

## 学位論文及び審査結果の要旨

横浜国立大学

|             |  |
|-------------|--|
| 氏名          | 長谷川 美安子  |
| 学位の種類       | 博士(工学)   |
| 学位記番号       | 博乙第470号  |
| 学位授与年月日     | 令和4年3月24日  |
| 学位授与の根拠     | 学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号)第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第2項   |
| 研究科(学府)・専攻名 | 環境情報学府 人工環境専攻  |
| 学位論文題目      | 確率密度関数法を用いた洗浄力評価の検証  |
| 論文審査委員      | 主査 横浜国立大学 教授 中井 里史<br>横浜国立大学 教授 亀屋 隆志<br>横浜国立大学 教授 松本 真哉<br>横浜国立大学 教授 荒牧 賢治<br>横浜国立大学 准教授 小林 剛 |

## 論文及び審査結果の要旨

洗浄現象を科学的に解明するために必要とされるパラメーターは洗浄力である。しかし、これまで洗浄力は必ずしも明確に定義されることなく、汚れの落ち度合いを示す「洗浄率」、つまり付着汚れの中の何パーセントが洗浄で除去されたかを示すパラメーターが洗浄力の代替として用いられることが多かった。しかし、洗浄率は洗浄力とは異なるものであり、科学的に洗浄研究を展開していくためには洗浄力を表す新たなパラメーターを定義し、その利用価値を検証する必要がある。本研究では、「洗浄学」を構築するための、種々の場面に共通する理論を発展させることを一つの目的として、洗浄における確率密度関数法の中の一つのパラメーター $\mu_{rl}$ (洗浄力分布の平均値)を洗浄力指標として用いることの可能性について検証している。その上で、このパラメーターを用いることによって、最も洗浄力を得られる条件がどのようなものかについて検討している。

第1章では洗浄分野の研究において「洗浄力」を表す指標の必要性と、洗浄速度論を中心とする関連研究、そして洗浄力を表現する上での確率密度関数法の可能性とこれまでの研究成果等についてまとめている。

第2章では確率密度関数法の理論的背景を説明するとともに、洗浄メカニズムに関連する $\sigma_{rl}$ (洗浄力分布の標準偏差)と $\mu_{rl}$ の2つのパラメーターにより洗浄力を表す概念について説明している。更に、計算用に開発されたPCアプリケーションの概要と、確率密度関数法によって2つの洗浄要素間の相互作用が相加効果、相乗効果、相殺効果のいずれになるかを判定する手法についても説明している。

第3章では、酸化鉄((III)粒子、カーボンブラック、ヘモグロビン、油性染料の各汚染布と湿式人工汚染布を試料とし、各種市販洗剤とアルカリ剤の洗浄実験結果を確率密度関数法で解析した。まず5分間×4回の洗浄を5種の洗剤類に対して行い、 $\sigma_{rl}$ と $\mu_{rl}$ を求めた。洗浄力比較のため $\sigma_{rl}$ を固定して20種の洗剤類 $\mu_{rl}$ を求め、pH、界面活性剤濃度、表面張力等との相関性を求めた。その結果、酸化鉄、カーボンブラック、油性染料は界面活性剤濃度と正の相関性を、表面張力と負の相関性を示し、ヘモグロビンと湿式人工汚染布はpHと正の相関性を示した。また各洗剤類の洗浄特性を把握するのに有益なデータを得ることができた。よって、確

率密度関数法は市販洗剤の洗浄性能の特徴を把握するのに役立つツールになり得ることを見いだした。

第4章では血液の構成タンパク質であるヘモグロビンをモデル汚れとして用い、2つの洗浄要素間の相互作用について検討した。一定量のヘモグロビン溶液を布にしみ込ませて乾燥し、蒸気処理をしたものを試料に用いて洗浄試験を行った。その結果、 $\sigma_{r1}$ の値から、ヘモグロビンが溶解作用によって除去されることが確認できた。また pH 上昇、SDS 濃度上昇、温度上昇によって  $\mu_{r1}$  が大きくなり、pH の効果と温度効果、および SDS 濃度の効果と温度効果の間には相加作用の関係にあることを見いだした。

第5章では皮脂汚れの主成分である脂肪酸をモデル汚れとして付着させた汚染布を用い、2つの洗浄要素間の相互作用について検討した。脂肪酸にはトレーサーとして油性色素を混合し、界面活性剤として SDS を用いてターゲットメータで洗浄し、機械力と pH 効果、および温度効果と pH 効果の相互作用について検討した。その結果、脂肪酸汚れの洗浄は機械力の効果との結果、脂肪酸汚れの洗浄は機械力の効果と pH の効果に関しては相加作用であることを、温度効果と pH の効果の間には相乗作用があることを見いだした。これらに関しては  $\mu_{r1}$  の  $1/T$  に対するプロット、及び位相差顕微鏡による観察でも裏付けられた。

第6章では確率密度関数法を使用して、洗浄における機械的力と化学的作用の相互作用について検討した。汚染サンプルとして、酸化鉄(III)汚染布、スダンIV汚染布、および混合汚れを含む湿式人工汚染布を使用し、ターゲットメータで洗浄した。相互作用は2つの条件下で得られた  $\mu_{r1}$  の差である  $\Delta\mu_{r1}$  を使用して判断した。その結果、酸化鉄(III)汚染布と市販の人工汚染布の洗浄において、機械力と pH 効果の相加効果を、またスダンIV汚染布の洗浄において機械力と界面活性剤濃度の相加作用を確認した。よって、洗浄における機械的作用と化学的作用の間に相加作用が確立されることが多いと推定した。

第7章では、研究の総括を行った。

これらの結果が示すように本研究は、洗浄のように複雑な要因を含む現象での効果を論じる際の有力な理論や手法を新たに検証したものと評価できる。

以上の点から、本論文は博士(工学)の学位論文として十分な内容を有すると審査委員全員が一致して認めた。

また公聴会等で提出論文関連分野に関する質疑に対して極めて的確な回答をしており、優れた専門的学力を有すると判定した。語学については、国際誌に複数の投稿論文が受理されていることから、十分な能力を有すると認めた。

注 論文及び審査結果の要旨欄に不足が生じる場合には、同欄の様式に準じ裏面又は別紙によること。