新技術・新製品

インサート材を用いた異種材料間のレーザ接合技術の開発

水戸岡　豊*　山田功作**　永田員也***
日野　実****　金谷輝人*****

1. はじめに

各産業において，環境調和・省資源・省エネルギーを軸とした新規技術の創製が求められており，異種材料接合はこれらに必須の技術となっている．しかしながら，異種材料間の接合では，接合材間の物性差が大きいことから，熱を利用した接合(溶接や溶着等)は困難である．そのため，接着剤や機械的締結が用いられているが，生産性や接合品質に多くの課題があり，それらを改善する代替工法が強く要望されている．

筆者らは，異種材料を熱可塑性エラストマー(TPE)からなるインサート材を介してレーザで接合する技術(開発プロセス)を開発した[(1)(2)]．**図1**に開発プロセスによる異種材料接合の接合例を示す．開発プロセスでは，レーザによる瞬時の接合が可能となり，接着剤や機械的締結と比較して，生産性が飛躍的に向上する．また最近，射出成形を利用した金属-プラスチック接合が提案されているが，それらの接合材同士が直接接合するプロセスと異なり，開発プロセスでは，接合材が柔軟なインサート材を介して接合するため，接合界面の応力が緩和され，接合信頼性を確保できる．

本稿では，既存法では実現できないレーザを適用した先進的な異種材料接合技術について報告する．

2. 開発プロセス

開発プロセスは，TPEからなるインサート材を用い，接合材間の物性差を緩和することが最大の特徴である．TPEは，物理架橋しやすい硬い部分とそれらをしにくい軟らかい部分が含まれている．そのため，ゴムとは異なり，加熱すると流動性が発現し，冷却するとゴム状に戻る．また，加硫なしで加硫ゴムと同等の弾性を示す，補強なしで高強度ならびに高引張応力である等が特徴である[(3)]．このような特徴を活かし，最適な形状のインサート材に加工して用いる．

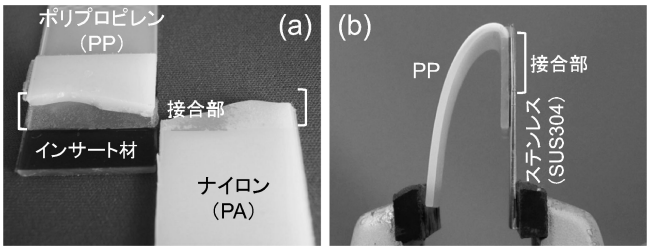

図1　開発プロセスによる異種材料接合の接合例．
(a) 異種プラスチック同士の接合，PP-PA接合
(b) プラスチック-金属の接合，PP-SUS接合

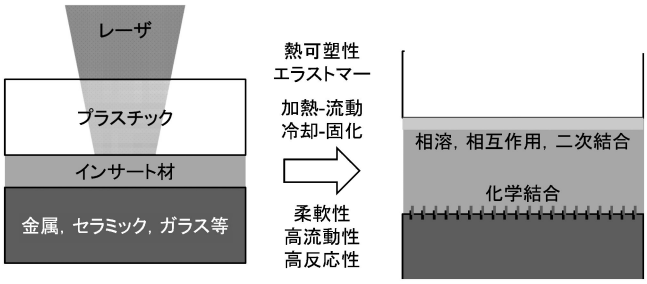

図2　開発プロセスの概要図．

開発プロセスの概要図を**図2**に示す．接合材間にインサート材を配置した状態で，レーザを照射し，TPEを溶融させ，接合品を形成する．このとき，異種材料の複合化の考え方に基づき，溶融したTPEが接合材に接合することで接合品を形成する．TPEは，様々な材料に対して広く接合できる．プラスチックには相溶，相互作用，二次結合で接合し[(1)]，金属などの異種材料に対しては極性官能基がそれらの

* 岡山県工業技術センター；研究員，**早川ゴム株式会社；部長，***旭化成ケミカルズ株式会社；特級高度専門職，****広島工業大学；教授，*****岡山理科大学；教授
Development of Laser Joining Technology between Different Materials Using Insert Material; Yutaka Mitooka*, Kosaku Yamada**, Kazuya Nagata***, Makoto Hino**** and Teruto Kanadani***** (*Industrial Technology Center of Okayama Prefecture, **HAYAKAWA RUBBER CO., LTD, ***Asahi Kasei Chemicals Corporation, ****Hiroshima Institute of Technology, *****Okayama University of Science)
2014年10月30日受理[doi:10.2320/materia.54.24]

表面と化学的結合により接合する[2]．材料同士が接合するためには，接合界面が近接し，反応する必要があるが，TPEの特性(柔軟性，高流動性，高反応性)がそれらを促進している．

また，接合の長期信頼性を確保するためには，接合界面に発生する応力を緩和する必要がある．熱応力は，弾性係数，線膨張係数および温度変化の積で算出される．プラスチックの弾性率が数GPa以上であるのに対し，開発プロセスで用いるインサート材の弾性率は，5～100 MPaであることから，インサート材は，接合界面の応力の緩和に有効に作用する．

(1) TPE-プラスチック間の接合

プラスチックは，同種あるいは近種のプラスチック間しか接合できない．プラスチック同士が強く接合するためには，相溶する(物質が相互に親和性を有し，溶液または混合物を形成する)必要がある．しかしながら，95%以上のポリマーの組み合わせは非相溶系である[4]．

一方TPEは，広い範囲のプラスチックに接合できることを確認している[1]．**図3**に示すように，熱可塑性エラストマーは，プラスチックの種類によって，相溶，相互作用および二次結合の3種類の形態で接合し，相溶あるいは相互作用の際，母材が破断するほどの強固な接合力が得られる(図1(a))．相互作用および二次結合は，異種のプラスチック間ではほとんど起こらない現象である．

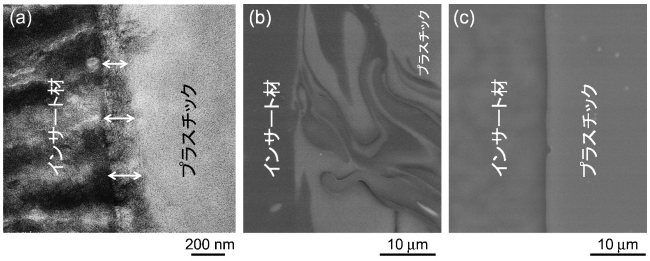

図3　熱可塑性エラストマーとプラスチックの接合形態．(a) 相溶，(b) 相互作用，(c) 二次結合

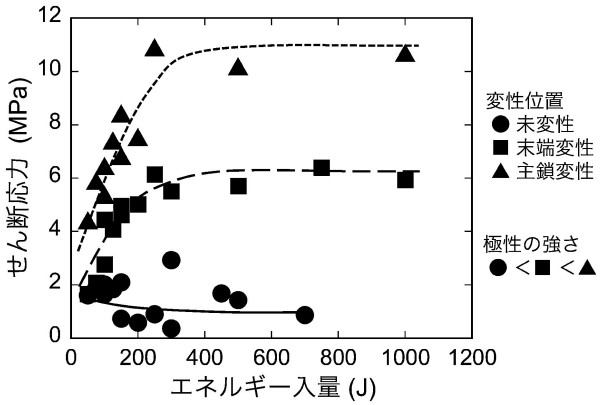

図4　金属との接合性に対するインサート材中の官能基量の影響．

(2) TPE-金属間での接合

接合したポリプロピレン(PP)-インサート材-ステンレス(SUS304)接合のせん断試験の結果を**図4**に示す．スチレン系TPEをCOOH基で変性し，その位置を変えることで，変性量(未変性＜末端変性＜主鎖変性)を調整した．未変性のインサート材を用いた場合には十分な接合強度が得られず，COOH基の量が増加するほどせん断強度が増加する．このことから，TPEと金属間との接合は，極性基を利用した水素結合であることが明らかである．

次に，金属表面の影響について，接合性が水素結合に基づいていることから，接合性の向上には，表面形状の制御とともに，表面の化学状態の制御が重要である[2]．形状制御では，粗い表面の際にインサート材が凹部まで完全に充填されず，接合強度が低下する．他方，化学状態の制御では，アルカリ処理あるいは酸処理による表面の化学状態が接合性に対して重要な因子であり，酸処理ではインサート材が凝集破壊するほどの接合力が得られる．

また，温度サイクル試験，高温試験，耐湿試験等の耐久試験を実施したが，接合直後と同等の接合力を維持した．この結果は，接合後もインサート材が応力緩和層として機能していることを示している．

(3) 射出成形を利用した異種材料接合プロセスとの違い

近年，金属とプラスチックの接合について，種々のプロセスが提案されている．その多くは，プラスチックの射出成形を利用したものであり，機械的結合(アンカー効果)および化学結合に分かれる．前者では，金属表面を粗化した後，金属を金型内に設置し，その表面にプラスチックを射出し，接合品を得る．後者は，金属表面にプラスチックとの反応性を高める処理をした後，射出成形を行う．このとき，金属表面の処理には，湿式処理を用いることが多い．

しかしながら，上記プロセスでは，製品に応じた金型が必要になる，製品全体が加熱される等が課題である．また，金属表面の処理に湿式を用いる場合，部分的な処理にはマスキングが必要となる，表面処理が剥がれる等の問題もある．さらに，接合材同士が直接接合するため，接合の長期信頼性の確保が懸念されている．

それに対し，レーザ溶着をベースとした開発プロセスは，金型は不要であり，部分的な加熱(接合)が可能である．また，金属表面に対して，接合性を向上させるための特殊な処理は不要である．さらに，接合材間に柔軟なインサート材を介在させることで，接合界面に発生する応力が緩和され，接合の長期信頼性が確保できる．

3. 実績と将来性

(1) スマートフォンへの採用

開発プロセスは，スマートフォンの筐体(きょうたい)とディスプレイ間の接合で実用化されている．従来，その間の接合には，**図5**(a)に示す発泡基材の表面にアクリル系の粘着剤を塗布した両面粘着テープが使用されている．しかし，防水性，リーク

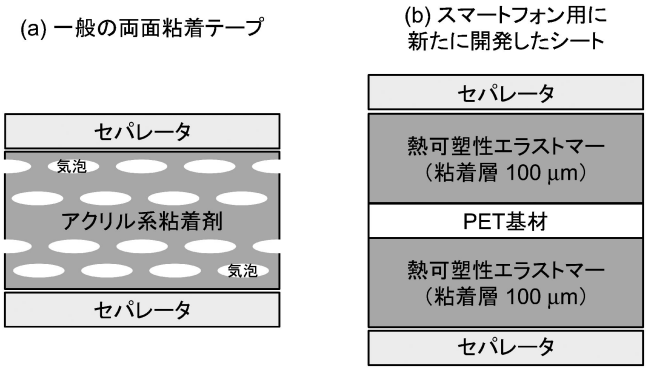

図 5　両面粘着テープおよび開発したシートの構成.

図 6　熱可塑性 CFRP−インサート材−アルミニウム合金接合品の断面反射電子像.

性，接合強度などの問題があり，これらはいずれも発泡基材に起因するものである.

他方，開発したシートは，図 5(b)のような構成をしている[5]．粘着層は，TPE が主成分で非常に厚く，基材は，ポリエチレンテレフタレート(PET)で発泡層を持たないことから，上記の問題を解決できる．現在，開発プロセスは，AQUOS PHONE *Xx* シリーズ等に採用され，両サイドだけでなく，上辺の狭額縁化を可能にするとともに，防水仕様のスマートフォンでは世界最大級のディスプレイ占有率を実現することに成功した.

⑵　様々な分野への拡がり

開発プロセスは，両面粘着テープの代替えとして，スマートフォンで実用化され，既に500万セット以上の販売実績がある．さらにタブレット，ウェラブル端末，デジタルカメラ等でも実用化試作が展開され，これらの電子機器の高機能化に貢献している.

この他に接着剤の代替技術として，自動車部品等で試作評価が進められている．接着剤では，硬化時間，高コスト，揮発性有害物質の発生，塗布厚さによる品質のばらつき等が問題となっているが，開発プロセスはそれらの問題を解決できる.

また，軽量化効果の大きい炭素繊維強化樹脂複合材料(CFRP)が注目される中で，開発プロセスは，熱可塑性 CFRP と異種材料の接合プロセスとして期待されている.

2009年度に実施した NEDO 省エネルギー革新技術開発事業「革新的材料(CFRP)加工技術の事前研究」では，開発プロセスが調査対象となり，熱可塑性 CFRP の接合に対して有用であることが示された．熱可塑性 CFRP−インサート材−アルミニウム合金接合の断面反射電子像を図 6 に示すが，良好な接合界面が形成されていることが確認できる.

現在は，戦略的基盤技術高度化支援事業・経済産業省(サポイン事業)「自動車部品等の軽量化を促進するためのメタルと CFRP のレーザを用いる異材接合技術のシステム開発」において，自動車産業での実用化を目指した研究開発を進めている.

さらに，開発プロセスについて，接合品の構造や TPE の特性に着目した試作開発も行われている．開発プロセスでは，接合材間にインサート材が介在するため，接合品は硬−軟−硬の構造をとり，従来にはない防音性，耐振性，耐衝撃性等の付与が期待されている.

2010～2012年度に実施したサポイン事業「鉄とアルミの異材溶接技術を用いた自動車部品軽量化の実用化研究開発」では，TPE の高い封止性に着目し，レーザ溶接と開発プロセスを併用することで，良好な結果が得られた．異種金属間溶接において，TPE が水の浸入を防ぎ，接合界面の応力が緩和することで，接合の長期信頼性を確保できた.

以上，本開発プロセスは，高効率・高品質な異種材料接合プロセスとしてだけではなく，新規な機能を付与する革新的な接合プロセスとしても注目されており，金属材料の高機能化に極めて有用で，今後，多くの産業分野において，その適用が増大するであろう.

4.　特　　許

本開発プロセスに関しては，基本特許として特許第4771371号，その他，特許第4714948号，特許第4771387号，特許第4849574号，特許第5327937号を取得している．また，国際特許出願も行い，米国，欧州，中国等で権利化を進めている．さらに関連特許として15件の追加出願を行っている.

文　　献

（1）水戸岡 豊，日野　実，浦上和人，高田　潤：レーザ加工学会誌，**16**(2009), 136–140.
（2）日野　実，水戸岡 豊，村上浩二，浦上和人，長瀬寛幸，金谷輝人：軽金属，**60**(2010), 225–230.
（3）山下晋三ら：エラストマー，共立出版，(1989), 61–83.
（4）大阪市立工業研究所，プラスチック技術協会：プラスチック読本，プラスチックスエージ，**25**(1992).
（5）山田幸作：JETI, **61**(2013), 58–61.