

事例研究（第2章）

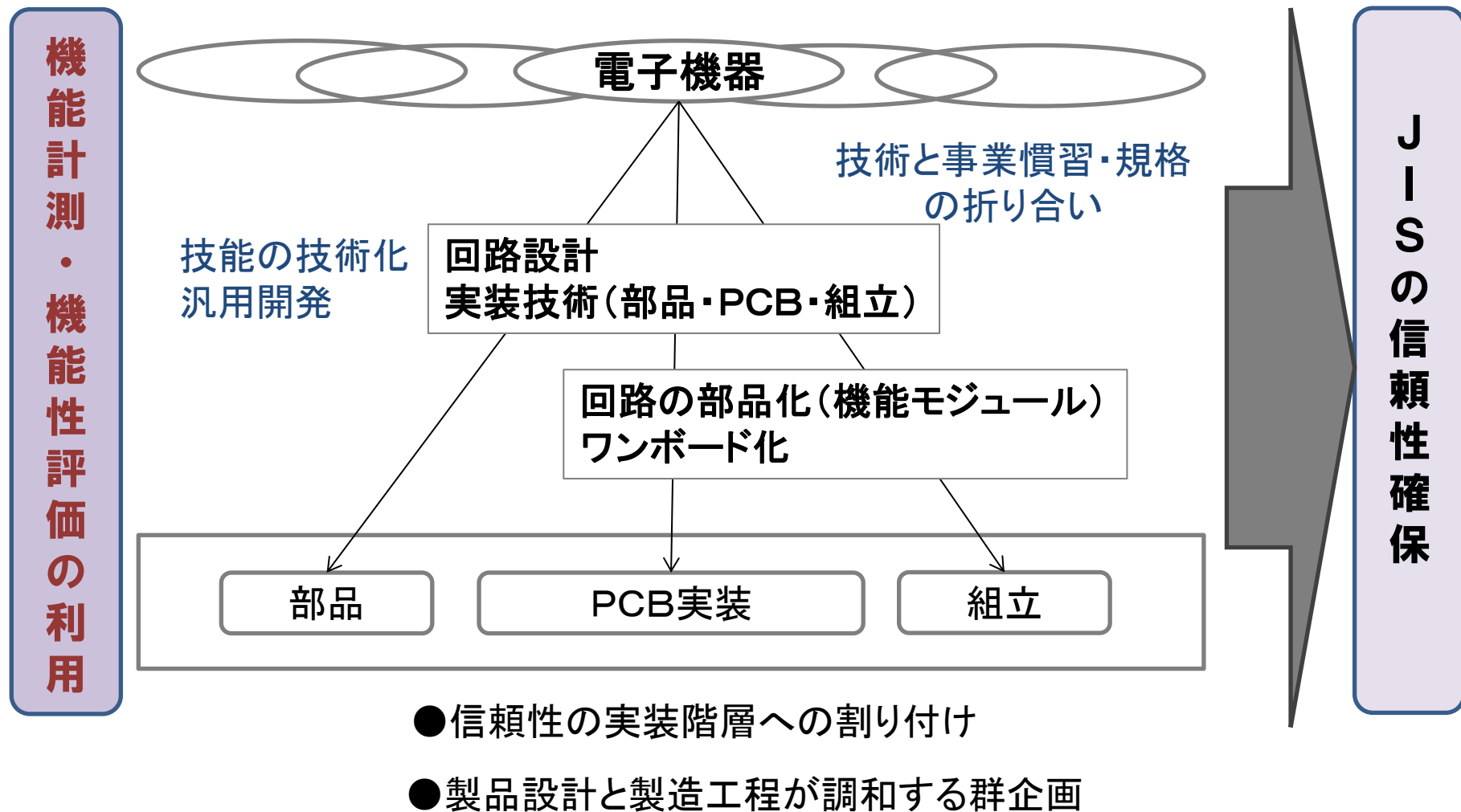
「品質工学を用いた実装技術の汎用開発」

～Don't measure quality, measure functionality の実践～

実装技術汎用開発の“See, Think, Plan, Do”の参考とするために
現象の観測が機能の計測を可能にする！
『材料・設計・工程の調和設計』のススメ

リサーチデザイン研究所 代表
京都府特別技術指導員
平野 正夫
hirano@m-trinity.com

1. Don't measure quality, measure functionalityの実践

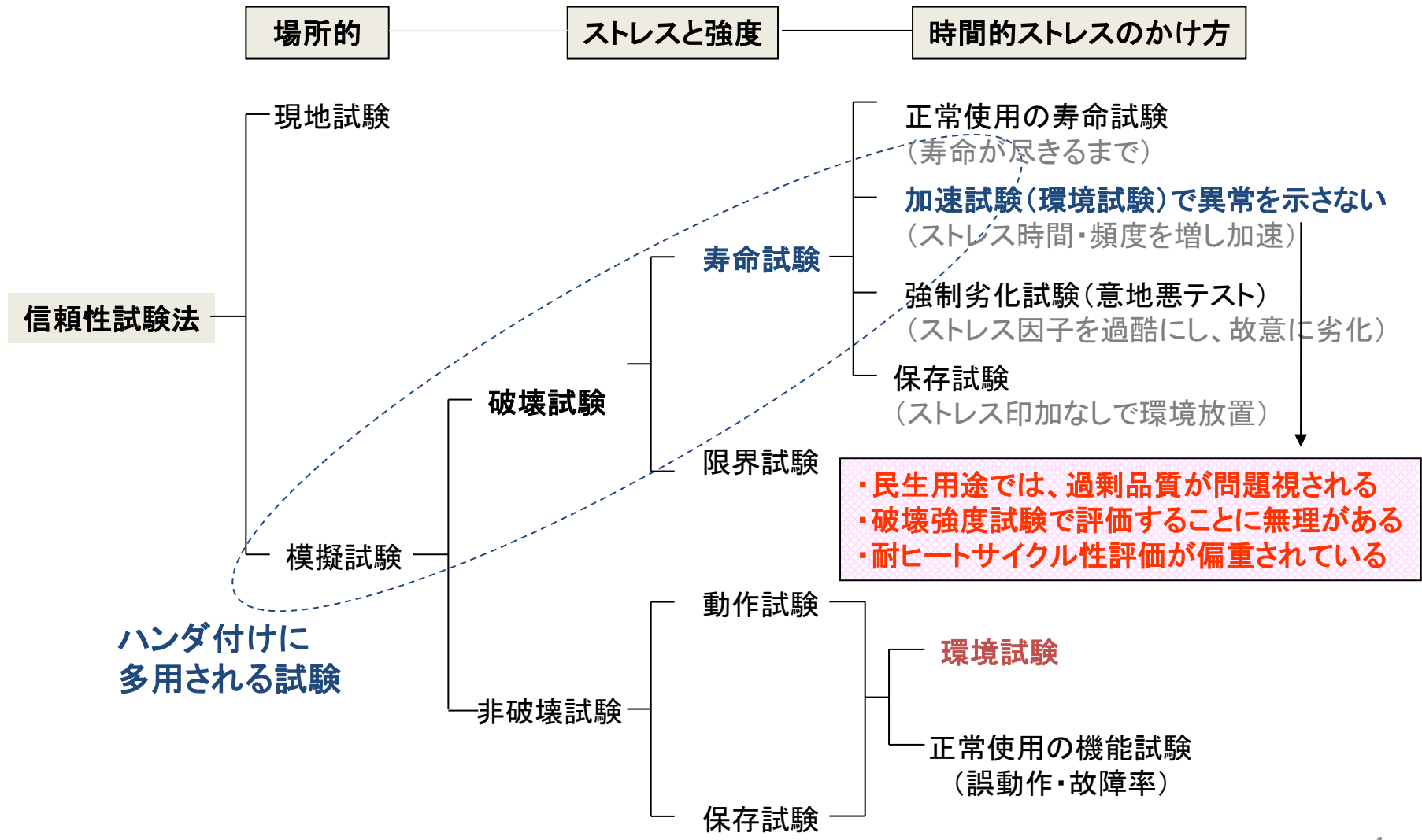


1. 1 実装業界の信頼性評価の現状

	切り口	よくやられている検討または業界実態
良品の信頼性	製品の使われ方 使用劣化 ハンダ選定 基板選定 部品選定 ハンダ供給量 基板組立設計 製造劣化	基板実装に、明確な信頼性基準がない 市場データの蓄積に乏しい 継手のヒートサイクルテスト+破壊強度 クラック観察すべき 物性値の考慮が不足 端子形状の影響・個別性の考慮が不足 継手信頼性の根源であるとの理解が不足 耐振動性の考慮が不足(単にハコ詰め) 良品解析が不足(不良発想)
不良品の信頼性		よく知られている(ただし、諸説紛々)

1. 2 電子機器の信頼性試験法

環境条件を加速し、所定期間、機能特性を維持できるか調べるのが信頼性試験
強い設計を示唆する評価ではない



機械強度試験の問題点(継手形状とせん断方向に強度が依存)

- せん断強度は、せん断方向とはんだ供給位置の関係が強度に影響する
- せん断強度ではクラックができて、強度変化が現れ難い・・・「**残存強度**」を測定している
- 「**クラックの観察**」が望ましい
- 理想は、『**低ひずみフィレット設計**』

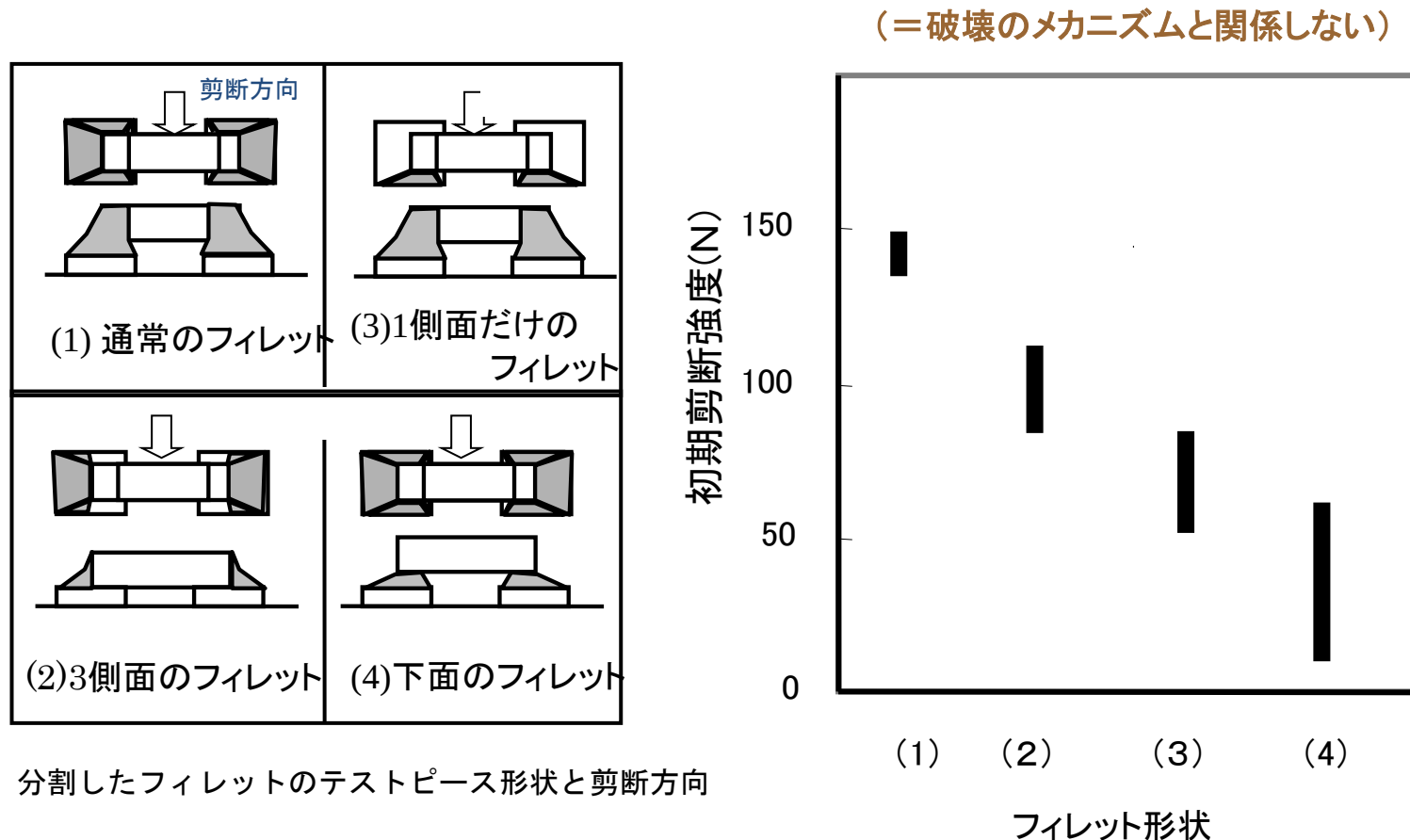


図 分割したフィレットをもつチップ部品の剪断強度

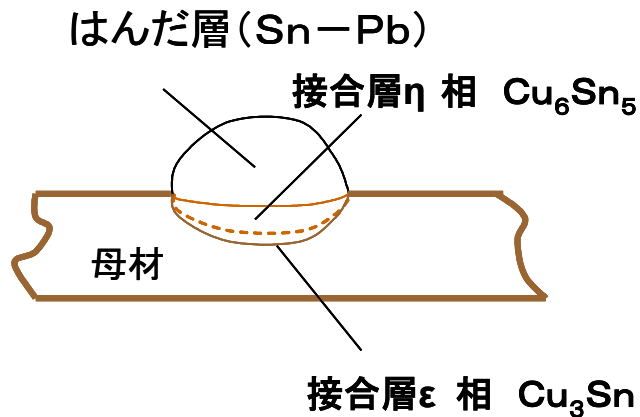
1.3 信頼性の実装階層への割り付け（JISの信頼性確保）

表 実装でよく使う環境試験

	想定ストレス	ストレスの影響	評価したい特性		
基板階層に 感度が高い	温度サイクル	熱疲労 反応促進	はんだ継ぎ手の変化・劣化 偏析・化合物形成・移動・ボイド・ クラック形成・破壊伝達	妄信的に 多用される	
	高温放置	反応促進 劣化促進	金属の相互拡散 金属間化合物の形成など		
機器階層に 感度が高い	高温恒湿	材料の吸湿 構造の保水	電気絶縁性の低下 リーク・導通 絶縁抵抗 誘電損失 イオンマイグレーション	通電	組み立ての課題
	PCT	水蒸気(圧)の進入 構造の保水			
	機械力		機械的破壊強度 引張・せん断 クラック破断(時間・距離) クリープ性(荷重・時間・温度)		
	振動・衝撃	慣性モーメント 応力方向変化 変形	部品・基板の変形・破壊・脱落 など		

ハンダ接合と劣化のメカニズム

接合の基本メカニズム



- ・Cu-Sn拡散
ほとんどの鉛フリーも同じ
- ・Sn-Zn系は
Cu-Zn拡散が主体
Cu-Snも生じる

部品電極の工程が未成熟だと起きやすい

接合の劣化メカニズム

異常な破壊

ぬれ(拡散)

移動

偏析

界面すべり

通常の破壊

歪の集中
界面剥離

電極材

ランド

Pb-Sn 第3成分の拡散によって成分が偏析
例:Pbリッチ、Snリッチ層

Bi

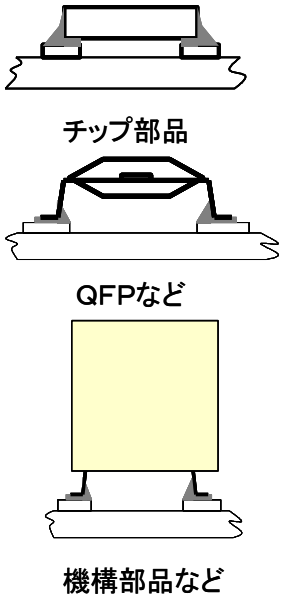
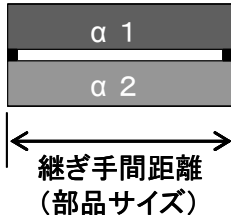
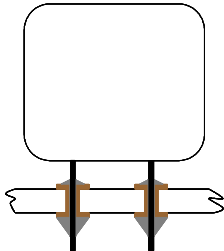
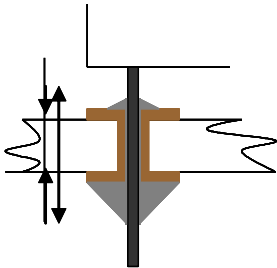
脆性

偏析の周辺に沈着する

通常の信頼性試験の意義はこの確認にある

継ぎ手の耐ヒートサイクル性を左右する要因

- ・大きい部品、硬い部品、堅い実装構造には、大きな歪が発生する。
- ・部品と基板の「線膨張率差・ヤング率差」がはんだ継ぎ手界面の歪の要因

表面実装部品		堅いモデル  継ぎ手間距離 (部品サイズ) 柔らかいモデル 	(1) 熱サイクルと構造因子で発生する最大歪を計算 $\text{最大歪} \propto \alpha_1 - \alpha_2 \cdot L \cdot \Delta T$ α : 線膨張係数 ΔT : ヒートサイクル温度振幅 (2) パッケージの吟味 基板とパッケージが作る熱加重を ・歪を逃がすのが端子の柔構造 ・逃がしきれない歪をはんだがクリープして消費する (3) フィレット中に誘起する歪の算出 実際の差には、部品、基板、はんだのヤング率(延性)を入れてCAEで計算
挿入実装部品			線膨張係数が高くなる基板厚さ方向! スルーホール構造が寿命に影響する ・フロー／手付けは、SMTに比べて耐ヒートサイクル性が必然的に不利になる ・紙エポキシではランド剥が起き易い 製造性(フィレット・リフティング)にも関係する

影響する
端子形状

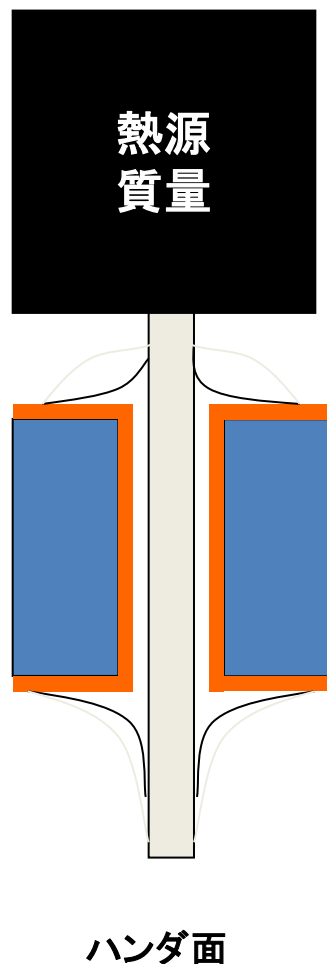
大型部品の実装、耐振動性実装に強いニーズがある

TH実装の信頼性の評価指標……耐H／C性偏重は問題！

- 部品選定と設計起因（TH設計）に関する信頼性評価を重視
- TH実装の代表モデルとして、「電源」を選ぶ……製造の困難な大型部品が多い
- 鉛フリーSn-Ag-Cuへ代替する効果の証明として、クリープ性を評価（TH設計と絡めて）……試験の足が早い
- 耐振動性は、CAEで別途評価（対策は適正な固定が原則＝フィレットの作り込みではない）

用 途	実装階層と信頼性			基板の特徴	ストレスの種類	はんだへの影響	高寿命化の設計		合金特性活用
	組立	基板	部品継手						
一般機器			○		耐H／C性	歪	フィレット形状	TH設計 基板厚さ	
産業機器			○						
車載用途	●		○	大型部品 発熱部品	耐振動性 （加速度）	変形 破断	固定 はんだ量	組立設計 TH設計	TH設計 と 耐クリープ性
電源		○	○		高温放置	偏析 すべり			
通信					耐P／C性				

解説 スルーホール実装の信頼性評価の優先順位と計測



優先順位

計測

1	耐クリープ性	ハンダの伸び クリアランス 荷重 温度	伸び 落下時間 電気計測
2	高温放置 耐パワーサイクル性	クラック発生 形状変化 歪み vs基板線膨張率・基板厚 CAE解析	観測 表面断面分析
3	耐振動性	荷震 樹脂ボンド有 樹脂ボンド無 計測と観察	高速度カメラ 変位・振幅・節 CAE解析
4	耐ヒートサイクル性	クラック発生 形状変化 歪み vs基板線膨張率・基板厚 CAE解析	観測 観測・分析

ハンダの使い方の禁忌と原則

クリープする
ホイスカ発生
クラック発生など

禁忌

A: ハンダは“力がかかる使い方”をしてはならない。
B: 大面積のハンダ付けを避ける。



原則

組立て方

柱を使う

構造材の選定

構造設計において、

等を工夫・対策する

ハンダ選定
基板、部品選定
線膨張係数差・変形
振動防止構造

1.4 技術の蓄積・持続には、寿命試験よりも「技術評価」が重要！

寿命試験

正常使用の寿命試験
(寿命が尽きるまで)

加速試験
(ストレス時間・頻度を増し加速)

強制劣化試験
(ストレス因子を過酷にし、故意に劣化)

保存試験
(ストレス印加なしで環境放置)

劣化(ノイズ)の概念

大きな違いがある

動作試験

流動管理・形式認証など
(正常の証明)

技術評価

良さ: 必要特性(機能)を計測する

悪さ: 抑制(ロバスト設計)
(後工程・利用のノイズで評価)

良さ(機能)の概念

技術の蓄積・持続には、こちらが妥当！

2. ハンダ実装の問題(技能が先行し、技術化が遅れている)

分業が電子実装の技術化を阻害している！

対策病で、工程と設計が定まらない！

- 不良のモグラたたき
- 不良を抑えるために工程が変化
- 良品を作り込めていない
- 装置に頼り過ぎ

材料・部品
メーカー

材料・設計・装置の間の切れ目
...技術が繋がらない！

装置メーカー

組立
セットメーカー

製造で問題が顕在化



- ・変化対応が遅くなる！
- ・編集や摺り合わせが難しい！

加えて、

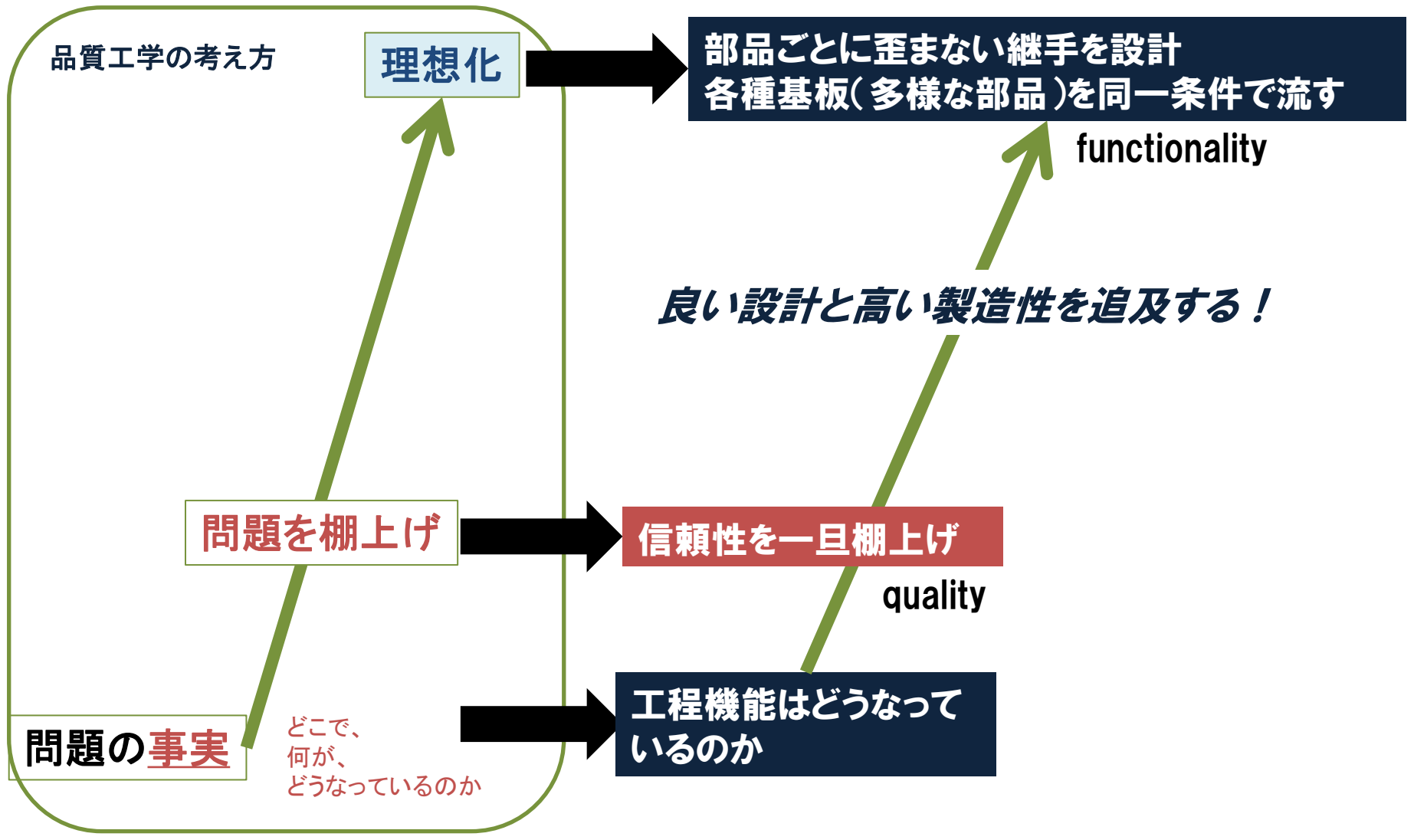
組立型生産の課題

- ・低価格化
- ・差異化が困難
- ・アウトソーシング依存

などが顕在化。

3. 汎用ソルダリングの開発コンセプト

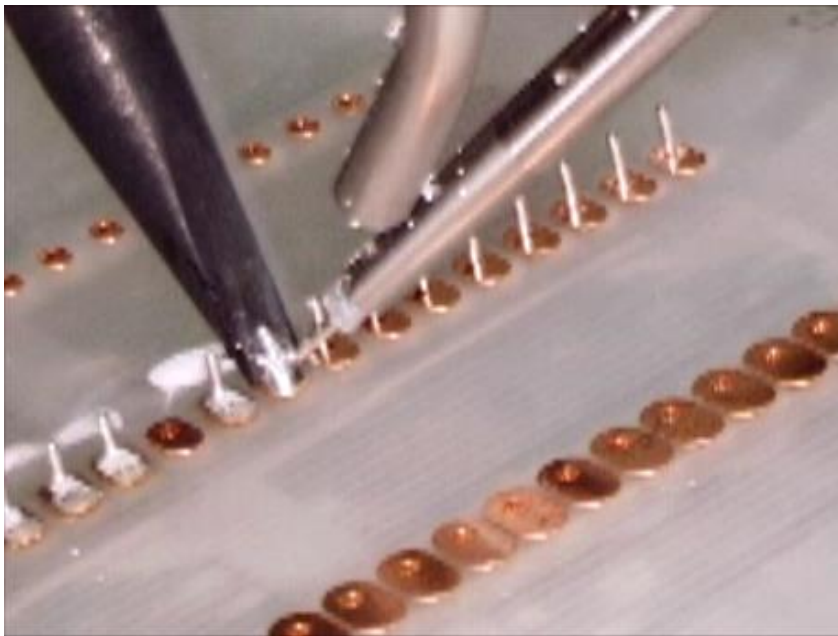
～Don't measure quality, measure functionalityの実践のために～



3. 1 ソルダリング工法(SMT・コテ・フロー)の安定化

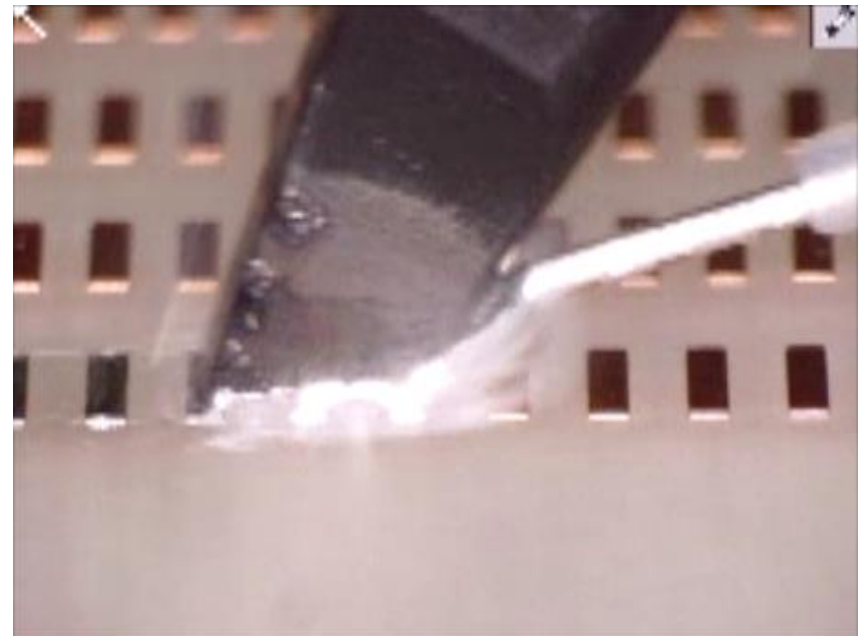
ビデオ観察を繰り返すと、見えてくるソルダリング

ポイントハンダ



コテと端子が作る空間にハンダを流す

スライドハンダ

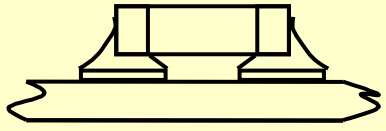
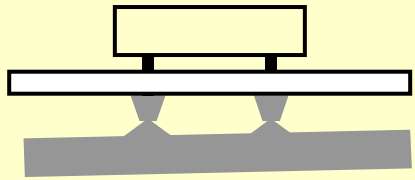
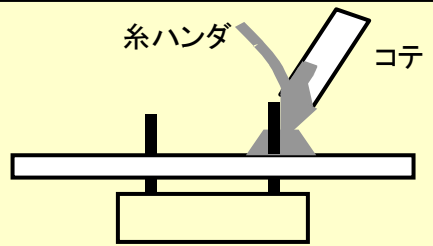


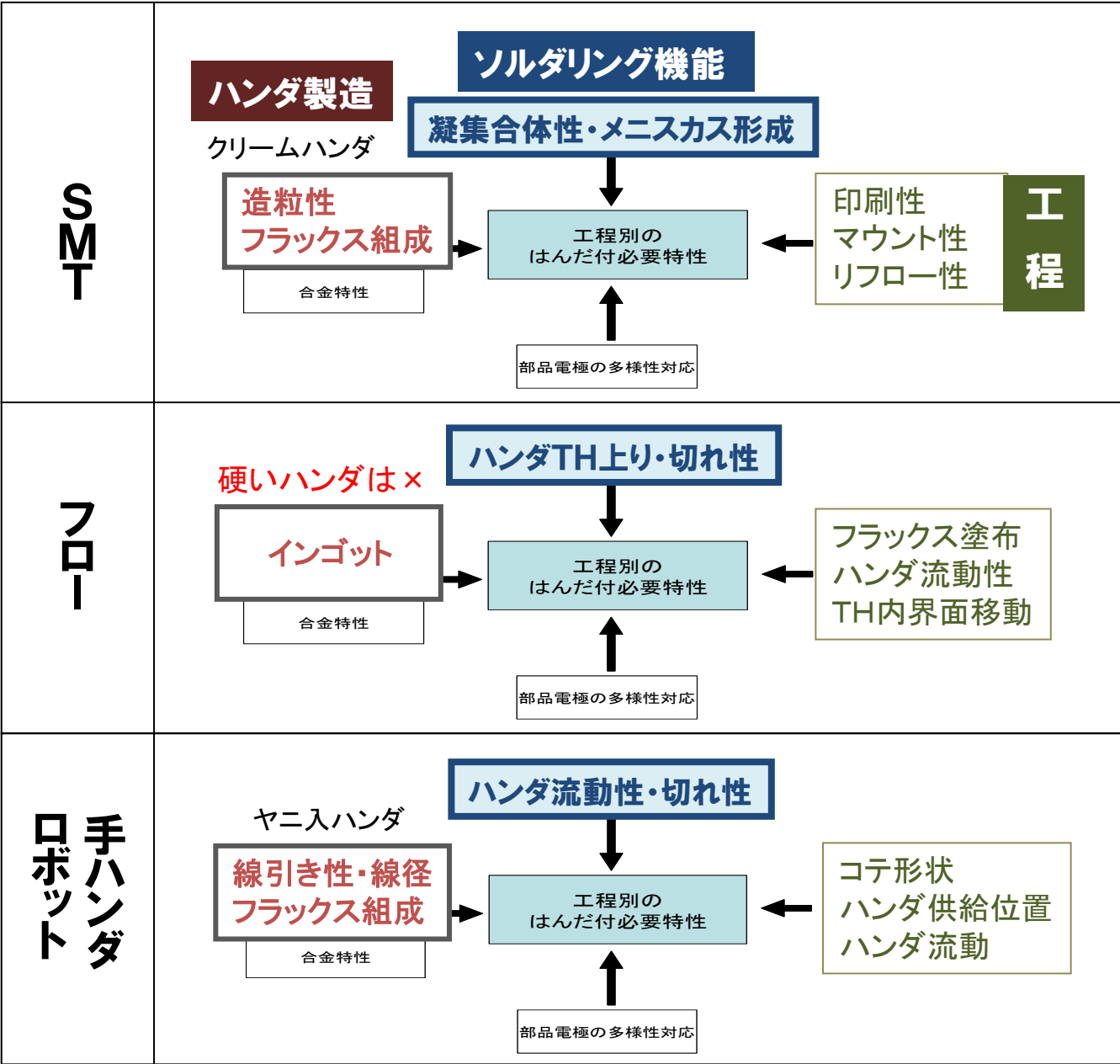
コテとランドが作る空間にハンダを流す
コテがハンダを切る

3. 2 工程観察から「ソルダリング機能・計測特性」を考案する

■代表工法の**観察**、**ソルダリング機能**(ぬれ・流動・メニスカス形成)および**計測特性**

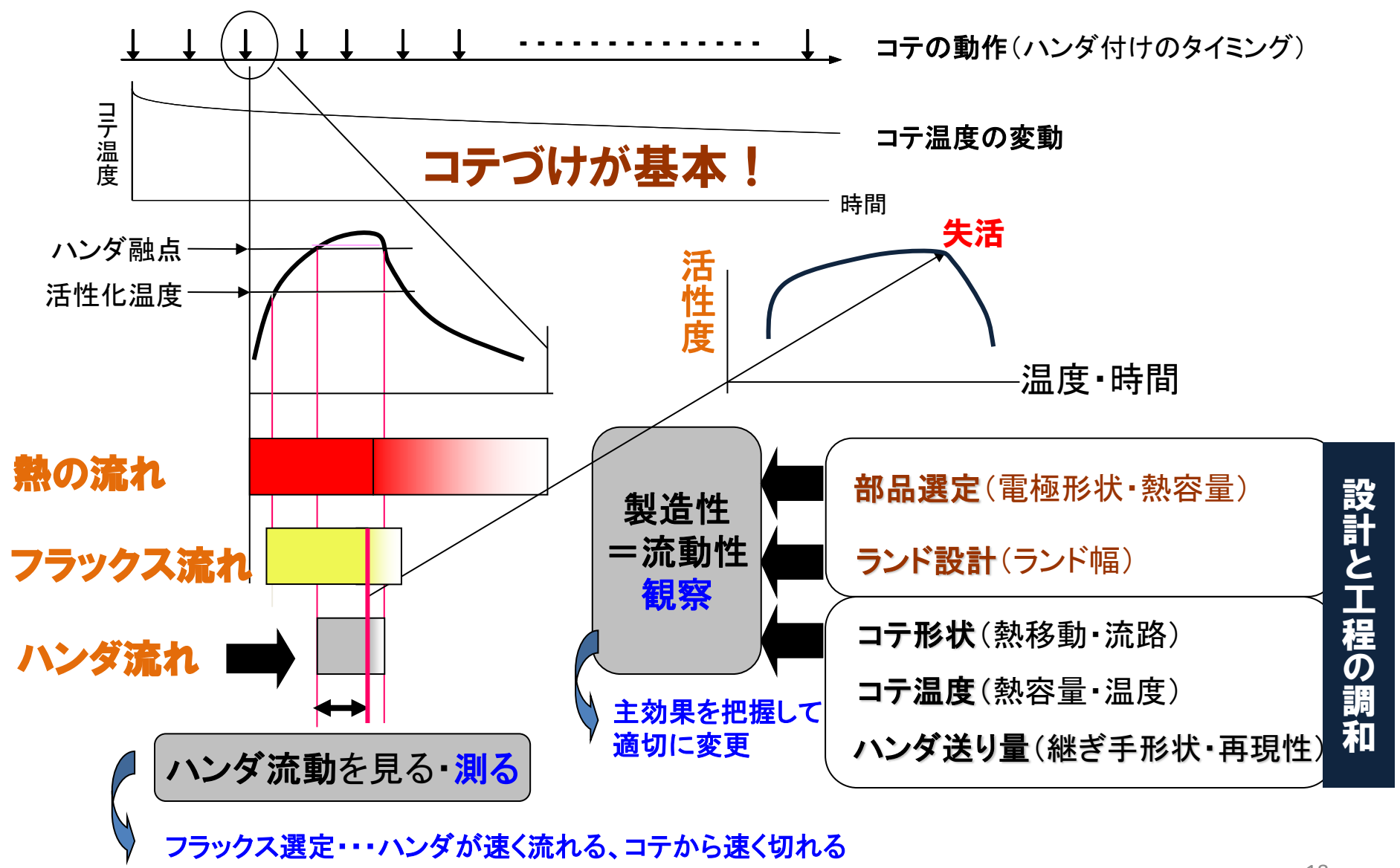
表 工法とソルダリング機能

機能・特性 \ 工法	リフロー	フロー	ロボット・手付け(コテ)
ハンダの種類	ペースト	棒	糸
ハンダ供給位置(方法)	ランド上(印刷)	ランド・端子部(浸漬)	ランド・端子部(流し込み)
ソルダリング過程観察 ↓ フィレット形成時のハンダの振る舞い ソルダリング機能 ↓ 計測特性	 必要なところへ 必要量のハンダを置き その場で溶かす 濡れ、移動、メニスカスを形成 ・印刷熱ダレ性 ・凝集体性 ・濡れ性(界面張力) ・メニスカス形成(表面張力)	 ハンダ浴から ハンダを流入 必要量を切り取る 静圧式:ハンダを押し込む ・濡れ性(界面張力) ・ハンダ上がり(界面張力、速度) ・切れ(引き上げ角・速度) (凝集力、表面張力)	 コテ先から熱を与え、 コテと端子の狭空間に ハンダを流し込む ・熱伝達 ・フラックスの流動速さ ・濡れ性／流動性 (界面張力、ハンダ流動速度) ・切れ(凝集力)



3. 4 ソルダリング『過程』を理解する！・・・観察と学習のススメ

基本は、「熱の流れ→フラックスの流れ→ハンダの流れ」



フラックスの機能

- 自然酸化膜の除去……端子やランドをキレイにする。
- 溶融ハンダの酸化防止…ハンダ粒子同士を溶けやすくする。
- 溶融ハンダの粘度低下…溶融ハンダを流れ易くする。
- ハンダの流動を促進……溶融ハンダの電極界面の濡れ拡がりを促進する。

参考:ハンダ付けの「エキスパートの見方」

(名言1) フラックスに仕事をさせる

(名言2) ハンダに仕事をさせる

(名言3) 熱の流れ→フラックスの流れ→ハンダの流れ…過程に着眼した表現

4. 『3M(材料・設計・工程)の調和』による良品づくり

Material・Manner・Machineの調和は、生産と設計を繋ぐ、進化と持続の方程式

3元連立方程式を解くように、MaterialとMannerとMachineの関係付けを考える。

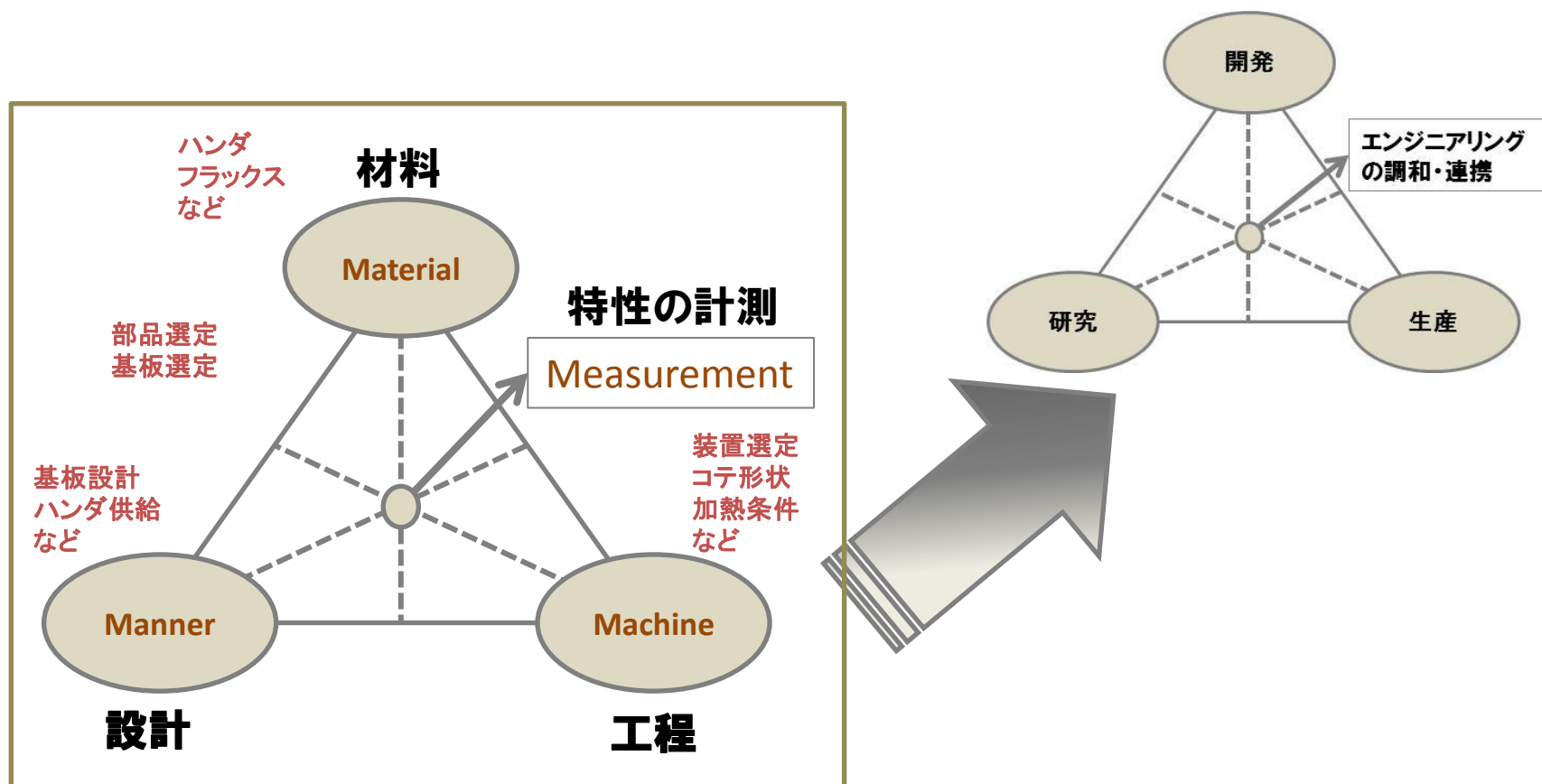


図 3M調和による技術化の概念

4. 1 SMTの研究課題(オフラインで製造安定性を創り込む)

- 3M(①②③)の実装パラメータを最適化した工程条件作りこみ
- 高速に凝集体するクリームハンダを開発
- ハンダの流れを最短にする基板設計

3つのMが揃わないと、
体質は作れない!

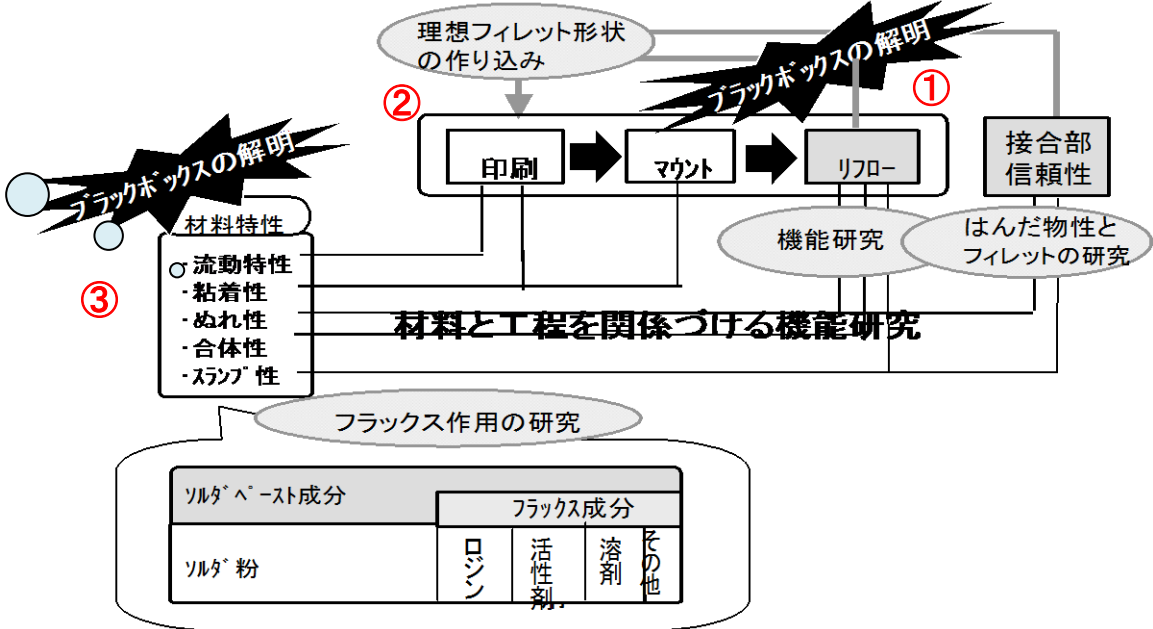
安定の継続力
= 変化対応力
= 進化する力

①リフローの技術化
②ランド・マスク一体設計
③標準ハンダの開発

Machine
Manner
Material

製造安定性
信頼性
生産性

材料変更しても
体質を崩さない
工程機能にあった
クリームはんだ



難度が高い鉛フリー時代の生産は、対策型の安定化では切り抜けられない!

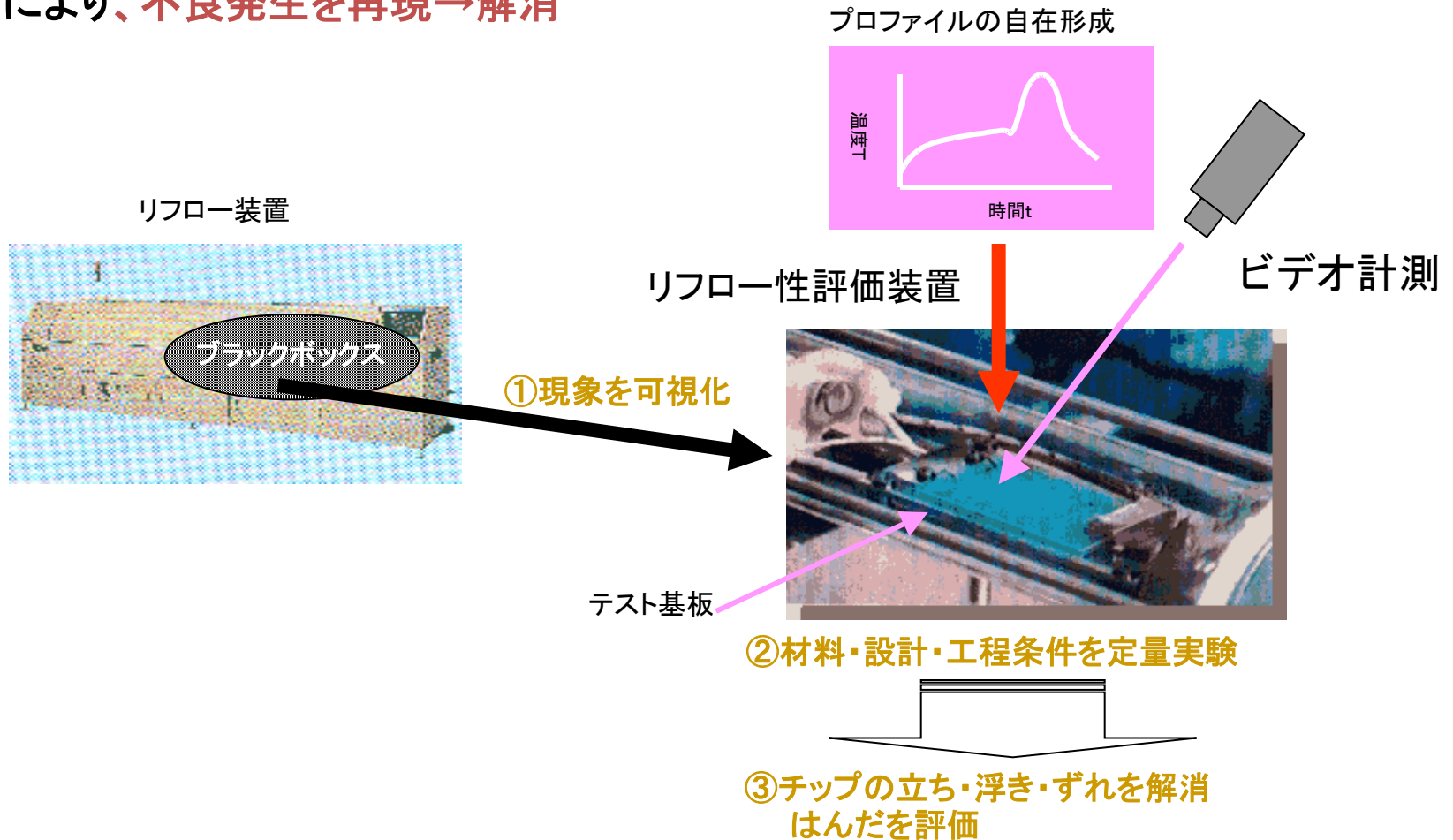
(1)リフローの『可視化とソルダリング機能の安定化』

■リフロー装置をテストピースに(リフローシミュレータΦ5cm×30cm)

■現象を可視化→現象把握と機能計測を実施

■ブラックボックスを開く研究

- ・材料・設計・工程条件を定量実験
- ・TMにより、不良発生を再現→解消

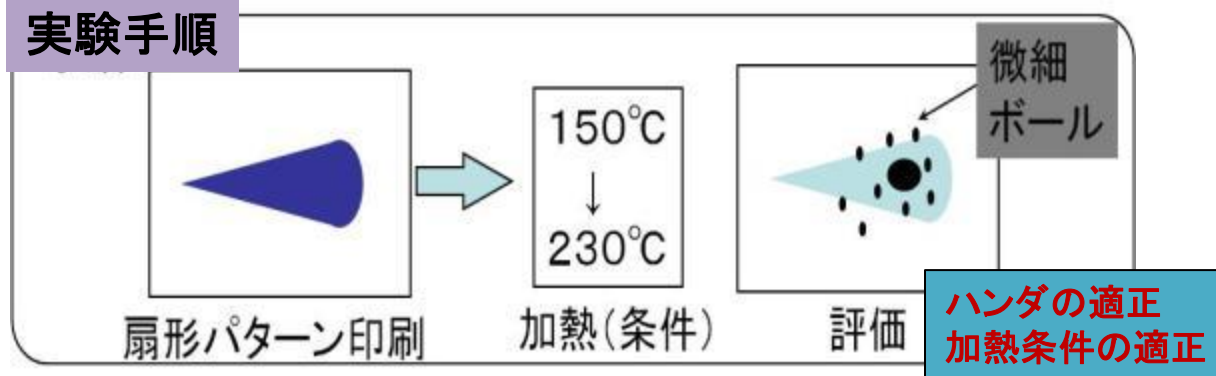


(2) クリームハンダの「凝集体性」評価

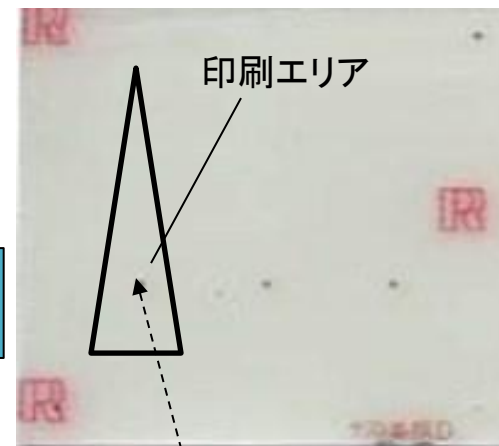
Material First・・・まず良いハンダを選ぶ！

- リフロ性の本質である「熔融ハンダの凝集性」を評価
- JISのハンダボール試験は、不良の評価(材料起因・設計起因・工程起因がありうる)

実験手順



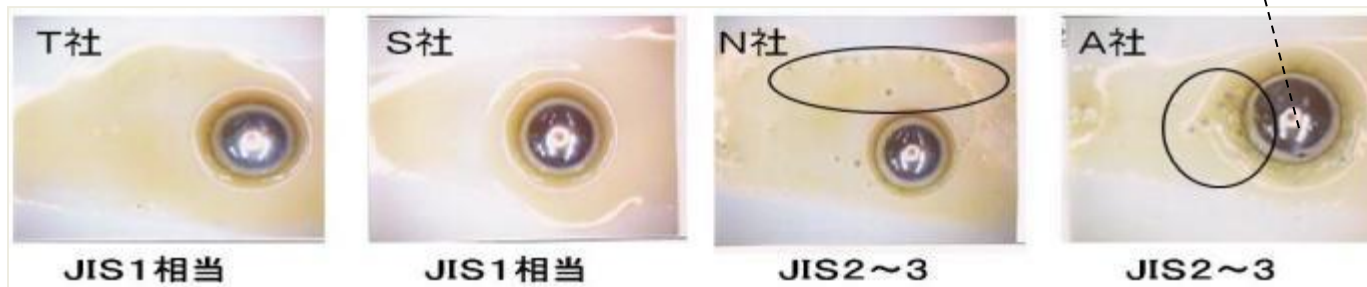
テスト基板



理論

はんだの粒子と粒子が溶けて一つなる性質。
熔融直前の粒子の密度に左右される。

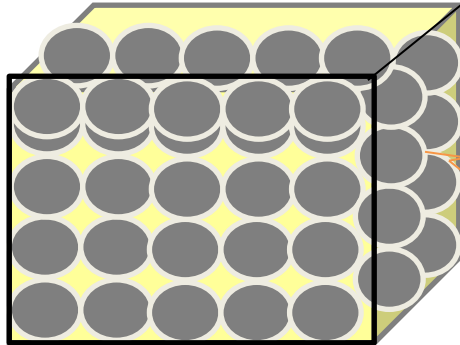
結果



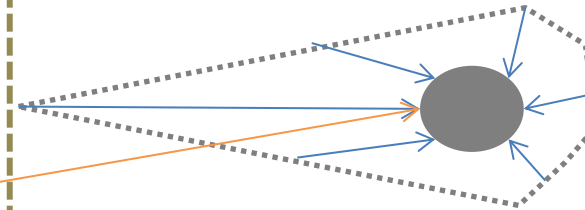
溶融ハンダの挙動

リフロー／クリームハンダ

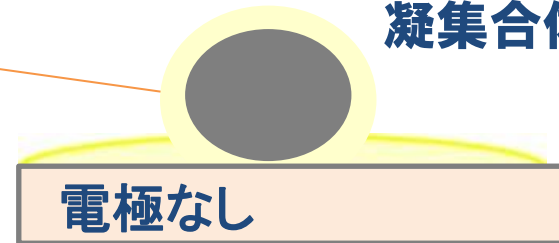
合金／フラックス体積比 50:50が理想



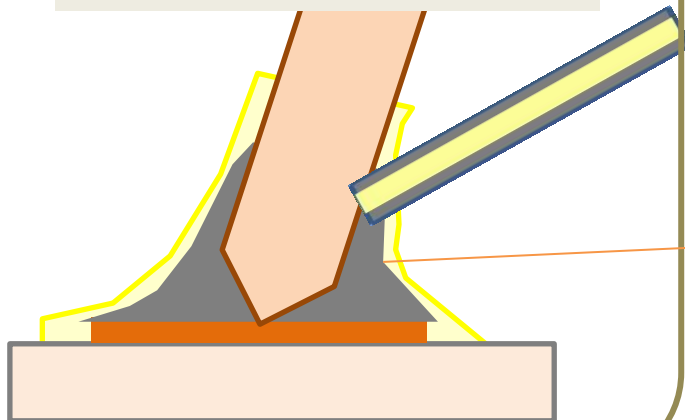
パターンの重心に集まる



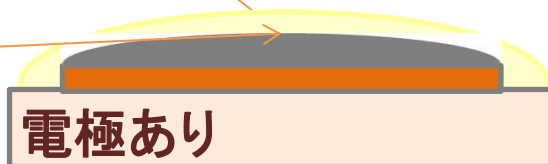
凝集体化する



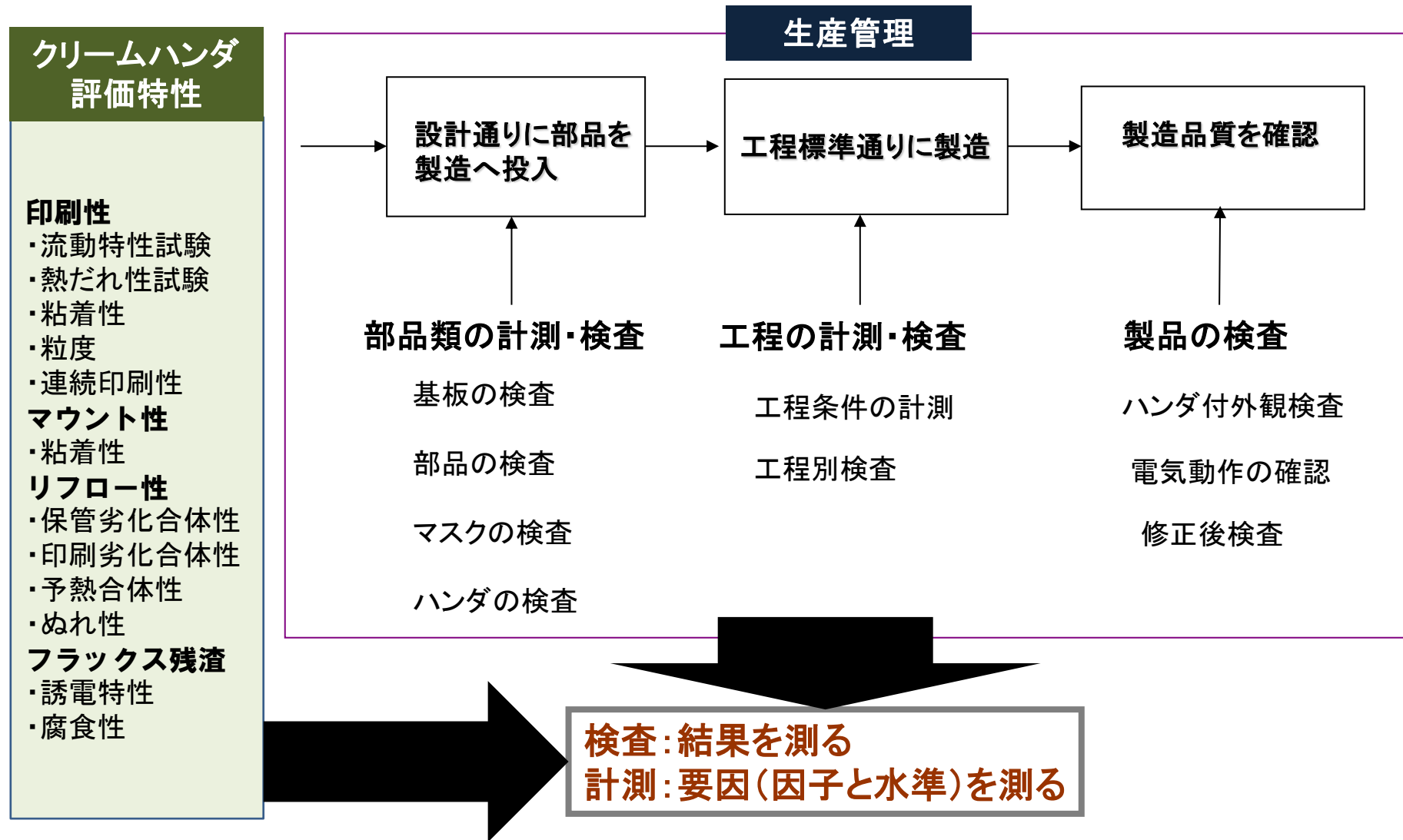
コテ付／ヤニ入り



電極に濡れる
メニスカスを形成する



(3)実装で使われる「計測と検査」・・・パラメータ設計に活用



良さも悪さも測れないとパラメータ設計の定量性が損なわれる！

クリームハンダの簡易なポットライフ判定法

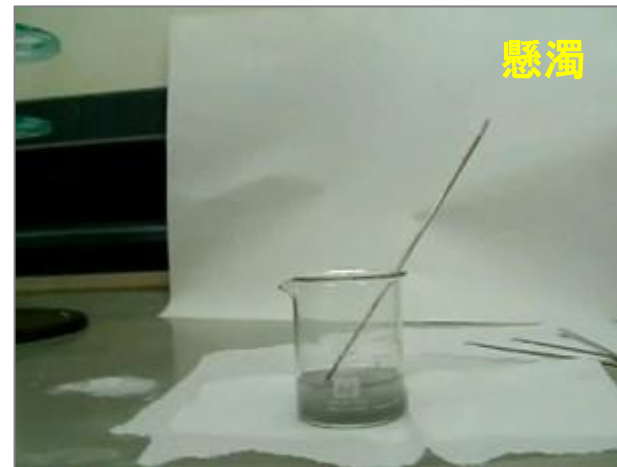
実験

50ccのビーカーに、ハンダ（薬匙1杯）を採取し、ジエチルカルビトールに希釈

正常なクリームはんだ



初期劣化したクリームはんだ



結果

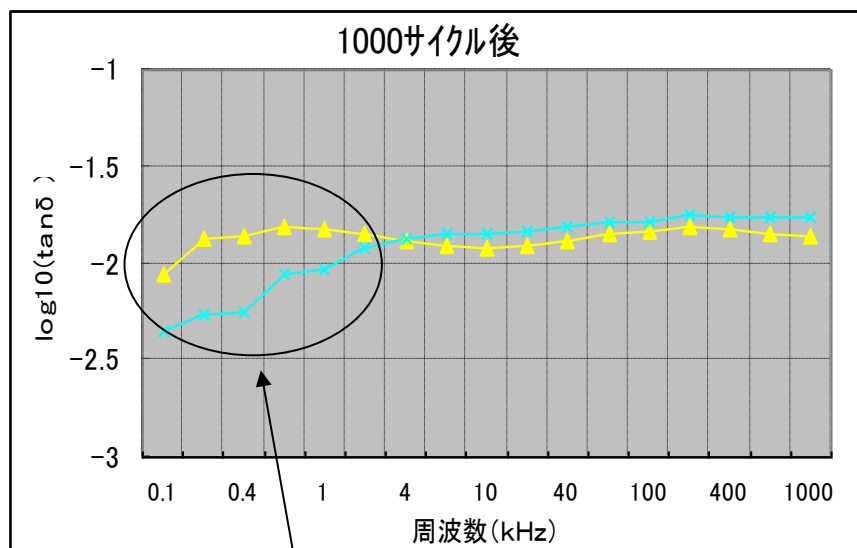
クリームハンダが劣化すると、超微細なドロスが生成するため、ジエチルカルビトールに溶解しない。

（懸濁液を乾固して分析するとSnが検出される）

誘電特性による基板・フラックスの信頼性評価

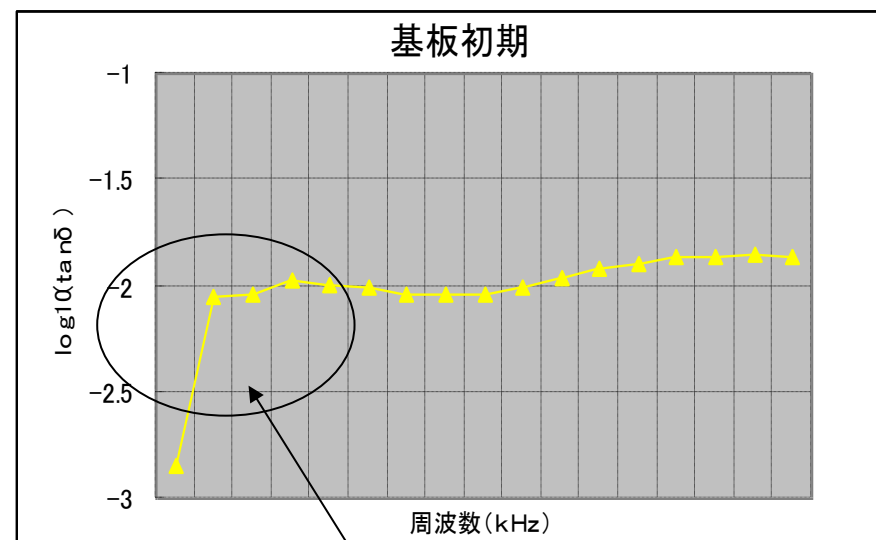
良い状態と悪い状態を区別できる計測が必要

- 絶縁抵抗が良い ($> 10^{10}\Omega$) のは、当たり前
- 絶縁抵抗でNGとなるのは、完全劣化状態のみ



イオン残渣があると、
低周波数側に差が出てくる

フラックスの信頼性と
基板の信頼性
がわかる！



基板やレジストの汚染もわかる

(4)部品電極形状が『ハンダ流動』の仕事をしている！

- 電極形状によってハンダ流路・流動の遅速が変わる・・・ハンダ流動距離(時間)を最小にする！
- 本加熱に必要な時間＝温度上昇する時間＋ぬれる時間＋流動する時間＋張力がバランスする時間
- フラックス活性があるうちにはんだ付けを完了する！
- 予熱で加熱をしすぎると、フラックス活性を失う。本加熱でハンダが流動しない！形状もばらつく！

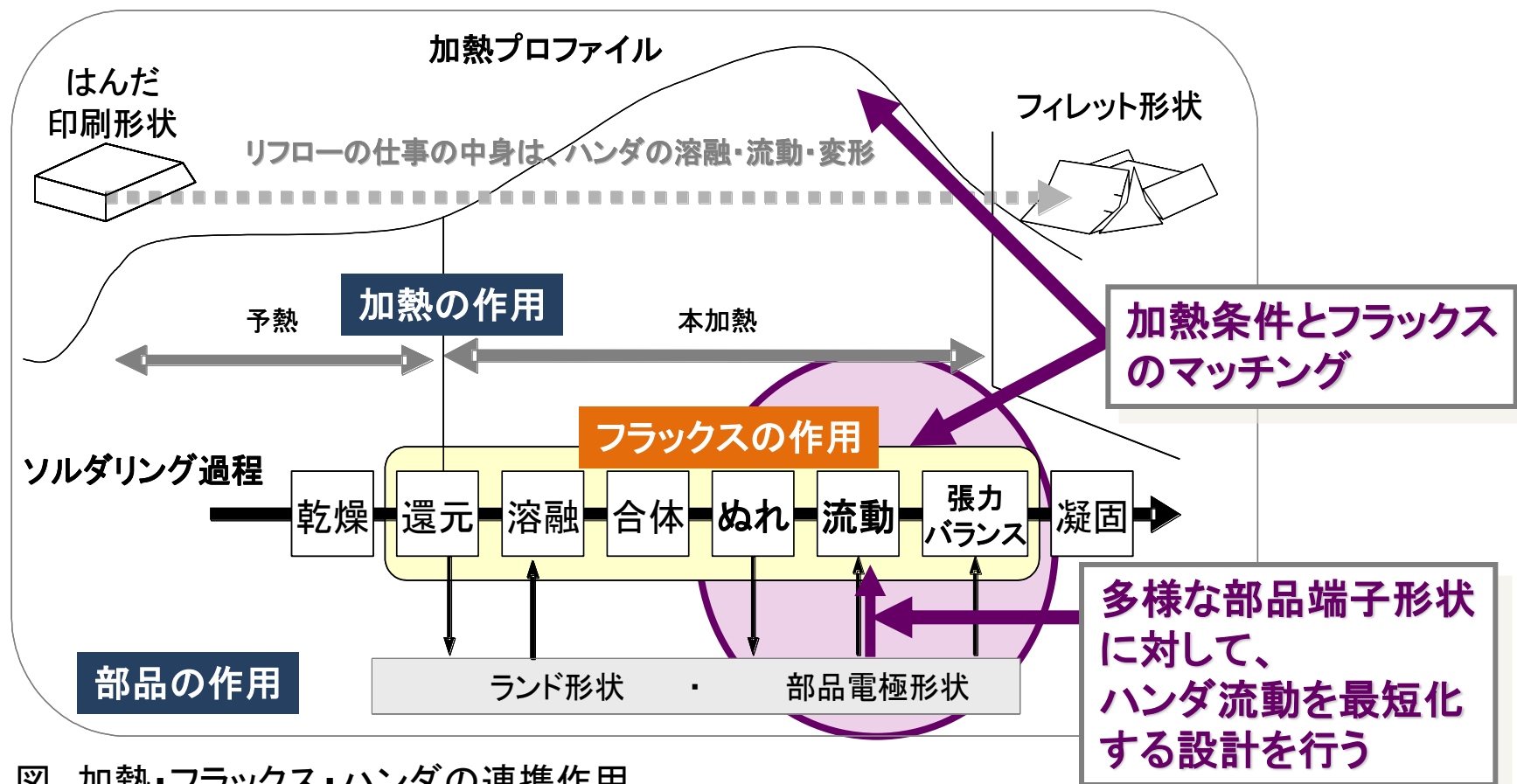
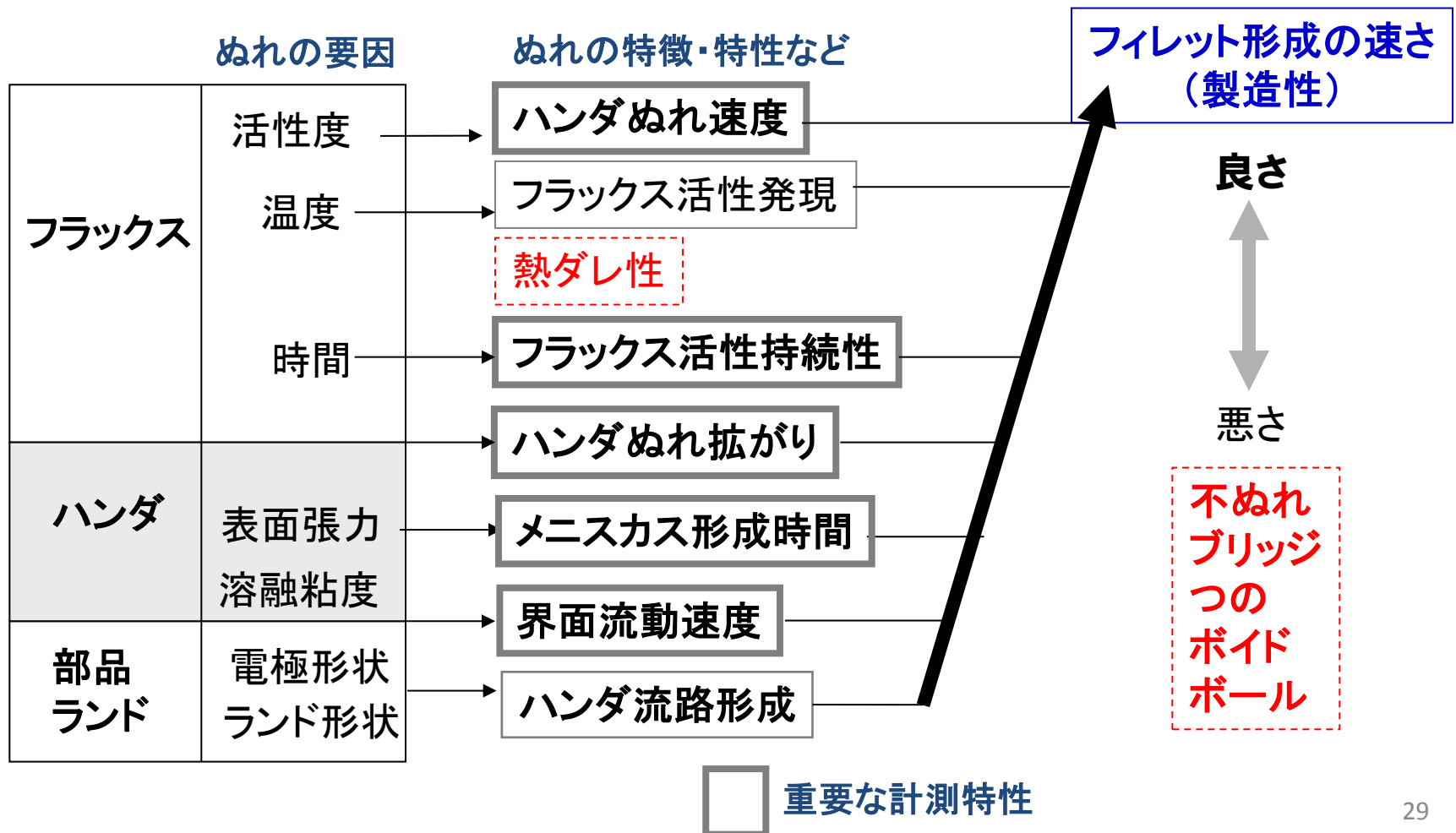


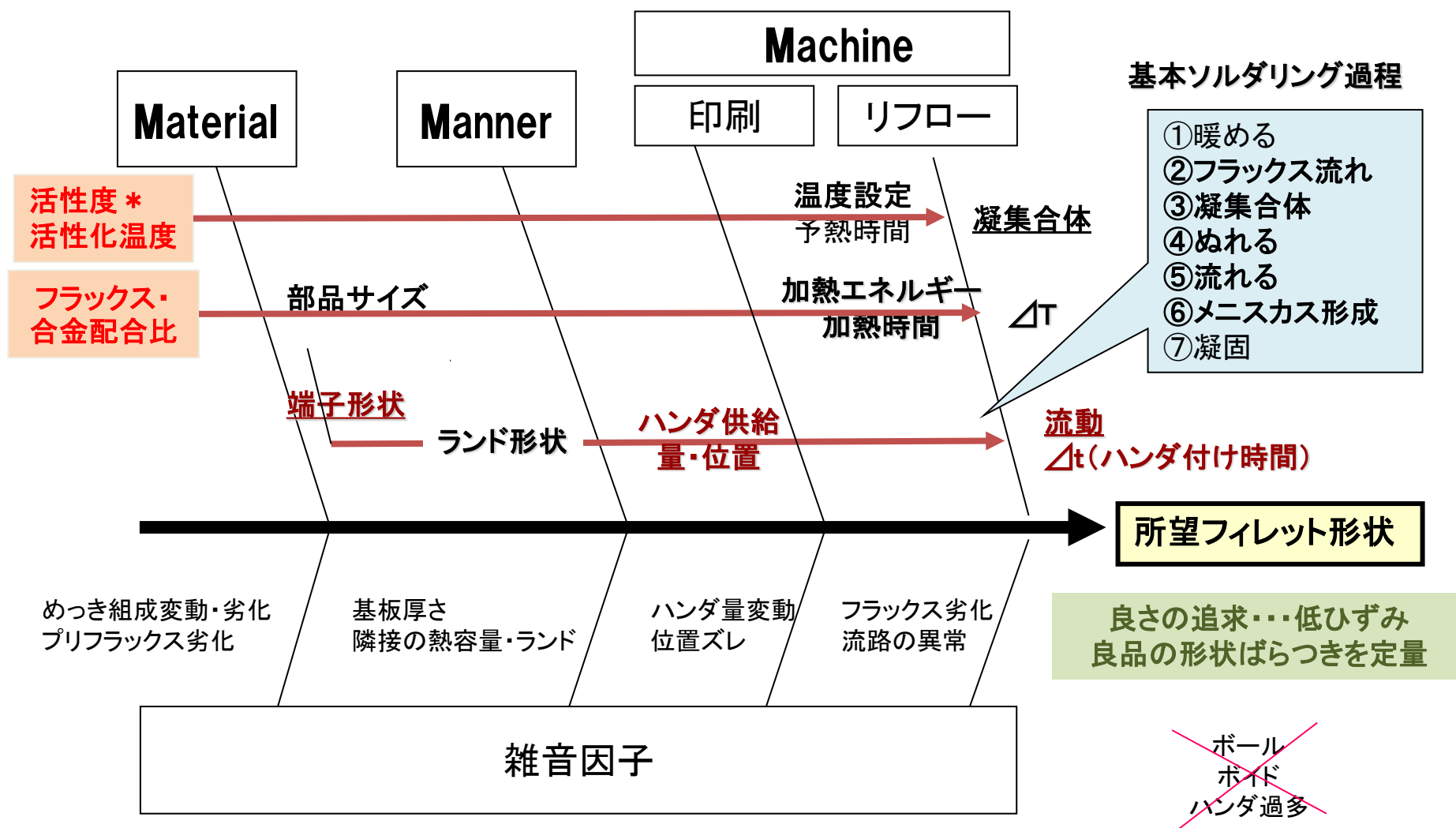
図 加熱・フラックス・ハンダの連携作用

(5) “ぬれ性”の一言で括れない「様々なソルダリング特性」

- ぬれ拡がりだけがぬれ性ではない。
- 部品下で起きるぬれに注目する。部品端子の界面ぬれ、ハンダ流動、メニスカス形成が起きている！
- フィレット形状の主因は、部品電極・ランドの形状とハンダ量！・・・ぬれと混同しない！
- リフロー条件の決定には、フラックスの活性発現温度や活性持続時間の把握が大切！

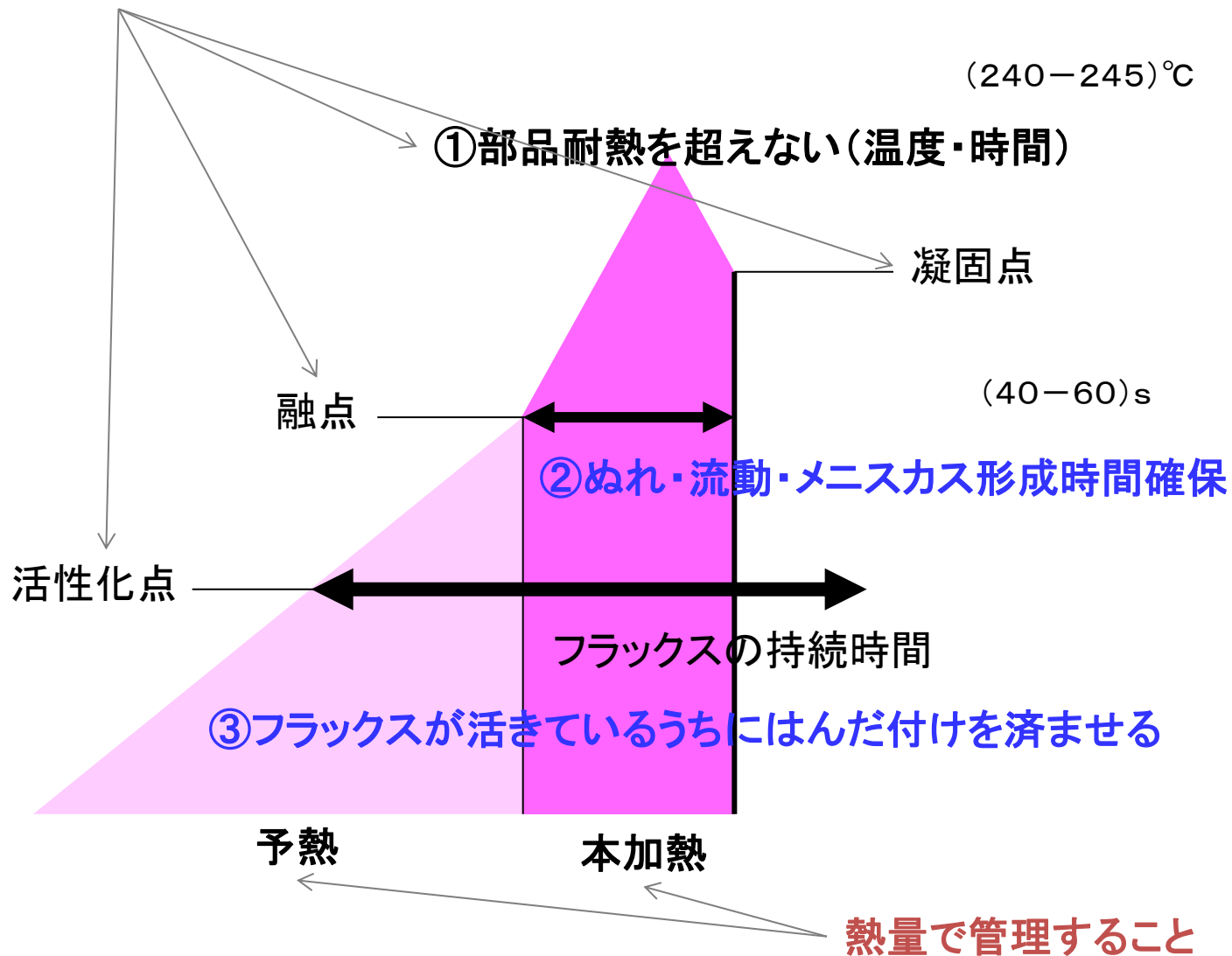


(6) SMTの特性要因図(例)



(7) リフロー加熱条件の作り方の極意

温度で管理すること



継ぎ手の信頼性はフィレット形状で決まる！

フィレットが厚いと、クラックが入りやすい

低いフィレットは部品下面に亀裂が起きる

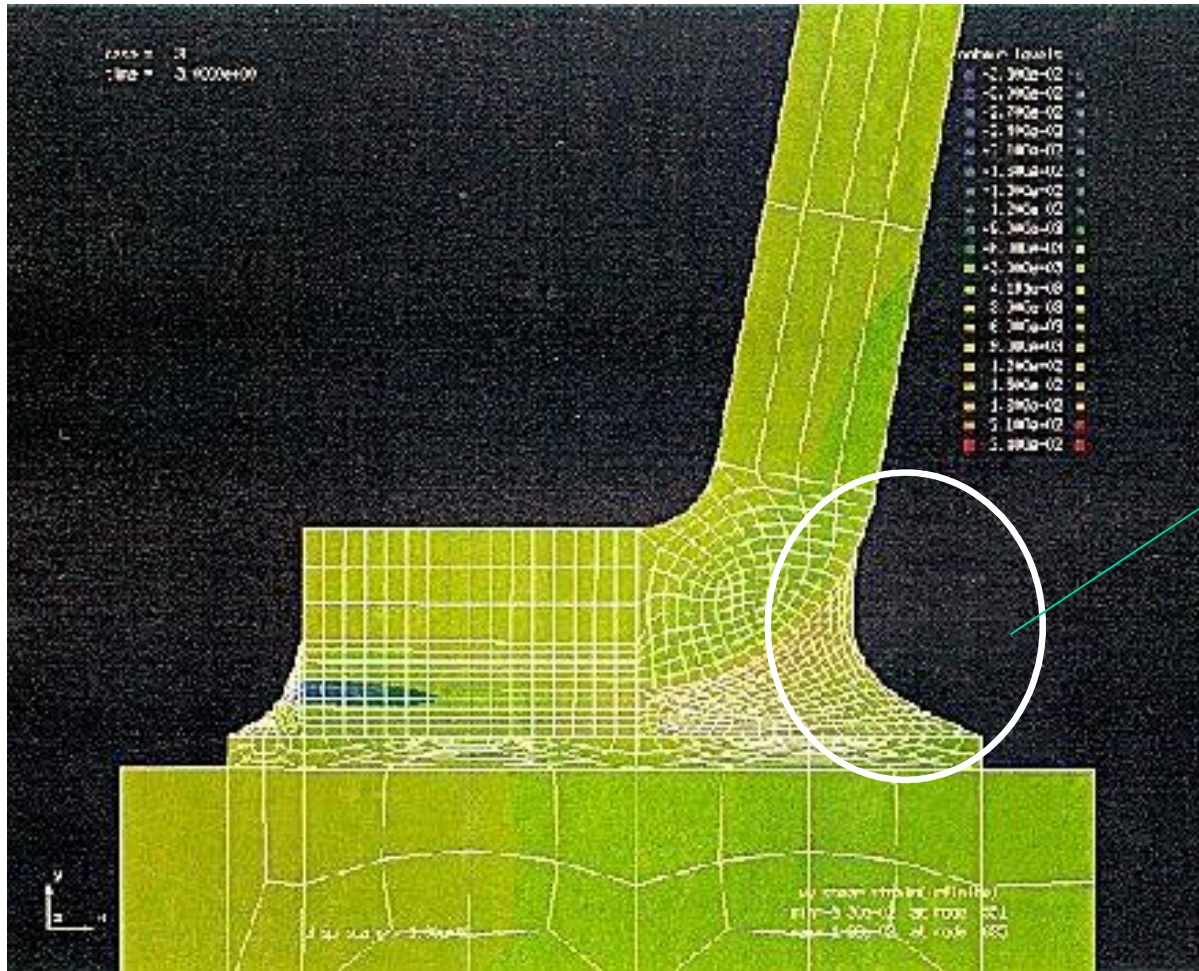


32

CAEを用い、楽に進めたい継手の低歪設計(QFPの例)

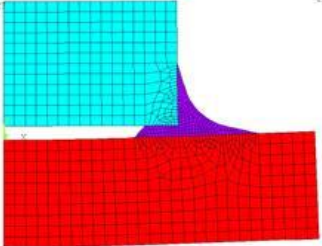
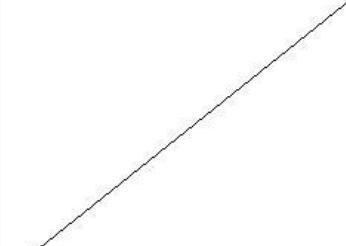
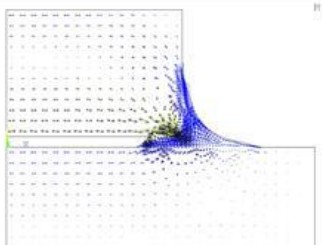
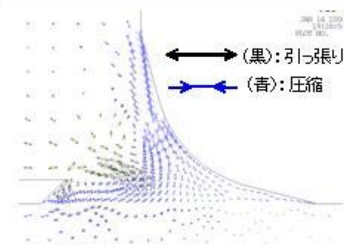
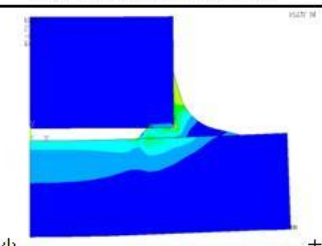
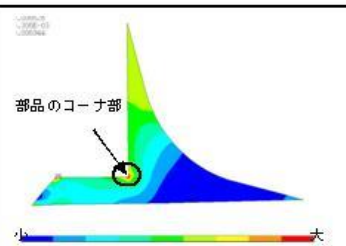
継ぎ手の信頼性はフィレット形状で決まる！

QFPの歪解析例



バックフィレットの形成がポイント

(9)CAE解析によってわかること

	全体図	はんだ部
①変形図	 全体の変形量:9.427 μm	
②ベクトル図 (主応力)	 全体の応力のかかり方を確認	 (左図の拡大)
③コンター図 (相当ひずみ)	 全体の最大ひずみ値:0.69%	 部品のコーナ部 はんだの最大ひずみ値:0.69%

①の変形図からわかること

- ・接合部の全体の変形
- ・基板とチップ部品の熱膨張係数の違いで、昇温により基板が上側に反る。
- ・ヤング率の差からも基板が変形する。

②の主応力ベクトル図からわかること

- ・部品のコーナ部に応力の集中が見られる。
- ・部品内の応力のベクトルはフィレット中に伝搬している。
- ・応力方向は部品とはんだの界面において、熱膨張係数が小さい部品側に引っ張り応力が、熱膨張係数が大きいはんだ側に圧縮応力が生じる。

③のコンター図からわかること

- ・フィレット部のひずみの分布、さらには最大ひずみの位置と大きさ
- ・基板の部品下にひずみが発生
- ・フィレット部には部品面のぬれ上がった位置と部品のコーナの近傍にひずみ発生
- ・最大ひずみが部品のコーナ部にあり、部品から遠ざかるとひずみは小さくなる。

表 CAE解析から得られる情報

4. 2 コテハンダ付の機能化とヤニ入りハンダの選定評価

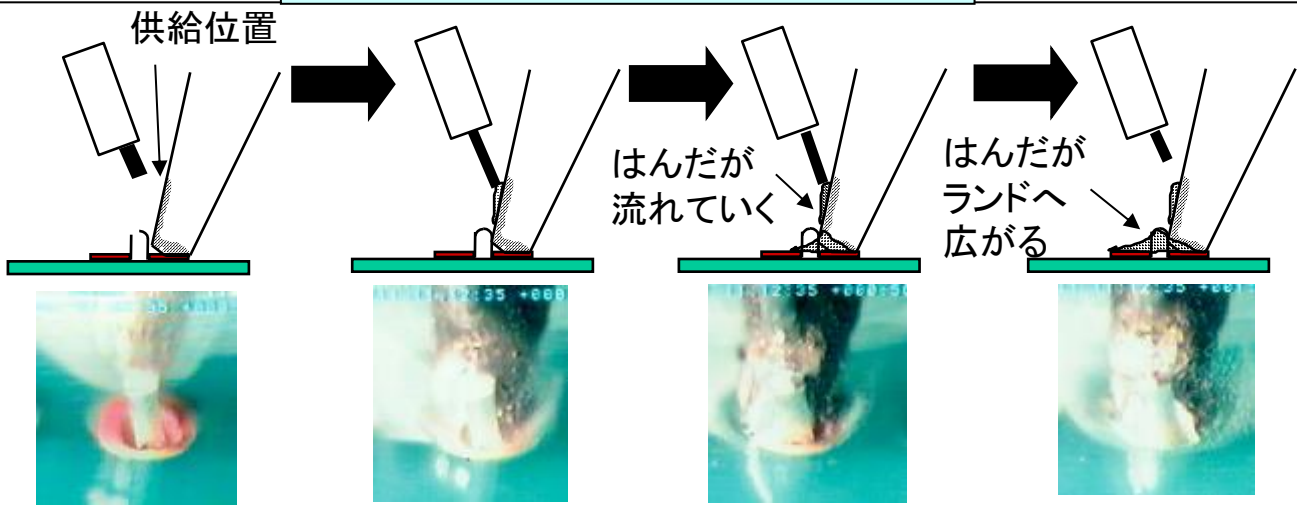
高速度カメラによる観察と計測評価

ポイントハンダ付け

評価項目: **ぬれ時間**

良い材料

- ・**短い**材料
- ・**バラツキがない**材料



コテがランドに接触した時点から測定を開始

はんだ供給位置はコテのメッキエリアの上

はんだがランドへ広がっていく

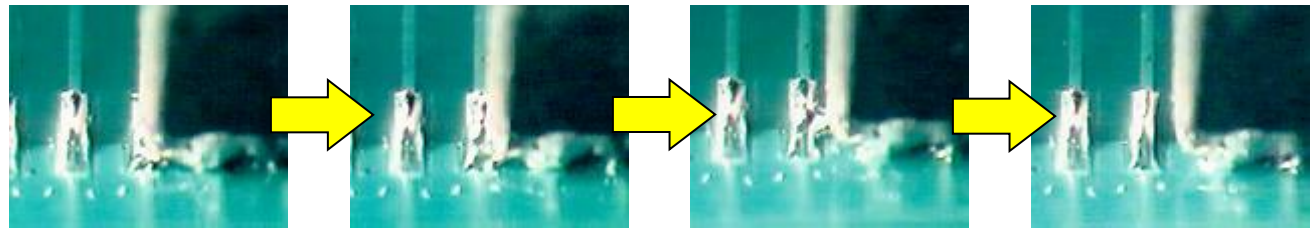
ランド全域へハンダが広がった時の時間を記録

スライドハンダ付け

評価項目: **切れ長さ**

良い材料

- ・**短い**材料
- ・**バラツキがない**材料



コテがランドの上を通過する

コテ先がランド端を通過した時点から測定を開始

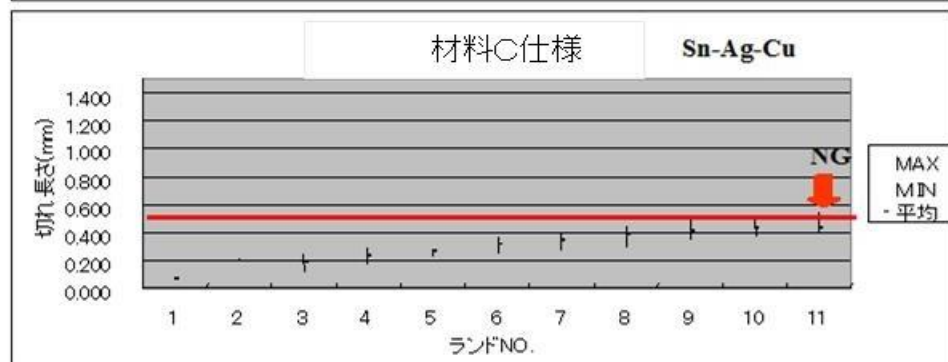
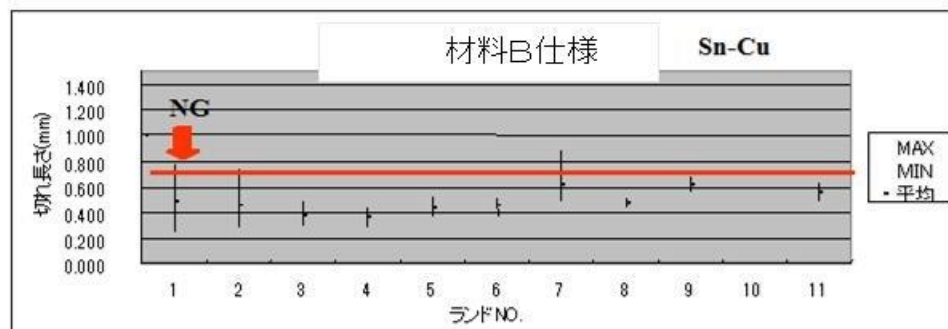
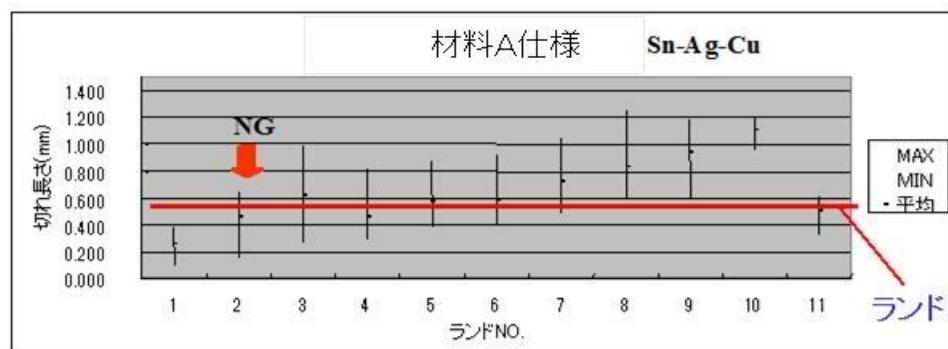
ハンダがコテ先に引張られる

コテ先に引張られたハンダが切れた時の時間を記録

(1)スライドハンダにおけるヤニ入りハンダの選定評価

■3M(材料・ランド設計・工程条件)の適否が解析できる

■下表は、予めランド設計と工程条件を標準化(固定)したことにより、フラックスの特性差が見える。



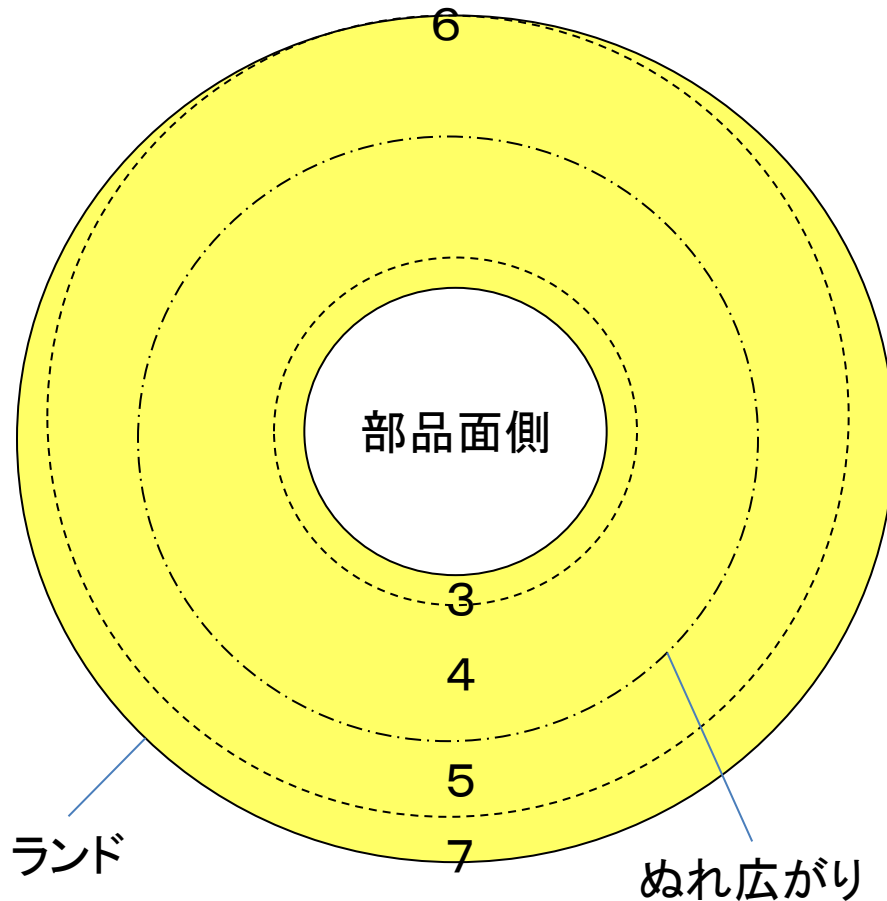
連続安定性	ばらつき	総合評価
×	×	×
×	△	×
○	○	○

4.3 スルーホール(TH)実装の機能化

実験の目的(京都府実装技術・信頼性研究会の公開実験から)

- 想定アプリケーションの設定 電源実装(両面基板・スルーホール)に重点化
- テスト基板設計の目的
 - (1) 製造性安定性の「定量評価」・・・量産条件の適正確認
 - (2) スルーホール実装の『製造安定化のための「設計要因」の明確化』
 - (3) フラックス、設計、装置条件の3M一体の評価基盤づくり・・・評価法の習得
装置選定、工程条件だし評価
 - (4) スルーホール実装の信頼性評価・・・耐クリープ性vsTHクリアランス)
- テストの方針と基板構成の特徴
 - 「3Mの要因効果がわかる」と「難易度が見てわかる」のコンビネーション設計
- 定量化する代表部品の絞込み
 - (1) 部品バリエティの重点化
 - 大熱容量と汎用性から、Al電解コンデンサー
 - 多ピン コネクター
 - コイル
 - (2) 他のリード部品／リード材質への対応柔軟性・・・ユニバーサルTH
 - (3) 回路への対応: ベタ配線の熱負荷を加味する

TH実装のハンダ上がり評価(評価方法)



- ・TM実験で得られた要因効果を熱だけでそのまま最適条件を判定
- ・引け巣発生を除外して最適条件を判定

立会い実験のハンダ上がりの評点

ぬれ広がり	ぬれ高さ
3 THが充填し、 H端がぬれている	各ランクで フィレットが高いと加 点1
4 ランドセンターより内側	
5 ランドセンターより外側	
6 5かつ、一部がランドエッジ までぬれる	
7 ランド全体がぬれる	

- 目視・DFS2次元観察による判定のため、
- ・判定し易い「ぬれ広がり」評点に高さを加味することで、THから上がった「体積」を反映させた
 - ・ハンダ付け検査機で得た継手形状を基礎とした
 - ・ハンダ付け性が良い工程条件のため、ハンダ面のぬれは不問
(NGは部品起因と解釈した)

TH実装のハンダ上がり評価(3M要因効果テストの基板設計)

L18に3M要因を割付

基板設計へ割付

サンプルNo	A フラックス固形分	B 部品サイズ	C ハンダ ランドサイズ	D リード長	E クリアランス	F 部品面 ベタパターン距離	G 浴温	H(H') 傾斜角 コンベア速度
1	1 小	1 大	1 小	1 小	1 小	1 大	1 大	1 小
2	1 小	1 大	2 中	2 中	2 中	2 中	2 中	2 中
3	1 小	1 大	3 大	3 大	3 大	3 小	3 小	3 大
4	1 小	2 中	1 小	1 小	2 中	2 中	3 小	3 大
5	1 小	2 中	2 中	2 中	3 大	3 小	1 大	1 小
6	1 小	2 中	3 大	3 大	1 小	1 大	2 中	2 中
7	1 小	3 小	1 小	2 中	1 小	3 小	2 中	3 大
8	1 小	3 小	2 中	3 大	2 中	1 大	3 小	1 小
9	1 小	3 小	3 大	1 小	3 大	2 中	1 大	2 中
10	2 大	1 大	1 小	3 大	3 大	2 中	2 中	1 小
11	2 大	1 大	2 中	1 小	1 小	3 小	3 小	2 中
12	2 大	1 大	3 大	2 中	2 中	1 大	1 大	3 大
13	2 大	2 中	1 小	2 中	3 大	1 大	3 小	2 中
14	2 大	2 中	2 中	3 大	1 小	2 中	1 大	3 大
15	2 大	2 中	3 大	1 小	2 中	3 小	2 中	1 小
16	2 大	3 小	1 小	3 大	2 中	3 小	1 大	2 中
17	2 大	3 小	2 中	1 小	3 大	1 大	2 中	3 大
18	2 大	3 小	3 大	2 中	1 小	2 中	3 小	1 小

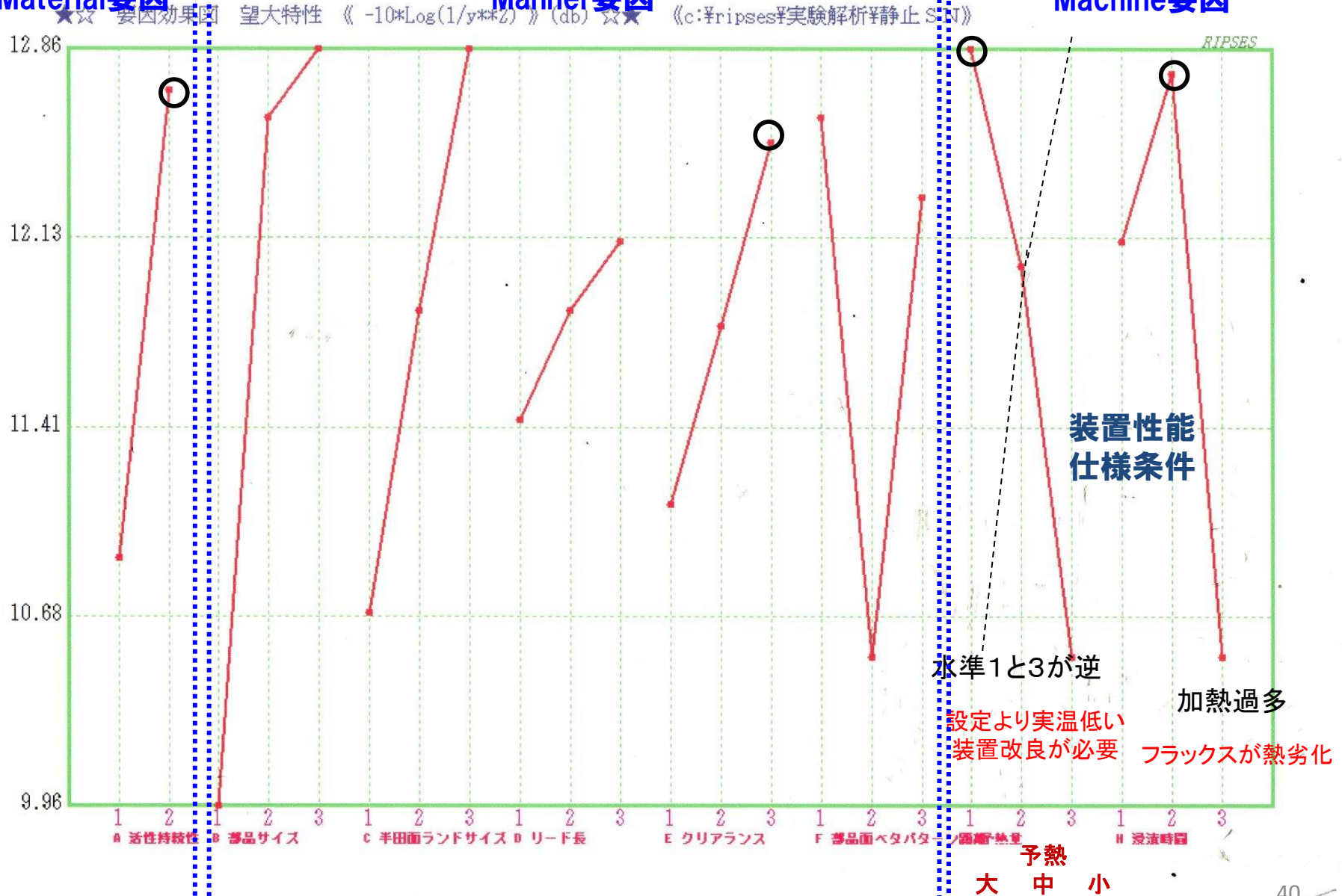
AI電解コンデンサー大 中 小 各6個 ……合計18サンプル

静止型フロー装置のハンダ上がりに対する要因効果

Material要因

Manner要因

Machine要因



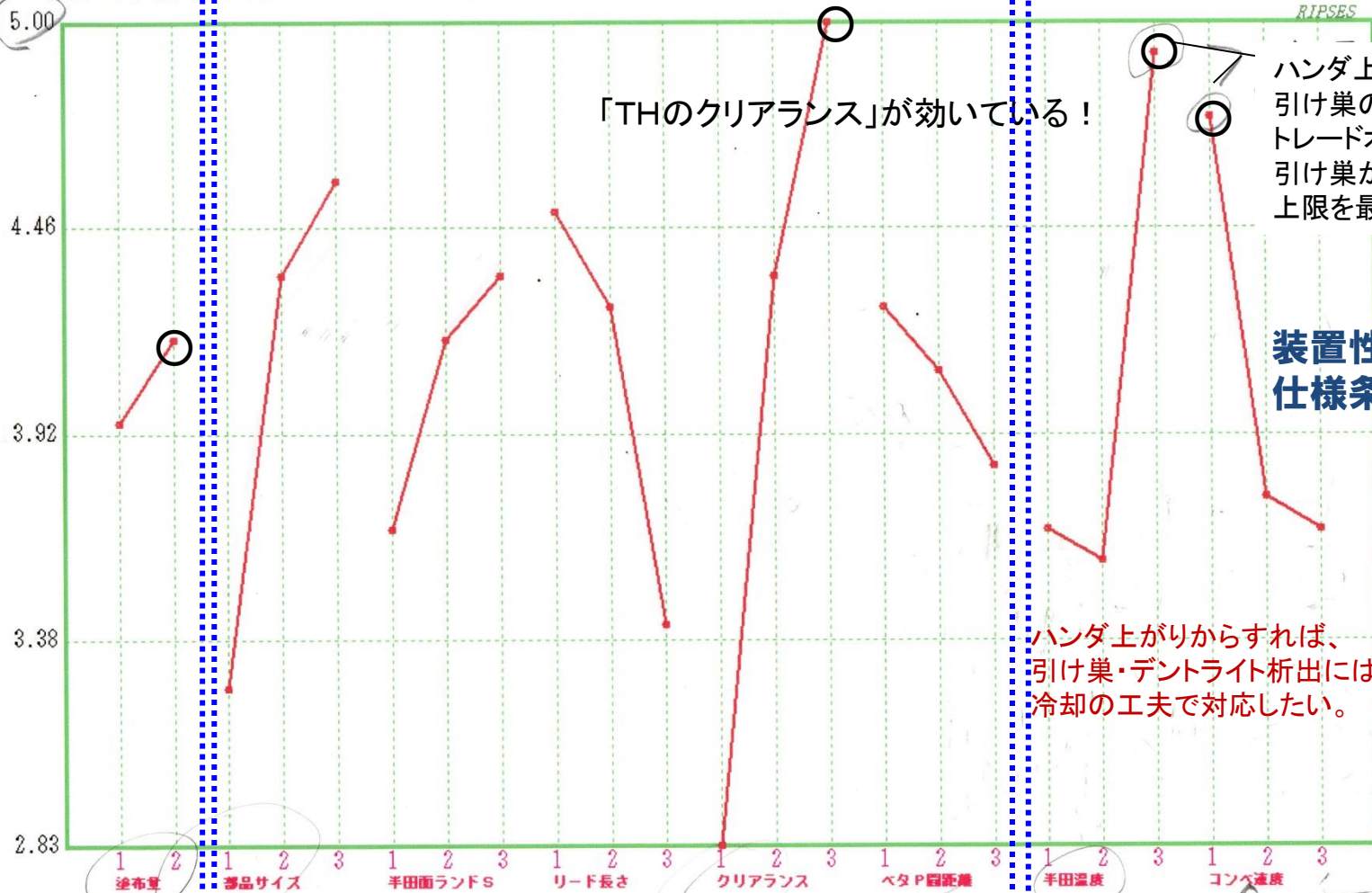
噴流型フロー装置のハンダ上がりに対する要因効果

Material要因

Manner要因

Machine要因

☆☆ 要因効果図 ☆☆ 《c:ripses実験解析噴流実験》



TH実装のH/Cに対する歪解析(AI電界コンデンサ:1/2モデル)

～デンドライトと引け巣の共存の影響の検討～

フローコテに共通

- デンドライトと引け巣が組み合わさる場合、引け巣先端の相当ひずみおよび主応力はハンダ部の最大値よりも小さい。
- デンドライトや引け巣が共存しても、H/Cストレスが誘起するひずみが欠陥の成長や破壊の原因になることはない。

	欠陥なし (解析B: 標準条件)	デンドライト幅D = 0.15mm デンドライト深さH = 0.04mm (解析G)	引け巣幅D = 0.01mm 引け巣深さH = 0.04mm (解析J)	解析G + 解析J (解析K)
相当ひずみ	 $\bar{\epsilon}_{max} = 0.35\%$	 $\bar{\epsilon}_{max} = 0.35\%$ $\bar{\epsilon} = 0.15\%$ (デンドライト)	 $\bar{\epsilon}_{max} = 0.36\%$ $\bar{\epsilon} = 0.17\%$ (引け巣)	 $\bar{\epsilon}_{max} = 0.35\%$ $\bar{\epsilon} = 0.16\%$ (引け巣)
主応力	 $\sigma_{1max} = 151\text{MPa}$	 $\sigma_{1max} = 151\text{MPa}$ $\sigma_1 = 85\text{MPa}$ (デンドライト)	 $\sigma_{1max} = 151\text{MPa}$ $\sigma_1 = 63\text{MPa}$ (引け巣)	 $\sigma_{1max} = 151\text{MPa}$ $\sigma_1 = 56\text{MPa}$ (引け巣)

4.4 フロー／リフロー併用の課題

■両面リフローやリフロー／フロー併用工程では、
加熱の繰り返しにより、プリフラックスの保護性が低下する。

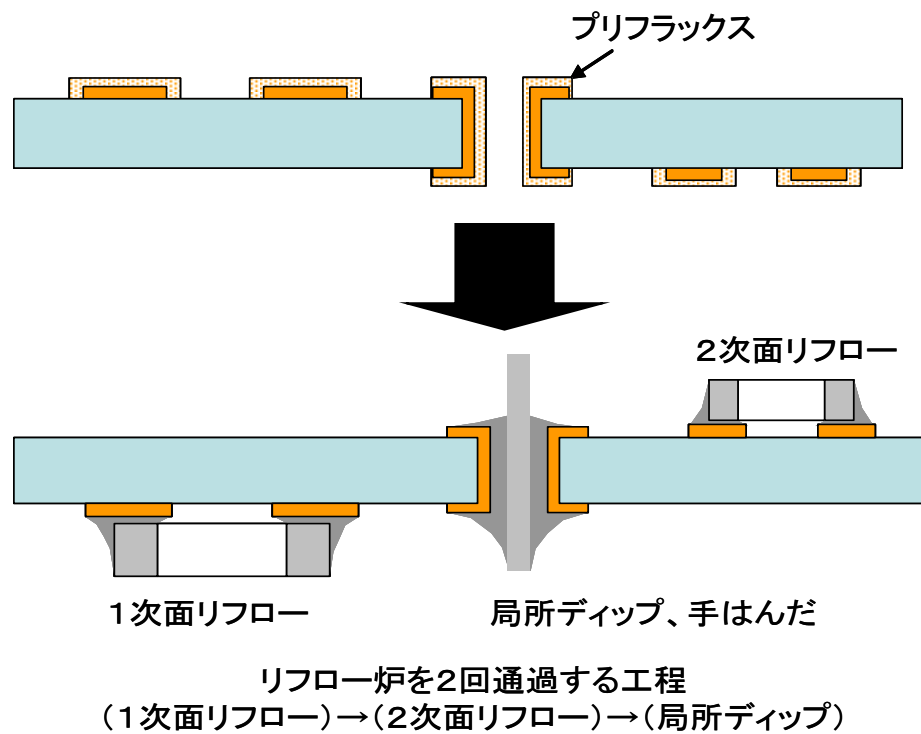
→対策は、適正なリフロー温度設定と耐熱プリフラックスの選定

プリフラックス処理の目的

- ・Cuランドの酸化防止
- ・はんだぬれ性向上

プリフラックスへの熱影響

- ・リフロー炉内を1～2回通過
- ・従来に比べてリフロー温度が上昇
ex) 予熱: 150℃→180℃
加熱: 230℃→250℃



プリフラックスの現場的な選定法

- ・リフロー回数とフローはんだ付け状態の関係からプリフラックスを選定
- ・リフロー条件は、標準条件を用い、回数で意地悪テストとする

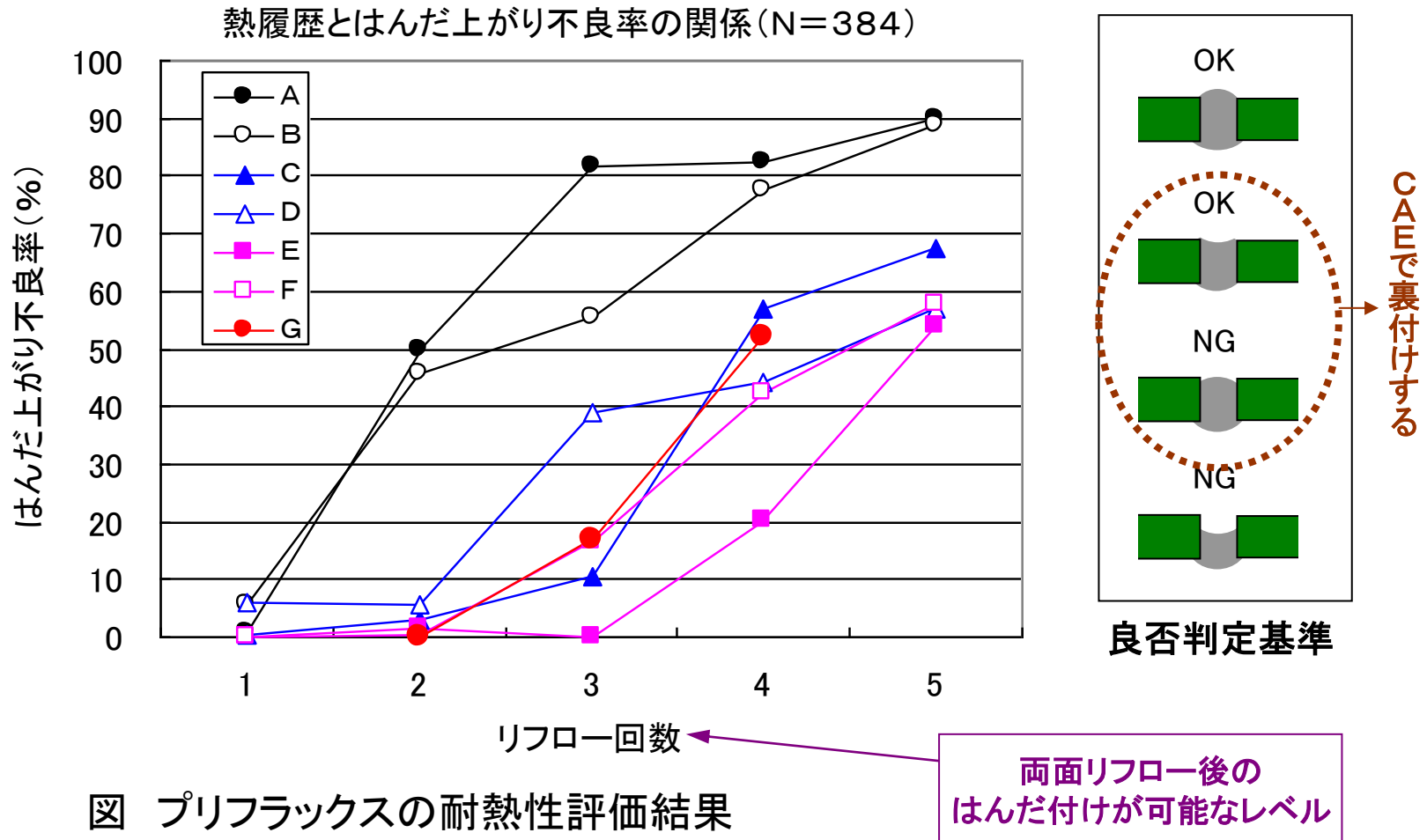
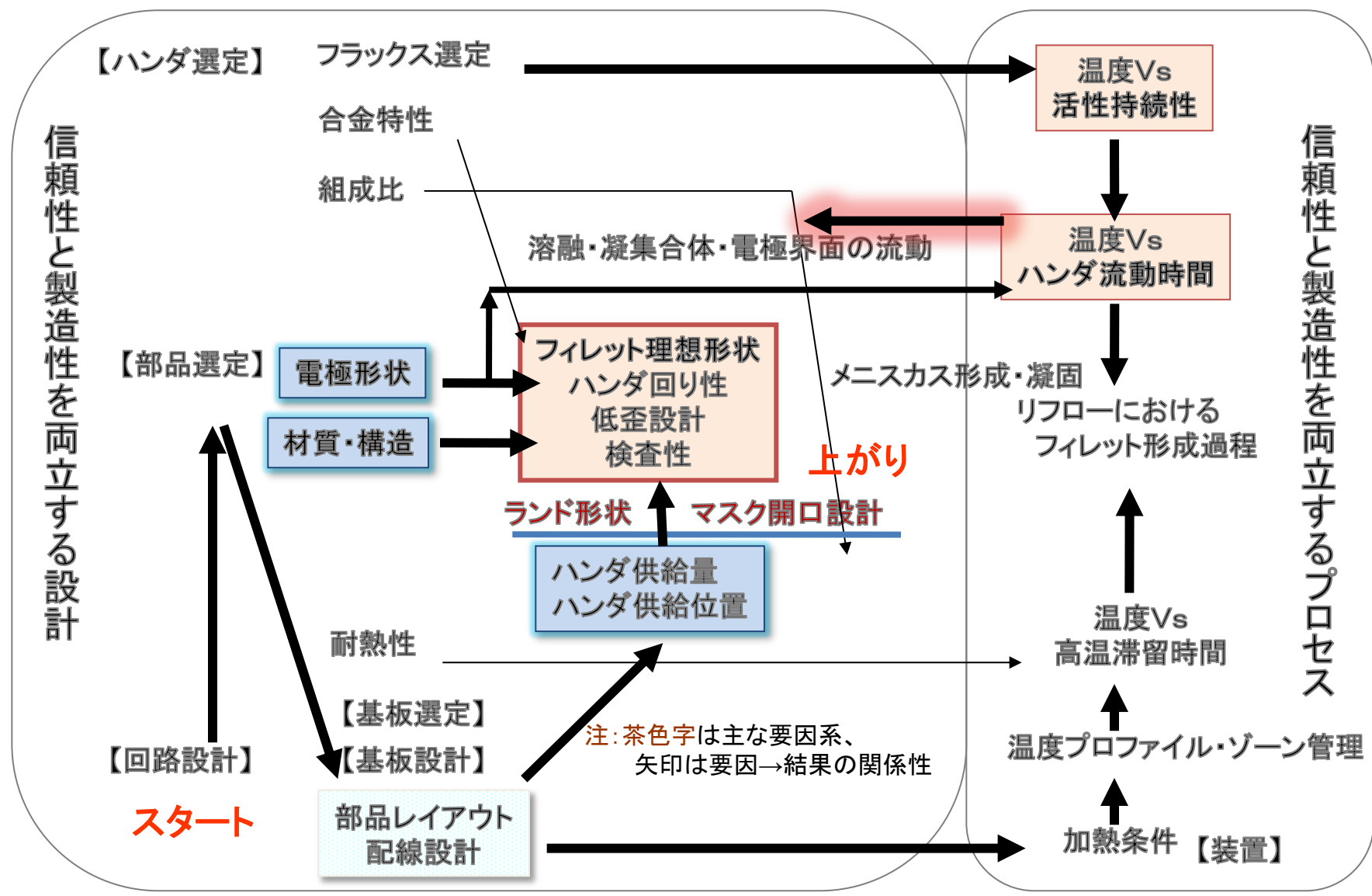
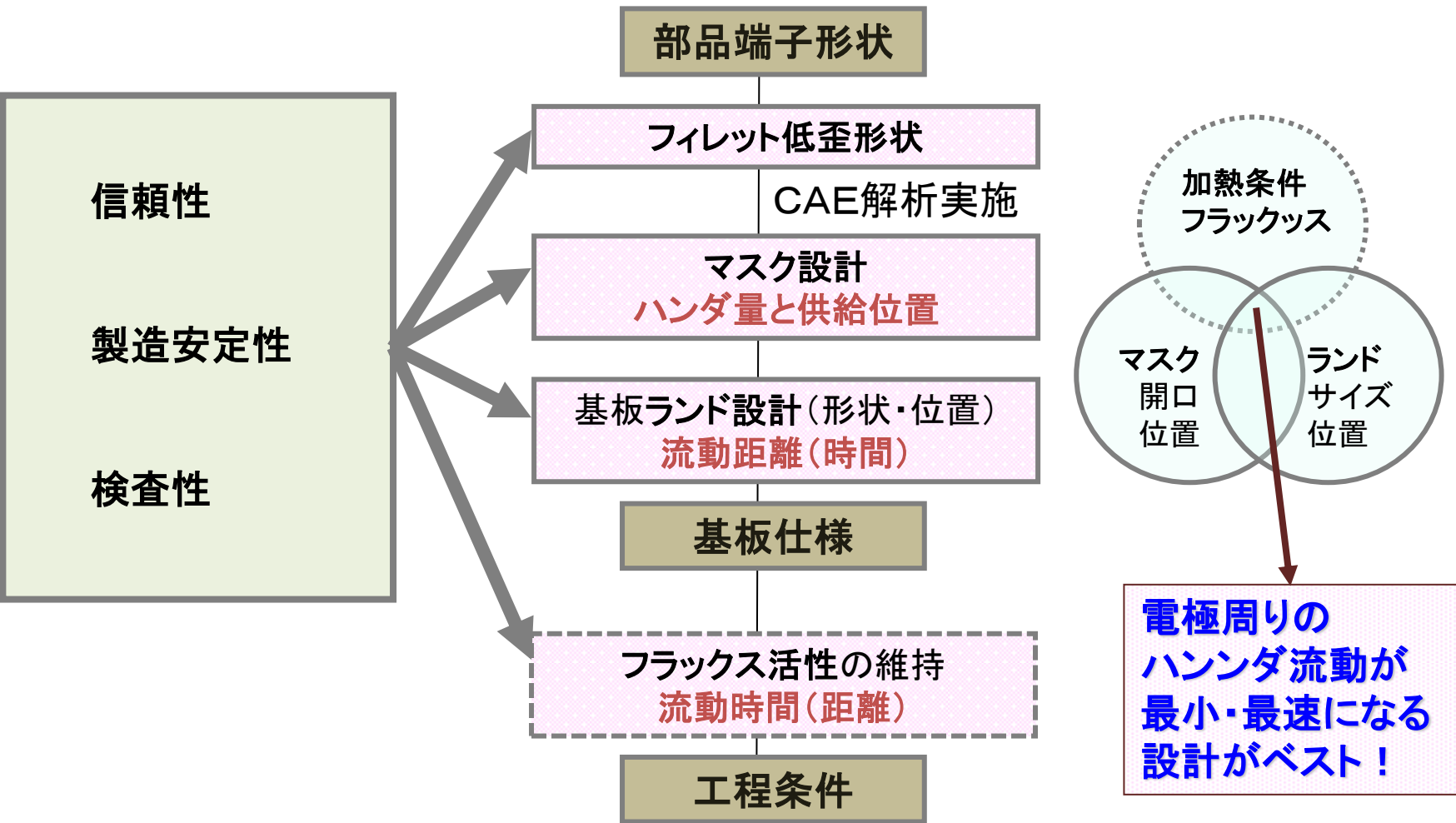


図 プリフラックスの耐熱性評価結果

4. 5 ハンダ付けの信頼性と製造性を両立する極意(計測特性)

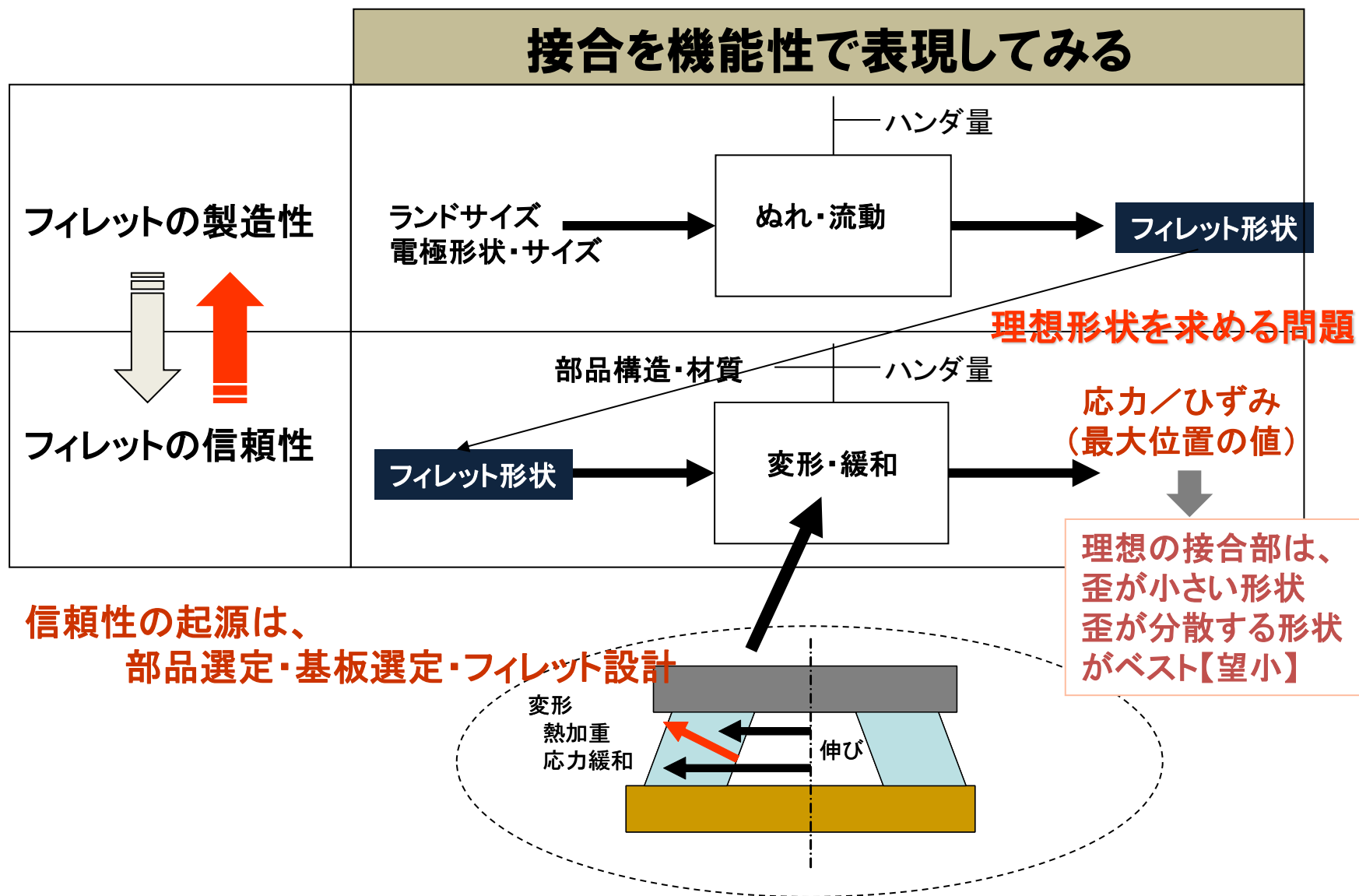


4. 6 継ぎ手品質を作りこむ「ランド・マスク一体設計」



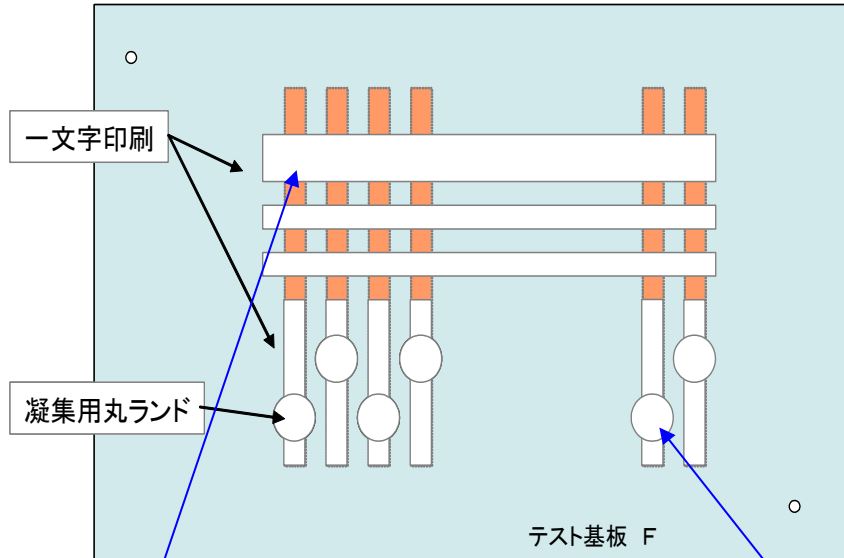
初級:歩留まりが良い設計を基準にする。
上級:部品メーカーの推奨値を軸に解析する。

ハンダ接合部の「形状と物性」が信頼性の根源



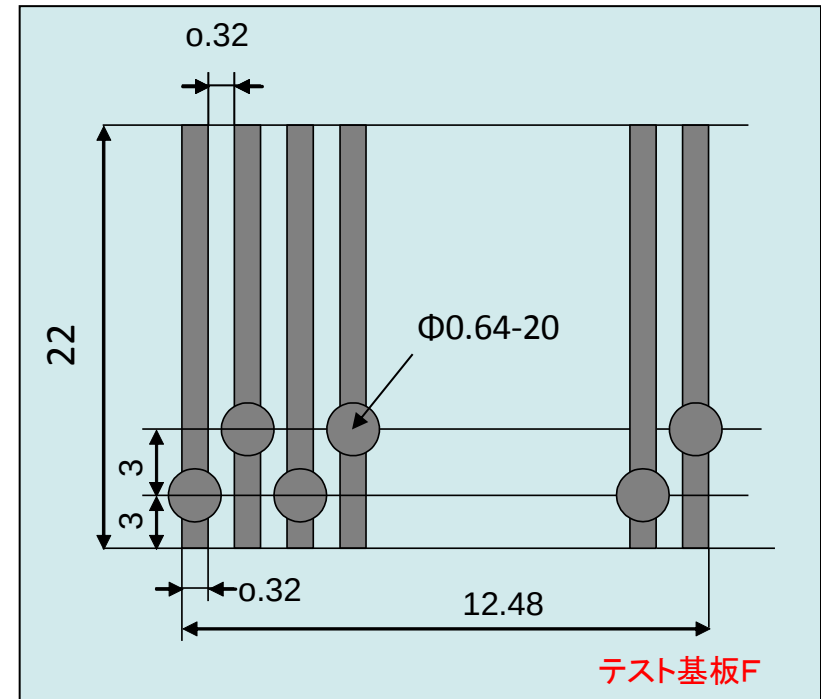
ぬれ／凝集体性を用いる加熱耐久性の定量評価

■ 部品端子形状の影響を排除するための評価



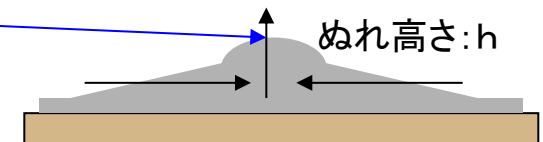
予熱に対する
・ハンダのぬれ長さとばらつき
・ギャップでのキレ(ブリッジ有無)
→界面張力

予熱量、本加熱時間
に対する凝集による
ぬれ高さとはらつき
→表面張力バランス



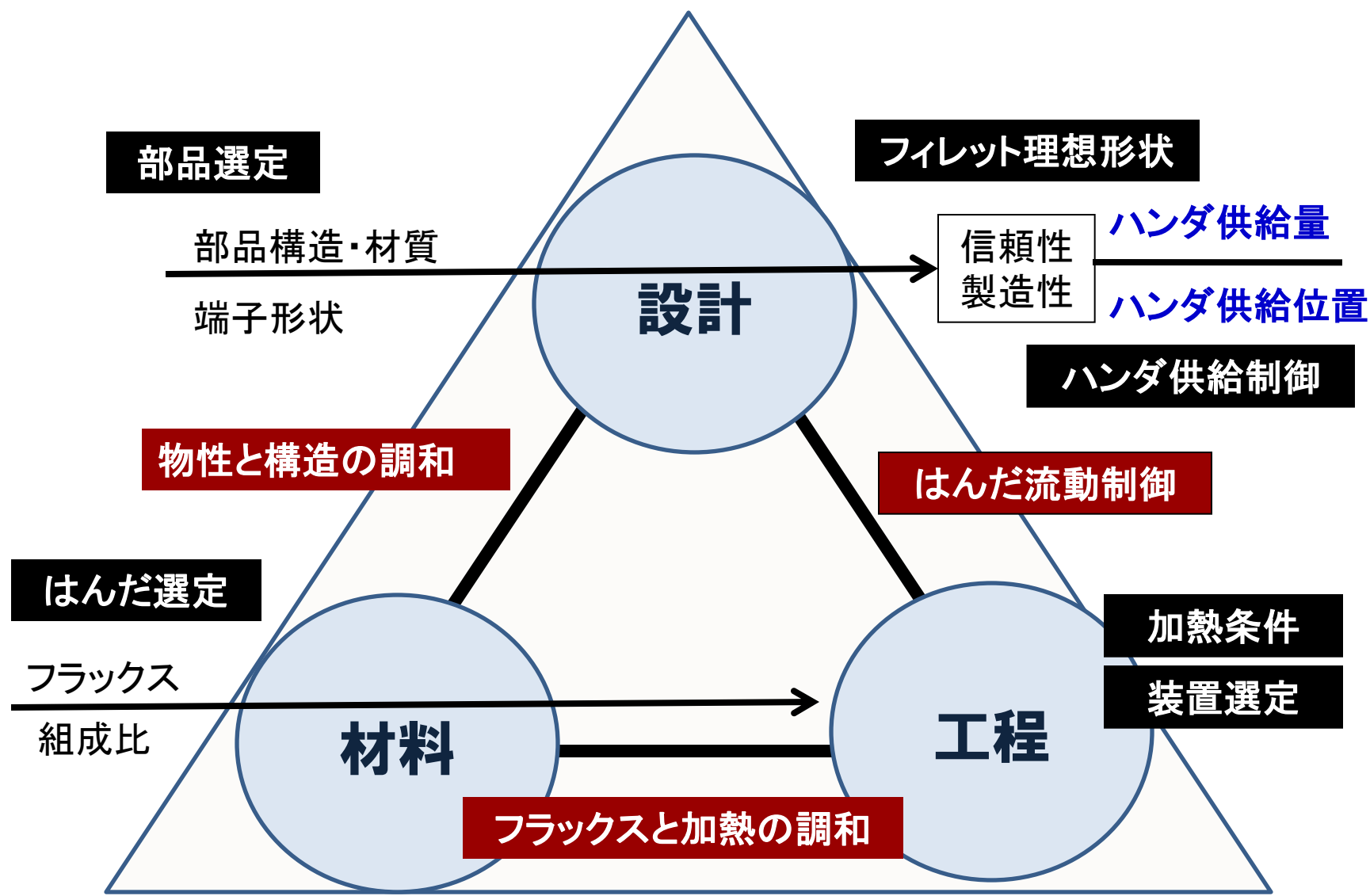
基材:FR4、外形60×60 厚:1.0mm、Cu厚:30μm

生きていれば凝集し、
張力がバランスする



ぬれのばらつき、ぬれとダレの区別に注目したい！

4. 7 ハンダ付のキーワード「材料－設計－工程の調和」



5. PCB設計のランド設計・部品配置の合理化

リフロー温度プロファイルの要因に手を打つ

- ・結果としてのプロファイル
- ・その要因は！



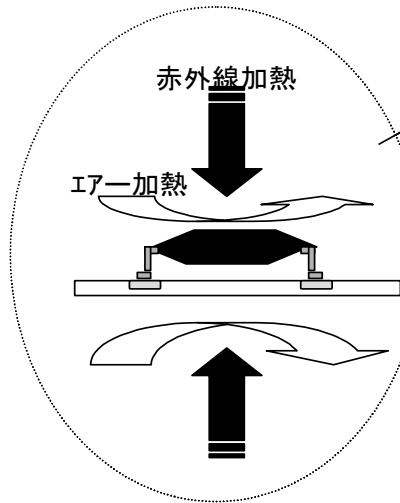
要因

- ・リフローの加熱条件
- ・部品／基板の選択
- ・レイアウト

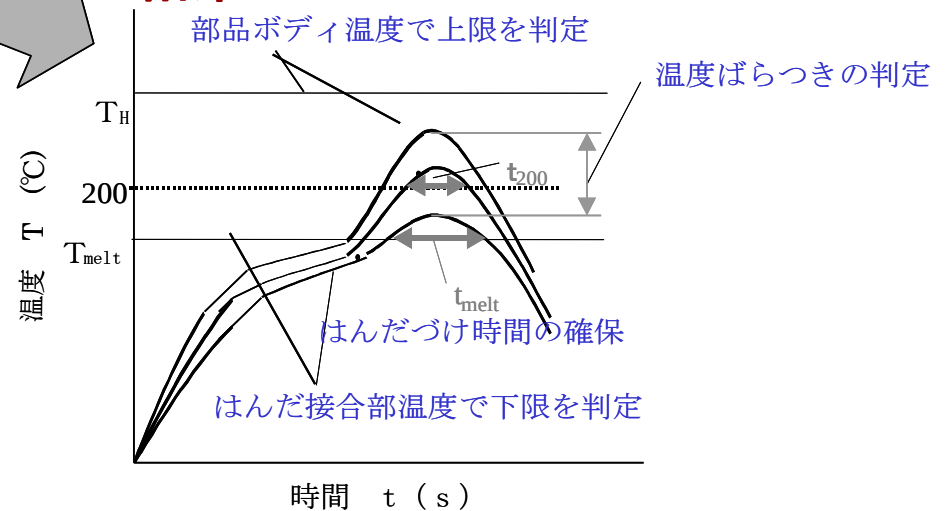
リフローの加熱管理項目を変える

T_H	許容ピーク温度
T_{body}	部品ボディ温度
$T_{electrode}$	端子温度
T_{mel}	はんだの融点
t_{200}	200℃以上の 滞留時間
t_{mel}	T_{melt} 以上の 滞留時間 (はんだ付け時 間)

新しい温度プロファイルの定義



結果としてのプロファイル

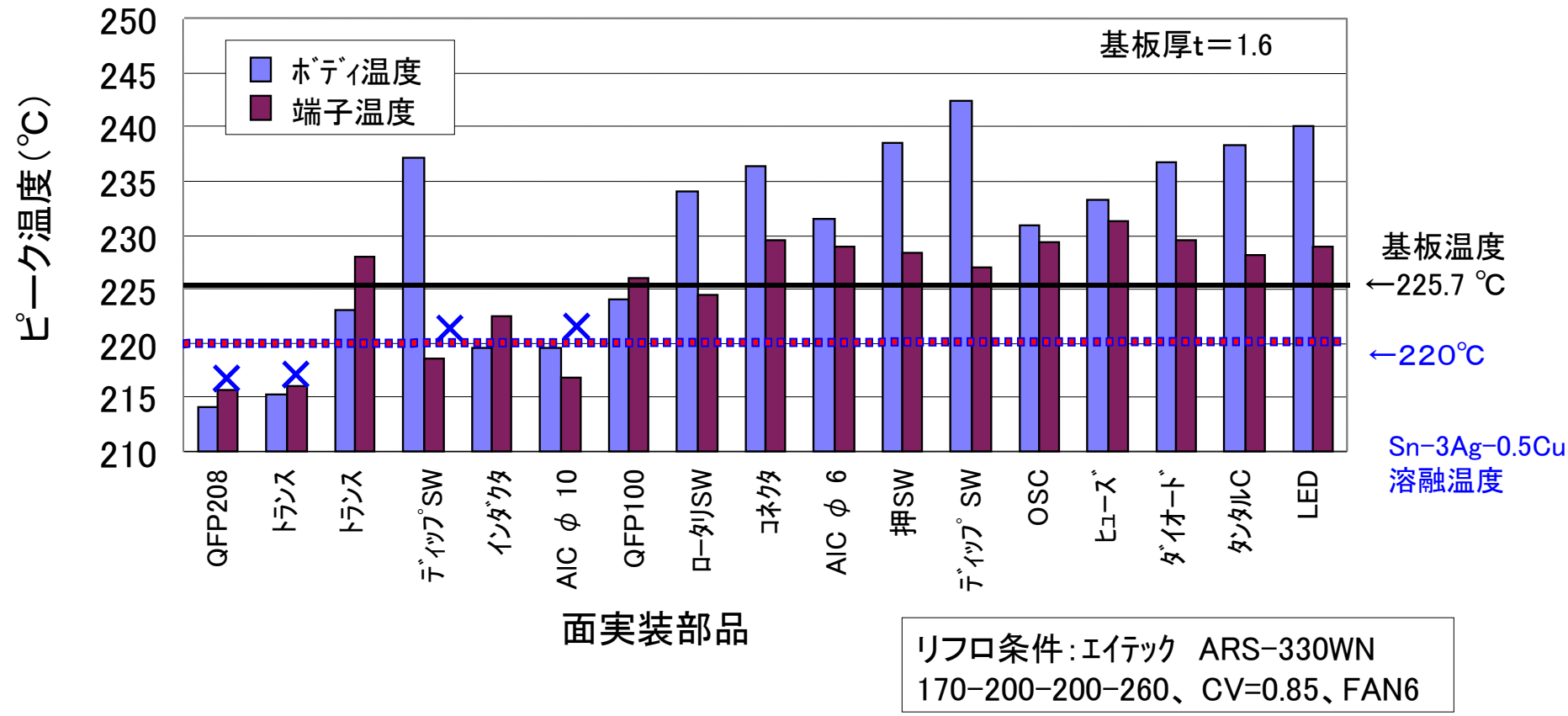


5. 1 Pbフリー化・異機種混流生産の課題

～加熱の仕方で温度プロファイルが変わる～

- 赤外線の利かせ方を変えると、ボディ温度と端子温度の関係が変化する
- 同一リフロー条件で生産するには、困難な部品が増加する

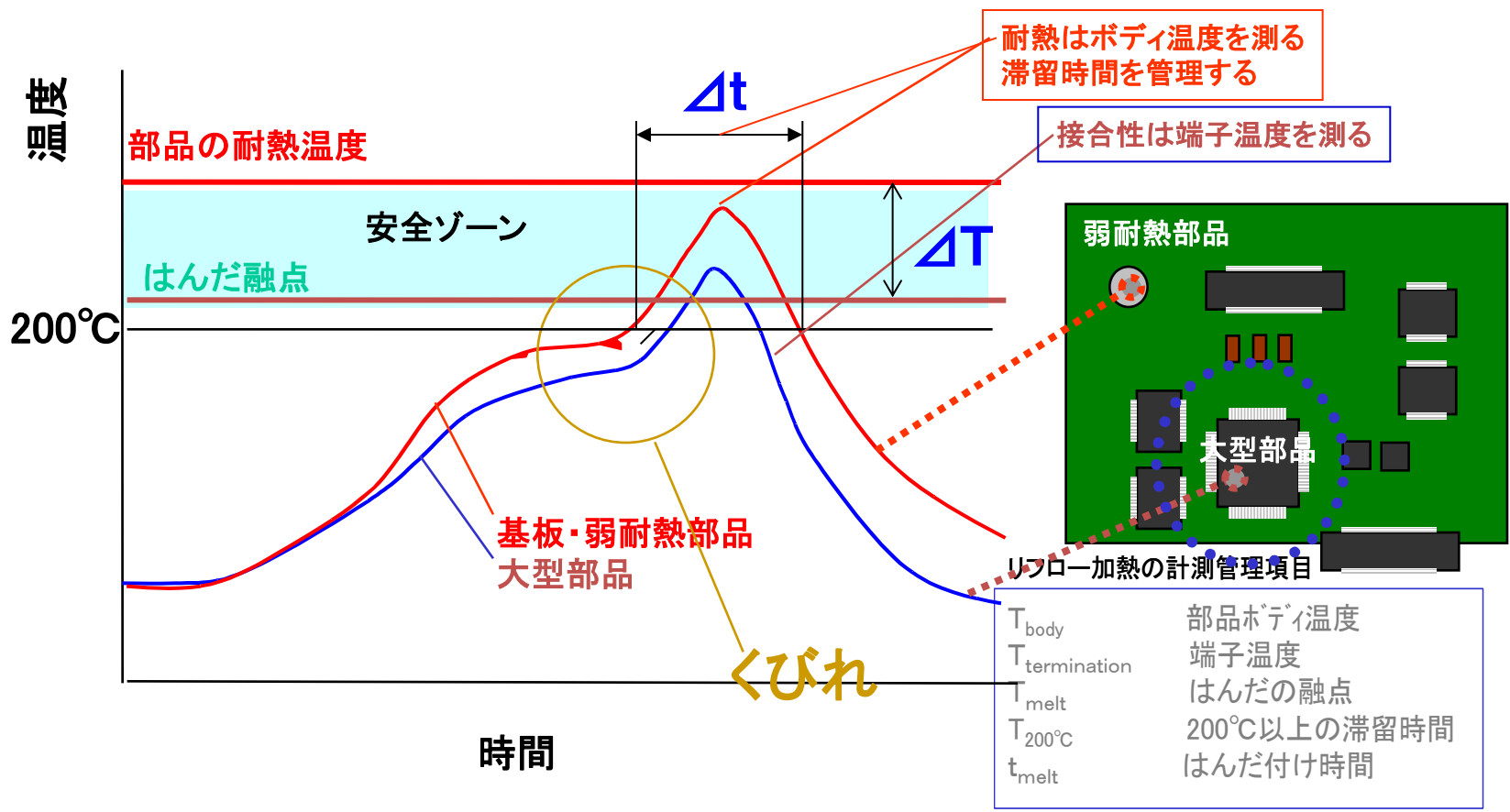
部品間の熱容量差は、SMT混流生産にとって大きなノイズである。



5. 2 異機種混流用温度プロファイル「ゾーン管理」

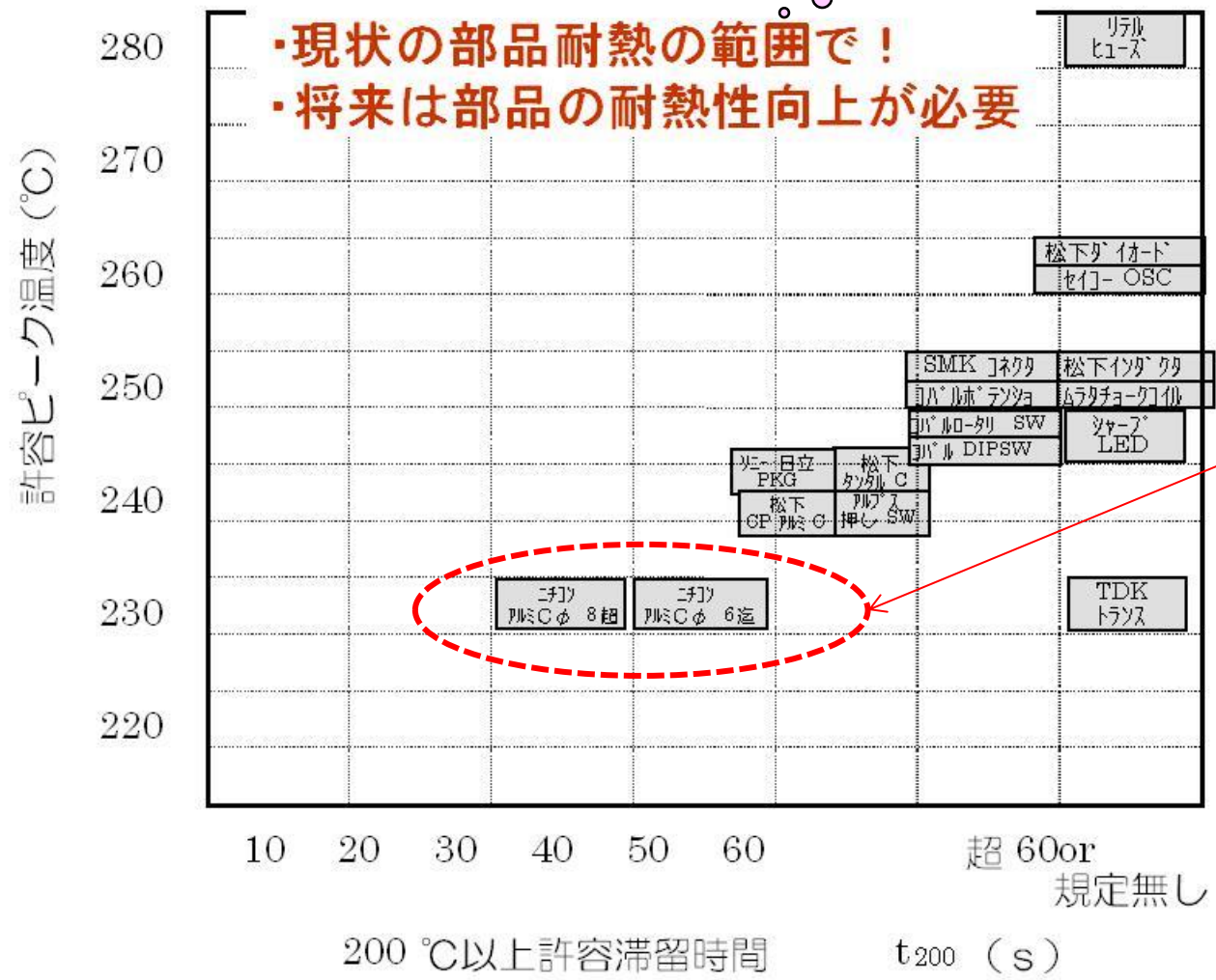
- 基板内の全ての部品、全ての基板のピーク温度の幅を安全ゾーン(ΔT と Δt の設定)に入れる
 - 加熱条件を固定することで、部品レイアウト設計の良否【ノイズの影響】がわかる
 - 【リフロー性があらかじめ保証される設計】が可能になる(生設一体化のスタート)

異なるPCB設計を同一加熱条件で流す『ゾーン管理』はロバスト開発



5.3 弱体熱部品の耐熱性(仕様)を調べる

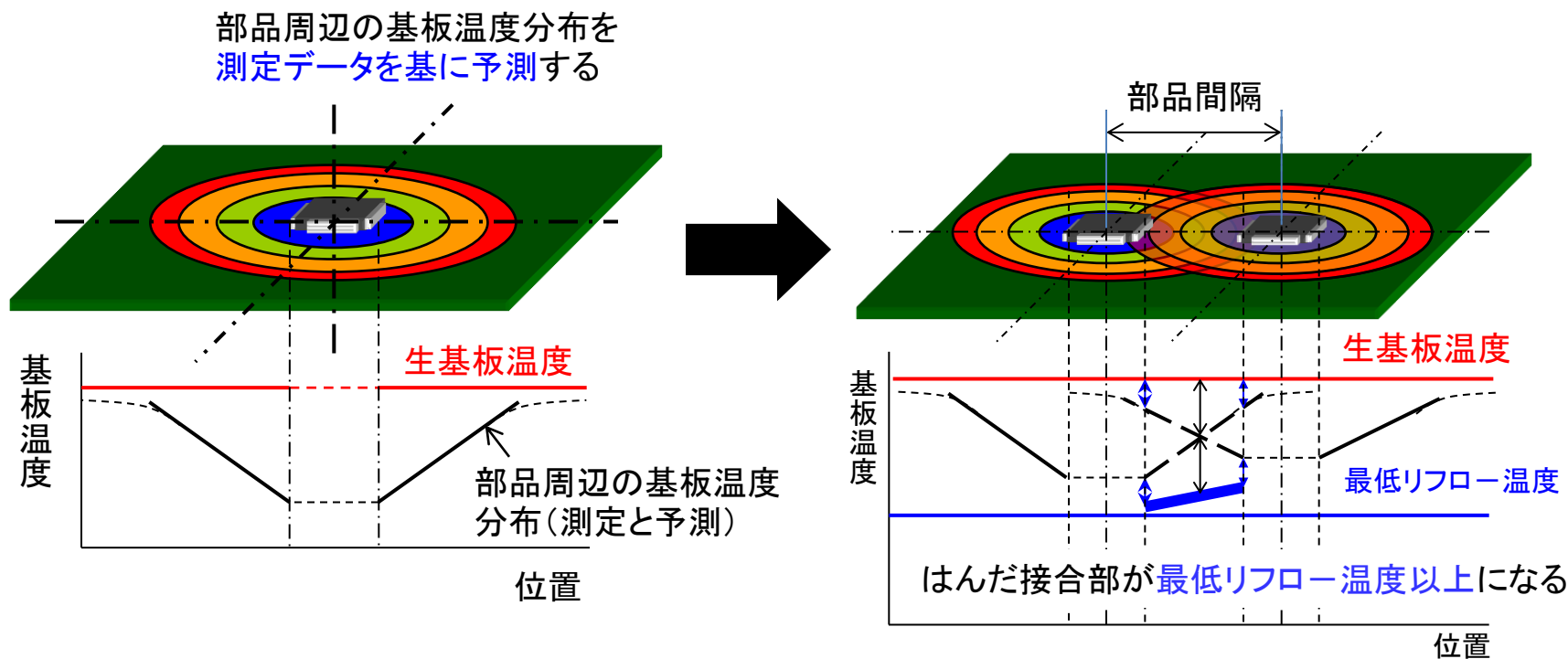
保証のあり方がバラバラ



弱耐熱性部品が
プロファイルの上限と滞留時間を決める

5.4 「温度ばらつき(ΔT)」事前予測への取り組み

部品が周囲へ与える影響を測定し、部品配置を最適化できるツールを開発し、新商品設計へ適用



予測は、リフロー条件を固定(混流)してはじめて可能になる！

設計に対して工程が製造安定性を保証する最重要手段

5. 5 新規部品への対応の仕方(事前評価)

リフロー条件を固定(混流化)した後は、
新規部品のみの製造性と信頼性を事前評価すればよい。

実装性……………ハンダぬれの確認
ハンダの流動性確認
ハンダ量の決定(*)
ランド・マスク位置決定
加熱性の確認
寿命把握

信頼性…CAEシミュレーション
歪の位置推定
低歪みフィレット形状(*)
寿命推定

①リフローの ΔT シミュレーション

リフロー・シミュレータによる
ハンダ流れ性の確認

→②ランド・マスク位置最適設計

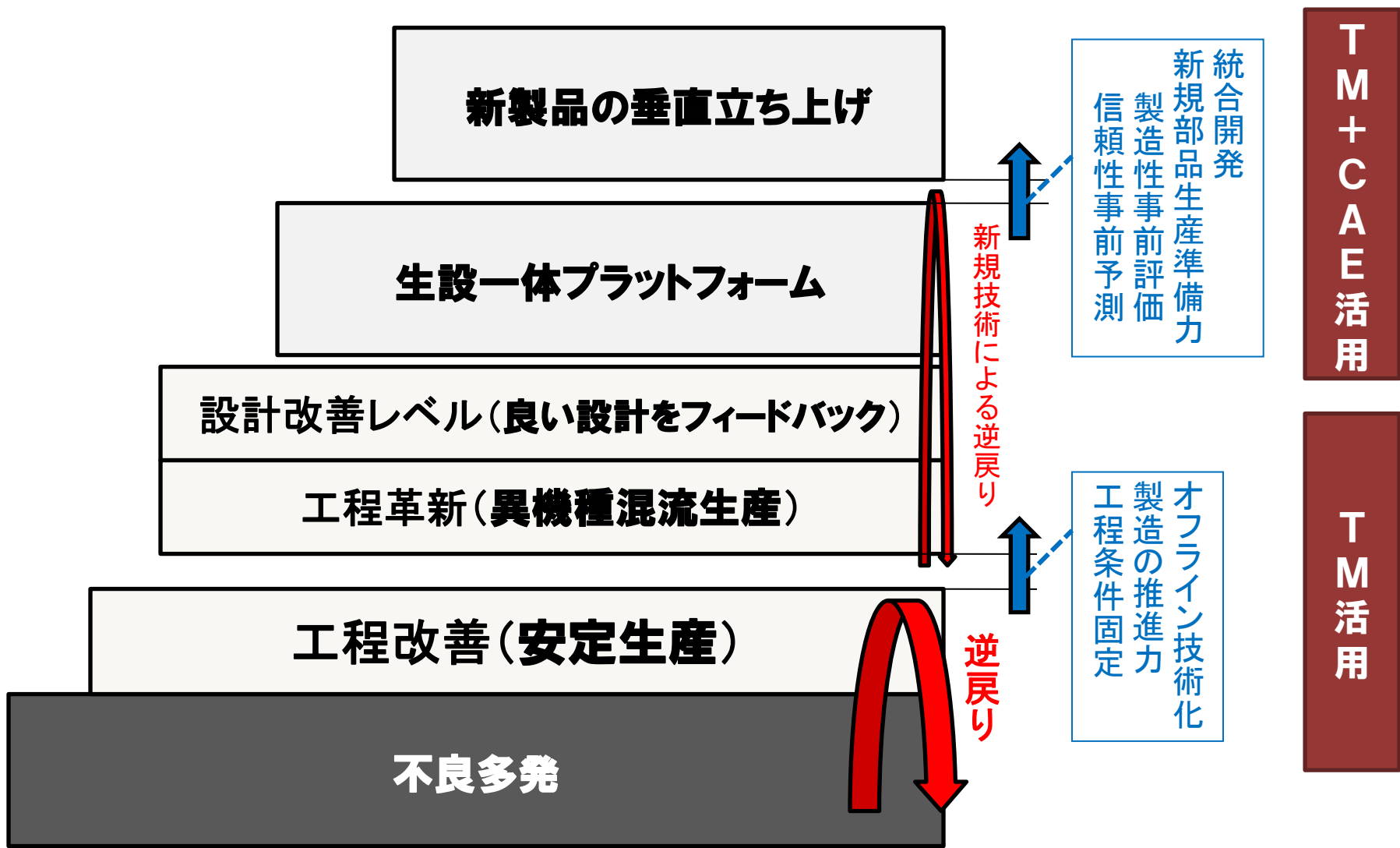
→③流動時間 Δt の確認

CAEシミュレーション

→④継ぎ手の信頼性

⑤ロボットハンダシミュレータによる
はんだ付け性試験

6. 生産体質を高めるための「効率的かつ経済的な改善」の進め方



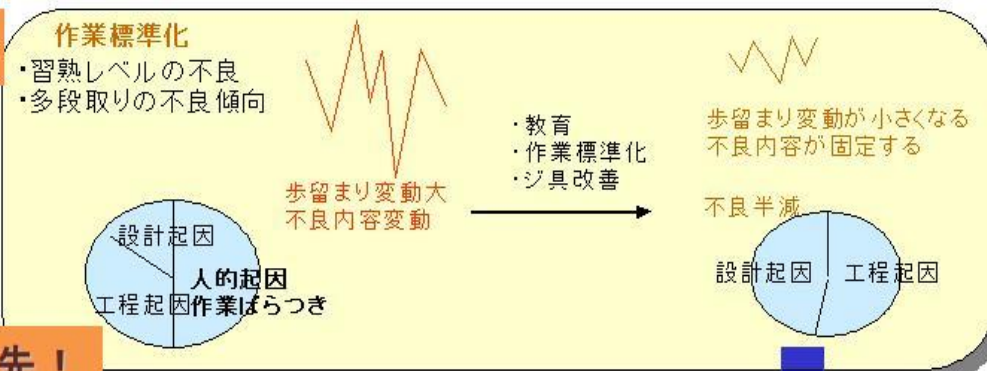
6.1 改善・革新には順番がある→定石化する

Research Design Institute

- ◆製品標準化よりもプロセス標準化が先
- ◆プロセス標準化は、作業標準化→工程改善→設計改善の順に進める
- ◆不良が出るのは、人の影響と技術化の不足が原因
- ◆Material>Manner>Machineの順に効果と副作用が大きい→変える(開発)優先順位に反映。

「人の過度の裁量」を抑制！

Man



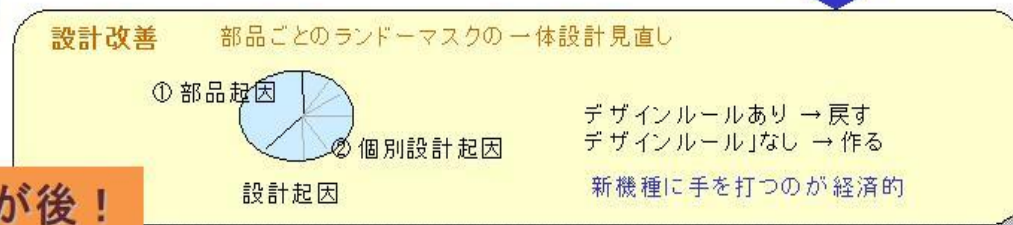
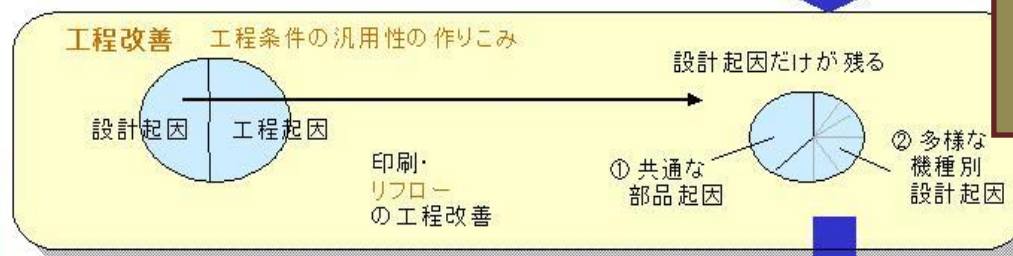
「プロセス・イノベーション」が先！

Material

Machine

Trinity Engineering
に基づく改善

Manner



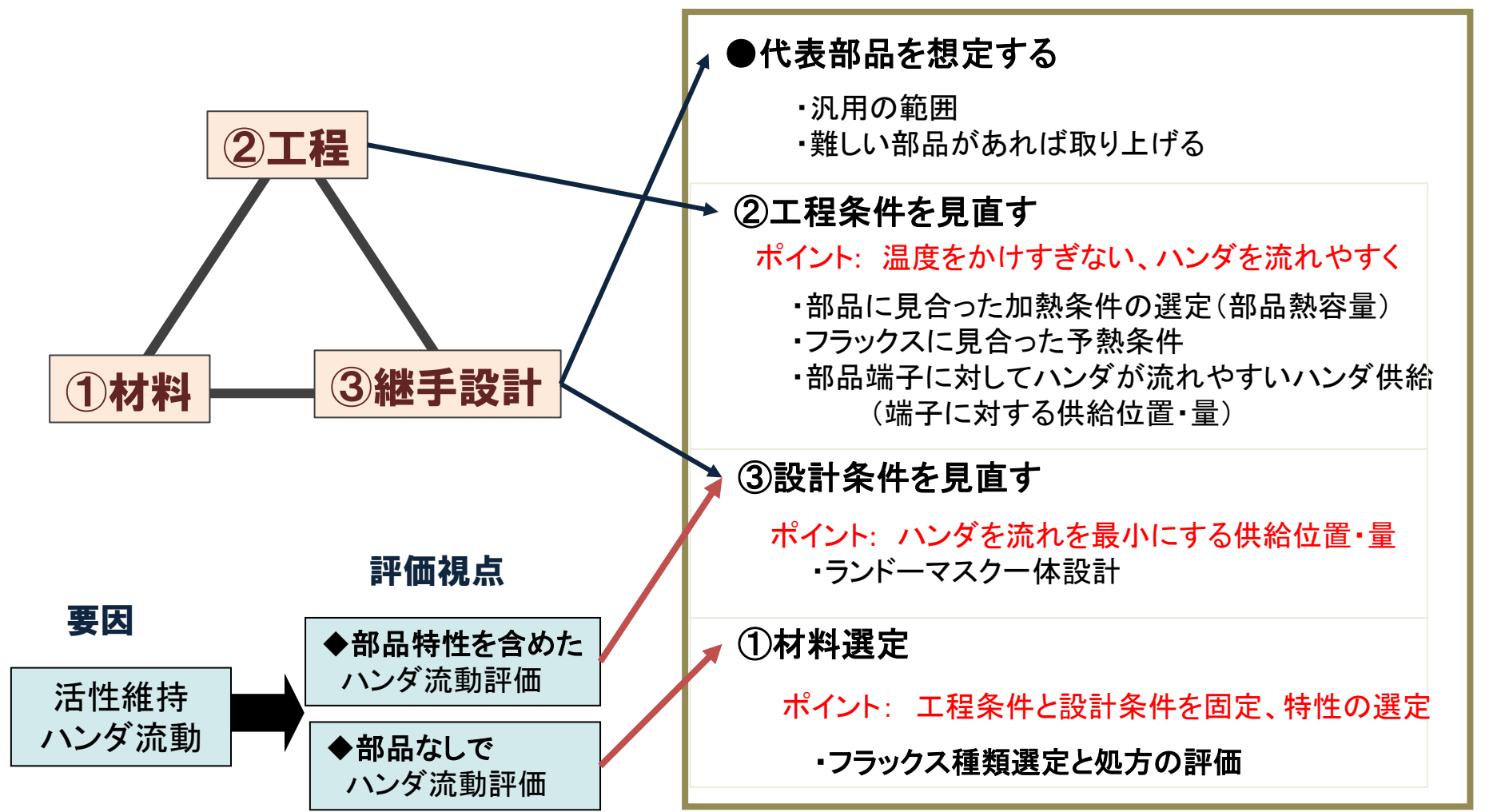
「プロダクト・イノベーション」が後！

実装検査機に不良原因推定と
改善案・手順を教示するシステムへ発展

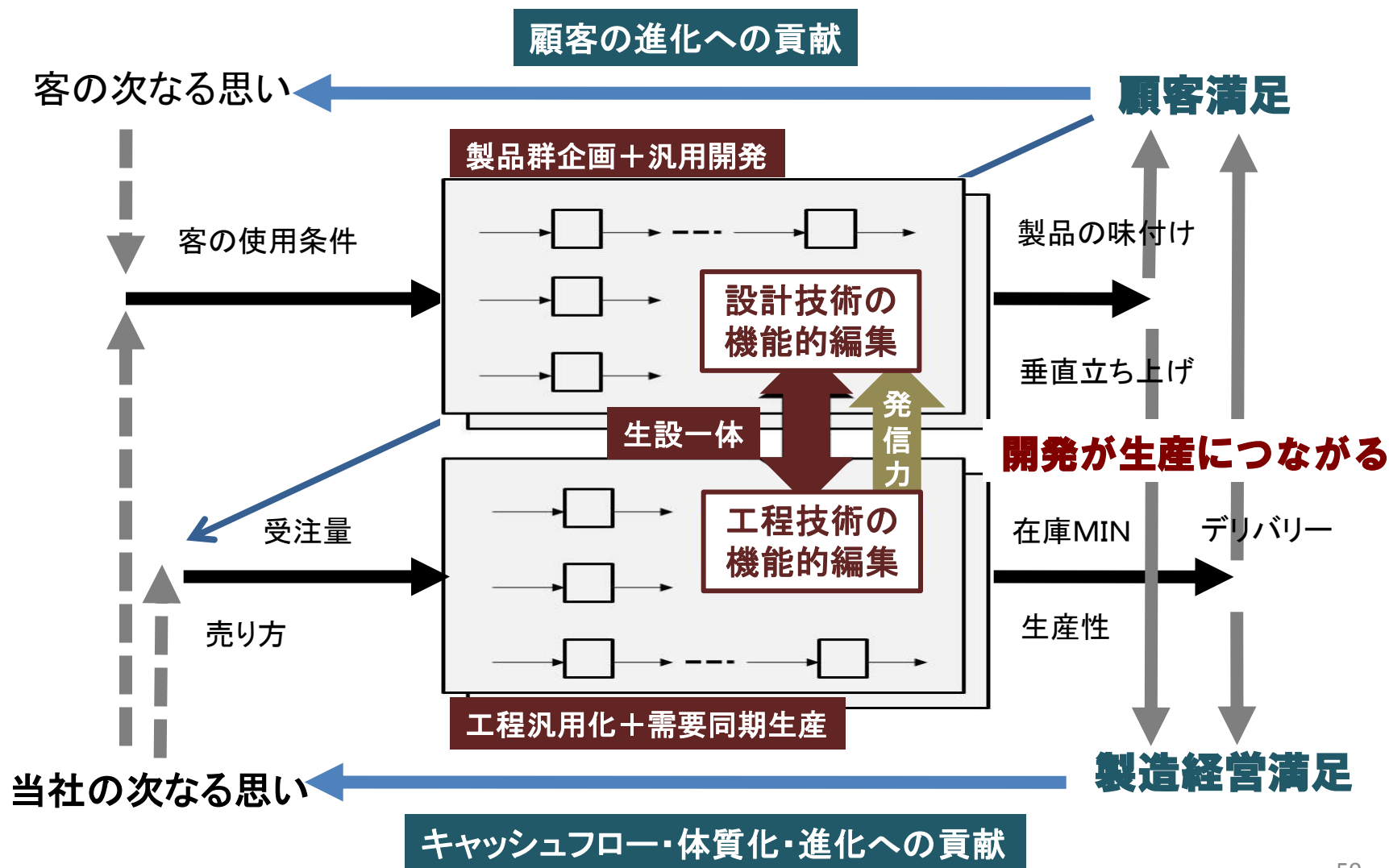
実験手順および改善手順

評価
手順

評価手順は、改善の手順と同じ（材料標準→工程標準→設計標準）
3Mの三つ巴性を整理して解くことが、テスト基板の役

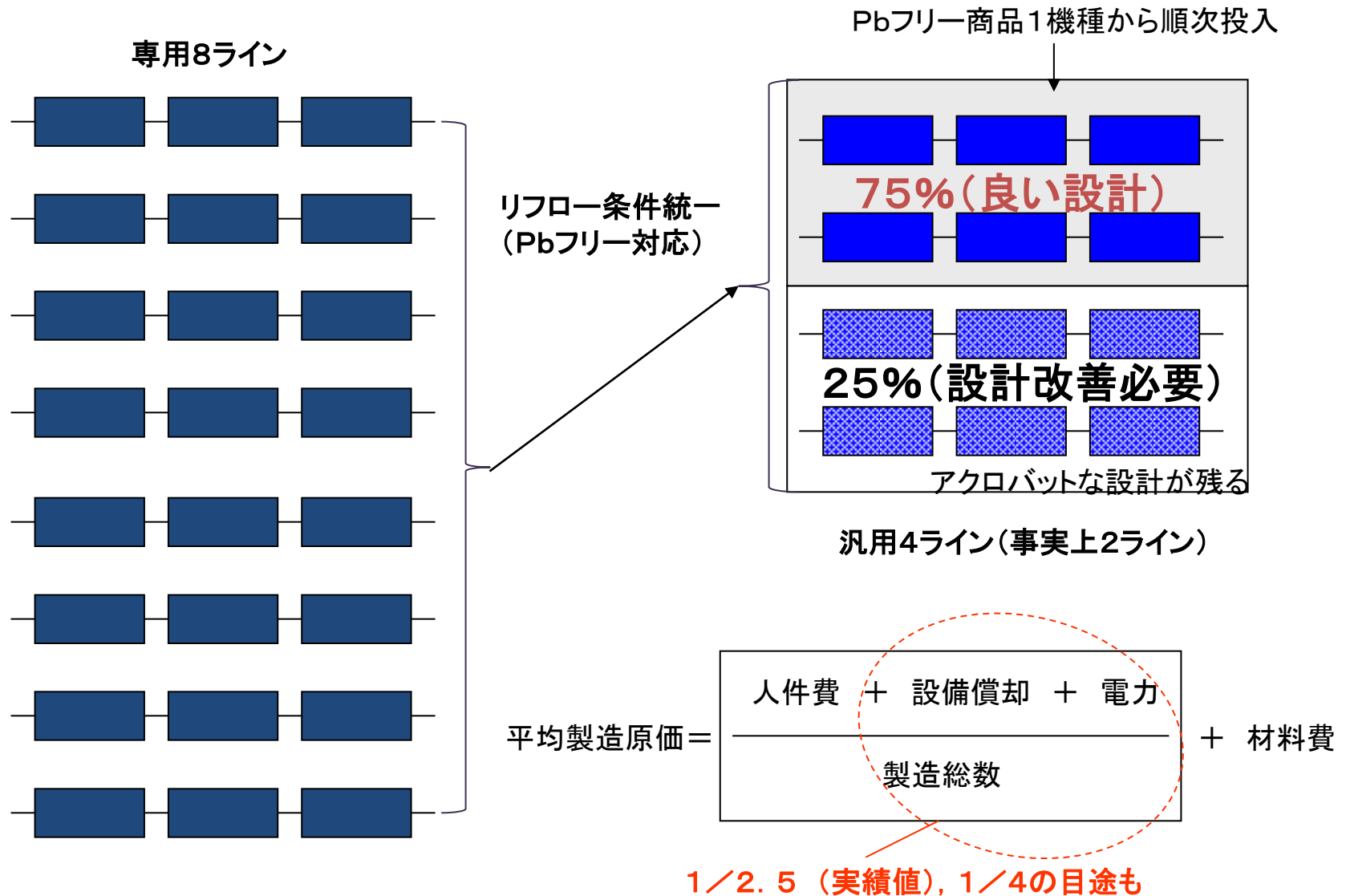


- 生産力は、売り方に見合った工程汎用化と生産弾力化（需要同期）が望まれる
- 開発リードタイムは、技術作り込み、生設一体化、製造の発信力により実現される



異機種混流によるSMTの生産性改善事例

- 混流すれば、人も設備も2／3は余力化できる＝生産革新への余力
- SMTのライン稼働率98%を超える企業もある



終わりに

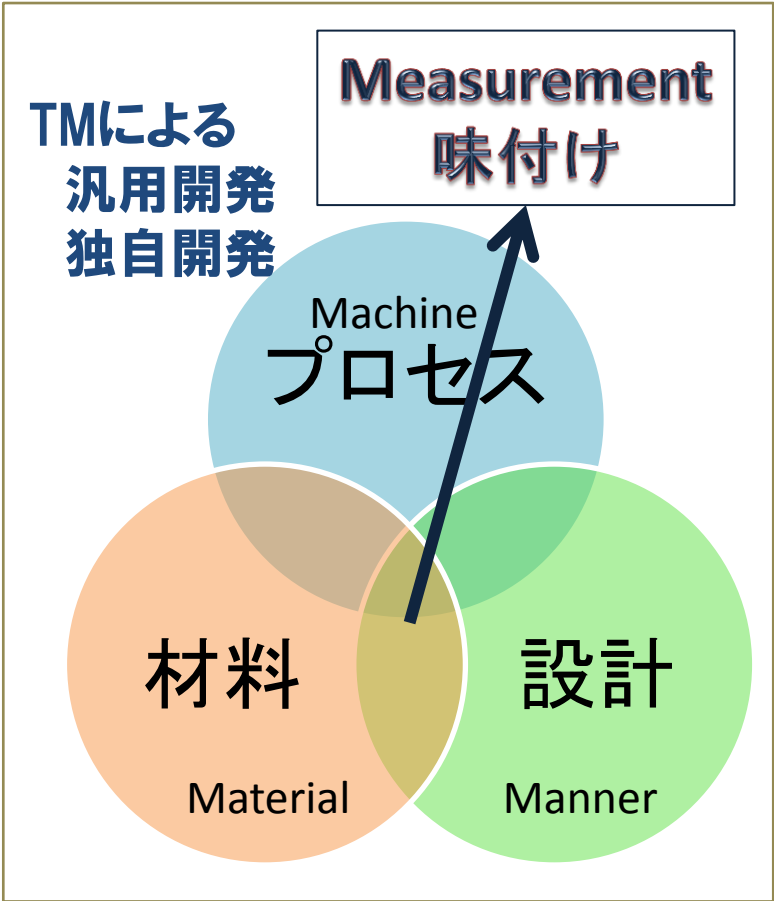
技術開発は3M調和
進化持続は開発・設計・製造の調和

Research Design Way

開発は、後工程満足で、前後工程が機能でつながり、迅速に引き取られる全体最適の開発を行う



3Mの調和開発



Engineering Processの部門間調和

