



— キャビテーションテクノロジーの新展開 —

化学的作用の活用

教授 祖山 均

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01
東北大学大学院工学研究科ナノメカニクス専攻
材料メカニクス講座 知的計測評価学分野

Intelligent Sensing of Materials Lab., Tohoku University

キャビテーションとは、速度の増大に伴い、圧力が低下し、液体の飽和蒸気圧まで圧力が減少した結果、液体が気体(気泡)になる現象です。温度上昇による気体への相変化は沸騰と呼びますが、速度の増大に伴う圧力の低下による気体への相変化をキャビテーションと呼びます(図1参照)。速度の低下(圧力の回復)時に気体が液体に戻る際(図2参照)、断熱圧縮により気泡内部が高温・高圧(数千°C, 数万気圧)になります。従来キャビテーションは、実験的にも数値解析的にも図3に示すような単一気泡が主として扱われてきましたが、祖山は、キャビテーションについて研究する中で、単一気泡ではなく、微細な気泡が列なった群列気泡(図4参照)の方がキャビテーションが強力であることを明らかにしました。なおキャビテーションは気泡の圧潰時に衝撃力を生じ、流体機械に致命的損傷を与える害悪ですが、逆転発想的研究により、キャビテーションの有効利用を図っています。

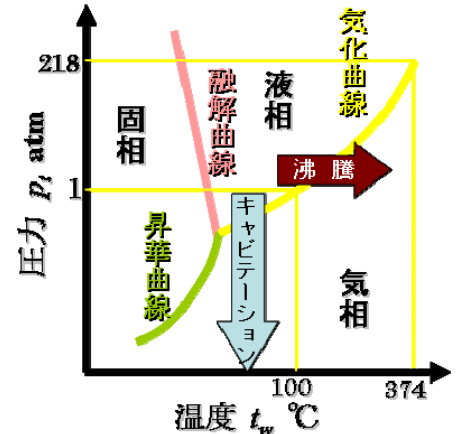


図1 水の状態図

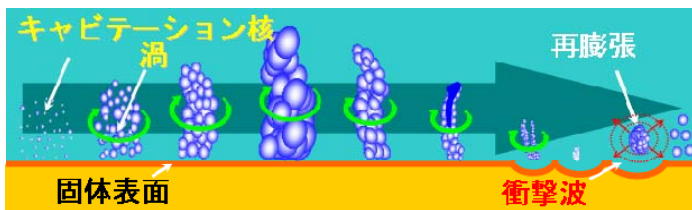


図2 キャビテーション衝撃力の発生機構の概要



図3 従来モデル (単一気泡モデル)



図4 新規モデル (群列気泡モデル)

L.A.Crum, *J. Phys.*, C8-285 (1979). 祖山ほか, *機論 B*, 1135 (1994).

流動キャビテーションとは、高速水流で発生させる、群列気泡からなるキャビテーションです。現在、超音波で発生させたキャビテーションによる化学反応を研究する **Sonochemistry** (音響化学) という分野の研究が盛んに行われていますが(超音波キャビテーションで核融合ができる、といった論文が2002年に *Science* に掲載され、真偽をめぐって議論がありました)、流動キャビテーションのほうが、超音波キャビテーションよりも桁違いに強力なキャビテーションを発生できます。

キャビテーションからの発光は、キャビテーション気泡が崩壊するときに、高温・高圧のプラズマが発生するという説や、ラジカルによるという説などがあります。ラジカルとは、原子の周りに回っている電子が不安定な状態なので、分子と分子をくっつける化学反応に好都合です。流動キャビテーションが圧潰するときの発光を確認し(図5参照)、分光分析結果からヒドロキシラジカルによる発光であることを明らかにしました(図6参照)*¹。ヒドロキシラジカルには殺菌効果があるので、流動キャビテーションを使えば、薬剤を使うことなく水だけで殺菌でき、飲み水や養殖、野菜工場などの水処理に最適です。水処理ばかりでなく、キャビテーションによる化学的作用を環境負荷が少ないグリーンケミストリーとして活用して産業界に貢献することを目指しています。

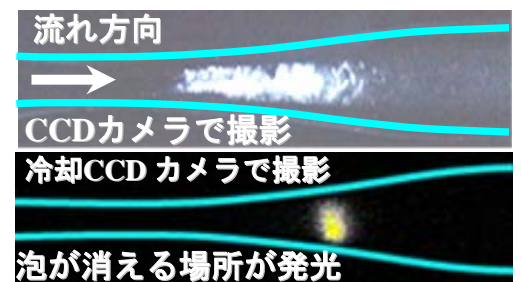


図5 流動キャビテーションによる発光

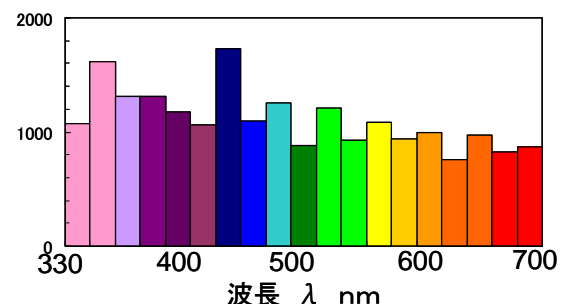


図6 流動キャビテーションによる発光のスペクトラム

*¹ H.Soyama and T.Muraoka, "Chemical Reactor Using Radical Induced by a Cavitating Jet", *Proceeding of 20th Water Jetting Conference*, Graz, 20-22 October, 2010, pp. 259-267.

流動キャビテーションと超音波キャビテーションの相違を明らかにするために、スピントラップ剤を混ぜた水を用いてキャビテーションを発生させ、電子スピン共鳴法 ESR で計測してみると、図7に示すようにピークの数異なることがわかりました*1。この結果から、流動キャビテーションによりラジカルが発生していることと、流動キャビテーションと超音波キャビテーションではラジカルに関わる反応が異なることが明らかになりました。

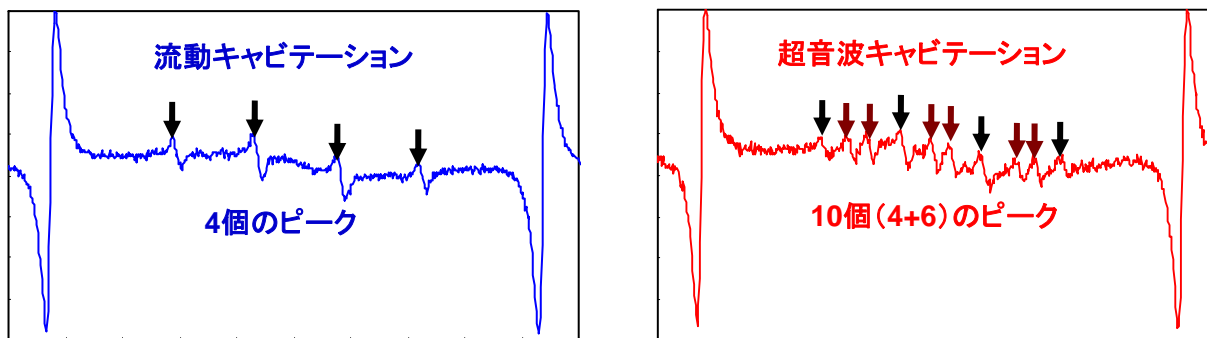


図7 ESRによる計測結果

キャビテーション残留気泡とは、キャビテーションが圧潰した後に残存する小さな気泡です。図8には、水中にウォータージェットを噴射して流動キャビテーションを発生させたときの様子を示します。閃光時間1μsのフラッシュランプをカメラの反対側において撮影したので、キャビテーション気泡が黒く写っています。淡く写っているのが残留気泡です。この残留気泡により、特異な電位が生じることと、腐食反応が異なることなどがわかりました*2。図9に示すように、この残留気泡を集めて分析すると、水素が多く含まれていることがわかりました*1。また二酸化炭素を溶解した水を用いてキャビテーションを発生させた後、残留気泡を回収すると、実験に用いた二酸化炭素には若干メタンが含まれていたものの、残留気泡中のメタンの割合が増大していることがわかりました(図10参照)*1。

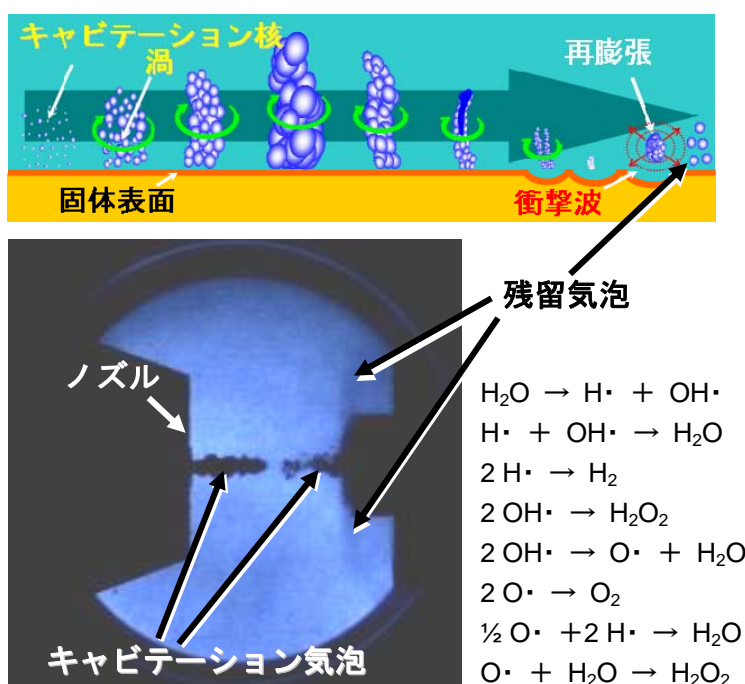


図8 キャビテーション気泡崩壊後の残留気泡*2

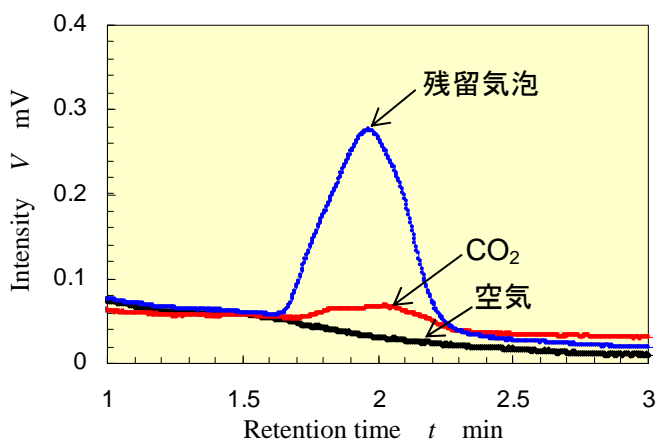


図9 キャビテーションによる水素発生*1

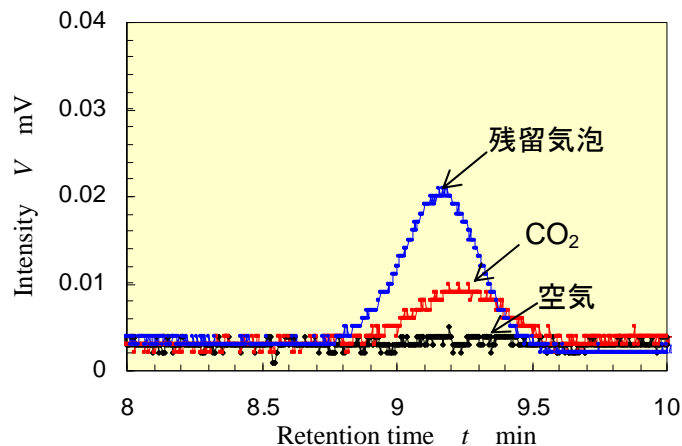


図10 キャビテーションによる二酸化炭素からのメタン生成*1

*2 H.Soyama, "Corrosion Behavior of Pressure Vessel Steel Exposed to Residual Bubbles after Cavitation Bubble Collapse" *Corrosion*, Vol. 67, No. 2, 2011, pp. 025001-1-8.



キャビテーションテクノロジーの新展開 — 化学的作用の活用 —

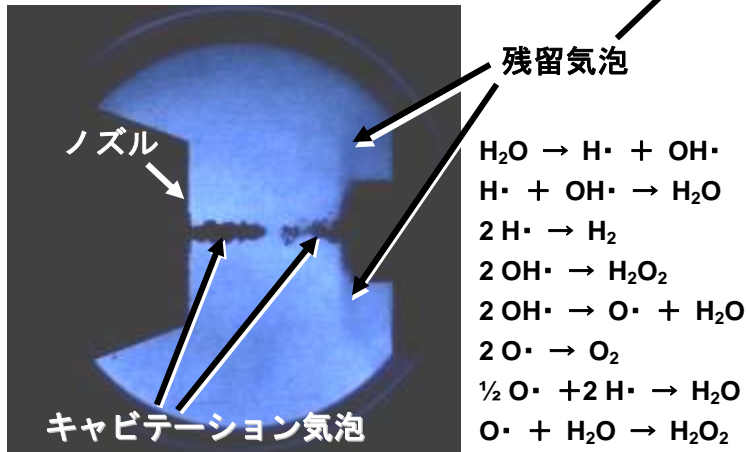
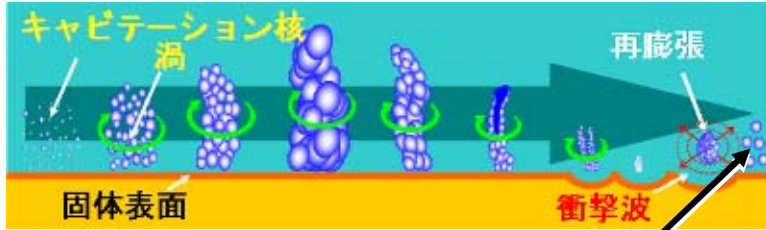


Fig. 1 キャビテーション気泡崩壊後の残留気泡^{*1}

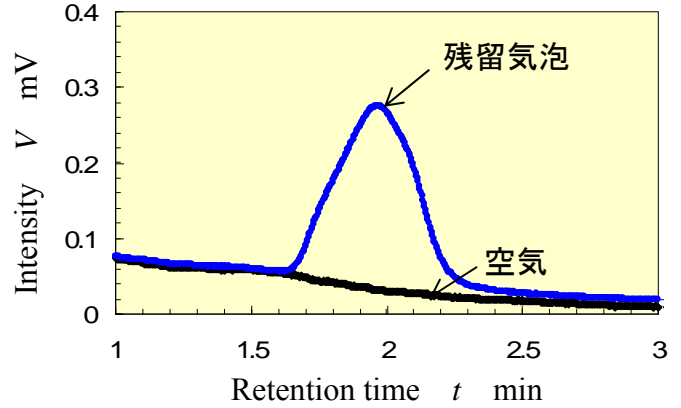


Fig. 2 キャビテーション噴流による水素発生^{*2}

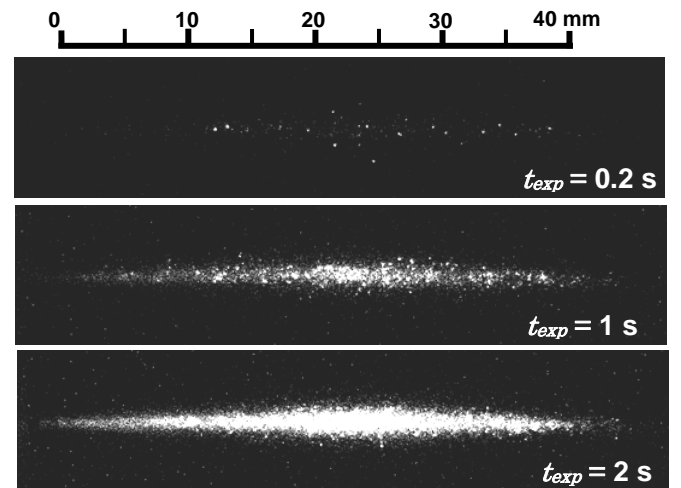


Fig. 4 キャビテーション噴流の発光(EM-CCD)^{*3}

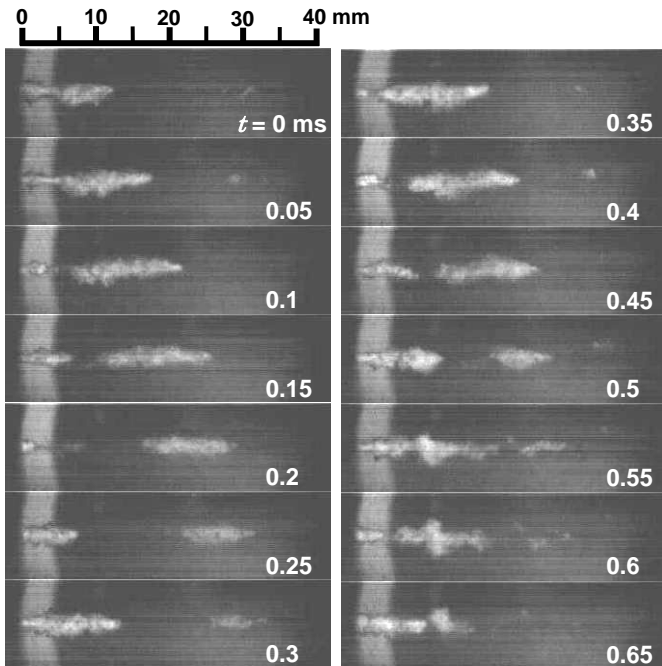


Fig. 3 キャビテーション噴流の様相(高速度ビデオ)^{*3}

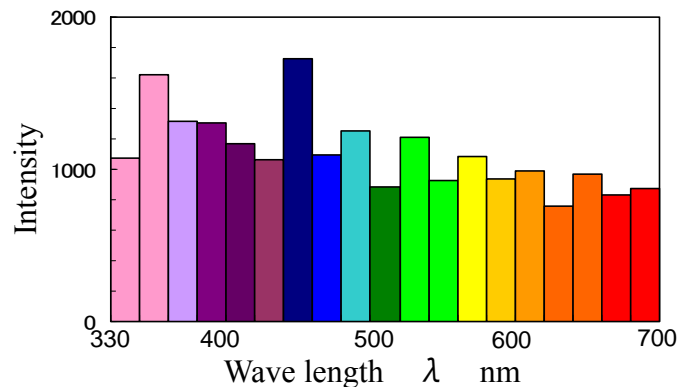


Fig. 5 キャビテーションの発光の分光分析^{*2}

^{*1} H.Soyama, "Corrosion Behavior of Pressure Vessel Steel Exposed to Residual Bubbles after Cavitation Bubble Collapse" *Corrosion*, Vol. 67, No. 2, 2011, pp. 025001-1-8.

^{*2} H.Soyama and T.Muraoka, "Chemical Reactor Using Radical Induced by a Cavitating Jet", *Proceeding of 20th Water Jetting Conference*, Graz, 2010, pp. 259-267.

^{*3} H.Soyama, "Luminescent Spots Induced by a Cavitating Jet" *Proceedings of ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011*, Hamamatsu, 2011, AJK2011-33018-1-8.