

令和元年6月14日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06405

研究課題名(和文)キャビテーション気泡の運動状態の計測制御に関する研究

研究課題名(英文)Basic study on measurement control of behavior of acoustic cavitation

研究代表者

内田 武吉(Uchida, Takeyoshi)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・計量標準総合センター・主任研究員

研究者番号：70455434

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：我々は、気泡から発生する音響的な信号である分調波と広帯域雑音を用いてキャビテーションを計測制御することを試みている。本研究では、分調波は気泡の発生や圧壊時に発生し、広帯域雑音は気泡の膨張収縮時に発生することを確認した。この結果は、2つの信号を利用することで、気泡の運動状態を計測制御できる可能性を示している。また、この技術の応用としてキャビテーションを利用している超音波洗浄器の性能評価を行ったところ、広帯域雑音を指標とすることで、最適な洗浄を行うことができる可能性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

キャビテーションは洗浄や医用などの分野で使用されている。しかし、キャビテーションは超音波照射対象を破壊する作用も有するため、洗浄対象の破壊や患者への危険性が指摘されている。この問題の解決のためには、キャビテーションを計測制御する技術が必要である。

私たちが開発した気泡の音響的な信号を用いた計測制御技術を用いれば、キャビテーションを利用する最適な環境を提供することができるため、危険性への懸念を払拭することができる。

研究成果の概要(英文)：We have studied measurement control on acoustic cavitation by using subharmonics and broadband noise that are acoustic signals generated from cavitation bubbles. As the result, subharmonics generated at generation and collapse of the bubbles, and broadband noise generated at expansion and contraction of the bubbles. There is a possibility that behavior of the bubbles can be measured and controlled by the acoustic signals generated from the bubbles. Also, broadband noise may be used as index on performance evolution of ultrasonic cleaning.

研究分野：超音波計測

キーワード：超音波 キャビテーション 超音波洗浄 分調波 広帯域雑音

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 高出力水中超音波に付随して発生するキャビテーションが注目されている。キャビテーションは、一定以上の音圧の超音波を水中に照射したときに、マイクロサイズ以下の極微小な気泡が発生する現象である。超音波照射により発生した気泡は、超音波の周期にあわせて膨張収縮を繰り返し、やがて圧壊する。膨張収縮時の気泡周辺は数千度、数百気圧の局所的な反応場が形成され、発生・圧壊時には衝撃波が生じる。

(2) キャビテーションは、医用から産業までの様々な分野で幅広い用途に使用されつつある。例えば、産業分野では、液晶パネルや半導体のガラス基板などの洗浄物表面に付着したゴミや油分の除去に使用されている。一方、医用分野では悪性脳腫瘍などへのがん治療に適用することが試みられている。

(3) しかし、キャビテーションは超音波照射対象を破壊するネガティブな面も有する。そのため、超音波洗浄における歩留まりや医用治療における患者の安全安心などの問題が懸念されている。この問題を解決するためには、キャビテーションを計測制御する技術が必要不可欠である。

2. 研究の目的

(1) 私たちは、キャビテーションの発生量や運動状態を計測制御することを目的として、気泡から生じる音響的な信号の利用を検討している。本研究では、気泡から生じる音響的な信号の分調波と広帯域雑音が、気泡の運動状態のどの段階で発生しているかを評価する。気泡の運動状態は、発生・膨張収縮・圧壊の3段階に分かれる。

(2) 気泡由来の音響的な信号と気泡の運動状態の関係の評価で得た結果を基にして、超音波洗浄器の洗浄能力と気泡信号の関係を検討し、超音波洗浄器を用いた洗浄に最適な気泡の運動状態を評価する。

3. 研究の方法

(1) 定在波音場を形成できる超音波照射装置を構築する。水槽の底部に圧電素子を設置し、水面に向けて超音波を照射する構造とする。圧電素子の基本周波数は150 kHzとする。

(2) 気泡由来の音響的な信号を測定するために、円筒形キャビテーションセンサを製作する。このセンサは、円筒形であり、その内側に圧電素子であるPVDFを設置した構造とする。PVDFで気泡由来の音響信号を受信する。

(3) 次に、気泡の各種運動状態に対応する実験条件(音圧)を決定するために、ハイドロホン(超音波出力測定用センサ)を用いて、水槽内の音圧を測定し、振動子への印加電圧と水槽内の音圧の関係を明らかにする。

(4) キャビテーションセンサを水槽の中心に設置し、水槽内の音圧を変化させたときの気泡由来の音響的な信号を測定する。

(5) 高速度ビデオカメラを用いて気泡の運動状態の観察を行う。水槽内の音圧を制御することで、気泡を発生・膨張収縮・圧壊の運動状態に制御し、その後実際に高速度ビデオカメラを用いて気泡の運動状態の違いを観察する。今回は、疑似気泡として超音波造影剤であるマイクロバブルを用いる。マイクロバブルにより、気泡の運動状態の観察や気泡由来の信号の測定を効率良く行うことができる。マイクロバブルの特性はMI値(音圧から算出される)で規定され、MIに近い値では膨張収縮、MI以上では圧壊の運動状態であると考えられる。そのため、先に測定した音圧を制御することで、膨張収縮、圧壊の運動状態を制御する。マイクロバブルの使用により、気泡は測定開始時に存在しているため、3つの運動状態中の発生の段階は無いが、発生と圧壊では同じ音響信号が発生していると考えているため、圧壊の段階を観察する。次に、(3)の実験結果(周波数スペクトル上の分調波と広帯域雑音の変化)と、高速度ビデオカメラで得た観察結果との関係性を評価する。

(6) キャビテーションセンサの出力信号と高速度ビデオカメラの観察結果との関係性を評価した後、センサの出力信号を用いて超音波洗浄器の洗浄に最適な気泡の運動状態を評価する。そのために、センサの出力信号と従来の洗浄能力評価方法による結果との関係性を検討する。従来の洗浄能力評価には、油性塗料を均一に塗布したガラス板の超音波照射前後の重量比を用いる。

4. 研究成果

(1) 圧電素子を水槽の底部に設置した超音波照射装置を構築した。ソノケミルミネセンス(キャビテーションにより発生する活性酸素種とルミノールとの化学反応であり青白く光る)の観察により、水槽内に定在波音場が形成されていることを確認した。

(2) 高音圧対応のハイドロホンを用いて、水槽内の音圧を測定し、振動子への印加電圧と水槽内の音圧の関係を明らかにした。振動子への印加電圧と音圧間には正の相関があることが確認できた。

(3) 水槽内の音圧を増加させたときの気泡由来の信号である分調波と広帯域雑音をキャビテーションセンサにより測定した。その結果、分調波と広帯域雑音は異なる音圧で発生することを確認した(図1)。音圧を増加させると、最初に広帯域雑音が発生し、その後分調波が発生することが確認できた。これは、気泡が発生する瞬間は広帯域雑音が発生し、気泡が膨張収縮するときは分調波が発生している可能性を示す。

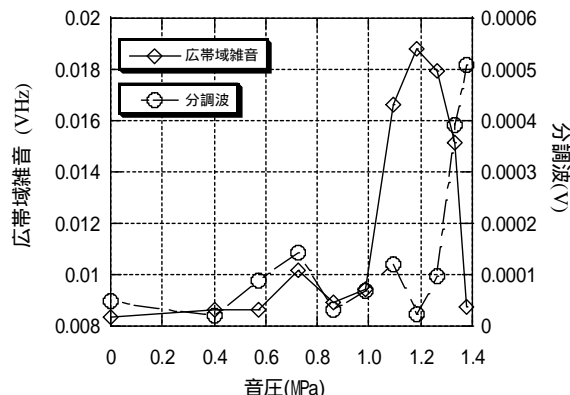


図1 音圧の増加に伴う分調波と広帯域雑音の関係

(4) 高速度ビデオカメラで気泡の運動状態の観察を行い、気泡由来の信号との関係を実験的に確認した。疑似気泡としてマイクロバブルを使用し、高速度ビデオカメラを用いて水槽内の音圧の増加に伴う気泡の運動状態の変化を観察した。マイクロバブルの使用により、気泡の発生の段階は除かれるため、膨張収縮と圧壊の観察を行った。結果として、音圧の増加に伴い気泡は膨張収縮を行い、最後に圧壊する状態を観察できた。次に、同じ条件下で、キャビテーションセンサを用いて気泡の信号を受信したところ、最初に分調波が次に広帯域雑音が増加することが確認できた。この結果は、膨張収縮時には分調波が、圧壊時には広帯域雑音が増加することを示している。(3)と今回の実験結果により、気泡由来の信号として膨張収縮時には周期的な信号が、発生及び圧壊時にはインパルス的な信号が発生していると考えられ、これらの信号を受信することにより、気泡の運動状態を制御できる可能性がある。

(5) 気泡由来の信号を用いて、加工部品の洗浄を行っている超音波洗浄器の洗浄能力を評価した。気泡由来の信号と従来の洗浄能力評価方法を比較した。その結果、気泡の発生・圧壊の信号である広帯域雑音とガラス板の重量変化の間には強い相関が確認できた(図2)。一方、気泡の膨張収縮の信号である分調波とガラス板の重量比の間には、広帯域雑音との関係ほどの相関が確認できなかった(図3)。そのため、洗浄には気泡の発生や圧壊時に生じる衝撃波が大きく影響している可能性がある。洗浄能力の評価に広帯域雑音を用いることにより、洗浄分野に定量的且つ統一的な指標を確立できる可能性がある。

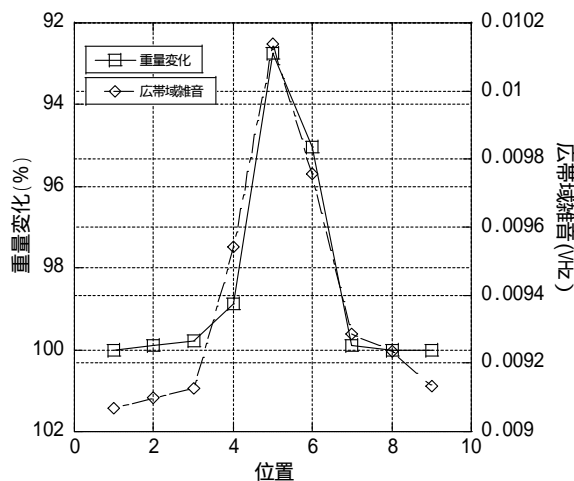


図2 ガラス板の重量変化と広帯域雑音の関係

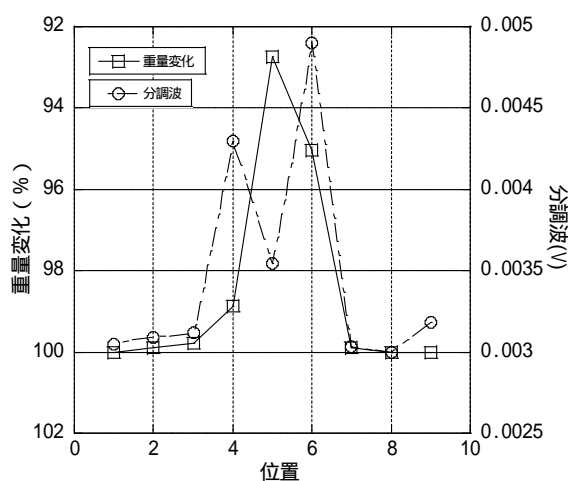


図3 ガラス板の重量変化と分調波の関係

引用文献

超音波便覧, pp. 669-676.

Y. Iwase, et. al., Jpn. J. Appl. Phys., Vol.48, pp. 07HD05-1-6, 2015.

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

T. Uchida, M. Yoshioka, R. Horiuchi, Effect of dissolved oxygen level of water on ultrasonic power measured using calorimetry, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 57, No. 7, pp. 07LC04-1-5, 2018.

〔学会発表〕(計2件)

内田武吉, 吉岡正裕, 松田洋一, 堀内竜三, キャビテーション気泡由来の信号を用いたキャビテーション発生量の計測技術, 日本音響学会 2017 秋季研究発表会, 2017.

T. Uchida, M. Yoshioka, Y. Matsuda, R. Horiuchi, Study on Measurement Technique for Acoustic Cavitation Using Cavitation Bubble Signals, 5th Joint meeting Acoustic Society of America and Acoustical Society of Japan, 2016.

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。