

論 文

耐食性六角型湿式EPの開発

古明地 成光*, 成田 健一郎**, 吉田 晃**

(1978年1月9日受理)

Development of Anti-corrosive Honeycomb Wet Precipitator

S. KOMEIJI,* K. NARITA** and S. YOSHIDA**

(Received January 9, 1978)

Pipe-type wet precipitator has been considered as highly efficient as it has uniform electric field, but because of water falling down from the lower end of the pipes the spark voltage is considerably lowered. This demerit is solved by adding shades to the lower end, but on the other hand the space factor becomes more lowered, due to these shades. We have developed anti-corrosive honeycomb type wet precipitator having a good spacefactor. Honeycomb construction has 100% space factor. The authors made an improvement such that the cleaning water falls down from the corners of hexagon, not from their sides. With this construction we could raise the spark voltage much higher than pipe type. We applied this honeycomb wet precipitator to collect the acid mist after desulfurizing tower. The content of acidmist at the inlet was 880 mg/Nm³ which could be lowered to 4-7 mg/Nm³ at the outlet. This precipitator was constructed with FRP. The compactness of this precipitator offsets its use of an expensive anti-corrosive material, providing a marked economical merit.

1. まえがき

湿式EPは乾式のものほどボピュラーではないが、古くから硫酸ミスト用・高炉用などに数多く応用されており、再飛散や逆電離がなく確実な集じん性能を有するところからとくにサブミクロン粒子に対する高性能EPとして期待されている。最近は各種の排ガスの湿式排煙脱硫後の仕上げ集じん用あるいは白煙防止用としての需要が注目を浴びている。

この脱硫後の湿式EPに限らず、水を使用する湿式EPでは耐食性が問題になることは当然であるが、ステ

ンレスまたは鉛などの金属材料はそれぞれに欠点もあるので、数年前からカーボン粉を混入した導電性FRPが開発され¹⁾、これを利用した平板型または角筒型の垂直ガス流湿式EPがおもにプラスチックメーカーの間で研究されている。しかしいかに導電性とはいえこのFRP電極は表1に示すように従来の金属とは導電性において数桁も差があり、電導性のメカニズムからいって $10^{-1} \sim 10^{-3}$ A/cm²程度の電流耐量しかないので、定常時のコロナ放電程度の電流密度に対しては十分安全といえるが、火花放電時の過渡電流に対処できないという欠点をもっている。したがって酸霧粒子の集じんに特有なトラブル、たとえば

- (1) 微細な酸霧粒子によるコロナ電流の抑制
- (2) それにともなって必然的に発生する火花放電
- (3) 火花放電によるFRP集じん極の破損と歪の発生
- (4) 集じん極下部における水たれ現象(後述)による

異常に低い電圧での火花放電と電圧の低下などの問題がしばしば発生し、なかには致命的な結末になったといういくつかの実例も耳にしている。

* 古河鉄業株式会社機械営業本部プラント部 (100 東京都千代田区丸の内 2-6-1)

Plant Department, Machinery Sales Division,
Furukawa Co., Ltd., 2-6-1, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100, Japan

** 古河鉄業株式会社生産本部小山工場 (370 小山市若木町 1-23-15)

Oyama Factory, Machinery Product Division,
Furukawa Co., Ltd., 1-23-15, Wakagi-cho, Oyama 370, Japan

表1 EPの電極に用いられる材料の電気抵抗 [$\Omega \cdot \text{cm}$]
 Table 1 Electric resistance of material used for electrodes of EP.

材料名	銅	鉄	ステンレス 18-8	鉛	導電性 FRP
電気抵抗	1.69×10^{-6}	10×10^{-6}	72×10^{-6}	21.9×10^{-6}	$10^{-1} \sim 10^3$

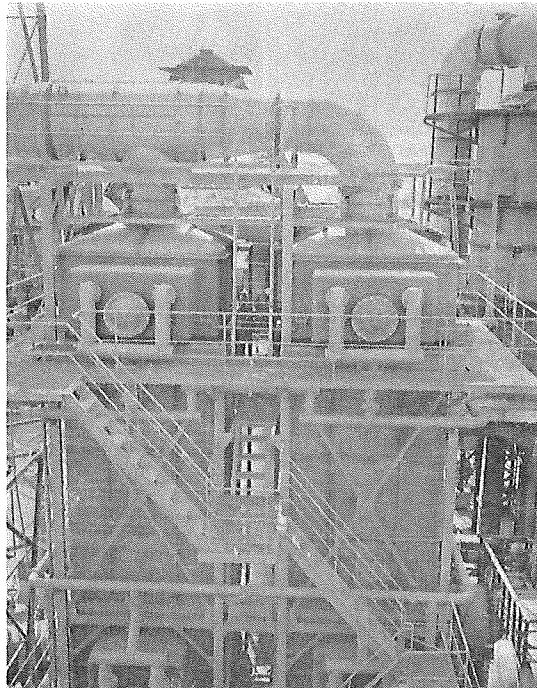


図1 六角型EPの全景

Fig. 1 Outer view of honeycomb wet precipitator.

これらを確実に防ぐには火花放電の起こらないような軽い負荷条件にのみ適用するか、もしくはケーシングのみをFRPとし、電極については従来から使用経験の豊富な鉛板を使用するところまで後退せざるをえない。

そこで筆者らは発想を変えて湿式EPの構造上できるだけ火花放電の起りにくく形態を工夫し、多少は低い電圧でも十分な集じん性能が得られ、かつ経済的にも従来の湿式EPに見合うことができるような新しい電極形式を研究した結果、六角筒型垂直ガス流EPを完成し、脱硫設備の仕上げ集じんに応用して非常な好成績を得た。さらに従来型の平板型EPと運転データを比較したことより予想どおりの高い性能と安定性が確認され、全体として非常にコンパクトにまとめられるという絶対的な優位性も実証された。本器の原理からみてほかにも類似の集じん条件の場所に広く応用が可能と考えられるので、以下にその概要を報告する。

2. 湿式EPの技術の現状

湿式EP(wet precipitator)には周知のごとく気体中に存在する液体の微粒子すなわちミストをとるものと、気体中に浮遊している固体の粒子すなわちダストまたはヒュームを集めんし、それを水洗によって集じん極から洗い流すという形式のものと、大別して2種類のものがある。また最近は気体中のある種の有害ガスの除去を目的としたもの^{2,3)}や、荷電した水滴を利用する新しい集じん装置CDS(charged droplet scrubber)⁴⁾およびESDSS(electrostatic droplet spray scrubber)⁵⁾なども研究されている。

これらのまったく新しい原理による試作品を除けば、従来から利用されている湿式EPとしては次のような技術的問題点が指摘されている。

(1) 平板型EPと円筒型EP

古くからそれぞれの広用分野においてその是非が論じられているが、一般には円筒型は均一な電界が得られるので高性能であるといわれ⁶⁾、一方、平板型は製作が簡単で構造によっては洗浄水量を増しても荷電運転が可能であり、また水平ガス流として2~3室構成のものを作りやすいなどの利点がある。現在では日本ではミストを集じんする硫酸用には垂直ガス流平板型が⁷⁾、ヒュームを集じんするスカーファ用^{8,9)}には水平ガス流で2室構成のもの¹⁰⁾が多く用いられているが、米国では依然として硫酸用その他に円筒型のものも数多く用いられている。

(2) 装置の耐食性

硫酸ミスト用にはもちろん嚴重な耐食性が必要であるが、特に腐食性成分を含まない固体粒子集じん用のもの(たとえばスカーファ用)でも最近は洗浄水の水質などの関係もあって通常の鋼板では腐食寿命が案外に短くなっている。有害ガスの除去に関連して用いられるものではもちろん十分に装置の耐食性を考慮する必要がある。

(3) ダストの固着と水たれ現象

湿式EPは通常水洗以外の特別なダスト除去装置をもっていない。たとえばタールミスト用EPではある条件のもとでタールが電極に固着したり¹¹⁾、また固体粒子用のものでもダストの成分によりあるいは水洗の不具合によって電極面にダストが固着堆積する。これらを防ぐには運転条件を変えたり洗浄の方法を変えたりする。

一般に水洗時の水量を増せば固着は減るが、集じん空間に吹き込まれた洗浄水滴の量によってあるいは洗浄水が集じん極下端からホッパーへ流下する際に、電極間の火花電圧が異常に低下する¹²⁾。したがって荷電したままで洗浄するにはおのずと限界がある。集じん極下端からの

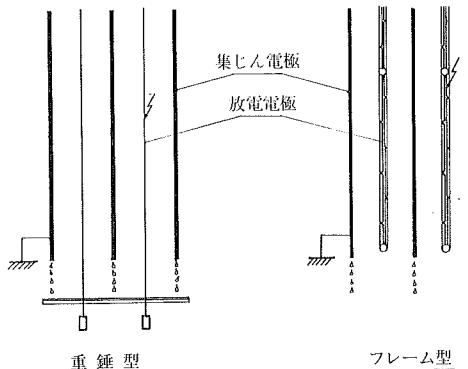


図 2 重錘型とフレーム型の電極下部構造の比較
Fig. 2 Comparison of lower construction of electrodes between suspended weight type and frame type.

水たれによって火花電圧が低下する現象（以下略して水たれ現象と呼ぶことにする）には、電極下端の形状、ダストの付着の具合、さらには水量などが関係するが、垂直ガス流の EP で放電線を重錘で吊っている形式のものでは集じん極下端よりも下のほうまで放電線、重錘および下部フレームなどの高圧部分が伸びてきているので、集じん極からの水がこれらの高圧部分に触れやすく、したがって水洗しながら荷電運転を行なうには本質的に不利な構造であるといえる。

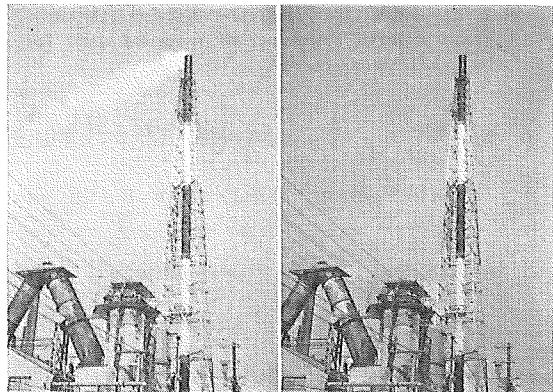
以上のようにひとくちに湿式 EP といっても種々の形式、水洗方式のものがあり、それが応用される場所での条件・目的によって最も有利な構造と運転方法を選択していくことが重要である。

3. 脱硫後の湿式 EP の集じん条件

湿式の排煙脱硫装置としては通常高温の排ガスを水スプレイ塔によっていったん 40~80°C まで冷却し、しかるのちに噴霧塔、段塔または充填塔などによって吸収脱硫するという 2 段塔形式のものが多く使用されている。吸収塔の出口には簡単な機械的デミスターが設けられているが、水によって冷却し吸収するという形式をとる限り排ガスの水露点付近での運転が必要となり、出口ガスは一般に水分飽和となるので煙突の出口で冷い外気と触れたときに生ずる白煙の問題は避けられない。

白煙防止のためには排ガスの飽和蒸気曲線などを考慮して、出口ガス温度を若干上げるように再加熱することが考えられている¹³⁾。しかし多くの場合、再加熱に要する費用が膨大なものとなるうえに、条件によってはその効果が万全ではないこともある。

たとえばもとの排ガス中に SO₃ を含む場合には、ガスの冷却の初期の段階でまずは H₂O 分子と結びついて



(a) 六角型 EP 運転前
(b) 六角型 EP 運転後
Fig. 3 White plume of smoke after desulfurizing plant.

微細な H₂SO₄ のミストとなる。これはその成因から推して非常に細かいはずで、その後の冷却・吸収・デミスターの過程を経ても十分に捕集されず出口まで出てきてしまうであろう。またこの過程で生ずる白煙は前述のようなたんに水分量のみを対象に考えた再加熱温度に達しても、それが酸露点温度以下にある限り依然白煙として残ってしまうであろう。

続いて冷却の進行とともに排ガスが水分飽和温度すなわち水露点温度以下に下がったときには、今度は水分の凝結が始まるわけで、その凝結水分のうちあるものは同様に細かいミストとなるであろう。昔から硫酸ミスト用 EP では多くの場合これらの過程によって生ずる超微粒ミストによって激しい空間電荷作用を起こす¹⁴⁾といわれており、ある文献ではそのミスト径は大部分が 2~3 μm 以下であると報告されている¹⁵⁾。筆者らの経験でも脱硫後のデミスターを通過した煙道内または EP 入口における白煙の視界はきわめて悪く、SO₃ を含まないガス中のダストを集めにするためのスプレイスクラバ出口の白煙の視界とはまったく異なる状態になっている。

このように微細なミスト粒子を多く含む場合、EP 以外の集じんメカニズムではほとんど処理しえないし、またその EP を使用したときでもこれらの超微粒子が荷電されたときには強烈な空間電荷を形成し、極端なコロナ電流の抑制効果と火花放電の頻発を生ずる。したがってこの点の対策を考慮することが第 1 の問題となろう。

反面、この白煙は湿式 EP で捕集し通常の液体として集められた状態ではそんなに多い量にはならない。EP 入口のミスト含有量に換算して数 g/m³ の程度であって、他の湿式 EP における常時水洗量 0.2~0.3 l/m³ にくらべて約 1/10 のオーダでしかない。また排煙脱硫装置では多くの場合すでに煤じんは前処理の過程で集じん

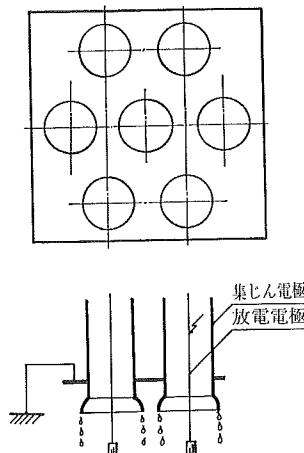


図 4 円筒型 EP 下部における水切り傘

Fig. 4 Shelter hat construction at lower part of pipe type electrodes.

されていることが多いので、その固着を防ぐための特別な水洗装置も一般には必要としない。

以上をまとめてみると、脱硫後の湿式 EP の集じん条件としては、

(1) 耐食性

(2) 多量の微細なミスト粒子によるコロナ電流の抑制

(3) 普通は水洗は不要、電極を流下する水量は少ないという三つの条件に集約される。

このうち(2)の条件から理論的には電界分布・イオン電流分布の不均一な平板型よりも、理想的な電界の得られる円筒型の電極のほうが好ましい選定であるといえる。ただ円筒型では製作コストを問題にされることが多いが、一方(1)の条件から高価な耐食材料が選定される場合には、その材料費と円筒に加工するための加工費のバランスが変わってくるので円筒型が必ずしも不利ということにはならない。

円筒型があまり好まれない次の理由として、円筒を集めん極として並べたときに空間の利用率がよくない、という点が挙げられる。円筒配置にはもともと隙間があるばかりでなく、従来から実用されている円筒型 EP では前述の水たれ現象を考慮して図 4 に示すような水切り傘が設けられており、これがいっそう空間率を悪くし、結果として全体の空間率は半分近くにもなってしまう。この水切り傘は本来集じんしたダストを水洗するときにも荷電運転をする目的で設けられるわけで、さきの条件(3)によって脱硫後の湿式 EP としては水切りの点は二義的に考えてよい。それよりも最も重要な問題点(2)に対して十分対処できるように、与えられたスペースのなかにできるだけ大きな集じん面積を設けるほうが有利であるということになる。

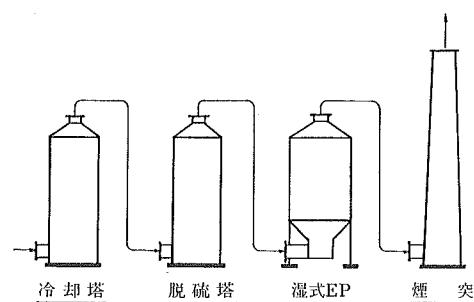


図 5 脱硫システムの基本ダイヤグラム

Fig. 5 Principal diagram of desulfurizing plant.

以上に掲げた諸条件を満たす電極の形式として、筆者らは六角筒からなるハニカム型のEP¹⁶⁾を選んでみた。ハニカム構造の空間利用率は100%であり、したがって同じ電極空間のなかに収納できる集じん面積を最大にとることができる。しかも円筒型と同様にその電界分布は均一であり、集じん極付近でのコロナ電流がほぼ放射状に分散している点は空間電荷による電界の擾乱を最小限にとどめている。また後述するように本装置では水切り現象に対しても特別な工夫を施したので、多少の洗浄水量に対しても火花電圧を低下することなく運転しうる、などの特徴をもっている。

4. 六角型湿式 EP の仕様、性能、平板型との比較

図 5 に六角型湿式 EP およびこれと比較対照すべき垂直直流水平板型湿式 EP が設備されている脱硫システムの基本ダイヤグラムを示す。250~350°C のキルン排ガスに対して通例のごとく冷却塔、脱硫吸収塔を設け、その後に湿式 EP が用いられている。

表 2 にこれらの湿式 EP のおもな仕様および運転データの1例を示す。キルン原料は六角型のほうが酸化チタン、平板型のほうは酸化鉄であるが、脱硫後の EP 入口条件としては大差はない。平板型 EP の電極には当初 FRP 板が用いられていたが、最初に挙げた種々のトラブルのために安定した荷電運転ができず、最終的に鉛板製のものに取り替えられている。その結果ときどき火花放電を起こす程度(数回/分)まで電圧を上昇できるようになり、そのときの電源電流 数十 mA、集じん極側のコロナ電流密度 0.1~0.15 mA/m² を得ることができた。これに対して六角型 EP は導電性 FRP で作られており、ほとんど火花放電を起こさない程度で、0.42 mA/m² という高いコロナ電流密度を得ることができたが、これは主として六角 EP の電界分布のよさに起因するものと考えられる。

この比較表によれば両形式の EP の比集じん面積の差

表 2 六角型 EP と平板型との比較

Table 2 Comparison of hexagonal EP and plate type EP.

	鉛平板型 EP (既設)	六角型 FRP-EP (新設)
用 途	酸化鉄キルン用	酸化チタンキルン用
EP 形式	垂直ガス流平板式	垂直ガス流六角筒型
集じん極材質	鉛 平板	導電性 FRP
放 電 線	銅芯 4 辺鉛星形	銅芯 4 辺鉛星形
処理ガス量 (仕様)	36,600 m³/h	48,000 m³/h
ガス温度 (仕様)	65°C	45°C
入口ミスト量 (仕様)	880 mg/Nm³	880 mg/Nm³
電極高さ	3.1 m	4.7 m
集じん極ピッチ	250 mm	300 mm (面-面)
ガス通路断面積	12 m²	11.9 m²
全集じん面積	298 m²	711 m²
測定ガス量	26,600 m³/h	48,900 m³/h
荷電時間	5.03 s	3.6 s
ガス流速	0.616 m/s	1.29 m/s
比集じん面積	40.3 m²/m³/s	52.2 m²/m³/s
出口ミスト量 100% H₂SO₄ 換算	20 mg/Nm³ Dry	6.5 mg/Nm³ Dry
電源装置	200 mA × 1台	200 mA × 2台
コロナ電流密度	0.1~0.15 mA/m²	0.42 mA/m²

が出口ミスト量の差に匹敵しており、かりに平板型 EP を約 1.3 倍の大きさになおすと両者の比集じん面積はほぼ同一の値となり、出口ミスト量も六角 EP なみの値まで下げると推察される。この場合いわゆる集じん時間では平板型のほうが約 2 倍の大きさになる。すなわち本例では平板型 EP と六角 EP とを集じん面積を基準にして、W. Deutsch の式によって概略の性能比較をすると、六角 EP は平板型 EP の約半分の大きさで同一の性能が得られ、他の報文などにあるように、また筆者らの当初の予想どおりに非常にコンパクトに設計しうることがわかった。

5. 六角型 EP の構造

鋼板製 EP または鉛平板の場合、集じん電極は市販の材料を購入してこれに電極としての多少の加工を施して使用するわけであるが、導電性 FRP 材の場合にはその板材は鋼板のようなロール圧延といったような単純な方法で作られるわけではない。EP の電極として使用するための導電性を得るためにグラスウール基材とカーボン粉を混入したプラスチックおよびカーボンペーパなどを交互に重ねて加熱成形するのが普通である¹⁷⁾。この場合、平板を作るのとパイプを作るのとでは型が異なるだけで製作の基本的な過程はあまり変わらない。そこで本装置でははじめから導電性 FRP によって六角パイプを作り、これらを相互に接着してハニカム構造にするという画期的な工法を採用してみた。図 6 はかくしてでき上がった六角型の集じん極ブロックを示す。ちょうどトラッ

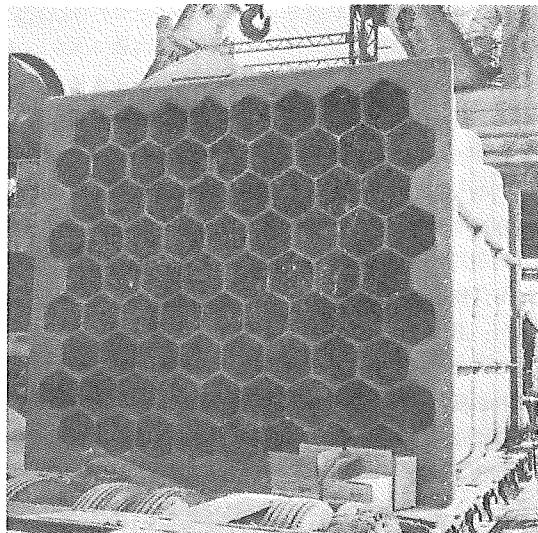


図 6 ハニカム型の集じん極ブロック

Fig. 6 Precipitating electrodes block of honeycomb type.

ク輸送が可能という大きさをユニットとしたので、現地での据付け作業とくに導電性 FRP 構造に関する現場作業が非常に単純化される。また電極の加工費だけでなく現地作業を含めた総コストの立場から六角 EP が必ずしも不利ではないだけでなく、加工・据付け精度の面からも好ましいやり方であるといえる。

なお六角筒を互いに接着したハニカム構造の集じん極はそれ自身が柱としての大きな機械強度と剛性をもっている。したがって電極全体を支持すべき鉄骨構造はケー

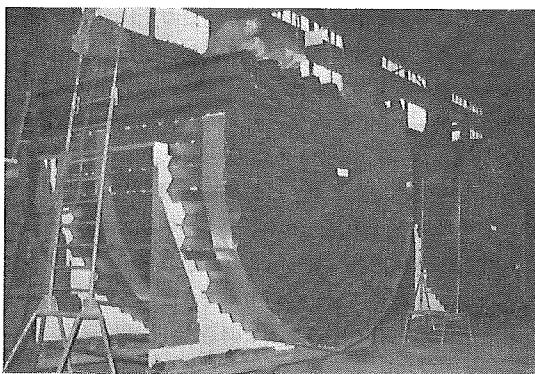


図 7 軟鋼製の六角型 EP

Fig. 7 Honeycomb wet precipitator constructed with mild steel.

シングの外まわりの構造も含めて平板型 EP の場合よりも簡略化しうるという利点もある。

六角筒は円筒にくらべてその内面の角部にダスト付着が起りやすいことが懸念されるが、本装置ではもともと六角筒を作つて互いに張り合わせるという構造を採用したので、個々の六角筒の内面角部は 20~30 mm R に丸めてあり、この点でもいわゆる四角筒型よりも有利である。ただし FRP ではなく鋼板またはステンレスで六角を作る場合には、六角筒を作つて張り合わせるよりは全溶接構造とするほうが安価となるので、そのコーナ部にダストが固着する危惧が残る。このときにはあらかじめダストが固着しないような条件を選ぶか、または別の対策をたてる必要がある。

電極の空間率が 100% になる他の応用形として、正方形筒または長方形筒などの角筒構造も試みられているが¹⁸⁾、脱硫装置後の白煙防止用としては電界の分布が平板型と同じように均一ではない点に不満があり、コーナ部にダストが固着しやすいうえにその内面には著しく電界の低い部分があり、有効な集じん面積の計算には大幅に割り引いて考える必要があろう。かかるむだに近い部分にも貴重な耐食材料を浪費したくはないという考え方もある。

本装置では集じん極下端における水たれ現象に対して多くに意が用いられている。すなわち六角筒ではその中心にある放電線から集じん極の辺部までの間隔よりもコーナ部までの間隔のほうが 15 % ほど長い。したがって集じん極内面を伝わって流れてくる水をこのコーナ部に集めることができれば、水たれによる火花電圧の低下をそれだけ有利に解決することになる。こんな場合は電極の下縁を斜めに切ることがしばしば行なわれているが、実際には傾斜が緩い場合にはわずかなダストが付着しても水流は変化するため、その効果は不安定である。

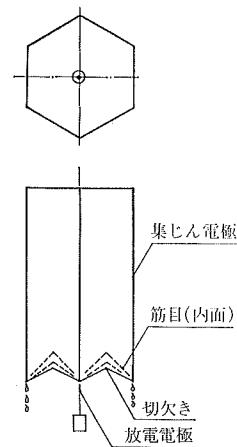


図 8 六角電極の下部構造

Fig. 8 Lower part construction of honeycomb electrodes.

そこで本装置では図 8 に示すように数本の溝を斜めに切つて水流の案内溝とし、より確実に流下水が六角のコーナ部に集まるようにした。このような工夫が可能となる点も、円筒より六角を是とする理由の一つでもある。

放電線としては多量の微粒子の作る空間電荷にもかかわらず旺盛なコロナ放電電流が得られるよう、できるだけコロナ開始電圧の低いものを選定する必要があり、すでに種々の工夫も試みられているが¹⁹⁾、固体粒子が少ない条件では従来のミストコットレルにならって銅芯四角星形鉛線を用いた。チタンなどの線を使用することも考えられるが、現在の加工技術レベルでは丸線がやっとであり角線または星形線に加工することがまだ困難なので、今後の研究課題となろう。

6. 結 言

湿式 EP が産業用に使用されはじめて以来、高圧直流電源関係の進歩を除けば湿式 EP の構造そのものの改良という面では、

- (1) 円筒型 EP において水切り傘を用いて電極面を洗浄しながら荷電運転を行なえるようにしたこと²⁰⁾
 - (2) 水たれ現象に対して本質的に有利なフレーム型電極を用いて水平流の湿式 EP を完成したこと
- という二つの大きな業績が残されている。これらはともに電極面へのダスト付着を防止するための改良工夫であり、これによってミストだけではなくダストを多く含む排ガスの湿式集じんという応用面が飛躍的に拡大されたということができる。

ところがこれらの改良にくらべて導電性 FRP の湿式 EP への応用はより画期的なねらいをもつと同時に、よ

り複雑で原理的・本質的な問題がからんでくる。すなわち導電性 FRP が現段階ではまだ本質的には絶縁物の域を出ないと判断される以上、火花放電を起さない範囲での運転・応用に限定せざるをえない。たんに耐食性の点から金属製電極板をそのまま導電性 FRP に替えたというだけでは、電気的にきわめて危険であるばかりでなく、性能設計上の基本定数も火花放電をほとんど起こさずに運転していたころ、すなわち 10~20 年以前の値に戻してそれだけ EP を大型に作らざるをえないことになる。

そこで筆者らは現状の導電性 FRP の電気特性をそのままできるだけ有効に生かすための電極の形状を吟味するというような基本的な問題から検討した結果、六角 EP が次のような点で他の形式のものよりも都合のよいことが確認された。

- (1) 火花を起さない運転のためには、電界が均一で同一空間内にできるだけ大きな集じん面積を収納できること。その結果としてケーシングを含めて高価な耐食材料の使用をミニマムにしないため。
- (2) 導電性 FRP 電極の製作・据付けに適したユニット型ハニカム構造であること。
- (3) 水たれ現象に対する六角のコーナ部の利用。

以上の結論は導電性 FRP の電気的性能が飛躍的に向上して火花放電時の過渡電流に対してなんら支障のないものとなれば、おのずと異なったものとなる可能性はある。しかし六角 EP において FRP をステンレスに置き

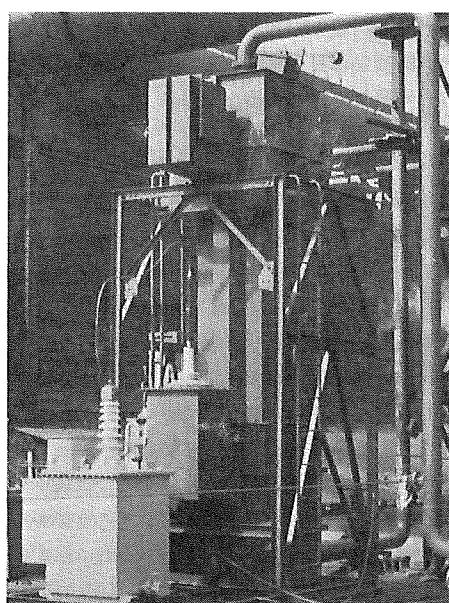


図 9 コークス炉用に対する集じん試験装置
Fig. 9 Test apparatus for coke oven use.

換えれば、本文に挙げた大部分の効果の上に多少の火花放電を許容しうるまでの運転電圧の上昇が可能となり、大幅な性能の向上が積み上げられるはずである。図 9 は某製鉄所コークス炉ガイド車集じん用として金属製六角 EP を試験的に用いたときの装置を示す。この例では明らかに固体粒子の集じんへの応用を意図したものであって、予想どおりの性能と洗浄効果が得られている。

なお脱硫装置の運転条件によって超微粒ミストが少ない場合にはより安価な平板型構造でも使用できる場合もないことはないが、そのような構造自体が現在の導電性 FRP の応用の仕方として必ずしも当を得たものとは思われない。

最後にこの六角型耐食性湿式 EP の完成に際してその場をご提供いただいたばかりではなく、種々ご指導を賜った工場関係者、および初めての FRP 六角筒の製作にご協力いただいたメーカーの方々に厚くお礼申し上げるとともに、本文が導電性 FRP-EP および湿式 EP の発展の一助ともなれば筆者らのこの上ない幸いであると考えている。

参考文献

- 1) 木村 博(監修): 公害防止装置とプラスチック材料, p. 20, 58, 高分子刊行会 (1974).
- 2) 内ヶ崎欣一: 硫酸と工業, 11 (1970), 319.
- 3) 足立宜良: 電気学会論文誌 B, 97, 9 (1977), 521.
- 4) C.W. Lear, W.F. Krieve and E. Conen: J. Air Pollut. Control Assoc., 25, 2 (1975), 184.
- 5) M.J. Pilat: J. Air Pollut. Control Assoc., 25, 2 (1975), 176.
- 6) K. Stopperka: Staub, 25, 11 (1965), 508.
- 7) 関東地区ガス精製分科会: 硫酸と工業, 6 (1959), 20; 7 (1959), 19; 8 (1959), 25; 9 (1959), 23.
- 8) M. Steinbrecher: Stahl Eisen, 96, 17 (1976), 827.
- 9) 古明地成光, 高山善文: 産業機械, 5 (1973), 17.
- 10) E. Bakke: J. Air Pollut. Control Assoc., 25, 2 (1975), 163.
- 11) J. Jepson: Gas J., 26, 2 (1964), 224.
- 12) 橋本清隆, 足立宜良: 静電気とその産業技術, p. 80, 東京電気大学出版局 (1969).
- 13) 厚川麻須美, 亀井和見, 篠田直晴, 栄藤忠己: 三菱重工技報, 18, 2 (1971), 53.
- 14) S. Oglesby and G.B. Nichols: South. Res. Inst. Birm., 8 (1970), 218.
- 15) E.P. Stastny: Chem. Eng. Prog., 624 (1966), 47.
- 16) S. Oglesby and G.B. Nichols: South. Res. Inst. Birm., 8 (1970), 218.
- 17) 木村 博(監修): 公害防止装置とプラスチック材料, p. 20, 高分子刊行会 (1974).
- 18) 坂本和雄, 田村征紀: 硫酸と工業, 8 (1974), 8.
- 19) K. Stoppelka: Staub, 25, 11 (1965), 508.
- 20) 芹田 勇, 橋本清隆, 土生都賢: 日立評論, 42, 4 (1960), 31.