

地球環境問題への取組み（Ⅲ） —鉛規制—

Tackling Earth Environmental Problems (Ⅲ)

勝岡 律 Ritsu Katsuoka

1. はじめに

地球環境シリーズの第3弾として今回は、鉛規制を取り上げます。

第一回 「ODS」（オゾン層破壊物質）26号

第二回 「VOC」（揮発性有機化合物）27号

第三回 「鉛」（鉛溶出水質汚染）今回 28号

本シリーズで取り上げた、上の3つは電子組立業における生産技術上の3大環境問題とされています。

中でも、今回の「鉛」は電子組立業にとって「ハンダ」

という最も基本的な材料に関わる問題なため、業界でも関心が高く、その対応方法について学会などで盛んに取り上げられています。

地球環境シリーズは今回をもって終了しますが、当社でも97年度に環境管理システムISO14001の認証取得、あるいは環境負荷を考慮した「グリーン製品」開発など、いよいよこれから企業の環境保全活動の本番を迎える時期にきています。

本シリーズが当社の地球環境問題への取組を促進するための助力となれば幸いです。

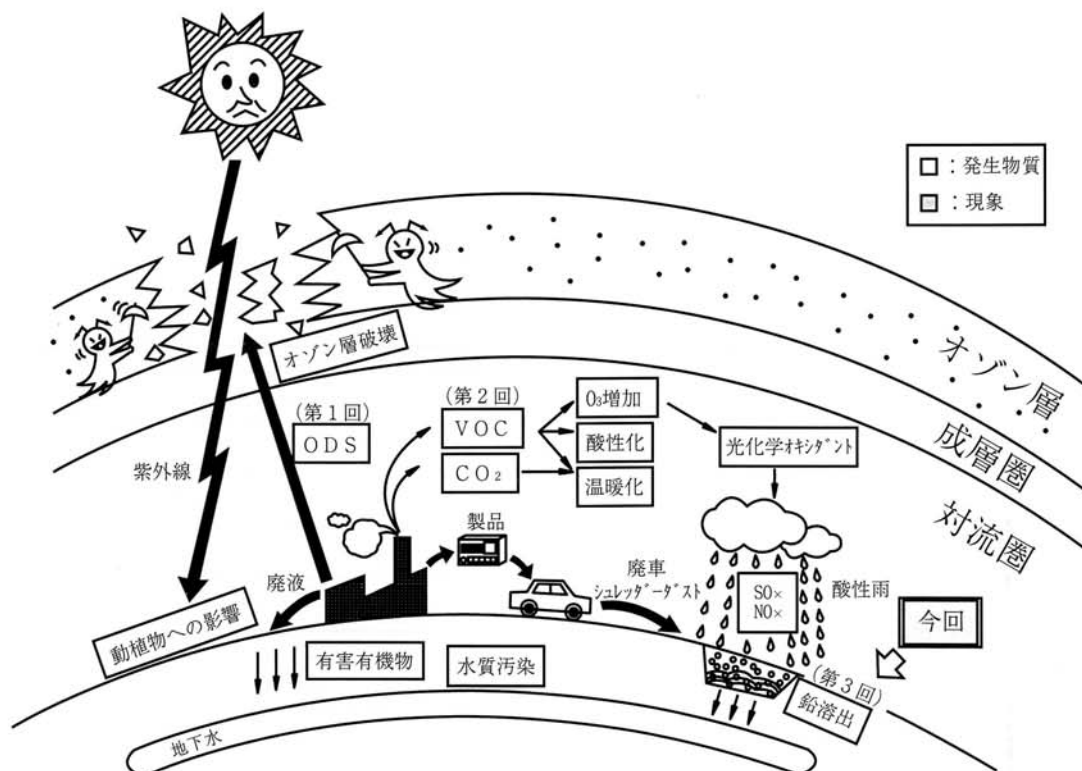


図-1 当社に関連する環境問題

2. 鉛とハンダ

我々、電子産業にとってハンダは「メシの種」とも言えるほど密接な材料です。一般に電子部品等を450℃以下の低融点合金で接続する事を「ハンダ付け」と言いますが、ハンダ材料の中で電子部品のハンダ付け用に最も良く使われるのが、いわゆるスズ-鉛共晶ハンダで、スズ(Sn) 63%：鉛(Pb) 37%の組成よりなります。Snの融点232℃、Pbの融点327℃に対し、Sn-Pb共晶ハンダの融点(=凝固点)は183℃です。

つまり、合金化することでより低い溶融温度での使用が可能となり、これがハンダに鉛を使用する第一の理由です。鉛をハンダ合金に使用する他の理由としては機械的強度の向上、濡れ性の向上等があります。

Sn-Pb共晶ハンダは上のような理由から最も一般的なハンダ材料として古くから使用され、これは今も変わっていません。

しかし、一方では鉛の有毒性も古くから知られており、現在、地球環境保全の機運の高まりの中でハンダに含まれる鉛の環境に及ぼす影響が大きくクローズアップされて来ています。

3. 鉛による環境汚染

図-1は前回、前々回でもお話した当社の企業活動に関連する環境問題の略図です。

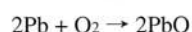
当社の生産品、自動車用電子製品にはほぼ例外なく電子回路が組み込まれ、電子回路接続にはほぼ例外なくハンダが使用されています。

自動車に装着された電子製品は、自動車の廃車時、シュレッダーダストとして他の雑ゴミと一緒に地中に埋められます。ここに雨水、特に前回述べた酸性雨が降り注ぐことにより、ハンダ中の鉛が溶出して地下水を汚染することになります。

このように、前回までのODS、VOCは当社の生産段階における環境問題であるのに対し、鉛問題は製品の廃棄段階における環境問題であるという特徴があります。

3. 1. 鉛の溶出反応

廃棄されたハンダ中の鉛は次のような反応で雨に当たって水に溶けやすい形に変わり、徐々に地下水を汚染して行きます。雨がイオウや硝酸を含む酸性雨の場合はこの溶出が一層促進されます。



3. 2. 鉛の有害性

鉛の害は次のように直接的な人体への影響が数多く言われています。

- ・鉛は消化器や呼吸器から摂取され蓄積すると中毒を起こす。
- ・鉛は体内に入るとタンパク質と強く結合し正常な合成や機能を抑制する。
- ・この影響は神経の混乱・生殖機能の障害・認識力や動作の低下を招く。
- ・またヘモグロビンの生産を減ずるため貧血や高血圧の原因となる。
- ・これらの影響は7才以下の子供に顕著である。

[米国：EPA(Environmental Protection Agency)報告より]

このように書くと鉛というのは非常に恐ろしい元素のように思われますが、過去には白粉の原料として鉛が使われたり、水道管に鉛管が使われたりした時代もあった訳ですから、このように騒がれた背景には

- ①世界的な環境保全意識が高まってきた。
 - ②廃棄物による地下水汚染という不特定多数への環境影響の懸念が強まった。
- という事情があるものと思われます。

表-1 産業廃棄物に含まれる有害物質判定基準

種 別	廃掃法 埋処分	(参考) 水濁法 排水基準
	汚泥等 溶出量 (mg/l)	排出水 含有量 (mg/l)
対 象		
試 験 方 法		
単 位		
アルキル水銀化合物	不検出	不検出
水銀又はその化合物	0.005	0.005
カドミウム又はその化合物	0.3	0.1
鉛又はその化合物	0.3	0.1
有機磷化合物	1	1
六価クロム化合物	1.5	0.5
砒素又はその化合物	0.3	0.1
シアン化合物	1	1
PCB	0.003	0.003
トリクロロエチレン	0.3	0.3
テトラクロロエチレン	0.1	0.1
ジクロロメタン	0.2	0.2
四塩化炭素	0.02	0.02
1,2-ジクロロエタン	0.04	0.04
1,1-ジクロロエチレン	0.2	0.2
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.4	0.4
1,1,1-トリクロロエタン	3	3
1,1,2-トリクロロエタン	0.06	0.06
1,3-ジクロロプロペン (D-D)	0.02	0.02
チラウム	0.06	0.06
シマジン (CAT)	0.03	0.03
チオベンカルブ (ベンチオカーブ)	0.2	0.2
ベンゼン	0.1	0.1
セレン又はその化合物	0.3	0.1

4. 鉛規制

鉛に関する規制の動きは、前述の米国EPAの例でも分かるように、米国が最も活発です。しかし電気用ハンダに限って言えば、ここ数年繰り返し、いくつも法案が提出されては議会で否決されている状況です。電気用ハンダに直接的に関わる法規制をいち早く具体化しているのは、実は日本です。

「環境基本法」に基づく「廃棄物の処理及び清掃に関する法律（以下、廃掃法）」に廃棄物から地下水に溶出する有害物の基準が設定されており、これが95年4月に大幅改正され、鉛については従来の10倍の厳しさに基準が引き上げられました。

この改正により定められた有害物の溶出基準の一覧を表-1に示します。

電気製品や自動車は廃棄時、分解、破碎、有価物回収の廃棄処分を経て、その残りがシュレッダーダストとして埋め立て処分されますが、過去、処分に困った一部の産廃業者が、これを違法投棄し、そこから鉛、水銀等の重金属が溶出して大きな社会問題となった事がありました。

前述の法改正の背景にはこうした事情があります。また同時にシュレッダーダストは埋め立て処理のやり方として最も簡易な従来の「安定型」では廃棄出来なくなり、一段上の「管理型」廃棄処分が必要となりました。

廃掃法ではゴミの廃棄方法として、「安定型」「管理型」そして最も厳しい「遮断型」の3つを規定しており、有害廃棄物の程度に応じて使い分けるよう指示しています。図-2にこの関係を示します。

4. 1. 溶出基準の定義

廃掃法においては、シュレッダーダストからの鉛等有害物の溶出基準の定義は「シュレッダーダストからサンプリングした供試試料が10倍の量の溶媒（水）に溶けだす量」と規定されています。

通常、サンプリングは50gで行われるため

$$\begin{aligned} \text{溶出量 (mg/l)} &= \frac{\text{サンプリング供試試料 (mg)}}{10 \text{ 倍の水 (g=ml)}} \\ &= \frac{\text{サンプリング供試試料50g}}{500\text{g}(=500\text{ml}) \text{ の水}} \end{aligned}$$

の条件での溶出量で試験されます。

	処分場の形態	対象廃棄物
安定型	コスト (3~5千円/㎡)  自然地形を利用した素掘りの埋立地	ゴム屑、金属屑 ガラス及び陶磁器屑 建築廃材 廃プラスチック類
管理型	コスト (5~10千円/㎡)  遮水用シートを張った構造の汚水処理施設	燃え殻、汚泥、紙屑 木屑、繊維屑、鉛滓 煤塵
遮断型	コスト (100~150千円/㎡)  コンクリート製、槽内を防食皮膜処理	溶出基準越えの有害廃棄物

図-2 ゴミの廃棄方法

ここで問題になるのはサンプリング方法です。

全シュレッダーダスト中の有害物の分布が均一であればサンプリングで代表出来ますが、実際のシュレッダーダストではそのような可能性は低く、かと言って全シュレッダーダストの溶出量を計測するのも無理な話です。

こうした事情から現在は、各業界ごとにサンプリング対象範囲、サンプリング方法などを自主的に決め、それで計測された数値を判断の基準に用いています。

ちなみに自動車業界での電子製品に対する自主基準では、サンプリング対象は「プリント基板ASSY」単位となっています。

プリント基板ASSY 1枚が自動車のシュレッダーダスト全重量に占める割合は一般には1%以下ですから、勿論、上のようなサンプリング定義で評価された数字がそのまま法規制の対象にはなりませんが、自動車の電子化が進む中、より厳しい定義を自主的に採用しているというのが実態です。

4. 2. 溶出量の分析方法

溶出量の分析試験は、①試料を破碎し、②溶媒（水）に入れ、③一定時間振とうし、④フィルタで濾過後、⑤原子吸光法等により定量分析 といった手順で行われます。

環境庁より告示されたこの分析方法に基づきトヨタ自動車殿が各部品の分析方法を具体化したTS方法が現在、我々の分析方法の目安となっています。

TS法に基づき（プリント基板ASSY単位で）当社製品、ラジオ基板を分析した例では、鉛の溶出量は

1.67mg/l [TS法、PC板当たり]

という結果となりました。

5. 鉛フリーハンダ

前章で述べた、廃掃法から来る鉛規制を受け、現在電気業界を中心に鉛フリーハンダの研究が活発です。

現在研究されている鉛フリーハンダはほぼ100%がSn-Pb共晶ハンダのPbを他の第二金属、あるいは第三金属に置き換えたものです。

Sn-Pb共晶ハンダには

- ①融点が低い（183℃）。
- ②濡れ性が良い。
- ③接続強度が高い。
- ④コストが安い。

といった優れた特徴があるため、これらすべてを満足するような鉛フリーハンダというのは不可能です。

特殊な用途向けにいくつかの実用化事例が出始めてはいますが、一般的なプリント基板ハンダ付け用としてSn-Pb共晶ハンダの代替になり得るものは、まだ開発されていません。

以下、現在開発中の鉛フリーハンダのいくつかの事例を紹介します。

5. 1. 鉛フリーハンダの分類

鉛フリーハンダは前述のようにSnをベース金属に、第2、第3元素として銀（Ag）、亜鉛（Zn）、ビスマス（Bi）、インジウム（In）などの合金として構成されます。

また、部分的に強度や濡れ性を補正するため第4、第5元素としてアンチモン（Sb）や銅（Cu）、まれにはゲルマニウム（Ge）が添加されることもあり、配合比のバリエーションも入れると、今、提案されている鉛フリーハンダはおそらく100種類を越えるのではないかと思います。

Snとのハンダ合金とした時のAg、Zn、Bi、Inそれぞれの特徴をまとめたのが図-3です。

鉛フリーハンダは図-3に基づき、一般的には

- ① Sn-Ag系
- ② Sn-Zn系
- ③ Sn-Bi系

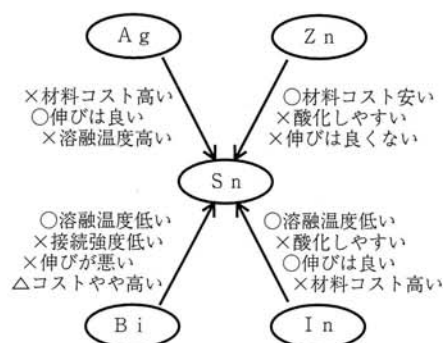


図-3 鉛フリーはんだの候補金属

の3種に大別されます。Inはあまりにもコストが高いため第2金属として採用されるケースは無いようで、上記組合せ、あるいはその混合に対する第3、第4金属として添加されることが多いようです。

5. 2. 鉛フリーハンダの特性

①溶融特性

Sn-Pb、Sn-Ag、Sn-Zn、Sn-Biそれぞれの2元状態図（合金の割合と溶融温度の関係）を図-4に示します。図で、■部は固形状態、□部は半溶融（溶融成分と固形成分の混在）、空白部が全溶融状態を表します。

これらの図から、各合金の次頁に記す配合比において半溶融の存在しない状態（共晶）＝液相温度最低点が存在することが分かります。

[配合比%] [共晶点液相温度]

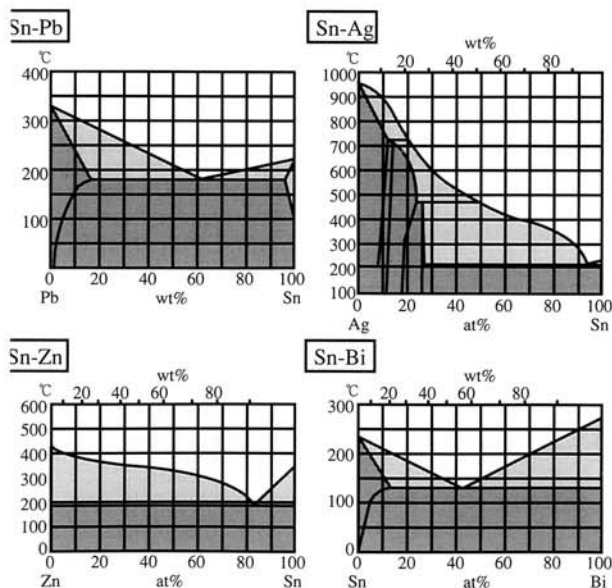


図-4 各種ハンダ合金の2元状態図

63.0Sn-37.0Pb・・・183℃（通常ハンダ）

96.5Sn-3.5 Ag・・・221℃

91.2Sn-8.8 Zn・・・199℃

43.0Sn-57.0Bi・・・138℃

一般にフローハンダ付けでは、液相温度+50℃くらいでハンダ付けしますのでSn-Agでは270℃となってしまう、電子部品がもたない恐れがあります。

また、Sn-Biの138℃というのは低すぎて高温環境下での著しい劣化につながるため自動車用電子機器といった用途には適用できません。

結局、熔融特性から見るとSn-Znが最有力という事になります。

②機械的強度

図-5に各ハンダ合金の「伸びー引張強度」の関係を示します。図からひと目で分かるのがBi系の合金は、伸びが小さく引張強度が高い、つまり「脆い」という事です。この性質は、ハンダ付けの耐温度サイクル性の低下につながるため、自動車のように温度変化が厳しい環境での使用には注意を要します。

Sn-Ag, Sn-Znは、Sn-Pbに近い良好な特性を示していますが、高温下、経時後で特性が悪化するなど注意すべき点も報告されています。

また、これらの機械的強度を補う意味でCu, Sbを添加したり、さらにはSn-Biへの添加元素としてAgを用いる、等のハンダが提案されています。

③濡れ特性

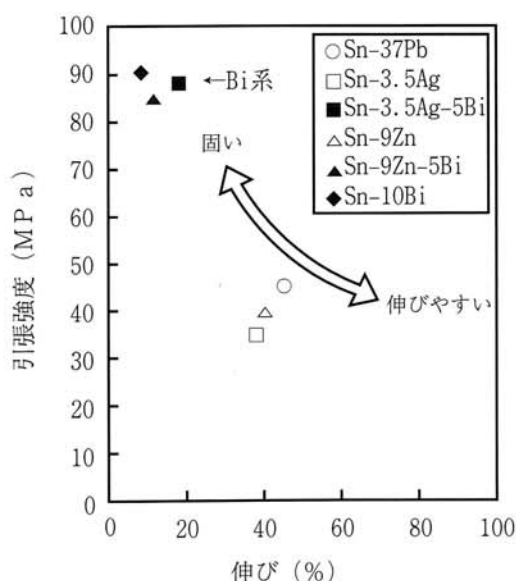


図-5 ハンダ合金の伸びと引張強度（常温）

図-6はJISに基づき測定した「濡れ広がり」特性です。

Sn-Pbと比べると、どの鉛フリー系も濡れ性はどのようにして

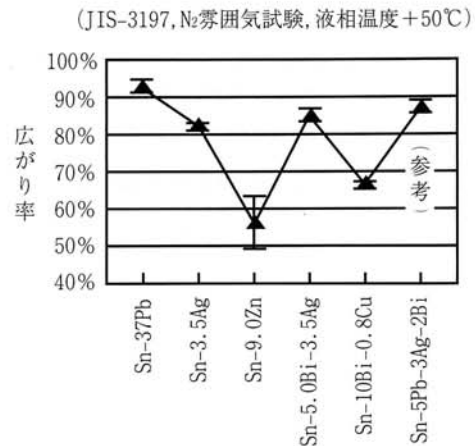


図-6 各ハンダ合金のぬれ広がり

も劣ります。

特にSn-Zn系は極端に濡れが悪くなっています。これはZnが極めて酸化しやすい性質を持つためで、通常のハンダ（Sn-Pb）の世界では、Znはハンダ付け性を阻害する不純物として混入を最も嫌われている金属でもあります。

また、Biも10%くらい入ると、濡れ性を悪くする傾向が出ていることが分かります。

参考にPbを5%含むハンダ合金の濡れ広がりを比較のために入れましたが、鉛の存在がハンダの濡れ性を助けているという傾向が伺えます。

5. 3. 鉛フリーハンダの動向

以上の特性をまとめると表-2の様になります。

結局、Sn-Pbとそのまま置き換えられるものは無いわけ

表-2 鉛フリーハンダの比較表

	熔融温度	機械強度	濡れ性
Sn-Ag	×	○	△
Sn-Zn	○	○	×
Sn-Bi	△	×	△

ですが、最近、弱電業界を中心に限定された用途では実用化が始まっています。

一例として、LSI実装用の高温ハンダ部分への、Sn-Ag系の適用、あるいは低融点を生かして、大型コンピュー

タ基板実装へのSn-Bi系の適用などがあります。

一般用途向きのハンダの選定については、一時期、材料メーカ、業界など全く動きがバラバラで、かつての超伝導材料を思わせるような時期がありましたが、最近ようやく学会を中心として弱電業界がまとまり始めました。その中で今の傾向としては、設備やフラックス材料、さらにはN₂雰囲気などの改良も総合的に見て、Sn-Zn系を使えるようにして行こう、という意見が強いようです。

6. 当社の対応

当社での鉛環境問題への取組としては、地球環境委員会の中の生産技術分科会において次のような事項に取り組んでいます。



(1)については、SMD化の促進や基板の薄型化といった方策がスルーホール部分に使われるハンダを削減することになり有効です。

(2)-①は一般用途のハンダを意識しているため、業界としての方向と協調していく必要があります。そのため、この部分については豊田中研殿を中心とした、共同研究プロジェクトに参画し、進めています。

また、(2)-②については、今後の高密度実装化の要となる材料であり、当社が長い実績を持つN₂リフロー技術が生かせる領域でもあるため、ハンダメーカ各社と協力して独自の開発、評価を実施中です。

7. 終わりに

3回にわたり我々電子製造業界における生産技術面から見た環境問題について述べて来ました。

冒頭に述べたように環境管理システム、ISO14001が国際規格として発効し、各企業がこぞって認証取得に動きだしています。当社も97/5から生産拠点ごとに認証取得の予定です。

ISO14001では、環境管理の範囲が拡大され生産活動のみならず、作った製品の環境への影響までが製造者として責任を持つことを要求されます。

従って、環境管理と技術の関係がますます密接にならざるを得ない状況となります。製品設計や生産技術の世

界も従来のQCDに加え、E（環境）という要素が非常に重要になったわけです。

本シリーズがこうした技術と環境の関係を深めるのに少しでも役立ってくれば幸いです。

【参考文献】

- 1) 環境庁：産業廃棄物分析マニュアル
- 2) トヨタ自動車環境負荷低減プロジェクト：環境負荷の評価方法とその解説
- 3) 竹本：Pbフリーはんだの開発動向
- 4) 鉛フリーハンダ付け技術の開発：日経エレクトロニクス No.635 (1995.5.8)
- 5) 鉛レスはんだの背景、開発の現状および課題：アルミットテクニカルジャーナル
- 6) 二宮、松永：いくつかの合金系のPbフリーソルダの機械的性質と組織

筆者紹介

勝岡 律（かつおか りつ）



1982年入社。以来自動車用電子機器の生産技術開発に従事。現在生産技術開発部長。（兼）モートロニクス本部製造技術部長。