

## ろう付性評価における可視化技術

## Visualization Technology in Aluminum Brazing Process

## 1. はじめに

ラジエータなどの自動車用熱交換器にはアルミニウム材料が使用され、フィン・チューブ・タンクなどの構成部材の組立て接合にはろう付工法が用いられています。ろう付工程ではアルミニウム合金よりも熔融温度が低いAl-Si合金をろう材として用い、ろう材が熔融する温度に加熱処理することにより各部材の隙間や接触部位をろう材で充填して接合します。

これまでろう付性評価はろう付後の部材の接合状態の観察を主としていましたが、複雑なろう付現象を把握するために、ろう付中のフラックス熔融、ろう熔融、ろう流動、接合フィレット形成に至る一連のろう付過程の可視化に取り組みました。

## 2. ろう付性評価手法の課題

図1にラジエータの製造工程を示します。実機ラジエータでは各部材の接合部分のフィレットサイズの測定や圧漏検査などによりろう付性評価を行います。一方、

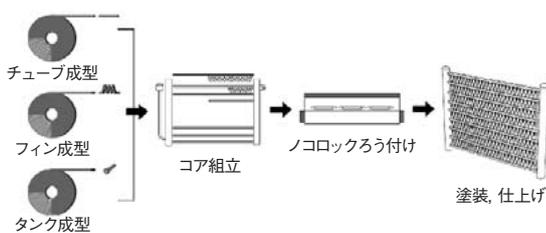


図1 ラジエータの製造工程  
Fig.1 Manufacturing process for radiator.

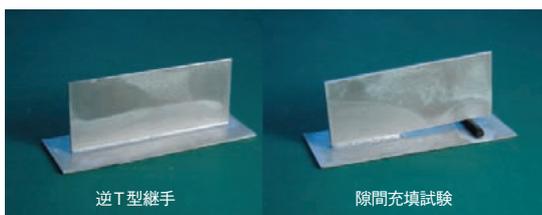


図2 ろう付性試験片  
Fig.2 Test piece for evaluation for brazeability.

実験室レベルの簡易的なアルミニウム材のろう付性評価は図2に示すような逆T型継手や隙間充填試験を用い、フィレットサイズやろう材の流動量、組織の健全性などを評価します。実機コアで起こるろう付現象の解明や材料開発のために、加熱温度や昇温速度、加熱雰囲気、フラックス濃度などのろう付条件を変化させて、ろう付性への影響の評価が行われてきました。

しかし、実際の熱交換器のろう付ではろう付炉内の温度分布や材料板厚に起因した部材の昇温速度の違いによりろう熔融が局部的に進行し、小さなテストピースで起こるろう付現象からは推定できない結果となる場合があります。また、熱交換器の軽量化のためにアルミニウム材料の板厚は極限まで薄くなり、ろう材の熔融・流動現象をマイクロレベルで評価して、材料開発およびろう付性の改善をする必要があります。

## 3. 可視化によるろう付加熱時の挙動観察

ろう付性評価の可視化については、観察の目的によりサイズの異なる実験設備を使用しています。可視化の事例を次に紹介します。

## 3.1 大型ろう付炉 (図3)

大型ろう付炉は実機サイズの熱交換器コアを加熱することが可能で、炉内に耐熱カメラを挿入することにより、実機コアのろう付時の挙動を再現して観察することができます。図3はチューブとフィンのろう付接合を観察したのですが、チューブに過剰なろう材が存在するため、板厚が薄いフィン材が溶けてしまう瞬間を捉えたものです。可視化により、昇温中のどの温度域でフィンの溶解

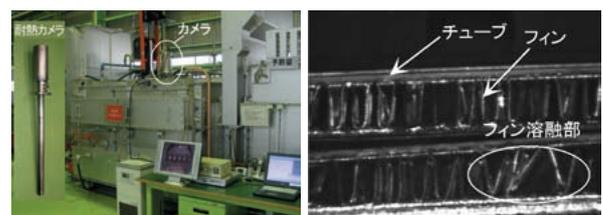


図3 大型ろう付炉とろう付炉内の熱交換器  
Fig.3 Large size brazing furnace and heat exchanger in the brazing furnace.

が発生するのかを観察することができます。得られた情報はフィンの溶解を防ぐための材料成分の検討や、ろう付加熱条件の最適化に有効な手段となっています。

### 3.2 小型ろう付炉 (図4)

小型ろう付炉はろう付時の諸現象を小型のテストピースによりモデル化して機構解明および定量化することに適しています。大型炉よりも微細な部分まで観察することが可能になるため、熱交換器から切り出した小型サンプルや熱交換器を模擬したテストピースにより、フラックスが濡れ拡がる様子や、ろう材が流動する様子を詳細に観察することができます。

図5は熱交換器のタンクとチューブの組み合わせを模擬したテストピースを炉内観察したものです。タンクはブレージングシートであり、タンクの溶融したろう材はチューブの溝に沿って流動し、さらに流動するろう材によりチューブは侵食され、溝の部分が溶解して広がっていく様子が観察されます。実際の熱交換器を量産する際に発生するチューブの侵食現象もこの可視化評価によりよく再現され、ろう材流動量を抑制する材料およびろう付方法の開発により、侵食の制御が可能となりました。

### 3.3 高温顕微鏡 (図6)

顕微鏡に超小型炉を組み合わせたもので、金属組織レベルの現象を観察することができます。図7はAl-Si合金のろう材の溶融過程を表面および断面から観察したものです。ろう材合金はAlマトリックスの中にSi粒子が

分散しています。Al-Siろう材の加熱過程を可視化することにより、Si粒子の周囲から溶解が進行し、溶融したろう材が生成する様子が観察されます。昇温中に、小さなSi粒子は短時間で溶解してしましますが、大きなSi粒子は完全に溶け切るまで時間がかかります。このことから、Si粒子のサイズによりろう材の溶融速度が変化し、この影響によりろう材が流動してフィレットが形成するタイミングも変化することが推定されます。

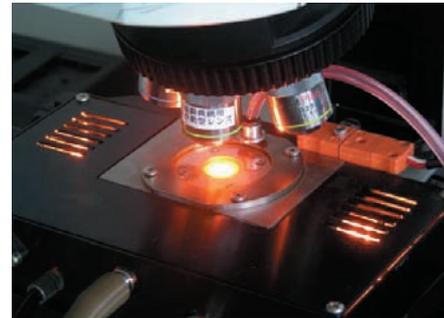


図6 高温顕微鏡  
Fig.6 Microscope with an ultra-compact furnace.

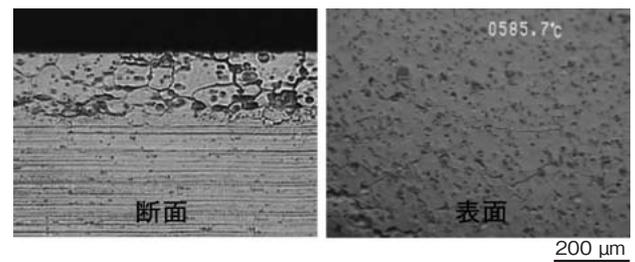


図7 溶融時のAl-Siろう材  
Fig.7 Melting of Al-Si filler alloy.



図4 小型ろう付炉  
Fig.4 Small-size brazing furnace for brazing test.

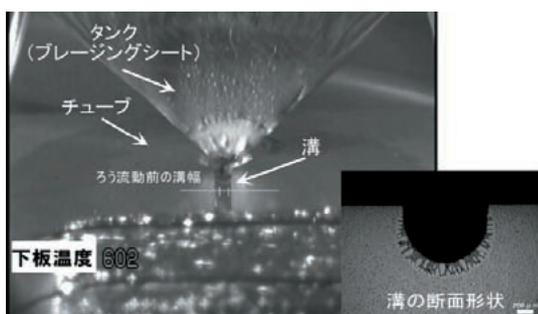


図5 炉内のろう付テストピース  
Fig.5 Brazing test piece in the brazing furnace.

## 4. おわりに

以上のように、ろう付性の評価において実機コアのマクロなレベルから、金属組織などのマイクロなレベルにわたって可視化することにより、従来から明確になっていないろう付の諸現象に関して、メカニズムの解明および定量評価が可能となりました。当社はこの技術を有効に活用して、ろう付性に優れた材料の開発および新しいろう付方法の開発に取り組んでいきます。

## お問い合わせ先

技術研究所

〒366-8511 埼玉県深谷市上野台1351番地  
TEL : (048) 572-1318 FAX : (048) 573-4418