

第95回CIS研究所パートナー会議事録(一般様用)

開催日: 2020年2月16日(日)
場 所: CIS会議室
講 師: 西村 靖紀 様
テーマ: 熱音響エンジン

熱音響エンジン



会議風景

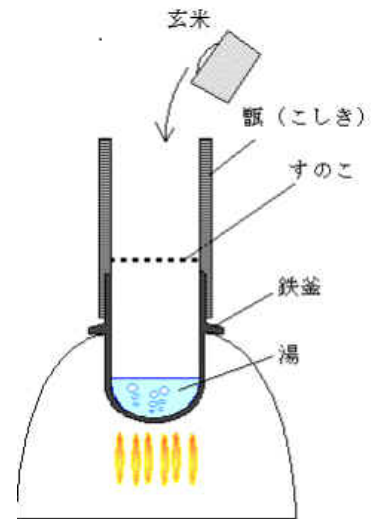
- 1) 熱音響機器の歴史
 - ・11568 吉備津の釜
 - ・1777 Byron Higgins : Higgins pipe
 - ・1859 P. L. Rijke: Rijke tube
 - ・1850 C. Sondhauss: Sondhauss tube
 - ・1896 Load Rayleigh: Sondhauss tube
 - ・1949 K. W. Taconis: Taconis oscillation
 - ・1970年代 定在波型のエンジンの研究(オイルショック)
 - ・1980年代 熱音響冷凍機・エンジン@Los Alamos

2) 吉備津の釜

(湯を沸かした釜がうなるような音を発する現象)
 熱音響自励振動 加熱によって釜内部の気柱の
 共鳴振動が励起される熱音響現象

追補: 吉備津神社の鳴釜神事

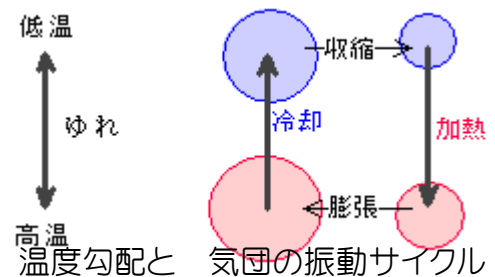
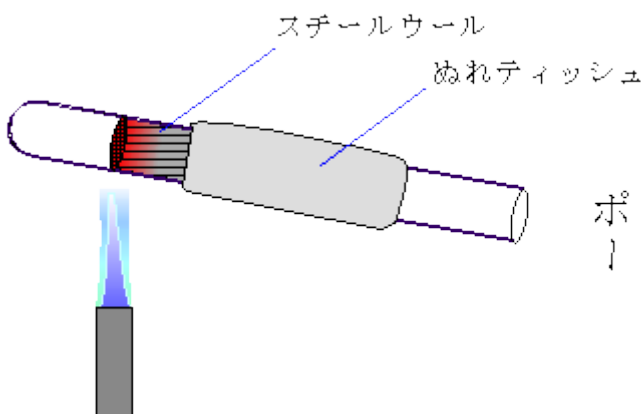
<http://www.kibitujinja.com/about/narukama.html>



鳴釜神事という特殊神事があります。この神事は吉備津彦命に祈願したことが叶えられるかどうかを釜の鳴る音で占う神事です。多聞院日記にみられるのが文献的には一番古いとされる。永禄十一年(1568)五月十六日に「備中の吉備津宮に鳴釜あり、神染料廿疋を納めて奏すれば釜が鳴り、志が叶うほど高く鳴るといふ、稀代のことで天下無比である」ということが記されており、少なくとも室町時代末期には都の人々にも聞こえるほど有名であったと思われます。江戸時代上田秋成の雨月物語のなかにも『吉備津の釜』として一遍の怪異小説が載せられていて有名であります。

釜鳴という神事は王朝以来宮中をはじめ諸社にもあったことが文献にもみられています。釜を焼き湯を沸かすにあたって時として音が鳴るといふ現象が起こると、そこに神秘や怪異を覚え、それを不吉な前兆とみなし祈祷や卜占を行つたらしい。そして陰陽道的解釈が加えられていったと考えられます。

3) レイケ(Rijke)管



Rayleigh, "Theory of Sound"

熱的要因で振動が発生し持続するには、「気体が圧縮を受け温度が上がったときに熱を与え、一方膨張し温度が下がったときに熱を奪うことが必要である」

振動の位相と加熱・冷却の位相との相対関係が重要

4) 熱音響現象のメカニズム(熱音響現象とこれを利用した新しい熱機関)

気体粒子が右に変位し圧縮を受ける。気体粒子の速度が大きいうちは断熱的に変化する。

変位が最大になる付近では速度が遅く、熱のやりとりが起る。

粒子が右に最大変位した位置での粒子の温度 $T_e + \delta T$ と、その位置での壁面温度 $T_e(x+a) [= T_e(x) + (dT_e/dx)a]$ との間には差が現れる。

図のように壁面温度の方が高ければ、熱 δQ が壁から気体粒子に流れ込むことになり、逆に低ければ壁に向かって熱は流れ出ることになる。

一方、粒子が左に最大変位するときには膨張を受け気体温度は低下する。壁面温度の方が低ければ、熱は気体粒子から壁に流れ出ることになる。

もし $\delta T/a < dT_e/dx$ であればレイリーの条件が満たされる。

この条件下で振動が繰り返されると振幅 a が次第に大きくなる。

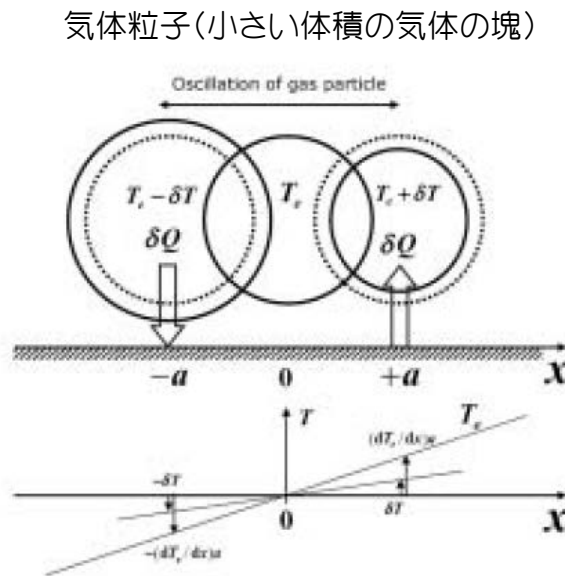
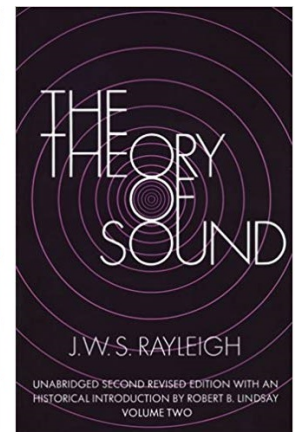
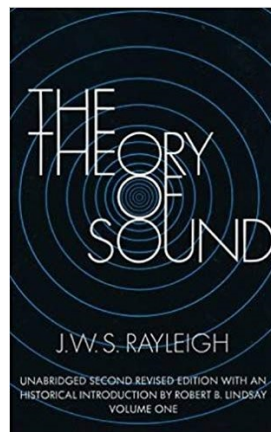


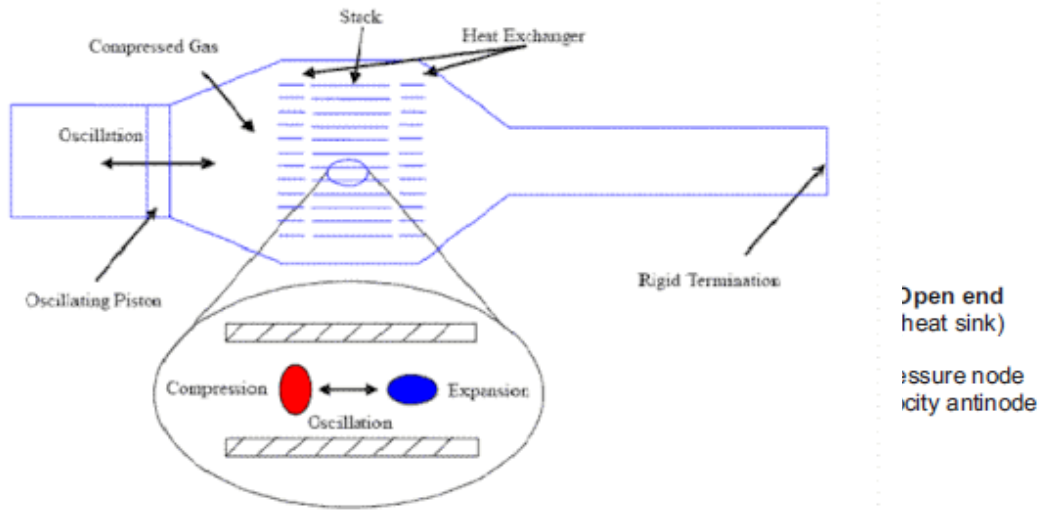
図1: 気体粒子の振動と壁の温度勾配が大きい場合の熱の流れ

Lord Rayleigh: The Theory of Sound,

第3代レイリー男爵ジョン・ウィリアム・ストラット、1842年11月12日 - 1919年6月30日)は、イギリスの物理学者。レイリー卿(Lord Rayleigh)としても知られる。光の散乱の研究から空が青くなる理由を示す(レイリー散乱)、地震の表面波(レイリー波)の発見、ラムゼーとの共同研究によるアルゴンの発見、熱放射を古典的に扱ったレイリー・ジーンズの法則の導出などを行った。

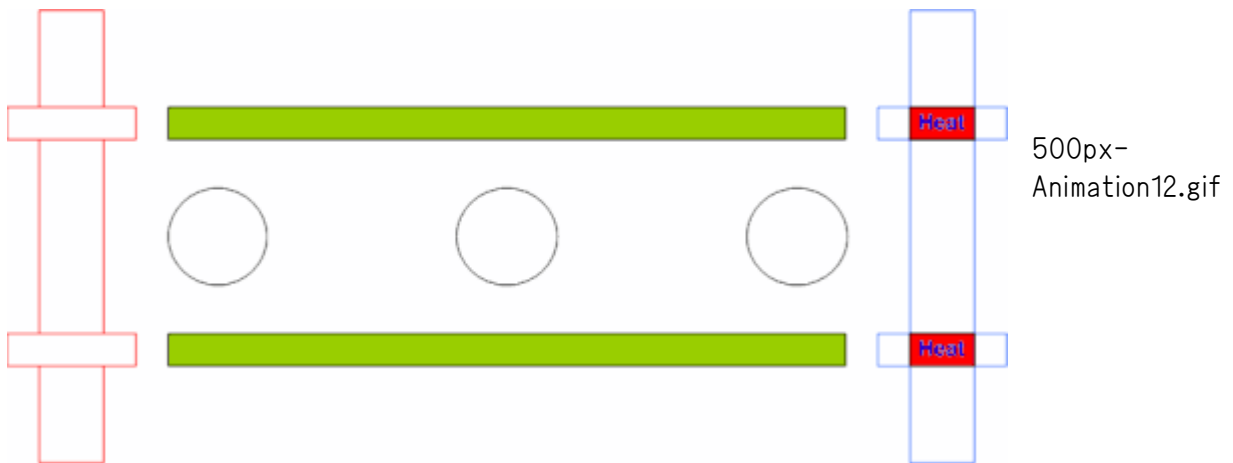


エンジニアリング音響/熱音響学(Engineering Acoustics/Thermoacoustics)
https://en.wikibooks.org/wiki/Engineering_Acoustics/Thermoacoustics



振動する振動板またはスピーカーを備えた半波長管に音波が送られると、圧力の脈動により内部のガスが前後に揺れ動く。これにより、圧縮と加熱が行われる領域に加えて、ガスの膨張と冷却を特徴とする他の領域が形成される。

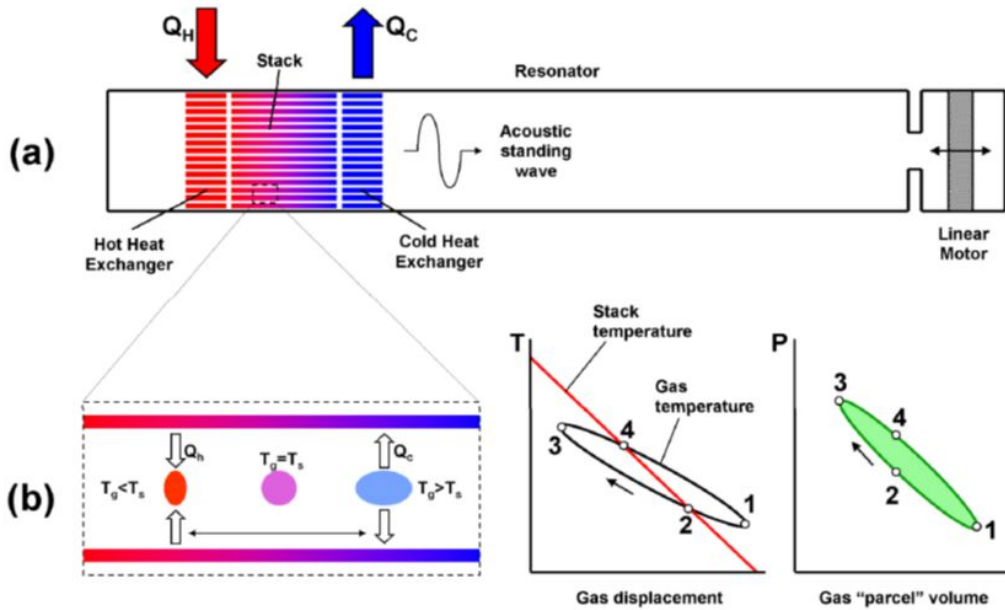
熱音響冷凍機は、スタック内でガスの往復運動が発生するように配置された蓄熱素子のスタック(高温および低温の熱交換器に接続)を含む共振器キャビティです。振動するガスパーセルは、スタックから熱を受け取り、別の場所のスタックに堆積させる。この装置は「バケツリレーのように機能」して冷熱交換器から熱を除去し、それを高温熱交換器に堆積させ、冷却ユニットの基礎をつくる。



<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/16/Animation12.gif>

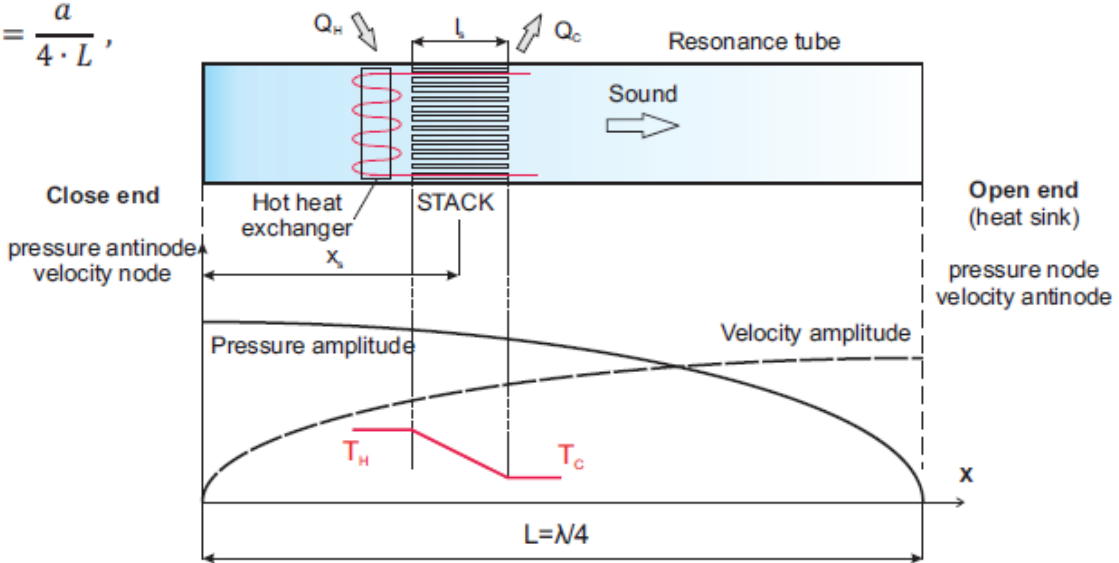
上の図のモデルで、バケツリレーのように機能する様子をgif 動画で見ることができます。
 Engineering Acoustics/Thermoacoustics

The Principle of the 'Standing-Wave' Thermoacoustic Engine (Yu and Jaworski, 2009)



A QUARTER-WAVELENGTH CLOSED-OPEN RESONATOR

$$f = \frac{a}{4 \cdot L}$$



https://www.epj-conferences.org/articles/epjconf/pdf/2012/07/epjconf_EFM2011_01061.pdf#search=%27Thermoacoustic%27

熱音響効果について、定在波型の熱音響エンジンの説明がある(下記参照)

熱エネルギーを、音、音響仕事(acoustic work)に変換する熱音響効果は、19世紀にLaplaceが気体中の温度変化断熱膨張と圧縮による音波により発生するメカニズムを確立している。ここでは、1/4波長のケースで説明する。

STANDING-WAVE THERMOACOUSTIC ENGINES

Petr NOVOTNÝ, Tomáš VÍT, Magda VESTFÁLOVÁ, José LOPES

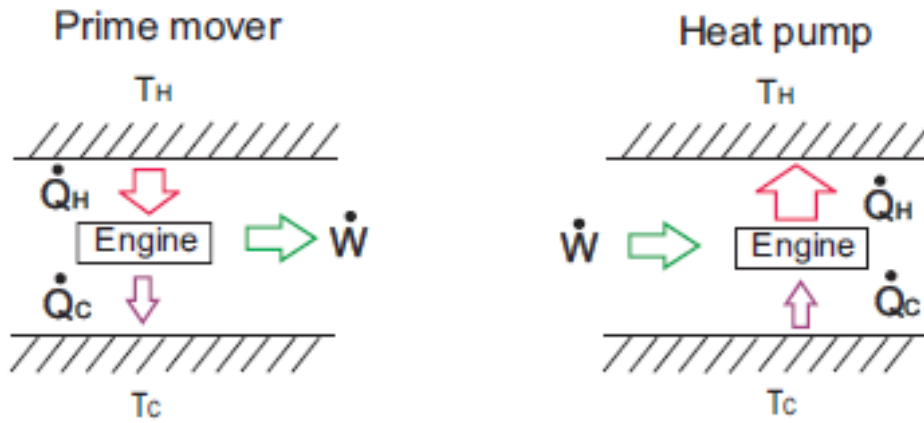


Figure 1: The principle of the prime mover (engine) and the heat pump (refrigerator)

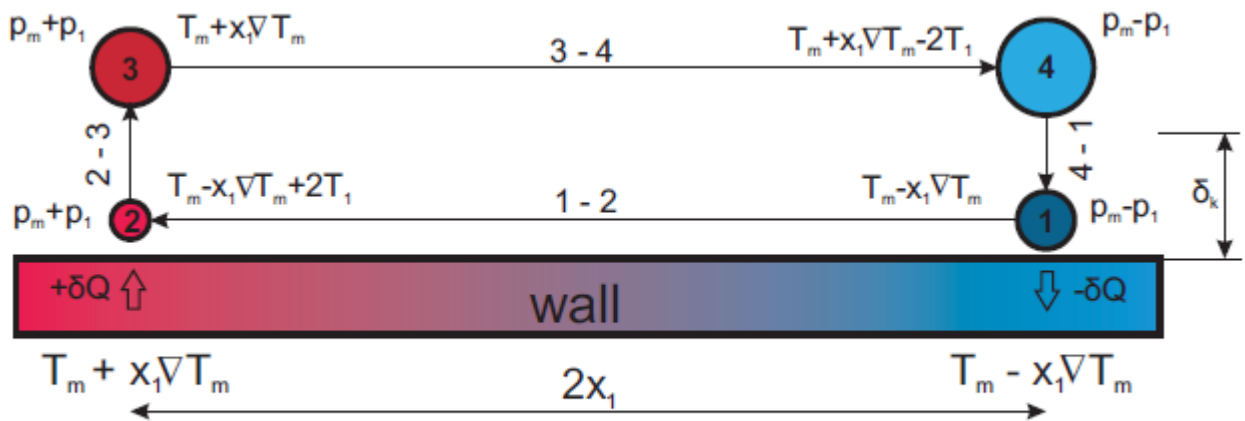


Figure 3: The parcel of gas which is neither isothermal nor adiabatic has imperfect thermal contact with the wall (a macroscopic Lagrangian view).

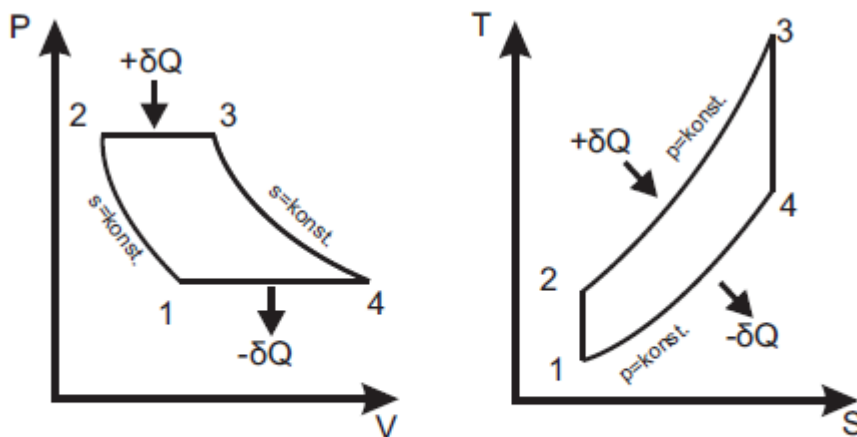


Figure 4: Schematic p-V and T-s diagram of the ideal thermoacoustic cycle.

- 1-2 adiabatic compression;
- 2-3 isobaric heat transfer;
- 3-4 adiabatic expansion;
- 4-1 isobaric heat transfer

以下省略 詳細は論文を参照願いたい。
 STANDING-WAVE THERMOACOUSTIC ENGINES
 Petr NOVOTNÝ, Tomáš VÍT, Magda VESTFÁLOVÁ, José LOPES
 EPJ Web of Conferences , 010 (2012)

5) 熱音響実験



西村さん 手作りデバイスでの熱音響実験



動画 URL
<https://youtu.be/5oNisdS0ytE>

約400HZのサイン波が観測された。
定在波型の例

休憩 スターリングエンジン



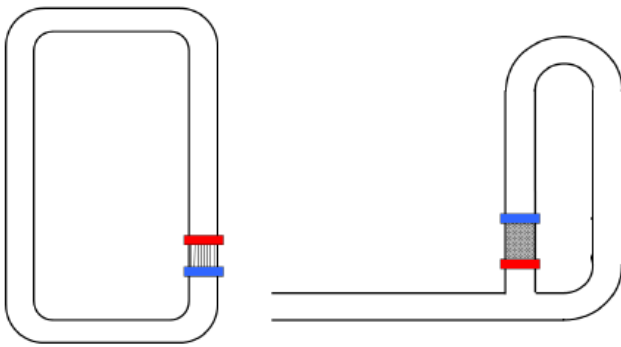
暖かいお茶の入った湯呑のうえで回転するスターリングエンジン模型



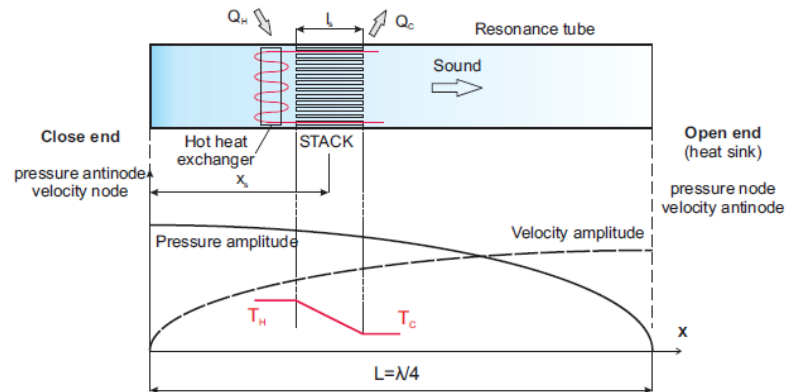
スターリングエンジン模型を注目

6) 熱音響機器歴史年表

項目	1970年	1980年	1990年	2000年
理論的研究	1868 キルヒホッフ論文 1877 レイリー, The theory of sound	1969 Rott 理論 ³⁾ 1979 Ceperley 論文 ²⁷⁾	1988 Swift レビュー論文 ¹³⁾	1998 富水, 熱音響工学の基礎 ¹¹⁾ 2002 Swift, Thermoacoustics ⁴⁶⁾
熱音響自動振動 および 音波エンジン	1859 レイケ管 1850 ソンドハウス管	1942 タコニス振動の報告 ²⁾ 1969 フルイダイン	1980 タコニス振動に関する系統的实验 ⁸⁾ 1984 共鳴管型音波エンジン ⁶⁾	1998 ループ管型音波エンジン ¹⁵⁾ 1999 枝管付きループ管型音波エンジン ¹⁶⁾
音波クーラー		1975 Merkli-Thomann の実験 ⁴⁾	1982 共鳴管型音波クーラー ⁵⁾	1998 ループ管型音波クーラー ²⁹⁾ 2002 熱駆動型ループ管音波クーラー ³⁰⁾
ドリームパイプ			1984 ドリームパイプ ⁴³⁾	1996 自動振動式ヒートパイプ
スターリング エンジン および 蓄冷式冷凍機	1816 スターリングエンジン	1966 フリーピストンスターリングエンジン 1960 ベーシック型パルス管冷凍機 ³⁵⁾ 1959 GM 冷凍機	1984 オリフィス型パルス管冷凍機 ³⁶⁾	1990 ダブルインレット型パルス管冷凍機 ³⁸⁾ 1994 イナータンス型パルス管冷凍機 ³⁷⁾
その他		1988 波動冷凍研究会発足		1996 日米合同音響学会開催 2001 第1回国際熱音響ワークショップ



進行波型の例



定在波型の例

熱音響の基礎

<https://geeks-world.github.io/articles/J441738/index.html>

進行波

<https://sudonull.com/post/15652-Creation-and-first-launch-of-a-traveling-wave-thermo-acoustic-engine>

STANDING-WAVE THERMOACOUSTIC ENGINES

https://www.epj-conferences.org/articles/epjconf/pdf/2012/07/epjconf_EFM2011_01061.pdf#search=%27Thermoacoustic%27

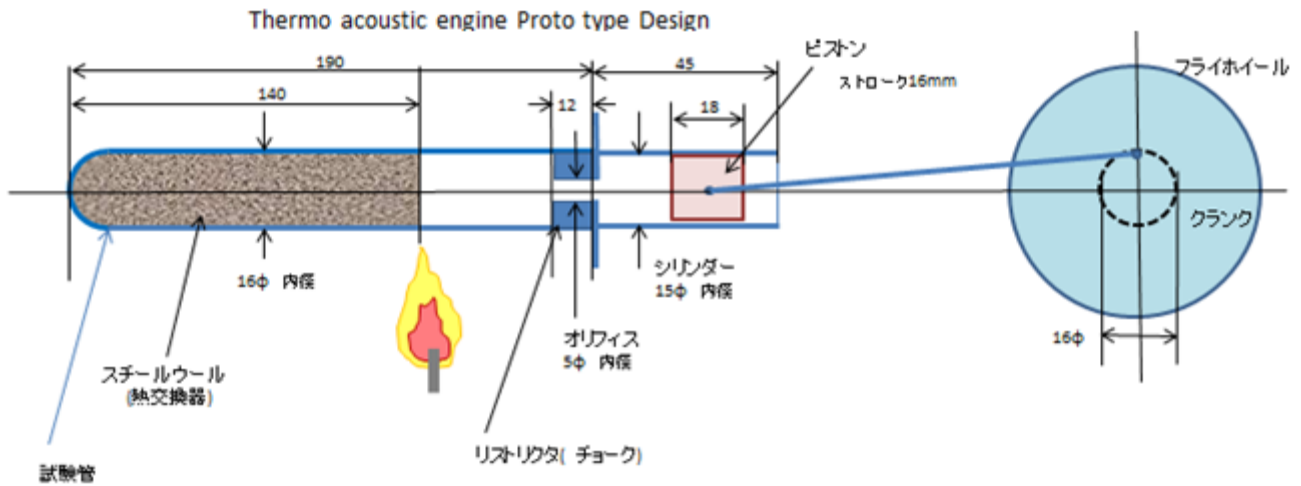
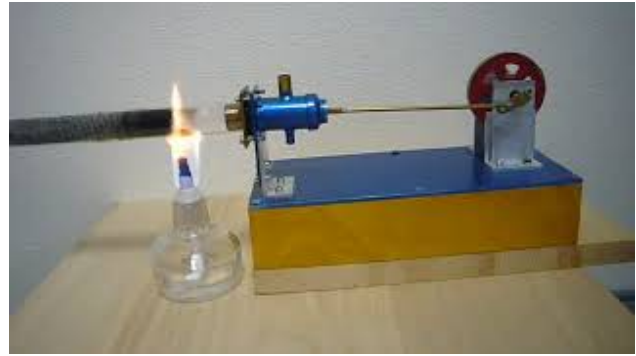
7) 西村さんお手製のスターリングエンジン

動画のURL

<https://youtu.be/z8X7CUEpj6c>



加熱し始めてまもなく動きがみられ、上死点付近で揺れているときに軽く回転させると、持続回転が始まる。



6 今後の日程と講師依頼

パートナー会議の予定

	講師	開催日
第96回	生駒 篤一様	3月29日(日)
第97回	竹内 学様	4月26日(日)

HP <http://www.cis-laboratories.co.jp/index.html>

以上