平成 27 年度
革新的ものづくり産業創出連携促進事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「レーザとプラズマによる異種材料直接接合装置の開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成 28 年　3月

委託者　中部経済産業局
委託先　公益財団法人名古屋産業科学研究所

目　次

第１章　研究開発の概要 ……… 1
１－１　研究開発の背景・研究目的および目標 ……… 1
１）研究開発の背景 ……… 1
２）研究開発の目的・目標 ……… 2
１－２　研究体制 ……… 4
１）研究組織 ……… 4
２）管理体制 ……… 5
3）管理員及び研究員 ……… 6
４）経理担当者及び業務管理者の所属、氏名 ……… 7
１－３　成果概要 ……… 8
１－４　当該研究開発の連絡窓口 ……… 10
第２章　本論 ……… 11
２－１　研究の目的、内容及び目標 ……… 11
１）プロセスシステム開発課題への対応 ……… 11
２）金属表面処理技術開発への課題 ……… 11
３）異種接合メカニズム解明への課題 ……… 12
４）事業化への検討 ……… 13
５）プロジェクトの管理・運営 ……… 13
２－２実施した研究開発の内容及び成果 ……… 14
１）プロセスシステム開発課題への対応 ……… 14
２）金属表面処理技術開発への課題 ……… 17
３）異種接合メカニズム解明への課題 ……… 19
４）事業化への検討 ……… 20
５）プロジェクトの管理運営 ……… 20
第３章　全体総括 ……… 21
１）研究開発成果 ……… 21
２）研究開発後の事業展開 ……… 27
参考文献・引用文献 ……… 28

第１章　研究開発の概要

１－１　研究開発の背景・研究目的および目標

１）研究開発の背景

次世代自動車をはじめとして産業界における軽量化は非常に重要な課題であり、軽金属やプラスチックの利用は益々増加していく。これら材料の組み合わせ加工技術の開発は軽量化技術の促進に不可欠な要素であり、応用範囲は中部地域八ヶ岳構造創出戦略における、次世代自動車関連ビジネス、航空機関連ビジネスに関する多くの産業に適用可能と考えられる。

軽金属、鋼材等の金属と自動車等で利用されるポリアミド（ＰＡ）、ポリプロピレン（ＰＰ）、ポリカーボネート（ＰＣ）、ポリメタクリル酸メチル（ＰＭＭＡ）等のエンジニアリングプラスチックとの異種材料を、レーザを利用して直接接合する加工技術並びに加工装置の開発を行う。

平成 27 年度研究開発においては、平成 25 年度より取り組んできたレーザによる界面加熱での成形品同士での接合にて、３ 次元形状での接合技術の開発、接合強度に代表される接合品質の向上に取り組んだ。

図１に新技術加工工程の概略を示す。

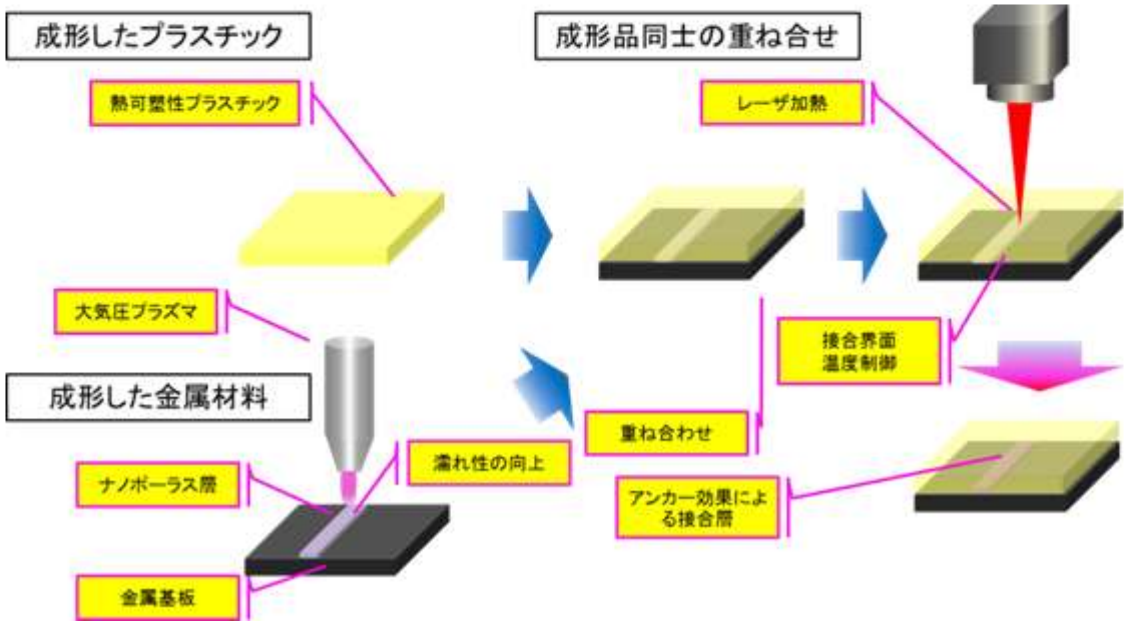


図１　新技術加工工程

材料と材料をつなぎ合わせる「接合技術」はあらゆる製造業の基盤技術である。（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が平成２３年度に行った技術動向調査によれば、

異種材料の接合は従来・将来ともに軽量化、高強度・高剛性化、コスト低減を目的として使用されており、特に省エネルギーの立場からは異種材料を適用した自動車、航空機等の使用時エネルギーの削減効果が期待されていることがわかった。異種材料接合の中でも金属とプラスチックの接合は次世代自動車における重要テーマである軽量化を図る上で最も重要な基盤技術と考えられる。

金属とプラスチックの異種軽量材料同士の直接接合技術の開発は、鋼材の軽金属化による軽量化に加えて更なる軽量化を可能にする。例えば**アルミニウム構造の 30%をプラスチックに置き換えた場合には重量として 20%の軽量化が達成**でき、次世代自動車の軽量化技術の一つとして非常に重要な位置づけにあると云える。

自動車においてはセンサーやエンジンコントロールユニット（ECU）、HV 用バッテリーケース等、様々な分野で軽量金属が利用されている（図２）。しかし、機能の高度化により益々、その熱的負荷は大きくなっており、電子機器モジュールの放熱特性の改善や軽量化を図っていく場合には**軽金属とプラスチック成型品の複合化による熱特性の改善や気密性保持を図った軽量化**も視野に入れなければならない状態になってきている。成型された金属とプラスチックを、組み立て工程において直接接合し外観、強度等の品質を確保できる汎用展開可能な**異種材料の直接接合技術は軽量化を推進するうえで非常に強く望まれている。**

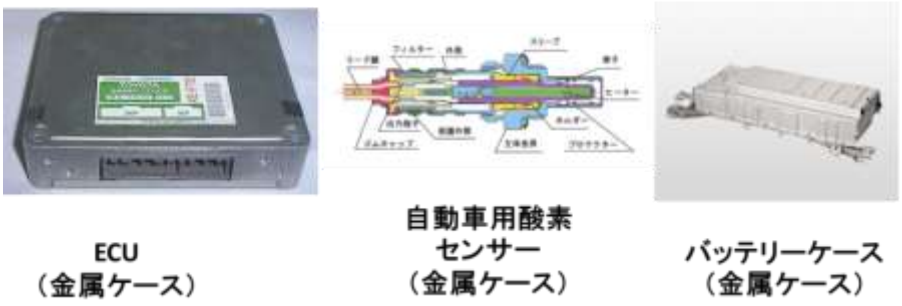


図２　軽量化が求められる自動車構成部品例

２）研究開発の目的・目標

２－１）研究開発分野の現状

2003 年にレーザによるプラスチック同士の接合技術が自動車業界で実用化されて以来、自動車用部品を始め家電製品、医療用器具等様々な分野においてレーザによるプラスチック同士の直接接合技術が活用されてきた。これにより軽量化、低コスト化、意匠性の向上など様々なメリットが確認され、その市場はさらに広がってきている。研究開発レベルにおいて

は軽量で安価な製品化が可能なプラスチックを主体として様々な材料との接合技術開発が行われている。プラスチックと金属の接合技術も、その流れの中で、各研究機関において研究開発されているが実用化が可能な加工技術は現れていない。名古屋工業大学では、産業界で広く使われている陽極酸化技術（アルマイト処理）とプラスチックの Lap 接合（重ね接合）技術を融合させ、アルミ合金やマグネシウム合金などの軽金属と熱可塑性プラスチックのレーザ加熱による直接接合に成功した。（特願　2009－127301、名称　レーザを用いた部材の接合方法）

２－２）研究開発分野の課題

金属とプラスチックの接合の多くは接着剤を利用するものが多いが、接着剤は有機溶剤であり環境性能の確保が課題であり、その工程には乾燥工程が必要となり一貫した工程を組むことが困難である。このような状況からプロセスの簡略化が可能なレーザによる異種材料接合の開発は様々な研究機関で行われているが、接合界面にレーザ光吸収及び接合の為の中間材を利用したり、界面加熱時の発生バブルの圧力を利用しての接合等、処理方法が複雑で広く普及可能な、実用化が可能な技術には至っていない。

提案する接合方法は陽極酸化処理・メッキ処理・レーザ加熱等、広く普及している技術の組み合わせと、その応用により画期的な接合を実現するものであり実用化に最も適したものと云えるが、接合品質に求められる接合強度の安定化、熱衝撃などの耐環境性能の確保、接合条件の精密制御、接合速度の高速化に関しての開発が必要であり、これらを実現するプロセス条件の開発と対応可能な装置開発が課題となる。

２－３）研究開発の目的・目標

次世代自動車の軽量化に対応して、異種材料である金属等と成型されたプラスチックの直接接合技術及び装置の開発をおこなう。接合にはレーザ及び大気圧プラズマを利用し、異種材料の接合に適した金属表面改質技術の開発も併せて実施する。

従来技術の現状は、下記の通りである。

①射出成型においてアルミニウムとプラスチックの接合は可能であったが成型品での接合はできなかった。

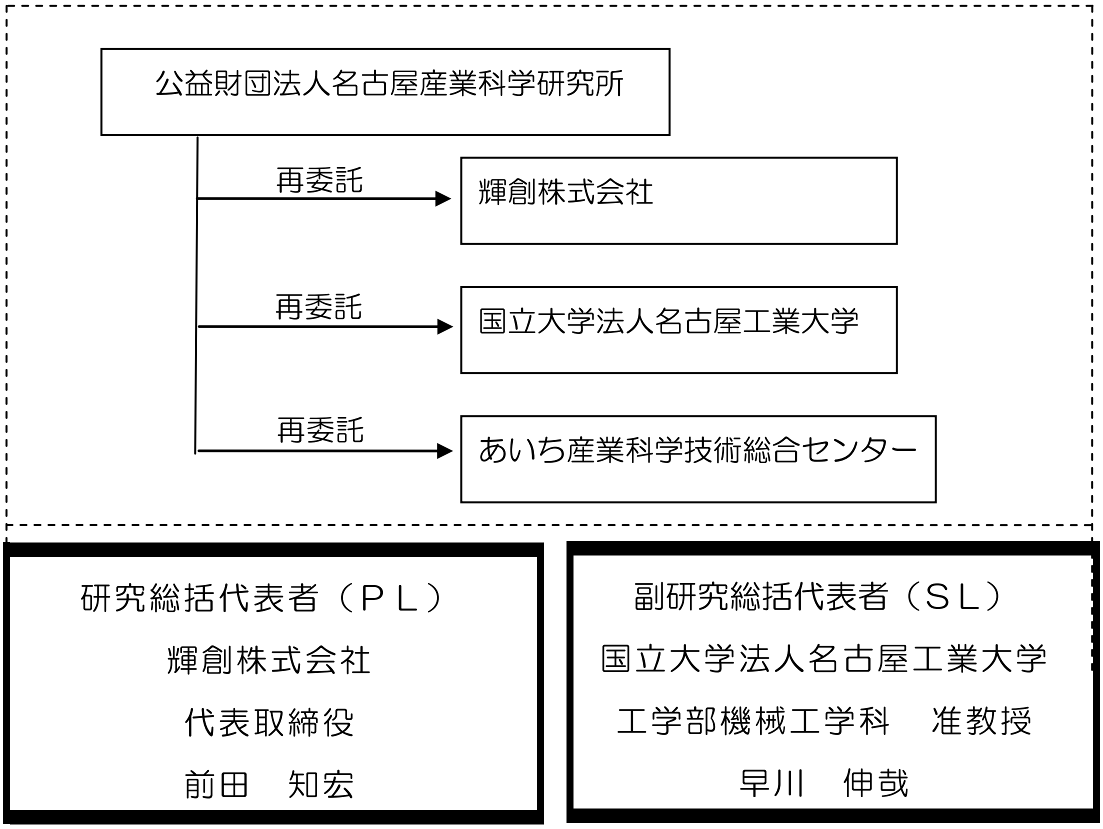
②成型された金属とプラスチックの接合は接着剤、ボルト締結または嵌合により行われていた。

③金属 - プラスチックのレーザ接合研究では界面への中間材の使用やエアーバブルを利用していた。

上記のとおり、実用化が可能な成型された金属とプラスチックの直接接合技術は存在していなかった。本技術開発により、実用化が可能な異種材料の接合技術の確立を行う。

１－２　研究体制

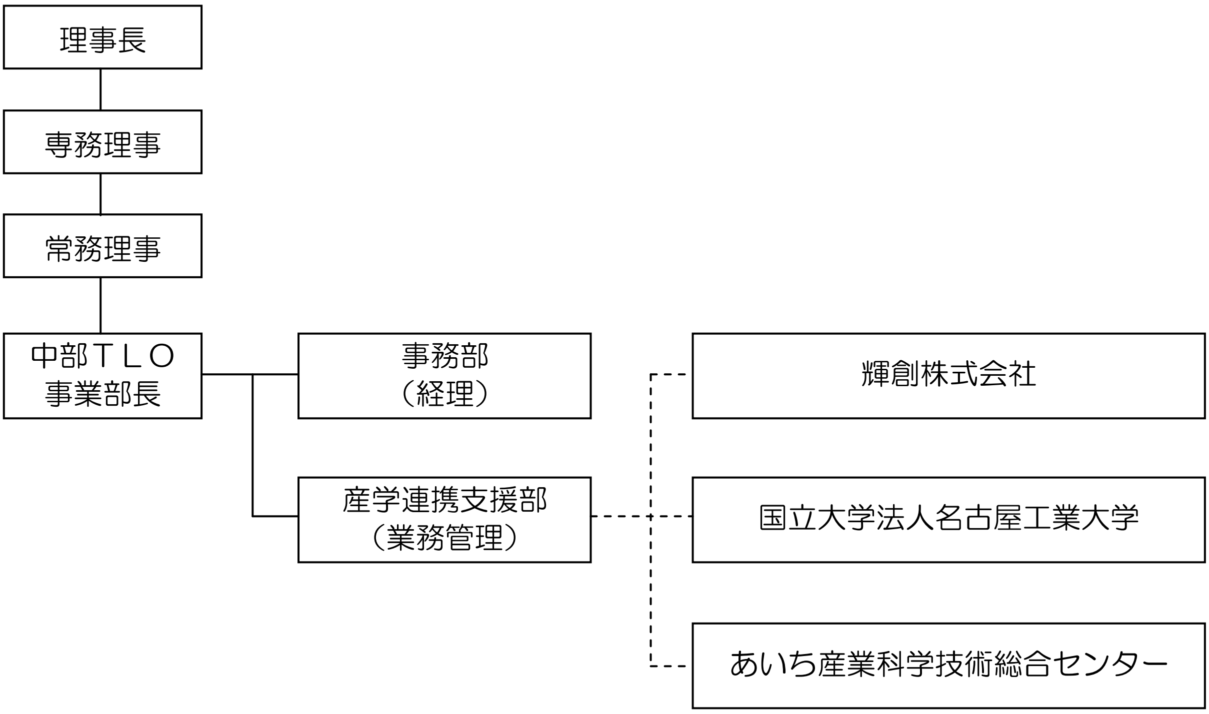
１）研究組織



2）管理体制

①　事業管理機関

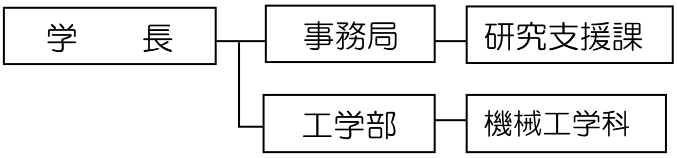
公益財団法人名古屋産業科学研究所



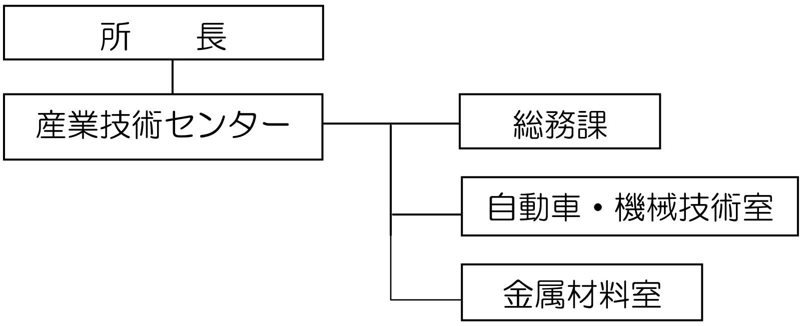
②　再委託先

輝創株式会社

国立大学法人名古屋工業大学



あいち産業科学技術総合センター



3）管理員及び研究員

【事業管理機関】　公益財団法人名古屋産業科学研究所

管理員

氏　名	所属・役職	実施内容（番号）
久野　茂正 丑山　好夫	中部ＴＬＯ　産学連携支援部　担当部長 中部ＴＬＯ　事務部　事務職員	５

【再委託先】

研究員

輝創株式会社

氏　名	所属・役職	実施内容（番号）
前田　知宏	代表取締役	１－１、１－２、１－３、２－１、３－１、３－２、４

国立大学法人名古屋工業大学

氏　名	所属・役職	実施内容（番号）
早川　伸哉	工学部　機械工学科　准教授	１－１、３－１、３－２

あいち産業科学技術総合センター

氏　名	所属・役職	実施内容（番号）
鈴木　正史 河田　圭一 犬飼　直樹 小林　弘明	産業技術センター　自動車・機械技術室　主任 産業技術センター　自動車・機械技術室　主任研究員 産業技術センター　自動車・機械技術室　技師 産業技術センター　金属材料室　主任	１－３、２－１、２－２

４）経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

（事業管理機関）

公益財団法人名古屋産業科学研究所

（経理担当者）　中部ＴＬＯ　事務部　事務職員　丑山　好夫

（業務管理者）　中部ＴＬＯ　産学連携支援部　担当部長　久野　茂正

（再委託先）

輝創株式会社

（経理担当者）　代表取締役　前田　知宏

（業務管理者）　代表取締役　前田　知宏

国立大学法人 名古屋工業大学

（経理担当者）　事務局　研究支援課　係長　浅井　仁恵

（業務管理者）　工学部機械工学科　准教授　早川　伸哉

あいち産業科学技術総合センター

（経理担当者）　産業技術センター総務課　課長　竹本　智洋

（業務管理者）　産業技術センター自動車・機械技術室　室長　池口　達治

１－３　成果概要

１）プロセスシステム開発課題への対応

１－１）プロセス最適化レーザ装置開発

異種材料の接合界面へのエネルギー投入量の制御を容易にする為に、高出力レーザに変調機能の付加を行い、照射部ビーム形状の最適化をおこなうことで、高速・高品位な接合を目指す。	
取組前状況	連続発振の 50W 半導体レーザにより加工速度は最大 2mm/sec
技術的目標	100kHz パルス発振 500W 半導体レーザにて加工速度は最大 30mm/sec
開発成果	１０００Hz　パルス発振　500W　半導体レーザにて最大加工速度は１００mm/sec

１－２）３次元加工制御装置開発

多軸ステージシステムとステージ位置信号出力機能を付加することにより、レーザとの同期を可能とし３次元構造物に対応した接合を可能にする。	
取組前状況	直線加工にてビームスポット径はφ2mm まで 加減速時の入熱制御無し
技術的目標	平面から 45°の角度を持つ 3 次元構造物で曲線部の接合対応可能とする 照射位置信号とレーザ照射を同期させ、加減速時の入熱量を制御
開発成果	粉体噴射装置との組み合わせで３次元構造物対応可能なことを実証

１－３）接合品質の確保

せん断引張り強度、熱衝撃試験を行うことにより安定的な接合強度の確保が可能な加工処理条件を明らかにし実用化に耐えうる接合技術の確立を目指す。	
取組前状況	せん断引っ張り強度で 1MPa～10MPa の範囲で接合が出来ている。 熱衝撃試験は未実施
技術的目標	せん断引っ張り強度を 10MPa 以上確保する 熱衝撃試験により－25℃～80℃の範囲で 100 回以上の耐久性確保
開発成果	せん断引張強度で±3σで 30MPa 以上を確保。 熱衝撃試験においても 300 回以上の耐久性を確保 気密性試験においても 4.5MPa の耐水圧を確認

２）金属表面処理技術開発への課題

２－１）ナノポーラス形成方法の確立

接合対象の金属毎の表面処理方法を明確にし所定の接合結果が得られる表面処理条件を明らかにする。	
取組前状況	接合が可能な金属毎の表面処理方法が判明した。
技術的目標	目標とする接合強度が得られる、表面処理膜厚、ナノポーラス形成密度、ナノポーラスの形状を明らかにする。
開発成果	隆起微細構造形成手法を利用できた。

２－２）プラズマ処理による濡れ性向上

ナノポーラスの細孔内への溶融プラスチックの浸透をスムーズに行えるように、大気圧プラズマ照射により金属表面処理層の濡れ性の向上を図る。	
取組前状況	未実施
技術的目標	水滴での接触角計測で 30°未満を目標とする。
開発成果	水滴での接触角で 10°程度を達成した。

３）異材接合メカニズム解明への課題

３－１）接合界面の温度モニタリング技術開発

非接触にて金属とプラスチックに挟まれた接合界面の温度モニタリング技術と測定器の開発を行う。	
取組前状況	未実施
技術的目標	非接触にて±5℃の精度での界面温度計測を可能とする技術開発を行う。
開発成果	高速２色放射温度計を開発した。

３－２）界面温度の動的解析と接合メカニズムの解析

界面温度測定により温度と接合の関係を明らかにする。	
取組前状況	未実施
技術的目標	接合部及び接合周辺部の温度の変移を明らかにし、温度変移がプラスチックの溶融、凝固に及ぼす影響から接合メカニズムを解明する。
開発成果	接合時の微小な温度変化が明らかになった。

４）事業化への検討

ユーザーの要望を把握し、本事業に還元するとともに、本開発技術の周知を図る。	
取組前状況	展示会、学会等に４件程度参加した。
目標	展示会、学会等への積極的な参加を行う。 アドバイザーへのサンプル出荷を行う。
開発成果	展示会、学会等に８件参加した。 アドバイザーへのサンプル出荷を行った。

５）プロジェクトの管理・運営

研究開発を円滑に推進するため、研究実施プロジェクトの運営管理、研究開発推進委員会の開催、共同体構成員相互の調整、財産管理・報告書作成等の管理を行う。

１－４　当該研究開発の連絡窓口

【事業管理機関】

公益財団法人名古屋産業科学研究所　中部ＴＬＯ

産学連携支援部　担当部長　久野　茂正

（最寄り駅：名古屋市営地下鉄　名古屋大学駅）

〒464-８６０３　愛知県名古屋市千種区不老町　名古屋大学　ＶＢＬ棟４階

TEL: 052-７８３-１２５５　FAX: ０５２-７８８-６０１２

【再委託先】

輝創株式会社

代表取締役社長　前田知宏

（最寄駅：名古屋市営バスゆとりーとライン　志段味サイエンスパーク駅）

〒463-0003　愛知県名古屋市守山区下志段味穴ヶ洞 2266-22

クリエイション・コア名古屋

TEL：052-736-6170　FAX：052－736－6170

国立大学法人名古屋工業大学

工学部　機械工学科　准教授　早川伸哉

（最寄駅：ＪＲ中央道線　鶴舞駅）

〒４６６－８５５５　愛知県名古屋市昭和区御器所町

TEL：052-735-7256　FAX：052-735-7256

あいち産業科学技術総合センター　産業技術センター

（最寄駅：名古屋鉄道株式会社名鉄本線　一ツ木駅）

自動車・機械技術室　室長　池口達治

〒448-0013　愛知県刈谷市恩田町一丁目 157 番地 1

TEL：0566-24-1841　FAX：0566-22-8033

第２章　本論

２－１　研究の目的、内容及び目標

１）プロセスシステム開発課題への対応

１－１）プロセス最適化レーザ装置開発

平成２６年度は、平成２５年度に導入したレーザ加工制御システム（含：半導体モジュール）にレーザ加工ヘッド及びレーザデューティ制御装置を付加導入し、接合界面のモニタリングを可能とすると伴に、接合界面へのエネルギー入力制御を可能とした。

平成２７年度は今までに得られた知見に基づき異種材料（金属とプラスチック）接合試験を実施し、最適な接合を得る加工制御技術を開発する。

1―2）３次元加工制御装置開発

平成２６年度導入した資料固定治具に基づき、異種材料接合時において重要な要素となる接合部の加圧について、加圧力と接合強度の相関、加圧が接合加工に及ぼす影響等について明らかにした。

平成２７年度は、①のプロセス最適化レーザ装置開発と試料固定治具の組み合わせにより３次元形状（接合面がレーザ照射角と垂直でない場合）への適用可能条件を見出す。

1―3）接合品質の確保

平成２６年度までに得られた知見を総合し、平成２７年度は品質の高い接合が得られるプロセス条件を明かにする。接合強度を確保するには金属表面に関しての知見が極めて重要になるため、表面観察装置を導入し金属表面の状態と接合品質の関係を明らかにする。

表面観察装置	
項　　　目	仕　　　様
観察方式	正立型光学顕微観察方式
対物レンズ	×２０、×５０、×１００倍対物搭載
機能	明視野，暗視野，微分干渉計測可能
画像取得	PC 接続，CCD 観察機能

２）金属表面処理技術開発への課題

2―1）ナノポーラス構造形成方法の確立

平成２６年度は、ウェットプロセスに基づく各種ナノポーラス構造形成処理と接合強度の関係を試験調査した。また、新たに乾式プロセスである隆起ポーラス構造の開発（特許出願済み）を行い、良好な接合強度が得られる事を明らかにした。

平成２７年度は、隆起性微細構造である隆起ナノポーラスを安定して作製できるクラッディングの開発を行うために粉体混合装置の導入を行い、表面処理方法の多様化を図る。

粉体混合装置	
項　　目	仕　　様
粉体種類	２種類以上の金属粉体混合対応
適応粉体種類	金属粉体及び有機材料粉体
粉体混合方法	高速羽回転及びタンブラー拡散

2－2）プラズマ処理による濡れ性向上

平成２６年度までに、プラズマ処理に基づき濡れ性については水滴での接触角で目標とする３０°未満を達成すると伴に、接合面全体へのプラズマ処理による接合品質の向上を図った。また、剪断引張り強度測定試験においてプラズマ処理の標準化を行った。

平成２７年度は、異種材料接合におけるプラズマ処理の実用化を前提に取り組みを行う。

３）異種接合メカニズム解明への課題

3－1）接合界面温度モニタリング技術の開発

平成２６年度までに、非接触での接合界面温度の測定が可能である事を明らかにすると伴に、分光光度計を導入し接合試料の透過特性をパラメータとして、種々の接合材料に基づく接合界面温度のモニタリング方式の開発を行った。

平成 27 年度は接合材料に依らず±５℃の精度での非接触接合界面温度計測を可能とする。

3－2）界面温度の動的解析と接合メカニズムの解析

平成２７年度より取り組むサブテーマである。

・接合界面温度と接合形成の情報を利用し、最適接合を得るレーザ照射条件を適応制御する方法を開発する。

平成２７年度は、非接触での高精度な温度計測を可能とする高速相対温度計測装置を導入し、測定温度を基にしたレーザデューティ制御による加工を実現する。

高速相対温度計測装置	
項　　　目	仕　　　様
検出素子	InGaAs
測定波長及び測定内容	２波長検出、強度比演算
応答時間	＜10μs

４）事業化への検討

事業の垂直立上げを前提として、本事業期間中から展示会、学会等への積極的な参加を行ってきた。

平成２７年度も、ユーザ要望吸収と本事業に係る異種材料接合装置の周知を目的として、以下の取り組みを行う。

・平成２６年度実施の展示会等への来場者を訪問し、要望調査を実施する。

・配布用サンプルを作成し市場への投入を行う。

・ビジネスモデル案の作成を行う。

・事業化へ向けたネットワーク検討（部材評価体制の構築）

５）プロジェクトの管理・運営

研究開発を円滑に推進するため、研究実施プロジェクトの運営管理、研究開発推進委員会の開催、共同体構成員相互の調整、財産管理・報告書作成等の管理を行う。

２－２実施した研究開発の内容及び成果

１）プロセスシステム開発課題への対応

１－１）プロセス最適化レーザ装置開発

金属基材上に接合層を形成するにあたり、レーザの強度と Duty を変えることにより、接合層形成後の PA6（６ナイロン）との接合でせん断引張強度の変化を調べた（図３）。

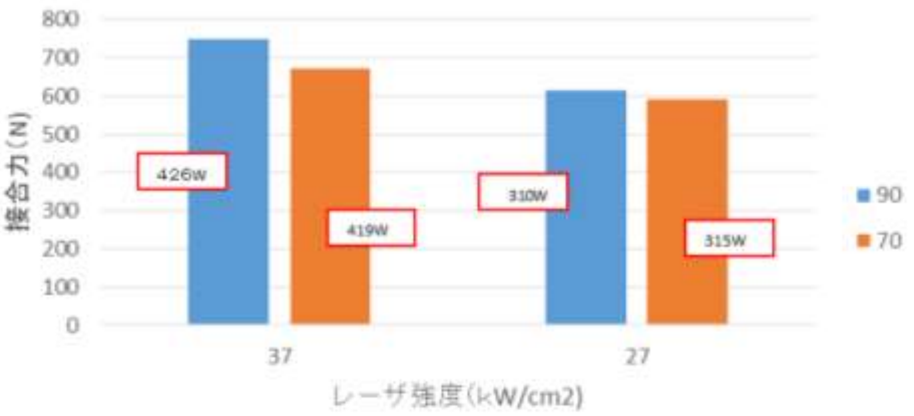


図３　ビーム強度と接合力の関係（Ａ５０５２/ＰＡ６）

顕微観察の結果、レーザ強度を高めたほうが、より接合強度が上昇することが判明した（図4）。これは単位面積当たりの入熱量を挙げることにより金属表面に形成する合金層と母材との密着度を上げたためと推察される。金属層への局所的入熱は熱影響層を作ることになり、用途や母材の影響を加味しながら最適値を探す必要がある。

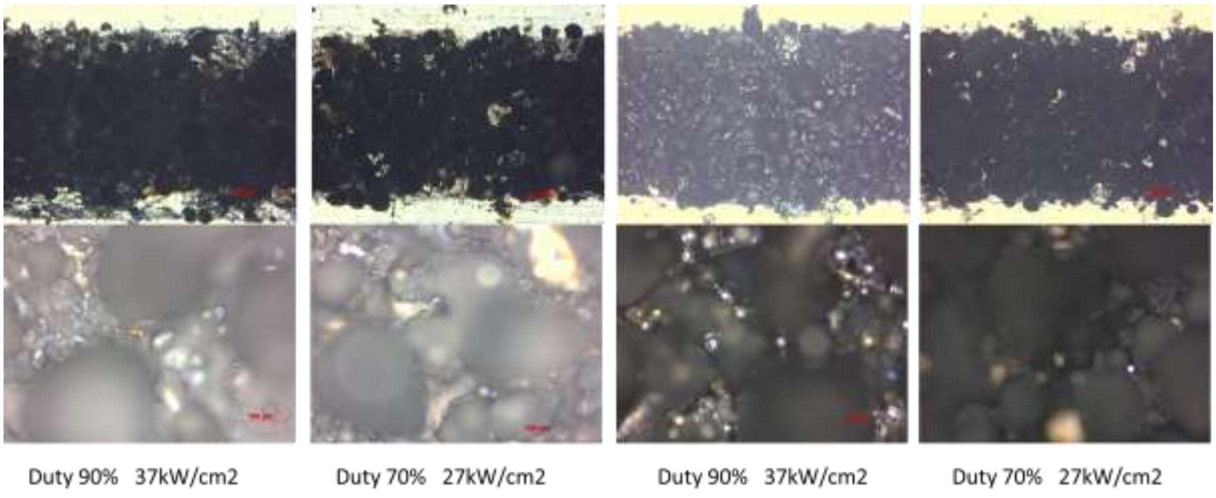


図４　レーザ強度と Duty を変えた時の金属表面接合層の違い（顕微観察）

1−2）３次元加工制御装置開発

金属基板表面に隆起した微細構造を形成することにより強力な接合力を発揮する手法の開発を中心に行った。接合領域となる隆起した微細構造を、３ 次元形状を有する金属構造物にすることができれば形状に応じて接合方法を選択すれば３次元構造への接合が可能になる。

本方式は金属表面の接合予定面に予め混合粉体を塗布する方法をとっているが、３ 次元形状への塗布は、困難であるために噴射方式を採用した（図 5）。３ 次元クラッディング装置は、多関節ロボットの先端に取り付けたレーザ加工ヘッドと ３ 方向から １ 点に粉体を噴射させ、粉体の収束点にレーザを照射し、基材溶融部に粉体と基材との合金層を形成する構造となっている（図７）。これにより、多関節ロボットの動きに合わせた ３ 次元形状部へのクラッディング加工が可能になる。

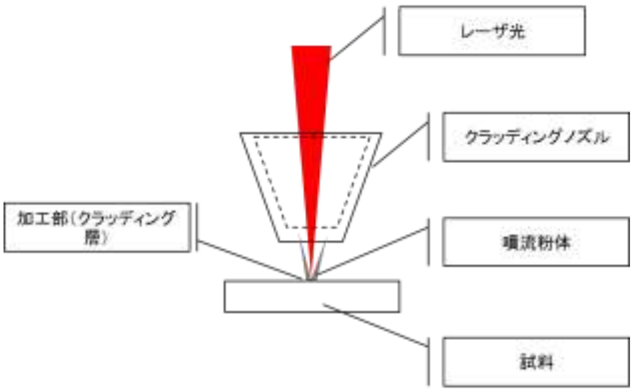


図５　３次元クラッディングの概要図

1−3）接合品質の確保

１−３−１）表面観察装置の導入

正立型光学顕微観察装置の導入を行った（図６）。

図６　正立型光学顕微観察装置

１－３－２）金属表面構造と接合強度の関係

プラスチックとの強力な接合を実現するには金属表面に、プラスチックが浸透可能な微細構造を形成することが昨年度までの研究で判明している。多くはエッチングや陽極酸化処理により表面に微細構造を形成しているが、乾式工法（PMS 処理）により形成可能な方法を追求し、接合強度の確保を行っていくこととした。

PMS 処理に利用する材料を変えて、接合強度が得られる材料の探索を行った。接合はA5052 アルミ合金とPA6 ナイロンを用いて標準材料とした。

PMS 処理に用いる材料はＡ型、Ｂ型、Ｃ型の３種類を用いて接合をおこない、せん断引張試験により接合強度の評価を行った（図 7）。

図７　ＰＭＳ処理材の違いによる接合強度

１－３－３）熱衝撃試験

接合する金属とプラスチックは線膨張係数が大きく違うために、熱による接合に及ぼす影響を明かにすることは非常に重要である。我々は自動車用途で用いられる温度領域において熱衝撃試験を行った。熱衝撃試験後の評価としては、まず熱による各素材の収縮膨張により両部材が剥離しないことを確認した。

熱衝撃試験の試験条件は以下の通りである。

項　　目	内　　容
金属材料	A5052　アルミ合金
プラスチック材料	PA6　ナチュラルナイロン
接合方法	PMS 処理
熱衝撃温度	－50℃～120℃
熱衝撃回数	1 サイクル/時間　100 回

図 8 は、上段が熱衝撃試験後の試験片、下段が熱衝撃試験前の試験片である。熱衝撃試験後のものは苛酷な温度変化により黄色く変色してプラスチックが変質していることが判る。

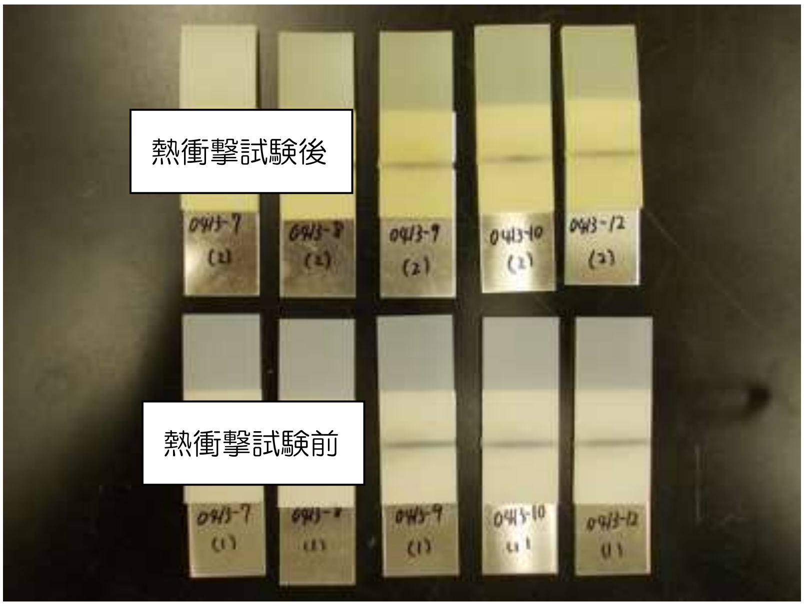


図８　熱衝撃試験に供した試験片

１－３－５）気密性の確保

異種材料接合において、接合強度とともに求められる内容として気密性についての要望も多い。よって、配管材等での気密性試験方法である水圧をかけての試験をおこなった。水圧としては 10MPa までの加圧が可能な試験機を用いて行った。試験片は 12mm 角にて PMS 処理をおこない、中心部に設けた穴から水圧がかかるようになっている。

本試験においては 4.5MPa 以上での水圧において水漏れが発生しないことを確認した。

２）金属表面処理技術開発への課題

2−1）ナノポーラス構造形成方法の確立

２－１－１）粉体混合装置の導入

混合粉体作製を目的として粉体混合装置の導入を行った（図９）。

図 9　粉体混合装置

２－１－２）隆起微細構造の形成

隆起微細構造は混合粉体を金属基材上に塗布し、塗布した箇所をレーザにより加熱することで合金層を形成するレーザクラッディング工法を用いて作製する。

導入した粉体混合機を用いて複数粉体の混合を行い、PMS 処理試験を実施しアルミ合金基板上に微粒子が密集した微細構造形成をおこなった（図 10）。

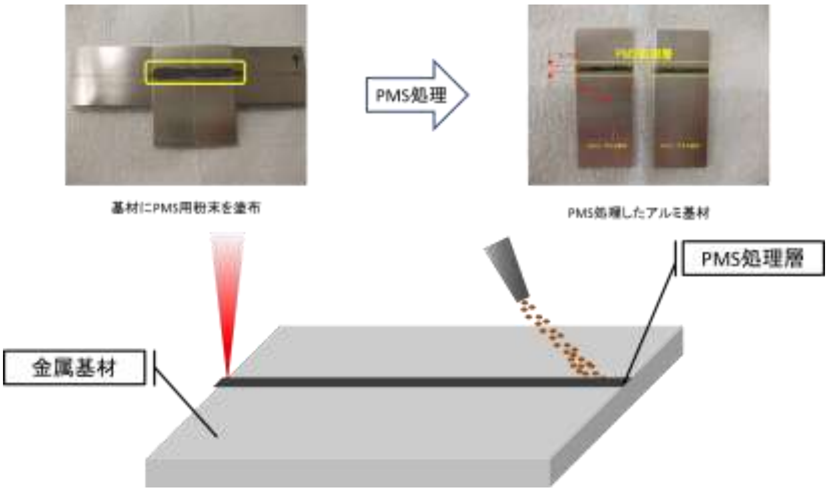


図 10　レーザクラッディング工法

２－１－３）隆起微細構造と接合強度の関係

隆起した微細構造を走査型電子顕微鏡にて高精度に観察した。また、プラスチックと接合した試料を剥離し表面の観察を行った。

図 11 は、走査型電子顕微鏡による隆起した微細構造の拡大写真である。表面にはμm サイズの粒子が密集しており、且つその表面はナノサイズの微細構造で覆われていることが観察された。

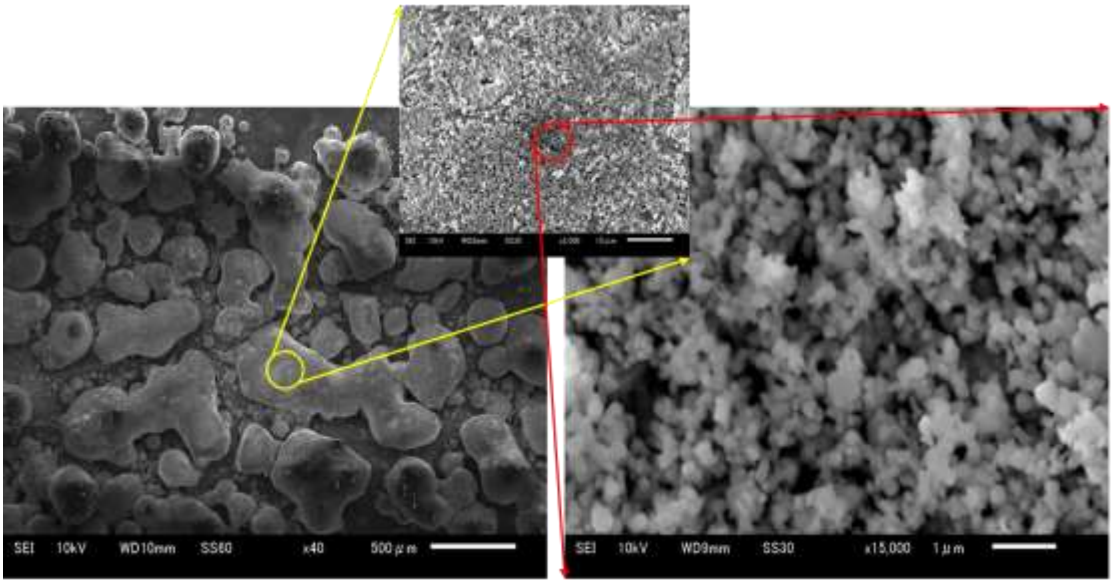


図 11　走査型電子顕微鏡による微細構造の観察

2－2）プラズマ処理による濡れ性向上

金属表面へのプラズマ処理並びにプラスチック表面へのプラズマ処理による化学官能基付与をそれぞれ行い、表面水滴の接触角からプラズマ効果の持続時間を明かにした。

金属は処理後 1 日で接触角は大幅に低下するが、プラスチック表面は若干低下するものの、1ヶ月以上の効果持続時間を有していることが判った。

３）異種接合メカニズム解明への課題

3－1）接合界面温度モニタリング技術の開発

界面温度を放射温度計にて測定する場合には放射率に関して校正を行う必要があるが、その際に次の３通りを区別して行う必要があることが判明した。

・レーザ照射中の低温域（200℃以下）

・レーザ照射中の高温域（200℃以上）

・レーザ照射終了後

熱電対を用いて校正を行い、前述の 3 通りのそれぞれに対して換算式を求めることで温度の絶対値を正確に測定できる見通しが得られた。

3－2）界面温度の動的解析と接合メカニズムの解析

３－２－１）高速相対温度計測装置の導入

界面からの放射を用いての界面温度計測を行うことを目的として 2 色放射温度測定装置の導入を行った（図 12）。

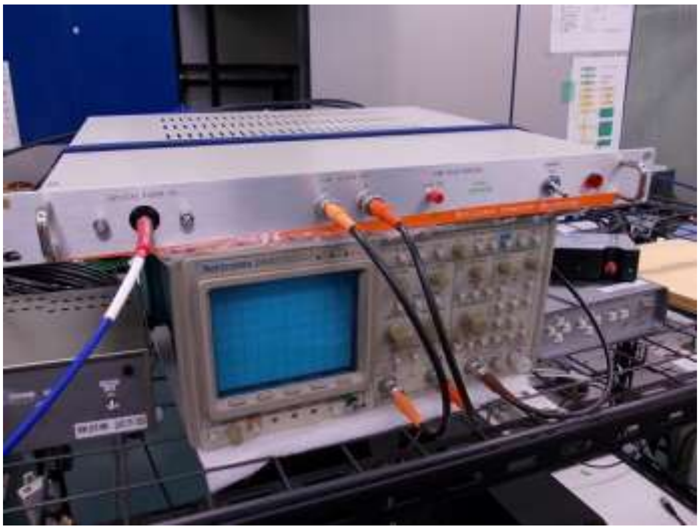


図 12　２色高速相対温度測定装置

４）事業化への検討

平成 27 年度は以下活動を行い、事業化への検討を行った。

展示会への出展、学会発表、研究会での発表、講演会の開催、専門誌への投稿を行った。

本研究開発の事業化へ向けた目標であった、接合サンプル出荷をアドバイザー企業へ向けて実施した。

５）プロジェクトの管理運営

研究開発推進委員会を３回開催し、アドバイザー等の意見を聴取するなど目的達成に向け研究開発を推進した。また再委託機関の密な連携を図り、適宜、担当者間でミーティングを開くなど、目的達成に努めた。

第３章　全体総括

１）研究開発成果

本事業における全体像は図 13 の通り、金属とプラスチックの直接接合を行うにあたり最適なレーザとプラズマを利用した直接接合装置の開発である。（図 14）本装置の開発には金属表面処理の開発を外部企業に依頼し、最適な処理の探求と表面処理技術を補完可能な装置開発が必要であった。装置開発内においても金属表面処理にプラズマを利用して、その効果を最大限発揮しプラスアルファの効果をもたらすことを狙った。また、レーザによる接合を実現するために入熱制御・加工を最適にするための装置開発が必要となった。

開発した本装置を用いて、直接接合を行った後、自動車分野で要求される接合品質を満たすための開発も実施項目にあげた。

開発を進めていく中で、外部企業の協力を得る金属表面処理は成形品同士ではなくインサート成形工法を接合工程で利用する前提で行われるものであり、当社が目標とする成形品同士の接合では、目標とした品質が得られないとの結論に至った。

金属表面処理技術は当社で独自方式を別途開発し、本事業への展開を図ることとした。但し、接合に利用する装置は、成形品同士の接合が目的であるために同一となるため当初目標の変化はない。

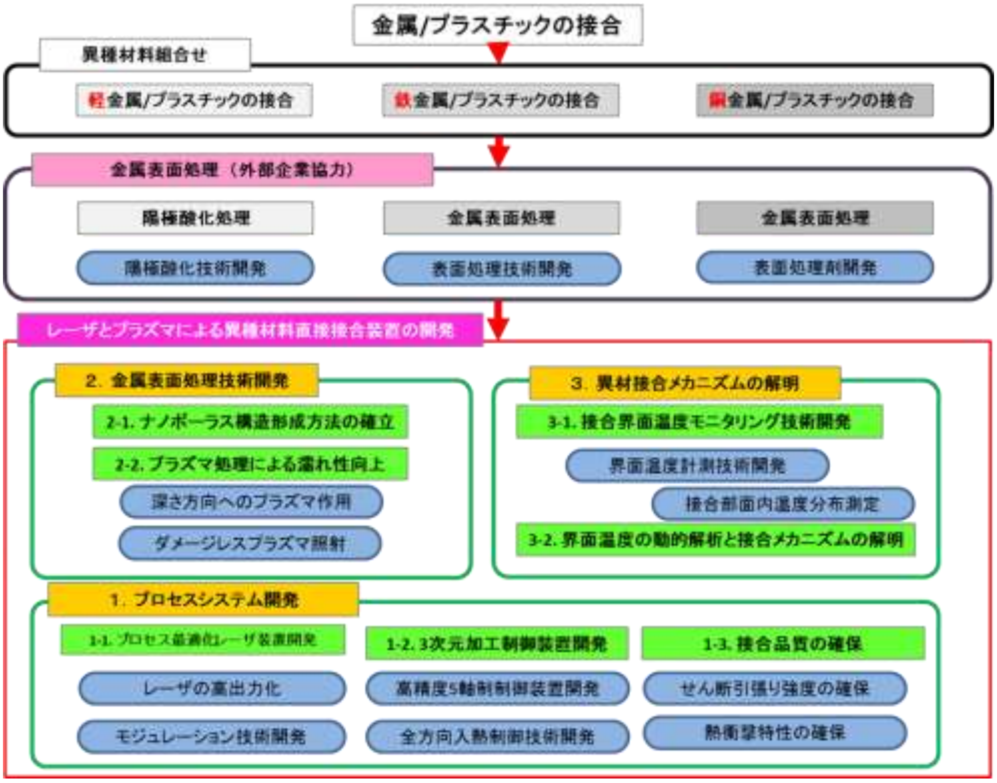


図 13　事業化への全体像

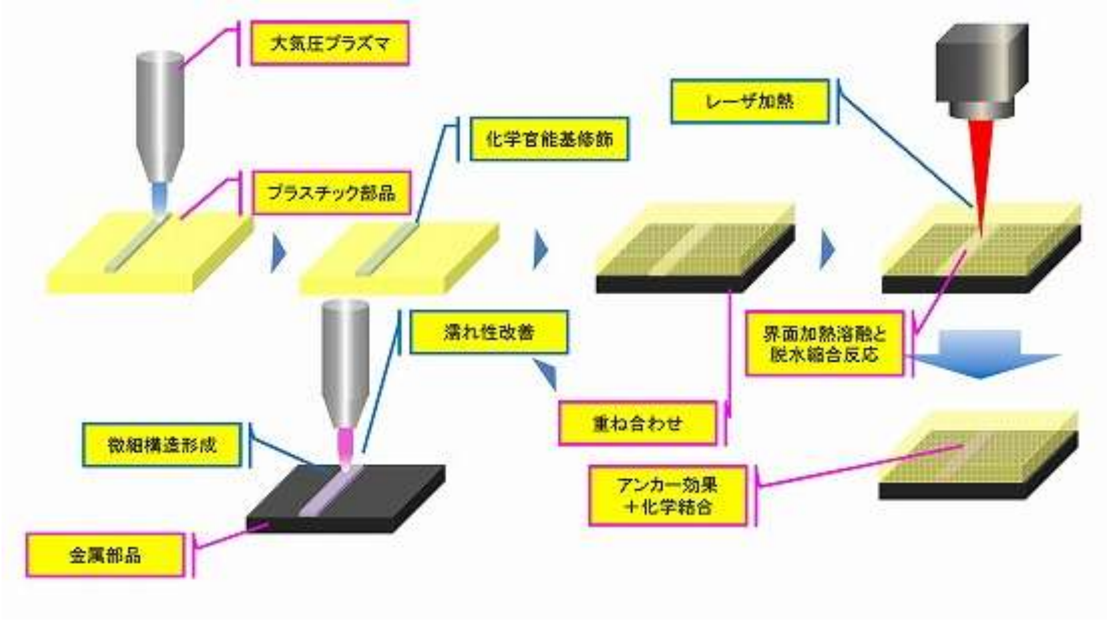


図 14　異種材料接合プロセスの概要

１－１）プロセス最適化レーザ装置開発

半導体レーザ装置の導入を行い、Duty 選択と動作電量の調整により目的の入熱制御が可能な制御システム構成部品の導入を行った（図 15)。

図 15　導入した半導体レーザ

Duty と出力の関係を図４４に示す。各 Duty における動作電流値により出力が変化している。投入エネルギーは本 I-L 特性によって決定される。（図 16）

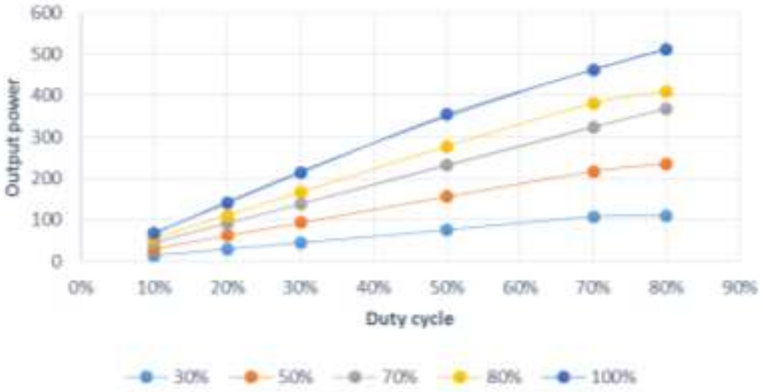


図 16　Duty と出力の関係

レーザを走査するために XYZ ロボットシステムを導入した（図 17)。本ロボットは PSO 機能により移動距離に応じて出力信号を出すことが可能となるために始点終点やコーナー部等、レーザ出力が一定の時に入熱量が大きく増大する部位への最適入熱制御に必要となる機能となる。

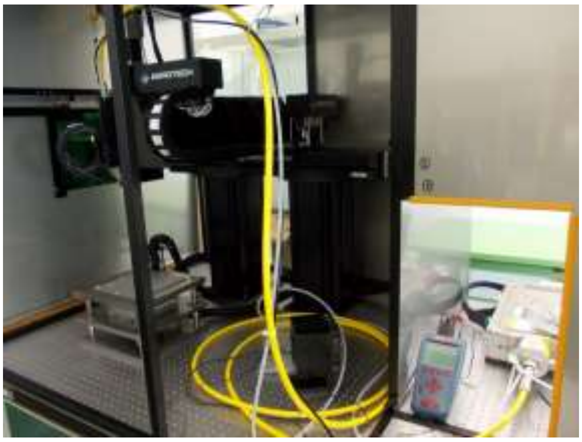


図 17　XYZ ロボットシステムの導入

接合加工時に加圧力の一定化が可能な大型基材対応自動試料固定治具を製作した（図 18)。

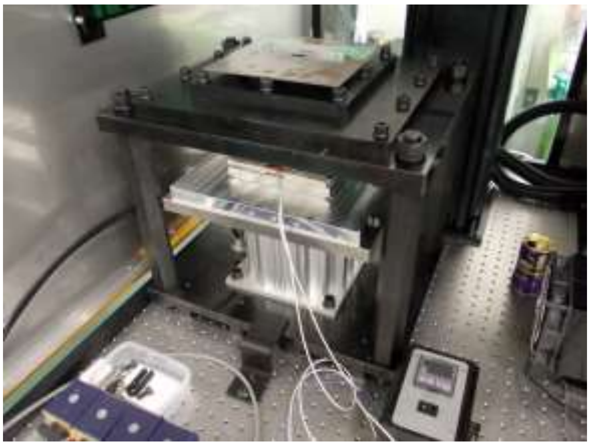


図 18　大型基材対応自動資料固定治具

１－２）金属表面処理技術開発

金属表面の濡れ性改善を目的としてプラズマ装置の導入を行った（図 19)。

金属表面への微細構造内部へ溶融プラスチックを含浸させるためには、その流動性が非常に重要になってくる。我々は低温プラズマを用いて、金属表面に水酸基を形成させ、濡れ性の向上による溶融プラスチックの流動性確保を目的とした。

図 19　導入した低温プラズマ装置

濡れ性能は水の接触角により測定することができる。濡れ性の向上は表面に水酸基の付着により親水性が大幅に向上するからであり、親水化した表面に水滴をたらすと球にならずに大きく広がる。（接触角が小さくなる）プラズマ照射による親水化は照射直後から効果が表れ、照射時間の増大とともに徐々により親水化していく。

図 20 は、各種金属表面処理を行った場合での接合強度比較である。接合対象は金属基材に A5052 アルミ合金を用い、プラスチックには成形済の PA6 ナイロンを用いた。

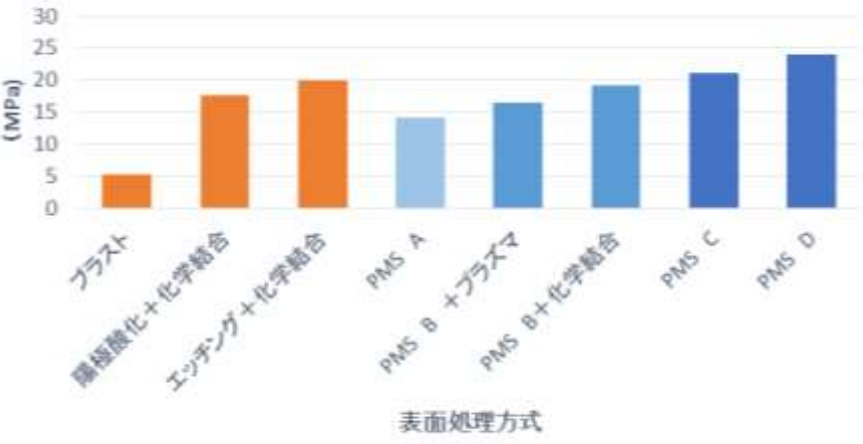


図 20　各種金属表面処理材を用いた接合強度

１－３）各種プラスチックとの接合

最も接合強度が得られた隆起微細構造形成を金属基材表面への接合層形成に用いて各種プラスチックとの接合を行った。図 21 は、PA6 ナイロンと A5052 アルミ合金の接合例である。

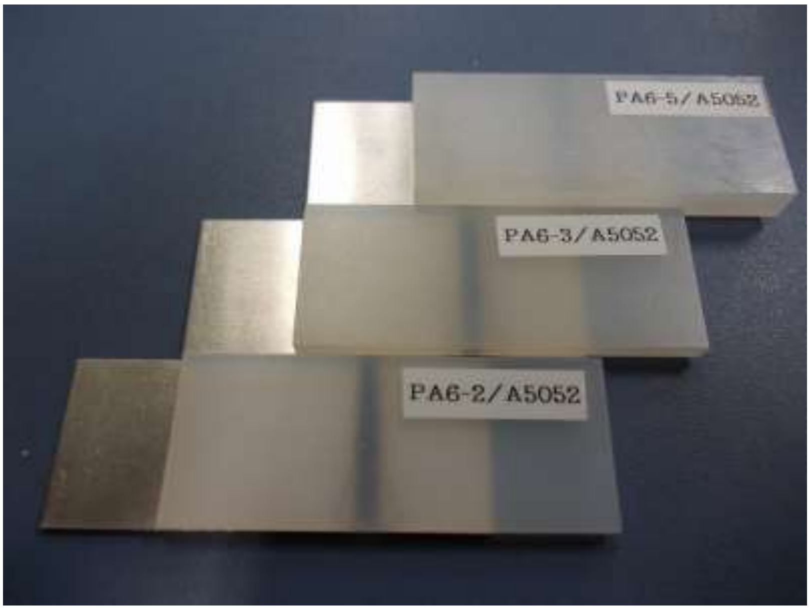


図 21　肉厚プラスチックを用いた接合

また、ナイロンとアルミの組み合わせだけでなく、その他プラスチックや、アルミダイキャスト、SUS や SPCC 等の鋼材との接合も行った。（図 22）

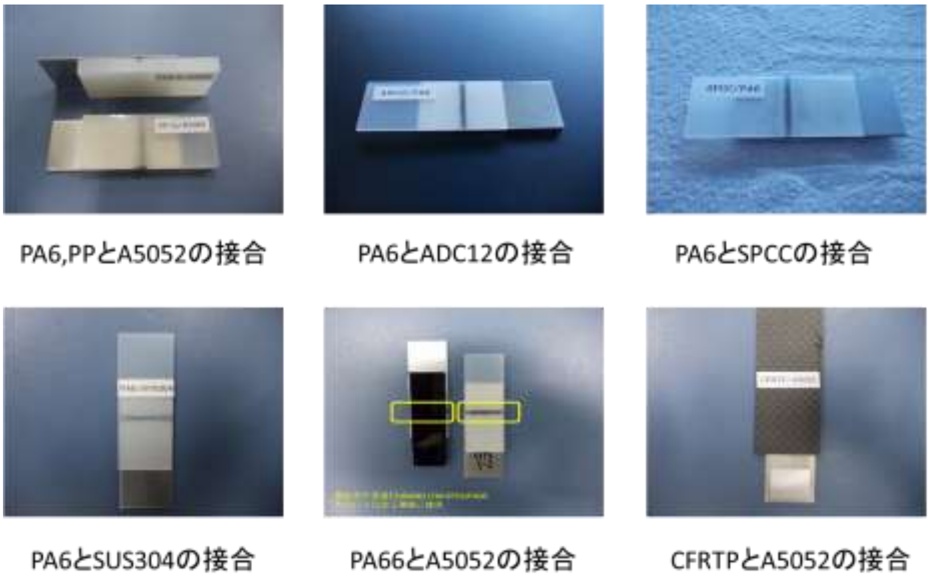


図 22　各種金属材料を用いた接合

１－４）異種材料メカニズムの解明

金属とプラスチックの直接接合で重要な一つの要素としては界面温度の制御がある。このため、界面温度の測定技術の開発を行った。熱電対での測定が一般的であるが、金属とプラスチックに挟まれた界面温度をモニタリングする必要性から放射温度測定方式での温度測定を試みた。図 23 は、放射温度計のセットアップと実機の実験装置である。

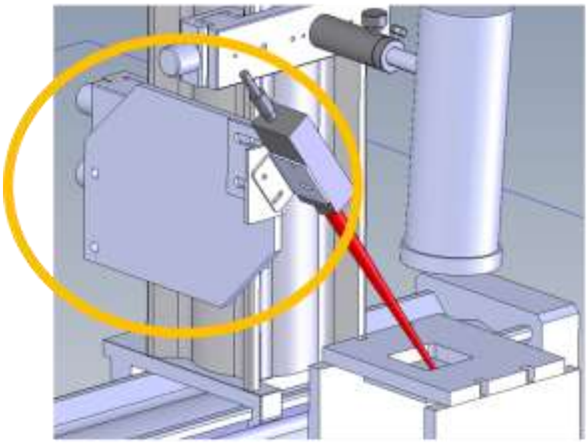


図 23　放射温度計による測定方法（左：模式図、右：実際の取付状況）

試験は熱電対と放射温度計を組み合わせて、相対的な温度変化から界面温度のレーザ加熱による挙動を求めた。

温度変化の挙動を測定することによりレーザ接合前と後において熱電対では観測できないが放射温度計でのみ観測可能な、わずかな特異的な挙動が発生することが明らかになった。これはレーザ接合時の金属とプラスチックの接触界面のギャップに由来するものと考えられる。このことは接合工程における品質管理方法の一つとして利用可能となる可能性が有る。

１－５）プラスチックの分光透過特性

接合対象のプラスチックの分光透過特性を測定するための紫外可視近赤外分光分析装置の導入を行いプラスチックの可視域～中赤外域の透過特性を測定できるようにした（図 24）。

図　24　導入した紫外可視近赤外分光分析装置

2）研究開発後の事業展開

２－１）課題

研究開発の未達成な課題としては、下記の点が挙げられる。

最適化を図るための加工面温度測定技術と温度フィードバック加工制御技術がある。

２－２）ビジネスモデルの構築

本研究開発を通して開発したハードウェアーとして

- Duty 制御半導体レーザ装置
- ２色高速相対温度計測装置

が挙げられる。

別途開発した金属表面への隆起微細構造形成技術（PMS 処理）が、本研究開発での金属 - プラスチックの接合に対して非常に有効であることが判明した。

レーザによる直接接合だけではなく他の接合技術との組み合わせでも使用可能なことから、本粉体としての事業展開を図り、金属 - プラスチックの市場を開拓することを実施していく。

２－３）市場

金属とプラスチックの直接接合は、耐環境性能への要求から非常に強い関心を得られるようになってきた。量産工程への採用は現段階では、まだ行われていないが 2018 年頃から採用が開始されるという動きが出てきている。

この採用元年に向けて開発並びに事業化活動を行っていく予定である。

２－４）広報活動

各種技術セミナーへの参加、講演活動、学会発表、雑誌投稿、展示会出展等を通じての広報活動を積極的に実施していく予定である。

参考文献・引用文献

　なし