

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：17501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560265

研究課題名(和文) 直交流中の管群構造物における気柱共鳴励起エネルギーと音響減衰特性の定量評価

研究課題名(英文) Evaluation of excited energy and damping of acoustic resonance phenomena in tube bundle

研究代表者

濱川 洋充 (Hamakawa, Hiromitsu)

大分大学・工学部・教授

研究者番号：30243893

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：発電所の大容量ボイラなどの熱交換器では、試運転時に気柱共鳴現象が発生し、振動と騒音が問題になることがある。本研究では、実機ボイラの二次元相似模型、低騒音風洞、音響管を用いて、管群における渦放出音の特性、吸音特性、気柱共鳴現象の発生特性を実験的に明らかにした。また、これらの結果を用いて、提案した共鳴感度パラメータが気柱共鳴現象の発生予測に利用できることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In heat exchangers such as commercially used boilers, acoustic resonance is occasionally generated in ducts when gas flows laterally with respect to the axis of the tubes. We have clarified the characteristics of vortex shedding noise, acoustic damping, and acoustic resonance in two dimensional boiler model. The proposed identified parameter, which means the sensitivity of vortex shedding to acoustic resonance level in the initial resonance region, was verified by using the experimental results.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：流体関連振動 音響エネルギー 音響情報・制御 振動制御

1. 研究開始当初の背景

発電所の大容量ボイラや排熱回収用ボイラなどの熱交換器では、試運転時に気柱共鳴現象が発生し、振動と騒音が問題になることがある。この現象が発生すると、振動によって構造物が破損する恐れがあるため、数多くの研究が行われている。その結果、本現象が管群から放出されるカルマン渦に起因していることが明らかとなり、様々な設計予測法や防止対策が構築されている[Chen (1968), 根本ら (1997), Pettigrew (2003), Eisingerら (2005), Ziada (2010), 石原ら (2010) など]。しかしながら、これらの設計法を用いて製造された熱交換器においても今だ気柱共鳴現象が度々発生し、その度に多額の費用と時間を労して防止対策が講じられている。また、このような背景から、設計者の間では発生回避のための高精度の発生予測法の開発が切望されている。

2. 研究の目的

- (1) 複数の管の配列を変化させたときの空力音の特性を実験的に解明し、管配列の変化に対する気柱共鳴現象の励起エネルギーと渦放出周波数の特性を解明する。
- (2) 気流中の管群構造体および多孔板における音響減衰の特性を実験的に解明する。
- (3) 提案した気柱共鳴発生予測法の有用性を、様々な管配列における模型実験の結果を用いて検証する。

3. 研究の方法

図1に示す実機ボイラの1/30スケールの二次元相似模型試験装置を用いて、実験的に研究を行った。本装置には、図2に示すような管群が設置されており、様々な管群配列で気柱共鳴現象の発生特性を調査できる。さらに、低騒音風洞を用いて複数の裸管およびフィン付き管から発生する渦放出音の特性を実験的に調査した。さらに、音響インピーダンス管に管群構造体および多孔板を設置して、吸音特性とそれに及ぼす流れの影響についても調査した。

4. 研究成果

(1) 図4は図1に示す実験装置を用いてギャップ流速 U_g を変化させて測定した気柱共鳴現象の発生周波数 f_p の変化である。抗力方向の管ピッチ比 L/D が1.44の管群では、共鳴開始流速を用いたストローハル数が0.26と0.50でそれぞれ揚力方向モードと抗力方向モードの気柱共鳴現象が発生する。このときの揚力方向の気柱共鳴現象は4次モードである。気柱共鳴現象の発生予測のために、新しく本現象の発生しやすさを表す渦の同期化パラメータを提案した。上述の実験結果を用いて、図4に示す方法で提案した渦放出の同期化に関するモデル化手法の妥当性を検証した。その結果、異なる配列の場合でも、図5に示すように検証のために導出したコヒー

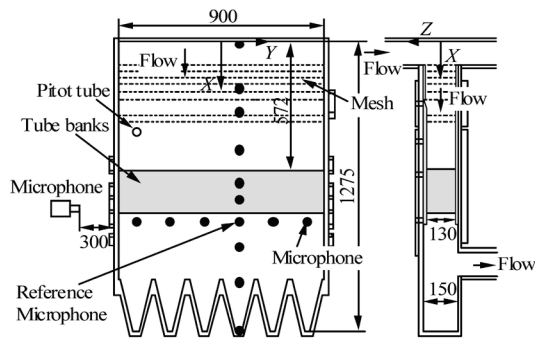


図1 実験装置の概要

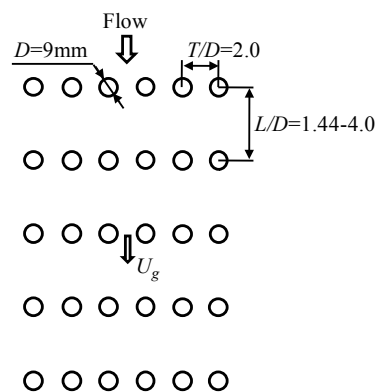


図2 管群配列の仕様

レンス $\gamma_{w1,w2}$ の計算値と実測値とが良く一致しており、モデル化手法が妥当であることがわかった。

図6は管配列に対する共鳴感度指数 α の変化である。揚力方向4次モードの気柱共鳴現象における共鳴感度指数は、管抗力方向のピッチ比 L/D が1.44から1.87の格子配列の管群ではほぼ等しくなり、共鳴発生のしやすさは変化しないことがわかった。また、管抗力方向のピッチ比が2.8から4.0における揚力方向2次モードの共鳴感度指数もほぼ一定値となった。管抗力方向のピッチ比が4.0のとき、管群内と比べ管群5列目(最後列)において共鳴感度指数が大きくなり、最後列の管から放出される渦が気柱共鳴現象に最も同期しやすいことがわかった。

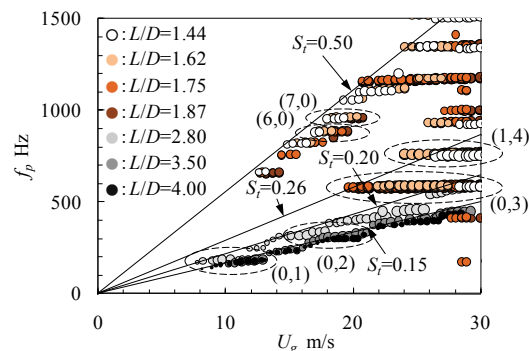


図3 気柱共鳴現象の発生周波数の変化

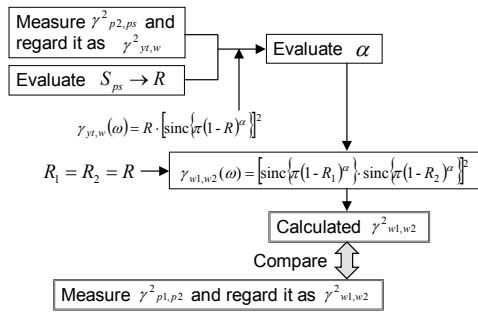


図4 提案したモデルの検証の方法

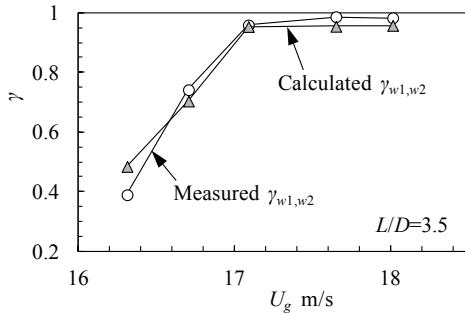


図5 実験結果と計算結果の比較

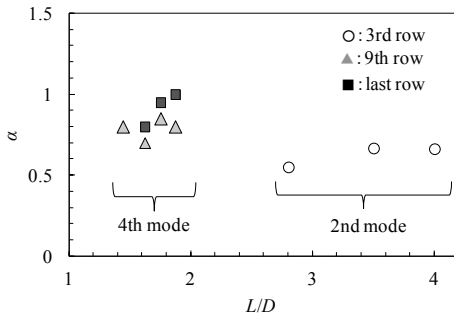


図6 ピッチ比に対する共鳴感度指数の変化

(2) 図7は、音響インピーダンス管に多孔板を設置したときの吸音率 α に及ぼす流量の影響である。周波数が増加するにつれて吸音率が増加し、500Hz付近で吸音率が最大の0.99となり、さらに周波数が増加するにつれて減少して行くことがわかる。図8は吸音率に及ぼす背後空気層の厚さの影響である。背後空気層が薄くなるにつれて、ピーク周波数が高くなることがわかる。背後空気層を有する多孔板には吸音効果があり、気柱共鳴現象の抑止対策として応用できると考えられる。

同様に、音響インピーダンス管に密な管群を設置して、管群の配列を変化させて吸音率の測定を行った。その結果、管群が密な場合には広い周波数帯域で吸音効果があることがわかった。これらの周波数帯域や吸音率などの特性は管群の配列と流れの条件によって変化した。なお、管群配列の粗い場合には吸音効果は見られなかった。密な管群は、大局的に見れば、多孔質材とみなす事ができることから、気柱共鳴現象の抑止設計への応用が可能と考えられる。

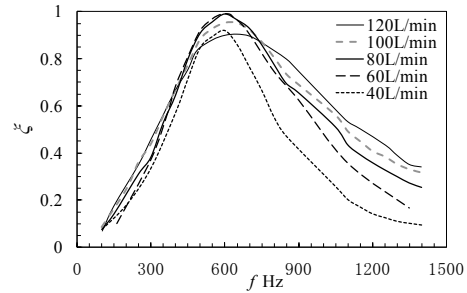


図7 吸音率に及ぼす流量の影響

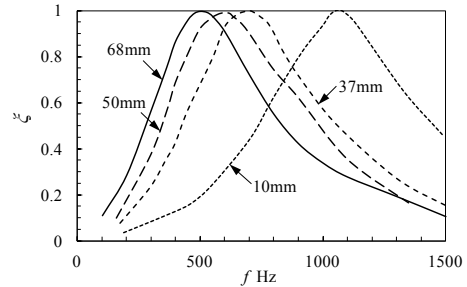


図8 吸音率に及ぼす背後空気層厚さの影響

(3) 低騒音風洞を用いて単独円柱から発生する空力音に及ぼすフィン形状の影響を実験的に調査した。ツイストセレイティッドフィンの場合にはフィンピッチ比が密なほど音圧レベルが低下するが、ソリッドフィンの場合には密な場合ほど音圧レベルが増加した。このとき、カルマン渦の周期性が強くなり、スパン方向の相関長も増加した。フラットセレイティッドフィンについても比較を行った。フィン形状によって気柱共鳴現象の励起エネルギーが変化することがわかった。

フィン付き2円柱から発生する空力音の音圧レベルは図9に示すように流れ方向の中心間距離によって変化した。流れ方向の中心間距離 L と等価直径 D_e の比 L/D_e が2.3~6.8では全体的にフィン付き単独円柱(0dB)と比べ空力音のレベルが増加した。 $L/D_e=2.5\sim3$ では単独の場合よりも10.7~11.7dB大きく、さらに $L/D_e=4.0\sim6.8$ では17.9~16.0dB大きくなった。一方、 $L/D_e=2.0$ 以下では単独の場合よりもレベルが2.5~6.0dB低下した。また、フィン付き2円柱の音圧レベルを裸管2円柱と比べると、 L/D に対する音圧レベルの変化は全体的には同様な傾向となるが、裸管と比べ約8dB小さくなった。管群配列を変化させることにより、気柱共鳴現象の励起エネルギーを低減できること、フィンはピッチ比によっては気柱共鳴現象の励起エネルギーを低減させることがわかった。フィン付き2円柱の渦放出音のストローハル数は、図10に示すように L/D_e が4.0より大のときには裸管2円柱の場合と同じであるが、 L/D_e が4.0以下では傾向が異なることがわかった。

また、フィン付き2円柱から発生する空力音の音圧レベルは、図11に示すように流れ直角方向の中心間距離によっても変化した。

流れ直角方向の中心間距離 T が増加するにつれて空口音のレベルは増加し、等価直径との比 T/D_e が 0.72 付近で極大となり、さらに距離が増加するにつれてレベルが減少した。また、図 12 に示すように渦放出音のピークは二つ存在し、ストローハル数は 0.18 と 0.25-0.32 となった。高周波数成分は T/D_e が増加するほど低下した。

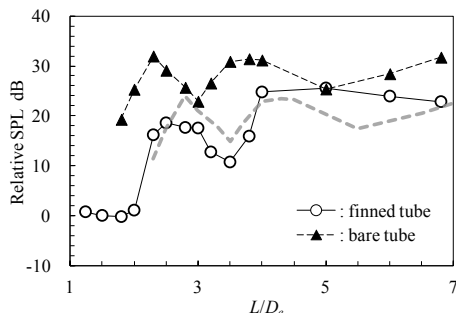


図 9 フィン付き 2 円柱からの渦放出音に及ぼす管ピッチ比の影響

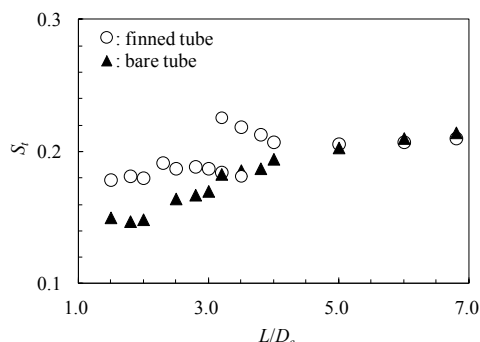


図 10 ストローハル数に及ぼす管ピッチ比の影響

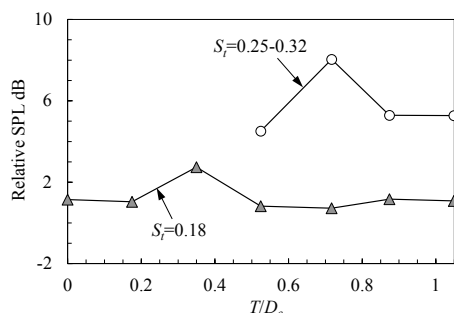


図 11 フィン付き 2 円柱からの渦放出音に及ぼす管ピッチ比の影響

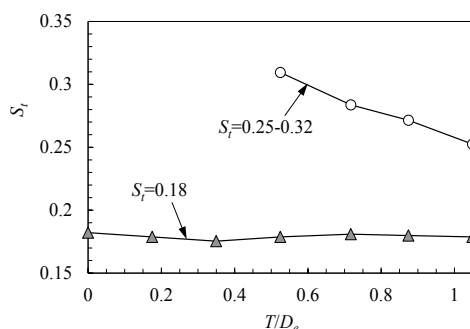


図 12 ストローハル数に及ぼす管ピッチ比の影響

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 19 件)

- (1) H. Hamakawa, K. Hosokai, T. Adachi, E. Kurihara, Aerodynamic Sound radiated from Two-Dimensional Airfoil with Local Porous Material, Open Journal of Fluid Dynamics, Vol.3, No.2A, 査読有, 2013, pp.1-6. DOI: 10.4236/ojfd.2013.32A009
- (2) 濱川洋充, 伊藤祐樹, 加茂龍之介, 西田英二, 栗原央流, 流れ中のフィン付き円柱から発生する渦放出音に及ぼす螺旋状側板の効果, 日本機械学会論文集 B 編, Vol.79, No.804, No.2013-JBR-0068, 査読有, 2013, pp.1434-1443.
- (3) H. Hamakawa, E. Nishida, K. Asakura, Synchronization Characteristics of Vortex Shedding from Tube Banks on Acoustic Resonance, Proceedings of ASME 2013 Pressure Vessels & Piping Conference, PVP2013, PVP2013-97682, Paris, France, July 14-18, 査読有, 2013, pp.1-8.
- (4) H. Hamakawa, T. Adachi, H. Matsuoka, H. Ohsako, R. Ohga, E. Nishida, E. Kurihara, Aerodynamic Sound Radiated from Tandem Finned Cylinders, Proceedings of 12th Asian International Conference on Fluid Machinery, AICFM12-0068, Yogyakarta Indonesia, 25st-27th September, 査読有, 2013, pp.1-9.
- (5) H. Hamakawa, T. Adachi, K. Asakura, K. Hosokai, E. Nishida, E. Kurihara, H. Hayashi, Vortex Shedding Noise Generated From A Circular Cylinder with Spiral Fin in Cross Flow, 4th International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows, ICJWSF2013_1125, Nagoya, Japan, September 17-21, 査読有, 2013, pp.1-6.
- (6) H. Hayashi, H. Hamakawa, Characteristics of Aeolian Tone Source of Tapered Cylinder, 20th International Congress on Sound & Vibration, ICSV20, Bangkok, Thailand, 7-11 July, 査読無, 2013, pp.1-8
- (7) H. Hamakawa, K. Hosokai, T. Adachi, E. Kurihara, Aerodynamic Sound radiated from Two-Dimensional Airfoil with Local Porous Material, Proceedings of 11th International Symposium on Experimental and Computational Aerothermodynamics of Internal Flows, Shenzhen, China, May 6-11, 査読無, 2013, pp.1-6
- (8) H. Hamakawa, T. Nakamura, K. Asakura, E. Nishida, E. Kurihara, Effect of Arrangement of Tube Banks on Acoustic Resonance, Open Journal of Fluid Dynamics, Vol.2, No.4A, 査読有, 2012, pp.1-7, DOI: 10.4236/ojfd.2012.24A038
- (9) H. Hamakawa, M. Shiotsuki, T. Adachi, E. Kurihara, Correlation between Aerodynamic Noise and Velocity Fluctuation of Tip Leakage Flow of Axial Flow Fan, Open Journal of Fluid Dynamics, Vol.2, No.4A, 査読有, 2012, pp.1-7, DOI: 10.4236/ojfd.2012.24A026

(10) 濱川洋充, 森竹貴章, 塩月将智, 中村太郎軸流ファンの動翼後縁近傍のカルマン渦の挙動に関する研究, ターボ機械, Vol.40, No.7, 査読有, 2012, pp.441-447.

(11) 濱川洋充, 中村太郎, 塩月将智, 佐藤大祐, 栗原央流, 軸流ファンの動翼周りの速度変動現象と空力騒音との関係, ターボ機械, Vol.40, No.8, 査読有, 2012, pp.464-472.

(12) H. Hayashi, J. Ebine, S. Sasaki, H. Hamakawa, Characteristics of Aerodynamic Sound Source of Tapered Cylinder, Proceedings of the 19th International Congress on Sound and Vibration, Paper No.570, 査読無, 2012, pp.1-6.

(13) H. Hamakawa, T. Nakamura, K. Asakura, E. Nishida, E. Kurihara, Effect of Arrangement of Tube Banks on Acoustic Resonance, Proceedings of 4th Asian Joint Workshop on Thermophysics and Fluid Science 2012, Paper No.T-2B-4, 査読無, 2012, pp.1-6.

(14) H. Hamakawa, M. Shiotsuki, T. Adachi, E. Kurihara, Correlation between Aerodynamic Noise and Velocity Fluctuation of Tip Leakage Flow of Axial Flow Fan, Proceedings of 4th Asian Joint Workshop on Thermophysics and Fluid Science 2012, Paper No.M-2A-2, 査読無, 2012, pp.1-6.

(15) H. Hamakawa, A. Arshad, M. Oota, Effect of Acoustic Resonance Phenomenon on Fluid Flow with Light Dust, Journal of Thermal Science, Vol.20, No.5, 査読有, 2011, pp.430-434.

(16) H. Hamakawa, Y. Ito, R. Kamo, E. Nishida, Effect of Helical Strakes around A Finned Tube on Aeolian Tone, Proceedings of ASME-JSME-KSME Fluids Engineering Conference 2011, 査読有, AJK2011-08005, 2011, pp.1-9.

(17) E. Nishida, H. Hamakawa, Study on Modeling Method of Vortex Shedding Synchronization in Heat Exchanger Tube Bundles, 2nd: Experimental Verification, Proceedings of the ASME 2011 Pressure Vessels & Piping Division Conference, PVP2011-58028, 査読有, 2011, pp.1-8.

(18) H. Hamakawa, K. Uchida, A. Arshad, A. Wakatuki, E. Nishida, Effect of Arrangement of In-line Tube Banks on Acoustic Resonance, Proceedings of Inter-Noise 2011, Osaka Japan, September4-7, 査読無, 2011, pp.1-8.

(19) H. Hamakawa, T. Moritake, M. Shiotsuki, T. Nakamura, Experimental Study on the Characteristics of the Near Wake of Rotor Blade of Axial Flow Fan, Proceedings of the 10th International Symposium on Experimental Computational Aerothermodynamics of Internal Flows, ISAI10-66, 査読無, 2011, pp.1-6.

[学会発表](計 35 件)

(1) 細貝和希, 安東直樹, 濱川洋充, 栗原央流, 設計流量時の軸流ファンの動翼後縁近傍の速度変動現象の特性, 九州支部第 67 期総会・講演会講演論文集, 2014 年 3 月 13-14 日, 九州

工業大学

(2) 松岡博紀, 細貝和希, 濱川洋充, 栗原央流, ウェルズタービンから発生する空力音に関する研究, 九州支部第 67 期総会・講演会講演論文集, 2014 年 3 月 13-14 日, 九州工業大学

(3) 山井太貴, 濱川洋充, 栗原央流, キャビティを有する多孔板から微小噴流を発生させたときの吸音特性に関する研究, 日本機械学会九州学生会第 45 回卒業研究発表講演会講演論文集, 2014 年 3 月 4 日, 九州大学

(4) 濱川洋充, 足立貴昭, 朝倉健太, 西田英一, 栗原央流, 流れ中に置かれたフィン付き複数円柱から発生する空力音の特性, 日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集, Paper No. 1105, 2013 年 11 月 9-10 日, 九州大学

(5) 足立貴昭, 朝倉健太, 濱川洋充, 西田英一, 栗原央流, 直交流中の円柱から発生する空力音に及ぼすフィン形状の影響, 日本機械学会九州支部鹿児島講演会講演論文集, No.138-3, pp147-148, 2013 年 9 月 27-28 日, 鹿児島大学

(6) 濱川洋充, 多孔板を用いた吸音および流動制御デバイスに関する基礎研究, 第 5 回送風機・圧縮機の騒音と性能研究分科会, 2013 年 9 月 12 日, 信州大学

(7) 山下良, 林秀千人, 濱川洋充, フィン付き円柱周りの非定常流れと空力音に及ぼすフィン間隔の影響, 2013 年度年次大会講演論文集, No.13-1, Paper No. J052012, 2013 年 9 月 9-11 日, 岡山大学

(8) 濱川洋充, 西田英一, 栗原央流, 産業機械の静粛化技術と今後の課題(ボイラにおける管群気柱共鳴音について), 日本騒音制御工学会秋季研究発表会, 講演論文集, No.2-1-14, 招待講演, pp.133-136, 2013 年 9 月 5-6 日, 熊本大学

(9) 松岡博紀, 濱川洋充, 栗原央流, 流れ中の管群構造体の吸音特性に関する研究, 第 14 回九州地区流体工学研究会トークイン(九重), 2013 年 8 月 30 日, 九州地区国立大学九重研修所

(10) 濱川洋充, 西田英一, 朝倉健太, 松岡博紀, 栗原央流, 気柱共鳴発生時の管群から放出される渦の同期化の評価指標に関する研究, Dynamics & Design Conference 2013, Paper No.626, 2013 年 8 月 26-30 日, 九州産業大学

(11) 濱川洋充, 足立貴昭, 西田英一, 栗原央流, 林秀千人, 流れ中のソリッドフィン付き円柱から発生する空力音に関する研究, Dynamics & Design Conference 2013, Paper No.627, 2013 年 8 月 26-30 日, 九州産業大学

(12) 西田英一, 濱川洋充, 管群気柱共鳴予測のための安定判別法の研究, Dynamics & Design Conference 2013, Paper No.628, 2013 年 8 月 26-30 日, 九州産業大学

(13) 朝倉健太, 松岡博紀, 濱川洋充, 西田英一, 栗原央流, 流れ方向に密な千鳥配列管群における気柱共鳴現象と渦放出, 日本機械学会九州支部第 66 期総会講演会, 2013 年 3 月 13 日, 九州産業大学

(14) 足立貴昭, 細貝和希, 濱川洋充, 栗原央

流, 気流中の静止二次元翼から発生する空力音に及ぼす表面性状の影響, 日本機械学会九州支部第 66 期総会講演会, 2013 年 3 月 13 日, 九州産業大学

(15) 細貝和希, 濱川洋充, 栗原央流, 二次元翼から発生する空力音に及ぼす多孔質材の影響, 日本機械学会九州学生会第 44 回卒業研究発表講演会, 2013 年 3 月 6 日, 阿蘇ファームランド

(16) 松岡博紀, 濱川洋充, 栗原央流, 流れ方向に疎な格子配列管群内と後流における気柱共鳴現象の発生特性, 日本機械学会九州学生会第 44 回卒業研究発表講演会, 2013 年 3 月 6 日, 阿蘇ファームランド

(17) 濱川洋充, 大迫春奈, 西田英一, 栗原央流, 流れ中に設置された複数のフィン付き円柱から発生する空力音の特性, 第 32 回流体力学シンポジウム, 2012 年 11 月 30 日-12 月 1 日, 鳥取大学

(18) 濱川洋充, 朝倉健太, 中村達明, 西田英二, 栗原央流, ボイラにおける気柱共鳴現象の発生に及ぼす管群配列の影響, 第 90 期流体工学部門講演会, 2012 年 11 月 17-18 日, 立命館大学

(19) 濱川洋充, 西田英一, 中村達明, 朝倉健太, 栗原央流, 気柱共鳴現象による管群から放出される渦の同期化とそのモデリング, Dynamics & Design Conference 2012, 2012 年 9 月 18-21 日, 慶応大学

(20) 濱川洋充, 足立貴昭, 塩月将智, 中村太郎, 安藤竜也, 栗原央流, 動翼に局所的に配置した多孔材によるファン騒音の低減に関する基礎研究, 第 68 回ターボ機械協会沖縄地方講演会, 2012 年 9 月 20 日, 琉球大学

(21) 濱川洋充, 動翼に局所的に配置した多孔材によるファン騒音の低減に関する基礎研究, 第 3 回「送風機・圧縮機の騒音と性能研究分科会」, 2012 年 9 月 19 日, 琉球大学

(22) 濱川洋充, 大賀諒平, 大迫春奈, 西田英二, 栗原央流, 流れ中に設置されたフィン付き 2 円柱から発生する空力音特性, 2012 年度年次大会, 2012 年 9 月 9-12 日, 金沢大学

(23) 恵比根譲, 林秀千人, 佐々木壮一, 濱川洋充, 一様流中に置かれたテーパ円柱からの放射音の特性, 2012 年度年次大会, 2012 年 9 月 9-12 日, 金沢大学

(24) 濱川洋充, 大迫春奈, 大賀諒平, 西田英二, 栗原央流, 林秀千人, 流れ中に設置されたフィン付き円柱から発生する空力音に関する研究, 第 22 回環境工学総合シンポジウム 2012, 2012 年 7 月 4-6 日, 東北大学

(25) 大賀諒平, 伊藤祐貴, 加茂龍之介, 濱川洋充, 西田英一, 栗原央流, 直交流中の螺旋状側板付きフィン付き単独円柱からの空力音の特性, 日本機械学会九州支部第 65 期総会講演会論文集, 2012 年 3 月 16 日, 佐賀大学

(26) 大迫春奈, 加茂龍之介, 伊藤祐貴, 濱川洋充, 西田英一, 栗原央流, 流れ中に直列に配置されたフィン付き 2 円柱からの渦放出音の特性, 日本機械学会九州支部第 65 期総会講

演会論文集, 2012 年 3 月 16 日, 佐賀大学

(27) 中村達明, 太田光勇, 内田圭亮, 濱川洋充, 西田英一, 栗原央流, 気柱共鳴現象発生前後における格子配列管群からの渦放出に関する研究, 日本機械学会九州支部第 65 期総会講演会論文集, 2012 年 3 月 16 日, 佐賀大学

(28) 塩月将智, 中村太郎, 濱川洋充, 栗原央流, 軸流ファンの動翼先端付近の速度変動現象と空力騒音との関係, 日本機械学会九州支部第 65 期総会講演会論文集, 2012 年 3 月 16 日, 佐賀大学

(29) 足立貴昭, 濱川洋充, 栗原央流, 流れ中のフィン付き 2 円柱から発生する渦放出音に関する研究, 日本機械学会九州学生会第 43 回学生員卒業研究発表講演会論文集, 2012 年 3 月 12 日, 佐世保工業専門学校

(30) 朝倉健太, 濱川洋充, 栗原央流, ボイラの管群における気柱共鳴現象と渦放出に関する研究, 日本機械学会九州学生会第 43 回学生員卒業研究発表講演会論文集, 2012 年 3 月 12 日, 佐世保工業専門学校

(31) 中村太郎, 塩月将智, 濱川洋充, 軸流ファンの動翼周りの速度変動現象と空力騒音に関する研究, 第 66 回ターボ機械協会宮崎地方講演会論文集, pp.161-166, 2011 年 9 月 15 日, 宮崎大学

(32) 濱川洋充, 中村達明, 内田圭亮, 太田光勇, 西田英一, 気柱共鳴現象による管群から放出される渦の同期化に関する研究, Dynamics & Design Conference 2011, A22-241, 2011 年 9 月 8 日, 高知工科大学

(33) 西田英一, 濱川洋充, 管群気柱共鳴における渦放出同期化現象のモデリング: 精度検証実験, Dynamics & Design Conference 2011, A22-242, 2011 年 9 月 8 日, 高知工科大学

(34) 濱川洋充, 大迫春奈, 大賀諒平, 西田英二, 流れ中に設置されたフィン付き 2 円柱から発生する空力音の特性, 第 21 回環境工学総合シンポジウム 2011, No.11-8, 2011 年 7 月 1 日, 産業技術総合研究所臨海副都心センター(東京)

(35) 濱川洋充, 森竹貴章, 塩月将智, 中村太郎, 軸流ファンの動翼後縁近傍のカルマン渦の挙動に関する研究, 第 65 回ターボ機械協会総会講演会論文集, pp.79-84, 2011 年 5 月 20 日, 東京大学生産技術研究所

6. 研究組織

(1) 研究代表者

濱川 洋充 (HAMAKAWA HIROMITSU)
大分大学・工学部・教授
研究者番号: 30243893

(2) 連携研究者

西田 英一 (NISHIDA EIICHI)
湘南工科大学・工学部・教授
研究者番号: 70410032

林 秀千人 (HAYASHI HIDECHITO)
長崎大学・工学部・教授
研究者番号: 10173022