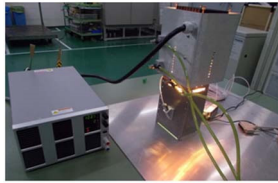


近赤外線を用いたプラスチック部品の急速接着工法の開発

Development of Rapid Adhesion Method for Plastic Parts Assembling Using Near-Infrared



由井 裕一*¹
Yuichi Yui

奥田 晃久*²
Akihisa Okuda

久保田 雅則*³
Masanori Kubota

重量あるいはコスト低減の観点から部品の継手方式において、従来のボルト等を用いた機械結合から接着結合への置き換えが検討されているが、その際の課題の一つとして接着剤の硬化時間が挙げられる。この打ち手として、Kubota Research Associates, Inc. が開発した近赤外線を用いた急速加熱工法^{(1), (2)}について原理検証を行った。さらに本工法適用性検討を容易に行うため、近赤外線加熱による接着層温度変化が推定可能なシミュレーションツールを開発した。

1. はじめに

航空機や自動車等の輸送機器では、部品の継手方式としてボルト等による機械結合を多用しているが、穴あけによる強度ダウンを補うための板厚増加やボルト自身の重量は、製品重量の増大につながっている。さらに、ボルト組み付けに要する人工費やボルト自体の費用は、製品価格の増加につながっている。このような機械結合のデメリットに対する打ち手として、[図1](#)に示すように、接着結合への置き換えが考えられるが、室温での硬化が可能な航空機用構造接着剤は、次工程(例えば、プラスチック部品への配線組み付け等)への移行が可能となるハンドリング強度発現までに24時間もの時間を要する。また、最終強度の発現にはさらに1週間を要する。このような長い硬化時間は、製品のフロータイムを悪化させるため、継手方式として接着結合を積極的に適用するためには、接着剤の硬化時間の短縮が必須となる。

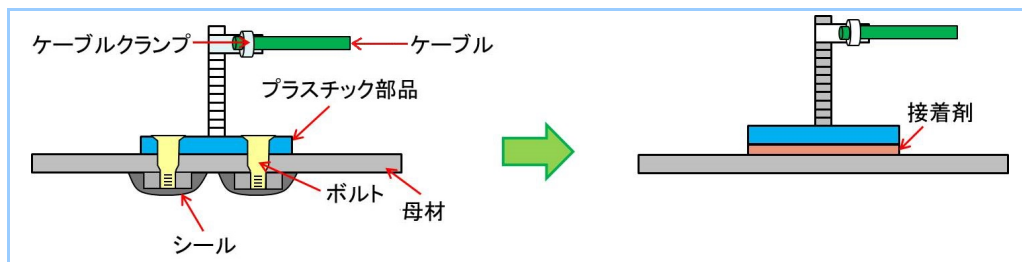


図1 機械結合から接着結合への置き換え例

当社では、プラスチック部品の継手をターゲットとした硬化時間短縮策として、Kubota Research Associates, Inc.が開発した近赤外線を用いた接着剤急速硬化工法(P-WaveTM/PTIRTM※工法)に着目し、その原理検証を行った結果、従来24時間を要するハンドリング強度発現を6分以内に短縮可能であることを確認した。さらに、本工法を種々の部品/接着剤に適用するために、近赤外線照射による接着層温度変化が推定可能なシミュレーションツールの開発を行った。

※P-WaveTM: Polychromatic Wave PTIRTM: Pseudo-Transmission Infrared Radiation

*1 総合研究所製造研究部

*2 総合研究所製造研究部 主席

*3 Kubota Research Associates, Inc. CEO MBA

2. P-Wave™/PTIR™ 工法とは

接着剤の硬化時間を短縮する手段の一つとして、加熱により接着剤の反応速度を増加させることが考えられるが、通常用いられる温風加熱では、プラスチック部品が加熱された後、プラスチック部品からの熱伝導によって接着剤が加熱されるため、接着剤が所定の温度に達するまでに長い時間を要する。また、接着剤等の高分子樹脂の急速加熱に用いられる遠赤外線加熱であっても、エネルギーの多くがプラスチック部品に吸収されるため、温風同様、プラスチック部品からの熱伝導となり、効果的ではない。

P-Wave™/PTIR™ 工法は、プラスチック部品に吸収されにくい近赤外線を用いることでエネルギーを効率良く接着剤に到達させ、接着剤中に分散させた近赤線を吸収し遠赤線を発するPTIR™粒子により、接着剤を直接的にかつ選択的に急速加熱する工法である(図2)。

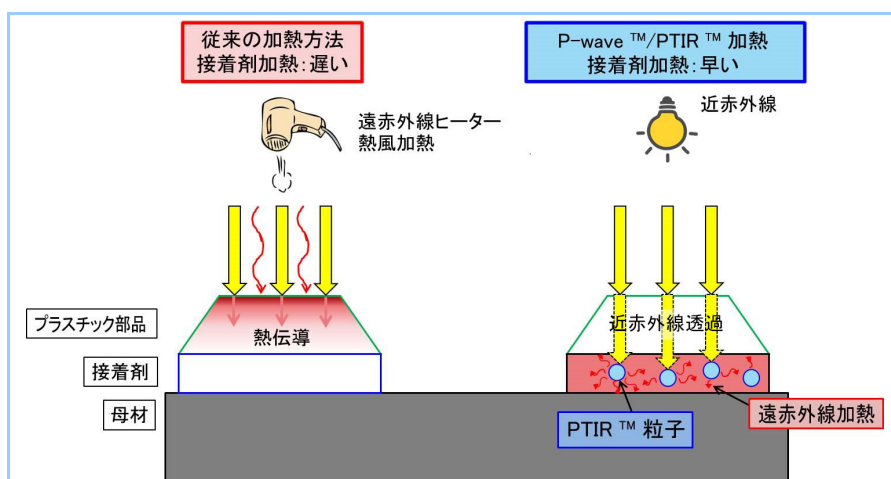


図2 従来加熱方法と P-Wave™/PTIR™ 工法の比較

3. P-Wave™/PTIR™ 工法の原理検証

P-Wave™/PTIR™ 工法の有効性を検証するため、航空機プラスチック部品と航空機用構造接着剤(エポキシ系接着剤)を用いて、次工程へ移行可能となる強度(ハンドリング強度)に達するまでの時間と接着剤を急速加熱した際に発現可能な最終強度データを取得した。

ハンドリング強度の発現時間を検証するため、航空機用プラスチック部品を用いて図3に示すような試験片を作製し、所定の時間近赤線を照射した後の部品耐荷重を計測した。試験条件は、表1に示す通りとした。その結果、母材やプラスチック部品への熱的影響が小さいと考えられる 120℃程度の加熱であっても、6分間の近赤外線照射で十分なハンドリング強度を得られることが確認できた(図4)。

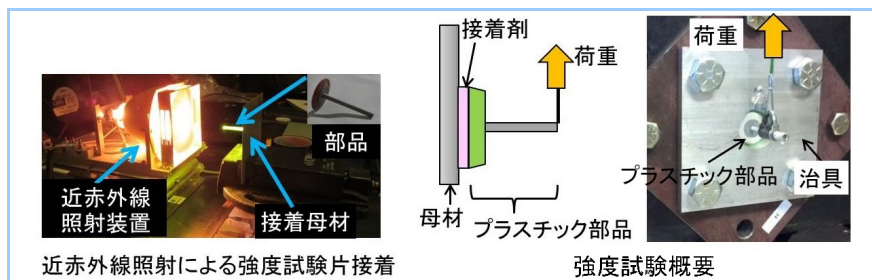


図3 ハンドリング強度確認試験概要

表1 ハンドリング強度発現時間検証試験条件

ID	接着剤種	接着面積	PTIR 混合率	最高温度	近赤外線照射時間
1	エポキシ系	約 791 mm ²	0 wt%	25 °C	0 分※
2	常温硬化型		0.04 wt%	80 °C	15 分
3	ペースト接着剤			120 °C	6 分

※常温にて 24 時間硬化させた。

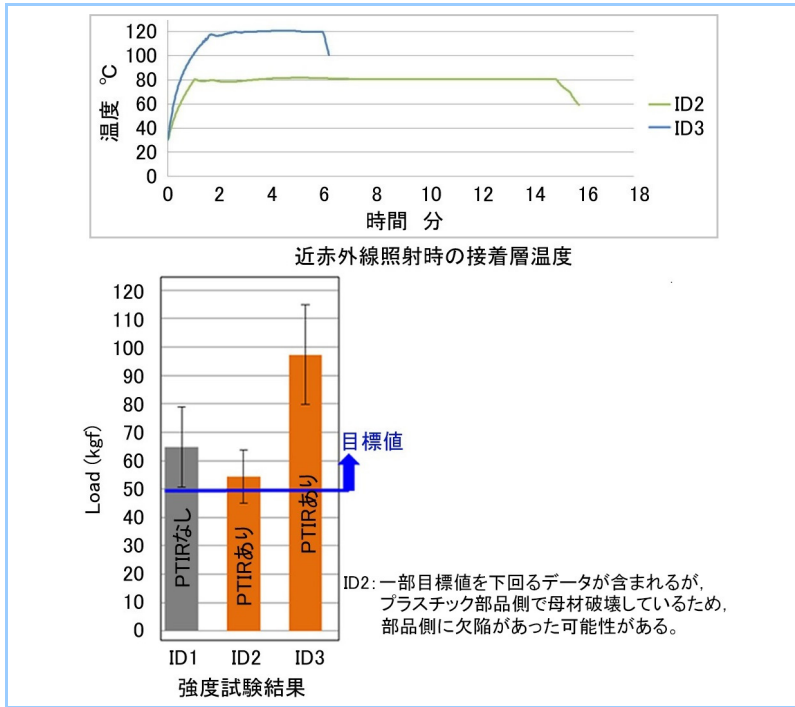


図4 ハンドリング強度発現時間検証試験結果

さらに、P-Wave™/PTIR™ 工法による最終接着強度への影響を確認するため、近赤外線を 15 分間照射(最高到達温度 120°C)した後、常温にて完全硬化させた時の接着強度(剪断強度)を取得した⁽³⁾。その結果、十分な接着強度である 20 MPa が得られることを確認した(図5)。

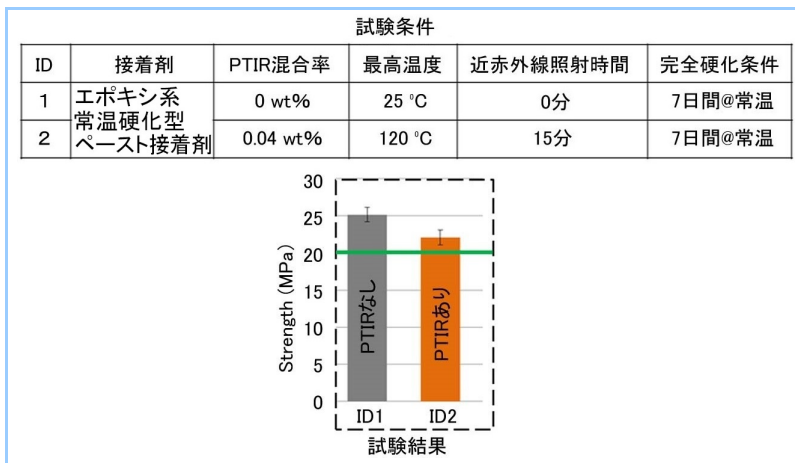


図5 最終強度確認試験条件と試験結果

4. 近赤外線加熱時の接着剤温度シミュレーションツールの開発

3項に示した原理検証試験により、P-Wave™/PTIR™ 工法の有効性が示された。一方で、近赤外線照射による接着剤の昇温特性は、プラスチック部品の近赤外線透過率及び遠赤外線による接着剤の加熱効率に依存するため、部品や接着剤の材料種や部品板厚がキーパラメタとなる。従って、適用候補製品においてP-Wave™/PTIR™ 工法の適用が有効かどうかは、各製品に適用した場合の加熱特性を、速やかに把握できることが重要となる。そこで、近赤外線エネルギーがプラスチック部品を透過し、接着剤内に分散された PTIR™ 粒子にて吸収・波長変換された遠赤外線により接着剤が加熱されるモデル(図6)を作成し、所定の近赤外線エネルギーを照射したときの接着剤の温度挙動を計算可能なツールを開発した。本ツールは、近赤外線照射強度、プラスチック部品の近赤外線透過率及び接着剤のみに近赤外線を照射した際の昇温特性を入力データとし、接着層温度挙動を計算することができる。母材への放熱による影響は、CFRP のような

熱伝導率が低い材料の場合には無視することができ、アルミのような熱伝導率が高い材料の場合には、接着剤の昇温特性に補正値を加える必要がある。本ツールの精度を検証した結果、CFRP母材への GFRP 部品接着では±6℃(図7上)、アルミ母材への GFRP 部品接着では±3℃(図7下)と、十分な計算精度を確認することができ、P-Wave™/PTIR™ 工法を適用した場合のハンドリング強度発現時間が予測可能となった。

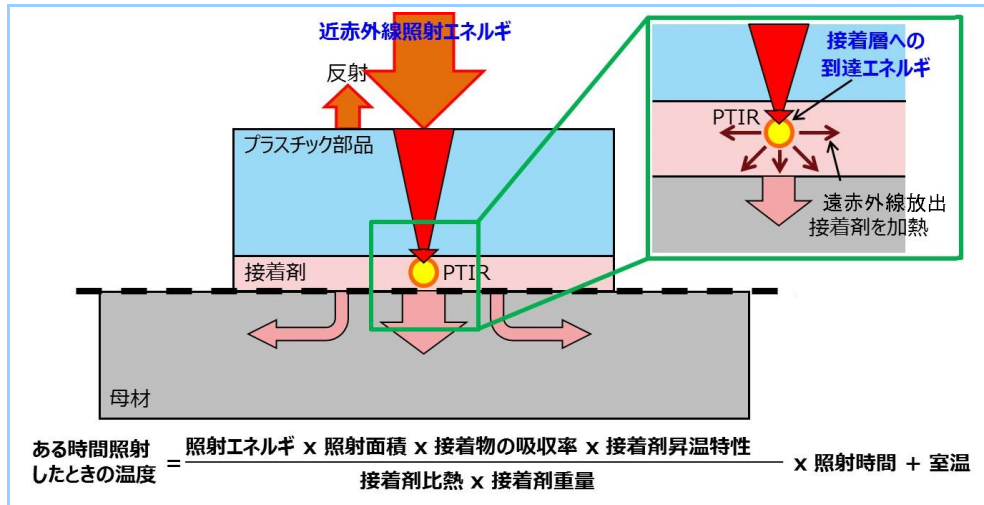


図6 近赤外線による接着層加熱モデル

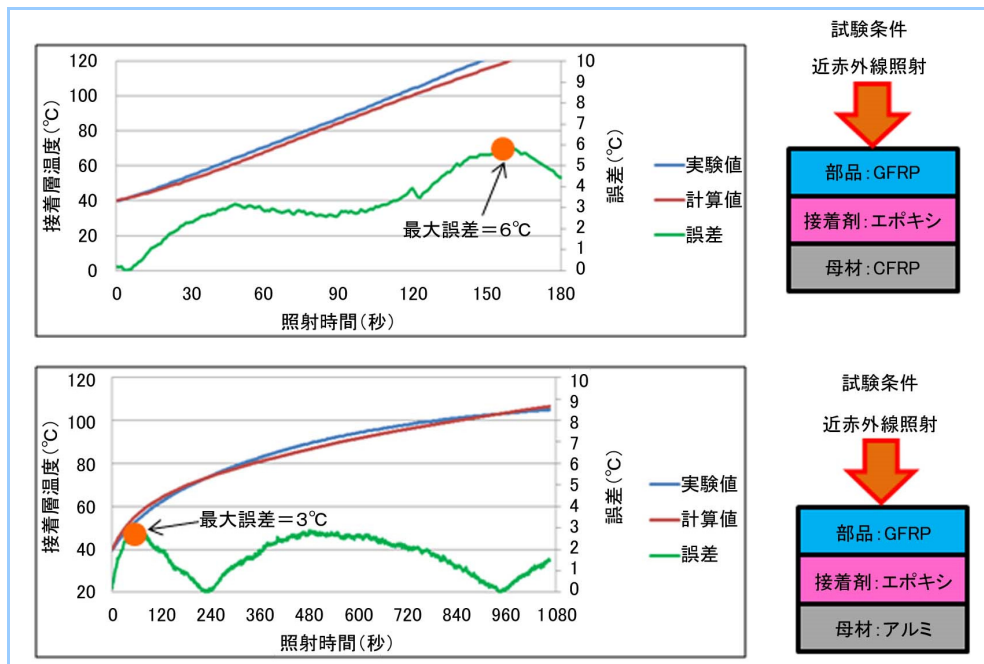


図7 実験値と計算値の比較によるモデルの妥当性検証結果

5. まとめ

(1) P-Wave™/PTIR™ 工法の原理検証

- ・航空機用構造接着剤のハンドリング強度発現時間を、24 時間から6時間に短縮が可能
- ・本工法による接着強度低下は見られなかった。

(2) 本工法の製品適用を加速するための接着剤温度シミュレーションツールを開発した。

参考文献

- (1) Kubota, M., Kubota, A., Kubota, M., & Kubota, A. T. (2006). U.S. Patent No.US20060283543 A1. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- (2) Kubota, M. (2006). U.S. Patent No. US20060286362 A1. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- (3) ASTM International. (2010). ASTM D1002-10 Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to-Metal).