



今後、ハード面に関しては、眼精疲労が極力生じないスクリーン開発が行われるまで、当面は授業中にデジタルスクリーンのみを注視する学習活動の割合を制限し紙媒体テキストやプリントとの併用ハイブリッド型とし、ソフト面に関しては、英文をまとめりとして捉える練習が効果・効率的に行えるようなデジタル教材のコンテンツ開発を進めていく必要があるであろう。

### (3) 日英の事態把握の違いに基づくライティング指導法の研究

「日英の事態把握の違いに基づくライティング指導法の研究」では、特に、日本語と英語のグラウンディング要素の現れ方の違いに焦点を当てて研究を行った。児玉(2012)によると、日本語は話し手の主体と客体が一体となり、状況内に視点を置く「主客未分型」なのに対し、英語は主客を対置して客体の状況の外に主体を置く「主客対峙型」の特徴を持つ。この違いが、日本語を母語とする英語学習者のライティングにどのように影響を与えているかについて分析を行った。分析対象は日本語を母語とする英語学習者244名である。4コマ漫画を学習者に提示して収集された Description 型のデータの分析を行った。その結果、時制において出現するグラウンディング要素の欠落や誤用が多く観察された。これらは、主客対峙型の英語では、話し手にも聞き手にも共有される客観的な時間軸の存在があるため出来事を時間軸に置いた形で描写しなくてはいけないにも関わらず、日本語は状況の中に視点を置く主客未分型であるため、学習者が4コマ漫画の状況の中に視点を置いてしまい、グラウンディング要素の欠落、誤用につながったものと考えられる。これらの結果を基に、まず時制についての指導法について検討を行った。指導において重要となるのが、学習者の母語である日本語の主客未分型から学習対象言語である英語の主客対峙型の事態把握へといかに転換させるかということである。そこで、主客対峙型に特徴的である客観的な時間軸上に、出来事をマッピングさせるということを学習者に意識づけるというアプローチを考案した。このことによって、言語学の難しい専門用語を用いずに、学習者の視点を状況の外に置くことができる可能性があることが明らかとなった。

また時間軸を用いて出来事をとらえなおすことによって、日本語を母語とする英語学習者に誤用の多い、相、特に現在完了形と過去完了形についても、比較的容易に理解させることが可能となることが分かった。本研究は指導法にかかわる内容のため、中学・高等学校で教壇に立つ英語教員にいち早く共有すべく、2018年度および2019年度の教員免許状更新講習「英文法に現れる日本語と英語のとらえ方の違い」において、日英の事態把握の違いに基づく時制の指導法として、講習内容に組み込み、参加者と意見交換を行った。参加者の反応はおおむね好評で、特に、難しい用語や概念を用いずに、英語の出来事のとらえ方を指導することが可能であること、また時制と相を統一的に指導できることに高い評価を得た。教員免許状更新講習を通じて、新しい指導法の Teachability はおおむね確認できたため、今後の研究で、学習者の学習効果である Learnability を検証する予定である。

### 研究業績

#### 【論文】

福田慎司：大学におけるテーマ別英語スピーチ訓練を利用した指導の可能性、福岡大学教職課程教育センター紀要、3、pp.47-60、2018

福田慎司：英語科教育法における Teaching Knowledge Test (TKT) コース Content and Language Integrated Learning (CLIL) モジュールを利用した指導の可能性、福岡大学教職課程教育センター紀要、4、pp.15-26、2019

福田慎司：国際スピーチコンテストにおけるユーモア、福岡大学教職課程教育センター紀要、5、pp. 81-92、2020

奥田裕司、長加奈子、川瀬義清：デジタル教科書が英語学習活動に与える影響：視線計測を用いて、科学研究費研究実施報告書、研究課題番号 17K02961、2020

#### 【学会発表】

福田慎司：Teaching-Speech Making in College EFL Classes in Japan、13th International Conference on Interdisciplinary Social Science Studies (ICISSS)、英国ケンブリッジ大学、2019年7月22日

長加奈子、川瀬義清：学習者の母語の事態把握が英語のグラウンディング要素に与える影響、第2回 JAAL in JACET 学術交流会、2019年11月30日、高千穂大学

【その他】

福田慎司：2019年度九州地区英語教育研究団体連合会 第29回九州地区高等学校英語スピーチコンテスト審査員 2019年11月2日、福岡県立博多青松高等学校

奥田裕司：2019年度九州地区英語教育研究団体連合会 第29回九州地区高等学校英語スピーチコンテスト審査員 2019年11月2日、福岡県立博多青松高等学校

長加奈子：福岡大学2018年度教員免許状更新講習「英文法に表れる日本語と英語の世界のとらえ方の違い」2018年8月31日、福岡大学

長加奈子：福岡大学2019年度教員免許状更新講習「英文法に表れる日本語と英語の世界のとらえ方の違い」2019年8月23日、福岡大学





might be appropriate to conduct post-hoc analysis using Bonferroni's correction to specifically compare loanword to non-loanword frequency. However, there are statistical limits working with nominal data. At this categorical level, relative frequency alone nears the boundaries of presenting the data for what it is.

An implication of this study is that a preference by native Japanese speakers to use loanwords can impede effective communication in English because they are not always an appropriate lexical choice. To help minimise perceived and pragmatic failure, Japanese need to be aware of the pitfalls of using loanwords to communicate meaning clearly in English. A recommended strategy to avoid loanword misconception is for Japanese speakers to increase their lexical range and flexibility through developing skills of paraphrase. This means that alternative, non-loanword vocabulary is used to help explain and clarify meaning. Such skills exemplify higher levels of English proficiency.

The second research project, also conducted during 2019, compiled numerous features of discourse style in Japanese and explained how these can negatively impact smooth communication in English. Some discourse features that can cause intercultural communication difficulties for Japanese speakers include silence, minimal responses, pronunciation and spelling, limited lexical choice and range, loanwords, over-reliance on technology, lack of language skills to explain, unfamiliar and unconventional styles in English, lack of topic development, and making assumptions through a lack of cultural awareness. Although the problems and examples focused on the ways that native Japanese speakers communicate in English, such aspects of intercultural discourse are not unique to Japanese culture. Therefore, the content of this research is considered relevant to speakers of other languages and cultures. Regardless of the context of interaction, this research would help people from other cultures to be aware of what they might expect when communicating with native Japanese speakers using English as the lingua franca. Funding provided for this research group contributed to the researcher making one presentation that combined information from both research

projects at the 40th ThaiTESOL international language teaching conference in Bangkok, January 2020.

松尾 キャサリン Matsuo, Catherine.

研究対象：Integrating communication theory into Communicative Language Teaching (CLT). コミュニケーション理論を統合すること。

In 2018, Catherine Matsuo concentrated her research on the Bakhtinian philosophical categories of heteroglossia and chronotope. Together, they constitute a theory of alerity and heterotemporality. These are relatively unexamined areas in foreign language education, except for heteroglossia by itself, which is now an important component of translanguaging theory and bilingual education. The researcher chose heteroglossia and chronotope because they are crucial components of communication in terms of understanding what is being said to a teacher by students and for expanding the range of potentialities for understanding how a *teacher's* utterances might be communicated (in what ways understood or misunderstood) to students. Matsuo believes heteroglossia and chronotope are essential to understanding communication in the classroom and wishes them to be integrated into Communicative Language Teaching, which she thinks needs to pay much more attention to how communication takes place and the many factors affecting its success or failure.

In 2018, the researcher made advances in creating a dialogical analytic framework for analysing unique utterances and also collaborated with Professor Bob Fecho, professor of English Education at Columbia University, USA, who is a noted expert on dialogic pedagogy. Funding provided by this research group contributed to the researcher making a presentation as an invited speaker in an invited symposium at the 10th International Conference on the Dialogic Self, Braga University, in June 2018. This symposium was chaired by Professor Fecho.

In addition, as debate in the USA is particularly connected to the notions of citizenship and democracy, the researcher, who is a frequent judge at the university debates held by Kyushu University, attended an international conference in Munich in October 2019 "Educating the Global Citizen: International Perspectives on Foreign

Language Teaching in the Digital Age”. Matsuo wished to know about the latest goals for language learning directed at developing globality in language learners, i.e., the consciousness that human beings live in a single place, which is the world, planet Earth. Added to this, there was discussion at the conference about sustainability and human rights being added to language learning goals, and research reports about the influence on language learning of digital communication. Matsuo also met privately with one of the Keynote Speakers at the conference, Professor Michael Byram, the most renowned scholar of Intercultural Communication in foreign language learning. Matsuo met with Professor Byram to discuss her research, in which Professor Byram very kindly takes a keen interest.

In 2019, the researcher continued creating a dialogic pedagogy for foreign language education. Because of her belief that dialogic theory assumes that all communication with others is already intercultural communication, the focus of research throughout 2019 was to familiarise herself with the latest publication from the Council of Europe, the *Reference Framework of Competencies for Democratic Culture*. Funding provided by this research group contributed to the researcher participating in presentations and workshops in March in 2019 at the Wenzao Ursuline University of Language in Kaohsiung, Taiwan. Matsuo was kindly invited to attend by Professor Byram himself.

In 2020, Matsuo was accepted to present at two international conferences: the 11<sup>th</sup> International Conference on the Dialogic Self in Barcelona (organized by an inter-university team recognized by the government of the Catalan Generalitat), and also the XVII International Bakhtin Conference, to be held at the National Research Ogarev Mordovia State University under the aegis of the Head of the Republic of Mordovia. Unfortunately, the two conferences were canceled due to the coronavirus pandemic but Matsuo has been accepted to present at the two conferences again, which have been held over until 2021. At the 11<sup>th</sup> International Conference on the Dialogic Self in Barcelona she will again take part in a symposium chaired by Professor Bob Fecho. She will

also have an abstract appear in the book that will accompany the conference. The title of her article is: Societies in the Self: Using DST to Understand Identity, Interculturality and the Democratically Organized Self in Two Different Democracies and Linguacultures. The title of the presentation that will be made at the XVII International Bakhtin Conference, for which she has also written an abstract is: Thought ‘directed towards other thoughts, ideas, meanings’: Using Bakhtin’s *The Problem of the Text* as foundation and parameters to demonstrate a longitudinal dialogical analytic framework for interpreting meaning potentials of unique utterances in more than one natural/national language in pedagogical and classroom discourse in foreign language educational contexts.

ハーン・アーロン Hahn, Aaron.

研究対象：Modeling of English language varieties. 多様な英語のモデル構築

Aaron Hahn’s three-year project improved the Global Model of English and studied the use of non-native listening and reading texts in university classes. This project included three major components. The first was the refinement of the Global Model of English developed by Haswell (2013) and Haswell and Hahn (2015, 2018). This model graphs English varieties and user competence in way that addresses deficiencies in prior models (especially Kachru’s ubiquitous Three Circles Model). It centralizes English as a Lingua Franca speakers rather than “native speakers” as most other models do. For this research project, the major development in the model was the codification of interaction types, which map relationships between communicative behaviors, relative user proficiency, and willingness to take a strategic (rather than a normative) approach to communication. This addition can help teachers focus on the skills that are truly important for transnational communication.

The second component was intended to be the development of a library of multimedia resources featuring English speakers from places other than so-called “Inner Circle” countries which currently and improperly dominate most TESOL textbooks. This media would show how ELF speakers worldwide utilize various linguistic re-

sources such as negotiation and repair strategies to communicate successfully. Unfortunately, the global pandemic made it impossible to safely record the planned speakers (international students studying in Japan). Since developing new resources was not possible, instead a textbook was found which highlighted speakers of English from a variety of contexts. This book, *World Voices 2*, included 12 audio monologues by English speakers from countries such as China, Kenya, and Brazil. In addition, the reading materials covered diverse topics, rather than focusing on US/UK culture as many English textbooks do. This book was used in three Reading and Listening courses at Fukuoka University with two high-level and one mid-level class. The key pedagogical finding was that even though the resources reflected a much more diverse collection of English varieties than traditional textbooks, students were able to successfully deal with these texts and improve both their listening/reading skills and their international English competency.

The third component of this project was the collection and analysis of student surveys. Students were given three surveys (for first two, N = 104; for third, N = 93) covering topics such as their experiences with English, familiarity with specific varieties of English, responses to some of the course audio, their opinions about what is important and valuable in English language learning, and their general attitudes towards the international status of English. Following are some of the most salient points from the analyses.

First, students showed a mixed set of attitudes regarding the issue of native/non-native Englishes. A majority favored native speaker teachers and native speaker learning models. Other than Japanese English being rated as easier than other varieties, no specific non-native varieties (that students had listened to from the textbook) were rated as especially difficult or easy. Most importantly, by midway through the 15-week course, about 55% of the respondents reported feeling more comfortable with the idea of talking to “non-native” speakers (though this may be biased by students’ desire to demonstrate to their teacher that the class was effective).

Regarding students’ real-world English use, only

25% of students reported having non-Japanese friends, and less than half of those students reported that they spoke mostly in English with those friends. Thus, teachers need to provide more international source material for student listening. When asked about whether they wanted to use English in the future, 70% said they hoped to use English in their personal lives in the future, but only 49% hoped to use it in a future job. This likely explains the underlying reason for students’ expressed preferences to a free-response question regarding what they would want to do in a hypothetical future course in global English communication. When the responses were sorted thematically, it was found that 27% of students wanted to talk or communicate with others, 40% wanted to share culture, only 10% focused on a specific language-learning skill (like listening), and none mentioned anything related to business, politics, international relations, or other similar topics.

Overall, the results of this three-year project suggest several things for the design of future global English courses. First, students can successfully negotiate a variety of Englishes—there is no need to be slavish to the outdated idea that students should use only/mostly “native speaker” models. Second, students will likely be more receptive to global communication courses that are focused on interpersonal communication rather than having them couched in terms of future employment or politics. Funding provided for this research group contributed to the researcher making one presentation in 2019 at the 6th Conference on Global Higher Education at Lakeland University, Tokyo.

コクラン 由美子 Cochrane, Yumiko.  
タスクベース授業の効果：大学生の能力向上に関する自己評価  
研究対象：An analysis of opinion expressions in written discourse: Implications for English teaching and learning. Yumiko Cochrane reports the findings of an action research project, which was implemented during the second semester in 2019 with four ESP classes of non-English majors (N = 160). The study primarily aimed to examine students’ overall experiences with task-incorporated Eng-

lish learning. It took a hybrid approach combining both textbook-focused and task-based instruction (TBI), with the last third of the course being allocated for TBI. Of the wide range of views and benefits reported by the subjects, this report focuses on students' perceived skill development, in terms of English competence in particular.

#### Task design

This study essentially adopted a common three-stage framework consisting of pre-task, during task and post-task. Using authentic materials available online, such as retail flyers and apartment rental listings, students worked in groups to complete sequencing tasks under the title of 'Furnishing an Apartment on a Budget'. For this project, subjects adopted the persona of a student in Vancouver, Canada and would rent a four-bedroom house with friends (project partners). As a blanket mission, each group was to furnish two common areas in the apartment by purchasing furniture or household items from local stores (online flyers) on a predetermined budget while paying attention to property information prior to deciding on what to purchase. Over a two-week period, students were to complete the following four sequencing tasks: Email writing (Task 1), Budget planning (Task 2), Making a shopping list (Task 3) and A phone message to the property manager (Task 4). As part of a post-task activity, each group performed oral reporting, which was reviewed by their peers.

#### Data collection

Data (N = 158) was collected via an online survey, which consisted of both multiple-choice and open-ended questions asking about students' experiences with the current project. Participation was voluntary and anonymous, and ethical considerations were appropriately addressed. The text data was analysed qualitatively using thematic analysis. As this report is primarily concerned with reporting students' perceived skills development, it mainly uses data obtained from the following questions:

- A) Which task do you think you performed well? Why do you think so?
- B) Do you think you have learned anything new from this project? Why do you think so?

#### Findings and Significance

Student responses to Question A (well-performed tasks) were almost evenly distributed; with Task 1 at 27.8% being the highest, followed by Oral Reporting (17.7%), Task 2 and Task 4 being a tie at 14.6% and lastly Task 3 at (13.3%). While the specifics of what each student reported as an accomplishment differed, many responses were accompanied with certain phrases, such as 'due to team efforts' or 'paying extra attention'. In terms of Question B, the majority (79.1%) responded that they gained something new from the project; 51.9% (n = 82) said 'Agree' and 27.2% (n = 43) said 'Strongly agree', while the remaining 20.9% (n = 33) said 'Disagree' or 'Strongly disagree'. Most of these 'Disagree' or 'Strongly disagree' responses did not articulate their reasons, but if they did, comments like "I already knew everything we did in this project" appeared common. Meanwhile, students who reported gains referred to a variety of skills and knowledge, ranging from interpersonal skills to being financially responsible to organisational skills to language competence. Specific to English competence, productive abilities, such as writing and communication skills, were most frequently mentioned. The qualitative analysis revealed that these students valued collaborative learning by crediting 'team efforts' for their accomplishments. It was also notable that some reported having spent extra time practicing outside the classroom as a reason for their skill gains.

#### Implications

It is often claimed that TBL benefits almost every learner for it allows students to use their skills at their current level and develop language through its use. In other words, there is something to learn for every student in the classroom regardless of the linguistic competence or interests of the learner. This has proven true for a number of participants in this study that knowing what to do, especially 'how' to produce in the L2 through working with their peers had led to feeling a sense of confidence, hence self-efficacy. Language is learnt when learners can make sense of the foreign language that they are learning by constructing their own theories and hypotheses about how it works. TBL may offer the oppor-

tunity in which students can see English beyond just being tested on the ‘grammar of the day’.

ギブソン・アロン Gibson, Aaron.

Measuring students’ vocabulary knowledge for international communication. 国際コミュニケーションにおける学生の語彙知識評価

This research collected vocabulary knowledge data over the course of three years. Respondents were first and second year Japanese language students at a large private university in Japan (Fukuoka University). Data was collected from 35 classes within eight faculties and over 800 respondents. Vocabulary self report tests were created and administered to students in class.

Aaron Gibson created a vocabulary test of 120 items of varying difficulty based on word frequency. This was given out to multiple classes to measure students’ vocabulary knowledge and to start collecting data for comparison across departments.

Aaron Gibson reviewed articles and books on vocabulary research in applied linguistics and the making of word lists to assist in the test creation. Also reviewed were articles on statistics to be able to analyze incoming data, including books on the R statistical software program. Aaron Gibson attended the JALT 2018 and 2019 international conferences to observe presentations on vocabulary including at the yearly Vocabulary SIG Forum.

Aaron Gibson presented at the JALT 2019 conference a poster presentation: The Effects of Loanwords and Letter Length on Word Difficulty. This was preliminary to the current research and presented the features of words and the effects they have on difficulty as reported by students using a different data set. This presentation showed how difficulty decreases with frequency, increases with letter length but can also decrease with the presence of cognates that are recognized by the learners from their L1.

Preliminary analysis of the data showed differences in the total vocabulary knowledge of the students from different faculties. Implications are that students from different groups come to the university with differing

vocabulary levels and their own specific gaps and deficiencies. Teachers should know students’ vocabulary level at the start of the semester and take it into account in instruction if the aim is to learn the most frequent 3000 words in English.

## 研究業績

Haswell, C. & Hahn, A. (2018). Connecting the Global Model to effective intercultural communication in English. *九州大学言文論究*, 40, 57-68.

Matsuo, C. (2019). Heteroglossia and chronotope in dialogic pedagogy and as dialogical analytic framework components for interpreting EFL/ELF classroom discourse. *Central Research Institute of Fukuoka University*, 18, 51-76.

Small, L. (2019). Reaffirming a preference for English loanwords by Japanese learners. *THAITESOL Journal*, 32 (2), 32-45.

Small, L. (2020). Features of Japanese discourse style that impede communication in English. *ThaiTESOL Conference Proceedings*, 109-121.





- 前越俊之「(判例研究) 変額個人年金保険(特定保険契約)を締結した原告による、保険者および金融商品販売業者等に対する錯誤無効および説明義務違反を理由とする損害賠償請求が否定された事例(東京地裁平成26年4月15日判決)」福岡大学法学論叢63巻4号 pp.979-1018、2019年
- 砂田太士他(著)『企業取引法』、中央経済社、pp.1-222、2018年
- 畠田公明(著)『企業グループの経営と取締役の法的責任』、中央経済社、pp.1-291、2019年
- 畠田公明「特定責任追及の訴えにおける最終完全親会社等の損害要件について」福岡大学法学論叢63巻1号 pp.96-126、2018年
- 畠田公明「企業グループにおける多重代表訴訟の概括的検討」福岡大学法学論叢63巻2号 pp.441-494、2018年
- 畠田公明「完全子会社の役員等の責任の免除について」福岡大学法学論叢63巻3号 pp.645-687、2018年
- 畠田公明「社会的営利会社(Benefit Corporation)における取締役の責任」福岡大学法学論叢64巻1号 pp.277-316、2019年
- 畠田公明「取締役の報酬総額の具体的配分の決定を一任された代表取締役が決定した具体的な報酬総額の相当性の判断」私法判例リマークス60号 2020年 [上] pp.86-89、2020年
- 畠田公明「社会的営利会社(Benefit Corporation)の利益報告書と透明性」福岡大学法学論叢64巻4号 pp.883-929、2020年
- 畠田公明「社会的利益を追求する有限責任会社(L3C・BLLC)」福岡大学法学論叢65巻1号 pp.137-174、2020年
- 畠田公明「アメリカの州会社法における利害関係者制定法」福岡大学法学論叢65巻2号 pp.311-362、2020年
- 畠田公明「企業買収に対応する社会的営利会社(Benefit Corporation)の取締役による防衛的行為」福岡大学法学論叢65巻3号 pp.525-558、2020年
- 李黎明「中国法における『司法解釈』の在り方」福岡大学法学論叢64巻2号 pp.549-565、2019年
- 安井英俊「DV事案における面会交流の可否」福岡大学法学論叢62巻4号 pp.1037-1056、2018年
- 安井英俊「証明度軽減についての一試論(1)」福岡大学法学論叢63巻4号 pp.919-930、2019年
- 安井英俊「判例回顧と展望2019『民事訴訟法』『判例回顧と展望2019』 pp.177-179、187-190、2020年
- 芳賀真一「所得区分と必要経費」税研 JTRI35 巻6号 p.56、2020年
- 芳賀真一「(判例研究) 相続不動産の譲渡に係る二重課税(東京高裁平成26年3月27日判決)」税研 JTRI35 巻4号 p.65、2020年
- 所浩代「精神的不調(妄想性障害)を抱える労働者に対する休職命令・退職取扱いの有効性」やまぐちの労働(2018年2月) pp.6-7、2018年
- 所浩代「解雇過程における使用者の説明・協議義務」日本労働法学会誌131号 pp.68-84、2018年
- 所浩代「カナダにおける妊娠・出産・育児に関する休暇・休業法制」島田陽一他編『「尊厳ある社会」に向けた法の貢献(浅倉むつ子先生古稀記念)』 pp.381-397、2019年
- 所浩代「賃金平等最前線」中央労働時報1262号 pp.4-13、2020年
- 所浩代「(判例研究) 実労働時間の認定方法と定額残業代合意の有効性」法律時報1153号 pp.132-135、2020年
- 所浩代「(判例研究) 子会社従業員の労働条件に関する団交と親会社の労組法7条の使用者性(福島地裁令和元年12月17日判決)」中央労働時報1264号 p.30、2020年
- 谷川和幸「コンテンツ・オーナーシップと著作権法(前編)」福岡大学法学論叢63巻1号 pp.39-50、2018年
- 谷川和幸「欧州司法裁判所の『新しい公衆』論について(1)」知的財産法政策学研究53号 p.109、2019年
- 谷川和幸「発信者情報開示請求と支分権主義」福岡大学法学論叢63巻4号 pp.841-873、2019年
- 谷川和幸「発信者情報開示請求事件における著作権法解釈」NBL1172号 p.79、2020年
- 谷川和幸「eスポーツをめぐる法律問題」法学教室479号 p.54、2020年
- 谷川和幸「リーチサイト規制」法律時報92巻8号 p.91、2020年
- 谷川和幸「複製物に対する物理的加工を施して販売する行為に著作権は及ぶか(5・完)」福岡大学法学論叢65巻3号 pp.461-485、2020年



をどのように立法するかが問題となっている。モンゴルは、わが国の法整備支援の対象国でもあり、モンゴルの法律家と私法に関する知見を交流することは、重要な課題となっている。ヨーロッパ諸国においても、ベルギーやオランダといった、わが国と同様にフランス民法の影響を強く受けた国々で民法改正が進められており、わが国で参考となる知見が得られるのではないかと期待される。このほか、イタリアや、ヨーロッパ圏以外ではカナダ・ケベック州、アメリカ・ルイジアナ州など、わが国と同様にフランス民法の影響を強く受けつつも、これまであまり注目されてこなかった国々や地域がどのような民法関係の立法をしているかも、わが国にとって有益な知見となることが期待される。

前述したように、わが国における民法改正は大型の改正が連続しているが、すでに成立した改正法にも、今後の運用に伴う課題や、もっと別の改正が必要だったのではないかとといった問題が残されている。特に前者については、立法では可能な限り明確な条文を作成することが求められるものの、複雑な社会状況と鋭い利害の対立を受けて、あえて解釈の余地を残しておく場合がある。大きな社会的ニュースとなった平成29年の債権法改正は、透明性の向上、すなわち国民に分かりやすい民法を実現するという目標を持ちつつも、例えば錯誤（95条）や詐欺（96条）に関する規定など、解釈上なお詰めるべき部分を残しており、今後、適切な運用が求められるところである。また、平成30年に成年年齢が20歳から18歳に引き下げられ、それに対応するために消費者契約法も改正されたが（平成30年）、交渉力などの点で劣ると考えられる若年層の保護として十分なのか、引き続き検討が必要とされている。

民法が対応しなければならない社会問題は、まだ数多く残されている。例えば、生殖補助医療による親子関係のあり方（この問題については令和2年（2020年）に立法がなされたが、代理出産など未規定のままの課題が残っている）、平成27年（2015年）に一度最高裁大法廷で合憲判決が出されたものの、同種の訴訟が相次ぎ、再度大法廷に審理が回付された夫婦同氏制度の問題、人の属性の多様化の中で民法の人の規定はどうあるべきか（消費者、障害者、交渉力が不均衡な当事者、同性婚など）、新たな法益の

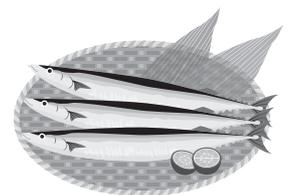
保護を中心に議論の方向がなかなか定まらない不法行為分野の問題などを挙げるができる。こうした諸問題について、民法改正によって対応すべきかどうかの見極めも重要な課題となっている。

以上の研究成果は、本研究チーム研究員の研究成果をもとに、本研究チームの各年度会合および毎年開催されている福大民事判例研究会において議論した成果である。

## 研究業績

- ・生田敏康＝下田大介＝畑中久彌＝道山治延＝蓑輪靖博＝柳景子『民法総則』（2018年、法律文化社）
- ・生田敏康『債権法入門』（2021年、法律文化社）
- ・松岡博編『レクチャー国際取引法 [第2版]』（2018年、法律文化社）137-154頁〔北坂尚洋執筆〕
- ・小川富之＝下田大介編『法学一人の一生と法律のかかわり―』（2018年、八千代出版）180-190頁〔北坂尚洋執筆〕
- ・松岡博編『国際関係私法入門 [第4版]』（2019年、有斐閣）227-254頁、324-353頁〔北坂尚洋執筆〕
- ・松岡博編『国際関係私法入門 [第4版補訂版]』（2021年、有斐閣）227-254頁、324-353頁〔北坂尚洋執筆〕
- ・北坂尚洋「涉外家事事件判例評釈（78）婚姻費用分担の準拠法が中国法である場合の分担額の算定（東京高裁平成30.4.19決定）」戸籍時報785号（2019年）37-44頁
- ・北坂尚洋「イスラム法上のタラーク離婚、子の親権者指定及び慰謝料請求と公序（平成31.1.17東京家判）」私法判例リマークス61巻（2020年）142-145頁
- ・下田大介「私保険契約に基づく保険金を賠償額から控除することの要否：貯蓄性のない保険金の控除と政策的理由による非控除」福岡大学法学論叢65巻1号（2020年）69-97頁
- ・下田大介「改正民法96条3項による第三者保護の要件としての登記等の要否」福岡大学法学論叢65巻2号（2020年）195-234頁
- ・下田大介「事実摘示型名譽毀損の要件（抗弁）枠組みと不法行為法学の混迷」福岡大学法学論叢65巻4号（2021年）713-766頁
- ・畑中久彌「民法95条1項2号における『その認識』

- の意義と必要性について」福岡大学法学論叢63巻  
4号（2019年）1019-1042頁
- 畑中久彌「用語『責めに帰す』の形成過程と諸外国の状況」吉村良一先生古稀記念論集『現代市民社会における法の役割』（2020年、日本評論社）387-405頁
  - 五十川直行＝大塚芳典＝金敏圭（代表編集者）・鬼頭祐紀＝道山治延（分担執筆者）「韓国婚姻法研究―日韓比較民事法研究(2)」岡山商科大学法学論叢27号（2019年）107-162頁
  - 五十川直行＝大塚芳典＝金敏圭（代表編集者）・鬼頭祐紀＝道山治延（分担執筆者）「韓国後見法研究―日韓比較民事法研究(3)」岡山商科大学法学論叢28号（2020年）120-186頁
  - 蓑輪靖博「モンゴル民法典の不動産規定とその問題点」裁判所法律雑誌（モンゴル）1号（2019年）35-59頁
  - 蓑輪靖博「デビットカードの不正使用と預金者保護法の適否（東京地裁平成29.11.29判決）」新・判例解説 Watch 24号（2019年）81-84頁
  - 柳景子「〈論文紹介〉アメリカ契約法と非良心性の法理―非良心性と契約法における不服を主張する権利というアプローチ― Nicolas Cornell, A Complaint-Oriented Approach to Unconscionability and Contract Law, 164 U. Pa. L. Rev. 1131 (2016)」アメリカ法2017-2（2018）306-310頁
  - 柳景子「現代におけるアメリカの非良心性法理の展開」福岡大学法学論叢63巻4号（2019年）931-959頁
  - 柳景子「アメリカにおけるバーゲニング・パワー（交渉力）概念の議論に関する一考察」福岡大学法学論叢64巻1号（2019年）357-385頁
  - 柳景子「我が国の学説・判例における交渉力不均衡概念について―アメリカのバーゲニング・パワーの議論を参考に―」福岡大学法学論叢64巻2号（2019年）513-548頁
  - 柳景子「英米法部会 アメリカの非良心性法理からみる交渉力不均衡概念」比較法研究81号（2019年）213-215頁





者-取引先小売業者、大規模小売業者の三者が共存する関係が見出された。これについて、平成28年の経済センサスを用いてモデル妥当性を確認した結果、飲料・食料卸売業、売り場面積 500-1,000m<sup>2</sup> の飲食料品小売業、売り場面積 1,500m<sup>2</sup> の飲食料品小売業について都道府県単位データでモデルの結果と整合的だった（杉本 2020）。日本では中堅規模の小売（食品スーパー等）が取引先の卸とともに、競合する大型店と共存していることになる。日本のデータで得たのは、棲み分けの条件とも言えるだろう。

他方、同じ結論をヨーロッパの国家単位のデータで確認しようとしたところ、1995年から1999年までで、飲食商品業界における卸売企業と1—9人規模の小売企業でおおむね妥当だった（杉本 2019）。この時期のヨーロッパでは、従業員数1—9人の小規模小売企業の役割が重要な地域ほど飲食料品卸売企業の役割は大きいことが示唆された。すなわち、上述の結論は、卸売と小売が多く特殊と認識されやすい日本に固有の結果でないこと、ヨーロッパにおいても小規模小売と卸の存在が流通システムで依然重要であったことが示されたと言える。

鈴木裕介は、国内物流ネットワークに関する研究課題について、(1)離島における旅客貨物輸送ネットワークに関する研究と(2)都市内物流ネットワークとしての自転車交通の課題について分析を行った。2019年度までは、離島航路やその他船舶に焦点をあて、航路の経営状況とその課題について調査分析を行った。特に離島は人口減少と高齢化の進展が著しく、また産業も衰退し、最低限の生活を維持するための旅客貨物輸送ネットワークを採算が取れる形で維持することはできない。そのため国は離島振興法に基づく航路維持費の一部を補助する施策や自治体による航路維持のための赤字補填が慢性的となっている。今後さらに深刻化する離島航路の経営をいかにすべきかを分析した。しかし2020年度以降に発生した新型コロナウイルス感染症の感染拡大により、需要動向や運行状況が大きく影響を受け、計画通りの研究を持続することが困難となった。そのため、最終的な研究成果を出すことができず、コロナ終息後に継続研究を行う予定である。そこで、コロナ禍において、あらたな物流の担い手として注目された自転車交通を新たな研究課題として設定し、自転車事故に

よる問題を外部費用という視点で分析し、その対策としてのヘルメット着用義務化の対策の可能性について分析を行った。Uber Eats などの新たな宅配ビジネスが都市内で展開されているものの、自転車の走行環境が十分に確保されない中で、事故などの問題は今後社会問題として顕在化する可能性がある。その対策として、自転車用ヘルメットをいかに活用していくか、政策的可能性について研究を進めた。

2020年春より、世界経済も新型コロナウイルス感染拡大による未曾有の危機に直面したが、同年4月より研究員に加わった伊豆久は、日米欧の中央銀行が、深刻な実体経済・金融市場の混乱にどのように対応したのか、比較検討した。

まず、三つの中央銀行に共通する対応の一つに国債の買入れがある。とはいえ、米国では国債市場でパニック的な売りが発生したことから、FRB が、これまでに例のない規模とスピードで買入れをおこなったのに対して、日本では国債市場に大きな混乱は見られず買入れ額も比較的少額にとどまった。また、欧州中央銀行（ECB）の国債買入れでは、常に、買入れ対象の選定が問題となるが、今回は、例外的対応として、格付けの低いギリシャ国債も対象に含めている。

パンデミックによる実体経済への影響を抑えるべく、日銀とFRBは、リスク資産の買入れ、非銀行部門への直接的な資金供給にも乗り出した。ただし、日銀の場合、株式（ETF）、CP、社債の買入れは、10年以上前から行っており、今回はその額を増やしたにすぎない。時限措置であるべき危機対応が恒常化しているとも言える。FRBは、低格付け債を含む社債ETFの買入れを含む、異例の資金供給を新たに開始したが、財務省が信用補完を行っている。すなわち、リスク負担は財務省、流動性供給は中央銀行という役割分担がなされており、その点で日本と大きく異なる。他方、ECBはより厳格で、資金供給のルートは国債の買入れと銀行への貸出拡大に限定している。そして、銀行には貸出に応じた事実上の補助金を付与することで企業や家計への資金供給を支えた。欧州経済における間接金融の役割の大きさを反映した対応と言うことができるであろう。

このように、パンデミックによる経済危機という世界共通の現象への対応にも様々な違いが見られる。

それは、主として、それぞれの金融構造と、それ由来する各国中央銀行の制度的違いに起因するものと思われる。

いっぽう、国家間の流通ならびに労働力や資本移動の障壁が撤廃されて、特定国家間での経済統合が進展すると、特定の産業が発展する地域と既存の産業が衰退する地域に二極化し、地域間格差が拡大する傾向がみられるが、松永は、EUの場合、この二極化が顕著に現れたことをEU全域の各地域のデータに基づいて詳細に分析した。EUでは、一人あたりのGDP、労働生産性、失業率などの地域格差は非常に大きく、また中東欧諸国は全体的に低水準であるものの徐々に全域との格差が縮小する一方で、西欧や南欧では二極化が強まっていた。EUでは、域内市場統合が完成し、人・モノ・サービスの移動の自由化と各種の制度的障壁が撤廃されたことにより、二極化のメカニズムが強くなり、賃金水準が大きく異なる中東欧諸国の加盟はそれをいっそう強めた。またユーロ圏では、ユーロの対外価値の水準によって、製造業の競争力がさらに強まる地域と低下する地域に分裂した。ユーロ導入後は自国通貨の相場変動による調整が作用しえないためこの分裂が続く。この結果発生する失業の増大は、労働力移動によって緩和されるが、国境を超えた労働力移動は、EU全体で見ると、一部の東欧諸国からイギリスへの流入などを除くと、それほど顕著ではないことも分析によって明らかになった。

## 研究業績

山本和人

(単著)

(1) 『多国間通商協定 GATT の誕生プロセス〔増補版〕—戦後世界貿易システム成立史研究—』ミネルヴァ書房、375頁+xix、2019年。

(共編著)

(2) 『世界経済論—岐路に立つグローバリゼーション—』ミネルヴァ書房、324頁+xvi、2019年(はしがき、第2章、第5章1・2節、終章4節、あとがきなどを分担執筆)

(辞典)

(3) 「GATT と国際的な貿易体制」、社会経済史学会編『社会経済史辞典』丸善出版の第16章「国際

秩序と開発」の17項として所収。2021年7月に出版予定

大田(二宮)麻里

二宮麻里・濱満久「野菜消費市場を創る小売・サービス」(その1)『流通情報』531号、46-56頁、2018年。

二宮麻里・濱満久「野菜消費市場を創る小売・サービス」(その2)『流通情報』533号、67-76頁、2018年。

二宮麻里・濱満久「独立零細小売商による経験価値の提供」『マーケティングジャーナル』第38巻第3号、55-65頁、2019年。

杉本宏幸

杉本宏幸、卸売企業による商圈調整のヨーロッパへの適用、(福岡大学)商学論叢、64(2)：pp333-350、2019年。

杉本宏幸、卸売業者による営業地域調整とその影響、サービスと消費者行動(山本昭二他、編著)、千倉書房、pp273-293、2020年。

鈴木裕介

鈴木裕介(酒井裕規共著)：「クルーズ船のもたらすホテリングによる社会的費用の計測—福岡県博多港を対象とした分析」『海運経済研究』、第54号、41-50頁、2020年。

鈴木裕介：「自転車用ヘルメット着用の効果と課題」『交通安全教育』、No.659、6-15頁、2021年。

鈴木裕介：「自転車運転時のヘルメット着用義務化による社会的費用の削減効果に関する一考察」『交通学研究』、第64号、115-122頁、2021年。

伊豆久

「FRBのコロナ危機対応策～リーマン危機との比較～」『証研レポート』1719号、30-43頁、2020年。

「日本銀行のコロナ危機対応策」『証研レポート』1721号、10-23頁、2020年。

「ECBのコロナ危機対応策」『証研レポート』1723号、11-22頁、2020年。

松永 達

「貿易をめぐる利害対立と論争の深化」「自由貿易の利益をめぐる議論」、山本和人・鳥谷一生編『世界経済論—岐路に立つグローバリゼーション—』、pp35-43、ミネルヴァ書房、2019年。

「対外投資と生産のグローバル化」、山本和人・鳥谷一生編『世界経済論—岐路に立つグローバリゼーション—』、pp123-141、ミネルヴァ書房、2019年。

「EU の地域政策」、本田雅子・山本いつみ編『EU 経済入門』、pp65-81、文眞堂、2019年。

「EU 域内における地域間格差—その現状が示す EU 統合の課題と対策の必要性—」、『国際比較研究』第15号、pp3-31、2019年。





あり、今後も期日後の成果物として公表される予定である。

## 研究業績

石松勉「債権執行における差押えによる請求債権の消滅時効の中断に関して民法155条の通知を要しないとされた事例」福岡大学法学論叢65巻2号、363～459頁、2020年

井上能孝「計算」『スタンダード商法Ⅱ 会社法』（徳本穰（編））、法律文化社、177～205頁、2019年

木村道也「講演・口頭発表 行政訴訟はじめの一步」山口県弁護士会行政問題対応委員会研修、於・山口県弁護士会館、2019年3月6日

木村元昭「共感と自立」「要件事実について」調停会報、福岡調停協会連合会、1、6頁、2020年

佐野誠「自動運転化と自動車事故被害者救済制度」損害保険研究第80巻第2号、29～64頁、2018年

村上英明「住民の権利と義務」『地方自治の法と政策』（中川義朗・村上英明・小原清信（編））、法律文化社、129頁～149頁、2019年

平江徳子「事例で考える刑法（特殊詐欺編）」警部補任用科研修、九州管区警察学校、2021年10月1日

山下義昭「被相続人が銀行預金口座開設のため銀行に提出した印鑑届書に関する情報は相続人等の個人情報には当たらないとされた事例」判例評論738号168～172頁、2020年9月



## 振動発電のための鉛フリー圧電デバイス用素材に関する 基礎・応用研究

研究チーム名：エナジーハーベスティング（課題番号：185002）

研究期間：平成30年4月1日～令和3年3月31日

研究代表者：武末尚久 研究員：小隈龍一郎

### 研究成果

我が国の主力発電法（火力、原発）では、燃料となる資源が消費される一方なので、将来の資源枯渇が懸念される。よって、資源依存度が低い再生可能エネルギーと呼ばれる電力供給法が研究・開発されている。その類のものとして、強誘電体を起電源とする振動発電と呼ばれる発電法が近年注目されている。この発電法を実用するためには、当物質が大きな自発分極を持つことと、当物質が海洋資源であるナトリウムのような豊富な資源で作れること、が要求される。そこで本研究では、チタン酸バリウムをモデルシステムに選び、そのナノキューブと呼ばれる単結晶直方体ナノ粒子を集積化すること、ならびにチタン酸バリウムにナトリウムを固溶させることを行った。

前者のナノキューブの集積については、ナノキューブの配向と圧電性の相関を明らかにするために、先ずは無配向体のインピーダンス測定を行った。得られた結果より、無配向体はリラクサー強誘電体であることが示唆された。このことは、無配向体が人工的な超微細粒多結晶であることと関係していると思われる。リラクサー強誘電体は、高い圧電能を有する物質として知られているので、本研究の無配向体も高い圧電能を有すると期待される。

後者のナトリウム利用については、チタン酸バリウムにナトリウムを固溶させたクラスターモデルを用いて分子軌道計算を行い、モデル固溶体の圧電性が高いことを示唆する結果が得られた。このことを実証するために、現在モデル固溶体の合成を行っている。

本研究を通して、ナトリウムを含むナノキューブ

を合成し、含ナトリウムナノキューブの集積化と配向制御により、振動発電に利用できるだけの圧電能を有する素材とデバイス開発を行っていく。

### 研究業績

#### 【論文】

1. K. Golasinski, E. Pieczyska, M. Maja, S. Mackiewicz, M. Staszczak, Z. Kowalewski, L. Urbanski, M. Zubko, N. Takesue, *Materials Science and Technology* 36(9) 996-1002 (2019), <https://doi.org/10.1080/02670836.2019.1629539>.
2. J. Fujitani, K. Watanabe, J. Saito, and N. Takesue, *Fukuoka Univ. Sci. Rep. Special issue to commemorate the 50th anniversary of faculty of science* 50(2), 69-77 (2020). ISSN 0386-118X.
3. N. Takesue, J. Saito, *Crystals* 2020, 10(11), 956; <https://doi.org/10.3390/cryst10110956>.
4. L. Li, P. Fan, M. Wang, N. Takesue, D. Salamon, A. N. Vtyurin, Y. Zhang, H. Tan, B. Nan, Y. Lu, L. Liu, H. Zhang, *Journal of Physics D: Applied Physics*, provisionally accepted on March 29th, 2021, accepted on April 15th, 2021, now online at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6463/abf860>

#### 【著書】

1. 武末尚久, 齊藤淳一, 「エレクトロニクス用セラミックスの応用、開発と評価手法」, 第2章第3節, 分筆, 技術情報協会 (2020年8月出版).

#### 【国際会議発表】

1. Kazuki Asakura (Fukuoka Univ.), Kazumasa Kiba

- (Fukuoka Univ.), Jun-ichi Saito (JAEA), Naohisa Takesue (Fukuoka Univ.), Asia Pacific Society for Materials Research, 2018 GLOBAL RESEARCH EFFORTS ON ENERGY AND NANOMATERIALS (GIS TAIPEI TECH Convention Center, Dec. 23, 2018, Taipei, Taiwan).
2. Kazumasa Kiba (Fukuoka Univ.), Kazuki Asakura (Fukuoka Univ.), Jun-ichi Saito (JAEA), Naohisa Takesue (Fukuoka Univ.), Asia Pacific Society for Materials Research, 2018 GLOBAL RESEARCH EFFORTS ON ENERGY AND NANOMATERIALS (GIS TAIPEI TECH Convention Center, Dec. 23, 2018, Taipei, Taiwan).
  3. N. Takesue, K. Kiba, J. Kudoh, N. Matsuo, J. Saito, Behavior of Rigid Cubes in Soft Mediums in Agitation or under Compression, Materials Challenges in Alternative and Renewable Energy 2019 (August 19-23, Jeju Island, Korea).
  4. K. Kiba, J. Kudoh, N. Matsuo, J. Saito, N. Takesue, Synthesis and Integration of Barium Titanate Nanoparticles, Materials Challenges in Alternative and Renewable Energy 2019 (August 19-23, Jeju Island, Korea).
  5. J. Kudoh, K. Kiba, N. Matsuo, J. Saito, N. Takesue, Synthesis and Solid Solutionization of Nanoparticles of Barium Titanate with Barium Zirconate, Materials Challenges in Alternative and Renewable Energy 2019 (August 19-23, Jeju Island, Korea).
  6. N. Matsuo, K. Kiba, J. Kudoh, J. Saito, N. Takesue, Synthesis and Solid Solutionization of Nanoparticles of Barium Titanate with Barium Zirconate and Calcium Titanate, Materials Challenges in Alternative and Renewable Energy 2019 (August 19-23, Jeju Island, Korea).
  7. K. Kiba, J. Kudoh, N. Matsuo, J. Saito, S. Toh, N. Takesue, Integration of Barium Titanate Nanocrystals with Stirring in Soft media, PACRIM13 (Oct. 27, 2019-Nov. 1, 2019, Okinawa).
  8. J. Kudoh, K. Kiba, N. Matsuo, J. Saito, S. Toh, N. Takesue, Barium Titanate Nanocrystals Solid Solutionized, PACRIM13 (Oct. 27, 2019-Nov. 1, 2019, Okinawa).
  9. N. Matsuo, K. Kiba, J. Kudoh, J. Saito, S. Toh, N. Takesue, Barium Titanate Nanocrystals Solid Solutionized with Barium Zirconate and Calcium, PACRIM13 (Oct. 27, 2019-Nov. 1, 2019, Okinawa).
  10. R. Oguma, L. Q. Chen, S. Matsumura, Phase-Field Model for Microstructure Change in L1<sub>0</sub> Type Ordering with Lattice Distortion, The 9th International Conference on Multiscale Materials Modeling (Oct. 28-Nov. 2, 2018 Osaka).
- 【国内学会発表】**
1. 朝倉和基・木場知将・斉藤淳一・武末尚久, 日本セラミックス協会第38回秋季シンポジウム(名古屋工大・平成30年9月6日発表).
  2. 木場知将・朝倉和基・斉藤淳一・武末尚久, 日本セラミックス協会第38回秋季シンポジウム(名古屋工大・平成30年9月6日発表).
  3. 朝倉和基・木場知将・斉藤淳一・武末尚久, 日本セラミックス協会2019年年会(工学院大学・平成31年3月24日発表).
  4. 木場知将・朝倉和基・斉藤淳一・武末尚久, 日本セラミックス協会2019年年会(工学院大学・平成31年3月24日発表).
  5. 木場知将, 工藤淳貴, 松尾直樹, Park Sungkuyn, 斉藤淳一, 武末尚久, チタン酸バリウムナノキューブの合成および分散剤中の集積化, 日本セラミックス協会2020年年会(明治大学駿河台キャンパス, 3月18日-20日, COVID-19感染防止のため会合は中止).
  6. 工藤淳貴, 木場知将, 松尾直樹, 武末尚久, Park Sungkuyn, 斉藤淳一, チタン酸ジルコニウムを固溶させたチタン酸バリウムナノキューブの合成, 日本セラミックス協会2020年年会(明治大学駿河台キャンパス, 3月18日-20日, COVID-19感染防止のため会合は中止).
  7. 松尾直樹, 工藤淳貴, 木場知将, 武末尚久, Park Sungkuyn, 斉藤淳一, チタン酸ジルコニウムとチタン酸カルシウムを固溶させたチタン酸バリウムナノキューブの合成, 日本セラミックス協会2020年年会(明治大学駿河台キャンパス, 3月18日-20日, COVID-19感染防止のため会合は中止).

8. 小隈龍一郎, L. Q. Chen, 松村晶, 格子歪みを考慮した  $L1_0$  型規則化におけるドメイン構造の形成過程, 日本金属学会2019年春期 (第164回) 講演大会 (東京電機大学東京千住キャンパス2019年3月21日発表).
9. 小隈龍一郎, L. Q. Chen, 松村晶,  $L1_0$  型規則化でのにおけるドメイン構造形成における外部磁場の影響, 日本金属学会2020年春期 (第166回) 講演大会 (3月17日-19日, 東京工業大学大岡山キャンパス, COVID-19 感染防止のため会合は中止).



## 導電性物質の構造と機能

研究チーム名：導電性物質の構造と機能（課題番号：185003）

研究期間：平成30年4月1日～令和3年3月31日

研究代表者：西田昭彦 研究員：匠 正治、藤 昇一

### 研究成果

本研究チームでは、代表的な導電性物質として高温超伝導体と化合物半導体を取り上げ、巨視的物性と微視的構造の対応を検討した。それによりこれらの物質がもつ機能の発現原因を突き止めるとともに、新奇物質開発の指針を得ることを目的とした研究を進めた。以下に今回の研究によって得られた成果をそれぞれの物質について記載する。

#### 〈高温超伝導体〉

二ホウ化マグネシウム多層膜の臨界特性におけるスケール則を用いて下地の異なる複数の薄膜についての吟味と比較評価の研究、Gd系銅酸化物超伝導体に対するYb置換効果の研究、Yb系銅酸化物超伝導体に対するGd置換効果の評価などについて研究を行った。

これらにより、金属系高温超伝導体では、様々な磁束ピン止めモデルによるスケーリング理論が最大16桁にも及ぶ広いダイナミックレンジで適用可能であり、種々の環境条件下での高温超伝導特性を予測するのに有効であることを示した。

一方、銅酸化物超伝導体では、焼結温度が高いGdをYbで部分置換することによって焼結温度を下げ、より低いエネルギーで良質の試料を作成することに成功し、さらにYb系については一部をGdやNdで置換することによって逆に焼結温度を上げて、より転移温度の高い試料を作成するなどの成果を得ることができた。

#### 〈化合物半導体〉

走査透過型分析電子顕微鏡（STEM-EDS）による観察、ならびに分析に重点をおいた研究を進めた。具体的には、試料の調製、X線回折による構造解析

および物性の測定と並行して、STEM-EDS（走査透過電顕法—エネルギー分散型分光分析装置）での観察、化学組成分析を行った。

本課題では、九州大学超顕微解析研究センター（URC-KU）が実施するナノテクノロジー・プラットフォーム事業で公開されている装置の利用を当初より計画した。具体的には冷陰極電界放出型電子銃、収差補正装置で特徴付けられる最新のSTEM-EDS（広電圧超高感度原子分解能電子顕微鏡）を用いた。本装置はEDSが2台搭載されており、特性X線の取り込み立体角が2ステラジアンである。これは従来機に比べ検出効率が2倍以上になっている。実際に従来の分析電子顕微鏡の元素マッピング結果との比較を行ったところ、濃度のコントラストに明確に

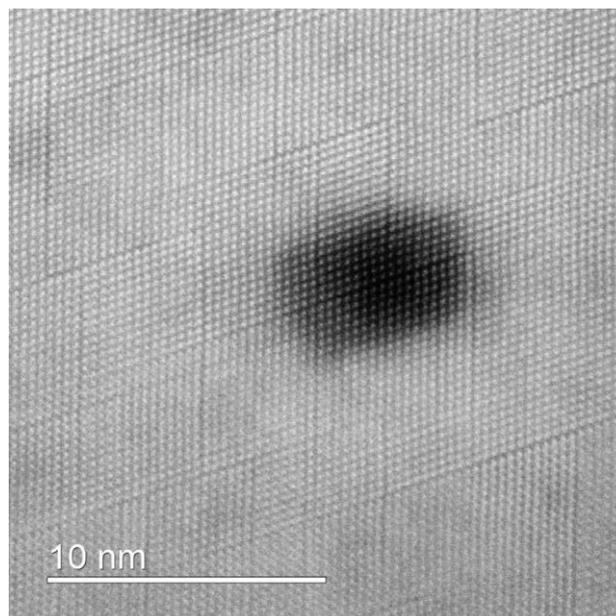


図1  $\gamma$ -Ga<sub>2</sub>Se<sub>3.04</sub>のSTEM-DF像の一例。

2方向に積層欠陥が発達していることがわかる。その周期はランダムである。黒い領域は超高分解能観察時の電子線によるダメージである。

違いを確認している。図1に  $\text{Ga}_2\text{Se}_{3.04}$  の高分解能STEM-DF（走査透過電顕像一暗視野）の一例を示した。周期的に並ぶ点状に見えているコントラストがGaおよびSe原子の配列を示す。それらの並びが線状の暗いコントラストによって乱れており、これらが積層欠陥に相当する。従って、非常に高密度の積層欠陥が分布していることを示している。それらの積層欠陥は定方位であるが、それらの間隔はランダムである。

図2には図1の領域をふくむ領域での電子回折パターンを示す。回折斑点を結ぶストリークが顕著に認められ、これらが積層欠陥のランダムな配列を反映しているものと考えられる。一方で、基本反射の2倍の周期にも弱い反射が認められるが、この反射に対応する構造を決定することは、できていない。

以上の実施初年度より実験から得られた知見を整理し、さらに結晶内における原子配列の直視に重点をおいた観察ならびに分析を行ってきた。最終年度では2019年度まででは成功していない超高分解能カラムマッピングに再チャレンジする計画であったが、URC-KUの装置利用が制限されたため、残念ながら十分な実験時間を確保することができなかったため、成果を得るには至っていない。

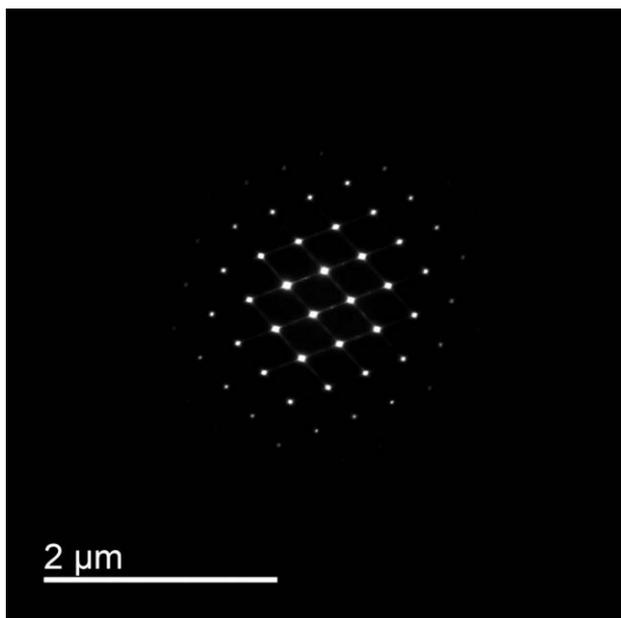


図2  $\gamma\text{-Ga}_2\text{Se}_{3.04}$  の電子線回折パターンの一例。全体に積層欠陥に対応すると思われるストリークが顕著に見られる。ストリーク内には基本構造の2倍の周期の回折ピークも認められる。

今回見出した積層欠陥の性質を明らかにするため、エネルギー分散型分光分析装置による化学組成分析を行なった。特に欠陥中に酸素などの原子が挿入されているのか、空孔であるかという点を明らかにすることを目的とした試みを行なった。しかし、試料作製状態が十分ではなかったこともあり、十分な成果を得られていない。

## 研究業績

### 論文

- Akihiko Nishida, Chihiro Taka and Stefan Chromik, “Scaling analyses on the critical current density in  $\text{MgB}_2/\text{NbN}/\text{Si}$  thin film”, *Journal of Physics: Conference Series* **1559** (2020) 012041 (6 pages) DOI 10.1088/1742-6596/1559/1/012041. (査読有)
- Akihiko Nishida, Chihiro Taka and Stefan Chromik, “Scaling analyses on the critical current density in  $\text{MgB}_2/\text{SiC}/\text{Si}$  thin film processed at higher temperature”, *Materials Science and Engineering* **502** (2019) 012184 (5 pages) DOI 10.1088/1757-899X/502/1/012184. (査読有)
- K Matsushima, C Taka and A Nishida, “Variations of superconducting transition temperature in  $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ceramics by Gd substitution”, *Journal of Physics: Conference Series* **969** (2018) 012059 (6 pages) DOI 10.1088/1742-6596/969/1/012059. (査読有)
- Toshio Yamaguchi, Masaaki Nishino, Koji Yoshida, Masaharu Takumi, Kiyofumi Nagata, Takanori Hattori, “Ion hydration and association in an aqueous calcium chloride solution in the GPa range,” *European Journal of Inorganic Chemistry* 2019 (2019) 1170 (8 pages) DOI 10.1002/ejic.201900016. (査読有)

### 国際会議発表

- Akihiko Nishida, Chihiro Taka and Stefan Chromik, “Scaling analyses on the critical current density in  $\text{MgB}_2/\text{NbN}/\text{Si}$  thin film” 14th European Conference on Applied Superconductivity 2019 (EUCAS 2019), September 3, 2019, Glasgow, England.
- Akihiko Nishida, Chihiro Taka and Stefan Chromik,

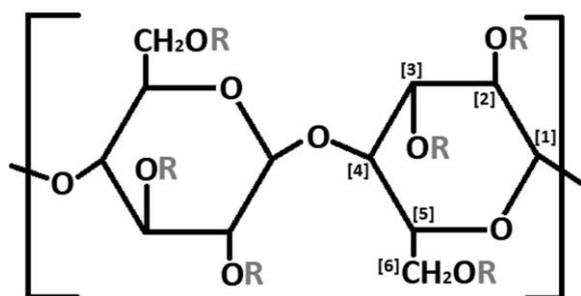
“Scaling analyses on the critical current density in MgB<sub>2</sub>/SiC/Si thin film processed at higher temperature” ICEC27-ICMC2018, September 6, 2018, Oxford, England.





**Table 1. Structure of Cellulose and Its Derivatives Based on Fig.1**

Cellulosic material	Cellulose derivatives	R groups
Cellulose	Cellulose	-H
Cellulose ether	Methyl cellulose (MC)	-H, -CH <sub>3</sub>
	Ethyl cellulose (EC)	-H, -CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>
	Hydroxyethyl cellulose (HEC)	-H, -CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH
Cellulose ester	Cellulose acetate (CA)	-H, -C(O)CH <sub>3</sub>



**Fig. 1.** The structure of cellulose as the starting material for cellulosic material derivative. Each anhydroglucose unit (AGU) residue possesses three potentially reactive hydroxyl groups. These are indicated and numbered in the second residue according to the associated carbon on which they reside. For most reaction schemes, the 2 and 6 positions are more reactive than the 3 position.

laboratory needs huge investment on time, equipment, materials and especially on difficult environment controlling. So, a computational method, Molecular Dynamics (MD) simulation, is frequently used in the material sciences to provide the analyzation of physical movements and interaction of materials. It became popular option that is adapted for studying the moisture adsorption ability.

Recently, various research in the field of material sciences presented the MD study of water adsorption on crystalline and amorphous cellulose at the interface and the influence of adsorbed water on amorphous cellulose structure by calculating the moisture adsorption content. The MD simulation obtained agreeable data as the experiment that help us to understand better the moisture adsorption in crystalline and amorphous interface. Besides the moisture adsorption content calculation, the computation of interaction energy between water and material can also describe the strong and weak interaction that represent the amount of moisture adsorption on the

cellulosic material. This MD simulation provide the calculation of total energy of the specified system and report contributions to the energy from different forcefield terms such as bond and van der Waals terms.

As the conclusion on relationship between moisture adsorption and MEC that is reported in the previous research and several studies of MD simulation, we attempt to evaluate the MEC of cellulosic materials by verifying the moisture adsorption ability with interaction energy between cellulosic materials and water which are performed in the MD.

The layout of this paper is as follows. In section 2 present the simulation methodology and idea to perform the simulation in MD. In section 3 result and discussion are given. Section 4 contain conclusions of this study.

### Experimental section

The experiment performs the MD simulation to study the interaction between water and cellulosic material in amorphous cell and crystal structure of cellulose I $\beta$  and cellulose II in different amount of water in the vacuum slab.

#### Cellulosic material structure

Cellulose derivatives structures performed in the MD simulation as the amorphous and crystalline state are referred to the typical structure for cellulosic material illustrated in [9] which are commercial structure in molar substitution (MS) and degree of substitution (DS) for pharmaceutical and other industries as based products. Cellulose, CA a different number of acetylation, HEC, CMC, MC, and EC molecule are structured with 4 AGU with different derivatives, the position of derivative and amount of derivative. According to most reaction schemes, the 2 and 6 positions are more reactive than the 3 position so 3 different cellulose acetate structures with varying a number of acetylation from 1 to 3 are built as cellulose acetate n1 (CA n1) with acetylation on C6, cellulose acetate n2 (CA n2) with acetylation on C2 and C6, and cellulose acetate n3 (CA n3) with acetylation on C2, C3, and C6.

In this study the crystal structure of cellulose I $\beta$

and cellulose II are constructed as the lattice parameters as  $a = 8.17 \text{ \AA}$ ,  $b = 7.91 \text{ \AA}$ ,  $c = 10.38 \text{ \AA}$  and  $\gamma = 96.5^\circ$  for cellulose I $\beta$  and  $a = 8.01 \text{ \AA}$ ,  $b = 9.04 \text{ \AA}$ ,  $c = 10.38 \text{ \AA}$  and  $\gamma = 117.1^\circ$  for cellulose II. The cell parameter of crystal cellulose for both types obtained by X-ray diffraction data studied.

### Simulation Methodology

All simulations are carried out using the Materials Studio 2020 (Dassault Systemés) software package. All models consisted of the amorphous cell of cellulosic material, crystal cell of cellulose, and water cell varying loading number.

To model the cellulosic materials in the amorphous cell, the cellulosic material molecule was first built in the 3D atomistic space. A cellulosic molecule consists of 4 AGU with different derivatives was optimized via the Forcite module with the COMPASSII force field. Next the amorphous cell orthorhombic unit with fixed lengths  $a = 42.3 \text{ \AA}$  and  $b = 42.3 \text{ \AA}$  was created using the Amorphous cell module with density  $1.6 \text{ g/cm}^3$  and 52 loadings then optimize the cell. Water construction with a density of  $1.0 \text{ g/cm}^3$  and 160, 320, 640, 1280, 2000, and 2560 water loading were also built with the Amorphous cell module with the same lengths  $a$  and  $b$  as the amorphous cellulosic material cell and optimized. The crystalline cellulose structure was originally constructed with specific lattice parameters as mentioned previously then two cellulose molecules were placed and arranged as structures that were shown in Fig.4(a) and (d) for cellulose II and cellulose I $\beta$ , respectively. Next,  $6 \times 6 \times 2$  supercell was constructed from crystalline cellulose units to obtain a surface with dimensions  $48.06 \times 54.24 \times 20.76 \text{ \AA}^3$  and  $\gamma = 117.1^\circ$  for cellulose II and  $49.02 \times 47.24 \times 20.76 \text{ \AA}^3$  and  $\gamma = 96.5^\circ$  for cellulose I $\beta$  then optimized. Then the system of cellulosic materials and water was built with the Build Layers tool by setting layer 1 as optimized cellulosic material and layer 2 as water.

The MD simulation was performed for 200 ps under the NVT ensemble with a step of 1.0 fs using the NHL thermostat. The COMPASSII force field which

was implemented by using the Forcite module provided the result of MD interaction of cellulosic materials and water simulations. The Electrostatic interaction and van der Waals interactions were calculated by using the group-based method and atom-based method, respectively, and the cutoff distance was  $12.5 \text{ \AA}$ .

### Result and discussion

The interaction energy ( $\Delta E$ ) is the important method used to determine the compatibility of two material, the interfacial region between water and cellulosic material, and can be calculated by the following equation:

$$\Delta E = E_{(\text{cellulosic} + \text{water})} - E_{(\text{cellulosic})} - E_{(\text{water})} \quad (1)$$

Where  $E_{(\text{cellulosic} + \text{water})}$  is the potential energy of the optimized cellulosic material and water system,  $E_{(\text{cellulosic})}$  is the potential energy of the optimized cellulosic material layer and  $E_{(\text{water})}$  is the potential energy of optimized water layer. The potential energy ( $E_{\text{total}}$ ) of each part is calculated by the COMPASSII force field, which was conducted by using the Forcite module. It consists of  $E_{\text{valence}}$ ,  $E_{\text{cross terms}}$ , and  $E_{\text{non-bond}}$  as Eq. (2) where are valence interaction, valence cross-terms, and non-bond interaction, respectively.

$$E_{\text{total}} = E_{\text{valence}} + E_{\text{cross terms}} + E_{\text{non-bond}} \quad (2)$$

The interaction energy is computed by Eq. (1) for all cellulosic materials and water systems are all negative which indicates the attractive force between cellulosic material and water molecule; thus, the more negative value the more interaction between two layers. The calculated interaction energy in the system of amorphous cell and crystal cell in the amount of water molecule at 2000 loading are listed in Table 2. In all systems, there are only van der Waal, Long-range correction, and Electrostatic interaction energy between cellulosic material and water. It can be concluded that electrostatic interactions are dominant in the interaction between cellulosic material and water.

In amorphous cell and water system, interaction energy between all cellulosic materials and water are increasing as the logarithm trends while amount of water molecule are increasing in Fig.2. It can be considered that the different derivatives on the several cellulosic materials can be ranked in the following order of ascending interaction energy: EC<CA n3<CA n2<MC<Cellulose<CA n1<HEC and CMC. The system of CMC and water has the largest interaction because of CMC's ionic character. In the cellulose ester group result in Table 2, the increase of acetyl content cause decrease of  $E_{\text{non-bond}}$ , which indicate that the attractive force between cellulose acetate and water decrease correspond to acetyl content increase. In Fig.2 interaction energy between cellulose acetate different number of acetylation and water increase as the same logarithm trends while amount of water molecule increasing in following rank order: CA n3<CA n2<CA n1.

The MD of cellulose crystal structure and water system show in Fig.3 as the result of interaction energy between different cellulose structure and different amount of water molecule. The different of cellulose structure

can affect the interaction between cellulose and water as the following rank of interaction energy: Cellulose I $\beta$  < Cellulose amorphous < Cellulose II. In Fig.4, cellulose I $\beta$  and cellulose II structure have been changed due to water molecule adsorption on the cellulose crystal surface cause the reordering of the hydrogen bonding pattern between cellulose chains. Interaction energy between cellulose crystal structure I $\beta$  and water are close to interaction energy between cellulose amorphous and water, and also have identical trend throughout the range of amount of water molecule.

The correlation between amount of moisture adsorption at 75% relative humidity of cellulosic materials that were reported in the previous study and interaction energy between amorphous cellulosic materials and water at 2,000 loading of water molecule performed in MD simulation show in Fig.5 as liner trending line with r-square at 0.4, as same as the correlation of cellulose ether group. While the cellulose ester group has a correlation with r-square at 0.99, which indicate that decreasing number of acetylation cause strong interaction and

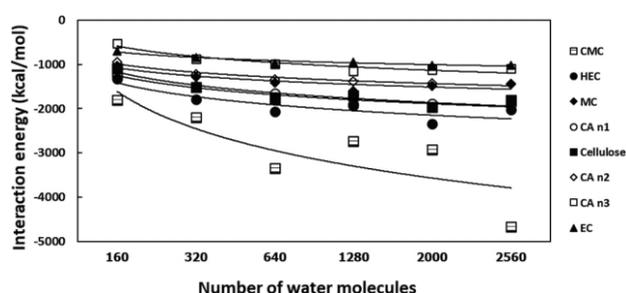


Fig. 2. Interaction energy between amorphous cellulosic materials and bulk water different loading.

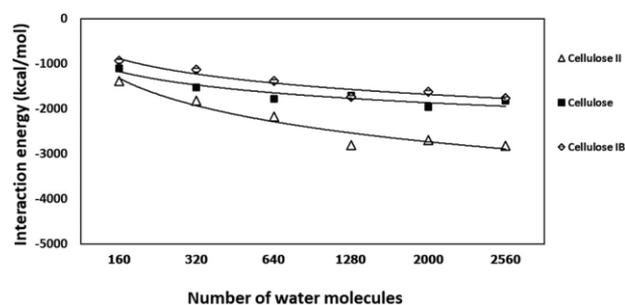


Fig. 3. Interaction energy between crystalline cellulose materials and bulk water different loading.

Table 2. Calculated interaction energy between cellulosic material and bulk water 2000 molecules.

Cellulosic material	$\Delta E_{\text{total}}$	$\Delta E_{\text{vdW}}$	$\Delta E_{\text{Long-range correction}}$	$\Delta E_{\text{Electrostatic}}$
HEC	-2345.14	-74.717	-107.452	-2162.966
CMC	-2919.82	159.268	-83.886	-2995.201
MC	-1489.87	-169.162	-87.971	-1232.733
CA n1	-1891.97	-98.19	-91.751	-1702.028
Cellulose II	-2693.64	-13.1	-87.278	-2593.26
Cellulose	-1960.14	-81.235	-75.313	-1803.585
Cellulose IB	-1623.14	-134.888	-90.767	-1397.48
CA n2	-1424.86	-214.462	-100.189	-1110.207
CA n3	-1125.29	-317.736	-108.813	-698.739
EC	-1012.98	-236.211	-97.318	-679.446

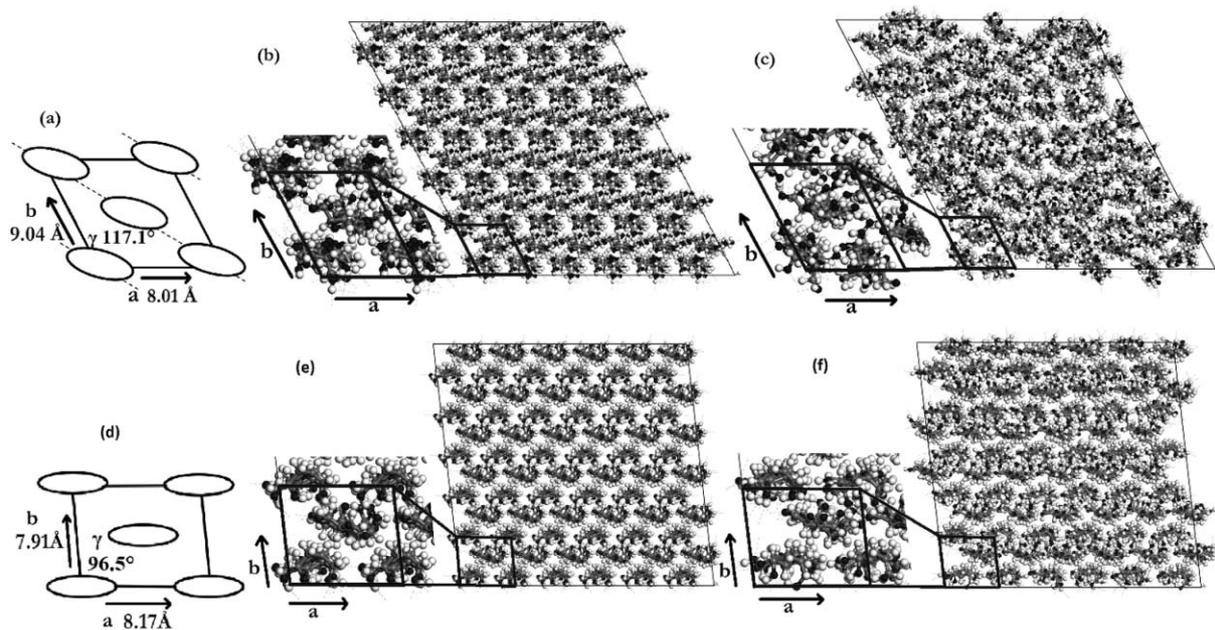


Fig. 4. The relocation of cellulose molecule in the crystal structure after the MD simulation due to the reordering of the hydrogen bonding pattern. Lattice parameter and location of cellulose molecule in crystal cell (a) cellulose II and (d) cellulose I $\beta$ , Crystalline cellulose structures before MD simulation (b) cellulose II and (e) cellulose I $\beta$ , Crystalline cellulose structures before MD simulation (c) cellulose II (f) cellulose I $\beta$ .

correspond to moisture adsorption ability enhancement in cellulose ester group.

MEC of absolute dry and air-dry cellulosic material powders have been measured and classified into three group: Non-explosive (HEC and CMC), Moderate risk (MC and HPC) and High risk (EC). The condition of drying material, absolute dry and air-dry, change MEC value of some material but does not change the risk classification for all material. In Fig.6 and Fig.7 interaction energy between cellulosic materials and 2000 molecule of water have relation to MEC value of those

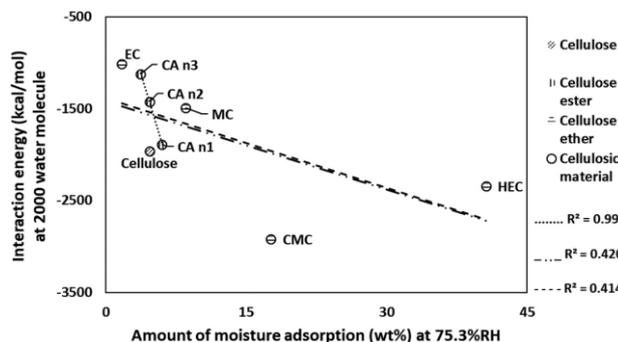


Fig. 5. The correlation between interaction energy of cellulosic material in 2000 water loading system and amount moisture absorption of cellulosic materials at 75.3% RH.

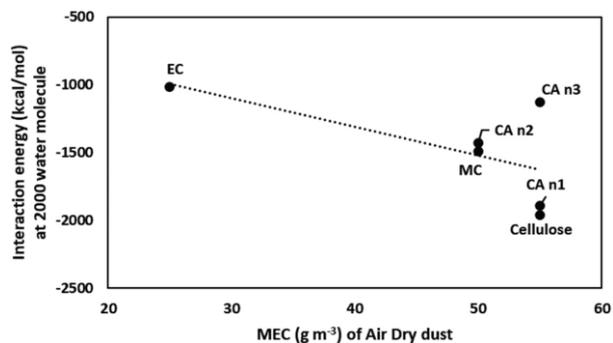


Fig. 6. MEC of air-dry cellulosic materials powder relative to interaction energy of cellulosic material in 2000 water loading system.

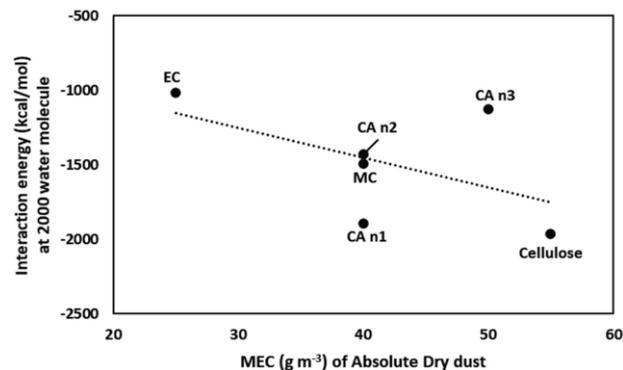


Fig. 7. MEC of absolute dry cellulosic materials powder relative to interaction energy of cellulosic material in 2000 water loading system.

cellulosic materials which were measured with air-dry and absolute dry condition. In this correlation, Non-explosive dust has strongest attractive interaction while High risk of explosive dust has weakest attractive interaction.

### **Conclusions**

The eight amorphous cellulosic materials and two crystal cellulose: HEC, CMC, MC, cellulose, cellulose acetate different number of acetylation, EC, cellulose I $\beta$  and cellulose II, have been constructed and analyzed by using MD simulation. The difference of cellulosic material derivative, number of acetylation on cellulose ester material and structure of cellulose affect the interaction energy between them and water which indicate the influence of its derivatives and structure to water adsorption ability. Moreover, CMC and water has the strongest interaction while EC and water has the weakest interaction which corresponding to CMC is Non-explosive dust and EC is High risk of explosive dust.

### **【研究業績】**

#### **(Proceeding)**

Kowhakul W. et al.: PSI06 A Study of Minimum Explosible Concentration (MEC) of Cellulosic Materials by Molecular Dynamics Simulation, The 30th Thai Institute of Chemical Engineering and Applied Chemistry Conference, May 6-7, 2021, Nakhon Ratchasima, Thailand.



## Si(111)- $\sqrt{7} \times \sqrt{3}$ -In 表面上の金属有機構造体の形成による 表面構造相転移

研究チーム名：2次元金属有機構造体（課題番号：185008）

研究期間：平成30年4月1日～令和3年3月31日

研究代表者：鈴木孝将 研究員：柳生数馬

### 研究成果

#### 1. はじめに

Si(111)- $\sqrt{7} \times \sqrt{3}$ -In 表面や Si(111)- $\sqrt{7} \times \sqrt{3}$ -Pb 表面上にある1～2原子層からなる金属層が、数ケルビン程度の極低温で超伝導状態になることが十数年前に報告されて以来、原子層超伝導体の研究が活発に行われるようになった。これら2次元の原子層超伝導体は3次元のバルク超伝導体とは異なり、その表面上に適切な有機分子を吸着させることで超伝導状態を制御することが可能である。

一方で、貴金属表面などに適切な有機分子（有機配位子）と金属原子を供給すると2次元の表面有機金属ネットワーク（Surface-Confined Metal Organic Network: SMON）が自己組織的に形成されることが良く知られている。このSMONについても、その多孔質な形状を利用した不均一触媒やプロトン伝導体、ガス吸着といった応用を目指した研究が広く行われている。

今回、我々は原子層超伝導体である Si(111)- $\sqrt{7} \times \sqrt{3}$ -In 表面上に、図1に示した3.1 eVの大きな電子親和力を持つ電子受容性の有機半導体分子である7,7,8,8-tetracyano-quinodimethane (TCNQ: C<sub>12</sub>H<sub>4</sub>N<sub>4</sub>)を室温で吸着させ、その吸着構造や電荷輸送特性を走査トンネル顕微鏡—走査トンネル分光 (Scanning Tunneling Microcopy-Scanning Tunneling Spectroscopy: STM-STS) 法を用いて調べる実験を行った。

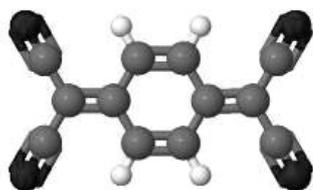


図1：TCNQ分子

#### 2. 実験結果

図2に Si(111)- $\sqrt{7} \times \sqrt{3}$ -In 表面上に TCNQ 分子を吸着した後の STM 像を示す。この STM 像から明らかな様に、表面上への分子吸着によって、TCNQ 分子と表面原子層から供給された In 原子が配位結合して SMON が自己組織的に形成されることが分かった。図2の挿入図にこの SMON 構造の模式図を示す。中心に位置する1つの In 原子が風車羽根状に配置された周りの4つの TCNQ 分子のシアノ基と配位結合して、 $\alpha$ 型の SMON 構造を形成している。また、ここでは紹介しないが、TCNQ 分子の吸着量を増加

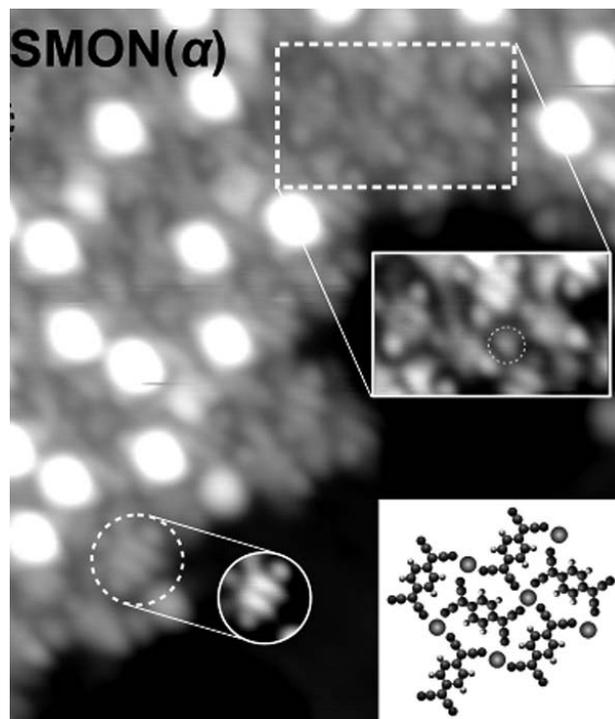


図2：原子層超伝導体上に形成されたSMONのSTM像。サイズは7.5×9.0nm<sup>2</sup>。挿入図は形成された $\alpha$ 型SMONの模式図。

させると $\alpha$ 型とは異なる配置をした $\beta$ 型の SMON 構造が形成されることも分かった。さらに、この SMON 内の TCNQ 分子の形状が、第一原理計算で示された最低空軌道 (Lowest Unoccupied Molecular Orbital: LUMO) の空間分布と類似していることから、In 原子から TCNQ 分子へと電荷移動が起こり、In 原子が正に TCNQ 分子が負に帯電していることが分かった。

さらに興味深い点は、図 3 に示すように、この $\alpha$ 型 SMON が表面上に形成されると、その周囲の表面再構成構造が $\sqrt{7}\times\sqrt{3}$  から準 $5\times 5$  構造へと、奇妙な表面構造相転移を起こすことが分かった。この準 $5\times 5$  構造は $\sqrt{7}\times\sqrt{3}$  構造の超周期構造となっている。少量の In 原子が表面層から SMON へと取り込まれることによる表面金属原子密度の減少がこの表面構造相転移に関係していることが第一原理計算により示されているが、詳しいメカニズムは未だ明らかになっていない。また、最近行われた予備的な実験では、この準 $5\times 5$  構造は、 $\sqrt{7}\times\sqrt{3}$  構造の上に追加の In 層が載った構造である可能性も示唆されているので、今後の研究でメカニズムを明らかにしたい。

図 4 に $\sqrt{7}\times\sqrt{3}$  構造と準 $5\times 5$  構造上で測定した電流電圧曲線を示す。両者の曲線は大きく異なり、表面構造相転移前の $\sqrt{7}\times\sqrt{3}$  構造と比べて、相転移後の準 $5\times 5$  構造ではフェルミ点近傍 (バイアス電圧の 0mV 近傍) の電気伝導率が大きく減少していることが分かった。

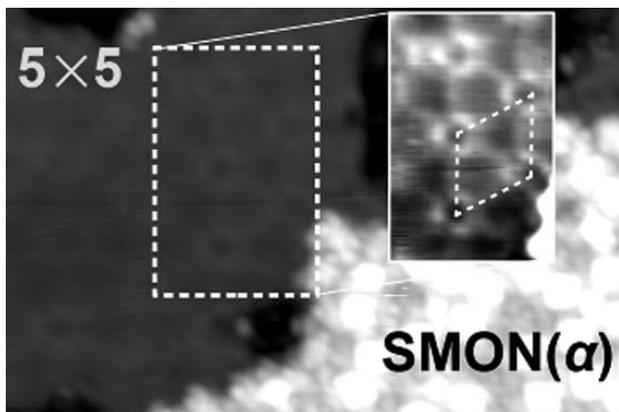


図 3 : 準 $5\times 5$  構造の STM 像。サイズは $15\times 9.5\text{nm}^2$ 。

### 3. まとめ

Si(111)- $\sqrt{7}\times\sqrt{3}$ -In 表面上に吸着した TCNQ 分子の吸着構造や電荷輸送特性を STM-STS 法で調べた。その結果、TCNQ 分子と In 原子から構成された SMON が自己組織的に表面上に形成されることが分かった。また、SMON の形成に伴い、その周囲が $\sqrt{7}\times\sqrt{3}$  から準 $5\times 5$  構造へと表面構造相転移を起こすことが分かった。また、電流電圧曲線の測定結果から、準 $5\times 5$  構造の方はフェルミ点近傍の電気伝導率が大きく減少していることが分かった。

### 研究業績

- [1] T. Suzuki, K. Yagyu, H. Tochihara, "Initial Growth of Pentacene Thin Film on Si (001) substrate", J. Phys. Chem. C 123 (2019) 2996-3003.
- [2] P. Kocán, B. Pieczyrak, L. Jurczyszyn, Y. Yoshimoto, K. Yagyu, H. Tochihara, T. Suzuki, "Self-ordering of chemisorbed PTCDA molecules on Ge (001) driven by repulsive forces", Phys. Chem.

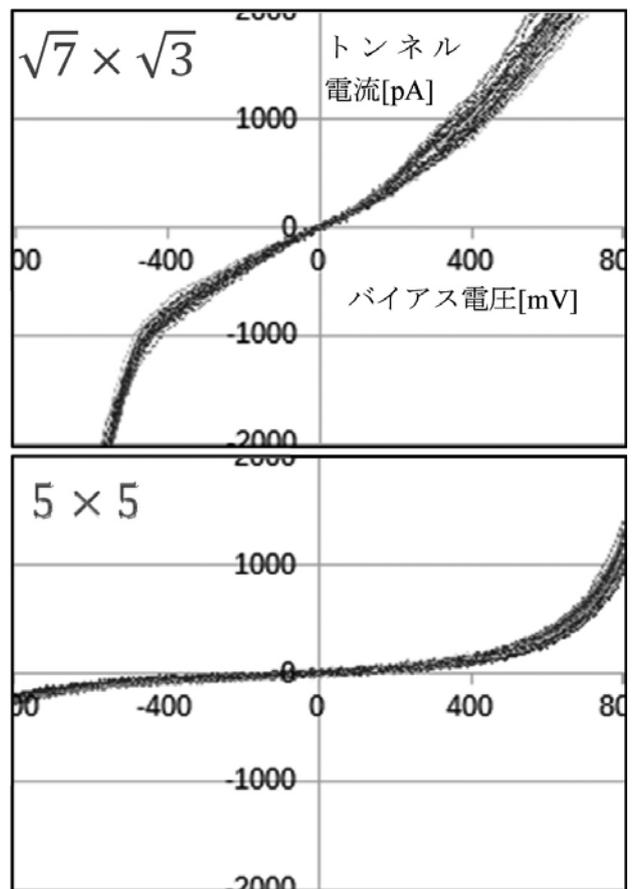


図 4 : 各表面構造領域で測定した電流電圧曲線。

Chem. Phys. 21 (2019) 9504-9511.

- [ 3 ] T. Suzuki, J. Lawrence, J. M. Morbec, P. Kratzer, G. Costantini, “Surface structural phase transition induced by the formation of metal-organic networks on the Si(111)- $\sqrt{7} \times \sqrt{3}$ -In surface”, *Nanoscale* 11 (2019) 21790-21798.
- [ 4 ] T. Suzuki, K. Yagyu, H. Tochiara, “Initial growth of pentacene on a Si(111)- $\sqrt{7} \times \sqrt{3}$ -In surface”, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 22 (2020) 14748-14755.
- [ 5 ] T. Shiota, W. Mizukami, H. Tochiara, K. Yagyu, T. Suzuki, Y. Aoki, “Microscopic Hopping Mechanism of Isolated PTCDA Molecule on Reactive Ge (001)”, *J. Phys. Chem. C* 124 (2020) 24704-24712.



# ディープラーニング技術を用いた簡易触覚センサによる 触感認識システム

研究チーム名：触覚センシング（課題番号：185009）  
研究期間：平成30年4月1日～令和3年3月31日  
研究代表者：辻聡史 研究員：折居英章

## 1. 研究成果

### 【研究概要】

「触感」はモノの印象を決定する重要な要素である。そのため、衣服など使用時に人間と接する製品において触感には重要な機能の一つであり、製品設計の際には考慮すべき重要な項目となる。一方、人間が感じる「触感」は対象物の材質、硬さ、表面形状等により決定されるが、その触感には個人差がある。また、接触状態や温湿度等の周辺環境にも依存して変化するため、客観的な計測を行い数値化することは難しい。近年、モノの触覚的なテクスチャーを計測するため、さまざまな研究が行われている。これらの研究の多くは対象物の表面状態を計測するため、振動センサを定速・定圧・定姿勢で対象物に接触させ、その振動を解析することで触感の計測を行っている。しかしながら、振動センサを定速・定圧・定姿勢で対象物に接触させる必要があることから駆動装置が大掛かりになる課題がある。

本研究では、モノの「触感」が計測可能な駆動装置を必要としないセンサシステムの開発を行った。開発した触覚センサシステムは、圧力センサ及び6

軸加速度センサで構成されるペン型のセンサである。触覚センサシステムで測定した複数のデータをディープラーニング（深層学習）技術により解析を行い、触感の異なる対象物の識別を行った。

### 【試作センサシステム】

図1に試作した触覚センサシステムを示す。本システムは、①振動及び圧力を測定する圧力センサ、センサの姿勢及び速度・加速度を測定するモーションセンサ、及びこれらを制御する制御回路からなるセンサ部、②得られたデータを解析するコンピュータ部により構成される。試作したペン型のセンサを手で持ち対象面をスライドさせることにより、対象物の表面情報を含む複数の時系列データを取得する。これらのデータは対象物の表面情報のみならず、センサを動かす速さ、接触圧力、センサの姿勢等により変化する。これらの複雑なデータの解析にディープラーニング技術を用いた。本研究では、ディープラーニング技術に畳み込みニューラルネットワーク（CNN: Convolutional Neural Networks）及び回帰型ニューラルネットワーク（RNN: Recurrent Neural Networks）を用い解析を行った。

### 【畳み込みニューラルネットワークによる解析】

畳み込みニューラルネットワーク（CNN）は、画像のような2次元的な分布を持つデータに対して、データの属性やデータ内に存在するオブジェクトを認識するために使用される機械学習手法である。特に、この手法は画像認識の分野で非常に優れた結果を出している。

我々が提案したシステムでは、ペン型のセンサか

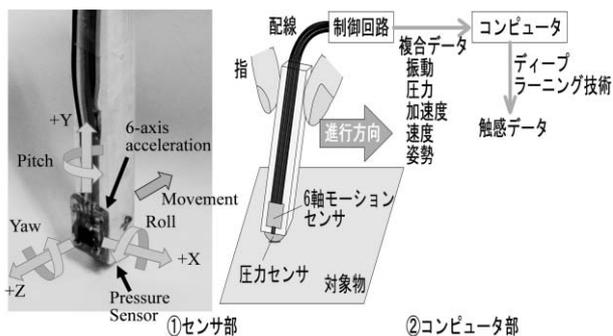


図1 センサシステム

らその姿勢、動き（X, Y, Z 軸加速度・角速度情報）、圧力、及び振動（圧力センサ情報）等の情報を時系列で取得する。本研究では、2次元のデータ分布に対する強力な認識性能を持つ CNN の特徴を活かすため、姿勢、動き、圧力及び振動等の1次元時系列データを時空間的な2次元分布として取り扱った。すなわち、センサから取得される時系列データをN時刻分ごとに区切り、3軸加速度・角速度（6次元）、及び振動情報を含む圧力及びその複製（2次元）をひとまとまりとして、 $8 \times N$ 次元の2次元データとして CNN による属性認識を行った。本研究における CNN は、入力層、複数の畳み込み層、複数のプーリング層、及び全結合層により構成した。これらにより触感の異なる対象物の識別を行い、本システムの有用性を示した。また、振動情報を含む圧力データをフィルタ処理により圧力データと振動データに分離し、識別精度の向上を試みた。更に対象表面の粗さを定量的に検出するために表面アラサ標準片を対象に粗さの識別を行い、対象物の粗さを簡便に測定できる可能性を示した。

#### 【回帰型ニューラルネットワークによる解析】

回帰型ニューラルネットワーク（RNN）は、主に時系列データを処理するために使用される機械学習手法であり、自然言語や音声信号処理などの分野で非常に優れた結果を出している。本研究では、取得したデータの時系列における連続性に着目し、RNN による解析も行った。本研究では、RNN として LSTM（Long Short-Term Memory）を用いてネットワークを構築した。我々が提案したシステムでは、姿勢、動き、圧力、及び振動の情報はセンサにより時間的に連続に取得する。時間的に連続で取得したデータをまとめて1つのデータとして扱い、RNN に順番に入力する。学習では、任意クラスの連続した50時刻分のデータを順に入力し、RNN によって処理を行った。最終データを入力した時点で教師ラベルに対する誤差逆伝播を行い、学習を行った。それにより複数データを時系列に解析することができる。本研究におけるニューラルネットの構成は、入力層（8次元：3軸加速度、3軸角速度、圧力及びその複製）、複数の LSTM ユニット、及び出力層の順結合とした。これらにより触感の異なる対象物の識別を行い、本シ

ステムの有用性を示した。

#### 【改良センサシステム】

識別精度を向上させるためセンサの改良を行った。触感の識別では粗さのみならず摩擦情報も重要である。そこで XYZ 軸の3軸圧力が取得可能な圧力センサを適用し、摩擦情報の取得を試みた。また、高サンプリング周波数のモーションセンサを用い識別精度の向上を図った。試作したセンサを用い、触感が異なる対象物にセンサを接触、スライドさせ各対象物におけるデータを取得した。取得したデータを CNN により解析することにより触感の異なる対象物の識別を行い、本システムの有用性を示した。

これらによりセンサを対象物にスライドさせるだけでモノの「触感」の計測が可能なディープラーニング技術を用いた簡易触覚センサによる触感認識システムの有用性を示した。更にこれらの技術を応用したセンサシステム及びディープラーニング技術についての研究も行った。

## 2. 研究業績

- [1] Orii H., Tsuji S. et al.: Tactile Texture Recognition Using Recurrent Neural Networks with Pen-type Sensor System, ICIC Express Letters Part B: Applications, in press
- [2] Orii H. et al.: Data Embedding Method for Printed Images Using Multilayer Neural Networks with Partially Fixed Weights, ICIC Express Letters Part B: Applications, in press
- [3] 辻聡史, 他: 無人搬送車のための紐状全方位近接センサの提案, 令和2年電気学会全国大会, 2020
- [4] 折居英章, 他: 敵対的生成ネットワークを用いた手書き文字の書体補正と字形評価に関する一検討, 令和2年電気学会全国大会, 2020
- [5] Tsuji S. et al.: Using a Convolutional Neural Network to Construct a Pen-type Tactile Sensor System for Roughness Recognition, Elsevier Sensors and Actuators A, Vol.291, pp.7-12, 2019
- [6] 辻聡史, 他: 曲面ToFセンサアレイによる手の甲上インターフェース, 電気学会論文誌A, Vol.139, No.11, pp.533-538, 2019

- [ 7 ] Tsuji S. et al.: Development of Omni-Directional Proximity Sensor for Drone, Proc. the 7th IIAE International Conference on Intelligent Systems and Image Processing 2019, pp.311-315, 2019
- [ 8 ] Orii H. et al.: Data Embedding Method for Printed Images Using Deep Neural Networks, Proc. of the 7th IIAE International Conference on Intelligent Systems and Image Processing 2019, pp.380-387, 2019
- [ 9 ] 辻聡史, 他: ドローンのための全方位近接センサの提案, 平成31年電気学会全国大会, 2019
- [10] 折居英章, 他: 敵対的生成ネットワークを用いた手書き文字の書体補正に関する一検討, 平成31年電気学会全国大会, 2019



## その場水素チャージ法を用いた超長時間、 低周波疲労特性に関する研究

研究チーム名：水素と長時間・低周波疲労（課題番号：185010）

研究期間：平成30年4月1日～令和3年3月31日

研究代表者：松尾 尚 研究員：森 秀幸

### 研究成果

#### 研究の背景と目的

現在、地球温暖化問題や資源エネルギー問題が深刻化しており、「脱炭素」をキーワードにして、化石燃料に依存したエネルギー利用形態から脱却する取り組みが世界中で進められている。そのような取り組みの中の一つに水素のエネルギー利用がある。水素を酸素と反応させてエネルギーを取り出す際に排出物として出るのは水のみであり、水素は非常にクリーンなエネルギーである。また、水素の大きな特徴として製造方法の多様性が挙げられる。水素は様々な化合物から取り出すことができ、製鉄の過程で副生される水素を利用することもできる。石炭や石油と違い天然に埋蔵されたものに頼らないで済むため、資源に恵まれない日本のような国にとっては、エネルギーセキュリティの観点からも水素は非常に重要なエネルギーである。このような背景から、水素を動力源とした水素利用機器と水素インフラの整備・普及が日本・アメリカ・ヨーロッパ等の先進国を中心に進められている。日本でも、トヨタ自動車株式会社のMIRAIや本田技研工業株式会社のCLARITY FUEL CELLといった水素燃料電池自動車商用化され販売されるとともに、日本各地で水素ステーションの整備が進んでいる。

一方、水素をエネルギーとして利用するには未だ解決すべき課題がある。その中の一つに「水素脆化」という問題がある。水素脆化とは、金属内部に侵入した水素が材料の破壊挙動に悪影響を及ぼし、想定したよりも早期に、もしくは低負荷で破壊を引き起こしてしまう現象である。水素燃料電池自動車などの水素利用機器では、配管やバルブ・タンクなどを

構成する金属材料は高圧の水素ガスに曝されるため、水素脆化の懸念がある。そのため、水素エネルギー利用の安全性を確立するためには、水素脆化を解明し、水素脆化を考慮に入れた安全設計指針を構築する必要がある。

過去の研究から、金属疲労における水素脆化は、負荷の繰り返し速度（周波数）が低いほど顕著になることが知られている。水素タンクなどの機器が実際に受ける負荷周波数は、水素ガスの充填と消費の周期によって決まり、1日に数回程度や1週間に1回といった極めて低い周波数で負荷を受けることが予想される。そのため、このような低い周波数における水素の影響を理解することは、実機の安全性を考える上で極めて重要である。

水素脆化を評価するための試験方法は大きく2種類ある（図1）。一つは、図1(a)に示すような高圧水素ガス環境中で疲労試験を行う方法である。この方法は、実使用環境を模擬できるという大きな長所がある上に、常時試験片に水素が供給され続けるため長期間の試験も可能である。しかし、高圧ガス設備の導入・維持に莫大なコストがかかり、高圧ガスを安全に扱うという技術的なハードルも存在する。もう一つ別の方法として、図1(b)に示すような化学薬品を用いた電気化学的手法によって水素チャージを行う方法がある。この手法は、水酸化ナトリウム水溶液やチオシアン酸アンモニウム水溶液など（水素チャージ液と呼ぶ）に試験片を浸漬し、化学反応を利用して試験片中に水素を吸蔵させた後に、大気中で疲労試験を行う手法である。さらに細分すると、溶液に浸漬するのみの方法（浸漬チャージ法と呼ぶ）と、浸漬した上で電流を流し電解反応を利用する方

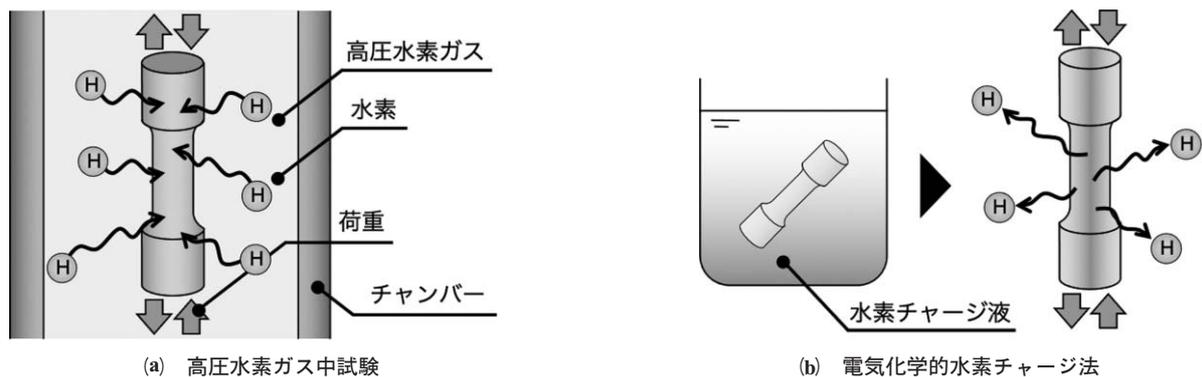


図1 金属試験片への水素チャージ法

法（電解チャージ法と呼ぶ）の2種類がある。この方法は安価で簡便な方法だが、疲労試験中に試験片から水素が放出されるので、長い時間を必要とする超低周波数の疲労試験においては水素の影響を正確に評価できず、不向きである。そこで本研究では、長期間の水素脆化—疲労試験を安価・簡便に行うために、パイプ状の疲労試験片中に水素チャージ液を循環させながら疲労試験を行う試験法を開発し、超低周波数疲労における水素の影響を評価した。

### 実験方法

本研究で用いた実験方法の模式図を図2に示す。図のように、パイプ状の疲労試験片に対してポンプとフレキシブルチューブを用いて水素チャージ液を循環させることで、パイプ内面から試験片に水素が供給される。この状態を維持したまま、4点曲げ疲労試験を行った。実験に使用した材料はクロムモリブデン鋼 JIS-SCM435 で、水素チャージ液には 20 mass% のチオシアン酸アンモニウム水溶液を使用した。試験片中央に人工的に微小な穴を導入し、これ

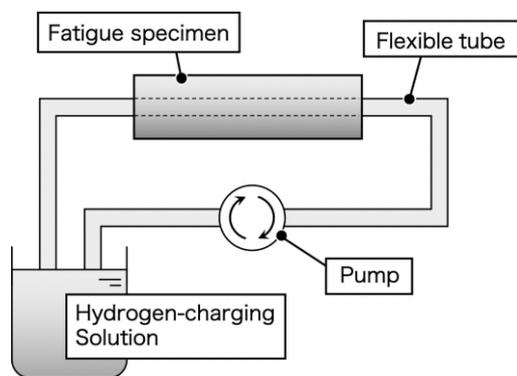


図2 本研究で用いた循環水素チャージ試験法の模式図

をき裂の発生起点とすることで、き裂の進展挙動を観察・測定した。

試験環境は、室温・大気中である。応力比（最大荷重と最小荷重の比） $R=0.1$ 、試験周波数  $f=5\text{ Hz}$ 、応力振幅一定で、き裂の進展に伴い応力拡大係数範囲  $\Delta K$  がおよそ  $10\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  から  $30\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  まで増加するような  $\Delta K$  漸増試験を行った。また、 $\Delta K=20\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  一定となるように負荷荷重振幅を漸減させる  $\Delta K$  一定試験も行った。 $\Delta K$  一定試験では、一定距離き裂が進展する度に試験周波数を  $f=5\sim 0.001\text{ Hz}$  に変化させることで、試験周波数の影響を調べた。

### 試験結果と考察

#### (1) 本試験法における水素供給特性

通常浸漬チャージ法と本研究で用いたパイプ試験片に対する循環水素チャージ法における水素チャージ時間と水素吸蔵量の関係を図3に示す。循環水素チャージでは、試験片内面から試験片表面にかけて水素が拡散するため、材料内部に水素濃度勾配を持ち、内面で最大濃度、表面で最小濃度となる。一方、通常浸漬チャージ法では、材料内部で均一な濃度分布になり全断面で飽和水素濃度に到達する。このため、循環水素チャージ法における試験片全体の水素吸蔵量は浸漬チャージ法と比べて小さくなる。また、パイプ試験片に対する循環水素チャージでは、水素吸蔵量が一定となる（つまり試験片内の水素濃度が定常状態となる）までに約5日を要した。したがって、循環水素チャージ法を用いて疲労試験をする際には、チャージ開始後5日以上経過してから試験を開始した。

(2)  $\Delta K$  漸増試験における疲労き裂進展特性

図4に、応力拡大係数範囲  $\Delta K$  と疲労き裂進展速度  $da/dN$  の関係を示す。図中には水素チャージを行っていないものも比較対象として併せて示す。図から分かるように、未チャージ試験片と比較して、循環水素チャージした試験片では疲労き裂進展速度の加速が見られ、循環水素チャージ試験法でも水素脆化が発現することが確かめられた。疲労き裂進展速度の加速が見られたのは  $\Delta K < 25 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  の領域であり、この  $\Delta K$  領域を超えると、水素チャージ試験片の  $da/dN$  は未チャージ材の  $da/dN$  に漸近していく。これはおそらく、き裂先端への水素の集積速度に関係していると考えられる。つまり、 $\Delta K$  がある程度小さい領域では単位時間当たりのき裂の進展量が小さいため、水素がき裂先端に集まるための時間が十分にある。しかし、 $\Delta K$  が大きくなりき裂進展量が大きくなってくると、水素がき裂先端に集まる時間が不足し、十分に水素の影響が現れないものと考えられる。同様な現象は過去の研究（田中ら<sup>(1)</sup>）でも報告されている。

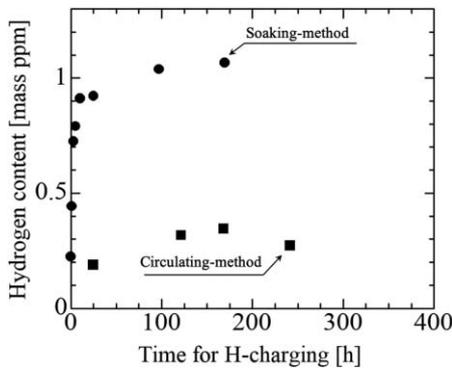


図3 浸漬チャージ法と循環チャージのチャージ時間と水素吸蔵量の関係

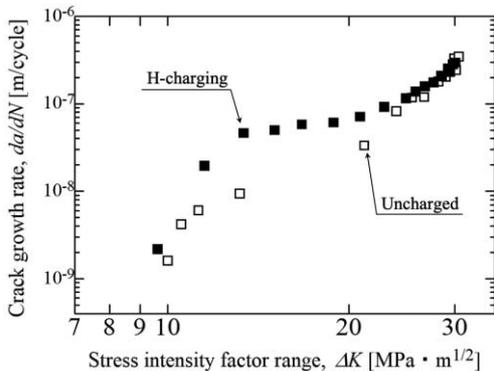


図4 未チャージ試験片と循環水素チャージ試験片の疲労き裂進展速度

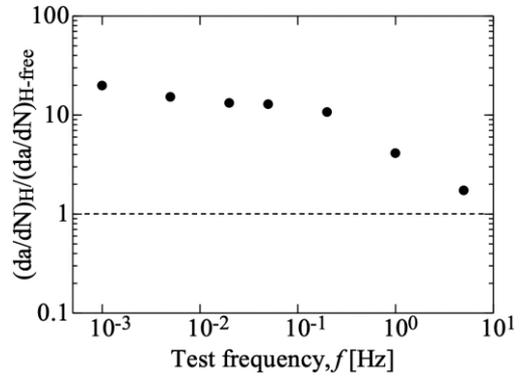


図5 試験周波数と水素によるき裂進展加速率の関係

(3) 試験周波数の影響

図5に  $\Delta K = 20 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  における試験周波数とき裂進展加速率の関係を示す。試験周波数が小さくなると疲労き裂進展に及ぼす水素の影響はより顕著になる傾向を示した。周波数 5 Hz と 0.2 Hz の間で大きな加速率の変化があり、0.2 Hz 以下では若干加速率は大きくなる傾向を維持しているもののその変化はそれほど大きくない。これらの実験結果から、周波数 0.2 Hz 以下の領域で見られた加速率が、今回の水素チャージ条件における加速の上限値だと考えられる。加速の上限値が存在することは、水素適応材料を安全設計するために重要な条件である。すなわち、周波数が小さくなるにつれて加速率が上昇し続けるような材料であっては、設計の基準・根拠がなく水素環境で使用できない。

本試験で得られた結果は、過去の研究（Yamabe et.al.<sup>(2)</sup>）で示された高圧水素ガス中の試験結果とよく似た結果であり、このことは、循環水素チャージ試験法が長い時間を要するような低周波数の疲労試験においても水素の影響を評価できる有用な試験法であることを示している。また、循環水素チャージ試験法と高圧水素ガス中試験の試験結果の整合性（循環水素チャージ法のチャージ条件と水素ガス圧力の対応など）を明らかにすることができれば、将来的には高圧水素ガス中（実運転環境中）における材料の水素適応性を模擬評価できる可能性があり、循環水素チャージ試験法は今後さらに重要な評価手法となろう。

## 参考文献

- (1) 田中雄介, 本間紳浩, 松岡三郎, 村上敬宜: “水素ステーション蓄圧器用 SCM435 鋼の疲労特性に及ぼす水素と繰返し速度の影響”, 日本機械学会論文集 A 編, Vol.73, NO.736 (2007), pp.1358-1365.
- (2) J. Yamabe, et. al.: Effects of hydrogen pressure, test frequency and test temperature on fatigue crack growth properties of low-carbon steel in gaseous hydrogen, Procedia Structural Integrity, Vol. 2 (2016), pp.525-532.

## 研究業績

下村祥太郎, 松尾尚, 遠藤正浩: 循環型連続水素チャージを用いた 4 点曲げ疲労き裂進展試験方法の確立, 日本機会学会九州支部 第74期総会・講演会, 2021.

