

学位（博士）審査結果報告書

学位申請者：大学院理工学研究科 博士後期課程 環境ソリューション工学専攻
T12D501 Ari Rahman

学位の種類：博士（工学）

論文題目：Proposal of an Integrated Treatment System for Colored Wastewater and Textile Sludge
Derived from Textile Industry Activity

1. 論文内容の要旨

本論文は、繊維産業から生じる染色汚泥および着色排水の問題を解決するために、リサイクル概念に基づく統合処理システムを提案するものであり、次の全6章より構成されている。

第1章は序論として、本研究の背景を述べるとともに研究目的を示している。発展途上国の経済的、社会的側面から繊維産業の重要性を示す一方で、着色排水や染色汚泥といった形で大きな環境負荷を与えている負の側面を指摘し、繊維産業の持続的な発展のために、適切な廃棄物利用・処理システム構築の必要性を述べている。

第2章は The Utilization of Textile Sludge as an Adsorbent for Color Removal Treatment と題し、吸着剤としての染色汚泥の利用可能性について検討している。この章の主な目的は、吸着剤としての染色汚泥の適用可能性を調査するとともに、着色排水処理のために染色汚泥吸着剤の吸着容量を評価することである。はじめに、酸素非存在下で熱処理する炭化操作により染色汚泥からの吸着剤（汚泥炭）の製造を検討し、600℃、2時間の炭化操作により汚泥炭の比表面積を 138.9 m²/g まで増大できることを明らかにした。示差熱・熱重量分析（TG-DTA）の結果、汚泥中の有機物の熱分解に必要な加熱温度が600℃以上と評価されたことから、汚泥中有機物の熱分解の進行程度が汚泥炭の比表面積に影響したと考察している。さらに、比表面積を向上させるため、種々の賦活化手法を用いて汚泥炭から活性炭の製造を試みたが、陽イオン性染料であるメチレンブルーおよび陰イオン性染料である brilliant red H-EGXL を用いた吸着実験の結果、汚泥炭に対する汚泥活性炭の吸着容量増大効果は限定的であった。使用した染色汚泥は凝集剤由来の無機成分の割合が高く、活性炭製造過程において炭素含量の更なる低下が起こったことから、疎水性表面を構成する炭素の含量低下が活性炭の吸着容量増大を阻害している可能性を指摘している。

第3章は Flue Gas Simulation Analysis of Textile Sludge Combustion と題し、染色汚泥の焼却処理を想定し、燃焼過程における典型的なガス放出濃度を Material Oriented Little Thermodynamic シミュレーションにより評価している。その結果、燃焼温度を 800℃以下としたときに硫酸化物および窒素酸化物の生成が抑制され、インドネシアの排ガス基準にも適合することを示している。また、水処理薬品である凝集剤の種類による硫酸化物の生成に及ぼす影響も評価し、凝集剤である硫酸アルミニウムを塩化第二鉄に置き換えることで 850℃燃焼時の硫酸化物生成量を 18%低減できることも明らかにしている。

第4章は Recycle of Textile Sludge Ash for Brick Manufacturing と題し、染色汚泥の焼却処理の結果として生じる汚泥焼却灰の有効利用を目的として、レンガ製造材料である粘土の代替物としての汚泥焼却灰の利用可能性を検討している。従来、レンガ製造における汚泥灰の添加率は 10%程度が限界であると報告されており、本研究でも 10%の添加率で普通レンガの最上位基準である普通レンガ4種（JIS R1250）の基準を満たすことができなかったが、廃ガラスを 10%添加することで、汚泥灰の添加率を 30%まで高めても普通レンガ4種の基準を満たすレンガ製造が可能となることを示している。その要因として、電子プローブマイクロ分析や顕微鏡解析の結果、廃ガラスが熔融し、汚泥灰添加によって生じた細孔を塞ぐことにより、圧縮強度の向上、吸水率の低下、重金属溶出抑制が達成されることを明らかにしている。

第5章では Feasibility Study of the Application of Textile Sludge-based Adsorbent for a Real Wastewater と題し、染色汚泥吸着剤（汚泥炭）の着色排水処理への適用可能性を検討している。実排水を用いて染料の吸着実験を行うとともに、実際の染色工場を例として物質収支解析を実施した結果、染色排水 1 L から生産できる汚泥炭が 0.115g であるのに対し、染色排水 1 L を生物処理した後、脱色処理するには 0.3 g の汚泥炭を要すると評価している。汚泥炭の不足を補うために、合成滑石の吸着剤としての追加導入を検討し、合成滑石が吸着剤として繰り返し利用可能であることを実験的に明らかにし、合成滑石を併用することにより、染色汚泥を資源として活用しつつ、着色排水処理を実施できることを述べている。

第6章では結論として、本研究で得られた成果について総括が述べられている。

2. 論文審査結果の要旨

以上の論文内容に関して審査した結果は以下の通りである。

繊維産業は労働コストの低い発展途上国に立地する傾向にあり、不十分な環境対策も相まって、繊維産業に由来する染色汚泥や着色排水は世界各地で深刻な環境汚染を引き起こしている。そのため、有効で実行可能な対策の立案は急を要する課題である。本論文は、廃棄物である染色汚泥を吸着剤として着色排水処理に活用し、最終的に使用済となった吸着剤を焼却処理した上で、最終生成物である焼却灰をレンガ材料として資源利用することを想定したりサイクル概念に基づく統合処理システムを提案するものである。汚泥からの吸着剤の製造・利用については数多くの研究がなされているが、その多くは如何にして吸着剤の比表面積を増大させ、吸着容量を大きくするかといった技術的側面に焦点を当てており、実用性を論じたものは少ない。本論文では、染色汚泥炭から活性炭を製造するのではなく、汚泥炭のまま利用することが実用上有効であることを科学的に検証している。汚泥炭の着色排水処理への適用性については、従来、吸着分離特性のみを論じる研究が多い中で、実排水を用いてその有効性を評価するとともに、実プロセスの物質収支解析によりその適用可能性を論じている。物質収支解析の結果として、汚泥炭が不足することが明らかとなったが、それに対して、合成滑石の併用という対応方法を提示し、その有効性を実証しており、課題解決型研究として高く評価できる。また、汚泥炭を着色排水処理に利用した結果として、使用済汚泥炭が発生するが、これを焼却処理し、得られた焼却灰をレンガ材料として利用することを検討している。焼却灰のレンガ材料としての利用は数多くの研究事例があるが、有効な焼却灰添加率は10%以下に留まり、焼却灰の利用先としては必ずしも有効とは言えない状況にある。これに対し、本論文では廃ガラスを添加するという改善方法を提案し、焼却灰添加率を30%という非常に高い値に設定してもレンガ製造が可能であることを実証しており、従来技術を革新する手法として評価される。

以上の審査の結果、本論文は、繊維産業の廃棄物問題に対して、ゼロエミッションを達成可能なコンセプトを提示し、その実現可能性の検証に成功していることから、新規性と独自性が認められ、かつ、課題解決型研究として、学術的、社会的にも評価できることから、博士（工学）の学位を授与されるに相応しいものと認められる。なお、本論文に記載された研究成果の一部は、2編の査読付き学術論文、4編の国際会議報告、7件の国内学会発表として公表されている。

3. 口述試験結果の要旨

2015年2月23日、審査員および口述試験委員出席のもと、学位申請者に対して論文の内容およびこれに関連する事項について試問を行い、合格と判定した。

4. 学位授与の可否

以上の結果、学位申請者 Ari Rahman は、博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認める。

2015年2月23日

審査員（主査）	理工学部教授	岸本直之
審査員（副査）	理工学部教授	竺 文彦
審査員（副査）	理工学部教授	菊池隆之助
口述試験委員	理工学部教授	市川陽一
口述試験委員	理工学部教授	遊磨正秀