



I 革新複合材料研究開発センターの概要

Overview of the Innovative Composite Materials Research and Development Center

学校法人金沢工業大学が設置する「革新複合材料研究開発センター」(以下「ICC」)は、国際科学イノベーション拠点として設立され9年目を迎えた。

今年度はコロナ禍の3年目となり、この3年間でコロナ禍の意識と行動の変化が見えだした。過度の危機感が弱まり、感染防止対策も十分となりながらICCの利用者は年度末に向かって増加傾向を示し、特に見学者は昨年の2倍(ピークの時の半分ではあるが、)にまで戻ってきた。外部企業からの研究利用者也50%以上の増加となった。

コロナ対策として昨年度から会議室のDX拡充をはかってきたので、WEB会議の常態化にも対応することができている。職員のみならずICCに来所した企業も、DXを頻繁に活用し利便性が増している。

カメラと連動した顔認証機能による受付システムの運用が始まった。体温ログが取れること、また利用者情報と来所情報をリンクすることにより2回目以降ICCを利用される方の入館手続きが簡便になり受付業務のDX化も進んだ。

企業からの受入研究員となるメンバーシップ会員数も昨年度に比べ15%程度増え、1社から複数名会員になる企業も増えている。会員限定のメンバーズフォーラムにおいて、フランスのJECグループや日・独国際共同研究グループとのネットワーキング活動や日本国内のコンポジットセンター名古屋大学NCC、岐阜大学GCCの取組を発表してもらい、国内外の代表するグループとの連携活動を推進した。

2013年より取り組んで来た金沢工業大学COI「革新材料による次世代インフラシステムの構築 ～安心・安全で地球と共存できる数世紀社会の実現～」は、昨年度3月で全ての事業を終了した。ポストCOIとして今年度から新体制のICCが第一歩を踏み出すことになった。

ICCは、研究開発、教育、連携活動の「場」であり、研究開発においては新しいプロジェクトの獲得に注力しICCの活動費となる外部資金にて自活できる兆しが見えてきた。大型の政府系プロジェクトや、民間との受託共同研究が順調に増えた。企業の商品開発における試作から評価まで、企業とICCをワンストップでつなぐICC発ベンチャー企業(ICEM)による実績も着実に増えることができた。教育においても、今年度は本学の学生によるRA(research assistant)活動ができる場をつくり、来年度からコーオプ教育を実践していく計画である。

まさしく持続的にイノベーションを生み出す仕組みが揃い、多くの課題はあるものの自立できることを示す意義ある2022年度となった。

The "Innovative Composite Materials Research and Development Center" (hereinafter "ICC"), established by the Kanazawa Institute of Technology (KIT), has entered its ninth year as an international center for scientific innovation. This is the third year of the COVID-19 pandemic, and awareness and behavior towards pandemic-related crises have changed. The number of ICC users showed an increasing trend towards the end of the fiscal year, as excessive tension diminished, and infection prevention measures were adjusted adequately. In particular, the number of visitors recovered to double last year's figures, which is still half of the peak visitor count, and the number of research users from external companies increased by more than 50%.

The digital transformation (DX) of meeting rooms has been expanded, and a camera-linked reception system with facial recognition function has been in operation since this year, simplifying the procedure for second and subsequent visits to the ICC. Compared to the previous year, there has been a rise of approximately 15% in the total number of memberships received from companies, with a notable trend of multiple individuals from the same corporation joining as members. Monthly membership forums promoted domestic and international collaborative activities. These included networking activities with the JEC group in France, collaborations with research groups in Japan and Germany, as well as research presentations by the NCC (Nagoya Univ.) and the GCC (Gifu Univ.).

The COI-KIT "Construction of next-generation infrastructure systems using innovative materials – Realization of a safe and secure society that can coexist with the Earth for centuries," which was undertaken in 2013, was completed in March 2022. The new ICC project took its first steps this year as the post-COI project.

The ICC is a 'place' for research and development, education, and collaborative activities. In research and development, the strong focus on attracting new projects has resulted in an increase in large government projects and joint research commissioned by companies, proving the ICC's independence in funding its activities with external funds. The ICC-incubated venture company (ICEM), which provides a one-stop link between companies and the ICC throughout the product development process, from prototyping to evaluation, has steadily built a track record. Moreover, in education, creating opportunities for research assistant (RA) activities by our students and implementing co-op education is anticipated from next year. 2022 was a significant year, showing that relevant mechanisms for sustainable innovation are in place and that, despite many challenges, the ICC has demonstrated its sustainability.

II 令和4(2022)年度の運営活動

Operating Activities in Fiscal Year 2022

1 ICC 運営に関する規程の改正

2022年度に改正はなかった。

→ p39 資料 01

2 受入研究員(メンバーシップ会員)の受入

学校法人金沢工業大学受入研究員規程に基づき、ICCが企業等に在籍する研究者等を受け入れ、ICC所属の研究員と受入研究員が協力して研究開発を行っている。受入研究員は企業からメンバーシップ会員として登録され、49機関 63人と昨年度より10名近く増え、1企業から複数名のメンバーシップ会員を派遣する企業が増えている。ICCをあたかも自社の研究所として使い、ICC内にあるレンタルラボには同じ企業から複数のメンバーシップ会員が集まり集中的に研究活動を行っている。

コロナ禍からの回復とともに、毎月開催される「メンバーズフォーラム」は国内外の他の研究グループとリアルにネットワーキングフォーラムを行ったり、国内コンポジットセンター、名古屋大学NCC、岐阜大学GCCの取組を発表してもらったりと、メンバーシップ会員が国内だけではなくグローバルなネットワークが構築できるように努めている。

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。

コロナ禍からの回復とともにICCの利用者はコロナ前までの水準に戻ってきており、企業と学生を合わせて109名となった。

ICC内の安全に対する取り組みとして、所員初期講習も毎年4月に新任を含む所員全員を対象に実施し、安全活動に対する教育の場となっている。また定期的な4Sパトロールの実施の他、所員一斉4S活動DAYなどを継続実施しており、所員全員が安全を第一に活動している。

→ p39 資料 02、03

4 特許等

今年度は17件の特許を出願した。このうち10件がCOIプログラムに関係する。国内は11件で出願5件、登録6件、外国は6件で出願5件、登録1件となっている。出願件数の絶対数は減少傾向である一方、COIプログラムの時に提出したものの特許登録となっている。

→ p39 資料 04



高田 康宏
Yasuhiro Takata

樋口 由美
Yumi Higuchi

山本 一葉
Kazuha Yamamoto

東 久美子
Kumiko Higashi

1 Amendment to ICC management regulations

There were no revisions in FY 2022.

2 Acceptance of researchers

This fiscal year, 63 researchers from 49 institutions were accepted as ICC members, almost 10 more than in the previous year. Some members conduct research at the ICC as if it were their own company for research, whereas others register several members and conduct intensive research in the ICC's rented labs. With the recovery from the COVID-19 disaster, global activities resume through networking with domestic and overseas research groups at the monthly "Members' Forum."

3 Implementation of ICC users' initial training and safety activities

The ICC provides all accepted researchers and users with an 'Initial training for ICC users' as a condition of use to be observed when conducting research activities. The number of ICC users has returned to the levels before the COVID-19 disaster, with a total of 109 corporate researchers and students.

In addition, initial training is held every April for all staff at the center, including new recruits and regular facility inspections and improvements are conducted by all staff to ensure safety first.

4 Patents

This year, 17 patents were filed, 10 of which relate to the COI program. There were five patent applications and six patent registrations in Japan and five patent applications, and one patent registration abroad.

5 外部資金の獲得

COIプログラムの終了で総事業費は昨年度よりも大きく下回ったが、政府系外部資金のプロジェクトを数多く獲得し、件数としては3件増の12件を獲得できた。また、民間企業との受託共同研究も件数として5件増え、全体として8件増の54件 3億7千万円を超える外部資金を獲得できた。メンバーシップ会員も増加傾向にある。

ICC発のベンチャー企業「ICEM」を窓口とした受託試験も順調に伸び、昨年度の1.5倍の1,500万円以上の受託試験を獲得できた。

COIプログラムが終了した後の初年度において、上記の外部資金獲得により課題は多くあるものの自立できる兆しが見えてきた1年であった。

6 利用者・見学者など

ICCの利用者数もコロナの落ち着きとともに回復してきており、昨年度の18%増の4,600人以上の利用があった。特に企業による研究利用や見学者が増加しており、2023年になってから国のコロナに対する制限を緩和していく方針も出され、研究、見学の来所者が増加した。

V資料編 05本文資料「来所者推移」において今年度より、ICCを教育・研究利用する学生を抽出しその数を教育利用として記載した。また社会人教育についても教育に含めた。今年度からRAが活動できる場も準備し、来年度からコーオブ教育を実践する場としても利用できるように進めていく予定である。

→ p40 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。

2022年度も継続して経済産業省アドバイザー派遣事業にてアドバイザーを受入れ、国際共同研究案件において輸出管理上の効率的な進め方についてアドバイスをもらった。

8 地域科学技術実証拠点整備事業

文部科学省の「地域科学技術実証拠点整備事業」(2016年度補正)により整備された施設・設備の利用が進み、貸出施設(レンタルラボ)に1社(三井化学株式会社)が今年度より追加となり、6部屋中5部屋が入居済となり、社会実装に向けた開発が加速されている。

9 ICC の運営

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

5 Acquisition of external funding

Although the total project cost was significantly reduced last year owing to the termination of the COI program, the ICC managed to secure 12 external government funds, an increase of three. The ICC also secured 54 contracted joint research agreements and more than JPY 370 million in external funding. In addition, commissioned testing through ICEM, a venture company originating from ICC, has grown steadily, with more than JPY 15 million in revenue, 1.5 times more than the previous year.

6 Users and visitors

Along with the settling down of the COVID-19 disaster, the number of external researchers accepted was approximately 4,600, an increase of 18% from the previous year. Moreover, as the focus is also put on the educational aspect, students using the ICC for educational and research purposes and workers participating in educational lectures were counted.

7 Security export trade control

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

8 Regional science and technology demonstration center development project

The use of facilities and equipment developed under the Ministry of Education, Culture, Sports, Science, and Technology's “Regional Science and Technology Demonstration Base Improvement Project” (corrected in FY2016) has increased. One company (Mitsui Chemicals Inc.) was added to the rental lab, and five of the six rooms are now occupied.

9 Operation of the ICC

The "ICC Steering Committee" was established to discuss and decide policies on the operation and management of the ICC. The director, representatives of researchers, engineers, and administrative staff gathered to discuss ICC operations, research projects, and staff management systems, and a system was put in place to implement resolutions.

III プラットフォームの構築

Deployment of the ICC Platform



田中 順二
Ayunji Tanaka



斉藤 義弘
Yoshitomo Saito



東藤 涼子
Ryoko Tohdoh



渡辺 裕吉
Yukichi Watanabe



干場 聡子
Satoko Aoshiba

2022年度も新型コロナウイルスの影響が続く一方、ICCが参画する主要プロジェクトである文部科学省/JSTのCOIプログラムのプロジェクトが2021年度で終了した。2022年度よりCOI後のプラットフォーム構築に向けた活動が本格化した。

1 COI 後の産学連携プラットフォームの構築に向けた活動

1) 地域に培われてきた高度な繊維・機械加工技術を活かした環境適合型複合材料川中産業創出プロジェクト

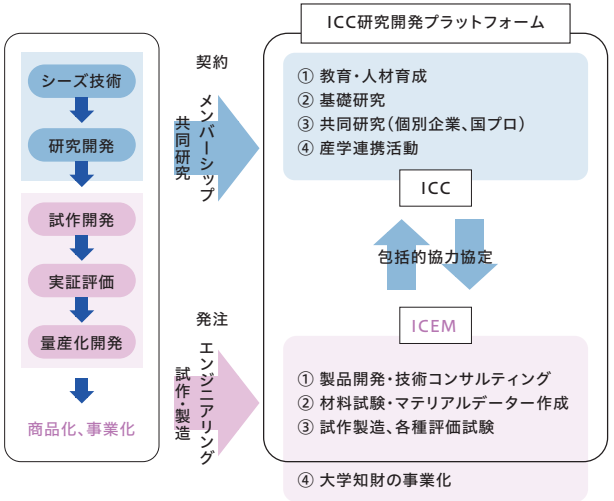
COI事業により培われた拠点機能と研究開発成果を活かし、新たな取組みとして、外見だけではなく本来の意味でCOIの次に位置づけられるプロジェクトが検討された。地元自治体の石川県が主体となり、金沢工業大学、石川県立大学や地元企業が参画する体制を構築し、地域産業創生と大学改革を旨とする内閣府の「令和4年度地方大学・地域産業創生交付金」へ申請が行われた。その結果2023年2月に採択を受け、2023年度からの正式な事業開始に向け、ICCは他大学、地元企業と協力し、研究開発拠点の一つとして産業創生に結びつく計画策定に取り組んでいる。

2) BIL拠点

国立研究開発法人産業総合技術総合研究所(以下、産総研)は、産学連携による産業界への貢献を目的とする「ブリッジ・イノベーション・ラボラトリ(BIL)」という新たな取組みを2023年度より開始する。複合材料分野の研究開発において、金沢工業大学ICCに全国初のBIL拠点が設置されることとなった。北陸地域などの企業と産総研BIL拠点およびICCとの連携を通して産業界へ貢献する活動を行っていく。具体的な活動施策に関し、石川県、産総研、大学を交え協議が進められている。

3) ICEMの活動の展開

ICCは複合材料の適用技術の研究開発において、大学と企業とを橋渡しする連携に取り組んできた。株式会社ICEMは、大学の枠を超えさらに一歩踏み込み、企業の製品開発や事業化に近い領域での取組みを可能とする窓口として、本年度より本格的な活動を開始した。



ICEM と ICC

While the impact of the new coronavirus continued to be felt in FY 2022, the MEXT(Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology)/JST(Japan Science and Technology Agency) COI program (national project), a major project of the ICC, ended in FY 2021 and the activities for building a post-COI platform began in earnest in FY 2022.

- 1 A project to create a midstream industry for environmentally compatible composite materials utilizing advanced fiber and machining technologies available in the region

1) A project to create a midstream industry for environmentally compatible composite materials utilizing advanced fiber and machining technologies available in the region

Considering the functions of the center and the outcome of the research and development (R&D) work of the COI project, a new project to be positioned next to the COI was proposed as a new initiative. Subsequently, the local government of Ishikawa Prefecture took the lead in establishing a system involving the Kanazawa Institute of Technology, Ishikawa Prefectural University, and local companies, and applied to the Cabinet Office for a FY 2022 Regional University and Regional Industry Creation Grant with the aim of creating regional industries and reforming the regional universities. The application was accepted in February 2023, and the ICC is now working with other universities and local companies to formulate a plan.

2) Bridge Innovation Laboratory Center

The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) will launch a new initiative named Bridge Innovation Laboratory (BIL) in FY 2023, whose aim will be to contribute to the industry through industry-academia collaboration. It was just decided that the first BIL center in Japan was set in ICC for R&D work in the field of composite materials. The BIL center activities will contribute to the industry through collaboration between the companies in Hokuriku and other regions, BIL Center, and ICC. Discussions are underway with Ishikawa Prefecture, AIST, and Kanazawa Institute of Technology on the specific activity measures required.

3) Progress of collaboration between ICC and ICEM Co., LTD.

The ICC has been working to bridge the gap between universities and companies in the R&D work on technologies that can be used in composite material applications. The ICEM started its operation so that it will go one step beyond the academic framework and enable companies to work in areas close to product development and commercialization.

ICEMは大学との包括契約の下、企業より多くのエンジニアリングや生産技術に関する相談や問合せに応じていった。ICCの設備や環境を産業界により有効に活用してもらうための新たな窓口として、ICEMはICCの機能拡大を担い、2022年度を通じてICCの自立的運営の観点からも重要な役割を果たしている。

2 2022 年度産学連携トピックス

1) 日独国際共同研究プロジェクトから新たなネットワーキングの形成へ

Composites United (旧CFK Valley)との連携を契機に、2020年4月より開始された二件の日独の国際共同研究開発プロジェクトは、2023年3月末で一区切り付けられた。世界的にコロナの影響が続いていたが、オンライン会議などを活用し研究開発が進められた。2023年3月にはドイツ側のプロジェクト関係者が来日し、研究開発の取りまとめと今後の連携を協議するための終了会議が行われた。同時に、新たな日独の連携を促すネットワーキングイベントまでも開催し、ICCと連携する多くの企業関係者が参加された。日独の機関・企業における最新の取組みを相互に紹介し、参加者間の交流が進められた。



ドイツの関係者による講演風景

2) 国内外の連携活動の推進

約60社の会員企業により構成される「ほくりく先端複合材研究会」はICCに事務局をおき活動している。2022年度は、特に会員企業の紹介に力を入れ、積極的に展示会等に参加した。

また2020年度より始まった経済産業省の地域オープンイノベーション拠点選抜制度(J-Innovation HUB)では、ICCは第1回目の全国9拠点の一つに選抜されている。2022年度はその更新・継続の手続きを行い、引き続き拠点活動を行った。

2014年より続くICC、名古屋大学NCC、岐阜大学GCC、地域の公設試験場をメンバーとするコンポジットハイウェイコンソーシアムの活動は、2020年度末に中部経済産業局による支援が終了し、各メンバーがリソースを持ち寄り継続している。ICCは前年に続き事務局業務を分担した。

この他、関西のFPR関連企業を中心とする関西FRPフォーラムと、第6回目となる合同フォーラムをWebとリアルハイブリッド方式で開催した。

海外との連携では、9月にベルギー・ルーベン大学のベルボスト名誉教授にICCのメンバーズフォーラムで講演をいただいた。10月に連携協定を結ぶ台湾PIDCとオンライン意見交換会を行い、11月にはドイツComposites Unitedの国際的カンファレンスSustainable Composite Conferenceに協賛、開催パートナーとなった。12月には、世界最大の複合材料展示会や国際的

ICEM has responded to many engineering and production technology inquiries from companies in accordance with its comprehensive agreement with our university serving as a contact point for the industry toward making better use of ICC facilities and the environment, Thus, it has now become indispensable to the ICC.

2 2022 Industry–University Collaboration Topics

1) From Japanese - German International Joint Research Projects to the Formation of New Networking

Two international joint Japanese–German R&D projects that began in April 2020 in collaboration with Composites United eV (formerly CFK Valley eV) were brought to a close at the end of March 2023. The project participants from Germany visited Japan In March 2023 for a closing meeting and for a discussion on future collaborations. A networking event, attended by many companies that worked with the ICC, was also held to promote new collaborations between Japan and Germany. At this event, the latest initiatives of Japanese and German institutions and companies were presented and interactions among event participants were promoted.

2) Promotion of Domestic and International Cooperative Activities

Hokuiku Advanced Composite Materials Association, with approximately 60 member companies and with its secretariat at the ICC, is working actively. In FY 2022, the association took several steps, such as participating in exhibitions and introducing its member companies to others by web-site or exhibitions.

In FY 2022, the ICC applied to METI for the renewal of its J-Innovation HUB system and continued with its activities.

Although the Chubu Bureau of Economy, Trade, and Industry ceased to support the Composite Highway Consortium, which has been in existence since 2014 and includes the ICC, Nagoya University NCC, Gifu University GCC, and regional public testing laboratories as members, after FY 2020, each member continued to supply the required resources to the consortium. The ICC continued to provide secretariat services as in the previous year.

The sixth joint forum of ICC was held with Kansai FRP Forum, a group of FPR-related companies in the Kansai region.

The following overseas collaborations were undertaken during FY 2022: in September, Professor Emeritus Verpoest of Leuven University in Belgium presented a lecture at the ICC Members Forum; in October, an online opinion exchange meeting was held with the PIDC in Taiwan, with which we have a collaboration agreement; and in November, we sponsored and hosted the Sustainable Composite Conference, an international conference organized by Composites United in Germany. In December, Mr. Eric Pierrejean, Chairman of the JEC Group, organizer of the world's largest exhibition dedicated to composite materials and the publisher of the JEC Composites

専門誌で知られるJEC GroupのEric Pierrejean会長がICCを訪問され、ICCメンバーズフォーラムで講演をいただいた。

3) ICCメンバーズフォーラム、メンバーシップ登録者向け情報誌Innovative Edge

ICCのメンバーシップ登録を行う企業研究者とICC研究員等によるICCメンバーズフォーラムは、コロナ対策の中、オンラインを活用しコロナ前と同じほぼ月1回のペースで開催された。

またオンライン上の活動を補完するため2020年に刊行されたメンバーシップ向け情報誌”Innovative Edge”も、毎月発刊のペースを維持し2022年3月に第39号が発行された。井塚淑夫氏による技術・産業分野ごとの最新動向を毎号掲載し、特集としてJEC Innovation Awards最終審査案件の解説、熱可塑性コンポジットの国際学会ITHEC2022や、世界最大級のプラスチック関連展示会K2022の視察報告、複合材料製の硬翼帆を搭載し実船として配備されたウィンドチャレンジャープロジェクトの紹介などを行った。

3 2022 年度教育活動トピックス

ICCは様々な製造設備や試験評価装置、実習授業が可能な実験室や大会議室などを活用し、産業界を対象とするセミナー、ワークショップ、社会人向け講義などへの取り組みを続けている。また、ICC研究員および技師の指導のもと研究開発のアシスタント業務を行う学生を受け入れる体制を整え、募集を開始した。学生にとって企業の実際に触れる貴重な機会となる。今後は前述の内閣府のプロジェクトにおいて取り組む産学連携の“コーオプ教育”(Cooperative Education)にもつながると考えている。

2012年から続く社会人対象の大学院講義「高信頼ものづくり専攻(複合材料領域)特別講義I・II」は、現在、社会人と学生の合同授業として実施されている。授業はオンラインと対面を組み合わせて実施している。合同のため、学生の発表を社会人受講生が講評し、実習では学生と社会人のチームに分かれ、それぞれ製作した成形品の試験・評価の結果を競いあうなどの機会も設けている。

さらに、前年に続き地元の石川県立工業高校と連携し、ICC所長・技師が出前形式で高校へ出向き授業を行った。また、先端材料技術協会SAMPE Japanの学生ブリッジコンテストに出場する学生を対象とする実習の成形セミナーをICCにおいて行いICCの研究員・技師が講師として参加している。



石川県立工業高校のICC訪問（ICC出前授業のフォローアップとして）

Magazine, an international journal, visited the ICC and presented a lecture at the ICC Members' Forum.

3) ICC Members Forum and Innovative Edge, an informative magazine for ICC members

The ICC Members Forum, which is attended by researchers of ICC member companies and ICC researchers, was held online approximately once a month, as done prior to COVID-19.

The "Innovative Edge," a membership magazine first published in 2020 to complement online activities, continued to be published monthly, with its 39th issue published in March 2022. Each issue of the magazine featured the latest trends in technology and industry, with a special feature by Yoshio Izuka, and included the details of the JEC Innovation Award Finalists; reports from ITHEC2022, the International Conference on Thermoplastic Composites and K2022, the world's largest plastic-related exhibition; and a report on the Wind Challenger Project, which deployed a rigid wing sail made of composite materials for practical use.

3 2022 Educational Activity Topics

The ICC continued to organize seminars, workshops, and lectures for those working in the industry, utilizing various manufacturing facilities, testing and evaluation equipment, laboratories capable of conducting hands-on classes, and large conference rooms.

In addition, a system was established to allow KIT students to assist in R&D work conducted at the ICC, under the guidance of its researchers and engineers, and the selection of the students have already begun. This decision of the ICC to provide KIR students with this valuable opportunity will help them to understand the workings of a company. The program is also expected to lead to Cooperative Education, an industry–academia collaboration undertaken as part of the aforementioned project (A project to create a midstream industry for environmentally compatible composite materials utilizing advanced fiber and machining technologies available in the region).

The special lecture series organized by Kanazawa Institute of Technology is offered as a graduate school course intended for working people and has been offered since 2012. It is currently implemented as a joint course for both working and nonworking people (students). The lectures are conducted through a combination of online and face-to-face sessions. Because it is a joint class, the students' presentations are critiqued by working people and during practical training, both groups are divided into teams and have the opportunity to compete with one another during the testing and evaluation of their molded products.

In addition, as in the previous year, the ICC director and engineer visited a local technical high school in Ishikawa Prefecture and conducted classes. In addition, ICC researchers and engineers served as lecturers at seminars on molding held at the ICC for students participating in the SAMPE Japan Student Bridge Contest.

IV 令和4(2022)年度の研究活動 Research Activities in Fiscal Year 2022

- 13 2022年度のICCの研究活動の概要 Overview of ICC research activities in FY2022
齊藤 産学連携コーディネーター：Y. Saito Coordinator of Industry-University Collaboration
鵜澤 所長 / 教授：K. Uzawa Director / Professor、関戸 技監 / 教授：T. Sekido Senior Advisory Engineer / Professor
- 15 NEDO 革新FC事業（その2）NEDO Innovative FC Project (Part 2)
中島 研究員：M. Nakajima Researcher、鵜澤 所長 / 教授：K. Uzawa Director / Professor
- 16 Composites United（旧CFK-Valley）ドイツ連携について
Collaboration with Composites United, Germany (formerly CFK-Valley)
石田 研究員：O. Ishida Researcher、齊藤 産学連携コーディネーター：Y. Saito Coordinator of Industry-University Collaboration、
東藤 企画戦略チーム：R. Tohdoh Strategy Planning Team
- 17 宇宙分野で使用されるコンポジットの開発 Development of composites used in the space field
西田・山下 研究員：H. Nishida, H. Yamashita Researcher、稲垣・織田 技師：M. Inagaki, S. Oda Engineer
- 18 溶融含浸装置を用いたUDテープの成形 Molding of unidirectional tape using melt impregnation equipment
山下 研究員：H. Yamashita Researcher
- 19 改質リグニンを利用した複合材料の開発 Development of composite materials using modified lignin
山下 研究員：H. Yamashita Researcher
- 20 溶液含浸を用いたラージトウCF/PA6スタンパブルシート成形 Fabrication of large-tow CF/PA6 laminates using solvent method
石田・北田 研究員：O. Ishida, J. Kitada Researcher
- 21 Rilsan/CFテープを使用したランダムシートプレス成形 Pressforming process of Random-sheet using Rilsan Matrix/CF UD tape
石田・白井 研究員：O. Ishida, T. Shirai Researcher、堀 技師：M. Hori Engineer
- 22 CTT試験体の完全ランダム配向設計とX線位相イメージングによる配向度分布評価の検討
Completely random orientation design of CTT specimen and examination of orientation degree distribution evaluation through X-ray phase imaging
白井 研究員：T. Shirai Researcher
- 23 機械学習を用いたみかけ粘度によるプレス成形中の金型内材料流動推定技術の開発
Development of in-mold material flow estimation technology during press molding using apparent viscosity through machine learning
白井 研究員：T. Shirai Researcher
- 24 現場重合型熱可塑性樹脂を用いたサステナブルコンポジットの成形プロセス開発
Approach to sustainable composite molding process using in-situ polymerization thermoplastics
布谷 研究員：K. Nunotani Researcher、佐久間・乾 技師：T. Sakuma, N. Inui Engineer
- 26 複合材料製造プロセスに革新をもたらす樹脂技術の開発
Development of resin technology that revolutionizes the manufacturing process of composite materials
西田・山下 研究員：H. Nishida, H. Yamashita Researcher、稲垣 技師：M. Inagaki Engineer
- 28 超音波溶着時におけるCFRTPの振動の測定とその評価 Measurement and Evaluation of CFRTP Vibrations during Ultrasonic Welding
川崎・石田 研究員：S. Kawasaki, O. Ishida Researcher、植村 技師：K. Uemura Engineer
- 29 熱可塑性炭素繊維複合部材の高精度湾曲・連続プレス成形技術の開発 Development of high-precision bending and continuous press molding technology for thermoplastic carbon fiber composite members
松本 技師：H. Matsumoto Engineer、川本 研究員：N. Kawamoto Researcher
- 30 天然繊維複合材料の成形手法 Molding method used with natural fiber composite materials
埜口・佐久間・乾・松本・橋本 技師：S. Noguchi, T. Sakuma, N. Inui, H. Matsumoto, K. Hashimoto Engineer
- 31 不織布における含浸係数K値 The value of impregnation coefficient K in non-woven fabrics
松本・織田 技師：H. Matsumoto, S. Oda Engineer
- 32 令和4(2022)年度の成果：Achievements in FY 2022
- 34 ICCメンバーシップ会員における産学連携活動の成果
Outcome s from Industry-Academia collaboration activities among ICC membership program
＊株式会社島津製作所 Shimazu Corporation
＊株式会社商船三井 Mitsui O.S.K. Lines, Ltd.
＊IPCO 株式会社 / DIC 株式会社 / 株式会社 JSP / 大日本印刷株式会社 / ミズノ株式会社
IPCO K.K. / DIC Corporation / JSP Corporation / Dai Nippon Printing Co., Ltd. / Mizuno Corporation
＊アルケマ株式会社 ARKEMA K.K.

2022年度のICCの研究開発の概要

Overview of ICC research activities in FY2022

本年度はICC設立当初より中心的な研究事業であったCOIプログラムが終了し、運営体制も含めICCの再スタートとなった。研究活動としては大型プロジェクトが無くなったことにより個別企業との共同研究やNEDO、JAXA、防衛装備庁、Go-TECH事業などの補助金事業に加え、評価分析、試作等の受託業務についても本格的に進めたことで、例年以上に多くの企業との研究開発活動を行うことが出来た。またポストCOIとして新たな大型プロジェクトの獲得を目指す中、社会環境の変化に伴うICCの研究戦略について検討を行い、「環境に低負荷な複合材料」と「デジタル技術を活用した製造技術の高度化」の二つを柱とすることで、内閣府の「地方大学・地域産業創生交付金事業」に採択され、来年度より活動をスタートする計画である。環境意識の高まりは世界的にも欧州を中心に加速しており、複合材料の軽量・長寿命のメリットだけでなく、素材が循環するサーキュラーエコノミーの実現が課題となっている。デジタル化についても市場拡大が進む海外において急速に進展しており、競争力と差別化において不可欠な要素である。本事業ではこれらの研究開発により技術の底上げと、蓄積してきた地域企業との研究開発成果を川中クラスター群として連携することで、複合材料を核とした地域産業の創生が最終目標である。同時に本事業の取組により持続可能な社会の実現にも貢献していくことを目指している。

本年度各種行ってきた研究開発においてもカーボンニュートラルに資する研究は重点課題である。水素分野では高圧水素タンクについてNEDO「燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業」が2年目となり、従来技術とは異なる革新的な製造技術と樹脂技術の開発に注力している。高圧水素タンクの課題である生産性の大幅な向上を実現するため、分割プリフォーム、REDOX硬化樹脂、低圧RTMプロセスの開発等、製造技術と樹脂技術が一体となった開発を進めている。JAXAの委託事業においてもCFRP大型極低温推進薬タンク製造技術について、低コスト化を達成する製造プロセス開発を樹脂技術からアプローチしており、このような素材開発と製造技術を一体的に取組む開発はICCの強みである。

また、国の方針のもと大規模な導入が開始されている洋上風力に関しては、COIから継続して日本の環境に適合した垂直軸型洋上風力発電に取組んでいる。垂直軸型の特徴である一定断面形状のブレードの連続成形技術について新たにGo-Tech事業の採択を受け、福井ファイバータック(株)との研究を開始した。アドバイザ企業として電力会社も参画していることで実現に向けた取組みを推進している。

This year marked the end of the COI program, which had been ICC's main research project since its establishment, and a fresh start for ICC, including its management structure. With the absence of large-scale projects, ICC was able to conduct R&D activities with a greater number of companies than in previous years, including joint research with individual companies, grant projects from NEDO, JAXA, the ATLA Program, and the Go-TECH Project, as well as full-fledged contract work such as evaluation, analysis and prototyping. In addition, while aiming to acquire new large-scale projects as a post-COI project, we discussed ICC's research strategy in response to changes in the social environment, and decided to focus on the two pillars of "environmentally low-impact composites" and "advancement of manufacturing technology using digital technology," which were selected for the Grant Program by the Cabinet Office and plan to launch activities in the next fiscal year. Growing environmental awareness is accelerating worldwide, especially in Europe, and the challenge is not only to realize the lightweight and long-life advantages of composites, but also to realize a circular economy in which materials are recycled. Digitalization is also advancing rapidly overseas, where market expansion is progressing, and is an essential element for competitiveness and differentiation. The goal of this program is to create a regional industry centered on composites by raising the level of technology through R&D and by collaborating with local companies as a midstream cluster group to combine the results of accumulated research and development. At the same time, the project aims to contribute to the realization of a sustainable society through its efforts.

Research contributing to carbon neutrality is also a priority in the various R&D activities conducted this fiscal year. In the hydrogen field, the NEDO's Industry-academia-government collaboration R&D project on high-pressure hydrogen tanks is now in its second year, focusing on the development of innovative manufacturing and resin technologies that break away from conventional technologies. In order to realize a significant improvement in productivity, which is an issue for high-pressure hydrogen tanks, we are promoting development that integrates manufacturing and resin technologies, such as the development of segmented preforms, REDOX curing resin, and low-pressure RTM processes. In the JAXA project, ICC approached the development of a manufacturing process for a CFRP large cryogenic tank from the perspective of resin technology in order to achieve low-cost manufacturing. Such integrated development of materials and manufacturing technology is one of ICC's strengths.

In the field of offshore wind power, which has begun to be introduced on a large scale under national policy, we have been working on vertical-axis offshore wind power generation that is suited to the Japanese environment. In the new Go-Tech project, we have started research with Fukui Fibertech on the continuous forming technology for blade with

海外との取組についてはCU (Composites United、旧 CFK-Valley) とICCの連携により日独19社が参加した日独国際共同研究が本年度で終了した。研究期間の3年がまさにコロナ禍となり、リアルな行き来が出来なかったことは残念であったが、ドイツ側はCTCやDLR、Fraunhofer等が参画し主に航空機をターゲットとした開発テーマに取組んだことで多くの知見が得られた。航空機は2030年代の次世代航空機に向けた開発が活発化しており本成果を次の取組につなげていきたい。

メンバーシップ活動についても多くの成果につながっている。(株)商船三井のウインドチャレンジャーの1号船が就航したことはCO₂排出削減に大きく寄与する成果である。今後の普及へ向けてICCで取組んできた連続製造プロセス等の量産製造技術の開発に引き続き取組を進めていきたい。また、(株)島津製作所のX線位相イメージング装置がICCでの適用研究を経て商品化に至りICCへ1号機が導入された。この取組はICCのオープンイノベーション、アンダーワンルーフのネットワークを活用して、材料、評価分析、装置技術が連携して生み出された成果とも言える。今後新たな分析ツールとして研究開発や企業支援にも活用していく予定である。

以上のように本年度はポストCOIの1年目であったが、ICCの開所以来掲げてきた複合材料の適用拡大へ向けたアンダーワンルーフのイノベーションプラットフォームとして活発な研究活動が実施できた。引き続き企業・産業界との連携を図り社会の課題を解決する研究開発に取組んでいく計画である。

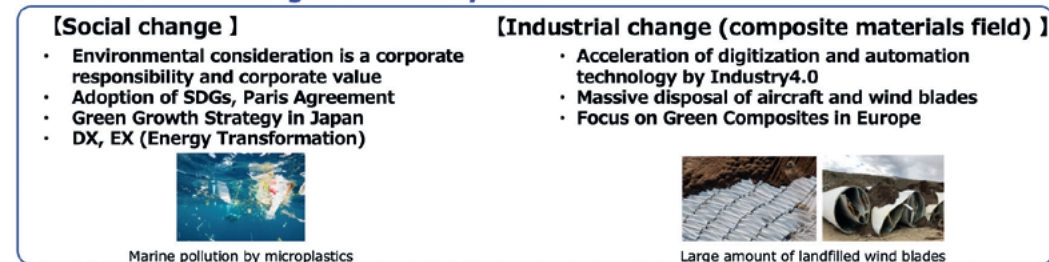
constant cross section, which is a feature of vertical-axis type wind turbines. The electric power company is also participating in the project as an advisor, and is promoting efforts toward the implementation of the technology.

As for overseas projects, the Japan-Germany international joint research project involving 19 Japanese and German companies was completed this year in cooperation with CU (Composites United, formerly CFK-Valley) and ICC. Although it was regrettable that the three-year research period overlapped with the pandemic, with no face-to-face meeting, a great deal of knowledge was gained by working on development themes mainly targeting aircraft, with the participation of CTC, DLR, Fraunhofer, and others. The development of next-generation aircraft for the 2030s is becoming more active, and we would like to link these results to our next efforts.

Membership activities have also led to a number of achievements. The first MOL Wind Challenger vessel is now in service, which is a significant achievement that contributes to CO₂ emission reduction. We will continue to work on mass production technologies such as continuous manufacturing processes for the future expansion of this technology. In addition, the first unit of Shimadzu X-ray phase imaging system was installed at ICC after commercialization through application study at the ICC. This initiative is the result of collaboration among materials, evaluation and analysis, and equipment technologies, utilizing ICC's open innovation and under-one-roof network. We plan to utilize it as a new analytical tool for R&D and industrial support in the future.

As described above, this year was the first year of the post-COI program, and we were able to conduct active research activities as an under-one-roof innovation platform to expand the application of composites, which has been our goal since the foundation of ICC. We plan to continue working on R&D to solve social issues in collaboration with industries.

【Environmental changes in recent years】



【For the future】



Next challenge of ICC

NEDO革新FC事業(その2)

NEDO Innovative FC Project (Part 2)



2021年度にスタートしたNEDO共通課題解決型産学官連携研究開発事業の水素貯蔵技術の分野において、金沢工業大学ICC及び東京農工大学、日本大学生産工学部、ミズノテクニクス(株)の4機関で取り組んだ革新的なFCV(Fuel Cell Vehicle: 燃料電池自動車)向け水素タンクの製造技術の研究開発は、2022年度に達成した成果1)が評価され、2023年度以降の研究開発継続審査を突破することができた。

本プロジェクトは、以下の3項目を実施している。

①非FW/分割プリフォームによる高压容器構造設計手法の開発
分割成形タンクにおける破壊挙動の解明と継ぎ手部のはく離や繊維破断等を考慮した損傷進展モデルによる検討から、タンクの破裂圧力の予測精度±20%を達成した。更に材料物性・継手データの取得にもとづき、実証タンクの基本仕様を決定した。

②低圧RTM(分割プリフォーム、2段階含浸)による高压容器の超ハイスサイクル製造技術の開発
CFRTPテープを用いて、実証タンクサイズでシリンダー部/ドーム部の分割プリフォームの製造プロセスを検討した。シリンダー部のプリフォームは内圧に最適な±55°巻き角とした。ドーム部のプリフォームはランダムシートと長繊維積層シート加熱・真空賦形による製造方法を確立した。また、シリンダー部/ドーム部の分割プリフォームにて、開発した成形装置を用いて、エポキシ樹脂の低圧RTM法による成形実証を行った。

③REDOX 硬化型樹脂とRTM プロセスによるコンポジット材料の開発
新規開発樹脂は、トウプリプレグ用の樹脂A及び低圧RTM成形に用いる樹脂Bの開発がほぼ完了した。樹脂AとBの相溶性は良好であり、今後、開発樹脂の基礎特性等取得する予定である。トウプリプレグの製造に関して、炭素繊維トウへの樹脂含浸方法、繊維の予備加熱方法等、品質の評価を行いながら、製造ラインの装置構成検討、評価を進めている。

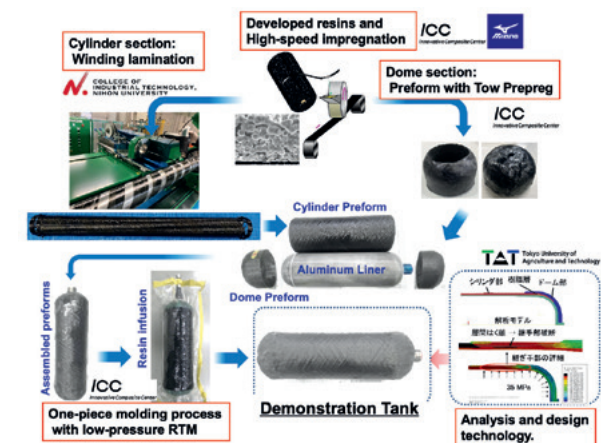


Figure 1. Project Activity

The New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) commenced a project in the field of hydrogen storage technology in FY2021, in which four organizations worked on the R&D of innovative hydrogen tank manufacturing technology for fuel cell vehicles (FCVs): Kanazawa Institute of Technology ICC, Tokyo University of Agriculture and Technology, College of Industrial Technology, Nihon University, and MIZUNO TECHNICS Corp. This project was able to pass the R&D continuation review in FY2023 and beyond owing to the results1) achieved in FY2022.

The objectives of the project are as follows:

① Development of high-pressure vessel structural design method using non-FW and segmented preforms.
The tank-burst pressure prediction accuracy of ±20% was achieved by investigating the fracture behavior of a segment-molded tank and a damage progression model that considers the delamination of joints and fiber breakage. Thereafter, based on the actual material properties and joint data, we determined the basic specifications of the demonstration tank.

② Development of ultra-high-cycle manufacturing technology for high-pressure vessels through low-pressure RTM.
Using a CFRTP tape, we investigated the manufacturing process of segmented preforms for cylinder and dome parts in demonstration-tank sizes. The preform in the cylinder part has a winding angle of ±55°, which is optimal for internal pressure. For the preform of the dome part, we established a manufacturing method through the heating and vacuum-forming of random sheets and long-fiber laminated sheets. In addition, using a molding machine, we performed the molding demonstration using the low-pressure RTM method for epoxy resin using the cylinder part/dome part segmented preform.

③ Development of composite materials through REDOX curable resin and RTM process.
The development of resin A for tow prepreg and resin B for low-pressure RTM molding is almost complete. The compatibility of resins A and B is excellent. The equipment configuration of the production line was studied for the production of tow prepreg, and each equipment was evaluated while evaluating the quality, including the resin impregnation method for carbon fiber tow, fiber preheating method, and so on.

Reference
1) NEDO水素・燃料電池成果報告会2022資料
<https://www.nedo.go.jp/content/100950351.pdf>

Composites United (旧CFK-Valley)ドイツ連携について

Collaboration with Composites United, Germany (Formerly CFK-Valley)



石田 応輔
Osuke Ishida



斉藤 義弘
Yoshihiro Saito



東藤 涼子
Ryoko Tohdoh

2020年4月から取組んできたドイツとの国際共同研究が今年度末に終了した。熱可塑性部材の連続成形をテーマとした”ThermoPros”、リサイクル材をテーマとした”HiPeR”、この2つのプロジェクトについて最終成果を報告する。

<https://composites-united.com/en/projects/interspin-projekt-japan/>

ThermoProsでは、航空機産業向けに湾曲構造材(リングフレーム)、自動車産業向けには長尺構造材(直線)をターゲットとし、高速連続成形の開発に取組んだ(図1)。湾曲材は津田駒工業が間欠プレス技術をベースに3種の成形装置を開発し、CF/LM-PAEK(東レ)を用いて3.0m長の航空機胴体フレームのデモンストレーターの成形に成功した。直線材は大同工業がロールフォーミング(RF)技術を使ってCF/PAの自動車シャーシ部材のデモンストレーターを製作した。また丸八はCF/PA材料と湾曲部材用のカーブドUDをATL装置を使って製作し、日独の参画企業へ供給した。今後の課題として、湾曲材は品質向上、RF技術は中型トラックをターゲットにしたスケールアップを期待している。

<https://composites-united.com/en/projects/thermopros/>

HiPeRプロジェクトでは、航空機から排出された炭素繊維をリサイクルし不織布の製造と最終製品の成形に取組んだ(図2)。カーボンファイバースリサイクル工業が熱分解処理により炭素繊維を取り出し、STFI(ドイツ)が高い配向性を有する不織布を製造した。更に日本側では自動車部材用途としてCF/PPプリプレグをIHI物流産業システムとICCが作製し、森六がプレス成形を行って力学特性と複雑形状への賦形性を評価した。また、ドイツ側ではエアバスの研究機関であるCTCが航空機の構造部材への適用に向け熱硬化性樹脂(EP)を含浸させるRTM成形によって、垂直尾翼リブ部材のデモンストレーターを成形した。

<https://composites-united.com/en/projects/hiper/>

2023年3月末にはコロナ禍以降初めてICCにて日独チーム対面での面会を果たし、プロジェクトの締めくり協議及び次に向けたフォローアッププロジェクトの可能性について意見交換を行った(図3)。



Figure 1. 3.0m CF/LM-PAEK curved frame demonstrator



1.8m UD-CF/PA6
straight part sample



Figure 2. Highly-oriented rCF mats produced by STFI (Left), Prepreg production using double belt press (Middle), Molded part produced by Morioku (Right)



Figure 3. German and Japanese Project Partners

The joint projects with Germany were completed at the end of this fiscal year. We report on the final results of two projects: "ThermoPros," which focused on the continuous molding process of thermoplastic composites, and "HiPeR," which focused on recycled materials.

<https://composites-united.com/en/projects/interspin-projekt-japan/>

The ThermoPros project focused on the development of the high-speed continuous molding of curved and straight structural parts for the aircraft and automotive industries, respectively. (Figure 1) For curved parts, Tsudakoma developed three molding machines based on continuous compression molding technology and succeeded in forming a 3.0-m-long aircraft fuselage frame demonstrator using Toray CF/LM-PAEK. For straight parts, Daido Kogyo used roll forming (RF) technology to produce a CF/PA automotive chassis member demonstrator. Maruhachi manufactured CF/PA materials and curved UD using ATL and supplied them to the project partners. As future tasks, we expect quality improvement for the curved parts and a scale-up of RF technology targeting medium-sized trucks.

<https://composites-united.com/en/projects/thermopros/>

The HiPeR project involved recycling CF waste from aircraft to produce nonwoven fabrics, which were then used to mold the final product. (Figure 2) Carbon Fiber Recycle Industry extracted CFs through pyrolysis, and STFI (Germany) produced highly oriented nonwoven fabrics. IHI and ICC produced CF/PP prepreg for automotive parts, and Morioku evaluated its mechanical properties and formability into complex shapes through press molding. CTC molded a demonstrator for a vertical tail plane rib using RTM impregnated with thermosetting resin (EP) for application to structural components of aircraft.

<https://composites-united.com/en/projects/hiper/>

At the end of March 2023, the Japanese and German partners met face-to-face at the ICC for the first time since the pandemic to discuss the closure of the project and possible follow-up projects. (Figure 3)

宇宙分野で使用されるコンポジットの開発

Development of composites used in the space field



西田 裕文
Atsufumi Nishida



山下 博
Atsushi Yamashita



稲垣 昌輝
Masaki Inagaki



織田 志保
Shiho Oda

ICCは、宇宙航空研究開発機構(JAXA)が進める「宇宙輸送費の根本的な低コスト化による革新的な宇宙輸送システムの実現」を目指すプロジェクトの一環として、(1)低コストで高耐熱の大型CFRP構造に向けたマトリクス樹脂材料の研究、および(2)CFRP大型極低温推進薬タンク製造技術の研究、に取り組んでいる。前者は再使用可能ロケットの先端部が再突入時の空力加熱等による高温環境下での使用に耐えうる大型構造を比強度に優れたCFRPで製作して、ロケット構造の軽量化や低コスト化を実現することを目的として、新規なマトリクス材料の開発を行なうものである。樹脂の要求特性としては、400℃以上の温度環境下での強度低下が小さいこと、CFRP化が可能であること、低コストな製造に適用可能なことが挙げられる。一方、後者は第2段ロケットエンジン用極低温推進剤タンクをスーパーエンブレレベルの高性能熱可塑性樹脂をマトリクスとするCFRTP(Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics)で製造する新しいAFP(Automated Fiber Placement)プロセスの開発である。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。

(1)のテーマに関し、樹脂骨格および架橋点が炭素-炭素結合よりも結合エネルギーが格段に大きいケイ素-酸素結合のみから成る架橋性シルセスキオキサンをCFRPのマトリクスとする手法を検討した(図1参照)。動的粘弾性測定(DMA)や熱重量分析(TGA)から高い耐熱性を有していることが明らかとなった。この樹脂と炭素繊維との密着性を改良するために、X線光電子分光法(XPS)で確認しながら炭素繊維表面への酸素原子の導入を検討している。

一方、(2)のテーマにおいて我々が提案したシステムでは、スーパーエンブラの一種であるPES(ポリエーテルスルホン)を電子線硬化性モノマーであるジフェニルスルホン骨格を有するアクリル樹脂で希釈して、ベースポリマーの機械的特性の低下こそ伴うものの、確実にポリマーの融点と熔融粘度を低下させる。本AFPプロセスでは、ポリマーの元の融点より遥かに低い温度で樹脂が炭素繊維に容易に含浸され、「その場合浸」が可能になる。同時にこの樹脂は、樹脂含浸したカーボンテープが下層と容易に熔融一体化して積層を完了させることをも可能にしている。積層後、電子線照射によってモノマーは重合し、それと同時にマトリクス樹脂は特性を回復する。

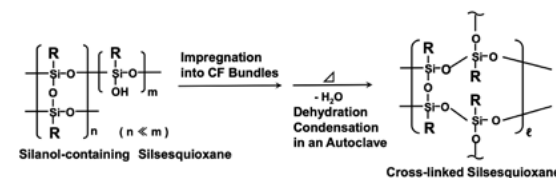


Figure 1. Reaction mechanism of silsesquioxane for the matrix of high-thermally durable CFRP curable using a facile autoclave

ICC is part of the project aimed at "realizing an innovative space-transportation system based on fundamental cost reduction" promoted by the Japan Aerospace Exploration Agency. Thus, ICC is engaged in research on (1) matrix resin materials for large CFRP structures with low cost and high heat resistance and (2) manufacturing technology for CFRP large cryogenic propellant tanks. The purpose of the first research endeavor is to manufacture a large structure from CFRP with excellent specific strength and to realize the weight and cost reduction of the rocket structure. Furthermore, we are developing a new matrix material for the nose of a reusable rocket such that it can withstand high-temperature environments caused by aerodynamic heating during re-entry. The required properties of the resin are a small decrease in strength at 400 °C or higher, which can be useful for CFRP, and that it can be applied to low-cost production processes. The second research endeavor is the development of a new automated fiber placement (AFP) process that manufactures the cryogenic propellant tank of the second-stage rocket engine with carbon fiber-reinforced thermoplastics, which uses super-engineering-plastic level high-performance thermoplastic resin as a matrix. The newly developed AFP process enables a series of operations, such as "in-situ impregnation" from dry fibers, automatic lamination, and direct consolidation, which is unique to thermoplastic resins, to realize cost reduction.

Regarding (1), we investigate the use of a crosslinkable silsesquioxane as a matrix for CFRP, in which the resin skeleton and crosslink points comprise only silicon-oxygen bonds, which have significantly higher bond energies than carbon-carbon bonds (Fig. 1). Dynamic viscoelasticity measurements and thermogravimetric analysis are used to verify the high heat resistance of the resin. To improve the adhesion between the resin and carbon fibers, we investigate the introduction of oxygen atoms to the carbon-fiber surface using X-ray photoelectron spectroscopy.

In the system proposed for (2), polyethersulfone, a type of super-engineering plastic, is diluted with an electron beam-curable acrylic monomer with a diphenylsulfone skeleton. This lowers the melting point and melt viscosity of the polymer; however, the mechanical properties of the polymer are also decreased. In this AFP process, carbon fibers are readily impregnated with resin at temperatures considerably lower than the original melting point of the polymer, thereby enabling "in-situ impregnation." Simultaneously, the resin allows the resin-impregnated carbon tape to fuse easily with the underlying layer to complete the lamination. After lamination, the monomers are polymerized by electron-beam irradiation, and the properties of the matrix resin are recovered.

溶融合浸装置を用いたUDテープの成形

Molding of unidirectional tape using melt impregnation equipment



山下 博
Hiroshi Yamashita

一方向材(UD)テープは、一方向に炭素繊維(CF)などの連続繊維に熱可塑性樹脂を含浸させたテープ状の材料である。UDテープは連続繊維を使用しているため、チョップドファイバーを使用した複合材料よりも剛性や強度に優れる。UDテープを用いるメリットとしてはオート・テープ・プレースメント(ATP)に適用することで、自動積層による生産性の向上や大型構造部材の成形が可能となる。また、UDテープを短くカットしてランダムに積層したランダムシートを用いることで複雑形状の部材をプレスで成形することが可能となる。ICCに設置している溶融合浸装置の概略図を図1に示す。CFが通った含浸パイプ内に押出機から溶融した樹脂を流し込み、含浸させることでUDテープを成形する装置である。

本年度は、クリールスタンド(図1 赤枠部)を設置して複数のCFロービングを用いることでUDテープの目付けをコントロールすることが可能となった。しかし、ロービングを増やすことで張力が大きく増加してしまい、既存の引取り機では上手く引き取れなかった。また、ロービングが増えたことで樹脂がCFに含浸しにくくなりポイドが発生した。

引取り張力を上げるために引取りを補助する装置を導入した(図1 青枠部、図2)。この引取り補助装置を用いることで、複数本のCFロービングを使用してもUDテープ(図3)を引き抜くことが可能となった。

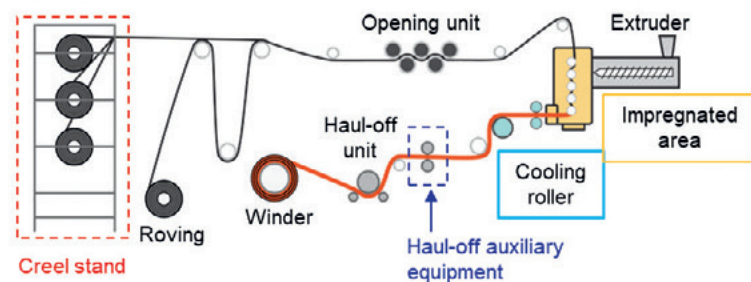


Figure 1. Schematic of melt impregnation machine



Figure 2. Haul-off auxiliary equipment



Figure 3. Closed view of UD tape by melt impregnation

改質リグニンを利用した複合材料の開発

Development of composite materials using modified lignin



山下 博
Hiroshi Yamashita

近年、環境問題の観点から全世界的に植物由来の材料に注目が集まっている。その内の一つにリグニンが挙げられる。リグニンは植物の細胞壁を構成する成分の一つであり、芳香族系モノマーが重合した高分子化合物である。改質リグニンは株式会社リグノマテリアより提供されたグリコールリグニン(GL)を使用した(図1)。GLは杉からリグニンを抽出する際にポリエチレングリコール(PEG)を用いることでリグニン構造中に一部PEGが結合したものである(図2)。

本研究ではポリアミド6(PA6)にGLを添加した際の効果を検証した。樹脂の混練は二軸混練押出機を用いて混練した。PA6とGLの組成比を種々検討し、PA6:GL=75:25wtとした。混練した樹脂をホットプレス機にて成形したシートの破断面をFE-SEMを用いて観察したところ、相分離している様子は観察されなかったため、PA6とGLの相性は良いと考えられる。混練した樹脂はホットプレス機を用いてフィルム化した後に炭素繊維(CF)の平織り材と交互に積層し、再度ホットプレス機を用いて成形した。その際、最下面および最上面には樹脂フィルムになるように積層した。作製した積層板を図3に示す。積層板の断面図を観察したところ樹脂の未含浸部(図4)が所々見られ、樹脂の粘度が高いのが原因だと思われる。今後は、成形条件の検討や物性測定を行う。



Figure 1. Modified lignin (GL)

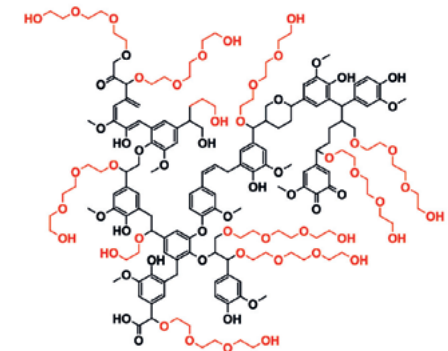


Figure 2. Chemical structure of modified lignin (GL)



Figure 3. GL/PA6/CF laminated plate

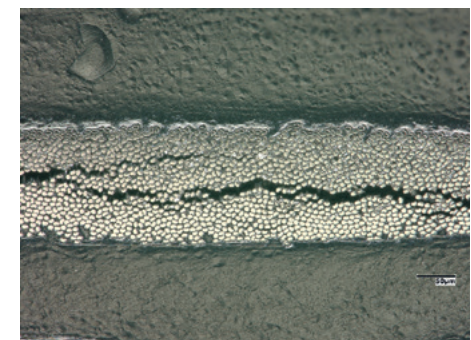
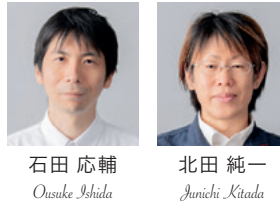


Figure 4. Cross sectional image of laminated plate

溶液含浸を用いたラージトウCF/PA6スタンパブルシート成形

Fabrication of large-tow CF/PA6 laminates using solvent method



石田 応輔
Otsuke Ishida

北田 純一
Junichi Kitada

本研究ではラージトウと呼ばれる40,000本以上のフィラメントからなる炭素繊維（通常は3,000～12,000本）を用いて、熱可塑性スタンパブルシートを作製する手法を検討した。ラージトウは通常の炭素繊維と製造プロセスが異なり物性はやや劣るが安価であるため、近年は産業用途向けに需要が拡大している。しかし、熱可塑性樹脂は熔融粘度が高いため樹脂を炭素繊維基材へ含浸させることは容易ではなく、高温・高圧により時間をかけて含浸する必要がある。ラージトウの場合はフィラメント数が多く必要な含浸距離が長くなるため、熱可塑性樹脂の含浸工程は一層難しくなる。

そこで本研究では溶媒法を用いて樹脂を溶液化することで粘度を大きく下げて、繊維束への樹脂含浸効率を高めるプロセスを検討した。マトリックス樹脂にPA6を使用して、その溶媒に塩化カルシウム/メタノール混合溶媒を使用した。本溶媒はギ酸やHFIPと異なり低毒性で比較的低コストなためである。本研究で適用した溶液含浸～プレス成形のプロセスを図1に示す。溶液含浸により樹脂を繊維束内部に付与し、しかも溶媒を完全に除去する技術が鍵である。図2には溶液含浸を行った炭素繊維束のSEM画像を示す。各々の繊維表面におよそ均一にPA6の多数の塊が付着している様子が見られた。さらに樹脂フィルムを追加したホットプレス工程でスタンパブルシートを作製した。作製した成形品の繊維束への樹脂含浸状態を溶液含浸処理の有無で比較した結果を図3に示す。図中の赤破線は樹脂が未含浸の領域を表す。溶液含浸を適用することで繊維束中の未含浸部が顕著に減少した様子が見られた。

本研究はNEDOの「官民による若手研究者発掘支援事業（若サボ）」支援を受けたものであり、今後は上記プロセスについてダブルベルトプレスを用いた連続含浸成形に適用する研究を進める。

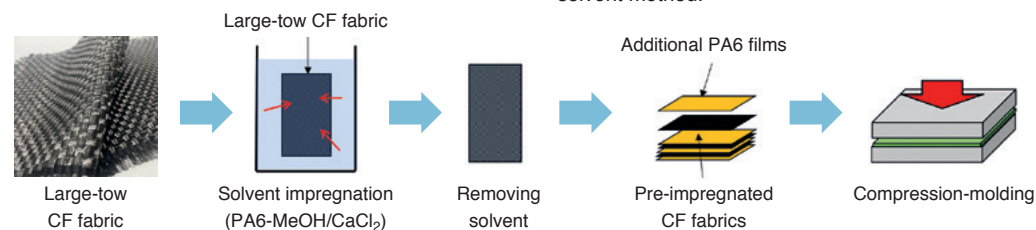


Figure 1. Solvent impregnation process in this study.

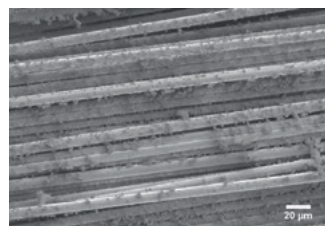


Figure 2. SEM image of carbon fiber tow impregnated with PA6 by solvent process.

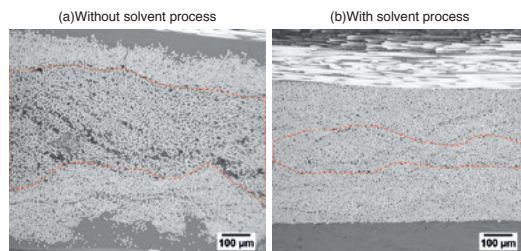


Figure 3. Impregnation quality of fiber bundles of composites (a) without solvent process and (b) with solvent process.

Rilsan/CFテープを使用したランダムシートプレス成形

Pressforming process of Random-sheet using Rilsan Matrix/CF UD tape



石田 応輔
Otsuke Ishida

堀 正芳
Masayoshi Aoi

白井 武広
Takehiro Shirai

アルケマ社との共同研究において、提供されたRilsan Matrix/CF UDテープ（UDX® PPAテープ）からランダムシートを作製し、そのプレス成形評価を行った。UDX® PPAテープに使用されるRilsan Matrixとは高いTg (140°C) を有する一部植物由来成分を含むPPA（ポリフタルアミド）系樹脂である。一方で融点は約260°Cと低く抑えられ加工がしやすく、吸水率も3%以下という特徴を有する。

本研究ではUDX® PPAテープ（Vf 50%、厚さ77 μm）を長さ26mmにカットしてランダム配向に積層シートをサンコロナ小田社より提供を受けた。また、この積層シートの両面にRilsan HTフィルム（厚さ300 μm）を貼り付けて、基材搬送時の温度低下抑制を図った。まず基礎検討として、ランダムシート基材をオープンで330～360°Cに加熱し、手搬送によりホットプレス機に搬送して200～230°Cの型温でプレスして成形板を取り出した。図1には基材に取り付けた熱電対温度の経時変化をRilsan HTフィルムの有無で比較した結果を示す。表面にフィルムを貼り付けたことで搬送時の温度低下が顕著に抑制され、プレスで基材が流動する時間（図中の緑領域）も長くなった。図2には成形板の断面観察写真を示す。表面にフィルムを用いない場合はテープ層間にき裂状のボイドが見られたが、フィルムを用いた場合はボイドなく良好な含浸状態が確認された。この成形板から切り出した試験片の引張強度はヒート&プレス成形で作製した成形板と同等の強度を示した。

上記と同様の方法によって、200tonプレスを使用してBOX形状のプレス成形を行った。図3には試作した成形品写真を示す。搬送方法や型温設定に改善が必要だが、ある程度良好な賦形性と表面品質の成形品が得られた。

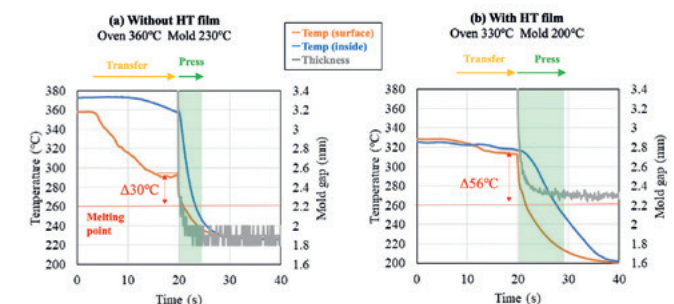


Figure 1. Temperature profiles of random-sheet during quick-press process: (a) without Rilsan HT film, (b) with Rilsan HT film.

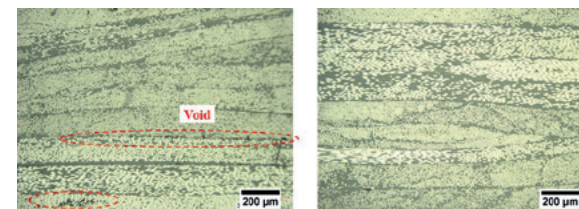


Figure 2. Cross-sectional micrographs of molded samples: (a) without Rilsan HT film, (b) with Rilsan HT film.



Figure 3. BOX-shape sample produced with 200 ton press system.

CTT試験体の完全ランダム配向設計とX線位相イメージングによる配向度分布評価の検討

Completely random orientation design of CTT specimen and examination of orientation degree distribution evaluation through X-ray phase imaging



白井 武広
Takahiro Shirai

不連続炭素繊維ランダムCFRP (CTT: Chopped carbon fiber Tape reinforced Thermoplastic) は、カットテープを空気中や水中で分散させてランダム配向積層した後にプレス成形加工される。そのため、分散時のテープ配向が制御できないため、繊維配向の異方性により積層材面内の機械特性のばらつきが伴う課題がある。また、繊維配向の偏りが無い完全ランダム配向の試験体を製作することが出来ず、その機械物性など評価されていなかった。本研究では、カットテープ積層ロボットを用いて、プログラムでテープ配向角度を制御することで、完全ランダム試験体の設計指針を得ることと、試験体構造の評価方法を検討した。ランダム配向の繰り返しパターンの違いによる構造比較を行うために、図1に示す3つのパターンで試験体を製作した。Pattern 1は平板全面、Pattern 2は試験体大きさ、Pattern 3は試験体幅の正方形内でランダムパターンを作成し、Pattern 2,3は同じパターンを残り面内にコピーした積層構造である。各試験体の構造パラツキは、X線位相イメージング撮影で評価した。X線位相イメージングでは、CTT試験体の繊維配向と配向度を取得することができ、本稿の実験では試験体繊維配向度ヒストグラムの尖度で評価した。図2に配向度の画像例を示す。濃淡画像の黒色部がランダム、白色部が異方性配向を表している。図3に図1の3パターンで製作した試験体の配向度ヒストグラムの尖度計算結果を示す。尖度の値は、異方性により分布が小さく3よりも小さい値であり、Pattern 1,2,3の順で大きくなりPattern 3の尖度は正規分布の3に近い結果であった。この結果より、完全ランダム積層設計は、小さい範囲でランダムパターンを作成し、同じパターンを面内に繰り返し配置することで設計が出来る指針を得ることができ、そしてX線位相イメージングにより非破壊で試験体構造分布が評価できることがわかった。

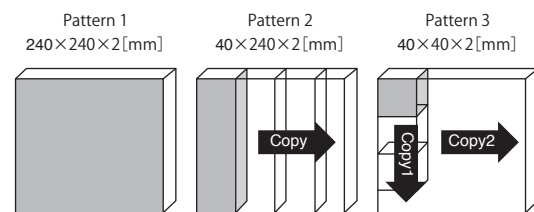


Figure 1. The three designed tape orientation lamination patterns.



Figure 2. Image of degree of fiber orientation distributuon.

Chopped carbon fiber tape reinforced thermoplastic (CTT) is the organo sheet that is press-molded after dispersing cut tapes in air or water and laminating them in random orientations. CTT has a problem in that the mechanical properties within the plane of the laminated material vary owing to the anisotropy of the fiber orientation because the tape orientation during dispersion cannot be controlled. In addition, it was impossible to produce completely randomly oriented test specimens with no deviation in fiber orientation, and their mechanical properties were not evaluated. Therefore, in this study, design guidelines for completely random specimens were obtained by controlling the tape orientation angle through a program using a cut tape stacking robot, and a method for evaluating the specimen structure was examined. To compare structures with different random orientation repeat patterns, test specimens with the three patterns depicted in Figure 1 were produced. Pattern 1 is the entire surface of the flat plate, Pattern 2 is the size of the specimen, and Pattern 3 is the width of the specimen. The structural variation in each specimen was evaluated through X-ray phase imaging. In this experiment, the kurtosis of the specimen fiber orientation histogram was evaluated. Figure 2 depicts an image example of the degree of orientation. The black portion of the grayscale image indicates random orientation, and the white part indicates anisotropic orientation. Figure 3 presents the kurtosis calculation results of the orientation degree histograms of the specimens fabricated with the three patterns displayed in Figure 1. The value of kurtosis has a small distribution owing to anisotropy and is smaller than 3, increasing in the order of Patterns 1, 2, and 3. The kurtosis of Pattern 3 is close to the value 3 of the normal distribution. This result enables one to obtain a guideline for completely randomly oriented test specimens that can be designed by creating a random pattern using the method of small area and repeatedly arranging it in the plane and, thereafter, nondestructively testing it through X-ray phase imaging.

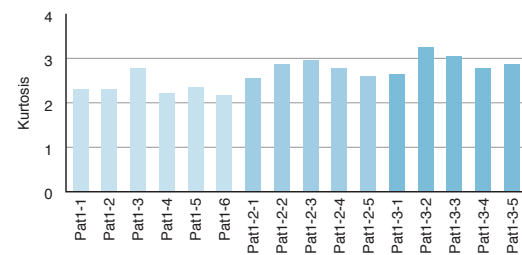


Figure 3. Results of kurtosis calculation of each lamination pattern by the X-ray phase imaging image analysis

機械学習を用いたみかけ粘度によるプレス成形中の金型内材料流動推定技術の開発

Development of in-mold material flow estimation technology during press molding using apparent viscosity through machine learning



白井 武広
Takahiro Shirai

機械学習は、製造現場では製造装置の異常検知、製品品質の判定や予測、プロセス最適化などに適用されている。本研究は、昨年度報告したプレス成形中のみかけ粘度変化を用いて、CTT材料のプレス成形中の成形不良を機械学習による判定技術の開発を目指している。本稿の実験では、プレス成形時のみかけ粘度変化によって、成形不良を模擬した異なる形状の成形品判定について検討した。機械学習は、MATLABニューラルネットアプリを使用してデータクラスタリングを行った。データクラスタリングは、ニューラルネットワークのひとつで、類似性によるデータのグループ化が行われる。今回は、自己組織化マップ (SOM: Self-Organizing Map) を用いた。自己組織化マップとは、格子状に配置した重みベクトルを割り当てたニューロンに対して、学習により重みベクトルを更新させてデータの特徴を空間的に表す手法である。図1に成形品形状を示す。右図は、正常品の十字リブ付き構造、左図はショート成形不良を模擬したリブ無し構造で、プレス成形により十字リブ付き成形品のみかけ粘度を19データ、リブ無し成形品のみかけ粘度を5データ取得した。図2に取得したみかけ粘度データを示す。図2のデータを用いて、データクラスタリングを行った。自己組織化マップのマップサイズを10とし、10×10格子グリッド、100ニューロンの学習モデルを作成して24データを学習させた。その結果を図3に示す。青枠がリブ付き構造、赤枠がリブ無し構造の結果である。図3は各データの10×10格子グリッドの重みベクトルを表しており、濃い色ほど重みが大きく、またパターンが似ているとデータの特徴に高い相関性があることを表している。図3のリブ無し構造の結果 (赤枠) はリブ有り構造 (青枠) とパターンが異なっていることから、みかけ粘度データを用いてプレス成形中の金型内材料流動の違いが判定できる可能性を得ることができた。

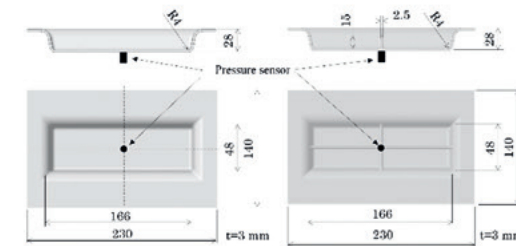


Figure 1. The schematics of the two molded products used in the experiment. (Left Figure: ribs product. Right Figure: ribless product)

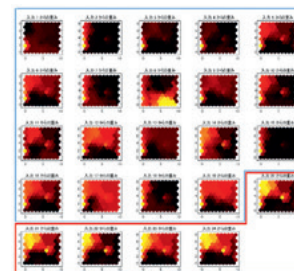


Figure 3. The learning results of 24 apparent viscosity data by self-organizing map. (Blue frame: Rib product, Red frame: Ribless product.)

Machine learning is applied at manufacturing sites to detect anomalies in manufacturing equipment, judge and predict product quality, and optimize the processes involved. In this study, we developed a technology for identifying molding defects during the press molding of Chopped carbon fiber tape reinforced thermoplastic (CTT) materials through machine learning using the variation in apparent viscosity, as reported last year. In our experiment, we examined molded products of various shapes simulating molding defects by varying the apparent viscosity during press molding. Machine learning was used to perform data clustering using the MATLAB neural net app. Data clustering is a neural network technique that groups data by similarity. In this study, we used a self-organizing map (SOM), which is a method of spatially expressing data features by updating through learning weight vectors that have been assigned to neurons in a lattice. Figure 1 depicts the shape of the molded product. The figure on the right shows the structure with cross ribs of a normal product, and the figure on the left shows the structure without ribs, simulating defective, short molding. Figure 2 depicts the apparent viscosity data obtained; data clustering was performed using these data. We set the map size of the SOM to 10, created a learning model using a 10 × 10 lattice grid and 100 neurons, and trained 24 data. Figure 3 depicts the weight vector of the 10 × 10 lattice grid for each data. The blue frame depicts the results of the structure with ribs, and the red frame depicts the results of the structure without ribs. The darker the color, the higher the weight; the more similar the pattern, the higher the correlation between the data features. Because the structure without ribs (red frame) depicted in Fig. 3 has a different pattern from that with ribs (blue frame), it is possible to determine the difference in the material flow inside the mold during press molding using the apparent viscosity.

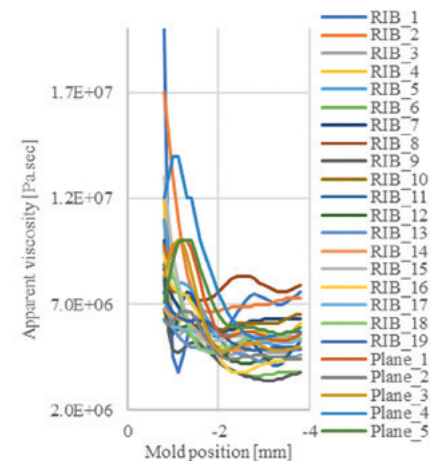


Figure 2. The Apparent viscosity data of 24 molded products with ribs and without ribs. ("RIB_1" to "RIB_19" : Ribs product, "Plane_1" to "Plane_5" : Ribless product.)

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

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



布谷 勝彦
Katsuhiko Nunotani



佐久間 忠
Tadasashi Sakuma



乾 伸晃
Nobuaki Inui

近年、FRPへの要求は、軽量化や機械特性、コストなどに加えて、SDGsへの要求が高まっている。欧州を中心に、強化繊維にリサイクル炭素繊維（以下rCF）や天然繊維を用いたFRPは、量産プロダクトへ適用が進められている。また、PMMA（Poly Methyl Methacrylate、以下アクリル樹脂）は、原料となるMMA（Methyl Methacrylate）モノマーに高収率で再生が可能であることから、ケミカルリサイクルの実証研究が進められている。そこでICCでは、強化繊維にリサイクル炭素繊維（以下rCF）や天然繊維の短繊維マット材／マトリクス樹脂にアクリル樹脂を適用したサステナブル コンポジットの量産成形プロセスの研究を実施している。

本研究に適用する成形プロセスは、低コストでのハイサイクル成形が可能であり、かつ樹脂の面内流動性が低く繊維流れが生じやすい短繊維マット材への樹脂含浸に適していると考えられるWet Compression Molding（WCM）とした。ここで、マトリクス樹脂は、現場重合が可能なアクリル樹脂であるArkema Elium®（以下、現場重合アクリル樹脂）を用いた。一般的なWCMには、高速硬化の熱硬化樹脂（エポキシ樹脂やウレタン樹脂など）と高圧衝突混合による吐出システムが使用されている。よって、吐出装置中の樹脂は、流動可能な粘度とするために常に加熱（60～80℃程度）されており、成形金型は、樹脂を高速硬化させるために加熱（100～140℃程度）されている。一方で、現場重合アクリル樹脂は、室温でも粘度が低い（100 mPa・s at 25℃）、ラジカル重合であるため重合開始剤の選択剤が多く室温で十分なオープンタイムが確保できる、90℃／5分程度の金型内で重合硬化が可能であるなどの特性を持つ。よって、現場重合アクリル樹脂を用いたWCMのプロセスは、高価な高圧衝突混合による樹脂吐出システムや大容量の金型加熱装置が不要となる可能性があるため、装置コストや加熱エネルギーの低減が期待できる。しかし、繊維基材への樹脂塗布および含浸時の現場重合アクリル樹脂の粘度は、100 mPa・s（at 25℃）程度とWCMに最適化された熱硬化樹脂（50 mPa・s以下）に比べて高いので、樹脂塗布や含浸性が課題である。よって、本研究フェーズ1の目的は、現場重合アクリル樹脂を用いたWCMプロセスにおいて、1）安価な低圧の樹脂塗布、2）短繊維マット材への含浸および成形の、3）型内重合プロセスの実証である。

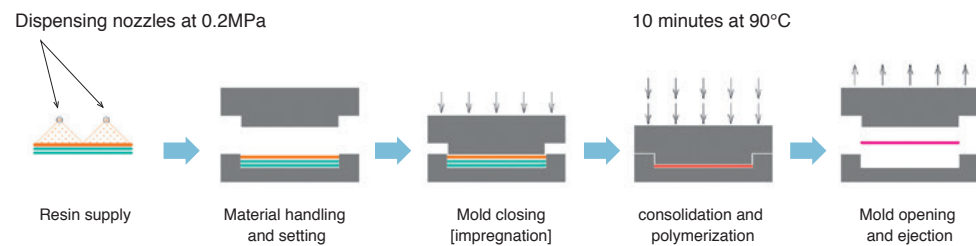


Figure 1. Schematic diagram of the in-mold polymerization process with PMMA

In recent years, the requirement for FRP has increased in terms of lightweight, mechanical properties, and cost, as well as the requirement for SDG. FRP using recycled carbon fiber (rCF) and natural fiber for reinforcement fiber is being applied to mass production, mainly in Europe. In addition, PMMA (poly methyl methacrylate) can be recycled in high yields to its raw material MMA (methyl methacrylate) monomer. Therefore, demonstration plants have been developed for chemical recycling. The ICC is investigating the mass production molding process for sustainable composites, applying chopped fiber mats of rCF and natural fiber for the reinforcement and PMMA for the matrix resin.

In this study, the wet compression molding (WCM) process was applied, which has the advantages of low-cost, high-cycle molding and the possibility of impregnation by the resin into the chopped fiber mats. The matrix resin was applied as Arkema Elium®190, which is a PMMA capable of in-situ polymerization. Typical WCM uses fast-curing thermoset resins (for example, epoxy and polyurethane resins) and a dosing system based on collision mixing under high pressure. The resin in the dosing system is constantly heated (at approximately 60–80 °C) to flowable viscosity, and the mold is heated (at approximately 100–140 °C) to fast-cure the resin. In contrast, Elium® has the following advantages: low viscosity at room temperature (100 mPa.s at 25 °C), several options for polymerization initiators because of radical polymerization, the long open time at room temperature, and the possible polymerization in the mold at 90 °C/5 min. The process of WCM with Elium® is expected to reduce equipment costs and heating energy. However, the viscosity of Elium® during resin application and impregnating the reinforcement is approximately 100 mPa.s (at 25 °C), which is higher than thermoset resins optimized for the WCM process. Therefore, resin application and impregnation is an issue. Hence, the objectives of this study are to demonstrate the following in the WCM process with in-situ polymerized PMMA: 1) low-cost resin application at low pressure, 2) impregnation into chopped fiber mats, and 3) in-mold polymerization and molding.

Figure 1 presents a schematic of the WCM process with Elium® and Figure 2 depicts the upper mold position/clamping

図1に現場重合アクリル樹脂を用いたWCMプロセスの概略図、図2に成形時の上型位置／型締力／型内圧をそれぞれ示す。まず、室温下でrCFマット材の上面に、重合開始剤が混合された現場重合アクリル樹脂を塗布した（図3）。ここで、樹脂塗布は、市販ノズルにより低圧吐出（0.2MPa）が可能である。次に、樹脂が塗布されたrCFマット材は、90℃に加熱した金型上に搬送され、型閉じ動作と型締保持され、10分後に成形品が取り出された。本WCMプロセスにおいて、rCFマット材への樹脂含浸は型締動作時に行われ、現場重合アクリル樹脂の重合硬化は型締保持時に型内で終了する。

本研究で提案する現場重合アクリル樹脂を用いたWCMプロセスは、市販ノズルによる低圧での樹脂塗布、rCFマット材への樹脂含浸、および樹脂の型内重合硬化を実証した（図4）。現在、成形品質を向上させるために、現場重合アクリル樹脂を用いたWCMプロセスのさらなる改良を行っているところである。また、樹脂含浸状態と型内圧挙動の関係を解明する必要がある。

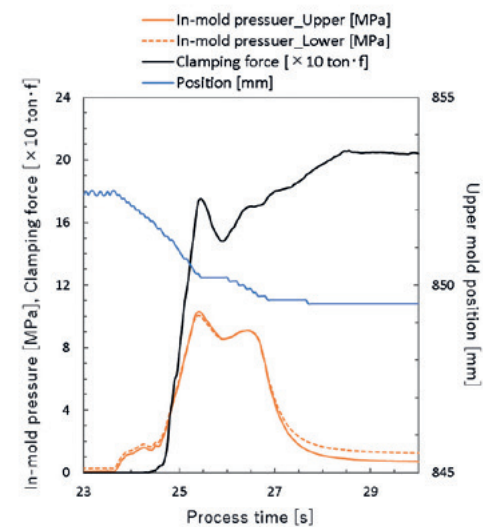


Figure 2. Relation between in-mold pressure, mold position and clamping force (Vf 18%)

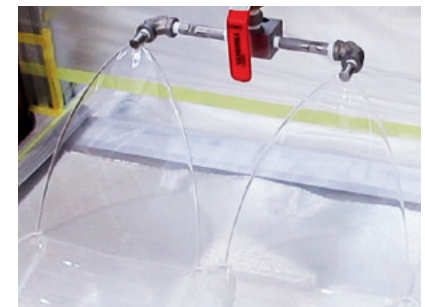


Figure 3. Dispensing nozzles and resin application

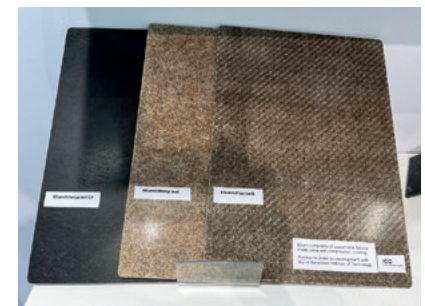


Figure 4. Exhibit at the JEC Arkema booth (rCF mat, hemp mat, flax twill)

複合材料製造プロセスに革新をもたらす樹脂技術の開発

Development of resin technology that revolutionizes the manufacturing process of composite materials



西田 裕文
Hiroyuki Nishida



山下 博
Hirosaki Yamashita



稲垣 昌輝
Masaki Inagaki

繊維強化プラスチック（FRP）の開発に関わる技術要素は、繊維技術、樹脂技術および製造技術である。FRPは材料としては確かに強化用繊維とマトリックス樹脂から成っているが、複雑怪奇な製造プロセスを必要とするため、製造技術、とりわけ量産技術が伴わなければ広く普及させることはできない。しかしながら、それらの技術要素はそれぞれ単独で成立しているのではなく、相互に関連している。特に、樹脂技術の革新が従来の製造プロセスを一新することも往々にしてあり得る。

本稿では、革新的プロセスで燃料電池車用圧力容器を製造するための熱可塑トウプリプレグを高速で製造することを可能にした新規なマトリックス樹脂の開発に関して紹介する。

分割プリフォームを用いたRTMによる水素用高压容器のハイレート製造プロセス

従来産業界で行われてきた、内圧が70MPa級のFCV用CFRP製高压水素タンク製造プロセスでは、低粘度の熱硬化性エポキシ樹脂を含浸させた炭素繊維トウプリプレグを、厚肉樹脂ライナーにフィラメントワインディング（FW）により巻き付け、その後加熱炉で硬化させてタンクが製造されている。工程短縮による生産性の向上及び低コスト化は既にこの工程での限界値に到達している。とりわけ、FW工程が律速段階であることが従来型プロセスの限界値を決定付けている。最も大掛かりで高価な装置・設備であるFW装置が1個のタンク製造に長時間占有されることが従来型プロセスの本質的な弱点であるからである。そこでICCでは、革新的な製造プロセスとして、先ず熱可塑トウプリプレグによりドーム部、シリンダー部の分割プリフォームをそれぞれ作製し、その後合体させてから低圧RTMにより一体成形するプロセスを提案している（図1）。

熱可塑トウプリプレグ用マトリックス樹脂

高い生産性が要求されるトウプリプレグ製造工程では、炭素繊維トウに液状樹脂を高速で含浸および重合を完了させて熱可塑性トウプリプレグにする必要がある。そのため、重合の仕組みとしてラジカル重合を選択した。ところで、トウプリプレグに使用する炭素繊維トウは厚みが50～150 μm と非常に薄いため、これにラジカル重合性樹脂を含浸させた後空气中で重合させようとすると酸素の影響を強く受け重合阻害を引き起こす。無論これを回避するためには、製造装置の置かれている部屋全体を窒素置換したり、2枚の離型フィルムの間にトウプリプレグを挟み込んで酸素と触れないようにして重合させ、その後離型フィルムを剥がして廃棄するなどの方法があり得るが、莫大なコストが掛かったり、無用な破棄物が増えたりするため実用的ではない。

そこでICCでは、図2に示す樹脂およびプロセスを考案した。我々が開発した樹脂Aの組成は、低粘度液状1官能アクリルモノマーと熱可塑性ポリマーのナノ粒子との混合物に複数のラジカル重合開始剤（UVラジカル開始剤＋REDOX重合開始剤）を添加したものである。これは室温で低粘度液状であるため、繊維に容易に含浸させることができる。含浸完了後100℃程度で加熱す

The technical elements involved in the development of fiber reinforced plastics (FRPs) are fiber technology, resin technology, and manufacturing technology. As a material, FRP certainly consists of reinforcing fibers and matrix resin, but because it requires a complicated manufacturing process, it cannot be widely used without manufacturing technology; in particular, mass production technology. However, these technical elements are not established independently but are related to each other. In particular, innovations in resin technology often renew conventional manufacturing processes. This paper describes the development of a new matrix resin that enables the high-speed production of thermoplastic tow prepreg for manufacturing pressure vessels for fuel cell vehicles using an innovative process.

High-rate manufacturing process for high-pressure hydrogen vessel through RTM using divided preforms

In the conventional industrial process for manufacturing carbon FRP (CFRP) high-pressure hydrogen tanks for FCVs with an internal pressure of 70 MPa, the tanks are manufactured by winding carbon fiber tow prepreg impregnated with low-viscosity thermosetting epoxy resin around a thick-walled resin liner through filament winding (FW) and then curing it in a heating furnace. The improvement in productivity and cost reduction achieved by shortening the process have already reached their limits in this process. In particular, the FW process is the rate-determining step that limits the rate of the conventional process. This is because the essential weak point of the conventional process is that the FW equipment, which is the largest and most expensive equipment, is occupied for a long time in manufacturing one tank. Therefore, as an innovative manufacturing process, the ICC proposes a process in which separate preforms for the dome and cylinder parts are first manufactured from the thermoplastic tow prepreg and then combined, followed by low-pressure RTM, to finish (Figure 1).

Matrix resin for thermoplastic tow prepreg

In the high-productivity tow prepreg manufacturing process, the carbon fiber tow must be both impregnated with a liquid resin and polymerized very fast to complete the thermoplastic tow prepreg. Therefore, radical polymerization was selected as the mechanism of polymerization. It should be noted that the carbon fiber tow used for tow prepreg is very thin, with a thickness of 50–150 μm . Thus, if one attempts to polymerize a radically polymerizable resin impregnated into the tow in the air, it will be strongly affected by oxygen and the polymerization will be inhibited. Clearly, to avoid this, a nitrogen purge of the entire manufacturing room or sandwiching the tow prepreg between two releasing films to shut out oxygen might be possible. But these measures are not practical because they cost a lot and the amount of unnecessary waste increases. Therefore, the ICC devised the resin and process depicted in Figure 2. The composition of resin A that we have developed is a mixture of low-viscosity liquid monofunctional acrylic monomer and thermoplastic polymer nanoparticles with the

ることにより、熱可塑ポリマーナノ粒子は速やかにアクリルモノマーに溶解し、樹脂を増粘させる。その際、ごく表層部分ではモノマーの揮発によりポリマーリッチとなり、よりタックフリーに近い状況を作ることができる。その状態でUVを照射することにより、UVが届きうる炭素繊維トウの表面から約30 μm の深さまではラジカル重合が進行し、内部が重合していないものの表面を完全にタックフリー化することができる。このことによりトウプリプレグ内部が完全に酸素から遮断された状況を作ることができ、トウプリプレグを巻き取った後、保管中にREDOXラジカル重合が進行し、うまく重合を完了することができる。

addition of multiple radical polymerization initiators (UV + REDOX). As it is a low-viscosity liquid at room temperature, it can easily be impregnated into fiber bundles. By heating at approximately 100 °C after impregnation, the thermoplastic polymer nanoparticles quickly dissolve in the acrylic monomer to make the resin mixture viscous. Thus, the very surface layer becomes polymer-rich owing to volatilization of the monomer, and an almost tack-free surface can be created. Through ultraviolet irradiation in this state, radical polymerization progresses to a depth of approximately 30 μm from the surface of the carbon fiber tow (this is the depth that the UV radiation can reach), and although the interior is not polymerized, the surface can be made completely tack-free. Thus, the inside of the tow prepreg is made completely void of oxygen, and after the tow prepreg is wound up without fusion, REDOX radical polymerization progresses, which can be successfully completed during storage.

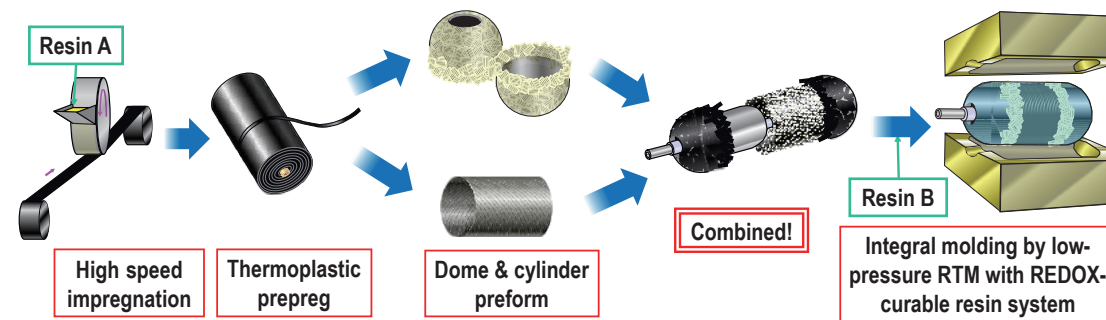


Figure 1. Diagram of High-rate production process of high-pressure hydrogen vessel by RTM using divided preform

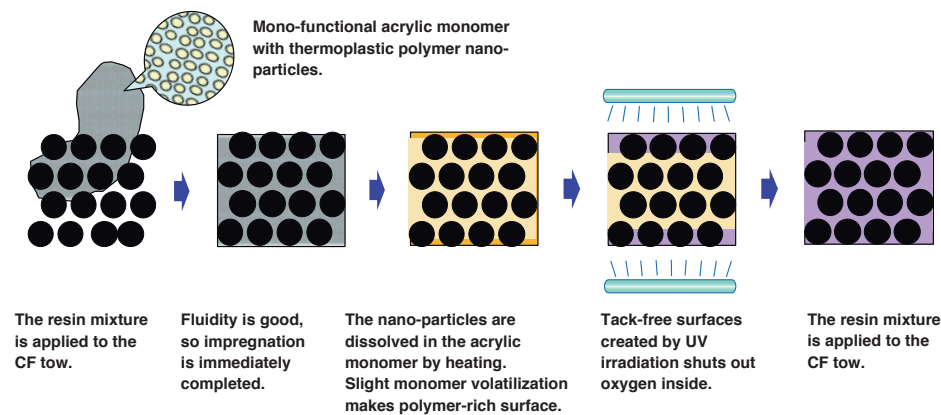


Figure 2. Mechanism for rapid production of thermoplastic tow prepreg in the air using radical polymerization

超音波溶着時におけるCFRTPの振動の測定とその評価

Measurement and Evaluation of CFRTP Vibrations during Ultrasonic Welding



川崎 翔大
Shouta Kawasaki



石田 応輔
Ousuke Ishida



植村 公彦
Kimihiko Uemura

炭素繊維強化熱可塑性樹脂 (CFRTP) の接合技術として、接合速度に優れる超音波溶着の研究を行っている。超音波溶着とは、被着体に超音波振動を与えることで接合面に摩擦・粘弾性発熱を生じさせ、材料間を熱溶着する技術である。この手法は、他の接手法と比べて高速かつ省エネルギーであることから、自動車・航空機産業などにおいて注目されている。

しかし超音波振動により生じる摩擦・粘弾性発熱は界面近傍で同時に生じるため、それぞれがどのように溶着面の昇温に寄与するかはほとんど分かっていない。正確に溶着品質を予測するためには、実験的に材料の挙動を計測し、発熱・接合のメカニズムを解明することが重要となる。

本研究では、超音波溶着時のCFRTPの発熱・接合メカニズムを解明することを目的に、超音波溶着接合時のホーン・被着体の振動の計測・評価を行っている。

具体的には図1に示すように、超音波溶着時のホーン・上下被着体の振動を、レーザードップラー振動計とレーザ変位計2台により計測している。計測した上側被着体の変位振動波形を図2に、その波形を短時間フーリエ変換 (STFT) により時間・周波数解析した結果を図3に示す。STFTにより振動波形を解析することで、ホーンや被着体の周波数や振動振幅の時間変化を評価することが可能となった。現在は、被着体に伝播された振動が熱に変換されるメカニズムの解明を目的に、振動の解析結果と被着体の変形・昇温挙動の対応を調べている。

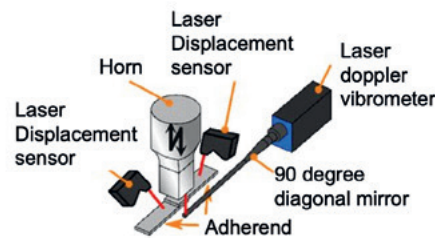


Figure 1. Vibration measurement during ultrasonic welding.

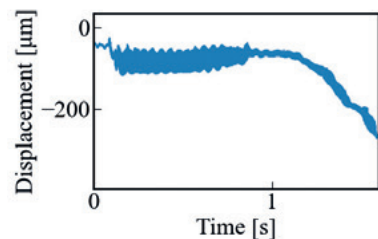


Figure 2. Displacement vibration waveform of upper adherend measured by laser

We are currently studying ultrasonic welding, a highly efficient technique used for joining carbon fiber-reinforced thermoplastics (CFRTP). Ultrasonic welding involves the application of ultrasonic vibrations to the adherend, resulting in friction and viscoelastic heating of the bonding surface. It is gaining significant attention in the automotive and aircraft industries owing to its superior joining speed and energy efficiency compared with other methods.

However, the frictional and viscoelastic heating generated by ultrasonic vibration occur simultaneously near the interface, and how each type of heating contributes to the temperature increase at the weld surface is still not well understood. For the accurate prediction of the weld quality, the experimental measurement of the material behavior and elucidation of heat generation and joining mechanisms are required.

The objective of our study was to comprehend the heat generation and joining mechanisms of CFRTP caused by the vibrations during ultrasonic welding by precisely measuring and evaluating the horn and adherend vibrations.

Thus, as depicted in Figure 1, we used a laser Doppler vibrometer and two laser displacement meters to measure the horn and upper and lower adherend vibrations that occur during ultrasonic welding. Figure 2 displays the recorded displacement vibration waveforms of the upper adherend, while Figure 3 displays the results of the time-frequency analysis of the waveforms using the short-time Fourier transform (STFT). We investigated the correlation between the results of the vibration analysis and the deformation and temperature rise behavior of the adherend. The analysis enabled us to comprehensively understand how the propagated vibration was converted into heat within the adherend.

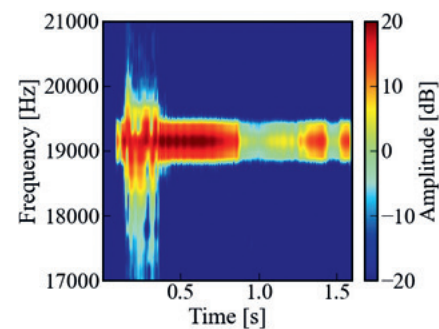


Figure 3. Results of time-frequency analysis (short-time Fourier transform).

熱可塑性炭素繊維複合部材の高精度湾曲・連続プレス成形技術の開発

Development of high-precision bending and continuous press molding technology for thermoplastic carbon fiber composite members



松本 大輝
Hiroki Matsumoto



川本 頌也
Nobuya Kawamoto

ドイツ連携のThermoProsプロジェクトで取組んだ航空産業向けの熱可塑複合材を用いた胴体フレーム部材 (図1: イメージ部材) の開発は、低コスト、高生産性向上が課題となっており、ICCと津田駒工業 (株) が取り組んできた連続圧縮成形技術にドイツ航空宇宙センター (DLR: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) 及び丸八 (株) の自動積層技術によるカーブド UD、を適用し実施してきた。炭素繊維複合材料を用いた航空機を生産する上で、現在採用されている熱硬化性樹脂では、サイクルタイム削減やコスト低減が難しい状況にある。そこで、短時間で成形が可能な熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維複合材料 (CFRTP) の採用が検討されている。実際、CTC社からのニーズを受け、航空機の 1 次構造材であるリングフレームなどの長尺構造体をターゲットにしたドイツとの日独共同研究プロジェクトも開始され、津田駒工業 (株) もそのプロジェクトの一員として、共同研究を行ってきた。

本研究の最終目標は、熱可塑性プリプレグを使用した一定断面形状で湾曲した長尺材を製造する連続成形機を開発し、低コスト化と生産性向上を目指すものである。ターゲットとして、航空機のリングフレームは、CTC社との事前協議により、想定している航空機の胴体の直径が4mであることから、曲率半径が 2m の湾曲 Z 型断面形状であることが決定している。津田駒工業 (株) の従来装置では、熱可塑UDロールを連続的にプレス機へ投入し、プリフォーム、加熱、プレス、冷却と流れ、長尺プロファイルを製造する装置であったが、本研究では、断面形状が Z 型で、曲率半径が 2m と湾曲した長尺 CFRTP 部材 (図2: 実成形品) の製造プロセスを確立し、連続生産に向けた装置化を目指している。

Fuselage frame members based on thermoplastic composite materials (Figure 1: image members), which were developed for the aviation industry in the ThermoPros project in collaboration with Germany, face limitations in terms of cost effectiveness and productivity. We have integrated the continuous compression molding technology developed by Koma Kogyo Co. Ltd. with the curved unidirectional (UD) laminates and automatic lamination technology developed by German Aerospace Center (DLR: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) and Maruhachi Co. Ltd. It is difficult to reduce the cycle time and cost in the production of aircrafts using carbon fiber composite materials with the currently used thermosetting resins. Therefore, studies are investigating the adoption of a carbon-fiber composite material (CFRTP) based on thermoplastic resins that can be molded in a short time. In response to the needs of the CTC, a Japanese-German joint research project was started with Germany, targeting long structures such as ring frames, which are the primary structural materials for aircraft. We participated in the joint research as members of this project.

The final goal of this study was to develop a continuous molding machine that manufactured long curved materials with a constant cross-sectional shape using a thermoplastic prepreg to reduce costs and improve productivity. On the basis of prior consultation with the CTC, the ring frame of aircraft was targeted to have a curved Z-shaped cross-section with a radius of curvature of 2 m, as the diameter of the assumed aircraft fuselage was 4 m. In the conventional equipment (Tsudakoma Industry Co. Ltd.), the thermoplastic UD rolls are continuously fed into the press machine, preformed, heated, pressed, cooled, and flowed to produce a long profile. In this study, we aimed to establish a process for manufacturing a long CFRTP member with a Z-shaped cross section and curvature radius of 2 m (Figure 2: actual molded product) and to develop equipment for continuous production.

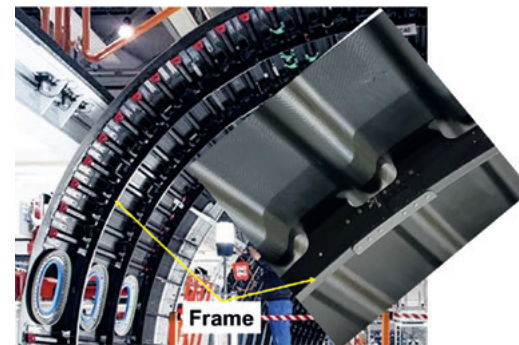


Figure 1. Composite frames of Airbus A350 fuselage



Figure 2. Actual molded product

天然繊維複合材料の成形手法

Molding method used with natural fiber composite materials



埜口 史郎
Shiro Noguchi



佐久間 忠
Tadashi Sakuma



乾 伸晃
Nobuaki Inui



松本 大輝
Hiroki Matsumoto



橋本 かおる
Kaoru Hashimoto

昨今SDGsの観点から注目されている亜麻や麻由来の天然繊維(NF)は、複合材料成形で用いられる強化繊維の織形態と同様に、スイスのB-comp社で代表される各種織物や、マット状の不織布がある。炭素、ガラス繊維のような化学繊維に比べ、比重が軽く、振動減衰性、耐衝撃性、非熱伝導性、電波透過性など優れた特性を備えている。それらの利点を用いた自動車の内装部品、モータースポーツのアウトターパネル、スポーツ用品ではスキーや自転車フレーム、意匠性を生かした家具、さらには人工衛星のパネル、橋などの多種にわたる開発が行われている。しかしながら、天然であるが故に短繊維で紡績した際に繊維径が不均一になり、嵩高であることから成形が難易であり、大気中に放置すると簡単に吸湿し成形時の弊害となる。また、繊維径も太いことから一見樹脂の含浸がよさそうに見えるものの実際は流動性が悪く、表面品質を向上させることが困難なため天然繊維独自の成形方法を用いる必要がある。ICCではこれらの問題点を踏まえ、B-comp社の各種織物、Polyvlies社の不織布などを用いて、次の各種成形法により各種評価を実施している。

- 1) ウェットレイアップ後にバキュームをかけるウェットバキューム成形
- 2) 基材を配置し、バッグフィルムをかけて真空状態にして樹脂を流すVaRTM成形
- 3) 樹脂をスプレーしたものを高温の金型内に挿入しプレス
- 4) 不織布に熱可塑樹脂が混練された基材をホットプレス機にて加圧
- 5) 基材を高温の金型内に配置し、プレス機にて圧力をかけた状態で樹脂を高圧注入するHP-RTM成形

Flax- and hemp-derived natural fibers (NF), which have been recently attracted from the perspective of sustainable development goals, are used in various fabrics produced by Bcomp in Switzerland. There is a mat-like non-woven fabric. Compared with chemical fibers, such as carbon and glass fibers, NF have a lighter specific gravity and superior properties, such as good vibration damping, and high shock resistance, non-thermal conductivity, and radio wave permeability. Using these advantages, a wide variety of developments are being made, such as interior parts for automobiles, outer panels for motor sports, ski and bicycle frames for sporting goods, furniture that makes the most of its design, satellite panels, and bridges. However, because NF are natural materials, their diameters along their lengths become non-uniform when spun together with short fibers, both natural and synthetic, and the molding of those NF becomes difficult owing to their bulkiness. In addition, because the fiber diameter is large, the impregnation of the resin appears to be good at first glance; however, in reality, the fluidity of the fiber is poor and improvement of its surface quality becomes difficult. Therefore, natural fibers require a molding method unique to them. Considering these problems, the ICC is currently evaluating the following molding methods used with woven fabrics obtained from Bcomp and nonwoven fabrics obtained from Polyvlies.

- 1) Wet vacuum molding where vacuum is applied after the wet layout.
- 2) Vacuum-assisted resin transfer molding in which the resin is made to flow in a vacuum state once the base material is placed and the bag film is applied.
- 3) Insert the resin-sprayed product into a hot mold and press.
- 4) Pressing the nonwoven fabric with a thermoplastic resin kneaded base material using a hot press machine.
- 5) High-Pressure Resin Transfer Molding in which the base material is placed in a high-temperature mold, and the resin is injected under high pressure while pressure is applied using a press.



Figure 1. NF nowoven fabric & NF composite product

不織布における含浸係数K値

The value of impregnation coefficient K in non-woven fabrics

Permeability(含浸係数K値)は複合材料のHP-RTM(High Pressure Resin Transfer Molding)やVa-RTM(Vacuum Assisted Resin Transfer Molding)成形において、ドライ基材に樹脂を含浸させる際に用いられる基材固有のパラメータであり、流動解析において必要不可欠なパラメータである。ICCでは、リサイクルマット材をダブルベルトプレスやウェットモールドリングなどに適用した成形プロセスを確立しつつあり、これらの成形で使用する基材の含浸係数の取得を実施している。図2に本測定で使用したリサイクル炭素繊維マット材、天然繊維マット材を示す。それぞれ繊維種類の違う不織布は繊維がランダムに配向されており、基材を圧縮した際は、低Vf環境下においても高い反力を持つため含浸係数の測定をVf 20~25%とした。図3にそれぞれ含浸係数の測定結果とVf(%)の関係を示す。面内外方向(Kxy, Kz)共にVfが大きくなると浸透率が減少しており、含浸しにくくなる傾向を示している。また、マット材と平織と比較すると面内方向と面外方向とでは減少傾向が違うことが読み取れる。このように基材仕様によって含浸係数が異なるため、成形プロセスに応じた基材の選定が重要であり、基材ごとの含浸係数を把握しておくことが望ましいと考える。



Figure 1. Permeability was measured by EASYPERM at ICC



松本 大輝
Hiroki Matsumoto



織田 志保
Shuho Oda

In high-pressure resin transfer molding (HP-RTM) or vacuum-assisted resin transfer molding (Va-RTM) of composite materials, the permeability (impregnation coefficient K) of a resin upon impregnating a dry base material depends on the base material and is an essential parameter for flow analysis. In the ICC, we are establishing molding processes involving the application of recycled mat materials to double-belt presses and wet molding, and we are estimating the impregnation coefficients of the base materials used in these moldings. Figure 2 shows the recycled-carbon and natural fiber mat-materials used in this study. Non-woven fabrics are composed of several types of fibers, which are randomly oriented fibers, and when the base material is compressed, it produces a high reaction force, even in a low-Vf environment. Therefore, the impregnation coefficient was measured at a Vf of 20~25%. Figure 3 shows the relationship between the measured impregnation coefficients and Vf(%). As Vf increases in both the in-plane and out-of-plane directions (Kxy and Kz), the permeability decreases, which indicates that impregnation becomes increasingly difficult. In addition, a comparison between the results obtained on the mat and plain weave materials reveals that the decreasing tendency differs between the in-plane and out-of-plane directions. Because the impregnation coefficient depends on the base material specifications, it is important to select the base material according to the molding process, and it is desirable to know the impregnation coefficient for each base material.

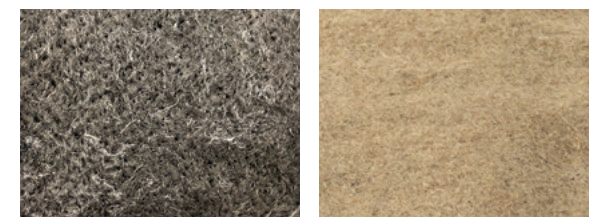


Figure 2. rCF nonwoven fabric & NF nonwoven fabric

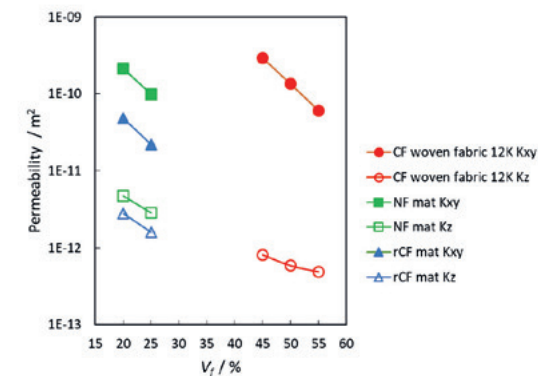


Figure 3. Relationship between Vf and Permeability

令和 4(2022) 年度の成果：Achievements in FY2022

著 書

1. 川崎 翔大,“樹脂/フィラー複合材料の界面制御と評価”, May., 2022.
2. 川崎 翔大,“ポリイミドの高機能設計と応用技術－低誘電特性・低熱膨張性・透明性・密着・接着性・成形性－”, Aug., 2022.
3. 西田 裕文,“樹脂/フィラー複合材料の界面制御と評価”, pp.161-171, May., 2022.
4. 西田 裕文,“自動車マルチマテリアルに向けた樹脂複合材料の開発”, pp351-361,May., 2022.
5. 山下 博,“自動車マルチマテリアルに向けた樹脂複合材料の開発”, pp.362-368, May., 2022.

論 文

1. 染宮 聖人,平山 紀夫,腰越 和人,西田 裕文,“ Tgレスアクリル樹脂をマトリックスとするGFRP の機械的特性とクリープ特性の評価”, 強化プラスチック,69(1), pp.29-33,2023.
2. H. Nishida, M. Inagaki, M. Nakajima, K. Uzawa, “Design of Fireproof Structural FRP Panel Materials for High-rise Buildings”, Materials System, 40, pp.13-18, Mar., 2023.
3. O. Ishida, J. Kitada, K. Uzawa, “Experimental study of manufacturing thermoplastic composites using double belt press with different press modules”, Materials System, 40, pp.29-35, Mar., 2023.
4. T. Shirai, K. Uzawa, “Mechanical Characterization of Randomly Oriented Patterned CTT Using Automatic Tape Lamination Robot”, Materials System, 40, pp.47-51, Mar., 2023.
5. 西田 裕文,“架橋密度制御によるエポキシ樹脂のTgレス化と熱可塑性化技術およびコンポジット用マトリックス樹脂への応用”, アロマティクス, 75, pp.6-13, Jan., 2023.
6. 鶴澤 潔, 西田 裕文, “材料からプロセス全体の最適化による革新的成形技術”, 日本機械学会誌,125(1242) ,pp.27-32,May., 2022.
7. 鶴澤 潔, “使用済み風車ブレードの処理とそのリサイクルへの取り組み”, 強化プラスチック,68(5) ,pp.164-168, May., 2022.

講 演

1. 鶴澤 潔, 白井武広, 石田応輔, 西田裕文, 第12回KIR-CFRP懇談会, Nov., 2022.
2. 西田 裕文, “FRPにイノベーションをもたらす樹脂技術”,第1回 次世代複合材料リサーチ・センター講演会, Aug., 2022.
3. 中島 正憲, “航空宇宙分野における複合材料との評価試験(材料強度試験、耐久試験等)”,台湾三建産業セミナー, May., 2022.
4. 中島 正憲, “パネルディスカッション：水素社会を実現するCFRP技術 自動車関連水素タンクの革新にむけて”, 先端材料技術協会, Oct., 2022.
5. 中島 正憲, “K 2022 Dusseldorf 報告 3「前回のK2019との違いと航空・宇宙分野への可能性を探る」”, 先端材料技術協会,Nov., 2022.
6. 西田 裕文, “低粘度ベンゾオキシサジンを系熱硬化性樹脂の実用化に向けた開発”, 技術情報協会, May., 2022.
7. 布谷 勝彦, “Pam-Formを用いたCFRTP積層板の部分曲げ加工におけるシワ発生挙動の解析”, 31st PUCA ESI Users' Forum Japan 2022, Nov., 2022.

口頭発表(抄)

1. 石田 応輔, 鶴澤 潔, 北田 純一, “誘導加熱を利用した高速昇温ダブルベルトプレスによる CFRTP シート製造プロセスの検討”, 第47回複合材料シンポジウム, Sep., 2022.
2. 石田 応輔, 鶴澤 潔, 北田 純一, "溶液含浸を用いたラージトウCF/PA6スタンパブルシートの効率的作製プロセスの検討", 第14回日本複合材料会議, Mar., 2023.
3. 川崎 翔大, 小笠原 俊夫, 鶴澤 潔, 石田 雄一, “耐熱接着剤により接合されたポリイミド複合材料の高温特性と破断面分析”, 第 64 回構造強度に関する講演会, Aug., 2022.
4. 川崎 翔大, 石田 応輔, 白井 武広, 鶴澤 潔, エネルギータイレクタが超音波溶着接合時のCFRTPの振動挙動に与える影響”, 第47回複合材料シンポジウム, Sep., 2022.
5. 川崎 翔大, 石田 応輔, 白井 武広, 鶴澤 潔, “超音波溶着時におけるCFRTPの振動・温度計測およびその評価”, 第14回日本複合材料会議, Mar., 2023.

令和 4(2022) 年度の成果：Achievements in FY2022

6. T. Shirai, K. Uzawa, "Fiber orientation design and structural evaluation of randomly oriented CFRP by 2.5D chopped tape stacking robot", 14th Workshop on 3D printing composites, Nov., 2022.
7. 白井 武広, 鶴澤 潔, ロボットで積層されたカットテープランダムCFRTPの配向分布設計による機械物性制御”, 第14回日本複合材料会議, Mar., 2023.
8. 船越 雅人, 小笠原 俊夫, 影山 将史, 白井 広, 鶴澤 潔, “X線位相イメージング法と画像相関法によるランダム配向不連続CFRPの疲労損傷評価”, 安全・安心な社会を築く先進材料・非破壊計測技術シンポジウム, Mar., 2023.
9. 田中 洸大, 内一 哲哉, 武田 翔, 小助川 博之, 高木 敏行, 渡邊 健, 漆山 雄太, 土山 友輔, 白井 武広, “渦電流試験を用いたフィラメントワインディング成形CFRPの繊維不整評価”, 安全・安心な社会を築く先進材料・非破壊計測技術シンポジウム, Mar., 2023.
10. 西田裕文, “多官能アクリル樹脂硬化物の応力緩和抑制”, 第60回日本接着学会年次大会, Jun., 2022.
11. 西田 裕文, 斎藤 毅, 鶴澤 潔, “REDOX 反応を用いた高圧容器製造用トウプリプレグの開発”, 第47回複合材料シンポジウム, Sep., 2022.
12. 岡村 大地, 浅枝 嵩浩, 宇高 芳美, 西田 裕文, “高耐熱樹脂ベンゾオキシサジンおよびシルセスキオキサンの特性改良に関する一提案”, 第71回ネットワークポリマー講演討論会, Oct., 2022.
13. 染宮 聖人, 平山 紀夫, 腰越 和人, 平林 明子, 西田 裕文, “Tgレスアクリル樹脂を用いたクリープレスGFRP 積層板の機械的特性”, 第30回成形加工シンポジア'22, Nov., 2022.
14. 平井 聡, 染宮 聖人, 平山 紀夫, 岡部 拓也, 西田 裕文, “ジシクロペンタジエン樹脂を用いた GFRPの機械的特性”, 第30回成形加工シンポジア'22, Nov., 2022.
15. 山下 博, 稲垣 昌輝, 西田 裕文, 斉藤 毅, 鶴澤 潔, “高圧容器製造のためのREDOX反応を用いたトウプリプレグの開発”, 第14回日本複合材料会議, Mar., 2023.
16. 川瀬 翔希, 坂田 恵泰, 平山 紀夫, 鶴澤 潔, 中島 正憲, 小笠原 俊夫, “燃料電池自動車用CFRTP製圧力容器の真空成形”, 第14回日本複合材料会議, Mar., 2023.
17. 内野 孝久, 小笠原 俊夫, 鶴澤 潔, 平山 紀夫, 坂井 恵泰, “FCV用分割成形CFRP高圧水素タンクの応力解析”, 第47回複合材料シンポジウム, Sep., 2022.
18. 小笠原 俊夫, 内野 孝久, 勝間田 紗英, 鶴澤 潔, 平山 紀夫, 坂田 恵泰, “ドーム／シリンダ分割構造CFRPタンクの試作と内圧破壊挙動”, 第47回複合材料シンポジウム, Sep., 2022.
19. 内野 孝久, 小笠原 俊夫, 鶴澤 潔, 平山 紀夫, 坂井 恵泰, “ドーム／シリンダ分割構造CFRPタンクの破裂挙動と損傷進展解析”, 第14回日本複合材料会議, Mar., 2023.
20. 勝間田 紗英, 内野 孝久, 小笠原 俊夫, 鶴澤 潔, 平山 紀夫, 坂井 恵泰, “ドーム・シリンダ接着型CFRP水素タンクにおける継手構造の強度評価”, 第14回日本複合材料会議, Mar., 2023.

受賞

1. 日本複合材材科学会 論文賞, 西田 裕文, 平山 紀夫, 仙波 拓, “Tgレスエポキシ樹脂を用いたクリープレスFRPの作製と機械的特性評価”, 日本複合材科学会, Jun., 2022.
2. 先端材料技術協会 論文賞, 青野 芳大, 鈴木 拓也, 布谷 勝彦, 漆山 雄太, 鶴澤 潔, “Investigation of preform deformation and permeability change during compression resin transfer molding”, 先端材料技術協会,Aug., 2022.
3. 日本船舶海洋工学会賞(発明・考案等), 大内 一之, 鶴澤 潔, “上下伸縮式硬翼帆(ウィンドチャレンジャー)”, 日本船舶海洋工学会, May., 2022.

特 許

1. 寺本 一典,白井 武広,“搬送装置及び熱成形装置”,特願2022-179574, Nov., 2022.
2. 石田 応輔,鶴澤 潔,“炭素繊維強化熱可塑性樹脂の製造方法”, 特願2023-28046,Feb., 2023.
3. 西田 裕文,斎藤 毅,内海 陽吉,“トウプリプレグの製造方法,トウプリプレグの製造に使用する樹脂組成物,及びトウプリプレグ”, 特願2023-039915.

ICC メンバーシップ会員における産学連携活動の成果

Outcomes from Industry-Academia collaboration activities using ICC membership program

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

この活動は異業種・異分野の企業間のコラボレーションにもつながるものであり、ICCでは新しい形のオープンラボ・イージーアクセスを目指し、オープンイノベーション環境を提供していきます。

Members of the Membership can be engaged in industry-academia collaborative activity using the ICC as a platform by accepting as a visiting researcher at our university. This section introduces the research activities of the membership members and their achievements.

This activity will also lead to collaboration between companies in different industries and fields, and ICC will continue to promote an open innovative environment for free access laboratory.

国産初位相コントラスト X 線 CT システム「Xctal5000」

株式会社島津製作所 Shimazu Corporation

The first domestically produced phase-contrast X-ray CT system, "Xctal 5000"

当社から国産初の位相コントラスト X 線 CT システム「Xctal 5000」が2022年に発売された。従来の X 線 CT システムで検出していた X 線の吸収情報に加え、X 線の散乱と屈折情報を検出することができ、広視野で微細構造群の観察や、吸収差がないワークの高コントラスト観察が可能になった。2018年からICCとの共同研究を開始し、CFRPに対する有用な画像データを取得することに成功し、本製品化につなげることができた。

このシステムの特長は、簡便に広範囲のCFRP内の配向情報を取得できることである。これまでICC／メンバーシップ企業との連携により、繊維配向データの応用研究を進めてきた。繊維配向情報より強度低下部を抽出することで、引張試験時の破断位置を高い確率で予測することができた。

今後はICCへ納入したXctal 5000を活用いただくことで、CFRPをはじめとする材料開発にさらに貢献していきたい。



土岐 貴弘
Takahito Doki

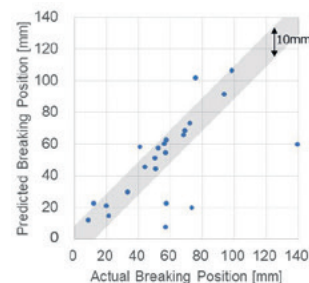
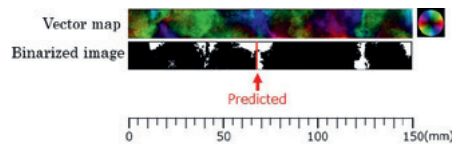
We launched "Xctal 5000," the first domestically produced phase-contrast X-ray CT system, in 2022. In addition to detecting the X-ray absorption information that conventional X-ray CT systems detect, this system can detect X-ray scattering and refractive information, enabling observation of microstructures over a wide field of view and high-contrast observation of workpieces without absorption differences. Starting joint research with ICC in 2018, we successfully acquired valuable image data for CFRP and were able to bring the product to market.

The most distinctive feature of this system is its ability to easily obtain orientation information within CFRP over a wide range. Through collaboration with ICC and membership companies, we have been advancing applied research on fiber orientation data. By extracting the weakened regions based on fiber orientation information, we could predict fracture positions with high accuracy during tensile testing.

We hope to contribute even further to material development, including CFRP, by utilizing the Xctal 5000 supplied to ICC.



Xctal™ 5000

大型 FRP パネルを採用した推進補助帆の実装について
ウインドチャレンジャープロジェクト

株式会社商船三井 Mitsui O.S.K. Lines, Ltd.

Implementation of Sail with Large FRP Panels
Wind Challenger Project

国際海運セクターからの総GHG排出量は、年間約8億トンにもなり、ドイツ国とおおよそ同じ排出量になります。国際海運、つまり大型船舶の低エミッション化、ゼロエミッション化はグローバルな環境問題における喫緊の課題です。

船舶は貨物、特に鉱物資源やエネルギー輸送の大量輸送手段としては、他の手段に比べて圧倒的に輸送効率が高く、すでに船舶単体としての効率化（船型改善、エンジンの改善）は限界まで行われています。

さらなるエミッション低減の為に、自然エネルギーの活用が必須です。現代の“帆船”を、技術と最新の素材で復活させるプロジェクトがウインドチャレンジャーです。

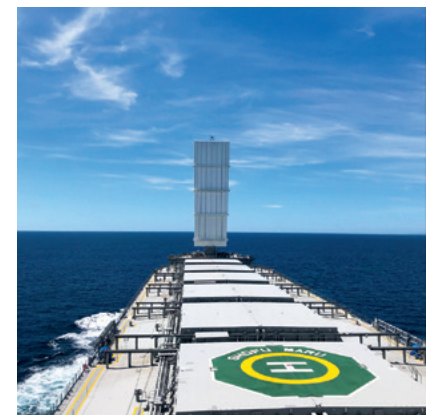
重量のある構造物を船体の上部に設置すると船自体の重心が上がり、船の安定性に悪影響を及ぼします。船の重心位置を維持したまま、大型の構造物を船の上に設置する場合、FRPの活用は必然です。

商船へのFRPの大規模な採用はこれまで例がありません。規格化され、その規格に基づいて認証をうけた鉄は世界中どこでも同じものが手に入りますが、FRPは自由度が高く、設計、製造方法、コストのバランスをいかに合理的にとるかは手探りで苦労もありましたが、一方で大変エキサイティングな経験でした。

曲率の異なる12m × 2.5mのサンドイッチパネルを複数組み合わせ、伸縮する高さ54mの帆を10万トン積載できる船に搭載し、順調に稼働しています。FRPパネルの積層構成の開発と評価はICCで実施頂きました。船舶分野におけるFRP社会実装の大きな一歩になると確信しています。



Shofu Maru underway on wind assist sail



View from the bridge



大西 暢之
Nobuyuki Onishi

Total GHG emissions from the international shipping industry amount to approximately 800 million tons per year, roughly the same as Germany's emissions. In international shipping, achieving low and zero emissions for large vessels is an urgent global environmental issue.

Vessels are by far the most efficient means of mass cargo transportation compared to other means, especially for mineral resources and energy, and the efficiency of individual vessels (improved hull form and engine) has already reached its limit.

The use of renewable energy is essential to further reduce emissions. The Wind Challenger is a project to revive modern "sailing ships" with technology and the latest materials.

Placing heavy structures on deck raises the center of gravity of the ship itself, adversely affecting its stability. The use of FRP is inevitable when large structures are installed on a ship while maintaining the ship's stability.

The large-scale adoption of FRP on merchant ships is unprecedented. Standardized and certified iron material is available everywhere in the world; however, FRP is not. Using FRP allows for a significant degree of flexibility, and while it was a bit of a fumble and a struggle to find a reasonable balance between design, manufacturing, and cost, it was a very exciting experience. Several sandwich panels with different curvatures of 12 m x 2.5 m are combined, forming a hard and telescopic 54 m sail on a ship. The ship "SHOFU MARU" was delivered in October 2023 and can carry 100,000 tons of coal with lower fuel consumption. The development and evaluation of the lamination structure of FRP panels were conducted by the ICC. We are confident that this will be a major step in implementing FRP in the shipping sector.

天板プロジェクト:ダブルベルトプレスによる高速連続成形プロセスの適用

Desktop Project: Application of High-Speed Continuous Forming Process with Double Belt Press

COIで取り組んでいた「大型サンドイッチパネルの連続成形技術の確立」¹⁾の応用に関して、本技術に興味を持たれた、ICCメンバーシップ会員の方々と数々の議論を重ねてきた。その結果、フリーアドレスのオフィスが増える中、軽量の機材の天板があれば、自分の仕事空間を自由に作ることが可能ではないかとの結論に至り、ICCが取りまとめ役となり「天板プロジェクト」として取り組みをスタートした。

ダブルベルトプレスを使用し、各社の開発品を適用することにより、副資材を使わず、加飾フィルムを適用することにより、塗装不要なサンドイッチパネルを高い生産速度で、連続的に製造可能なプロセスの検証ができた。図1に材料の構成及びプロセス概要を示す。また、機の天板として仕上げた外観写真を図2に示す。メンバーは、商業化への課題に関してさらに議論が続いている。

以下、プロジェクト参加メンバーの紹介を行う。

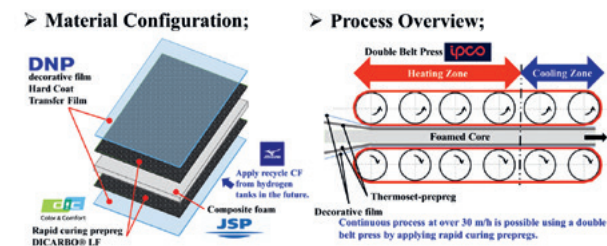


Figure 1. Material configuration and Process overview

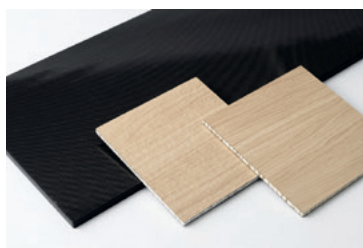


Figure 2. Demonstration panels for Desk-Top

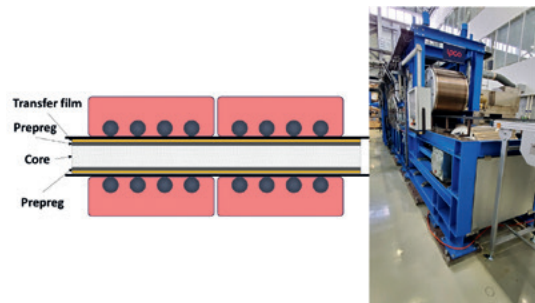


Figure 3. Double Belt Press for sandwich configuration



IPCO株式会社
坂本 擁
Mamoru Sakamoto

IPCO株式会社
北田 純一
Junichi Kitada



大日本印刷株式会社
谷村 俊之
Toshiyuki Tanimura

大日本印刷株式会社
関口 英樹
Hideki Sekiguchi

We had many discussions with ICC members who were interested in the application of "Continuous Forming Technology for Large Sandwich Panels" that we were working on at COI. Therefore, we concluded that lightweight desktops would enable the easy creation of one's own work space amid the increasing number of offices with free-address systems, and ICC organized the project and launched it as the "Desktops Project."

Using a double belt press (DBP) and applying the products developed by each company, we verified a process that enables the continuous production of paint-free sandwich panels at a high production rate. Figure 1 shows the material configuration and process overview. A photograph of the finished desktop product is shown in Figure 2. Members intend to continue discussions regarding the challenges of commercialization.

The participating members are introduced below.

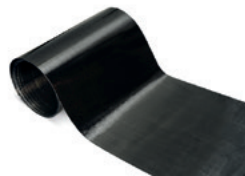
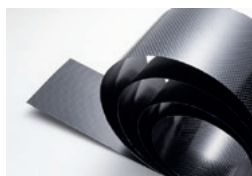


Figure 4. DICARBO® LF (uni-direction)



Double-belt press molded DICARBO® LF (plain-wave)

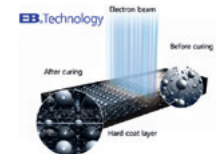


Figure 5. EB Technology

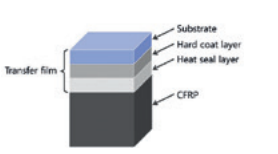


Figure 6. Layer composition of transfer film

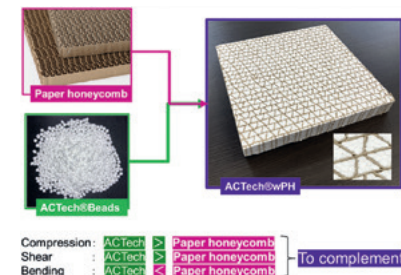


Figure 7. 「ACTech®wPH」



Figure 8. Tow Prepreg



Figure 9. SETTA C



DIC株式会社
新地 智昭
Tomooki Shunichi

DIC株式会社
高地 学
Manabu Takachi

DIC株式会社
中島 直子
Naoko Nakajima



ミズノ テクニクス株式会社
斎藤 毅
Takeshi Saito

ミズノ株式会社/ミズノ テクニクス株式会社
中 祐里
Yuri Naka



株式会社JSP
佐々木 秀浩
Hidehiro Sasaki



金沢工業大学 ICC
中島 正憲
Masanori Nakajima

① IPCO株式会社

ICCが所有するダブルベルトプレスに導入されている固定ローラープレス方式は2枚のベルト隙間を制御する位置制御方式が特徴である。材料構成に応じたベルト隙間・圧力の設定により、コア材に過大な圧力をかけず、表面層とコア材の連続ラミネートを達成した。更にシミュレーション技術を用いて、表面層とコア材のラミネートとプリプレグの硬化を同時に達成可能な最適なプロセス条件(温度・ベルト速度)を提案出来た。(図3)

② DIC株式会社

「DICARBO® LF」は、CFRPの生産性向上と生産時の省エネルギー化が可能な熱硬化性プリプレグである。マトリックス樹脂はウレタン(メタ)アクリレートを選択し、高速硬化と常温保管安定性を両立した。「DICARBO® LF」は、タイムラグなく加熱と加圧ができるダブルベルトプレス成形において、高速硬化性をより活かすことができる。また、低温高速硬化(100℃×5分)が可能で、他素材との複合化において、成形時の他素材への熱影響を抑制することができる。今回のプロジェクトでは、実際にサンドイッチパネルを試作しその点を確認・実証出来た。(図4)

③ 大日本印刷株式会社

今回使用したFRP用機能フィルムは、電子線硬化により高架橋したハードコート層(HC層)を基材フィルムの片面に設けた転写フィルムである。(図5、6)このHC層をプリプレグ表面に接するようダブルベルトプレス装置に引き込み、装置から出てきた時に基材フィルムを剥がすだけで良く、CFRP表面にHC層が転写し、優れた耐候性、耐傷性、耐薬品性等を簡便に付与できる。FRP用加飾・機能フィルムは、加飾、抗菌・ウイルス性、耐雷撃性や電磁波シールド性等の機能を付与でき、真空プレスやIH加熱プレス等の各成形法に適用できる。

④ 株式会社JSP

「ACTech®wPH」熱可塑性の発泡ビーズの表面を熱硬化樹脂と強化繊維(FRP層)でコーティングしたビーズとペーパーハニカムを組み合わせた複合芯材である。ペーパーハニカムが有する曲げ強度とACTech®PFMが有する圧縮、せん断強度を融合している。複合構造を有することで座屈現象の発生を防止する効果が期待されている。サンドイッチパネル芯材として使用したときは、大幅な軽量化を期待できる。(図7)

⑤ ミズノ株式会社/ミズノ テクニクス株式会社

ミズノおよびミズノ テクニクスでは『より強く、より軽く、より感動を』を開発テーマにCFRP製品の事業展開をしている。その中に、トヨタ自動車株式会社「MIRAI」用高圧水素タンク向け「トウプリプレグ」がある。「トウプリプレグ」は炭素繊維残束に樹脂を含浸させた中間材であり、この生産時に発生する炭素繊維残束を利用するアプリケーションを探している。例えば「雪駄」や今回の天板が1つの例である。(図8、9)

① IPCO K.K

A feature of the fixed-roller DBP is the ISOCHORIC press system, in which the clearance between two steel belts can be controlled. We show that the surface and core materials can be laminated to prevent excessive compression of the core material by adjusting the clearance and pressure depending on the material composition. Furthermore, we also demonstrate the optimized process (temperature and belt speed) using process simulation and can laminate and cure the prepreg to the core material simultaneously. (Figure 3)

② DIC Corporation

「DICARBO® LF」 is a thermosetting prepreg that can improve CFRP productivity and save energy during production. Urethane (meth)acrylate resin is selected as the matrix resin to achieve both fast curing and storage stability at 23°C. It also exhibits fast curability in DBP molding. In addition, low-temperature fast curing can be achieved, and when combined with other materials, the thermal effects on the other materials during molding can be suppressed. In this project, we demonstrate this phenomenon by creating a sandwich panel. (Figure 4)

③ Dai Nippon Printing Co., Ltd.

The functional film used in this study is a transfer film with a hard coat (HC) layer, which is highly cross-linked by electron-beam curing on one side of the base film. The HC layer is drawn into the DBP machine such that it is in contact with the prepreg surface, and the base film is simply peeled off when it exits the DBP. Decorative and functional films can be used for decoration, bacteria/virus resistance, lightning-strike resistance, and electromagnetic shielding. They can also be applied to various forming methods, such as vacuum pressing and induction-heating pressing.

④ JSP Corporation

「ACTech®wPH」 is a composite core material that combines beads coated with thermosetting resin and reinforced fiber with a paper honeycomb. It combines the bending strength of the paper honeycomb and compression and shear strength of ACTech®PFM to prevent buckling that may occur if the core material is thick and the surface plate is thin. When used as a sandwich-panel core material, it enables significant weight reduction. (Figure 7)

⑤ MIZUNO Corp./MIZUNO TECHNICS Corp.

Mizuno and Mizuno Technics are engaged in the business of CFRP products under the development theme of "stronger, lighter, and more impressive." One of these products is "Tow Prepreg," which is used for high-pressure hydrogen tanks for the TOYOTA "MIRAI." "Tow Prepreg" is an intermediate material, in which carbon-fiber bundles are impregnated with resin. We propose a desktop application using the carbon-fiber residual yarn generated during the production of "Tow Prepreg" (Figure 8 and 9).

Reference

1): Development of the continuous forming process of large sandwich panels. https://www.icc-kit.jp/assets/pdf/download/index/ICC_annual2019.pdf P23

高 Tg ポリアミドをマトリクスとする UD テープのランダムシート成形

アルケマ株式会社 ARKEMA K.K.

Fabrication of random-sheet based on high Tg polyamide matrix UD tape



有浦 芙美

Fumi Ariura

アルケマグループはフランスの化学品メーカーであり、100%植物由来のポリアミド11など特徴的な熱可塑性樹脂を取り扱っています。コンポジットの業界では新参者ですが、優れた機械特性とリサイクル性を両立する熱可塑性コンポジットは環境対応型の革新材料ととらえ、現場重合型液体樹脂 (Elium®) や炭素繊維UDテープ (UDX®) といった幅広いアプローチの提案を行っています。ICCとの共同研究では一部植物由来成分を含む高TgポリアミドであるRilsan® MatrixをマトリクスとしたUDX® PPAを用い、ランダムシート成形の最適化や基礎物性評価といった基礎的な知見を積み重ねるとともに(図1)、サンコロナ小田社におけるランダムシート化による大きなサイズの成形物への適用の検討も行っています。JEC World 2023ではICC・サンコロナ小田社と共同で成形したサンプルを当社ブースにて展示いたしました(図2)。

Arkema group is a French company who plays a role of strong leadership in sustainable materials world with a flagship product, 100% bio-based polyamide PA11. As advanced material supplier, Arkema is also developing wide range of innovative and sustainable thermoplastic composites such as in-situ liquid resin (Elium®) and thermoplastic CF UD tape (UDX®). In the frame of Joint research activity with ICC, we had been working on the process optimization of random-sheet using UDX® PPA which matrix is partially bio-based high Tg polyamide (Figure 1). 3D formed random-sheet sample prepared in collaboration with ICC and Suncorona Oda was presented at Arkema booth during JEC World 2023 (Figure 2).

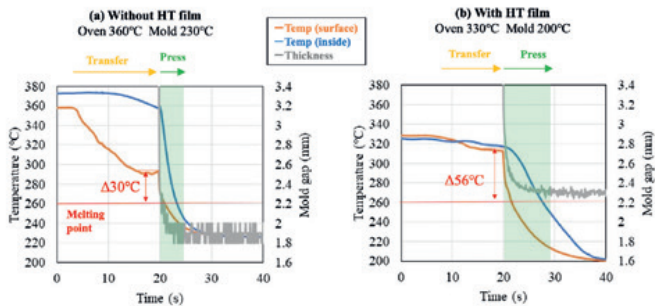


Figure 1. Temperature profiles of random-sheet during quick-press process: (a) without Rilsan HT film, (b) with Rilsan HT film.

ICCメンバーシップ制度は、ICCをコンポジット研究のサテライトラボとして、会員の皆さまに利用してもらう事を目的として

おりますが、それは同時に、会員企業それぞれが得意とする装置や材料をICCに持ち込んで貰える事でもあります。それら多くの先端技術は、個別に研究開発を進めるよりも、ICCの研究開発環境とメンバーシップ制度を通じたネットワークを活用することで、より高度でさらに実用的な技術へと進めることが容易となります。

今年度も引き続き新型コロナウイルスの影響で活動が制限されましたが、例を示しました様に、多くの共同研究の成果を得ることが出来ましたし、さらには、ICCをプラットフォームとしてICCメンバーシップ制度を超えた産-産連携による取り組みも始まっております。

The ICC membership program aims to make the ICC a satellite laboratory for members to engage in collaborative research. Many technologies can advance and become more practical when the network through the ICC R&D environment and membership program is utilized rather than by promoting individual R&D.

This year, activities continued to be restricted due to COVID-19. However, as shown in the examples below, many results were from joint research, and we started industry-industry collaborations that extend beyond the ICC membership program, using the ICC as a platform.

(鵜澤 潔/Kiyoshi Uzawa)

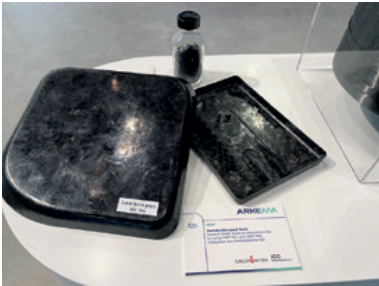


Figure 2. 3D formed random-sheet sample presented at JEC World 2023.

CREATION ON COMPOSITE

ICC annual report 2022

発行年月 令和 5 (2023) 年 8 月

企画編集 学校法人金沢工業大学 革新複合材料研究開発センター

〒924-0838 石川県白山市八束穂 2-2 TEL.076-276-3100(代)

<https://www.icc-kit.jp>

企画編集
鵜澤 潔、石田 応輔、松本 大輝、川端 茂、高田 康宏、田中 順二、樋口 由美、東 久美子

デザイン

石田 朋子

写真

MARC AND PORTER 寺田 征弘

印刷・製本

株式会社 山田写真製版所