

## 炭素繊維強化樹脂の X 線応力測定 X-Ray Stress Measurement of Uni-directional Carbon Fiber Reinforced Plastic

村田 慎治<sup>a</sup>, 白井 純二<sup>a</sup>, 清水 憲一<sup>b</sup>, 菖蒲 敬久<sup>c</sup>  
Shinji Murata<sup>a</sup>, Junji Shirai<sup>a</sup>, Kenichi Shimizu<sup>b</sup>, Takahisa Shobu<sup>c</sup>

<sup>a</sup>(株)デンソー, <sup>b</sup>名城大学, <sup>c</sup>(国)日本原子力研究開発機構  
<sup>a</sup>DENSO CORPORATION, <sup>b</sup>Meijo Univ., <sup>c</sup>Japan Atomic Energy Agency

炭素繊維強化樹脂 (CFRP) は軽量・高強度な材料の 1 つであり、多種多様な構造部材への普及が期待されている。本研究では CFRP の X 線応力測定を目的として実験した結果、引張り変位での負荷荷重と回折ピーク位置との間に相関関係が認められた。

キーワード： CFRP、炭素繊維、X 線応力測定

### 背景と研究目的：

モビリティ分野での CO<sub>2</sub> 排出量低減に向けた取り組みとしてモビリティそのものの軽量化があり、金属材料から樹脂材料、特に比強度に優れた CFRP への置き換えはその重要な 1 手段である。CFRP を製品へ適用する上で部品の強度信頼性を明らかにするために、CFRP 内部の応力状態を非破壊で高精度に定量化可能な手法の構築が望まれている[1]。そこで本研究では CFRP および炭素繊維の引張り負荷歪みと回折ピーク位置との関係を調査し、応力測定手法としての予備評価を実施した。

### 実験：

試料は代表的な PAN (polyacrylonitrile) 系炭素繊維として (株) 東レ T800SC を用いた。この炭素繊維を含有する CFRP として一方向配向の連続繊維グレードである炭素繊維含有率 70 wt% の P 2073S-10 を用いた。CFRP は厚み 0.1mm、幅 10 mm、長さ 50 mm の短冊形状に切り出した後に、温度 140℃、2 時間で熱硬化させた。次に、図 1 に示すように CFRP 両端を金属製のタブ 2 枚で挟み、エポキシ系接着剤で接着固定した。炭素繊維についても同様の構造を有す試料を調整した。金属製タブを矢印方向に変位させることで、試料に引張り負荷を与えた状態で測定を行った。測定は BL19B2 に設置されている多目的 6 軸 X 線回折計で実施した。表 1 に測定条件を示す。測定方法は図 2 に示す引張り治具を用いて負荷を与え、透過法で測定した。なお、条件設定の予備評価として高エネルギー加速器研究機構のフォトンファクトリーにおいて X 線エネルギー 18 keV での測定を行ったところ、19.5°に回折面 (101) と推定されるピークが認められ、ICDD (International Centre for Diffraction Data) のデータベースにある PDF (Powder Diffraction File) カード 00-056-0159 の Graphite の回折ピーク位置と整合する結果が得られている。従って、本測定では X 線エネルギー 15 keV 条件で (101) 面に対応した回折ピークが把握できる回折範囲として 20.8° - 24.8°を選定し、測定を行った。

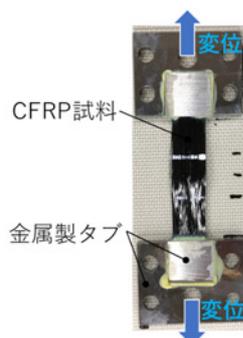


図 1. CFRP 試料

表 1. 測定条件

X 線エネルギー (keV)	15
波長 (Å)	0.8267
入射スリット (mm <sup>2</sup> )	幅 1.5×高さ 0.2
受光スリット 1 (mm <sup>2</sup> )	幅 1.5×高さ 0.2
受光スリット 2 (mm <sup>2</sup> )	幅 1.5×高さ 0.2
照射時間 (sec/point)	410
回折範囲 (deg)	20.8 - 24.8
ステップ幅 (deg)	0.1
検出器	シンチレーションカウンター

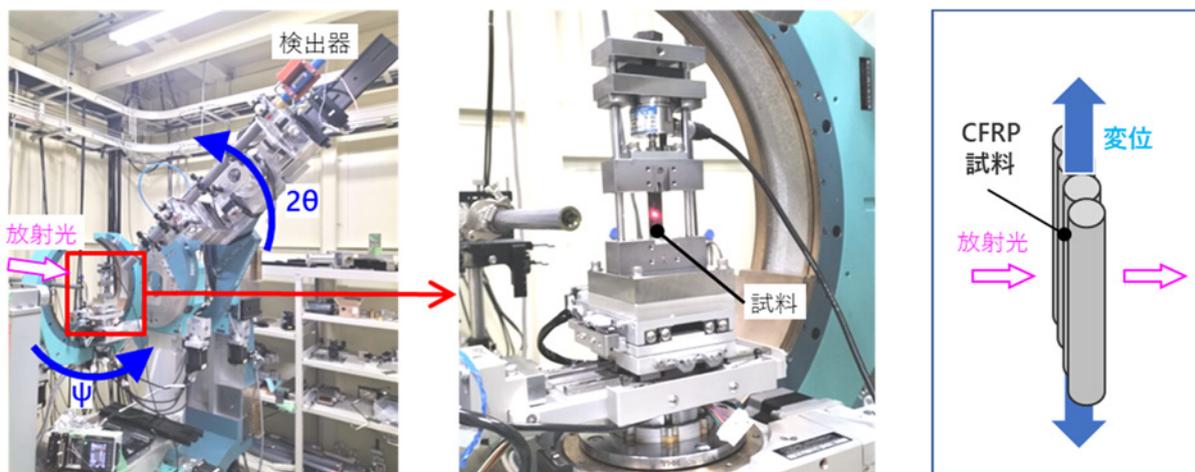


図 2. 測定方法

**結果および考察：**

一例として、CFRP に引張り荷重を 12 N から 1713 N まで段階的に負荷した場合の X 線回折プロファイルを図 3 に示す。負荷に対して、回折ピークが低角側にシフトしていることが確認できる。

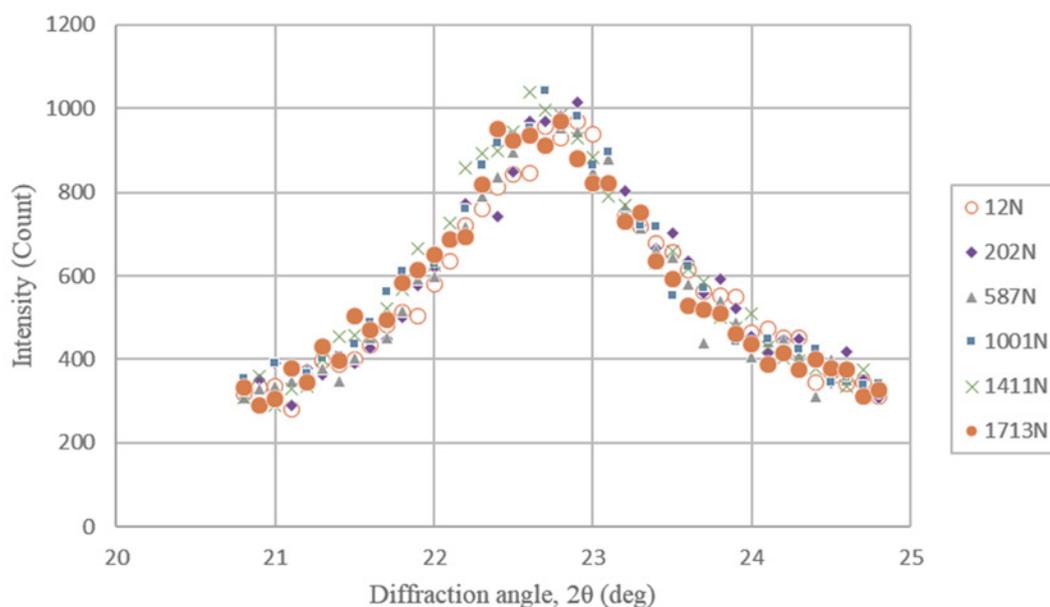


図 3. CFRP の X 線回折プロファイル

次に得られた回折プロファイルを Gauss 関数でのフィッティングによりピーク位置を決定し、荷重との関係を図 4 に整理した。その結果、炭素繊維および CFRP 共に荷重が大きくなるに従いピーク位置が低角側へシフトする相関関係が認められた。加えて CFRP は荷重 1713 N から段階的に除荷した場合においても負荷過程の挙動をトレースする結果が得られ、測定データの信頼性が確認された。よって、試料への引張り負荷により炭素繊維の結晶構造が規則性を持って可逆的に変化したと推定される。一方、反射法においても同様の測定を実施したが、炭素繊維および CFRP 共にばらつきが大きく、荷重とピークシフトとの間に相関関係は認められなかった。これは結晶性の高い金属と比較し炭素繊維は複雑なグラファイト構造を有すことから、今回の測定条件では十分な分解能が得られなかったためと推定する。

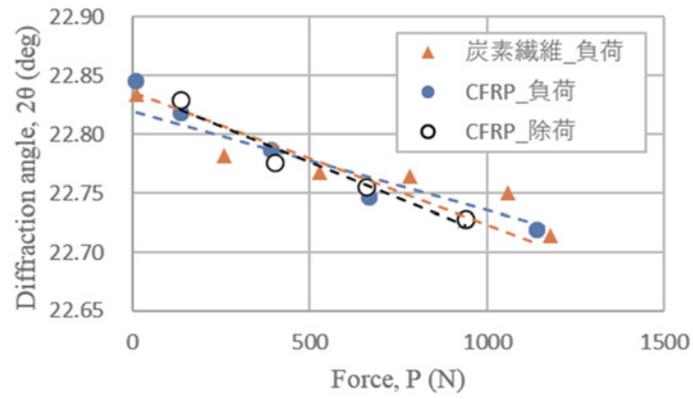


図4. 透過法による荷重とピーク位置との関係

**今後の課題：**

本実験において $\phi$ 角は $0^\circ$ 一定の条件で測定したが、今後は $\phi$ 角をパラメータとし、 $\sin^2\phi$ 法による検量線の作成が必要である。その際、測定法は透過法とし測定対象の回折面は(101)面を選定すると良いと考える。

**参考文献：**

[1] 西田真之, 神戸高専研究紀要 第57号 (平成31年).