

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560537

研究課題名(和文)キャビテーション発生量の定量計測技術の開発

研究課題名(英文)Study on measurement technique of the amount of generated acoustic cavitation

研究代表者

内田 武吉(Uchida, Takeyoshi)

独立行政法人産業技術総合研究所・計測標準研究部門・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) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、キャビテーション発生量の定量計測技術の開発を目的としている。従来型の円筒形キャビテーションセンサでは、定在波音場中のキャビテーション発生量の分布を正確に測定できなかった。そこで、高空間分解能化を目指した新型キャビテーションセンサを試作した。パルスエコー法を用いた評価により、新型センサは従来型センサよりも空間分解能が向上していることがわかった。新型センサを用いて水槽内の定在波音場を走査した結果、新型センサはキャビテーション発生分布を正確に測定できる可能性があることを明確にした。

研究成果の概要(英文)：We have been developing the measurement technique of the amount of generated acoustic cavitation. The conventional cavitation sensor was not able to accurately measure the generation distribution of acoustic cavitation in standing wave acoustic field. Therefore, the new cavitation sensor was developed with the aim of high spatial resolution. The sensor was reduced the size of PVDF. As the result, the spatial resolution of the new sensor was improved than the conventional sensor. Also, the new sensor had the potential to be able to accurately measure the generation distribution of acoustic cavitation in the standing wave acoustic field.

研究分野：超音波計測

キーワード：キャビテーション 高出力水中超音波 定在波音場 キャビテーションセンサ

1. 研究開始当初の背景

(1) 強力水中超音波を液体や人体などに照射すると、極めて小さい気泡が発生するキャビテーションといわれる現象が生じる。

(2) キャビテーションは、産業分野の洗浄や医用分野の治療、ソノケミストリ（音響化学反応）における研究を始め、多くの分野で応用されつつある。

(3) 産業分野では、半導体や液晶パネル、電子基板、機械加工後の産業部品などの洗浄にキャビテーションが利用されている。

(4) 医用分野では、キャビテーションによる遺伝子導入や乳がん治療などが試みられている。

(5) ソノケミストリの分野では、研磨剤や個体潤滑剤への応用が期待されるナノサイズの微粒子の合成などの研究が行われている。

(6) 上記に示したような分野でキャビテーションの様々な応用が広がっている。しかし現状は、キャビテーション発生量の定量計測技術の開発が遅れている。計測技術の遅れが、超音波洗浄における歩留まりや、超音波治療における人体への安全性の問題解決の障害となっている。そのため、キャビテーション発生量の定量計測技術の開発は喫緊の課題である

(7) キャビテーション発生量の定量計測技術の開発は、各国計量機関でも研究が開始されている。そのため、諸外国と同等以上の技術力を維持するためにも、キャビテーション発生量の計測技術開発を進める必要がある。

(8) これまでに、我々は円筒形キャビテーションセンサを試作し、センサの出力信号の周波数スペクトルの高周波数成分の積分値である broadband integrated voltage (BIV) を用いてキャビテーション発生量を評価してきた。

(9) その成果として、BIV と活性酸素の発生量、ソノケミカルルミネッセンスの発光強度が、それぞれ正の相関があることを実証し、BIV がキャビテーション発生量の指標となる可能性を示した。

2. 研究の目的

(1) 本研究は、キャビテーションが積極的に応用されている超音波洗浄の分野（主に定在波音場を使用）を対象にして、キャビテーションセンサの高度化を検討する。センサにより測定した BIV が、定在波音場内のキャビテーション発生量の分布を正確に測定できることを目指す。

3. 研究の方法

(1) 高空間分解能を目指した円筒形キャビテーションセンサの開発を行う。図 1 に示した従来型キャビテーションセンサでは、センサのサイズが大きすぎるため、定在波音場中のキャビテーション発生量の空間分布を正確に測定できなかった（図 2）。そこで、本研究では、センサ内の受波部材料であるポリフッ化ビニリデン（PVDF）フィルムを 2 mm 以下まで小さくした新型センサを試作し、高空間分解能化を目指す。

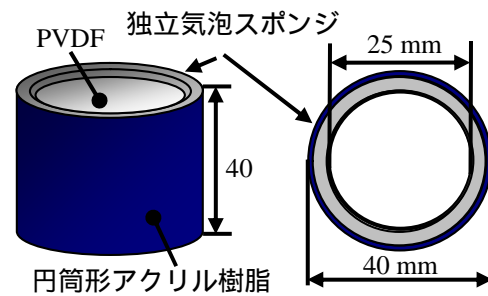


図 1 従来型キャビテーションセンサの概略図

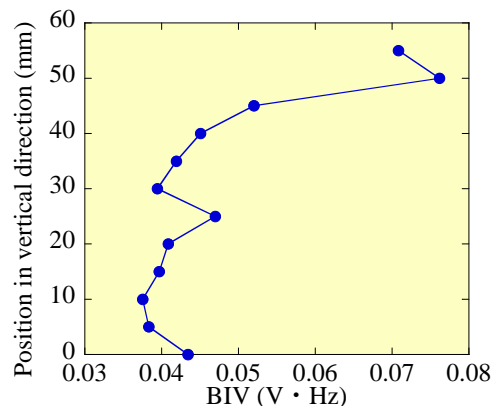


図 2 従来型キャビテーションセンサによる超音波伝搬方向の BIV の変化

(2) 試作した高空間分解能型キャビテーションセンサの空間分解能の評価を行う。円筒形センサの内側に直径 5 mm の球体を、超音波伝搬方向に 5 mm 間隔に 2 つ並べ、その後センサ内側の PVDF からパルス波の送受信を行い、2 つの球体の識別により空間分解能を評価する。

(3) 高空間分解能キャビテーションセンサを用いて超音波伝搬方向の BIV の測定を行う。評価は、ソノケミカルルミネッセンスの発光分布との比較において行う。

4. 研究成果

(1) 高空間分解能を目指した新型円筒形キャビテーションセンサを試作した。新型キャ

ピテーションセンサの概略図を図3に示す。新型センサでは、超音波信号を受信するためのPVDFのサイズを、従来型の30 mmから2 mm以下まで小さくした。また、定在波音場への影響を小さくするために、円筒形アクリル樹脂のサイズも10 mmとした。その他の構造は、従来型と同様に、円筒形アクリル樹脂の内側に、音響アイソレータとして、5 mmの独立気泡スポンジを接着した。独立気泡スポンジの内側表面には厚さ110 μmで、高さ2 mmのPVDFを接着した。

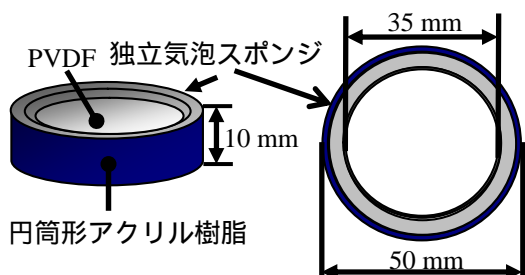


図3 新型キャビテーションセンサの概略図

(2) 新型キャビテーションセンサの空間分解能の評価を行った。測定には、パルサーレーザによるパルスエコー法を用いた。円筒形センサ内側中心に、直径5 mmの球体2個を、5 mm間隔に超音波伝搬方向に並べた。センサを鉛直方向に走査しながら、センサ内側のPVDFを用いて超音波を送受信し、2つの球体の識別により空間分解能を評価した。結果として、従来型センサより新型センサの方が、明確に球体を識別でき、空間分解能が向上していることが確認できた。

(3) 高空間分解能型の新型キャビテーションセンサを用いて、超音波伝搬方向のBIVの測定を行った。実験結果を図4に示す。

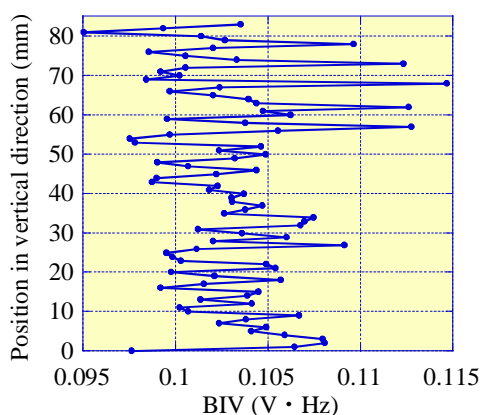


図4 新型キャビテーションセンサによる超音波伝搬方向のBIVの変化

結果として、水槽の底面から50 mm以上でBIVの値が高くなることがわかった。また、高さ

50 mm以上で、BIVは約5 mm毎にピーク値を示した。この間隔は、使用した150 kHzの駆動周波数の半波長にあたる。水槽内に形成させた定在波音場の腹と節は、それぞれ5 mm毎に現れるため、新型センサは、定在波音場の腹と節を精密に測定できる可能性がある。

(4) 図4の結果を受けて、底面から50 mm以上の領域のキャビテーションバブルの存在を確認するために、ソノケミカルルミネッセンスの発光分布を観察した。その結果を図5に示す。ソノケミカルルミネッセンスは、キャビテーションバブルにより発生した活性酸素とルミノールアニオンが反応して、青白く光る現象である。図5の結果により、BIVが高い領域である水面から約50 mm以上で、ソノケミカルルミネッセンスの発光を確認できた。50 mm以下の領域では、強い音響流が発生しており、キャビテーションバブルは定在波の腹にトラップされず、そのため発光しないと考えられ、バブル由来の信号であるBIVも値が低かったと考えられる。

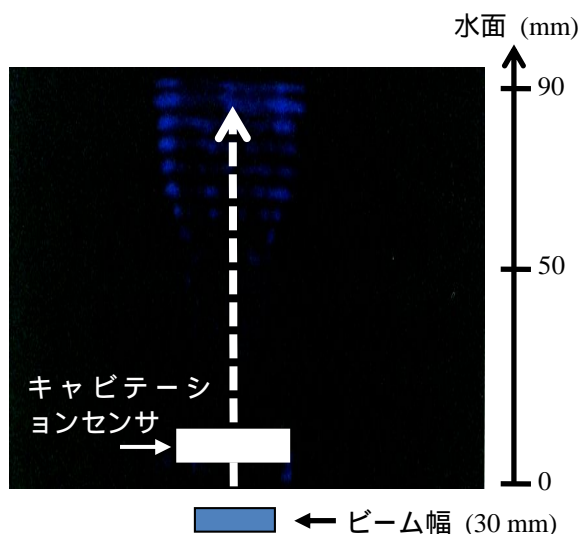


図5 水槽内のソノケミカルルミネッセンスの発光分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

菊池恒男、内田武吉、産業技術総合研究所における高出力超音波の計測技術開発、超音波医学、査読有、Accepted.

〔学会発表〕(計2件)

内田武吉、竹内真一、菊池恒男、Study on Spatial Distribution of Acoustic Cavitation Generation Using High Resolution Cavitation Sensor、2012 IEEE International Ultrasonic Symposium、2012年10月、Germany

椎葉倫久、植村友樹、内田武吉、菊池恒男、黒澤実、竹内真一、Study on cavitation sensor with hydrothermally deposited lead zirconate titanate film -Effect of integration range of BIV on the measured results- 、2012 IEEE International Ultrasonic Symposium、2012年10月、Germany

〔その他〕

ホームページ等

<https://www.nmij.jp/~acs-vbr/acs-ultsn/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内田 武吉 (UCHIDA, Takeyoshi)

産業技術総合研究所・計測標準研究部門・

主任研究員

研究者番号：70455434

(2) 研究分担者

菊池 恒男 (KIKUCHI, Tsuneo)

産業技術総合研究所・総務本部・審議役

研究者番号：90356866

(3) 連携研究者

竹内 真一 (TAKEUCHI, Shinichi)

桐蔭横浜大学・医用工学部・教授

研究者番号：50267647