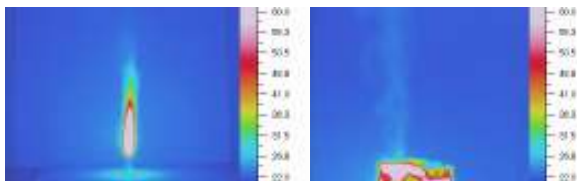


# ロウソク火炎の振動に伴う対流の構造と相互作用の可視化

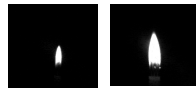
山口大学大学院理工学研究科  
瑞木広幸、長峯祐子、三池秀敏、長篤志



## 先行研究 ロウソクの炎のリズム=非線形振動子

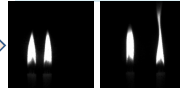
・「炎の光の振動」(石田&原田, 化学と教室, 1999) ・Oscillations and Synchronization in the Combustion of Candles, H. Kitahata et al., J. Phys. Chem, 113(2009), pp.8164-8168

ロウソク2本束ねると炎が振動する



ロウソク1本    ロウソク3本

二組のロウソクでは同期



同相で同期    逆相で同期

振動子間の距離をパラメータとして同相から逆相に変化

長山雅晴, 井倉弓彦(金沢大)による数理モデル

$$C \frac{dT}{dt} = \alpha_1 \left[ h(T_c - T) + \beta n_1 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \right] + \sigma \left( \frac{\mu T_c^4 - T^4}{L} \right)$$

$$\frac{dn_1}{dt} = \alpha_2 \left[ k(n_2 - n_1) - a n_1 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \right]$$

ロウソク振動子間における  
輻射熱による相互作用

炎に伴う対流(上昇気流)の効果による相互作用は頭には考慮されていない

燃焼に伴う周期的な酸素欠乏による振動 → 同相と逆相の同期を再現

## 実験 I (ロウソク振動時の対流構造の可視化)

- 「ロウソクの火炎振動時における火炎上の対流の動き」を具体的に可視化  
サーモグラフィー使用

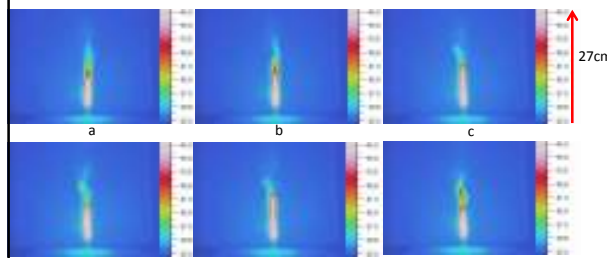
- その他の上昇気流を伴う現象との比較。  
今回は、ポットからでる湯気

### 実験環境



## ロウソク火炎振動に伴う対流の可視化

サーモグラフィの可視化温度範囲: 22°C~60°Cに設定(室温24°C)

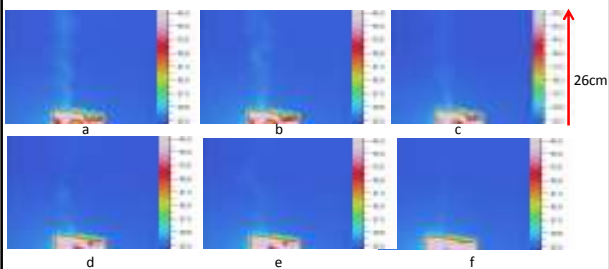


ロウソクの長さ6cm    火炎上空の対流が降りてきて振動し始める。

↓  
ケルビンヘルムホルツ不安定性?

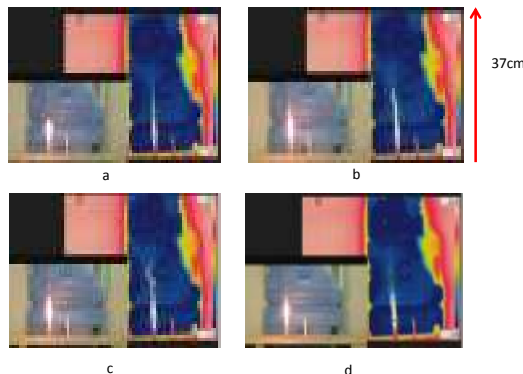
## 沸騰直後の湯面からの水蒸気(湯気)発生に伴う対流の可視化

サーモグラフィで可視化できる温度範囲は22°C~60°Cに設定室温は24°C



## 背面を低温にして可視化した場合

(タイプの異なるサーモグラフィを用いて)



## 実験Ⅰの結果

- 背面を低温にした方が、より明確にろうそく火炎上空の回転渦流を観測できた。
- 熱湯上空の対流の様子はろうそくの対流と同様にサーモグラフィで可視化可能であった。
- 沸騰直後の湯気(水蒸気)は直線的に上昇し、時おり急速な上昇速度の変化を伴う。
- 湯気の上昇速度は目視で約40cm/s、ろうそく火炎振動時の対流上昇速度(約50cm/s)より多少遅いが、温度差の割には速い。

## 実験Ⅱ.ろうそく火炎振動子間の相互作用の可視化

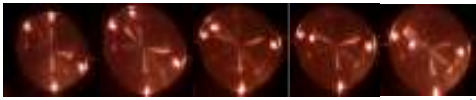
- 従来の実験ではろうそくを固定して燃焼させていた。今回は、ろうそくを水面に浮かべて燃焼させ、振動子間の力学的作用を観測した。
- 水面に浮かせるため高さ3cmのろうそく3本をまとめ、薄いコルクの上においた。
- 初期位置を真ん中に集めた場合と端に置いた場合で観測した。
- 3本1組のろうそくを4つ使用した。

### 実験環境

直接撮影すると光が強すぎてぼやけるためアクリル板で反射したところを撮影(ろうそくとアクリル板の距離は約30cm)。

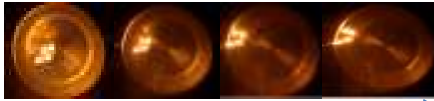


### 初期位置を離して燃焼させた場合



4分30秒間

### 初期位置をまとめて燃焼させた場合



1分間

### ろうそくを燃焼させなかった場合



2分 4分 5分間

## 実験Ⅱの結果

- 初期位置をまとめて燃焼させた場合、集団として水面上を移動し、容器の淵に着いた後は右方向に回転運動する傾向がある。
- 初期位置を離して燃焼させた場合、多少離合集散する傾向があり、水面を移動する速度は減少する。
- 燃焼させない場合は殆ど移動せず、本実験で使用したろうそくの燃焼可能な時間内(4分程度)に容器の淵に着くことはなかった。

## 今後の検討課題

- ろうそく振動子間の距離を変化させた場合の相互作用(2本の振動子間の引力・斥力)
- 外的環境要因(火炎上部のアクリル板等)の影響の確認
- 統計的処理による移動定量化

## 結論

- 先行研究とは異なるタイプ2種類のサーモグラフィを用いて、ろうそく火炎振動子上空の対流を可視化でき、回転渦流の存在を確認。
- 高解像度のサーモグラフィにより、沸騰直後の湯気(水蒸気)に伴う対流が可視化された。
- サーモグラフィによる観測では、ろうそく火炎に伴う対流と湯気(水蒸気)による対流速度に大きな差はなかった。
- 対流(上昇気流)の速度やその揺らぎのより正確な計測には他の観測手法の導入が必要。
- ろうそく火炎振動子間には力学的な相互作用(斥力・引力)の存在が期待される。