

IPC-7530B-JP

2025 年 - 1 月

**量産はんだ付プロセス(リフローおよびウェーブ)のための
温度プロファイルガイドライン**

**IPC-7530A に優先する
2017 年 3 月**

*An IPC international standard developed by
the Global Electronics Association*

IPC Mission

IPC is a global trade association dedicated to furthering the competitive excellence and financial success of its members, who are participants in the electronics industry.

In pursuit of these objectives, IPC will devote resources to management improvement and technology enhancement programs, the creation of relevant standards, protection of the environment, and pertinent government relations.

IPC encourages the active participation of all its members in these activities and commits to full cooperation with all related organizations.

About IPC Standards

IPC standards and publications are designed to serve the public interest through eliminating misunderstandings between manufacturers and purchasers, facilitating interchangeability and improvement of products, and assisting the purchaser in selecting and obtaining with minimum delay the proper product for their particular need. Existence of such IPC standards and publications shall not in any respect preclude any entity from manufacturing or selling products not conforming to such IPC standards and publication, nor shall the existence of such IPC standards and publications preclude their voluntary use.

IPC standards and publications are approved by IPC committees without regard to whether the IPC standards or publications may involve patents on articles, materials or processes. By such action, IPC does not assume any liability to any patent owner, nor does IPC assume any obligation whatsoever to parties adopting an IPC standard or publication. Users are wholly responsible for protecting themselves against all claims of liabilities for patent infringement.

IPC Position Statement on Specification Revision Change

The use and implementation of IPC standards and publications are voluntary and part of a relationship entered into by customer and supplier. When an IPC standard or publication is revised or amended, the use of the latest revision or amendment as part of an existing relationship is not automatic unless required by the contract. IPC recommends the use of the latest revision or amendment.

Standards Improvement Recommendations

IPC welcomes comments for improvements to any standard in its library. All comments will be provided to the appropriate committee.

If a change to technical content is requested, data to support the request is recommended. Technical comments to include new technologies or make changes to published requirements should be accompanied by technical data to support the request. This information will be used by the committee to resolve the comment.

To submit your comments, visit the IPC Status of Standardization page at www.ipc.org/status.



IPC-7530B-JP

量産はんだ付プロセス(リフローおよびウェーブ)のための 温度プロファイルガイドライン

If a conflict occurs between the English and translated versions of this document, the English version will take precedence.

本規格の英語版と翻訳版の間に矛盾が生じる場合は、英語版が優先される。

本書は Global Electronics Association の IPC-Assembly and Joining Committee (5-20) に属する Thermal Profiling Guide Task Group (5-22h) により作成されたものである。

翻訳者 :

本書は、株式会社ジャパンユニックスにより翻訳・改版・監修が行われた。

Global Electronics Association Standards and Artificial Intelligence (AI) Statement

Global Electronics Association is the trading name of IPC International, Inc., which owns the copyright to all IPC Standards and other IPC materials.

The Global Electronics Association explicitly prohibits:

- The integration or transfer of any data whether in the form of IPC books, standards, metadata, or other formats — into AI engines or algorithms by any person or entity, including authorized distributors and their end users.
- Activities involving data harvesting, text and data mining, enrichment, or the creation of derivative works based on this data, including the use of automated data collection methods or artificial intelligence.

Any breach of these provisions is considered a copyright infringement unless expressly authorized in advance in writing by the Global Electronics Association.

改版履歴:

IPC-7530A
2017年3月
IPC-7530
2001年5月

本書のユーザーは、今後の改版時に自由に参加頂けます。

連絡先:

Global Electronics Association
3000 Lakeside Drive, Suite 105N
Bannockburn, Illinois
60015-1249
Tel 847 615.7100
Fax 847 615.7105

本ページはブランクである。

謝辞

複雑な技術を含むいづれの規格も、多くの国々から提供された莫大な量の情報源から資料を引き出しています。IPC-Assembly and Joining Committees (5-20)に属するThermal Profiling Guide Task Group (5-22h)の主要メンバーを以下に紹介しますが、協力いただいた方々すべてをここに記載することができません。Global Electronics Association の会員一同、関係されたすべての方々に感謝の意を表します。

Assembly and Joining Committee

共同委員長
Milea Kammer
Honeywell International
Udo Welzel
Robert Bosch GmbH

Thermal Profiling Guide Task Group

委員長
Robert Rowland
Axiom Electronics, LLC

Technical Liaison of the IPC Board of Directors

Bob Neves
Reliability Assessment Solutions Inc.

Thermal Profiling Guide Task Group

Dudi Amir Intel Corporation	Miguel Dominguez Continental Automotive	Lim Lai Ming Jabil Circuit Sdn. Bhd.
Raiyomand F. Aspandiar Intel Corporation	Symon Franklin Custom Interconnect Ltd	Jason Nipper Collins Aerospace
Paul Austen ECD	Mahendra S. Gandhi Northrop Grumman Space Systems	Corey Parks Honeywell International
Cynthia Badilla RTX	Stephen Gonya SUNY Binghamton University	Marc Peo Heller Industries Inc.
Tiberiu Baranyi Flextronics Romania SRL	Ife Hsu Intel Corporation	Robert Rowland Axiom Electronics, LLC
Robert Baxter KIC	Constantin Hudon East West Quebec	JoseMa ServinOlivares Vitesco Technologies
Kevin Bennett Axiom Electronics, LLC	Jennie S. Hwang H-Technologies Group	Jack(Jian) Zhu Magna Automotive Electronics (Shanghai) Co., Ltd
Erik Bjerke BAE Systems	Joseph E. Kane BAE Systems	Donald Tyler Ten Eyck Group, LLC
Michael Brinkley Axiom Electronics, LLC	Leo P. Lambert EPTAC LLC	Mark Waterman ECD
Zhiman Chen ZhuZhou CRRC Times Electric Co. Ltd.	Anthony W. Lentz FCT Assembly, Inc.	Udo Welzel Robert Bosch GmbH
Robert E. Cochran Private Island Networks Inc.	Guangxiang Lu Continental Holding China	Elena Yosifova Straschu Industrie-Elektronik GmbH
Francesco DiMaio Francesco Di Maio Consulting	John B. Marke UL LLC	
Gerjan Diepstraten ITWEAE	Stephan Meschter BAE Systems	

本ページはブランクである。

目次

1 適用範囲	1	3.1.4	均加熱ゾーン14
1.1 目的	1	3.1.5	リフローゾーン14
1.2 背景	1	3.1.6	冷却ゾーン15
1.3 用語および定義	1	3.1.7	下位互換性のための熱プロファイル15
1.3.1 冷却	1	3.1.8	各プリント基板組立品に固有の プロファイル15
1.3.2 デルタT(プロファイルまたは装置)	1	3.1.9	フラックス16
1.3.3 共晶	1	3.2	材料の問題16
1.3.4 液相線	2	3.3	リフローソルダリング16
1.3.5 液相線遅延時間 (LTD)	2	3.3.1	真の液相線以上時間(真のTAL)16
1.3.6 融点	2	3.4	機器の設定17
1.3.7 固液共存領域	2	3.4.1	リフローオープンの選定17
1.3.8 ピーク	3	3.4.2	IRと対流式の比較18
1.3.9 状態図	3	3.4.3	加熱ゾーンの選択18
1.3.10 予熱	3	3.4.4	クリアランス高さ、コンベアベルトのタイプ/ 幅、エッジレールサポート18
1.3.11 プロファイルゾーン	3	3.4.5	充填用ガス18
1.3.12 ランプ(昇温/降温)速度	3	3.4.6	プロファイル測定18
1.3.13 レシピ [®]	3	3.4.7	製品トラッカー18
1.3.14 均加熱(滞留)	3	3.4.8	プロファイル作成手順19
1.3.15 固相線	3		
1.3.16 過熱(状態)	3		
1.3.17 熱プロファイル	4		
1.3.18 液相線以上時間 (TAL)	4		
1.3.19 真のTAL	4		
2 関連文書	4		
2.1 IPC	4		
2.2 Joint Industry Standards	4		
2.3 JEDEC	4		
3 対流式リフローのプロファイル測定	5		
3.1 熱プロファイル	5		
3.1.1 熱電対の位置	10		
3.1.2 熱電対の取付け方法	12		
3.1.2.1 高温はんだ	13		
3.1.2.2 接着剤	13		
3.1.2.3 粘着テープ	13		
3.1.2.4 埋め込み型熱電対	14		
3.1.2.5 機械的取付け	14		
3.1.3 予熱ゾーン	14		
4 ベーパーフェーズリフローのプロファイル			
測定			19
4.1 ベーパーフェーズリフロー			21
5 ウエーブソルダリングのプロファイル測定	21		
5.1 装置に関する考慮事項			22
5.2 コンベアに関する考慮事項			22
5.3 予熱に関する考慮事項			23
5.4 はんだ槽に関する考慮事項			23
5.5 プロファイル作成手順			23
5.6 量産ウェーブソルダリングの設計上の 考慮事項			24
6 セレクティブソルダリングのプロファイル			
測定			24
6.1 はんだ槽			24
6.1.1 装置に関する考慮事項			24
6.1.2 予熱に関する考慮事項			25
6.1.3 はんだ槽とノズルに関する考慮事項			25

6.1.4	プロファイル作成手順.....	25	8.1.4	はんだボール	34
6.1.5	セレクティブソルダリングのDfM	26	8.1.5	コールドはんだ/不適切なはんだ	35
6.1.6	ウェーブ/セレクティブソルダリングでの 熱電対の取付け	26	8.1.6	はんだビード(スクイーズボール)	36
6.2	セレクティブソルダリングに代わる方法....	26	8.1.7	粒状はんだ	36
6.2.1	ペーストインホールソルダリング	26	8.1.8	トゥームストーン現象	37
6.2.2	レーザーソルダリング	27	8.1.9	はんだウイッキング	37
6.3	銅の溶解	27	8.1.10	ブローホール/ピンホール	38
7 温度プロファイル測定ツール		28	8.1.11	他の欠陥の根本的原因	38
7.1	製品熱プロファイル	28	8.2	はんだ接合部の合否基準.....	38
7.1.1	熱プロファイルの使用に関する推奨 事項	28	8.3	ウェーブソルダリングの欠陥の管理	38
7.1.2	熱プロファイルの仕様.....	29			
7.1.3	プロファイルの校正.....	29			
7.1.4	熱遮断ケース	29			
7.1.5	統計的工程管理(SPC)	29			
7.2	装置プロファイル	29			
7.2.1	目的	29			
7.2.2	測定パラメータ	30			
7.2.3	装置の検証	30			
7.2.4	連続リアルタイムによる対流式オープン 用プロファイル	31			
7.3	熱電対のタイプと選定	31			
7.3.1	熱電対のタイプ	31			
7.3.1.1	タイプK	31			
7.3.1.2	タイプT	31			
7.3.1.3	タイプJ	31			
7.3.1.4	タイプN	31			
7.3.2	熱電対用ワイヤーゲージ	31			
7.3.3	断熱(材)	31			
7.3.4	ワイヤー長さ	32			
7.3.5	熱電対の接合部	32			
7.3.6	校正と試験	32			
7.4	部品のリワーク	32			
8 トラブルシューティング		32			
8.1	はんだリフローの欠陥	32			
8.1.1	ボイド	32			
8.1.2	ヘッドオンピロー(HoP)	33			
8.1.3	ブリッジ	33			

図

SnPbはんだの状態図	2
SACはんだの固液共存領域	3
熱プロファイル図	7
複数の熱電対によるSnPbのプロファイル	8
片面実装プリント基板組立品のSAC305 プロファイル (片面実装プリント基板組 立品でのベルト速度: 53.3 cm/min)	8
両面実装基板のSAC305プロファイル例 (速度: 53.3 cm/min)	9
ピーク温度上昇勾配型(RP)のプロファイル (左)と勾配加熱-均加熱-ピーク加熱型 (RSP)のプロファイル(右)の例	9
大小の部品が搭載されたプリント基板 組立品上の熱電対の位置	10
ペーストインホールはんだ付の場合に 推奨される熱電対の位置	10
BGAの場合に推奨される熱電対の位置	10
BGAとその他部品の下面から孔を開 けて、熱電対を内側/外側の列に取 り付けた例: その1	11
BGAとその他部品の下面から孔を開 けて、熱電対を内側/外側の列に取 り付けた例: その2	12
熱電対接点の管理	
熱電対の取付け(はんだ付による方法)	13
熱電対の取付け(はんだ付による方法)	13
熱電対の取付け(接着剤による方法)	13
熱電対の取付け(接着剤による方法)	13
熱電対の取付け(テープによる方法)	13
熱電対の取付け(テープによる方法)	14

図3-18	熱電対の取付け(埋め込みによる方法)....14	図8-1	リフローの欠陥 - ボイド.....32
図3-19	熱電対の取付け(機械的な方法)14	図8-2	リフローの欠陥 - ヘッドオンピロー33
図3-20	硬化プロファイル.....16	図8-3	リフローの欠陥 - ブリッジ33
図3-21	ヘッドオンピローにおける液相線遅延 時間(LTD)の作用17	図8-4	リフローの欠陥 - はんだボール34
図3-22	TAL vs. 真のTAL.....17	図8-5	リフローの欠陥 - コールドはんだ/不適切 なはんだ35
図4-1	ウイッキングとオープンを示すVPS プロファイル.....20	図8-6	リフローの欠陥 - はんだビード.....36
図4-2	対流式プロファイルと同様の、予熱機能付 きVPSのプロファイル(時間： 分表示).....20	図8-7	リフローの欠陥 - 粒状はんだ36
図5-1	デュアルウェーブソルダのプロファイル22	図8-8	リフローの欠陥 - トゥームストーン現象37
図5-2	上面予熱温度のピーク値注:.....22		
図5-3	シングルウェーブ式はんだ槽による、 量産ウェーブソルダリングの熱 プロファイル図.....23		
図5-4	デュアルウェーブ式はんだ槽による、 量産ウェーブソルダリングの熱 プロファイル図.....23		
図6-1	セレクティブソルダリングの熱プロファイル 図26	表3-1	SnPb、SAC305および混用合金の プロファイル比較.....6
図6-2	ウェーブ/セレクティブソルダリングでの 熱電対の取付け26	表3-2	SAC合金、SnBi(低温)合金および樹脂 含有SnBiソルダペーストのプロファ イル比較7
図7-1	一般的な熱プロファイル、熱電対、熱遮断 ケース、キャリアーの例.....28	表5-1	量産ウェーブソルダリングのパラメータ 概要23
図7-2	一般的な熱プロファイル用キットと推奨 される消耗品29	表6-1	一般的なセレクティブソルダリングの 設定25
図7-3	一般的な装置検証用ツール30	表8-1	はんだ接合部の欠陥に関するその他 の根本的原因38

表

表3-1	SnPb、SAC305および混用合金の プロファイル比較.....6
表3-2	SAC合金、SnBi(低温)合金および樹脂 含有SnBiソルダペーストのプロファ イル比較7
表5-1	量産ウェーブソルダリングのパラメータ 概要23
表6-1	一般的なセレクティブソルダリングの 設定25
表8-1	はんだ接合部の欠陥に関するその他 の根本的原因38

本ページはブランクである。

量産はんだ付プロセス(リフローおよびウェーブ)のための 温度プロファイルガイドライン

1 適用範囲

本文書は、量産はんだ付プロセス(リフローソルダリング、ウェーブソルダリングを含むがこれに限定されない)において、許容可能なはんだ接合部を形成するための要求事項を満たすことを目的とした、熱プロファイルガイドラインおよび実用的なガイドラインを規定するものである。

熱プロファイルとは、完全に実装された各プリント基板組立品に、指定の代表的な部品に熱電対を装着し、所定のベルト速度(すなわち搬送速度)でオーブンやはんだ付システムのさまざまな温度ゾーンを通過する際に、「温度対時間」のプロットとして記録される固有のデータである。

1.1 目的 本文書の目的は、許容可能な電子組立品(SnPb および Pb フリー)を製造するうえで必要となる熱プロファイルの作成において、有用かつ実用的な情報を提供することである。本文書は、量産はんだ付プロセスを担当する管理者、設計/プロセスエンジニア、および技術者のためのものである。

1.2 背景 量産はんだ付の工程中は、すべてのはんだ接合部が最低はんだ付温度に到達することが重要である。最低はんだ付温度とは、はんだ合金とはんだ付対象の母材金属が冶金学的に結合するために必要な最低温度である。冶金学的な結合では、はんだ付対象の表面とはんだがこの最低はんだ付温度に十分な時間にわたり到達することではんだ表面にぬれを示し、はんだ合金の1つまたは複数の組成を含むいくつかの母材金属において金属間化合物層を形成する必要がある。実際的には、はんだ合金の液相線温度よりやや高い温度(～25 °C)が最低はんだ付温度となる。所定のプリント基板組立品において、最低はんだ付温度に最後に到達するはんだ接合部(一般的には熱質量が最も大きい部品の1つの部品上面または部品下面)により、そのプリント基板組立品およびはんだ付プロセス/装置の温度プロファイル設定が決まる。プロセスエンジニアにとって良好なプロファイルを開発することは釣り合いを見定める難しい作業(バランス調整)であり、また、小型で感温性の高い部品が過熱または損傷するがないよう、確実に対応することも求められる。

リフローソルダリングでは、加熱とそれに続く冷却の速度を制御する必要がある。しかしながら加熱速度が速すぎると、プリント基板組立品や部品に損傷を与える可能性がある。また、冷却速度が速いと部品に損傷を与え、プリント基板組立品や大型部品の反りやはんだ接合部の破壊に至る重大な温度勾配が発生する可能性がある。このことから、高品質のはんだ接合部を保証するには、適切な温度プロファイルが不可欠といえる。

製品それぞれの熱質量により必要とされる熱量が異なる製品であっても、すべての製品は、決められた時間内(熱プロファイル)に最高温度(どの部品にも損傷を与えない)を超えて、最低温度(液相線以上の温度)に到達することが望ましい。以上が、製品ごとに独自のプロファイルを開発する主要な理由である。

熱量は、各ゾーンの温度/ガス流量設定、ゾーン数、およびベルト速度(各ゾーンで同じ速度)で決まる。ゾーンでの最低温度、最高温度、時間を設定することで、部品リードとそれに対応するフットプリント、またはランドパターンとの金属間結合を確実に行うことができる。すべての部品は、熱質量が異なっていても、同じ最低温度と最高温度の要件を満たすことが望ましい。これはプロファイル開発の最大の課題であり、それゆえ熱質量が非常に大きい部品(例: 大型 BGA)と熱質量が小さい部品(例: 0201 以下のチップ抵抗やコンデンサ)が搭載されたプリント基板組立品の熱プロファイル開発は、釣り合いを見定める難しい作業といえる。加えて、加熱と冷却の速度が異なると、さまざまな欠陥状態に多様な影響が出ることから、バランス調整はより複雑になる。例えば、加熱速度を遅くすると BGA 内のボイドを減らすことができる一方、同じ BGA 内にヘッドオンピロー(HoP)を発生させる可能性が高くなる。

1.3 用語および定義 本文書で使用される下記の用語と定義は、IPC-T-50 に準拠する。

1.3.1 冷却 はんだ付後、プリント基板組立品が常温に戻るのに必要な時間。

1.3.2 デルタ T(プロファイルまたは装置) ある時点における2点以上の測定点間の最大の温度差。

1.3.3 共晶 固相線と液相線が同じになる温度。塑性状態の領域はない(材料は可鍛性だが、液相や固相は存在しない)。

1.3.4 液相線 合金が完全に液体となる最低温度。

1.3.5 液相線遅延時間 (LTD) エリアアレイ部品の内側のはんだ接合部と外側のはんだ接合部が液相になるまでの時間差。

1.3.6 融点 はんだ合金が液状になり始める温度。

1.3.7 固液共存領域 液相と固相の間の半流動(シャーベット)の状態。はんだが固化し始めたがまだ完全には固化していない状態、また、はんだが融け始めたがまだ完全には溶融していない状態を指す。

図 1-1 に、共晶温度、過熱状態および固液共存領域を示す。共晶温度とは、その合金の可能な限り低い融点であり、かつ、その合金に含まれるどの金属の融点よりも低い温度である。共晶は合金でありながらも、金属と同じように融点が 1 つしかないため、金属と同じような挙動を示す。その領域は合金の組成によって非常に小さくなる場合もあれば、非常に大きくなる場合もある。図 1-1 に見られるように、共晶温度の左側でも右側でも固液共存領域は非常に小さいが、Sn や Pb の含有量の変化で組成がどちらかに変化すると、その領域は大きくなる。

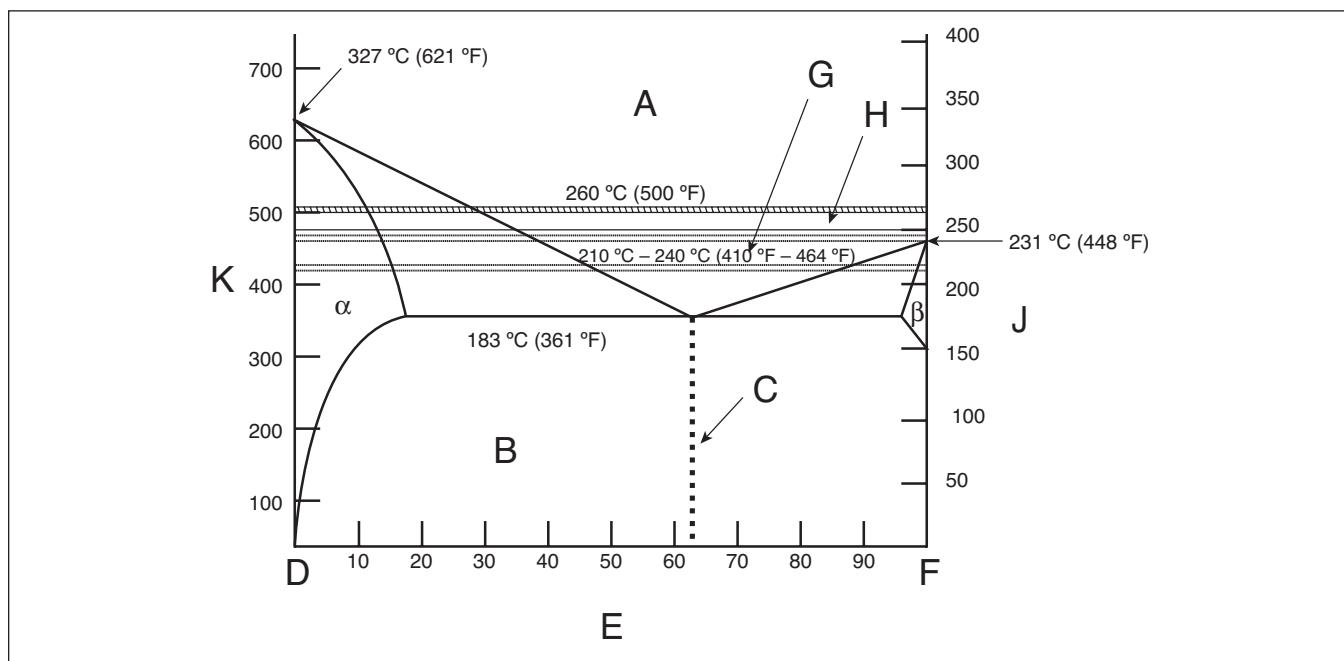


図 1-1 SnPb はんだの状態図

A – 液状はんだ
B – 固体はんだ
C – 共晶組成 Sn63Pb37
D – 鉛
E – すず含有量 (重量 %)

F – すず
G – リフローソルダリング温度
H – ウエーブソルダリング温度
J – 温度 (°C)
K – 温度 (°F)

図 1-2 に、SnAgCu (SAC) の状態図を示す。SAC 合金は銅と親和性があるため、状態図の銅の総量が変化する。この状態図では、X 軸に銅の含有量を 0% ~ 3% まで、Y 軸に銀の含有量を 0% ~ 8% まで示している。この合金組成では銅の溶解速度の理由から、分析結果を常に監視し、良好な工程管理を検証する必要がある。一般的な SAC 合金は、銅 1% 未満、銀 3% ~ 4% の範囲にある。しかしながら、最もよく使われている合金は SAC 305 である。銀 4% を用いるのはコストが高くなることと、潜在的な信頼性の懸念があることから稀である。一部のモバイル用途では、機械的衝撃や振動の信頼性を改善するために銀 1% の合金を使用している。

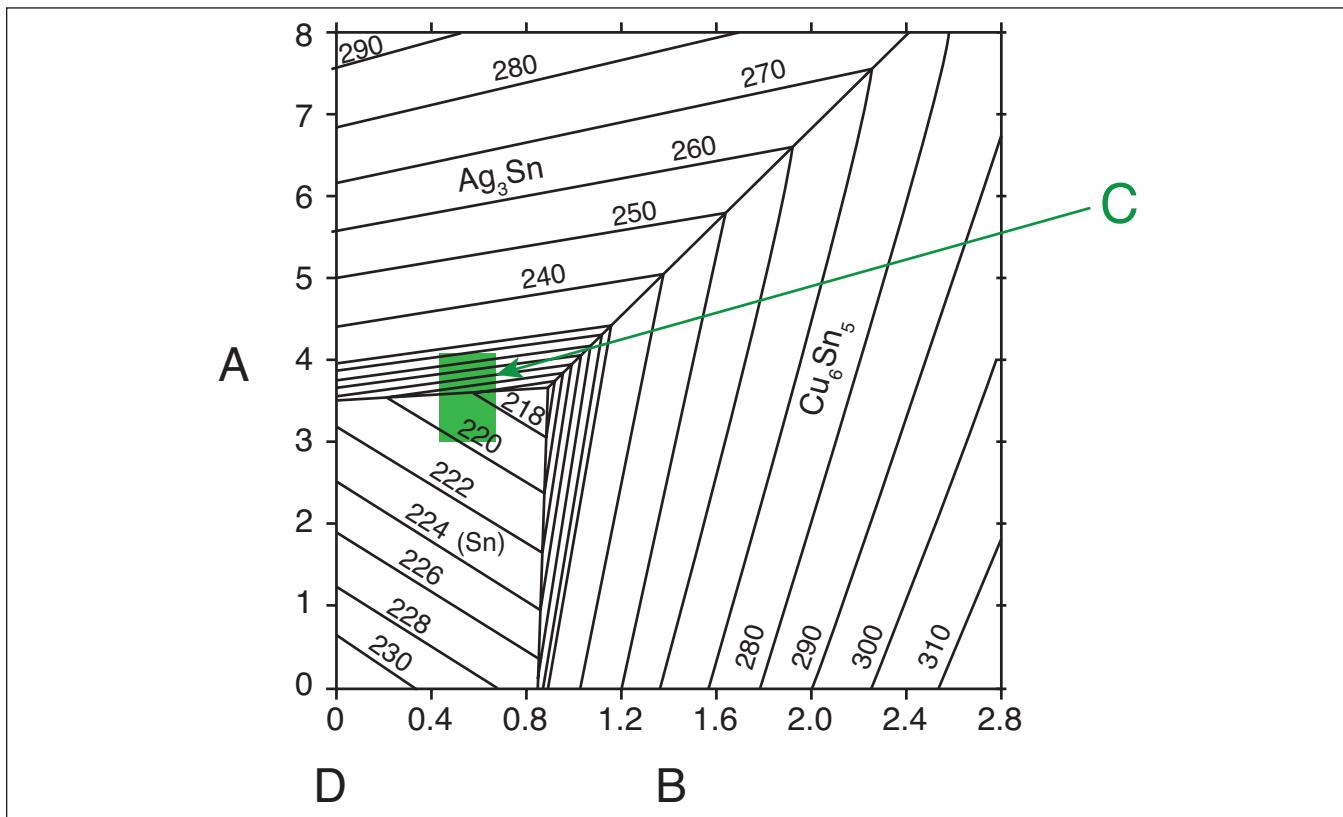


図 1-2 SAC はんだの固液共存領域

A – wt % Ag

B – wt % Cu

C – 産業界が使用している組成 - 銀 3 % ~ 4 %、銅 0.5 % ~ 0.7 %、残りはすず

D – Sn

1.3.8 ピーク プロセス全体の最大許容温度。リフロー工程のうち、ソルダペーストをリフローするために温度を十分に上昇させる部分。

1.3.9 状態図 热力学的に異なる相を描いた平衡図であり、各相はそれぞれ異なる物理的、機械的、電気的特性を持つ。冶金学的な系（合金など）では、温度と組成との関係を表す状態図がある。

1.3.10 予熱 はんだ付装置において、均加熱前に組立品がランプ速度を確立するセクション。これは、室温から均加熱ゾーンの開始温度まで組立品を加熱するプロファイルゾーンであり、ランプ傾斜の測定によって特徴付けられる。

1.3.11 プロファイルゾーン プロファイルは、熱プロセスの各部分を表す時間帯に分割される。各ゾーンは、各ゾーンから抽出された1つ以上の測定値（温度、傾斜または時間値など）により特徴付けられる。

1.3.12 ランプ（昇温 / 降温）速度 温度の正味の変化をそのゾーンの総時間で割ったもの。

はんだ付の際、ランプ速度はそれぞれのゾーン（予熱ゾーン、均加熱ゾーン、リフローゾーン、冷却ゾーンなど）で異なる。ランプ速度は予熱ゾーンでは非常に高く、均加熱ゾーンでは非常に低くなる。

1.3.13 レシピ 製品の必要熱プロファイルに基づいたオーブン設定（例：強制対流、ゾーン設定値、コンベアスピード）の組合せ。

1.3.14 均加熱（滞留） リフロー・ソルダリング工程ですべての部品が目標とする安定した温度に達するように、非常に低いランプ速度で組立品を保持する時間 / 温度。リフロー作業では、均加熱（滞留）はリフロー温度に達する前にソルダペーストを完全に乾燥（揮発分が蒸発）させ、ソルダペーストのフラックス活性化ゾーンとしても機能する。

1.3.15 固相線 合金が完全に固体となる最高温度。

1.3.16 過熱（状態） 合金のピークリフロー温度と液相線との温度差。一般に過熱（状態）は、SAC Pbフリーでは25 °C付近、SnPbまたは低温Pbフリー合金では30 °C ~ 40 °C付近である。

1.3.17 熱プロファイル 完全に実装された各プリント基板組立品に、指定の代表的な部品に熱電対を装着し、所定のベルト速度でオープンやはんだ付システムのさまざまな温度ゾーンを通過する際に、「温度対時間」のプロットとして記録される固有のデータ。プリント基板組立品で望ましいプロファイルを得るためにには、製品ごとに独自のオープン設定とベルト速度(レシピ)が必要である。

熱プロファイルは、リフロープロファイル、ウェーブプロファイル、セレクティブプロファイル、レーザープロファイル、またはこれ以外のソルダリングプロファイルとして知られている。

1.3.18 液相線以上時間 (TAL) はんだの液相線以上時間 (TAL)。液相線温度別に表した時間の1つ。具体的な温度の記載がない場合、TAL ははんだの融点以上の時間とする。

共晶合金の場合、TAL と融点以上の時間は同じになる。非共晶合金の場合、TAL は融点未満の時間である。

1.3.19 真の TAL プリント基板組立品のはんだ接合部で、最も短い時間において融点以上になったもの、また、すべてのはんだ接合部がはんだの液相線以上になる時間としても知られている。

真の TAL は、熱質量が小さい部品の TAL より小さい。BGA の場合、真の TAL は、パッケージ中央部にある BGA ボールよりも溶融状態が長くなる外周部の BGA ボールの TAL よりも小さくなる。

2 関連文書

2.1 IPC¹

IPC-T-50 Terms and Definitions for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits

IPC-A-610 Acceptability of Electronic Assemblies

IPC-CA-821 General Requirements for Thermally Conductive Adhesives

IPC-2222 Sectional Design Standard for Rigid Organic Printed Boards

IPC-7095 Design and Assembly Process Implementation for BGAs

IPC-7525 Stencil Design Guidelines

IPC-7801 Reflow Oven Process Control Standard

2.2 Joint Industry Standards²

J-STD-001 Requirements for Soldered Electrical and Electronic Assemblies

J-STD-006 Requirements for Electronic Grade Solder Alloys and Fluxed and Non-Fluxed Solid Solders for Electronic Soldering Applications

J-STD-020 Moisture/Reflow Sensitivity Classification for Nonhermetic Solid State Surface Mount Devices

J-STD-033 Handling, Packing, Shipping and Use of Moisture, Reflow, and Process Sensitive Devices

J-STD-075 Classification of Non-IC Electronic Components for Assembly Processes

2.3 JEDEC³

JEP 140 Beaded Thermocouple Temperature Measurement of Semiconductor Packages

1 www.ipc.org

2 www.ipc.org

3 www.jedec.org

3 対流式リフローのプロファイル測定

3.1 熱プロファイル はんだプロファイルは熱プロファイルとも呼ばれ、製品の歩留まり、品質、信頼性に大きな影響を与える製造工程の重要な変数である。コンベアスピードとゾーン温度は、はんだプロファイルの作成における2つの変数である。はんだプロファイルは製品固有であるだけでなく、ラックスとはんだ合金にも依存する。ペーストが異なれば、最適なパフォーマンスを得るために必要なプロファイルも異なるため、はんだプロファイルを作成する前に、ペースト製造者に相談することが重要である。

プロファイルを作成するには、プロファイル作成の対象となるプリント基板組立品に部品が搭載済である必要がある。所定のベルト速度で開始し、熱電対でプリント基板組立品の上面側の温度を監視する。ほとんどの新規リフローオーブンには熱電対が内蔵され、熱プロファイルを記録するソフトウェアパッケージが搭載されている。また、市販のハードウェアやソフトウェアパッケージにより、熱プロファイルの作成が容易になっている。

これまでこのようなプロファイルの使用は、SnPb および Pb フリー組立品において重要とされてきた。部品種によって生じる温度上の制約を超えることなく、良好な歩留まりを得るには、製品ごとにこのようなプロファイルを使用することが重要である。表 3-1 に、SnPb、Pb フリーおよび混用合金による組立品の主要な熱プロファイル（下位互換性と上位互換性のプロファイル）を示す。Pb フリーと上位互換性のプロファイルは、同じであることに注意のこと。表 3-2 に、SAC およびビスマス含有低温 Pb フリー合金のプロファイルを示す。その他の合金のプロファイルは、J-STD-006 に記載されている。

SnPb では、融点 183 °C の共晶 Sn63Pb37 を使用することが業界の一般的なコンセンサスとなっている。この組成では、融点 (183 °C) とピーク温度 (210 °C ~ 220 °C) との間に大きな差が存在する。この差は過熱（状態）とも呼ばれ 30 °C ~ 40 °C まで変化するため、非常に広いウインドウ (30 °C ~ 40 °C) を提供し、熱プロファイルの作成が非常に容易になる。

Pb フリー組立では、一般的に使用される SAC(SnAgCu) はんだには 3% ~ 4% の Ag、0.5% ~ 0.7% の Cu が含まれ、残りはすずである。これらの合金の融点は 220 °C 付近である。一部の部品（一部のアルミニウム電解コンデンサなど）では、それら部品がさらされる最大温度と温度が 230 °C を超える時間に制限を設けている。追加的な制約は、低コストの積層板、プラスチック製コネクタおよび感湿性部品によって決定される。

そのような制約に対応するため、Pb フリーの組立品のピーク温度は、変動がわずか 15 °C という狭いプロセスウインドウの 230 °C ~ 245°C に維持することが望ましい。これは、先述の SnPb 組立品での 35 °C の変動から、約 60% 低下したことになる。感温性の小型部品を伴う同じプリント基板上に、熱質量が大きい大型部品を使用する場合は、規定されたプロセスウインドウの範囲内で熱プロファイルを満たすことは一層難しくなる。その理由はシンプルだ。熱質量が大きい大型部品の場合、ピーク温度と TAL のプロセスウインドウの要件を満たすには、より大きな加熱量が必要になるからである。しかしながらこの大きな加熱量により、小型の感温性部品をプロセスウインドウ要件の範囲外にさせてしまう可能性がある。この問題を解決するには、プリント基板組立品全体で非常に厳密な工程管理と、狭い温度帯域幅が必要になる。

この問題は、主に SnPb のプリント基板組立品上で一部の Pb フリー部品が使用される場合の下位互換性の問題によって、さらに悪化する可能性がある。このような場合、プロファイルは、SnPb および Pb フリーのパッケージの両方の要件に対応させることが望ましい。

表 3-1 SnPb、SAC305 および混用合金のプロファイル比較

プロファイル項目	SnPb 合金のプロファイル	混用 / 下位互換性のプロファイル	Pb フリー合金 (SAC305)/ 上位互換性のプロファイル	混用 SAC 合金 (SAC305/SAC105) のプロファイル
合金の固相線温度	183 °C	183 °C	217 °C ~ 220 °C	217 °C ~ 227 °C ¹
対象合金のピーク温度範囲 1.3.15 項「加熱(状態)」を参照のこと	210 °C ~ 220 °C 1.3.15 項「加熱(状態)」を参照のこと	228 °C ~ 232 °C ² 1.3.15 項「加熱(状態)」を参照のこと	235 °C ~ 245 °C 1.3.15 項「加熱(状態)」を参照のこと	240 °C ~ 245 °C 1.3.15 項「加熱(状態)」を参照のこと
絶対最小ピークリフロー温度 ³	205 °C	228 °C ²	230 °C	235 °C
部品のランプアップ(昇温)速度	2 °C ~ 4 °C / 秒 ⁴	2 °C ~ 4 °C / 秒 ⁴	2 °C ~ 4 °C / 秒 ⁴	2 °C ~ 4 °C / 秒 ⁴
部品のランプダウン(降温)速度	2 °C ~ 6 °C / 秒 ⁴	2 °C ~ 6 °C / 秒 ⁴	2 °C ~ 6 °C / 秒 ⁴	2 °C ~ 6 °C / 秒 ⁴
均加熱または予熱活性化温度	100 °C ~ 150 °C ⁴	100 °C ~ 150 °C ⁴	150 °C ~ 200 °C ⁴	150 °C ~ 200 °C ⁴
均加熱または予熱活性化時間	60 ~ 120 秒 ⁴	60 ~ 120 秒 ⁴	60 ~ 150 秒 ⁴	60 ~ 150 秒 ⁴
液相線を超える滞留時間	60 ~ 90 秒	60 ~ 90 秒	60 ~ 90 秒	60 ~ 90 秒
ピーク温度での滞留時間	最長 20 秒	最短 20 秒	最長 20 秒	最短 20 秒
使用したソルダペースト	SnPb	SnPb	Pb フリー (SAC305)	Pb フリー (SAC305)
SMT 部品のタイプ	すべての SMT タイプの SnPb および Pb フリー、ただし Pb フリー BGA ボールは除く。	SACPb フリー BGA ボールを含め、すべての SMT タイプの SnPb および Pb フリー。	SAC305Pb フリー BGA ボール付き BGA を含む、BGA を含むすべての部品が Pb フリーである。	BGA を含むすべての部品が Pb フリーであるが、この場合、BGA は SAC105Pb フリーの BGA ボールであり、SAC305BGA ボールではない。
ピーク温度の根拠	ほとんどの SnPb 部品の定格温度は 230 °C である。	SnPb 部品が過熱するところがないよう妥協的温度が必要である。 融点 217 °C ~ 220 °C の Pb フリー SAC BGA が溶融して潰れ、SnPb ペーストと完全に混合される。 ピーク温度が低いと SAC BGA ボールが溶融しない、または部分的に溶融してしまい、HoP、断線および信頼性低下の事象が高まる。	すべての部品は Pb フリーであり、より高温が必要となる。 ピーク温度が高すぎると BGA ボールの落下、断線、ディウェッティングおよびプリント基板組立品の反りが発生する。 MSL レベルを評価する場合、大型 BGA は最大 245°C で試験される。	すべての部品は Pb フリーであり、より高温が必要となる。 融点 227°C の Pb フリー SAC BGA が溶融して潰れ、SAC305 ペーストと完全に混合される。 ピーク温度が低いと SAC105 BGA ボールが部分的に溶融してしまい、HoP、断線および信頼性低下の事象が高まる。 ピーク温度が高すぎると BGA ボールの落下、断線、ディウェッティングおよびプリント基板組立品の反りが発生する。 MSL レベルを評価する場合、大型 BGA は最大 245°C で試験される。

注 1. 融点 227°C の SAC105 BGA ボールと、融点 217 °C ~ 220 °C の SAC305 ソルダペーストを使用する場合。

注 2. 混用合金 / 下位互換性のはんだ付に関する詳細は、IPC-7095 を参照のこと。

注 3. プリント基板組立品上の最も低い温度。

注 4. 部品および / またはソルダペーストの供給者に確認のこと。

表 3-2 SAC 合金、SnBi(低温) 合金および樹脂含有 SnBi ソルダペーストのプロファイル比較

プロファイル項目	SAC305 ソルダペーストのプロファイル	SnBi 低温ソルダペーストのプロファイル	樹脂含有 SnBi 低温ソルダペーストのプロファイル
合金の固相線温度	217 °C ~ 220 °C	139 °C ~ 140 °C	139 °C ~ 140 °C
対象合金のピーク温度範囲	235 °C ~ 245 °C	160 °C ~ 200 °C	160 °C ~ 180 °C
絶対最小ピークリフローテンポ ¹	230 °C	160 °C	160 °C
部品のランプアップ(昇温)速度	2 °C ~ 4 °C / 秒 ²	1 °C ~ 3 °C / 秒 ²	2 °C ~ 4 °C / 秒 ²
部品のランプダウン(降温)速度	2 °C ~ 6 °C / 秒 ²	2 °C ~ 6 °C / 秒 ²	2 °C ~ 6 °C / 秒 ²
均加熱または予熱活性化温度	150 °C ~ 200 °C ²	100 °C ~ 120 °C ²	なし(樹脂の早期硬化を避けるため)
均加熱または予熱活性化時間	60 ~ 120 秒 ²	30 ~ 90 秒 ²	なし(樹脂の早期硬化を避けるため)
液相線を超える滞留時間	60 ~ 90 秒	30 ~ 90 秒 ²	60 ~ 210 秒 ²
ピーク温度での滞留時間	最長 20 秒	最長 20 秒 ²	一定していない ³
リフロー後の樹脂硬化温度	N/A	N/A	125 °C ~ 130 °C ³
リフロー後の樹脂硬化時間	N/A	N/A	130 ~ 240 秒 ³
使用したソルダペースト	Pb フリー (SAC305) ペースト	樹脂を含まない SnBi(共晶または非共晶) 低温ペースト	樹脂を含む SnBi(共晶または非共晶) 低温ペースト
SMT 部品のタイプ	SAC305Pb フリー BGA ボール付き BGA を含む、BGA を含むすべての部品が Pb フリーである。	SAC305Pb フリー BGA ボール付き BGA を含む、BGA を含むすべての部品が Pb フリーである。SnPb はんだボール付きの BGA は使用しないこと。	SAC 合金 Pb フリー BGA ボール付き BGA を含む、BGA を含むすべての部品が Pb フリーである。SnPb はんだボール付きの BGA は使用しないこと。

注 1. プリント基板組立品上の最も低温の部品。

注 2. 部品および/またはソルダペーストの供給者に確認のこと。

注 3. 樹脂を含むソルダペーストの中には、樹脂を硬化させるために熱プロファイルのリフローフェーズ後に、より長い時間を必要とするものや、熱プロファイルの TAL フェーズを経て樹脂を硬化させるものがある。

図 3-1 にプロファイル図を示す。図 3-2 に、SnPb プロファイルの実例を示す。図 3-3 に、53.3 cm/min [21 in/min] で移動する片面実装プリント基板組立品の SAC305 プロファイル例を示す。図 3-4 に、53.3 cm/min [21 in/ min] で移動する両面実装プリント基板組立品の SAC305 プロファイル例を示す。

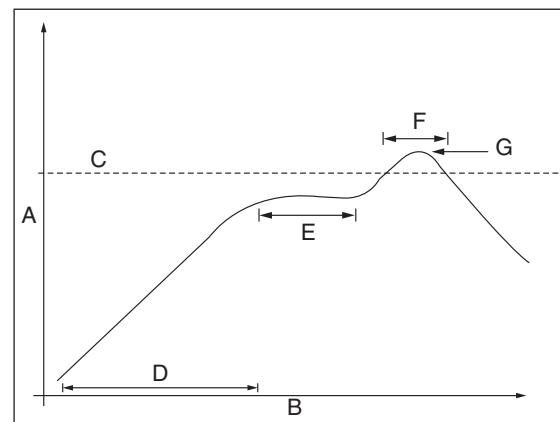


図 3-1 熱プロファイル図

A - 温度

B - 時間

C - 合金の液相線温度

D - 予熱傾斜 = 温度ランプ速度

E - 予熱での滞留 = 均加熱時間

F - 液相線を超える時間

G - ピーク温度 = 組立品の最大温度

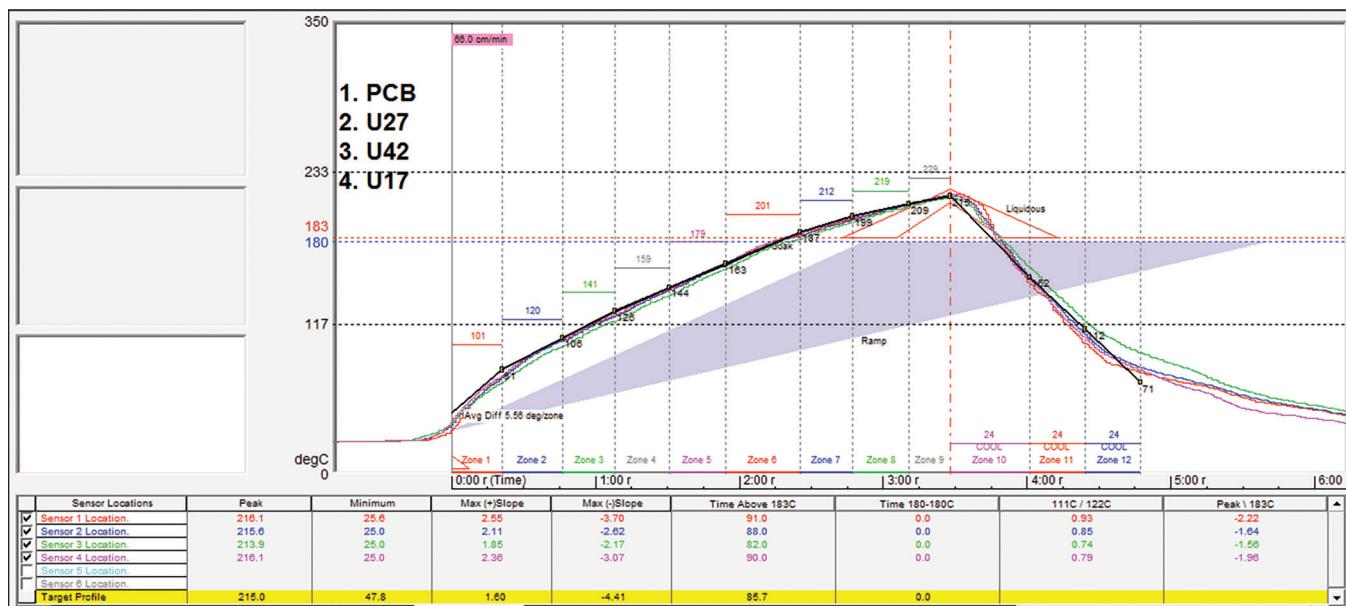


図 3-2 複数の熱電対による SnPb のプロファイル

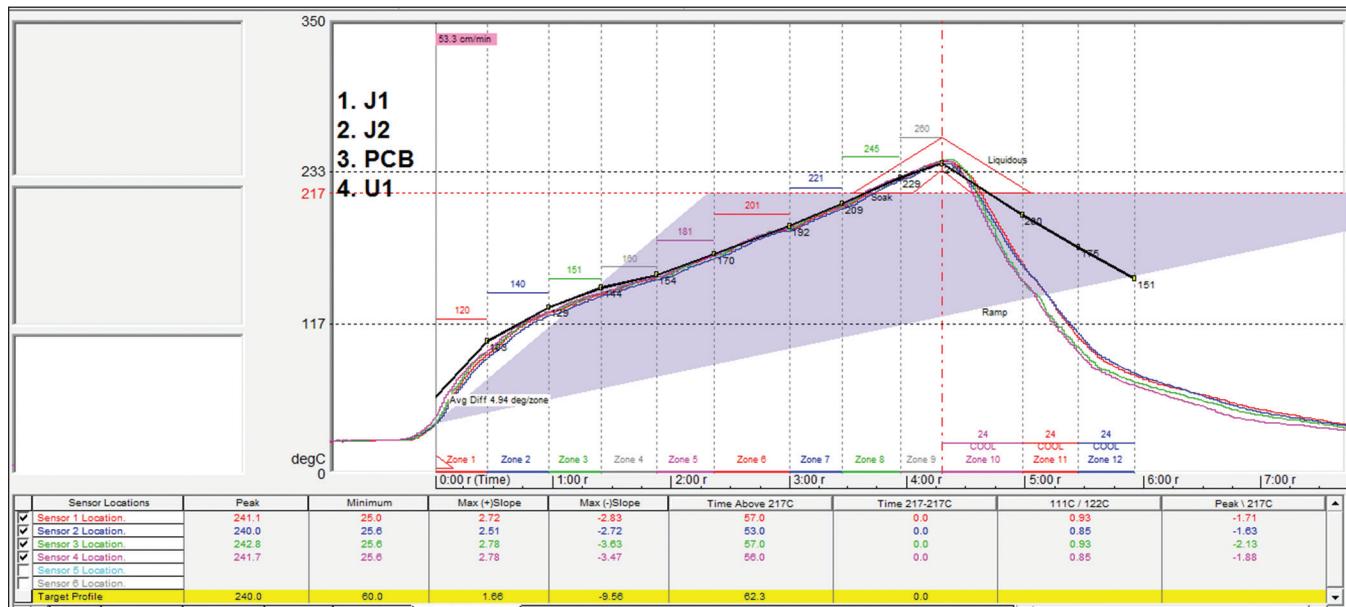


図 3-3 片面実装プリント基板組立品の SAC305 プロファイル (片面実装プリント基板組立品でのベルト速度: 53.3 cm/min)

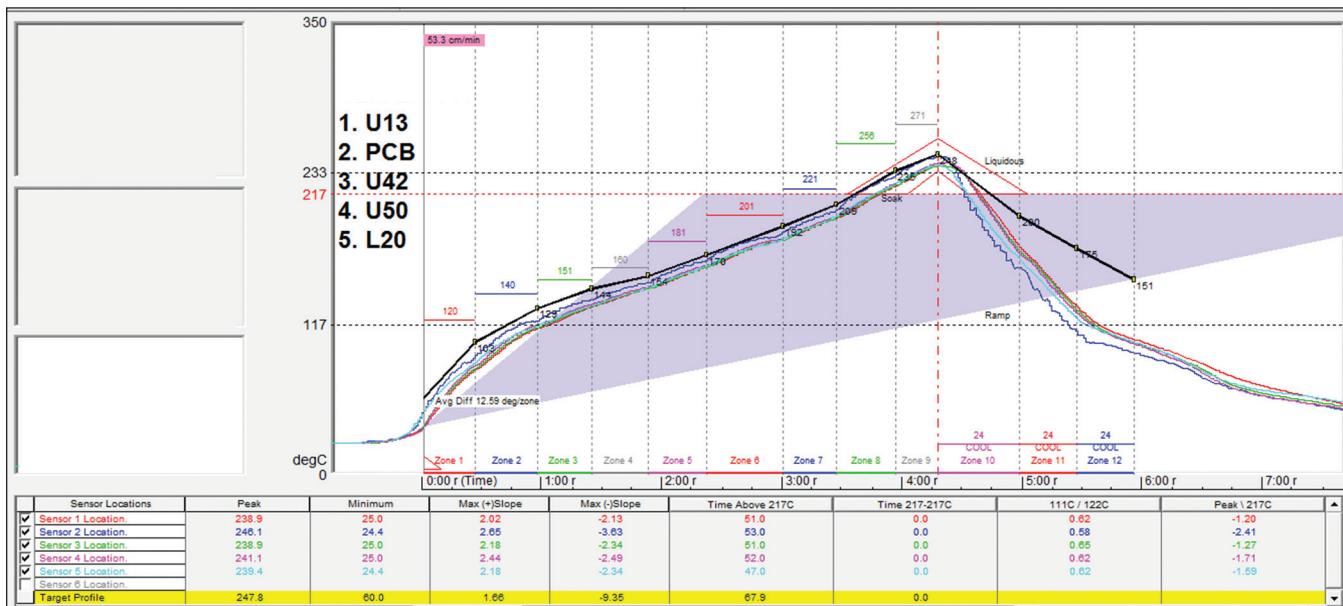


図 3-4 両面実装基板の SAC305 プロファイル例 (速度: 53.3 cm/min)

プロファイルには主に 2 つのタイプが存在する：

- 勾配加熱 - 均加熱 - ピーク加熱型 (RSP) (図 3-5、右)
- ピーク温度上昇勾配型 (RP) (図 3-5、左)

両者の大きな違いは、RP プロファイルには均加熱ゾーンがないことである。RSP プロファイルでは均加熱ゾーンを経ることでプリント基板組立品全体の温度をより均一にできるため、さまざまな部品の熱質量に大きなばらつきがあるプリント基板組立品で均一な温度を達成するには非常に有効である。また、RSP プロファイルは、はんだ接合部内（特に BGA 内）のボイド発生を低くすることが可能となる。RP プロファイルは、はんだ接合部内のボイド発生を高める可能性があるが、BGA の重大な欠陥である HoP の事象を最小にできる。ボイドが存在しても、特に IPC-A-610 の制限値を下回るのであれば、製品の信頼性に対し重大な懸念とはならない。

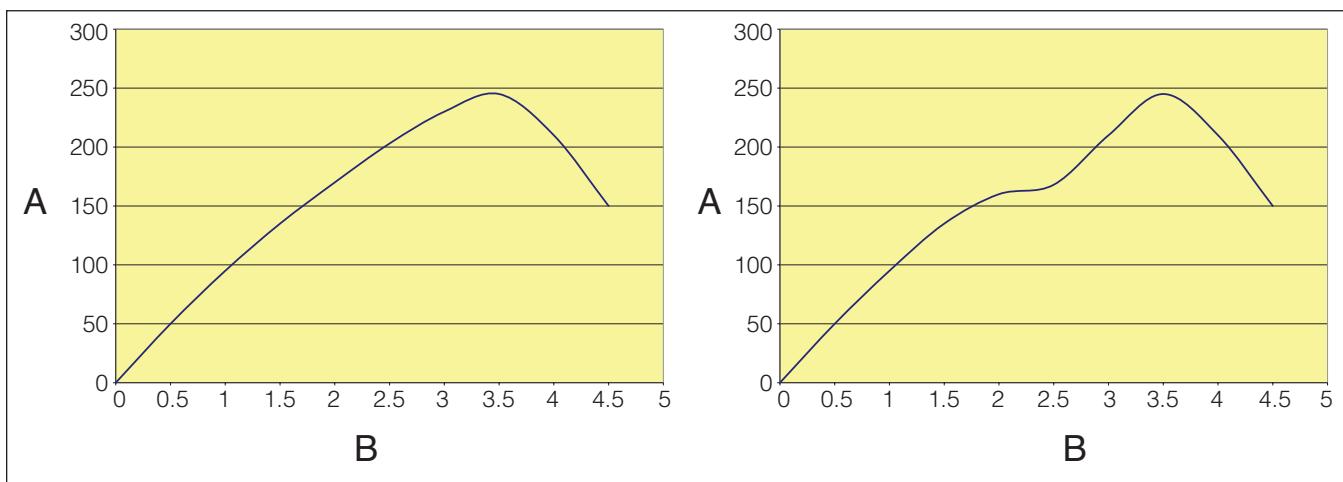


図 3-5 ピーク温度上昇勾配型 (RP) のプロファイル (左) と勾配加熱 - 均加熱 - ピーク加熱型 (RSP) のプロファイル (右) の例

A – 温度

B – 時間

3.1.3 項～3.1.6 項で説明するとおり、熱プロファイルには大きく分けて 4 つのゾーンが存在する。

3.1.1 熱電対の位置 図 3-6 に、プリント基板組立品上での熱電対の推奨位置を示す。熱電対は、大小の部品のはんだ接合部に取り付けることが重要である。また、BGA やその他の熱に敏感な部品については、パッケージの上面に熱電対を取り付けることが重要である (IPC/JEDEC-J-STD-020 または EIA/IPC/JEDEC-J-STD-075 を参照)。

ペーストインホールのはんだ付の場合は、部品本体とはんだ接合部および / またはリードに熱電対を取り付けることが望ましい。図 3-7 に、ペーストインホールはんだ付の場合の熱電対の位置を示す。

ピーク温度の測定値は、組立品のパッケージの中心部またはその付近に取り付けられた熱電対から抽出することが望ましい。場合により、先進的な構造 (2D/3D 組立品、またはヒートスプレッダやヒートシンクを内蔵した組立品) ではパッケージに孔を開ける必要がある。熱質量領域の最低から最高までを表せるように、BGA やその他の熱に敏感な部品用に少なくとも 2 つの熱電対を含む、4 個～6 個の熱電対を部品のさまざまな位置に取り付けることが望ましい。図 3-8 に、BGA における熱電対の位置を示す。

BGA の場合、図 3-9 と図 3-10 に示すように、BGA ランドの内側列と外側列に基板下面から孔を開け、熱電対を上面近くまで押し込むと、BGA ボールの温度を正しく測定することができる。BGA のボール温度は、内側列と外側列で 2°C 以内であることが望ましい。

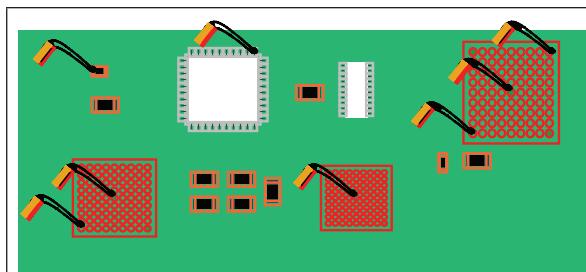


図 3-6 大小の部品が搭載されたプリント基板組立品上の熱電対の位置

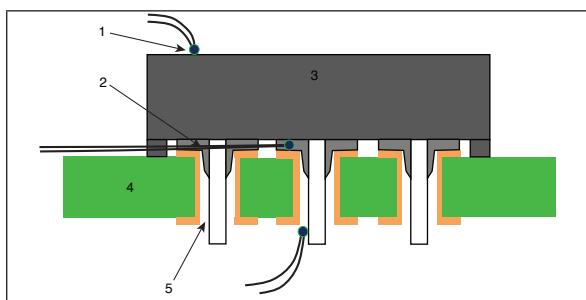


図 3-7 ペーストインホールはんだ付の場合に推奨される熱電対の位置

- 1 - 热電対のビードとワイヤー
- 2 - ソルダペーストの堆積部
- 3 - 部品本体
- 4 - プリント基板
- 5 - めっきスルーホール

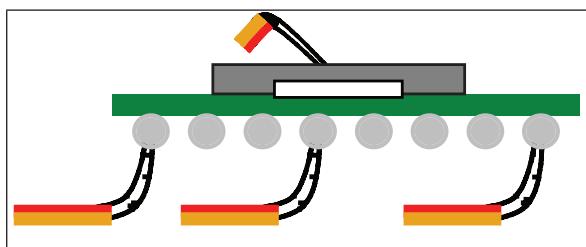


図 3-8 BGA の場合に推奨される熱電対の位置

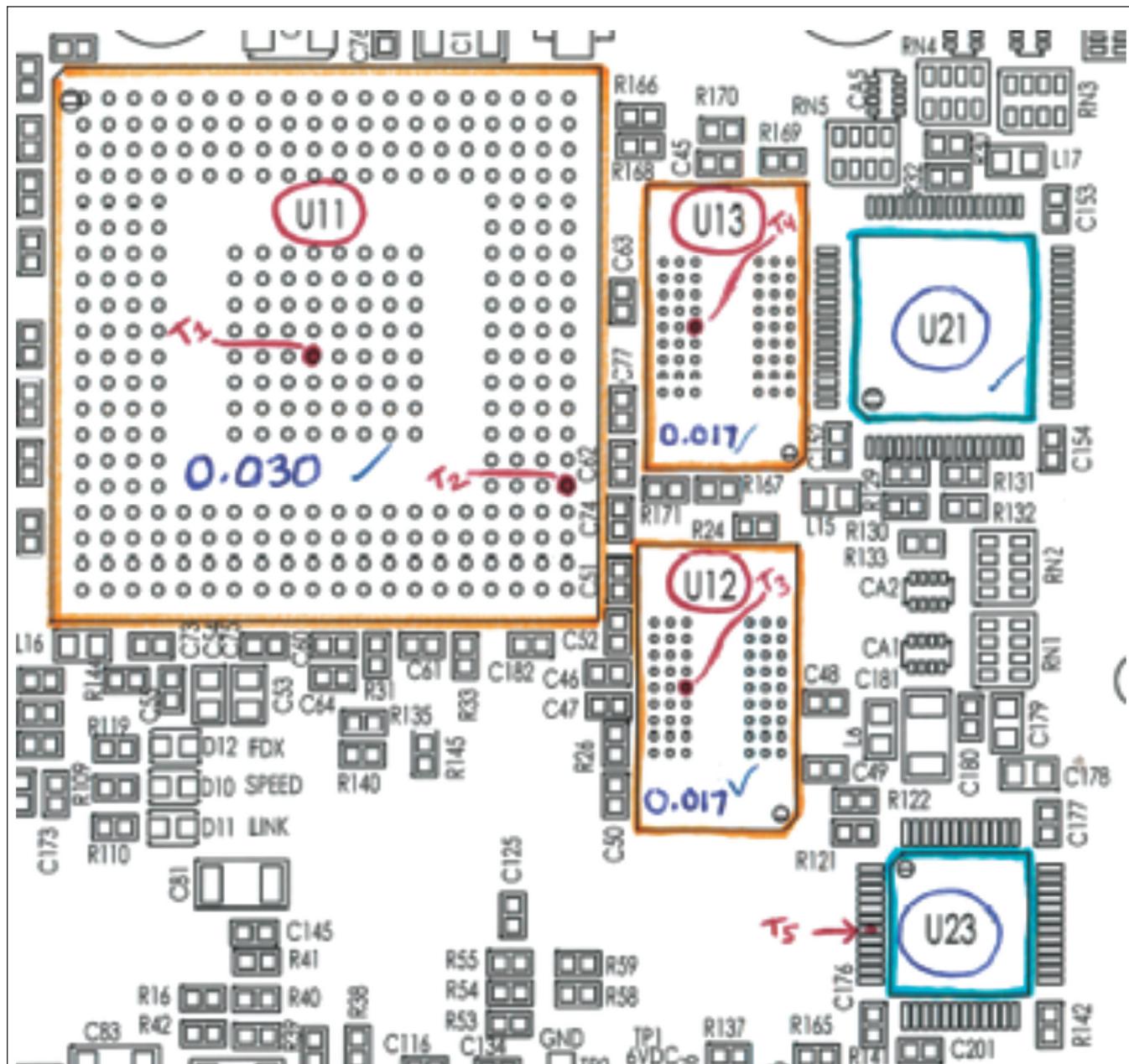


図 3-9 BGA とその他部品の下面から孔を開けて、熱電対を内側 / 外側の列に取り付けた例: その 1

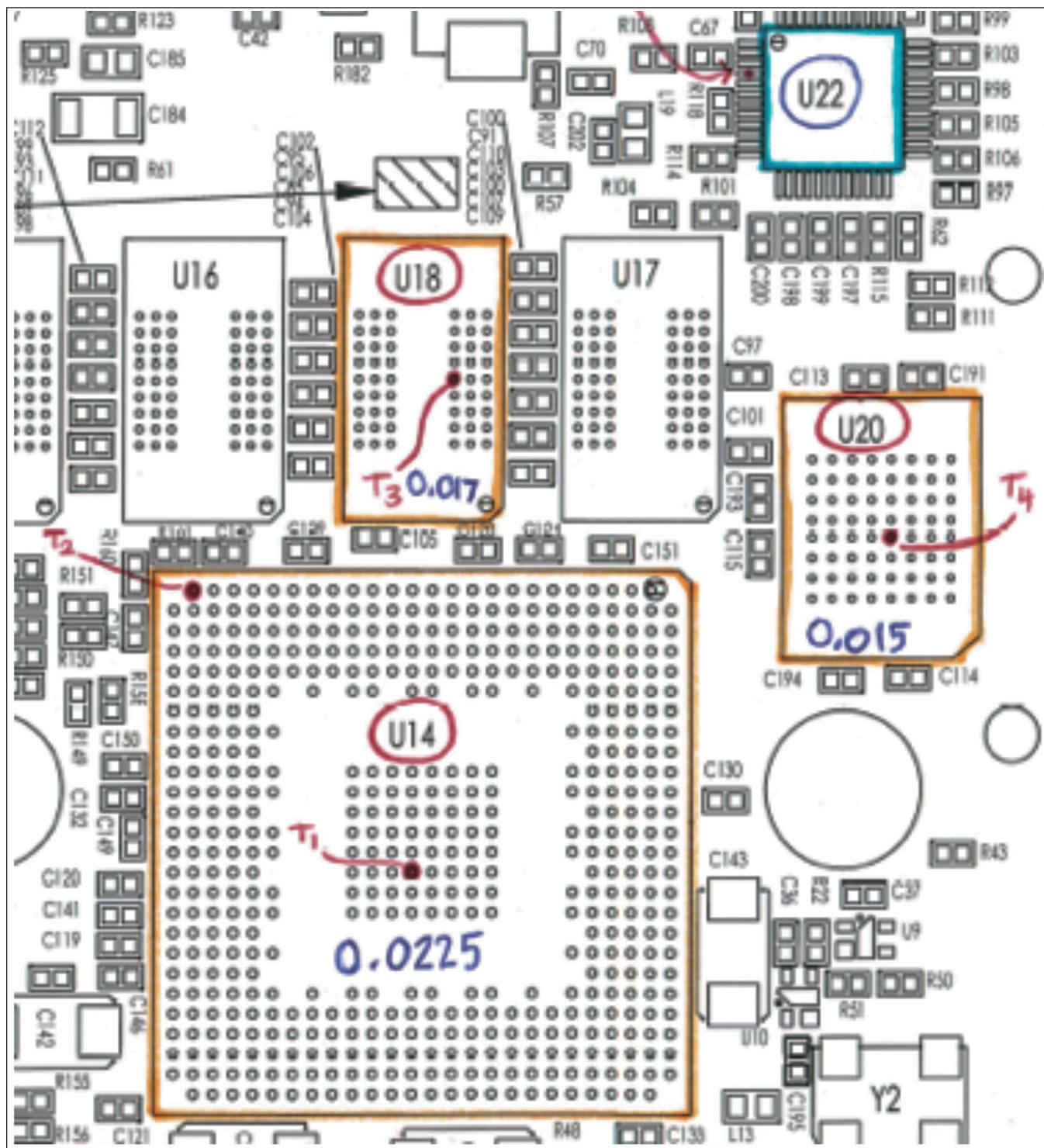


図 3-10 BGA とその他部品の下面から孔を開けて、熱電対を内側 / 外側の列に取り付けた例：その 2

3.1.2 热電対の取付け方法 正確な温度測定を保証するには熱電対を適切に取り付けることが重要である。プロファイル測定のために熱電対を組立品に取り付けるには、さまざまな方法がある。

ほとんどの用途では、36 AWG のワイヤーゲージが望ましい。熱電対のワイヤーが太いとヒートシンクとして作用し、温度測定に影響を与える可能性がある。最高の精度を得るには、熱電対のワイヤー長は 1 m を超えないことが望ましい。精度を確保するには、熱電対の接点を溶接することが望ましい。ねじり、または圧着はしないことが望ましい。熱電対はきちんと整頓され、適切に固定されていることが望ましい。図 3-11 は、はんだフィレット内の熱電対接点（ビード）の位置は熱的に重要ではないものの（図内の 1 と 2 を参照）、熱電対の 2 つの導体間に二次的な短絡が生じることにより熱電対接点に不具合をもたらし（図内の 3 を参照）、意図した位置での測定温度を歪めてしまうことを示している。

3.1.2.1 高温はんだ 高温はんだによる取付けは、一貫した再現性のある熱的接続を実現できることから、複数回のプロファイルが行われるサンプル用プリント基板組立品の場合に検討することが望ましい。図 3-12 と図 3-13 に、はんだによる熱電対の取付けを示す。高温はんだによる取付けは、はんだの融点付近で使用しないよう注意が必要である。

3.1.2.2 接着剤 热電対の取付けに用いる接着剤には多くのタイプがあり、それぞれ硬化メカニズム(熱、空気、UVなど)が異なる。使用する接着剤は熱伝導性があることが重要である。熱伝導性接着剤の詳細については、IPC-CA-821より入手できる。この取付け方法は、サンプル用プリント基板組立品や複数回のプロファイルが予定されている場合に、高温はんだではプロセス温度が高すぎるというときに考慮することが望ましい。図 3-14 と図 3-15 に、接着剤による熱電対の取付けを示す。

3.1.2.3 粘着テープ 粘着テープは熱伝導性に優れ、熱電対を確実に接続でき、また、非破壊的で傷や残さを残さない。粘着テープの活用により、正確な熱プロファイルを得るために必要な労力と費用を削減することができる。この熱電対の取付け方法は、信頼性と再現性に優れていることが知られている(図 3-16 と図 3-17 を参照)。プリント基板組立品の取扱い時には注意が必要であり、使用前に熱電対の確実な取付けを確認することが望ましい。テープはリフロー中に緩むことがある、その場合システムは、はんだ接合部の温度ではなくオープン内の空気の温度を測定することになる。

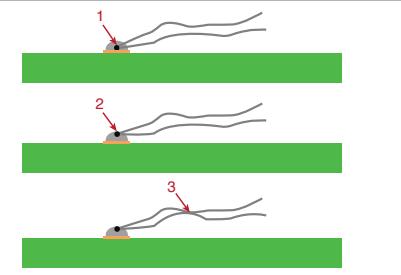


図 3-11 熱電対接点の管理

- 1 - 熱電対の取付け（許容可能の状態）
- 2 - 熱電対の取付け（許容可能の状態）
- 3 - 熱電対の配線（許容不可の状態）

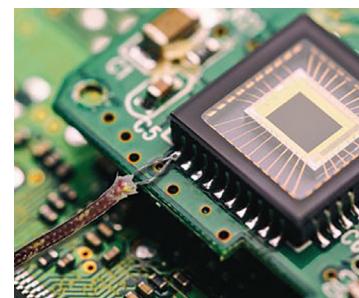


図 3-12 熱電対の取付け（はんだ付による方法）

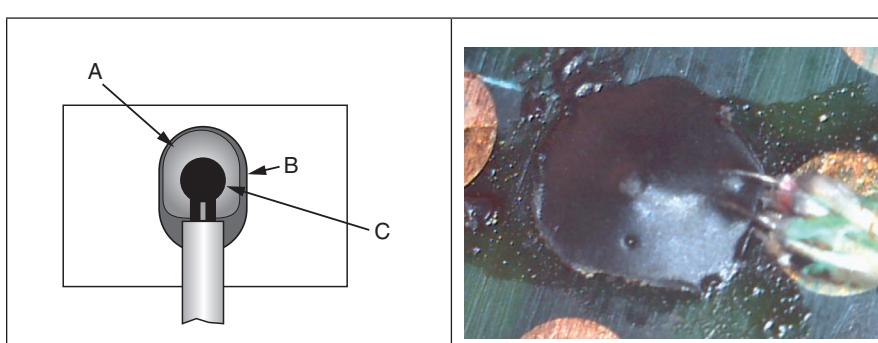


図 3-13 熱電対の取付け（はんだ付による方法）

- A - 高温はんだ
B - ランド
C - 热電対ビード

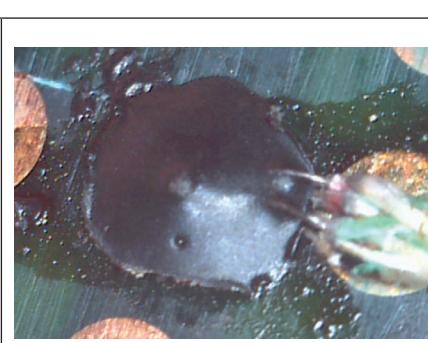


図 3-14 热電対の取付け（接着剤による方法）

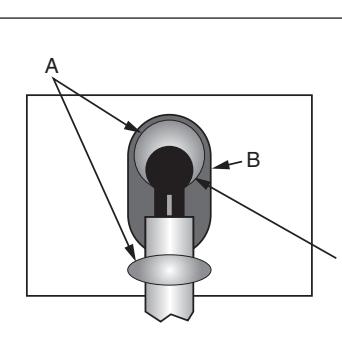


図 3-15 热電対の取付け（接着剤による方法）

- A - 接着剤
B - ランド
C - 热電対ビード

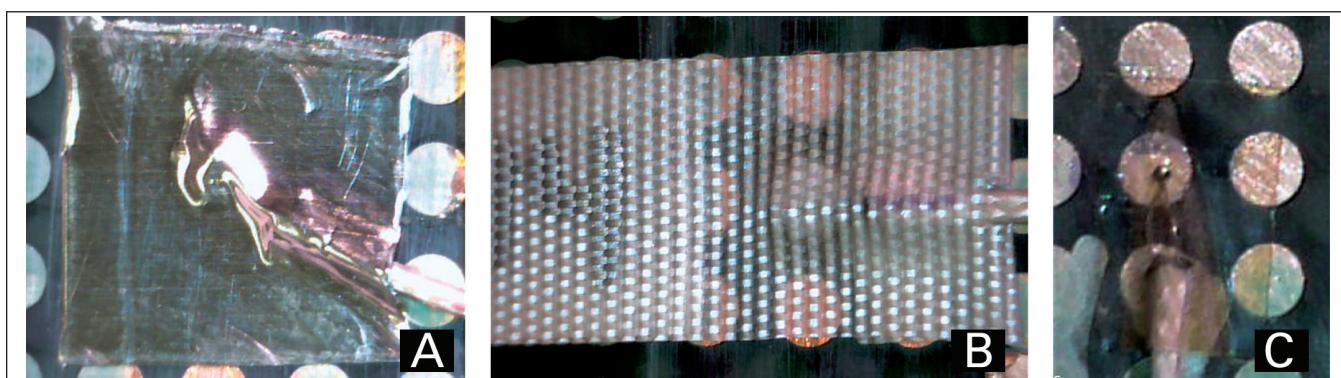


図 3-16 热電対の取付け（テープによる方法）

- A - アルミニウムテープ
B - ファイバーガラステープ
C - カブトンテープ

3.1.2.4 埋め込み型熱電対

この方法は特に BGA の場合に有利である。

熱電対を埋め込む場合は、部品実装前にはんだランドを中心でプリント基板組立品を貫通する孔を開ける。孔は、熱電対がぴったりと収まる大きさにすることが望ましい(36AWG の熱電対の場合は約 0.4 mm)。

その後、部品をはんだ付することが望ましい。下側から、同じドリルビットを使ってはんだ接合部に約 0.5 mm の孔を開け、はんだ接合部に熱電対を挿入し、接着剤で充填し、テープで固定する(図 3-18 を参照)。

3.1.2.5 機械的取付け

バネ式熱電対は、機械的な圧力で熱電対を測定ポイントに取り付けるものである。これらは、出荷される製造用プリント基板組立品に使用する場合がある(図 3-19 を参照)。

3.1.3 予熱ゾーン 予熱ゾーンの温度は 30 °C ~ 175 °C の範囲である。多くの部品供給者は、敏感な部品への熱衝撃を回避するため、通常は 2 °C ~ 4 °C/秒のランプ速度を推奨している。一部のコンデンサはウェーブソルダリングされ、ほぼ 120 °C の予熱温度から 260 °C のウェーブの槽温度まで上昇するため、このようなガイドラインは保守的(控え目)であると考えられている。高いランプ速度ははんだボール発生の可能性を増加させるため、組立品上の最も敏感な部品の許容ランプ速度を考慮し、実行可能な限り低く保つことが望ましい。

3.1.4 均加熱ゾーン 均加熱ゾーンは、プリント基板組立品全体を均一な温度にすることを目的としている。このゾーンのランプ速度は(SnPb では 100 °C ~ 180 °C、SAC Pb フリーでは 140 °C ~ 220 °C) かなり遅くなる。均加熱ゾーンは、ソルダペーストのフラックス活性化ゾーンとしても機能する。均加熱ゾーンの温度が高すぎると、次のような影響が出る可能性がある：

- はんだボール
- ペーストの過度の酸化によるはんだ飛散
- フラックス活性化能力の枯渇

均加熱ゾーンが長く設定されている意図は、特に BGA においてボイドを最小限に抑えるためである。また、均加熱ゾーンを使用せず、予熱ゾーンからピークリフローまで着実に温度を上昇させる方法も一般的である。しかしながらピークリフロー温度まで安定的に昇温すると、ボイド発生の可能性が高くなる。

3.1.5 リフローゾーン リフローゾーンでのピーク温度は、良好なぬれ性を確保し、強い金属間結合を形成するには十分に高くすることが望ましい。部品やプリント基板組立品の損傷や変色、最悪の場合はプリント基板組立品のデラミネーションや炭化を引き起こすほど高温にならないことが望ましい。

温度が低すぎると、はんだ接合部がコールド接合や粒状になる、はんだが溶融しない、あるいは好ましくない金属間化合物の結合を示すことがある。表 3-1 に示すように、このゾーンのピーク温度は、SnPb では 210 °C ~ 220 °C、Pb フリーははんだ合金では 230 °C ~ 245 °C に維持することが望ましい。液相線以上時間(TAL)は 60 ~ 90 秒であるが、60 秒に近いことが望ましい。はんだの融点、すなわち TAL 以上の時間が続くと、感温性部品は破損する。また、金属間化合物が過剰に成長し、はんだ接合部が脆くなり、はんだ接合部の耐疲労性を低下させることになる。

ニッケルの溶解速度は銅よりもはるかに遅いため、ニッケル / すずの金属間化合物は銅 / すずの金属間化合物よりも遅い速度で形成される。リフローソルダリングの場合は、金属間化合物が形成されるのに十分な時間を確保するため、ニッケルへのはんだ付にはやや長めの TAL を用いることが望ましい。

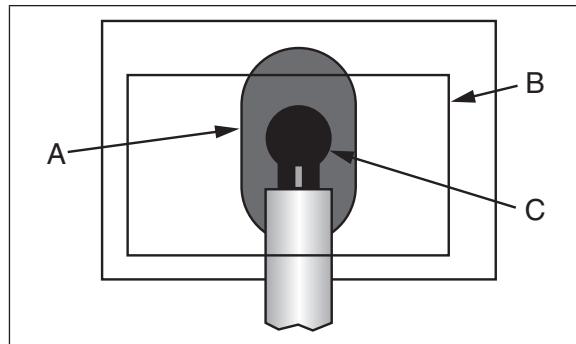


図 3-17 熱電対の取付け (テープによる方法)

A - ランド
B - テープ
C - 熱電対ビード

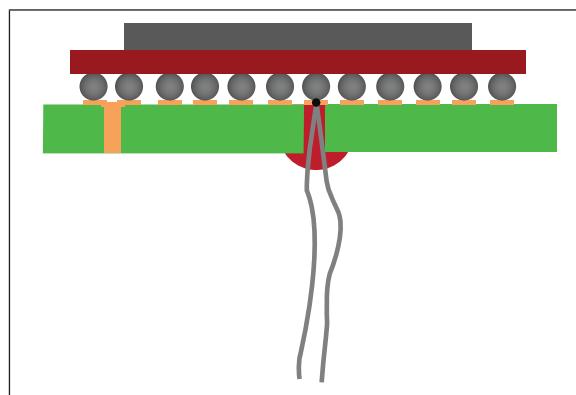


図 3-18 熱電対の取付け (埋め込みによる方法)

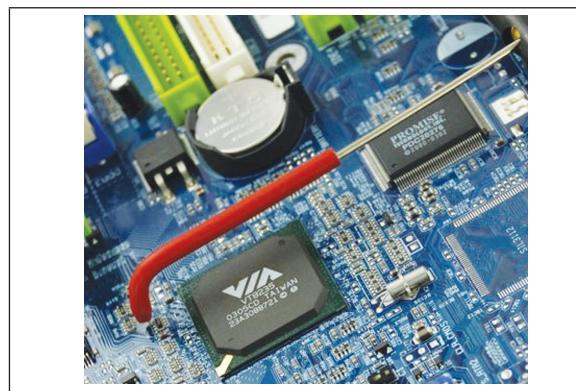


図 3-19 熱電対の取付け (機械的な方法)

3.1.6 冷却ゾーン 多くの組立品の典型的な冷却速度は $4\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ である。これは主に、スループットと SnPb の金属間化合物の厚さに関する懸念によるものである。Pb フリーはんだへの移行に伴い、SAC はんだの剛性が高くなり、積層板の耐屈曲性および破壊靭性が低下したことにより、パッドクレータリング欠陥が多発するようになった。パッドクレータリングはリフロープロセスの直後から確認されており、そのため冷却速度の影響を理解するためにいくつかの実験が計画された。パッケージの反りなどの欠陥の中でもパッドクレータリングの事象は、多くの企業がビスマス含有の Pb フリーはんだをより低温で使用する理由の 1 つとなっている（表 3-1 を参照）。

冷却フェーズでは、さまざまな材料が異なる速度で冷却される。通常、BGA パッケージははんだ接合部より早く、そしてプリント基板よりはるかに早く冷却される。この差動冷却により、相互接続部分の最も弱い箇所である BGA ランド下の積層板に機械的なひずみが発生することがある。冷却速度を $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ まで大幅に遅くすることで、すべての材料がゆっくりと冷却され、積層板にかかる負担を軽減することができるようになる。

コンソーシアムで行った実験では、冷却速度を遅くしても、はんだ接合部の金属間化合物や結晶構造に悪影響はないことが実証されている。リフロー直後にパッドのクレータリングが確認された場合、または組立品にクレータリングの危険性があると判断された場合は、プリント基板組立品の冷却速度を遅くしてひずみを軽減することが望ましい。

3.1.7 下位互換性のための熱プロファイル SnPb のプリント基板組立品に Pb フリー部品を使用する下位互換性の問題を取り扱う場合、熱プロファイルの作成は困難である。多くの部品供給者や製造者にとって、同じ部品の SnPb バージョンと Pb フリーバージョンの両方を提供することは経済的ではないという理由から、このようなシナリオが提示されるようになった。多くの SnPb 部品は、85% のすずと 15% 程度の Pb で表面処理されている。

SOIC、PLCC、または Pb フリーの表面仕上げを施したファインピッチ部品などのリード付き部品を使用する場合は問題ない。SnPb を主体としたプリント基板組立品に Pb フリー BGA を使用した場合、問題が生じる。最大ピーク温度が $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ の SnPb プロファイルを用いると、Pb フリーの BGA ボールはまったくリフローされないか、または部分的にのみリフローされ、はんだ接合部の深刻な信頼性の問題を引き起こす。

同じオープン内で、SnPb 部品がいくつかの Pb フリー BGA とともにはんだ付されている場合（SnPb バージョンが利用可能でない場合）、すべての SnPb 部品に損傷を与えないが、Pb フリーの BGA をリフローするのにも十分であるピーク温度を用いることが望ましい。プリント基板組立品のほとんどの部品が SnPb であることから、SnPb のソルダペーストを使用することが適切である。表 3-1 に示すとおり、SnPb にとってピーク温度は $210\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 220\text{ }^{\circ}\text{C}$ で十分だが、融点が $217\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 221\text{ }^{\circ}\text{C}$ である Pb フリーの BGA ボールにとっては不十分である。同じ組立品上のすべての SnPb 部品に深刻な損傷を与えることなく、Pb フリーの BGA ボールをリフローするには 60 秒～90 秒の TAL、 $228\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 232\text{ }^{\circ}\text{C}$ のピーク温度で十分である。

下位互換性のシナリオにおいて、SnPb と Pb フリーの BGA の両方をはんだ付するのに $228\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 232\text{ }^{\circ}\text{C}$ の厳しいリフロー温度帯域を実現することが難しい場合は、SnPb 部品を対流式リフローオーブンではんだ付した後に、BGA リワーク機器を使用して Pb フリーの BGA をはんだ付することを検討するか、SnPb のボール付き BGA の代替ソースを見つける。

3.1.8 各プリント基板組立品に固有のプロファイル プリント基板組立品上のすべての位置が、許容可能なはんだ接合を形成するためのさまざまな要件を満たしているということを示すには、プリント基板組立品ごとに固有のプロファイルを作成する必要がある。単一のプログラムでは、異なる固有のプリント基板組立品に対し、非常に異なるプロファイルを作成する。よくある誤解として、1 つのオープンのプロファイルがすべてのプリント基板組立品に対して機能するため、各プリント基板組立品に固有のプロファイルを作成する必要ないと解釈されていることがある。これは間違いである。なぜならば各プリント基板組立品には、固有の熱質量または異なるローディングパターン（プリント基板組立品がオープンにローディングされるときの組立品間の距離）があるからである。両面実装のプリント基板組立品では、部品の装着（配置）および銅プレーンの分配に応じて、各面に別々のプロファイルが必要となる。多くのプリント基板組立品においてプロファイルは同様に見えるかもしれないが、同様のプロファイルを作成する場合でも、通常は異なる装置プログラムが必要である。標準的な装置プログラムを少数持つことが一般的だが、許容可能なプロファイルを作成するには、具体的なプログラムを検証しておくことが望ましい。混用合金 BGA のはんだ付（下位互換性、上位互換性）の詳細については、IPC-7095 を参照のこと。

目的のプロファイルを作成するためにプログラムが最適化されたら、ソルダペーストとリフロー用の部品を含む、実際のプロダクション用プリント基板組立品を作成することを推奨する。リフロー後、はんだ接合部の品質を検査して、さまざまな部品のすべてのはんだ接合部が IPC-A-610 の要求事項と顧客固有の要求事項を満たしていることを検証する。プリント基板組立品の特定のセクションにのみ発生するランダムな問題は、はんだ付性に関連している可能性がある。あるセクションで一貫した問題が発生している場合は、不均一な加熱（広帯域）によるはんだプロファイル、ペースト品質、ランドパターン設計が関係している可能性がある。

目的とする結果を得られそうなプログラムを特定したら（設計およびその他の材料変数が最適化されていると仮定）、プログラムを文書化する。これを行った後は、プログラムおよび結果としてのプロファイルに変更を加えないことが望ましい。

3.1.9 フラックス

フラックスには2つの重要な機能が存在する：

- ・ フラックスは、プリント基板組立品および部品表面の汚染や酸化物を除去し、適切な非酸化金属表面を形成することが望ましい。
- ・ また加熱中は、金属表面が再度酸化することができないよう保護することが望ましい。

よく起こる間違いとして、はんだが溶融する前に、フラックスを使い切ってしまうような熱プロファイルを用いることがある。フラックスは、はんだが溶け始めてまだ活性していることが望ましい。活性時間は90～120秒の範囲であることが望ましく、SnPb ソルダペーストのフラックスは、通常130°C近くで活性化する。一般的にPbフリーはんだのソルダペーストの活性度は高くなる(150°Cの範囲内で)。しかしながら、ソルダペースト供給者のデータシートをレビューすることが望ましい。部品リードの仕上げと適合性のあるフラックスおよびはんだ合金を選択することが重要である。

3.2 材料の問題 不適切に熱を供給することにより、部品が破損することがある。すべての部品には熱に対する暴露限界がある。SnPb SMT 部品のほとんどは、ピーク温度220°Cに最大で60秒間耐えることが望ましい。Pbフリー BGA は、より高い温度(約240°C～260°C)定格に対応できることが望ましいが、BGAの定格はユーザーが確認することが望ましい。急速な熱の供給によって引き起こされる熱衝撃は、特定の部品に亀裂を生じさせる可能性がある。しかしながら、リフロー一オーブンのピーク温度はさまざまであることから、SnPb 製品の場合では210°C～220°C、Pbフリー製品の場合では235°C～245°Cというはんだ接合部の温度まで、制御および確立されたプロファイルではんだを加熱することを目的とする。

感湿性部品のリフロー感度については、J-STD-020、J-STD-075、J-STD-033を参照のこと。

部品リードの仕上げは、はんだ付性に影響する。SnPb、金、すず、パラジウムなどさまざまな仕上げがあるため、部品リードの仕上げと適合性のあるフラックスおよびはんだ合金を選択することが重要である。

3.3 リフローソルダリング はんだリフローと接着剤硬化に関し組立品をプロファイルする場合、以下を監視することが望ましい(ソルダペーストの場合は図3-1に示すとおり)：

・ **ランプ**：これは、プリント基板組立品を所定の速度で常温から加熱するプロファイルの一部である。部品の損傷を防ぐにはランプの制御が必要である。こうすることでフラックスが完全に活性化する前に、フラックス溶剤を蒸発させることも可能になる。

・ **均加熱時間**：これは、プリント基板組立品全体の温度平衡を確保するために監視される。また、この部分でソルダペースト内の揮発性成分を排出し、ペーストのフラックスを活性化させて酸化物を除去する時間を確保する。

注意 - 熱プロファイルに均加熱ゾーンを用いると、BGA はんだ接合部のボイド低減には有効だが、BGA の HoP 発生が増加する場合がある。HoP を最小にするには RP プロファイルを検討することが望ましい。

・ **TAL**：これは、はんだ合金が液相になる時間。プリント基板組立品は、この状態で十分な時間をかけて、すべての領域がはんだ付温度に達するようにすることが望ましい。共晶はんだは固相温度と液相温度が同じであるため、共晶はんだの TAL は、非共晶はんだの場合よりも短くなることがある。

・ **ピーク/スパイク温度**：ピーク温度とは、監視場所の熱電対によって記録された最高温度である。過度の温度は、部品やプリント基板組立品に損傷を招く可能性がある。

・ **硬化時間帯**：接着剤が適切に硬化するよう、硬化時間帯を監視する。

注：図3-20に、接着剤、アンダーフィルまたはその他材料の硬化プロファイルの例を示す

3.3.1 真の液相線以上時間(真のTAL) BGAでのHoP発生を最小限に抑えるためには、TALと真のTALとの違いを理解することが重要である(図3-21と図3-22を参照)。BGAの内側列と外側列のボールに熱電対を取り付ける場合、一般的にはBGAの外側列のボールの温度が内側列のボールの温度よりも高くなり、外側列と内側列のボールの融解にLTD(図3-21を参照)が発生することが多々ある。

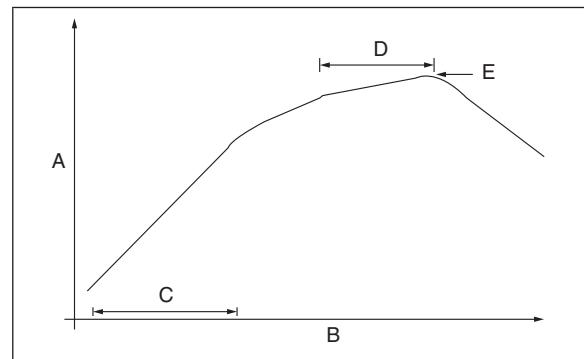


図 3-20 硬化プロファイル

A – 温度
B – 時間
C – 予熱傾斜 = 温度ランプ速度
D – 硬化時間帯
E – ピーク温度 = 組立品の最大温度

また真の TAL を別の言葉で表現すると、大きさに関わらずすべての部品において、そのはんだ接合部がはんだの融点以上になっている時間、と表すことができる。また、真の TAL とは、すべての測定点が同時に液相線上にある時間、またはその小さい方の数値である。特に大型 BGA では、外側列のボールの TAL が高く、内側列のボールの TAL が低い場合があり、これは非常に重要である。

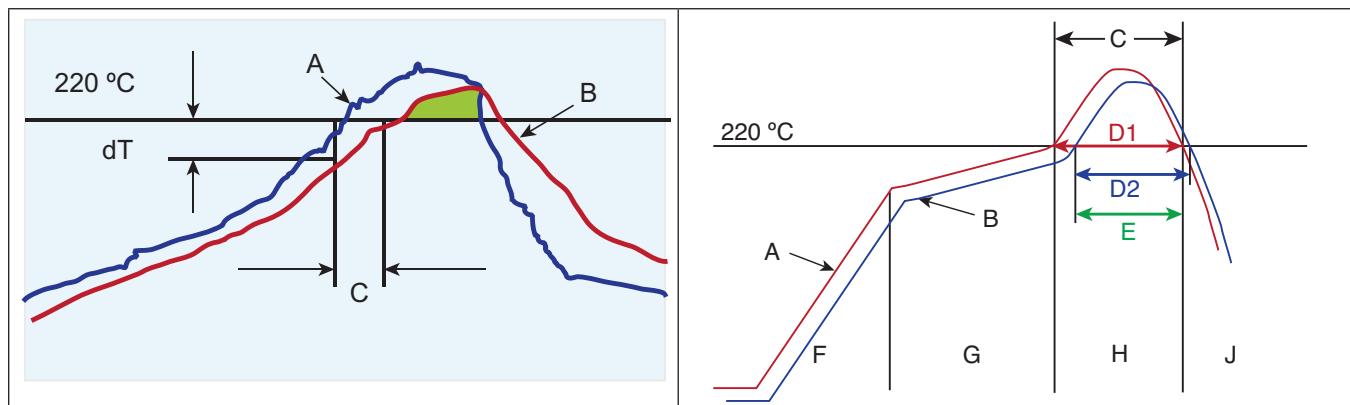


図 3-21 ヘッドオンピローにおける液相線遅延時間 (LTD) の作用

注: 真の TAL(緑色の部分) は TAL よりも小さくなる。LTD は、一部のボールが液相線温度を超えていなかった時間である。
A – 外側列のボール
B – 内側列のボール
C – LTD

図 3-22 TAL vs. 真の TAL

注: 真の TAL は TAL よりも小さくなる。
A – 外側列にある BGA ボールの温度
B – 内側列にある BGA ボールの温度
C – 60 ~ 90 秒
D1 – TAL 热電対 1
D2 – TAL 热电対 2
E – 真の TAL
F – 予熱
G – 均加熱
H – リフロー
J – 冷却

このときに限り、部品は自由にセルフアライメントがなされる。いずれの 1 つの TAL では、部品全体が自由にセルフアライメントできる実際の時間を測定することはできず、これは真の TAL の測定の必要性を示すものである。

真の TAL を十分に大きく(60 秒)することで、HoP を回避することができる。また、HoP を最小限に抑える方法として、長すぎる均加熱を避け、すべてのボールで最低 235 °C のピークを確保することが挙げられる。下位互換性を考慮する場合は、最小ピークは 232 °C になるように努力する。HoP を最小限に抑えるには、RSP プロファイルの代わりに RP プロファイルを用いるが、RP プロファイルの場合、BGA のボイドが増大する可能性があることを理解しておくこと。ボイドは重大な欠陥ではないが、HoP は重大な欠陥であることを念頭に置くことが重要である。下位互換性用に表 3-1 で推奨する 228 °C ~ 232 °C のピーク温度範囲は、HoP 問題を扱う場合には無視することが望ましく、232 °C のピークを用いることとする。

Pb フリーでのリフローの具体的なピーク温度と TAL の目安は以下の通りである：

- **ピーク温度:** 目標温度は 235 °C ~ 245 °C とするが、 $240 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ を目指すこと。
- **TAL:** 220 °C(はんだ溶融温度) 以上の時間は、60 ~ 90 秒(理想的には 70 秒) が望ましい。
- **TAL:** 240 °C(目標ピーク温度) での時間は 5 ~ 15 秒(理想的には 10 秒) が望ましい。
- **真の TAL:** 全 BGA ボールで 60 秒を目標とする。

注: 大型部品の領域では、それら部品のすべての配置場所が同時に液相線に到達しないということが解明されている。一部の部品は他の部品よりも遅く液相線に到達する。

3.4 機器の設定

3.4.1 リフローオーブンの選定

リフローオーブンは、さまざまなサイズと形状で利用可能である。特定の目的に最適なリフローオーブンの選定には、組立対象のデバイスの種類や構成/オプションなど、さまざまな要素を考慮することが望ましい。

製品用途の観点から検討することが望ましいオプションには、以下が含まれる：

- 製品のサイズ
- 目標とするスループット
- はんだのタイプ
- フラックスのタイプ
- 組立品のコスト

このようなオーブンに関する選択肢には、以下のものが含まれる：

- IR または対流式の加熱ゾーン数
- クリアランス高さ
- 充填用ガス
- コンベアベルトタイプ
- ベルト幅
- オンボードでのプロファイル測定能力
- 製品トラッキング
- エッジレールまたはセンターサポート機能

3.4.2 項～3.4.7 項に、これらのオプションの一部を示す。

3.4.2 IR と対流式の比較 リフローオーブンは IR または対流式リフローが一般的である。IR オーブンでは、放射熱を利用してセラミックヒーターから組立品に熱を伝える。対流式リフローでは、ファンから、加熱された空気が組立品に送り込まれる。最近のリフロープロセスやオーブンの構造の進化により、真空リフローが進化している。真空リフローはデバイスを取り付ける際に、はんだのボイド発生を非常に少なくする必要がある用途に役立つ。

3.4.3 加熱ゾーンの選択 標準的なリフローオーブンの加熱ゾーン数は 7～12 以上である。Pb フリー用途でのゾーン数は、最低でも 7 つあることが望ましい。

熱プロファイルの設定において上部と下部ヒーターは、一般的には独立して設定することが可能である。他の機器とインラインでリフローオーブンを設置する場合、スループットと最適な温度プロファイルのバランスをとるために、オーブンの長さや加熱ゾーンの数などを考慮する必要がある。

3.4.4 クリアランス高さ、コンベアベルトのタイプ / 幅、エッジレールサポート ゾーン内およびゾーン間の加熱を一定に保つため、通常はオーブンのクリアランス高さは最小限に抑えられている。また、特定のオーブンに必要なクリアランス高さを定義する際には、製品の高さも考慮する必要がある。

組み立てられる製品の種類によって、コンベアベルトがファインメッシュであるかどうかが変わる。デバイスが極めて小さい場合は、オーブン内を搬送するための追加治具を使用せずに済むよう、ファインメッシュのベルトが必要になることがある。オーブンを通過する組立品のサイズによっても、必要なベルト幅が決まる。

プリント基板組立品が両面実装の場合、エッジレールをオーブンに追加することでコンベアベルト上で組立品をサポートできるため、プリント基板組立品周囲の空気の流れをよくするための追加固定治具は不要になる。

3.4.5 充填用ガス 標準的なリフローオーブンでは、リフロー中に開放雰囲気下でオーブンを運用する、あるいは窒素などの充填用ガスを使用して運用する。窒素ガスの必要性は、用途に応じたソルダペーストのフラックスの種類、プリント基板組立品上のめつき、組立対象の IC の端子によって異なる。

窒素は金属表面の酸化を遅らせる、あるいは再酸化を防ぐ働きがある。また、特に NiAu やベア銅のランドへのはんだ付において、リフロー時のぬれ性を向上することが可能となる。ソルダペーストの進化により、特にソルダペーストに高活性フラックスを使用する場合は、窒素の必要性が減少している。しかしながらこれは、フラックス残さを除去するための洗浄工程が必要かどうかというトレードオフにつながる。

オーブンに窒素パッケージを追加する大きな欠点は、機能を追加するための初期コストだけでなく、オーブンに施設用ガスを配管することによる長期的な所有コストが発生するという点である。

3.4.6 プロファイル測定 多くの場合、リフローオーブンはオンボードでリフロープロファイル測定ができるように構成されている。これは、熱電対の一端をオーブンに取り付け、もう一端を、オーブン内を移動する製品に取り付けるものである。これにより、プロファイル測定機能のためにデータレコーダーを追加購入する必要がなくなった。

3.4.7 製品トラッカー また、リフローオーブン内の部品のトレーサビリティを確保するため、製品トラッカーを搭載することも可能である。このトラッカーは、オーブンの入口と出口にセンサーを取り付け、製品がオーブンに入るタイミングと出るタイミングを感知するものである。

3.4.8 プロファイル作成手順 リフローソルダリングのプロファイルは、予熱、はんだ付、冷却の3つのフェーズで構成されている。リフローソルダリングのプロファイルの作成には、次のような作業を含めることが望ましい：

- はんだ合金とフラックスを選択する（主な制限事項を特定する）
- 部品仕様をレビューする（主な制限事項を特定する）
- サブストレート仕様をレビューする（主な制限事項を特定する）
- コンベアスピードの範囲を計算する
- 予熱ゾーンの温度設定を選択する
- リフローゾーンの温度設定を選択する
- 冷却の設定を選択する

4 ベーパーフェーズリフローのプロファイル測定

ベーパーフェーズソルダリング (VPS: 気相はんだ付)、別名「蒸気凝縮はんだ付」の普及には、さまざまな背景がある。

- 固定ピーク温度 (215 °C または 230 °C)
 - 熱質量に大きなばらつきのある超大型と小型部品を含む
 - 大型部品と小型部品でほぼ同じピーク温度を実現
- 感温性部品
- 高融点 Pb フリー合金
- 優れた熱伝導能力
- 不活性環境
- 真空機能 (一部機種に搭載)
- 装置内蔵型の予熱機能
- ピーク温度が低いため、金属間化合物の厚みを薄くできる可能性がある
- 真空機能を使用することにより、ボイド発生の低減が可能
- プリント基板組立品の清浄度改善
- 表面絶縁性が高い

このような原動力を備えていても、VPS の人気は一定していなかった。1980 年代初頭にはよく使われたプロセスだったが、VPS のプロセス自体の問題や IR プロセスの改善などの理由で、その使用はかなり減少した。対流式システムは、VPS 特有の問題を抱えることなく、効率的な加熱が可能であることが知られている。

1980 年代後半になると、J ウィングやガルウィングなどのリードにウィッキングが多発し、オープンはんだが発生したため VPS はほぼ姿を消した。このウィッキングは、VPS 使用時にリードとランドが異なる速度で加熱されたために発生したものであり、これらは非平面性（リードがランドに接触していない）により悪化する。リードの表面は、ランドの表面よりも数秒早くはんだの融点に達する。そのため、ランドがはんだをぬらすのに十分に高温になる前に、ソルダペーストが溶けてリードをぬらし、リードをぬれ上がっててしまうのである。ランドがソルダペーストの融点に達する頃には、ランド上に十分なはんだが残っておらず、良好なはんだ接合部を形成することができなくなる。VPS は、リード部品、特に J リードデバイスのウィッキングのほか、チップ部品ではツームストーン現象を起こすことが知られている。

図 4-1 は、VPS プロファイルにおいてランドより先にリードが融点温度に達している様子を示したものである。J リード部品が融点に達するのに時間遅延が起きることで、はんだ接合部にウィッキングやオープンが発生する。予熱機能を内蔵した新規の VPS システムでは、このウィッキングの懸念が減少している（図 4-2 参照）。

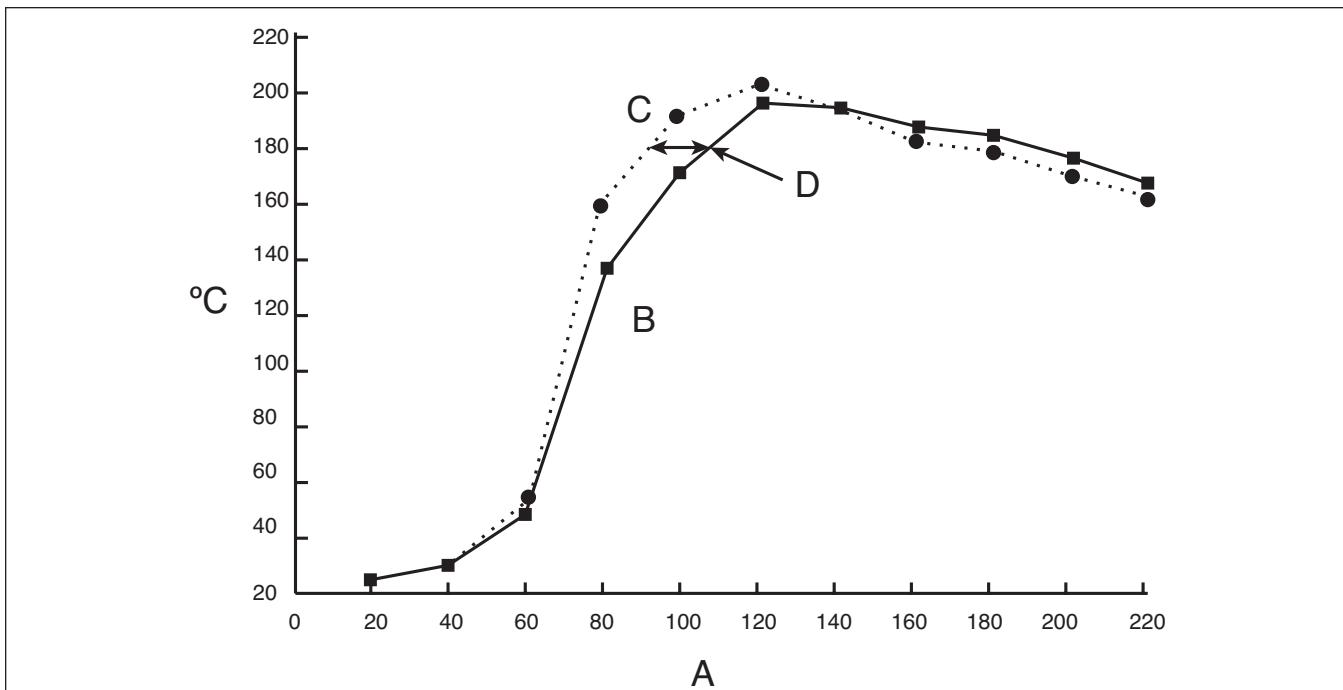


図 4-1 ウィッキングとオープンを示す VPS プロファイル

A – 時間 (秒)

B – ランド温度

C – リード温度

D – 183 °C で 16 秒のラグ

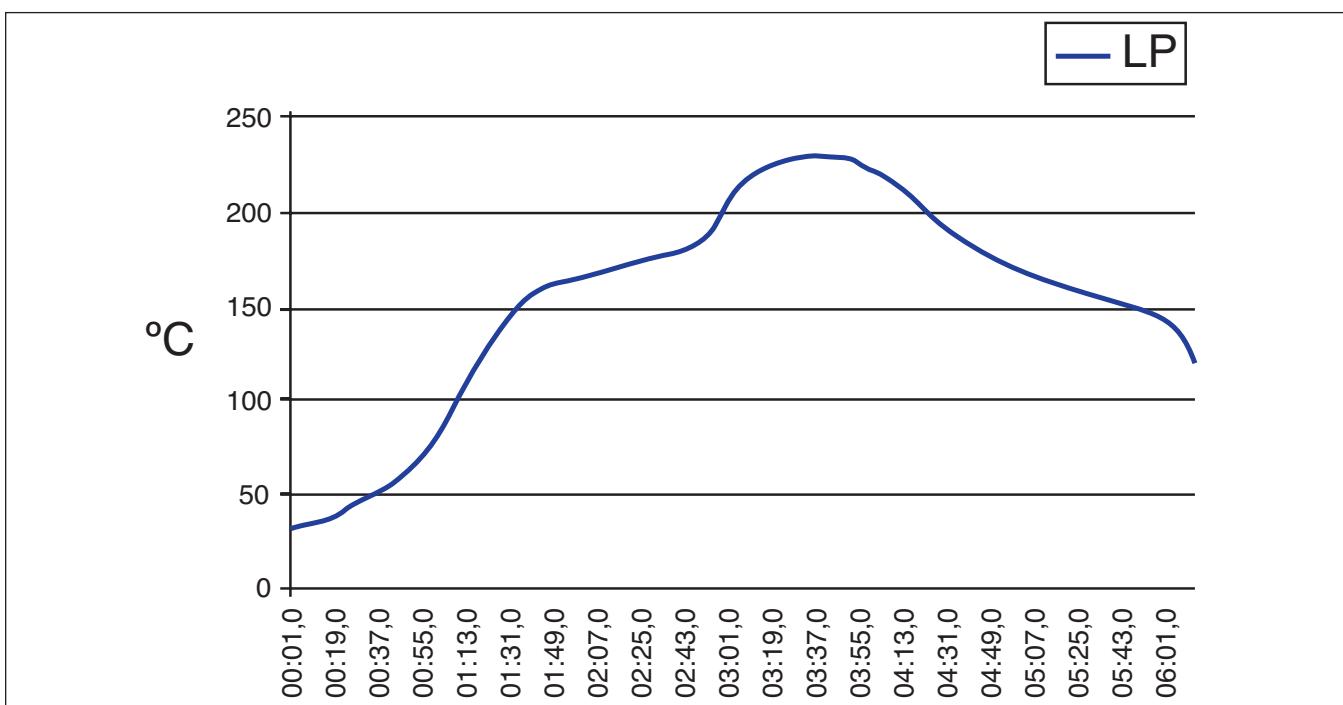


図 4-2 対流式プロファイルと同様の、予熱機能付き VPS のプロファイル (時間: 分表示)

VPS は、液体の気化潜熱を利用してはんだ付の熱源を供給するものである。この潜熱は、不活性液体の蒸気が部品リードやプリント基板のランドで凝縮することで放出される。この液体は、空気と水分を置換する高密度の飽和蒸気を発生させる。飽和蒸気帯の温度は、蒸気相 (ベーパーフェーズ) の液体の沸点と同じである。この液体には環境に対する懸念はない。

4.1 ベーパーフェーズリフロー ベーパーフェーズリフローは一次および二次流体媒体を使用する、一液式または二液式で動作する。このプロセスはバッチ生産用装置で二液式の方法を用いて開発されたが、現代のインラインシステムでは、通常は一液式で動作する。いずれの方式でも、ベーパーフェーズリフローで組立品が到達する最高温度は一次流体媒体の選択によって異なる。一次ベーパーフェーズ流体媒体は、SnPb(210 °C ~ 220 °C)とPbフリー(235 °C ~ 245 °C)はんだ付に対応した温度帯で利用可能である。すべての一次流体媒体はペルフルオロカーボンとして分類されるが、基本構造(アミン、環状構造またはエーテル)により、使用中の安定性、ソルダペースト化学品の溶解性およびプロセス全体の経済性の主要特性が決定される。流体媒体の選択は、通常はリフロー対象のはんだ合金の融点に基づき行われる。前述の範囲においては、標準的な取付けプロセス用に用いられるSnPbまたはSnPbAg合金の場合、より低い温度が適している。この範囲の上限は、PGAパッケージへのピン取付けに使用される高Pb合金のリフローを可能にする。特殊合金のリフローを扱うユーザーでは、2種類の一液を混合して、特定の安定沸点に合わせたベーパーフェーズシステムを構築することに成功している。温度が高いほど短時間で処理できるため、ソルダペーストによっては有利な場合がある。

一次ベーパーフェーズの流体媒体は不活性であることが望ましく、また、後で除去が必要となるような汚染物質は混入させないことが望ましい。流体媒体に溶けたソルダペーストの化学品が高沸点の蒸気とともに運ばれ、基板の表面に付着する。このような残さは除去が困難な傾向にある。一次流体媒体内のソルダペーストの残さを最小限にすることで、媒体の寿命を延長し、ペースト成分の溶出による沸点上昇を防ぎ、洗浄を容易にすることが可能となる。

二次ベーパーブランケットは、もともとはCFC-113という低沸点のフッ素系材料であり、コストのかかる一次流体媒体の上に低コストの犠牲カバーを形成していた。2つの流体媒体の界面で常に高沸点の一次媒体にさらされると、二次媒体が界面で熱分解を起こし、塩酸(HCl)とフッ酸(HF)の蒸気が発生する。この腐食性の蒸気は、時間の経過とともにはんだ付装置を破壊することが多々ある。フラックス残さに蒸気が吸収され、高信頼性製品に問題を発生させるが、これは装置の破壊に比べれば稀なことであった。CFC-113の廃止に伴い、産業界はそれに代わる低沸点のペルフルオロカーボンを導入した。この第二世代の二次ブランケット流体媒体は、高沸点のベーパーフェーズ流体への長時間の暴露と比べると、CFC-113よりも安定していた。

SMT技術の発展に伴い、多くのユーザーはより高いスループットの一液式によるインライン装置へと移行していった。ベーパーフェーズリフロー後のデフラクシングは、極性溶媒を使用するか、ソルダペーストの残さを確実に除去できる水系洗浄剤を使用して、ソルダペーストの組成に応じた洗浄方法を選択して実施することが望ましい。この決定に影響を与える二次的な要因は、互換性および部品とプリント基板組立品表面間の隙間である。加えて、多くのペルフルオロ化合物は極めて長寿命の地球温暖化物質であることから、このタイプの装置を使用する結果として化学的影響が潜在することについても、ほとんどの企業は重大な懸念を示した。

5 ウエーブソルダリングのプロファイル測定

定義によると、量産用ウェーブソルダリングは半自動または自動化されたプロセスであり、同時に多くのはんだ接合を行うことを意味する。この作業を行うために設計された装置は、一般的に4つの基本的な特性を備えている。

- 製品搬送
- フラックス処理能力
- 予熱機能
- ノズル付きはんだ溶融槽

ウェーブソルダリング装置の大きな特徴は、使用するウェーブノズルのタイプである。これにより、挿入実装部品とSMT部品の両方のはんだ付品質が決定する。一般的に使用されるはんだウェーブ(波)はシングルウェーブかデュアルウェーブの方式であり、一次ウェーブは乱流し振動する。また、はんだが一方向または両方向にはんだ槽に落ちるかどうかも、はんだウェーブのもう1つの大きな特徴である。一般に、はんだが一方向にしか落ちないウェーブでは、つららやブリッジなどの欠陥が非常に少なくなる。

装置の製造者間の違いは、この基本コンセプトと機器制御の適用有無である。熱プロファイルを作成する際には、各装置の特性を考慮する必要がある。従来のウェーブソルダリング装置は、挿入実装や一部のSMT部品(チップ抵抗器やコンデンサなど)の大量はんだ付に使用されている。下面電極のSMT部品をはんだ付する場合、はんだ付の前に硬化型接着剤で部品を固定する。

ウェーブソルダリングシステムは、はんだ付作業を自動で行うシステムである。

- 1) フラックスの塗布
- 2) はんだ付対象領域の予熱
- 3) 溶融はんだの供給
- 4) 凝固

これらの特性がすべて作用して適切なはんだ付を実現する。コンベアスピード、フラックス塗布、プリヒーター、はんだ温度など、選択した最適なプロセスパラメータを記録して、はんだレシピを作成する。

ウェーブソルダリング用に組立品をプロファイル測定する場合、以下の領域を監視することが望ましい。

- ・ 予熱: プリント基板組立品、部品、フラックスが劣化することなくはんだ付温度に到達するよう、昇温速度を制御する。
 - ・ 热衝撃 / ピーク温度: 热衝撃とピーク温度を測定し、損傷の原因となるような過度の衝撃や温度に部品がさらされていないことを確認する。
 - ・ 浸漬時間: 浸漬時間を測定し、はんだに過剰な浸漬時間が発生しないようにする。これは部品に損傷をきたす可能性がある。
 - ・ 上面側のピーク温度: リフローで形成されたはんだ接合部が液体状態に戻らないように、上面側のピーク温度を監視する。
- デュアルウェーブソルダリングプロファイルの例については、図 5-1 を参照のこと。

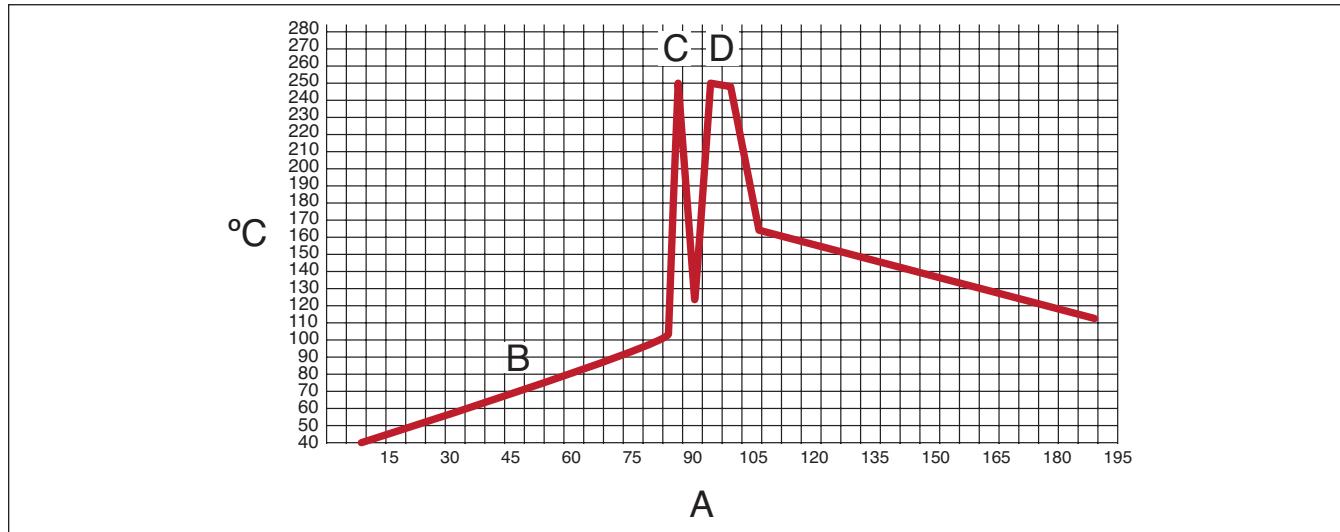


図 5-1 デュアルウェーブソルダのプロファイル

A - 時間 (秒)

B - 予熱

C - 一次ウェーブ

D - 二次ウェーブ

5.1 装置に関する考慮事項 はんだ付装置の各部分には固有の機能が備わっているが、フラクサー、プリヒーター、はんだ槽との相互関係や依存関係があるため、それぞれの機能はシステム全体として考えることが望ましい。特に、時間と温度の相関には注意を払うことが望ましい。溶融はんだ温度は通常一定であるため、変動要因はプリヒーターの温度、コンベアスピード、予熱とはんだ槽の浸漬時間である。予熱とはんだ槽での浸漬時間は、熱プロファイルの主要な変数である。

所定のプリント基板組立品におけるはんだ付の最終結果は、フラックス塗布の効果、コンベアスピード、予熱温度、はんだ槽温度の関数である。

5.2 コンベアに関する考慮事項 ウェーブソルダリング

装置に附帯するコンベアは、搬送部分と制御装置から成る。コンベアスピードにより、予熱時の時間と温度の関係、はんだの接触、および部品リードがはんだ内に浸漬する時間を制御する。またコンベアにより、プリント基板組立品とフラックス塗布、プリヒーター、はんだ槽との距離や角度を制御する。

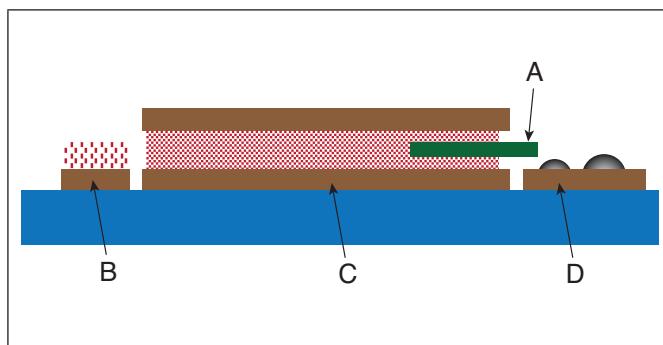


図 5-2 上面予熱温度のピーク値注 :

予熱終了時のプリント基板組立品の上面温度は、SnPb で 100 °C ~ 120 °C、Pb フリーで 110 °C ~ 130 °C である。プリント基板は左から右に移動する。

A - 上面予熱温度をここで測定する

B - フラックス塗布

C - 予熱 (上面と下面)

D - はんだ槽

5.3 予熱に関する考慮事項 ウェーブソルダリングの際にプリント基板組立品を予熱するが、その理由は以下のとおりである：

- ・フラックス中の揮発性溶剤を乾燥させる
- ・最適なフラックス活性度を実現する
- ・プリント基板組立がはんだウェーブ上を通過する際の熱衝撃を低減する
- ・接合する金属をはんだ付温度まで上昇させることで、はんだ槽からの熱量を低減する
- ・より高速のコンベアスピードを用いることでサイクルタイムを最小限に抑える
- ・つららやブリッジの発生を低減する

予熱の際、いくつかの異なる方法 (IR ランプ、IR パネル、放射ヒーター、強制温熱対流ヒーターなど) により、熱エネルギーが発生しプリント基板組立品に伝達される。いずれの方法を用いるにしても、一貫した再現性のある温度管理を行うことが重要である。予熱のピーク温度は、通常、プリント基板組立品が予熱領域から出る際にプリント基板組立品の上面で測定する (図 5-2 を参照)。SnPb はんだ付の場合、上面の予熱のピーク温度は通常 100 °C ~ 120 °C である。Pb フリーはんだ付の場合、上面の予熱のピーク温度は通常 110 °C ~ 130 °C である。

5.4 はんだ槽に関する考慮事項 はんだ槽は 1 つまたは 2 つの波 (ウェーブ) が設定されており、この波でプリント基板組立品に接触しはんだ供給される。はんだ槽は温度を一定に保ち、欠陥 (ブリッジ、つらら、オーブンなど) を発生させることなく、はんだを効率よくプリント基板組立品に供給する波形を形成することが望ましい。波の形状と幅は熱プロファイルを作成する上で留意すべき重要な変数である。これらはつららやブリッジなどの欠陥やある程度の浸漬時間にも影響し、コンベアスピードによっても変数が変わってくるからである。

5.5 プロファイル作成手順 ウェーブソルダリングのプロファイルは、予熱、はんだ付、冷却の 3 つのフェーズで構成されている (図 5-3 と図 5-4 を参照)。ウェーブソルダリングの熱プロファイルの作成には、以下の作業を含めることが望ましい：

- ・はんだ合金とフラックスを選択する (主な制限事項を特定する)
- ・部品仕様をレビューする (主な制限事項を特定する)
- ・サブストレート仕様をレビューする (主な制限事項を特定する)
- ・ウェーブ幅を決定する (コンベアスピードを計算する)
- ・予熱ゾーンの温度設定を選択する
- ・はんだ槽の温度設定を選択する
- ・冷却の設定を選択する (可能な場合)

一般的な量産ウェーブソルダリングのパラメータ (フラックス / 合金タイプのバリエーションに基づく) については、表 5-1 を参照のこと。

表 5-1 量産ウェーブソルダリングのパラメータ概要

プロファイル項目	SnPb 合金	Pb フリー合金 (SAC SnCu 合金)
合金の溶融温度	183 °C	217 °C (SAC) ~ 227 °C (SnCu)
はんだ槽温度	250 °C ~ 260 °C	255 °C ~ 270 °C
上面予熱温度のピーク値	100 °C ~ 120 °C	110 °C ~ 130 °C
フラックス活性化時間	60 ~ 120 秒	60 ~ 120 秒
浸漬時間 (基板厚さ 1.5 mm ~ 2.25 mm [0.060 in ~ 0.090 in])	2 ~ 4 秒	3 ~ 5 秒
浸漬時間 (基板厚さ > 2.25 mm [0.090 in])	4 ~ 8 秒	5 ~ 10 秒

注：銅の溶解は、浸漬時間が長いほど懸念される。6.3 項を参照のこと。

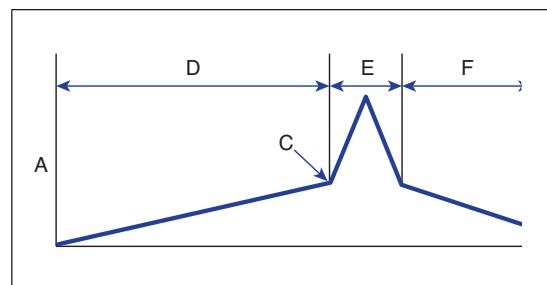


図 5-3 シングルウェーブ式はんだ槽による、量産ウェーブソルダリングの熱プロファイル図

A - 温度
B - 時間
C - はんだの接触
D - 予熱
E - はんだ付
F - 冷却

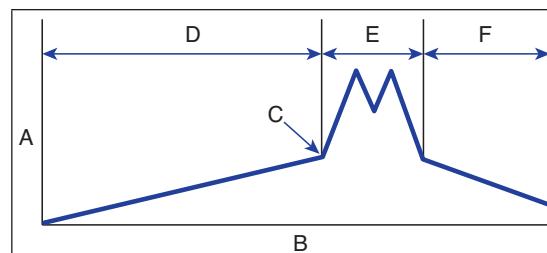


図 5-4 デュアルウェーブ式はんだ槽による、量産ウェーブソルダリングの熱プロファイル図

A - 温度
B - 時間
C - はんだの接触
D - 予熱
E - はんだ付
F - 冷却

5.6 量産ウェーブソルダリングの設計上の考慮事項 プリント基板の設計は、はんだ付け性、信頼性、およびはんだ付け後のプリント基板組立品の品質に影響を与える重要な要素である。量産ウェーブソルダリングを成功させるためには、以下の点を熟慮すること：

- ・スルーホールリード径とプリント基板組立品のホールサイズとの比率 (IPC-2222)
- ・はんだ接合部からプリント基板組立品のエッジ部までの距離
- ・はんだ付のピーク温度でのプリント基板組立品の剛性
- ・はんだ付時に大型部品 (コネクタ、ソケットなど) が動かないよう保持する
- ・ヒートシンク作用を最小限に抑えるための、大型メタルプレーン (グラウンドプレーンなど) のサーマルリリーフ
- ・セレクティブウェーブソルダのパレット使用時に、適切なはんだぬれを得るために十分なクリアランス

プリント基板組立品の下面に接着された SMT 部品をウェーブソルダリングする場合、これらをウェーブと平行に配置し、はんだスキップを防止する。

挿入実装部品をセレクティブパレットウェーブではんだ付する際に、上面 / 下面に SMT 部品をリフローする場合は SMT 部品と挿入実装部品との間に十分な間隙が必要である。この間隙があることで、ウェーブ用フィックスチャは SMT 部品をウェーブから遮断し、選択的に挿入実装部品をはんだ付できるようになる。

6 セレクティブソルダリングのプロファイル測定

6.1 はんだ槽 セレクティブソルダリングとは、半自動または自動化されたプロセスにより、複数の接続部を順次または大量にはんだ接合することと定義されている。

この作業を行うために設計された装置は、一般的に 4 つの基本的な特性を備えている：

- ・プリント基板組立品の搬送 (プリント基板組立品が移動式の場合)
- ・槽とフラクサーの搬送 (プリント基板組立品が定置式の場合)
- ・フラックス処理能力
- ・予熱機能
- ・単一ノズルが付いた溶融はんだ槽 (順次式によるはんだ付)
- ・ノズルフィックスチャが付いた溶融はんだ槽 (量産はんだ付)

装置の製造者間の違いは、この基本コンセプトの適用と機器制御である。熱プロファイルを作成する際には、各装置の特性を考慮する必要がある。

セレクティブソルダリングシステムは、フラックス塗布、はんだ付対象部分の予熱、溶融はんだの供給および凝固といったはんだ付工程を自動的に行う装置である。これらの特性がすべて作用して適切なはんだ付を実現する。オペレータは、搬送速度、フラックス塗布、ブリヒーターおよびはんだ温度など、最適なプロセスマターラメータを記録してはんだレシピを作成することができる。

シーケンシャルセレクティブソルダリング装置により、挿入実装部品を順次はんだ付する。シーケンシャルセレクティブソルダリングの利点は、プリント基板組立品の固定やマスキングをすることなく、下面 SMT 部品を有するプリント基板組立品に挿入実装部品をはんだ付できることである。この方式の欠点は、量産的 (ウェーブソルダリングなど) ではなく順次的にはんだ付を行うため、速度が遅くなるという点である。

量産型のセレクティブソルダリング装置は、カスタムノズルフィックスチャを使用して挿入実装部品を同時にはんだ付する装置である。量産型のセレクティブソルダリングには、順次式のセレクティブソルダリングと同様に、プリント基板組立品を固定またはマスキングすることなく、挿入実装部品と下面側の SMT 部品をはんだ付できる利点もある。この方式の欠点は、プリント基板ごとにカスタムノズルフィックスチャが必要になることである。

6.1.1 装置に関する考慮事項 セレクティブソルダリング装置の各部分には固有の機能が備わっているが、フラクサー、ブリヒーター、ノズル、はんだ槽との相互関係や依存関係があるため、それら機能はシステム全体として考えることが望ましい。特に懸念となるのは、時間 / 温度 / 体積の関係の相関性である。溶融はんだ温度は通常一定であるため、変動要因はブリヒーターの温度、予熱とはんだ槽の浸漬時間、ノズル上のはんだの体積である。予熱とはんだ槽での浸漬時間は、熱プロファイルの主要な変数である。

6.1.2 予熱に関する考慮事項

セレクティブソルダリングの際にプリント基板組立品を予熱するが、その理由は以下のとおりである：

- ・フラックス中の揮発性溶剤を乾燥させる
- ・最適なフラックス活性度を実現する
- ・はんだ付時のプリント基板組立品への熱衝撃を低減する
- ・接合する金属をはんだ付温度まで上昇させることで、はんだ槽からの熱量を低減する
- ・より高速のコンベアスピードを用いることでサイクルタイムを最小限に抑える
- ・つららやブリッジの発生を低減する

予熱の際、いくつかの異なる方法 (IR ランプ、IR パネル、放射ヒーター、強制温熱対流ヒーターなど) により、熱エネルギーが発生しプリント基板組立品に伝達される。いずれの方法を用いるにしても、一貫した再現性のある温度管理を行うことが重要である。予熱の制御は、閉ループ制御機能が付いた装置が最適である。予熱のピーク温度は、一般的にははんだ付前のプリント基板組立品の上面で測定される。SnPb でのはんだ付の場合、上面予熱温度のピークは 90 °C ~ 120 °C、Pb フリーの場合のピークは 90 °C ~ 130 °C が一般的である。設計によっては、最大 150 °C の高温が必要になる場合もある。

6.1.3 はんだ槽とノズルに関する考慮事項

はんだ槽は、ノズルを用いてはんだをプリント基板組立品に供給するため、欠陥 (ブリッジ、つらら、オーブンなど) を発生させずに効率的にはんだを供給するには、一定の温度とポンプ速度を維持することが望ましい。隣接する部品とのクリアランスにより、さまざまなノズルサイズを使うことができる。一部のノズルでは、異なるはんだの波形を作ることができる。また、ポンプ速度を上下させることで、ノズル上のはんだ波形や高さを変更することが可能である。

SnPb と Pb フリーのはんだ槽温度は、セレクティブソルダリング装置の設計により異なる場合がある。プリント基板組立品と接触するはんだ量がウェーブソルダリングの場合よりもかなり少ないため、槽温度をウェーブソルダリングより高くすることを推奨する供給者もいる。溶融はんだの温度は、ウェーブソルダリングの場合よりも数 °C から 20 °C ~ 30 °C 高い可能性がある。

セレクティブソルダリングの場合、はんだ槽の温度は、プリント基板組立品のサイズ、厚さ、質量、機械設計、ノズルサイズ、はんだ合金等の多くの要因に応じて、270 °C ~ 310 °C の範囲になる可能性がある。

6.1.4 プロファイル作成手順

セレクティブソルダリングの熱プロファイルの作成には、以下を含めることが望ましい：

- ・はんだ合金とフラックスを選択する (主な制限事項を特定する)
- ・部品仕様をレビューする (主な制限事項を特定する)
- ・サブストレート仕様をレビューする (主な制限事項を特定する)
- ・搬送速度を決定する (機械側またはプリント基板組立品側)
- ・予熱ゾーンの温度設定を選択する
- ・はんだ槽の温度設定を選択する
- ・冷却の設定を選択する

一般的な設定の概要については、表 6-1 を参照のこと。

表 6-1 一般的なセレクティブソルダリングの設定

プロファイル項目	SnPb 合金	Pb フリー合金
合金の溶融温度	183 °C	217 °C (SAC 305), 227 °C (SnCu)
はんだ槽温度 (装置製造者により異なる)	270 °C ~ 310 °C	270 °C ~ 310 °C
プリント基板組立品の予熱 (上面)	90 °C ~ 120 °C	90 °C ~ 130 °C
部品のランプダウン (降温) 速度	周囲空気による冷却	周囲空気による冷却
浸漬時間 (基板厚さ 1.5mm ~ 2.3mm)	2 ~ 4 秒	3 ~ 5 秒
浸漬時間 (基板厚さ >2.3mm)	4 ~ 8 秒	5 ~ 10 秒

注：銅の溶解は、浸漬時間が長いほど懸念される。6.3 項を参照のこと。

セレクティブソルダリングのプロファイルは、予熱、はんだ付、冷却の 3 つのフェーズで構成されている (図 6-1 を参照)。

6.1.5 セレクティブソルダリングの DfM プリント基板の設計は、はんだ付け性、信頼性、およびはんだ付後のプリント基板組立品の品質に影響を与える重要な要素である。挿入実装部品のセレクティブソルダリングでは、上面 / 下面に SMT 部品をリフローする場合は SMT 部品と挿入実装部品との間にノズルクリアランスのための十分な間隙が必要である。

セレクティブソルダリングを成功させるためには、以下の点を考慮することが望ましい：

- スルーホールリード径とプリント基板組立品のホールサイズとの比率 (IPC-2222 を参照)
- はんだ接合部からプリント基板組立品のエッジ部までの距離
- はんだ付のピーク温度でのプリント基板組立品の剛性
- はんだ付時に大型部品 (コネクタ、ソケットなど) が動かないよう保持する
- ヒートシンク作用を最小限に抑えるための、大型メタルプレーン (グラウンドプレーンなど) のサーマルリリーフ

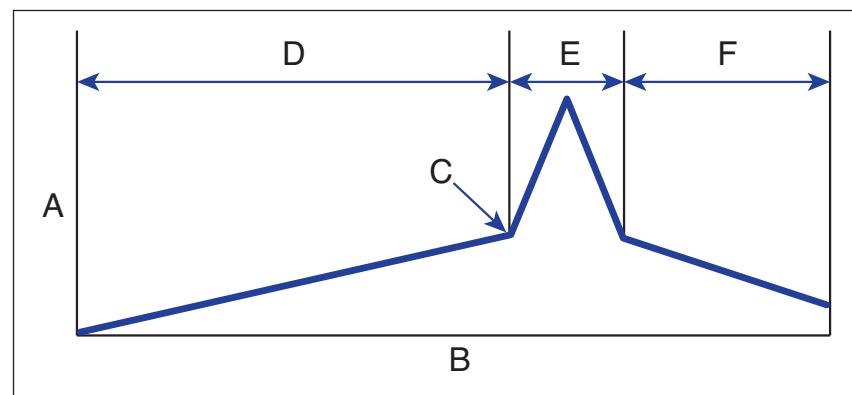


図 6-1 セレクティブソルダリングの熱プロファイル図

- A – 温度
B – 時間
C – はんだの接触
D – 予熱
E – はんだ付
F – 冷却

6.1.6 ウエーブ / セレクティブソルダリングでの熱電対の取付け 図 6-2 に、プリント基板組立品上での熱電対の推奨位置を示す。熱電対は、大小の部品のはんだ接合部に取り付けることが重要である。図 6-2 では、熱電対 1、2、3、4、5 を上面 (部品面) に固定し、熱電対 6 はプリント基板組立品を貫通し、はんだ付工程中の下面の温度を測定している。

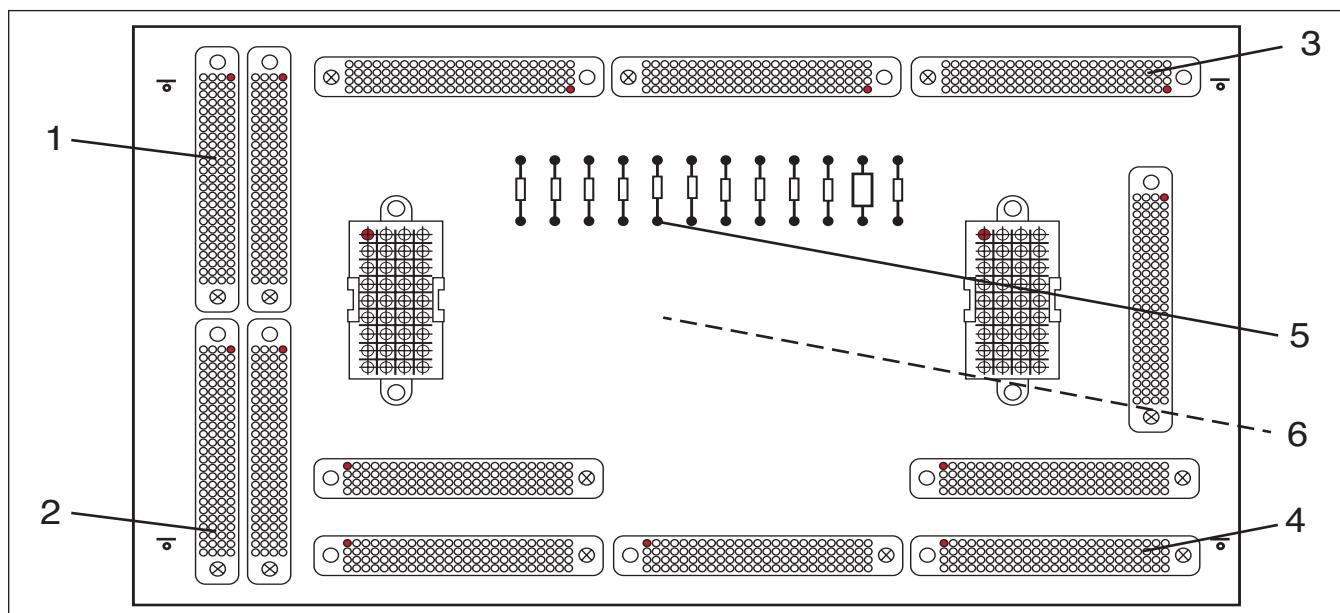


図 6-2 ウエーブ / セレクティブソルダリングでの熱電対の取付け

注：数字の説明は 6.1.6 項を参照のこと。

6.2 セレクティブソルダリングに代わる方法

6.2.1 ペーストインホールソルダリング ペーストインホールは、ウェーブおよびセレクティブソルダリングに代わって挿入実装部品を実装する方法である。挿入実装部品のペーストインホールソルダリングでは、ソルダペーストはディスペンスするか印刷して供給される。部品は、SMT の工程中に SMT 装置または手作業で配置される。部品リードは、供給されたソルダペーストを介して挿入され、リフローソルダリングでプリント基板組立品にはんだ付される。挿入実装部品をペーストインホールではんだ付する場合、目標とするホール充填を達成するためにスルーホールランドの周囲に必要なソル

ダペースト量を供給するには、挿入実装部品の周囲にはさらに間隙を空ける必要がある。加えて、リードとホールとの間に適切なギャップを設けることも重要である。例えば、めっきスルーホール(PTH)の直径は、毛細管現象で PTH 内にはんだが充填されるように、リードの直径より 3mm 程度大きくすることが必要である。ギャップが大きすぎると、ペーストインホールのプロセスでは許容できるはんだフィレットを形成できない場合がある。

表面実装 / 挿入実装 (イントルーシブリフロー) の混載実装技術については、IPC-7525 を参照のこと。

6.2.2 レーザーソルダリング

レーザーソルダリングは、非常に高い温度で短時間に行われる。スルーホールリードでのレーザーソルダリングの時間は約 1 秒である。SMT リードのセレクティブソルダリングの場合、一部のレーザーソルダリングシステムでは、接合部 1 箇所につき 0.25 ~ 0.5 秒以下の時間を必要とする。

レーザーは、挿入実装部品やガルウイング部品のリードなどの露出したはんだ接合部や、BGA およびマイクロ BGA などのパッケージ部品の隠れたはんだ接合部のはんだ付に使用することが可能である。

挿入実装部品のレーザーソルダリングでは、糸はんだではなくを供給する。SMT 部品の場合はソルダペーストをディスペンスするか印刷して供給する。

レーザーソルダリングは、ダイオードレーザーで部品リードと PTH ランドを加熱し、糸はんだ (やに入り糸はんだ) を自動供給してフィレットを形成するものである。挿入実装部品のレーザーソルダリングは、手はんだ付に似たポイントツーポイントのはんだ付プロセスであるが、手はんだ付の場合に懸念となる品質の安定と高速化を実現できる。

レーザーソルダリングにかかる時間は非常に短いため、ソルダペーストを使用した場合、はんだボールが発生する可能性が非常に高くなる。レーザーソルダリングに特化したペーストを調合できる供給者を見つけることが非常に重要である。

また、SnPb から Pb フリーへ移行が必要な場合にも、レーザーソルダリングは有効な手段である。移行に必要なのは、オペレータが糸はんだのスプールを交換するだけであり、長時間かかることはない (通常、数分程度で完了する)。

レーザーソルダプロファイルの主な要素は、20 ワットから 100 ワットまで変化するレーザー出力と、パッケージ下に隠れたはんだ接合部を持つ大型 BGA のはんだ付時間 (最短 200 ミリ秒から最長 4 ~ 5 分までにわたる) である。レーザーでデフォーカス状に熱を加えることでパッケージ全体を加熱し、その熱をボールに伝える (ホットエアソルダリングと同様)。よりよいはんだ接合部を短時間で実現するには、予熱の適用を強く推奨する。

6.3 銅の溶解

はんだ付の際、プリント基板上の銅めっきは、溶融した鉛フリーはんだ合金または SnPb はんだ合金に溶解する。この問題は、はんだを溶融した槽を使用するすべての工程に影響する。Pb フリーはんだ合金は、SnPb はんだ合金よりも溶解速度がはるかに速い。Pb フリーはんだでの浸漬時間が 20 秒を超えると、めっきスルーホールのニ一部分から Cu の溶解が始まり、最終的にはランドまで溶解する可能性がある。銅の溶解は累積されるため、鉛フリーのプリント基板組立品を複数のソルダリングサイクルにさらすのは得策ではない。ENIG 仕上げのプリント基板組立品の場合は、溶融したはんだと銅の間にニッケルバリアがあるため、銅の溶解による影響を受けることはない。

7 温度プロファイル測定ツール

7.1 製品熱プロファイラ 製品熱プロファイラは、通過型熱プロファイラ (pass-through thermal profiler) とも呼ばれ、はんだ付装置を通過しながらプリント基板組立品と一緒に移動できるハードウェア / ソフトウェアのキットである。これは、プリント基板組立品に取り付けた温度センサー（熱電対）で測定した温度を記録する。

このプロセスでは、温度センサーをプリント基板組立品に取り付け、熱プロファイラに接続する。プロセス温度から保護するため、熱プロファイラは熱遮断ケース内に入れる。通過後、解析のため温度データ / プロファイルを PC にダウンロードする。図 7-1 と図 7-2 に、プロファイラ、熱電対、熱遮断ケース、キャリアー、その他の推奨備品を含む熱プロファイラキットの例を示す。

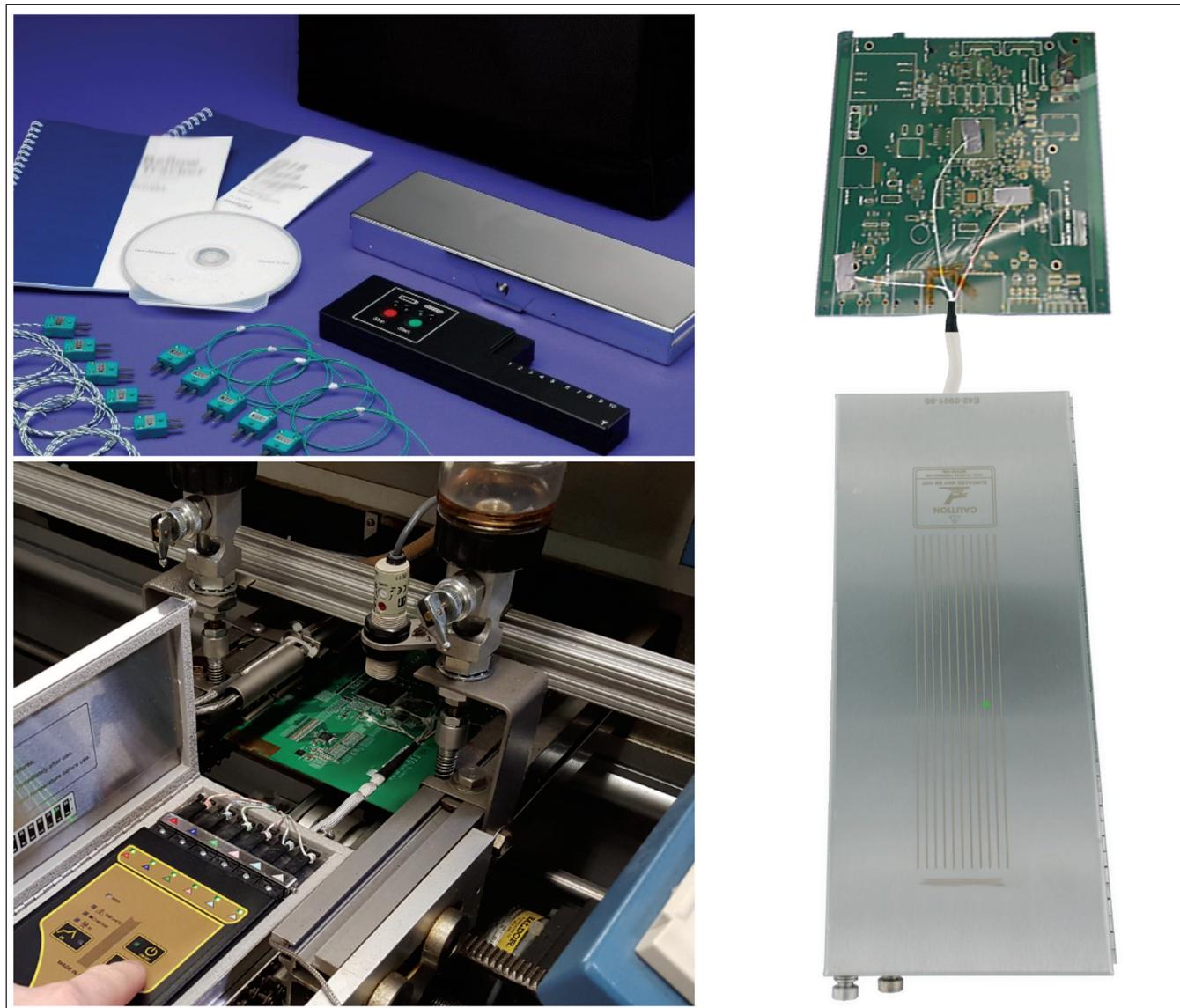


図 7-1 一般的な熱プロファイラ、熱電対、熱遮断ケース、キャリアーの例

7.1.1 热プロファイラの使用に関する推奨事項 热プロファイラは、ソフトウェアまたはハードウェアの設定によりプログラムすることが望ましい。プロファイラの記録速度は、ほとんどの量産はんだ付プロセスで最も一般的とされる毎秒 1 回に設定することを推奨する。毎秒 1 回以上を記録するのも許容されるが、ほとんどの大量はんだ付工程ではその必要はない。また、使用するチャンネル数（熱電対の入力）、プロファイラの日時、プロファイラの開始 / 停止パラメータの設定、または少なくともそれらの検証が必要になる場合がある。熱プロファイラによっては、複数のタイプの熱電対を使用できるものもあるため、正しい熱電対のタイプに設定されていることを確認すること。熱プロファイラの機能と正しい使用方法については、熱プロファイラの取扱説明書を参照し従うこと。

7.1.2 热プロファイラの仕様

プロファイラの推奨仕様を以下に示す：

- 精度: $<\pm 2^{\circ}\text{C}$
- 記録頻度: 1秒に1回以上の記録
- 入力チャンネル: 最低3チャンネル
- センサーティプ: 热電対 (タイプKが最も一般的)
- センサーの絶縁: PbはんだにはTeflon®、Pbフリーはんだにはガラスを使用

プロファイル測定が失敗する最大の原因是バッテリーの弱さであるため、バッテリーが完全に充電されていることを確認すること。再充電可能なバッテリーでない場合は、十分な能力があることを確認すること。

7.1.3 プロファイラの校正 データロガーの校正は、OEMの要求または機器製造者の仕様に従って実施することが望ましい。OEMまたは製造者の推奨がない場合、運用開始後6か月ごとの校正と試験が設定されることがある。

校正されていないデータロガーは絶対に使用しないことが望ましい。

7.1.4 热遮断ケース すべての熱プロファイラをプロセス温度から保護するには、製造者が提供する熱遮断ケースを使用することが望ましい。熱遮断ケースは熱プロファイラを保護するのに十分な大きさであり、かつ、装置を通過するのに適した大きさであることが望ましい。

以下の理由により、熱プロファイラの多くは温度センサーとしてタイプKの熱電対を使用している：

- 非常に頑丈である
- あらゆるサイズと形状を作ることができる
- はんだ、テープ、接着剤で目標ポイントに貼り付けることができる
- 比較的安価である

プロファイラと熱遮断ケースが室温まで冷えていることを確認してから使用すること。プロファイル測定装置を低温(通常40°C未満)で起動しないと、はんだ付の最中に熱プロファイラが過熱する可能性がある。

圧縮空気、冷凍設備、その他の急速冷却を使用して冷却プロセスを短縮してはならない。熱遮断ケースとプロファイラが冷却され、全体が同じ熱量になるまでの速度は、使用する断熱材によって異なる。断熱性が高いほど、芯部から熱を逃がすのに時間がかかる。プロファイル実行後に、プロファイル測定機器を冷却する最善の方法は、熱遮断ケースを開いて内容物を取り出し、それをファンの気流にあて、一般的な室内用ファンを使うことである。こうすることにより、15~20分程度で機器が冷える。プロファイラとその熱遮断ケースを完全に冷却できないという事象は、プロファイル測定の失敗やプロファイル測定機器への損傷の主な原因となっている。

熱プロファイラを内蔵した熱遮断ケースは、プロファイル測定を行う組立品と一緒に搬送する必要がある。コンベアベルト(装置に附帯している場合)、未実装のプリント基板、またはプロファイラ製造者が製作したキャリアーに載せることができる。プリント基板組立品が装置内を通過する際に装置の熱環境に影響を与えないよう、少なくともプリント基板組立品の後方500mmの位置でコンベアに載せることが望ましい。

7.1.5 統計的工程管理(SPC) ソフトウェアにより、同じ組立品を同じ機器設定で反復的に流した場合の統計的工程管理(SPC)値を収集する手段が提供されることがある。これは、SPC値のそれぞれを比較して整合性を示すために行われる。

7.2 装置プロファイラ

7.2.1 目的 装置プロファイラの主な目的は、装置の適切な設定や性能を確認することである。製品プロファイラが装置の設定と製品の物理的特性の結果として製品温度を記録するのに対し、装置プロファイラは装置のパラメータに焦点を当てる。製品プロファイラで適切な装置設定を決定した後、装置プロファイラで設定への適合性を確認することができる。これはシフト単位かつ工程切り替え時に行うことができる。これにより装置の性能検証のために、優れた組立品を犠牲にする必要がなくなる。



図 7-2 一般的な熱プロファイル用キットと推奨される消耗品

7.2.2 測定パラメータ 装置プロファイルとは、装置パラメータを測定するためのもので、装置のタイプによって異なる。リフローオープンのプロファイルは、コンベアスピード、ゾーンサイズ、ゾーンの気温、ヒートフローを記録することができる。ヒートフローとは、ゾーン温度とエアフローの積(能力)、またはオープンが組立品に熱を供給する能力のことである。一部の装置プロファイル測定用設備には、オープン内の空気の流れや、紫外線(UV)や赤外線(IR)の放射を測定するものもある。コンベアスピード、予熱温度、チップ数と主要はんだウェーブのパラメータを記録することができる。ウェーブのパラメータには、接触長、ウェーブ高さ、ウェーブ平行度、ウェーブ温度、ウェーブでの温度変化などが含まれる。また、ウェーブ装置のプロファイルでは、典型的なプリント基板組立品を模擬したクーポンで測定して、基板の上面と下面の温度を測定することができる。ウェーブソルダ装置のプロファイルには、基板とウェーブの接触面積を表示できるものがある。

7.2.3 装置の検証 熱プロファイル測定は、最初に正しく機能することが確認された装置で行うことが望ましい。まず機器に電源を入れ、目的の設定にし、熱的に安定させることが望ましい。ほとんどの機器は、設定値に達したことをオペレータに知らせる機能を有する。一般的には、20～30分程度かかる。強制的に熱を逃がす、または機器の許容範囲を変更するなどして、このプロセスを短縮してはならない。熱的安定性を得るために十分な時間をかけること。

装置の機能上の検証は、通常、熱電対で計測された熱的に安定した材料を用い、プリント基板組立品と同じ方法で装置に通し、装置が同じ熱プロファイルを生成することを検証する。機器の検証を行うために特別に設計された市販の検証ツールがいくつか存在する。

またオペレータがアルミニウム、ステンレス、チタンなどの熱的に安定した材料を用いて、機械加工でプレートやブロックを作り、測定点間の熱絶縁をある程度可能にするフィックスチャやパレットに吊り下げるツールも開発することも可能である。熱電対は、プレートまたはブロックの芯部または表面に溶接、ろう付けまたは機械的に固定することによって恒久的に取り付けることが望ましい。厚さ2mm～4mmの材料では、通常、プリント基板組立品のプロファイルと同様の検証プロファイル値が得られる。材料が厚い場合、組立品のプロファイルと同じ温度に達しない可能性があるが、装置の検証用プロファイルとしては同じように有用であるといえる。

測定点は、コンベアの幅を均等に3箇所以上網羅することが望ましい。検証対象の機器(リフロー、ウェーブ、セレクティブ、ベーパーフェーズ、リワークなど)により、検証用フィックスチャの基本形状と測定点の数が決まる。いずれもプロセス温度に耐え、機器の処理領域を網羅できるものであることが望ましい。このフィックスチャは、機器にフィットし、温度に耐え、安定した再現性で使用できるものであれば、正確な形状や大きさは問わない(図7-3を参照)。

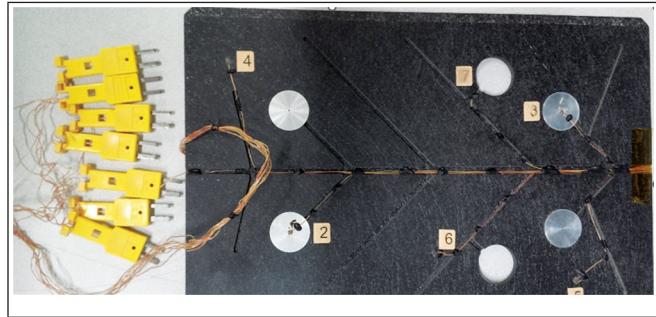


図7-3 一般的な装置検証用ツール

検証は、前回の検証時と同じ機器設定で行うことが望ましい。これらの設定は、特定の機器検証プロファイルにのみ使用される特定のセット、または特定のプリント基板組立品に対して計画されたのと同じ設定である場合がある。これらの機器設定での最初の検証である場合を除き、オペレータが比較用にこれらの設定で以前の検証プロファイルを保持する限り、どの設定を使用しても問題はない。プリント基板組立品のプロファイルと同じ設定を使用すれば、検証用プロファイルとプリント基板組立品用プロファイルの2種類の設定に到達するのを待つ必要がないため、時間を節約することができる。

検証に使用する装置の設定には、目的のプリント基板組立品のプロファイルに使用するのと同じプロファイルゾーンからの測定値を含めることが望ましい。リフローの場合は、これらのゾーンには以下が含まれる：

- 予熱：温度に対する傾斜
- 均加熱：予熱終了から液相線温度までの時間
- リフロー：液相線温度以上時間
- 冷却：ピーク温度と液相線温度からの傾斜

これらのプロファイルゾーンの各値が前回の検証プロファイルと一致していることを確認することで、装置の整合性が確認でき、プリント基板組立品または実生産工程のプロファイルを作成する準備が整う。プロセスや機器の種類によっては、検証プロファイルから追加の値を取得することができる。

検証プロファイルゾーンの値は、以下の公差を満たすことが望ましい：

- 温度値： $\pm 2^{\circ}\text{C}$
- 傾斜値： $\pm 0.5^{\circ}\text{C} / \text{秒}$
- 時間値： $\pm 5 \text{ 秒}$

各プロファイルゾーンからの厳密な数値は重要ではなく、ある検証プロファイルと別の検証プロファイル間での一貫性と再現性が重要となる。同じ装置設定で検証プロファイルが取られるため、コントロールチャート(XbarRなど)や他の工程品質指標(工程能力(CpやCpKなど))を用いて工程管理を検証するには、SPCを活用することができる。ほとんどのプロファイル測定用ソフトウェアでは、これらのSPCプロセス品質ツールを提供している。

オープン機能の再現性(すなわち、発熱体が焼けていないこと)を確認するには熱的に安定した材料(例：高温複合材料、アルミニウム板)を使用することが推奨されている。プリント基板組立品を使用することは推奨されない。

機器検証の詳細については、IPC-7801を参照のこと。

7.2.4 連続リアルタイムによる対流式オープン用プロファイル リフローオープンの場合、プロセス検証の際に標準的な通過型熱プロファイルを使用する代わりに、リアルタイムによる熱プロファイル測定を行うことができる。リアルタイムでの熱プロファイル測定により、はんだ付プロセスを継続的かつ自動的に監視し、プロセスドリフトが生じた場合にはアラームが発生する。リアルタイムでの熱プロファイル測定では最初に通過型プロファイルで製品プロファイルを確立する必要はあるが、シミュレートした製品プロファイルを計算し工程が仕様通りであることを確認することにより、ルーチン的なプロファイル作成の必要性は減らすことができるだろう。

リアルタイムでの熱プロファイルでは、オープンコンベアの真上に恒久的に設置された一連の熱電対を利用する。熱電対プローブは、代表的な温度を提供できるようプリント基板組立品の近くに取り付けられているが、レール自体の熱質量に影響されないようオープンレールからは十分に離れている。このシステムは、実際にはプリント基板組立品の温度を測定するものではないが、プリント基板組立品がリフローオープンを通過する際のコンベアでのプロセス温度を測定することが可能である。また、リアルタイムでの熱プロファイル測定により、品質管理とSPCプログラムへプロセスデータを自動出力することも可能である。

ユーザーは、リフローオープンで連続的なリアルタイムの装置熱プロファイル測定機能を使用することの費用対効果を評価することが望ましい。

7.3 热電対のタイプと選定

7.3.1 热電対のタイプ 热電対は、使用するプロファイルの入力条件に一致したものであることが望ましい。

7.3.1.1 タイプ K タイプ K(ニッケルクロム vs. ニッケルアルミニウム)は最も一般的な热電対であり、使用温度範囲は $-200^{\circ}\text{C} \sim 1,250^{\circ}\text{C}$ までと広く、精度は $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ である。この材料ははんだ付が難しいため他の方法で取り付けることを推奨する。

7.3.1.2 タイプ T タイプ T(銅 vs. 銅ニッケル)は、使用温度範囲が $-200^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$ まであり、はんだ付性がよいためはんだ付による取付けが容易である。銅アームは熱伝導率が高いため、より細いワイヤーゲージが望まれる。精度は $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ である。

7.3.1.3 タイプ J タイプ J(鉄 vs. 銅ニッケル)の使用温度範囲は $0^{\circ}\text{C} \sim 750^{\circ}\text{C}$ であり、精度は $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ である。この材料ははんだ付が困難なため他の方法で取り付けることを推奨する。湿度の高い大気中では錆びやすく、動作寿命が短くなる。

7.3.1.4 タイプ N タイプ N(ニッケル -14.2 % クロム -1.4 % シリコン vs. ニッケル -4.4 % シリコン -0.1 % マグネシウム)の使用温度範囲は $-270^{\circ}\text{C} \sim 1,300^{\circ}\text{C}$ である。この材料ははんだ付が困難なため他の方法で取り付けることを推奨する。これは最も安定した熱電対材料の1つであり、精度 $\pm 1.1^{\circ}\text{C}$ または0.4%で利用可能である。

7.3.2 热電対用ワイヤーゲージ プロファイル測定に使用するワイヤーは、36AWGが最も一般的である。40AWGの場合は感度は高いが、壊れやすく動作寿命が短くなる。30AWGの場合は動作寿命が長いが、熱電対のワイヤーにまたはワイヤーから熱が伝わり、測定部位の温度に影響を与える可能性がある。

7.3.3 断熱(材) 热電対の断熱は、さらされる環境および極端な温度に依存する。ほとんどのはんだ付用途では、ガラス編組の断熱材が使用される。

注: ガラス編組は高温安定性はよいが、柔軟性に欠けるため、取扱いが難しくなる可能性がある。

PTFE(Polytetrafluoroethylene)は柔軟性に優れているが、熱サイクル($> 260^{\circ}\text{C}$)を繰り返すと劣化が早くなる。

7.3.4 ワイヤー長さ 熱電対のワイヤーが長いと測定誤差の原因となるため、熱電対の長さは1mを超えないことを推奨する。熱電対のワイヤーは、ノイズや抵抗の影響を少なくし、機械的な損傷を防ぐために、実用的な範囲でできるだけ短くする必要がある。

7.3.5 熱電対の接合部 熱電対の形成は溶接接合であることが望ましい。元の接合部の溶接が破損した場合には、熱電対を交換することを推奨する。溶接部やワイヤーが破損した場合、代替的に熱電対の電線をねじりながら接合するようなことは絶対にしないこと。そうした場合、誤った温度測定が行われる場合がある。熱電対のサイズは、測定に影響を与えないように考慮することが望ましい。

7.3.6 校正と試験 热電対を2回以上使用した場合は、正常に動作することを確認することが望ましい。これは校正済のデータロガーを用いて、使用した熱電対の温度測定値を校正済の熱電対と比較することで実現できる。

7.4 部品のリワーク 特定の部品タイプ(エリアアレイや下面電極等)については、リフローソルダーリングのプロファイルを複製できる装置を用いてリワークすることが望ましい。リワークに使用される一般的な局所加熱装置には、ホットエアや赤外線がある(ただし、これらに限定されない)。リワークプロファイルには、最初のリフロープロファイルと同様の滞留時間とピーク温度があることが望ましい。リワーク対象となる部品とその周辺領域のプロファイルを取り、ランプ速度、滞留時間、ピーク温度が許容範囲であるか検証することが望ましい。場合によっては、隣接する部品を保護するためにシールドが必要になる。感湿性デバイスは、リワークを行う前に考慮することが望ましい。必要に応じ、J-STD-033に従いプリント基板組立品をベークすることが望ましい。部品のリワーク時に考慮すべき主な作業項目は、部品の除去、サイトの再準備、フラックスまたはソルダペーストの供給、部品の配置、部品のリフロー、フラックスの除去(必要な場合)の6つである。受入れ基準についてはIPC J-STD-001を、BGAのリワークプロセスの詳細についてはIPC-7095を参照のこと。

8 ブラブルシューティング

はんだ付の工程では、はんだ接合部のさまざまなタイプの欠陥が生じる可能性がある。これらの欠陥の根本的原因は、欠陥のタイプによって異なることがある。一部の欠陥は、材料の選択、清浄度/はんだ付性の問題、あるいはプリント基板の設計上の問題などの要因によって引き起こされる。また、最適とは言えないはんだ付熱プロファイルを実施することによっても、欠陥が発生することがある。本項では、一般的なはんだの欠陥とその潜在的な根本的原因、およびこれらの欠陥がはんだ付熱プロファイルパラメータの調整によって軽減されるかどうかについての見解を提供する。

注:これらのトラブルシューティングは、熱プロファイル測定によってのみ発生するはんだ付の欠陥に関連するものである。これらの欠陥が他の根本的原因に起因する場合は、他の文書を参照のこと。

8.1 はんだリフローの欠陥

8.1.1 ポイド

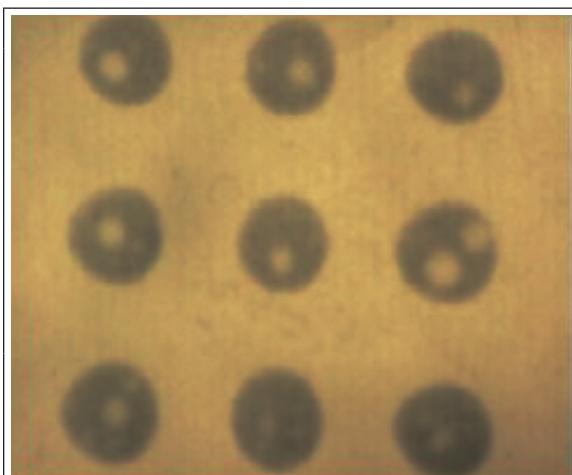


図 8-1 リフローの欠陥 – ポイド

欠陥の内容	はんだ接合部内のボイド
リフローが原因と考えられる場合	リフローソルダーリングのプロファイルが不適切なため、リフロー時にフラックスや揮発性物質が過剰に排出される 予熱速度が速すぎる 均加熱温度が低すぎる
リフローでの可能なソリューション	フラックスを蒸発させるために均加熱時間を長くする 均加熱温度を高くする 予熱傾斜を小さくする N ₂ (窒素)雰囲気を使用する
その他考えられる原因	ソルダペースト中のはんだボールが酸化している 揮発性物質のガス放出(ソルダペーストのボイド発生率が高くなる) BGAはんだボールの汚染 BGAはんだボールの過度の酸化 ソルダペーストが多すぎる プリント基板ランド上の異物の存在 プリント基板/プリント基板組立品のランドの欠陥(キャビティ)

8.1.2 ヘッドオンピロー (HoP)

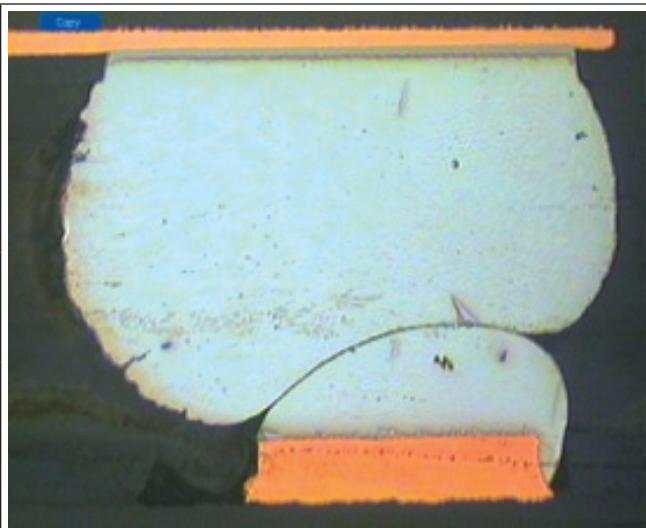


図 8-2 リフローの欠陥 - ヘッドオンピロー

	欠陥の内容	オープンジョイントの一種で、金属学的に異なる2つの塊で構成されている 一方はBGA ボールから形成されたもの、もう一方はリフローされたソルダペーストから形成されたもの それらは不完全であるか、または結合していない
	リフローが原因と考えられる場合	リフローソルダリングのプロファイルが不正確 部品の温度差 (dT) が大きい リフロー時のサポートが不十分
	リフローでの可能なソリューション	N2(窒素)雰囲気を使用する フラックス活性化時間(均加熱時間)を短くする 液相線以上時間を長くする ピーク温度を高くする パレットにより、プリント基板組立品の膨張を妨げられないことを確認する 薄いプリント基板組立品(<1.0 mm)には、リフロー時にサポートを使用する コンベアスピードを調整する
	その他考えられる原因	部品とプリント基板組立品の反りソルダペーストの活性が低すぎる ソルダペースト量が不足している ソルダペースト中のはんだボールが酸化している プリント基板組立品の局所的な反り フラックスが不足している 部品のコプラナリティの問題 BGA はんだボールの汚染 BGA はんだボールの過度の酸化

8.1.3 ブリッジ

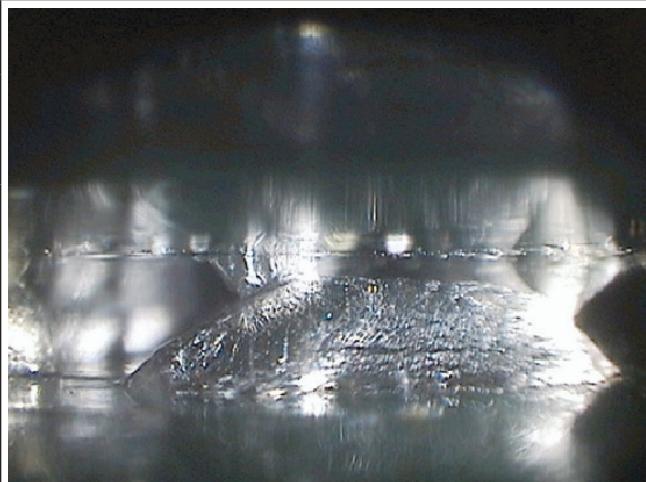


図 8-3 リフローの欠陥 - ブリッジ

	欠陥の内容	隣接するはんだ接合部が結合して大きな塊となり、ショートが発生する
	リフローが原因と考えられる場合	リフローソルダリングのプロファイルが不正確 コンベアの振動 予熱のランプアップ(昇温)速度が速すぎる
	リフローでの可能なソリューション	液相線以上時間を短くする ピーク温度を低くする 予熱のランプアップ(昇温)速度を下げる コンベアがスムーズに動くかどうかをチェックする
	その他考えられる原因	部品の不適切な配置による位置ずれ はんだの供給が多すぎる 部品またはプリント基板組立品上の汚染 ソルダペーストの粘度が低すぎる、またはペーストがダレている 部品リード間を分離するソルダマスクがない ソルダペーストの印刷位置がずれている、または不良である フラックス分離 装着圧が高すぎる 加熱ダレ

8.1.4 はんだボール

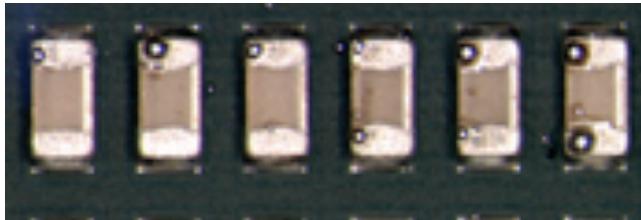
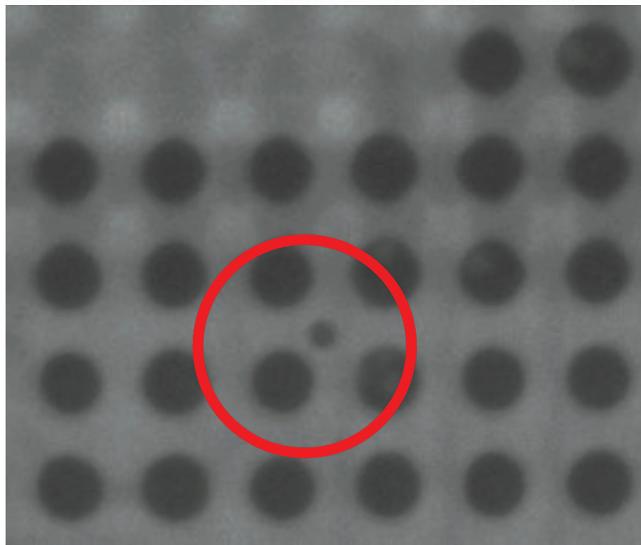
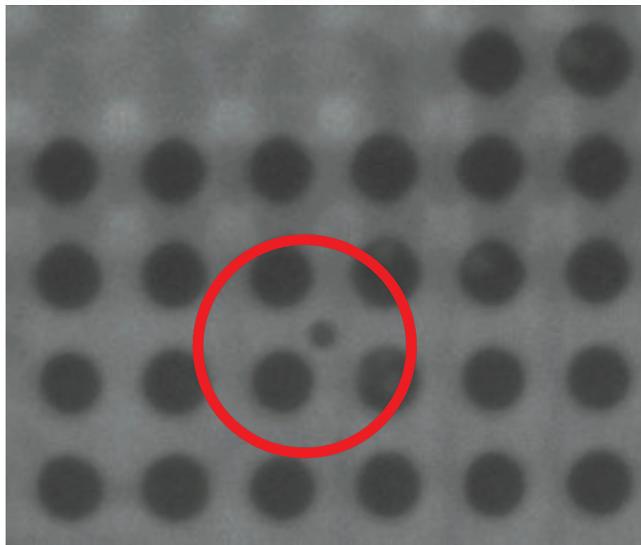
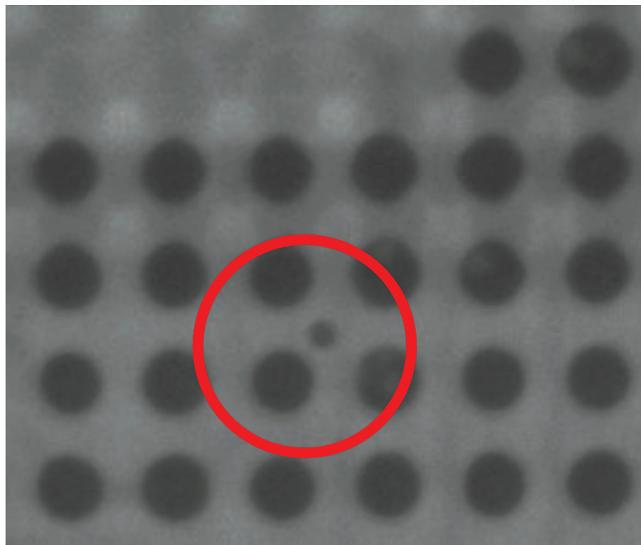
	<p>欠陥の内容</p> <p>ソルダマスク、部品、はんだ接合部周辺に小さなはんだの球が付着している</p>
	<p>リフローが原因と考えられる場合</p> <p>リフローソルダリングのプロファイルが不適切な場合、フラックススピーカーによってはんだ接合部からはんだ粒子が移動してしまう 加熱速度が速すぎるためフラックスが蒸発する 予熱のランプ速度が速すぎる 予熱温度が高すぎる</p>
	<p>リフローでの可能なソリューション</p> <p>予熱時間を長くしてフラックスを蒸発させる 予熱のランプ速度を下げる</p>
	<p>その他考えられる原因</p> <p>ソルダペースト中のはんだ粒子が酸化している ソルダペーストの粘度が低すぎると、マスクにダレが発生する ソルダマスク上のペースト印刷のずれ ソルダペーストが酸化性粒子で汚染されている ソルダペースト印刷ミス プリント基板が適切に洗浄されていない ソルダペーストに含まれるフラックス量が不足している ソルダペーストのステンシルが汚れている 微小なはんだ粒子 過大な圧力でソルダペーストをマスクに押し付けている 封止された揮発性物質により、はんだ飛散が発生している</p>

図 8-4 リフローの欠陥 – はんだボール

8.1.5 コールドはんだ / 不適切なはんだ

	欠陥の内容 はんだの粒子が粗く、不完全に見える
	リフローが原因と考えられる場合 不適切な温度プロファイル - はんだが、接合部の形成に必要な温度と時間に達しなかった 冷却速度が速すぎる ピーク温度が低すぎる TAL が低すぎる コンベアスピードが速すぎる
	リフローでの可能なソリューション ピーク温度を高くする TAL を高くする 欠陥の近くにヒートシンク作用がないか確認する コンベアスピードを遅くする
	その他考えられる原因 冷却時のプリント基板組立品の乱れ プリント基板組立品の厚い銅プレーンによる過度の放熱性

図 8-5 リフローの欠陥 – コールドはんだ / 不適切なはんだ

8.1.6 はんだビード(スクイーズボール)

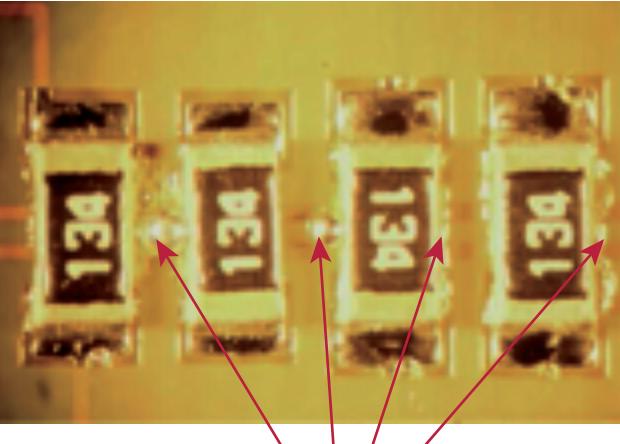
	欠陥の内容	チップ部品下のはんだボールのトラップ
	リフローが原因と考えられる場合	リフローソルダリングのプロファイルが不正確 小さな部品の下にペーストが多すぎる ステンシルが厚すぎる ランドパターンの設計不良
	リフローでの可能なソリューション	ランドパターン上のペースト量を最小限にする
	その他考えられる原因	ペーストの品質不良

図 8-6 リフローの欠陥 – はんだビード

8.1.7 粒状はんだ

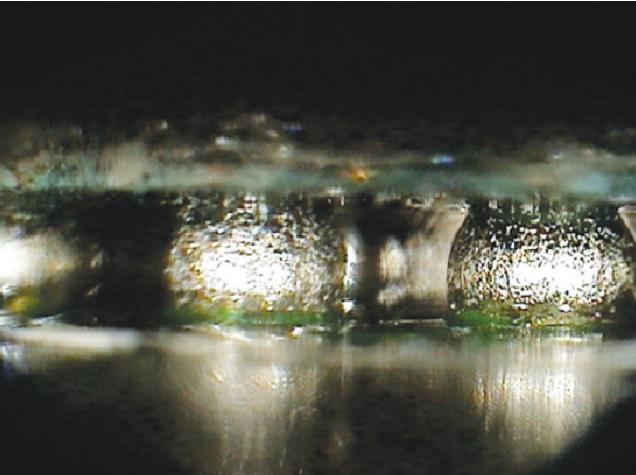
	欠陥の内容	はんだ接合面が粒状でくすんでいる
	リフローが原因と考えられる場合	質量差によるデルタ T が大きいため、一部の領域で液相線以上時間が長くなる 冷却速度が遅すぎる リフロー温度が低すぎる
	リフローでの可能なソリューション	均加熱プロファイルを用いて dT を減らす コンベアスピードを速くする
	その他考えられる原因	はんだ接合部の汚染 プリント基板または部品が汚染されている

図 8-7 リフローの欠陥 – 粒状はんだ

8.1.8 トゥームストーン現象

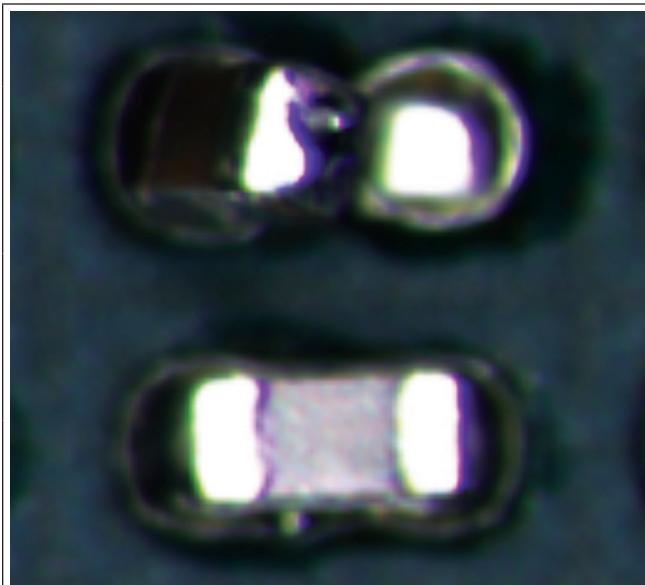


図 8-8 リフローの欠陥 – トゥームストーン現象

欠陥の内容	部品の片側に浮きがあり、もう片側ははんだ付されている
リフローが原因と考えられる場合	部品の片側のぬれ力が、もう片側よりも大きい 部品ランド間に熱デルタが存在する 加熱速度が速すぎる
リフローでの可能なソリューション	均加熱プロファイルを用いて dT を減らす 予熱のランプ速度を下げる 加熱速度を遅くする プリント基板組立品の移動方向を変更する
その他考えられる原因	ランドパターン面積の不一致 部品のコプラナリティの問題 部品の配置が不適切なため、部品の偏りが発生している ソルダペーストのアライメントの問題 プリント基板の銅グランドプレーンの違い 部品のメタライゼーションが非対称に形成されている

8.1.9 はんだウィッキング

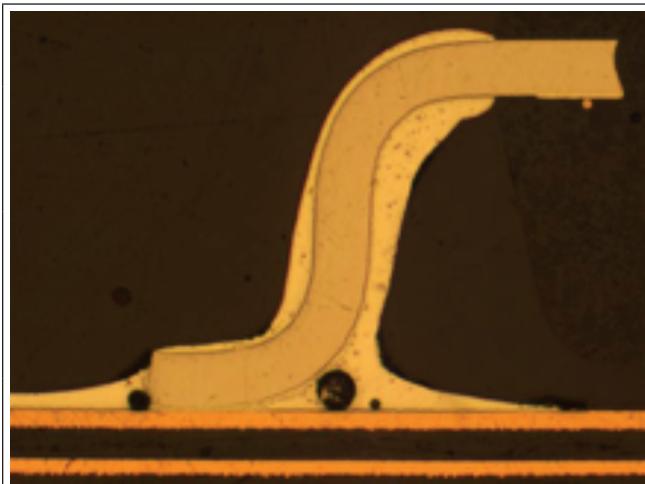


図 8-9 リフローの欠陥 – はんだウィッキング

欠陥の内容	はんだが部品のリードを吸い上がっており、ランドにはほとんどはんだがない
リフローが原因と考えられる場合	部品端子がランド領域より高温である ピーク温度が高すぎる
リフローでの可能なソリューション	ピーク温度を低くする コンベアスピードを遅くする 欠陥の近くにヒートシンク作用がないか確認する
その他考えられる原因	プリント基板ランドのはんだ付性に関する問題 部品の終端部のコプラナリティエラー 部品が汚染している ソルダペーストの量が多すぎる

8.1.10 ブローホール / ピンホール

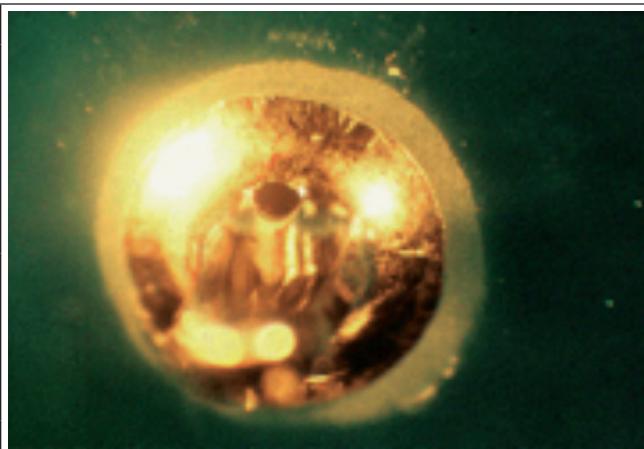


図 8-10 リフローの欠陥 - ブローホール / ピンホール

	欠陥の内容	はんだに形成された穴
リフローが原因と考えられる場合	リフローが原因と考えられる場合	はんだ付時に発生する水分のガス放出は、通常は銅めっきが薄い場合または銅めっきのボイドに関係している リフロー温度が低すぎる 予熱のランプアップ(昇温)速度が速すぎる
リフローでの可能なソリューション	リフローでの可能なソリューション	リフロー温度を高くする ランプアップ(昇温)速度を下げる
その他考えられる原因	その他考えられる原因	汚染物質がある ソルダペーストに含まれる揮発性成分が過剰である

8.1.11 その他の欠陥の根本的原因 表 8-1 は、はんだ接合部の他の欠陥、およびそれらのはんだプロファイル作成上またはその他の根本的原因について詳述するものである。

表 8-1 はんだ接合部の欠陥に関する他の根本的原因

欠陥のタイプ	はんだ付のプロファイルに関連する原因	他の根本的原因
加熱ダレ	予熱のランプアップ(昇温)速度が速すぎる リフローサイクル時間が長すぎる	特になし
部品の亀裂	不適切なプロファイル設定により、部品に熱衝撃が加わった 予熱のランプアップ(昇温)速度が速すぎる	部品不良 部品装着圧が高すぎる プリント基板組立品のサポートが不適切 フィーダー不良 / シャッタージャム
はんだ接合部の亀裂	冷却速度が速すぎる 不適切なプロファイル設定により、部品に熱衝撃が加わった TAL が高すぎる、またはピーク温度が高すぎるとため、金属間化合物が過剰に成長した	CTE の不一致 取扱い不良 プリント基板組立品の局所的な反り
ポップコーン現象によるデラミネーション	予熱のランプアップ(昇温)速度が速すぎる 不適切なプロファイル設定により、部品に熱衝撃が加わった リフロー温度が高すぎる	はんだ付前の部品の保管が不適切、または部品をベーキングしなかつたなどして、部品が水分を吸収した
ノンウェッティング	予熱温度と時間が低すぎる 均加熱温度が高すぎるため、フラックスが早く乾燥する リフロー温度が低すぎる	酸化したソルダペースト プリント基板組立品または部品が汚染している、または酸化している プリント基板組立品または部品の保管が不適切 フラックスが少なすぎてフラックス活性が低くなる
ディウェッティング	リフロー温度が高すぎる 加熱速度が過剰である	プリント基板組立品の汚染

8.2 はんだ接合部の合否基準 J-STD-001 および IPC-A-610 を参照し、完成後のはんだ接合部の外観について良否を判断する。

8.3 ウエーブソルダリングの欠陥の管理 ウエーブソルダリングの欠陥は、一般的にプロセスに起因するもの、あるいはウエーブソルダリングシステムで管理できないもの（部品、プリント基板および組立品の設計に固有のもの）のいずれかである。工程管理を適切に行い、優れた設計のプリント基板組立品やプリント基板およびはんだ付性のよい部品を使用することにより、適切に管理された現代のウエーブソルダリング工程では欠陥をほぼゼロにすることができる。

本ページはブランクである。

本ページはブランクである。

IPC MEMBERSHIP

DRIVES QUALITY, RELIABILITY, AND CONSISTENCY



**Keep Your Standards High.
Become an IPC Member.**

Electronics impact nearly every aspect of life for billions around the globe — the importance placed on consistently manufacturing high-quality, reliable, and sustainable products will only continue to increase. To keep pace with excellence in our rapidly changing industry, do what thousands of your electronics manufacturing peers have already done — become an IPC member.

Visit ipc.org/membership for additional information and to apply for an IPC membership.



by Global Electronics Association

3000 Lakeside Drive, Suite 105 N
Bannockburn, IL 60015 USA

+1 847-615-7100 **tel**

+1 847-615-7105 **fax**

www.ipc.org

ISBN # 978-1-63816-282-7