C02 急拡大空間を有するパルス管エンジンの基本特性

Basic Characteristics of a Pulse Tube Engine with a Sudden Expansion Space

○藤井 俊輔(明星大・院), 正 濱口 和洋(明星大), 矢崎 太一(愛教大)
Shunsuke FUJII, Kazuhiro HAMAGUCHI, Meisei University, Hodokubo, Hino, Tokyo
Taichi YAZAKI, Aichi University of Education, Hiroosawa, Igaya-cho, Kariya, Aichi

The pulse tube engine consists of one piston in one cylinder, cooler with orifice, pulse tube, heater and gas damper with stacked wire gauzes. The pulse tube has the work source in this engine. The gas damper has the function breaking the thermodynamic symmetry. For this research, the engine replaced a gas damper with a sudden expansion tube is proposed. A simple prototype engine, using air at normal atmospheric pressure as the working gas, was fabricated. Effects of expansion tube shape on the engine performance were examined experimentally. The effect of sudden expansion tube was confirmed.

Key words: thermoacoustic engine, gas damper, sudden expansion space, shaft power

1. 緒 言

著者らの提案したパルス管エンジン⁽¹⁾は、1シリンダ1ピストン、オリフィスの機能も有するクーラ、パルス管、ヒータ、そして積層金網を挿入したガスダンパにより構成され、1ピストンにより出力を取り出すことができる。ガスダンパは、熱力学的な対称性を破る役割を果たすと考えられ、同様の役割を担う一つの方法としてパルス管と断面径の大きく異なる拡大管の利用も考えられている⁽²⁾。本報では、従来のガスダンパ型と拡大空間型の両モデルエンジンを製作し、実験的に両エンジン性能の比較を行うとともに拡大空間寸法のエンジン性能への影響を検討する。

2. 実験エンジン及び実験方法

従来のガスダンパ型パルス管エンジンの構成を図1(a)、そして図1(a)のガスダンパを拡大管に置き換えた拡大空間型パルス管エンジンを図1(b)に示す。両エンジンとも、ヒータ部には伝熱促進のため20メッシュのステンレス鋼金網積層体を挿入している。外部からの加熱にはシースヒータを用い、ヒータ部の熱漏えいを防ぐため断熱材で覆う。その加熱量は30W一定である。クーラ部はオリフィスも兼ね、冷却方法は自然空冷である。ピストン直径は $\phi 15\text{mm}$ 、ストロークは43mm、そして作動ガスには大気圧空気を使用する。熱力学的な非対称状態を創り出すガスダンパ部は50メッシュのステンレス鋼金網積層体である。また、拡大空間部は直径 $D=\phi 28\text{mm}$, $\phi 37\text{mm}$, $\phi 46\text{mm}$ の円管を選び、その長さ L は、直径 D により異なるが10~60mmとする。本エンジンの性能計測システムを図2に示す。

軸出力の測定には直流電気動力計方式を採用する。出力

(a) Pulse tube engine with gas damper
(b) Pulse tube engine with sudden expansion space
Fig.1 Pulse tube engine

軸には小型直流モータを取り付け、そのモータに負荷を与えた結果生じる反力を電子上天秤により測定し、同時に測定する回転数を用いて軸出力に換算する。作動ガス温度は、ガスダンパ端もしくは拡大空間端、ヒータとクーラ内部の3箇所をK型熱電対、そして外部熱源温度もK型熱電対により測定する。作動ガス圧力はガスダンパ端もしくは拡大空間端、オリフィス内部の2箇所を半導体圧力センサにより測定し、直流増幅器及びデータロガーを介してPCに取り込む。それと同時にクランク角も出力軸に取り付けたエンコーダにより取り込み、データ処理に用いる。

Fig.2 Experimental apparatus

3. 実験結果

3.1 ガスダンパ型エンジンの性能特性

図3にガスダンパ型エンジンにおいて最も高い軸出力78mW(442rpm)の得られたP-V線図を示す。このときのヒータ空間温度は260℃、クーラ空間温度は35℃である。図4にガスダンパ型エンジンの性能曲線を示す。同図より、図示出力は回転数の増加に伴い増加しているが、軸出力は450rpm付近までは回転数の増加に伴い増加するものの、それ以降は減少している。これは回転数の増加に伴う作動ガスの流動抵抗並びに機械損失の増加が原因と考えられ

Fig.3 P-V diagram of pulse tube engine with gas damper(450rpm)

Fig.4 Performance of pulse tube engine with gas damper

る。ガスダンパ端とオリフィスで得られた最高圧力時のクランク角度の差（位相角）は、最高軸出力時に最も大きく9.2degある。

3.2 拡大空間型エンジンの性能特性

拡大空間型エンジンでは、実験結果の評価にあたり、拡大空間型の断面積比AR及び容積比VRを用いる。断面積比AR及び容積比VRは次式により定義する。

$$AR = \left(\frac{D}{d}\right)^2 \quad (1)$$

$$VR = \frac{V_E}{V_s} \quad (2)$$

ここで、Dは拡大空間直径、dはパルス管直径、 V_E は拡大空間部容積、 V_s はピストンの行程容積である。なお、本実験で使用した急拡大管の各断面積Dにおける断面積比AR及び各断面径において設定した長さLにおける容積比VRを表1に示す。

Table 1 Dimensions of sectional area ratio and volume ratio

$\phi D(\text{mm})$	AR	L(mm)	VR
28	4	10~60	2.42~4.85
37	7	20~35	2.82~4.95
46	10.4	12.5~30	2.7~6.47

図5に、拡大空間型エンジンにおいて最も高い軸出力38.1mW(350rpm)の得られたP-V線図を示す。このときのヒータ空間温度は250℃、クーラ空間温度は35℃である。その拡大空間は、断面積比AR=4、容積比VR=3.72を有している。同図と図3を比較すると、拡大空間型はガスダンパ型に比べ、圧力振幅、膨らみともに小さいことがわかる。図6に図5と同一の拡大空間寸法を有する拡大空間型エンジンの性能曲線を示す。図示出力は、回転数の増加に伴い増加している。これに対して、軸出力は350rpm付近までは増加しているが、それ以降は減少している。これも流動抵抗並びに機械損失の影響と考えられる。なお、最高軸出力時の位相角は6.5degである。図6と図4を比較すると、拡大空間型はガスダンパ型に比べ、回転領域が狭く、最高軸出力は約50%程度であった。これは、容積比VRがエンジン性能に影響している。容積比VRはガスダンパ型が1.1、拡大空間型が3.72であり、拡大空間型はガスダンパ型に比べ3倍以上である。両空間は、無効容積にもなることから、位相角への影響よりも圧力振幅、ひいてはエンジン性能に大きく影響を及ぼしたと考えられる。また、最高軸出力時の位相角も拡大空間型はガスダンパ型に比べ約3deg低い。

図7に断面積比をAR=4, 7, 10.4と一定にした場合の容積比VRの各最高軸出力への影響を示す。同図より、各断面積比ARにおける最高軸出力は、容積比VR=3.7付近まで増加するが、それ以降は減少している。これは無効容積が大きく影響していると考えられる。なお、各断面積比ARの最

高軸出力は、容積比VR=3.7付近において得られていることから、拡大空間部の断面積比ARの影響は少ないものと思われる。これは、拡大空間形状のエンジン性能への影響は、断面積比よりは容積比すなわち拡大空間容積が、大きく影響していることを示す。

Fig.5 P-V diagram of pulse tube engine with sudden expansion space(350rpm)

Fig.6 Performance of pulse tube engine with sudden expansion space

Fig.7 Effect of sectional area ratio and volume ratio on shaft power

4. 結 言

積層金網を用いるガスダンパに対して単なる拡大空間のみのパルス管エンジンの基本特性を実験的に調べるとともに両者を比較した結果、以下のことがわかった。

- (1) 拡大空間型エンジンの動作が確認できたが、その軸出力はガスダンパ型エンジンの約50%であった。これは、無効容積にもなる拡大空間容積が大きく影響している。
- (2) 拡大空間型エンジンの性能は、その断面径よりも空間容積に大きく影響される。

文 献

- (1) Hamaguchi, K., Futagi, H., Yazaki, T. and Hiratsuka, Y., "Measurement of Work Generation and Improvement in Performance of a Pulse Tube Engine", Journal of Power and Energy Systems, JSME, Vol.2, No.5(2008), pp1267-1275.
- (2) 吉田隆昌, 矢崎太一, 濱口和洋, 琵琶哲志, パルス管エンジンにおける仕事流束密度測定, 低温工学, Vol47, No.1, (2012), pp52-57.