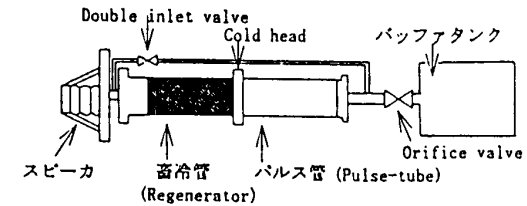


研究概要報告書

資料 - 8

(1/1)

研究題名	熱音響振動の発生条件と小型冷凍機および発電機への応用を旨とした基礎研究	報告書作成者	矢崎太一
研究従事者	矢崎太一		
研究目的	<p>熱音響現象とは音波（波動）による熱輸送現象および熱による音波（波動現象）の発生を意味する。研究の主な目的はこの現象を利用して低質量の小型冷凍機（および発電機）を製作するための基礎研究である。特に我々は現在注目されている右図のような冷凍機を熱音響の概念で実験的に明らかにすることから始めた。</p> <p>この冷凍機はパルス管冷凍機と呼ばれており、等温的な部分と断熱的な部分からなるシリンダーとバッファタンクをオリフィスバルブで連結し内部の気体を大振幅で振動させると室温から50 Kを簡単に生成できる冷凍機である。単純で将来有望な冷凍機である。</p> <p>我々はこの冷凍機を（熱音響）波動冷凍機として位置づけ、パルス管内の作業流体の動的挙動を光計測により直接観測し、その実験結果を通してこの冷凍機を理解することにした。</p> <p>管壁に取り付けた圧力センサーとレーザードップラー流速系を用いてパルス管の軸に沿った圧力と局所的な速度（音響変数）の間の位相の空間変化を調べることから始めた。さらに冷凍機内の流れ（音響流）が作る大域的な構造についても光計測を通じて調べた。</p>		



様式 - 9

研究内容

パルス管冷凍機

駆動部分はスピーカーに置き換えた。周波数は20Hz程度 ($\omega\tau \sim 75$ ω と τ はそれぞれ角周波数および熱緩和時間)である。作業気体は空気である。圧力振幅等の音響変数が小さいため各種エネルギー流速が小さく顕著な温度変化はもちろん生じない。しかし我々の目的である冷凍機内部の作業流体のダイナミクスを知るには十分である(実際の大振幅での実験は現在進行中である)。

速度測定

非接触で測定したいためパルス管の部分ガラス管に置き換え、測定にはレーザードップラー流速計(LDV)²⁾を用いた。アルゴンイオンレーザー(100mW)の二波長を用いた2カラー4ビーム方式(Fringe mode)で2次元を測定できる。空間分解能は $dm=0.25mm$ である。それぞれ片方のビームは周波数シフター(ブラグセル)を経て流れの方向が判断できるようになっている。散乱粒子にはタバコの煙($0.1\mu m-10\mu m$)を用いた。流れへの追従性については共鳴管を用いて確認した。前方散乱で受光したドップラー信号はトラッカータイプの信号処理器で F/V (周波数-電圧)変換された。さらに12bitでA/D変換され圧力と共に速度の時系列がコンピュータで解析された。同時測定されたそれらの時系列(16384x2 points)からそれぞれのpower spectrumおよびphasespectrumを計算した。

音響流の可視化

パルス管内部の流体の大域的構造は可視化の方法を用いた。アルゴンイオンレーザー(0.1Watt)光を円筒型凹凸レンズを用いてシート状にしパルス管の側面から照射しパルス管の中心付近の流体の流れを可視化した(図2参考)。結果はビデオカメラおよびステイルカメラで撮影しコンピュータで画像解析した。

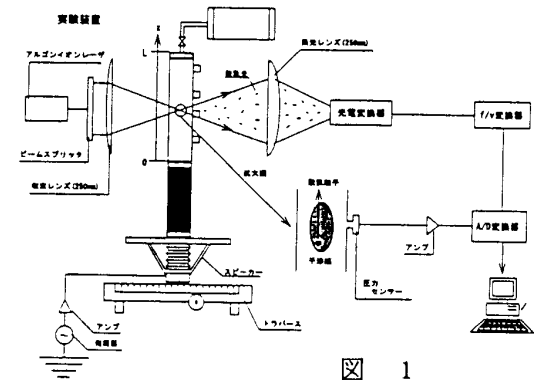
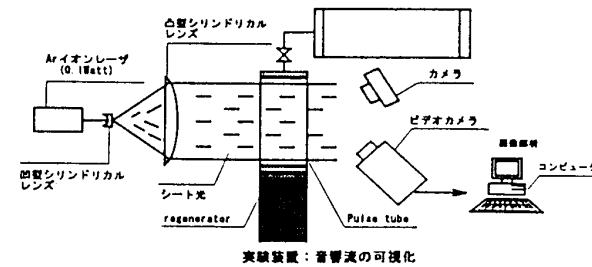


図 1



実験装置：音響流の可視化

図 2

(1/1)

実験結果

実験結果の一部を図3に示す。速度の時系列を再整理して得られた変位 ξ と圧力との間のリサージュ図形の空間変化を示す (L はパルス管の長さ x は低温部からの距離を示す)。Basic type は2つのバルブがともに閉じている状態, Orifice type は DIV バルブが閉じている状態および Double inlet type は2つのバルブが共に適当に開いている状態である。それぞれ特徴的な位相差の空間分布を示す。特にこれらのタイプは $x/L=1$ における位相差 (θ) により分類が可能である。Basic型では $\theta=0$ ($\xi=0$), Orifice型では $\theta=90$ 度 および Double inlet 型では $\theta > 90$ 度である。Basic 型ではパルス管の至るところで同位相 (定在波的) に近く, それぞれのバルブを開けていくと共に圧力と変位との位相は 90 度に近づく。両バルブは "Phase shifter" としての役割をはたすことが実験的に示されたことになる。バルブを開けていくと共にパルス管内での音波が定在波から進行波に近づいていくことを意味している。パルス管冷凍機は進行波による熱輸送が重要な役割を果たす冷凍機であることが理解できる。このようにLDVを用いた流速測定から波動冷凍機としての側面を捉えることができた。以上の小振幅での結果は熱音響理論を支持するものでもある。

音響流の観測

しかしながら波動がゆえにまた冷凍機内部の作業流体の示す現象は多様である。駆動振幅を大きくしたらどの様な非線形現象が観測されるだろうか? 図4は 10 Hz の駆動振幅のもとで観測された Basic および Orifice型 での音響流の空間的構造を示す。流体の振動流に伴い定常流 (Acoustic streaming) が発生していることが分かる。パルス管内では音響流のつくる流れの構造は非常に複雑である。現在の観測では流れは準周期運動からカオス (乱流) へと変化することが分かっている。熱音響振動系ではカオスはよく観測される。実際の冷凍機内でのこのような定常流の存在とその不安定性は冷凍機自身の安定性にとって深刻な問題になるかもしれない。大振幅でのパルス管内の流れは音響流の発生に伴いさらに複雑であろう。音響流のこのような長周期現象をレーザーのシート光を用いて可視化し流れの大域的構造を捉えることに成功した。

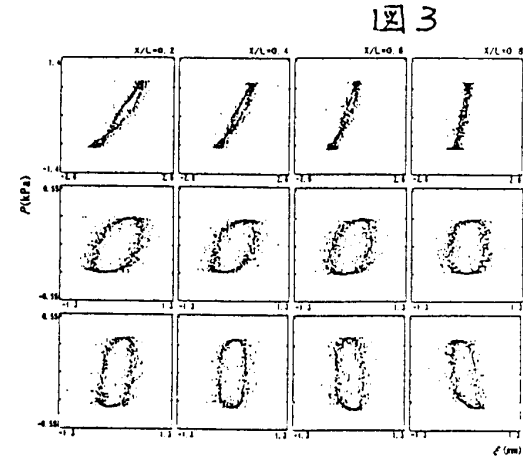


図4



(注: フローチャート図, ブロック図, 構成図, 写真, データ表, グラフ等 研究内容の補足説明に御使用下さい)