

ISSN 0454-1170

独立行政法人国立高等専門学校機構  
高知工業高等専門学校

# 学 術 紀 要

第 68 号

BULLETIN OF  
NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, KOCHI COLLEGE

No. 68 MARCH 2023

2023 年 3 月

独立行政法人国立高等専門学校機構  
高知工業高等専門学校

## 目 次

### 学術論文

Small-Scale Environmental Impact Assessment in Japanese Private Industrial Forest - A SWOT Analysis Based on Risk Management Processes .....	Dennis GAIN ..... 1
タイ語を母語とする留学生の有声破裂音ガ行と無声破裂音カ行の弁別能力は 化学学習の苦手意識に影響するか。 ーテキストマイニングによる教科書分析ー .....	大沼敦子 ..... 11
Leben mit der Natur im Spiegel der <i>Haiku</i> -Dichtung .....	Masatoshi SASAKI ..... 21
Consensus Algorithm Using Transaction History for Cryptocurrency .....	Yuuki KOMI and Takayuki TATEKAWA ..... 29
窓開度を考慮した部分空間法によるビニールハウス内の飽差気温モデル： 冬期モデルの評価 .....	中山 信・宮岡奨一郎・木村竜士・大角理人・高田 拓 ..... 35
Preparation of dense SnO <sub>2</sub> -based ceramics by Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> addition .....	Masahiro YASUKAWA and Naoya MATSUOKA ..... 45
高知工業高等専門学校校外発表研究論文（抄録） .....	53

# Small-Scale Environmental Impact Assessment in Japanese Private Industrial Forest – A SWOT Analysis Based on Risk Management Processes

Dennis GAIN\*

## Abstract

Environmental impact assessment (EIA) has been an established measure to mitigate environmental risks in various larger construction projects around the world. In Japan, the management of private industrial forest is highly dependent on governmental financial stimulus which has led to a planned top-down management scheme guided by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries. However, the identification, prediction, evaluation, and mitigation of potential environmental hazards due to human action in forest ecosystems in Japan is currently not a component within the scope of management of local private industrial forest. The purpose of this study is to analyze the potential of implementing the recently established Japanese forester system into the collaborative risk management process of Local Expert Risk Mediation (LERM) for the possibility to introduce environmental impact assessment at a l-scale in local private industrial forest. A grounded-theory approach was conducted by collecting qualitative data from local forest officials. It was found that at the current time activities by foresters are usually limited to enhancing the efficiency of roundwood production, and therefore do not show characteristics compatible to the early stages of EIA. This is likely to the fact that management shows strict top-down characteristics. An implementation of foresters to take role of mediators within the core of LERM has, from a theoretical and practical perspective, the potential to enable bottom-up management, and therefore allow room for the implementation of EIA in small-scale private forestry.

**Key words:** sustainable forest management, mediation, policy decentralization, Japan

## 1. Introduction

For more than a century, forest planning in Japan has been the essential method to implement forest management strategy and policy at local level. The Japan Forest Planning System (JFPS), setting out national forest management plans for private and non-private forests in prefectures throughout the nation, takes over the administrative role of implementing national forestry visions and goals. Forest planning in Japan has been essential for a variety reasons. (1) Japanese forest policy is arranged in forestry related laws, all pointing out the significance of multi-functional forestry, however, enforceability is highly limited at the local level. (2) Regional and local forest plans are dynamic and regularly renewed based on the developing and environmental conditions of forests. (3) Financial support schemes for the implementation of forest management actions in private forests such as thinning and rejuvenation are embedded in the JFPS. However, with the current worldwide trend towards the promotion of Sustainable Forest Management (SFM), the participative role of private forest owners in forest management decisions has become a significant requirement in local small-

---

\* National Institute of Technology, Kochi College, Dept. of Social Design Eng., Associate Professor

scale management decision making to achieve a shift from forest exploitation to sustainable forest use. However, such a shift is likely only to be realized with adequate local incentive-based policies, and guidance. The recently introduced Forester scheme by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries was established to facilitate its vision of creating a secure environment for future generations. Previous research conducted by the author suggests that forester qualifications were predominantly taken by officials working at forest owners' associations (FOA). Despite these new foresters possessing the qualifications for influencing sustainable management decision at the local level, it appears that most of these officials returned to their previous jobs resuming the work they performed prior to taking the forester qualification, without or little adaptation to activities that would influence a shift toward a more sustainable forest use. The purpose of this study is to conduct a follow-up institutional analysis, and mainly discuss the applicability of pairing the current forester scheme with Local Expert Risk Management (LERM), a mediation-based risk management structure developed by the author in 2018, as can be seen in Figure 1, and as described in previous research. In this analysis, the concept of LERM shall provide guidance at the local level for forest management actions that would consider environmental aspects in decision-making related to forest intervention incorporating EIA, and therefore, improve the likelihood for a sustainable management outcome as it is defined in international context.

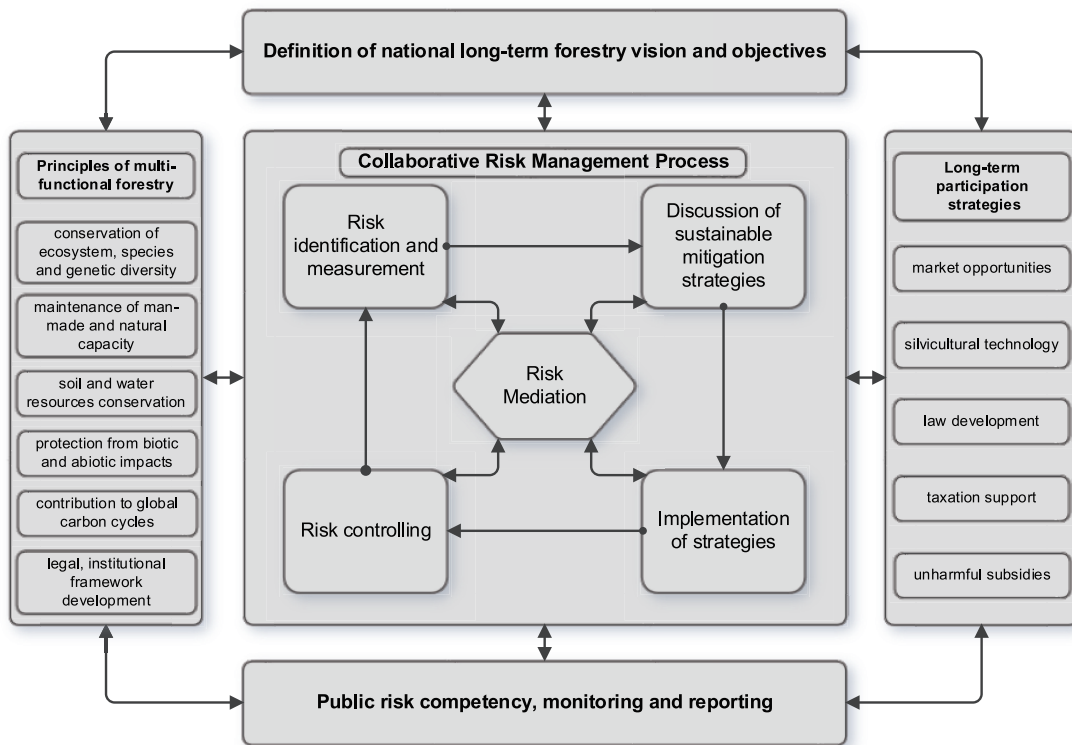


Figure 1: Local Expert Risk Mediation Process

## 2. Methodology

This study follows a grounded theory approach with open coding. Officials and foresters at two forestry related government and non-government offices in Kochi Prefecture were interviewed on two systematic issues (1) the Strengths, Weaknesses, Opportunities, Risks, and implementability for incorporating EIA to the



current purview of foresters, and (2) the Strengths, Weaknesses, Opportunities, Risks, and implementability for incorporating the new forester purview into LERM as a means to take the role of Risk Mediation for stimulating decision-making processes between a) the private forest owner, b) the forest owners’ association, and c) the decision-making body for granting subsidies for forest work at the forest department of the prefectural government. Following coding, data was summarized in a SWOT grid separately to each respective party. Finally, relations between items within the finalized SWOT grid were identified and discussed.

### 3. Results

It was suggested in the Introduction that the concept of LERM could have the potential to provide environmental and sustainability guidance at the local level to influence forest management decision-making processes by focusing on forest intervention incorporating EIA.

<p style="text-align: center;"><b>Strengths</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Centralized at local level</li> <li>- LERM communication in exchange for policy</li> <li>- Multi-stakeholder involvement in decision-making processes including private forest owners and environmental conservation groups</li> <li>- Change of forest legislation may not be required</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Weaknesses</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Short-term decrease of operation efficiency</li> <li>- Larger administrative effort necessary</li> <li>- Forester purview limited to industrial production of roundwood</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Opportunities</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- May result in a restructuring of local forest subsidy scheme for mixed forests</li> <li>- Forester independence as mediation party</li> <li>- EIA as risk mediation tool for decision-making processes</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Threats</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Compatibility issues with MAFF forest planning</li> <li>- Risk of loss of regional competitiveness</li> </ul>

**Figure 2: SWOT analysis based on EIA and forester integration into LERM**

It was found that the involvement of foresters in taking the role of risk mediators to perform EIA may hold an opportunity but also a weakness. The opportunity being that foresters would currently fill the empty gap of performing EIA and risk mediation within LERM. The weakness is that the purview of foresters is currently limited to the efficient production of roundwood rather than an efficient production of ecosystem services. The strengths of EIA and forester integration into LERM were reported to be local-level centralization which could interfere and pose compatibility issues with the forest planning of the Ministry of Agriculture, Forestry, and Fisheries due to its top-down management approach with management decisions being made at the national level. Another strength may be that a change of forest legislation may not be required to produce sustainable outcomes, because centralized mediation, if successful, can lead to consensus among main stakeholders, as these are incorporated in the decision-making process.

As for Opportunities, the prospect of foresters as independent mediators applying EIA during consensus-building processes among stakeholders, was reported to potentially lead to a restructuring of the current subsidy scheme for forest works in private forest, in terms of limiting financial support for works for forest exploitation and including support for alternative works that lead to sustainable forest structures focusing on ecosystem services.

Threats of EIA and forester integration into LERM were reported to be compatibility issues with MAFF forest planning. Moreover, incorporating EIA and foresters into current decision-making structures is likely to increase the cost of roundwood production which would affect regional competitiveness, at least in the short and medium terms.

## 4. Discussion

### 4.1 Implementation scenario

Respecting the findings of the SWOT analysis demonstrated in Results, a possible implementation scenario of LERM with EIA and forester integration is shown in Figure 3. The left illustration shows the currently administered management scheme. The illustration on the right shows the LERM Forester EIA Risk Mediation Scheme. The improvements are:

(1) the workplace of the forester moves from the Forest Owners' Association to the respective municipality silviculture department. The forester becomes a public servant with decision-making authority regarding the assessment of the sustainability of forest as defined by international norm and issues EIA statements (EIS) to the Prefecture Forestry Promotion and Environment Division. Based on the outcome of the issued EIS, the Prefecture discusses an appropriate forest management action plan under forester guidance, which is adequate for each individual forest site. Subsidies for forest works are issued whenever appropriate. Suggestions for an adaptation of the subsidy scheme to better serve a long-term sustainable outcome are communicated bottom-up to MAFF. Forests structures being unique and non-comparable depending on site, enabling bottom-up

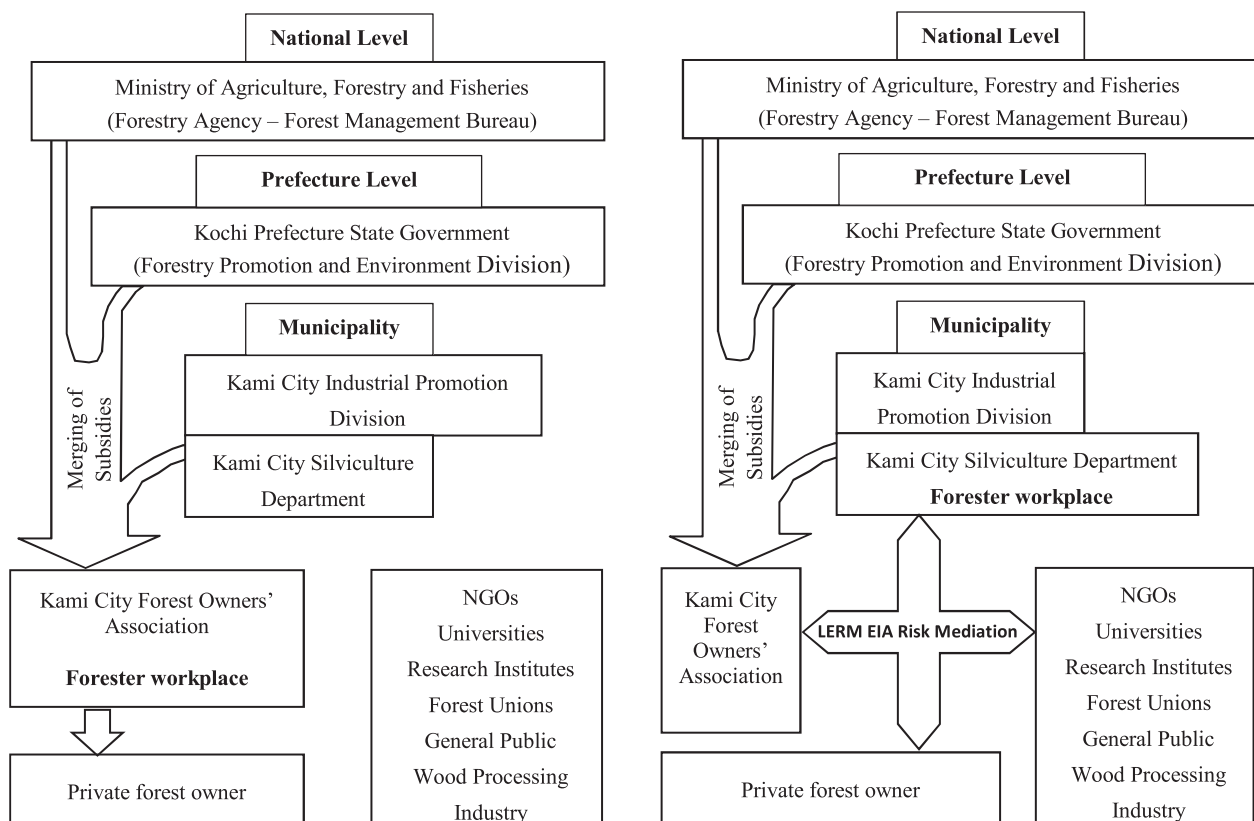


Figure 3: Current management scheme (left), LERM Forester EIA Risk Mediation Scheme (right)

communication between MAFF and the Prefecture allows for MAFF to better understand the resources necessary for producing long-term sustainable outcomes.

(2) EIA is performed by the risk mediator (forester) as defined by international norm during site assessment. Currently, this site assessment is solely performed by the Forest Owners' Association. EIA is performed in four steps and involves the risk mediator, private forest owner, Forest Owners' Association, and other forest stake holding organizations focusing on environmental conservation, industry, and society. EIA is performed by the risk mediator and the municipality forest department and then mediated among stake holding organizations in stages 9 and 10, as demonstrated in Table 1. The Environmental Impact Statement (EIS) will act as the guideline to steer and facilitate decision-making. To implement decisions, subsidies are applied as usual, whenever applicable. The current subsidy scheme is revised according to forest sustainability needs that are revealed during LERM.

**Table 1: Stages of EIA**

<b>Stage</b>	<b>Definition</b>
1. Project screening	Narrowing of applications of EIA to projects with high environmental impact risk
2. Scoping	Early-stage identification of environmental risks and potential alternatives
3. Consideration of alternatives	Consideration of other feasible approaches including location, scales, processes
4. Description of project	Clarification of purpose and rationale of the project and its characteristics
5. Description of environmental baseline	Establishment of present and future state of environment incorporating changes from natural events and human action
6. Identification of main impacts	Identification of positive and negative environmental impacts
7. Prediction of impacts	Identification of the magnitude of the identified environmental impacts by comparing the present and future situation
8. Evaluation and assessment of significance	Assessment of the significance of the predicted impacts
9. Mitigation	Introduction of measures to avoid, reduce, or compensate for negative impacts
10. Public consultation and participation	Maintains the quality, comprehensiveness, and effectiveness of EIA by incorporating public views in decision-making processes
11. Environmental Impact Statement (EIS) Presentation	Prevention of negation of EIA progress
12. Review	Systematic appraisal of EIS quality as a contribution to decision-making process
13. Decision-making	Consideration of the relevant authority of the EIS
14. Post-decision monitoring	Recording of outcomes associated with development impacts
15. Auditing	Comparing of actual outcomes with predicted outcomes to assess the quality of predictions and mitigation effectiveness

(3) Forest owners keep their positions, however, take an active role in EIA Stages 9 and 10. Such a change in forest owner behavior has several managerial advantages. Currently, the forest owner takes a passive role in decision making processes. The subsidy scheme awards financial support in exchange for the forest owners' authority to make decisions regarding the management of their forest land. This buyout of authority leaves the forest owner in a passive position.

#### 4.2 Adaption of the subsidy scheme

For financial support strategies that involve sustainability risk, economic, environmental, or social, to be effective they are required to be assessed upon predictability (Stage 7) and outweighed equally prior to implementation. Stakeholder demand is varied and requires efficiently balanced policy and adequate stakeholder mediation. Otherwise, the risk may occur that certain interest groups become favored leaving behind the interests of other stakeholders<sup>(12)</sup>. This is a common phenomenon in Japanese forestry where forest management decisions are usually made while excluding the stake of environmental conservation groups. However, the implementation of these prerequisites of Sustainable Forest Management (SFM) seems to be problematic. Japan's legal framework does not allow the passing of legally binding prefecture-level forest laws, and national forest policy addresses SFM in a very general and rather undetailed sense<sup>(3)</sup>. In addition, unlike other industrialized nations, Japan is not in possession of a forester system where foresters are given the authority to enforce forest law, or at least hold a position that would be capable of acting as a source for professional silviculture information, let alone to act as a mediator to negotiate the demands of local stakeholders. It is of general public interest to maintain vital forest, however, an internationally increasing demand for roundwood may increase the uncertainty of forest management like never before<sup>(7)</sup>. SFM delivers the framework for sustainable development, but it is not a concept to eliminate uncertainty<sup>(8,1,15)</sup>. Sustainability risks continue to be a significant challenge in decision making processes and any centralized top-down policy is an insufficient measure to address them<sup>(16)</sup>. Decentralization of forest policy and management seems to be the logical move towards successful implementation because of the unique characteristics of every forest and surrounding habitats. Therefore, local policies and support measures should incorporate stakeholder assessment to see whether decisions are appropriate for the target environment<sup>(11)</sup>. The homogeneity of tree plantations and their negative effects on the production of natural capital should be reevaluated, and proper mediation between private and non-private stakeholders will play an important role in this process<sup>(13,14)</sup>.

#### 4.3 EIA within LERM

Including EIA in decision-making processes at the local level may have the potential to produce more sustainable decisions. Currently, decisions on how to perform forest interventions, as well as forest design are predominantly made between the forest owner and forest owners' associations. As both parties usually pursue for-profit strategies, environmental factors are seldom considered. Foresters would take the role of mediators and perform EIAs that act as a guideline within the scope of LERM for the prefecture to award subsidies (see Figure 3). As this would require communication about environmental matters, the need for a redesign of the currently used subsidy scheme may occur to improve the compatibility with decisions. Moreover, the inclusion of EIA would require the collecting and analysis of information from a wider range of stakeholders, such as environmental conservation groups, to administer it in the appropriate way. The chance is that environmental conservation groups could become an active and essential part in the EIA and forest intervention related decision-making process, since foresters being no experts in environmental issues,

wouldn't be qualified in providing proper environmental advice, and therefore, not be in the position to perform EIA. Mediation, however, may not produce successful outcomes in certain cases as the need for consideration of environmental matters is momentarily not backed by enforceable policy.

#### **4.4 Risk mediation and competency**

The first step in implementing risk mediation in forest management may be a clear definition of risk-politics in which the central principle of management is formed. The central principle addresses the unique local characteristics of forests, as well as the various demands of stakeholders. Risk-strategy refines and structures the central principles into applicable action instructions. Like forester systems, risk mediation combines intern and extern risk communication to act as a driving system that has the aim to effectively administrate among stakeholders to produce fair and sustainable decisions. Vital in this approach is the unbiased treatment of risk management as a dynamic process; identification → assessment → implementation → control → monitoring <sup>(6)</sup>. Sustainability risks are not one-time phenomena and require constant monitoring and control. However, for risk monitoring to become effective, an adequate level of risk competency is necessary. Risk itself is an abstract construct lying somewhere between complete confidence and complete uncertainty and perception can therefore differ from individual to individual <sup>(5)</sup>. The possession of an adequate degree of risk competency is vital for managers and the local public to be able to assess risks and their possible outcomes over a wider spectrum, and to enhance local risk decision making processes. A risk management approach that incorporates effective local stakeholder collaboration, a proper degree of risk competency, and with access to market and technology information, investment opportunities, unharmed promotion programs, and transparent forest policy may be a more efficient forest management approach in terms of achieving sustainability.

#### **4.5 Sustainable involvement of private forest owners**

Dynamics in Japanese domestic wood markets and policy development would make extended stakeholder participation inevitable <sup>(17)</sup>. There is an increasing loss of interest of private forest owners in forest management that involves activities other than the creation of fast financial value. Even higher subsidies do not seem to be enough of an incentive for active participation anymore <sup>(4,10)</sup>. Therefore, the introduction of new financial incentives for public forest management projects, as frequently introduced by the Japanese forest planning system, bring about the elemental risk of merely “purchasing” forest owner participation <sup>(9)</sup>. These types of currently existing one-time agreements are not designed for a long-term relationship, and interest shown by forest owners is in most cases simply for the present moment. If forest management projects require participation of private forest owners, long-term active involvement should be targeted to avoid such a loss of interest. As other research has observed, the reason for lack of active long-term participation is in the least cases lack of capital, but instead lack of available information on available market chances, access to silvicultural technology, forest law development, and taxation support. Investments that would have been made by private forest owners themselves with proper advice and guidance are lost with one-time subsidy projects <sup>(2)</sup>. To achieve a condition in which communication with and among multi-stakeholders is effective, a shift from passive to active forest owner participation in management issues is likely to be unavoidable in the long term.

## 5. Conclusion

As stated in Introduction, the purpose of this study was to discuss the applicability of pairing the current forester scheme with Local Expert Risk Management (LERM), and conduct EIA at the local-level in order to realize alternative management approaches that focus on forest as ecosystems, rather than predominantly areas for the industrial production of marketable roundwood. The SWOT analysis provided insight into the pros and cons of how foresters could apply EIA at the local level while mediating sustainable forest management approaches among stakeholders. While a shift from top-down management to LERM may lead to production inefficiencies for the short and medium terms, it is clear that LERM may have the potential to realize management structures and outcomes that are conform with international sustainability standards in the long term, even without or a minor need for policy adaptations. Nevertheless, implementation of LERM may face the challenge of being rejected by local authorities if the advantages of LERM cannot be communicated effectively. Rather than presenting the concept of LERM at the executive level to organizations individually, it may be necessary to discuss the advantages simultaneously to allow room for interaction.

## Future research

Future research is highly encouraged and should include follow-up work on the complicity in how mediation and EIA are to be executed, which incorporates equal rights communication and decision-making processes among stakeholders through collaborative risk management. Especially the consultative role of risk mediation regarding authority structures, decision making processes, as well as the formulation and access to long-term participation strategies should be included.

## Acknowledgement

The author thanks the Japanese Ministry of Agriculture, Forests, and Fisheries, Shikoku Forest Management Bureau, and Kami Forest Owners Association for their time to provide insight in administrative and practical forest management practices, as well as to elaborate on issues related to this study.

## References

1. Day, K. J., Pérez, D. M., 2013. Reducing uncertainty and risk through forest management planning in British Columbia. *Forest Ecology and Management* 300, 117-124. doi:10.1016/j.foreco.2012.11.035
2. Enters, T., Durst, P. B., Brown, C., Carle, J., McKenzie, P., 2004. What does it take? The role of incentives in forest plantation development in Asia and the Pacific. Food and Agriculture Organization of the United States.
3. Gain, D., Watanabe, T., 2013. The contribution of forest regulations on the realization of sustainable forest management: a comparative law study of Japan and Germany. *Internet Journal for Society for Social Management Systems* , Vol. 3 SMS13-3086.
4. Hasegawa, M., Pulhin, J. M., Inoue, M., 2013. Facing the challenge of social forestry in Japan: the case of



- reviving harmonious coexistence between forest and people in Okayama Prefecture. *Small-scale Forestry* 12, 257-275. doi:10.1007/s11842-012-9210-6
5. Ibers, T., Hey, A., 2005. *Risikomanagement*. Merkur Verlag.
  6. Keitsch, D., 2007. *Risk Management*. Schaeffer-Poeschel.
  7. Spiecker, H., 2003. Silvicultural management in maintaining biodiversity and resistance of forests in Europe – temperate zone. *Journal of Environmental Management* 67, 55-65. doi:10.1016/S0301-4797(02)00188-3
  8. Lindner, M., Fitzgerald, J. B., Zimmermann, N. E., Reyser, C., Delzon, S., van der Maaten, E., Hanewinkel, M., 2014. Climate change and European forests: what do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? *Journal of Environmental Management* 146, 69-83. doi:10.1016/j.jenvman.2014.07.030
  9. Lutz, E., Pagiola, S., Carlos, R., 1994. The costs and benefits of soil conservation : the farmers' viewpoint. *The World Bank Research Observer* 9 (2), 273-295.
  10. Matsushita, K., Taguchi, K., 2011. The Kyoto Protocol and the private forest policy of local governments in Japan. *Small-scale forestry* 10, 19-35. doi:10.1007/s11842-010-9128-9
  11. Paulson Priebe, M. E., Müller, J. G., 2013. Extant forest plantations as a potential bridge between social needs and ecological management: a comparative case study analysis. *Journal of Environmental Management* 129, 608-614. doi:10.1016/j.jenvman.2013.08.031
  12. Rametsteiner, E., & Simula, M. (2003). Forest certification – An instrument to promote sustainable forest management. *Journal of Environmental Management*, 67, 87-98. doi:10.1016/S0301-4797(02)00191-3
  13. Shigematsu, A., Sato, N., 2013. Post forest reversal discussion: restructuring public subsidy system for private forests under the differences of topographic conditions in Norway. *Land Use Policy* 31, 249-258. doi:10.1016/j.landusepol.2012.07.002
  14. Susaeta, A., Carter, D. R., Adams, D. C., 2014. Sustainability of forest management under changing climatic conditions in the southern United States: adaptation strategies, economic rents and carbon sequestration. *Journal of Environmental Management* 139, 80-87. doi:10.1016/j.jenvman.2014.02.033
  15. von Detten, R., 2011. Sustainability as a guideline for strategic planning? The problem of long-term forest management in the face of uncertainty. *European Journal of Forest Research* 130, 451-465.
  16. Wintle, B. A., Lindenmayer, D. B., 2008. Adaptive risk management for certifiably sustainable forestry. *Forest Ecology and Management* 256, 1311-1319. doi:10.1016/j.foreco.2008.06.042
  17. Yamaba, A. & Nakagoshi, N. (2000). Community-based management of rural pine forests in a suburban village of Hiroshima Prefecture, western Japan. *Journal of Forest Research*, 5, 237-242.

受理日：2022年11月9日





タイ語を母語とする留学生の  
有声破裂音ガ行と無声破裂音カ行の弁別能力は  
化学学習の苦手意識に影響するか。  
－テキストマイニングによる教科書分析－

大沼敦子<sup>1</sup>

**Does Thai students' ability to distinguish between the Japanese [g] and  
[k] sounds affect their perceived difficulty in learning chemistry?  
－ Analysis Textbooks by Text Mining －**

Atsuko ONUMA

**Abstract**

As the Thai language has no [g]<sup>2</sup> sound, Thai students may face difficulty in distinguishing between the [g] and [k]<sup>3</sup> sounds. This study examines whether the distinct Japanese [g] and [k] sounds affect Thai students' perceived difficulty in learning chemistry in Japan. The author hypothesized that students' difficulty in understanding might be caused by the large number of words including [g] and [k] sounds in their textbooks. The research method is text mining and analysis of a chemistry textbook by using the KH Coder 3. Beta.03i software. The data suggest that [g] and [k] sounds appeared more frequently in terms in the chemistry textbook than in the corpus of all science vocabulary. This indicates that the ability to discriminate between [g] and [k] sounds is crucial to understand chemistry.

Keywords : Text Mining, KOSEN, Chemical Terms, Japanese Phonetics, Thai native speakers

**要 旨**

本研究ではタイ語を母語とする留学生が苦手とするガ行（有声破裂音・発音記号 **[g]**）（以下、**[g]** という）とカ行（無声破裂音・発音記号 **[k]**）（以下、**[k]** という）が含まれる語彙の多寡が専門科目の苦手意識に影響するかを分析する。

これまで理系留学生のための専門日本語語彙教育の重要性についてさまざまな研究が行われてきた。一方、有声音・無声音の区別がないタイ語を母語とする学生への日本語音声教育についてもいろいろな研究がなされてきた。特に、**[g]**（有声音・日本語の濁音）と **[k]**（無声音・日本語の清音）の弁別が難しいという調査研究もある。しかし、両分野を掛け合わせての調査・研究はまだ手つかずのようである。

---

<sup>1</sup> 高知工業高等専門学校 ソーシャルデザイン工学科 特命准教授

<sup>2</sup> Voiced Stop Consonant

<sup>3</sup> Voiceless Stop Consonant

国立高知工業高等専門学校では2022年4月よりタイ人留学生2名を1年次より受け入れているが、彼らが特に苦手意識を持つ科目の一つが化学である。その理由として彼らは「出てくる言葉が難しい」と自己分析している。しかし、他科目も同様に新出専門語彙はあり、理解は難しいはずである。そこで、もし、化学で頻出する語彙と理系科目すべてで頻出する語彙を比較し、**【g】**と**【k】**を含む語彙の出現数と出現割合が化学で有意に多ければ、両音の弁別能力が苦手意識に与える影響は多いと判断できるのではないかと仮説をたてた。また、この仮説が立証されれば、**【g】**と**【k】**の専門語彙の弁別に注目したカリキュラムを組み、初期段階から専門科目の理解向上をはかれるのではないかと考えた。

手順として、化学の教科書のテキストマイニングを行い、頻出語彙上位20を抽出し、先行研究で作られた理系語彙を網羅するコーパスと比較した。その結果、仮説どおり**【g】**と**【k】**を含む専門語彙が化学の教科書に有意に多く出現していることが明らかになった。

キーワード テキストマイニング、高専、化学用語、日本語音声学、タイ語母語話者、教育工学

## 序 論

2000年代以降、高専生はじめ、理系留学生が「中級修了の日本語能力に到達するペース」で学習してもそれは「必ずしも日本語で行われる専門の授業に支障なくついていくことを意味してはいない」<sup>4)</sup> ため、「物理の文脈を利用した漢字学習の有効性」<sup>3)</sup>といった専門科目と日本語教育のコラボレーションや専門日本語教育についての研究が活発に行われてきている。

一方、日本語教育・音声学の領域では、「タイ語では無声音と対立している有声音がないために、(日本語の)有声音をうまく発音できない」<sup>1)</sup>など、日本語の濁音と清音の聞き分けが難しいこと、特に「語頭の/g/行が困難である」<sup>14)</sup>といった傾向が指摘され、解決策として「日本語の**【g】**はタイ語にないため、英語の**【g】**と説明する」<sup>1)</sup>など、さまざまな提案がなされている。

## 研究の意義

しかし、これまで上記2分野を結び付けた先行研究例はないようである。そこで、**【g】**と**【k】**の専門語彙の多寡が苦手意識に影響することを立証できれば、**【g】**と**【k】**を含む専門語彙のリスニングやスピーキングに特化したカリキュラムや教材を作り、初期段階から理解向上をはかれるのではないかと考えた。

## リサーチクエスチョン

なぜ留学生は特定の科目に苦手意識を持つのか。その要因は、苦手科目の教科書に出現する語彙に聞き分けが苦手な**【g】**と**【k】**を含む語彙が多いことではないか。

## 仮 説

具体的に以下の仮説をたてた。留学生が苦手と話している化学の教科書から抽出した上位20の頻出語彙に出現する【g】と【k】の数を、先行研究から生まれた理工系専門基礎科目コーパス<sup>16)4</sup>のそれと比較し、前者の出現割合が有意に大きければ、【g】と【k】の弁別は、個々の科目に対する苦手意識の要因のひとつといえるのではないか。

### 先行研究の整理（日本語とタイ語の音声の違いについて）

まずは【g】と【k】について日本語の50音図を以下表1に提示する。現在の日本語では「清音（無声音）と濁音（有声音）が語頭にも語中にも現れ、意味の対立をなしている。<sup>7)</sup>」。赤字は清音と濁音の対立のあることを示す。このうち、蛍光色で塗った【g】（ガギグゲゴ）と【k】（カキクケコ）について本稿では述べる。【g】と【k】は、口の中の軟口蓋という場所で音を作り（調音点＝軟口蓋）、音を破裂させて作る（調音法＝破裂音）軟口蓋破裂音である。<sup>5</sup>

表1 日本語の50音

清音	濁音	半濁音
あいうえお		
<b>【k】かきくけこ</b>	<b>【g】がぎぐげご</b>	
さしすせそ	ざじずぜぞ	
たちつと	だちづでど	
なにぬねの		
はひふへほ	ばびぶべぼ	ぱびぷべぽ
まみむめも		
や ゆ よ		
わ を		
ん		

次に、日本語母語者が【g】と【k】をどのように弁別しているか、日本語の音節【ga】【ka】を例にして図1を示す。

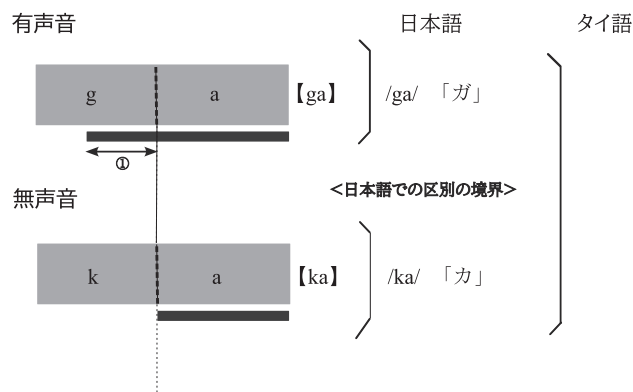


図1 日本語の【g】と【k】

磯村<sup>2)</sup> p.49より引用し一部改変

<sup>4</sup> 言語コーパス (language corpus) とは「さまざまな言語を分析するための基礎資料として、書き言葉や話し言葉の資料を体系的に収集し、研究用の情報を付与した言葉のデータベース」(国立国語研究所言語資源開発センター)

<sup>5</sup> ガ行は今回とりあげる【g】以外に鼻濁音【ŋ】が日本語にもタイ語にも存在するが、本稿では触れない。

違いは、図1中の太線(ボイスバー)、すなわち①部分の有無である。このボイスバーはVOT(Voice Onset Time)といい、声帯振動の有無を表している<sup>10)</sup>。【g】にはボイスバーがあり、【k】には無い。ボイスバーのある部分は声帯を振動させており、無い部分は振動させない。この振動の有無が有声音無声音の違いであり、その聞き分け能力が、すなわち【g】と【k】の弁別能力である。

それでは、なぜタイ語母語話者は日本語の【g】と【k】の聞き分けが苦手なのか。理由は少なくとも3つ考えられる。

(1) タイ語には【g】が無い

タイ語の軟口蓋破裂音には、無声音【k】はあるが有声音【g】がない(表2)。母語に存在しない音を類似音と聞き分けるのは難しい。【g】と【k】を弁別する習慣がなければ、例えば「合成(ゴウセイ【go:se:])」と「構成(コウセイ【ko:se:])」の聞き分けは困難になる。

表2 日本語とタイ語の軟口蓋破裂音

	日本語	タイ語
軟口蓋破裂音	【k】 【g】	【k】 【k <sup>h</sup> 】

国際音声記号(2003)より一部抜粋

(2) タイ語と日本語で【k】の音が異なる

タイ語の【k】と日本語の【k】は、国際音声記号表<sup>8)</sup>によれば同じ軟口蓋破裂音のカテゴリーで同じ記号を用いるが、実は完全に同じ音ではない。例えば、日本人向けタイ語教科書ではタイ語の【k】について「ゴォー(Kは濁点がつく発音)」<sup>13)</sup>、「カ行をややガ行よりの音で」<sup>5)</sup>など、むしろ【g】に近い発音を指導しており、日本語の【k】とは異なることがわかる。

(3) タイ語にあって日本語にない【k<sup>h</sup>】

タイ語には【k<sup>h</sup>】という無声有気破裂音がある。これは国際音声記号上では日本語に無い音「とされる」。「である」ではなく、「とされる」とした詳細は脚注<sup>6)</sup>と本項後半で述べる。

【k<sup>h</sup>】の特徴として、無声破裂音【k】に続いて母音【a】に移る間に、図2・矢印②に表示されるような、氣息<sup>7)</sup>だけを出し音は出さない状態がある。タイ語話者はタイ語の【k<sup>h</sup>】と【k】を明確に弁別する。(2)で述べたとおり、タイ語の【k】は有声音【g】寄りのため、同じ無声音の日本語の【k】より聞き分けが容易であることが想像できる。

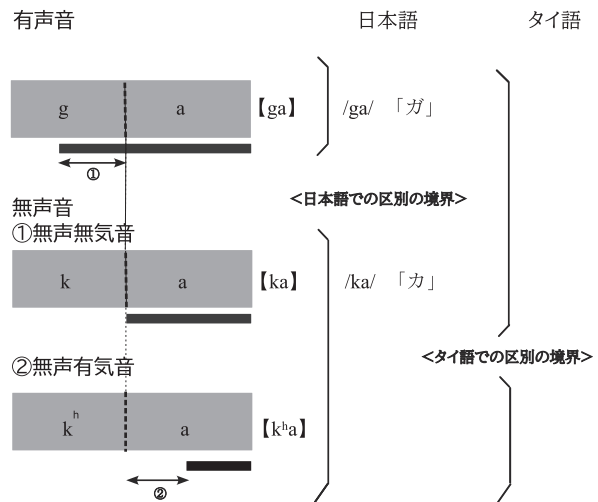


図2 日本語の【g】【k】、タイ語の【k】【k<sup>h</sup>】  
磯村<sup>2)</sup> p.49より引用し一部改変

<sup>6)</sup> ただし、キャットフォード(2006)<sup>10)</sup>の訳者注によれば、「日本語の【k】は無気音か弱い有気音である」とあり、この説明によれば日本語に有気音は存在する。また、加藤他<sup>7)</sup>も、無気音で息が全く出していないわけではないとしている。

<sup>7)</sup> 柿【kaki】の場合、音節は【ka】と【ki】。

こうした母語の干渉を受けると日本語の【k】を聞く際、日本語に存在しないはずの【kʰ】と日本語の【k】を無意識に弁別しようとして混乱に陥る。

さらに問題を複雑にするのは、【kʰ】と【k】の境界線が曖昧な点にある。【kʰ】と【k】は理論上では氣息の有無すなわち有気音⇔無気音で二項対立しているが、加藤他<sup>7)</sup>の指摘どおり、現実には、息の量や強さなどは連続的なもので、デジタルに有気と無気に分けられない。

では、現実にはどこで線引きされているのか。Ladefoged他によれば、同じ語(例:柿【kaki】)を違う人が発音する場合はもちろん、同一人物が発音する場合でも「1つひとつの音節<sup>7)</sup>は発音される度ごとにわずかに異なっている」が、「かなり似ているところが存在」し、「似通った音のパターンがいくつもまとまって複雑に知覚空間内で結びつき、まとまりを作っている」とし、その「まとまりの中心が、その語のプロトタイプ、つまり最良な典型事例とみなされる音」としている。

つまり、柿という語の場合、【ka】を【kʰa】のように発音する例もあるが、その氣息の長さが日本語話者の感じる【ka】らしさから著しく逸脱していなければ、【ka】と見なす<sup>8)</sup>。一方、タイ語話者にとっては【kʰ】は【k】の範疇に入らず、独立したプロトタイプを持つ音と見なされ、そのギャップがタイ語話者を混乱させる。

以上の3要素が複雑にからみあい、タイ語母語話者による日本語の【g】と【k】の聞き分けの困難さに影響している。

#### 研究手法 (実験、調査、実践など)

本研究ではデータとして、東京書籍教科書「化学基礎」<sup>11)</sup>を使用した。まず、教科書の全ページをスキャンしてOCRでテキスト認識し、テキストエディタに貼り付けたものを元データとした。分析にはテキストマイニングフリーソフトウェアKH Corder 3. Beta.03i<sup>13)</sup>を使用し、頻出の語彙を上位20まで抜き出した。この時点で、頻出語彙がすべて名詞だったため、比較するデータも名詞にしぼった。比較データは松田<sup>15)</sup>の構築した理工コーパスが抽出した理系全体の語彙データ上位20の語彙(名詞)を選んだ。合計40の名詞の読みをひらがなでつけたのち、ひらがなを発音記号変換ツールEasyPronunciation.comを用いて発音記号に変換した。

次に40の名詞【g】と【k】の出現数と出現割合を算出した。抽出にあたっては、口蓋化した【kʰ】など【g】と【k】変種(バリエーション)も含んだが、音を作り出す調音法の違う鼻濁音【ŋ】は含めない。

<sup>8)</sup> 「摩擦的な音を立てる(中略)息を音声学では、気音または氣息(aspiration)と呼び、氣息をともなう音を有気音(aspirated)、氣息を伴わない音を無気音(unaspirated)と呼んで区別する。」<sup>7)</sup>

結果・考察

抽出した結果は以下表3のとおりである。

表3 理工単語と化学単語上位20に出現する【g】と【k】

順位	理工単語	発音記号	化学単語	発音記号
1	エネルギー	e neru <sup>β</sup> g <sup>ji</sup> :	原子	genei
2	データ	de : ta	イオン	ion
3	細胞	saibo:	分子	bu <sup>β</sup> nei
4	関数	kansu <sup>β</sup> :	結合	ketsu <sup>β</sup> go:
5	温度	ondo	電子	denei
6	速度	soku <sup>β</sup> do	元素	genso
7	電圧	denatsu <sup>β</sup>	個	ko
8	方法	ho:ho:	共有	k <sup>o</sup> :ju <sup>β</sup> :
9	物質	bu <sup>β</sup> ceitsu <sup>β</sup>	質量	eitsu <sup>β</sup> rio:
10	環境	kan <sup>β</sup> k <sup>o</sup> :	結晶	kecco:
11	状態	dzo:tai	金属	k <sup>ji</sup> indzoku <sup>β</sup>
12	回路	kairo	物質	bu <sup>β</sup> ceitsu <sup>β</sup>
13	分子	bu <sup>β</sup> nei	周期	eu <sup>β</sup> :k <sup>ji</sup>
14	ベクトル	beku <sup>β</sup> toru <sup>β</sup>	化学	kagaku <sup>β</sup>
15	構造	ko:dzo:	水素	su <sup>β</sup> iso
16	ガス	gasu <sup>β</sup>	数	kadzu <sup>β</sup>
17	電子	denei	構造	ko:dzo:
18	材料	dzair <sup>o</sup> :	極性	k <sup>o</sup> oku <sup>β</sup> se:
19	システム	eisu <sup>β</sup> temu <sup>β</sup>	水	m <sup>i</sup> idzu <sup>β</sup>
20	一般	ippan	対	tsu <sup>β</sup> i

この出現数と、それぞれ20語に【g】と【k】がいくつ現れたか = 出現率（出現数/20）を表4に示す。

表4 理工コーパスと化学教科書の頻出名詞語彙20に出現する【g】と【k】の出現数と出現率

	理工/数	化学/数	理工/率	化学/率
【k】	7	13	35%	65%
【g】	2	3	10%	15%

【g】の出現数はほぼ同じであったが、【k】の出現数は化学の教科書のほうが有意に多い。

次に、KH Corderによる化学の教科書頻出語彙の結びつきを図3に示す。円が大きい単語ほど出現回数が多く、線が近い単語同士ほど結びつきが強い。結びつきが強いということは、文の中で互いの単語が近くに現れやすいだけでなく、複合語になる可能性も含む。



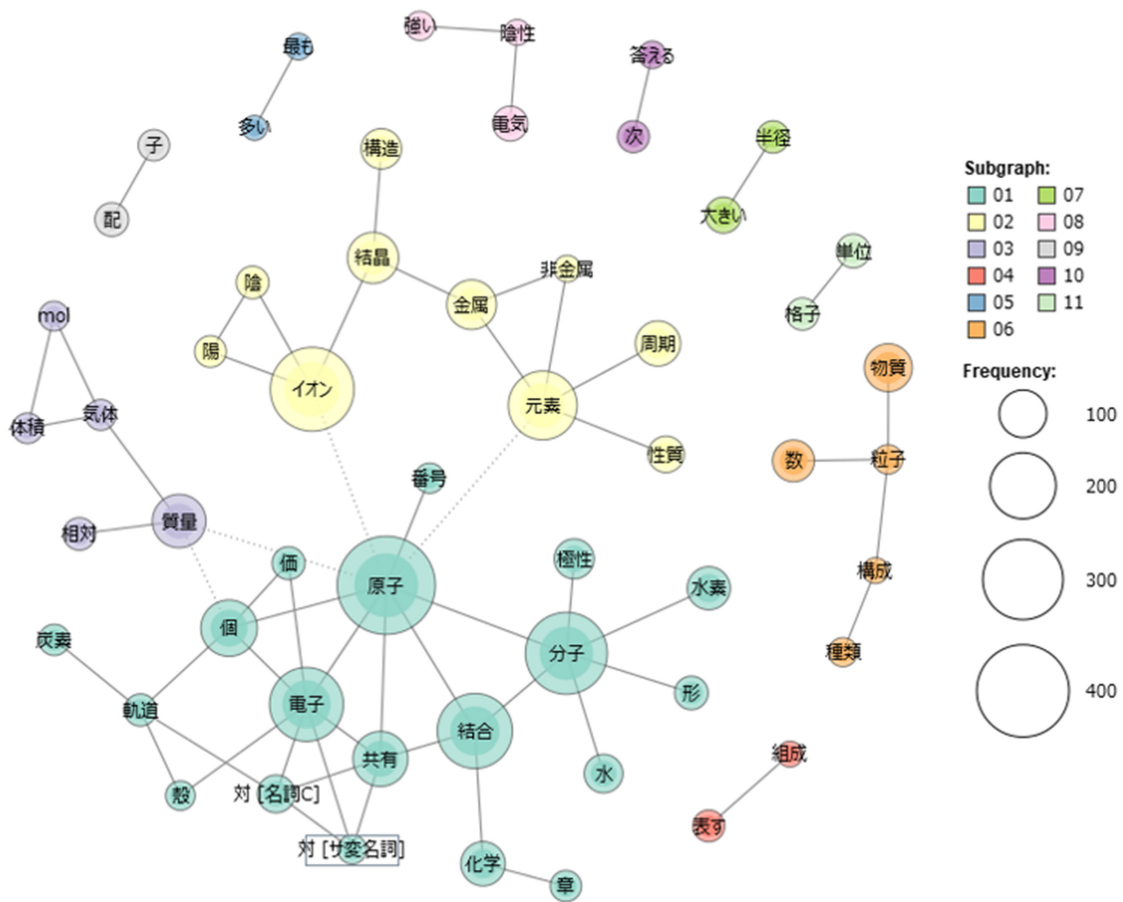


図3 化学教科書に頻出する語彙の共起（結びつき）

本来独立した単語が二つ以上結合する複合語では、ひとつひとつの単語に【g】と【k】が多ければ、以下の表5のように当然に【g】と【k】の出現数が増える。

表5 複合語に現れる【g】と【k】

複合語	よみがな	発音記号	【g】出現回数	【k】出現回数
原子+結合	げんしけつごう	gɛnɕikɛtsuβgo:	2	1
原子+共有	げんしきょうゆう	gɛnɕikjo:juβ:	1	1
原子+価+結合	げんしかけつごう	gɛnɕikakɛtsuβgo: ho:	2	2

同様に、複合語ほど結びつきは強くないものの、中黒「・」や助詞「の」でゆるく結ばれて連続して現れる専門用語にも、【g】と【k】が連続していく。以下は、「金属・非金属の結晶構造（きんぞく・ひきんぞくのけっしょうこうぞう）」を発音記号で示したもので、【k】が6回現れている。

**kɛndzokuβ・çikɛndzokuβの kecco:ko:dzo:**

以上の結果から、化学の教科書に出現する語彙には、他科目と比べて【g】と【k】が多く含まれることが明らかになり、さらにそれぞれの結びつきが強ければ、複合語として、あるいは隣接して出現することもわかった。

## 結論・課題・展望

本研究において、留学生が苦手とする化学の教科書に頻出する語彙には【g】と【k】が多く含まれ、これは理系専門科目全体に頻出する語彙に含まれる数より有意に多いことがわかった。また、これら【g】と【k】の多い語彙動詞が結びついて複合名詞になれば、さらに出現頻度が上がることが明らかになった。

この結果から、タイ語母語話者留学生への日本語授業のごく初期の段階から【g】と【k】の頻出語彙を導入して取り入れることで、聴解能力向上と語彙量増大、専門科目の理解しやすさに結びつき、ひいては苦手意識払拭につながる可能性が示唆された。

しかしながら、本研究はOCRでテキスト認識した際の文字化け修正を手作業で行ったためデータクレンジングが十分ではなかった。このため、調査は名詞にとどまり、一文の中での名詞と動詞の共起や強いつながりを発見するには至っていない。また、今回は触れることができなかった鼻濁音【ŋ】を合わせて調べていく必要もある。

今後はデジタルデータ等を有効活用して、より大量に、かつ、より正確な抽出を目指すとともに、専門理系科目習得に寄り添った音声トレーニング教材づくりに取り組むことを課題とし、今後、さらに高専での受け入れが増えるタイ語母語話者の留学生の役にたつよう研究を進めていきたい。

## 参考文献

Type IPA phonetic symbols <https://ipa.typeit.org/full/> (参照 2022-10-30).

easypronunciation.com. <https://easypronunciation.com/ja/japanese-kanji-to-romaji-converter> (参照 2022-10-30).

言語コーパスガイダンス. 国立国語研究所言語開発センター <https://clrd.ninjal.ac.jp/guidance.html> (参照 2022-10-30).

## 引用文献

- 1) アサダーユット・チューシー. タイ語母語話者の日本語発音に関する干渉の考察と指導提案. 国際交流基金バンコク日本文化センター日本語教育紀要. 2004, p.21-27.
- 2) 磯村 一弘. 音声を教える: 国際交流基金日本語教授法シリーズ 2. ひつじ書房, 2009, p. 49.
- 3) 太田亨, 佐藤尚子, 藤田清士, 金蘭美. 専門科目(物理)と漢字のコラボレーション授業: 物理の文脈を利用した漢字学習の有効性. 金沢大学国際機構紀要. 2019, 1, p.1-14.
- 4) 岡田幸典, 佐々木幸喜. 理系学部留学生のための専門日本語教育の課題と可能性. 京都大学国際高等教育院紀要. 2022, (5), p.103-117.
- 5) 小野健一. らくらく話せる! タイ語レッスン. ナツメ社, 2016, p.18.
- 6) 岡滋訓. タイ語発音教室: 基礎からネイティブの音まで. ボイス, 2008.
- 7) 加藤重弘, 安藤智子. 基礎から学ぶ 音声学講義. 研究社, 2016, p.35.
- 8) 窪園晴夫. 日本語の音声. 岩波書店, 2004, p. 67.
- 9) 国際音声記号ガイドブック. 国際音声学会編. 大修館書店, 2003, p.158-161, p.198-203.
- 10) ジョン・カニソン・キャットフォード. 実践音声学入門. 大修館書店, 2001, p.70-76.
- 11) 竹内京子, 木村琢也. たのしい音声学. くろしお出版, 2019, p.129-130.



- 12) 小川桂一郎, 松尾基之ほか. 化学基礎. 東京書籍. 2022.
- 13) 難波江 ティチャー. みっちり学ぶ初級タイ語. ベレ出版, 2021, p.30.
- 14) Peter Ladefoged, Sandra Ferrari Disner. (田村幸誠, 貞光宮城訳) Vowels and Consonants, Third Edition 母音と子音—音声学の世界に踏み出そう, 開拓社, 2021, p.151-152.
- 15) 樋口耕一. 社会調査のための計量テキスト分析：内容分析の継承と発展を目指して (第2版). ナカニシヤ出版, 2020.
- 16) 平岩ゆか. タイ人日本語学習者に対する発音指導のための基礎的研究. 日本語教育方法研究会誌. 2004, 11(1), p.10-11.
- 17) 松田真希子. 理工系留学生のための文字・語彙シラバス：ニーズを踏まえた語彙シラバス. 現場に役立つ日本語教育研究. くろしお出版, 2016, p.138-158.

受理日：2022年11月9日



## Leben mit der Natur im Spiegel der *Haiku*-Dichtung

Masatoshi SASAKI\*

### Abstrakt

In der Struktur der modernen Technik wird der Mensch, Heideggers Betrachtung zufolge, ausschließlich dazu herausgefordert, das Wirkliche als Nützliches zu bestellen. Demgemäß hat der Mensch dort keine Möglichkeit mehr, das Wirkliche als solches zu sehen. Darin zeigt Heidegger die Gefahr der modernen Technik auf, und gerade dort deutet er aber in der Kunst, insbesondere in der Dichtung, eine Möglichkeit des „Rettenden“ an. Heideggers Ansicht zufolge geschieht im Kunstwerk die Wahrheit des Seienden. Im Kunstwerk kann das Seiende als solches entborgen werden. Das Wesen der Kunst zeigt sich, Heideggers Einsicht nach, als Dichtung im weiteren Sinne und eine davon ist die Poesie als Dichtung im engeren Sinne, die in aller Kunst eine ausgezeichnete Position einnimmt. In der Dichtung nennt der Dichter alle Dinge, Heideggers Erläuterung zufolge, mit dem wesentlichen Wort in dem, was sie sind. Durch diese dichterische Nennung werden die Dinge als Seiendes zu dem ernannt, was sie sind.

Das Wesentliche der Dichtung, das Heidegger philosophisch erfaßt, kann, meiner Interpretation nach, auch in der *Haiku*-Dichtung erkannt werden. Als wesentliche Regel wird in der *Haiku*-Dichtung ein spezielles Wort namens *Kigo* als fester Bestandteil benutzt, das allgemein nur in Verbindung mit einer bestimmten Jahreszeit gebracht werden kann. Ein *Haiku*-Dichter verfaßt ein *Haiku*, indem er selber inmitten der Natur Naturdinge in einer bestimmten Jahreszeit erfährt. Auf diese Weise ist die *Haiku*-Dichtung besonders eng mit der Natur verbunden. Das dichterische Prinzip des *Haiku*-Meisters Matsuo Basho, „über die Kiefer von der Kiefer als solcher zu lernen, über das Bambus vom Bambus als solchem zu lernen“, bedeutet, daß ein Dichter von seinen subjektiven Vorurteilen entfernt sein und dann Naturdinge als solche erfahren soll. Im Werk des *Haikus* könnte dann, wie Heidegger spricht, die Wahrheit der Naturdinge geschehen. Außerdem hat Basho kein Werk geschaffen, das die Natur als Gegenstand nahm, sondern die *Haiku*-Dichtung zeigte sich für Basho als nichts anderes als Leben mit der Natur. Basho lebte inmitten der Natur und erfuhr selber unmittelbar Naturdinge, und diese Erfahrung zeigte sich als *Haiku*-Dichtung. Die *Haiku*-Dichtung ist in diesem Sinne eine praktische Form des menschlichen Lebens mit der Natur inmitten der Natur.

Wie wir also bei Heidegger und Basho feststellen, können wir in der Dichtung erfahren, daß das Ding als solches entborgen wird. Die Dichtung würde uns, meiner Meinung nach, in der heutigen Zeit die Gelegenheit geben, die Welt bzw. Natur anders als sonst zu sehen. Vor allem die *Haiku*-Dichtung steht in einer besonders engen Beziehung mit der Natur und gibt uns die Möglichkeit, Naturdinge als solche zu erfahren. Die Natur so zu sehen, wie sie ist, bedeutet, sie so zu respektieren, wie sie ist, und dieses Verhalten zeigt sich als eine praktische Form des menschlichen Lebens im Einklang mit der Natur.

---

\* Außerordentlicher Professor des Staatlichen Instituts für Technologie, Kochi, Japan.

## Einleitung

Als ob man fragen müßte: „Tragen Veilchen zur Schönheit von Frühlingfeldern bei?“, strebt man in der modernen Gesellschaft ausschließlich der Nützlichkeit der Dinge nach. So wird beispielsweise eine in den Bergen gefundene schöne Wasserquelle für Getränkehersteller zu einem „köstlichen Wasserprobengebiet“, und eine an Schönheiten reiche Landschaft wird für Immobiliengesellschaften zu einem „beliebten Erholungsgebiet“. In der Situation, in der Menschen nur noch den Nutzen der Dinge verfolgen und die Einstellung verlieren, Dinge so zu sehen, wie sie sind, hat Heidegger in seinem Vortrag „Die Frage nach der Technik“ (1953) auf die „Gefahr“ der modernen Technik hingewiesen. Wenn es doch etwas gäbe, das Menschen vor der „Gefahr“ der modernen Technik retten würde, dann wäre eine davon, Heidegger zufolge, die Kunst. Insbesondere durch die Dichtung als Kunst können Menschen die Dinge erfahren, wie sie sind. Daß die Dinge als solche in der Dichtung offenbart werden, können wir auch in der japanischen *Haiku*-Dichtung erkennen. Die *Haiku*-Dichtung zielt darauf ab, vor allem die Dinge der Natur so auszudrücken, wie sie sind. Hier können wir die Möglichkeit der Dichtung finden, die jener Tendenz widerstehen kann, nur der Nützlichkeit der Dinge in der modernen Gesellschaft nachzujagen. Darüber hinaus ist die *Haiku*-Dichtung schon eine Haltung, die die Natur selbst respektiert, da sie die Dinge der Natur so sieht, wie sie sind, und in diesem Sinne wird die *Haiku*-Dichtung, radikal gesehen, als eine der praktischen Formen des Lebens mit der Natur angesehen.

### 1.

Nach Heideggers Verständnis in *Der Ursprung des Kunstwerkes* (1935/36) vollzieht sich im Kunstwerk „die Wahrheit des Seienden“, d. h. „das Entbergen des Seienden“. Mit anderen Worten: Im Kunstwerk zeigt sich das Seiende bzw. das Wirkliche als solches. Heidegger sagt:

Das Kunstwerk eröffnet auf seine Weise das Sein des Seienden. Im Werk geschieht diese Eröffnung, d. h. das Entbergen, d. h. die Wahrheit des Seienden. Im Kunstwerk hat sich die Wahrheit des Seienden ins Werk gesetzt. Die Kunst ist das Sich-ins-Werk-Setzen der Wahrheit. (GA 5, 25)<sup>1</sup>

Ein Kunstwerk kann das Seiende bzw. das Wirkliche so offenbaren, wie es ist. Das Wesen solcher Kunst ist laut Heidegger die Dichtung – die Dichtung im weiteren Sinne als „das lichtende Entwerfen der Wahrheit“ (GA 5, 60). Was aus dem dichtenden Wesen der Kunst geschieht, ist, daß die Kunst eine offene Stelle inmitten des Seienden erweitert, wo alles anders ist als sonst, d. h. alles Gewöhnliche und Bisherige sich nicht mehr findet. In der Offenheit zeigt sich das Seiende bzw. das Wirkliche als solches. Eine Art der Dichtung ist die Poesie, die wir normalerweise als Dichtung im engeren Sinne verstehen. Heidegger zufolge ist die Sprache das Geschehnis, „in dem für den Menschen jeweils erst Seiendes als Seiendes sich erschließt“ (GA 5, 62), mit anderen Worten, indem wir mit der Sprache das Seiende nennen, wird es erst als Seiendes benannt und offenbart. Weil die Sprache auf diese Weise das ursprüngliche Wesen der Dichtung, d. h. das lichtende Entwerfen der Wahrheit des Seienden, verwahrt, gerade deshalb ereignet sich die Poesie in der Sprache. Diese

---

<sup>1</sup> Martin Heidegger, Gesamtausgabe, Bd. 5, *Holzwege*, 2. Auflage, Frankfurt am Main 2003. Wenn der zitierte Teil des Buches im Text gezeigt wird, wird das Buch mit „GA 5“ abgekürzt und die Seitenzahl wird mitgeschrieben.

Poesie nimmt als „die ursprünglichste Dichtung im wesentlichen Sinne“ (GA 5, 62) in der Kunst, deren Wesen sich als die Dichtung im weiteren Sinne zeigt, eine herausragende Stellung ein.

Nach Heideggers Verständnis in *Hölderlin und das Wesen der Dichtung* (1936) benennt der Dichter die Dinge und offenbart sie, wie sie sind. Heidegger sagt:

Der Dichter nennt die Götter und nennt alle Dinge in dem, was sie sind. Dieses Nennen besteht nicht darin, daß ein vordem schon Bekanntes nur mit einem Namen versehen wird, sondern indem der Dichter das wesentliche Wort spricht, wird durch diese Nennung das Seiende erst zu dem ernannt, was es ist. So wird es bekannt als Seiendes. (GA 4, 41)<sup>2</sup>

In der Dichtung, in der der Dichter mit dem wesentlichen Wort Dinge nennt, sollten wir die Dinge erfahren, die dort so offenbart werden, wie sie sind.

## 2.

Das Wesentliche der Dichtung als Kunst, das von Heidegger erfaßt wurde, können wir, meiner Interpretation nach, auch in der japanischen Dichtung von Matsuo Basho (1644-1694) erkennen, der sein Leben damit verbrachte, an der *Haiku*-Dichtung zu arbeiten. Die *Haiku*-Dichtung ist eine Art Kurzformdichtung, die ursprünglich aus Japan stammt. Sie besteht traditionell aus drei Teilen, die 17 phonetische Einheiten in einem 5-7-5-Muster enthalten. Im Prinzip wird die *Haiku*-Dichtung mit einem bestimmten Wort namens *Kigo* geschrieben, das sich auf jahreszeitliche Dinge bezieht, und in diesem Sinne zeigt sich die *Haiku*-Dichtung besonders als eine Dichtung, die eng mit der Natur verbunden ist.

Bashos dichterisches Prinzip zeigt sich in seiner Lehre: „Lerne über die Kiefer von der Kiefer selbst, lerne über den Bambus vom Bambus selbst.“<sup>3</sup> Das dichterische Prinzip bedeutet, von der eigenen Subjektivität abzusehen und sich auf die „Dinge“ selbst einzulassen. Mit anderen Worten: Die *Haiku*-Dichtung zielt darauf ab, die Wahrheit der Naturdinge auszudrücken, indem sie Vorurteile und vorgefaßte Meinungen ausschließt und „Dinge“ so sieht, wie sie sind. Ein Werk der *Haiku*-Dichtung entsteht aus der Beobachtung, daß die Dinge in der Natur sich als solche finden.

古池や蛙飛びこむ水の音 (Furuike ya kawazu tobikomu mizu no oto.)

Der alte Teich.

Ein Frosch springt hinein —  
das Geräusch des Wassers.<sup>4</sup>

---

<sup>2</sup> Martin Heidegger, Gesamtausgabe, Bd. 4, *Erläuterungen zu Hölderlins Dichtung*, 3. Auflage, Frankfurt am Main 2012. Wenn der zitierte Teil des Buches im Text gezeigt wird, wird das Buch mit „GA 4“ abgekürzt und die Seitenzahl wird mitgeschrieben.

<sup>3</sup> Doho Hattori, „Sanzoshi“ (1776) in: Matsuo Basho, *Kohon Basho zenshu*, Bd. 7, Tokyo 1969, S. 175. Übersetzung vom Verfasser.

<sup>4</sup> Dietrich Krusche (Hg.), *Haiku. Japanische Gedichte*, München 1994, S. 48.

Dieses Werk ist wahrscheinlich das bekannteste von Bashos Gedichten. Vielleicht gab es in einer Ecke des bescheidenen Wohngartens einen alten Teich. Eines Tages geschah es, daß Basho unerwartet das Geräusch von Wasser hörte, als ein Frosch in den Teich sprang, während die Gegend sehr ruhig war. Das Geräusch des Wassers, in das der Frosch sprang, brachte Basho dazu, sich dem alten Teich zuzuwenden, auf den er vorher nicht geachtet hatte. Basho schuf sein Werk, indem er die gewöhnliche Tatsache der Natur im täglichen Leben darstellte. Vielleicht erkannte er die Wunder der Natur, erfaßte die Natur so, wie sie ist, und drückte sie als solche aus. Bashos Aufmerksamkeit für einen bloßen Frosch bedeutet, daß Basho seine Ästhetik allem in der Natur zuwandte. Das heißt einfach, die Natur ohne Vorurteile so zu nehmen, wie sie ist, und sie im Werk auszudrücken. In diesem Werk spielt der Ausdruck „Ein Frosch springt hinein — / das Geräusch des Wassers“ als wesentliche Wörter eine wichtige Rolle. Indem Basho den alten Teich nicht einfach als einen „alten einsamen Teich“ beschreibt, sondern „das Geräusch des Wassers“, in das ein Frosch springt, mit dem alten Teich kombiniert, wird das Ding des „alten Teichs“ gerade in der Beziehung zum „Geräusch des Wassers“, in das ein Frosch springt, mit einer Art frischem Geschmack empfunden. In Bezug auf „das Geräusch des Wassers“, in das ein Frosch springt, wird die Existenz bzw. das „Sein“ des „alten Teichs“ unerwartet offenbart.

Darüber hinaus schreibt Basho in seinem Werk „Frosch-Haiku“, daß er von der Dynamik der natürlichen Welt, wie dem Kreislauf der vier Jahreszeiten, beeindruckt war, indem er die Tatsachen der Natur so festhält und darstellt, wie sie sind. Der kalte Winter war vorbei und das warme Frühlingswetter war da. Vielleicht kam ein aus der Winterruhe erwachter Frosch aus der Erde und sprang wie gewohnt in den Teich. Basho muß zum ersten Mal seit langer Zeit das Geräusch des Wassers gehört haben, in das ein Frosch springt. Gerade deshalb nahm Basho das Geräusch des Wassers noch deutlicher wahr. Indem Basho die natürliche Tatsache des Geräusches von Wasser einfing und darstellte, als ein Frosch in einen alten Teich sprang, drückte er in seinem Werk auch die Begeisterung über die großartige Dynamik der natürlichen Welt aus. In der Tiefe dieses Werkes können wir erkennen, daß Basho im täglichen Leben die große Kraft der Natur berührt.

### 3.

Wie Heidegger betonte, sollten wir im System der modernen Technik die Dinge nur als „nützliche Dinge“ entbergen und den Dingen nur in einer solchen Weise begegnen. Wenn wir in dieser Situation sind, kann die *Haiku*-Dichtung durch das direkte Vertrauen in die Dinge die Wahrheit der Dinge, denen wir begegnen, einfangen und sie so enthüllen, wie sie sind, ohne an Vorurteile oder Stereotypen gebunden zu sein. Natürlich gelten die Beziehungen in der Epoche, in der Basho lebte, nicht für das gegenwärtige Zeitalter, oder umgekehrt dominierte das System der modernen Technik nicht bereits die Epoche, in der Basho lebte, aber Bashos dichterisches Prinzip in der Lehre „Lerne über die Kiefer von der Kiefer selbst, lerne über den Bambus vom Bambus selbst“, ist unabhängig von den Beziehungen und Systemen in diesen Zeiten und seine Bedeutung ändert sich nicht als Einstellung, die Dinge als solche zu sehen.

In einer Schrift seines Schülers können wir Bashos Gedanken erkennen, die Dinge der Natur so zu sehen, wie sie sind, dadurch, Vorurteile und Stereotypen zu beseitigen oder sich von Bräuchen und Alltäglichkeit zu lösen. Dort heißt es:

Wer sich mit der Kunst der *Haiku*-Dichtung beschäftigt, sollte der Natur folgen und sich mit den vier Jahreszeiten anfreunden. So ist das, was er sieht, nicht keine Blume, und was er denkt, ist nicht kein

Mond. Wenn das, was er sieht, keine Blume ist, ist er einem Barbaren gleich. Wenn er in seinem Herzen nicht an Blumen denkt, ähnelt er Vögeln und Tieren. Es ist erforderlich, aus der barbarischen Position herauszukommen, die Klasse von Vögeln und Tieren zu verlassen, der Natur zu folgen und zur Natur zurückzukehren.<sup>5</sup>

Laut Basho folgen diejenigen, die sich mit der *Haiku*-Dichtung beschäftigen, der Natur und freunden sich mit der Natur der vier Jahreszeiten an. So verpassen sie weder die Blumen noch den Mond. Diejenigen, die Blumen gar nicht erst sehen oder an sie denken, sind Barbaren oder Bestien. Diejenigen, die „Dinge“ in Blumen und im Mond sehen oder darüber nachdenken, sind wahrhaft menschliche Wesen. Um solch ein wahrer Mensch zu werden, muß man der Natur gehorchen und zur Natur zurückkehren. Wenn man *Haiku*-Gedichte mit Blick auf die Natur schreibt, ist es notwendig, eine Haltung zu haben, der Natur zu folgen und zur Natur zurückzukehren, sowie eine Haltung, sich die Natur zum Freund zu machen. Es ist keineswegs eine Haltung, die die Natur vor uns als bloßes Objekt für den Menschen behandelt. An einem Ort, der für Kirschblüten berühmt war, hat Basho das folgende Gedicht geschrieben.

日は花に暮てさびしや翊檜 (Hi wa hana ni kurete sabishi ya asunaro.)

Der Tag ist mit Kirschblüten  
vorbei, wie einsam ist  
der Hibalebensbaum!<sup>6</sup>

Unter der Sonne im Frühling stehen die Kirschblüten in voller Blüte und die Aufmerksamkeit der Menschen richtet sich ausschließlich auf die Kirschblüten. Es ist, als würde sich die Welt um Kirschblüten drehen. Im Gegensatz zu den prächtig blühenden Kirschblüten steht die „nächste Zypresse“ (Hibalebensbaum) in einem trüben Schein. Da sie sich von einer Zypresse unterscheidet und kleiner als eine Zypresse ist, obwohl sie einer Zypresse ähnelt, wird ihr der Legende nach das traurige Schicksal nachgesagt, daß sie nie eine Zypresse werden kann, während sie immer denkt, daß sie am nächsten Tag eine Zypresse sein wird. Das Aussehen eines solchen Hibalebensbaums hat etwas Einsames an sich. Basho betrachtet nicht nur die Kirschblüten, die in voller Blüte stehen und die Aufmerksamkeit der Menschen auf sich ziehen, sondern auch den Hibalebensbaum, der im Schatten einer solchen Pracht zu stehen scheint, und findet dort die Einsamkeit, die mit ihm als sogenanntem Einsiedler einhergeht, – genauso wie er Freundschaft mit der Natur schließt.

Eine wichtige Grundidee der *Haiku*-Dichtung können wir in der dichterischen Haltung erkennen, die Natur so zu sehen, wie sie ist oder als wäre sie unser Freund. Der japanische *Haiku*-Dichter Takahama Kyoshi (1874-1959) sagt:

Es ist äußerst sinnvoll, die Natur so darzustellen, wie sie ist. Ob es sich um einen Handmuskel, einen Fußmuskel, ein Veilchen oder ein Kätzchen handelt, bedeutet, die Natur auszudrücken, als ob sie lebendig wäre, die Natur zu respektieren, und das ist ein Gefühl, im Schoß der Natur zu ruhen, ohne die eigene Subjektivität zu betonen. Es muß ein großer Wunsch der Menschen sein, all jene Bemühungen

---

<sup>5</sup> Otokuni Kawai, „Oinokobumi“ (1709), in: Matsuo Basho, *Kohon Basho zenshu*, Bd. 6, Tokyo 1968, S. 75. Übersetzung vom Verfasser.

<sup>6</sup> Übersetzung vom Verfasser.

aufzugeben, ein kleines Selbst zu etablieren, und einen Teil der großartigen Natur getreu wiederzugeben.<sup>7</sup>

Kyoshi zufolge ist es von großer Bedeutung, die Natur so darzustellen, wie sie ist, da es nicht darum geht, die menschliche Subjektivität zu betonen, sondern die Natur selbst zu respektieren. Wir Menschen sollten vor allem darauf abzielen, die großartige Natur so auszudrücken, wie sie ist, anstatt das triviale Selbst des Menschen durchzusetzen. Die Natur so zu sehen, wie sie ist, ist schließlich nichts anderes als eine Haltung, die Natur selbst zu respektieren.

Nur mit dem Respekt vor der großartigen Natur ist es möglich, die Natur so zu sehen, wie sie ist, ohne an Vorurteile oder Stereotypen gebunden zu sein, bzw. befreit von Bräuchen und Konventionen, wie Bashos Dichtung es beabsichtigte. Dies gelingt niemals mit einer Haltung, die die Natur mit Menschen konfrontiert oder die Natur als bloßes Objekt für Menschen sieht, es gelingt niemals durch den Gedanken, der versucht, den Menschen in die Position des Herrschers über die Natur zu stellen oder die Natur als weniger wertvoll als den Menschen zu sehen. Das Verhalten, der Natur zu folgen, zur Natur zurückzukehren und die Natur den Menschen gleich und vertraut zu machen, wie Basho sagte, macht es möglich, die Dinge in der Natur so zu sehen, wie sie sind. In diesem Sinne ist der Akt der Dichtung, in dem Basho die Natur sah und versuchte, sie als solche in einem Werk zu offenbaren, eine der praktischen Formen der Haltung, die Natur so zu respektieren, wie sie ist. Mit anderen Worten: Der Akt der Dichtung Bashos zeigt sich als nichts anderes denn als die Erfüllung der Lebensweise, mit der Natur bzw. in der Natur zu leben. „Mit der Natur zu leben“ war Bashos Lebensanliegen, und genau dies praktiziert die *Haiku*-Dichtung durch Beobachtung der Natur.

Die *Haiku*-Dichtung, die sich auch als eine Praxis des Lebens mit der Natur zeigt, kann uns wirklich als eine radikale Kunst vom „Gewohnten“ im täglichen Leben trennen, wie Heidegger betont.<sup>8</sup> Indem wir in die „Wahrheit des Seienden“ eintauchen, die im Kunstwerk entstanden ist, werden wir von dem bisher Gewohnten getrennt. Dadurch, hervorragende Kunstwerke zu erfahren und dann von der üblichen Ansicht bzw. Denkweise getrennt zu werden, können wir die Möglichkeit erhalten, unsere Sicht auf die Welt zu ändern. Kyoshi zum Beispiel sagt:

Wenn wir anfangen, *Haiku*-Gedichte zu schreiben, erkennen wir, daß das Leben, das Basho sah, so aussehen müßte, und sind wir motiviert, die Welt zu überdenken; dann erkennen wir, daß die Welt, die Issa sah, so aussehen müßte, und sind wir motiviert, die Welt zu überdenken; dann erkennen wir, daß die Welt, die Buson sah, so aussehen müßte, und sind wir motiviert, auf die Welt zurückzuschauen; eher öffnet sich dann zunächst einmal die Welt der jahreszeitlichen Themen vor uns und beginnen die verschiedenen Aspekte von Frühling, Sommer, Herbst und Winter, die wir bisher nicht bemerkt haben, einen starken Eindruck auf unser Herz zu hinterlassen. Dann spüren wir, daß plötzlich verschiedene Phänomene von Frühling, Sommer, Herbst und Winter mit einem sehr starken Licht vor uns erscheinen; oder fühlt sich es an, als hätte sich eine völlig andere Welt als die aufgetan, die wir bisher gesehen haben. Insofern fühlen wir uns gerettet.<sup>9</sup>

Auf diese Weise, so scheint es uns, wird sich eine Welt auftun, die anders ist als die, die wir bisher gesehen haben. In solchen Zeiten können wir, wie Kyoshi sagt, vor der kritischen Situation „gerettet“ werden, in der

<sup>7</sup> Takahama Kyoshi, *Teihon Takahama Kyoshi zenshu*, Bd. 11, Tokyo 1974, S. 35. Übersetzung vom Verfasser.

<sup>8</sup> Vgl. Martin Heidegger, GA 5, S. 54.

<sup>9</sup> Takahama Kyoshi, a. a. O., S. 294. Übersetzung vom Verfasser. Kobayashi Issa (1763-1828) und Yosa Buson (1716-1784) sind neben Matsuo Basho Vertreter der repräsentativsten *Haiku*-Dichter in der japanischen *Edo*-Zeit (1603-1868).



uns die Dinge im System der modernen Technik nur noch als „nützlich“ begegnen können. Obwohl es weit von der Epoche entfernt ist, in der Basho lebte, sind wir jetzt durch verschiedene Probleme wie Klimawandel und Umweltzerstörung gezwungen, die Beziehung zwischen Mensch und Natur zu überdenken. Genau in dieser Zeit sollten wir von Bashos grundlegender Haltung lernen, die Natur so zu respektieren, wie sie ist. Freilich können wir nicht einfach zur Natur zurückkehren, da wir Menschen die Natur zu sehr verändert haben und das menschliche Leben sich zu weit von der Natur entfernt hat, aber wir sollten uns doch von jener kleinen Selbstbehauptung der Menschen lösen, in der Gesellschaft, die vor allem Wissenschaft und Technik lobt, nach Nützlichkeit der Dinge zu streben, und die Einstellung zurückgewinnen, alles in der Natur so zu sehen, wie es ist. „Zur Natur zurückzukehren“ bedeutet, meiner Meinung nach, auf die Natur zurückzublicken und zu sehen, ob die Menschen eine angemessene Einstellung zur Natur haben. Das heißt, sich auf die Seite der Natur zu stellen und die Menschen erneut zu überdenken. Nur wenn wir Menschen die Natur als solche respektieren, wird die Natur uns Menschen leben lassen. Mit tiefem Respekt vor der Natur müßte das Zusammenleben zwischen Mensch und Natur im wahrsten Sinne nachhaltig werden.

### **Nachwort**

Der Hauptteil dieses Aufsatzes entstand ursprünglich aus dem Manuskript meines deutschen Vortrags, der am 29. September 2022 bei der >9. Tagung für Praktische Philosophie< an der Universität Salzburg in Österreich gehalten worden war. Trotz den verschiedenen Schwierigkeiten im Zusammenhang mit der Corona-Pandemie und dem heutigen Ukraine-Krieg konnte ich auch dieses Jahr Salzburg besuchen und dort einen Vortrag halten, worüber ich mich sehr gefreut habe. Ich danke den Organisatoren der Tagung dafür, daß mir die Gelegenheit gegeben wurde, den Vortrag zu halten, und insbesondere den Zuhörern, die mir hilfreiche Hinweise gegeben oder sehr bedeutsame Fragen gestellt haben.

受理日：2022年10月28日



# Consensus Algorithm Using Transaction History for Cryptocurrency

Yuuki KOMI and Takayuki TATEKAWA<sup>1</sup>

## Abstract

Blockchain consensus algorithms for cryptocurrency consist of the proof of work and proof of stake. However, current algorithms have problems, such as huge power consumption and equality issues. We propose a new consensus algorithm that uses transaction history. This algorithm ensures equality by randomly assigning approval votes based on past transaction records. We also incorporate a mechanism for adjusting issuance volume to measure the stability of the currency's value.

## 1. Introduction

The P2P electronic money system proposed by Satoshi Nakamoto<sup>1)</sup> has been applied in various cryptocurrency systems. A blockchain mechanism was proposed to solve the problem of double spending on online payments without the need for authentication by a trusted third party. Blockchain maintains trust in transactions because it is extremely difficult to destroy or alter data.

Blockchains in Bitcoin and other cryptocurrencies maintain a shared registry of chronologically ordered hash chains to enable continuous proof of work (PoW). The hash chain mechanism is useful for achieving tamper resistance and irreversibility. However, each participant repeats the calculation until a specific hash value appears at each node, and the node that determines the desired hash value can add a new block to the chain. The calculation of this hash value requires an enormous amount of computational work. In addition, because it provides incentives to compute hash values, it is problematic that large computational resources are used for computing hash values, consuming enormous amounts of electric power<sup>2)</sup>.

As an alternative to PoW, a new algorithm called proof of stake (PoS) has been proposed. In this scheme, for example, Stake is based on the "coin age of" how long a user has held the tokens of a cryptocurrency<sup>3)</sup>. Ethereum will transition from PoW to PoS in September 2022, which will reduce energy consumption by approximately 99.95 %<sup>4)</sup>. However, there is concern that PoS will reduce the flow rate of cryptocurrencies.

In this study, we propose a new consensus algorithm for cryptocurrency that does not require huge computational resources, such as PoW, and does not reduce the circulation volume, as in conventional PoS. Suppose that a user has owned a cryptocurrency in the past but has given it away in some transactions. This transaction is regarded as contributing to the promotion of cryptocurrency, and the user is granted the right to become a signatory of the block, that is, to add a new block. In other words, instead of calculating the hash value of the PoW, the transaction is an incentive.

In cryptocurrency, users who add blocks are given an incentive to add new blocks, as well as a transaction fee. By appropriately adjusting transaction fees, it can be expected that users will not gain from many self-transactions, and cryptocurrencies can be managed appropriately.

---

<sup>1</sup> Associate professor, National Institute of Technology (KOSEN), Kochi college

The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 presents proposal of a new protocol. Section 3 explains adjustment of issuance with new protocol. Finally, Section 4 summarize our study.

## 2. Proposal of a new protocol

### 2.1 Transaction history

To use a cryptocurrency coin for payment, it must be received from someone. The fact that the transaction was recorded in the chain proves that someone paid the coin to someone else. Because the value of a cryptographic coin depends only on its liquidity, it is essential to increase the number of participants who can perform transactions.

Transaction history is a record of the transactions a coin has undergone. In a blockchain, transaction information is recorded in blocks. A currency not referenced by any transaction is considered an unspent transaction output (UTXO). When a new transaction occurs, it is formed by finding and clearing the UTXO needed for the transaction.

### 2.2 Checkpoint system

Our protocol grants the right to choose just one blockchain from a tree of branching blockchains for "having made a transaction". This transaction-based grant of authority is expected to expand the range of cryptocurrency use by participants. This protocol is intended for hybrid use with PoW, in which the PoW system is used for the following purposes.

- Guarantee of blockchain irreversibility
- Verification of the previous block
- Some financial risk burden for block generation

PoW can also be substituted by full PoS mining with staking.

The protocol uses a checkpoint system for periodic voting and a discrete logarithm problem on an elliptic curve for voter selection to provide resistance against Sybil attacks. This protocol assumes the application of secp256k1<sup>5)</sup> used in Bitcoin.

A checkpoint tree applied in our protocol is a method used in Casper FFG<sup>6)</sup>, a type of PoS method proposed by the Ethereum Foundation. The checkpoint tree streamlines the legitimacy of the chain such that the entire block tree is not handled. Checkpoints are established at regular heights such that only the legitimate chain can be determined from the forked chains.

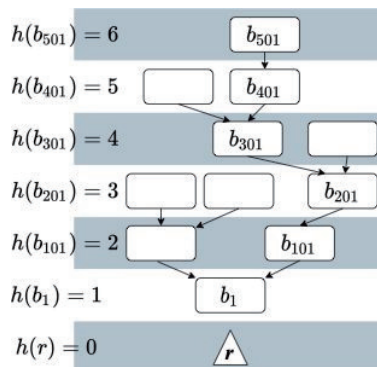
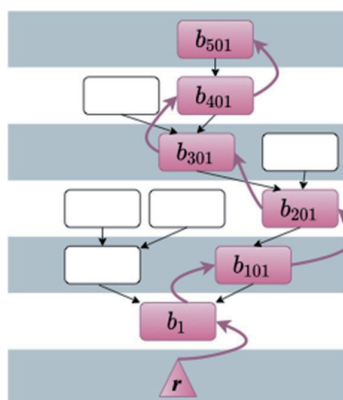


Figure 1. Checkpoint Tree and Height

As shown in Figure 1, the checkpoints are all blocks whose height (or block number) in the block tree is a multiple of 100, or a genesis block with a height of 0. The "checkpoint height" of a block whose block number is  $100k$  is  $k$ . The height  $h(c)$  of checkpoint  $c$  is given by the number of elements in the checkpoint chain, extending from checkpoint  $c$  to the root along the parent link.

If the blocks at checkpoints of height  $n$  are agreed upon, a legitimate chain up to this point is established. Because FFG is a PoS protocol, in the case of Ethereum, voting is performed by a validator who takes the economic risk of charging one ETH for each vote at each checkpoint. The vote is cast by a validator who carries an economic risk. A checkpoint of height  $n$  is justified if it receives more than  $2/3$  of the votes of the valid validators. The block of checkpoints of height  $n+1$  is then justified, and the block of height  $n$  is determined (Figure 2). When the tree extends from checkpoint  $a$  to checkpoint  $b$ , it is denoted as  $a \rightarrow b$ .



**Figure 2. Number of checkpoint blocks and checkpoint height. Downward arrows indicate 99 blocks between checkpoints. Up arrows indicate the order of justification.**

This mechanism must not deny the transactions made in the past by having the property that the established checkpoints are not overturned.

### 2.3 Selection of verifiers

The selection of verifiers is conducted by the factors shown in Table 1.

**Table 1. Factors used in the selection of verifiers**

Notation	Description
hash(a)	Hash value of block $B_{n-100}$ at checkpoint a
$P$	hash(a) multiplied by a scalar with the private key $e$
$S$	Set of values $P$ divided by 16 bits
$i$	Each element in set $S$
$t$	Transaction recorded in block $B_{n-(i+100)}$

All of these elements can be uniquely computed from checkpoint a. To prevent a reference to a block between  $a \rightarrow b$  that has not yet been justified in transaction  $t$ , 100 is added to the index of the block. To prevent duplicate verifiers, duplicate  $i$  is avoided through addition and logical operations. The verifier is determined by  $t$ :

Thus, the verifier cannot be selected arbitrarily. The output at  $t$  must be unused to introduce a punitive mechanism to disable the corresponding UTXO in the case of fraud in checkpoint voting.

## 2.4 Verifier's Strategy

To ensure that the verifiers selected at a given checkpoint perform verification legitimately, we consider providing them with incentives to perform verification. Subsequently, the verifiers are prevented from cheating. The following rules can be used to ensure that verifiers perform legitimate verifications. The chain extends  $c \rightarrow c' \rightarrow c''$ .

- The verifier must prove in the message indicating that the UTXO entitled to vote is theirs.
- A UTXO included in a message indicating a vote is considered used and removed from the UTXO set.
- If an irregularity is discovered at a node and the branch on which the irregularity occurs has been voted on, the discoverer of the irregularity will receive the UTXO that was voted on. An irregularity can be verified by anyone other than the verifier.
- Moreover, those who discover fraud have the right to create a transaction using the voter's UTXO as input. In other words, the mechanism allows anyone to issue a transaction with the voter's UTXO as input. A transaction cannot be used for any purpose other than to prove fraud.
- Because the method described in the previous section would result in a loss to the voter, it is possible to issue a transaction that allows UTXO to input  $c$  as it is toward itself after  $c$  is fixed, and before some checkpoints are fixed.
- The verifier that casts the correct vote is rewarded with a special signature that earns half of the transaction fee in the block from  $c'$  to  $c''$ .
- The checkpoint with the highest number of votes is justified.

If the verifier commits fraud, it must have the largest number of transactions in the set of transactions from which it selects verifiers.

## 2.5 Resistance to Sybil attacks

Sybil attacks are attacks in which an attacker attempts to dominate a network system using multiple nodes, accounts, and computers. The proposed algorithm addresses Sybil attacks in the following manner.

First, PoW was used to generate blocks, ensuring that the creation of a block was not a significant burden for the participant. This prevents attacks that can create many blocks. Second, voters are chosen by participants based on values that cannot be manipulated, and voters cannot assume any interest in others, thus preventing organized voting. Many transactions must be issued to increase the likelihood of being selected as a voter. However, because transactions require a fee, issuing many transactions requires a large fee. This prevents transactions from being issued to become voters artificially.

The following is a quantitative explanation of the difficulty of a Sybil attack: A person who performs a transaction has the potential to become a verifier until  $2^{16}$  (=65536) blocks have been mined after the block containing the transaction is finalized. If the average target time for a block to be mined is 15 s, the verifier will not be confirmed by the block in which the transaction occurred until approximately 273 h later. A total of 655 checkpoints occurred during that time and the possibility of voting at 653 checkpoints, excluding the two starting and ending checkpoints. If a Sybil attack is to be launched, the attacker must generate most transactions in approximately 273 h between the time a transaction is made and when the verifier is determined. Therefore, Sybil attacks are challenging.

### 3. Adjustment of issuance volume

For cryptocurrency to be accepted for real transactions, the exchange rate between cryptocurrency and legal tender must be stable. Stablecoin, which allows cryptocurrency to be backed by a legal tender to minimize fluctuations in the exchange rate with the legal tender, is being considered. In this proposal, we consider a mechanism to reduce the fluctuation of the exchange rate with legal tenders without backing.

In PoW, miners approve and trust the transactions performed by miners who perform massive computations. Even if the value of cryptocurrency is recognized and the number of miners increases, the amount of cryptocurrency that miners can obtain will decrease. To maintain the number of miners, the value per unit of cryptocurrency increases without a limit. Furthermore, PoW cannot reduce assets and does not act as an adjustment to the money supply.

In economics, the relationship between transactions and the quantity of money is expressed by the following equation, named "Equation of exchange"<sup>7)</sup>.

$$MV = PT, \quad (1)$$

where  $M$  is the average total money supply in circulation in an economy,  $V$  is the velocity of the money transaction circulation,  $P$  is the price level, and  $T$  is the transaction volume of goods and services in a period. Previous studies have applied the laws of economics, including this equation, to the exchange rate between Bitcoin and the US dollar, and it has been shown that exchange rate fluctuations fit the laws well<sup>8)</sup>.

The difficulty of PoW is determined by the time it takes to add the block and the amount of computation required for the previous block. If a large amount of computation is performed in the previous block, the difficulty of the PoW increases.

However, it is difficult to measure the exact volume of cryptocurrency transactions. Although all transactions are recorded in the blockchain and can be viewed by anyone, if the same person owns multiple accounts and repeatedly trades for themselves, it may appear that far more transactions have been made than have occurred.

If a fee is charged for the transaction, it will prevent many self-transactions, and as described in Section 2.5, it takes approximately 273 h from the time the transaction is generated to the time the verifier is determined. Coins of cryptocurrency that have already been used to identify verifiers can be considered "correct coins". By examining the "correct coins," we can express the number of transactions that have been verified.

Given the difficulty of PoW, the "Equation of Exchange" is expected to be modified according to the historical circulation rate  $V_O$ , transaction value  $P_O$ , and number of transactions  $T_O$  as follows.

$$MV_O = P_O T_O D. \quad (2)$$

Here  $D$  denotes the current PoW difficulty.  $V_O$  can be determined by referring to transaction records in the blockchain.  $P_O$  and  $T_O$  can be determined from the previous block; therefore, there is no need to refer to all blocks. It is necessary to implement a mechanism to ensure that the value of a variable is uniquely determined in the blockchain, and to detect incorrect values.

The total amount of cryptocurrency can be obtained from the past blocks.

$$M = \frac{P_O T_O D}{V_O}. \quad (3)$$

The  $M$  value was obtained for each checkpoint. If  $M_n > M_{n-1}$  when the  $n$ th block is added, the difference is an additional PoW fee; otherwise, no additional fee is paid. If no additional reward is generated at many checkpoints in a row, a transaction is generated to send 1/2 of the fee paid to the verifier to an address from which no one can withdraw. Because the miner and verifier are rarely the same in this protocol, it is expected that this action is unlikely to reduce the number of miners.

#### 4. Summary

In this study, we propose a new consensus algorithm for cryptocurrency as an alternative to PoW and PoS. The proposed algorithm does not require a large amount of computational work, does not have the problem of decreasing the volume of circulation, and is expected to adjust the issuance volume of cryptocurrencies.

The parameters used in the example of the proposed algorithm mechanism are provisional values that may not be optimal. Further verification is needed to ensure that consensus is properly reached and that cryptocurrency can be operated by many anonymous users without any fraud.

A game-theoretic analysis is needed to determine whether it is in the participants' best interest not to cheat. In a previous study, it was proved that the algorithm for cryptocurrencies that provide disk space instead of PoW is stable and consensus-building using game theory<sup>9)</sup>, and that this algorithm needs to be verified in detail using game theory as well.

#### Acknowledgment

This paper is based on YK's graduation thesis and has been reorganized with the addition of new findings. The authors would like to thank Ryuji Enomoto for reviewing this thesis, and Kouki Hamada, Kazuha Hasegawa, and Akimoto Nakayama for their useful comments. We would like to thank Editage (www.editage.com) for English language editing.

#### References

1. Nakamoto, S., Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system, <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
2. Bitcoin energy consumption index (Digiconomist), <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>
3. Tasca, P. and Tessone, C. J., 2019. A Taxonomy of Blockchain Technologies: Principles of Identification and Classification, *Ledger*, 4, <https://doi.org/10.5195/ledger.2019.140>
4. Ethereum: The Merge, <https://ethereum.org/en/upgrades/merge/>
5. Brown, D. R. L., Jan. 2010. Recommended Elliptic Curve Domain Parameters, Tech. rep. Certicom Research.
6. Buterin, V. and Griffith, V. 2017. Casper the Friendly Finality Gadget, arXiv:1710.09437
7. Fisher, I. 1911. The Equation of Exchange 1896-1910, *American Economic Review* 1, 296-305
8. Kristoufek, L. 2019, Is the Bitcoin price dynamics economically reasonable? Evidence from fundamental laws, *Physica A*, 536, 120873, <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.04.109>
9. Park, S. *et al.*, 2015. SpaceMint: A Cryptocurrency Based on Proofs of Space, *Cryptology ePrint Archive*, Report 2015/528, <https://eprint.iacr.org/2015/528>

受理日：2022年10月24日



窓開度を考慮した部分空間法によるビニールハウス内の飽差気温モデル：  
冬期モデルの評価

中山 信<sup>\*1</sup>・宮岡奨一朗<sup>\*2</sup>・木村竜士<sup>\*1</sup>・大角理人<sup>\*1</sup>・高田 拓<sup>\*3</sup>

**Improvement of the humidity deficit and air temperature greenhouse model via the subspace method depending on the window opening degree: Model evaluation during winter**

Shin NAKAYAMA<sup>\*1</sup>, Shoichiro MIYAOKA<sup>\*2</sup>, Ryushi KIMURA<sup>\*1</sup>,  
Masato OHSUMI<sup>\*1</sup>, and Taku TAKADA<sup>\*3</sup>

**Summary**

In this study, we developed a humidity deficit and air temperature model to improve the model predictive controller based on the window opening degree in a greenhouse facility in winter where the boiler is in operation. The purpose is to improve the accuracy of the model output values during the daytime from 8:00 to 16:00 by utilizing environmental data inside and outside the greenhouse for approximately one month via the subspace method. By selecting the model creation period, we developed four models: (1) night-time daytime model, (2) daytime model, (3) daytime sunny model, and (4) daytime rainy cloudy model, and we evaluated each model. For all models, the average Fit rate was low at 43% or less for humidity deficit and 65% or less for air temperature; however, the average root mean square error (RMSE) was sufficiently low at 0.63 g/m<sup>3</sup> or less for humidity deficit and 1.6 °C or less for air temperature. When the humidity deficit and air temperature fluctuations per day are small, such as in winter, evaluation with the RMSE rather than Fit rate is more appropriate. In comparison with existing models, the developed models perform effectively as a prediction model for window opening/closing control in winter.

**Key words:** greenhouse, subspace method, humidity deficit, temperature, window opening degree

1. はじめに

近年の施設園芸栽培では、乾燥度の指標である飽差を3～6 g/m<sup>3</sup>にすることが、植物の光合成の促進につながると認知されている<sup>1)</sup>。しかし、ハウス外飽差が高くなる冬期において、日射による気温上昇を防ぐために窓を開けると、乾燥した空気がハウス内に流入し飽差値が基準値を超えやすくなる。ハウス外の飽差や気温、日射を考慮しながら窓開閉によってハウス内の飽差と気温を同時に制御するため、多入力多出力のモデルベース制御が有効である<sup>2)</sup>。

筆者らは、ボイラーが稼働しない春秋期において、1カ月間ほどの環境データからシステム同定法 (ARX・OEモデル) により、適合度 (Fit率) が高いハウス内飽差・気温モデルを作成した<sup>3)</sup>。一

---

\*1 高知工業高等専門学校 ソーシャルデザイン工学科 准教授

\*2 高知工業高等専門学校 専攻科2年

\*3 東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科 准教授

方、冬期においては、ボイラーが稼働しない日中のデータからシステム同定法（部分空間法）によりハウス内飽差気温モデルを作成して、窓開度によるモデル予測制御を適用して効果を示した<sup>4)</sup>。しかし、1日間の環境データでのモデル作成であったため、精度の良いモデルに至っておらず、様々な気象条件下で精度の高い冬期ハウスの飽差気温モデルが望まれる。

本研究では、ボイラーが稼働する冬期において、窓開度によるモデル予測制御器を向上させるため、1カ月間程度の環境データを用いて、部分空間法によるモデル作成を実施した。また、窓の開閉が発生する日中の精度を重視し、モデル作成に用いるデータ期間を①夜間と日中、②日中、③日中晴れ、④日中雨曇り、のように区別して、異なる4つのモデルを作成して、比較評価した。

## 2. 実験環境

### 2.1 冬期ビニールハウス計測環境の概要

本研究では、高知県安芸郡芸西村にあるピーマンのビニールハウス施設において、2018年12月から翌1月に計測を行った。図1(a)に示すように、ハウスの形状は幅5.5 m、奥行16 m、高さ3.4 mのカマボコ形である。ハウス内の気温が15℃を下回ると、図1(b)に示すボイラーが稼働する。ハウスの自動窓開閉装置は、モータによるビニールの巻上げによって天窓が開閉され、気温制御を行う。ピーマンの生育適温は昼温27~28℃であるため、制御周期90秒で、目標値28℃に対する差に比例した窓開け量となっている。センサ類は、図1(c)の温湿度センサ(GS-TH)をハウス内外の通風筒内に設置し、図1(d)のハウス内照度センサ(GS-LXUV)を日当たりの良い場所に取り付けている。図1(e)の窓開度センサとしては、巻上げ式天窓にポテンショメータを設置して窓開度を電圧センサ(GS-4VT)により計測する。データロガーとしては、GRAPHTECのGL100によりサンプリングタイム1分で記録する。



図1 ビニールハウスと各種センサ類の外観

## 2.2 環境計測データと天気情報

2018年12月6日6：00から2019年1月12日24：00にビニールハウスで計測した環境データと、高知県の1日毎の天気情報<sup>5)</sup>を図2に示す。ハウス外気温は日によって最低気温が10℃を超え、最高気温が20℃程度まで達する日があるが、寒い時期には、最低気温が0℃程度で、最高気温も10℃程度まで下がる日があり、典型的な晩秋から冬期の気温変化が見られている。ハウス内では、夜間（主に16：00～8：00）はボイラーによって15℃を下回らないように、日中（主に8：00～16：00）は自動窓開閉器により28℃を上回らないように制御している。ボイラー稼働時には、ボイラーの

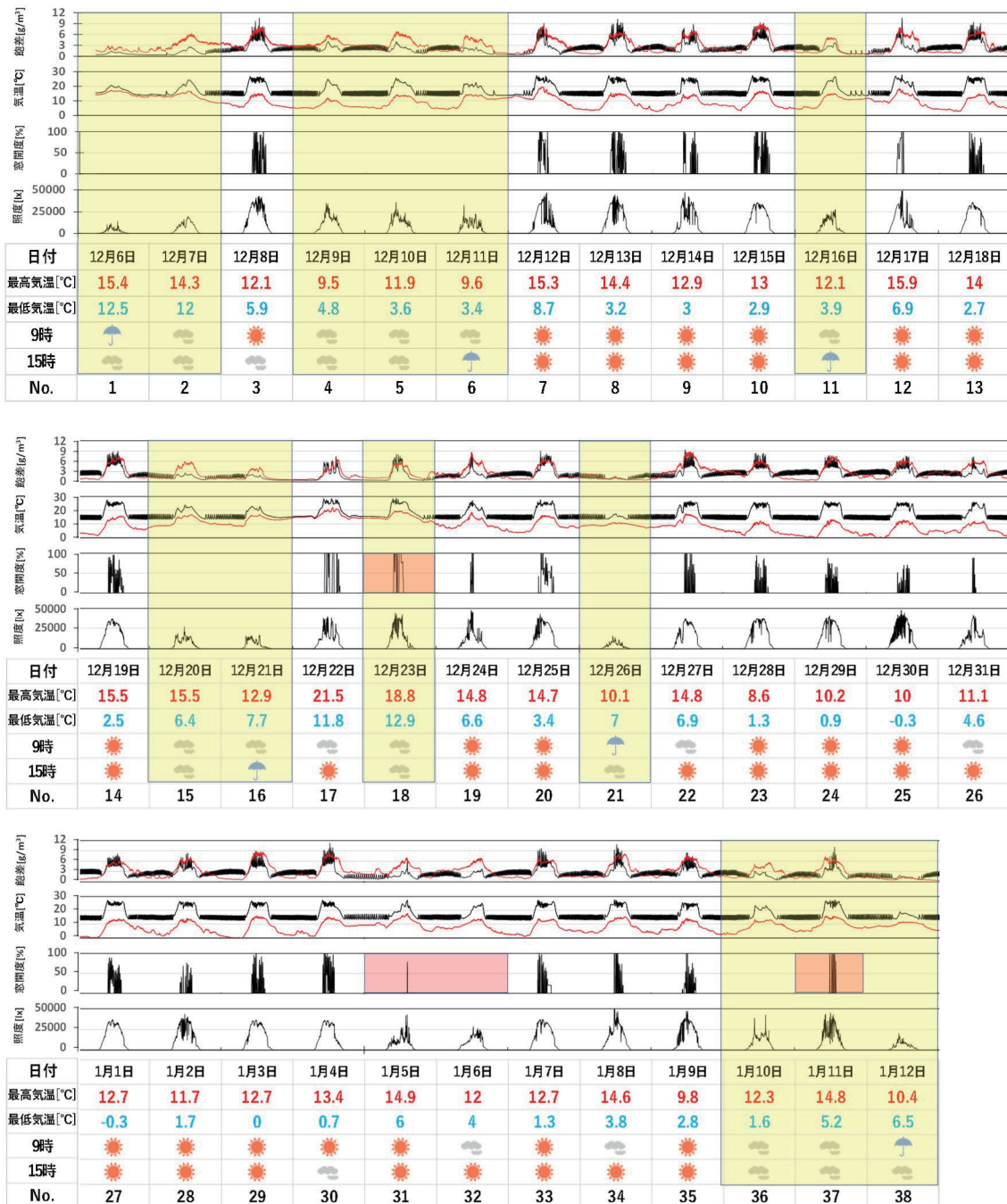


図2 2018年12月6日～2019年1月12日のハウス内外の計測データ、最高最低気温と高知県の天気<sup>5)</sup>（グラフの黒線はハウス内、赤線はハウス外データ）



断続的なオンオフのために、ハウス内気温は温度幅を持った一定の変化を示しており、冬期の夜間は、ほぼ毎晩ボイラーが稼働している状態である。ハウス内飽差はハウス外飽差よりやや小さいが、日中  $6 \text{ g/m}^3$  を超える日があり、ピーマンの生育不良が懸念される。黄色でマスキングした雨曇りの日には、基本的には窓開度の変化がなく、窓が閉じた状態である。ただし、窓開度を赤色でマスキングした日は、曇りにもかかわらず、照度が高く、日中に窓の自動開閉が行われた日である。黄色のマスキングのない晴れの日には、日中に窓開度の変化があり、ハウス内気温が高くなったために、窓の開閉が行われた日である。ただし、窓開度を赤色でマスキングした日は、晴れにもかかわらず、照度が低く、窓開閉がほとんどなかった日である。冬期の天気の状態と窓開度には、一定の関係があるが、例外も含まれることが確認できた。

### 3. ハウス内飽差気温モデル

#### 3.1 モデルの概要

離散時間系の線形状態空間モデルを (1) 式として設定する<sup>3)</sup>。

$$\begin{cases} \mathbf{x}(k+1) = \mathbf{A}\mathbf{x}(k) + \mathbf{B}\mathbf{u}(k) \\ \mathbf{y}(k) = \mathbf{C}\mathbf{x}(k) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{u}$  は入力、 $\mathbf{y}$  は出力、 $\mathbf{x}$  は状態変数である。ハウス内飽差気温モデルを作成するため、サンプリングタイム 1 分の (2) 式のデータを入出力データとする。

$$\begin{cases} \mathbf{u} = [\text{ハウス外飽差} \quad \text{ハウス外気温} \quad \text{ハウス内照度} \quad \text{窓開度}]^T \\ \mathbf{y} = [\text{ハウス内飽差} \quad \text{ハウス内気温}]^T \end{cases} \quad (2)$$

入出力データは、飽差・照度・窓開度の基準値が 0、気温の基準値が  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  の変位データとする。ハウス内気温はボイラー設定温度の  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  が実質的に最低温度となるためである。状態変数  $\mathbf{x}$  の次数は 6 次として、(2) 式の入出力データから、部分空間法 (N4SID法)<sup>6)</sup> により  $\mathbf{A}$ 、 $\mathbf{B}$ 、 $\mathbf{C}$  の行列を求めることで、6 次の数値モデルを作成する。モデル評価においては、(3) 式の Fit 率と (4) 式の RMSE (Root Mean Squared Error) を使用した。

$$\text{Fit 率 [\%]} = \left( 1 - \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^N \{y(k) - \hat{y}(k)\}^2}}{\sqrt{\sum_{k=1}^N \{y(k) - \bar{y}\}^2}} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \{y(k) - \hat{y}(k)\}^2} \quad (4)$$

ここで  $\bar{y}$  は実測値  $y$  の平均値、 $\hat{y}$  はモデル出力値、 $k$  はサンプル時間毎のステップ数、 $N$  はデータ数である。(3) 式の右辺第 2 項は、RMSE を測定値の標準偏差で規格化した NRMSE (Normalized RMSE) である。

#### 3.2 モデルの作成

作成するモデルは、窓開度を用いたモデル予測制御器に使用するため、ハウス内飽差と気温が日中の窓開閉に対する動特性をもつことが求められる。そのため、ボイラーが稼働する夜間 (おおよそ  $16:00 \sim 8:00$ ) のデータをモデルに含む必要はない。また、雨曇りの日はハウス内気温が上が

らず、窓を開ける必要がないことが多いため、晴れの日と雨曇りの日を区別してモデルを作成することが考えられる。その場合、将来的には、天気予報を利用して、モデルを使い分けることが可能となる。以上を踏まえて、4種類の期間を抜き出したデータセットを用いてモデルを作成し、①夜間日中モデル、②日中モデル、③日中晴れモデル、④日中雨曇りモデル、とした。モデル作成期間は図2のNo. 1～30までの30日間で、夜間は16:00から翌8:00、日中は8:00から16:00とし、過去の天気実績を用いた。

図3に、モデル作成に使用したデータ期間に対して、実測値とモデル出力値を示す。全体的にモデル出力値は実測値とよく合っているが、①の夜間における飽差および気温や、①②③の晴れの日中における気温で差が見られた。ただし、夜間の実測値はボイラー稼働のため変動幅が大きいのが、モデル出力値は実測値の平均値程度を捉えており、最適化されているように見える。気温の差に関しては、No.17, 18の日中の気温が最も大きく、実測値に対してモデル出力値は4℃程度低い。モデル作成期間全体に対するFit率は、飽差で63.7～74.0%、気温で53.1～76.5%であり、モデル出力値は実測値の傾向を大まかには掴んでいる。モデル毎のFit率に関しては、飽差で④>②>③>①、気温で④>①>②>③となっている。飽差・気温ともに④日中雨曇りモデルのFit率が高いが、飽差では①夜間日中モデルのFit率が低く、気温に関しては、③の日中晴れモデルのFit率が低い。モデル作成期間全体に対するRMSEは、飽差で0.29～0.59 g/m<sup>3</sup>、気温で0.78～1.53℃である。モデル毎のRMSEに関しては、飽差で④<②<①<③、気温で④<①<②<③となっており、飽差・気温ともに

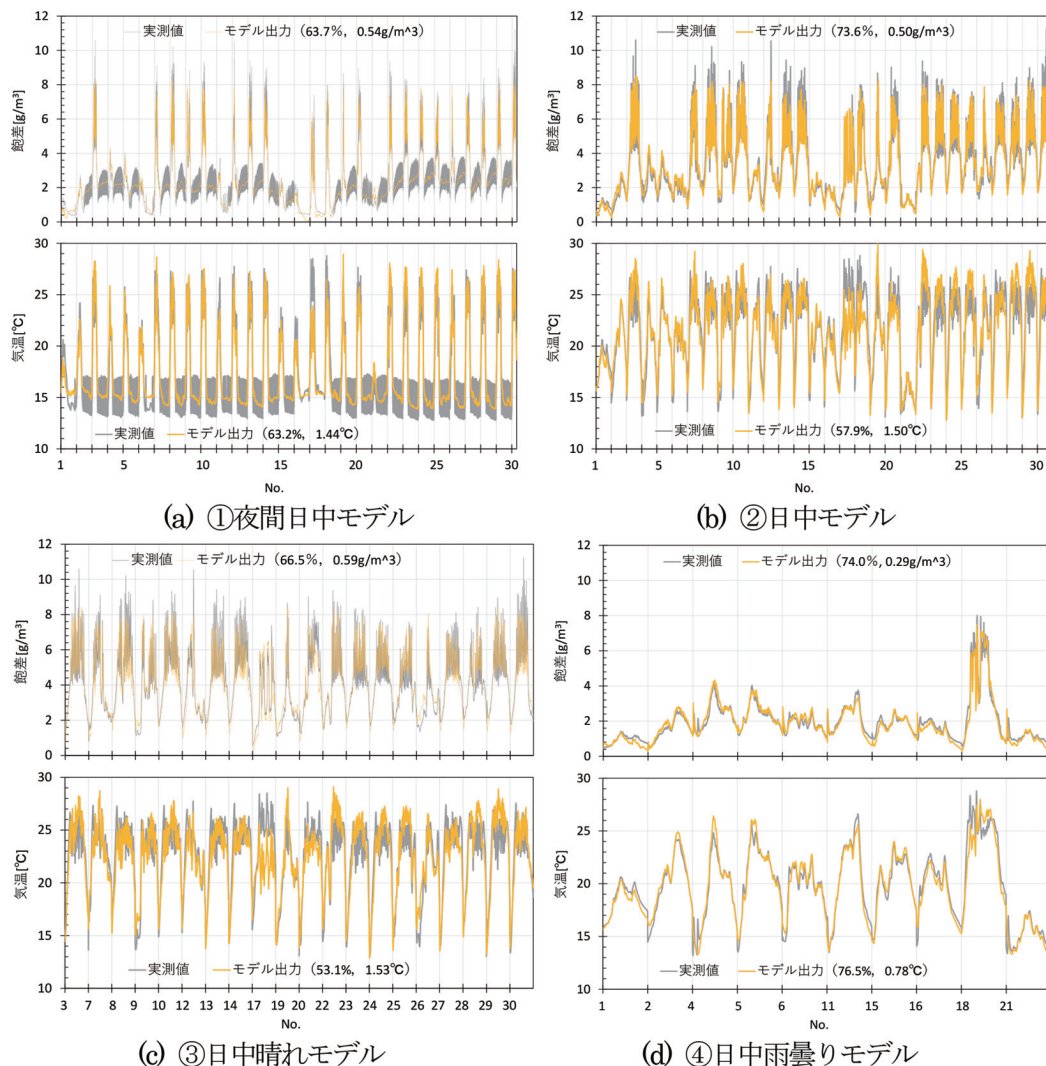


図3 4種類のデータセット毎の飽差・気温のモデル評価 (Fit率およびRMSE)

④の雨曇りモデルのRMSEが小さく、③の日中晴れモデルのRMSEが大きい。④の雨曇りモデルと③の日中晴れモデルの差は、日中のハウス内照度と窓開度が小さい④と大きい③の差であり、照度と窓開度が小さい場合はモデルが適合しやすく、大きい場合はモデルが適合しにくいことを示している。

次に、対象としている日中8:00~16:00の時間帯に対して、1日毎のモデルFit率とRMSEを確認した。図4で、Fit率は50%を下回る日が複数あり、全体的に①夜間日中モデルで低く、②日中モデルと③④の天気別モデルでは、日によって優劣があるが、平均的には③④の天気別モデルが若干上回っている。ただし、特に飽差のFit率が低い日(No. 1, 6, 16, 21)は、飽差の日変化が小さい(図2参照)。Fit率は、(4)式に示すように、実測値の平均からの変位で規格化しているため、日変化が小さい場合、同じ飽差の差であっても、Fit率が悪くなる。窓開度制御する際に重要なのは、飽差や気温の基準となる値からの差であり、RMSEに相当する。そこで、モデル出力値のRMSEを確認すると、全体的には飽差で $1 \text{ g/m}^3$ 以下、気温で概ね $2 \text{ }^\circ\text{C}$ 以内で一部 $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 程度となっている。圃場で求められる測定精度としては飽差 $0.5 \text{ g/m}^3$ 程度や気温 $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 程度以下であるが、モデル予測制御では、現在の実測値とモデル出力値との差を考慮しつつ、予測値を時々刻々と修正しつつ制御を行うため、日中を通して飽差 $1 \text{ g/m}^3$ 程度や気温 $1 \sim 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 程度の誤差のモデルは十分利用できる。飽差でのモデル毎の差に関しては、④雨曇りモデルでRMSEが低く、①夜間日中モデルでRMSEが高い。②日中モデルと③日中晴れモデルでは、日によって優劣が変化する。気温に関しては、No.17とNo.18を除き、RMSEは $2 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下で、予測制御に十分利用できる。モデル毎の差に関しては、④雨曇りモデルでRMSEが低く、①夜間日中モデルでRMSEが高い。②日中モデルの方が、③日中晴れモデルに比べるとややRMSEが低く、気温に対しては、天気別モデルの方が良い。No.17とNo.18は、ハウス外気温が $18 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上と最も高く、ハウス内外での気温差が $10 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下程度と小さかったため、窓開度によるハウス内気温を下げる効果が小さくなり、平均化されたモデル出力値と実測値が適合しなかったと考えられる。

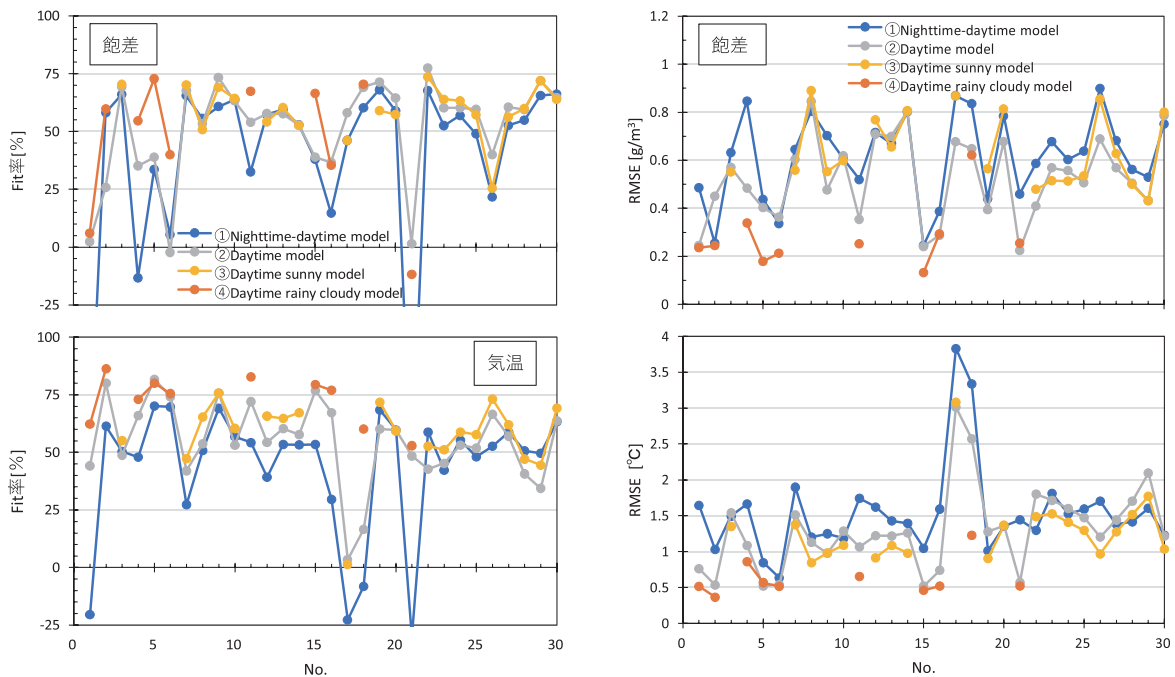


図4 モデル作成期間の各日8:00~16:00におけるモデル出力値のFit率(左)とRMSE(右)(青線:①夜間日中モデル, 灰線:②日中モデル, 黄線:③日中晴れモデル, 橙線:④日中雨曇りモデル)

### 3.3 モデルの評価

モデル評価期間を、モデル作成に利用しなかった8日間(図2のNo.31~38まで)として、日中8:00~16:00の時間帯に対して、1日毎のモデルFit率とRMSEを図5に示す。図4と同様に、Fit率は50%を下回る日が複数あるが、RMSEの値は飽差で $1 \text{ g/m}^3$ 以下、気温で概ね $2 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下であり、予測制御に用いるモデルとしては十分な精度である。冬期の飽差や気温は1日当たりの変化幅が小さく、モデル評価には、Fit率よりRMSEを用いる方が妥当であることが再確認できた。飽差のRMSEでは、④日中雨曇りモデルは③日中晴れモデルより優位であり、②日中モデルはその間の値となっている。気温のRMSEでは、③日中晴れモデルは④日中雨曇りモデルより優位であり、②日中モデルは③日中晴れモデルに近いがやや値が大きい。

次に、RMSEの値が特に大きかった日のモデル評価を確認する。飽差のRMSEが $1 \text{ g/m}^3$ 程度と最も高かったNo.32と、気温のRMSEが $2 \text{ }^\circ\text{C}$ 程度と最も高かったNo.35のモデル評価を図6に示す。実測値に見られる20分周期程度の飽差と気温の大きな上下変動は、8:00~9:00がボイラーの影響であり、No.35の10:30~15:10の変動は自動窓開閉器の影響である。ボイラーは、モデル作成期間では8:00までに稼働を停止していることが多かったが、季節進行によりモデル評価期間では9:00まで稼働することがあった。No.32の飽差は最大でも $4 \text{ g/m}^3$ 以内であり、飽差のRMSEは $1 \text{ g/m}^3$ 以下である。RMSEが大きくなる原因としては、朝方のボイラー効果による初期値の影響で午前中の予測値が実測値とずれているためである。No.35の気温では、朝方のボイラーと正午から午後にかけての自動窓開閉器の効果により、実測値が変動している。図2で示したように、この日は最高気温が $10 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下と低かったため、モデルの推定値よりもハウス内気温が上がらず、RMSEが $2 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上に大きくなったと考えられる。

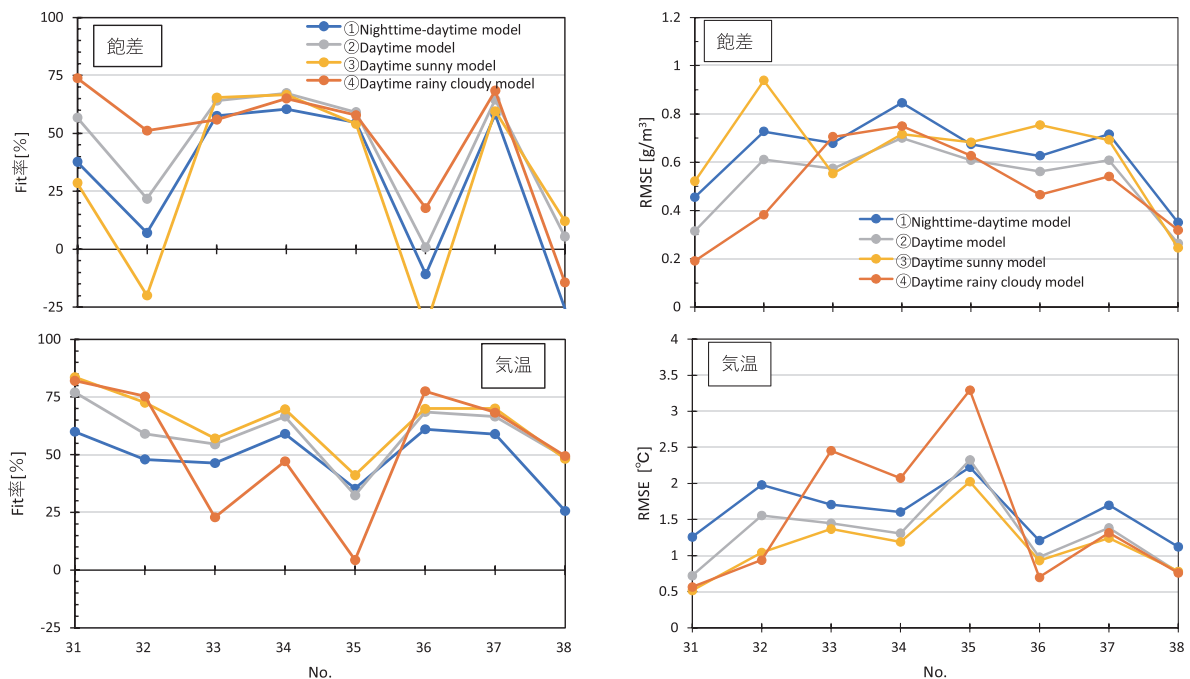


図5 モデル評価期間の各日8:00~16:00におけるモデル出力のFit率(左)とRMSE(右)(青線:①夜間日中モデル, 灰線:②日中モデル, 黄線:③日中晴れモデル, 橙線:④日中雨曇りモデル)



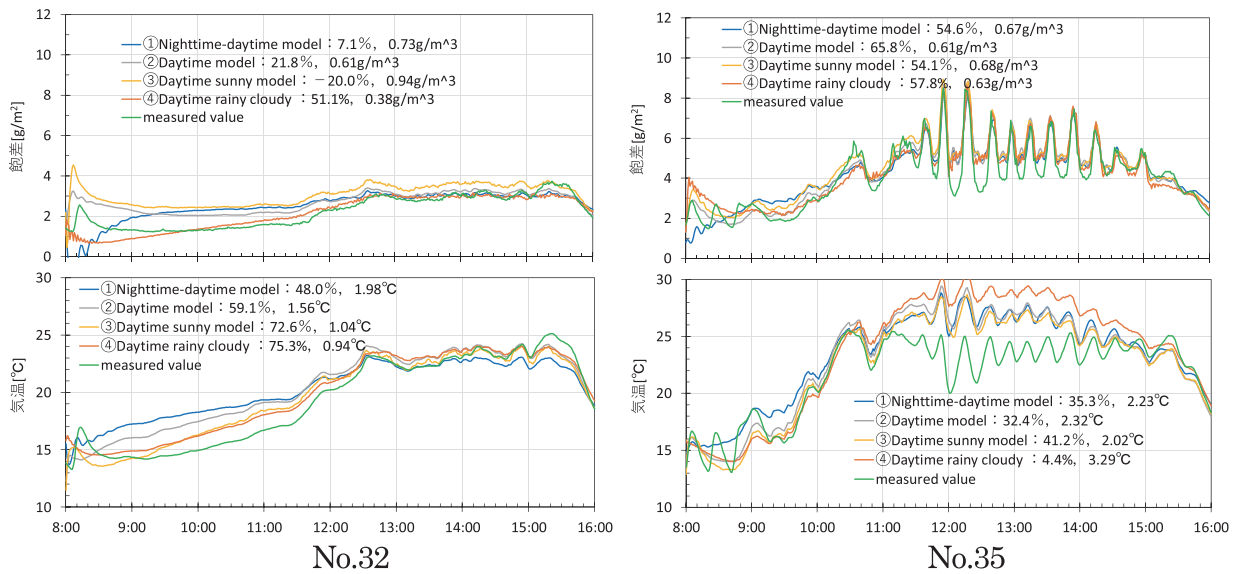


図6 モデル評価におけるRMSEが最大の日の例：飽差 (No.32) と気温 (No.35)

最後に、評価期間におけるモデル評価の平均値と標準偏差を表1に示す。③④天気別は、晴れの日には③日中晴れモデルを、雨曇りの日には④日中雨曇りモデルを適用して統合した結果である。全モデルに対するFit率の平均は、飽差は43%以下とかなり低く、気温も65%以下と決して高くない。一方でRMSEの平均値は、飽差が0.63 g/m³以下、気温が1.6 °C以下と、十分な精度である。RMSEで評価すると、飽差では②日中モデルが良く、気温では③④天気別モデルが良かった。天気別モデルが高い評価とならなかったのは、③晴れの日モデルのRMSEが大きかったためである。ただし、④雨曇りモデルは、飽差と気温ともにRMSEが小さく、モデル作成時の学習データが適切であれば、天気毎のモデル評価の方が良くなる可能性があると考えている。

表1 評価期間におけるモデル評価の平均値と標準偏差 (①夜間日中モデル, ②日中モデル, ③日中晴れモデル, ④日中雨曇りモデル)

モデル評価	飽差		気温	
	Fit率[%]	RMSE[g/m³]	Fit率[%]	RMSE[°C]
	平均±標準偏差	平均±標準偏差	平均±標準偏差	平均±標準偏差
①	29.9±32.4	0.63±0.15	49.3±12.3	1.6±0.36
②	42.5±26.4	0.53±0.15	59.2±13.0	1.3±0.48
③④天気別*	33.3±33.9	0.59±0.17	64.9±13.5	1.1±0.45
③晴れ日	39.0±32.5	0.68±0.15	64.8±14.5	1.2±0.49
④雨曇り日	24.0±34.0	0.44±0.09	65.1±11.6	0.9±0.28

\*③④天気別：晴れの日No.31～35に③日中晴れモデルを、雨曇りの日No.36～38に④日中雨曇りモデルを適用して統合した評価



### 3.4 モデル予測制御器への適用に関する考察

作成されたモデルは、窓開度によるモデル予測制御器として利用されることを想定している。先行研究<sup>3)</sup>では、マイナスのFit率となるような日でも、窓開度に対する動特性をもつモデルであれば、15分間先の出力予測により、目標飽差 $4.5 \text{ g/m}^3$ 、目標最大飽差 $6 \text{ g/m}^3$ 、目標気温 $27 \text{ }^\circ\text{C}$ を達成するようなモデル予測制御が窓開度により実現可能であることが示されている。今回作成したモデルをモデル予測制御器に適用した場合、飽差のFit率が低かったNo.32でも、RMSEは飽差 $1 \text{ g/m}^3$ 以下の許容範囲であるため、先行研究と同様にモデル予測制御が適切に働くことが期待される。また、気温のRMSEが大きかったNo.35では、定常的な差はあるものの、窓開度により飽差と気温が上下するタイミングは同期しているため、ハウス内飽差と気温が日中の窓開閉に対する動特性をもつモデルになっている。いずれのモデルを使用しても、目標最大飽差以下で、目標気温を維持するモデル予測制御は可能であると考えている。制御の精度を最も良くするためには、基本的には天気予報に応じて③日中晴れモデルと④日中雨曇りを使い分けるのが良い。ただし、晴れの日窓が開かない日があった場合、③の性能は②日中モデルよりも悪くなる。しかし、自動窓開閉器の窓が開かない日は、ハウス内の気温が目標気温より低い場合、ハウス内飽差が低く抑えられており、モデル予測制御による窓開閉器でも窓が開かない日となる。よって、窓開度によるモデル予測制御のためには、天気別モデルで十分であると考えられる。

## 4. まとめ

本研究では、ボイラーが稼働する冬期のビニールハウス施設において、窓開度によるモデル予測制御器の向上を目指すため、日中8:00~16:00の飽差・気温モデルの作成に取り組んだ。ハウス内外の30日間の環境データを活用して、部分空間法により「①夜間日中モデル」「②日中モデル」「③日中晴れモデル」「④日中雨曇りモデル」の4モデルを作成し、評価期間8日間で各モデルを比較評価した。

結果として、評価期間での全モデル出力に対するFit率の平均は、飽差が43%以下、気温が65%以下と低かったが、RMSEの平均値は、飽差が $0.63 \text{ g/m}^3$ 以下、気温が $1.6 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下になるなど十分な精度であった。冬期のように飽差や気温の1日あたりの振れ幅が小さい場合には、Fit率よりもRMSEで評価することが適切であることが示唆された。先行研究を考慮すると、本手法によるモデル作成は、冬期の窓開閉制御の予測モデルとして十分な性能である。

4モデルの違いに関して、各モデル出力に対するRMSEの平均値は、飽差では① $0.63 \pm 0.15 \text{ g/m}^3$ 、② $0.53 \pm 0.15 \text{ g/m}^3$ 、天気別モデルの③④ $0.59 \pm 0.17 \text{ g/m}^3$ となり、②の日中モデルが最も精度が良かった。気温では、① $1.6 \pm 0.36 \text{ }^\circ\text{C}$ 、② $1.3 \pm 0.48 \text{ }^\circ\text{C}$ 、天気別モデルの③④ $1.1 \pm 0.45 \text{ }^\circ\text{C}$ となり、③④天気別モデルが最も精度が良かった。本作成モデルで最大精度を出すためには、飽差は「②日中モデル」、気温は「③日中晴れモデル」と「④日中雨曇りモデル」を天気を使い分けると良い。今回は天気実績を利用して評価したが、将来的には天気予報を利用したモデル選択が有効であると考えている。

## 謝 辞

ビニールハウス施設の利用に関しては、高知工科大学 岡宏一教授、高知県立高知工業高等学校 北村晋助校長とお母様の北村康子氏に大変お世話になりました。深く御礼を申し上げます。

本研究はJSPS 科研費20K06332の助成を受けたものです。

### 参考文献

- 1) 高倉直, 相対湿度でなくなぜ飽差による制御なのか, 農業および園芸, 89(1), 40-43, 2014
- 2) K. Ito, and T. Tabei, Model predictive temperature and humidity control of greenhouse with ventilation, *Procedia Computer Science*, 192, 212-221, 2021
- 3) 中山信, 高田拓, 木村竜士, 岡宏一, 2変数入力のシステム同定法によるビニールハウス内の気温・飽差モデル—春秋期におけるモデルの短期間構築と評価—, 農業情報研究, 30(1), 1-12, 2021
- 4) 中山信, 中脇匠悟, 木村竜士, 大角理人, 高田拓, モデル予測制御器を用いた窓開度によるビニールハウス内飽差気温制御: モデル化誤差の異なるモデルに対する検証, 高知工業高等専門学校学術紀要, 67, 25-34, 2022
- 5) 過去の天気 - goo天気, <https://weather.goo.ne.jp/past/>, 2022年10月25日参照
- 6) 足立修一, *Matlab* による制御のための上級システム同定, 東京電機大学出版局, 2004

受理日: 2022年11月9日

## Preparation of dense SnO<sub>2</sub>-based ceramics by Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> addition

Masahiro YASUKAWA<sup>\*1</sup> and Naoya MATSUOKA<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> *Department of Social Design Engineering, National Institute of Technology, Kochi College, 200-1 Monobe, Nankoku 783-8508, Japan*

<sup>\*2</sup> *Department of Materials Science and Engineering, National Institute of Technology, Kochi College, 200-1 Monobe, Nankoku 783-8508, Japan*

### Abstract

Dense SnO<sub>2</sub>-based ceramics have been prepared by firing Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-added SnO<sub>2</sub> compacts with atomic ratio  $x = \text{Fe}/(\text{Sn}+\text{Fe}) = 0.005 - 0.10$  at 1673 K. The densification is remarkably promoted even with the addition of a small amount of  $x = 0.005$ . The XRD results suggest that Fe<sup>3+</sup> ions are doped into Sn<sup>4+</sup> sites of the rutile-type structure, forming oxygen vacancies due to charge compensation. The oxygen vacancies promote material migration and coalescence of the particles, leading to the grain growth and densification. Co-additions with Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and M<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (M = Nb, Sb, Ta) have also been performed to explore preparation of electroconductive and dense SnO<sub>2</sub>-based ceramics for targeted compositions of Sn<sub>0.98-y</sub>Fe<sub>0.02</sub>M<sub>y</sub>O<sub>2</sub> with  $y = 0.00 - 0.04$ . The co-additions with  $y < 0.02$  lead to dense and insulating ceramics by firing at 1673 K while those with  $y \geq 0.02$  lead to non-densified bulks. These results can be explained by charge compensation between Fe<sup>3+</sup> and M<sup>5+</sup> (M = Nb, Sb, Ta) ions co-doped into the Sn<sup>4+</sup> sites of the rutile-type structure.

### 1. Introduction

Tin dioxide, SnO<sub>2</sub>, is a wide-gap insulator with a rutile-type structure and becomes an n-type conductor when oxygen vacancies or doped pentavalent cations such as Sb<sup>5+</sup> are included in the structure [1]. The SnO<sub>2</sub>-based semiconducting materials are widely used as transparent conducting films or porous gas sensors. The ceramic form has been expected for applications to electrodes, varistors, or thermoelectric materials at high temperatures as described below.

It is well known that pure SnO<sub>2</sub> powder is hard to be densified by normal firing method. Various SnO<sub>2</sub>-based ceramics were prepared by firing with an additive such as CuO [2-5], CoO [6-13], MnO<sub>2</sub> [7], and ZnO [14] as a sintering agent for applications to electrodes or varistors. Several ceramics were also prepared by co-addition of CoO and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [15, 16] or ZnO and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [17]. The densification was promoted by a liquid phase formed during the firing with CuO [2-5] or by oxygen vacancies formed due to charge compensation when the Sn<sup>4+</sup> sites were doped with lower valency cations such as Co<sup>2+</sup> [6, 7, 9, 12], Mn<sup>2+</sup> [7], Zn<sup>2+</sup> [14], or Fe<sup>3+</sup> together with Co<sup>2+</sup> [16] or Zn<sup>2+</sup> [17]. To investigate the thermoelectric properties [18-24], several SnO<sub>2</sub>-

---

<sup>\*1</sup> Corresponding author.

<sup>\*2</sup> Graduated in 2020.

based ceramics were prepared by spark plasma sintering (SPS) method [21-23] or by firing with an additive CuO as a sintering agent [24]. The SPS method is effective for rapid preparation of dense ceramics but it needs the exclusive equipment.

On the other hand, the firing of compacts with a sintering agent is a simple and convenient method to prepare dense ceramics. As described above, although several additives were used as sintering agents to prepare dense SnO<sub>2</sub>-based ceramics, use of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as a single additive has not been reported. Since Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is a common oxide and easily handled, it is worth investigating the effect of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as a single additive to prepare dense SnO<sub>2</sub>-based ceramics. Chemani *et al.* [25] reported the influence of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> additive on the microstructural development of SnO<sub>2</sub>, but dense SnO<sub>2</sub>-based ceramics were not prepared owing to lower firing temperatures of 1273 K – 1473 K.

In this study, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-added SnO<sub>2</sub> compacts have been fired at high temperatures of 1473 K – 1673 K to investigate the densification of the samples. It is reported that the firing with Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> addition brings about doping of Fe<sup>3+</sup> ions into Sn<sup>4+</sup> sites of the rutile-type structure to form oxygen vacancies due to charge compensation and leads to grain growth and densification of the compacts. Co-additions with Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and M<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (M = Nb, Sb, Ta) have also been performed aiming to prepare electroconductive and dense SnO<sub>2</sub>-based ceramics.

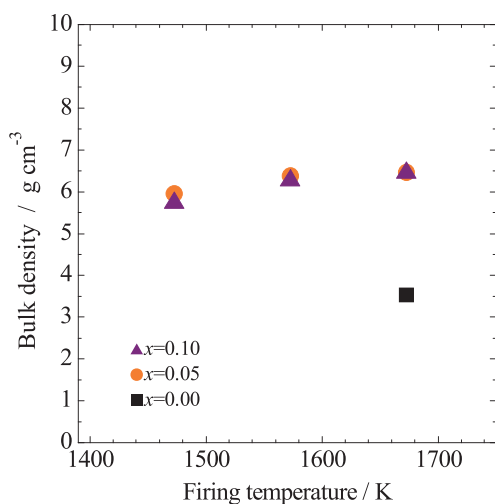
## 2. Experiments

Powder reagents of SnO<sub>2</sub> (purity ≥ 99.9 %, Kojundo chemical), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (purity ≥ 99.9 %, Wako Pure Chemical), Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (purity ≥ 99.9 %, Wako Pure Chemical), Sb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (purity ≥ 99.9 %, Kojundo chemical), and Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (purity ≥ 99.9 %, Wako Pure Chemical) were used. For preparation of Sn<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>O<sub>2</sub>, the SnO<sub>2</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powders were weighed stoichiometrically with  $x = 0.00, 0.001, 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.05,$  and  $0.10,$  and mixed thoroughly with a small amount of ethanol in an agate mortar. The mixed powder was dried and molded into a cylinder with 5 mm or 15 mm in diameter. Each compact was fired at 1473 K – 1673 K for 1 h in air-flow on an alumina boat. For preparation of Sn<sub>0.98-y</sub>Fe<sub>0.02</sub>M<sub>y</sub>O<sub>2</sub> (M = Nb, Sb, Ta), the SnO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and M<sub>2</sub>O<sub>5</sub> powders were weighed stoichiometrically with  $y = 0.00, 0.01, 0.02, 0.03,$  and  $0.04,$  and mixed thoroughly with a small amount of ethanol in an agate mortar. The mixed powder was dried and molded into a cylinder with 5 mm in diameter, and each compact was fired at 1673 K for 1 h in air-flow on an alumina boat.

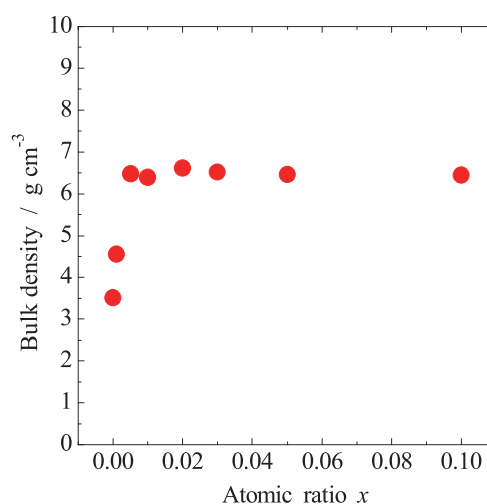
The bulk density of the fired samples was estimated from the weight and the volume which was calculated from the diameter and the height. The microstructure for the fractured surface of the fired samples was observed by scanning electron microscopy (SEM; JEOL, JSM-6610LA). The fractured samples were washed in deionized water using an ultrasonic washer to remove debris and dried before the SEM observations. The crystalline phases in the fired samples were identified by powder X-ray diffraction (XRD) measurements with CuK $\alpha$  radiation (Rigaku, RINT-Ultima III), and the lattice parameters  $a$  and  $c$  of the rutile-type structure were calculated by the least-squares method using the observed diffraction angles. The electrical resistance for the fired samples was measured between two points with a distance of about 1 mm using a multimeter (Custom Corporation, CDM-03D).

### 3. Results and discussion

Figure 1 shows firing temperature dependence of the bulk density for the Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-added SnO<sub>2</sub> samples with  $x = 0.00, 0.05, \text{ and } 0.10$ . The Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-added samples with  $x = 0.05$  and  $0.10$  are densified by firing at each temperature between 1473 K and 1673 K, and the bulk density becomes higher with increasing firing temperature. On the other hand, the pure SnO<sub>2</sub> compact without Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> addition is not densified by firing at 1673 K and the relative density after the firing is about 50 % for the theoretical density ( $7.01 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) [26]. Any weight loss indicating volatilization of the constituent elements is not observed for these samples with  $x = 0.00, 0.05, \text{ and } 0.10$  even after the re-firing at 1673 K for 1 h in air-flow.



**Figure 1** Firing temperature dependence of the bulk density for Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-added SnO<sub>2</sub> samples with atomic ratio  $x = \text{Fe}/(\text{Sn}+\text{Fe}) = 0.00, 0.05, \text{ and } 0.10$ .



**Figure 2** Plots of the bulk density on the atomic ratio  $x = \text{Fe}/(\text{Sn}+\text{Fe})$  for Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-added SnO<sub>2</sub> samples fired at 1673 K for 1 h in air-flow.

Figure 2 shows plots of the bulk density on the atomic ratio  $x$  in the range of  $x = 0.00 - 0.10$  for the Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-added SnO<sub>2</sub> samples fired at 1673 K for 1 h in air-flow. The samples with  $x = 0.005 - 0.10$  are well densified by the firing, exhibiting the bulk densities higher than  $6.3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . It should be noted that the sample even with  $x = 0.005$  is well densified by the firing, but that with  $x = 0.001$  is not densified. The color of the densified bodies with  $x = 0.005 - 0.10$  is dark brown, but the pulverized powders are pale grey to dark grey with increasing  $x$ . On the other hand, the colors of the fired bodies with  $x = 0.00$  and  $0.001$  are white and reddish white, respectively. All the fired bodies with  $x = 0.00 - 0.10$  are electrically insulating at room temperature, because the electrical resistances are beyond the detection limit ( $40 \text{ M}\Omega$ ) of the multimeter.

Figure 3 shows SEM images for the fractured surfaces of the samples with  $x = 0.00 - 0.10$  after firing at 1673 K for 1 h in air-flow. The sample with  $x = 0.00$  has a porous and non-densified microstructure consisting of small particles with sub-micrometers to a few micrometers in size, whereas the samples with  $x = 0.005 - 0.10$  have well-densified microstructures consisting of grains with a few micrometers to about 10 micrometers in size. The sample with  $x = 0.001$  is not densified and is porous but consists of grains combined each other. The small holes observed for the samples with  $x = 0.02 - 0.10$  are considered to be traces of Sn-doped Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Fe<sub>2-z</sub>Sn<sub>z</sub>O<sub>3</sub>) particles probably removed by washing using the ultrasonic washer before SEM observations. The Fe<sub>2-z</sub>Sn<sub>z</sub>O<sub>3</sub> phase is confirmed by XRD results described in the next paragraph.



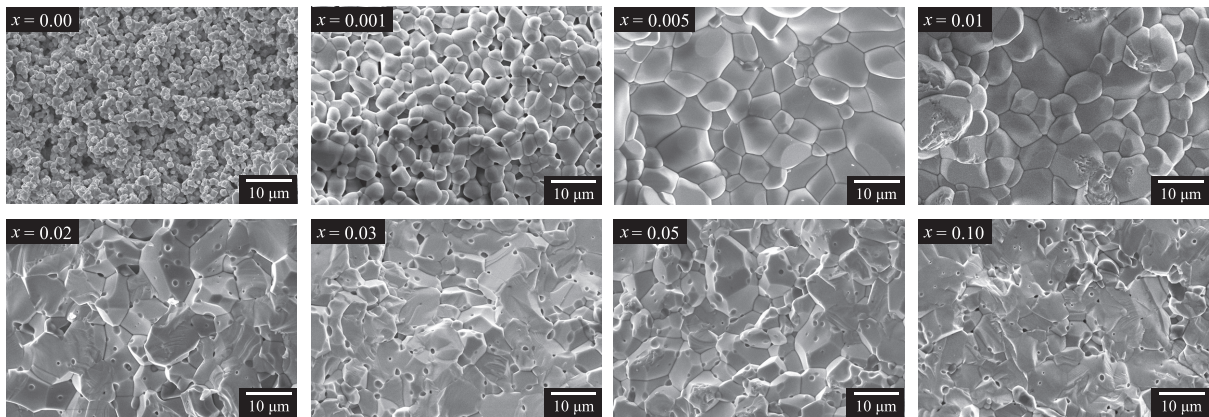


Figure 3 SEM images for the fractured surfaces of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -added  $\text{SnO}_2$  samples with atomic ratio  $x = \text{Fe}/(\text{Sn}+\text{Fe}) = 0.00, 0.001, 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.05,$  and  $0.10$  fired at  $1673 \text{ K}$  for  $1 \text{ h}$  in air-flow.

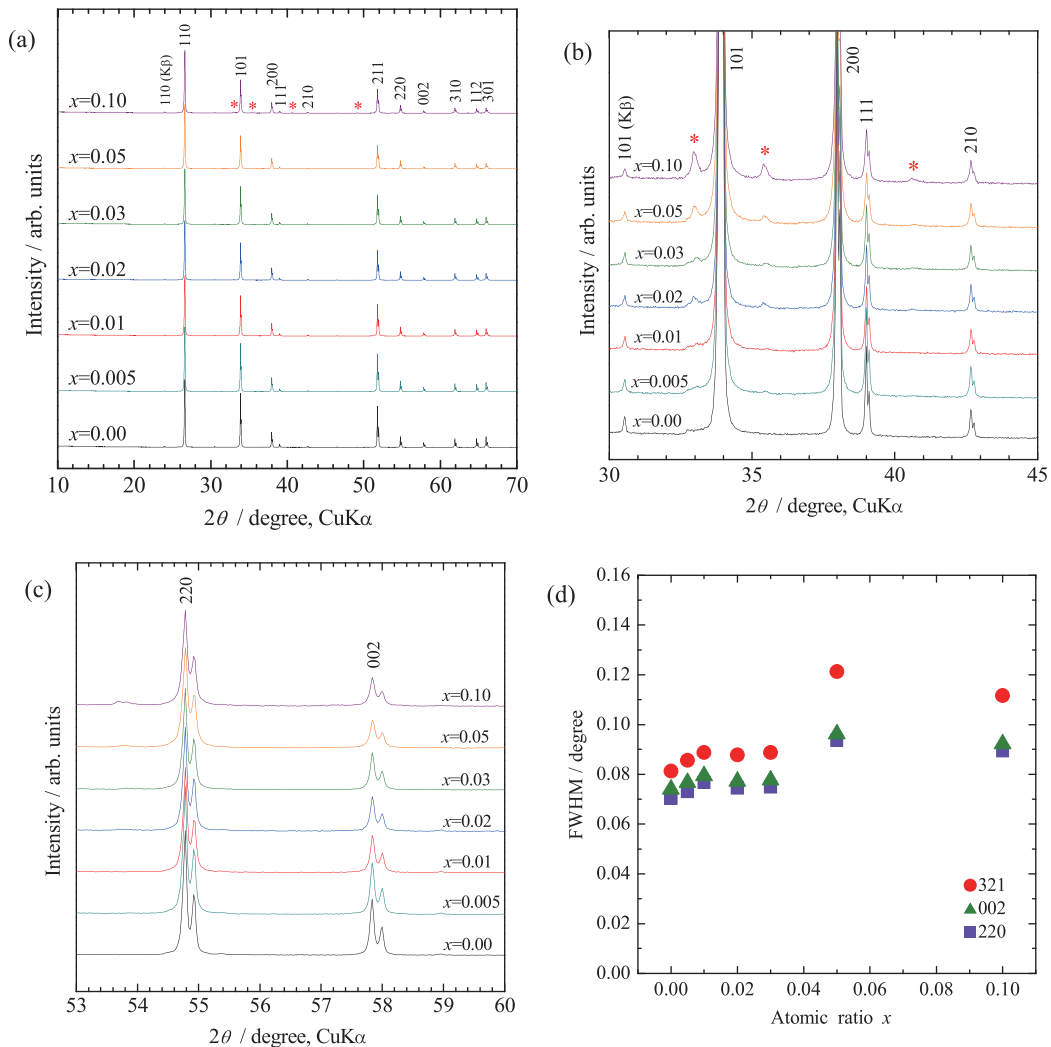
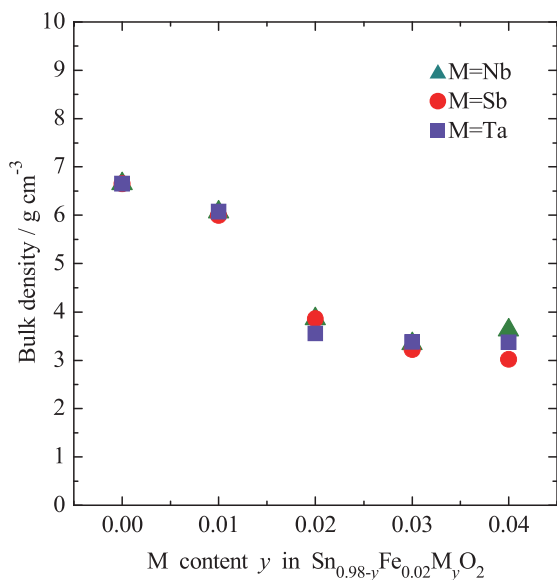


Figure 4 (a) XRD patterns for  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -added  $\text{SnO}_2$  samples with atomic ratio  $x = \text{Fe}/(\text{Sn}+\text{Fe}) = 0.00, 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.05,$  and  $0.10$  fired at  $1673 \text{ K}$  for  $1 \text{ h}$  in air-flow. Asterisks denote diffraction peaks from  $\text{Fe}_{2-z}\text{Sn}_z\text{O}_3$  [27]. (b) Magnification of the XRD patterns to  $2\theta$  range of  $30^\circ - 45^\circ$ . (c) Magnification of the XRD patterns to  $2\theta$  range of  $53^\circ - 60^\circ$ . The indices 220 and 002 denote diffraction peaks from the tetragonal rutile-type structure. (d) Plots of the full width at half maximum (FWHM) for the diffraction peaks 220, 002, and 321 ( $2\theta \sim 78.72^\circ$ ) on the atomic ratio  $x = \text{Fe}/(\text{Sn}+\text{Fe})$ .

Figure 4(a) shows XRD patterns for the samples with  $x = 0.00 - 0.10$  after firing at 1673 K for 1 h in air-flow. All the XRD patterns are indexed with diffraction peaks for the rutile-type SnO<sub>2</sub> [26], but extremely weak peaks from Sn-doped Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Fe<sub>2- $z$</sub> Sn <sub>$z$</sub> O<sub>3</sub>) [27] are additionally observed at the  $2\theta$  angles marked by asterisks for the samples with  $x = 0.02 - 0.10$  as shown in Figure 4(b). This indicates that extremely slight amount of Fe<sub>2- $z$</sub> Sn <sub>$z$</sub> O<sub>3</sub> exists locally as another stable phase besides the main rutile-type phase after the firing. It is supposed that the small holes observed in the SEM images for the samples with  $x = 0.02 - 0.10$  are the traces of small particles of the Fe<sub>2- $z$</sub> Sn <sub>$z$</sub> O<sub>3</sub> phase. The residue of the Fe<sub>2- $z$</sub> Sn <sub>$z$</sub> O<sub>3</sub> phase may be due to rapid densification process during the firing. Figure 4(c) shows a magnification of the XRD patterns to a  $2\theta$  range of  $53^\circ - 60^\circ$ , which exhibits two diffraction peaks 220 and 002 for the rutile-type structure. It should be noted that any peak shifts are not observed for the both diffraction peaks with increasing  $x$  from  $x = 0.00$  to  $x = 0.10$ . Indeed, the calculated lattice parameters  $a$  and  $c$  of the tetragonal rutile-type structure are constant for all the samples with  $x = 0.00 - 0.10$ , indicating  $a = 4.7359(3)$  Å and  $c = 3.1855(3) - 3.1860(3)$  Å, respectively. Although the lattice parameters are constant for all the samples, it is considered that the Fe ions are doped into the rutile-type structure successively with increasing  $x$  because the peak intensities of the Fe<sub>2- $z$</sub> Sn <sub>$z$</sub> O<sub>3</sub> phase are extremely low even for the samples with  $x = 0.05$  and  $0.10$ . Based on the ionic radius [28], it can be considered that the Sn<sup>4+</sup> ions (ionic radius: 0.69 Å) are substituted with Fe<sup>3+</sup> ions with a high spin state (ionic radius: 0.645 Å) rather than Fe<sup>3+</sup> with a low spin state (ionic radius: 0.55 Å). The previous paper on <sup>57</sup>Fe Mössbauer spectra of the rutile-type Sn<sub>0.95</sub>Fe<sub>0.05</sub>O<sub>2</sub> sample fired at 1423 K reported that the Fe ions are doped into the Sn sites as high spin Fe<sup>3+</sup> [29]. Figure 4(d) shows plots of the full width at half maximum (FWHM) for the diffraction peaks 220, 002, and 321 on the atomic ratio  $x$ . Although there is some dispersion for the values, the tendency of the increase in the FWHM with increasing  $x$  may suggest distortion of lattice planes due to doping of the Fe ions into the Sn sites.

The densification mechanism for the Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-added SnO<sub>2</sub> is briefly described in this paragraph. The doping of Fe<sup>3+</sup> ions into the Sn<sup>4+</sup> sites brings about the formation of oxygen vacancies to compensate the lack of positive charges in the structure. The oxygen vacancies formed during the firing promote diffusion of oxide ions and material migration leading to coalescence of the particles and grain growth to densify the Sn<sub>1- $x$</sub> Fe <sub>$x$</sub> O<sub>2</sub> bulks. The similar mechanism was described in the previous papers for the other SnO<sub>2</sub>-based ceramics prepared with a sintering additive such as CoO [6, 7, 9, 12], MnO<sub>2</sub> [7], or ZnO [14] and with two additives such as CoO and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [16] or ZnO and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [17].



**Figure 5** Plots of the bulk density on the M content  $y$  in targeted compositions Sn<sub>0.98- $y$</sub> Fe<sub>0.02</sub>M <sub>$y$</sub> O<sub>2</sub> (M = Nb, Sb, Ta). The samples co-added with Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and M<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (M = Nb, Sb, Ta) were fired at 1673 K for 1 h in air-flow.

In order to explore preparation of electroconductive and dense SnO<sub>2</sub>-based ceramics, co-addition of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and pentavalent metallic oxide of Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Sb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, or Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> to SnO<sub>2</sub> has been performed expecting that the Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and M<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (M = Nb, Sb, Ta) work as the sintering agent and the electron dopant, respectively. Figure 5 shows plots of the bulk density for the samples fired at 1673 K on the M content  $y$  in the targeted compositions of Sn<sub>0.98-y</sub>Fe<sub>0.02</sub>M<sub>y</sub>O<sub>2</sub> (M = Nb, Sb, Ta;  $y = 0.00 - 0.04$ ). It is clearly seen for M = Nb, Sb, Ta that the samples with  $y = 0.00$  and  $0.01$  are densified exhibiting the bulk densities higher than  $6.0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  whereas those with  $y \geq 0.02$  are not densified exhibiting the bulk densities lower than  $3.9 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ . Any weight loss indicating sublimation of the constituent elements is not observed after the re-firing at 1673 K for the fired bodies of M = Nb, Sb, Ta. The electrical resistances measured using the multimeter are beyond the detection limit ( $40 \text{ M}\Omega$ ) for all the fired samples except for Sn<sub>0.98-y</sub>Fe<sub>0.02</sub>Sb<sub>y</sub>O<sub>2</sub> with  $y = 0.03$  and  $0.04$ . The XRD patterns indicate that all the fired samples of M = Nb, Sb, Ta are composed of the rutile-type single phase except for the samples with  $y = 0.03$  and  $0.04$  of M = Ta, which include small amounts of Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> not dissolved in the rutile-type phase. The  $y$  dependence of the bulk density shown in Figure 5 can be explained by charge compensation mechanism between Fe<sup>3+</sup> and M<sup>5+</sup> ions co-doped into the Sn<sup>4+</sup> sites of the rutile-type structure. For the fired samples with  $y = 0.00$  and  $0.01$  of M = Nb, Sb, Ta, oxygen vacancies are generated but electron carriers are not generated because the number of Fe<sup>3+</sup> ions doped in the structure is larger than that of M<sup>5+</sup> ions, leading to the formation of the densified and highly resistive ceramics. For  $y = 0.02$  of M = Nb, Sb, Ta, neither oxygen vacancies nor electron carriers are generated in the structure because the number of doped Fe<sup>3+</sup> ions is equal to that of M<sup>5+</sup> ions, leading to the formation of the non-densified and highly resistive bulks. For  $y > 0.02$  of M = Nb, Sb, Ta, oxygen vacancies are no longer generated, leading to the formation of the non-densified bulks. Therefore, the preparation of electroconductive and dense SnO<sub>2</sub>-based ceramics has not been successful by the present co-additions of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and M<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, owing to charge compensation between Fe<sup>3+</sup> and M<sup>5+</sup> ions doped in the Sn<sup>4+</sup> sites. However, these results are consistent with the aforementioned result that the Fe ions are doped as Fe<sup>3+</sup> in the Sn<sup>4+</sup> sites forming oxygen vacancies, leading to the densification of the Fe-doped SnO<sub>2</sub>.

#### 4. Conclusions

Dense SnO<sub>2</sub>-based ceramics have been prepared by firing Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-added SnO<sub>2</sub> compacts with atomic ratio  $x = \text{Fe}/(\text{Sn}+\text{Fe}) = 0.005 - 0.10$  at 1673 K for 1 h in air-flow. The successive doping of Fe<sup>3+</sup> ions into the Sn<sup>4+</sup> sites of the rutile-type structure with increasing  $x$  has been deduced on the basis of the XRD patterns, the FWHM of the diffraction peaks, and the comparison of the ionic radii. The doping of Fe<sup>3+</sup> ions into the Sn<sup>4+</sup> sites results in oxygen vacancies to compensate the lack of positive charges in the structure, and the oxygen vacancies promote diffusion of oxide ions and material migration, leading to coalescence of particles, grain growth, and densification of the fired bodies. The firing of SnO<sub>2</sub> compacts co-added with Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and M<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (M = Nb, Sb, Ta) also brings about charge compensation between Fe<sup>3+</sup> and M<sup>5+</sup> (M = Nb, Sb, Ta) doped in the rutile-type structure, preventing simultaneous realization of densification and electron doping.

#### Acknowledgments

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.



## References

- [1] P. A. Cox, The electronic structure and chemistry of solids, Oxford University Press Inc., New York, 1987.
- [2] M. Zaharescu, S. Mihaiu, S. Zuca, K. Matiasovsky, Contribution to the study of SnO<sub>2</sub>-based ceramics: Part I High-temperature interactions of tin (IV) oxide with antimony (III) oxide and copper (II) oxide, *J. Mater. Sci.* 26 (1991) 1666 – 1672.
- [3] S. Zuca, M. Terzi, M. Zaharescu, K. Matiasovsky, Contribution to the study of SnO<sub>2</sub>-based ceramics: Part II Effect of various oxide additives on the sintering capacity and electrical conductivity of SnO<sub>2</sub>, *J. Mater. Sci.* 26 (1991) 1673 – 1676.
- [4] N. Dolet, J.-M. Heintz, M. Onillon, J.-P. Bonnet, Densification of 0.99SnO<sub>2</sub>-0.01CuO mixture: Evidence for liquid phase sintering, *J. Eur. Ceram. Soc.* 9 (1992) 19 – 25.
- [5] N. Dolet, J. M. Heintz, L. Rabardel, M. Onillon, J. P. Bonnet, Sintering mechanism of 0.99SnO<sub>2</sub>-0.01CuO mixtures, *J. Mater. Sci.* 30 (1995) 365 – 368.
- [6] S. A. Pianaro, P. R. Bueno, E. Longo, J. A. Varela, A new SnO<sub>2</sub>-based varistor system, *J. Mater. Sci. Lett.* 14 (1995) 692 – 694.
- [7] J. A. Cerri, E. R. Leite, D. Gouvêa, E. Longo, J. A. Varela, Effect of cobalt (II) oxide and manganese (IV) oxide on sintering of tin (IV) oxide, *J. Am. Ceram. Soc.* 79 (1996) 799 – 804.
- [8] S. A. Pianaro, P. R. Bueno, P. Olivi, E. Longo, J. A. Varela, Effect of Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> addition on the microstructure and electrical properties of the SnO<sub>2</sub>·CoO·Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> varistor system, *J. Mater. Sci. Lett.* 16 (1997) 634 – 638.
- [9] J. A. Varela, J. A. Cerri, E. R. Leite, E. Longo, M. Shamsuzzoha, R. C. Bradt, Microstructural evolution during sintering of CoO doped SnO<sub>2</sub> ceramics, *Ceram. Int.* 25 (1999) 253 – 256.
- [10] A. B. Glot, R. Bulpett, A. I. Ivon, P. M. Gallegos-Acevedo, Electrical properties of SnO<sub>2</sub> ceramics for low voltage varistors, *Physica B* 457 (2015) 108 – 112.
- [11] M. Maleki Shahraki, M. A. Bahrevar, S. M. S. Mirghafourian, A. B. Glot, Novel SnO<sub>2</sub> ceramic surge absorbers for low voltage applications, *Mater. Lett.* 145 (2015) 355 – 358.
- [12] S. Tominc, A. Rečnik, Z. Samardžija, G. Dražić, M. Podlogar, S. Bernik, N. Daneu, Twinning and charge compensation in Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-doped SnO<sub>2</sub>-CoO ceramics exhibiting promising varistor characteristics, *Ceram. Int.* 44 (2018) 1603 – 1613.
- [13] A. N. Bondarchuk, A. B. Glot, A. R. Velasco-Rosales, Effects of Sb and Nb dopants on electrical and microstructural properties of low-voltage varistor ceramics based on SnO<sub>2</sub>, *Ceram. Int.* 44 (2018) 7844 – 7850.
- [14] I. Saadeddin, H. S. Hilal, B. Pecquenard, J. Marcus, A. Mansouri, C. Labrugere, M. A. Subramanian, G. Campet, Simultaneous doping of Zn and Sb in SnO<sub>2</sub> ceramics: Enhancement of electrical conductivity, *Solid State Sci.* 8 (2006) 7 – 13.
- [15] A. C. Antunes, S. R. M. Antunes, A. J. Zara, S. A. Pianaro, E. Longo, J. A. Varela, Effect of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> doping on the electrical properties of a SnO<sub>2</sub> based varistor, *J. Mater. Sci.* 37 (2002) 2407 – 2411.
- [16] R. Parra, C. M. Aldao, J. A. Varela, M. S. Castro, The role of oxygen vacancies on the microstructure development and on the electrical properties of SnO<sub>2</sub>-based varistors, *J. Electroceramics* 14 (2005) 149 – 156.
- [17] R. Parra, J. A. Varela, C. M. Aldao, M. S. Castro, Electrical and microstructural properties of (Zn, Nb, Fe)-doped SnO<sub>2</sub> varistor system, *Ceram. Int.* 31 (2005) 737 – 742.
- [18] T. Tsubota, T. Ohno, N. Shiraishi, Y. Miyazaki, Thermoelectric properties of Sn<sub>1-x-y</sub>Ti<sub>y</sub>Sb<sub>x</sub>O<sub>2</sub> ceramics,

- J. Alloy. Compd. 463 (2008) 288 – 293.
- [19] S. Yanagiya, N. V. Nong, J. Xu, M. Sonne, N. Pryds, Thermoelectric properties of SnO<sub>2</sub> ceramics doped with Sb and Zn, J. Electron. Mater. 40 (2011) 674 – 677.
- [20] S. Yanagiya, N. V. Nong, M. Sonne, N. Pryds, Thermoelectric properties of SnO<sub>2</sub>-based ceramics doped with Nd, Hf or Bi, AIP Conf. Proc. 1449 (2012) 327 – 330.
- [21] S. Yanagiya, S. Furuyama, I. Uriya, M. Takeda, Thermoelectric properties of SnO<sub>2</sub> ceramics codoped with Sb and Zn prepared by reactive spark plasma synthesis followed by thermal treatment, Sens. Mater. 27 (2015) 917 – 924.
- [22] T. T. Xuan Vo, T. N. Ha Le, Q. N. Pham, C. Byl, D. Dragoe, M.-G. Barthés-Labrousse, D. Bérardan, N. Dragoe, Preparation and study of the thermoelectric properties of nanocrystalline Sn<sub>1-x</sub>Ta<sub>x</sub>O<sub>2</sub> (0 ≤ x ≤ 0.04), Phys. Status Solidi A 212 (2015) 2776 – 2784.
- [23] K. Rubenis, S. Populoh, P. Thiel, S. Yoon, U. Müller, J. Locs, Thermoelectric properties of dense Sb-doped SnO<sub>2</sub> ceramics, J. Alloy. Compd. 692 (2017) 515 – 521.
- [24] T. Tsubota, S. Kobayashi, N. Murakami, T. Ohno, Improvement of thermoelectric performance for Sb-doped SnO<sub>2</sub> ceramics material by addition of Cu as sintering additive, J. Electron. Mater. 43 (2014) 3567 – 3573.
- [25] H. Chemani, B. Chemani, Influence of the sintering additive (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) to the morphological and microstructural development of SnO<sub>2</sub> ceramic powders, Asian J. Chem. 24 (2012) 5324 – 5328.
- [26] W. H. Baur, Über die verfeinerung der kristallstrukturbestimmung einiger vertreter des rutiltyps: TiO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>, GeO<sub>2</sub> und MgF<sub>2</sub>, Acta Cryst. 9 (1956) 515 – 520.
- [27] F. J. Berry, C. Greaves, J. G. McManus, M. Mortimer, G. Oates, The structural characterization of tin- and titanium-doped α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> prepared by hydrothermal synthesis, J. Solid State Chem. 130 (1997) 272 – 276.
- [28] R. D. Shannon, Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides, Acta Cryst. A32 (1976) 751 – 767.
- [29] C. B. Fitzgerald, M. Venkatesan, A. P. Douvalis, S. Huber, J. M. D. Coey, T. Bakas, SnO<sub>2</sub> doped with Mn, Fe or Co: Room temperature dilute magnetic semiconductors, J. Appl. Phys. 95 (2004) 7390 – 7392.

受理日：2022年11月9日

高知工業高等専門学校校外発表研究論文（抄録）

Gate tuning of the fractional quantum Hall states in InAs two-dimensional electron gas

S. Komatsu, H. Irie, T. Akiho, T. Nojima, T. Akazaki, and K. Muraki  
Physical Review B, 105, 075305 (2022)

Gate tuning of fractional quantum Hall effects in InAs/AlGaSb quantum wells

H. Irie, S. Komatsu, T. Akiho, T. Nojima, T. Akazaki, and K. Muraki  
35th International Conference on the Physics of Semiconductors 2022, 847,  
Sydney, Australia, June 27-30, 2022

InAs/AlGaSb量子井戸におけるg-因子のゲート電圧依存性

小松 颯, 入江 宏, 秋保貴史, 村木康二, 野島 勉, 赤崎達志  
第69回応用物理学会春季学術講演会, 23p-E205-3, 2022. 3

ウルトラファインバブル中の30MHz帯超音波減衰特性について

土居礼奈, 小松 隼, 赤松重則, 秦 隆志, 西内悠祐, 奥村勇人  
日本機械学会中国四国支部 第60期総会・講演会, 2022. 3. 4

ウルトラファインバブル中の広帯域における超音波減衰特性について

土居礼奈, 赤松重則, 秦 隆志, 西内悠祐, 奥村勇人  
日本混相流学会 混相流シンポジウム2022, 2022. 8.19-21

ソノルミネッセンス挙動を用いた不純物混在下のウルトラファインバブル計測に関する研究

森下海都, 西内悠祐, 奥村勇人, 赤松重則, 秦 隆志  
日本混相流学会 混相流シンポジウム2022, 2022. 8.19-21

Attenuation Coefficient of Ultrafine Bubble Water in Broadband Ultrasound and Measurement of Bubble Number Density

Yoshikatsu Ueda, Shigenori Akamatsu, Yomei Tokuda, Takashi Hata  
The International Symposium on Plasma & Fine Bubbles (ISPFB2022), 2022. 8.22-23

四国に設計・建設された免震建物の建設状況とその免震建物の振動模型実験

小松晃也, 池田雄一  
令和3年度自然災害フォーラム&南海地震四国学術シンポジウム, 2022. 1

階分増築したRC造3階建学校建物の免震改修による耐震性向上に関する研究

有澤 清, 池田雄一  
第27回 高専シンポジウム, G-23, 2022. 1

複雑な立面・平面形状の免震建築物を考慮した免震建物模型による地震応答性状の把握

小松晃也, 池田雄一  
第27回 高専シンポジウム, G-25, 2022. 1

免震層に大きな変位応答量を生じさせる強震動に関する免震建物のエネルギー応答特性  
岡本尚大, 池田雄一  
日本建築学会四国支部研究報告集 第22号, pp.1-2, 2022. 5

複雑な立面・複雑な立面・平面形状を有する免震建物の振動模型による2次元振動台実験  
小松晃也, 池田雄一  
日本建築学会四国支部研究報告集 第22号, pp.3-4, 2022. 5

観測された強震動に対する免震建物の免震層最大変位応答量に関する研究 —その1 免震層に大きな変位応答量を生じさせる強震動に関する免震建物のエネルギー応答特性—  
岡本尚大, 池田雄一  
日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅱ, pp.825-826 2022. 9

観測された強震動に対する免震建物の免震層最大変位応答量に関する研究 —その2 過大な免震層変位応答量を抑えるために必要な減衰定数について  
池田雄一, 岡本尚大  
日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅱ, pp.827-828 2022. 9

観測された強震動に対する免震建物の免震層変位応答量に関する研究  
岡本尚大, 池田雄一  
日本地震工学会論文集第17回年時大会梗概集, F-21-1, 2022. 9

On the Picard group graded homotopy groups of a finite type two  $K(2)$ -local spectrum at the prime three  
Ipeei Ichigi and Katsumi Shimomura  
Homology, Homotopy and Applications, 24(1), 177-203, 2022

在室状況の遠隔確認を可能にするGrovePi+を用いたWebアプリケーションシステムの開発  
櫛田 桜, 浦山康洋  
電子情報通信学会総合大会ジュニア&学生ポスターセッション 2022. 3

地理的距離に依存する通信遅延を考慮したオンラインゲームサーバの配置シミュレーション  
岡林 澄, 浦山康洋  
電子情報通信学会総合大会ジュニア&学生ポスターセッション 2022. 3

ソーシャル推薦システムを対象とする分岐ランダムウォークを用いた情報拡散モデルの検討  
高橋李玖, 浦山康洋  
電子情報通信学会総合大会ジュニア&学生ポスターセッション 2022. 3

AR技術を活用したネットワーク学習用教材の開発 —ARアプリの試作—  
栄枝夏海, 山脇爽楽, 浦山康洋  
令和4年度電気・電子・情報関係学会四国支部連合大会講演論文集 2022. 9

AR技術を活用したネットワーク学習用教材の開発ーパケットアナライザの開発ー

山脇爽楽, 栄枝夏海, 浦山康洋  
令和4年度電気・電子・情報関係学会 四国支部連合大会 講演論文集 2022.9

渡日前から進める少人数型（アウトプット）オンライン日本語教育ー高専留学生のスムーズな受け入れを目指してー

大沼敦子  
2022年度第27回留学生教育学会年次大会 2022.8.20

高知高専型一面せん断試験機によるガラス砂礫及びガラス礫の液状化強度試験

松本晃輝, 岡林宏二郎  
土木学会四国支部第28回技術研究発表会講演概要集, jsce7-166-2022.5(Ⅲ-3)

ガラス砂を用いた宅地の液状化対策工法及び対策工法と地震動の関係

筒井勇伍, 岡林宏二郎, 川竹冬姫  
土木学会四国支部第28回技術研究発表会講演概要集, jsce7-163-2022.5(Ⅲ-4)

丸太杭打設による河川盛土の液状化対策工法に関する研究

近藤知輝, 岡林宏二郎, 橋村元気  
土木学会四国支部第28回技術研究発表会講演概要集, jsce7-152-2022.5(Ⅲ-5)

宅地におけるサンドウェーブ G を用いた液状化対策効果の検討

川竹冬姫, 岡林宏二郎, 梶田陽介  
第57回地盤工学研究発表会（新潟）, 2022,7[21-11-3-05]

ガラス砂礫を用いた液状化対策工法に関する研究

尾川徹馬, 岡林宏二郎, 岡林 潤  
第10回遠心シンポジウム, 京都大学 防災研究所, 2022.9

ガラス砂を用いた軟弱地盤上の盛土の液状化対策に関する研究

近藤知輝, 岡林宏二郎, 富田彩華  
第10回遠心シンポジウム, 京都大学 防災研究所, 2022.9

繰返し一面せん断試験機によるガラス造粒砂の液状化強度

松本晃輝, 岡林宏二郎, 向谷光彦, 岡田雄吾  
令和4年度地盤工学会四国支部技術研究発表会, 2022.11

ガラス砂を用いた軟弱地盤上の盛土の液状化対策に関する研究

近藤知輝, 岡林宏二郎, 富田彩華  
令和4年度地盤工学会四国支部技術研究発表会, 2022.11

圧縮鉄筋が腐食したRCはりの曲げ性能に関する検討

桑野仁成, 近藤拓也, 横井克則  
構造工学論文集, Vol.68A, pp.746-755, 2022. 3

廃棄生薑を用いたPCグラウトの流動特性に関する研究

佐藤真帆, 久川かおり, 近藤拓也, 三本竜彦, 三木まや  
2022年度土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, jsce7-019-2022, 2022. 5

脱塩工法後の鉄筋周辺におけるピッカース硬さ

弘瀬密樹, 近藤拓也, 横井克則  
2022年度土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, jsce7-135-2022, 2022. 5

Strength Characteristics of Blast-Furnace Cement Mortar with Silicate Type Surface Penetrants

Kei Futagami, Takuya Kondo, and Katsunori Yokoi  
The 17th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction (EASEC17), 2022. 6

けい酸塩系表面含浸材のpHが高炉スラグ微粉末混入モルタルの物性に与える影響

吉良雄斗, 二神 啓, 近藤拓也, 辛 軍青  
コンクリート工学年次論文集, 44(1), pp.1468-1473, 2022. 7

PCシース内の滞留水凍結がコンクリート表面ひび割れに与える要因

久川かおり, 近藤拓也, 横飛翔太, 横井克則  
コンクリート工学年次論文集, 44(2), pp.589-594, 2022. 7

廃棄生薑を用いたPCグラウトの適用性に関する研究

佐藤真帆, 久川かおり, 近藤拓也, 三本竜彦  
コンクリート工学年次論文集, 44(1), pp.1222-1227, 2022. 7

施工時表面含水率とモル比がけい酸塩系表面含浸材の改質効果に与える影響

中井 希, 島村佳汰, 近藤拓也, 黒岩大地  
コンクリート工学年次論文集, 44(1), pp.1474-1479, 2022. 7

中性化したモルタルへのけい酸塩系表面含浸工による改質効果の検討

島村佳汰, 近藤拓也, 黒岩大地, 横井克則  
コンクリート工学年次論文集, 44(1), pp.1462-1467, 2022. 7

Examination of reforming effect of silicate type surface penetrants on carbonated mortar

Keita Shimamura, Takuya Kondo, and Katsunori Yokoi  
International Conference on Regeneration and Conservation of Structures (ICRCS2022), 2022. 9

脱塩工法における電流密度とピッカース硬さ低下量の関係

弘瀬密樹, 近藤拓也, 横井克則  
土木学会第77回年次学術講演会公演概要集, Vol.77, V-509, 2022. 9



中性化が進行したモルタルへのけい酸塩系表面含浸工による改質効果の検討

島村佳汰, 近藤拓也, 横井克則, 黒岩大地  
土木学会第77回年次学術講演会講演概要集, Vol.77, V-209, 2022. 9

PCシース腐食ひび割れに与えるシースあきおよびグラウト充填状況の影響

久川かおり, 吉田 皓, 近藤拓也, 横井克則, 横飛翔太, 西 弘  
土木学会第77回年次学術講演会講演概要集, Vol.77, V-38, 2022. 9

廃棄生姜を用いたPCグラウトの材料分離抵抗性に関する研究

佐藤真帆, 久川かおり, 近藤拓也, 三木まや, 三本竜彦  
土木学会第77回年次学術講演会講演概要集, Vol.263, V-38, 2022. 9

ポストテンション方式PCのシース腐食ひび割れに与えるシースあきおよびグラウト充填状況の影響

久川かおり, 吉田 皓, 近藤拓也, 横井克則, 横飛翔太  
コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集, Vol.22, pp.451-456, 2022.10

けい酸塩系表面含浸工によるASR膨張ひび割れに関する一考察

近藤拓也, 黒岩大地, 西野英哉  
コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集, Vol.22, pp.403-406, 2022.10

不活性結合の切断を伴う不斉反応の開発

白井智彦  
静岡大学 機能性分子材料セミナー 招待講演 2022. 8

脱カルボニル型不斉アリール化反応による光学活性ビシクロ[2.2.1]ヘプタンの合成

野並玲奈, 白井智彦  
第12回CSJ化学フェスタ2022 P2-036 2022.10

カチオン性イリジウム触媒を用いる芳香族アルデヒドの脱カルボニル型不斉付加反応

野並玲奈, 白井智彦  
第121回有機合成シンポジウム P-01 2022.11

カチオン性イリジウム触媒を用いたカルボン酸の脱炭酸反応

野並玲奈, 白井智彦  
2022年日本化学会中国四国支部大会 広島大会 1PB-23 2022.11

脱カルボニルを利用する新規触媒反応

白井智彦  
2022年度 精密合成化学セミナー 招待講演 2022.11



Cationic Iridium-Catalyzed Asymmetric Decarbonylative Aryl Addition of Aromatic Aldehydes to Bicyclic Alkenes

R. Nonami, Y. Morimoto, K. Kanemoto, Y. Yamamoto, T. Shirai  
*Chemistry A European Journal*, 2022, 28, e202104347.

金表面での気体分子散乱挙動の分子論的解析

小崎祐助, 武内秀樹  
日本機械学会 中国四国支部 第60期総会・講演会, 06c2, 2022. 3. 4

内部循環流動層の管群内部における粒子移動特性

大石高大, 武内秀樹, 永橋優純, 浅古 豊, 竹内哲雄, 梶原洋和, 渡辺幹季也  
日本機械学会 中国四国支部 第60期総会・講演会, 07c4, 2022. 3. 4

減圧容器内の攪拌乾燥に関する基礎研究

武内章太, 武内秀樹, 永橋優純  
日本機械学会 中国四国支部 第60期総会・講演会, 07b3, 2022. 3. 4

金表面における気体分子散乱特性の予測

小野龍生, 小崎祐助, 武内秀樹  
日本機械学会2022年度年次大会, No.22-1, J051p-03, 2022.9.12

JASMINEミッション検討に向けた観測シミュレータの開発

上塚貴史, 山田良透, 河田大介, 大澤 亮, 河原 創, 大宮正士, 平野照幸,  
片坐宏一, 立川崇之, 服部公平, 福井暁彦, 吉岡 諭, Löffler Wolfgang,  
白井文彦, 泉浦秀行, 三好 真, 矢野太平, 郷田直輝,  
JASMINE データ解析ワーキンググループ  
第22回 宇宙科学シンポジウム, 2022. 1. 6-7, オンライン

JASMINEのデータ解析ソフトウェアの開発

山田良透, 大澤 亮, 上塚貴史, 河原 創, 平野照幸, 河田大介, 片坐宏一,  
大宮正士, 辰巳大輔, 白井文彦, 服部公平, 吉岡 諭, 立川崇之,  
福井暁彦, 郷田直輝, 矢野太平, 泉浦秀行, 三好 真, 逢澤正嵩,  
他JASMINEチーム  
第22回 宇宙科学シンポジウム, 2022. 1. 6-7, オンライン

JASMINE end-to-end シミュレーション計画の進捗

大澤 亮, JASMINE データ解析ワーキンググループ  
(山田良透, 河田大介, 上塚貴史, 河原 創, 大宮正士, 平野照幸, 片坐宏一, 立川崇之,  
服部公平, 福井暁彦, 吉岡 諭, 逢澤正嵩, Michael Biermann, Wolfgang Löffler,  
白井文彦, 泉浦秀行, 三好 真, 矢野太平, 津久井崇史, 辰巳大輔, 郷田直輝)  
日本天文学会 2022年春季年会, 2022. 3. 2-5, 広島大学 (オンライン)

学生を対象とした実践的情報セキュリティ教材の開発

立川崇之, 近森麗彰  
情報処理学会 第84回全国大会, 2022. 3. 3-5, 愛媛大学 (オンライン)

トランザクション履歴を用いた新しいコンセンサスアルゴリズムの提唱

古味佑樹, 立川崇之  
情報処理学会 第84回全国大会, 2022. 3. 3-5, 愛媛大学 (オンライン)

JASMINE のデータ解析

山田良透, 河田大介, 河原 創, 上塚貴史, 大澤 亮, 福井暁彦, 片坐宏一,  
臼井文彦, 辰巳大輔, 郷田直輝, 矢野太平, 泉浦秀行, 三好 真, 平野照幸,  
服部公平, 大宮正士, 吉岡 諭, 立川崇之  
日本天文学会 2022年秋季年会, 2022. 9.13-15, 新潟大学

High-Precision Simulations for Collisional Self-Gravitating Systems Incorporating Relativistic Effects

Takayuki Tatekawa and Tohru Tashiro

The 31st Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan (JGRG31),  
2022.10.24-28, University of Tokyo

DLC膜の除膜に向けた酸素プラズマの計測

吉本倅雪, 白木貴羅, 谷本 壮  
日本高専学会 第28回年会講演会, P1-10, 2022. 8.31

日射強度の変化を利用した大雨の事前予測手法の検討

濱田 秀, 小松夏輝, 中村友貴, 福原豊基, 谷本 壮, 針谷 達, 坂東隆宏, 滝川浩史  
日本高専学会 第28回年会講演会, P1-11, 2022.8.31

結合インダクタを用いたデュアルアクティブブリッジコンバータの損失解析

岡村有起, 中田祐樹, 吉田正伸  
令和3年度電気学会中国支部 第14回高専研究発表会 講演予稿集, pp.13-14, 2022.03.04

PDM制御を用いた直接形高周波単相-低周波単相マトリックスコンバータへの電力脈動補償回路の適用

岩本拓巳, 中田祐樹, 吉田正伸  
令和3年度電気学会中国支部 第14回高専研究発表会 講演予稿集, pp.15-16, 2022.03.04

非絶縁形 DC-DC コンバータを用いたパワーコンディショナの回路構成に関する比較・検討

山崎莉槻, 中田祐樹, 吉田正伸  
令和3年度電気学会中国支部 第14回高専研究発表会 講演予稿集, pp.17-18, 2022.03.04

電流形インバータ適用によるパワーコンディショナのキャパシタ小型化に関する検討

大畑凱斗, 中田祐樹, 吉田正伸  
令和3年度電気学会中国支部 第14回高専研究発表会 講演予稿集, pp.19-20, 2022.03.04

A Loss Analysis of a Dual Active Bridge Converter with Variable Equivalent Magnetizing Inductance by using Coupled Inductor and Switches

Yuki Okamura, Yuki Nakata, Masanobu Yoshida, Hidemine Obara  
International Power Electronics Conference 2022 (IPEC-Himeji 2022) Student Poster Competition,  
18-1P12, 2022.05.18, Himeji

結合インダクタを用いたDABコンバータの中負荷効率改善に関する一検討

岡村有起, 中田祐樹, 吉田正伸  
電気学会論文誌D (産業応用部門誌), 142(8), 645-646, 2022.08.01

部分PAM制御を適用したパワーコンディショナの効率評価

山崎莉槻, 中田祐樹, 吉田正伸  
2022年電気学会産業応用部門大会 予稿集, Y-37, 2022.08.30-09.01

昇圧機能を有する電流形インバータを適用した無停電源装置の効率評価

大畑凱斗, 中田祐樹, 吉田正伸  
2022年電気学会産業応用部門大会 予稿集, Y-38, 2022.08.30-09.01

直接形高周波単相-低周波単相マトリックスコンバータの電力脈動補償に関する一検討

岩本拓巳, 中田祐樹, 吉田正伸  
電気学会論文誌D (産業応用部門誌), 142(9), 700-701, 2022.09.01

大気イオンに関連する気相イオン反応の研究

長門研吉  
日本大気電気学会第100回研究発表会, 2022. 1

大気電離が雲生成に与える影響について

長門研吉  
日本地球惑星科学連合2022年大会, 2022. 5

ガラスチップFAIMSの開発と揮発性有機化合物分析への応用

長門研吉, 寺西知子, 小坂知裕, 生田 慶, 大塚友貴,  
アベシンゲレシヤンマドゥカ, 松本真己子  
日本質量分析学会 第70回質量分析総合討論会, 2022. 6

DMAを用いた空気電離イオンの生成特性に関する研究

石田舜也, 長門研吉, 森 隆行, 加藤寛人, 平野明良, 田端友紀, 井上慎介  
第39回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2022. 8

微細水粒子の帯電計測について

長門研吉, 石田舜也, 森 隆行, 加藤寛人, 平野明良, 田端友紀, 井上慎介  
第39回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2022. 8

映画The Wizard of Ozを用いた実践英語教育

野中美賀子

映像メディア英語教育研究, No.27, pp.17-30, 2022. 3.31

高知工業高等専門学校ソーシャルデザイン工学科「基礎英語ⅡA」（2年生）と「基礎英語ⅢA」（3年生）授業実践報告

野中美賀子

『コロナとアカデミア』, 雷音学術出版, p.51, 2022. 5

『リリカル・バラッズ』の出版戦略

野中美賀子

第48回イギリス・ロマン派学会全国大会シンポジウム  
「コールリッジと出版文化」(S.T.コールリッジ生誕250年記念), 2022.10.15 松山大学

マイクロバブルの測定技術・測定手法

秦 隆志

最近の化学工学講習会70 進化するファインバブル技術と応用展開, 2022. 3. 2・7

食品分野で活用が広がるファインバブル技術！

多田佳織, 西内悠祐, 秦 隆志

FOOMA JAPAN 2022 アカデミックプラザ, 2022. 6. 7-10

オゾンファインバブル水に与えるUVCの影響に関する研究

森下海都, 多田佳織, 西内悠祐, 秦 隆志

日本オゾン協会 第31回年次研究講演会, 2022. 6.22-23

ファインバブルを用いた食品加工に関する研究

公文瑞樹, 西内悠祐, 多田佳織, 秦 隆志

日本混相流学会 混相流シンポジウム2022, 2022. 8.19-21

植物成長に与えるファインバブルの影響に関する研究

宮本莉子, 多田佳織, 西内悠祐, 秦 隆志, 高橋一行, 大内 努, 澤田暢介

日本混相流学会 混相流シンポジウム2022, 2022. 8.19-21

ファインバブル洗浄による大豆たん白臭低減に関する研究

秦 隆志, 多田佳織, 西内悠祐, 窪田史朗, 石寄雄一, 鎌形潤一, 花村高行, 青木仁史

日本食品工学会 第23回（2022年度）年次大会, 2022. 9. 5-6

ウルトラファインバブルを用いた乳化剤フリーエマルション作製技術に関する研究

公文瑞樹, 西内悠祐, 秦 隆志, 多田佳織

日本食品工学会 第23回（2022年度）年次大会, 2022. 9. 5-6

ファインバブル（微細気泡）を用いた技術

秦 隆志

アグリビジネス創出フェア2022, 2022.10.26-28

海水中でのファインバブルの挙動に関する研究

有安果歩, 門脇早保, 森下海都, 西内悠祐, 多田佳織, 秦 隆志

2022年日本化学会中国四国支部大会 広島大会, 2022.11.12-13

土耕栽培におけるファインバブルの影響

門脇早保, 中村彩乃, 定久和正, 多田佳織, 秦 隆志,

西内悠祐, 高橋一行, 大内 努, 澤田暢介

2022年日本化学会中国四国支部大会 広島大会, 2022.11.12-13

水耕栽培におけるファインバブルの影響

中村彩乃, 門脇早保, 定久和正, 多田佳織, 秦 隆志,

西内悠祐, 高橋一行, 大内 努, 澤田暢介

2022年日本化学会中国四国支部大会 広島大会, 2022.11.12-13

エマルションの分散安定性に与えるウルトラファインバブルの影響

町田竜樹, 公文瑞樹, 西内悠祐, 秦 隆志, 多田佳織

2022年日本化学会中国四国支部大会 広島大会, 2022.11.12-13

液体肥料中でのファインバブルの挙動に関する研究

定久和正, 中村彩乃, 門脇早保, 森下海都, 西内悠祐, 秦 隆志, 多田佳織

2022年日本化学会中国四国支部大会 広島大会, 2022.11.12-13

ファインバブルが食品のテクスチャーに与える影響

大塚日乃莉, 唐岩美羽, 多田佳織, 秦 隆志, 西内悠祐,

本田智巳, 野中朋美, 天久海希, 平江真輝

2022年日本化学会中国四国支部大会 広島大会, 2022.11.12-13

茶葉成分の溶出に与えるファインバブルの影響

唐岩美羽, 大塚日乃莉, 多田佳織, 秦 隆志, 西内悠祐,

本田智巳, 野中朋美, 天久海希, 平江真輝

2022年日本化学会中国四国支部大会 広島大会, 2022.11.12-13

Evaluation of Ultrafine Bubble Indexed by Sonoluminescence

Kaito Morishita, Yusuke Nishiuchi, Hayato Okumura, Shigenori Akamatsu, Takashi Hata

第18回 ファインバブル国際シンポジウム, 2022.12.21

## マイクロバブルの測定技術・測定手法

秦 隆志

最近の化学工学講習会70 進化するファインバブル技術と応用展開 (化学工学会),  
第4章 (p.43-54), 2022. 3

## ファインバブルの特性と各種発生方式

秦 隆志

泡の生成・消泡の基礎と産業利用 (CMC出版), 第9章1節 (p.238-247), 2022. 9

## ソノルミネッセンスを用いた新たなウルトラファインバブル計測に関する研究

秦 隆志

超音波Techno, 34 (5), p.52-56, 2022.10

## 環境にやさしい洗浄技術ーファインバブルの適用

秦 隆志, 多田佳織, 西内悠祐, 松枝和輝, 青木将二, 古川真也, 雨宮一幸  
表面技術, 73 (12), p.623-627, 2022.12

## Purchase of Chromebooks to facilitate the creation of a remote learning environment and use in the classroom

D. Grant, Y. Iwasaki, H. Shiba, S. Yamazaki

第15回国際工学教育研究集会 (ISATE2022), S2R5-P3, 2022. 9.20

## 厨房排水含有スカムの活性汚泥処理性能に与えるオゾンの供給効果

羽方裕統, 高見叶夢, 加藤 旭, 山崎慎一

第77回土木学会年次学術講演会講演予稿集, VII-63, 2022. 9.16

## 学生の主体的学習を支援するハイブリッド型授業の推進と教育効果の検証

山崎慎一, 岩崎洋平, 芝 治也

KOSENフォーラム2022, 9/5コアタイムA, P-06, 2022. 9. 5

## 食堂厨房排水におけるUFB浮上分離スカムの生物学的処理の検討

羽方裕統, 加藤 旭, 高見叶夢, 山崎慎一

第28回土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, VII-8, 2022. 5.28

## DHS下水処理システムにおける窒素と大腸菌の挙動調査

山崎慎一, 谷脇衣里, 西村映音, 竹村泰幸, 青木仁孝,

珠坪一晃, 松枝 孝, 大森聖史, 大野 明

第28回土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, VII-9, 2022. 5.28

## 食品系廃棄物からエネルギーを回収するコンパクトな省エネ型排水処理システム

山崎慎一

四国発! 環境ビジネスの今を知るセミナー講演資料, 四国経済産業局, 2022. 3.11



グリストラップ浮上分離スカムの生物学的処理に関する検討

羽方裕統, 加藤 旭, 高見叶夢, 山崎慎一  
第11回流域圏学会学術研究発表会講演要旨集, G-1, 2022. 3. 5

食堂厨房排水を浮上分離したスカムの生物処理に関する検討

羽方裕統, 山崎慎一, 加藤 旭, 高見叶夢  
第27回高専シンポジウム発表要旨, D-09, 2022. 1.22

ポリマーセメントモルタルの性状にセルロースナノファイバーとフライアッシュの混入が与える影響

清水 成, 横井克則, 近藤拓也, 浦本豪一郎  
コンクリート工学年次論文集, 44 (1), pp.1492-1497, 2022. 7

実構造物を用いた各種表面処理材の外観観察方法の検討

竹内由伸, 福本笑奈, 横井克則, 近藤拓也  
第27回高専シンポジウムオンライン講演要旨集, B-24, 2022. 1

膨張材添加量を低減させたコンクリートの実用化への検討

門田基博, 筒井 凌, 横井克則, 近藤拓也  
第27回高専シンポジウムオンライン講演要旨集, B-26, 2022. 1

医療用X線CTを用いたW/Cが異なるコンクリートの品質評価方法の検討

岡林 徹, 横井克則, 浦本豪一郎, 新井和乃, 矢野 杏  
第28回土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, JSCE7-005, 2022. 5

実構造物における各種膨張コンクリートの膨張効果の検証

橋村茂雄, 下村昭司, 横井克則, 近藤拓也  
第28回土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, JSCE7-028, 2022. 5

膨張コンクリートのひずみ解析と実測の比較検証

下村昭司, 橋村茂雄, 横井克則, 近藤拓也, 門田基博  
土木学会第77回年次学術講演会講演概要集, V-202, 2022. 9

保水養生シートを用いた長期養生が膨張材添加量を低減させたコンクリートに与える影響

門田基博, 横井克則, 近藤拓也, 下村昭司, 橋村茂雄  
土木学会第77回年次学術講演会講演概要集, V-412, 2022. 9

CNFとフライアッシュを混入したPCMの気中環境下における強度及び各種耐久性に関する研究

清水 成, 横井克則, 近藤拓也, 浦本豪一郎  
土木学会第77回年次学術講演会講演概要集, V-419, 2022. 9



独立行政法人国立高等専門学校機構  
高知工業高等専門学校学術紀要

第 68 号

2023年（令和5年）3月 印刷・発行

編集・発行 独立行政法人国立高等専門学校機構  
高知工業高等専門学校  
〒783-8508  
高知県南国市物部乙200番1  
電話 (088) 864-5500 (代表)



**BULLETIN**  
**OF**  
**NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, KOCHI COLLEGE**  
**68**

CONTENTS

Researches

Small-Scale Environmental Impact Assessment in Japanese Private Industrial Forest - A SWOT Analysis Based on Risk Management Processes .....	<b>Dennis GAIN</b> .....	1
Does Thai students' ability to distinguish between the Japanese [g] and [k] sounds affect their perceived difficulty in learning chemistry? -Analysis Textbooks by Text Mining- .....	<b>Atsuko ONUMA</b> .....	11
Leben mit der Natur im Spiegel der <i>Haiku</i> -Dichtung .....	<b>Masatoshi SASAKI</b> .....	21
Consensus Algorithm Using Transaction History for Cryptocurrency .....	<b>Yuuki KOMI and Takayuki TATEKAWA</b> .....	29
Improvement of the humidity deficit and air temperature greenhouse model via the subspace method depending on the window opening degree: Model evaluation during winter .....	<b>Shin NAKAYAMA, Shoichiro MIYAOKA, Ryushi KIMURA, Masato OHSUMI, and Taku TAKADA</b> .....	35
Preparation of dense SnO <sub>2</sub> -based ceramics by Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> addition .....	<b>Masahiro YASUKAWA and Naoya MATSUOKA</b> .....	45
Abstracts of Other Research Reports .....		53