

マイクロカラム法による活性炭のフミン酸吸着能の評価

岐阜大学大学院

学生員○宇留野尊広

岐阜大学流域環境研究センター

正員 湯浅 晶

岐阜大学工学部

正員 東海 明宏

1. はじめに

水道の水源水質の悪化にともなう異臭味や有機物を除去するために、現在多くの水道事業体で活性炭吸着処理施設の導入が計画されている。活性炭は従来から多くのメーカーによって製造、市販されているが、銘柄によって吸着能力には大きな差がある。活性炭の吸着能力を示す指標としては、比表面積、細孔分布、ヨウ素吸着能力などの物性値があるが、活性炭の吸着能力は各指標によって異なり、また対象とする被吸着質によっても変わってくる。そのため、高度浄水処理を前提とした活性炭の吸着能力試験方法を確立することが必要となってくる。高度浄水処理を前提とした活性炭の吸着能力試験方法としては、実規模の固定層吸着試験がよいが、実規模での試験は時間的、場所的、コスト的にも困難なため、より短時間、小規模な試験が望ましい。また、試験に用いる被吸着質は、実際の高度浄水処理における除去対象物に近いものにすべきである。以上のような観点から、本研究では、実規模装置をScale Downしたマイクロカラムを用いてフミン酸水溶液の通水試験を行い、現在市販されている代表的な活性炭4種類について、その吸着能力の評価を試みた。

2. 吸着モデル

固定層吸着プロセスを解析するための基本式は、押し出し流れモデルと粒内表面拡散律速モデルにより以下のように与えられる。

$$u \cdot \frac{\partial C}{\partial z} + \rho_b \cdot \frac{\partial q}{\partial t} = 0 \dots (1) \quad \frac{\partial q}{\partial t} = \frac{3D_s}{r_p} \left[\frac{\partial q_r}{\partial r} \right]_{r=r_p} \dots (2) \quad \frac{\partial q_r}{\partial t} = \frac{D_s}{r^2} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left[r^2 \cdot \frac{\partial q_r}{\partial r} \right] \dots (3)$$

ここで表1のような無次元化をはかると、式(1)~(3)は、次の式(11)~(13)となる。

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial \xi} + N_1 \frac{\partial \bar{q}}{\partial \theta} = 0 \dots (11) \quad \frac{\partial \bar{q}}{\partial \theta} = 3N_2 \left[\frac{\partial \bar{q}_R}{\partial R} \right]_{R=1} \dots (12) \quad \frac{\partial \bar{q}_R}{\partial \theta} = \frac{N_2}{R^2} \cdot \frac{\partial}{\partial R} \left[R^2 \cdot \frac{\partial \bar{q}_R}{\partial R} \right] \dots (13)$$

$$\text{ただし、} N_1 = \frac{q_0}{C_0/\rho_w} \dots (14) \quad N_2 = \frac{D_s \cdot T}{r_p^2} \dots (15) \quad T = \frac{\rho_b \cdot L}{\rho_w \cdot u} = \frac{M_A}{\rho_w \cdot Q} \dots (16)$$

表1

C: 濃度(g/cm³), q: 吸着量(g/g-AC), u: 空塔流速(cm/s), ρ_b : 活性炭充填密度(g/cm³), Z: 層深(cm), t: 時間(s), D_s : 粒内表面拡散係数(cm²/s), r_p : 活性炭粒子半径(cm), r: 活性炭粒子の中心からの距離, q_r : 粒内吸着量(g/g-AC), L: カラム長(cm), C_0 : 流入濃度(g/cm³), q_0 : C_0 に平衡な吸着量(g/g-AC), M_A : 活性炭充填量(g), Q: 流量(cm³/s), ρ_w : 流体の密度(g/cm³)

無次元化時間 θ に対する破過曲線は、式(11)~(13)に示されるように吸着量配分パラメータ N_1 と吸着速度パラメータ N_2 に支配される。 N_1 と式(15)の D_s が一定であれば、破過曲線は反応時間パラメータTに支配される。つまり、 T/r_p^2 が一定になるように実験装置をScale up/Downすればよいことになる。

$R = r/r_p$	(4)
$q_R = q_r/q_0$	(5)
$\bar{C} = C/C_0$	(6)
$\bar{q} = q/q_0$	(7)
$\bar{q}_R = q_R/q_0$	(8)
$\xi = z/L$	(9)
$\theta = t/T$	
$= \rho_w \cdot Q \cdot t / M_A$	(10)

3. マイクロカラム試験

試験に用いた活性炭は新炭B, E, F, Gとその再生炭、そして実際に浄水場で使用した使用済炭の計12種類であり、これらを粉碎して0.0074~0.0149cm(代表径0.011cm)にふるい分けし、マイクロカラム(内径0.4cm)に充填し、一昼夜蒸留水を通水して完全に湿潤させた後、TOCが11.1ppmのフミン酸(和光純薬)水溶液を通水し、その処理水を採水した。水質指標として、TOCとUV吸光度(E220, E260, E390)を測定し、破過曲線を求めた。なお、表2のような実規模装置の操作条件を想定して、マイクロカラムの操作条件を設定した。

図1に新炭Fの2回分の試験結果を示す。2回目の試験の通水倍率4000以降は、ポンプの不調により流量が低下したため、破過曲線に違いがみられるが、それ以前はほぼ一致しており、マイクロカラム試験の再現性は十分であると言える。

図2に新炭の、図3に再生炭の破過曲線を示す。このマイクロカラム試験によって、明らかに活性炭の吸着能力の差が現れている。新炭のフミン酸吸着能力は、 $E > B = F > G$ の順に優れていることが示される。また再生炭では、 $B = F > E > G$ の順に優れており、活性炭B, F, Gは再生により新炭の吸着能力と同じ程度にまで回復したものの、活性炭Eの再生では新炭の吸着能力まで回復されなかったのが明らかである。

4. おわりに

本研究では、マイクロカラム試験によって活性炭の吸着能力の評価を試みた。その結果、活性炭のふるい分け、活性炭充填量の測定、通水流量の制御などを正確に行えば、再現性も十分期待でき、活性炭の吸着能力を評価し得る、実用的で、簡易な試験方法であることを確認した。

表2 固定層吸着装置の操作条件

	実規模	マイクロカラム
カラム内径		0.4cm
固定層厚L	100cm	1.9cm
活性炭粒径 d_p	0.11cm	0.011cm
活性炭充填量 M_{AC}		0.108g
流速 u	5(m/h) [=8.3(cm/min)]	9.54(m/h) [=15.9(cm/min)]
流量 Q		2.00(cm ³ /min)
空塔滞留時間	12(min) [=720(sec)]	0.12(min) [=7.2(sec)]
空間速度SV	5(1/h) [=0.083(1/min)]	500(1/h) [8.33(1/min)]
活性炭充填密度 ρ_b	0.45(g/cm ³)	0.45(g/cm ³)
T/r_p^2	1785(min/cm ²)	1785(min/cm ²)

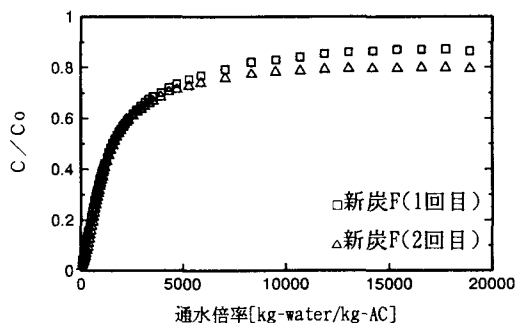


図1 マイクロカラム破過曲線の再現性(E260)

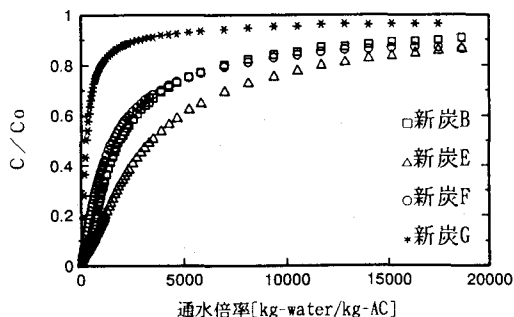


図2 新炭B, E, F, Gの破過曲線(E260)

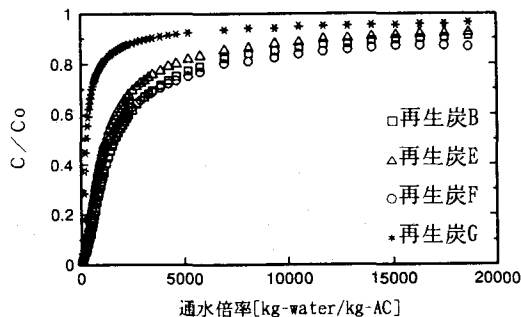


図3 再生炭B, E, F, Gの破過曲線(E260)