

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「アルミダイキャスト材と樹脂結合技術」

研究開発成果等報告書

平成25年 3月

委託者 関東経産局経済産業局

委託先 よこはまティーエルオー株式会社

目 次

第1章 研究開発の概要	3
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1. 研究背景	3
(1) 自動車に関する事項	3
1) 軽量化への寄与	3
2) 組み立て工程の生産効率への寄与	3
(2) 情報家電及び事務機器に関する事項	4
2. 目的	4
3. 目標	4
(1) 高強度化	4
(2) 生産効率性の向上に資する部材結合技術の高度化	5
1-2 研究体制	6
1. 研究組織	6
2. 管理体制	6
(1) 事業管理機関	6
(2) 再委託先	7
3. 研究者氏名	8
4. 協力者	8
1-3 成果概要	8
1. 超音波洗浄によるスマット除去	8
2. アルプラス電解処理による結合強度の向上	8
1-4 当該研究機関の連絡窓口	9
1. 事業管理機関	9
2. 統括研究代表者	9

第2章 本論	10
2-1 スマット除去の検討	10
1. 超音波洗浄による除去	10
2-2 特殊電源によるアルプラス処理（アドバンスド電流反転法）	12
1. 処理条件の検討	12
2. 印加時間の検討	16
第3章 事業化を目指して	19
3-1 新技術の優位性	19
1. 結合法の優位性	19
2. 生産工程の削減	20
3. アルミ部品の軽量化	20
3-2 事業化の展開	21
1. 自動車	21
2. 家電	21

第1章 研究開発の概要

自動車、情報家電、事務機器などの分野では部品の軽量化、高強度化、高耐久性が求められている。これらのニーズに対応できる生産性に優れた技術確立するため、本研究開発は多くの産業に使われるアルミダイキャスト材と樹脂の結合技術について、高強度・高精度・高耐久性のある結合を、より安価な製造コストを実現する製造法の開発を目的とした。

本研究開発では、アルミダイキャスト材の結合表面に、特殊アルマイト処理（アルプラス処理）を施し、多孔質アルミ表面層を形成する。その多孔質表面層上に樹脂を直接射出成形し、樹脂の多孔質層内への浸透により、アルミダイキャスト材と樹脂の高強度な結合技術を開発する。本研究開発の予備検討ではアルミダイキャスト材はケイ素を多く含むため、ケイ素が多孔質層の形成を阻害することや、表面層に残存するために樹脂との接合強度が低下することが分かっている。（残存物をスマットという）

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1. 研究背景

部材結合に係る技術に関して、以下の課題とニーズがある。

（1）自動車に関する事項

1) 軽量化への寄与

近年は燃費、CO₂排出の大幅な削減のため車両の軽量化に向けて、駆動部品や動力部品等の軽量化が求められている。これらの部品には現在アルミダイキャスト材が広く用いられているが、樹脂との結合により大幅な軽量化が可能となる。他には、ヘッドライト用の高輝度LEDの放熱部品など多くの部品が樹脂との結合により大幅軽量化が可能となる。このためコンパクトで高精度、高強度な一体結合技術の開発が課題である。本研究開発はこの課題解決を目指すものである。

2) 組み立て工程の生産効率への寄与

アルミダイキャスト材の部品と樹脂の高強度な結合を実現するために、カシメ工程や接着工程を必要と生産効率が落ちる可能性がある。生産工程数を大幅に削減し、高精度、高強度な結合部材を実現する技術が今後の課題である。本研究開発はこの課題に応えるものである。

(2) 情報家電及び事務機器に関する事項

この分野において本技術開発が関わる課題は

- 1) 新素材の部材結合
- 2) 薄板厚部材の安定した結合
- 3) 微細な部品の結合
- 4) 組み立て工程作業の高効率化

である。

2. 目的

研究開発実施機関のコロナ工業はケイ素含有量の少ないアルミ展伸材に関して、表面に多孔質アルミナ層を陽極酸化法で形成する技術（アルプラス：登録商標）を開発しており（特許：4541153）、この多孔質層表面に樹脂を直接射出成型し、多孔質部分に浸透した樹脂のアンカー効果によりアルミ展伸材との強固な結合を実現している。従来はカシメ、接着剤などでアルミと樹脂の結合を行っていたものをアルミ表面に樹脂を直接射出成形し、強固な結合を得ている。この技術は既に実用化されている。

しかし、この技術をケイ素含有量の多いアルミダイキャスト材に適用した場合、ケイ素粒子が多孔質層表面や内部に析出し、樹脂の浸透が出来ず、良好な結合が得られない。

本研究開発では、このケイ素粒子の析出の抑制、除去を図り、優れた結合を得ることを目的としている。

3. 目標

(1) 高強度化

本研究開発はアルミダイキャスト材の結合表面に多孔質アルミ表面層を形成し、その多孔質表面層上に樹脂を直接射出成型し、樹脂の多孔質層内への浸透を図り、高強度の一体結合技術を開発することを目標とした。

平成22年度と23年度の結合強度の目標値は、研究開発実施企業であるコロナ工業におけるアルミ展伸材でのアルプラスの実績データによる結合強度（ほぼ樹脂の限界強度と等しい）と比較した場合、アルミダイキャストの場合はその80～100%の強度を得ることを目標とした。

具体的には、

- ・ 押込み強度 300N 以上、平板の引張強度 400N 以上、
（結合面積 28.3 mm²）

としたが、

平成24年度はユーザーの自動車部品メーカーとの検討において、

- ・ 押込み強度は 200N 以上で充分であり、平板の引張強度は必要ない。
との要求があり、これを目標とした。

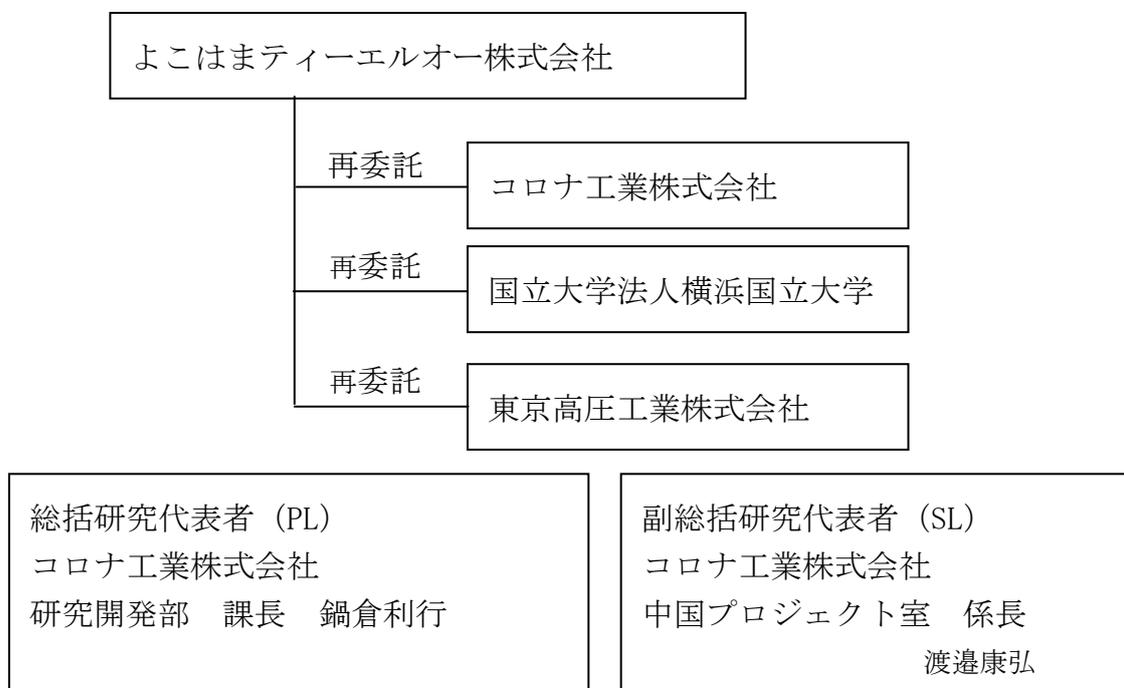
(2) 生産効率性の向上に資する部材結合技術の高度化

広い応用が考えられるアルミダイキャスト材と樹脂の結合に関して、高強度、高精度、コンパクトな結合を少ない工程数で実現する方法を目標とした。

この技術が実現すれば多様な形態の部品において、生産工程数を大幅に削減し、組み立て、完成部品の生産効率の大幅な向上が可能になる。

1-2 研究体制

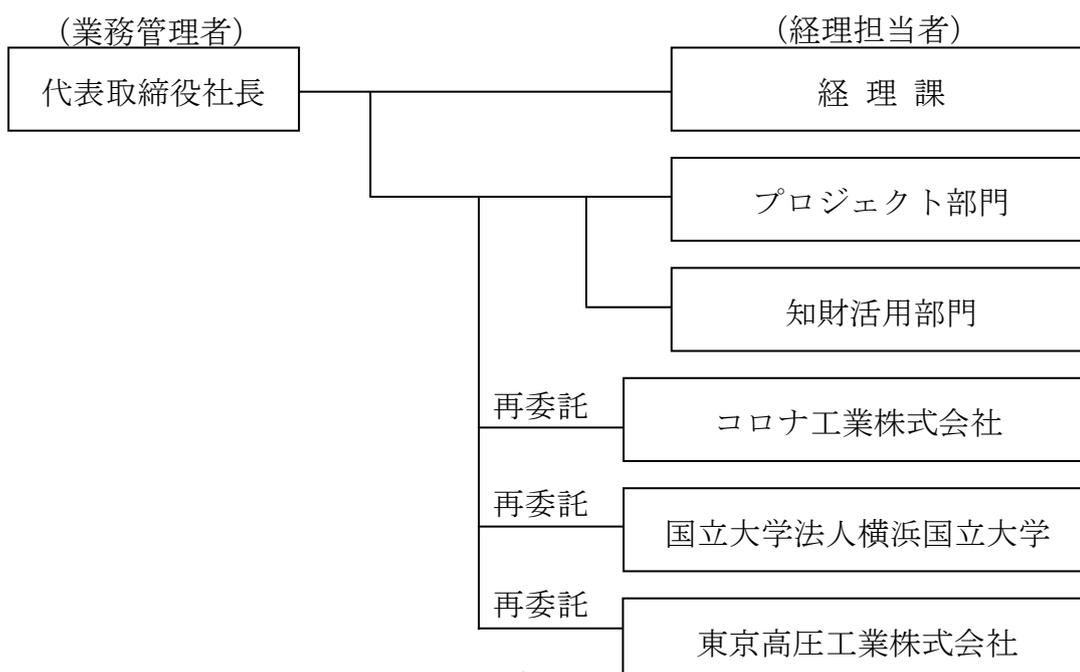
1. 研究組織



2. 管理体制

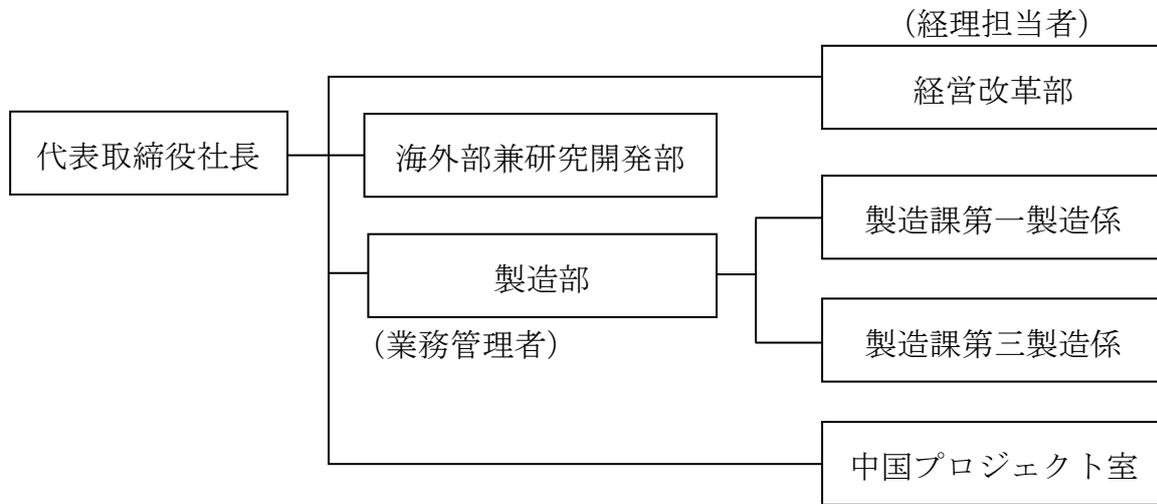
(1) 事業管理機関

[よこはまティーエルオー株式会社]

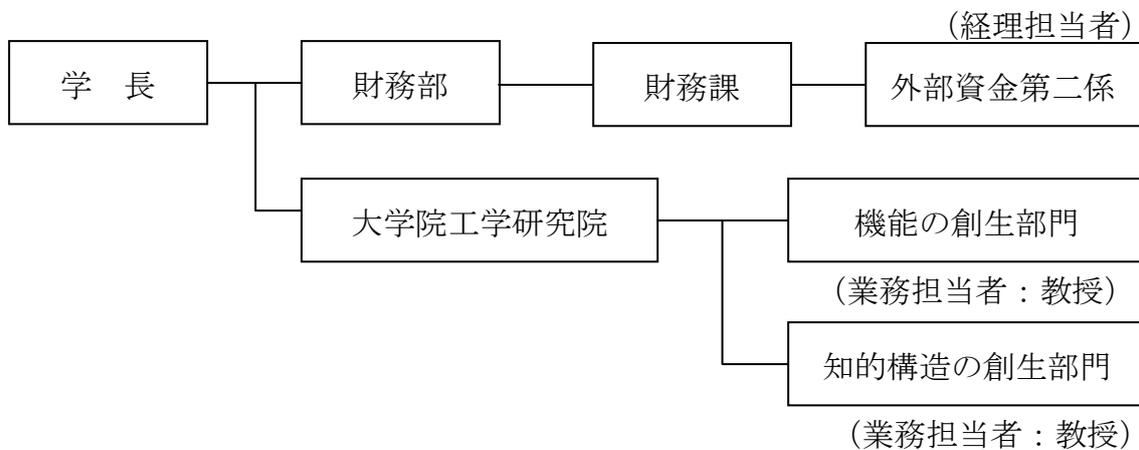


(2) 再委託先

[コロナ工業株式会社]

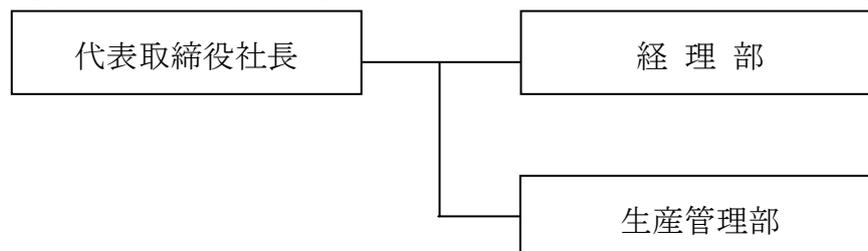


[国立大学法人横浜国立大学]



[東京高压工業株式会社]

(業務管理者：代表取締役社長)



1. 研究者氏名

[コロナ工業株式会社]

- ・鍋倉 利行 研究開発部 課長
- ・渡邊 康弘 中国プロジェクト室 係長
- ・山口 雅夫 海外部長兼研究開発部長
- ・山田 紀宏 製造部製造課第一製造係 係長
- ・伊藤 正典 製造部製造課第三製造係兼第四製造係 係長
- ・小塩 恭正 研究開発部 係長

[国立大学法人横浜国立大学]

- ・梅澤 修 大学院工学研究院 機能の創生部門 教授
- ・荻野 俊郎 大学院工学研究院 知的構造の創生部門 教授

[東京高压工業株式会社]

- ・信太 祐介 生産管理部長

2. 協力者

菊池 哲 株式会社アルミ表面技術研究所 代表取締役

1-3 成果概要

1. 超音波洗浄によるスマット除去

陽極酸化処理後に発生するスマットは超音波洗浄によりある程度除去できることが確認された。本研究開発は陽極酸化処理前の超音波洗浄に加えて、陽極酸化処理後のスマットの除去にも超音波洗浄を適用した。

2. アルプラス電解処理による結合強度の向上

陽極酸化処理（アルプラス電解処理）において特殊電源を使用し、印加条件を検討した結果、アルミダイキャスト材と樹脂の目標接合強度を達成できる印加条件を見出した。目標の押し込み強度（200N）を達成し、繰返し実験における結合強度のバラツキを低減することができた。

1 - 4 当該研究開発の連絡窓口

1. 事業管理機関

- (1) 所属 : よこはまティールエルオー株式会社
- (2) 氏名 : 藤本 郁夫
- (3) 電話 : 045-339-4441
- (4) FAX : 045-340-3541
- (5) E-mail : ikuoytlo@ynu.ac.jp

2. 統括研究代表者

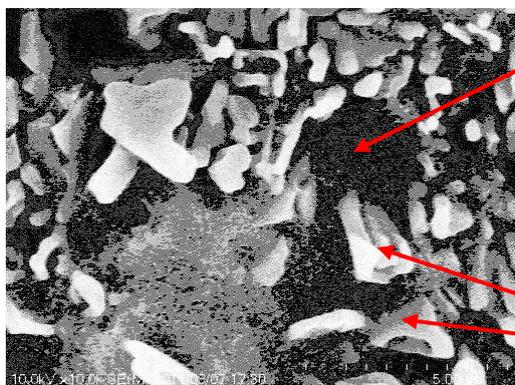
- (1) 所属 : コロナ工業株式会社
- (2) 氏名 : 鍋倉 利行
- (3) 電話 : 045-785-3141
- (4) FAX : 045-785-4141
- (5) E-mail : nabekura@coronakogyo.co.jp

第2章 本論

2-1 スマット除去の検討

アルミダイキャスト材（ADC12）に通常のアルプラス処理工程（陽極酸化処理）を施すと、前処理・本処理でスマットが表面に析出され、結合力の低下をまねく。そこでスマットを洗浄除去する方法を検討した。

ダイキャスト材(ADC12)のアルプラス処理後の SEM 画像



ポーラス形状

※ポーラスはあるが黒いケイ素と思われるスマットが邪魔して、樹脂が接着しない。

ケイ素と思われるスマット

倍率×100k

1. 超音波洗浄による除去

【実験方法】

- ・ ADC12 材(寸法：50×70×t3.0mm)に前処理を行なうことにより黒く析出したスマットを、超音波の出力条件を変えて、スマットの除去の検討をした。
- ・ 超音波槽には純水を使用した。



超音波処理槽



超音波装置

超音波装置

工 程		
No.	前処理後	超音波
①		条件：1 A、60 秒 
②		条件：2 A、60 秒 
③		条件：3 A、60 秒 

【実験結果】

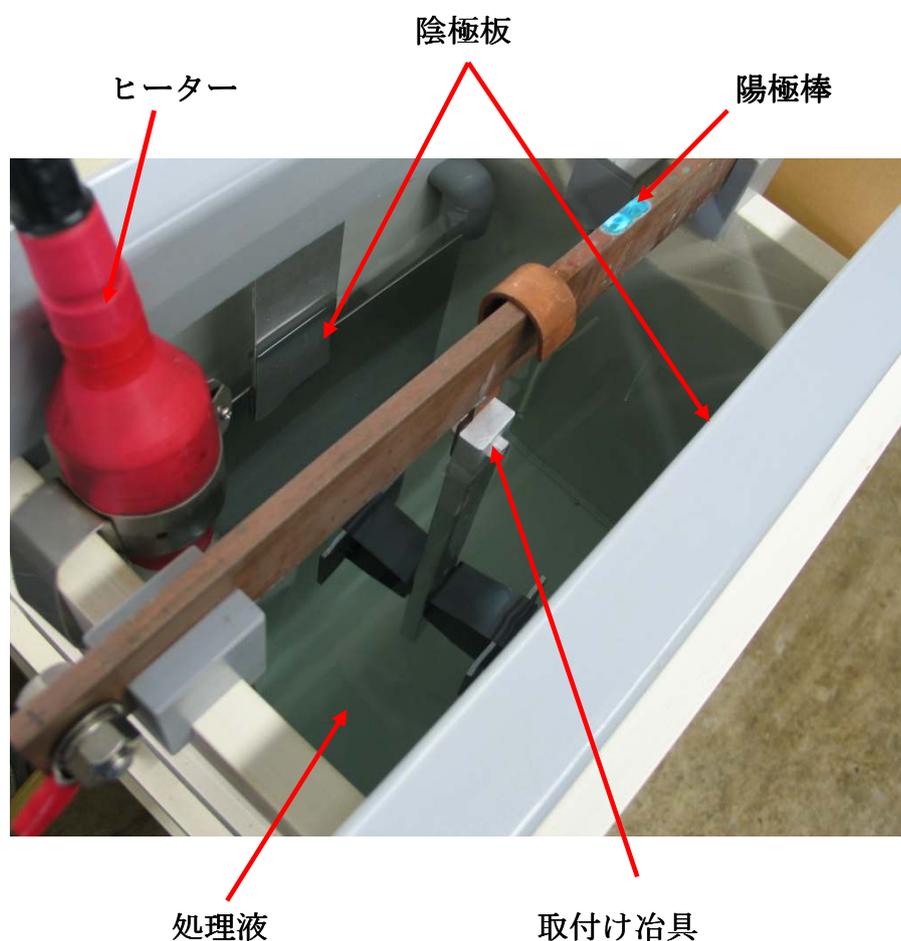
- ①の条件では殆んどケイ素と思われるスマットは取れず、②の条件では取れる部位と取れない部位が出てムラになってしまった。③の条件ではスマットが除去出来る事が確認出来た。
- 陽極酸化処理後に発生するスマットは超音波洗浄によりある程度除去できることが確認された。
- この結果、本研究開発は陽極酸化処理前の超音波洗浄に加えて、陽極酸化処理後のスマットの除去にも超音波洗浄を適用した。

2-2 特殊電源によるアルプラス処理（アドバンスド電流反転法）

特殊電源を用いて交番電界による検討を行なった。交番電界による陽極酸化処理は電流反転法として知られている方法であるが、本研究開発では、アルミダイキャスト材の陽極酸化処理（アルプラス処理）の最適な処理条件を見出すために、電源をさらに改良し、交番電界の印加条件と電圧条件を詳細に検討した。その結果、アルミダイキャスト材と樹脂の接合強度の目標値を達成できる印加条件と電圧条件を見出した。

1. 処理条件の検討

印加条件と電圧条件の検討は、電源に特殊電源を用い以下の小型アルマイト槽を用いた。



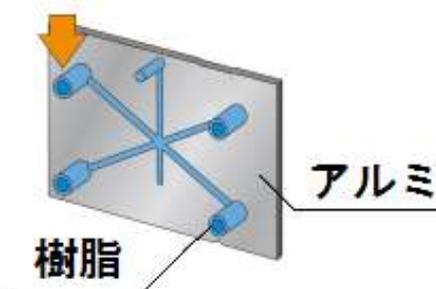
【実験方法】

・前処理を行なった ADC12 (50×70×3) を取付け治具にセットし、下図のような印加条件、電圧条件で陽極酸化処理を行なった。その後射出成型により樹脂を結合し、押し込み強度を測定した。

試験番号	項目	電圧
1	印加法①	A
2		B
3		C
4	印加法②	A
5		B
6		C



押し込み強度試験



共通条件

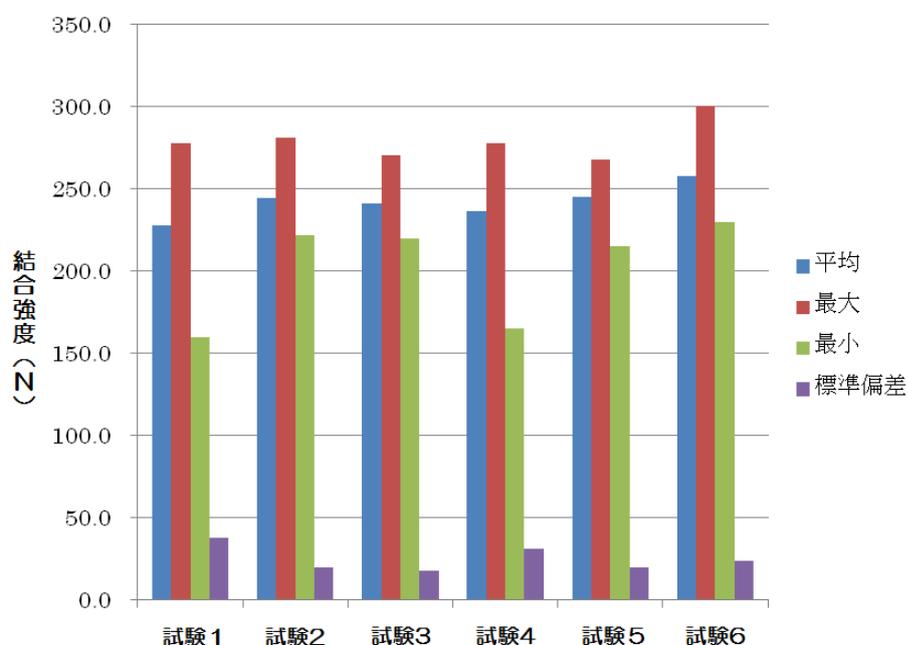
- ・試験回数：10回
- ・アルプラス条件
設備：特殊電源、実験用小型アルマイト設備
- ・試料：ADC12 試験片（寸法：50×70×t3.0mm）東京高圧工業(株)製
- ・接合樹脂：PPS フォートロン 1150T7 ポリプラスチック(株)製

【実験結果】

試験番号	項目	電圧	平均強度 (N)	標準偏差
1	印加法①	A	227.9	37.8
2		B	244.7	19.5
3		C	241.0	17.6
4	印加法②	A	236.4	30.8
5		B	244.9	19.4
6		C	257.9	23.4

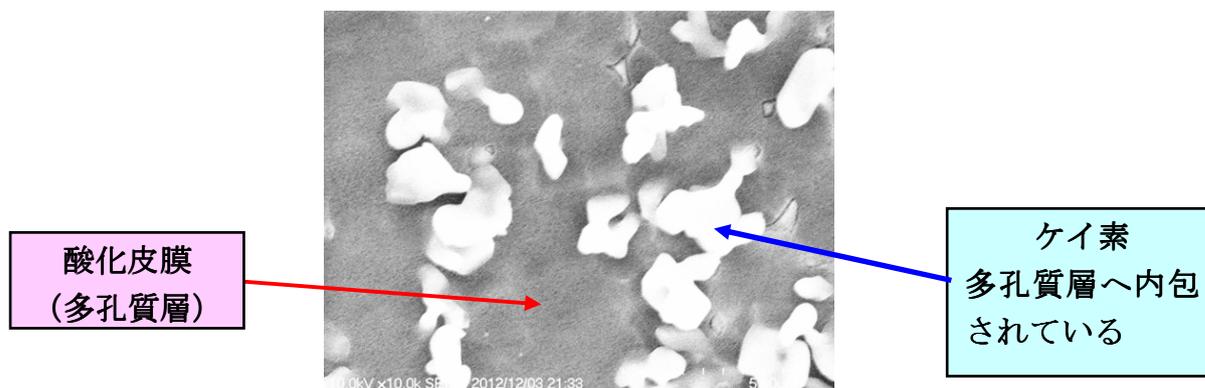
【実験結果のまとめ】

・印加方法②の電圧Cの結合強度の平均値が最も高く、また標準偏差は小さくバラツキを抑えられることが分かった。



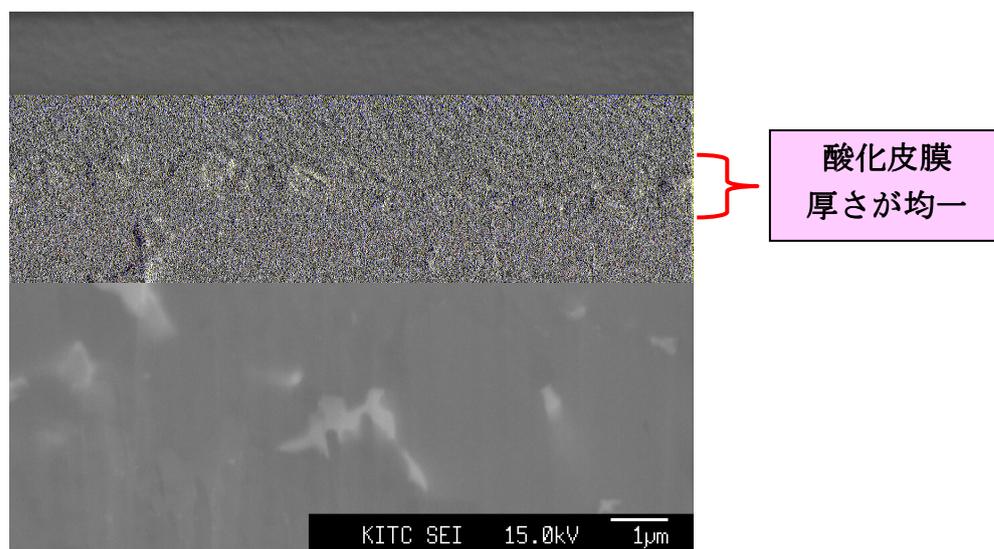
【表面のSEM観察】

・下の写真は印加法②電圧Cの試料の表面SEM観察である。
ケイ素が多孔質層に内包されているのが観察できる。



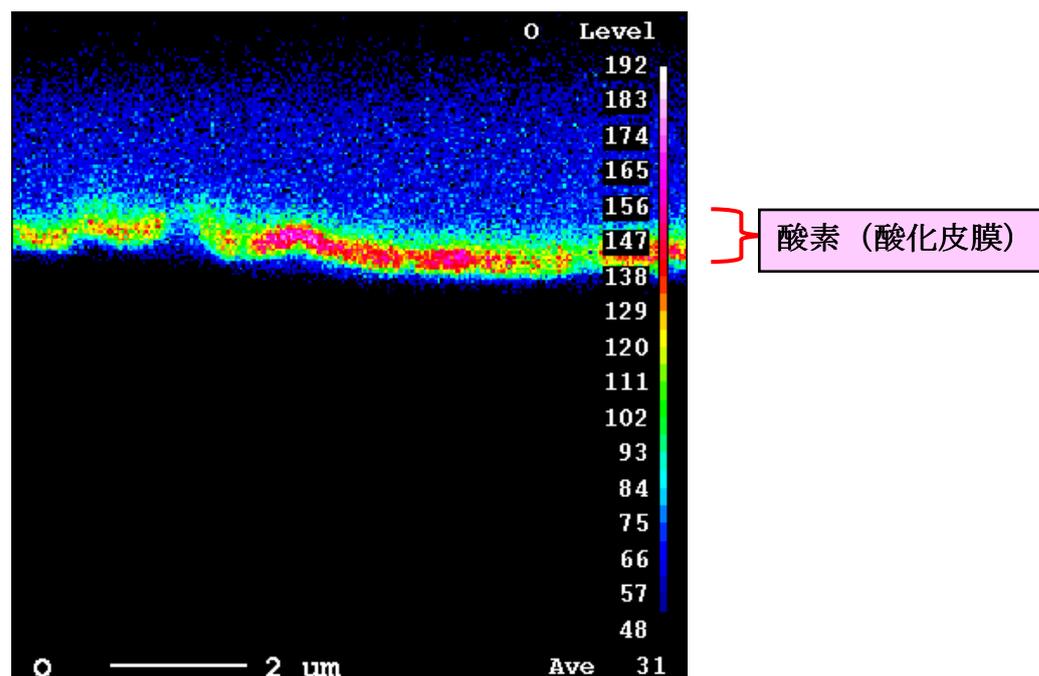
【断面の SEM 観察】

下の写真は同一試料の断面 SEM 観察である。
断面の SEM 観察によると、表面の陽極酸化被膜の厚さが均一である。陽極酸化被膜（多孔質層）が均一に生成するので結合強度は強く、実験回数によるバラツキが小さいと考えられる。



「断面の EPMA 分析」

下の写真は同一試料の断面 EPMA 分析結果であり、酸素が多く検出された表面層は酸化アルミ（アルマイト層）である。表面層に酸素が均一に分布しており、この結果によってもアルマイト層の厚さは均一であることが分かる。



2. 印加時間の検討

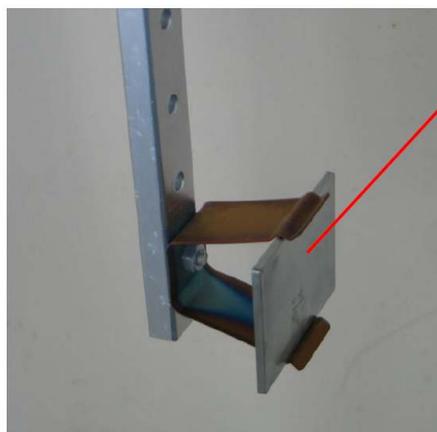
特殊電源を使って最適な印加条件、電圧条件を検討した結果、印加法②電圧Cの条件が、ダイキャストアルミと樹脂結合強度が強く、バラツキも小さいことが分かった。この印加条件、電圧条件での最適な処理時間を検討した。

【実験方法】

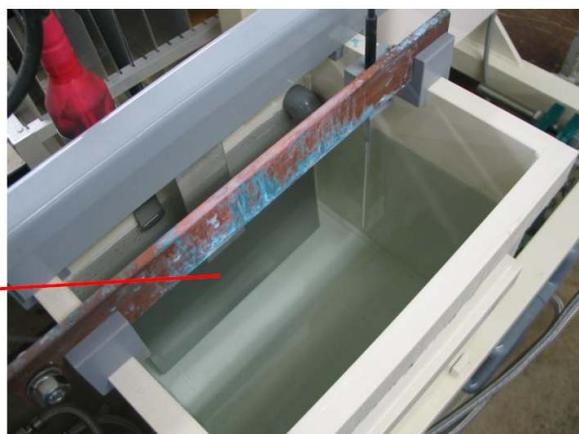
取付け治具に試料（ADC12 50×70×3）を1枚だけセットし、印加法②電圧Cの条件で処理する。処理時間を2分、3分、4分、5分、6分、10分と変更し、アルプラス処理後の試料を射出成形により樹脂を接合してその結合強度を押し込み試験により測定した。

共通条件

- ・試験回数：10回 ※10分のみ5回
- ・設備：実験用小型アルマイト設備
- ・試料：ADC12 試験片（寸法：50×70×t3.0mm）東京高压工業(株)製
- ・接合樹脂：PPS フォートロン 1150T7 ポリプラスチック(株)製



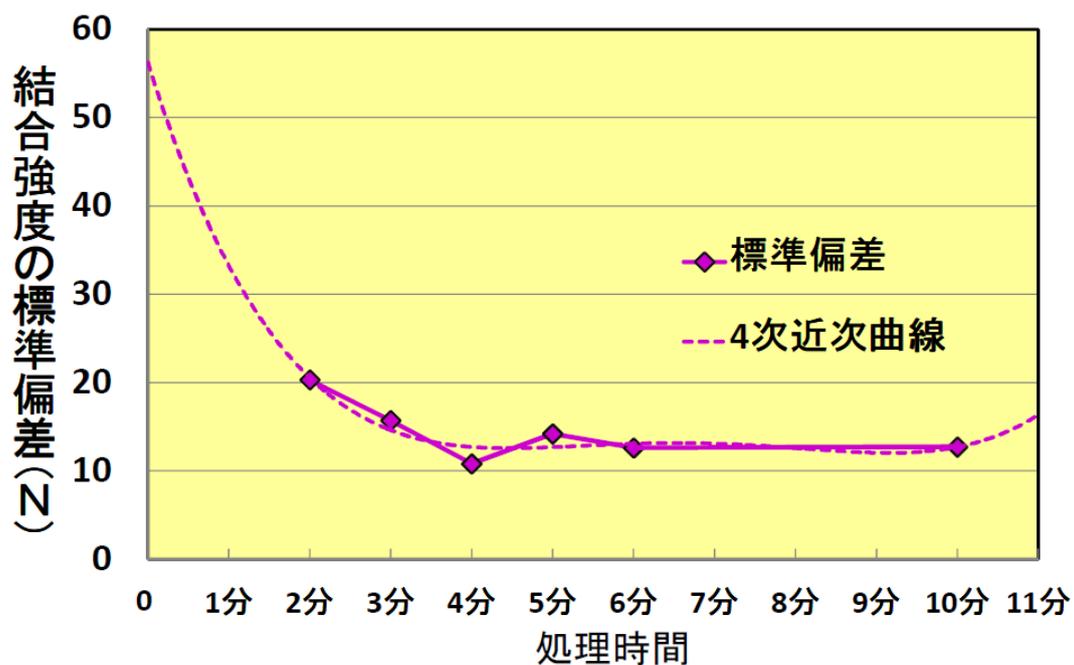
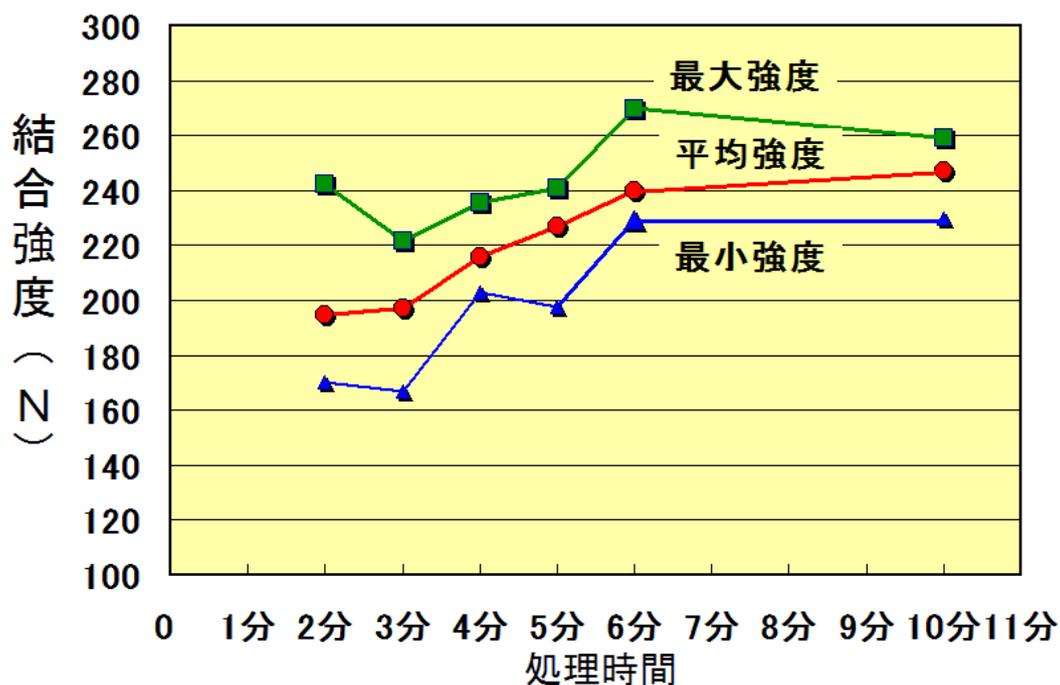
試料は1枚



陰極板は1枚

【実験結果のまとめ】

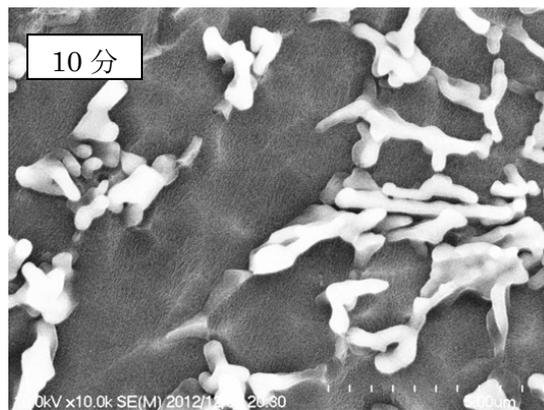
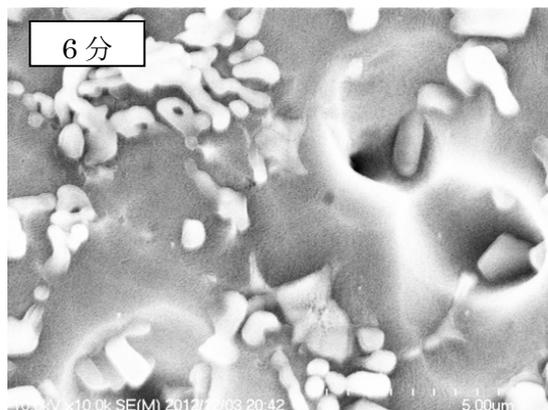
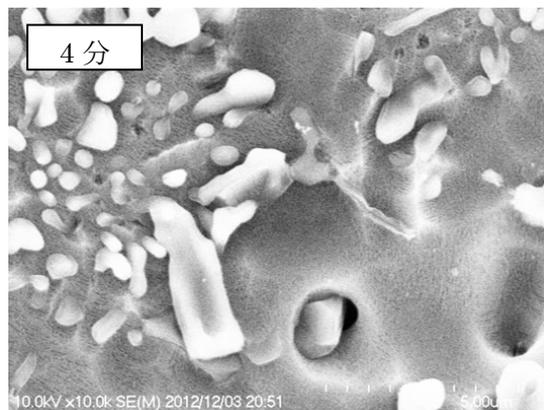
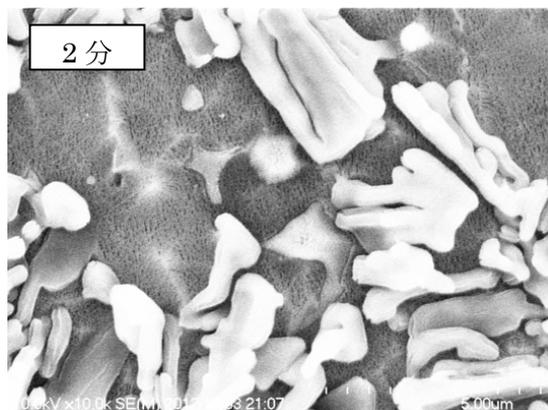
- ・結合強度の平均は印加時間とともに増加し、ほぼ6分で一定値240Nになる。
- ・結合強度の最大値-最小値は印加時間とともに減少する。
- ・標準偏差は印加時間とともに減少し、ほぼ4分で一定値13Nになる。
- ・印加時間6分以上の平均値(240N)と標準偏差(13N)より、試料の99.73%が強度200N~280Nの範囲に入ることが分かった。



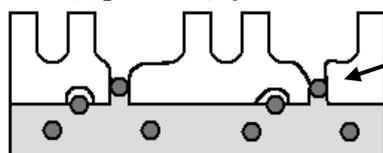
【表面のSEM観察】

下の写真は印加時間ごとの試料表面SEM観察である。

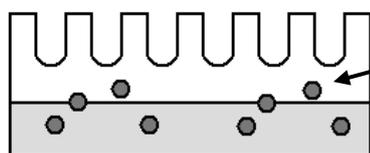
ケイ素が多孔質層に内包され埋め込まれているのが明確に観察された。ケイ素は残っているが、樹脂との結合に必要な多孔質層が形成しているのが観察された。



この結果は、文献「高周波電解を用いた高シリコン含有アルミニウム合金の陽極酸化被膜の微細構造」（自動車技術、Vol.63（6）、P75、（2009）スズキ株式会社 山本友晴）に報告されている「高周波電解法で生成した陽極酸化被膜が晶出シリコンに到達しても、内部へ被膜が生成して、晶出シリコンが被膜に内包されていた。・・・、晶出シリコンを避けながら被膜が生成したと考えられる。」と類似の構造であった。以下に文献を参考にして描いた「酸化被膜とケイ素の構造イメージ図」を示す。



直流アルマイト処理ではケイ素がある部分は、酸化皮膜が生成されにくい。



特殊電源のアルプラス処理では、酸化皮膜はケイ素の周りでも生成されている。

第3章 事業化を目指して

平成22年度から平成24年度の3年間にわたり、アルプラス処理（陽極酸化処理）による「アルミダイキャスト材と樹脂の結合技術」の研究開発を行った。その結果、特殊電源を用いるアルプラス処理がダイキャスト材と樹脂との結合に有効であることを見出した。

この新製品を「商品」として世の中に出すための量産技術の確立には、未だいくつかの開発課題は残っているが、この研究開発により、ユーザーの量産試作段階で要求されるサンプルの製作、提供が出来るようになった。

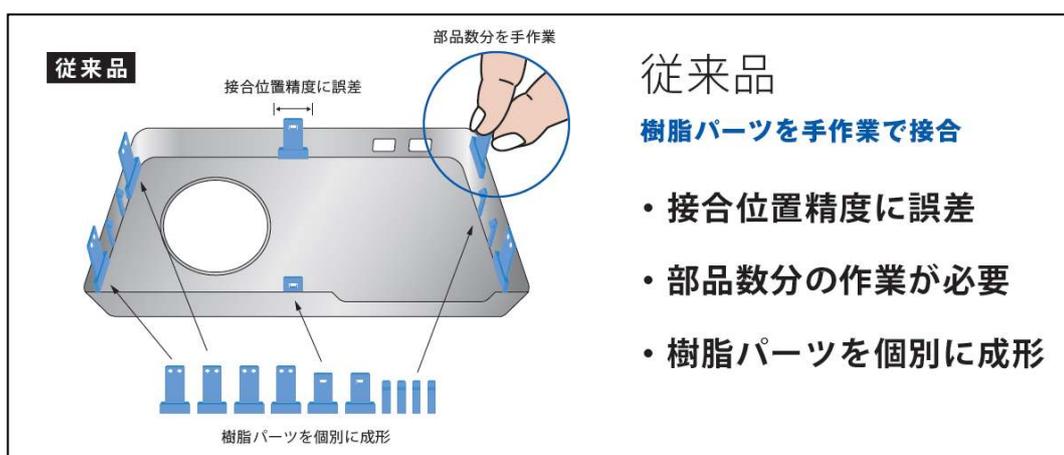
現在、サンプルを提供している自動車業界だけでなくその他の市場における、この開発技術の優位性と事業化展開について述べる。

3-1 新技術の優位性

1. 結合法の優位性

アルミダイキャスト材と樹脂との結合は、これまで両面テープやネジ止めなどにより行われ、そのアッセンブル工程は主として人の手により行なわれている。結合パーツを固定する際は結合位置がズレないように、慎重な作業が求められるが、位置決め治具などを用いながらの作業は熟練を要し作業効率が低下する。

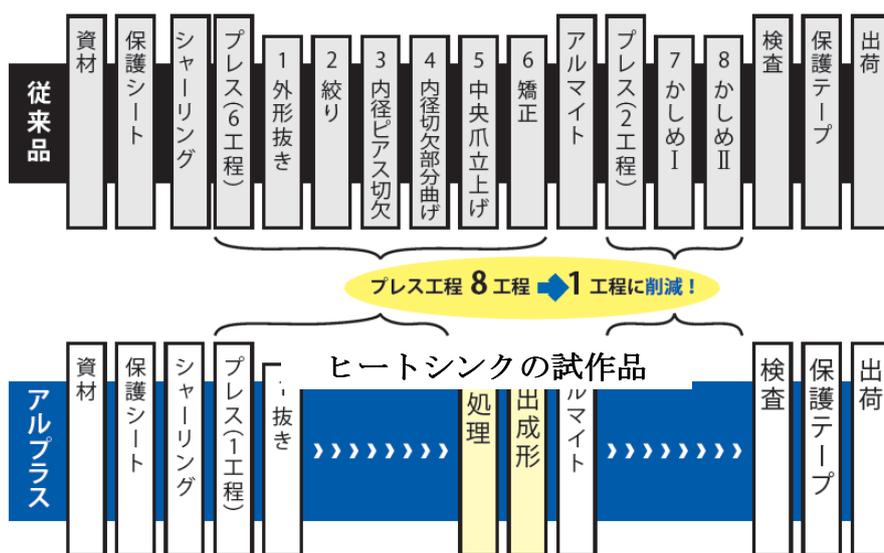
しかしアルプラスによって結合する場合、樹脂成形の金型内にアルミ材を入れるキャビティーを設けておけば、アルミ材の決まった位置で樹脂が成形されると同時に結合されるため、位置のズレは金型精度で管理できる。また複数のパーツを1つの金型で同時に成形することにより、パーツの枚数分必要であった結合工程が1度の結合で済むこととなる。



2. 生産工程の削減

アルミと樹脂を結合する際、結合するための加工が必要な場合がある。

下図はアルミ展伸材でのプレス工程を削減した例である。アルミ展伸材の場合、プレス加工費が90%に削減でき、製品単価で20%の削減が出来ている。アルミダイキャスト材でも樹脂部材との結合のための切削や穴開け、ネジ切りなどの工程を削減でき、生産コストと製品単価の大幅な削減が期待できる。



3. アルミ部品の軽量化

アルミ材と樹脂が直接的に結合することによるメリットが多い。

アルミ部品と樹脂部品をカシメ、ネジ止め等で結合する場合、アルミ部品と樹脂部品それぞれは、結合工程における必要な強度が求められる。しかしアルプラス結合技術は、成形と同時に樹脂をアルミに結合するので結合工程において求められる強度は必要ではなく、製品に求められる強度があればよい。樹脂の部分は製品に必要な形状部分だけでよく、カシメ、ネジ止めのための余分な部分は必要としない。

また、アルミ部品の一部を樹脂パーツに置き換えることにより、アルミでは加工が難しい又は高コストであった複雑な形状を、安価な樹脂成形に換えることができる。これは同時に軽量化を実現することにもなる。

3-2 事業化の展開

アルミダイキャスト材と樹脂とのアルプラス結合は、これまで行なってきたアルミ展伸材でのアルプラス結合と並んで営業活動が開始されている。

これまでの顧客のみならず種々の展示会などでの宣伝活動により、市場からの問い合わせがすでに来ており、客先と共同での試験が進行中の案件も数件ある。弊社はもともと自動車関連の製品を数多く製造していることもあり、自動車に関連した案件が多いが、家電関係からも照会がきている。

また海外展開ではベトナム工場が既に稼働していて、まだアルプラス処理設備は導入していないものの対応可能な技術者が常駐しており、アルプラス案件の進捗状況によってアルプラス処理設備を導入し、生産を可能とする下地はできている。

1. 自動車

自動車関連は昨今のハイブリット車、電気自動車の開発にともない、軽量化が重要案件となっており、アルミダイキャスト材と樹脂の直接的結合に対する要望は多い。また小型化・放熱性・防水性・電磁妨害対策などの要求を満たす工法として、アルミダイキャストと樹脂の複合部品が着目されている。

2. 家電

家電関係は放熱性向上のためにアルミダイキャストと樹脂を直接結合するヒートシンクが注目されている。アルミは熱伝導性が高く、放熱性樹脂は放熱性が良いが、その結合に接着剤や両面テープなどを使用すると、接合面での熱伝導のロスが発生する。しかしアルプラス結合であれば直接的にアルミと樹脂が結合するため接合面での熱伝導が低下することがない。

ヒートシンクの試作品

