

長期間鉛曝露者の経過観察

宮島啓子* 吉田俊明* 吉田 仁* 熊谷信二*

鉛製品製造業における長期間にわたる作業環境測定および鉛中毒健診の経過観察をまとめた。A社は、鉛を20~30%含有する鉛青銅合金を1200℃の高温で熔融し、手杓で鋳型に流し込む作業である。鋳造作業場のA測定値および個人曝露濃度はそれぞれ管理濃度および許容濃度を超過しており、また血中鉛濃度および尿中デルタアミノレブリン酸濃度は生物学的許容値を超過していた。B社の鉛工は鉛棒をアセチレンバーナで溶かしながら鉄板に張り付けるホモゲン作業を行っており、個人曝露濃度は許容濃度を超過していた。また、血中鉛濃度および尿中デルタアミノレブリン酸濃度は生物学的許容値を超過していた。

キーワード：鉛製品製造業、鉛作業者、環境鉛濃度、血中鉛、尿中デルタアミノレブリン酸

Key words : lead manufacturing industry, lead workers, airborne lead level, blood lead level,
Urinary δ - aminolevulinic acid

古代から身近に使われてきた主要金属の中で、鉛は比較的柔らかく加工が容易なため、様々な分野で使われてきた。その反面、鉛は毒性を持つことや優れた代替品の出現などで、最近では、使用される用途が減少してきた。しかし、鉛の需要が全く無くなったわけではない。

現在、産業現場では鉛中毒予防規則¹⁾により作業環境管理や健康管理が行われており、典型的な鉛中毒の報告は少なくなってきたが、長期間の鉛曝露による鉛中毒事例は、今なお発生している。我々は、鉛を取り扱っている事業所の作業環境測定と鉛中毒健診を1968年から2007年まで長期間にわたり行ってきた。本報では、これらのデータをまとめて報告する。

対象と方法

1. 鉛青銅合金製造

A社は、船などのシャフトの軸受に用いる鉛青銅合金を製造している。合金には、鉛(約20~30%)、銅

(約65~70%)、錫(約1~8%)、その他の金属(ニッケル、亜鉛)を含む。製造工程は大きく鋳造と成型に分けられる。鋳造は、①砂で鋳型を作成、②転炉で鉛青銅の材料を1200℃で融解(図1)、③融けた合金を杓で鋳型に流し込む(湯入れ)(図2)、④鉛青銅が固まると鋳型を外し、鋳物を取り出す、⑤鋳型を壊し、砂を一箇所に集めるといった流れである。成型では、鋳造品をグラインダーおよび切削機械で形を整える。鋳造作業者は1~7名、成形作業者は1~7名である。鉛中毒健診は1968年から始めているが、血中鉛(PbB)および尿中デルタアミノレブリン酸(ALA-U)については1976年から2005年まで毎年2回測定した。作業環境測定は主に鋳造作業場について1978年から2002年まで断続的に実施した。

2. 鉛板・鉛管・電極板製造

B社は、X線や放射線の防護・遮蔽用および防音用の鉛板や鉛合板、亜鉛メッキに使用する電極板などを製造しており、鉛板、鉛管、機械、管理検査および鉛工の5部門がある。

鉛板作業では、4~5tの鉛を釜に入れ約400℃で熔融し、型に流し込んでブロックにして、冷却後ローラで圧延する。鉛管作業では、熔融した鉛を管状の型に流し込み、連続的に冷却しながら押し出して鉛管とし、それを巻き取る。機械作業では製品の成形、管理検査

* 大阪府立公衆衛生研究所 衛生化学部 生活環境課

The Follow-up of the Lead-workers for Long Terms

by Keiko MIYAJIMA, Toshiaki YOSHIDA, Jin YOSHIDA and Shinji KUMAGAI



図1. 鉛合金を1200℃で溶解



図3. ホモゲン作業



図2. 溶解した鉛を杓で鑄型に流し込む（湯入れ）



図4. 電極板の修理

作業では製品の検査を行う。鉛作業では、鉛インゴットを溶かしてホモゲン用の鉛棒を作り、アセチレンバーナを用いて棒を溶かし鉄枠に張り付けて電極板を作成したり（ホモゲン作業）（図3）、あるいは水素バーナを用いて電極板を修理・解体する（図4）。鉛工は1～7名、その他は1～29名である。

鉛中毒健診は1970年から始めているが、PbBおよびALA-Uについては1978年から2007年まで毎年2回測定した。作業環境測定は1984年から2007年まで断続的に実施した。

3. 測定法

環境気中鉛濃度は、ローボリュームエアサンプラー・原子吸光法で測定した²⁾。1987年からは、作業環境測定法による方法³⁾で行った。PbB量については、

1984年まではフレイム原子吸光法⁴⁾、それ以降はフレイムレス原子吸光法⁵⁾で測定した。ALA-U量は単一カラム法⁶⁾で測定した。

結果

1. 鉛青銅合金製造

鑄造作業場の変遷を図5に示す。1971年当時は溶融釜と鑄込作業を同じ作業場で行っていたが、1980年にプッシュ・プル型の換気装置を設置し、さらに1983年には、溶融釜と鑄込作業場との間を壁で仕切るとともに、鑄造作業場の近くにあった休憩場所を独立した別の場所に移した。1986年にはプッシュ・プル型換気装置の性能が低下したということで、要定期点検の指摘があった。1996年にはプッシュ・プル型の換気装置

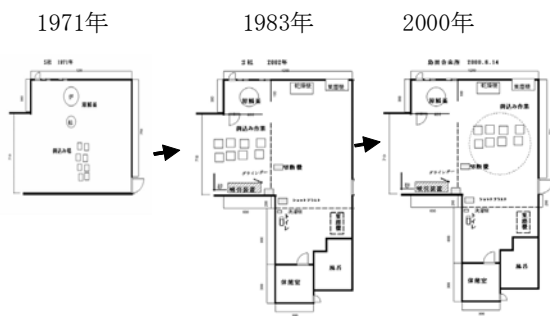


図5. A社の作業場の変化
(1971年→1983年→2000年)

だけでは換気が不十分なため、防塵マスクの着用を徹底した。2000年に、天井に換気扇を設置し、鑄込作業場所を変更したが、2002年には鑄込み作業場所を元の場所に戻した。

作業環境測定結果の推移を図6に示す。毎回の作業内容や作業量が異なること、あるいはサンプリングのタイミングが異なることなどから、同一条件での測定にはなっていない。このため、測定結果は上述の作業場の変遷を直接的には反映していないが、どの時点でもA測定値の幾何平均値 0.95 mg/m^3 ($0.02 \sim 2.64 \text{ mg/m}^3$)は管理濃度 (0.05 mg/m^3)を大幅に超え、また個人曝露濃度 2.21 mg/m^3 ($0.72 \sim 8.25 \text{ mg/m}^3$)も許容濃度 (0.1 mg/m^3)を大幅に超えており、作業環境が非常に悪いことがわかる。

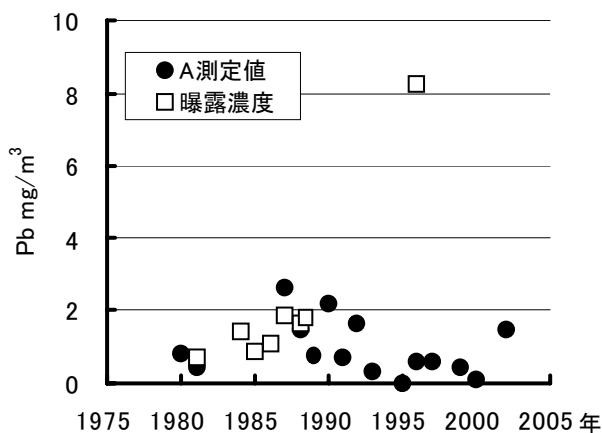


図6. 鑄造作業場のA測定値(定点での測定値の幾何平均値)および個人曝露濃度の推移

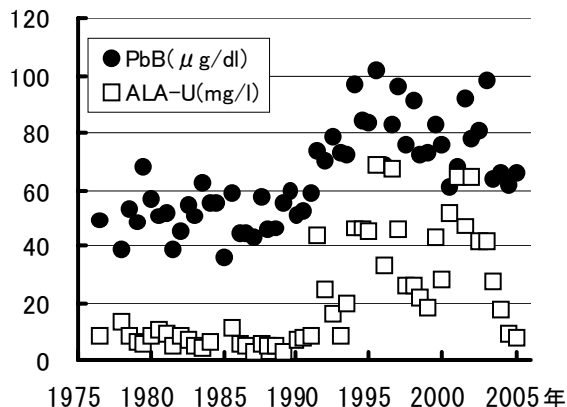


図7. 鑄造作業者の血中鉛(PbB)および尿中デルタアミノレブリン酸(ALA)の推移

PbB および ALA-U の推移を図7に示す。鑄造作業者のPbBは1970年代後半と1980年代には概ね $40 \sim 60 \mu\text{g/dl}$ で推移していたが、1990年代に入ると上昇し $100 \mu\text{g/dl}$ に達するようになった。その後、上下して2005年ごろには $60 \mu\text{g/dl}$ 台になった。ALA-Uもほぼ同様の推移を示し、1970年代後半と1980年代には概ね 10 mg/l 以下であったが、PbBが $70 \mu\text{g/dl}$ を超えるようになった1990年代に入ると急激に上昇し、ピーク時には 70 mg/l 近くに達するようになった。その後、PbBの動きと連動して上下し、2005年ごろには 10 mg/l 程度まで低下した。PbB および ALA-Uの生物学的許容値はそれぞれ $40 \mu\text{g/dl}$ および 5 mg/l なので、ほとんどのすべての時期の測定値も超えている。

PbB および ALA-Uの時間的推移は、本来、作業環境濃度や個人曝露濃度の変動を反映しているはずであるが、必ずしもそうはなっていない。ひとつの理由は、上記したように作業環境測定が同一条件で行われていないことである。また、防塵マスクの着用の有無によっても鉛の体内取り込み量は大きく異なることも理由である。もう一つは、長期の観察のため、当初の作業者は徐々に退職して、後半は全員が新しい作業者に入れ替わっており、しかも別の会社で鉛の高濃度曝露を受けていた方が入社したことにより、PbB および ALA-Uの平均値が高くなるという事態も生じている。

2. 鉛板・鉛管・電極板製造

鉛工の個人曝露濃度 0.36 mg/m^3 ($0.06 \sim 1.31 \text{ mg/m}^3$)を図8に示す。毎回の作業内容や作業量が異なること

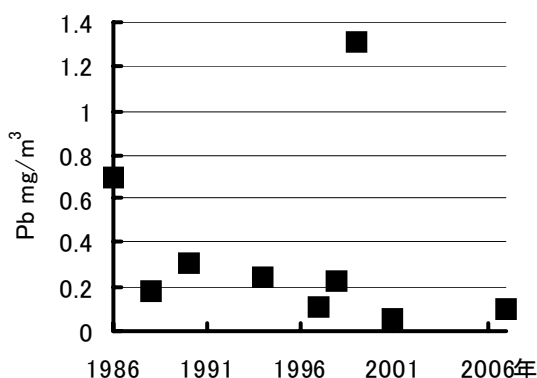


図 8. 鉛工作者の個人曝露濃度

などから、同一条件での測定にはなっていないが、許容濃度 ($0.1\text{mg}/\text{m}^3$) を超えていることが多く、作業環境が悪いことがわかる。

PbB および ALAU の推移を図 9 に示す。鉛工では、PbB は $38\sim 100\ \mu\text{g}/\text{dL}$ 、ALAU は $3\sim 53\text{mg}/\text{L}$ とほとんどの時期に生物学的許容値を超えている。その他の作業では、図には示していないが、PbB は概ね生物学的許容値以下、ALAU は生物学的許容値を超える時期が時々あった。

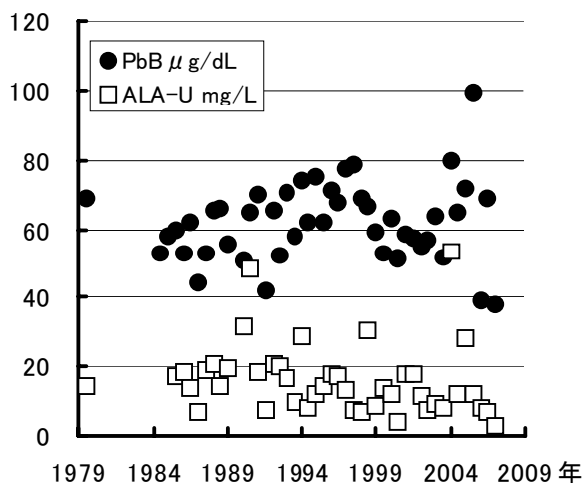


図 9. 鉛工作者の血中 (PbB) および尿中デルタアミノレブリン酸 (ALA) の推移

考察

A 社では、鉛を約 20~30% 含む鉛青銅合金を製造するため、銅と鉛などを 1200°C の高温で熔融し、杓で流

し込む作業があり、鉛ヒュームが作業場全体に大量に発生する。このため、鑄造作業場の A 測定値および個人曝露濃度はそれぞれ管理濃度および許容濃度を大幅に超えていた。また、鑄造作業者の PbB および ALA-U も高く、いずれも生物学的許容値を超えていた。1980 年代に設置されたプッシュ・プル型換気装置は当時としては画期的なものであった。しかし、村田ら⁷⁾ の報告にもあるように、プッシュ・プル換気気流内での作業では、気流がさえぎられると曝露濃度が上昇する弱点もあり、この改善では十分な効果が得られなかった。また、プッシュ・プル型換気装置は性能の維持管理に手間がかかることもあり、適切な管理ができず、性能が徐々に低下していった。A 社のような小規模事業所では、作業環境改善のための余裕はあまりなく、これ以上のことはできなかった。設備費をかけずに曝露を低減するには、防塵マスク着用の徹底が有効な対策の一つであると考えられる。

清田^{8,9)}、中野ら¹⁰⁾ は、故鉛製造作業者の長期観察において、熔融釜周辺に強力な局所排気装置を設置することにより環境改善効果が認められ、作業者の PbB は高値が続いているものの、減少傾向にあることを報告している。千葉ら¹¹⁾ も 12 年間の調査から局所排気装置の改善が検査指標の改良に関係があったと述べている。このように局所排気装置により、改善効果が認められたとの報告もある。

一方、B 社の鉛工が行うホモゲン作業では、鉛棒をアセチレンバーナで熔融しながら鉄枠に張り付けていくため、高濃度の鉛ヒュームが発生する。このため、個人曝露濃度 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ の許容濃度を大幅に超え、また、PbB および ALAU も生物学的許容値を超えていた。鉛工は、このような工場での作業のほかに、出張して X 線や放射線の防護・遮蔽装置の設置をしたり、タンク内での鉛板の接着作業などの作業もあり、そのような機会にも鉛の高濃度曝露を受けていると考えられる。改善はなかなか困難であるが、最低でも効果的な防塵マスクの着用を徹底することが不可欠であろう。

最近、小川ら¹²⁾ は、保護具の不十分さや作業場の換気の悪さなどが原因の鉛中毒事例を、また、後藤¹³⁾ は、含有量が 10% 未満の鉛合金作業者の鉛中毒事例を報告しており、古典的な職業病である鉛中毒が現在でも克服できていない重要な課題であることを示している。

文献

- 1) 労働安全衛生法, 鉛中毒予防規則 (労働省令第 37号)
- 2) Slavin W. : 原子吸光分析、下村滋他訳、広川化学シリーズ, **31**, 263 (1970)
- 3) 作業環境測定ガイドブック, 金属類, (社) 日本作業環境測定協会
- 4) Selander S. , Cramer K., Determination of lead in blood by atomic absorption spectrophotometry, Brit. J. Ind. Med., **25**, 209-213 (1968)
- 5) 小坂 博, 宮島啓子 : フレームレス原子吸光法による血中鉛測定法の検討, 大阪府立公衛研研究報告労働衛生編, **21**, 17-20 (1983)
- 6) Sun M.W., Edward S. Frances W. : A single column method for the determination of urinary δ -aminolevulinic acid, **15**, 183~ (1969)
- 7) 村田 克, 伊藤昭好, 木村菊二 : プッシュ・プル換気 airflow 内での作業者の動作が個人曝露に及ぼす影響, 産衛誌, **44**, (2002)
- 8) 清田郁子, 堀口俊一, 中野碩夫, 品川興造, 寺本敬子, 福本紘一 : 某故鉛精錬所における労働衛生学的実態の長期観察 (第2報), 産衛誌, **50**, 486-487 (1977)
- 9) 清田郁子, 堀口俊一, 北畑 暁 : 某再生鉛工場作業者検診結果の疫学的検討 (第2報), 産衛誌, **54**, 216-217 (1981)
- 10) 中野碩夫, 堀口俊一, 品川興造, 寺本敬子, 清田郁子, 福本紘一 : 某故鉛精錬所における労働衛生学的実態の長期観察 (第3報), 産衛誌, **50**, 488-489 (1977)
- 11) 千葉百子, 菊池正一 : 鉛曝露検査指標の長期観察—焼き入れ作業者について—, 産衛誌, **50**, 488-489 (1977)
- 12) 小川真規, 圓藤陽子 : 職業性鉛中毒の3事例, 産業医学ジャーナル, **32**, 28-32 (2009)
- 13) 後藤博俊 : グラインダー作業での慢性鉛中毒の疑い, 安全と健康, **10**, 94-95 (2009)