

静電冷却

1. はじめに

静電気は、着物着脱時の火花や風発生、冬場における自動車の車体との直接接触による短絡などから非常に身近な現象として認められていると同時に、約270年前の昔に、F.Fauksbeeによって発見されて以来、存在が知られている。

このように述べれば、これに伴う諸現象の理論的根拠は、すべて解明されているように思われるかも知れない。

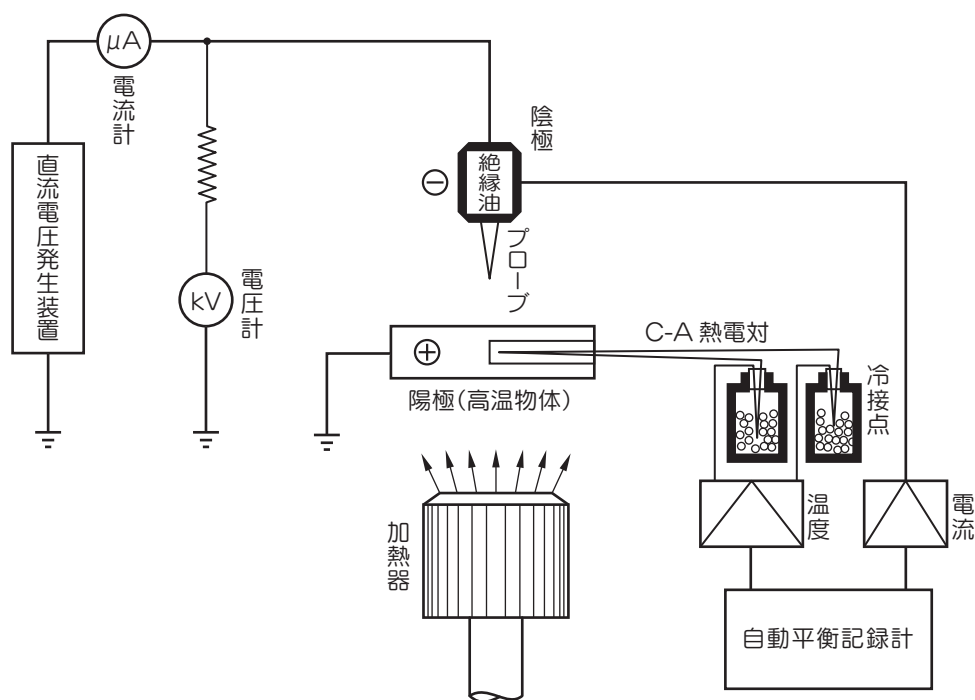
Psychotronicsに関する国際会議が1977年6月東京で開催された。この会議は人間などの生体をはじめとする生物、植物、あるいは電気、物理、機械、化学などあらゆる分野にわたって、多くの未解決の、つまり既存の学問による理論や論理体系からは説明できない諸現象について考究するものである。特に現在の科学

で解明できないような事実や、将来にわたって、どのような学問体系が構築されなければならないかなどについて、模索しようとするのが目的である。この会議において、これを主催するJAPR学会の会長Z.Rejdak博士から著者らは、静電冷却について発表するよう依頼を受けている。このことは静電冷却の現象が、まだ理論的に解明されていないことを意味する。

静電冷却とは静電界において、冷却効果あるいは熱効果を示す現象をいう。

静電冷却は、高温物体などの冷却のみならず、ガンや胆石などの生体や医療面における効果、植物の成長増進、集塵機への応用、燃焼や蒸発の促進など、再現生ある諸現象が多分野にわたって認められ報告されている。

図1 静電冷却の電気回路



2. 静電冷却の実態

静電界における冷却は、コロナおよび火花放電いずれにおいても認められている。一般に使用されている装置の電気回路は、概略図1に示すようになる。

この装置使用によって、印加電圧 $E = -30\text{kV}$ 、電流 $I = 75\ \mu\text{A}$ 、電極間距離 $H = 50\text{mm}$ を与えて、コロナ放電(EC)させ、切削加工時の切削温度、例えば 900°C が 850°C から 800°C に減少する。又印加電圧 $V = -(5\sim 10)\text{kV}$ 、電流 $I = (3\sim 6)\text{mA}$ 、電極間距離 $H = 5\text{mm}$ として火花放電(SC)を行うと、幹式の切削温度、例えば 900°C が 800°C から 750°C と約10%から20%程度低下する。現在使用されている切削液による冷却方法では工具刃先温度を約 20°C から 50°C 減少させる程度であるから、静電冷却法では約2倍から10倍高い冷却能が得られることになる。しかも除熱に要する消費電力は発熱体のそれに比べて著しく小さく、かつ瞬時に冷却されるという、2重の利点がある。

若干の除熱効率 η を計算から求めると、 $E = -10\text{kV}$ 、 $I = 18\ \mu\text{A}$ の時： $\eta = 524\%$ 、 $E = -15\text{kV}$ 、 $I = 30\ \mu\text{A}$ ： $\eta = 306\%$ 、 $E = -20\text{kV}$ 、 $I = 44\ \mu\text{A}$ ： $\eta = 212\%$ と、ずずを冷却する時の効率が得られた。静電冷却は、いかに高い冷却能をもつかが分かる。これの明らかな説明は現在のところなされていない。静電冷却エネルギーと冷却される発熱体と間の熱エネルギー授受の変換過程において、音や光への熱損失が無視できるほど少ないとすれば、他に何んらかの冷却に費すエネルギーの存在を考えないと熱力学の第1.第2法則が成立しなくなる。これの理論的把握のために、理論物理学、電気、電子および熱などの各部門の研究者によって現在解明が進められている。

3. 静電冷却の熱伝達とイオン風

イオン風の作る体積力 F_u は、

$$\vec{F} = \rho \vec{E} - \frac{\epsilon_0}{2} \cdot E^2 \nabla \kappa + \frac{\epsilon_0}{2} V \left(E^2 - \frac{d\kappa}{d\rho_m} \rho_m \right) \quad (1)$$

となる。但し、 ρ ：電荷密度、 E ：電界の強さ、 ϵ_0 ：誘電率、 κ ：流体による電気定数、 ρ_m ：流体の密度、 V ：電圧である。

流体の熱伝達率 h は

$$\Delta h = h\nu - h_0 = \frac{(\Delta m_0 - \Delta m_0) \Delta H}{A\tau(t_b - t_a)} \quad (2)$$

となる。但し、 m ：水の相当質量、 t_b 、 t_a ：熱湯と周囲温度、 ΔH ：流体の気化熱、 A ：面積、 τ ：時間とする。式(1)(2)から、電極軸から任意の距離 r におけるイオン風速度 C と次の積分方程式

$$\int_0^\infty \left(\frac{1}{2} C^2 \right) 2\pi r \cdot dr = - \int_0^\infty \left[\frac{r}{r-1} \cdot \frac{P}{\rho_{m0}} \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{r-1}{r}} - 1 \right] 2\pi r \cdot dr + \frac{\epsilon_0}{2} \int_0^\infty \frac{\kappa - 1}{\rho_m} E^2 2\pi r \cdot dr + \frac{iZ}{\mu_0 \rho_{m0}} + K \quad (3)$$

により求められる。但し、 i ：電流、 r ：比熱比、 P ：イオン風圧である。

理論式(3)から明らかなように、イオン風速はイオン電流 i の1/4乗に比例して強制対流が行われることが分かる。又、実験的には、 i の1/2～1/4乗に比例することが確かめられている。

又、理論的に求められるイオン風圧 ΔP は、風圧中心からの距離 χ に対して、

$$\Delta P = P - P_0 = \frac{2\epsilon \left(\frac{c}{a} \right)^2}{\left[\ln \left(\frac{2a}{ra} \right) \right]^2} (1 + Z^2)^{-2} \quad (4)$$

で表される。但し、 r_a ：電極プローブ半径、 a ：風圧の及ぶ最遠距離、 $Z = \chi/a$ である。

実験との対比をみると、イオン風圧の変化は、

$$P - P_0 \propto \left[\frac{1}{1 + Z^2} \right]^2$$

におおよそ漸近して変化することが確かめられている、イオン風速は測定条件によって異なるが、 $2 \sim 10 \text{ m/S}$ が多く知られている。しかしイオン速度はその約10倍にもなる。

4. 生体と生物

静電界における正負イオンの存在は、生体とのかかわりにおいて、火傷の回復、アレルギーの低減、疲労、肩こり、病気の苦痛の軽減をもたらすなどの指摘がなされている。例えば歯痛の場合、陰極プローブを激痛部近傍に、陽極を手足側にとると、痛みが感じられないほど緩和される。又、ガン細胞成長に対する阻止効果が認められている。

更に腎臓結石に対してはかなりの効果が得られると報告されている。しかしこの場合は、陽および陰極の放電によって発生した波動エネルギーを水を介在にして衝撃波に変換して、結石に引張応力を与えて数mmの微粉に破壊することで、間接的効果例として述べられている。

これとは別に、温体動物の血液の温度降下に応用するために、白ねづみに静電冷却を行い、体温を 19°C に低下させた例などがある。又Bealは植物の発芽や成長を、ある程度促進する働きもあることを紹介している。

5. 生産加工へ応力

溶接は、金属を融点以上に加熱するので、空冷時に多量の酸化物を生成すると同時に、たびたび内部欠陥として巣を内在させることがある。静電冷却を使用すれば、巣の生成、酸化膜厚さおよび接合部の結晶粒の粗大化を著しく軽減することができる。これに類似の例として、ホッパーに乗って輸送されてくる 150°C の加熱砂への静電冷却の利用がある。例えば、 $E = -30 \text{ kV}$ 、 $I = 1 \text{ mA}$ のとき、 32°C に低下できる。又、詳細は省略するが、輸送される、移送熱流体を、移送配管外部から静電冷却し、実用に供与している例もある。

2.においても一部述べたが、人造ダイヤモンド(Megadiamond)によって鋳造アルミニウムを切削する場合に、静電冷却を用いると、約10倍に切削寿命を増大することができる。静電冷却は、航空機部品の溶接にも導入され、例えばアメリカの超音速戦闘機F-111の可変翼のピボットピンの溶接は、印加電圧 $V = -30 \text{ kV}$ 、電流 $I = 600 \mu\text{A}$ で行われており、消費電力 20W 以下のもので、溶接部以外は、たえず約 120°C に保持できることが示されている。

その他イオン風の流れにヒントを得て、足立は集塵機に利用している。集塵効果 η は実験式によって

$$\eta = 1 - k(v_i d E)^{-3} \quad (5)$$

と現される。但し R ：定数、 v_i ：イオン風中心速度、 d ：イオン風流入シリンダ直径、 E ：印加電圧である。例えば、 $E = -15 \text{ kV}$ 、 $d = 16 \text{ mm}$ の時の10分間のイオン風の流入量は 0.33 m^3 である。これを同じような方式で、イオン風の流れを乾燥機に利用しようとして基礎的研究が実行されている例もある。ファンによる送風とほぼ同速となるようにして乾燥効果を比較すると残留水分が零になる時間は、ファン送風で約100分、イオン風で約90分となり、10分早く乾燥できる。

6. 不導体の場合および低温の場合の静電冷却

これまでの静電冷却は、すべて導体について調べた結果であった。不導体の例として、ガラスの静電冷却を試みると、90℃に加熱されたガラスは、空冷によれば160秒で40℃になるが、 $E = -30\text{kV}$ 、 $I = 160\mu\text{A}$ のコロナ放電を実施すると、約70秒で同温度に到達するから、冷却速度は約2倍に増速される。これまでの実験は、すべて常温が最終到達温度であった。

例えば静電界の環境温度を0℃、10℃、50℃などに変えてみると、最終の降下到達温度はいずれも環境の温度になる。

又、例えば冷却する物体を氷点下-55℃に降下させ、かつ環境温度を常温(15℃)にした状態で静電冷却を施す。空冷の場合15分で15℃に達するが、 $E = -15\text{kV}$ 、 $I = 100\mu\text{A}$ のコロナ放電を行った時には4分で15℃になった。

この場合、静電加熱となっていることが分かる。これらの結果を考えると、静電冷却はイオン風による冷却が大部分を占めているように考察されるが、実際に熱計算してみると、イオン風による運動エネルギーと発熱体の熱エネルギーとの授受だけで高温物体が冷却されているという結論を下せないことは、これまでの結果からでも明らかである。

7. 交流電界の場合

交流電界内で、例えば高温物体に数+kVの電圧をかけ、数+ μA の電流を通ずると、空冷に比べ1.7~1.8倍程度の冷却時間の増加が現れ、温度降下の著しい遅滞もたらされる。

又、交流電界において水を沸騰させた場合、沸点降下が起ると共に、沸騰までの所要時間が著しく短縮される。これらの事実の理論的根拠は明らかでないが、高温物体の冷却時間が空冷に比べて遅滞することは、直流電界における静電冷却とは全く逆の現象が現れたことになる。

8. お わ り に

熱力学的な観点から考察すると、静電冷却はエネルギーの授受の面において、冷却に費すエネルギーと高温物体から除去されたエネルギーの対応において、入出力に差を生じている。

本文でも明らかなように、静電冷却現象の理論的究明は現在のところ未解決である。この現象は体験を通して身近に知られることから非常に興味を引くものであり、学問的にも価値があると思う。これの応用は、熱工学、生産工学、医療工学などのうち生産加工分野に属する部門をはじめとして、生体、植物、などあらゆる分野に展開される可能性が期待される。

但し現象の独走から実用性にのみ埋没することなく、その功罪を見極め、かつ十分に研究結果を推敲する必要があると痛感する。本稿がこの方面に関心を抱く読者諸氏を喚起し、幾らかでも役に立てば幸いである。更に本題は今後増々追究されるべき課題であると考え。

※MDAレポートは皆様のミニコミです。MDAレポートに関するご批判、ご意見ご提言、皆様の体験レポート(家庭用、工業用)あるいはご質問など何でも結構です。書欄にて当社までお寄せください。

〒921-8831

石川県野々市市下林4-499-2

丸子電子株式会社

TEL<076>246-6806

FAX<076>248-0103

MDA特性総合研究所

TEL<076>246-6863