

# 水加熱用ヒーターまわりの流れの可視化

長野工業高等専門学校 機械工学科 中村 圭貴

## 1. はじめに

水や油の加熱用ヒーターには多くの種類がある。その断面形状は一般的に円形であるが、ヒーターの全体形状はさまざまである<sup>(1)</sup>。

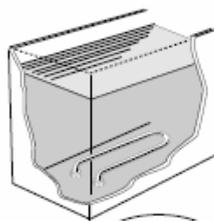
ところで、円柱まわりの自然対流の流れの可視化に関する研究<sup>(2)</sup>は報告されているが、市販されているヒーターを加熱した場合のそのまわりの流れを観察した報告例は少ない。

そこで、本研究は市販の5種類のヒーターを加熱し、そのまわりの流れの可視化をコンデンスミルク法とPIV解析によって試みた。

## 2. 実験装置と方法

### 2.1 コンデンスミルク法

図1に示すようにヒーターを水槽に取り付けるかあるいは水中にヒーターを設置する。ブライト(ネスル製)の粉を水で溶かした懸濁液を刷毛に付け水槽中のヒーター表面に薄く塗布する。ヒーターの供給電圧を約80Vにし、ヒーター表面に塗布した懸濁液が自然対流で上昇する様子をビデオカメラで撮影する。



(a) 取り付けヒーター



(b) 投げ込みヒーター

図1 実験装置<sup>(1)</sup>

### 2.2 画像解析

ナイロン粒子を混入した水中でヒーターを加熱する。ハロゲンランプスリット光で照射した面をビデオカメラで撮影し、得られた時系列の連続2枚の画像データをもとにしてPIV解析<sup>(3)</sup>を行い、自然対流のベクトル線図を求める。

### 2.3 各種ヒーター

(1) 投げ込みヒーター SWA1503

図2に投げ込みヒーター SWA1503((株)八光製)を示す。消費電力は100V,300Wである。



図2 SWA1503<sup>(1)</sup>

(2) 投げ込みヒーター SAA1103

図3に投げ込みヒーター SAA1103((株)八光製)を示す。消費電力は100V,300Wである。



図3 SAA1103<sup>(1)</sup>

(3) 取付ヒーター TUL1103<sup>(1)</sup>

図4に取付ヒーター-TUL1103((株)八光製)を示す.消費電力は100V,300Wである.



図4 TUL1103<sup>(1)</sup>

(4) 取付ヒーター TWF<sup>(1)</sup>

図5に取付ヒーター-TWF((株)八光製)を示す.全体形状はTWF1210と同じであるが,消費電力が100V,1KWの特注品である.なお,市販品のTWF1210は200V,1KWである.



図5 TFW<sup>(1)</sup>

(5) 取付ヒーター TSW1103<sup>(1)</sup>

図6に取付ヒーター-TSW1103((株)八光製)を示す.消費電力は100V,300Wである.なお,100V,300Wの製品の管の巻き数は図6と異なり2巻きである.

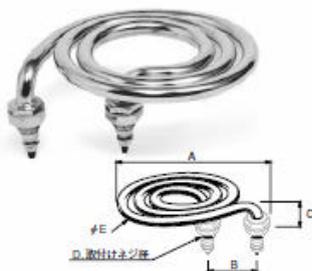
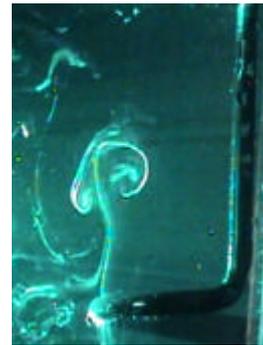


図6 TSW1103<sup>(1)</sup>

3. 実験結果

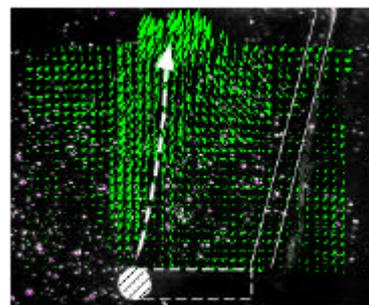
図7(a)~(c)にはSWA1503のヒーターまわりの可視化結果を示す.図7(a)はヒーターの一部にコンデンスミルクを塗布した場合の可視化である.ヒーターを加熱するとその上部に左右両方向の渦が生じているのがわかる.また図7(b)はヒーターの全体にコンデンスミルクを塗布した場合の可視化結果であり,ヒーターの上部に



(a) ヒーターの一部にコンデンスミルクを塗布した場合



(b) ヒーター全体にコンデンスミルクを塗布した場合



(c) ベクトル線図

図7 ヒーターまわりの流れ(SWA1503)

上昇流が生じ、その流れが外側に巻き込み渦を形成している。図7(c)はPIV解析によって得られた自然対流のベクトル線図であり、この図によってもヒーター上部の上昇流が確認できる。

図8(a)(b)にSAA1103のヒーターまわりの可視化結果を示す。ヒーターが3回巻かれており、加熱開始からあまり時間が経過しない場合には、ヒーターの管の上部に強い上昇流が生じているが、ヒーターの管で囲まれた領域内からはあまり大きな上昇流が生じていないことがベクトル線図から見て取れる。

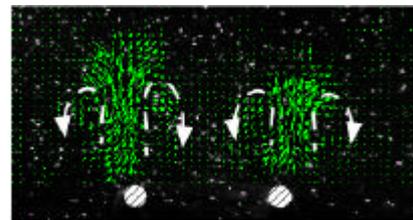
図9(a)~(d)はTUL1103のヒーターまわりの可視化結果を示す。図8(a)のコンデンスミルク法の可視化によると、加熱直後はヒーターの上



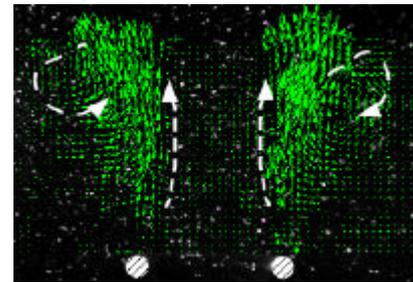
(a) コンデンスミルク法



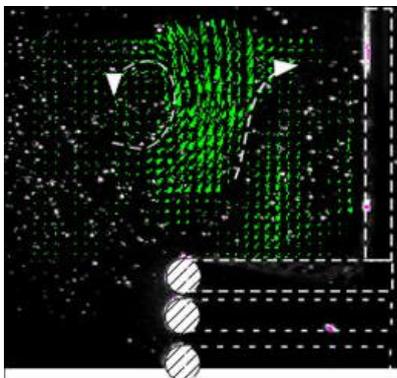
(a) ヒーター全体にコンデンスミルクを塗布した場合



(b) ベクトル線図(加熱約4秒後)

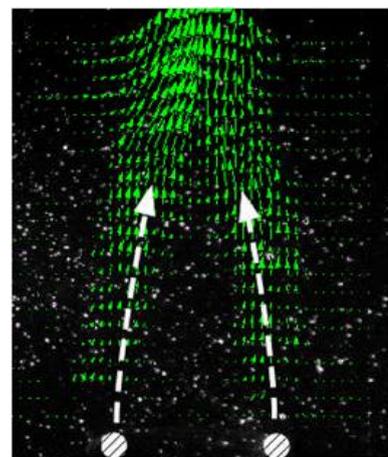


(c) ベクトル線図(加熱約9秒後)



(b) ベクトル線図

図8 ヒーターまわりの流れ (SAA1103)

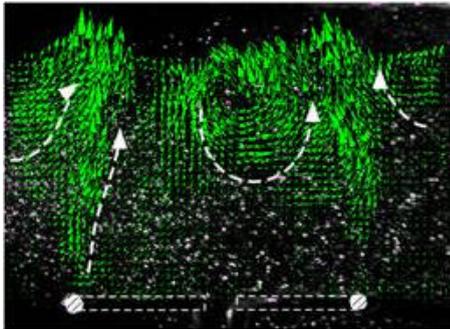


(d) ベクトル線図(加熱約36秒後)

図9 ヒーターまわりの流れ (TUL1103)



(a) コンデンスミルク法



(b) ベクトル線図

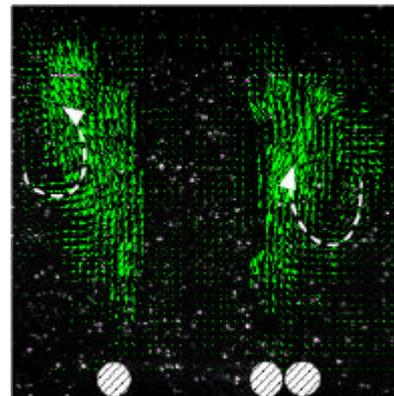
図 10 ヒーターまわりの流れ (TFW)

部の上昇流が外側に巻き込んでいるのが確認できる。これは他のヒーターの場合[図 7,8]と同様である。図 9(b) ~ (d)のベクトル線図によると、加熱開始から約 4 秒後にはヒーターの上部に左右両方向の一对の渦が確認できる。その後数秒経過するとヒーター上部ではパイプの内側から外側に向かう渦が生じる。この場合ヒーター上部の上昇流はほぼ垂直である。しかし、加熱から 36 秒経過するとヒーターの上部の二つの流れは内側に偏り、それが一つになって上昇していくことがわかる。

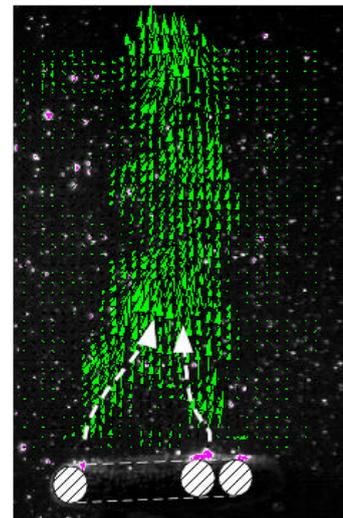
図 10(a)(b)にはTFWのヒーターまわりの流れの可視化結果を示す。図 10(a)はヒーターの両側の一部にコンデンスミルクを塗布した場合であり、ほぼ対称な一对の渦がヒーターの上部に生じている。また、図 10(b)のベクトル線図ではヒーターの両側からの上昇流が内側に偏っているが、TUL1103 の場合[図 9(d)]のように一つの流れにはなっていない。これは TFW のヒータ



(a) コンデンスミルク法



(b) ベクトル線図



(c) ベクトル線図

図 11 ヒーターまわりの流れ (TSW1103)

一両側の幅が TUL1103 に比べ大きい割には水面の高さが低いため、流れの上昇領域が十分確保できなかったためと考えられる。

図 11(a) ~ (c)には取付ヒーター-TSW1103 まわりの流れを可視化した結果を示す。図 11(a)はコンデンスミルク法による結果であり、写真の左側は管が一巻きの部分であり他のヒーターの場合のように渦が観察される。しかし、螺旋状に2巻きになっている写真の右側では管と管の間隔が非常に接近しているため、複雑な流れになっており明確な渦が観察されなかった。図 11(b)は加熱開始から十数秒後のベクトル線図であり、管断面上方に二つの上昇流が観察され、それぞれ外側から流れが巻き込んでいるのがわかる。その後1分以上経過した流れ[図 11(c)]では螺旋に巻かれた管の内側の流れが速くなり管上方で合流している。これは図9の場合の流れと定性的に同じである。

#### 4. おわりに

市販の5種類のヒーターの自然対流の可視化を行った結果、次のことが確認できた。

加熱開始直後にはヒーターの管上部に渦が生じ、ヒーターの上部で強い上昇流が生じる。一方、加熱開始からある程度時間が経過するとヒーターの管で囲まれた内側の上昇流が強くなる。

最後に本研究は(株)八光電機製作所の第1回八光熱の実験コンテストの助成を受けて行われた。ここに関係各位に深く感謝申し上げます。

#### 文 献

- (1) (株)八光電熱器総合カタログ 2007
- (2) 伝熱工学 関編, 森北出版, 96-97
- (3) PIVの基礎と応用, 小林監修, シュプリンガー・フェアラーク東京