粉体の未来技術に関する勉強会報告

土 井 眞*
Shin DOI

1. はじめに

粉体の未来技術に関する研究会の開催も回を重ね定着してきた感がありますが、本年も年間の予定が既に決まり、精力的に活動していく予定です。今回の平成3年度第2回粉体の未来技術に関する勉強会は、労働省産業安全研究所清瀬実験場に杉本旭先生を訪ね、「電気粘性流体について」という表題でお話をうかがいましたので、その概要をお伝えします。

産業安全研究所は、産業災害を防止するため、各種災害現象の解明と災害防止技術の開発を行っており、たとえば、機械設備の大型化に伴う災害、新技術新工法に伴う災害、化学プラント等における爆発災害、自動制御システムにおける暴走災害、高齢作業者の作業行動災害などについて研究を行っています。電気粘性流体についても、粉体工学の観点からみれば原理的にも応用面でも大変興味深いものですが、ここでは機械要素の制御性を向上させ、安全な装置を開発することを目的として研究されておりました。

2. 電気粘性流体(Electro-Reological-Liquid)

電気粘性流体(ER流体)はウインズロ効果と呼ばれる現象、すなわち、絶縁性油に個体粒子を混合した懸濁液の粘度が、外部電圧によって著しく増加する現象を応用している。この効果を発現する組み合わせに定まった規則はなく、特定の組み合わせにおいてこの現象が見られる。以前から絶縁性油としては塩化ジフェニル、分散質としては微結晶セルロース、シリカゲル等の組み合わせが知られている。

ウインズロ効果の原理としては以下のように考えら

れている。すなわち、絶縁性油の中に懸濁している粉体粒子において表面上に水の層が存在した場合、粉体粒子を構成する物質中の解離基が解離して電気二重層を形成する。この粉体粒子に外部電解が印加された場合、電気二重層を形成する遊離イオンが移動し電気双極子を形成する(図1)。その結果、粉体粒子間に静電的な引力が働いて、粒子は相互に数珠玉状に連結し、粒子群自身の移動性が低下すると同時に懸濁液の移動性も低下し、粘度が上昇する(図2)。

懸濁粒子の粒径は0.1~200 μ mの領域が使われ、粒径がそろっていれば好ましく、粒径が大きいと安定したチェーン構造ができる。粒子間の引力でチェーン構造ができるため完全なチェーンを形成しなくとも効果が発生する。不定形の粒子においては先端が分極し、そこで連結する。

ところで、イオン交換樹脂は本来多数の解離しやすい基を有しており、水分を吸着させた粉体として絶縁性油に懸濁させると容易に電気二重層を形成し、電界によって静電的歪みを生じると考えらる。先生はこれに着目され、イオン交換樹脂を絶縁性油に懸濁

図1 電気双極子の形成

図2 ウインズロ効果

平成3年8月5日受付

* 日清製粉(株)生産技術研究所

(〒354 埼玉県入間郡大井町鶴ヶ岡5-3-1)

TEL 0492-64-3010

図3 誘起せん断力と電界との関係

し、反応が鋭敏で物理的、化学的性質の良好なER流体を開発された。

分散質には各種イオン交換樹脂が使えるが、特に陰イオン交換樹脂が良好で、酸性基としてスルホン基、カルボキシル基、フェノール性水酸基等を、塩基性基としてアミノ基、置換アミノ基、第四アンモニウム基などを含み、水の存在下でイオンとなって解離する。分散媒は、電気的絶縁性を有し分散質と反応しないものであればいずれでも良く、精製した低粘度の石油系潤滑油、不燃性絶縁油の塩素化ジフェニル、シリコン油、トリメリット酸等が使用されている。分散質と分散媒の比重は接近しているほど良好である。ER流体の調整は、イオン交換樹脂には重量あたり2～15%の水分を吸着させ、絶縁性油に重量あたり5～30%混合し、攪拌によって均一に分散させて行く。

図3は絶縁性油にシリコン油、分散質にイオン交換樹脂を使い、最大12kV/mm、50Hzの電界を印加した場合の誘起せん断力を示す。

一般に分散質の含水量が増えるほど誘起せん断力が増加するが、含水量が過剰になると絶縁性を失い、ウインズロ効果が発現しにくくなる。一方、誘起せん断力は速度によってあまり変化せず、温度の上昇によって増加する傾向がある。

3. ER流体の応用例

先生は、ER流体を応用した制御系が、弱い信号を入れて大きい出力を得るというトランジスターの発想に例えることができると力説されている。たとえばER流体を圧力媒体として、図4のようなしくみの流量制御装置を用意すれば電気信号による応答性の良い液体サーボ系を作ることができる。ここではその応用と

図4 ER流体を使用した液体サーボ系

図5 ERシリンダ

して人間の柔らかな手をロボットで実現するため、空気シリンダとERユニット(図5)を組み合わせた制御システムの研究を行っている。

(1) ロボットの腕の位置制御における停止制御

一般に粘性負荷がない場合、サーボ系は安定して停止できず、粘性負荷を付け加えることとなりますが、反面運動時には負荷になる。そこでERユニットを設置し、停止時のみ高粘性をあたえることによって、高速で停止特性のよい制御系を実現できる。

(2) ロボットの腕の速度制御

ロボットの関節の駆動を空気圧シリンダのみで行なった場合、空気圧シリンダのスティックスリップの影響で低速駆動や円滑な停止は困難で、階段状の動きとなる。このスティックスリップによってロボットの手に取り付けられたセンサーを壊す可能性があるため、ERユニットを腕に設置し動きをなめらかにすることを試みている。すなわち階段状の動きの中で、加速中のみ角度の微分信号に比例する電圧をERユニットに印加し、空気圧シリンダの瞬間的な高速運動をおさえている。ERユニットはサーボ弁を介さず電気信号によって直接アクチュエータに対してブレーキ作用をおよぼしているため、高い応答性で確実に運動エネルギーを消散し、なめらかな動作を実現できる。

その他、電磁クラッチや車両のショックアブソーバーなど、液体の粘性を利用しているシステムがかなりあるが、これらに使用されている粘度が一定の液体をER流体に置き換えることにより制御性を飛躍的に向上できるものと考えられる。近年この分野は盛んに

研究が進められ、現在、先生のもとにも多数の企業から研究者が研修にこられているとのことであった。

4. 非平衡熱力学

先生の話によれば、水等の液体に800V以上の電圧を印加した場合、まったく非線形で予想のつかない挙動を示すことが多いとのことであった。たとえば8000～12000V、1mA、30Hzの電流を液体に加えると10秒ぐらいで爆発状態になる。また、粒子の懸濁液に200～300V、100kHzの交流を印加すると、粒子表面のイオンが共振して粒子の両端を往復運動し始め、両端に存在する確率が増える。これにさらに直流電圧を印加すると容易に分極したような状態となる。

5. 産業用ロボットおよび自動化の安全に関する研究

最後に表題とは直接関係ないが、安全性を重視したロボットシステムに関する面白い研究を見学することができた。

近年、産業界へのロボットの導入が進んでいるが、いまだにロボットと人間が共存して作業する場合が大半である。しかし人間とロボットの両者が共通の作業空間で作業することは危険であり、実際法律はこれを認めていない。ところがこのような場合、ロボットおよび人間の労働時間に見合うことになる。そこで当研究所ではロボットと人間が作業空間を分けあい、ロボットの作業中に人間が安全に次の作業の段取りを行えるようなシステムの開発を行っている。

見学したシステムでは、なんらかの異常が発生した

場合、すべての異常要因が人間にとって安全側に働くように工夫してある。たとえば、人間の作業空間の解放は、ロボットが自らの腕によってランプのスイッチを倒すことによってなされている。したがってロボットが異常状態にあるときには空間の解放はされない。一方、すべてのセンサーは故障時に安全側に働くように工夫してある。たとえば、作業空間への人間の進入を検知するチューブセンサーは、作業台の手前に腰の高さで左右に張られるが、チューブの両側に発光素子と受光素子を持っており、チューブがほぼ直線の場合には光線を受光して人間の不在を認識する。このセンサーが故障した場合、センサーは受光信号を出さず、ロボットは人間が進入したと解釈して動作せず、安全が確保される。また、ロボットの各主軸についても、一時停止状態のときに誤動作で回転動作を開始した場合、自動的に電源が遮断される構造のクラッチが組み込まれており、人間が安全に点検等の作業ができるように工夫されている。

6. おわりに

粉体工学の領域もますます拡張され、多分野にまたがるようになり、この勉強会においてもいろいろな粉体技術を掘り起こしてまいりました。しかし電気粘性流体は、粒子自体が力学的現象の主体となり、機械要素を成立させている点において、これまでにはない大変めずらしい技術であると感じられました。おそらく世の中にはまだまだ思いもつかないような粉体技術が埋もれていることであらうでしょう。粉体工学者の飯の種もつくることはないようです。