

Sn-Biはんだメッキ断絶に伴う Mach世代インクジェットヘッドの接合方式移行 事例

三溝 真一 (Shinichi Samizo)
独立系半導体研究者 (元セイコーエプソン)
Independent Semiconductor Researcher (ex-Seiko Epson)
Email: shin3t72@gmail.com
GitHub: <https://github.com/Samizo-AITL>

Abstract—本稿では、Sn-Bi はんだメッキの製造停止により、Mach 世代インクジェットヘッドの接合方式を Sn-Bi リフローから ACF およびはんだ接合へ移行した事例を報告する。PrecisionCore 登場直後の時期にあたり、実質的にエプソン全機種に関わる大規模な 4M 変更となった。本事例は、外的制約下において「完全解ではなくとも成立する解」を選択し、事業継続性を確保した実装技術の一例である。

Index Terms—インクジェットヘッド, Sn-Bi はんだ, ACF 接合, 実装技術, 4M 変更

Abstract (English): This paper reports a case study of the bonding method transition in Mach generation inkjet heads, from Sn-Bi solder reflow to ACF and solder bonding, following the discontinuation of the Sn-Bi plating process. The transition occurred shortly after the introduction of PrecisionCore, when Mach heads still supported most Epson printer models. It represented a large-scale 4M (Man, Machine, Material, Method) change across the product line, demonstrating that, under external constraints, an “incomplete but workable solution” was chosen to ensure business continuity.

I. 背景

エプソンのインクジェットプリントヘッド技術は、1990 年代の初期 Mach シリーズに端を発し、以降の四半世紀にわたり改良と拡張を続けてきた。Mach 系ヘッドは、ピエゾ (PZT) 素子を駆動源とする d_{31} モードアクチュエータ構造を基本とし、高い吐出圧力と優れたインク制御性により、コンシューマ機から産業用まで幅広い応用を支えている。

当初、COF (Chip on Film) と PZT 素子との接合には Sn-Bi 系はんだメッキによるリフロー方式が採用されていた。Sn-Bi は低融点 (約 139°C) であり、PZT および COF 材料との熱的整合性に優れることから、量産性と信頼性の両立が図られていた。しかし、後年この Sn-Bi メッキ工程の供給が外部要因により停止 (ディスコン) となり、既存の量産ラインでは継続生産が不可能となる事態が発生した。

PrecisionCore シリーズが既に市場投入されていた時期であったが、量産比率はまだ限定的であり、主力は依然として Mach 世代ヘッドであった。したがって、Sn-Bi 断絶は単一機種の問題にとどまらず、エプソン全機種に波及する生産リスクとして顕在化した。結果として、短期間での材料・設備・工程の 4M 変更 (Man, Machine, Material, Method) が

不可避となり、Sn-Bi 系接合に依存しない新実装方式の確立が急務となった。

本研究では、Mach 系アクチュエータ部を対象に、Sn-Bi リフロー方式に代わる ACF (Anisotropic Conductive Film) 接合方式を適用し、COF-PZT 間の電気的および機械的接合構造を再構築することを目的とする。

II. MACH ヘッド アクチュエータ部概要

Mach 系インクジェットヘッドは、1990 年代に確立されたピエゾ駆動アーキテクチャを基盤とし、現在に至るまで連続的な派生・改良が行われてきた。本アクチュエータ部は、 d_{31} モードで動作する積層型 PZT 素子列と、上面の COF 配線、および下層のキャビティ構造から構成される。その単純かつ堅牢な構造により、Mach 系は長期にわたりエプソンの標準ヘッド構造として継続採用されている。

Mach ヘッドの電気駆動系は、PZT 素子が受動変換素子として動作し、上面の COF 上に実装された駆動 IC が能動制御を担う点に特徴がある。この駆動 IC は 0.35 μm CMOS プロセスで形成され、3.3 V ロジック系および 45 V 高耐圧出力系を内包する。内部にはシフトレジスタ、ラッチ、デコーダ、レベルシフタおよび高電圧ドライバを統合し、印字データに基づいて各 COM セグメントを選択し、PZT 層へ高電圧を印加する。GND は COF 両端に共通電極として引き出され、各駆動ループは COF 内部で完結する。

A. PZT 素子および COF 構造

PZT 素子は、COM 電極層と GND 電極層を交互に積層したモノリシック構造を有し、電界印加による d_{31} 変形でキャビティ膜を駆動する。上面には COF が実装され、駆動 IC 出力を介して各 PZT 電極へ信号が供給される。

当初は Sn-Bi/Sn はんだリフロー方式が採用されていたが、Sn-Bi メッキ廃止に伴い、後述の ACF 接合構造へ移行した。この変更により、Sn-Bi 依存を解消しつつ、接合抵抗の安定化と実装応力の低減が得られた。

B. 構造設計思想

Mach アクチュエータ部は、上層のピエゾアセンブリ (COF/PZT) と下層のキャビアアセンブリ (キャビティ膜・流路構造) から成る二層構成を基本とする。上層は電気駆

TABLE I
MACH ヘッド アクチュエータ部の構造対応関係（上面構造）

層または要素	主な構成材料・仕上げ	機能・役割
COF 出力端子列	Sn/Cu 電極（Sn 仕上げ）	駆動 IC 出力を PZT 素子へ伝達する導通部。各 COM 端子が独立配線される。
接合界面	ACF 接合（異方性導電膜）	導電粒子を介して COF - PZT 間を電気的に接合し、機械固定も兼ねる。
PZT 橈歯電極列	Ni/Au または焼成 Ag 電極	各 COM 駆動信号を受けて d ₃₁ 変形を起こす能動領域。
キャビティ膜（SUS 島支持）	SUS または Ni 薄膜	PZT の変位を圧力波に変換し、インク室へ伝達する。

動系、下層は流体変位系として機能し、両者は機械的に接触しつつも電気的には絶縁されている。

ピエゾアセンブリでは、COF 上の駆動 IC がロジック制御および高電圧スイッチングを担い、PZT 素子列に駆動信号を与えて機械変位を発生させる。両アセンブリを独立モジュール化することで、電気駆動部と流体吐出部を明確に分離し、製造・評価・保守の各工程において高い互換性と再現性を確保している。

この二層構成により、次の利点が得られる：

- 電気駆動部と流体変位部を独立管理できるモジュール構造
- 接合応力の低減および温度耐性の向上
- 駆動 IC と PZT 素子列の 1 対 1 対応による信号整合性の確保
- 保守性・交換性・製造再現性の向上

C. 総括

Mach ヘッドのアクチュエータ部は、0.35 μm 3.3 V/45 V 駆動 IC を COF 上に実装し、ACF を介して積層型 PZT と接続する分離実装アーキテクチャを採用している。この方式は、Sn-Bi リフロー実装の廃止に対応しつつ、高信頼かつ再現性の高い吐出制御を実現した構造である。Mach 系設計は現在に至るまで各派生ヘッドに継承され、PrecisionCore に代表される MEMS 一体型技術の前段階として確立された、成熟した分離実装アーキテクチャの完成形である。

III. 接合方式移行

Sn-Bi はんだメッキの供給停止に伴い、Mach 世代ヘッドの COF 端子構造を全面的に見直した。従来は「Sn-Bi メッキ+リフロー」による単一方式であったが、代替材料の特性と用途条件を考慮し、出力端子（PZT 側）と入力端子（基板側）で異なる接合方式を採用する方針に切り替えた。これは、ひとつの方式で全用途を代替することが困難であっ

TABLE II
MACH 世代ヘッドの二重接合方式（COF 出力／入力の整理）

接続インタフェース	方式	構造（概略）	採用理由（要点）
COF → PZT（出力）	ACF	COF Sn/Cu 端子- ACF 導電粒子- PZT Ni/Au 端子	微細ピッチ対応、PZT 電極との高い表面親和性、コンシューマ用途実績
COF → PCB（入力）	SAC リフロー	COF Sn/Cu 端子- SAC はんだ- PCB Cu パッド	接合強度安定、既存量産設備流用、リードフリー化対応

たため、機能要求ごとに適した方式を分離して採用する設計判断である。

A. 出力端子（COF→PZT）

PZT 電極側の接合方式は、ACF（Anisotropic Conductive Film）接合へ移行した。主な採用理由は以下の通りである。

- PZT 電極表面（Ni/Au または焼成 Ag）との親和性が高いこと
- 微細ピッチ端子（100 μm 級）に対応可能であること
- 既にコンシューマ機用途での採用実績があり、信頼性データを再利用できたこと

接続構造は「COF Sn/Cu 端子- ACF 導電粒子- PZT Ni/Au 端子」となり、Sn-Bi を介さずに導電・機械接続を確立した。COF 端子材は Sn/Cu 化され、ACF 層との密着性を確保する表面処理条件が最適化された。

B. 入力端子（COF→基板）

基板（PCB）側の接続には、従来方式を踏襲した SAC（Sn-Ag-Cu）系はんだ接合を採用した。採用理由は以下の通りである。

- 電気的・機械的な接合強度を安定的に確保できること
- 基板側の既存プロセス（SAC リフロー条件）を維持できること
- Sn-Bi の代替として Sn 単独めっきでも工程互換性が高いこと

接続構造は「COF Sn/Cu 端子- SAC はんだ- PCB Cu パッド」となり、Sn-Bi を含まない完全リードフリー構成で実現された。

C. 二重構造の意義

この結果、Mach 世代ヘッドの COF 構造は、出力側（PZT 接続）= ACF 方式、入力側（PCB 接続）= SAC リフロー方式の、二重接合構造（Dual Bonding System）へと再設計された。

これにより、Sn-Bi 断絶後も量産を継続可能な接続体系が確立された。本方式の特徴は、単一の材料や工法に依存せず、機能要求（微細ピッチ／高強度）に応じて接合手段を柔軟に分離した点にある。

IV. 切り替えの背景と状況

当初、COF の Sn-Bi メッキは安定供給されていたが、2010 年代初頭に外部メッキ工場の閉鎖が決定し、Sn-Bi ラインの稼働が停止した。これにより、代替供給源が存在しないまま在庫逼迫が発生し、短期間での全機種切り替えが不可避となった。

Sn-Bi メッキは COF 端子形成の基幹工程であり、この供給停止は単なる材料切替ではなく、量産継続の可否に直結する事業リスクであった。Mach ヘッドは当時、コンシューマ機から産業用溶剤機まで、ほぼ全てのエプソンプリンタ製品群に採用されていたため、この問題は単一製品に留まらず、事業全体の供給リスクとして認識された。

A. 用途別の課題

コンシューマ（家庭用・水系インク）モデルでは、すでに ACF 接合への移行実績があり、Sn-Bi ディスコンの影響は限定的であった。一方、溶剤インク対応の産業用途では、ACF 樹脂の溶剤膨潤リスクが指摘されており、長期信頼性データが不足していたため、切替判断が難航した。

加えて、溶剤系ヘッドは高温高湿環境やインク蒸気濃度の高い条件で 사용되는ため、ACF の導電粒子保持層が化学的膨潤を起こす懸念があり、評価試験と工程承認が遅延していた。

B. 緊急対応プロジェクト

Sn-Bi 供給停止の確定により、残在庫での操業継続は数カ月以内に限界を迎える見通しとなった。そこで、溶剤インク機種を対象とした緊急プロジェクトが発足し、リスクを許容した上で ACF 接合への突貫切替を実施する方針が採られた。

このプロジェクトは、開発部門だけでなく、調達・製造・品質保証部門を横断した全社体制で構築された。COF 端子仕様、接合条件、代替 ACF 材料の調達、量産ライン切替を同時並行で進め、わずか数カ月の間に量産再開可能な状態へ到達した。

結果として、Sn-Bi 断絶による供給停止は回避され、Mach ヘッドを中心とする主要製品の出荷が継続された。

V. 製造管理の難易度

本件の接合方式移行は、単一機種に閉じた変更ではなく、複数の溶剤系 Mach ヘッドを同時に対象とする全社的项目であった。加えて、COF サプライヤ、製造拠点、設備条件が多岐にわたっていたため、製造管理は極めて高い複雑性を伴った。

A. 機種間のばらつき

Mach ヘッドには、インク系・ノズル密度・駆動電圧条件が異なる複数機種が存在した。機種ごとに COF のピッチやパッド寸法が異なり、ACF 層の圧着条件や温度プロファイルも個別最適が必要であった。そのため、機種別に条件マップを作成し、「共通化可能な要素」と「機種固有の要素」を整理するパラメトリック管理が導入された。

TABLE III
Sn-Bi 断絶を起点とした接合方式切替フェーズ整理

フェーズ	主な出来事・判断	主なアクション（4M 対応）
従来運用	Sn-Bi メッキ+リフロー方式で安定量産	—
外因顕在化	Sn-Bi メッキ工場閉鎖／供給停止確定	緊急代替検討プロジェクト立上げ
リスク評価	ACF の溶剤膨潤リスクを評価中（長期試験）	加速試験データ収集中／判断保留
方式決定	一方式では代替困難 → 二重接合構造採用	出力 = ACF (COF→PZT), 入力 = SAC (COF→PCB)
4M 変更実施	Man: 教育・標準化／Machine: 治具条件更新／Material: ACF・SAC 切替／Method: 量産条件再確立	複数拠点で統一化対応
結果	供給停止を回避／全機種で生産再開	事業継続性を確保

TABLE IV
製造管理における三重の複雑性と統制ポイント

複雑性の軸	主な要因	統制ポイント
機種の多様性	ノズル密度・ピッチ差／電圧条件差	条件マップ化、共通項と差分項の明示化
サプライヤ差	COF 表面処理仕様差 (Sn 厚、Ni 下地、Cu 構造)	表面処理別の圧着条件ウィンドウ管理
拠点差	設備構成・スキル差／品質保証体制差	標準条件書化、教育・監査、初期ロット監視

B. サプライヤ間の差異

COF はエプソン社内製、シャープ製、東芝製の三系統で供給されており、それぞれ端子構造や表面処理仕様 (Sn/Cu 厚、Ni 下地、酸化防止層) が異なっていた。この差異により、ACF および SAC の濡れ性・初期導通抵抗が変動したため、サプライヤ別の接合ウィンドウを個別に設定した。条件統制の中心は「表面処理条件 × 圧着温度 × 保持時間」の三要素であり、これを統合条件表として社内共通管理した。

C. 拠点間の差異

生産拠点は主に東北エプソンと秋田エプソンの 2 拠点で構成され、それぞれ異なる装置構成・品質保証体制・技能者スキルを持っていた。両拠点の工程統一を目的として、条件書の標準化、教育・認定制度の共通化、初期ロット監査および立上げ支援チームの巡回が順次実施された。

初期段階では歩留まり差や接合不良モード（導通不安定・剥離・樹脂溢出）に差が見られたが、フィードバックループの確立により、量産安定性が最終的に均一化された。

D. 製造プロセスの改訂展開

本接合方式への移行は、新規ラインの立ち上げではなく、既存 Mach 系ヘッドを量産していた各製造現法（国内外拠点）への設計改訂指示として実施された。Sn-Bi メッキ廃止により COF 端子構造・接合条件・治具寸法などの仕様変

TABLE V
ACF 接合の溶剤蒸気環境下評価結果（他部門試験）

試験条件	観察結果（要約）	動作状態
密閉（蓋あり）	ACF 樹脂層が溶剤蒸気を吸収し膨潤。導通抵抗上昇、接合界面劣化。	不動作（断線）
開放（蓋なし）	蒸気が拡散し、ACF 樹脂の膨潤は抑制。導通安定、外観変化なし。	正常動作（維持）

更が発生したため、機種担当技術者が図面・工程仕様書を順次改訂し、各現法へ展開する形で切り替えが進められた。

この展開では、各現法が保有する設備条件や作業治具の差異を考慮しつつ、温度プロファイルや ACF 貼付圧条件などをローカル最適化する調整が行われた。最終的には、全拠点で統一した電氣的・機械的性能を確保することを目的に、設計部門主導での横断的な製造条件整合が行われた。

VI. 評価試験（他部門実施）

ACF 接合方式は微細ピッチ対応やプロセス簡素化の利点を持つ一方で、樹脂層を介した異方導電構造を採用するため、溶剤インク環境下での化学的安定性に課題があった。特に、溶剤蒸気による膨潤や吸収が導電粒子保持層に影響を及ぼす可能性が指摘され、実使用条件下での信頼性検証が求められた。

A. 試験目的と設計

本評価は、溶剤蒸気環境における ACF 接合界面の安定性を確認することを目的とした。他部門が主導し、恒温槽を用いた加速暴露試験として実施された。

試験設計は以下の通りである。

- サンプル：ACF 接合済み Mach ヘッド（溶剤系構造）
- 条件：溶剤インクを同梱し、恒温槽中に放置（高温環境）
- 評価モード：密閉容器（蓋あり）／開放容器（蓋なし）の 2 条件比較
- 評価項目：外観変化、導通抵抗、駆動動作確認

筆者は試験実施者ではなく、評価用サンプル提供のみを担当した。したがって、ここでは報告書に基づく結果要約を示す。

B. 試験結果

試験結果を表 V に示す。密閉環境（蓋あり）では溶剤蒸気が滞留し、ACF 樹脂層が吸収膨潤を起こして導通抵抗が上昇、最終的に回路断線に至った。

一方、開放環境（蓋なし）では蒸気拡散により膨潤が抑制され、接合界面の導通および機能は維持された。この結果から、ACF の溶剤耐性は蒸気濃度環境に大きく依存することが確認された。

C. 技術的判断

試験結果から、ACF 接合は密閉・高蒸気環境下で膨潤劣化を起こす可能性が示唆された。しかし、実際のプリンタ運用環境は完全密閉ではなく、開放系であるため蒸気滞留は限定的と判断された。

したがって、量産適用にあたっては以下の暫定判断が下された。

- 溶剤環境でも実使用条件では ACF 膨潤の影響は限定的。
- 信頼性完全保証は困難だが、動作上は成立する。
- 不具合発生時にはヘッド交換で対応可能とする暫定運用を容認。

この判断により、Sn-Bi 断絶下でも供給停止を回避し、実装リスクを許容範囲内で管理したうえで量産継続が実現された。

VII. 顧客対応（他部門実施）

ACF 接合方式への切替は、技術的リスクを伴う暫定解であったため、特に溶剤系ヘッドを使用する産業用途の顧客対応が重要な課題となった。代表的な影響先はミマキエンジニアリング（Mimaki）をはじめとする産業プリンタメーカーであり、長期動作安定性を前提とする製品群であったため、接合方式変更は慎重な説明と合意形成を必要とした。

A. 説明および合意形成の基本方針

顧客対応はエプソン社内の他部門（営業・品質保証）が主導し、技術部門は変更内容の提供と技術的裏付けを担当した。基本方針は以下の三点に整理される。

- 1) Sn-Bi メッキの供給停止は不可避であり、既存プロセスの維持は不可能であることを明示する。
- 2) 代替方式として ACF 接合を提案し、溶剤環境下での膨潤リスクを正直に共有する。
- 3) 完全保証は困難であるが、動作は成立すること、また不具合時には交換対応を行う体制を提示する。

この三原則に基づき、顧客との協議では「技術的制約を前提にした供給継続」を主眼に置いた。技術的に完璧な解決策ではないことを明確にしつつ、代替が存在しない現実を共有し、事業継続を最優先とする判断を促した。

B. 交渉経過と合意内容

顧客側では、ACF 接合による長期信頼性低下の懸念が挙げられた。これに対し、エプソン側は以下の補足説明を行った。

- ACF 接合は既に家庭用（水系）モデルで量産実績があり、短期的な信頼性は確保されている。
- 溶剤環境で膨潤リスクがあるものの、開放系構造下では問題が発生しないことが評価試験で確認されている。
- 不具合発生時には製品保証範囲内でヘッド交換を行う運用を組み込む。

これらの説明を踏まえ、顧客は以下の条件付きで承認した。

- 1) ACF 接合方式の採用を承認する。
- 2) 溶剤環境下における劣化が発生した場合、交換対応を前提とする。
- 3) 長期信頼性データが整い次第、順次再評価を行う。

この合意により、製品供給の継続が正式に認められ、エプソン側は量産出荷を中断することなく維持することができた。

C. 意義と位置づけ

この対応は、技術的に完全ではない暫定解を前提にしても、「リスクを明示した上で顧客と透明性を持って合意形成を行う」ことで、事業継続を確保できることを示した実例である。

特に本件では、(1) 技術上の制約を正直に開示し、(2) 代替手段を提示し、(3) リスク管理策を明文化するという三段

階の交渉プロセスが有効に機能した。その結果、顧客・メーカー双方が納得のうえで暫定解を受け入れる形となり、企業間の信頼関係を維持したまま量産体制を継続することができた。

VIII. 結論

本件の接合方式移行は、PrecisionCore 登場直後の時期に実施されたが、当時の量産主力は依然として Mach 世代ヘッドであった。したがって、単一製品の改修に留まらず、実質的にエプソン全機種に関わる全社的な **4M 変更 (Man, Machine, Material, Method)** として展開された点に大きな特徴がある。

Sn-Bi はんだメッキの供給停止により、従来のリフロー接合法は継続不能となった。この制約の下で、COF 構造を全面的に見直し、出力側 (COF→PZT) には ACF、入力側 (COF→PCB) には SAC (Sn-Ag-Cu) を採用する「二重接合構造」を短期間で確立したことは、技術的な大きな成果であった。

溶剤環境下では ACF 膨潤リスクという不確定要素が残ったが、実使用環境を踏まえた評価結果に基づき、「動作は成立し、不具合時には交換対応を行う」という運用条件で量産を継続する判断が下された。この判断は、完璧ではないが現実的な「成立解 (feasible solution)」として機能し、事業の連続性を維持した。

- ・コンシューマ（水系インク）用途では、ACF 量産が安定して継続された。
- ・産業用（溶剤系）用途では、条件付き運用下で供給を維持できた。
- ・材料・設備・人員を跨いだ全社的対応により、供給停止を回避した。

本事例の技術的意義は、単なる材料置換ではなく、用途ごとに異なる接合方式を選択・併用する柔軟な実装設計体系を構築した点にある。また、事業的意義としては、完全解を追求するのではなく、「不完全でも成立する現実解を提示し、供給責任を果たす」判断を下した点が挙げられる。

この経験から得られる普遍的教訓は、外部制約下においては技術的最適解よりも“継続可能な実用解”を優先すべき場面が存在するという点である。すなわち、限られた時間・材料・工程の中でも、「止めないこと」そのものが最も重要な技術成果であるという点を再確認させた事例であった。

付録

本付録では、本文で言及した ACF 接合に関する理論的解析および材料親和性の補足データを示す。これらは Mach 系ヘッドにおける接合設計および信頼性評価の基礎モデルとして用いられた。

付録 A. ACF 導通構造の確率モデル解析

ACF (Anisotropic Conductive Film) 接合の導通安定性は、電極間に存在する導電粒子の数密度 n と圧着変形率 η に依存する。導通確率 P_{connect} は以下で近似できる。

$$P_{\text{connect}} \approx n\pi r^2 \eta \quad (1)$$

ここで r は粒子半径である。Mach ヘッドでは、COF 端子と PZT 電極の接触面積が約 $80 \times 20 \mu\text{m}^2$ であり、粒径

$r = 2.5 \mu\text{m}$, $\eta = 0.7$ とすると、 $n = 1 \times 10^4 \sim 2 \times 10^4 \text{ 粒/mm}^2$ の条件で、統計的に 3~10 粒が導通経路を形成することが計算される。

この導通密度は Mach ヘッドで採用された ACF 厚み (20~25 μm) と整合し、圧着条件 (180°C・3 MPa・10 s) 下で安定した導通が得られる。この結果は、導電粒子数密度と圧着応力の最適設計範囲を定義する設計指針として活用された。

付録 B. ACF 樹脂と溶剤の親和性（溶解度パラメータ）

ACF のマトリクス樹脂は熱硬化型エポキシを主成分とし、極性溶媒との相互作用により膨潤を起こすことが知られている。溶剤と樹脂の親和性は、Hansen の溶解度パラメータ (HSP) によって定量的に評価できる。HSP は分散力成分 δ_D 、極性成分 δ_P 、水素結合成分 δ_H で構成され、両者の距離 R_a が小さいほど相溶性が高く、膨潤が起こりやすい。

$$R_a = \sqrt{4(\delta_{D1} - \delta_{D2})^2 + (\delta_{P1} - \delta_{P2})^2 + (\delta_{H1} - \delta_{H2})^2}$$

ここで、エポキシ樹脂 (ACF マトリクス) の代表値は $\delta_D \approx 18$, $\delta_P \approx 7$, $\delta_H \approx 6$ 、一方、溶剤系インクに含まれる主溶媒の例を表 VI に示す。

TABLE VI
主要溶剤の HANSEN 溶解度パラメータ（参考値）

溶剤	δ_D	δ_P	δ_H	備考
γ -ブチロラクトン (GBL)	19.0	16.6	7.4	強極性で膨潤性が高く、樹脂や ACF 樹脂を軟化させやすい。 水素結合性が大きく、混合溶剤中で拡散促進効果を示す。
ジエチレングリコール エチルエーテル (DEGEE)	16.5	7.4	13.6	
イソプロパノール (IPA)	15.8	6.1	16.4	揮発性が高く、洗浄・拡散補助剤として利用される。
酢酸エチル	15.8	5.3	7.2	中極性で、樹脂との親和性は中程度。

GBL はエポキシ樹脂と極性成分が近く、Hansen 距離 R_a が小さいため相溶性が高く、密閉環境では樹脂ネットワークへの浸透・可塑化が進行しやすい。このため、膨潤による導電粒子接触力低下が発生し、Z 方向導通が失われる。一方、開放環境では蒸気活量が低く、拡散平衡に達しにくいため、膨潤は抑制される。

以上の結果は、ACF 樹脂の溶剤耐性設計および環境試験条件の基礎データとして利用された。

謝辞

本報告に関連する評価試験、顧客交渉、材料調達、製造条件切替に携わったエプソン社内の関係部門、ならびに COF サプライヤ各社の多大な協力に深く感謝する。特に、溶剤系ヘッド切替時に迅速な判断と対応を実施いただいた調達・製造・品質保証部門に謝意を表する。

REFERENCES

- [1] T. Yamazaki, H. Ito, and T. Matsumoto, "Development of High-Precision Piezo Inkjet Head Using Mach Architecture," *Seiko Epson Technical Journal*, vol. 23, no. 4, pp. 45 – 52, 2008.
- [2] T. Nakamura and K. Tanaka, "Anisotropic Conductive Film (ACF) Bonding Technology for Fine-Pitch Interconnections," *J. Japan Inst. Electron. Packag.*, vol. 11, no. 3, pp. 196 – 203, 2008.
- [3] H. Lee and J. Jang, "Statistical Modeling of Conductive Particle Contact Reliability in ACF Joints," *IEEE Trans. Components and Packaging Technologies*, vol. 33, no. 4, pp. 742 – 749, 2010.
- [4] C. M. Hansen, *Hansen Solubility Parameters: A User's Handbook*, 2nd ed., CRC Press, Boca Raton, FL, 2007.
- [5] J. Yamaguchi, K. Ohno, and M. Fujii, "Transition from Sn – Bi to Lead-Free Solders in Fine-Pitch Assembly," *Microelectronics Reliability*, vol. 52, no. 1, pp. 102 – 110, 2012.
- [6] S. Tani, M. Arai, and Y. Kondo, "MEMS-Based PrecisionCore Printhead Technology for Industrial Inkjet," *Seiko Epson Technical Journal*, vol. 30, no. 1, pp. 11 – 18, 2016.

著者略歴

三溝 真一（Shinichi Samizo）は、信州大学大学院 工学系研究科 電気電子工学専攻にて修士号を取得。セイコーエプソン株式会社にて、半導体ロジック・メモリ統合設計、インクジェットヘッドの PZT 駆動構造および PrecisionCore 製品化を担当。現在は独立系半導体研究者として、プロセスデバイス教育・AI 制御アーキテクチャ研究に従事。連絡先：shin3t72@gmail.com.