

溶接作業場の粉じんについて、分析電子顕微鏡による 形状及び成分の同定

研究代表者 福岡産業保健総合支援センター 所 長 織田 進
研究分担者 福岡産業保健総合支援センター 産業保健相談員 堀江 正知
福岡産業保健総合支援センター 労働衛生工学専門員 黒木 孝一

I. はじめに

2016年にIARCは、溶接ヒュームの健康有害性区分をヒトに対する発ガン性のカテゴリーをグループ2B（ヒトに対する発ガン性が疑われる）からグループ1（ヒトに対する発ガン性が知られている、あるいは、おそらく発ガン性がある）に変更した。溶接作業により発生する金属ヒュームの成分（化学種：金属および金属酸化物）の多くは肺に対する発ガン性があるとされているが、機序の詳細は不明である。機序の解明には、粉じん中の金属及び金属に結合する化学種の同定が求められる。一般に、粉じん中の成分は、酸を用いて溶解させプラズマ発光分析(ICP)や原子吸光分析(AA)が使用される。これらの分析では、金属に結合している化学種の同定が困難である。X線解析法では、サンプルの広い範囲を対象にしており、個別の粒子の成分分析には適していない。今回、米国環境保護局が環境中の粒子物質の成分同定に使用している分析電子顕微鏡(SEM-EDX)により溶接作業の粉じんの成分を同定し、実体顕微鏡により、ろ紙上の粉じんサンプルの色彩・形状を確認した。

II. 対象と方法

1. 対象

平成6年調査研究「福岡県における粉じん作業場の実態調査」（福岡県内20単位作業場）を行った。主にアーク溶接をしている作業場について「場」と「個人ばく露」の粉じん気中濃度（粒径分子を含む）を測定し、これらサンプルを用いて粒径分布比較と成分の同定を関連させ、溶接ヒュームの有害性を確認した。

2. 方法

作業場の粉じんの粒度分布(アンダーセンサンプラー、(株)柴田科学製)と個人ばく露の粒度の分布(カスケードサンプラー Marple 298)の保管資料についてデータを再解析し、粒径分布を詳細に検討した。

粒径分布については、Excelによる粒子の粒径頻度分布を求めた。粒子の粒度分布は「対数正規確立紙」を用いて行う必要があり、統計処理ソフト「R」を使用して「対数正規確率紙」にデータをプロット後、回帰線及び95%信頼範囲を表示するプログラムを開発した。

各粒径のサンプルを用いて、実体顕微鏡(KEYENCE社VHX-S)により、ろ紙上の粉じんサンプルの色彩・形状を確認した。走査型電子顕微鏡(SEM-DEX JEOL JSM-6060LA/VI)により粒子の成分を同定した。

III. 結果および考察

1. 作業場と個人ばく露における粉じんの粒度分布解析結果(図1, 図2)

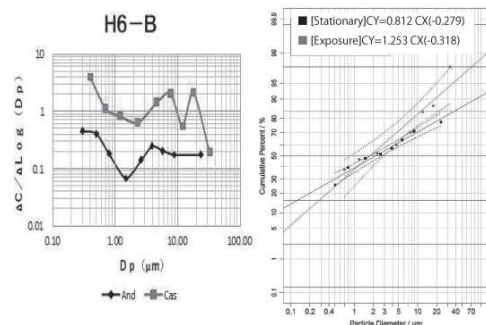


図1 粒度分布

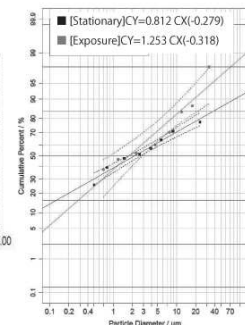


図2 粒度分布
(Log Normal Probability Paper)

複数の作業場の粉じんの粒径頻度分布と対数正規確率

紙による結果から、法定の作業環境測定用の粉じんは労働者が吸入している粉じんに差があると思われる。また、個人ばく露度の測定には周囲の作業内容の影響を受けることからタイムスタディが必要と考える。

2. 実体顕微鏡及び分析電子顕微鏡による粉じんの測定結果

実体顕微鏡（粒子の見かけの形状・色相）（図 3）と SEM-EDX（粒子毎の成分分析）（図 4）による観察結果では、溶接作業により発生する「粉じん」は、ナノサイズの粒子（ヒューム）とその他の粒子（微細なスパッター、スラグ片）の混合物であることが確認された。粒子の色相だけでは、成分の推定は困難である。従来の化学分析では、粒子を酸に溶解すると結合している化学種が消失するため、金属種に結合している化学種（酸素、炭酸基、硫酸基、ハロゲン）の同定も困難である。

溶接作業場での「場の測定結果」と「個人ばく露測定結果」の評価には、確実なタイムスタディ（作業内容、作業時間、周辺作業の様子）を行わない場合は、

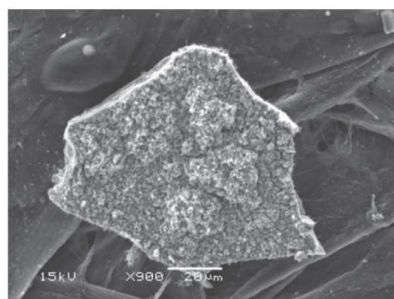


図3 粒子の形状 (倍率 ×900)

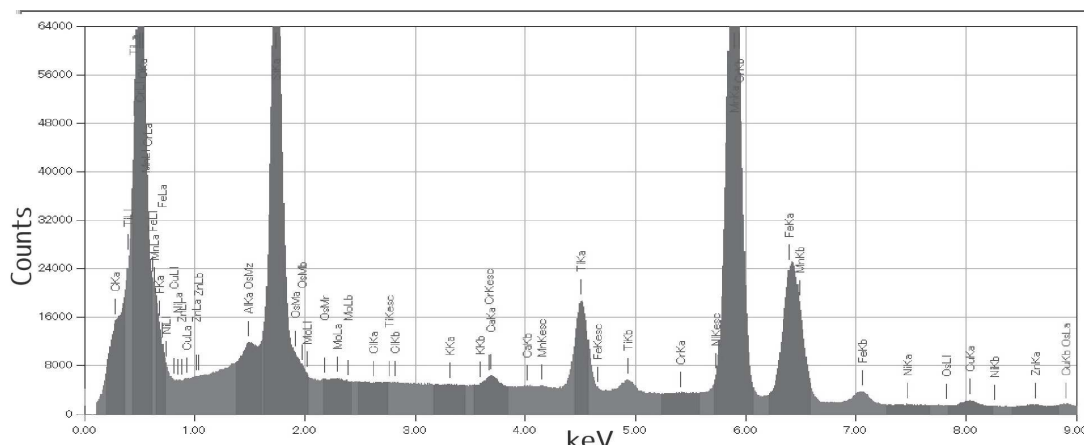


図4 粒子の成分分析 (×2000 データ)

重大な誤りを犯すと考えられる。さらに、ガスシールド溶接で炭酸ガスを使用する場合に顕著に表れる一酸化炭素のアーキ中での挙動が不明であり、金属を一酸化炭素で処理すると金属カルボニルが生成することは知られている。溶接ヒュームと鉄カルボニルの赤外スペクトルを比較すると異なったスペクトルを示した。すべての検体で、炭素を含有する微粒子が検出されているが、溶接作業でのヒュームの発生温度（4,000 ~ 7,000 °C溶接内容によって異なる）からは、カーボンが粉じんとして存在しているとは考えられない。このため、存在する炭素が、グラファイト（不溶性）か金属の炭酸塩（可溶性）かの検討も必要と思われる。

IV. 研究成果の活用予定

今回の調査研究では、溶接作業場の粉じんについて金属及びそれに結合する化学種を正確に測定することが可能になった。今後はこれらの成果を学会等で報告し、粉じんにおける発ガン性物質による発生機序の解明に寄与したい。

V. おわりに

今回は、溶接作業場の粉じん採取における問題点を示した。さらに溶接ヒュームに含まれる金属及び金属酸化物の詳細を実体顕微鏡及び分析電子顕微鏡を用いて、これまで観察のできなかった化学種を具体的に調査することができた。粉じんによるガン発生機序の解明に繋がり、発ガン物質のばく露の防止に役立つことを期待する。利益相反なし。