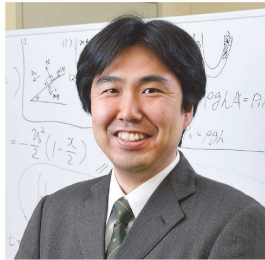


機械工学科

キーワード

熱音響現象、自励振動、臨界条件、衝撃波、熱音響孤立波、ヘルムホルツ共鳴器、エネルギーカスケード、高次振動モード、非線形波動



教授 / 博士 (工学)

清水 大

Dai Shimizu

学歴

大阪大学 基礎工学部 機械工学科
大阪大学 大学院 基礎工学研究科 システム人間系専攻 博士前期課程
大阪大学 大学院 基礎工学研究科 機能創成専攻 博士後期課程

経歴

日本ヒューレット・パッカード株式会社アソシエイトコンサルタント、大阪大学特任助教、大阪大学助教、フランス国立中央理工学校リヨン校流体力学・音響学研究センター客員研究員、福井工業大学准教授、福井工業大学教授

相談・講演・共同研究に応じられるテーマ

熱音響現象に関する講演、非線形波動現象に関する相談

メールアドレス

shimizu@fukui-ut.ac.jp



主な研究と特徴

「ヘルムホルツ共鳴器による熱音響自励振動の増幅」

熱音響現象は原動機や冷凍機への工学的応用が期待されている。熱音響式熱機関は、特別な気体を用いることなく、熱源に太陽熱や地熱、低温廃熱等を有効活用できることから、環境に優しい新しいシステムとしても注目されている。“熱して冷やす”熱音響式冷凍機は、原動機と冷凍機を一体化したシステムである。熱流をエネルギー源として熱音響自励振動を発生させ、これに伴う熱輸送により“熱して冷やす”ことが可能になる。また振動発電への応用も研究されており、冷凍機も含めたいずれの応用例においても、出力と効率の向上を目指して大振幅の自励振動を発生させる研究がこれまで盛んに行われてきた。特に、管内に挿入するスタックと呼ばれるハニカム構造体の改良によって臨界温度比を低下させる研究や、スタックの多段化、装置の大型化が行われてきた。現在、平均圧の10%を超える大振幅の自励振動の発生が可能である。しかしながら、衝撃波や音響流の発生、渦の生成や剥離に代表される様々な非線形現象の出現により、更なる振幅の増大は容易ではない。その中でも衝撃波の発生は損失を著しく増大させ、入力増大に見合う出力増大を困難にすることから、衝撃波の発生を抑制することが求められている。我々の研究グループでは、衝撃波の発生につながるエネルギーカスケードを断ち切る方法として、ヘルムホルツ共鳴器列を管の軸方向に沿って接続し、分散性を利用することが有効であることを示してきた。本研究では、両端が閉じた半波長管内に発生する定在波型の熱音響自励振動について、ヘルムホルツ共鳴器列を管中央付近に部分的に接続することにより自励振動の振幅を増幅できることを明らかにした。

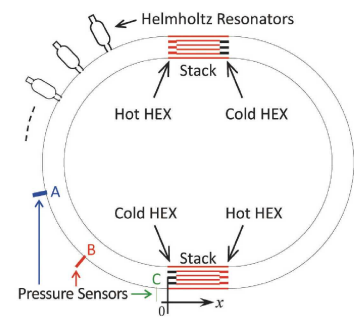


図1. 熱音響孤立波を発生させる実験装置の概略図

「熱音響孤立波の発生実験」

気体で満たされたループ管内に発生する熱音響自励振動の特徴の一つは、振動の成分に定在波だけでなく進行波も含まれることである。近年のスタック製造技術の発展により、自励振動の圧力振幅は大きくなり、いわゆる線形音響学の領域ではなく、非線形音響学の領域に達している。セラミックの製造技術の発展は、より目の細かいスタックの製作を可能とし、濡れぶち長さの増大が臨界温度比の低下をもたらしてきた。これにより、今日では、大振幅の熱音響自励振動を発生させることが可能である。しかしながら、非線形性の卓越は波形の歪みを引き起こし、やがて衝撃波を発生させる。衝撃波の発生は、基本振動のエネルギーが高次の振動モードへ移動することを意味するので、圧力振幅は次第に飽和し、更なる振幅の増大は困難になる。一方、衝撃波の発生を抑制する方法として、我々の研究グループでは、ヘルムホルツ共鳴器列を管の軸方向に沿って接続し、分散性を利用することが有効であることを示してきた。本研究では、ループ管全体に渡り、ヘルムホルツ共鳴器を管軸方向に等間隔に接続することにより(図1)、圧力波形の不連続が消え、滑らかなパルス状の波形が現れることを明らかにした。更に、共鳴器の接続間隔を短くした場合、発生したパルス波の波形が音響孤立波の理論波形と良く一致すること(図2)、伝播速度についても理論値と良く一致することを示した。これらより、発生したパルス波が音響孤立波であることを明らかにした。この様に、熱をエネルギー源とする「熱音響孤立波」が自律的に発生し、管内を途絶えることなく周回し続けることを実験により明らかにした。

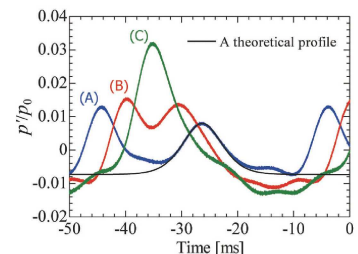


図2. 共鳴器列の接続により発生した熱音響孤立波と理論値の比較(Shimizu et al., 2016)

今後の展望

これまで、共鳴器列の分散性に着目することにより、熱音響孤立波の発生や定在波型熱音響自励振動の増幅ができることを示してきた。しかしながら、本来、ヘルムホルツ共鳴器は、その固有振動に近い振動を強く減衰させる目的で用いられる。そこで、今後はこの減衰効果にも着目して自励振動の増幅を図る。まずは、両端が閉じた半波長管内に発生する定在波において、2次高調波の周波数に近い固有振動数をもつヘルムホルツ共鳴器を管中央付近の周方向に局所的に接続し、2次高調波の顕著な抑制によりエネルギーカスケードを抑制し、エネルギーカスケードを根本から断ち切ることにより、自励振動を増幅できることを明らかにする。一方、工学的な応用が期待される“熱して冷やす”熱音響冷凍機では、ループ管内で発生する進行波型熱音響自励振動を利用することから、進行波型熱音響自励振動についても、共鳴器を応用することで自励振動の増幅ができることを明らかにする。これまでのところ、共鳴器をループ管の対称な位置へ局所的に接続することにより、自励振動の増幅が可能であることが分かってきた。今後は、ループ管を構成する曲管の曲率に着目し、自励振動の増幅だけではなく、進行波成分の増大も可能であることを明らかにする。

所属学会

一般社団法人 日本流体力学会会員 (2005年～現在まで)
一般社団法人 日本物理学会会員 (2006年～現在まで)
一般社団法人 日本機械学会会員 (2007年～現在まで)

主要論文・著書

Dai Shimizu and Nobumasa Sugimoto
Journal of Applied Physics, **120** (2016) 144901 1-6.

Dai Shimizu and Nobumasa Sugimoto
Journal of the Physical Society of Japan, **83** (2014) 034403 1-9.

Dai Shimizu and Nobumasa Sugimoto
Journal of Applied Physics, **107** (2010) 034910 1-11.

Dai Shimizu and Nobumasa Sugimoto
Journal of the Physical Society of Japan, **78** (2009) 094401 1-6.