

旋回流濾過における分離限界粒子径の推定と微粉吸着材の超高効率利用に関する研究
Estimation of the Critical Particle Size for Spiral-Flow Filtration and Its Application to Fine
Particulate Adsorbents

研究代表者 法政大学生命科学部 教授 森隆昌

【研究の目的】

液相吸着プロセスは様々な工業プロセスで使用されている分離操作の一つである。近年では、福島第一原子力発電所の事故以来、放射性物質(イオンとして液中に存在)に汚染された排水中から吸着によって放射性物質を取り除く処理が行われてきたが、これも液相中での吸着分離である。液相吸着分離に使用される各種吸着剤は主に粉末、ペレット状で、カラムに充填し、液を流すことで吸着分離が起こる。したがって使用する粉末の大きさが小さい方が、比表面積が大きく吸着本来の目的には適している。しかし微粉をカラムに充填すると圧損が大きくなり液を流すことが困難になるため、大きな粒子もしくはペレットを使わざるを得ない。すなわち、微粉吸着材を効率よく取り扱える装置・プロセスが開発されれば、吸着プロセスを超高効率化できると考えられる。そこで本研究では上記の課題を克服し、微粉吸着材を用いることが出来る超高効率吸着分離システムを開発することを目的とする。

【研究の内容・成果】

本研究では、微粉吸着材を高効率で利用できるシステムとして、図1のような装置を用いる。この濾過システムは、通常のセラミックスフィルター(チューブ状)の内側に螺旋案内付き芯棒が挿入してあるところに最大の

特徴がある。この芯棒によって通常のクロスフロー濾過よりも剪断力を大きくすることができ、ケーキ層がフィルター表面に形成されるのを効果的に抑制できる。また旋回流によりスラリーを混合することで濃度が均一になり、高濾過速度を維持できる。

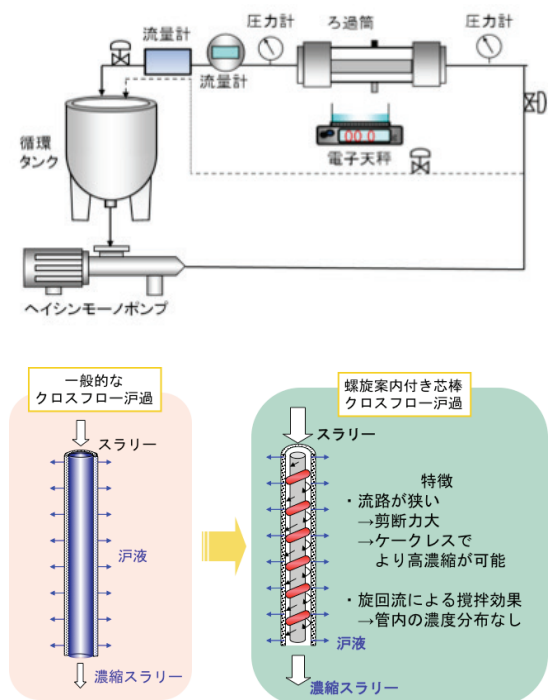


図1 本研究で使用した濾過システム

さらに本研究では、この濾過システムの濾過機構が図2に示すような慣性力の差による分離であることを利用し、比較的孔径の大きい濾過抵抗の少ないセラミックスフィルターで、微粒子を系外に漏らすことなく高速で濾過が可能かどうかを検証し、微粉吸着剤

を使用する吸着処理システムに適用可能かどうかを実験的に検証した。

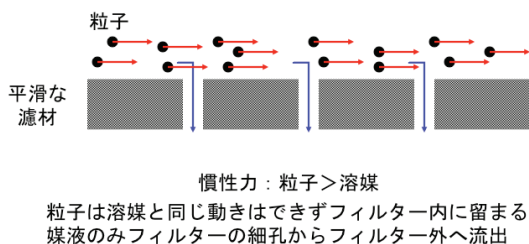


図 2 本システムの濾過機構

実験には表 1 の 3 種類の粒子を使用した。フィルターは細孔径 4.0 μm のアルミナ製のセラミックフィルターを使用した。

表 1 使用した粒子一覧

powder	size [μm]	density [kg/m^3]
SiO_2	2.5	2200
Al_2O_3	3.0	3960
BaTiO_3	3.0	6010

粒子濃度はシリカが 0.03 vol%, アルミナが 0.05 vol%, チタン酸バリウムが 0.01 vol%とした。フィルターの孔径には分布があることが想定されるため、まずデッドエンド濾過でどの程度の粒子が系外に漏れてくるのかを確認した。図 3 にデッドエンド濾過で得られた濾液の外観を示す。いずれの粒子でも濾液には濁りがあり、図のようにはっきりとチンダル現象が確認できたため、孔径よりも小さい粒子径の粒子が多数存在していることが確認された。

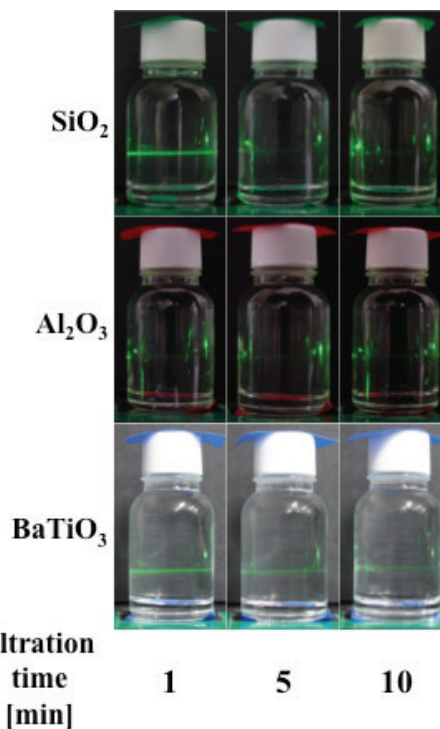


図 3 デッドエンド濾過の濾液の外観

そこでスラリーを 1.1, 1.5 L/min で濾過器に供給し、濾過速度の経時変化を測定し、濾液の外観の変化を観察した。図 4 に濾過速度の経時変化を、図 5 に濾液の外観の変化を示す。

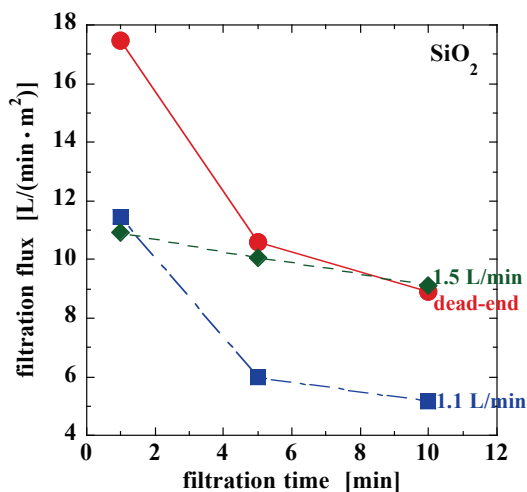


図 5 (a) シリカの濾過速度

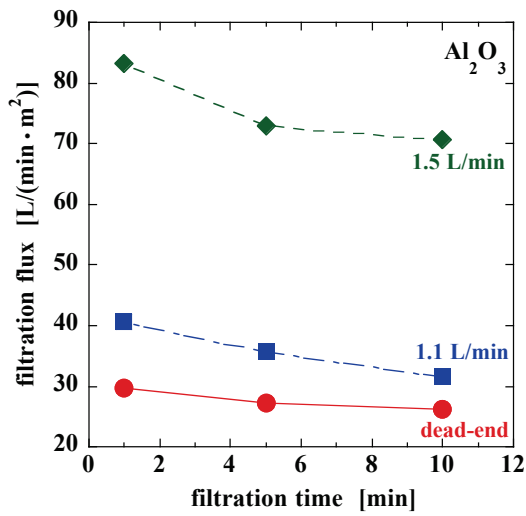


図 5 (b) アルミナの濾過速度

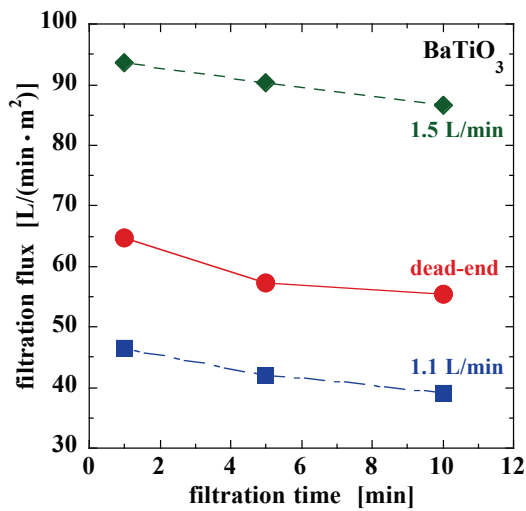


図 5 (c) チタン酸バリウムの濾過速度

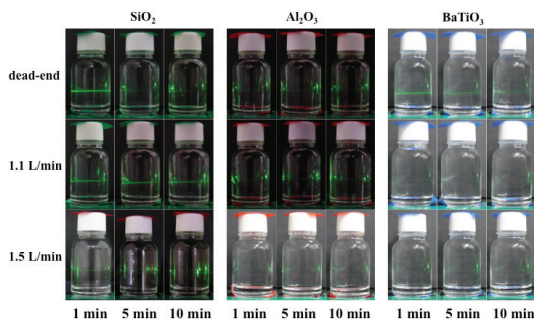


図 6 濾液の外観の変化

今回使用した粒子の中で最も密度が大きいチタン酸バリウムについては、デッドエンド濾過で系外に漏れていた粒子がいずれの流量においても漏れ出すことなく濾過できていることが分かった。次に粒子密度が大きいアルミナではスラリー流量が 1.1 L/min では粒子漏れが見られたが、1.5 L/min まで流量を上げると、漏れなく分離できることを示した。一方で、今回使用した中で最も密度の低いシリカでは、他と比べ液の流れに沿いやすいことが想像され、高流量 (1.5 L/min) でスラリーを供給しても粒子漏れがおさまることはなかった。またシリカ以外のスラリーでは濾過速度の向上も達成されており、孔径より小さな粒子径を持つ微粉に対しても十分な分離 (濾過) 装置として応用可能ではないかと考えられる。

さらに粒子漏れのない条件での濾過において、濾過条件が濾過速度に影響を及ぼすのかどうかについても検討した。孔径 1.2 μm のセラミックスフィルターを用いて、平均粒子径が 0.3, 1.2 μm のアルミナスラリー (粒子濃度 0.05 vol%) を濾過した。スラリー供給量を 3.0, 3.5 L/min とし、濾液の外観を観察するとともに、濾過実験後のフィルターの透水実験から目詰まりの程度を評価した。まず目視による観察から、いずれの条件であっても粒子漏れは確認されず、完全な分離ができていることが分かる。図 7 には透水実験の結果を示す。図中の縦軸、透水速度の比は、濾過後のフィルターの透水試験における透水速度を、濾過前のフィルターの透水試験における

透水速度で除したものである。先述したように、全ての条件で濾液には全く粒子漏れがない状態で濾過できていたが、透水速度の減少率にははっきりとした差が確認できた。すなわち、平均粒子径が $3.0\ \mu\text{m}$ のアルミナの場合は、フィルターの細孔径 ($1.2\ \mu\text{m}$) よりも十分に大きな粒子が入ったスラリーを濾過しているため、いずれの流量であっても粒子がフィルターを閉塞することは考えにくいから、透水速度の低下がほとんど見られなかった。それに対して、平均粒子径が $0.3\ \mu\text{m}$ のアルミナの場合は、流量が大きい $3.5\ \text{L/min}$ の場合の方が、透水速度の低下が抑えられた。したがって、流量が小さい $3.0\ \text{L/min}$ の場合は、粒子が一部フィルターの細孔をふさぐことで、系外への粒子漏れは防ぐことができるが、濾過抵抗の増加を引き起こしていると考えられる。したがって、スラリー流量を $3.5\ \text{L/min}$ まで増加させ、濾過器内のスラリー流速を上げることによって、図2に示した慣性力の違いによる粒子と液体の分離を理想的な形で実現でき、その結果、フィルターへの閉塞が抑えられる、透水速度の低下を効果的に抑制できたものと考えられる。

以上の結果から、スラリー供給量（濾過装置内のスラリー流速）を適切に制御することによって、フィルター細孔径よりも小さい粒子であっても慣性力の違いによってフィルター外に漏らすことなく、高い濾過速度で濾過できることが示された。微粉吸着剤への応用はもちろん、様々なプロセスに応用できる濾過指針が確立できた。

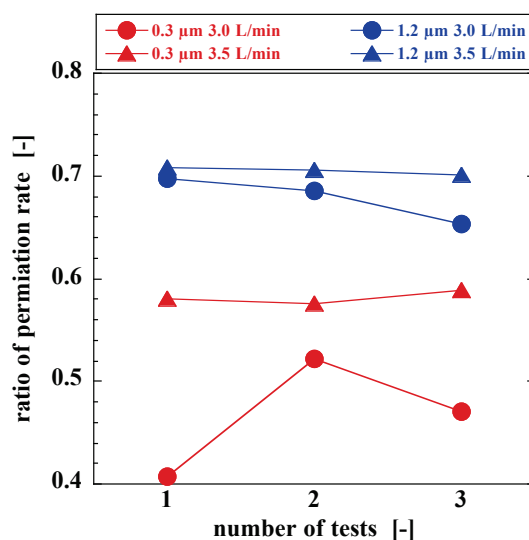


図7 透水速度の減少率

【今後の展開】

今後は本システムの実用化を目指し、本システムの適用可能性のある実プロセスで研究を実施する。すでに多孔質カーボン微粒子の吸着分離を想定した実験を行っているが、粒子密度が小さいため現状ではうまく分離ができていない。今後更なる運転条件の検討を行い、密度が小さい場合であっても分離できるようなシステムの構築を目指す。さらに実用化検討においては、ランニングコスト（フィルターの洗浄、ポンプの運転コストなど）までを含めて検証する。

【研究成果の発表】

1. 森智紀, 森隆昌, 「ケーキレス高濃縮濾過システムの運転条件が濾過特性に及ぼす影響」, 分離技術会年会2015 (2015年5月30日, 明治大学)
2. 熊谷裕貴, 森隆昌, 「粒子への高分子吸着量測定のための新規サンプリング方法の開発」, 分離技術会年会2016 (2016年5月27日, 日本大学)