

令和3年度

調査研究報告書

溶接作業におけるマンガンばく露と防じんマスク効率に関する
調査研究

令和4年3月

独立行政法人労働者健康安全機構

岡山産業保健総合支援センター

調査研究体制

研究代表者

岡山産業保健総合支援センター 所長 松山 正春

研究分担者

岡山産業保健総合支援センター 産業保健相談員 岸本 卓巳

岡山産業保健総合支援センター 産業保健相談員 西出 忠司

岡山産業保健総合支援センター 産業保健相談員 横溝 浩

岡山産業保健総合支援センター 産業保健相談員 高尾 総司

岡山産業保健総合支援センター 労働衛生専門職 島村 明

溶接作業におけるマンガンばく露と防じんマスク効率に関する調査研究

研究代表者	松山 正春	所長	岡山産業保健総合支援センター
研究分担者	岸本 卓巳	産業保健相談員	岡山産業保健総合支援センター
	西出 忠司	産業保健相談員	岡山産業保健総合支援センター
	横溝 浩	産業保健相談員	岡山産業保健総合支援センター
	高尾 総司	産業保健相談員	岡山産業保健総合支援センター
	島村 明	労働衛生専門職	岡山産業保健総合支援センター

(目的)

溶接の際に発するヒュームについては 2019 年に International Agency for Research on Cancer (IARC) が人に発癌性のある Group I とした他、マンガン吸入によるパーキンソン症候群様の運動機能障害が発症することが知られている。そのため厚生労働省は 2021 年 4 月に特定化学物質（管理第 2 類）に指定した。

現在、溶接作業を行っている作業者における吸入粉じん及びマンガンばく露の状況を検討するために、個人ばく露濃度とともに全血中マンガン値を測定する。防じんマスクの漏れ率を測定することにより管理濃度 0.05 mg/m^3 を達成しているかどうかについて検討する。さらにマンガン中毒の予兆が無いか精神・神経学的な診察も行う。

(対象と方法)

対象は溶接作業を週 40 時間行っている 3 事業所の MAG (Metal Active Gas) 溶接作業者 18 名と MIG (Metal Inert Gas) 溶接作業者 2 名である。溶接材料におけるマンガンの含有はいずれの事業場で使用されているものも 5%以下であった。これら 20 名については性別、年齢、溶接作業期間及び防じんマスクの型を聴取し、個人サンプラーを用いて吸入粉じん濃度、溶接ヒューム中に含まれるマンガン濃度、着用している防じんマスクの漏れ率を測定するとともに原子吸光分光光度法を用いて全血中マンガンを測定した。全血中マンガン測定は 1 週間のうちで、最もマンガン濃度が高くなると予想される金曜日の 15～

16 時に行った。全血中マンガン濃度についてはコントロールとして通常は溶接作業を行っているが、溶接作業をしていない時に 8 名の採血を行った。また、着用しているマスクの漏れ率を労研式マスクフィッティングテスター MT-03 型を用いて測定した。

一方、精神・神経学的調査項目としては、問診および視診で精神症状、表情、声の大きさ、運動失調、振戦、身体診療として固縮の有無、片足立ちテスト及び突進現象について調査した。

(結果)

対象者は全例男性で、年齢中央値は 44 歳 (19 ～ 70 歳) であった (図 1)。溶接作業期間は中央値 13.8 年 (0.5 ～ 41 年) であった (図 2)。防じんマスクは DR28SC2 (重松) が 11 名、1005R (興研) が 4 名、DD01-S2-2K (重松) が 2 名、DR28SU2K (重松) が 1 名、ハイラック (興研) 1 名、不織布マスク 1 名であった。

個人ばく露測定におけ吸入性粉じん濃度は 4.36 ± 4.61 ($0.26 \sim 16.94$) mg/m^3 で、A 社において多い傾向を示した (図 3)。吸入マンガンの濃度は 0.622 ± 0.645 ($0.046 \sim 2.378$) mg/m^3 と作業内容によって大きく異なっていた。図 4 に示すように A 社では他 2 社と比較して吸入マンガンの濃度が高い傾向を示した。また、通常防じんマスクの漏れ率は $26.80 \pm 22.78\%$ ($1.10 \sim 81.00$) % で、各社とも 25% 程度の漏れ率であった (図 5)。しかし、使い捨て不織布マスクを使用して作業を行った 1 例ではマスクの

漏れ率が100%であった。

マスクの漏れ率から求めた吸入マンガン濃度は 0.185 ± 0.321 ($0.004 \sim 1.405$) mg/m^3 であった (図6)。図6でしめたように、防じんマスクの漏れ率で換算すると variation があまりにも大きかったため3社はほぼ同様であった。また、全血中マンガン濃度は 1.38 ± 0.42 ($0.80 \sim 2.20$) $\mu\text{g}/\text{dL}$ であった (図7)。図4に示すようにA社ではマンガン吸入濃度が他2社と比較して高いため、全血

中マンガン濃度も高い傾向を示しており、 $2.0 \mu\text{g}/\text{dL}$ 、 $2.1 \mu\text{g}/\text{dL}$ 、 $2.2 \mu\text{g}/\text{dL}$ と高値を示した作業者が各1名いた。一方、コントロールでは 1.30 ± 0.15 ($1.10 \sim 1.60$) $\mu\text{g}/\text{dL}$ であり、有意差は認められなかった (図7)。全血中マンガン濃度に対して吸入マンガン濃度やマスクの漏れ率等による多変量解析を行ったが有意差は認められなかった。マンガンによる精神・神経学的な診察では、20例にはいずれも異常は認められなかった。

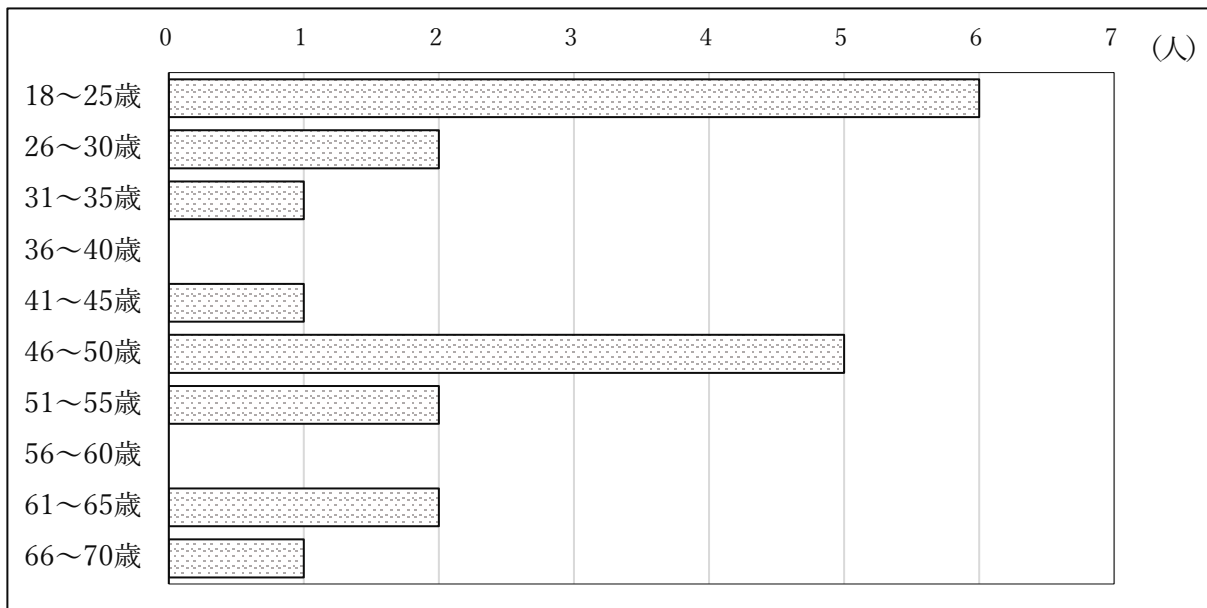


図1. 年齢

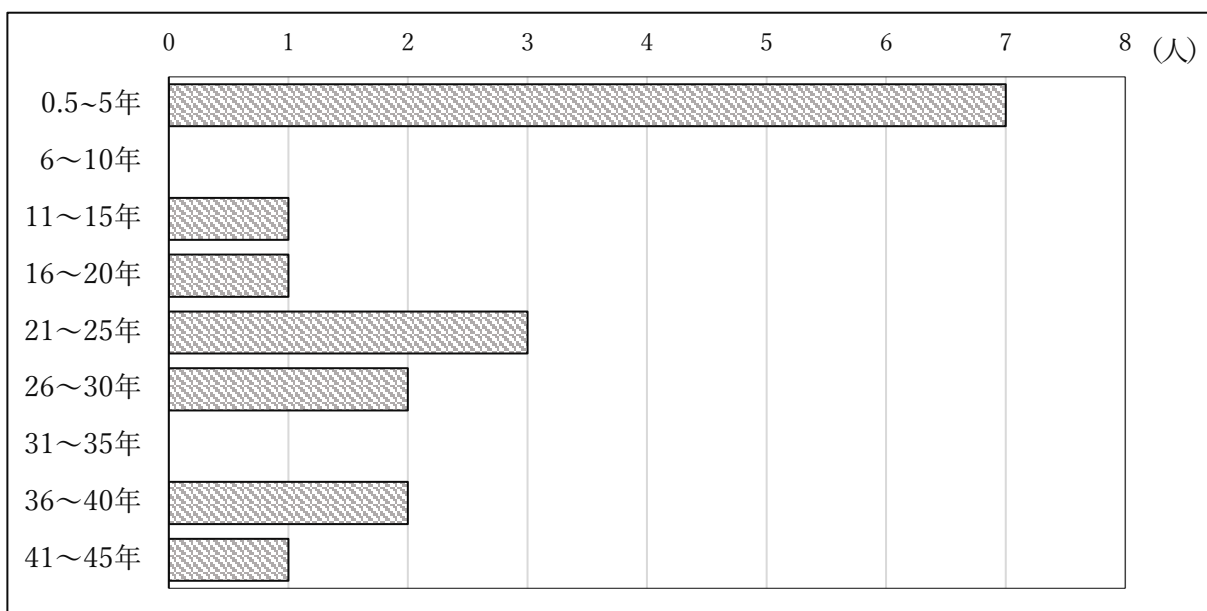


図2. 溶接作業期間

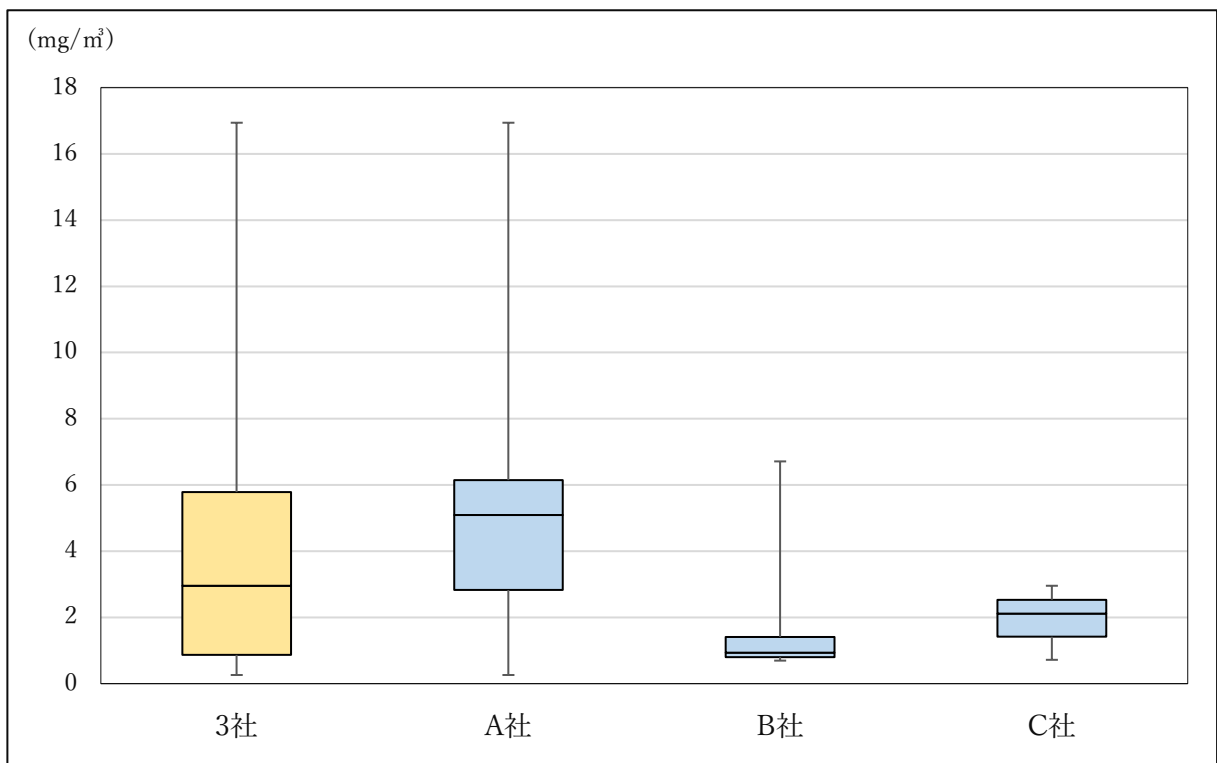


図3. 吸入性粉じん濃度 (mg/m³)

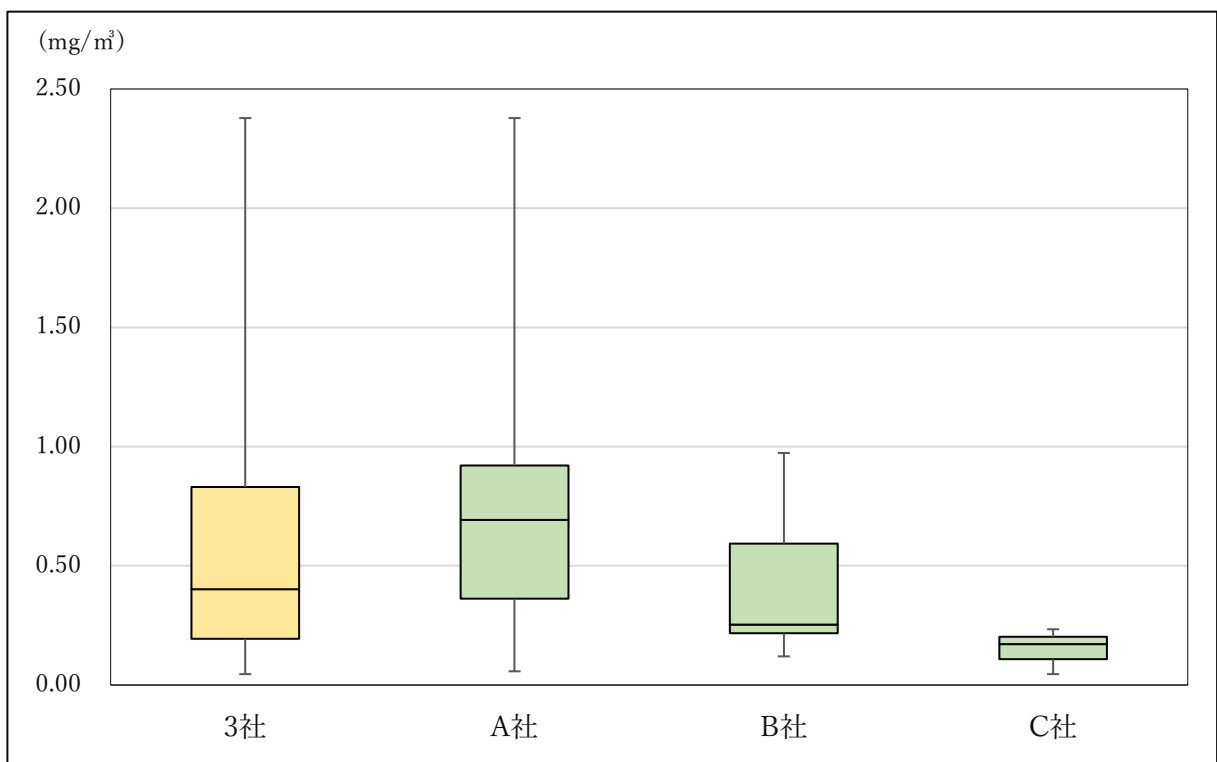


図4. 吸入マンガンの濃度 (mg/m³)

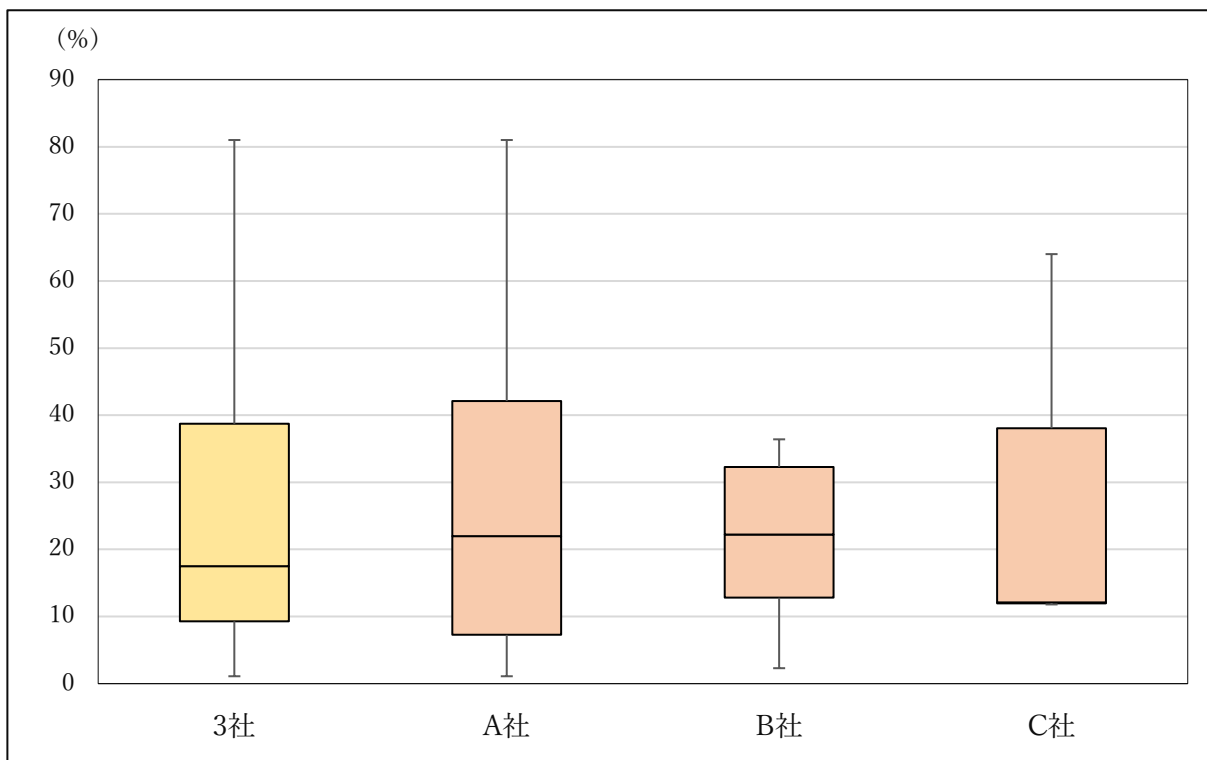


図5. 防じんマスクの漏れ率 (%)

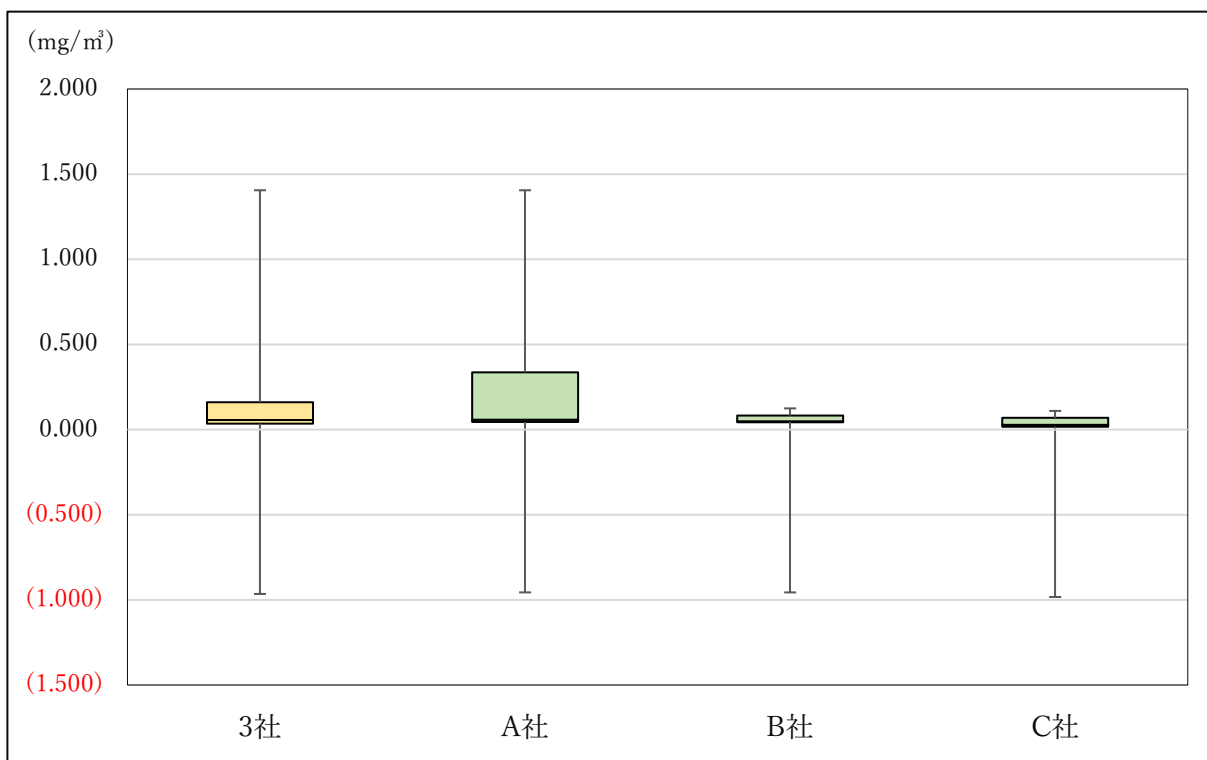


図6. マスクの漏れ率より求めたマンガン濃度 (mg/m³)

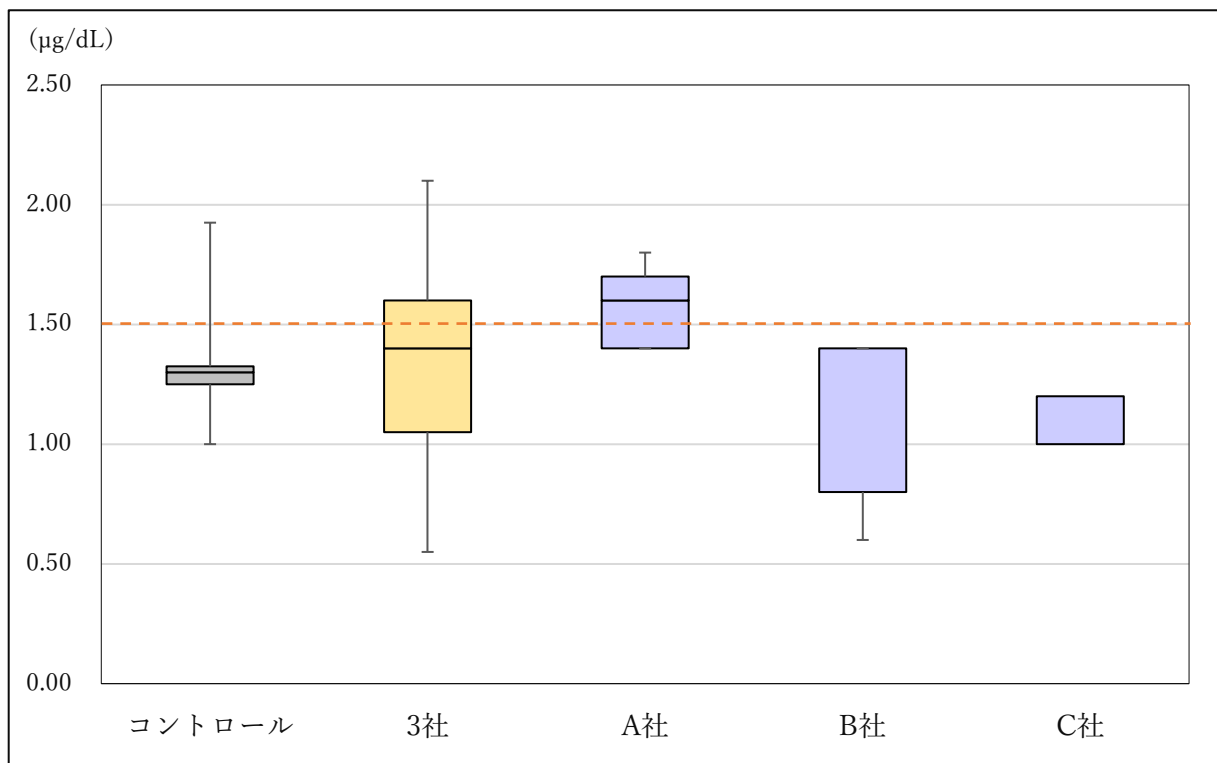


図7. 3社、A、B、C社とコントロールの全血中マンガン濃度 (µg/dL) の比較

(考察)

今回対象とした常時溶接作業者 20 名の吸入粉じんばく露濃度は $4.36 \pm 4.61 \text{ mg/m}^3$ (0.26~16.94) であった。我々が 2000 年に造船溶接作業者 11 名を対象とした吸入粉じん濃度のデータでは $24.90 \pm 23.97 \text{ mg/m}^3$ (3.33 ~ 86.33) であり、今回の溶接作業の約 5.7 倍高い濃度であった。ヒュームの吸入性粉じんの許容濃度が 1 mg/m^3 であることから、過去の造船溶接作業が過酷であったことが窺われた¹⁾。TIG (Tungsten Inert Gas) 溶接は手作業であるが、MIG 溶接・MAG 溶接は半自動アーク溶接法になる。MIG 溶接と MAG 溶接の違いは溶接時に用いるシールドガスの違いである。MIG 溶接ではアルゴンガス単体のもの、MAG 溶接では混合ガス (アルゴンガス 80%、炭酸素ガス 20%) を使用していた²⁾が、吸入粉じん量及びマンガンの吸入量については、MIG 溶接と MAG 溶接で相違はなかった (データ示さず)。

防じんマスクの漏れ率は過去の我々の報告と同様²⁾、約 25% の漏れが認められた。20 名の間でも適正な装着をすれば 1.10% の漏れであるが、圧着が悪いと 81% の漏れがあった。また、通常防じんマスクではなく、簡易の不織布

マスクを装着して溶接していた作業者では漏れ率は 100% であり、このようなマスクを装着しての溶接作業は厳しく戒められなければならない。

一方、吸入マンガン濃度は $0.622 \pm 0.645 \text{ mg/m}^3$ と 4 名を除く 16 名は許容濃度の 0.2 mg/m^3 に比較して高く、個人ばく露量が多いことが判った。

また、全血中マンガン濃度は $1.38 \pm 0.42 \text{ µg/dL}$ であり、コントロールの $1.30 \pm 0.15 \text{ µg/dL}$ と有意差はなかった。文献によれば全血中マンガン濃度の基準値は $0.4 \sim 1.5 \text{ µg/dL}$ と報告されている^{3,4)}。一方、Matsuda⁵⁾ も自験例で報告しており $1.12 \pm 0.47 \text{ µg/dL}$ と $1.5 \sim 1.6 \text{ µg/dL}$ が上限ではないかと考えられる。マンガンのばく露のバイオマーカーとして全血あるいは血漿中のマンガン濃度が使用されるが^{5,6)}、血漿中のマンガンのターンオーバーは速く、骨等の組織では長く保持される⁷⁾。血漿マンガンは溶接作業者のバイオマーカーとなりうるという報告もあるが、全血中マンガン濃度の約 10 分の 1 のレベルであり⁸⁾、血漿や尿中マンガンよりも全血中マンガンはホメオスタシスに関連性が高いと報告されている⁹⁾。また、全血中のマンガン濃度は最近のマンガンのばく露を反映する

ものの変動が大きいとも報告されている⁹⁾。一方、Mn/Fe比 (MIR) は全血中マンガン濃度やMRIよりもマンガ中毒発症に対する信頼度が高いバイオマーカーとされているが、その証拠に乏しい⁶⁾。そのため、足の爪のマンガン測定は組織内のマンガン蓄積の評価として使用できるとの報告もある¹⁰⁾。今回我々はマンガンのバイオマーカーとして全血中マンガン濃度を使用した。その基準値を用いれば明らかに高値を示した2.1、2.2 µg/dLの2名に関しては吸入マンガン濃度は0.058、0.693 mg/m³であったが、防じんマスクの漏れ率が81、100%であり、ばく露するマンガンの大半を吸入していたと考えられる。この結果を考察すると通常防じんマスクの適正な使用(選定・着用・管理)をしなければマンガ中毒に至る可能性が示唆される。特に使い捨て不織布マスクで溶接作業を行っていた作業員では100%漏れが確認され、全血中マンガン濃度も2.2µg/dLと高値を示していた。

マンガン過剰状態となると中毒症状が発生することが知られている¹¹⁾。特にマンガン含有の鋼鉄を切断したり、溶接工ではマンガン中毒が起りやすいとされている¹²⁾。マンガン中毒は中枢神経系が主として侵され精神症状と神経症状としてパーキンソン症候群様などの錐体外路症状が発生しやすい。実際、サンフランシスコとオークランドの間のベイブリッジ建設のため、溶接を行っていた26名においては精神・神経症状が確認されて、溶接中止後に認知機能は改善されたが、神経症状は悪化したと報告されている¹³⁾。日本においても溶接作業中に発症したマンガ中毒は2例報告されている。そのうち1例は30年間造船溶接を行って典型的パーキンソン症候群様な神経症状を呈しており、全血中マンガン濃度は5.0 µg/dLと高値を示しているが、その他の1例は1.9 µg/dLとそれほど高値を示していなかった。全血中マンガン濃度はバイオマーカーになりうるがvariationが大きいことに留意しておくべきである¹⁴⁾。今回我々が対象とした溶接作業員の年齢は中央値で44歳、溶接作業員期間は13.8年(中央値)であり、いずれも溶接作業員を対象とした調査とほぼ同様であった^{6,10,13)}。しかし、20名の中にはマンガ中毒を示唆する精神・神経学的な異常を示唆する作業員はいなかった。

また、法で定められた要求防護係数以下の防じんマスクを使用している労働者が多く、使用しているマスク着用時

の漏れ率を考慮すると要求防護係数を満たしている場合でも、実際には高濃度のマンガンを吸入している可能性が考えられるので、防護係数の高い電動ファン付き防じんマスクの使用が望ましいと言える。

今回対象とした20名のマンガンのばく露量は少なくないことから今後とも慎重な経過観察が望まれる。

(結論)

溶接作業員のマンガ個人ばく露濃度は比較的高いため、通常防じんマスクを適正に装着しなければバイオマーカーとしての全血中マンガン濃度が高くなり、中毒症状が出現する可能性もあると考えられた。

(参考文献)

- 1) 粉じん作業場におけるじん肺患者発生状況に関する研究 岡山産業保健推進センター報告書 2001年3月
- 2) 粉じん作業場におけるマスク効率と呼吸機能に関する研究 岡山産業保健推進センター報告書 2004年3月
- 3) マンガン IV生化学検査 [2] G.金属 日本臨床 68巻 増刊号1 pp321-324,2010
- 4) ATSDR. Toxicological Profiles. 2012 Sep. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiledocs/index.html>
- 5) Matsuda A., Kimura M, Takeda T, Kataoka M, Sato M, Itokawa Y. Changes in manganese content of mononuclear blood cells in patients receiving total parenteral nutrition. Clin Chem. 40:829-832, 1994.
- 6) Zhemg W, Fu SX, Dydak U, Cowan DM Biomarkers of manganese intoxication Neurotoxicol 32:1-8
- 7) O'Neal SL, Zheng W. Manganese toxicity upon overexposure: a decade in review. Curr Environ Health Rep 2:315-328, 2015
- 8) Theiner E, Weber C, Müller E, Venner M, Vervuert I. [Manganese concentrations in whole blood, plasma and serum of adult warmblood horses from 3 locations in Germany] Tierarztl Prax Ausg G

Grosstiere Nutztiere. 49:234-246,2021

- 9) Baker MG, Simpson CD, Sheppard L, Stove B, Morton J, Coker J, Seixas N Variance components of short-term biomarkers of manganese exposure in an inception cohort of welding trainees J Trace Elem Med Biol 0:123-129,2015
- 10) Ward EJ, Edmondson DA, Nour MM, Snyder S, Rosenthal FS, Dydak U. Toenail manganese: a sensitive and specific biomarker of exposure to manganese in career welders Ann Work Expo Health 62:101-111, 2018
- 11) 伊規須英輝、松岡雅人、奥野丈夫 マンガン中毒 臨床と研究 80:2225-2228
- 12) 井上尚英 マンガンによる中毒の臨床 臨床と研究 78:1132-1138
- 13) Bowler RM, Gocheva V, Harris M, Ngo L, abdelouahab N, Wilkinson J, Doty RL, Park R, Roel HA. Prospective study on neurotoxic effects in manganese-exposed bridge construction welders Neurotoxicol 32:596-605,2011
- 14) 佐藤紀美子, 上山秀嗣, 荒川竜樹, 熊本俊秀, 津田富康. 溶接工に発症したマンガン中毒性パーキンソン病の1例. 臨床神経. 40:1110-1115,2000