

## 山浦逸雄

目的別テーマ：繊維系材料によるバイオメテックス機能開発

研究テーマ

15-3-5：活性炭素繊維の高効率通電加熱再生法

### ABSTRACT

*In order to preserve atmospheric environment it is required to develop a high performance solvent recovery system. The activated carbon fiber (ACF) has been widely used for the solvent recovery system because of its high performance in adsorbent property. In this system water vapor is presently utilized for desorption of absorbed materials in ACF. The use of steam and recovery of desorption substances from the water make the running cost very high. Therefore, development of the solvent recovery system without using water is expected. ACF is made of carbon, and has electric conductivity. Self-heating of ACF by electric current resolves the problem. Further, this method remarkably increases the heating efficiency because self-heating doesn't depend on heat conduction. Generally, electrodes are applied to the ACF sheet to energize the sheet. The sheet is heated and becomes warm. Heat loss also arises in the electrodes simultaneously. This heat has possibility of generating hot spots and short-passes in ACF. These phenomena are serious problem in view of uniform heating and the safety of apparatus. To avoid these undesirable phenomena, we must make electrode resistance much smaller than that of heating part of ACF. This also conducts increase of energizing efficiency. On the point of electrode materials decreasing electrode resistance and its temperature dependence, several kinds of metals were adopted as experimental materials, and electrode resistance was measured heating up to 200℃. As the result of experiments, it was found that a brass was the most suitable material for the electrodes of ACF self-heating system except a fear of chloridation by decomposed solvent. On the other hand, mechanical characteristics of the ACF sheet were measured as the condition of fabricating absorbing/disorbing elements. Stress-strain curve of ACF sheet were obtained from the experiments using an autograph. The upper limit of the stress was about 0.22 N/mm for the strain of 0.09. Electrical resistance was also measured at the same time. The value of resistance decreased down to 2% from an initial value at the strain of 0.05%. From these results, it was known that fabricating condition on the stress of the sheet did not have to exceed 0.05%. Further, attempts at making electrode impedance extremely low have been achieved. The pressure on the part of electrodes sandwiching the sheet decreases electrode impedance, and also increase of electrode plates' area decreases the impedance. However, there were limitations to the increase of the pressure and the area. Newly devised method for the connection is to use electric conducting adhesive. The adhesive, epoxy resin with Ag particles as fillers, commercially available, is applied to the interface between metal electrodes and the edge of ACF sheet. The edge area of the sheet is 3×50 mm<sup>2</sup>. This method makes no electrode plates on the sheet surface. Removal of electrodes from the surface makes the effective heating volume of ACF up to near 100%. Condition of hardening the adhesive was 150℃×30 min. This temperature is close to the maximum temperature of regeneration of ACF. After hardening the adhesive electric impedance of the connection part was measured, and the value obtained from the experiment was about 1 Ω. This value was the lowest in the series of this kind of studies. As a further study heat resistant electrode was considered using conductive adhesive made of polyimide resin. Hardening was conveyed under 290℃×20 min. Electrode resistance was the same order as the epoxy resin. Adoption of heat resistant electrode does not only promise safe operation of regeneration, but also expands application fields of higher temperature regeneration. In conclusion, the method developed in this study will be available for construction of the high performance solvent recovery system.*

### 研究目的

大気保全、環境浄化の目的から溶剤や VOC の大気への排出を抑え、それら物質を回収し再利用することが望まれている。活性炭素繊維（ACF）は溶剤等の吸着能力に極めて優れることから、溶剤回収装

置の吸着エレメントとして広く使われている。ACF に吸着した溶剤を回収するには、水蒸気や熱風を ACF に適用し、熱によって吸着物質を脱着させ、ACF の再生を図る。再生した ACF は何度も繰り返して使用することができる。しかし、これらの方法には、装置の大規模化、効率が低いなどの問題点がある。特に水蒸気を用いた方法では、溶剤は水と一緒に回収されるので、水から分離するのにコストがかかるほか、厳しい水管理が必要である。このため、水を用いず、しかも高効率で溶剤や VOC を回収できる低廉なシステムの構築が望まれている。本研究は、ACF の素材は炭素であることに着目し、ACF に直接電流を流すことによって脱着温度まで加熱し吸着物質の回収を図ろうとするものである。このようなアイディアは以前からあったが実用に至っていない。その理由は、ACF の通電に際しホットスポットの発生、ショートパスの形成等の現象が起こり、シート状に形成加工された ACF を一様に加熱することが困難であったこと、また通電用電極の ACF との接触部における接触抵抗も ACF に比べてかなり高く、ここでの損失が大きく、高効率加熱も困難であったことによる。本研究は、上述の問題の解決を図り、ACF の高効率通電加熱再生を可能とすることを目的とするものである。

## 5 年間の研究内容と成果

ACF フェルトを厚さ 3 mm 程度に加工したシートを溶剤回収装置の吸脱着エレメントとして使用するため、それに取り付ける通電用電極の電極抵抗の低減を図り、ACF の高効率加熱再生を可能とする研究開発を行った。まず、ACF シートの両端において電極板を上下からシートをサンドイッチ状に挟んだ。上下の電極板を短絡し、ACF シートの電極とする、シート両端の電極間に電流を流し、ACF シートを通電加熱する。ACF シートにホットスポットやショートパスを生じさせないためには、電極抵抗（電極板と ACF シートの接触抵抗）をシート発熱部の抵抗より小さくする必要がある。一般にこの接触抵抗は ACF に比べかなり高く低減は容易ではない。上下電極板間に圧力をかけると電極抵抗は低くなるが限度がある。また、ACF の動作温度は 100~150℃なので、常温からその温度域までの抵抗変化を知る必要がある。温度特性に優れる電極材料検討のため、銀、銅、磷青銅、真鍮、亜鉛、錫、鉛、ステンレスなどの材料について、電極抵抗の温度特性測定実験を行った。この結果、接触抵抗値が最も低く、温度依存性が余りないのは銀であった。しかし、ACF 電極に必要とされるいろいろな条件を勘案して検討した結果、真鍮が最適との結果を得た。ただし、脱着時に溶剤が分解すれば化学的腐食については問題が残る。次に、エレメントの作製時に問題となる引っ張り強度について限界を知るため、ACF シートの機械的特性についても測定を行った。応力歪曲線をオートグラフによって求めた。歪が 0.09 のとき応力は約 0.22 N/mm で最大となり、歪をそれ以上与えると破断し始めた。同時に ACF シートの電気抵抗も測った。実験を開始すると、抵抗は下がり始め、歪が約 0.05 のときに最小となり、その後漸増し、応力が最大点を超えると急激に増加した。これらの結果から、エレメント作製時に ACF シートに与える歪は 0.05 を超えないことが重要であることがわかった。

ACF の加熱効率を上げるためには、通電時の電極部での発熱（損失）を極力小さくする必要がある。電極板と ACF シートとの接触面積を大きくすれば、電極抵抗は低くなるはずである。この考えに基づいて、電極板のサイズをシートの長さ方向に伸ばして測定したところ、伸ばしたわりには抵抗は減少しなかった。検討した結果、電流はほとんどが電極板の端に集中して流出入し、サンドイッチ状にして挟んだ内部の奥深くまで進入しないためと考えられた。したがって、ある程度の大きささえあれば、それ以上大きくしてもほとんど効果は期待できない。また、電極面積を増やすことは、サンドイッチ状に挟まれた部分の ACF は吸脱着に使用することができないので、ACF シートの利用効率を低くする。ACF シートの利用効率を高くするという観点からは、サンドイッチ電極の面積は小さいほどよい。以上の考察から、極限としてサンドイッチ電極の面積を 0 とし、電極と ACF との接触部分は、シートの端面とすることが最高効率を得る方法と考えられた。事実、ACF シートの利用効率はほぼ 100%となる。一方、加熱効率については ACF シート端面における電極抵抗をいかに低くできるかにかかっている。このため、この部分の抵抗を低くして電極材料との接続を行うため、導電性接着剤による接続を考えた。エポキシ樹脂に導電性フィラーとして銀粒子を分散した電気伝導性に優れる接着剤を用いて真鍮と ACF シート端面 (3×50 mm<sup>2</sup>) の導電性接着を行った。硬化条件は 150℃×30 min である。硬化後接着部の抵抗を求めたところ約 1 Ω であり、いままでのデータ中最も低い値であった。これによると、電極部の抵抗は ACF 加熱部の抵抗の 100 分の 1 にすることも容易であり、加熱効率を 99%以上にすることができる。しかし、接着剤硬化条件の温度 150℃は現状の脱着再生温度の上限と同じであり、耐熱性に余裕がない。そこで、安全性を考え、より高温に耐え得る接着剤使用の検討を行った。一般に、ポリイミド系樹脂は耐熱性に優れるので、これを用いた同じく銀がフィラーの接着剤によって実験を行った。接着剤硬化条件は 290℃×20 min である。電極抵抗はエポキシ樹脂の場合と同じオーダであった。以上 5 年間の研究成果から、実用に供し得る高効率通電加熱再生法が達成されたと考えられる。