

スターリングサイクル性能実験装置

4732C

Stirling Motor

取扱説明書



参考写真

上記写真には、下記の別売りオプションが含まれています。

- ・ デジタルオシロスコープ (2CH) 型式 : 11454.93 (別売)
- ・ 可変抵抗器 330Ω 1.0A 形式 : 06116-02 (別売)
- ・ デジタルマルチメータ x2 形式 : 07129-00 (別売)

【 目 次 】

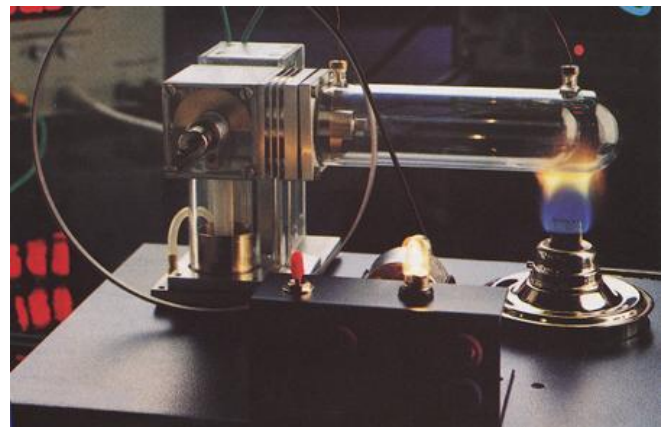
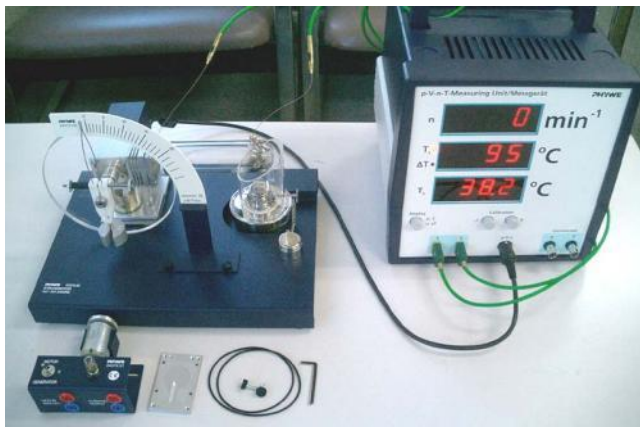
1. インTRODクシヨN	2
2. 構成部品	2
3. 装置の作動原理	3
4. 装置説明	4
5. 技術データ	12

1. イントロダクション

スターリングサイクルエンジン（エアークックエンジン）は熱エネルギーを機械エネルギーに変換します。

また動力を与えると、ヒートポンプや冷凍サイクルとして機能します。この為、熱工学の実演には非常に適した実験装置といえます。この実験装置では、スターリングエンジンで発生した動力をモータ発電機で電気エネルギーに変換し電球の点灯で消費したり、プロローニブレーキで負荷を掛け簡単なトルクメータを使ってトルクの測定が出来ます。

これと共に、エンジンの回転数や加熱部と冷却部の温度を表示したり、オシロスコープを使って指圧線図を表示させるための信号が出力できるようになっています。



※当装置はA C 230V仕様の為、付属のアップトランスを利用して使用します。

2. 構成部品

※ 各部品単体での購入も可能です。

・ガラス製スターリングサイクルエンジン	型式：04732.00
・モータ発電機ユニット	型式：04732.01
・トルクモーター（プロローニブレーキ）	型式：04732.02
・エンジン用チムニー	型式：04732.04
・pVn 用圧力センサ（指圧線図表示用）	型式：04731.00
・pVn 表示器（回転数、温度、圧力・容積信号出力）	型式：04731.97
・K 型熱電対（NiCr/Ni）× 2 個	型式：13615.01
・アップトランス（A C 100V → A V 230V）	形式：E-40
・デジタルオシロスコープ（2CH）	型式：11454.93（別売）
・可変抵抗器 330Ω 1.0A	形式：06116-02（別売）
・デジタルマルチメータ	形式：07129-00（別売）

3. 装置の作動原理

スターリングエンジンの作動原理の説明図を図 1 に示します。

主ピストンとディスプレーサピストンは 90°V 型配置になっています。メインピストンは金属製で、ガラス管内に精密に嵌合されています。またガラス製ディスプレーサピストンはスターリングエンジン運転で重要な熱交換機能を備えています。

つまりそこを通過する熱いガスを冷却し、そのエネルギーを蓄積し、戻ってきた冷えたガスにエネルギーを渡します。スターリングエンジンで発生した機械的エネルギーはモータ発電機で電気エネルギーに変換され電球を点灯します。また、そのモータ発電機に電気を加えることで、スターリングエンジンを機械的に駆動することもできます。(ヒートポンプ運転)

スターリングエンジンはトルクメータでトルク負荷を加えることができます。またトルクと回転数を測定すると発生した機械動力を計算することができます。

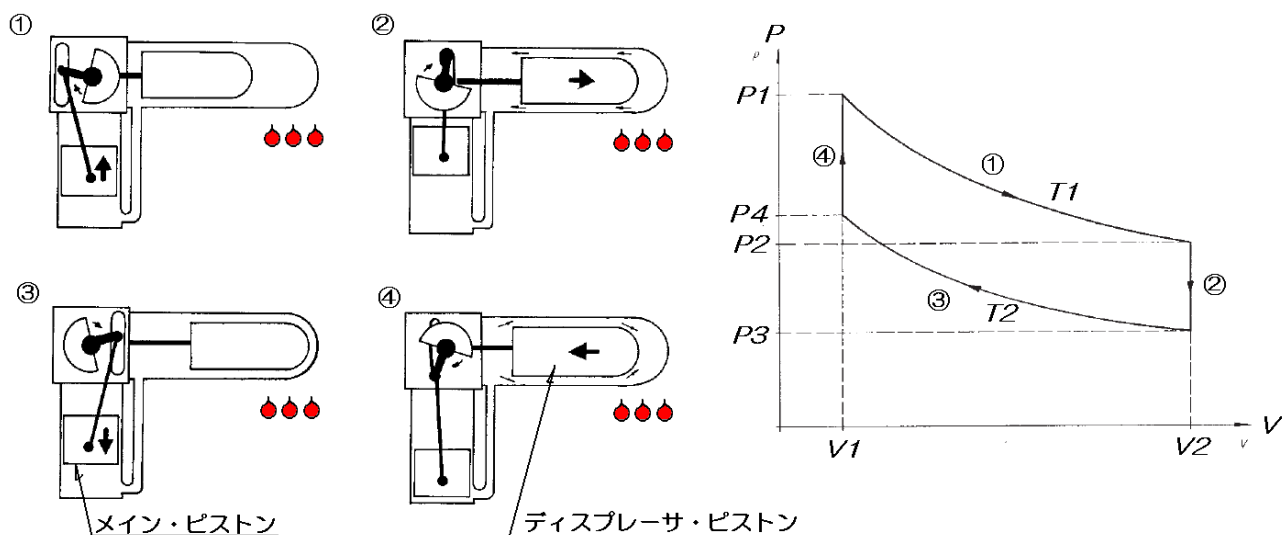


図 1

① 等温膨張行程、熱吸収、仕事発生	$V1 \rightarrow V2$	$P1 \rightarrow P2$	$T1 = \text{一定}$
② 等容熱放出行程、無仕事	$T1 \rightarrow T2$	$P2 \rightarrow P3$	$V2 = \text{一定}$
③ 等温圧縮行程、熱放出、仕事吸収	$V2 \rightarrow V1$	$P3 \rightarrow P4$	$T2 = \text{一定}$
④ 等容熱吸収、無仕事	$T2 \rightarrow T1$	$P4 \rightarrow P1$	$V1 = \text{一定}$

4. 装置説明

4. 1 スターリングエンジン (型式 : 04372.00)

寸法・重量 : 290Lx200Dx150Hmm 約 700g

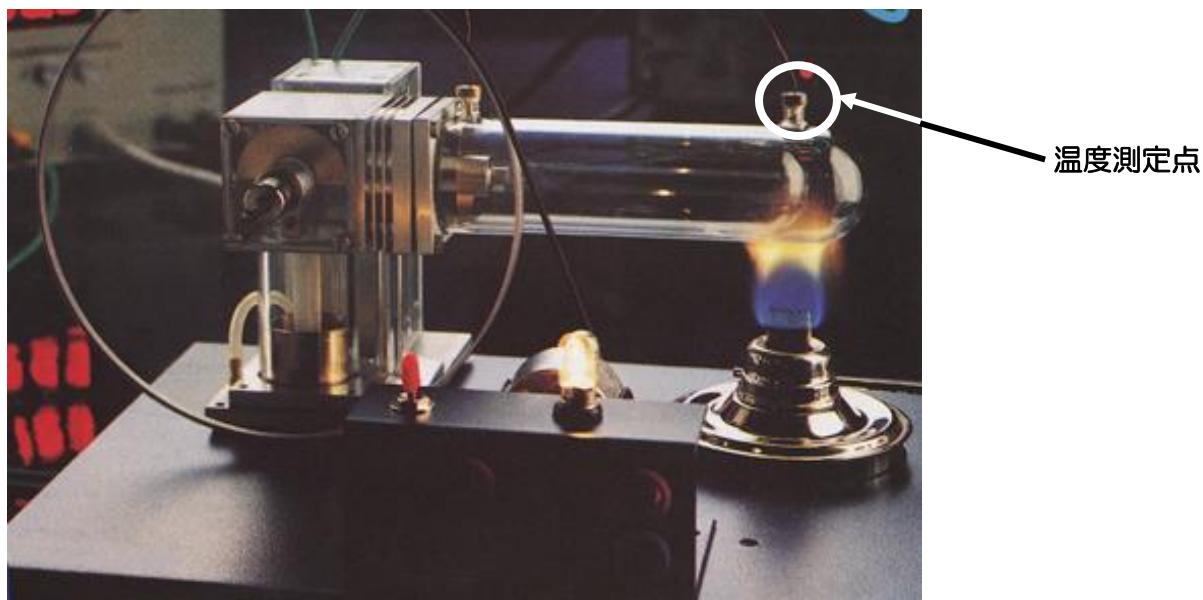
構成

エンジン本体	1
台座	1
アルコールランプ	1
六角レンチ	1
取り付けネジ	2

エンジン本体を台座上に設置し、裏側から取り付けネジ（2ヶ）でしっかりと固定します。

フライホイールは、通常取り付けたままとします。取り外す必要がある場合には（メンテ時等）付属の六角レンチを使います。再取付時にはフライホイールとエンジン本体間に若干の隙間ができるように固定します。こうすることで、運転時に軸の遊びが大きくなりすぎないように出来ます。

ディスプレイサ・シリンダ部に温度測定点が2か所あります。ここには 0.6mm の穴があいた金属製のスリーブが取り付けられており、専用の熱電対（型式 : 13615.01）を取り付けます。



4. 2 モータ発電ユニット (型式 : 04372.01)

構成

モータ発電機本体	1
ベルト	1 (φ150mm : 7542.11)
電球 (4V/40mA)	1

モータ発電ユニットは、スターリングエンジンとともに台座上に固定し、付属のベルトでエンジンのフライホイールと接続して使用します。直径の異なる 2 個のプーリが付いているため、伝達比の違いによりスターリングエンジンの動力と速度が及ぼす影響を明らかにすることができます。

スイッチを切り替えることにより、“GENERATOR”・“0”・“MOTOR”が選択できます。

“GENERATOR”では発電を行い電球が点灯します。2 個の出力ソケットは電球ソケットに並列に繋がれており、可変抵抗や任意の電気負荷などを接続できるようになっています。

“0”では無負荷になります。

“MOTOR”にし、DC12V を入力ソケットに加えるとモータとして使用できます。



4. 3 トルクメータ (型式 : 04372.02)

構成

ポインタ…… 1

スケール…… 1

ポインタの内側金属部分（インクリネーションウエイト付きプロニーブレーキ）はスターリングエンジンのフライホイールの手前側に六角レンチを用いてしっかり固定します。

スケールはモータ発電ユニットと同様に、スターリングエンジンの台座に付属のねじで固定します。

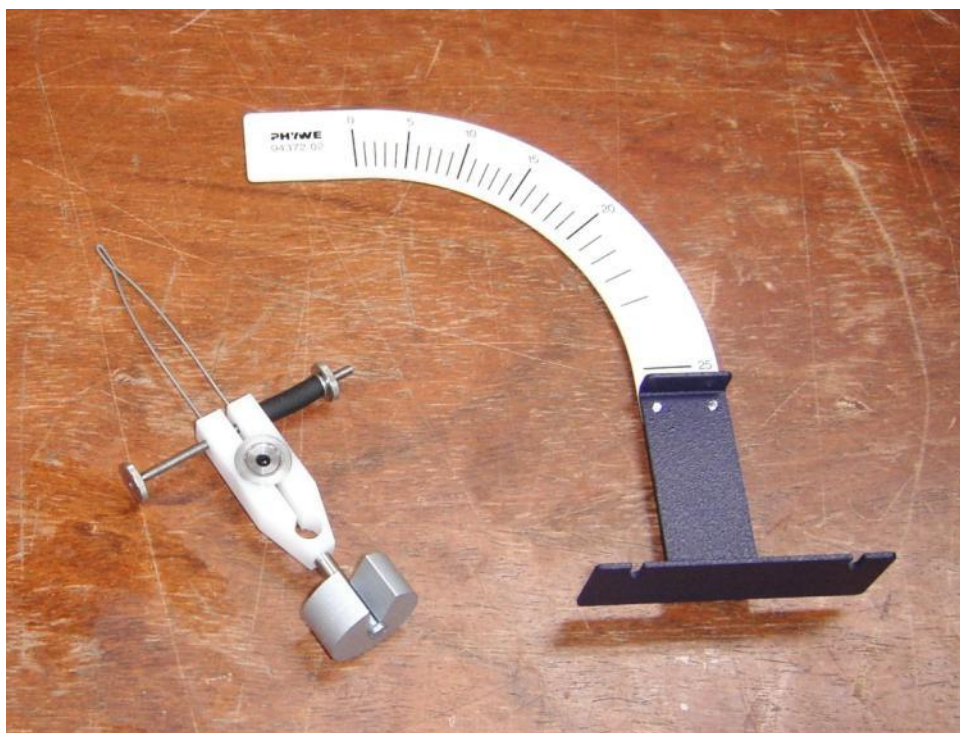
(モータ発電ユニットと同時に取付けることは出来ません)

金属部とポインタ間の摩擦はポインタの調節ねじで調節できます。

スターリングエンジン運転時、ポインタを注意深く軸に取付け、調節ねじを調節すると摩擦がゆっくりと増加し負荷が掛けられます。

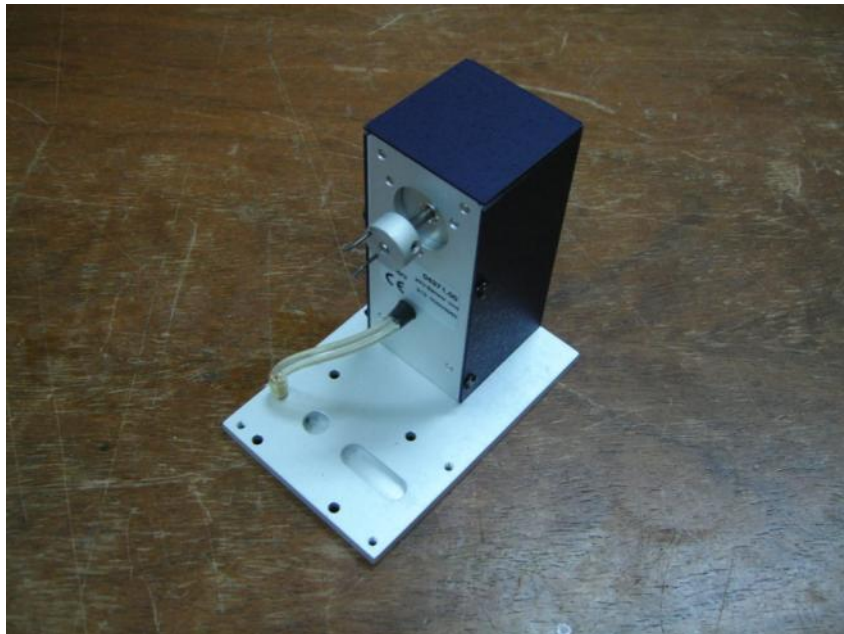
ただしエンジンが停止するほどに強くしてはなりません。

セットトルクはスケールに表示されます。



4.4 pVn 用圧力センサ (型式: 04371.00)

pVn 表示機に、圧力や容積、回転数を表示させるために、インクリメンタル・トランスミッタと圧力センサが組み込まれています。スターリングエンジンについているベースプレートを取り外し、pVn 用圧力センサ上にスターリングエンジンを固定し使用します。



圧力

温度補償付きの鋭敏なセンサがスターリングエンジンの圧力を連続的に測定します。

出力： アナログ電圧

容積と速度

主ピストンの状態をクランクシャフトに連結したインクリメンタルトランスミッタで測定します。

これによりスターリングエンジンの回転速度とシリンダ容積が計算できるようになります。

速度出力： 4桁のデジタル表示

容積出力： アナログ電圧

pV 曲線は 2 現象オシロスコープなどを用いると表示することができます。

【取り付け方】

最初に、インクリメンタル・トランスミッタのドッグを固定している六角ねじを緩め、ドッグをセンサ側いっぱいにはずしておきます。

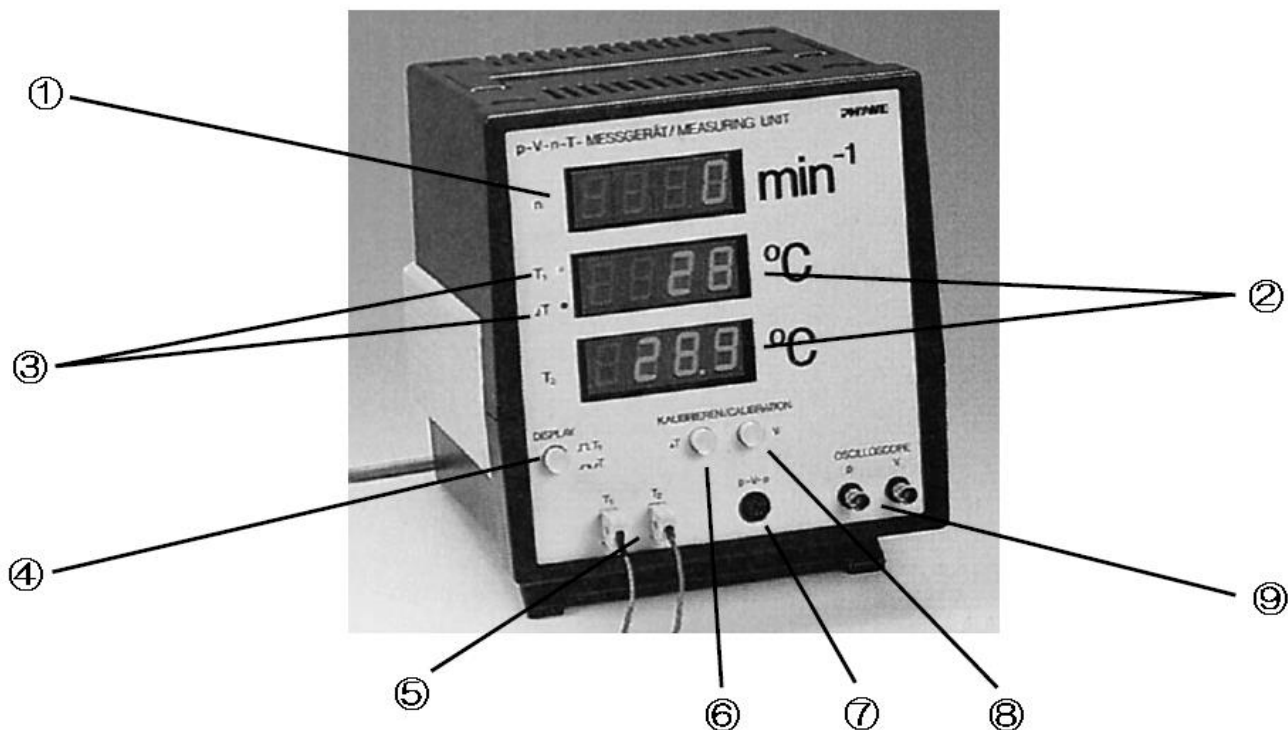
スターリングエンジンを青色の台座からはずして、スターリングエンジン底部に取り付けられているベースプレートを 4 本のねじを緩めて外し、pVn センサの台座上に固定します。この時、ガスケットを挟むのを忘れないでください。

インクリメンタル・トランスミッタのドッグをスターリングエンジンの軸に合わせ、しっかりと固定します。

4.5 pVn表示器 (04371.97)

寸法・重量：230Lx230Dx230H 約 3.5kg

【各部の名称】



1. 回転数表示機：スターリングエンジンの回転数を表示する。
2. 温度表示器：ガラス製シリンダの温度（ T_1 、 T_2 ）を表示する。
（上側の温度表示機は、 T_1 と T_2 の温度差を表示することもできる）
3. インジケータ・ランプ： T_1 の温度と、 T_1 と T_2 の温度差のどちらを表示しているのかを表す。
4. 温度表示切り替えスイッチ： T_1 温度表示と、 $T_1 - T_2$ 温度差表示の切り替えをする。
5. 温度センサ用入力端子： T_1 と T_2 を測定する温度センサを接続する。
6. 温度センサ較正ボタン： T_1 と T_2 のセンサ誤差を較正する際に使用する。
7. 8極 DIN 端子：pVn 用圧力センサからのケーブルを接続する。
8. ピストン位置リセットボタン：容積測定用のインクレメンタル・トランスミッタ信号の較正に使用する。
9. アナログ出力端子：圧力と容積の信号をアナログ信号として出力し、オシロスコープなどを使用して pv 曲線を表示するのに使用する。

【校正】

pVn 表示器は電源スイッチを入れるたびに、温度センサとインクリメンタル・トランスミッタの校正が必要になります。以下の作業を行わなければ温度も回転数も表示されません。

温度の校正

T 1とT 2を測定する温度センサ：NiCr/Ni 熱電対（0.1K）の相対的溫度測定精度は良好ですが、2本のセンサの絶対値に若干の差がでる可能性があります。そのためT 1 - T 2 温度差測定には校正が必要です。また、スターリングエンジンの現容積は主ピストンの位置、つまりインクリメンタル・トランスミッタを動かすクランクシャフトの角度から求められています。このために初期値をリセットする必要があります。

1. pVn 表示器の電源スイッチを ON にすると『CAL』と表示されます。
2. 2つの温度センサを同温にして（同じ水槽に入れたり、2つのセンサを片手で握ったりして）
⑥のボタンを押し、2つの温度センサの誤差を校正します。

※温度差表示を使用しないのであれば、任意の状態でも⑥のボタンを押して済ませてかまいません。

容積の校正

3. 温度センサの校正が済むと、回転数表示機に『op』と表示されます。
4. 主ピストンをスターリングエンジンの容積が最小になる位置（主ピストンの位置が最下端）にして⑧のボタンを押し、インクリメンタル・トランスミッタのリセットを行います。

※校正が不適切だと容積計算で偏差が生じ、p V 曲線がゆがんでしまいます。

温度センサとインクリメンタル・トランスミッタの信号の校正が完了すると、校正用のボタンは一切の操作を受け付けなくなります。再度校正をやりなおす場合には、いったん電源を入れなおして「1.」から操作しなおしてください。

圧力の校正

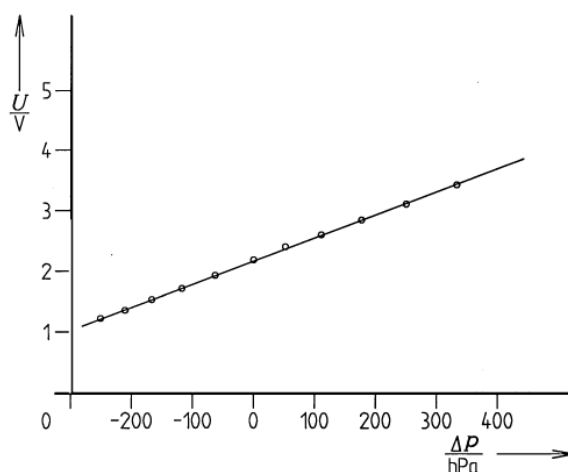
圧力センサは、大気圧 p_0 との差圧を計測します。

圧力は計測装置によって増幅されて電圧出力されますので、各種 pV 計測機器へ接続することができます。

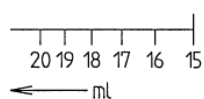
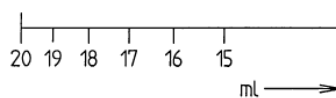
pV 計測機器へ接続する際は、出力電圧の調整を行わなければなりません。

1. 取付けプレート下部の細いチューブを取り外し、圧力センサを大気解放してください。
大気圧 p_0 時の出力電圧（V）を見つけてください。
2. ガス注射器等を用いて 20mL から 15mL の圧力を加え、1mL ごとに出力電圧を計測します。
この際、次頁グラフ（参考）のような直線が描かれなければなりません。
また、負圧範囲は、15mL から 20mL まで、1mL ごとに計測してください。
※チューブ部分の容積約 0.07mL を除いてください。

ゲイン	114
出力値	代表値 0.005V/hPa（最小値 0.003V/hPa）
p_0 の時（大気圧下）	代表値 2.5V（±2.8V）

圧力校正の参考例

compression from 20ml to...



expansion from 15ml to...

Calibration of the output voltage for pressure (measurement example), voltage U as function of the gauge pressure $\Delta p = p - p_0$.

4.6 アップトランス

表示機本体がA C 230 V仕様の為、日本国内ではA C 100 VをA C 230 Vへ昇圧させて使用します。



入力電圧 : A C 100 V 50/60 Hz

出力電圧 : A C 230 V 50/60 H z

最大出力容量 : 40 VA

4.9 デジタルオシロスコープ 型式：11454.93（別売）

50MHz, 2CH, 500 MS/s 8 インチ LCD ディスプレイ



参考写真

4.7 可変抵抗器（別売） 形式：06116-02（別売）

モータ発電機ユニットのジェネレータと接続して、スターリングエンジンに可変電気抵抗を加えることができます。

- ・ 抵抗 330 オーム、±10%
- ・ 高負荷容量 (1.0 A)
- ・ 短期負荷：最大 1,4A 15 分
- ・ 金属ケースに安全に収納されています。
- ・ 寸法 (mm) : 420×90×150



参考写真

4.8 デジタルマルチメータ 形式：07129-00（別売）

可変抵抗器を使用した実験において、出力される電圧・電流値を計測します。

DCV、ACV、DCA、ACA、ダイオードチェック、導通チェック(ブザー)



参考写真

5. 技術データ

5. 1 圧力

圧力センサ出力電圧は表示器内で増幅され、出力されます。

圧力センサ（5Vの動作電圧に対して）

感度	代表値 $44 \cdot 10^{-6} \text{V/hPa}$ （最小値 $28 \cdot 10^{-6} \text{V/hPa}$ ）
直線性	代表値 0.15%（最大 0.35%）
p_0 での電圧	代表値 0mV（+/- 25mV）

表示機

ゲイン	114
出力値	代表値 0.005V/hPa
p_0 の時（大気圧下）	代表値 2.5V（±2.8V）

実験開始時に大気圧を計測、2.2V~2.8V程度の値を示すでしょう。（参考値）

開始時の電圧値（大気圧）を基準に、出力値（0.005V/hPa）を算出して下さい。

5. 2 速度と容積

容積に対する電圧値はインクリメンタル・トランスミッタの位置から計算されます。このため最小容積位置での信号を0Vに割り付けるためにリセット作業が必要となります。

インクリメンタル・トランスミッタ

分解能	256 パルス/回転
速度表示	最大 1999rpm
出力値	$2.4 \text{cm}^3/\text{V}$
容積	最小 (32cm^3) = 0.0V 最大 (44cm^3) = 5.0V

ピストンの最小容積（ 32cm^3 ）は、ディスプレイサへの通路及びディスプレイサ部容積（ディスプレイサ本体除く）を含みます。

5. 3 温度

スターリングエンジンの高温側（T 1）は、スターリングエンジンモードでは1℃程度の分解能が実用的です。測定点の位置は、サーモグラフ映像記録により温度勾配の平均温度が生じる位置に選定されています。ヒートポンプモード運転あるいは冷凍デバイスとしてはシステムの温度変化は本質的に小さくなりますのでT 2温度測定点では分解能は0.1℃にしてあります。

T 1とΔT

測定範囲	-10℃ ~ +400℃
分解能	1℃

T 2

測定範囲	-10.0℃ ~ +99.9℃
分解能	0.1℃

#4732C 取扱説明書

* 許可なく転載・複製を禁じます。

編集/発行 株式会社 メガケム