

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560195

研究課題名(和文)熱尖端流の駆動原理に基づく常圧コンプレッサーの試作

研究課題名(英文)Trial manufacture of normal pressure compressor driven by the thermal edge flow

研究代表者

片岡 武(Kataoka, Takeshi)

神戸大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：20273758

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：Knudsenコンプレッサーと呼ばれる希薄気体中の熱尖端流を利用した空気圧縮機を、常圧の空気に適用することを目的とした研究を行った。これは初めての試みであるが、流体力学的には流れの相似性から、系を小さくすることにより同じメカニズムで流れが生じるはずである。これを実験的に確認することを試したが、困難を極めることが明らかとなった。実際に熱尖端流が誘起されるには100Pa程度の希薄度が必要であった。

研究成果の概要(英文)：We investigated application of Knudsen compressor, which is a kind of air compressor operated by the thermal edge flow in a rarefied gas, to operation in normal pressure. This is the first trial in the world. Theoretically it can be achieved from similarity of flow conditions between the system in a rarefied gas and that in a normal pressure. According to our experiments, however, such a thermal edge flow was induced only when the pressure is smaller than 100Pa and realization of normal pressure Knudsen compressor seems to be difficult.

Specifically, we investigated in the first year the basic property of thermal edge flow using a simple slender tube. As the radius of tube becomes smaller, the flow was induced in the larger pressure environment. In the second year, we devised a kind of simple compressor using many tubes. However, the thermal edge flow was induced in this system only when the pressure is smaller than 100Pa. In the last year we tried to modify the system as a whole.

研究分野：流体工学

キーワード：希薄気体 熱尖端流 圧縮機

1. 研究開始当初の背景

本研究対象となる熱尖端流を応用した Knudsen コンプレッサーは、数十パスカル程度の希薄気体において、その有効性が確認されている。その際系のスケールは cm のオーダーであり制作も容易である。この気流発生のメカニズムを、常圧の空気に対して適用し、常圧の空気の圧縮あるいは排気を行う装置の基礎的な研究を行う。これまで熱尖端流を常圧の空気に適用した例はなく、初めての試みである。

熱尖端流に関する過去の研究では、特に BKW 方程式の差分計算及び直接シミュレーション法 (DSMC 法) を用いた、平板端近傍に誘起される希薄気体流れの数値シミュレーションにより、流速場や温度場に及ぼす影響が調べられている。一方、実験的には、熱した平板の先端近傍に配置したウインドミルの回転の様子を観測することによって、熱尖端流の強さ(速さ)が調べられている。しかし、この熱尖端流を常圧に適用することについて実験的に調べた研究は、これまでないのが現状である

2. 研究の目的

Knudsen コンプレッサーと呼ばれる希薄気体中の熱尖端流を利用した空気圧縮機を、常圧の空気に適用することを目的とする。これは初めての試みであるが、流体力学的には流れの相似性から、系を小さくすることにより同じメカニズムで流れが生じるはずであり、これを実験的に確認することと、試作機作成によって、常圧で行う際の問題点などを検討する。

3. 研究の方法

常圧下で、希薄気体効果である熱尖端流を生じさせるためには、系のスケール、具体的には管路の直径を、分子の自由行程の程度すなわち μm のオーダーにする必要がある。こうした細管を多数並列にまとめたユニットと、それらを直列に配置し、ユニットの両端に温度差を付ける装置を開発する。ユニットの数および温度差を変化させ、高圧、低圧側でどの程度の圧力比を達成できるかを確認する。また圧縮の効率も計算し、一般のコンプレッサーおよび真空排気装置との比較を行う。さらに改良の方向について数値シミュレーションにより考察し、その知見を装置に適用して性能向上をはかる。数値シミュレーション手法としては、分子気体力学とアナロジーのある運動学的方程式を用いた手法を、独自に開発する。その手法の有効性を確認したうえで、上記装置の性能や問題点等を明らかにしていく。

4. 研究成果

(1) まずは希薄気体中の熱平板上に誘起される流れ場を調べるための実験を行った

(Fig.1 参照).

圧力依存性を調べた実験結果を Fig.2 に示す。縦軸はウインドミルの回転数 (rpm) を、横軸はヒーター先端部からウインドミルまでの水平距離 (mm) を表している。図より、ヒーターの両端部付近において熱尖端流が発生していることがわかる。また、15Pa の低圧なケースにおいてより強い熱尖端流が誘起されており、尖端流のヒーター中心部に向かっての到達距離も低圧なケースのほうが長かった。

次に、温度依存性を調べた。ヒーター温度の高いケースにおいて強い熱尖端流が誘起されるが、尖端流の中心部への到達距離は温度によらずほぼ 20mm 前後と一定であった。上記結果より、熱尖端流はヒーター面から遠ざかる方向の流れを伴うと予測される。

そこでヒーター面から 3mm および 6mm 離れたウインドミルの回転を調べた。すると、先端部から水平距離 3mm の位置では回転せず、6mm の位置では回転した。これは、熱尖端流はヒーター面から遠ざかる方向の流れも有意に存在することを示している。

以上により、熱平板上に誘起される熱尖端流は平板に沿った流れだけでなく、平板から離れる方向の流れも有意に存在することが分かった。

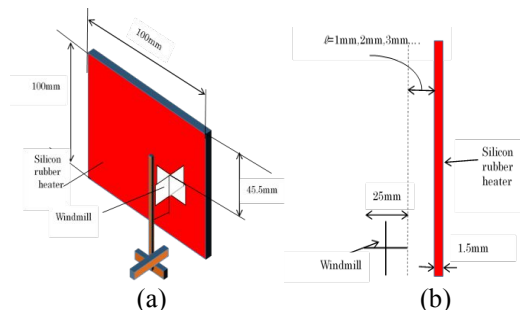


Fig.1 Experimental apparatus: (a) bird's-eye view (b) top view.

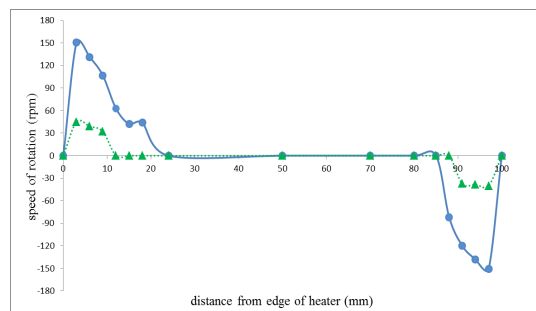


Fig.2 The speed of rotation of windmill versus distance from the edge of heater for $T=80$ when $P=15\text{Pa}$ (— ○ —) and 25Pa (--- △ ---).

(2) 次に、効率の良いクヌッセンポンプの形状を導くため、熱尖端流の加熱物体形状への依存性を実験的に調べた (Fig.3 参照)。

銅平板および銅管の温度が 100 における

ウインドミルと圧力との関係を Fig.4 に示す .
 いずれの物体形状においても圧力が低いほど回転数は高いが、同じ圧力に対して銅管が常に銅板の場合よりも高い回転数となっている . また , Fig.5 には圧力 11Pa に固定したときの回転数と物体温度の関係を示す . この図からも、同じ温度に対して、常に銅管が銅平板の場合よりも高い回転数の流れを発生させていることがわかる .

この要因を探るため空間的な温度分布を調べた . 温度分布の結果より、平板では平板間の温度が平板の温度より常に低いが、円管では内部の温度が円管の温度より高くなった . このため尖端付近に大きな温度勾配が現れ、強い熱尖端流が発生したと考えられる .

以上により、物体の温度を同一にしたときに発生する熱尖端流の強さは、尖端部を持つ物体の形状によって変化することがわかった . 平板ではそれを重ね合わせた場合でも、発生する熱尖端流の強さは同様であるが、円管ではより強い熱先端流が生じる .

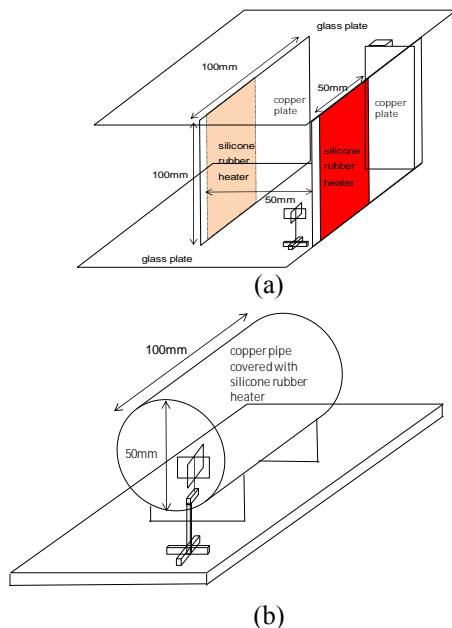


Fig.3 Two types of heat systems.

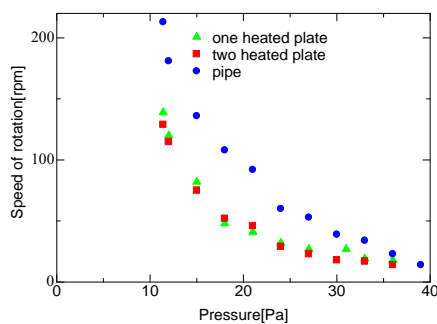


Fig.4 The speed of rotation[rpm] vs the temperature[] for the pipe or plate temperature 100 .

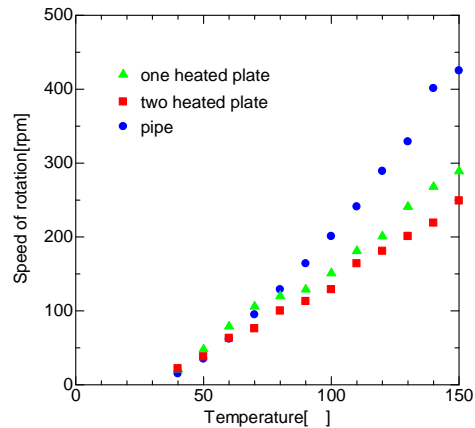


Fig.5 The speed of rotation[rpm] vs the temperature[] of the pipe or plate for the gas pressure 11Pa.

(3) 自由分子型運動学的方程式に基づく気体流れシミュレーションスキームを開発した . 自由分子型運動学的スキームにより鈍頭物体まわりの超音速流れを安定に計算でき、離脱衝撃波を解像度良く捉えられることを確認した (Fig.6 参照) . 自由分子型運動学的方程式を基にしたスキームが、熱尖端流のような尖端を過ぎる流れに対しても適応可能であることが期待される .

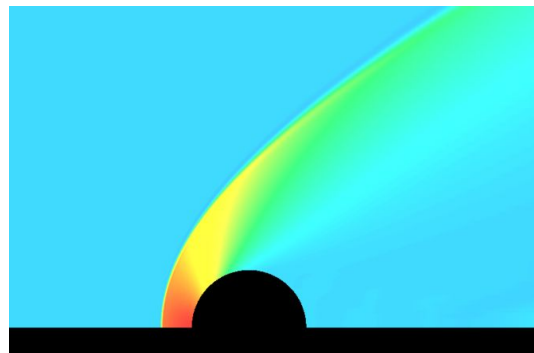


Fig.6 Pressure distribution around a cylinder calculated by the free-molecule-type kinetic scheme.

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 1 件)

T. Hanada and T. Kataoka,

Numerical simulation of two-dimensional supersonic flows using the free-molecule-type kinetic scheme

Theoretical and Applied Mechanics 2015, accepted.

[学会発表] (計 1 件)

花田卓弥, 片岡 武,

自由分子型運動学的スキームによる鈍頭物体まわりの超音速流れシミュレーション,

第 63 回理論応用力学講演会，2014.9.26，
東京工業大学（東京都）

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
とくになし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

片岡 武（KATAOKA Takeshi）
神戸大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：20273758

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし