

高密度リフロー ソルダリング法

Micro Reflow Soldering Process

安田富郎* Tomio Yasuda

As electronic parts become smaller, soldering techniques to connect them must become increasingly precise. To meet this requirement, a new soldering technique has been developed which permits soldering of densely packed connecting wires in one single process using fine wires as solder preforms. This new technique is a great advance beyond the conventional reflow soldering method using the solder plating process, capitalizes on the spreading wetting and surface tension of the solder, and leaves solder plating methods of the past far behind.

This article discusses erosion of conductors due to soldering which is invariably caused when densely packed connecting wires are soldered, methods for its prevention, and some suggestions to improve soldering reliability.

1 緒 言

電子機器の小形軽量化、省エネルギー・省資源化へのすう勢はとどまるところを知らず、今後いっそうその傾向に拍車がかかけられるものと考えられる。このような流れのなかで、接続技術者に対して機器の小形化に対処できる高密度、微小接続技術の開発が要求されるのは当然の成行きである。

高密度、微小接続と一口に言ってもいろいろな水準が考えられるが、接続端子のピッチが数百ミクロン以下の場合を対象とすると、応用できる接続法の種類はかなり限定されてくる。更に接続部に導電性を要求する場合には応用できる接続法は図1に示す程度に限られてしまう。同図の接続法のなかで、ろう接法は有史以来用いられてきた⁽¹⁾にもかかわらず、技術的に十分な検討がなされないまま、融接などの他の接続法に比べて信頼性が低いとみなされていた。しかし、印刷回路板の驚異的な普及に伴って軟ろう接、いわゆるはんだ付が圧

倒的な使用実績を積むこととなり、他の電子部品の接続にもその用途が拡大することとなった。用途拡大につれて、信頼性⁽²⁾を含む実用面での技術の進歩⁽³⁾は目覚ましいものがある。

ろう接法が他の接続法と根本的に異なる点は、「ろう材の表面張力を利用して、被接合物間の間隙を毛細管力によって溶融ろうで満たす」というろう接の定義⁽⁴⁾にも見られるように、溶融ろうの表面張力を最大限に利用する点にある。間隙を自動的にろうが満たす現象は、他の接続法の場合は、高級な制御用ロボットを利用しても困難な作業を、自然力を利用して無償で行なえるというように理解できよう。このようなろう接の特異性を非常に巧妙に利用した新技術として、高密度接続端子間のピッチのずれの修正及び継手間隙を所定の値にするのを、はんだの表面張力を利用して自動的に行なわせるというIBM社開発のControlled Collapse Bonding Process (以下、CCB法と略す)がある。

本稿は、同じくはんだの表面張力を最大限に活用して、高密度で配列された接続端子を、はんだ極細線を置きろうとして一括接続する技術を紹介するものである。本法はいわゆるリフロー ソルダリングの範ちゅうに入るものである。

2 はんだ極細線を用いた高密度配線の一括リフロー ソルダリング法

2.1 めっき法による従来のリフロー ソルダリング法

従来から広く行なわれてきたリフロー ソルダリング法⁽⁷⁾⁽⁸⁾は、図2に示すように接続端子の継手を形成する部分に前もってはんだめっきを施しておき、正しく重ね合わせてから適当な熱源で加熱して、はんだめっきを溶融させて継手を形成する方法である。めっき方法としては、浸せきめっき（いわゆるどぶづけ法：Tinning）や、電気めっき、化学めっき、リフローなどが採用されている。熱源としては、赤外ランプ、電気炉、こて、熱風炉などが主として用いられている。

めっき法によるリフロー ソルダリングの長所は、接続端子へのはんだの供給を改めて行なう必要がないことであり、短所は、めっき厚さを所定の値に管理するのが容易でないこと

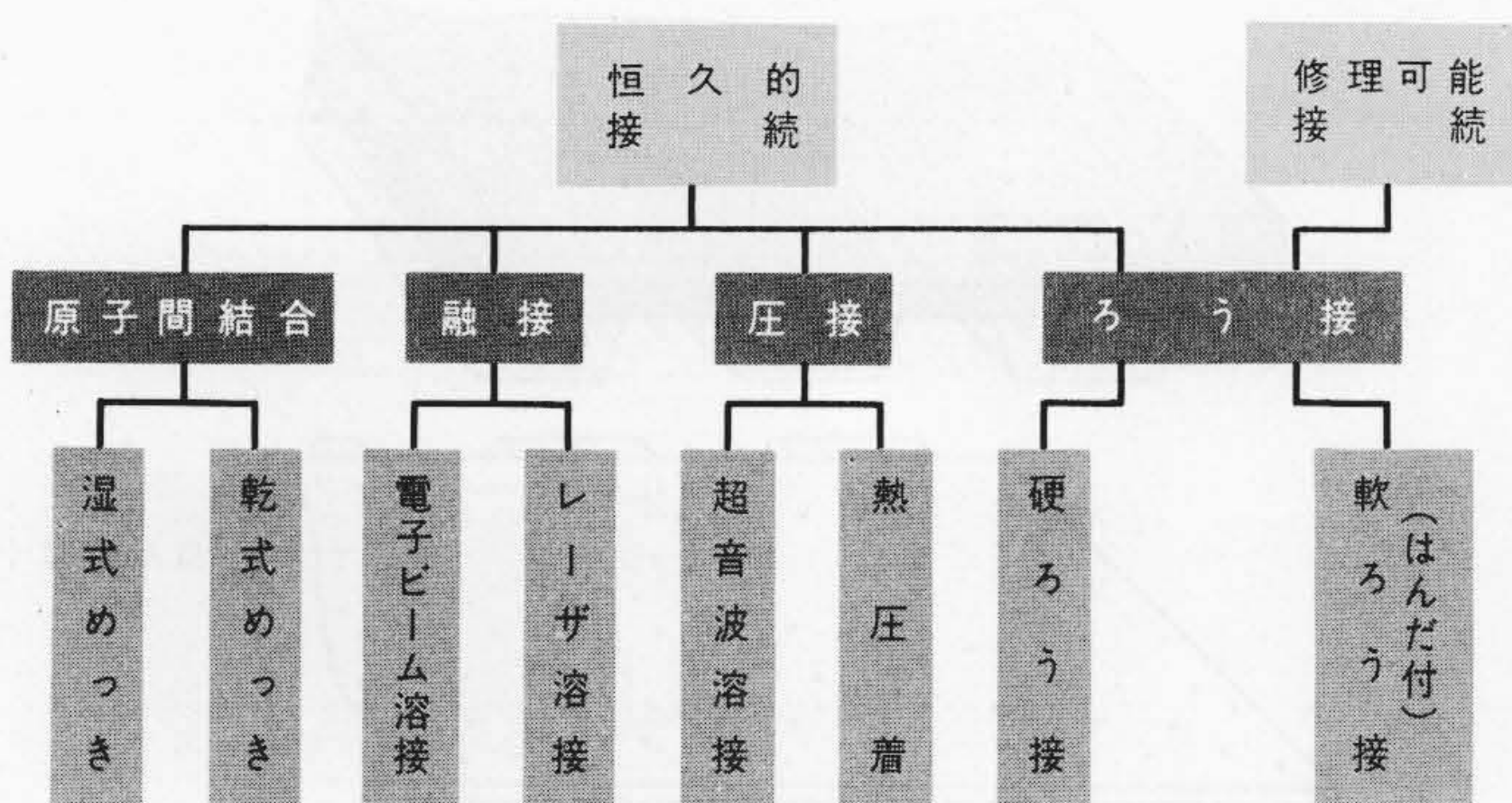


図1 微小接続に利用できる接続法 溶接に重点を置いて表現した。湿式めっきとしては電気めっきや化学めっき、また乾式めっきとしては真空蒸着、イオンめっきなどが代表的である。

Fig. 1 Various Bonding Methods Applicable to Micro-Connections

* 日立製作所日立研究所

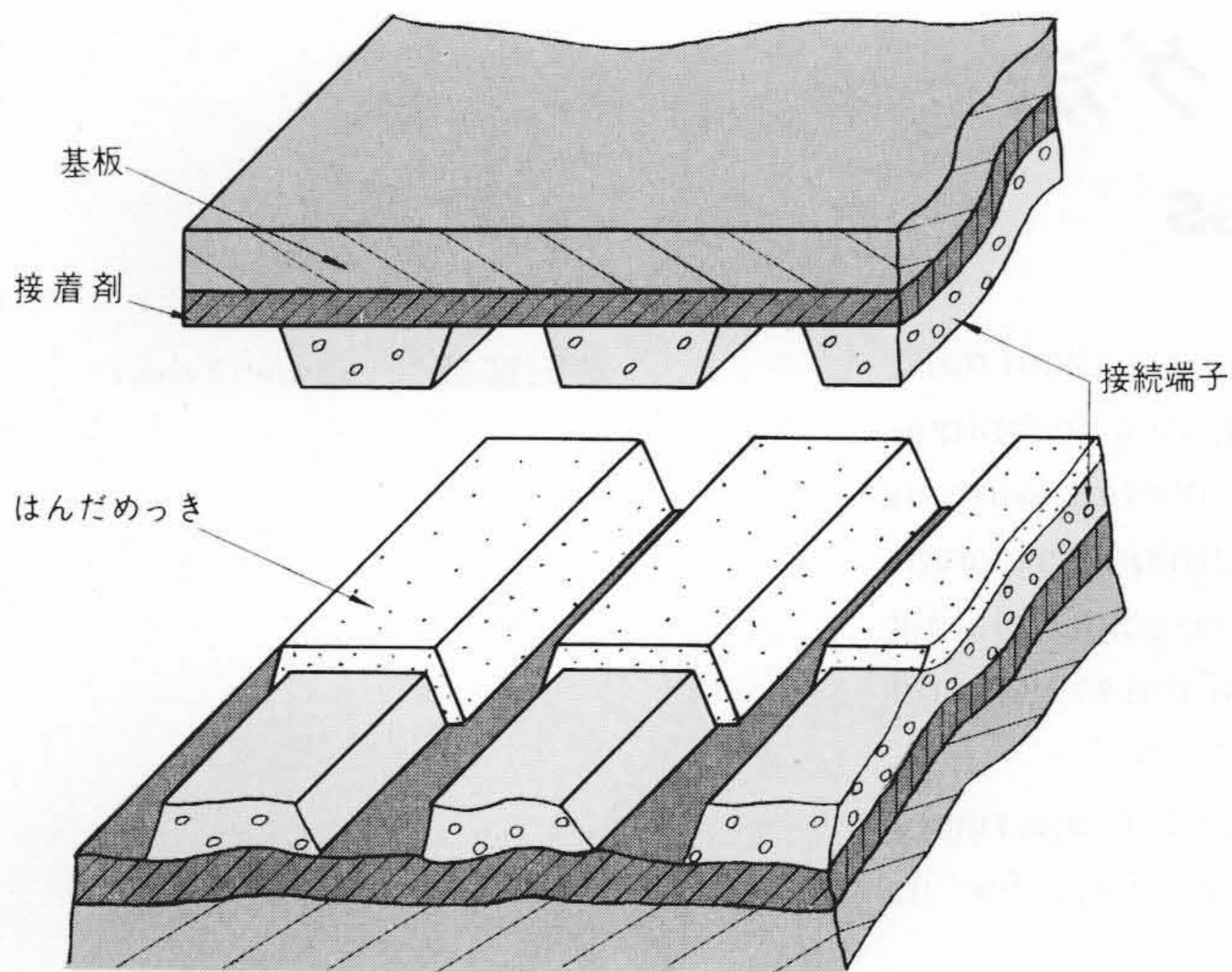


図2 はんだめっきを、置きはんだとして使う従来のリフロー溶ダリング法 銅張積層板を対象として示したものであるが、セラミックやガラスを基板として用い、接着剤は中間メタライゼーションに置き代わる場合も多い。

Fig. 2 Former Reflow Soldering Process Utilizing Solder Plating as Solder Preform

である。

めっき厚さの管理は、リフロー溶ダリングの成否に直接影響があり、めっき厚さが過剰であると隣接する接続端子がはんだでつながるいわゆるブリッジ欠陥を発生する。めっき厚さが薄すぎるとはんだ量が不足して適正な継手間隙が得られず、接合力不足を生ずる。この間の事情は図3に示すように明らかであり⁽⁸⁾、接続端子間のピッチが小さくなるほどめっき厚さの管理が厳密さを要求されることになる。しかしながら、めっき作業における厚さの管理は、はんだめっきされる接続端子のピッチが小さくなるほど困難になることはよく知られた事実である。そこで、めっき法を用いないで高密度配線のリフロー溶ダリングを行なう技術の開発が望まれていた。

めっき法を使わないとすれば、従来知られたものとしては、はんだクリームを印刷法を用いて供給する方法、はんだをマスク蒸着する方法、ボール状のはんだを治具を用いて供給する方法などがあるが、いずれもピッチ数百ミクロンの高密度配線の場合は、はんだ量と供給位置の精度の点で複雑な作業となり実用性に乏しい。

2.2 はんだ極細線を用いるリフロー溶ダリング法

接続端子ごとに一定量のはんだを供給することにより、作業の複雑化を避ける方法として、図4に示す方法を開発した。すなわち、高密度に配列された接続端子上にはんだの極細線をこれらの接続端子と交わるように置いて、置きはんだ法によるリフロー溶ダリングの方式を採用するわけである(図4(a))。一見同じように見えるが、同図(b)に示すようにはんだはくやはんだクリームを供給する場合にはブリッジを形成してしまう。

はんだの極細線を用いた場合にのみブリッジを発生しない原因について、図5により現象を追って説明する。同図(a)は、小さいピッチで数多く並んだ接続端子上に、はんだの極細線が置かれた場合の部分図である。分かりやすくするために端子は2個だけ示されている。必要に応じてフラックスを添加した状態で加熱すると、はんだが溶融して接続端子を構成す

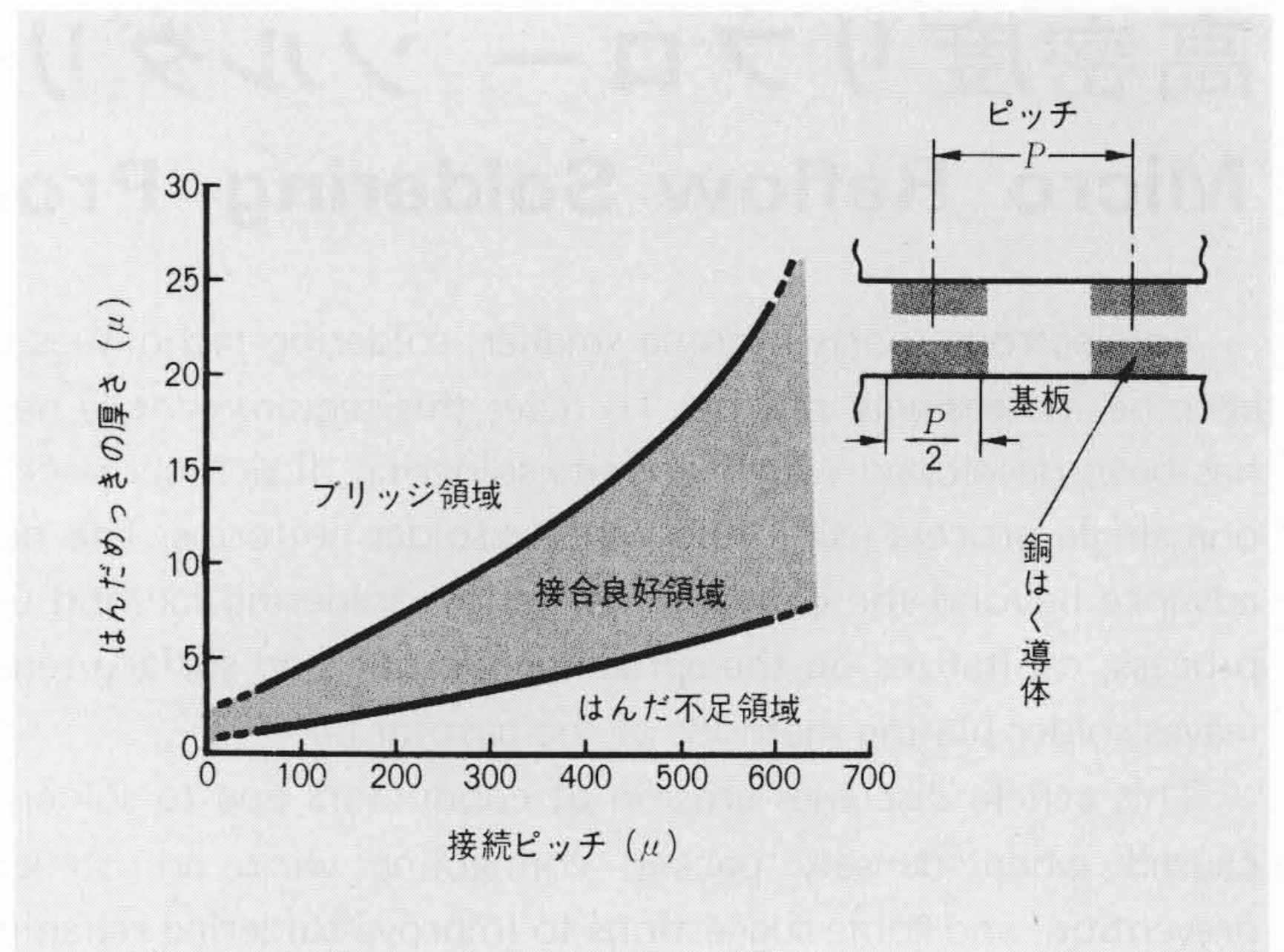


図3 めっき厚さと接合性との関係⁽⁸⁾ はんだめっきの厚さとリフロー溶ダリング後の接合部の欠陥との関係を示したもので、良好な接合を得るためには、めっき厚さを厳密に管理する必要があることが分かる。

Fig. 3 Relations between Thickness of Solder Plating and Bondability

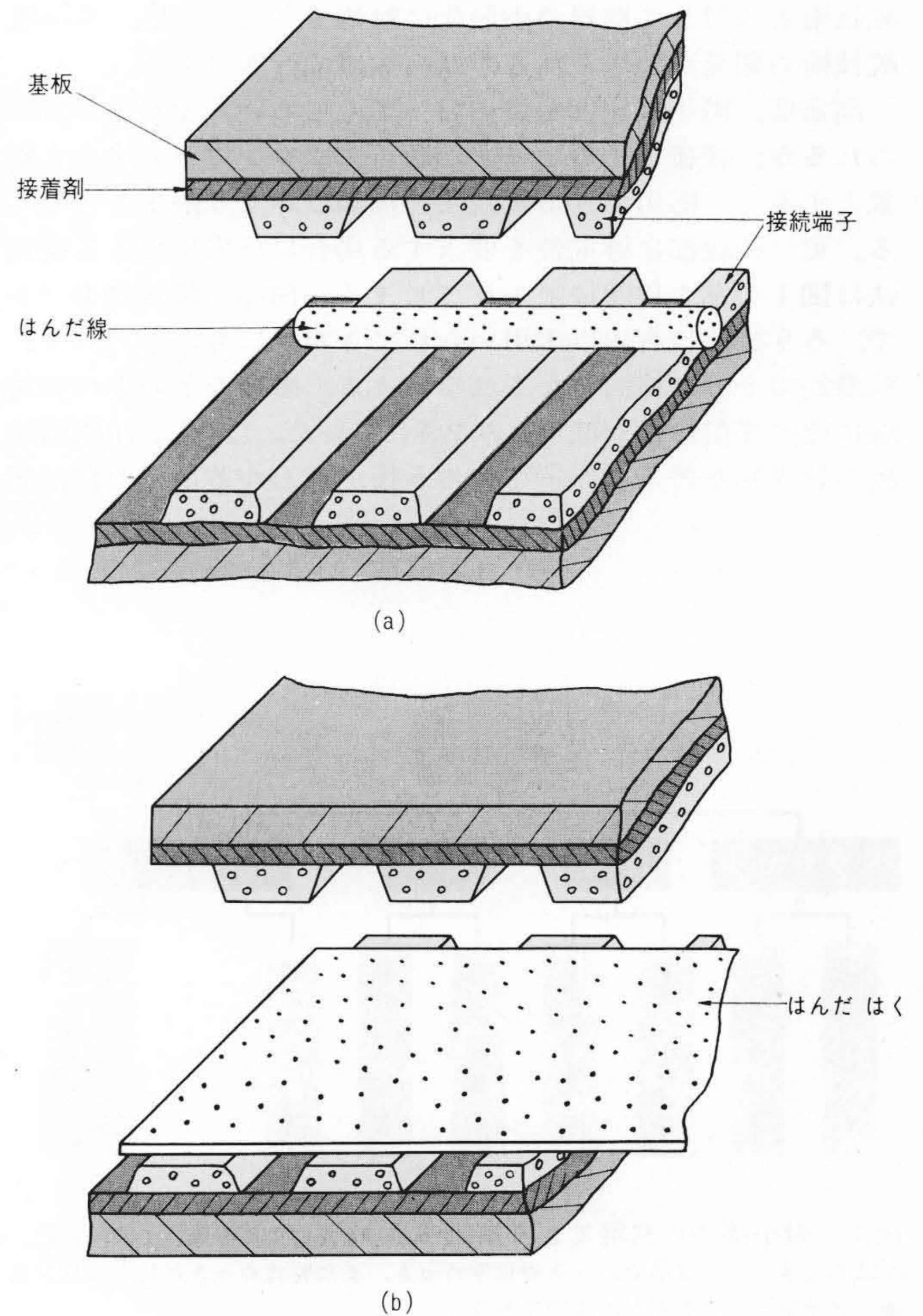


図4 新しいリフロー溶ダリング法 (a)は筆者らが開発した高密度配線の一括リフロー溶ダリング法におけるはんだ極細線の置き方を示し、(b)は従来試みられて失敗していたはんだはくの場合を示す。

Fig. 4 New Reflow Soldering Process Developed by the Author

る金属との親和力によってぬれが生じ、同図(b)のように接続端子上を広がり始める。更に時間の経過とともに同図(c)のように接続端子上をはんだがぬれて広がってゆくと、接続端子間に存在するはんだ量は減少してくびれが生ずる。このくびれが、接続端子間のはんだ量の減少に伴って細くなり、表面張力のために不安定状態に達すると同図(d)のように分離して、最終的には溶融はんだの表面張力でつらら状の突起も消滅し、ブリッジの発生は見られない。

図5において説明した現象、すなわちブリッジを発生しない条件は、図4(b)に示したように接続端子の全部、又は大部分をはんだのはくやペーストで覆う方式では得られないので、既述したようにブリッジを発生してしまう。

はんだ極細線を使用する場合、上述のブリッジを生じない条件を満たすためには、接続端子の寸法とはんだ極細線との間に一定の関係が必要であることが分かった。接続端子のピ

ッチを P 、接続端子の長さ又は重ね代を L 、はんだ極細線の線径を D とすれば、接続端子の幅が $0.45P \sim 0.10P$ の範囲で次の実験式が得られた(単位はすべて μ である)。

$$3.16 \times 10^{-2} \sqrt{P \cdot L} \leq D \leq \frac{P}{2} \cdot e \times p \{2.76 \times 10^{-3} (L - 1,000)\} \cdots (1)$$

(1)式は P が $1,000\mu$ 以下、 L が $5,000\mu$ 以下で成立することが確かめられている。(1)式の関係を重ね代 $1,000\mu$ の場合について図示したのが図6である。重ね代が変わった場合についても同様な結果が得られることは自明であろう。

ピッチ 300μ 、接続端子の長さ 800μ 、はんだ極細線の径 150μ の場合について図7に示す加熱温度曲線でリフローソルダリングした場合の断面を、図8に示す。同図から、ブリッジがないうえに、各接続端子にはんだが均等に分配され、理想的な接合状態にあることが認められる。図9は接合部の顕微鏡組織を示すが、はんだと被接合物(以下、母材と呼ぶ)

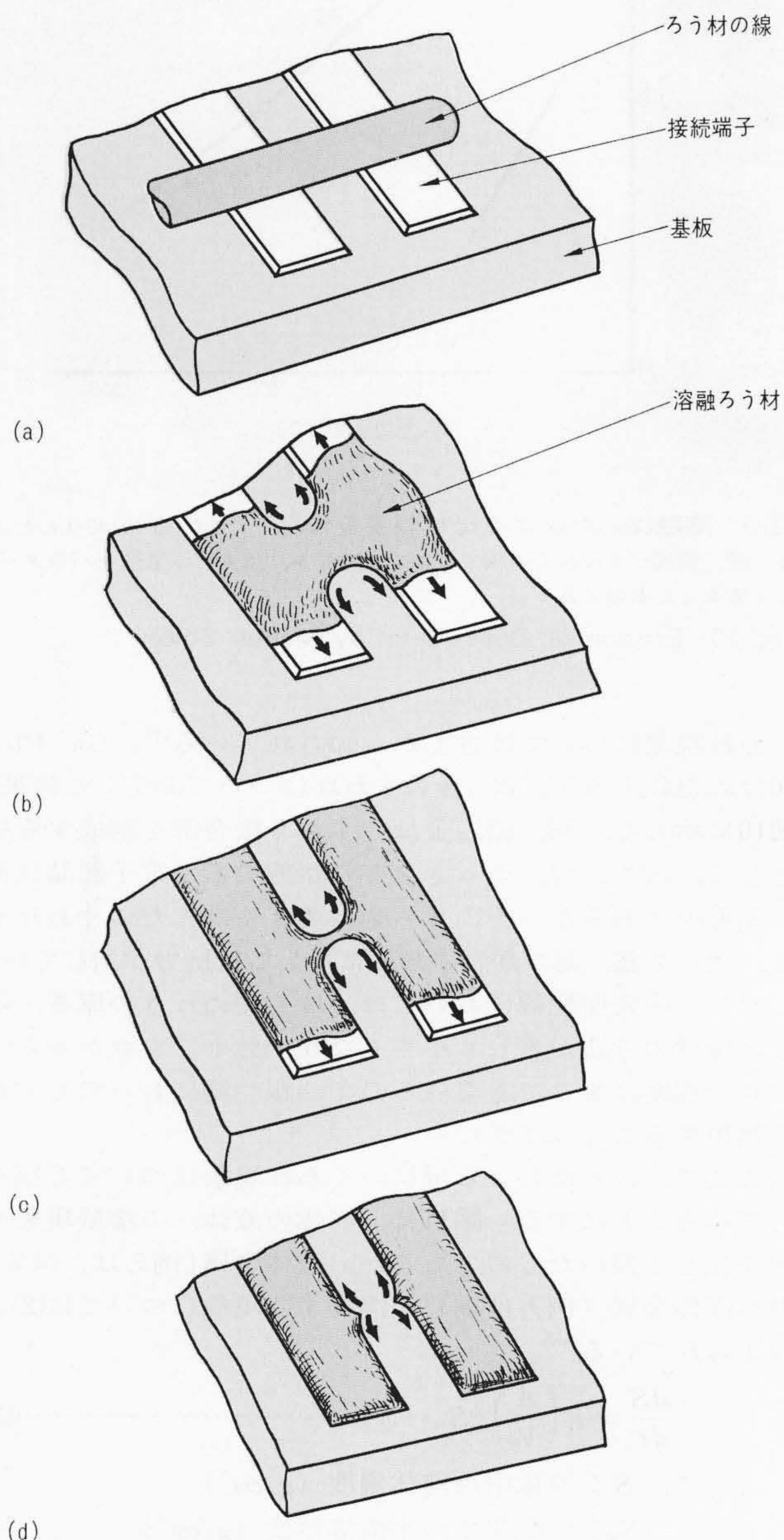


図5 新しいリフローソルダリング法の原理 はんだ極細線を用いる一括リフローソルダリング法においてブリッジを発生しない理由の説明である。筆者らは本法をCFB(Controlled Flow Bonding)と名付けている。

Fig. 5 Principle of Newly Developed Reflow Soldering Process

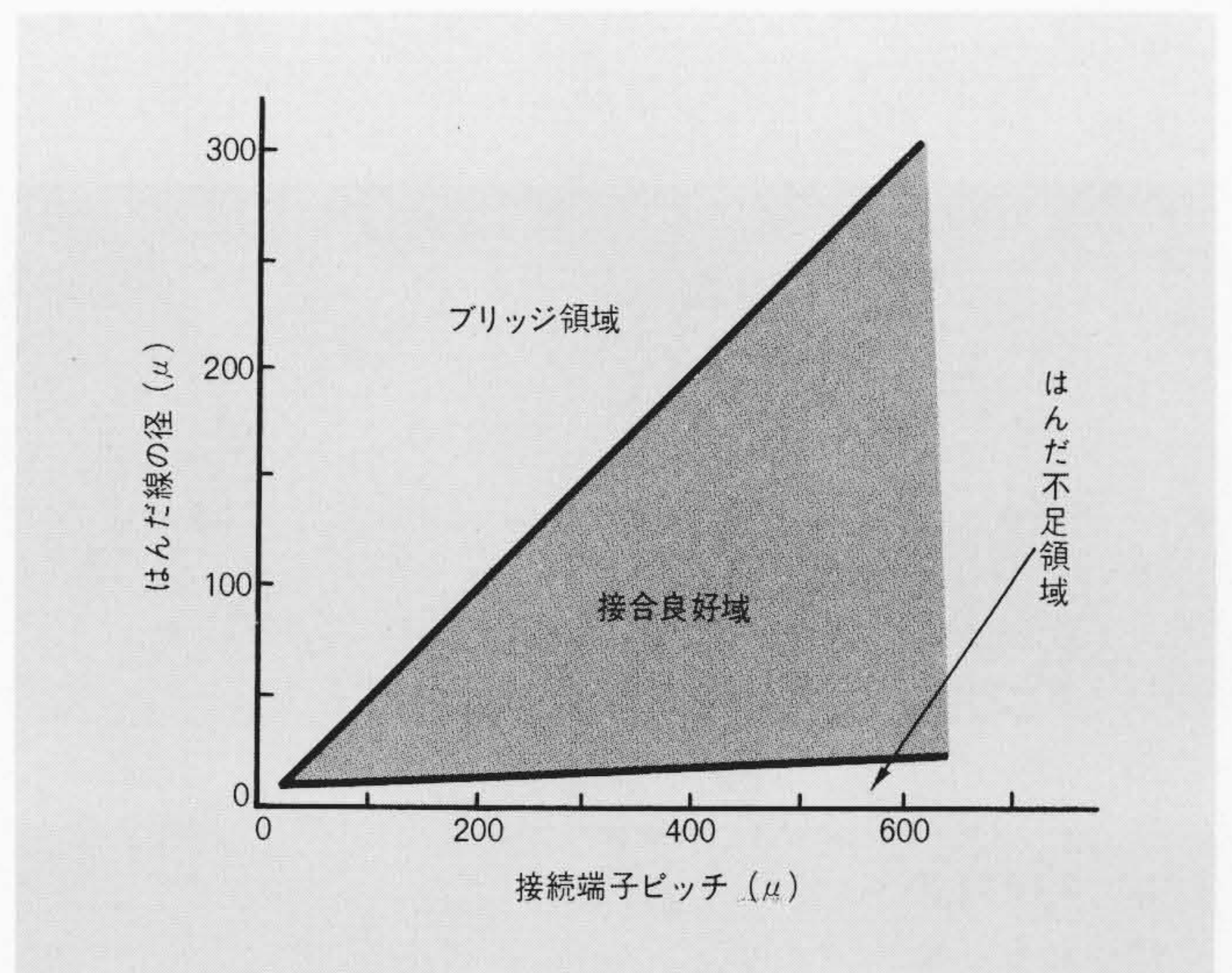


図6 はんだ極細線の径と接合性との関係 はんだ極細線の線径とリフローソルダリング後の接合部の欠陥との関係を示したもので、図3に対応する。

Fig. 6 Relations between Diameter of Solder Fine Wire and Bondability

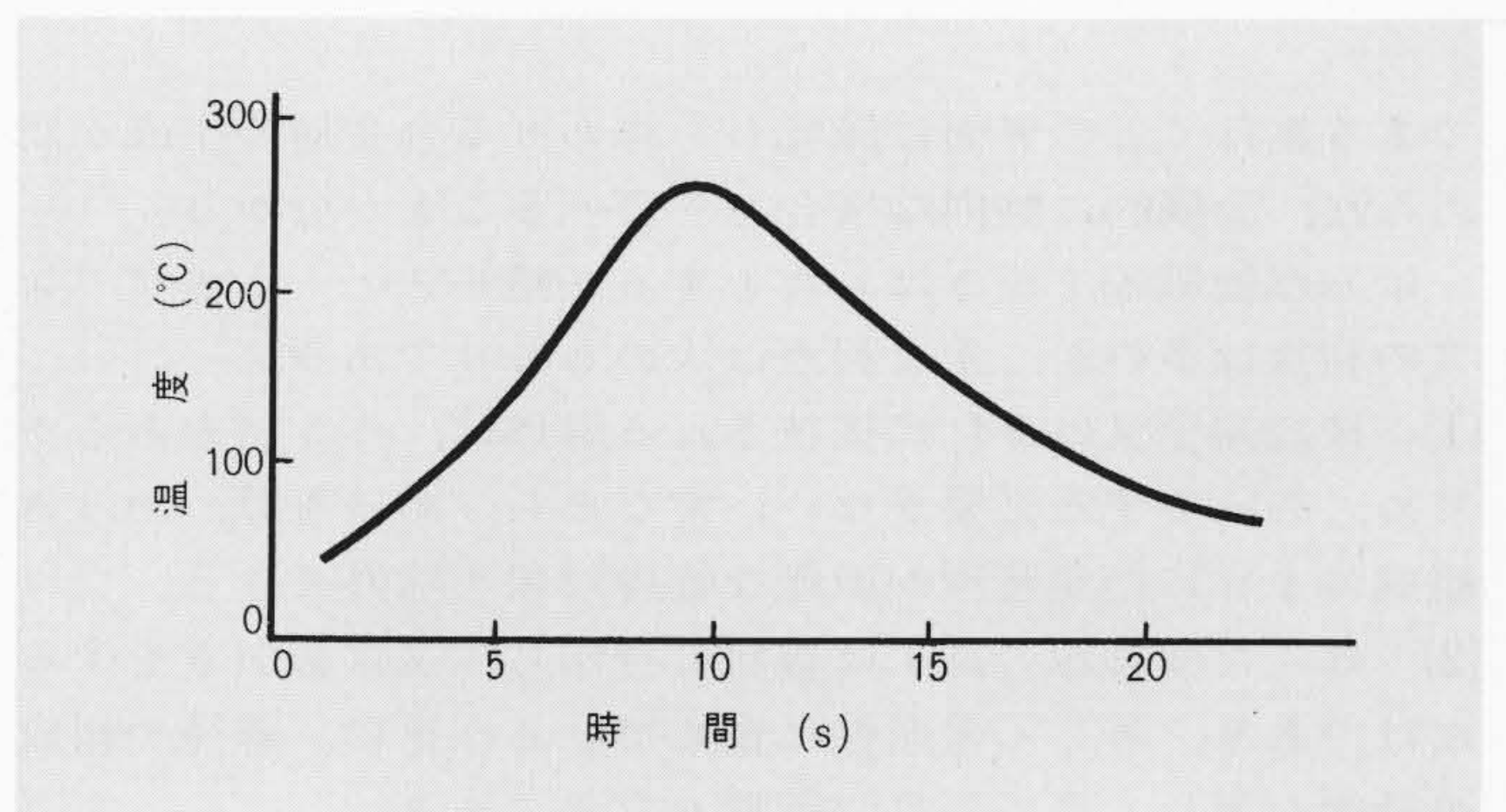


図7 リフローソルダリングにおける接合部の温度曲線 はんだ極細線を用いた一括リフローソルダリング法を実施する場合の加熱温度曲線の一例を示す。本法を実施する場合、加熱速度を極端に小さくするのは好ましくない。

Fig. 7 Temperature Profile of Soldered Joint in Reflow Soldering Operation

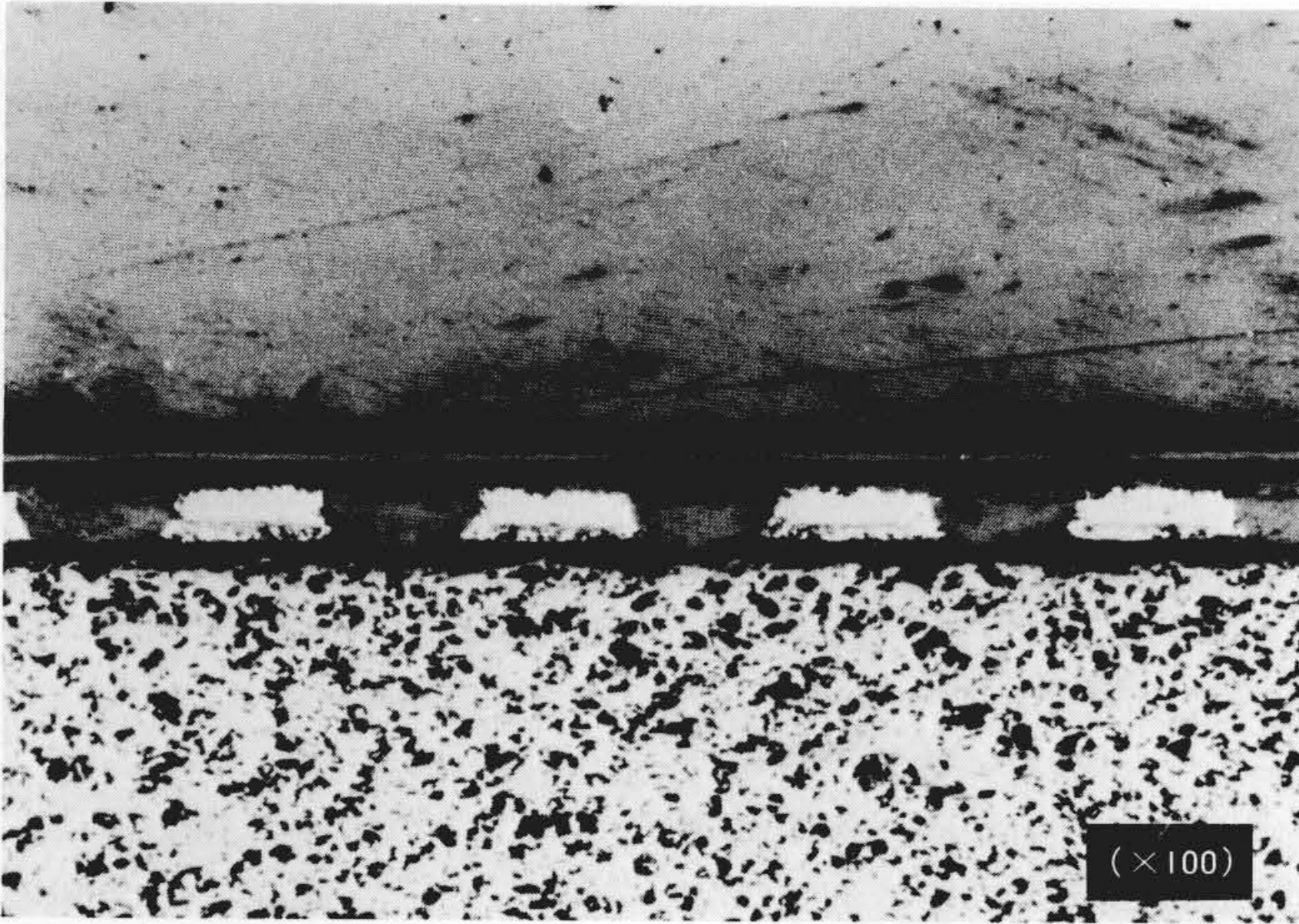


図8 新しいリフローソルダリング法による接合部の断面写真はんだ極細線を用いた一括リフローソルダリング法によって、ブリッジのない均等なはんだの分配がなされることを示す。

Fig. 8 Cross-Section of Reflow Soldered Joints by Newly Developed Process

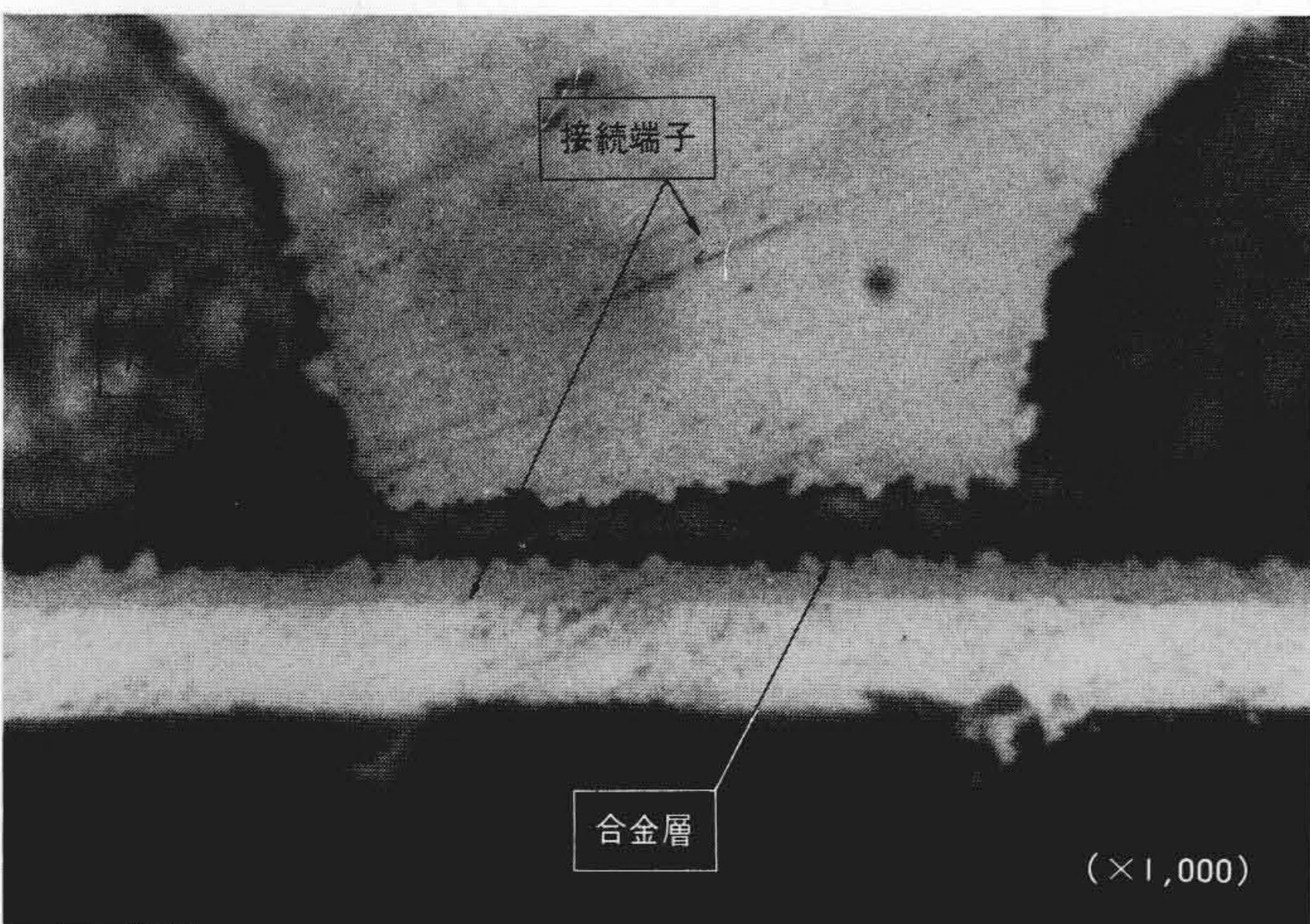


図9 新しいリフローソルダリング法による接合部の金属組織
接合部におけるはんだと母材のや金的反応によって生じた鐘乳石を思わせる合金層を示す。

Fig. 9 Metallurgical Microscopy of Reflow Soldered Joint by Newly Developed Process

である銅はくとの界面に鐘乳石を思わせる合金層の生成が認められ、金属的に強固な接合をしていることが分かる。

はんだ極細線を置きはんだとする一括リフローソルダリングの利点は多いが、主な利点は次のとおりである。

- (1) 接続端子又はそれに接続される導体に、ろう材をあらかじめ、めっきする必要がない。すなわち、めっき厚、めっき組成のように作業管理が困難な管理対象を除外できる。
- (2) はんだ極細線の加工は線状に押出し、又は線引きをするだけであり、著しく量産性に富んでいるうえに、線径や組成の精度が著しく良く、且つ管理が容易である。

3 はんだによる母材のくわれ

3.1 はんだによる母材のくわれ現象

はんだ付を行なう際に、多かれ少なかれ母材が溶融はんだ中に溶解して浸食作用を受けること、いわゆるはんだによる

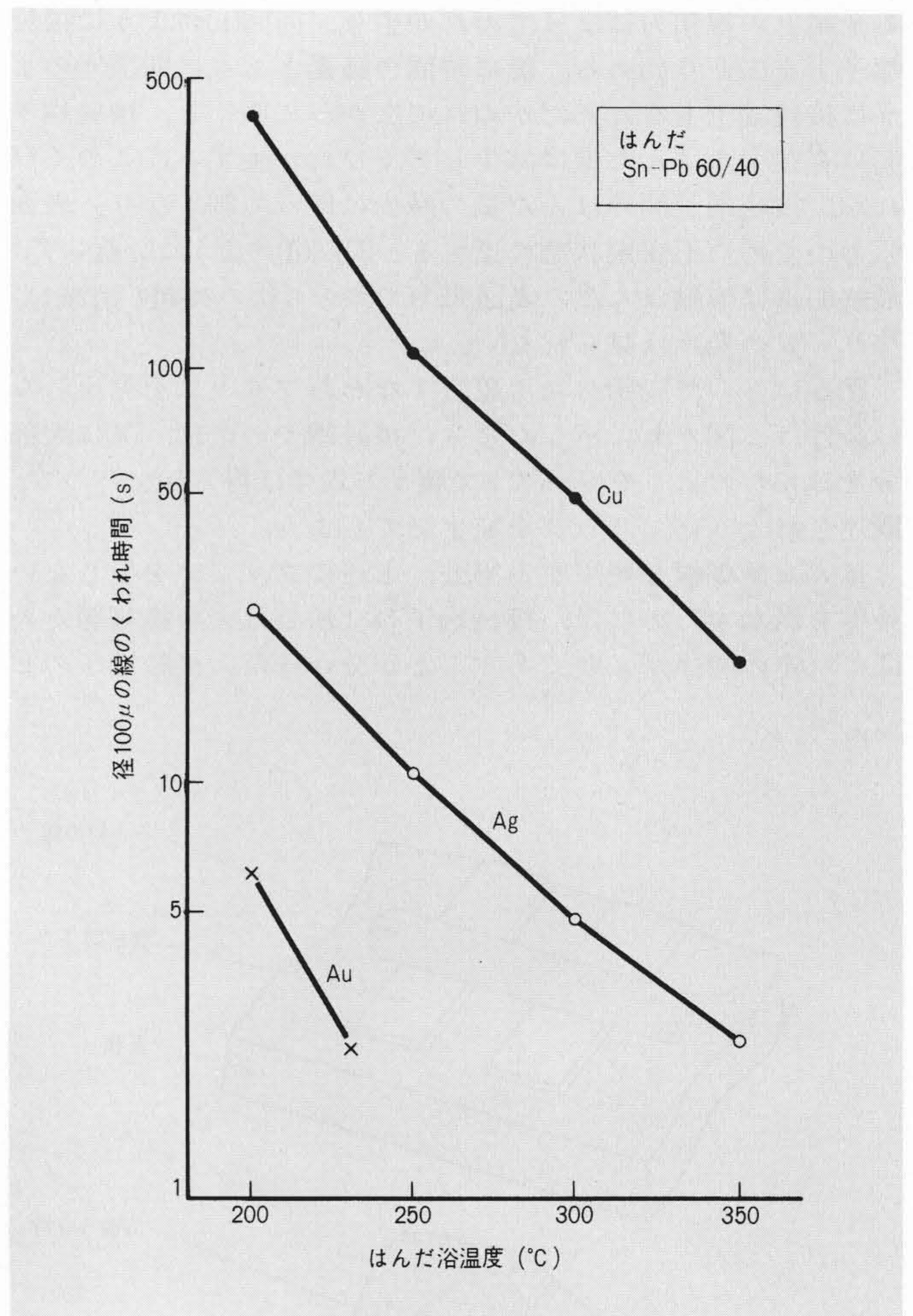


図10 溶融はんだによる母材の浸食作用 Sn-Pb 60/40はんだにより金、銀、銅線がくわれて断線するまでの時間を、はんだ浴温度をパラメータとして実測したものである。

Fig. 10 Erosion of Base Metal by Molten Solder

くわれ現象については古くから知られている⁽⁹⁾。Sn-Pb 60/40はんだによる銅、銀、金のくわれについて測定した結果を、図10に示した。銅、銀、金はいずれも接合部を構成する材料として、はく、線、めっきなどの状態で広く電子部品に使われるものであるが、そのうち金は著しくはんだにくわれやすく、次いで銀、銅の順にくわれに対して抵抗力が増している。しかし、高密度配線においては、はくやめっきの厚さ、線径など母材の寸法が著しく小さくなり、数十ミクロンから一ミクロン程度になってきているので、銀や銅においてもくわれを無視することはできない。

ここで、はんだによる母材のくわれ現象について考察を加えてみることにする。図11は、固体の液体への溶解現象をモデル化して描いたものであるが、液体金属(例えば、はんだ)中へ固体金属(例えば銅)が溶解する現象については(2)式が与えられている⁽¹⁰⁾。

$$\frac{dS}{dt} = K \left(\frac{A}{V_0} \right) (S_0 - S) \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 S ：液体中の固体濃度 (g/cm^3)

S_0 ：温度 T での平衡溶解度 (g/cm^3)

K ：比溶解速度恒数 (cm/s)

A ：固液界面の面積 (cm^2)

V_0 ：液体の体積 (cm^3)

t ：時間 (s)

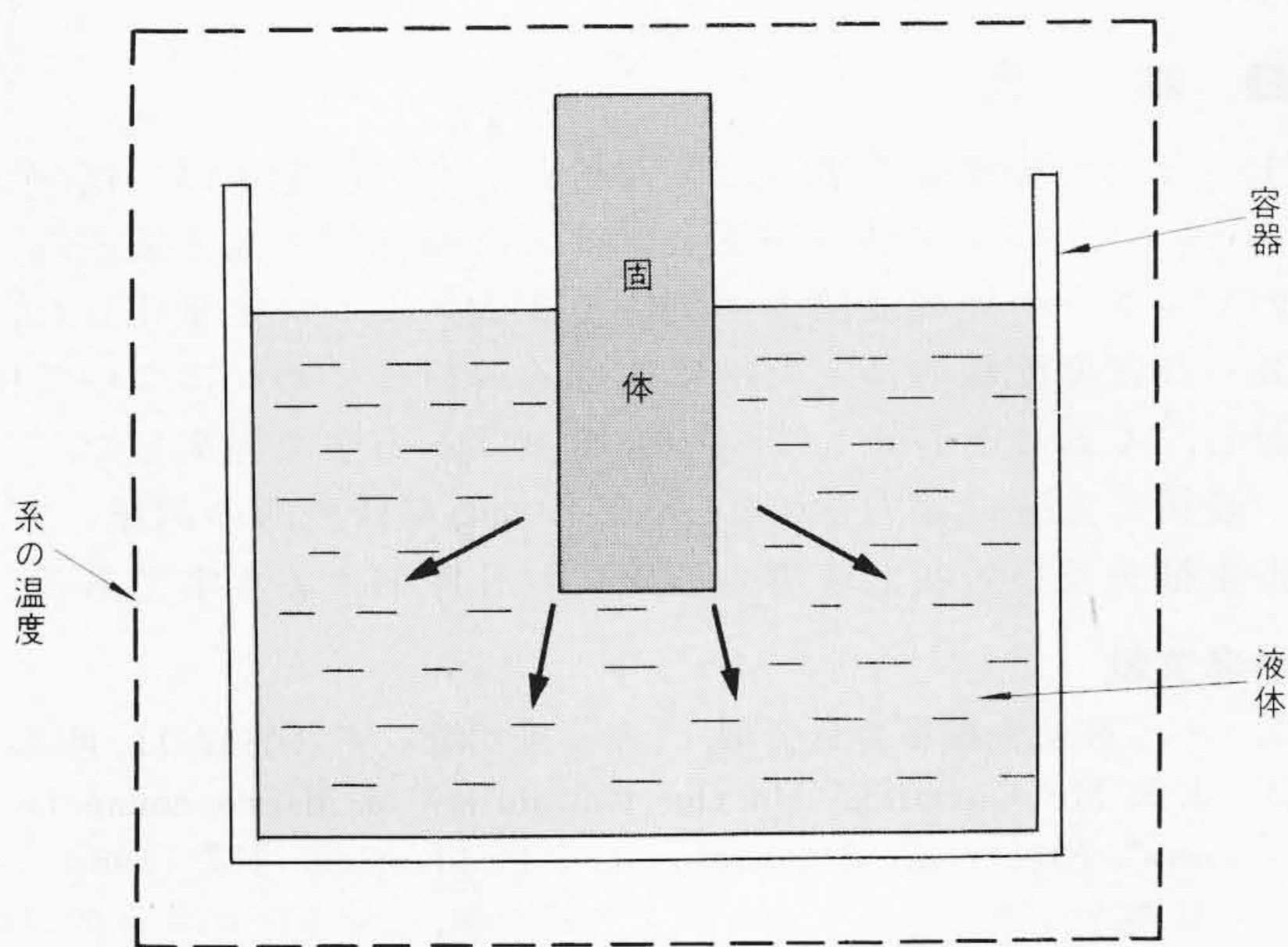


図11 固体の液体への溶解現象の模型図 はんだによる母材のくわれ現象の基礎をなす固体の液体中への溶解現象についての(1)式を考えるための参考として示した。

Fig. 11 Schema of Solution Phenomenon of Solid into Liquid

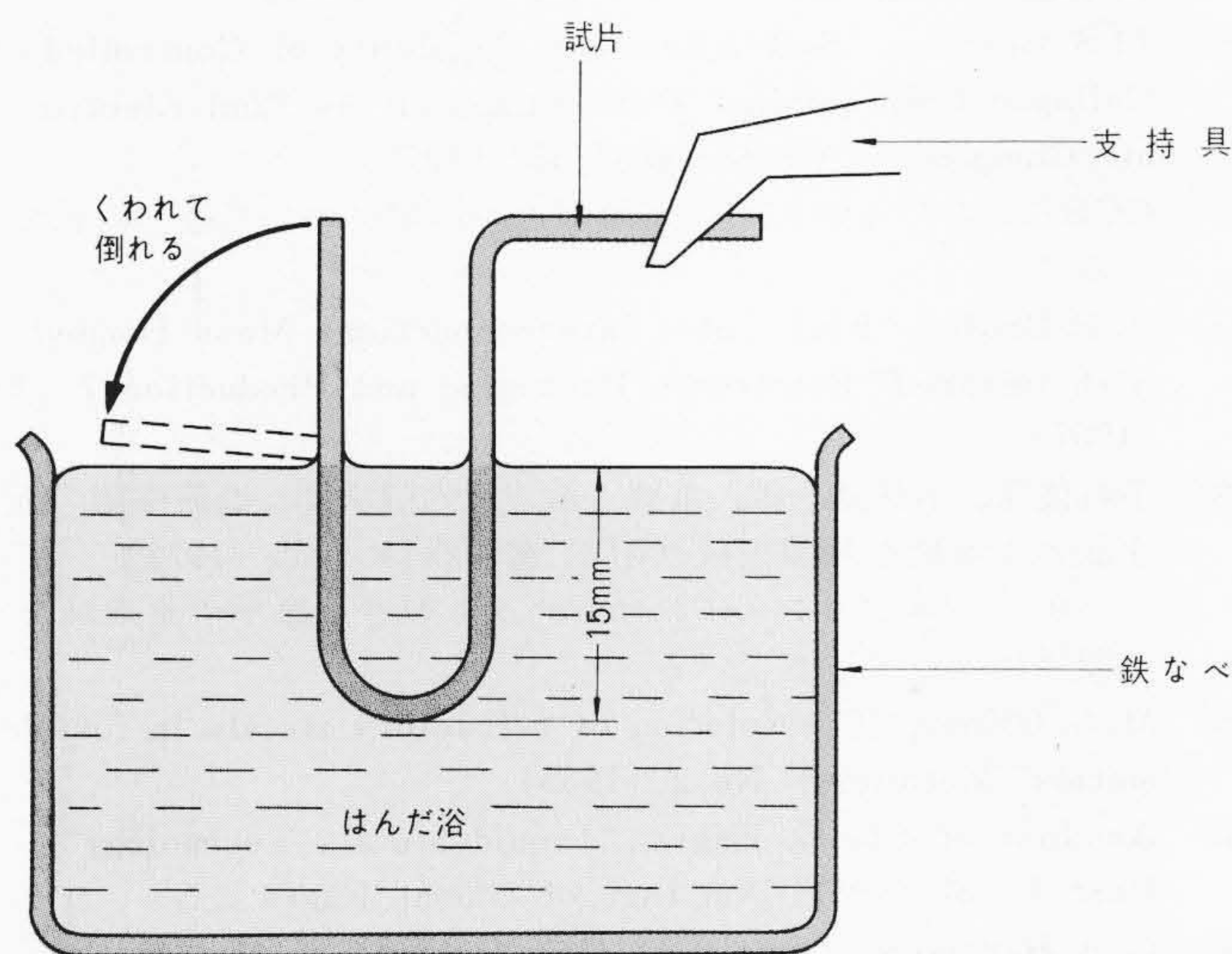


図12 溶融はんだによる銅細線のくわれ測定法⁽¹¹⁾ 簡単ではあるが、かなり高精度の実験ができることを確かめた。はんだ中には、あらかじめ所定の量の銅を添加しておき、銅細線にはフラックスを塗布して浸せきする。

Fig. 12 Apparatus for Measurement of Erosion Time of Copper Fine Wire by Molten Solder⁽¹¹⁾

(2)式から溶解速度 $\frac{dS}{dt}$ は $(S_0 - S)$ に比例するので、始め液体金属中に固体元素を溶解して $(S_0 - S)$ の値を小さくしておけば、固体が液体金属中へ溶解する速度を小さくすることが予想される。すなわち、銅をはんだ付する場合、銅をあらかじめはんだの中へ適当量添加しておけば、銅がはんだにくわれるのを抑えることができると考えられる。

はんだの中へあらかじめ銅を添加しておいた場合の効果について調べた結果を、図12および図13によって説明する。図12は実験方法について述べたもので、銅線を図示のように成形してからはんだ浴中に浸せきし、銅線が浸食されて倒れるまでの時間を測定し、くわれるのに要する時間とした。結果は図13に示したとおりで、あらかじめはんだ中に銅を添加しておくと、著しくくわれが低減されることが明らかである。はんだ中に銅を添加すると、はんだの融点が上昇するので用途に応じて添加量を加減する必要がある。

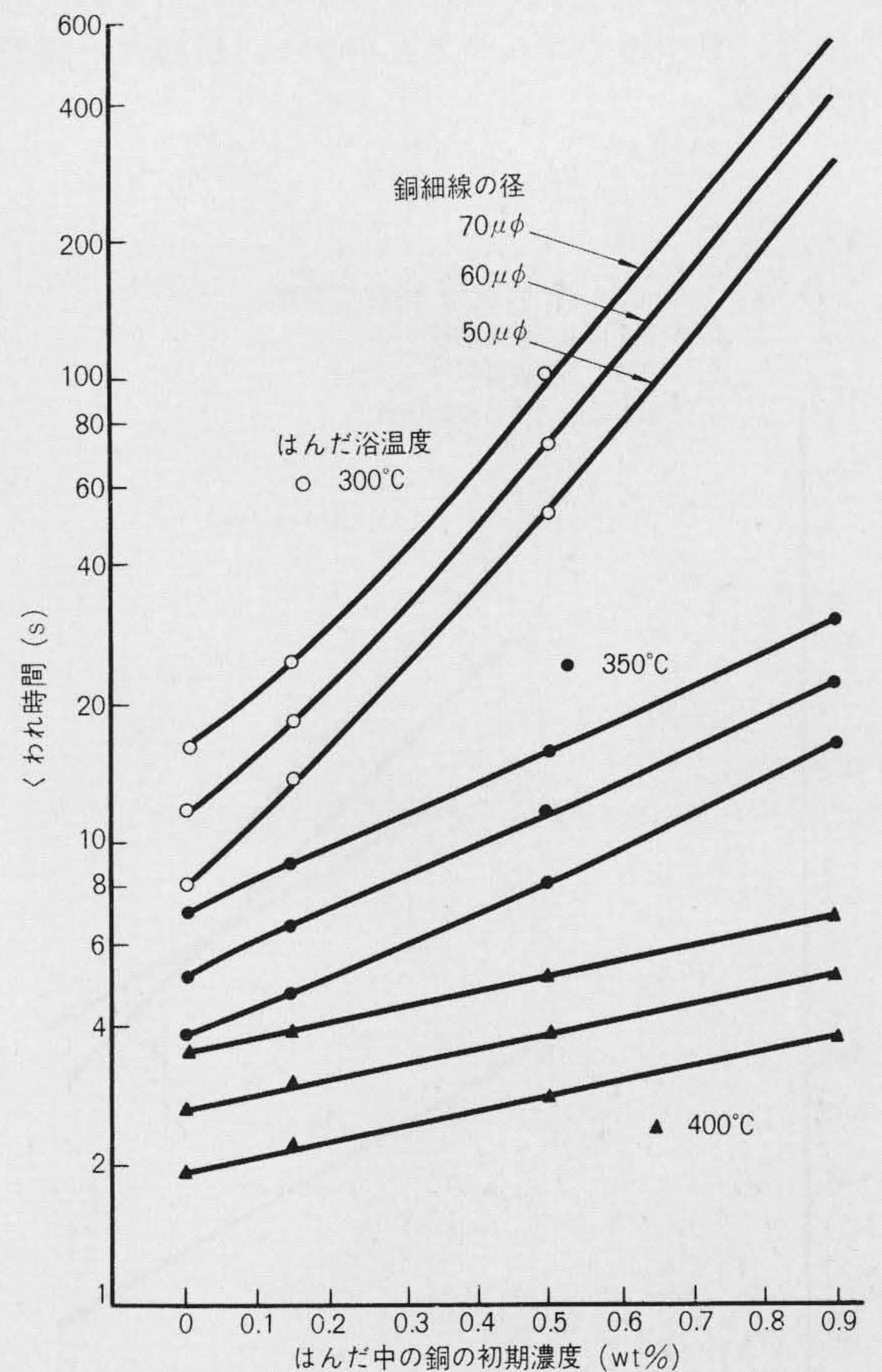


図13 溶融はんだに添加した銅が銅細線のくわれに及ぼす影響 溶融はんだ中に、あらかじめ銅を添加しておくことで著しく銅細線がくわれにくくなっていることが分かり、理論式(1)の実用性を支持している。

Fig. 13 Effect of Copper Content in Molten Solder on Erosion of Copper Fine Wire

はんだ中への銅の溶解現象について、やや詳しく考察するために(2)式を測定できる諸元で表わし微分方程式を解くと、

$$K = \frac{M\rho}{\beta\lambda t_E} \tan^{-1} \left(\frac{\lambda}{\beta} r_0 \right) \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{ここで、} \beta = \sqrt{C_S - \frac{\pi\rho MHr_0^2}{V_0}}, \quad \lambda = \sqrt{\frac{\pi\rho MH}{V_0}}$$

(3)式が得られる。 M ははんだの分子量と銅の原子量の比、 ρ は銅の密度とはんだの密度との比、 t_E はくわれ時間(s)、 r_0 は銅線の径(cm)、 C_S は S_0 をモル分率で表わしたものの、 H は銅細線のはんだ中に浸せきされた部分の長さである。いろいろな温度で測定した t_E について求めた K を、温度の逆数に対してプロットすると図14に示したように直線が得られる。直線のこう配が液体中での銅の拡散係数のそれに近いことから、はんだによる銅のくわれは、溶融はんだ中での銅の拡散が律速過程になっているものと考えられる。

3.2 銅入りはんだの効果

銅が0.5%入ったSn-Pb60/40はんだ及び銅を含まないSn-Pb60/40はんだを使って、約1μの厚さの銅蒸着膜から成る接続端子に、はんだ極細線による一括リフローソルダリングを行なった場合の接合部の電気抵抗を測定した結果が図

15である。銅をあらかじめはんだ中に添加しておくことで銅蒸着膜がはんだによってくわれるのが防がれるため、電気抵抗が小さく、且つそのばらつきも小さく、信頼性が高くなることが分かる。

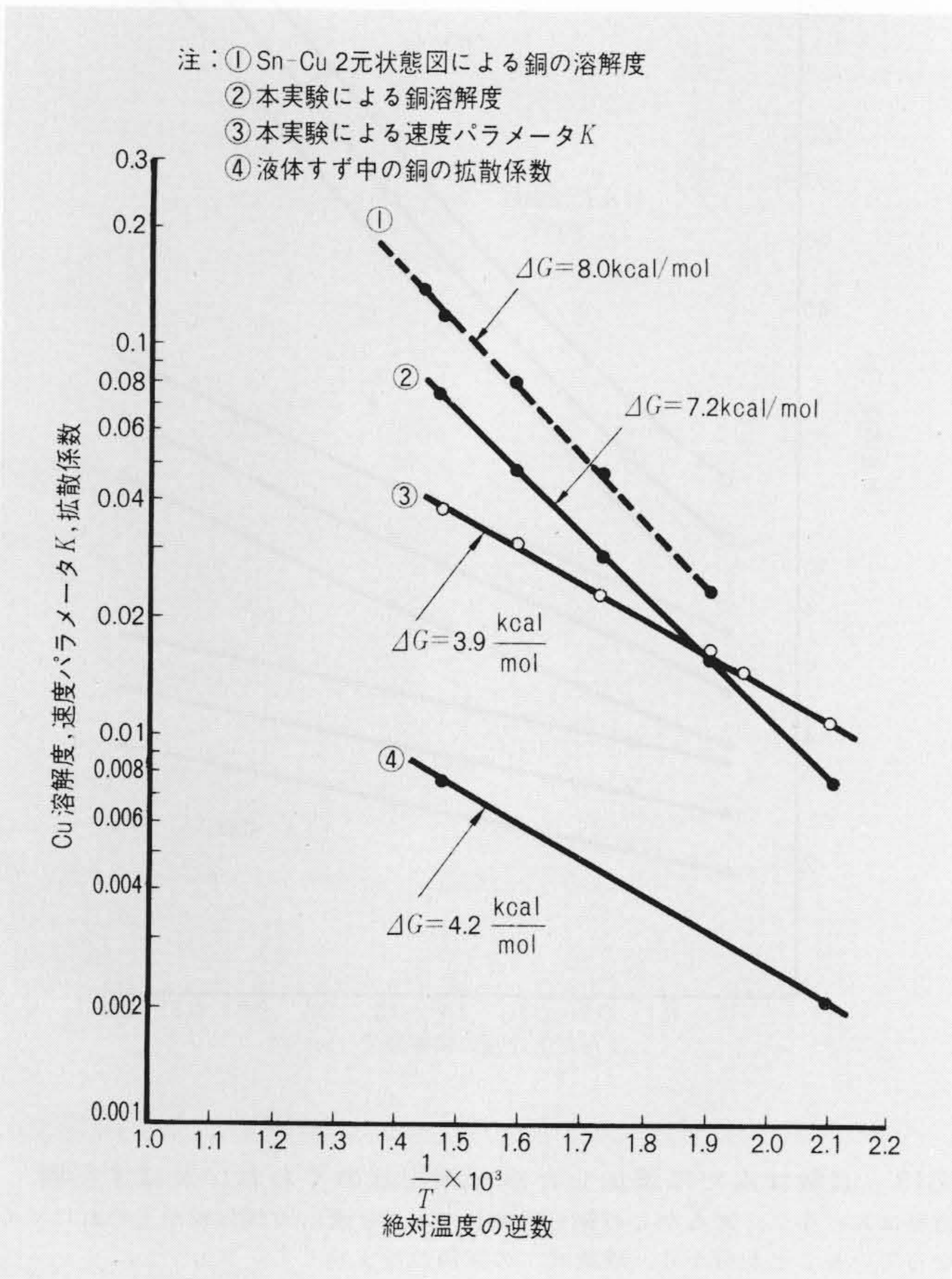


図14 各種パラメータと絶対温度の逆数との関係 各種パラメータの相互関係は、直線のこう配から求められる反応の活性化エネルギーの比較から推定できる。

Fig. 14 Relations between Various Parameters and Inverse of Absolute Temperature

4 結 言

- (1) はんだ極細線を置きはんだとした高密度配線の一括リフロー溶ダリング法を開発し、はんだ極細線の径と接続端子のピッチその他の寸法との関係を(1)式のように定量化した。
- (2) 高密度配線のはんだ付における母材のくわれについて検討し、くわれを防止して信頼性を上げる方法を提案した。

最後に実験に協力された日立製作所日立研究所の沢畠 守、舟生征夫及び曾我太佐男の三氏に対し深謝する次第である。

参考文献

- (1) ろう接便覧編集委員会編, 「ろう接便覧」 4 (昭42-11, 産報)
- (2) J. E. Mc Cormick, "On the Reliability of Micro-connections", Electronic Packaging and Production, 187 (1968)
- (3) 日本マイクロエレクトロニクス協会編, 「マイクロエレクトロニクス実装技術便覧」 31, 236 (1973, 工業調査会)
- (4) American Welding Society, "Welding Handbook" section 2, Terms and Definitions/15 (1969, 6th edition)
- (5) P. A. Totta, "Flip Chip Solder Terminals" Proceedings of the 21st Electronic Components Conference, 275 (1971) CCB法の概説が分かりやすくまとめられている。
- (6) L. S. Goldman, "Self-Alignment Capability of Controlled-Collapse Chip Joining" Proceedings of the 22nd Electronic Components Conference, 332 (1972) CCB法におけるはんだの表面張力の作用について述べられている。
- (7) A. P. Broyer, "Flex Cable Interconnections Mass Bonded with Infrared" Electronic Packaging and Production 7 29 (1967)
- (8) 小林俊彦, 上林鉄三郎, 市岡 敏, 竹内信次郎, 松島幸徳「新手法による微小細線接続技術」, 電子材料 135 (1972) リフロー溶ダリングにおけるめっき厚さと継手の出来具合の関係について述べている。
- (9) M. G. OKnov, "The solution of refractory metals in fusible metals" Metallurg. No. 2 (1935)
- (10) Am. Inst. of Chemi. Engrs., "Liquid Metals Technology" Part I 67 (1957, Am. Inst. of Chemi. Engrs.)
- (11) C. A. Harrison, "Damage to Copper Wire by Molten Solder" Metal Progres 282 (1945) はんだによる銅細線のくわれについて簡単な実験データを提供している。

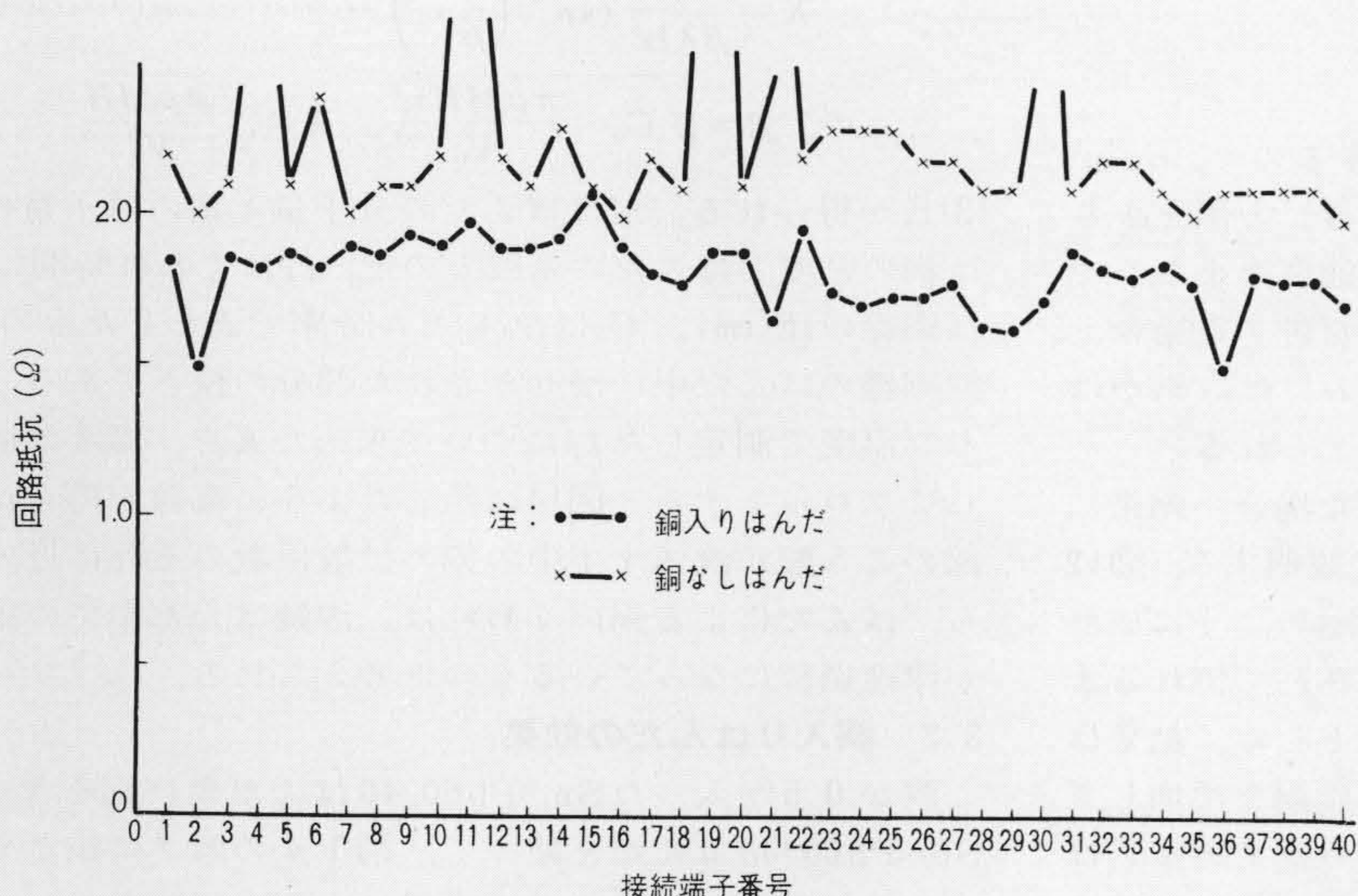


図15 継手の電気抵抗に及ぼす銅入りはんだの影響 銅入りはんだ極細線を用いて一括リフロー溶ダリングした継手の電気抵抗は、銅の入らないはんだ極細線を使った場合に比べてばらつき、平均値ともに小さく信頼性が大である。

Fig. 15 Effect of Copper Content of Solder on Electrical Resistance of Soldered Joints