

熱可塑性CFRPの鍛造成形技術の開発

■研究者のプロフィール

金沢大学 設計製造技術研究所
理工学域機械工学類
准教授・博士(工学)

たつの だいち
立野 大地

TEL : 076-234-4686

E-mail : dtatsuno@se.kanazawa-u.ac.jp

URL : <https://zkks.w3.kanazawa-u.ac.jp/fti/>

解説動画は
こちらから



研究シーズの概要

軽量で高強度なCFRP

CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic、炭素繊維強化樹脂) は、非常に強度が高い炭素繊維の布に樹脂を^{かんしん}含浸させた複合材料である。その最大の特徴は、密度が $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ と、アルミニウム合金 ($2.7\text{g}/\text{cm}^3$) の約半分、スチール ($7.8\text{g}/\text{cm}^3$) の約5分の1でありながら、これらと同等かそれ以上の強度を持つことである。重量ベースで見ると2008年から2021年の間に需要は3倍強に伸びている。2024年の市場規模は約200億米ドルとされ、今後さらに増加することが見込まれている。主な用途は航空機や大型風力発電ブレードであり、今後は乗用車やロボット、ドローンなどへの適用拡大が期待されている。

現在のCFRPの主流は樹脂にエポキシ等の「熱硬化性樹脂」を用いたもので、樹脂が化学反応で硬化した後は加熱しても軟化しないため再加工ができない。そこで樹脂にナイロンやポリプロピレンといった熱可塑性樹脂を用いたものが開発されており、これを「熱可塑性CFRP」と呼ぶが、固体状態になった樹脂を加熱すれば軟化し、冷やせば固まるという特徴がある。例えば板状の熱可塑性CFRPプレートを

を製作しておき、これを加熱して軟化させ、金型でプレスして冷却すれば、所望の形状を得ることができる。したがって金属のプレス成形に近い方法で量産成形が可能であり、今後熱可塑性CFRPの需要が拡大していくこ

とが予想されている。また、加熱設備とプレス機があれば成形に取り組むことができるため(図1)、これまで金属を扱ってきた企業も参入できる可能性が十分あると考えられる。

一方で、伸び縮みしない炭素繊維と、溶けて柔らかくなった樹脂の複合体の変形メカニズムは、金属や樹脂単体のそれとは大きく異なっており、熱可塑性CFRPの変形メカニズムをよく理解したうえで、適切な金型設計や成形加工法を開発することが求められる。

不連続繊維熱可塑性CFRP

CFRPには繊維や樹脂の組み合わせでさまざまなバリエーションがあるが、ここでは筆者らが近年取り組んでいる「不連続繊維熱可塑性CFRP (不連続繊維CFRTP)」とそれを用いた研究について取り上げる。不連続繊維CFRTPとは、繊維が一方向に引きそろえられた「UD (Uni-direction) テープ」を短冊状にカットし、ランダムに散布して加熱圧縮したものである。成形するときはこの素材を加熱して樹脂を軟化させるが、炭素繊維自体は塑性変形しないため加工中に伸びたり縮んだりすることができないのに対し、樹脂は自由に变形できるため、繊維同士が滑ることで、素材全体では大きな変形が可能となる。これは織物を用いた連続繊維CFRTPでは不可能な変形である。強度の面では連続繊維CFRPに比べて劣るが、密度は $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ でありながらジュラルミン程度の強度を有し、かつ大きな変形に対応することから、さまざまな応用が期待できる。

成形の例

筆者らの研究室では、不連続繊維CFRTPを用いた



図1 プレス成形設備例

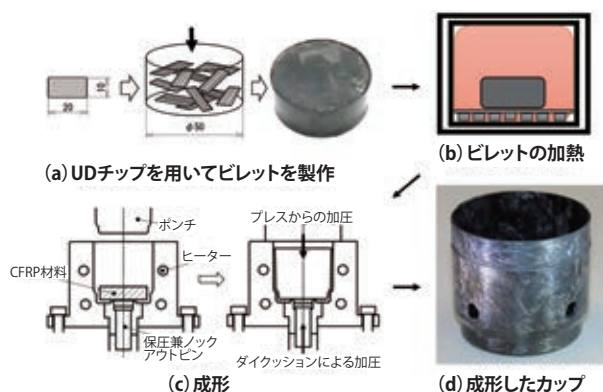


図2 鍛造によるカップ成形

成形加工の過程において、加熱したCFRTPに変形を与えた場合、炭素繊維や樹脂がどのように流動し、成形品の中でどのような繊維配向が得られ、それが成形品の性質とどのようにかわるかを明らかにしつつ、金型の設計法や成形条件の探索、設備の開発といった成形加工技術の確立を目指している。

ここではまず「不連続繊維CFRTPを用いた鍛造成形」について紹介する。UDテープを幅10mm、長さ20mm程度にカットしてランダム散布し、加熱圧縮して円柱状に成形した、「ビレット」という素形材を用いる。なお母材樹脂はPA6（＝ナイロン）である。ビレットを電気炉で250℃程度に加熱し、樹脂を軟化させて金型に投入し、上型を下ろして圧縮する。圧縮を受けたビレットは、繊維と樹脂が流動しながら金型の空間を埋めていく。圧力を保持したまま金型を冷却して樹脂の固化温度以下になれば、カップ形状が凍結されて成形品ができあがる（図2）。このような深い絞り形状は連続繊維では不可能であり、不連続繊維CFRTPが得意とするところである。

次に機械要素部品である「歯車の成形」にもトライした。前述したビレットを金型の中で加熱してビ

レットを上下に圧縮すると、ビレットの直径が広がっていき、金型の内面に刻まれた歯車の凹凸に押し込まれ、平歯車ができあがる（図3）。この成形法の特徴は、加工過程で繊維が切断されないことであり、高い強度を保ったまま成形が可能である。歯の静的曲げ試験を行ったところ、不連続繊維CFRTPを用いた歯は、炭素繊維が入っていない樹脂だけの歯に比べて3倍程度の耐荷重があることが確認された。さらに、ビレットの外周に円周方向（↺）と軸方向（↓）のUDテープを交互に配置することで、成形した歯車内の繊維配向を規則的にできることを確認しており、製品に作用する外力方向に応じた繊維配向を実現する手法の開発にも取り組んでいる。金型の工夫として、上下型それぞれを水冷板からパネで浮かせて、プレス機による荷重がかかったときに型が水冷板に接触する構造としている。これは加熱する体積をできるだけ減らして金型の加熱および冷却にかかる時間を削減する効果がある。

本研究室では、上記で紹介した以外にも、連続繊維のプレス成形、不連続とのハイブリッド成形、切断、接合、パイプ成形、金属との複合などにも取り組んでいる。とくに熱可塑性CFRPはプレスや鍛造といった金属の塑性加工的な観点からのアプローチも可能であり、塑性加工的な知見を取り入れながら熱可塑性CFRPの成形加工技術がさらに発展していくことが期待される。

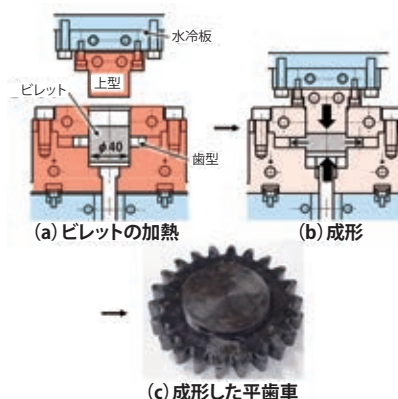


図3 歯車成形

研究キーワード

- ◎ 炭素繊維強化樹脂
- ◎ 成形加工
- ◎ 鍛造
- ◎ プレス成形

利用が見込まれる分野

- ◎ 自動車
- ◎ ロボット
- ◎ ドローン
- ◎ 各種機械

産業界へのメッセージ

金沢大学の設計製造技術研究所では、複合製造技術開発グループとして熱可塑性CFRPの成形加工技術の研究開発に取り組んでいます。熱可塑性CFRPは将来的な需要増が見込まれることから、日本企業が世界をリードしている炭素繊維の製造、樹脂との複合といった素材開発はもちろんのこと、素材を目的形状にする成形加工技術も同じくらい重要であり、日本企業の強みを生かせる領域だと考えています。さらに、プレス機、金型、搬送装置、加熱装置、金型温度制御装置、数値解析、検査技術といった、さまざまな方面での知識、技術の複合が必要であり、これらを有する企業の協力が不可欠と考えております。本研究にご興味をお持ちいただけましたら幸いです。

産学連携をお考えの方は、冒頭の連絡先または次の担当部署までお問い合わせください。

◎北陸経済研究所 地域開発調査部
◎北陸銀行 法人ソリューション部 地域創生室

前田 TEL：076-433-1134
水上 TEL：076-423-7180