

カーエアコン用オールアルミ製積層型 熱交換器の製造技術

Mass Production Process for All Aluminum Drawn Cup Type Evaporators

技術本部 酒井 茂 男^{*1}

エアコン製作所 五百川 博^{*2} 林 昌 照^{*3}

カーエアコン用蒸発器はオールアルミニウム製の積層型が主流となっている。これは、アルミニウムの軽量性、優れた熱伝導性及び加工性を利用して、コンパクト化が可能であるからである。当社においても、3年前から積層型蒸発器を量産しており、業界トップのコンパクト化を達成している。この熱交換器構造は、高密度化及び部材の薄肉化を追求したものであり、高精度の製造技術により量産されている。当社では、高品質の熱交換器の量産を支える製造技術として、有機溶剤の全廃を可能とした水系洗浄法及び高密度部材を一体ろう付するための真空ろう付法を確立し、実用化している。

Evaporators, heat exchangers for automobile air conditioners, are exclusively of the drawn cup type made from aluminum alloys because of their low density and their heat transfer characteristics. The drawn cup type evaporator developed by Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. is very compact and light weight. There is a strong demand for overall reliability and the performance of evaporators to provide a new fabrication process. Therefore, an improved vacuum brazing process and new aluminum alloy surface cleaning process have been established. The vacuum brazing process provides the brazing performance required in mass production. And the new cleaning process consisting of alkaline solvent dip, water rinse and drying eliminates the air and water pollution problems associated with the use of organic solvents.

1. ま え が き

自動車に使用される熱交換器は、小型化、軽量化及び高性能化が強く求められており、熱伝導性が良く、軽量であるアルミニウム材が主に用いられている。当社では昭和30年代からカーエアコンの量産を行っており、これに用いられているオールアルミニウム製熱交換器（蒸発器及び凝縮器）についても昭和58年度から製造を行っている。

カーエアコン用蒸発器は車室内部品ということもあり、特に小型軽量化、高性能化に対する要求が強く、アルミニウム部材の薄肉化、構造の高密度化が進んでいる。そのため高精度の製造技術が求められるとともに、自動車の世界的な普及による生産量増加に対する量産技術が年々重要となってきている。本報では、現在当社にて量産しているオールアルミニウム製積層型蒸発器の特徴とともに、量産を支えている製造技術の一端を述べる。

2. 積層型蒸発器の特徴

図1にカーエアコン部品の装着位置とシステムの構成概略を示す。カーエアコンの作動原理は、系内に封入された冷媒をコンプレッサで圧縮し、凝縮器にて凝縮、液化する。この液化した冷媒が、蒸発器内部を通過する間に外側を流れる空気と熱交換を行い、完全にガス化して再びコンプレッサに送られる。このとき蒸発器の外側を通過し、熱交換され冷却された空気が車内に送られ、カーエアコンとしての働きを行う。

カーエアコンに用いられるオールアルミニウム製蒸発器の構造⁽¹⁾は、一般には、図1に代表される形状をしている。(a)のタイプは押し出しチューブを曲げた冷媒通路とブレイジングシート（ろう材を両面にクラッドしたシート材）から成るコルゲートフィンとを組合せてろう付をするもので、製造が簡単である特徴を

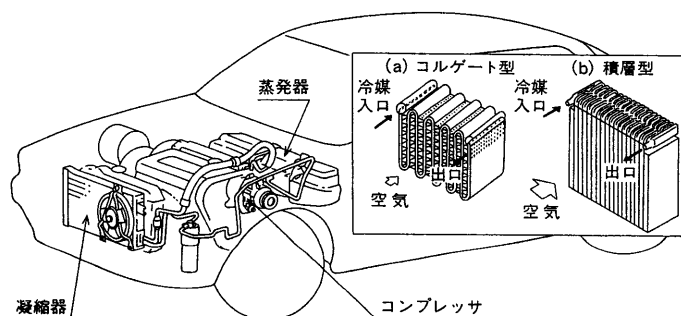


図1 カーエアコンシステムの概略 カーエアコンの車載状態及び蒸発器の構造を示す。

Schematic diagram of automotive air conditioning system

持っている。(b)に示される積層型のもは、ブレイジングシートにて冷媒通路を構成し、コルゲートフィンを組合せてろう付するもので、高密度化が可能であり、コンパクト化できるメリットがあるが、高度な製造技術が必要である。

当社では、高性能、小型化を追求した、当社独自の構造を持つ積層型を平成4年から量産しており、現在ではこれが主流となっている。基本構造は、図2に示すようにプレートとプレート間に波板状に加工されたインナフィンを入れた冷媒通路と高効率のルーバ付コルゲートフィンを組合せたものである。これらの構造により、業界トップのコンパクト化を達成している。表1にその特徴を示す。

3. 製造工程の概要

積層型蒸発器の製造工程は、表2に示すように素材はコイル状になったアルミ薄板材である。この中でプレートに用いられるもののみが両面にろう材をクラッドしたブレイジングシートである。

*1 名古屋研究所材料・強度研究室

*2 工作部松阪工場管理グループ

*3 技術部カーエアコン1グループ

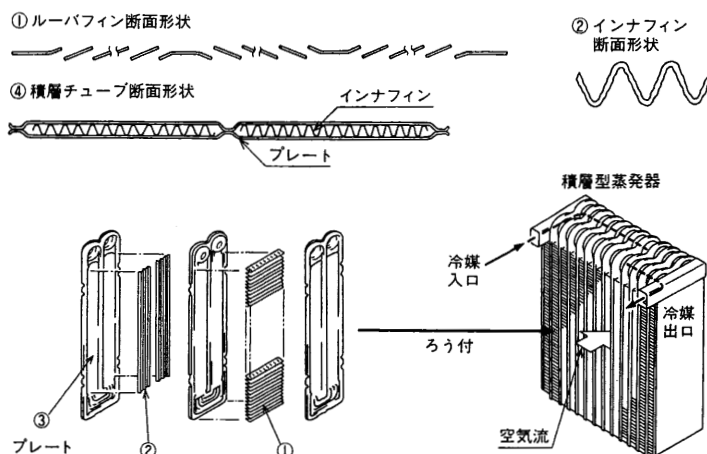


表 1 当社蒸発器の特徴

Characterization of drawn cup type evaporator by MHI

蒸発器の課題	特 徴
小 型 化	・奥行 68 mm (業界最小) ・狭い車内スペースと適合
高 性 能 化	能力/全容積 = 1.3×10^3 kW/m ³ (at FV 2 m/s) で業界最高
軽 量 化	能力/重量 = 2.5 kW/kg (at FV 2 m/s) で業界最軽量
快適性向上	・蒸発器通過空気温度分布のばらつき抑制による冷房感向上 ・防かび・抗菌剤入り表面処理にて吹出し空気を低臭気化

図 2 積層型蒸発器の構造 当社にて量産している積層型蒸発器の構成部品形状及びその組立状態、製品形状を示す。

Structure of drawn cup type evaporator

表 2 積層型蒸発器の製造工程

Fabrication process of drawn cup type evaporator

名 称, 構成材料	製 造 工 程	ろ う 付 部
・積層プレート (ブレイジングシート材) ・インナフィン (ベアシート材) ・コルゲートフィン (ベアシート材)		

プレートにはプレス加工により冷媒通路としての形状を付与し、ロール成形により波板状に加工されたインナフィンと組合せた後、コルゲートフィンと交互に積重ねて熱交形状とし、ジグにて固定して、一体ろう付にて製造する。一体ろう付される部分を図中に示してあるが、プレート/プレート部は、ピンホール等の欠陥が冷媒ガス漏れに直結するため重要なろう付となる。また、プレート/インナーフィンのろう付も、冷媒通路内面を高圧ガスが流れるため、内圧強度確保の面で重要となる。

ここで、ろう付法としては、一般に非腐食性のふっ化物系フラックスを用い N_2 ガス中にて行うフラックスろう付法⁽²⁾と真空中にてフラックスレスにて行う真空ろう付法⁽³⁾がある。当社では、どちらのろう付法も実用化しているが、蒸発器の製造には真空ろう付法を適用している。これは、蒸発器ではろう付後、蒸発器使用時に発生する凝縮水を排出させるための親水性付与を目的とした表面処理を実施する必要があり、この表面処理を高品質で行うためには、ろう付後にアルミ表面にフラックス残査等の残らない真空ろう付法が有利なためである。また、フラックス残査は最近問題となっている臭気性の面でもマイナスになる場合が多い。

4. 製 造 技 術

積層型蒸発器の生産におけるポイントはろう付である。真空ろう付では一般に良好なろう付性を得るための寸法クリアランスは 0.05 mm 以内とされており、これを満足するための量産加工法が求められる。特に部材がすべて薄肉の板金製であるため、剛性がなく、ハンドリング、ジグ拘束法等が難しいとともに、ろう付工程中で部材 (ブレイジングシート) の肉厚がろう材層分だけ減少するため、これを考慮した部材寸法の設定及びジグ拘束法が必

要となる。

また、ろう付不良は漏れや強度不足に直結し、製品不良の最大原因となるため、前記の精度管理以外に不良を低減するためのろう付法の確立が量産技術的に重要である。

ここでは、ろう付不良を低減させるために重要であるアルミ部材の洗浄法及び真空ろう付条件の考え方について述べる。

4. 1 洗 浄 技 術

アルミニウムの真空ろう付においては、部材の清浄度がろう付性に大きく影響を与えるため、従来はトリクレン、塩化メチレン等の有機溶剤による洗浄が不可欠であった。これに対し、環境問題から有機溶剤の使用を廃止するため、水系洗浄法の採用について当社は早くから検討を行ってきた。

水系洗浄法のアルミ部材への適用上の問題点は、洗浄力のほかに剛性のない軽いアルミ部材の搬送、洗浄法及び水洗、乾燥方法があるが、それぞれについて当社独自の方法を確立している。

まず、基本となる洗浄剤については、洗浄の対象となる主な汚れが、部材加工に用いられる加工油であることから、この油の残留量とろう付性の関係について調査を行い選定を行った。具体的には、実部材のろう付では残油量が 5 mg/m^2 以上では、油分に含まれるカーボンが原因となり、ピンホールによる欠陥が発生しやすくなることをつかみ、これを基準とした洗浄テストにより、水洗性及び排水処理性に優れたアルカリ系洗浄剤を実用化している。

また、水洗、乾燥方法については、これらの工程でアルミニウム表面の酸化皮膜が成長し、ろう付性を低下させることが最も問題となるため、水洗工程での酸化皮膜成長量を定量化し、条件設定を行った。図3は水洗温度、時間による酸化皮膜の成長を測定

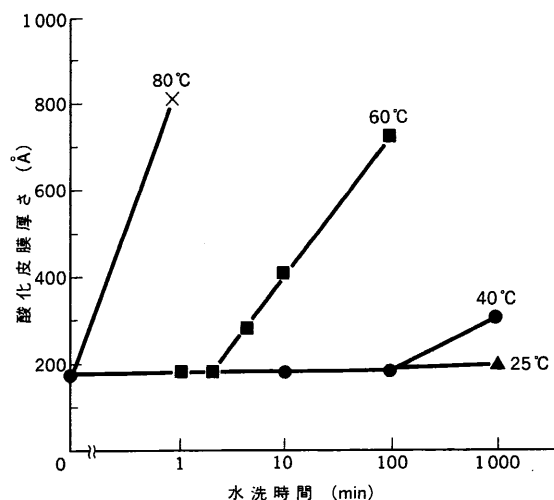


図3 水洗時間による酸化皮膜厚さ 水洗水の温度、水洗時間によるアルミ表面酸化皮膜の成長挙動を示す。
Oxide film thickness as function of immersion time in water

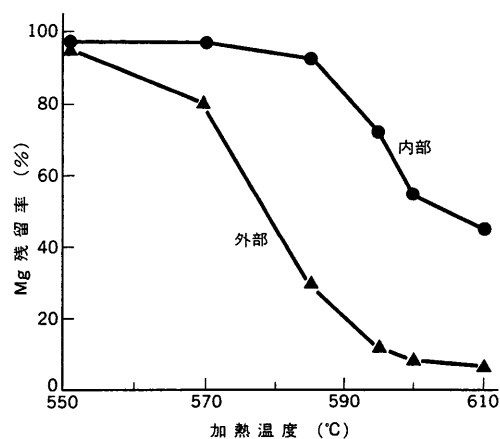


図5 加熱温度とMg残留率との関係 真空中で加熱処理した際の加熱温度と熱交の内部、外部でのMg蒸発量をMg残留率にて表した。
Mg residual ratio in filler metal as function of heating temperature

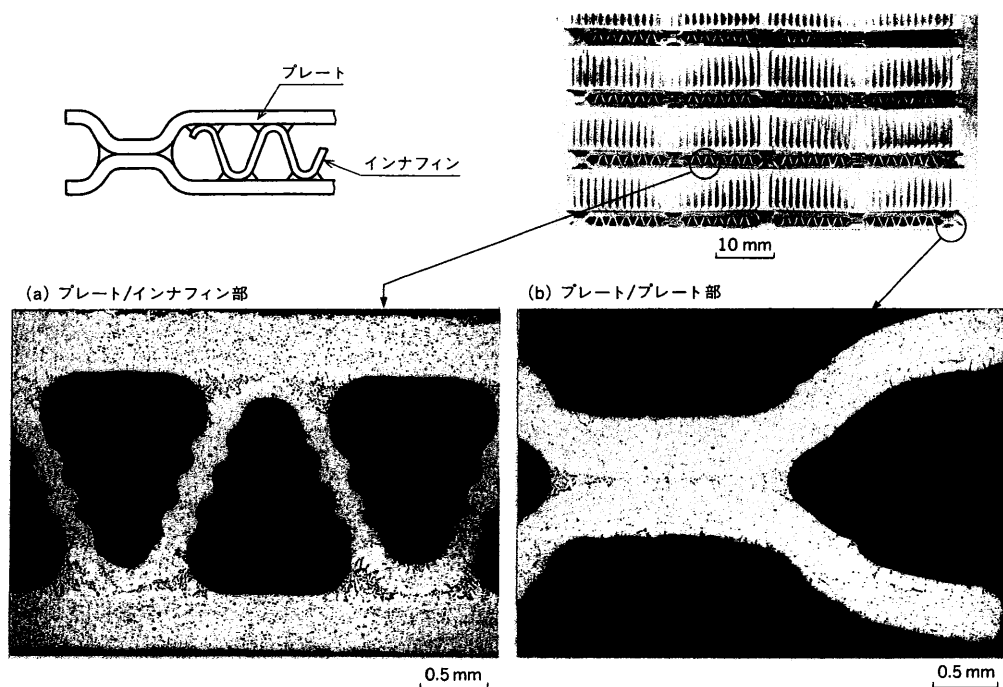


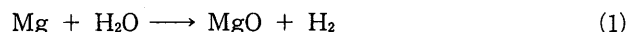
図4 積層型蒸発器のろう付状況
当社にて量産している積層型蒸発器の代表的なろう付状況を示す。
Brazing joints of drawn cup evaporator

した結果である。一般に酸化皮膜厚さが400Åを超えとろう付性が大きく低下することが分かっており、この結果を基に水洗後の洗剤残留率との関係から水洗、乾燥条件を決定している。

以上の基礎試験をベースにインライン水系洗浄システムを開発し、現在では、従来のトリクレンと同等以上の安定した洗浄法として実ラインにて稼働中である。

4.2 真空ろう付技術

真空ろう付は、Al-Si-Mg系、例えばAl-10%Si-1.5%Mg合金⁽⁴⁾をろう材に用い、 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ Torrの高真空中で600℃程度の温度まで加熱し、ろう付を行うものである。フラックスレスでろう付が行えるのは、高真空のため加熱中の酸化が防止されること以外に、ろう材中のMgが蒸発して酸化膜を破るとともに、ゲッターとして周囲雰囲気中の残留酸素や水分と化合し、ろう付部を清浄に保ち、ろう材溶融時のぬれ性、流動性を向上させるためである。ここで、Mgは次の反応により酸素、水分の除去を行っている⁽⁵⁾。



したがって、ろう付加熱時のMg蒸発挙動が真空ろう付性を大きく左右することとなる。

ここで、積層型蒸発器の真空ろう付を考えると、雰囲気条件の異なる三つの部分のろう付を同時に行うことが必要となる。つまり図4に示すように、プレート/インナフィン部の熱交内部の半密閉雰囲気、プレート/コルゲートフィンの熱交外部、そして、プレート/プレート同士の内・外境界部である。特に、当社の構造では、インナフィンが内部に挿入されているため、熱交内部の排気抵抗が大きく、かつ内部の表面積増大によるろう付加熱時のアウトガス量の増加により、内、外部での雰囲気気差は特に大きくなっている。

これら雰囲気気差によるろう付加熱時のMg蒸発挙動への影響を調査した。図5は、 3×10^{-4} Torrにて熱交換器を各温度で加熱した後のろう材中のMg残留率を測定した結果を示したもので

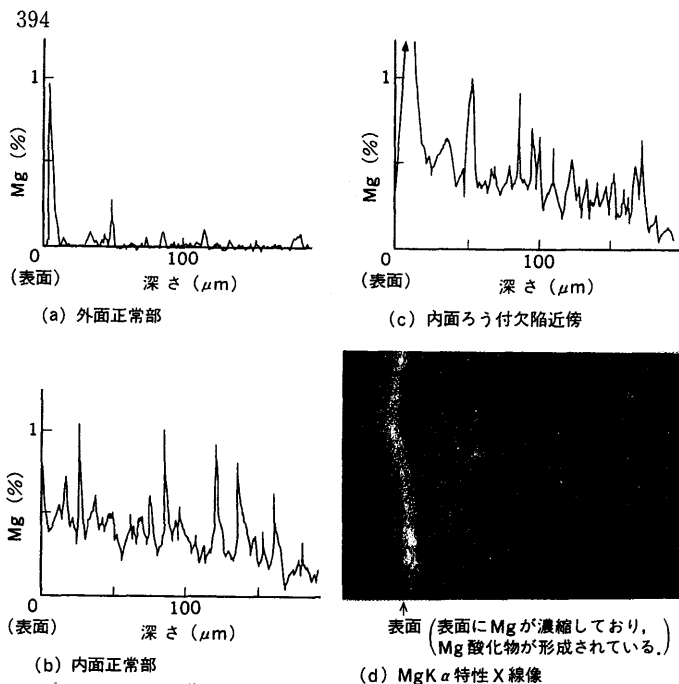


図6 ろう付部断面のMg濃度分布 真空ろう付後にろう材中のMg濃度分布をEPMAにて、内部ろう付不良部のMg濃度分布を内、外部の正常部と比較して示した。

Typical EPMA trace of Mg distribution

ある。これにより、明らかに内、外部にてMg残留率が異なっていることが分かる。つまり、蒸発開始温度が内側の方が20℃程度高くなっており、かつ蒸発量も少なくなっている。これは、内側では蒸発が開始すると、排気抵抗が大きいためすぐにMgの飽和蒸気圧に達してしまい、蒸発が抑制されるためと推定される⁽⁶⁾。

ろう材中に含有されるMgは、ろう材の融点を下げるとともに、ろう材の流動性を向上させる効果がある。したがって、内・外境界部では、ろう付時にろう材溶融タイミングがずれるとともに、溶融後のろう材流動性のアンバランスが発生することになる。これが原因となり、気密を要求される部分でのピンホール及びろう切れ等の欠陥を誘発する。

また、雰囲気劣化の影響を最も受ける内部では、外面に比べろう付性が低下する。これは、内部ではろう付時のMg蒸発が抑制されるため、表面酸化皮膜の破壊効果が小さくなるためである。このため、部材内面が汚染されているような場合には加熱中に酸化皮膜厚さが増大するため、Mgによる酸化皮膜破壊効果の小さな内部ではろう付欠陥が多発することとなる。内部で発生した酸化によるろう付欠陥部の断面のMg分布を見ると、図6に示すように、表面にMgが高濃度で集まっており、ろう付不良の原因となった酸化皮膜がMgの酸化物であることが分かる。この現象はろう材中のMg添加量が多いほど顕著に表れる傾向にあり、過剰なMgは内部ろう付にとっては阻害要因となることが分かる。図7に1.6% Mg添加ろう材における内・外境界ろう付面内に発生したMg酸化物によるろう付欠陥を示す。このような不良が発生すると接合強度が大きく低下し、製品信頼性を低下させる。

以上のことから、積層型蒸発器の真空ろう付を高品質で行うためには、部材組立精度の確保、内部酸化を防止するための部品清浄度の向上及び高真空雰囲気確保が絶対条件であると言える。当社では前述したように、加熱時の部材寸法変化を考慮した精度

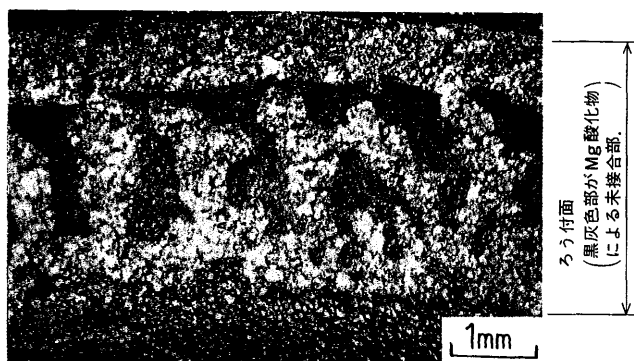


図7 Mg酸化物によるろう付欠陥 ろう付加熱中に成長したMg酸化物が、ろう付面に残留し、発生したろう付欠陥を示す。
Typical brazing defect by Mg oxide

表3 真空度とろう付不良率

Relationship between vacuum and brazing defect 単位: %

真空度*	不良発生率**			
	10 ⁻⁶ Torr 台	1~3 ×10 ⁻⁴ Torr	3~5 ×10 ⁻⁴ Torr	6~8 ×10 ⁻⁴ Torr
ろう付部				
内 面	0	10	50	75
外 面	0	0	0	25

* 500℃以上での真空度

** モデル熱交での内面、外面のろう付部にそれぞれ一箇所でもろう切れ等の不良がある場合は不良と判断し、不良品数/全数×100(%)にて評価。

設定、水系洗浄法による安定した部品洗浄を行うとともに、10⁻⁶ Torr 台の高真空雰囲気でのろう付を実施している。表3に真空度による内部ろう付性の改善効果を示しているが、内部のろう付のためには外部に比べ、より高真空が必要であることが分かる。

さらに、量産ろう付品の不良発生を抑制するために、内部のろう付を重視し、Mg添加量の最適化を中心とした独自の組成ろう材を採用するとともに、ろう付加熱中でのMg蒸発挙動をコントロールできる昇温サイクルを設定しており、当社独自の高密度熱交に対し、安定した高品質なろう付を可能としている。

5. む す び

当社が現在量産しているカーエアコン用積層型蒸発器は、奥行68mmの薄形であり業界一のコンパクト化を達成しているものである。このため構造的には高密度、高精度化が進んでおり、量産技術が非常に重要となっている。この基礎となる製造技術については、(1) 環境問題を考慮した有機溶剤の全廃を可能とした水系洗浄法、(2) 自動ラインによる自動組立法と熱交の内、外ろう付部をバランスよく接合するためのろう付法等独自技術を確立し、高品質の量産を支えている。

現在、さらに進む軽量化、高密度化に対応した薄肉部材に対する加工技術の開発に着手しており、より信頼性の高い量産技術の確立に取り組んでいる。

参 考 文 献

- (1) 川瀬 寛, 軽金属溶接 Vol. 19 No.1 (1981) p.30
- (2) Cooke, W. E. et al., 軽金属溶接 Vol. 16 No.8 (1978) p.365
- (3) 酒井茂男ほか, 三菱重工技報 Vol. 24 No.5 (1987) p.524
- (4) 川瀬 寛, 軽金属溶接 Vol. 23 No.9 (1985) p.392
- (5) 石川和徳ほか, 軽金属溶接 Vol. 21 No.2 (1983) p.61
- (6) 竹本 正ほか, 軽金属 Vol. 36 No.6 (1986) p.345