

氏 名	中 山 真 一
	なか やま しん いち
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	論 工 博 第 417 号
学 位 授 与 の 日 付	昭 和 46 年 3 月 23 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	活 性 汚 泥 法 に よ る 吸 着 を 伴 う BOD 除 去 の 反 応 理 論 と その 反 応 速 度 常 数 の 性 格 (製 薬 工 場 廃 水 を 例 と し て)
論 文 調 査 委 員	(主 査) 教 授 岩 井 重 久 教 授 平 岡 正 勝 教 授 末 石 富 太 郎

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、活性汚泥法により初期除去とその後数時間の継続反応とを生じさせる場合、基質 BOD の除去反応理論とその反応速度常数の変化の法則性に関する実験的・理論的研究をまとめたもので、8 章からなっている。

第 1 章緒論においては、活性汚泥法の各処理方式の歴史的発展過程を通じて、基質除去反応の動力学を支配する環境制約因子が複雑多彩であることを示し、本論文において理論的展開を進めるうえでの基礎的な方針を述べている。

第 2 章総論では、フラン瓶による BOD 試験と活性汚泥法における BOD 除去反応とに関する基礎的考察を行ない、両者が基本的に同一であることを指摘し、反応理論を取扱うための基本的な見解を示し、その観点に立脚して既存の反応理論式と反応速度常数モデルとについて考究した。すなわち、およそ数時間前後の曝気時間をもつ標準法とその類似法とに通常適用される「一般理論」と、比較的短時間の曝気によって処理を行なう接触除去法とその類似法とに通常適用される「吸着理論」との二群に分類したうえで、種々の理論式とモデルとを比較検討している。

第 3 章では、BOD 除去反応に関する基礎理論と反応速度曲線の形状変化の解析法とを取扱っている。すなわち、基質一次反応型動力学と自触媒同化反応型動力学との相互関係を解析し、これらと反応時間の 2 時点平均値理論とから、減少基質平均濃度と成長汚泥平均濃度との相関特性を論じ、各単位の操作反応においては、反応速度常数としてその平均値 ka が使用可能であり、これはパラメータ常数としての適当な性格を備えていることを明らかにした。また BOD 除去反応速度曲線の形状は、主として汚泥対基質の初期濃度比、すなわち濃度比特性によって支配されるものであるという結果を理論的に導いている。

第 4 章では、BOD 除去反応に関する前述の「一般理論」から発して、その反応速度常数 ka の性格に関する「 k モデル」を理論的に誘導している。すなわち、同一の基質に対しても速度常数 ka の実測値にかなりの変動が認められることから、多数の反応制約因子のうちでも特に酸素の影響がこの ka 値の変化の主因

となっていることに着目し、基質濃度・汚泥濃度以外に新たな律速因子として酸素濃度を導入したうえで理論解析を施した結果、新しい形の「kモデル」を導き、これを既存の一般モデルと比較検討して実験的にその合理性を検証した。さらにこの「kモデル」を連続式反応の場合に適用して、高負荷時の除去率劣化特性ならびに汚泥負荷と基質除去率との因果関係につき理論的解明を試み同じく理論値と実測値とがよく一致することを認めている。

第5章は第4章とともにこの論文の主眼となるところであって、ここでは初期除去からその後の数時間の曝気による継続除去反応までを一貫して扱い得るような理論を提示し、これに伴う反応速度常数の性格について総合的に検討を加えている。その結果前章で述べた一般理論に新たな吸着理論を加味し、その吸着反応速度常数モデルとしては、前章中の「kモデル」、あるいは既存のMonodモデルがその特解に相当するものとなるような表現形のモデルを採用している。

このBOD除去反応機構の解明に当っては、直接除去と吸着除去との二並行系列を仮定し、吸着除去系の残留BODは体内同化律速につながり、さらにこれは直接除去系の体内同化律速と合流するといった物質収支理論を設定した。ついで活性指数、吸着ポテンシャル、ならびに上述の3種類の反応における速度常数群を仮定し、初期吸着と予備曝気との緒効果をもあわせて考察しつつ、反応速度とその速度常数との時間的変動を究明するための理論を組立てようとした。その結果、初期除去においては、基質と汚泥表面BOD蓄積残率との間で構成される吸着ポテンシャルが活性指数を支配し、つぎにこの指数が反応速度常数値を支配するという反応機構理論を形成されるとともに、吸着反応速度常数が最重要な支配因子となることを明らかにした。さらに上記の諸因子中で測定不能な因子と測定可能な因子との理論的連繫をはかることにより、吸着を伴うBOD除去反応に関する「kモデル」について、実測値と対照したうえでその法則性を見出すことに成功している。

第6章では、曝気槽・散布濾床直列式の、下水処理を兼ねた医薬品製剤工場排水の処理設備における原水の24時間負荷変動と、処理水のBODおよびCOD除去残率の変動傾向との関連性、ならびに曝気槽への原水の流入が断続する場合における合理的処理法についての、基礎理論に関する解析結果を論じている。

第7章では、初期基質濃度が2,000ppm以下で、BODとCODとがほぼ等値であるようなゼラチン水溶液の回分式活性汚泥法による処理実験の結果と、その際の残率平衡理論とに関し、阻害物質の存在を想定しながら検討を加えた。すなわち、汚泥馴育と長時間曝気とによって、かなり高度の浄化効果を見出しえたが、一般下水処理に比して高い基質除去最終平衡残率が存在するので、これに対して反応阻害物質の存在下における化学平衡論的展開をはかり「平衡残率と初期濃度」ならびに「平衡残率の混合液サンプリング残留頻度」等の関係につき解析を施し、こうして得られた理論値と実測値との適合性を検証している。

第8章は結論であって、本研究の成果を要約している。

論文審査の結果の要旨

活性汚泥法における動力学の検討に当っては、数多くの反応制約因子の中で、基質と汚泥との濃度条件が特に支配的な律速因子とされている。また初期除去とその後の継続反応とを通じて、反応速度常数値が

広範囲に変化することは多くの文献の示すところでもあり、そのために種々の吸着理論モデルや一般理論モデルが提案されてきたのである。

本論文は、これらの諸モデルの長短について比較考察したのち、反応律速因子として酸素と活性指数とを導入し、生物化学工学的な理論解析により、その関数化をはかった結果、吸着を併うような反応速度常数を組入れた「kモデル」を新たに誘導し、その妥当性を理論的、実験的に検証したものである。論題の性質上いまだに十分な解決を与えていない二、三の点、たとえば活性指数関数中の吸着反応速度常数値を限られた範囲内でとらない限り、理論と実測との高度の一致性が認められないこと（第5章）、あるいはフラン瓶BOD試験における脱酸素恒数と実際処理における反応速度常数とは、数値範囲が相似しているにもかかわらず、次元の異なることの説明が困難なこと（第2章）などを除けば、本論文に提示されている研究成果については、下記のように幾多の特徴が認められるのである。

まず基礎理論（第3章）では、（1）（初期汚泥/基質濃度）比の特性、すなわち汚泥負荷の逆数因子が一連の操作の反応曲線の形を支配する因子であること。（2）汚泥成長曲線における対数、定律、緩律の各相、ならびに反曲点の性質が、上記の（初期汚泥/基質濃度）比の特性によって数理的に定義しうること。（3）複雑な反応理論における反応速度常数をも、平均値概念理論により数学的なパラメータ常数として簡単に取扱うことが可能であることなどを明らかにした。

つぎに一般理論（第4章）としては、（4）標準法ならびにその類似法において、しばしば得られる反応速度常数値が $0.3 \sim 0.03 \text{ m}^3 / \text{kg} \cdot \text{Hr}$ であるという変化域の一般的傾向は、新たに提案したkモデル線図の特性ときわめて合理的によく一致することを示した。

さらにその他、（5）回分および完全混合連続曝気槽反応を通じての、高負荷基質時におけるBOD除去率の低下する現象、（6）単位汚泥濃度当りのBODの高負荷時におけるBOD除去率の低下する現象、（7）上記と同じ場合における単位汚泥濃度当りのBOD除去能力の低下する現象、（8）曝気の強さが除去能力に及ぼす大勢的な影響、（9）Monodモデル、Reverse Monodモデル、2相説モデル等がこの「kモデル」における特解的性質を持つものであることなどが、本論で提案された「kモデル」によってうまく説明された。

つぎに、（10）従来理論的には別個に表示されていた「一般理論」と「吸着理論」とを統合し、両者が並行して進行する場合の反応速度式を提示した。これより、（11）初期除去および継続反応を通じての、反応時間に対する活性指数の確率的平均値の一致性や、（12）予備曝気の効果とその重要性との理論的根拠を検証したことなどが、成果の主なものとして認められる。

以上のように、この論文は活性汚泥法による吸着を伴うBOD除去の反応理論とその反応速度常数の性格とに関して、詳細、精緻な実験的、理論的研究の成果をとりまとめたものであり学術上、工業上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。