

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 15 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2013

課題番号：25630390

研究課題名(和文) 干渉流れの精密制御が可能な能動同期対向式衝撃波管の開発

研究課題名(英文) Development of actively-controlled counter driver shock tube capable of precise flow control

研究代表者

佐宗 章弘 (SASOH, Akihiro)

名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40215752

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、能動同期が可能な駆動部を両端に持ち、それぞれ独立に条件を設定できる衝撃波管を開発した。性能評価の指針として、(1)実効隔膜破断時間および衝撃波生成距離、(2)圧力損失および衝撃波背後状態の一様性、(3)隔膜破断時間のジッターの3点を比較したが、駆動部としてエアシリンダーを用いた方式がこの条件を満たすことを実験で確認し、これを採用した。装置の有用性を示すため、衝撃波と乱流の干渉実験を行った。

研究成果の概要(英文)：We have developed a shock tube with two counter drivers the condition to each of which can be set independently. From three criteria, (1) the effective diaphragm rupture time and associated shock wave formation distance, (2) pressure loss and flow uniformity, and (3) temporal jitter in the diaphragm rupture control were adopted to evaluate the driver performance. As the result, the device using a pneumatic cylinder was employed, thereby demonstration experiments including those for shock wave-turbulence interaction were conducted.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・航空宇宙工学

キーワード：衝撃波 衝撃波管 衝撃波 - 乱流干渉

### 1. 研究開始当初の背景

衝撃波管は、圧縮性流体力学実験研究の基盤となる装置であり、垂直衝撃波が平面を保ち安定に伝播する性質を活用して、衝撃波の反射をはじめとする流体力学実験や化学反応速度の計測等に使われてきた。この装置において、試験部管端からの反射衝撃波と入射衝撃波背後の流れの干渉を測定すれば、垂直衝撃波と接触面、渦などとの干渉を調べることができる。しかし、透過性のない固体壁である管端での反射では、反射衝撃波の条件を独立に変えることができないため、パラメトリックスタディには大きな制約がある。Andreopoulosら(“Shock wave turbulence Interactions,” J. Fluid Mech. 32:309-345, 2000)は、衝撃波管内で入射衝撃波を透過性をもつ多孔質壁で反射させることにより、反射衝撃波の条件を独立に設定できる手法を開発した。しかし、この方法では、反射衝撃波は透過性のない固体壁での反射よりも弱いものしか作り出すことができず、反射衝撃波の強さの制御も多孔質板の枚数通りしか自由度がない。例えば、10m/s 程度の比較的低い流速による格子乱流と衝撃波マッハ数 2 以上の強い衝撃波の干渉を調べることはできない。このような制約を取り払い、衝撃波と対抗する流れの条件を完全に独立に制御するためには、衝撃波管の両端に駆動部を配し、能動同期して作動させることが必要である。これは原理的には極めて単純であるが、衝撃波形成距離が短く、m (メートル) オーダーで流れの一樣性が保たれ、同期ジッターを低く抑えることを同時に実現することは、技術的に極めて難しく、成功報告が公表された例が見当たらない。

### 2. 研究の目的

本研究は、2つの対向する流れの干渉を実験的に調べることを可能にするため、能動同期が可能な駆動部を両端に持ち、それぞれ独立に条件を設定できる衝撃波管を開発することを目的とする。

### 3. 研究の方法

能開発する衝撃波管原理を図1に示す。能動破断装置、以外は、既存の装置であり、本研究ではこの開発が主眼であった。

#### 1. 隔膜破断装置の設計・製作

既存の衝撃波管(駆動部内径 62mm、長さ 3m、試験部断面(正方形) 62mm × 62mm、長さ 3m(断面積変換部を含む))の隔膜破断部(現在は手押しの針によってセロファン膜を破断している)に設置すべく、3通りの能動破断装置を各1台設計・製作した。隔膜には、これまで同様、セロファンを使用した。動的同期が可能な駆動部として、渦電流方

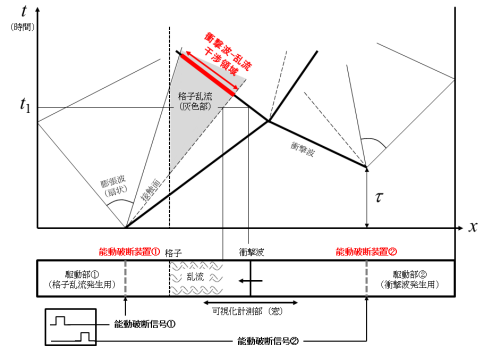


図1 対向式衝撃波管の波動線図

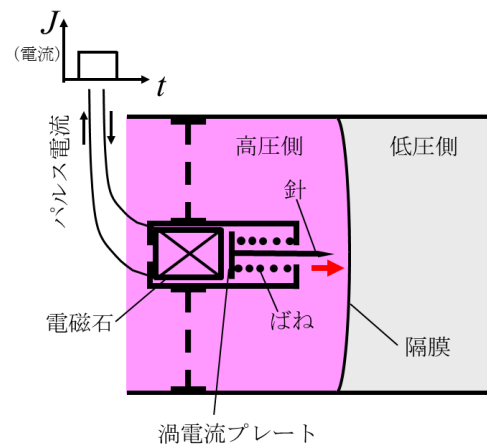


図2 渦電流駆動方式

式、エアシリンダー方式、二重隔膜方式の3通りの方式の装置を試作し、性能評価実験を行った。実験は、既存の衝撃波管を延長し新たに駆動部を設けることによって実施した。

#### 渦電流駆動方式(図2)

衝撃波管内の高圧側に、隔膜破断用針を駆動する装置を設置するは、ばねで押さえられているが、電磁石にパルス電流を流すことによって電磁誘導により「渦電流プレート」に渦電流が発生、電磁石に対する反発力によって針を駆動する

#### エアシリンダー方式(図3)

既製品のエアシリンダーを用いて針を駆動する圧側の圧力を上げる際、シリンダー内部と圧力が等しくなるように配管で結合し、エアシリンダー外圧による外筒の収縮を避け、摺動に問題が無いようにする動時は、電磁三方弁を駆動し、駆動気体室(高圧側よりも高圧)に接続して針を動かす

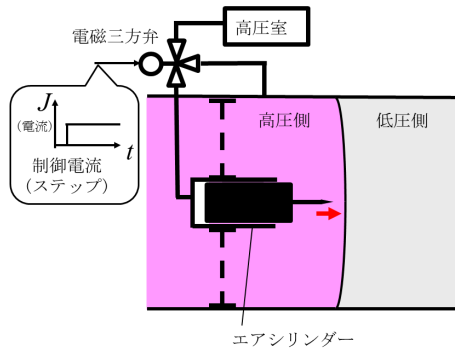


図3 エアシリンダー方式

二重隔膜方式 (図4)

高压側と低压側の間に、「中圧室」を設ける。駆動気体ポンベの気体を高压側に充填する際、図の右側の手動弁を操作して、中圧室の圧力を中間の圧力に調整する。手動弁を閉めた後、電磁弁を操作して中圧室の気体を副室(中圧室より低压)に導くと、高压側 中圧室間の圧力差が破断限界を超え、左側の隔膜が破断。次に、右側の隔膜の圧力差が破断圧力を超えて、破断する。

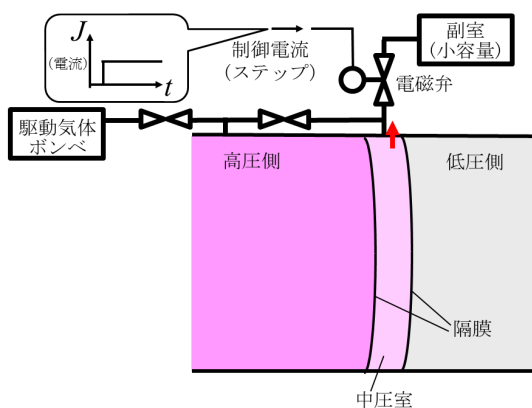


図4 二重隔膜方式

以上の3方式を試し、性能比較したのち、最も相応しい装置をもう一組揃えて、対向衝撃波管の作動実験を行う。

4. 研究成果

性能評価の指針として、(1)実効隔膜破断時間および衝撃波生成距離、(2)圧力損失および衝撃波背後状態の一樣性、(3)隔膜破断時間のジッターの3点を比較した。方式 1は、最も遅延時間が短かくジッターも小さかったが、流路断面積の40%を占めてしまい圧力損失を招くため小型装置には不向きであること、1kA のパルス電流を供給するため長期的な安全確保と電気ノイズの除去対策が必要で

あることにより不採用とした。方式 2は、1枚のセロファン膜を破断するのに必要な圧力差が80kPaにも達し、衝撃波管の作動条件に大きな制約を与えるために不採用とした。これらに対して方式 3では、(1)~(3)の評価量に対して十分な性能を与えることが実証されたため、これを採用した。これに基づいて当該衝撃波管の両端にエアシリンダー駆動隔膜破断装置(図5)を装備し、対向式衝撃波管の開発に成功した。

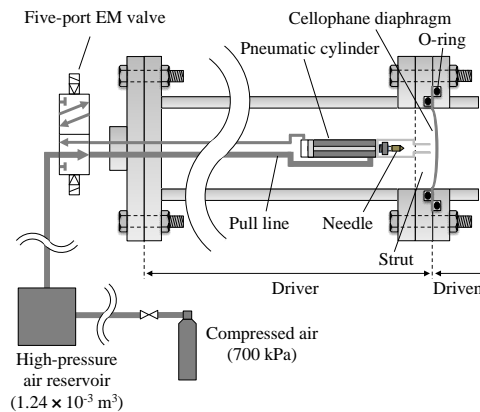


図5 エアシリンダー方式駆動部の詳細図

装置の有用性を示すため、デモンストレーション実験を行った。実験システムを図6に示す。左側の駆動部が乱流など右向きの流れ

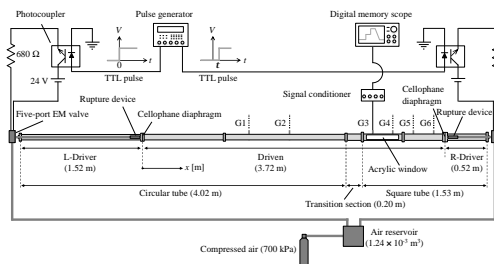


図6 実験システム

を作る駆動部、左側の駆動部がその流れと対向する向きに伝播し干渉する衝撃波の駆動となっている。

図7、8に作動デモンストレーション実験結果の一例を示す。図7は波動線図である。左駆動部の作動後、約7msの遅延を経て右駆動部を作動させ、試験部にて対向衝撃波の干渉を圧力変換器によって観測した。図8にG3(図7)の位置で測定された圧力履歴を示す。A3、B3における圧力変化は、それぞれ左駆動部による衝撃波、右駆動部による衝撃波が前者と干渉したあとに透過した衝撃波の通過に対応する。C3から始まる圧力低下は右駆動部管端で反射した膨張波によるものである。

図9には、左駆動部が発生する流れを格子

を用いて乱流化し、衝撃波と格子乱流の干渉実験を行った例を示す。

以上に示したように、本研究ではエアシリンダーを用いた隔膜能動破断装置を用いた対向衝撃波管を開発し、その作動実験によって有用性を実証した。

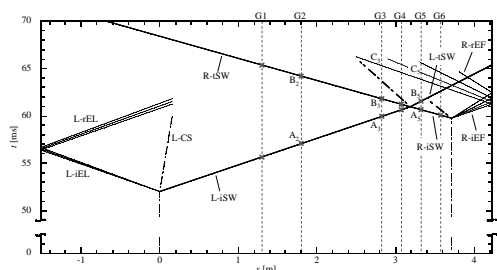


図7 対向する衝撃波の干渉実験における波動線図

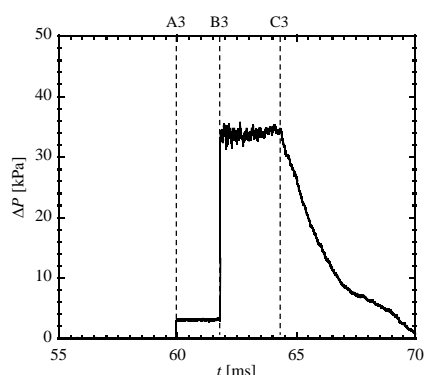


図8 図7の実験においてG3の位置で測定された圧力履歴

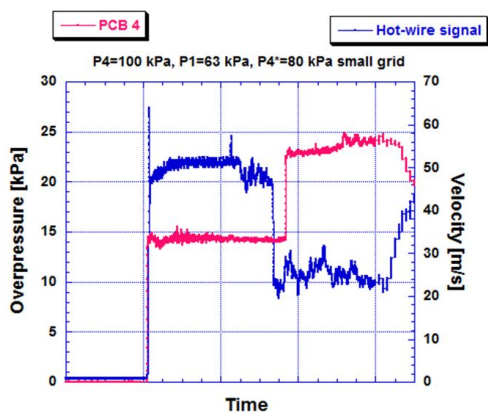


図9 衝撃波 格子乱流干渉実験における圧力履歴の例

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

研究期間が1年であり、まだ採択には至っていないが、下記論文を投稿中である。

T. Tamba, A. Sasoh, T. M. Nguyen, K. Takeya, and T. Harasaki, "Counter-Driver Shock Tube," submitted to Review of Scientific Instruments.

〔学会発表〕(計3件)

丹波高裕、原崎辰耶、Nguyen Manh Tuan、竹矢憲司、大須賀健、豊田篤、佐宗章弘、衝撃波-流れ場干渉実験のための対向式衝撃波管の開発、平成25年度衝撃波シンポジウム、青山学院大学相模原キャンパス、神奈川、3月5日-3月7日、2014。  
丹波高裕、原崎辰耶、Nguyen Manh Tuan、竹矢憲司、大須賀健、豊田篤、佐宗章弘、対向式衝撃波管の開発、第11回日本流体力学会中部支部講演会、名古屋大学、名古屋、12月16日、2013。

丹波高裕、衝撃波干渉実験のため能動制御対向式衝撃波管の開発、航空宇宙流体科学サマースクール、かんぼの宿一閑、岩手、8月5日-8月7日、2013。

〔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:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

なし

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

佐宗 章弘 (SASOH, Akihiro)

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号: 40215752

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし