

### 【論文審査の要旨】

液体含浸型自浄表面とは、食虫植物であるウツボカズラの捕虫袋内面を模したものである。従来の固体型の自浄表面に比べて高い性能を有し、表面張力の低い液体のみならず固形物の付着等をも防ぐことができることから、太陽電池表面や移動機械の外装等を含めた広い応用が期待されている。しかし、表面に保持すべき特殊な液体（油等）が流失することで機能が容易に失われてしまうため、その応用は必ずしも進んでいない。

実用化に際しては、(1)表面に微細構造を設けて液体の保持力を高めるとともに、表面に異種材料の薄層を設ける等の方法で表面エネルギーを調整して液体との親和性を高める設計論の確立が必要である。また、(2)機能寿命を評価するため、雨のような液体に加えて氷雪のような固形物による負荷を想定した定量的評価法の確立が必要であるものの、これらの検討は従来行われていない。

本論文では、シリコン基板にマイクロ／ナノ構造を設けるとともに、特定分子やセルロースナノファイバーで表面を修飾することで表面エネルギーを調整して液体（油）の保持性を高めるための系統的な実験を行い、設計論の検討までを行った。さらに機能寿命の評価法についても独自の提案を行った。得られた成果は下記のようにまとめられる。

### (1) 構造と表面修飾による液体保持の基礎的検討

自己整列微粒子をマスクとしたパターンニングと金属アシストエッチングを組合せて高アスペクト比のナノピラー構造（直径 0.5  $\mu\text{m}$ ，ピッチ 1  $\mu\text{m}$ ）を製作し，表面に油を保持する方法を検討し，接触角と転落角に及ぼす影響を調べた．次いで，ナノピラー表面をオクタデシルトリクロロシラン（OTS）単分子膜で修飾することで表面と油の親和性向上を検討した．さらに，セルロースナノファイバー（CNF）を用いた複合構造の提案を行った．CNF は親水部と疎水部を併せ持つ両親媒性という性質を持つため，シリコン構造と油の親和性をさらに向上することが期待される．機械接触を考慮して直径 10  $\mu\text{m}$  程度まで大きくしたマイクロピラー構造表面に CNF を固定化するとともにプラズマ処理で CNF 集合体を多孔質化する方法も新たに提案し，油の保持性を高めながら低い転落角（高い自浄性）が得られることを示した．

### (2) 設計論の検討

微細構造の付与で油の保持量を増すことができるものの，表面エネルギーの調整が十分でないと油は容易に流れ落ちてしまう．そこで構造と表面修飾による設計の考え方を，濡れに関する古典理論である Cassie-Baxter 等のモデルと，複数の異なる液体が混じり合う状態のエネルギー論を組合せて展開し，機能実現のために必要な仕様を示すための概略指針をまとめた．

### (3) 機能寿命評価の検討

降雨を模して一定量の液体を繰返し流しかけた後の液体残渣面積を調べる評価方法を独自に提案し，機能寿命を評価できることを比較実験によって示すとともに，摩擦摩耗試験機によるボールオンディスク試験で固体接触に伴う自浄機能の低下度合いを測る方法を検討した．その結果，ナノ構造ではなくマイクロ構造に CNF を修飾することで平滑面の場合の数倍まで寿命を延ばせることを明らかにした．

以上のように，本論文は液体含浸型の自浄表面に関する基礎的な実験から評価・設計までを検討した学術的意義を有するとともに，その応用可能性を示すことで工業的な価値も示した．よって，本論文は博士（工学）の学位を授与するに十分な価値があるものと認められる．

### （最終試験又は試験の結果）

本学の学位規則に従い，最終試験を行った．公開の席上で論文発表を行い，論文審査委員を含む多数の出席者による質疑応答を行った．また，論文審査委員により本論文及び関連分野に関する試問を行った．これらの結果を総合的に審査した結果，専門科目についても十分な学力があるものと認め，合格

と判定した.