

補助事業番号 2023M-314

補助事業名 2023年度 室内作業衛生環境負荷低減と省エネを同時に達成する集塵技術開発 補助事業

補助事業者名 大分工業高等専門学校 機械工学科 尾形研究室 尾形公一郎

1 研究の概要

本研究では、溶接ヒューム、金属スパッタや粉塵を集塵する集塵性能評価装置を製作し、集塵粒子及び圧力損失の特性を明らかにした。さらに、溶接煙を集塵し、粒子観察と元素分析の結果から、スパッタやヒュームの集塵を確認することができた。

2 研究の目的と背景

金属アーク溶接等の作業は製造、建設等の幅広い業種で用いられており、モノづくり現場では欠かすことができない重要な技術である。一方で、近年、国は金属アーク溶接等の作業において発生する溶接ヒュームの処理に対して新たな健康障害防止措置を取ることを事業者に義務付けた。この規則改訂は関連業種に大きな影響を及ぼし、作業環境中の溶接ヒュームやスパッタ、粉塵の抑制対策は急務な課題である。さらに、溶接ヒュームなどは集塵後に室外に全体換気されるため、室内の環境維持のためのエネルギー消費量やコストが増大している。

このような背景から、国の健康障害防止措置義務化に対応するために、多くの集塵機が開発されているが、溶接ヒュームを高効率に集塵し、かつ、集塵後の空気を室内排気してエネルギー消費量を削減可能なシステムは開発できていない。そこで、溶接ヒュームや粉塵を高効率に集塵し、かつ、集塵後の空気を室内に排気可能な集塵装置の開発と、その性能評価が求められている。

ここで、溶接ヒュームとは溶接などによって生じた蒸気が空気中で凝固したもので、粒子径が0.1~1 μ m程度の微小な粒子状物質である。この溶接ヒュームは、人が鼻腔や口から吸入した場合に肺の奥深くにある肺胞まで到達すると言われている。さらに、溶接ヒュームに含まれるマンガン成分は感覚障害や著しい疲労感および不眠などの神経機能障害に繋がるとの指摘なされている。

このため、溶接ヒュームを起因とする粉塵障害を防止することは製造業の工場や作業現場などにおける作業環境や衛生面から特に重要な課題であり、溶接作業場の衛生環境を低減するために、サイクロンと各種フィルターを用いた高性能集塵機の開発が進められている。しかしながら、開発中の集塵機の各部の性能を個別に評価できる形にはなっていない。集塵機の性能を正しく評価することは、今後の製品開発にも繋がると考えられる。

そこで、本研究では高性能集塵機で使用するサイクロンやフィルターの性能を評価する装置及び計測システムを構築し、集塵性能を分析および評価することを目的として研究に取り組んだ。

3 研究内容

(1) 室内作業衛生環境負荷低減と省エネを同時に達成する集塵技術開発
(<https://www.oita-ct.ac.jp/w-kikai/2023-jka-ogata/>)

本研究で性能評価を想定している集塵機は、サイクロン、金属フィルターとHEPAフィルターを用いて製造業の溶接作業場のダスト、溶接粉や溶接ヒュームを捕集する構造を採用している。このため、本研究では同一の三段構造を有する小型集塵機を製作し、性能評価を行う事とした。ただし、本実験ではHEPAフィルターの代わりにバグフィルターを採用した。

図1に集塵性能評価装置の外観写真を示す。本装置は、図の左側（上流側）から、粉塵を供給する電磁フィーダー、ダスト吸込み部、水平管、サイクロン集塵部、バンド及び水平管を介して、フィルター集塵部を設置している。フィルター集塵部の下流側にはフレキシブルホースを接続し、送風機で吸引した後に、ダストバッグを介して排気する構造とした。また、溶接煙を吸引する場合は、電磁フィーダーは使用せずに、溶接室へ装置を持ち込、溶接時に発生する溶接煙を直接ダスト吸込み部から吸引する形を採用した。風速の調整には変圧器を用いている。装置内部の流速測定にはピトー管を、圧力測定には微差圧センサを使用した。集塵した粉塵の質量測定には電子天秤を、粉塵の排気濃度の測定にはダストコレクターを用いた。データロガーを使用して圧力損失や温度、湿度の時系列データを記録した。

ここでは、本研究の主目的である、本装置で溶接ヒュームの捕集が可能か否かの確認をするために、アーク溶接作業時に発生する溶接煙の集塵実験を行った結果について述べる。実験では、バグフィルターの圧力損失を測定し、バグフィルターで集塵した粒子のSEM観察とEDS分析を行い、集塵性能を分析および評価した。実験条件はサイクロン上流側の流入部風速を12.1m/s、バグフィルターの初期圧力損失を約800Paとして実験を開始し、溶接煙を90分間吸引した。



図1 集塵性能評価装置

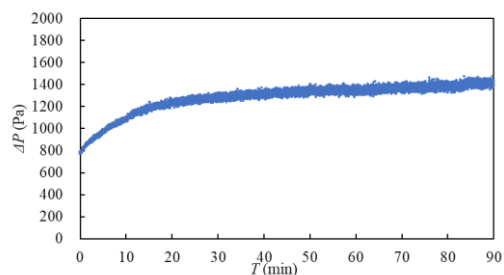


図2 バグフィルターの圧力損失

図2に溶接煙を集塵した際のバグフィルターの圧力損失の測定結果を示す。図のように、90分間の吸引時間で圧力損失が800Paから1400Paまで上昇した。これは、バグフィルターで溶接煙を捕集し、フィルターに付着した粉体の通気抵抗の増加に伴って圧力損失も上昇し

た結果であると言える。次に、フィルターで捕集した粉体が溶接ヒュームやスパッタであるかと確認するために、走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて集塵粉体の観察とエネルギー分散型X線分光法による元素分析（EDS）を行った結果を述べる。図3にSEMの観察結果から、測定した溶接煙の粒子径は数百nmから数 μm であり、球形のスパッタやヒュームおよび凝集体が確認された。また、図4のEDS分析からFeとOの成分が多く検出され、酸化鉄が集塵されていた。さらに、Mnも検出されたことから、本装置を用いて溶接ヒュームに見られる成分を集塵できることが確認できた。

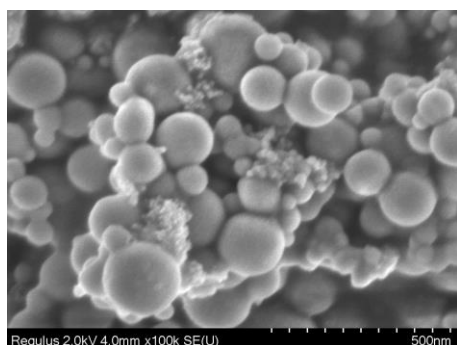


図3 溶接煙のSEM画像（ $\times 10$ 万倍）

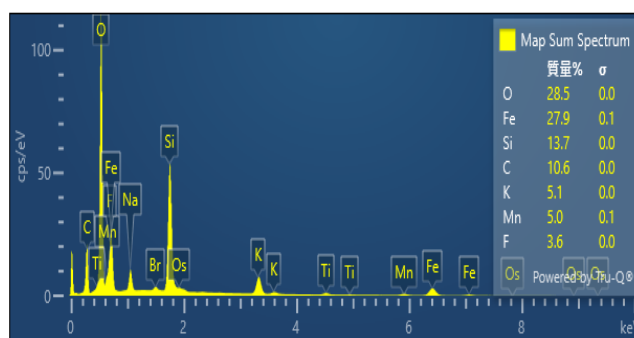


図4 EDS分析結果

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

研究目的と背景で述べた通りに、本研究は、金属アーク溶接などを行う工場や作業現場で発生する溶接ヒューム、スパッタや粉塵を集塵する装置で使用されるサイクロンや各種フィルターを用いた集塵機の各部の性能を評価することを目的として実施した。その結果、本事業期間中に、装置の製作が完了し、粉塵および溶接ヒュームやスパッタの捕集を確認でき、性能評価も可能な成果が得られた。これらの成果は、本試験装置のような多段構造の高性能集塵装置の設計・製作に繋がり、実社会で活かされていくと考えられる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

補助事業者は、これまでに水力学、混相流工学、機械設計法、設計製図の教育歴があり、現在も教育を続けている。このため、本研究で対象としている集塵機内部の空気の流れや、集塵機で集塵するダストや溶接煙の固気二相流の流れ、並びに粒子の集塵および付着・凝集に関する研究成果は、自身の授業に生かすことができる。また、学生には、本研究課題を通じて、実社会でどのような問題があり、問題を解決するための研究開発の重要性や実践例を、生きた教材として伝えることができると考えている。さらに、今後、さらに本研究を進めて、研究を通して得られた知見を設計に生かすことができれば、機械設計法や設計製図の教育にも展開でき、本研究の教育的価値は高いと考えている。

次に、補助事業者は、これまでに、粉体材料の供給、輸送、乾燥、流動化などの粉体ハンドリン

グの研究に従事してきた。また、これら粉体ハンドリングに関する粉体物性(粉体の流動性や噴流性、付着性など)の評価も行ってきた。さらに、最近では、粉体流動に及ぼす粒子特性(粒子径や形状、比表面積など)や粉体特性の影響の研究を推進している。

今回の研究対象である集塵は、事業者がこれまで研究に取り組んでいた、粉体の供給及び輸送技術の後工程の技術であるが、環境対策や衛生環境の維持においては必須な技術である。また、粒子の集塵は、粒子特性や粉体特性の評価の研究とも密接に関係している。さらに、本研究で対象とする粉塵はナノサイズからミクロンサイズであり、これらの粉体の空気中での付着・凝集メカニズムの更なる理解が必要である。以上より、本研究で得られた成果は、粉体ハンドリング技術の新たな知見として、学術的、かつ、工業的にも重要な位置づけになると考えている。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

「該当なし」

7 補助事業に係る成果物

「該当なし」

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

大分高専専攻科特別研究Ⅰ 審査発表会概要

(<http://www.oita-ct.ac.jp/w-kikai/wp-content/uploads/sites/7/2024/08/onct-2023-jka-abstract.pdf>)

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 大分工業高等専門学校機械工学科(オオイタコウギョウコウトウセンモンガッコウキカイクウガッカ)

住 所： 〒870-0152

大分県大分市大字牧1666番地

担 当 者： 教授・尾形 公一郎(キョウジュ・オガタ コウイチロウ)

担 当 部 署： 機械工学科(キカイクウガッカ)

E - m a i l: k-ogata@oita-ct.ac.jp

U R L: <https://www.oita-ct.ac.jp/w-kikai/ogata/>