

鉛フリー対応高速リフロー炉の開発

Development of High-Speed Reflow-Oven with Improved Productivity

岩崎 悦子*
Etsuko Iwasaki中尾 剛介*
Kosuke Nakao

概要 急速な成長を遂げた台湾のパソコンメーカは更なる事業拡大を図るため、中国大陸への進出を始めた。当初、自社ブランドのパソコンを市場に提供していたが現在は欧米系、日系のパソコンメーカへOEM供給するビジネスモデルに転換してきている。また、パソコン組み立て以外の、例えば携帯電話、液晶モニタの組み立てにも事業展開し巨大EMSへと成長した。このような状況の中、リフロー装置に対しても高生産性、ランニングコスト削減に対する要求も一段と厳しいものがあり、台湾市場で大きなシェアを誇っていたサラマンダーも客先要求に応えるべく新商品開発に着手した。新商品のコンセプトは高生産性を追求するため多ゾーン構成とし、今後スタートする鉛フリープロセスにも十分対応しうる加熱性能を具備させた。また、大型装置ではありながら窒素消費量は小型装置並みに抑えることに成功した。本装置は「大陸モデル」と命名し2004年5月に出荷を開始し、10月までに60台を出荷した。

1. はじめに

中国は世界の工場と言われるようになって久しいが、電子機器分野においても日系・台湾メーカの進出が著しい。昨今では鉛フリープロセスもスタートし、特に台湾系ユーザからより鉛フリープロセスに対応できる高性能で高生産性を確保できるリフロー装置の要求が高まってきた。サラマンダーは顧客ニーズに対応すべく多ゾーン大型リフロー装置の開発に着手した。ユーザの要求特性、機能は下記のとおりである。

- (1) すず・銀系の鉛フリーはんだに容易に対応できること
- (2) 再付着したフラックスが製品に影響を与えないこと。かつ、フラックス清掃を含むメンテナンスが容易なこと
- (3) ランニングコストを抑えること
- (4) 製品の価格が安いこと
- (5) 短納期対応が可能なこと

これらの要求を満足するため、これまでの装置設計を根本から見直し全く新しいコンセプトに基づき商品開発を実施した。開発した「大陸モデル」の外観を写真1に示す。

2. 開発コンセプト

2.1 加熱・冷却特性

2.1.1 加熱特性

リフロー炉の最も基本的な性能である加熱能力は、目標と

する温度プロファイルに対する追従精度を目安にして推し測ることができる。鉛フリー実装の実用化の過程で、温度プロファイルの基本条件が部品の耐熱問題等の事情から時々変化してきた。リフロー炉の開発に当たって採用した温度プロファイルの基本条件を図1に示した。部品の耐熱条件からくる実装温度の上限規定を240℃とすると、Sn-Ag-Cu系はんだでの許容される温度幅 ΔT は20℃となる。更に、はんだ熔融温度の下限管理値を230℃に設定すると、許容される ΔT が10℃以下となる。リフロー炉の開発、改善の課題に取り組むに当たって、この ΔT のガイドラインをクリアする加熱性能の実現を目標とした。なお、 ΔT の低減を図ることは熱伝達率 α (W/m²K) を指標とする熱風エンジンの性能を向上させることにある。



写真1 装置外観
Appearance of XNK-1245.

* 電装・エレクトロニクスカンパニー
エレクトロニクス・コンポーネント事業部 産業機器部

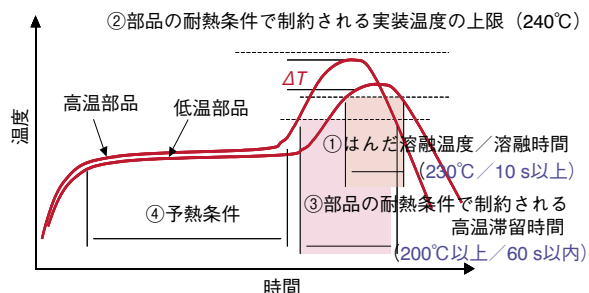


図1 鉛フリー実装用温度プロファイルの基本条件
Basic conditions of temperature profile for Pb-free surface mounting.

2.1.2 冷却特性

鉛フリー実装では、部品の耐熱条件で制約される高温滞留時間も重要な管理対象となるため、温度プロファイルの冷却カーブをコントロールするための冷却能力の強化も重要なテーマとした。

2.2 フラックス回収

炉内機構部や搬送部にフラックスが付着するのを防止するため、回収機構を有することが必要だが、メンテナンス性を考慮して清掃頻度の低減が重要になってくる。今回の開発では清掃頻度の低減はもちろんのこと、清掃のしやすさ、フラックス回収能力の向上も併せて目標とした。

2.3 低コスト

客先の利益追求に応えるためには、設備コスト、ランニングコストの低減も重要な要求性能である。そこで、新型鉛フリー対応リフロー炉は、製造拠点を中国の古河電子（蘇州）有限公司に移転し、従来より大きなコストダウンメリットを得ることを目標とした。また、低ランニングコストを図るために窒素消費量、消費電力の低減も目標とした。

2.4 短納期

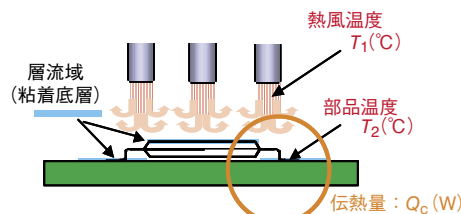
EMSは顧客から受注を勝ち取ると即、量産ラインを敷く必要があり、従来に比べはるかに短い納期での対応を図ることが必須となってきた。そのためには装置部品の共通化、コンベア（搬送）流れ勝手による部品点数の増加を極力無くすよう装置設計に留意した。

3. 加熱構造

3.1 基本加熱コンセプト

ΔT の低減に関係する基本特性である熱伝達率 α はノズルから吹き付けられた熱風流が単位時間、単位面積に単位温度差で基板を昇温させる移動熱量を表すパラメータとして図2に示す式で表される。 α は風速、風量が大きいくほど高い値になる。熱伝達率 α は測定の方法／条件によって結果に相対的差異が出る。ここで採用している熱伝達率は250×250×2 mmの鏡面仕上げた銅板（S45C）の温度上昇を測定した値を使っている。

一方、基板上の熱風流は、部品飛び、部品移動を発生させる原因にもなるため、部品実装で使用できる適正な熱風条件はごく狭い範囲に限られる。「大陸モデル」には、この制約条件の下で基本加熱能力を最大限に向上させた熱風エンジンを採用している。熱風エンジンの具体的な特徴は以下のとおりである。



$$Q_c = A \cdot \alpha (T_1 - T_2)$$

Q_c : 熱風エンジンから基板に供給される熱量 (W)
 A : 基板/部品の被加熱面積 (m^2)
 T_1 : 熱風温度
 T_2 : 部品温度/基板温度
 α : 熱伝達係数 ($W/m^2 \cdot K$)

図2 熱伝達率 α の関係式

Thermal transfer ratio α representing basic heating capacity.

- (1) 垂直乱流（衝突噴流）の吹き付けによる熱抵抗層（粘着底層）の除去
- (2) 水平乱流（水平方向の動圧）を発生させない熱風ノズルの形状設計
- (3) 高圧、高密度かつ均一な熱風流を作り出すノズル群／ターボエンジンの設計
- (4) トップノズル／ボトムノズル相互の対面温度干渉を軽減する熱風流（自由噴流）の流線シミュレーション設計

「大陸モデル」に搭載した熱風加熱エンジンの概要を図3及び写真2に示した。また、このモデルでの実測基板の測定例を図4に、使用基板を写真3に示す。非常に難度の高い実装基板 ΔT も鉛フリー対応が可能となる10℃以下を満足している。この熱風エンジンの特徴は、垂直方向に細かく吹き出した熱風流が基板に衝突して乱流化した直後に、近傍から噴出流を垂直方向

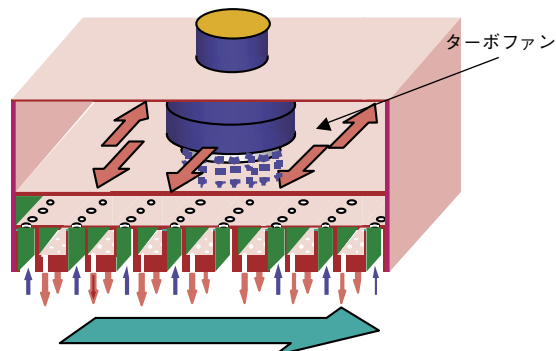


図3 熱風加熱エンジン概念図
Schematic of convection heating engine.

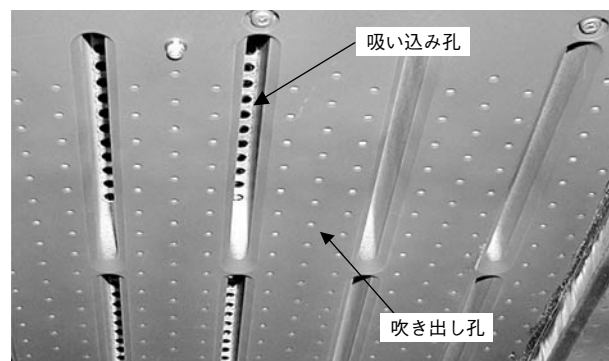


写真2 ノズル付熱風吹き出しパネル外観
Appearance of the panel designed here.

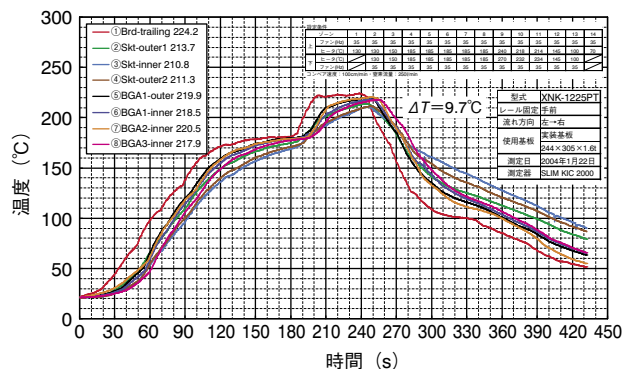


図4 実装基板測定例
Temperature profile of test board.

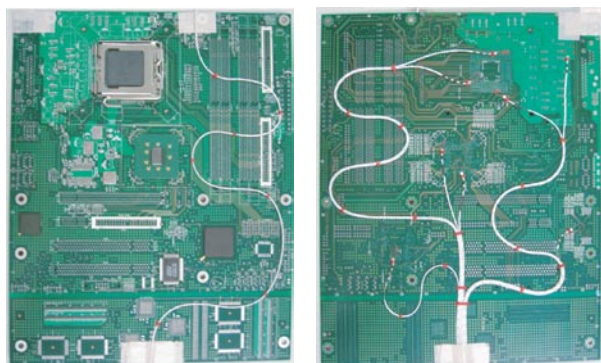


写真3 使用実装基板例 (244 × 305 × 1.6 mm)
Test board.

に吸引、回収して、水平方向の乱流を発生させない方法を採用したことにある。吹き出しと吸引の諸条件をバランスさせることにより、水平流の少ない、かつトップノズル／ボトムノズル相互の対面温度干渉が小さい熱風エンジンを得ることができた。

3.2 トップ／ボトム不均等加熱

基板の上面側と下面側との間に供給熱量の差をつけるトップ／ボトム不均等加熱法は、部品温度の上昇を抑え、かつはんだ付部の温度を高く保つ効果が得られる。この方法は、従来トップ側とボトム側に各々異種の熱源である熱風とIRパネルヒータによる遠赤外線加熱を併用することによって実現されてきた。

「大陸モデル」はこの効果を熱風加熱炉で実現することを目指し、トップノズルとボトムノズルの間の対面温度干渉を軽減する熱風吹き付けの方式を採用した。温度干渉軽減策の原理を図5に示した。

パスラインまで届いた熱風の自由噴流を層流化して近傍から垂直方向に吸引、回収することによって熱風の到達距離を制御できるようになり、上下の温度干渉軽減策の効果が得られた。「大陸モデル」ではこの方式によって、基板の上面と下面に吹き付ける熱風温度を10℃～20℃差をつけることが可能となった。トップ／ボトム不均等加熱法による実装の一例を図6に示した。図6左(条件A)に従来型の熱風炉を想定して、トップ、ボトムの熱風温度を同一に設定し、温度プロファイルを作成した事例を示した。また図6右(条件B)に温度プロファイルの形状を条件Aに合わせつつ、トップ、ボトム間の熱風温度に最大20℃の差をつけて設定した、トップ／ボトム不均等加熱の例を示した。

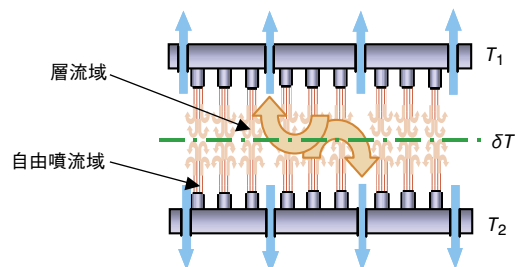


図5 対面温度干渉軽減の原理
Principle of temperature interference reduction between the top and bottom nozzles.

結果、トップ側からの供給熱量を相対的に軽減した不均等加熱条件では、基板上面の実装部品本体の温度を約5℃下げることが可能となり電子部品の熱ストレスを軽減できる。同時に、はんだ付温度を上昇させることができるため十分なはんだぬれ時間確保が可能となり接合部のはんだ付品質が改善される効果が得られた。

トップ／ボトム不均等加熱方式により、鉛フリー生産が可能となる製品の幅が格段に広がった。

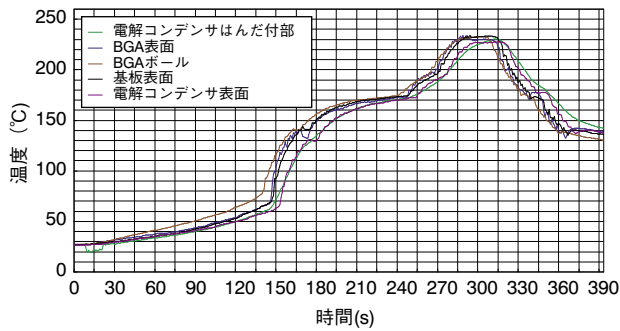
3.3 ゾーン数(総加熱長)と加熱性能

装置の性能としては基本加熱性能に代表される温度特性の改善以外に高生産性も求められる。前項までの基本加熱能力の改善により、 ΔT 性能及び部品本体温度を大幅に抑えることが可能となった。しかし、はんだ付を高生産で実現するにはこれらの律則条件以外に予備加熱時間・はんだ溶融時間の確保も求められる。そこで「大陸モデル」は加熱ゾーン数を増やすことで総加熱長を延ばし、高生産にも対応可能とした。ゾーン数増加による。生産性向上の実装例を図7に示す。従来機種に比べコンベア速度を25%速くしても同様な温度プロファイルが確保できることを確認した。装置の構造概略図を図8に示す。

4. 冷却性能

従来のリフロー炉では、高温リフローゾーン通過後の降温スピードが冷却性能の指標として挙げられてきた。しかし最近の鉛フリー実装では、降温プロセスにまたがる温度コントロール、一例としてははんだ溶融保持時間(最小値)、及び弱耐熱部品の高温滞留時間(最大値)を同時に管理することが必要となっている。

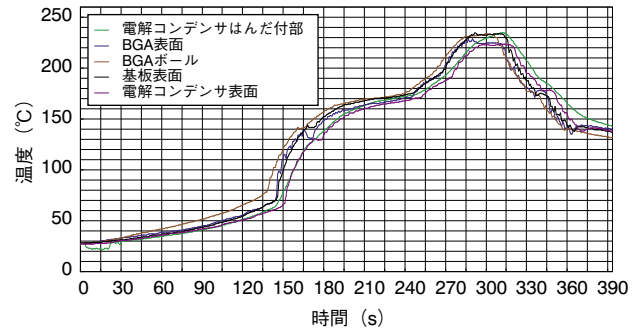
「大陸モデル」では、冷却の中間過程でもプロファイル形状をコントロールする目的で、温度調節可能な中温域の冷却ゾーンを前段に組み込み、後段には雰囲気温度を低く押さえた冷却ゾーンの2ゾーン構成の段階冷却法を採用した(写真4)。具体的には前段は加熱ゾーンと同一の熱風エンジンを採用し、後段には空冷もしくは水冷による雰囲気冷却方式としている。より高速冷却が必要な温度プロファイル規格には水冷方式の採用を推奨している。この2段階冷却方式により高温保持時間のコントロール機能に加えて、大きな冷却勾配、フラックス回収機能を実現した。



ゾーン	1	2	3	4	5	6	7	冷却1	冷却2
上ヒータ温度 (°C)	180	180	180	180	215	260	240	150	0
下ヒータ温度 (°C)	180	180	180	180	215	260	240	150	—

	部品温度		はんだ付温度		ΔT
	ピーク温度 (°C)	200°C 以上 滞留時間 (s)	ピーク温度 (°C)	230°C 以上 保持時間 (s)	
電解コンデンサ	228	53	230	0	3.5
BGA	234	53	233	23	

(a) 条件A：トップ／ボトム熱風温度同一設定

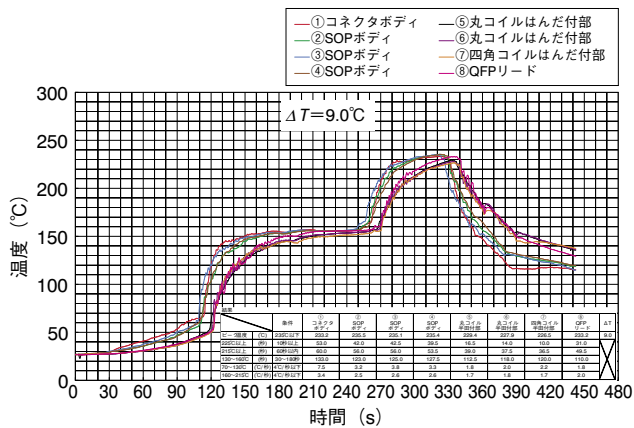


ゾーン	1	2	3	4	5	6	7	冷却1	冷却2
上ヒータ温度 (°C)	175	175	175	175	205	250	230	150	0
下ヒータ温度 (°C)	185	185	185	185	230	275	255	150	—

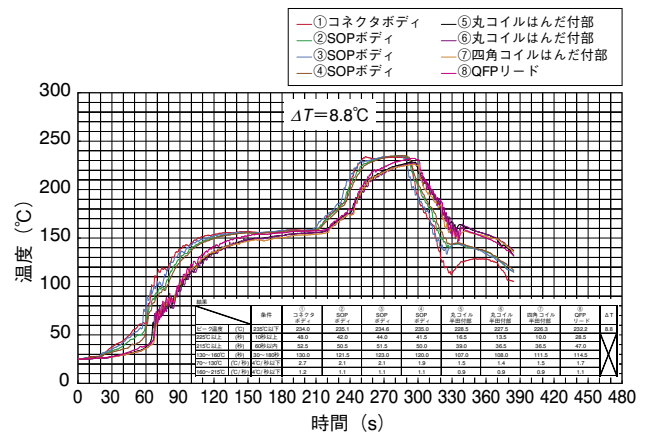
	部品温度		はんだ付温度		ΔT
	ピーク温度 (°C)	200°C 以上 滞留時間 (s)	ピーク温度 (°C)	230°C 以上 保持時間 (s)	
電解コンデンサ	223	51	235	17	1.0
BGA	229	50	234	24	

(b) 条件B：トップ／ボトム熱風温度不均等加熱

図6 トップ／ボトム不均等加熱法による実装例
Unequal heating for the top and bottom surfaces.

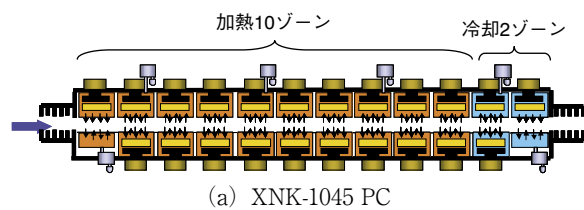


(a) 従来 XNK-945 (コンベア速度 80 cm/min)

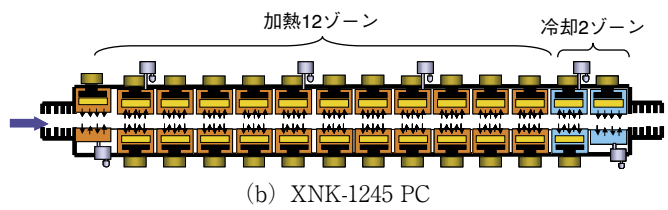


(b) XNK-1245 (コンベア速度 100 cm/min)

図7 ゾーン数増加による生産性向上例
Example of productivity improvement using increased heating zones.

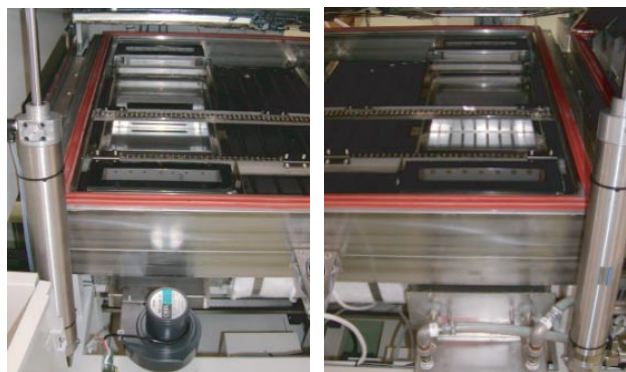


(a) XNK-1045 PC



(b) XNK-1245 PC

図8 装置構造概略図
Machine layout.



(a) 空冷構造
Air-cooling type

(b) 水冷構造
Water-cooling type

写真4 冷却部構造
Cooling system.

5. フラックス回収機構

写真5にフラックス回収機構の構成を示す。循環雰囲気中に含まれるフラックスのヒュームは炉内の温度の低い(凝固点以下)場所に付着する。これが機構部等に付着することにより動作不良を引き起こす原因となるため定期的な清掃を強いられる。本システムは雰囲気中のヒュームを冷却されたユニット内に凝縮させ、凝縮量が多くなると回収容器内に溜まる。容器に回収することにより、フラックスの凝縮・液化後に温度・風による再蒸発を防止した。

6. 酸素濃度制御

ランニングコストを抑えるには窒素消費量の削減が重要である。本装置では熱風の各ゾーン内で独立した循環を実現し熱風の行き来によるゾーン相互の干渉をできるだけ抑えた。更には、熱風の吹き出し、吸い込みで形成されるガスカーテン効果、また従来から採用している出入口ラビリンス構造を組み込むことで、業界トップレベルの低窒素消費量で低酸素濃度を実現した。また、ヘッダ管とオリフィスにより各モータへの正確な流量配分を行うことでゾーンごとの酸素濃度ばらつきも抑えた。窒素供給方式の概略図を図9に示す。また、本装置における炉内酸素濃度(ppm)と窒素供給量(ℓ/min)の関係グラフを図10に示す。強力な熱風循環方式でありながら窒素を200 ℓ/min を若干上回る供給量とするだけで炉内酸素濃度100 ppmを実現して



写真5 フラックス回収機構(中間部)
Center unit of flux recovery system.

いる。連続基板投入時の濃度安定性を図11に示す。図10は窒素供給量200 ℓ/min で炉内酸素濃度300 ppmに制御をかけた状態で、ガラエポ基板(W250×L330×t1.6 mm)を基板1枚間隔で10枚連続投入したものである。基板が連続して投入されても炉内酸素濃度にほとんど変化が無いことが分かる。

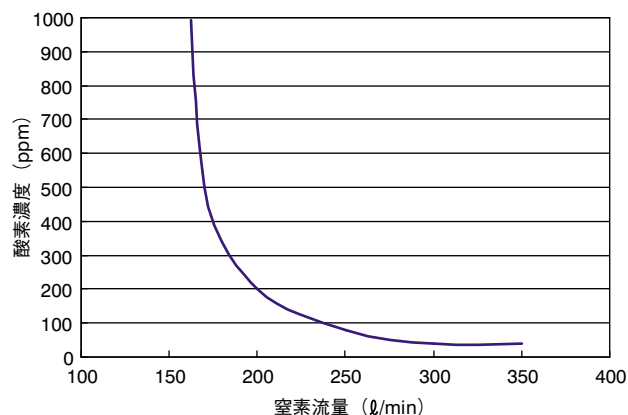


図10 酸素濃度特性
Relationship between oxygen concentration and nitrogen supply.

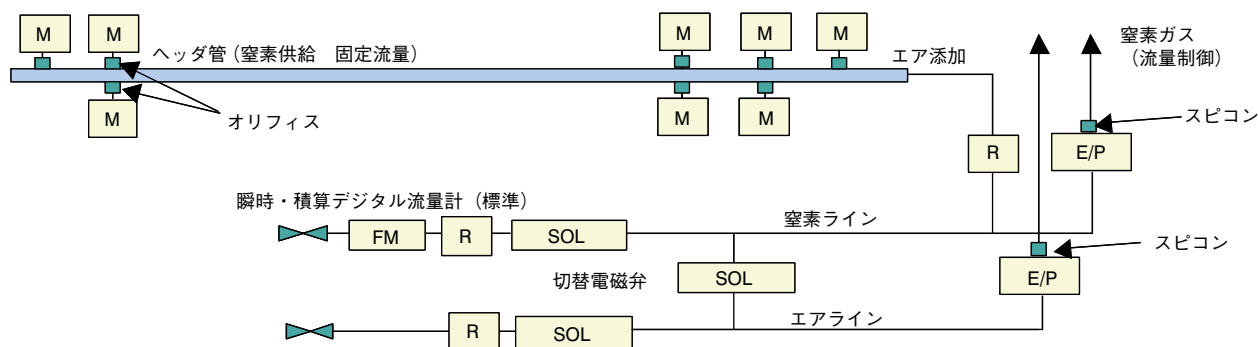


図9 窒素供給方式の概略図
Schematic diagram of nitrogen supply.

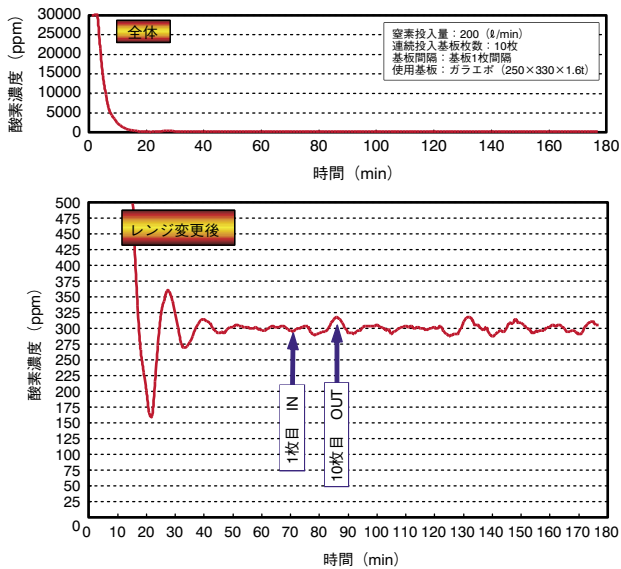


図11 連続投入時の酸素濃度安定性
Stability of oxygen concentration.

7. 短納期・低コストを実現する装置構造

短納期要求に応えるため装置は左右対称設計とし、搬送方向に依存しないフレーム構造とした。客先からの搬送方向の指定があって部品製作を開始するこれまでの装置では最短でも1.5ヶ月の納期を要した。左右対称設計とすることによりフレーム、下加熱ユニット、上加熱ユニット、配線までを完了させ、搬送系（コンベア）を組み付ける前まで半製品として完成させておき、仕様が決定した時点で搬送系組み付け、外装板取り付け、調整を実施することにより最短3週間で出荷できるまでに至った。略図を図8に示す。また、低コストを実現するため徹底的な部品点数の削減、組み立て工数を減らすべくネジの削減、低コスト部品を採用した。特に、加熱ユニットは同一部品を多用しており少額のコスト低減でもトータルでは大きなコスト削減が可能となる。現在、国内での品質確保にめどが付き中国工場での製造に着手し更なるコスト低減を目論む。表1に今回開発した「大陸モデル」XNK-1045PT及びXNK-1245PTの概略仕様を示す。

表1 概略仕様
Outline specification.

		新ラインナップ	
		XNK-1245	XNK-1045
装置外觀寸法	長さ (mm)	6,300	5,680
	幅 (mm)	1,300	
	高さ (mm)	1,397	
最大基板幅 (mm)		460	
ゾーン数	加熱ゾーン	12 (11)	10 (9)
	冷却ゾーン	2 (3)	2 (3)
加熱ゾーン長さ (mm)		3,300 ~ 3,600	2,700 ~ 3,000
設備容量 (kVA)		66	56
重量 (kg)		2,700	2,500

8. 一体型窒素発生装置の開発

サラムンダーは窒素発生装置を内蔵したリフロー装置を提供してきた。特に窒素供給のインフラが整っていない場所では相変わらず、窒素発生装置の要求が多い。現行モデルではリフロー装置内部に搭載できたが「大陸モデル」から外形寸法を小さくした分内部スペースが小さくなり、内蔵が不可能となった。根強いニーズに応えるため装置に横付けできる一体型窒素発生装置をオプションとして準備した。外観を写真6に示す。薄型設計により違和感の無いコンパクトな装置に仕上がった。この窒素発生装置は高圧エアを中空糸膜に通すことにより、気体分子の膜透過速度の違いを利用している。具体的には、酸素分子よりも窒素分子の方が透過速度は速いため膜出口では相対的に酸素分子が少なくなり低酸素濃度のガスを得ることができる。ただし、このままの状態ではリフロー装置内の酸素濃度は1000 ppm程度が限界であり、それよりも低い100 ppm程度の低酸素濃度を要求するユーザには得られたガスに水素ガスを添加し、残留酸素を触媒燃焼させるシステムを提供する。水素ガスは純水を電気分解により酸素と水素に分離して得ることができる。分離膜の特性表を表2に、窒素発生装置システム図を図12に示す。



写真6 一体型窒素発生装置
Appearance of nitrogen separating system integrated with main oven.

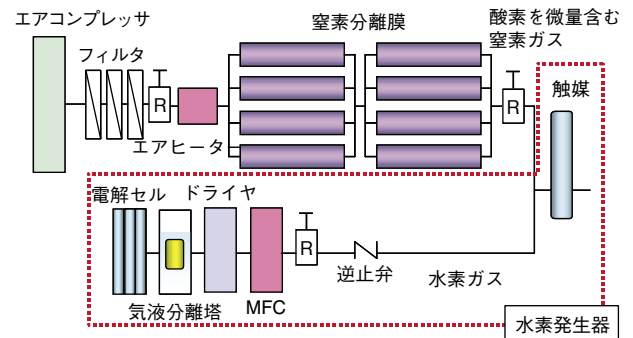


図12 窒素発生装置システム図
Schematic diagram of nitrogen separating system.

表2 窒素分離膜の特性表 (O₂: ppm)
Characteristics of nitrogen separating membrane.

流量	250 l/min	300 l/min	350 l/min	400 l/min
圧力				
550 kPa	3540	5690	9230	測定不可
600 kPa	2320	4060	6370	測定不可
650 kPa	1740	3090	4720	7450
700 kPa	1140	2110	3570	5620
750 kPa	883	1670	2790	4350
800 kPa	667	1260	2240	3430

9. おわりに

今回開発した「大陸モデル」は加熱特性・窒素消費量の点から台湾・中国ユーザから高い評価を得ることができた。ただ、フラックスの付着問題、メンテナンス性はフィールドでの長期間にわたる評価を待たなければ良否の判断ができない。継続して顧客訪問を行うことにより、顧客密着型の営業・技術体制を維持してタイムリーに改善及び新商品提供をし続けたい。

参考文献

- 1) 須賀：鉛フリーはんだ技術，日刊工業新聞社，(2000)
- 2) 小原裕一：鉛フリー実装用リフロー炉の開発と評価，溶接学会マイクロ接合部会，(2003)