

## 論文要旨

論文題目 不連続炭素繊維強化熱可塑性樹脂の力学特性に及ぼす湿熱の影響に関する研究

氏 名 朴 浩

CFRP（炭素繊維強化樹脂）は優れた力学特性と軽量化ポテンシャルを有する材料として注目され航空事業，エネルギー事業，高級車，レージャスポーツなどの分野に適用されてきた。しかし，コストや生産性などの問題によって，量産製品への適用ができていない。そこで，こうした課題の解決に向け，近年 CFRTP（炭素繊維強化熱可塑性樹脂）が開発された。CFRTP は優れた力学特性を十分に発揮し，特に不連続炭素繊維強化熱可塑性樹脂（DCFRTP）においては，流動性を有することから，低圧かつ複雑形状の成形が可能であるため，量産製品への適用が期待されている。また，リサイクル炭素繊維の複合材料への適用のソリューションとしても期待が高まっている。特に，50%を超える高い繊維体積含有率（Vf）を有し，構成する繊維も長いことから，高い力学特性の発現が期待できかつ比較的低い圧力による複雑形状の成形が可能である CTT 材と高い面内等方性かつリサイクル炭素繊維の複合材料への適用のソリューションとしても期待が持てる CMT 材となる DCFRTP は自動車をはじめとした量産品向け軽量化材料の一つとして近年世界的に注目を浴びている。しかし，実用化に向けての課題も多く，それら不連続繊維材料の実用化を考えた場合，使用する環境影響を考慮することが不可欠となる。特に，母材に使用される熱可塑性樹脂に対し，使用する環境の影響による劣化は十分な注意が必要である。プラスチックが劣化を起こす要因には，光，熱，放射線，機械的作用，電気的作用，化学薬品，大気汚染物，水分，微生物などがある。これらの要因の内，屋外アプリケーションでの使用と母材に用いる樹脂を考慮して，本研究では熱と水分に焦点を当てて，それらの要因が及ぼす影響の解明を試みた。

先行研究より，CFRP に及ぼす湿熱の影響としては，力学特性の低下，界面接着性低下，破壊挙動の変化などが挙げているが，これらの研究は熱硬化性樹脂に関して研究さ

れていて、対象としている使用環境も非常に高い温度を仮定している。熱可塑性樹脂については、スーパーエンジニアリングプラスチックである PEEK を母材とした研究が主であり、PEEK は耐高温疎水性で日常使用環境温度（-40~125 °C）では、その影響は無視できる程度である。また、強化材料のモフォロジは連続繊維であり、不連続繊維は極めて少ない。PA6 を母材とする複合材料に関しては吸湿性、温度依存性に関する研究は散見されるものの、不連続繊維材に関するものは少ない。さらに CTT 材のように独特な強化材のモフォロジでは、その材料内部の複雑構造ゆえに、吸水メカニズムや温度依存性が先行研究で扱われていたようなものとは大きく異なるものになる可能性もある。したがって、将来的に量産車をはじめとする量産型製品に CFRTP、特に不連続繊維強化材を使用するのであれば、吸水性および温度に関する様々な影響を正しく評価することは必須となる。以上のことを考慮し、本研究においては、異なる繊維形状を持つ二種類の不連続繊維材である CTT、CPT に関して、湿熱の影響を明らかにすることを目的とする。[第 1 章]

本研究では、まず、DCF RTP の力学特性に及ぼす水分の影響について検討した。吸水試験を用いて、吸水率、拡散係数、拡散挙動などの吸水特性を定性かつ定量化した。乾燥と吸水の二つ状態の DCF RTP について静的 3 点曲げ試験を用いて曲げ特性に及ぼす水分の影響を明らかにした。また、ティモシェンコ梁理論式を用いて曲げ弾性率を計算し、その結果と実験結果を比較し、水分の影響の要因の解明を試みた。その結果、吸水率および水分の DCF RTP の内部における拡散挙動は PA6 の体積含有率に依存し、測定環境温度にも依存すること、テープを面内にランダムに積層した ROS 構造はモノフィラメント強化材料のモフォロジより耐吸水性ポテンシャルを有すること、吸水後、曲げ特性の低下は PA6 樹脂強度低下に起因することなどの有意な知見を得た。[第 2 章]

次に第 2 章で検討した内容に温度依存性を加えて、DCF RTP の力学特性に及ぼす湿熱の影響について検討した。乾燥と吸水の二つ状態の DCF RTP に対して静的 3 点曲げ試験を用いて曲げ特性について温度依存性を明らかにした。また、ティモシェンコ梁理論式を用いて曲げ弾性率を計算し、その結果と実験結果を比較し、温度依存性の要因の解明を試みた。また、優れた力学特性より、一次構造部材への適用が期待される CTT に対して、衝撃試験を用いて衝撃特性を検討し、衝撃特性の温度依存性を明らかにした。DCF RTP (CTT, CPT) の力学特性は温度依存性を示し、温度の上昇に伴い、力学特性は低下する傾向を示す。その低下傾向は、複合材料に用いた PA6 の力学特性の温度依存性に寄与されることが示唆された。また、樹脂のガラス転移温度以上の温度領域において、急激な低下を示すことがわかった。樹脂における弾性率の温度依存性を知ることにより、ティモシェンコ梁理論式を用いて DCF RTP の曲げ弾性率を予測可能であることが示唆された。[第 3 章]

サンドイッチ構造 CFRTP を提案し、DCF RTP に及ぼす湿熱の影響の弱化解を試みた。高い耐水耐熱の特性を有するスーパーエンジニアリングプラスチックであるポリフェ

ニレンサルファイド樹脂 (PPS) を CF/PPS シートとして表面材に使用することより、一定の防水防熱効果を得られた。それに加えてサンドイッチ構造 CFRTP より、高コストな素材である CF/PPS シートの量産型製品への適用可能性が示唆された。[第 4 章]

本研究において行った DCFRTP の力学特性に及ぼす湿熱の影響に関する検討により、DCFRTP の使用における劣化に対して工学的寄与の高い知見が得られた。この成果により、使用環境に応じて適切な材料選択、劣化対策処理などを用いて、より効率的な構造部材の軽量化を行い、高性能かつ信頼性の高いものづくりを行うための基盤の強化に大きく貢献できると期待される。また、DCFRTP の量産かつ屋外アプリケーションへの適用およびその製品の安全性を担保する上で重要な知見を得ることができた。