



## I 革新複合材料研究開発センター及び COI STREAM 事業の概要

### Overview of the Innovative Composite Materials Research and Development Center and the COI STREAM Program

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8年目を迎えた。

今年度はコロナ禍の2年目であり、ウィズコロナ対応を見据えつつ7月頃から感染防止対策を十分とりながら外部企業からの利用者も少し戻りはじめた。ICCの研究利用者は例年の55%年間約1,600人ではあるが、昨年度より15%増となった。

ウィズコロナ対応としてDXの拡充をはかり、ICCに来所した企業もWEB会議をする機会が増えたので、各会議室からWEB会議ができるよう増強した。

また、職員の体温管理と来所者の体温計測ができるカメラと連動した受付システムも構築した。カメラの顔認証機能により、体温ログが取れることまた利用者情報と来所情報をリンクすることにより受付の合理化も順次進めている。

企業からの受入研究員となるメンバーシップ会員数においても、コロナ禍ではあるもののメンバーズフォーラムをリアルからWEB開催又はハイブリッド開催による利便性向上と内容充実をはかっていること、会員企業限定の技術情報誌の内容充実により、受入れる企業数は昨年度、今年度とほとんど減少に至らなかったことが幸いであった。

2013年より取り組んで来た金沢工業大学COI「革新材料による次世代インフラシステムの構築 ～安心・安全で地球と共存できる数世紀社会の実現～」は、本年度3月で全ての事業を終了した。本事業では、軽量・高強度で長寿命な複合材料を革新的な製造技術により低コスト・大量生産を可能にし、多くの社会実装を達成することができた。また同時に、多くの機関・企業とアンダーワンルーフで研究開発を進める為のプラットフォーム構築にも取り組んだ。これらの成果から、JSTによる9年全期間を総括した事後評価にて、本学COIは総合評価ランクの最高評価「S」を獲得することができた。

ポストCOIとして今後ICCは、COIを通して構築したICCならではのオープンイノベーションプラットフォームの特長を活かし、従来の大学の枠を超え、研究活動と産業支援によるマネタイズにより、持続的にイノベーションを生み出していく。その仕組みが今年度スタートした。企業の商品開発における試作から評価まで、企業とICCをワンストップでつなぐICC発ベンチャー企業(ICEM)が立ち上がったことが複合材料分野においても意義のある仕組みである。

The "Innovative Composite Materials Research and Development Center" (hereinafter "ICC"), established by the Kanazawa Institute of Technology (KIT), has entered its eighth year as an international center for scientific innovation. This fiscal year was the second year of the COVID-19 pandemic, and thus, prevention measures were fully implemented from around July as a response to the New Normal, resulting in some users from external companies returning. The number of ICC research users was approximately 1,600 this year, 55% of the average but 15% more than the previous year.

To accommodate the New Normal, the DX has been enhanced to allow web meetings from each ICC room for external research users. A reception system linked to cameras that can measure the body temperature of staff and visitors has also been installed. The camera's facial recognition function and the obtained body temperature logs are linked to visitor information to streamline reception work.

The number of ICC members, i.e., researchers accepted from companies, has fortunately remained largely unchanged, owing to the convenience and improved content of the Member's Forum, which is held online or hybrid instead of the face-to-face mode used in the past, and the enhancement of the technical bulletin, which is only available to members.

The COI-KIT "Construction of next-generation infrastructure systems using innovative materials – Realization of a safe and secure society that can coexist with the Earth for centuries," which was undertaken in 2013, was completed in March 2022. The project enabled low-cost, mass production of lightweight, high-strength, and long-life composite materials through innovative manufacturing technologies and achieved many successful societal implementations. In parallel, the project also entailed the construction of a platform to promote under-one-roof research and development with many institutions and companies. As a result of these achievements, the COI-KIT obtained the highest overall evaluation rank of "S" in the post-evaluation report by Japan Science and Technology Agency (JST), which summarized the entire nine-year period.

As a mechanism for sustainable innovation in the future, the ICC has launched a venture company, "ICEM," which provides a one-stop service for product development, from prototyping to evaluation. This is a ground-breaking mechanism in the field of composite materials.

## II 令和3(2021)年度の運営活動

### Operating Activities in Fiscal Year 2021



高田 康宏  
Yasuhiro Takata



大西 洋輔  
Yousuke Onishi



樋口 由美  
Yumi Higuchi



山本 一葉  
Kazuha Yamamoto



東 久美子  
Kumiko Higashi

### 1 ICC 運営に関する規程の改正

2021年度に改正はなかった。

### 1 Amendment to ICC management regulations

There were no revisions in FY 2021.

### 2 受入研究員の受入れ

学校法人金沢工業大学受入研究員規程に基づき、ICCが企業等に在籍する研究者等を受け入れ、ICC所属の研究員と受入研究員が協力して研究開発を行っている。受入研究員は企業からメンバーシップ会員として登録され、今年度も昨年度同様の43機関54人であった。コロナ禍により新規会員の増員が少ない半面、継続企業から登録人数を増やし1企業で2名以上会員登録する企業が増えている。

### 2 Acceptance of researchers

This fiscal year, 54 researchers from 43 institutions were accepted as ICC members. While COVID-19 has reduced the number of new companies registering as members, some companies have continued to register and have increased the number of registered members by two or more.

### 3 ICC 利用初期講習の実施・安全活動

上記2の受入研究員とICCの研究利用者には、ICC内における研究活動を行うに際し遵守すべき利用条件として「ICC利用初期講習」を実施している。初期講習は、①安全②知財等③秘密保持及び成果発表④不正防止⑤ICCの利用手続きの内容となっている。

本学の「新型コロナウイルス感染拡大防止のための学校法人金沢工業大学活動制限指針」により外部からの研究利用に制限がかかり、徐々にウィズコロナの対応になった。それにより、ICCの利用者が増え企業と学生を合わせて77名になった。コロナ前の68%まで戻った。

→ p35 資料 02

### 4 特許等

COIプログラムにおいて国内外で製造装置に関する特許出願件数が増え、国内における登録が3件出ている。社会実装するための、成形装置に関する特許に動きがみられ、出願した特許を用いる実施フェーズに入ってきていると思われる。ICCにおける特許出願件数は4件、登録が1件出ている。

→ p35 資料 03

### 5 外部資金の獲得

今年度がCOIプログラムの最終年度であり、COIプログラムを除いた外部資金は昨年より55%増、6,000万円以上増えている。ICC発のベンチャー企業「ICEM」を窓口とした受託試験は、年末から立ち上がり年間にすると1,000万円以上の受託試験の実績ができた。

民間の資金としてのメンバーシップ会員費用はコロナ禍にありながらもほぼ昨年を維持することができた。

### 3 Implementation of ICC users' initial training and safety activities

Restrictions on the use of external research were gradually eased and moved to the new normal, according to the 'Guidelines for Restricting Activities of Kanazawa Institute of Technology School Corporation to Prevent the Spread of COVID-19 Infection'. As a result, the number of ICC users increased to 77, including users from companies and students, and recovered to 68% of the number before COVID-19.

### 4 Patents

The number of patent applications related to manufacturing equipment for the COI program has increased both nationally and internationally, with three registered in Japan. Four patent applications and one registration have been issued for ICC.

### 5 Acquisition of external funding

This is the final year of the COI program, and external funding excluding the COI program has increased by 55% or over 60 million yen over the last year. In addition, a commissioned test using ICEM, a venture company originating from ICC, as a contact point began at the end of the year, with annual sales of over 10 million yen.



## 6 利用者・見学者など

ICCの利用者数は、コロナ禍で本学の制限が8月から少し緩和されウィズコロナ対応の方向になってきたとは言え、企業側の制限も継続してあったため、研究のための入所者は例年の半分(2020年度と同等)になり、見学者は例年の1/3以下(2020年度は1/10以下)になった。

→ p35 資料 05

## 7 安全保障貿易管理

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

2021年度も継続して経済産業省アドバイザー派遣事業にてアドバイザーを受入れ、国際共同研究案件において輸出管理上の効率的な進め方についてアドバイスをもらった。

## 8 地域科学技術実証拠点整備事業

文部科学省の「地域科学技術実証拠点整備事業」(28年度補正)により整備された施設・設備の利用が進み、貸出施設(レンタルラボ)に2社(東レ株式会社、大同工業株式会社)が昨年度より追加となり、5部屋中4部屋が入居済となり、社会実装に向けた開発が加速されている。

## 9 COI 研究推進機構の運営

ICCが2013年より取り組んで来た金沢工業大学COI「革新材料による次世代インフラシステムの構築 ～安心・安全で地球と共存できる数世紀社会の実現～」は、本年度3月で全ての事業を終了した。

研究開発テーマ19課題のうち、社会実装に至ったものは6課題であったものの、鉄道向けインフラシステムにおいてユーザの要求仕様を満足し製造仕様となったFRP筋や、多くの重要文化財を維持する耐震補強に社会実装されたテンションロッドなど大きな成果が得られた。また、将来の活動拠点となるプラットフォーム並びに人材ネットワークを構築した点も素晴らしい成果としてJST事後評価にて、本学COIは総合評価ランク「S」評価となった。

ポストCOIとしてCOIを通して構築したICCならではのオープンイノベーションプラットフォームの特長を活かし、従来の大学研究組織の枠を超え、研究活動と産業支援とによるマネタイズにより、持続的にイノベーションを生み出す拠点形成を目指す。

本学の総合評価結果と個別項目別評価ランクは下記の通りである。

→ p36 資料 07

総合評価 ランク	個別評価ランク			
	拠点構想	社会開発/社会実装	プラットフォーム 構築	人材育成・開発促進
S	a	s	s	a

総合評価は「S」「A」「B」「C」「D」となり、「S」の基準は「特に優れた成果が創出され、今後も連続的に革新的なイノベーションを創出することが特に期待できる。」である。評価項目が4つあり、個々の評価において「s」が3ケになると更に評価の高い「S+」になる。因みに全17拠点中、「S+」が4拠点、「S」が9拠点、「A」が5拠点となっている。

## 6 Users and visitors

The number of external research visitors accepted for research was half the average this year (equivalent to 2020), and the number of general visitors was less than one-third the value observed for an average year, before the COVID-19 pandemic (slightly higher than 2020).

## 7 Security export trade control

The ICC strictly controls the export of goods and technology under the “Foreign Exchange and Foreign Trade Act.”

## 8 Regional science and technology demonstration center development project

The facilities and equipment developed under the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology's “Regional Science and Technology Demonstration Base Improvement Project” (corrected in FY2016) have been utilized to accelerate product development for practical applications. Two companies (Toray Industries, Inc. and Daido Kogyo Co., Ltd.) employed the rental laboratories, thus occupying four out of five rooms.

## 9 Management of the organization for advancements in COI research

The COI-KIT "Construction of next-generation infrastructure systems using innovative materials – Realization of a safe and secure society that can coexist with the Earth for centuries," which was undertaken in 2013, was completed in March this year. Even though only six of the 19 R&D themes have been implemented, significant results were achieved with an FRP rebar that met user specifications in railway infrastructure systems and tension rods that were implemented for seismic reinforcement to maintain many important cultural assets. The COI-KIT also received an overall evaluation rank of "S" in the JST post-evaluation report as an excellent achievement in terms of building a platform and human resources network that will serve as a base for future activities.

The ICC aims to form a center for sustainable innovation through the monetization of research activities and industrial support beyond the boundaries of traditional university research organizations by utilizing the characteristics of the ICC's unique open innovation platform established by the COI project.

## III プラットフォームの構築

### Deployment of the ICC Platform



田中 順二  
Ayumi Tanaka



斉藤 義弘  
Yoshihiro Saito



東藤 涼子  
Ryoko Tohdoh



西原 正浩  
Masahiro Nishihara



渡辺 裕吉  
Yukichi Watanabe

産学の連携活動に対する新型コロナウイルス感染拡大の影響は2021年度も継続した。大学としては外部からの来訪者受入れに慎重な対策を取らざるをえなかった。ICCは引き続き感染防止対策を徹底するとともに大学本部と協議を続け、一定の条件のもと企業研究者が共同研究などICCにおける必要な活動を実施できるように努めた。

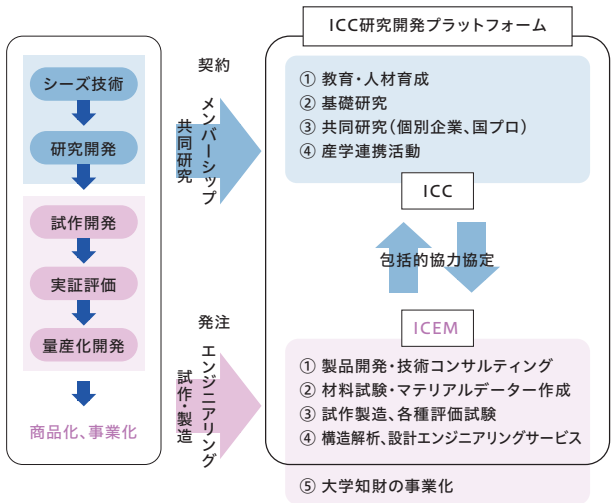
また、2021年度はICCの実施する主要プロジェクトの一つであるCOIプログラムの最終年度であった。COIプログラムでは研究開発の成果の社会実装と並び、持続的なプラットフォームの構築が求められており、COI後の拠点のあり方に関する具体的な検討を進めた。そこでICCをプラットフォームとする研究開発の活動に加え、大学の枠を超えさらに踏み込んだ企業との製品開発までをも可能とするため、新しい体制の窓口として新規事業組織、株式会社ICEMを設立し活動を開始した。

## 1 (株) ICEM の活動

ICCはオープン、アンダーワンルーフで企業が集えるプラットフォームとして、複合材の適用技術の観点から、大学における研究開発と企業における事業活動とを橋渡しする連携に取り組んできた。

ICCをプラットフォームとして利用する企業は、技術シーズの研究開発段階にあっては大学との共同研究により研究開発を進めることが出来る。企業がさらに試作開発や評価などを必要とする実証開発段階においては、ICCの設備や環境をよりよく活用するため従来の大学とは異なる形の窓口が必要となっていた。

そのような役割を担うためICEMが設立され、大学と包括的な契約を結び、企業との受発注や委託による取引を行うことにより、企業はICCの環境を十二分に活用し活動を行うことが可能となった。



The impact of the spread of the novel coronavirus on collaborative activities between industry and academia will continue in FY2021. The ICC continued to take thorough measures to prevent infection and negotiated with the College Headquarters to ensure that, under certain conditions, researchers from industry could carry out necessary activities at the ICC.

In addition, 2021 was the final year of the COI program (national project), one of the major projects implemented by ICC, which required the construction of a sustainable platform as well as the social application of the results of research and development. Therefore, the ICC conducted a study on how the center should proceed after the COI finished. As result, a new business organization, ICEM Co., Ltd., was established to function as a new contact point of the ICC so that companies can continue their research and development activities using the ICC as a platform, which goes beyond the traditional framework of the college.

## 1 Activities of ICEM Co.,Ltd.

As a platform where companies can gather in an open, under-one-roof environment, the ICC has been collaborating to bridge research and development at universities and business activities in the field of application technologies for composite materials.

Companies using the ICC as a platform can carry out research and development in collaboration with the college during the exploration phase of technology seeds. In the practical development phase, when companies need to further develop and evaluate prototypes, a contact point that is different from that of a conventional college is needed to better utilize the ICC's facilities.

The ICEM was established to fulfill this role. The ICEM has established comprehensive contracts with the college and has traded with companies on a commission basis. Through the ICEM, companies are able to fully utilize the ICC environment and carry out their research activities for practical development.



## 2 2021 年度産学連携トピックス

### 1) ICCメンバーズフォーラムとメンバーシップ会員向け情報誌 ICC Innovative Edge

ICCメンバーシップ会員とICC研究員等によるメンバーズフォーラムは、2021年度も引き続きオンラインながら、ほぼ毎月の開催を実現してきた。外部講師による講演、ICC研究員による研究発表、メンバーシップ会員による企業の技術紹介など多彩な内容が企画され、勉強会としてだけでなくオンラインでも関係者のネットワークを促す機会となるよう工夫された。

また、オンライン中心の活動を補完するため2020年にメンバーシップ向け情報誌“ICC Innovative Edge”が刊行された。2021年度も毎月刊行・配信された。井塚淑夫氏による幅広いニュースソースから技術・産業分野ごとに整理された最新動向を毎月掲載し、さらに加えて、例えばJEC Innovation Awardsに関する解説やインフラをテーマとした海外動向の解説、国際会議ITHECへの参加報告、ICC研究員による研究紹介など、充実した内容となった。

### 2) 第2回ほくりくコンポジットカンファレンス(オンライン)

コンポジット分野における国内企業の広域連携を海外のネットワークにつなげることを主旨として、2019年11月に第1回目のカンファレンスが開催された。第2回目となるカンファレンスが、ICC・ほくりく先端複合材研究会の共催により、10月6日にオンライン開催された。

海外より、ベルギー・ルーベン大学のベルバスト名誉教授、スウォロフス教授による講演「ハイブリッドコンポジット～学術研究から産業用アプリケーションまで」、ドイツ産業クラスターComposites Unitedのブレンケン氏による講演「Composites Unitedの取り組み～日独連携の利点」を得た。国内からコンポジット分野の事業に取り組む企業の新規開発を支援するサービスを行う企業、三井化学(株)、(株)栗本鐵工所、津田駒工業(株)、(株)ICEMの各社より、その事業について紹介が行われた。



ほくりくコンポジットカンファレンスの配信の様子（於：ICC 大会議室）

### 3) 国内外の連携活動の推進

ICCは2020年度に経済産業省の地域オープンイノベーション拠点選抜制度(J-Innovation HUB)における第1回選抜拠点として全国9拠点の一つに選抜された。この通称Jイノベ事業のイベントにも2021年度は積極的に参加し、ICCが評価された産学連携とプラットフォーム構築についてアウトリーチ活動を行った。

また国内の地域間連携として、2014年より金沢工業大学ICC、名古屋大学NCC、岐阜大学GCC、地域の公設試験場がメンバーとなりコンポジットハイウェイコンソーシアムの活動が行われている。2020年度まで経済産業省中部経済産業局の事業の支援を得て活動が行われてきたが、2021年度よりいよいよ

## 2 2021 industry-academia cooperation topics

### 1) ICC Members' Forum and ICC Innovative Edge magazine for registered members

The Members' Forum of ICC membership registrants, ICC researchers, and others continued to be held almost monthly in FY2021, albeit online. A variety of contents were planned, including lectures by external speakers, research presentations by ICC researchers, and technology introductions by companies registered as members. This provides an opportunity not only to share knowledge but also to promote networking among relevant parties despite taking place online.

To complement the online-centric activities, a membership magazine, “ICC Innovative Edge,” was published in 2020 and distributed monthly in 2021. Each issue contained the latest developments from the technology and industry sector from a wide range of news sources organized by Mr. Yoshio Izuka; in addition, the magazine included, for example, commentary on the JEC Innovation Awards, commentary on overseas trends on the theme of infrastructure, reports on participation in the international conference ITHEC, and research introductions by ICC researchers. The content of each issue was planned to enrich the readers from the ICC membership registry.

### 2) 2nd Hokuriku Composite Conference (online)

The first Hokuriku Composite Conference was held in November 2019 with the main aim of linking Japanese companies in the composite materials sector and facilitate international networking. The second conference was held online on October 6, 2021, and was co-organized by the ICC and the Hokuiku Advanced Composites Material Association.

International speakers included Prof. Yentl Swolfs, Emeritus Professor Ignaas Verpoest of the Catholic University of Leuven, Belgium, on “Hybrid composites: from academic research to industrial applications,” and Dr. Bastian Brenken of the German industrial cluster Composites United, on “Activities of Composites United – Advantages of a Japanese-German collaboration.” In addition, Japanese companies that provide services to support new developments in the field of composites introduced their businesses.

### 3) Promotion of national and international cooperation activities

In FY2020, the ICC was one of the first nine sites in Japan selected under the Ministry of Economy, Trade, and Industry' s (METI) regional open innovation center selection system (J-Innovation HUB). In FY2021, the ICC actively participated in the events of this project and conducted outreach activities on industry-academia collaboration and platform building, for which the ICC was highly regarded. The Composite Highway Consortium conducted activities with the support of the Chubu Bureau of Economy, Trade, and Industry of METI until FY2020. However, in FY2021, activities were conducted solely with the resources of the

よコンソーシアムメンバーのリソースのみによる活動になった。常設の事務局をICCに置き、NCC、GCCと密に連携をはかり、地域公設試験場や多くの企業の参加を得て活動を行った。メンバーに大きな変更はないが、活動の主要なリソースが変わったことに伴い、前年までとは考え方を換え、活動内容を見直し、その上で自立した運営を行っていくことに苦労した。その中で新規事業開発につながる第5回コンポジットハイウェイアワードの募集、審査、授賞イベントを実施し、年度ごとの全体大会にあたるコンベンションも2021年度はICCが幹事校としてオンライン開催した。

その他、経済産業省中部経済産業局北陸支局の事業において、高機能新素材と知財(意匠)をテーマにしたセミナーやデジタル化支援事業に取り組まれた企業の成果報告会を行った。

海外向けのネットワーキングやアウトリーチにも可能な範囲で取り組み、2021年5月に開催されたSAMPE Europe主催のオンラインカンファレンスSAMPE Virtual Summit 21 ParisではICC鶴澤所長が講演を行った。

## 3 2021 年度教育活動トピックス

ICCでは様々な大型の製造設備や試験評価設備、実習授業が行える実験室や大会議室などを活用し、産業界を対象とするセミナー、ワークショップ、社会人向け講義などに取り組んでいる。またICCの産学連携プラットフォームを活かした教育活動として、大学との教育面の連携に関する協議が行われている。

2012年より社会人を対象に実施されている複合材料の大学院講義特別科目「高信頼ものづくり専攻(複合材料領域)特別講義I・II」は、2019年度より社会人と学生との合同授業として実施されている。2020年度は新型コロナウイルス感染拡大のため、社会人受講生の募集を断念したが、2021年度はオンライン授業を組み合わせることにより、社会人受講生の募集を再開した。前期の講義は座学中心の原則オンラインによる講義が行われた。成形実習や試験評価を行う後期は、オンラインとICCに来所して行う実習とを組合せて実施した。学生と社会人の合同授業のため、前期最終の課題発表では、学生が発表者、社会人が企業人の立場から講評をする形式で実施された。後期の実習では、学生3チーム、社会人1チームにより実習で製作した成形品の試験・評価が行われた。

さらに、先端材料の学術団体であるSAMPE Japanにより一連の複合材入門講座がオンライン形式で2021年度も開催された。全4回のうち1回は、ICCがその運営を担い研究員・技師を中心に実践的な内容の動画を作成しセミナーに織り込むなど、工夫した内容が提供された。



特別講義の授業風景（成形実習）

changes in the consortium members, the main resources for activities changed from the previous year and we worked hard to share the understanding that the same approach and stance as that of the previous year were not possible in the management of the consortium. In this context, the fifth Composite Highway Award, which leads to new business development, along with the annual plenary meeting took place online in 2021, with the ICC as the secretariat.

Furthermore, in collaboration with the Hokuriku branch of METI, the ICC organized a seminar on highly functional new materials and intellectual property (design) and a report on the results of companies involved in digitization support projects.

International networking and outreach also took place to the extent possible, and ICC Director Uzawa gave a presentation at the SAMPE Virtual Summit 21 Paris, an online conference organized by SAMPE Europe, in May 2021.

## 3 2021 Topics of educational activities

The ICC makes use of a variety of large manufacturing, testing, and evaluation facilities, as well as laboratories for practical classes and conference rooms, and is involved in seminars, workshops, and lectures aimed at industry. In addition, discussions on educational collaboration with the college take place as educational activities utilizing the ICC' s industry-academia collaboration platform.

The special postgraduate lecture course on composite materials “Highly Reliable Manufacturing (Composite Materials Area) Special Lectures I and II,” which has been offered to working persons since 2012, has been conducted as a joint workshop between working people and students since FY2019. In AY2020, due to the spread of the new coronavirus infection, the recruitment of working people was abandoned. In FY2021, however, the recruitment of working people was resumed by combining online classes. In the first semester, lectures were conducted online with a focus on classroom lectures. In the second semester, when molding practice and test evaluation were conducted, a combination of online and practical training took place in person at the ICC.

In addition, a series of introductory courses on composite materials was organized by SAMPE Japan in an online format in 2021. One of the four lectures was organized by the ICC, with researchers and technicians taking the lead in creating videos with practical content and incorporating them into seminars.



## IV 令和3(2021)年度の研究活動 Research Activities in Fiscal Year 2021

- 13 2021年度のICCの研究開発の概要 Overview of ICC research activities in FY 2021  
 齊藤 産学連携コーディネーター：Y. Saito Coordinator of Industry-University Collaboration  
 関戸 技監 / 教授：T. Sekido Senior Advisory Engineer / Professor、鵜澤 所長 / 教授：K. Uzawa Director / Professor
- 15 NEDO 革新FC事業への参画 Participation in NEDO Innovative FC Project  
 中島 研究員：M. Nakajima Researcher、鵜澤 所長 / 教授：K. Uzawa Director / Professor
- 16 Composites United (旧CFK-Valley) ドイツ連携について：HiPeR プロジェクト  
 Collaboration with Composites United, Germany (formerly CFK-Valley): HiPeR Project  
 石田 研究員：O. Ishida Researcher、齊藤 産学連携コーディネーター：Y. Saito Coordinator of Industry-University Collaboration、  
 東藤 企画戦略チーム：R. Tohdoh Strategy Planning Team
- 17 高速引抜成形によるFRP ロッドの成形および耐アルカリ性試験 FRP rod molding by high-speed pultrusion and alkali resistance test  
 山下 研究員：H. Yamashita Researcher、松本 技師：H. Matsumoto Engineer、  
 上田・保倉・杉俣 研究員：H. Ueda, A. Hokura, E. Sugimata Researcher
- 18 溶融合浸法および超音波含浸法によるUD テープの成形 Molding of UD tape using melt impregnation and ultrasonic impregnation  
 山下 研究員：H. Yamashita Researcher
- 19 IHユニットの増強による高速昇温式ダブルベルトプレス(DBP)プロセス Rapid-heating Double Belt Press (DBP) process using Induction Heating units  
 石田・北田 研究員：O. Ishida, J. Kitada Researcher
- 20 Rilsan/CF テープを使用したランダムシート作製と評価 Random-sheet fabrication using Rilsan Matrix/CF UD tape  
 石田 研究員：O. Ishida Researcher、堀 技師：M. Hori Engineer
- 21 みかけ粘度測定によるCTT プレス成形挙動の解析技術の研究  
 Research on analysis technology for CTT press molding behavior by measuring apparent viscosity  
 白井・上田 研究員：T. Shirai, H. Ueda Researcher
- 22 X線位相イメージング技術によるCTT 成形品繊維配向解析と機械特性予測技術の開発  
 Fiber orientation analysis and mechanical property prediction for CTT-molded products using X-ray phase imaging technology  
 白井 研究員：T. Shirai Researcher
- 23 部分曲げ加工プロセスにおけるシワ形態と積層構成の影響  
 The influence of laminate configurations on wrinkling shape in partial bend forming process  
 布谷 研究員：K. Nunotani Researcher
- 24 RTM プロセスへの現場重合型熱可塑性樹脂の適用 Resin Transfer Molding using in-situ polymerization thermoplastics  
 布谷 研究員：K. Nunotani Researcher、佐久間・乾・堀・埜口 技師：T. Sakuma, N. Inui, M. Hori, S. Noguchi Engineer
- 25 超音波溶着時における炭素繊維強化熱可塑性樹脂の振動挙動の評価  
 Evaluation of Vibration Behavior of Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic during Ultrasonic Welding  
 川崎・石田 研究員：S. Kawasaki, O. Ishida Researcher
- 26 複合材料に革新をもたらす樹脂技術の開発 Development of resin technology that brings innovation to composites  
 西田・山下・稲垣 研究員：H. Nishida, H. Yamashita, M. Inagaki Researcher
- 28 エンジニアリング業務をサポートするICCの評価分析設備 ICC's evaluation and analysis facilities to support engineering work  
 植村・稲垣 研究員：K. Uemura, M. Inagaki Researcher、橋本 技師：K. Hashimoto Engineer
- 29 マテリアルデータの取得とデータベース化への取り組み Acquisition of material data and database creation  
 松本 技師：H. Matsumoto Engineer、山下 研究員：H. Yamashita Researcher
- 30 令和3(2021)年度の成果：Achievements in FY 2021
- 32 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 among ICC membership program  
 ＊三菱ケミカル株式会社 Mitsubishi Chemical Corporation  
 ＊丸八株式会社 Maruhachi Co., Ltd.  
 ＊小松マテレー株式会社 KOMATSU MATERE Co., Ltd.

## 2021年度のICCの研究開発の概要

Overview of ICC research activities in FY2021

本年度の研究活動は、ICC設立当初より中心的なプロジェクトとして取り組んできたCOI事業が最終年度を迎え、9年間の成果の取りまとめを行う大きな節目となった。ウィズコロナで人の行き来が制限される中、11月に開催した最終成果報告会は残念ながらオンライン開催となったがライブ配信とWebを活用した中身の濃い情報提供を行うことができたことは有意義であった。(現在もWebページでは9年間の研究成果を公開しているのでご参照ください。https://www.icc-kit.jp/coi/seika/)

## 1. COIの研究活動

COIの最終年度の成果については、目指すべき将来の姿として掲げた「革新材料による次世代インフラシステムの構築 ～安全・安心で地球と共存できる数世紀社会の実現～」を達成すべく、アプリケーションの社会実装と、さらに将来の適用拡大につながる基盤技術の取り組みを進めた。

重点テーマとして取り組んだFRP補強筋の開発では、リニア中央幹線への適用に向け、生産を担う企業への技術移管や量産製造ラインの立ち上げについても協議を進めているところである。さらに一般土木への適用拡大に向け、構造物の試設計と評価試験を行い、既存材料(鉄筋等)と同様に設計可能となるようデータを示したことは大きな成果となった。またロッド材に関しては端部定着が課題であったが、熱可塑性樹脂の特徴を生かした端部定着を考案したことで木造建築の耐震補強に採用が進んだことも大きな成果となった(特許申請済み)。基盤技術では耐熱樹脂の開発において250℃を超えるTgのアクリル樹脂と500℃耐熱のセミオーガニック(シルセスキオキサン)樹脂について材料レベルの性能確認が出来たことから、複合材料の建築分野での新たな可能性を示すことが出来た。

さらに連携プロジェクトの風力推進船については、現在1号船の建造が進んでおり、FRP製の硬翼帆の動作試験を経て、2022年秋から実運航が開始される予定である。

このように多くの社会実装が継続的に生み出されたことで、最終評価においてもS評価を得られた結果となり、COI事業としては終了するが来年度以降についても成果の展開や社会実装を進めていく計画である。



Rigid sail of the 1st wind powered vessel under construction



Research activities in 2021FY marked a major milestone in the final year of the Center of Innovation (COI) program, which has been a major project of the ICC since its establishment, and compiles the results of nine years of R&D. The final report conference in November was unfortunately held online due to the limited accessibility of the COVID-19 pandemic, but it was fruitful to be able to provide intensive information through live-streaming and the web. (The research results of the nine years are still available @ https://www.icc-it.jp/coi/seika/).

## 1. COI research activities

As for the results of the COI's final year, the ICC has worked on application industrialization and developing fundamental technologies that will further expand applications to achieve the future vision of 'Construction of next-generation infrastructure systems using innovative composite materials - Realization of a safe and secure society that can coexist with the Earth for centuries'.

In the development of FRP rebars, which was a priority theme for social implementation, discussions are under way on the transfer of technology to a company and start-up of a production line for application to the Linear Central Shinkansen Line. Furthermore, with the aim of expanding application to the general civil engineering field, ICC carried out trial structure design and evaluation tests, and it was a major achievement that data was presented to enable design in the same way as with legacy materials (e.g., steel rebars). The composite rod, for which end fixation was an issue, has been adopted for seismic reinforcement of wooden buildings thanks to the invention of end fixation using the characteristics of thermoplastic resin, and this has been another vital achievement (patent pending). In the development of heat-resistant resins, acrylic resin performance with a Tg exceeding 250℃ and semi-organic (silsesquioxane) resins with a heat resistance of 500℃ was confirmed at the material level in terms of basic technology, demonstrating new possibilities for composites in the construction field. Furthermore, the construction of the collaborative project's first wind-powered vessel is currently under way, and after an operational test of the FRP rigid sails, actual operation is



Web page of the COI Final Report Conference



## 2. COI以外の研究活動とICCの研究方針について

COI以外の研究活動についてはコロナ禍の移動制限がある中ではあったが、例年以上に多くの企業との共同研究や新規の外部資金も獲得できた。

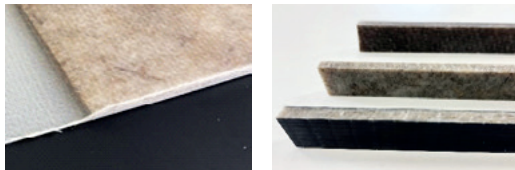
研究開発を取り巻く環境変化の点では、2050年のカーボンニュートラルを目指し、2020年12月に発表されたグリーン成長戦略に基づく各分野での活動が本格化している。特に輸送やエネルギー分野においては化石燃料から水素への転換が示され水素社会の実現が課題である。また再生可能エネルギーの分野では洋上風力発電の大規模な導入が発表されたことで急速に産業化に向けたサプライチェーンの構築が進みつつある。これらの実現においては、COIで掲げたテーマと同様に、軽量高強度で長寿命な複合材料は欠くことのできない重要な役割を担っていると言える。

そういった中、ICCの活動においてもカーボンニュートラルに資する研究開発は注力すべき課題である。具体的には水素分野では水素の輸送に欠くことの出来ない高圧水素タンクについてNEDO「燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業」に革新的な製造技術の提案を行い、プロジェクトをスタートしている。また、洋上風力に関してはCOIから継続して日本の環境に適合した垂直軸型洋上風力発電の開発に取り組んでいる。現状では従来型の水平軸型風車が世界を席巻している状況でこのままでは海外で先行するVestas、GE、シーメンスと言った海外メーカーの下請けとなることが懸念されるところであり、日本の独自技術となるよう垂直軸型風車については引き続き取組を進めていく方針である。

このようにカーボンニュートラルの実現に向けて複合材料はKeyとなる技術であるが、一方で特に炭素繊維は製造時のエネルギーが大きいこと、材料そのものが石油由来であることが新たな課題となりつつある。またリサイクルについても単に高価な炭素繊維を取り出すだけでなく、製造時からリサイクルを可能にする樹脂の設計や利用技術についても不可欠となっている。このような背景からICCでは従来の高性能な炭素繊維だけでなく、低環境負荷な天然材料の利用技術や地産地消まで視野に入れた環境適合型複合材料の検討を開始している。さらに製造技術においてはセンシング技術、シミュレーション技術等により製造工程のデジタル化を図ることで、モノづくり技術の高度化を重点課題として来年度も進めていく計画である。



Vertical-axis wind turbine (by Albatross Technology LLC)



Hybrids of natural fibers and CF

scheduled to start in Fall 2022.

As many social implementations have been continuously produced in this way, the project received an “S” in the funding agency’s final evaluation. Although the COI project has come to an end, we plan to continue developing the results and promoting social implementations in the next fiscal year and beyond.

2. Non-COI research activities and the way forward for the ICC  
Regarding research activities other than COI, although there were restrictions on movement due to COVID-19, we were able to conduct joint research with more companies than in previous years and obtained new external funding. In terms of changes in the environment surrounding research and development, activities in various fields based on the Green Growth Strategy announced in December 2020 by the Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) with the aim of becoming carbon neutral by 2050 are now in full swing. In the transport and energy sectors, the shift from fossil fuels to hydrogen has been indicated and the realization of a hydrogen society is a topic of discussion. In the field of renewable energy, the government’s announcement of the large-scale introduction of offshore wind power generation (45GW) is rapidly moving the supply chain towards industrialization. As with the themes set out in the COI, lightweight, high-strength and long-life composites play an essential and important role in achieving these goals.

In this context, the ICC’s activities should also focus on research and development that contributes to carbon neutrality. Specifically, in the hydrogen field, ICC has proposed an innovative manufacturing technology for high-pressure hydrogen tanks, which are indispensable for the transport of hydrogen, to the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), resulting in a new industry-academia-government collaborative R&D project on fuel cells”. In the area of offshore wind power, we have been working since the COI on the development of vertical-axis offshore wind turbines that are suited to Japan’s environment. At present, conventional horizontal-axis wind turbines dominate the world, and there are concerns that if this continues, Japan will become a subcontractor to leading overseas manufacturers such as VESTAS, GE and Siemens, so the ICC continues to work on vertical-axis wind turbines with the aim of establishing Japan’s original and unique technology.

Composite materials are a key technology for realizing carbon neutrality; however, carbon fibers, in particular, require substantial energy during production, and the fact that the material itself is derived from petroleum poses a new challenge. It is essential not only to extract expensive carbon fibers, but also to design and utilize a resin system that enables recycling from the manufacturing stage. Against this background, ICC has started to consider not only conventional high-performance carbon fibers but also environmentally adaptable composites, with a view to the use of natural materials with low environmental impact and local production for local consumption. Furthermore, the ICC plans to digitalize the manufacturing process using sensing and simulation technology among others, and to advance manufacturing technology sophistication as a priority issue in the coming year.

## NEDO革新FC事業への参画

Participation in NEDO Innovative FC Project

NEDO「燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業1）」の公募に対して、水素貯蔵技術の分野において、金沢工業大学ICC及び東京農工大学、日本大学、ミズノテクニクス(株)の4機関は、2021年度に革新的なFCV (Fuel Cell Vehicle: 燃料電池自動車) 向け水素タンクの製造技術の提案を行い、採択され、プロジェクトをスタートさせた。

本プロジェクトの研究開発のポイント(図1)は、産業界のニーズを取り入れ、

1. 通常の水素タンクはフィラメントワインディング(FW)成形により一体型であるが、提案コンセプトはシリンダー部とドーム部を分割してプリフォーム化し、最適な結合形態により、炭素繊維の使用量を削減し、コストダウンを実現する。

2. Redox反応(酸化還元反応)を利用した新規樹脂の開発により、分割プリフォームとRTM(Resin Transfer Molding)プロセスの組み合わせにより、5分のサイクルタイムを実現、高生産性を実現する。

4機関の役割を図2に示す。ICCは、新規樹脂の開発及びドーム部プリフォームの成形技術、RTM成形プロセスの開発を担当、日本大学はシリンダー部プリフォームの高速成形技術を担当、東京農工大学は分割プリフォームの最適結合形態の検討及び解析評価を担当、現行のトヨタ「MIRAI」の水素タンク用トウプリプレグを製造しているミズノテクニクス(株)は新規開発樹脂のトウプリプレグの高速含浸製造技術に取り組んでいる。4機関が協力して、2022年度に水素タンクの分割コンセプトの検証を実施する予定。本プロジェクトは、4年間を予定しており、最終報告が完了した時点で、再度、詳細報告を実施する。

Reference

1) [https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_101458.html](https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101458.html)

燃料電池の飛躍的な普及拡大に向けた新たな研究開発に着手―農機・建機やドローンなど多様な用途での活用をはじめ24件のテーマを採択―

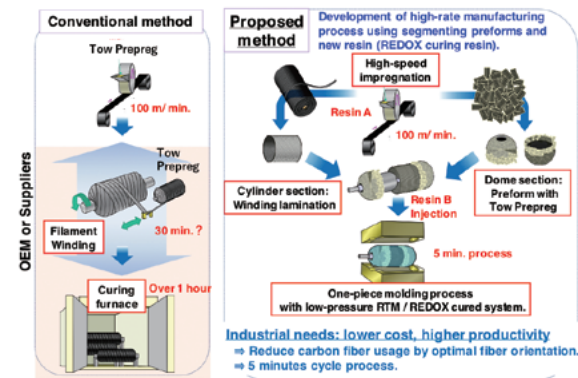


Figure 1. Innovative hydrogen tank production technology



中島 正憲  
Masanori Nakajima

鵜澤 潔  
Kiyoshi Uzawa

In the field of hydrogen storage technology, four organizations, Kanazawa Institute of Technology ICC, Tokyo University of Agriculture and Technology, Nihon University, and Mizuno Technics Corporation, submitted a proposal of a hydrogen tank manufacturing technology for innovative fuel cell vehicles (FCV) to the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), which is an industry-academia-government collaborative project for R&D in solving common problems owing to the dramatic expansion of fuel cell use1, in FY2021. The project has been accepted and started.

The purpose of this project’s R&D (Figure 1) is to incorporate the needs of the industry.

1. The proposed concept divides the cylinder and dome sections into separate preforms and the amount of carbon fiber used can be reduced to reduce costs by using optimal bonding.

2. Additionally, the proposal combines the segmented preforms and resin transfer molding (RTM) processes by developing a new resin that utilizes the redox reaction to achieve a cycle time of five minutes, resulting in high productivity.

The roles of the four organizations are shown in Figure 2. ICC is responsible for the development of the new resin, forming technology for the dome section preform, and the RTM molding process. Nihon University is responsible for the high-speed forming technology for cylinder section preforms. Tokyo University of Agriculture and Technology is responsible for the study and analytical evaluation of the optimal bonding configuration of the segmenting preform. Mizuno Technics, which manufactures tow prepregs for the current Toyota MIRAI hydrogen tank, is working on high-speed impregnation manufacturing technology for the newly developed resin tow prepregs. The four organizations plan to cooperate in the verification of the segmenting joint concept of the hydrogen tank in FY2022. This is a four-year project and a detailed report is expected to be made again once the final report is completed.

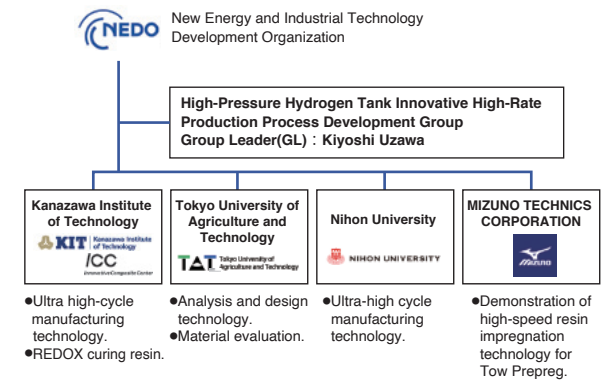


Figure 2. Research and Development Scheme



## Composites United (旧CFK-Valley)ドイツ連携について：HiPeRプロジェクト

Collaboration with Composites United, Germany (formerly CFK-Valley): HiPeR Project

日独国際共同研究で2020年度より取り組んでいるHiPeRプロジェクトでは、日本からICCを含む4機関とドイツから4機関の計8機関が参画し、リサイクル炭素繊維(rCF)を用いた高配向の中間基材を開発し、航空及び自動車産業用の部材への適用を目指している。

機体や車体の軽量化が必要となることから、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)の需要が増す一方で、廃棄の際には端材や使用済み製品の大部分は埋立処理に頼っており、そのリサイクルシステムの確立は喫緊の課題となっている。加えて、回収された繊維の再利用に関しても、規格が無いような性能が低く高価格というアンバランスな価格対性能比が障害となり産業化には至っていない。このように、CFRPのリサイクル技術の開発から回収繊維の再利用までの一貫した循環型リサイクルシステムの形成が求められている。

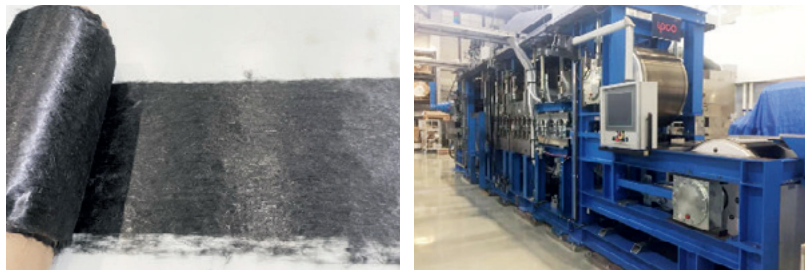
そこで本プロジェクトでは、まず熱分解処理により取り出されたrCFと、端材などから回収されたCFの2種類のrCFを使用し、可能な限り繊維の配向性を高めることで高い機械特性を実現するrCFシートを開発する。更に日本側では自動車用途の製品に焦点を当てて熱可塑性樹脂(PP)をマトリックスとしたプレス成形を、ドイツ側ではエアバスの研究開発機関であるCTC社が航空機の構造部材への適用に向け熱硬化性樹脂(EP)を含浸させるRTM成形で部材を開発し、試験・評価・分析の後デモンストレーター製造までを目標としている。

研究メンバーであるICCでは、ダブルベルトプレスを用いてrCFシートにPPを含浸させプリプレグ化し、クーポンテストや含浸方法の最適化、ならびに参画企業への技術的サポートを行っている。具体的にはrCF不織布(図1左)とPP樹脂フィルムを交互積層させ、ダブルベルトプレス(図1右)を用いて連続的に樹脂を繊維基材へ含浸させることで、長尺のプリプレグ作製に取り組んでいる。後工程でプレス成形しやすいように含浸性や厚みの均一性を確保することが重要である。また、昨年に続き今年度も月一回の日独Web会議を実施し、双方の進捗状況について共有を行っている。

このように、HiPeRプロジェクトはリサイクル材普及の大きな障害となっている価格対性能比を、材料の性能を向上させることで解決し、サステナブルなリサイクル産業の形成に寄与する。

※HiPeR参画メンバー：C.A.R. FiberTec、CTC、FIBRE、STFI、カーボンファイバーリサイクル工業、IHI物流産業システム、森六ケミカルズ、ICC

Figure 1 .  
rCF nonwoven fabric (left) &  
Double Belt Press (right)



The HiPeR project launched in 2020 in collaboration with Germany involves eight partners, four each from Japan (including ICC) and Germany. It aims to develop highly oriented intermediate materials made from recycled carbon fibers (rCF) and apply them to components in the aviation and automotive industries.

While the demand for carbon fiber reinforced plastics (CFRP) is increasing as aircraft and vehicle bodies become lighter, most scraps and used products are disposed in landfills, necessitating the urgent establishment of a recycling system. In addition, the reuse of recovered fibers has not yet been industrialized because of the unbalanced price to performance ratio with no standard, that is, low performance and high cost. Thus, there is a need to establish a complete recycling system that covers the development of CFRP recycling technology and the re-use of recovered fibers.

This project uses two types of rCF, rCF extracted by pyrolysis and CF recovered from scraps, to produce a high-performance rCF sheet by improving the fiber orientation as much as possible. Furthermore, the Japanese team focuses on the press molding of thermoplastic matrix (PP) with a focus on products for automotive applications, while CTC, the R&D center of Airbus, aims to develop an RTM with a thermosetting matrix (EP) for application in aircraft structural components. This is followed by tests, evaluation, and analysis, and, finally, the production of a demonstrator.

ICC's responsibilities include impregnation of the rCF sheet with PP for prepregging, conducting coupon tests, optimizing the impregnation method, and providing technical support to the project partners. Specifically, rCF nonwoven fabrics (Figure 1, left) and PP resin film are alternately laminated, and a double-belt press (Figure 1, right) is used to continuously impregnate the resin into the sheet to produce long prepregs. It is important to ensure the consistency of impregnation and thickness to facilitate press forming during the subsequent process. The ICC organizes an online meeting for the German and Japanese project partners every month to exchange information on the progress from each side.

The HiPeR project is expected to solve the price to performance ratio, which is a major drawback of the widespread use of recycled fibers, by improving the performance of materials and contributing to the creation of a sustainable recycling industry.

※HiPeR partners: C.A.R. FiberTec, CTC, FIBRE, STFI, CFRI, IHI, Morioku Chemicals, ICC

## 高速引抜成形によるFRPロッドの成形および耐アルカリ性試験

FRP rod molding by high-speed pultrusion and alkali resistance test



コンクリート中の鉄筋は水分や海水、凍結防止剤などの浸食によって腐食してしまうため、定期的なメンテナンスが必要となる。解決策として注目されているのがFRP(Fiber Reinforced Plastic)筋である。ICCでは、溶融合浸法を用いた高速引抜成形によるバサルト繊維(BF)/ポリプロピレン(PP)のFRPロッドの開発を行った。2020年度はPPに添加する相溶化剤の選定や添加量について検討した。また、装置を改造することで成形速度45 m/minを達成した。

2021年度は、BFの選定として、これまでに使用していたBF以外に3種類のBFについても耐アルカリ性試験を行った。耐アルカリ性試験ではコンクリート内成分を模倣したアルカリ溶液にBFを60 °Cで所定の日数浸漬した後に、単糸の引張試験を行った。図1に各日数におけるBFの引張強度の減少率に関するグラフを示す。各BFのアルカリ未浸漬の引張強度は2~2.8 GPa程度なのに対し、28日間アルカリ浸漬するとNo.1では70%ほど低下し、No.2および4では80%以上も低下した。一方でNo.3は低下率が50%ほどに留まっていた。

BFの樹脂との相性を検証するため、マイクロドロプレット試験を用いて各BFの界面せん断強度を測定した。結果を図2に示す。全体的に相溶化剤の添加量が増加するにつれて界面せん断強度が向上した。今回測定した中では、No.3のIFSSが約25 MPaまで向上した。今回の耐アルカリ性試験および界面接着性評価の結果から、No.3のBFが最も適した材料であることが明らかとなった。

Reinforced-steel bars in concrete are prone to corrosion induced by moisture, seawater, and antifreeze agents. Therefore, regular maintenance is required. FRP (Fiber Reinforced Plastic) bars are being researched and developed as an alternative to steel bars. ICC has developed a basalt fiber (BF)/ polypropylene (PP) rod by high-speed pultrusion using the melt impregnation method. In FY2020, we examined the selection and amount of compatibilizer to be added to PP. Through modifications to the equipment, a molding speed of 45 m/min was achieved.

In FY2021, we obtained three new types of BF's and conducted an alkali resistance test to select the optimum material. In the alkali resistance test, BF's were immersed in an alkaline solution imitating the components present in concrete at 60 °C for a predetermined number of days. Following this, the single fiber was subjected to a tensile test. Figure 1 shows the graph of the rate of decrease in the BF tensile strength with the number of days it was immersed in the alkaline solution. The tensile strength of each of these BF's before immersion in the alkaline solution was about 2-2.8 GPa; however, after immersion in the alkaline solution for 28 days, it decreased by about 70% in No. 1, by more than 80% in No. 2 and 4, and by about 50% in No. 3.

To verify the compatibility of BF with the resin, the interfacial shear strength (IFSS) of each BF was measured using a microdroplet test. The results are shown in Figure 2. Overall, the IFSS improved as the amount of compatibilizer added increased. In this measurement, the IFSS of No. 3 improved to about 25 MPa. From the results of the alkali resistance test and interfacial adhesiveness evaluation, it became clear that No. 3 BF is the most suitable material.

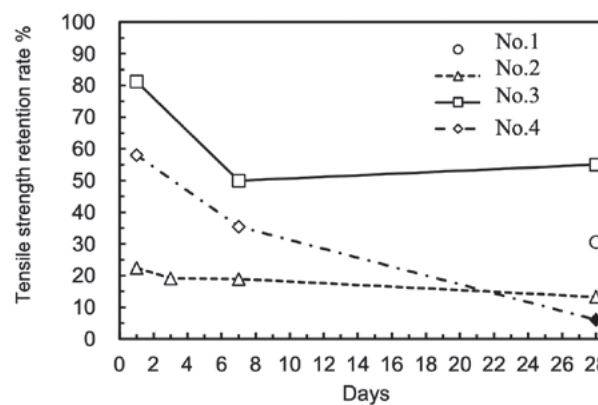


Figure 1. Retention rate of tensile strength in alkali resistance test of BF.

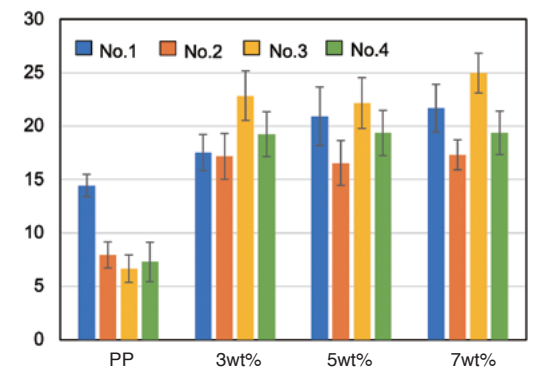


Figure 2. Results of interfacial adhesion evaluation between BF and PP by microdroplet test.

## 溶融合浸法および超音波含浸法によるUDテープの成形

Molding of UD tape using melt impregnation and ultrasonic impregnation



山下 博  
Hiroshi Yamashita

一方向 (UD) テープは、一方向に引き揃えた炭素繊維 (CF) などの連続繊維にポリプロピレン (PP) やポリアミド6 (PA6) などの熱可塑性樹脂を含浸させたテープ状の材料である。UDテープは連続繊維を使用しているため、チョップドファイバーを使用した複合材料よりも剛性や強度に優れる。UDテープを用いるメリットとしてはオート・テープ・プレースメント (ATP) に適応することで、自動積層による生産性の向上や大型構造部材の成形が可能となる。また、UDテープを短くカットしてランダムに積層したランダムシートを用いることで複雑形状の部材をプレスで成形することが可能となる。今回、ICCが所有する2種類のUDテープ成形装置を紹介する。

溶融合浸法は押出機を用いて樹脂を加熱・溶融させ、溶融した樹脂を含浸パイプ内に流し込み、そこに連続繊維を通し、引き抜くことでUDテープを成形する手法である。含浸パイプ内にはローラーを配置することができ、このローラーに繊維を蛇行させるように通すことで繊維内への樹脂の含浸を促すことが可能となっている。

超音波含浸法は、CFトウの上下からPPやPA6などの熱可塑性樹脂フィルムで挟み、超音波振動によって樹脂を溶融させ、繊維に含浸させる。また、CFトウは開繊部を通すことで超音波振動によって開繊することが可能である。

Unidirectional (UD) tape is a tape-like material made of continuous fibers such as carbon fiber (CF) bundled in one direction and impregnated with a thermoplastic resin such as polypropylene (PP) or polyamide 6 (PA6). Since UD tape uses continuous fibers, it has better rigidity and strength than composite materials that use discontinuous fiber. Adapting UD tape in Auto Tape Placement (ATP) will improve productivity through automatic stacking and stability of large structural components. In this report, we will introduce two types of UD tape forming equipment owned by ICC.

The melt impregnation method uses an extruder to melt the resin, which is then poured into the impregnation pipe and impregnated into continuous fibers. The fibers pass through the rollers placed in the impregnation pipe in a meandering manner to promote the impregnation of the resin into the fibers.

In the ultrasonic impregnation method, the CF tow is sandwiched between thermoplastic resin forms such as PP and PA6, and the resin is melted by ultrasonic vibration to impregnate the fibers. Simultaneously, the CF tow opens by ultrasonic vibration after passing through a part that heats the fibers.

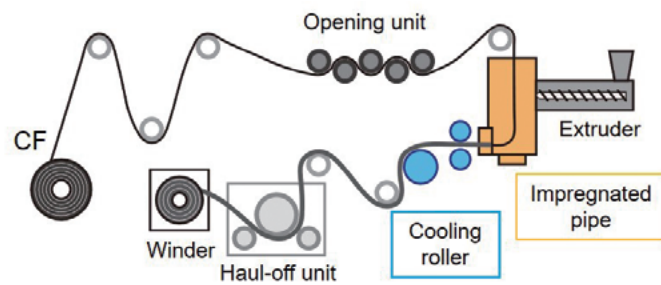


Figure 1. Melt impregnation machine.

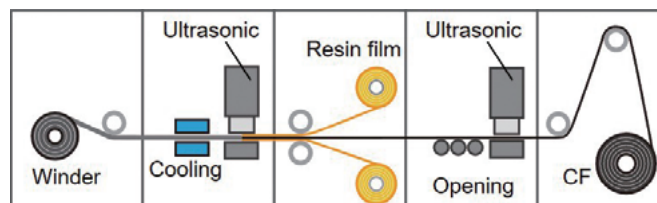


Figure 2. Ultrasonic opening and impregnation machine.

## IHユニットの増強による高速昇温式ダブルベルトプレス (DBP) プロセス

Rapid-heating Double Belt Press (DBP) process using Induction Heating units



石田 応輔  
Osuke Ishida



北田 純一  
Junichi Katada

ダブルベルトプレス (DBP) を用いて熱可塑性樹脂を炭素繊維基材に連続的に含浸させてスタンパブルシートを製造するプロセスをこれまで研究してきた。スタンパブルシートの高速製造において重要な一つの鍵は装置内での昇温効率の改善である。2016年度にはIHユニットをローラープレスゾーンの手前に配置してスチールベルトを高速昇温させる改造を実施した (図1左)。本年度はこのIHユニットをフル仕様へ増強したことで (図1右)、IHユニットのみでローラープレスの前に成形可能な温度付近まで到達させるプロセスが可能となった。

CF織物14枚、PA6フィルム15枚を交互積層した幅0.55m×長さ1.5m基材について、改造IHユニットを使用したダブルベルトプレスによって0.8m/分のベルト速度で成形した。成形品の厚みはt3.2mmで繊維体積含有率は51%である。図2にはDBP成形過程における基材の温度分布の経時変化を示す。特にベルトと接触する表面温度 (1p, 14p) はIHユニットの3つのコイルによって温度が急速に上昇しているのが分かる。一方、積層中央の温度 (7p-1~3) は積層方向の熱伝導により遅れて温度が上昇するが、ローラープレス突入時にはPA6融点近傍の200℃付近まで到達した。

この改造IHユニットを使用することでDBP成形過程を効率化するとともに、成形中の温度プロファイルの制御性が向上した。これまで以上に幅広い種類の材料や成形プロセスに対して適用できると期待される。

We have developed an organo-sheet manufacturing technology and an impregnation process of carbon fiber materials with thermoplastic using a Double Belt Press (DBP). One of the key factors to achieve high-rate organo-sheet manufacturing is the improvement of heating efficiency. Thus, we installed Induction Heating (IH) units that can increase the temperature of the steel belt rapidly before the press, as shown in Figure 1 (left). We have remodeled these IH units this year, as shown in Figure 1 (right), to improve the heating efficiency.

Fourteen layers of carbon fiber fabrics and fifteen layers of PA6 films were stacked alternately. The sheets were 550 mm wide and 1.5 m long. The organo-sheet was manufactured from these materials using DBP at a processing velocity of 0.8 m/min. The thickness of the composite was 3.2 mm, and the fiber volume fraction was 51%. Figure 2 shows the temperature profiles during the process. The surface temperatures adjacent to steel belts (1p, 14p) increased rapidly during the IH unit process. The temperature at the middle layers of the stack (7p-1 to 3) increased slowly because of the time taken for heat transfer through the thickness. However, the temperatures reached around 200 °C, which was close to the melting temperature of PA6.

These IH units will help optimize the temperature profile in the DBP process. The process will be applied in the manufacturing technology for a wide variety of materials.

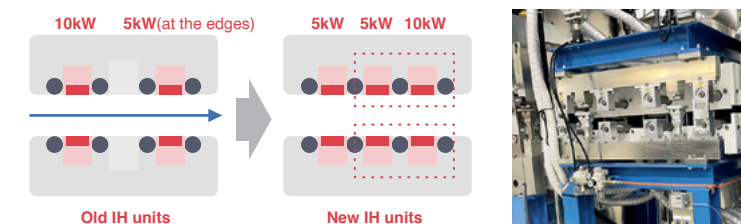


Figure 1. Induction Heating units

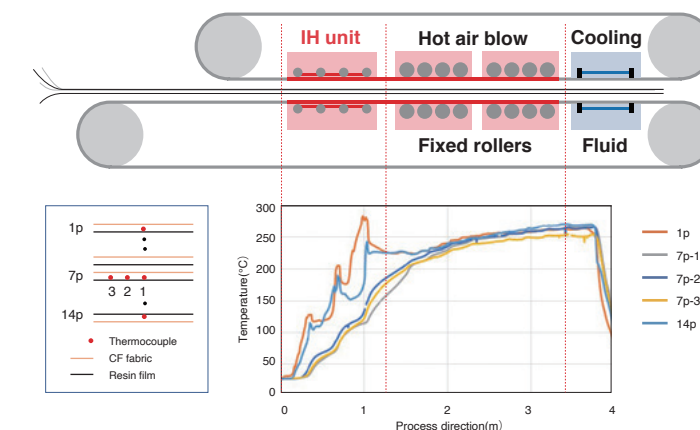


Figure 2. Temperature profiles for manufacturing organo-sheet with the stack of CF woven fabric/PA6 film (t3 mm)



## Rilsan® Matrix/CFテープを使用したランダムシート作製と評価

Random-sheet fabrication using Rilsan® Matrix/CF UD tape



石田 応輔  
Ousuke Ishida

堀 正芳  
Masayoshi Arai

アルケマ社との共同研究において、提供されたRilsan® Matrix/CF UDテープ(UDX® PPAテープ) からランダムシートを作製し、その成成品の評価を実施している。UDX® PPAテープに使用されるRilsan Matrixとは高いTg(140℃)を有するPPA(ポリフタルアミド)系樹脂である。一方で融点は約260℃と低く抑えられ加工がしやすく、吸水率も3%以下という特徴を有する。

本研究では図1に示す炭素繊維小片テープ積層装置(渋谷工業製)を使用して、UDX® PPAテープ(Vf 50%、厚さ77μm)を長さ26mmにカットしながら、250×250mmのサイズでランダムな配向に積層した。この時、カットテープの積層位置は事前にプログラムして面内の積層分布が出来るだけ均一となるように制御した。その積層品を加熱温度310℃、加圧2MPaでプレス成形して厚さ2mmのランダムシートを作製した(図2)。成形したランダムシートについて引張試験と曲げ試験を実施した結果、図2に示す通り低いバラツキで高い力学特性が得られた。

現在はこのランダムシートを用いた3D形状の賦形に取り組んでいる。ヒート&クール成形でBOX型の形状を賦形した結果、図3に示すように高いテープ流動性と表面の金型転写性が確認できた。引き続きスタンピングプレス成形への適用評価にも取り組んでいる。

In collaboration with Arkema, we fabricated a random-sheet using the Rilsan® Matrix/CF UD tape (UDX® PPA tape) and evaluated its performance. Rilsan Matrix is based on a PPA (Poly Phthal Amide) chemical backbone and has a Tg of 140 °C. Its melting temperature is 260 °C, and the moisture uptake is less than 3%.

We fabricated a stack of randomly oriented cut-tapes (Vf 50%, 77 μm thick) of 26 mm length using an auto cut-tapes placement machine (Shibuya corporation), as shown in Figure1. The positions of the tapes were determined to achieve uniform distribution. The stack was heated to 310 °C and molded under a pressure of 2 MPa. A 2 mm thick random-sheet was fabricated, as shown in Figure 2 (left). The tensile and flexural properties of this random-sheet are demonstrated in Figure 2 (right), indicating low variability and high strength.

We then evaluated the 3D formability of this random-sheet. Figure 3 shows a BOX-type product based on heat-and-cool compression molding method, which demonstrated good flowability of the tape as well as a good appearance. The next objective is the application of stamp-forming technology.

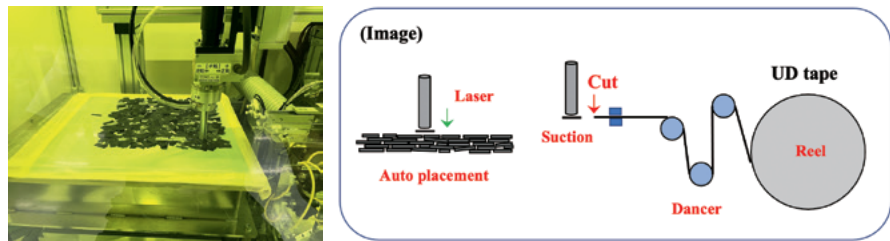


Figure 1. Auto cut-tapes placement machine for random-sheet fabrication.

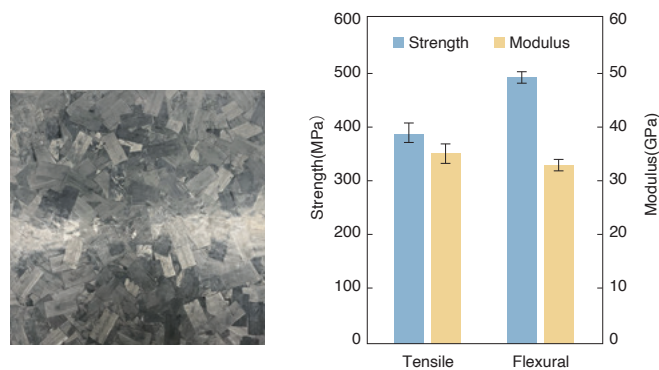


Figure 2. Random-sheet (Left) and the mechanical property (Right).



Figure 3.  
D shape product fabricated from random-sheet.

## みかけ粘度測定によるCTTプレス成形挙動の解析技術の研究

Research on analysis technology for CTT press molding behavior by measuring apparent viscosity



白井 武広  
Takehiro Shirai

上田 久偉  
Aisai Ueda

熱可塑CFRPプレスは、加熱溶融させた材料を、圧縮荷重で金型内で流動させる成形加工するプロセスである。不連続炭素繊維熱可塑CFRP(CTT: Chopped carbon fiber Taped reinforced Thermoplastics)は、リブ形状など立体的な製品形状が1回のプレスで加工できる高い成形性を有しているが、成形時の材料流動によって繊維配向が大きく変化するため成成品にバラツキが伴う課題がある。本研究では、金型変位と樹脂圧力の変化からみかけ粘度を測定する手法を用いて、成形条件と材料流動の関係を明らかにし、成形条件を最適化することを目的としている。金型温度を樹脂融点よりも低く設定したスタンピングプレス成形は、材料の冷却と成形加工が同時に金型内で行われ、材料の温度や圧力が同時に変化するため定量的な計測が困難である。そこで、みかけ粘度測定によりプレス成形時のリアルタイムな材料流動特性の変化を予測することでプレス成形挙動の解明を進めている。

図1は、スタンピングプレス成形時の金型内の材料流動と、金型に搭載した各種センサの変化を模式的に示した図で、材料流動時は温度や圧力と金型速度が短時間で同時に変化するプロセスを表している。図2は、CTTのスタンピングプレス成形時の金型変位、速度、圧力変化を示した実測チャートで、図中の赤矢印が金型内で材料が流動している変化を示している。図3は、図2から求めたみかけ粘度を、CTT材のみかけ粘度速度依存性データに赤丸プロットで示した結果である。みかけ粘度の測定により、CTTのスタンピングプレス成形中の材料温度変化とそれに伴う材料せん断速度の変化を連続的に測定することができた。

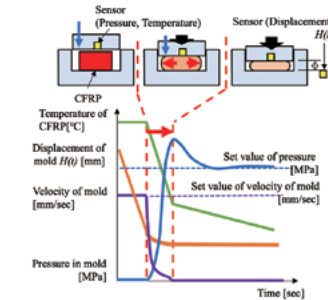


Figure 1. the schematic of material flow in the mold during the stamping press molding process and the changes in various sensors mounted on the mold.

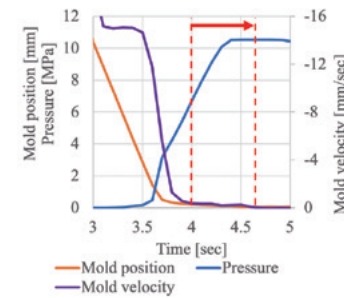


Figure 2. Changes of mold position, mold velocity, and pressure during CTT stamping press molding.

Chopped carbon fiber taped reinforced thermoplastics (CTT) possess favorable material flowability and formability, allowing for effective processing of three-dimensional product shapes, e.g., rib shapes, by a single press molding process. The aforementioned properties distinguish CTT as a promising material for mass-produced substances; however, the quality of molded products can vary significantly because the internal fiber orientation depends on the material flow during the press molding process. This study aims to clarify the relationship between molding conditions and material flow, allowing for the optimization of molding conditions by using the apparent viscosity measurement method, which accounts for the mold displacement sensor and the change in the pressure sensor. In stamping press molding, the mold temperature is below the melting point of the resin, accompanied by a simultaneous change in the material compression rate, temperature, and pressure change; therefore, a quantitative measurement is impossible to accurately execute. Therefore, the press molding technology for fiber composite materials was elucidated by measuring the apparent viscosity, which is required to accurately measure the desired material change.

Figure 1 shows the schematic of material flow in the mold during the stamping press molding process and the changes in various sensors mounted on the mold. The temperature and pressure change simultaneously, and the mold speed also changes according to material squeezed flow. Figure 2 displays the observed displacement, velocity, and pressure change of the press forming die during stamping press forming of CTT. The red arrow in Figure 2 shows the change in the material flowing in the die. Figure 3 shows the apparent viscosity obtained from Figure 2 as a red circular plot of the apparent viscosity rate-dependence data of the CTT material. By measuring the apparent viscosity, it was possible to continuously measure the change in material temperature during stamping press forming of CTT and the accompanying change in material shear rate.

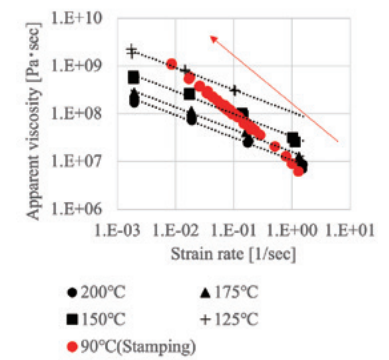


Figure 3. Changes of apparent viscosity during CTT stamping press molding plotted on CTT apparent viscosity strain rate and temperature dependence.



## X線位相イメージング技術によるCTT成形品繊維配向解析と機械特性予測技術の開発

Fiber orientation analysis and mechanical property prediction for CTT-molded products using X-ray phase imaging technology



白井 武広  
Takahito Shirai

CFRP成形品の内部構造は外観や機械特性と大きく関わりがある。これらは、X線CT撮影画像処理によって観察が可能であるが、撮影範囲が数mm程度であるため成形品全体の観察は困難である。最近注目されているX線位相イメージング技術は、従来のX線透過撮影では不可能であった微小な内部構造を観察できる特徴から、CFRP成形品の繊維配向や損傷解析などの研究が行われている。X線位相イメージングの測定原理は、被写体を通過したX線の微小な散乱や屈折をタルボロー干渉系で検出する手法で、回折格子を複数の回転角度で撮影した画像の合成により、面内の繊維配向分布をCT撮影ではなく透過撮影で観察することができる(図1)。本研究では、今まで取得が困難であった不連続炭素繊維熱可塑性CFRP(CTT)の繊維配向データを取得し、材料物性を計算したFEMモデルを作成して成形品の機械特性予測を行った。図2に試験体写真と、試験条件、解析範囲(DIC解析パターン)を示す。図3の(a)は、X線位相イメージング装置(島津製作所開発機)で取得した配向角度をカラーマップ、配向度を濃淡画像で表した結果。(b)は(a)から計算した材料物性を色分けしてFEMモデルに定義した結果。(c)は(b)を用いて引張試験シミュレーションを行ったひずみ分布の結果。(d)は試験体の引張試験時のDICひずみ解析画像の結果である。(c)と(d)は公称ひずみ0.16%の結果で、それぞれ分布が同じ傾向であることより、試験体繊維構造による機械特性と同じ材料物性モデルを作成することができたと言える。本手法は、繊維積層設計の最適化や成形品の非破壊品質確認が容易となることから、不連続繊維複合材料の適用拡大に大きく貢献できる技術である。

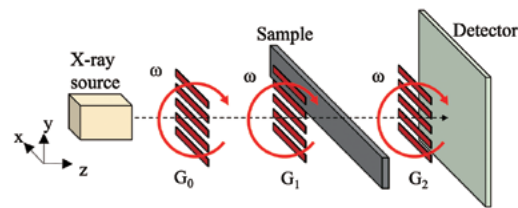


Figure 1. Schematic diagram of X-ray phase imaging.

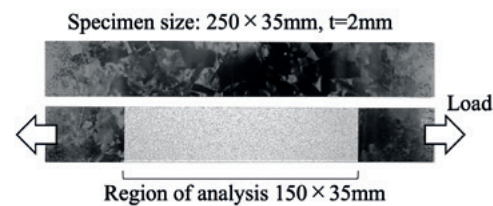


Figure 2. Photograph of a specimen, analysis range, and test conditions.

The observed appearance and mechanical properties of CFRP products are strongly correlated to the fiber structure and orientation angle, which can be obtained using X-ray CT image processing. However, it is difficult to identify the fiber orientation distribution of the CFRP product because of a limited imaging region (in the range of several millimeters). X-ray phase imaging technology, which has recently attracted attention, can be used to observe microstructural damage and fiber orientation, which is not possible by conventional X-ray transmission imaging. The principle of X-ray phase imaging is the use of the Talboro interference system for detecting minute scattering and refraction of X-rays that have successfully passed through the subject. The orientation distribution was identified by transmission observation without rotating the test piece (Figure 1). In this study, we acquired fiber orientation data of products molded from discontinuous carbon fiber thermoplastic CFRP, which have been difficult to obtain until now. Based on acquired results, an FEM model was developed, which was used to calculate the material properties and theoretically predict the mechanical properties of the molded products. Figure 2 shows a photograph of the test piece, test conditions, and analysis region (DIC analysis pattern). Figure 3(a) shows the orientation angle by color map and degree of orientation by brightness acquired by using the X-ray phase imaging device (Shimadzu Corporation development machine), while Figure 3(b) shows the material properties predicted by the FEM model calculated from the data shown in Figure 3(a). Figure 3(c) displays the strain distribution obtained by simulating the tensile test using data from Figure 3(b). Figure 3(d) shows the DIC strain analysis image at the time of the tensile test of the test piece. Figure 3(c) and (d) show that the strain distributions have similar tendencies. Therefore, it was possible to develop a material property model with mechanical properties identical to those of the test piece fiber structure. This method was used to successfully optimize the fiber lamination design and non-destructive quality confirmation of molded products. This technology can significantly contribute to the expansion of discontinuous carbon fiber thermoplastic CFRP.

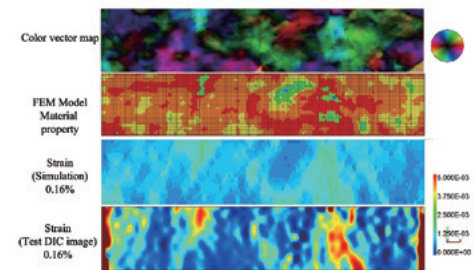


Figure 3.  
(a) Color vector map acquired by X-ray phase imaging device,  
(b) FEM model of calculated material characteristics,  
(c) Strain distribution obtained by tensile test simulation,  
(d) DIC during tensile test of specimen Strain analysis image.

## 部分曲げ加工プロセスにおけるシワ形態と積層構成の影響

The influence of laminate configurations on wrinkling shape in partial bend forming process



布谷 勝彦  
Katsuhiko Nanotani

本研究は、厚板CFRTPを簡便に曲げ加工するために、部分加熱による曲げ加工(部分曲げ加工)プロセスを提案している。本曲げ加工プロセスの詳細はICCアニュアルレポート2019を、シワを含む曲げ加工部の破壊特性はICCアニュアルレポート2020をそれぞれ参照されたい。本報においては、異なる積層構成を持つ曲げ加工部のシワ形態の特徴とその機械特性を報告する。

異なる積層構成の積層板にたいして、フォーミングシミュレーションによるシワ形態の予測、および部分曲げ加工による試験体の製作を実施した。シミュレーションと試験体の端面を図1にそれぞれ示す。ここで、(a)単層厚が薄く積層数が多い積層構成:CF-3K織物/PA66×18層、(b)単層厚が厚く積層数が少ない積層構成:CF-12K織物/PA6×9層、板厚は約4mmである。部分曲げ加工プロセスは、曲げ加工部に複数のシワが分散して形成されることが確認できる。また、シミュレーションは、実加工のシワの形態の特徴を再現できていることがわかる。次に、図2は、(a)と(b)積層材の曲げ加工による試験体、およびプレス成形による試験体(シワを含まない試験体)のCBS試験(Curved Beam Strength Test)結果を示す。CBS試験の結果より、(a)単層厚が薄く積層数が多い積層構成の場合において、部分曲げ加工のシワを含む曲げ加工部は、シワを含まない曲げ成形部と比較して、同等の剛性であるが強度が75%程度であることがわかる。(b)単層厚が厚く積層数が少ない積層構成場合においては、シワの有無に関係なく、同等の剛性と強度を示すことがわかる。これは、(b)の場合は、織りによるうねりと曲げ加工によるシワの寸法が近いことが影響していると考ええる。また、(a)と(b)いずれにおいても、部分曲げ加工のシワを含む曲げ加工部は、衝撃的な破壊を起こさず、緩慢な破壊挙動を示す。曲げ加工部に分散したシワが、FRP特有の衝撃的な破壊を抑制している可能性が示唆された。

以上により、提案する部分加熱による曲げ加工は、織物基材積層板の層数や層厚に関係なく、簡便な加工プロセスとして十分に適用が可能であると考ええる。また、分散したシワを含む曲げ部の破壊挙動は、非常に興味深い結果である。今後、様々な厚板CFRTPにたいして、部分曲げ加工プロセスの評価を進めたい。

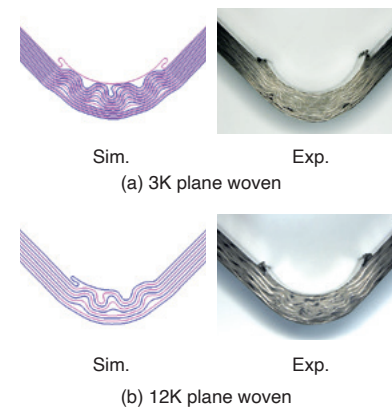


Figure 1. Wrinkles in a bent section in forming simulations and experiments

In this study, a simple bend forming process with partial heating (partial bend forming) has been proposed for thick CFRTP laminates. For more information on this bend forming process and the fracture characteristics of the bent section with wrinkles, see ICC Annual Report 2019–2020. In this report, the characteristics of the wrinkles formed in the bent section and their mechanical properties in different laminate configurations are reported.

For laminates of different configurations, wrinkle formation was simulated and test specimens were fabricated by partial bend forming. Figure 1 shows bent cross sections for the simulation models and the test specimens. While laminate (a) is constituted by a large number of thin layers (CF-3K fabric/PA66 x 18 layers), laminate (b) is composed of a small number of thick layers (CF-12K fabric/PA6 x 9 layers); thickness of the laminates are approximately 4 mm. Plurality wrinkles are formed in the bent section with the partial bend forming process. Also, wrinkle morphology of the simulated and fabricated specimens are in good agreement. Figure 2 shows the Curved Beam Strength (CBS) test results for laminates (a) and (b) by the partial bend forming and by press forming (specimens without wrinkles). In case of laminate (a), the specimen with wrinkles in the bent section, formed by partial bend forming, had a comparable stiffness but 75% the strength of the specimen without wrinkles. In case of laminate (b), the test specimens exhibited comparable stiffness and strength, with or without wrinkles. This is considered to be due to the close proximity of the dimensions of the crimps of the fabric and the wrinkles. In case of both laminates (a) and (b), the failure of the specimens with wrinkles does not show impact behavior.

The above results show that the proposed partial bend forming is applicable as a simple process, regardless of the number of layers or layer thickness of the textile base laminate. The fracture behavior of the bent section with distributed wrinkles is a very interesting result.

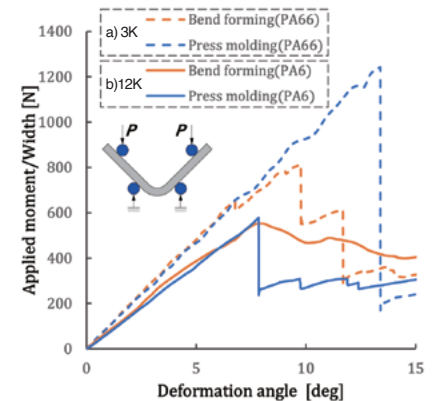


Figure 2. Comparison of CBS test results for a bent section



## RTMプロセスへの 現場重合型熱可塑性樹脂の適用

Resin Transfer Molding using in-situ polymerization thermoplastics



布谷 勝彦  
Katsuhiko Nanotani



佐久間 忠  
Tadashi Sakuma



乾 伸晃  
Nobuaki Inui



堀 正芳  
Masayoshi Aoi



埜口 史郎  
Shiro Noguchi

一般的なHP-RTM (High Pressure Resin Transfer Molding) プロセスは、マトリクス樹脂に高速硬化タイプの低粘度エポキシ樹脂を高圧で衝突混合し、型内に吐出注入することで、5分以下のハイサイクル成形を可能としている。HP-RTMプロセスは、衝突混合吐出装置を用いるが故に、吐出樹脂の加熱(80~100℃程度)が必要であり、また型内圧は高圧(5~10MPa程度)になる。そのために、衝突混合吐出装置/大容量型締プレス/高剛性金型などの装置導入コストに加えて、衝突混合吐出装置の維持にコストが掛かる。よって、現状において、少量~中量生産のプロセスに、HP-RTMの適用は難しい。

本研究は、中量生産の成形プロセスのために、クローズドモデルド(オス/メス金型)を用いた低圧注入RTM(LP-RTM: Low Pressure Resin Transfer Molding)を検討した。ここで、マトリクス樹脂は、アクリル系現場重合型熱可塑性樹脂(Arkema社 Elium®)を適用した。Elium®は、室温で100mPa・s程度の低粘度で有りながら、室温から40℃程度の低温で硬化が可能であることから、LP-RTMの検討に有用であると考えた。また、Elium®は、エポキシ樹脂に比べて、コストメリットも大きい。

検討したLP-RTMの成形条件は、定圧注入、注入圧0.4MPa、硬化40℃/約1時間である。図1に成形試作の概要を示す。繊維体積含有量(Vf)は約30%と45%である。図2に樹脂注入時の型内圧の推移を示す。図2より、(a) Vf = 30% と(b) Vf = 45%において、0.3MPa以下の低圧で繊維基材への流動含浸が完了していることがわかる。ここで、注入速度は(a) 25g/秒、(b) 2g/秒であった。また、成形品は、いずれも良好な成形面が得られた。以上より、アクリル系現場重合型熱可塑性樹脂(Elium®)をマトリクス樹脂としたLP-RTMは、1時間程度のサイクルタイムで成形可能であることを実証した。

現在、Arkema社とICCでは、15分程度のサイクルタイムが可能なWCM(Wet Compression Molding)プロセスへのアクリル系現場重合型熱可塑性樹脂(Elium®)の適用研究を進めている。

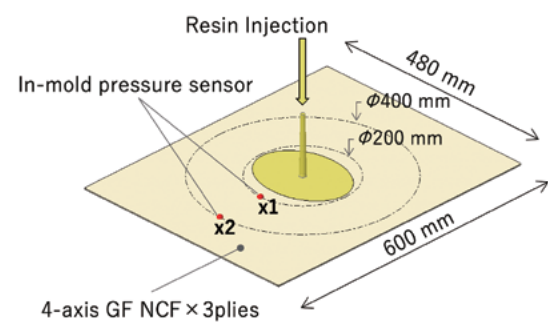


Figure 1. Molding dimensions and position of in-mold pressure sensor

The typical HP-RTM (High Pressure Resin Transfer Molding) process uses a fast-curing, low-viscosity epoxy as the matrix resin, which is mixed by high pressure impingement and injected into the mold, to enable a high-cycle process in less than five minutes. Specifically, the process uses a high pressure impingement mix-head and pump system, which requires heating of the resin to reduce viscosity, and generates high in-mold pressure (5~10 MPa). In addition to the cost of installing equipment such as mix-head, pump system, high-capacity clamping presses, and high-rigidity molds, there are maintenance costs for these equipment to be incurred. It is, therefore, difficult to employ HP-RTM for small to medium production volumes.

In this study, low pressure injection RTM (LP-RTM) using a closed mold (male/female molds) was studied for a medium-volume production. The matrix resin used was an acrylic in-situ polymerized thermoplastic resin (Arkema Elium®). Elium® was considered useful in this study of LP-RTM, owing to its low viscosity of around 100 mPa・s at room temperature, and its ability to be cured at low temperatures (between room temperature and 40 °C). Elium® also offers a cost advantage over epoxy resins.

The molding trial of LP-RTM is a constant pressure injection process (0.4 MPa) and curing at 40 °C for 1 hour. Figure 1 shows an overview of the molding trial. The fiber volume content (Vf) is approximately 30% and 45%. Figure 2 shows the in-mold pressure during resin injection. It can be seen that flow and impregnation of the fiber reinforcement is completed at low pressures below 0.3 MPa for (a) Vf = 30% and (b) Vf = 45%; the injection rates were (a) 25 g/s and (b) 2 g/s. Good molding surfaces were obtained for all molded laminates. These results indicate that LP-RTM with acrylic in-situ polymerization thermoplastic resin (Elium®) as the matrix resin can be molded with a cycle time of about 1 hour.

At present, Arkema and ICC are studying the utility of Elium® for the Wet Compression Molding (WCM) process, which has a cycle time of about 15 minutes.

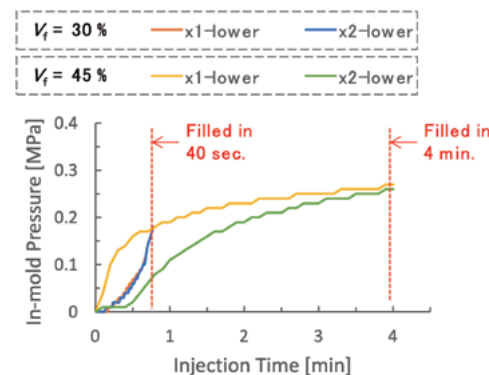


Figure 2. In-mold pressure during resin injection

## 超音波溶着時における炭素繊維強化熱可塑性樹脂の振動挙動の評価

Evaluation of Vibration Behavior of Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic during Ultrasonic Welding



川崎 翔大  
Shouta Kawasaki



石田 応輔  
Otsuke Shida

ICCでは、炭素繊維強化熱可塑性樹脂(CFRTTP)の接合技術として、接合速度に優れる超音波溶着接合の研究を行っている。超音波溶着接合とは、超音波振動するホーン(共振体)を材料表面に押し当て、その振動を材料界面に伝達させることで摩擦熱を生じさせ、それにより熱溶着する技術である。CFRTTPを接合するし技術として最速かつ省エネルギーであるため、接合の効率化が求められている自動車・航空機産業において注目されている。本研究では、超音波溶着時のCFRTTPの発熱メカニズムを解明することを目的に、超音波溶着接合時のホーンの振動挙動を計測・評価を行っている。

溶着時のホーンの振動挙動の測定には、レーザードップラー振動計を使用する。図1に示すように、レーザードップラー振動計の先端に90°反射ミラーを取り付け、ホーンを下から見上げる形で振動計測を実施している。図2に、何とも接触していない状態のホーンの速度振動の計測結果と、被着体にホーンを押し当てた時の速度振動の計測結果を示す。速度はおおよそ一定値を維持しているが、振幅が溶着状態に応じて段階的に変化していることがわかる。本研究では、溶着時の振動挙動の変化から材料の変形量を読み取り、その変形量から発熱量を計算することで、発熱・接合メカニズムの解明を目指している。

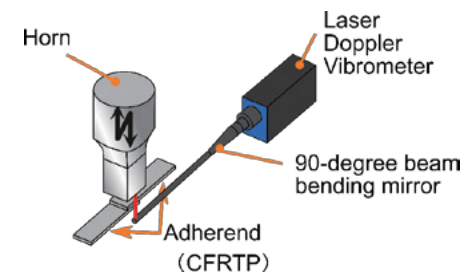


Figure 1. Vibration measurement during ultrasonic welding

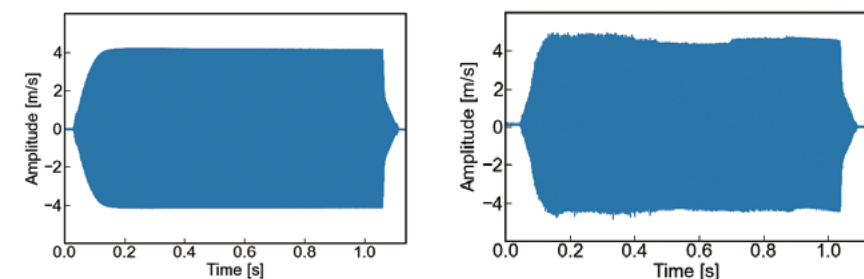


Figure 2. Vibration behavior of horns measured by laser Doppler vibrometer  
(a)Before contact with adherend,(b)After contact with adherend



## 複合材料に革新をもたらす樹脂技術の開発

Development of resin technology that brings innovation to composites



西田 裕文  
Naofumi Nishida



山下 博  
Akoshi Yamashita



稲垣 昌輝  
Masaki Inagaki

繊維強化プラスチック (FRP) は、多くの研究者や技術者の多大な努力により、ようやく世界中で使用されるようになってきた。しかしながら、それらの研究は主に、シミュレーション、プロセスエンジニアリング、または評価方法などの力学に焦点が当てられており、マトリックス樹脂がFRPの約半分の体積を構成し、FRPの特性に大きな影響を与えるにもかかわらず、樹脂の化学的性質にはあまり注目されてこなかった。ICCでは、量産装置を使用するプロセス工学だけでなく、マトリックス樹脂の化学的設計を通じて、根本的なアプローチで果敢に研究を行ってきた。本稿では、マトリックス樹脂の化学的設計と合成により、FRPの製造工程と特性を大幅に改善したいくつかの研究を紹介する。

### 1. 分割プリフォームを用いたRTMによる水素用高压容器のハイレート製造

本水素用高压容器製造工程は、CFトウに液状樹脂Aを含浸させた後重合させることによる熱可塑トウプリプレグの製造、そのトウプリプレグを用いたドーム部とシリンダー部のプリフォームの製造、それらプリフォームを合体させてタンク形状とし、RTM用樹脂Bを低圧で注入することによるタンクの一体成形から成る。樹脂Aおよび樹脂Bはいずれもラジカル重合性で、それぞれ重合後に熱可塑性樹脂および架橋ポリマーになる。本方法では、プリフォームを構成する樹脂AがRTM工程で樹脂Bと接触した際表面で樹脂Bに溶解するため、分割製造でありながら界面が強固に結合されたシームレスな一体成形が実現される。

Fiber-reinforced plastics (FRP) has finally started to be used world-wide, owing to great efforts by many researchers and engineers. However, their efforts were predominantly focused on mechanics, including simulations, process engineering or evaluating methods. Although resin constitutes around half the volume of FRP and greatly affects its properties, chemistry of the matrix resin itself has not been well-researched. ICC has been conducting studies with daring and radical approaches through not only process engineering, sometimes using mass production machineries, but also chemical designing of matrix resins. In this paper, we will introduce our several works where an approach aimed at the chemical design and synthesis of matrix resins drastically improved the FRP manufacturing process and properties.

### 1. High-rate production of high-pressure vessels for hydrogen by RTM using divided preform

In this manufacturing process of high-pressure vessels meant for hydrogen shown in Figure 1, CF tow is impregnated with liquid resin A and then polymerized to manufacture thermoplastic tow prepreg. Dome and cylinder preforms are then manufactured using the tow prepreg. The preforms are combined into a tank shape, and the tank is integrally molded by injecting RTM resin B at low pressure. Both resins A and B are radically polymerizable and respectively become thermoplastic resin and cross-linked polymer after polymerization. In this method, since resin A constituting the preform is dissolved in the surface of resin B upon contact, seamless integral molding with the firmly bonded interface is realized, even though it is a split manufacturing process.

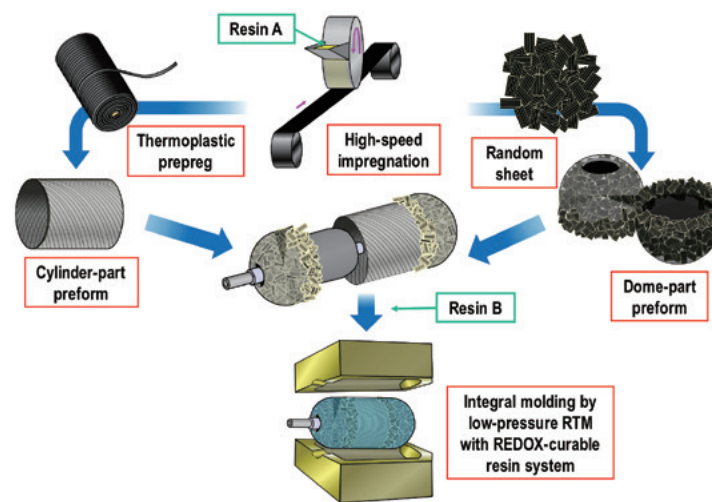


Figure 1. Diagram of High-rate production process of high-pressure vessel for hydrogen by RTM using divided preform

### 2. 低温硬化性Tgレスアクリル樹脂

80°Cの低温で完全に硬化してTgレスな硬化樹脂となることが出来るアクリル樹脂の処方確立した。図2は、このTgレスアクリル樹脂をマトリックスとして使用したGFRPの動的粘弾性分析 (DMA) の典型的な結果を示す。多官能性アクリル樹脂系における有機過酸化物と還元剤の配合によるラジカル重合の急速な伝播能力を利用して、低温硬化性のTgレス樹脂を実現した。図3に示すような、高層ビル向けのパネル材において、耐火・断熱被覆材を使用する場合にはFRPは不燃性ではなく、200°C前後での荷荷性が必要とされるため、この樹脂システムは、耐火構造FRP/パネル材料の非常に有望なマトリックスであると考えられる。

### 3. シルセスキオキサン、熱分解に強いセミオーガニックポリマー

当研究室では、耐火コーティング材を可能な限り薄くし、FRPの温度が500°Cに達する可能性がある場合に備え、セミオーガニックなマトリックス樹脂である架橋シルセスキオキサンを用いた、本質的に不燃性のFRPを開発している。この樹脂は有機官能基を持たないため、単に分子骨格中にシロキサン結合が存在するだけでなく、図4に示すシロキサンオリゴマーの開環重合により生成されるシロキサン結合のみで架橋が構成される。この樹脂系を使用したFRPは、室温から200°Cまでの強度変化がわずかであるなど、非常に特徴的な熱特性を示した。

### 2. Low-temperature-curable Tg-less acrylic resin

An acrylic resin formulation which can be completely cured at as low as 80 °C to become Tg-less cured resin was established. Figure 2 shows a typical result of dynamic mechanical analysis (DMA) for GFRP using this Tg-less acrylic resin as the matrix. The rapid propagation ability of radical polymerization, initiated by the combination of an organic peroxide with a reductant in the system of poly-functional acrylic resins, was exploited to realize the low-temperature-curable Tg-less resin. This resin system serves as a very promising matrix for fireproof FRP panels shown in Figure 3, used for high-rise buildings. Since the panel material has a fire-proof and thermally insulating coating, the FRP itself is not required to be incombustible, but be able to support loads around 200 °C.

### 3. Silsesquioxane, a semi-organic polymer highly resistant to thermal decomposition

Our laboratory is also developing an essentially incombustible FRP that could withstand up to 500 °C, using cross-linked silsesquioxane, a semi-organic matrix resin, assuming that the fireproof coating material is made as thin as possible. This resin does not have an organic functional group, instead has only a siloxane bond present in its molecular skeleton. A crosslink is formed only by the siloxane bond generated by the ring-opening polymerization of the siloxane oligomer shown in Figure 4. The FRP using this resin system exhibited unique thermal properties, such as near consistent strength in the temperature range from room temperature to 200 °C.

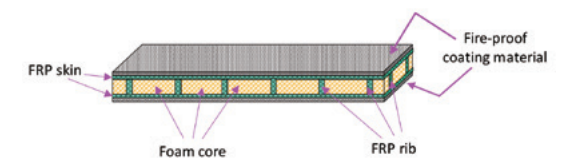


Figure 3. Fire-proof sandwiched panel for construction

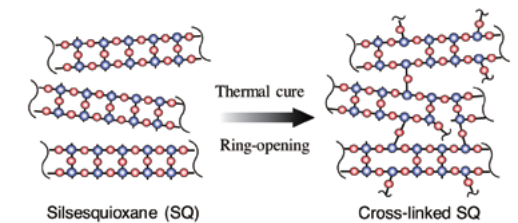


Figure 4. Curing mechanism via ring-opening polymerization of silsesquioxane oligomer

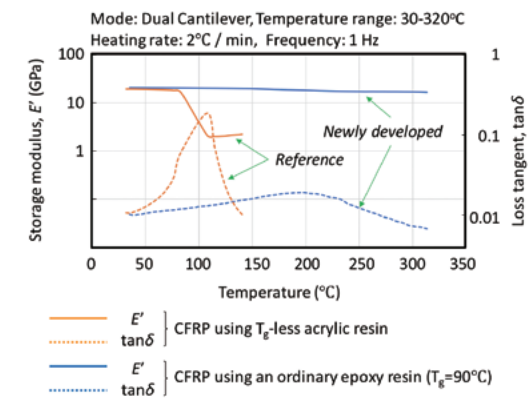


Figure 2. Dynamic viscoelastic behavior of CFRP



## エンジニアリング業務をサポートするICCの評価分析設備

ICC's evaluation and analysis facilities to support engineering work



植村 公彦  
Kimihiko Uemura



稲垣 昌輝  
Masaki Inagaki



橋本 かおる  
Kaoru Ashimoto

ICCは、企業の製品開発をも支援すべく、研究用途の分析装置だけでなく、設計・製造に直結する計測機器も導入している。

以下、最近ICCに導入したエンジニアリング業務に有効な機器類について紹介する。これらの計測はICEMによる計測評価サービスとして対応することも可能である。

### EASYPARM

VaRTMやHP-RTM等のリキッドモールドニングにおいて、成形時の樹脂流動は基材の含浸係数Kに支配される。Kは、同じ繊維であっても織り方や目付さらにNCF材ではステッチ仕様によっても値が異なる。また、わずかなVfの変化でも大きく影響され、面内/面外など流動方向により2桁以上値が異なる基材も多い。そのため、成形シミュレーションや流動解析には材料毎・積層構成毎の正しいK値を入力する必要がある。EASYPARM(図1)はPAM-RTM(ESI社)の標準K値測定装置であり、種々の基材に対して、設定したVf毎に面内2方向と面外のK値を計測することが出来る。

現在、ICCでは、各種繊維基材についてK値のデータベース構築に取り組んでいる。

### 大型DMA 装置

ICCに導入した国内初(2021年導入)の大型DMA装置(図2)は、最大荷重2000N、3点曲げであれば幅25mm スパン110mmまでの、静試験レベルの試験片が測定可能である。

本装置の導入によって、従来は困難であった実装に近い積層構成の材料が評価できる。例えば、SMCやカットテープ熱可塑性シート材等の不連続材料やロッド材など、強化繊維の幾何学的影響を含む材料でも正しく評価することが可能である。

### 3D計測器

ICCは、二種類のレーザ計測器(図3)を導入しており、小物(測定範囲W580×D300×H200mm)から大物(アーム式、測定範囲2.7m)までの3D形状が容易に計測できる。ICCのプレス機やオートクレーブで成形した直後に計測することで、成形品の残留歪等を時系列で評価することも可能である。

In order to support product development, ICC has installed not only analytical instruments for research purposes, but also measuring instruments related to design and manufacturing. These devices recently introduced to ICC are introduced below. Following are the devices recently installed in ICC and ICC can offer measurement services using these devices via ICEM.

### EASYPARM

In liquid moldings such as VaRTM and HP-RTM, resin flow during molding is dominated by the Permeability K of the Preform. The K varies greatly with weave, thickness, stitching, and even slight differences in Vf, and varies by more than two orders of magnitude depending on the in-plane/out-of-plane flow direction. Therefore, it is necessary to input the correct K for each material and each laminate for molding simulation and flow analysis. EASYPARM (Figure 1) is a standard K measuring device of PAM-RTM (ESI), and can measure K in 2 in-plane directions and out-of-plane K for each Vf set of various preforms. ICC is currently working on building a database of K for various materials.

### DMA

ICC's largest-scale DMA instruments in Japan (Figure2, installed in 2021) can measure static test-level specimens with a maximum load of 2 kN and a width of 25 mm and a span of 110 mm for 3-point bending. With this device, it is possible to evaluate realistic laminated materials, which was difficult in the past. For example, it is possible to correctly evaluate even materials that contain geometric effects of reinforcing fibers, such as discontinuous materials SMC and CTT, and rod materials.

### 3-D measurement device

ICC has installed two types of laser measuring instruments (Figure 3), and can easily measure 3D shapes from small items (measurement range W580xD300xH200mm) to large items (arm type, measurement range 2.7m). For example, it can evaluate the residual strain of the molded parts in time sequence by measuring immediately after molding by Press or Autoclave in ICC.



Figure 1. EASYPARM



Figure 2. DMA



Figure 3. 3-D measurement device

## マテリアルデータの取得とデータベース化への取り組み

Acquisition of material data and database creation



松本 大輝  
Hiroki Matsumoto



山下 博  
Hiroshi Yamashita

繊維強化プラスチックの製造プロセスでは、成形物の特性を把握することが必要であり、その例として各種基材の流動性や繊維と樹脂の界面特性を知ることが重要である。ICCでは、流動解析に必要なパラメータの測定や繊維と樹脂の界面せん断強度を測定するための装置を導入し、種々の材料における測定データの蓄積を行っている。また、ICEMではこれらの測定を含め、各種測定依頼を請け負っている。今回は上記の2つについて紹介する。

### 1. EASYPERMを用いたPermeabilityの測定

Permeability(含浸係数K値)は複合材料のHP-RTM(High Pressure Resin Transfer Molding)やVa-RTM(Vacuum Assisted Resin Transfer Molding)成形において、ドライ基材に樹脂を含浸させる際に用いられる基材固有のパラメータであり、流動解析において必要不可欠なパラメータである。各基材の含浸係数はEASYPERMと呼ばれる装置を用いて測定する。図1に一般的に使用される基材である平織の炭素繊維(CF)の含浸係数の測定結果とVf(%)の関係を示す。含浸係数は基材の種類や織形態などにより異なり、Vfの変動に伴って大きく変化することが明らかである。また、基材に樹脂が含浸するときの成分を面内方向Kx、Kyと面外方向Kzの3方向と定義した場合、面内外方向では3桁程異なることから含浸の挙動が複雑であり、基材の性状によってVfが含浸係数に与える影響は大きい。これらは複合材料成形の品質や生産性に大いに関係するため、含浸係数を明確にすることが重要である。

### 2. マイクロドロプレット試験による界面特性の評価

繊維と樹脂の界面接着性は複合材料の機械特性に大きな影響を与えるため、界面接着性の評価が重要である。マイクロドロプレット試験は単繊維上に成形した樹脂玉を引き抜き、界面せん断強度(IFSS)を測定する方法である。図2に繊維としてサイジング剤除去したCFおよびバサルト繊維、樹脂にはPPおよび相溶化剤(iPP-PAA)を用いて測定した結果を示す。相溶化剤(iPP-PAA)を5wt%添加することでCFでは、約4倍もの向上が見られた。

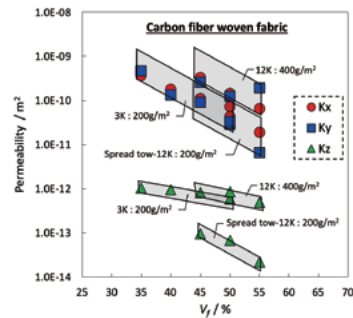


Figure 1. Relationship between Vf and permeability

In the manufacturing process of fiber reinforced plastics, it is necessary to understand the characteristics of the molding product, such as the fluidity of various base materials and the interface characteristics between the fiber and resin. The ICC has equipment for measuring various parameters required for flow analysis and the interfacial shear strength (IFSS) between fibers and resins. ICEM undertakes various measurement requests. We are accumulating measurement data for various materials.

### 1. Measurement of permeability using EASYPERM

Permeability (impregnation coefficient, K value) is a unique parameter of the base material when impregnating the dry base material with resin. The K value is an indispensable parameter in flow analysis of processes such as HP-RTM (High Pressure Resin Transfer Molding) and Va-RTM (Vacuum Assisted Resin Transfer Molding).

The permeability of the substrate is measured using an equipment called EASYPERM. Figure 1 shows the relationship between the permeability of plain weave carbon fiber (CF), which is a commonly used base material, and Vf. The inside of the base material is defined using three directions: the in-plane directions (Kx, Ky) and the out-plane direction (Kz). The three orders of magnitude difference in K values in the in-plane and out-plane directions complicates the impregnation behavior. Therefore, the influence of Vf on the impregnation coefficient could be large, depending on the properties of the base material. It is important to clarify the impregnation factor, as this greatly influences the quality and productivity of the composite molding.

### 2. Evaluation of interface characteristics by microdroplet test

The interfacial adhesion between the fiber and resin can affect the mechanical properties of the composite material, making its evaluation important. The microdroplet test (MD) test is a method of extracting a resin droplet formed on a monofilament and measuring the IFSS. Figure 2 shows the results of the measurement using CF (desized) and basalt fiber (BF) as the fiber, and PP and compatibilizer-added PP as the resin. In the case of CF, by adding 5 wt% of the compatibilizer (iPP-PAA), we observed an improvement of about 4 times.

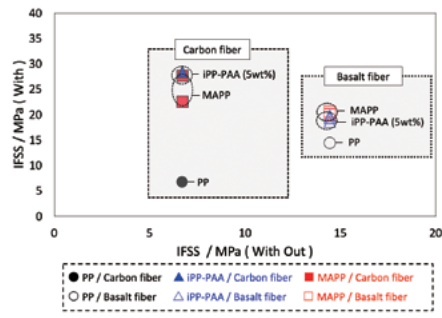


Figure 2. IFSS measurement results of CF, GF for each resin



令和 3 (2021) 年度の成果：Achievements in FY2021

著 書

1. 西田 裕文, “封止材に用いられるエポキシ樹脂の合成および樹脂設計”, 封止・バリア・シーリングに関する材料, 成形成膜, 応用の最新技術, pp.22-25, Apr., 2021.
2. 西田 裕文, “エポキシ樹脂の分子設計と耐熱性, 放熱性向上技術”, 封止・バリア・シーリングに関する材料, 成形成膜, 応用の最新技術, pp.227-234, Apr., 2021.
3. 西田 裕文, “エポキシ系封止材料や接着剤による自動車部材の防振・制振・耐衝撃性技術”, 封止・バリア・シーリングに関する材料, 成形成膜, 応用の最新技術, pp.461-467, Apr., 2021.

論 文

1. Masayuki Nakada, Yasushi Miyano, Soshi Kageta, Hirofumi Nishida, Yutaka Hayashi and Kiyoshi Uzawa, “Prediction of statistical life time for unidirectional CFRTP under cyclic loading”, Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol.40(19), pp.749-758, May, 2021.
2. 西田 裕文, “とってもやさしいFRPの化学『その15:熱可塑エポキシ樹脂』”, 強化プラスチック, Vol.67(19), pp.198-201, May, 2021.
3. 奥村 航, 西田 裕文, 布谷 勝彦, 杉俣 悦郎, 長谷部 裕之, 森 大介, 鶴澤 潔, “現場重合型熱可塑エポキシ樹脂を用いた熱可塑性CFRP中間基材の開発”, 繊維学会誌, Vol.77(7), pp.188-195, Jul., 2021.
4. 布谷 勝彦, 森 大介, 鶴澤 潔, “厚板CFRTP積層材の部分曲げ加工プロセスの開発と検証”, 強化プラスチック, Vol.67(9), pp.382-388, Sep., 2021.
5. O. Ishida, J. Kitada, K. Uzawa, “High rate manufacturing of thick organo-sheet using fixed rollers double belt press”, SAMPE Journal, Vol.57(6), pp.20-25, Nov., 2021.
6. 白井 武広, 鶴澤 潔, “不連続繊維ランダム配向熱可塑CFRPプレス成形中の材料流動測定手法の検討”, 強化プラスチック, Vol.67(12), Dec., 2021.
7. 布谷 勝彦, 森 大介, 鶴澤 潔, “厚板CFRTPの部分曲げ加工におけるシワの発生とその機械特性の評価”, 日本複合材料学会誌, Vol.48(1), Jan., 2022.
8. 高岩 裕也, 松本 大輝, 鶴澤 潔, “CFRPストランドの用途拡大に向けた端部定着構造の開発研究”, 日本建築学会技術報告集, Vol.28(68), pp.36-41, Feb., 2022.
9. 白井 武広, 坂口 真実, 鶴澤 潔, 土岐 貴弘, 森本直樹, 木村健士, 黄緒明, “不連続炭素繊維ランダム積層成形品のX線位相イメージング法による繊維配向解析と破壊挙動予測シミュレーションの検討”, 日本複合材料学会誌, Vol.48(2), Mar., 2022.

講 演

1. 白井 武広, “熱可塑性ランダムCFRPシートプレス成形品のX線位相イメージング繊維配向解析と損傷解析技術の紹介”, KIR-CFRP懇談会, オンライン, Jul., 2021.
2. 白井 武広, “ICCの熱可塑CFRPプレス成形と解析技術の紹介”, ほくりく先端複合材研究会HACMセミナー, オンライン, Mar., 2022.
3. 布谷 勝彦, “FRPのプロセスシミュレーション技術”, ほくりく先端複合材研究会HACMセミナー, オンライン, Mar., 2022.
4. 西田 裕文, コンボジットにイノベーションをもたらす樹脂技術, ほくりく先端複合材研究会HACMセミナー, オンライン, Mar., 2022.

口頭発表(抄)

1. 奥村 航, 長谷部 裕之, 森 大介, 西田 裕文, 布谷 勝彦, 杉俣 悦郎, 鶴澤 潔, “現場重合型熱可塑エポキシの分子量が力学的性質に及ぼす影響”, プラスチック成形加工学会, オンライン, Jun., 2021.
2. 西田 裕文, 芳野 一希, マイクロコートされたイソシアネート粒子を用いた超速硬化システムの開発, 日本接着学会年次大会, オンライン, Jun., 2021.

令和 3 (2021) 年度の成果：Achievements in FY2021

3. 山下 博, 上田 久偉, 松本 大輝, 乾 伸晃, 附木 貴行, 鶴澤 潔, “複合材料における繊維と樹脂の界面接着性と相溶化剤の添加効果”, 第70回高分子討論会, オンライン, Sep., 2021.
4. Shota Kawasaki, Masahito Yamazaki, Yuichi Ishida, Toshio Ogasawara, “Effect of vacuum ultraviolet light irradiation on the bonding strength and fracture toughness of carbon fiber/polyimide composite”, ESIS TC4 Conference, Online, Sep., 2021.
5. O. Ishida, Y. Aono, J. Kitada, K. Nunotani, K. Uzawa, “Impregnation and flow analysis under a roller in double belt press for manufacturing thermoplastic composites”, NAFEMS World Congress 2021, Online, Oct., 2021.
6. 白井 武広, 鶴澤 潔, “不連続テーブランダム配向熱可塑CFRPのプレス成形条件によるリブ成形金型内材料流動特性の制御”, 第46回複合材料シンポジウム, オンライン, Oct., 2021.
7. 中島 正憲, 鶴澤 潔, 布谷 勝彦, 高岩 裕也, 名合 聡, “大型パネル高温環境試験”, 第46回複合材料シンポジウム, オンライン, Oct., 2021.

8. 石田 応輔, 北田 純一, 鶴澤 潔, “ダブルベルトプレスを用いた厚肉の熱可塑性CFRP平板の高速成形技術の研究”, 第46回複合材料シンポジウム, オンライン, Oct., 2021.
9. 川崎 翔大, 山崎 誠仁, 小笠原 俊夫, 石田 雄一, “真空紫外光照射がポリイミド複合材料の高温接着強度に与える影響とその表面分析”, 第46回複合材料シンポジウム, オンライン, Oct., 2021.
10. 西田 裕文, 中島 正憲, 稲垣 昌輝, 鶴澤 潔, “高層建築向け耐火構造用 FRPパネル材の設計”, 第46回複合材料シンポジウム, オンライン, Oct., 2021.
11. 布谷 勝彦, 森 大介, 鶴澤 潔, “厚板CFRTPの部分曲げ加工の改善と評価”, 第46回複合材料シンポジウム, オンライン, Oct., 2021.
12. 高岩 裕也, 松本 大輝, 鶴澤 潔, “木造建築物の耐震補強に適応可能なCFRTPストランドの端部定着の開発”, 第46回複合材料シンポジウム, オンライン, Oct., 2021.
13. 山下 博, 上田 久偉, 辻川 一輝, 石川 健, 鶴澤 潔, “溶融合浸法を用いたCFRPテープの引抜成形とその含浸性”, プラスチック成形加工学会第29回秋季大会, オンライン, ポスター, Nov., 2021.
14. 腰越 和人, 染宮 聖人, 平山 紀夫, 西田 裕文, “高温環境下におけるクリープレスGFRPのクリープ特性”, プラスチック成形加工学会第29回秋季大会, オンライン, Nov., 2021.
15. Masanori Nakajima, Kiyoshi Uzawa, Katsuhiko Nunotani, Yuya Takaiwa, Satoshi Nagoh, “HIGH TEMPERATURE ENVIRONMENT TEST FOR LARGE SCALE PANEL STRUCTURE FOR FIRE RESISTANCE EVALUATION”, JISSE-17, Tokyo Big Sight, Dec., 2021.
16. Hirofumi Nishida, Kiyoshi Uzawa, “INNOVATIVE WORKS IN RESIN TECHNOLOGY FOR FRP MATRIX”, JISSE-17, Tokyo Big Sight, Dec., 2021.
17. Osuke Ishida, Junichi Kitada, Kiyoshi Uzawa, “High rate manufacturing of thick organo-sheet using fixed rollers double belt press in combination with induction heating”, JISSE-17, Tokyo Big Sight, Dec., 2021.
18. Hina Takizawa, Hiroki Matsumoto, Nobuji Sakurai, Kiyoshi Uzawa, Yuya Takaiwa, “STRUCTURAL PERFORMANCE EVALUATION OF WOODEN FRAME WITH CFRTP REINFORCEMENT”, JISSE-17, Tokyo Big Sight, Dec., 2021.
19. T. Shirai, K. Uzawa, “STUDY OF MELT VISCOSITY OF DISCONTINUOUS FIBER THERMOPLASTIC CFRP DURING PRESS MOLDING”, JISSE-17, オンライン, Dec., 2021.
20. 山下 博, 上田 久偉, 辻川 一輝, 石川 健, 鶴澤 潔, “溶融合浸法および超音波含浸法を用いたUDテープの成形”, 第4回COI学術交流会, オンライン, Feb., 2022.
21. 布谷 勝彦, 漆山 雄太, 青野 芳大, 鈴木 拓也, 佐久間 忠, 乾 伸晃, 松本 大輝, 鶴澤 潔, “C-RTMにおける樹脂の注入速度と流動挙動の関係および繊維基材への影響”, 第13回日本複合材料会議 (JCCM-13), オンライン, Mar., 2022.
22. 川崎 翔大, 石田 応輔, 鶴澤 潔, “CFRTPの超音波溶着接合時における振動挙動の評価”, 第13回日本複合材料会議 (JCCM-13), オンライン, Mar., 2022.

特許

1. 西田裕文, “アクリル樹脂組成物および建築物用パネル材”, 特願2021-171931, 2021.10.22



## 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 among ICC membership program

メンバーシップ会員は、本学の派遣研究員として参加することにより、プラットフォームとしてのICCを活用した産学連携活動を行うことができます。ここではメンバーシップ会員の研究活動の様子及びその成果に関して紹介します。

今年度も引き続き新型コロナウイルスの影響で活動が制限されましたが、本来この活動は異業種・異分野の企業間のコラボレーションにもつながるものであり、新型コロナウイルスの経験を活かし、ICCでは新しい形のオープンラボ・イージーアクセスを目指し、オープンイノベーション環境を提供していきます。

Members can engage in collaborative activities with the industry and academia using ICC as a platform by participating as a temporary researcher at our university. This section introduces research activities conducted by members and their achievements.

This year, activities continued to be restricted due to COVID-19. However, this activity originally leads to collaboration between companies from different industries and fields, and by utilizing the experience of COVID-19, ICC promote to create a new type of open laboratory and easy access to provide an open innovation environment.

## CFRTPのUDプリプレグ製造に関する研究

三菱ケミカル株式会社 Mitsubishi Chemical Corporation

Development of production process for CFRTP UD prepreg

愛知研究所  
石川 健  
Aichi R&D Center  
Takeshi Ishikawa

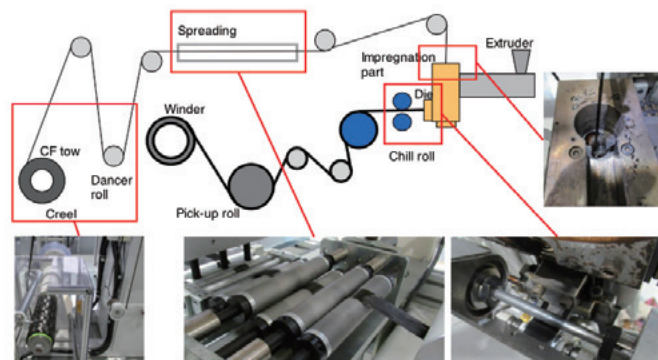


滋賀研究所  
辻川 一輝  
Shiga R&D Center  
Kazuki Tsuyukawa

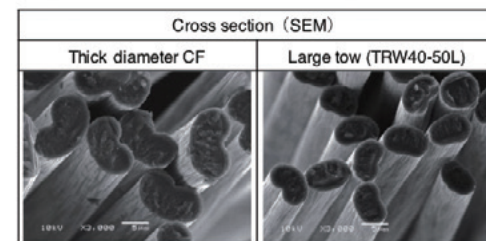


三菱ケミカル(株)では、Auto Tape Placementに代表されるIn-Situ成形技術を見据えて、低コストで製造可能なCFRTPのUDテープをICCと共同で開発しています。製造設備は図に示す溶融押出法を用いたものであり、含浸部やダイを最適化することで、厚目付けで低ボイドのUDテープを目標の生産速度で得られる目処を得ました。また、用いる材料の特性は非常に重要で、これまで太径炭素繊維による含浸性の向上、樹脂粘度の限界、またサイジング剤の影響などのデータを蓄積してまいりました。22年度は、設備設計の最終段階として、長時間運転や品質安定性の評価、また新たな炭素繊維とマトリックス樹脂の組み合わせなどを検討しています。

In collaboration with ICC, Mitsubishi Chemical Corporation is developing CFRTP UD Tape, which can be manufactured at low costs, targeting the in-situ molding technology represented by Auto Tape Placement. The manufacturing facility uses the melt extrusion method, as shown in the figure. We are on track to produce thick, low-void UD tape at the target production rate by optimizing the impregnation section and the die. The characteristics of the materials used are very important, and we have accumulated data on the improvement of impregnation by using thicker carbon fibers, the limitations of resin viscosity, the effects of sizing agents, etc. In FY2022, as the final stage of facility design, we are evaluating long-term operations, quality stabilization, and trying new carbon fibers and matrix resins.



Melt extrusion process for CFRTP UD tape



Thick diameter and large tow CF used in this work

## 航空機部材に適用する熱可塑性CFUDテープを用いたDC/DI（ダイレクト・コンソリデーション/ダイレクト・インスペクション）プロセスの開発

丸八株式会社 Maruhachi Co., Ltd.

Development of Direct Consolidation (DC) and Direct Inspection (DI) Process using Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic Unidirectional Tape for Aeronautical Applications



菅原 寿秀  
Toshihide Sugahara



小林 祐一  
Yuichi Kobayashi



小林 史武  
Fumitake Kobayashi



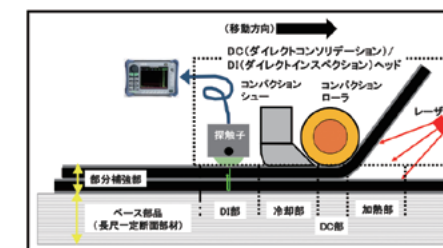
圖子 博昭  
Hiroaki Zushi

今後需要が拡大する中型、小型航空機の要求は、製造コスト削減に関する期待度が高まりつつあり、機体製造量の大幅な増産が見込まれている。そのため、航空機構造部材の低コスト化と生産性向上の両立が課題であった。そこで本開発では、ATL (Automated Tape Laying) 成形法を採用して、構造部材の「(充分な含浸状態にある) その場成形」と「冷却加工による品質制御」、「インライン検査」等による工数の削減によって低コスト化及び生産性向上を実現するため、熱可塑性CFUDテープを用いたDC/DIプロセス技術を確立した。

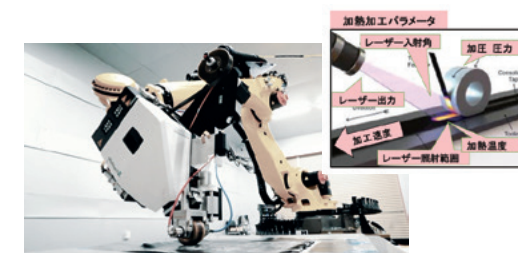
DCプロセスの開発では、ATL装置で加工速度18m/分の高速度を実現し、CF/PEEK材においてプレス成形によってDCした場合と同等の性能を達成した。また、本技術を応用し、ATL装置を用いた成形加工では国内初となる、リングフレーム形状補強に適した高品質な湾曲UD中間基材の開発に成功した。

DIプロセスの開発では、非接触で異常をインラインで検出可能とする新手法として、赤外線サーモグラフィと超音波探傷を併用しDCプロセス中にある材料の温度変化と成形異常の同時検出の実現と、それに伴う成形品の品質異常のリンキングを行い解析するDI要素技術を開発した。これをATL装置に実装し、インライン検査への適用可能性を示した。今後は、この成果を活用し、ATLを用いたDC加工において材料と製法、品質管理のブラッシュアップをおこない、更なる高効率化・低コスト化を推進する。獲得技術の深化によって、宇宙航空分野や産業分野への用途展開を拡大したい。

本内容の詳細は、いずれ公開予定の研究成果等報告書を参照されたい。



Concept of DC/DI process



ATL system in Maru Hachi

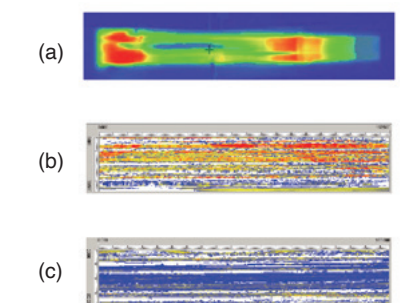
Direct inspection technique for temperature distribution and error detection during laying up CF/PEEK UD tape by ATL combined with ultrasonic inspection of laminate. (a) sampling image of infrared thermography and image of C-scan on laminate quality, (b) poor, (c) superior

The demand for medium-sized aircraft is expected to grow in the future, and one of their main concerns is reducing manufacturing costs. Therefore, it is important to achieve both low-cost manufacturing and high productivity of aircraft structural components. In this study, to establish the technology for DC/DI process, the ATL (Automated Tape Laying) molding method was adopted to achieve "in-situ consolidation with sufficient impregnation," "quality control by cooling process," and "in-line molding" of aircraft structural components. The developed technology uses unidirectional carbon fiber reinforced thermoplastic tape to achieve lower costs and higher productivity due to a reduction in human labor.

Especially, DC processing speed of 18 m/min was achieved by ATL while the performance is equivalent to the thermal press formed CF/PEEK materials. In addition to developing the first intermediates using ATL in the country, we also succeeded in developing perfect-quality curved UD intermediates suitable for reinforcing the ring frame shapes in aircraft components by applying the developed technology. On the other hand, in the development of the DI process, a novel non-contact direct inspection technique was established that realizes the simultaneous online inspection of temperature distribution and error detection in the material during the DC process, which can be combined with infrared thermography and ultrasonic inspection to analyze the molding quality in the product. This technology was implemented in the ATL system, demonstrating its applicability to online inspection. In the future, we will utilize these results to brush up materials, manufacturing methods, and quality control in the DC process using ATL to improve the process efficiency and reduce costs. By optimizing the acquired technology, we hope to disseminate the technology of DC/DI and expand its application to the aerospace and industrial fields.



Curved UD intermediate





## 昇降式ホーム柵用カーボンロープの開発

小松マテレー株式会社 KOMATSU MATERE Co.,Ltd.

## Development of Carbon Rope for Elevating Platform Fence

中山 武俊  
Taketoshi Nakayama

当社は金沢工業大学と共同開発した、炭素繊維とガラス繊維を芯鞘構造とし、熱可塑性エポキシ樹脂を含浸させた、カボコマストランドロッドを上市してきた。その技術を活用して開発したカーボンロープ(日本信号の商品名)を用いた昇降式のホーム柵が2017年2月に初めて六甲道駅に施工された。従来のステンレスワイヤーと比較して、カーボンロープは軽く剛性が高いため、たわみが少なく、昇降機やそれを支えるホーム自体も補強する必要がなくなった。

現在は大阪駅や京都駅を含め、8つの駅に設置され今後も順次増えていく予定である。

We have launched a CABKOMA strand rod, jointly developed with the Kanazawa Institute of Technology, which has a core-sheath structure of carbon fiber and glass fiber and is impregnated with thermoplastic epoxy resin. In February 2017, the first elevating platform fence using carbon ropes (trade name of NIPPON SIGNAL CO., LTD.), which were developed by applying this technology, were installed at JR Rokkomichi Station. Compared to conventional stainless-steel wire, carbon rope is lighter and more rigid, resulting in less deflection and eliminating the need to reinforce the elevator and the platform itself that supports it. Currently, elevating platform fence using carbon ropes are installed at eight stations, including Osaka and Kyoto stations, with more to be added in the future.



JR Rokkomichi Station



Deflection Testing



End fitting for mounting on elevators

本頁で紹介した研究成果には、ICCとの共同研究だけでなく他のメンバーシップ企業とも連携して開発された成果が多く含まれています。ICCメンバーシッププログラムは、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プログラム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。

ウィズコロナ・アフターコロナの環境でも、そんな状況だからこそ、ICCの持つプラットフォーム機能が皆さまの協業・共創活動を支援できると思います。

今後も、メンバーシップの皆さまからさらに多くの成果が生み出される事を楽しみにしております。

The research results introduced in this section include not only joint research with ICC but also many results developed in collaboration with other membership companies. The membership program of ICC aims to make ICC a satellite lab for composite research so that its members can use it, but at the same time, it is also an opportunity for member companies to bring their own equipment and materials into ICC. For many of these advanced technologies, it is easier to proceed to more advanced and practical technologies by utilizing the network through the ICC R&D environment and membership system, rather than promoting individual R&D. Even in the environment of the New Normal after the pandemic, the platform function of ICC is effective in supporting your collaborative and co-creation activities. We look forward to more results from our membership in the future.

(鵜澤 潔/Kiyoshi Uzawa)