

たばこ煙のろ過

大谷 吉生*

はじめに

環境たばこ煙 (ETS) は副流煙約 85%、吐出煙約 15% からなり、数千以上の成分からなる粒子状、ガス状物質の混合物である。受動喫煙を防止するために、ETS を空気中から分離する方法として、ろ過は最も簡便で有効な方法である。しかし、ETS 内では粒子-ガス状物質の相互作用 (粒子上へのガス成分の吸着、粒子の生成、粒子の蒸発、など) が起こるため、ETS の完全な分離は容易ではない。ここでは、筆者らが行ってきた研究を中心に、たばこ煙のガス-粒子変換、ろ過分離の問題点についてまとめる。

たばこ煙中の粒子-ガス状物質の相互作用

図-1 に示すように、紫煙が立ち上る過程では、蒸気状物質からの新たな粒子の生成 (Nucleation)、蒸気状物質の粒子への吸着・吸収・収着・凝縮 (Sorptions, Condensation)、粒子状物質からの揮散成分の蒸発 (Evaporation) などの粒子-ガス状物質の相互作用に加え、粒子と粒子の凝集 (Coagulation) が進行する。このため紫煙を直接、100% 粒子状物質を捕集できるフィルターに通しても、紫煙がフィルター通過後、蒸気状物質から新たな粒子が生成したり、紫煙を捕集したフィルターに清浄空気を通すと様々な揮発性成分の蒸気が発生する。たとえば、筆者ら¹⁾ がたばこ 1 本を 1 l/min の空気中で燃焼させ、ガスバックに充填してエイジングさせた結果以下の事が分かった。

- 副流煙中のアセトアルデヒド、イソプレン、エタノールはガス相から粒子相へ移行し、

平衡に達するまでに 40 分もの時間を要する。

- 蒸気状成分の粒子相へ移行は、ある程度可逆的ではあるが、単純な吸着という機構ではない。
- 燃焼直後の副流煙からフィルターにより粒子状物質を除去しても、新たに高濃度の 0.3 μm 以上の粒子が生成する。
- 副流煙蒸気状物質からの新たな粒子の生成は、副流煙を 10 倍に希釈しても起こる。
- 新たな粒子の生成は粒子状物質が共存するときには抑制される。

以上のことから、たばこ煙を空気中から除去するためには、粒子状物質とガス状物質を同時に除去しなければならない。

たばこ煙中の粒子-ガス状物質の同時除去

粒子状物質とガス状物質を同時に除去する方法として、活性炭素繊維 (ACF) フィルターを用いる方法がある。しかし、市販の ACF フィルターは繊維径が 10 μm 以上と太いため平均径 0.1 μm 程度のたばこ煙に対する捕集効率は低く、また、ACF フィルターは物理吸着を利用するため蒸気状成分の吸着容量も低い。そこで、ACF フィルターの表面処理により繊維を帯電させて捕集効率を高め、化学物質を添着して化学吸着を利用することにより平衡吸着量を増加させる試みを行った²⁾。その結果、330 K、6 wt% の過酸化水素水溶液に ACF フィルターを 6 時間浸漬すると、170 pC/m の帯電量を ACF フィルターが持つこと、また、アニリンを添着するとアルデヒド類の除去に有効であることが分かった。さらに、アセトアルデヒドの化学吸着による除去

* 金沢大学自然科学研究科

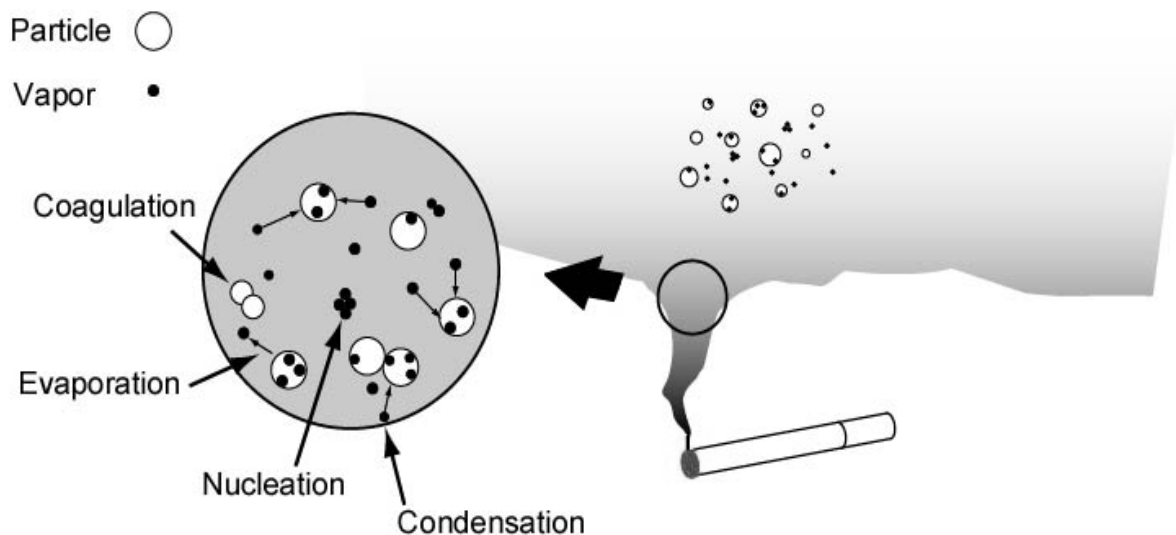


図-1 たばこ煙中の粒子状物質とガス状物質の相互作用

法を確立するために、ACF フィルターに様々なアミノ化合物を添着して吸着実験を行った。まず各種アミン化合物を添着した活性炭を調製し、アミン化合物の中で p-アミノベンゼンスルホン酸アンモニウムが添着剤として最適であることを示した³⁾。そして、その反応は、1 分子の添着薬剤と 2 分子のアセトアルデヒドが反応する Doebner-Miller 反応であることを明らかにした⁴⁾。さらに、空气中に保管した場合のアミン化合物添着活性炭の吸着能劣化機構について検討し、添着薬剤の種類によってその劣化反応の機構は異なり、活性炭は劣化反応において触媒として作用すること、不純物の少ない活性炭素繊維を担体として用いることで劣化反応を抑制できることを示した⁵⁾。

一方、たばこ煙が粒子-ガス相互作用によって非常に不安定であることを積極的に利用し、コロナ放電、放射線照射などのエネルギーを外部から加えることによって蒸気状物質を粒子状物質に変換し、蒸気状成分までをフィルターによって捕集する、あるいは放電化学反応により蒸気状成分を分解する試みを行った⁶⁾。その結果、以下の事が分かった。

- コロナ放電によって、たばこ煙中のイソプレンが重合して粒子状物質が生成し、この

粒子の上にイソプレンの分解生成物であるギ酸、酢酸が吸着する。

- たばこ煙中のアセトアルデヒドはコロナ放電によって除去できない。
- たばこ煙中では、コロナ放電場によって、エタノールからアセトアルデヒドが生成すると同時に、二酸化炭素と水に酸化分解される。

このように、たばこ煙中のアセトアルデヒド一つをとっても、コロナ放電場ではその生成・分解反応は極めて複雑であり、多成分の影響を考慮しないと効果的な特定成分の除去は困難である。

さらに、酸化チタンの光触媒反応により、たばこ煙ガス状物質を分解する方法についても検討を行った。酸化チタン光触媒反応によるガス状物質の分解についてはこれまで多くの研究がなされているが、分解効率を上げるための装置上の工夫に関する研究は比較的少ない。筆者らは、ハニカム上に酸化チタンをコーティングして吸着面積を増やして分解速度を大きくする工夫や、酸化チタンビーズ充填層を用いて充填層式光触媒分解装置の装置工学的な性能評価を行うとともに、効果的な光照射方法についての検討を行った⁷⁾。その結果、以下の事が

分かった。

- 複数のハニカムを組み合わせた流通式除去装置によって、単成分のガス（テスト蒸気はエタノール）であれば長時間完全に除去できる。
- 孔径 1 mm のハニカムでは、孔内におけるガス側境膜物質移動抵抗によって分解速度が支配されること。
- エタノール蒸気単体では 100% 除去できた条件においても、たばこ煙中のエタノールの除去率は 50% と低く、時間とともに除去率が低下する。

また、酸化チタン充填層を用いた実験により、紫外線照射強度、揮散性有機物（VOC）濃度の関数として反応速度式を導出するとともに、ガラスビーズと酸化チタンビーズを混合することにより、紫外線を VOC の分解に有効に利用できることを明らかにした。さらに、酸化チタンをコーティングしたハニカムの上流にコロナ放電によって陽イオンを添加すると分解率が向上するが、逆に陰イオンを添加すると分解率が低下することを示した⁸⁾。

おわりに

以上、述べてきたように、たばこ煙の完全な除去は現時点では不可能と言わざるを得ない。フィルターを用いれば、粒子状物質は除去できるがガス状物質は通過する。また、高濃度のたばこ煙では、フィルターを通過した蒸気状物質から粒子の生成がおこる。さらに、たばこ煙を捕集したフィルターに清浄空気を通すと、ガス状成分の揮散が起こる。吸着剤を用いれば特定のガス状物質は除去できても、一定時間たてば吸着平衡に達し、全く除去できなくなる。吸着容量を増やすために化学物質添着活性炭を用いると、除去対象となるガス状成分に対して種々の添着剤が必要になる。放電化学反応など外部エネルギーをたばこ煙に与えてガス状物質を分解しようとする、たばこ煙は多成分系ゆえその反応は極めて複雑で、二次生成物が問題になる。酸化チタン光触媒反応を用いれば、

二次生成物の生成に加えて、触媒活性の低下が問題となる。現在のところ、このような課題を克服するには、様々な除去法を組み合わせ、ハイブリッド形式として多段でたばこ煙を処理する方法以外にないように感じられる。

もう一つの可能性としては、水による吸収を利用する方法がある。排水による二次汚染の問題は残るが、スクラバーを用いれば、粒子状物質とガス状物質の同時除去も可能である。

文 献

- 1) 並木則和、小西春男、大谷吉生、江見準. タバコ副流煙中の粒子状・ガス状物質の相互作用. エアロゾル研究 2000; 15: 124-30.
- 2) Otani Y, Emi H, Mori J, Nishino N. Fundamental study on the simultaneous removal of gaseous and particulate matters in room environment by fibrous filters. J Aerosol Sci 1991; 22: S793-6.
- 3) Hayashi T, Kumita M, Otani Y. Removal of acetaldehyde vapor with impregnated activated carbons: effects of steric structure on impregnant and acidity. Environ Sci Technol 2005; 39: 5436-41.
- 4) 林敏昭、汲田幹夫、大谷吉生. p-アミノベンゼンスルホン酸塩添着活性炭によるアセトアルデヒド蒸気の吸着. 化学工学論文集 2005; 31: 185-91.
- 5) 林敏昭、汲田幹夫、大谷吉生. 添着活性炭のアセトアルデヒド吸着性能の劣化. 化学工学論文集 2006; 32: 72-8.
- 6) Otani Y, Namiki N, Yun C-M, Emi H. Simultaneous removal of particulate and gaseous cigarette smoke components by corona discharge. Proc of 7th Int Conf on Indoor Air Quality and Climate, Nagoya 1996; 4, 51-6.
- 7) Yoshikawa F, Namiki N, Otani Y, Biswas P. A titanium dioxide-silica glass granule packed bed reactor for degradation of airborne organic compounds. J Chem Eng Japan 2004; 37: 503-13.
- 8) 並木則和、大谷吉生、江見準、吉川文恵、大東信之. ハニカム担持酸化チタン光触媒による室内有機ガス状汚染物質の除去-正イオン添加による触媒活性の向上. 空気清浄. 1998; 36: 20-6.