

マンガン及びその化合物（塩基性酸化マンガンを含む）による
健康影響等に関する文献について

1 マンガン及びその化合物の化学的特性及び溶接ヒュームの化学組成等

- (1) ACGIH が TLV を引き下げる際の提案書(ACGIH(2013))によると、マンガン及びその無機化合物は多くの産業で使用され、最も多く用いられているのは金属マンガンとその化合物であり、Mn(II)、Mn(III)、Mn(IV)の形（主に $MnCl_2$ 、 $MnSO_4$ 、 $MnPO_4$ 、 MnO_2 、 Mn_2O_3 として）で存在しているとしている。
- (2) ACGIH(2013)によれば、溶けたフェロマンガン・ヒュームには、X回折分析法により、多量の酸化マンガン（II、III）が含まれる。また、二酸化マンガン(MnO_2)を空气中で強く加熱すると、ヒュームが形成されるとしている。なお、一般的に、酸化マンガン（II、III）(MnO_2 、 Mn_2O_3)は塩基性酸化物、酸化マンガン(IV) (MnO_2)は両性酸化物、酸化マンガン(VII) (Mn_2O_7)は酸性酸化物に分類される。
- (3) Villaume ら(1979)によると、二酸化マンガン (MnO_2) は、シールドアーク溶接棒のコーティングにフラックス剤として使用され、電極の合金元素としても使用されており、Moreton (1977)によると、溶接ヒューム中には、高濃度の二酸化マンガン(MnO_2)が存在しているとしている。
- (4) 小林ら (1983) は、X線回折法により、被覆アーク溶接ヒュームの結晶組成を分析した。 MnO_2 を溶接棒の被覆材として使用している場合のヒュームの主成分は、 $MnFe_2O_4$ であり、低水素系溶接棒からのヒュームには、 $MnFe_2O_4$ のほか、酸化マンガン(III) (Mn_2O_3)のピークが明確に示された (Fig. 5)。なお、化学組成には SiO_2 が含まれるが、結晶質シリカ (SiO_2)は検出されていない。
- (5) 山根 (2006) によれば、溶接ヒューム中のマンガン以外の元素の化学組成（結晶組成ではない）は、 Fe_2O_3 など、多数の元素の酸化物が含まれる（表3）。

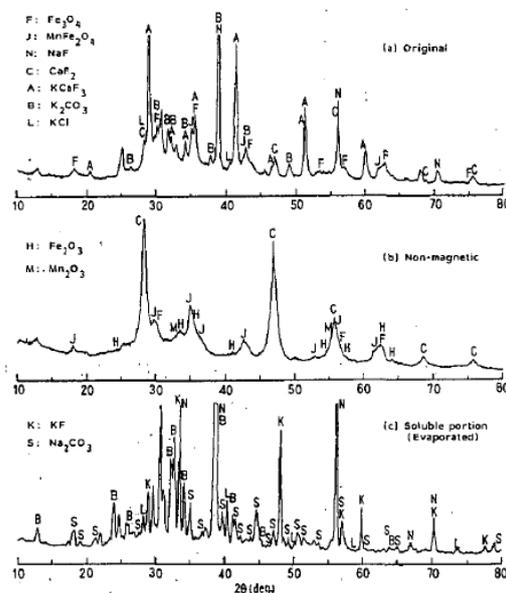


Fig. 5 X-ray diffraction pattern of the fume emitted from lime type electrode.

表3 溶接ヒュームの化学組成の一例 (%)

溶接方法	溶接材料の種類	径 mm	溶接条件	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	BaO	Na ₂ O	K ₂ O	F
CO ₂ アーク溶接	YGW11 (フリットワイヤ)	1.2	280A30V	75.5	10.5	15.1	0.37	-	-	-	-	-	-	-
	YFW-C50DR (フラックス入りワイヤ)	1.2	280A31V	54.7	10.6	16.1	6.74	0.55	0.71	2.42	-	5.17	2.27	2.55
セルシールドアーク溶接	YFW-S500G (フラックス入りワイヤ)	2.4	300A28V	25.4	1.25	3.10	-	15.7	20.7	27.8	-	2.33	1.55	9.84
被覆アーク溶接	D4301 (鉄けい素系)	4.0	170A	52.5	16.6	12.2	2.31	0.42	2.10	0.51	-	5.57	4.97	-
	D4303 (鉄けい素系)	4.0	170A	48.3	21.2	6.18	1.87	0.43	1.47	1.32	-	5.73	7.65	-
	D4313 (高酸化チタン系)	4.0	170A	41.8	29.5	5.38	3.40	0.52	0.95	0.32	-	5.60	7.56	-
	D4316 (低水素系)	4.0	170A	16.9	6.20	5.06	0.45	0.31	14.1	0.35	3.44	10.2	19.6	17.1
	D4327 (鉄粉酸化鉄系)	4.0	170A	47.2	31.6	7.84	1.20	0.27	1.17	0.22	-	4.65	3.25	-

(6) 日本溶接協会(2019)によると、3事業場の各溶接作業（ガスアーク、サブマージアーク、被覆アークの3溶接法と溶接材料の組み合わせによる計5種類）によって発生したヒュームについて、X線回折分析の結果、ヒューム中の結晶成分はほとんどがFe₃O₄あるいはMnFe₂O₄であった

としている。また、X線光電子分光法を用いて各溶接ヒューム粉末のスペクトルと酸化マンガン標準試料(Mn(II)とMn(III)についてはMn₃O₄粉末、Mn(IV)についてはMnO₂粉末)のスペクトルを比較したところ、ヒューム試料では鋭敏なピークが得られず、Mnの価数毎の分析値について信頼性の高い値を得ることはできなかったとしている(図3.20参照)。

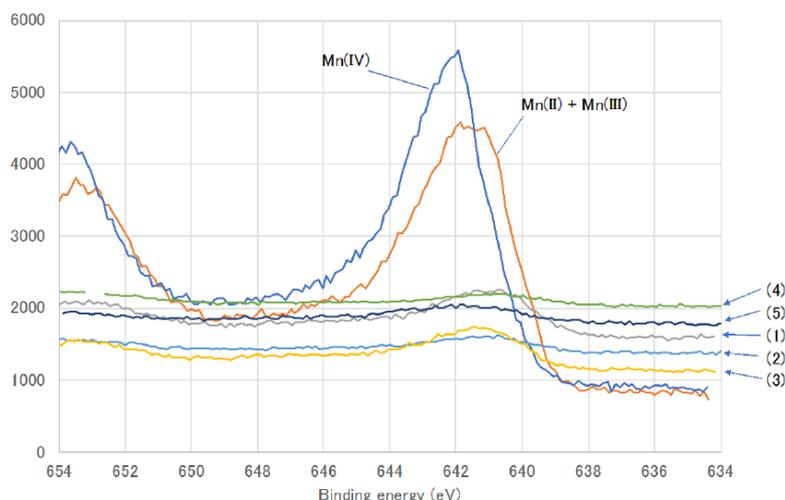


図 3.20 採取試料および標準試料の XPS スペクトル (Narrow scan)

2 溶接ヒュームに含まれるマンガンによる健康影響について

- (1) 溶接ヒュームのばく露による健康影響について、ACGIH(2013)が提案書で根拠としている代表的な4つの報告(Bowlerら(2007)、Ellingsenら(2008)、Laohaudomchokら(2011)、Senら(2011))をレビューした。
- (2) Bowlerら(2007)は、閉鎖空間で溶接を行っていた43人の溶接工の時間平均のマンガン濃度(全粉じん)が0.11-0.46mg/m³であり、マンガンの累積ばく露指標(CEI)と神経機能作用との間に、統計的に有意な、ばく露反応関係があったと報告している。

溶接工が訴えた神経機能作用の症状としては、震え(tremors, 41.9%)、感覚障害(numbness, 60.5%)、著しい疲労感(excessive fatigue, 65.1%)、不眠(sleep disturbance, 79.1%)、性不能(sexual dysfunction, 58.1%)、幻覚(toxic hallucinations, 18.6%)、うつ(depression, 53.5%)、不安(anxiety, 39.5%)が上げられている。このうち、性不能(p<0.05)、疲労(p<0.05)、うつ(p<0.01)、頭痛(p<0.05)については、累積ばく露指標(CEI)と統計上有意な関連があった。この報告に関連し、ACGIH(2013)は、このグループのばく露レベルが全般的に高いため、ばく露限界を確立するには役立たないとしつつ、「0.2 mg Mn/m³全粉塵のばく露上限は、マンガンの有害作用から溶接作業者を保護するには高すぎることは明白である。」としている。

- (3) Ellingsen ら(2008)は、ロシアの重機械工業と造船業における 96 人の溶接作業者(0.007-2.23 mgMn/m³、幾何平均濃度 0.12mgMn/m³ (レスピラブル)) と同数の対照被験者に神経心理学的検査を実施したところ、フィンガータッピングについて、マンガンばく露濃度(幾何平均)との間で有意なばく露反応関係が観察された(Fig.2)。
- (4) Laohaudomchok ら(2011)は、46 人の溶接作業者を対象に、過去 12 ヶ月と過去の全てのマンガン累積ばく露指標(Mn-CEI)を空气中的マンガン濃度測定を作業記録で計算し、それと神経機能作用のテスト結果を比較した。さらに、24 人の作業者については、作業前と後でのテスト結果を比較した。ばく露濃度(レスピラブル)の中央値は 0.012mg/m³であり、Mn-CEI と有意な関連があった神経機能作用の項目は、連続パフォーマンステスト(continuous performance test, CPT)における反応時間の低下、感情状態(profile of mood state, POMS)の指標(混乱、疲労感等)の悪化であった。過去 12 ヶ月の Mn-CEI と感情状態指標の悪化には、ばく露反応関係が認められた。高いマンガンばく露があった場合の作業前後の比較では、反応時間の低下に有意な差があった。
- (5) Sen ら(2011)は、7 人の溶接作業者と 7 人の対照被験者に対して、MRI スキャンによる脳内のマンガンの沈着部位の評価と、神経行動学検査を行った。その結果、マンガンは嗅球(OB)、前頭葉白質(FWM)、被殻(GP)に蓄積していた。溶接作業者の微細運動テスト(grooved pegboard test)の結果は有意に利き手と非利き手の両方で悪く、利き手のスコアは FWM, GP のマンガン蓄積と有意な関連があり、非利き手のスコアは FWM と有意な関連があった。この結果は、マンガンの脳内の沈着が運動機能に影響を与えることを示唆している。ばく露については、報告されている平均累積ばく露レベル($0.88 \pm 0.57 \text{mgMn/m}^3 \text{年}$)を平均ばく露機関 ($24.1 \pm 15.5 \text{年}$) で除すと、 0.037mgMn/m^3 (レスピラブル)となる。

3 マンガン合金製造等におけるマンガンによる健康影響について

ACGIH(2013)の提案書で根拠として引用されている、マンガン合金製造、マンガン精錬作業等におけるマンガン曝露による神経機能作用を報告している論文のうち主なもの

は以下のとおり。

- (1) Iregren(1990)は、スウェーデンの2つの鋳造所(foundry)の労働者 30 人を評価した(平均 0.25 mg Mn/m³ ; 中央値 0.14 mg Mn/m³、範囲 : 0.02-1.40 mg Mn/m³。いずれも全粉塵濃度)、ばく露期間 1-35 年 (平均 9.9 年)。その結果、神経行動機能の同じ 3 つの評価尺度が、ばく露労働者と対照労働者の間で異なっていた。(p.13-14)
- (2) Mergler ら (1994) は、マンガン合金の製造従事労働者 74 名と対照労働者を調べた結果を報告した。エリアサンプラーを用いた幾何平均ばく露濃度は、0.035 mg Mn/m³ (レスピラブル) (範囲 : 0.001-1.27 mg Mn/m³) ならびに 0.225 mg Mn/m³ (全粉塵) (範囲 : 0.014-11.48mg Mn/m³) であった。神経行動学的検査の結果からは、マンガン合金労働者は、対照労働者と、臨床所見や感情状態、特定の運動機能、手の安定性、嗅覚、認知柔軟性の点で異なっていた。この研究のそれぞれの幾何平均を使って、U.S. EPA(1993)は LOAEL レベル 0.035 mg Mn/m³ (呼吸域エアロゾル) を導き出した。(p.14-15)
- (3) Bouchard ら (2007)は、Mergler ら (1994) が調査対象とした後、1990 年に閉鎖されたマンガン合金等の製造プラントの元労働者について調査した。生存していた曝露群の 78%、対照群の 67%が 2004 年に再検査を受けた。その結果、前マンガン労働者では、対照労働者と比較して、うつと不安の平均スコアが一貫して高かった。累積マンガンばく露レベルを三分位値で分類し、対照労働者と比較すると、ばく露量-応答関係が、うつ、不安、憎悪、身体化の症状に関して認められた。これらのデータは、マンガンばく露に伴って、一連の神経行動学的変化や神経心理学的変化が生じ、そのうちの一部は、職業性ばく露が終了して長年経過しても継続する場合がありますを示している。(p.15)
- (4) Young ら(2005)では、南アフリカのマンガン精錬 (smelter)作業従事者 509 人と、対象用の非ばく露労働者 67 人の分析を行った。310 人のインハラブル粉じん測定、98 人のレスピラブル粉じん測定、34 の環境測定の結果から、それぞれの作業での平均ばく露に作業に従事した期間を乗じて、レスピラブル粉じんの累積ばく露指標 (CEI) を計算した (中央

表1. 呼吸域微粒子量(mg Mn/m³)で表現した平均マンガンばく露強度(INT)と関連付けた、南アフリカの精錬労働者でのばく露-応答関係

	数値	符号化課題	Santa Ana	平均反応時間 (ms)	タッピング (優位側手)	タッピング (反対側手)	持続性
非ばく露対照群、平均スコア	15.6	33.8	49.4	266.4	59.4	54.6	337.1
暴露群vs.対照群	-2.1§	-2.1†	-4.3§	10.3	-3.6‡	-1.9*	-14.1†
残りの暴露群vs.内部対照	-1.1‡	-1.5*	0.2	7.0	-1.8†	-1.4*	8.1*
全体のトレンド	-4.5§	-8.4‡	-4.5*	35.2*	-11.8‡	-8.9‡	46.0†
ばく露 応答カテゴリ :							
0 < INT < 0.01 (N= 115)	-1.4†	-1.2	-4.2‡	5.3	2.4*	1.0	8.6
0.01 < INT < 0.04 (N= 108)	-1.9‡	-2.2*	-4.6§	12.9*	-3.4‡	-1.7	-13.1
0.04 < INT < 0.1 (N=117)	-2.7 §	-2.0	-4.0‡	10.4	4.0‡	2.3*	17.3*
0.1 < INT < 0.2 (N=86)	-2.3§	-3.2†	-4.2‡	11.5*	4.3‡	2.6*	-17.5†
INT ≥ 0.2 (N=86)	-3.0§	-3.7‡	-4.6‡	19.9†	-7.2§	-4.6‡	-27.0‡

Young et al. (2005)のデータをもとにしたもの。値はそれぞれ、非ばく露対照群の平均スコアとの差を示している。二項差、全体のトレンド、ばく露サブカテゴリの統計表記は、外部対照と比較したもの : * 0.1 > P ≥ 0.05 ; † 0.05 > P ≥ 0.01 ; ‡ 0.01 > P ≥ 0.001 ; § P < 0.001

値：0.92mgMn 年/m³、範囲：0.015-13.26)。さらに、CEI を全就労期間で除して、レスピラブル粉じんの全就労期間平均ばく露強度（INT）を計算した（中央値：0.058mgMn/m³、範囲：0.003-0.51）。このレスピラブル粉じんの INT と、神経行動学テスト結果（数唱、符号化課題、Santa Ana、平均反応時間、タッピング、持続性）には、統計上有意な量反応関係が認められた（表 1）。さらに、参照群との二項比較結

Table 5
Selected dichotomous test results panels for exposure intensity (INT)^a

Analysis	Proportion abnormal	Sex less frequently than peers		Irritation		Clinical test		Luria-Nebraska test IR	
		OR	p	OR	p	OR	p	OR	p
Unexposed referents		0.02		0.21		0.02		0.30	
Dichotomous comparisons	All exposed vs. external referents	36.1	0.001	2.5	0.009	3.8	0.23	0.9	0.73
	Rest of exposed vs. internal referents ^b	1.8	0.03	1.7	0.05	5.1	0.03	2.4	0.001
Overall trend	INT ^c	1.4	<0.001	1.01	0.02	1.5	0.001	1.4	<0.001
Exposure-response by INT categories ^d	0 < INT < 0.01	23.4	0.003	1.7	0.21	0.9	0.93	0.5	0.07
	0.01 ≤ INT < 0.04	28.8	0.001	2.9	0.008	2.5	0.43	0.7	0.34
	0.04 ≤ INT < 0.1	45.5	<0.001	2.4	0.03	5.3	0.15	0.9	0.87
	0.1 ≤ INT < 0.2	41.8	<0.001	3.2	0.005	2.4	0.46	1.5	0.36
	INT ≥ 0.2	61.8	<0.001	3.3	0.005	10.8	0.04	2.5	0.03

^aIn the table, row one shows the proportion abnormal for the baseline external referents. The column headings in row two are the (adjusted) exposure odds ratios (OR) for the group in that row compared with the baseline, and the level of significance (p) of this change from baseline (OR = 1).

^b Comparison of the rest of the exposed vs. the first exposed group in Table 2 (i.e. the exposed internal referents).

^c OR for a 0.1 mg/m³ change.

^d Comparison for each category of exposure intensity is relative to external referents as baseline.

果（性行為頻度、いらつき、臨床試験等）においても、量反応関係が認められた（Table 5）。（p.18-19）

4 溶接ヒュームの発がん性について

国際がん研究機構（IARC）は、2017年、溶接ヒュームをグループ1（ヒトに対する発がん性）に分類した（IARC（2017））。20程度の症例対照研究、30程度のコホート研究において、溶接作業員等溶接ヒュームにばく露する者の肺がんのリスクが上昇していることが報告されている。累積ばく露に関するばく露反応関係も、いくつかの大規模研究で確認されたとしている（tMannetjeら（2012）、Matratら（2016）、Sorensenら（2007）、Siewら（2008））。ただし、ヒュームへのばく露は、間接的な評価による（溶接工程や材料、業種、職種、専門家の評価又は事故申告）。原因物質や発生機序についての報告はない。

5 特殊健康診断結果について

(1) マンガン及びその化合物（塩基性酸化マンガンを除く。）の製造又は取り扱い業務については、特化則により特殊健康診断の実施が義務付けられている。また、塩基性酸化マンガンについては、特殊健康診断の実施が指導勧奨されている。健診の項目は、業務歴の調査と、せき、たん、仮面様顔、手指の振戦等の神経機能作用の有無に関する問診である。義務健診の有所見率は0.8%（H30、42,843人受診）、指導勧

癆瘵診の有所見率は2.4%(H30、910人受診)であった(厚生労働省(2019))。

- (2) 金属アーク溶接作業等については、じん肺法で規定する粉じん作業に該当し、じん肺健診の実施(3年に1回、管理2と3は年1回)が義務付けられている。さらに、じん肺健診有所見者のうち、結核以外の合併症にかかっている疑いがある者については、肺がんに関する検査を行う(じん肺法第3条第1項第3項及びじん肺法施行規則第7条)。溶接作業従事者が多いと見込まれる製造業の業種(金属製品、一般機械、電気機械器具、造船、その他輸送用機械器具)における新規有所見者は117人(受診者数150,208人)となっている。

6 考察(塩基性酸化マンガンの有害性)

- (1) 溶解フェロマンガン・ヒュームには、多量の酸化マンガン(II、III)が含まれ(ACGIH(2013))、被覆アーク溶接のヒュームには、 $MnFe_2O_4$ のほか、酸化マンガン(III)が含まれる(小林ら(1983))。最近の文献(日本溶接協会(2019))も、これら結果と矛盾しない。以上から、溶接ヒューム及び溶解フェロマンガン・ヒュームのいずれにも塩基性酸化マンガンが含まれると判断される。
- (2) 溶接ヒュームに含まれるマンガンの空气中濃度は、溶接作業中、レスピラブル、インハラブルのいずれも、 $1mg/m^3$ 程度に達する可能性が高い(実態調査で確認中)。マンガン合金プラント等におけるマンガンの空气中濃度は、平均で $0.03mg/m^3$ (レスピラブル)、 $0.30mg/m^3$ (インハラブル)であるが(Bast-Pettersenら(2004))、ばらつきが大きく、 $1mg/m^3$ (レスピラブル)に達する場合もある(Ellingsen(2003))。
- (3) このような濃度のマンガンにばく露した労働者には、溶接ヒューム、溶解フェロマンガンヒュームいずれについても、神経機能作用が多数報告され、その多くに、ばく露反応関係が認められた(Bowlerら(2007)、Youngら(2005)、Myersら(2003b)など)。さらに、塩基性酸化マンガンに関する特殊健康診断において、一定の有所見者(2.4%)が認められる。
- (4) 以上から、塩基性酸化マンガンは、他のマンガン無機化合物と同様、ばく露による神経機能作用を引き起こすおそれが認められる。さらに、塩基性酸化マンガンの有害性を否定する報告も認められない。このため、従来の特化物(第2類)としての「マンガン及び化合物(塩基性酸化マンガンを除く)」から「(塩基性酸化マンガンを除く)」とする規定を削除し、「マンガン及びその化合物」として位置づけることが妥当である。

7 考察(溶接ヒュームの特定化学物質としての位置づけ)

- (1) 溶接ヒュームにばく露する労働者の神経機能作用としては、マンガンによる神経機能作用が多数報告されている。一方で、50程度の調査において、溶接ヒュームにばく露する者の肺がんのリスクが上昇していることが報告され、累積ばく露に関する

ばく露反応関係も、いくつかの大規模研究で確認されたとしている (tMannetje ら(2012)、Matrat ら(2016)、Sorensen ら(2007)、Siew ら(2008))。ただし、これら報告は、ばく露を間接情報により推定しているため、肺がんの原因物質は特定されておらず、発生機序も不明である。しかし、マンガンばく露による肺がんの発生は報告されていないことから、マンガンによる化学毒性以外の要因が推定される。

- (2) 一方で、じん肺の有所見者から原発性肺がんが発生するおそれがあることは広く知られており、じん肺健康診断において、結核以外の合併症の疑いがある者には肺がん検査の実施が義務付けられている (じん肺法第3条第1項第3項及びじん肺法施行規則第7条)。アーク溶接作業は、粉じん作業としてじん肺健康診断の対象となっている。
- (3) 以上から、「溶接ヒューム」と「マンガン及びその化合物」の毒性や健康影響は異なる可能性が高いことから、「溶接ヒューム」を独立した特定化学物質(第2類)として位置づけることが妥当である。
- (4) 発がん性に伴う特別管理物質への位置づけについては、溶接ヒュームは、疫学研究によってヒトに対する肺がんの発がん性があることが示されたが、その原因物質は特定されておらず、また、一般的なじん肺を機序とする原発性肺がんとの区別もついていない。このため、当面、特別管理物質として規定せず、発がんの原因物質等の知見が明らかになった時点で、再度検討を行うことが妥当である。

8 考察(溶接ヒュームの特殊健康診断の項目)

- (1) 溶接ヒュームによる健康障害としては、マンガンばく露による神経機能作用が報告されている ((Bowler ら(2007)、Ellingsen ら(2008)、Laohaudomchok ら(2011)、Sen ら(2011))。神経機能作用については、現行の特化則の「マンガン及びその化合物(塩基性酸化マンガンを除く。)」に対する特殊健康診断項目が該当する。
- (2) さらに、肺がんに対するリスクを有意に上昇させるとして、IARC(2017)により溶接ヒュームはグループ1(ヒトに対する発がん性)に分類されているが、その原因物質や発生機序については明確になっていない。なお、アーク溶接作業については、じん肺法によるじん肺健康診断が義務付けられており、結核以外の合併症にかかっているおそれのある者に対しては、肺がんに関する検査が行われている (じん肺法第3条第1項第3項及びじん肺法施行規則第7条)。
- (3) 以上から、当面、溶接ヒュームの取り扱い作業については、引き続きじん肺健診の対象とするとともに、特化則の特殊健康診断としては、従来のマンガン及びその化合物と同様の項目を実施し、今後、溶接ヒュームに含まれる化学物質の毒性等について新たな知見が明らかになった場合に、必要な項目を追加することとするのが妥当である。

参照文献

- ACGIH (2013), "Manganese, elemental and inorganic compounds." Documentation of Threshold Limited Value and Biological Exposure Indices.
- Bast-Pttersen R., Ellingsen D.G., Hetland S.M., Thomassen Y. (2004) Neuropsychological Function in Manganese Alloy Plant Workers. *Int Arch Occup Environ Health* Vol.77, pp.277-287
- Bouchard M. et.al (2007) Neuropsychiatric Symptoms and Past Manganese Exposure in a Ferro-ally Plant. *NeuroToxicology* Vol.28, pp. 290-297
- Bowler, R.M., et al(2006) "Manganese exposure: neuropsychological and neurological symptoms ad effects in welders." *Neurotoxicology* 27: 315-326
- Bowler, R.M., et al. (2007). "Dose - effect relationships between manganese exposure and neurological, neuropsychological and pulmonary function in confined space bridge welders." *Occup Environ Med* 64(3): 167 - 177.
- Code of Federal Regulations. Part 1915, subpart D- Welding, Cutting and Heating
- NIOSH (1988), "Criteria for a Recommended Standard: Welding, Brazing, and Thermal Cutting"
- Ellingsen D.G., Hetland S.M., Thomassen Y. (2003) Manganese air exposure assessment and biological monitoring in the manganese. *J. Environ Monit* Vol. 5, pp.84-90
- International Agency for Research on Cancer (2017) Volume 118: welding, indium tin oxide, molybdenum trioxide. IARC Monogr Eval Carcinog Risk Hum. IARC Working Group.
- Iregren A. (1990) Psychological Test Performance in Foundry Workers Exposed to Low Level of Manganese. *Neurotoxicology and Teratology*. Vol.12 pp.673-675
- Marat M, Guida F, Mattei F, et al. (2016) Welding, a risk factor of lung cancer: the ICARE study. *Occup Environ Med*. Vol. 73, pp. 254-61
- Mergler D.M, et.al (1994) Nervous System Dysfunction among Workers with Long-Term Exposure to Manganese. *Environmental Research* Vol.64, pp. 151-180
- Penniall, K. Rotich and P. Brown, W. (2018), "Manganese Exposures during Welding and Hot Work Tasks." Oil & Gas Safety and Health Conference.
- Sorensen A.R., Thulstrup A.M., Hansen J, et al. (2007) Risk of lung cancer according to mild steel and stainless steel welding *Scand J Work Environ Health*. Vol. 33, pp. 379-386
- Siew S.S., Kauppinen T, Kyyronen P, Heikkila P, Pukkala E. (2008) Exposure to iron and welding fumes and the risk of lung cancer. *Scand J Work Environ Health*. Vol. 34, pp. 444-450
- Taube, F. (2013) "Manganese in Occupational Arc Welding Fumes—Aspects on

- Physiochemical Properties, with Focus on Solubility.” Ann. Occup. Hyg., Vol. 57,
No. 1, pp. 6-25
- ‘t Mannetje A, Bennan P, Zaridze D, et al. (2012) Welding and lung cancer in entral and
Eastern Europe and the United Kingdom M J Epidemiol. Vol. 175, pp.706-714
- Young T., Myers J.E., Thompson M. (2005) The Nervous System Effects of Occupational
Exposure to Manganese – Measured as Respirable Dust – in a South African
Manganese Smelter. Neurotoxicology, Vol.26 pp. 993-1000
- 小嶋淳(2011)「低ヒュームワイヤによるばく露低減効果の検証」労働安全衛生研究, Vol. 4,
No.1, pp. 39-41
- 小林実、堤伸介(1983)「被覆アーク溶接ヒュームの結晶組成に関する研究」溶接学会論文集
Vol.1(3), pp.311-317
- 厚生労働省(2019) 特殊健康診断結果調
- 日本溶接協会(2019)「溶接ヒューム中のマンガンに関する調査研究報告書」2019年3月