

Title	各種産業機械の表面処理に於ける環境対応型高機能塗料 ・塗装開発(テフロン®のPFAS問題に対応する高機能ポリ ウレタン塗料研究と実用化)
Author(s)	苗村, 昭夫
Citation	年次学術大会講演要旨集, 40: 430-434
Issue Date	2025-11-08
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	https://hdl.handle.net/10119/20122
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載す るものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨



各種産業機械の表面処理に於ける環境対応型高機能塗料・塗装開発 (テフロン®のPFAS問題に対応する高機能ポリウレタン塗料研究と実用化)

苗村昭夫（株式会社ユニックス）

seed@unics-co.jp

1. はじめに

フライパンに代表される画期的な表面処理「テフロン®」コーティングは有名であるだけではなく、食品・医薬・電子材料・建設・農業など工業用粉粒体機器の幅広い産業分野においての表面処理には不可欠な存在である。その製造加工・搬送・貯蔵・運搬工程において、ワーク接触部材の表面処理には高い機能性・耐久性が要求される。加えて、環境負荷低減や各種規制（食品衛生法、RoHS等）への適合も重要課題となっている。このフッ素樹脂（テフロン）コーティングは、約80～90年前に米国の軍事産業研究より発見・発明されており、後には耐熱性・離型性・耐薬品性などの高機能が評価され、民生品・産業機器などに活用、その存在は重要かつ必要不可欠となっていた。然しその後40～50年後に於いて生産工場の従業員や、周辺住民に於いて肝障害や発がん性が疑われ始め、生産中止企業や生産工程改善などを行う中で、米国政府の「PFAS（有機フッ素化合物）問題」として規制、更に欧州に於いても原則使用禁止規制が行われるに至ったことで世界的な環境問題として取り上げられるに至った。＊1、＊4

環境残留性や健康リスクの観点から日本に於いても規制強化が進みつつある。この課題に対し、関係する弊社も約20年前より対応研究開発に着手、**低環境負荷型・高耐摩耗性ポリウレタン塗料**の開発に取り組み、「USK2200・USKF2200」を実用化、更なる改良を重ねている。本稿では、**産業機械装置表面処理**に係る開発経緯・性能評価・実用事例について報告する。

2. 粉粒体関連機器における従来塗料の特性と課題

2.1 一般的塗料の利用状況

食品・製薬分野の製造工程（搬送機・選別機・攪拌機等）では、ステンレス鋼（SUS304, 316等）を素地・研磨のまま使用する例が多いが、摩耗や騒音低減、金属コンタミ・ワーク保護等の目的で適度な摩擦特性を持つポリウレタン塗装が広く採用されている。また、離型性・摺動性が求められる部材にはフッ

素樹脂コーティング（テフロン®、PTFE）が用いられる。弊社の代表事例として部品搬送機（パーツフィーダ：図-1）のボウル内面にポリウレタン塗装を施すことで、以下の効果が得られている。

- 適度な摩擦係数による搬送効率向上
- 高耐摩耗性による長寿命化
- 弹力性による騒音・ワーク傷防止効果
- 2液混合・常温硬化型で現場や再塗装が容易
- 食品衛生法・RoHS等への適合



図-1 パーツフィーダボウル内面塗装施工

2-2 高耐摩耗性ポリウレタン塗料の開発

当社は創業以来、産業機械装に係るポリウレタン・フッ素樹脂・ナイロン等のコーティングを行ってきたが、特に耐摩耗性向上の要望が多く寄せられた。これに応えるため、2009年に経済産業省「戦略的基盤技術高度化支援事業（サポイン）」に採択され、超高耐摩耗性ポリウレタン塗料「US3000」を開発。従来品（US1000, US2000）に比べ耐摩耗性を大幅に向上させることに成功した（社内テーバー摩耗試験（図-2）にて摩耗量 7.5 mg、PTFE の約 1/70）（表-1）

表-1

塗料・塗膜名	摩耗測定値 (mg)	平均値 (mg)
ポリウレア塗装 US3000	0～5	2.5
ポリウレア塗装 US2000	22～28	25.0
ポリウレア塗装 US1000	24～30	27.0
フッ素樹脂塗装 PTFE	500～550	525
ナイロン樹脂塗装 6N	50～80	70
アクリル系汎用塗装	100～150	125

図-2：テーバー摩耗試験機
(摩耗輪 H19, 荷重 500gf, 1000 回転)



上記摩耗試験結果に示す通り、3種のポリウレタンの耐摩耗特性は高く、その塗膜施工により各種のワーク材質に対し摩耗粉粒子の付着・剥脱・飛散落下等の拡散や蓄積が少ないことが理解できる。特にフッ素樹脂塗装に至ってはポリウレタン比 20～70 倍の差がある事を特記しておく。3種のポリウレタン塗装は食品衛生法試験及び、RoHS 欧州規格試験をパスし、環境対応型

表面処理塗装を証明する。特に US3000 はサポインでの研究開発成果により、大阪府と日刊工業新聞社より開発に係る大賞を受けた。その成果事例は、大型ペーツフィーダボウル内面コーティングの他、トンネル掘削機（図-3）の掘削先端歯元部材摩耗損傷保護塗工等多岐にわたり拡大している事を報告する。



図-3 トンネル掘削機の一例公開写真

3. PFAS 問題と代替塗料開発の背景

3-1 PFAS 問題の概要

PFAS は耐熱性・撥水性・撥油性・摺動性に優れるため、家庭用品から産業機器まで幅広く利用されてきた。しかし、その環境残留性と人体影響（発がんリスク、免疫機能低下、内分泌かく乱など）が深刻化し、EU や米国では早くから規制が強化されているが、我が国においてはかなり出遅れており、これから強化されるのが現状である。＊3

フッ素樹脂そのもの（PTFE 等）は安定だが、製造過程や製造時残存物、実機の摩耗・廃棄時に PFAS が環境流出することが問題である。特に PTFE は耐摩耗性が低く、摩耗粉がナノ～マイクロサイズで拡散する。それらの人体に影響するリスクは以下に報告されている。＊2、＊4

＊ がん：肝臓がん、精巣がん、のリスク上昇。

- 免疫機能低下：ワクチン効果の低下、自己免疫疾患のリスク
- 内分泌かく乱：ホルモンバランス、甲状腺機能障害
- 肝機能障害：肝酵素異常、脂肪肝の関連性
- 生殖・発達：妊婦や胎児への影響（早産、小出生児）
- 高コレステロール血症：LDL コレストロール上昇

3-2 当社の代替開発方針

当社は約 20 年前から PFAS 代替塗料の研究に着手。シリコン系・オイル系添加剤による摺動性向上を試みたが、フッ素樹脂の摺動性能には及ばず適用範囲も限定的であった。そこでフッ素樹脂の使用量を**最小限**に抑えつつ、ポリウレタンの耐摩耗性を保持する重混合技術を確立し「テフタン®」として商品化。令和 5 年 6 月に特許登録を完了した。（特許第 7290257 号）



図-4 「テフタン®」 製造装置と研究室

4. 新開発塗料摺動性ポリウレタン「USK2200」・「USKF2200」の性能

4-1 特徴

- **USK2200**：フッ素樹脂含有無く、添加剤重混合法で摺動性を得る（基本特許）：PFAS は零
- USKF2200：**USK 2 2 0 0** を基にフッ素樹脂含有？%を重混合により、高摺動性化へ改良
- **USKF2200 摩耗量（テーパー試験）**：10 mg (PTFE 比で約 10/525/PTFE 添加率？)
- 摩擦係数：USKF2200=0.096 (PTFE=0.01~0.03) と比べ高いが実用上問題ない滑り性）

2 液混合常温硬化型の為加熱工程なく、現場施工や再塗装が容易である。**PFAS 軽減率は**
摩耗量換算では PTFE 比約 1/350 に低減 でき、環境負荷削減効果が確認された。（表-2） 尚、**フ**
ッ素樹脂量？及び、添加剤？・重合方式等は公開できないことをご理解願いたい。

表-2

塗料品名	含有フッ素樹脂重量比	基材塗膜平均摩耗量	開発塗膜平均摩耗量	摺動摩擦係数測定値	PFAS 含む重量比摩耗比率
USK2200	0	25 mg	16 mg	0.13~0.15	0
USKF2200	⑥	16 mg	10 mg	0.09~0.096	0.0028 倍減少

(USKF3300))	㊗	2.5 mg	推定 max(1.5 mg)	推定係数 (0.1~0.2)	推計 (0.0007) 倍減少
フッ素樹 PTFE	100%	525 mg	—	0.010~0.016	1.0 とする



図-5 USK2200
1000回転、摩耗量 16 mg

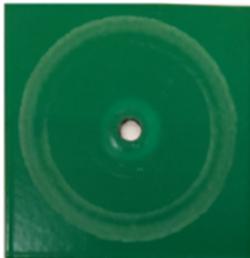


図-6 USK2200
1000回転、摩耗量 10 mg



図-7 PTFE [208/(1000回転)
回転、摩耗量 113(525) mg]

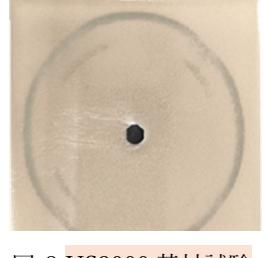


図-8 US3000 基材試験
試験 (摩耗量 0 ~ 3 mg)
(USKF3300 開発推進中)

USK2200 は PFAS 零であるが摺動性に難が有り、用途が限定される。USKF2200 であれば、摺動摩擦係数値は PTFE 樹脂の 10 倍ほどではあるが、事実上の使用に対しては十分に摺動し問題は無いとの実績を聞いている。まだまだ PFAS 問題を全て解消できる状況では無いが、現在進めている **USK3300 の開発が成功すれば、計算値ながら 1000 分の 1 程までに軽減出来る目標があり、更なる研究を継続中である。**

4-2 実用事例

- 大型パーツフィーダの内面コーティング・ホッパー・シート・自動機器等部材
- 土木建設機器・粘性剤加工機器・付着防止部材等、非粘着・摺動性要求部材
- 粉粒体搬送・搅拌・粉碎・加工装置等、その他の産業機械機器装置部材

5. まとめと今後の展望

PFAS 零の USK2200 は摺動に難があるが **USKF2200** はフッ素樹脂の使用量と摩耗量を大幅に削減することで、PFAS 環境負荷の低減に貢献する塗料である。現在、更なる軽減を目指 **USKF3300** を開発中であり、計算上は **PFAS 摩耗量を PTFE 比 1/1500 近くまで削減可能** と見込んでいる。

現在の生産されている PTFE 自体は高分子で安定しているが、生産過程の乳化剤 C8 (PFOS、PFOA など) の代替物質 C6 (GenX, ADONA などの短鎖フルオロアルキル化合物) は、残留性や毒性が低いとされているが、完全に安心と断定できる証拠は未だ不十分であるとの事で、**製造過程残留物**などの心配がある。**C8 の問題発覚まで 30~50 年要していた！** 事も事実で、関係者は「**安心しているわけでは無い**・・・」と本音を表している。現に産経新聞(9・14)記事に於いて、「D 社従業員の血液検査が実施され特段の問題はなかったが、**地下水には国の暫定目標値を大幅に上回る PFAS 値が判明**」今後も注視していく考えを表している。*5

弊社の本件に対する取り組みでは、耐熱性の制約から高温調理機器等民生機器への適用は現時点では困難だが、今後は耐熱型代替塗料の開発にも注力していく。本研究に伴う「テフタン USK2200 及び USKF2200」のポリウレタン塗料の特許登録は今般、公益財団法人 日本発明振興協会「第 50 回発明大賞・功労賞」を受賞・評価された。今後も産業界と連携し、次世代まで環境負荷低減による SDGs に貢献する表面処理技術の開発を続けていく所存である。

以上

引用情報資料

- * 1 : USA/EPE:PFAS 戰略ロードマップ
- * 2 : USA/有害物質疾病登録局 (ATSDR) : PFAS 情報
- * 3 : 日本/環境省 2014 年 PFAS 問題に係るゴミ・地下水情報
- * 4 : WHO:健康リスク評価情報
- * 5 : 2025 年 9 月 14 日付け産経新聞記事