

## 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11年目を迎えた。COIプログラムが終了し、自走化を確実なものにする重要な年となった。

後述する資料を見て頂ければ分かると思うが、政府系プロジェクト、民間企業との受託共同研究、メンバーシップ費はいずれも前年度比で増加した。これには、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)の貢献が非常に大きくなっている。ICCの研究員、技師についてメンバーの増強を図った。2名が新任教授として採用となり、5名の新規客員教授を他大学・企業からお迎えすることが出来た。

企業からの受入研究員となるメンバーシップ会員数は、70名の大台を突破し過去最高となった。会員限定のメンバーズフォーラムでは、世界的に著名なスタンフォード大学 Tsai先生をお招きして特別講演を実施するなど、今年度は9回開催した。また、会員限定のICC Innovative Edgeも毎月発行し複合材料における最新情報を提供している。

ICCは、研究開発、教育、連携活動の「場」である。

特に今年度は連携活動に大きな成果があった。2025年2月に欧州で最大の研究機関であるFraunhofer IGCVとの連携が決まり、FIP-MIRAI@ICCとして国内初の拠点を開設できた。「リサイクル炭素繊維複合材料を活用した製造技術と適用技術」を研究テーマとして、研究開発・技術移転・事業化を推進していく予定である。また、昨年には産業技術総合研究所と共同で立ち上げた国内初のBIL拠点もICC内に設置されている。国内最大級の公的研究機関の知見、欧州最大の研究機関の知見が活用できる「場」が整ったと言える。

教育については、例年通り社会人向けの特別講義を実施するとともに、高校生や中学生にも複合材料の魅力を感じてもらうために、座学や実演による講義を昨年以上に実施した。また政府系プロジェクトをICCの研究員とともに、本学の多くの学生がリサーチアシスタント(RA)として活動をした。このような環境の中で、鵜澤研の学生がSAMPE学生ブリッジコンテストにおいて世界大会優勝という快挙を遂げた。

2024年度は、ICCが自立型かつ持続型の研究開発拠点として、また国際的な研究連携のハブとして本格的なフェーズへと移行した重要な年となった。今後も、複合材料の研究開発拠点として、オンリーワンのなくてはならない存在になるべく挑戦と進化を重ねていく。

The Innovative Composite Material Research and Development Center (ICC), established by Kanazawa Institute of Technology as an international science-innovation center, has entered its 11th year, and an important year for ensuring that the ICC is self-funded.

In FY2024, government projects, joint research commissioned, and membership fees increased compared with the previous fiscal year. This resulted mainly from the contribution of the ICC-incubated venture company (ICEM), which provided a one-stop link between companies and ICC from prototyping to evaluation in the development of corporate products. The ICC increased the number of researchers and engineers. In addition, two new professors were hired and five visiting professors from other universities and companies joined the center. The number of members of various companies accepted as researchers under the membership programs reached a record 70. Members forums were held approximately 10 times during the year, including a special lecture by the world-renowned Dr. Tsai from Stanford University. And the members-only ICC Innovative Edge was published monthly to provide the latest information on composite materials. The ICC is a place for research and development (R&D), education, and collaborative activities.

In February 2025, a partnership with Fraunhofer IGCV, the largest research institute in Europe, was agreed upon, and the first Japanese site, FIP-MIRAI@ICC, was established. It plans to promote R&D, technology transfer, and industrialization under the research theme of “manufacturing and application technologies utilizing recycled carbon fiber composite materials.” Japan's first AdCom BIL was launched in 2023 in collaboration with the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) at the ICC, thus providing a place for integrating knowledge from Japan's largest public research organization and Europe's largest research organization. Regarding education, special lectures for working people were held, as in previous years, and the number of classroom lectures and demonstrations on composite materials for high school and junior high school students increased. In addition, many university students work as research assistants (RA) for ICC researchers on government projects. A student from Professor Uzawa's laboratory won the world championship in the SAMPE Student Bridge contest.

The ICC continues to challenge and evolve with the aim of becoming Japan's indispensable, one-of-a-kind composite R&D center.

## II 連携活動

### Collaborative Activities

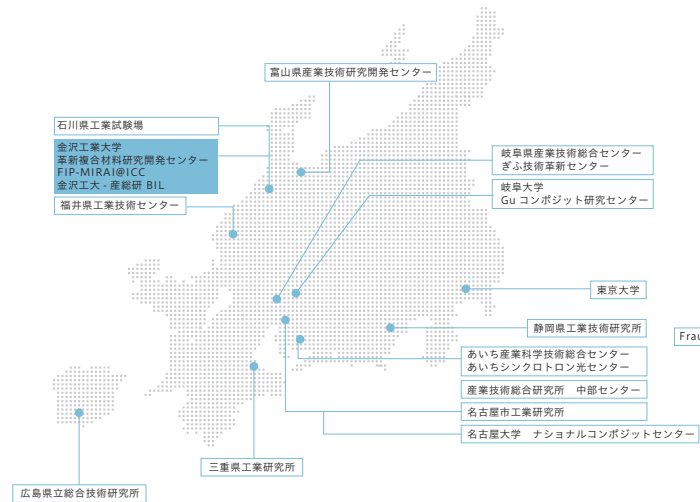
#### 1 ICCにおける連携活動

ICCは複合材料の実用化、社会実装に貢献し、複合材料の適用拡大を進めることを目的としたセンターである。そのためには産学官の多くの研究者・関係者が一堂に会し、研究開発や事業化に向けた産学官連携活動が行える、オープンなプラットフォームが必要である。ICCはそれらの機能を最大限発揮できるセンターとしての運営に取り組んでいる。その取り組みにおいては、研究開発能力とそれを支える環境・設備の運用・維持能力が欠かせない。さらに国内、国外の企業や機関と連携するネットワークを構築し、研究者間の交流、プロジェクトの組成、一つの組織では難しい事業化への取り組みを進めることが重要であると考えている。

#### 2 ICC 設立 10 周年・国内外のネットワークの構築

ICCは2014年の設立から10周年を迎えた。複合材料の適用拡大を目的に企業との産学連携による研究開発を推進し、現在では日本最大の複合材料の研究開発センターとなっている。その特徴は研究開発環境として、ラポレベルを超えた実用レベルの大型成形装置を多く導入していることに加え、マトリックス樹脂の開発を行うケミカルラボや高度な評価・分析装置をそろえ、材料開発からコンポジットの試作、物性評価、解析・シミュレーションまで一連の開発が行える環境を整えていることである。また、ICCに拠点を置き大学と包括的契約を結ぶ株式会社ICEMが産業界に対する新たな窓口として活動することにより、ICC設備の有効な利用から事業化にむけたプラットフォームとしての活用まで、ICCの拠点機能を強化している。

国内のネットワークとして、ICCメンバーシップ制度により約70名の企業研究者が金沢工大の受入研究員として共同研究と組み合わせるなどして有効にICCを利用できるようになっている。その他、メンバー限定の月1回のフォーラムや月刊「Innovative Edge」発行などを行っている。またICCに



日本国内のネットワーク



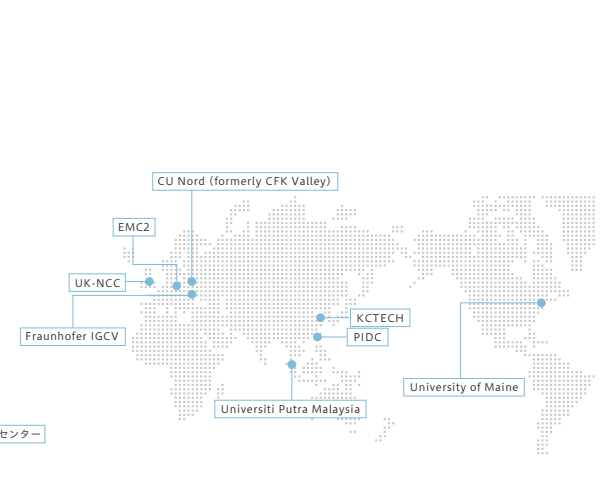
#### 1 Collaborative activities at the ICC

The ICC is a center that aims to contribute to the practical application and social implementation of composite materials and to expand composite material applications. To achieve this, an open platform is needed where many researchers and related parties from industry, academia, and government can gather and work together toward research, development, and commercialization. The ICC operates as a center that maximizes these functions.

#### 2 10th Anniversary of the ICC and Building of Domestic and International Networks

The ICC celebrated its 10th anniversary since its establishment in 2014. It has been promoting R&D through industry-academia collaboration with companies to expand composite material applications and is currently one of Japan's largest R&D centers for composite materials. Its assets include many large-scale molding machines that surpass the laboratory level, a chemical lab for developing matrix resins, and advanced evaluation and analysis equipment, providing an environment in which material development, composite prototyping, physical property evaluation, analysis, and simulation can be carried out. In addition, ICEM Co., Ltd., which is based at ICC and has a comprehensive contract with Kanazawa Institute of Technology (KIT), acts as a new window for industry, strengthening the ICC's basic function from the effective use of ICC facilities to the use as a platform for commercialization.

For domestic networking, the ICC membership system allows



ICC の国際的なネットワーク



事務局を置く「ほくりく先端複合材研究会(HACM)」は、北陸地域を中心に50社を超える企業が会員となりセミナーや会員間交流を中心とした活動を行っている。さらに全国的な連携活動として名古屋大学NCC、岐阜大学GCC、金沢工業大学ICCを中心に「コンポジットハイウェイコンソーシアム(CHC)」を2014年に立上げ、展示会等への共同出展や中小企業の優れた技術を表彰するCHCアワードを開催している。2022年度、2023年度のJEC WorldではCHCが取りまとめたJapanパビリオンを出展し日本と欧州、海外を結ぶ役割も担っている。この他、産業技術総合研究所(以下、産総研)との連携により2023年ICCに設立された、「金沢工大-産総研BIL」拠点として活動、2023年に採択された、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」プロジェクトにおける産学官連携の拠点としての活動などにもつながっている。

他方、ICCは設立当初より国際的な連携にも積極的に取り組んでいる。

フランスの産業クラスターEMC2、ドイツのコンポジット業界最大の産業クラスターComposites United(CU)、台湾のPIDC、韓国のKCTECHと連携協定を締結し継続的に協力を深めている。例えば、ドイツCU Nord(前 CFK-Valley)とICCは両者がとりまとめ役となり、日本・ドイツの19社・機関が参加した2件の国際共同研究プロジェクト(3年間)を実施した。さらに2023年度よりCUとICCとの間で、相互にニュースレターを発行・交換する取り組みを開始、両国の関係企業の技術情報の発信やイベント紹介などを行っている。

2024年度は、複合材料の国際的専門誌を発行するJEC Groupとの協力関係を基に、コンポジットの分野では世界最大級の展示会JEC World2025(2025年3月)の日本パビリオンへの企画協力、出展を行った。くわえて、ドイツFraunhofer IGCV研究所と2年にわたる協議を経て、両者が連携して研究開発・事業化を行うFIP拠点をICCに設置するに至った。

### 3 金沢工大・産総研 先端複合材料ブリッジ・イノベーション・ラボラトリ(BIL)

産総研は、産学連携により産業界に貢献する「ブリッジ・イノベーション・ラボラトリ(BIL)」を開始し、全国初のBIL拠点が2023年7月ICCに設置、開所された。本BIL拠点は、産総研の有する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活動を活かし、地域企業と連携し地域の課題を解決するものである。ICCに常駐する産総研の研究者のイニシアティブと産総研関係者の積極的な取り組みにより、企業との共同プロジェクト形成、ICCへの研究開発設備の設置、大学生に向けた連携講義など着実に実績を重ねている。

2024年度は10月31日に金沢工大-産総研BILと産総研マルチマテリアル研究部門がコラボレーションし、「サーキュラーエコノミー×高機能素材分野の未来と今」をテーマにシンポジウムが開催され、ICCとHACMが後援者として参画した。



産総研シンポジウムで基調講演を行う ICC 鶴澤所長

approximately 60 corporate researchers to effectively use ICC by combining it with a joint research project as visiting researchers at Kanazawa Institute of Technology. In addition, monthly forums are held exclusively for members, and a monthly bulletin is published. The Hokuriku Advanced Composite Materials association (HACM), whose secretariat is located at the ICC, has over 50 member companies, mainly from the Hokuriku region. Furthermore, as a nationwide collaborative activity, the Composite Highway Consortium (CHC) was launched in 2014, centered on Nagoya University NCC, Gifu University GCC, and the ICC, and has been holding joint exhibits at exhibitions and the CHC Awards to recognize excellent technologies of small- and medium-sized enterprises. In addition, the center will operate as the "KIT - AIST BIL" base, which was established at ICC in 2023 in collaboration with the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), and will also serve as a base for industry-academia-government collaboration in the Cabinet Office's "Local University and Regional Industry Creation Grant" project.

On the other hand, the ICC has been actively working towards international collaboration since its establishment. The ICC has signed cooperation agreements with EMC2, a French industrial cluster; Composites United (CU), the largest industrial cluster in the German composite industry; PIDC in Taiwan; and KCTECH in Korea, and is continuing to broaden its cooperate connections. For example, the ICC and CU Nord (formerly CFK-Valley) in Germany acted as coordinators and conducted two international joint research projects (over a three-year period) involving 19 companies and institutions in Japan and Germany. In addition, from FY2023, the CU and ICC began issuing and exchanging newsletters with each other, disseminating technical information on related companies in both countries and introducing events.

In FY2024, based on a cooperative relationship with JEC Group, which publishes an international specialist magazine on composite materials, ICC exhibited at the Japan Pavilion at JEC World2025, one of the world's largest exhibitions in the field of composites. Furthermore, after two years of discussions with Germany's Fraunhofer Institute, IGCV, the two parties have decided to establish a FIP center at the ICC, where they will work together to conduct research, development, and commercialization.

### 3 KIT-AIST Advanced Composite Materials Bridge Innovation Laboratory (BIL)

AIST launched the Bridge Innovation Laboratory (BIL) to contribute to the industrial world through industry-academia collaboration. The first BIL base in Japan was established and opened at the ICC in July 2023. This BIL base utilizes AIST's low-environmental-impact material technology using natural materials, ICC manufacturing technology, and base activities to work with local companies to solve local issues. Thanks to the initiative of AIST researchers stationed at the ICC and the active efforts of AIST-related parties, we have steadily accumulated achievements, such as creating joint projects

### 4 FIP-MIRAI@ICC Fraunhofer IGCVと連携

FIPはFraunhofer Innovation Platformの略で、欧州では最大、世界的にも有数の応用研究機関であるFraunhofer研究機構が海外の大学・研究機関と密接に協力し運営する共同研究開発・事業化拠点を設置し、相互の強みを掛け合わせ、研究開発とその事業化を推進するシステムである。Fraunhofer IGCV研究所(IGCV)はその中心研究開発分野の一つとして炭素繊維複合材料に取り組んでおり、FIP拠点としての最適な海外パートナーを探索する中で、ICCとの協議が進められ、FIPでは日本初となる拠点「FIP-MIRAI@ICC」が2025年2月にICCに設置された。

IGCVの有する熱分解技術、リサイクル製品の品質保証、ウェットレイドプロセス技術と、ICCのプレス加工、連続ダブルベルトプレスなどの適用技術や試験評価能力を組み合わせ、「リサイクル炭素繊維複合材料を活用した製造技術と適用技術」をテーマに研究開発と技術移転・事業化を進めていく。

拠点開設のPR活動の一環として2025年3月には早速、JEC World2025展のJapan Pavilion内にIGCVとICCとの合同ブースを出展し、両者の有する技術と今後の取り組みを紹介し、本格的な活動を開始したところである。



ICC-IGCV 合同ブース

### 炭素繊維など複合材料のリサイクル技術・適用技術の研究開発プラットフォームが日本・ドイツ企業のビジネスチャンスを創出



- 欧州最大の応用研究機関フラウンホーファーのIGCV研究所と金沢工業大学 革新複合材料研究開発センター（ICC）が連携
- フラウンホーファー・イノベーション・プラットフォーム（FIP）のシステムによる研究開発・事業化：FIP-MIRAI@ICC
- 複合材料リサイクルの事業化、産業化への国際連携による貢献



FIP 拠点：FIP-MIRAI@ICC 説明図

with companies, installing R&D equipment at the ICC, and holding collaborative lectures for university students.

In fiscal year 2024, on October 31, KIT-AIST BIL and AIST's Multi-Materials Research Division collaborated to hold a symposium with the theme "The Future and Present of Circular Economy x High-Performance Materials," with ICC and HACM participating as sponsors.

### 4 FIP-MIRAI@ICC - Collaboration with Fraunhofer IGCV

FIP stands for "Fraunhofer Innovation Platform," a system in which the Fraunhofer Institute for Applied Research, Europe's largest and one of the world's leading applied research institutes, has set up joint R&D and commercialization centers in close cooperation with overseas universities and research institutes, combining their respective strengths to promote R&D and its commercialization. The IGCV is working on carbon fiber composite materials as one of its core R&D fields, and while searching for the optimal overseas partner for the FIP base, discussions with ICC were advanced, and the first FIP base in Japan, "FIP-MIRAI@ICC," was established at ICC in February 2025.

IGCV's pyrolysis technology, quality assurance of recycled products, and wet-laid process technology will be combined with ICC's application technologies, such as press processing and continuous double-belt press, as well as its testing capabilities, to promote R&D, technology transfer, and commercialization under the theme "Manufacturing and application technologies using recycled carbon fiber composite materials."

As part of the PR activities for the opening of the base in March 2025, the IGCV and ICC set up a joint booth at the Japan Pavilion at the JEC World 2025 exhibition to introduce the technologies that both parties possess and their future initiatives. Full-scale activities have just begun.



III 教育活動

Educational Activities

2012年より続く社会人向け複合材料分野の大学院特別講義は、2023年度より単位認定も可能とする大学規程に基づく運営に変更し、2024年度も理論中心の特別講義Ⅰ、成形実習中心の特別講義Ⅱの構成で行われた。大学院特別講義として学生の受講生と社会人が合同で受講する形式で相互に刺激と影響が生まれる良い環境となっている。

また、ICCは金沢工業大学における教育の一端を担うほか、先端材料技術協会 SAMPE Japanに協力し、同協会が主催する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事前にICCに集め、複合材料成形に関する講義と実習を行うなど、学外に向けた教育・普及活動にも貢献している。

なお、ブリッジコンテストでは、鶴澤研究室の学生を含む金沢工大チームが2023年度の国内大会で優勝し、2024年度に米国で行われた世界大会へ日本代表として出場した。そしてカテゴリーG (Open Design部門)で優勝を成し遂げたことも特筆されるニュースとなった。



会場で司会者から授与された賞状を手にする金沢工業大学大学院チーム  
(出典：金沢工業大学 Web サイト)

さらに、ICCでは複合材料への関心を高めることを目的として、石川県内の中高生を対象に、実演を交えた授業を開催している。今年度は、昨年度から回数を増やし、6校にて計8回実施し、約150名の学生に参加してもらった。さらに、昨年度に引き続き、ICCの技師が高校を訪問して授業を行う出張講義も実施し、約80名の学生に複合材料の魅力を伝えることができた。

そのほか、金沢工業大学の学生がリサーチアシスタントとしてICCの研究員や技師とともに政府系プロジェクトに参画する事や、産業技術総合研究所との共同開催によるカンファレンスなど複合材料に限らず、最先端の研究テーマに触れることができる機会を作っている。これらの取り組みを通じて、学生が実践的な研究経験を積み、将来の研究者・技術者としての成長を支援している。



小松高校生への授業



川端 茂 Shigeru Kawabata  
樋口 由美 Yumi Higuchi  
山本 一葉 Kazuha Yamamoto  
東 久美子 Kumiko Higashi

The graduate school special lectures in the field of composite materials for working professionals, initiated in 2012, have continued to evolve. As of 2023, these lectures have been conducted under university regulations that allow for credit recognition. In 2024, the lectures were held in two parts: Special Lecture I, which focused on theoretical foundations, and Special Lecture II, in which practical molding techniques were emphasized. These lectures provide a valuable environment for students and working professionals to learn together, fostering mutual engagement and exchanging ideas. In addition to contributing to education at Kanazawa Institute of Technology, the ICC collaborates with the Society for the Advancement of Material and Process Engineering (SAMPE), Japan. In preparation for the student bridge contest hosted by the society, the ICC hosts participating university teams from across Japan, offering lectures and hands-on training on composite material molding, contributing to educational and broader outreach beyond the university.

Notably, in the 2023 domestic bridge contest, the team representing the Kanazawa Institute of Technology, including students from the Uzawa Laboratory, won first place and represented Japan in the world competition held in the United States in 2024. They won Category G (Open Design) there, marking a significant achievement.

Furthermore, the ICC conducts demonstration-based classes for junior and senior high school students from the Ishikawa Prefecture to stimulate interest in composite materials. This year, the number of classes increased compared to the previous year, with eight sessions held at six schools, reaching approximately 150 students. Additionally, as in the last year, ICC engineers visited high schools to deliver lectures, successfully conveying the appeal of composite materials to approximately 80 students.

Students from the Kanazawa Institute of Technology also participate as research assistants in government-funded projects alongside ICC researchers and engineers. Moreover, the ICC co-hosts conferences with the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, exposing students to cutting-edge research themes beyond composite materials. By these initiatives, we support students in gaining practical research experience and developing as future researchers and engineers.



県立工業高校への出張授業

IV 令和 6 (2024) 年度の研究活動 Research Activities in Fiscal Year 2024

- 12 2024 年度の ICC の研究活動の概要 Overview of ICC research activities in FY2024  
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 車載用高圧水素タンクの軽量化・低コスト化への取り組み Approaches for reducing the weight and cost of high-pressure hydrogen vessels for vehicles  
鶴澤 所長 / 教授：K. Uzawa Director / Professor、中島 研究員：M. Nakajima Researcher
- 15 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 Development of an innovative high-rate manufacturing process for high-pressure hydrogen vessels  
鶴澤 所長 / 教授：K. Uzawa Director / Professor、西田 教授：H. Nishida Professor、石田・布谷 研究員：O. Ishida, K. Nunotani Researcher
- 16 分割プリフォーム／低圧 RTM プロセス用 REDOX 重合型樹脂の開発 Development of REDOX-polymerizing resins for split preform/low-pressure RTM process  
西田 教授：H. Nishida Professor、山下 研究員：H. Yamashita Researcher
- 17 ドーム / シリンダ分割プリフォームの作製手法の開発 Production process of split dome/cylinder preform  
石田 研究員：O. Ishida Researcher、乾・佐久間・岡村 技師：N. Inui, T. Sakuma, H. Okamura Engineer
- 18 LP-RTM による高速注入プロセスの実証 Development of high-rate injection by LP-RTM process  
布谷 研究員：K. Nunotani Researcher、佐久間・乾 技師：T. Sakuma, N. Inui Engineer
- 19 「環境適合型複合材料」川中産業創出プロジェクト（内閣府 地方大学・地域産業創生交付金事業）の概況 Overview of the project "The creation of new environmental composites for midstream industries" (grant project awarded by Cabinet Office for regional academic institutions and industries)  
小田切 教授：N. Odagiri Professor、山中 研究員：A. Yamanaka Researcher
- 20 植物繊維の機械的特性評価 Evaluation of the mechanical properties of plant fibers  
田中（宏）研究員：H. Tanaka Researcher、寺田・長橋 技師：M. Terada, A. Nagahashi Engineer、  
山中・布谷 研究員：A. Yamanaka, K. Nunotani Researcher、佐久間・乾 技師：T. Sakuma, N. Inui Engineer
- 21 稲わらコンボジットの引張特性評価 Evaluation of tensile properties of the rice-straw fiber reinforced plastics  
寺田 技師：M. Terada Engineer、田中（宏）研究員：H. Tanaka Researcher、長橋 技師：A. Nagahashi Engineer、  
山中・布谷 研究員：A. Yamanaka, K. Nunotani Researcher、佐久間・乾 技師：T. Sakuma, N. Inui Engineer
- 22 リグニン骨格メタクリレート樹脂の合成 Synthesis of methacrylic resin with lignin as the main backbone  
山中 研究員：A. Yamanaka Researcher、西田 教授：H. Nishida Professor
- 23 CFRP のサーキュラーエコノミーに関する調査および樹脂開発 Development of resins for carbon fiber reinforced plastics circular economy  
山下 研究員：H. Yamashita Researcher
- 24 熱可塑エポキシ樹脂の特徴と熱可塑パイプの内圧成形への適用 Characteristics of thermoplastic epoxy resin and its application to internal pressure molding of thermoplastic pipes  
西田 教授：H. Nishida Professor
- 26 リサイクル CF 不織布の速度制御下の圧縮による熱可塑性樹脂含浸プロセスの検討 Thermoplastic impregnation process of recycled carbon fiber nonwovens under velocity-controlled compression  
石田 研究員：O. Ishida Researcher、IPCO 北田：J.Kitada IPCO、布谷 研究員：K. Nunotani Researcher、惣川 技師：T. Sogawa Engineer
- 28 リサイクル CF 不織布における樹脂流動と含浸の特性評価 Characteristics of resin flow and impregnation in recycled CF non-woven fabrics  
布谷 研究員：K. Nunotani Researcher、乾・佐久間・織田 技師：N. Inui, T. Sakuma Engineer, S. Oda Engineer
- 30 不連続炭素繊維ランダム CFRP プレス成形中の複雑な材料流動挙動の解明 Investigation of complex flow phenomena in press molding of CTT material  
白井 研究員：T. Shirai Researcher
- 31 カットテープ積層配向間隔を変えたランダム CF RTP の機械特性評価と損傷挙動観察 Mechanical properties and damage behavior of carbon fiber tape-reinforced thermoplastic structure with different cut tape lamination orientation intervals  
森・白井 研究員：Y. Mori, T. Shirai Researcher
- 32 樹脂含浸流動性木材のプレス成形時の型内流動挙動 Flow characteristics of the resin-impregnated flowable wood during press molding  
吉藤 修士生：Y. Yoshifuji Master's Student、産総研 三木 総括研究主幹：T. Miki Principal Research Manager AIST、堀川 技師：M. Horikawa Engineer、  
鶴澤 所長 / 教授：K. Uzawa Director / Professor
- 33 オートクレーブによる CF RTP 成形の活用 Utilizing autoclave-based CF RTP molding  
植村・岡村・埜口・橋本 技師：K. Uemura, H. Okamura, S. Noguchi, K. Hashimoto Engineer
- 34 DCB 試験法による CF RTP 積層板のモードⅠ層間破壊靱性評価 ModeⅠ interlaminar fracture toughness evaluation of CF RTP laminates using the DCB test method  
織田・長橋・植村・佐久間 技師：S. Oda, A. Nagahashi, K. Uemura, T. Sakuma Engineer
- 35 令和 6（2024）年度の成果：Achievements in FY 2024
- 37 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  
＊アルケマ株式会社 ARKEMA K.K.  
＊（国研）産業技術総合研究所 The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology  
＊ディムシード株式会社 Dimseed Inc.  
＊株式会社大内海洋コンサルタント Ouchi Ocean Consultant, Inc.  
＊株式会社クラレ Kuraray Co., Ltd.



## 2024年度のICCの研究活動の概要

Overview of ICC research activities in FY2024



斉藤 義弘  
Yoshikazu Saito



鵜澤 潔  
Kiyoshi Uezawa

2024年度、金沢工業大学ICCは、持続可能な社会の構築に向けて、複合材料分野における環境負荷低減とデジタル技術による高度な製造プロセスを研究の柱とし、国内外の研究機関や地域企業との連携を通じて、多くの研究開発を推進した。

世界的な市場動向として、風力発電ブレードをはじめとする大量の廃棄FRPの処理問題が顕在化しており、今後適用拡大が進む高圧水素タンク、EVのバッテリーボックス等の自動車分野においてもリサイクルを前提とした製造プロセスや材料設計、さらにはバイオマス由来材料の活用が強く求められている。

また、複合材料の先端技術をけん引する航空機分野では、拡大する航空機需要に対応するための「生産性向上」と「低コスト製造プロセス」の確立が次世代航空機開発における重要課題となっている。さらに、新たな市場として注目されるUAM (Urban Air Mobility) / AAM (Advanced Air Mobility) 分野でも、軽量かつ高性能な複合材料の活用が不可欠であり、新たな製造プロセスの構築に加えて、オートメーション、ロボット技術、デジタル統合技術等の進展がその実現を支えている。

こうした背景のもと、2024年度ICCでは以下の重点的な取り組みを展開した。

### NEDO事業：高圧水素タンクの革新的ハイレート成形プロセスの開発

NEDO「水素利用等高度化先端技術開発」プロジェクトでは、水素社会の実現を目指し、非FW構造・分割プリフォームおよびREDOX硬化型樹脂を用いた高圧水素タンクの革新的な高速成形プロセスを開発した。4年間にわたる研究成果が集約され、熱可塑性REDOX樹脂をマトリクスとしたトウプリプレグと、REDOX硬化樹脂による超高速注入技術 (LP-RTM) の組み合わせにより、従来のフィラメントワインディング (FW) に比べ、成形時間を大幅に短縮することを実証した。これにより、次世代モビリティへの応用が期待される。来年度からは大型タンクでの実証フェーズでTRL6の達成を目標に開発を継続する。

### CCIMプロジェクト：環境適合型複合材料と製造プロセスの高度化

内閣府事業「環境適合型複合材料川中産業創出プロジェクト (CCIM)」では「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」を研究課題として2年目の活動を推進した。

天然由来材料の探索では稲わらの繊維化処理の検討および機械特性の把握等の基礎検討、木材由来のリグニンを原料としたメタクリレート樹脂の合成により熱硬化樹脂として機能する材料の開発等に取り組んだ。またBILとの連携による「木質流動技術」については県内企業との連携もスタートしており、地域資源である木材の高付加価値化と、持続可能な素材開発により複合材料の新たな領域の拡大となっている。地域産業創生の観点からも、今後さらに注力していく。

プレス成形技術の高度化に向けては、成形中の繊維配向や材料流動の変化をセンサーで計測し、シミュレーションとの整合性を高めることで、成形プロセスの最適化と高効率化を図っている。

In FY2024, the Innovative Composite Center (ICC) at Kanazawa Institute of Technology promoted a wide range of R&D initiatives focused on building a sustainable society. The core themes were reducing environmental impact in the field of composite materials and advancing manufacturing processes using digital technologies. These efforts were carried out in collaboration with both domestic and international research institutions and regional companies. Globally, the issue of waste FRP (Fiber Reinforced Plastics)—particularly from wind turbine blades—has become a serious concern. In automotive applications, where the use of high-pressure hydrogen tanks and EV battery enclosures is expanding, there is increasing demand for recyclable manufacturing processes, material designs, and biomass-based alternatives.

In aerospace, which leads in advanced composite technologies, key challenges include boosting productivity and lowering manufacturing costs to meet rising demand for aircraft and drive next-generation aircraft development. Similarly, in the emerging Urban Air Mobility (UAM) and Advanced Air Mobility (AAM) markets, lightweight, high-performance composites are essential. These advancements are driven by innovations in manufacturing, automation, robotics, and digital integration.

### NEDO Project: Innovative High-Speed Molding Process for High-Pressure Hydrogen Tanks

Under the NEDO "Advanced Hydrogen Utilization Technology Development" project, ICC developed an innovative high-rate molding process for high-pressure hydrogen tanks using non-FW/split preforms, and REDOX-curing resins. Over four years, the project demonstrated a significant reduction in molding time compared to traditional filament winding, combining thermoplastic REDOX tow prepregs with ultra-fast LP-RTM (Low Pressure Resin Transfer Molding) techniques. This breakthrough holds strong potential for next-generation mobility. Starting next fiscal year, the project will move into a demonstration phase with large tanks, targeting Technology Readiness Level 6 (TRL6).

### CCIM Project: Advancing Eco-Friendly Composites and Digital Manufacturing

In the second year of the Cabinet Office's "CCIM: Midstream Industry Creation Project for low environmental impact composite," ICC focused on two areas: developing low-impact composite materials and enhancing manufacturing processes with digital tools.

For natural materials, the team explored fiber extraction from rice straw and evaluated its mechanical properties. They also synthesized methacrylate resins using wood-derived lignin, creating a new thermosetting resin. In collaboration with BIL, ICC launched joint initiatives with local companies on "wood flow technology," aiming to increase the value of regional wood resources and expand sustainable material

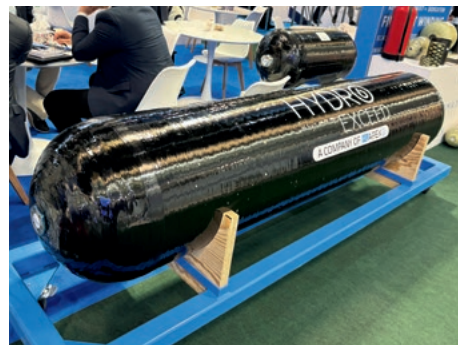
これによりデジタルツイン技術による成形プロセスの再現性と品質保証の向上が期待される。

本事業の最終的な目標である事業化については、CFRPより線、FRP筋の土木建築への適用が優先課題である石川県土木部とも連携し、能登の復興・復旧にも貢献する県内企業の技術を活用した技術実証を引き続き検討していく。

### その他の研究開発活動とグローバル展開への取り組み

これらのプロジェクトの他、研究活動としては、企業との個別共同研究やGo-tech等の補助金を活用した研究開発についても、本年度は約40件の取り組みを実施した。またメンバーシップ活動についても70名を超える登録があり、ICCをプラットフォームとした取り組みが活発に行われている。

こうした活発な研究活動が進む一方で、最大の課題は「事業化」であると言える。北米・欧州・中国を含む海外市場は拡大を続けているものの、国内では依然として新たな市場の創出が課題である。そのような状況の中、Fraunhofer IGCVとの連携によるFIP-MIRAI@ICCがスタートしたことは研究面にとどまらず、市場が活発な欧州との連携の窓口になるチャンスと言える。今後ICCが欧州と日本のGate-Wayの役割を果たし、ICCの活動範囲にとどまらず、All Japanの産学官連携の体制を構築することで日本の複合材料産業の活性化に貢献していきたく考えている。



Large high-pressure hydrogen tanks in global use (JEC World 2025)



International research on industrial hemp cultivation at InnoTech Alberta, Canada

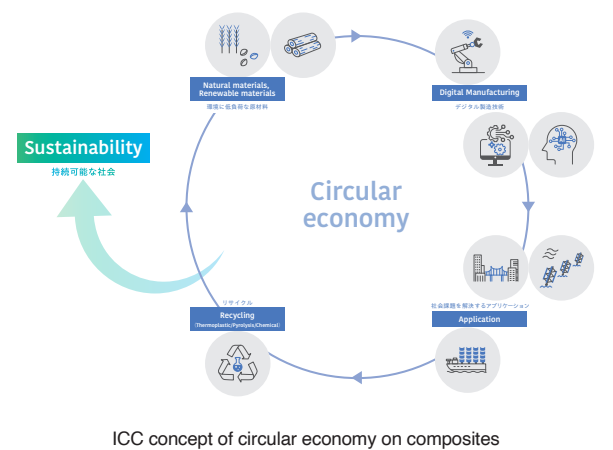
applications. These efforts will continue to support regional industrial development.

To improve press molding technology, ICC measured fiber orientation and material flow using sensors during molding and aligned this data with simulations. This is expected to enhance process efficiency and quality assurance using digital twin technologies.

Commercialization remains the project's ultimate goal, with priority on applying CFRP strand rod and FRP rebar in civil engineering and architecture. ICC is also working with the Ishikawa Prefecture Civil Engineering Department to explore technology demonstrations for Noto's reconstruction, using solutions from local companies.

### Other R&D and Global Outreach

In addition to these major projects, ICC carried out about 40 R&D initiatives this year, including joint research with companies and grant-supported projects such as Go-Tech. The ICC platform also saw active participation from over 70 registered members, indicating strong engagement. Despite this vibrant research activity, commercialization remains a key challenge. While overseas markets—particularly in North America, Europe, and China—continue to expand, generating new domestic demand is still difficult. Against this backdrop, the launch of FIP-MIRAI@ICC, in collaboration with Fraunhofer IGCV, represents a major opportunity. It not only enhances research collaboration but also creates a gateway to dynamic European markets. Moving forward, ICC aims to serve as a bridge between Europe and Japan, expanding its role beyond the university to build a national-level framework for collaboration among academia, industry, and government. Through this, ICC seeks to contribute to revitalizing Japan's composite materials industry.



ICC concept of circular economy on composites



車載用高圧水素タンクの軽量化・低コスト化への取り組み

Approaches for reducing the weight and cost of high-pressure hydrogen vessels for vehicles

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の「水素利用等高度化先端技術開発」において、ICCは (A) 非FW／分割プリフォームおよび新規樹脂 (REDOX 硬化型樹脂) 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 (2021-2024)、(B) マルチロードパス構造による連装型水素タンクモジュールの研究開発 (2022-2024) のプロジェクトへ参画した。両プロジェクトは、共に燃料電池自動車 (FCV: Fuel Cell Vehicle) の普及に不可欠な車載用高圧水素タンクの“軽量化・低コスト化”を目的として実施し、ICCは、主に製造・成形の技術開発をおこなった。

表1に、両プロジェクトにおける水素タンクの軽量化・低コスト化に対するアプローチ方法の比較を示す。ICCの役割は、(A) においては、樹脂システムと分割プリフォームおよび高速樹脂注入プロセスの開発と実証、(B) においては、内圧成形タンク用のドーム部の開発および製造である。ICCが主導的に実施した (A) の研究開発については、次項以下に詳細を説明する。



鵜澤 潔  
Kiyoshi Uzuwa



中島 正憲  
Masanori Nakajima

ICC has been engaged in two development projects funded by the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) in Japan: (A) development of an innovative high-rate manufacturing process for high-pressure hydrogen vessels using non-FW/split preform and REDOX polymerizing resins (2021–2024), and (B) research and development of a multi-tank module structure based on a multi-load path structure (2022–2024). The primary objective of both projects was to reduce the weight and cost of high-pressure hydrogen vessels intended for onboard applications, thereby promoting the widespread adoption of fuel cell vehicles (FCVs).

Table 1 lists the approaches adopted in both projects to reduce the weight and cost of high-pressure hydrogen vessels. The details of project (A), which was primarily developed by the ICC, are described in the following sections.

Table 1 Low-cost and Lightweight approaches for both projects

	(A) 革新的ハイレート製造プロセス Innovative process for high-rate manufacturing	(B) 連装型水素タンクモジュール Multi-tank module
目的 Purpose	高圧水素タンクの低コスト化と生産性向上の実現、および軽量化 Realization of low-cost and high-productivity and light-weight for high pressure hydrogen tanks	
コンセプト Concept	REDOX硬化型樹脂と分割プリフォームにより、1本あたりのタクトタイムを5min 以下を実現する革新的な製造法 Innovative manufacturing process using REDOX curable resin and split preforms to realize a tact time of less than 5 min per tank	圧力容器に作用する荷重の一部を軸力部材等で担うマルチロードパス構造による連装型タンクモジュール Multi-load path structure in which axial force members carry part of the load acting on the pressure vessel, and multi-tank module
キー技術 Key Technologies	・REDOX反応型の新規樹脂による、熱可塑トウプリプレグの高速生産 ・熱可塑トウプリプレグを用いた分割プリフォーム ・フィラメントワインディングを用いない ・熱硬化超速硬化 REDOX 樹脂を用いたLP-RTMによるコンソリデーション  ・High-speed production of thermoplastic tow prepregs using new REDOX-reactive resin ・Split preform using thermoplastic tow prepeg ・Non-FW (Filament Winding) ・Consolidation by LP-RTM using ultra-fast thermosetting REDOX resin	・連装型タンクモジュール ・タンクと軸力部材からなるマルチロードパス構造 ・チューブとリング状の軸力部材を適用 ・内圧成形法  ・Multi-tank module ・Multi-load path structure consisting of a tank and axial force members ・Tube and ring type axial force members ・Internal pressure molding process
連携体 Collaborator	金沢工業大学 ICC、東京農工大学、日本大学、ミズノテクニクス Kanazawa Institute of Technology ICC, Tokyo University of Agriculture and Technology, Nihon University, Mizuno Technics	東京農工大学、東京大学、日本大学、金沢工業大学 ICC、東京都立大学、名古屋大学ほか Tokyo University of Agriculture and Technology, University of Tokyo, Nihon University, Kanazawa Institute of Technology ICC, Tokyo Metropolitan University, Nagoya University, etc.

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

Development of an innovative high-rate manufacturing process for high-pressure hydrogen vessels

高圧水素タンクに対する将来ニーズの実現にむけて、「5分／ラインの生産性、質量貯蔵密度 7wt%以上の炭素繊維使用量削減と軽量化」を満足するタンクの実現を目標として、革新的ハイレート製造プロセスを提案した。

図1に示す提案プロセスの革新性は、REDOX重合を応用した熱可塑性樹脂をマトリクスとしたトウプリプレグ、および超高速硬化のREDOX硬化樹脂を用いる点である。具体的には、まず新規開発した熱可塑性樹脂と連続含浸装置を用いて、熱可塑性トウプリプレグを連続的かつ高速に製造する。次に、このトウプリプレグの高いハンドリング性および熱賦形性を有効活用し、UD (Uni-Directional) シート化したトウプリプレグをシートワインディング法によりタンクのシリンダ部を作製する。別に、チョップドテープ積層法によりタンクのドーム部を個別に作製する。続いて、作製されたシリンダとドームおよびライナにより分割プリフォームを組み立てる。最終的に、分割プリフォームは、LP-RTM (Low Pressure Resin Transfer Molding) により、新規開発したREDOX硬化樹脂を高速注入し、一体化される。本プロセスは、各工程間の連携と材料特性の最大活用により、従来にない生産効率および品質を実現するものである。本プロセスの実現に向け、(1) 分割プリフォーム／低圧RTMプロセス用REDOX重合型樹脂の開発、(2) ドーム／シリンダ分割プリフォームの作製手法の開発、(3) LP-RTMによる高速注入プロセスの開発 を実施した (次項以下を参照)。

本革新的ハイレート製造プロセスによるタンクは、シリンダとドームの組立部に継手構造を有している。製作した設計破壊圧25 MPaの2体の実証タンクは、水圧破壊試験において、23～26 MPaの範囲で継手が破壊せずに、シリンダが破壊した (表紙の左写真)。

以上により、革新的ハイレート製造プロセスを実証した。今後は、車載用大型タンクの実用生産技術への適用を目指して、研究開発を進める。



鵜澤 潔  
Kiyoshi Uzuwa



西田 裕文  
Atsufumi Nishida



石田 応輔  
Osuke Ishida



布谷 勝彦  
Katsuhiko Nanotani

An innovative high-rate manufacturing process for high-pressure hydrogen vessels was developed to address their future demand. This project aimed to fulfill the following requirements: a production cycle time of 5 min per manufacturing line, a gravimetric hydrogen storage capacity of at least 7 wt%, a reduction in carbon fiber usage, and an overall vessel-weight reduction.

The proposed process, which is illustrated in Figure 1, introduces two prepregs with a thermoplastic matrix cured via rapid redox polymerization. The continuous high-speed production of these prepregs was achieved using proprietary resin and impregnation equipment. By leveraging their handleability and thermal formability, the cylindrical section was manufactured through UD sheet winding, whereas the dome was formed by chopped-tape lamination. The assembled dome, cylinder, and liner constituted a split preform, which was then consolidated using high-rate LP-RTM using a REDOX-curable resin. This integrated approach enhances the efficiency and quality through the optimal synergy of materials and processes. This development is examined under three thematic focuses in the following section.

Two demonstration vessels incorporating joint structures at the dome–cylinder interface, which enabled the use of split preforms, were fabricated at a design fracture pressure of 25 MPa. Hydraulic testing revealed cylindrical failure in both specimens between 23 and 26 MPa, with no observed joint separation.

The proposed high-rate manufacturing process was successfully demonstrated, and future developments will include its application to large-scale high-pressure hydrogen vessels for automotive applications.

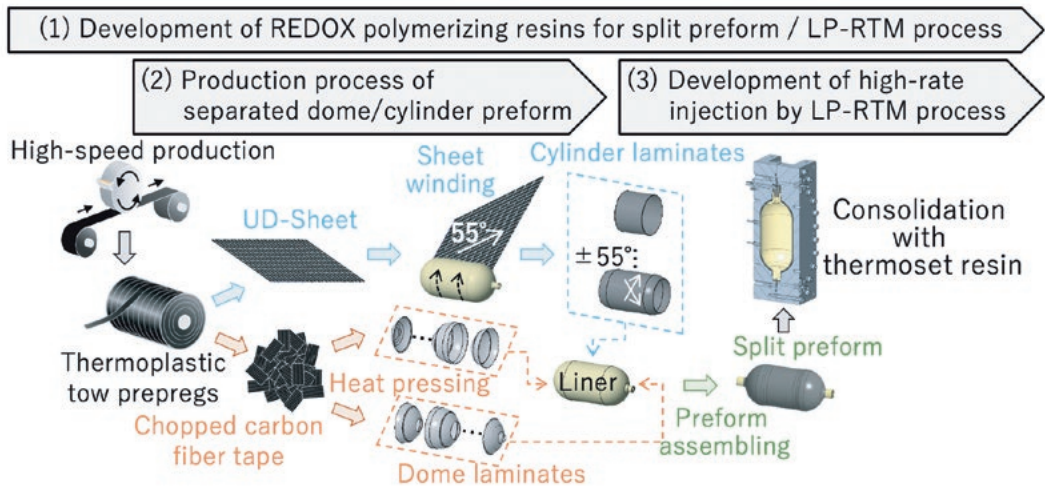


Figure 1 Steps in the proposed innovative process and themes for development



## 分割プリフォーム／ 低圧RTMプロセス用REDOX重合型樹脂の開発

Development of REDOX-polymerizing resins for split preform/  
low-pressure RTM process



本プロセスには、熱可塑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およびそのトウプリプレグで作製したプリフォームの隙間にLP-RTMで高速含浸でき、80℃レベルの低温加熱で2分以内に硬化が完了するRTM用樹脂が必要不可欠であるが、それらは従来のマトリックス樹脂であるエポキシ樹脂では決して実現不可能である。そこで、アクリル系樹脂のREDOX重合の利用を検討した。

トウプリプレグに使用する炭素繊維トウが薄いため、これに含浸させたラジカル重合性樹脂を空気中で重合させようとするとき酸素による重合阻害を受ける。そこでICCでは、図1に示す樹脂およびプロセスを考案した。すなわち、低粘度液状1官能アクリルモノマーと熱可塑性ポリマーのナノ粒子との混合物に複数のラジカル重合開始剤（UVラジカル開始剤＋REDOX重合開始剤）を添加した初期状態では、室温で低粘度液状で繊維に容易に含浸させることができ、100℃程度で加熱することにより、熱可塑性ポリマーナノ粒子が速やかにアクリルモノマーに溶解し、樹脂を増粘させる。その際、ごく表層部分ではモノマーの揮発によりポリマーリッチとなり、タックフリーに近い表面を形成することができる。その後のUV照射により、内部が重合していないものの、表面が完全にタックフリーとなり速やかに巻き取れる。内部は完全に酸素から遮断されるため、保管中にREDOXラジカル重合が進行し、樹脂全体に渡り重合を完結させることができる。この仕組みにより20 m/分の製造速度を達成した。

このトウプリプレグの形状保持性を利用して、バンドル（繊維束）内には既に樹脂含浸を終えているプリフォームを作製した後、プリプレグ同士の隙間にRTM用樹脂を低圧注入する際、両者の樹脂の界面で相溶するよう設計してあるため、熔融一体化して最終的にシームレスなFRP製品が製造できる。RTM用樹脂は、初期粘度が50 mP・s@21℃で、50分も可使時間が確保でき、80℃では1-2分で硬化を完了できる。

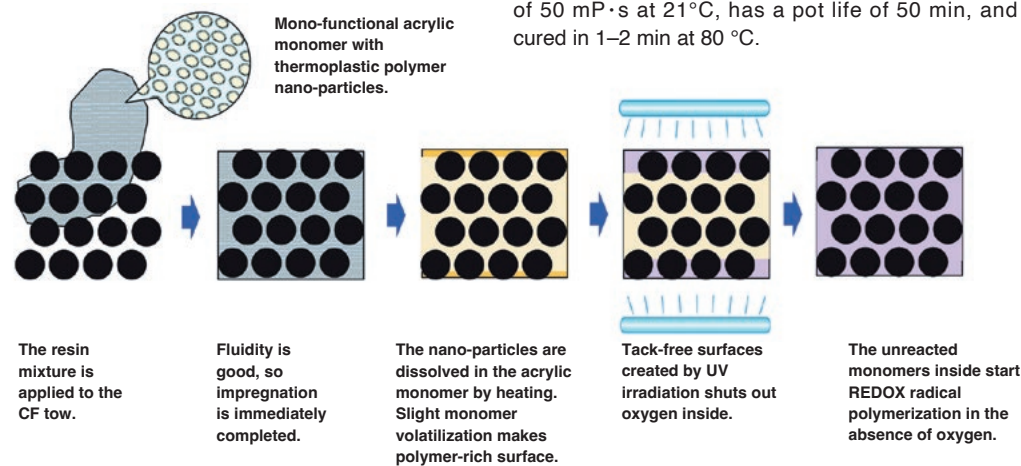


Figure 1 Mechanism for rapid production of thermoplastic tow prepreg in the air using radical polymerization

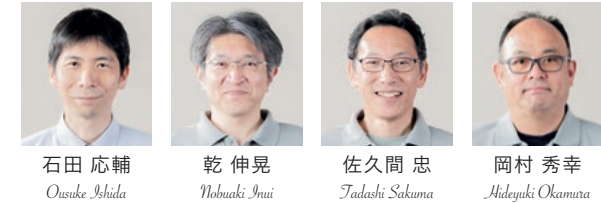
This process requires a matrix resin that can rapidly produce thermoplastic tow prepregs and an RTM resin that can rapidly impregnate the gaps of the preforms made from the tow prepregs. The low-temperature RTM process allows for curing within 2 min by low-temperature heating at 80℃. This is impossible to achieve with conventional matrix resins, such as epoxy resins. Therefore, we considered polymerizing acrylic resins using REDOX.

Because the carbon fiber tows used in the tow prepregs are thin, if the impregnated radical polymerizable resin is polymerized in air, it is inhibited by oxygen. Therefore, the ICC devised the resin; the process is shown in Figure 1. In other words, in the initial state, when multiple radical polymerization initiators (UV radical initiator + REDOX polymerization initiator) are added to a mixture of a low-viscosity liquid monofunctional acrylic monomer and thermoplastic polymer nanoparticles, the low-viscosity liquid can be easily impregnated into the fibers at room temperature. By heating to ~100℃, the thermoplastic polymer nanoparticles quickly dissolve in the acrylic monomer and thicken the resin. At that time, the surface becomes polymer-rich owing to monomer evaporation, forming a surface that was nearly tack-free. Subsequent UV irradiation makes the surface completely tack-free, and although the interior is not polymerized, it can be quickly wound up. Because the inside is completely blocked from oxygen, REDOX radical polymerization progresses during storage, and polymerization can be completed throughout the resin. This mechanism achieves a production speed of 20 m/min.

Taking advantage of the shape retention of this tow prepreg, a preform that has already been impregnated with resin is produced in the bundle. When the RTM resin is injected at low pressure into the gaps between the prepregs, the two resins at the interface melt and integrate to produce a seamless FRP product. The RTM resin has an initial viscosity of 50 mP・s at 21℃, has a pot life of 50 min, and can be cured in 1–2 min at 80℃.

## ドーム／シリンダ分割プリフォームの作製手法の開発

Production process of split dome/cylinder preform



本事業で開発した熱可塑性トウプリプレグを使用して、ドーム部とシリンダ部を分割したプリフォームを作製する手法を開発した。まず、内圧によって生じる外殻のフープと軸方向の荷重比を考慮してトウプリプレグ積層配向を以下のように決定した。半球形状のドーム部については±45°積層を基本構成として、トウプリプレグを一定長に切断したカットテープを適用することで曲面への追従性と積層均一性を確保した。そして、シリンダ部は±55°配向でトウプリプレグを積層して、そのトウプリプレグをドーム側へ延長したときの軌跡の最大高さ範囲をドーム／シリンダの継手部とした。継手部ではドーム／シリンダのトウプリプレグ層を交互に多段積層する構造で接合面積を増やすことにより接合強度の向上を図った。以上の積層構成のイメージを図1に示す。

続いて、上記の積層仕様に従って実証タンク向けのプリフォーム製造プロセスを検討した。まず、自動積層装置を使用して予め設計した位置と角度にカットテープをシート状に積層した後に、プリフォーム型を用いて加熱賦形することで2plyのドーム部プリフォームを必要な数だけ作製した（図3上段）。次に、アルミライナのシリンダ部にトウプリプレグ配列シートを巻き付けて2ply分を固定した（図3下段）。そこにドーム部プリフォームをタンク両端に被せると、そのラップ長は図1で示したように約20 mmとなる。この組立プロセスを図2のように交互に繰り返すことで、多段継手構造を有するタンクプリフォームを作製することができた。

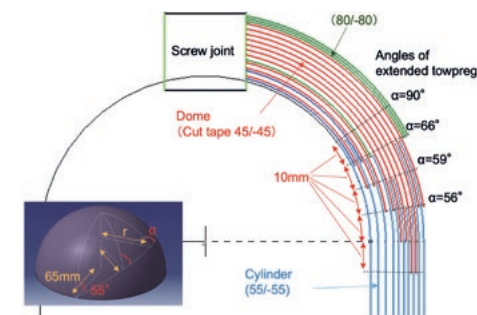


Figure 1 Joint structure of dome and cylinder (cross-section)

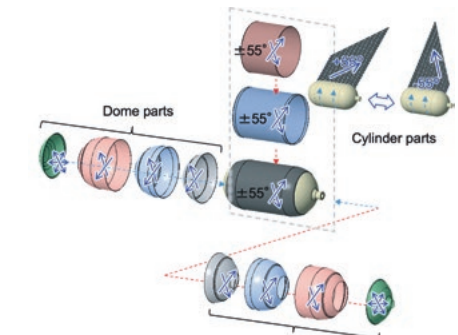


Figure 2 Assembling process using cylinder and dome parts

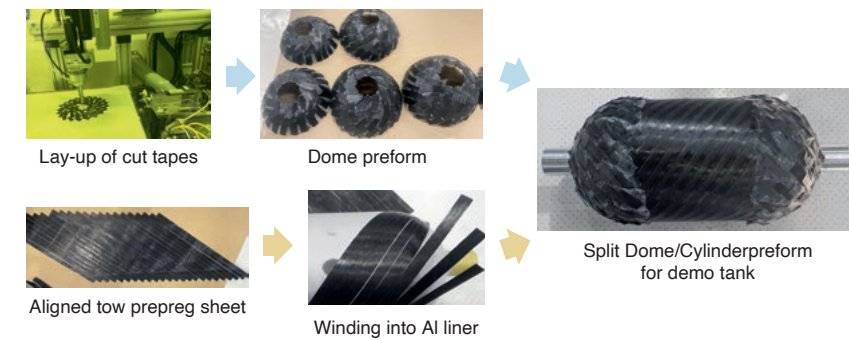


Figure 3 Preform process for a demonstration vessel



## LP-RTMによる高速注入プロセスの実証

Development of high-rate injection by LP-RTM process

革新的なハイレート製造プロセスにおけるLP-RTM (Low Pressure Resin Transfer Molding) による樹脂注入は、熱可塑性トウプリプレグで構成される分割プリフォームに熱硬化性樹脂を注入および加圧し、最終的にタンクとして成形する工程である。本工程において、ドームおよびシリンダの各プリフォーム内のトウプリプレグ間ならびにドーム／シリンダの継手構造は、樹脂充填と硬化過程を通じて、一体化(コンソリデーション)されることにより、FRPとして完成する。

図1に、(A)ドライ繊維基材による従来のRTMと(B)提案する熱可塑性トウプリプレグを用いたRTMの概念図を示す。(A)では、プリフォーム内の樹脂流動は、層間や繊維束間を主に流動し、同時に繊維束内へ含浸する。(B)では、既に繊維束内へ熱可塑性樹脂が含まれているため、トウプリプレグの層間や繊維束間のみに樹脂を流動させればよい。よって、充填樹脂量が少ないため、高速注入が可能である。さらに、繊維束内にポイドが生じるリスクがない。

図2は、高速LP-RTMの実証成形に使用した金型を示す。この金型は、大流量で樹脂充填するための流路設計が施されている。この金型内に分割プリフォームを収め、密閉後に型内を真空状態にしたうえで、新規に開発された熱硬化性樹脂を0.4 MPa以下の低圧で注入した。低粘度エポキシ樹脂を用いた従来のVaRTM (Vacuum assisted Resin Transfer Molding) の成形において、樹脂の充填時間は約13分を要し、その際の平均流量は約31 g/分であった。なお、VaRTMにおいても、同じ金型と分割プリフォームを使用している。一方で、高速LP-RTMの樹脂充填時間は約20秒と圧倒的に短く、平均流量は1,200 g/分と大幅に増加している。また、高速LP-RTMによる樹脂注入においても、外観・品質ともに良好な結果が得られた(図3、および表紙参照)。

以上の結果から、革新的なハイレート製造プロセスにおけるLP-RTM技術を用いた樹脂注入は、極めて高速に充填可能であることが実証された。

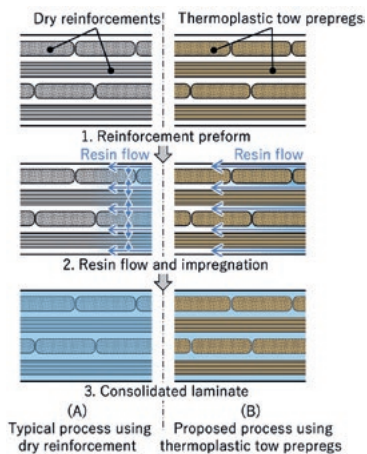


Figure 1 Schematic diagrams of RTM process

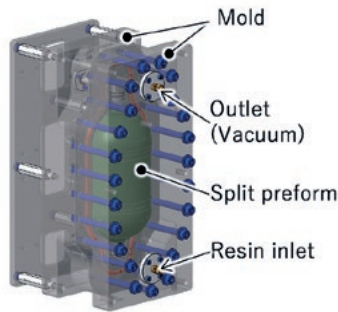


Figure 2 Schematic diagram of molding



Figure 3 Tank after consolidation by LP-RTM (Molded tank)



布谷 勝彦  
Katsuhiko Nunotani



佐久間 忠  
Tadashi Sakuma



乾 伸晃  
Nobuaki Inui

Low-pressure resin transfer molding (LP-RTM) is an innovative high-rate manufacturing process, in which a thermoset resin is injected and pressure-filled into a split preform consisting of a thermoplastic prepreg. Using this process, split preforms were consolidated between tow preregs and the joint structure of a dome/cylinder, and CFRP was molded.

Figure 1 shows schematics of (A) a typical process using dry reinforcement and (B) the proposed process using thermoplastic tow preregs. In (A), the resin flow in the preform is mainly between the layers and fiber bundles, while it is simultaneously impregnated into the fiber bundles. In (B), the thermoplastic resin has already been impregnated into the fiber bundles; therefore, the resin only needs to flow between the layers and tows of the tow prepreg. Therefore, high-rate injection is possible because a minimal amount of filling resin is used. In addition, there is no risk of voids in the fiber bundles. Figure 2 shows the mold used to demonstrate high-rate LP-RTM. The mold was designed with flow channels for resin filling at high flow rates. The split preform was placed in this mold, and after closing the mold and obtaining a vacuum, the developed thermoset resin was injected at a pressure of less than 0.4 MPa. The resin filling time was approximately 20 s at an average flow rate of approximately 1,200g/min. In comparison, conventional vacuum-assisted resin transfer molding (VaRTM) with low-viscosity epoxy resin requires approximately 13 min, with an average flow rate of approximately 31 g/min. The same mold and split preforms were used in VaRTM. In addition, the high-speed LP-RTM demonstrator vessel showed good results in terms of both appearance and quality (see Figure 3 and the cover photograph). These results demonstrated that resin injection using LP-RTM in an innovative, high-rate manufacturing process enables extremely fast filling.

## 「環境適合型複合材料」川中産業創出プロジェクト (内閣府 地方大学・地域産業創生交付金事業) の概況

Overview of the project "The creation of new environmental composites for midstream industries" (grant project awarded by Cabinet Office for regional academic institutions and industries)



小田切 信之  
Nobuyuki Odagiri



山中 淳彦  
Atsuhiko Yamanaka

繊維強化複合材料は軽量・高強度・高弾性率材料として実用化されてきたが、近年はさらに環境負荷低減が望まれている。このような背景のもと、石川県が提案した「環境適合型複合材料川中産業創出プロジェクト」が地方大学・地域産業創生交付金事業として内閣府に採択され、2023年度より活動を開始した。本プロジェクトが目指すのは、資源循環を実現する環境適合型複合材料を創出し、産業化に向けて金沢工業大学を核として、石川県内川中企業クラスター化の協業体制を中心に、川上企業と川下企業をつなぐ強靱なサプライチェーンを構築し、雇用創出することにある。同時に金沢工業大学としては、専門人材育成・供給の高度化に取り組む。

2023年度にICCとの連携強化を目指してICC内に発足した産総研の研究拠点BIL (Bridge Innovation Laboratory) における研究分野(天然素材活用)にも本プロジェクトとのシナジー領域が広がってきた。さらに2025年2月、欧州との技術連携・事業化展開を図るためドイツ国立研究機関であるFraunhofer IGCV と連携し、リサイクル炭素繊維の活用技術を事業化するイノベーション拠点(FIP-MIRAI@ICC)をICC内に設置した。BILとともに本プロジェクト課題を共有し、有機的な運営を行う。

天然素材を用いた環境適合型複合材料の開発においては、Flax, Hempといった植物繊維を強化繊維とするLCM (Liquid Composite Molding) に関する成形性の定量評価手法を構築し、そのための装置設計を行った。一方で、既存植物繊維並びに稲わらなど新規素材の繊維化と、これらを強化繊維とする複合材料の力学物性の比較評価を行った。

また、環境負荷低減プレス成形技術開発においては、実際のプレス成形挙動に対する成形シミュレーションモデルの適合性を向上させてプロセス最適化の効率化を図るために、成形材料の繊維配向、プレス成形中の複雑な材料流動変化のセンサ計測、シミュレーションとプレス成形のプロセスデータの比較検証、およびプレス成形機外部制御のためのデータ取得方法の検討を行った。

さらにこれらの成果を自動車用内装材やバッテリーカバーに適用、耐震補強やFRP筋など社会インフラ分野への適用可能性に取り組んだ。

In recent years, the demand to reduce the environmental impact of composite materials has been increasing. In response, a project on "The creation of new environmental composites for midstream industries" was awarded to Ishikawa Prefecture by Cabinet Office as a grant project for regional academic institutions and industries. Launched in 2023, this project aims to produce environmentally friendly composite materials that realize a circular economy. The goal is also to industrialize these materials by building a strong supply chain that connects upstream and downstream companies, centered on a collaborative system of midstream enterprise clusters in Ishikawa Prefecture, with the Kanazawa Institute of Technology at the core.

In 2023, to strengthen collaboration with ICC, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) launched Bridge Innovation Laboratory (BIL) within ICC. Synergies have also begun to emerge with their research field (utilization of wood-based natural materials). Furthermore, in February 2025, to promote technological collaboration and commercialization with Europe, an innovation platform (FIP-MIRAI@ICC) was established within the ICC to commercialize recycled-carbon-fiber technology in collaboration with Fraunhofer IGCV, a German national research institute.

To develop bio-based composites with low environmental impact, methods for evaluating liquid composite molding using natural fibers such as flax or hemp as reinforcements were developed, and a measurement device was designed. To design an optimal molding process with low environmental impact, it is required to improve the compatibility between simulated molding and actual molding. For this purpose, fiber orientations in FRPs were measured and the material flow during the press-molding process was monitored using a sensor.

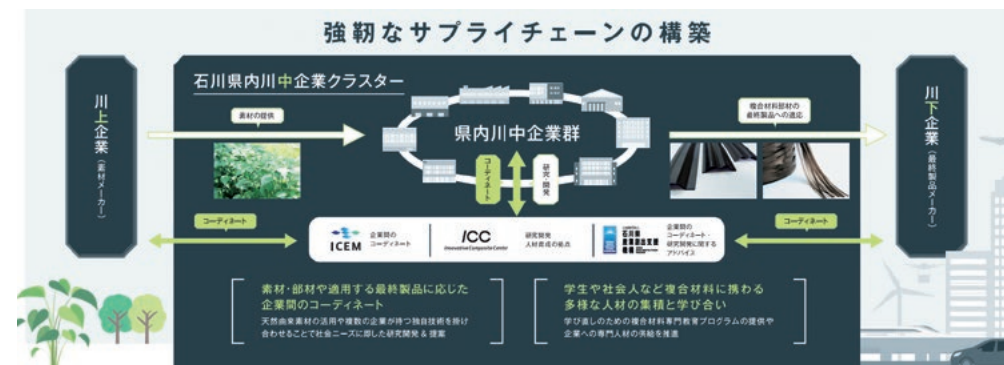


Figure 1 Strong supply chain connecting upstream and downstream industries in this project



## 植物繊維の機械的特性評価

Evaluation of the mechanical properties of plant fibers

近年、環境負荷低減への関心から、ガラス繊維に代わる持続可能な強化材として、Kenaf、Jute、Flax、Hempなどの植物繊維の利用が注目され、研究・開発が進められている。しかし、植物繊維は、原料植物の種類、栽培環境、加工方法やプロセスなどにより物性が大きく異なる。このため、信頼性の高い材料設計の実現には、植物繊維の種類ごとに機械的特性を正確に把握したうえで体系的に整理し、目的に応じて最適な繊維を選定することが重要である。

植物繊維の機械的特性評価法としては単繊維引張試験が用いられる。また、植物繊維は断面形状および断面積の不均一性が高く中空構造を有する場合もあることから、繊維の強度や剛性の評価には、引張荷重を織度（線密度）で除した値とひずみとの関係を示す線図の解析が一般的に用いられる。しかしながら、植物繊維は単繊維長が比較的小さいため、織度算出に必要な繊維重量の高精度な測定が困難であるという課題がある。

そこで本研究では、X線CT画像の解析から、植物繊維の断面積を直接かつ高精度で計測し、ASTM D3379(1989)に基づき応力を算出する手法を採用する。まず初めに、水流処理により採取した稲わら繊維の機械的特性を評価した。図1に引張試験片の概要、図2にX線CT画像解析による繊維断面積計測の過程を示す。この結果、稲わら繊維の引張弾性率が約7.4 GPa、引張強度が約67 MPaであることを確認した。図3に稲わら繊維およびその他の植物繊維の機械的特性（文献値）の比較を示す。これにより、稲わら繊維の機械的特性はCotton、Kenafとは同等であるものの、Flax、Hempと比較した場合、弾性率、強度ともに劣る位置づけとなる。今後は、他の植物単繊維についても評価を実施し、様々な植物繊維について機械的特性の体系的な整理と蓄積を行うことを目的に検討を進める。

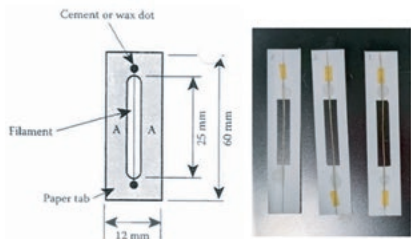


Figure 1 Single-fiber tensile test specimen

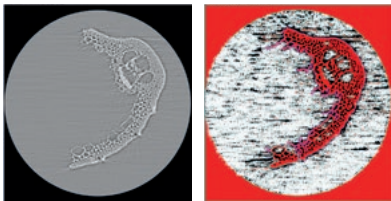


Figure 2 Analysis of X-ray CT images



With increasing global interest in reducing environmental impacts, plant fibers such as kenaf, jute, flax, and hemp have gained attention as sustainable alternatives to conventional reinforcements like glass fibers in composites. These plant fibers help lower carbon emissions, offer favorable mechanical properties, and are lightweight, making them promising for eco-friendly composites. As a result, significant research and development efforts are focused on plant fibers.

The physical properties of plant fibers vary greatly depending on factors such as species, cultivation conditions, and processing methods. Therefore, accurate understanding and systematic organization of their mechanical properties are essential for reliable material design and appropriate fiber selection.

In addition, since plant fibers often exhibit significant irregularities in cross-sectional shape and area, and may also possess hollow structures, their strength and stiffness are typically evaluated by analyzing plots of tensile force divided by linear density (tex) versus strain. However, precisely measuring fiber weight is difficult because of short fiber length, complicating linear density estimation.

In this study, we used X-ray computed tomography (CT) microscopy and image analysis to directly measure fiber cross-sectional area. Stress was then calculated following ASTM D3379 (1989). We first applied this method to rice straw fibers extracted via a water-flow treatment process. Figure 1 shows the tensile test specimen setup, and Figure 2 illustrates CT-based cross-sectional area measurement.

Rice straw fibers showed a tensile modulus and strength of approximately 7.4 GPa and 67 MPa, respectively. Figure 3 compares these values to those of other plant fibers (from literature). Rice straw fibers are comparable to cotton and kenaf, but inferior to flax and hemp in both modulus and strength. Other single plant fibers will be evaluated in the future to systematically compile data on their mechanical properties.

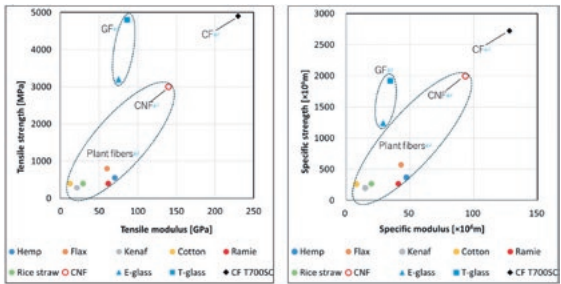


Figure 3 Mechanical properties of plant fibers

## 稲わらコンポジットの引張特性評価

Evaluation of the tensile properties of rice-straw fiber reinforced plastics

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注目されている。ヨーロッパではすでにHempやFlaxの利用が拡大しつつあるものの、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稲わらに着目し、稲わらコンポジットの試作と引張特性の評価を実施した。

図1には引張試験の検体を示した。図1に示す試験片の強化材は、(a)手で裂いた稲わらと、(b)高圧噴流により細く裂いた稲わらである。表1には、上述の (a) と (b) に加えて、Flaxコンポジット、さらにはこれらの母材であるエポキシ樹脂のみからなる試験片における繊維含有量と引張特性を示した。表1より、稲わらの配合による引張弾性率の向上が認められた。一方、稲わらコンポジットの引張強度はエポキシ樹脂と同程度であった。また、(b)と比較して (a) の引張特性が高く、今回適用した条件では繊維径を細くしたことに伴う効果は認められなかった。これは、繊維に水を噴射した際に生じたうねりの影響と見られる。Flaxコンポジットは稲わらコンポジットと比較して高い引張特性を示した。

以上より、稲わらとエポキシとの複合化により材料の引張弾性率が向上することが確認されたが、手や水流で裂くだけでは強化材としての要求を満たさないことが判った。

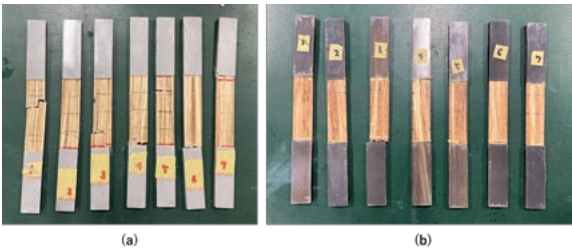


Figure 1 Specimen of rice straw composites; split (a) by hands (b) using a high-pressure water flow.

Tale 1 Fiber weight fraction and tensile properties of the specimens.

Sample Name	Wf	Average Tensile Strength (MPa)	Average Tensile modulus (GPa)
Rice Straw Composite (a)	26%	86	8.9
Rice Straw Composite (b)	25%	67	7.4
Flax Composite	32%	190	13.8
Epoxy Resin	0%	70	2.6



Compared to conventional glass and carbon fibers, plant-based materials are attracting considerable attention as eco-friendly reinforcement materials. Despite the increasing use of hemp and flax in Europe, they need to be imported from foreign countries. Therefore, ICC focused on rice-straw—an agricultural waste that is easily available from domestic resources. We prepared prototyped rice-straw fiber reinforced plastics (RSFRP) and evaluated their tensile properties.

Figure 1 shows the RSFRP specimens used for the tensile testing. The specimens shown in Figures 1(a) and (b) contain rice-straw torn manually and with a high-pressure washer. Table 1 lists the fiber content and tensile properties of flax fiber reinforced plastics (FFRP) and epoxy resin—their base material—along with the RSFRP. As evident from Table 1, the RSFRP exhibited higher tensile modulus than that of epoxy resin. By contrast, those tensile strength was comparable to that of epoxy resin. The hand-torn rice-straw outperformed water-separated rice-straw in terms of contribution to tensile properties of the composites. In other words, reducing the fiber diameter did not have the favorable effect under the conditions applied in this study. This will be attributed to the undulations induced when water was sprayed onto the rice-straw. The FFRP exhibited higher tensile properties than the both RSFRPs.

The above results confirm that the addition of rice-straw enhances the tensile modulus of the composite; however, both the manual and water-stream split rice-straw failed to satisfy the requirements for a reinforcing material.



## リグニン骨格メタクリレート樹脂の合成

Synthesis of methacrylic resin with lignin as the main backbone

近年、バイオベース樹脂は環境適合型材料として注目されている。特にリグニンは芳香族を主骨格にもつ高分子であり、優れた耐熱性や機械特性が期待される。ICCではリグニンを主骨格とするメタクリレート樹脂を、グリコールリグニンを出発原料として合成した。合成にあたっては、図1に示すようなグリコールリグニンとメチルメタクリレートによるエステル交換を利用した。このとき、溶媒にはジメチルホルムアミド(DMF)を、触媒としては塩化リチウムと酸化カルシウムを、重合禁止剤にはメトキシフェノールを用いた。反応条件は70 °Cで5時間、90 °Cで5時間、さらに110 °Cで5時間とした。得られたグリコールリグニンのメタクリレート化合物は、ラジカル重合により図2に示すような架橋が起こり、硬化させることができるものと考えられる。実際にパーオキシサイドを添加して加熱すると、いかなる溶剤にも不溶となり熱硬化性樹脂として機能することが確認できた。

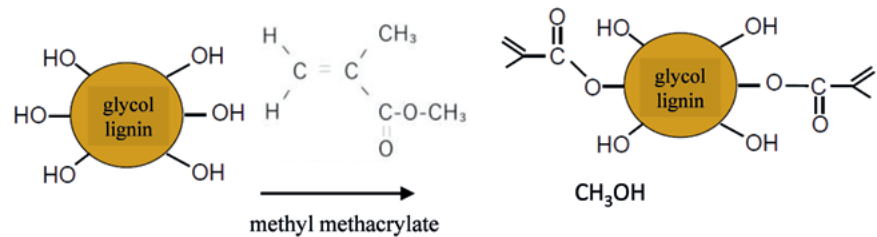


Figure 1 Schematic diagram of the methacrylation of glycol lignin by transesterification.

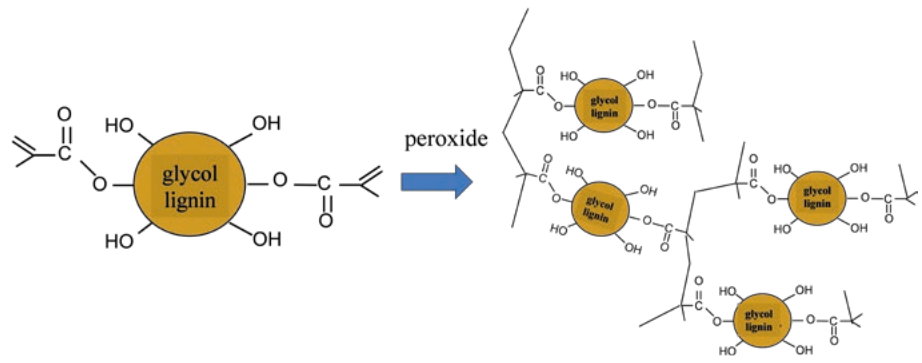


Figure 2 Schematic diagram of the radical polymerization of glycol lignin methacrylate.

山中 淳彦  
Atsuhiko Yamanaka西田裕文  
Hirofumi Nishida

In recent years, bio-based resins have been attracting attention as environmentally friendly materials. Lignin is a polymer with an aromatic backbone, and is expected to have excellent heat resistance and mechanical properties. In ICC, we synthesized a methacrylic resin with lignin as the main backbone, using glycol lignin as the starting material. Glycol lignin and methyl methacrylate were mixed in dimethylformamide (DMF) as a solvent, with lithium chloride and calcium oxide as catalysts and methoxyphenol as an inhibitor, and the mixture was stirred at 70 °C for 5 h, 90 °C for 5 h, and then 110 °C for 5 h to promote transesterification as shown in Figure 1. The methacrylate of glycol lignin thus obtained is expected to be crosslinked by radical polymerization to harden as shown in Figure 2. The resin was confirmed to function as a thermosetting resin by becoming insoluble in any solvents when peroxide was actually added and heated.

## CFRPのサーキュラーエコノミーに関する調査および樹脂開発

Development of resins for carbon fiber reinforced plastics circular economy

今後、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)の使用量がますます増加することが予想されている一方で、耐用年数が経過した後の大量廃棄が問題となっている。この問題を解決するためにCFRPから繊維と樹脂を回収し、再利用するサーキュラーエコノミーに注目が集まっている。そこで、サーキュラーエコノミーに適した樹脂について調査し、樹脂の設計を行った。

FRPから樹脂を回収・再利用することが可能な樹脂に関する調査結果をまとめたので表1に示す。過酢酸法やビスマレイミド樹脂およびRecyclamineは温和な条件で樹脂をオリゴマー化し、樹脂を回収することができるが、オリゴマー化しているためCFRPとして再利用することはできない。Eliumは解重合によって樹脂がモノマーに分解し、回収することが可能である。しかし、解重合には高温が必要かつモノマーを精製する必要がある。そこで注目したのがビトリマー樹脂である。ビトリマーは架橋点に動的共有結合(図1(a))を有しており、溶媒中で加熱すると溶媒と交換反応が発生し、低分子量化することで樹脂を回収する手法である(図1(b))。回収した樹脂は加熱することで再重合し、再度CFRPのマトリックス樹脂として使用可能である(図2)。本研究では、エステル結合を動的共有結合とし、エステル交換反応を用いたビトリマー樹脂の開発を進めている。

Table 1 Survey results on methods for recovering and reusing resin from an FRP.

Title	Method	Pros	Cons
<b>Peracetic acid</b>	Decomposition and recovery of epoxy resin using a mixed aqueous solution of acetic acid and hydrogen peroxide (Peracetic acid).	Decomposition is possible under mild conditions (65 °C and 4 h)	Recovered epoxy resin has a low molecular weight and cannot be used as a matrix.
<b>Vitrimer resin (Transesterification)</b>	The resin and fibers can be separated and recovered using a vitrimer resin that has dynamic covalent bonds at cross-linking points.	A recovered resin can be repolymerized and used as a matrix resin. There are many	High temperatures can be required to achieve decomposition.
<b>Bismaleimide resin</b>	C-C or C-N bonds are cut using bismaleimide as a crosslinking point, followed by oligomerization.	Can be decomposed by heating at atmospheric pressure in a non-catalytic environment	Difficult to reuse alone because it becomes oligomerized.
<b>Elium (Arkema Co.)</b>	In situ polymerized thermoplastic resin (Acrylic resin). Depolymerization occurs when heated and can be converted into monomers.	Can be recovered as a monomer	High temperatures are required for depolymerization (350–400 °C)
<b>Recyclamine (Aditya Birla Co.)</b>	Epoxy resin with bonds that decompose with acid. The cross-linking points are cut by acid + water, which converts it into a thermoplastic resin.	Mild temperature conditions for decomposition	Handling is dangerous because acid is used. Applications for the decomposed resin are limited.

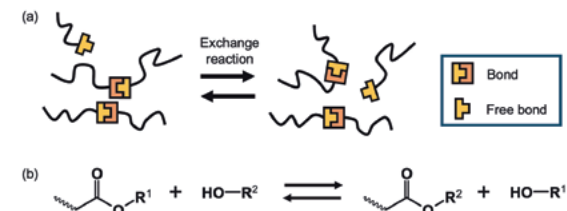


Figure 1  
(a) Image of dynamic covalent bonds in the vitrimer and  
(b) schematic of a transesterification reaction

山下 博  
Hiroshi Yamashita

The large-scale disposal of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) after their expiry is a significant concern given the expected increase in their use. To address this issue, a circular economy, which involves the recovery and reuse of fibers and resins from CFRP, has gained considerable attention. We investigate resins suitable for circular economy and design a suitable resin.

Table 1 presents the results of a survey of resins that can be recovered from fiber reinforced plastic (FRP) and reused. In the peracetic acid method, bismaleimide resin and Recyclamine decompose the resin into oligomers under mild conditions; however, the resin cannot be reused as CFRP because it is oligomerized. Elium can be decomposed into monomers by depolymerization and recovered; however, depolymerization requires high temperatures, and the monomers must be purified. Vitrimeres are resins with dynamic covalent bonds at their crosslinking points (Figure 1(a)). An exchange reaction occurs when heated in a solvent, and this results in the recovery of a low molecular weight resin (Figure 1(b)). The recovered resin can be repolymerized by heating and reused as a matrix resin for CFRP (Figure 2). In this study, we develop a vitrimer resin using dynamic covalent ester bonding and an ester exchange reaction.

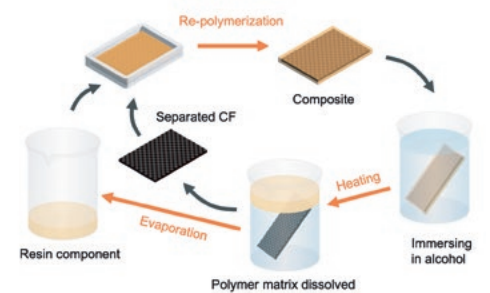


Figure 2 Schematic of a CFRP circular economy



## 熱可塑エポキシ樹脂の特徴と熱可塑パイプの内圧成形への適用

Characteristics of thermoplastic epoxy resin and its application to internal pressure molding of thermoplastic pipes



西田 裕文  
Akiofumi Nishida

ICCでは現場重合型熱可塑性樹脂の一種である「熱可塑エポキシ樹脂(図1参照)」の研究開発を進めてきた。この樹脂の重合により得られるポリマーは非晶質であり、融点は持たないが、ガラス転移温度( $T_g$ )を超えると軟化点を示す。ビスフェノールA型の場合、最終的に生成されるポリマーの $T_g$ は100℃である。軟化点を超える温度に加熱すると熔融状態となり、この相転移は可逆的に起こる。

この樹脂の長所は、優れた靱性、現場重合性、熱成形性、リサイクル性、高接着性などである。熱可塑エポキシ樹脂の直鎖重合は逐次重合機構によって進行し、図2のように便宜上4段階に定義したどの重合段階でも一時停止することができる。それぞれの段階の樹脂は特有のレオロジー特性を有するため、幅広い成形方法への適用を可能にしている。無論それらの樹脂は再加熱により重合を再開し、実用強度を有する高分子へと変換できる。

今回の熱可塑エポキシ樹脂の応用例として、パイプ形状の連続繊維強化熱可塑性複合材料の内圧成形を試みた。一般的に熱硬化性樹脂プリプレグを用いた成形においては、バルーンを積層中空部に挿入し、空気圧を加える内圧成形法が従来より適用されている。この内圧成形法は、パイプ等の中空形状を有する熱硬化性複合材料の成形に適している。しかし、熱可塑性樹脂を含浸させたプリプレグは、熱可塑性樹脂の熔融粘度が高すぎるため、内圧成形の最大空気圧である2 MPaでも圧密化が達成できないという課題がある。そこで、意図的に熱可塑エポキシ樹脂の重合を停止させ、重合度を抑えた樹脂粘度の低いトウプリプレグを用いることで、この課題を解決した。低い重合度を安定的に維持し、その後の成形時に加熱することで完全に重合させる能力は「熱可塑エポキシ樹脂」特有のもので、PMMAやPA6などの他の現場重合型熱可塑性樹脂では実現できない。実験では、熱可塑エポキシ樹脂をマトリックスとするトウプリプレグを用いてCFRTPパイプを成形した。トウプリプレグ樹脂の重量平均分子量( $M_w$ )を変化させたときの成形品中の空隙率と、切り出した試験片の曲げ強度を比較したところ、 $M_w$ が1500程度の場合に完全にコンソリデーションした複合材料が得られることが分った。さらに、それらはパイプ製品として十分な強度を有することを実証した(図3参照)。

ICC has been conducting research and development of 'Thermoplastic epoxy resin (see Figure 1)', a type of in-situ polymerizing thermoplastic resin. The polymer obtained by polymerization of this resin is amorphous and does not have a melting point, but shows a softening point when it exceeds the glass transition temperature ( $T_g$ ). In the case of bisphenol A type, the  $T_g$  of the final polymer is 100 °C. When heated to a temperature above the softening point, it becomes molten, and this phase transition occurs reversibly.

The advantages of this resin include excellent toughness, in-situ polymerizability, thermoformability, recyclability, and high adhesion. The linear polymerization of thermoplastic epoxy resin proceeds by a step-growth polymerization mechanism, and can be paused at any of the polymerization stages, which are conveniently defined as four stages as shown in Figure 2. Each stage of resin has its own rheological properties, which allows it to be applied to a wide range of molding methods. Of course, these resins can be reheated to resume polymerization and converted into high polymers with practical strength.

As an application example of this thermoplastic epoxy resin, we attempted internal pressure molding of a pipe-shaped continuous fiber-reinforced thermoplastic composite material. In general, the conventional internal pressure molding method, which uses a thermosetting resin prepreg and applies air pressure from inside the molded product using a balloon, is suitable for molding thermosetting composite materials in hollow shapes such as pipes. However, prepregs impregnated with thermoplastic resin have the problem that they cannot be consolidated even at the maximum air pressure of 2 MPa for internal pressure molding because the melt viscosity of the thermoplastic resin is too high. Therefore, this problem was solved by using a tow prepreg in which the degree of polymerization was reduced by intentionally pausing the polymerization. The ability to stably maintain a low degree of polymerization and completely polymerize by heating during subsequent molding is unique to 'thermoplastic epoxy resin' and cannot be achieved with other in-situ polymerizing thermoplastic resins such as PMMA and PA6. In the experiment, a CFRTP pipe was molded using a tow prepreg with a thermoplastic epoxy resin matrix. By comparing the void ratio in the molded product and the bending strength of the cut-out test pieces when changing the weight average molecular weight ( $M_w$ ) of the tow prepreg resin, it was found that a fully consolidated composite material was obtained when the  $M_w$  was around 1500. Further, it was demonstrated that they had sufficient strength for use as a pipe product (see Figure 3).

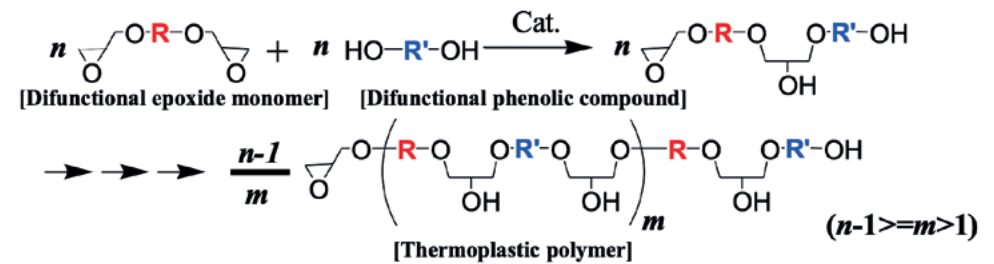


Figure 1 Thermoplastic epoxy resin has suitable molding methods at each polymerization stage

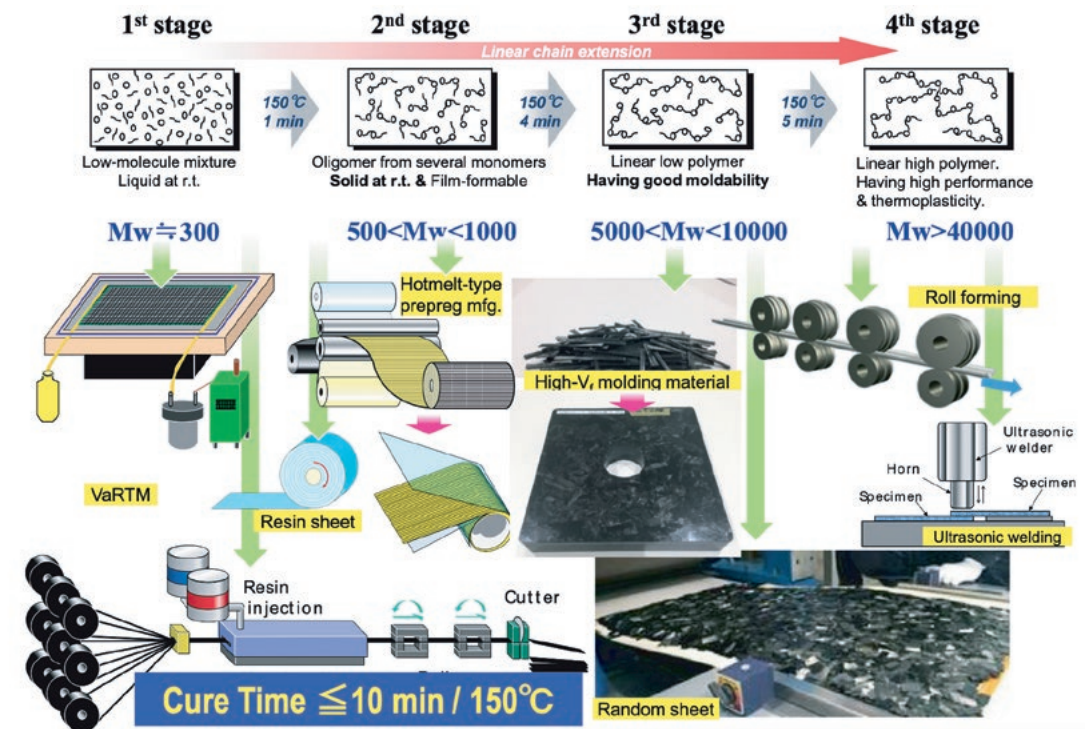


Figure 2 Thermoplastic epoxy resin has suitable molding methods at each polymerization stage

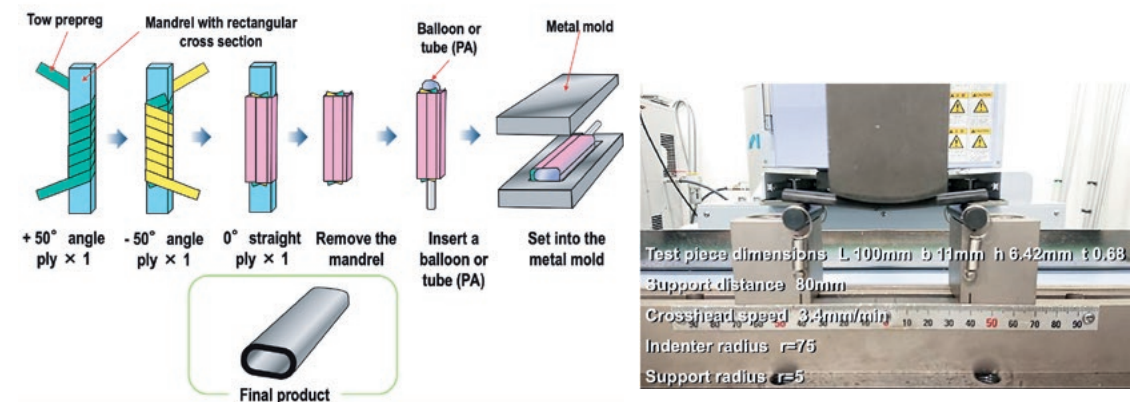


Figure 3 Internal pressure molding process of CFRTP pipes and practical strength testing of molded products



## リサイクルCF不織布の速度制御下の圧縮による熱可塑性樹脂含浸プロセスの検討

Thermoplastic impregnation process of recycled carbon fiber nonwovens under velocity-controlled compression

炭素繊維強化樹脂(CFRP)の需要増加に伴って、リサイクルは重要な課題となっている。本研究では、ダブルベルトプレス(DBP)を用いてリサイクル炭素繊維(rCF)不織布からなる熱可塑性スタンパブルシートを連続的に製造する手法に着目した。ICCが保有する多段ローラー式DBPは含浸進行に応じてベルト間Gapを段階的に設定できるので、圧縮変形が大きく流動しやすい不織布への適用性に優れている。ローラー直下では図1に示すようにベルト速度と設定Gapに応じた速度で基材が圧縮されて、そこで生じる圧力(反力)は繊維基材の圧縮剛性と樹脂流動抵抗に依存すると考えられる。従って、速度制御のローラープレスでは圧力制御のホットプレス成形と異なる含浸プロセスが予想される。

まず、圧力制御によるホットプレス成形を実施して、成形品断面を顕微鏡で観察した(図2)。ここでは完全含浸に至らない2水準の成形条件を選定した。初期の加圧によりドライの不織布が圧縮され、続いて含浸進行と繊維の緩和が同時に進行している様子が分かる。次に速度制御による含浸プロセス実験を行った。図3に示す実験装置を使用して荷重と変位の経時の変化から、含浸率と圧力に変換した結果を図4(a)に示す。圧力はプロセスの途中まで非常に低いが終盤で急激に上昇しており、目標 $V_f$ によって最大圧力が異なっている。Darcy則に基づくと、含浸初期はドライの不織布の圧縮が生じずに低い $V_f$ を維持しており、その結果、浸透係数が低くなり低圧で含浸が進行したと推測される。さらに含浸距離が長くなり流動抵抗が増加するにつれて必要な圧力が増加したと考えられる。

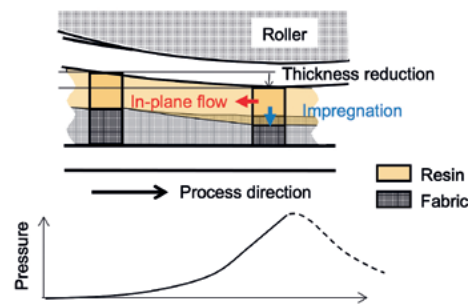


Figure 1 Impregnation process underneath the roller in a double belt press.

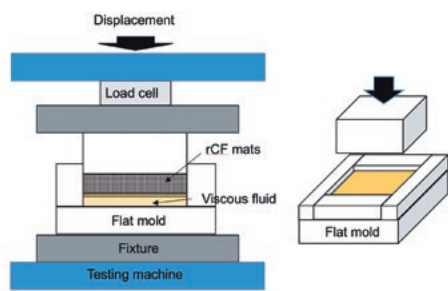


Figure 2 The cross-sectional micrographs of the composites through pressure-controlled compression process.



The development of recycling processes has become a critical issue given the growing demand for carbon fiber-reinforced plastics (CFRPs). In this study, we focused on manufacturing organosheets that include recycled carbon fiber (rCF) nonwovens using a double-belt press (DBP). Gaps between steel belts can be fixed in our DBP machine, which is advantageous for compressible nonwovens made of discontinuous fibers. Under the roller, the compression velocity depends on the belt speed and gap. The pressure (reaction force) is determined based on fabric elasticity and resin flow resistance (Figure 1). The impregnation process under velocity-controlled compression is expected to differ from that under pressure-controlled compression. Pressure-controlled compression molding is conducted under different process conditions, and the cross-sections of the composites are observed, as indicated in Figure 2. These results suggest that the dry fabric is compressed by applied pressure, and impregnation continues while the fibers relax. As indicated in Figure 3, a velocity-controlled compression experiment is conducted using these devices. As illustrated in Figure 4(a), the measured force and displacement profiles are converted into degrees of impregnation and pressure. The pressure is very low halfway through the process; however, it increases rapidly at the final stage. The target fiber volume fraction ( $V_f$ ) affects the maximum pressure. Based on Darcy's law, a low  $V_f$  causes high permeability, making the impregnation progress at low pressure. The pressure increased with an increase in flow resistance.

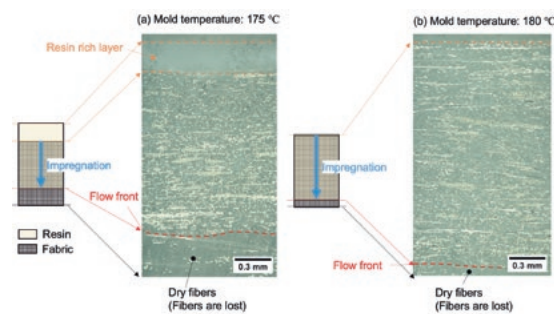


Figure 3 Experimental set-up of impregnation process using a testing machine.

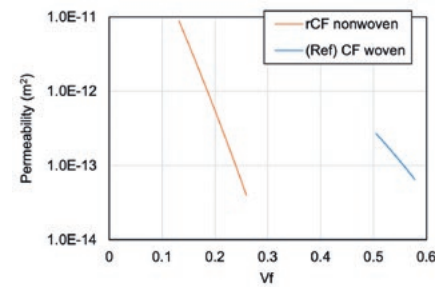


Figure 5 The obtained relationship between permeability and  $V_f$

次に、速度制御の含浸プロセスに関する簡易モデルを構築した。樹脂圧力勾配を有効応力の原理に基づいて繊維の応力勾配に変換して、さらに含浸領域における局所的な $V_f$ と浸透係数の積分を考慮することで、圧力と含浸度を時間ステップで計算した。さらに、上記と同様の実験によって本モデルの計算に必要な浸透係数と $V_f$ の関係を取得した(図5)。不織布は織物よりも低い $V_f$ 範囲にあり、しかし、その浸透係数の変化は織物よりも大きいことが示された。これは繊維構造の違いによると考えられる。本モデルを用いた予測値は図4(b)に示すように実験値をある程度の精度で表現できた。

最後に、ローラー直下の含浸挙動について議論した。本モデルから完全含浸に必要な圧力には目標 $V_f$ が大きく影響しており、また、圧縮速度と樹脂粘度を下げることで圧力を低減できることが示された。多段ローラープレスのGap設定に関しては、筐体入口で基材厚み減少を大きく、出口で小さく設定すれば含浸進行に伴って各ローラーに生じる荷重を効率的に分担できると考えられる。この結果を活用したDBPプロセス研究を以下に記す。

ICCはフラウンホーファーIGCV(ドイツ)とリサイクル炭素繊維複合材料を活用した製造技術と適用技術をテーマに共同研究開発拠点を立ち上げた。そこで、フラウンホーファーで製造したrCF不織布を用いてオルガノシートを製造する研究を開始している。図6に示すように、湿式法により作製されたrCFとPA6の混紡不織布( $V_f$  25%)を12枚積層して、DBPプロセスにより厚み1.5 mmのオルガノシートをベルト速度0.8 m/minで作製できることを確認した。

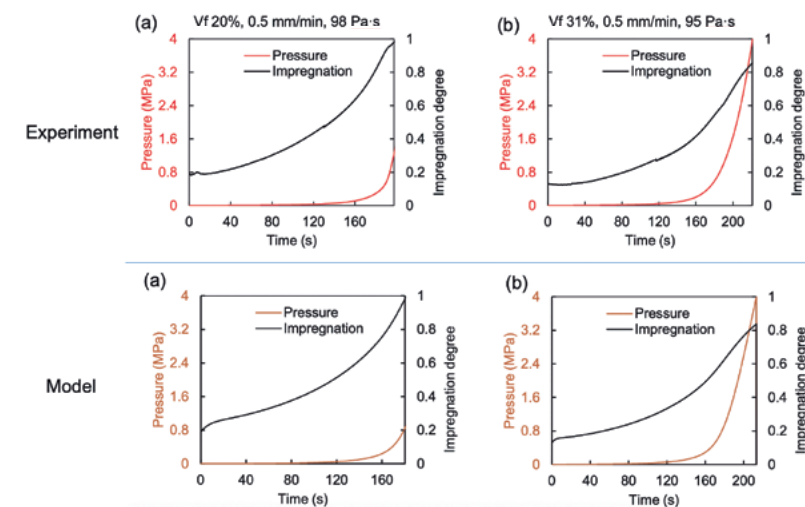
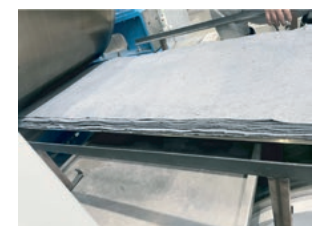


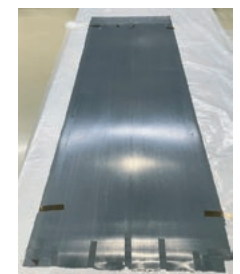
Figure 4 The curves of pressure and impregnation through velocity-controlled compression process.

A simplified model for velocity-controlled impregnation is developed. The resin pressure gradient is converted into a fiber stress gradient and the local  $V_f$  and permeability are integrated along the impregnation length. The degree of impregnation and pressure are calculated at each time step. The relationship between permeability and  $V_f$  is obtained using a similar experimental setup (Figure 5). The permeability range of the nonwoven fabric is lower than that of the woven fabric; however, the variation is significant because of the differences in fabric architecture. The developed model exhibits good agreement with the experimental results, as indicated in Figure 4(b).

Finally, the impregnation behavior of the roller is discussed. The model suggests that the target  $V_f$  significantly affects the pressure necessary for full impregnation, and the pressure can be reduced by decreasing the compression speed or resin viscosity. For a multiroller press, the belt gaps can be selected differently at the inlet and outlet of the housing considering the increase in pressure with the progress of impregnation, which can lead to an efficient distribution of the load to each roller. ICC has started the collaboration with Fraunhofer IGCV to recycle CFRP. For one of these subjects, we are developing a manufacturing technology for organosheets using rCF wet-laid nonwovens produced at Fraunhofer IGCV. As shown in Figure 6, 12 plies of rCF/PA6 nonwovens ( $V_f$  25 %) are processed by DBP with a belt speed of 0.8 m/min, and a 1.5-mm-thick organosheet has been successfully fabricated.



(a) Stack of rCF nonwoven mats at the inlet of DBP machine.



(b) Organo-sheet sample fabricated by DBP.

Figure 6 DBP process experiment using rCF nonwovens.



## リサイクルCF不織布における樹脂流動と含浸の特性評価

Characteristics of resin flow and impregnation in recycled CF non-woven fabrics

ICCでは、マトリクスに現場重合型アクリル樹脂 (PMMA、Arkema Elium)、強化材にリサイクル炭素繊維不織布 (rCF/Mat) を用い、高生産性かつ低エネルギー消費のWet Compression Molding (WCM) を基盤とする成形プロセスの開発を進めている (図1)。前年度までのレポートでは、現場重合型PMMAとrCF/Matを用いた平板および3D形状へのWCM適用について報告した。しかし、本プロセスは、型締時の型内圧力が過剰に上昇するために、過大な型締力が必要であり、経済的な成形には課題が残る。そこで、rCF/Matの成形特性として、樹脂塗布時の濡れ広がり、圧縮特性、パーミアビリティおよび毛管浸透性を評価した。

図2に、rCF/Matと他の一般的な強化材において、強化材上に塗布された樹脂の拡散状態を示す。rCF/Mat以外の強化材では、塗布された樹脂が強化材の上面に溜まりを形成するとともに、面状に濡れ広がる傾向が見られる。しかし、rCF/Matでは、樹脂は塗布された直下にのみ浸透し、面状への広がりは確認されなかった。次に、各強化材の毛管浸透特性を評価し (図3)、その結果を図4に示す。繊維体積含有率  $V_f$  の差異はあるものの、WCMにおける樹脂塗布時の状態である非圧縮状態の強化材では、一定時間内の毛管浸透距離に顕著な差異は認められなかった。図5にパーミアビリティ  $K$  値の計測結果を示す。rCF/Matの面内方向  $K$  値 ( $K_x$ ,  $K_y$ ) は、低い  $V_f$  の範囲においても、他の材料と比較して低いことが確認された。さらに、面外方向の  $K_z$  値は、著しく低い値を示した。また、図6には、含浸後と含浸中の流動における面内  $K$  値の比較を示す。全ての強化材において、含浸後の  $K$  値と比較すると含浸中の  $K$  値はやや高い傾向にあるが、その差は小さいため、毛管浸透が  $K$  値に及ぼす影響は限定的であると考えられる。

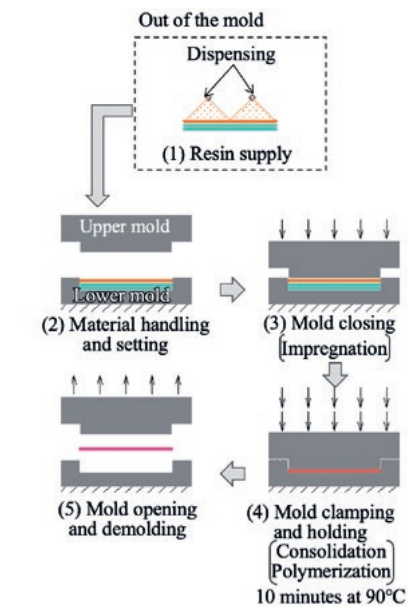
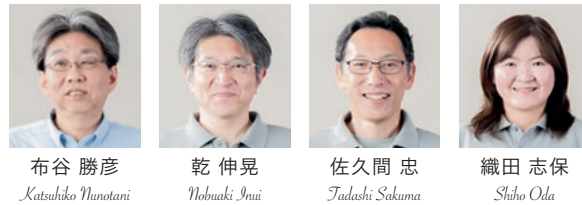


Figure 1 Schematic diagram of the WCM process with in-situ polymerizable acrylic resin



In ICC, molding processes with high productivity and low energy consumption have been developed using in situ polymerized acrylic resins (PMMA, Arkema Elium) and recycled carbon fiber non-woven fabrics (rCF/Mat). This process is based on wet compression molding (WCM) (Figure 1). In previous reports, the authors demonstrated molding with flat laminations and 3D shapes using in situ polymerized PMMA and rCF/Mat. However, this process required a high clamping force because of the substantial increase in the in-mold pressure during clamping, which remained a challenge for economical molding. Therefore, the molding characteristics of rCF/Mat were studied, including wetting and spreading during resin supply, compressive properties, permeability, and capillary penetration. Figure 2 shows the diffusion of the resin supplied over the reinforcement in rCF/Mat and other typical reinforcements. In typical reinforcers, a resin pool is formed on the top surface of the applied resin, which is then wetted and diffuses into the plane. In contrast, for rCF/Mat, the resin penetrates under the supplied resin and does not diffuse into the plane. The capillary penetration characteristics of each reinforcement are determined (Figure 3), and the results are given in Figure 4. Although each uncompacted reinforcement has a different fiber volume fraction  $V_f$ , no significant difference in the capillary penetration distance is observed for each reinforcement. In the actual WCM, the reinforcement is not compressed at the resin supply. Figure 5 shows measurement results for permeability  $K$ . In rCF/Mat,  $K$  ( $K_x$ ,  $K_y$ ) in the in-plane direction is lower than those in the other reinforcements, and  $K_z$  in the out-of-plane direction is significantly low. Figure 6 shows a comparison of the in-plane  $K$  in the flow after and during impregnation. For all reinforcements,  $K$  during impregnation tends to be slightly

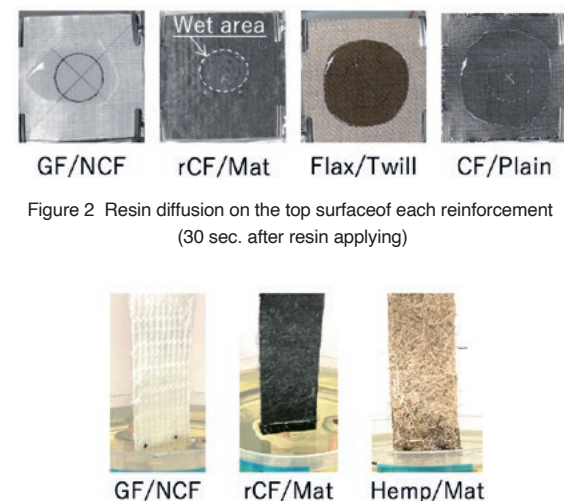


Figure 3 Capillary penetration of each reinforcement

最後に、図7に各強化材の圧縮特性を示す。rCF/Matの圧縮には、他の強化材と比較して、極めて大きな圧縮圧力が必要であることが明らかとなった。

以上より、rCF/Matを用いたWCMにおいて、型締時の型内圧力が過剰に上昇する主な要因は、(1)樹脂塗布工程における樹脂の面状への濡れ広がりが不十分であるために、型締時に樹脂の面内流動が生じること、(2)rCF/Matのパーミアビリティが著しく低いこと、(3)圧縮に過大な圧力が必要であることが明確となった。

ICCでは、型内圧の低減による低型締力の経済的なrCF/MatのWCMプロセスの実現を目的として、樹脂塗布の自動化による塗布分布の最適化、および型締モーションによる樹脂流動制御の開発を進めている。

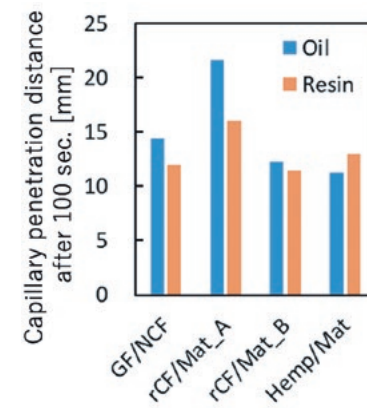


Figure 4 Capillary penetration distance of each reinforcement

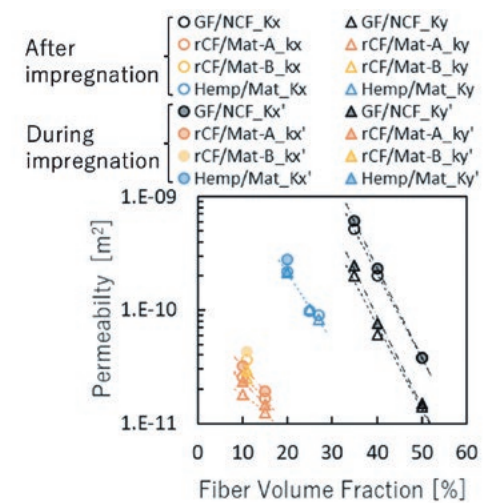


Figure 6 Permeabilities in different flow range

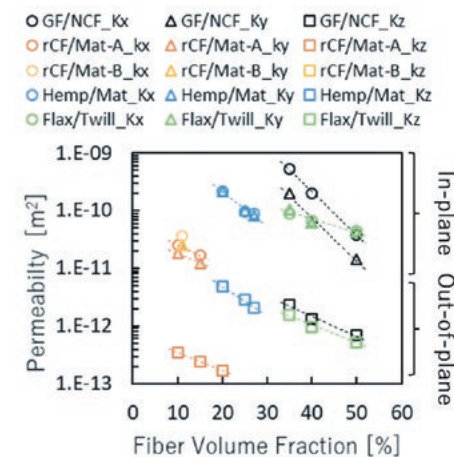


Figure 5 Permeabilities of each reinforcement

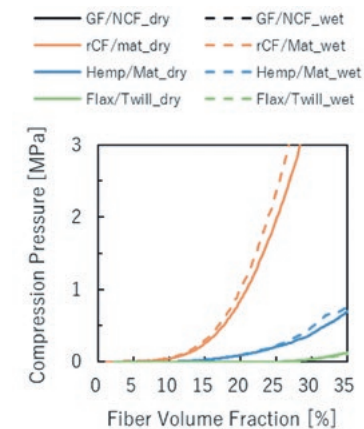


Figure 7 Compressive behaviors of each reinforcement



## 不連続炭素繊維ランダムCFRPプレス成形中の複雑な材料流動挙動の解明

Investigation of complex flow phenomena in press molding of CTT material

白井 武広  
Takehiro Shirai

不連続炭素繊維ランダムCFRP(CTT:Chopped carbon fiber Tape reinforced Thermoplastic)のプレス成形加工時における金型内の材料流動挙動を明らかにするため、リブ評価用の新たな金型を製作し成形実験を実施した。従来の評価金型では、金型内の面内方向の流動が支配的であり、面外方向を含む複雑な流動挙動の把握が困難であった。今回の新金型では、リブ高さを30 mm、金型サイズを長辺210 mm、短辺90 mmとし、従来よりも大きなアスペクト比とすることで、リブ方向における面外流動および面内流動の両方を評価可能な構造とした(図1)。使用したCTT材料は、繊維配向がリブ方向に対して平行なUD0、垂直なUD90、そしてランダムなRNDの3種類である。さらに、面外および面内方向の材料流動を観察するために、異なるアスペクト比を持つ2種類の材料サイズを準備し、それぞれ金型の長辺方向または短辺方向に配置することで、金型内に異なる流動空間を設けた(図2)。プレス成形中のみかけ粘度を測定した結果を図3に示す。UD0とUD90では繊維横方向流動が先行して金型空間へ流動し、金型端部に達した後、繊維方向の流動に移行する挙動が観察された。さらに、繊維横方向流動時のみかけ粘度は、樹脂単体とほぼ同じ値であり、形状変化が伴わない繊維抵抗が小さい流動では樹脂単体の流動特性に依存することが観察された。一方、RND材では、面内・面外両方向への流動が同時に進行する傾向が見られた。これらの結果から、CTT材料の流動は、流動方向に対する繊維配向と大きく関係があり、この関係を検証することで複雑な流動を明らかにし、製品形状に合わせた最適な繊維配向設計が実現できると考える。今後は、より詳細な繊維配向と流動挙動の関係を検討し、成形品形状に適した積層設計の最適化を進めていく予定である。

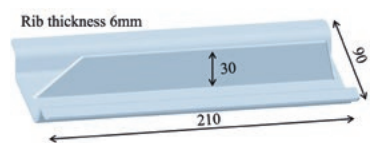


Figure 1 Schematic of the evaluation mold

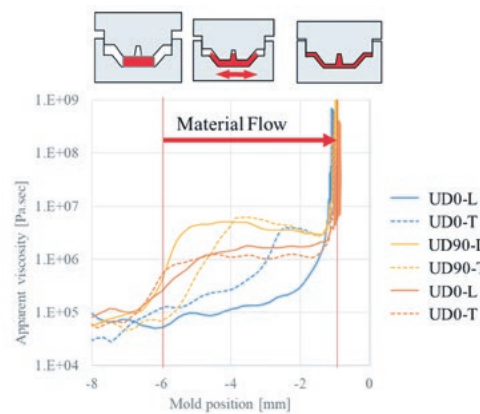


Figure 3 Result of the apparent viscosity measured during press molding

A new rib evaluation mold is designed to clarify material flow behavior within a mold during the press molding of chopped carbon fiber tape-reinforced thermoplastic (CTT), which is type of discontinuous carbon fiber random CFRP, and molding experiments are conducted. In conventional evaluation molds, the in-plane flow within the mold is dominant, which makes it impossible to capture complex flow behaviors including out-of-plane movement. The newly designed mold featured a rib height of 30 mm and dimensions of 210 mm (length) × 90 mm (width), with a larger aspect ratio than that of conventional molds, evaluating both in-plane and out-of-plane flows in the rib direction (Figure 1). Three types of CTT materials are prepared : UD0 (fiber orientation parallel to the rib direction), UD90 (fiber orientation perpendicular to the rib direction), and RND (random orientation). Materials of two different sizes with different aspect ratios are prepared and placed along the long or short side of the mold to observe material flow in both directions, which creates regions with varying flow cavity (Figure 2). The apparent viscosity measured during press molding is shown in Figure 3. For the UD0 and UD90 materials, the flow first progressed in the direction transverse to the fiber orientation and then transitioned to flow in the fiber direction after reaching mold edges. Furthermore, it was observed that the apparent viscosity when flowing laterally through the fibers was almost identical to that of the resin alone. In flows where fiber resistance is minimal and no shape change occurs, the flow behavior is governed primarily by the resin's characteristics. RND materials exhibit simultaneous flow progression in both in-plane and out-of-plane directions. These results confirm that the flow behavior of CTT material is strongly influenced by fiber orientation in the flow direction. It is believed that further investigation of this relationship will help elucidate complex flow phenomena and enable the design of optimal fiber orientations tailored to specific product shapes. Moving forward, the relationship between fiber orientation and flow behavior can be investigated in greater detail to optimize material stacking design, tailoring it to suit the shape of the molded parts.

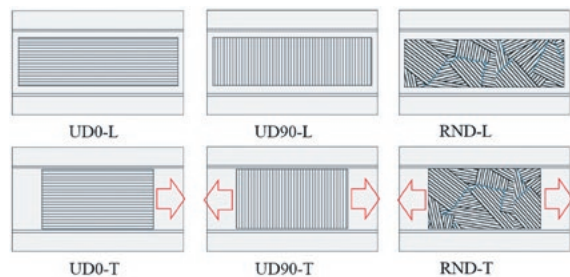


Figure 2 Apparent viscosity measured during press molding

## カットテープ積層配向間隔を変えたランダムCFRTPの機械特性評価と損傷挙動観察

Mechanical properties and damage behavior of carbon fiber tape-reinforced thermoplastic structure with different cut tape lamination orientation intervals

不連続炭素繊維ランダムCFRP(CTT)は、熱可塑性樹脂を含浸したUDテープを切断・積層した材料であり、成形性や機械的特性、リサイクル性に優れている。一方、プレス成形時の材料流動により繊維配向が変化し、機械的特性がばらつく課題がある。ICCでは、デジタル技術を活用した成形シミュレーションにより、繊維配向から機械特性の予測を進めている。しかし、シミュレーションの積層モデルでは4-6の角度を組み合わせた積層構造であるため、実際のプレス成形材料のあらゆる角度に配向したランダム積層構造と比較した繊維配向解析が困難であった。そこで本研究では、繊維配向解析の効率化と検証精度の向上を目的に、配向角度の単純化を検討した。実験材料は、ランダム積層構造を構成する配向角度0~180度範囲を2、3、4、6、8分割して単純化し、分割した配向角度のみで積層したSTEPランダム試験体(図1)を自動積層ロボットにより製作した。そして単純化による機械特性への影響を引張試験により確認し、さらに引張試験後試験体のX線CT観察を実施した。引張試験の結果、配向角度が4角度で構成したSTEP4が、等方ランダム積層と同等の強度・弾性率を示すことがわかった(図2)。ランダム積層の配向角度を単純化したことにより、繊維配向と損傷の観察が容易になるため、X線位相コントラストイメージングおよびX線CTを用いた損傷部を観察した。そして、外力方向の繊維端の樹脂部でクラックが発生し、トランスバースクラックへ進展していることが確認できた(図3)。今後は、今回得たSTEP4積層構造のシミュレーションへの適応と、3Dリブ形状プレス成形時の材料流動と繊維配向変化を検証していく。

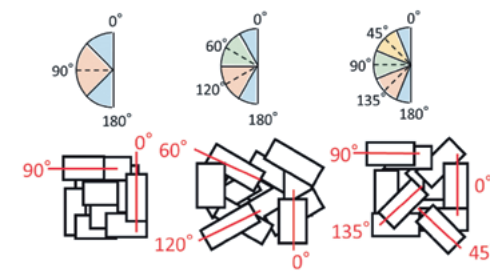


Figure 1 Stacking program example  
(STEP2 consists of two angles: 0° and 90°;  
STEP3 consists of three angles: 0°, 60°, and 120°; and  
STEP4 consists of four angles: 0°, 45°, 90°, and 135°.)

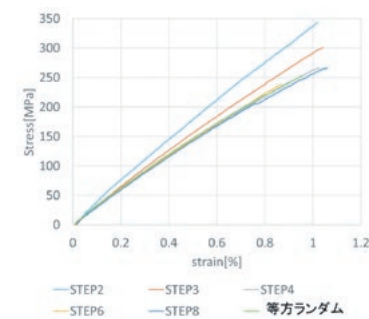


Figure 2 Stress-strain curve

Chopped carbon fiber tape-reinforced thermoplastic (CTT) is a material made by cutting and laminating UD tapes impregnated with thermoplastic resin. Although CTT has excellent moldability, mechanical properties, and recyclability, the fiber orientation changes owing to the material flow during press molding, causing mechanical property variations. At the ICC, digital technology is used to perform molding simulations to predict the mechanical properties from the fiber orientation. However, simulations are designed with combinations of four-to-six orientation angles, and in actual press molding, comparing and verifying the results is difficult using randomly oriented materials with equal distributions across all angles. Therefore, in this study, we simplified the layering angle to improve the efficiency of the fiber orientation analysis and verification accuracy. The experiment was based on an isotropic random laminate design with a small fiber orientation anisotropy, obtained by repeatedly arranging randomly oriented laminates within a 250 mm flat plate. This isotropic random laminate was divided into two, three, four, six, and eight in a 180° range to create a named 'STEP' random specimen (Figure 1: STEP 2,3,4) using an automatic lamination robot, and tensile tests and X-ray analyses were performed. The tensile tests showed that four stacking angles (STEP 4) yielded a strength and tensile modulus equivalent to those of isotropic random stacking (Figure 2). In addition, the simplified random-fiber-orientation design facilitates observation of the fiber orientation and damage. Imaging of the damaged area using X-ray phase-contrast imaging and X-ray computed tomography revealed that a crack had formed in the resin part at the fiber end in the direction of the external force, and a transverse crack had progressed (Figure 3). In the future, we will verify the application of the STEP 4 lamination developed in this study for simulations and the change in fiber orientation owing to material flow in actual 3D rib-shaped press molding.

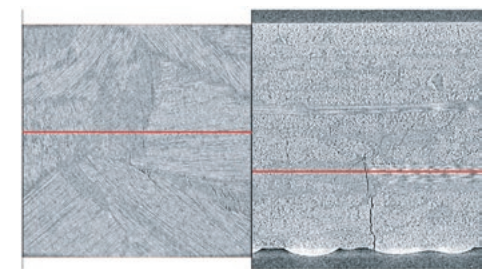


Figure 3 X-ray CT image of the damaged area (STEP4)  
(L: resin crack, R: transverse crack)



樹脂含浸流動性木材のプレス成形時の型内流動挙動

Flow characteristics of the resin-impregnated flowable wood during press molding

金沢工大・産総研 先端複合材料ブリッジ・イノベーション・ラボラトリ (BIL) では、木材を構造材料として利用する事を目標に、その流動成形技術の研究に取り組んでいる。

産総研三木氏らが開発した木材内部の細胞間層の流動化技術により、世界で初めて、「かたまり」状の木材をそのままプレス機等で大きく変形加工できる「木質流動成形」が可能となった。

しかし、木質流動成形には高い圧力が必要であり、流動挙動も不明なため、まだ成形できる大きさや形状が限られている。そこで本研究では、木質流動成形について、プレス成形条件が木材の流動性に及ぼす影響について検証した。

図1のように、油圧プレス機とオープンエッジの平板金型を用いて、成形温度や型締め速度など、種々のプレス条件に対する材料の流動挙動を観察した。杉材にフェノール樹脂を含浸させた樹脂含浸木材を細胞間層のリグニンが軟化する110℃に加熱し、材料の圧延流動とプレス反力を計測した。その結果、型締め速度が大きい程材料流動が大きく、流動時の木材の見かけ粘度を算出したところ、圧縮ひずみ速度が高いほど見かけ粘度が小さく、熱可塑性材料のプレス成形と同様の歪速度依存性が確認された(図2、3)。以上より、より少ないプレス圧で複雑な形状の成形を実現するためには、型締め速度の最適化が重要なファクターである事が分かった。

以上の検討を元にした最適な成形の例として、図4のような複雑形状の木材流動成形が実現できた。

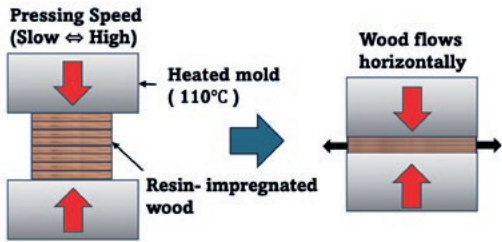


Figure1 Press molding

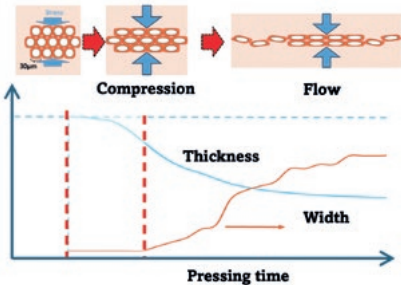


Figure2 Material flow



Kanazawa Institute of Technology (KIT)/Advanced Industrial Science and Technology (AIST) Advanced Composite Materials Bridge Innovation Laboratory (KIT/AIST-BIL) has begun research on the molding technology of flowable wood for use as a structural material.

The fluidization technology developed by Miki et al. at AIST enables fluidization of the intercellular layers inside wood. This technology makes it possible to perform “Wood Flow Molding”, a process that enables, for the first time in the world, the large deformation of wood blocks using a press machine.

However, the wood flow molding requires high pressure, and the flow behavior is unknown; therefore, the size and shape of wood that can be molded are still limited. In this study, we investigated the effects of press molding conditions on wood flow.

As shown in Figure 1, a hydraulic press and an open-edge flat die were used to observe the flow behavior of the material under various pressing conditions, such as forming temperature and mold clamping speed. Phenolic resin-impregnated cedar wood was heated to 110 °C, at which point the lignin in the intercellular layer softened, and the compressive flow of the material and press reaction force were measured.

As a result, the higher the mold-clamping speed, the greater the material flow. The calculated apparent viscosity of wood during flow was found to be similar to that of press forming of thermoplastic materials, with the higher the compressive strain rate, the lower the apparent viscosity (Figures 2 and 3). From the above results, it was found that optimization of the mold-clamping speed is an important factor to realize forming of complex shapes with less press pressure.

As an example of optimal pressing of the wood flow molding, the complex shapes as shown in Figure 4 were realized.

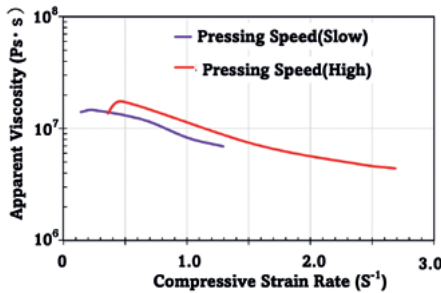


Figure3 Apparent viscosity versus strain rate



Figure4 Example of the wood flow molding with complex rib geometry

オートクレーブによるCFRTP成形の活用

Utilizing autoclave-based CFRTP molding

熱可塑性CFRPは、自動車産業に加え、航空宇宙分野や一般産業分野への適用検討が進んでいる。熱可塑性CFRPの成形には、通常プレス機と金型を用いた熱プレス成形が採用されることが多いが、プロセス条件の最適化には多大な労力を要する。このため、機械特性取得を目的とした積層板の成形には、オートクレーブ(AC)成形が有用である。

ICCでは、高温・高圧対応のAC設備を整備しており(図1、表1)、熱可塑性CFRPのAC成形が可能である。AC成形では、熱硬化CFRPと同様に真空バッグを用いるが、より高温下での成形には特殊なノウハウが求められる。例えば、200℃以上の成形に対応可能なポリイミド製フィルムは、低伸度のため形状賦形性が低く、引裂強度にも課題がある。また、シールテープに関しても、常温での粘着性、高温時の機械特性、使用後の除去性を総合的に考慮し、成形温度に適した選定が必要である(図2参照)。加えて、図3に示すように、シールテープの高温時の剥離防止処理も重要である。これら副資材の特性を踏まえた適切なバギング作業は、バッグ破損リスクの低減および成形品質の向上に直結する。

2023年のICCにおけるAC成形実績の約60%が熱可塑性CFRPの成形であり、その多くが機械特性評価用の積層板成形である。2024年以降は、実製品への適用も拡大傾向にある。ICCは、熱可塑性CFRPのAC成形から試験片加工、特性評価までを一貫して実施可能な環境を整えている。



Figure 1 Autoclave appearance



Figure 2 Various high-temperature-resistant sealing tapes



Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics (CFRTP) is being considered for applications in the aerospace and general industrial fields, in addition to the automotive industry. CFRTP is often hot-press molded using a press and mold; however, optimizing the process conditions requires considerable effort. Therefore, autoclave (AC) molding is useful for molding laminates to obtain desired mechanical properties.

The ICC has AC equipment that can handle high temperatures and pressures (Figure 1, Table 1) and is capable of AC molding of CFRTP. In AC molding, vacuum bags are used, as in the case of Carbon Fiber Reinforced Thermoset (CFRTS); however, special knowledge is required for molding at higher temperatures. For example, polyimide films that can handle molding at 200 °C or higher have low shape formability owing to their low elongation, and tear strength is also an issue. In addition, for sealing tapes, materials that are suitable for the molding temperature must be selected, considering adhesiveness at room temperature, mechanical properties at high temperatures, and ease of removal after use (Figure 2). In addition, as shown in Figure 3, the sealing tape should be treated to prevent peeling at high temperatures. Appropriate bagging, which considers the characteristics of these secondary materials, directly reduces the risk of bag damage and improves the molding quality.

Approximately 60% of the AC molding conducted at the ICC in 2023 involved CFRTP molding, mostly laminate molding for mechanical property evaluation. From 2024 onwards, its application in actual products also expanded. The ICC has established an environment in which all processes, from the AC molding of CFRTP to test-piece processing and property evaluation, can be carried out.

Manufacturer	ASHIDA MFG Co., Ltd.
specification	Maximum pipe inner dimensions: φ900 × 1300
	maximum temperature: 400°C
	Heating rate (empty furnace): 6°C/min
	reduction rate (empty furnace): 3°C/min
	Maximum Operating Pressure: 2.0MPa(using nitrogen gas)
	Normal Pressure : 1.8MPa(using nitrogen gas)
	0.7MPa when using compressed air
Temperature sensor: K thermocouples can be installed in 9 places	

Table 1 Autoclave specifications

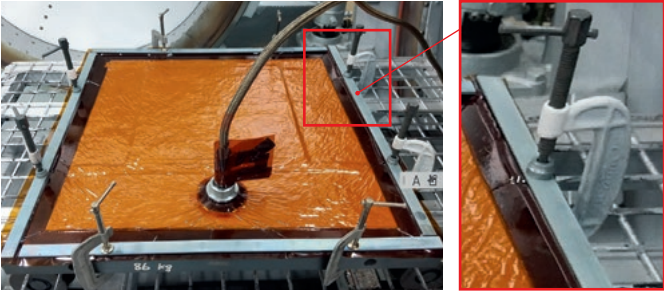


Figure 3 Example of measures to prevent sealing tape from peeling off



## DCB試験法によるCFRTP積層板のモードⅠ層間破壊靱性評価

Mode I interlaminar fracture toughness evaluation of CFRTP laminates using the DCB test method

CFRTPの靱性は、材料の強度、剛性、樹脂の結晶化度そして成形工程等、様々な要因によって決定される。モードⅠ層間破壊靱性値(GⅠC, GⅠR)を求めるDCB(Double Cantilever Beam)試験では、作業者が拡大鏡を用いて、き裂の進行を逐次追跡する方法が一般的であるが、実験者によるばらつきが生じる可能性が否定できない。一方、ICCでは、き裂進展自動追跡機能が付いたビデオ録画システム(ZwickRoell社製)を保有しており、実験者に依存せずに定量的な観察が可能である(図.1:DCB試験装置、図.2:DCB試験片)。また、ICCは、熱可塑性材料成形に必要な高温・高圧条件での成形が可能なオートクレープを保有している数少ない国内研究機関でもある。

今回、PAEKをマトリックスとした熱可塑性プリプレグ用いて、成形工程が異なる検体のGⅠC、GⅠR値を評価した。成形条件は、a) 成形途中で真空を保持せずに放冷させたもの、b) 成形時に真空を保持し強制的に冷却させたものの2条件である。

条件a)、b)で、試験片の外観、Tapping、板厚などに顕著な違いは認められなかった。図3にDSC(示差走査熱量計)曲線を示す。結晶化エンタルピーについて、条件a)の方が1割程度高かった。これは、冷却速度が遅いために結晶化度が向上した事を示唆している。図4に荷重-変位線図を示す。条件b)では、安定なき裂進展成長を示していた一方、条件a)では不安定なき裂進展成長・停止を繰り返す“スティック・スリッパ挙動”が確認された(図4矢印参照)。図5にRカーブを示す。GⅠC値について、条件a)の方が1割程度低い結果となった。また、荷重-変位線図(図4)を反映し、き裂進展に伴い、条件b)では、安定な分布を示した一方、条件a)では不安定な分布を示した。これらの傾向は、条件a)の方が1;結晶化度が高く脆性的であること、2; 成形途中で真空を保持しなかったことにより不安定破壊が生じやすくなったことに起因すると考えられる。

ICCでは、成形から材料試験までを連携して評価可能な環境を整備しており、今回はその一例を紹介した。



Figure 1 Mode I in double cantilever beam (DCB) setup: fixture for GIC test with video recording option



織田 志保  
Shiko Oda



長橋 明臣  
Akio Nagahashi



植村 公彦  
Kimihiko Uemura



佐久間 忠  
Tadashi Sakuma

The toughness of CFRTP is determined by various factors, such as its material strength and rigidity, as well as the resin crystallinity and molding process. To obtain the mode I interlaminar fracture toughness values (GⅠC and GⅠR) in a DCB test, the operator typically uses a magnifying glass to sequentially track the progress of a crack; however, this can vary depending on the operator. The ICC has a video recording system (manufactured by ZwickRoell) with an automatic crack-propagation tracking function that allows quantitative observations independent of the operator (Figure 1: DCB test apparatus; Figure 2: DCB test pieces). The ICC is one of the few research institutes in Japan that possesses an autoclave that can mold thermoplastic materials under the necessary high-temperature and high-pressure conditions.

In this study, the GⅠC and GⅠR values of PAEK prepregs were evaluated under two conditions: a) cooling gradually without maintaining a vacuum during molding, and b) forced cooling while maintaining a vacuum during molding.

No significant differences were observed in the appearance, tapping, or thickness of the test pieces under conditions a) and b). Under condition a), the value of the crystallization enthalpy was approximately 10% higher, which suggests that the crystallinity improved owing to the slow cooling rate (Figure 3: DSC curve). Based on a load-displacement diagram (Figure 4), condition b) showed stable crack propagation, while condition a) showed a “stick-slip behavior,” in which unstable crack propagation stopped repeatedly (see arrow in Figure 4). Under condition a), the value of the GⅠC was approximately 10% lower. As the crack progressed, condition a) showed an unstable distribution compared to condition b), as seen in the load-displacement diagram shown in Figure 4. These results suggest that 1) the specimens produced under condition a) had a high degree of crystallinity and were therefore brittle, and 2) under condition a), unstable fractures were more likely to occur because a vacuum was not maintained during molding.

In the ICC, an environment has been established to coordinate the evaluation from molding to material testing.



Figure 2 Test specimen for Mode I in DCB test

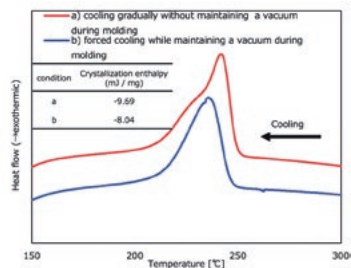


Figure 3 DSC curve

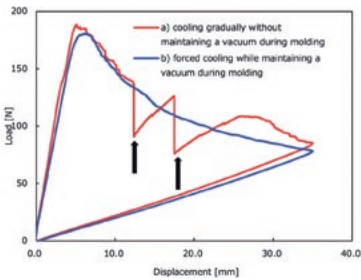


Figure 4 Relationships between load and crack opening distance

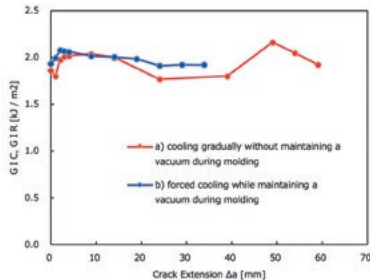


Figure 5 'R-curve': Relationships between 'GⅠC and GⅠR' and crack extension 'Δa'

## 令和 6 (2024) 年度の成果：Achievements in FY2024

### 論文

- 山下博, 稲垣 昌輝, 西田裕文, 斎藤毅, 鶴澤 潔, “高圧容器製造のためのレドックス反応を用いたトウプリプレグの開発”, 日本複合材料学会誌, 50 巻 5 号, p. 156-162, 15 Sep 2024

### 講演

- 鶴澤 潔, "Synthesis from Materials to Processes for Composites with Reduced Environmental Impact and Circular Economy - ICC Research into the Realization of Sustainable Composites -", ACCM13\_13th Asian-Australasian Conference on Composite Materials, 28 Aug 2024
- 鶴澤 潔, "Thermoplastics applications to realize using innovative composite materials and manufacturing processes", プラスチック工業技術発展センター (PIDC), 19 Dec 2024
- 鶴澤 潔, "海洋分野で貢献する最新複合材料技術", 第185回海洋技術フォーラム, 08 Oct 2024
- 鶴澤 潔, " Brief Overview of Recent Activity of SAMPE Japan and Some Topics of ICC Initiatives into the Realization of Sustainable Composites", Carbon Korea2024, 24 Oct 2024
- 鶴澤 潔, "複合材料の開発と脱炭素、サーキュラーエコノミーと資源循環", 先端複合材料 ブリッジ・イノベーション・ラボラトリ/マルチマテリアルシンポジウム, 31 Oct 2024
- 鶴澤 潔, "複合材料業界の動向と展望(バイオ樹脂および成型方法)", 秋季研修会/東日本FRP工業会, 22 Nov 2024
- 小田切 信之, "産学連携による複合材料の研究開発とビジネス展開 ―米国を例に―", JCCM-16, 特別講演, 28 Feb 2025
- 白井 武広, "X線位相コントラストイメージングによるCFRP(炭素繊維複合材料)の繊維構造解析", 総合検査機器展 新技術新製品セミナー, 19 Sep 2024
- 白井 武広, "繊維複合材料成形の現物融合技術", 精密工学会 現物融合型エンジニアリング専門委員例会, 18 Sep 2024
- 白井 武広, "繊維複合材料(CFRP)のデジタルものづくり技術－繊維配向の解析・予測・モデル化の研究紹介－", VCADシステム研究会 第68回定例研究会, 14 Feb 2025
- 布谷 勝彦, "Liquid Composite Molding (LCM)のプロセスと樹脂流動", 成形加工学会, ナノセルロース・ナノカーボン複合材料専門委員会, 招待講演, 07 Feb 2025
- 山中 淳彦, "CFRP内部の繊維長測定・配向測定", 2024年度NEDO特別講座(CFRPの成形法と特性評価方法に係る特別講座) 第1回, 25 Sep 2024
- 山中 淳彦, "非連続炭素繊維強化熱可塑樹脂系複合材料における繊維配向及び繊維長分布の評価方法と引張特性", プラスチック成形加工学会 第32回秋季大会(成形加工シンポジウム(24)), 28 Nov 2024
- 山中 淳彦, "非連続炭素繊維強化熱可塑樹脂系複合材料における繊維配向及び繊維長分布", プラスチック成形加工学会ナノセルロース・ナノカーボン専門委員会, 29 Nov 2024
- 山中 淳彦, "繊維強化複合材料の熱物性、その評価技術と複合材料開発への応用展開", 2024年度NEDO特別講座(CFRPの成形法と特性評価方法に係る特別講座)第2回, 28 Jan 2025

### 学会発表(発表者)

- Osuke Ishida, Junichi Kitada(IPCO), Katsuhiko Nunotani and Kiyoshi Uzawa, "Thermoplastic Impregnation Of Recycled Carbon Fiber Mats Under The Rollers In Double Belt Press", ECCM21, Vol5-Manufacturing pp360-367, 04 Jul 2024
- 石田 応輔, 布谷 勝彦, 鶴澤 潔, 北田 純一 (IPCO), "リサイクルCF不織布の速度制御下の圧縮による熱可塑性樹脂含浸プロセスの検討", JCCM-16, 発表番号2D-10, 28 Feb 2025
- 石田 応輔, 佐久間 忠, 乾 伸晃, 鶴澤 潔, "高圧水素タンクのドーム/シリンダー分割プリフォームの作製手法の開発", JCCM-16, 発表番号3A-12, 01 Mar 2025
- Takehiro Shirai, Shinya Hayashi and Kiyosho Uzawa, "DEVELOPING THE OPTIMIZATION OF CTT 3D SHAPE PRESS MOLDING PROCESS BY EVALUATION OF MATERIAL FLOW AND FIBER ORIENTATION", ECCM21, 03 Jul 2024
- 白井 武広, 鶴澤 潔, "カッテータCFRTPリブ形状プレス成形繊維配向変化の材料流動みかけ粘度による測定", JCCM-16, 発表番号1B-12, 27 Feb 2025
- 寺田 真利子, 布谷 勝彦, 山中 淳彦, 斎藤 義弘, 鶴澤 潔, 金原 庸浩, 奥田 達也, "強化材としての稲繊維の可能性", 第49回複合材料シンポジウム (JSCM49), C-219, 21 Sep 2024
- H. Nishida, K. Uzawa, T. Saito, T. Seki and M. Nakaya, "Internal pressure molding of continuous fiber-reinforced thermoplastic composites with undercuts", ITHC-2024, 09 Oct 2024



令和 6 (2024) 年度の成果：Achievements in FY2024

8. 西田裕文, 稲垣昌輝, 織田志保, "高温耐久性複合材料のマトリックスに用いるシルセスキオキサン樹脂の開発", 第73回ネットワークポリマー講演討論会, 25 Oct 2024
9. 西田裕文, 斎藤毅, "自動積層が可能なタックフリー型エポキシ系熱硬化性トウプリブレグの開発", JCCM-16, 17 Feb 2025
10. 布谷勝彦, 植村公彦, 石田応輔, 井上俊之, 櫻井貴哉, 山磨敏夫, 鶴澤潔, "CFRPと耐食性金属材の接着継手における海水暴露の強度への影響", 第49回複合材料シンポジウム(JSCM49), 発表番号A217, 21 Sep 2024
11. 布谷勝彦, 佐久間忠, 乾伸晃, 石田応輔, 山下博, 西田裕文, 鶴澤潔, "熱可塑トウブレグを用いたRTM成形における樹脂流動特性", JCCM-16, 発表番号3A-15, 15 Mar 2024
12. 山下博, 佐久間忠, 乾伸晃, 石田応輔, 布谷勝彦, 西田裕文, 斎藤毅, 鶴澤潔, "高压水素容器の分割プリフォーム成形を可能とする樹脂の開発", JCCM-16, 発表番号3A-14, 01 Mar 2025

学会発表 (共著)

1. Shinya Hayashi, Takehiro Shirai and Kiyoshi Uzawa, "DEVELOPING THE OPTIMIZATION OF CTT 3D SHAPE PRESS MOLDING PROCESS BY EVALUATION OF MATERIAL FLOW AND FIBER ORIENTATION", ECCM21, 03 Jul 2024
2. 森裕梨佳, 白井武広, 鶴澤潔, "カットテープ積層配向間隔を変えたランダムCFRTPの機械特性評価と損傷挙動観察", JCCM-16, 発表番号1B-14, 27 Feb 2025
3. 山下高史, 小栗太一, 池田忠繁, 酒井武治, 菅原寿秀, 小林史武, 小林祐一, 園子博昭, 中島正憲, 森大介, 奥村航, 長谷部裕之, "自動積層中におけるCFRTP テープの簡易温度分布解析", プラスチック成形加工学会, 02 Jun 2024

ポスター発表

1. 石田応輔, "ダブルベルトプレス(DBP)を用いたスタンパブルシートの連続含浸プロセス", コンポジットハイウェイコンベンション 2024, 16 Jan 2025
2. 白井武広, "位相コントラストX線システム装置による繊維複合材料構造解析", 総合検査機器展アカデミック展示, 18 Sep 2024

その他発表

1. 鶴澤潔, "JEC Innovation Award 2024と鶴澤目線からのJEC WORLD 2024", コンポジット委員会第78回研究会/一般社団法人先端材料技術協会, 12 Apr 2024
2. 鶴澤潔, "連携支援機関の紹介", キックオフミーティング/令和 6 年度中堅・中核企業の経営力強化支援事業\_東信州次世代イノベーションセンター, 信州大・AREC, 10 Jul 2024
3. 鶴澤潔, "2. どうやってつくのですか? ~いろいろな作り方(熱硬化・熱可塑)・成形用中間材や副資材、成形型など~, FRP入門講習会/一般社団法人強化プラスチック協会, 11 Jul 2024
4. 鶴澤潔, "5. FRPはこれからどうなりますか? ~最近の技術開発や環境問題のトピックス~, FRP入門講習会/一般社団法人強化プラスチック協会, 11 Jul 2024
5. 鶴澤潔, "パネルディスカッション「最新技術と建築分野における応用への期待」", 2024年度日本建築学会大会(関東), 27 Aug 2024
6. 布谷勝彦, "ICCにおける研究開発", 土木学会, 中部セメントコンクリート研究会, 02 Sep 2024

解説記事など

1. 鶴澤潔, 斎藤義弘, "JEC Innovation Awards 2024受賞案件概説", 強化プラスチック6月号\_特集, Vol. 70, No. 6 (2024年6月号), 01 Jun 2024
2. 相澤恒史, 山口晃司, 有浦芙美, 斎藤毅, 森本由登, 水谷篤, 円子春菜, 鶴澤潔, "FRPのこれから. 持続可能な未来社会の実現に向けたFRPリサイクル", 新春座談会/強化プラスチック, Vol. 71, No. 1 (2025年1月号), 01 Jan 2025

特許

1. Isao Nishimura, Kiyoshi Uzawa and Katsuhiko Nunotani, "CONTINUOUS FROMING APPARATUS OF FIBER REINFORCED COMPOSITE", Patent No. US 12,157,281 B2, Dec. 3, 2024
2. 鶴澤潔, 西田裕文, 金崎真人, 紙田徹, 長福紳太郎, "圧力容器の製造方法、"熱可塑性樹脂組成物およびプリブレグ", JP 7473895 B2 2024.4.24
3. 秋元博路, 千賀英敬, 飯島一博, 鶴澤潔, 金崎真人, 高田康宏, "浮体式垂直軸型タービン", JP 7535271 B2 2024.8.16
4. 石川勤, 河田克明, 福島宏史, 阿部拓也, 中山武俊, 林豊, 西田裕文, "繊維強化樹脂材料、繊維強化樹脂成形体、およびそれらの製造方法", JP 7558506 B2 2024.10.1
5. 鶴澤潔, 佐久間忠, 乾伸晃, 松本大輝, 堀正芳, "FRP成形品及びFRP成形品の製造方法", JP 7588879 B2 2024.11.25

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

ICCでは、研究開発のプラットフォームとして、メンバーシップ制度、産学官連携、共同研究などに取り組んでいます。これらの連携活動を通じて得られた研究開発の事例や成果をご紹介します。

ICC functions as a platform for research and development, engaging in membership-based programs, industry-academia-government collaboration, and joint research activities. This report outlines case research activities obtained through these collaborative initiatives.

半芳香族系ポリアミド UD テープを用いたスタンピング成形の検討  
アルケマ株式会社 ARKEMA K.K

Stamping Molding of Semi-Aromatic Polyamide UD Tape

当社では樹脂設計ノウハウを生かしたUDテープ製造プロセスを独自開発しており、フランスの自社内でテープ製造を行っている。ICCとの共同研究では当社のUDテープ(UDX®)を用いた成形プロセスの開発に取り組んでおり、特にICCで知見の多いランダムシートのプレス成形を中心にプロセスの確立を目指している。ランダム材を用いた成形は、そのすぐれた賦形性と物性に加え、ATPなどのレイアップ装置がなくてもプレス成形によって熱可塑性コンポジットの成形が可能であるため裾野が広い用途への適応を期待している。

UDX® CFテープとしては植物由来ポリアミドのPA11と、耐熱性に優れる半芳香族系PAのRilsan Matrix (PPA)のグレードが展開されている。Rilsan Matrixは一部植物由来の材料で融点が260℃、ガラス転移温度(Tg)が140℃と成形が行いやすい温度域に融点を持ち、高Tgおよび低い吸水率(<3%)を併せ持つ興味深い材料である。図にPA11、Rilsan Matrix および主に航空用途で使用されるスーパーエンブラであるKepstan® PEKKの弾性率の温度依存性を示す。Rilsan Matrixは加工性のよいポリアミド系樹脂でありながらPEKKに近いTgを有しており、構造部材への適用も可能である。

本研究ではこのRilsan Matrix UDテープ(UDX® PPA)を用いたランダム材において、成形サイクルの短いコールドスタンピングを検討している。オープン等で予備加熱された材料を融点より低い温度の金型でプレスにより短時間で成形することができれば高機能部材の生産性の向上が期待できる。



有浦 芙美  
Fumi Arita



クラス ギョーム  
Guillaume Crassous

Arkema has developed a UD tape manufacturing process that leverages our strengths in material designing, and we manufacture the tape at our site in France. In joint research with ICC, we are working on developing molding process using our UD tape (UDX®), aiming to establish the press molding process of random sheets, which ICC has extensive knowledge of. Random UD chip materials are known for its excellent formability and physical properties. The ability to mold thermoplastic composites by press molding without the need for lay-up equipment such as ATP is important to expand the applications.

As for UDX® CF tape, Arkema offers bio-based polyamide PA11 and high heat resistant semi-aromatic PA, Rilsan Matrix (PPA). Rilsan Matrix is a partially bio-based material with a melting point of 260°C and a glass transition temperature (Tg) of 140°C. It offers a good balance of melting point that facilitates molding, high Tg, and low water absorption (<3%). The figure shows the temperature dependence of the modulus of PA11, Rilsan Matrix, and Kepstan® PEKK, a super engineering plastic mainly used in aerospace applications. Rilsan Matrix, while being a polyamide resin, has a Tg close to that of PEKK, making it suitable for structural components. In this collaboration with ICC, we are considering cold stamping with a short molding cycle for random materials using this Rilsan Matrix UD tape. The material is preheated such as in oven and molded in a short time by pressing with a mold at a temperature lower than the melting point, it is expected to improve the productivity of high-performance components.

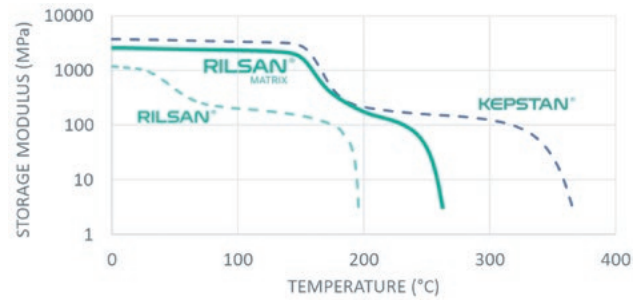


Figure 1 DMA curves of Rilsan® PA11, Rilsan Matrix®, Kepstan® PEKK



## 山中漆器産業における資源循環素材の開発

(国研)産業技術総合研究所

The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Sustainable wood-based composites made in Yamanaka lacquerware area aiming at circular economy

金沢工大・産総研 先端複合材料ブリッジ・イノベーション・ラボラトリ(BIL)では、木質素材から資源循環型複合材料を創出する要素技術を地域産業・企業で利活用し、新技術や新商品の開発に貢献する取り組みを始めた。

BILが連携拠点を置くICC近隣には多くの伝統的工芸品の産地が存在するが、加賀市の山中漆器は全国一の漆器の生産高を誇る産地である。この漆器産地に着目して、BILの資源循環型複合材料の検討(第一弾)を行っている。

山中漆器は、「木地の山中」と称されるほど木材の加工技術に優れている。独自の木地挽物技術である薄挽きは他産地の追従を許さぬものがあるが、この工程において原料の約8割ともいわれる大量の削りカス(廃木材)が生じている。この廃木材は、事業者で一部燃料として利用することもあるが、ほとんどは産業廃棄物として処理され未活用である。

産総研では、木質流動成形を始めとする木質素材の複合材料化と成形に関する要素技術を保有しており、木質素材に樹脂含浸した成形可能な中間基材をBILで活用している。この山中漆器の取組において、チップ状木材に熱硬化性樹脂を含浸しプレス成形したお猪口を試作している。図1には、木質流動柄が生じた唯一無二の意匠性を持つ独特の成形品を木地として、山中塗独自のデザインと塗工を施せることも確認できた。さらに、この中間基材に、ICCで活用している“その場重合型の熱可塑性樹脂”を適用する手法を開発しており、廃木材を主原料として循環利用できる複合材料を見出した。このBILで培った技術を山中漆器の挽物削り屑に適用すれば、図のようにプレス成形によって挽物では賦形出来ない3次元形状品で独特の意匠表面を持つ成形品を得ることができる。

山中漆器には、「木製漆器」と「近代漆器」があるが、それぞれの素材の特徴を融合した新たな成形用中間基材として、この資源循環素材を用いた新商品開発を産地・企業連携によって推進していく予定である。



Figure 1  
A small cup (top right) made by impregnating waste wood chips (top left) obtained by wood flow forming with thermosetting resin, and prototypes (bottom) which are coated with Yamanaka lacquerware



Kanazawa Institute of Technology(KIT)/Advanced Industrial Science and Technology (AIST) Advanced Composite Materials Bridge Innovation Laboratory (KIT/AIST-BIL) has begun an initiative to utilize elemental technologies for creating resource-recycling composite materials from wood sources in local domestic industries and companies, and contribute to the development of new technologies & products. Yamanaka lacquerware in Kaga City is the number one producer of lacquerware in Japan. Focusing on this lacquerware production area, BIL is conducting its first study of resource-recycling composite materials. Yamanaka lacquerware excels in a wood turning technique, but this process produces a large amount of shavings (waste wood), which seems to be account for about 80% of the raw log. Some of this waste wood is used as fuel, but most is treated as industrial waste.

AIST has elemental technologies for composite materialization and molding of wood material and uses moldable intermediate substrates in BIL, which are made by impregnating wood materials with resin. In this Yamanaka lacquerware initiative, a prototype small cup is being made by impregnating wood chips with thermosetting resin and press molding. Figure 1 shows a unique molded product with a complicated flow pattern, and it was confirmed that Yamanaka Lacquerware's unique design and coating can be applied to the press molded wood. Furthermore, an impregnation method has been developed to apply the "in-situ polymerizing thermoplastic resin" used in ICC as an AIST wood prepreg, and the obtained thermoplastic wood composites can be recycled and reused with waste wood has been found. When the thermoplastic wood composite techniques obtained in BIL are applied to Yamanaka lacquerware turning shavings, it will be possible to obtain a molded product with a unique design surface in a three-dimensional shape that cannot be prepared by turning, as shown in the figure, by press molding.



Figure 2  
The three-dimensional products obtained by wood flow forming of waste wood in the Yamanaka lacquerware industry; the waste woods are impregnated with thermoplastic resin, which have distinctive designs derived from original woods.

最適条件を導くツール▶最適成形を実現▶カーボン素材のスタンピング成形を可能にするプロセス(装置)の研究  
ディムシード株式会社 Dimseed Inc.

A Tool for Deriving Optimal Conditions ▶ Achieving Optimal Molding ▶ Carbon Materials Stamp Molding Research



北山 由美  
Yumi Kitayama

プレス成形材料のバラつきを許容する成形条件が動的に設定可能であれば、市場競争力のある価格で、かつ高品質・高歩留まりな成形プロセスの実現が可能となり、熱可塑CFRPのスタンピング成形の実用化が可能となる。この仮説の検証のため、設備稼働データを完全同期で高速に取得し、同一筐体で即時制御ができるBeckhoff制御機器(以下 制御機器)を用いて実証実験を行った。ICC所有の200トン油圧プレス機に制御機器を外付けし、設備稼働状態のモニタリングを行い、プレス金型加工位置に応じてプレス成形圧力を制御機器によって動的に変更させる実験を行った。通常のプレス成形では、金型が成形材料と接した以降は成形材料流動に伴い金型移動速度が低下する。そして、材料流動の抵抗が大きいと、金型端手前で流動が停止し'ショート成形'不良が発生する。この時に、外部制御により金型速度を大きくする制御を行うことで、材料流動を促進させることが可能となる。図1は、金型位置(下死点0mm)に対する金型速度変化を示した結果である。外部制御なしでは金型位置6mmから金型速度が減少し下死点手前で金型が停止したが、金型位置6mmで金型速度の外部制御によって金型速度が低下する金型位置が小さくなり下死点まで到達した。この結果、リップ成形部の材料欠陥が低減し成形性が向上した。(図2)  
(参考動画:https://youtu.be/WmFEUordhO4)

この実験成果から、プレス成形機の制御に本制御機器を適用することで、最適成形条件を導くための有効なツールとして利用可能であることが示された。そこで、プレス成形機の制御データと外付けした位置センサーの値を取得し、Windows環境PCでリアルタイムにデータを高速(最大100μsec)で収集可能なシステムを開発した。このシステムにより、成形条件の試行錯誤において新たにセンサーなど追加があっても、完全同期で解析ができるため迅速に最適条件のトライが可能となる。本制御装置システムを利用することで、スタンピング成形の成形条件検討技術の高度化を実現する可能性が大きくなった。

※共同特許: 特願2023-185645 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

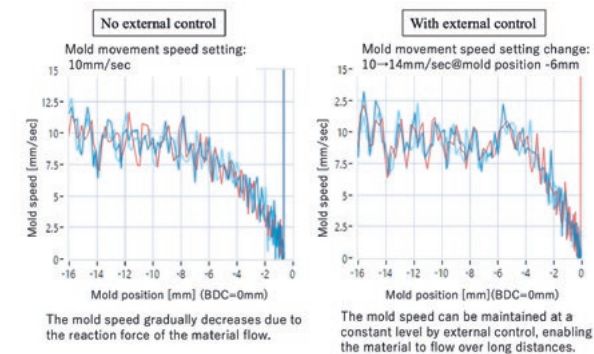


Figure 1 Result of the press mold speed response by external control

Press molding condition outcomes are closely depending on materials. However, if we could optimize condition to adjust variation of materials, it should be able to achieve ideal molding processes in terms of a market price, quality, and yield). Based on the hypothesis, we tested a stamping molding process with thermoplastic materials. A verification experiment was conducted using Beckhoff control devices (hereafter referred to as "Control Devices"), which can acquire necessary sensing data at high speed in complete synchronization and utilize it for control within the same housing.

These Control Devices were externally attached to a hydraulic press machine in an ICC joint research project. While monitoring the machine's condition, an experiment was conducted to dynamically adjust molding pressure based on ICC's research data. In normal press molding, once the die comes into contact with the molding material, the die movement speed slows down as the molding material flows. If the resistance to the material flow is high, the flow stops just before the end of the die, resulting in a "short molding" defect. At this time, it is possible to promote the material flow by controlling the die speed to increase using external control. Figure 1 shows the results of the change in mold speed relative to the mold position (bottom dead center 0 mm). Without external control, the mold speed decreased from a mold position of 6 mm, and the mold stopped just before the bottom dead center, but with external control of the mold speed at a mold position of 6 mm, the mold position where the mold speed decreased became smaller, and the mold reached the bottom dead center. As a result, the success rate of rib molding using thermoplastic sheets significantly improved (Figure 2).

(Reference video: https://youtube/WmFEUordhO4)  
By attaching Control Device, data are fed into a Windows system in real-time at high speed (up to 100 μsec), not only from the press control sensors but also from Control Devices. This experiment proves that adding extra sensor systems allows for rapid trial-and-error of molding conditions, with the ability to seamlessly analyze new sensor data in perfect synchronization. By using this system, we have greatly increased the potential to achieve optimal molding and to use carbon materials for stamping molding systems in the near future.

\*Joint Patent: Patent Application 2023-185645 — Method for Controlling a Processing Machine, Control Device for a Processing Machine, and Control Program

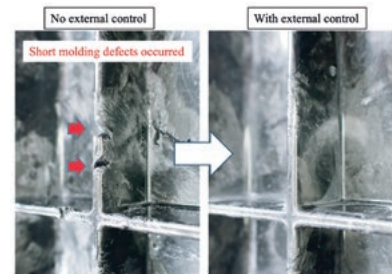


Figure 2 Result of improving rib forming defects by external control.



## FRP 製硬翼帆によるグリーン水素生産帆船「ウィンドハンター」の開発

株式会社大内海洋コンサルタント Ouchi Ocean Consultant, Inc.

Development of the green-hydrogen-producing sailing ship "Wind Hunter" with composite rigid wing sail

大内 一之  
Kazuyuki Ouchi

ウィンドハンターは、洋上の風力エネルギーを活用し、水素の製造から貯蔵・輸送までを一隻の船上で完結させる革新的なエネルギー供給システムである。

再生可能エネルギーによるグリーン水素の需要が高まるなか、海上の強風域を利用して水素を効率的かつ持続的に生産・供給する手段として注目されている。

- ウィンドハンターのコンセプト・機能として以下のことを目標とする：
- ①風の強い沖合にて海上風力を硬翼帆により船の推進力に変換する。
  - ②水中にタービンを設け推進力を吸収し電力を発生する。
  - ③発生した電力で水電解装置により水素ガスを生産する。
  - ④船内に持っているトルエンに水素ガスを反応させ、常温常圧で液体の水素キャリアであるメチルシクロヘキサン(MCH)として船内に貯蔵する。
  - ⑤船を揚げ地に回航、MCHを陸揚げし、陸上で脱水素して需要者に渡す。

このように、水素サプライチェーンの、つくる・ためる・はこぶ・つかう、の内、つかう以外は全てウィンドハンター船上でカバーするものである。これまでに提案されているエネルギー価格の安い海外の地域で大きなエネルギーをかけて水素キャリアを生産し、それをコストの高い特殊な専用船で運ぶ方法と比べ、ウィンドハンターは、水素サプライチェーンの大幅なコストダウンに資する可能性がある。

硬翼帆には「ウィンドチャレンジャー」でICCが開発に加わったFEP製大型軽量パネルが用いられるが、さらなる軽量化と製造コストダウンを目指して、大型パネルの連続製造技術やCFRP製のスパーの開発が必須となる。本技術についてはICCと連携して取り組む計画である。

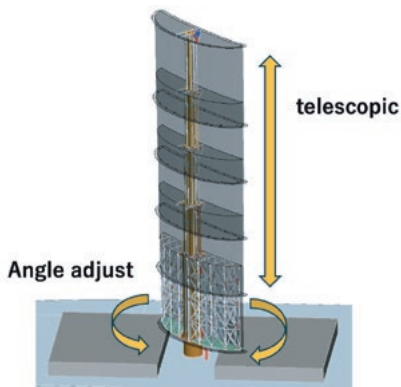
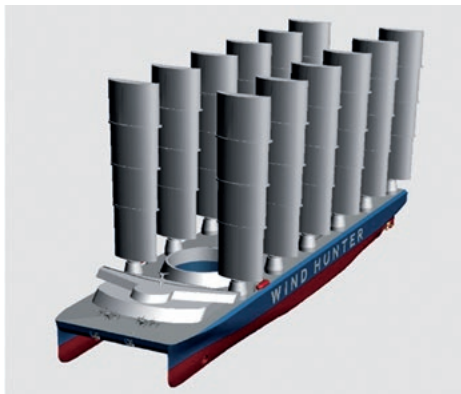
The Wind Hunter is an innovative energy-supply system that utilizes offshore wind energy to complete the full process of hydrogen production, storage, and transportation onboard a single ship.

The increasing demand for renewable-energy-derived green hydrogen has resulted in increased interest in the use of strong winds at sea as a means of efficient and sustainable hydrogen production and supply.

The Wind hunter aims to enable the following process:

- ①Use rigid sails in windy offshore areas to convert offshore wind power into ship propulsion.
- ②Install an underwater turbine to absorb the propulsion power and generate electricity.
- ③Use this electricity to produce hydrogen gas using a water electrolysis device.
- ④React the hydrogen gas with the toluene on board and store it on board as methylcyclohexane (MCH), which is a hydrogen carrier in the liquid state at standard temperature and pressure.
- ⑤Tow the ship to a landing port, unload the MCH, dehydrogenate it on land, and deliver it to the consumer.

As shown above, of the "create", "store", "transport", and "use" steps in the hydrogen supply chain, all except "use" are covered on board the Wind Hunter. Previously proposed methods involve producing hydrogen carriers in overseas regions with low energy prices and using a large amount of energy to transport them on expensive, specialized ships. By contrast, Wind Hunter has the potential to contribute to major cost reductions in the hydrogen supply chain. Rigid-sail ships such as the Wind Challenger will use large, lightweight FEP panels developed with the help of the Innovative Composite Center (ICC). However, further weight and manufacturing cost reductions will require the development of continuous manufacturing technologies for large panels and CFRP spars. The plan is to develop this technology in collaboration with the ICC.



## PA9T の紹介

株式会社クラレ Kuraray Co., Ltd.

Introduction of PA9T

株式会社クラレは、高耐熱性、低吸湿性および耐薬品性を備えたポリアミド系熱可塑性樹脂、PA9Tを保有している。

研究開発本部 つくば研究センター 成形・加工研究所(茨城県つくば市)では、PA9Tを繊維強化複合材料(FRP)用のマトリックス樹脂として使うことによる社会貢献の可能性を探るべく、ICCメンバーシップに加盟し、ICCからアドバイスを受けながら、ICCが保有する試作装置を使用し、PA9Tを用いたFRP(PA9T-FRP)の材料を試作し、物性評価を行っている。

PA9Tのガラス転移温度は125℃と高いため、一般的に扱われる高温領域(80℃)においてもPA9T-FRPの物性低下率は低く、飽和吸水させた場合においても同様に、高い物性を維持できることを確認しており、構造部材などへの適性が高いと考えている。

また、PA9Tの融点は265℃から300℃の範囲で調整可能だが、ガラス転移温度などの性能は大きく変わらないため、幅広い成形加工条件に適応可能である。

久保 謙太  
Kenta Kubo門馬 由  
Yu Monma

Kuraray Co., Ltd. owns PA9T, a polyamide thermoplastic resin with high heat and moisture resistance and chemical resistance.

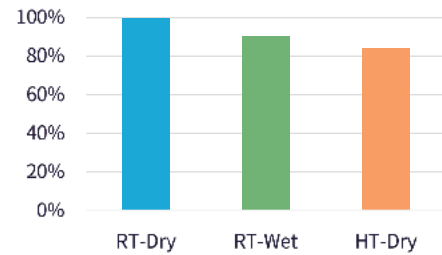
In order to explore the possibility of social contribution by using PA9T as a matrix resin for fiber-reinforced plastics (FRP), Polymer Processing Research Laboratory, Tsukuba Research Center, R&D Division (located in Tsukuba City, Ibaraki Pref), has joined ICC Membership and with the advice of ICC, is conducting trial of PA9T-FRP, using the prototyping equipment of ICC, and evaluating mechanical properties, and so on.

The glass transition temperature (Tg) of PA9T is as high as 125℃, so we have confirmed that the rate of decrease in mechanical properties of PA9T-FRP is low even in the high temperature range (80℃), and that high mechanical properties can be maintained even when the material is saturated water absorption.

The melting point of PA9T can be adjusted from 265℃ to 300℃, but the performance including Tg does not change significantly, and it can be adapted to wide processing conditions.



Prototype of PA9T-FRP (UD-TAPE)



Retention of flexural strength for the prototype of PA9T-FRP (vs RT-Dry)

(RT : 23℃ HT : 80℃ Dry : Sample in dry condition Wet : Sample saturated water absorption condition)

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.

(鵜澤 潔/Kiyoshi Uzawa)