

## 電子スピン共鳴分光を用いた CFRP 複合材料のスピン状態観測と劣化機構研究

Study on degradation mechanism and spin-state of the observation of CFRP composite materials by electron spin resonance spectroscopy

筑波大数物<sup>1</sup>, 産総研<sup>2</sup>, 筑波大エネ物質科学セ<sup>3</sup> ◯薛冬<sup>1</sup>, 中村 友映<sup>1</sup>, 稲井 聡志<sup>1</sup>, 金子 侑樹<sup>1</sup>, 秋山 陽久<sup>2</sup>, 三浦 俊明<sup>2</sup>, 下位 幸弘<sup>2</sup>, 今井 祐介<sup>2</sup>, 島本 太介<sup>2</sup>, 杉本 慶喜<sup>2</sup>, 丸本 一弘<sup>1,3</sup>

Div. of Mater. Sci., Univ. of Tsukuba<sup>1</sup>, AIST<sup>2</sup>, TREMS, Univ. of Tsukuba<sup>3</sup>

◯Dong Xue<sup>1</sup>, Yue Nakamura<sup>1</sup>, Satoshi Inai<sup>1</sup>, Yuki Kaneko<sup>1</sup>, Haruhisa Akiyama<sup>2</sup>, Toshiaki Miura<sup>2</sup>,

Yukihiro Shimoi<sup>2</sup>, Yusuke Imai<sup>2</sup>, Daisuke Shimamoto<sup>2</sup>, Yoshiki Sugimoto<sup>2</sup>, Kazuhiro Marumoto<sup>1,3</sup>

E-mail: s1930088@s.tsukuba.ac.jp, [marumoto@ims.tsukuba.ac.jp](mailto:marumoto@ims.tsukuba.ac.jp)

【序論】炭素繊維強化プラスチック (CFRP) 複合材料は他の構造材料と比較して軽量、高剛性などの特長を持ち、航空機や電気自動車などにも使用されており、材料軽量化によるエネルギー効率向上のために必要不可欠な構造材料である。高分子には欠陥や分子鎖末端に不対電子が存在し、材料劣化によりその不対電子の状態や数は変化すると考えられている。つまり、不対電子をプローブとすることにより、材料劣化を分子レベルでモニターできる。しかし、従来の研究では、高剛性な複合材料の劣化状態を分子レベルの微視的な観点から解析し制御する研究は未開拓である。本研究では電子スピン共鳴 (ESR) 分光法を用いて CFRP 複合材料を分子レベルで計測して解析し、劣化機構の解明を行った。

【実験】直方体状の CFRP 材料を作製し、長軸方向に異なる負荷をオートグラフ装置で印加した。試料の断面積を用いて印可応力を算出した。試料を PET 基板に固定して ESR 試験管に封止して室温で ESR 測定を行った。試料の質量を用いて単位質量あたりのスピン数 ( $N_{\text{spin}}$ ) を算出した。

【結果と考察】Fig. 1 は ESR スペクトルの応力依存性を示す。応力依存性が明瞭に観測された。得られた  $g$  因子は応力増加とともに単調増加する傾向を示した。0 MPa では  $g = 2.00216$  であり、100 MPa 以上では  $g = 2.00262$ - $2.00266$  に増加した。ESR スペクトルの半値全幅は 0 MPa では 0.425 mT であり、230 MPa では 0.36 mT まで単調に減少した。Fig. 2 は  $N_{\text{spin}}$  の応力依存性を示す。応力の増加とともに  $N_{\text{spin}}$  は単調増加した。この CFRP 複合材料は 230 MPa で試料が破壊 (破断) している。破断の応力に近づくにつれて不対電子数が増加している。材料の劣化とともに ESR スペクトルの変化や不対電子数の増加がこの研究で立証された。劣化機構については現在、解明を進めている。

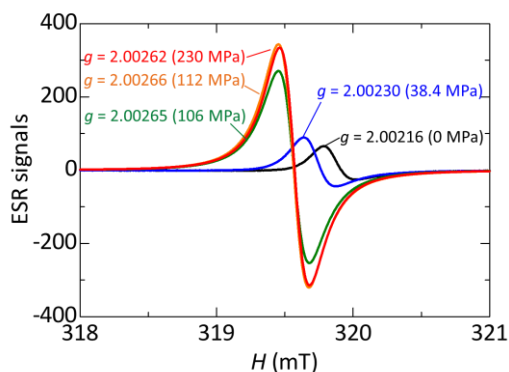


Fig. 1. Stress dependence of the ESR spectra of the CFRP composite materials.

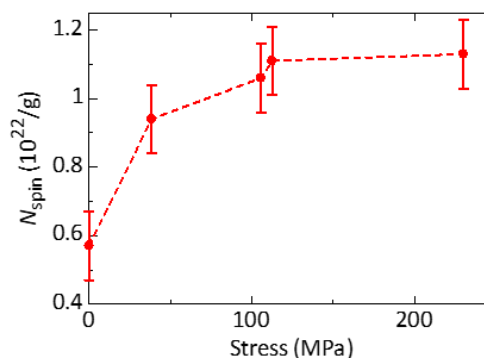


Fig. 2. Stress dependence of the number of spins ( $N_{\text{spin}}$ ) of the CFRP composite materials.