平成２５年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「事業名：アダプティブ接合技術による

携帯電話・スマートメーターの完全防水化」

研究開発成果等報告書

平成２６年　３月

委託者　関東経済産業局

委託先　三光ライト工業株式会社

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・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2
１－２　研究体制・・3
（１）研究組織及び管理体制・・3
１）研究組織（全体）・・・3
２）管理体制・・・4
①事業管理機関・・4
②再委託先・・・4
（２）管理員及び研究員・・5
（３）協力者・・・5
１－３　成果概要・・・6
１－４　当該研究開発の連絡窓口・・・7

第２章　本論
①－１　ポリカーボネート（ＰＣ）及びポリアミド（ＰＡ）の
接合プライマー剤の開発とその評価・・8
①┌２　金型内接合技術の開発とサンプル試作・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・9
①┌－３　マイクロテクスチャの形成と射出成形実験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・9
①－４　防水携帯サンプルの試作実験・・12
②－１　ＬＩＭ成形時に筐体にかかる荷重を特定箇所に集中させない
背圧の利用・・13
②－２　LIM 成形時に高温のシリコーンゴムによる筐体にかかる熱を
滞留させない技術確立・・・14
③－１　マイクロテクスチュアを援用した大面積接合技術・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・15
③－２　タブレットメディアを想定した防水機能付きサンプル試作・・・・・・・・・・・・・・・・・16
③－３　スマートメーターを想定した防水機能付きサンプル試作・・・・・・・・・・・・・・・・・・・16

最終章　全体総括・・18

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

近年、携帯電話の必要不可欠な機能として、防水機能がありますが、国内メーカーの製品においては常識化しています。

また、最近の海外メーカー製携帯電話においても、防水機能付きのものが出荷され始めています。

しかし、従来技術による防水機能の製造工程におきましては、工程の煩雑さや接合度の問題、バリ、剥離、キズ等機能面、外観面に様々な問題が発生しています。

当研究では、新たに開発する技術で、今まで以上の接合度の高いもの、および外観不良の軽減を目指します。

研究課題に、携帯電話の電池カバーや、外部接続端子カバーの防水技術は、種々検討されてきました、その代表がカバーに、ＬＩＭ成形で直接シリコーンゴムを接着する方式（セレクティブ接合技術）です。

当研究の目標としては、セレクティブ接合技術よりも、強固で工数の少ないアダプティブ接合技術により、外装プラスチック部品に接着された保護プラスチック（シリコーンゴム）の剥離強さを３N/㎜以上とします。

さらに、シリコーンゴムのバリや、外装プラスチック部品表面の圧痕・キズが発生しない技術の研究・開発を行います。

市場の展望についても、近年は海外メーカーからも、防水機能付き携帯電話が発売されるようになっているため、国内メーカーのみならず、海外携帯電話機メーカーへの技術輸出も視野に入れて研究を行います。また、今後のスマートメーターの市場導入を控え、より高度な防水機能も研究します。

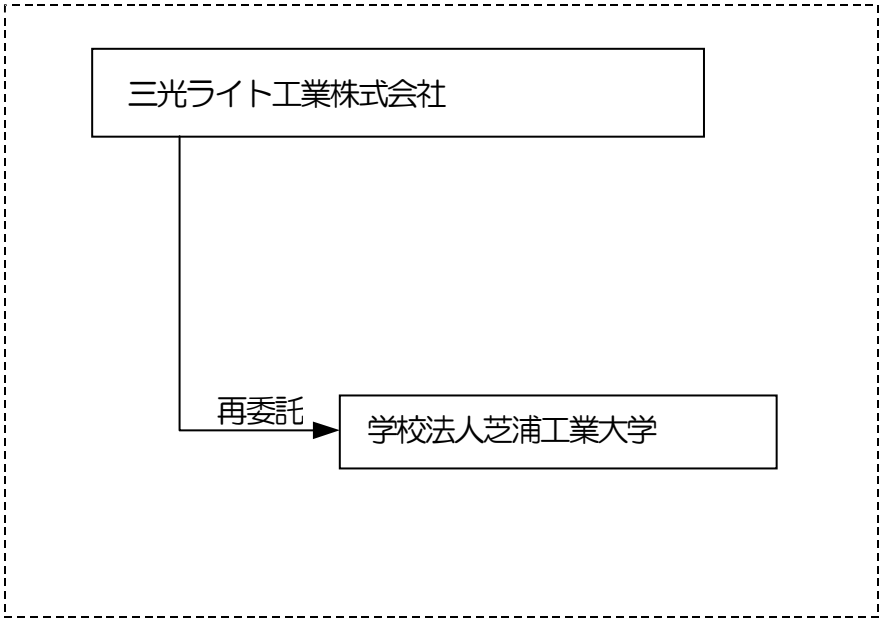
完成品

リム漏れ不良　　手直し後

１－２　研究体制

（１）研究組織及び管理体制

１）研究組織（全体）



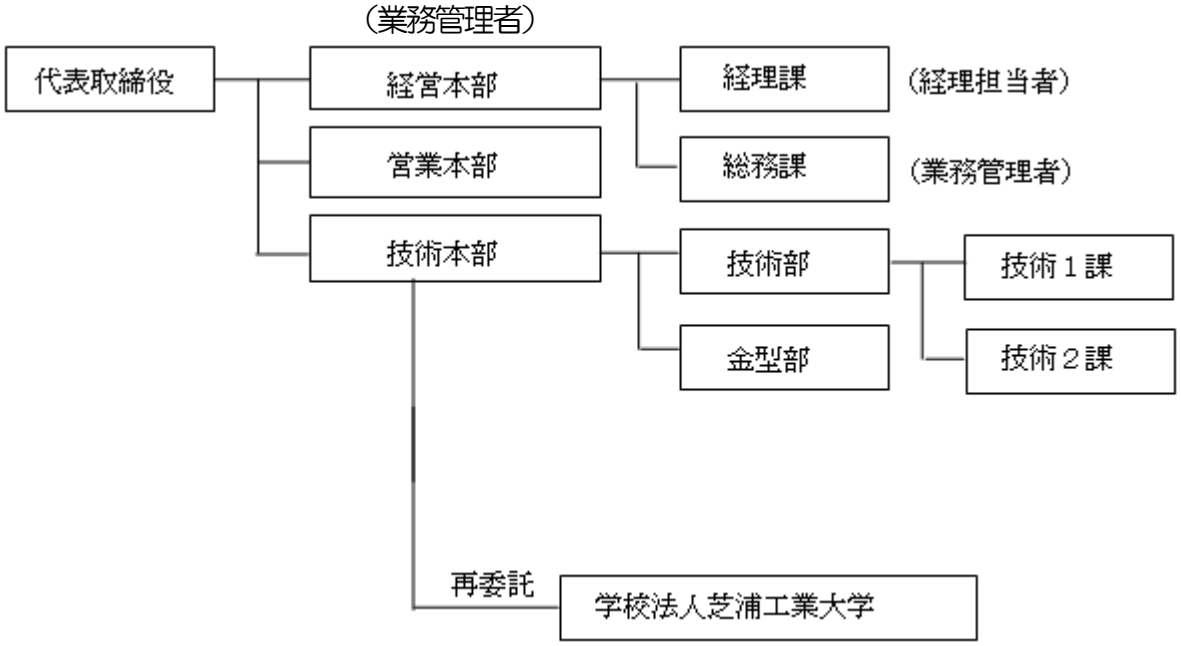
総括研究代表者（ＰＬ）
三光ライト工業株式会社
技術本部取締役本部長　酒寄　治樹

副総括研究代表者（ＳＬ）
学校法人芝浦工業大学
デザイン工学部　教授　相澤　龍彦

2）管理体制

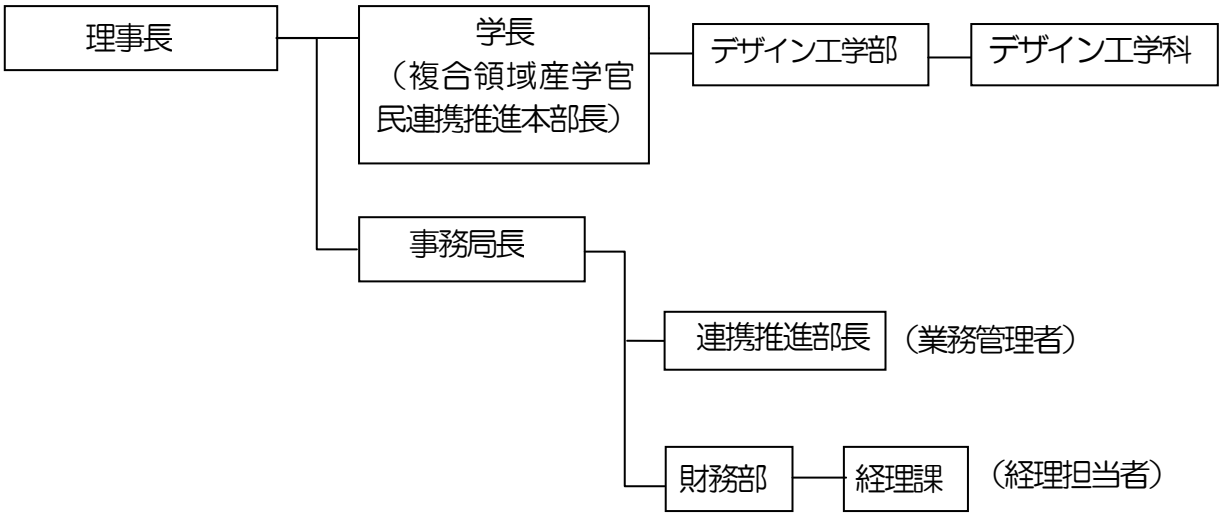
① 事業管理機関

［三光ライト工業株式会社］



②再委託先

［学校法人芝浦工業大学］



（2）管理員及び研究員

【事業管理機関】

三光ライト工業株式会社

①　管理員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
伊林　幸広	経営本部　総務課グループ長	③
清水　利春	経営本部　総務課	③
滝本　明夫	経営本部　経理課グループ長	③

②　研究員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
酒寄　治樹	技術本部取締役本部長	①　②
大町　裕樹	技術本部　技術部サブリーダー	①　②
山口　鉄也	技術本部　技術部　技術１課グループ長	①　②
栗原　健	技術本部　技術部　技術１課	①　②
小宮山　祐樹	技術本部　技術部　技術１課	①　②
入月　敬晴	技術本部　技術部　技術１課	①　②
山崎　恵一	技術本部　技術部　技術２課	①　②
長谷川　純一	技術本部　金型部リーダー	①

【再委託先】

学校法人芝浦工業大学

①　研究員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
相澤　龍彦	デザイン工学部　デザイン工学科　教授	①　②

（3）協力者

他からの指導・協力者

・埼玉日本電気株式会社

・東光東芝メーターシステムズ株式会社

１―３成果概要

①　接合（異種）ポリマー設計による　アダプティブ接合技術の開発

①－１　ポリカーボネート（ＰＣ）及びポリアミド（ＰＡ）の接合プライマー剤の開発とその評価

アダプティブ接合技術（金型内塗布）実験型試験の連続成形接合観察は行う事が出来ています。剥離強度についても、期初に掲げた素地との剥離引張り強度３N/㎜以上を保持が可能な型内接合に使用可能なプライマーについても、限定的ながら開発出来ました。

①－２　金型内接合技術の開発とサンプル試作

研究用LIM成形機と独自開発した金型を用い実験し、接着機能のあるプライマーが金型内塗布流路を流れ、素地とシリコーンムが接合する事が確認されましたが、複数回の繰り返し成形による金型流路内へのプライマーの影響によるシリコーン残りが確認され、実験への影響が出ておりました。金型表面へ新たなコーティング処理をすることにより、金型側へのプライマー影響を低減する事が解決しました。

①－３　マイクロテクスチャの形成と射出成形実験

マイクロテクスチュアの有効性確認を初め、金型から成形生地（素地）への転写確認からスタートし、芝浦工業大学での初期観察から、圧縮転写の観察から、実際の射出成形実験へと移り、素地転写確認を行って参りました。

マイクロテクスチュアパターンについても、１５ミクロンから１００ミクロン範囲で加工を施し、成形転写が確認出来ており、実際の接合実験に取り組みました。

試験方法は、型外で事前にプライマーを塗る方法と、自社開発しました研究用金型による、アダプティブ接合（型内塗布）双方にて観察しました。

プライマーの性能が脆弱な時ほど、試験片との初期密着に、マイクロテクスチュアが、有効であることが確認されました。

①―４　防水携帯サンプルの試作実験

２５年度に新たに金型を製作し、携帯電話を模した製品を作り、実用性の検証を実施しました。

防水企画 IPX７相当の試験を行い、今製品の防水具合を観察、計測機以外に実際の水没テストも行い良好な結果が得られました、

②　LIM成形技術の高度化

②－１　ＬＩＭ成形時に筐体にかかる荷重を特定箇所に集中させない背圧の利用

製品の厚み変化に対応するべく、熱可塑性金型キャビでは通常固定する事が常識ですが、シリコーン成形では低射出圧力であることから、動性をもたせ、更にシリコーン樹

脂を製品以外に、任意に射出圧力を漏らす事でコントロールします。樹脂漏れにも対応しました。この事で、シリコーン漏れ不良と製品の傷となる圧痕不良を軽減することが確認されました。

②－２　ＬＩＭ成形時に高温のシリコーンゴムにより筐体にかかる熱を滞留させない技術確立

シリコーン成形樹脂は熱硬化性樹脂であり、金型温度も高温となります。金型温度が高ければ、インサート品は傷が出やすく変形が起こり、全体の温度を下げるとシリコーンの固化不良となり、シビアな温度管理必要となります。

この技術は、形状の一部を温度コントコールする事により、熱の滞留を見極め、条件管理範囲を広げる技術です。

実験として放熱性と鋼材の硬度から温度移行の温度分布測定を観察し、最適な部材選定を行いました。その結果、鉄とシリコーン素材との複合利用したものが、最適と判断しました。

金型構造からの温度流動もある中から、金型ノウハウの蓄積も行う事ができました。

③ アダプティブ防水接合技術の大面積化

③－１マイクロテクスチュアを援用した大面積接合技術

マイクロテクスチュアパターンの形状応用による面積拡大をしたサンプルの、接続強度、挙動観察と有効性の観察を行った、シリコーンとの接合初期欠陥がある場合特に性能を発揮する事が分かり始めました、

③－２　タブレットメディアを想定した防水機能付きサンプル試作
③－３　スマートメーターを想定した防水機能付き

③－２，３共通検証を行いました。製品の大型に伴い、シリコーンの金型内漏れが懸念されると共に金型内噴霧の塗布範囲への影響が懸念されました。

試作金型でのゲート形状及び、構造対応で金型内漏れ、及び接合への影響はありませんでした、

１－４　当該研究開発の連絡窓口

〒211‐0053　神奈川県川崎市中原区上小田中６－２２－１０
三光ライト工業株式会社
営業本部　伊林　幸広
TEL０４４－７５１－４１９８
FAX０４４－７５５－０２１８
E－mail　y. ibayashi@slkco.jp

①　接合（異種）ポリマー設計による　アダプティブ接合技術の開発

①－１　ポリカーボネート（ＰＣ）及びポリアミド（ＰＡ）の接合プライマー剤の開発とその評価

アダプティブ接合技術において、金型と樹脂接着不具合が課題となり、数社からプライマーを入手し、実験を行いました（表１）（写真１）。

金型内噴霧において、プライマー原液使用では、通常使用における接合力はありますが、型内噴霧では、離型阻害をおこし、洗浄効力がある溶液を混合する事で、金型離型と製品接合のバランスを見極めました。

	メーカー	プライマ名	希釈量	原液	50倍	100倍	500倍	1000倍	備考
①	D社	A	製品接着	○	○	○	△	×	乳白(黄)色、粘着性高い、湯葉状のもの有り
			金型固着	×	×	△	△	△	希釈してもやや粘着力残る
②		B	製品接着	○	×	－	－	－	白色
			金型固着	×	×	×	－	－	
③		C	製品接着	○	×	－	－	－	緑がかった透明
			金型固着	×	×	×	－	－	
④		D	製品接着	△	－	－	－	－	黄がかった透明
			金型固着	×	－	－	－	－	
⑤		E	製品接着	×	－	－	－	－	乳白、泡立ちが酷い
			金型固着	×	－	－	－	－	
	メーカー	プライマ名	希釈量	原液	2倍	4倍	8倍	16倍	備考
⑥	S社	F	製品接着	○	○	○	○	○	透明
			金型固着	×	×	×	△	△	
⑦	T社	G	製品接着	○	○	○	○	○	透明(エタノール希釈でやや黄変)
			金型固着	×	×	×	△	○	
⑧	I社	H	製品接着	×	×	×	×	×	
			金型固着	×	×	×	×	×	
⑨		I	製品接着	－	－	－	－	－	輸送中に結晶化したため未試作
			金型固着	－	－	－	－	－	
⑩		J	製品接着	×	×	×	△	○	透明(白色の浮遊物多数有り)
			金型固着	×	×	×	△	△	

表１　プライマー接合実験

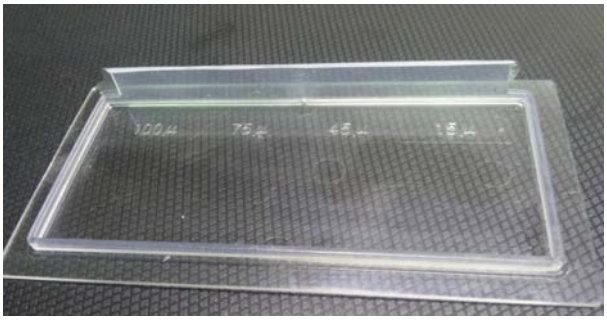


写真１
試験サンプル形状

①－２　金型内接合技術の開発とサンプル試作

金型内接合（アダプティブ接合）技術を開発において、熱可塑性樹脂と接着力があるプライマーは保持しておりましたが、金型内に噴霧する事によりプライマーが金型側にも接着力を持ち、熱可塑樹脂とシリコーン樹脂との接着を低下させる事が試作初期に判明しました。

金型表面との離型性が高く、熱可塑樹脂との接着性が高い、プライマー開発と同時期に金型表面処理による、離型コーティング加工で、離型性向上を図るべく下記の評価を行いました（表２）。

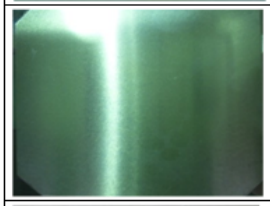
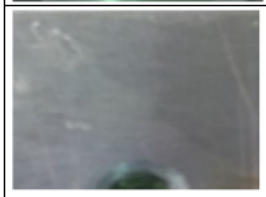
フッ素コーティング工法の違い		膜厚	シリコーンとの離型性	アダプティブ接合成形での離型性	コスト	金型形状への利用
	塗装	20μ	良好	離型後にシリコーンの残りは見られず剥離性能は高い	安価	精密な部品には塗膜の厚みばらつき影響があり、考慮する必要有り
	蒸着	30nm	良好	塗装コーティングと同等の効果がみられる。	高額	加工方法に方向性があり、深物について金型構造から検討が必要
	鍍金	5μ	良好	数回の成形でコーティング表面に付着がはじまる	安価	金型への処理は安価であり取り扱いが容易

表２　金型表面処理評価

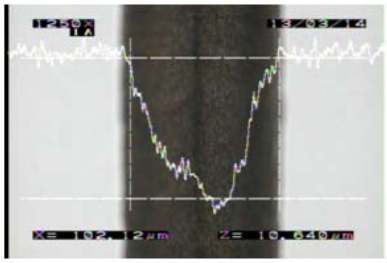
試作成形の結果により、蒸着コーティングも良好ですが、繰り返し成形でのシリコーンの付着が見られます。そのためコーティング表面のメンテナスの頻度からは耐薬品性が高い塗装コーティングが繰り返し成形には向いていると判断しました。

また、金型メンテナス性が高い構造にする必要があります。

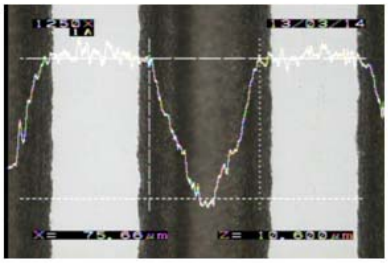
①－３　マイクロテクスチャの形成と射出成形実験

１）金型内にマイクロテクスチュアを、４種類加工を施し、正確に転写し、形状を写し出す見極め射出成形実験を行った。マイクロテクスチュアパターンに、１５ミクロンから１００ミクロン範囲で加工を施し、観察を行いました。（写真２）

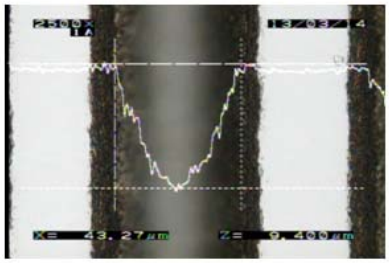
写真２　　ピコレーザー加工後のマイクロテクスチュア測定結果



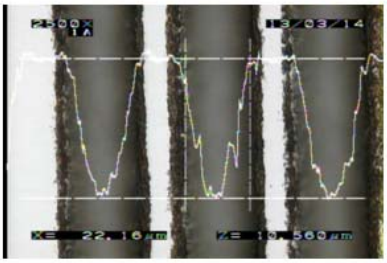
100μm:溝幅102.12μm深さ10.64μm



75μm :溝幅75.66μm深さ10.60μm

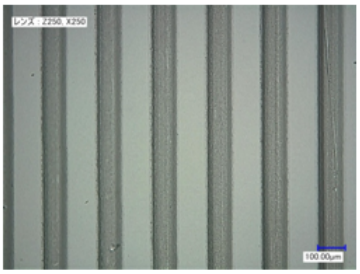


45μm :溝幅43.27μm深さ9.40μm

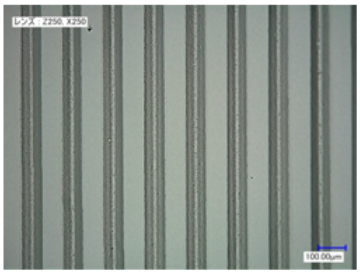


20μm :溝幅22.16μm深さ10.56μm

[2] 射出成形によるパターン転写

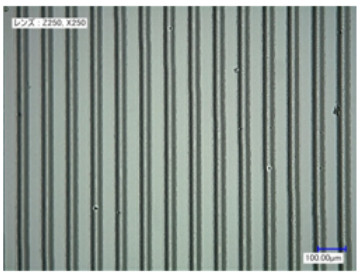


100μ

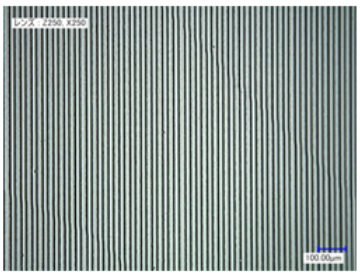


75μ

写真３



45μ



20μ

拡大観察及び、深度測定においては、鋼材加工部のマイクロテクスチュアを樹脂側に転写する事が確認できました。（写真３）

２）試験片は　スマートフォン５インチサイズの形状（写真４）にマイクロテクスチュア加工を実施し、金型から成形品へのマイクロテクスチュア転写は良好な状態が見られました（写真５）。

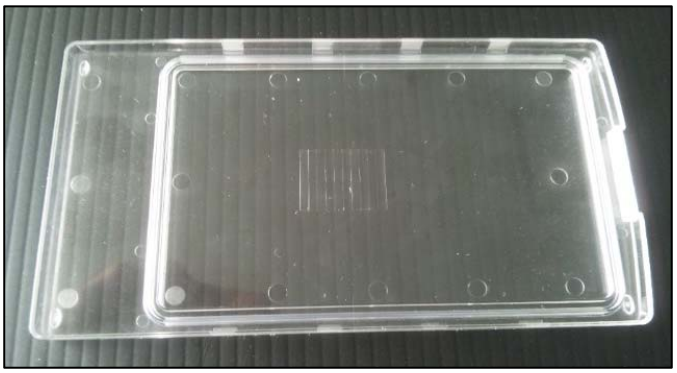


写真４

マイクロテクスチュア成形生地　幅 20 ミクロン　深さ１０ミクロン

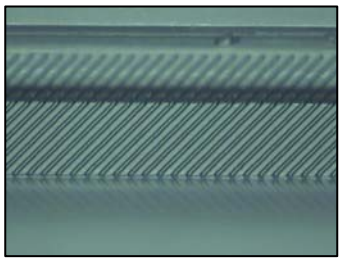


写真5

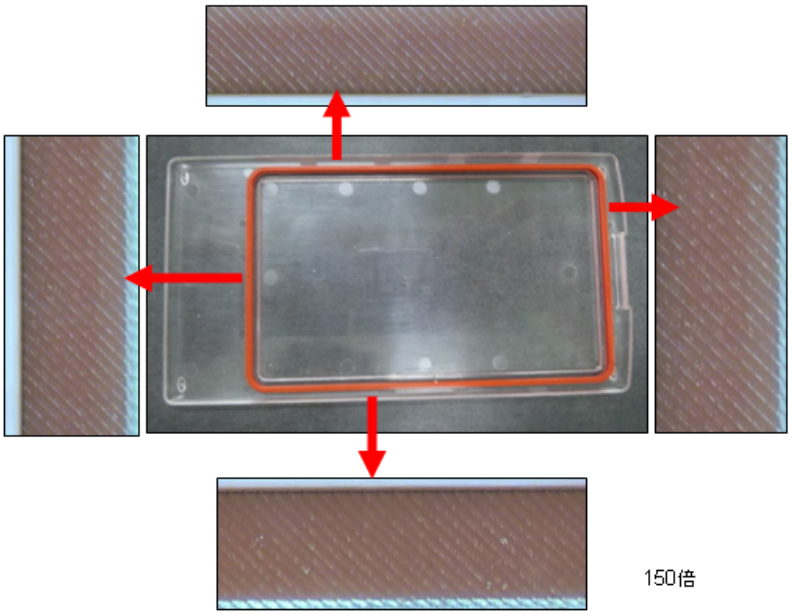


写真６

観察結果〉

成形品にシリコーン成形を行い、シリコーンゴムとマイクロテクスチュア転写状況を観察し、全周囲、同等転写が確認されました、シリコーンを流す周長と末端でも同等の転写が見られました（写真６）。

①－４　防水携帯サンプルの試作実験

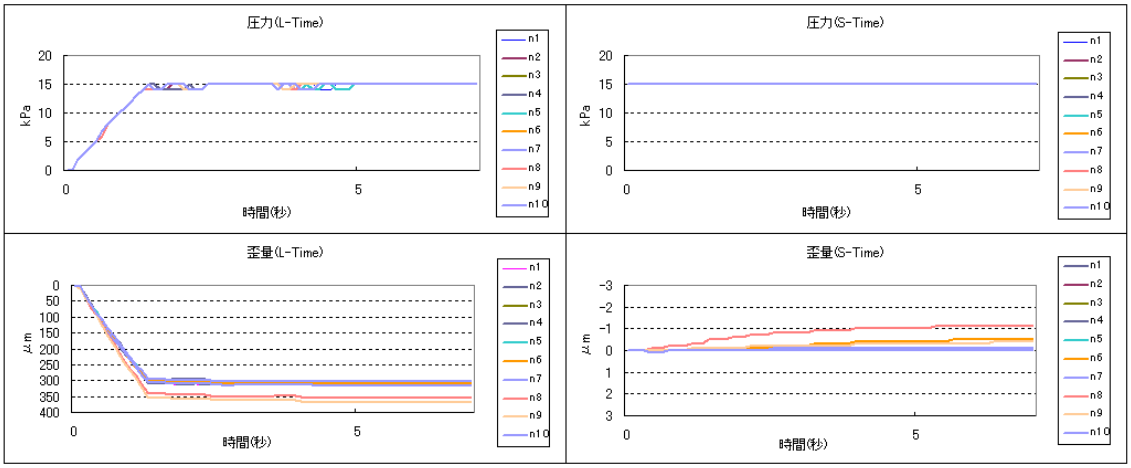
型内接着を行った製品について、一般的な防水　IPX７級程度のテストを行い、シール面性能が保たれているか, 確認を行いました、今回エア圧力１５Kｐａ（水深１．５ｍｍ相当）にて、試験片の凹み（ひずみ）がキープされているかのテストｎ＝１０を行い、下記グラフ１の結果、通常の携帯電話と同等性能はキープされております。

試験片（写真７）と試験機（写真８）

写真７

写真８

試験グラフ　グラフ１



〈防水評価〉

今回水深1.5m相当にて、試験片のひずみがキープされているか否かのテストを行った結果、グラフの結果通常の携帯電話と同等性能は確認され、このことでｱﾀﾞﾌﾟﾃｨﾌﾞ接合技術の有効性が確認されました。

② LIM 成形技術の高度化

②－１　ＬＩＭ成形時に筐体にかかる荷重を特定箇所に集中させない背圧の利用

金型にインサートするプラスチック製品について、現実厚みがすべて一定ではない為、製品が厚ければ金型に挟まれ圧痕が発生し、逆に薄いと、金型内でアソビが出るので、シリコーンの漏れが多発します。背圧利用をする事で、製品の厚みの変化への対応が可能になります。

3D 金型ベース形状（図１）

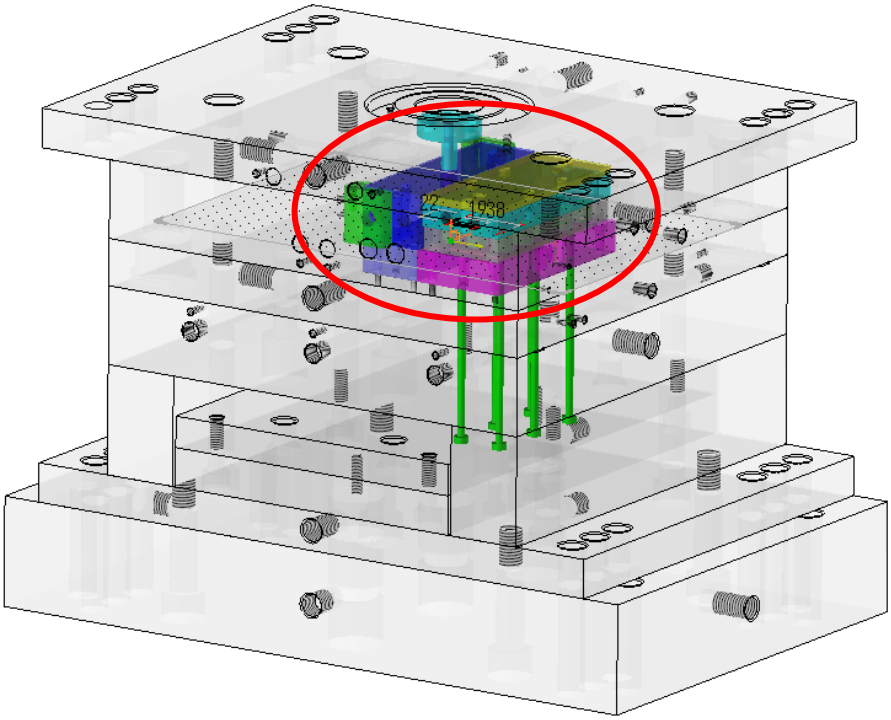


図１

赤丸部分が製品部分になります。

②－２　ＬＩＭ成形時に高温のシリコーンゴムにより筐体にかかる熱を滞留させない技術確立

金型（図２）にインサートする製品（外観部品も含まれる）は、金型で強く押さえる事となります。

しかし、シリコーンゴムは　熱硬化性樹脂のため、金型昇温は避けられません。

そのままで、製品を押さえた場合、製品を高温でアイロンする状態になり、アイロン側のキャビ形状が、製品に転写されてしまいます。

今回この転写を解消するため、外観部分となるキャビ部の、アイロン転写量を減らす技術を行い、複雑な金型構造となりますが、安定的なモノづくりが可能となります（写真９，１０，１１）。

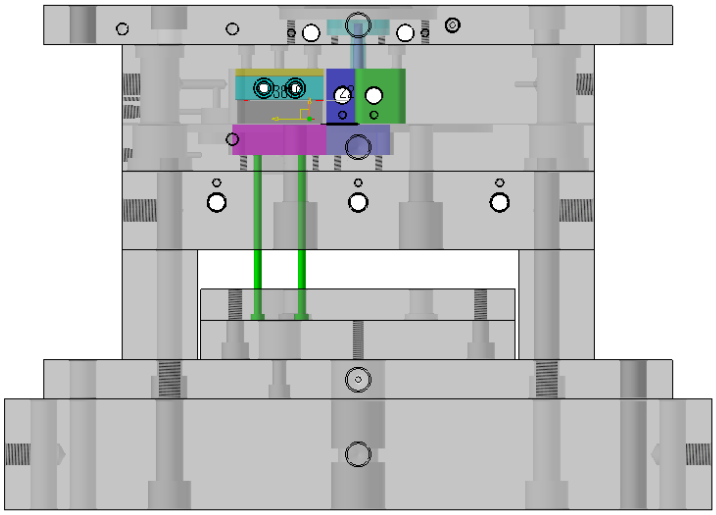


図２

左からアルミ、銅、鉄　素材の違いによる、熱変化を検証（写真９）

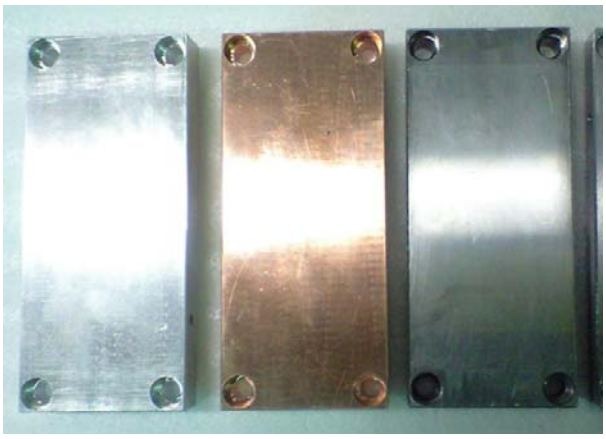


写真９

ａ圧痕が消えている製品

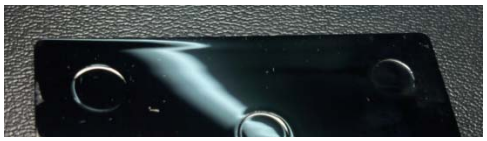


写真１０

ｂ圧痕が残る製品

２本の筋が見える

写真１１

③アダプティブ防水接合技術の大面積化

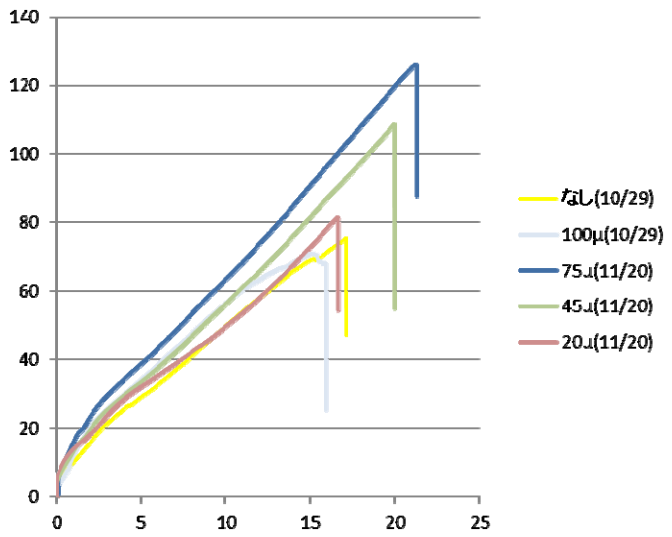
③－１　マイクロテクスチュアを援用した大面積接合技術

マイクロテクスチュアパターンの形状が転写された、（面積拡大をした）サンプルの接続強度、挙動観察と有効性の観察を行いました。（写真１２）

シリコーンとの接合初期欠陥がある場合、特に性能を発揮する事が分かり始めました、

マイクロテクスチュア接着強度（初期欠陥なし）

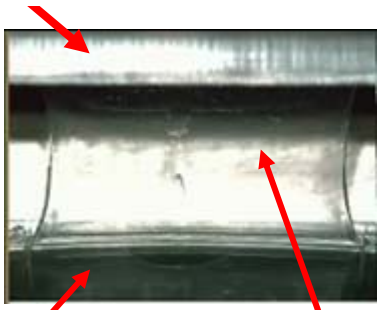
グラフ２　　負荷荷重 /N



ストローク　/mm

引張り試験観察　写真１２

初期欠陥なしサンプル
引き上げ治具側



樹脂部接着界面　　シリコーン樹脂

試験片条件	臨界荷重（N）	接着強度（N／mm）	シリコン破断
なし(10/29)	75.5	3.775	
100μ(10/29)	68.25	3.4125	
75μ(11/20)	125.75	6.2875	★
45μ(11/20)	108.75	5.4375	★
20μ(11/20)	81.5	4.075	★

表３

接合界面上にまったく初期欠陥が認められない場合におけるマイクロテクスチュアの影響を調査しました（表３）。

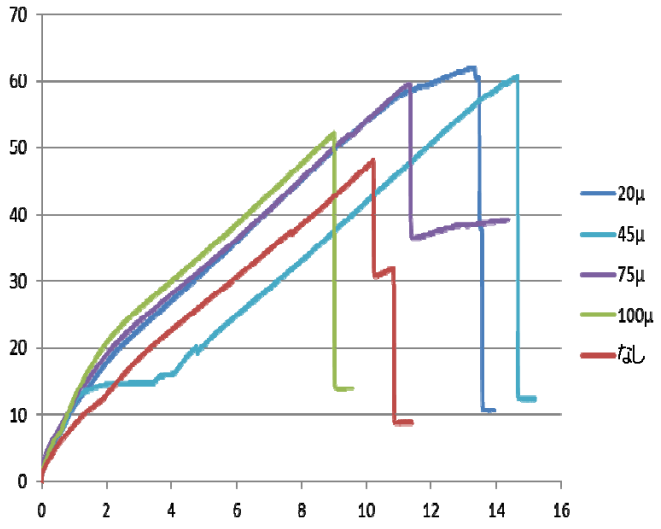
マイクロテクスチュアなしに比較して、マイクロテクスチュアを施すことで接着強度は上昇しました。

ただし、45μm以下のマイクロテクスチュアでは、界面以外のシリコーン樹脂が破断しました。

これは、接合界面の健全性を示唆しています。

マイクロテクスチュア接着強度（初期欠陥あり）

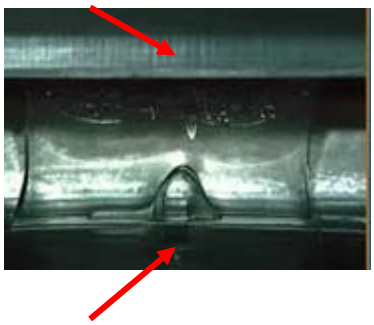
負荷荷重 /N　　グラフ３



ストローク　/mm

引張り試験観察　写真１３

初期欠陥有り
引き上げ治具側



初期欠陥から早期剥離
発展する
（成形時の欠陥）

寸法	臨界荷重 N	接着強度 N mm-1
なし	48.25	2.4125
100	52.25	2.6125
75	59.5	2.975
45	60.75	3.0375
20	62	3.1

表４

荷重 - 変位線図（グラフ３）は、初期欠陥からの剥離に伴い、大きく変化し、いずれも初期欠陥から界面剥離が進展していることがわかります。

特にマイクロテクスチュアがない場合には、低負荷荷重でも界面剥離が生じます。（表４）

③－２　タブレットメディアを想定した防水機能付きサンプル試作
③－３　スマートメーターを想定した防水機能付きサンプル試作

製品の大型に伴い、シリコーンの金型内漏れが懸念されると共に金型内噴霧の塗布範囲への影響が懸念された、スマートメーター及び７インチタブレットのシリコーン周長がほぼ同じなため、共通検証を実施しました。試験サンプル（写真１４）を見る

限り、周長６００mmでも漏れもなく、良好に見える、接合度についても４箇所引張り試験を行い、目標数値3N/mm を超えております（表５）（写真１４）。

型内接着強度試験結果

(n＝) 測定位置	1	2	3	4	5	ave
①	4.5	4	4.3	3.8	4	4.12
②	4.5	3.6	4.5	3.8	4.1	4.1
③	4.3	4	4	4	3.8	4.02
④	4.5	4.3	4.1	4.1	3.8	4.16

単位　N/mm2

表５

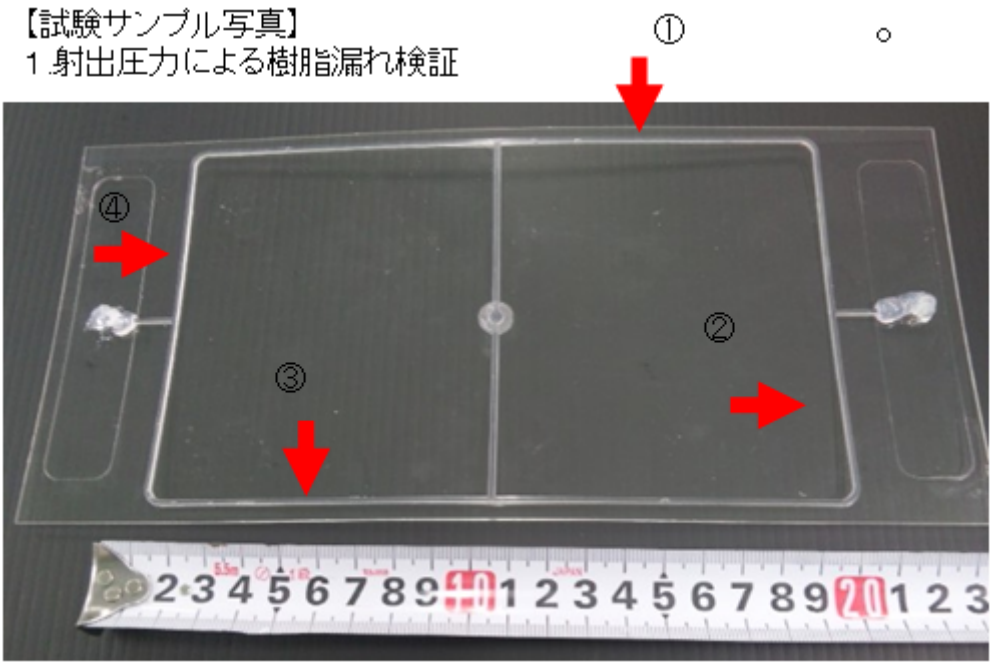


写真１４

〈評価結果〉

ｱﾀﾞﾌﾟﾃｨﾌﾞ接合技術（金型内接合）において、大型化した、製品へも樹脂漏れ、未着部分もなく、剥離強度も表８に見られる様に良好でした。目標数値3N/mm を超えていることが確認できました。漏れがない事は作業効率UP となります。また剥離強度が十分に確保されていることは、信用確保につながります、試作結果は大型製品の受注活動への基盤が作られました

最終章　全体総括

アダプティブ接合技術開発は異種材料接合への完全防水化の生産には欠かせない技術です。
LIM成形時筐体にかかる荷重を特定箇所に集中させない背圧の利用、LIM成形時に高温のシリコーンゴムにより筐体にかかる熱を滞留させない技術、マイクロテクスチュア成形転写によるシリコーン接合技術の３点については開発良好なため、生産可能な技術から順次、実際の生産に採用してゆきます。

型内接合技術についても、プライマーに関しては、開発委託先からの助言により開発し、ＰＣ，ＰＡともに接着することが確認された。今後は、霧化プライマー供給装置のエア圧力向上の検証が必要となります。

金型離型の表面処理技術についても広がりが出てきており、型内射出技術以外にも応用技術としての活用が期待されます。

成形設備開発も研究段階から生産への移行改造は必要です。

先々量産環境を整えて、実績あるものづくりに移行して完全防水化を目指してゆきます。

またモバイル機器は、携帯電話から時計型のスマートウオッチ等へと多様化しており、2020年の東京オリンピックに向けての開発が進むと考えられます。