

撥水撥油コーティングによる工場用ベースライトの防汚性向上

Improved Anti-Contamination of Factory Base Lights by Water-and Oil-Repelling Coating

渡辺 加津己* ・ 野間 真二郎** ・ 山内 哲* ・ 福澤 成晴** ・ 佐古 利治**
Kazuki Watanabe Shinjiro Noma Satoru Yamauchi Shigeharu Fukuzawa Toshiharu Sako

水溶性切削油のオイルミストが付着しやすい金属加工工場のベースライトにおいて、反射板に独自の撥水撥油コーティングによる防汚機能層を形成し、オイルミストの付着抑制と付着汚れの簡単なふき取りを可能にした。

この防汚機能層は、静的接触角および後退接触角がともに大きい値を有するポリシロキサンを結合したアクリルユニットと、表面エネルギーが低く、表面への配向性を高める性質をもつフッ素ユニットを共重合させることにより、オイルミストを弾く成分を表面に緻密に局在化させ、3次元的に高密度で架橋させたフッ素-ポリシロキサン系コーティングを反射板表面に形成したものである。

本技術開発により、初期の高い器具効率を長期間維持することが可能となり、工場における作業環境を向上させるとともに省エネルギーを実現している。

In the lighting fixtures in a metal processing factory, where oil mist adhesion to the fixtures from the water-based cutting fluid has happened, the anti-contamination layer made from the developed water-and oil-repelling coating on the reflectors suppressed oil-mist adhesion and enabled easy wiping.

This anti-contamination functional layer is a copolymer made from an acrylic unit bound with polysiloxane, which has a high value of both static contact angle and retracting contact angle, and a fluorine unit, which has low surface energy and high orientation property on the surface. This copolymer layer contains oil-mist repelling composition densely localized on the reflector surface, and forms a fluorine-polysiloxane coating bridged densely in three dimensions.

The developed technology enables long-term maintenance of the initial high fixture efficiency and improves the work environment in the factory as well as achieves energy conservation.

1. ま え が き

地球環境保護活動への取組みから、省エネルギーを図るべく、照明器具に対しても高効率化ニーズが高まっている。なかでも、オフィスや工場など非住宅分野においてはそのニーズが強く、さまざまな高効率照明器具が提案されている。

非住宅分野において使用される代表的な照明器具としてベースライトがある。ベースライトは、主として直管形蛍光灯を光源とする下面開放構造の器具であり、工場においては、高所に設置される全般照明と、作業者の手元照度を確保するため低所に設置されるタスク照明とを併用する場合がある。当社では、従来の Hf 蛍光灯と比較して約2倍の定格出力を有する「G-Hf 蛍光灯」と、反射板に高反射

白色粉体塗装「マイルドブライトコート」を採用した照明器具「W エコ」を開発し、工場用として提案を行っている。

照明器具が設置される工場内の環境は業種により大きく異なる。たとえば、半導体に代表される電子部品工場においてはクリーンルーム等の低汚染環境の場所に密閉型器具が設置されるため、汚れ付着は軽微であり、施工当初の空間照度や効率を長期間維持することができる。一方、切削加工や板金加工などを行う金属加工工場では、切削粉等の粉塵や飛散したオイルミストが照明器具に付着・堆積し、器具効率の劣化に伴う空間照度の低下が懸念される。しかし、照明器具に付着・堆積したオイルミスト等を除去する清掃作業を頻繁に実施することは、コストや生産性の観点からも困難である場合が多い。

そこで筆者らは、工場において実際に使用されていた照

* 照明事業本部 照明R&Dセンター Research & Development Center, Lighting Manufacturing Business Unit

** 新規商品創出技術開発部 New Product Technologies Development Department

明器具を回収し、付着物質の分析とともに光学特性の測定を行い、工場における照明器具の実態を把握した。また、その結果をもとに、フッ素-ポリシロキサン系コーティング材を用いた照明器具の防汚処理技術について検討を行い、オイルミストの付着を抑制して清掃回数を低減し、かつ清掃時の汚れ除去性能を向上させたベースライト白色反射板を開発したので報告する。

2. 工場用照明の現状と課題

2.1 汚れ付着の現状

図1に、金属加工工場において3年間使用されたベースライト反射板の汚れ付着状態の写真を示す。

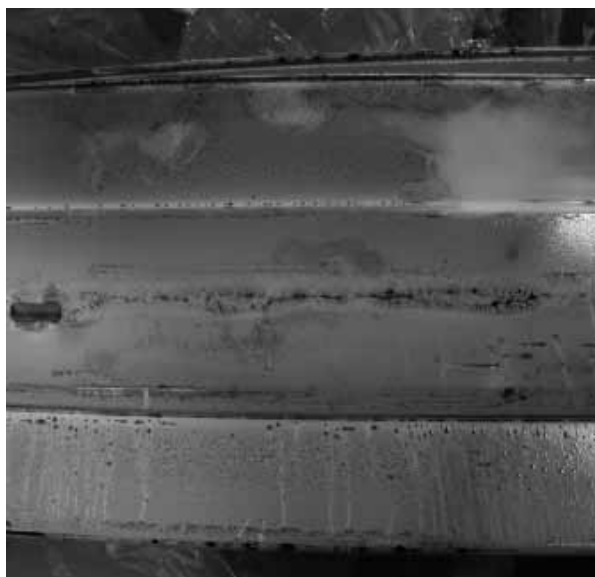


図1 ベースライト反射板の汚れ付着状態

反射板全面に油汚れが付着しており、反射率が著しく低下していることが推測される。そこで、回収した反射板と、同形状の未使用品をそれぞれ同一器具に取り付けて器具効率を測定し、その結果を表1に示す。わずか3年で器具効率が約2割低下していることがわかる。

表1 回収器具と未使用品の器具効率比較

	器具効率	低下率 (対未使用品)
未使用品	88 %	—
3年後回収品	72 %	18 %

2.2 オイルミスト汚れの付着メカニズム

次に、照明器具にオイルミスト汚れが付着するメカニズムを考察する。

切削加工に使用される切削油は、JISにより不水溶性切削油と水溶性切削油の2種類に大別されている¹⁾。不水溶性切削油は潤滑性や抗溶着性に優れる反面、可燃性危険物であるため火災の危険性や環境への影響などから取扱いに

注意が必要である。一方、水溶性切削油は少量の油を水で希釈して使用するため火災などのおそれがなく、加工機の無人運転が可能であり、また被削物に対する冷却効果に優れるため高速加工に適している。このことから近年、多くの金属加工工場において、不水溶性切削油から水溶性切削油への切替が行われている²⁾。

水溶性切削油は添加されている界面活性剤によって水中に分散され、この分散液はクーラントと呼ばれる。クーラントは加工機のノズルから大量に噴射され、被削物や工具に当たり、粒径5～100 μm程度のオイルミストとなる。粒径の大きなものは沈降して回収されるが、小さなものは長時間浮遊して加工機の外に流出する。その後、浮遊しているオイルミストは、換気設備などによって発生する上昇気流に乗って照明器具の反射板に付着・凝集し、液滴となる。液滴はやがて、ランプや安定器の熱によって水分が蒸発して油成分のみが残り、粘性が高く除去しにくい油汚れになると考えられる³⁾。

2.3 防汚コーティング材の開発課題

汚染状況の分析結果をもとに、筆者らはオイルミスト対策照明器具における、反射板用の防汚コーティング材の開発にあたり、以下の三つの課題を設定する。

- (1) 粉塵やオイルミストが浮遊する環境に設置されても付着しにくく、また付着しても簡単に除去できること。
- (2) 照明器具に適用可能な耐光性と耐熱性を有すること。
- (3) 反射率や色調などの光学特性を阻害しないこと。

3. 防汚コーティング材の開発

反射板表面の基本構成は、図2に示すような層構造で検討を行う。

基材側の白色反射層は、当社独自の高反射白色粉体塗料の塗膜で高い光反射性を有している。防汚機能層には、表層部に高い防汚性および付着汚れの易除去性を、下層部に白色反射層と強固な密着力を発現するという傾斜機能をもたせる。またこの層は、ランプの光や熱から白色反射層を保護する機能を発現する。

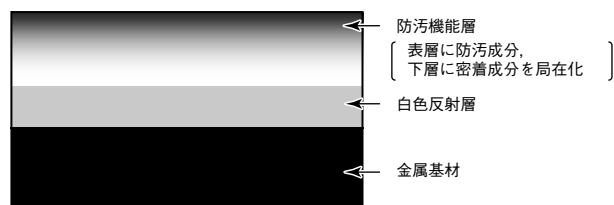


図2 反射板表面の基本構成

さまざまなぬれ性を有するコーティング材料について、防汚性および易除去性の評価を行った結果、撥水撥油性を有するコーティング材がもっとも優れていることがわかつ

た。しかし、単に水や油に対して静的接触角の大きい材料が、必ずしも良好な防汚性を発現するわけではなく、動的接触角の一つである後退接触角を大きくする必要がある^{4), 5)}。

後退接触角は固体に付着した液滴の拡張収縮性と深く相関がある⁶⁾。後退接触角が大きい材料表面では、付着した液滴同士が小さく凝集しやすくなる。すなわち、オイルミストが反射板に付着した後、小さく凝集することによって、油滴の付着面積が小さくなり、汚れによる反射率の低下を抑制することができる。

図3に液滴の接触角と防汚性の関係の概念図を示す。

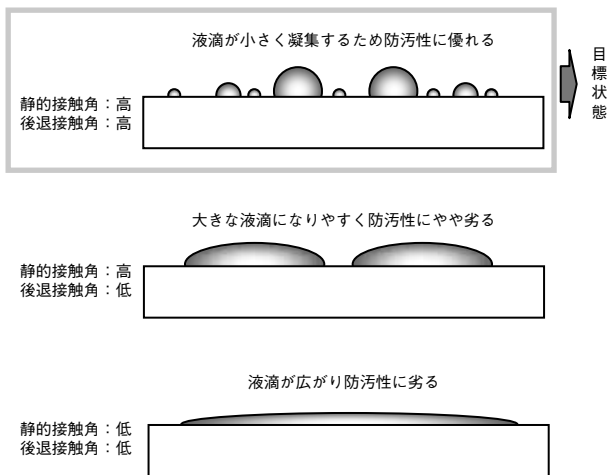


図3 液滴の接触角と防汚性の関係(概念図)

そこで筆者らは、静的接触角および後退接触角がともに高い値を有するポリシロキサンを結合したアクリルユニットと、表面エネルギーが低く表面への配向性を高める性質をもつフッ素ユニットを共重合させることにより、オイルミストをはじく成分を表面に緻密に局在化させ、3次元的に高密度で架橋させたフッ素-ポリシロキサン系コーティング材(以下、開発塗料と記す)を開発した。開発塗料による塗膜(以下、開発塗膜と記す)表面の模式図を図4に示す。

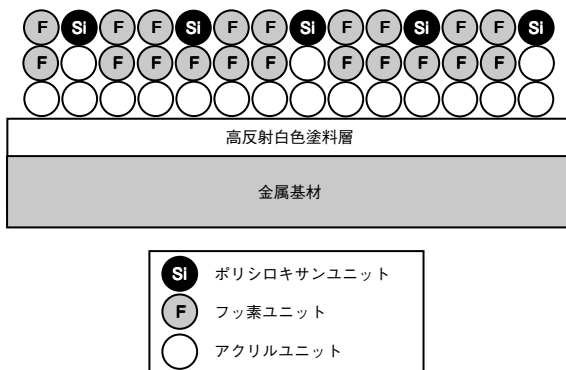


図4 開発塗膜の模式図

開発塗膜と一般的なフッ素系コーティング膜、および一般的なアクリル系樹脂塗膜における水および水溶性切削油(JIS K 2241 A1種)の接触角を表2に示す。

表2 開発塗膜と一般材料塗膜の接触角

接触角	水		切削油	
	静的	動的(後退)	静的	動的(後退)
開発塗膜	105°	95°	48°	40°
一般的なフッ素系コーティング膜	90°	65°	38°	20°以下
一般的なアクリル系樹脂塗膜	75°	20°以下	20°	20°以下

開発塗膜は、一般的なフッ素系コーティング膜やアクリル系樹脂塗膜と比較すると、水および水溶性切削油ともに静的接触角が大きいだけでなく、後退接触角が40°という大きい値を示している。

また、開発塗膜をX線光電子分光(XPS)によりフッ素原子(F)、シリコン原子(Si)の深さ方向分析を行い、そのプロファイルを図5に示す。

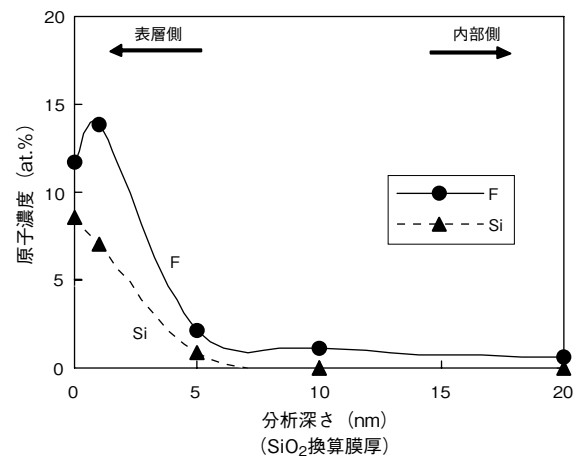


図5 XPSによる開発塗膜の深さ方向分析

表層から5 nmまでの深さにFとSiが高濃度で検出されており、フッ素ユニットとポリシロキサンユニットが表層近傍に局在化していることが確認できる。また、Siが深さ方向に対して単調に減少するのに対して、Fは1 nmの深さでもっとも高い濃度を示し、フッ素ユニットがポリシロキサンユニットよりもわずかに深い所に高濃度で存在していることがわかる。以上のことから、樹脂設計のねらいどおりの塗膜構成を実現していることがわかる。

4. 性能評価

4.1 光学特性と耐光耐熱性

白色反射層は、全光線反射率92%以上を有するが、その上に開発塗膜を形成した反射板(以下、開発品と記す)においても、同等の反射率を維持している。これは、防汚機能層や中間密着層を形成する材料が、可視光吸収の少ない透明な樹脂であることに起因している。開発塗料をガラス基材に塗布した際のスペクトル透過率を図6に示す。

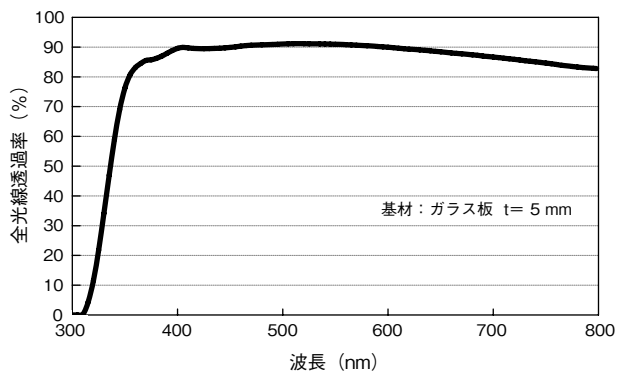


図6 開発塗膜のスペクトル透過率

次に、白色反射層を形成した基材に市販のフッ素系ウレタン塗料と開発塗料を塗装したサンプルの、100℃耐熱試験、および100℃+水銀灯照射耐熱試験を30日間実施した後の色差変化 ΔE を図7に示す。

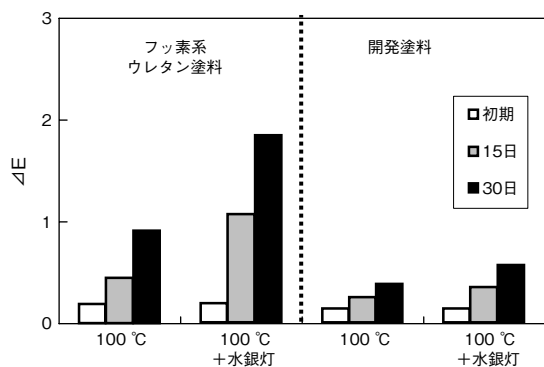


図7 耐熱性、耐光耐熱性試験結果

開発塗料を塗装したサンプルは色差変化が小さく、耐熱試験後と耐光耐熱試験後の ΔE を0.5程度に抑えることができ、一般的なフッ素系ウレタン塗料に比べて約1/4である。

一般的に樹脂材料はガラス転移点 (T_g) 前後で物性が大きく変化することが知られている⁷⁾。

開発塗料は、黄変の原因になると考えられる成分を低減しながら T_g を100℃以上に設計することで、熱による物性変化を小さく抑えているため、耐熱試験後と耐光耐熱試験後の ΔE が小さくなっている。

4.2 防汚性

開発塗料の防汚性を評価するため、擬似汚れ液を用いて汚れ付着・ふき取り試験を行う。

擬似汚れ液は、JIS K 2241に規定される水溶性切削油のA1 (エマルジョンタイプ)、A2 (ソリュブルタイプ)、A3 (ソリュションタイプ) の3種類を水で希釈した後、親水性のカーボンブラックで着色したものである。開発品に擬似汚れ液を噴霧した後、熱風循環炉で乾燥させ、擬似汚

れ付着サンプルとする。比較のため、従来の反射板も同様の試験を行う。

また、ふき取り試験は水に浸した綿布をよく絞った後、一定荷重で2往復のふき取りを行う。

防汚性と易除去性の評価は、サンプルの擬似汚れ付着後とふき取り後の三刺激値 (X, Y, Z) を反射型の測色計を用いて測定し、Y値を反射率の代用特性とする。図8に、擬似汚れ液 (A1) による汚れ付着・ふき取りを3回繰り返し、そのつどのY値変化を示す。

この図から、従来品は汚れ付着試験によって著しく反射率が低下し、ふき取りを行っても反射率は回復しない。一方、開発品は汚れ付着試験後も反射率の低下が少なく、ふき取りによって反射率がほぼ初期状態まで回復していることがわかる。

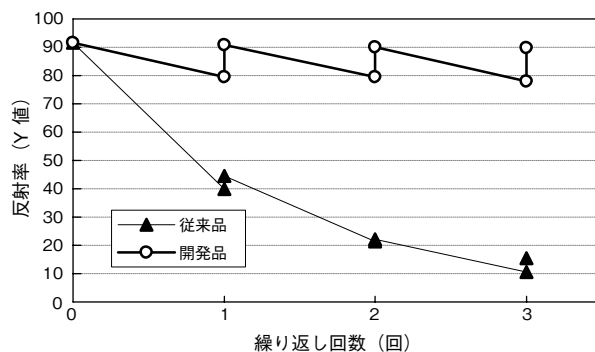


図8 汚れ付着・ふき取り試験結果

4.3 防汚性能の耐久性評価

照明器具の反射板は、長期間熱や紫外線にさらされるため、防汚性能も高い耐久性が要求される。そこで、水銀灯を用いて実使用10年に相当する紫外線を従来品と開発品に照射した後、4.2節に記載した擬似汚れ付着・ふき取り試験を行い、試験前後のY値を測定する。式(1)で汚れ付着率 (δ) を、また式(2)で汚れ除去率 (ρ) を算出し、それらの結果を図9、図10に示す。

$$\delta = \frac{Y_0 - Y}{Y_0} \quad (1)$$

$$\rho = \frac{Y' - Y}{Y_0 - Y} \quad (2)$$

Y_0 : 試験前サンプルの Y 値

Y : 汚れ付着後の Y 値

Y' : 汚れふき取り後の Y 値

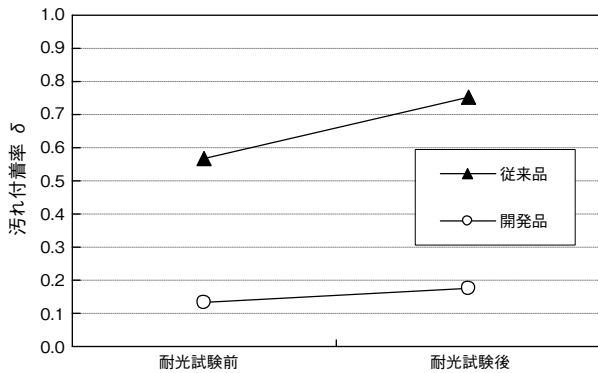


図9 耐光試験による汚れ付着率変化

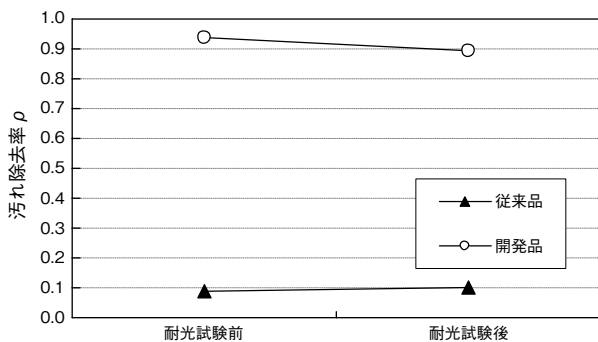


図10 耐光試験による汚れ除去率変化

これらの図から、開発品は耐光試験後も汚れ付着率、汚れ除去率ともにわずかな変化に留まっていることがわかり、防汚性能は照明器具の反射板として十分な耐久性を有しているといえる。

4.4 実使用環境における評価

実使用環境での防汚性能評価のため、従来の反射板に長手方向半面のみ開発塗料を塗装したものを器具に組み込み、金属加工工場に8ヶ月間暴露した。図11はその汚れ状態を撮影したものである。

この図から、開発塗料を塗装した面は、未処理面と比較して明らかに汚れ付着面積が少ないことが確認できる。また綿布でからぶきした結果、未処理面はふき筋が残るのに対して、開発塗料を塗装した面はふき筋が残らず、ほぼ完全に汚れが除去できている。

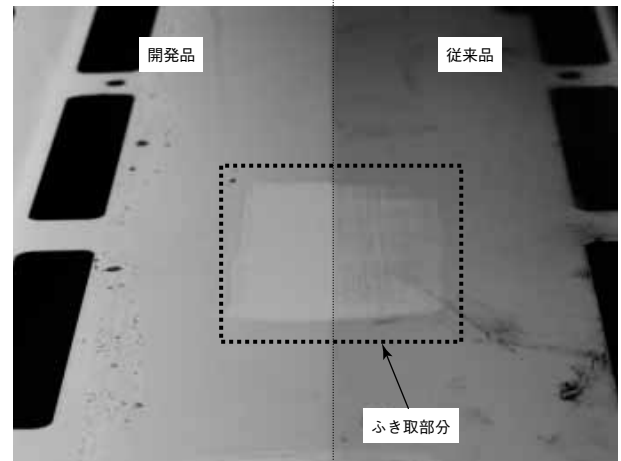


図11 実使用環境での汚れ状態

次に、それぞれの汚れ付着部をレーザ顕微鏡で拡大した写真を図12に示す。

開発塗料を塗装した面はオイルミストが粒状に付着しているのに対し、未処理面は汚れが全体に広がっていることがわかる。このことから、開発品は当初の材料設計のねらいどおりに、付着したオイルミストをはじき、防汚性、易除去性を発現していることが確認できる。

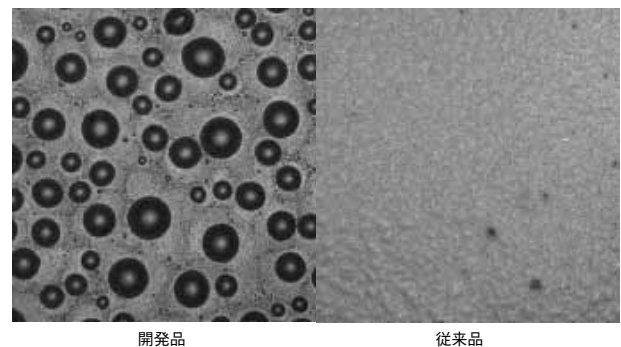


図12 付着汚れの拡大画像

5. あとがき

水溶性切削油のオイルミストが付着しやすい金属加工工場のベースライトにおいて、反射板に独自の撥水撥油コーティングによる防汚機能層を形成し、オイルミストの付着抑制と付着汚れの簡単なふき取りを可能にした。

この防汚機能層は、静的接触角および後退接触角がともに大きい値を有するポリシロキサンを結合したアクリルユニットと、表面エネルギーが低く、表面への配向性を高める性質をもつフッ素ユニットを共重合させることにより、オイルミストを弾く成分を表面に緻密に局在化させ、3次元的に高密度で架橋させたフッ素-ポリシロキサン系コーティングを反射板表面に形成したものである。

本技術開発により、初期の高い器具効率を長期間維持することが可能となり、工場における作業環境を向上させる

とともに省エネルギーを実現した。

今後、本技術を樹脂やガラス基材用塗料などに応用することによって、住宅や店舗用照明器具へも展開し、地球環境にやさしい照明器具の普及を図っていきたい。

*参考文献

- 1) 日本工業規格 JIS K 2241-2000「切削油剤」
- 2) 細田 貢司：切削油・金属加工の最新動向 水溶性切削油剤の最新動向，潤滑経済，No. 508, p. 16-21 (2008)
- 3) 仲井 正一，熊尾 隆丈：機械工場のオイルミスト対策事例，ダイダン技報，No. 99, p. 21-26 (2006)
- 4) Koji Takeda, Akira Nakajima, Yuji Murata, Kazuhito Hashimoto, and Toshiya Watanabe : Control of Water Droplets on Super-Hydrophobic Surfaces by Static Electric Field, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 41, p. 287-291 (2002)
- 5) N. J.Shirtcliffe, G. McHale, M. I.Newton, and C. C.Perry : Wertting and Wetting Transitions On Copper-Based Super-Hydrophobic Surfaces, Langmuir, Vol. 21, p. 937-943 (2005)
- 6) G. McHale, N. J.Shirtcliffe, and M. I.Newton : Contact-Angle Hysteresis on Super-Hydrophobic Surfaces, Langmuir, Vol. 20, p. 10146-10149 (2004)
- 7) 齊藤 英一郎，菅原 亮，紺田 哲史，中原 進，奥平 有三：バイオマス由来樹脂を活用した高耐熱・高強度環境対応複合材料，松下電工技報，No. 54, No. 1, p. 2-12 (2006)

◆執筆者紹介



渡辺 加津己
照明 R & D センター



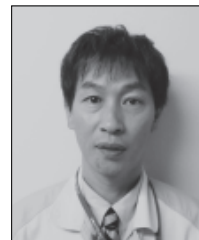
野間 真二郎
新規商品創出技術開発部



山内 哲
照明 R & D センター



福澤 成晴
新規商品創出技術開発部



佐古 利治
新規商品創出技術開発部