

論文の内容の要旨

論文題目 Numerical Simulation of Cavitating Flows
(キャビテーション流れの数値解析)

氏名 ラーヌワッ ブーンチャイ

近年、工業排水による環境汚染が深刻な問題となっており、汚染物質の除去策として多くの方法が挙げられるが、そのうちの一つに化学反応を利用した汚染物質を減少させる方法がある。この化学反応を応用した閉空間における工業用水や下水の浄水システムとしては、例えば生物処理、オゾン処理及びUV処理などが主流であるが、これらは処理剤の環境への負荷や、処理剤添加のための特別なシステムを考慮する必要がある。一般に、化学反応にはこれを誘起するための活性化エネルギーが必要となる。本研究では活性化エネルギーをベンチュリ管におけるキャビテーション現象を応用して流体力学的に供給することにより、環境への負荷の低減と簡便な装置において水質浄化を実現するシステムを考える。すなわち、キャビテーション気泡の崩壊時に得られる気泡内の高温・高圧によって化学反応を引き起こす方法が考えられる。しかしながら、キャビテーション現象においては、様々なフロー・パラメータが気泡挙動と気泡内の化学反応速度に影響を及ぼすため、化学反応速度をコントロールするには各パラメータの影響について詳細な知見を得ることが必要となる。従って、本研究の目的はベンチュリ管内における化学反応を伴うキャビテーション流れに対する数値解析手法を構築し、化学反応速度に対するフロー・パラメータの影響を調べることである。

図1にベンチュリ管における化学反応を伴うキャビテーション流れの概略図を示す。まず、ベンチュリ管入口より流入した気泡は喉部に生成される低圧力部において膨張し、喉部後方のデフューザ部において圧力回復により急激に収縮、崩壊に至る。その際、気泡内部において急激な温度上昇が生じるために、化学反応が誘起される。本研究では、このような現象をモデリングする際に、単一気泡力学、化学反応動力学および気泡流の3つのパートからなっていると考えた。まず、第1に単一気泡力学として、気泡の体積運動、気泡界面における伝熱および輸送現象をモデル化し、検証として単一気泡の崩壊現象について直接数値計算の結果との比較検討を行った(図2参照)。また、従来の他のモデルについても同様に比較を行ったところ、図2より本研究で開発された方法により良好な結果が得られることを示した。第2に化学反応動力学については、気泡内部での化学反応として酸水素反応を取り上げ、8つの物質からなる20の反応式により表現するモデルを採用した。第3に気泡流については、気泡と液相からなる二相流として取り扱い、運動方程式においては液相に及ぼす気泡の運動量を気泡と液相の密度比が大きいため無視できるとし、気泡が流れに与える影響は質量保存式を介してその

体積運動のみであると考えた。ただし、気泡の並進運動については、気液間のスリップ速度を考慮した。

以上のようにして、本研究で開発された数値解析手法をベンチュリ管における化学反応を伴うキャビテーション流れに適用し、様々なフロー・パラメータによる気泡内化学反応の影響を調べた。そのうちのひとつとして、ベンチュリ管出口の静圧(Pb)の影響について調べた結果を図3に示す。図3dより、静圧を小さくするにつれて気泡内水素が減少し、酸水素反応が増加していることがわかる。これは、出口静圧が小さくなるにつれて流速が増し、喉部において気泡が大きく成長する(図3a)ために崩壊に伴う気泡内温度の上昇が大きくなる(図3c)ことと、気泡の振動領域が長くなるために高温である状態が持続されるためである。

ベンチュリ管内の化学反応を伴うキャビテーション流れに対して、本研究において新たに開発された数値解析手法により、ベンチュリ管出口静圧だけでなく様々なフロー・パラメータが気泡内化学反応に及ぼす影響について詳細に調べた。その結果、いくつかのフロー・パラメータは化学反応速度をコントロールするのに有効であるが、他のパラメータは使用することができないことがわかった。従って、本研究で得られた知見により、キャビテーションによる化学反応を利用した汚染物質除去を行う排水処理システムを設計する際に必要となる有益な情報が得られた。

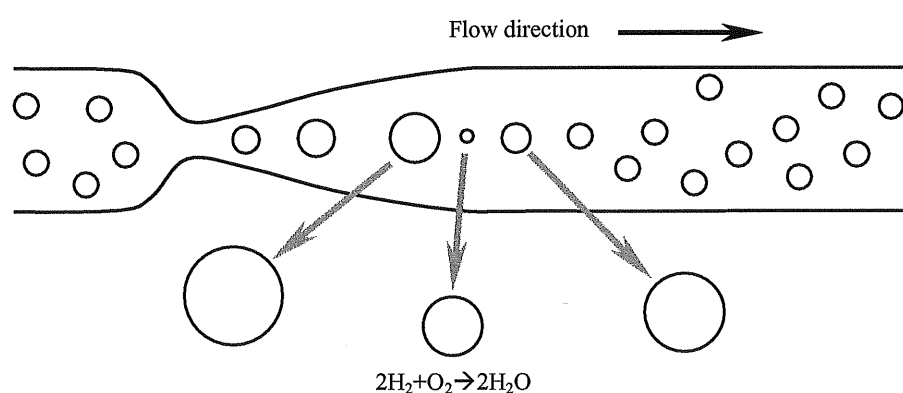


図1 : ベンチュリ管内の化学反応を伴う気泡流の概略図

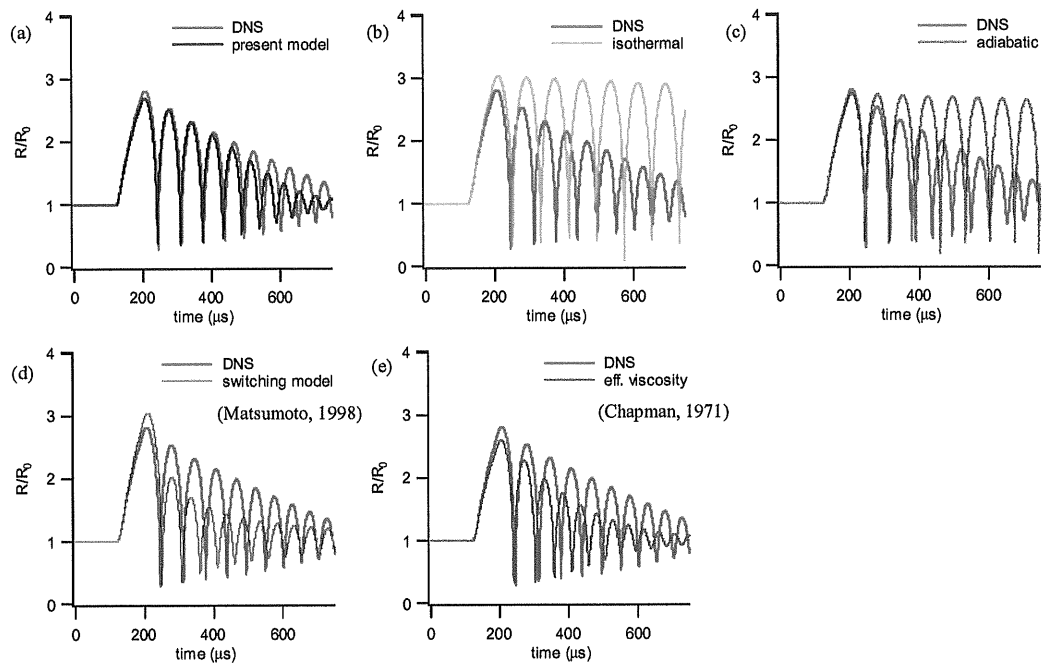


図 2 a-e: 気泡半径の時間変化について各モデルと DNS との比較

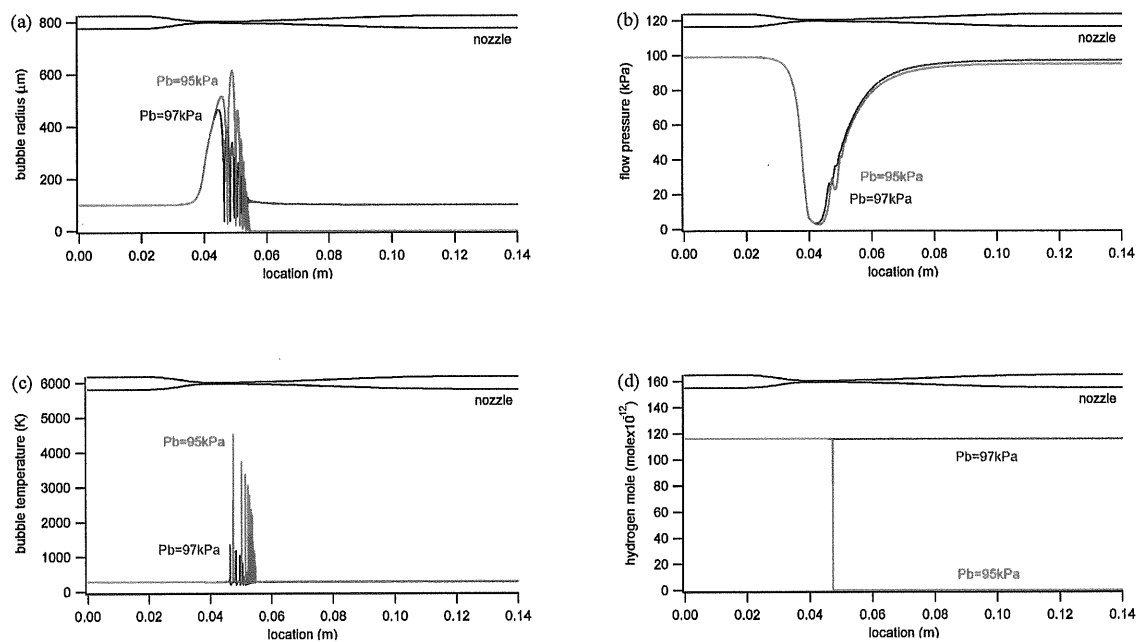


図 3 a-d: ベンチュリ管出口の静圧(P_b)の変化に対する分布「(a) 気泡半径 (b) 流れの静圧 (c) 気泡内温度 (d) 気泡内水素のモル数」.