

水の中で金属を溶接？

－ 超音波の驚異的超高温効果に関する実験－

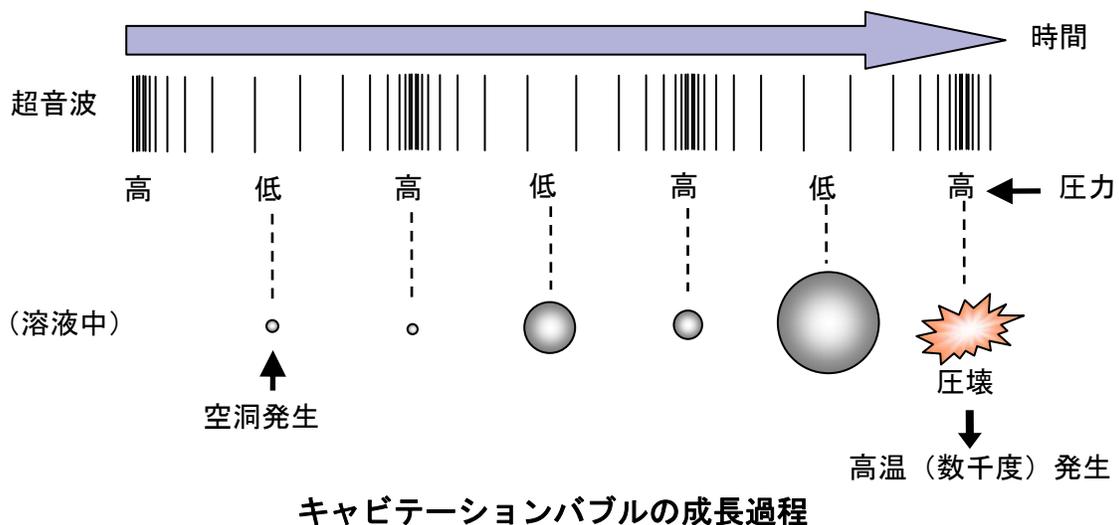
チーム名：ソノファイヤー

代表者氏名：桑田 宏明

所属：信州大学理学部化学科

【実験背景】

超音波は、一般には人間の聴覚で感じられる音の上限周波数、おおよそ20 kHzよりも高い周波数の音波としてとらえられている。超音波は空気中に限らず、水中、固体中などあらゆる物質中を伝搬することができます。超音波を水溶液に照射するときにキャビテーション気泡と呼ばれる微小気泡ができます。この気泡が壊れる際に、ある瞬間に熱エネルギーを放出し、数千度にも達します。つまり、常温常圧の条件下において、水溶液の中で局所的な超高温（ホットスポット）の反応場が形成できるというわけです。超音波に由来する局所的な高温効果は化学や材料の開発などの領域に最近注目されています。



【実験目的】水溶液の中で、キャビテーションによる高温反応場（水溶液中の小さな炎）は一般的に目に見えない。超音波の驚異的超高温効果を身近に理解するために、音響場の中でのゆで卵作り、水の中で進行する金属の溶接、音響場の温度の変化によるサーモクロミズム現象と超高温による水の発光（発光）などの実験を行うことにした。

【実験方法】底面に500 kHzのランジュバン振動子を固定したアクリルパイプ製円柱形の超音波セルを作成して、その中の熱効果を調べた。ファンクションジェネレーターによって周波数を制御し、その出力信号をパワーアンプで増幅して振動子を駆動させた。

実験に用いたもの



超音波セル



鶏卵



金属粉末



感熱液

【実験結果】

1. 超音波でゆで卵を作る

まずは、超音波照射による熱効果を利用して、ゆでたまご作りに挑戦した。超音波セル内に水をはり、超音波を照射すると卵が水中に浮んだ。



超音波照射前



超音波照射中

超音波を10分間照射したところ自身の一部が固まり始め、20分後半熟の卵ができ、そして30分照射すると完全に固まったゆでたまごが出来上がった。超音波による熱の効果を確認できた。今まで音で作ったゆで卵の報告例がなく、その味はとても美味しかった。

音で作ったゆで卵（世界初？）



10 分後



20 分後



30 分後

2. 音響キャビテーション熱による金属の溶接実験

超音波照射で発生する熱を利用し、金属の溶着を行った。水中に鉄や亜鉛などの金属スラリー（直系約10 μm ）をいれ、490 kHzの超音波を30分間照射した。照射後の金属スラリーを顕微鏡写真で観察したところ、熱溶融により金属粒子が溶接され大きな塊になっていたことが確認された。このような水中溶融現象は、ヒータなどの他の加熱方法では実現できないものなので、超音波による驚異的超高温効果が確かめられた。



超音波照射前



超音波照射後

3. 音響場の熱によるサーモクロミズム現象

サーモクロミズムは温度の変化に伴い物質の色が可逆的に変化する現象のことである。ここでは、塩化カルシウムと塩化コバルト、メチルアルコールと水を混合して、感熱液を調製した。その液の入った試験管を音響場に設置し、超音波による液体の温度の変化を調べた。その結果、超音波の照射時間に従って、感熱液の色は 赤→紫→青 と色に変化され、音響場における温度変化の可視化ができた。



照射前 (赤24℃)



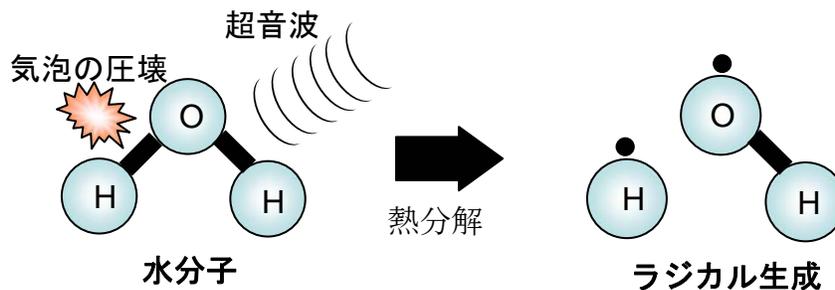
19分照射 (45℃)



37分間照射 (61℃)

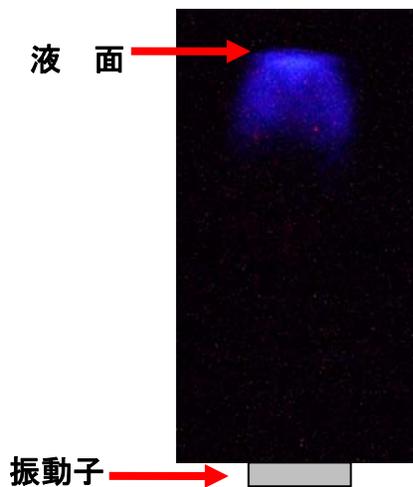
4. 音響場の熱による発光現象

音響キャビテーションによる超高温状態において、水はそのまま熱分解され、水素ラジカル ($\text{H}\cdot$) とヒドロキシルラジカル ($\cdot\text{OH}$) を生成することが考えられる。



キャビテーションによる水分子の熱分解

$\cdot\text{OH}$ が存在すると、ルミノール化学発光法を用いて検出することができます。右図に示しているのは超音波による化学発光（ソノルミネッセンス）の写真です。熱分解による生成したヒドロキシルラジカルが確認され、液面の近くにその発生量が特に多いことが分かりました。



【おわりに】超音波による驚異的な高温効果は我々の実験によって確かめられました。今後、有害物質の分解や新素材の合成などの研究に応用する予定です。