

平成28年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「軽量化に対応した車載用アルミニウム合金
－エンジニアリングプラスチック接合部材の開発と実用化」

研究開発成果等報告書

平成29年 5月

担 当 局
補 助 事 業 者
間接補助事業者
間接補助事業者

経済産業省 近畿経済産業局
公益財団法人新産業創造研究機構
株式会社サーテック永田
学校法人鶴学園広島工業大学

目 次

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 研究開発の背景

- (1) 研究開発の背景とこれまでの取り組み
- (2) 研究開発の動向と本研究開発との関係や相違点
- (3) 本研究開発の基本となる特許と類似特許との関係、等

1-1-2 研究開発の目的及び目標

- ① 接合性と耐食性付与を両立させる多層膜陽極酸化表面処理機構の調査および評価方法の確立
 - ①-1 接合強度付与膜形成機構の調査および評価方法の確立
 - ①-2 耐食性付与膜形成機構の調査および評価方法の確立
 - ①-3 多層膜陽極酸化処理（①膜+②膜）の評価方法の確立
- ② 接合性と耐食性付与を向上させる多層膜陽極酸化表面処理を用いた各種アルミニウム合金への適用
 - ②-1 接合性と耐食性を向上させる表面処理技術の試作
 - ②-2 ECU 用途向け最適アルミニウム合金への試作
- ③ 着色型表面処理技術の開発
 - ③-1 意匠性付与要求への対応
- ④ 高硬度対応型表面処理技術の開発
 - ④-1 高硬度化付与要求への対応
- ⑤ 接合性表面処理の生産性・実用化性評価
 - ⑤-1 ECU 装置部品に対応する生産性評価
 - ⑤-2 実用化適応性の評価
 - ⑤-3 実用化適応性に対応する高度化接合プロセスの評価

1－2 研究体制

1－2－1 研究組織・管理体制

1－2－2 研究者氏名、協力者

1－3 成果概要

1－4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

1 接合性と耐食性付与を両立させる多層膜陽極酸化表面処理機構の調査および評価方法の確立

1－1 接合強度付与膜形成機構の調査および評価方法の確立

1－2 耐食性付与膜形成機構の調査および評価方法の確立

1－3 多層膜陽極酸化処理（①膜+②膜）の評価方法の確立

2 接合性と耐食性付与を向上させる多層膜陽極酸化表面処理を用いた各種アルミニウム合金への適用

2－1 接合性と耐食性を向上させる表面処理技術の試作

2－2 ECU 用途向け最適アルミニウム合金への試作

3 着色型表面処理技術の開発

3－1 意匠性付与要求への対応

4 高硬度対応型表面処理技術の開発

4－1 高硬度化付与要求への対応

5 接合性表面処理の生産性・実用化性評価

5－1 ECU 装置部品に対応する生産性評価

5－2 実用化適応性の評価

5－3 実用化適応性に対応する高度化接合プロセスの評価

最終章 全体総括

1. 研究開発成果について

2. 研究開発後の課題・事業化展開について

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 研究開発の背景

輸送機器産業では、二酸化炭素排出量削減に向け車体の軽量化が課題となっており、鉄鋼部品を、アルミニウム合金・樹脂製部品に置換する試みが進んでいる。しかし、アルミニウム合金表面には不活性な不動態膜が形成されるため、アルミニウム合金と樹脂を接合する際、十分な接合強度が得られない。本開発の目的は、アルミニウム合金表面に対して、樹脂との接合性および耐食性を向上させる新たな表面改質技術を開発することを目指すものである。

自動車産業では、燃費の向上に大きく寄与する車両重量の軽量化に注力しており、部材の軽量化が強く望まれている。その中でも特に、自動車各機能の電子制御化の動きが急激に拡大していることから車載 ECU（電子制御装置：Electronic Control Unit）の軽量化・高信頼性に対する要請が強く、「鉄鋼」から「アルミニウム合金－プラスチック材料」への転換が積極的に進められている。

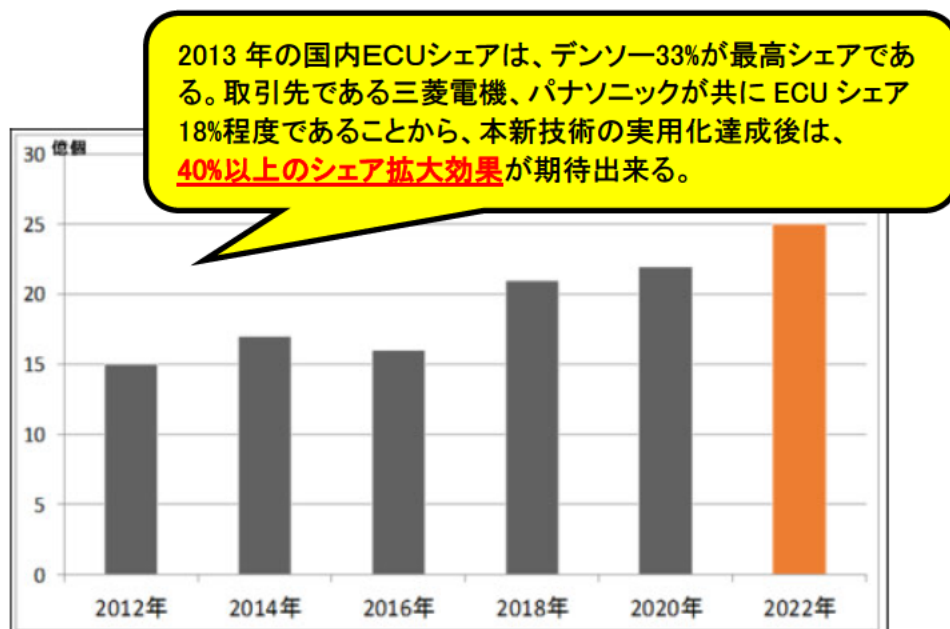


図1 車載 ECU 世界市場推移予測

また、図1に示す ECU の世界市場推移予測からも需要の拡大が期待出来る。アルミニウ

【公開版】

ム合金は、比強度・耐食性に優れるとともに、放熱性が極めて高く、熱量の大きい ECU を安定動作させるためには、アルミニウム合金の利用が不可欠である。プラスチックは、軽金属材料よりもさらに比重が小さく、加工性・耐食性に優れ、特にエンジニアリングプラスチックは、従来のプラスチックよりも高強度化されているため、車両への適用が拡大している。しかしそのヤング率は、アルミニウム合金のそれに比べると、 $1/50 \sim 1/20$ 程度と非常に小さく、剛性に大きな問題がある。このため、アルミニウム合金とプラスチックを接合することで、剛性に富んだ軽量部材の開発が可能になることから、異材接合技術の重要性が増大している。

本開発の目的は、アルミニウム合金表面に対して、樹脂との接合性および耐食性を向上させる新たな表面改質技術を開発することを目指すものである。

(1) 研究開発の背景とこれまでの取り組み

アルミニウム合金は強固な酸化皮膜に覆われており、良好な耐食性を有しているが、車載用部材として使用する場合、長期信頼性の観点から、通常、表面処理が施されている。アルミニウムへの表面処理には様々な手法があるが、アルマイトの名称で知られている陽極酸化処理が優れた耐食性を有することから広く適用されている。これまで種々の陽極酸化処理が開発されており、現在、硫酸アルマイトが広く適用されている。この酸性浴（硫酸）を用いた硫酸アルマイトをアルミニウム合金に施した後、接着シートを用いて樹脂との接合が行われているが、この場合、接着シートがアルミニウム合金表面から剥離し、ECU への適用において、十分な接合強度が得られない。これまで、アルミニウム合金 - プラスチック材料の接合について、新規開発した陽極電解＋陽極酸化複合処理によってアルミニウム合金の表面を改質することで、既存の化成処理や陽極酸化処理のそれらよりも高い接合強度が得られた。

上記の結果より、本研究では実用化に向け、種々の実用アルミニウム合金に対して耐食性および高分子接着性の両立と向上を目的とし、最適な表面処理技術および接合技術の研究開発を行う。

(2) 研究開発の動向と本研究開発との関係や相違点

金属材料 - プラスチック材料の接合では、両者の物性差が大きく、金属材料のように溶接

【公開版】

を適用することができないため、通常、機械的締結あるいは接着剤が用いられている。しかし、これらのプロセスについて、機械的締結の場合では、穴あけや締結等の作業面とそれに伴うコスト増などの問題点がある。特に輸送機器のような大量生産では、コスト面が適用への大きな障害となっている。接着剤の場合、機械的締結よりもコスト面では大幅に抑制でき、インライン化も可能になるが、接着剤自身が高分子材料であるため、金属材料間での溶接のような十分な信頼性が得られないという問題点がある。さらに車載用部材には車両が使用される期間での信頼性の確保という極めて厳しい要求がある。

アルミニウム合金の特徴として良好な耐食性があるが、長期間での信頼性を確保するためには陽極酸化処理をはじめとする表面処理が必要不可欠である。

以上の観点から、車載用アルミニウム合金 - プラスチック材料接合部材を実製品として生産するためには、アルミニウム合金の表面に対して耐食性および高分子接着性を向上させる新たな表面処理技術の構築が必要である。

（３） 本研究開発の基本となる特許と類似特許との関係、等

本研究開発は、特許の名称「接合品の製造方法」（特願 2013-231462）に基づき実施している。高い接合強度を得ることができるアルミニウム合金基材とプラスチックとの接合品の製造方法に関するものであり、方法としてリン酸及び／又は硫酸を含有する酸性の電解液を用いてアルミニウム合金基材を陽極酸化することにより第 1 酸化皮膜を形成した後、リン酸根を 0.03～3mol/l 含有し、pH が 10.5～13 である電解液を用いて該基材を陽極酸化することにより第 2 酸化皮膜を形成してから、該酸化皮膜の表面に樹脂を接着させて、接合品を製造する。

類似特許としては、特開 2007-182071（東レ株式会社等）がある。この特許には、アルミニウム合金部材とプラスチックとの接合強度を向上させる方法が提案されている。アルミニウム合金部品を陽極酸化することにより表面に平均内径が 10～80nm の穴を形成した後、前記アルミニウム合金部品を射出成形金型にインサートし、ポリアミド樹脂組成物を射出する金属樹脂複合体の製造方法が記載されている。陽極酸化法として、硫酸水溶液中でアルミニウム合金部品を通電する方法や、当該陽極酸化前に化学研磨を行うことが記載されているが、リン酸及び／又は硫酸を含有する酸性の電解液を用いて陽極酸化に関する内容やアルカリ浴による陽極酸化、また多層膜については記載されていないという相違がある。

1-1-2 研究開発の目的及び目標

下記の①から⑤までの研究開発項目について、3年間で実施する。

以下、本研究開発項目の実施内容とその定量的目標を示す。

① 接合性と耐食性付与を両立させる多層膜陽極酸化表面処理機構の調査および評価方法の確立

①-1 接合強度付与膜形成機構の調査および評価方法の確立

（担当機関：サーテック永田、広島工業大学）

A5052 材を主供試体とし、最適な接合強度を得るための膜形成方法（手法・構造・制御）を確立することを目標とする。また、下記の先行研究の機構調査で得られた数値を反映し、評価方法と目標値を定量的に定める。

- ・基本組成： リン酸 0.5～15mol/ℓ、硫酸 0.1～10mol/ℓ、PH 0.7 以下
- ・表面処理条件： 電圧 5～50V、浴温 20～90℃、時間 0.1～30 分
- ・微細構造： 細孔径 35～150nm
- ・皮膜厚さ： 3μm 以下

これら先行研究の内容より、本研究開発の目標値となる接合強度、「せん断剥離強度最大荷重 10MPa 以上」（但し、樹脂シートが基板側に残留すること）を達成するための液組成、表面処理条件、及び膜の微細構造、膜厚を見出し、最適接合強度を得るための手法を確立する。また、接合強度付与膜形成機構の調査で得られた数値を反映し、接合強度評価方法と内容を定量的に定める。

①-2 耐食性付与膜形成機構の調査および評価方法の確立

（担当機関：サーテック永田、広島工業大学）

A5052 材を主供試体とし、高耐食性を得るための膜形成方法（手法・構造・制御）を確立することを目標とする。また、下記の機構調査で得られた数値を反映し、評価方法と目標値を定量的に定める。

- ・基本組成： リン酸三ナトリウム 0.03～3mol/ℓ、PH 10.5～13
- ・表面処理条件電圧： 3～20V、浴温 0～50℃、時間 0.1～30 分
- ・微細構造： 細孔径 2～20nm
- ・皮膜厚さ： 0.2～18μm

これら先行研究の内容より、本研究開発の目標値となる耐食性、「96Hr の塩水噴霧試験

【公開版】

で母材の腐食が発生しないこと、さらに恒温恒湿試験（80～100℃/3 日）で表面形態に変化を生じないこと」を達成するための「諸条件・膜構造（細孔径・膜厚（深さ）・最適形成制御）を見出し、高耐食性を得るための手法を確立する。また、機構調査で得られた数値を反映し耐食性評価方法と内容を定量的に定める。

①-3 多層膜陽極酸化処理（①膜+②膜）の評価方法の確立

（担当機関：サーテック永田、広島工業大学）

多層膜陽極酸化表面処理の各表面処理溶液と条件の「温度・濃度・時間・電流密度・電流波形・PH」等の管理条件を選定し最適管理手法を確立することを目標とする。

② 接合性と耐食性付与を向上させる多層膜陽極酸化表面処理を用いた各種アルミニウム合金への適用

②-1 接合性と耐食性を向上させる表面処理技術の試作

（担当機関：サーテック永田、広島工業大学）

川下メーカーのニーズに対応する ECU 等に適用可能な表面処理試作・開発を行う。
A5052 材を主供試体とし、川下メーカーである旭化成ケミカルズ株式会社の要求に適應する ECU 等の接合性向上に寄与する適用可能な表面処理試作・開発を行う。

②-2 ECU 用途向け最適アルミニウム合金への試作

（担当機関：サーテック永田、広島工業大学）

基板側 A5052 材（下ケース）・蓋側 ADC12 材（上ケース）への最適表面処理試作を行い、合金種毎に変化する条件選定を確立する。アルミニウム合金表面を 2 種（2 層）の陽極電解で得られる多層膜を創製し、接着性に及ぼす因子の中で化学結合寄与である水素結合と機械的要素であるアンカー効果、この両者がともに作用する技術を確立する。

③ 着色型表面処理技術の開発

③-1 意匠性付与要求への対応

（担当機関：サーテック永田、広島工業大学）

製品識別を目的とし意匠性付与に最適な着色表面処理技術の開発を行う。また、得られた皮膜表面外観ならびに光沢度を測定し、表面処理前（未処理）と比較し、光沢度（Gs）

30%向上を目指す。

④ 高硬度対応型表面処理技術の開発

④-1 高硬度化付与要求への対応

（担当機関：サーテック永田）

製品表面の硬度向上を目的とし、高硬度付与が得られる耐摩耗性表面処理技術の開発を行う。皮膜構造変化に注目し微細で緻密な膜を形成させることを目標とする。また、硬度（マイクロピッカース硬度計）150～250Hv 以上を目標とする。

⑤ 接合性表面処理の生産性・実用化性評価

⑤-1 ECU 装置部品に対応する生産性評価

（担当機関：サーテック永田、広島工業大学）

試作開発の後、試作ラインを導入し、ECU 装置部品に要求される性能を満足する内容を確認する。最適条件を確立し、ラボ試作後、量産に向けたミニ試作ラインを導入し、ECU 装置部品に要求される性能を満足する内容を確認する。さらに、ECU 本試料へ多層膜陽極酸化表面処理を実施する。

⑤-2 実用化適応性の評価

（担当機関：サーテック永田、広島工業大学）

ミニ試作ラインにて、コスト・生産性の評価を行い事業化の確認を行う。従来法との比較で、20%以上のコスト低減を目標とする。

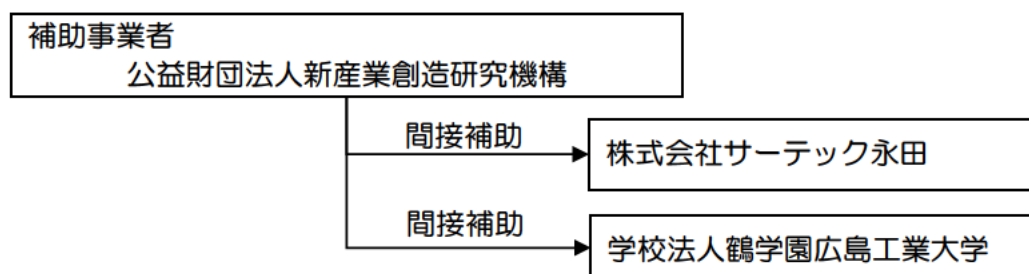
⑤-3 実用化適応性に対応する高度化接合プロセスの評価

（担当機関：サーテック永田、広島工業大学）

アルミニウム基板と耐熱樹脂間に熱可塑性エラストマーシートを挟み込み、半導体レーザー接合を用い、せん断剥離強度最大荷重 10MPa 以上の高度化を目指す。

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織・管理体制



1-2-2 研究者氏名、協力者

【補助事業者】 公益財団法人新産業創造研究機構 （管理員）

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
高谷 芳明	研究所 環境・エネルギー部・部長	①、②、③、④、⑤
川口 雅弘	技監	①、②、③、④、⑤
飯塚 昌弘	研究開発部門 ・ 部門長	①、②、③、④、⑤
林 麗子	研究所 補助員	①、②、③、④、⑤
卜部 直美	研究所 補助員	①、②、③、④、⑤

【間接補助事業者】 株式会社サーテック永田 （研究員）

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
永田 教人	専務取締役	①、②、③、④、⑤
高田 義信	製造部 6課 ・ 製造部主任	①、②、③、④、⑤
戸田 伸一	製造部 6課	①、②、③、④、⑤
宮川 千恵	製造部 品質管理課	①、②、③、④、⑤
高尾 信之	製造部 品質管理課	①、②、③、④、⑤

【間接補助事業者】 学校法人鶴学園広島工業大学

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
日野 実	工学部 機械システム工学科 ・ 教授	①、②、③、⑤
桑野 亮一	工学部 機械システム工学科 ・ 准教授	①-1、②-2、⑤

【アドバイザー】

氏 名	所属・役職
金谷 輝人	学校法人加計学園岡山理科大学 ・ 名誉教授
永田 員也	富山県立大学 工学部 機械システム工学科 ・ 客員教授
村上 浩二	岡山県工業技術センター 金属・加工グループ・研究員

1-3 成果概要

本研究開発により、以下に示す成果を得た。

成果の総括

本研究開発は、ものづくり基盤技術の中の「接合・実装に係る技術」に関するものであり、「自動車等輸送機器分野」における課題・ニーズの内、「燃費向上及び省資源化のための軽量化」に対応した技術開発を目指す。

現在、自動車などの輸送機器産業では車体の軽量化が最重要課題となっている。鉄鋼製部品を、アルミニウム合金・樹脂製部品に置換する異種材料接合に対する要求が高まっているが、アルミニウム合金表面には不活性な不動態膜が形成されるため、アルミニウム合金と樹脂を接着・接合する際、十分な接合強度が得られないことが課題となっている。本研究では、主に車載 ECU (Electronic Control Unit) を対象として、アルミニウム合金の表面に、表面処理による陽極電解処理で樹脂との接合性を向上させる層を創製する表面処理技術開発の確立を目指す。また、それらの接合機構の調査を行い、環境に配慮した低コスト製造プロセスを確立し、軽量化を実現させる。最終的に事業化を目指し、ものづくり基盤技術の高度化目標として「耐環境性、接着性、耐久性、はく離強度、せん断強度の向上」に寄与する技術開発を目指す研究を進めてきた。

下記の①から⑤までの研究開発項目の実施内容を示す。

① 接合性と耐食性付与を両立させる多層膜陽極酸化表面処理機構の調査および評価方法の確立

①-1 接合強度付与膜形成機構の調査および評価方法の確立

A5052 材を主供試体とし、各試験片に対して引張試験機を用いた負荷荷重-変位曲線の結果および、断面観察結果から、最適な接合強度を得るための膜形成方法とする最適表面処理手法を見出した。また、最適表面処理手法を施した試験片の SEM 観察結果から、得られた細孔の孔径は 80~100nm であったため、最適な接合強度を得るための皮膜構造は、「微細構造：細孔径 35~150nm」がより最適であると考えられる。

①-2 耐食性付与膜形成機構の調査および評価方法の確立

A5052 材を主供試体とし、高耐食性を得るための膜形成方法（手法・構造・制御）ならびに高接合強度を得るための適切な浴寿命管理条件の影響について検討した結果、新液と老化液で溶液中に含有する元素の種類および、含有量に変化が認められ、高接合強度を得る

ためには適切な浴寿命管理が必須であるとの結果を得た。

①－3 多層膜陽極酸化処理（①膜+②膜）の評価方法の確立

多層膜陽極酸化表面処理の各表面処理溶液と諸条件の「温度・濃度・時間・電流密度・電流波形・PH」等の管理条件を選定し最適管理手法を確立させる成果を得た。

以下に、各諸条件を示す。

「接合強度付与膜」基本情報

・基本組成： リン酸 0.5～15mol/ℓ、硫酸 0.1～10mol/ℓ、
PH 0.7 以下

・表面処理条件： 電圧 5～50V、浴温 20～90℃、
時間 0.1～30 分

「耐食性付与膜」基本情報

・基本組成： リン酸三ナトリウム 0.03～3mol/ℓ、
PH 10.5～13

・表面処理条件電圧： 3～20V、浴温 0～50℃、
時間 0.1～30 分

- ・微細構造： 細孔径 2～20nm
- ・皮膜厚さ： 0.2～18μm
- ・微細構造： 細孔径 35～150nm
- ・皮膜厚さ： 3μm 以下

② 接合性と耐食性付与を向上させる多層膜陽極酸化表面処理を用いた各種アルミニウム合金への適用

②－1 接合性と耐食性を向上させる表面処理技術の試作

本研究開発で得た「接合強度付与膜」と「耐食性付与膜」の最適諸条件を用い、A5052 材を主供試体とし表面処理を施した試験片にホットメルトシートを挟み込み引張試験を行った。得られた負荷荷重-変位曲線から、「接合強度付与膜」試験片の接合強度は 4.75kN であり、アルミニウム試験片の断面積 20mm² から、アルミニウムシート材には 237.5MPa の応力が加わっていたことがわかる。この値は A5052 材の 0.2%耐力を上回

【公開版】

る値が得られた。一方、「接合強度付与膜」と「耐食性付与膜」の 2 層膜を施した試験片の接合強度は低下する傾向を示した。

②-2 ECU 用途向け最適アルミニウム合金への試作

基板側 A5052 材（下ケース）・蓋側 ADC12 材（上ケース）への最適表面処理試作を行い、合金種毎に変化する条件選定を確立する。これまで展伸材である A5052 材を中心に検討してきたが、ダイカスト用合金である ADC12 についても多層陽極酸化処理を検討した結果、良好な接合性を確認した。

3 着色型表面処理技術の開発

③-1 意匠性付与要求への対応

製品識別を目的とし意匠性付与に最適な着色表面処理技術開発を目指し、開発の実施を検討したものの、現段階では意匠性付与の要望が無い。一方、二層膜の着色技術は可能であるとの結果は得た。

4 高硬度対応型表面処理技術の開発

④-1 高硬度化付与要求への対応

製品表面の硬度向上を目的とし、高硬度付与が得られる耐摩耗性表面処理技術の開発を検討したものの、現段階では硬度向上の要望が無い。一方、二層膜の硬度測定を実施した結果、試験加重 10gf を用いた際の皮膜硬度は 256（HV）の値を示していた。

5 接合性表面処理の生産性・実用化性評価

5-1 ECU 装置部品に対応する生産性評価

試作開発の後、ミニ試作ラインを導入し、ECU 装置部品に要求される性能を満足する内容を確認した。

5-2 実用化適応性の評価

ミニ試作ラインを導入し ECU 装置部品への試作を実施したが、「コスト・生産性」の評価には至らなかった。

5-3 実用化適応性に対応する高度化接合プロセスの評価

アルミニウム基板と耐熱樹脂間に熱可塑性エラストマーシートを挟み込み、半導体レーザ接合を実施した。一方、高エネルギー密度の影響で界面近傍の熱損傷やエラストマーシートとの剥離が発生した。この観察結果からも破壊の界面位置とその状態によって適正なエネルギー密度の判断ができることがわかった。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人新産業創造研究機構 研究開発部門 研究所 環境・エネルギー部

部長 高谷 芳明

TEL：078-306-6801

FAX：078-306-6812

E-mail：takatani@niro.or.jp

第2章 本論

1 接合性と耐食性付与を両立させる多層膜陽極酸化表面処理機構の調査および評価方法の確立

1-1 接合強度付与膜形成機構の調査および評価方法の確立

1.はじめに

A5052 材を主供試体とし、最適な接合強度を得るための膜形成方法（手法・構造・制御）を確立させる内容について検討した。

2.実験方法

A5052 材を主供試体とし、先行技術調査及び予備実験も含めて、最適な接合強度が得られた数値を反映し評価方法と目標値を定量的に定めた。

表 1 接合強度付与膜 基本条件

組成	表面処理条件	微細組織	皮膜厚さ
- リン酸 0.5～15mol/L - 硫酸 0.1～10mol/L PH 0.7 以下	- 電圧 5～50V - 温度 20～90℃	細孔 35～150nm	3μm 以下

表 1 に示す先行研究で得られた「接合強度付与膜」基本組成の電解研磨溶液を用い、表 2 に示す、先行研究と同条件にて表面処理を施した。作製した試験片No.1 を FE-SEM による表面形態の観察後、試験片にホットメルトシートを挟み込み引張試験を行った。

次に、電解研磨時間、電圧を変化させて作製した表面処理条件を表 3 に示す。試料片No. 29, 31, 33, 35 を図 2 に示す精密切断機にて切断し、形成された皮膜断面をレーザ顕微鏡にて観察した。



図2 精密切断機外観

表2 A5052 材への表面処理

試料 No.	素材	処理内容
1	A5052	電解研磨のみ 脱脂（10 分）・エッチング（10 秒）・硝酸活性（30 秒） ・デスマット（1 分）・電解研磨（1 分/20V）

表3 A5052 材への各種表面処理（電解研磨時間・電圧変化）

試料 No.	素材	処理内容
21	A5052	電解研磨 1 分→リン酸塩浴陽極酸化 15 分→酸処理 脱脂（10 分）・エッチング（10 秒）・硝酸活性（30 秒） ・デスマット（1 分）・電解研磨（1 分/20V）・デスマット （1 分）・リン酸塩浴陽極酸化（15 分/8V）・酸処理（30 秒）
22		電解研磨 3 分→リン酸塩浴陽極酸化 15 分→酸処理 脱脂（10 分）・エッチング（10 秒）・硝酸活性（30 秒） ・デスマット（1 分）・電解研磨（3 分/20V）・デスマット （1 分）・リン酸塩浴陽極酸化（15 分/8V）・酸処理（30 秒）
23		電解研磨 5 分→リン酸塩浴陽極酸化 15 分→酸処理 脱脂（10 分）・エッチング（10 秒）・硝酸活性（30 秒） ・デスマット（1 分）・電解研磨（5 分/20V）・デスマット （1 分）・リン酸塩浴陽極酸化（15 分/8V）・酸処理（30 秒）
24		電解研磨 1 分→リン酸塩浴陽極酸化 30 分→酸処理 脱脂（10 分）・エッチング（10 秒）・硝酸活性（30 秒） ・デスマット（1 分）・電解研磨（1 分/20V）・デスマット （1 分）・リン酸塩浴陽極酸化（30 分/8V）・酸処理（30 秒）
25		電解研磨 3 分→リン酸塩浴陽極酸化 30 分→酸処理 脱脂（10 分）・エッチング（10 秒）・硝酸活性（30 秒） ・デスマット（1 分）・電解研磨（3 分/20V）・デスマット （1 分）・リン酸塩浴陽極酸化（30 分/8V）・酸処理（30 秒）
26		電解研磨 5 分→リン酸塩浴陽極酸化 30 分→酸処理 脱脂（10 分）・エッチング（10 秒）・硝酸活性（30 秒） ・デスマット（1 分）・電解研磨（5 分/20V）・デスマット （1 分）・リン酸塩浴陽極酸化（30 分/8V）・酸処理（30 秒）
27		電解研磨 1 分→リン酸塩浴陽極酸化 60 分→酸処理 脱脂（10 分）・エッチング（10 秒）・硝酸活性（30 秒） ・デスマット（1 分）・電解研磨（1 分/20V）・デスマット （1 分）・リン酸塩浴陽極酸化（60 分/8V）・酸処理（30 秒）
28		電解研磨 3 分→リン酸塩浴陽極酸化 60 分→酸処理 脱脂（10 分）・エッチング（10 秒）・硝酸活性（30 秒） ・デスマット（1 分）・電解研磨（3 分/20V）・デスマット （1 分）・リン酸塩浴陽極酸化（60 分/8V）・酸処理（30 秒）
29		電解研磨 5 分→リン酸塩浴陽極酸化 60 分→酸処理 脱脂（10 分）・エッチング（10 秒）・硝酸活性（30 秒） ・デスマット（1 分）・電解研磨（5 分/20V）・デスマット （1 分）・リン酸塩浴陽極酸化（60 分/8V）・酸処理（30 秒）
31		電解研磨（10V） 脱脂（10 分）・エッチング（10 秒）・硝酸活性（30 秒） ・デスマット（1 分）・電解研磨（1 分/10V）・デスマット （1 分）・リン酸塩浴陽極酸化（60 分/8V）・酸処理（30 秒）
32	A5052	電解研磨（15V） 脱脂（10 分）・エッチング（10 秒）・硝酸活性（30 秒） ・デスマット（1 分）・電解研磨（1 分/15V）・デスマット （1 分）・リン酸塩浴陽極酸化（60 分/8V）・酸処理（30 秒）

33		電解研磨（20V） 脱脂（10分）・エッチング（10秒）・硝酸活性（30秒） ・デスマット（1分）・電解研磨（1分/20V）・デスマット（1分）・リン酸塩浴陽極酸化（60分/8V）・酸処理（30秒）
34		電解研磨（25V） 脱脂（10分）・エッチング（10秒）・硝酸活性（30秒） ・デスマット（1分）・電解研磨（1分/25V）・デスマット（1分）・リン酸塩浴陽極酸化（60分/8V）・酸処理（30秒）
35		電解研磨（30V） 脱脂（10分）・エッチング（10秒）・硝酸活性（30秒） ・デスマット（1分）・電解研磨（1分/20V）・デスマット（1分）・リン酸塩浴陽極酸化（60分/8V）・酸処理（30秒）

3.実験結果

試験片No.1のSEM観察結果から、表面には微細な孔が生じており、孔の径は80～100nmであった。電解研磨では、硫酸＋リン酸の混酸中で陽極電解を行うことで、表面に微細な孔を伴った酸化皮膜が形成される。

次に、引張試験機を用い得られた負荷荷重-変位曲線を図3に示す。試験片No.1の接合強度は4.75kNであり、アルミニウム試験片の断面積20mm²から、アルミニウムシート材には237.5MPaの応力が加わっていたことがわかる。この値はA5052材の0.2%耐力を上回る値であった。また、負荷荷重-変位曲線から試験片数は3体であるが、それぞれの曲線はほぼ一致しており、バラツキがほとんど認められなかった。

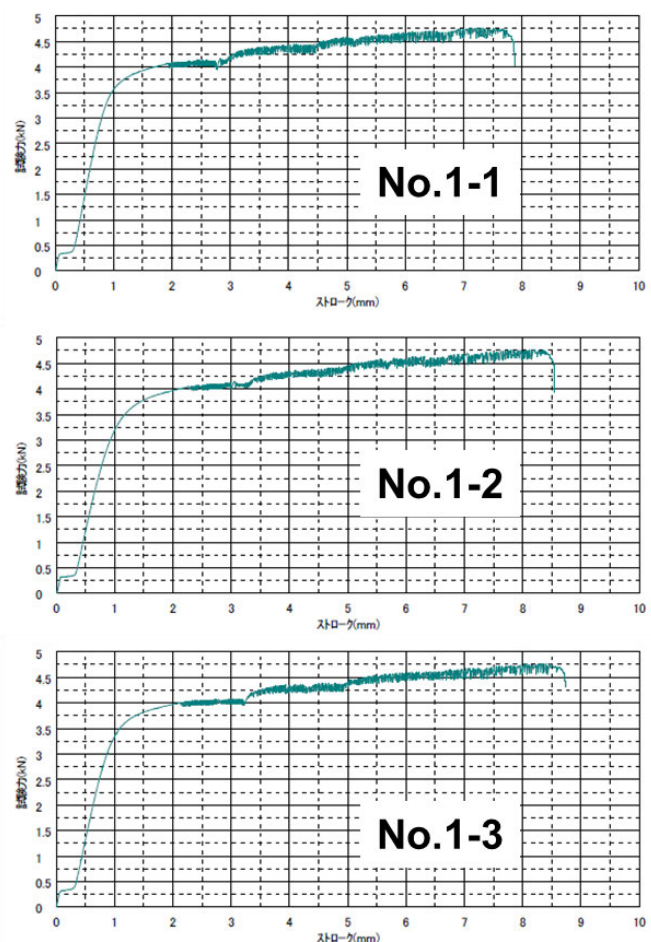


図3 試験片No.1の引張試験における負荷荷重-変位曲線

【公開版】

また、試料片No.29, 31, 33, 35 を共焦点レーザー顕微鏡を用い断面観察した結果を図4に示す。試験片No.1 と同条件の電解研磨「DC 20V 1分」で処理を行った試験片No.29 は、均一で良好な皮膜形成が得られた一方で、試験片No.31「DC 20V 5分」、試験片No.35「DC 30V 1分」で得られた皮膜は、基板ならびに皮膜上にも凹凸が形成された粗雑な表面状態が認められた。さらに試験片No.33「DC 10V 1分」で得られた皮膜は、均一な皮膜が得られているものの膜形成が不十分であることが認められた。

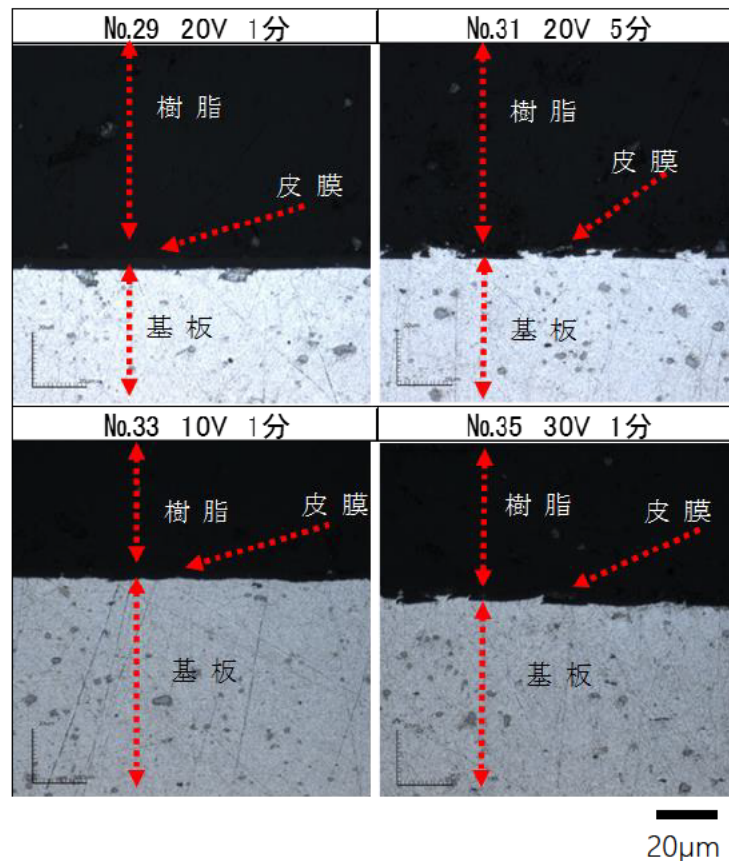


図4 各表面処理膜の断面観察結果

4.まとめ

試験片No.1 の引張試験機を用いた負荷荷重-変位曲線の結果および、試料片No.29, 31, 33, 35 の断面観察結果から、最適な接合強度を得るための膜形成方法として、試験片No.1 の表面処理手法が最適であると考えられる。

また、試験片No.1 のSEM 観察結果から、得られた孔の径は 80~100nm であったため、最適な接合強度を得るための皮膜構造は、「微細構造：細孔径 35~150nm」が好適であると考えられる。

1-2 耐食性付与膜形成機構の調査および評価方法の確立

1.はじめに

A5052 材を主供試体とし、高耐食性を得るための膜形成方法（手法・構造・制御）ならびに高接合強度を得るための適切な浴寿命管理条件および後処理の影響について検討した。

2.実験方法

A5052 材を主供試体とし、先行技術調査及び予備実験の結果を基に、下記に示す諸条件を用い、表4に示す諸条件で予備実験を施した後、表5に示す条件で各表面処理を施した。また、作製した試験片を図5に示す渦電流型膜厚測定器にて膜厚測定を行った後に引張試験を行った。



図5 渦電流型膜厚測定器外観

表4 耐食性付与膜 基本条件

組成	表面処理条件	微細組織	皮膜厚さ
・リン酸三ナトリウム 0.03~3mol/L PH 10.5~13	・電圧 3~20V ・温度 0~50℃、	・細孔径 2~20nm	0.2~18μm

表5 A5052 材への各種表面処理

試料 No.	素材	処理内容
1	A5052	電解研磨のみ 脱脂（10分）・エッチング（10秒）・硝酸活性（30秒） ・デスマット（1分）・電解研磨（1分/20V）
2		電解研磨無→硫酸浴陽極酸化 脱脂（10分）・エッチング（10秒）・硝酸活性（30秒） ・デスマット（1分）・硫酸浴陽極酸化（60分/12.5V）
3		電解研磨→硫酸浴陽極酸化 脱脂（10分）・エッチング（10秒）・硝酸活性（30秒） ・デスマット（1分）・電解研磨（1分/20V）・デスマット（1分）・硫酸浴陽極酸化（60分/12.5V）
4		電解研磨無→リン酸塩浴陽極酸化 脱脂（10分）・エッチング（10秒）・硝酸活性（30秒） ・デスマット（1分）・リン酸塩浴陽極酸化（60分/8V）
5		電解研磨無→リン酸塩浴陽極酸化→酸処理 脱脂（10分）・エッチング（10秒）・硝酸活性（30秒） ・デスマット（1分）・リン酸塩浴陽極酸化（60分/8V） ・酸処理（30秒）
6		電解研磨→リン酸塩浴陽極酸化 脱脂（10分）・エッチング（10秒）・硝酸活性（30秒） ・デスマット（1分）・電解研磨（5分/20V）・デスマット（1分）・リン酸塩浴陽極酸化（60分/8V）
7		電解研磨→リン酸塩浴陽極酸化→酸処理 脱脂（10分）・エッチング（10秒）・硝酸活性（30秒） ・デスマット（1分）・電解研磨（1分/20V）・デスマット（1分）・リン酸塩浴陽極酸化（60分/8V）・酸処理（30秒）
8		前処理のみ 脱脂（10分）・エッチング（10秒）・硝酸活性（30秒） ・デスマット（1分）

また、建浴直後のりん酸塩陽極酸化処理溶液と、一定期間使用したりん酸塩陽極酸化処理溶液を図6に示す ICP 発光分析装置を用い定性分析を行い、新液と老化液での溶液中に含有する元素の種類および、おおよその含有量を比較した。



図6 ICP 発光分析装置外観

3.実験結果

試験片No.1～No.8 を用い得られた膜厚測定結果を表6に示す。

また、りん酸塩浴にて陽極酸化を施した試験片No.4, 5, 6, 7 では、硫酸浴で陽極酸化を施した場合の試料と比較し得られた皮膜厚さは低い値を示した。

表6 各種表面処理（No.1～No.8）後の膜厚測定結果

試料 No.	素材	処理内容	膜厚 (μm)
1	A5052	電解研磨のみ	1.5
2		電解研磨無→硫酸浴陽極酸化	15.1
3		電解研磨→硫酸浴陽極酸化	16.4
4		電解研磨無→リン酸塩浴陽極酸化	2.5
5		電解研磨無→リン酸塩浴陽極酸化→酸処理	2.6
6		電解研磨→リン酸塩浴陽極酸化	1.8
7		電解研磨→リン酸塩浴陽極酸化→酸処理	1.6
8		前処理のみ	0

【公開版】

次に、試験片No.1～No.8の引張試験機を用い得られた結果から求めた接合強度を図7に示す。なお、接合強度はN=3の平均値を表示した。試験片No.1の電解研磨のみが最も高い接合強度が得られており、試験片No.8の前処理のみで得られた結果は、最も低い接合強度を示した。加えて、試験片No.4およびNo.6と比較し、りん酸塩浴陽極酸化処理後に酸処理を施した試験片No.5およびNo.7では高接合強度が得られ、硫酸浴陽極酸化処理を施した試験片No.3より高い接合強度が得られた。さらに試料表面を酸性溶液に浸漬し、極性基を付与することにより接合強度が増加すると考えられる。

また、建浴直後のりん酸塩陽極酸化処理溶液と、一定期間使用したりん酸塩陽極酸化処理溶液のICP発光分析装置による定性定量分析結果を表7に示す。新液と老化液で溶液中に含有する元素の種類および、含有量に変化が認められ、高接合強度を得るためには適切な浴寿命管理が必須と考えられる。

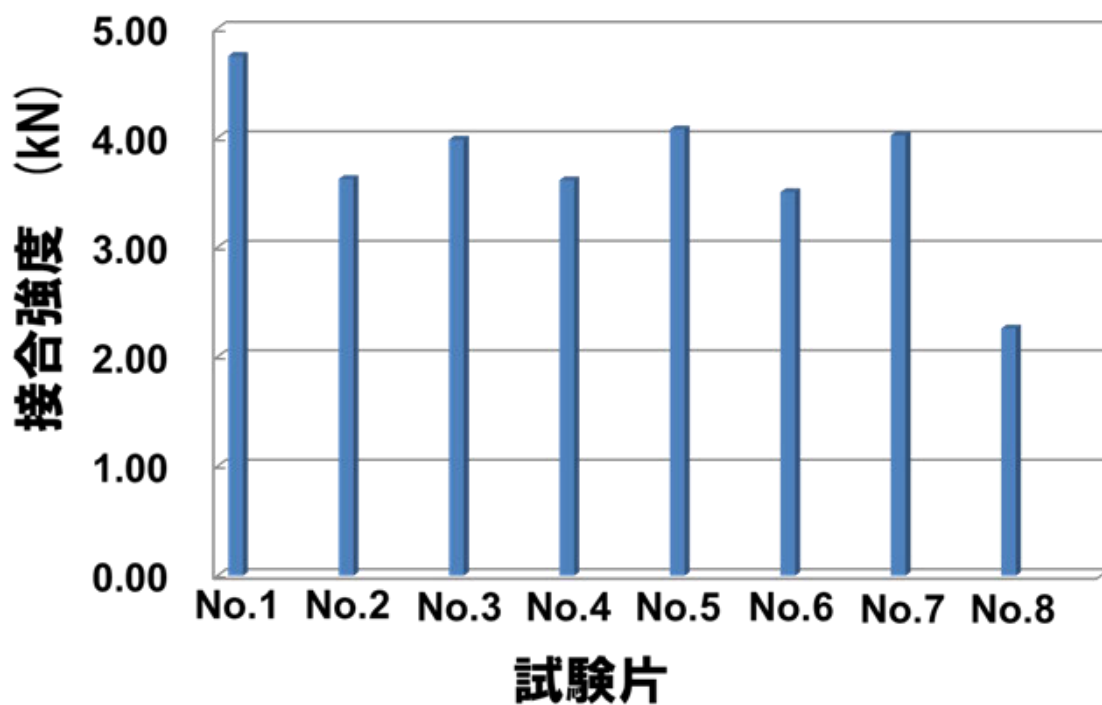


図7 各試験片の引張試験における接合強度

表7 各リン酸塩陽極酸化処理溶液の ICP 発光分析装置による定量分析結果

元素名	(g/L)	
	新液	老化液
Al	0	13
B	0.35	0.22
Ca	2.7	1.6
Fe	1.4	1.4
I	10	11
K	0.93	1
Mg	0.97	0.54
Na	23	23
Nb	0.77	0.77
P	14	14
S	4.1	0
Si	0.78	0.47

さらに、図8に示す、2種の合金系が異なる基板を用い、低電圧から高電圧に一定電圧位相制御（SweepV 0.1V/s）変化で印加させた場合、硫酸浴では25V付近で抵抗値がピークを迎え皮膜形成が不可能となる一方で、リン酸塩浴では80V以上の印加電圧でも適切な抵抗値を示し、皮膜形成が継続し続けていた。

このことから、図9、図10に示すように厚膜化ならびに孔径制御化が可能であり、かつ接合に適した基板表面が得られることがわかった。

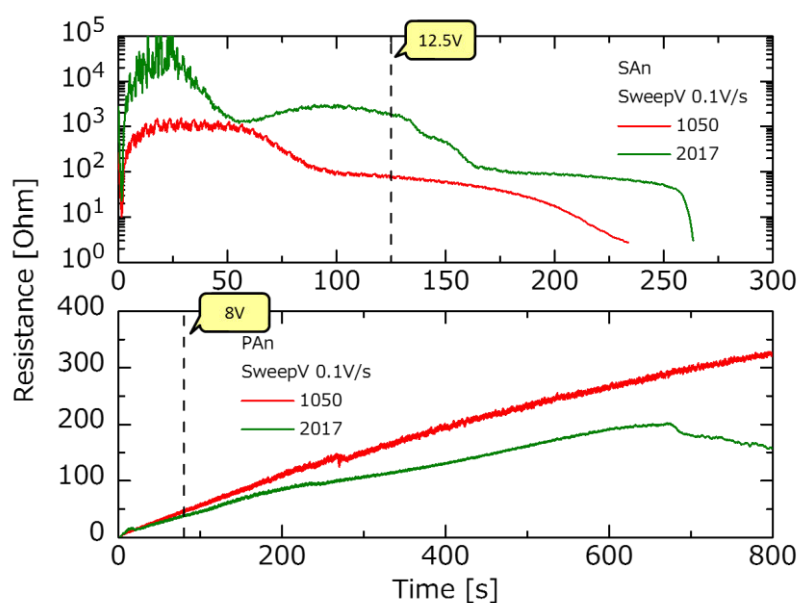


図8 位相制御（SweepV 0.1V/s）変位曲線

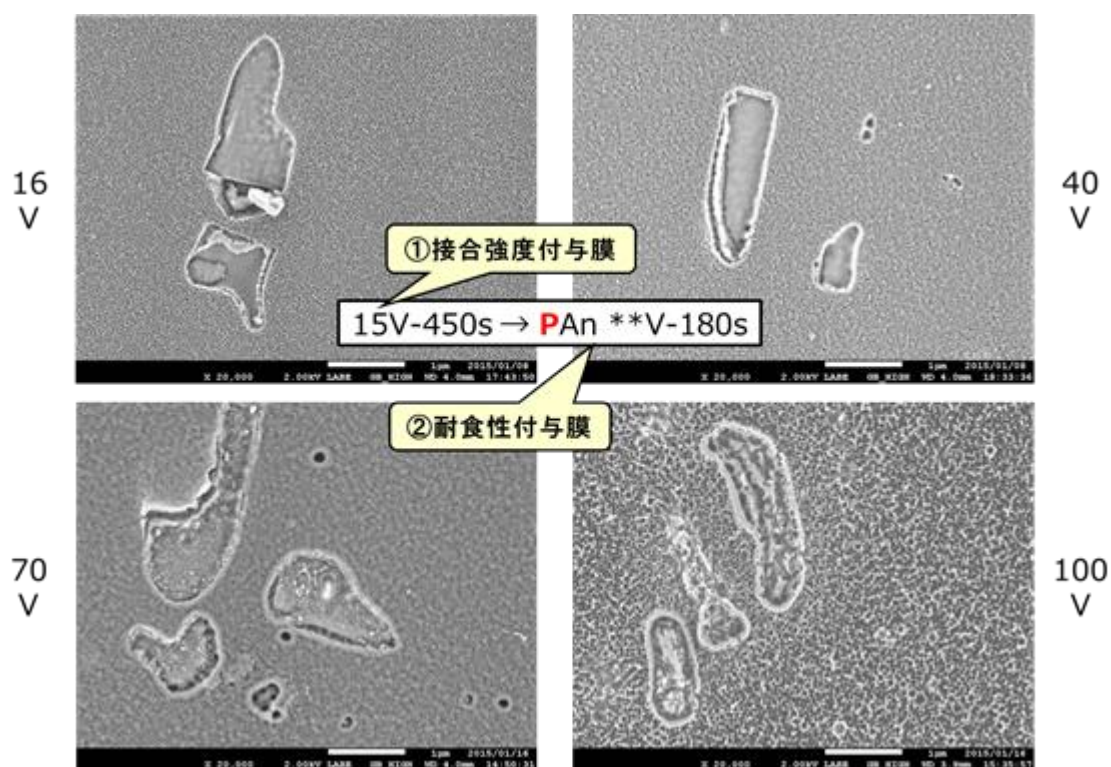


図9 位相制御後の表面観察結果

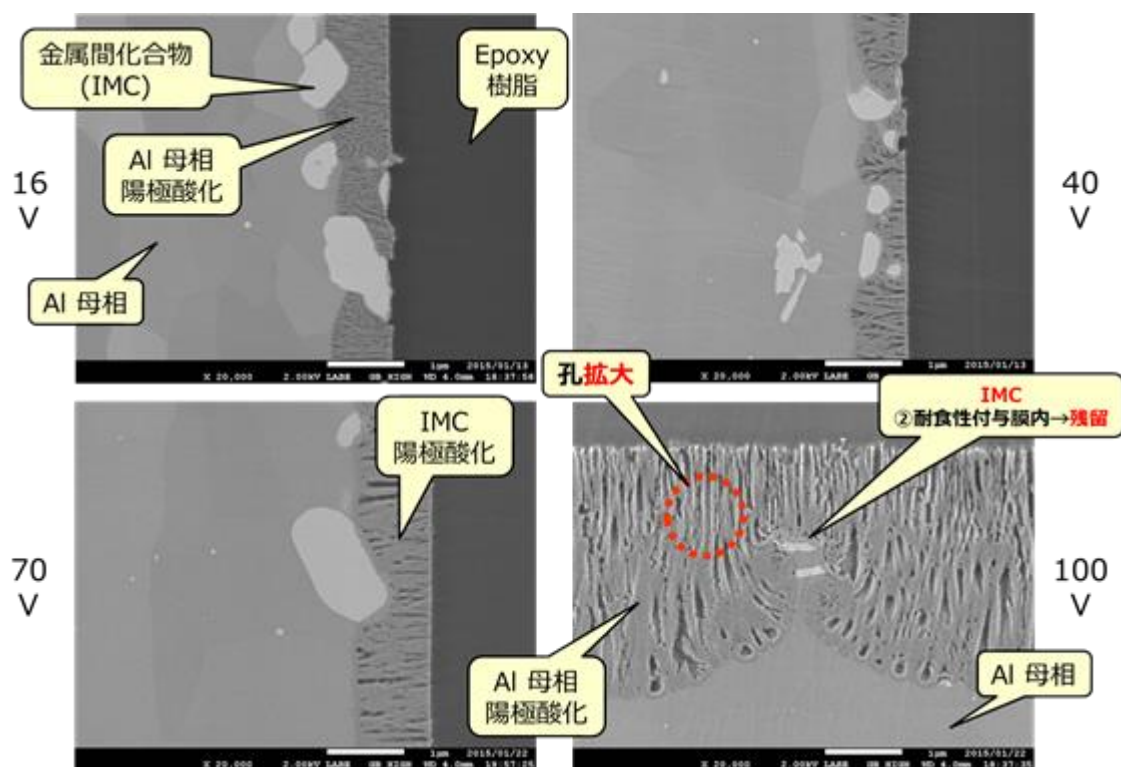


図10 位相制御後の断面観察結果

4.まとめ

電解研磨のみを施した試験片No.1 で最も高い接合強度が得られたが、耐食性を付与するためには、陽極酸化処理を行い、多層膜を形成する必要がある。高い接合強度を維持し、高耐食性に寄与する皮膜が得られる最適な陽極酸化方法の確立に向け、りん酸塩陽極酸化処理浴の新液と老化液中に含有する元素中から比較するための元素を特定し、定量分析を行うことで、浴組成を一定に維持し、浴寿命の長期化および安定したバラツキのない皮膜形成が可能な陽極酸化浴組成を見出した。また、電解する際の印加電圧および波形等を変化させた場合において、最適な陽極酸化皮膜が得られることも見出した。

1-3 多層膜陽極酸化処理（①膜+②膜）の評価方法の確立

1.はじめに

A5052 材を主供試体とし、多層膜（二層）陽極酸化皮膜や一般的な硫酸アルマイト皮膜およびそれらの皮膜に対して後処理を行った試料とポリアミド系ホットメルト接着剤との接着性を評価し、多層膜（二層）陽極酸化皮膜の接着性を明らかにした。また、ポリアミド系ホットメルト接着剤による A5052 アルミニウム板材の接着プロセスにおいて、最適条件も併せて検討した。

2.実験方法

実験には A5052 アルミニウム板材(100×20×1mm)を試験片として使用した。アルミニウム板材に対して表 8 に示す表面処理を施し、接着用試験片とした。各試験片について、表面形態の観察は FE-SEM によって行った。接着剤にはホットメルトシート(エルファイン、ポリアミド系、日本マタイ製)を 20×20mm にカットしたものを使用し、接着用試験片に対してホットメルトシートを図 11 に示したように挟み込み、図 12 に示すホットプレートで加熱し、接着を行った。ホットメルトシートに対するアルミニウムと樹脂の接着性はアルミニウムの方が低いため、アルミニウム側から剥離するので接着性の評価という点では問題はない。また、引張試験によるせん断剥離強度を接合強度とした。図 13 に示す試験機を用い、引張試験の条件はチャック間距離 100mm、引張速度 0.5mm/min で行った。

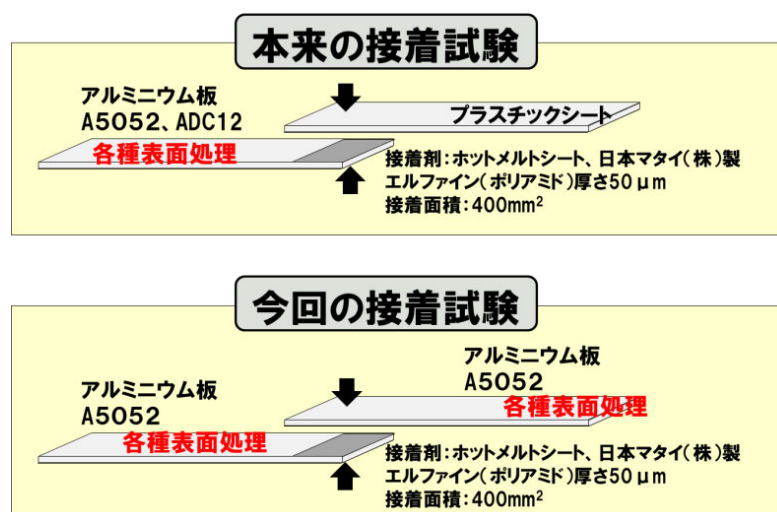


図 11 ホットメルト接着剤を用いた接着方法



図 12 接着工程に使用したホットプレート



図 13 接合強度を評価した引張試験機

表8 A5052 アルミニウム合金への各種表面処理

試料No.	素材	処理内容
1	A5052	電解研磨のみ 脱脂(10min)+エッチング(10sec)+硝酸活性(30sec)+デスマット(1min)+ 電解研磨(1min/20V)
2		電解研磨無→硫酸浴陽極酸化 脱脂(10min)+エッチング(10sec)+硝酸活性(30sec)+デスマット(1min)+ 硫酸浴陽極酸化(60min/12.5V)
3		電解研磨→硫酸浴陽極酸化 脱脂(10min)+エッチング(10sec)+硝酸活性(30sec)+デスマット(1min)+ 電解研磨(1min/20V)+デスマット(1min)+硫酸浴陽極酸化(60min/12.5V)
4		電解研磨無→りん酸塩浴陽極酸化 脱脂(10min)+エッチング(10sec)+硝酸活性(30sec)+デスマット(1min)+ りん酸塩浴陽極酸化(60min/8V)
5		電解研磨無→りん酸塩浴陽極酸化→酸処理 脱脂(10min)+エッチング(10sec)+硝酸活性(30sec)+デスマット(1min)+ りん酸塩浴陽極酸化(60min/8V)+酸処理(30sec)
6		電解研磨→りん酸塩浴陽極酸化 脱脂(10min)+エッチング(10sec)+硝酸活性(30sec)+デスマット(1min)+ 電解研磨(1min/20V)+デスマット(1min)+りん酸塩浴陽極酸化(60min/8V)
7		電解研磨→りん酸塩浴陽極酸化→酸処理 脱脂(10min)+エッチング(10sec)+硝酸活性(30sec)+デスマット(1min)+ 電解研磨(1min/20V)+デスマット(1min)+りん酸塩浴陽極酸化(60min/8V)+ 酸処理(30sec)
8		前処理のみ 脱脂(10min)+エッチング(10sec)+硝酸活性(30sec)+デスマット(1min)

3.実験結果

図14には、各処理を施したアルミニウム表面の SEM 観察結果を示したが、各写真は、拡大倍率が1万倍から10万倍までである。観察試験片 No.8 は、前処理のみを行った表面で、エッチングによってわずかにピットが生じている。この前処理を施した試験片に対して、電解研磨あるいは陽極酸化処理を施すことにより、表面の形態が大きく変化し、それぞれアルミニウム基材上に皮膜が生成された。しかし、皮膜の形態は処理方法によって大きく異なっていた。試験片 No.1 は、電解研磨を行っているため、外観的には最も光沢を示したが、SEM 観察より、表面には微細な孔が生じており、孔の径は80～100nmであった。電解研磨では、硫酸+リン酸の混酸中で陽極電解を行っており、表面には微細な孔を伴った酸化皮膜が形成される。

【公開版】

試験片 No.2 は一般的に適用されている硫酸アルマイト処理で、試験片 No.1 に生じた孔よりもさらに微細な数十 nm 程度の孔が形成しており、また、高倍率観察より、数百 nm のサイズの不揃いな環状模様が確認できる。試験片 No.3 は、試験片 No.1 の電解研磨後に硫酸アルマイト処理を行ったもので、試験片 No.3 と No.2 はともに最終の処理が硫酸アルマイトであるにもかかわらず、両者の形態は異なっていた。試験片 No.2 で観察される環状模様は試験片 No.3 では観察されず、平滑になっている。このことから、硫酸アルマイト処理において、陽極酸化処理の前に電解研磨を適用することで、表面をより平滑に仕上げることができる。

次に、高倍率観察において、両者ともに数十 nm 程度の微細孔が観察されることから、試験片 No.2 および No.3 とともに酸化皮膜が生成していると考えられる。

試験片 No.4 は、リン酸塩浴陽極酸化処理した表面で、硫酸アルマイト処理の形態とは大きく異なり、皮膜にクラックが観察された。次に試験片 No.5 は、試験片 No.4 の処理後に硝酸浸漬し、表面の極性を変化させたもので、数百 nm の不規則な孔が形成され、皮膜には割れが生じており、また、高倍率観察より、数百 nm 孔の中にさらに 50nm 程度の多数の孔が観察された。このようにリン酸塩陽極酸化処理で得られる皮膜は、希硝酸浸漬によって皮膜の形態が大きく変化することから、酸化性の酸である硝酸に対して溶解するものと思われる。

一般的にアルミニウムへの酸性溶液からの陽極酸化処理によって生成する酸化皮膜は、同様の硝酸に対して耐性を示すが、アルカリ性溶液からの陽極酸化処理によって生成する酸化皮膜は、硫酸アルマイトのような酸性溶液からの皮膜と性質そのものが異なっている可能性があり、今後、この点について詳細に検討を行う予定である。なお、今回の試験片の中で、この両者が最も凹凸の激しい複雑な形態であった。試験片 No.6 は、試験片 No.1 の電解研磨後にリン酸塩浴陽極酸化処理を行ったもので、最終の表面処理が同じ試験片 No.4 の形態と比較し、大きく異なった。電解研磨なしでリン酸塩陽極酸化処理を行った場合（試験片 No.4）、割れを伴った凹凸の激しい複雑な皮膜が生成されるが、一方、リン酸塩陽極酸化処理の前に電解研磨による酸化皮膜を付与すると、平坦な皮膜へと変化した。高倍率の観察において、数十 nm の微細な孔が認められ、酸化皮膜が生成しているものと思われる。

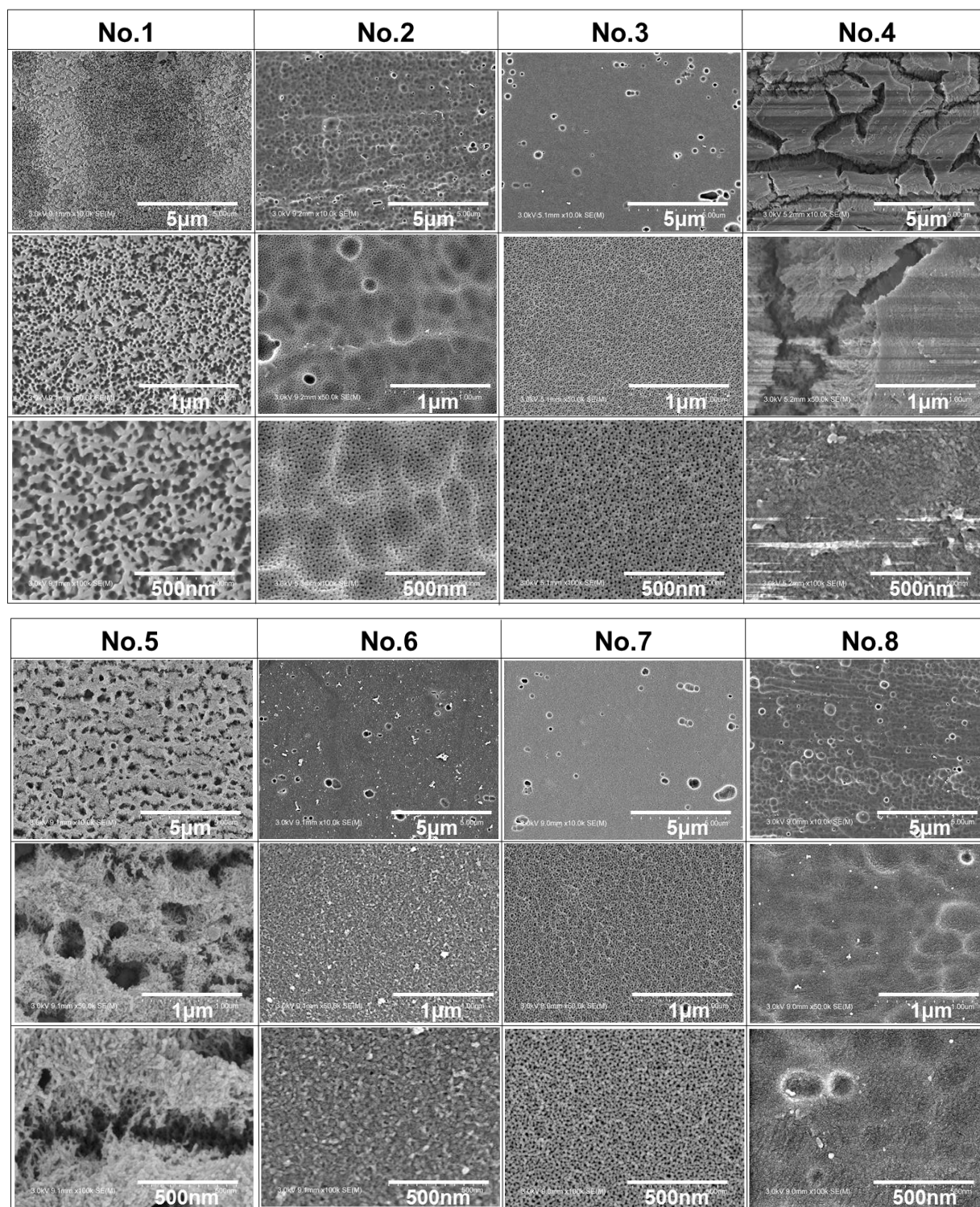


図 14 各処理皮膜の表面 SEM 観察結果

4.まとめ

このように No.1 処理の電解研磨による酸化皮膜の有無が、その後のリン酸塩陽極酸化処理による皮膜の生成挙動に強く影響を及ぼすことが明らかになった。表面の状態、特に酸化皮膜の状態がその後の陽極酸化処理の皮膜に強く影響を及ぼす結果は、学術的にも非常に興味深いもので、今後、この点について詳細に検討し、成膜機構を明らかにしていきたい。なお、ここで示した試験片 No.6 が、多層陽（二層）極酸化皮膜である。次に試験片 No.7 は、試験片 No.6 を硝酸浸漬したもので、硝酸によって皮膜がエッチングされ、数十 nm の微細孔が観察される。

ここで、試験片 No.7 と試験片 No.5 は、いずれも最終の処理が同じリン酸塩陽極酸化処理であるにもかかわらず、希硝酸に対する溶解挙動が大きく異なっており、また、皮膜の形態からも No.1 処理の電解研磨が、その後のリン酸塩陽極酸化処理で生成する皮膜の構造にも影響しているものと推測される。

以上、リン酸塩陽極酸化処理では、前処理としての電解研磨による酸化皮膜がその後の酸化皮膜の生成に多大な影響を及ぼすことが明らかになった。一方、硫酸アルマイト処理では、電解研磨による酸化皮膜の影響は軽微であり、両者の陽極酸化処理で大きな差異があった。後述する接着性に関して皮膜の構造が重要であり、今後、電解研磨＋リン酸塩陽極酸化処理での更なる皮膜の形成メカニズムの解明が必須と言える。

2 接合性と耐食性付与を向上させる多層膜陽極酸化表面処理を用いた各種アルミニウム合金への適用

2-1 接合性と耐食性を向上させる表面処理技術の試作

1.はじめに

A5052 材を主供試体とし、接合性と耐食性を向上させる表面処理技術を確立させる内容について検討した。本研究開発で得られた「接合強度付与膜」と「耐食性付与膜」の最適諸条件を用い、表面処理を施した試験片にホットメルトシートを挟み込み引張試験を行った。

2.実験方法

一般に接着剤による接合では、加熱温度や接着面への負荷荷重によって接合強度に大きなバラツキが生じる。そのため、本実験ではバラツキを抑制するための接着予備試験を行い、接着プロセスの最適化を検討した。

図 15 には、A5052 アルミニウム合金シート材にポリアミド系ホットメルト接着シートを挟み込み、ホットプレートで加温・加圧し、接着を行っている様子を示す。ホットメルト接着剤を用いた接着プロセスにおいて、接合強度に影響を及ぼす重要な因子として、以下の 5 点がある。

- ① 接着する際の温度
- ② 接着する際の保持時間
- ③ 接着する際の負荷荷重
- ④ 接着部の冷却
- ⑤ 接着試験片の保管方法

上記の因子について、接着方法をさまざまに変化させ、最も接合強度が得られる接着方法の注意点を図 16 に示す。

図 16 に基づく具体的な試験片の接着方法は、2 枚の試験片でホットメルトシートを挟み、そのままの状態ですべて約 150℃に加熱しておいたホットプレートの上に置き、その後、試験片の温度が 130℃を超えたら試験片に 19.6N の荷重をかけた状態で約 60 秒間保持する。

【公開版】

60 秒経過後、試験片をホットプレートから取りはずし、平らな机の上に置き、19.6N の荷重をかけ、試験片の温度が約 60℃になるまで保持する。約 60℃になったら錘を取り除き、試験片の温度が室温になるまで放置する。

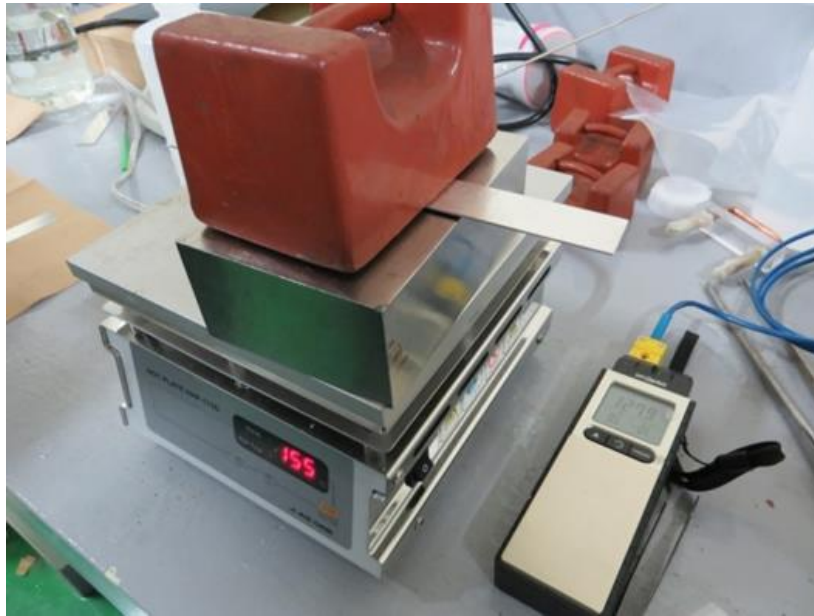


図 15 加温・加圧 接着実験の様子

接着時の注意点

加熱接着後は**急冷しない**

インサート材と金属の線膨張係数が違うので**応力が発生**

試験片**加熱前**にシートをのせる

加熱後の場合シートが縮み**接着面積が確保できない**

接着後**すぐに**引張試験にかける

数日放置した場合接着強度が**70～75%低下**

図 16 接着時の注意点

3.実験結果

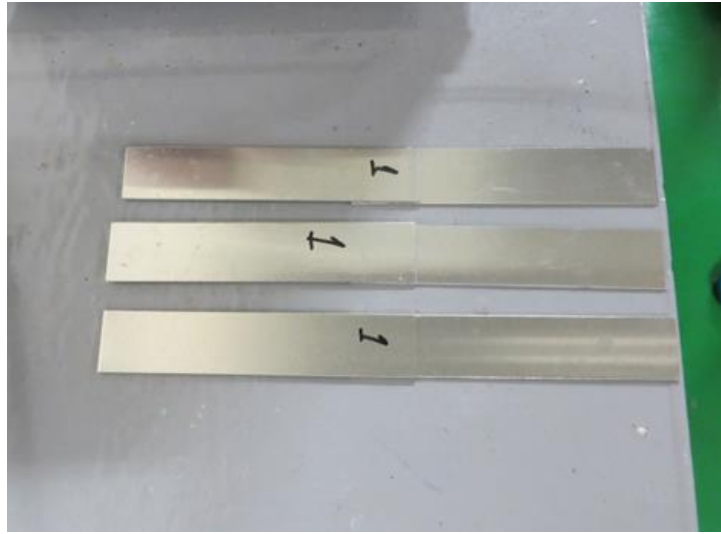


図 17 接着試験片の外観

前述の接着方法によって接合した A5052 アルミニウム合金シート材の外観を図 17 に示す。これらの接合試験片を引張試験機により、せん断方向に引張試験を行った。

図 18 には引張試験によって得られた各試験片の負荷荷重－変位曲線を示す。同じ手順によって接着を行ったにもかかわらず、表面処理が異なると負荷荷重－変位曲線の様子が大きく異なった。試験片 No.1 では 8mm 程度の変位がある一方で、試験片 No.6 および No.8 では 1mm 程度の変位しかない。また、この両者の接合強度は低く、基本的に変位が大きいほど接合強度も高くなった。

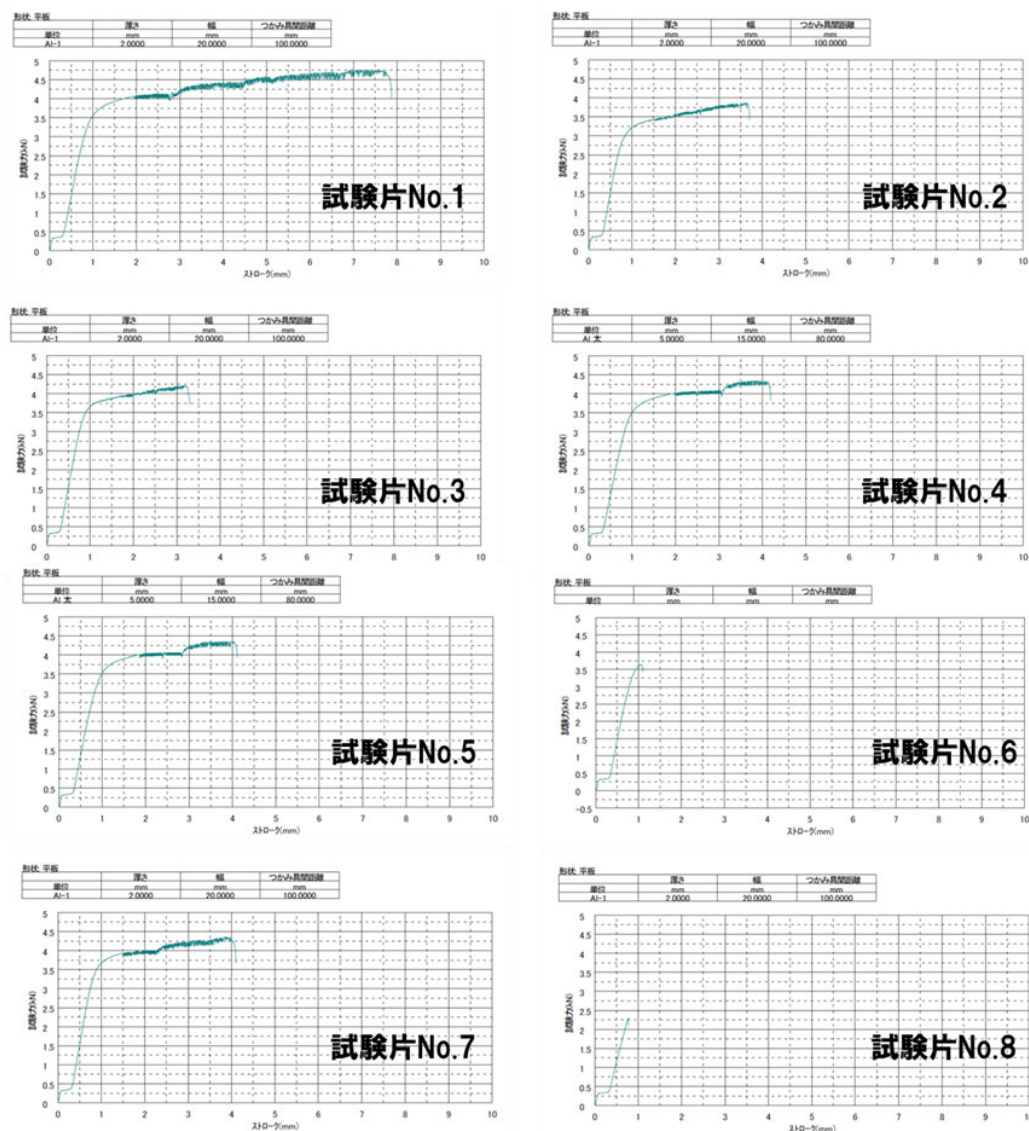


図 18 各試験片の負荷荷重－変位曲線

4.まとめ

多層陽極酸化皮膜や一般的な硫酸アルマイト皮膜およびそれらの皮膜に対して後処理を行った試料とポリアミド系ホットメルト接着剤との接着性を評価した。接合条件を最適化することによってA5052 アルミニウム合金シート材が塑性変形するほどの接合強度を得ることができた。また、接合強度は各種表面処理によって変化し、電解研磨処理が最も高い接合強度を示した。この電解研磨を行った試料に対してリン酸塩浴による陽極酸化処理を行った場合、直接、アルミニウム合金シートに行う場合と生成する皮膜が大きく異なることがわかった。

2-2 ECU 用途向け最適アルミニウム合金への試作

1.はじめに

本事業で開発する自動車用 ECU 部品には厳しい品質が要求される。A5052 アルミニウム合金-耐熱ポリアミド樹脂異材接合について、接着剤として熱可塑性エラストマーシートを用い、ホットプレートによる接着を行い、接着条件の最適化を図るとともに、接着性に及ぼす ECU 用途向けアルミニウム合金への各種表面処理の影響について検討した。加えて、ECU 用途向け ADC12 材についても多層膜（二層）陽極酸化処理の検討を行った。

2.実験方法

実験には、A5052 アルミニウム板材(100×20×1¹/₂mm)および耐熱ポリアミド樹脂板材(50×20×2¹/₂mm)を使用し、アルミニウム板材に対して各種表面処理を施した。表 9 には各種表面処理条件を示す。なお、各処理とも同じ前処理（脱脂、エッチング、デスマット）を行っている。接着剤は、熱可塑性エラストマーシートを 20×20mm にカットし、使用した。接着方法は、アルミニウム板-耐熱ポリアミド樹脂板材間に熱可塑性エラストマーシートを挟み込んだ試験片をホットプレートにアルミニウム板が接するように置き、ホットプレートの加温を制御することによって接着温度を変化させた。その他、接着部への錘および冷却は同一条件とした。なお、アルミニウム-アルミニウム間での接合も併せて評価したが、これはアルミニウムへの表面処理の影響を調べるためである。接着後、引張試験を行い、せん断強度を求めた。試験条件はチャック間距離 100mm、引張速度 0.5mm/min とした。

3.実験結果

A5052 アルミニウム板材に対して表 9 の No.1 から No.13 までの表面処理を施した試料表面について、SEM により観察した結果を図 19 に示す。皮膜の表面形態は、各処理によってそれぞれ異なった。No.2,4,6 では、10~20nm 程度の微細な孔を伴った平滑な皮膜が得られ、No.3,5,7 も 10~20nm 程度の微細な孔を伴う皮膜が形成されるが、基材の組織を反映したと思われる境界線が観察された。

一方、No.1 では、孔が 50~100nm まで拡大し、さらに No.8,9,13 の孔は、200nm 程度まで拡大した。No.10 から 13 では、陽極酸化処理を施した後、後処理を行っているが、No.10,11,12 では、微細な粒状析出物が確認され、後処理による皮膜形成を確認する

ことができる。しかし、No.13では、後処理を行っていないNo.8の形態と大きな変化は認められなかった。このことから、後処理の反応性は、陽極酸化処理のタイプによって大きく異なることがわかった。

表 9 各種処理条件

試料No.	処理条件
No.1	陽極電解
No.2	No.1+硫酸浴陽極酸
No.3	硫酸浴陽極酸化
No.4	No.1+りん酸塩浴陽極酸化+酸処理
No.5	りん酸塩浴陽極酸化+酸処理
No.6	No.1+りん酸塩浴陽極酸化+硫酸浴陽極酸化
No.7	りん酸塩浴陽極酸化+硫酸浴陽極極酸化
No.8	No.1+りん酸浴陽極酸化
No.9	りん酸浴陽極酸化
No.10	No.1+後処理
No.11	No.1+りん酸塩浴陽極酸化+後処理
No.12	No.6+後処理
No.13	No.8+後処理
No.14	エメリー研磨

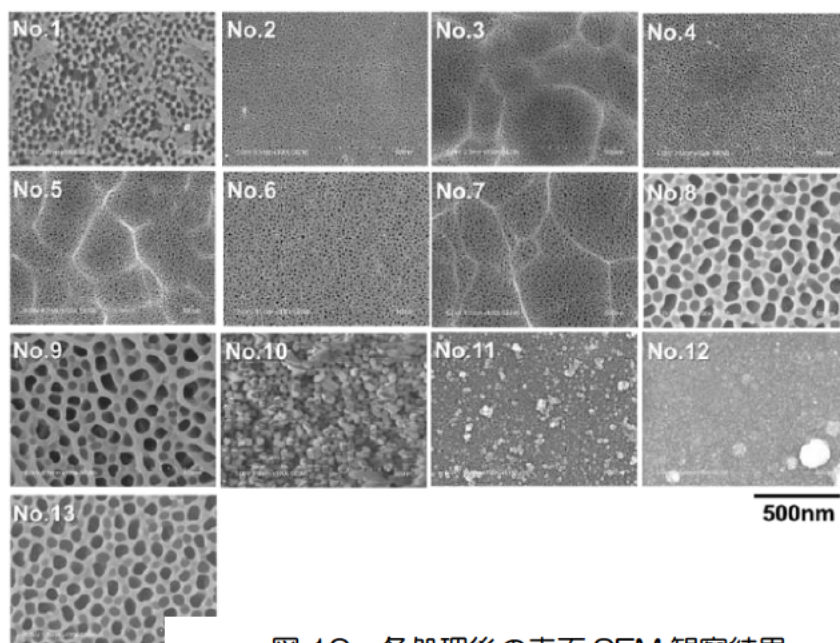


図 19 各処理後の表面 SEM 観察結果

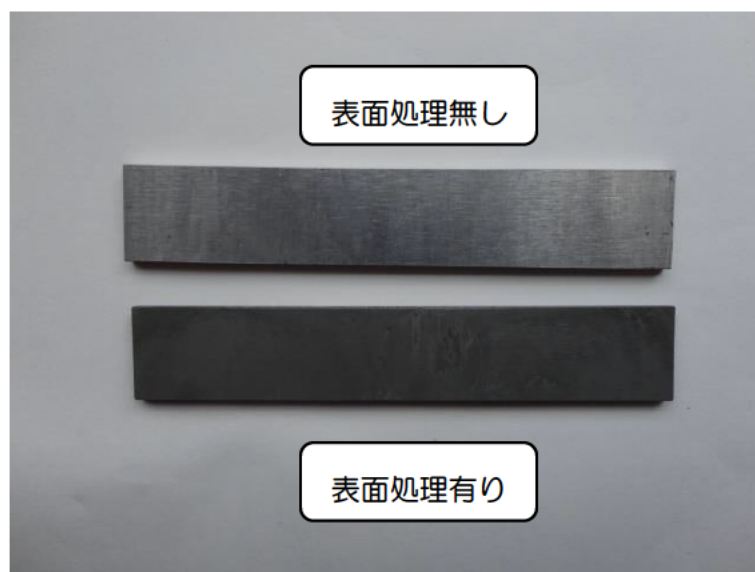


図 20 各 ADC12 材への陽極酸化処理外観写

4.まとめ

熱可塑性エラストマーシートによる接合では、アンカー効果が接合に対して重要な因子の一つであることが判明した。ポリアミド系ホットメルト接着剤の場合では、接合強度と比表面積に明瞭な相関性は認められなかった。これらの結果から、より信頼性の高い接着・接合を実現するためには、接着剤の反応性や流動性が異なる点を考慮し、使用する接着剤に応じたアルミニウム合金への最適表面処理選定が重要と考えられる。また、図 20 に示すように ADC12 材についても多層膜（二層）陽極酸化処理の検討を行った結果、表面処理が可能である結果を得た。

3 着色型表面処理技術の開発

3-1 意匠性付与要求への対応

1.はじめに

製品識別を目的とし意匠性付与に最適な着色表面処理技術開発を目指し、開発の実施を検討したものの、現段階では意匠性付与の要望が無い。一方、図 21 に示す多層膜（二層）陽極酸化処理の着色技術は可能であるとの結果は得た。

2.まとめ

耐食性と接着性が兼備された多層皮膜は、いずれも陽極酸化処理によって得られるため、微細な孔が皮膜全面で形成され、金属錯塩アゾ系染料によって比較的容易にカラーリングすることが可能となった。



図 21 各着色処理後の表面外観写真

4 高硬度対応型表面処理技術の開発

4-1 高硬度化付与要求への対応

1.はじめに

製品表面の硬度向上を目的とし、高硬度付与が得られる耐摩耗性表面処理技術の開発を検討したものの、現段階では硬度向上の要望が無い。一方、図 22 に示す多層膜（二層）陽極酸化処理の硬度測定を実施した結果、試験加重 10gf の皮膜硬度は 256（HV）の値を示していた。

2.まとめ

本研究開発で検討している陽極酸化処理も硫酸アルマイトなど一般的な陽極酸化処理と同様、処理温度を低温にすることによって皮膜硬さが増すことを確認した。

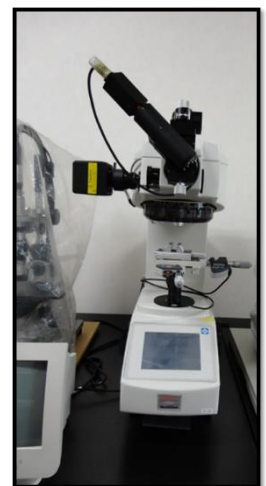


図 22 ビッカース硬さ試験機

5 接合性表面処理の生産性・実用化性評価

5-1 ECU 装置部品に対応する生産性評価

1.はじめに

本事業で開発する自動車用 ECU 部品には厳しい品質が要求される。一般的な仕様である 10 年 10 万キロにも耐えうる長期信頼性を満足するためには、接合信頼性とともアルミ基材の耐食性も重要な項目である。一般的な耐食性の評価法として塩水噴霧試験が用いられるが、長時間の試験を必要とする。一方、電気化学測定装置による分極測定では処理皮膜の耐食性を迅速に評価することが可能となり、本事業においてはきわめて有効なものである。

2.実験方法

実験には A5052 アルミニウム板材(100×20×1mm)を供試体とし、図 23 に示すミニ試作ラインを用い実験を行った。また、各アルミニウム供試体に対して表 10 に示す表面処理を施し、耐温水(80℃全没試験)用試験片とした。図 24 には用いた耐温水(80℃全没試験)用試験を示す。また、各試験片について、表面形態の観察は FE-SEM によって行った。また、各試験片について分極測定を行い耐食性の評価を行った。



図 23 ミニ試作ライン外観

表 10 A5052 材への各種表面処理（80℃全没試験供試体）

試料 No.	素材	処理内容
No.1	A5052	電解研磨
No.2		電解研磨＋化成処理（六価）
No.3		電解研磨＋化成処理（三価）
No.4		陽極酸化処理（硫酸）
No.5		陽極酸化処理（硫酸）＋封孔
No.6		電解研磨＋陽極酸化処理（硫酸）
No.7		陽極酸化処理（硫酸）＋化成処理（六価）
No.8		陽極酸化処理（硫酸）＋化成処理（三価）
No.9		陽極酸化処理（リン酸三ナトリウム）
No.10		陽極酸化処理（リン酸三ナトリウム）＋封孔
No.11		電解研磨＋陽極酸化処理（リン酸三ナトリウム）
No.12		陽極酸化処理（リン酸三ナトリウム）＋化成処理（六価）
No.13		陽極酸化処理（リン酸三ナトリウム）＋化成処理（三価）
No.14		電解研磨＋陽極酸化処理（リン酸三ナトリウム） ＋エポキシ樹脂（表面包埋）

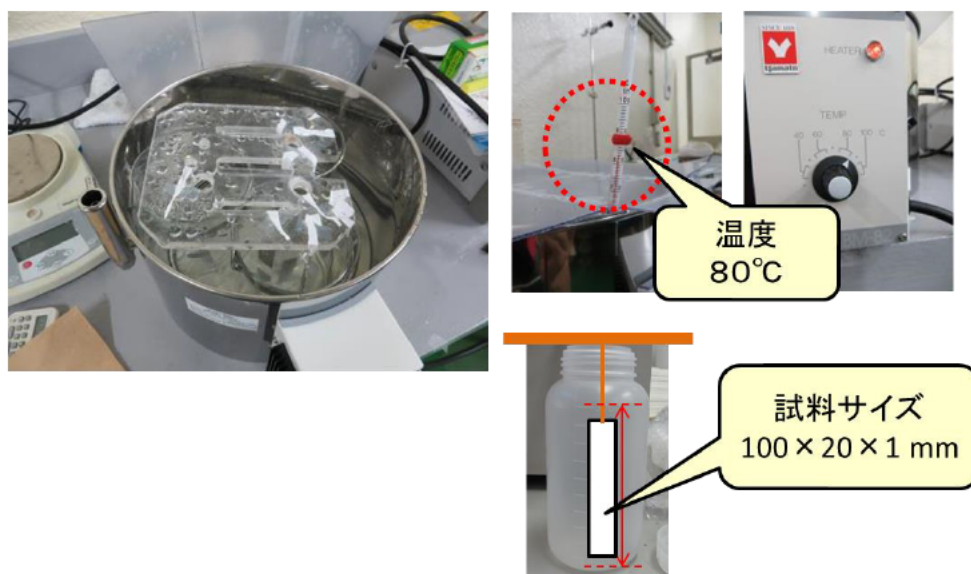


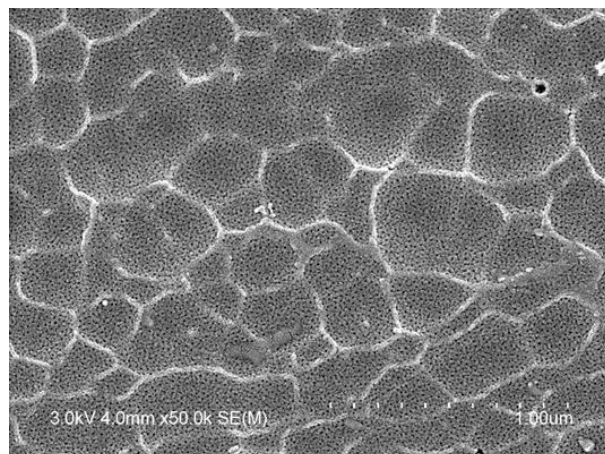
図 24 80℃/3 日 全没試験

3.実験結果

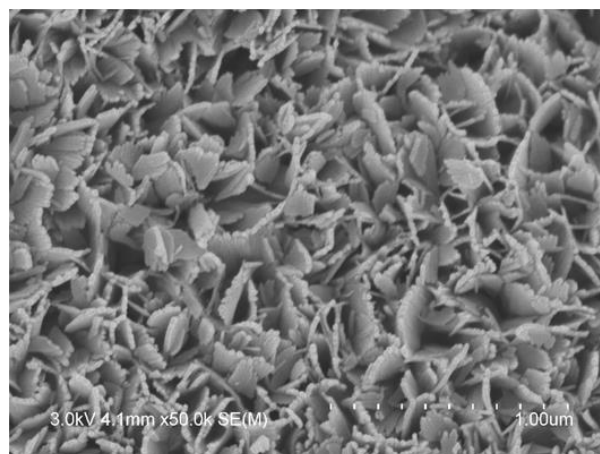
耐温水（80℃全没試験 3 日後）試験前後の表面観察結果を図 25 に示す。また、試料 No.8、No.13 以外の試料表面形態は明らかに試験前後で異なる様相を示していた。一方、図 26 に示す No.8、No.13 の試料表面形態に差異は認められない。加えて、表 11 の試料を電気化学測定装置による各処理皮膜のアノード分極測定結果を図 27 に示す。未処理の腐食電位が-830mV であるのに対し、いずれの処理皮膜の腐食電位も貴側にシフトしている

【公開版】

ことから、処理皮膜の耐食性は未処理のそれよりも向上していることがわかる。なお、腐食電流密度について、未処理の試験片が最も低い値を示し、処理することで耐食性が低下するという腐食電位とは逆の結果が得られた。しかし、腐食電流密度は、腐食電流を面積で除した値であるため、表面形態を考慮した比表面積が重要である。

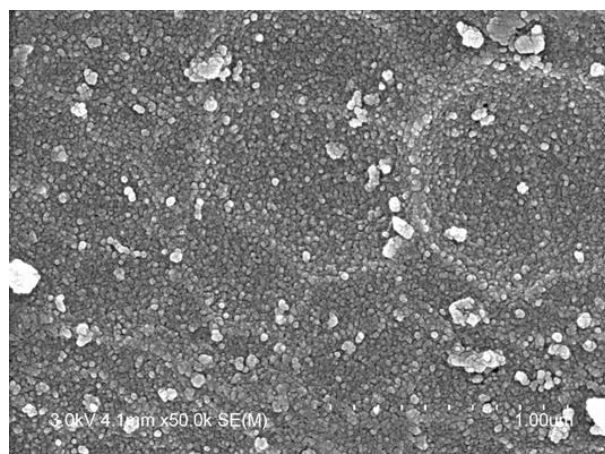


試験前

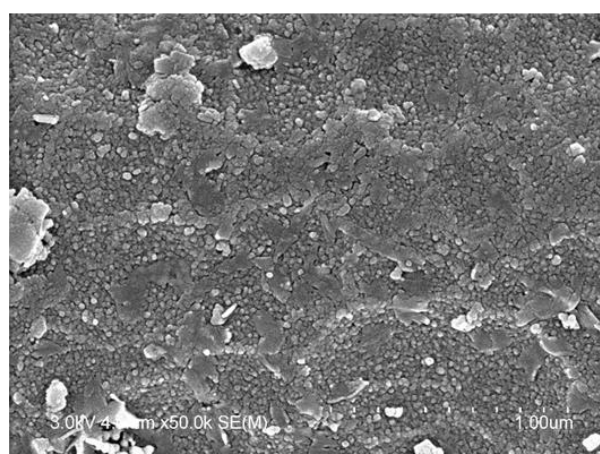


試験後

図25 80℃/3日 全没試験前後表面観察結果



試験前



試験後

図26 80℃/3日 全没試験前後表面観察結果

表 1 1 各種処理条件

試料No.	処理条件
No.1	陽極電解
No.2	No.1+硫酸浴陽極酸化
No.3	硫酸浴陽極酸化
No.4	No.1+りん酸塩浴陽極酸化+酸処理
No.5	りん酸塩浴陽極酸化+酸処理
No.6	No.1+りん酸塩浴陽極酸化+硫酸浴陽極酸化
No.7	りん酸塩浴陽極酸化+硫酸浴陽極酸化
No.8	No.1+りん酸浴陽極酸化
No.9	りん酸浴陽極酸化
No.10	No.1+後処理
No.11	No.1+りん酸塩浴陽極酸化+後処理
No.12	No.6+後処理
No.13	No.8+後処理
No.14	エメリー研磨

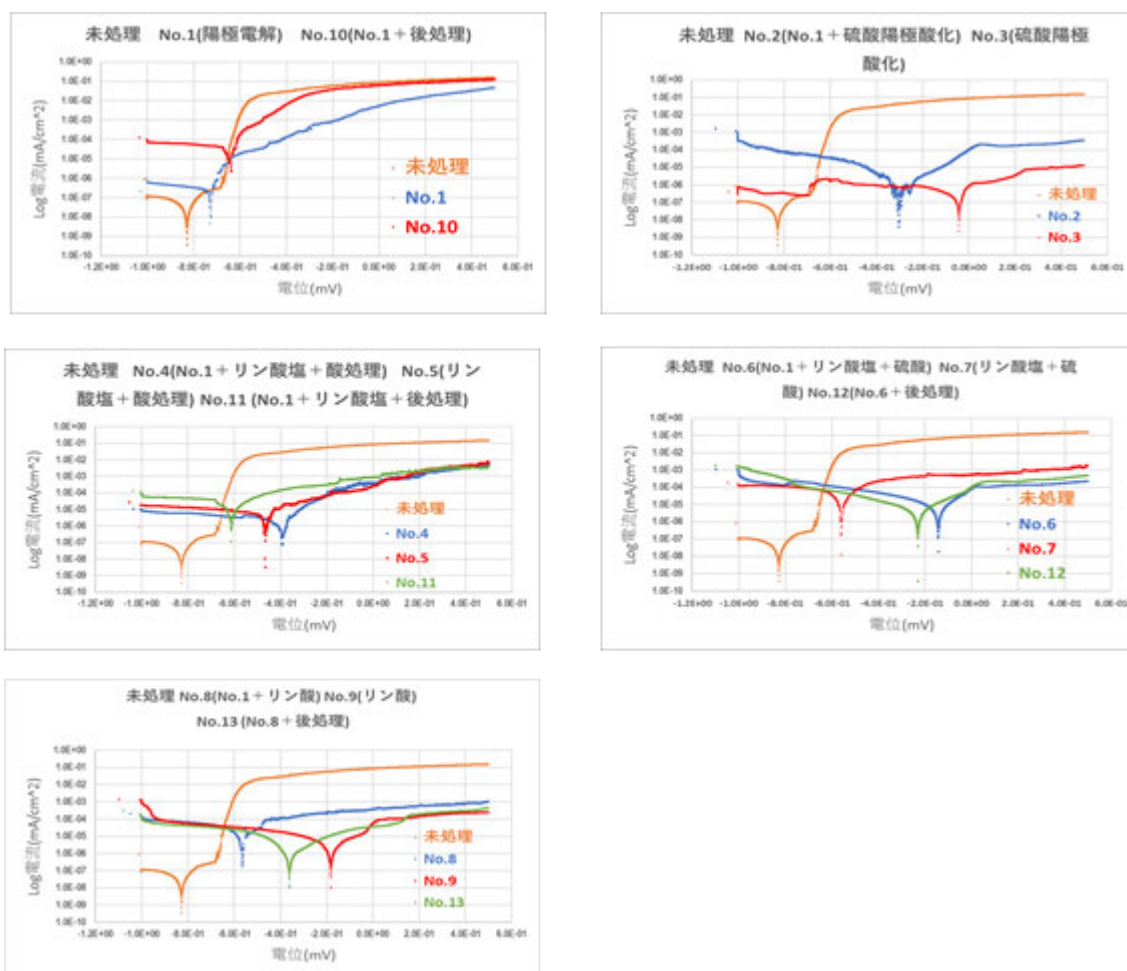


図 2 7 アノード分極測定結果

4.まとめ

耐食性評価として、樹脂とアルミニウム合金の接着後、80℃純水温水に3日間試料を浸漬後、その表面形態である微細組織の表面観察後において、表面形態が変化することが問題であった。そこで、「多層膜処理（2層膜）」生成後の試料表面に対し、六価クロムを含まない「三価クロム（硝酸＋三価クロム混合溶液）」に2分間浸漬させた場合において、10MPaの高接合強が得られたことに加え、「FE-SEM」を用いた表面観察による化成処理浸漬前後の表面形態に変化は認められなかった。これは、「化成皮膜処理」による表面不動態化により、外部因子である「温水（水分子）」との基板のアルミニウム合金の化学変化を生じなかった結果であろうと考えられる。また、各処理皮膜の表面形態はそれぞれ異なっており、これらを考慮した値を評価する必要があり、今後、検討する予定である。

5-2 実用化適応性の評価

1.はじめに

多層膜陽極酸化表面処理試料作製を実現することを目的とし、H27 年度に導入済み実用化用ミニ試作ラインを用い「生産性（コスト低減）・（プロセス設計）」を実施した。現在、川下企業（ユーザー）から、射出成型メーカーである川下企業（ユーザー）を紹介頂いた。さらに、実用化に向けた自動車用 ECU 部品に実装する予定試料（アルミ基材の機械加工品）を提供頂き、数種の組成を変化させた「陽極酸化処理皮膜」を施した。これらの試料を川下企業（ユーザー）に送付し、評価（引張試験）を依頼した。また、高接合を得るための最適「新樹脂」も検討中である。加えて、多層膜陽極酸化表面処理の最適管理条件と評価方法の確立に着手した。

2.実験方法

実験にはミニ試作ラインを用い、川下企業（ユーザー）から、実用化に向けた自動車用 ECU 部品に実装する予定試料（アルミ基材の機械加工品）を提供頂き、数種の組成の異なる「陽極酸化処理皮膜」を施した。加えて、各樹脂（PA・PPS）と高接着性向上を得るために試料表面に対し、図 28 に示す機械的表面粗化として「ショットブラスト」後、表 12 に示す各表面処理後の「孔径制御」を目的とし処理を施した。また、川下企業（ユーザー）で図 29 に示す手法を用い各試料へ射出成型後、引張試験機による引張試験を行い、FE-SEM による表面・断面観察を行った。

表 12 各種処理条件

試料 No.	素材	処理内容
1 (A)	A5052	電解研磨＋リン酸塩陽極酸化処理
1 (A-)		電解研磨＋リン酸塩陽極酸化処理＋化成処理
2 (B)		ショットブラスト＋電解研磨＋リン酸塩陽極酸化処理＋化成処理
3		電解研磨＋リン酸塩陽極酸化処理（厚膜）
1 (A)	A1050	電解研磨＋リン酸塩陽極酸化処理
1 (A-)		電解研磨＋リン酸塩陽極酸化処理＋化成処理
2 (B)		ショットブラスト＋電解研磨＋リン酸塩陽極酸化処理＋化成処理
3		電解研磨＋リン酸塩陽極酸化処理（厚膜）

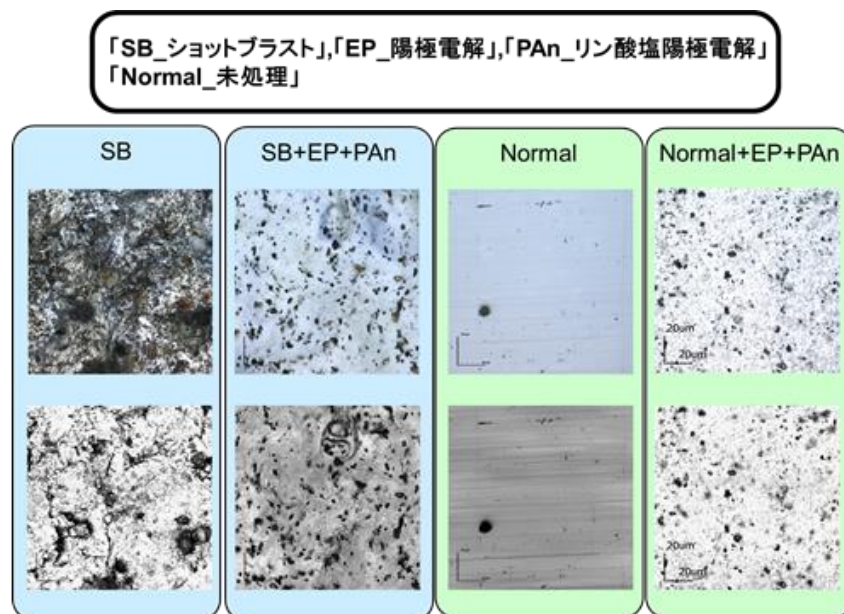


図28 ショットブラスト後の各表面観察結果

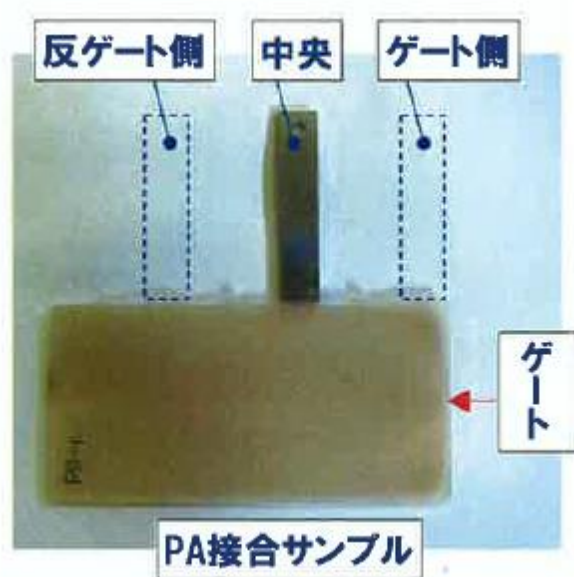


図29 各種処理条件

3.実験結果

平成 27 年度導入済みの実用化用ミニ試作ラインにて、実用化を目指し皮膜表面に得られる微細組織の「孔径制御」を目的とし「多層膜陽極酸化表面処理試料作製」を行った。図 30 に示す得られた皮膜の断面観察結果から、微細孔内に樹脂（PA）が流入し、凹凸形成のアンカー効果が有効であることがわかった。

また、試料表面を機械的に粗化する方法として、「ショットブラスト」を行った後、電気化学的手法による、「多層膜(2 層膜)陽極酸化表面処理」を施した場合、図 31 に示す「孔径 100nm 以上」の従来には無い連続性を有する「微細組織」が得られた。

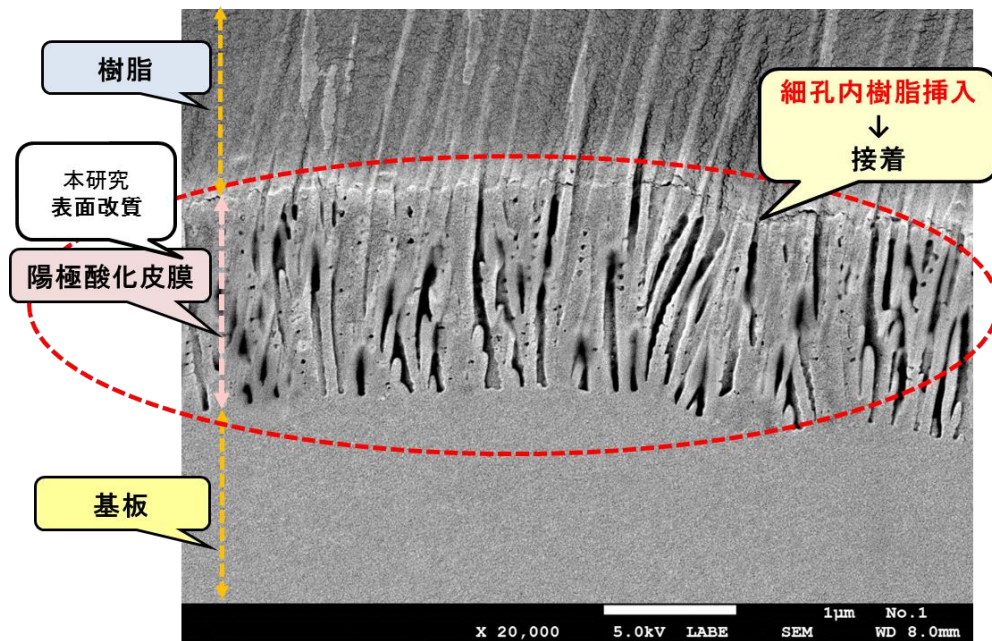


図30 樹脂—アルミニウム接着後の断面観察結果

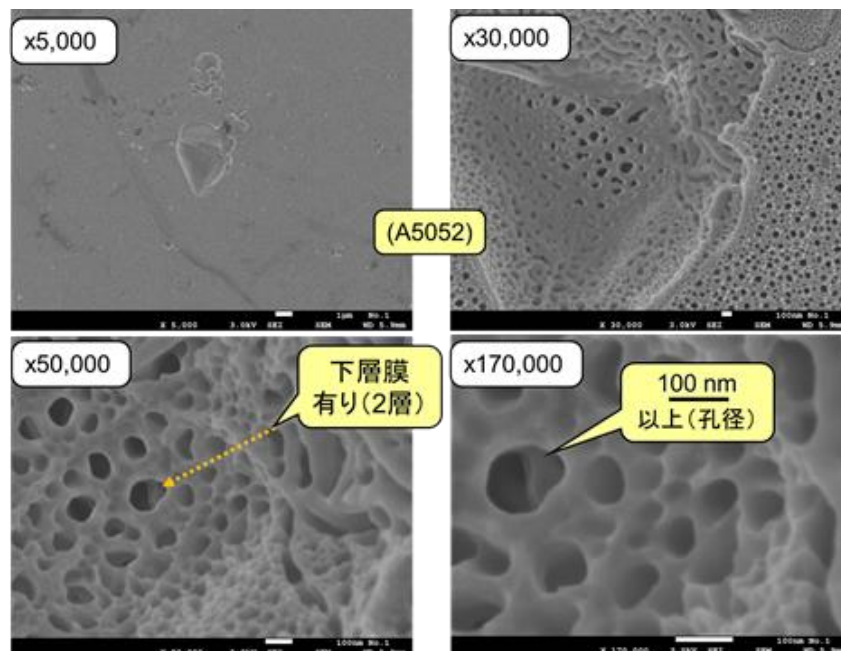


図31 ショットブラスト+表面処理後の観察結果

4.まとめ

樹脂-アルミニウム接合の断面観察結果から、1層目の皮膜（接合強度付与膜）に対し、樹脂がアンカー効果をもたらす結果を得た。一方、皮膜厚さ（深さ）に対してどのような影響を及ぼすのかについては今後、自主事業による調査が必要である。

更に、実用化を目的とし高接合を得るために試料表面に機械的表面粗化として「ショットブラスト」を用いた後、電気化学的表面処理「多層膜陽極酸化処理」を施した場合、孔径100nm以上の大きな上層（1層目）の直下に下層（2層目）の皮膜も観察出来る。「ショットブラスト」＋「多層膜陽極酸化処理」を施した場合、「接着（接合）」に大きな効果を得るための最適陽極酸化手法を見出した。「孔径制御」に加え、凹凸付与の「アンカー効果」についても可能である結果を得た。

5-3 実用化適応性に対応する高度化接合プロセスの評価

1.はじめに

接合界面に対する加熱とその制御や加圧は、異種材料の接合においても接合加工中の加工安定性や加工後における接合部材の健全性維持などの点で非常に重要である。一般に接合時の加熱には、ヒータが用いられる。この場合、接合界面への熱の供給は熱伝導による形態が主要となる。任意の位置での温度はヒータに近い場所から遠くの場所になるほど低下する。よって、ヒータから離れた場所の界面温度を高くするには、そこまでの材料とそれらで構成される界面全体が温度変動の影響を受けることとなる。そのようなことから、界面を適正な接合温度に設定しようとするとは別の場所の材料や界面に熱的な損傷が生じるというような結果も発生する。一方、加熱にレーザを用いる場合、波長に依存したレーザ光の透過性を利用し、選択した領域のみの加熱が可能となり、材料内部の発熱に利用できる。昨年度までの研究で接合部材内の接合界面に適正な接合状態を形成するためには、レーザ出力の高出力化が必要であることがわかった。

そこで以下では、4kW のレーザ出力が可能な高出力半導体レーザによる接合加工の最適化とその評価プロセスの確立を試みた。ここでは、インサート材料を中間層にした三層の接合部材の接合について、加圧下での高出力なレーザ出力での接合加工の効果を検討した。主な調査内容は下記のとおりである。

- 1) 高出力なレーザ出力による接合加工の効果の評価
- 2) 耐熱ポリアミド樹脂の分光特性の評価

2.実験方法

1) の実験方法と評価法は以下のように行った。接合実験では、図 32 に示すように光源に定格出力 4kW の半導体レーザ（波長 808 nm）、接合部の走査に一軸ステージ（材料側移動）を用いた。三種類の材料は、A：ポリカーボネート（樹脂；t3）、B：熱可塑性エラストマシート（インサート材料；t0.1）、C：A5052（アルミニウム合金；t2）である。これらを図 32（b）に示すようにステージ上の台座にレーザ照射側から ABC の順に重ねて配置した。接合加工のとき三層の接合部材をアクリル樹脂で押さえ加圧しながら、レーザ照射による接合部を走査した。接合加工後の三層接合部材の評価は、引張せん断試験を行い、その破断荷重を測定した。

【公開版】

高出力半導体レーザーで接合を行うにあたりエネルギー密度 $E_d(P_d \cdot d)/v$ J/cm² 及びパワー密度 $P_d=P/A$ W/cm² を基準因子とした。ただし、レーザー照射でのスポット部面積 A を $2.8 (=d \cdot t=1.4 \times 2.0)$ cm² で行った。具体的なレーザー照射条件として、レーザー出力 P ; 600 から 1200 W、ビーム移動速度 v ; 30 から 50 mm/s、走査回数を一往復で接合を行った。接合後、三層の接合部材について、材料や界面に燃焼部分がないことと界面が熔融後に凝固した状態があることを光学顕微鏡で観察し、それらを満足した接合部材のみを引張せん断試験した。試験片は一条件につき 5 本とした。接合部材の引張せん断試験結果を図 33 に示す。横軸にエネルギー密度 E_d 、縦軸に引張せん断試験時の破断荷重を示す。

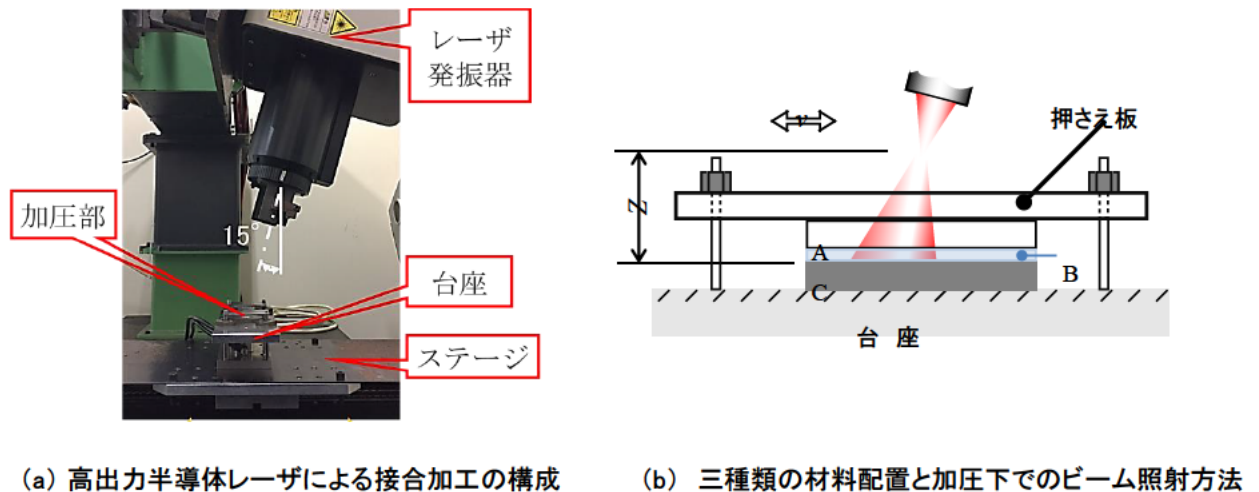


図 32 三層の異種接合部材のレーザー接合のシステム構成

2) 耐熱ポリアミド樹脂の分光特性の評価

本異種材料の接合で材料間の結合力を向上させる上では、樹脂とインサート材料の選択や組合せが重要である。以下に新たに使用を試みる耐熱ポリアミド樹脂についての分光特性の測定と半導体レーザー照射による加工性を調べた。耐熱ポリアミド樹脂 (t2) の分光測定では、ダブルモノクロメータ式分光光度計 (島津製作所製: SolidSpec 3700DUV) を用いた。また測定のビーム径は 5×10 mm、検出器は PMT と InGaAs (880 nm で切替え) で行った。図 34 に分光測定の結果を示す。使用した半導体レーザーの波長 808 nm における全透過は全透過率は 7 % 程度であった。またエラストマシートを張合せた状態でのその値は 4.5 % 程度となることがわかった。

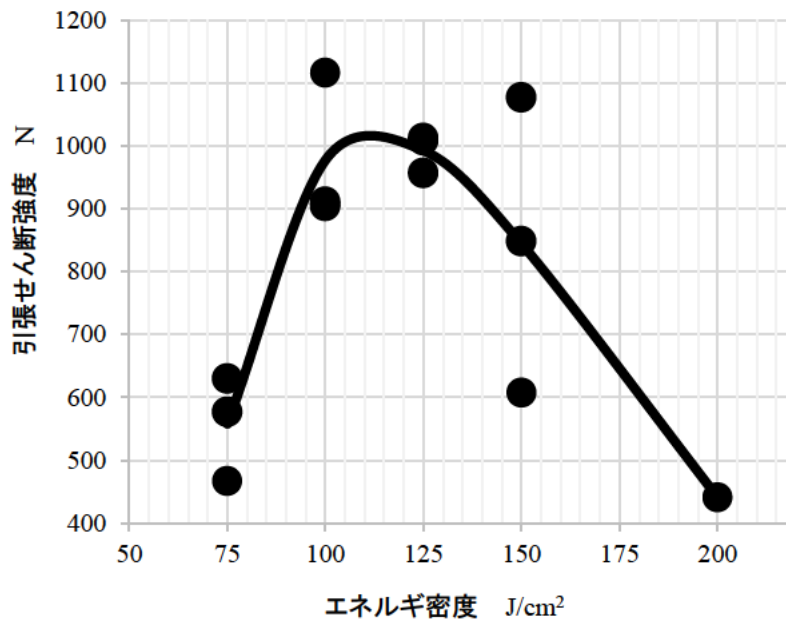
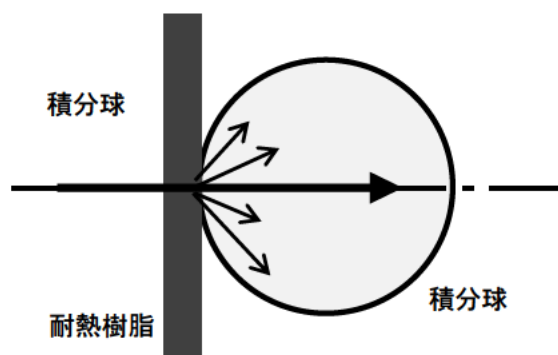


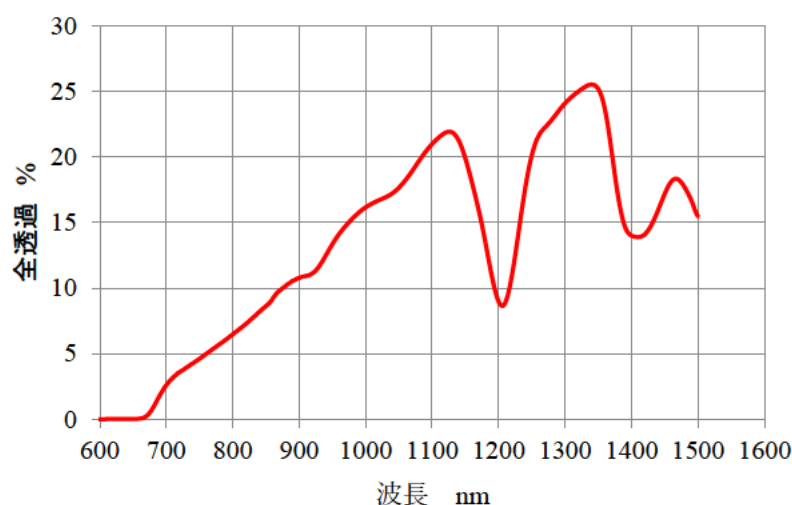
図 33 適正なビーム照射条件と接合引張せん断強度

3.実験結果

接合部材の製作に際して、ビーム移動速度 v を 40 mm/s 一定で行った。エネルギー密度が高くなると、引張せん断試験における接合部材の破断荷重も平均 1000 N まで大きくなった。ところが、エネルギー密度 $125 J/cm^2$ （パワー密度 $357 W/cm^2$ ）付近で破断荷重の最大値的な凸部が認められた。さらに、エネルギー密度 $150 J/cm^2$ （パワー密度 $429 W/cm^2$ ）以上増加した接合部材では、破断荷重が低下した。この結果は、最適な接合条件の領域があり、エネルギー密度から判断できることわかった。それにより具体的にはパワー密度、レーザー出力、ビーム移動速度の関係が明らかとなった。さらに、エネルギー密度 $125 J/cm^2$ （パワー密度 $357 W/cm^2$ ）より低い条件と高い条件での破断荷重のばらつきが大きくなることもわかった。この点については、接合部界面内に気泡が発生することやビームの不均一性などが今後の検討課題である。



(a) 全透過率測定系



(b) 耐熱ポリアミド樹脂の透過率

図 34 耐熱ポリアミド樹脂の分光特性

図 35 に引張せん断試験で破断した三層の接合部材について、破断位置とその状態について観察した結果を示す。図 35 (a) は引張せん断試験前の接合部材の界面位置を示しており、界面 1 はポリカーボネートとエラストマシート間、界面 2 はエラストマシートと A5052 間である。また図 35 (b) に破断後の観察位置を示し、それぞれ観察位置 I と II とした。図 35(c) にエネルギー密度と破断位置及び破断の状態を示す。低いエネルギー密度 75 J/cm^2 での接合部材では、破断荷重が低くエラストマシートと A5052 との界面 2 にエラストマシートの残存がない界面破壊であった。このことから、低エネルギー密度では界面 2 の加熱不足にともなう結合不足であったことがわかった。エネルギー密度 125 J/cm^2 での接合部材では、破断後の界面 1 及び界面 2 にエラストマシートの残存が確認され、凝集破

【公開版】

壊に近い状態での破壊であったことがわかった。さらに供給熱量を増やしてエネルギー密度 200 J/cm^2 での接合部材では、過剰入熱のため接合部材の製作が難しい加工条件となった。破断後のエラストマーシートは界面 2 の A5052 表面にほぼ残存しており、高入熱による界面 2 での結合力の向上が認められた。しかし、高エネルギー密度の影響で界面 1 側の特にポリカーボネートの熱損傷やエラストマーシートとの剥離が顕著であった。この観察結果からも破壊の界面位置とその状態によって適正なエネルギー密度の判断ができることがわかった。また接合強度の向上の点では、光学的及び熱的な関連性からも樹脂及びインサート材の選択と組合せが重要であることが改めて認められた。

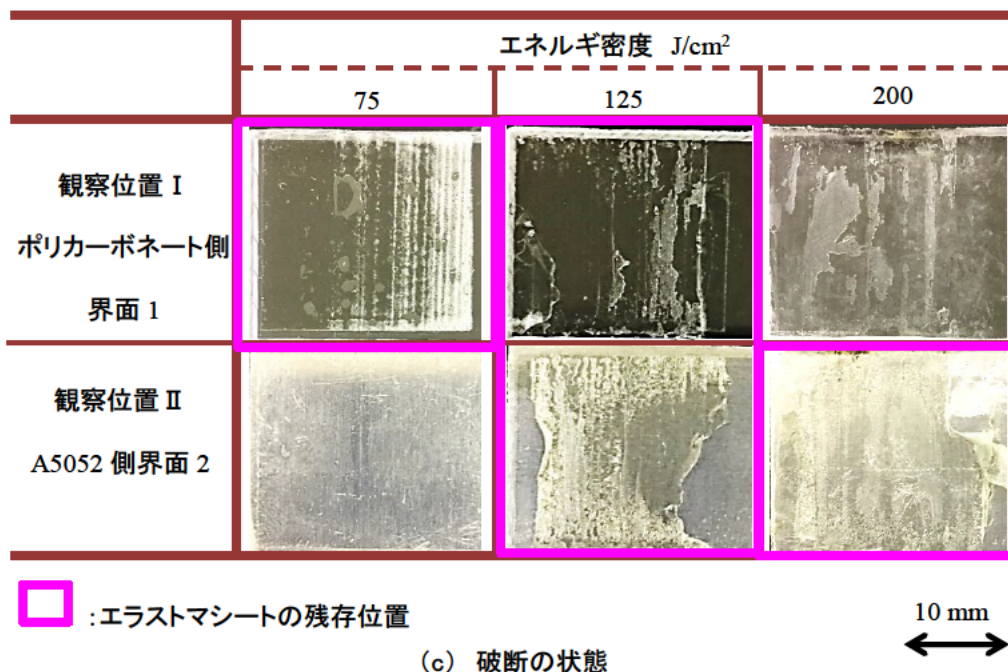
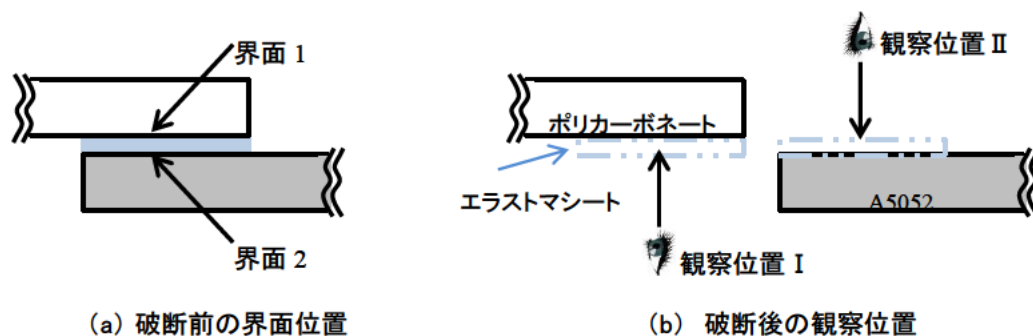


図 35 破断における界面位置と破断状態

【公開版】

耐熱ポリアミド樹脂を使用するとインサート材料であるエラストマシートと A5052（アルミニウム合金）との界面には、入力されるレーザー出力の 4.5 %程度のみが到達される。よって、使用するレーザー出力が高出力であることから、界面に供給されるレーザーによる接合加工の可能性を調べた。

主なレーザーの照射条件は、レーザー出力最大 1200 W、ビーム走査速度最大 60 mm/s であり、条件内ではパワー密度 500 W/cm^2 以下で行った。図 36 にビーム照射面と裏面を示す。高いレーザー出力を照射したが、裏面の接合界面でのインサート材または耐熱樹脂の溶融は認められなかった。この結果から、5 %以下の低い透過率に対して高出力なレーザー出力を照射しても、接合加工の状態を得ることは困難であることがわかった。

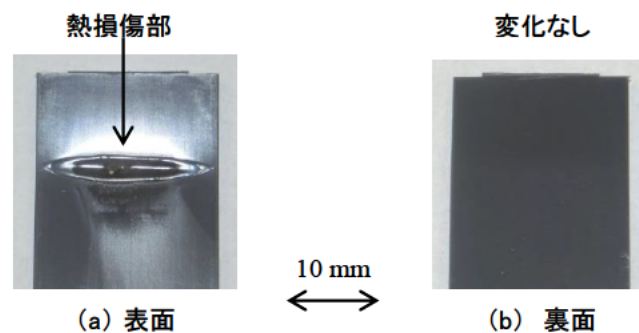


図 36 耐熱ポリアミド樹脂へのレーザー照射結果

4.まとめ

樹脂及びインサート材料については、接合品質の確保の点で耐熱性やインサート材との結合性かつ光学特性としての透過率を適正に選択することが不可欠である。

最終章 全体総括

1. 研究開発成果について

平成28年度までには、【1.接合性と耐食性付与を両立させる多層膜陽極酸化表面処理機構の調査および評価方法の確立】、【2.接合性と耐食性付与を向上させる多層膜陽極酸化表面処理を用いた各種アルミニウム合金への適用】の成果に基づき、【3.1】意匠性付与要求への対応、【4.1】高硬度化付与要求への対応、【5.1】ECU 装置部品に対応する生産性評価、【5.2】実用化適応性の評価、の項目、目標を達成した。

また、準備状況の遅れのために最終年度まで試行錯誤が続いていた、レーザ接合に関する開発については、実施強化するため、“【5.3】実用化適応性に対応する高度化接合プロセスの評価”という項目を追加して実施した。これにより、与件条件の接合部材の材料性状、接着用の有機材料を特定すれば、最適なレーザ照射条件を特定することまで可能となった。

以上の通り、当初設定した目標はすべて達成し、最終年度においては、「鑄ぐるみ法」というレーザ接合法以外の応用技術の可能性を当該技術の専門企業の協力を得ながら実施することも試みた。このように、補助事業のノルマとしてではなく、「事業化」という目標に向かって、具体的な研究開発をチャレンジングに補強、追加しながら進めてきた。

2. 研究開発後の課題・事業化展開について

本技術開発では、2 年目に試作ラインを製作し、プレ実用化段階に到達した。従って、先行研究の成果を先ずは、量産レベルで実証することが出来る。開発技術コンセプトが順調に展開すれば、目標とする接着強度、耐食性を実証することにより、川下企業（ユーザー）への試作品提供が補助事業終了時点で整った。

ここで、川下ユーザーとしては、市場規模の大きな自動車産業を想定しているが、携帯電話、パソコンなどの家電製品などについても、プラスチックとアルミの接合技術を必要とする市場が広がっている。実施企業の生産体制など、その事業規模に見合ったニーズ、特に川下ユーザーとして自動車産業向けに事業展開している旭化成ケミカルズ株式会社の協力を得ながら本研究開発を進めてきたこともあり、今後とも、製品化、商品化について、引き続き強力な支援を仰ぎながら、事業化展開を具体化して行きたいと考えている。

【公開版】

また、本研究開発期間中にも一部先行的に試作のチャレンジを行ったが、「鑄ぐるみ法」による接合法というサポインで開発したレーザ接合技術とは異なる成型方法なども視野に置いて、試作品を早期に評価してもらい、課題を早期にフィードバックして、サポインで開発した試作ラインで改良を加えていくことを継続して進めていきたい。

但し、この点については、新規実用化開発案件として、別途補助金にて展開するか、技術課題の難易度にもよるが、確信を以て対応可能とするならば、資金融資で本格的な製造ライン構築に邁進することもあり得る。このような経営リスクマネジメント、経営判断のための実戦課題抽出の場が、本補助事業の目的の一つでもあったので、これまでの三年間で培った経験、知見、ノウハウ、人脈を有効に活用していく所存である。