

# 誘導加熱した CFRTP の温度分布に及ぼすフェライトコアの影響

Effect of Ferrite Core on Temperature Distribution in Inductively Heated CFRTP

木村駿斗<sup>1)</sup>

指導教員 米盛弘信<sup>1)</sup>, 廣瀬裕介<sup>1)</sup>, 研究協力者 坂口雅人<sup>2)</sup>

1) サレジオ工業高等専門学校 専攻科 生産システム工学専攻

2) 岐阜大学 工学部 機械工学科

本研究では、誘導加熱による CFRTP の発熱ムラを低減させるため、磁性体であるフェライトコアを発熱温度が低い加熱コイルの中心部分へ配置し、180 秒間誘導加熱したときの温度分布を調査した。その結果、中心部分の温度がフェライトコア未配置と比較して 3°C ほど上昇し、発熱ムラはわずかに改善した。

キーワード：誘導加熱, CFRTP, フェライトコア, 均一加熱

## 1. 緒言

近年、CFRTP (Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics) は軽量、高強度などの特性から航空機の構造材料に導入されている。現在、CFRTP はプレス成形やハイブリット成形などによって加工されているが、これらの成形法は材料を金型ごと加熱する必要があるためエネルギー消費が大きく、加工時間が長くなる。そこで、Rudolf らは、CFRTP の内部に金属製のサセプタを挿入して誘導加熱を行った[1]。その結果、エネルギー消費や加工時間の短縮につながった。しかし、この手法では CFRTP の内部にサセプタが残るため、リサイクル性や重量増加の課題がある。そこで、田邊らはサセプタを挿入せずに導電性を有している炭素繊維を発熱体として 2 MHz の高周波誘導加熱を行った[2]。本研究では、この手法に注目した。本研究で使用している CFRTP は熱可塑性ポリイミド (PI) を母材としている。そのため、誘導加熱を利用した加工を行うには、PI のガラス転移温度である 250 °C まで CFRTP を自己発熱させる必要がある。誘導加熱では、加熱コイルに流す電流周波数や電力に自己発熱温度が依存する。そこで、我々は CFRTP を高効率で加熱できる電流周波数と CFRTP の加熱温度に及ぼす加熱コイル電力の影響について調査した。その結果、400 kHz の周波数帯で誘導加熱の効率が低いことを明らかにした。さらに出力電力 1137.4

W 時に CFRTP の表面最高温度が 251.3 °C に達したことから、加工可能な温度まで昇温できたことを報告した。しかし、現状では CFRTP 表面の発熱にムラが多く、加工が困難である。金属材料の局所誘導加熱法では、局所加熱したい箇所に磁性体であるフェライトコアを配置することで、発熱温度が上昇したことが報告されている[3]。そこで本研究では、フェライトコアを発熱の少ない箇所に設置して CFRTP の発熱ムラの低減を図る。

本稿では、誘導加熱による CFRTP の発熱ムラを低減させるために、フェライトコアを設置させたときの CFRTP の温度変化、および温度分布を明らかにすることを目的として調査を行った。

## 2. 実験方法

本実験では、GaN 三相インバータ (headspring, HGCB-6B-401150) を用いて誘導加熱を行った。図 1 に誘導加熱の実験回路を示す。直流安定化電源 (KIKUSUI, PWR1600M) からインバータに直流電圧を出力し、インバータから加熱コイルに交流電圧を出力している。インバータの設定はバイポーラ変調とし、単相交流で加熱コイルに出力した。また、インバータから加熱コイルに出力される周波数は 400 kHz 一定とし、出力電力は 750 W とした。このときにインバータから出力される電流と電圧、周波数はオシロスコープにより確認した。実

験で使用する加熱コイルは直径 170 mm,  $L=63 \mu\text{H}$  である。また、共振用コンデンサの値は  $C=2.49 \text{ nF}$  とした。フェライトコアは加熱コイルの中心に配置した。図 1 のように加熱コイルと CFRTP の間に厚さ 5.0 mm の結晶化ガラスと厚さ 3.0 mm の空洞を挟み、加熱コイルに風を当てて冷却させた。加熱対象は、CFRTP (CF/PI 複合材料) を使用した。サーモグラフィ (FLIR, E40) により加熱物の表面温度を観測し、180 秒間誘導加熱を行った。

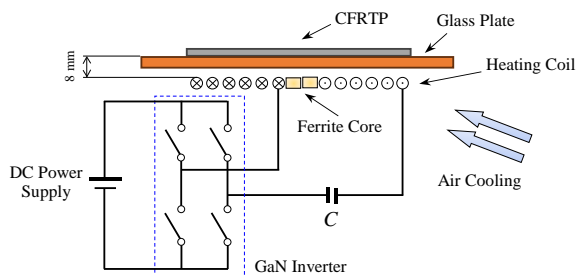


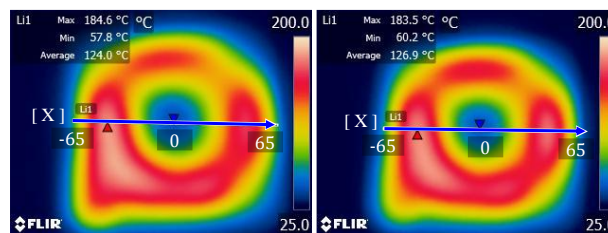
図 1 誘導加熱の実験回路

### 3. 実験結果

図 2 に 180 秒間加熱した CFRTP 全体の温度分布のコンター図を示す。金属板の場合は同心円状に発熱するが、CFRTP は内部の炭素繊維に沿って渦電流が流れるため角張った形で発熱し、ムラが多いことが確認できる。フェライトコアの有無における CFRTP の中心部分の温度差は  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  ほどであり、フェライトコアを配置することによって発熱温度が上昇していることがわかる。ここで、図 2 の矢印は試験片の中心を原点とした x 軸を示す。

図 3 に図 2 の x 軸方向の位置に対する各温度分布を示す。図 3 からフェライトコアを配置したことで中心部分から  $\pm 45 \text{ mm}$  ほどの距離までは温度が上昇していることがわかる。また、中心から  $\pm 45 \text{ mm}$  以上の距離が離れ、端に近づくにつれてフェライトコアを配置していない方の温度が高いことが確認できる。これは端の方に流れるはずだった磁束を透磁率の高いフェライトコアによって中心部分に磁束を集中させたためであると考えられる。図 3 からフェライトコアの有無が発熱温度差に与える影響を範囲ごとに計算した。中心部分から  $\pm 45 \text{ mm}$  以内の範囲では平均  $9.6 \text{ }^\circ\text{C}$  上昇し、中心部分から  $\pm 45 \text{ mm}$  以上  $\pm 65 \text{ mm}$  以内の範囲では平均  $11.6$

$^\circ\text{C}$  低下、全体で平均  $4.1 \text{ }^\circ\text{C}$  上昇した。フェライトコアを配置したことで、全体的に見れば発熱温度が上昇し、発熱ムラがわずかに低減した。



(a) フェライトコア無し (b) フェライトコア有り  
図 2 180 秒間加熱した CFRTP の温度分布

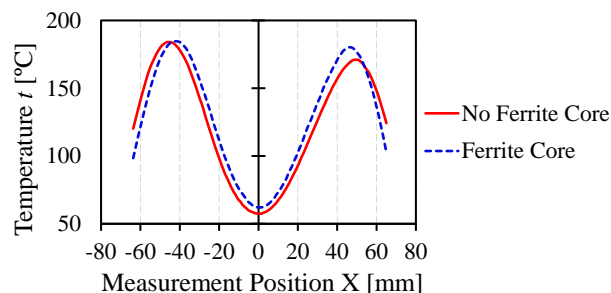


図 3 x 軸方向の温度分布

### 4. 結言

本研究では、CFRTP の発熱温度が低い加熱コイル中心部分にフェライトコアを配置して誘導加熱を行った。この結果、中心部分の温度はフェライトコアない場合と比較して  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  ほど上昇し、発熱ムラはわずかに改善した。

### 参考文献

- [1] R. Rudolf, P. Mitschang, M. Neitzel : "Induction heating of continuous carbon-fibre-reinforced thermoplastic", Composites : Part A 31 , pp.1191-1202 (2000)
- [2] 田邊大貴, 倉内海, 西藪和明, 倉敷哲生 : 一方方向および織物熱可塑性 CFRP 積層板の繊維強化形態が高周波誘導加熱挙動に及ぼす影響, Journal of Society of Materials Science Japan, Vol.65, No.8, pp611-617, Aug.2016
- [3] 青柳翔, 甲斐祐一郎 : "誘導加熱を用いた鉄心材料の局所誘導加熱法の検討", 2019 年電気・情報関係学会九州支部連合大会, pp.480-481 (2000)