

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

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

溶接ヒュームの有害性について

2016年にIARCは、ヒトに対する発がん性のカテゴリーを グループ 2 B(ヒトに対する発がん性が疑われる)から グループ 1(ヒトに対する発がん性が知られている、あるいは、おそらく発がん性がある)に変更した。

Cancer site	Carcinogenic agents with sufficient evidence in humans	Agents with limited evidence in humans
Lung	Aluminum production	Benzene
	Asbestos (all forms)	Bitumens
	Chromium(VI) compounds	Carbon electrode manufacture
	Iron and steel founding	Cobalt metal with tungsten carbide
	Nickel compounds	Fibrous silicon carbide
	Silica dust, crystalline	
	Welding fumes	

※List of Classifications by cancer sites with sufficient or limited evidence in humans, Volumes 1 to 122 より 抜粋

溶接ヒュームの化学組成

溶接材料	溶接法	種類	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Cr ₂ O ₃	NiO
軟鉄及び高張力鋼	CO ₂	ソリッドワイヤ	75.5	10.45	15.13	0.37					
		フラックス入りワイヤ	54.74	10.58	16.09	6.74	0.55	0.71	2.42		
	被覆アーク溶接	イルミナイト	52.55	16.6	12.15	2.31	0.42	2.1	0.51		
		低水素	16.87	6.2	5.06	0.45	0.31	14.08	0.35		
		無公害低水素	18.94	6.1	5.3	0.38	0.24	16.09	7.54		
ステンレス鋼	CO ₂	フラックス入り	34.6	13.91	13.04	1.33	0.42	0.51		18.56	2.55
	被覆アーク溶接		8.98	7.25	5.51	9.24	0.79	4.87	0.12	8.77	0.73

※ 溶接安全衛生マニュアル より

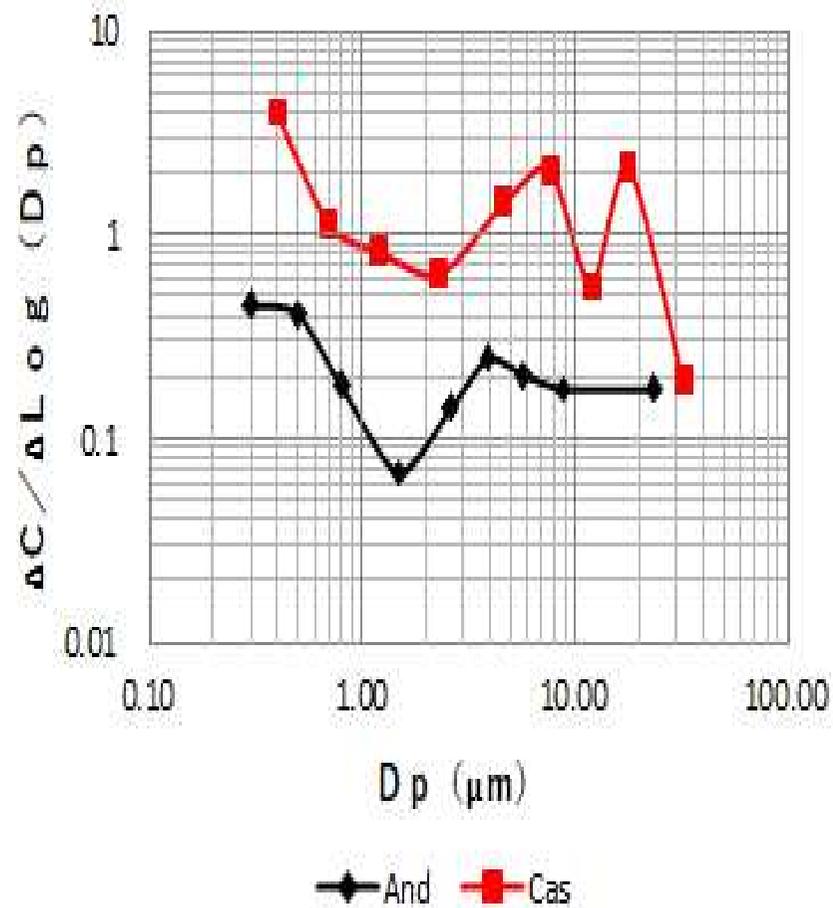
金属の物性

金属	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	Ni	Si	Ti
酸化物	Al ₂ O ₃	CaO	CdO	Cr ₂ O ₃	CuO	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	MoO ₂	NiO	SiO ₂	TiO ₂
色	白	白	赤褐色	暗緑色	黒色	赤茶色	無色	黒色	黒色	緑色	無色	白
融点	660	842	321	1,857	1,084	1,532	650	1,246	2,623	1,455	1,412	1,666
沸点	2,520	1,503	767	2,682	2,571	2,863	1,095	2,062	4,682	2,890	3,266	3,289
蒸発温度	996	605	264	1,205	1,273	1,447	443	980	2,533	1,510	1,343	1,546
蒸気圧	1.2E+03	8.75E+02	1.00E+02	6.35E+04	3.10E-01	3.72E+01	2.20E+03	9.00E-02	2.20E+01	4.37E+00	3.16E+01	8.43E+01

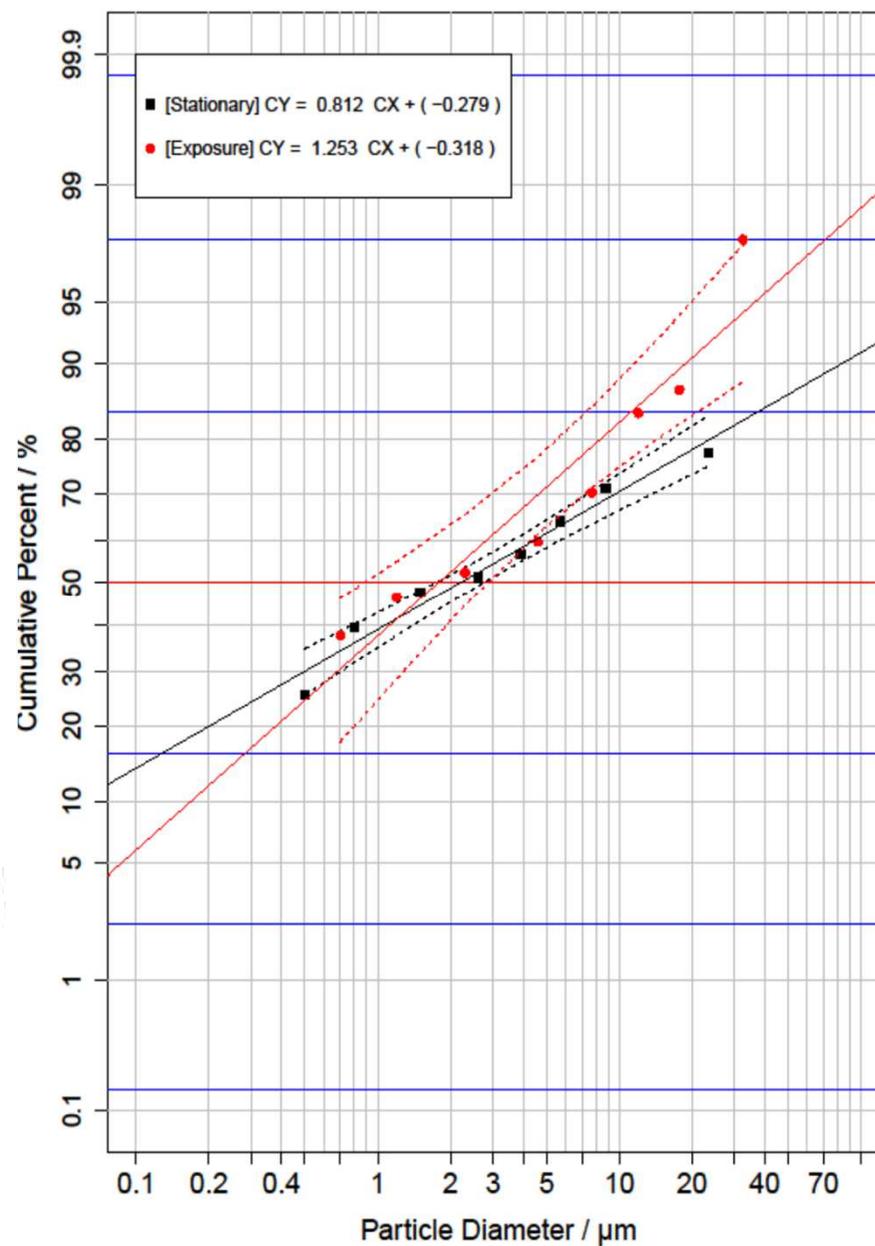
溶接ヒュームのサンプリング分析

- 現状では、溶接ヒュームを溶接作業場の「粉じん」として、サンプリング分析を行っているが、NIOSHのサンプリング分析法(7300、7301、7303)では、粉じんを酸により溶解後、各種の金属成分ごとに分析する方法が規定されている。
- ガラス質のスラグに含まれる金属の分析は規定されていない。

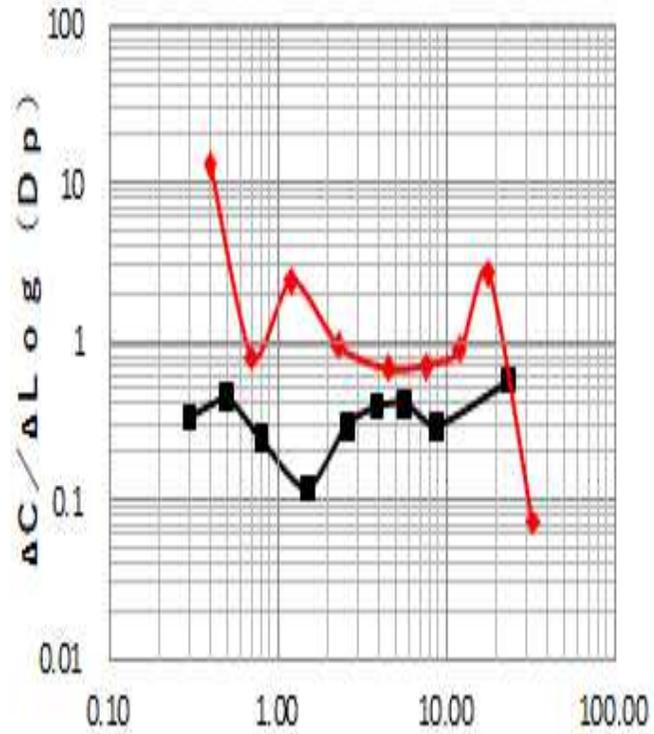
H6-B



Log Normal Probability Paper



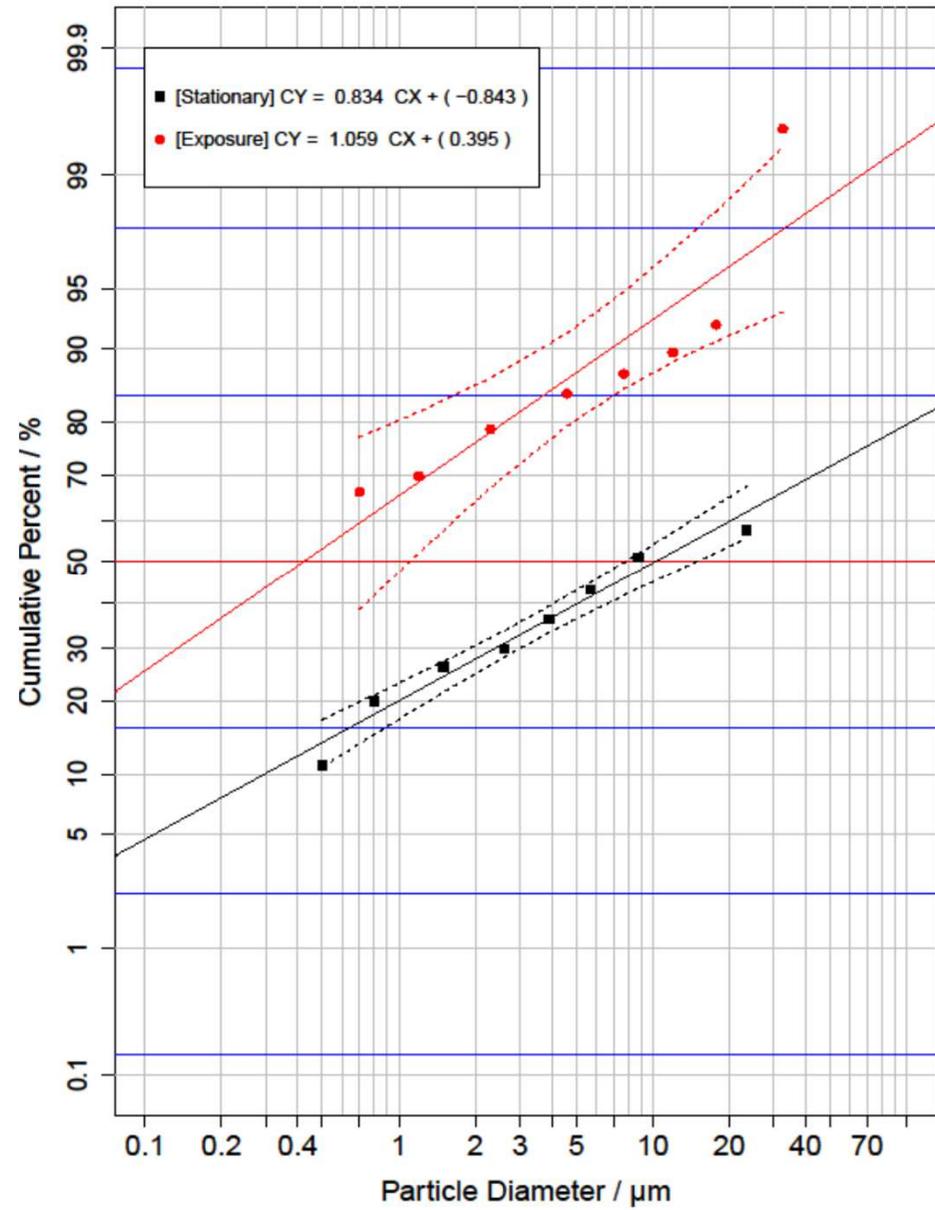
H6-F



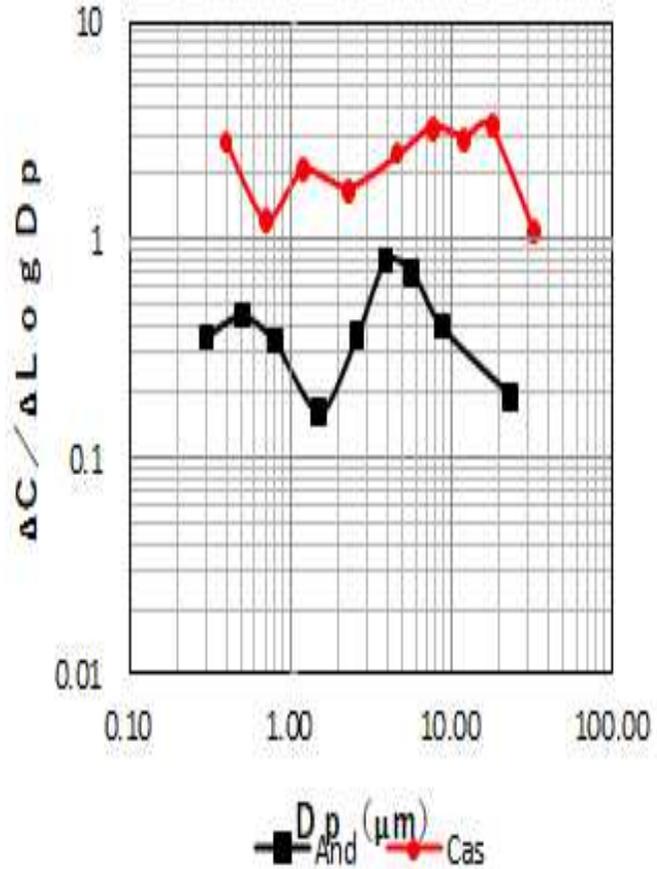
Dp (μm)

■ And ◆ Cas

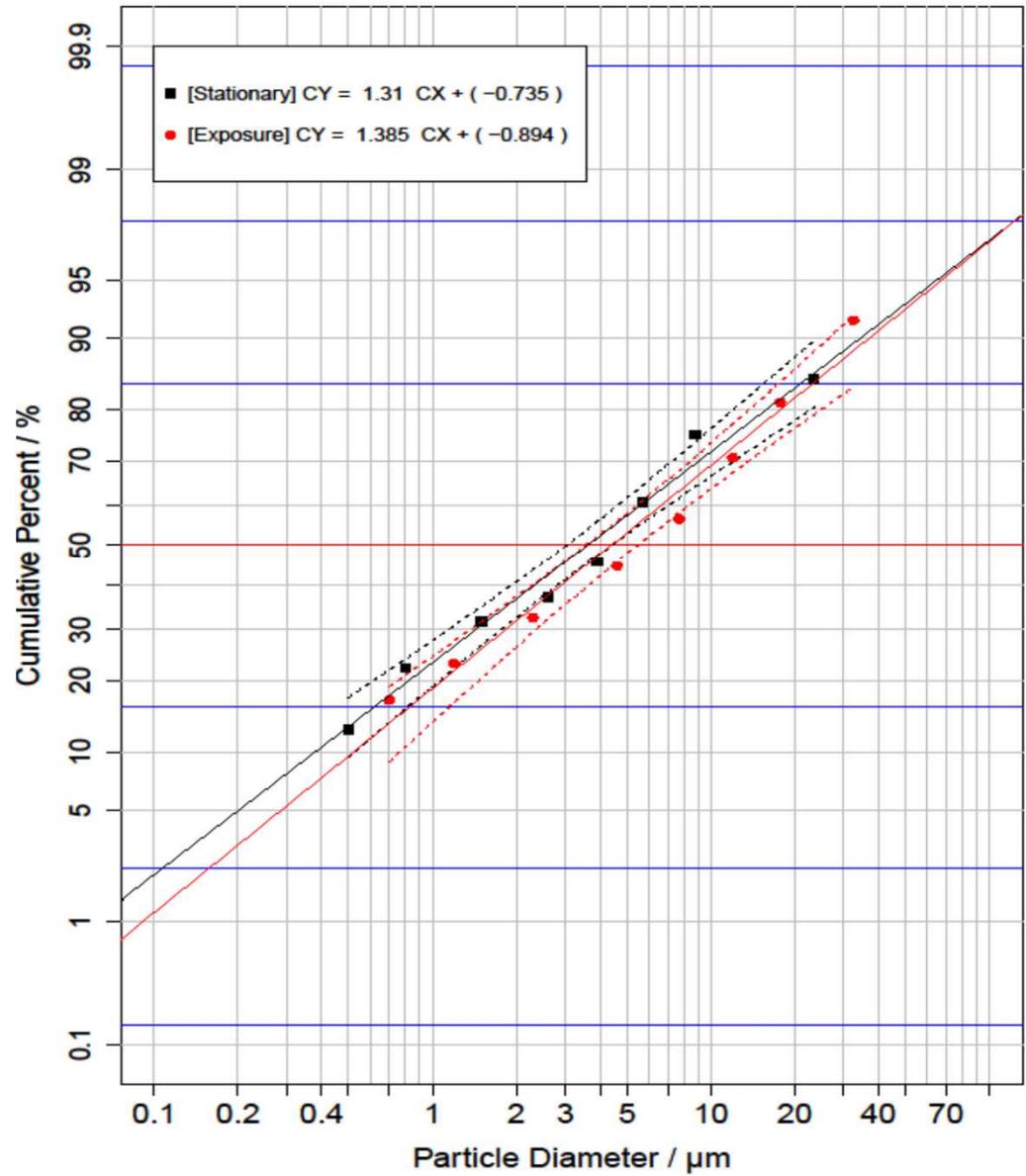
Log Normal Probability Paper



H6-P



Log Normal Probability Paper

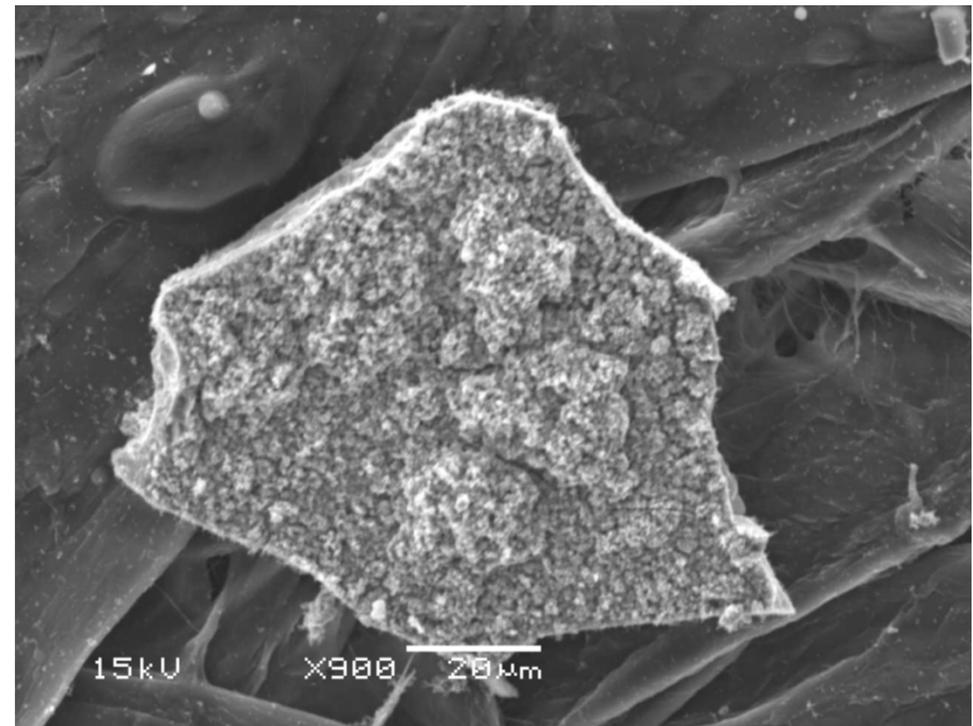


H6-B 作業場
個人サンプラー（ステージ 1 粒径 21.3 μm 以上）

実体顕微鏡写真

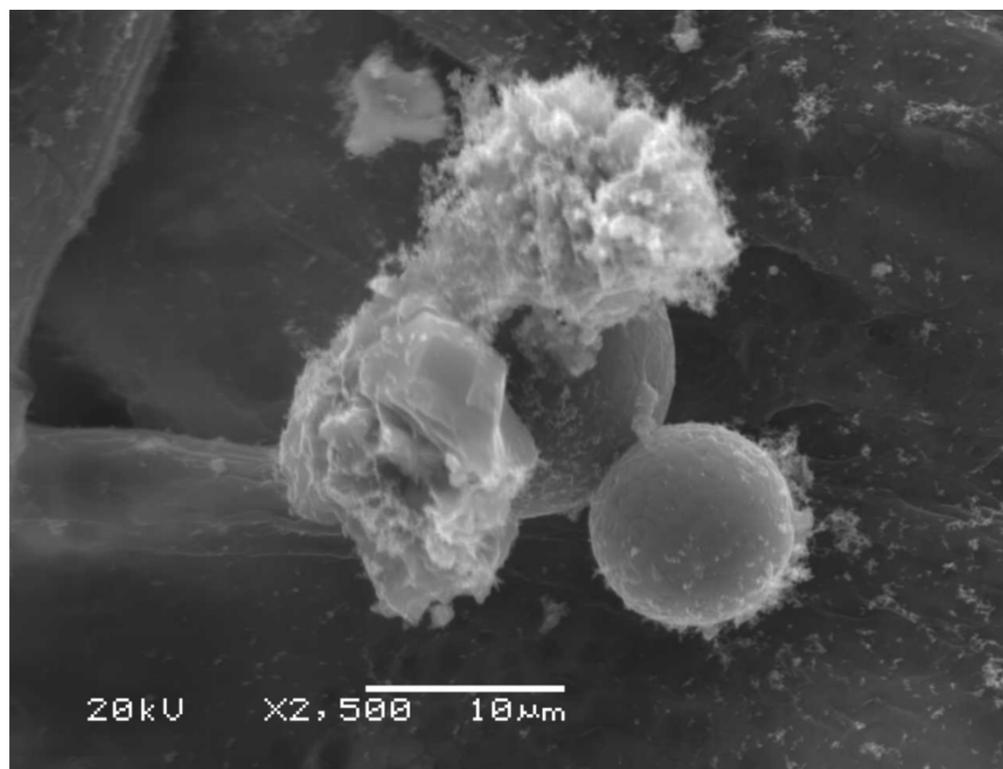
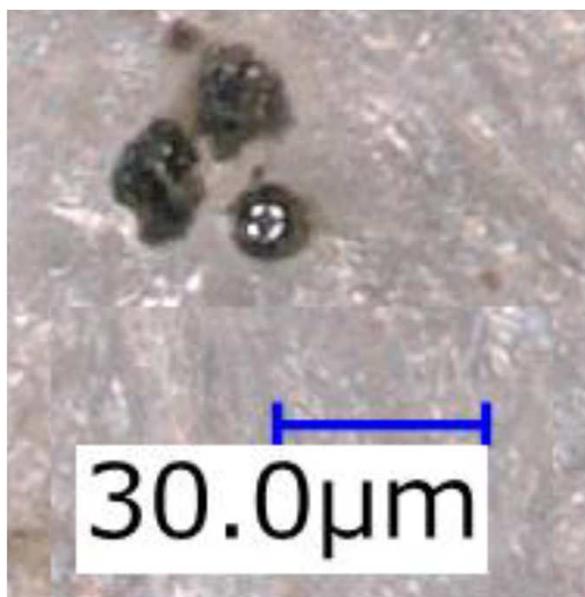


電子顕微鏡写真

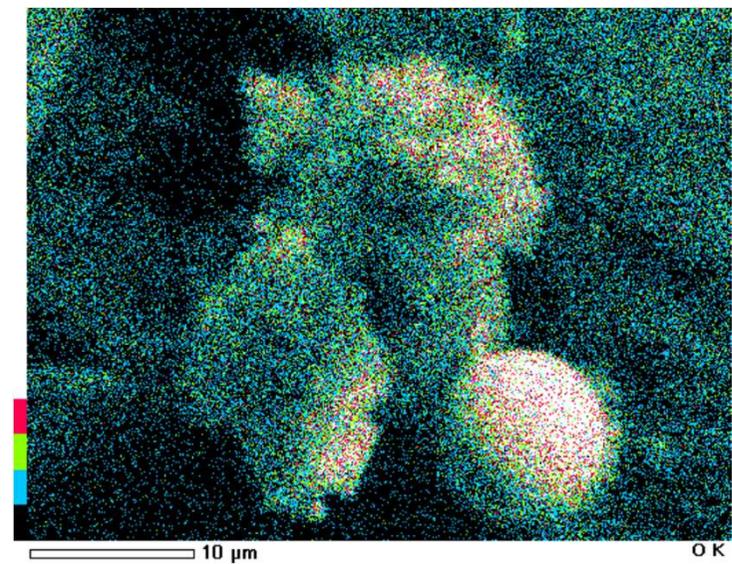
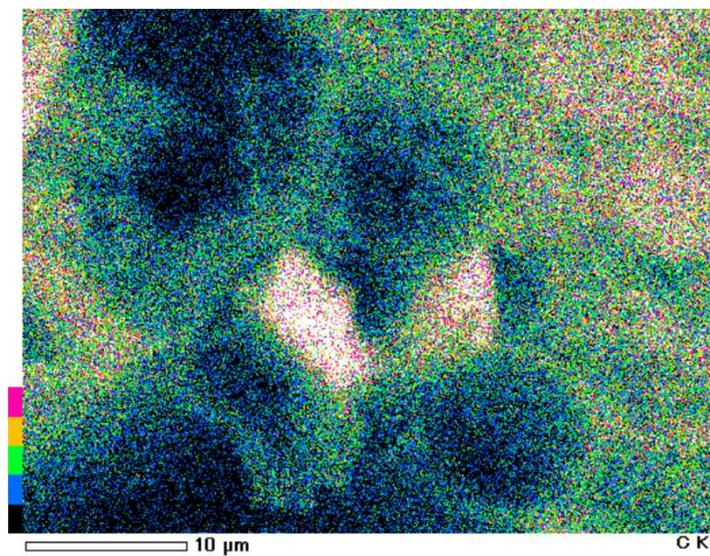
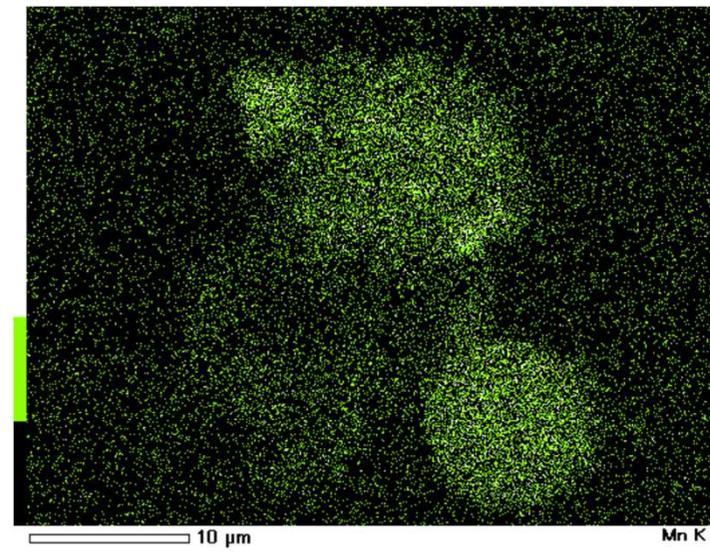
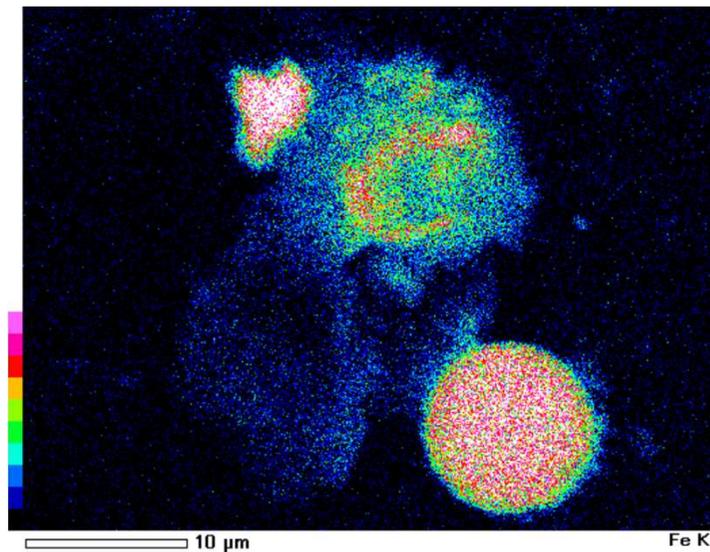


H6-B 作業場

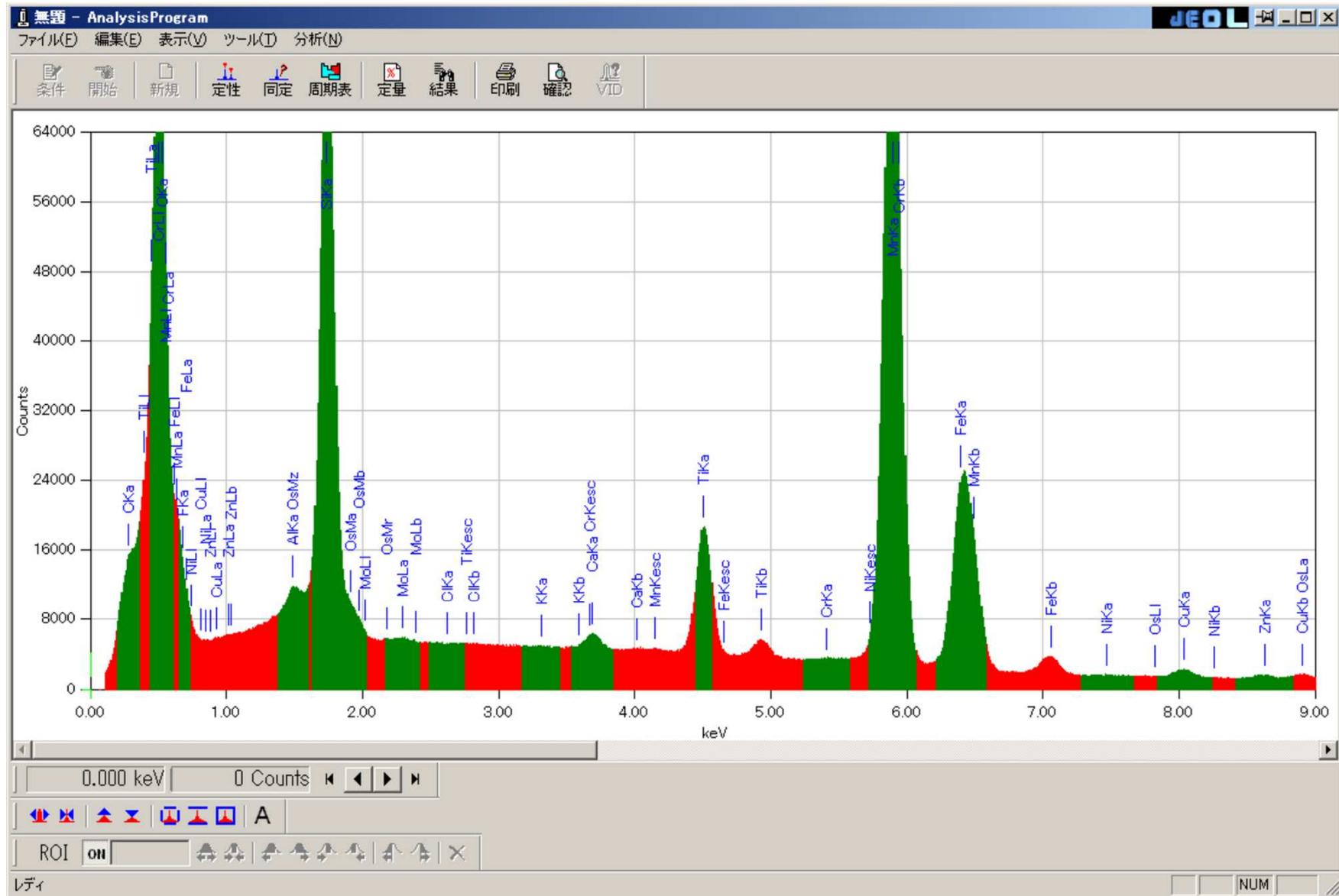
個人サンプラー (ステージ 2 粒径 14.8~21.3 μm)



粒子上の成分分布状況



SEM-EDX Spectrum



結果

- 「作業場」の粉じん粒径は、一般に考えられている単分散型 (monodisperse) ではなく、複数ピークの多峰性の分布 (multimode distribution) を示している。
- 「場」と「ばく露」両者のデータが得られた67作業場について、中心粒径 $D_p50\%$ の比較を行い
 $D_p50\%$ 、分散の程度 (幾何標準偏差) σ_g について以下の結果が得られた。

「場」 : $D_p50\% \doteq 0.4 \sim 50\mu\text{m}$
 $\sigma_g \doteq 1.98 \sim 23.79$

「ばく露」 : $D_p50\% \doteq 0.1 \sim 31\mu\text{m}$
 $\sigma_g \doteq 2.52 \sim 25.22$

作業場による粒径分布の差

- 作業場内に各種の粉じん作業が混在し、発生する粉じんの特性が異なっている。
- 作業場内で行われる各種作業の影響により作業者のバク露する粉じんが異なっている。
- 法定の作業環境測定で対象とする粉じんと同一の粉じんに暴露していると確認はされていない。

分析結果

- 溶接ヒュームは、綿埃状（ナノサイズの粒子）、金属スパッタ状、ガラス片状（スラグ片）が混在している。
- 生成過程から溶接母材、溶接棒（溶接ワイヤ）、フラックス成分等に由来すると考えられる。
- 各粒子の成分は一定になっていない。

考察及び提案

- 溶接ヒュームの発がん性は、含まれる金属成分によると考えると、これまでに行ってきた「粉じんとして」測定を行い、作業環境を評価することで十分なのか疑問が持たれる。
- 各種金属成分を分析評価を行うために必要なサンプルを採取するために長時間のサンプリングが必要となる。
- 溶接作業の内容により、粉じんのK値のような金属成分の換算係数を規定することも有効と考える。
- 健康障害を防止するために、「インジウム取り扱い作業場」と同様に、作業場の粉じん気中濃度ごとに、使用すべき「防じんマスク」を防護係数に基づいて選択するように規定することが望まれる。