

ワックス添加プレコート材の潤滑特性

Lubrication Properties of Aluminum Sheets Pre-coated with Wax

長谷川 真一
Shinichi Hasegawa渡辺 睦子
Mutsuko Watanabe加藤 治
Osamu Kato

概要 プレコートアルミニウム板材の塑性加工を行う場合、表面の潤滑性確保を目的として、塗料へのインナーワックス配合や、塗膜へのアウターワックス塗布が実施されている。ただし、2種以上のワックスを同時に使用する場合において、塗膜焼付等による熱履歴が加わった場合のワックスの相互作用については、ほとんど検討されてこなかった。

本研究では、カルナバワックスとポリエチレンワックス、およびカルナバワックスとパラフィンワックスについて、それぞれ溶融混合させた場合の挙動を調査した。その結果、これらのワックスは溶融混合させることにより新たな物性を示すこと、および溶融混合によって優れた潤滑性能を発揮することが明らかになった。

Abstract: When doing plastic working of a pre-coated aluminum sheet, wax is added to the paint as inner wax, or wax is coated on the pre-coated film as outer wax, for the purpose of ensuring surface lubricity. In the case where two or more kinds of wax are used simultaneously and the coated film is subjected to baking or other kind of heat treatment, interactions will take place between these waxes. However, there have been few studies about this.

This study melted and mixed carnauba wax and polyethylene wax, and carnauba wax and paraffin wax, and investigated their behavior. As a result, the study found that these waxes show new physical properties when melted and mixed, that is, these mixtures offer excellent lubricating performance by melting and mixing.

1. はじめに

アルミニウム製品には、耐食性の向上、外観品質の向上、キズつき防止および機能性付与を目的として、その表面に何らかの表面処理が施されている場合が多い。代表的な表面処理方法としては、陽極酸化処理（アルマイト）、各種化成処理、フィルムラミネート処理および塗装処理などが挙げられる。中でも塗装処理は、適切な塗料を選択することにより優れた特性を発揮するため、広く用いられている。

塗装処理は、アルミニウム板に塗装を施してから成型加工する「プレコート」と、アルミニウム板を成型加工した後に塗装を施す「ポストコート」の二種類に大別できる。プレコート材は、均一な塗膜を形成しやすく、コイル化による連続塗装が可能、といった特長があり、塗装

建材、飲料缶フタ材やエアコン熱交換器フィン材を始めとして大量に用いられている。一方、プレコート材を成型加工するにあたっては、アルミニウムに対する塗膜密着性や、金型に対するプレコート材の潤滑性が不十分であると、塗膜剥離やキズ付きなどの加工不良が発生しやすい。

プレコート材への潤滑性付与を目的として、ワックスを配合した塗料を塗装・焼付する方法（インナーワックス）および塗装焼付後の塗膜にワックスを塗布する方法（アウターワックス）が用いられることがある。これらのワックスが成形加工性に及ぼす影響については、様々な検討がなされてきた¹⁾²⁾。ただ、2種類以上のワックスが存在する系において、ワックス同士の相互作用に着目した検討は少ない。塗膜はワックスの融点以上の温度で焼付される場合が多い。この時ワックス同士が溶融状態で

接触し、何らかの変化を遂げている可能性がある。

本論文では、インナーワックス同士の作用の例としてカルナバワックスとポリエチレンワックス、インナーワックスとアウトワックスの作用の例としてカルナバワックスとパラフィンワックスの組み合わせにそれぞれ注目し、それらを溶融混合させた場合の物性変化について報告する。

2. 実験方法

2.1 溶融混合ワックスの調製

実験に用いたカルナバワックス、ポリエチレンワックスおよびパラフィンワックスの性質は、表1に示した通りである。これらのワックス固体を、75 : 25, 50 : 50および25 : 75の重量比で混合して容器に入れ、約150℃のホットプレートにて加熱溶融した。溶融液が110℃に到達したところで、固形物が残留していないことを目視で確認し、ガラス棒で軽く攪拌した後、ホットプレートから下ろして室温放冷した。

2.2 プレコートアルミニウム板材

溶融混合ワックスの潤滑特性評価のため、A5182 (板厚0.25mm)-H19材にリン酸クロメート処理(Cr=20±5mg/m²)を施したアルミニウム板を作製した。これに、インナーワックス成分を含有しないアクリル変性エポキシ樹脂塗料(水性)を雰囲気温度266℃×24秒(PMT=250℃)にて焼付けた。なお、塗膜量は焼付後にて4.5g/m²とした。

2.3 評価方法

2.3.1 溶融混合ワックスのDSC測定

各ワックスの熱的挙動を、セイコーインスツルメンツ(株)社製DSC-200により測定した。昇温速度は10℃/min、温度範囲は室温～150℃、サンプル重量は約10mg、サンプル容器はカシメ密閉にて実施した。

2.3.2 溶融混合ワックスの潤滑性評価

塗膜と加工金型の摩擦に対する溶融混合ワックスの効果、バウデン式付着滑り試験機により評価した。

表1 ワックス単体の性質
Table 1 Properties of waxes as a single substance.

ワックス種	色	融点	形状
カルナバ	黄色	84.3℃	フレーク状
ポリエチレン	白色	102.5℃	粉末状
パラフィン	白色	66.0℃	ブロック状

表2 アルミニウム合金板の機械的特性
Table 2 Mechanical properties of aluminum alloy sheet.

合金	引張り強さ (MPa)	耐力 (MPa)	伸び (%)
A5182-H19	366	301	9.0

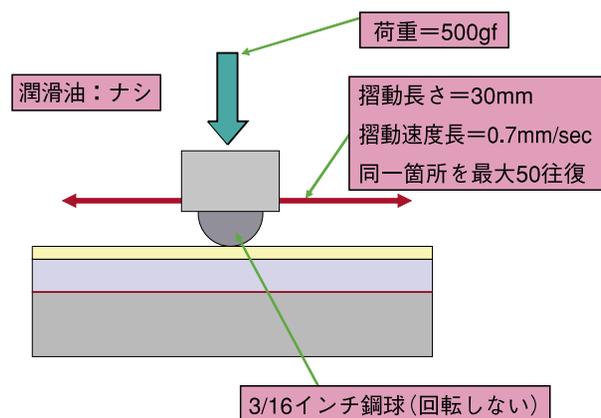


図1 バウデン式付着すべり試験の模式図
Fig.1 Schematic of Bowden stick-slip test.

各ワックスを80℃のキシレンに溶解し、その中に2.2項にて作製したプレコートアルミニウム板材を浸漬、乾燥させることにより、塗膜表面に15mg/m²のワックス層を形成させ、サンプルとした。

バウデン式付着滑り試験は、図1に示すようにサンプル接触部に3/16インチ鋼球を用い、摺動長さは30mm、摺動速度は0.7mm/sec、荷重は500gfにて実施した。摺動回数は塗膜カジリが生じるまで(ただし、上限は50往復に設定)とした。

3. 実験結果

3.1 各ワックスの溶融混合結果

カルナバワックスとポリエチレンワックス、カルナバワックスとパラフィンワックスをそれぞれ溶融混合させたところ、ワックス同士は完全に混ざり合い、相分離などの不均一化は見られなかった。また、溶融混合物を室温放冷して凝固させた場合でも、一方の成分が析出する等の現象も見られなかった。

各ワックスの溶融混合時の挙動を表3および表4に示す。表3のカルナバワックスとポリエチレンワックスの挙動において、前者が黄色、後者が白色にもかかわらず色が濃化するほか、臭気および溶融時粘度が変化することが明らかになった。このことから、カルナバワックスとポリエチレンワックスを溶融混合させると、単に混ざ

表3 カルナバワックス(C)とポリエチレンワックス(PE)の溶融混合物の特性
Table 3 Properties of molten mixture of carnauba wax (C) and polyethylene wax (PE).

カルナバ(%)	100	75	50	25	0
ポリエチレン(%)	0	25	50	75	100
色	黄色	茶	濃茶	濃茶	白色
臭気	甘い臭い	バニラ臭	カラメル	カラメル	ロウ臭
溶融時粘度	低	高	特高	特高	中

表4 カルナバワックス(C)とパラフィンワックス(P)の
溶融混合物の特性
Table 4 Properties of molten mixture of carnauba wax (C)
and paraffin wax (P).

カルナバ(%)	100	75	50	25	0
パラフィン(%)	0	25	50	75	100
色	黄色	黄色	淡黄	淡黄	白色
臭気	甘い臭い	甘い臭い	甘い臭い	甘い臭い	口臭
溶融時粘度	低	低	低	低	特低

り合うだけでなく、何らかの相互作用を生じ、新たなワックスとして振舞うものと考えられる。

なお、表4のカルナバワックスとパラフィンワックスにおいては、表3に見られたような特異的な挙動は見られず、両者の混合比率に見合った物性を示した。

3.2 溶融混合ワックスの熱的挙動

図2に、カルナバワックスとポリエチレンワックスの溶融混合物のDSC測定結果を示す。各状態の吸熱ピーク位置を比較したところ、溶融混合ワックス中におけるポリエチレンワックスの含有比率が上がるのに伴い、ピークAは低温側に、またピークCは高温側にシフトすることが明らかになった。ピークAは主としてカルナバワックス由来、またピークCはポリエチレンワックス由

来の吸熱ピークであり、単に混ざり合っている状態ではピークシフトは発生しないと考えられることから、これらの溶融混合ワックスは、異なる熱的性質を持った新規ワックス組成物と考えられる。

また図3に、カルナバワックスとパラフィンワックスの溶融混合物のDSC測定結果を示す。表4においては特異的な挙動は見られなかったものの、熱的性質において吸熱ピークのシフトが認められることから、この場合にも、溶融混合によるワックス同士の相互作用が生じたものと考えられる。

3.3 溶融混合ワックスの潤滑性評価結果

図4に、カルナバワックスとポリエチレンワックスの溶融混合ワックスを塗布したサンプルの付着すべり試験結果を示す。カルナバワックスのみを塗布した場合、29往復でカジリが発生した。またポリエチレンワックスのみの場合、50往復終了時の摩擦係数は約0.26であった。これらに対し溶融混合ワックスは、カルナバワックス：ポリエチレンワックス=75：25において摩擦係数が0.1未満であることを筆頭に、いずれの混合比においてもワックス単体より摩擦係数が低く、良好な潤滑性が得られることが明らかになった。

また図5に、カルナバワックスとパラフィンワックス

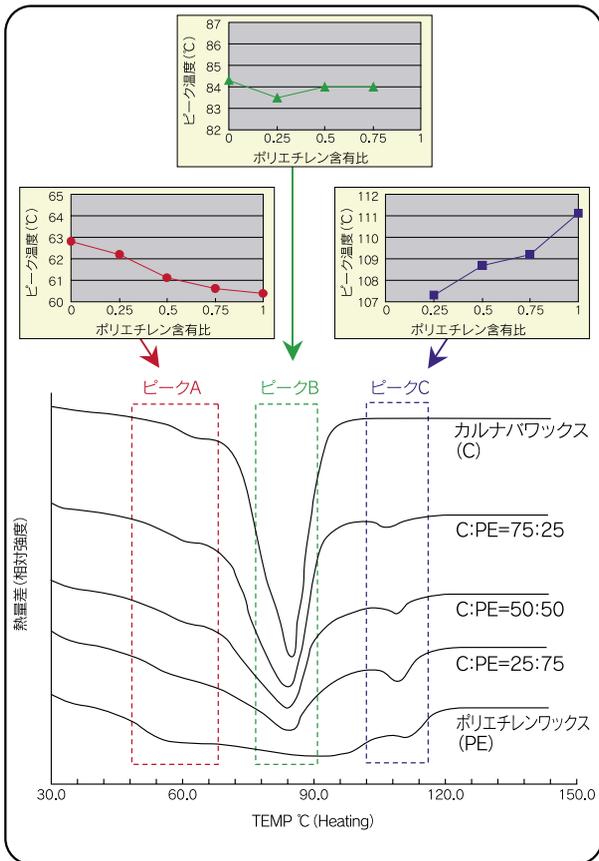


図2 カルナバワックス(C)とポリエチレンワックス(PE)の
溶融混合ワックスのDSC測定結果
Fig.2 Results of DSC measurement of molten mixture of
carnauba wax (C) and polyethylene wax (PE).

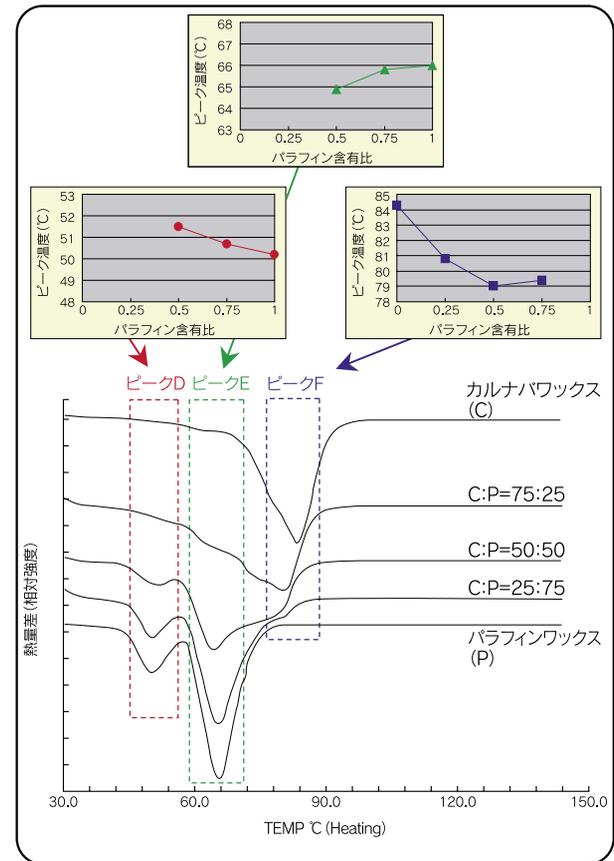


図3 カルナバワックス(C)とパラフィンワックス(P)の溶融
混合ワックスのDSC測定結果
Fig.3 Results of DSC measurement of molten mixture of
carnauba wax (C) and paraffin wax (P).

の溶融混合ワックスを塗布したサンプルの付着すべり試験結果を示す。パラフィンワックスは単体で良好な潤滑性を有しているが、パラフィンワックスを25~50%含有する溶融混合ワックスの摩擦係数はさらに低くなっており、さらなる潤滑性向上が見込まれる。

現在、プレコート材の潤滑性向上を図るため、インナーワックスとしてカルナバワックスとポリエチレンワックスを同時に配合することや、カルナバワックスをインナーワックスとし、さらにアウトワックスとしてパラフィンワックスを塗布することが、経験的に広く行われている。これは、これらのワックス同士が、塗膜焼付工程ならびにアウトワックス塗布工程のような熱的履歴を受けることにより溶融混合すると考えると、うまく説明できる。すなわち、プレコート材の製造中に溶融混合ワックスが生成するため、塗膜の摩擦係数が低減し、潤滑性が向上すると考えられる。

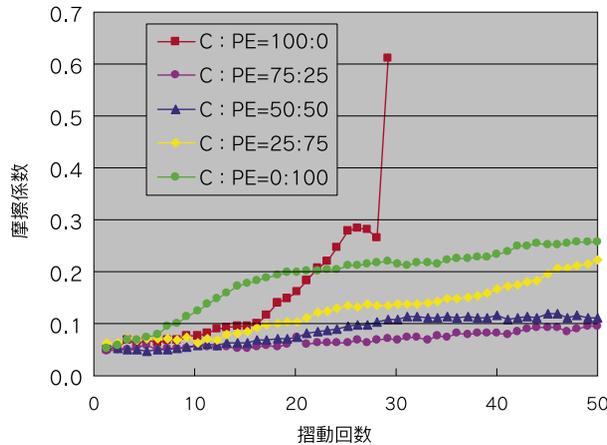


図4 カルナバワックス(C)とポリエチレンワックス(PE)の溶融混合ワックスを塗布した塗装板の潤滑特性
Fig.4 Lubrication properties of specimen coated with molten mixture of carnauba wax (C) and polyethylene wax (PE).

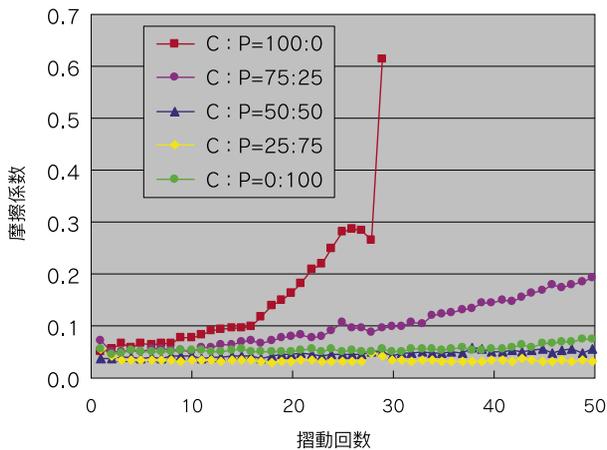


図5 カルナバワックス(C)とパラフィンワックス(P)の溶融混合ワックスを塗布した塗装板の潤滑特性
Fig.5 Lubrication properties of specimen coated with molten mixture of carnauba wax (C) and paraffin wax (P).

4. 考察

4.1 潤滑性向上のメカニズム

溶融混合ワックスが塗膜の摩擦係数を低減させる機構を明らかにするために、ワックスの物性を調査した。

溶融させたワックスをアルミ板に塗布し、曲げ試験を実施した結果を図6および図7に示す。カルナバワックス単体およびポリエチレンワックス単体は、曲げに追従できず、ワックス層の割れおよび剥離が顕著に発生している。一方、両者の溶融混合ワックスは、曲げ部に細かなヒビ割れを生じているものの、アルミニウム板の曲げによく追従することが明らかになった。

パラフィンワックス単体は、曲げによく追従するものの、凝固時に凝集しやすい傾向を示した。これに対し溶融混合ワックスは、カルナバワックス：パラフィンワックス=25：75において、割れ・凝集とも発生しないことが判明した。

これらのワックスが摺動面に適用された場合の効果については、以下のように考えられる。すなわち、図8に見られるように、付着すべり試験の表面状態は、「良好な潤滑」「塗膜カジリ」「素地カジリ」に分類できる。プレコート材の加工性を確保するためには、良好な潤滑を保ち、塗膜カジリを発生させないことが重要になる。カルナバワックスやポリエチレンワックスの単体は、硬くてもろいため、塗膜カジリが発生し始めても形状の変化に追従

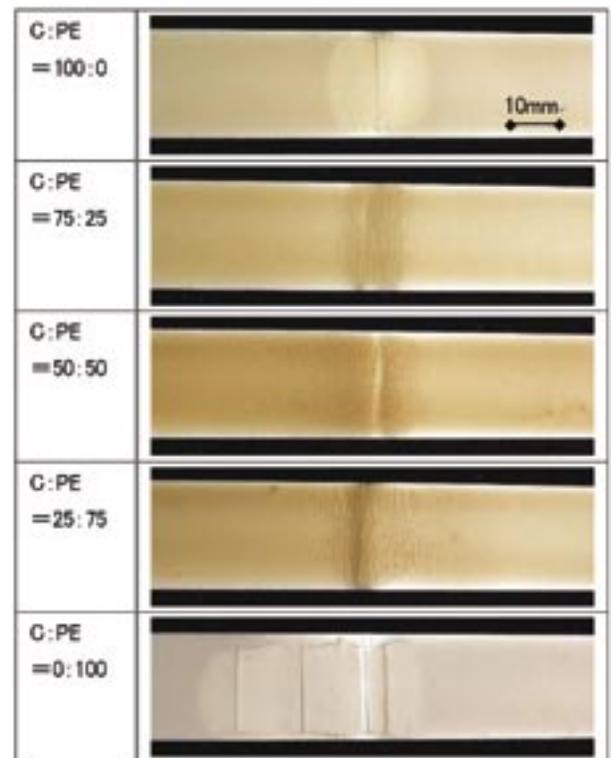


図6 カルナバワックス(C)とポリエチレンワックス(PE)の溶融混合ワックスの曲げ試験結果
Fig.6 Results of bending test of molten mixture of carnauba wax (C) and polyethylene wax (PE).

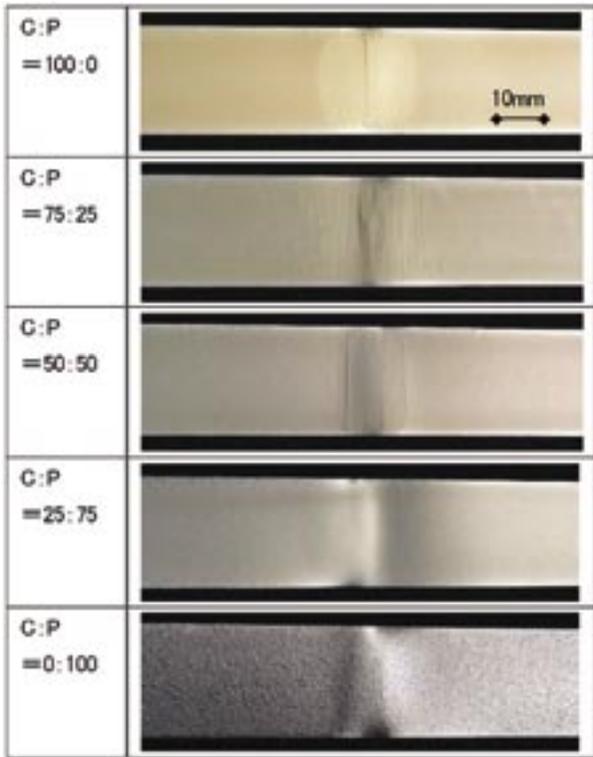


図7 カルナバワックス(C)とパラフィンワックス(P)の溶融混合ワックスの曲げ試験結果
Fig.7 Results of bending test of molten mixture of carnauba wax (C) and paraffin wax (P).

できず、潤滑切れによるカジリ悪化を招くものと考えられる。またパラフィンワックス単体は凝集しやすいため、局所的に潤滑不足の部分が生じるものと考えられる。一方、一連の溶融混合ワックスは適度な柔軟性を備えているため塗膜カジリの初期段階によく追従し、また凝集も生じにくいいため、カジリを効果的に抑制するものと考えられる。

4.2 塗膜表面におけるワックス溶融混合現象の検証
プレコート板の表面にてワックスの溶融混合現象が発

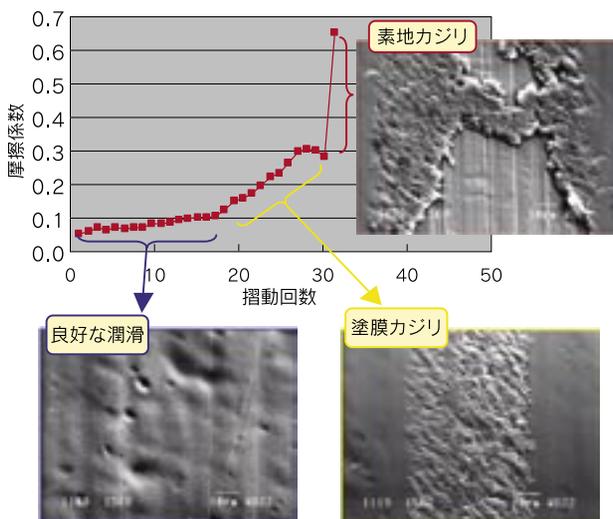


図8 付着すべり試験の撓動面のSEM写真
Fig.8 SEM image of sliding surface after stick-slip test.

生するか否かを実験により検証した。手順を図9に示す。

2.2項で作製したプレコート板サンプルに、カルナバワックス単体を15mg/m²塗布した後、パラフィンワックス単体を5mg/m²塗布した。これに対し、アウターワックス塗布工程等を想定し、90℃の乾燥炉にて2分加熱したサンプルを作製した。また比較として、上記手順のうち加熱処理を行わないサンプルも準備した。

さらに、溶融混合ワックス層の形成を確認するため、両者を常温のn-ヘキサンにて洗浄した。これは、カルナバワックス単体および溶融混合ワックスがn-ヘキサに溶解しないのに対し、パラフィンワックス単体がn-ヘキサンに容易に溶解する性質を用いたものである。

このように作製したサンプルの摩擦係数を測定した結果を図10に示す。カルナバワックスの上にパラフィンワックスを少量塗布することにより、カルナバワックスのみの場合より摩擦係数が低減した。また、加熱の影響は、加熱したサンプルの摩擦係数が若干低い程度で、ほぼ同等であった。これは、カルナバワックスとパラフィンワックスの溶融混合が部分的であり、主としてパラフィンワックスの効果が現れたためと思われる。

一方、ヘキサン洗浄を実施したサンプルにおいては、加熱の影響が顕著に現れた。すなわち、パラフィンワックス塗布後に加熱を行わずヘキサン洗浄したサンプルは、パラフィンワックス層が全て除去され、25往復程度で素地カジリに達するのに対し、加熱を行ったサンプルは、非洗浄水準(ヘキサン洗浄ナシ)には及ばないものの、素地カジリに至るまでの回数が大幅に延長された。非洗浄水準に及ばなかった原因については、図9の模式図に示したように、ワックスの溶融混合が部分的に発生した後、未反応のパラフィンワックスが洗浄により除去され、ワックスの総量が少なくなったこと、また、溶融混合ワックスの成分がカルナバワックスリッチであったことが想定される。

以上のことは塗膜上でもワックスの溶融混合が生じる可能性があることを示唆している。また溶融混合ワック

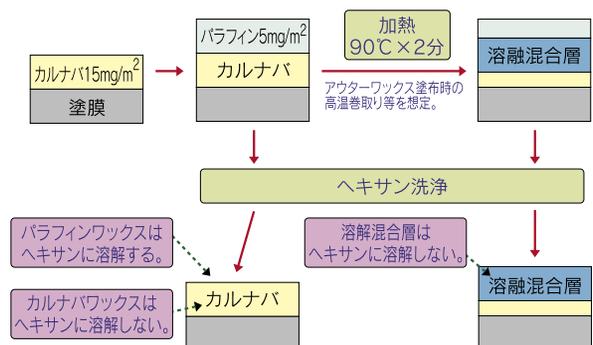


図9 ワックス溶融混合現象の検証実験の模式図
Fig.9 Schematic of verification experiment of wax melting and mixing phenomenon.

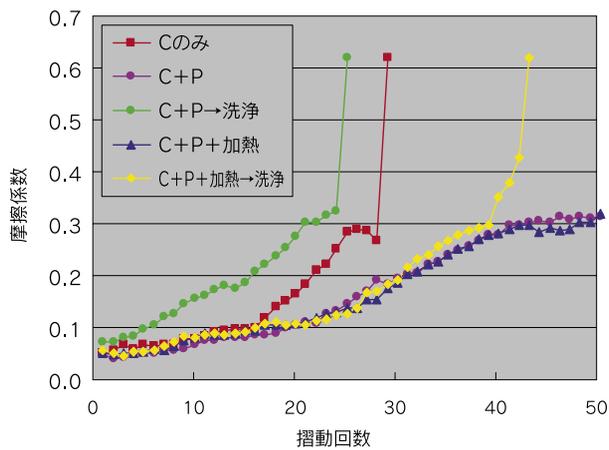


図10 ワックス塗布後に加熱および洗浄処理を行った塗装板の潤滑特性
Fig.10 Lubrication properties of specimen subjected to heating and washing treatments after wax coating.

ス層は塗膜表面で形成されたものであっても潤滑特性に優れており、ポストワックス塗布条件の最適化によりプレコート材の加工性を向上させることが期待される。

5. おわりに

プレコートアルミニウム材に求められる機能は、近年ますます多様化している。特に、加工性・潤滑性に対する要求は、不良率の低減および成型速度の向上の観点から、非常に高度なものになっている。

これまでも、目的に応じたインナーワックスおよびアウトワックスの種類および配合量が検討されてきた。しかし溶融混合したワックスの物性から検討された

例は少ない。本研究で得られた知見を加味することにより、より優れた潤滑性を持つプレコートアルミ材を設計することができると考えられる。

参考文献

- 1) 佐藤・加藤・渡辺・難波江：軽金属学会第105回秋期大会講演集概要(2003),233
- 2) 渡辺・加藤・佐藤・難波江：軽金属学会第104回春期大会講演集概要(2003),139



長谷川 真一 (Shinichi Hasegawa)
技術研究所



渡辺 睦子 (Mutsuko Watanabe)
技術研究所



加藤 治 (Osamu Kato)
技術研究所