



I 革新複合材料研究開発センターの概要

Overview of the Innovative Composite Materials Research and Development Center

学校法人金沢工業大学が設置する「革新複合材料研究開発センター」(以下「ICC」)は、国際科学イノベーション拠点として設立され10年目の節目を迎えた。2024年1月1日に、能登半島地震が発生し、ICCにおいても震度5強の揺れに襲われたが幸いにも大きな被害もなく、仕事始め初日より研究活動を行う事が出来た。

今年度は新型コロナウイルス感染症が5類感染症となり、ICCの利用も徐々に回復し、コロナ禍前のピーク時とはいかないまでも、ある程度まで戻ってきた。特に今年度は金沢工業大学の1年生全員が授業の一環としてICCの見学に訪れ、教育の利用が非常に増えた。金沢工業大学の学生が今後もICCを利用し、複合材料の発展に寄与してくれる事を期待したい。

企業からの受入研究員となるメンバーシップ会員数も昨年度に比べ20%程増えた。また1社から複数名会員になる企業も増えている。会員限定のメンバーズフォーラムは、フランスのJECグループ会長等海外からの講師をお招きするなど、国内外から広く多方面の専門の方をお招きして、年間10回程度開催した。その他、会員限定のICC Innovative Edgeを毎月発行し情報提供をしている。

ICCは、研究開発、教育、連携活動の「場」である。「研究開発」においては新しいプロジェクトの獲得に注力し、政府系プロジェクトや、民間との受託共同研究が順調に増えた。企業の商品開発における試作から評価まで、企業とICCをワンストップでつなぐICC発ベンチャー企業(ICEM)による実績も着実に伸び、ICCの外部資金の大きな柱の一つとなった。「教育」においては、ICC内でRA (research assistant) 活動を行う本学の学生が増えた。また今年度より、国立研究開発法人産業技術総合研究所(以下産総研)がICC内で本学の大学院生を対象に産総研RAの採用を開始した。これらの学生がICCで活動できるように、学生の為の居室などを整備し、来年度に向けてコーオプ教育への環境も整った。

「連携活動」においては、産総研が国内で初のブリッジ・イノベーション・ラボラトリー(BIL)を開設した。ICCに常駐する産総研職員がICCの研究員とともに地域のニーズに応じた低環境負荷の複合材料の研究開発を開始した。また、今後に向けてドイツのFraunhoferとの連携活動を強化し、拠点開設できるように活動を行っている。

2023年度は、自立型、持続型の研究開発拠点となるための方向性が確認できた年となった。今後は日本を代表する国際的な複合材料の研究開発拠点となるべく、2024年度に向け活動していく。

The "Innovative Composite Materials Research and Development Center" (hereinafter "ICC"), established by the Kanazawa Institute of Technology (KIT), has entered its tenth year as an international center for scientific innovation. A magnitude 7.6 earthquake occurred near the Noto Peninsula on January 1, 2024; however, the ICC was not seriously damaged and research activities were not adversely affected.

In the FY2023, ICC utilization recovered to some extent, even if not to its pre-COVID-19 peak. In particular, educational use increased significantly this year, with all first-year students at the University visiting the ICC as part of their orientation. It is hoped that many of these students will contribute to the development of composite materials.

Compared to the previous year, the total number of memberships received from companies has risen by approximately 20%, with a notable trend of multiple individual members from the same corporation. Membership Forums were held 10 times a year, where a wide range of experts were invited from home and abroad, including the President of the JEC Group in France. In addition, the members-only ICC Innovative Edge was published monthly to provide information.

The ICC is a 'place' for research and development, education, and collaborative activities. With regard to research and development, the ICC focused on attracting new project, resulting in a steady increase in joint research commissioned by government projects and companies. The efforts of the ICC-incubated venture company (ICEM), a one-stop link between companies and the ICC, in fields from prototyping to evaluation in corporate product development, also grew steadily, becoming a major external source of funding for the ICC. In education, student research assistant (RA) activities increased. In addition, the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) started recruiting AIST RAs from among graduate students at the University. Rooms and other facilities have been set up for these students to work at the ICC, creating a cooperative education environment for the next academic year. To increase collaborative activities, AIST established Japan's first Advanced Composites Innovation Laboratory (AdCom BIL) at the ICC, where ICC resident AIST staff and ICC researchers are together engaged in research and development of low environmental impact composite materials to meet local needs. Furthermore, collaboration activities with Fraunhofer in Germany have been strengthened to develop a base in Germany.

A self-sustaining and sustainable direction was thus established for Japan in the year 2023 to become a leading international composites R&D center.

II 令和5(2023)年度の運営活動

Operating Activities in Fiscal Year 2023



川端 茂
Shigeru Kawabata



高田 康宏
Yasuhiro Takata



樋口 由美
Yumi Higuchi



山本 一葉
Kazuha Yamamoto



東 久美子
Kumiko Higashi

1 ICC 運営に関する規程の改正

2023年度に改正はなかった。

→ p44 資料 01

1 Amendment to ICC management regulations

No revisions were made in FY 2023.

2 受入研究員(メンバーシップ会員)の受入

学校法人金沢工業大学受入研究員規程に基づき、ICCが企業等に在籍する研究者等を受け入れ、ICC所属の研究員と受入研究員が協力して研究開発を行っている。受入研究員は企業からメンバーシップ会員として登録され、50機関 72人と昨年度より5名増え、年々メンバーシップの会員が増えている。ICCをあたかも自社の研究所として使い、ICC内にあるレンタルラボには同じ企業から複数の研究者が集まり集中的に研究活動を行っている。

特に今年度は、産総研より9名の方が受入研究員として登録され、ICC内に居室を構え研究活動を行っている。

2 Acceptance of researchers

This fiscal year, the ICC welcomed 72 researchers from 50 institutions, marking an increase of 5 members compared to the previous year and continuing a trend of annual growth. Certain researchers utilize the ICC facilities as their primary research base, whereas others bring multiple team members to engage in intensive research at ICC's rented laboratories.

Notably, this year, 9 researchers from the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) joined as members and established their research space at the ICC.

3 ICC 利用初期講習の実施・安全活動

上記2の受入研究員とICCの研究利用者には、ICC内における研究活動を行うに際し遵守すべき利用条件として「ICC利用初期講習」を実施している。初期講習は、①安全②知財等③秘密保持及び成果発表④不正防止⑤ICCの利用手続きの内容となっている。その受講者はコロナ前までの水準に戻ってきており、企業と学生を合わせて93名となった。

ICC内の安全に対する取り組みとして、新任を含む所員全員に対して所員初期講習を実施している。各種規程や運用マニュアル等の再確認を行うと共に、有資格者の確認や有機溶剤、毒劇物の取扱いなどを再確認している。また定期的に4Sパトロールを実施し、改善が必要な箇所に対して対応している。そのほか所員一斉4S活動DAYを設定し、所員全員が安全を第一に活動している。

→ p44 資料 02、03

3 Implementation of ICC users' initial training and safety activities

The ICC mandates an initial training program for all new researchers and users, covering essential topics such as (1) safety, (2) intellectual property, (3) confidentiality and publication of results, (4) fraud prevention, and (5) ICC usage procedures. The number of users has rebounded to pre-COVID-19 levels, with a total of 93 corporate researchers and students participating.

Additionally, the ICC conducts refresher training for all personnel, including new staff, to review regulations and work manuals, verify qualifications, and ensure proper handling of organic solvents and hazardous substances. Furthermore, regular safety inspections are performed to identify and rectify any areas needing improvement.

4 特許等

今年度は7件の特許を出願した。このうち4件がCOIプログラムに関係する。国内は6件で出願2件、登録4件、外国は1件で出願0件、登録1件となっている。出願件数の絶対数は減少傾向である一方、COIプログラムの時に出願したものが特許登録となっている。

→ p44 資料 04

4 Patents

7 patents were filed this year, 4 of which are associated with the COI programs. In Japan, 2 patent applications were filed and 4 patents were registered. No new applications were filed abroad, but 1 patent was registered. While the total number of patent applications has decreased, those filed during the COI program have successfully led to patent registrations.

5 外部資金の獲得

COIプログラムの終了で総事業費は当時よりも下回っているが、ICCが自立していける目途が立った1年であった。

政府系外部資金のプロジェクトを数多く獲得し、件数としては13件を獲得できた。また、民間企業との受託共同研究は33件獲得できた。全体としては、57件で昨年と比べ微増ではあったが3億7千万円を超える外部資金を獲得できた。

これは、メンバーシップ会員の増加や産総研殿による設備利用料の増加によるものである。また、ICC発のベンチャー企業「ICEM」を窓口とした受託試験も順調に伸び、昨年度と比べ3倍近くの約4,400万円の受託試験を獲得できた。

6 利用者・見学者など

ICCの利用者数は、コロナ禍前までに回復し、昨年度と比べ38%増の6,300人以上の利用があった。これは、昨年度に初めて金沢工業大学の1年生全員の見学が行われた為である。社会人教育をはじめ、高校生を対象とした複合材料の授業など昨年と同様に開催している。ICCに登録されているRA(リサーチアシスタント)の学生数も年々増加しており、ICCにおける教育の場としての役割も今後益々大きくなっていく。

また、見学のみの方が減っており、研究目的としてICCを利用される方が増えている事が分かる。

→ p45 資料 05

7 安全保障貿易管理

ICCでは、外国為替及び外国貿易法に基づき厳しく貨物及び技術の輸出を管理している。

2023年度も継続して経済産業省アドバイザー派遣事業にてアドバイザーを受入れ、国際共同研究案件において輸出管理上の効率的な進め方についてアドバイスをもらった。

8 地域科学技術実証拠点整備事業

文部科学省の「地域科学技術実証拠点整備事業」(2016年度補正)により整備された施設・設備の利用は、貸出施設(レンタルラボ)が昨年度と同様に6部屋中5部屋が入居済となっており、社会実装に向けた開発が加速されている。

9 ICCの運営

ICCの運営、管理体制を議論し方針を決める「ICCステアリング・コミッティ」を2022年度より実施している。所長をはじめ研究員の代表、技師の代表、事務の代表から複数名が集まりICCの運営、研究プロジェクト、必要人員、管理体制等について議論が始まり、決議したことを順次実施していく体制を継続している。

5 Acquisition of external funding

The total project costs were lower than those during the implementation of the COI program projects, yet this was a year in which the ICC was on track to achieve self-sustainability. The ICC successfully secured 13 external government funds, established 33 contracted joint research agreements, and garnered over JPY 370 million in external funding. This success can be attributed to an increase in memberships and higher fees for equipment usage by AIST and others.

Additionally, commissioned testing through ICEM—a venture company originating from the ICC—has demonstrated steady growth, nearly tripling to JPY 44 million compared to the previous year.

6 Users and visitors

The number of external researchers accepted increased by 38% year-on-year to approximately 6,300, returning to pre-COVID-19 levels. This increase was due to the fact that, for the first time, all first-year students at our university visited the ICC as part of their orientation tour. Furthermore, education for working professionals and high school classes on composite materials were organized similarly to the previous year. The number of research assistant (RA) students at the ICC is increasing annually, highlighting the growing importance of ICC as an educational venue.

7 Security export trade control

The ICC strictly controls the export of goods and technology under the “Foreign Exchange and Foreign Trade Act.” Advisors from the Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) provided guidance on efficiently managing export controls in international collaborative research.

8 Regional science and technology demonstration center development project

Regarding the use of facilities and equipment developed under the Ministry of Education, Culture, Sports, Science, and Technology's “Regional Science and Technology Demonstration Base Improvement Project” (corrected in FY2016), five out of the six rooms are occupied as in the previous year.

9 Operation of the ICC

From FY2022, the "ICC Steering Committee" has been established to discuss and determine policies on the operation and management of the ICC. The director, along with representatives of researchers, engineers, and administrative staff, convened to deliberate on the operations, research projects, and staff management systems of the ICC. The system of sequentially implementing the resolutions continues.

III プラットフォームの構築

Deployment of the ICC Platform

1 産学連携プラットフォームを活用したプロジェクト

ICCは産学官の多くの研究者、関係者が集い、研究開発や事業化に向け連携して取組みを進めることのできるオープンなプラットフォームとして、その機能をより効果的に発揮できるよう日々活動を行っている。

2023年度はこのICCのプラットフォーム機能を基とする新たなプロジェクトがスタートした。

地域の課題解決のための新たな取組みとして、2023年2月に地域産業創生と大学改革を一体的に進める内閣府の「地方大学・地域産業創生交付金」事業に採択され、2023年度より地元自治体、企業、大学がICCを拠点に連携し、環境適合型複合材料の研究開発とアプリケーション開発をテーマに取組みを開始した。

また、産総研は、2023年度より、産学連携で産業界に貢献する「ブリッジ・イノベーション・ラボラトリー(BIL)」事業を開始、全国初のBIL拠点がICCに設置されることとなり、7月に開設記念式典が行われた。産総研の持つ天然素材による低環境負荷の材料技術とICCのものづくり技術や拠点機能を活かし、地域企業と連携し地域の課題を解決するための活動を開始した。

さらに産業界がICCをプラットフォームとして活用できるようにする仕組みとして、大学と包括的契約を締結した株式会社ICEMが、産業界によるICCの設備や環境の利用に関する新たな窓口として活動している。同社は内閣府の事業においても、サプライチェーンの川上・川中に位置する地域企業と川下に位置するユーザー企業とを結びつける活動を開始している。

2 2023年度のネットワーキング、アウトリーチ活動トピックス

ICCは設立当初から培ってきた国内・海外とのネットワークを発展させ、多くの関係企業に新たな連携、活動の機会がもたらされることを意図して産学連携を行ってきた。

ICCは、ドイツ最大の産業クラスターであるComposites United(CU)を構成するCU Nord(前CFK Valley)と連携協定を結び、2022年度までの3年間、日独国際共同研究プロジェクトを進めた。これをきっかけに、2023年度より日独のメンバーシップ企業の事業や技術に関する相互理解をより一層進めるため“日独共同ニュースレター”の交換を開始した。2023年度はICCより第1号、第2号のニュースレターを発行し日本企業の取組みと技術をCU内に広く紹介した。



日独ニュースレター - ICC 発信第1号



田中 順二
Ryunji Tanaka

斉藤 義弘
Yoshitaka Saito

東藤 涼子
Ryoko Fohdoh

干場 聡子
Satoko Aoshiba

1 Academic-industrial collaboration Platform and Project Formation

The ICC serves as an open platform where researchers and stakeholders from industry, academia, and government collaborate on research, development, and industrialization. Efforts are ongoing to enhance its functionality.

In FY2023, new projects are launched based on the ICC platform function.

A notable initiative includes a collaborative project to address communal matters between the Kanazawa Institute of Technology (KIT), the ICC, and the local government. It was selected in February 2023 for the Cabinet Office's Regional University and Regional Industry Creation Grants project. This effort aims to promote regional industrial creation and university reform in an integrated manner. Starting in FY2023, local authorities, companies, and universities will work together at the ICC to research and develop environmentally compatible composite materials and their applications.

The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) initiated the Bridge Innovation Laboratory (BIL) project to foster industry-academia collaboration in FY2023. The first BIL base of the nation was established at the ICC, with an opening ceremony held in July. The BIL project leverages AIST's low-environmental-impact material technology using natural materials, ICC manufacturing technology, and platform functions to collaborate with local companies.

Furthermore, as a mechanism to enable industrial sectors to use the ICC as a platform, ICEM Co., Ltd., which has signed a comprehensive agreement with KIT, now acts as a new contact point to promote the use of ICC's facilities and environment. ICEM has also initiated Cabinet Office projects to connect local companies located upstream and midstream in the supply chain with user companies located downstream.

2 2023 Industry-Academia Collaboration Topics

The ICC has expanded its domestic and international networks since its establishment and has engaged in industry-academia collaborations with the intention of bringing new cooperation and activity opportunities to many companies involved.

The ICC concluded a cooperation agreement with CU Nord (formerly the CFK Valley), which constitutes Germany's largest composite industrial cluster, composites united (CU). This agreement facilitated an international joint

また、国内の複合材料のネットワークと海外の産業界のネットワークをつなげるため、ICCは、ほくりく先端複合材研究会(以下、HACM)との共催で2年毎に“ほくりくコンポジットカンファレンス”を開催しており、12月に第3回目のカンファレンスを行った。海外の第一線の研究者、フランスJECグループ・エリック会長等を招き、日本企業関係者、研究者との交流を進めることができた。

ICCはまた、名古屋大学NCC、岐阜大学GCCと連携し、複合材料に関するサプライチェーンの構築を目指すコンポジットハイウェイコンソーシアム(以下、CHC)の活動を進めている。先端材料技術展2023では、CHC合同ブースを企画し30社以上の企業が合同出展を行った。さらに7回目となるコンポジットハイウェイアワードを運営し、優れた取組みを行う企業を表彰し、その後押しに努めた。

さらに、3年毎開催の国際プラスチックフェアIPF Japan 2023において、ICCは主催者企画ゾーンへの招待を受け、コンポジットのサーキュラーエコノミーをテーマに、ICCメンバーシップ企業とともにテーマに基づいた展示を行った。



IPF Japan 2023 ICC ブース

3 2023 年度教育活動トピックス

ICCは同時に、金沢工業大学における教育活動への取組みに注力している。

2012年より続く社会人向け複合材料に関する大学院特別講義は、2023年度より単位認定も可能とする規程に基づく運営を行い、理論中心の特別講義Ⅰ、実習中心の特別講義Ⅱを行った。

またICCは、地域の石川県立工業高等学校が取組む産学プロジェクトにも携わり、生徒のものづくりへの取組みを支援し、同校における出張事業などを行った。同じく石川県立小松高等学校理科生徒40名余りをICCに受入れ、鶴澤所長の特別授業、やICCのオープンイノベーションを実現する研究開発環境の見学を企画、実施した。

加えて、金沢工業大学の授業の一環として、全1年生、約1,500名のICC見学会を実施した。また昨年に続き、Sampe Japan学生ブリッジコンテストに参加する国内各大学の学生チームをICCに受入れ、複合材料成形に関する講義と実習を行っている。



石川県立工業高等学校 出張授業風景

Japanese-German research project for three years until FY2022. This triggered the next phase. From FY2023, the ICC and CU started mutual newsletter exchanges, which further promoted a mutual understanding of businesses and technologies in German and Japanese membership companies. In FY2023, the ICC published the first and second issues of its newsletter to introduce Japanese companies' initiatives and technologies to a wider audience within CU.

The ICC also organized a biannual Hokuriku Composite Conference in collaboration with the Hokuriku Advanced Composites Materials Association (HACM) to link the domestic composite network with the international industry network. The third conference was held in December and featured leading researchers from overseas and Mr. Eric, chairman of the JEC Group of France, who were invited to the conference, promoting exchanges with Japanese companies and researchers.

Within the composite highway consortium (CHC), which aims to establish a supply chain for composite materials, the ICC has promoted activities in collaboration with NCC (Nagoya Univ.) and GCC (Gifu Univ.). At the SAMPE Japan Exhibition 2023, a joint CHC booth was organized, featuring more than 30 companies. In addition, for the seventh time, the ICC held the composite highway awards, which recognized and encouraged companies for their outstanding efforts.

Furthermore, at the triennial international plastics fair IPF Japan 2023, the ICC was invited to participate in the organizers' planning zone, where it presented a thematic exhibition with member companies on the circular economy of composites.

3 2023 Educational Activities Topics

The ICC's efforts in educational activities at Kanazawa Institute of Technology have expanded over time.

Since 2012, postgraduate special lectures on composite materials for working professionals have been offered. Starting in 2023, these lectures now include credit recognition, with special lecture I focusing on theory and special lecture II on practical training.

The ICC was also involved in an industry-academia project at Ishikawa prefectural technical high school, supporting students' manufacturing projects and conducting on-site activities. The ICC also organized a special lecture by Director Uzawa and conducted a tour of the ICC's open innovation research and development environment for 40 science and mathematics students from Komatsu high school.

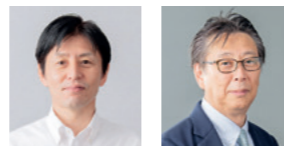
In addition, as part of their classes at the Kanazawa Institute of Technology, all first-year students (about 1,500 students) participated in ICC tours. As in previous years, student teams from Japanese universities participating in the SAMPE Japan Student Bridge Contest received lectures and practical training on composite material forming.

IV 令和5(2023)年度の研究活動 Research Activities in Fiscal Year 2023

- 12 2023年度のICCの研究活動の概要 Overview of ICC research activities in FY2023
齊藤 産学連携コーディネーター：Y. Saito Coordinator of Industry-University Collaboration
鶴澤 所長 / 教授：K. Uzawa Director / Professor
- 14 内閣府 地方大学・地域産業交付金事業 環境適合型複合材料川中産業創出プロジェクト
Grant project for academia and industries in the region by Cabinet Office A project for the creation of new environmental composites for midstream industries
山中・白井研究員：A. Yamanaka, T. Shirai Researcher、齊藤 コーディネーター：Y. Saito Coordinator
- 16 循環型社会の実現に向けた革新的複合材料の開発
Development of innovative composite materials for realization of a sustainable recycling-oriented society
(国研) 産業技術総合研究所マルチマテリアル研究部門 Multi-Material Research Institute, AIST
三木 総括研究主幹：T. Miki Principal Research Manager、木質循環複合材料グループ稲垣、島本、関、阿部、暮井、堀山
：Wood-based Sustainable Composites Group M. Inagaki, D. Shimamoto, M. Seki, M. Abe, T. Kurei, H. Horiyama、
ポリマー複合材料グループ杉本：Polymer composite Group Y. Sugimoto
- 17 複合材料開発のための化学的アプローチ Chemical approaches to composite material development. 西田 研究員：H. Nishida Researcher
- 19 ICCにおける樹脂と繊維の界面接着性評価手法の確立 Method for evaluating interfacial adhesion between the fiber and the resin in ICC
山下 研究員：H. Yamashita Researcher
- 20 イソシアネートによるセルロース繊維の表面改質 Surface modification of cellulose fiber by diisocyanate
山中・西田 研究員：A. Yamanaka, H. Nishida Researcher、寺田・織田 技師：M. Terada, S. Oda Engineer
- 21 植物系材料の引張試験の検討 Study of tensile test method for plant-based materials
寺田 技師：M. Terada Engineer、布谷・山中 研究員：K. Nunotani, A. Yamanaka Researcher、橋本 技師：K. Hashimoto Engineer、
齊藤 コーディネーター：Y. Saito Coordinator
- 22 熱可塑プリフォームからの低圧 RTM Low-pressure RTM from thermoplastic preform
西田・布谷 研究員：H. Nishida, K. Nunotani Researcher、乾・佐久間・稲垣 技師：N. Inui, T. Sakuma, M. Inagaki Engineer
- 23 NEDO 革新 FC 事業 NEDO Innovative FC Project 乾・佐久間 技師：N. Inui, T. Sakuma Engineer
- 24 LCMにおける樹脂流動テストベンチの開発 Development of resin flow test bench for LCM
布谷 研究員：K. Nunotani Researcher、佐久間・乾 技師：T. Sakuma, N. Inui Engineer
- 25 現場重合型熱可塑性樹脂を用いたサステナブル コンポジットの成形プロセス開発 Approach to the sustainable composite molding process using in-situ polymerization thermoplastics 布谷 研究員：K. Nunotani Researcher、佐久間・乾 技師：T. Sakuma, N. Inui Engineer
- 26 溶液含浸を用いたプレス成形によるラージトウ CF 織物 / PA6 複合材の作製
Fabrication of large-tow woven CF/PA6 composite using solvent method 石田 研究員：O. Ishida Researcher、織田 技師：S. Oda Engineer
- 27 rCF 不織布を用いたスタンパブルシートの DBP 含浸プロセス
Impregnation process of stampable-sheet with DBP using rCF non-woven mats 石田 研究員：O. Ishida Researcher、IPCO_北田：J. Kitada IPCO
- 28 定量的な評価手法を用いたカットテープブランダム CFRTP の繊維配向に対する材料流動特性評価
Evaluation of material flow characteristics for fiber orientation in CTT material using the quantitative evaluation method 白井 研究員：T. Shirai Researcher
- 29 繊維複合材料の成形性評価金型の紹介 Introduction to Moldability Evaluation for Fiber Composite Materials
堀川 技師：M. Horikawa Engineer、白井・布谷・石田 研究員：T. Shirai, K. Nunotani, O. Ishida Researcher
- 30 X線コントラストイメージングによる面内流動したカットテープブランダム CFRTP の繊維配向解析
Fiber orientation analysis of in-plane flowed CTT material by X-ray contrast imaging 白井・森 研究員：T. Shirai, Y. Mori Researcher
- 31 等方性物性を有するカットテープブランダム CFRTP の X線位相コントラストイメージング構造評価
Evaluation of CTT structure with isotropic physical properties using X-ray phase contrast imaging 森・白井 研究員：Y. Mori, T. Shirai Researcher
- 32 溶融含浸法を用いた高速引抜成形による大径 FRP ロッドの開発
Large-diameter FRTP-rebar developed using high-speed pultrusion molding with melt impregnation
松本 技師：H. Matsumoto Engineer、川本 研究員：N. Kawamoto Researcher
- 33 Go-Tech 事業 1) の紹介：丸八株式会社で研究開発が進む”dUD テープ”とは?
Introduction of Go-Tech Project: What is the "dUD Tape" under research and development at Maruhachi Corporation?
中島 研究員：M. Nakajima Researcher、丸八株式会社 園子、小林：H. Zushi, H. Kobayashi MARUHACHI Corp.
- 34 建築向け FRP パネル (耐火構造試験) FRP panel for construction (Fire-resistance structural testing)
中島・布谷 研究員：M. Nakajima, K. Nunotani Researcher、鹿島建設株式会社 緒方：S. Ogata KAJIMA Corp.
株式会社栗本鐵工所 釜野：H. Kamano Kurimoto, Ltd.
- 35 超音波溶着を用いた風車ブレードの連続接合技術の検討 Continuous Welding Technology for Wind Turbine Blades Using Ultrasonic Welding
植村 技師：K. Uemura Engineer、西田 研究員：H. Nishida Researcher、佐久間・乾 技師：T. Sakuma, N. Inui Engineer
- 36 オリンピック向けセーリングヨットの開発 Development of sailing yacht for the Olympics
埜口 技師：S. Noguchi Engineer、鶴澤 所長 / 教授：K. Uzawa Director / Professor、齊藤 コーディネーター：Y. Saito Coordinator
- 37 令和5(2023)年度の成果：Achievements in FY 2023
- 39 ICC メンバーシップ会員における産学連携活動の成果
Outcome s from Industry-Academia collaboration activities among ICC membership program
*ミュンヘン工科大学 (TUM) Anna Julia Imbsweiler
*三井化学株式会社 Mitsui Chemicals, Inc.
*サンコロナ小田株式会社 SUNCORONA ODA co.,ltd.
*ミズノテクニクス株式会社 Mizuno Technincs Corporation
*丸八株式会社 Maruhachi Co.,Ltd.

2023年度のICCの研究活動の概要

Overview of ICC Research Activities in FY 2023



斉藤 義弘
Yoshikino Saito

鵜澤 潔
Kiyoshi Utsawa

2014年6月に開所したICCは本年度で10年目の活動となる。10年を振り返ると、航空機分野では機体構造のほぼすべてにCFRPを適用したBoeingのB787やAirBusのA380、A350が運行開始され、複合材料の適用が大幅に拡大した時期である。また自動車分野ではICC開所の2014年に車体骨格のすべてをHP-RTMプロセスでCFRP化したBMWのi3が日本で発売となった年であり、自動車分野への適用拡大への期待も高まった時期である。このように、この10年は複合材料が軽量で高強度、長寿命であり、移動体の燃費向上、CO₂排出削減に大きく貢献することから、持続可能な社会の構築に不可欠な材料として注目されてきた。一方で地球温暖化がますます顕著となり、サーキュラーエコノミー実現のために、複合材料の果たす役割、課題も大きく変化してきた時期と言える。そうした背景のもと、本年度から内閣府の「地方大学・地域産業創生交付金」事業が開始され、「環境に低負荷な複合材料」と「デジタル技術を活用した製造プロセスの高度化」を新たな課題として、バイオベース材料/天然繊維等の調査、基礎研究、ランダム材のデジタルツインに向けたシミュレーション技術/成形技術の開発に取り組んできた。本年度は活動1年目であるが県内企業との多くの取組も開始している。

また地域の課題解決・新産業創出へ向け、産総研との連携事業であるBIL(ブリッジ・イノベーションラボラトリー)の活動も開始した。ICCの成形技術と産総研の木質系材料の成形プロセスやリサイクル技術の強みを活かし、本取組でも低負荷な新たな複合材料の実現を目指している。

さらに持続可能な社会へ向けた重要テーマである水素社会の構築についてはNEDO事業においてハイレート、低コストな高圧水素タンクの製造技術に取り組んでいる。本年度は3年目(2021年度~2024年度)となりCFRTPテープによるプリフォームの製造技術、および新規樹脂による低圧RTM成形プロセスの実証等を実施し、最終年度となる来年度に向け試作評価を進めている。

これらプロジェクトの他、ICC独自の基礎研究に加え、企業との個別共同研究やGo-Tech事業等の補助金を活用した研究開発についても、本年度は約30件の取組を実施した。またメンバーシップ活動についてもICCをプラットフォームとした取組が活発に行われた。それらの成果の展開や事業化に向けた取組では、昨年度1号船が運航を開始したウインドチャレンジャーはCO₂の排出削減に非常に効果が高いことから世界中で同様な帆走方式が開発されている。本年度は2号船の建造が進められておりICCでは引き続き硬翼帆の量産製造技術の開発に商船三井と取り組んでいる。

また風力発電の分野では、グリーン成長戦略の中で洋上風力が重要分野に位置づけられたことから新たな産業として関連する事業が急速に進行している。現状では先行する海外メーカーの技術を導入せざるを得ない状況であるが、日本に適した独自技術としてCOI事業の中でも取組んできた垂直軸型浮体式洋上風力発電に注目が集まっている。国内電力会社等からも注目され、アルバトロステクノロジーへの出資により来年度は海上実証のフェーズに進む計画である。ICCでは実証機への技術支援とともに、Go-Tech

Started in June 2014, ICC marked its tenth year of operation in FY2023. Over the past 10 years, the applications of composite materials have significantly expanded. In the field of aircraft, Boeing B787, Airbus A380 and A350, which use Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP) for almost all their airframe structures, are now in service. In the field of automotive, BMW i3, whose entire body frame was made of CFRP manufactured by HP-RTM process, was launched in Japan in 2014, which is the same year of the foundation of ICC, and when the expectations for expansion of applications of composite materials in the automotive field were high. Thus, lightweight, high-strength and long-lasting composite materials have been expected to significantly improve fuel efficiency, to reduce CO₂ emissions from mobility vehicles and to become indispensable materials to realize a sustainable society. In the meanwhile, the global warming is getting worse and the roles and challenges of composite materials have shifted to adapt themselves to realize circular economy. Under the circumstances, a government-funded project, "Regional University and Regional Industry Creation Grant Program" started in FY2023. The two main themes of the project are the development of environmentally low-impact composite materials, such as bio-derived materials and natural fibers and the advancement of manufacturing processes using digital technology. In spite of its first year, quite a few R&D have been already being carried out with the local companies. Efforts to create new business and new industries, stimulate the local economy, and solve society's problems have been made in the BIL project with the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST). Establishing Japan's first Bridge Innovation Laboratory (BIL) in ICC, the project focuses on developing innovative composites with low environmental impact by utilizing ICC's molding technology and AIST's strengths in molding processes for wood-based materials and recycling technology. Realizing a hydrogen society is also the key to achieve a sustainable society. ICC joined the NEDO project to develop hydrogen storage technology and has been engaging in the manufacturing technology of high pressure hydrogen tank with high productivity and low cost. In FY2023, the third year of the project (2021-2024), we focused on the development of CFRTP tape preforms and the demonstration of low-pressure RTM molding process with new resins.

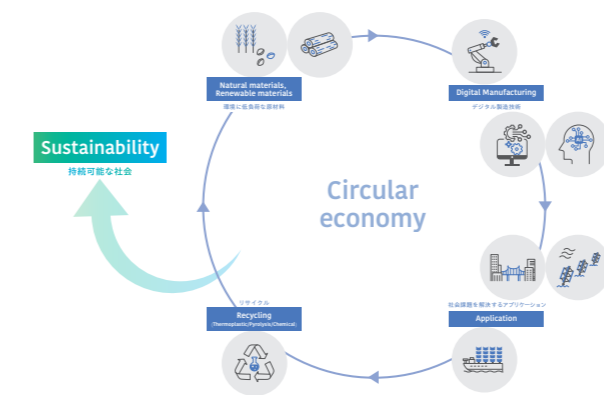
In addition to these major projects, approximately 30 projects were conducted in FY2023, including ICC's sole academic research, joint researches with companies and grant-funded projects, such as METI's Go-Tech. ICC's main function as an open innovation platform has produced significant results. Since the first vessel equipped with "Wind Challenger" started its commercial operation in 2022, similar sailing systems have been being developed worldwide as wind power is expected to be effective in

事業では福井ファイバートックとブレードの連続成形技術、接合技術等に取り組んでいる。

土木建築分野では海外でFRP筋の適用拡大が進んでおり、石川県の成長戦略ファンドにより津田駒工業との量産プロセスの開発を進めている。FRP筋については能登半島地震で甚大な被害を受けた港湾の復旧や耐震補強用途でも有効であり、単なる復旧にとどまらない、複合材料で貢献できる復興支援についても今後の課題として検討している。

海外機関との研究活動については、昨年まで実施したCFK-Valley(現CU)との共同研究の実績からミュンヘン工科大学の研究員の実入れやFraunhofer Innovation Platform (FIP)プログラムによるFraunhofer IGCV(アウグスブルグ)との連携について計画を進めており、国内だけでなく海外との研究活動にも引き続き注力して取り組んでいく。

このように本年度も活発な研究活動を行ったが、市場ニーズが大きく変化中、新たな市場となるAAM(Advanced Air Mobility)や、水素タンク関連、サーキュラーエコノミーに貢献する樹脂技術、リサイクル技術等に引き続き注力していく。



ICC concept of circular economy on composites



An X-ray phase-contrast imaging system was introduced through membership activities with Shimadzu Corporation (cover photo).

reducing CO₂ emissions. Construction of the second vessel is underway, and ICC continues to work with MOL on the development of technology for the mass production and manufacture of hard-wing sails. In the field of wind power generation, since offshore wind power has been positioned as a key sector in Japan's Green Growth Strategy, more and more projects related to the new industry are being created. Vertical-axis floating offshore wind turbines, which have been addressed in the COI project as a unique technology suited to Japan, are attracting attention and is planned to proceed to the offshore demonstration phase through investment in Albatross Technology from domestic power companies and others. In addition to providing technical support for the demonstration model, ICC is working with Fukui Fibertech Co., Ltd. on continuous blade-forming and welding technologies in their Go-Tech project. In the field of civil engineering and construction, the application of FRP rebars is expanding worldwide, and ICC is developing a mass-production process with Tsudakoma Corp. with the fund from Ishikawa Prefecture. FRP rebars are also effective in seismic reinforcement applications and in the restoration of ports that were severely damaged in the Noto earthquake, we are also considering future tasks to contribute to reconstruction assistance through composite materials.

International cooperation is also increasingly strengthened. We collaborated with Technical University of Munich, which was one of the fruits of the joint research with CFK-Valley (now CU) conducted until FY2022. Plans for FIP program, which is a collaboration project with Fraunhofer IGCV (Augsburg, Germany) is also currently underway.

As described above, we conducted a lot of research activities in this fiscal year and continue to focus on the new market of Advanced Air Mobility (AAM), hydrogen tank-related technologies, resin technologies that contribute to circular economy, and recycling technologies amid drastic changes in market needs.



Image of wind farm by Albatross Technology Floating Axis Wind Turbine (FAWT)

内閣府 地方大学・地域産業交付金事業 環境適合型複合材料川中産業創出プロジェクト

Grant project for academia and industries in the region by Cabinet Office
A project for the creation of new environmental composites for midstream industries



山中 淳彦 Atsuhiko Yamanaka
白井 武広 Takehiro Shirai
斉藤 義弘 Yoshihiro Saito

1.はじめに

近年、繊維強化複合材料は軽量・高強度・高弾性率材料として期待されてきたが、さらに環境負荷低減が望まれている。そのような状況下、「環境適合型複合材料川中産業創出プロジェクト」が内閣府による地方大学・地域産業交付金事業として採択され、本年度より活動を開始した。本プロジェクトでは、資源循環を総合的に捉えた環境適合型複合材料を創出し、これを具現化するための石川県内川中企業群のクラスター化による協業体制構築を目指すものである。

2.研究開発概要

本研究開発事業では、2023年度は事業初年度としてその体制づくりを行った。本事業の目的をカーボンニュートラルへの対応、県内企業の競争力向上、さらに新規市場の開拓を視野に入れた複合材料の創出とし、天然素材を活用した環境適合型複合材料及びデジタル技術を活用した製造プロセス最適化技術の構築、さらに具体的なアプリケーションへの適用研究を進めることとした。ここで事業化支援のためコーディネート機能をもつ株式会社ICEM、株式会社GSIクレオスと連携した。さらにICC内に開設された国立研究開発法人産業技術総合研究所ブリッジ・イノベーション・ラボラトリー(BIL)との協力体制を構築した。構築した協力体制を図1に示す。

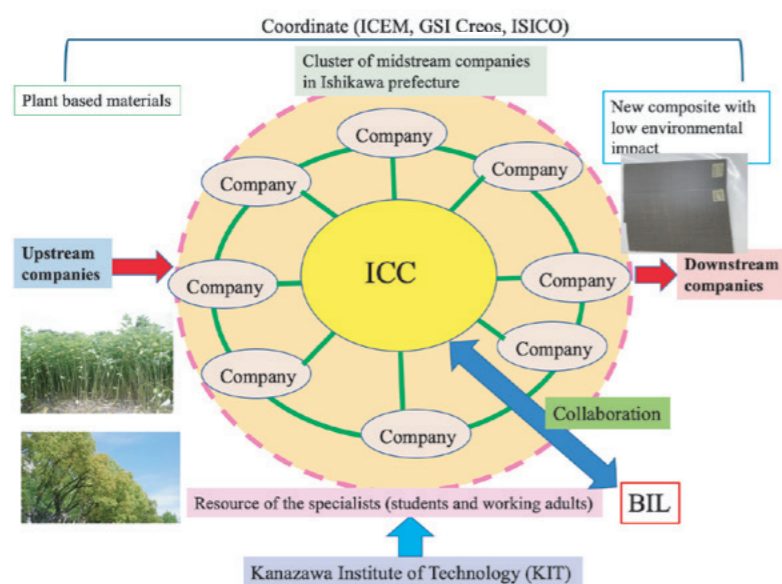


Figure 1 System of the project for development of new composites low environmental impact.

1.Introduction

Fiber reinforced plastics have been expected as light and high strength materials. With recent development of material technologies, a low environmental impact has become more important. Under such circumstances, the "A project for the creation of new environmental composite for midstream industries" was adopted by the Cabinet Office as a Grant project for academia and industries in the region, and it started this year. In this project, we aim to create environmentally-friendly composite materials with resource recycling comprehensively, and to build a collaborative system by clustering midstream companies in Ishikawa Prefecture.

2.Outline of the project

In this R&D project, FY2023 was the first year of the project. The purpose of this project is a creation of composite materials for carbon neutrality, improving the competitiveness of companies in the prefecture. and developing new markets. For this purpose, we promote research on the construction of environmentally compatible composite materials using natural materials and manufacturing process optimization technology that applies digital technology, and further research on their application to specific applications. Here, we collaborated with ICEM Co., Ltd. and GSI Creos Corporation, which have a coordinating function in order to support commercialization. In addition, we have established a cooperative system with the Bridge Innovation Laboratory (BIL) of the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) within the ICC. Figure1 shows the cooperative system of this project.

3.天然素材を活かした環境適合型複合材料にかかる研究開発

これまでの炭素繊維を中心とする複合材料は軽量高強度で長寿命なメリットがあるものの製造時のエネルギーが大きくリサイクル等の循環システムが確立していないことが問題である。そこで、本研究では図2に示す様に「素材・材料」に始まり、「加工」、「消費」を経て「廃棄」にいたる資源循環を総合的に捉え、植物の育種・栽培技術、植物の繊維化・シート化技術、天然由来素材を用いた複合材料設計、複合材料の成形プロセス技術及び資源循環型サプライチェーンの構築を進めていく。

4.デジタルツイン等を活用した製造プロセスの高度化研究

複合材料は等方性の金属材料などと異なり、繊維の配向やその積層構造により強度や弾性率などが異なる異方性材料である。また、複合材料の成形プロセスなどでは、樹脂の流動に伴って繊維も複雑な挙動を示すため、成形後の複合材料の物性が安定しないという問題が生じる場合がある。本事業では、図3に示すデジタルツインをはじめとするシミュレーション手法を活用して、材料の選定や複合材料の設計、成形プロセスの最適化などを図り、複合材料の品質や歩留まりの向上、開発期間の短縮などに取り組むこととしている。

5.具体的なアプリケーションの適用研究

前述の環境適合型複合材料の高度な製造技術を活用し、具体的なアプリケーションへの適用を図る。注力する分野としては、EV化等により車体の軽量化や製造時のCO₂排出削減が急務である自動車分野への適用、また老朽化や維持管理のコスト増加が社会課題である社会インフラ分野をターゲットとして、出口ニーズからのバックキャストにより製品化・事業化を目指し地域産業の創生を図っていく。

3.Development of bio-based composites materials with low environmental impact.

Conventional composite materials mainly made of carbon fiber have the advantages of light weight, high strength, and longevity, although the energy required during manufacturing is large and recycling system has not been established. Therefore, as shown in Figure 2, the resource cycle from "materials" to "disposal", that is to say "materials", "processing", "consumptions", and "disposal" are discussed comprehensively in this study. We will develop the plant cultivation technologies for fibers, manufacturing from plant to fibers and fabrics, material design of plant-based composites, and molding process with low environmental impact. We will also promote the construction of resource recycling supply chains and plan a strategy and vision of new composites with low impact environment.

4.Research on the sophistication of manufacturing processes using digital twins

It is known that most of metallic materials are isotropic, on the other hand, composite materials are anisotropic. That is to say, the strength and elastic modulus depend on the orientation of the fibers and their lamination structures. In addition, in the molding process of the composite material, the fiber also exhibits a complex behavior with the flow of the resin, so that the physical properties of the composite material after molding may not be stable. In this project, we will use simulation methods such as digital twins to improve the quality and yield of composite materials and shorten the development period by selecting materials, designing composite materials, and optimizing the modeling process in Figure 3.

5.Specific application

Utilizing the aforementioned advanced manufacturing technologies of environmentally compatible composite materials, we aim to apply them to specific applications in order to create local industries with the aim of commercialization and commercialization by back casting from exit needs. In terms of focus areas, we will apply to automobile structures for reduction of weight of bodies and CO₂ emission during manufacturing due to the shift to EVs, etc. We also will apply to the social infrastructure field. Aging and increasing maintenance costs are social issues.

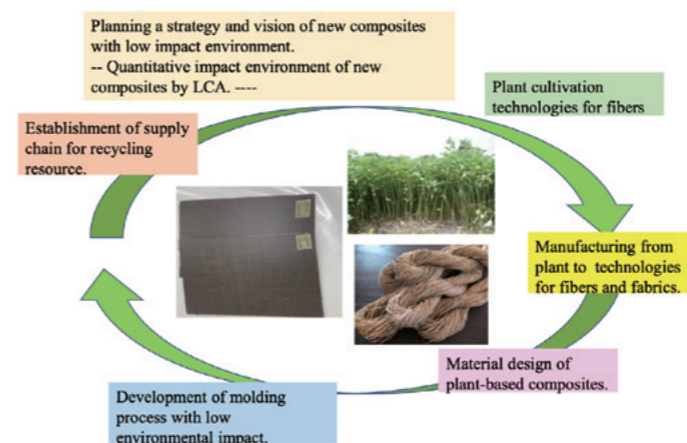


Figure 2 Development of plant-based composites with low impact environment.

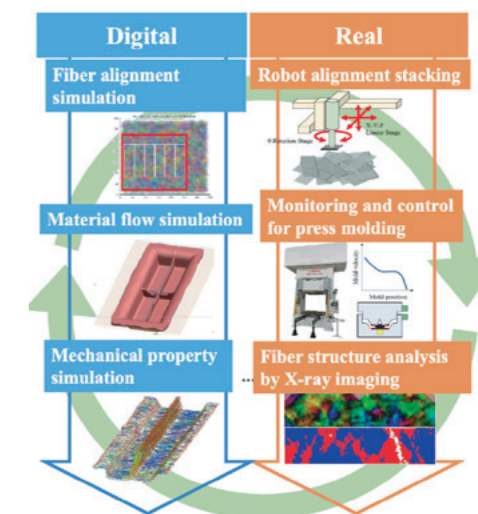


Figure 3 Digital twin for the sophistication to optimize the press molding process.

循環型社会の実現に向けた革新的複合材料の開発

Development of innovative composite materials for realization of a sustainable recycling-oriented society

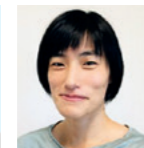
木質循環複合材料グループ



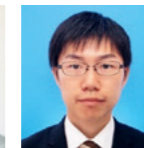
稲垣 雅彦
Masahiko Inagaki



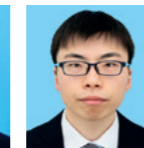
島本 太介
Daisuke Shimamoto



関 雅子
Masako Seki



阿部 充
Mitsuru Abe



暮井 達己
Tatsuki Kawai



堀山 彰亮
Hiroaki Aonijama

ポリマー複合材料グループ



杉本 慶喜
Yoshiaki Sugimoto

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
材料・化学領域
マルチマテリアル研究部門 総括研究主幹



三木 恒久
Tsunehisa Miki

【目的と実施内容】

金沢工大・産総研BILでは、金沢工大の複合材料の成形プロセス技術と産総研の木質材料の改質・成形プロセス技術を組み合わせ、資源循環やCO₂排出削減に資する革新的材料を創製することが目的です。このため、産総研から木質循環複合材料グループとポリマー複合材料グループの研究者がBILに参加し、木質素材をプラスチックの様に成形する木質流動成形技術および木質系材料と異種材料の複合化技術、リサイクル炭素繊維の評価技術（弾性率、強度分布、摩擦、密着強度）、リサイクル炭素繊維の高性能CFRP化技術（中間基材化）ならびにCFRP高速樹脂硬化技術などの要素技術を適用します。産総研研究者とICC研究者が連携し、①100%天然由来成分の素材を用いた「資源循環型複合材料の開発」と②炭素繊維複合材料と木材等を積層した「低環境負荷で競争力のある複合材料の開発」を進めています。

①資源循環型複合材料の開発(図1)において、竹・木材やバイオ由来の樹脂などの天然資源を積極的に活用して、オールバイオマスを目指した木質流動成形技術を開発し、既存プラスチックに匹敵する新たな循環型複合材料を創出します。

②低環境負荷で競争力のある複合材料の開発(図2)において、①で開発する新素材、リサイクル炭素繊維を始めとする再資源化素材などを適材適所にマルチマテリアル化させて、所要の性能を満足する部材を創出します。機械的性質だけでなく住空間の快適性向上に資する部材・製品の開発を目指します。

【Purpose and implementation details】

The KIT-AIST Advanced Composites Bridge Innovation Laboratory (AdCom-BIL) is aiming to create innovative multi-structured materials with CO₂ emission reduction that contribute to build a circular economy by combine KIT's composites molding process technology with AIST's wood modification and molding process technology. Consequently, researchers from the wood-based sustainable composites group and polymer composite group from AIST are participating in AdCom-BIL to apply elemental technologies, such as techniques for plastic-flow molding of wood-based composites, multi-materials processes for wood-based materials and dissimilar industrial materials, evaluation methods for recycled carbon fiber (elastic modulus, strength distribution, friction, adhesion strength), application for recycled carbon fiber and high-speed resin curing for CFRPs. Researchers from AIST and ICC are collaborating to perform main two research themes.

①The development of resource-recycling composite materials (Figure 1) involves the active utilization of natural resources, such as bamboo, wood, and biologically derived resins, for wood plastic-flow molding techniques with the aim of biomass-exclusive use and the creation of new recycled composite materials that are comparable to existing industrial oil-based plastics.

②The development of competitive composite materials with low environmental impact (Figure 2) involves appropriate utilization of newly developed materials in (1) and recycled industrial materials, such as recycled carbon fiber, to create parts and materials that meet the required performance. The aim is to develop components and products that have acceptable good mechanical properties as well as contribute to improving the comfort of living spaces.



Figure 1 Development of 100% naturally derived, recyclable composite materials

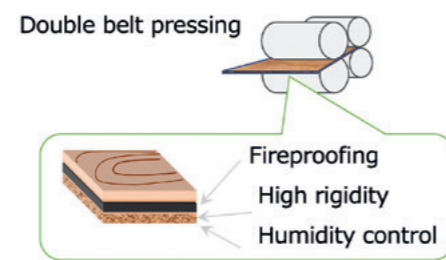


Figure 2 Competitive multi-material composites with low environmental impact

複合材料開発のための化学的アプローチ

Chemical approaches to composite material development.



西田 裕文
Hirofumi Nishida

FRPの強度、剛性への寄与が大きいのは強化用繊維であるが、FRPの熱的安定性や化学的安定性に関してはもはやマトリックスの化学構造にメスを入れる化学的アプローチ無しには改善は全く望めない。そればかりか、化学的アプローチはFRPの製造プロセスにさえ劇的な変化をもたらすこともある。

本稿では、自動積層装置の経路が樹脂に汚染されないタックフリーの熱硬化性トウプリプレグを高速で製造できるマトリックス樹脂や、難接着樹脂として有名なDCPD(ジシクロペンタジエン)でもガラス繊維に高い接着性を付与する技術の開発に関して紹介しながら、ICCでの化学的アプローチの様子をオーバービューしていきたい。

タックフリーな熱硬化性トウプリプレグの高速製造を可能にするマトリックス樹脂

AM(Additive Manufacturing)は、3Dプリンターの普及をきっかけにわかに注目を集め始めた技術である。連続繊維で強化したトウプリプレグを使用したATP(Automated Tape Placement)を用いるAMにより、実用強度を有する実機用部品の製造が可能となる。特に小型ロボットに搭載可能な成形ヘッドと専用プリプレグの開発は、少量多品種の小型FRP部品を扱う業界にとって大変意義深い。

そこでICCでは、トウプリプレグ製造時には高速含浸可能な高流動性を有し、含浸後はタックフリーとなりロボットによるトウプリプレグの取り扱いが可能で、更には自動積層時に貼り付けを可能にする粘着性をも発現させられる変幻自在なレオロジー特性を備えた新規なエポキシ系マトリックス樹脂を開発した。樹脂の基本組成は、固形エポキシ樹脂、潜在性硬化剤、低粘度アクリルモノマーの混合物から成り、UVラジカル開始剤とREDOX系ラジカル開始剤を添加したものである。図1に示すような装置を用い、まずボビンから供給された炭素繊維トウにコーターにより低粘度樹脂組成物が含浸される。その後樹脂含浸したトウはUVトンネルの中でUV照射され、表面がタックフリーとなる。トウ内部のアクリル樹脂は重合していないがそのままボビンに巻き取られ、保管中にREDOX重合により内部のアクリル樹脂も完全に重合し、ホットメルト型熱硬化性トウプリプレグが製造される。

DCPD(ジシクロペンタジエン)をマトリックスとする場合の接着性付与技術

図2に示すDCPDの硬化過程で架橋構造に組み込まれるシランカップリング剤を接着付与剤として調製し、それをインテグラルブレンド法により樹脂中に添加する手法を採用した。本技術は、強化用繊維の表面処理のための別工程を必要としないため、市販のガラス繊維をそのまま使用できる点で工業的価値が非常に大きい。検討の結果、市販のガラス繊維としてはメタクリルシラン処理品が最もDCPD樹脂と相性が良かったが、それに新規開発の接着性付与剤を添加することにより、エポキシ樹脂GFRP並みの強度が発現することが分かった。何らかのシランカップリング剤によるガラス繊維の表面処理により、表面に多くのシランール基

Reinforcing fibers significantly enhance the strength and rigidity of FRP; however, without chemically modifying the matrix structure, improvements in thermal and chemical stability are unattainable. Furthermore, chemical modifications can profoundly alter the FRP manufacturing process.

This article provides an overview of the chemical strategies employed at ICC, focusing on a matrix resin developed to rapidly produce tack-free thermosetting tow preregs, which do not leave resin residues on the paths of automated lamination equipment. And also adhesiveness imparting technology for poorly adhesive resins such as dicyclopentadiene (DCPD) will be introduced.

Matrix resin that enables high-speed production of tack-free thermoset tow prepreg

The matrix resin facilitates the high-speed production of tack-free thermoset tow prepreg. Additive manufacturing (AM), particularly highlighted by the proliferation of 3D printers, utilizes Automated Tape Placement (ATP) with tow prepreg reinforced by continuous fibers. This approach enables the production of components with practical strength for actual products. The development of a specialized molding head and prepreg that can be integrated into a compact robot is particularly valuable for industries producing diverse, small-scale FRP parts in limited quantities.

Therefore, ICC has developed a novel epoxy-based matrix resin with exceptional rheological properties, allowing for rapid impregnation during tow prepreg production. This resin becomes tack-free post-impregnation, facilitating robotic handling, and regains tackiness for automated placement. The formulation of the resin includes solid epoxy resin, a latent hardener, and a low-viscosity acrylic monomer, supplemented with UV and REDOX radical initiators. As depicted in Figure 1, the coating process involves impregnating a low-viscosity resin composition into the carbon fiber tow from a bobbin. Following UV irradiation in a UV tunnel, the surface of the tow becomes tack-free. Although the acrylic resin within the tow remains unpolymerized at this stage, it is wound onto the bobbin and undergoes complete polymerization through REDOX polymerization during storage, resulting in a hot melt type thermosetting tow prepreg.

Adhesiveness imparting technology when using DCPD (Dicyclopentadiene) as a matrix

Initially, a silane coupling agent was prepared to serve as an adhesion promoter, which integrates into the crosslinked structure during the curing process of DCPD, as illustrated in Figure 2. Subsequently, the integral method was employed, involving the direct addition of this agent to the resin. This approach eliminates the need for an additional surface treatment process for the reinforcing fiber, thereby offering significant industrial value as commercially available glass fibers can be utilized directly. Upon investigation, it was found

が導入されるため、接着性付与剤の効果が増大されるものと考えられた。

that glass fibers treated with methacrylsilane exhibited the highest compatibility with DCPD resin among the commercially available options. Furthermore, the incorporation of a newly developed adhesion promoter enabled the achievement of high strength in the composite, comparable to that of epoxy resin-based glass fiber reinforced polymer (GFRP). It is hypothesized that the surface treatment of glass fibers with a silane coupling agent introduces numerous silanol groups to the surface, thereby enhancing the effectiveness of the adhesion promoter, as depicted in Figure 3.

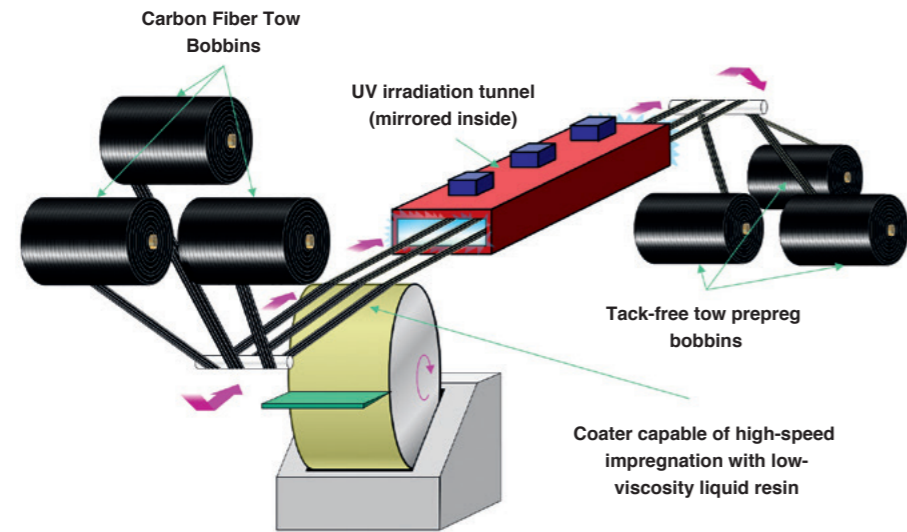


Figure 1 Mechanism for rapid production of thermoplastic tow prepreg in the air using radical polymerization

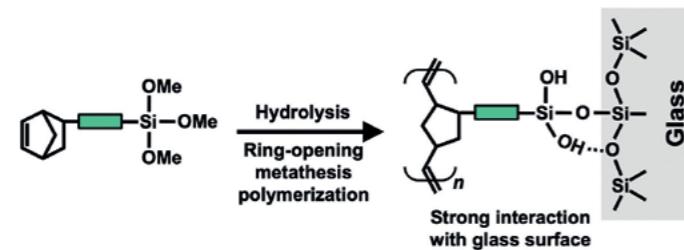


Figure 2 A new silane coupling agent that bonds DCPD resin and glass

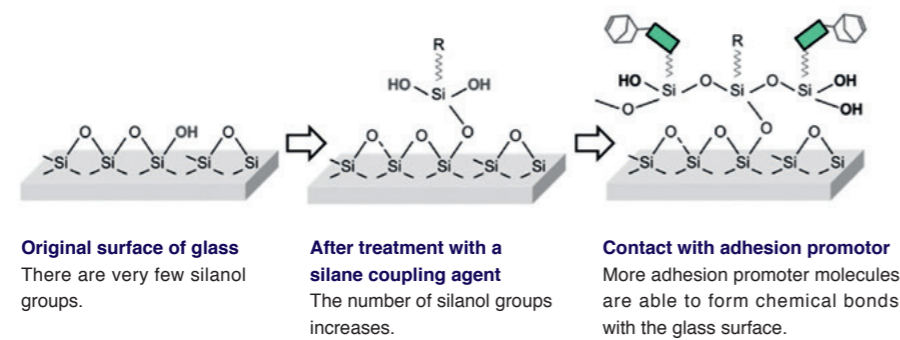


Figure 3 The principle by which adhesion promoters bond to glass surfaces that have been pretreated with silane coupling agents

ICCにおける樹脂と繊維の界面接着性評価手法の確立

Method for evaluating interfacial adhesion between the fiber and the resin in ICC



山下 博
Hiroshi Yamashita

繊維強化プラスチック (FRP) において、繊維と樹脂の界面接着性は力学特性を最大限に発揮するために考慮しなければならないパラメータの一つである。ICCでは、フラグメンテーション試験およびマイクロドロプレット試験を用いた界面接着性の評価を行っており、その手法について紹介する。

In fiber-reinforced plastics (FRP), the interfacial adhesion between the fiber and the resin significantly influences the mechanical properties of the material. At ICC, we assess this interfacial adhesion using two methods: the fragmentation test and the microdroplet test, which are described below.

1. フラグメンテーション試験

フラグメンテーション試験の概要および試験の様子を図1に示す。炭素繊維 (CF) の単繊維を樹脂フィルムで上下からはさみ一体化したダンベル試験片を作製し、引張試験を行った後に、破断したCFの破断長をカメラで計測することで、界面せん断強度 (IFSS) を算出する方法である。専用の装置を使用しないため簡便な測定方法ではあるが、一直線なCF単繊維が埋め込まれた試験体の作製が難しく、樹脂の物性によっては測定できない問題がある。

1. Fragmentation test

The fragmentation test, depicted in Figure 1, involves embedding a carbon fiber (CF) monofilament between layers of resin film. This assembly is then integrated through hot pressing to form a dumbbell-shaped specimen. After the tensile test, the specimen is stretched, and the length of the fractured CF is recorded using a camera to calculate the interfacial shear strength (IFSS). This method is straightforward and does not require specialized equipment. However, the challenges include accurately aligning the CF monofilament and limitations with non-stretchable resins.

2. マイクロドロプレット試験

マイクロドロプレット試験の概要および試験の様子を図2に示す。CF単繊維に樹脂玉を形成し、樹脂玉をブレードに挟み、引き抜くことで、引き抜いた際の最大荷重からIFSSを算出する方法である。従来の樹脂玉作製方法では、樹脂玉の成形が難しかったため、ICCでは図3に示す方法を考案した。樹脂を溶融させた所にCF単繊維を通し、繊維表面に樹脂を塗布する。次に、塗布したCFの上下から加熱することで樹脂玉を形成させる方法である。

2. Microdroplet test

Figure 2 illustrates the microdroplet test procedure. In this method, a resin droplet is applied to a CF monofilament. The specimen is then mounted in a testing device, where the droplet is clamped between blades. The IFSS is determined by measuring the maximum load during the pull-out process. A unique aspect of ICC's approach (Figure 3) involves drawing the CF monofilament through molten resin to coat it uniformly. Subsequently, the coated monofilament is heated from both sides to form a well-defined resin droplet.

今回、樹脂と繊維の界面接着性の評価方法および、測定するための工夫について紹介した。樹脂の特性などによって最適な方法を選択する必要がある。

These methods enable the precise evaluation of interfacial adhesion, which is crucial for optimizing the performance of fiber-reinforced plastics.

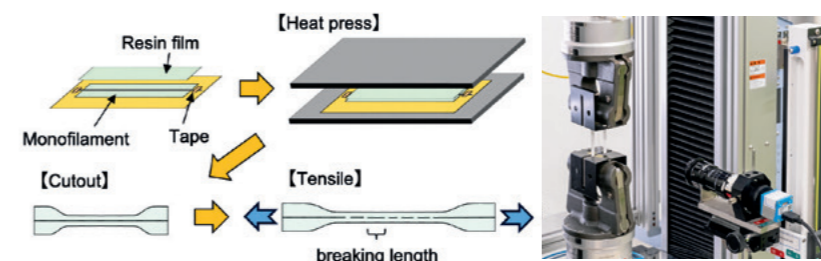


Figure 1 Schematic diagram and device image of fragmentation test

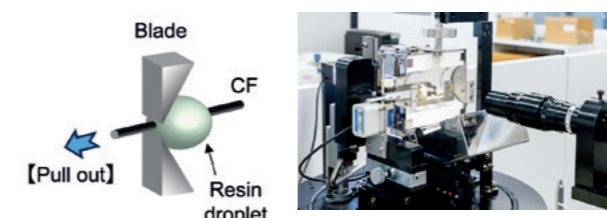


Figure 2 Schematic diagram and equipment of microdroplet test

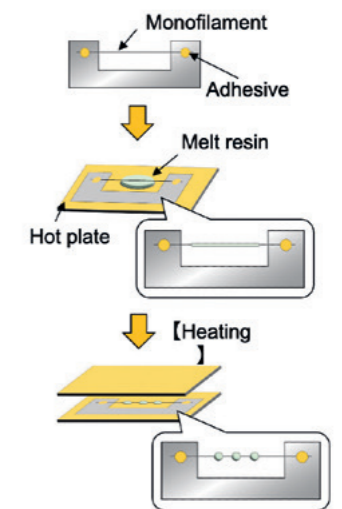


Figure 3 Schematic diagram of the preparation method for the microdroplet specimen

イソシアネートによるセルロース繊維の表面改質

Surface modification of cellulose fiber by diisocyanate



近年、セルロース繊維を強化繊維とする複合材料はグリーンコンポジットとして期待されているが、マトリクス樹脂との接着性は曲げ強度などに影響を与える重要な因子である。本研究では図1に示す様にセルロース繊維の水酸基へのジイソシアネートの付加、さらにアミノ基の生成により、エポキシ及びアクリレート樹脂との化学結合による接着性向上を図る。まずセルロース繊維表面にジフェニルメタンジイソシアネート (MDI) を付着させ、80°Cで3時間加熱処理を行った後、トルエンにより未反応のMDIを除去した。XPSにより得られた繊維表面の窒素元素比率 (N/C) はMDI処理により約20倍に増加した。また、図2にFT-IRスペクトルを示すが、MDI処理によるウレタン結合由来のカルボニルの生成が認められた。以上より、MDIのセルロース繊維表面への付加が確認できた。

Recently, cellulose fiber-reinforced plastics have been recognized as promising green composite materials. The adhesion between the reinforcements and matrix resins is crucial for mechanical properties such as bending properties. In this study, the hydroxyl groups on cellulose fibers were modified with diisocyanate to form amino groups on the surface (Figure 1). This modification potentially enhances the adhesion between cellulose fibers and epoxy or acrylic resins through chemical coupling. Initially, cellulose fibers treated with methylene diphenyl diisocyanate (MDI) were cured at 80 °C for 3 h and subsequently washed with toluene to remove unreacted MDI. The increase in nitrogen content on the fiber surface (N/C) following MDI treatment was confirmed by XPS, with the increase ratio being approximately 20 times. Furthermore, the FT-IR spectra of the modified cellulose fibers displayed a carbonyl stretching peak indicative of urethane (Figure 2). Thus, the chemical bonding of MDI to the surface of the cellulose fibers was confirmed.

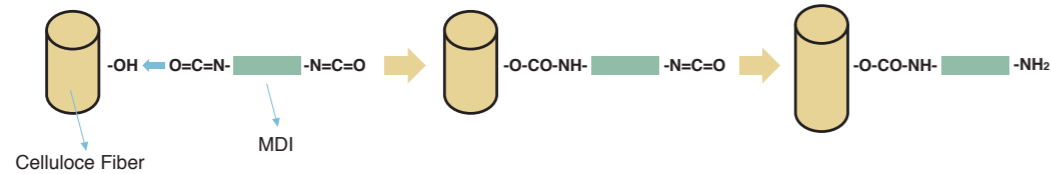


Figure 1 Schematic diagram of modification of cellulose fiber with methylene diphenyl diisocyanate.

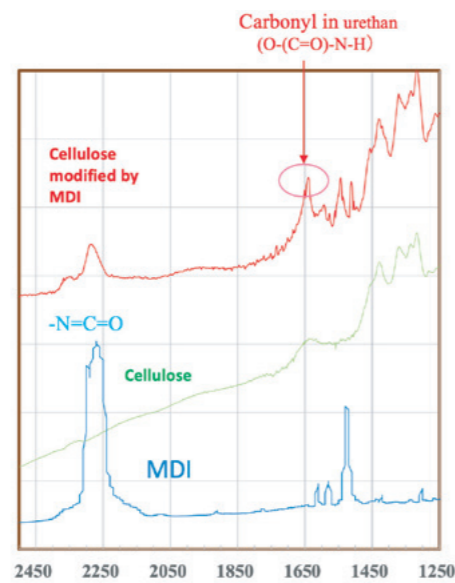


Figure 2 FT-IR spectra of MDI, cellulose, and modified cellulose.

植物系材料の引張試験の検討

Study of tensile test method for plant-based materials



植物系材料は、ガラス繊維や炭素繊維と比較してエコフレンドリーな強化材として期待を集めている。ヨーロッパではすでにHempやFlaxが利用されているが、これらについては輸入に頼らざるを得ないのが現状である。そこでICCでは、国内で容易に入手できる農業廃棄物の一つである稲わらに着目し、その強化材としての適用可能性を検討している。植物系強化材の形態としては、素材に近いものから精製を経たセルロース繊維に至るまで様々なものが想定されるが、本研究では素材にあたる稲わらの茎について引張弾性率を評価した。

図1には引張試験の検体を示した。(a) whole stemは稲わらの茎で、(b) split stemはそれを裂いたものである。図2にはsplit stemとwhole stemにおける繊度と弾性率の指標との関係を示した。弾性率の指標の平均はそれぞれ14.5 cN・km/gと11.2 cN・km/gで、変動係数は10%と9%であった。比較として、Flaxの燃糸の引張試験も同様の条件で実施した。Flaxの引張弾性率の指標の平均と変動係数はそれぞれ10.0 cN・km/gと9%で、whole stemとほぼ同等であった。

以上より、稲わらを用いたFRPは国内産業として発展する可能性のみならず、東アジア圏における地産地消のFRP産業の資源循環構造構築に利用できる可能性がある。

Plant-based materials are expected to serve as more environmentally friendly reinforcement materials compared to traditional glass and carbon fibers. Although hemp and flax are already utilized in Europe, they need to be imported. Thus, the ICC has turned its attention to rice straw—a readily available agricultural waste material in Japan—to explore its feasibility as a reinforcement material. These plant-based materials can range from forms close to their natural state to refined cellulose fibers. This study specifically assessed the tensile modulus of the raw material, namely, the rice straw stem.

Figure 1 illustrates the specimens prepared for the tensile test: (a) the whole stem remains intact, and (b) the split stem. Figure 2 depicts the relationship between tex (the measure of fiber fineness) and the elastic modulus index for both split and whole stems. The average elastic modulus index for split stems was 14.5 cN·km/g, with a coefficient of variation of 10%, and for whole stems, it was 11.2 cN·km/g, with a coefficient of variation of 9%. For comparative purposes, tensile tests on twisted flax yarn were conducted under identical conditions, yielding an average tensile modulus index of 10.0 cN·km/g and a coefficient of variation of 9%; these values were roughly equivalent to those of the whole stems.

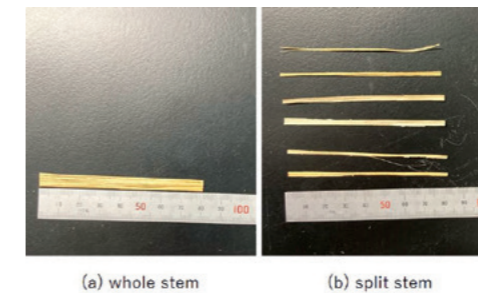


Figure 1 Specimens for tensile test: (a) whole stem, (b) split stems.

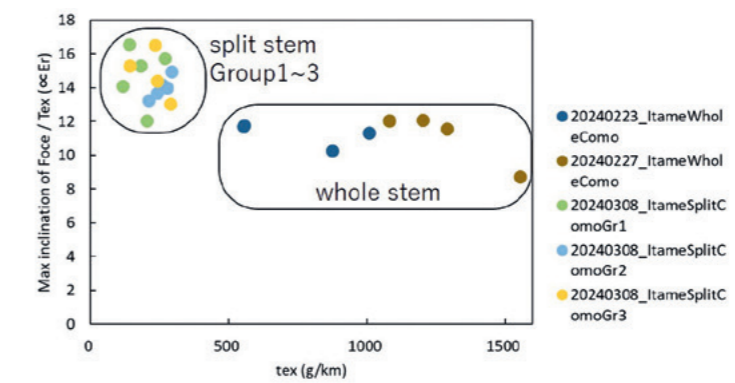


Figure 2 Relationship between tensile modulus and tex in rice straw stems.

熱可塑プリフォームからの低圧RTM

Low-pressure RTM from thermoplastic preform



西田 裕文
Hiroyuki Nishida



布谷 勝彦
Katsuhiko Nunotani



乾 伸晃
Nobuaki Inui



佐久間 忠
Tadashi Sakuma



稲垣 昌輝
Masaki Inagaki

従来のRTMでは、バインダーで形状保持性を付与したドライファイバー（樹脂未含浸ファイバー）でプリフォームが作製されているが、単糸間のギャップが極めて狭いため、その後のRTMプロセスで液状樹脂を注入する際、含浸に非常に時間がかかり、また、ハイプレッシャーRTM装置などの大掛かりで高額な機械装置の導入を余儀なくされることがある。

そこでICCでは、炭素繊維トウに低粘度樹脂を含浸させて直鎖状に重合させることにより熱可塑性トウプリプレグを高速で製造し、その形状保持性を利用してプリフォームを作製した後低圧RTMで高速含浸および高速硬化させる短時間RTMシステムを提案した。本手法によると律速段階である単糸への樹脂含浸工程が既に完了しているため、プリプレグ間のギャップにのみ樹脂含浸させればよく、低圧でも短時間で含浸を完了させることができる。図1に示すとおり、熱可塑性樹脂を含浸させた繊維と含浸させていない繊維をそれぞれ使用した場合のVaRTMにおけるフローフロントの前進速度の比較から、含浸済み繊維の使用の優位性は明らかである。

この時、トウプリプレグのマトリックス樹脂である熱可塑性樹脂が、RTM用熱硬化性樹脂に少なくとも界面で溶解し得る相溶性を有する樹脂の組み合わせを選択することにより、RTMで成形される際に熔融一体化してシームレスなFRP製品が製造できる。

In conventional Resin Transfer Molding (RTM), preforms are created using dry fibers, which are not yet impregnated with resin but have been imparted with shape retention using a binder. However, due to the extremely narrow gaps between the monofilaments, the impregnation process, which involves injecting liquid resin, is significantly prolonged. Consequently, large-scale, costly equipment such as high-pressure RTM systems need to be introduced inevitably. To address this issue, ICC has developed a rapid RTM system. This system involves the production of a thermoplastic tow prepreg at high speeds by impregnating a carbon fiber tow with a low-viscosity resin and polymerizing it in a linear chain. Subsequently, a preform is created using the shape retention of the tow prepreg, followed by rapid impregnation and curing using low-pressure RTM. In this method, as the resin has already impregnated the monofilaments, the remaining task is merely to fill the gaps between the prepregs with resin. This allows for rapid impregnation even at low pressures. Figure 1 illustrates the enhanced flow front advance velocity in VaRTM when using thermoplastic-impregnated fibers compared to non-impregnated fibers, which highlights the benefits of pre-impregnation. Furthermore, by selecting compatible resin combinations, the thermoplastic matrix resin of the tow prepreg can dissolve, at least at the interface with the thermosetting RTM resin. This enables the resins to meld during the RTM process, resulting in a seamless FRP product.

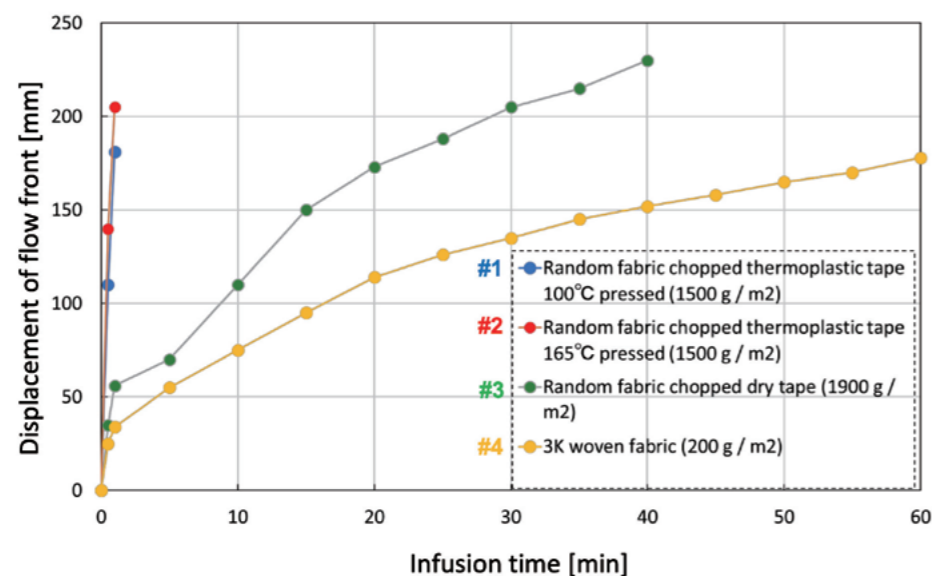


Figure 1 Changes in flow front displacement over time in VaRTM when using various tape-based substrates and dry fiber-based substrates

NEDO革新FC事業

NEDO Innovative FC Project



乾 伸晃
Nobuaki Inui



佐久間 忠
Tadashi Sakuma

NEDO共通課題解決型産学官連携研究開発事業の水素貯蔵技術の分野において、金沢工業大学ICC及び東京農工大学、日本大学生産工学部、ミズノテクニクス(株)の4機関で取り組んだ革新的なFCV(Fuel Cell Vehicle:燃料電池自動車)向け水素タンクの製造技術の研究開発を行っている

1) 低圧RTM(分割プリフォーム、2段階含浸)による高圧容器の超ハイサイクル製造技術の開発

CFRTPテープを用いて、実証タンクサイズでシリンダー部/ドーム部の分割プリフォームの製造プロセスを検討した。シリンダー部のプリフォームは内圧に最適な $\pm 55^\circ$ 巻き角とした。

2) ドーム部の製造プロセスに関する検証

図1に示すように実証タンクのドーム部の積層構成、及びシリンダー部との継手部積層構成の検討を実施した。半球状のドームに一定長さにカットしたトウプレグを $\pm 45^\circ$ 度を基本として積層する構成とした。また継手部はシリンダー部から $\pm 55^\circ$ 度で延長したトウプレグ層(青色表示)とドーム部(赤色表示)をラップ長20mmで2ply毎に多層に交互積層することで連続繊維と同等の結合力を期待できる構造とした。頂上のねじ接続開口部は周方向に配向して強度を確保した。さらに、図2に示すように上記積層構成に基づいて樹脂Aトウプレグを用いたドーム部プリフォームの試作を行った。賦形時に目的の配向角度となるように渦巻き状に一部がオーバーラップした平面展開シートを作製した。積層した2plyのシートをPA不織布で一体化し、プリフォーム型を用いた加熱賦形によって目的通りのドーム部プリフォームが作製できることを確認できた。

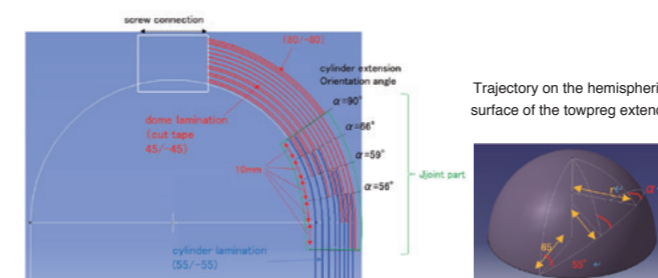


Figure 1 Laminate configuration of the dome part and joint part for the demonstration tank

As a part of the NEDO Common Problem-Solving Industry-Academia-Government Collaborative Research and Development Project, the Kanazawa Institute of Technology ICC, Tokyo University of Agriculture and Technology, Nihon University College of Industrial Technology, and Mizuno Technics Co., Ltd., are collaboratively developing innovative hydrogen storage tanks for Fuel Cell Vehicles (FCVs).

1) Development of ultrahigh cycle manufacturing technology for high-pressure containers using low-pressure RTM (split preform, two-stage impregnation):

Utilizing CFRTP tape, the team explored the production process for split preforms tailored to the cylindrical and dome sections of a prototype tank. The preform designated for the cylindrical section was configured with a winding angle of $\pm 55^\circ$, identified as optimal for managing internal pressure.

2) Verification of the manufacturing process for the dome section:

As depicted in Figure 1, the research examined the laminate arrangement for both the dome and the joint sections of the prototype tank. Towpreg, cut to specified lengths, was layered onto the hemispherical dome at a foundational angle of $\pm 45^\circ$. The joint section was designed to achieve a bonding strength comparable to that of continuous fibers by alternating layers of the extended section (illustrated in blue) from the cylinder at $\pm 55^\circ$ and the dome section (displayed in red) every two plies, with a lap length of 20 mm. The tapes were oriented circumferentially to enhance strength around the tank's upper opening. Additionally, as illustrated in Figure 2, a dome preform prototype was created using resin A towpreg. A flat-expanded sheet was configured with overlaps in a spiral pattern to attain the desired orientation angle during molding. It was verified that the two-ply laminated sheets could be integrated with PA nonwoven fabric, enabling the successful production of the intended dome preform through heating and molding.



Figure 2 Example of a dome preform using resin A towpreg

LCMにおける樹脂流動テストベンチの開発

Development of resin flow test bench for LCM

LCM (liquid composite moulding) は、樹脂と繊維基材の組合せ自由度が高く、成形品質が良いことから、広く適用されている繊維強化プラスチック (FRP) の成形プロセスである。近年においては、樹脂と繊維基材の組合せ自由度が高い LCM は、リサイクル炭素繊維 (rCF) や植物繊維を強化材とした FRP の成形プロセスへ適用が進められている。LCM のプロセスは、繊維基材へ低粘度の液体樹脂を流動含浸させるため、繊維強化材の樹脂流動特性 (パーミアビリティ: Permeability) の評価が重要である。ICC では、パーミアビリティ計測装置を用いて、パーミアビリティ値を取得し評価している。しかし、パーミアビリティ計測装置 (EasyPERM®) は、流体に植物油を用いるために、実際の樹脂やプロセス条件での評価ができない。そこで、実成形プロセスにより近い状態の樹脂流動を観察し評価するために、樹脂流動テストベンチを開発した。

図1と図2に、樹脂流動テストベンチの外観とシステム概略図をそれぞれ示す。本テストベンチは、実際の樹脂を使用する VaRTM (Vacuum assisted Resin Transfer Moulding) や LP-RTM (Low Presser Resin Transfer Moulding) のプロセスにおいて、可視化流動観察と流動圧観察の2モードが個別に可能である。樹脂流動の差圧は、可視化流動観察: -95~100kPa、流動圧計測: -95~250kPa、型温は室温から約100°Cで制御可能である。図3に可視化流動観察の様子、図4に型内圧 (流動圧観察) と樹脂注入量の計測結果をそれぞれ示す。また、流動観察後は型内で樹脂を硬化させ、機械特性評価用の試験板を成形可能である。

今後、本テストベンチとパーミアビリティ計測装置を用いて、LCMにおける樹脂流動特性の解明をさらに進めたい。

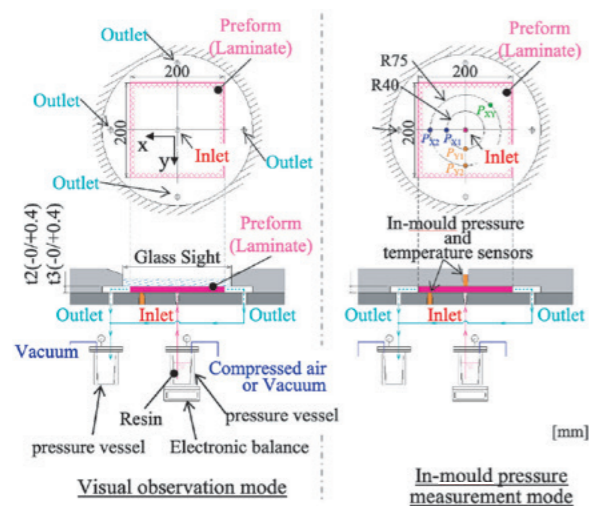


Figure 2 Schematic diagram of the test bench

Liquid composite molding (LCM) is a widely utilized process for molding FRPs. This method offers several advantages, including a diverse selection of resins and reinforcements, as well as high-quality molding outcomes. Recently, LCM has been explored for use with recycled carbon fiber (rCF) and plant fibers as reinforcements. In LCM, a low-viscosity liquid resin is impregnated into the reinforcement, rendering it crucial to assess the resin's permeability through the reinforcement. Typically, permeability values are determined using a permeability measurement device (EasyPERM®), which employs vegetable oil as the fluid. However, this does not allow for evaluation under actual resin and process conditions. Consequently, a resin flow test bench has been developed to better simulate real molding conditions.

Figures 1 and 2 illustrate the appearance and schematic diagram of the resin flow test bench, respectively. This bench facilitates two observation modes: visualized flow observation and flow pressure measurement, applicable to vacuum-assisted resin transfer molding (VaRTM) and low-pressure resin transfer molding (LP-RTM) using actual resin. The bench allows for control over various parameters: visual flow observation can be adjusted from -95 to 100 kPa, flow pressure measurement from -95 to 250 kPa, and mold temperature can be set from room temperature to approximately 100 °C. Figure 3 displays the visualized flow observation, whereas Figure 4 presents the in-mold pressure (flow pressure) and resin injection data. Additionally, after conducting the resin flow test, the resin can be cured within the mold to produce a laminate for mechanical property testing. Future studies will employ this test bench and the permeability measurement device to further investigate resin flow characteristics in LCM processes.

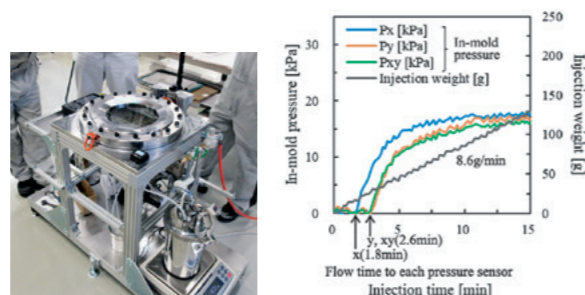


Figure 1 The resin flow test bench

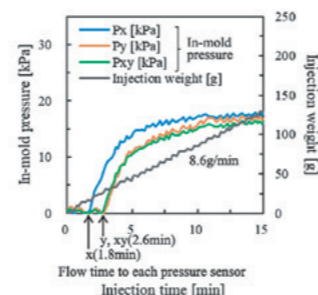


Figure 3 Example of visual observation (0/90 preform)

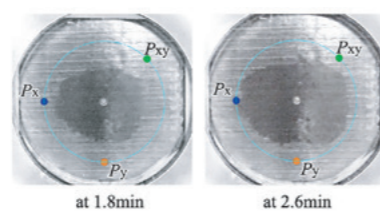
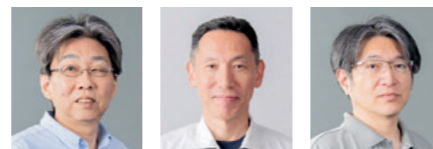


Figure 4 Example of in-mould pressure measurement (0/90 preform)



布谷 勝彦 Katsuhiko Nunotani
佐久間 忠 Tadashi Sakuma
乾 伸晃 Nobuaki Inui

現場重合型熱可塑性樹脂を用いた
サステナブル コンポジットの成形プロセス開発

Approach to the sustainable composite molding process using in-situ polymerization thermoplastics

近年、繊維強化プラスチック (FRP) においても、材料のリサイクルや成形時のエネルギー消費低減などの環境特性が要求されている。ICCでは、マトリクスに現場重合アクリル樹脂、強化繊維にリサイクル炭素繊維 (rCF: recycled Carbon Fiber) のマット材を適用したWet Compression Molding (WCM) 成形プロセスの開発を進めている。アクリル樹脂 (PMMA: Poly Methyl Methacrylate) は、原料モノマー (MMA: Methyl Methacrylate) に高効率で回収が可能であることから、ケミカルリサイクル可能な樹脂である。これまでの開発は、平板の成形を主に実施していたが、本報告は3D形状の成形について報告する。

図1に、現場重合WCM成形プロセスの概要図を示す。本成形プロセスは、樹脂の予備加熱が不要、100°C以下の型温度、冷却が不要であるので、低エネルギー消費の成形プロセスである。本成形プロセスにおいて、マトリクス樹脂は、現場重合アクリル樹脂としてArkema Elium® を使用している。図2に示す3D形状の成形品は、外観や賦形ともに良好である。よって、本成形プロセスは、3D形状の成形への適用性が実証できた。

本研究で提案する現場重合アクリル樹脂を用いたWCMプロセスは、樹脂供給方法や樹脂流動、過大な型内圧などに課題が確認されている。今後、繊維材料の樹脂流動特性を解明により、プロセスの改良を図りたい。

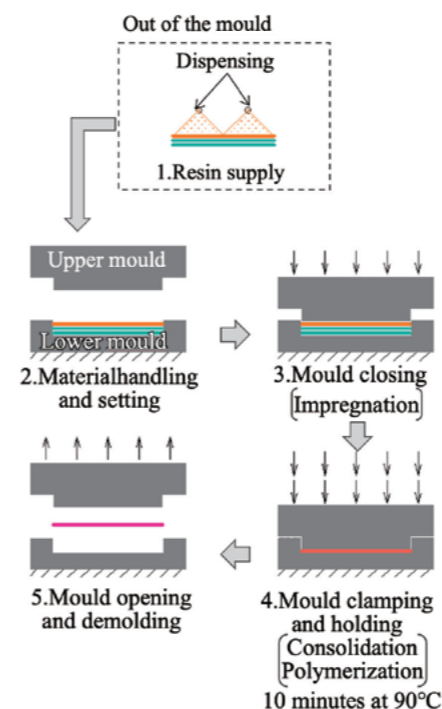


Figure 1 Schematic diagram of the WCM process with in-situ polymerizable acrylic resin



Figure 2 Test moulding of 3D shapes (rCF-mat / Arkema Elium®)



布谷 勝彦 Katsuhiko Nunotani
佐久間 忠 Tadashi Sakuma
乾 伸晃 Nobuaki Inui

Material recycling and reduction of energy consumption during molding is essential for FRP. The wet compression molding (WCM) process is currently under development and employs in situ polymerizable acrylic resin as the matrix and recycled carbon fiber (rCF) non-woven mat as the reinforcement. Acrylic resin, specifically polymethyl methacrylate, can be efficiently recycled back to its monomer, methyl methacrylate, and is chemically recyclable. Previous research focused on the formation of flat plates. This report discusses the formation of 3D shapes. Figure 1 presents a schematic of the WCM process utilizing in situ polymerizable acrylic resin. This process is characterized by its low energy consumption, as it does not require resin preheating, operates at mold temperatures below 100 °C, and eliminates the need for mold cooling. During process development, Arkema Elium® was used as the matrix resin. The 3D shapes molded (Figure 2) exhibit satisfactory surface quality and form, thereby demonstrating the suitability of the process for molding 3D shapes. The WCM process developed herein using in situ polymerizable acrylic resin requires enhancements in the methods of resin supply, resin flow, and the management of over-pressure in the mold. Future improvements will focus on studying the behavior of resin flow within rCF nonwoven mats to refine the process.

溶液含浸を用いたプレス成形による ラージトウCF織物/PA6複合材の作製

Fabrication of large-tow woven CF/PA6 composite using solvent method

ラージトウは40,000本以上のフィラメントからなる炭素繊維（通常は3,000~12,000本）で、近年は低コストの産業用途向けに注目されている。本研究ではラージトウCF織物/PA6複合材を効率よく作製する手法を開発した。熱可塑性樹脂は熔融粘度が高いため、繊維束への樹脂含浸に高温・高圧の成形を必要とする。図1aにはラージトウCF織物/PA6フィルム複合材のプレス成形品（240℃、2MPa、5分保持）の断面顕微鏡写真を示す。繊維束中央に未含浸（写真の黒い部分）が見られ、含浸距離は100 μm程度である。さらに温度や圧力を高くしても含浸状態は改善しなかった。一方、レギュラートウ（3K）を用いた結果（図1b）では同じ条件でも完全含浸した。ラージトウは繊維束が太いため含浸途中でDarcy則に基づく含浸速度が大きく低下する。その間に金型外への樹脂流出により必要な樹脂が失われ繊維束が十分に含浸されないためと推測される。

そこで本研究ではPA6樹脂を液状にして含浸向上を狙った。塩化カルシウム/メタノール混合溶媒を使用した溶液含浸の手順を図2に示す。まず、PA6溶液濃度について、濃度が高いほど樹脂含浸量は増加するが単独で複合材を作製できず塩化カルシウムの残存も生じた。そこで5 wt%濃度に決定し溶液含浸した後にPA6フィルムを積層してプレス成形を行った。図3には成形品の断面写真を示す。(a)5分保持では溶液含浸により繊維束中心まで樹脂が浸透しているが完全には充填されていない。一方、(b)30分保持すると繊維束をほとんど含浸することができた。以上、溶液含浸を用いることでラージトウの太い繊維束に熱可塑性樹脂を含浸させる手法を開発することができた。

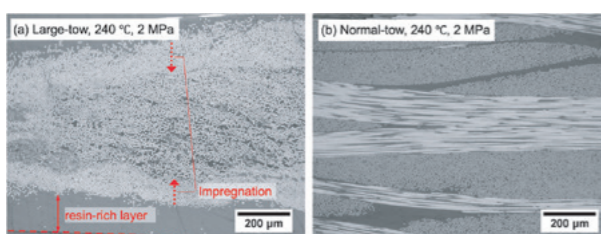


Figure 1 Cross-sectional micrographs of large-tow CF/PA6 composites without solvent process.

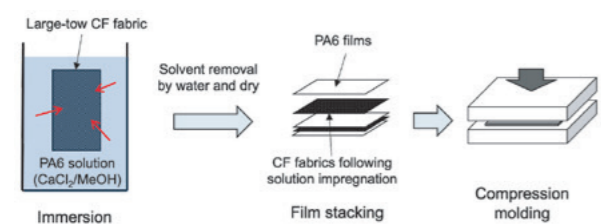


Figure 2 Solvent impregnation process in this study.

Large-tow carbon fibers (CF), comprising more than 40,000 filaments (typically 3,000–12,000), have garnered considerable interest for low-cost industrial applications. Impregnating large fiber bundles with thermoplastics poses challenges due to the high melt viscosity of these materials. Figure 1a displays the cross-sectional micrographs of large-tow woven CF/polyamide 6 (PA6) composites produced through compression molding at 240 °C, 2 MPa, and a duration of 5 min. An unimpregnated area is noticeable at the center of the fiber bundles (dark area in the images), with an impregnation depth of approximately 100 μm. Figures 1b and 1c illustrate that increasing the molding temperature and pressure does not enhance the quality of impregnation. In contrast, complete impregnation was achieved with regular-tow CF under identical conditions, as shown in Figure 1d. According to Darcy's law, the impregnation velocity decreases significantly during the molding process because the large-tow consists of thick fiber bundles. Concurrently, the resin is expelled from the mold without adequately impregnating the fiber bundles. In this study, PA6 was dissolved in a mixture of calcium chloride and methanol to reduce its viscosity, as outlined in Figure 2. The concentrations of the solutions tested were 2.5%, 5%, and 7.5% by weight. The volume of impregnation increased with the concentration; however, it was insufficient to fabricate the composite alone, and residual calcium chloride was observed at 7.5%. Following solution impregnation at 5%, compression molding was performed using layers of PA6 films (240 °C, 2 MPa). Figure 3 presents the cross-sectional micrographs of the composites: (a) shows resin observed in the center of the fiber bundles; however, it was not fully impregnated after a holding time of 5 min; (b) demonstrates that the fiber bundles are almost fully impregnated after a holding time of 30 min. These results suggest that this method holds promise for enhancing the degree of impregnation in large-tow CF composites.

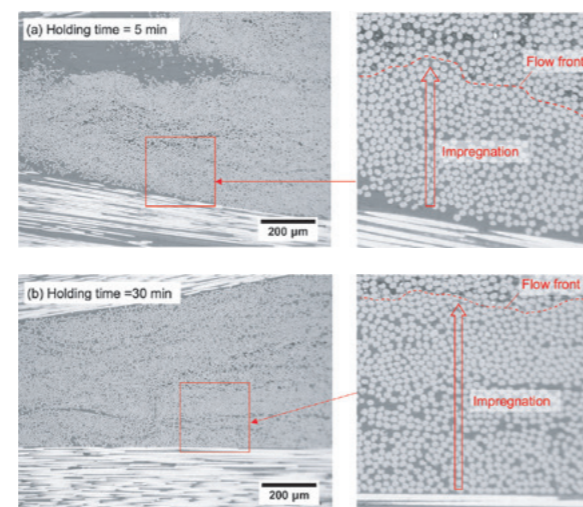


Figure 3 Cross-sectional micrographs of large-tow CF/PA6 composites with solvent process.



石田 応輔 Osuke Ishida
織田 志保 Shiho Oda

rCF不織布を用いたスタンパブルシートのDBP含浸プロセス

Impregnation process of stampable-sheet with DBP using rCF non-woven mats

炭素繊維のリサイクルは環境負荷低減の観点から重要な課題となっている。本研究ではリサイクル炭素繊維（rCF）の不織布を用いた熱可塑性スタンパブルシートの製造技術の研究を行った。特に固定ローラーダブルベルトプレス（DBP）を使用した連続含浸プロセスに着目した。本方式はローラーに負荷した荷重によって上下ベルト間のGapを固定するので、嵩高くて圧縮変形が大きく、尚且つ不連続で流れやすい不織布材に適しているためである。ローラー直下ではベルト速度と設定Gapに応じた速度で積層基材が圧縮され、そこで生じる反力（圧力）は不織布の圧縮応力と流動抵抗の寄与によって決定される（図1）。

本研究ではrCF不織布に樹脂フィルムを積層した構成を考慮し、図2に示すように上記の含浸プロセスを模したラゴ試験を行った。圧縮速度と目標Vfを変化させて含浸率と圧力の経時変化を比較した。図3aには結果の一例を示す。目標Vfが大きいと圧力の上昇が顕著に大きくなった。次に、含浸プロセスの簡易的なモデル化を検討した。不織布のVfと応力の関係式、及び、Darcy則の式を適用することでタイムステップ毎に圧力と含浸率を計算した。図3bに本モデルを用いて計算した結果を示す通り、実験結果をある程度良く表現できた。ダブルベルトプレスの荷重能力を効率化するために含浸モデルに基づいてプロセスの最初と最後に異なる圧縮速度を設定することが効果的と考えられる。

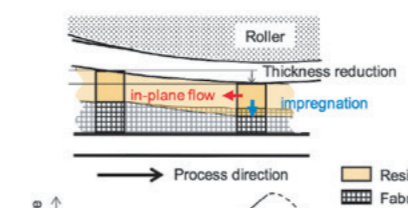


Figure 1 Impregnation process underneath a roller in a double belt press.

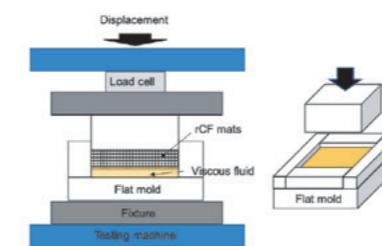


Figure 2 Schematic of impregnation experiments using a testing machine.

Recycling is a critical issue in the carbon fiber industry to mitigate the environmental impact throughout the lifecycle of products. This research focuses on the technology of manufacturing stampable sheets using recycled carbon fiber (rCF) non-woven mats, with a particular emphasis on the impregnation process using fixed rollers in a double belt press (DBP). In this system, the gap between the belts is determined by the load applied to the rollers, making it suitable for discontinuous and compressible non-woven mats. The material stack is compressed at a velocity dictated by the gap and the belt speed, where the resultant stress arises from both the compressive stress of the mats and the flow resistance of the resin (Figure 1). In this study, lab-scale experiments were conducted to explore these phenomena using stacks of rCF mats and resin layers (Figure 2). We evaluated the effects of compression speed and targeted fiber volume fraction (Vf) on the pressure development and impregnation progress. Figure 3 illustrates some of the results, showing a significant increase in pressure with an increasing targeted Vf. Subsequently, we developed a simplified model for the impregnation process. This model incorporates the relationship between Vf and the stress of rCF mats, as well as Darcy's law for resin flow, to calculate the evolution of pressure and impregnation at each time step. As depicted in Figure 3, the predicted curves align well with the experimental data. To optimize the load capacity of the machine, it would be beneficial to adjust the compression speed differently at the initial and final stages of impregnation, as suggested by the developed model.

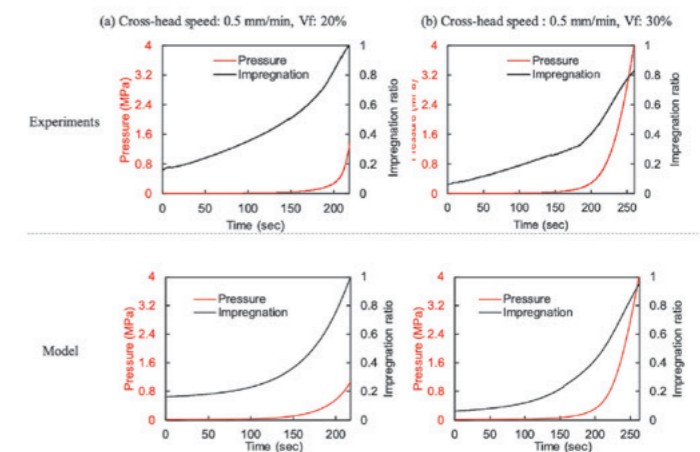
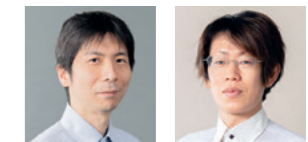


Figure 3 Pressure and impregnation curves with different Vf: Experimental and model.



石田 応輔 Osuke Ishida
北田 純一 Junichi Kitada

定量的な評価手法を用いたカットテープランダムCFRTPの繊維配向に対する材料流動特性評価

Evaluation of material flow characteristics for fiber orientation in CTT material using the quantitative evaluation method



白井 武広
Takahiro Shirai

不連続炭素繊維ランダムCFRP (CTT: Chopped carbon fiber Tape reinforced Thermoplastic)は、材料が成形加工時に金型内を流動し、プレス成形でリブ形状などの複雑形状を成形加工ができる。しかし、繊維配向と材料流動の関係について詳細な解析が行われておらず、これら関係を解明して機械特性を考慮した繊維配向設計や、プレス成形プロセスが高度に最適化された成形加工技術はCTTの普及に重要である。本実験は、繊維配向と材料流動の関係を解明することを目的とした。実験方法は、一方リブ成形金型を用いて、リブ方向に対する繊維配向を組み合わせたCTT材料をロボット積層機で製作し、リブ成形時の材料流動測定と成形後の繊維流動構造を解析した。CTT成形材料の繊維積層設計は、リブ方向に対して平行方向の積層したUD0、垂直方向に積層したUD90、そしてランダム積層したRNDの3種類を製作した。図1にリブ形状プレス成形時のCTT材料流動のみかけ粘度測定結果を示す。みかけ粘度は、金型に搭載した変位と圧力センサからせん断ひずみ速度と圧縮応力を求め計算した値である。図2に、プレス成形後のリブ断面内のCTT成形材料の流動構造をX線CT撮影で解析した結果を示す。CTT成形材料には、X線CT撮影時のマーカーとして金属箔を塗布しており、CTT成形材料の各層の流動構造を可視化観察した。これら結果より、リブ方向に対して水平に繊維を配向したUD0は、リブ方向と平行な繊維配向層のみが流動しておりみかけ粘度は小さい値であった。逆に、UD90は垂直の繊維配向層がリブ内部まで大きく流動しておりみかけ粘度は大きな値であった。本実験により、CTT材料の繊維配向と流動特性の関係が、みかけ粘度によって精度よく測定できることが示された。

Chopped carbon fiber tape-reinforced thermoplastic (CTT) represents a next-generation material that can be molded into complex shapes (e.g., ribs) via a single-press molding process. Despite its potential, the interplay between fiber orientation and material flow during molding has not been thoroughly examined. Understanding and optimizing this relationship is crucial for enhancing mechanical properties and advancing design and processing techniques to facilitate the broader adoption of CTT. This study aimed to elucidate the relationship between fiber orientation and material flow in CTT. The experimental approach involved using a unidirectional rib molding mold and CTT material, where the fiber orientation was aligned with the rib direction. This material was prepared using a robotic cutting tape lamination machine. Post-molding, the material flow structure was analyzed. Three distinct fiber lamination designs were tested: UD0, with fibers laminated parallel to the rib direction; UD90, with fibers laminated perpendicular to the rib direction; and RND, with fibers randomly laminated. Figure 1 presents the results of the apparent viscosity measurements of the CTT material during the rib shape press molding. The apparent viscosity was determined by calculating the shear strain rate and compressive stress, derived from displacement and pressure sensors installed within the mold. Figure 2 displays the results from X-ray CT analysis of the flow structure of the CTT material in the cross-section of the rib after molding. A thin metal layer was applied to the CTT material as a marker to enhance visualization during X-ray CT imaging, and each layer of the CTT flow structure was visualized. The findings indicated that for UD0, only the fiber orientation layer parallel to the rib direction flowed, resulting in low apparent viscosity. However, for UD90, the perpendicular fiber orientation layer exhibited extensive flow into the rib, corresponding with a high apparent viscosity. These observations confirm that apparent viscosity is a viable metric for assessing the relationship between fiber orientation and flow characteristics in CTT materials. These insights could significantly advance the CTT molding technology by refining the control over material behavior during molding.

Progress of press mold clamping and material flow

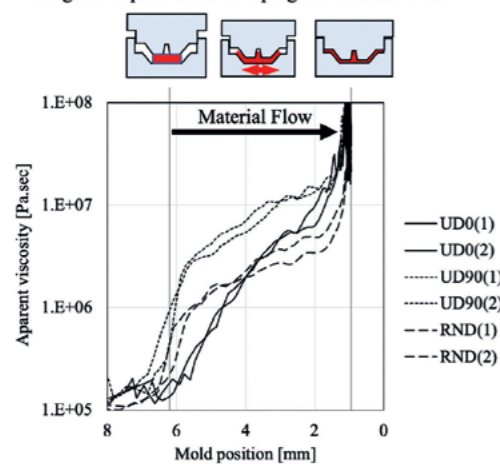


Figure 1 Result of apparent viscosity measurement of UD0, UD90 RND CTT

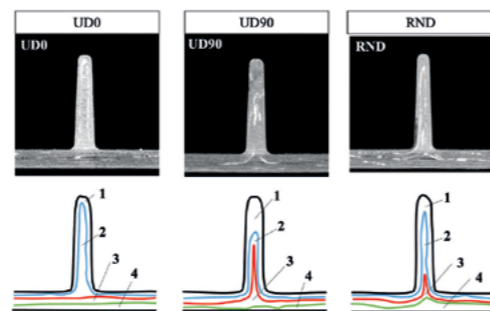


Figure 2 Images of X-ray CT showing the material flow in the rib area and sketches of the visualization

繊維複合材料の成形性評価金型の紹介

Introduction to Moldability Evaluation for Fiber Composite Materials



堀川 正史
Masashi Horikawa



白井 武広
Takahiro Shirai



布谷 勝彦
Katsuhiko Nunotani



石田 応輔
Osuke Ashida

繊維複合材料のプレス成形は、製品形状に加工されたプレス成形金型を用いて、成形材料の繊維と樹脂を変形または流動させて成形加工する技術で大量生産に適した成形方法です。プレス成形材料の構造は様々な構成があり、繊維は織物やプリプレグ積層、NCFなどの連続繊維、またSMCやランダムシートなどの不連続繊維、そして樹脂はPPやナイロンなどの熱可塑性樹脂やエポキシ樹脂の熱硬化性樹脂の組合せの成形材料が加工できます。プレス成形は、立体的な複雑形状の部品を1回のプレス成形で加工ができることが特徴ですが、繊維複合材料は金属や樹脂材料と異なり繊維が伸び縮みしないため、成形材料内の繊維をプレス成形金型の嵌合動作で製品形状に合わせて最適に変形や流動させる必要があります。繊維の変形や流動が最適でないと、成形製品にシワや欠陥などの外観不良や、剛性や強度低下の不良品が発生するため、成形加工性の評価検討が難しいことが課題です。ICCでは、各種成形材料の成形加工性を評価するための評価金型を所有しています。プレス成形評価金型は、曲面形状の繊維変形を評価する球面や箱形状金型や、材料流動性を評価するリブ形状金型、また樹脂や繊維の面内流動を評価する平面金型などがあります。また、プレス成形とは工法は異なりますが、熱硬化性樹脂を注入して成形するHP-RTM (High pressure resin transfer molding) 成形も、自動車部品を模擬した評価金型があります。HP-RTMの評価型をもっている研究機関は国内に殆どありません。これら評価金型にはセンサが搭載されており、成形加工中の金型内材料状態の変化が計測できるため、形状加工性の評価だけでなく成形材料の流動性などの物性評価も行えます。これら評価金型は、共同研究や受託試験で外部利用も可能ですので、各種開発案件の評価実験に対応ができます。

Press molding of fiber composite materials involves using a mold shaped into the desired product form to deform or flow the fibers and resin of the molding material. This molding method suits mass production and application in varied material structures. The fiber structure of composite material is continuous, such as woven or laminated, or discontinuous, such as sheet molding compound (SMC) or random sheets. The resin is thermoplastic, such as polypropylene or nylon, or a thermosetting resin, such as epoxy. Typically, the composite materials are combinations of these fibers and resins. A key advantage of press molding is its ability to produce complex three-dimensional shapes in a single press process. However, unlike metals and pure resins, the fibers in composite materials do not stretch or shrink. Therefore, for the material to match the product shape, the fibers must be optimally deformed and flowed by the press mold. If the fibers do not deform and flow correctly, the molded product may suffer from poor appearance, including wrinkles and defects, or may be defective due to reduced rigidity and strength. This complexity makes evaluating the moldability of fiber composite materials challenging. The ICC can evaluate the moldability of various composite materials. Their press molding evaluation dies include spherical and box-shaped dies for assessing fiber deformation in curved shapes, ribbed dies for evaluating material fluidity, and flat dies for evaluating the in-plane flow of resin and fibers. Additionally, there are evaluation dies that simulate automotive parts for the high pressure resin transfer molding (HP-RTM), a process where thermosetting resin is injected into a mold. Very few research institutes have the evaluation mold of HP-RTM in Japan. These dies are attached with sensors that can measure changes in the material state inside the die during molding, flowing of an assessment of both shape processability and physical properties, such as the fluidity of the molding material. These evaluation dies are also available for external use in collaborative research and contract testing. As a result, they are useful for evaluation experiments in various development projects.

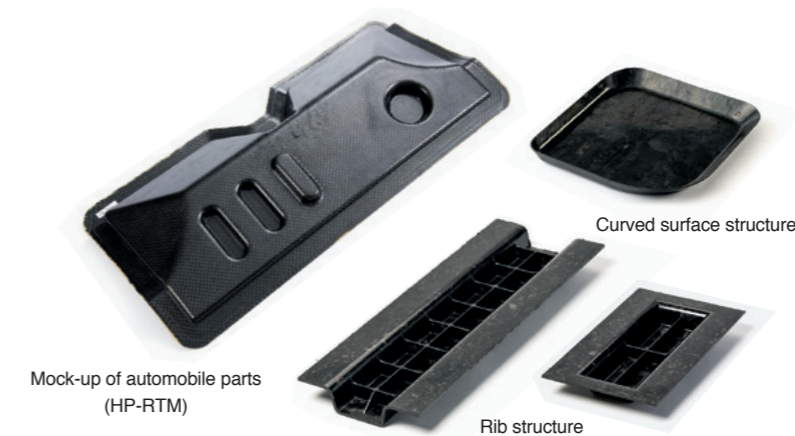


Figure 1 Photograph of various evaluation mold products.

X線コントラストイメージングによる面内流動したカットテープランダムCFRTPの繊維配向解析

Fiber orientation analysis of in-plane flowed CTT material by X-ray contrast imaging

繊維複合材料の成形品内部の繊維構造解析は、機械特性や外観などの品質特性評価で重要である。近年、X線CTの画像解析により繊維構造の解析が行われているが、X線CTでは、撮影画素サイズと観察範囲がトレードオフ関係であるため、数10mm範囲の繊維構造の解析は困難であった。そこで、新技術であるX線位相コントラストイメージング技術に着目し、繊維複合材料の構造観察や繊維配向解析の研究を進め、ICCアニュアルレポートでは2年前からその研究内容を紹介してきた。そして2023年3月に国産初の装置がICCに設置されたことから、今後は本装置が多方面からの案件に対して活用されて、複合材料の構造解析に大きく貢献できると確信している。本稿では、今までで紹介されていなかった複合材料の構造解析事例を紹介する。今までは、不連続炭素繊維ランダムCFRP(CTT)のカットテープ積層試験体の繊維配向と構造評価の研究事例を紹介したが、これらの試験体はカットテープ積層時の積層構造が保持された構造であった。そこで、積層したカットテープが繊維長以上に流動して積層構造が保持されていない試験体を製作し、その繊維構造の解析を行った。図1に実験方法と結果を示す。250mm平板金型の1辺に長さ100mmのCTT成形材料を配置し、プレス成形にて金型内を1方向に材料流動させて250mm平板を製作した。そして、X線コントラストイメージングで平板流動方向の繊維配向を解析した。繊維配向解析結果の検証は、平板から曲げ試験片を切り出して曲げ弾性率を測定した。曲げ試験方向を材料流動方向に対して同一方向と直交方向に切断した試験体の弾性率は、解析した繊維配向テンソルXとYの変化と一致しており、繊維が大きく流動した構造でも妥当な繊維配向が解析できることが示された。さらに、位相コントラストイメージングでは、繊維構造解析だけでなく従来のX線CT撮影では観察できなかった微小損傷構造が可視化観察できるため、衝撃や疲労試験などの広範囲の損所解析も可能である。

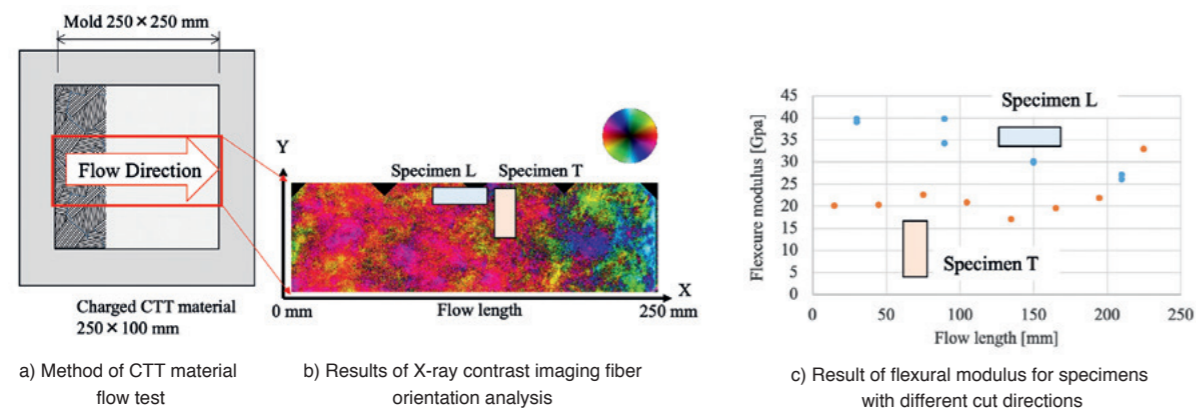


Figure 1 Results of CTT material flow tests to clarify the relationship between fiber orientation analysis and flexural modulus in X-ray contrast imaging



白井 武広
Takahiro Shirai

森 裕梨佳
Yuka Mori

Analyzing the fiber structure within molded fiber composite materials is critical for assessing quality attributes such as mechanical properties and appearance. Recently, X-ray computed tomography (CT) has been employed to analyze these fiber structures. However, X-ray CT presents a trade-off between pixel size and the size of the observation region, complicating the analysis of fiber structures in product-sized samples. Consequently, we have turned our attention to the emerging X-ray phase contrast imaging technology. In March 2023, the first domestically produced X-ray phase contrast imaging device was installed at ICC. We anticipate that this device will support projects across various fields and significantly enhance the structural analysis of composite materials. This paper presents a structural analysis example of a composite material previously unreported. Previously, we discussed research on fiber orientation and structural evaluation using chopped carbon fiber tape-reinforced thermoplastic (CTT) test specimens with a maintained cut tape laminated structure. In contrast, we have produced a specimen where the laminated cut tape deformed beyond the fiber length, disrupting the laminated structure. We subsequently analyzed the fiber structure of this specimen. Figure 1 illustrates the experimental method and results. A 100 mm CTT material was positioned on one side of a 250 mm flat plate mold. A 250 mm flat plate was then created by press molding, allowing the material to flow in one direction within the mold. The fiber orientation along the flow direction of the plate was analyzed using X-ray phase contrast imaging. The test specimens were extracted from the plates, and their flexural modulus was measured to validate the results of the fiber orientation analysis. The bending modulus of the specimens, both in the direction aligned with and perpendicular to the flow, correlated with the changes in the fiber orientation tensors X and Y of the plate. This correlation confirms that accurate fiber orientation analysis is feasible even in structures with large fiber flow. This technique enables the visualization and observation of fiber orientation and micro-damage structures that were previously unobservable with conventional X-ray CT.

等方性物性を有するカットテープランダムCFRTPのX線位相コントラストイメージング構造評価

Evaluation of CTT structure with isotropic physical properties using X-ray phase contrast imaging

不連続炭素繊維ランダム配向積層材料(CTT: Chopped carbon fiber Tape reinforced Thermoplastic)は、カットテープをランダム配向に積層したプレス成形材料である。最近、新たな複合材料成形品の繊維配向解析技術として注目されているX線位相コントラストイメージング装置は、試験体内の繊維配向異方性や乱れ構造で生じる散乱X線を検出して繊維構造を解析する原理で、面内の繊維配向分布が偏りを伴った異方性を含む試験体構造の評価研究が既に示されている。今後、本装置をCTT製品成形品の品質評価に適用するためには、異方性構造だけではなく面内の繊維分布が均等にランダム配向した等方性に相当する構造部が区別されて特定できる解析が必要である。本研究では、カットテープ自動積層ロボットを用いて、プログラムされたテープ配向積層により、繊維配向異方性を含んだ構造(Random)と均等配向した構造(Allover) [図1]のCTT試験体を製作し、X線位相コントラストイメージングによる繊維配向を解析した。そして、配向解析結果を基に構築したFEMモデルから材料物性を計算して引張試験シミュレーションモデル [図2] を作成し、引張試験シミュレーション結果と引張試験結果とを比較して、CTT成形品の繊維配向解析精度の検証を行った。シミュレーションと引張試験の比較にはひずみ分布を用いて、相互相関係数を算出した [図3]。相互相関係数は一般的に0.4以上で正の相関があり、Randomは相関性が高く精度良く解析できていた。一方Alloverは、相関性がほぼ無く、試験体構造が均一物性の等方構造であるため繊維配向解析結果の妥当性が乏しいことが示された。今後は、構造試験との比較ではなく、位相コントラストイメージング撮影結果のみで繊維配向構造の異方性度を定量的に測定する技術の開発を目指す。

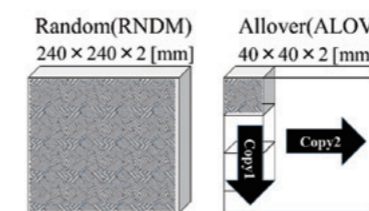


Figure 1 Two random cut tape layout patterns for this experiment

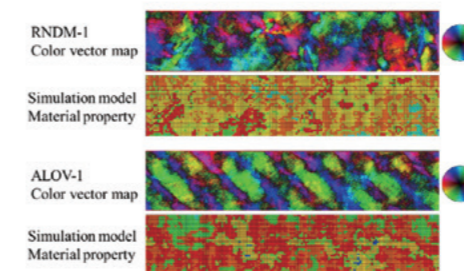


Figure 2 Color vector map and tensile test simulation material property map for two lamination patterns



森 裕梨佳
Yuka Mori

白井 武広
Takahiro Shirai

Chopped carbon fiber tape reinforced thermoplastic (CTT) is a press-molded material composed of randomly laminated cut tapes. Recently, X-ray phase contrast imaging has emerged as a promising technology for analyzing fiber orientation in composite molded products. This method evaluates fiber structures by detecting scattered X-rays, which arise due to anisotropy in fiber orientation and disordered structures within the specimen. Previous research has assessed structures exhibiting anisotropy with a biased distribution of in-plane fiber orientation. For future applications in quality evaluation of CTT molded products, it is essential to develop analyses capable of distinguishing both anisotropic structures and isotropic components, where the in-plane fiber distribution is uniformly random. In this study, an automatic cut tape lamination robot was employed to construct CTT test specimens with both randomly oriented fibers (Random) and uniformly oriented fibers (Allover) [Figure 1], as programmed by tape orientation lamination. The fiber orientations in these specimens were then analyzed using X-ray phase contrast imaging. Subsequently, a tensile test simulation model [Figure 2] was developed based on the finite element method (FEM), which incorporated the results from the orientation analysis. The simulation outcomes were compared with actual tensile test results to validate the accuracy of the fiber orientation analysis in the CTT molded products [Figure 3]. The comparison utilized a cross-correlation coefficient calculated from the strain distribution, with a coefficient value of 0.4 or higher indicating a positive correlation. The findings revealed that the Random structure exhibited a high correlation, indicating high analytical accuracy. Conversely, the Allover structure displayed almost no correlation, suggesting that the analysis of this isotropic structure with uniform physical properties was less valid. Future efforts will focus on developing a technology that quantitatively measures the degree of anisotropy in fiber orientation structures using only phase contrast imaging results, without the need for comparative structural tests.

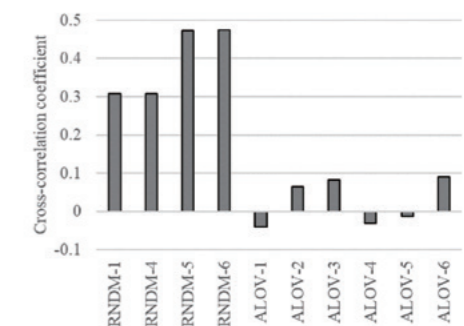


Figure 3 Cross-correlation coefficient calculated from strain distribution of simulation and tensile test DIC images

溶融合浸法を用いた高速引抜成形による太径FRPロッドの開発

Large-diameter FRTP- rebar developed using high-speed pultrusion molding with melt impregnation



松本 大輝
Haruki Matsumoto
川本 頌也
Nobuya Kawamoto

橋梁や建築等で多く使われているコンクリート構造では、補強鉄筋の腐食がその寿命を短くする主な要因となっている。解決策として注目されているのがFRP製補強筋 (FRP-REBER) の利用である。錆びないFRP製補強筋によるRCコンクリート構造はほぼメンテナンスが不要で長寿命化が可能となり、さらに補強筋の埋め込み深さを低減できるためコンクリートの使用量も削減できる。(図1)

現在、ICCでは、炭素繊維 (CF) /ポリプロピレン (PP) による熱可塑性FRPロッドの開発にとりくんでいる。COI事業 (2014年～2022年) ではバサルトファイバー/PPの細径素線 (Φ6mm) からなるより線構造の補強筋を開発した。今回は、さらなる生産性向上を目標に、全く新規の製造技術開発に取り組んでいる。熱可塑性CFRPの成形では、いかにして繊維径の小さいCFトウの内部へ効率良く樹脂を含浸するか? が課題となる。本開発では、新たに開発した溶融合浸法と低粘度PPの組み合わせにより高速引抜成形を実現している。図2は試作したΦ13mmのCFRTPロッドの例である。まだ簡易的な試作装置ではあるが、成形速度10m/min以上を達成できる見込みである。

Corrosion of steel-rebar is a major detriment to the service life of reinforced concrete structures, which are commonly used in bridges and buildings. Fiber Reinforced Plastics (FRP) reinforcement has attracted attention as a solution to this problem. Concrete structures containing Corrosion-free FRP-rebar require minimal maintenance, have a long service life, and use less concrete because the embedment depth of the reinforcing bars can be reduced.

We are developing carbon fiber (CF)/polypropylene (PP) thermoplastic FRP rods. In the COI project (2014–2022), an FRP- rebar with a stranded wire structure made of small diameter rods (Φ 6 mm) with basalt fiber/PP was developed. We are currently developing a novel manufacturing technology to improve productivity further.

In the molding of thermoplastic carbon fiber-reinforced plastics (CFRP), the challenge is to efficiently impregnate the resin into the inside of the CF tow, which has a small fiber diameter. In this study, we used a newly developed melt impregnation method and low-viscosity PP to achieve high-speed pultrusion molding. Figure 2 shows an example of a prototype CFRTP rod (Φ13 mm). Although it is still a prototype made with temporary molding equipment, it is expected that it will be possible to manufacture at speeds in excess of 10 m/min.



Figure 1 FRP-rebar reduces the amount of concrete used.



Figure 2 Prototype CF/PP rod (Φ 13 mm, Vf 60%) produced by high-speed pultrusion molding

Go-Tech事業1 の紹介 Introduction of Go-Tech Project

丸八株式会社で研究開発が進む”dUDテープ”とは?

Introduction of Go-Tech Project: What is “dUD Tape” under research and development at Maruhachi Corporation?



中島 正憲
Masanori Nakajima
齋藤 博昭
Akiaki Zushi
小林 広明
Akiaki Kobayashi

丸八株式会社 (以下、「丸八」) 及びICCは、令和4年度の経済産業省公募のGo-tech事業に提案し、令和6年までのプロジェクトが採択された。令和5年度の間評価において、「妥当」との判断により、最終年度の開発への取り組みがスタートしたところである。本事業への提案前に、丸八内における問題点や市場ニーズに関して、時間をかけてディスカッションした結果、工程廃材として産業廃棄物となっていた、炭素繊維 (CF) の端材を利用し工場内循環を将来構想とした技術開発を行うこととした。一方、川下製造業者等の共通の課題及びニーズとして、環境・リサイクル・循環への対応が必須の状況にある。

本事業では、特許第6462330号を使用し、リサイクル炭素繊維 (以下、「rCF」) を用いた不連続繊維一方向強化材 (以下、dUDテープ) の高Vf化及び高配向化・繊維長分布制御に関する研究を行い、成形法に合わせた異形断面のdUDテープを開発する。開発された高品質なdUDテープを用いれば、3Dプリンタによる立体造形技術や丸八が保有するロボット自動積層成形技術あるいはプレス成形技術等を駆使することで、dUDテープの特徴を最大限活かす成形法の開発を行い、スポーツ分野におけるシューズのソール等の応用開発やロケットパーツでもあるアルミ合金製代替のブラケット (取付具) を設計、開発を行う。(事業概要を図1に示す。)

現在、本事業では、丸八に導入された2軸混練押出機を本格稼働させ、各種特性の取得及び簡易的な繊維配向度の測定技術及び繊維長分布測定技術の開発、更に、3Dプリンティングにも取り組んでいる。また、出口企業にはアドバイザーとして適用部材に関する議論を進めている。詳細に関しては、最終年度終了後に報告する。

Go-Tech事業とは:
<https://www.chusho.meti.go.jp/sapoin/index.php/about/>

Maruhachi Corporation (hereinafter "Maruhachi") and ICC proposed the Go-tech Project of METI in FY 2022, which was selected up to FY 2024. In the interim evaluation in 2023, this project was judged to be "appropriate," and efforts to develop it for the final year have recently commenced.

Prior to the project proposal, we extensively discussed the problems and market needs within Maruhachi and, as a result, decided to develop a technology utilizing carbon fiber (CF) scraps, which used to be industrial process waste, considering the future vision of recycling within the factory. Downstream manufacturers and others are facing common issues regarding the environment, recycling, and circulation.

In this project, using Patent No. 6462330, we aim to conduct research on the high Vf, high orientation, and fiber length distribution control of discontinuous fiber unidirectional reinforcement "dUD tape" using recycled carbon fiber "rCF" and develop dUD tape with an atypical cross section to suit the molding method. Using this high-quality dUD tape, we will develop a molding method that maximizes the characteristics of the dUD tape by fully utilizing 3D modeling technology using a 3D printer and Maruhachi's robot automated lamination technology or press molding technology, and design applications such as soles for shoes in the sports field. Design and develop alternative brackets made of aluminum alloy, which is also used in rocket parts. Figure 1 presents an overview of the project.

Currently, the project is under full-scale operation of the twin-screw extruder installed at Maruhachi, and efforts are underway to acquire various properties, develop simple technology for measuring fiber orientation and fiber length distribution, and perform 3D printing. In addition, we are also advising companies that have exited the project on the applications of the technology to materials. Details regarding this will be reported after the end of the final year.

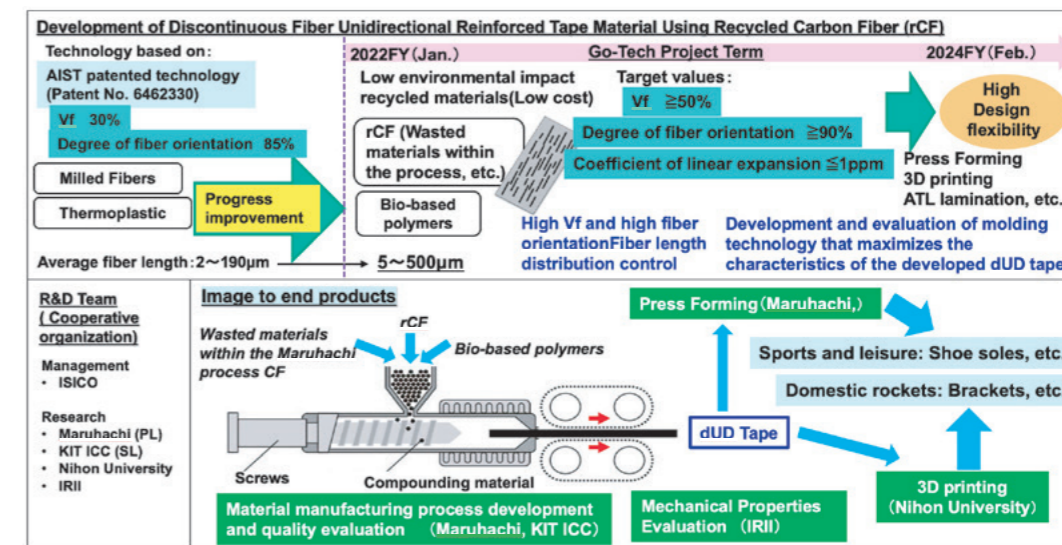


Figure 1 Go-Tech Project Overview of Maruhachi Corporation.

建築向けFRPパネル(耐火構造試験)

FRP panel for construction (Fire-resistance structural testing)

FRPパネルを建築向けに適用する場合、出火から鎮火に至るまでに人命安全と建物(構造)安全を確保するために、新規の材料は、最終的に実大規模の実証試験による大臣(国土交通省)認定が必要となっている。そこで、COIプロジェクトにおいて建築向けFRPパネルの耐火構造の開発プロセスを検討してきた(2020年度のアニュアルレポート参照*)。

2021年度以降、共同研究として、鹿島建設株式会社及び株式会社栗本鐵工所の協力のもと、ISO 834に準拠した加熱下(2時間耐火基準)で耐火被覆材を適用したFRP床(構造)パネルの温度上昇曲線を大型高温構造試験装置で再現し、FRPパネルの載荷時の変形挙動を取得した。

大型高温構造試験装置において評価した試験供試体は、(1)コア材にバルサコア、外皮にCFRPを適用したサンドイッチパネルと(2)株式会社栗本鐵工所で製作したFRP引抜部材の2種類。試験供試体の支持スパンを3000mmとして、載荷及び加熱方法は、試験供試体(1)では、上面側をデッドウェイト(1個45kg)で載荷し、下面側を加熱した。試験供試体(2)では、下面側にデッドウェイトを吊るすことにより載荷し、上面側を加熱した。それぞれ、温度上昇に対してのFRPパネル中央の変位を計測、破壊時のパネル温度を確認した。

それぞれの試験結果を図1及び図2に示す。どちらの場合も、大型高温構造試験装置を用いることにより、FRPパネルの温度上昇をコントロールすることが可能で、FRPパネルの変位を継続的に計測することが可能であった。今後は、興味を持たれる企業と材料及びパネル構造の違い、また、クーポン試験との相関性に関して、検討ができればと考えている。

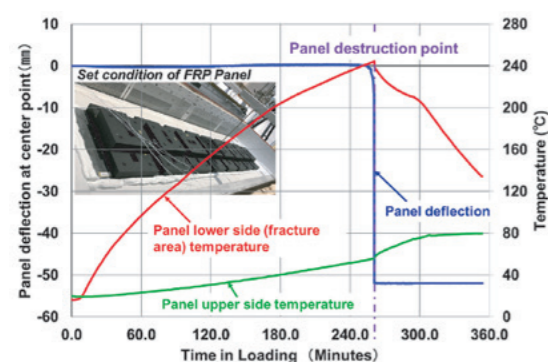
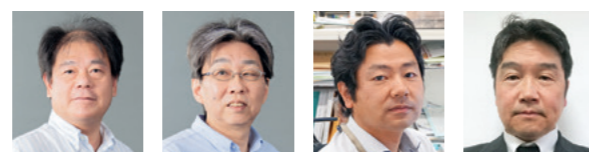


Figure 1 Deflection change of an FRP panel under loading when exposed to temperature against the lower side of the FRP panel.



中島 正憲 Masanori Nakajima
布谷 勝彦 Katsuhiko Nanotani
緒方 誠二郎 Seijiro Ogata
釜野 博臣 Atsuumi Kamano

To apply fiber-reinforced polymer (FRP) panels to buildings, ensuring both human and structural safety from the onset of a fire until its extinguishment is critical. The introduction of new materials into building construction necessitates approval from the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) in Japan, which is typically granted following comprehensive demonstration tests. The ICC has been exploring the development of fire-resistant FRP structures for buildings within the context of COI projects, as detailed in the Annual Report for FY2020*. Starting in FY2021, in collaboration with Kajima Corporation and Kurimoto, Ltd., the ICC replicated the temperature rise curves of FRP floor panels coated with fire-resistant material under conditions specified by ISO 834, which outlines a 2-hour fire resistance standard. This was achieved using large-scale high-temperature structural testing equipment to assess the deflection behavior of the FRP panels under load. The test specimens evaluated in this equipment included: (1) a sandwich panel with a balsa core and carbon FRP (CFRP) skins, and (2) FRP pultruded members manufactured by Kurimoto, Ltd. The support span for these specimens was 3000 mm. The loading and heating methods were as follows:

- For specimen (1), the upper side was loaded with a dead weight of 45 kg per piece, while the lower side was heated.
- For specimen (2), dead weights were hung from the lower side, and the upper side was heated.

In each scenario, the deflection at the center of the FRP panel was measured in response to the temperature increase, and the panel temperature at the point of failure was recorded. The outcomes of these tests are illustrated in Figures 1 and 2, demonstrating that the temperature rise in the FRP panels could be effectively managed using the large-scale high-temperature structural testing equipment, allowing for continuous measurement of panel deflection. In the future, the ICC aims to engage with companies interested in exploring variations in material and panel structure, as well as the relationship between these full-scale tests and smaller-scale coupon testing.

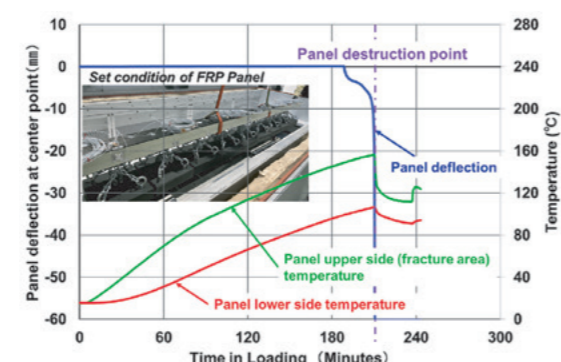


Figure 2 Deflection change of an FRP panel under loading when exposed to temperature against the upper side of the FRP panel.

超音波溶着を用いた風車ブレードの連続接合技術の検討

Continuous Welding Technology for Wind Turbine Blades Using Ultrasonic Welding

浮体式洋上垂直軸型風車(FAWT)は、ICC・COI研究にてアルバトロステクノロジー社と共に研究を進めてきた。現在は、その小型実証機の試作にむけて、風車ブレードの連続引抜成形&接合技術の確立に取り組んでいる(METI/SMEA-Go-tech事業:福井ファイバテック(株)社)。

浮体式風車は、上部構造を軽量化し低重心化する事が浮体の低コスト化に直結し、さらに垂直軸型ではブレードに働く遠心力が曲げ荷重として空力荷重に相乗する事から、全CFRP製の軽量高強度高剛性ブレードが求められる。このブレードやアームは一定断面形状のため、引抜成形による複数の部材の組み合わせ構造が望ましい(図1左)。そこで本研では、熱可塑性樹脂による引抜成形とその部材同士の連続溶着について研究している。

以下、連続溶着について説明する。

現場重合型の熱可塑性エポキシ樹脂により引抜成形された部材を、超音波溶着により連続的に接合する。超音波は高効率な加熱方法だが、加振による発熱と溶融の挙動が材料によって大きく異なるため、接合条件の最適化と品質管理が課題となる。また連続接合の場合、移動速度に加圧保持&冷却条件を適合させる必要がある。さらにはT型や突合わせ形状の接合には、新たな接合技術も要される(図1右)。

本研究では、ブレードの外板とスパー材や外板同士の溶着を目標にして、その研究の第一段階として、小型の移動式接合装置を試作した(図2)。本装置は、供試体の移動テーブルに加えて、加振装置とは独立した冷却加圧機構を有している。本装置により様々な加振・加圧・冷却条件における材料の加熱溶融の挙動とその接合強度との関係について調べている。

今後は、得られた知見から、より高速で生産性の高い最適な連続溶着技術の確立に取り組む予定である。

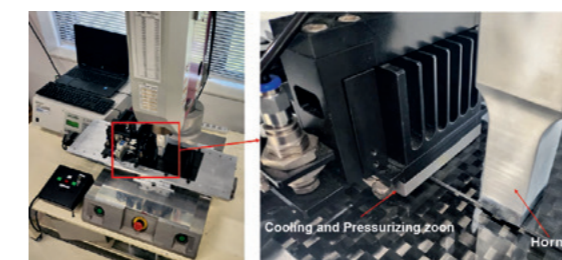


Figure 1 Continuous welding device



植村 公彦 Kimihiko Uemura
西田 裕文 Atsufumi Nishida
佐久間 忠 Tadashi Sakuma
乾 伸晃 Nobuaki Inui

We have been conducting ICC/COI research on floating-axis wind turbines (FAWT) in collaboration with Albatross Technology Co., Ltd. Currently, our focus is on developing continuous pultrusion and welding technology for wind turbine blades to create a small-scale demonstration model as part of the METI/SMEA-Go-tech Project with Fukui Fibertec Co., Ltd.

In floating wind turbines, reducing the superstructure weight and lowering the center of gravity are crucial for minimizing float costs. For vertical-axis wind turbines, the centrifugal force acting on the blades acts as a bending load, which is compounded by the aerodynamic load. Therefore, there is a need for lightweight, high-strength, and high-rigidity blades made entirely of carbon fiber reinforced plastic (CFRP). Given that blades and arms have a constant cross-sectional shape, a combined structure of multiple components fabricated via pultrusion molding is desirable (Figure 1, left). This project aims to explore pultrusion molding using thermoplastic resin and the continuous welding of these components.

The following section details our research on continuous welding.

The components were pultruded using an in-situ polymerized thermoplastic epoxy resin and joined together by ultrasonic welding. Although ultrasonic heating is highly efficient, the heat generation and melting behaviors due to vibration varies significantly depending on the material, making it challenging to optimize the joining conditions and control quality. Additionally, for continuous welding, the pressure-holding and cooling conditions must be adapted to the moving speed. Furthermore, new joining technology is required to join T-shaped and butt-shaped parts (Figure 1, right).

In this research, our goal is to weld the blade skin to the spar and the skin itself. As the first step, we prototyped a small, mobile joining device (Figure 2). This device includes a moving table for the specimen, along with an independent cooling and pressurizing mechanism separate from the vibration device. Using this device, we investigated the behavior of materials when heated and melted under various vibration, pressure, and cooling conditions, and their relationship with joining strength.

In the future, we plan to use the knowledge gained to establish an optimal continuous welding technology that is faster and more productive.

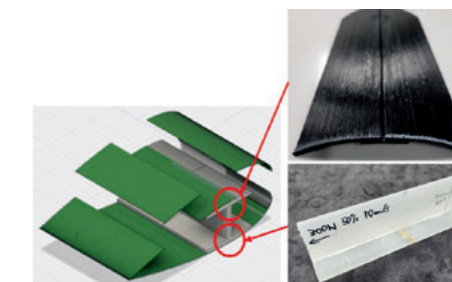


Figure 2 Parts under consideration for welding

オリンピック向けセーリングヨットの開発

Development of sailing yacht for the Olympics

オリンピックセーリング競技において日本チームで一番メダルに近い種目が470級で、全長4.7m・男女混合の二人乗りディンギーである。

セーリング競技は道具が重要なスポーツだが、数ある種目の中で共通の艇・セールの使用が義務付けられているなか、470クラスだけが造船所・セールの選択が自由である。

470の造船においては、流体力学をベースとする船型デザインに加え、材料・構造力学をベースにした最適な複合材料とその成形方法の選択など、高度なエンジニアリングがもたらされる。

ICCは、2016年より470艇の開発に取り組んでいる。まず、CFD(計算流体力学)を駆使し、建造ルールの許容範囲(5~15mm)を有効に活用して設計された船体形状を実現するために、1mm以下の誤差範囲で成形治具を製作した。

次にハル(艇体)の成形では、高い強度と剛性を確保するために構造解析にもとづき、繊維の方向が最適になる新規材料を開発した。SHINDO社の協力により、±30度や±60度という新規のダブルバイアス(二軸織物)、さらには0度方向を追加したトライアクシャル(三軸織物)を試作してもらい、船体重量ルールの範囲で適材適所の材料配置を実現した。

同様にラダー(舵)においても、CFD解析による小さな形状で低抵抗のブレードでも新規材料と積層構造の最適化により強度・剛性を両立させた新たなラダーを開発し、現在パリ五輪代表チームによるセーリングテストを行っている。

日本のトップチームは他国製の艇を使用しているが、次の2028年ロスオリンピックには国産艇の使用でアドバンテージを持てるように開発プロジェクトは進行中である。

The 470 class, a 4.7 m long, mixed-gender two-seater dinghy, is the closest class to a medal for the Japanese team in the Olympic sailing competition. Sailing is a sport in which equipment plays an important role. In particular, the use of common boats and sails is mandatory among the several events in the Olympics; however, only the 470-class is given the freedom in the choice of boat builder and sails. The construction of the 470-class requires advanced engineering, including hull design based on fluid dynamics, as well as the selection of optimal composite materials and molding methods based on material and structural mechanics.

The ICC has been working on the development of the 470-class since 2016. First, computational fluid dynamics (CFD) was used to create a molding jig with a tolerance of less than 1 mm to achieve a ship body shape that was designed by effectively utilizing the allowable range of construction rules (5–15 mm). Subsequently, the molding of the hull involved the development of a new material with an optimal fiber direction based on structural analysis to ensure high strength and rigidity. With the cooperation of SHINDO Co., Ltd., prototypes were made of new double bias fabric with ±30 or ±60 degrees, as well as of triaxial fabric with an added 0-degree direction, which enabled the appropriate arrangement of materials within the limits of the hull weight rules. Similarly, a new rudder that combines strength and rigidity as well as a small, low-resistance blade based on CFD analysis was developed by the optimization of new materials and the laminated structure. This is currently undergoing sailing tests by the Paris Olympic team. Currently, Japan's top teams are using boats made in other countries, but development projects are underway to enable the teams an advantage by using domestically produced boats for the next Olympic Games in 2028 in Los Angeles.



埜口 史郎
Shiro Noguchi



鵜澤 潔
Kiyoshi Uzawa



斎藤 義弘
Yoshitomo Saito



Figure 1 The 470 class yacht sailing competition



Figure 2 Photograph of high-precision hull molding jig

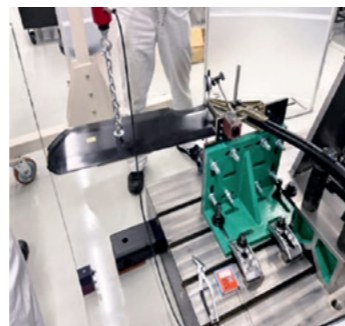


Figure 3 Photograph of the mechanical test of the developed Rudder

令和 5 (2023) 年度の成果 : Achievements in FY2023

著書

1. 山中敦彦, "熱可塑性CFRPの開発及び構造設計・応用加工技術の開発(LFT-Dの開発)", Jun., 2023.

論文

1. Masayuki Nakada, Yasushi Miyano, and Kiyoshi Uzawa, "Statistical tensile and flexural fatigue lives of unidirectional CF/PP laminates", Journal of Reinforced Plastics and Composite, Vol.43, pp195-204, 2023
2. 平山 紀夫, 岡部 拓也, 染宮 聖人, 平井 聡, 西田 裕文, "ジシクロペンタジエンをマトリックスとするGFRPの接着性付与剤による強度の向上", 強化プラスチック, 69 (5), p 221-228, 2023.
3. Shota Kawasaki, Kimiyoshi Naito, Osuke Ishida, Takehiro Shirai, Kiyoshi Uzawa, "Infrared-thermography measurement of temperature distribution in carbon fiber-reinforced polypropylene during ultrasonic welding", Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 177, 2024 107887.
4. Osuke Ishida, Shiho Oda, Kiyoshi Uzawa, "Impregnation process of large-tow carbon-fiber woven fabric/polyamide 6 composites using solvent method", Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 180, 2024, 108068
5. Masayuki Nakada, Yasushi Miyano, Taiga Nonaka, Yoko Morisawa, Takeharu Isaki, Taiki Hirano and Kiyoshi Uzawa, "Statistical tensile and flexural fatigue lives of unidirectional CF/PP laminates", Journal of Reinforced Plastics and Composites, 43(3-4), pp195-204, 2024
6. Masayuki NAKADA, Yasushi MIYANO, Yoko MORISAWA, Kiyoshi UZAWA, "Statistical Life Prediction for Unidirectional CFRTP under Constant and Cyclic Loadings", Materials System, Vol.40, p19-27, 2023

講演

1. 鵜澤 潔, SAMPE-SUMMIT2023, Apr., 2023.
2. 鵜澤 潔, 第13回CFRP懇談会, Apr., 2023.
3. 鵜澤 潔, SAMPE-情報交換会, Jun., 2023.
4. 白井 武広, "デジタル技術を活用した複合材料成形", 2023年度ほくろ先端複合材研究会第1回HACMセミナー, Jun., 2023.
5. 白井 武広, "X線位相コントラストイメージングの繊維複合材料構造解析事例の紹介", 精密工学会現物融合型エンジニアリング専門委員会 第100回例会, Jul., 2023
6. 鵜澤 潔, 浜松地区CFRP事業化研究会, Sep., 2023
7. 白井 武広, "X線位相コントラストで解析したカットテープ炭素繊維複合材料繊維配向の機械特性による評価", 日本非破壊検査協会2023年度第2回放射線部門講演会, Sep., 2023
8. 鵜澤 潔, Carbon Korea 2023 Conference, Oct., 2023
9. 西田 裕文, "成形プロセスから見た樹脂技術", 令和5年度 複合材入門講座実践シリーズ, Oct., 2023
10. 西田 裕文, "コンポジット分野に革新をもたらす樹脂技術の創製", 構造接着・精密接着研究会 第32回 構造接着・精密接着シンポジウム, Nov., 2023
11. 鵜澤 潔, 金沢市先端ものづくり技術交流セミナー, Dec., 2023
12. 山中 淳彦, "CFRP内部の繊維長測定・配向測定", 第1回NEDO特別講座, Nov., 2023
13. 西田 裕文, "コンポジット向け 樹脂技術の創製", 近畿化学協会第45期研修塾第4回自主講座, Dec., 2023
14. 鵜澤 潔, ファイバステアリング複合材料技術フォーラム, Dec., 2023

学会発表(抄)

1. 西田 裕文, 稲垣 昌輝, 山下 博, 鵜澤 潔, 斎藤 義弘, "ラジカル重合を用いた熱可塑性トウプリプレグの高速製造", 第61回日本接着学会年次大会, Jun., 2023.

令和 5 (2023) 年度の成果 : Achievements in FY2023

- Kodai TANAKA, Tetsuya UCHIMOTO, Sho TAKEDA, Hiroyuki KOSUKEGAWA, Toshiyuki TAKAGI, Takeshi WATANABE, Yuta URUSHIYAMA, Yusuke TSUCHIYAMA, Takehiro SHIRAI, "Non-Destructive Evaluation of Fiber Irregularities in Filament Winding Molded CFRP Using Eddy Current Testing", ENDE2023, 26th International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation, Jun., 2023
- 布谷 勝彦, 有浦 芙美, 佐久間 忠, 乾 伸晃, 松本 大輝, 鶴澤 潔, "マット強化材を用いたWCMにおける圧縮と含浸の特徴", 第48回複合材料シンポジウム (JSCM48), Sep., 2023
- 石田 応輔, 松本 大輝, 鶴澤 潔, リサイクルCF 不織布のフィルムスタッキング成形における含浸挙動の検討, 第48回複合材料シンポジウム (JSCM48), Sep., 2023
- 西田 裕文, 岡部 拓也, 平井 聡, 染宮 聖人, 平山 紀夫, "ガラス繊維強化ジシクロペンタジエン用 カップリング剤の研究", 第48回複合材料シンポジウム (JSCM48), Sep., 2023
- Atsumi Nishida, Kazuya Mizumoto, Takehiro Shirai, Takahiro Doki, Kazutoshi Fujihara, "Evaluation of Tensile Fracture Locations of Chopped Carbon Fiber Tape Reinforced Thermoplastic Resin with Different Fiber Lengths by X-ray Talbot-Lau Interferometry", The 2nd Japan-China-Korea Joint Symposium on Composite Materials, Oct., 2023
- Hirofumi Nishida, Kiyoshi Uzawa, "High-cycle Low-pressure RTM with Preformable Thermoplastic Tow Prepre", JISSE-18, Nov., 2023
- Katsuhiko Nunotani, Fumi Ariura, Kiyoshi Uzawa, "DEVELOPMENT OF THERMOPLASTIC COMPOSITES BY WET COMPRESSION MOLDING PROCESS WITH IN-SITU POLYMERIZABLE ACRYLIC RESIN AND RECYCLED CARBON FIBER MATS", JISSE-18, Nov., 2023
- A. Yamanaka, M. Terada, R. Yamabe, M. Ichiki, "Estimation of fiber orientation distribution in carbon fiber reinforced polyamide 6", The 18th Japan International SAMPE Symposium and Exhibition (JISSE18), Dec., 2023
- Takehiro Shirai, Shinya Hayashi, Kiyoshi Uzawa, "MATERIAL FLOW AND FIBER STRUCTURE EVALUATION OF RIB SHAPE PRESS MOLDING OF CTT WITH DIFFERENT FIBER ORIENTATIONS MATERIAL", The 18th Japan International SAMPE Symposium and Exhibition (JISSE18), Dec., 2023
- Shinya Hayashi, Takehiro Shirai, Kiyoshi Uzawa, "SIMULATION OF MATERIAL FLOW AND FIBER STRUCTURE WITHIN CTT RIBBED PRESS MOLDINGS WITH DIFFERENT FIBER ORIENTATIONS", The 18th Japan International SAMPE Symposium and Exhibition (JISSE18), Dec., 2023
- 山中 淳彦, 寺田 真利子, 山邊 良太, 市来 誠, "CFRTPの積層構成とCFによるX線回折の関係", 日本複合材料学会第15回日本複合材料会議(JCCM-15), Mar., 2024
- 森 裕梨佳, 白井 武広, 鶴澤 潔, "等方性物性を有するカットテープランダムCFRTPのX線位相コントラストイメージング構造評価", 日本複合材料学会第15回日本複合材料会議(JCCM-15), Mar., 2024
- 布谷 勝彦, 西田 裕文, 佐久間 忠, 乾 伸晃, 稲垣 昌輝, 鶴澤 潔, "熱可塑トウプレグを用いたRTM成形における樹脂流動特性", 日本複合材料学会第15回日本複合材料会議(JCCM-15), Mar., 2024
- 石田 応輔, 北田 純一, 鶴澤 潔, "リサイクルCF 不織布を用いたスタンパブルシートの含浸・樹脂流動プロセスの検討", 日本複合材料学会第15回日本複合材料会議(JCCM-15), Mar., 2024

受賞

- 先端材料技術協会 論文賞, 石田 応輔, 北田 純一, 鶴澤 潔, " High Rate Manufacturing Thick Organo-Sheet Using Fixed Rollers, Double Belt Press", 先端材料技術協会, Sep., 2023.

特許

- 日立Astemo株式会社, 金沢工大, "繊維強化樹脂管体の製造方法", 公開番号WO/2022/065179
- 白井 武広, 鶴澤 潔, 北山 由美, "加工機械の制御方法、加工機械の制御装置及び制御プログラム", 特願2023-185645.

ICC メンバーシップ会員における産学連携活動の成果

Outcomes from Industry-Academia collaboration activities using ICC membership program

メンバーシップ会員は、大学の派遣研究員として参加することにより、プラットフォームとしてのICCを活用した産学連携活動を行うことができます。ここでは、海外学生のICCインターシップ活動と、メンバーシップ会員の研究活動の様子及びその成果に関して紹介します。この活動は異業種・異分野の企業間のコラボレーションにもつながるものであり、ICCでは新しい形のオープンラボ・イージーアクセスを目指し、オープンイノベーション環境を提供していきます。

Members of the Membership can be engaged in industry-academia collaborative activity using the ICC as a platform by accepting as a visiting researcher at our university. This section introduces the ICC internship activities for international students, the research activities of the membership members, and their achievements. This activity will also lead to collaboration between companies in different industries and fields, and ICC will continue to promote an open innovative environment for free access laboratory.

ドイツ・ミュンヘン工科大学からの客員研究員としてシートモールディングコンパウンドの繊維配向性の研究

Anna Julia Imbsweiler

Investigation of fiber orientation of Sheet Molding Compounds as a guest researcher from Technische Universität München, Germany

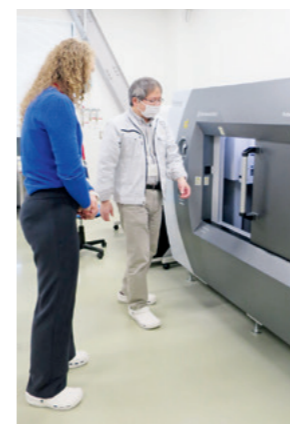


Anna Julia Imbsweiler

ICCは2023年4月から7月まで、ドイツのミュンヘン工科大学 (TUM) のカーボンコンポジット講座 (LCC) の博士課程で学ぶ私を客員研究員として受け入れてくれました。

ICCは、島津製作所と共同開発したX線位相イメージング装置 Xctal 5000を新たに導入した。この機械では、複合材料の機械的性能を決定する重要な要素である、厚さ方向の繊維配向を見ることができる。研究滞在中、私はシートモールディングコンパウンド (SMC) 部品の流動パターンに依存する繊維配向について非常に興味深い洞察を得る機会があった。検査されたSMCプレートは、様々な初期チャージ構成で製造された。得られた流路長さが異なるため、繊維の特定方向への配向度が変化した。調査の目的は、流動パターンが最終的な繊維配向に及ぼす影響、ひいては機械的性能に及ぼす影響を明らかにすることであった。

From April to July 2023 ICC accepted me as a guest researcher during my PhD studies at the Chair of Carbon Composites (LCC) of Technische Universität München (TUM) in Germany. ICC is newly equipped with an X-Ray Phase Imaging Device Xctal 5000, developed in a joint effort of ICC and Shimazu Corporation. With the machine, it is possible to see the through-thickness prevalent fiber orientation, a crucial factor in determining the mechanical performance of composite products. During the research stay, I had the opportunity to get very fascinating insight into the fiber orientation in dependency from flow patterns in Sheet Molding Compound (SMC) parts. The inspected SMC plates were produced with varying initial charge configurations. Due to the different obtained flow lengths, the degrees of fiber orientation in a specific direction varied. The goal of the investigation was to identify the influence of the flow pattern on the final fiber orientation, and consequently on the mechanical performance.

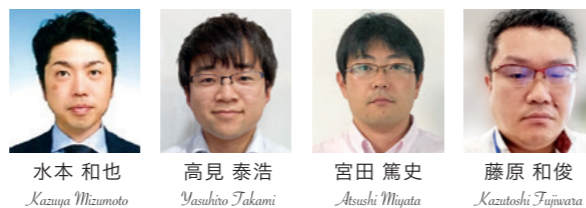


熱可塑性一方向連続炭素繊維強化複合材料を用いたドローンブレードの開発

三井化学株式会社 Mitsui Chemicals, Inc.

Development of drone blade using thermoplastic unidirectional continuous carbon fiber reinforced composite material

一般に、ドローンブレードはオートクレープ法を用いた熱硬化性炭素繊維強化複合材料とのサンドイッチ構造ブレード(CFRPブレード)と、射出成形法を用いた短繊維強化複合材料のブレード(Injectionブレード)があり、ドローンの大型化に伴って、先端のねじり剛性と軽量性を両立すべくCFRPブレードが用いられる傾向にある。近年開発が進む物流用ドローンは従来用途と大きく異なり、自動+長距離飛行、高ペイロード、人口密集地への着陸などに対応する必要があり、安全性、航続距離、静音性などの新たな重要課題がある。ドローンブレードは先端速度マッハ0.3の回転物であり、特に墜落時のドローンブレード破片の飛散性(安全性)については、ドローンポートの敷地面積などの安全運用ルールを決定する重要な課題となっている。当社が開発したTAFNEX®CF/PP(熱可塑性一方向連続炭素繊維強化ポリプロピレンシート)は、剛性と衝撃吸収特性の両立ができるため、サンドイッチ構造ブレードの表皮に用いることで、飛行性能を損なうことなく、破壊時の破片が小さく、破片の飛散距離も10m以下にできる特徴を有している。また当社では表皮材:TAFNEX®CF/PP、芯材:熱可塑性発泡シートを用いた熱可塑性サンドイッチ構造ブレード(CFRTPブレード)を設計/開発し、大量生産/リサイクルに対応した次世代ブレードとして当社グループより提供を予定している。ICCではこのCFRTPブレードを対象とし、表皮材および芯材の流動予測を目的に、加熱プレス加工方法の研究を実施している。



Drone blades are typically constructed as either sandwich structure blades with thermosetting carbon fiber fabric-reinforced composites using the autoclave method (CFRP blades) or as short fiber-reinforced composite blades produced through the injection molding method (Injection blades). As drone size increases, CFRP blades are often preferred because of their ability to provide torsional stiffness at the tip while maintaining a lightweight structure. Recent developments in logistics drones diverged significantly from traditional applications, requiring capabilities for automatic and long-range flight, high payload capacity, and the ability to land in densely populated areas. These new requirements introduce critical challenges such as safety, cruising range, and noise reduction. Drone blades are rotating objects with a tip speed of Mach 0.3, and the issue of debris dispersibility in the event of a crash is a key factor for determining drone safety operation regulations. Mitsui Chemicals, Inc. has developed TAFNEX® CF/PP—a thermoplastic unidirectional continuous carbon fiber-reinforced polypropylene sheet offering a combination of rigidity and shock absorption. When used as the skin of a sandwich structure blade, this material produces smaller debris fragments upon fracture and limits the scatter distance to less than 10 m without compromising flight performance. A new thermoplastic sandwich structure blade (CFRTP blade) has been designed using TAFNEX® CF/PP as the skin material and a thermoplastic foam sheet as the core material. This next-generation blade is designed for mass production and recyclability. In collaboration with ICC, research is being conducted on heat press processing methods for CFRTP blades to more accurately predict the behavior of the surface and core materials during manufacturing.

	CFRTP sandwich blades (TAFNEX®CF/PP)	CFRP sandwich blades (Competitor)	Injection blades (Competitor)	
Appearance	Fracture			
	edge			
Results	Fracture surface	Blunt ○	Sharp ×	Very sharp ×
	Dispersion distance	4m	18m	48m
	size	Very small ○	Small △	Big ×

大型シート量産技術の確立、市場への製品供給開始

サンコロナ小田株式会社 SUNCORONA ODA co.,Ltd

Establishment of large-scale CFRTP random sheet mass production technology and start of product supply to the market

COI研究事業などを通して研究された金沢工業大学の樹脂反応制御技術によるランダムシートを原権利(シーズ)とし、サンコロナ小田の独自加工技術による炭素繊維の開繊、樹脂含浸、散布・積層技術を組合せ、プレス成形により高速かつ大量生産(1分間のハイサイクル成形)が可能である複雑成形性と高強度を両立した熱可塑性CFRP(CFRTP)ランダムシート「Flexcarbon®」に関する新技術を完成させました。金沢工業大学の保有するシーズを用いて、シートの大判化・高効率製造プロセスの検証を行いました。これら開発により、量産における供給体制の確立及び製造コスト削減し、20㎡/h以上の生産性・シート品質精度を実現しました。ウェアラブルウェアなどの人に寄り添う用途からインフラ・自動車といった用途に対して、各種CFRP製品の幅広い普及を目指しています。

本事業成果は、科学技術振興機構(JST)の事業化検証プログラム(NexTEP-B、課題名称「ハイサイクル成形用CFRTPシートの量産プラント」、実施年度:令和元年~令和6年)で実施しました。



唐澤 俊暁 Toshiaki Karasawa

Using random sheets based on Kanazawa Institute of Technology's resin reaction control technology researched through the COI research project, etc., as the original rights (seeds), we combine spreading fiber technology, resin impregnation, and scattering and lamination technologies using SUNCORONA ODA's original yarn texturing technology and own procedure. We have perfected a new technology related to Flexcarbon®, a thermoplastic CFRP (CFRTP) random sheet that achieves both complex formability and high strength, which enables high-speed mass production (high-cycle molding in 1 minute) by press molding. Using the seeds owned by Kanazawa Institute of Technology, we verified the large-format and high-efficiency manufacturing process of sheets. Through these developments, we have established a supply system for mass production, reduced manufacturing costs, and achieved productivity and sheet quality accuracy of more than 20 m²/h. We aim to spread a wide range of CFRP products from human-friendly applications such as wearable chairs to applications such as infrastructure and automobiles. The results of this project were implemented under the Japan Science and Technology Agency's (JST) commercialization verification program (NexTEP-B, project name: "Mass production plant of CFRTP sheets for high-cycle molding", implementation year: 2019 ~ 2024).

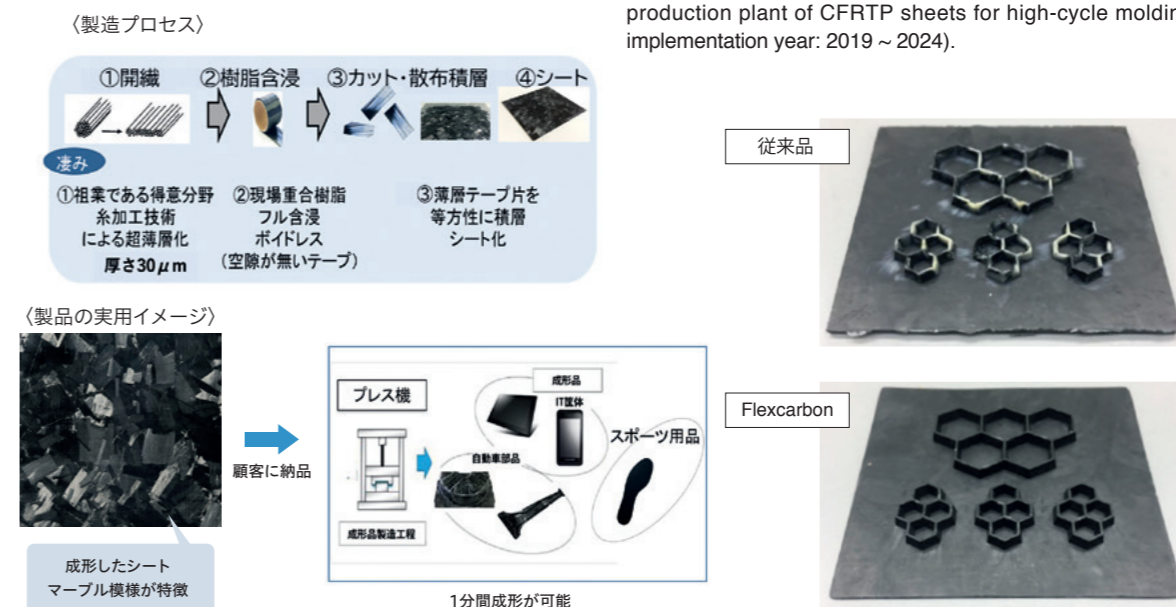


Figure 1 Image of sheet production and sheet utilization.

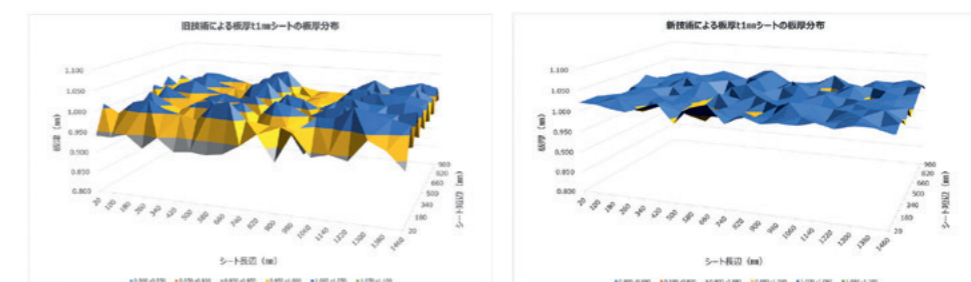


Figure 2 Comparison of old and new technologies for thickness accuracy of 1,000 x 1,500 mm large sheets.

熱可塑性樹脂トウプリプレグ高速製造装置の開発

ミズノ テクニクス株式会社 Mizuno Technincs Corporation

Development of high-speed manufacturing process for thermoplastic tow prepreg

齋藤 毅
Takeshi Saito

一般に熱硬化性のトウプリプレグ(以下TP)を製造するには、強化用繊維束を搬送しながら液状のマトリックス樹脂を塗布、含浸させて、得られたTPを巻き取る装置が好適に使用されている。ところが、マトリックスとして熱可塑性樹脂を使用する場合、既にポリマー化された熱可塑性樹脂を加熱溶融させてもその溶融粘度が極めて高く、強化用繊維束の狭い隙間への短時間での含浸はまず不可能である。そこで、熱可塑性のTPの高速製造を可能にするためには樹脂開発と装置開発を同時に行う必要があった。鋭意検討した結果、現時点において熱可塑性樹脂TPとしては高速な10m/分超の製造速度を達成した。

装置の概略を図1に示す。装置は大きく4つのゾーンに分けることができる。1)炭素繊維加熱工程ではレーザーの使用により短時間で加熱することが可能である。2)樹脂塗工工程では加熱した炭素繊維に樹脂をオILINGローラーにて塗布する。繊維を加熱しているため樹脂粘度が低下し含浸が容易となる。3)UV照射工程では本開発の(現場重合型)熱可塑性樹脂に配合してある単官能アクリレートモノマーが、光ラジカル開始剤の作用によってラジカル重合する。これにより樹脂が固化してその流動性が失われ、TP表面が粘着性のない状態(タックフリー)となる。本開発の樹脂は非架橋ポリメタクリル酸メチル粒子及び光ラジカル開始剤の2成分の添加により、酸素阻害の影響が抑制され、単官能アクリレートモノマーのラジカル重合反応を速やかに進行させることができるよう工夫されている。また、この工程は加熱も兼ねるため、TP内部の重合も促進される。4)巻取り工程で巻き取ったTPは表面がタックフリーとなっているため解巻性も良好である。

本件は令和5年度NEDO委託研究「非FW/分割プリフォームおよび新規樹脂(REDOX硬化樹脂)による高圧水素タンクの革新的ハイレート製造プロセスの開発」の成果である。

To manufacture thermosetting tow preregs (hereinafter referred to as TP), it is preferable to use a device that applies and impregnates a liquid matrix resin onto a reinforcing fiber bundle while conveying it, followed by winding up the resulting TP. However, when employing a thermoplastic resin as the matrix, challenges arise because of the high melt viscosity of the already polymerized resin. However, when heated and melted, it is nearly impossible to impregnate the narrow gaps within the reinforcing fiber bundle rapidly. Consequently, simultaneous development of both the resin and the device was necessary to facilitate high-speed production of thermoplastic TP. Through extensive research, we have achieved a production speed exceeding 10 m/min, which is considered high for thermoplastic resin TP. The device is depicted in Figure 1 and can be categorized into four distinct zones: 1) The carbon fiber heating process, where rapid heating is achieved using a laser. 2) The resin coating process, where the heated carbon fiber is coated with resin using an oiling roller. The heating reduces the resin viscosity, facilitating easier impregnation. 3) The UV irradiation process, where the monofunctional acrylate monomer, blended in the specially developed (in situ polymerizable) thermoplastic resin, undergoes radical polymerization initiated by a photo-radical initiator. This polymerization solidifies the resin, rendering the TP surface non-sticky (tack-free). The resin formulation includes non-crosslinked poly(methylmethacrylate) particles and a photo-radical initiator, which mitigate oxygen inhibition and expedite the radical polymerization of mono-functional acrylate monomers. Additional heating in this zone further promotes polymerization within the TP. 4) In the winding process, the TP is wound up with a tack-free surface, simplifying the unwinding process. This integrated approach to device and resin development has enabled the efficient production of high-speed, high-quality thermoplastic TP.

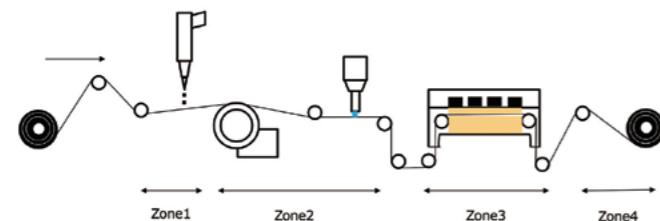


Figure 1 High-speed manufacturing process for thermoplastic tow prepreg

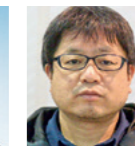


Figure 2 Thermoplastic Tow Prepreg

新生産システム紹介

丸八株式会社 Maruhachi Co.,Ltd.

Introduction of New Production System

小林 祐一
Yuichi Kobayashi小林 史武
Fumitake Kobayashi角谷 幸一
Kouichi Kadaya

丸八株式会社(本社:福井県、ラボ:石川県)繊維強化複合材料のプリプレグ材/プリフォーム材(中間材)の加工メーカーは、基材-プリプレグ材-プリフォーム材のワンストップ開発体制と、従来の基材-プリプレグ材までの量産工程に加えて新たにプリフォーム工程の量産体制を構築しました。(全工程:熱硬化性材料、熱可塑性材料に対応しています)プリフォーム工程における量産システムは次の構成となります。

〈1〉自動積層システム

画像処理検査とデジタル積層記録を有し、UD(一方向性)やクロス材のプリプレグ材を任意の配向角度と積層構成にて積層し多段プレス機への投入準備を行います。

〈2〉多段プレスシステム

投入された材料を 加工温度(MAX.)300℃、圧力(MAX.)5.0MPa、にてプレス加工を行うことでサイズ(MAX.)1,300mmのプリフォーム材(中間材:積層板材)を製造します。

MaruHachi Corporation (Head office: Fukui; laboratory: Ishikawa) specializes in processing prepreg/preform materials, which are intermediate materials used in fiber-reinforced composites. The company has expanded its capabilities by establishing a mass production system for the preform process. This new system complements the existing one-stop development and mass production processes that span from reinforcements to preregs.

The processes cater to both thermoplastic and thermosetting materials.

The newly implemented mass production system for the preform process includes the following components:

(1) An automated layup system equipped with visual inspection and digital process records. This system arranges unidirectional (UD) and cloth prepreg materials at specified orientation angles and layup configurations, preparing them for processing in a multistage press.

(2) The production of preform materials (intermediate laminates) with a maximum size of 1,300 mm. These materials are processed at a maximum temperature of 300 °C and a maximum pressure of 5.0 MPa.



Automated Lay-up System for Preregs



Multistage Vacuum Press Machine for Laminates

ICCメンバーシップ制度は、ICCをコンポジット研究のサテライトラボとして、会員の皆さまに利用してもらう事を目的としておりますが、それは同時に、会員企業それぞれが得意とする装置や材料をICCに持ち込んで貰える事でもあります。それら多くの先端技術は、個別に研究開発を進めるよりも、ICCの研究開発環境とメンバーシップ制度を通じたネットワークを活用することで、より高度でさらに実用的な技術へと進めることが容易となります。

今年度もここに掲載された企業のように、多くの共同研究の成果を得ることが出来ました。さらに、ICCをプラットフォームとしてICCメンバーシップ制度を超えた産-産連携による取り組みも始まっております。

The ICC membership program aims to make the ICC a satellite laboratory for members to engage in collaborative research.

Many technologies can advance and become more practical when the network through the ICC R&D environment and membership program is utilized rather than by promoting individual R&D.

This year has also seen a number of joint research results, such as those from the companies inserted here. In addition, industry-industry collaborations beyond the the ICC membership system have started using the ICC as a platform.

(鷗澤 潔/Kiyoshi Uzawa)