

光ファイバセンサを用いた 複合材料成形プロセスモニタリング

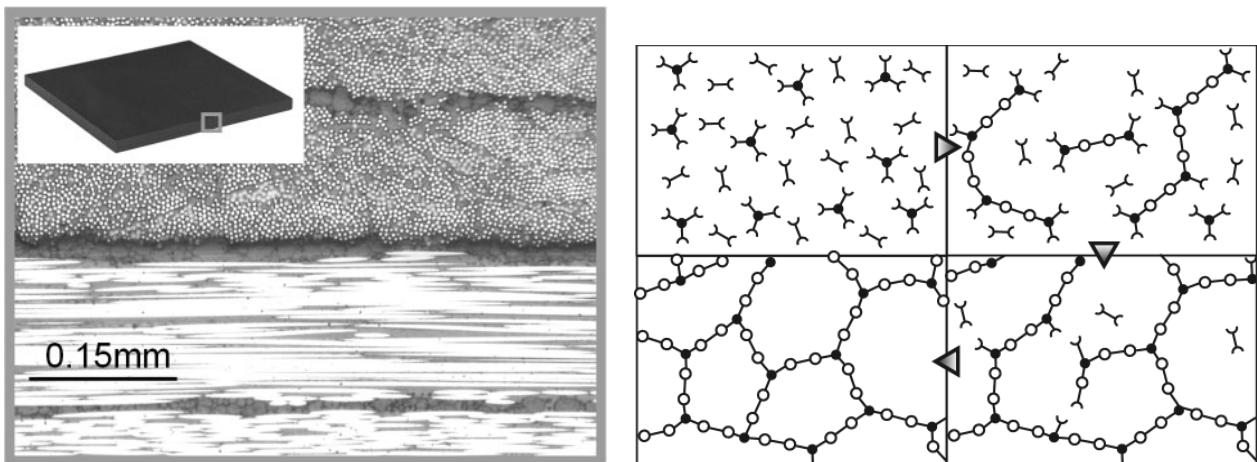
東京大学

水口 周, 武田展雄

1. はじめに

炭素繊維強化プラスチック（Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP)）は直径が $10\mu\text{m}$ 以下の炭素繊維とエポキシ樹脂などのプラスチックから構成される複合材料である(図 1(a))。重量当たりの強度・剛性や防錆性などの耐環境性に優れるため、従来の金属材料の代替として航空宇宙構造への適用が広がっている。例えば最新の中型旅客機 Boeing787 や Airbus A350 においては構造重量の 50%以上を CFRP が占めるまでに至っている。また近年は自動車や風車等の一般産業用途への適用も急速に進んできており、そうしたなかで日本は、炭素繊維の生産および CFRP 構造の製造において高い国際競争力を有している。

一方で、CFRP 複合材料は不均質な積層構造を有しているために、均質な金属材料と比較して技術的な課題も多い。例えば、熱硬化性の樹脂を用いた CFRP の製造では、未硬化の樹脂を含浸させた厚さ $150\mu\text{m}$ 程度の一方向繊維シート（プリプレグ）を多方向に積層し、金属製の圧力釜の中で 100°C 以上に加熱して樹脂を硬化させたのち冷却される。熱硬化性樹脂は、硬化反応の進展にともない液体状態からゴム状態に変化し（固化）、最終的にガラス化するが(図 1(b))、この際に数%の体積収縮（硬化収縮ひずみ）が発生する。一方で、炭素繊維は加熱および冷却によってほとんど伸び縮みしない。樹脂が液体状態の間は流動が起きるため硬化収縮によって CFRP 内に応力は発生しないが、固化後に樹脂弾性率が上昇し繊維と樹脂の間で力が伝達するようになると、硬化にともなう応力が発生する。結果として製造後の CFRP 内部には複雑な残留応力場が発生し、製品形状の反りや早期破壊の要因になる。こうした加熱硬化時の複合材力学挙動に対する定量的な理解は、製造プロセスを最適化し、高



(a) 断面写真（白部：繊維，灰色部：樹脂） (b) 熱硬化性樹脂硬化過程における分子構造の変化

図 1 炭素繊維強化プラスチック（CFRP）複合材