

京都大学	博士（工学）	氏名	MARFIAH BINTI AB. WAHID
論文題目	OCCURRENCE AND REDUCTION OF PATHOGENS IN WASTEWATER TREATMENT AND CONSIDERATION FOR WASTEWATER RECLAMATION AND REUSE(下水処理場での病原性微生物の存在実態と除去および下水再生水利用への検討に関する研究)		
（論文内容の要旨） 本研究は、下水処理場での病原性微生物の存在実態と除去に焦点を当て、その情報に基づき、下水再生水利用での病原性微生物への安全性管理を検討したものであり、7章からなっている。 第1章は、序論であり、研究背景、本研究の目的と論文の構成を述べている。 第2章は、下水中の病原性微生物に関する過去の文献レビューである。水道、下水道の分野では、病原性微生物は古くから関心がもたれてきたが、新興あるいは再興病原性微生物問題に、依然高い注意を払う必要があるとしている。このため、これまでの指標微生物に加え、病原性微生物そのものの検出方法や制御方法に先端技術を応用することが重要と考えられるとしている。 第3章は、これまでの培養法の限界性からノロウイルス（NVI, NVII）、アデノウイルス（AdeV）、ロタウイルス（RV）、大腸菌 K12（K12）、病原性大腸菌 0157（0157）、大腸菌ファージ MS2、Qβ、T4 を対象にプライマーを作成し、リアルタイム PCR 法で水中の病原性微生物の検出方法を開発している。また MS2 をモデルウイルスとして、培養法での前処理方法を作業段階ごとに回収率を詳細に検討した結果、下水試料のウイルスを検出には、濃縮方法の検討が重要であり、下水中の粒子あるいは浮遊物質を超音波処理し、その後遠心分離を行うことで回収率を改善できることを明らかにしている。また MS2 をモデルウイルスとして、リアルタイム PCR 法での回収率を検討した結果からは、下水のウイルスを吸着させたフィルターをアルカリ洗浄することでも、回収率をさらに向上できるとしている。この結果、改良した前処理方法を用いることによって、培養法では純水では 98%、二次処理水では 98%の回収率が、リアルタイム PCR 法では流入下水で 39.3%、二次処理水で 91%、放流水で 95%の回収率が得られたとしている。純水、下水処理水に MS2 を添加した場合、培養法とリアルタイム PCR 法での測定値は高い相関性を有していることを確認している。 第4章は、第3章で開発した検出方法を用いて、指標微生物と病原性微生物の下水処理過程での存在実態と除去率を3つの下水処理場の5つの下水処理系統で検討している。NVI、AdeV、RV、EC、K12、MS2、Qβ、T4 を対象にリアルタイム PCR 法により、下水、二次処理水、塩素消毒水、オゾン処理水の NVI、AdeV、RV、0157、MS2、T4 の存在濃度を明らかにしている。流入下水の指標微生物や病原性微生物は、一次処理後には対数除去率で 1-log 未満、生物処理後には 2-log 程度、塩素消毒後には 2～5-log 程度、オゾン処理後には 4～7-log 程度除去できることを明らかにしている。MS2 や T4 の存在濃度は、AdeV や NVI よりも高く、下水処理での除去性も低い傾向にあり、指標微生物としての適切性を有するが、0157 や RV の除去率とは異なる傾向を示す課題もあるとしている。リアルタイム PCR 法と培養法の両方で MS2 と T4 の除去率を比較した結果、MS2 は一部			

京都大学	博士（工学）	氏名	MARFIAH BINTI AB. WAHID
を除いて比較的高い相関性があるが、T4 は下水処理過程ごとで相関性に高低があり、指標微生物の利用にあたって注意が必要であるとしている。 第 5 章は、純水と二次処理水にモデル微生物 K12, Qβ, T4 を添加し、UV 消毒, オゾン消毒, AOP 法 (UV/H₂O₂, O₃/UV, O₃/H₂O₂) の除去機能を、バッチあるいはセミバッチ実験で明らかにしている。UV 消毒では、UV 照射線量と対数除去率との間に相関性がみられること、同じ除去率を得るのに実処理水では純水の 2 倍程度の UV 照射線量が必要であること、DNA ウィルスである T4 が最も不活化しにくいことを明らかにしている。オゾン消毒では、オゾン消費量と対数除去率の間に関係がみられること、同じ除去率を得るのに実処理水では純水の 4 ～ 5 倍程度のオゾン消費量が必要であることを明らかにしている。培養法での評価の結果、下水処理水で対数除去率で 2-log 除去するために、UV 単独処理では K12 , Qβ , T4 はそれぞれ 45mJ/cm², 100mJ/cm², 125mJ/cm² の照射線量が必要であり、オゾン消毒ではそれぞれ 1.55mg/L, 3.0mg/L , 2.2mg/L のオゾン消費量が必要であることを明らかにしている。UV/H₂O₂, O₃/UV, O₃/H₂O₂ 処理は、UV 消毒あるいは O₃ 消毒そのものより、不活化能力が高く、相乗効果がみられるとしている。またリアルタイム PCR 法と培養法とを比較することで、消毒機構の解明に役立つことを指摘している。 第 6 章は、マレーシアでの水環境の衛生状況を改善するために、下水再生水の再利用を行うことで不適切な水質管理となっている都市排水放流量の水環境への削減が図られるとしている。このため、都市排水の再利用の衛生学的安全性の確保を WHO と USEPA の再利用のガイドラインで検討している。マレーシアでの下水処理水質の文献情報では、下水処理水をそのまま灌漑、リクレーション用水、都市用水、建設用水に再利用するには不十分な水質レベルであるため、塩素, UV, O₃, AOP などの消毒方法や前処理方法を適切に選択することが必要であると提言している。 第 7 章は、まとめと結論である。			

(論文審査の結果の要旨)

本研究は、下水処理場での病原性微生物の存在実態と除去に焦点を当て、下水再生水利用での病原性微生物への安全性管理を検討したものであり、その概要は以下のとおりである。

1. 水中のノロウイルス (NVI, NVII), アデノウイルス (AdeV), ロタウイルス (RV), 大腸菌 K12 (K12), 病原性大腸菌 0157 (0157), 大腸菌ファージ MS2, Q β , T4 を対象にリアルタイム PCR 法による定量方法を確立した。特に、超音波抽出とアルカリ洗浄を行うことで、下水、下水処理水からのウイルスの回収率を向上させる方法を開発した。
2. リアルタイム PCR 法と培養法による結果を MS2 で比較した結果、両者はよく一致しており、前者は下水試料の病原性細菌やウイルスの検出に有効であることを示した。
3. 確立したリアルタイム PCR 法によって、0157, NVI, AdeV, RV, MS2, T4 を対象に 3 下水処理場で実態調査し、5 つの処理過程での除去率を明らかにした。この結果、病原性微生物は下水処理で減少していくものの、微生物ごとに下水処理過程での除去性が異なり、特に MS2 や NVI の除去率は低いこと、また塩素消毒では除去率が低い、オゾン消毒を行うと RV を除いて除去率が高くなることを明らかにした。
4. 純水と下水処理水に K12, Q β , T4 を添加して、UV, オゾン, 促進酸化法 (AOP) での除去特性を実験的に明らかにした。培養法での評価の結果、純水よりも下水処理水の除去効果が低く、対数除去率で 2-log 除去するために UV 単独処理では、K12, Q β , T4 はそれぞれ 45mJ/cm², 100mJ/cm², 125mJ/cm² の照射線量が必要であるのに対し、オゾン消毒ではそれぞれ 1.55mg/L, 3.0mg/L, 2.2mg/L のオゾン消費量が必要であった。UV/H₂O₂ 処理, O₃/H₂O₂, O₃/UV 処理では、UV 照射単独, O₃ 単独処理よりも除去性能が向上できることを明らかにした。またリアルタイム PCR 法と培養法での評価での除去率の傾向は一致していた。
5. マレーシアでの水環境の衛生状況を改善するために、下水再生水の再利用による都市排水放流の削減が考えられるため、再利用の衛生学的安全性の確保を WHO と USEPA の再利用のガイドラインで検討した。マレーシアでは下水処理水をそのまま灌漑、リクレーション用水、都市用水、建設用水に再利用するには不十分で、塩素, UV, O₃, AOP などの消毒方法や前処理方法を適切に選択することが必要であると考えられた。

以上要するに、本論文は、病原微生物を対象に下水処理での挙動と残留性を現地調査し、UV, O₃ および AOP 処理による除去性を実験的に明らかとし、マレーシアでの下水再生水の再利用スキームを検討したものであり、その成果は、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 23 年 8 月 12 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。