

炭素繊維界面におけるポリアミド6分子鎖凝集構造の解析に関する研究

小林, 大悟

<https://doi.org/10.15017/1806983>

出版情報：九州大学, 2016, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済



氏 名 : 小林 大悟

論 文 名 : 炭素繊維界面におけるポリアミド6分子鎖凝集構造の解析に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

軽くて強い材料として、炭素繊維 (CF) やガラス繊維等の強化材を含んだ複合材料が宇宙開発からスポーツ用途まで様々な場面で用いられている。これら複合材料の物性を最大限に発揮させる上で、強化材料とマトリックス材料それぞれの物性の向上に加え、それぞれを接着する界面領域の構造制御は必要不可欠である。マトリックス材料との親和性を向上させるために CF には表面酸化処理が施されている。これまで、航空機材や宇宙産業材料等、高価でも強度や軽量化が求められる分野で炭素繊維複合材料 (CFRP) の利用が進んでおり、その主となるマトリックス材料はエポキシ樹脂などの熱硬化性樹脂であった。近年では自動車などの一般産業向けの開発が進んでおり、安価かつ成形性の高い熱可塑性樹脂と CF からなる CFRP が注目されている。剛性の高い CFRP を製造するにあたっては、弾性率の高い CF (HMCF) を使用することで CF の含有体積を低減することができ、CFRP の更なる軽量化が実現可能となる。熱可塑性樹脂には熱により大きく構造・物性が変化するという特徴があり、構造材として使用するにあたりその特性を十分に理解する必要がある。例えば、エンジニアリングプラスチックの一つであるポリアミド6 (PA6) の CFRP の界面結晶状態に関しては、トランスクリスタルに関する研究が行われている。特に、熱履歴による結晶状態の変化が力学的特性に与える影響は興味深いところであり、最適な構造を見出すことにより、他の熱可塑性 CFRP における成形プロセスの指針ともなりうる。

しかしながら、界面のトランスクリスタルは数マイクロメートルの微小領域であり、装置の制約上解析が困難であった。本論文では、CF の弾性率、表面酸化に伴う表面グラファイト構造の変化が PA6 系 CFRP 界面の結晶状態に及ぼす影響について、放射光 X 線回折・赤外吸収分光を活用することで詳細に解析した。また、炭素繊維のモデルとなる炭素平板を用いることで、トランスクリスタルの生成要因についても考察を進めた。

第1章では、本研究の背景、本研究の目的、本論文の構成について解説した。

第2章では、CF 表面のグラファイト構造の秩序性によって、PA6 の分子鎖の凝集状態が変化すると仮定し、CF 表面のモデルとしてグラファイトとアモルファスカーボン基板を活用し、炭素材料の表面構造が界面における PA6 の結晶構造に与える影響をすれすれ入射広角 X 線回折 (GIWAXD) により評価した。グラファイト上の面内 GIWAXD プロファイルのみで PA6 の α 型結晶が確認できたことから、グラファイトの(100)面に沿う方向に PA6 の α 型結晶の(200)面が配向していることがわかった。

第3章では、弾性率と表面酸化処理状態の異なる CF を含む PA6 系 CFRP の結晶状態について、示差走査熱量測定、広角 X 線回折によって解析した。いずれの解析手法においても、CF の弾性率が増加すると PA6 の結晶化度が増加することがわかった。また、弾性率が高い CF において、表面処理を施していない CF では CF 表面からの PA6 の結晶成長が生じやすいことがわかった。偏光顕

微鏡像からも、表面未処理の弾性率が高い CF の界面では明確に PA6 結晶の配向が確認できた。これらは、CF 最表面の炭素構造が PA6 の結晶成長に影響することを示唆している。

第 4 章では、CF の弾性率、つまり CF の黒鉛化度に注目し、標準的な弾性率の SMCF と弾性率の高い HMCF を用いた CFRP 界面における結晶構造のマイクロスケールでの解析を行った。放射光を用いたマイクロビームにより CF 界面の PA6 分子鎖凝集状態を局所的に解析したところ、HMCF 界面では、PA6 のアルキル鎖が CF 表面のグラファイト構造に平行に配置し、 β シート構造を有する α 型が形成されていることがわかった。SMCF 界面では、 β シート構造を有する α 型の微結晶は形成されているものの、繊維に対して配向はしていなかった。CF 表面におけるグラファイト構造の発達が PA6 の結晶成長に影響することがわかった。

第 5 章では、CF 界面の PA6 分子鎖凝集構造の表面酸化処理による影響に着目した。放射光を用いたマイクロビームにより CF 界面の PA6 分子鎖凝集状態を局所的に解析したところ、表面酸化処理を施した HMCF 界面では、 β シート構造を有する α 型の微結晶は形成されているものの、繊維に対して配向はしていなかった。CFRP の CF 界面近傍のマイクロスケールでは、表面酸化処理によって、CF 表面のグラファイト配向が乱れ、PA6 の結晶の配向も乱れることがわかった。

第 6 章では、本論文で得られた知見を総括した。