

KTJ 物理学実験の教材作成: 圧気発火器 (Fire Piston) による断熱圧縮と膨張

舟田 敏雄^{*1} 大脇 雅信^{*2} 大庭 勝久^{*3}

Update of Experiment Materials of Physics in KTJ08 Course: Adiabatic Compression and Expansion of Air Due to Fire Piston

Toshio FUNADA^{*1} Masanobu OWAKI^{*2} and Katsuhisa OHBA^{*3}

Abstract: One of physics experiments in KTJ08 course of INTEC (International Education College) is assigned to a fire piston, which makes adiabatic compression as a representative firing mechanism in Diesel engine and was originated by ancient people lived in South East Asia including Malaysia. This firing can be seen in experiments well by compressing air volume to about 1/10. The fire piston can work as expansion mechanism to make cloud by adiabatic expansion. This fire piston is used in physics experiment in KTJ08 course, and the result is reported here.

Keywords: Fire Piston, Adiabatic Compression and Expansion, Physics Experiment in KTJ08 Course

1 はじめに

火を操ることは古代から人類の課題であった。ボルネオやビルマなど東南アジアの一部地域では、ファイアピストン (Fire piston) と呼ばれる装置を用いて火を起こすことも行われていた (Fig.1^[1])。文献^[2]によると、この装置は、木や動物の角等で造られており、一端が閉じた中空のシリンダーとその内径にぴったりと合うピストン (プランジャー) から構成される。この器具の存在は、19世紀にローレンス・ヴァン・デル・ポストによってヨーロッパに報告された。原理的には断熱圧縮と呼ばれる原理を応用したもので、ヨーロッパに先行してディーゼルエンジンの点火方式と同じ原理を利用している。

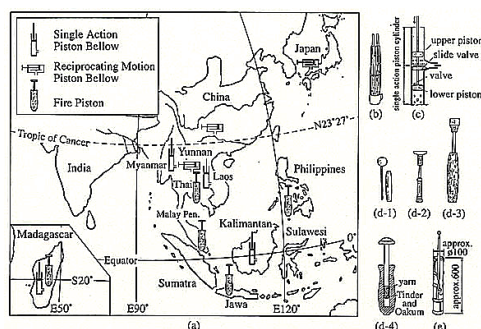


Fig.1 ファイアピストン (Fire piston) の東南アジア一帯 (熱帯雨林の地域) の分布図^[1]。

ファイアピストンは、そのようにマレーシアを含む東南アジア一帯を起源としており (Fig.1^[1])、熱力学的に有

^{*1} 沼津高専 名誉教授: Professor emeritus. 現在は、国際教育カレッジ (INTEC) 高専予備教育コース (KTJ): KTJ, DPT, International Education College, UiTM Section 17 Campus, 40200, Shah Alam, Selangor, Malaysia.

^{*2} 国際教育カレッジ (INTEC) 高専予備教育コース (KTJ): KTJ, DPT, International Education College, UiTM Section 17 Campus, 40200, Shah Alam, Selangor, Malaysia.

^{*3} 電子制御工学科: Department of Electronic Control System Engineering.

意義な実験であるので、KTJ08の物理学実験に相応しいテーマである。よって、KTJ08の物理学実験のNo.5は「S4 (2) Fire Piston (圧気発火装置による断熱発火試験と断熱膨張試験)」とし、実験の準備が進められた。

物理^[3]p.115の「実験13断熱変化」には「断熱圧縮」と「断熱膨張」が紹介されている。断熱圧縮による発火 (Fig.2) では、肉厚のガラス管の底に綿くずを少量入れ、ピストンを急激に押し込む。このとき、断熱圧縮によって管内の空気の温度が極めて高くなり、綿くずが燃える様子を確認することができる。



Fig.2 断熱圧縮による発火^[3]



Fig.3 断熱膨張による水蒸気の凝縮^[3]

断熱膨張による水蒸気の凝縮 (Fig.3)^[3]では、少量の線香の煙を入れ、内側に水滴を付けたフラスコと、太い注射器をガスホースで結び、注射器のピストンを急激に引く。断熱膨張により空気の温度が下がり、水蒸気が凝縮する (雲の発生の原理)。

Fig.4の上側には、著者の一人 (大脇) が購入してあった装置で、KTJ07の授業で実演した「圧気発火器 (島津理化製) (物差の下が保護用のパイプ、シリンダー、押し手付

きピストン, ゴム底) を示す. これは内径が 9 mm でシリンダー長が 0.28 m あり, 圧縮率が高く取れ, 綿の発火が起り易い. **Fig.4** の下側には, 数年前に著者の一人 (大脇) がオランダスリの展示会で購入した「圧気発火器 (マレーシア産)」(木製のシリンダー, 木製のピストン, 発火用の木くず入れ) を示す. この木製の圧気発火器寸法から, 内径が 8 mm で圧縮率は 7-10 程度と推定できる. ピストンの先端付近に溝があり, 水で濡らした木製リングでシリンダーの気密を保つよう工夫されている.



Fig.4 圧気発火器 (島津理化製, 上側) と圧気発火器 (オランダスリによるマレーシア産, 下側).



Fig.5 圧気発火器 (東南アジア産)^[2].



Fig.6 圧気発火器 (登山用の発火器)^[2].

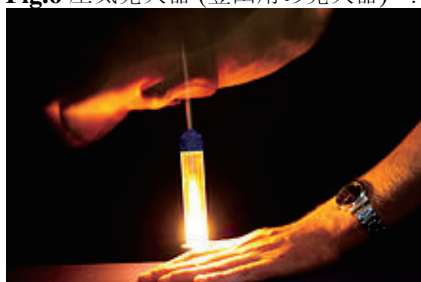


Fig.7 圧気発火器による断熱発火^[2].

ほかの圧気発火器を **Fig.5, Fig.6** に, 断熱発火の様子を **Fig.7** に示す.

2 圧気発火器の断熱圧縮による発火実験

■[目的] 圧気発火器 (**Fig.8**) を用いて断熱圧縮による発火現象を観察・測定し, 理想気体の断熱圧縮変化の理論と比較する. 断熱膨張による水蒸気発生 (凝縮) 現象を観察・測定し, 理想気体の断熱膨張変化の理論と比較する.



Fig.8 圧気発火器^[4].

■[基礎理論] 理想気体 (空気) の断熱圧縮変化では, シリンダー内の理想気体が室内空気の状態 (p_1, V_1, T_1, S_1) から断熱圧縮して $(p_2, V_2, T_2, S_2 = S_1)$ の状態に変化するとき, 理想気体の状態方程式 $pV = nRT$ と熱力学の第一法則によって, $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} = \text{constant}$ が成立つ. 変化後の理想気体 (空気) の体積が $V_2 = V_1/m$ に圧縮されるとき, $T_2 = T_1 V_1^{\gamma-1} / V_2^{\gamma-1} = T_1 m^{\gamma-1}$ となる. つまり, 空気 ($\gamma = 1.4$) が常温 $T_1 = 15^\circ\text{C} = 288 \text{ K}$ から体積比が $1/m$ (例えば, $m = 10$) に縮むとき, $T_2 = T_1 m^{\gamma-1} = 288 \times 10^{0.4} = 723.423 \text{ K}$ という高温を得る. この温度で綿くずや紙屑 (ティッシュペーパー片) は発火する. これが断熱圧縮による発火である.

空気 ($\gamma = 1.4$) が常温 $T_1 = 15^\circ\text{C} = 288 \text{ K}$ から体積比が m (例えば, $m = 10$) に膨張するとき, $T_2 = T_1 m^{-(\gamma-1)} = 288 \times 10^{-0.4} = 114.655 \text{ K} = -158.345^\circ\text{C}$ という低温を得る. それ故, 空気中の水蒸気が露点以下になると凝縮して, 水滴 (霧, 水蒸気) ができる.

■[準備] 圧気発火器 (島津理化製)^[4], 物差, ノギス, ストップウォッチ, video 撮影カメラ (各グループで 1 台)

■[手順 1] (1) 室内空気の状態 (大気圧 p_1 , 実験室の温度 T_1) を測る.

(2) 圧気発火器のシリンダー内部の半径 r_1 [m] と深さ h_0 [m] を測り, シリンダー内部の空気の体積 $V_0 = \pi r_1^2 h_0$ [m³] を求める.

(3) シリンダー内部にピストンを少しだけ挿入し, ピストン下端からシリンダー底部までの深さ h_1 [m] を測り, シ

リンダー内の空気の体積 $V_1 = \pi r_1^2 h_1 [\text{m}^3]$ を求める。

(4) 片手で圧気発火器を支え、他方の手でピストンの押し手(ノブ)を急激に押して、シリンダー内の空気を断熱圧縮させる。それを video 撮影し、発火を確認し、圧縮に要した時間 t_2 、ピストンの最下点の時の位置からシリンダー底部までの深さ $h_2 [\text{m}]$ を読み取る。ゆっくりと圧縮すると(時間 t_2 が大きいと)発火しないことがある。

(5) 断熱圧縮後のシリンダー内の空気の体積 $V_2 = \pi r_1^2 h_2 [\text{m}^3]$ を求めると、 $m = V_1/V_2 = h_1/h_2$ を得る。

(6) 断熱圧縮後の空気の温度 $T_2 = T_1 m^{\gamma-1} [\text{K}]$ を求める。

(7) シリンダー内の空気を入れ替えてから、実験(3)-(6)を繰り返す(5回程度)。初めのピストンの位置を換えて実験する。

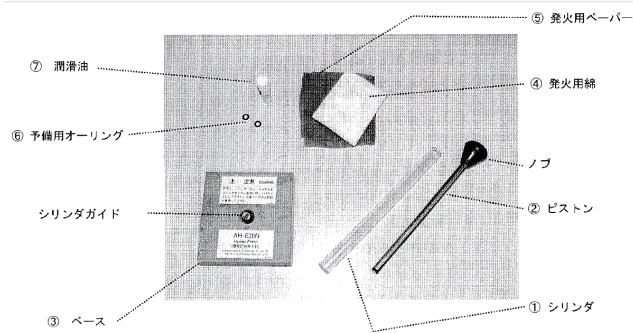


Fig.9 圧気発火器の構成品 [4].

ベースを硬い水平面上に置き、シリンダーガイドの窪みに少量の発火綿をセットする。シリンダーをシリンダーガイドに垂直に装着する。ピストンを 2 cm 以上シリンダーに挿入する。発火綿の箇所がよく見えるようにして、片手でシリンダー上部を支え、他方の手でピストンを急激に押し下げる。ピストンの最下点の位置を測定する。発火後にシリンダーを外す。

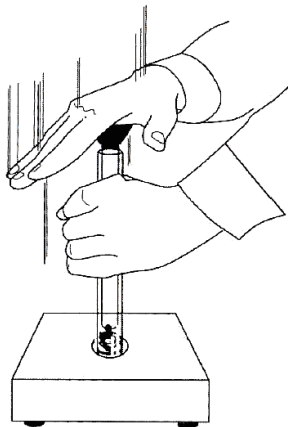


Fig.10 断熱圧縮による発火 [4].

[注意] 急激にピストンの押し手を押すとき、怪我をしないよう、注意する。

■[手順 2] (1) 室内空気の条件(大気圧 p_1 、実験室の温度 T_1)を測る。

(2) 圧気発火器のシリンダー内部の半径 $r_1 [\text{m}]$ と深さ $h_0 [\text{m}]$ を測り、シリンダー内部の体積 $V_0 = \pi r_1^2 h_0 [\text{m}^3]$ を求める。

(3) シリンダー内部にピストンを深く挿入し、ピストン下端からシリンダー底部までの深さ $h_1 [\text{m}]$ を測り、シリンダー内の空気の体積 $V_1 = \pi r_1^2 h_1 [\text{m}^3]$ を求める。

(4) 片手で圧気発火器を支え、他方の手でピストンの押し手を急激に引いて、シリンダー内の空気を断熱膨張させる。それを video 撮影し、水蒸気の発生を確認し、圧縮に要した時間 t_2 、ピストンの最下点の時の位置からシリンダー上部までの深さ $h_2 [\text{m}]$ を読み取る。

(5) 断熱膨張後のシリンダー内の空気の体積 $V_2 = \pi r_1^2 h_2 [\text{m}^3]$ を求めると、 $m = V_2/V_1 = h_2/h_1$ を得る。

(6) 断熱膨張後の空気の温度 $T_2 = T_1 m^{-(\gamma-1)} [\text{K}]$ を求める。

(7) シリンダー内の空気を入れ替えてから、実験(3)-(6)を繰り返す(5回程度)。初めの条件を変えて実験する。

■[結果] 測定値を次の表 (Table 1) にまとめる。

Table 1 測定データ表。

No.	V_1	T_1	V_2	m	T_2
1					
2					
3					
4					
5					

■[測定値と解析例] 圧気発火器のシリンダーの内径は $d = 2r_1 = 0.009 \text{ m}$ 、長さが $L_1 = 0.2 \text{ m}$ であり、シリンダーの体積 V_0 が求められる:

$$\{r_1 = 0.009/2, L_1 = 0.20, S_1 = \pi r_1^2, V_0 = S_1 L_1\} = \{0.0045, 0.2, 6.36173 \times 10^{-5}, 1.27235 \times 10^{-5}\} \quad (2.1)$$

シリンダー内の空気は、エアコンが効いている実験室内なので、標準状態と考える。

$$\{p_0 = 1, T_0 = 273.15 + 20, \gamma = 1.4\} = \{1, 293.15, 1.4\} \quad (2.2)$$

但し、 $p_0 = 1 \text{ atm} = 1013 \text{ hPa}$ である。

シリンダーにピストンを挿入し、ピストンを急激に押し下げたときの空気の体積 V_1 が $V_1 = V_0/5$ の場合のシリンダー内の空気温度を試算する:

$$V_1 = V_0/5 = 2.5447 \times 10^{-6} \quad (2.3)$$

$$p_1 = p_0 V_0^\gamma / V_1^\gamma = 9.51827 \quad (2.4)$$

$$T_1 = T_0 (p_1 V_1) / (p_0 V_0) = 558.056 \quad (2.5)$$

$$T_1 - 273.15 = 284.906 \quad (2.6)$$

次に、ピストンを急激に押し下げたときの空気の体積 V_1 が $V_1 = V_0/10$ の場合のシリンダー内の空気温度を試算する:

$$\{V_1 = V_0/10, p_1 = p_0 V_0^\gamma / V_1^\gamma, T_1 = T_0(p_1 V_1)/(p_0 V_0)\} \\ = \{1.2723 \times 10^{-6}, 25.1189, 736.36\}, \quad (2.7)$$

$$T_1 - 273.15 = 463.21 \quad (2.8)$$

次に、ピストンを急激に押し下げたときの空気の体積 V_1 が $V_1 = V_0/20$ の場合のシリンダー内の空気温度を試算する:

$$\{V_1 = V_0/20, p_1 = p_0 V_0^\gamma / V_1^\gamma, T_1 = T_0(p_1 V_1)/(p_0 V_0)\} \\ = \{6.3617 \times 10^{-7}, 66.2891, 971.632\} \quad (2.9)$$

$$T_1 - 273.15 = 698.482 \quad (2.10)$$

以上の試算例を参考に、測定したデータを用いて、シリンダー内の空気温度を試算し、発火綿また紙片の発火を確認する。実験を video 撮影し、断熱圧縮による発火の確認とピストンの最下点の位置の検出に用いた (Fig.11a)。発火直後の様子で、このあと火が一面に広がる。また、断熱膨張による水蒸気の発生の確認に用いた (Fig.11b)。

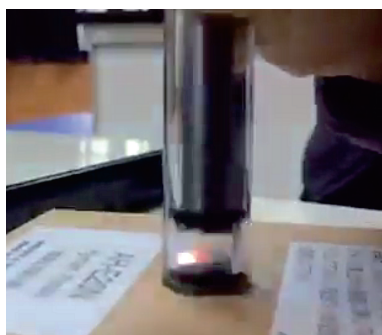


Fig.11a 断熱圧縮による発火 (かがやき第 1 班の video 映像)。

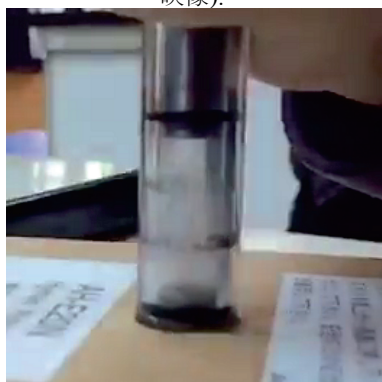


Fig.11b 断熱膨張による水蒸気の凝縮 (かがやき第 1 班の video 映像)。

Table 1 と [測定値と解析例] に沿って、測定値の処理書式を次のように取る: $\{h_1, V_1 = S_0 h_1, T_1 = T_0, h_2, V_2 = S_0 h_2, T_2 = T_1(h_1/h_2)^{\gamma-1}, T_3 = T_2 - 273.15\}$ 。これを次のように略記する: $\{h_1, V_1 \times 10^{-5}, T_1, h_2, V_2 \times 10^{-6}, T_2, T_3\}$ 等。この書式で、各実験班の測定値と計算値を Table

2a-Table 6b に示す。

Table 2a はやて No1 断熱圧縮 ($p_0 = 1 \text{ atm}$, $T_0 = 25^\circ\text{C}$, $r_1 = 4.5 \text{ mm}$, $h_0 = 0.198 \text{ m}$).

h_1	$V_1 \times 10^{-5}, T_1, h_2, V_2 \times 10^{-7}, T_2, T_3$
0.18	1.14511,298.15,0.014,8.90642,828.119,554.969
0.18	1.14511,298.15,0.01,6.36173,947.423,674.273
0.18	1.14511,298.15,0.01,6.36173,947.423,674.273
0.18	1.14511,298.15,0.013,8.27024,853.034,579.884
0.18	1.14511,298.15,0.012,7.63407,880.788,607.638

Table 2b はやて No1 断熱膨張

h_1	$V_1 \times 10^{-6}, T_1, h_2, V_2 \times 10^{-6}, T_2, T_3$
0.02	1.27235,298.15,0.085,5.40747,167.14,-106.01
0.02	1.27235,298.15,0.081,5.153,170.393,-102.757
0.02	1.27235,298.15,0.08,5.08938,171.242,-101.908
0.02	1.27235,298.15,0.085,5.40747,167.14,-106.01
0.02	1.27235,298.15,0.085,5.40747,167.14,-106.01

Table 3a はやて No4 断熱圧縮 ($p_0 = 1 \text{ atm}$, $T_0 = 25^\circ\text{C}$, $r_1 = 4.5 \text{ mm}$, $h_0 = 0.184 \text{ m}$).

h_1	$V_1 \times 10^{-5}, T_1, h_2, V_2 \times 10^{-6}, T_2, T_3$
0.175	1.1133,298.15,0.025,1.59043,649.343,376.193
0.175	1.1133,298.15,0.03,1.90852,603.673,330.523
0.175	1.1133,298.15,0.02,1.27235,709.967,436.817
0.175	1.1133,298.15,0.015,0.95426,796.551,523.401
0.175	1.1133,298.15,0.02,1.27235,709.967,436.817

Table 3b はやて No4 断熱膨張

h_1	$V_1 \times 10^{-6}, T_1, h_2, V_2 \times 10^{-6}, T_2, T_3$
0.02	1.27235,298.15,0.04,2.54469,225.955,-47.1946
0.02	1.27235,298.15,0.05,3.18086,206.661,-66.4889
0.02	1.27235,298.15,0.045,2.86278,215.557,-57.5932
0.02	1.27235,298.15,0.045,2.86278,215.557,-57.5932
0.02	1.27235,298.15,0.04,2.54469,225.955,-47.1946

Table 4a はやぶさ No4 断熱圧縮 ($p_0 = 1 \text{ atm}$, $T_0 = 25^\circ\text{C}$, $r_1 = 4.5 \text{ mm}$, $h_0 = 0.185 \text{ m}$).

h_1	$V_1 \times 10^{-6}, T_1, h_2, V_2 \times 10^{-7}, T_2, T_3$
0.15	9.54259,298.15,0.011,6.9979,847.841,574.691
0.135	8.58833,298.15,0.015,9.54259,718.012,444.862
0.135	8.58833,298.15,0.01,6.36173,844.439,571.289
0.15	9.54259,298.15,0.01,6.36173,880.788,607.638
0.15	9.54259,298.15,0.013,8.27024,793.038,519.888

Table 4b はやぶさ No4 断熱膨張

h_1	$V_1 \times 10^{-6}, T_1, h_2, V_2 \times 10^{-6}, T_2, T_3$
0.016	1.01788,298.15,0.055,3.49895,181.944,-91.206
0.016	1.01788,298.15,0.047,2.99001,193.751,-79.3991
0.016	1.01788,298.15,0.04,2.54469,206.661,-66.4889
0.016	1.01788,298.15,0.049,3.11725,190.548,-82.602
0.016	1.01788,298.15,0.04,2.54469,206.661,-66.4889

Table 5a かがやき No1 断熱圧縮 ($p_0 = 1 \text{ atm}$, $T_0 = 25^\circ\text{C}$, $r_1 = 4.505 \text{ mm}$, $h_0 = 0.178 \text{ m}$).

h_1	$V_1 \times 10^{-5}$, T_1 , h_2 , $V_2 \times 10^{-7}$, T_2 , T_3
0.173	1.10303, 298.15, 0.011, 7.01346, 897.628, 624.478
0.173	1.10303, 298.15, 0.01, 6.3759, 932.509, 659.359
0.173	1.10303, 298.15, 0.012, 7.65104, 866.923, 593.773
0.173	1.10303, 298.15, 0.01, 6.37587, 932.509, 659.359
0.173	1.10303, 298.15, 0.013, 8.28863, 839.607, 566.457

Table 5b かがやき No1 断熱膨張

h_1	$V_1 \times 10^{-7}$, T_1 , h_2 , $V_2 \times 10^{-6}$, T_2 , T_3
0.012	7.65104, 298.15, 0.112, 7.141, 122.017, -151.133
0.013	8.28863, 298.15, 0.117, 7.4598, 123.805, -149.345
0.014	8.92622, 298.15, 0.125, 7.9698, 124.2, -148.95
0.013	8.28863, 298.15, 0.125, 7.9698, 120.572, -152.578
0.011	7.01346, 298.15, 0.121, 7.7148, 114.256, -158.894

Table 6a つばさ No5 断熱圧縮 ($p_0 = 1 \text{ atm}$, $T_0 = 25^\circ\text{C}$, $r_1 = 4.5 \text{ mm}$, $h_0 = 0.189 \text{ m}$).

h_1	$V_1 \times 10^{-6}$, T_1 , h_2 , $V_2 \times 10^{-7}$, T_2 , T_3
0.139	8.8428, 298.15, 0.006, 3.81704, 1048.05, 774.896
0.139	8.8428, 298.15, 0.008, 5.08938, 934.124, 660.974
0.139	8.8428, 298.15, 0.008, 5.08938, 934.124, 660.974
0.139	8.8428, 298.15, 0.008, 5.08938, 934.124, 660.974
0.139	8.842, 298.15, 0.007, 4.45321, 985.375, 712.225

Table 6b つばさ No5 断熱膨張

h_1	$V_1 \times 10^{-6}$, T_1 , h_2 , $V_2 \times 10^{-6}$, T_2 , T_3
0.02	1.27235, 298.15, 0.07, 4.4532, 180.637, -92.5126
0.016	1.01788, 298.15, 0.065, 4.1351, 170.184, -102.966
0.018	1.14511, 298.15, 0.071, 4.5168, 172.203, -100.947
0.02	1.27235, 298.15, 0.075, 4.7713, 175.72, -97.4296
0.019	1.20873, 298.15, 0.072, 4.5804, 174.986, -98.164

■[考察] (1) $T_1 = 15^\circ\text{C} = 288 \text{ K}$ から体積が $1/m$ に縮むとき, $T_2 = T_1 m^{\gamma-1} [\text{K}]$ を作図すると, **Fig.12** を得る.

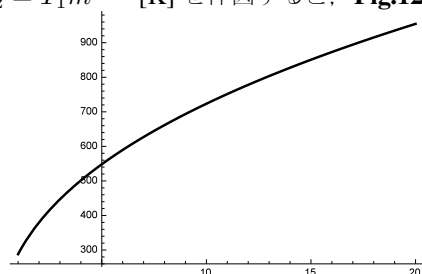
**Fig.12** $T_2 = T_1 m^{\gamma-1} [\text{K}]$ (縦軸) versus m (横軸). 断熱圧縮によるシリンダー内空気の温度上昇.

Fig.12 を用い, 燃え易い物質の発火点を調査する.

(2) 別の実験^[5]によれば, 脱脂綿や紙の通常の状態での発火点は 300°C 以下であるため, 発火する筈である. しかし, 実際には発火しない場合もあり, その原因には次

のようなことが考えられる.

(a) 熱の出入りの問題 (熱が逃げる), (b) 温度が上昇している時間の問題 (時間が短い), (c) 空気の湿度の問題 (湿っていると発火し難い), (d) 空気の熱量の問題 (空気の量が少ない). 発火を容易にするには, 脱脂綿や紙切れなどの量を少なくする. また, 摩擦をできる限り少なくし, 勢いよくピストンを動かしてすばやく圧縮することがあげられる.

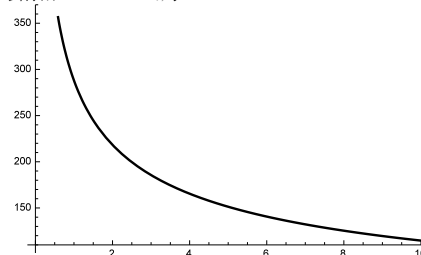
これらを参考に, 自分達の実験の問題点や課題を考察し, 報告する.

(3) 実験装置や実験方法の改良点を述べる.

(4) 断熱膨張による水蒸気の凝縮^[3] (**Fig.3**, **Fig.13**) について解析せよ.

(5) 文献^[1]を読み, 要点をまとめ, 感想を述べよ.

(6) **Fig.13** を用い, 断熱膨張による温度低下を考察する. 水蒸気の露点について調べる.

**Fig.13** $T_2 = T_1 m^{-(\gamma-1)} [\text{K}]$ (縦軸) versus m (横軸). 断熱膨張によるシリンダー内の空気の温度低下.

$m = 1.14151$ のとき $T_2 = 273.15 \text{ K} = 0^\circ\text{C}$ となる.

3 実験のまとめ

圧気発火器による断熱圧縮と膨張では, 圧気発火器のシリンダー中の初期の室内空気の体積から断熱圧縮時の体積の概算値から上昇温度が推定できる. 圧縮時にピストンの先端の位置を物差で読み取ることとしたが, 圧縮の様子を video 撮影し, 後でコマ送りで圧縮の様子 (ピストン先端の位置) を確認することとした. それによりピストン先端の位置の測定精度が上り, 圧縮率の測定精度が上り, 温度上昇が評価できた. 実験班毎に圧縮比 h_2/h_1 が異なるが, 概ね $h_2/h_1 \leq 1/10$ ならば可としている. つまり, 実験者のピストンを押す力の入れ方に因る差異があるので, 発火条件が多少異なる.

断熱膨張の実験では, 一旦圧縮してから膨張させると水蒸気の発生がよく見える. 一旦ピストンで空気を圧縮してから膨張させ, 空気の体積が数倍程度になると水蒸気の発生が観察できるので, $T_2 < 0^\circ\text{C}$ を判断基準としている. しかしながら, マレーシアの気候では通常露点以下にはならないので, 学生には断熱膨張の現象の説明をなかなか理解し難く, 実験して初めて水蒸気発生現象

を観察することとなった。

4 おわりに

断熱圧縮による発火の起源が東南アジアにあることは興味深く、KTJ の学生の関心が非常に高い。また、発火現象は非常に印象的で、インパクトが大きく、「熱力学」の物理学実験として成功である。しかしながら、高校物理では断熱変化の式 $pV^\gamma = \text{一定}$ は示されているが、その導出過程は解説されていない。同時に、全微分方程式等も示されておらず、数学的根拠が述べられていない。KTJ08 の教程では理想気体の状態変化を全微分を用いて表現し、断熱変化の式を導いて本実験の理論的根拠を示した。これにより、ディーゼルエンジンのサイクルの解析が可能になり、カルノーサイクルやオットーサイクルも学習範囲に入って来た。教科書の熱の学習内容が実験により確認されて、教育効果が非常に向上したと言える。今回初めて物理学実験に断熱圧縮/膨張を導入し、発火現象の video 撮影により、当初の想定を上回る成果が得られた。しかし、発火現象は観察できるが、空気の断熱圧縮時の温度は測定できず、今後の改善策が待たれる。同様に、断熱膨張による水蒸気の凝縮は観察できるが、その定量的測定方法は検討中である。

実験に先立ち、物理の授業の合間に発火現象を実演し、ピストンを押すコツを掴む経験をして、実験を効果的に進める工夫をした。特に、ピストンを押して空気の圧縮が進むと押し込む力に対する反発力が強くなり、発火のコツを掴むのに時間がかかる。

圧気発火器による断熱圧縮と膨張の調査として、「英文の文献^[1]を読み、日本語で感想等を書く」という課題を出した。文献^[1]を読むことはできるが、日本語で感想を

書く段で、KTJ08 の学生にとってかなりの時間を必要とした。教科書に倣って日本語を使うのとは異なり、自分で考えて日本語文章を書くのは未だタイヘンであることは実感できたと思われる。

初めての圧気発火器の実験が成功したことは、KTJ08 の学生の工夫と努力によるところが大きい。記して、謝意を表します。

INTEC からの圧気発火器の購入 (教材の輸入購入) にあたり、島津理化の宮岡 隼人 様、高田 健太 様には輸出手続きや INTEC への納入業者との対応等でご尽力頂いた。ここに記して、厚くお礼申し上げます。

参考文献

- [1] Masanori Ogata & Yorikazu Shimotsuna (October 20-21, 2002). "Origin of Diesel Engine is in Fire Piston of Mountainous People Lived in Southeast Asia". First International Conference on Business and Technology Transfer. Japan Society of Mechanical Engineers. Retrieved 2007-05-28. <http://www.jsme.or.jp/tsd/ICBTT/conference02/MasanoriOGATA.html>
- [2] Fire piston From Wikipedia, the free encyclopedia https://en.wikipedia.org/wiki/Fire_piston
- [3] 物理 (平成 24 年 3 月 15 日検定済), 数研出版, 平成 25 年 1 月 10 日発行.
- [4] 島津理化: “簡易圧気発火器 AH-E20N” http://www.shimadzu-rika.co.jp/kyoiku/butsuri/netsu/127_657.html
- [5] 柚木 朋也, 脇島 修: “圧気発火器の製作と利用” 大阪府教育センター http://www.osaka-c.ed.jp/sukoyaka/tyousa_kenkyu/H18/pdfs/07/0011.pdf