

氏名(本籍)	山 ^{やま} 下 ^{した} 宏 ^{ひろし} (茨城県)
学位の種類	博士(生物工学)
学位記番号	博甲第6515号
学位授与年月日	平成25年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	生命環境科学研究科
学位論文題目	高効率なマイクロバブル発生装置の開発と利用
主査	筑波大学教授 博士(農学) 青柳秀紀
副査	筑波大学教授 農学博士 松本宏
副査	筑波大学教授 博士(工学) 市川創作
副査	筑波大学教授 農学博士 杉浦則夫

論文の内容の要旨

マイクロバブルは、浮上速度が小さい、比表面積が大きい、表面が負に帯電、自己加圧効果などの優れた特徴があり、様々な分野で利用が期待されている。マイクロバブルの代表的な発生方法の一つである加圧溶解法は気泡径が数十 μm のマイクロバブルを生成できるが、安定してマイクロバブルを生成するために圧力を0.3 MPa以上に設定する必要がある、ポンプの稼働エネルギーに伴うランニングコストが高く、マイクロバブルの実用面での使用範囲が限られている。この現状を踏まえ、本研究では高効率かつ経済性に優れたマイクロバブル発生装置の開発と利用を試みた。

高効率なマイクロバブル発生装置を開発するために、マイクロバブル発生ノズルの基本構造について検討を行い、オリフィスを有する内管と内管の周囲に設けた外管からなる二重管構造のシンプルで高効率なマイクロバブル発生ノズルを考案した。マイクロバブルの生成量を指標に、マイクロバブル発生ノズルの各種設計因子(内管の形状、オリフィスの数、内管と外管の隙間の寸法、外管の形状)の最適化を行い、マイクロバブル発生装置を作製した(本装置により生成するマイクロバブルの平均気泡径は約30 μm)。流体シミュレーション解析ソフトを用いて、本装置の外管内の圧力分布、および流速分布を解析した結果、内管の吐出口から外管の壁面に衝突する付近において、渦流の形成による気泡核が生成し、その後、外管から流出するまでの間に気泡核が成長してマイクロバブルが生成していることが示唆された。開発した装置は従来の装置と比較して、マイクロバブル生成能を表す濁度が約2%、ボイド率が約32%向上するとともに、マイクロバブル生成に要する消費電力を約31%低減できた。本装置で生成したマイクロバブルの酸素溶解効率は約51%を示し、他方式のマイクロバブル発生装置(約30%)や散気管方式(約3%)と比較して優れた酸素溶解性能を示した(しかしながら、消費電力当りの酸素供給速度は散気管方式の約1/6と低い値になった)。また、脱色性能試験では、従来の散気管方式でオゾンを供給した場合は、オゾン反応率は水深1 mで約69%、水深0.1 mで約44%であったが、オゾンマイクロバブルを用いた場合は水深に関係なく約100%のオゾン反応率が得られた。本装置による人工浮遊物質(SS)の浮上分離性能を評価した結果、効果的に人工SSを除去するための圧力は0.2 MPaに設定する必要がある、実用面で使用するためには、消費エネルギーの低減が必要であることが示された。種々検討した結果、マイクロバブル発生ノズルに多孔質セラミック(廃棄物の銕

鉄スラグとベントナイトなどの可塑性粘度で作成した発泡セラミック)を適切に充填することで、マイクロバブル生成数(平均気泡径は約30 μ m)を増大させ、マイクロバブル生成に必要な消費エネルギーを40%低減することに成功した。実際に、多孔質セラミックを充填したマイクロバブル生成装置を用いて人工SSあるいは活性汚泥の浮上分離実験を行った結果、SS除去速度係数はマイクロバブル数と高い相関があり、多孔質セラミックの適用によりSS除去に要する消費エネルギーを約40%低減できた。

審査の結果の要旨

本研究は、優れた特性を有するマイクロバブルの実用面での使用範囲を拡大するために必須な高効率なマイクロバブル発生装置の開発とその利用を試みた研究である。

オリフィスを有する内管と内管の周囲に設けた外管からなる二重管構造のシンプルで高効率なマイクロバブル発生ノズルを独自に考案、作製することで高効率なマイクロバブル発生装置の開発に成功している。また、流体シミュレーション解析ソフトを駆使することで、本装置のマイクロバブル生成機構を解析し、マイクロバブル発生ノズルの最適化を行っており、装置の完成度は高い。国内外でこれまで報告されたシステムと比較して開発した装置のマイクロバブルの生成能は高い。さらに、開発したマイクロバブル発生ノズルと多孔質セラミックを適切に組み合わせることにより、界面活性剤等の薬剤を使用せずにマイクロバブル生成数を増大させ、消費エネルギーの低減(ランニングコストの削減)に成功している。また、本研究で用いている多孔質セラミックは、廃棄物である铸铁スラグを原料としているため、廃棄物の有効利用による環境負荷の低減も期待できる。

本研究で開発した装置や研究業績を基盤に、マイクロバブルの家庭用浴槽や水処理などへの実用面での利用が期待でき、社会への貢献度も大きく実学的研究として高く評価できる。

平成25年1月24日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士(生物工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。