

環境にやさしい洗浄技術に関する調査研究

浅野 俊之*, 高萩 泰**

1. 緒言

主に機械金属加工業で洗浄剤として広く使われてきた、特定フロン、トリクロロエタン等のオゾン層破壊物質(以下フロン等という)がモントリオール議定書締約国会合の結果により、昨年末(1995年末)製造禁止となった。このため各企業とも早急に代替洗浄へ転換する必要に迫られているが、コストの増加や代替後の清浄度の問題から、特に中小企業での進捗状況は遅れている。

このような中で、(1)中小企業におけるオゾン層破壊物質の使用量と転換に関する実態調査を行った。その結果から、(2)洗浄方法の転換に対して洗浄品の清浄度評価ができないことが障害となっていることがわかり、評価技術の開発を進めた。その後、(3)開発した洗浄評価手法を用いて、汚れ成分の種類による洗浄性と材質及び表面状態の違いによる清浄度評価を行った。さらには、(4)電子基板におけるフラックスと絶縁性低下及びマイグレーション発生の評価を行い、洗浄性と部品の信頼性の関係を検討した。

2. 内容

2-1 中小企業におけるオゾン層破壊物質の使用量と転換に関する実態調査

2-1-1 調査の目的

特定フロン及び1,1,1-トリクロロエタン(以下フロン等)はその優れた洗浄力と無臭無害など取扱いの容易さから、電子部品、精密部品、一般機械部品洗浄など電気、機械金属工業で広く用いられてきたが、オゾン層破壊の問題により1995年末で製造禁止となり、代替品、代替技術への転換促進を目的とし、洗浄・脱脂技術に関するアンケートを実施した。

2-1-2 対象企業

一般機械器具・精密機械器具・プラスチック製品・金属製品・電気電子機械器具・輸送用機械器具・鉄鋼の7業種の各製造業のうち中小企業1700社を選定した。

解答企業については、業種別での回答率は輸送用機械器具31.4%(37社)、精密機械器具24.2%(22社)、電気・電子機械器具19.5%(80社)、金属製品12.6%(34社)、一般機械器具6.1%(37社)であった。

回答企業の中で各業種の占める割合は、電気・電子機械器具31.4%、一般機械器具14.5%、輸送用機械器具14.5%、金属製品13.3%、精密機械器具8.6%、プラスチック製品3.1%、鉄鋼2.7%となっている。

発送数	1,700社
回答企業数	255社
回答率	15.0%
調査期間	平成5年3月～4月

2-1-3 調査結果

溶剤の種類としてはフロン等を使用している企業が、ほぼ半数を占め、規制によって大きく影響を受けることが予想された。洗浄装置は密閉型と開放型が半数ずつで、フロン等を大気放出している企業が半数あることもわかった。

洗浄の目的の半数は脱脂であるが、組立工程における

部品洗浄、電子基板のフラックス・フォトレジスト除去、ほこり指紋除去、乾燥シミ防止と洗浄以外の目的で使用している企業もあった。

洗浄品の扱いは、素手で取扱いが約半数、手袋や工具使用が3割、工程後まで治具使用及び、クリーンルームで使用が2割であり、必要洗浄度は、半数が高いとしながらもフロン等の清浄度を必要としていないと推測できる。

清浄度の評価手法としては目視や触手が3分の2を占め、後工程で問題がなければ良いという企業を含めると約9割の企業は、定量的な評価手法を持っていないことがわかった。

規制による問題点としては、適当な代替品がないあるいは代替溶剤による洗浄時の効果が不明といった企業が過半数で、洗浄評価手法と判定基準がないために、洗浄工程におけるフロン等からの脱却が進まないことが予想される。

フロン等からの転換方法としては水系洗浄剤、炭化水素系洗浄剤、塩素系洗浄剤、アルコール洗浄、無洗浄化、と各々2割ずつで、転換の方向が特定できていないことがわかる。又、今後の取組み方としては、半数の企業が情報収集・代替品待ちを望んでおり、積極的に動くとはしていないようである。

2-1-4 アンケート結果のまとめ

- 1) 洗浄目的が異なってもフロン等の溶剤が使用されている。
- 2) 製造者、ユーザー共に洗浄品の必要清浄度及び洗浄品の評価、検査方法が明確にされていない。これはフロン等が洗浄剤として万能であったため、洗浄による清浄度、対象を考慮せずに使用していたためであり、代替洗浄法に転換する際には、洗浄評価手法が不可欠となる。
- 3) 半数の企業でフロン等の転換方法が決まっていない。

2-2 清浄度評価技術の開発

代替が進む中、洗浄後の清浄度の評価が不可欠となってきた。しかしながらその実情は、目視や触感などの数値化しにくい方法で評価されていることが多く、精密洗浄のレベルにおいては複雑な手法によらなければできなかった。簡単で精度良くコストも時間もかからない分析評価方法を探っていたところに、同様のことを検討している県内の企業と共同で洗浄評価装置を研究開発を行うことになった。これによって、洗浄工程の検討のみならず、清浄度の管理や簡略化による洗浄工程のコストダウンの検討も可能になると考えられる。

清浄度の評価手法を列挙してみると表1のようなものが考えられる。これらを大別してみると感覚に頼った定性的な評価と分析機器などを利用した定量的な評価がある。総合的判断を除けば機器類を用いる定量的な評価手法に優位性があり、数値による客観的な評価が出来るため管理を行うには好都合である。しかし、総合的な判断や汚れ以外の異常には対応が難しいため、最終的には人間による判断で補完する必要がある。

比較表からHPLC法には多くの長所があり、定型処理となる洗浄評価では2つの短所は無視できる。

* 生産技術部, ** 材料応用部

表1 清浄度評価方法の比較

分析方法	長 所	短 所
目視・触感	<ul style="list-style-type: none"> ・コストが安い ・全体的にも部分的にも評価できる ・評価に要する時間が短い ・キズ、へこみ等の数値化しにくいものも可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・個人差が大きい ・熟練を要する ・微量，微小レベルは不可 ・数値化できない
器具・用具	<ul style="list-style-type: none"> ・コストが安い ・簡便である 	<ul style="list-style-type: none"> ・微量レベルの評価は難しい ・全体的に評価できない
n-ヘキサン抽出	<ul style="list-style-type: none"> ・コストが比較的安い ・簡便である ・数値化が可能 ・測定者のトレーニングが容易 	<ul style="list-style-type: none"> ・測定誤差が大きい ・微量測定はできない ・恒温器や微量天秤がないときはイニシャルコストは比較的高い
排水中油分測定器	<ul style="list-style-type: none"> ・他の機械に比べてイニシャルコストが安い ・小型である ・個人差が少ない 	<ul style="list-style-type: none"> ・メンテナンス，管理が必要 ・検出されるのは油分のみではない ・抽出溶媒に四塩化炭素が必要 ・四塩化炭素に溶出するものは測定不可
赤外分光光度計	<ul style="list-style-type: none"> ・微量測定が可能 ・油に的を絞った分析ができる ・再現性が良い ・定量性が良い ・他の目的にも使用できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・イニシャルコストが高い ・操作に熟練を要する ・操作が難しい ・自動化できない ・溶媒に四塩化炭素を用いる
高速液体クロマトグラフ法 (HPLC法)	<ul style="list-style-type: none"> ・測定が早い ・再現性が良い ・個人差が無い ・微量測定が可能 ・操作が容易 ・自動化ができる ・メンテナンス，管理が容易 ・他の目的にも使用できる ・分析機器にしてはイニシャルコストが安い 	<ul style="list-style-type: none"> ・条件検討が大変 ・データを読むのが難しい

2-2-1 HPLCによる測定法

HPLC法は前述のように、比較的イニシャルコストも安く、定量的にも優れた手法と言える。油分を測定する場合、一般的な切削油やプレス油、防錆油などは紫外光での検出が可能である。これで検出できない物質もいくつかあるが、視差屈折法などの他の検出器を使うことによって可能である。赤外分光光度計と違い、1つの物質や結合基にターゲットをあてた検出方法ではないため、従来測定できなかったフラックスなど様々な物質の測定に応用できる。

一般的なHPLCの使用法としてはサンプルコンデンスカラム(カラム)により物質を分離して定性・定量を行うが清浄度の評価をする際には問題点がある。1つは、分離することにより、カラム内部や配管中への分散が起こる。又分離した一つピークの絶対量が減少することによる検出感度の低下を招き、検出できない物質がある可能性がある。もう1つは、検出された物質のうち、どのピークを汚れとして認識するかという点である。これらの問題点を解消するために本法では、分離をせずに濃縮だけを行うカラムを用いた。

この方法によってフラックスや油分の残存と高い相関が得られ、従来の複雑な分析手法によらず、簡便な評価が可能となった。

2-2-2 HPLCを応用した清浄度評価手法の特徴と課題

高速液体クロマトグラフ法を応用することによって、赤外分光光度計を用いる従来法では欠かせずしかも熟練度を必要とする濃縮工程がカラムを用いることによって省略でき、容易に精度の良い洗浄評価が可能となった。この評価方法では従来の油に加え、フラックスの測定も可能であり、感度的にも高いものではppbレベルの分析が可能である。しかし加工油の中に一部検出感度の低いものがあり、これらの物質をどう検出していくか今後の課題である。

2-3 汚れ成分の種類による洗浄性と材質及び表面状態の違いによる清浄度評価

代替洗浄剤はフロン等の様に万能ではないため、部品の材質と付着油の組み合わせで使用する洗浄剤の効果が違ってくるため、代替洗浄剤の決定には素材と付着している油を考慮しなければならない。そのため洗浄工程の転換には前後の清浄度の測定が不可欠である。このことから材質、付着油及び代替洗浄剤の条件を変えて洗浄し、清浄度評価装置により測定するとともに、炭素分析装置(米国LECO社製)での測定データとの相関性及び顕微鏡による洗浄物の表面状態の観察も併せて行い検討した。

2-3-1 測定方法

アルミニウム、ステンレス、リン青銅(磨いたものと錆の付着しているもの)、鉄(磨いたものと錆の付着しているもの)、亜鉛めっき鋼板の金属板を4×2cmの大きさに切断したものをテストピースとして用いた。油としては切削油と防錆油を用い、塗布方法は各油ともトリクロロエタンで10倍に希釈し、その中にテストピースを入れ、ドライヤで乾燥した。

洗浄方法としては水系洗浄剤の場合、メーカー指定の倍率で希釈し、揺動させて洗浄し、水洗を行った。一部の試験では超音波を使用し、洗浄後の水洗時間及び液温は

原則として洗浄と同じ条件とした。炭化水素系洗浄剤の場合はピーカ中で揺動により洗浄した。

清浄度測定には清浄度評価装置と炭素分析装置を用いた。前者は洗浄後のテストピースをガラス製の抽出ビンに入れ、抽出液（クロロホルム、メタノール混合溶媒）10mlで1分間残留油分を抽出し、清浄度評価装置により測定した。後者は洗浄後のテストピースを装置の石英管の中に入れ、一定温度で燃焼し発生する二酸化炭素の量から残留油分の炭素量を測定した。

2-3-2 測定結果

1) 洗浄剤の違いによる洗浄効果

付着油をユニカット、テストピースの材質をアルミニウムとし、洗浄剤を替えて試験した結果を表2に示す。この結果、ユニカットとアルミニウムの組み合わせでは、代替洗浄剤の選択性が非常に強いことを示している。

表2 HPLCの測定値 単位：ppm

No	洗浄剤	材質	洗浄条件	測定値
1	A	W	室温30秒, US(強)	0.01053
2	B	W	35 30秒, US(弱)	0.01492
3	C	W	65 60秒, US(強)	0.02599
4	D	HC	室温30秒	0.03057
5	E	HC	室温30秒	0.03135
6	A	W	室温30秒, US(弱)	0.03423
7	トリクロロエタン	CC	室温30秒	0.03476
8	F	HC	室温30秒	0.03478
9	B	W	35 30秒, US(強)	0.03549
10	G	HC	室温30秒	0.03557
11	H	HC	室温30秒	0.04184
12	I	W	室温30秒	0.12942
13	B	W	室温30秒	0.18805
14	J	W	室温30秒	0.33854
15	K	W	80 , 60秒	0.55991
16	K	W	室温30秒, 10倍希釈	0.67593
17	K	W	室温30秒, 20倍希釈	1.25717
18	L	W	室温30秒	1.68659

W:水系 HC:炭化水素系 CC:塩素系 US:超音波

2) 材質の違いによる洗浄効果

テストピースの材質の違いによる洗浄効果の比較結果を表3に示す。

付着油にはユニカットと松村石油を使用し、トリクロロエタンで洗浄してから残留油分を清浄度評価装置で測定した。

その結果、ユニカットについては亜鉛めっきした鉄の測定値が高く、ステンレス、リン青銅磨きの測定値が低かった。松村石油については、アルミニウム、ステンレス、リン青銅が低い値を示したのに対し、鉄、亜鉛めっきした鉄が高い値を示している。

この結果については、洗浄終了後のテストピース表面の顕微鏡観察の結果、テストピースの表面が酸化及び微細な傷等で荒れているため、付着油とワークの表面の接着面積が大きく、これが洗浄を妨げていると言える。

表3 テストピースの材質と付着油の違いによる測定値 単位：ppm

No	材質	切削油	防錆油
1	アルミニウム	0.03476	0.01007
2	ステンレス	0.01526	0.01110
3	リン青銅(錆)	0.03110	0.00800
4	リン青銅(磨)	0.02227	0.00788
5	鉄(錆)	0.03673	0.03216
6	鉄(磨)	-----	0.01769
7	亜鉛めっき鋼板	0.05247	0.02418

3) 付着油の違いによる洗浄効果

付着油の違いによる洗浄効果を測定した結果は表2のとおりである。

この結果から、鉄及びステンレスを除く材質では松村石油の測定値がユニカットの測定値の1/2~1/3になっており、付着油の種類により清浄度に差があることを示している。

4) 表面状態の観察

アルミニウムについて電子顕微鏡による表面状態の観察を行った。試料はユニカットを付着させ、炭化水素系洗浄剤で洗浄したものとした。

アルミニウム上の残留油分の2次電子像と炭素の特性X線像であり、表面上の凹凸部に残留油分が付着していることを示している。アルミニウム上の凹凸はアルミニウムの酸化物であり、この様に細かな凹凸が存在しているため炭素分析装置で見られるように油の吸着力が強く、残留油分が多くなると考えられる。

ステンレス上の残留油分の2次電子像、組成像、炭素と酸素のそれぞれの特性X線像を見ると、2次電子像で分かるように結晶粒界が存在し、結晶と結晶の間に残留油分が入りそれが楔の役割をしてより大きな残留油分を付着させていることが分かる。

これはステンレスの研磨工程において、強力な研磨液を用いたためエッチングが進みすぎ結晶粒界を析出させてしまい、この様に油を付着させ易くしたと考えられる。このようなステンレスの場合、普通洗浄では問題とならないが精密洗浄の場合洗浄をより難しくしている。通常のステンレスの場合は、このような粒界の析出は見られなかった。ステンレスは本質的には油の吸着力の弱い材料ではあるが表面状態次第で洗浄の難しい材料に一変する。生産効率のみを考え表面状態を考慮しないと洗浄においてかえって悪い結果を及ぼす、1例である。

2-3-3 汚れ成分の種類による洗浄性と材質及び表面状態の違いによる清浄度評価の結論

以上のことから、洗浄剤、洗浄物の材質、付着油の洗浄に及ぼす効果については以下のことが分かった。

- (1) 代替洗浄剤は油による選択性が強い。
- (2) 鉄は空気中で錆び、その場合、残留油分が多くなる。錆の程度を一定にすることは困難であり、データにばらつきが生じる。標準試験片には不適である。
- (3) アルミニウムは他の金属より付着油との吸着力が強く、反対にステンレスは弱い。このため、アルミニウムは標準試験片に最適である。
- (4) ステンレスは研磨工程次第では表面状態が変わり、洗浄が難しい材料となる。

2-4 電子基板における洗浄性と部品の信頼性

フロン等に代わる代替洗浄剤は各種開発されているが、日本プリント回路工業会、中小企業事業団が実施したアンケート調査によると企業の動向は圧倒的にプリント配線板の無洗浄化及び無洗浄フラックスの採用又は将来の導入を望んでいる。その場合、無洗浄化によって長期信頼性の上で問題となるCuのマイグレーションが及ぼす影響について検討することとした。

まず現在JISで規定されているマイグレーション評価に適用可能な試験方法（電圧印加試験）、及び試験時間で十分か否かを検討したので、その結果を報告する。また、解析によりBrがウイスカ状となって成長し、その内部を銅の粒子が移行する現象について述べる。

2-4-1 試料と試験条件

試料はガラス繊維入りエポキシ樹脂（FR-4）の銅張り積層基板を用い、表4に示すIPC A型とJIS 2の2種類の櫛形電極パターンを作成した。この試料にフラックスを1枚当たり0.05g塗布し、表5、6に示す各温度で各時間乾燥した。フラックスは、A社製造の弱活性タイプ（RMA）を用いた。

表5、6に示す各条件（JIS条件：JIS Z 3197 ハンダ付け用樹脂系フラックス試験方法 参考）でフラックス乾燥温度、電極間隙、印加電圧によるマイグレーション発生傾向をみる試験を行った。

表4 試料形状

	IPC A型	JIS 2型
導 体 幅	0.165mm	0.318mm
導 体 間 隔	0.165	0.318
重 ね 代	15.75	15.75

表5 マイグレーション試験条件及び試料

	JIS	比較条件
印加電圧	100V	50V
フラックス乾燥温度	100 30分	150 2分後 230 30秒
時間	96時間	2000及び2500時間
試料	JIS 2型	IPC A型

表6 絶縁抵抗試験条件及び試料

	JIS	比較条件
測定電圧	100V 1分間チャージ後測定	20時間毎測定
		温度試験前後
フラックス乾燥温度	100 30分	150 2分後 230 30秒
時間	96時間	2000及び2500時間
試料	JIS 2型	IPC A型

乾燥温度150 2分後230 の条件は、実際のハンダ付け条件に合わせたものである。

比較にIPC A型を用いたのは、表4に示すとおり電極間隙がJIS 2型の1/2のためである。

温湿度条件は、85 85%RH、マイグレーションの観測と絶縁抵抗測定は恒温恒湿槽内で行った。

2-4-2 実験結果

1) 絶縁抵抗測定

図1を見ると300時間経過後、各曲線とも変化が一定となる。この時点では一部にマイグレーションの発生は

見られたが大部分は発生しておらず、JISの定める96時間では短く、評価のためには500時間以上の試験が必要とされることを示す。

基板の種類の違い、JIS 2型とIPC A型の比較では乾燥温度100、230 のいずれも、JISがIPCより抵抗値が高かった。乾燥温度では、230 の方が100 より抵抗値が高く観測された。乾燥温度100 の場合、試験開始後急激に抵抗値が低下し、その後時間と共に回復する。それに対し230 は、ほぼ一定の値を示している。フラックスの吸湿成分が100 では残っていたのに対し230 では試料作成の段階で飛んでしまったためと考えられる。

2) マイグレーション測定

間隙依存性

JIS 2型とIPC A型とで比較すると、図2に示すようにIPC A型では1000時間でマイグレーションが発生したが、JIS 2型では2000時間及び2500時間のいずれの試験でも発生しなかった。これは、印加電圧100V、乾燥温度100、230 いずれも同じであった。このことからJISの方法では、マイグレーションが発生するには、これ以上の時間が必要である。

乾燥温度依存性

図3に示すように、100、230 を比較すると、いずれも1000時間付近で、それぞれマイグレーションの発生による絶縁抵抗の著しい変化が観測されている。すなわち、100（JIS規定）と230 の間に差はないといえる。なお、230 では別の試料が2000時間で発生している。これは、マイグレーション発生において時間的パラツキが大きいことを示している。

印加電圧依存性

図4に示すように、50、100V印加のいずれも1000時間付近の同じ時間経過で発生しており電圧依存性はない。

試験時間

前述したようにJIS規定の96時間はマイグレーション評価のためには短過ぎる。このフラックスでは1000時間付近で発生しているが、1000時間でも短い場合があると考えられ、2000時間位は必要である。

3) マイグレーション解析

光学顕微鏡及び電子顕微鏡分析、蛍光X線分析により解析した結果、Brが線状に成長あるいは集積し、銅の粒子がその内部を移行する現象、（以下Brウイスカと呼ぶ）が観測された。

フラックスの分析

蛍光X線分析装置により分析したところ、Br、Zn、Fe（Cは除く）が検出された。

顕微鏡により紫外線を照射し調べたところ蛍光はまったく検出されなかった。ロジンの場合、蛍光を発生することから、ロジン化合物ではなく、フラックスの活性剤は無機系のZnBr（臭化亜鉛）と考えられる。

Brウイスカの発生過程

このマイグレーションの特徴は、形状がウイスカ状（写真1）であり直線あるいは曲線を描いて電極間を架橋する。

Brはフラックスの活性剤に用いられ、Cuとイオン化反応しやすい元素であり、そのためこのような現象を示すと考えられる。すなわち、写真4に示すように始めに透明または白色のBrがウイスカ状に成長し、その後、写真に観測されるように内部にこげ茶色の物質または線

全体が茶色となることより、ウイスカの中を銅の粒子が対抗電極に向かって移行すると考えられる。その後銅の密度が高くなる（写真1）。更に進行すると対抗電極と架橋状態となりさらに絶縁低下となる（写真5）。しかし、Brの細かいウイスカ内で銅が成長するため（5~20 μ m）、従来のマイグレーションのように、幅的に成長できず、銅の移行成長は止まり酸化すると考えられる。そのため図3のマイグレーションの経時変化に示すように、絶縁抵抗の繰り返し変動や低下は生ぜず一過性のもとなる。

今回データは除いたが、ごく初期の段階でも絶縁抵抗の急激な低下が観測された。吸湿による絶縁低下と分離できることから、初期的にBrウイスカが成長し、銅の移行が進まない段階でも絶縁低下がおきたと考えられる。

発生場所は、(-)電極に多いが、(+)電極にも発生している。電極の端に多いが、写真6に示すように電極の中央部にも発生している。

他の種類のマイグレーション

写真2の左側、及び写真3に示すように、(+)電極に発生しているが、架橋状態には至っていない。図3の絶縁低下をきたしたのは、線状のBrウイスカと判断できる。

Brウイスカの成分

写真7は、同一槽内に置かれたためBrの影響を受けたNOコート試料上に発生したBrウイスカである。これをEPMAにより分析したところ成分は、Br、Cuであった。写真9にBr、写真10にCuの特性X線像を示す。Brが多く、Cuが少ないがBrとCuの化合物あるいは混合物であることを示している。

Brウイスカの電界依存性

IPC A型基板の50, 100V印加ではBrウイスカの発生による絶縁抵抗の低下に差はみられなかった。しかし顕微鏡観察では、100Vに発生数の増加が見られた。

JIS 2型基板では発生はしているが、ウイスカが電極間を架橋するには至っていない。印加時間が短い段階で発生する。絶縁抵抗測定基板に短いBrウイスカが発生した。印加電圧は100Vで延べ通電時間125分であった。

このことは、Brウイスカの発生要因が、熱的化学反应よりも主に電圧印加の条件下で発生することを示している。

問題点

この現象は、現在のプリント配線板のピッチ(JIS 2型相当)ではこの現象による影響は明確にはでなかった。更に細かいピッチ(IPC A型相当)では無洗浄化に対する大きな問題となることを示している。今回使用したBrの分解性の良い(活性化)フラックス以外でも同様の現象が発生するか、またハンダめっきした場合はどうかという点が今後の検討課題である。

2-4-3 まとめ

- 1) JISの規定と比較すると絶縁抵抗測定で96時間に対し500時間、マイグレーション測定も2000時間は必要であることが分かった。
- 2) フラックスの乾燥温度100, 230 試料にマイグレーション、Brウイスカの発生に差はみられなかった。
- 3) 印加電圧50, 100V試料のマイグレーション評価において、抵抗測定では差はみられなかった。しかし顕微鏡観察では、100Vに発生数の増加が見られた。
- 4) マイグレーションの間隙依存性は存在した。Brウイスカの観察ではIPC A型が適しているがJIS 2型も

現在のピッチであり、現在の状況をつかむ上で必要である。

5) Brのウイスカの中を銅粒子が移行し、絶縁低下をきたす現象を観察した。

6) Brウイスカ現象は、今後の微細パターンの無洗浄化に対する大きな問題となることが予想される。

謝辞

本報告をまとめるに当たりご協力いただいた千葉県機械金属試験場 宮崎健一氏に感謝の意を表します。

乾燥温度100, 230 $^{\circ}$ C JIS 2, IPC A型

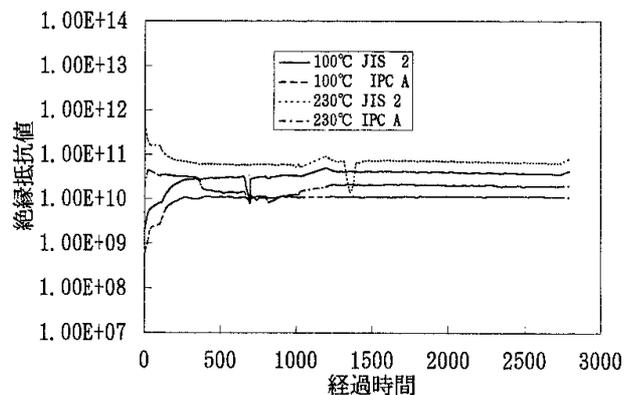


図1 絶縁抵抗の経時変化

JIS 2, IPC A 型
50V 乾燥温度100 $^{\circ}$ C

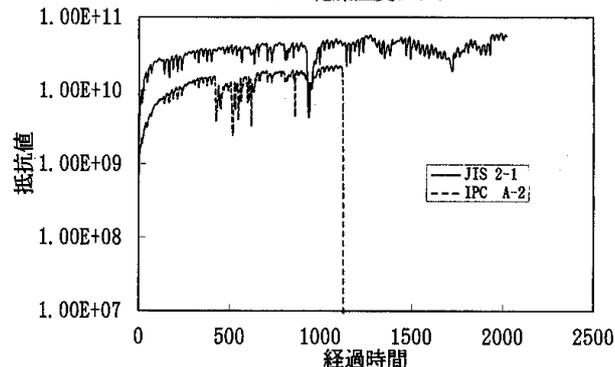


図2 印加電圧50Vマイグレーション経時変化

IPC A 型 100V マイグレーション
乾燥温度 100, 230 $^{\circ}$ C

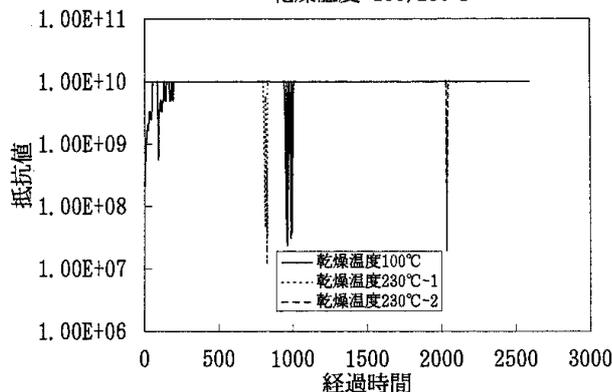


図3 印加電圧100Vマイグレーション経時変化

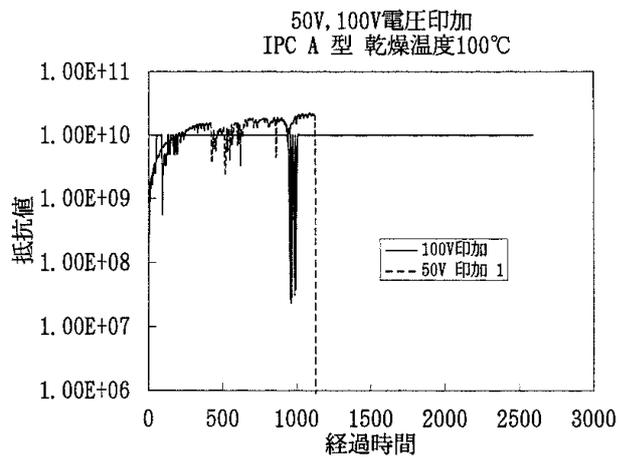


図4 印加電圧50,100Vマイグレーション経時変化

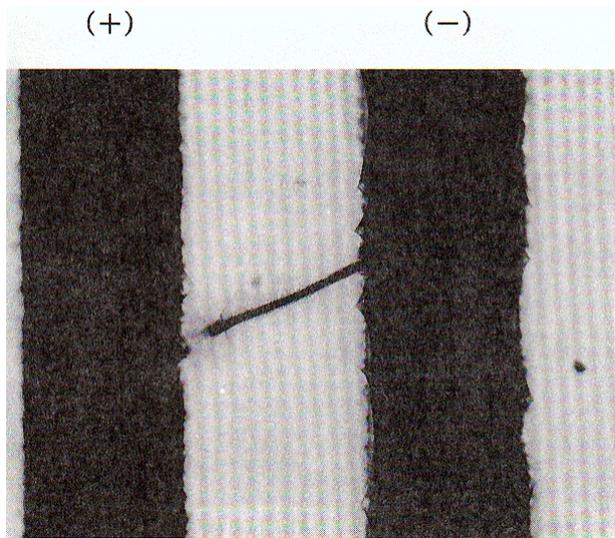


写真1 . 印加電圧50V、乾燥温度100
I P C A型 透過像 ×200
+ - + - + -

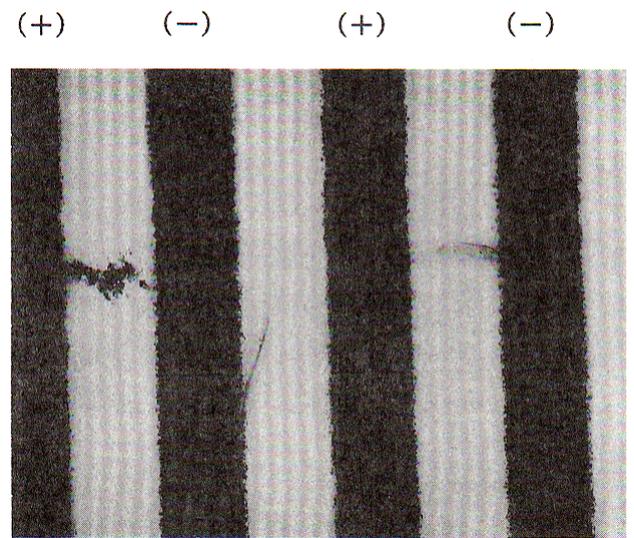


写真2 . 印加電圧100V、乾燥温度100
I P C A型 透過像 ×100
(+) (-)

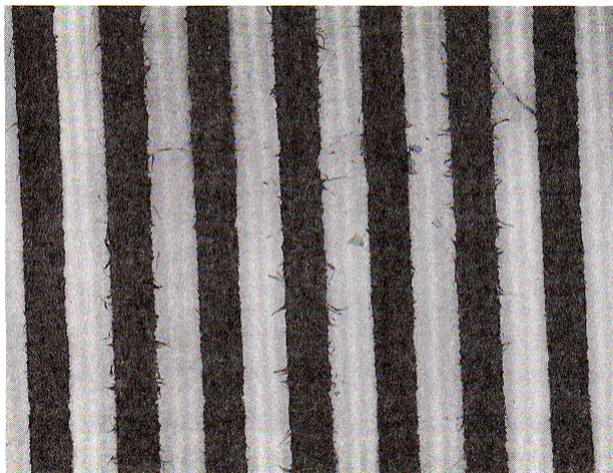


写真3 . 印加電圧100V、乾燥温度100
I P C A型 透過像 ×50
- +

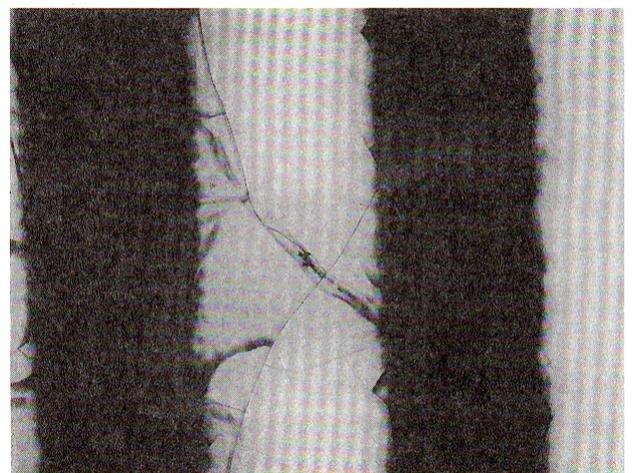


写真4 . 印加電圧100V、乾燥温度100
I P C A型 透過像 ×200
- + -

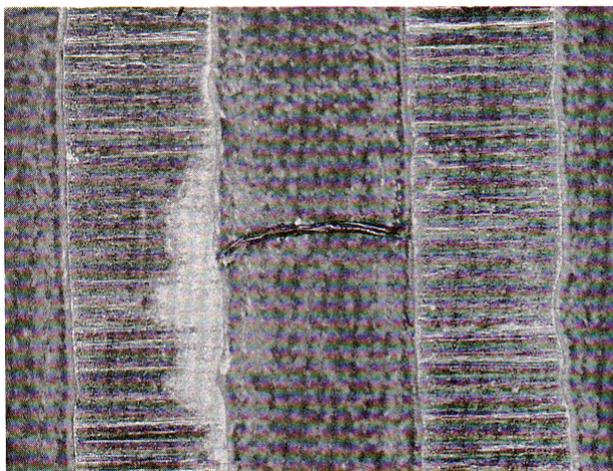


写真5 . 印加電圧100V、乾燥温度230
I P C A型 暗視野像 ×200



写真6 . 印加電圧100V、フラックスNOコート
I P C A型 暗視野像 ×200

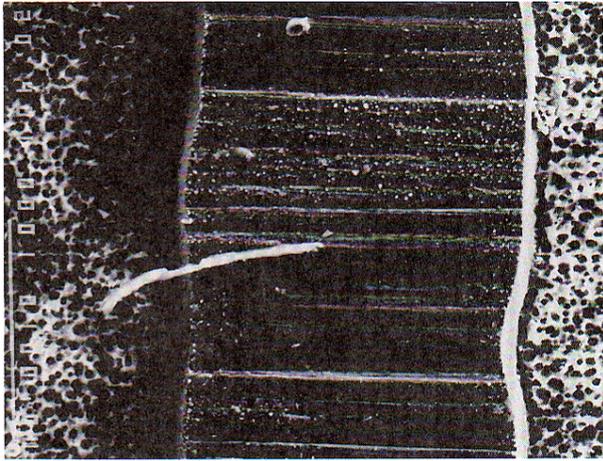


写真7 . 印加電圧100V、フラックスNOコート
IPC A型 SEM像 ×100

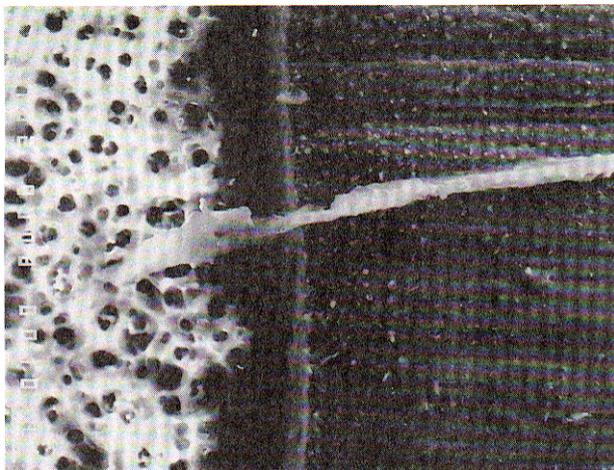


写真8 . 印加電圧100V、フラックスNOコート
IPC A型 SEM像 ×1000

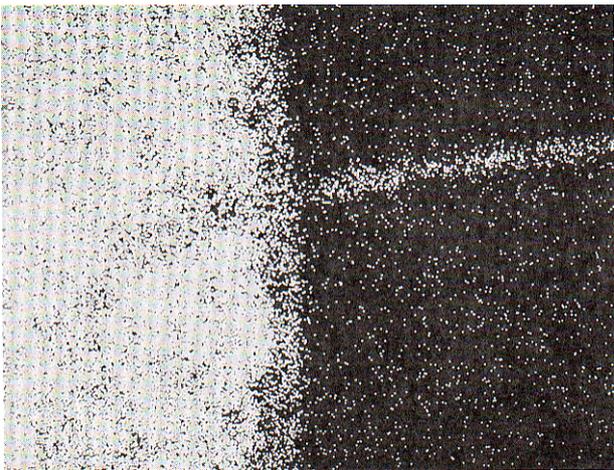


写真9 . 印加電圧100V、フラックスNOコート
IPC A型 Br特性X線像 ×1000

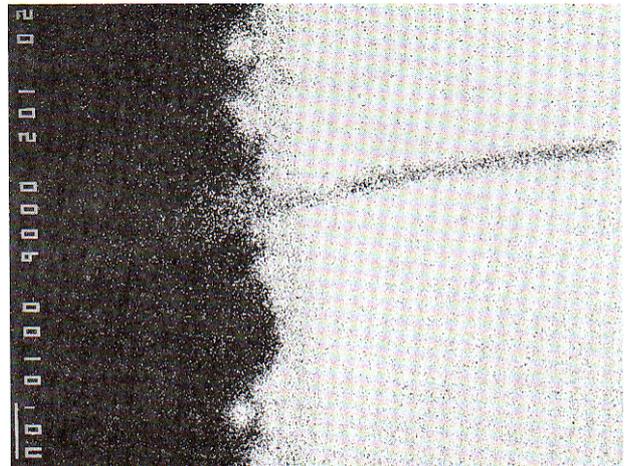


写真10 . 印加電圧100V、フラックスNOコート
IPC A型 Cu特性X線像 ×1000