

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 7 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560910

研究課題名(和文)分離径制御流同伴型サイクロンの開発とPM-VOC同時除去とナノ粒子合成への利用

研究課題名(英文)Effects of Clean-air Injection on Particle-separation Performance of Novel Cyclone with Sintered Metal Cone and its Application

研究代表者

福井 国博(FUKUI, Kunihiro)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60284163

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：焼結金属製円錐を持つ新規のサイクロンの円錐部からクリーンウォーター、クリーンエアを供給する手法を提案し、その分級性能を評価した。次の結論を得た。1.円錐部壁面からクリーンウォーターを供給しても分離径、分級精度指数はほとんど変化しない。2.スラリー流量が低い場合、クリーンエアを微量に(RQ<0.5)供給すると分級精度指数を変化させることなく分離径の微細化が可能であるが、クリーンエアを大量に供給すると分級性能は悪化する。3.スラリー流量が高い場合、クリーンエアを供給しても分離径、分級精度指数はほとんど変化しない。4.クリーンエアの流量比によって分離径を制御することが可能である。

研究成果の概要(英文)：The performance of a novel cyclone separator with a cone made of porous sintered metal was compared with that of a conventional design with a cone made of acrylic resin. Controlled injection of clean air through the porous cone is proposed as a new method to control the cut size and reduce powder deposition on the cone.

In the experiments, when clean air was not injected through the porous cone, the cut size and the amount of powder deposited on the porous cone were greater than for the acrylic resin cone. However, the introduction of adequate clean air through the porous cone simultaneously reduced the cut size and the powder deposition to less than those with the conventional cone. The revised horizontal-flow model revealed that this occurred because the injected clean air enhanced the tangential velocity of the fluid near the cone surface by reducing the surface's apparent friction factor.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：プロセス工学 化工物性・移動操作・単位操作

キーワード：乾式サイクロン ハイドロサイクロン 分級性能 集じん性能 焼結金属 噴流

1. 研究開始当初の背景

サイクロンは集塵機や分級機として広く用いられているが、吸引エアロゾル流の流量を変化させることができなかった。そこで、新たに、コニカル部に多孔質材料を持つ分離径制御流同伴型サイクロンを開発する必要がある。すなわち、少量の制御流をコニカル部から導入することでオンタイムに分離径を自在に変更することを可能とし、従来のサイクロンよりも分離径を微小化することは重要な課題であった。また、このサイクロンとマイクロ波加熱を併用し、PM0.1～PM2.5の粒子状物質とVOCを同時に除去する乾式システムを構築することを目指す必要がある。さらに、主流を液体、分離径制御流を気体として、粒子合成と分級・捕集を同時に行う湿式機能性粒子製造プロセスを構築する必要がある。

これらを実現しなければならないのは、以下の理由による。各種の固定発生源から排出される浮遊粒子状物質の内、 $2.5\mu\text{m}$ 以下のPM2.5、特に、粒子個数では大部分を占める $0.1\mu\text{m}$ 以下のPM0.1は喘息や気管支炎を始め人体に多くの影響を与えると考えられており、これらを大気中から除去・回収することは重要かつ急務である。

2. 研究の目的

本申請では、一定の吸引流速下であってもPM0.1～PM2.5を任意の粒径で捕集可能な分離径制御流同伴型サイクロンを開発することを第1の研究目的とする。制御流を同伴することで、捕集最小径を微細化でき、ナノ粒子の効率的な分級・捕集装置としても機能することが期待できる。サイクロン内壁への粒子付着量の低減と旋回流の増大が可能となり、連続運転にも適した構造であると考えられる。このような制御流がもたらす分離径の微細化・可変性、壁面付着量の低減効果は、本装置に導入される粒子が微細である程、顕著に発現する予想される。大気環境下の汚染粒子の濃度は比較的lowく、その粒径も微細であることから、分離径制御流同伴型サイクロンのこのような特徴は、PM0.1～PM2.5の捕集に非常に適すると予想される。

また、このサイクロンシステムを応用し、SOxやNOx、VOC等の有害成分を本装置内で反応・分解することで、大気中の浮遊粒子状物質と有害成分を同時に除去するシステムを構築することを第2の研究目的とする。浮遊粒子状物質と有害成分の同時除去が可能となるのは、分離径制御流同伴型サイクロンは、これまでのサイクロンとは異なり、コニカル部にマイクロ孔を有するフィルターを使用しているためである。このフィルターに有害成分の分解反応を促進する触媒を担持することが可能であり、この触媒の作用によって有害成分を分解する。さらには、触媒が担持されたコニカル部にマイクロ波を照射することで、選択的に触媒の活性を高め、分

解効率を向上させることも目的とした。

さらには、このサイクロンシステムを液相系に応用し、気液反応による粒子合成と生成粒子の分級・捕集を同時に行う粒子製造プロセスを構築することを第3の目的とする。主流に反応液を、制御流に反応ガスを用いることで、サイクロン内の旋回流により、気泡となった反応ガスと反応液が強く攪拌混合され、高い物質移動係数や拡散係数が得られると期待される。ここで生成した粒子状物質は、本装置内で分級され、所定の粒径になったものだけが回収される。一方、所定の粒径以下の生成粒子は循環させ、再度サイクロンに供給し再度、反応により粒子成長させることを想定している。このようなシステムを構築することで、短時間で粒度の揃った機能性粒子を製造できるプロセスが得られると期待される。

3. 研究の方法

1) PM0.1～PM2.5 分離回収可能な分離径制御流同伴型サイクロンの開発と性能評価

図1に示すような実験システムを用いて、本申請で提案する分離径制御流同伴型サイクロンの捕集・分級性能を評価した。即ち、分散機で分散された試料粉末をサイクロンに導入し、捕集される粒子とフィルターで捕集される粒子の粒度分布および質量から部分分離効率を算出し、その性能の評価を行った。この時、吸引流速および制御流と捕集性能の関係を明らかにした。さらに、サイクロンの形状およびサイクロン側壁に使用する焼結金属の細孔径焼結金属の表面粗度を最適化し、PM0.1の捕集効率を向上させると共にナノ粒子の捕集も可能とさせるよう工夫した。

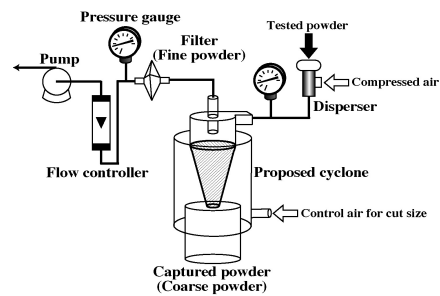


図1 粒子分離回収実験装置概略

2) PM0.1～PM2.5, VOC 同時除去装置の開発と性能評価

PM0.1～PM2.5の粒子を任意の粒径で分離回収するサイクロンシステムにおいて、焼結金属製のサイクロン側壁にTiO₂やPt触媒を担持し、VOC等の有害成分を反応・分解する機能を付加した。サイクロン内では強い旋回流が発生しており、これにより物質移動係数が増大し、反応率が向上することが期待される。さらに、サイクロンシステムから排出された有害成分が残留した気流の一部を粒径制御流に利用することを想定した(図2参

照)。このように、有害成分を含む気流を粒径制御流に用いることで、触媒が担持された側壁の細孔を有害成分が透過することになり、触媒と有害成分の接触面積・確率が増加し、有害成分の反応・分解率が大幅に向上すると予想される。

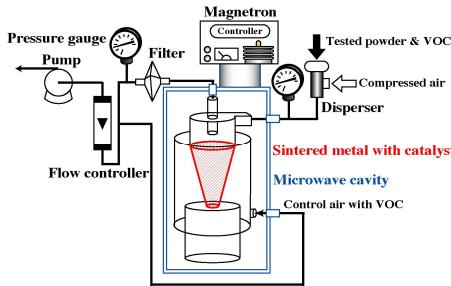


図2 マイクロ波照射実験装置概略

3) 分離径制御流同伴型サイクロンを用いた気液反応による粒子創製プロセスの開発と評価

開発した分離径制御流同伴型サイクロンにおいて、主流に反応液、制御流に反応ガスを導入し、気液反応による粒子製造実験を行った。モデルケースとして、反応液に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水溶液、反応ガスに CO_2 を用いて CaCO_3 粒子を合成する。この際の物質移動係数や反応率等を測定し、既存の充填塔や気泡塔のそれらと比較することで性能を把握した。

4. 研究成果

ここでは、乾式および湿式において、焼結金属製円錐サイクロンの分級特性結果を中心として記述する。

1) 焼結金属製円錐部を持つ乾式サイクロンの分級特性

円錐壁面吹出し量を変化させ、90 L/min で分級を行った時の部分分離効率曲線を図3に示す。なお、比較対照としてアクリル製円錐を用いた場合の結果を併せて示す。クリーンエアを供給することで分級精度を変化させずに、分離径を移動できることがわかる。これはクリーンエアを供給することによって旋回速度が変化したためであると考えられる。

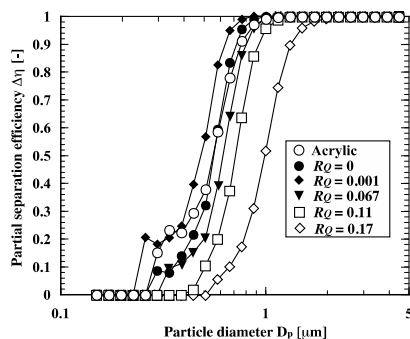


図3 Partial separation efficiency for flow ratio at 90 L/min

50%分離径と吹出し流量比の関係を Fig.3 に示す。また円錐部への粒子付着率も併せて示す。なお、粒子付着率はサイクロンに供給した粒子のうち円錐部に堆積した粒子の質量割合と定義した。

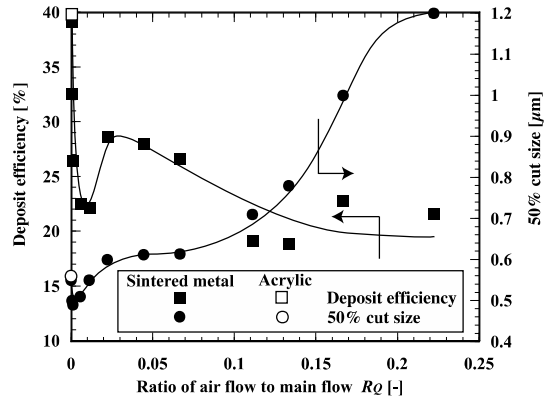


図4 50% cut size and deposit efficiency as a function of flow rate ratio ($R_Q = 0-0.25$)

流量比を 0.015 以下でクリーンエアを供給することで、クリーンエアを供給しない場合 ($R_Q = 0$) よりも付着率を低減でき、分離径を微細化できることがわかる。また、流量比をさらに増加させると分離径は増大するが、付着率はクリーンエアを供給しない場合よりも常に低くなっている。このことから円錐壁面からクリーンエアを供給することで、円錐部壁面の粒子付着率を低減でき、流量比によって分離径を制御することができると言える。

2) 焼結金属製円錐部を持つ湿式サイクロンの分級特性

クリーンエアを円錐部壁面から供給した結果について示す。図5に得られた部分分離効率曲線を示す。スラリー流量の少ない $Q_s = 6$ l/min の場合、流量比 R_Q によって部分分離効率曲線が大きく変化していることがわかる。また、アクリル製円錐を持つ従来のサイクロンに比べて分離径を微細化することが可能な流量比 R_Q が存在している。

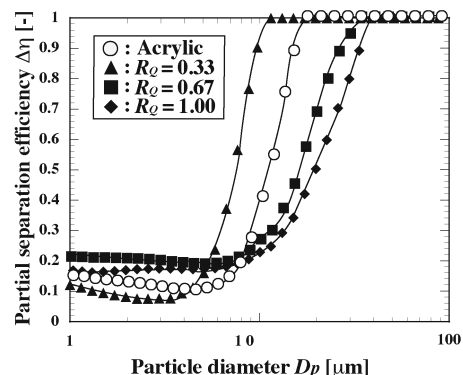


図5 Partial separation efficiencies in the case of introducing clean air

図6に流量比 R_Q と50%分離径の関係を示す。スラリー流量の低い $Q_s=6\sim 8$ l/minの場合、 R_Q が増加するにつれて50%分離径は減少し、 $R_Q=0.25$ 付近で最小値をとった後、再び増加している。このことから、流量比 R_Q による分離径制御が可能であると言える。また、 $R_Q<0.5$ でクリーンエアーを供給することでアクリル製円錐を持つサイクロンよりも50%分離径を微細化できていることがわかる。また、 $R_Q<0.5$ の範囲では分級精度指数 \square はほぼ一定である。しかし、 $R_Q>0.5$ では、分級精度指数は急激に悪化している。

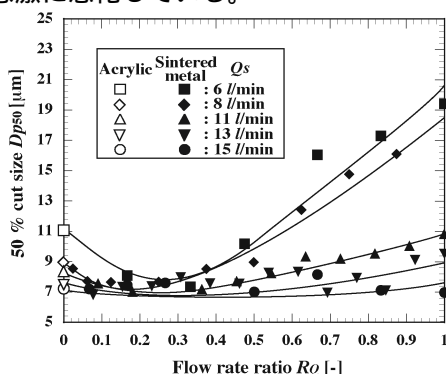
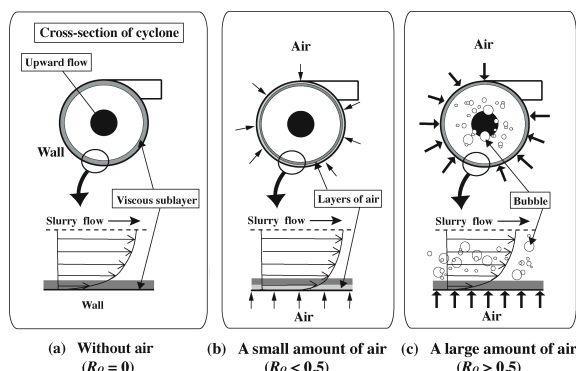


図6 Relationship between 50% cut size and flow rate ratio R_Q

これらの現象は液体サイクロン内で次のような現象が生じていると考えた。



5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計7件)

- 1) 松沢 光晴, 高井 健次, 坂本 裕太郎, 村上 公威, 福井 国博, 山本 徹也, 吉田 英人, 電場印加型の垂直流型水篩による微粒子の高精度分級, 粉体工学会誌, 51(2), 査読あり, 2014, 68-76, <http://dx.doi.org/10.4164/sptj.51.68>
- 2) Hiraiwa, Y., T. Oshitari, K. Fukui, T. Yamamoto and H. Yoshida, Effect of free air inflow method on fine particle classification of gas-cyclone, Separation and Purification Technology, 118, 査読あり

- 3) Fukui, K., M. Katoh, Y. Saeki, T. Yamamoto and H. Yoshida, Effect of packing fraction on indium tin oxide powder synthesis via a solid-phase reaction with microwave heating, Chemical Engineering Science, 98, 査読あり, 2013, 17-24, 10.1016/j.ces.2013.05.012
- 4) Yoshida, H., T. Tatekawa, K. Fukui, T. Yamamoto, K. Takai and M. Matsuzawa, A new method of zeta-potential measurement by the use of the sedimentation balance method, Powder Technology, 237, 査読あり, 2013, 303-308, 10.1016/j.powtec.2012.12.011
- 5) 村重 佳奈, 福井 国博, 西田 幸生, 山本 徹也, 吉田 英人, 焼結金属製円錐を持つ液体サイクロンの分級特性, 粉体工学会誌, 49(5), 査読あり, 2012, 367-373, <http://dx.doi.org/10.4164/sptj.49.367>
- 6) Fukui, K., Y. Igawa, N. Arimitsu, M. Suzuki, T. Segawa, K. Fujii, T. Yamamoto and H. Yoshida, Mechanism of synthesis of metallic oxide powder from aqueous metallic nitrate solution by microwave denitration method, Chemical Engineering Journal, 211, 査読あり, 2012, 1-8, 10.1016/j.cej.2012.09.032
- 7) Yoshida, H., Y. Hayase, K. Fukui and T. Yamamoto, Effect of conical length on separation performance of sub-micron particles by electrical hydro-cyclone, Powder Technology, 219, 査読あり, 2012, 29-36, 10.1016/j.powtec.2011.12.002

〔学会発表〕(計8件)

- 1) 福井国博, 井上あやこ, 山本徹也, 吉田英人, 粉体操作を利用した亜鉛含有ダストからの亜鉛成分の濃縮改修, 化学工学会第79年会. 岐阜, 2014年3月18~20日
- 2) 福井国博, 村重佳奈, 山本徹也, 吉田英人, 焼結金属製円錐を持つサイクロンの集じん特性, 粉体工学会秋期研究発表会. 東京, 2013年10月8~9日
- 3) Segawa, T., M. Suzuki, K. Fujii, K. Fukui, Y. Igawa, T. Yamamoto and H. Yoshida, Development of Synthesis Process of Nickel Oxide Powder by Microwave Denitration Method, 9th World Congress of Chemical Engineering, August 18-23, 2013, Seoul, Korea
- 4) 福井国博, マイクロ波照射を粉体プロセ

スに利用した材料合成とリサイクル,
粉体工学会春期研究発表会. 大阪,
2013年5月21~22日

- 5) Fukui, K., K. Jikihara, K. Murashige, T. Yamamoto and H. Yoshida, Effect of Clean-air Injection through Porous Sintered Metal Cone on Classification Performance of Novel Cyclone, 5th Asian Particle Technology Symposium APT2012, July 5-9, 2012, Singapore
- 6) Fukui, K., K. Jikihara, T. Yamamoto and H. Yoshida, Control of classification performance of novel cyclone with sintered metal by clean-air injection, 20th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2012, August 25-29, 2012, Prague, Czech Republic
- 7) 福井国博, 直原健司, 村重佳奈, 西田幸生, 山本徹也, 吉田英人, 壁面吹出しを利用したサイクロンの分離径制御, 化学工学会第43回秋季大会. 名古屋, 2011年9月15~17日
- 8) 村重佳奈, 直原健司, 福井国博, 山本徹也, 吉田英人, 焼結金属製円錐を持つサイクロンの分級特性, 粉体工学会秋期研究発表会. 東京, 2011年10月18~19日

〔図書〕(計2件)

- 1) 福井国博, 日刊工業新聞社, はじめての集じん技術, 2013, p.53-61
- 2) 福井国博, 技術情報協会, 粉・粒体の構造制御、表面処理とプロセス設計, 2013, p.106-110

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福井 国博 (KUNIHRO FUKUI)

広島大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 60284163

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: