ノート

溶接ヒューム用集塵機および空気清浄機の開発

須貝　裕之*　村木　智彦*　櫻井　貴文**　阿部　淑人*
齋藤　文昭***　本間　義広***　石井　知治***　齋藤　隆範***

Development of Fume Collector and Air Cleaner for Welding Factory

SUGAI Hiroyuki*, MURAKI Tomohiko*, SAKURAI Takafumi**, ABE Yoshito*,
SAITO Fumiaki***, HONMA Yoshihiro***, ISHII Tomoharu*** and SAITO Takanori***

1.　緒　　言

溶接工程ではヒュームと呼ばれる金属微粒子を含んだ煙が発生する。ヒュームは溶接中に溶融・蒸発した金属が空気中で凝固することにより形成される 1 nm～100 μm の微粒子である。ヒュームは作業者への健康障害を引き起こすことが明らかとなったため，令和 3 年 4 月 1 日から特定化学物質に加えられ，規制の対象となった。この規制により，工場への全体換気装置の設置や局所集塵機によるヒューム濃度の管理が義務づけられた。

一方，溶接工程では前処理の研磨や後処理のバリ取りのためのグラインダー作業も必要である。この結果，溶接作業においてはグラインダーとヒューム用の 2 台の集塵機が必要となり，作業空間を制約すると共に作業性を悪化させる。そこで，これら二つの機能を一体化した局所集塵機を開発した。開発においては試作・実験と共にコンピューターによる流体解析を併用し，異なる粒径の集塵機能を両立させる構造を検討した。また，集塵機による局所排気を嫌う工場もあることから，これに対応した大型空気清浄機の開発も行った。これについては装置の配置や浄化能力について検討を行った。本報告では令和３年度共同研究において実施した研究開発内容の一部を紹介する。

*　　研究開発センター
**　　県央技術支援センター
***（株）エステーリンク

2.　局所集塵機の火消し構造の開発

開発する局所集塵機はヒュームと共にグラインダー作業により生じる粉じん（以下，火花と呼ぶ）も集塵しなければならない。火花は図 1 に示すように粒径が数 mm に達する高温の金属片であり，砥石とワークの加工点から高速で飛散する。これをそのまま集塵した場合，フィルターの焼損や集塵機の火災につながる。これを防ぐため集塵機は「火消し」と呼ばれる消火構造を備えている（図 2）。原理は，途中に設けた迷路形状の流路によりフィルターに到達するまでの火花の飛行時間を長くして温度を低下させるものである。

図 1　グラインダー作業時の火花

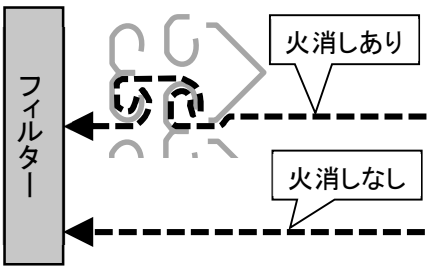


図 2　火花の飛行経路と火消し構造

本研究では，火花がフィルターに到達するまでの時間を増加させることを目的とし，流体解析により火消し構造の検討を行った。図 3 に解析結果の一例を示す。火消し構造は周期的に同じ形状が連続することから，周期境界条件を利用して一部分のみを計算することで，解析モデルの簡略化と計算時間の短縮を図った。計算は図中の解析空間左側から集塵機の風量に相当する気体を吸引し，運転時における定常流れ場を計算する。この流れ場に対して，解析空間右側から火花を模した粒径と密度をもった粒子を所定の初速度で投入し，その軌跡を計算した。軌跡の色は投入時からの飛行時間を表している。投入位置により様々な軌跡を描いていることがわかる。

図 4 に解析空間左側，すなわちフィルターに到達した粒子の飛行時間とその度数分布を示す。図中の棒グラフは目盛り時間±0.25 s の間に到達した粒子の個数，折れ線グラフは到達した粒子の累積値である。本評価方法により，平均到達時間が長く分散（ばらつき）の少ない火消し形状を検討した。

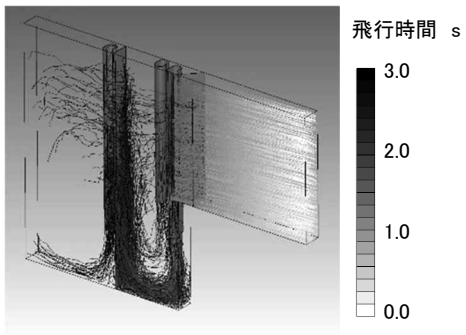


図 3　火花飛行軌跡の解析結果

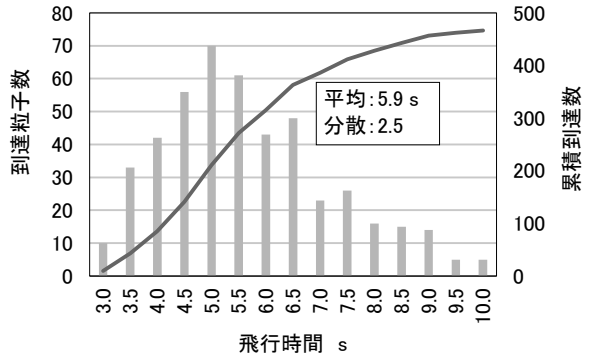
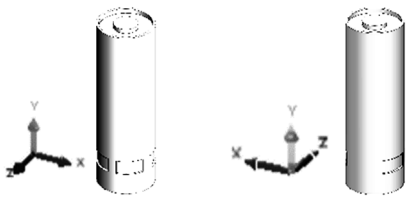


図 4　火花のフィルター飛行時間分布

3.　大型空気清浄機による工場内浄化能力評価

開発する大型空気清浄機は工場の大きさや配置に合わせて 1 台もしくは複数台設置することを想定している。本研究では装置の設置位置や台数が空気浄化能力にどのように影響するかを流体解析により調べた。図 5 に大型空気清浄機の解析モデルを示す。本装置は上部から汚染された空気を吸い込み，内部のフィルターで浄化した後，側面から吐き出す。背面には構造上，吐き出し口がない。図 6 に評価の対象とした仮想の工場を示す。評価の方法であるが，実際の工場では溶接場所やその数，そして作業時間など無数の組み合わせがあり，それらすべてを評価することは現実的ではない。そこで本研究では，工場内全体が汚染物質に満たされた状態（汚染濃度 1）から空気清浄機を運転することによりどのように浄化されてゆくかを評価の指標とした。計算条件として空気清浄機の風量は実機と同様に 1.67 m^3/s (6,000m^3/h) とし，空気清浄機に吸い込まれた空気は完全に浄化（汚染濃度 0）されて吐き出されるとする。解析は非定常解析とし，工場内汚染濃度分布の時間変化を計算した。



(a) 正面　　(b) 背面

図 5　大型空気清浄機の解析モデル

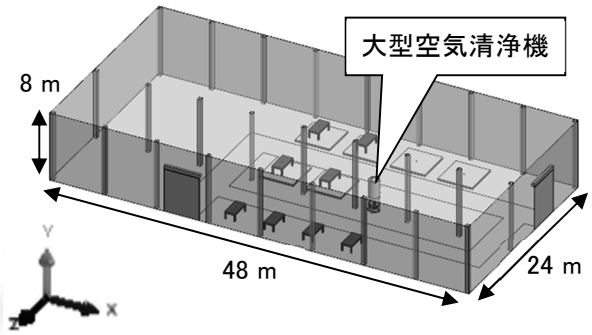


図 6　評価の対象とした仮想工場

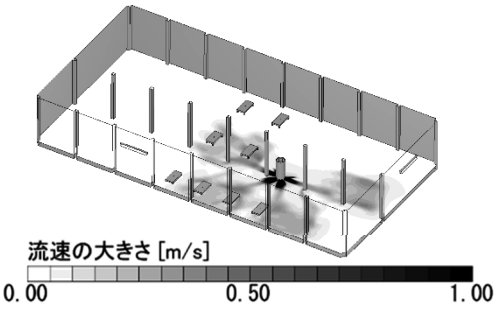


図 7　水平方向流速分布

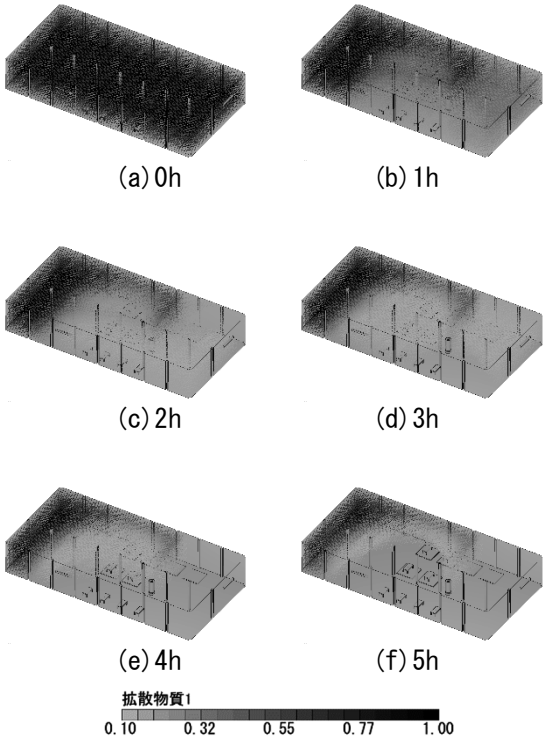


図 8　汚染濃度分布の時間変化

図 7, 8 に計算結果の一例を示す。図 7 は吹き出し口高さにおける水平方向の流速分布である。清浄機の背面方向の流速が遅い。また，工場内左側の流速も遅い。前者は図 5 で示したように清浄機の背面に吹き出し口がないため，後者は清浄機の設置位置が工場内長手方向の右寄りであり，風が届かないためである。図 8 に運転開始から 1 時間ごとの汚染濃度分布を示す。全般的には清浄機を中心として浄化された領域が広がっている。ただし先の流速分布の結果から予想されるように，清浄機を中心として背面と左側の清浄化は遅れる傾向にあることがわかる。

図 9　開発した局所集塵機

図 10　開発した大型空気清浄機

このような解析結果をもとに工場の広さに応じた最適な清浄機の数や配置を検討した。最後に各種の検討を元に製作した局所集塵機と大型空気清浄機をそれぞれ図 9, 10 に示す。

4.　結　　言

(1) 本研究ではコンピューターによる流体解析を利用し，局所集塵機と大型空気清浄機の構造や設置方法などを検討した。

(2) 局所集塵機の開発では装置の防火性能を向上させるため，火消し構造を通過する火花の軌跡や到着時間を計算し，最適な構造について検討した。

(3) 大型空気清浄機の開発では，装置の設置位置や台数が空気浄化能力にどのように影響するかについて調査を行った。