

氏 名	ば ば けん じ 馬 場 研 二
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 2343 号
学位授与の日付	平 成 2 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	画 像 認 識 に よ る 浄 水 プ ロ セ ス 監 視 技 術 に 関 す る 研 究

論文調査委員 (主 査)  
教授 平岡正勝 教授 住友 恒 教授 長尾 真

### 論 文 内 容 の 要 旨

浄水場では変動する流入水質に対してプロセスを安定に運転しなければならず、このため、(1)フロック(凝集塊)形成状況と、(2)急性毒物の混入検知を目的に魚類の行動とが目視観察されている。本論文は、これら目視監視のあいまいさや間欠性を克服するために画像処理技術を応用し、定量的かつ連続的な監視システムの開発を目的とする。本論文は2編12章で構成され、各章の要旨は次の通りである。

第1章では、維持管理からみた浄水場の特徴と、フロック監視及び水質監視の現状を整理し、画像処理技術の背景と導入の課題を考察すると共に、本研究の目的と位置付けを明らかにする。

第1編(第2章～第6章)「フロック画像監視システムの研究」では、フロック形成池内のフロックをリアルタイム・オンライン監視する技術について述べる。

第2章では、ポリ塩化アルミニウムで形成されたフロックを水中流動状態でオンライン撮影し、複雑な画像からフロックのみを選択的に認識する画像認識方法を開発した。また、凝集剤注入率の影響を明らかにした。

第3章では、フロック粒径分布が対数正規分布に従うなど統計的特徴を明らかにし、凝集剤注入率がフロック形成特性に及ぼす影響、並びに沈降特性と残留濁度との関係を明らかにした。

第4章では、硫酸アルミニウムで形成され、1～4段で成長するフロックの形成過程を監視可能であることを確認した上で、幾何平均径の連続監視により凝集剤使用量を低減(従来比25～35%減)可能なことを示した。

第5章では、濁度・流量変化時の1～4段のフロック粒径分布を計測した結果、フロック形成状態は、マイクロフロック凝集が支配的な段階、凝集力と乱流剪断力とが拮抗する段階、フロックの密度が増加する段階に3分類できることを見出した。

第6章では、水質とフロック特徴の1年間のデータを多変量解析し、フロック形成因子について検討した。重回帰分析の結果、説明変量として水質データに画像データを加味することにより回帰精度が向上することを明らかにした。

第2編(第7章～第11章)「魚類行動の画像解析による急性毒物監視支援システムの研究」では、浄水場における急性毒物流入の検知を目的に、魚類を用いる水質監視支援システムについて述べる。

第7章では、魚類の行動が水が濁った状態でも監視できる照明法と画像認識法を開発した。さらに、水槽内における1尾の魚の位置分布と速度分布とに着目した行動パターン評価法を考案し、 $\text{CN}^-$ 濃度=0.1 mg/lを検知可能なことを確認した。

第8章では、急性毒物流入に伴う魚の特徴的行動を判別する「鼻上げ行動指標」を新たに定義し、 $\text{CN}^-$ 存在下(5.0～0.05 mg/l)における本指標の有効性を明らかにした。

第9章では、コイ、フナ、タナゴ及びウグイ各1尾について鼻上げ行動指標の有効性を確認し、本指標の頻度分布が指数分布に従うことを見い出すと共に、行動特徴判定手法を確立した。また、水温と溶存酸素濃度の影響を明らかにして飼育制御指針を得た。

第10章では、1尾の魚についての鼻上げ行動指標を複数の魚(魚群)の場合に拡張した。この指標をコイ、フナ、タナゴ及びウグイの魚群に適用し、鼻上げ行動指標に基づき $\text{CN}^-$ の存在を識別可能なことを見い出した。さらに検知感度をチューニング可能な判定基準値の計算法を導いた。

第11章では、タナゴ(魚群)を対象にシアン濃度の影響を調べ、 $\text{CN}^-$ 濃度=0.05～1.0 mg/lを10分で検知可能と期待され、従来法より高精度で高感度の監視手法であることを確認した。

第12章では、浄水プロセスにおけるフロック監視と魚類を用いる水質監視とについて、現行の目視監視を画像処理で代替支援するシステムの有効性を提案及び検証できたことを結論づけると共に、今後の課題と展望について記した。

## 論文審査の結果の要旨

浄水場では変動する流入水質に対してプロセスを安定に運転しなければならず、各種の自動計測器に加えて、(1)フロック(凝集塊)形成状況と、(2)急性毒物の混入に備えて魚類の行動が目視観察されている。本論文は、目視監視の曖昧さと間欠性を克服し、かつ、フロック形成状態や魚類の行動をオンラインで定量的に把握するための工学的的方法論を提案したものである。すなわち、画像処理技術の急速な進展を背景に、(1)(2)に対して、系統的に画像処理技術を応用し定量的かつ連続的な監視システムの開発を目的として、特に、屋外での照度変化や原水の濁度変化を伴うという浄水場固有の条件下においても、被認識体を効果的に認識する濃淡画像処理方法を提案したもので、得られた主な成果を要約すると以下の通りである。

1. ポリ塩化アルミニウム(PAC)で形成された水中のフロックを流動状態でオンライン撮影し粒径分布を自動出力するフロック画像監視システムを構築し、2つの浄水場に適用した。特に粒径と輝度が異なりかつ背景にノイズを含む複雑な画像からフロックのみを選択的に認識する画像認識法を開発した。本法ではマスク領域を6×6とする空間フィルタリング法を適用した。認識精度を定量化した上で、粒径分布の統計的特性を明らかにし、対数正規分布に従うことなどを見い出した。さらに、PAC注入率の変化に対するフロック沈澱性を把握した。

2. 硫酸アルミニウムで形成されたフロックの流下方向での成長過程を監視可能であることを確認した上で、幾何平均径の連続監視により凝集剤使用量を低減(従来比25～35%減)できる可能性を見い出した。

さらに、濁度・流量変化時のフロック形成状態は、Ⅰ：マイクロフロック凝集が支配的な段階、Ⅱ：凝集力と乱流剪断力とが拮抗する段階、Ⅲ：フロックの密度が増加する段階に3分類できることを見出した。また、凝集剤注入指針として従来の水質計測に画像計測を付加することにより注入精度が向上することを明らかにした。

3. 水が濁った状態（濁度 $\leq 100 \text{ mg}/\ell$ ）でも魚類の行動を監視できる照明法（陰影法）と画像認識法（ヒストグラム2値化法）とを開発した。本法を適用し、1尾及び複数尾の両者について魚の行動パターン解析評価法を考案した。すなわち、急性毒物流入に伴う魚の特徴的行動を判別する「鼻上げ行動指標」を考案し、本指標によりコイ、フナ、タナゴ及びウグイ、並びにこれら4魚種を混合した魚群による $\text{CN}^-$ の検知可能性を見出した。検知精度は $\text{CN}^- \geq 0.05 \text{ mg}/\ell$ 、検知時間は10分～30分であり、従来のTLm試験に比較して応答時間が早くかつ高感度の監視手法であることを確認した。

4. 鼻上げ行動指標の頻度分布が指標分布に従うことを明らかにし、この分布からはずれた行動を非正常とみなす行動特徴判定手法を確立した。これにより、検知感度を統計的根拠に基づいてチューニング可能とした。また、環境因子として水温と容存酸素濃度の影響を明らかにすると共に、飼育制御指針を得た。

以上を要するに、浄水場で、これまで目視監視に依存していた(1)フロック形成状態と(2)魚類の行動パターンを、リアルタイムで評価し得る独自の方法論を提示し、さらに、凝集剤注入適正化の指針や魚類行動のダイナミックな行動変化を定量的かつ連続的に把握できることを実証した。本法は浄水場の今後の維持管理技術の方向付けを示しており、学術上、実際上の進展に資するところ大である。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。

また、平成元年11月20日に、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。