

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22360367

研究課題名(和文) 衝撃波を利用した新しい船舶バラスト水の高度殺菌処理技術の開発

研究課題名(英文) Study on a new sterilization technology of ship ballast water using shock waves

研究代表者

阿部 晃久(Abe, Akihisa)

神戸大学・海事科学研究科(研究院)・教授

研究者番号：50221726

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円、(間接経費) 4,230,000円

研究成果の概要(和文)：マイクロバブルのリバウンド衝撃波を利用した新しいバラスト水殺菌処理技術開発のための要素研究が実施され、衝撃波と干渉するマイクロバブル運動の可視化観測から理想的な球状崩壊現象が見られた際に気泡運動方程式での変形挙動予測が十分有効であることを示した他、気液二相媒体の衝撃波問題に適応できる二次元数値計算スキームを開発し、気泡と衝撃波の干渉現象の模擬を可能にした。また、磁力補助機構を導入した新しい無隔膜衝撃波発生装置を開発し、弾性管や弾性膜を介して高圧ガス駆動の衝撃波を水中衝撃波へ変換する新たな水中衝撃波生成法の可能性を示した。加えて本衝撃波殺菌法の殺菌効果を予測できるハイブリッド解析法を提案した。

研究成果の概要(英文)：Fundamental studies have been carried out for a new sterilization technique of ballast water treatment using rebound shock waves generated by microbubbles. When a microbubble is interacted with a shock wave, ideal spherical collapse is often confirmed and the bubble behavior is estimated by Herring's bubble motion equation. A 2-dim numerical simulation scheme for solving shock problems in two-phase media has been developed and we could obtain reasonable results. In the other hand, a new diaphragmless shock tube assisted by magnetic force was designed and assembled. Using this device the shock wave generation in water through elastic materials was confirmed. In addition, a hybrid analysis that estimates the effects of a shock wave sterilization method was proposed.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：船舶海洋工学

キーワード：船舶バラスト水 衝撃波 無隔膜衝撃波発生装置 マイクロバブル 気泡運動 リバウンド衝撃波 殺菌

1. 研究開始当初の背景

資源が乏しく四方を海に囲まれている我が国にとって、船舶輸送は重要な生命線である。貨物輸送において、荷役作業や航行時の船体バランスのためにバラスト水が用いられているが、近年、このバラスト水について、海洋環境保全の観点から、排水処理・管理に関する国際的規制が実施されようとしている。一般的に、バラスト水には海水が利用されており、出港時に汲み上げられ、貨物の積み込み港で排水されるため、バラスト水と共に運ばれた海洋微生物が他の場所で繁殖することで、地球規模の生態系破壊が引き起こされている。国際海事機関(IMO)は、2004 年に船舶バラスト水の水質に厳しい基準を設定し、船舶排水量に対応した段階的な条約の実施を進め、各国に条約の順守を求めている。そのため、世界各国の企業等は、IMO 基準を満たす様々なバラスト水処理システムを提案・開発している。主な処理方法として、

- 光触媒殺菌、
- キャビテーション作用 + 脱酸素殺菌、
- キャビテーション作用 + オゾン殺菌、
- 電磁力による菌体の吸着除去、

などが挙げられる。これらには、既に IMO 承認を得たものや航海実験段階のものがあるが、導入経費や維持管理費などの経済性、化学物質の使用が避けられないなど、未だ改善すべき課題が多く残されている。海運大国日本として、この問題は世界に先駆けて解決すべき重要な研究課題である。

既存の多くのシステムでは化学的に処理せざるを得ない殺菌処理に対して、我々は、海洋環境保全の観点からバラスト水の最も安全・安心な細菌処理技術として、力学的処理が理想的であると考え、衝撃圧の利用を提案し、研究を続けてきている。先の我々のガス銃を用いた実験から、アルミニウム容器に封入した少量の海洋ビブリオ属細菌浮游溶液に 200 MPa 超の衝撃圧を作用させることにより、殺菌が可能である事を示した。さらに衝撃圧の利用を大量のバラスト水処理へ拡張するために、気泡が崩壊する時に発生する衝撃圧に着目し、その応用の可能性を検討した。特に、近年様々な分野で研究が盛んに行われているマイクロサイズの微小気泡の利用は、

- 海水に対して容易に大量発生し得る、
- 水中に長時間残存する、
- 自然収縮し消滅する際に酸化作用を引き起すフリーラジカルを生成する、
- 表面電荷により細菌が付着しやすい、

など、バラスト水処理に利用する面で有利となる点が多く、非常に有効である。しかし、微小気泡の性質は未だ十分解明されておらず、微小気泡を用いた殺菌方法は、オゾン、二酸化炭素、窒素など、気体の毒性や脱酸素による効果を利用するものが主であり、微小気泡の運動や特性を主に利用した方法はない。これまでの研究から、微小気泡の自然消

滅時に生じる酸化作用は実用レベルの殺菌力を有しないため、強制的に崩壊させて積極的なエネルギー変換を起こすことが殺菌効果を高めるために必要である。我々は、外部からの衝撃圧力作用により、実際に微小気泡がどのような運動を起こし、その崩壊時にどの程度の大きさの圧力を発生し得るのかについて可視化実験と圧力計測を実施し、『限局された狭い空間に送り込んだ微小気泡群に強い圧力波を作用させると、入力圧力波とその反射波および気泡崩壊によって発生した衝撃圧力波やその反射波が、それぞれ周期的な圧力作用の繰り返し現象を引き起こし、衝撃的圧力値とその発生持続時間を著しく増大させる。』という重要な知見を得ている。

2. 研究の目的

本研究の最終的な目的は、化学物質を使用しない環境に優しい安全・安心な船舶バラスト水殺菌処理技術の確立である。これまでの研究で、狭空間における微小気泡群の強制崩壊による高い衝撃圧の発生とその繰り返し作用を利用する新しい衝撃圧殺菌方法を提案した。本方法は、高い衝撃圧作用と同時にラジカル発生による酸化殺菌効果も得られる点で従来よりも効率的で安全性が高い処理技術である。本研究ではさらに実用レベルまで技術を高めるため、大量海水処理に対応出来る水中衝撃波の発生手法を提案し、実験装置の開発に取り組む。さらに、本装置を用いて海洋細菌の殺菌の実証実験を行い、その効果を明らかにするとともに、海洋細菌処理に対する最適条件を得る。

3. 研究の方法

これまでの研究から、微小気泡群の崩壊衝撃圧は、海洋細菌を不活性化するポテンシャルを十分有することが明らかにされている。実用レベルへ技術を高めるためには、微小気泡群に運動を開始させる高効率の外部衝撃圧導入が必要である。しかし、爆薬や放電による方法は、連続運転やエネルギーコスト面から実用的ではない。そのため第一に、新しい水中衝撃波発生装置の設計・開発から開始し、電磁力と高圧ガスを利用した連続運転が可能な無隔膜型衝撃波発生装置の製作を行った。装置の性能試験の後、水中衝撃波生成実験を実施した。また、衝撃波に曝された微小気泡の運動挙動の可視化観測、圧力計測、また、気泡と衝撃波との干渉現象の数値シミュレーション、および殺菌効果を予測するためのハイブリッド解析法の開発を行った。

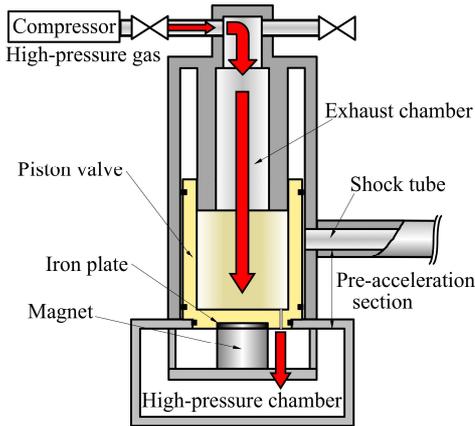
4. 研究成果

(1) 実験的研究成果

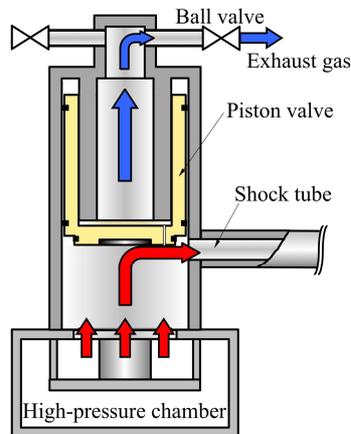
無隔膜衝撃波発生装置の開発

永久磁石を用いて衝撃波管内のピストン弁を高速駆動させる磁力補助機構を導入した新しい衝撃波発生装置を開発・作製した

(図1の略図参照)。磁力補助機構により、ピストン弁の開口速度は最大 30%程度向上し、初期圧力比が小さな場合でも容易に高速開口を実現し、衝撃波の生成を確認した。本装置によって内径 10 mm の衝撃波管からマッハ数 1.6 までの衝撃波を生成できた。本手法は、永久磁石を利用することから経済的に開口速度を高めることができる点に特徴があり、マイクロ衝撃波の研究分野で他の研究者にも取り入れられている。



(a) 圧縮空気充填時の流れ



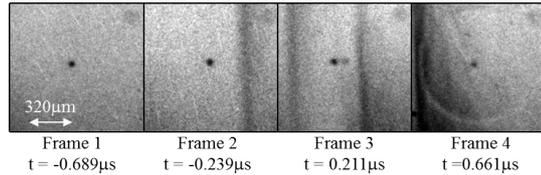
(b) 装置作動時の高圧空気の流れ

図1 磁力補助機構が組込まれた無隔膜衝撃波生成装置の概略図

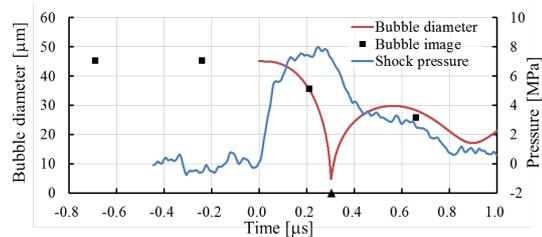
マイクロバブル崩壊運動の観測

気泡径の減少に伴って相対的に表面張力が強まりマイクロバブルは真球形状を保ち易くなる。さらに、気泡を通過する衝撃波の相対速度も速まることから、マイクロバブルの周囲圧力が不連続的に増加する理想的な干渉条件となり、球状崩壊が期待でき、高いリバウンド圧力を得ることができると期待される。殺菌効果を高めるためにはマイクロバブルの球状運動を誘起させることが重要であることからマイクロバブルと衝撃波の詳細な干渉挙動の観測を試みた。非常に微小な領域の高速現象の可視化において、カメラの性能および光源の強度、平行度など難しい問題があったが、直径 45 μm 程度までのマイ

クロバブルについてシャドウグラフ法やシュリーレン法による可視化に成功した。その結果、直径 45 μm までの気泡では、球状、非球状運動共に観察され、球状運動の場合は圧縮性流体中の気泡運動を表す Herring 式の解析解と一致することを確認した。可視化観測例と解析例を図2に示す。



(a) マイクロバブルと衝撃波の干渉画像(中央の黒い点がマイクロバブル、フレーム2中の右に見られる縦の影が入射衝撃波面)



(b) 気泡運動の解析解との比較

図2 直径45 μm のマイクロバブルと衝撃波との干渉運動の観測

弾性体を用いた水中衝撃波生成

マイクロバブルを用いる衝撃殺菌を船舶で用いるためには、安全性と経済性が重要となるため、内燃機関からの排気ガスを利用した水中衝撃波の生成が実現できると有効であると考えられる。このため、衝撃波生成装置から弾性体を介した衝撃圧力の水中伝播を試みた。本研究では圧力伝達のための弾性体としてシリコンチューブおよび天然ゴム膜の2通りについて可視化実験と圧力計測を実施した。その結果、可視化実験から水中衝撃波の発生を確認したが(図3参照)、圧力計測データを得ることができなかった。すなわち、現状で得られる水中衝撃波は弱く、気泡運動を誘起できる強さの圧力変動を生成できないことが確認できた。また、水中での弾性体の高速膨張を用いるよりも界面との衝突現象を利用する方が生成し易いことを確認した。以上の結果は、高圧気体による水中衝撃波生成の可能性を示すと同時に、効果的な生成のための手法について改善や新たなアイデアの必要性が示された。

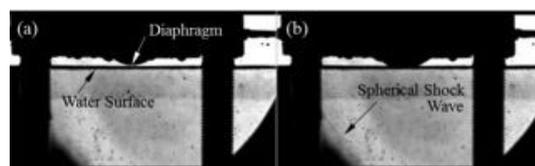


図3 天然ゴム膜の界面打撃による水中衝撃波の生成

(2) 数値計算・解析的研究成果

気泡と衝撃波干渉のシミュレーション

気泡と衝撃波の相互作用を利用したバラスト水中微生物の処理技術の開発支援ツールとして、圧縮性気液二相流の数値計算手法を提案した。本手法は、衝撃波を捕らえる TVD スキーム、気液界面を再構築して移流する NSS 法、不連続な界面での境界条件を考慮して二相流を扱う Ghost Fluid 法を組み合わせ合わせて開発された。本二次元スキームの妥当性は、二相流の衝撃波管問題や空気中のヘリウム気泡と衝撃波の干渉問題の解析の実施により検証され、非常に良好な結果が得られることを確認した。さらに、本計算手法をバラスト水処理過程へ適用するための第一歩として水中衝撃波と空気泡の計算を行ない、入射衝撃波の気泡界面との衝突に伴う反射および透過現象の他、ジェット形成、気泡の分裂、新たな高圧領域の形成などを模擬できた。本成果によって、様々な初期駆動圧力条件や表面張力と粘性力の導入、複数気泡の相互作用の解析など、気泡と衝撃波の相互作用を利用したバラスト水処理方式の最適化を支援できる見通しが得られた。

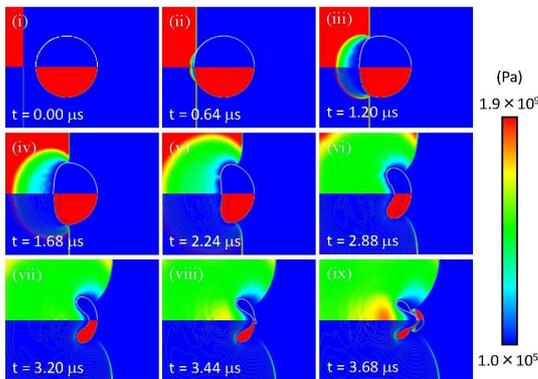


図4 気泡の衝撃波干渉のシミュレーション結果（圧力分布の時間変動）

衝撃殺菌効果予測のハイブリッド解析

気泡のリバウンド衝撃波による海洋細菌の殺菌効果を理論的数値的に予測することは、装置の実用化へ向けて重要となる。気泡が球状のリバウンド運動をすると仮定し、Herring の気泡運動方程式および TVD 差分法によって気泡リバウンド後の気泡周りに生じるリバウンド衝撃波の伝播挙動を見積った。その結果を用いて海洋細菌の耐衝撃性から殺菌できる圧力領域を同定し、さらにマイクロバブルの気泡数密度に依存して確率論を組んだ殺菌効果を予測できるハイブリッド解析法を開発した。現実の殺菌効果にはフリーラジカルによる殺菌効果が現れるため、開発したハイブリッド解析法の詳細な妥当性の評価は、今後の課題として残されたものの、以前実施された菌体実験データを用いた簡易的な検証では、比較的良好な一致が得られた（図5）。本結果は、今後の予測法の確立へ向けた重要な基礎研究となり得る。

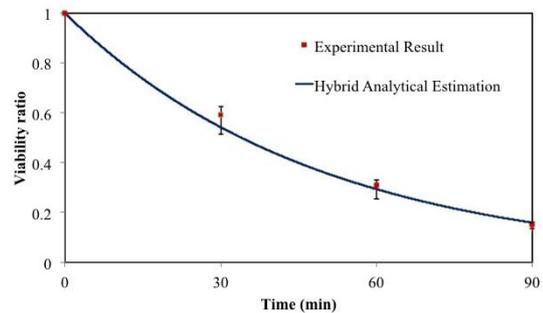


図5 ハイブリッド法による殺菌効果の予測

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計27件)

1. 阿部晃久, 菅原和也, 山田洋平, 磁力支援型高速開口弁を有する無隔膜衝撃波管の性能評価, 日本機械学会論文集(B編), 第79巻, 806号, pp.1973-1984, 2013, 査読有
2. 阿部晃久, 宋明良, 三村治夫, 西尾茂, 船舶バラスト水処理へのマイクロバブルと衝撃圧の活用について, 混相流, Vol.27, No.1, pp.45-52, 2013, 査読無
3. H. Ueda, A. Abe, Study on Excessive Pressure of Underwater Shock Wave Generated in Confined Space, Proc. 29th International Symposium on Shock Waves, Madison, Paper No. 246-000135, 2013, 査読有
4. S. Maeno, J. Wang, S. Fukuda, A. Abe, Observation and Analysis of Microbubble Motion Induced by An Underwater ShockWave, 29th International Symposium on Shock Waves, Madison, Paper No. 246-000026, 2013, 査読有
5. A. Abe, K. Sugahara, Y. Yamada, Rapid Opening Valve Assisted by Magnetic Force for a Diaphragmless Shock Tube, 29th International Symposium on Shock Waves, Madison, Paper No. 246-000047, 2013, 査読有
6. Mimura, Haruo and Miwa, Takashi, Survival Estimation of Pathogenic Vibrio cholerae after Invasion from Ballast Water discharged into Tokyo Bay, The Japan Institute of Marine Engineering, Vol. 48, No. 2, pp.241-245, 2013, 査読有
7. 三村治夫, 林晴久, 芹澤昭示, マイクロバブルを利用した熱交換器用フェロコ管内壁に形成されるバイオフィルムの抑制及び除去効果, 日本海水学会誌, 第67巻, 5号, pp.289-295, 2013, 査読有
8. A. Miyachi, K. Sugahara, A. Abe, High speed opening operation of diaphragmless shock wave generator, Proc. 28th International Symposium on Shock Waves, Manchester, Part9, pp.711-717, 2012, 査読有

9. S. Fukuda, B. Wan, A. Abe, Analytical estimation of microbubble motion exposed to discontinuous pressure change, Proc. 28th International Symposium on Shock Waves, Manchester, Part12, pp.909-914, 2012, 査読有
 10. N. Tsujii, B. Wan, H. Mimura, A. Abe, Experimental study on inactivation of marine bacteria using electrodischarge shock waves, Proc. 28th International Symposium on Shock Waves, Manchester, Part12, pp.915-921, 2012, 査読有
 11. 三村治夫, 下村拓也, 田中富美恵, 三輪誠, 耐塩性海洋細菌を利用したカキ有機質の分解, 日本防菌防黴学会誌, 第40巻, 9号, pp.555-563, 2012, 査読有
 12. A. Abe, K. Ohtani, K. Takayama, Overpressure generation and repetition of collapsing microbubbles induced by shock wave reflection in a narrow gap, Shock Waves, Vol.21, Issue 4 (2011), pp. 331-339, 2011, 査読有
 13. 阿部晃久, 西尾 茂, 宋 明良, 三村治夫, 衝撃波を利用した船舶バラスト水殺菌処理技術—環境に優しい技術の確立を目指して, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第46巻, 第4号, pp.72-77, 2011, 査読無
 14. Biyu WAN, Nobuhito TSUJII, Shinya FUKUDA, Akihisa ABE, Haruo MIMURA, Experimental study on inactivation of marine bacteria using collapse of microbubbles induced by shock waves, ISME KOBE 2011, C1-2, 2011, 査読有
 15. Akihisa ABE, Akihiro MIYACHI, Shinya FUKUDA, Akira SOU and Shigeru NISHIO, Development and performance evaluation of periodic underwater shock wave generator for shock sterilization of ballast water, ISME KOBE 2011, C1-3, 2011, 査読有
 16. Masahiro NAKADA, Akira SOU, Akihisa ABE, Shigeru NISHIO, Interface tracking simulation of shock-bubble interaction in ballast water, ISME KOBE 2011, C1-5, 2011, 査読有
 17. 川勝麻由, 西尾 茂, 勝井辰博, PIV計測における誤差発生時の周波数特性と精度評価法に関する研究, 可視化情報学会誌, Vol.31, Suppl. No.1, 2011, pp.3-6, 査読無
 18. A. Abe, K. Ohtani, K. Takayama, S. Nishio, H. Mimura, M. Takeda, Pressure Generation from Micro-Bubble Collapse at Shock Wave Loading, Journal of Fluid Science and Technology, Vol. 5, No. 2, pp.235-246, 2010, 査読有
 19. 万碧玉, 辻井宣人, 福田真也, 阿部晃久, 新しい船舶バラスト水処理技術開発のための基礎研究: 水中衝撃波の生成・収束実験と微小気泡運動の数値解析, 神戸大学大学院海事科学研究科紀要 第7号, pp.81-86, 2010, 査読無
 20. 万碧玉, 阿部晃久, 船舶バラスト水殺菌を目指した水中衝撃圧発生と収束の基礎研究, 日本航海学会誌NAVIGATION(特集), 175号, pp.73-77, 2010, 査読無
 21. A. Sou, M. Nakada, A. Abe, S. Nishio, Numeric Simulation of Interaction between Shock Wave and Bubbles in Ballast Water, Techno-Ocean 2010, Kobe, Japan, 14th Room2(3B), Environment II, 2010, 査読無
 22. B. Wan, A. Abe, N.Tsujii, Observation and Pressure Measurement of Underwater Shock Waves for Application of Ship Ballast Water Treatment, Techno-Ocean 2010, Kobe, Japan, 15th Room2(3B), Environment III, 2010, 査読無
 23. A. Abe, B. Wan, S. Fukuda, A. Abe, Hybrid Analysis of Microbubble Motion Excited by Shock Waves for Sterilization of Marine Bacteria, Techno-Ocean 2010, Kobe, Japan, 15th Room2(3B), Environment III, 2010, 査読無
 24. Haruo MIMURA and Kazutoshi YOSHIDA, Importance of Intact Structure of Cell Wall for a Marine Vibrio sp. Cell to Resistance against Sodium Chololate, Bulletin of the Society of Sea Water Science, Japan, Vol. 64, No. 6, 2010. 12, pp. 353-354, 査読有
 25. 桐本兼輔, 西尾 茂, 時空間微分の高次項を用いた高精度サブピクセル解析手法の開発, 可視化情報学会論文集, Vol.30, No.1, 2010, pp. 1-8, 査読有, <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/tvsj/-char/ja/>
 26. 桐本兼輔, 西尾 茂, PIVにおける誤差伝播解析に関する研究, 可視化情報学会誌, Vol.30, Suppl. No.1, 2010, pp.87-90, 査読無
 27. 西尾 茂, 石川翔太, 川勝麻由, 力学的分析に基づくPIV計測の精度評価に関する研究, 可視化情報学会誌, Vol.30, Suppl. No.2, 2010, pp.141-144, 査読無
- 〔学会発表〕(計23件)
1. 谷口 直, VOF法に基づく圧縮性気液二相流の数値解析, 混相流シンポジウム2014, 2014年7月28日~30日, 札幌, 発表予定
 2. J. Wang, Generation of underwater shock wave using elastic material connected with diaphragmless shock wave generator, 16th Intl Symp Flow Visualization, 2014年6月24~27日, 沖縄, 発表予定
 3. M. Shioda, Observation and analysis of interactional phenomena between micro-bubbles and underwater shock wave, 16th Intl Symp Flow Visualization, 2014年6月24~27日, 沖縄, 発表予定
 4. 王静竹, マイクロバブルによるバラスト水衝撃波殺菌効果の予測に関する研究, 平成25年度衝撃波シンポジウム, 2014年3月5日~7日, 相模原

5. Akayama, D., Evaluation of Liquid Jet Flow by Means of Image Analysis, 9th Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing, 2013年8月25日～28日, Busan, Korea
 6. 菅原和也, バラスト水処理に向けた磁力支援型無隔膜衝撃波管の開発, 平成24年度衝撃波シンポジウム, 2013年3月13日～15日, 小倉
 7. Hideaki Kitagawa, Numerical Simulation of Microbubble-Shock Wave Interaction in Ballast Water, 2nd East Asia International Student Symposium on Maritime Sciences, 2012年11月21日～22日, Kobe
 8. 宮地晃弘, 無隔膜衝撃波管の高速開口化と性能評価, 平成23年度衝撃波シンポジウム, 2012年3月7日～9日, 千葉
 9. 福田真也, 空間位置制御された微小気泡と水中衝撃波の干渉現象観測, 平成23年度衝撃波シンポジウム, 2012年3月7日～9日, 千葉
 10. 辻井宣人, 微小気泡群と衝撃波の干渉による海洋細菌の不活性化, 平成23年度衝撃波シンポジウム, 2012年3月7日～9日, 千葉
 11. 菅原和也, 海事科学分野における衝撃波応用技術について, 日本船舶海洋工学会 / 関西支部平成23年秋季講演会, 2011年11月8日～9日, 神戸
 12. 北川秀明, バラスト水中気泡と衝撃波の相互作用に関する数値解析, 日本船舶海洋工学会関西支部平成23年秋季講演会, 2011年11月8日～9日, 神戸
 13. Masahiro Nakada, Interface Tracking Simulation of Shock-Bubble Interaction in Ballast Water, 9th International Symposium on Marine Engineering (ISME KOBE 2011), 2011年10月17日～21日, 神戸
 14. Ishikawa, S., Evaluation of PIV Measurement by Direct Analysis of Velocity Field, 9th International Symposium on Particle Image Velocimetry, 2011年7月21日～23日, Kobe, Japan
 15. 阿部晃久, 海事科学分野における衝撃波応用, 平成22年度「衝撃波学際応用寄附研究部門」成果発表講演会, 2011年6月15日, 仙台
 16. 宮地晃弘, 垂直開口式無隔膜衝撃波管の試作と性能評価, 平成22年度衝撃波シンポジウム, 2011年3月16日～18日, 相模原
 17. 福田真也, 水中衝撃波により誘起される微小気泡の圧壊現象と崩壊圧の計測, 平成22年度衝撃波シンポジウム, 2011年3月16日～18日, 相模原
 18. 辻井宣人, マイクロバブル崩壊衝撃波を利用した海洋細菌不活性化の実験的検証, 平成22年度衝撃波シンポジウム, 2011年3月16日～18日, 相模原
 19. Akira Sou, Numeric Simulation of Interaction between Shock Wave and Bubble in Ship Ballast Water, Techno-Ocean 2010, 2010年10月14日～16日, Kobe
 20. 阿部晃久, 衝撃圧を利用するバラスト水処理技術に関する基礎研究, 第80回マリンエンジニアリング学術講演会, 2010年8月30～9月1日, 新潟
 21. Kirimoto, K, Analysis of Error Truncation in PIV Measurement, 14th International Symposium on Flow Visualization, 2010年6月21日～24日, Daegu, Korea
 22. 万碧玉, 水中衝撃波の収束と微小気泡群を用いたバラスト水処理技術の開発: 第二報, 日本船舶海洋工学会講演会, 2010年6月7日～8日, 東京
 23. 中田昌宏, 気泡と衝撃波の相互作用に関する数値解析, 日本船舶海洋工学会 KFR-Jr & KSSG-Jr合同講演会, 2010年5月29日, 大阪
- 〔図書〕(計 1件)
1. A. Abe and H. Mimura, Bubble Dynamics and Shock Waves (Chapter 11: Sterilization of Ships' Ballast Water), Edited by C. F. Delale, Shock Wave Science and Technology Reference Library Vol. 8, Springer Berlin Heidelberg, ISBN: 978-3-642-34296-7 (Print), DOI: 10.1007/978-3-642-34297-4, 2013
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
阿部 晃久 (ABE AKIHISA)
神戸大学・大学院海事科学研究科・教授
研究者番号: 50221726
 - (2) 研究分担者
西尾 茂 (NISHIO SHIGERU)
神戸大学・大学院海事科学研究科・教授
研究者番号: 30208136
 - 宋 明良 (SOU AKIRA)
神戸大学・大学院海事科学研究科・教授
研究者番号: 20314502
 - 三村 治夫 (MIMURA HARUO)
神戸大学・大学院海事科学研究科・教授
研究者番号: 90190727