

電磁波加熱技術の未来



二川 佳央 (にかわ よしお) 国土館大学 教授 理工学部長
一般社団法人 日本エレクトロヒートセンター 特別会員

エレクトロヒート分野における草分け的な存在として、これまでも実に多くの情報をご提供頂いた機関誌「エレクトロヒート」が200号を迎えられましたことに心よりお祝い申し上げますと共に、関係の皆様には200号に至る大きな歴史を創られたご苦労に感謝申し上げます。

エレクトロヒートは工業・科学・医療分野から私たちの生活に至るまでの、ありとあらゆる分野において必要不可欠なものです。エレクトロヒートセンターのホームページにも「エレクトロヒート情報」で冒頭に示されているように、エレクトロヒートとは「電気エネルギーを直接または間接的に熱エネルギーに変換して物体等の加熱・冷却に利用すること」¹⁾であり、生命の根源である熱と温度に密着して、私たちの生活・活動がエレクトロヒートなしでは成り立たなくなっています。今後もエレクトロヒートに対する期待と要求は益々高まると存じます。ここでは、ホームページの中で「抵抗加熱」²⁾に記載されている、エレクトロヒートの基本である以下の式(1)に示される「電力」を求める式を基に、エレクトロヒートの一分野としての電磁波加熱の将来について、意見を述べさせていただきます。

$$P = I^2 R \quad (1)$$

「電力」を考える上で式(1)において、電流(実効値)を I とすると、抵抗 R で消費される電力 P を計算する上で、必要なのは I と R のみです。与えられる電圧が正弦波状の交流として、負荷のインピーダンスを Z とすると、消費される電力 P は以下の式(2)で示されることは周知の事実です。

$$P = I^2 |Z| \cos \phi \quad (2)$$

ここでも消費電力は I と Z のみで与えられ、電圧は式に表れません。但し、 $\cos \phi$ は力率、 $\phi (0 \leq \phi \leq 90^\circ)$ は力率角として、電流に対する電圧の位相差は必要となります。

それでは高周波としての電磁波ではどうでしょうか。空間に分布する電磁波の磁界および電界に対して、電流・電圧の概念に対応させ、電流 I は磁界 H (実効値)に、電圧 V は電界 E (実効値)に対応させて、同様に式(2)を参照して電磁波の持つ電力密度 P_w を示すと、式(3)のようになります。但し、電磁界が直交し、かつ全エネルギーが負荷に対して無反射で進行していると仮定します。

$$P_w = |H|^2 |Z_L| \cos \theta \quad (3)$$

式(3)で、 $\theta (0 \leq \theta \leq 90^\circ)$ を磁界の電界に対する時間的な位相角とし、 Z_L は負荷のインピーダンスとします。一方、電磁波を熱エネルギーの供給源として考慮する際には、ポインティングベクトル(ポインティング電力)を使います。ポインティング電力 P_p の絶対値を式(4)に示します。

$$P_p = E \times H = |E| |H| \sin \phi \quad (4)$$

ここで、 ϕ は磁界の電界に対する(空間的な)位相角です。磁界と電界を波動インピーダンス Z_w で関係づけると、式(4)の絶対値は以下の式(5)に変形できます。

$$P_p = |H|^2 |Z_w| \sin \phi \quad (5)$$

式(3)と(5)を比較すると、式(3)は Z_L という負荷に加わる電力密度であり、式(5)は Z_w という波動インピーダンスを有する媒質のポインティング電力ではありますが、いずれも高周波磁界の自乗とインピーダンスを