

## NO6 語句解説 ー 各種電気加熱方式 ー

1. 製鉄用アーク炉はアーク加熱の代表的な例であり、商用周波数の三相交流をそのまま用いる交流アーク炉と直流に整流して用いる直流アーク炉とがある。両者ともに電圧は数百ボルト程度、電流は数千アンペアから数万アンペア以上のアークを〔1〕と非加熱物である鉄くずや還元鉄との間に発生させて加熱・溶解する。電炉法で鉄を精製する際鉄の温度は 1600℃、電極の先端温度は 3000℃にも達するが、この温度に耐えうる電極は現在のところ〔1〕しか存在しない。大容量の電気負荷であるため、その負荷変動や波形ひずみが〔2〕や〔3〕などの電源障害の発生源となる。〔2〕は電圧変動の原因となり、照明のちらつきや電動機の回転ムラなどを引き起こすので、工場製品の品質低下を生じさせる。対策として、進み・遅れの力率をサイリスタで制御する〔4〕が用いられる。〔3〕は配電系統の電圧を歪ませ、その系統に接続されたコンデンサやリアクトルの異常音・加熱・焼損を引き起こす。対策として〔5〕や〔6〕が用いられている。

交流アーク炉では、炉用変圧器二次側の電極までの三相回路の〔7〕が不平衡であるとアーク電圧に高低を生じ、局所的に高温となって炉壁を損傷するため、各相導体の三角配列などによってアーク電圧の不平衡を解消する必要がある。一方、直流アーク炉では、直流母線に流れる電流が作る磁界によって〔8〕が発生することで、被溶解物の不均一溶解や炉内にホットスポットを生成する原因となり、母線の配置には工夫が必要となる。

両者を電源系統に与える影響で比較すると、アーク発生から消滅までの入力の有効・無効電力特性などから〔9〕の方が影響が少なく、同一定格容量の場合、弱小電源系統への接続が比較的容易である。

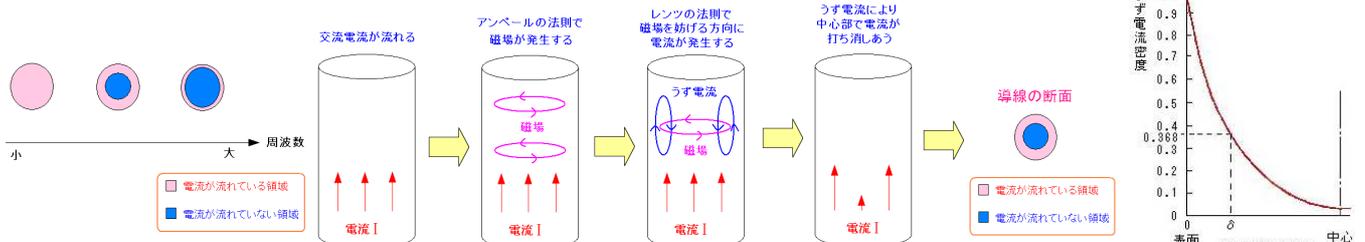
- (1) 黒鉛電極 (2) フリッカ (3)高調波 (4) リアクトル位相制御形 SVC (5) 高調波フィルタ  
 (6) アクティブフィルタ (7) リアクタンス (8) アーク偏向 (9)直流アーク炉

2. 金属など、導電性の被加熱物を加熱する方法の 1 つとして、被加熱物を交番磁界中におく誘導加熱がある。被加熱物の内部に侵入した交番磁束は、電磁誘導によって被加熱物内部に渦電流を流す。この渦電流で生じるジュール熱によって被加熱物自身が発熱し、加熱される。

単位時間当たりに被加熱物に発生する熱量は、交番磁束の大きさの〔1〕する。また、その熱量は、交番磁束の周波数のほか、被加熱物の〔2〕や〔3〕にも依存する。さらに、〔2〕や〔3〕は加熱昇温中に変化する可能性がある。一方、被加熱物の内部に侵入した交番磁束は被加熱物の表面近くに集まる性質がある。このため、渦電流も被加熱物の表面近くに多く流れる。この現象は〔4〕と呼ばれている。〔4〕を示す指標として浸透深さがある。浸透深さは交番磁束の周波数に〔5〕する。また、〔2〕が低いほど浸透深さは浅い。浸透深さが浅くなると、被加熱物の表面に近い部位がより強く加熱され、表面加熱に近い様相を呈する。

したがって、被加熱物を適正に加熱するためには、加熱されるべき部位と達成すべき昇温温度に応じた交番磁束の周波数と大きさの選択が必要である。

- (1) 2 乗に比例 (2) 抵抗率 (3) 透磁率 (4) 表皮効果 (5) 平方根に反比例



$$P = \frac{2.5}{4\pi} f H_0^2 L \mu_r A Q \times 10^{-5} [W]$$

電源周波数  $f$ [Hz], 円柱表面の磁界の強さ  $H_0$ [A/m], 円柱金属の長さ  $L$ [cm]  
 比透磁率  $\mu_r$ , 円柱金属の断面積  $A$ [cm<sup>2</sup>],  $Q=2al/\sigma$  ( $2a$  は円柱の直径)

$$\delta = 5.03 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r \cdot f}} [cm]$$

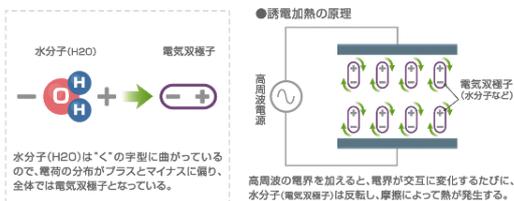
表皮効果を示す指標として浸透深さ  $\delta$  は電流密度が表面電流密度の  $1/e=0.368$  になる位置の深さ。図のうず電流の説明では、中心部は交流電流と反対の向きになっている。

3. 誘電体を高周波電界中に配置し、主として誘電体自身の (1) 作用による損失で発熱・昇温させる加熱方式を誘電加熱と呼ぶ。誘電加熱の中で周波数帯が 300MHz~30GHz 範囲を使用するものを、特に (2) 加熱と称し区別している。一般に市販されている電子レンジには、主に (3) の電磁波が使用されている。この電磁波が電子レンジの加熱室に入れた被加熱物に照射されると、被加熱物は主に電磁波の交番電界によって被加熱物自体に生じる (4) によって被加熱物自体が発熱し、加熱される。被加熱物が効率よく発熱するためには、被加熱物は水などの (5) 分子を含む必要がある。また、一般に (4) は電磁波の周波数に (6) し、被加熱物への電磁波の浸透深さは電磁波の周波数が高いほど (7)。

誘電加熱で発熱に要する単位体積当たりの電力は、印加する電界の強さ  $E[V/m]$  の (8) および印加する周波数  $f[Hz]$ 、被加熱物の比誘電率  $\epsilon_r$ 、誘電正接  $\tan \delta$  に比例する。 $\epsilon_r \tan \delta$  を誘電損失係数と呼び、誘電加熱の用意さを判断する目安となる。この値が 0.01 程度以下の物質については誘電加熱が困難である。なお、実際の適用では、通信設備への電波妨害や生体への影響などの考慮が必要で、周波数は電波法で (9) 周波数として、使用できる数値が決められている。誘電損失係数の差を利用して、例えば木材の接着に接着部分のみの加熱や、包装材が誘電率の小さいものであれば、内部の食品のみの加熱など、加熱部分の選択を行うことができる。また、外部からの加熱による昇温のように、被加熱物自体の (10) に依存せず被加熱物を内部から加熱するので、急速で均一な加熱を行うことが可能である。

- (1) 電気分極 (2) マイクロ波 (3) 数 GHz (4) 誘電損 (5) 有極性 (6) 比例 (7) 小さい  
 (8) 2乗 (9) ISM (10) 熱伝導

電子レンジの加熱原理(誘電加熱)



電気分極 (誘電体内の土の極性を持つ電気双極子)

$$P_d = \frac{5}{9} f \epsilon_r E^2 \tan \delta \times 10^{-10} [W/m^3]$$

- (8) 誘電加熱で発熱に要する単位体積当たりの電力  $P_d$  は、印加する電界の強さ  $E[V/m]$ 、印加する周波数  $f[Hz]$ 、被加熱物の比誘電率  $\epsilon_r$ 、誘電正接  $\tan \delta$  とすると上式であり、印加する電界の強さの 2 乗に比例する。  
 (9) 10kHz 以上では設備から漏洩する電磁界による通信妨害の防止、人体への影響を考慮のため、電波法と電波防護基準による規制がある。ISM( Industry Science Medical)周波数として工業，化学，医療用に使用できる周波数が決められている。(13.56MHz±6.7kHz, 27.2MHz±162.72kHz, 40.68MHz±20.34kHz, 2.45GHz±50MHz, 5.8GHz±75MHz, 22.125GHz±125MHz)

4. ヒートポンプの作用に関する記述として、誤っているものを一つ選べ。  
 (1) 高温側で放出される熱量は、加えた動力の熱量より多いので、加熱用としては電熱を利用する場合に比べ、きわめて効率的である。  
 (2) 低温度で利用価値のない廃熱を高温度の熱に変えて、再利用できる。  
 (3) 低温側における冷却作用は、冷房用に適している。  
 (4) 外部から機械的な仕事を受け、低温熱源から熱を吸収してこれを高温熱源へ放出するカルノーサイクルを行うものである。  
 (5) 高温部と低温部との温度差が小さいほど効率的なので、温度差の小さい高温熱源の必要などころではきわめて有効である。

誤り(4)：ヒートポンプは、圧縮機により機械の仕事を受け、温度の低いところから高いところへ移動させる逆カルノーサイクルである。