guinea, Satoru Ushijima, Takahiro Shiba, Kazumitsu Suzuki and Yusuke Matsubara</i>	
P15	Explicitly Hermitian Quadrilateral elements with completeness for bending Kirchhoff-Love plates	50
	<i>Masaki Sakai and Kyosuke Yamamoto</i>	
P16	Estimating Regions of Japanese Folk Songs Using Machine Learning	54
	<i>Tatsuki Ioka and Hiroshi Tamura</i>	
P17	Base Station Placement for 5th Generation Mobile Communication System Considering Obstacles	58
	<i>So Katayama and Hiroshi Tamura</i>	
P18	Performance evaluation of Japanese traditional drum performance with machine learning	62
	<i>Koki Kamiyama and Hiroshi Tamura</i>	
P19	Effective deployment method of Edge Computer in 5th generation mobile communication systems	66
	<i>Shun Sasaki and Hiroshi Tamura</i>	
P20	A delivery method using Drone in areas with high aging populations	70
	<i>Kensuke Shiina and Hiroshi Tamura</i>	
P21	Channel assignment in wireless communication and graph distance edge coloring ...	74
	<i>Keita Suzuki and Hiroshi Tamura</i>	

P22	The probability of coloring with the maximum number of colors by greedy colorings	78
	<i>Tatsuya Murayama and Hiroshi Tamura</i>	
P23	Cs film thickness stabilization conditions on the plasma grid in an ITER-scale negative ion source	82
	<i>Shunsuke Hayashi and Masafumi Yoshida</i>	
P24	Improved grid point arrangement in 2D CIP-Soroban method	85
	<i>Zhehao Lin, Kazumasa Takahashi, Toru Sasaki, Takashi Kikuchi and Atsushi Sunahara</i>	
P25	Simulation of Particles in Tungsten Material	89
	<i>Keisuke Takeuchi, Shingo Sato, Hiroaki Nakamura and Seiki Saito</i>	
P26	Analysis of the Relationship between Performance and Core Body Temperature of Players in Club Activities	92
	<i>Keisuke Ishigami, Yoshihide Shibata and Yuji Yoshimura</i>	
P27	Magnetic properties of the iron-based material caused Hydrogen embrittlement	96
	<i>Yuto Ohta, Kenji Suzuki, Masaharu Matsumoto and Katsuhiko Yamaguchi</i>	
P28	Analysis of Conversion Efficiency of Direct Charge Nuclear Battery using Tritium ..	98
	<i>Ryuma Kigeuchi, Hibiki Umeda, Fumihiko Tamura, Yuki Uchida, Takashi Kikuchi and Hiroki Takezawa</i>	
P29	Analysis of Conversion Efficiency of Direct Charge Nuclear Battery using High Energy β Particle Source	100
	<i>Hibiki Umeda, Ryuma Kigeuchi, Fumihiko Tamura, Yuki Uchida, Takashi Kikuchi and Hiroki Takezawa</i>	

**Bluetooth を用いた災害救助信号の
伝送特性に関する研究**
**Research on transmission characteristics of disaster
relief signals using Bluetooth**

小池 竜誠^{1*}, 樺澤 辰也²
Ryusei Koike^{1*}, Tatsuya Kabasawa²

¹長岡工業高等専門学校 専攻科 電子機械システム工学専攻

²長岡工業高等専門学校 電気電子システム工学科

¹ Electrical and Mechanical Systems Engineering Advanced Course,

National Institute of Technology, Nagaoka College

² Dept. of Electrical and Electronic Systems Engineering,

National Institute of Technology, Nagaoka College

ac34807e@nagaoka-ct.ac.jp

Abstract. Rapid rescue operations are essential to save more lives in the event of a large-scale disaster. In order to carry out such rapid rescue operations, it is important to understand the condition and location information of the victim included in the rescue request from the victim. Therefore, it is expected that the transmission of rescue signals using information communication devices such as cell phones, which have a high penetration rate, will be effective. However, due to reasons such as line congestion caused by a rapid increase in communications, power outages caused by earthquakes, and the fact that base stations are actually damaged, communication is difficult, resulting in delays in rescue operations. In this study, we construct a network using direct communication between mobile terminals owned by disaster victims when communication stations are not available, and analyze the collection of rescue signals from disaster victims using a communication method that assumes SOSCast, and study its transmission characteristics.

Keywords: Ad hoc mode, Ad hoc network, Bluetooth, SOSCast, Collection rate of SOS message

1. はじめに

大規模な災害の発生時により多くの人命を救助するためには、迅速な救助活動が必要不可欠である。その迅速な救助活動を行うためには、被災者からの救助要請に含まれる被災者の状態や位置情報を把握することが重要である。

東日本大震災時には、76.9%の被災者が携帯電話を所持しており[1]、また総務省によると 2019 年における世帯のスマートフォンの保有状況は 83.4%とされ、高い普及率である情報通信機器を用いた救助信号の伝送は効果的であると予想されている。しかしながら、東日本大震災時に携帯電話を用いた救助要請が試みられたが、通信の急激な増加による通信回線の混雑や震災による停電、基地局が実際に被災しているといった理由から、いくつかの地域で通信が困難となり、被災者の救助要請を把握できず救助活動に遅れが生じたという問題点を抱えている。

本研究では、災害時に基地局の使用ができない場合において、被災者の持つ携帯端末同士の間で直接通信を用いネットワークを構築し、SOSCast を想定した通信方法により被災者の救助信号の収集に関して解析を行い、その伝送特性に関する検討を目的とする。

2. SOSCast を用いたシミュレーションの概要

図 1 に SOSCast[2]のモデルを示す。SOSCast は、通信不可領域内に存在する移動できない被災者の携帯端末から、伝搬者あるいは他の被災者の端末へ、基地局を介さず Bluetooth (BT)による直接通信を用いて救助信号を伝搬するものである。

図 1(a)のように各端末は自身の通信可能範囲内に存在する他の被災者端末から電池残量が最も多い端末を 1 つ選び、自身の代表端末と設定し救助信号を送信する。他端末から救助信号が来た場合は、その救助信号も代表者端末に向けて送信する。もし自身より電池残量が多い端末が通信可能範囲内に存在しなかった場合、自身を代表端末として、救助信号の収集と保持を行う。

次に図 1(b)のように端末の通信可能範囲内に伝搬者が確認できた場合、その端末は自らが選定した代表端末に救助信号の送信要求を行う。もし端末が自身で選定した代表端末である場合、要求された端末に保持していたすべての救助信号を送信する。

この通信方式の利点は伝搬者の通信可能範囲外に存在する端末や電池残量が無くなった端末の救助信号も伝搬者に送信することが出来る点が挙げられる。

また、先行研究より SOSCast を用いてシミュレーションを行った場合、被災者端末が増加するとともに呼損率は減少し、SOSCast を用いていない場合は徐々に呼損率が増加することが判明している。SOSCast を用いることで呼損率が減少するため、無駄な送信の軽減につながり被災者端末の電池容量の減少防止につながると考えられている[3]。

図 2 に解析モデルのマップを示す。被災地は長岡市柏町近辺を例にしたマップを用いる。一辺 1km の正方形で伝搬者が移動する通路と避難所を設定した。被災者及び伝搬者の初期位置はモデル内で一様分布に従うものとする。Bluetooth Class 規格は Class2 を想定し、Bluetooth 通信の到達距離は最大 10m とする。被災者端末は自身の Bluetooth の ID を自身の端末 ID とシミュレーション開始時の電池残量、自身が設定した代表端末の ID を含んだものに変更する。シミュレーションを開始した後、伝搬者はマップを毎分 50m の速度で最寄りの避難所へ移動する。伝搬者は既に救助信号

を収集した端末からは救助信号の送信要求をしない. 救助信号を送信要求から伝搬者へ送信する際の送信時間は短いものとして今回の解析では考慮していない. 被災者端末の電池容量は 1500mAh, 2500mAh, 3000mAh の 3 タイプとし, シミュレーション開始時にランダムに割り当てる. また被災者端末の電池消費量は時間当たり電池容量の 1.50%とし, 一度の Bluetooth 通信の送信出力は 2.5mW とする. ある伝搬者の通信可能距離に他の伝搬者が確認できた場合, 各自が収集した救助信号を相互で共有を行う. 以上の条件でシミュレーションを行い, 救助信号の平均収集率を測定する.

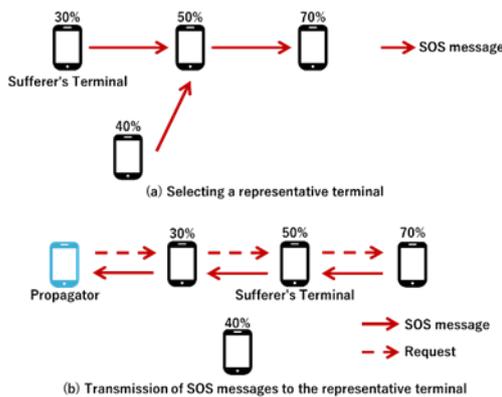


図 1 SOSCast モデル

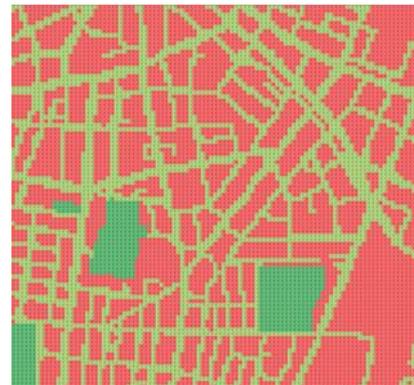


図 2 解析モデルマップ
(長岡市柏町近辺)

3. 解析結果及び考察

図 3 に被災者端末数が 200, 400, 600, 800, 1000 台のときの収集率の解析結果を示す. 伝搬者端末数は各被災者端末数の 10%としてシミュレーションを行った.

図 3 より, 被災者端末数が増加すると, 収集率も増加していることが分かる. 収集率の増加が最も大きかったのは被災者端末数を 200 台から 400 台に変えた時であった. これは被災者端末が多くなると共に, より広範囲のアドホックネットワークが構築され, 伝搬者端末が通信可能範囲内へ進入が容易になるためであると考えられる.

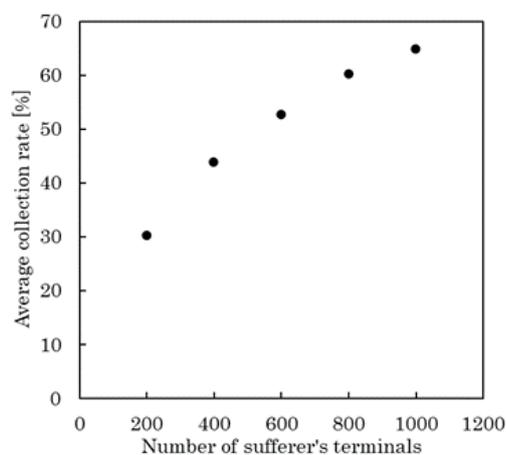


図 3 被災者端末数に対する収集率の変化

図4に伝搬者端末数が30, 60, 90, 120, 150台のときの収集率の解析結果を示す。ここで、被災者端末数を600台としてシミュレーションを行った。

図4より、伝搬者端末数が増加すると、収集率も増加していることが分かる。これは、大規模なアドホックネットワーク外の被災者端末を発見することができるからであると考えられる。図3と図4より、被災者端末数が600台に対して伝搬者端末数が120台のときの収集率は約67.9%、被災者端末数が1000台に対して伝搬者端末数が100台のときの収集率は約64.8%であり、同程度となっていることが分かる。このことから、SOSCastは被災者端末の密度が高いほど少ない伝搬者端末数でも効率よく救助信号を収集できる特徴があると考えられる。

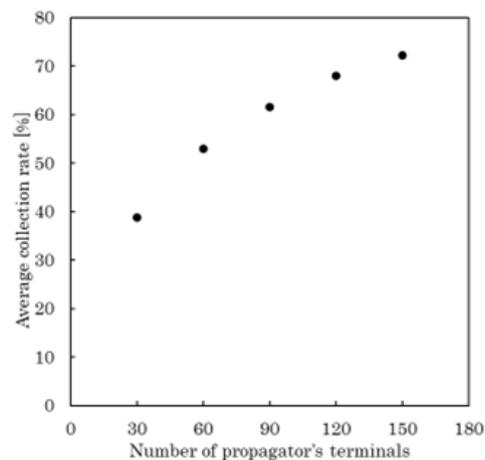


図4 伝搬者端末数に対する収集率の変化

4. まとめ

実在する地形をモデルにして SOSCast を用いたシミュレーションを行った。解析結果より、被災者端末の密度が高いほど効率よく救助信号を収集できる特性が分かった。今後は人口密度データなどを参照にしたモデル内での被災者端末の偏りと伝搬者の配置を考慮した場合のシミュレーションを行い、収集率の変化を調査する必要がある。

参考文献

- [1] 本條晴一郎, 遊橋裕泰: 災害に強い情報社会 東日本大震災とモバイル・コミュニケーション, NTT 出版, 2013.01
- [2] L.ZAMORA et al.: *Securing SOS Messages in Uncommunicable Areas via Information Sharing Cluster*, 2015, 1618-1626.
- [3] 瀬沼翔太, 樺澤辰也: アドホック通信による災害救助の伝送特性の向上に関する研究, 第22回高専シンポジウム, 2017.1

蛍光色素分子で標識したギャップ損傷 DNA の 分子動力学シミュレーション

Molecular dynamics simulation of gapped DNA labeled with fluorescent probes

橋 拓実 ティモシー^{1,2*}, 藤原 進^{1*}, 水口 朋子¹, 米谷 佳晃^{2*}, 鹿園 直哉²,
赤松 憲², 中村 浩章^{3,4}

Takumi Timothy Hashi^{1,2*}, Susumu Fujiwara^{1*}, Tomoko Mizuguchi¹, Yoshiteru
Yonetani^{2*}, Naoya Shikazono², Ken Akamatu², Hiroaki Nakamura^{3,4}

¹京都工芸繊維大学, ²量子科学技術研究開発機構, ³名古屋大学, ⁴核融合科学研究所
¹Kyoto Inst. of Tech., ²QST, ³Nagoya Univ., ⁴NIFS

*m3672016@edu.kit.ac.jp

Abstract. DNA は様々な要因(放射線、化学物質、活性酸素等)で損傷を受けることがある。この損傷は、二本鎖切断、一本鎖切断、脱塩基部位、塩基損傷の 4 種類に大きく分類できる。一本鎖切断において一部のヌクレオチドが丸ごと取り除かれたときにできるギャップと呼ばれる損傷に着目した。損傷による DNA の構造変化を調べるには、蛍光プローブによる測定が有力な手段となるが、実験だけでは DNA の正確な構造を把握することが困難である。蛍光プローブを DNA に標識して分子動力学シミュレーションを行うことで、その挙動や蛍光色素間距離について検討する。またギャップの有無による違いも検討する。

Keywords: molecular dynamics simulation, gapped DNA, DNA damage, fluorescence resonance energy transfer (FRET), fluorescent probe

1. Introduction

生物における遺伝情報を担う物質である DNA は、リン酸とデオキシリボース、4 種類あるアデニン(A)、グアニン(G)、シトシン(C)、チミン(T)の塩基で構成される核酸であり、2 本の鎖からできている。

DNA は酸化や放射線照射などの環境要因によって損傷することがある。DNA 損傷には、酸化によって生成される 8-オキシグアニン(8oxo guanine)、塩基が脱離した脱

塩基部位(apurinic/aprimidinic site, AP 部位)、DNA 二重らせん構造の一本鎖が切れる一本鎖切断(single strand break, SSB)、または両方が切れる二本鎖切断(double strand break, DSB)などがある。本研究では一本鎖切断型の一種であるギャップを有する損傷 DNA について着目する。

損傷による DNA の構造変化を調べるために蛍光プローブが用いられている。蛍光プローブは、タンパク質の同定、生体分子の挙動の検出に利用されており、非破壊的に測定対象の情報を取り出すことができる物質である。実験だけでは DNA の正確な構造を把握することが困難なことから、蛍光プローブを DNA に標識して分子動力学(MD)シミュレーションを行うことでその挙動を検討する。

DNA の立体構造変化を実験的に測定する方法として、蛍光プローブを用いた蛍光共鳴エネルギー移動(fluorescence resonance energy transfer, FRET)の計測がある。FRET は 2 個の色素分子(ドナーとアクセプター)の間で励起エネルギーが電磁波にならず電子の共鳴により直接移動する現象である。ドナー・アクセプター間距離によってエネルギーの移動確率に差が生まれる。これを利用して生体高分子における分子間距離を調べるのに用いられている。エネルギー移動の確率を示す FRET 効率(E)は(1)式のようなドナー・アクセプター間距離 r の大きいところで 6 乗に反比例する関数である。FRET が生じる色素間距離は 1~10nm 程度である。

$$E = \frac{1}{1 + \left(\frac{r}{R_0}\right)^6} \quad (1)$$

ここで R_0 はフェルスター距離で、FRET 効率が 50%となるドナー・アクセプター間距離に相当する。

本研究では、まず DNA の両末端に蛍光プローブを繋げた場合の挙動を検討する。蛍光色素間距離が 10nm におさまるように 15 塩基対からなる二本鎖 DNA を 2 種類作成した。一つは、一本鎖切断型の一種であるギャップを有する DNA、もう一つは未損傷 DNA とした。作成した DNA に蛍光色素を繋いで MD シミュレーションを行い、DNA の構造変化や FRET 効率を解析した。

2. Models & Simulation

以下のように、未損傷 DNA と損傷 DNA に対して MD シミュレーションを行った。シミュレーションソフトは、分子設計、MD 計算、計算結果の解析などができる AmberTools22[1]を用いた。

2.1 未損傷 DNA の平衡化

AmberTools22 の Nucleic Acid Builder モジュールを用いて未損傷の DNA を作成した。塩基配列は、鹿園ら[2]が実験で使用したものの一部を用いた。次に、AmberTools22 の xLEAP モジュールを用いて、対イオンの Na^+ を加えて電荷を中和し、DNA の周りを水で満たした。DNA の力場は AmberTools22 の OL15 力場を、水の力場は TIP3P 力場を用いた。続いて、系全体のエネルギー最小化を行った。そして周期境界ボックスの体積を固定して MD 計算を開始した。2ns かけて、系の温度を 0 K から 310 K まで昇温した後、温度を 310 K に維持し、一定圧力(1 atm)で 10ns の平衡化を行った。

2.2 損傷 DNA と蛍光プローブ

上記のようにして平衡化した未損傷 DNA に、Fig.1 のようにギャップを一か所挿入したものを作成した。

2.1 節の場合と同様にして、xLEAP モジュールを用いるが、最初に蛍光プローブを繋げるために amberdyes 力場を用いて、蛍光色素(Alexa Fluor488/Alexa Fluor647)を両末端に繋げた(Fig.2(a))[3]。そして対イオン (Na^+)、溶媒(水)を加え、エネルギー最小化を行った。その後、周期境界ボックスの体積を固定して MD 計算を開始した。系の温度を 0 K から 310 K まで昇温した後、温度を 310 K に維持し、一定圧力(1 atm)で 400ns の MD 計算を行った。FRET について調べるため、損傷 DNA のドナー・アクセプター間距離である蛍光色素間距離を調べた。比較のため、未損傷 DNA(Fig.2(b))に対しても同様の解析を行った。

15 base pairs
5'-AATATGTCTCTATGC-3'
3'-TTATACA AGATACG-5'

Fig.1 The base sequence of gapped DNA with 15 base pairs.

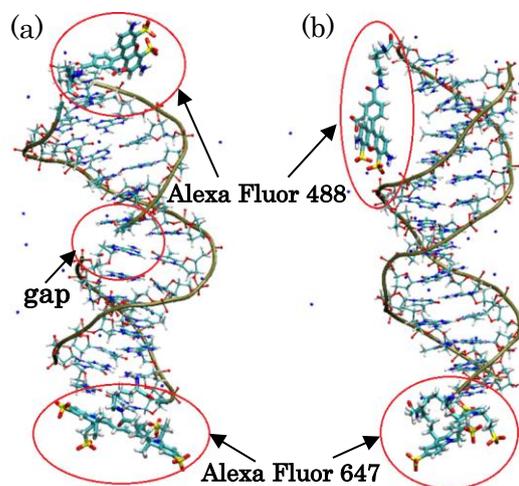


Fig.2 Snapshots of (a) a gapped DNA labeled with fluorescent probes and (b) an undamaged DNA labeled with fluorescent probes.

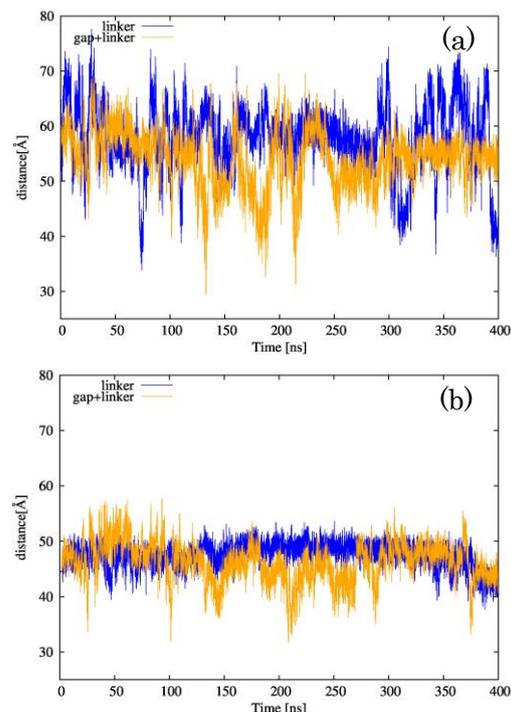


Fig.3 Temporal evolution of (a) FRET distance and (b) DNA end-to-end distance for a gapped DNA (orange) and an undamaged DNA (blue).

3. Results

3.1 蛍光色素間距離と DNA の末端間距離

400ns のシミュレーションにおける蛍光色素間距離と DNA の末端間距離の時間変化を Fig.3 に示す。この図から、DNA にギャップがある場合(橙色)は、ない場合(青色)よりも、蛍光色素間距離と DNA の末端間距離がどちらも比較的短くなっていることが読み取れる。これはギャップによって隙間ができたことより、DNA 全体が折れ曲がったり、ねじれたりしているからである。

3.2 FRET 効率と頻度

蛍光色素間距離と DNA の末端間距離の頻度について二次元プロットで示した(Fig.4)。今回繋いだ蛍光色素(Alexa Fluor488/Alexa Fluor647)のフェルスター距離は

56Å[4]である。シミュレーションの結果と(1)式を使って FRET 効率について調べた。(1)式より蛍光色素間距離が近いほど FRET 効率は高くなる。Fig.4 から未損傷のものよりギャップがある方が、蛍光色素間距離の近い傾向が見られた。そのため、ギャップがある DNA の場合において FRET が起こる確率が高いといえる。

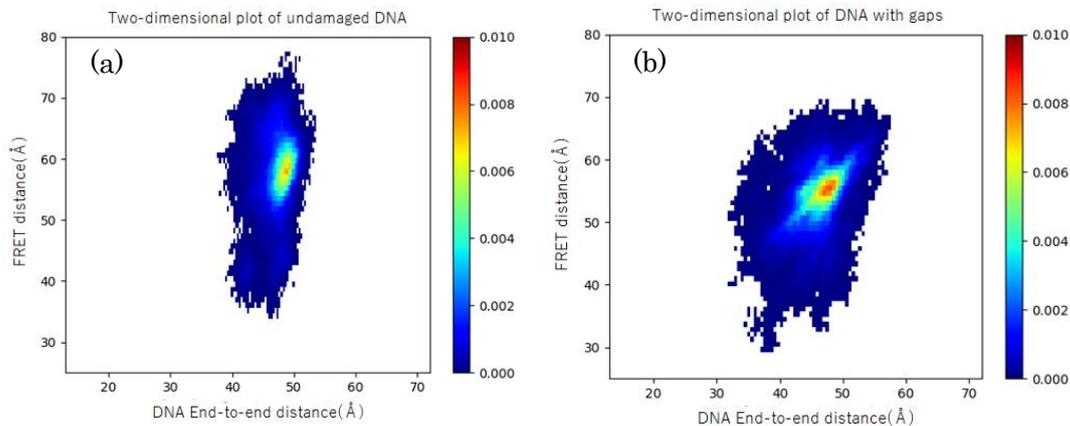


Fig.4 Two-dimensional plot of FRET distance and DNA end-to-end distance (a) for an undamaged DNA and (b) for a gapped DNA.

4. Summary

ギャップを有する DNA 及び未損傷 DNA の両端に蛍光プローブを標識して分子動力学シミュレーションを行い、DNA の挙動や蛍光色素間距離を評価した。その結果、ギャップの有無によって FRET 効率に差が表れることが分かった。今後は、蛍光色素の方位についても調べることで、方位による蛍光色素間距離の違いについて検討する。また、さらに長い時間のシミュレーションを行うことで DNA の構造変化にも着目していく。

References

- [1] D.A. Case, H.M. Aktulga, K. Belfon, I.Y. Ben-Shalom *et al.* (2022), AMBER 2022, University of California, San Francisco.
- [2] N. Shikazono, P. O'Neill, *Mutation Research*, **669** (2009), 162–168.
- [3] Graen, Timo, Martin Hoefling, and Helmut Grubmüller. "AMBER-DYES: characterization of charge fluctuations and force field parameterization of fluorescent dyes for molecular dynamics simulations." *Journal of Chemical Theory and Computation* 10.12 (2014): 5505-5512.
- [4] Thermo Fisher Scientific, 2023, R₀ Values for Some Alexa Fluor Dyes—Table 1.6, <https://www.thermofisher.com/jp/ja/home/references/molecular-probes-the-handbook/tables/r0-values-for-some-alexa-fluor-dyes.html.html> (参照 2023-5-23)

**パーフルオロアルキル鎖の鎖長による
自己凝集構造の違い**
**Effects of the Chain Length on the Aggregate
Structure of Perfluoroalkyl substances**

米森 龍之輔^{1,*}, 水口 朋子²
Ryunosuke Yonemori^{1,*}, Tomoko Mizuguchi²

¹ 京都工芸繊維大学大学院 工芸科学研究科

² 京都工芸繊維大学 材料化学系

¹Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology

²Faculty of Materials Science and Engineering, Kyoto Institute of Technology

*m3672029@edu.kit.ac.jp

本論文のフルペーパーは、日本シミュレーション学会論文誌に掲載されています。

DOI: <https://doi.org/10.11308/tjsst.16.24>

ヒトとイヌの ES 細胞の分裂速度の差異を考慮した 巨視的反応モデルによる大病予測

Prognostic medication: whether the macroscopic equation model can also predict dog's medical data of illness by considering difference of division speed of ES cells for human beings and dogs

富田駿^{1*}, 内藤健¹
Shun Tomita¹, Ken Naitoh¹

¹早稲田大学 基幹理工学部 機械科学航空宇宙学科

¹Fundamental science and engineering, Waseda University, Japan

* shun2000@moegi.waseda.jp

Abstract. A network theory model based on a nonlinear differential equation [1-3] macroscopically showed a possibility for explaining interaction mechanism of six groups of molecules on information and function in human beings. For the theory, a mathematical study was also conducted by Konagaya et al. [4], which showed a possibility to predict premonition of an illness, recovery from an illness, and polymorphism. We also simulated to search values of parameters in the network theory model, as histories of illness computed match actual human medical data. As the results, we found computation results are consistent with the actual human medical data. However, in cases of human beings, ethical and privacy issues make it difficult to collect much more medical data. Thus, we also collected medical data for dogs to examine effectiveness of the theory. We found that, by considering difference between the division numbers of ES cells per year for human beings and dogs, the computational results for dogs are also consistent with its medical history data.

Keywords: Premonition of illness, Recovery, Prognostic medication

1. 序章

これまでの本研究室の検討において、生命内の全ての分子を6つのグループに分け、生命医学の諸データから考えると、生命分子群反応の基本ネットワークパターン(巨視的反応モデル)が見出され、その活性度の時間変化を記述する方程式が導出できることがわかった[1]. その巨視的反応モデルの方程式を利用することで、病気の前兆、病気の回復など、ヒトの病歴パターンを予測できる可能性が既に示されている[1,5].

本研究では、年間の ES 細胞の分裂回数を考慮することで、ヒトの病歴パターンの予測だけでなくイヌの病歴予測についても、巨視的反応モデルが有効であるか検証する。

2. 巨視的反応モデル

巨視的反応モデルは、以下の 6 つの差分方程式で示される[5].

$$D_1^{N+1} - D_1^N = \alpha_{11}(D_1^N \otimes R_1^N) - \varepsilon(D_1^N)^q \quad (1)$$

$$D_2^{N+1} - D_2^N = \alpha_{12}(D_2^N \otimes R_1^N) - \varepsilon(D_2^N)^q \quad (2)$$

$$D_3^{N+1} - D_3^N = \alpha_{13}(D_3^N \otimes R_1^N) - \varepsilon(D_3^N)^q \quad (3)$$

$$R_1^{N+1} - R_1^N = \alpha_{21}(D_1^N \otimes R_2^N) - \varepsilon(R_1^N)^q \quad (4)$$

$$R_2^{N+1} - R_2^N = \alpha_{22}\{\delta(D_2^N - R_3^N) \otimes R_2^N\} - \varepsilon(R_2^N)^q \quad (5)$$

$$R_3^{N+1} - R_3^N = \alpha_{23}(D_3^N \otimes R_2^N) - \varepsilon(R_3^N)^q \quad (6)$$

式(1) - (6)中の $D_i^N \otimes R_i^N$ は、 D_i^N と R_i^N の最小値を表し、 $\delta(R_i^N)$ は R_1^N と0の最大値を示す。 D_i^N (DNA等の情報系)と R_i^N (酵素等の機能系)は世代Nにおける健康な細胞数である。すなわち、式(1) - (6)の左辺は健康な細胞数の時間変化を表す。また、右辺第二項は生物が摂取するエネルギー量の制約を示している。続いて、各式におけるパラメータについて、Nは体細胞の分裂回数を表す。 $\alpha_{11} \sim \alpha_{23}$ は分子グループ同士の生物化学反応の速さを定めるパラメータであり、個体によって異なる。 ε はモデル化している生き物のサイズによって決まる定数である。ヒトをモデル化する場合、平均的な成人の全細胞数は約 10^{13} のオーダーであるので、 D_i^N から R_i^N の各グループは 1.0×10^{13} 個ずつの細胞を含むことになる。また、 q はエネルギー制限の強さを決める定数である。

3. 実際の病歴データとシミュレーションの比較

3.1 ヒトの場合

先行研究では、実際のヒトの病歴データを収集(倫理審査委員会承認番号 2018 - 238)し、本モデルから出力されるシミュレーション結果と比較することで、巨視的反応モデルがヒトの病歴予測について有効であることが示されている。第2章で示した6つの差分方程式を用いて、以下の表1に示す計算条件でシミュレーションを行うと、実際のヒトの病歴データと一致するシミュレーション結果が得られた[5,6].

表1 計算条件[5,6]

各分子グループの細胞数の初期値	$D_1^0 = D_2^0 = D_3^0 = R_1^0 = R_2^0 = R_3^0 = 1.0$
$\alpha_{ij}(i = 1 - 2, j = 2 - 3)$	$\alpha_{11} = \alpha_{12} = \alpha_{13} = \alpha_{22} = \alpha_{23} = 1.0$ $\alpha_{21} = 2.7 \leq \alpha_{21} \leq 3.4$ (刻み幅 $\Delta t = 1.0 \times 10^{-7}$)
ε	1.0×10^{-13}
q	右辺第一項より大きくするため、 q は1よりも大きい最小の整数である2とした。
年齢換算	年間の ES 細胞の分裂回数を A とすると、年齢換算は N/A と表せる。ここで、ヒトの ES 細胞は年間 10 回分裂することから、年齢 = $N/10$ と表せる。

3.2 イヌの場合

続いて、我々は巨視的反応モデルがヒトの病歴予測だけでなく、イヌの病歴予測にも有効であるか検討するため、実際のイヌの病歴データを収集し、シミュレーションを行った。イヌをモデル化する際、ES細胞の年間分裂回数が90回(A=90)であること、 ϵ の値を 3.0×10^{-12} とした。

上記の2ケース（ヒトとイヌ）についての計算条件を整理したものを表2に示す。

表2 シミュレーションにおける計算条件

	イヌ[7]
α_{21}	$2.7 \leq \alpha_{21} \leq 3.4$ (刻み幅 $\Delta t = 1.0 \times 10^{-7}$)
ϵ	3.0×10^{-12}
年齢換算	N/90

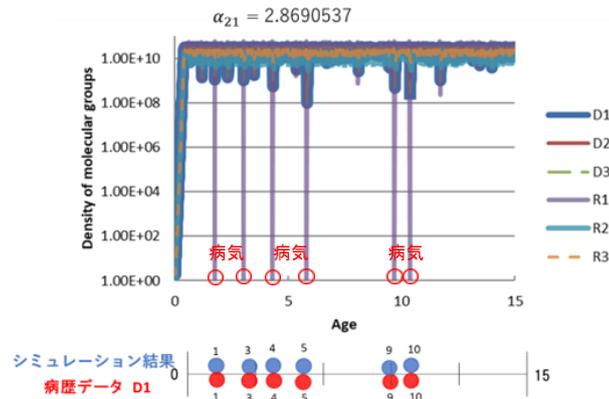


図1 シミュレーション結果とイヌの病歴 D1 との比較

図1はイヌの計算結果と実際の病歴例である。横軸は年齢、縦軸は健康な細胞数を示している。健康な細胞数が、カオス的な振動を含むほぼ定常的な状態から、ある時急低下し、その後またもとのレベルに戻るような挙動が見られ、本研究では、この時を病気であるとしている。図1より、実際のイヌの病歴データとシミュレーション結果はよく一致した。

4. 考察

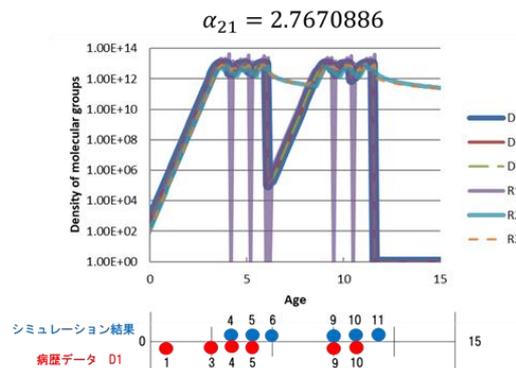


図2 イヌの ϵ の値で、ヒトの年齢換算 (A=10) を用いた場合のシミュレーション結果とイヌの病歴 D1 との比較

図2は、イヌの ϵ の値で、ヒトの年齢換算 (A=10) を用いた場合の結果である。

イヌの病歴データとは一致しないことがわかる。これにより、生物の総細胞数とともに、ES細胞の年間の分裂回数を考慮する必要があることが明らかになった。

5. 結論

本研究では、10頭のイヌの病歴データを収集し、シミュレーションを行った。図1に示した結果だけでなく、他の病歴データについてもシミュレーションと一致した結果が得られている。このことから、巨視的反応モデルでは総細胞数とES細胞の年間分裂回数を考慮することでヒトやイヌの病歴予測の可能性が示された。

謝辞

犬の病歴データ収集につきまして、要望を快く受け入れてくださり、データの提供にご協力いただきました、コルフェ動物病院の三浦輝久院長先生、スタッフの皆様にご心から感謝致します。

参考文献

- [1] Naitoh K. (2011) Onto-neurology. In: *Proceedings of JSST 2011 international conference on modeling and simulation technology*: pp. 322–327
- [2] Naitoh K (2011) Morphogenetic economics: seven-beat cycles common to durable goods and stem cells. *Journal of Industrial and Applied Mathematics* 28: pp.15–26
- [3] Naitoh K, Inoue H (2013) Catastrophic chaos theory: predicting recovery of health or death. *Journal of Artificial Life and Robotics* 18: pp.127–132
- [4] Konagaya R, Naitoh K, Suzuki K, Takashima H (2017) Prognostic medication: for predicting premonition and recovery. In: *Proceedings of the International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB22nd)*: pp.449–456
- [5] Konagaya R, Takizawa T, Naitoh K, A macroscopic theory for predicting catastrophic phenomena in both biological and mechanical chemical reactions, *Journal of Artificial Life and Robotics* (2020): pp.178-188
- [6] Hosoi A, Takizawa T, Konagaya R, Naitoh K, Prognostic medication: prediction by a macroscopic equation model for actual medical histories of illness with various recovery speeds, *Journal of Artificial Life and Robotics* (2020): pp189-198
- [7] Tomita S, Naitoh K (2023) Prognostic medication: whether the macroscopic equation model can also predict dog's medical data of illness. In: *Proceedings of the International Symposium on Artificial Life and Robotics 2023*: pp1324-1326

生命反応過程を記述する 6 方程式巨視的理論モデル における分子群の分類

Classification of six macroscopic molecular group in the theoretical model on biochemical reaction processes : for prognostic medication

岡崎可実^{1*}, 内藤健¹, 柴崎航一¹
Kami Okazaki^{1*}, Ken Naitoh¹, Koichi Shibasaki¹

¹早稲田大学 基幹理工学部 機械科学・航空宇宙学科

¹ Fundamental science and engineering, Waseda University, Japan

*cangrow@docomo.ne.jp

Abstract. A macroscopic theory model based on nonlinear differential equations showed a possibility for explaining interaction mechanism of six groups of molecules on information and function in human beings. Then, along with the number theory applied for the differential equation, Konagaya derived mathematical conditions, predicting the premonition just before sickness (discrepancy from a healthy condition), which are logically derived from the model. The results obtained by Konagaya et al. agree with an important knowledge revealed by Chen. Moreover, computational several time-histories of sickness obtained by solving the nonlinear differential equations with various parameters agree well with actual time-dependent patterns of sickness for human beings. In this report, we study in more detail the possibility for explaining interaction mechanism of six groups of molecules. We concretely clarify the several biomolecules such as DNA, tRNA, mRNA, rRNA and polymerases, which belong to the six macroscopic molecular groups in the theoretical model.

Keywords: Network theory model, Interaction mechanism, Molecules

1. 緒言

内藤らは6つの微分方程式に基づく巨視的反応モデル[1,2,3]を導き出し、それらの方程式を用いて病気の予兆や回復などを予測できる可能性を示している、しかし、この反応モデルの妥当性を確認するには、更に多くの研究を行う必要がある。したがって本研究では、この巨視的反応モデルが6つの分子群の相互作用のメカニズムを説明できる可能性について分子群の分類を行い、それら分子の反応過程について検討した。

2. 巨視的反応モデル

まず、PCR装置について考える[4]。PCR装置は生命の情報を持つDNAなどのD分子群と、D分子群を再生する機能を持つR分子群のみから構成されている。しかしPCR装置はD分子群のみしか複製ができておらず、いずれ反応は止まってしまう。したがって、R分子群も複製する酵素を持つ分子グループが必要である[5]。よって、D分子群を複製する酵素を含むR分子グループ(R1と定義)と、R分子群を複製する酵素を含むR分子グループ(R2と定義)、またそれらをコードするD分子グループ(D1, D2)の4つが必要である[1,2,3]。また、すべての生物は分子の数を抑制制御する分子群が存在する[5]。そこで酵素の複製を抑制制御する2つの分子グループ(D3, R3)を加えてきている[2,6]。以上より、巨視的反応モデルはD1~D3, R1~R3の6つの分子グループから構成されており、図1に仕組みを示す。

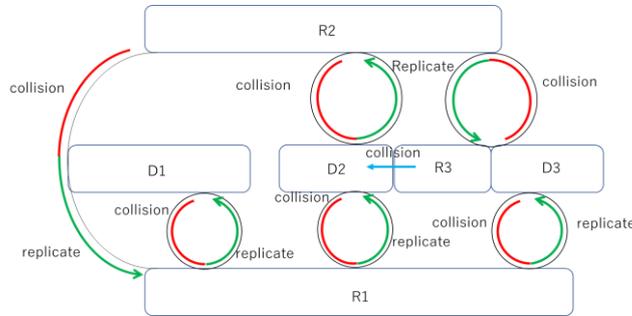


図1 巨視的反応モデル[2,6]

また、図1に基づいて6つの微分方程式を導出すると以下の式で表される。 [2,6]

$$D_1^{N+1} - D_1^N = \alpha_{11}(D_1^N \otimes R_1^N) - \varepsilon(D_1^N)^q \quad (1)$$

$$D_2^{N+1} - D_2^N = \alpha_{12}(D_2^N \otimes R_1^N) - \varepsilon(D_2^N)^q \quad (2)$$

$$D_3^{N+1} - D_3^N = \alpha_{13}(D_3^N \otimes R_1^N) - \varepsilon(D_3^N)^q \quad (3)$$

$$R_1^{N+1} - R_1^N = \alpha_{21}(D_1^N \otimes R_2^N) - \varepsilon(R_1^N)^q \quad (4)$$

$$R_2^{N+1} - R_2^N = \alpha_{22}\{\delta(D_2^N - R_3^N) \otimes R_2^N\} - \varepsilon(R_2^N)^q \quad (5)$$

$$R_3^{N+1} - R_3^N = \alpha_{23}(D_3^N \otimes R_2^N) - \varepsilon(R_3^N)^q \quad (6)$$

3. 6つの巨視的分子群の主要な分子の分類と分子群の相互作用

過去の研究[1,2,6]における分子の分類は、D1~D3がDNAやmRNA、R1がDNAポリメラーゼやDNAプライマーゼなどの酵素、R2がリボソーム(rRNA)やtRNA、また、R3に含まれる具体的な分子の例としてOct-3/4、Sox2、Klf4、c-Myc等が含まれると述べて来た。ただし、各分子グループと、その構成分子についてはあまり深く検討されて来なかった。そこで本研究では、分子の分類の再検討を行った。D1~D3にはDNAのみを含ませ、R1はD分子グループのDNAの複製の役割を持ちDNAの複製に関わる酵素であるDNAヘリカーゼ、DNAポリメラーゼ α 、DNAポリメラーゼ δ 、DNAポリメラーゼ ε 、DNAプライマーゼ、DNAリガーゼ等を含むとした。次に、R2はR1~R3の複製を行うという役割を持つため、DNAの翻訳に必要な酵素であるRNAポリメラーゼ、また、DNAの翻訳に使われるリボソームを構成するリボソームタンパク質を含むとした。mRNA、tRNA、rRNAは6つの分子グループには含めないとした。R3はD2の転写を制御する役割をもつリプレッサーであり、多くの種類が存在する。R3に含まれるリプレッサーの例としては、ヒストン脱アセチル化酵素やDNAメチル化酵素などである。

これらの定義をもとにして次に、図1の分子群の相互作用を考える。DNAヘリカーゼやDNAポリメラーゼ等(R1)を酵素として、DNAの複製が行われる(a1~c1,a2~c2)。次にDNAの転写が行われ(d1~f1)、mRNAとtRNA、リボソームの反応によってタンパク質(R1~R3)が合成される(d2~f2)。ただし、転写と翻訳の間では、RNAの一次転写産物が生成され、転写後修飾によってタンパク質へ翻訳可能なmRNA、tRNA、rRNAに変換され、その後rRNAとR2分子群に含まれるリボソームタンパク質が結合することによりリボソームが生成するという反応が起きている。また、R3の転写因子はD2の転写を抑制しており、これによってR2の再生が抑制される。上記を加味して図1のモデルを改良したところ、●を追加した図2が得られた。

4. 結論

本研究では、巨視的反応モデルが6つの分子群の再分類を行い、それら分子の反応

過程について再検討した。各種の RNA を 6 つの分子グループの外に記述したことにより、各種 RNA の役割がより明確になったと考えている。そこで今後は、このモデルを元に、RNA に起因する病気や癌のメカニズムについて検討したいと考えている。

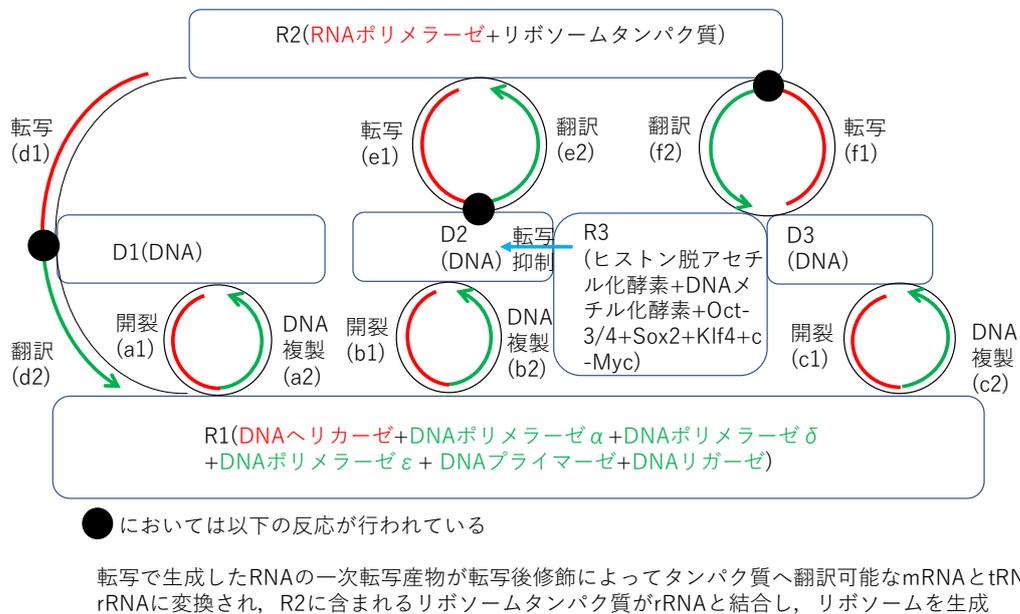


図 2 巨視的反応モデルの改良版

参考文献

- [1] Naitoh K: Morphogenetic economics: seven-beat cycles common to durable goods and stem cells, *Japan journal of Industrial and Applied Mathematics*, volume:28(2011),15–26.
- [2] Naitoh K, Inoue H: Catastrophic chaos theory: predicting recovery of health or death, *Japan journal of Industrial and Applied Mathematics*, volume:18(2013),127–132.
- [3] H. Takashima, M. Saiki and K. Naitoh: Prognostic medicine based on six molecular group equations, *Proceedings of the International Symposium on Artificial Life and Robotics*, volume:20(2015), 581–584.
- [4] Mullis KB: The unusual origins of the polymerase chain reactions, *Sci Am*, volume: 262(1990),56-65.
- [5] J. D. Watson, N. H. Hopkins, J. W. Roberts, J. A. Steitz and A. M. Weiner: *Molecular Biology of the Gene*, Edition:4(1987).
- [6] Konagaya R, Takizawa T, Naitoh K: A macroscopic theory for predicting catastrophic phenomena in both biological and mechanical chemical reactions, *Journal of Artificial Life and Robotics*, volume:25(2020),178–188.

RoI Editing Tool with AI Segmentation for Radiotherapy Simulation

Xiaoru Xie^{1*}, Akinori Kimura¹

¹Graduate School of Engineering, Ashikaga University

*g22607@g.ashikaga.ac.jp

Abstract. Radiation simulations have been widely used in high energy physics, medical science, space science, and so on. Cancer is one of the diseases that are prevalent in the world currently. More than half of cancer patients are treated with radiation therapy. Radiotherapy is a technique for precise cancer treatment, using a system to deliver high radiation doses. The treatment planning system allows good and careful planning of radiotherapy, which makes it possible to bring out good quality images for target volumes and extract contours from target volumes. This paper describes an RoI (region of interest) editing tool that the user, a doctor or a medical physicist, can use it to finely adjust the shape of the target volumes for higher precision simulation.

Keywords: radiation simulation, RoI editor, artificial intelligence, segmentation

1. Introduction

The treatment planning of radiotherapy involves doctors using medical instruments to obtain patient image data, such as CT images, containing the location and size of a patient's cancer [1]. And then it administers radiation to the patient's disease part to kill cancer cells without damaging vital or healthy cells. AI is increasingly being used in the medical field. NVIDIA Clara is a healthcare application framework for AI-powered imaging [2]. That is provided as a docker container for a Linux PC with an NVIDIA GPU. It runs on a Linux PC as a standalone AI server and has the HTML interface to communicate with other software.

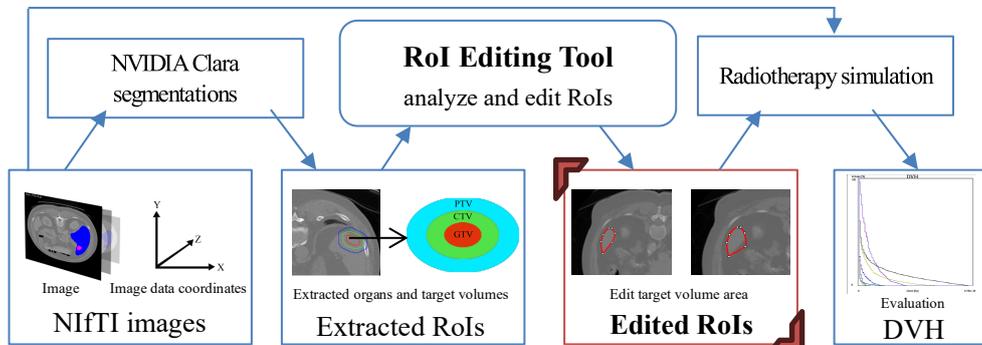


Fig. 1 Process to create DVH from NIfTI images with RoI Editing tool

In this paper, our RoI editing tool is described. The RoI editing tool is used to extract organs and tumors with NVIDIA Clara in patient's CT images and then edit the shapes of the extracted ones by a doctor or a medical physicist to correct the shapes precisely. It takes advantage of those corrected shapes of organs and tumors for the radiotherapy simulation and the calculation of DVH (dose volume histogram). DVH is used to evaluate radiation dose into the tissues. That process using the RoI editing tool to calculate a DVH is shown in Fig. 1.

2. Segmentation and editing of organs and target volumes

Figure 2 shows an example of extracting multi-organ regions by using NVIDIA Clara. It is used the pre-trained AI model, `clara_pt_unetr_ct_btcv_segmentation`, provided by NVIDIA [3]. That AI model can extract 13 classes of organs. The extraction time by the AI server is about 8 seconds including data transfer from the client PC. It is possible to define the appropriate material and the shape of each organ in radiotherapy simulation, and it contributes to higher precision simulation.

As shown in Edited RoIs of Fig. 1, the RoI editing tool has successfully added points to the outline of an extracted target volume that can be adjusted by moving the points with the mouse. Red lines are smoothly connected to those points. The RoI editing tool for radiotherapy simulation helps a doctor and a medical physicist to effortlessly move and adjust the contours of target volumes. It is able to zoom up an arbitrary region to edit the shape as shown in Fig. 3. This innovative feature aims to enhance the precision in radiotherapy simulation.

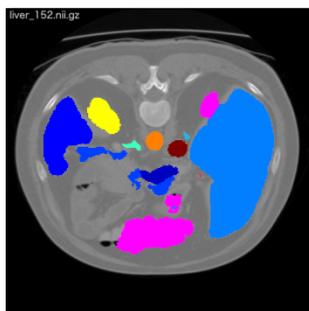


Fig. 2 Multi-organs segmentation

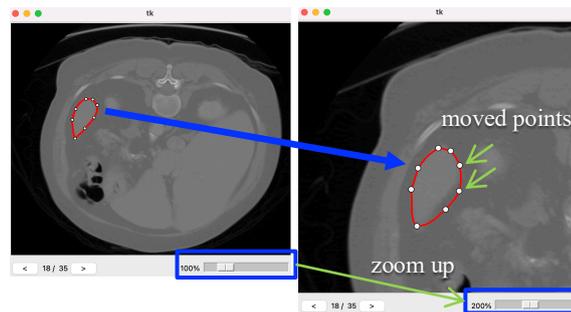


Fig. 3 Enlarging and editing RoI region

3. Summary

In this work, the RoI editor tool with AI is developed for radiotherapy simulation. It extracts organs and tumors in a patient's image data with NVIDIA Clara and provides editing of the contours of the target volumes to correct those shapes by a doctor or a medical physicist. In the next step, we develop a DVH viewer to evaluate radiation doses in the simulation with the target volumes.

References

- [1] C.E.Widodo, et al., Volume Target Delineation for Brain Tumor in MRI Images Using Active Contour Segmentation Method, *International Journal of Applied Engineering Research*, 11:16 (2016), 9031-9036.
- [2] NVIDIA, Healthcare Developer Resources, <https://developer.nvidia.com/clara>, July 14, 2023.

電気自動車のながら充電における充電料金設定に関する一考察

A consideration on setting charging fee for charging while doing something in electric vehicles

山本 康太¹, 宮北 和之^{1*}, 中野 敬介¹
Kouta Yamamoto¹, Kazuyuki Miyakita^{1*}, Keisuke Nakano¹

¹新潟大学大学院自然科学研究科 〒950-2181 新潟市西区五十嵐 2 の町 8050 番地

¹ Graduate School of Science and Technology, Niigata University 2-8050, Ikarashi, Niigata,
950-2181 Japan

*f23c041a@mail.cc.niigata-u.ac.jp, kmiyakita@ie.niigata-u.ac.jp,
nakano@ie.niigata-u.ac.jp

Abstract. One of the problems of electric vehicles (EVs) is that the waiting time to charge is longer than the waiting time to refuel a gasoline vehicle. One solution to this problem is to reduce the waiting time only for charging (pure waiting time) by charging an EV in the parking lot of a commercial facility while doing something at the facility. This concept is called “Charging While Doing Something (CWDS)”. As the researches of CWDS, the pure waiting time in various situations has been analyzed. In this report, we consider setting the charging fee depending on the number of waiting EVs at the chargers in the facilities. We evaluate this method through computer simulations and discuss how the decision of the charging fee affects the performance of CWDS.

Keywords: electric vehicle, charging while doing something, charging fee

1. まえがき

近年、脱炭素社会の実現に向けて、世界各国でガソリン自動車から電気自動車 (Electric Vehicle : EV) への転換を図る「EV シフト」が急速に進んでいる。しかし、EV の課題の一つに、充電待ち時間はガソリン自動車の給油待ち時間と比べて大変長いというものがある。利用者が長い充電待ち時間を体感せずにする手法で「ながら充電」が注目されている。商業施設などの駐車場でほかのことをしながら充電を行うこ

とで、体感の充電時間を減らすというものである。図1のように、EVの搭乗者の本来の待ち時間は充電器が空くまでの待ち時間（充電待ち行列に並んでいる時間）と充電時間の和である。ここで、商業施設の駐車場にEVの充電器を設置することで、EVの搭乗者は施設を利用している間に充電することができる。本来の待ち時間から施設に滞在している時間を引いた値が体感の待ち時間（純粋な待ち時間）となる。これまで、ながら充電の研究として、純粋な待ち時間の解析などの研究が行われてきた[1]。

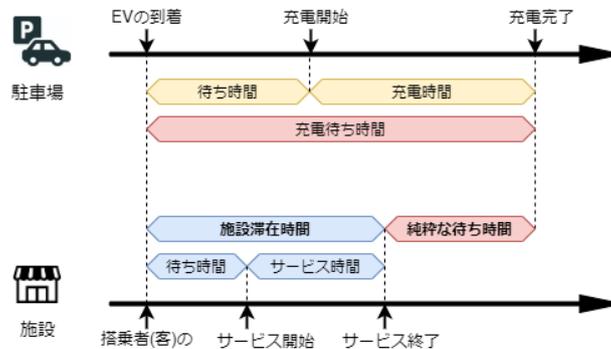


図1 ながら充電における純粋な待ち時間 [2]

文献[2]において、EVが施設に到着した際に、施設と充電器の混雑情報を提供する手法の研究が行われている。また、文献[3]では、これらの混雑情報から純粋な待ち時間を推定し、推定した純粋な待ち時間を基にして充電料金を決定する手法が提案されている。

本報告では、文献[3]とは異なり、充電待ちをしているEVの台数だけを用いて充電料金を決定する手法を考える。充電料金の変動することで、利用者が予定していたよりも短い充電時間で充電するなどの行動を取り、ながら充電の待ち時間に影響を与えられられる。例えば、充電料金が上がることにより、充電を諦めるEVが発生することから、全体的には充電待ち時間が短くなることが予想される。様々な状況下で充電料金をどのように変更することで、よりながら充電の改善につながるのか、またどのような問題点があるのかを、コンピュータシミュレーションにより評価し、考察する。

2. 定義と仮定

EVは到着率 λ (単位時間当たりのEVの平均到着数)のポアソン過程に従って駐車場に到着することとする。駐車場に到着したEVは、駐車場に設置されている充電器で充電を行い、EVの搭乗者は客として施設へ行きサービスを利用する。すべての搭乗者が施設でのサービスを終了して駐車場に戻り、かつEVの充電が完了したとき駐車場から出発する。駐車場に到着する車両はすべてEVであり、駐車場に到着した順に充電を行うものとする。簡単化のため、施設でサービスを利用する客は駐車場に到着したEVの搭乗者のみとする。

駐車場は混雑時においてもEVを駐車できる十分な広さがあると仮定する。駐車場には充電器が $C = 10$ 基設置されており、1基につき1台のEVを充電することができる。駐車場到着した各EVについて、満充電になるまでに必要な時間を充電要求時間 T_{req} とし、平均15分の指数分布を60分で切断した切断指数分布に従うものとする($0 < T_{req} < 60$)。各EVの充電に対する緊急度を充電緊急度 P_{urg} で表す。 T_{req} が長い、つまりバッテリー残量が少ないEVほど、 P_{urg} が高くなると考えられるので、 $P_{urg}(0 < P_{urg} < 1)$ は T_{req}

を用いて次のように定める.

$$P_{urg} = \frac{T_{req}}{60} \quad (1)$$

客のサービス時間 T_{srv} は, 平均 35 分の指数分布を 10 分と 60 分で切断した切断指数分布に従う ($10 < T_{srv} < 60$). 施設の客席数を $S = 30$ 席とし, 1 台の EV の搭乗者は 1 ~ 5 人でそれぞれ確率は 1/5 であるとする. EV の搭乗者が全員座れるだけの客席が空いていなかった場合, 全員分の客席が空くまで待つこととする. この待ち時間については, 充電のための待ち時間ではないため, 純粋な待ち時間には含めないこととする.

3. 提案手法

1 分間当たりの充電料金 F_{chg} を, 基本料金 F_{base} と値上げ率 F_{inc} を用いて, 以下のよう
に定める.

$$F_{chg} = F_{base} + \left(\frac{\text{現在の充電待ち台数}}{\text{施設の充電器数}C} \times F_{inc} \right) \quad (2)$$

ここで充電料金の過度な上昇を防ぐため, F_{chg} の最大値 F_{max} を設ける. 充電料金が値上がりすることで, 充電を諦める利用者が存在すると考えられる. 各 EV について充電料金の許容値は α ($\alpha > 0$) であるとし, 施設到着時の充電料金 F_{chg} が α を上回っている場合は充電を諦めて施設へ移動する. 一方で充電緊急度 P_{urg} が高い EV, つまり充電を必要としている EV は, 充電料金が高い場合であっても最大まで充電すると考えられるため, P_{urg} が閾値 β ($0 < \beta \leq 1$) を上回る EV は料金に関係なく要求時間分の充電を行うと判断する. $F_{chg} \leq \alpha$ かつ $P_{urg} \leq \beta$ であるような EV については, 本来の充電のための予算 $F_{base} T_{req}$ に加えて, 追加の予算として F_{bud} までは支払うものとし, 総予算 $F_{base} T_{req} + F_{bud}$ に収まるような時間だけ充電するものとする.

3.1 評価指標

システムにおけるながら充電の性能を評価するために, 駐車場に到着した EV の搭乗者の純粋な待ち時間の平均 $E(T_{wait})$ を評価指標とする.

また, 充電を行う EV と充電を諦める EV が混在するため, 充電できた EV の割合 P_{chg} も評価する. P_{chg} は次の式で定義される.

$$P_{chg} = \frac{\text{充電されたEVの台数}}{\text{すべてのEVの台数}} \quad (3)$$

4. シミュレーション結果

本節では, 3 章で説明した提案手法を用いてながら充電を行った場合のシミュレーション結果を示す. $\alpha = 25$ 円/分, $\beta = 0.4$, $F_{base} = 15$ 円/分, $F_{inc} = 1, 2, 3, 4$ 円/分, $F_{max} = 30$ 円/分, $F_{bud} = 300$ 円とする. 駐車場に EV が 1000 台到着するまでシミュレーションを行い, 300 回の平均値をシミュレーション結果とする.

図 2 に $F_{inc} = 1, 2, 3, 4$ 円とした場合の, 到着率 λ と純粋な待ち時間の平均 $E(T_{wait})$ の関係を示す. 比較のために, 料金変更や充電判断がない場合のながら充電(CWDS)の結果も

示している。λが0.7台/分以下のときは、 F_{inc} によって大きな変化は見られないが、λが0.8台/分以上になると、 $F_{inc}=2\sim4$ 円の際にCWDSに比べて大幅に $E(T_{wait})$ が減少している。

図3に $F_{inc}=1, 2, 3, 4$ 円とした場合の、λと充電されたEVの割合 P_{chg} の関係を示す。λが0.7台/分までは $E(T_{wait})$ と同様にほとんど変化は見られないが、λが0.8台/分以降は P_{chg} が大きく減少していることがわかる。これより充電料金が上がることで充電を諦めるEVが増えるため、純粋な待ち時間の減少につながっていることがわかる。 P_{chg} は F_{inc} が大きいほど小さくなっており、 $F_{inc}=3, 4$ 円の際は P_{chg} は0.5を切っている、つまり半数以上のEVが充電を諦めていることになる。

以上の結果より、充電料金を値上げすることで、充電を諦めるEVが増える一方で、充電器の混雑の緩和には効果があることがわかった。特に、 F_{inc} を大きくすることで、より大きく純粋な待ち時間の減少につながるが、その半面で、充電を諦めるEVが多くなってしまふという問題点もある。図2, 3において、 $F_{inc}=3, 4$ 円に着目すると、 $E(T_{wait})$, P_{chg} ともに大きな変化は見られない。これより F_{inc} は大きすぎると無駄な値上げにつながることがわかる。以上より、状況によって適した料金設定があると考えられる。

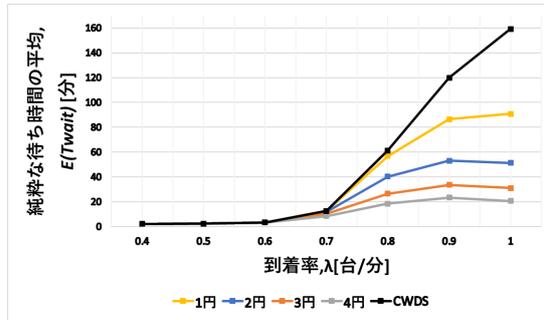


図2 純粋な待ち時間の平均

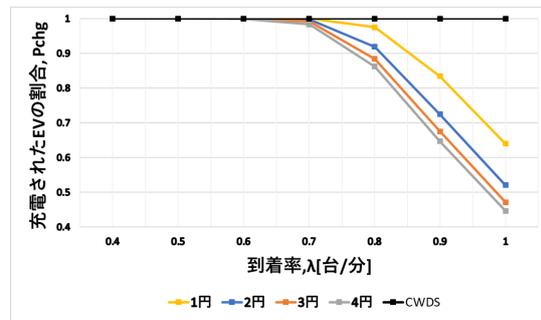


図3 充電されたEVの割合

参考文献

- [1] K. Nakano, K. Miyakita, M. Sengoku, S. Shinoda, "Modeling of a Charging Network for Electric Vehicles," First International Workshop on Smart Grid Modeling and Simulation at IEEE SmartGridComm 2011, pp. 19-24, Oct. 2011.
- [2] 中澤, 宮北, 中野, “充電待ち時間と施設滞在時間に関する情報提供による電気自動車のながら充電の性能改善,” 信学技報, vol.121, no.208, ICTSSL2021-18, pp.1-6, Oct. 2021.
- [3] 鈴木, 宮北, 中野, “充電料金の導入による電気自動車のながら充電の性能改善,” 信学総大, A-18-4, March 2023.

ニューラルネットワークを用いた 超解像による物体検出の精度向上 Improvement of Accuracy of Object Detection by Super-Resolution Using Neural Network

志々目 葵^{1*}, 古川 翔大², 原 崇³

Aoi Shishime^{1*}, Shota Furukawa², Takashi Hara³

¹鹿児島工業高等専門学校 専攻科 電気情報システム工学専攻

²鹿児島工業高等専門学校 情報工学科

¹Advanced Electronic and Information Systems Engineering,
National Institute of Technology, Kagoshima College

²Department of Information Engineering,
National Institute of Technology, Kagoshima College

*b17142@kagoshima.kosen-ac.jp

Abstract. Object detection, which detects objects in images or videos, is used in various situations. When detecting small target objects, there is a problem of resolution reduction due to enlarging the image. To solve this problem, it is possible to detect objects by using super-resolution images for low-resolution images. The purpose of this study is to construct a method to automatically optimize the parameters used for learning. These experiments are built a system that automatically adjusts parameters and conducted, and as a result, same parameters are continued to learn from the middle. Optimal parameters could not search. Based on these results, the system that automatically adjusts parameters is planned to be improved, and automatically learn object detection is used the trained model.

Keywords: Super-Resolution, Object detection, SRCNN, YOLOv3

1. 背景と目的

画像や動画内に写っている対象物体の検出を行う物体検出は、様々な場面で用いられている。この物体検出で、小さい対象物体を検出する際に画像を拡大する方法が考えられるが、拡大することにより解像度が低下するため、物体検出の精度が悪くなるという問題がある。この問題に対して、低解像度画像に超解像を用いることで物体検出をできるようにする。これまでの研究から、SRCNNで超解像が物体検出に影響を与えられたが、そのパラメータ決定は手動で行う必要があった[1]。そのため本研究の目的は、それぞれの技術で使用するパラメータを自動的に最適化する手法を構築することである。

2. 関連技術

(1) 超解像

超解像とは、デジタルでの画像処理技術で、解像度の低い画像の解像度を向上させる技術である。本研究では、SRCNN(Super-Resolution Convolution Neural Network)を使用する[2].

(2) 物体検出

物体検出とは、画像処理に関する技術の1つで、動画像内に写っている人間・建物・車などの物体を検出できる。本研究では、物体検出のための機械学習モデルとして、YOLOv3を使用する[3].

3. 先行研究

これまでの研究では、超解像が物体検出に影響を及ぼすのか検証すること、超解像を利用して物体検出の精度向上をすることを目的として研究が行われた。実験の結果から、超解像が物体検出の精度向上に影響を及ぼすことがわかり、超解像を行うことで検出数が増加することが明らかとなっている。また超解像のパラメータを変更して実験を行い、検出数が増加することが確認されている[1].

4. システム概要

4.1 システム全体の概要

本稿において、高解像度画像を IMG_{high} 、高解像度画像における物体検出数を N_{high} と表記する。同様に、低解像度画像においては、それぞれ IMG_{low} と N_{low} 、超解像により生成した画像においては、 IMG_{super} と N_{super} と表記する。本研究では、以下に示す順でパラメータを自動的に最適化する。

1. パラメータの調整を行い、パラメータを使って超解像と物体検出を学習する。
2. 学習済みの超解像に IMG_{low} を入力し、 IMG_{super} を出力する。 IMG_{high} と IMG_{low} と IMG_{super} を物体検出に入力し、物体検出を行う。
3. 物体検出で検出された結果から2つの評価指標(向上数, 復元度)を算出し、パラメータ調整のシステムに読み込む。
4. 読み込んだ結果から新しいパラメータを算出する。そのパラメータで再度超解像と物体検出の学習を行う。上記の過程を自動で繰り返すことで、より最適なパラメータを見つける。このシステムの概要図を図1に示す。

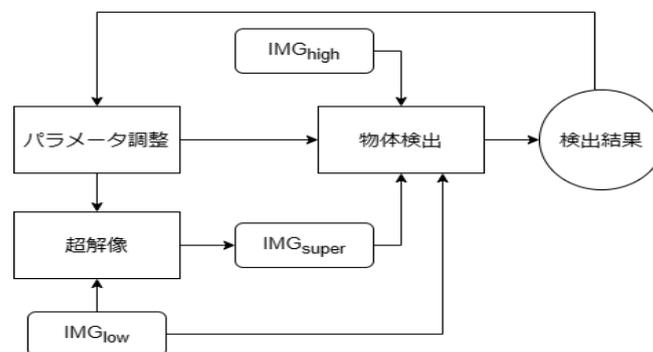


図 1. システム全体の概要図

4.2 最適パラメータ探索の提案手法

パラメータ調整のシステムは図2に示すように、以下の手順で最適なパラメータ探索をす行う。これを最適パラメータ探索と呼ぶ。

1. 最初は、図2の①~④のようにある一定の幅でパラメータを変化させていく。
2. ④の評価指標と③の評価指標を比較して、④の方が低くなっていることから、③と④のパラメータの間に評価指標の最大値がある可能性があると考え、③と④の間でさらに細かい幅でパラメータを変化させる。
3. 2の時と同じように⑤と⑥の間でさらに細かい幅でパラメータを変化させることで、⑦のようにその区間の最大の評価指標のパラメータを得る。
4. 局所解防止のために、ある程度パラメータの探索を行ったら、⑧のように全く違う区間のパラメータを使うようにする。

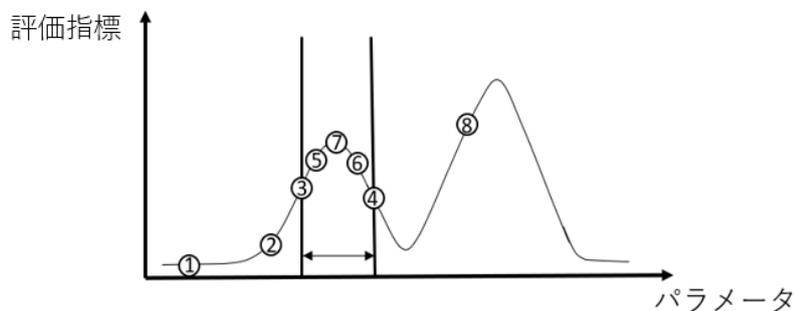


図 2. 最適パラメータ探索の提案手法

5. 実験と結果

5.1 評価方法

4.1章で記述した評価指標の「向上数」と「復元度」を定義する。向上数は N_{low} と比較して N_{super} がどれだけ増加したか、復元度は N_{super} がどれだけ N_{high} に近づいたかを測る指標である。向上数に関しては、 N_{low} が誤検出を行ってしまい、対象物体でないものをカウントする場合がある。この時、超解像によって誤検出が減少することで N_{super} の値が N_{low} より小さくなる。このことも踏まえて、向上数を式 (1)、復元度を式 (2) で定義する。

$$\text{向上数} = (N_{super} + \text{減少した誤検出数}) - (N_{low} - \text{誤検出数}) \quad (1)$$

$$\text{復元度} = \frac{N_{super}}{N_{high}} \quad (2)$$

5.2 パラメータ調整システムの実験結果

図3に示すフローチャートに従い実験を行った。また、この時点の実験では局所解防止の機能はないものとする。その結果、学習8回目までは提案手法の通り、パラメータを調整しながら学習を繰り返す動作を実現できた。ただし、学習9回

目以降は、同じパラメータを繰り返してしまい、それ以上のパラメータ調整が行えなかった。学習6回目までの結果を表1に示す。なお、パラメータは「学習回数」以外にも「学習画像サイズ」と「学習画像枚数」があるが、省略する。

表 1. 実験の結果

学習[回目]	1	2	3	4	5	6	7	8	9
学習回数[回]	50	60	70	80	75	85	80	90	90
向上数合計[人]	-2	-9	-5	-6	-1	-3	-2	-2	-5
復元度平均[%]	33.58	24.88	30.58	29.06	35.23	32.66	33.95	34.42	30.34

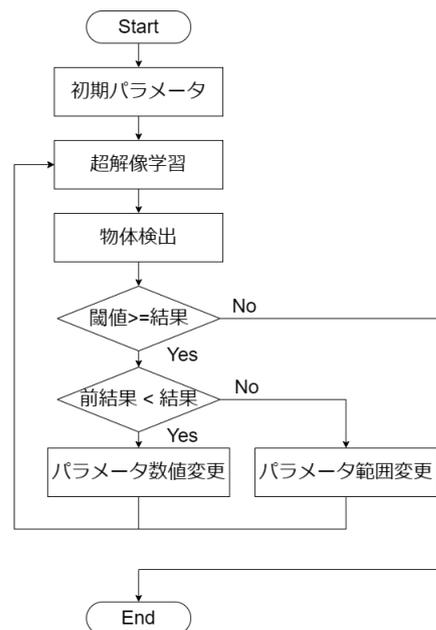


図 3. 実験のフローチャート

6. 考察と今後の予定

現在は、同じパラメータを学習し続けることを回避するため、区間内である程度幅を細かくした後、その区間の結果を記録し、他の区間に移るように設定する。今後は、まだ実装できていない局所解防止の機能も加えて、再度実験を行う。

また、現在は物体検出の方は学習済みのモデルを使用しており、実際に学習をしているのは超解像の方だけである。そのため、物体検出の学習も自動パラメータ調整システムの中に実装することを行う予定である。

参考文献

- [1] 志々目 葵, ニューラルネットワークを用いた超解像による物体検出の精度向上, 令和3年度 鹿児島工業高等専門学校 情報工学科 卒業研究
- [2] Chao Dong, Chen Change Loy, Kaiming He, Xiaoou Tang : Image Super-Resolution Using Deep Convolutional Networks, 2014
- [3] Joseph Redmon, Ali Farhadi : YOLOv3, 2018

ニューラルネットワークにおける パラメータ処理の提案 Proposal of Parameter Processing in Neural Network

富森 永輝^{1*}, 武田 和大², 原 崇²

Eiyu Tomimori^{1*}, Kazuhiro Takeda², Takashi Hara²

¹鹿児島工業高等専門学校 専攻科 電気情報システム工学専攻

²鹿児島工業高等専門学校 情報工学科

¹ Advanced Electronic and Information Systems Engineering,

National Institute of Technology, Kagoshima College

² Department of Information Engineering,

National Institute of Technology, Kagoshima College

*b17152@kagoshima.kosen-ac.jp

Abstract. Batch normalization is currently a standard technique used in neural networks. However, batch normalization is ineffective because the estimation of statistics becomes unstable if the data used in one training session is not sufficient. In addition, the normalization methods that have emerged as a developmental approach suffer from expressivity loss because they cross over channels. Therefore, the objective of this study is to propose a parameter process that can demonstrate the effectiveness of batch normalization even when the batch size is small by using a bootstrap method.

Keywords: Neural Network, Batch Normalization, Bootstrap Method

1. 背景と目的

近年、様々な場面でニューラルネットワークが活躍している。ニューラルネットワークでは精度向上のため層を深くする方法があるが、層を深くすることで学習が収束しなくなるという問題が発生する場合がある。この問題を解決する 1 つの手段がバッチ正規化[1]である。バッチ正規化は全学習データの中から取り出した 1 回の学習に使用するデータ (ミニバッチ) ごとに正規化を行うことで、層の深い学習をできるようになることが示されており、現在では一般的に使用されている。しかし、バッチ正規化ではバッチサイズが小さい場合に統計量の推定が不安定となり、効果

を發揮できないという問題点がある．そこで提案されたのが、レイヤー正規化 [2]、インスタンス正規化 [3]、グループ正規化[4]である．しかし、いずれもチャンネルを跨ぐ範囲で正規化を行っており、表現性が崩れてしまうという問題点がある．そのため、いずれの発展型もバッチ正規化と比較してバッチサイズが小さい場合のみでしか高い精度の学習をすることができない．

この正規化におけるバッチサイズの問題点を低減するため、本研究ではバッチ正規化の特徴（チャンネルごとの正規化）を活かしつつバッチサイズに影響されないパラメータ処理の提案を目的とする．

2. バッチ正規化と発展型の正規化手法

バッチ正規化とは、1回の学習に使用する学習データ（ミニバッチ）内で、チャンネルごとに正規化し、スケール・シフトを行う層である．[5]．また、バッチ正規化の発展型としてレイヤー正規化、インスタンス正規化、グループ正規化が登場している．どの正規化手法もミニバッチ内のデータ分布をもとに正規化を行っているが正規化を行う範囲がそれぞれ異なる．インスタンス正規化はチャンネル方向に正規化しており、インスタンス正規化は各画像のチャンネル毎に正規化をしており、グループ正規化では各画像内で作成したチャンネルのグループ毎に正規化を行っている．それぞれの手法が正規化を行う範囲を図1に示す．

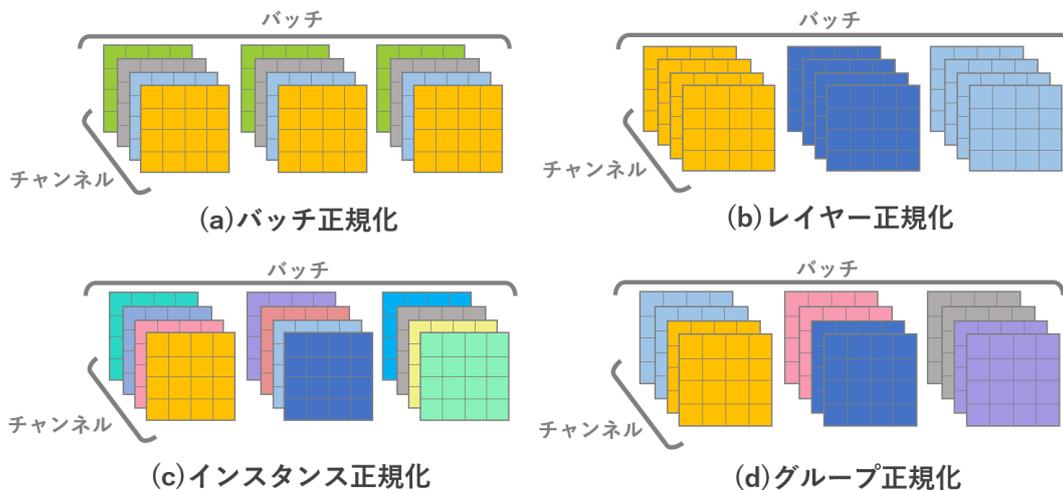


図1. 各手法の正規化範囲

3. ブートストラップ法

ブートストラップ法とは疑似母集団と見立てたデータセットから復元抽出を繰り返す、サブサンプルを作成し、サブサンプルの統計量から母集団の統計量を推定する方法である[6]．本研究ではこのブートストラップ法を用いた正規化手法を提案する．

4. 提案手法

提案手法として、統計量の推定にブートストラップ法を用いた方法を提案する。正規化の範囲はバッチ正規化の特徴を活かすためバッチ正規化と同様の範囲をとる。しかしバッチサイズが小さいと統計量が推定できなくなるため、ブートストラップ法を用いて疑似データを作成し、疑似データの統計量から元データの統計量の推定を行うことによって統計量が不安定になることを回避する。システム概要図を図2に示す。

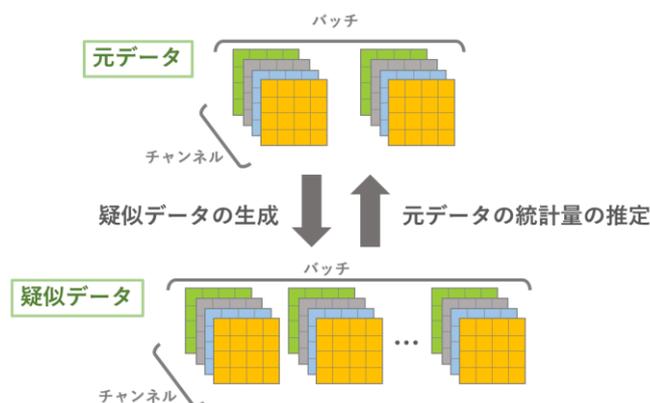


図2. 提案手法のシステム概要

5. 実験

ブートストラップ法を用いて統計量の推定を行い、バッチ正規化と同様の範囲で正規化を行う提案手法を実装し、バッチサイズが2の場合と20の場合においてバッチ正規化と比較した。また、学習のデータセットとしてMNIST[7]を使用した。実験の結果を表1に、バッチサイズが2の時の学習グラフを図3に示す。

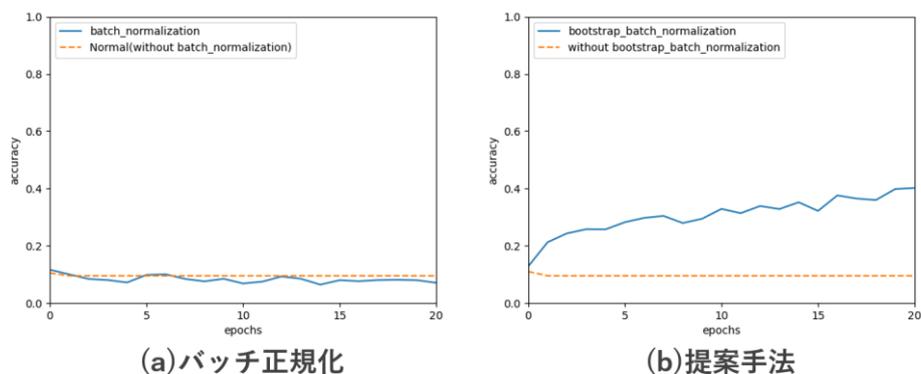


図3. 手書き文字認識(MNIST)の正解率 (バッチサイズ2)

表 1. 手書き文字認識(MNIST)の正解率

	学習データ		テストデータ	
	バッチサイズ2	バッチサイズ20	バッチサイズ2	バッチサイズ20
バッチ正規化[%]	11.20	87.00	10.50	74.50
提案手法[%]	44.50	90.50	43.70	74.60

表 1 の実験結果より, バッチサイズが 2 の場合, バッチ正規化を使用すると正解率が低い. しかし提案手法では精度は学習データにおいて 44.5%だが正解率がバッチ正規化より高くなっていることが分かる. また, バッチサイズが 20 の場合にはバッチ正規化と変わらない正解率を示した. 従って, 提案手法はバッチサイズが大きい場合は従来と同様の精度があり, かつ, バッチサイズが小さい場合には, バッチ正規化より正答率が高いことが分かった.

6. 現在の進捗と今後の予定

現在, ブートストラップ法を用いた正規化の実装を行い, バッチサイズが小さい場合において正解率が向上することがわかった. しかし, バッチサイズが十分に大きい場合に比べてバッチサイズが小さい場合の正解率が低くバッチサイズの影響を受けていることが分かる.

今後の予定として, このバッチサイズが小さい場合の正解率が低い原因の追究を行い, 改善に取り組む. また評価としてバッチ正規化に加え発展型のグループ正規化との比較も行う予定である.

参考文献

- [1] Ioffe, S., & Szegedy, C. (2015, June). Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift. In International conference on machine learning (pp. 448-456). PMLR.
- [2] Ba, J. L., Kiros, J. R., & Hinton, G. E. (2016). Layer normalization. arXiv preprint arXiv:1607.06450.
- [3] Ulyanov, D., Vedaldi, A., & Lempitsky, V. (2016). Instance normalization: The missing ingredient for fast stylization. arXiv preprint arXiv:1607.08022.
- [4] Wu, Y., & He, K. (2018). Group normalization. In Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV) (pp. 3-19).
- [5] バッチ正規化(Batch Normalization) とその発展型
(<https://cvml-expertguide.net/terms/dl/layers/batch-normalization-layer/>)
- [6] ブートストラップ法:リサンプリングを利用して母集団の特徴を推定
(<https://wakame-msds.com/bootstrap/>)
- [7] <https://ja.wikipedia.org/wiki/MNIST> データベース

言語モデルにおけるダブル配列構造の検討

Consideration of Double Array Structure in Language Model

柳原 大空^{1*}, 古川 翔大², 原 崇²
Sora Yanagihara^{1*}, Shota Furukawa², Takashi Hara²

¹ 鹿児島工業高等専門学校 専攻科 電気情報システム工学専攻

² 鹿児島工業高等専門学校 情報工学科

¹ Advanced Electronic and Information Systems Engineering,

National Institute of Technology, Kagoshima College

² Department of Information Engineering,

National Institute of Technology, Kagoshima College

*b17166@kagoshima.kosen-ac.jp

Abstract. Translation speed and memory requirements have a significant impact on the performance of language models. For this reason, compact and fast language model implementation techniques are being actively researched. DALM using double array has been proposed as a method for implementing language models, but the construction of double array is extremely time consuming. In this study, we attempt to speed up the construction of double array by using the BM method, a string search algorithm, for constructing double array.

Keywords: language model, double array, BM method

1. 背景と目的

言語モデルの実装において、翻訳速度や必要メモリ量はその性能に大きな影響を及ぼす。そのため、コンパクトかつ高速な言語モデルの実装技術が盛んに研究されている[1].

トライ木で表現された言語モデルの実装方法として、ダブル配列を用いた DALM (Double-Array Language Model) が提案されている[1]. ダブル配列は、トライ木の優れた探索機能を維持しつつコンパクトに格納できるデータ構造である。しかし、ダブル配列の構築には非常に時間がかかる。これは、構築中のダブル配列にトライ木の子ノード列を格納する処理において、子ノード列の格納位置を探索する処理に時間がかかるためである[2].

このダブル配列構築に時間を要するという問題点を低減するために、本研究では、ダブル配列の高速化を目的とする。

2. ダブル配列

ダブル配列はトライ木のノード間の遷移を 2 本の密な 1 次元配列で表現する効率の良いデータ構造である。

トライ木からダブル配列を構築する際の概念的な処理の流れを図 1 に示す[2]。まずトライ木を遷移表と呼ばれる 2 次元配列として表現する。次に遷移表の各行を要素が格納されている部分が衝突しないようにずらし next 配列と呼ばれる 1 本の配列にまとめる。この時、正しく遷移を行うために各行のずらし幅を offset 配列に、遷移の成否を確認するために親ノード（遷移元）のノード番号を check 配列に格納する。そして、next 配列に格納されているノード番号を offset 配列に格納されているノードのずらし幅に書き換えた配列を base 配列とする。更に、check 配列の値を遷移元のノード番号から next 配列にそのノード番号が格納されている index の値に書き換える。このようにしてトライ木のノード遷移情報を base と check の 2 本の 1 次元配列に格納できる[2]。

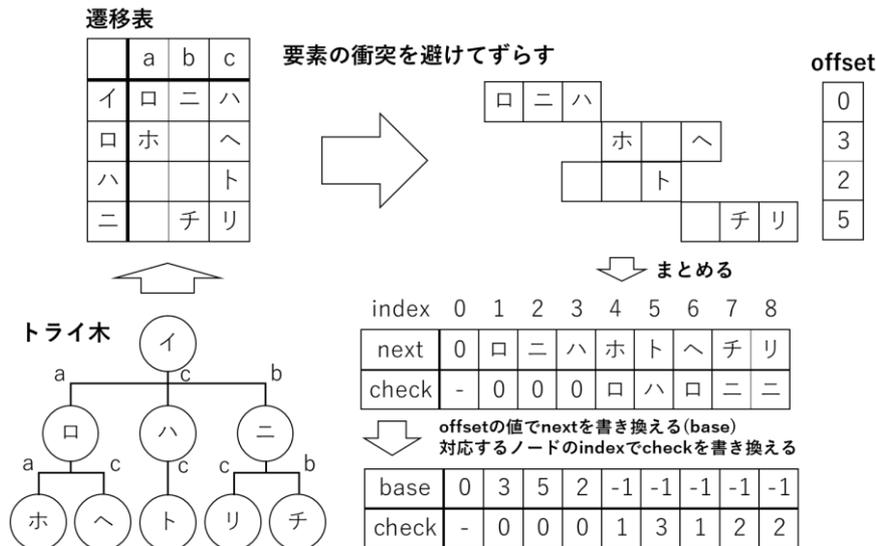


図 1. ダブル配列構築

3. BM 法

提案手法で利用する BM 法について述べる。BM (Boyer-Moore) 法とは、対象文字列から抽出した部分文字列の末尾文字がキーワード中に存在しているか確認し、ずらし幅を変えることで不要な比較を省略する方法である[3]。

BM 法の処理を説明する。部分文字列の末尾文字がキーワード中に存在する場合、末尾文字と一致するキーワード中の文字が同じ位置になるように部分文字列の位置をずらす。部分文字列の末尾文字がキーワード中に存在しない場合は、部分文字列をキーワードの文字数分ずらす。これらの処理により、同じ位置での比較回数を減らすことができる。

4. 提案手法 1

提案手法 1 では，子ノード列の格納位置を探索する際に，文字列探索アルゴリズムの一つである BM 法の考え方を利用し，最後尾から比較を行う．

子ノード列格納位置を探索する例を図 3 に示す[2]．図 3 のように，従来手法では，衝突が起きた際に子ノード列の位置を一つずらして次の探索を行うため，直前の探索と同じ位置で衝突が起こってしまう．そこで，提案手法 1 では，衝突が起きた際に子ノード列の最も近い空白の位置までずらして次の探索を行うようにする．これにより，直前の探索と同じ位置で衝突が起こることがなく，不要な探索の回数を削減し高速化できる．

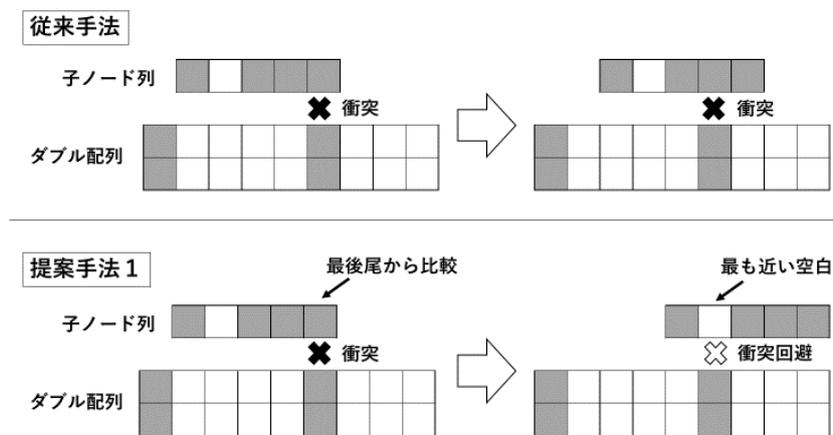


図 3. 子ノード列の探索

5. 実験

従来手法，提案手法 1 を用いてダブル配列を構築し，それぞれ 10 回測定した平均値で性能比較を行う．入力となるトライ木には日本語 SNLI(JSNLI)[5]のデータセットでノード数の概要が 53 万個のものを用いた．実験に使用した計算機の性能は CPU が 11th Gen Intel(R) Core(TM) i7-11700F 2.50GHz，コア数は 8，メモリ容量が 16GB である．

ダブル配列構築時間の測定結果を表 1 に示す．表 1 より，従来手法に比べて，提案手法 1 の構築時間がわずかに遅くなっていることから，高速化できていないことがわかる．

表 1. 測定結果

	配列の長さ	構築時間[s]
従来手法	68175357	660.6
提案手法 1	68175357	670.5

6. 考察

提案手法1では、BM法の考え方をを用いることで衝突回数は削減できていると考えられる。しかし、衝突を検知するための比較を最後尾から行っているため、前方での衝突が多い場合、比較回数が多くなってしまふ。これが原因となり高速化できていないと考察する。よって、衝突位置に依存せず、効率良く比較を行う方法を新たに提案し、比較回数の削減を試みる。

7. 提案手法2

提案手法1の問題点を解消するために、比較開始地点の決定方法を変更した手法を提案する。これを提案手法2とする。

提案手法2では、比較ターン数*i*回目において、衝突を検知するまでに比較した回数*N_i*を記憶しておき、次のターンで利用する。*N_{i-1}*と子ノード列の長さ*L_{child}*から、式(1)により、比較ターン数*i*回目における衝突位置率*P_i^{collision}*を算出する。比較ターン数1回目の比較は、提案手法1と同様に最後尾から行い、2回目以降の比較は、*P_i^{collision}*の値によって先頭か最後尾のどちらから比較をするか決定する。これにより、2回目以降は直前の衝突に近い位置から比較を行うことができ、比較回数を削減することが可能となる。

$$P_i^{collision} = \frac{N_{i-1}}{L_{child}} \quad (1)$$

8. 今後の予定

今後は、提案手法2を実装し、実験を行う。また、実験結果を従来手法や提案手法と比較し、提案手法2の評価を行う。評価に伴い、更なる改良を加えることで提案手法の有用性を示す。

参考文献

- [1] 乗松潤矢・田中透・山本幹雄 (2014) 逆順 Trie による効率的な Double-Array 言語モデル, 言語処理学会第 20 回年次大会発表論文集, 51-54 頁.
- [2] 仲村勇馬・山本幹雄 (2020) 文字列探索アルゴリズムを応用したダブル配列構築の高速化, 情報処理学会第 82 回全国大会発表論文集, 265-266 頁.
- [3] 14-3. ボイヤ・ムーア法. <https://www.infotech-s.co.jp/pdf/データ構造とアルゴリズム.pdf> (閲覧日: 2022 年 5 月)
- [4] 日本語 SNLI(JSNLI)データセット. 京都大学.
[https://nlp.ist.i.kyoto-u.ac.jp/index.php?日本語 SNLI%28JSNLI%29 データセット](https://nlp.ist.i.kyoto-u.ac.jp/index.php?日本語%20SNLI%28JSNLI%29%20データセット)
(閲覧日: 2022 年 12 月)

Hand Gesture AI Recognition for Alphabets of Nepali Sign Language

Gurung Sanjeev^{1*}, Akinori Kimura¹

¹Graduate School of Engineering, Ashikaga University

*g22606@g.ashikaga.ac.jp

Abstract. This research paper describes a real-time system for identifying the alphabets of Nepali Sign Language (NSL) that employs modern computer vision and machine learning techniques. The proposed method uses the Mediapipe library for feature extraction and the Deep Learning for Nepali Sign Language online tool, Teachable Machine, trained by Google. The test results show that the system can recognize NSL alphabets with 99% accuracy, making it a promising candidate for use in communication devices for people with hearing loss or who are deaf.

Keywords: real-time sign language recognition, Nepali sign language, teachable machine

1. Introduction

As of the latest report in early 2022 [1], there are about 961,510 people who are deaf or hard of hearing in the United States, which is a rough estimate of 3.3% of the total population. The total population as of 2021 was 29,500,464, based on Worldometer's elaboration of the latest United Nations data [2]. Sign language is a crucial aspect of their community. They rely on it daily to communicate with their partners and friends. The complexity of these signs and the knowledge of these gestures are unknown to many, which can lead to miscommunication or no communication at all.

NSL is a somewhat standardized language based informally on the variety of Kathmandu, with lesser input from varieties of Pokhara and elsewhere. It uses both static and dynamic finger-spelling (i.e., manual alphabet) and uses only one hand. There are 37 consonants and 13 vowels in total, making up a 50-alphabet set or manual alphabet for the Nepali language. The same set is represented using gestures for NSL, as shown in Fig. 1 [3]. The vowels are basically dynamic gestures, and the consonants are static gestures. Gesture recognition has been performed considering only the consonant set.

Different approaches exist for SLR, depending on the employed techniques. In this paper, an approach for alphabet recognition considering NSL is described. It is mostly focused on static recognition.

2. NSL recognition system

This work contributes a deep learning-powered NSL recognition system focused on

recognizing a few fundamental letters of the Nepalese alphabet. We attempt to implement a methodology that involves the implementation of a hand tracking solution provided by Google's open-source project, Mediapipe [4], and Teachable Machine for training. Additionally, we try to implement a string of words together and make the sentence for the sign by signer to be understood. The recognition of the first alphabet, "Ka", by the system is shown in Fig. 2.

In this research, a sequence-to-sequence Transformer model [5] is introduced into our system for text generation tasks. By utilizing its advanced attention mechanisms and contextual embeddings, it generates coherent and contextually relevant text outputs by the signer and outputs them in sentences. The Transformer's inherent ability to handle sequential data makes it well-suited for tasks such as text generation.



Fig. 1 Consonant alphabets of NSL

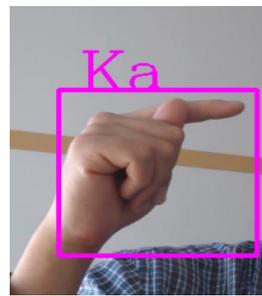


Fig. 2 Recognition of Nepali alphabet (Ka)

3. Conclusion

This research attempts to provide a visual solution for the sign language recognition problem in regional Nepal. It uses advanced tools like MediaPipe and Teachable Machine, which each have different sets of alphabets. Additionally, the implementation of MediaPipe ensures accurate tracking of the hand movements, including different motions in the finger phalanges and finger joint deviations. This research can be further extended to more signs from the Nepali Sign Language (NSL), including dynamic gestures used in daily life communications.

References

- [1] NEPAL: What sign languages are used in Nepal?, *Intersign University*, <https://www.intersignuniversity.com/post/nepal-facts>, July 14, 2023.
- [2] Nepal Population (2023), *Worldometer*, <https://www.worldometers.info/world-population/nepal-population>, July 14, 2023.
- [3] Jhuma Sunuwar1 and Ratika Pradhan, Hand Gesture Recognition for Nepali Sign Language Using Shape Information, *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 3: 6, 129-135, 2015.
- [4] Rupesh Kumar, Ashutosh Bajpai, Ayush Sinha, Mediapipe and CNNs for Real-Time ASL Gesture Recognition, *arxiv.org: 2305.05296*, 2023.
- [5] A. Vaswani, et al., Attention Is All You Need, *31st Conference on Neural Information Processing Systems*, 2017.

Numerical analysis on expansion dynamics of fuel pellet after ignition in reactor chamber for heavy-ion inertial fusion

Wenzhen Hou^{*}, Kazumasa Takahashi, Toru Sasaki, Takashi Kikuchi

Nagaoka University of Technology

^{*}s205071@stn.nagaokaut.ac.jp

Abstract. We investigated numerically histories of fuel pellets during expansion after implosion and ignition for heavy-ion inertial fusion. The results showed that the fuel pellet materials were rapidly expanded toward a chamber wall. As a result, it was implied that the state of the fuel pellet materials changed from a continuous flow to a free molecular flow after 2 nsec.

Keywords: Heavy-ion inertial fusion, fluid dynamics, fuel pellet, expansion dynamics

1. Introduction

Heavy-ion inertial fusion (HIF) is one of directions for controlled thermonuclear fusion research [1]. After a fuel pellet in the center of a reactor chamber is ignited by irradiation of heavy-ion beams, Deuterium (D) and Tritium (T) fuel is expected to be burned. The explosion wave pushes the fuel and structural materials of target pellet, and impacts the inner wall of reactor chamber. These are absorbed by the reactor wall, and the generated heat is converted into electrical energy using a power generation system.

Energy from the fuel pellet is released as neutrons and alpha particles from the fusion reaction, X-rays and fast ions produced as the burn products propagate outward. The radiations are damage factors impacting the reactor wall, and the estimation is key issue to design the HIF reactor. For this reason, the expansion dynamics of the fuel pellet after the ignition in a reactor chamber should be studied for HIF power generation.

In this study, we investigated on the expansion dynamics of the fuel pellet after the ignition in a reactor chamber for HIF. The state of the fuel target changes from fluid to molecular flow during diffusion process. It is important to find the changing point because the numerical and the physical models are also changed. The changing point is evaluated by the Knudsen number.

2. Numerical method and calculation condition

We developed a numerical code, which is based on a one-dimensional Lagrangian fluid system in spherical coordinate. The mass conservation (continuous) equation, momentum (Navier-Stokes) equation, energy (temperature) equation with thermal conduction, and ideal gas equation-of-state were numerically solved according to the initial condition as shown in Table 1 [1].

The outer region (background gas in the chamber) of the fuel pellet was assumed as the temperature of 1500 K and the pressure of 0.1 Pa [2].

Table 1: Initial condition for expansion phase of fuel pellet [1]

Layer	Material	Density [g/cc]	Region [mm]	Temperature [K]
Fuel	DT	243.0	0 ~ 0.161	2.0×10^9
Pusher	$\text{Li}_{95}\text{Pb}_5$	243.0	0.161 ~ 0.218	1.0×10^8
Ablator	$\text{Li}_{95}\text{Pb}_5$	0.35	0.218 ~ 3.45	2.0×10^7
Tamper	Pb	0.57	3.45 ~ 5.29	1.5×10^6

3. Result

Figure 1 shows the history of the fuel pellet during the expansion after the implosion and ignition by obtaining the numerical simulation. At the initial condition (at the ignition), the fuel density and temperature have large values. For this reason, the fuel materials were rapidly expanded toward the chamber wall. The Knudsen number was evaluated with the parameters obtained by the numerical simulation. As a result, it was evaluated that the Knudsen number exceeded unity after 2 nsec for the entire fuel pellet.

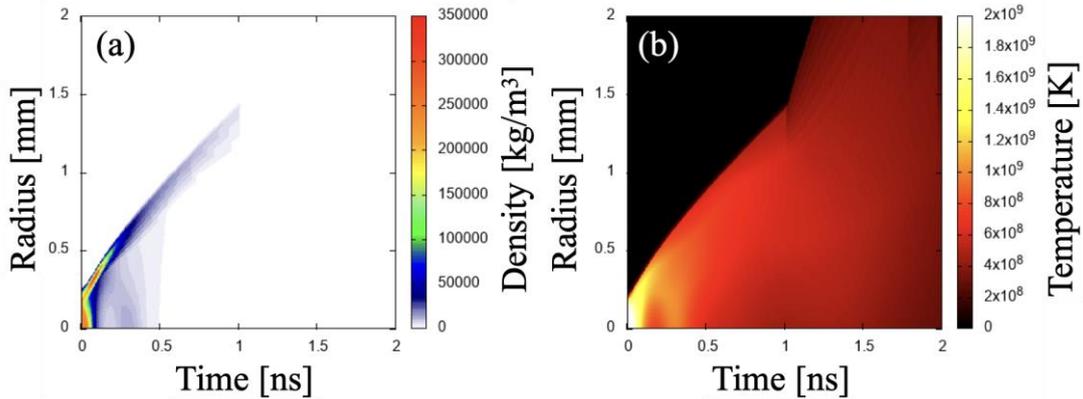


Figure 1: History of fuel pellet during expansion phase (a) for density and (b) for temperature.

4. Summary

We obtained numerically the physical quantities of the fuel pellet during the expansion after the implosion and ignition for HIF system. The results showed that the fuel pellet materials were rapidly expanded toward the chamber wall from the center of the reactor chamber. As a result, it was implied that the fuel pellet materials become a free molecular flow from a continuous flow after 2 nsec by the Knudsen number estimated.

References

- [1] B. Badger: HIBALL—A Conceptual Heavy Ion Beam Driven Fusion Reactor Study, *KfK 3202 and UWFDM-450* (1981).
- [2] T. Kikuchi, *et al.*: Study on Injection Velocity of Fuel Pellet into Reactor for Heavy-Ion Inertial Fusion, *to be published in NIFS PROC.*

蛍光色素分子で標識した脱塩基損傷 DNA の
分子動力学シミュレーション
**Molecular dynamics simulation of
fluorescent dye-labeled DNA
with apurinic/apyrimidinic sites**

増本 晃太郎^{1,2*}, 藤原 進^{1*}, 水口 朋子¹, 米谷 佳晃^{2*}, 鹿園 直哉², 赤松 憲²,
中村 浩章^{3,4}

Kotaro Masumoto^{1,2*}, Susumu Fujiwara^{1*}, Tomoko Mizuguchi¹, Yoshiteru Yonetani^{2*},
Naoya Shikazono², Ken Akamatu², Hiroaki Nakamura^{3,4}

¹京都工芸繊維大学, ²量子科学技術研究開発機構, ³名古屋大学, ⁴核融合科学研究所
¹Kyoto Inst. of Tech., ²QST, ³Nagoya Univ., ⁴NIFS

*m3672022@edu.kit.ac.jp, fujiwara@kit.ac.jp,
yonetani.yoshiteru@qst.go.jp

Abstract. 実験測定のみで DNA の動的な挙動について理解することは困難である。実験から得られたデータと分子動力学(MD)シミュレーションの結果を組み合わせることで、DNA の動的構造に関する推定がより正確になることが期待できる。本研究では脱塩基部位を持つ DNA の動的構造を解析するため、蛍光プローブで標識した脱塩基部位を持つ DNA を対象に MD シミュレーションを行い、DNA の構造変化について解析を行った。

Keywords: molecular dynamics simulation, apurinic/apyrimidinic (AP) site, fluorescence resonance energy transfer (FRET), fluorescent probe

1. Introduction

DNA 損傷には大きく分けて二本鎖切断、一本鎖切断、脱塩基部位、塩基損傷の 4 種類があり、損傷した DNA が適切に修復されなければ、突然変異を引き起こし、がん化の原因にもなると考えられている。DNA 中の塩基が脱落した部位は脱塩基部位

(AP site)と呼ばれ、主要な DNA 損傷のひとつである。

蛍光共鳴エネルギー移動(Fluorescence Resonance Energy Transfer : FRET)の実験において、配向因子を決定するために MD シミュレーションが有効な手段となる。FRET の効率は主に色素間の距離と配向因子に依存するため、配向因子さえ解決すれば FRET は色素間の距離を測定するナノメートルオーダーの定規として用いることができる。FRET の実験では、FRET 効率を測定することで蛍光分子間の距離を計算する。しかし、フェルスター距離(FRET 効率が 50%となる蛍光色素間距離)を決定するための配向因子は、色素が自由に動いていると仮定した値を使用している。実験操作のみで DNA の動的な挙動について理解することは困難である。そのため、実験から得られたデータと分子動力学(MD)シミュレーションの結果を組み合わせることで、DNA の構造変化に関する推定を向上させる必要がある。本研究では、脱塩基部位を持つ DNA の動的構造を分析するため、蛍光色素を標識した DNA を対象に MD シミュレーションを行い、蛍光色素間距離から FRET 効率および DNA の構造推定に関する解析を行った。

2. Models & Simulation

以下のように未損傷 DNA と損傷 DNA に対して MD シミュレーションを行った。シミュレーションは Amber22 を用いて実行した。

Amber22 の Nucleic Acid Builder モジュールを用いて 5'-AATATGTCTCTATGC-3' (strand1)の配列を持つ DNA を作成した[1]。各々が相補的な塩基対を形成しているため、strand1 に対する相補鎖は 3'-TTATACAGAGATACG-5' (strand2)である。次に、Amber22 の tLEAP モジュールを用いて、電荷を中和するために対イオン(Na^+)を入れ、DNA の周りを溶媒(水)で満たした。DNA の力場は Amber22 の bsc1 力場を、水の力場は TIP3P 力場を用いた。系のエネルギー最小化を行い、2 ns の間 DNA が動かないよう固定しつつ、0 K から 310 K まで昇温した。その後 DNA の固定を外し、一定圧力(1 atm)の周期境界条件の下、8 ns の平衡化を行った。

平衡化した未損傷 DNA の両末端(5')に、リンカーを通じて蛍光色素をそれぞれ標識させた[2]。また脱塩基部位として strand2 の真ん中の塩基(G)を削除し、AP 部位を1つ挿入した(Fig.1)。作成した DNA に対し、対イオン(Na^+)と溶媒(水)を加えてそれらのエネルギー最小化を行い、その後系全体のエネルギーを最小化した。その配置を初期配置として、一定体積の周期境界条件の下、系の温度を 0K から 310K まで昇温した(2 ns)。さらに、温度を 310K に維持し、一定圧力(1atm) の周期境界条件の下、48ns の MD 計算を行った。また DNA の構造変化を調べるため、DNA の両末端間距離および標識した色素間距離を計測した。

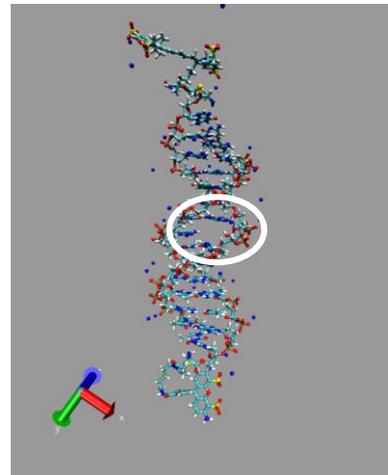


Fig.1 Structure of damaged DNA with apurinic/aprimidinic sites. The area circled in white is AP site. The blue particles in the figure represent counter ions (Na^+).

3. Results

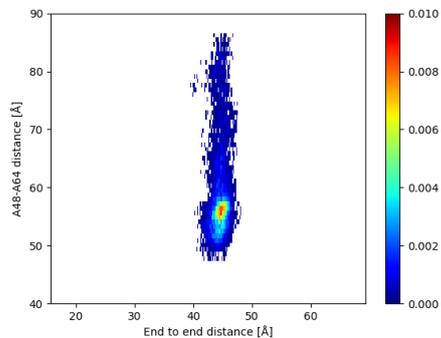


Fig.2 2D histogram of FRET distance and DNA end-to-end distance for an undamaged DNA.

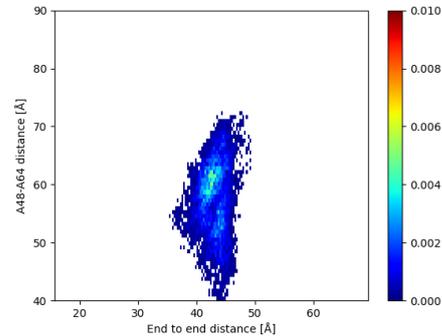


Fig.3 2D histogram of FRET distance and DNA end-to-end distance for a damaged DNA.

DNA の構造変化と FRET 効率との関係を調べるため、蛍光色素間の距離と DNA の両末端間距離について二次元ヒストグラムを作成した。それぞれ横軸を両末端間距離、縦軸を蛍光色素間距離としてプロットし、相対的な出現頻度で色分けして表した。未損傷 DNA のプロットを Fig.2 に、損傷 DNA のプロットを Fig.3 に表す。また蛍光色素の組み合わせとして Alexa Fluor488, Alexa Fluor647 をそれぞれ C1R, C2R リンカーを通じて結合させた。両末端間距離の分布は、未損傷 DNA では約 40~50 Å の範囲に収まったのに対し、損傷 DNA では約 35~50 Å の範囲で短距離側に分布した。これは損傷 DNA が空隙を狭めるような形を取ること、Fig.4 のように DNA 全体が歪んだ形を取ったためだと考えられる。一方で蛍光色素間距離は、未損傷 DNA では長距離側に広く分布しているが、頻度を見ると 50~60 Å の短距離位置に集中的に分布している。それに対し損傷 DNA では未損傷 DNA よりも狭い分布をとっているが、頻度を見ると未損傷 DNA よりも長距離側に集中して分布している。

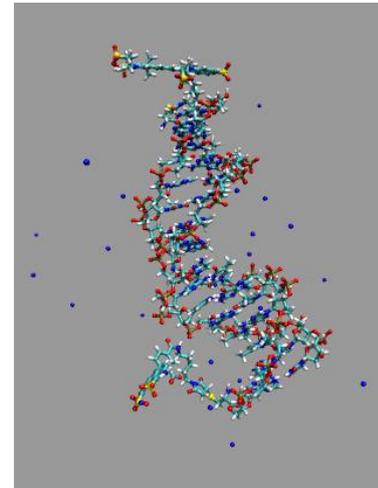


Fig.4 Bent structure of damaged DNA with apurinic/aprimidinic sites. The blue particles in the figure represent counter ions (Na^+).

4. Summary

AP 損傷 DNA および未損傷 DNA の両末端に蛍光色素を標識させ MD シミュレーションを行い、DNA の構造変化や蛍光色素間距離について分析を行った。その結果、AP 損傷部位が DNA 構造や蛍光色素間距離、FRET 効率に差を与えることが分かった。

今後は、より長時間の場合や、異なる色素の組み合わせについても MD シミュレーションを行い、FRET 効率と DNA の構造変化との関係性を明らかにする。

参考文献

- [1] Shikazono, Naoya, and Peter O'Neil. "*Mutation Research/Fundamental and molecular Mechanisms of Mutagenesis* **669**.1-2(2009):162-168
- [2] K. Jahnke, H. Grubmüller, M. Igaev, K. Göpfrich, *Nucleic Acids Res.* **49**, 4186 (2021).

JSST 2023

Particle-Scale and Macro-Scale Computations on the Swelling Process of Superabsorbent Polymer Particles

Niku GUINEA^{1,*}, Satoru USHIJIMA², Takahiro SHIBA³, Kazumitsu SUZUKI³,
Yusuke MATSUBARA⁴

¹CERE, Kyoto University

²ACCMS, Kyoto University

³SDP Global Co., Ltd.

⁴Sanyo Chemical Industries, Ltd.

*guinea.niku.25w@st.kyoto-u.ac.jp

The full paper of this paper has been published in Transaction of the Japan Society for Simulation Technology.

DOI: <https://doi.org/10.11308/tjsst.16.110>

Explicitly Hermitian Quadrilateral elements with completeness for bending Kirchhoff-Love plates

Masaki Sakai¹, Kyosuke Yamamoto^{2*,3}

¹Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

²Institute of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

³Center for Artificial Intelligence Research, University of Tsukuba

*yamamoto_k@kz.tsukuba.ac.jp

Abstract. The completeness of the shape function is a previously overlooked issue in quadrilateral plate elements that utilize Hermite polynomials. This study presents and validates two new Hermitian elements with completeness. The standard Hermitian quadrilateral elements have 3 or 6 degrees of freedom (DoF) per node, while the focused ones with completeness exhibit 4 or 9 DoF per node. Numerical simulations demonstrate that the Hermitian element with completeness maintains high accuracy as the element aspect increases.

Keywords: Finite Element, Hermite polynomial, Plate bending, Kirchhoff-Love, Completeness

1. Introduction

Bogner et al. developed a thin plate element known as the BFS element, which uses Hermite polynomials as shape functions explicitly [1]. According to Zienkiewicz et al.[2], this is the most accurate plate element. However, its application has been limited due to strong geometric constraints as it does not transform into a normalized coordinate system.

Researches on plate elements using the Hermite polynomials has been reintroduced by laminate researchers in recent years. Beheshti [3] proposed a subparametric quadrilateral element that utilizes Lagrange polynomials for coordinate transformations and Hermite polynomials explicitly for the interpolation of bending deflections. However, these elements did not have the completeness noted by Bogner et al.[1]. Thus, Bacciocchi et al. [4] developed isoparametric and subparametric elements using Hermite interpolation to consider both cases of satisfying and not satisfying completeness. However, the applied shape functions were derived by solving algebraic equations and were not explicitly formulated.

The aim of this study is to develop a quadrilateral element that satisfies completeness with the explicit use of the Hermite polynomials in the interpolation function. The validity of completeness is verified through numerical tests.

2. Hermite-based Finite Element Method

The transformation of the coordinates from the parent space $\widehat{\Omega}_e$ to the physical space Ω_e is conducted using the Lagrange polynomials, as demonstrated in Beheshti [3]:

$$\mathbf{x}^e = \sum_i^4 N_i^L(\xi, \eta) \mathbf{x}_i \quad -1 \leq \xi, \eta \leq 1 \quad (1)$$

In this equation, \mathbf{x}_i denotes the corner position vector of the physical element. ξ, η represent the coordinates in the parent space $\widehat{\Omega}_e$ and $N_i^L(\xi, \eta)$ is the bi-linear shape function multiplied by the first-order Lagrange polynomial. The derivatives with respect to (x, y) can be subsequently expressed by (ξ, η) :

$$\left\{ \frac{\partial}{\partial \xi}, \frac{\partial}{\partial \eta}, \frac{\partial^2}{\partial \xi^2}, \frac{\partial^2}{\partial \eta^2}, \frac{\partial^2}{\partial \xi \partial \eta}, \frac{\partial^3}{\partial \xi^2 \partial \eta}, \frac{\partial^3}{\partial \xi \partial \eta^2}, \frac{\partial^4}{\partial \xi^2 \partial \eta^2} \right\} = \mathbf{J} \left\{ \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial^2}{\partial x^2}, \frac{\partial^2}{\partial y^2}, \frac{\partial^2}{\partial x \partial y}, \frac{\partial^3}{\partial x^2 \partial y}, \frac{\partial^3}{\partial x \partial y^2}, \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} \right\} \quad (2)$$

where \mathbf{J} is the transformation matrix.

The first step involves formulating a four-DoF-per-node (P4) element. The generalized displacement vector for each node \mathbf{w}_i and the displacement field \mathbf{w}_e in the parent space $\widehat{\Omega}_e$ are respectively defined as follows:

$$\mathbf{w}_i = \left\{ w|_i \quad \frac{\partial w}{\partial x}|_i \quad \frac{\partial w}{\partial y}|_i \quad \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}|_i \right\} \quad (3)$$

$$\mathbf{w}_e = \sum_{i=1}^4 \left\{ \widehat{N}_{i1}^{H3}(\xi, \eta) \mathbf{w}_i + \widehat{N}_{i2}^{H3}(\xi, \eta) \frac{\partial w}{\partial \xi}_i + \widehat{N}_{i3}^{H3}(\xi, \eta) \frac{\partial w}{\partial \eta}_i + \widehat{N}_{i4}^{H3}(\xi, \eta) \frac{\partial^2 w}{\partial \xi \partial \eta}_i \right\} \quad (4)$$

where $\widehat{N}_{ij}^{H3}(\xi, \eta)$ is a bi-cubic shape function formed by multiplying one-variable cubic Hermite functions $H_i^{(3)}(\xi)$, the Hermite function $H_i^{(3)}(\xi)$ satisfies the following conditions:

$$H_{2i-1}^{(3)}(\xi_j) = \delta_{ij} \quad \frac{dH_{2i}^{(3)}(\xi_j)}{d\xi} = \delta_{ij} \quad (i, j = 1, 2) \quad (5)$$

In this equation, δ_{ij} is the Kronecker delta. Thus, $H_i^{(3)}(\xi)$ is given by:

$$\begin{aligned} H_1^{(3)}(\xi) &= \frac{1}{4}(2 - 3\xi + \xi^3) & H_2^{(3)}(\xi) &= \frac{1}{4}(1 - \xi - \xi^2 + \xi^3) \\ H_3^{(3)}(\xi) &= \frac{1}{4}(2 + 3\xi - \xi^3) & H_4^{(3)}(\xi) &= \frac{1}{4}(-1 - \xi + \xi^2 + \xi^3) \end{aligned} \quad (6)$$

Accordingly, $\widehat{N}_{ij}^{H3}(\xi, \eta)$ becomes:

$$\begin{aligned} \widehat{N}_{i1}^{H3}(\xi, \eta) &= H_r^{(3)}(\xi) H_s^{(3)}(\eta) & \widehat{N}_{i2}^{H3}(\xi, \eta) &= H_{r+1}^{(3)}(\xi) H_s^{(3)}(\eta) \\ \widehat{N}_{i3}^{H3}(\xi, \eta) &= H_r^{(3)}(\xi) H_{s+1}^{(3)}(\eta) & \widehat{N}_{i4}^{H3}(\xi, \eta) &= H_{r+1}^{(3)}(\xi) H_{s+1}^{(3)}(\eta) \end{aligned} \quad (7)$$

where $\{i, r, s\} \in \{\{1,1,1\}, \{2,3,1\}, \{3,3,3\}, \{4,1,3\}\}$. Based on the relationship expressed in Equation (2), \mathbf{w}_e can be represented in terms of the coordinates (x, y) .

$$\mathbf{w}_e = \sum_{i=1}^4 \left\{ N_{i1}^{H3}(x, y) \mathbf{w}_i + N_{i2}^{H3}(x, y) \frac{\partial w}{\partial x}_i + N_{i3}^{H3}(x, y) \frac{\partial w}{\partial y}_i + N_{i4}^{H3}(x, y) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}_i \right\} \quad (8)$$

Here, $N_{ij}^{H3}(x, y)$ is the shape function in the physical space Ω_e . The stiffness matrix can be derived in a similar manner to the Beheshti's approach.

The next step involves formulating a nine-degree-of-freedom per node (P9) element. The generalized displacement vector for each node \mathbf{w}_i and the displacement field \mathbf{w}_e in the

parent space $\widehat{\Omega}_e$ are respectively defined as follows:

$$\mathbf{w}_i = \left\{ w_i \mid \frac{\partial w}{\partial x} \mid \frac{\partial w}{\partial y} \mid \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \mid \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \mid \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \mid \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y} \mid \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} \mid \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} \mid \right\} \quad (9)$$

$$\mathbf{w}_e = \sum_{i=1}^4 \left\{ \widehat{N}_{i1}^{H5}(\xi, \eta) w_i + \widehat{N}_{i2}^{H5}(\xi, \eta) \frac{\partial w}{\partial \xi_i} + \widehat{N}_{i3}^{H5}(\xi, \eta) \frac{\partial w}{\partial \eta_i} + \widehat{N}_{i4}^{H5}(\xi, \eta) \frac{\partial^2 w}{\partial \xi_i^2} + \widehat{N}_{i5}^{H5}(\xi, \eta) \frac{\partial^2 w}{\partial \eta_i^2} + \widehat{N}_{i6}^{H5}(\xi, \eta) \frac{\partial^2 w}{\partial \xi_i \partial \eta_i} + \widehat{N}_{i7}^{H5}(\xi, \eta) \frac{\partial^3 w}{\partial \xi_i^2 \partial \eta_i} + \widehat{N}_{i8}^{H5}(\xi, \eta) \frac{\partial^3 w}{\partial \xi_i \partial \eta_i^2} + \widehat{N}_{i9}^{H5}(\xi, \eta) \frac{\partial^4 w}{\partial \xi_i^2 \partial \eta_i^2} \right\} \quad (10)$$

$\widehat{N}_{ij}^{H5}(\xi, \eta)$ is a bi-quintic shape function formed by multiplying one-variable quintic Hermite functions $H_i^{(5)}(\xi)$, the Hermite function $H_i^{(5)}(\xi)$ satisfies the following conditions:

$$H_{3i-2}^{(5)}(\xi_j) = \delta_{ij} \quad \frac{dH_{3i-1}^{(5)}(\xi_j)}{d\xi} = \delta_{ij} \quad \frac{d^2 H_{3i}^{(5)}(\xi_j)}{d\xi^2} = \delta_{ij} \quad (i, j = 1, 2) \quad (11)$$

Consequently, $H_i^{(5)}(\xi)$ is given by:

$$\begin{aligned} H_1^{(5)} &= \frac{8 - 15\xi + 10\xi^3 - 3\xi^5}{16} & H_2^{(5)} &= \frac{5 - 7\xi - 6\xi^2 + 10\xi^3 + \xi^4 - 3\xi^5}{16} \\ H_3^{(5)} &= \frac{1 - \xi - 2\xi^2 + 2\xi^3 + \xi^4 - \xi^5}{16} & H_4^{(5)} &= \frac{8 + 15\xi - 10\xi^3 + 3\xi^5}{16} \\ H_5^{(5)} &= \frac{-5 - 7\xi + 6\xi^2 + 10\xi^3 - 4\xi^4 - 3\xi^5}{16} & H_6^{(5)} &= \frac{1 + \xi - 2\xi^2 - 2\xi^3 + \xi^4 + \xi^5}{16} \end{aligned} \quad (12)$$

Accordingly, $\widehat{N}_{ij}^{H5}(\xi, \eta)$ becomes:

$$\begin{aligned} \widehat{N}_{i1}^{H5}(\xi, \eta) &= H_r^{(5)}(\xi) H_s^{(5)}(\eta) & \widehat{N}_{i2}^{H5}(\xi, \eta) &= H_{r+1}^{(5)}(\xi) H_s^{(5)}(\eta) & \widehat{N}_{i3}^{H5}(\xi, \eta) &= H_r^{(5)}(\xi) H_{s+1}^{(5)}(\eta) \\ \widehat{N}_{i4}^{H5}(\xi, \eta) &= H_{r+2}^{(5)}(\xi) H_s^{(5)}(\eta) & \widehat{N}_{i5}^{H5}(\xi, \eta) &= H_r^{(5)}(\xi) H_{s+2}^{(5)}(\eta) & \widehat{N}_{i6}^{H5}(\xi, \eta) &= H_{r+1}^{(5)}(\xi) H_{s+1}^{(5)}(\eta) \\ \widehat{N}_{i7}^{H5}(\xi, \eta) &= H_{r+2}^{(5)}(\xi) H_{s+1}^{(5)}(\eta) & \widehat{N}_{i8}^{H5}(\xi, \eta) &= H_{r+1}^{(5)}(\xi) H_{s+2}^{(5)}(\eta) & \widehat{N}_{i9}^{H5}(\xi, \eta) &= H_{r+2}^{(5)}(\xi) H_{s+2}^{(5)}(\eta) \end{aligned} \quad (13)$$

where $\{i, r, s\} \in \{\{1,1,1\}, \{2,4,1\}, \{3,4,4\}, \{4,1,4\}\}$. From the relationship in equation (2), \mathbf{w}_e can be expressed in term of the coordinates (x, y) .

$$\mathbf{w}_e = \sum_{i=1}^4 \left\{ N_{i1}^{H5}(x, y) w_i + N_{i2}^{H5}(x, y) \frac{\partial w}{\partial x_i} + N_{i3}^{H5}(x, y) \frac{\partial w}{\partial y_i} + N_{i4}^{H5}(x, y) \frac{\partial^2 w}{\partial x_i^2} + N_{i5}^{H5}(x, y) \frac{\partial^2 w}{\partial y_i^2} + N_{i6}^{H5}(x, y) \frac{\partial^2 w}{\partial x_i \partial y_i} + N_{i7}^{H5}(x, y) \frac{\partial^3 w}{\partial x_i^2 \partial y_i} + N_{i8}^{H5}(x, y) \frac{\partial^3 w}{\partial x_i \partial y_i^2} + N_{i9}^{H5}(x, y) \frac{\partial^4 w}{\partial x_i^2 \partial y_i^2} \right\} \quad (14)$$

3. Numerical tests

Here, a plate bending problem is solved to compare the results of the elements developed in this study with the analytical solution. The plate is a square with $l = 0.4$ m on each edge, thickness $t = 0.1$ m, Young's modulus $E = 200$ GPa and Poisson's ratio $\nu = 0.3$. The load is a uniformly distributed load q of 1 Mpa and D is the bending rigidity. Boundary conditions are imposed on all four edges. According to the previous study [5], the analytical solution \bar{w} is also given by $\bar{w} = 0.00126ql^4/D (= 1.7612 \times 10^{-3})$. Numerical and analytical solutions for the center deflection of the plate are compared. The results are shown in Table 1. While the P4 element demonstrates good accuracy with a small number of divisions, the error increases as the number of divisions grows; on

Table 1 Error of central displacement of a clamped square plate subjected to a uniform loading

Number of divisions $x \times y$	P4 Error %	P9 Error %
4×4	0.3864	1.0525
12×12	0.4220	0.4306
20×20	0.4219	0.4232
40×40	0.4221	0.4222
100×100	0.4221	0.4222

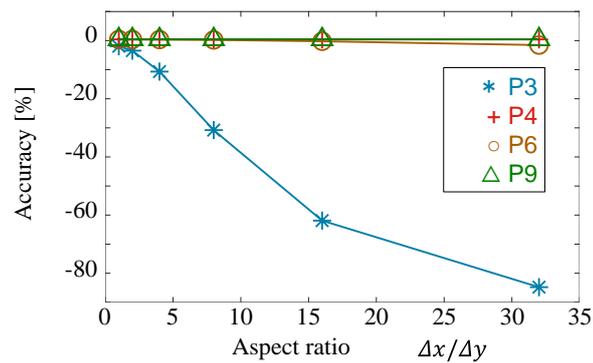


Figure 1 The influence of element aspect ratio on accuracy

the other hand, the P9 element shows a large error with a small number of divisions, but this error decreases and converges as the number of divisions increases.

In this study, to verify the completeness of these elements, the error in changing the aspect ratio of the elements is also evaluated. To change the element aspect ratio, the number of elements in the x -direction is fixed at 20 and the number of elements in the y -direction is varied from 20 to 320. Figure 1 shows the results. P3 elements exhibit increasing errors as the aspect ratio grows, likely due to the incompleteness of the shape functions, which results in the stiffness being overestimated. While not as significant as P3, P6 element displays a slightly larger error compared to P4 and P9. The accuracy of the P4 and P9 elements remained completely consistent as the aspect ratio increased, staying within 0.5%.

4. Conclusion

Numerical tests are conducted to develop a quadrilateral element that achieves completeness by explicitly utilizing Hermite polynomials in the interpolation function and to validate the completeness of the element. The results demonstrate that the P4 and P9 elements, which incorporate Hermite functions with explicit completeness, exhibit superior performance. Given that these elements produce virtually no error even when the aspect ratio significantly increases, these elements are projected to be highly useful for finite element analysis of long structures, e.g. bridges.

References

- [1] F. K. Bogner, R. L. Fox, L. A. Schmit: The Generation of inter-element-compatible stiffness and mass matrices by the use of interpolation formulas, *Proceedings of the Conference on Matrix Methods in Structural Mechanics*, (1965), 397-444.
- [2] O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor: *The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics*, Elsevier Science, (2005).
- [3] A. Beheshti: Novel quadrilateral elements based on explicit Hermite polynomials for bending of Kirchhoff–Love plates, *Computational Mechanics*, 62 (2018), 1199-1211.
- [4] M. Bacciocchi, N. Fantuzzi, A.J.M. Ferreira: Conforming and nonconforming laminated finite element Kirchhoff nanoplates in bending using strain gradient theory, *Computers and Structures*, 239 (2020), 106322
- [5] S. Timoshenko, S. Woinowsky-Krieger,: *Theory of plates and shells*, McGraw-Hill Kogakusha, (1959).

機械学習による日本民謡の地域の推定

Estimating Regions of Japanese Folk Songs Using Machine Learning

井岡 龍紀^{1*}, 田村 裕¹
Tatsuki IOKA^{1*}, Hiroshi TAMURA^{2,4}

¹ 中央大学大学院 理工学研究科

¹ Faculty of Science and Engineering, Chuo University

*a19.a4yh@g.chuo-u.ac.jp

Abstract. In this laboratory, research has been conducted on Japanese folk songs, especially Chichibu yatai-bayashi, using machine learning to evaluate the skill of taiko drumming and systems that automatically generate taiko drum sounds in order to help pass on the tradition. In this study, we aimed to deepen our understanding of traditional culture by creating a system to identify the regional characteristics of Japanese folk songs using various methods of machine learning, and to explore further approaches to music using machine learning.

Keywords: Machine learning

1. まえがき

機械学習[1],[2]の登場により、著しく発達を続けている AI 技術であるが、音楽や絵画など、人間の感性に寄るものを機械に評価、または作成させることは依然難しいとされている。また、本研究室では、人手不足が深刻化する祭り囃子において、練習相手の不足を解決する方法の一つとして、秩父屋台囃子の太鼓の音を機械学習によって自動生成する研究が行われて来た[3]。この研究と関連して、音楽の機械学習の分野でよく行われているジャンル分けの手法になぞらえ、日本の伝統である地域民謡を地域ごとに区別することを目標に学習方法を模索し、地域の個性が機械学習で判別できるか確かめる。そして、民謡を地域ごとに機械学習を用いて区別することで、学習に用いた特徴量とそれに対する精度から、地域ごとにどんな特性があるか、また近い地域は特性が似通っているのかなどを確かめ、日本の伝統的な音楽に対しての理解を深める。また、これによって機械学習の音楽に対するさらなるアプローチを模索する。

2. 学習に用いたデータと特徴量

本研究では、機械学習アルゴリズムのジャンル分けの精度の確認と比較のために民謡の地域判別とともに、民謡とジャズの音楽ジャンル分け学習も行った。今回の実験では、北海道、青森の民謡、またジャズの曲をそれぞれ5曲ずつ用意し、それぞれ10秒ごとに区切って学習またはテストデータとした。(図1)。4曲は学習データとして用い、残りの一曲を10秒ごとに区切ったものを判別する。今回はデータの特徴量として各曲のMFCCを用いる。MFCC (Mel Frequency Cepstral Coefficients) は、音声信号の特徴を表現するための手法で、人間の聴覚特性に基づいて設計されていて、音の高さに対して非線形な感じ方を再現する[4]。ジャズと民謡のMFCCを図2に示す。また、今回はMFCCをそのままモデルとして使ってもうまく学習できなかったため、縦軸の音の高さ毎に平均を取り1次元の配列にし、それをモデルとした。

	民謡(北海道)	民謡(青森)	ジャズ
学習用データ	江差追分	鱒ヶ沢甚句①	What a wonderful world
〃	北海盆唄	鱒ヶ沢甚句②	Waltz For Debby
〃	そうらん節①	津軽山唄	So What
〃	ソーラン節②	津軽じょんから節	My Favorite Things
テストデータ	ソーラン節③	津軽甚句 (ドダレバチ)	When You Wish Upon a Star

図1 音楽データ

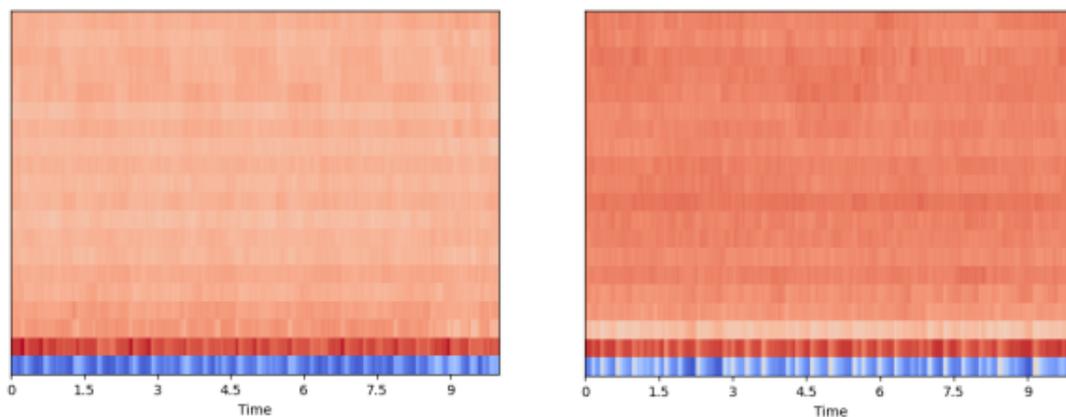


図2 ジャズのMFCC(左)と日本民謡のMFCC(右)

3. 機械学習による地域の推定とジャンル分け

今回、学習にはk-最近傍法、SVM(サポートベクターマシン)、NN(ニューラルネットワーク)の3つのアルゴリズムを用いた。最初に、音楽のジャンル分けを行った。K-最近傍法(k=5)、SVM、NNでのテストデータの正解率は順番に93.1、63.8、93.1(%)であった。日本民謡の地域の推定の正解率は、順に90.2、80.5、92.7(%)となった(図3)。

	k-最近傍法	SVM	NN
ジャンル分け	93.1(%)	63.8(%)	93.1(%)
地域の推定	90.2(%)	80.5(%)	92.7(%)

図3 結果

4. 考察

今回の学習では、2グループに分類する問題であったため、まったくランダムに選んだ時の確率は1/2になるはずである。それを考慮すると、今回の学習は3つの方法のどれも正解率が0.5を上回っているため、ある程度学習がうまくいっていることがわかる。特に、k最近傍法とNNに関しては、ともに9割を上回っていて、制度の良いモデルとなっていることがわかる。SVMだけほかの方法に比べて精度が悪くなってしまったのは、今回の学習では線形SVMを用いたが、特徴量が複雑で線形の関数ではきれいに二分する関数が得られなかったからではないかと考えられる。地域推定に関しても、ジャンル分け同様2グループの分類であるため、0.5をある程度超えていれば予測ができていといえるが、地域の推定ではどれも正解率が8割を超え、どれも精度の高いモデルになったといえる。SVMでの予測を比較すると、ジャンル分けの場合の精度が低く出ていることがわかる。実験前の予想とは異なったが、これはジャンル分けの特徴量が想定より複雑であったことが原因として考えられる。線形SVMではなく非線形のSVMを用いることでジャンル分けの精度が上昇するのではないかと考えられる。また、k-最近傍法とNNについては、地域の推定よりもジャンル分けの精度のほうがわずかではあるが高くなっていて、概ね予想通りの結果となった。やはり、ジャンル分けよりも地域の推定をする場合のほうが特徴量が似通っていて、予想しにくいと考えられる。

5. 結論と今後の展望

今回の研究では、1つの特徴量のみでしか学習を行えなかったため、地域ごとに特徴がある可能性があるが、それが音楽のどこに出ているのかは正確には分からなかった。したがって、音楽のほかのいくつかの特徴量(BPMや頻出する周波数など)によって結果がどう変化するかを調べ、どこに特徴があるのか確かめる必要がある。また、今回は2つの地域にのみ分類を行ったため、地域を増やしたときの結果や、地域のグループの分け方を、県によってだけではなく、地方や、昔の地域区分などに分類して学習したときに結果がどう変化するか確かめる必要がある。

参考文献

- [1] 斎藤 康毅, ゼロから作る Deep Learning -Python で学ぶディープラーニングの理論と実装, オライリージャパン, 2016.
- [2] Andres C. Muller Sarah Guido 他, Python ではじめる機械学習, オライリージャパン, 2017.

- [3] 岡本 和巳:ベクトル量子化を利用した DNN(Deep Neural Network)による和太鼓音楽の生成, 中央大学理工学研究科修士論文, 2022.
- [4] <http://makotomurakami.com/blog/2020/05/29/5478/> 2023 年 7 月 21 日閲覧

障害物を考慮した第5世代移動通信システムの 基地局配置について

Base Station Placement for 5th Generation Mobile Communication System Considering Obstacles

片山 壮^{1*}, 田村 裕¹
So Katayama^{1*}, Hiroshi Tamura¹

¹ 中央大学大学院 理工学研究科 電気電子情報通信工学専攻

¹Department of Electrical, Electronic, and Communication Engineering,
Graduate School of Science and Engineering, Chuo University

*a19.tc8w@g.chuo-u.ac.jp

Abstract. The coverage of antennas in the 5th generation mobile communication system (5G) is related to frequency, and the higher the frequency, the smaller the coverage. Therefore, 5G uses a higher frequency than 4G, the conventional communication standard, and thus has a smaller communication range. In addition, because 5G radio waves are more direct than those of 4G, they are more likely to be blocked by obstacles. Therefore, in locations with dense buildings that serve as obstacles, the way 5G antennas are installed requires more consideration of the shape and placement of obstacles and the communication range of the 5G antennas than with conventional standards. Therefore, it is important to arrange the antennas in such a way that a small number of antennas can cover the entire area efficiently. In this study, a regular hexagon approximating the communication range of 5G antennas is placed on a plane, and then simulations are performed using MATLAB to determine how to efficiently add antennas when obstacles are placed.

Keywords: Computer simulation, 5G, Base Station Placement

1. はじめに

近年、第5世代移動通信システム(5G)は大手通信会社などで導入が進められている。5Gには高速・大容量、低遅延、多接続などの特徴があり、大手通信会社では自動運転や医療分野など多くの分野での活用に向けて研究が進められている[1]。

5Gのアンテナの被覆範囲は、周波数が高いほど小さくなる性質がある。そのため、

5G は 4G と比べて高い周波数を使用しているため、通信範囲は小さくなる。また、5G の電波は 4G と比べても直進性が高いため、障害物に遮断されやすくなっており、今まで電波が届いていた場所でも、建物が建設されるだけで電波が届かなくなる場合がある。そのため障害物となる建物が密集した場所では、5G アンテナの設置の仕方は、障害物の形状や配置、5G アンテナの通信範囲などを従来の規格のものよりも考慮する必要があり、少ない数のアンテナで効率よく全体を被覆できるような配置にすることが重要となる。

先行研究では、平面上に穴のない n 角形で、この領域全体を監視するために 360° 見渡すことができる監視カメラを設置する美術館問題と呼ばれる問題を応用して、領域を正六角形に分割し、頂点を彩色することで基地局の配置を決める研究があるが、電波の直進性や、複数の正六角形上に障害物が配置された場合を考慮していないなどの問題がある[2]。

本研究では、基礎的な研究として 5G アンテナの通信範囲を近似した正六角形を平面に配置し、その後障害物が配置された場合の効率的なアンテナの追加方法を MATLAB を用いてシミュレーションする。また、障害物の形状によって配置されるアンテナを削除する場合があるため、障害物が正方形の場合と正方形でない場合で分けて考える。

2. シミュレーション

2.1 シミュレーション概要

エリア全体をカバーできるように障害物を考慮してアンテナを配置する方法を検討する。また、カバー率やアンテナの本数をシミュレーションする。シミュレーションの条件は、今回エリアは 100×100 の正方形とし、障害物は面積 900 の四角形、アンテナの通信範囲は一辺が 15 の正六角形、電波は回折せず直進するとして、シミュレーション回数は障害物が正方形の場合と正方形でない場合でそれぞれ 10 回行う。

シミュレーションは以下のような手順で行う。

- ① 正六角形エリアの配置の仕方について説明する。正六角形の左下の頂点をエリアの左下に合わせ、正六角形を規則的に並べる。正六角形の中心がエリアの外に配置された場合、エリアの辺上に平行に移動させる。
- ② 配置された正六角形の中心が障害物の内部にある場合、障害物が正方形のとき、障害物の辺上に正六角形を平行に移動させた場所に正六角形を追加する。障害物が正方形でないとき、正六角形の中心と障害物の外にある頂点を結び、障害物との交点に正六角形を追加する。また、余分な正六角形がある場合は削除する。
- ③ 今回のシミュレーションでは、電波は回折せず直進すると仮定したため、それにより電波が届かなかったエリアのカバーの仕方について説明する。まず、正六角形の中心と正六角形内部の障害物の各辺で三角形をつくり、三角形が障害物と交差した場合辺の中点に追加する。そして、正六角形の中心と正六角形内部の障害物の各辺で三角形をつくり、三角形が障害物と交差した場合辺の中点に追加する。ただし、三角形と障害物が交差しない場合や、正六角形内部の障害物の辺が

障害物の内部であった場合、辺の midpoint に正六角形を追加しない。

2.2 シミュレーション結果

2.1 節で行ったシミュレーションの例を図 2.2.1、2.2.2 に示す。図 2.2.1 では障害物を正方形とした場合、図 2.2.2 では障害物を正方形でない四角形とした場合の結果である。

2.1 節で示した①~③の方法で順次アンテナを追加した場合のカバー率を図 2.2.3 に示す。図 2.2.3 より、①~③の方法で追加することにより、カバーできる割合が増加し、③の方法での追加が完了後には、ともにカバー率が 100%となっており、エリア全体をカバーできていることが分かる。また、アンテナの総数を比較すると、障害物を配置しなかった場合が 22 本、障害物が正方形の場合は 25.4 本、障害物が正方形でない場合は 25.8 本と障害物の形状によって結果が異なることが分かる。

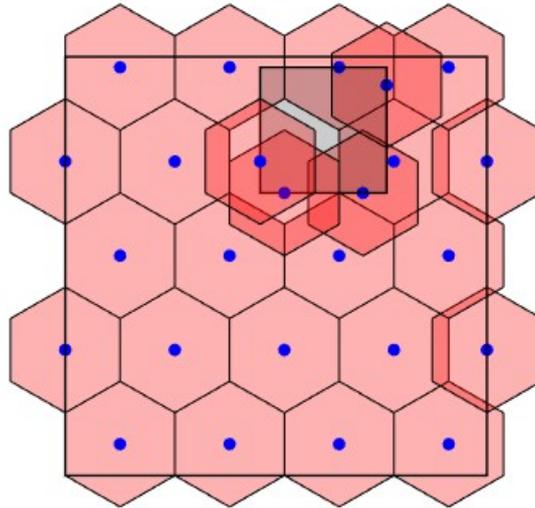


図 2.2.1 障害物が正方形の場合の配置例

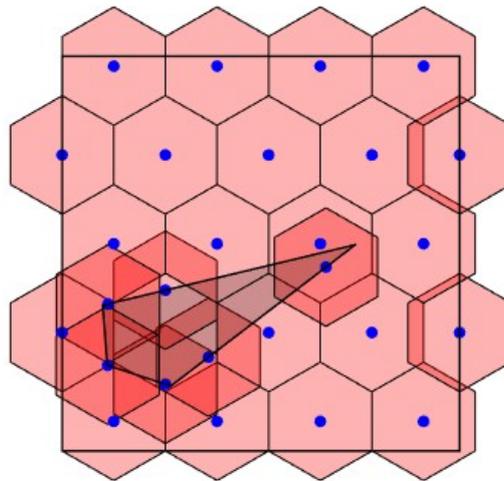


図 2.2.2 障害物が正方形でない場合の配置例

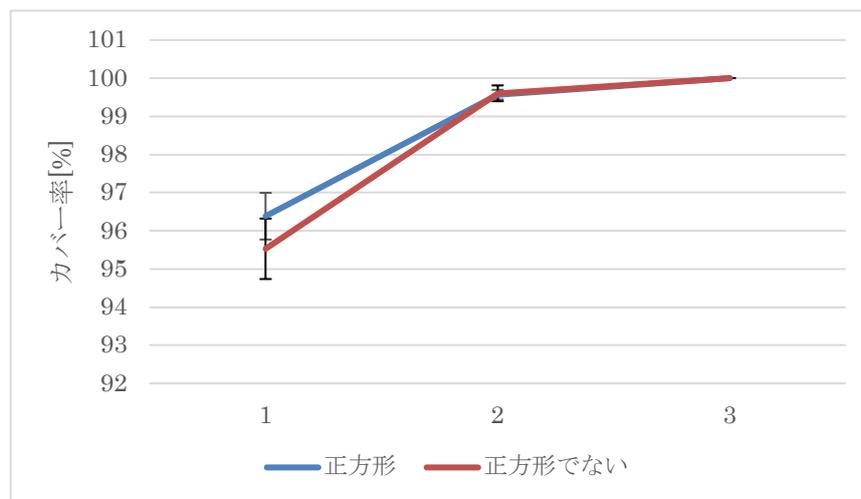


図 2.2.3 エリア全体のカバー率の推移

3. 結論及び今後の課題

今回のシミュレーションでは、電波の直進性を考慮した 5G アンテナの最適な配置について、5G アンテナの通信範囲を正六角形として扱い、様々な障害物で検証を行った。その結果、最初に正六角形をエリア内に並べる方法は、正六角形の頂点の部分を最初からエリアから出すことで、隙間が発生しなくなり、アンテナを余計に増やすことがなくなるため、最適な方法であると考えられる。また、エリア内に障害物が設置された場合でも、正方形の障害物の場合や、正方形でない四角形の場合でもエリア全体をカバーすることができた。

今後の課題としては、正方形でない複雑な四角形の障害物が設置された場合、正方形の障害物に比べてアンテナの削除や追加などの工程が多くなり、過剰にアンテナを追加するなど、場合によっては無駄となることが多くあった。そのため、四角形の凹凸などの形状によって別々の手法をとるなど、より工夫を加えたアルゴリズムを用いる必要があると考える。他にも、現実の障害物は正方形などの四角形だけではなく、複雑な形状をした多角形である場合も考えられ、その場合、四角形の障害物を設置した場合の単純なアルゴリズムと比べて、より複雑なものとなることが考えられるため、様々な形状の障害物でも対応できるようなアルゴリズムを開発することが必要となる。また、現実ではエリア内に複数の障害物がある場合も考えられるため、これについても検討することが今後の課題となる。

参考文献

- [1] NTT docomo: 「5G (第 5 世代移動通信システム)」 <https://www.ntt.com/ne.jp/corporate/technology/rd/tech/5g>
- [2] 王曉飛: 「第 5 世代移動通信システムにおける基地局配置への計算幾何学及びグラフ彩色理論の応用」中央大学 理工学研究科 電気電子情報工学 修士論文 2020

機械学習を用いた和太鼓演奏の熟練度の評価 performance evaluation of Japanese traditional drum performance with machine learning

神山 航輝^{1*}, 田村 裕¹
Koki KAMIYAMA^{1*}, Hiroshi TAMURA^{2,4}

¹ 中央大学大学院 理工学研究科

¹ Faculty of science and Engineering Chuo University

*tamura@elect.chuo-u.ac.jp

Abstract. Today, there are many tradition cultures in Japan. Japanese traditional instrument is one of them, but it is difficult to continue to exist because we have to practice long time. Thus, we made program which can evaluate level of performance skill with machine learning. It will help us to know that how good we play these instruments and have more incentive. We focus on Japanese drum of march along to festival. Our program evaluate performance in the context of volume and rhythm.

Keywords: machine learning, Japanese traditional instruments

1. まえがき

和楽器は日本の伝統的な文化の一つであり、現在でも演奏されているが、文化の継承に演奏練習が必要であるため難易度が高く、今日では演奏者人口が減少傾向にある。そこで、この文化がなくなってしまうように、演奏練習の手助けとなるプログラムを、機械学習を用いて作成した。具体的には、世界無形文化遺産に登録されている秩父屋台囃子[1]に注目し、なかでもリズムや強弱が難しい大太鼓の熟練度を評価できるプログラムである。

2. 先行研究

演奏練習支援手法の研究には先行研究がある[2]。機械学習によって自動演奏を可能にすることで、太鼓の打ち方の手本を得ることができ、一人での練習を可能にする目的で研究

されている。結果としては、データを厳密に分類仕切ることが出来なかったものの、適合率は高く実際に聞いて大きな違和感が無い程度の自動演奏には成功している。

3. 研究方法

本研究では、実際に秩父屋台囃子で演奏されたデータや自分で用意した太鼓の演奏データの、機械学習を用いた熟練度の評価を行った。そのために、2つの工程を踏んでいる。まず、調波打楽器音分離(HPSS)[3]を使って、お囃子の音声データから大太鼓の音を分離する。そのデータをk-最近傍法、決定木という機械学習の手法[4]を用いて熟練度を評価する。k-最近傍法は、未知データから見た任意の個数の近傍点のうち一番多いクラスに分類するクラスタリングの手法であり、本研究では近傍点の個数を3つで行った。また、決定木とは、yesかnoの二択で回答できる条件式をいくつも作り、その結果からクラス分類を行うクラスタリングの手法である。なお、決定木には訓練データに特化しすぎた学習結果となりやすいデメリットを回収するため、条件式が少しずつ異なる決定木を大量に用意し、それらの多数決で結果を出力するランダムフォレストという方法を採用している[2]。

熟練度の評価については5段階評価で行う。本家の屋台囃子に近いものほど熟練度が高い、と定義し、それに従って以下の表1を基準に評価していく。

表1 評価基準

評価1	リズムがとれていないもの
評価2	リズムのみとれているもの
評価3	外国で屋台囃子を模倣されたもの
評価4	舞台用にアレンジされ、本来の秩父屋台囃子と比べて変化があるもの
評価5	本家の秩父屋台囃子

この基準は、本研究のために集めたデータを客観的な視点で分類したものであり、評価基準として適していると考えられる。なお、評価3と評価4の区別については、今回収集したデータのうち、本家の屋台囃子ではないが舞台として成立したものが分類されているが、すべて聞いたところそのなかでも外国で模倣されたものがよりリズムや打ち方に関して本家の屋台囃子との差を感じたため評価を分けている。評価ごとに用意したデータは全部で232個で、評価1と2が20、評価3が24、評価4が144、評価5が24である。

4. 研究結果、考察

まず、音源分離の結果について、分離前、分離後の波形は図1のようになった。

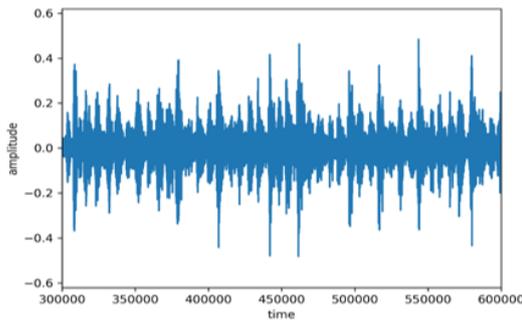


図 1(a) 音源分離前の音声データ

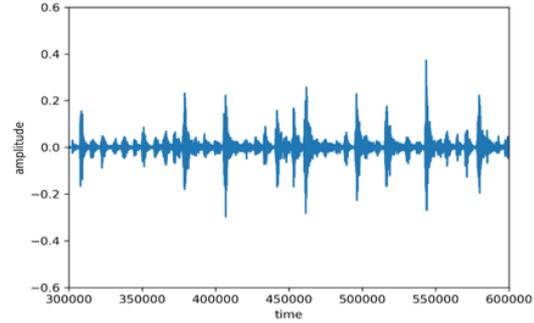


図 1(b) 音源分離後の音声データ

図 1 音源分離前と音源分離後の音声データ

なお、横軸は 1 分の 44100 秒であり、これは一般的に用いられるサンプリングレートである。大太鼓の音と思われる波形が大きく残っており、全体的に波形が小さくなっていることがわかる。実際に分離後の音声データを分離前のものと聞き比べると、屋台囃子で使われる大太鼓、小太鼓、篠笛、鉦のうち、篠笛の音は完全に遮断できていた、一方で、小太鼓と鉦の音は残ってしまっていた。これは、HPSS の特徴として、音程の変化が小さくリズムが一定の楽器を打楽器音として認識し、大太鼓と同じ用に分類してしまうことが原因であると考えられる。

そして、熟練度の評価の結果については、全体で 232 個のデータを扱い、それらを正しく評価できているか調べたところ、k-最近傍法の正答率は 67%、決定木では 61%の正答率であった。評価は 5 段階であるため、ランダムで評価をつけた場合の正答率は 20%程度となることを考えると、40%程正答率を上げることが出来ていることがわかる。しかし、三回に一回は評価を間違えるので、十分に精度が高いとは言えない結果となった。この改善方法としては 3 つ考えられる。まず一つ目に、正確な音源分離を行うことである。今回の研究では、小太鼓や鉦の音は完全に除去できなかったため、それが学習の精度を下げる原因になっていると考えられる。二つ目に、不均衡データを解消することである。今回データとして用意した 1 から 5 までのデータは、すべて同じデータ量を用意できていない。より均等にかつ多くのデータを集めることで精度向上が見込める。三つ目に、学習方法を音声データの扱いに長けたものにするのである。今回使用した k-最近傍法と決定木は、どちらも機械学習の基本的で単純な手法であるため、取り扱いやすいが高い精度は期待できない場面が多い。そこで、ディープラーニングを活用して時系列を考慮した機械学習の手法があるため、そういった音声データに適した手法を使うことでも精度向上が見込める。

5. 結論

秩父屋台囃子で演奏される大太鼓の熟練度を、機械学習により評価するプログラムを作成した。音源分離については、篠笛は完全に除去出来たが小太鼓や鉦が残ってしまっていたため改善の余地がある。また、機械学習による熟練度の評価では、二つの手法でどちらも 60%以上の正答率で評価できていた。さらなる精度向上には、音源分離精度の向上、より多くのデータ収集、学習手法の見直しが必要となる。

参考文献

- [1] <https://yataibayashi.tokyo/s/yomatsuri.html>

秩父屋台囃子振興会

- [2] 倉金雄大, “機械学習を用いた和楽器における自動演奏”, 中央大学, 理工学部
電気電子情報通信工学 卒業論文, 2022
- [3] <https://www.wizard-notes.com/entry/music-analysis/hpss>
Python:LibROSA で調波打楽器音分離(HPSS)
- [4] Andreass C.Muller, Sarah Guido, 中田秀基, “Python ではじめる機械学習”, オライ
リー・ジャパン, 2017.

第 5 世代移動通信システムにおける 最適なエッジサーバの配置方法

Effective deployment method of Edge Computer in 5th generation mobile communication systems

佐々木瞬^{1*}, 田村裕²

Shun SASAKI^{1*}, Hiroshi TAMURA²

中央大学大学院 理工学研究科 電気電子情報通信工学専攻
Department of Electrical, Electronic, and Communication Engineering,
Graduate School of Science and Engineering, Chuo University

*a19.xwsa@g.chuo-u.ac.jp

Abstract. Recently, 5th generation mobile communications systems (5G) is widespread in Japan. 5G is capable of higher speed and capacity communications than 4G. However, its communication range is short. Moreover, server load will increase because devices connecting internet are increasing. One of the method to solve these problems is Mobile Edge Computing (MEC). This paper discusses how to deploy MEC server efficiently by using simulation of MATLAB.

Keywords: 5G, Edge Computing, Computer Simulation

1. 研究背景

現在第 5 世代移動通信システム(5G)の普及が進んでいる。5G 通信は通信速度、容量が従来の 4G 通信と比較して向上する一方で、高周波信号の特徴である減衰の速さや直進性の強さによる障害物への耐性の低さが問題となっている。さらに IoT デバイスなどの普及によって通信量が増加することが見込まれており、サーバへの負荷が大きくなってしまふ。この問題の解決方法の一つとしてモバイルエッジコンピューティング(MEC)が挙げられる[1]。これは情報処理をおこなうクラウドサーバと端末との通信経路内に簡易サーバを配置し、一部の処理を行うことでクラウドサーバへの負荷を軽減、通信距離の短縮を実現するものである。従来のコンピューティングシステムであるクラウドコンピューティングとエッジコンピューティングの概念図を図 1 に示す[1]。私の所属する研究室では先行研究としてエッジデバイスの最適な配置方法についての研究が行われており、エッジデバイスを基地局に設置することを前提にシミ

ュレーションを行っていった[2]. 本稿ではこの MEC サーバの効率の良い方法をシミュレーションによって検討していく. シミュレーションには MATLAB を使用する.

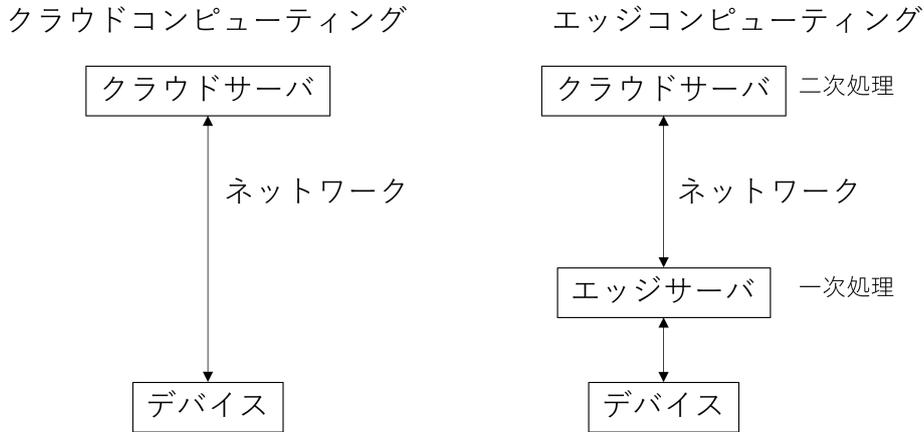


図1 クラウドコンピューティングとエッジコンピューティング

2. シミュレーション概要

図 2 のように $1000[m] \times 1000[m]$ の二次元平面上に乱数を用いて基地局を示す黒点を配置する. その後すべての基地局に対して MEC サーバが設置されている, もしくは周囲に設置されているものと無線通信が行える状態になるように MEC サーバを設置していく. ただし MEC サーバはミリ波電波を用いて高速通信が安定して行えるものとし, 無線通信が可能な距離は MEC サーバを中心とした半径 $250[m]$ 以内とする[3]. また基地局と MEC とやり取りするデータ量の影響を考え, MEC サーバの処理能力に余裕を持つため無線通信が行える基地局は最大で 5 局までとする. シミュレーション結果の一例を図 3 に示す. 図中の黒いひし形で囲まれている黒点は, 周囲にある MEC サーバと無線通信が可能である状態を表している. 赤い丸で囲まれている黒点は MEC サーバが設置されている基地局を表しており, またその黒点を中心として描かれている青い円は設置されている MEC サーバの無線通信距離を示している.

以上の条件を踏まえると, 設置する MEC サーバの下限は基地局数の 20% となり, その数に近づくような MEC サーバの設置方法を考えていく.

- ① MEC サーバ未接続の基地局の中から周囲 $250[m]$ 以内にある基地局数が最も多いものを選びその基地局に対して MEC サーバを設置する.
- ② MEC サーバの無線通信可能範囲内にある基地局を接続状態にする. 範囲内に未接続状態の基地局が 6 局以上あった場合, MEC サーバから遠いものを優先して接続する.
- ③ MEC サーバ同士での高速無線通信を可能にするために, すでに設置されている MEC サーバと無線接続が行われている基地局の中から, 周囲に存在する未接続の基地局が最も多い基地局を選びそこに MEC サーバを設置する. この候補が複数あった場合, MEC サーバを分散させるため, 既に配置されている MEC サーバとの距離が最も遠い基地局を選ぶ. この条件に該当する基地局が存在しない場合, ①の条件で候補を選ぶ.
- ④ ②と③の処理をすべての基地局が MEC サーバと接続状態になるまで繰り返す.

以上の処理を、基地局数を 30 局から 100 局まで 10 局ごとに、異なる基地局配置でシミュレーションを 1000 回ずつ行った。このときの結果を表 1 に示す。

以上の処理のあとに、取り除くことのできる MEC サーバを探索する。以下のその条件を示す。

- ① 取り除くことによって他の MEC サーバ同士の無線通信が途切れない
- ② 取り除くことによって生まれる未接続基地局が、他の MEC サーバによってすべて無線接続状態になる

これらの条件に該当する基地局がなくなるまで MEC サーバを減らす。取り除く処理をする前後の MEC サーバの数の差を表 1 に追記する。この処理は基地局数が少ないほど MEC サーバを減らすことのできる確率が高いことがわかった。しかしこの処理が有効であるということは、MEC サーバの設置の際に必要なものがないものが設置されているということになるため、設置手順の再検討が必要であると考えている。

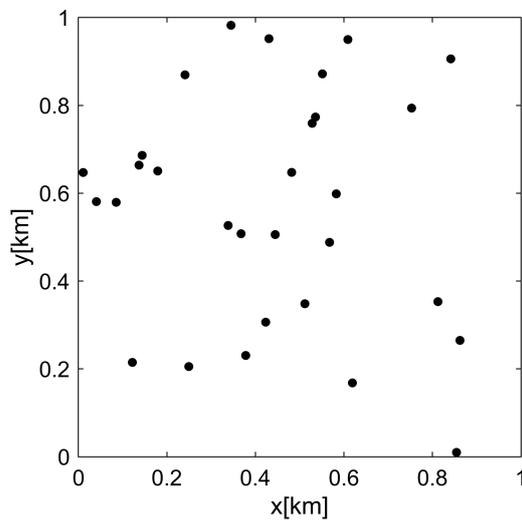


図 2 基地局の配置例

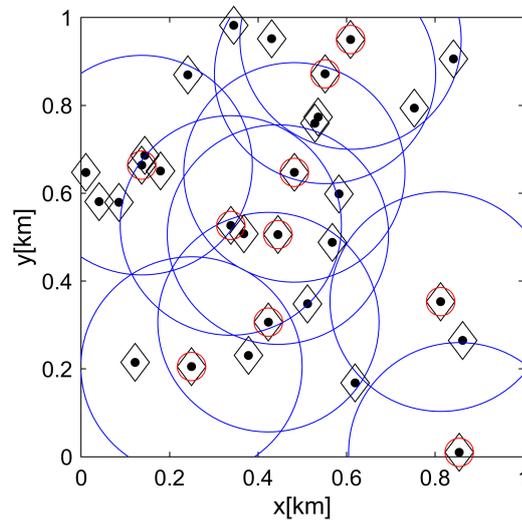


図 3 シミュレーション結果例

表 1 基地局数と MEC サーバ数

基地局数	MEC サーバ数	撤去後	差
30	12.84	12.12	0.72
40	14.86	14.23	0.63
50	16.12	15.65	0.47
60	17.38	17.10	0.28
70	18.88	18.70	0.18
80	20.62	20.51	0.11
90	22.47	22.39	0.080
100	24.35	24.31	0.040

3. 今後の課題

今後の課題は主に2つ挙げられる。

1つ目は MEC サーバを取り除く処理をなくすことだ。今回のシミュレーション方法では一度 MEC サーバを設置してから必要のないものを取り除く処理がある。しかしこの処理は基地局数が多いほど計算時間が長くなる。そのためこの処理を必要としないシミュレーション方法を検討する必要がある。

2つ目はシミュレーション環境の現実性である。今回のシミュレーション環境は障害物、地形の高低などを考慮していない。5G 通信は障害物を迂回する能力に欠けるという問題点があるため、障害物を考慮したシミュレーションを行うことで結果がより現実的なものになると考える。

参考文献

- [1] NEC ソリューションイノベータ.
”エッジコンピューティングとは?IoT の活用事例も解説”.
https://www.nec-solutioninnovators.co.jp/sp/contents/column/20220225_edge-computing.html, (参照 2023-07-08)
- [2] Ryota EHARA, *Effective installation procedure of relay servers in 5th generation mobile communication systems*, 中央大学理工学研究科修士論文, 2023.
- [3] NTT ドコモ. ”ミリ波を用いた超高速・長距離伝送の 5G 屋外実験”.
https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/technical_journal/bn/vol26_1/vol26_1_005jp.pdf, (参照 2023-07-08)

ドローンを利用した 高齢化率の高い地域での配達方法 A delivery method using Drone in areas with high aging populations

椎名 建介^{1*}, 田村 裕²
Kensuke SHIINA^{1*}, Hiroshi TAMURA²

¹ 中央大学大学院 理工学研究科

¹ Graduate School Of Science and Engineering, Chuo University

*tamura@elect.chuo-u.ac.jp

Abstract. This paper proposes a delivery method using drones and vehicles. The drone and vehicle each perform deliveries independently. In a given square area, we assume that the density of delivery destinations is greater in areas closer to the center. The stronger such a tendency is, the more effective the proposed method is found to be.

Keywords: Computer simulation, Numerical methods, food delivery

1. まえがき

物流業界の需要や市場規模は年々拡大している。新型コロナウイルスの感染拡大、EC サイト(電子商取引を行うすべての webs サイトの総称)やそれを取り巻く多様なサービスの誕生がその原因である。国土交通省によれば宅配便の個数は平成 28 年度には約 40 億個であったが令和 2 年度には約 48 億個にもなっており、令和元年から令和 2 年度までの 1 年間で約 5 億個も宅配便の個数が増加している[1]。また、「買い物難民」と呼ばれる過疎疎化された地域に住む人々や、移動手段を持たない高齢者をはじめとした食料品や日用品などの生活必需品の買い物が困難な人々が増えているため、配達サービスの需要は今後も増加すると考えられる[2]。この需要拡大に対して、ドローンを利用して配送を行った場合、配達時間がどの程度短縮可能になるかを

検討する。

2. 無人航空機を利用した高齢化率の高い地域での配達方法

前提 本研究室ではこれまで、配達先の配置がランダムな場合、自動車一台とドローン一台が連携して配達を行う方法を提案している[4]。本稿では配達先の配置に偏りがある場合、連携した方法ではなく個別に配達する方法のほうがより配達時間を短くできるのではないかとこの考えのもと、自動車一台とドローン一台が個別で配達を行う方法を提案する。それぞれの1日分の配達先は配達開始前に決まっているものとする。配達先は200件とする。仮想区域は10[km]×10[km]の正方領域の範囲内に、配達拠点(0,0)から配達先まで配達することを考える。配達先は、高齢化率の高い地域を想定するため、関数を使用して仮想区域内の配達拠点に近いほど配達先の密度が大きくなるようにランダムに配置する。詳しくは次項で述べる。自動車の速度は時速30[km]とする。ドローンの速度は時速55[km]とする。ドローンには連続飛行可能距離には制限を設ける。それぞれ積載量に制限は無いものとする。ランダムな一時停止や信号待ち、荷物の積み下ろしや受け渡し等の時間は考慮しない[3]。

2.1. 配達先の配置方法

配達先の座標 (x, y) を決定するためのパラメータと定式化は以下の通りである。

λ 密度に関するパラメータ。大きくするほど中心エリアの密度が大きくなる。

l 中心から配達先までの距離

$angle$ $-\pi \leq angle \leq \pi$ の疑似乱数

R $0 \leq R < 1$ の疑似乱数

$x = l \cos(angle)$

$y = l \sin(angle)$

$l = \frac{-\log(1-R) * 100}{\lambda}$

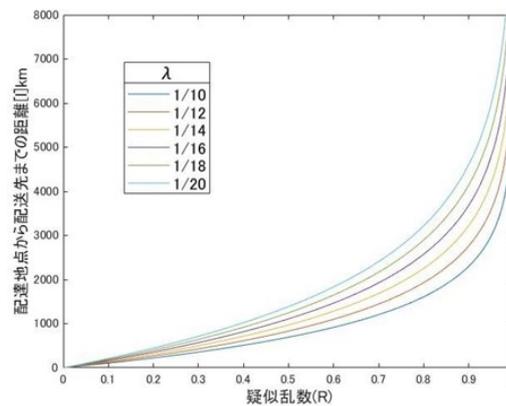


図1 l のグラフ

l のグラフを図1に、実際に配達先をエリア内に配置した時の分布を図2に示す。図1から l は小さな値をとる確率が高いことが確認できる。図2から中心に近いエリアほど配達先の密度が大きくなっていることが分かる。

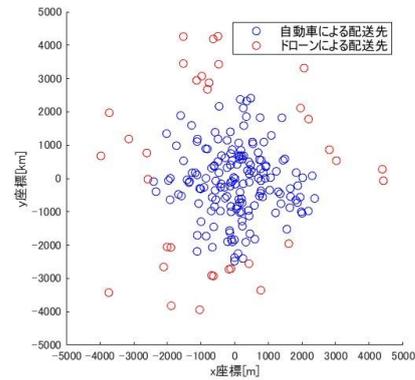
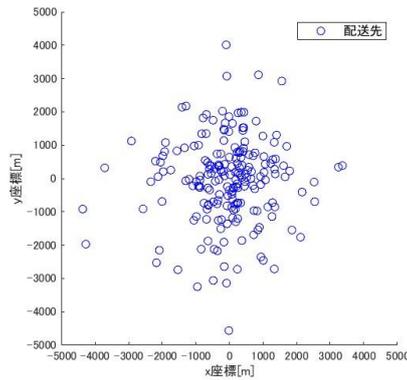


図2 $\lambda = \frac{1}{10}$ の時の配送先の分布 図3 振り分け後の担当先(閾値 2500m, $\lambda = \frac{1}{10}$)

2.2. 配送先の振り分けと配送方法。

基本的には、配送先の密度が大きいエリアでは自動車による配送が有利であり、配送先の密度が小さいエリアではドローンが有利である。このため配達拠点からの距離によって自動車が配送するエリアとドローンが配送するエリアを分割する。配達拠点からの距離が閾値以内の配送先は自動車が、閾値を超えるエリアはドローンが担当する[3]。振り分け後の担当先の分布を図3に示す。自動車は配送拠点を出発し、貪欲法に従ったルートで配送を行う。積載量の制限はないため配送が完了するまで配達拠点に戻ることはない。ドローンも自動車と同じように配送を行うが、連続飛行可能距離に制限があるため、一度の飛行で配送可能な荷物のみを各飛行ごとに販売拠点で搭載し配送を行う。配送が完了するまでこの動作を繰り返す。

3. 結果と考察

3.1. 配送振り分けの閾値別の比較 $\lambda = 0.1$, ドローンの連続飛行可能距離を 20000mに設定した際のシミュレーション結果を表1に示す。

表1 配送振り分けの閾値別比較結果

閾値[m]	自動車の配送時間[h]	ドローンによる配送時間[h]	総配達時間[h]
1500	0.805	1.4	1.4
2000	1.16	1.25	1.25
25000	1.51	1.01	1.51

$\lambda = 0.1$, ドローンの連続飛行可能距離を 20000mに設定した際のシミュレーション結果を表1に示す。

表1より総配達時間は、閾値が小さいほどドローンの移動速度及び連続飛行可能距離が、閾値が大きくなると自動車の移動速度がボトルネックになることが分かる。本

稿のアルゴリズムを用いる場合エリアの特徴に合わせて、閾値、ドローン及び自動車の性能を変える必要があると考えられる。

3.2. エリアの分布別の比較 配送振り分けの閾値を 2000m ドローンの連続飛行可能距離を 20000mに設定した際のシミュレーション結果を表 2 に示す。

表 2 エリアの分布別の比較

λ	自動車の配送時間[h]	ドローンによる配送時間[h]	総配達時間[h]
0.0555	0.989	2.08	2.08
0.0714	1.08	1.73	1.73
0.1	1.16	1.25	1.16

表 2 から λ の値が大きいくほど、中心エリアの配送先の密度が大きいくほど総配達時間が短くなったことが分かる。従って本稿のアルゴリズムは中心エリアの配送先の密度が大きいくようなエリアにおいて、有効ではないかと考える。

4. まとめと今後の課題

中心に近いほど配送先の密度が大きくなるようなエリアにおいて、本稿のアルゴリズムが有効だと考えられるが、実運用の面でコストや現在の技術状況を考慮する必要がある。最近では通常の宅配には十分と思われる 30kg を超える積載量を備えたドローンが開発されたり、ドローンの航空距離は伸びている[3]。しかし荷物の搭載やバッテリーの交換には人手が必要になる。そこで今後は 1 名の宅配ドライバーが自動車とドローンの双方を用いて配送を行う方式を検討課題としたい。

参考文献

- [1] 「令和 2 年度宅配便等取扱実績関係資料」,国土交通省,令和 3 年 8 月 6 日
<<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001418260.pdf>>
- [2] 「食料品アクセス（買い物弱者等）問題の現状について」,農林水産省、2022 年,
<https://www.maff.go.jp/j/shokusan/eat/syoku_akusesu.html>
- [3] 堀悟.車両とドローンの連携による宅配荷物の配送方式.電気学会論文誌 C.2021.Vol.141,NO.11,pp.1175-1184
- [4] 増子 裕斗「中山間地域での荷物配達における無人航空機の有用性について」
中央大学大学院理工学研究科電気電子情報通信工学専攻修士論文、2022 年

無線通信におけるチャンネル割当と

グラフの距離辺彩色

Channel assignment in wireless communication and graph distance edge coloring

鈴木啓太^{1*}田村裕¹

Keita Suzuki^{1*}Hiroshi Tamura¹

¹ 中央大学大学院 理工学研究科 電気電子情報通信工学専攻

¹ Department of Electronic, and Communication Engineering,

Graduate School of Science and Engineering, Chuo University

*a19.khj3@g.chuo-u.ac.jp

Abstract. A channel in the wireless communication is corresponding to a color assigned to a vertex (or an edge) in a graph. It is popular to minimize the number of colors assigned to vertices of the graph. However, the maximum number of colors called Grundy Number is also important. Obtaining a range of the number of channels will serve as an index for the development of channel assignment algorithms in wireless communications. In this paper, we treat distance coloring that extends the conventional edge coloring. We consider the upper bounds of the number of colors.

Keywords: Wireless communication, Channel assignment, Graph coloring, Grundy coloring Edge coloring

1. 研究背景

無線通信におけるチャンネル割当とグラフ理論における彩色問題は古くから関連性が示され様々な研究が行われてきた[1]。ある種のチャンネル割当問題は単純なモデル化によりグラフ理論における辺彩色問題に置き換えられる[2]。これまでの研究の多くは割当てるチャンネル数を最小にするものであった。最小のチャンネル数を考えることは下界を得られるため必要ではあるが、同時に最悪の場合を想定しチャンネル数を見積もることも必要である。実際のチャンネル割当アルゴリズムを開発する際には、使用するチャンネル数の範囲を求めておくことは重要である。

辺彩色では隣接する辺に違う色を割当てるが、本文では同一チャンネル干渉を避けるた

め、ある程度距離を離して同一色を割当てて距離辺彩色に注目する。文献[3]において、距離辺彩色の色数の上界となる式を求めたが、実際に上界を実現するグラフはその存在の有無を含め、わかっていない。そこで本文では、上界に迫る彩色法を提案する。

2. k -距離辺彩色

本文で取り上げる k -距離辺彩色とは、グラフの同一色が塗られている 2 辺の距離が $k+1$ 以上となるものである。辺 e, e' 間の距離は、 e, e' を結ぶ経路の辺数の最小値を表す。したがって、通常の辺彩色は、0-距離辺彩色となる[3]。色数の最大値を求める際には、貪欲彩色(Greedy coloring)[4]と呼ばれる以下の色の塗り方に限定する。貪欲彩色は現状のチャネル割当におけるキャリアセンス方法[5]に関連したものである。

グラフの貪欲点(辺)彩色とは、色を自然数 $\{1, 2, 3, \dots\}$ で表すとし、グラフの点(辺)に順序をつけ、その順で色 $\{1, 2, 3, \dots\}$ を割当てていく。その際、彩色可能な色の中で、もっとも小さな色を割当てていく。

あるグラフに対するすべての貪欲彩色において、色数の最小値を染色数(Chromatic number)と呼び、最大値を Grundy number と呼ぶ[6]。色数の範囲を求めることは、染色数と Grundy number を求めることに相当する。現状では最小値を求める研究が大部分で最大値についてはほとんど見られない。

貪欲彩色で k -距離辺彩色を施した場合、使われる色数について以下が得られている。

[定理 1][3]

Δ をグラフの最大次数とすると、貪欲彩色による k -距離辺彩色の色数の上界は以下となる。

$$2k + 3 \quad (\Delta = 2) \cdots (1)$$

$$\frac{2\{(\Delta - 1)^{k+2} - 1\}}{\Delta - 2} - 1 \quad (\Delta \neq 2) \cdots (2)$$

なお、点 v の次数とは、 v に接続する辺の数であり、グラフの各点の次数の最大値を最大次数という。

例えば、 $\Delta=3, k=2$ の場合、上式に代入すると 29 となり、色 29 が割当てられた辺の周辺は例えば図 1 の通りとなる。色 29 が塗られた辺以外には、色 29 は塗れないが、それらの色が全て異なるような彩色である。しかしながら、貪欲彩色でこのように色を塗ることができるかは、現状ではわかっていない。そこで多少色数を少なくし、規則性を持たせた彩色を試みる。図 2 がその彩色の中央部分となるが、中心の辺には色 23 が塗られている。つまり、6 色少ない彩色となっている。実際の彩色法としては、図 2 の色 23 が塗られた辺に隣接する以下の 4 個のブロックに分ける。

ブロック 4 : 色 16 から 22 が塗られた辺からなる

ブロック 3 : 色 9 から 15 が塗られた辺からなる

ブロック 2 : 色 2 から 8 が塗られた辺からなる

ブロック 1 : 色 1 が塗られた辺からなる

$k=2$ であるため、同一ブロック内の辺には同じ色を塗ることはできない。

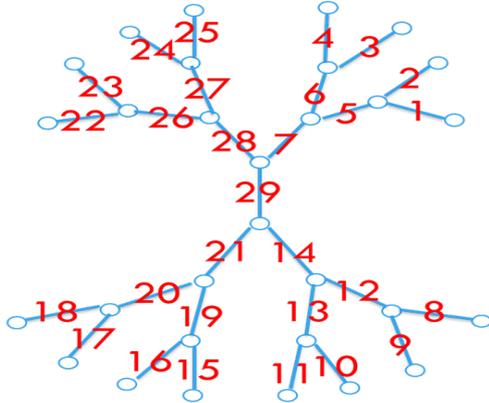


図 1 $\Delta=3, k=2$ の距離辺彩色の色数上限

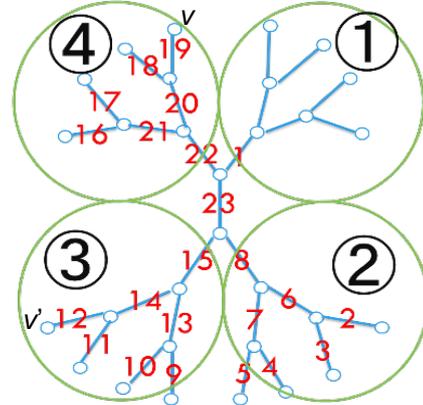


図 2 ブロック分けの図

図 2 のブロックを基本にして、各端点の先にさらにブロックを付け加えることで、色 23 を塗る辺が現れる。具体的には、図 2 におけるブロック 4 の端点 v の先は図 3 のようになり、ブロック 3 の各 v' の先は図 4 のようになり、ブロック 2 の先は色 2,4 が塗られた辺の先に色 1 の辺を隣接させる。しかしながら単純にブロックをつなげることはできず、ブロック内の辺の配色を変える必要がある。

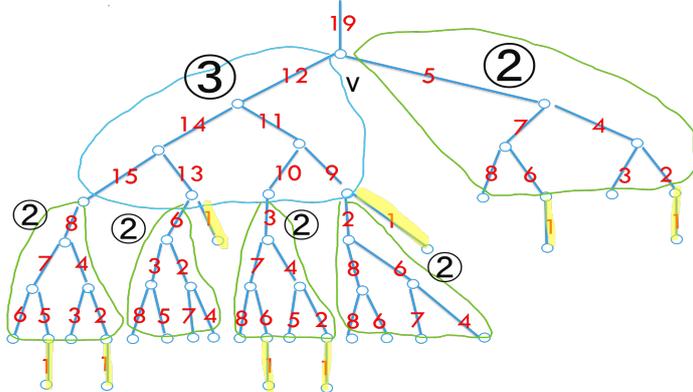


図 3 辺 19 の先の配置

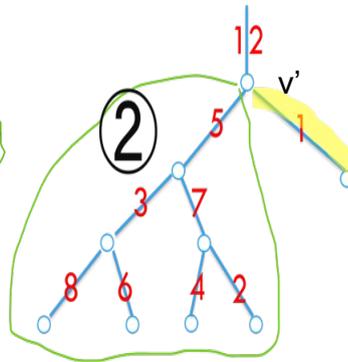


図 4 辺 12 の先の配置

図 3 において、色 19 が塗られた辺には、ブロック 3 とブロック 2 が接続する。水色で囲われた部分が図 2 の③、黄緑で囲われた部分が図 2 の②であり、黄色の部分図 2 の①である。ここで図 3 のブロック 3 の配色を説明する。図 2 において、色 19 が塗られた辺から最も遠いブロック 3 の辺には、色 9 から 12 が塗られているので、その中の一つ色 12 を塗る。これにより、図 2 においてブロック 4 で色 22 が塗られた辺に色 12 が塗られることはない。そして、図 3 で色 12 が塗られた辺に接続する辺に、図 2 の色 12 の辺に接続する辺で色 11 以外の色 14 を塗り、残ったブロック 3 の辺には、使っていない色を

塗る。図 2 のブロック 4 で色 18,17,16 が塗られた辺に接続するブロック 3 の辺には、色 12 以外の色 9,10,11 をそれぞれ塗ることになる。図 3 の色 19 が塗られた辺に接続するブロック 2 に関しては、図 2 のブロック 2 において点 v から最も遠い辺には色 2 から 5 が塗られているので、その中の一つ色 5 を塗る。これにより、図 2 においてブロック 4 で色 22 が塗られた辺に色 5 が塗られることはない。そして、図 3 で色 5 が塗られた辺に接続する辺に、図 2 の色 5 の辺に接続する辺で色 4 以外の色 7 を塗り、残ったブロック 2 の辺には、使っていない色を塗る。図 2 のブロック 4 で色 18,17,16 が塗られた辺に接続するブロック 2 の辺には、色 5 以外の色 2,3,4 をそれぞれ塗ることになる。図 4 の点 v' の先も同様の塗り方である。

この彩色法は、 k や Δ が一般の場合でも可能である。色を塗らない辺の数は、初項 $(\Delta - 2)(\Delta - 1)$ 、公比 $(\Delta - 1)$ 、項数 k の等比級数の和で表される。従って色数は定理 1 で示した上界より、

$$(\Delta - 1)\{(\Delta - 1)^k - 1\} \cdots (3)$$

少なくなっている。図 1 の例である $k=2, \Delta=3$ を代入すると 6 となり、これは図 1 における上界 29 と図 2 の最大の色 23 であるので、差が 6 で一致している。

3. おわりに

本文では k -距離辺彩色の貪欲彩色を仮定した彩色法について考えた。上界となる彩色法は得られなかったが、上界に迫る彩色法及び距離 k と最大次数 Δ を用いた色数の式が得られた。今回の彩色法を改良し、上界にさらに近いものとするのが今後の課題である。この研究を進めることで、無線通信における必要なチャネル数を見積もることができ、実際のチャネル割当アルゴリズムの開発の指標の一つとなることが期待される。

参考文献

- [1] 仙石正和, "自動車電話の周波数有効利用-チャネルの割当アルゴリズム," 電子情報通信学会誌, 69,4, pp.350-356,1986.
- [2] 田村裕, "これからの無線通信におけるチャネル割当適応可能なグラフの彩色," 電子情報通信学会 Fundamentals Review, 15(4) pp.291-299, 2022.
- [3] 田村裕, 中野敬介, "グラフの距離彩色に関する色数の上限について," 日本シミュレーション学会研究会, JSST-MDMC2021-3-03, 2022.
- [4] Lowell W. Beineke, Robin J. Wilson (ed.), Topics in Chromatic Graph Theory, Cambridge University Press, 2015.
- [5] 滝根哲哉, 情報通信ネットワーク, オーム社, 2013.
- [6] P. M. Grundy, "Mathematics and games," Eureka, 2: 6-8, 1939.

貪欲彩色による色数が最大となる割当の出現確率

The probability of coloring with the maximum number of colors by greedy colorings

村山 達哉^{1*}, 田村 裕¹
Tatsuya Murayama, Hiroshi Tamura

¹ 中央大学 理工学部 電気電子通信情報工学科

¹ Department of Simulation, School of Technology, Japan University

* a19.wc63@g.chuo-u.ac.jp

Abstract. In recent years, electronic devices using wireless communication have become a necessity. Among them, multi-hop wireless networks, which enable direct communication between terminals, have become the mainstream from cellular networks, where base stations are installed and communication is possible only in that communication area. The use of the same channel for communication between terminals causes collisions, resulting in interference problems that hide information from each other. We solve this problem through a graph coloring problem based on graph theory, which is related to channel assignment. Graph coloring refers to the problem where terminals are considered as points and channels are considered as colors. In this study, we use two types of distance coloring, one for lattice graphs and the other for trees, paying attention to the maximum degree and the size of the separation distance, respectively.

Keywords: Computer simulation, graph coloring, probability of appearance

1. まえがき

無線通信のチャンネル割当に関して、資源の観点から如何にチャンネル数を少なく抑えるのかの研究がされている[1]、最低限どのくらいチャンネルが必要であるか見積もる必要がある。しかしながら最悪の場合どの程度チャンネルが必要かも重要である。そこで隣接点は異なる色で塗る条件のもと、色を数字で表わし、彩色可能な色で最小の色を割り当てる貪欲彩色とよばれる塗り方を考える。貪欲彩色において、色数が最大となる彩色の値を Grundy Number と呼ぶ。チャンネル割当では、一度割当てたチャンネルを通信の終了に伴い解除することになるが、これをグラフの彩色問題に取り入れて、色を削除する操作を加えることとする。

下の図 1 は貪欲彩色の説明として用意した適当な図であるが、図 1 において、 $v_3 v_5 v_1 v_2 v_6 v_7 v_4$ の順に色を塗ると、 $v_3 \rightarrow 1$ 、 $v_5 \rightarrow 1$ 、 $v_1 \rightarrow 2$ 、 $v_2 \rightarrow 3$ 、 $v_6 \rightarrow 2$ 、 $v_7 \rightarrow 3$ 、 $v_4 \rightarrow 4$ で 4 を塗ることができる。(図 2)

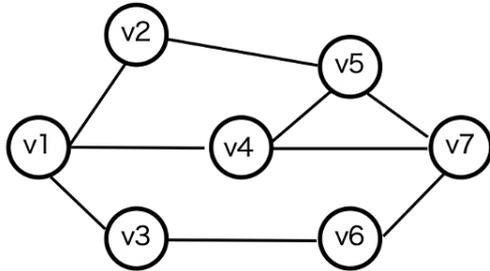


図 1

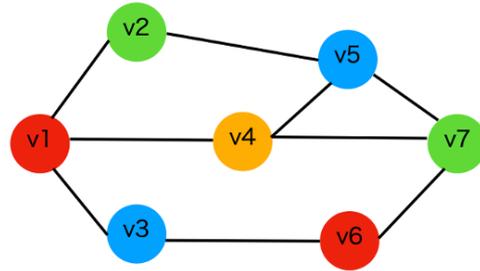


図 2

例えば下記の図 3 では、色 3 が出現する木で点数最小である。既に色を塗られている点を選んだ場合はその色を消す、色の削除ありの条件では、 $v_2 v_3 v_2 (x)v_1 v_2$ の順に塗っていくとわずか 5 回で v_2 に Grundy Number である色 3 を塗ることができる。ここで $v_2 (x)$ は点 v_2 に塗られた色を削除する操作である。これが色 3 を塗るための最短ステップである。

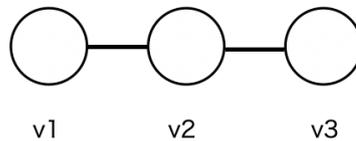


図 3

5 回で v_2 に 3 を塗るのは、 $v_2 v_3 v_2 v_1(x) v_2$ の順の他に $v_2 v_1 v_2(x) v_3 v_2$ で 2 通りである。この時、3 つの点から 1 つを選び塗っていくため、彩色順は $3^5=243$ 通りであるので確率は $2/243 = 0.008$ となる[2]。このグラフは小さく、最短ステップでの実現と限定しているため、本研究ではより大きなグラフを用いて、最短ステップに限定せず、最大の色数が出現する確率をコンピュータシミュレーションにより求めることとする。

2. 本文

下記のグラフ図 4(a) は、色 4 が出現する木で点数最小である。色数の最大値は最大次数 $\Delta+1$ 以下である。一番上の頂点が次数 3 であるため、最大次数プラス 1 色の 4

色で塗ることができる[3]。頂点を v とした時、 v に色 4 を塗れる確率を考える。方法は、5 点から 1 点を等確率で適当に選び、貪欲彩色で彩色する。既に塗られている場合はその色を削除する。それを繰り返すものである。 v に色 4 を塗れた回数の結果は、1 万回行って 0 回。10 万回行って 2 回であった。確率は、0.00002 となった。真ん中の 3 つの点が 1、2、3 と揃った上で v が選ばれないといけなないので難易度が高い。そこで、グラフ図 4(a) に点を 2 つ追加した。グラフ図 4(b) とする。

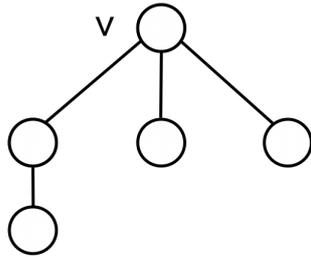


図 4a

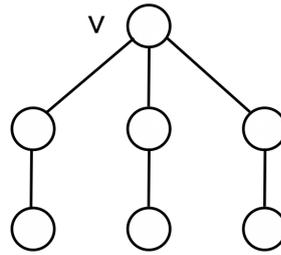


図 4b

グラフ図 4 (b) では、真ん中の 3 つの点のいずれでも色 3 が塗れるようになったため、より v に色 4 を塗れると考えた。グラフ図 4 (a) 同様に行った結果、1 万回行って 3 回、10 万回行って 18 回であった。確率は、0.00018 となった。グラフ図 4 (a) に比べて色 4 を塗れる回数が増えた。色 3 が塗れる機会をさらに増やすことで色 4 を塗れると考え、グラフ図 4 (b) にさらに点を 2 つ追加した。グラフ図 4 (c) とする。

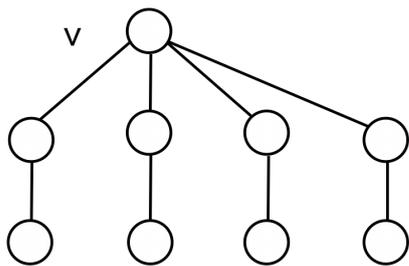


図 4c

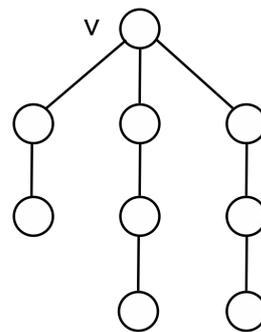


図 4d

グラフ図 4 (c) では、真ん中に 4 つの点を置けるため、より色 3 が塗れるようになり、結果は、1 万回行って 6 回。10 万回行って 64 回であった。確率は、0.00064 となった。グラフ図 4 (a) とグラフ図 4 (b) に比べ遥かに色 4 が塗れるようになった。そこで

点の数は変えず、最大次数を再び 4 から 3 に戻したグラフ図 4 (d)にした結果、1 万回行って 3 回。10 万回行って 28 回であった。確率は、0.00028 となった。点数が多いにも関わらず、グラフ (b) とほぼ同じ結果となった。よって、点の数に比例するのではなく、 v の次数と 2 段目の点でいかに色 3 を塗れるかが重要であると考えられる。Grundy Number の出現確率を理解することで、効率的な木の配置を実現できるため、チャンネル数の削減に貢献できると考える。また、グラフのサイズが大きくなると、1 回の試行にかかる時間が長くなる。そのため、試行回数を減らし平均を取ることで出現回数を維持できる。表にまとめると以下のようになる。

	図 4 a	図 4 b	図 4 c	図 4 d
点の数	5	7	9	9
v の次数	3	3	4	3
1 万回試行	0	3	6	3
10 万回試行	2	18	64	64

2. まとめ

Grundy Number が出る確率について考えてきたが、点の数には依存せず、色数が最大となる点の次数が重要であることがわかった。Grundy Number が 4 の場合、Grundy Number は、3 の出現確率に依存することが分かった。そのため、Grundy Number を t とした時、 $t-1$ をどう作るかが必要である。

参考文献

- [1] 仙石正和: "自動車電話の周波数有効利用-チャンネルの割当アルゴリズム-", 電子情報通信学会誌, 69, 4, pp. 350-356, 1986-4.
- [2] 田村裕, 中野敬介: グラフにおける色数が最大となる彩色の出現確率について," 電子情報通信学会安全・安心な生活と ICT 研究会, ICTSSL2023-12, 2023 年 5 月.
- [3] 田村 裕, 松本 峻, 中野敬介, 仙石正和: "無線ネットワークにおけるチャンネル割当に対応したグラフ彩色について," 電子情報通信学会和文論文誌, Vol. J102-A, No. 7 pp. 214-223, Jul. 2019.

ITER 級負イオン源内のプラズマ電極上のセシウム 膜厚の安定化条件の検討

Cs film thickness stabilization conditions on the plasma grid in an ITER-scale negative ion source

林 駿佑^{1*}, 吉田 雅史^{1,2}
Shunsuke Hayashi^{1*}, Masafumi Yoshida^{1,2}

¹宇部工業高等専門学校 専攻科 生産システム工学専攻

²宇部工業高等専門学校 電気工学科

¹ Advanced Course of Production Systems Engineering, National Institute of Technology, Ube
College

² Department of Electrical Engineering, National Institute of Technology, Ube College

* shunsuke.h884@gmail.com

Abstract. In this study, the conditions to maintain the cesium (Cs) layer for 3600 s in an ITER-scale negative ion source were investigated by using a Cs transport model that considers the behavior of Cs in the negative ion source of neutral beam injector. These results suggest that it is important not to add Cs excessively to maintain the Cs layer at 0.5 monolayer.

Keywords: Cesium, Negative ion source, N-NBI

1. Introduction

二酸化炭素を排出せず、かつ原発の代替となる発電手段として核融合発電が注目されている。しかし、この課題として超高温プラズマを長時間維持させること、プラズマを加熱するための中性粒子入射装置(Neutral Beam Injector; NBI)の長寿命化が課題である。セシウムを用いた負イオン表面生成法ではセシウムを用いて金属表面を低仕事関数化して負イオン生成効率を高めている。フランスに建設中の国際熱核融合実験炉(ITER)では、プラズマ加熱のために負イオン型 NBI で 3600 秒の負イオンビームが要求されている[1]。その要求値を達成するためにはプラズマグリッド(Plasma Grid, PG)上へ付着させるセシウム(Cs)膜厚もまた、原子層厚さ(monolayer, ML)レベルで 3600 秒維持しなければならない。本研究では、これまで開発した Cs 輸送モデル[2]を用いて、ITER 級の大型負イオン源で 3600 秒間 PG 上の Cs 原子層を維持する条件を探った。

2. Modeling of Cs transport

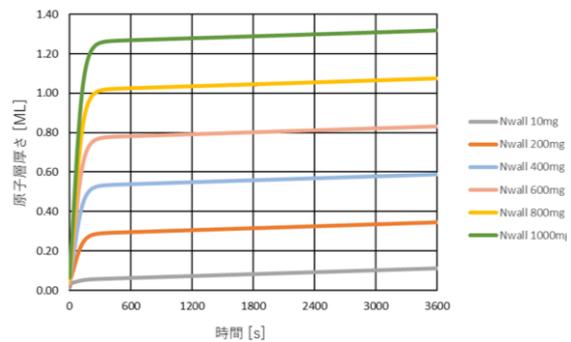
負イオン源に導入される Cs は、プラズマ電極と内壁、空間中および漏洩する Cs に分類されるすると式 1 が成り立つ。

$$k_{in} = \frac{dN_{PG}}{dt} + \frac{dN_{wall}}{dt} + \frac{dN_{vol}}{dt} + \frac{dN_{loss}}{dt} \quad \text{式(1)}$$

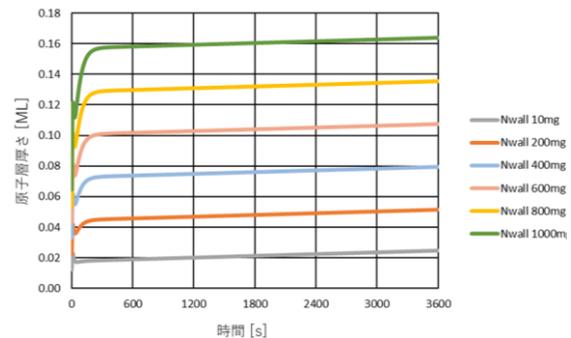
k_{in} は Cs 導入率[$\mu\text{g/s}$], N_{PG} , N_{wall} , N_{vol} および N_{loss} はそれぞれ、プラズマ電極上の Cs 量[μg], 内壁に付着した Cs 量[μg], 負イオン源内を漂う残留 Cs 量[μg], およびビーム孔から抜け出る漏洩 Cs 量[μg]を示す。PG および内壁では、さらに原子状の Cs による付着, Cs イオンのスパッタによる減少, および PG あるいは内壁温度に依存する熱脱離の 3 つの物理現象のバランスで各部の Cs 量が決定されると仮定した[2]。初期条件として、内壁の最大温度 T_{wall}^{Max} を 60°C , PG の最大温度 T_{PG}^{Max} を 220°C , 負イオン源内壁 N_{wall} に付着させておく Cs 初期重量を 10~1000 mg と変化させて、各条件で 3600 秒後の PG 上の原子層厚さを評価した。また、PG の最大温度 T_{PG}^{Max} のみ $180\text{--}240^\circ\text{C}$ と変えた場合の PG 上の原子層厚さも評価した。層厚さは N_{PG} を PG の面積(0.33 m^2)で除して求めた。

3. Results

負イオン生成を 3600 秒維持させた場合の PG 上の Cs 原子層厚さを初期導入量の違いで比較した(図 1)。図 1(a)および(b)は、内壁最大温度固定(60°C)の場合と PG 最大温度固定(200°C)の場合である。図 1 より、Cs 層厚さはいずれの Cs 初期重量の場合でも 400 秒経ったあたりから飽和して、そこから時間とともに徐々に増加することがわかった。また、図 1(a)より T_{PG}^{Max} が 200°C の場合では、Cs 初期重量が 400 mg の条件で Cs 原子層厚さを 0.5 ML で維持していることがわかる。他方、図 1(b)より T_{wall} を 45°C とした場合、Cs 初期重量が 1000mg 以上であっても原子層厚さは 0.5 ML に達さないことがわかった。このように T_{PG} または T_{wall} の温度が高いほど熱脱離しやすくなり、初期に導入するべき Cs 重量が多く必要となることが分かった。逆に言えば、Cs 初期重量が多ければ多いほど T_{PG} または T_{wall} の温度を高くする必要があることが分かった。それに加え、どの条件であっても原子層を安定させるためには 400 秒程度の放電が必要であることも分かった。



(a)



(b)

図 1: PG 上の Cs 原子層厚さの経時変化

(a) $T_{PG} = 200^\circ\text{C}$, (b) $T_{wall} = 45^\circ\text{C}$.

次に、最大温度 T_{PG}^{Max} と PG 上の Cs 原子層厚さの関係を図 2 に示した。原子層厚さは、放電開始から 3600 秒後のものを使用した。図 2 より T_{PG}^{Max} が高いほど原子層厚さが厚くなりづらく T_{PG}^{Max} が低いほど原子層厚さが厚くなりやすいとわかる。これは、セシウムの吸着率、熱脱離率によるものであり、 $180^{\circ}C$ や $190^{\circ}C$ の場合では温度が低く PG 上に Cs が付着し過ぎてしまい、一方で $230^{\circ}C$ 以上となると温度が高く PG 上から Cs が過剰に熱脱離してしまうため最適な温度条件ではないと判断できる。また、セシウムの初期重量を比較すると初期導入量が多いほど温度の変化による原子層厚さの増減が大きい。したがって、原子層厚さを 0.5 ML の厚さで維持するためには Cs を多く投入し過ぎないことが必要であることが明らかになった。

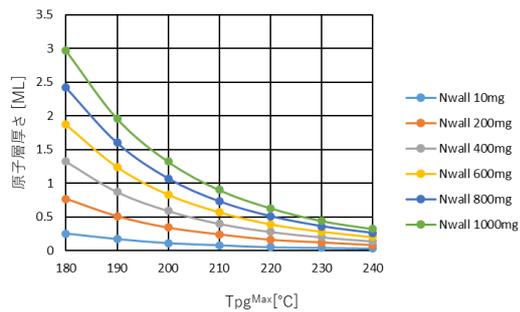


図 2 最大温度 T_{PG}^{Max} と原子層厚さの関係。

参考文献

- [1] E. J. Doyle, et al: Progress in the ITER physics basis, *Nucl. Fusion*, 47 (2007) S18.
- [2] M. Yoshida, W. Oohara, M. Ichikawa, J. Hiratsuka, N. Umeda, A. Kojima, M. Kashiwagi: Evaluation of the Temperature Dependence of the Cesium Deposition on the Plasma Grid in the JT-60SA Negative Ion Source, *AIP Conference Proceedings*, vol:2052 (2018), 040008-1-9.

Improved grid point arrangement in 2D CIP-Soroban method

Zhehao Lin^{1*}, Kazumasa Takahashi², Toru Sasaki³, Takashi Kikuchi⁴, Atsushi Sunahara⁵

¹Department of Energy and Environmental Science, Nagaoka University of Technology

²Department of Electrical, Electronics and Information Engineering, Nagaoka University of Technology

³Department of Science of Technology Innovation, Nagaoka University of Technology

⁴Department of Nuclear Technology, Nagaoka University of Technology

⁵Center for Material Under eXtreme Environment, Purdue University

*s195084@stn.nagaokaut.ac.jp

Abstract. The CIP-Soroban method is an adaptive mesh refinement method usually used to calculate incompressible fluid. The standard of grid points distribution in different directions of two-dimensional simulation is quite different. We modified two-dimensional CIP-Soroban method to narrow down this difference of grid points distribution in different directions. The modified two-dimensional CIP-Soroban method reduced a lot grid points compared to the original CIP-Soroban method and functioned well in the test of solid body rotation problem.

Keywords: CIP-Soroban, Grid points, Adaptive mesh refinement

1. Introduction

The CIP-Soroban method is a good adaptive mesh refinement method [1-3], which is commonly used to calculate incompressible fluid. The number density of grid points in CIP-Soroban method is inversely proportional to the value of monitor function of derivatives of solution values. Using such grid points structure, it is capable to solve the equations with CIP method with 3rd order accuracy. However, the monitor functions of derivatives are different in different directions for 2D CIP-Soroban method. As the results, the standards of grid point distribution are different in different directions of 2D CIP-Soroban method. We modified 2D CIP-Soroban method to narrow down this difference between different directions.

2. 2D CIP-Soroban method

In the original CIP-Soroban method [1-3] for 2D problem, the local derivatives of solution values are quantified by the following monitor function.

$$M(x, y) = \min \left(\sqrt{1.0 + \alpha \left(\left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right)^2 \right)} + \beta \left(\left| \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \right| + \left| \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right| \right), M_{\max} \right) \quad (1)$$

Here, M is the monitor value of local derivatives of solution values; x and y are the 2 directions of 2D simulation; ϕ is the solution value used for quantification of local derivatives; α and β are the scaling coefficients depending on the problem; M_{\max} is the maximum limit for local monitor value.

In a 2D problem, the sequence of distributing grid points in CIP-Soroban method is first to distribute the axes based on local derivatives of solution values, then distribute grid points on the axes based on local derivatives.

The monitor function for finding the location of axes is defined by following forms.

$$M^y(y)_{\max} = \max\{M(x, y) | x_S \leq x \leq x_E\} \tag{2}$$

$$M^y(y)_{\text{ave}} = \frac{1}{x_E - x_S} \int_{x_S}^{x_E} M(x, y) dx \tag{3}$$

$$M^y(y) = qM^y(y)_{\max} + (1 - q)M^y(y)_{\text{ave}}, 0 \leq q \leq 1 \tag{4}$$

The monitor function for finding the locations of axes is the weighted average of the maximum M value and average M value on the axes of the previous calculation time step. Here, the y -direction is the direction perpendicular to the axes, x -direction is parallel to the axes; x_S and x_E are the x coordinate of the start position and the end position on one axis; q is the weighting function.

After the $M^y(y)$ are obtained, integrate it in the following form.

$$I(y) = \int_0^y M^y(y) dy \tag{5}$$

The axes are distributed on the location of equal distance of dI based on the local $I(y)$. As the results, axes number density is inversely proportional to local $M^y(y)$.

After the location of axes are determined, integrate the $M(x, y)$ on the axes in the following form.

$$I(x) = \int_0^x M(x, y) dx \tag{6}$$

The grid points are distributed on the location of equal distance of dI based on the local $I(x)$ of the axis. As the results, grid points number density is inversely proportional to local $M(x, y)$ on the axis.

Figure 1 shows the schematic graph of the relation between local I function and axes locations and grid points locations. In Fig. 1, the axes are distributed on the location of equal distance of dI based on the $I(y)$, and the grid points on one axis are distributed on the location of equal distance of dI based on the $I(x)$ of the axis.

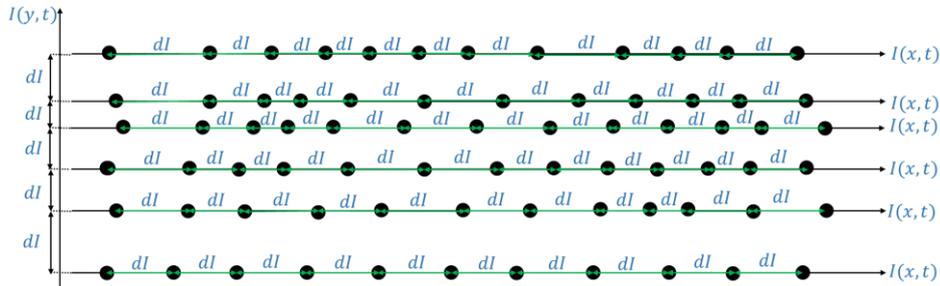


Figure 1. The schematic graph of the relation between local I function and axes locations and grid points locations.

In an advection problem, the value is interpolated by Type-C CIP method [1] from surrounding

grid points as is shown in Fig. 2. In Fig. 2, to obtain the value of C point from the white points surrounding it, first interpolate the value of N and S points by using the values NL and NR points, and SL and SR points, then interpolate C point by using the values of N and S points.

3. Modification to 2D CIP-Soroban method

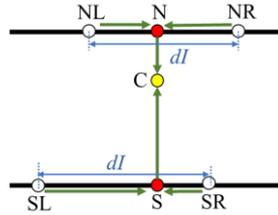


Figure 2. Schematic graph of obtaining C point from surrounding points.

In Fig. 2, $I(x)$ between NL point and NR point have the difference of dl , and $I(x)$ between SL point and SR point have the difference of dl , and from Secton.2, we have the following conclusion:

$$\int_{x_{NL}}^{x_{NR}} M(x, y)dx = \int_{x_{SL}}^{x_{SR}} M(x, y)dx = dl \tag{7}$$

Here, x_{NL} and x_{NR} are the x coordinate of NL point and NR point, and x_{SL} and x_{SR} are the x coordinate of SL point and SR point. However, from Secton.2, the same calculation between N point and S point does not equal to dl , i.e.:

$$\int_{y_s}^{y_N} M(x, y)dy \neq dl \tag{8}$$

The reason causing this is that $M^y(y)$ is used for distribution of axes, and when distributing the grid points on an axis, the relation of y-direction is not considered. At the case that $M(x, y)$ suffers big variation on y-direction, $M^y(y)$ cannot properly represent $M(x, y)$ on the axis, since $M^y(y)$ is the weighted average of the maximum M value and average M value on the axis. For this reason, original CIP-Soroban method has a quite big difference on the standard for distribution of grid points on x-direction and y-direction.

To narrow down this difference of x-direction and y-direction of grid points distribution, we propose an additional condition for the distribution of grid points on axes:

$$\int_{y_s}^{y_N} M(x, y)dy \geq dl \tag{9}$$

Any grid points not satisfying Eq. (9) will be removed.

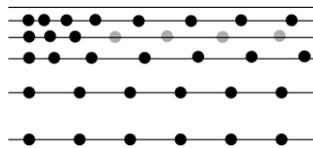


Figure 3. The schematic graph of grid points for the modified version of CIP-Soroban.

And in our modified form, we propose that we use the following $M^y(y)$ for axes distribution:

$$M^y(y) = \max\{M(x, y)|x_s \leq x \leq x_E\} \tag{10}$$

Figure 3 shows the schematic graph of grid points for the modified version of CIP-Soroban. In Fig. 3, the axes are distributed by Eq. (10) and Eq. (5), the black points are the grid points

satisfied to Eq. (6) and Eq. (9), and the gray points are the grid points satisfied to Eq. (6) but not to Eq. (9), and they are removed in modified version of CIP-Soroban method.

4. Test for the modified version of CIP-Soroban

To demonstrate the modified version of CIP-Soroban method, we calculated a solid body rotation problem. Figure 4 (a) and Fig. 4 (c) shows the solid body at initial condition in original CIP-Soroban and modified CIP-Soroban, respectively. Figure 4 (b) and Fig. 4(d) shows the solid body after one revolution with original CIP-Soroban and modified CIP-Soroban, respectively. The points in Fig. 4 are the grid points. From Fig. 4, the modified CIP-Soroban removed a lot of grid points compared to the original CIP-Soroban and maintained the profile of the solid body well after one revolution.

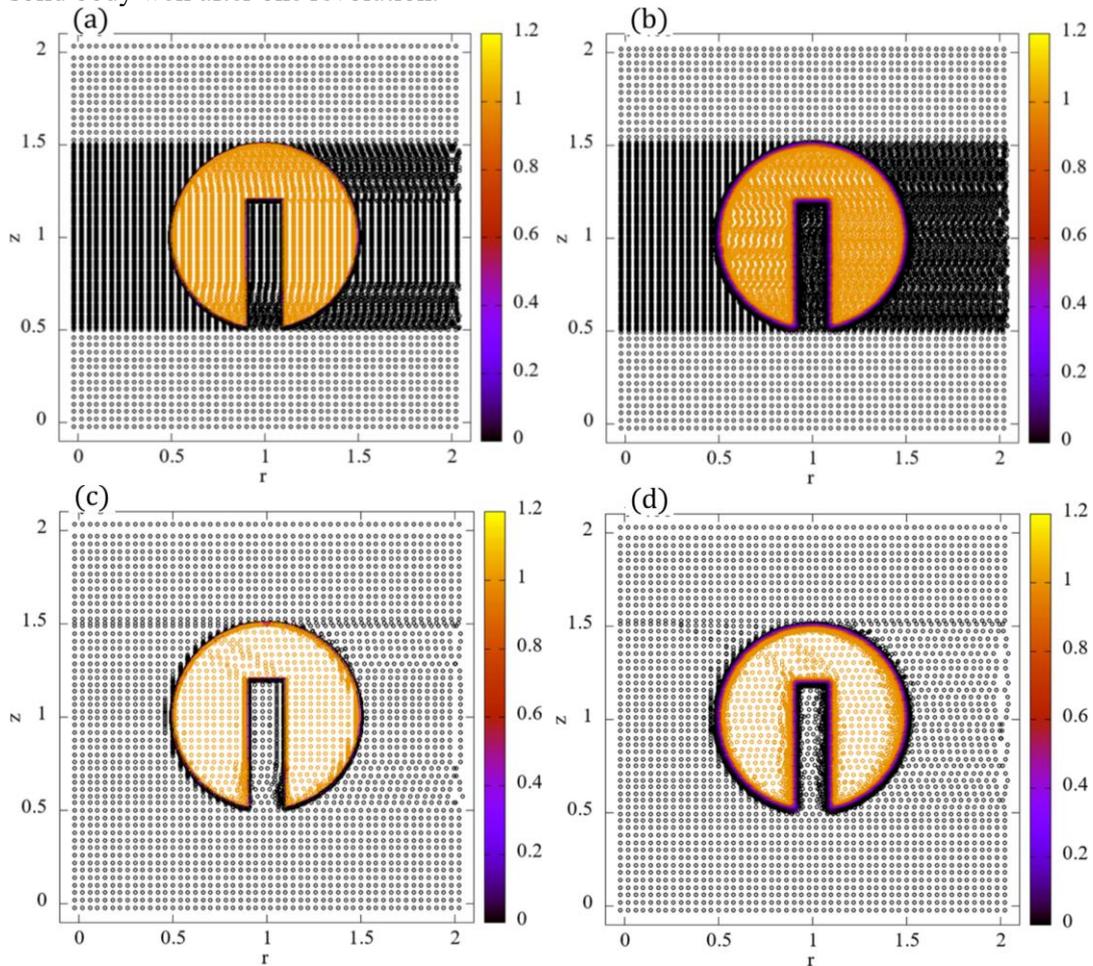


Figure 4. The solid body rotation problem; (a) and (c) shows the solid body at initial condition in original CIP-Soroban and modified CIP-Soroban, respectively; (b) and (d) shows the solid body after one revolution with original CIP-Soroban and modified CIP-Soroban, respectively.

References

- [1] T. Yabe, *et al.*, *J. Comput. Phys.*, 194 (2004), 57-77.
- [2] T. Yabe, *et al.*, *Int. J. Numer. Methods Fluids*, 54 (2007), 841-853.
- [3] K. Takizawa, *et al.*, *Comput. Mech.*, 40 (2007), 167-183.

タングステン材の粒子についてのシミュレーション Simulation of Particles in Tungsten Material

竹内 圭輔¹, 佐藤 伸伍², 中村 浩章^{3,4}, 齋藤 誠紀^{1*}
Keisuke Takeuchi¹, Shingo Sato², Hiroaki Nakamura^{3,4}, Seiki Saito^{1*}

¹山形大学 工学部 情報・エレクトロニクス学科

²山形大学 工学部 大学院 情報・エレクトロニクス専攻

³核融合科学研究所 研究部

⁴名古屋大学大学院工学研究科 電気工学専攻

¹ Department of Informatics and Electronics
, Faculty of Engineering, Yamagata University

² Department of Information and Electronics
, Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University

³ Department of Research,

National Institute for Fusion Science

⁴ Department of Electrical Engineering, Graduate School of Engineering,
Nagoya University

*saitos@yz.yamagata-u.ac.jp

Abstract. Most of Japan's energy is currently supplied by thermal power generation, relying on finite resources. Therefore, in order to achieve sustainability and find an alternative to thermal power generation, nuclear fusion power generation is considered. Understanding the interaction between plasma and the fusion reactor wall is crucial for the realization of nuclear fusion power generation. Therefore, we conducted simulations using the kMC (kinetic Monte Carlo) method to investigate the behavior when helium is injected into tungsten material. The results revealed that helium accumulates within tungsten and tungsten atoms undergo migration.

Keywords: kinetic Monte Carlo simulation, plasma material interaction, nuclear fusion, tungsten

1. 研究背景、目的

現在、日本のエネルギーの大部分は火力発電によって賄われている。しかし、火力発電の燃料となる石炭や石油、天然ガスには限りがある。そのため、持続可能であり、火力発電の代わりになる発電方法として核融合発電が研究、開発されている。

核融合発電とは、重水素と三重水素を核融合反応させて、中性子とヘリウムを生成する反応からエネルギーを電気エネルギーとして取り出す発電方法である。磁場閉じ込め方式の核融合発電炉内部では、一部の粒子が炉壁に照射されるため炉壁が損耗する。炉壁が損耗すると、炉壁表面の特性が変化する。そのため、プラズマと壁の相互作用を明らかにすることが重要である。

そこで、本研究では、核融合生成物であるヘリウムがタングステン材に入射した際のヘリウム原子の拡散過程を kinetic Monte Carlo (kMC) 法[1]を用いてシミュレーションを行う。

2. シミュレーション手法

kMC 法とは、物質の時間発展や反応過程を、擬似乱数を用いてシミュレーションを行う手法である。今回利用したシミュレーションコードのアルゴリズムを以下にフローチャートで示す。

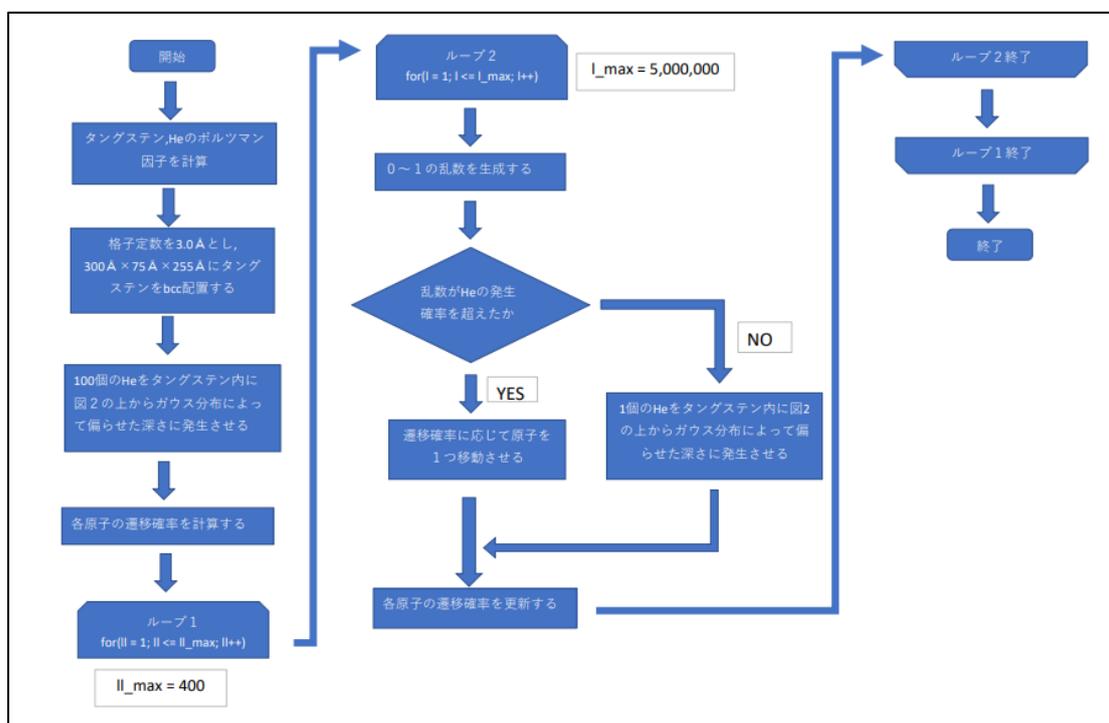


図1. 利用したシミュレーションコードのフローチャート

この kMC 法のシミュレーションは、分子動力学 (MD) 法[2], 深層学習と組み合わせて使用する。kMC 法のみでは、非平衡状態の計算ができないため、MD 法を用いる。しかし、この2つのみでは kMC 法に必要な移動先を特定する計算量が膨大で、高速計算を行うことができない。そこで、深層学習を用いて水素およびヘリウムの移動先を特定することで、シミュレーションを可能にする。具体的な手順は以下である。

- ① MD 法でタングステンに水素，ヘリウムを打ち込む。
- ② 水素とヘリウムの移動先を深層学習で予測する。
- ③ 予測した移動サイトに移動するときの時間変化を kMC 法で計算する。
- ④ ①に戻る。

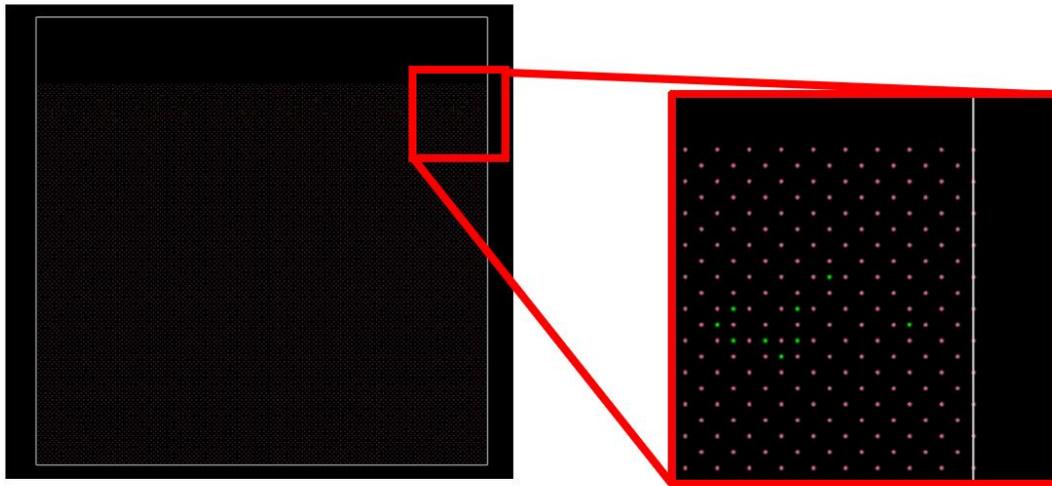


図 2. He を 100 個追加した初期状態（緑点：He, 赤点：タングステン）

Acknowledgment

The research was partially supported by Grant-in-Aid for Scientific Research, No.22K03572 and NO.23K03362 from the Japan Society for the Promotion of Science, and by the NIFS Collaborative Research Program NIFS22KIIP003, NIFS22KISS021 and NIFS22KIGS002. The ExCELLS Special Collaboration Program of Exploratory Research Center on Life and Living Systems. The NINS program of Promoting Research by Networking among Institutions. The computations were performed using the JFRS-1 supercomputer system at Computational Simulation Centre of International Fusion Energy Research Centre (IFERC-CSC) in Rokkasho Fusion Institute of QST (Aomori, Japan), Research Center for Computational Science (Okazaki, Aichi, Japan) and Plasma Simulator of NIFS (Toki, Gifu, Japan).

参考文献

- [1] A. M. Ito, A. Takayama, Y. Oda, T. Tamura, R. Kobayashi, T. Hattori, S. Ogata, N. Ohno, S. Kajita, M. Yajima, Y. Noiri, Y. Yoshimoto, S. Saito, S. Takamura, T. Murashima, M. Miyamoto, and H. Nakamura, "Molecular dynamics and Monte Carlo hybrid simulation for fuzzy tungsten nanostructure formation", *Nuclear Fusion* vol.55 (2015); 073013.
- [2] S. Saito, H. Nakamura, K. Sawada, G. Kawamura, M. Kobayashi, and M. Hasuo. "Molecular dynamics simulation model of hydrogen recycling on carbon divertor for neutral transport analysis in large helical device", *Contributions to Plasma Physics*, (2020); e201900152.

部活動における選手のパフォーマンスと 深部体温の関係の解析

Analysis of the Relationship between Performance and Core Body Temperature of Players in Club Activities.

石神 敬将^{1*}, 柴田 欣秀², 吉村 優治³
Keisuke Ishigami*, Yoshihide Shibata², Yuji Yoshimura³

¹ 岐阜工業高等専門学校 先端融合開発専攻

² 岐阜工業高等専門学校 電気情報工学科

³ 岐阜工業高等専門学校 環境都市工学科

¹ Advanced Course for Interdisciplinary Technology Development,

National Institute of Technology, Gifu College

² Department of Electrical and Computer Engineering

³ Department of Civil Engineering.

*2022y02@stu.gifu-nct.ac.jp

Abstract. For athletes to train efficiently, it is important to measure physical activity during training. In recent years, wearable devices have been developed. This has made it possible to easily measure the amount of activity during training. Furthermore, core body temperature may affect the performance of players. Therefore, in this research, we measured activity, core body temperature, and ambient weather conditions during training and competition using a wearable device and statistically analyzed the relationship between them. The analysis showed that there was a positive correlation between the resting heart rate just before activity and the highest heart rate during activity. This result suggests that a light warm-up before competition may increase resting heart rate, which may increase maximum heart rate. This means that a light warm-up before competition may improve performance.

Keywords: Activity, Core body temperature, Performance.

1. 序論

スポーツ選手において運動時、心拍数や速度などは自分の状態を知る上で重要となる。また、多くのスポーツ選手が競技前に準備運動(ウォーミングアップ)を行うのはある程度心拍数を上げ、運動時の最高心拍数を上げるためだと考えられている。しかし、心拍数の変動には個人差があり、トレーニングに活かすには継続的に計測し、傾向を解析する必要がある。また、熱中症の観点からも明らかであるが、運動時の体温とパフォーマンスにも密接な関係があると考えられており、個人ごとの運動時の心拍、体温、運動量などのパラメータの関係性を把握することが、運動時のパフォーマンス向上につながると考えられている。プロアスリートは個人のパフォーマンスに関わる値を測定し、科学的根拠に基づいたトレーニングを行っているが^[1]、学校教育現場での部活動において一般の選手が同レベルの測定をすることは難しい。そこで、ウェアラブル端末で個人の心拍数や速度を測定することで、部活動においても科学的根拠に基づいたトレーニングができるのではないかと考えた。選手が最大パフォーマンスを出すためには深部体温の管理が重要であることが報告されている^[2]。深部体温が通常時より高い状態が続いた場合には熱中症を発症し、深部体温が低いと全身の血流が悪くなって筋肉への酸素供給が滞ってしまう^[3]。また、深部体温が非常に高い状態で身体冷却を施すと、熱バランスの均衡を長く保つことによるパフォーマンスの向上が報告されている^[4]。そのため、選手のパフォーマンスの評価基準として深部体温は有効であると考えられ、深部体温が身体能力に与えている影響を定量的に調べることは非常に重要である。これを調査するため、本研究ではトレーニングや試合時に活動量と深部体温、周囲の気象条件を計測し、それらの関係性について統計的解析を行った。

2. データの計測

深部体温が選手のパフォーマンスに与える影響を調べるために、選手の深部体温と運動量及び運動時の天候条件を計測した。長時間の運動中の深部体温の変化を計測するため、岐阜高専陸上競技部の中・長距離選手、短距離選手、投擲選手、跳躍選手、合計 10 名を対象に、2022 年 7 月から 2023 年 2 月の間、有酸素運動のデータ計測を実施した。計測する項目は心拍数、速度、移動距離、歩数、鼓膜温度（以下、活動量と呼ぶ）、及び気温や湿度などの運動場所の天候条件とした。深部体温を運動中に計測するのは難しいため、深部体温に近いとされる鼓膜温度で代用した。部活動中の活動量は Garmin のウェアラブル端末の ForeAthlete 735XTJ 及び ForeAthlete 35J で計測した。計測した活動量は Garmin 専用のアプリ(Garmin Connect)で収集し、アプリを介してデータをダウンロードした。ダウンロードしたデータを csv 形式に変換して選手毎に記録した。鼓膜温度は CITIZEN の鼓膜温度計 CTD711 で計測した。計測するタイミングは練習前、アップ直後、練習後とした。計測した鼓膜温度は選手に配布した用紙に記録してもらい、1 週間ごとに回収して csv 形式で保存した。気温と湿度は敦賀電機の WBGT 表示器 401A^[5]で計測して、csv 形式で保存した。

計測の結果、ウェアラブル端末によるデータは 426 回分、鼓膜温度報告の用紙によるデータは 214 日分（同日含む）のデータが記録された。

3. 結果

深部体温が身体能力に与える影響を調べるため、計測したデータの解析を行った。運動中の深部体温に関する報告[2-4]から、気温と安静時心拍数、気温と速度、気温と深部体温の間にはそれぞれ正の相関があるとする仮説を立てた。これらの仮説をもとに、気温と鼓膜温度、気温と安静時心拍数、気温と速度の間のピアソンの相関係数と95%信頼区間を計算した。加えて、安静時心拍数と最高心拍数の間の相関係数と95%信頼区間を計算した。ここで、データの計測開始時から、測定された移動距離が0m~5mの間の心拍数の平均を安静時心拍数とした。鼓膜温度上昇度は練習後から練習前の鼓膜温度を引いた値を用いた。速度の値は、記録されたデータの最高値を使用した。また、速度が10m/s以上のデータは車などで移動している可能性があるため解析から除外した。気温と安静時心拍数、気温と速度の間の相関計算に際しては、活動量データが記録された日の平均気温を用いた。気温と鼓膜温度の間の相関計算に際しては、鼓膜温度が記録された日の平均気温を用いた。

Fig.1,2 にそれぞれ気温と安静時心拍数、最高心拍数と安静時心拍数の関係を示す。気温と安静時心拍数の相関係数は0.02と低い値であり、95%信頼区間は-0.08-0.11で0をまたいでいるため、気温と安静時心拍数の間には相関がないと考えられる。一方、安静時心拍数と最大心拍数の相関係数は0.34と少し大きく、95%信頼区間は0.25-0.42と正の数の区間になっているため、正の相関があると考えられる。気温と鼓膜温度の相関係数は0.28で、95%信頼区間は0.25-0.42であるため、正の相関があると考えられる。気温と速度の相関係数は0.36で、95%信頼区間は0.27-0.45であるため、正の相関があると考えられる。

これらの結果から、仮説とは異なり気温と安静時心拍数の間には正の相関がないことがわかった。これは、部活動直前の交感神経が活発になっている状態の心拍数から安静時心拍数を計算したため、計算した値が正しい安静時心拍数より高かったからだと考えられる。また、安静時心拍数と最高心拍数、気温と速度、気温と鼓膜温度の間には正の相関があることがわかった。以上のことから、安静時には気温は心拍数を上昇させず、軽いウォーミングアップを行い、安静時心拍数を上昇させることで最高心拍数が上昇して選手のパフォーマンスを引き出すことができると考えられる。さらに、気温と速度、鼓膜温度の間に正の相関があったため、気温の上昇による深部体温の上昇が、選手の運動の速度を高めている可能性が考えられる。

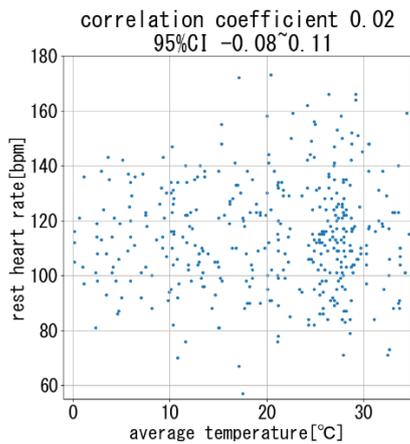


Fig. 1 The correlation between average temperatures and rest heart rates.

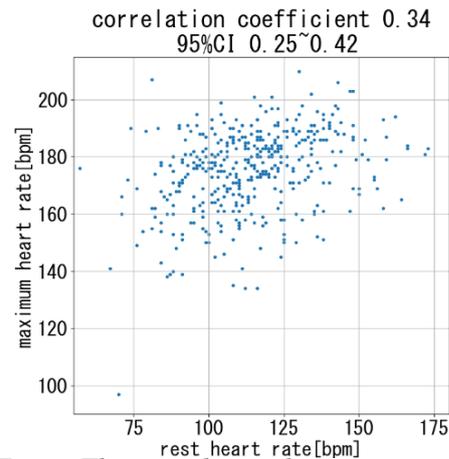


Fig. 2 The correlation between rest heart rates and maximum heart rates.

4. 結論

深部体温が部活動における選手のパフォーマンスに与える影響を調べるため、計測されたデータを用いたデータ解析をした。解析の結果、運動中の気温と安静時心拍数には相関が見られず、気温と速度、気温と鼓膜温度には正の相関があることがわかった。この結果から、ウォーミングアップが選手の心拍数を上昇させることでパフォーマンスを引き出す可能性が示された。本研究により、計測した運動や気象のデータから、気象と選手のパフォーマンスの相関を計算する仕組みが確立された。今後はデータの計測を継続し、選手の種目や性別による深部体温が活動量に与える影響の違いを調査する予定である。

参考文献

- [1] 独立行政法人日本スポーツ振興センター, “JISS(国立スポーツ科学センター)|ハイパフォーマンススポーツセンター”, 参照 2023-06-06.
<https://www.jpnsport.go.jp/hpsc/facility/jiss/tabid/1381/Default.aspx>
- [2] 武田誠司, 暑熱下と快適下での陸上競技大会における鼓膜温と体重の変化について, 都城工業高等専門学校研究報告 第35号, 1-6, 2001.
- [3] 一般財団法人日本気象協会, 株式会社ヒロモリ, “深部体温と熱中症, 熱中症ゼロへ”, 参照 2022-9-30. <https://www.netsuzero.jp/learning/le17>
- [4] 細川由梨, 暑熱環境下の運動パフォーマンスと安全. 日本アスレティックトレーニング学会誌 第3巻 第1号 33-38, 2017.
- [5] 鶴賀電機, “大型デジタル WBGT 表示機 MODEL 401A”, 参照 2023-04-10.
https://www.tsuruga.co.jp/products/wbgt_401a

水素脆化を起こした鉄基構造材料の磁気特性 Magnetic properties of the iron-based material caused Hydrogen embrittlement

太田 悠翔^{1*}, 鈴木 健司¹, 松本 正晴², 山口 克彦¹
Yuto Ohta^{1*}, Kenji Suzuki¹, Masaharu Matsumoto², Katsuhiko Yamaguchi¹

¹ 福島大学 共生システム理工学研究科

² 福島大学 情報基盤センター

¹ Graduate school of Symbiotic Systems Science, Fukushima University

² Information Technology Center, Fukushima University

*s2370010@ipc.fukushima-u.ac.jp

Abstract. In order to realize a hydrogen society, it is necessary to solve a problem known as hydrogen embrittlement, in which hydrogen inroads the metal and makes the container brittle. This requires early identification of the degree and location of hydrogen embrittlement. This can be achieved by measuring changes in the magnetic properties of the hydrogen embrittlement. In this study, simulations using the Landau-Lifshitz-Gilbert equation were performed for a model in which hydrogen intrusion is represented as a small void. As a result, it was confirmed that magnetic walls are trapped around the void.

Keywords: Hydrogen embrittlement, Magnetic properties, LLG-simulation, Non-destructive evaluation, Hydrogen society

1. 序論

今日では、化石燃料に変わるエネルギー資源として水素燃料に注目が集まっている。しかし、水素燃料には水素脆化と呼ばれる、水素が保存タンクを脆くさせるという問題がある。水素は最小の原子であるため、金属材料の組織に水素原子が侵入することによって原子間の結合を弱める、くさびのような役割をすると考察されている⁽¹⁾。水素社会実現のためには水素脆化を早期に検出する技術が必要不可欠であるが、先に述べた通り水素脆化は材質を局所的に変化させるものであり、これを非破壊検査によって早期検出することは、現在では容易ではない。そこで、少量の変化に敏感な磁気特性が水素脆化によってどのように変化するかをとらえることで、非破壊検査に応用できるのではないかと考えた。これにより、水素脆化を早期に検出できることが期待できる。

2. シミュレーション手法

数値解析には Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) 方程式による解析を用いた. LLG 方程式は,

$$\frac{d\mathbf{M}}{dt} = -\gamma\mathbf{M} \times \mathbf{H}_{eff} + \frac{\alpha}{M_s}\mathbf{M} \times \frac{d\mathbf{M}}{dt} \dots \dots \dots (1)$$

で表され, 磁場中での磁化ベクトルの歳差運動を表す式である. ここで, \mathbf{M} は磁化ベクトル, \mathbf{H}_{eff} は有効磁界, M_s は自発磁化, γ は電子の磁気回転比, α はギルバートの減衰項, t は数値積分に用いる時間刻みである⁽²⁾. 解析するにあたり, 鉄基構造材料を想定した, $X \times Y \times Z = 300 \times 10 \times 10 [\text{nm}^3]$ のクラスターで解析を行った. 材料の組織に入り込んだ水素は磁化の影響を受けないと考え, 水素脆化を起こした部分を $2 \times 2 \times 2 [\text{nm}^3]$ の void とした.

3. 結果

Fig.1 に, $Z=5$ 断面における, 材料に磁界を与えたことによる磁壁移動の様子を示す. Fig.1(a)は void なし, Fig.1(b)は void ありの結果示す. クラスター中に存在する黒い点が void である. 左側の数値は磁壁が生じる直前の時刻を起点とした経過時間 [ps] を表す. 色に関しては赤が右向き, 緑が左向きに磁化されていることを示す. Fig.1(a)と(b)の 882[ps]を比較すると, void によって磁壁がトラップされる様子がわかる. 今回は水素脆化を void で表現したが, 実際に水素脆化を起こした材料との結び付けを行うために, 水素脆化を起こしている部分をどのように表現することが適切か解明することが課題である. これにより, 水素脆化を早期に検出可能な技術開発に役立てることが期待できる.

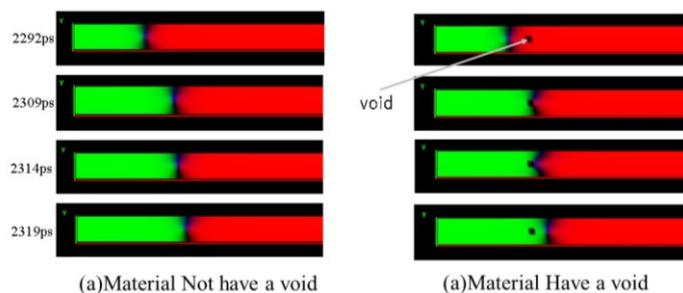


Fig.1 Movement of the magnetic domain

参考文献

- [1] 山崎潤紀, 古賀毅, 上西研. アルミニウム合金の水素脆化メカニズム解明のための分子動力学シミュレータの構築, 日本機械学会 第 23 回設計工学・システム部門講演会 (2013), 23-25
- [2] 田中秀明, 中村健二, 一ノ倉理. LLG 方程式を取り入れた磁気回路モデルに関する考察, *Journal of the Magnetic Society of Japan*, Vol.37 (2013) 39-43

T 線源を使用した直接充電型放射線電池の 変換効率の解析

Analysis of Conversion Efficiency of Direct Charge Nuclear Battery using Tritium

木下内 隆真^{1*}, 梅田 響¹, 田村 文裕^{1**}, 内田 雄大¹, 菊池 崇志², 竹澤 宏樹²
Ryuma Kigeuchi^{1*}, Hibiki Umeda¹, Fumihiro Tamura¹, Yuki Uchida¹, Takashi Kikuchi²,
Hiroki Takezawa²

¹長岡工業高等専門学校 電気電子システム工学科

²長岡技術科学大学 量子原子力系

¹ Department of Electric, Electronics and System Engineering,
National Institute of Technology (KOSEN), Nagaoka College

²Department of Nuclear Technology,
Nagaoka University of Technology

*ee31049i@nagaoka-ct.ac.jp

**tamura2316@nagaoka-ct.ac.jp

Abstract. A Direct Charge Nuclear Battery using a β source among radioactive elements has been proposed. By applying a β source to the cathode side of the two metal pole plates, electrons are transferred to the other metal plate and electricity is generated. This nuclear battery is expected to provide energy for a long period of time, equivalent to a half-life, as well as generate high voltages. The purpose of this study is to analyze the effects of source thickness and operation voltage on the performance of tritium-based nuclear batteries using the Monte Carlo based particle transport code PHITS. The simulation results show that the maximum conversion efficiency for tritium-based nuclear batteries is achieved around 3kV. In the future, we will analyze the maximum efficiency of β source by varying the thickness of the source from 300 μ m to 100 μ m in increments.

Keywords: Direct Charge Nuclear Battery, Tritium, PHITS, Monte Carlo method

1. はじめに

放射性元素のうち β 線源を用いた直接充電型放射線電池が提案されている[1]. 構

造は2つの極板となる金属のうち、正極とする側の表面に薄く β 線源を塗布するだけの簡単な構成である。塗布した β 線源から発生した電子がもう一方の金属板に帯電することで2つの金属間で電位差が生じるため、電力を得ることができる。放射線電池の特徴として、簡単な構造で半減期相当の長期間エネルギーを得ることが期待され、発生する電圧が β 線源のエネルギー相当で高い電圧であることが挙げられる。

本研究では放射線挙動を解析する粒子輸送モンテカルロ計算コード PHITS[2]を利用して、トリチウムを利用した放射線電池の線源厚さと動作電圧が電池の変換効率へ及ぼす影響を解析する事を目的とする。トリチウムは半減期が比較的長い放射性同位体であり、その崩壊によって持続的にエネルギーを供給することができ、トリチウムの崩壊によって放出される β 線は高いエネルギーを持つ以上2点の理由から放射線電池に使用するのに最適だと考えられた。

図1は参考文献[1]の実験で使用されている ScT_2 を塗布した系を模擬し、電子の負極到達率(左縦軸)と β 線の運動エネルギーの電気エネルギーへの変換効率(右縦軸)を極板間電圧を変化させた際の計算結果を示している。負極に帯電した電子と電気的な負荷により、極板間電圧は変化するがトリチウムを使用した放射線電池の場合、約3kV付近に変換効率が最大となる動作電圧があることが計算により分かった。今後は、この結果をもとに線源の厚さを $300\mu\text{m}$ から $100\mu\text{m}$ ずつ変化させて β 線の最大効率を解析していく。

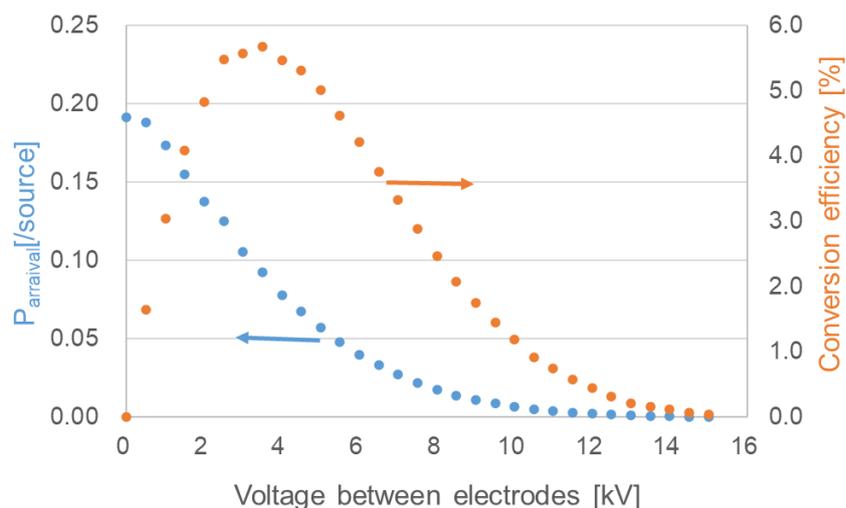


図1. 電子の負極到達率並びにエネルギー変換効率の極板間電圧による影響

参考文献

- [1] GALINA NIKOLAYEVNA YAKUBOVA, “NUCLEAR BATTERIES WITH TRITIUM AND PROMETHIUM-147 RADIOACTIVE SOURCES”
- [2] Tatsuhiko Sato, Yosuke Iwamoto, Shintaro Hashimoto, Tatsuhiko Ogawa, Takuya Furuta, Shin-ichiro Abe, Takeshi Kai, Pi-En Tsai, Norihiro Matsuda, Hiroshi Iwase, Nobuhiro Shigyo, Lembit Sihver and Koji Niita, “Features of Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) version 3.02”, J. Nucl. Sci. Technol. 55(5-6), 684-690 (2018)

高エネルギー β 線源を使用した
直接充電型放射線電池の変換効率の解析
**Analysis of Conversion Efficiency of Direct Charge
Nuclear Battery using High Energy β Particle Source**

梅田 響^{1*}, 木下内 隆真¹, 田村 文裕^{1**}, 内田 雄大¹, 菊池 崇志², 竹澤 宏樹²
Hibiki Umeda^{1*}, Ryuma Kigeuchi¹, Fumihiro Tamura^{1**}, Yuki Uchida¹, Takashi Kikuchi²,
Hiroki Takezawa²

¹長岡工業高等専門学校 電気電子システム工学科

²長岡技術科学大学 量子原子力系

¹ Department of Electric, Electronics and System Engineering,
National Institute of Technology (KOSEN), Nagaoka College

²Department of Nuclear Technology,
Nagaoka University of Technology

* ee31046q@nagaoka-ct.ac.jp

**tamura2316@nagaoka-ct.ac.jp

Abstract.

A Direct-Charge Nuclear Battery (DCNB) using a β sources among radioisotope have been proposed. A Direct-Charge Nuclear Battery is a battery in which a thin β sources are coated to surface of the metal (Al) that positive side of two polar plates. Electrons generated from the coated β sources charge the other metal plate, generating a potential difference between the two metals. This result in electric power. In this study, the thickness and conversion efficiency of DCNBs using cesium(¹³⁷Cs) and strontium(⁹⁰Sr) β sources were analyzed using PHITS.¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr are high-energy β sources are fission products (FP) contained in spent nuclear fuels. If these can be effectively utilized as DCNB fuel, it is expected to reduce the amount of FP in the spent nuclear fuel.

Keywords: Direct Charge Nuclear Battery, Cs, Sr, PHITS, Monte Carlo method

1. はじめに

放射性元素のうち β 線源を用いた直接充電型放射線電池が提案されている[1]。構造は2つの極板となる金属のうち、正極とする側の表面に薄く β 線源を塗布するだけの簡単な構成である。塗布した β 線源から発生した電子がもう一方の金属板に帯電することで2つの金属間で電位差が生じるため、電力を得ることができる。放射線電池の特徴として、簡単な構造で半減期相当の長期間エネルギーを得ることが期待され、発生する電圧が β 線源のエネルギー相当で高い電圧であることが挙げられる。放射線電池の研究を行うには、放射性物質の取り扱いが必要となることから容易に実験を行うことは困難である。

本研究では放射線挙動を解析する PHITS(ver.3.24)[2]を利用して、セシウム(^{137}Cs)並びにストロンチウム(^{90}Sr)を利用した直接充電型放射線電池の線源厚さと充電電圧が電池の変換効率へ及ぼす影響を解析する。 ^{137}Cs 並びに ^{90}Sr は使用済み核燃料中の核分裂生成物 (Fission Product: FP)に含まれる高エネルギー β 線源であるため、放射線電池の燃料として有効活用できれば使用済み核燃料中のFPの減量が期待できる。

図1は参考文献[1]の実験で使用されている ScT_2 を塗布した系と同様のモデルで線源を ^{90}Sr とし、電子の負極到達率と β 線の運動エネルギーの電気エネルギーへの変換効率を極板間電圧を変化させて計算を行った際の計算結果を示している。その結果、極板間電圧が ^{137}Cs では約80kV、 ^{90}Sr では約130kV近辺で変換効率が最大となることが分かった。しかし、計算で使用したモデルでは電極間隔が5mmであり、実際には放電が起こることが懸念される。そのため、最適な動作電圧で使用するためには、電極間隔の調整が必要である。今後は、電極間隔を変化させたときの変換効率、負極到達率について解析していく。

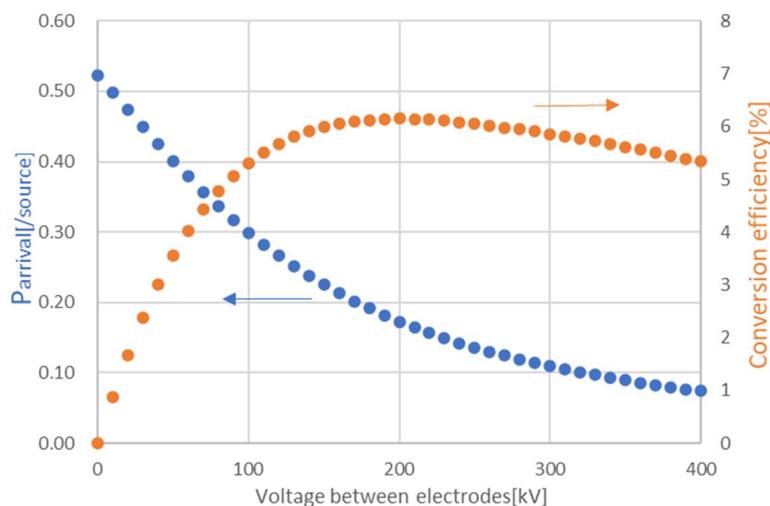


図1.電子の負極到達率並びにエネルギー変換効率の極板間電圧による変化(^{90}Sr)

参考文献

- [1] Galina Nikolayevna Yakubova, "Nuclear Batteries with Tritium and Promethium-147 Radioactive Sources" (LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012)
- [2] Tatsuhiko Sato, Yosuke Iwamoto, Shintaro Hashimoto, Tatsuhiko Ogawa, Takuya Furuta, Shin-ichiro Abe, Takeshi Kai, Pi-En Tsai, Norihiro Matsuda, Hiroshi Iwase, Nobuhiro Shigyo, Lembit Sihver and Koji Niita, "Features of Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) version 3.02", J. Nucl. Sci. Technol. 55(5-6), 684-690 (2018)