



うざわ きよし
鴫澤 潔

研究リーダー
金沢工業大学 教授
革新複合材料研究開発
センター 所長
COI 研究推進機構 副機構長
1985年 上智大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。同年 本田技術研究所入社。2003年 東京大学助手、07年 講師、特任准教授。12年 金沢工業大学教授、13年より現職。専門分野は複合材料を用いた軽量構造の設計開発技術。

いけばた しょういち
池端 正一

プロジェクトリーダー
大和ハウス工業 副理事
技術本部総合技術研究所
研究統括室部長
金沢工業大学
COI 研究推進機構 機構長
1976年 鹿児島県立鹿児島工業高等学校建築学科卒業。同年大和ハウス工業入社。2002年 同社本社住宅商品開発部次長、12年 同社総合技術研究所研究フロンティア技術研究室長、18年より現職。ビジネスマッチングを全国で展開し、多くの産官学の連携に参画している。

未来の社会インフラを 軽くて強い 炭素繊維複合材料でつくる

鉄の4分の1の軽さで、10倍の強度を誇る炭素繊維。10年後の社会に必要な技術開発を進める「センター・オブ・イノベーション (COI) プログラム」の金沢工業大学COI拠点は、鉄やコンクリートだけでは実現が困難な次世代インフラの構築を目指し、「革新材料」や「革新製造プロセス」を開発している。実用化に近い成果の1つが、北陸伝統の繊維技術を生かした耐震補強材だ。日本工業規格 (JIS) の認証が見込まれ、描いた未来に向かって着実に歩んでいる。

金沢工業大学 COI 拠点が目指す未来像



図1

都市・住宅インフラ

深刻化する限界集落や独居老人の増加などの社会の変化に対応し、革新素材により柔軟な設計が可能で、建設後も移設やリサイクルが容易な都市・住宅インフラの実現へ。

社会インフラ

超軽量、高強度で腐食にも強い革新複合材料により、災害にも強く、維持費用が限りなくゼロに近い社会インフラが実現。現場施工の工期短縮も可能に。

海洋インフラ

深海掘削に必要な大型の長尺パイプや洋上風力発電に必要な大型ブレード(羽根)など、現状にない長大構造物を実現し、軽量で高強度、耐腐食性インフラを実現へ。

北陸地方の繊維産業を基盤に次世代インフラをつくる

高度経済成長期に集中的に整備された道路やトンネル、橋。半世紀を過ぎて、その多くが大規模補修の時期を迎えている。これらのインフラ構造物の材料である鉄やコンクリートは、風雨に曝されて経年劣化する。事故を防ぐには定期的なメンテナンスと補修が欠かせない。

くしくも同じ高度経済成長期半ばに誕生したのが、軽くて、強く、さびない、炭素繊維だ。材料として使うためには、樹脂を含ませた複合材料とする。この炭素繊維複合材料(CFRP)は、軽量化や低燃費化が必要な航空機や車体で需要が高まっている。CFRPの利用を土木建築や海洋の分野にも広げ、長年にわたって安全安心を保証する大型インフラの実現に挑むのが、2013年に発足した金沢工業大学COI拠点だ(図1)。CFRPをインフラ構造に使えば、軽量で施工が簡単になり、長寿命でメンテナンスが不要になる。風力発電の羽根に使えば、より大型化して発電効率が上がり、エネルギー自給につながる。

「さびない橋やトンネル、軽量で移設やリサイクルが簡単な住宅など、炭素繊維は今までの鉄やアルミニウムでは実現できなかったインフラ構造物を生み出します」と、プロジェクトリーダーを

務める大和ハウス工業の池端正一副理事は語る。鉄に比べると価格は高いが、「維持費用が少なく済むので、初期投資が大きいても費用低減につながります」と力を込める。

普及している複合材料製品の多くは、熱で固まる熱硬化性樹脂が使われているが、成形に時間や費用がかかる。その上、一度成形すると再成形できない。そこで、金沢工業大学COI拠点が着目したのが、熱可塑性樹脂だ。熱を加えると柔らかくなるので、短時間で連続成形が可能で、費用を低減できる。樹脂を改良することで、CFRPの硬さや耐熱性も変えられる。

価格の他、CFRPはリサイクルの難しさも課題で、従来の工法では航空機や自動車部材に加工される際の材料の歩留まりが低く、多くの廃材が出る。また、熱硬化性樹脂では炭素繊維と樹脂を分離するのに膨大な熱が必要で、環境負荷が大きい。熱可塑性樹脂であれば、熱を加えることで再加工が可能で、リサイクルも容易になる。

「CFRPの7割を日本が生産しているにもかかわらず、自動車や建材などの実用化は欧米が中心に進んでいます」と、研究リーダーで金沢工業大学の鶴澤潔教授は話す。かつては日本の経済を支えた繊維産業だが、近年は安い労働力を求め、多くの企業が生産拠点を

海外に移してきた。しかし、古くから繊維産業が盛んな北陸地方では、世界と対抗できる高いレベルの技術を持つ企業が地元で根付いている。「企業がすでに持っているCFRPの生産力や加工技術に磨きをかけ、大型構造物材の連続成形を実現すれば、これまで以上に多様な分野への進出が可能になります」と鶴澤さん。

北陸を中心に日本の基幹産業に育てようと、金沢工業大学を中核拠点到研究体制が生まれ、革新的なCFRPの開発と製造プロセスの開発が始まった。

異業種、異分野の共同研究で繊維企業が建材を開発

金沢工業大学COI拠点には、予想を超える29もの機関・企業が参画した。「一企業のみだけではなかなか開発が進まないことがあります。実用化に近づけようと、各企業が技術をCOI拠点到持ち寄りました」と鶴澤さん。これらの企業が金沢工業大学革新複合材料研究開発センター(ICC)に集い、まさにCOIプログラムの特長である「一つ屋根の下(アンダーワンルーフ)」で、異業種、異分野の専門家が知恵を出し合っ、CFRPの製造に革新を起こそうとしている。ICCには大型構造物材を実際に組み立てられる大空間が備わっ



図2 革新複合材料研究開発センター(ICC)中央の大型設備スペース。大型複合材料の成形加工や組み立て、材料試験評価などに取り組める。一企業ではそろえるのが難しい分析装置も並び、「アンダーワンルーフ」のコンセプトの下、異業種、異分野の企業の研究者や技術者が交流を深め、基礎研究から製品開発までオープンな環境で研究に取り組む。

ている(図2)。ラボエリアは壁のないオープンスペースで、機の仕切りを最小限にとどめるなど、技術者と研究者同士が自然とコミュニケーションを深められる設計だ。

「企業独自の研究をさらに加速できるように、知財ルールや拠点の運営方法を工夫しています」と説明するのは、ビジョン戦略チームの斉藤義弘リーダーだ。プロジェクトへの企業参画や研究領域の戦略策定を行っている。「COIより前に得られた成果は可能な限り権利化した上で参画していただき、他の企業や大学などの支援によって研究を発展させる仕組みです。参画企業の成果をしっかり守る一方で、研究開発上での課題を共有し、一企業だけでは克服し難い課題の解決も期待できるようになりました」。

「アンダーワンルーフ」が機能した好例が、繊維企業の小松精練(石川県能美市)と共同開発した炭素繊維を束ねたワイヤ状の複合材料、「カボコーマ・ストランドロッド」だ(図3、図4)。

「北陸地方の伝統産業である組ひもの技術を採り入れました」と、小松精練技術開発部の林豊主幹が開発の経緯を語る。「炭素繊維は軽量で高強度ですが、曲げには弱く、束ねただけでは曲げた時に折れてしまいます。炭素繊維を束ねた芯を、筒状に編み込んだが

ラス繊維の鞘で覆うという、組ひもの芯鞘構造で、強さとしなやかさを兼ね備えたワイヤを実現しました」。

建材企業ではなく、繊維企業による開発であることは業界から驚きをもって迎えられた。小松精練が特に苦心したのは、成形に合うように樹脂を改良することだった。形状を安定させるため、熱可塑性樹脂を炭素繊維の束に浸み込ませるが、樹脂の粘性を均一にすることが難しかったという。鶴澤さんがこう続ける。「樹脂企業出身の技術者の協力を得て樹脂を改良し、問題解決できました。単に浸み込みやすくなるだけでなく、今までよりも数倍早くつくる技術の開発に成功しました」。

COIの研究体制を生かせば、用途はさらに広がると鶴澤さんは予測する。



図3 芯材となる炭素繊維の束の周りをガラス繊維の組ひもで覆い、炭素繊維の束にゆるやかなより(ストランドロッド)を加えて強度を向上させた。

「金沢工業大学COI拠点の良さは技術シーズを持った企業だけでなく、そのシーズを利用する企業も参加していることです。例えば、鉄筋コンクリートに用いる鉄筋の代わりに、カボコーマ・ストランドロッドを構造材とすることも検討し始めています」。

カボコーマ・ストランドロッドは海外でも高く評価され、今年3月には複合材料の国際見本市であるJECワールド



図5 JECワールド2018「イノベーション・アワード」受賞トロフィー



図4 長さ約160メートルのロールで約12キログラムという軽さを実現した。



■図6 小松精練日本社棟の改築工事に初めて「カボコーマ・ストランドロッド」が用いられた。建物に繊細なレースをかけるような印象的な外観で、同時に耐震補強を実現する。

日本で初めて炭素繊維による耐震補強材の標準化の実現へ

完成したカボコーマ・ストランドロッドは、まず耐震補強材としての実用化を目指し、小松精練の日本社棟の改築工事に用いられた。地震大国の日本では、いつ何時大きな地震が起こっても不思議はない。新築のみならず、既存の建築物の耐震補強が求められる。旧日本社棟の屋上から地面へと、1000本以上のカボコーマ・ストランドロッドが張り巡らされた様は、北陸の冬の風物詩「雪吊り」を思わせる(図6)。

これを皮切りに、長野県の善光寺の重要文化財「経蔵」の耐震補強にも使用された(図7)。鉄よりも柔らかく、さびや結露に強いので、建造物本体を傷つけることがない。作業現場への運搬も容易で、予定よりも工事期間を短縮できた。林さんがこう続ける。「補強材を取り付ける天井裏は、足を踏み外しそうになるほど狭い空間で、重い金属製の筋交いを持ち運ぶのは大変です。その点、カボコーマ・ストランドロッドは丸められて、その場で必要な形に自在に加工できます。作業が非常に楽になったと職人さんに好評でした」。善光寺での

実績が評価され、世界遺産の富岡製糸場など導入例は増え続けている。

耐震補強材としてのCFRPの性能や特性の評価は標準化されていない。新しい技術の標準化は、業界団体を組織して認証機関や関連省庁に働きかけていくのが通常だ。小松精練は経済産業省が新設した「新市場創造型標準化制度」を活用することにした。新たな市場の創出が期待できる技術であれば、業界団体が存在しない未成熟な産業でも、その標準化を後押しする制度で、これにより小松精練1社だけでも申請が可能になった。しかし、そのためにはカ

ボコーマ・ストランドロッドの性能を評価する膨大な試験が求められる。地震の揺れから建築物を守る強度があるのはもちろんのこと、長期間の使用に耐えられるかも確認する。

ここでもCOIの仕組みが機能した。金沢工業大学をはじめ、COI拠点に参画する石川県工業試験場、物質・材料研究機構の協力の下で評価試験を積み重ね、今秋には炭素繊維を使った耐震補強材として初めて日本工業規格(JIS)化の認証を受ける見通しだ。

耐震改修促進法では、増床と見なされなければ、炭素繊維を耐震補強材として用いることができる。一方で建築基準法では、建造物の柱や梁、土台部分に使用する構造材として炭素繊維の使用は認められていないため、標準化は大きな一歩だ。より安全安心で使いやすい建築材料として、耐震補強以外にも用途を広げ、普及が進むことが期待される。

革新材料を実用化して持続可能な社会を目指す

インフラ構造物の共通部材は大型平板と長尺構造材で、これらを超高速かつ連続成形するための材料や技術開発が進み、カボコーマ・ストランドロッドの他にも革新材料が生まれている。

従来の熱可塑性CFRPシートは、プレス加工すると圧力でしわや破れが生じやすく、成形が難しかったが、サンコロナ小田(石川県小松市)は、高強度を維持したまま、短時間に複雑な形状にプレス成形できる熱可塑性樹脂シートを開発した(図8)。また、金型とプレス機を用いた場合、加工できるサイズは限られていたが、大同工業(石川県加賀市)は高速かつ低価格で長尺部材を成形する技術を開発し、金沢工業大学COI拠点が目指す建材や洋上風力発電用の大型ブレード(羽根)の実現に近づいた(図9)。

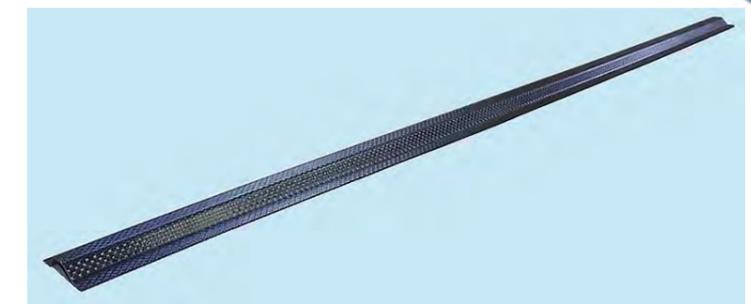
ICC内では、長尺の熱可塑性CFRPシートを連続成形できるダブルベルトプレスト装置も開発されている(5ページ図2右端の青い機械)。熱硬化性樹



■図7 2017年1月に行われた善光寺「経蔵」の耐震補強の施工状況



■図8 サンコロナ小田が開発したスタンパブルシート。炭素繊維のテープ片をランダムに配置することで、あらゆる方向に強く、変形させられる。短時間で複雑な形状に加工できる。



■図9 大同工業が開発したロールフォーミング(薄板を複数のロール間を通過させながら少しずつ加工する技術)で、長尺部材加工を実現し、熱可塑性CFRPを高速かつ低価格で成形する量産加工技術の確立を目指す。

脂を用いた場合よりも、格段に高速かつ低価格となる成形プロセスの確立を目指している。

企業が持ち寄った技術の蓄積はICCのノウハウや研究開発の核となり、複合材料分野における大規模な産学官連携プラットフォームの実現に寄与している。ドイツの炭素繊維産業の研究開発拠点「CFKバレー」とも連携協定を結んだ。「金沢工業大学COI拠点が描く未来像の全てを、COIプログラムの研究開発期間内で実現することは難し

いでしょう。民間資金を含め外部資金を積極的に獲得し、COIプログラム終了後も産学官連携の研究拠点として自立し、研究開発を続けていく予定です。日本のみならず、世界が抱える課題を解決していきます」と鶴澤さんは力強く語る。

10年先だけではなく、数百年先まで持続可能な安全安心な社会の実現へと、金沢工業大学COI拠点の挑戦は続く。



さいとう よしひろ
斉藤 義弘
金沢工業大学
COI 研究推進機構
機構運営グループ
ビジョン戦略チームリーダー

うざわ きよし
鶴澤 潔
研究リーダー
金沢工業大学
COI 研究推進機構 副機構長

いけはた しょういち
池端 正一
プロジェクトリーダー
金沢工業大学
COI 研究推進機構 機構長

はやし ゆたか
林 豊
小松精練株式会社
技術開発部 主幹