

## 流動キャビテーションによるラジカルの制御

研究代表者

祖山均 東北大学大学院工学研究科



### 1. 研究の背景と達成目標

本研究では、キャビテーションの化学的作用の実用化を目途として、超音波キャビテーションよりも桁違いに強力な流動キャビテーションを取り上げ、気泡崩壊時に生じるラジカルに着目して研究を遂行し、流動キャビテーションを産業的に活用する方法の構築を目標とした。そのために、電子スピン共鳴法を用いて、流動キャビテーションと超音波キャビテーションにおけるラジカルの相違を明らかにするとともに、流動キャビテーション発生部の絞り部の寸法則ならびに速度則、およびキャビテーション発生部の圧力の影響を解明し、キャビテーションの10倍強化を目標とした。

### 2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

- ・スピントラップ剤を添加した水で流動キャビテーションを発生させて電子スピン共鳴法で評価した結果、流動キャビテーションによりヒドロキシラジカルが発生している結果を得た。よって、流動キャビテーションを超音波キャビテーションによる音響化学のような新しい学術分野に展開できる。
- ・流動キャビテーション発生部の圧力ごとの流速のべき乗則を明らかにし、噴射圧力を2.3倍にすると衝撃エネルギーが10倍になることが判明したので、噴流エネルギーの増加分以上にキャビテーションを強化できることから、流動キャビテーションの実用化において有意義なキャビテーション強化の指針を得ることができた。
- ・試作したベンチュリ管タイプの流動キャビテーション発生器を用いて、流動キャビテーションによる口腔内のバイオフィルムや胃粘液の洗浄効果を実証できたので、実用化に向けた研究を遂行中である。

### 3. 研究成果

流動キャビテーションによるラジカル発生の検証をするために、図1には、スピントラップ剤を溶解した試料水を用いて流動キャビテーションを発生させた場合について、電子スピン共鳴法で計測した結果を示す。流動キャビテーションは、内径1.16 mmのベンチュリ管を用いて噴射圧力0.3 MPaで発生させた。スピントラップ剤にはPBN(Ntブチルフェニルニトロン)を用い、濃度は20 mmol/lとした。図1では、2の試料水を用いて流動キャビテーション発生前の試料水と30分間流動キャビテーションを発生させた場合について示す。流動キャビテーション発生前には見られなかったピークが流動キャビテーションを発生させた場合には認められ、これらのピークは超音波キャビテーションでも同様なピークが認められたことから、流動キャビテーションでも超音波キャビテーションと同様にヒドロキシラジカルを生成することが確認された。なお、極微弱光分光分析装置を用いて流動キャビテーション崩壊時に生じる発光を分光分析した結果からもヒドロキシラジカルに起因すると見られる発光スペクトルを検出することができた。

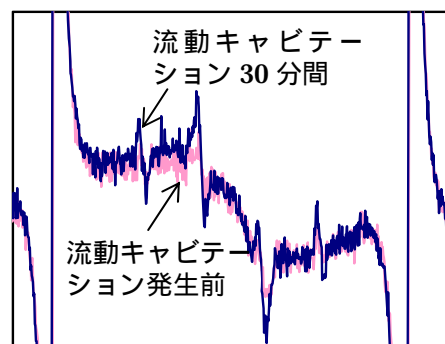


図1 ESR スペクトル

ラジカルの発生強度や発生領域を明らかにするために、図2には、電子増倍型冷却 CCD カメラを用いて流動キャビテーションを観察した様相を示す。噴射圧力  $p_1$  は 25 MPa とし、ノズル下流側圧力  $p_2$  を変化させてキャビテーション数 ( $\sigma \approx p_2 / p_1$ ) を変えて示す。流動キャビテーションが崩壊する近傍で発光スポットが認められ、発光スポットを定量的に評価した結果、音響エネルギーなどと相関があることが判明した。

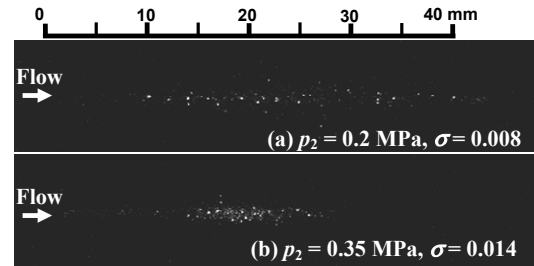


図2 電子増倍型冷却 CCD カメラで観察した流動キャビテーションの様相 ( $p_1 = 25\text{MPa}$ )

#### 4. 今後の展開

本研究により、流動キャビテーションによるラジカルの発生を検証でき、その強化の指針も得ることができたので、流動キャビテーションを水処理や化学プロセスに活用する学術的基盤を構築できた。また、効率よく流動キャビテーションを発生させるために、ベンチュリ管の形状を最適化し、低噴射圧力でも流動キャビテーションを発生することに成功し、歯垢の洗浄に流動キャビテーションを活用できることを実証した。よって、歯周病やインプラント周囲炎を予防するための口腔洗浄法に流動キャビテーションを実用化できる可能性がある。また、ラジカルに起因した発光を計測するために構築した極微弱発光分光計測法を用いて、地震光に関わる岩石の破壊に関わる発光(メカノルミネッセンス)を計測した結果、一般に、花崗岩からしか発光しないと考えられていた岩石のメカノルミネッセンスも花崗岩以外の多くの種類の岩石から発光が認められることと、その発光機構がプラズマ化に起因する可能性が高いことなどを明らかにした。また摩擦摩耗時に生じるメカノルミネッセンスの一種であるトライボルミネッセンスとその解明による摩擦低減機構へも極微弱発光の評価に関する知見が活用できると考えられ、本研究の知見がメカノルミネッセンスの分野にも活用できるといえる。

#### 5. 発表実績

1. H.Soyama and T.Muraoka, Chemical Reactor Using Radical Induced by a Cavitating Jet, Proceedings of 20th International Conference on Water Jetting, (2010), pp. 259-267.
2. 祖山均, 流動キャビテーションにおけるラジカル反応, キャビテーションに関するシンポジウム(第15回), 【特別企画のパネラー】, (2010), CD-R, pp. 1-2.
3. H.Soyama, Luminescent Spots Induced by a Cavitating Jet, Proceedings of ASME-JSME- KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011, Paper No. AJK2011-33018, pp. 1-8, 2011.
4. H.Soyama, O.Takakuwa and A.Naito, Effect of Injection Pressure and Size of Nozzle Throat of a Cavitating Jet on Cavitation Peening, Proceedings of 11th International Conference on Shot Peening, pp. 129-134, 2011.
5. O.Takakuwa, M.Nishikawa and H.Soyama, Estimation of the Depth of Surface Modification Layer Induced by Cavitation Peening, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 212, pp. 1716-1722, 2012.
6. 祖山均, 龔方奇, 漸次縮小拡大ノズルを用いたキャビテーションを伴うウォータージェットによる洗浄, 2011年度ウォータージェット技術年次報告会論文集, pp. 29-34, 2012.
7. H.Soyama, K.Nagasaka, O.Takakuwa and A.Naito, Optimum Injection Pressure of a Cavitating Jet on Introduction of Compressive Residual Stress into Stainless Steel, Journal of Power and Energy Systems, doi: 10.1299/jpes.6.x, 2012.
8. H.Soyama, Effect of Dissolve Gas on Luminescent Spots Induced by a Cavitating Jet, Proceeding of 8th International Symposium on Cavitation, Paper No. 101, pp.1-6, 2012, in press.
9. H.Soyama, O.Takakuwa and A.Naito, Effect of Nozzle Shape for High Injection Pressure on Aggressivity of Cavitating Jet, Proceedings of 21st International Conference on Water Jetting, Paper No. 4, in press.
10. H.Soyama, Power Law of Injection Pressure and Nozzle Diameter on Aggressive Intensity of a Cavitating Jet, Proceedings of 21st International Conference on Water Jetting, Paper No. 24, 2012, in press.