

工業会活動

欧米における鉛フリーへの対応状況について

近年、環境保全の立場から、環境に優しいシステムの運用が注目されている。その一環として特定有害物質の利用を制限するRoHS指令（the Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment：電気電子機器に含まれる特定有害物質使用制限指令）に端を発し、日本・米国をはじめとして世界各国で鉛、カドミウム、六価クロム等の有害物質の使用制限（原則として使用禁止）が求められている。米国ではAIA（Aerospace Industries Association）が中心となってLead-free Electronics in Aerospace Project Working Group（LEAP WG）を組織して活動を行っている。この度、第20回LEAP WGに参加したので、LEAP WGの活動内容等について報告する。

1. はじめに

2006年7月に施行（公布は2003年2月）されたRoHS指令により、鉛、カドミウム、六価クロムなどの使用が制限されることになり、プリント基板などに使用している「鉛はんだ」から、鉛を使用しない「鉛フリーはんだ」への転換が時代の要請となった（従来のはんだは、錫に鉛を混合していたが、鉛フリーはんだは鉛を混合しないはんだである）。RoHS指令を受け、自動車／家庭電化製品／パソコン／機械産業界等では鉛フリーの対応が順次進んでいったが、航空／宇宙／医療産業では、RoHS指令の例外として対象から外されていたため、対応が進んでいなかった。しかし、各産業界で鉛フリーが進むことにより、電気部品メーカーが鉛フリー部品の生産に主軸を移したため、従来型（鉛使用）の部品が入手困難となっている。航空／宇宙産業用部品は全体のシェアから見ると1%に満たないため、鉛使用部品の生産中止が相次いでおり、米国の電子部品業界では、

防衛の一部を除き、2017年までに完全に鉛フリーへ移行すると考えられている。

しかし、鉛フリー部品には、「ウイスカ（Whisker：ひげ）成長」、はんだ接合部分の振動・衝撃に対する脆弱性等の問題があり、航空宇宙業界では簡単に採用できない状況にある。ウイスカ成長は、長時間使用するとはんだ部分から錫の結晶が成長し、最悪の場合、隣の電極とショートしてしまう危険性を持っている。また、はんだ接合部分の振動・衝撃に対する脆弱性は、非常に大きな振動・衝撃が加わる航空機、宇宙機器にとっては致命的な欠点となってしまう。これらの問題を解決するために、AIA、AMC（Avionics Maintenance Conference）及びGEIA（Government Electronics and Information Technology Association）が主体となって、2006年に現在のLEAP WGを設立した。

注. RoHS指令が公布された2003年から、LEAP WGの前身となるWGが活動を開始しており、2006年に現LEAP WGに改組された。

2. LEAP WGの概要

LEAP WGは前述のように米国の3団体が主体となり、北米及び欧州の航空／宇宙関連企業、DOD、NASA、官庁、大学・研究機関等が参加している。

LEAP WGでは、傘下に実行チームを設置し、技術的問題の検討、管理標準文書・試験標準文書などの作成、鉛フリーを実現するための実行計画（LFCP：Lead-Free Control Plan）の作成指導などを行ってきた。LEAP WGでは、4回／年の会合を開催しており、その会合では、各標準を検討しているチームからの状況報告、各企業が行っているLFCP作成状況、鉛フリーにおける技術的問題点の検討報告、実際に鉛フリー化を行った企業の実施例などが報告され、意見交換されている。また、参加者を広げるため、1回／年は米国以外でLEAP WGの会合を開催することを考えており、過去に、イギリス、フランス、ドイツ、スペインなどでも開催している。できれば、アジア（日本など）でも会合を開催したいという希望を持っている。

LEAP WGにおいて、今まで、以下の標準文書類の検討を実施し、7件のうち、①～⑥の6件はすでに初版が完成している。これらの文書は、LEAP WGが作成し、GEIAが発刊しており、GEIAのホームページから有償で購入することが出来るようになっている。なお、今回の会合において、本WGで作成してきた標準やハンドブックなどのGEIA文書の作成コストは、1文書作成で\$1百万、全体で\$7百万の金額に相当するものであるとのコメントがあった。

- ①GEIA-STD-005-1: Performance Standard for Aerospace and High Performance Electronic Systems Containing Lead-free Solder
- ②GEIA-STD-005-2: Standard for Mitigating the

Effect of Tin Whiskers in Aerospace In High Performance Electronic System

- ③GEIA-STD-005-3: Performance Testing for Aerospace and High Performance Electronic Interconnects Containing Lead-free Solder and Finishes
- ④GEIA-HB-005-1: Program Management/ Systems Engineering Guidelines For Managing The Transition To Lead-free Electronics
- ⑤GEIA-HB-005-2: Technical Guidelines for Aerospace and High Performance Electronic Systems Containing Lead-free Solder and Finishes
- ⑥GEIA-HB-005-3: Rework and Repair Handbook for Aerospace and High Performance Electronic Systems Containing Heritage SnPb and Lead-free Solder and Finishes
- ⑦GEIA-HB-005-4: Impact of Lead-free Solder on Aerospace Electronic System Reliability and Safety Analysis

3. 第20回 LEAP WGのトピックス

今回参加した第20回 LEAP WGで報告された主要な事項（トピックス）について、以下に概要を報告する。

(1) DoDの状況

DoDからの出席者により、DoDにおける鉛フリー検討の進捗状況及び事例などについて報告があった。

- ①政府組織内部に鉛フリー統括部署を設立することについて関連部門と調整している。鉛フリーの基本方針等について政府トップレベルにレターを送付するなどの活動をしており、その結果、ELF IPT（Executive Lead-free Integrated Process Team）について、近々、政府からコメント（方針）が出る予定である。
- ②DoD内部で鉛フリーのビジネス向けの情報

(鉛フリー対策の必要性やその方針)を整備しており、今後も関連者で情報を共有し、アップデートして行く。

- ③DoDの標準化WGでは、鉛フリーの基本方針に関する覚書について、FAAとの打合せを行い、2009年9月に発行する予定で進めている。これは、軍用だけでなく商用の航空機にも適用できるものである。
- ④LSA (Lead standard activity) はDoDの標準化活動の調整や技術的な検討を行う中心であり、鉛フリーに関する文書を整備している。大部分の文書はドラフト作成が完了した状態である(例えば、DoD LFCPのテンプレートを作成等)。はんだ技術に関連する標準としては、DoDはNASAと協力し、はんだ付けに関する技術的な問題点を中心にJ-STD-001などの既存の標準を見直している。
- ⑤DSCC (Defense Supply Center Columbus) のF-15戦闘機プログラムでは、36,000部品を扱っているが、これら購入部品の30%がSCD部品 (Source Control Drawing: 図面により使用材料等を規定する特注品) で、残り70%がOEMによる商業部品である。このSCD部品をX線で検査したら、鉛使用部品でなければならない部品の中に、14%の鉛フリー部品が混在していた。これに関しては改善指示が出る予定であるが、調達品の全数検査はコスト的に無理があり、課題が残るとのコメントがあった。

(2) Airbus の鉛フリー活動

Airbusから出席している信頼性の担当者から、Airbusにおける鉛フリー関連活動の状況等が紹介された。

- ①Airbusは鉛フリーへの移行 (RoHS指令への適応) に関しては、信頼性において妥協しない方針 (現状では鉛フリー化しない) であり、サプライヤ側で対応を取ることを前提としている。

②Airbus内ではこれに対して検討チームを編成し、国際標準のメンバも含め、サプライヤからの提案を評価したり、社内でのコミュニケーション (技術ノートやプレゼンテーション)、移行フェーズでの技術ベースの検討、実施計画書策定などを行ってきた。

- ③「Airbusはサプライヤの提案を詳細にチェックしているか」という質問があり、「現在は要求をチェックして認証するというよりは、技術データを相互に検討している状態」との回答があった。また、「将来は完全に鉛フリーに移行するのか」については、「個々に検討しなければいけない部分はあるが、新規開発では初めから鉛フリーで対応する」とのことであり、サプライヤ側での製造プロセスの変更はしないとの説明があった。さらに、「信頼性の観点から、従来の鉛はんだを許すか」については、「議論して考慮する」との回答であった。

(3) 標準文書等の作成状況

各標準文書の作成・改訂作業を行っている各チームの代表者から、活動状況等について報告があった。主要な報告は次のとおりである。

①GEIA-HB-0005-4検討チーム報告

本文書は、鉛フリーはんだが航空宇宙用電子機器の信頼性及び安全性解析に与える影響について記述している。本文書は10人程度のチームで昨年6月からドラフトを作成中であり、今年春の会議にかけて本文書を最終的に固めることで進めている。

本文書には、振動試験やショックなどの認定試験の方法 (認定・監査) やそのプロセスなど、ハードウェアに対していかに試験・認定を実施すべきかの方法を記述している。メカニカルストレス (振動・衝撃) はGEIA-STD-0005-3に沿ったものだが、熱・エージングの条件などは異なっている。錫ウイスカについては、GEIA-STD-0005-2を参照する形

となる。熱サイクル試験については、定量的データを提供できるように、GEIA-STD-0005-3の内部所有データ、JCAA/JGPP (Joint Council on Aging Aircraft/Joint Group on Pollution Prevention) の業界データ及び実際の運用データから集めている。また、故障率の細かな算出式等も文書に含める旨の説明があった。

②GEIA-STD-0005-2検討チーム報告

本文書は、航空宇宙用高信頼性電子機器において、錫ウイスカの影響を抑制するための試験方法などが記載されている。本文書はすでに初版が発行されており、11月以降、キーメンバーによって、電話会議で本文書の改訂を検討してきた。しかし、この検討グループの問題は、メンバーが確保できず、活動できない状態であり、ボランティアを募集している。

X線のテスト方法について、次のように報告があった。MIL-STD-750及びMIL-STD-883に基づいたX線の試験方法に関するドラフトは完成が間近である。ユーザからのSEM/EDS (Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive Spectroscopy) オプションの要求について検討している。ハンドヘルドのX線の試験装置は電子部品計測の目的には(現在のところ)使用できないこと、及びX線で計測するにはマルチ計測が必要であることがコメントされた。

SEM/EDSによるDPA (MIL-STD-1580)の試験方法については作成中であり、リボーリング (BGA (Ball Grid Array) のはんだボールを再生すること) の標準も作成中である。

(4) 鉛フリーへの移行実施例

DfR solution社からの出席者により、実際に鉛フリーへ移行した会社の実施例が紹介された。DfR solutionは3年前に設立された従業員20人程度の会社で、信頼性に関するソリューション

を提供する会社である。

次のように、Dell (デル：米国の大手コンピュータメーカ) が一般のIT機器 (ノートブック、デスクトップ、サーバ) に対して取っている対策を紹介した。

①実施フェーズとして、フェーズ1では材料選択を行い、SMT (Surface Mount Technology) 用の合金として、SAC305 (錫(Sn)-銀(Ag: 3.0%)-銅(Cu: 0.5%)の合金)のほか、SnAgBi、SnCu、SnCuNiなどの各合金について検討を行った。次に、フェーズ2ではボード製造のサプライチェーンを確立した。

②DellのLF (Lead Free) 文書例として、コンポーネント受入ガイドライン、PWA (Printed Wiring Assembly) 受入とQA要求、プロセス評価、LF監査プロシージャ、変更管理、信頼性試験等を整備した。このうち、監査プロシージャにつき詳細なフローチャートを提示して見せた。

③PCB (Printed Circuit Board: プリント基板) の表面処理として、ImAg (Immersion Silver) は微小空孔 (micro void) の問題があるため熱サイクルで課題があり、OSP (Organic Solderability Preservative) 及びENIG (Electroless Nickel Immersion Gold) は、はんだ弾き (black pad) の課題があるなどが判明してきた。各種の表面処理を検討した結果、Dellは、PCBの表面処理にはラミネートを選択した。ノートブックにおける熱サイクルでの合格条件は、140サイクル (-40/125°C) で不良が1%以下を基準としている。

④その他、鉛フリーの決定ツリーや鉛フリーのSMTの課題、テストフロー (HALT: Highly-Accelerated Life Testingや衝撃・振動・熱サイクル試験、腐食試験等)、ハンドリングについてもDellの実施内容が紹介された。

⑤過去の事例として、日立、富士通、サムソン

などでは、OSPの表面処理で問題が出たとの情報があると紹介された。

(5) 振動における鉛フリーの信頼性

DfR solution社からの出席者により、鉛フリーに対して高サイクル金属疲労（HCF）と低サイクル疲労（LCF）の解析結果が紹介された。

メカニカルな疲労としては、飛行機などの適用において振動がはんだジョイントに与える場合が該当する。また、メカニカルな衝撃疲労によるオーバーストレスも同様に考慮が必要である。

実験や解析の評価結果としては、振動に対する性能はSAC305は従来の鉛はんだと同程度に良いという結果となっている。これはCSP（Chip scale package）かTSOP（Thin small outline package）かによって特性は異なるが、SACの方が鉛はんだより振動で良い結果となっている。逆にエージング・メカニカル衝撃試験としては、従来の鉛はんだよりSACの方が性能的に劣っているという結果となった。

解析の結論として、SAC（Agを3%以上含有）はENIGでは使用できず、高サイクル疲労試験では鉛フリーは従来の鉛はんだより性能が良いが、SAC105は鉛はんだとほぼ同じ特性といえる。

尚、鉛フリーに関する評価結果など全般につき、その前提条件や方法、環境要素等において、実施者が十分熟知した上で科学的に正しく実施されないと、結果はまちまちであったり、逆の結論が得られたりするので、十分注意を要するとの報告もあった。

例として、サイクル試験では従来の鉛はんだの寿命はSACより長いのか否かの観点にしても、実際の実験ではパラメータの選び方で結果も逆のものとなることを示し、ダイのサイズ、ジョイントのサイズ、その他多数のパラメータの影響を受けるとの報告があった。供試体へのダメージは、その試験以前のストレイン

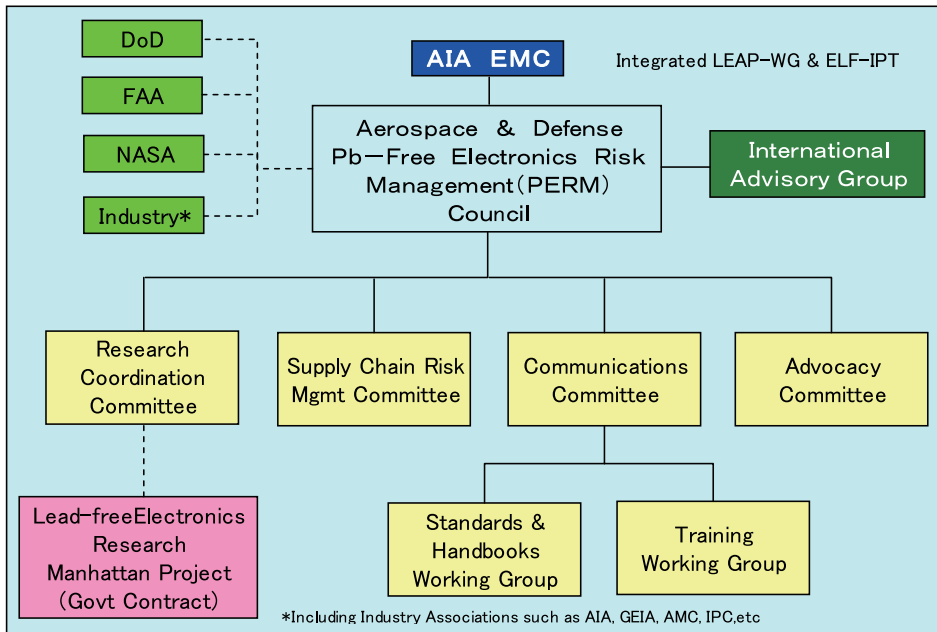
レートや温度、時間にも影響される。従って、コンビネーション試験を実施する場合、幾つかの試験のうち、その前に実施した結果がその後の試験に対する特性を変えてしまう場合もあるので、要注意である。

4. LEAP WGの将来活動構想

LEAP WGは、前述のように、関連業界団体および参加企業がボランティア的に活動してきた。そのため、活動が進むにつれて、権限、費用の問題などで活動が制限されるような事態が発生し、問題となっていた。その状況を改善するために、LEAP WGは関連機関などに働きかけを行い、2009年中頃よりAIAの正式な組織のひとつとして活動することとなった。名称もAerospace & Defense Pb-Free Electronics Risk Management（PERM）Councilと改称され、AIAのEMC（Engineering Management Committee）傘下の組織となる。PERMは、2009年1月にAIA内部で正式にプロジェクトとして承認され、期間を3年と区切って予算も付け、明確なフレームワークの下で活動するというものである。この結果、過去5年間活動してきたLEAP WGはこのPERMに統合されることになる（現在は移行フェーズにある）。PERMの進め方は、従来のLEAP WGを引き継ぐ形で、3日間の顔合わせによる会議を行っていく。組織的には、PERMの下に、研究調整委員会、サプライチェーン・リスク管理委員会、コミュニケーション委員会（標準&ハンドブックWGとトレーニングWGを持つ）、広報委員会を設置する。ManhattanプロジェクトやCALCE（Center for Advanced Life Cycle Engineering：Maryland大学）などはこの研究調整委員会と連携することになる。海外との連携はPERMの中に国際アドバイザリグループを設け、調整を行うこととなる。米国外の組織・企業も従来のLEAP WGと類似の形態でITAR（International

Traffic in Arms Regulation：国際武器流通規則)の制限内においてPERMに参加できる。ただし、参画するには本活動に相互に寄与することが求められる。また、鉛フリーの検討にはお金

がかかるため、(過去の活動の反省も含めて) PERMでは「Pb-Free is Not Free」が合言葉となっている。



PERM体制及び関連機関との関係図

尚、鉛フリーの技術開発プロジェクト (Manhattanプロジェクト) は、PERMとは直接組織的な関係を持たない組織となる。Manhattanプロジェクトについては、3年間の期限で予算も付け、NavyのEMPF (Electronics Manufacturing Productivity Facility) で実施する。3年で\$60百万、年当り\$20百万の予算 (実験や旅費も含む) を確保している。このプロジェクトの運営のために、要員を限定 (15人) して、第2四半期にベストプラクティスの調査を実施し、第3四半期に研究範囲の設定などを行っていく。活動報告は、AIAのEMC及びTOC (Technical Operations Council) やJoint Defense Manufacturing Technology Pane などに行う。

5. Lockheed Martin (Fort Worth工場：本社) 施設見学

今回のLEAP WG開催に協力しているLockheed Martinの厚意により、Lockheed Martinの本社でもあるFort Worth工場の一部見学が許可された、当該工場では、F-22やF-35など最新の戦闘機を初め多数の航空機を製造している。この施設の隣には米海軍関係の基地が併設され、本見学でも多数の航空機が離着陸していた。見学した建物は縦1.6km横400mの広さを持ち、全米で最大の広さの建物とのこと。この工場では約3万人以上の工場作業者が3交代で勤務している。工場内部が広い (機密保持上の配慮もあり)、見学者は電気自動車にて移動し、通路から作業現場を見学した。

本建物内では、F-35及びF-22、F-16等の最終組立部分を見学した。F-16については海外からの注文（韓国やトルコ、イスラエル、イギリス等）も受けている。F-35は最新式の垂直離着陸可能なタイプもあり、超音速ジェット戦闘機でステルスである。同機のエンジン推力、燃料容量、高性能制御等、従来の機種及び他国の類似機種を凌駕するとのことであった。

現場には組み立て用治具が多数あり、翼の部分などは部品を図面どおりに治具に合わせて取り付けることにより、組み立てが完了する。その部品をさらに別の治具を使って、大きな単位に組上げていた。

組み立てラインは参加者全員で見学できたが、それら組立のための部品調達関連部分は、米国外の訪問者は機密上見られないとのことで、海外からの参加者は見学できなかった。

6. おわりに

今回のLEAP WGに参加して得た鉛フリーの状況、鉛フリー化の課題、将来の方向性をまとめると次のようになる。

- ①鉛フリーは、環境問題（有害物質の削減）として避けて通れない問題である。
- ②航空宇宙産業は、RoHS指令においては（現状では）対象外であるが、世界全体の鉛フリー化により、部品枯渇の問題が発生している。
- ③鉛フリーには、信頼性に係わる技術的課題があり、現状では解決の目処が立っておらず、今後、調査・研究が必要である。

- ④当面、従来品（鉛使用）と鉛フリー部品が混在することが避けられず、厳重な管理をしなければ、装置（組み立て品）に重大な欠点が出る可能性を含んでいる。

日本の航空宇宙産業においては、安全性を考慮して、実行的に鉛フリー化が可能な部分（クリティカルではない部分）については、鉛フリー化が進んでいる。しかしながら、将来的には完全に鉛フリーへの移行が必要となることは明白であり、我が国企業においても、鉛フリーへの準備が重要と考えられる。そのためにも、海外における鉛フリー活動の動向についての情報収集が必要である。今回、LEAP WGに参加したことにより、世界全体としての鉛フリー化への方向性、DoD/Airbusなど航空機産業に関連する団体・企業の方針・活動内容、実際に鉛フリー化を行った企業等の実施例、大学・研究機関での技術的問題点の調査状況などの情報が得られ、非常に有意義であった。前述のように、現状では鉛フリーへの移行はできないが、将来的には、完全に鉛フリーへ移行することを考慮しなければならない。そのためには、LEAP WGからPERMに改組された後も、今回のように、会合（報告会）にオブザーバとして参加して幅広く情報を収集し、対応を検討する必要があると考える。

尚、今回の参加報告が航空宇宙産業の発展の一助となれば幸いである。

〔(社)日本航空宇宙工業会 技術部部长 杉田 明広〕