



## 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6年目を迎えた。2018年には文部科学省の地域科学技術実証拠点整備事業により実証拠点を増築し、オープンな研究開発エリアと秘匿性の高い実証開発エリアが隣接することにより研究開発から社会実装までシームレスに研究開発ができる拠点となった。今年度はICCの研究利用者は年間3,200人を超え、約50社の企業から70名の企業研究者・技術者を本学の研究員として受入、それぞれ昨年より確実に増加し産学連携の共同研究の場だけではなく、業種や組織を超えたネットワーク構築の場となっている。

COI STREAM事業においては、2019年度はトータル9年間の残り3年となり一部成果が商品と成り始めた。「CABKOMA™」が軽くて強く腐食しない材料である耐震補強材としてJIS規格が制定され、重要文化財の耐震補強や駅のホーム安全柵(JR大阪駅他)に実績が出た。「Flexcarbon®」は従来作れなかった形を作ることができ量産化も可能となり、トップアスリートが履く陸上スパイクレスシューズに採用された。

COIプログラム終了後、拠点の持続的活動を維持するための体制作りが目下の課題である。共同研究においては国内に留まらず複合材分野で適用スピードが早い欧州、ドイツ炭素繊維クラスターの企業との国際共同研究を来年度からスタートすることになった。また教育においては社会人・大学院生合同授業、社会人セミナーを盛況に開催でき、将来的に本学附置研とも連携し大学院改革のなかで学際的連携も視野に入れている。このように研究開発・教育・連携活動の場を3本柱として世界に勝てるオープンプラットフォームとして構築し、ICCの自立が喫緊の課題である。

The Kanazawa Institute of Technology (KIT) set up the "Innovative Composite Materials Research and Development Center," hereinafter referred to as the ICC; it is in its sixth year as an international innovation hub. In 2018, the demonstration base was expanded by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science Technology: Regional Science and Technology Demonstration Center Development Project. By joining the open R&D area and the highly secure demonstration area, it became possible to progress seamlessly from R&D to real-life implementation. In this fiscal year, more than 3,200 research users visited ICC, and 70 corporate researchers from about 50 companies were accepted as KIT researchers, which have been increasing steadily since the last fiscal year. This is not only a center for industry-academia collaboration but also for network development integrating multiple economic sectors.

The COI STREAM program is in the final 3 years of a 9-year program, and some products have yielded results in FY2019, such as CABKOMA™, which is a lightweight, durable, non-corrosive material, and has now been established by JIS Standards as a seismic reinforcement material. It has proven to be an earthquake-resistant reinforcement material with benefits as a safety material that is used for station platforms (such as JR Osaka Station); Flexcarbon® enables molding and mass production not possible before and is used in track sprint shoes that do not need spike pins and are worn by top athletes.

Upon the completion of the COI program, the priority will be to ensure the continuity of the activities of the Center in a sustainable manner. In the joint research activities, not only domestic but also international joint research activities with European partners, especially with companies of the Germany Carbon Fiber Cluster (which have fast-track applications in the field of composite materials), will be conducted in the next fiscal year. Also, the joint education classes for business people and graduate students and seminars for business people have already been held. Hereafter, reforms to encourage interdisciplinary cooperation in the graduate school, in collaboration with the University Research Institute, will be considered. Thus, the mission of the ICC to become an independent, world-class research platform centered on the three pillars of R&D, education, and collaboration activities, can be realized.

## II 平成31・令和元(2019)年度の運営活動 Operating Activities in Fiscal Year 2019

### 1 ICC 運営に関する規程の改正

ICCセンター規程が平成31年4月に、センター事務を担当する部署名の変更により改正

→ p39 資料 01

### 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・機関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。今年度は昨年より増え48機関69人となっている。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る。「メンバーズフォーラム」を毎月開催しICCの研究活動の紹介、外部講師の招聘や他の研究会と共催により最先端の幅広い情報提供をしている。今年度からレンタルラボに民間企業1社が入居し、5名が共同研究員登録され実用化研究に供されている。

### 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。

ICC学部等安全委員会では、全学の安全委員会が決定したことを遵守して研究活動を行うことを徹底し、今年度から「所員一斉4S活動」DAYを設け更なる高みを目指した4S活動を実施した。効率のよい実験ができる設備レイアウト変更、不要物の廃棄、棚を設置しスペースの有効利用と使い勝手を考慮した整理整頓をした。

→ p39 資料 02

### 4 特許等

研究開発から社会実装に向けた製造技術、量産技術に関する特許申請が増え、登録になった件数も大きく増えた。

→ p39 資料 03

### 5 外部資金の獲得

2019年度の公的資金は昨年と同等であったが、企業等との共同研究は件数が減少に転じ、金額も減少した。その一方企業研究者がICC受入研究員として活動するメンバーシップ会員は確実に増えている。ICCの研究利用者数も昨年から増えているので今後ICCとの共同研究が増えることが期待される。

### 1 Amendments to ICC management regulations

The ICC Center Regulations were revised in April 2019 due to a change in the department name of the office.

### 2 Acceptance of new researchers into ICC

During this fiscal year, the number of accepted researchers grew to 69 from 48 institutions which includes members from various companies. One of the factors contributing to the increase in the number of members is the ICC Members Forum, which is held monthly. ICC's wide range of information events are included, including new research activities at ICC by members (researchers from companies and institutions), lectures by external lecturers, and co-sponsored events with other research groups. Notably, during this period, ICC has provided a rental lab to one company and registered five co-researchers who will contribute to practical research.

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

The ICC Faculty Safety Committee ensured that research activities were conducted in compliance with decisions made by the University's safety committees. In 2019, a "Day of 4S Activities for all Staff" was held to heighten safety awareness and focus on ensuring that space and equipment resources are used such that safe and effective experimentation is ensured.

### 4 Patents

The number of patent applications for manufacturing technology and mass production technology for social implementation has increased, and the number of patent registrations has also increased significantly.

### 5 Acquisition of external funding

The value of public funds in 2019 is the same as that last year, but the number of joint research projects with companies has decreased, and the amount of joint research expenses has also decreased. However, the number of programs in which corporate researchers are active, as ICC members, has increased steadily from last year, which is expected to increase the number of joint research projects with ICC.

## 6 利用者・見学者など

ICCの利用者数は、研究のための入所者（ICC所員は除く）は今年度3,216名となり昨年度より8％増え、メンバーシップ会員増に伴い企業研究者の研究利用が増えている。省庁からICC拠点活動に対するヒアリング視察・見学が複数回あった。

→ p39 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。

昨年度から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）に入居して製品開発を加速する企業や、試作設備により評価サンプルを量産予定企業と共同で大量に試作することなど社会実装に近づいている。

## 9 COI 研究推進機構の運営

ICCでは、学校法人金沢工業大学が拠点校であるCOI研究推進機構の運営を引き続き行った。当機構は、「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～」の重要な事項は次の通りである。2019年度はトータル9年間の3年区切りの最後のフェーズ3に入った年度に当たり、COI事業の各テーマにおける計画と進捗を確認し、2020年度以降の更なるテーマの再編（リソースの見直し）に取り組み、選択と集中の結果、参画機関は7社の離脱、1社の参画となった。

フェーズ1、フェーズ2を経てフェーズ3へ移行するにあたり、社会実装に向けた動きをより具体的に確かなものとするため、研究推進体制の見直しを行い、本年度は建築分野と土木分野の2つに集約した体制として活動を開始した。

また、来年度の体制についても更なるリソースの選択と集中を伴う体制の検討を行った。

拠点の運営においてJSTからもCOIプログラム終了後も持続的活動を可能にする資金源の確保が最重要課題と言われフェーズ3ではこれまでの成果や培ってきた技術により、世界で勝てるプラットフォームの構築を描き大学本部と運営方針について協議をすすめている。

教育の面では本学附置研究所と講座間に横ぐしをさした「革新複合材料講座（仮）」を開く学際的連携や、国際拠点として海外インターンシップの受入や海外研究拠点との連携、そして企業に対しては「エンジニアリングサービス」すなわち試作、評価を充実させることで製品開発に近いサービスの提供による企業との連携、これらを具体化していくことが喫緊の課題となっている。

→ p40 資料 07

## 6 Users and visitors

The number of research visitors was 3,216 in FY2019, an increase of 8% from the previous year, and it is in proportion with the increase in membership, and corporate research involvement is expected to increase. In addition, there were several interviews and tours from ministries and agencies aimed at understanding the activities of the ICC.

## 7 Security export trade control

At ICC, export and import technologies offer transactions that are managed in strict accordance with the Foreign Exchange and Foreign Trade Laws.

## 8 Regional science and technical demonstration of the center development project

The use of facilities and equipment developed by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology's Regional Science and Technology Demonstration Base Improvement Project (corrected in FY2016) has increased. In conjunction with ICC, companies that provide large numbers of evaluation samples in the demonstration test area or that use the rental laboratory facilities or collaborate on product development have led to the advancement of social implementation.

## 9 Management of the organization for advancement of COI research

Fiscal year 2019 is the final phase of the COI STREAM program (the final 3 years of the total of 9 years). The plans and progress of each theme have been confirmed, and themes (revision of resources) from fiscal year 2020 will be further reorganized. As a result of the selection and concentration, seven participating organizations have withdrawn, and one new organization has joined.

After Phases 1 and 2 transitioned to Phase 3, the research promotion system was reviewed to make the social implementation more concrete and reliable, and new activities were started as the system branched out into the construction or civil engineering fields.

With regard to the operation of the center, it was suggested by JST that securing a financial source that would enable sustainable activities, even after the completion of the COI program, is the most important issue encountered by the center. Based on a plan that emphasizes on the achievements and developments delivered to date in Phase 3, the management policy is currently being discussed with the university headquarters.

In terms of education, the challenge is to establish an Innovative Composite Materials Course (tentative) in collaboration with affiliated research institutes, to attract internships from overseas, and to collaborate with overseas research centers. In terms of companies, it is important to provide engineering services in the areas of prototyping and evaluation, close to product development, in order to promote collaboration with these companies.

## III プラットフォームの構築 Platform Deployment

ICCは、“複合材料を今よりもっと幅広く多くの分野で利用するため、企業と連携し適用技術の研究、製品開発の支援を行う”という理念のもと設立された。そのため、産学連携のオープンイノベーションを可能にする3階部まで吹き抜けの大空間実験施設、企業などからの受入研究員の居住エリア、実大サイズの製造装置の導入、秘匿性の高い製品の実証開発が可能なエリア（建屋）の増設、企業での複合材製品の設計製造の経験者を含む研究員グループ、製造設備から高度で多岐にわたる試験評価設備までの運用・メンテナンスを担当する技師グループの存在などがICCの優位な特徴となっている。

こうした特徴を活かし、多くの産学連携プロジェクトを立ち上げ、2019年度は海外の連携プロジェクトも本格化させた。さらに金沢大学、名古屋大学、東北大学、京都大学、日本大学など国内の大学との複数のプロジェクトによる連携にも着手し、大学の附置研究所にとどまらない活動へと幅を広げつつある。

## 1 2019 年度の産学連携活動トピックス

### 1)ほくりくコンポジットカンファレンス

ICCは、11月8日、ほくりく先端複合材研究会（HACM）との共催により第1回ほくりくコンポジットカンファレンスを開催した。ICCとしては今年、2014年6月の開所からかぞえて5周年を迎えた。HACMは、金原ICC顧問が初代会長となり、現在ICCの鶴澤所長が二代目会長を務める、企業による産産連携・交流組織であり、9月に設立15周年を迎えた。この周年を契機とし、ICCが活動の方向性として重視している点、“産業化を目指した国内企業間のネットワーク”、“国際連携”、“異分野・異業種間のネットワーク”をキーフアクターとして、第1回目となるカンファレンスを実施した。

ICCメンバーシップ会員、HACM会員企業（2019年度末時点で63社）からの参加をはじめ、その他の企業関係者による参加を得て、カンファレンスは合計で約170名、交流会では約120名の参加者を数えた。

プログラムは、講演、ICCメンバーシッププログラムおよびHACMの参画企業によるポスター展示、ネットワーキングのための交流会の三部構成により実施された。

講演の部では、初めにICC鶴澤所長が“HACM・ICCが目指すコンポジットグローバルイゼーション”と題して講演を行い、次いで、複合材産業において世界市場で活動を行う企業、Coriolis Composites社（仏）、IS Group（仏）より講師を招請し、それぞれ“自動積層機並びに熱可塑AFP成形の取り組みの紹介”、“熱可塑性樹脂の接合におけるコンポジット開発”と題した講演が行われた。ポスター展示では、ICCメンバーシップ会員企業およびHACM参画企業から約60社の応募があり、講演会場に隣接するホール等に展示し、休憩時間

ICC was established based on the concept of "cooperation with companies to research applied technologies and support product development in order to use composite materials in a wider of fields than ever". Therefore, ICC’ s main features are large space experimental facilities which can be able to be open-innovation of industry-academia collaboration, living area for researchers from companies, full-scale manufacturing equipment. Also ICC expanded demonstrative area where development of highly confidential products is possible, researchers with deep experience of composite design and production at company, engineers who are in charge of operation/maintenance from manufacturing facilities to advanced and diverse test evaluation facilities etc.

Taking advantage of these features, ICC launched many industry-academia collaboration projects and started full-scale overseas collaboration project in 2019. In addition, ICC have begun collaborating multiple projects with domestic universities such as Kanazawa Univ., Nagoya Univ., Tohoku Univ., Kyoto Univ., Nihon Univ., and expanding the scope of activities.

## 1 Topics of industry-academia collaboration activities in 2019

### 1) Hokuriku Composite Conference

On November 8th, ICC held the first Hokuriku Composite Conference co-sponsored with Hokuriku Advanced Composite Material Association (HACM). For ICC, it was 5th anniversary from opening in June 2014. For HACM, the first chairman was professor Kimpara who is ICC’ s adviser now and professor Uzawa succeeded the second chairman today. HACM’s organization is industry-industry collaboration/information exchange by companies and it was 15th anniversary in September 2019. Taking this timing, the first Hokuriku Composite Conference was held for the purpose of “Net-working among domestic companies aiming to enter composite industry”, “International collaboration”, “Net-working among different fields and industries” which ICC is putting importance on.

Total about 170 participants to the conference and about 120 to net-working, from ICC membership, HACM (63 companies by the end of 2019 fiscal year in Japan) and other industry companies.

The program consisted of conference, poster table tops from ICC membership and HACM companies and net-working.

At the conference, professor Uzawa presented “HACM・ICC targeting Composite Globalization.”

At the poster table tops from about 60 member companies were exhibited next to conference room, When net-working, such all poster table tops were utilized.



には多くの参加者が見学を行い、ポスターを前に展示企業関係者が説明を行っている様子も見受けられた。さらに講演会後は、全ポスターを交流会会場に再展示し、交流会においても、ポスター展示企業からのショートプレゼンや、ポスターを前にしての説明などネットワーキングの活動が行われた。



11月8日カンファレンス会場全景



ポスター展示風景

## 2) 日本・ドイツ国際共同研究プロジェクトの進展

2018年度に引き続き、ICCが企業と取り組む超高速連続生産技術の航空機部材への適用、高性能リサイクル炭素繊維の生産と産業適用などをテーマとする日独の国際共同研究プロジェクト作りを推進した。2019年度は研究テーマ毎に双方の参画企業・機関による研究体制の概要、役割分担やスケジュールについて打合せが進められた。また並行して、正式な共同研究の契約に向けて契約内容に関する協議も行われ、2019年度末には、詰めの作業を行う段階となっている。

プロジェクトチームの具体的な編成にあたり、5月末にドイツ側関係者が来日し、チーム毎に日本企業を視察し、日独関係者による集中ミーティングを行った。この際、JETRO金沢地域貢献プロジェクトを組合せて実施し、ドイツ側関係者とプロジェクト以外の日本企業も含めたネットワーキングを行った。その後、さらにWEB会議も利用しながら、プロジェクトの内容や進め方を協議し、結果的にドイツの航空分野、輸送車両分野におけるユーザーとなる川下企業を含む、2つのプロジェクトチームを組成することとなった。

2020年3月初旬には、日本側の参画企業による訪問団を作り、ドイツ側のパートナー企業を訪問視察するとともにプロジェクト内容の詳細打合せおよび共同研究契約に関するセレモニーを計画していたが、新型コロナウイルス(COVID19)の影響により渡欧を延期した。その後、ビジネスにおいては通常通りの業務を遂行することが難しくなる中、研究開発に取り組んでいる。

ほくりくコンポジットカンファレンス Hokuriku Composite Conference		
旧JICA先導複合材研究会 (HACH) 設立15周年記念 金沢工業大学先進複合材料研究開発センター (ICC) 開所5周年記念		
プログラム		
日時：2019年11月8日 (金) 13:15～17:10 会場：金沢国際ホテル 1F リーフテラス (石川県金沢市大野町1-8) 共催：ほくりく先進複合材研究会 (HACH) 金沢工業大学先進複合材料研究開発センター (ICC)		
12:15	受付開始 (ほくりく先進複合材研究会会員、ICCメンバーシップ会員によるポスター展示を同時開始)	
13:15	開会	
13:15～	講演① (日本語講演) [HACH・ICCが推進するコンポジット グローバルイニシアティブ] (HACH/ICC, leading the way for globalization of composites)	講演者 堀 金沢工業大学 教授・ICC所長 ほくりく先進複合材研究会会長
14:10～	休憩/ポスター展示見学	
14:20～	講演② (英次講演) [Introduction of Coriolis Composites AFP machine and development of Thermoplastic AFP process] Coriolis Composites社 生産技術開発部に所属するAFP 成形の意図の紹介]	Mr. Mael Far nas Technical Sales Coriolis Composites社 (仏)
15:30～	休憩/ポスター展示見学	
16:00～	講演③ (英次講演) [IS Group Composite developments in TP Welding] ISグループの熱可塑性樹脂の接合における コンポジット開発]	Mr. Jerome Raynal Director of Aeronautics and Composites IS Group (仏)
17:10	閉会	
17:15～ 18:45	ネットワーキング (交流会) ※金沢駅行き送迎バス 18: 50発(バス乗降) (対象：事前に申込みいただいた方)	会場：2Fフォレストフォート

プログラム

## 2) Progress of international joint projects between Japan and Germany

Continuing from FY2018, ICC had promoted the creation of the international joint projects with the theme of applying ultra-high-speed continuous manufacturing technology to aircraft components, and production of high-performance recycled carbon fiber and its industrial application. For German side, Composites United (ex-CFK Valley) has been responsible. In FY2019, outline of research systems, role assignments and schedules were discussed with participating companies and institutes for each research item in association with Composites United.

In order to organize concrete project teams, related persons from Germany came to Japan in the end of May, visited Japanese companies and had a concentrated meeting among related persons from both sides. At the same time, JETRO Kanazawa regional contribution project was implemented and net working was conducted with German team and Japanese companies other than the project. After that, using web conference for instance, we continued discussion and settled 2 main program team including German aircraft and transportation companies.

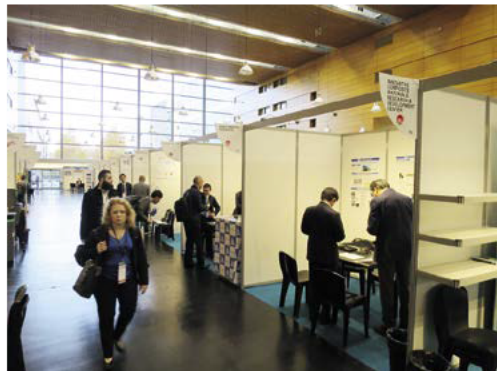
The project is not only R&D but also new net-work establishment between Germany, where the supply chain of composite materials has been established and the market has become expanding, and Japan where technical capability of materials, manufacturing technologies and equipment will collaborate.

本共同研究のプロジェクトは、研究開発そのものの意義は当然として、複合材料のサプライチェーンが確立され拡大する市場を持つ欧州に、日本の素材、材料、製造技術や設備に技術力を有する企業が共同で新たなネットワークを構築していくという点でも意味を持つ。プロジェクトの本格始動に向け、ICCは、ドイツ側のとりまとめ役でありICCと協定関係にある産業クラスター Composites United (前CFK Valley)とともに、当初の取りまとめと窓口としての役割も果たしながら、参画企業各社が本来のプロジェクトの主体として活動できるよう支援を行っている。

## 3) フランスで開催されたコンポジット・ミーティング2019への日本企業団として参加

2年毎に開催されているコンポジット・ミーティングは、2019年11月13・14日に前回までと同様にフランス・ナント市で開催された。コンポジット・ミーティングはICCとも協力協定を結ぶ産業クラスターEMC2が主要な主催者であり、通常の展示会とは異なる商談型展示会である。実際の会場においてはサプライヤーの展示品を用いて商談を行うことも出来た。また2日間の会期中にバイヤーとしての参加者や展示を行うサプライヤー側の参加者も、展示ブースを回りながら、その場で追加の商談を行っていた。

今年度は、ICC、名古屋大学NCC、岐阜大学GCCなどが主要構成メンバーであり中部経済産業局も関わるコンポジットハイウェイコンソーシアム、中部経済産業局北陸支局、ジェトロ金沢が支援する形式で、ICCの鶴澤所長が団長となり日本企業7社による日本企業団を組織し、この2日間の商談型展示会に参加した。日本企業各社はそれぞれ積極的に商談を行った後、会期後の15日には主催者EMC2が所在し、クラスターの研究拠点などが一体となって活動しているテクノキャンパス、航空機部品などコンポジット製品を製造するDaher社の工場を日本企業団として訪問し意見交換や現場視察を行い、一連の行程を終えた。



ジャパンブース風景



5月29日ネットワーキングセミナー

## 3) Participating Composite Meeting 2019(France) as Japanese industry team

“Composite Meeting” in France is held every two years. In 2019, it was held at Nantes city on November 13th and 14th and one of main organizers is EMC2 who is composite industry cluster and has signed collaboration Agreement with ICC. This “Meeting” is mainly business talk type exhibition where Supplier-side participants exhibit and do business talks/discussions with may buyer-side participants. For attending the Composite Meeting 2019, ICC Director Uzawa led a delegation of seven Japanese companies to organize a Japanese corporate group as supplier-side participants, with supports by “Composite Highway Consortium” (its major members had been ICC, NCC of Nagoya Univ., GCC of Gifu Univ. and Chubu Bureau of METI), Hokuriku Branch of Chubu METI, and JETRO Kanazawa Office. The Japanese companies actively engaged in business talks/discussions with a lot of visitors during the period. Furthermore, after the two-days exhibition, the Japanese delegation visited “Techno-Campus” (in EMC2) and Daher’s factory to conduct exchanges of views with the hosts and experienced the site-tours.



会場風景



## 2 2019 年度 ICC の教育活動トピックス

社会人を対象とした博士前期課程の特別科目「高信頼ものづくり専攻特別講義」は2019年度で8回目を迎えたが、2018年度より大学院生と社会人が合同で受講する形式をとっている。2019年度は大学院生10名と全国各地からの社会人受講生8名の受講者を得た。前期の複合材料特論Ⅰは座学講義を中心として複合材料の成形、強化繊維、マトリックス樹脂、複合材料の設計、試験評価に渡って専門的な講義が行われ、後期の複合材料特論Ⅱは、実習を原則としながら複合材料部材の設計、製作、評価についての総合的な討議が行われた。一連の講義の中では、学生の課題発表に企業人の立場から社会人受講生に講評してもらう機会を設け、実習では学生チームと社会人チームに分かれて、成形品の試験・評価を行った。

SAMPE Japan (先端材料技術協会) との連携では、SAMPE学生ブリッジコンテストにあたり、昨年度までと同様に、コンテストに参加する各地の大学の学生チーム向けに経験豊富なICCの技師、研究員による実践的な成形セミナーを行っている。

また、7月には、ICCに事務局を置くほくりく先端複合材研究会、関西地域を中心とする複合材関連企業による会員組織の関西FRPフォーラム、ICCメンバーズフォーラムの三者の共催による合同講演会を行った。複合材の最新動向や土木分野への適用、地域企業の先進的取組み事例の紹介、中部経済産業局電力・ガス事業北陸支局による支援施策の紹介など有益な情報提供と情報交換が行われた。産学連携における教育活動を基に、国内の地域毎の企業グループの交流を活発化するネットワークの拡がりを示す好例となった。

さらに、SAMPE Japanが企業の新人教育や新規参入者を対象として開催した複合材入門講座実践シリーズ(全3回)においては、第2回目の講座をICCが担当した。このシリーズは、第1回目を名古屋大学ナショナルコンポジットセンター(NCC)、第3回目を東京大学が担当し、それぞれの拠点において開催された。ICCの担当した講座では、熱硬化成形技術(RTM技術や樹脂について)をテーマとし、約50名の参加者が受講した。特にドライファイバーと液状樹脂による含浸成形技術(リキッドモールドディング)に焦点を当て、品質・生産性の向上とコスト低減を実現する最新の樹脂技術の解説とVaRTM・HP-RTMの成形デモンストレーションが行われた。

また、一般社団法人強化プラスチック協会の先端材料・技術研究会(第20回)が8月にICCにおいて開催された。ICCの研究員や連携する石川県の3社の企業による講演が行われた。12月には、石川県が主催する石川県次世代産業育成・新技術セミナーに協力し、ICC鶴澤所長が「欧米における炭素繊維の複合材料の最新技術動向」に関するセミナーを行った。

この他にもICCは、広い意味での人材育成として、地域の行政や外部機関と連携し、企画段階から準備に関わったり、ICC研究員・技師が講師や指導補助者となり運営するなど、学生や社会人を対象としたセミナーの開催に貢献した。

## 2 Topics of education activities at ICC in 2019

The 8th “Special lectures on Synthesized Engineering” of our graduate school was held in FY2019. The lectures have allowed graduate students and adults to attend together, and 10 graduate students and 8 people from companies participated for the lectures of FY2019. The first session in the lectures was classroom lecture on composites including molding composites materials, reinforced fibres, matrix resins, design and evaluation. The students had also an opportunity to get comments for their presentation from adult participants with the perspective of business person. The second session focused on more practical way on composite molding, experiment and evaluation by student team versus company team.

In collaboration with SAMPE Japan, ICC held a practical molding seminar to student teams, who are going to participate SAMPE Student Bridge Contest, supported by ICC's experienced engineers and researchers.

In July, co-sponsored conference was held in ICC by Hokuriku Advanced Composite Materials Association (HACM) supported by ICC, Kansai FRP-Forum and ICC membership forum. At the conference, the latest trends of composite materials, application to the civil engineering field, examples of advanced efforts by regional companies, and supporting measures by the Hokuriku Branch of Chubu Bureau of METI were introduced. Information was provided and information was exchanged that was beneficial to the participants. The participants benefited from the information provided and exchange of information among the participants. This had become a good example of the expansion of a network that activates the networking among the regional business groups, based on educational activities in industry-academia collaboration.

In addition, ICC conducted the second course in the three-part introductory composites course series organized by SAMPE Japan for new recruits in a company or newcomers to the industry. ICC's course was on thermosetting molding technology and particularly focused on liquid molding technology with dry fibers and liquid resin. Also demonstrations of the VaRTM and HP-RTM molding were given.

Furthermore, for the purpose of HR development in a broader sense, ICC collaborated with the local government and external organizations from the planning stage or held seminars for students and adults by ICC's experienced engineers and researchers.



社会人・大学院特別講義の実習風景

## IV 平成 31・令和元(2019)年度の研究活動 Research Activities in Fiscal Year 2019

- 14 本年度の ICC の研究開発の概要 Overview of R&D this year  
斉藤 産学連携コーディネーター：Y. Saito Coordinator of Industry-University Collaboration
- 16 2019 年度・COI 研究プログラムの推進状況 Status of Promotion of COI Research Program in FY2019  
関戸 技監 / 教授：T. Sekido Senior Advisory Engineer / Professor、鶴澤 所長 / 教授：K. Uzawa Director / Professor
- 17 ドライ繊維含浸性計測に関する研究  
Study on dry fiber permeability measurement  
漆山 客員教授：Y. Urushiyama Visiting Professor、鶴澤 所長 / 教授：K. Uzawa Director / Professor、  
布谷 研究員：K. Nunotani Researcher、松本 技師：H. Matsumoto Engineer
- 18 セルロースナノファイバー活用製品の性能評価事業委託業務 社会実装に向けた CNF 材料の導入実証・評価・検証 ～自動車分野～  
2019 Cellulose Nanofiber Performance Evaluation Work Outsource Project  
(Proving, Evaluation, and Verification for Introduction of CNF Materials for Social Implementation -Automotive Field)  
附木 研究員：T. Tsukegi Researcher、鶴澤 所長 / 教授：K. Uzawa Director / Professor、  
佐久間・乾・埜口 技師：T. Sakuma, N. Inui, S. Noguchi Engineer
- 19 FRP ロッド材引抜成形 Pultrusion of FRP rod material  
上田・山下 研究員：H. Ueda, H. Yamashita Researcher、乾・松本 技師：N. Inui, H. Matsumoto Engineer
- 20 靱性を有する CFRP スtrand 端部定着の開発 Development of CFRP strand end fixing with toughness  
高岩・保倉 研究員：Y. Takaiwa, A. Hokura Researcher
- 21 建築分野適応に向けた FRP パネルの耐火性能評価 Evaluation of fire resistance performance of FRP panels for construction field  
高岩 研究員：Y. Takaiwa Researcher、関戸 技監 / 教授：T. Sekido Senior Advisory Engineer / Professor
- 22 ダブルベルトプレスによる CFRTP シート連続成形 Continuous production of CFRTP sheet using double belt press  
石田・北田 研究員：O. Ishida, J. Kitada Researcher
- 23 大型サンドイッチパネルの連続成形技術の確立 Development of the continuous forming process of large sandwich panels  
中島 研究員：M. Nakajima Researcher
- 24 プレス成形中の材料流動試験技術の開発 Testing techniques for CFRP material flow during press forming  
白井・上田・坂口 研究員：T. Shirai, H. Ueda, M. Sakaguchi Researcher
- 25 データサイエンスを用いたプレス成形の最適化技術 Development of optimization technology for press molding using data science  
白井 研究員：T. Shirai Researcher
- 26 部分曲げ加工プロセスの開発 Development of partial bend-forming process  
布谷 研究員：K. Nunotani Researcher
- 27 超音波振動を用いたプラズマ接合の改善 Enhancement of plasma bonding using ultrasonic vibration  
植村・和田 研究員：K. Uemura, M. Wada Researcher
- 28 シリカナノ粒子を用いた界面接着性の改善 Improvement of interfacial adhesion using silica nanoparticles  
山下 研究員：H. Yamashita Researcher
- 29 CF/PP 複合材料における新規相溶化剤 iPP-PAA の添加効果 Effect of adding new compatibilizer iPP-PAA with CF/PP composite  
附木 研究員：T. Tsukegi Researcher
- 30 極低温推進剤タンクを CFRTP で製造する新しい AFP プロセスの開発  
Development of new AFP process for manufacturing cryogenic propellant tank with CFRTP  
西田・稲垣・山下 研究員：H. Nishida, M. Inagaki, H. Yamashita Researcher
- 31 フローメディアの開発 Development of flow media  
松本・堀・乾・佐久間・埜口・橋本 技師：H. Matsumoto, M. Hori, N. Inui, T. Sakuma, S. Noguchi, K. Hashimoto Engineer
- 32 平成 31・令和元(2019)年度の成果：Achievement in FY2019
- 35 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  
\*株式会社島津製作所 Shimazu Corporation  
\*澁谷工業株式会社 Shibuya Corporation  
\*三井化学株式会社 / 株式会社アーク Mitsui Chemicals, Inc. / ARRK Corporation  
\*ニッタ株式会社 Nitta Corporation  
\*株式会社エイチワン / 株式会社クラレ H+ONE Co., Ltd. / Kuraray Co., Ltd.  
\*サンコロナ小田株式会社 SUNCORONA ODA Co., Ltd.



## 本年度のICCの研究開発の概要

Overview of ICC R&D this year



斉藤 義弘  
Yoshitaka Saito

本年度のICCの研究開発は、COI事業を中心として建築・土木分野への社会実装の取組とともに、COIの開発成果を他の分野へ積極的に展開することで、適用分野、技術領域が大きく拡大したと言える。

適用分野については、COIでは航空機、自動車に次ぐ新たな市場として期待される、建築・土木分野にフォーカスし、今年度はCFRPロッドが耐震補強材としてJISに制定されたことや、コンクリートに適用するFRP筋（バサルト／PP）の高速引抜き成形技術の基礎技術が確立したことは大きな成果の一つである。このようなCFRPロッドやFRP筋等の線材（ロッド材）は建築・土木分野では多く使われている部材であり、繊維方向の引張強度に優れたFRPの特徴を生かせるアプリケーションとして適していると言える。さらにロッド材の用途を拡大をするためには端部の定着が課題であり金属を使わない新たな手法等についても検討・実証を進めているところである。

また、ロッド材以外にも高層建築の分野において軽量化のニーズがあり、総重量に占める床材の割合が大きいことから床材のFRP化により上部構造の重量低減、それに伴う下部構造の小断面化、工期短縮等メリットは多岐にわたる。しかしながら課題となるのはFRPの耐火性能であり重点課題として昨年度より取組んできた。その結果、被覆材の遮熱効果により、FRP構造の温度を200℃以下（1時間耐火）に抑えることが検証できたことで、現行の建築基準法においてもFRPを構造材として用いる可能性が大きく広がったと言える。今後は具体的な部材への適用検討をすすめるとともに、200℃を超える温度環境下でのFRPの力学特性についての新たな評価手法、試験環境についても整備していく予定である。また樹脂側からのアプローチでは250℃を超えるTgでありながら80℃で硬化が可能な樹脂の開発や、無機系材料に近い500℃レベルでの耐熱性能を持ちながら容易に含浸が可能な樹脂の開発にも取組んでおり期待されている。

COIの成果の用途展開については、長尺部材の量産化技術として開発してきたロールフォーミング技術や間欠プレス技術は、建築分野より先に航空機のフレーム部材の成形方法として期待される技術となっている。航空業界では急速に拡大している航空機需要に対応するためハイレートで低コストな製造技術が求められており、来年度からAIRBUS社をはじめとするドイツ企業との日独国際共同研究がスタートする予定である。また中間基材として開発してきたランダムシートについては、複雑形状の賦形が可能で

Our research and development this year has greatly expanded the fields of application and technology through the implementation of the COI project in construction and civil engineering area as well as the proactive development of the project outcomes in other industry.

Regarding application fields of the COI project, we put our focus on construction and civil engineering sector which is expected to be a new market after aerospace and automotive. Followings are some of major project outcomes in this fiscal year:

-The CFRP rod was certified as Japanese Industrial Standards (JIS) as a seismic reinforcement material.

-Basic technology of high-speed pultrusion for fabricating FRP rebar (basalt/PP) for concrete reinforcement was established. These kind of wire materials (rods) are widely used in construction and civil engineering field, and are suitable for applications that take advantage of FRP's excellent tensile strength in fiber direction. Since end fixing is an issue to further expand the applications, we are investigating and demonstrating a new metal-free method.

Another potential market is high-rise buildings. Since flooring materials account for a large portion of the total weight, FRP floor offers a wide range of advantages including a weight reduction of the upper structure, a smaller base structure, and a shorter construction period. However, the key challenge is the fire resistance performance of FRP and we have been working on this priority issue since last year. As a result, we verified that the temperature of FRP structure could be kept below 200℃ (one hour fire resistance) with the aid of the covering material, so we can say that the possibility of using FRP as a structural material has been drastically expanded under the current Building Standards Act. Moving forward, we will continue to investigate the application of FRP to specific parts, as well as developing a new evaluation method and testing environment for the mechanical properties of FRP at a temperature above 200℃. From the resin side, we are developing two types of novel resins. One is the resin with Tg exceeding 250℃ while it can be cured at 80℃ and the other is the resin almost like an inorganic material with heat resistance at the level of 500℃, yet providing a good impregnation.

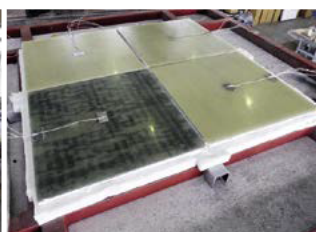
As for new applications of COI outcomes, the roll forming and continuous compression molding technology, developed for mass production of long parts, are promising process for producing profiles of aircraft fuselage frame before being



Seismic reinforcement with CFRP rod



Test of FRP sandwich panels in a refractory furnace



Commercialized spike-less shoes using random sheet

かつ高い機械強度を両立する点が注目され、東京オリンピック2020に向けた陸上短距離用シューズの金属スパイクに代わる微細なハニカム構造を実現する材料として適用されるなど、スポーツ分野やさらに健康医療分野についても用途展開が進んでいる。このように企業と連携して開発した技術が、徐々に各種のマーケットへ展開している状況である。

技術領域の点では、ICCでは、複合材料の大量生産を可能にする高速・連続製造技術の確立を重点課題として、これまでダブルベルトプレス（DBP）装置の開発やプレス成形技術、HP-RTM、引抜き成形、接合技術等に取り組んできた。本年度の取組では、これらの製造技術に加え製品化時に必須となる検査技術、品質管理技術への取組も進めてきた。

DBPの装置開発・プロセス開発については、COI開始当初からの取組によりローラープレスにおける複雑な含浸メカニズムをモデル化し、さらに材料の直接加熱装置を開発したことにより30PlyのCF繊維基材から板厚6mmのプレートを1分間に1mの速度で成形が可能となり、厚板の高速成形の目標が達成されたと言える。HP-RTMについては装置導入から4年目となり、注入・含浸工程において重要なパラメーターとなるパーミアビリティ（浸透性）について「ドライ繊維シート含浸性評価法の研究会」での活動を中心に、現場の成形ノウハウだけでなく、理論的なアプローチによる知見が蓄積されてきている。

検査技術に関してはX線の散乱や屈折を利用した新たな検査技術の開発や、プレス成形の品質管理については型内の材料の流動状態、圧力、温度等のセンシングデータと成形品質の相関からAIも活用し製品の品質判定の予測を可能にする技術に取り組んでいる。

さらに、材料側からのアプローチでは熱可塑エポキシ樹脂の分子量や分子架橋を制御することで生産性の向上や品質向上に寄与する取組や、ナノ材料や相溶化剤による界面性能の向上など、材料技術と製造技術、設計技術、評価技術までが切れ目なく連携していることがICCの強みとなっている。

このようにICCの研究開発は、TRL（技術成熟度レベル：Technology readiness levels）においてもアカデミックな研究領域から企業の製品開発領域までカバーし、大学や企業単独では達成できない課題解決をICCが産学連携、産産連携のプラットフォームとして支援しており、益々重要な役割を担っている。



DBP and Continuous-Heater



Permeability measurement equipment

applied to the construction field. High-volume low-cost manufacturing technology is required to meet the rapidly expanding demand for aircraft in the aviation industry, from this background, the international joint research with Airbus and other German companies will start next year. The random sheet, developed as an intermediate material, attracts attention for its excellent moldability and high mechanical properties and was applied as a material to realize a fine honeycomb structure to replace the conventional metal spike pins of sprinting shoes for Tokyo Olympics 2020. In this way, the technologies jointly developed with companies are gradually being applied to various markets including sports and health.

In the technology area, ICC has developed a double belt press (DBP) machine, press forming technology, HP-RTM, pultrusion process and joining technology, etc. to establish high-speed, continuous manufacturing technology that enables mass production of composites. In addition to these manufacturing technologies, this year we have been working on the inspection and quality control technologies that are essential for commercialization.

For the machine and process development of DBP, we modeled the complex impregnation mechanism in a roller press, furthermore, the developed direct heating device enabled to produce a fully-consolidated laminated plate with 6.0mm thickness from a CF fabric of 30 ply at a speed of 1.0m per minute. With this, the goal of high-speed molding of thick plates has been achieved. It's been four years since HP-RTM machine was installed and the knowledge about permeability -an important parameter in injection and impregnation process- has been accumulated based on theoretical approaches as well as on-site molding know-how, mainly via our working group activities.

For inspection technology, we explore a new testing technology using x-ray scattering and refraction. Regarding quality control of press molding, we have been working on a technology that can predict product quality by using AI based on the relationship between the quality of molding and sensing data such as the flow of the material in the mold, pressure and temperature.

From the materials side, the ICC's strength lies in the seamless linkage between materials technology, manufacturing technology, design technology, and evaluation technology, including efforts to improve productivity and quality by controlling the molecular weight and molecular cross-linking of thermoplastic epoxy resin, and improving interface performance through the use of nanomaterials and compatibilizers.

In this way, our R&D covers a wide range of areas from academic research to product development at the TRL (Technology Readiness Levels) and such efforts have become increasingly important since ICC can provide a solution to a challenge that cannot be overcome by universities or companies alone, by functioning as a platform for industry-academia/industry-industry collaboration.



## 2019年度・COI研究プログラムの推進状況

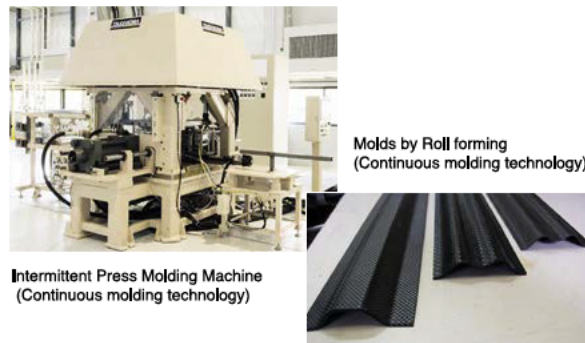
Status of Promotion of COI Research Program in FY2019

本年度からスタートしたフェーズ3は、事業化に向けた実証開発からアプリケーションの社会実装を実現していく最終フェーズの位置付けであり、フェーズ2までの基盤技術開発チーム中心の体制を再編し、タスクチーム体制でスタートした。本年度の活動の中で選択と集中を模索しながら、来年度以降実装化に向かうFRP補強筋開発に最大限注力した体制を整えた。また、フェーズ3においてはCOI終了後の将来計画として、本学の教育体系との連携による人材の育成と、産業界から求められているエンジニアリング開発の支援を可能にする体制構築についても検討を進めてきた。エンジニアリング開発については従来の大学における共同研究の枠に囚われない、物性データの取得や設計・解析支援等まで踏込んだサービスを実現し、産業界の要望に応え、同時に収益による拠点の維持管理、人材確保を実現していく計画であり、今後検討を進めて行く予定である。

本年度の特筆すべき成果としては、耐震補強用材料としてCFRPロッドが複合材料で初めてJISに制定されたことが、適用拡大に向けた大きな成果と言える。またFRP筋については、引抜成形の基礎技術が確立し、さらに大手鉄道会社との連携によるスラブ床版の荷重実験の実施によって想定した物性を確認することができ、実用化に向け確実に進展している状況である。建築向けFRPパネルについては、最大の課題である耐火性能について、被覆材の性能向上により1時間耐火で200℃程度まで遮熱できることが検証でき、FRP適用の用途が広がったことが大きな成果と言える。

また、これまでの開発成果の展開を支援している連携プロジェクトにおいても、量産化技術として開発してきた連続プレス成形技術は、急速に拡大している航空機需要に対応するための高速製造技術として注目されている。またランダムシートは陸上用シューズのスパイクに代わる材料として採用され商品化に至っている。このように複数のCOIの成果が広い分野に拡大していることから、引き続き連携プロジェクトについても支援していく方針である。

社会実装に向けては、次の最重要目標はFRP筋の実用化であり、企業への設備導入や技術移管の協議を進めている。また、バイオマス由来のセルロース樹脂の開発については、セルロース樹脂の国内最大のメーカーと金沢大での協力協定が締結され、これも実用化に向けたステップとして大きな進捗である。



Phase 3, which began this fiscal year, is the final phase of the process from demonstrative development toward commercialization, resulting in the social implementation of applications. Up to Phase 2, the systems centered around the basic technological development team and the task team have been reorganized. Reconsidering further modification of the resource allocation in order to increase the possibility of commercialization of the results, we intend to make selective changes to the system this year that would be implemented in the following year. Accordingly, we have established a system that puts maximum effort into the development of FRP reinforcement rods, which will be implemented next year. In addition, in Phase 3, following the end of COI, we are considering the development of human resources through collaboration with the university's education system and the establishment of a system that will support the engineering development required by the industry. Based on engineering development, we have aimed that the services not be limited to collaborative research frameworks in conventional universities, such as acquisition of physical property data and design / analysis support, as we intend to meet the demands of the industrial world while ensuring profitability. We plan to secure human resources and continue studying the aforementioned requirements in the future.

The establishment of CFRP rods as seismic strengthening materials by demonstrating JIS as a composite material is a major achievement of this year; therefore, its application will be expanded. Further, the basic technology of pultrusion molding of the FRP rods has been established. The assumed physical properties can be confirmed by conducting a loading test of slab floorboards in collaboration with a major railway company, and in time, it is expected to have many practical applications. The most significant issue regarding FRP panels for construction is their fire resistance, and it has been verified that the performance of the covering material can improve heat resistance to 200 °C in 1 h. Therefore, it can be concluded that applying FRP paneling leads to positive results.

Further, in a collaborative project that supports the deployment of developmental results, continuous molding technology, which was developed as a mass production technology, is gaining much attention as a high-speed manufacturing technology to meet increasing demand for aircraft construction. Random sheets have been commercialized for usage as a substitute material for spikes of the track shoes. As the result of multiple COIs spreading across a wide range of fields, we will continue to support these collaborative projects.

For social implementation, the next most important goal is to apply FRP rods; we are proceeding with discussions on equipment installation and technology transfer to several companies. Kanazawa University has signed a cooperation agreement with Japan's largest manufacturer of cellulosic resins regarding the development of cellulosic resins derived from biomass, which may be considered a major step toward commercialization.



## ドライ繊維含浸性計測に関する研究

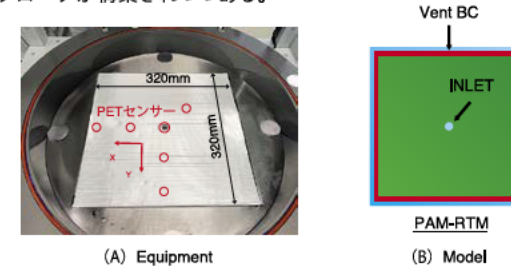
Study on dry fiber permeability measurement

繊維強化樹脂 (FRP) に関して、異なる分野の技術者が集い、繊維基材の含浸性に着目し、基礎的知見の集積と将来を探る研究会活動をしている。多くのコンポジット成形の生産性向上のためには、含浸速度の高速化と安定化が求められる。その中で基材の含浸性能を把握することは、設計・製造・品質管理など総合的にみて重要なことである。コンポジットの分野において、繊維の含浸性評価にはパーミアビリティ (浸透性) が評価量として用いられる。

本研究会では流動、圧力が加わる動的なパーミアビリティについて実験と研究会参加者で議論し研究会メンバーで共通知見を構築してきた。実験をベースとし、研究会メンバーの洞察と議論により蓄積されてきた知見は、パーミアビリティには圧力非線形性があること、マイクロメカニズムによる流動中の時間的変化があること、このことが、含浸性に強く影響する因子であることがわかりつつある。これらは、これまでのフロンティアの着目した計測法では把握が難しい情報である。

以下に本年度のトピックの一つを示す。アカデミックにおける計測技術は、ブラックボックスとして計測機を使わない環境を作ることも重要である。パーミアビリティの計測機器であるEASYPARMについて、計測キャビティ内の流れをPAM-RTMでシミュレーションすることで、計測方法原理の理解と考察を試みた。図1にはEASYPARMの計測キャビティを示す。図2にはEASYPARM計測中の樹脂流れのシミュレーションによる圧力分布、また実験計測点における圧力の時間的な変化とシミュレーションの比較を示す。この結果では実験と計算の圧力上昇は定性的には一致するが、定量的には一致しない。それらを分析していくと、ただひたすら精度向上を狙ったパーミアビリティ計測と異なり、計測上のテクニックが存在し、また、多くの成形法に対しては許容できる範囲にあることなどが理解された。

この結果から研究会では、前後の工程を含めた生産性と要求レベルを合理的にバランスさせるのに必要な知見を得ることができた。レジントランスファーモルディングは経験とノウハウの積み上げとされていた成形技術分野だが、本研究を通して、諸現象を体系化することが可能になりつつあり、論理的・工学的なアプローチが構築されつつある。



## Experiment Process

- 1.Injecting testing liquid from center of upper side.
- 2.The liquid is pushed into the textile through the center hole.
- 3.The liquid spread out from perimeter of textile.
- 4.The liquid is discharged from the discharge port (yellow circle in the figure)

Figure 1. Setups for EASYPARM Equipment and PAM-RTM Model



Engineers who are active in different fields have focused on the permeability of fiber-reinforced resins. They have strived to study and achieve integrated applications in various engineering fields. In order to improve the productivity of composite moldings, acceleration and stabilization of impregnation performance is required. In addition, it is important to understand the invasion performance of the substrate in the overall view of design, manufacturing, and quality control. For this impregnation, permeation (permeability) is generally used as an evaluation factor for fiber textile invasion in the field of composites.

Researchers have discussed dynamic permeation with applied resin pressure. In particular, pressure nonlinearity and time dependencies due to micromechanisms were discussed. These results are helpful in mold design but are particularly difficult to grasp using the conventional measurement methods.

Given below is one of these annual topics. It is important to have an in-depth understanding of measurement technology. Furthermore, academics must not consider the measuring machine a black box. Here, the measurement method is one of simulating the flow in the measurement cavity of EASYPARM, which is the measurement device for permeability. Figure 1 shows the measurement cavities and simulation models of PAM-RTM. Figure 2 shows the experimental resin pressures when the resin is flowing in the cavity. It also shows a comparison with the simulation pressures. In these analyses, the pressure increases in the experiments and calculations are qualitatively consistent, but not quantitatively. When we analyzed them, we understood that there were measurement techniques available in the acceptable range for many real molding methods but were different from the permeability measurement methods that aimed at single-mindedly improving the accuracy.

From this result, we were able to obtain the required knowledge to rationally balance productivity and the level of demand, including the molding process before and after. It is becoming possible to systematize various phenomena in resin-transfer molding, and apply a logical and engineering approach to the molding technology field which was hitherto thought to be an accumulation of experience and know-how.

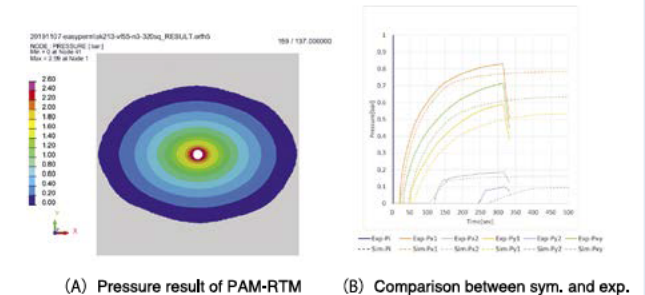


Figure 2. Analysis examples; cavity pressures during process of permeability data acquisition



セルロースナノファイバー活用製品の性能評価事業委託業務

## 社会実装に向けたCNF材料の導入 実証・評価・検証 ～自動車分野～

2019 Cellulose Nanofiber Performance Evaluation Work  
Outsource Project  
(Proving, Evaluation, and Verification for Introduction of CNF  
Materials for Social Implementation -Automotive Field)



附木 貴行  
Takayuki Tsukegi

鷗澤 潔  
Kiyoshi Uemura



佐久間 忠  
Tadashi Sakuma

乾 伸晃  
Nobuaki Inui

埜口 史郎  
Shiro Noguchi

### 1. 目的

自動車分野において、部品や製品の軽量化でのエネルギー効率改善による二酸化炭素排出削減を目的とし、セルロースナノファイバー（以下「CNF」という。）の特性を生かした用途（部材や部品）を提案するとともに、CNF を利用・複合化した樹脂材料について材料から自動車最終製品までの一連の流れを俯瞰した評価を実施する。

### 2. CNF大物部材の試作・評価

RTM (Resin Transfer Molding) 成形により、トヨタ86向けのCNF製エンジンフードの大物部材の試作と評価を((株)トヨタカスタマイジング&ディベロップメントおよび金沢工業大学)で担当した。従来品と比較して50% 程度の軽量化が確認できた。剛性はアルミ部材の1.4倍高い値を示し、さらなる軽量化を目指す。植物由来のセルロースナノファイバーで外板や骨格部材を製作した世界初のナノセルロース・ヴィークルのコンセプトカーを東京モーターショー 2019 に出展。小泉進次郎環境大臣がトヨタ自動車の豊田章男社長とともにブースを訪れ、話題となった。本研究は環境省プロジェクト「社会実装に向けたCNF材料の導入実証・評価・検証～自動車分野～」(NCVプロジェクト)の中で実施したものである。本コンソーシアムに参画している機関のメンバーに対して感謝いたします。



Figure 1. World's first nanocellulose concept car

### 1. Aim of the project

In the automotive field, applications (materials and parts) were proposed for utilizing the properties of cellulose nanofiber (CNF) and a thorough evaluation was conducted of the full process from material to automotive final product for resin materials that use or are composites with CNF. The aim of reducing carbon dioxide emissions by improving energy efficiency through reducing the weights of parts and products.

### 2. Development and evaluation of large CNF parts

We applied resin transfer molding (RTM) and evaluated large parts, such as engine hood made of CNF, for the Toyota 86 at Toyota Customizing & Development and Kanazawa Institute of Technology. A weight reduction of approximately 50% was confirmed, compared to conventional products, and the rigidity was 1.4 times higher than that of the aluminum parts. The project will continue with the aim of achieving further weight reduction. The world's first nanocellulose vehicle concept car, made from skin and skeletal members using plant-derived cellulose nanofibers, was exhibited at the Tokyo Motor Show 2019. Shinjiro Koizumi, Minister of the Environment, visited the booth together with Toyota Motor President Akio Toyoda, and the topic of applying CNFs for automotive manufacturing is received a high level of attention.

This NCV project was by Ministry of the Environment Government of Japan. We thank everyone who participated in this consortium.

## FRPロッド材引抜成形

Pultrusion of FRP rod material

引抜成形により鉄筋代替となるコンクリート用FRP補強筋の作製を目的に、腐食しない高寿命、軽量で安価なFRPロッド材の高速成形を目指し、研究開発を行っている。図1に熱硬化性樹脂および現場重合型樹脂を用いた従来技術の引抜成形と、我々がやっている熱可塑性樹脂を用いた新技術による引抜成形のモデルを示す。従来技術は、主剤にモノマーを用いており硬化反応や重合反応が必要となるため、樹脂の反応速度と金型の大きさによって成形速度が決定し、成形速度の高速化が難しい。対して、我々の新技術は、押出機により樹脂ペレットを溶かし、連続的にロービング繊維に含浸させる熔融含浸法を用いているため反応を伴わない。また、ロービング繊維に撚りを掛けながら引抜くことで、繊維の毛羽立ちを抑えると同時に高い収束性を得ることができる。そのため、高速成形が可能となり、成形速度は秒速1m (3600m/hour)を最終目標としている。材料は、マトリクス樹脂に安価で耐アルカリ性に優れたポリプロピレン(PP)、繊維に耐アルカリガラス繊維(Glass Fiber: GF)、バサルト繊維(Basalt Fiber: BF)を用いている。

2019年度は、GFPPとBFPPについてロッド径が4mm以上、繊維体積含有率(Vf)が40-50%で試作・検討を行った。装置開発としては、ロービング繊維の糸道などを変更し試作を行った。物性試験としてBFPPの引張試験を行い、また、BFPPを用いたコンクリート構造体としての検討として、BFPPとコンクリートの付着試験や大たわみの曲げ載荷試験を行った(本誌表紙写真)。図2にVf=40%のBFPPのX線CTの画像を示す。ノズルの形状や糸道の改良により、BFの糸切れが少なく、ロッドの真円度が向上した。また、装置の改造により安定的な連続成形速度は600m/hourを達成した。引張物性は、弾性率が40GPa程度、引張強さ820MPa程度となった。ロッドの太径化についても検討を行った。小松マテーレ(株)の協力により、撚り線加工による太径化を行ったほか、撚り線加工と同等の本数を束にしたBFPPについても検討を行った(図3)。昨年度と比べ、Vfが向上したことで素線がしなやかになり、素線の可とう性などのハンドリング性が上がったことにより、100m以上の撚り線加工が可能となった。

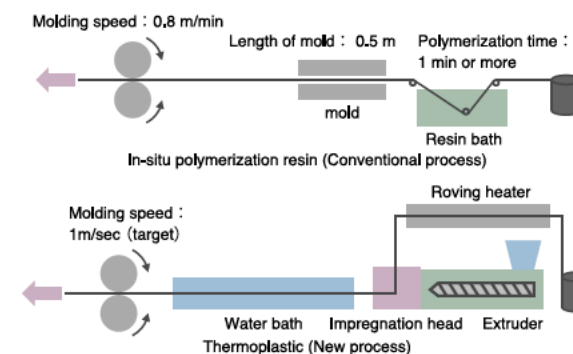


Figure 1. Pultruding model



上田 久偉  
Hisai Ueda

山下 博  
Hiroshi Yamashita

乾 伸晃  
Nobuaki Inui

松本 大輝  
Hiroki Matsumoto

This study focuses on the development of FRP reinforcement bars for concrete using pultrusion as a substitute for rebar. The goal is to achieve high speed molding of FRP rod material that is long-lasting, corrosion-resistant, lightweight, and inexpensive. Figure 1 shows the conventional pultrusion process using thermosetting resin with in situ polymerization resin and the proposed pultrusion model using thermoplastic resin. In the conventional method, a monomer is used as the main agent. As this requires a long period for the curing and polymerization processes, it is difficult to increase the molding speed. Our proposed method uses a melt impregnation method, which speeds up the overall process. Moreover, by pulling out the roving fibers while applying the twist, it is possible to suppress fuzzing of the fibers and obtain high convergence. This makes high-speed molding possible, with the targeted molding speed of 1 m/s (3600 m/h). The material used was polypropylene (PP), which is an inexpensive material and has excellent alkali resistance as a matrix polymer. Alkali resistant glass fiber (GF) and basalt fiber (BF) were used as the fibers.

In FY 2019, we evaluated several prototypes and examined GFPP and BFPP with 4 mm rod diameters and 40 to 50% fiber volume content (Vf). For device development, we developed different prototypes by changing the yarn path of the roving fiber. The mechanical properties of BFPP were measured using tensile testing. To examine the concrete structure, an adhesion test of BFPP and concrete, and a bending test with large deflection were performed (illustrated on the cover of this magazine). Figure 2 shows the 3D X-ray microscopy images of BFPP with a Vf of 40%. By improving the shape of the nozzle and the yarn path, the yarn breakage of the BF was reduced, and the roundness of the rod was improved. In addition, a consistent molding speed of 600 m / h was achieved by improving the manufacturing equipment. The tensile properties such as elastic modulus was approximately 40 GPa while the tensile strength was approximately 820 MPa. With the help of Komatsu Matere Co., Ltd., we performed warping using strand processing. In addition, we also examined the BFPP which has the same bundle count as the material that was warped using Strand Processing (Figure 3). Compared to the previous year, the improved Vf makes the strands more flexible. This makes it possible to process strands of 100m or more.

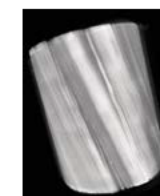


Figure 2.  
The 3D X-ray  
microscopy photographs.



Figure 3.  
The BFPP with increased diameter by twist



## 靱性を有するCFRPストランド端部定着の開発

Development of CFRP strand end fixing with toughness



高岩 裕也  
Yuya Takaiwa

保倉 篤  
Atsushi Hokura

ICCが研究・開発したCFRTPストランドが耐震補強部材として実建築物へ適応、JIS化されるなど、建築分野において期待が高まっている。CFRPの材料特性として、脆性破壊することが知られているが、鋼鉄の端部定着部と組み合わせることで、鋼鉄の靱性に期待した端部定着部が開発されている。また、所謂エンドスエージャーミナル材の内部に高い接着力を有する接着剤を充填して端部定着部を構築する方法や、静的破砕剤を鋼管内部に充填して膨張圧によって端部定着部を構築する方法などが提案されている。これらの研究内容は示唆に富むものの、既往研究の多くは端部定着部が鉄鋼になっており、結露しないといったCFRPの特長を損なうものとなっている。

ところで、耐震補強部材として適応する既存木造建築物の多くは文化財であり、それらを構成する古材にも高い価値があるとされている。鉄鋼による端部定着部は、結露による腐朽が懸念されることから、結露しない端部定着部の開発は急務である。また、既存木造建築物の耐震補強では大変形を許容した設計法を適応するため、部材としての靱性も要求性能として挙げられる。

そこでICCは、上記背景を鑑みて、CFRPの特長を損なわず、課題であった脆性破壊、結露の問題を解消するために、熱溶着法を用いたCFRTPソケットによる端部定着部を開発・提案した(図1、2)。そして、その開発の過程においてソケット繊維方向とストランド繊維方向を合わせると比較的高強度だがソケットの脆性破壊、合わせないと低強度だが脆性破壊しないことを確認した。また、加熱温度を上げること、体積を上げることにより、強度が向上することを確認した。これらの研究知見は既に学会等で公表されている。

今後は実建物への試験適応を実施し、長期的な構造モニタリングを行うことで、加速試験による長期耐久性評価の裏付けとなるデータを構築していく。このことは、更なる信頼性の向上に寄与し、多くの建築分野への適応に貢献することと考える。

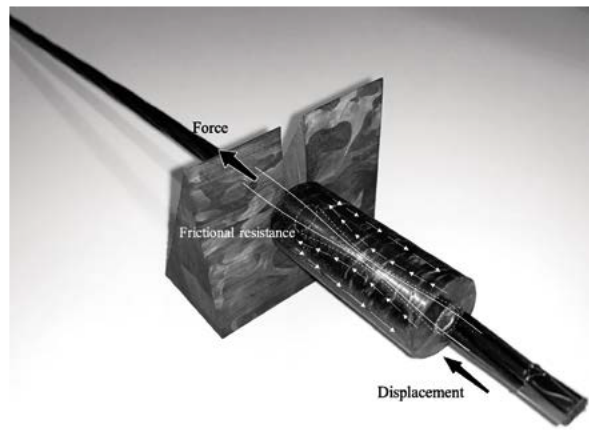


Figure 1. The end fixing by CFRP socket

Carbon fiber reinforced thermoplastics (CFRTP) strands, researched and developed by the ICC, are being applied to real buildings as seismic reinforcement members and are being recognized as JIS products. At present, the end anchoring part, which requires an expected level of toughness, is combined with steel. However, this detracts from the features of CFRP such as its non-condensing property. Many of the existing wooden buildings using seismic reinforcement are cultural assets, and the construction timber is also very valuable. For this reason, there is a concern that corrosion from dew condensation on steel may occur, and there is an urgent need to develop a non-condensing end fixing portion. In addition, the seismic reinforcement of existing wooden buildings uses a design that allows for large deformation and thus needs performance that requires toughness of members.

To solve the problems of brittle fracture and dew condensation, which did not impair the features of CFRP, ICC developed an end-fixing part using a CFRTP socket via a thermal welding method. In the course of its development, it was confirmed that the strength of the socket was relatively high when the direction of the socket fiber and the direction of the strand fiber were matched; however, the socket was brittle. It was also confirmed that increasing the temperature and volume increased the strength. These research findings have already been published in academic circles.

In the future, we will construct data to support long-term durability evaluation through accelerated tests, conducting test adaptation to actual buildings and long-term structural monitoring. It is thought that these steps will contribute to further improvements in reliability and encourage the adaptation of the product in many construction fields.

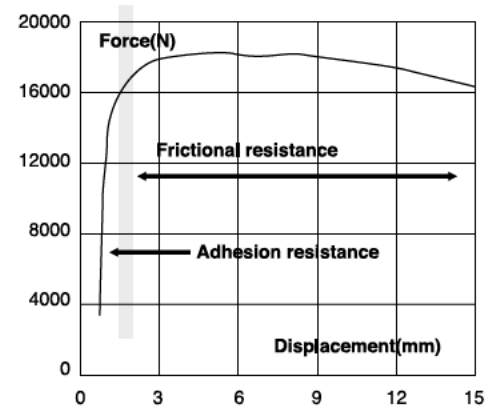


Figure 2. Test force - displacement relationship

## 建築分野適応に向けたFRPパネルの耐火性能評価

Evaluation of fire resistance performance of FRP panels for construction field



高岩 裕也  
Yuya Takaiwa

関戸 俊英  
Toshhide Sekido

繊維強化プラスチック (FRP) は軽量であることに加えて高強度であることから、建築分野においても構造部材として期待されている。しかしながら、従来の建築構造材料と比較して、FRPは低い温度で熱変形が生じるため、建築分野で要求される温度下で長時間耐えうるFRPの難燃化は極めて困難であり、これが建築分野へのFRP適応の妨げとなっている。

そこでICCでは、建築分野へのFRP適応に向けた耐火性能を有する複合パネルの研究・開発を行っている。その端緒としてFRPパネルに耐火被覆材を外装した複合パネルの無載荷試験による加熱試験を実施した。耐火試験は、約1 m<sup>3</sup>の加熱炉を用いて有効加熱面寸法400 mm角で実施した。加熱曲線は、ISO 824に準拠して、継続時間30分 (I) および継続時間1時間 (II) を実施した。

Table 1に試験体仕様を示す。試験体は、発泡断熱層をGFRP板 (GF/UP / 厚さ2 mm / Vf = 30%) に複合したもの (SK3、SK1.5、SK0.9)、吸熱層を複合したもの (GR8) を作製し、30分の加熱を行った。また、複合効果を確認するために、発泡断熱層と吸熱層をGFRP板に複合したもの (SK3/GR8) を作製した。試験 I により、15分を過ぎた時点でSK3のGFRP板表面温度が急激に上昇することを確認した。また、GR8において加熱時間5分を過ぎた段階で、結晶水の蒸発による吸熱反応により、温度を維持する挙動を確認した。その後、加熱時間8分程度から再び温度が上昇した。試験終了直後に、SK3の発泡断熱層が落下していることを確認した。

ここで、図1に単体基材と複合化した場合の裏面温度の比較を示す。SK3/GR8の試験の結果、1時間試験終了後も発泡断熱層の脱落は生じないことを確認した。これは、発泡断熱層の裏面温度の急激な上昇を吸熱層が抑えているため、SK3の過剰な材料の軟化が抑制されたためであると推察する。また、吸熱継続時間が大幅に長くなることが確認されたが、GR8の蒸発した結晶水が発泡断熱層を通過、冷却するためであると推察する。

上記の知見は、発泡断熱層と吸熱層の耐火被覆材料を複合化させることによって、FRPを建築分野における構造部材として適応するために必要な耐火性能を付与することが可能であることを示唆し、耐火メカニズムを把握するとともに建築分野への適応可能性について示した。

Table 1. Specimen

Test Time	No.	Specimen Name	Foamed Heat Insulating Layer <sup>a)</sup>	Endothermic Layer <sup>b)</sup>
I	1	SK0.9	0.9mm	-
	2	SK1.5	1.5mm	
	3	SK3	3mm	
	4	GR8	-	8mm
II	5	SK3/GR8	3mm	8mm

\*A numerical value shows thickness.

a) Foamed heat insulating layer is SK Taika Sheet (SK KAKEN Co., Ltd.)

b) Endothermic layer is Tiger Glass Rock (YOSHINO GYPSUM Co., Ltd.)

Fiber reinforced plastic (FRP) is expected to be useful as a structural element in construction applications owing to its light weight and high strength. However, adaptation of FRP is difficult because it undergoes thermal deformation at low temperatures.

Therefore, ICC is conducting research and development of composite panels with fireproof performance to facilitate the adaptation of FRP in construction applications. First, we report the findings obtained by conducting a heating test of a composite panel using a no-load test.

The fire resistance test was carried out with an effective heating surface size of 400 mm<sup>2</sup> by placing a test sample with a plane size of 450 mm<sup>2</sup> through a jig on the upper surface of a heating furnace of approximately 1 m<sup>3</sup>.

Table 1 shows the specifications of the specimen. Composite specimens were prepared by combining a foamed heat insulating layer (SK3, SK1.5, and SK0.9) with a GFRP plate (GF/UP / thickness 2 mm / Vf = 30%) and a heat-absorbing layer (GR8). It was fabricated and heated for 30 min. Additionally, to confirm the effect, we fabricated a composite in which a foamed heat-insulating layer and a heat-absorbing layer (SK3 / GR8) were combined with a GFRP plate.

The test results confirmed that the thickness and heat insulation performance were almost proportional to the heating time, up to approximately 15 min, but the temperature of SK3 rapidly increased after 15 min. An endothermic reaction was confirmed in GR8 after a heating time of 5 min. The temperature rose again after approximately 8 min. Immediately following the test, it was confirmed that the foam insulation layer of SK3 dropped. SK3 is the thickest layer (3 mm thick); when the temperature rose rapidly, the material was considered to have dropped off at the stage when it softened and formed a carbonized layer.

Figure 1 shows a comparison of the back-surface temperature when combined. The results of the test confirmed that the foamed heat-insulating layer did not fall off during the test for 1 h. This is presumed to be a combined effect in which the crystallization water that evaporated from GR8 was cooled by passing through the foam insulation layer.

These findings suggest that composites can provide the fire resistance necessary to adapt FRP as a structural element in construction applications.

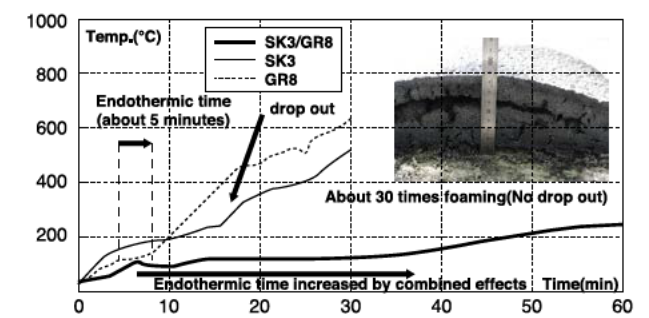


Figure 1. Temperature on the heated surface of GFRP



## ダブルベルトプレスによるCFRTPシート連続成形

Continuous production of CFRTP sheet using double belt press



石田 応輔  
Osuke Ishida

北田 純一  
Junichi Kitada

固定ローラー式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ることで、低コストで高品質なスタンパブルシートを成形する技術を研究してきた。本年度は研究のまとめとして、下記2点のトピックスを述べる。

### 1. 連続予熱技術の開発

厚肉スタンパブルシート成形プロセスの生産効率向上のために、高速成形プロセスモデル(Fig.1.1)を提案し、これに基づく開発を進めてきたが、今年度は連続予熱装置の実現に向け、実証用プロトタイプを製作した(Fig.1.2)。本装置は、特殊仕様の電磁誘導加熱機構を有するテフロンベルトを用いたダブルベルト方式の連続加熱装置である(特許出願中)。炭素繊維材料は電磁誘導によって、厚み方向の熱伝導加熱ではなく直接加熱により非常に効率よく加熱される(Fig.1.3)。また、この本装置をICCが所有するDBPの前段に配置し、これらを用いて板厚6mmのスタンパブルシートの成形を実施した。トライ品(Fig.1.4)のボイド率は2~3%と含浸度は改善の余地を残すものの、成形速度1m/分を達成しており、従来のDBPのみを用いたプロセスと比較すると生産速度は5倍となった。

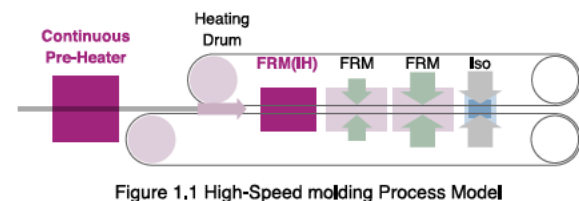


Figure 1.1 High-Speed molding Process Model

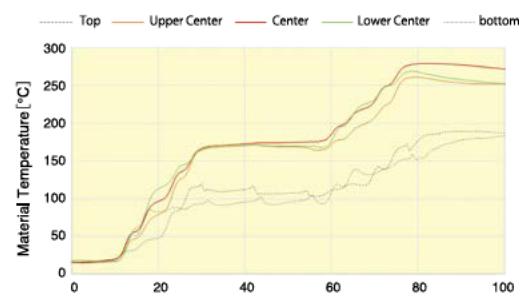


Figure 1.3 Heating profile of Preform (for 6mm CFRTP)

### 2. ローラー含浸挙動の解明

フィルムスタッキング基材が圧縮される時の樹脂含浸・面内流動の挙動について理論モデルを構築して、その結果を基にPAM-RTM™を用いてDBPのローラー直下の含浸プロセスを模したシミュレーションモデルを作成した。それを用いて各プロセス条件(ベルト速度、ベルト間のGap、樹脂粘度、etc.)が樹脂層の圧力、樹脂含浸量・樹脂の面内流動量に与える影響を評価した。Fig. 2.1 に一例としてベルト速度が異なる時のローラー通過時における樹脂層の圧力変化を示す。本検討結果は複雑なローラー含浸メカニズムを明らかにすることができ、プロセス条件を最適化するためのベースとなる。

ICC is developing a low-cost, high-quality production process for the CFRTP sheet using a fixed-roller double belt press (DBP) that enables continuous impregnation with thermoplastic resin. The project was concluded this year. Two topics are discussed subsequently.

### 1. Continuous pre-heating system

Based on the high-speed molding process (Fig. 1.1), the prototype machine for the continuous heating system has been installed (Fig. 1.2). The machine consists of a special induction heating system and double-Teflon belts (Fig. 1.3), which provide continuous heating capability (patent-pending). Carbon fiber materials can be heated efficiently by electromagnetic induction heating without thermal conduction through the thickness. An experiment with 6 mm-thick CFRTP-sheet production with this pre-heating machine was conducted using DBP. The void content of the product (Fig. 1.4) was 2–3%, which should be improved. However, we have achieved a production rate of 1 m/min, which is five times higher than the normal production rate using DBP.

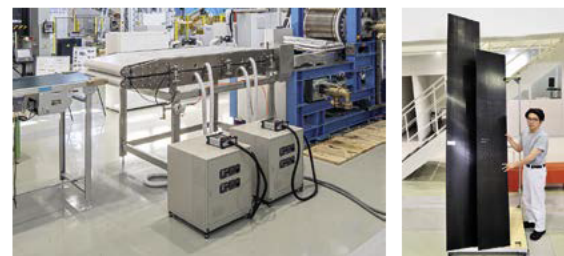


Figure 1.2 Continuous-Heater for CF Prototype Figure 1.4 6mm CFRTP (molding speed: 1m/min)

### 2. Investigation of the impregnation process under a roller

A theoretical model was developed for impregnation and in-plane flow during the compression process of film stacking materials. Based on the results, the impregnation process under a roller was studied using PAM-RTM™, and the effects of the process conditions (such as belt speed, belt gap, and viscosity) on the resin pressure, impregnation, and in-plane flow were evaluated. Fig. 2.1 shows the effect of the belt speed on the pressure in the resin layer while the material goes under a roller. These results clarify the complicated impregnation mechanism and contribute to the optimization of the double belt press process.

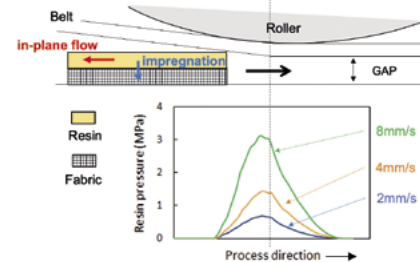


Figure 2.1 Simulation of the effects of belt speed on resin pressure.

## 大型サンドイッチパネルの連続成形技術の確立

Development of the continuous forming process of large sandwich panels



中島 正憲  
Masanori Nakajima

歩道橋、建築、土木分野の床版等を対象としたサンドイッチパネルの低コスト製造方法に関して、2018年度に選択したダブルベルト方式の連続成形コンセプトに対する課題を明確するために、2019年度は、既存のダブルベルトプレスの小規模改造を行い、実証試験を実施、1m幅のサンドイッチパネルに対して、成形速度30m/hを達成するめどを得た。

・ダブルベルトプレスによるサンドイッチパネルの連続成形試験  
ダブルベルトプレスによるサンドイッチパネルの連続成形試験は、コア材としてJSP社製ポリ乳酸発泡系コア材(AC-Tech)、スキン材としてJX ANCI社製低温硬化型エポキシ樹脂プリプレグを使用した。連続成形(図1)したサンドイッチパネル(幅0.5m×長さ1.2m)の外観、断面(図2)およびコア材/スキン材の接着状態は良好であった。プリプレグの硬化条件とICC所有のダブルベルトプレスの加熱ゾーンの長さ(2m)の関係で、最大連続成形速度が24m/hであったが、プリプレグ(マトリックス樹脂)の硬化条件と成形装置の加熱ゾーンの長さを最適化することにより、目標としている連続成形速度30m/hが達成可能であることの確認ができた。

### ・サンドイッチパネルの連続成形装置検討

サンドイッチパネルの連続成形装置の開発検討に関しては、IPCO社と既存のダブルベルトプレスの問題点及び解決策の議論を重ねた。主な解決策として、サンドイッチパネルのコア材の潰れ破壊を防止するために成形(加熱/冷却)ゾーンは圧力制御式、スチールベルトを強化テフロンベルトへ変更、加熱ゾーン手前に予備加熱ゾーンを設けた、開発装置概要をまとめた。(図3)

COIプロジェクトにて本装置の開発が凍結されるため、詳細検討は保留することとした。今後、COI以外での推進を関係各位と調整していく。



Figure 1. Continuous forming test of sandwich panel

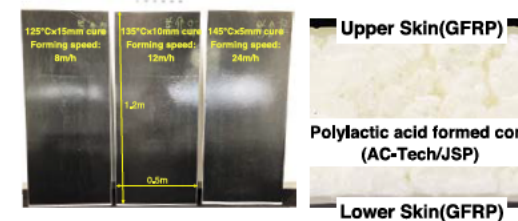


Figure 2. Appearance and cut-section of sandwich panel after forming

To clarify the issues related to the double-belt style continuous forming concept selected in 2018FY for low-cost manufacturing of sandwich structures used in civil engineering and construction, such as floor slabs for footbridges and wall and floor panels, in 2019FY, we performed a small modification to the existing double-belt press and conducted demonstration testing. As a result, the prospect of achieving a forming speed of 30 m/h on 1 m-width sandwich panels was proved.

### ・Demonstration test of the continuous forming of the sandwich panel by double belt press

In the continuous forming test of the sandwich panel using the double belt press, a polylactic acid foamed core material (AC-Tech), manufactured by JSP Corporation as the core material, and a low-temperature curing epoxy resin prepreg, manufactured by JX Nippon ANCI Corporation as the skin material, were used. Sandwich panels (width: 0.5 m; length: 1.2 m), after continuous forming (Fig.1), had good appearance (cut section (Fig.2) adhesion of the core/skin interface. Owing to the relationship between the prepreg curing conditions and the heating zone length (2 m) of the ICC-owned double belt press, the maximum continuous molding speed was 24 m/h. However, without the limitation of the ICC press, appropriate variation in the prepreg (matrix resin) curing conditions and optimization of the forming machine heating zone length confirmed that a target continuous forming speed of 30 m/h could be achieved.

### ・Study of a continuous forming machine for sandwich panels

In a study on the development of a continuous forming machine for sandwich panels, we discussed the problems and solutions of the existing double belt press with IPCO. The main solution indicated the need to use a pressure-controlled system for heating/cooling zones to prevent breakage of the core material, replace the steel belt with a reinforced Teflon belt, and include a preheating zone before the heating zone. The development machine is outlined in (Fig.3).

Since the development of this equipment is frozen in the COI project, detailed studies have been suspended. Going forward, we will coordinate the promotion of activities other than COI with those concerned.

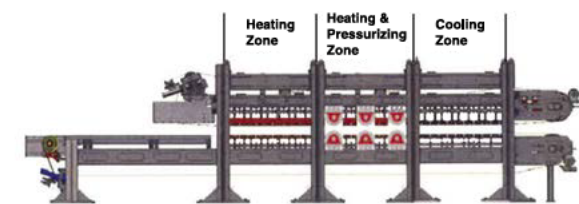


Figure 3. Overview of continuous forming machine studied by IPCO and ICC



## プレス成形中の材料流動試験技術

Testing techniques for CFRP material flow during press forming



白井 武広  
Takehiro Shirai



上田 久偉  
Aisai Ueda



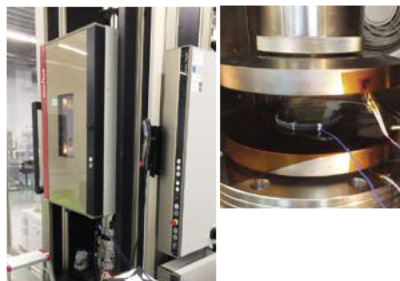
坂口 真美  
Mami Sakaguchi

繊維複合材料のCFRPが樹脂や金属材料と大きく異なる特性は、プレス成形などの成形加工工程において成形金型内で繊維と樹脂材料が流動して繊維配向が変化するため、成形後の材料物性が成形前から変化することである。つまり、成形加工時に製品形状と製品品質が同時に加工されるため、製造条件の設定次第で外観形状や機械特性などの製品品質が大きく変化する複雑な材料である。従って、CFRP成形加工製造条件の最適化を検討する為には、成形金型内で繊維や樹脂の材料がどのように流動して製品形状に加工されるか把握することが重要である。本研究テーマでは、熱可塑性樹脂CFRPのプレス成形加工時の金型内材料流動状態を試験によりデータ取得を行い材料データベースとしての構築を目指し、試験機とプレス成形機を組み合わせた試験技術の開発を2019年度から開始した。

材料流動試験の方法は、プレス成形加工の圧縮荷重時の材料流動を詳細に取得するために、試験片サイズにて試験機で圧縮荷重と変位の測定を行い、材料の溶融粘度や繊維配向変化などの解析を行う。その後、実製品のプレス成形を模擬した試験を行うために、200トン成形プレス成形装置を用いてFig.1に示す各種試験成形金型による試験を行い、製品開発の試作、量産時を想定したデータを取得する。ICCではCFRPプレス成形加工の各種試験金型の拡充を図っており、500mm平方の面内流動を圧力や温度センサで計測する平板金型や、各種賦形成形金型などを用いて試験評価が可能である。このような、成形品材料のプレス成形時の材料流動特性などの基礎物性の取得から、製品試作、量産を想定したプレス成形機と金型による成形試験評価が行える環境は国内では未だ無く、CFRP製品の量産成形技術開発において今後ICCが大きく貢献することが出来ると考えている。

The difference in the characteristics of fiber composite materials, such as CFRP, and those of metallic materials or plastic resin is that the fiber and resin materials change their fiber orientations as they flow in the molding die during the molding processes, such as press molding, so the mechanical properties before and after processing are different, and that is the large difference for metallic materials or plastic resin. As a result, the product shape and quality are processed at the same time in the CFRP molding process. CFRP is a complicated material in which the product quality, such as the product shape and mechanical characteristics, significantly vary depending on the setting of the manufacturing conditions. Therefore, it is important to understand how the fiber and resin materials in the mold flow into the product shape when considering optimizing the manufacturing conditions of the CFRP molding process.

This research aims to test the material flow state in the mold during press molding of thermoplastic resin CFRP to obtain data that assist the development of evaluation techniques and the construction of a material database by using the testing machine results to simulate the press molding machine results. The method of testing material flow is to measure the compressive load and displacement using a static testing machine with the size of the test piece to obtain the material flow under the compressive load of the press molding process in detail and to measure the material properties of the resin such as melt viscosity. Changes in the fiber orientation of the material are then analyzed. A test was conducted for simulating the actual press molding of the product using a 2000 kN press molding machine and various test dies, as shown in the figure 1. ICC is working to expand various test molds for CFRP press molding, and it can perform test evaluations using flat plate molds and various molds that measure the in-plane flow of a 500-mm square with pressure and temperature sensors. In Japan, the technology for acquiring basic material properties, such as material flow characteristics, during press molding is not ready for trial production and mass product molding using a press molding machine. ICC can significantly contribute to the development of a mass product molding technology for CFRP products.



Constant temperature chamber  
(Max 250°C)

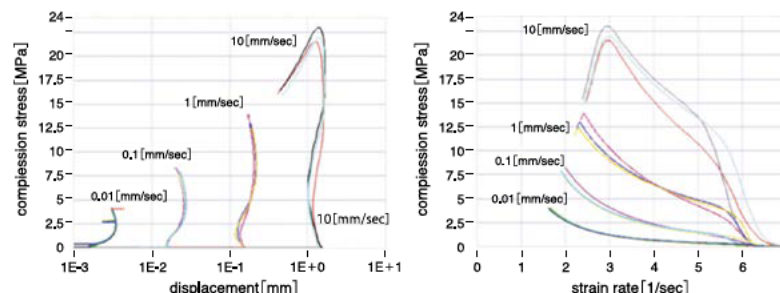


Figure 1. Material flow experiment of press molding using a testing machine

## データサイエンスを用いたプレス成形の最適化技術

Development of optimization technology for press molding using data science



白井 武広  
Takehiro Shirai

CFRPプレス成形の量産成形時の条件最適化検討の手法として、データサイエンス技術を用いた新しい最適化手法の研究を行っている。従来手法では、試作評価の繰り返しにより製造条件の最適化が検討されていたが、この手法では材料や製造条件のバラツキに伴う異なる成形結果が得られた時には、再び試作評価の繰り返しを行う必要があり非常に効率が悪く正しい最適条件を得ることが困難である。本研究テーマでは、プレス成形金型に搭載した各種センサ情報をもとに成形工程中の成形状態と品質推定を行う人工知能AIを構築しバラツキが伴う材料や製造条件に対しても常に最適な製造条件を制御可能な技術開発を目指している。その技術課題として、成形中のデータ取得解析や成形品品質の推定、そしてこれらを判定技術の開発を進めており、先述した材料評価技術も関連技術のひとつである。本レポートではプレス成形品条件と機械特性の推定技術について紹介する。

CFRPの機械特性は繊維配向と大きな関係があり、荷重の作用する方向に対する繊維配向の割合で機械特性が変化する。特に不連続繊維テープ積層構造のランダムシートは材料の流動が大きく、プレス成形条件の最適化が難しい材料である。図1は、ランダムシートを異なるプレス成形荷重条件で成形した成形品の繊維配向解析結果である。繊維配向解析結果は面外方向の繊維配向を色分けで示しており、赤が面内(積層面)の繊維配向( $\theta=90$  [deg])で、黄色から緑色になる程面外方向への繊維配向( $\theta<90$  [deg])が大きくなることを示している。プレス荷重条件が8 [MPa]から24 [MPa]と大きくなる程、プレス前材料(before press)より面外方向の繊維配向が大きくなり引張強度が大きく低下した。このように、プレス成形条件の違いで成形品の機械特性が変化することが繊維複合材料の大きな特性である。本研究テーマでは、成形品の繊維配向から機械特性の推測技術を開発し、先述したプレス成形中の材料流動評価技術と組み合わせて、材料流動に伴う繊維配向変化を推測しさらに機械特性も推測する複合化した技術開発を行っている。繊維配向から機械特性を推測技術は、X線透過画像やCT撮影画像解析により成形品中の繊維配向分布を求め、機械試験との相関を実測とシミュレーションで求めている。

In recent years, data science technology has been applied in various manufacturing processes, and we are also studying its application as an optimization method for the mass production conditions in the CFRP press molding process. In this research, we studied novel techniques that could control manufacturing conditions based on information from various sensors mounted on the press molding die. We estimated the molding condition and quality during molding and built artificial intelligence (AI) for the optimization of CFRP manufacturing conditions. Technical issues in this research were data acquisition analysis during molding, the quality evaluation of molded products, the development of judgment technology for these, and the material evaluation technology. This report introduces a technology for estimating the condition and mechanical properties of press-formed products.

The mechanical properties of CFRP are closely related to the fiber orientation and change considerably depending on the ratio of fiber orientation to the direction of the applied load. For example, a random sheet with a discontinuous fiber tape laminated structure has good moldability, but the material flow is large, and it is difficult to optimize the press molding conditions. The figure below presents the fiber orientation analysis results of molded products formed by molding random sheets under different press forming load conditions. The fiber orientation analysis results show the fiber orientation in the out-of-plane direction by color. Red is the in-plane (laminated surface) fiber orientation ( $\theta=90^\circ$  [deg-RSB -]). The direction from yellow to green increases in the out-of-plane direction. This shows that the fiber orientation ( $\theta<90^\circ$  [deg-RSB -]) becomes large. When the press load condition is increased from 8 to 24 MPa, the fiber orientation in the out-of-plane direction becomes larger than that of the material before pressing (before pressing), and the tensile strength decreases significantly. The change in mechanical properties of the molded product, depending on the press molding condition, is a major feature of the fiber composite material. In this research, we studied a method to determine the mechanical properties from the fiber orientation of the molded product and, in combination with the material flow evaluation method during press molding, estimated the fiber orientation change according to material flow and predicted the mechanical properties.

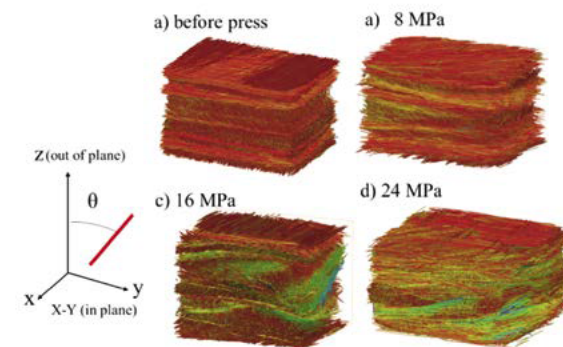


Figure 1.  
Analysis results of press forming load fiber orientation  
change of random sheet



## 部分曲げ加工プロセスの開発

Development of partial bend-forming process



布谷 勝彦  
Katsuhiko Nunotani

現在、炭素繊維織物強化熱可塑プラスチック(CFRTP)の多くの成形プロセスは、CFRTP積層シートの全体加熱と金型を用いた圧縮成形によるプロセスを基本としており、ヒータ容量やプレス機容量および金型寸法などにより、部品寸法や板厚に制約がある。そこで、本研究は、単純断面形状で長尺や大型の厚板CFRTP構造部材への適用を目的として、低容量加熱と低加工負荷が可能な部分曲げ加工プロセスの開発を進めている。部分曲げ加工プロセスは、厚板CFRTP積層板を部分的に加熱溶解させ、曲げ加工を施す加工プロセスであり、原理は極めて単純である。しかし、本プロセスは、層間全域のスベリが拘束されているため、曲げ加工部の内外周長差により必ずシワが形成される。積層構造においてシワは、機械特性を低下されることが一般的に知られている。本研究では、フォーミングシミュレーションを用いた部分曲げ加工によるシワ形態の予測、シワ形態と機械特性の評価、およびそのシワ形態を確実に形成させるための部分曲げ加工プロセスの開発を実施している。

図1に本曲げ加工プロセスの模式図を示す。部分加熱されたCFRTP積層板(3K-CF twill woven / PA 66)は、1. 圧縮動作: 圧縮工具(Compression tool)とメンブレン工具(Membrane tool)により圧縮され、2. 曲げ動作: 押上工具(Push-up tool)により曲げられ、3. 冷却固化: 圧縮力を保持した状態で冷却固化される。図2に部分曲げ加工の(a)シミュレーションと(b)実験によるシワの形態を示す。形成されるシワの形態がシミュレーションにより再現できていることが分かる、また、圧縮動作と曲げ動作の開始タイミングにより、シワの形態が異なることが分かった。これは、本プロセスは、シワの制御が可能であることを示唆している。

部分曲げ加工プロセスによるシワを含む試験体とVaRTM成形(3K-CF plane woven / Epoxy)によるシワを含まない試験体の強度試験(ASTM D6415M)の結果を図3に示す。部分曲げ加工による試験体は、VaRTM成形に比べて、強度(CBS)は65%程度であるが、シワにより増厚したために剛性は高い。

これらのシミュレーションや加工実験、試験結果により、本研究で提案する部分曲げ加工プロセスは、単純断面形状の長尺や大型への厚板CFRTP剛性部材の低コストかつ簡便な加工手法として、十分な可能性があると考えられる。

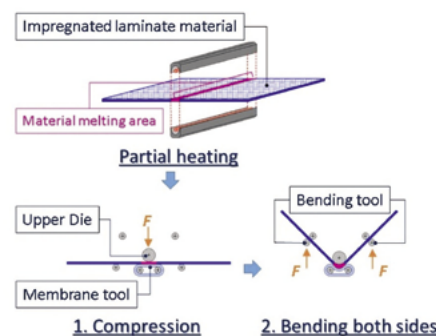


Figure 1. Schematic diagram of partial bend forming process

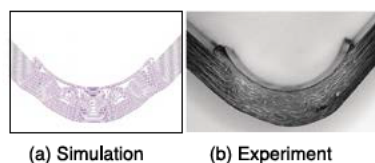


Figure 2. Sections by partial bend forming

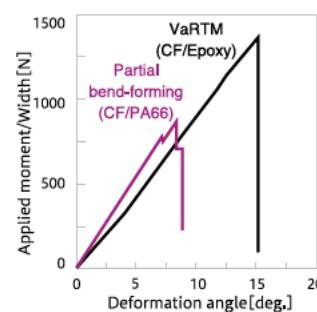


Figure 3. Results by the CBS test

General molding processes for CFRTP are based on the process of heating the entire CFRTP laminate and then compression molding by metal molds. There are restrictions on the molding size and part thickness owing to the mold size, heater capacity, and press capacity. Therefore, the purpose of this research was to develop a partial bend-forming process that enables low-capacity heating and a low processing load for application in long and large thick CFRTP structural members with a simple cross-sectional shape. The partial bending process is a process in which a thick CFRTP laminate is partially heated and then partially bent. The processing principle is highly simple. However, in the process, wrinkles always occur in the laminate because of the difference in the inner and outer circumferences of the bent curve. It is generally known that wrinkles in a laminated structure deteriorate the mechanical properties. In this research, for the partial bending process, wrinkle shape optimization used simulations of forming and structural mechanics and the development of the process to form the intended wrinkle shape.

Fig. 1 schematizes the partial bend-forming process. The partially heated CFRTP laminates (3K-CF twill woven/PA 66) is (1) compressing motion: compressed by a compression tool and a membrane tool, (2) bending motion: bending by pushup tools, (3) cooling and solidifying: solidified by cooling while holding the compression force. Fig. 2 shows the wrinkle shape obtained in the (a) simulation and (b) experiment by partial bending. It can be seen that the shape of the wrinkles formed can be simulated. It was found that the wrinkles formed in the bent part have different shapes depending on the start time of the compression and bending motion. This suggests that the wrinkle shape can be controlled in this partial bend-forming process.

Fig. 3 shows the strength test results of the specimen with wrinkles, formed by the partial bend-forming process, and the specimen without wrinkles, by VaRTM (3K-CF plane woven / Epoxy). The strength test was performed according to ASTM D6415M. The strength of the specimen produced by the partial bend-forming process is approximately 65%, compared to molded by VaRTM, but the stiffness is high owing to the increase in thickness from wrinkles. Therefore, the partial bend-forming process proposed in this study has significant potential as a low-cost and simple forming process for long and large stiff member of CFRTP with a simple and thick cross-section.

## 超音波振動を用いたプラズマ接合の改善

Enhancement of plasma bonding using ultrasonic vibration



植村 公彦  
Kimihiko Uemura



和田 倫明  
Michiaki Wada

プラズマ接合は、プラズマ照射により活性化された官能基間の反応を利用した接合であり、熱可塑性材料を溶融せずに接合することが可能である。

しかし、CFRTP材の接合には、接合部を加熱しさらに高圧を加える必要がある。これは、接合温度を高めるだけでなく、加熱され軟化した部材の官能基同士を密着させるためである。この加熱に要する時間や高圧を加えるプロセスとその装置化がプラズマ接合の実用化への課題となる。例えば、CF/PA6 (t2mm) 材の接合では、熱板による加熱に約 20 秒、接合反応のプロセスに約 10MPa の加圧が、それぞれ必要となる。

一方、超音波溶着は接合界面に摩擦熱を発生させる接合方法で、同じCF/PA6 (t2mm) の接合には約 2 秒の加振と 1MPa の加圧で接合が可能である。そこで、プラズマ接合に超音波溶着のプロセスの組み合わせを検討した。

図1に二つの接合方法とその組み合わせによる接合の概念を示す。接合面にプラズマを照射した後、超音波加振を1秒間くわえ、圧力 1MPa で加圧した結果、より高い接合力が得られ、大幅な短時間低加圧の接合が実現できた(図2)。

本技術は移動式連続接合への展開が可能であり(図3)、今後は大型・長尺部材の接合へ適用を進める予定である。

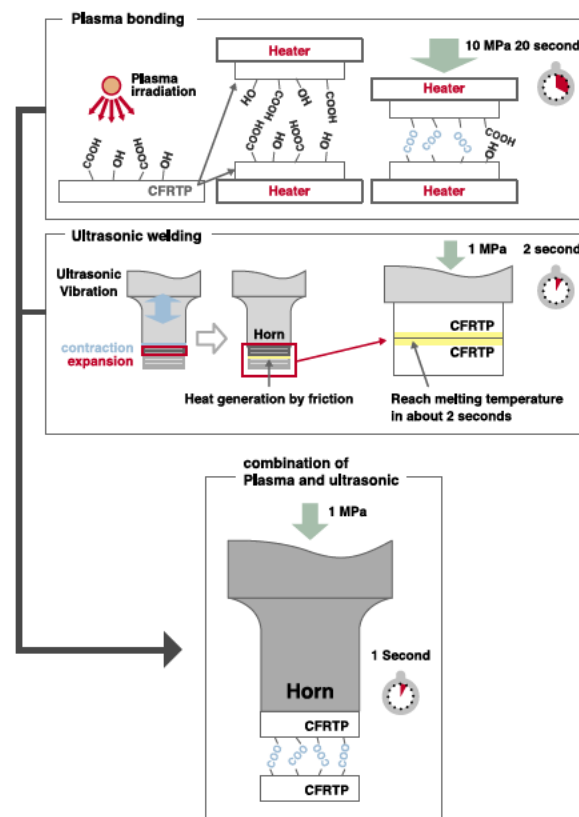


Figure 1. Combined process of plasma bonding and ultrasonic welding

The plasma bonding utilizes a reaction among functional groups activated by plasma irradiations and can bond thermoplastic materials without melting.

However, joining the CFRTPs by the plasma bonding requires heating the joint and applying high pressure. This is not only to increase the bonding temperature but also to bring the functional groups of the heated and softened members into close contact with each other. The process for applying the time required for this heating and the application of high pressure and its deviceization are the subjects of practical application of plasma bonding. For example, when joining CF/PA6 (t2mm) materials, heating with a hot plate requires approximately 20 seconds, and the process of reaction for joining requires a pressure of approximately 10 MPa. On the other hand, ultrasonic welding is a joining method that generates frictional heat at the joining interface, and the same CF/PA6 (t2mm) jointing can be joined by vibration for approximately 2 seconds together with a relatively low pressure of 1 MPa. Therefore, we considered combining the plasma bonding method with the ultrasonic welding technique to devise an improved method.

Figure 1 shows the concept of joining by two joining methods and their combination. After irradiating the bonding surface with plasma, ultrasonic vibration was employed for 1 second, and a pressure of 1 MPa was applied. This gave rise to a higher bonding force, which helped to achieve a significantly faster and low-pressure bonding process (Figure 2).

This technology can be applied to moving continuous jointing (Figure 3), and in the future, we plan to apply it to the jointing of large and long members.

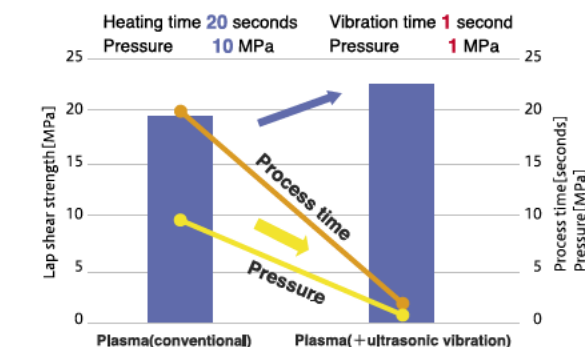


Figure 2. Comparison between conventional plasma bonding and combination method

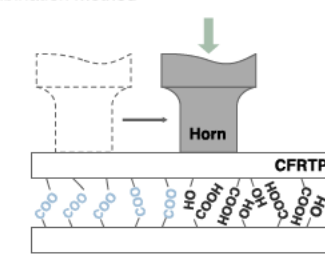


Figure 3. Continuous jointing (idea)



## シリカナノ粒子を用いた界面接着性の改善

Improvement of interfacial adhesion using silica nanoparticles

山下 博  
Hiroshi Yamashita

繊維複合材料 (FRP) の機械的特性に大きく影響を与える要因の1つに繊維と樹脂の界面における接着性が挙げられる。特に、ポリプロピレン (PP) などの熱可塑性樹脂をマトリックスとしたFRPにおいては、その構造中に炭素繊維 (CF) やガラス繊維 (GF) の表面に存在する水酸基やカルボキシ基などの官能基と結合可能な官能基を有していないため、繊維との界面接着性が乏しいといった問題もある。この解決策として様々な方法が検討されてきた。その例としてCF表面へのサイジング剤の塗布や、樹脂に相溶化剤を添加するなどの手法があるが満足いく結果は得られなかった。また、樹脂をプラズマ処理やオゾン処理することで官能基を導入する方法もあるが、処理に手間がかかり十分な界面接着性が得られなかった。しかし、我々は特定粒子径のシリカナノ粒子をCF表面に均一に分散させることでPPとCFの界面接着性が向上することを見出したので紹介する。

CFは、T700をサイジング剤の除去を行わず、そのまま使用した。PPはWINTEC (WSX03) を使用した。

CF表面にシリカナノ粒子を分散させたCFのSEM画像を図1に示す。表面を疎水性に修飾したシリカナノ粒子とCFを攪拌し、加熱・加圧処理することでCF表面にシリカナノ粒子を均一に分散させることができた。このシリカナノ粒子を分散させたCFとPPのフラグメンテーション試験を行い、界面接着性について評価した (図2)。シリカナノ粒子をCF表面に分散させることで、界面せん断強度が最大で約3.4倍向上した。これは、シリカナノ粒子の表面に存在する水酸基とCFが相互作用によって結合し、マトリックスのPPはシリカナノ粒子のアンカー効果が発現することで、CFとPPの界面接着性が向上したと考えられる。この手法を用いることで、簡単にCFとPPの界面接着性を高めることができ、PPをマトリックスとした複合材料の高性能化に期待できる。

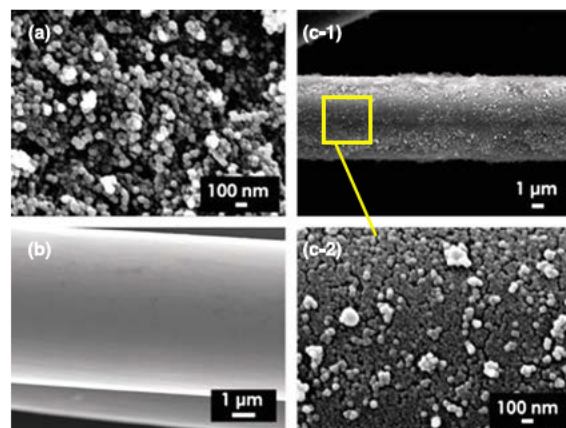


Figure 1. (a) Silica nanoparticles (30 nm), (b) CF, (c) CF with silica nanoparticles

The interfacial adhesion between resin and fiber has a significant influence on the mechanical properties of fiber-reinforced plastics. Polypropylene (PP), which is a thermoplastic resin, has no polar groups, such as carboxyl and hydroxy groups, in its structure. Therefore, the adhesion is poor because no interaction occurs between the fibers (carbon fiber (CF) or glass fiber (GF)) and PP. As a method of improving the interfacial adhesion between the resin and the fiber, they added a compatibilizer and applied a sizing agent for PP, but high cost and sufficient adhesion could not be obtained. There is a method of introducing a functional group into the resin by treating it with plasma or ozone, but no sufficient effect was obtained. We have found that by uniformly dispersing silica nanoparticles on the CF surface, the interfacial adhesion with resin is improved, and we report on the results.

CF used T700 (the sizing agent was not removed). PP used WINTEC (WSX03).

Figure 1 shows an SEM image of the silica nanoparticles dispersed on the CF surface. By using silica nanoparticles whose surface was modified to be hydrophobic, it was possible to disperse uniformly the silica nanoparticles on the CF surface by stirring with CF and heating/pressurizing. The interfacial adhesion between CF (modified with silica nanoparticles) and PP was evaluated using a fragmentation test (Figure 2). In the case of CF modified with silica nanoparticles, the interfacial shear strength was improved about 3.4 times as compared with unmodified CF. This is because the hydroxyl groups present on the surface of the silica nanoparticles and CF were bonded by interaction, and PP produced the anchoring effect of the silica nanoparticles. It is considered that these effects improved the interfacial adhesion between CF and PP. It was possible to easily improve the interfacial adhesion between CF and PP using silica nanoparticles.

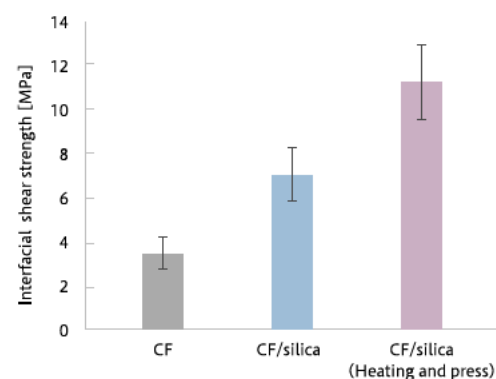


Figure 2. Fragmentation test of CF and CF/silica nanoparticles with PP

## CF/PP複合材料における新規相溶化剤iPP-PAAの添加効果

Effect of adding new compatibilizer iPP-PAA with CF/PP composite

附木 貴行  
Takayuki Tsukegi

はじめに

炭素繊維強化熱可塑性複合材料 (Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic : CFRTP) は『軽くて強い』特性に加え、低コストや高リサイクル性をさらに付与することが可能であり、需要拡大が地球温暖化対策に寄与することは間違いないといえる。しかし、熱可塑性樹脂であるポリプロピレン (Polypropylene : PP) は、樹脂と繊維の付着に関与できる表面官能基が存在しないため、複合材料強度に寄与する界面特性が乏しい。本研究では、樹脂と繊維の相溶性を向上させるために相溶化剤を添加し、CF/PP 複合材料の界面特性の向上について検討した。

材料

PP (Novatec FY6: Mw=776,000 MFR=2.5)、強化材は、CF (T700/12K) を用いた。CFの表面に塗布されているサイジング剤は、相溶化剤と相溶性が悪いため除去した。相溶化剤として、無水マレイン化プロピレン (Maleic Anhydride Polypropylene: MAPP) (三洋化成工業株式会社製: ユーメックス: 1010 酸価: 52 Mn: 42,000)、新規開発したアイソタクチックポリプロピレン-ポリアクリル酸 (Isotactic Polypropylene Polyacrylic acid: iPP-PAA) (株式会社三栄興業製: Mn: 4,000-23,000-4,000) の2種で評価した。熱的特性として、示差走査熱量測定装置 (Differential Scanning Calorimetry: DSC) を用いてPP/MAPPの結晶性を評価した結果、PP単体より結晶化度は約2-5%低下を確認した。一方、iPP-PAAは、PP結晶構造のラメラ構造部に絡み合い、PP単体より結晶化度は約8-9%向上したことを確認した。

評価

フラグメンテーション試験 (Fragmentation test : FT) による試験結果をFigure 1に示した。相溶化剤および添加量の違いによる観点から評価を行った。iPP-PAAはMAPPと比較し相溶化剤添加量5 wt%は約69.0%、10 wt%は約24.8%の向上が確認された。以上より、iPP-PAAは新規相溶化剤として有用であることが示唆された。Figure 2に界面接着メカニズムを示す。

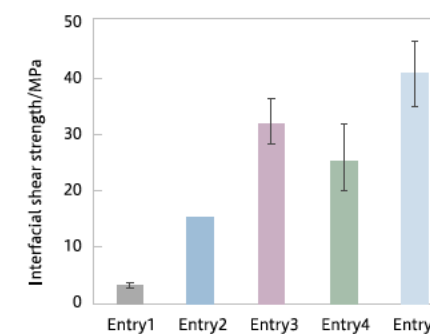


Figure 1. Interfacial shear strength by FT

Introduction

It is widely accepted that carbon fiber reinforced thermoplastic (CFRTP) not only is light and strong but also offers low cost and high recyclability. However, polypropylene (PP), which is a thermoplastic resin, does not have a surface functional group that can contribute to the adhesion between the resin and the fiber, and thus, it has poor interface characteristics that contribute to the strength of the composite material. In this study, we investigated the improvement in the interfacial properties of CF/PP composites by adding a compatibilizer to improve the compatibility between the resin and the fiber.

Material

PP (Novatec FY6: Mw = 776,000 MFR = 2.5) and CF (T700 / 12K) were used as the reinforcing material. The sizing agent applied to the CF surface was removed because of poor compatibility with the compatibilizer, Maleic anhydride hydride (MAPP) (manufactured by Sanyo Chemical Industries, Ltd. UMEC 1010 acid value: 52 Mn: 42,000), newly developed isotactic polypropylene-polyacrylic acid (iPP-PAA) (manufactured by SANEI Kogyo Co., Ltd.: Mn: 4,000-23,000-4,000). As a thermal property, the crystallinity of PP / MAPP was evaluated using a differential scanning calorimetry (DSC). As a result, the degree of crystallinity was confirmed to be approximately 2-5% lower than that of PP alone. It was confirmed that iPP-PAA was entangled with the lamella structure of the PP crystal structure, and the crystallinity was improved by approximately 8-9%, compared to PP alone.

Evaluation

Fig. 1 shows the results of a fragmentation test (FT). The evaluation was performed from the viewpoint of the difference in the compatibilizer and the amount added. Compared with MAPP, iPP-PAA was confirmed to have an improvement of approximately 69.0% when the compatibilizing agent was added and approximately 24.8% when 10 wt% was added. Thus, iPP-PAA was suggested to be useful as a novel compatibilizer. Figure 2 shows the interfacial adhesion mechanism.

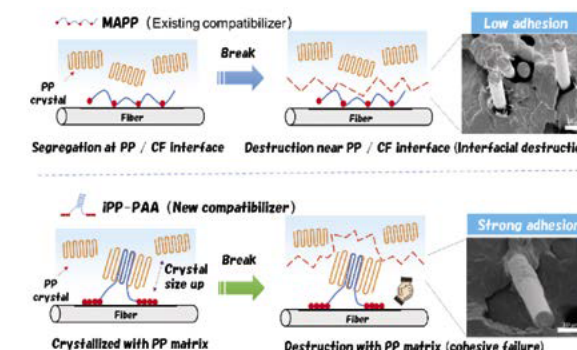


Figure 2. Interfacial adhesion mechanism of each compatibilizer



## 極低温推進剤タンクをCFRTPで製造する 新しいAFPプロセスの開発

Development of new AFP process for manufacturing  
cryogenic propellant tank with CFRTP



西田 裕文  
Masafumi Nishida

稲垣 昌輝  
Masaki Inagaki

山下 博  
Naoshi Yamashita

ICCは、宇宙航空研究開発機構(JAXA)が進める再使用可能ロケット開発の一環で、第2段ロケットエンジン用極低温推進剤タンクをCFRTPで製造する新しいAFPプロセスの開発を手掛けている。このタンク製造における課題は、軽量化とコスト低減である。軽量化を図るために比強度・比弾性率の高い炭素繊維強化プラスチック(CFRP)を材料として選択することは合理的であるが、従来の熱硬化型プリプレグを使用する方法では、巨大な硬化設備が必要となるためコスト高となってしまう。そこで本研究では、ドライファイバーからの「その場合浸」、自動積層、そして熱可塑性樹脂ならではのダイレクトコンソリデーションの一連の作業を可能にする新規なAFP(Automated Fiber Placement)プロセスを開発することにより、低コスト化の実現を図った。

従来AFP(Automated Fiber Placement)は、複雑形状の形成と速度向上にフォーカスして研究されてきた。炭素繊維強化熱可塑性プラスチック(CFRTP)のAFPでは、マトリックス樹脂の熔融粘度が高くその場合浸が難いため、熱可塑性樹脂がすでに繊維に含浸されているプリプレグが使用される。一般に、優れた機械的特性を持つ熱可塑性樹脂(スーパーエンブラなど)も高融点である。従って、スーパーエンブラで作られたプリプレグを積層してAFPでCFRTPを製造するには、非常に高い温度を要する。

一方、熱源としてのレーザーは、材料の温度を瞬時に上げることができるが、僅かな光軸のずれで材料の表面温度が変化するため、均一に加熱するには指向性が高すぎる。このため、熔融した熱可塑性樹脂の温度を正確に制御するには、更なる技術が必要になる。更に、積層のための高温からの冷却工程で熱応力が発生することも懸念事項の1つである。熱可塑性樹脂を熔融させて十分に粘度を下げるために高温が必要な場合、残留応力がたまり、最終製品の性能が低下する。

従って、これらの問題を解決するために、我々は新しいAFPプロセス(図1)だけでなく、このプロセス専用の高性能な樹脂システムを提案した。尚、目下特許出願準備中につき、詳細は開示できない。

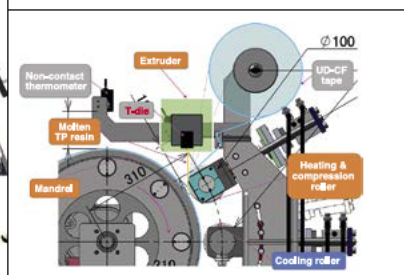
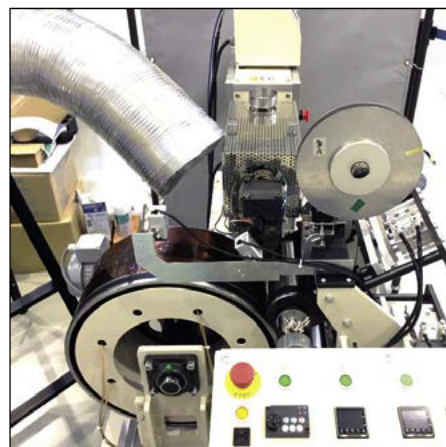


Figure 1. Diagram and photo of the newly designed AFP apparatus

As a part of the development of a reusable rocket by the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), ICC is developing a new AFP process to manufacture carbon fiber reinforced thermoplastics (CFRTPs) cryogenic propellant tanks for the second-stage rocket engine. The challenges in manufacturing this tank are weight reduction and cost reduction. Although it is rational to utilize carbon fiber reinforced plastics (CFRPs) to reduce weight due to their high specific strength and specific modulus, manufacturing a large CFRP tank through the conventional thermosetting prepreg method is expensive because it requires a large curing facility. Therefore, in this study, we attempted to achieve cost reduction by developing a new Automated Fiber Placement (AFP) process that enables a series of operations including in-situ impregnation of dry fiber, automatic lamination, and direct consolidation unique to thermoplastics.

Conventionally, AFP research has focused on the formation of complex shapes and the improvement of lamination speed. In the AFP process for CFRTP, prepreg—in which thermoplastics are already impregnated into fibers—is used because in-situ impregnation is difficult owing to the high melt viscosity of the matrix resin. In general, thermoplastics with excellent mechanical properties (e.g., super engineering plastics) also have a high melting point. Therefore, a very high temperature is required to laminate prepreps made from super engineering plastics to produce CFRTP via AFP.

By the way, a laser heat source can instantly raise material temperature; however, the directivity is too high to heat the material uniformly because the surface temperature of the material changes with a slight misalignment. For this reason, additional techniques are required to precisely control the temperature of fused thermoplastic resin. Furthermore, the generation of thermal stress during the cooling process from high temperatures during lamination is another significant concern. In the case that high temperatures are required to melt the thermoplastic resin and reduce its viscosity sufficiently, significant residual stress accumulates, resulting in the reduced performance of the final product.

Therefore, in order to address these problems, we proposed a novel AFP process (Figure 1) and designed high-performance resin systems that can be successfully applied to this process. Further details cannot be disclosed as the patent application is currently being prepared.

## フローメディアの開発

Development of flow media



松本 大輝  
Hiroki Matsumoto

堀 正芳  
Masayoshi Nori

乾 伸晃  
Nobuaki Inui

佐久間 忠  
Tadashi Sakuma

桒口 史郎  
Shiro Noguchi

橋本 かおる  
Kaoru Hashimoto

繊維基材に樹脂を含浸させるVacuum assisted Resin Transfer Molding (VaRTM) 法は、真空圧のみで樹脂含浸を行うために、面内方向の樹脂流動を促すフローメディアの使用が必須である。しかしながら、積層厚さ方向の樹脂流動は改善できないため、繊維束内のマイクロボイドや成形品の型面側表面にピットが発生しやすく、副資材として発生する大量の廃棄物も課題となっている。

そこで、本研究では樹脂流動と表面性状を向上させ、さらに廃棄物を出さないフローメディアの開発を行っている。図1の様に、エポキシ樹脂と一体化する厚さ100  $\mu\text{m}$  程度のUD繊維状のフローメディアをツール面側に積層して成形することで、ピットや繊維目の凹凸が発生しない高品質な成形が可能となる。

炭素繊維織物に対するフローメディア有無の評価をVaRTM法によって行った。成形中の樹脂含浸の様子を図2に示す。僅かな厚さでありながらUD繊維構造をしたフローメディアにより含浸速度が大幅に向上していることがわかった。また、フローメディアの配置方向により型内の樹脂流動方向を制御することも可能であった。次に成形後の表面断面観察の様子を図3に示す。表層にフローメディアを用いることで樹脂層が均一に形成され、表面性状が向上していることも確認できた。

今後は、このフローメディアの実用化に向けた研究を進める計画である。

The vacuum-assisted resin transfer molding (VaRTM) method impregnates resin into the fiber base material using vacuum pressure; therefore, it is essential to use a flow medium that promotes resin flow in the in-plane direction. However, because the flow in the stack thickness direction cannot be improved, micro voids in the fiber bundle and pits easily occur on the surface of the molded product. The large amount of waste generated as a secondary material poses a problem.

Therefore, in this research, we are developing a flow media that improves resin flow and surface properties without generating waste. As shown in figure 1, by stacking and molding a UD fibrous flow media of approximately 100  $\mu\text{m}$  thick, integrated with the epoxy resin on the side of the tool surface, it is possible to prevent pits and fiber irregularities from occurring. Quality molding is also possible.

The presence or absence of flow media for the carbon fiber-woven fabric was evaluated by the VaRTM method. Figure 2 shows the state of the resin impregnation during molding. It was found that the impregnation rate was significantly improved by the flow media having a UD fiber structure, although the thickness was negligible. It was also possible to control the resin flow direction in the mold by the arrangement direction of the flow media. Figure 3 shows the observation of surface cross section following molding. It was further confirmed that the resin layer was uniformly formed and the surface quality was improved by using flow media as the surface layer.

In the future, we plan to conduct research aiming to identify practical applications of this flow media.

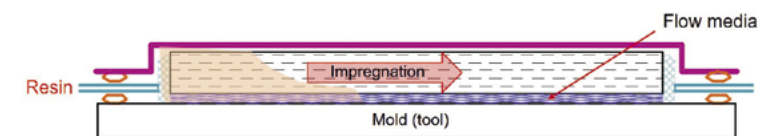


Figure 1. RTM using fibrous flow media compatibilizing with resin

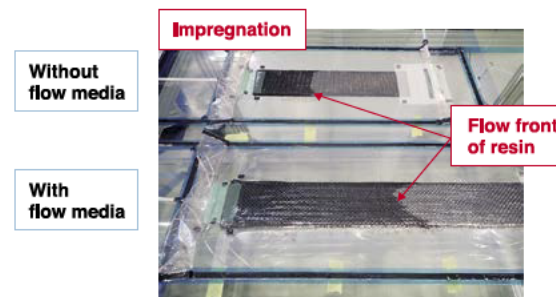


Figure 2. Impregnation of resin with/without flow media

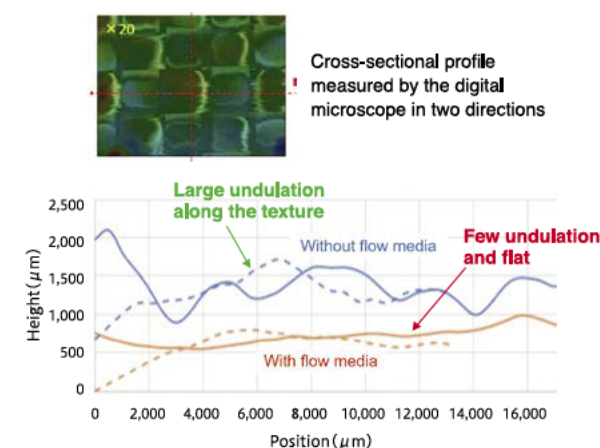


Figure 3. Measurement of surface undulation



平成 31 ・ 令和元 (2019) 年度 : Achievement in FY2019

著 書

1. 西田 裕文、“架橋密度制御によるエポキシ樹脂の熱可塑性とTgレス化”、エポキシ樹脂の硬化メカニズム解析と機能設計、Apr., 2019.
2. 附木 貴行、山下 博、“リサイクル炭素繊維とリグノセルロース繊維で強化したハイブリッド複合材料の開発”、月刊ファインケミカル、Vol. 48, No. 6, pp. 42-48, Jun., 2019.
3. 附木 貴行、山下 博、“新規相溶化剤を用いたリグノセルロース繊維複合材料とリサイクル炭素繊維複合材料の開発”、プラスチック資源循環に向けたグリーンケミストリーの要素技術、Nov., 2019.
4. 西田 裕文、“FRPマトリックス用リアクティブ・レジンの開発動向”、強化プラスチック、Vol.66, No.1, pp. 5-13, Jan, 2020.
5. 宮里 心一、保倉 篤、上田久偉、高岩 裕也、“熱可塑性FRPのコンクリート部材への適用検討”、コンクリート工学誌、Vol. 58, pp. 94-98, Jan., 2020.

論 文

1. Masayuki Nakada, Yasushi Miyano, Yoko Morisawa, Hirofumi Nishida, Yutaka Hayashi, Kiyoshi Uzawa, “Prediction of statistical life time for unidirectional CFRTP under creep loading”, Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 38, pp. 938-946, May, 2019.
2. László Szabó, Sari Imanishi, Fujie Tetsuo, Masaki Nishio, Daisuke Hirose, Takayuki Tsukegi, Kentaro Taki, Kazuaki Ninomiya, Kenji Takahashi, “Electron beam induced strengthening of a short carbon fiber reinforced green thermoplastic composite: key factors determining materials performance”, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol. 121, pp. 386-396, Jun, 2019.
3. 田中 求、千田 咲良、遠藤 太佳嗣、附木 貴行、仁宮 一章、高橋 憲司、“セルロース誘導体を用いた高強度草本系複合材料の開発”、高分子論文集、Vol. 76 No. 4, pp. 297-304, Jul., 2019.
4. Haruo Nishida, Takayuki Tsukegi, “One-Pot Nanofibrillation and Nanocomposite Production Through Extrusion”, Lignocellulose for Future Bioeconomy, pp. 91-108, 2019.
5. László Szabó, Romain Milotskyi, Takayuki Tsukegi, Naoki Wada, Kenji Takahashi, “Quantitative analysis of native reactive functional groups on carbon fiber surface: an electrochemical approach”, Applied Surface Science, Vol. 494, pp. 315-325, Nov., 2019.
6. Laszlo Szabo, Romain Milotskyi, Tetsuo Fujie, Takayuki Tsukegi, Naoki Wada, Kazuaki Ninomiya and Kenji Takahashi, “Short Carbon Fiber Reinforced Polymers: Utilizing Lignin to Engineer Potentially Sustainable Resource-Based Biocomposites”, Frontiers in Chemistry: Green and Sustainable Chemistry, pp.757ff., Nov., 2019.
7. Tengku Arisyah, Tengku Yasim-Anuar, Hidayah Ariffin, Yoshito Andou, Mohd. Ali Hassan, Mohd Nor Faiz Norrrahim, Ainun Zuriyati Mohamed, Takayuki Tsukegi, Haruo Nishida, “Well-dispersed Cellulose Nanofiber in Low Density Polyethylene Nanocomposite by Liquid-Assisted Extrusion”, Polymers, Vol. 12, p. 927, Feb., 2020.
8. 杉俣 悦郎、石田 応輔、附木 貴行、上田 久偉、奥村 航、長谷部 裕之、森 大介、鵜澤 潔、“サイジング剤の熱処理がCFRTP複合材料の機械的強度に及ぼす影響”、Journal of Fiber Science and Technology, Vol.76, No. 2, pp.88-94, Feb., 2020.
9. 高岩 裕也、保倉 篤、鵜澤 潔、宮里 心一、“炭素繊維複合材料より線の緊張力がコンクリートとの付着性状に及ぼす影響”、日本建築学会構造工学論文集、Vol. 66B, pp.543-548, Mar., 2020.

講 演

1. 高岩 裕也、“建築分野のコンポジット適応に関する世界動向調査報告”、ほくりく先端複合材研究会 第1回先端複合材セミナー、金沢国際ホテル、金沢市、石川県、May 28, 2019.
2. 石田 応輔、“ダブルベルトプレスによる厚肉繊維強化熱可塑性樹脂スタンパブルシートのダイレクト成形”、Plastics Industry Development Center セミナー、台湾、Jul. 23, 2019.
3. 西田 裕文、“成形プロセスから見た樹脂技術”、平成 3 0 年度 第 2 回複合材入門講座実践シリーズ 熱硬化性成形技術講座、金沢工業大学 革新複合材料研究開発センター、白山市、石川県、Jun, 21, 2019.
4. 高岩 裕也、“建築分野におけるFRP部材の耐火性能に関する考え方”、第2回COI学会、日本科学未来館、江東区、東京都、Sep. 19, 2019.
5. 布谷 勝彦、“FRP部品の設計開発の実務と課題”、北陸地域高機能新素材先端ものづくり支援事業 高機能新素材活用セミナー、金沢国際ホテル、金沢市、石川県、Sep. 27, 2019.

平成 31 ・ 令和元 (2019) 年度 : Achievement in FY2019

6. 布谷 勝彦、“K 2019 における 熱可塑FRPの成形技術動向と適用事例”、第11回自動車用途コンポジットシンポジウム、同志社大学 今出川校地、京都市、京都府、Nov. 15, 2019.
7. Osuke Ishida, “Development of continuous production process of organo-sheet and chopped tape sheet for RTM”, JEC Asia 2019, COEX, Seoul, Korea, Nov., 2019.
8. 石田 応輔、“ダブルベルトプレスのローラー直下における含浸・流動解析”、30th PUCA-ESI Users' Forum in Japan 2019、ヒルトン東京、新宿区、東京都、Nov. 27, 2019.
9. 布谷 勝彦、“CFRPの部分曲げ加工プロセスの開発”、30th PUCA-ESI Users' Forum in Japan 2019、ヒルトン東京、新宿区、東京都、Nov. 27, 2019.
10. 布谷 勝彦、“熱可塑FRPのフォーミングシミュレーションのための材料特性評価”、Zwickフォーラム、Nov. 28, 2019.
11. 附木 貴行、“TM工法によるCNFエンジンフードへの挑戦”、第417回生存圏シンポジウム ナノセルロースシンポジウム2020、京都テルサ、京都市、京都府、Feb. 27, 2020.
12. 附木 貴行、“NCVプロジェクト:RTM工法によるCNFエンジンフードの試作と評価”、19ー1高分子学会 グリーンケミストリー研究会 見学会、金沢工業大学 革新複合材料研究開発センター、白山市、石川県、Dec. 20, 2019.
13. 附木 貴行、“RTM工法によるCNFエンジンフードの試作と評価”、第28回ポリマー材料フォーラム ランチョンセミナー、ウインク あいち、名古屋市、愛知県、Nov. 22, 2019.

口頭発表(抄)

1. Kiyoshi Uzawa, “Innovative molding process by thermoplastic epoxy resin and its initiatives at ICC”, SAMPE China Conference & Exhibition, China International Exhibition Centre, Beijing, China, May, 2019
2. Osuke Ishida, Junichi Kitada, Katsuhiko Nunoani, Kiyoshi Uzawa. “Continuous manufacturing technology of stampable thick organo-sheet using fixed rollers double belt press”, SAMPE 2019, Charlotte, NC, USA, May, 2019
3. Kiyoshi Uzawa, “An introduction of monitoring activities at ICC’s, with examples of applications in X-ray measuring, HP-RTM pressure monitoring, etc.”, ICWAM’2019, Robert Schuman Conference Center, Metz, France, Jun., 2019
4. Atsushi Hokura, Shinichi Miyazato, “Feasibility Study on Thermoplastic FRP Rods as Reinforcement Bars for Concrete”, CSN 2019, Hall at Kanazawa Chamber of Commerce and Industry, Kazazawa, Ishikawa, Jun., 2019.
5. Hirofumi Nishida, “Evaluation of Creep-less Composites Using Tg-less Epoxy Resin as the Matrix”, ICCM22, Convention and Exhibition Centre, Melbourne, Australia, Aug., 219.
6. Katsuhiko Nunotani, Kiyoshi Uzawa, “COMPARISON OF FORMING-SIMULATION AND EXPERIMENT FOR THE BEND-FORMING OF CFRTP”, JISSE-16, Sep., University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo, Sep., 2019.
7. Osuke Ishida, Junichi Kitada, Yoshihiro Aono, Katsuhiko Nunotani, Takehiro Shirai, Kiyoshi Uzawa. “IMPREGNATION AND FLOW ANALYSIS UNDER ROLLERS IN DOUBLE BELT PRESS”, JISSE-16, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo, Sep., 2019.
8. Junichi Kitada, Osuke Ishida, Katsuhiko Nunotani, Kiyoshi Uzawa, “PROCESS SIMULATION FOR CONTINUOUS ORGANO SHEET PRODUCTION PROCESS USING DOUBLE BELT PRESS”, JISSE-16, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo, Sep., 2019.
9. Hisai Ueda, Hiroshi Yamashita, Hiroki Matsumoto, Nobuaki Inui, Kiyoshi Uzawa, “THE MECHANICAL PROPERTIES OF FRP RODS MOLDED BY ULTRA-HIGH SPEED PULTRUSION”, JISSE-16, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo, Sep., 2019.
10. Yuya Takaiwa, Katsuhiko Nunotani, Atsushi Hokura, Shiro Noguchi, Nobuaki Inui, Tadashi Sakuma, Kiyoshi Uzawa, “INFLUENCE OF WELDING TEMPERATURE ON ADHESION PERFORMANCE OF CFRTP STRAND ROD-SOCKET”, JISSE-16, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo, Sep., 2019.
11. Hirofumi Nishida, Kiyoshi Uzawa, Daichi Kaji, Norio Hirayama, “Development of High Tg Thermoplastic Epoxy Resin and Impact Properties of CFRTP Using It As the Matrix”, JISSE-16, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo, Sep., 2019.
12. Takehiro Shirai, Kiyoshi Uzawa, “Relationship between Tensile Properties and Fiber Orientation after Press Forming of Discontinuous Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic Composite”, JISSE-16, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo, Sep., 2019.
13. 高岩 裕也、保倉 篤、鵜澤 潔、“熱溶着法を用いたCFRTPロッド端部定着の提案およびその付着性能評価”、日本建築学会大会学術講演会(北陸)、金沢工業大学 扇が丘キャンパス、野々市市、石川県、Sep., 2019.



平成 31・令和元 (2019) 年度 : Achievement in FY2019

14. 附木 貴行、影山 裕之、乾 伸晃、佐久間 忠、埜口 史郎、鶴澤 潔、杉田 享子、高山 亮平、竹安 清則、鈴木 幸弘、昆 俊雄、“セルロースナノファイバーを用いたRTM 成形による自動車用エンジンフードの作製と評価”、第68回高分子討論会、福井大学 文京キャンパス、福井市、福井県、Sep. 26、2019.
15. 附木 貴行、影山 裕之、杉田 享子、“CNFを用いたRTM 成形による自動車用エンジンフードの作製と評価”、成形加工シンポジア’19、高松市、香川県、Nov. 13、2019.
16. 藤江 哲夫、廣瀬 大祐、高橋 憲司、上田 久偉、附木 貴行、山下 博、鶴澤 潔、“熱安定化剤添加による熱可塑性セルロースエステル の成形温度領域の拡大”、成形加工シンポジア’19、高松市、香川県、Nov. 13、2019.

ポスター発表 (抄)

1. 附木 貴行、秋田 光恵、梅谷 竜生、山下 博、上田 久偉、吉村 治、高村 厚、佐々木 大輔、“CF/PP複合材料のiPP-PAA添加による熱的特性について”、第8回高分子学会グリーンケミストリー研究会シンポジウム 第22回プラスチックリサイクル化学研究会研究討論会 合同発表会、千代田区、東京都、Aug. 7、2019.
2. 梅谷 竜生、吉村 治、附木 貴行、“PLA/PP/CF複合材料の電子線照射による機械的特性の評価”、第8回高分子学会グリーンケミストリー研究会シンポジウム 第22回プラスチックリサイクル化学研究会研究討論会 合同発表会、千代田区、東京都、Aug. 7、2019.
3. 山下 博、上田 久偉、附木 貴行、鶴澤 潔、“炭素繊維/ポリプロピレン複合材における新規相溶化剤の添加効果”、第8回高分子学会グリーンケミストリー研究会シンポジウム 第22回プラスチックリサイクル化学研究会研究討論会 合同発表会、千代田区、東京都、Aug. 7、2019.
4. 梅谷 竜生、吉村 治、附木 貴行、“炭素繊維の表面改質によるビニルエステル樹脂複合材料の機械的特性の改良”、第68回高分子討論会、福井市、福井県、Sept. 27、2019.
5. 山下 博、上田 久偉、附木 貴行、鶴澤 潔、“ポリプロピレンと炭素繊維における新規相溶化剤の添加効果”、第68回高分子討論会、福井市、福井県、Sept. 27、2019.
6. 上田 久偉、藤江 哲夫、鶴澤 潔、附木 貴行、高橋 憲司、廣瀬 大祐、山下 博、“熱安定化剤添加による熱可塑性セルロースエステル の成形温度領域の拡大”、成形加工シンポジア’19、高松市、香川県、Nov. 12、2019.
7. 白井 武広、鶴澤 潔、“一方向積層CFRP板のX線CT装置内曲げ試験による繊維構造の立体的観察”、第11回日本複合材料会議、大阪市、大阪府、Mar. 17、2020.
8. 山下 博、上田 久偉、附木 貴行、鶴澤 潔、“新規相溶化剤を添加したCF/PPの界面接着性と力学物性の関係”、第11回日本複合材料会議、大阪市、大阪府、Mar. 17、2020.
9. 松本 大輝、布谷 勝彦、笠川 英寿、土屋 芳信、鶴澤 潔、“NCFにおける異なるステッチが浸透率に及ぼす影響”、第11回日本複合材料会議、大阪市、大阪府、Mar. 17、2020.
10. 高岩 裕也、軽賀 英人、田中 康典、関戸 俊英、鶴澤 潔、“発泡断熱層および吸熱層を複合化したFRP/パネルの耐火性能評価”、第11回日本複合材料会議、大阪市、大阪府、Mar. 17、2020.

特 許

1. 高岩 裕也、鶴澤 潔、布谷 勝彦、“熱可塑性樹脂部材の接合方法及び接合部構造”、特願2019-144230.
2. 軽賀 英人、田中 康典、高岩 裕也、“積層体”、特願2019-164309.
3. 高岩裕也、鶴澤潔、布谷勝彦、“繊維強化プラスチックの接合方法及び接合部構造”、特願2020-011507.
4. 石川 勤、河田 克明、鶴澤 潔、布谷 勝彦、石田 応輔、森 大介、奥村 航、長谷部 裕之、“炭素繊維強化樹脂成形品の製造方法”、特許6675666、Mar. 13、2020.
5. 布谷 勝彦、福永 高之、石田 宗則、北田 純一、“加熱装置”、特開2020-27736、Feb. 20、2020.

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受け入れることにより、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。  
またこの活動は異業種・異分野の企業間のコラボレーションにもつながり、ICCでは今後もオープンラボ・イージアクセスのオープンイノベーション環境を提供していきます。

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

X線位相イメージングによる繊維配向解析

株式会社島津製作所 Shimazu Corporation

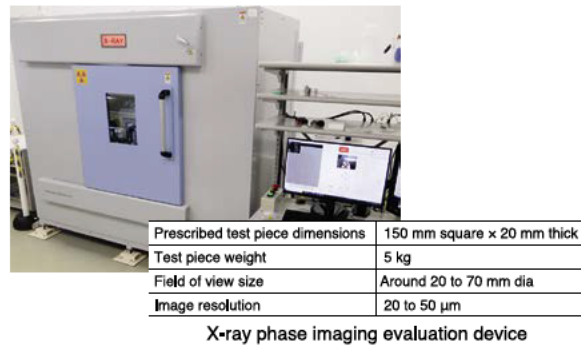
The fiber orientation analysis using X-ray phase imaging

当社で開発中のX線位相イメージング評価機をICCに設置し、様々な試験片の観察を行っている。X線位相イメージングでは、回折格子による干渉縞を解析することにより、従来のX線の吸収に加えて屈折、散乱による画像取得が可能である[1]。X線はCFRP中の炭素繊維に垂直な方向に散乱する性質があり、散乱感度に異方性がある回折格子と対象物の方向を変えて撮影することにより繊維配向の解析が可能である。

ランダムシートのプレス成形した試験片について、繊維配向を解析した図を示す。色は、透視撮影による積層方向に平均化された配向角を示す。引張試験において、引張方向と垂直な配向角(図中水色)付近での破断が確認され、また配向角と破断強度に相関が得られた。

今後はCT撮影による繊維配向解析や材料評価を目的としたデータのシミュレーション応用を目指している。

引用[1] N. Morimoto, K. Kimura, T. Shirai, T. Doki, S. Sano, A. Horiba, and K. Kitamura, Rev. Sci. Instrum, 91, 023706 (2020)  
<https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.5131306>



土岐 貴弘  
*Takahiro Doki*

We have installed an X-ray phase imaging evaluation device under development at our company in ICC and are observing various test pieces.  
In X-ray phase imaging, it is possible to acquire images by refraction and scattering in addition to conventional X-ray absorption by analyzing the interference fringes of the diffraction grating. X-ray has the property of scattering in a direction perpendicular to the carbon fibers in CFRP, and the fiber orientation can be analyzed by changing the direction of the object and the diffraction grating that have anisotropic scattering sensitivity.  
The figure shows the result of analyzing the fiber orientation of a random-sheet press-molded test piece. The color indicates the orientation angle averaged in the stacking direction by fluoroscopy. In the tensile test, fracture was confirmed near the orientation angle (light blue in the figure) perpendicular to the tensile direction, and a correlation was obtained between the orientation angle and the fracture strength.  
In the future, we aim to analyze the fiber orientation by CT and to apply data simulation for the purpose of material evaluation.



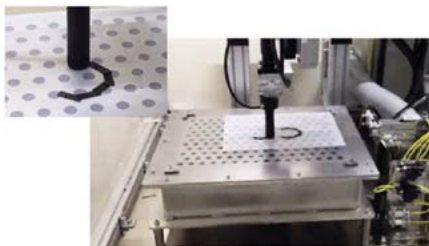
## 炭素繊維チョップドテープ自動積層装置の開発 渋谷工業株式会社 Shibuya Corporation

Development of the carbon fiber-chopped tape automatic laying up machine

熱可塑性樹脂炭素繊維複合材の自動車分野への展開が検討されている中、ランダム材料が着目されている。ランダム材料を製作するためにはUDテープ片をランダムに積層する事が必要である。しかし、自動化されていない現状ではチョップドテープの配向、位置など配置には再現性が無く、また単に積み重ねるだけでは型崩れも発生する。そこで、チョップドテープの積層をロボット搬送で自動化し、且つチョップドテープ積層時にレーザー照射によりテープを加熱して接合する装置を開発した。この装置によりテープの配向、位置ズレと型崩れの発生が無い、再現性のあるランダムシートを簡単に生産することが可能となった。



The carbon fiber-chopped tape automatic laying up machine



State of laying up



Example of Laminated sample



山岡 圭一  
Keisichi Yamaoka



坂本 昭憲  
Akinori Sakamoto



京元 敬介  
Keisuke Kyomoto

While the development of carbon fiber reinforced thermoplastic composites into the automobile field is being considered, random materials are drawing attention. To produce a random material, it is necessary to lay up UD tapes pieces randomly. However, in the current situation where it is not automated, the orientation and position of the chopped tape are not reproducible. In addition, simply laying up also causes shape loss. Therefore, we developed a device that automates the laying up of chopped tapes by robot transportation and heats and joins the tapes by laser irradiation when stacking the chopped tapes. With this device, it is possible to easily produce a reproducible random sheet by eliminating the tape orientation, positional deviation, and shape loss.

## CFPP\*/発泡PP/CFPP サンドウィッチ成形体のスタンピング一体化検討 三井化学株式会社 / 株式会社アーク Mitsui Chemicals, Inc. / ARRK Corporation

One step stamping compression of CFPP/PP foam/CFPP into sandwich parts

サンドウィッチ材は、軽量、高剛性で複合材料の中間素材として広く使用されている。

CFPPのUDシートは、発泡PPと熱融着で一体化できる特徴があり、プレス成形で立体賦形することが可能である。ここでは、低コストかつ高サイクルでの成形を目指し、CFPPと発泡体とを予備成形せず、アッセンブルのみで外部加熱を行い、スタンピング一体化にてサンドウィッチ成形体が立体賦形出来るかどうか挑戦した。ICCの熱可塑複合材プレス成形ユニットにBOX金型を使用し、CFPPのUDの織物/発泡PP/織物のスタンピング一体化による立体賦形成形試験を行ったところ、外部加熱時間60～120秒、プレス時間120～300秒の高速成形、プレス圧力0.8MPaの低圧で立体形状のサンドウィッチ成形体を得ることができた。



3D shaped sandwich  
(woven CFPP/PP foam/woven CFPP)

Sandwich materials are well known as lightweight, high rigidity and widely used as intermediate materials of composites. Advantage of CFPP UD sheet is heat fusion processable to PP foam and also 3D shape forming at compression molding. In this study, we tried direct one step stamping without preforming of CFPP and PP foam, only assemble and external heating for lower cost and high cycle processing. Pre-assembled woven CFPP/PP foam/woven CFPP were molded by means of KIT-ICC's FRTP press molding unit with BOX shape mold. We successfully obtained 3D shaped sandwich with high processing cycle of external heat 60-120s, compression time 120-300s under compression pressure 0.8MPa.

\*CFPP : Carbon Fiber Poly-Propylene, 炭素繊維ポリプロピレン



伊崎 健晴  
Takeharu Isaki



板東 十三夫  
Tomio Bando

## CNT 複合炭素繊維「Namd™」の特性発現メカニズム解析 ニッタ株式会社 Nitta Corporation

Analysis of characteristic expression mechanism of CNT composite CF "Namd™"

ニッタ株式会社においては、炭素繊維単糸表面に均一にCNTを複合化する技術「Namd™」を開発し、この技術を適用したCFRP材料においては層間破壊靱性の向上や弾性率の速度依存性低減などの特有の性能が現れることを確認し、製品化展開を開始している。

この特性発現のメカニズムを炭素繊維単糸間の積層構造変化から解析するため、ICCとの共同研究にて応力下CFRP材料の変形時X線CT撮影方法の検討とその3次元画像相関処理による構造解析を行った。この結果から、「Namd™」適用CFRPは構成している炭素繊維がCNTによる拘束を受けることで、変形時に炭素繊維の部分歪みが緩和されることなく残存し、弾性エネルギーが貯蔵されていると考えられる。これが「Namd™」適用材料の弾性率速度依存を抑えることとなり、より金属に近い挙動を示す材料になったと推察される。

本研究によって、特性発現時の微視的構造状態を解析することが出来たため、その発現メカニズムが理解可能となった。

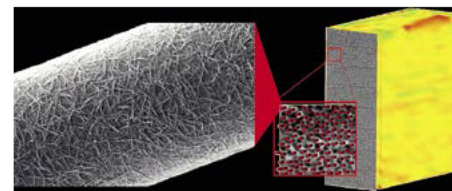


Fig. SEM photograph of a uniform composite of nanodispersed CNTs on CF; "Namd™", and the analysis result of changing of fiber orientation in CFRP by 3D image processing method(CNT: Carbon Nano Tube)



吉田 真夕  
Mayu Yoshida

NITTA CORPORATION developed "Namd™"-A which novel technology for the CFRP composite material with unique properties by uniformity nanodispersed CNTs on each Carbon fiber,CF and has started commercializing of materials applied this technology. We have confirmed that CFRP applied this technology have characteristic properties such as improved interlaminar fracture toughness and reduced velocity dependence of elastic modulus never seen conventional CFRP.

In order to analyze characteristic expression mechanism from the perspective of changing in laminated structure between CF, we examined the X-ray CT scanning method of CFRP under bending stress and analyzed the scanned image by 3D image processing method through a collaborative research with ICC. It is shown that CFRP applied "Namd™" stores elastic energy because CF is restrained by CNTs and the partial distortion of CF doesn't become loose but remains. Therefore, CFRP applied "Namd™" reduce velocity dependence of elastic modulus. It is assumed that its behavior seems metal.

In this research, we were able to analyze the microscopic structural state during characteristic expression and understand this expression mechanism.

## CFRTP のホットスタンプ適用に向けた取り組み

株式会社エイチワン / 株式会社クラレ H-ONE Co., Ltd. / Kuraray Co., Ltd.

Approach of application using Hot-Stamp process

クラレの耐熱性ポリアミド<ジェネスタ®>のうち、PA9Tグレードは吸水後の高強度等の特長を持っている。クラレには連続の炭素繊維と樹脂を複合化するノウハウと装置に課題があり、CFRTP化した時の性能を実証出来ていなかった。革新複合材料研究開発センター(ICC)研究員協力の下、ホットプレス機でのサンプル作製と各種試験機での物性評価により、クラレはPA9Tの特長が活かされたCFRTPになることが確認できた。

自動車部品メーカーであるエイチワンは、吸水劣化に強く高い耐熱性を持ったCFRTPによる試験を検討していた。ICCの設備を活用して加工・試験・測定を実施し、また、同じメンバーシップであるクラレの開発材により課題であった加熱中の熱劣化を抑制できたことで、CFRTPホットスタンプのプロセスを確立することに成功した。

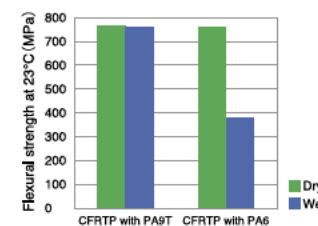


Fig. Mechanical properties of CFRTP before and after water absorption



永井 健友  
Taketomo Nagai



大矢 延弘  
Nobuhiko Oya

GENESTAR™ is a trademark of heat resistant polyamides developed by Kuraray Co., Ltd. PA9T grades of it have superior characteristics such as high mechanical strength retention after absorbing water. Kuraray didn't have know-how and equipment to make the composite material of continuous carbon fiber and PA9T. Under the cooperation of Innovative Composite materials research & development Center (ICC) researchers, we could make composite samples with hot press machine and evaluate physical properties with various test machines, and thereby it was confirmed that CFRTP with PA9T had excellent properties.

H-ONE CO.,LTD., auto parts manufacturer, had considered testing of CFRTP with high resistance to degradation by water absorption and heat. H-ONE utilized equipment of ICC to process, test and measure CFRTP, and by using material developed by Kuraray, that is the same membership, it became possible to suppress thermal degradation during heating which was a problem until then. As a result, H-ONE succeeded in establishing the CFRTP Hot-stamp process.



## Flexcarbon を用いた軽量ウェアラブルチェアの開発

サンコロナ小田株式会社 SUNCORONA ODA Co., Ltd.

## Development of lightweight wearable chair using Flexcarbon

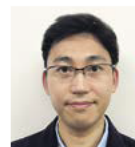
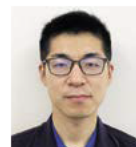
サンコロナ小田では、長年培った繊維加工技術を用い、金沢工業大学と連携し、高賦形性と信頼性を有し、CFRPの量産に優れた熱可塑性スタンパブルシート「Flexcarbon」を開発しました。Flexcarbon は品質の高い等方性シートでプレス成形により複雑形状(偏肉やハニカム形状等)の今までに作れなかった形を作ることが可能になります。本製品を用いて、株式会社ニットー(神奈川)、大和ハウス工業株式会社(大阪)との共同開発により、CFRP部品を搭載した軽量ウェアラブルチェア(Archelis)を開発しました。製品開発において、実用性を高めるため、耐久性などの実用性検証及び部品構造解析・設計検討を金沢工業大学と共同研究を行い、本件の開発に至っています。2020年の販売開始を見込んでいます。



lightweight wearable chair



Flexcarbon Sheet

小田 宗一郎  
Soichiro Oda唐澤 俊暁  
Toshiaki Karasawa小林 昌樹  
Masaki Kobayashi

Suncorona Oda Co., Ltd. have developed a thermoplastic stampable sheet "Flexcarbon" that has high formability and reliability and is excellent for mass production of CFRP, in collaboration with Kanazawa Institute of Technology. "Flexcarbon" makes it possible now to make shapes that could not be made before by press molding complex shapes, for example, shapes of uneven thickness, honeycomb shapes and others can be made.

Using this product, a lightweight wearable chair (Archelis) equipped with CFRP parts was developed in collaboration with Nitto Co., Ltd. (Kanagawa) and DAIWA HOUSE INDUSTRY CO., LTD.(Osaka). In order to improve practicality in this product development, we have conducted joint research with Kanazawa Institute of Technology to verify practicality such as durability and analyze component structure and design, leading to the development of this case. We are going to start selling in 2020.

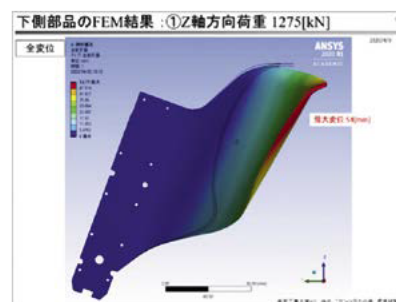


Image of simulation analysis

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にしておりますが、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。

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 program, rather than promoting individual R&D. We look forward to more results from our membership in the future.

(輪澤 潔/Kiyoshi Uzawa)