

セレーテッドフィン付伝熱管群における
フィン周り流れと熱流動特性*川口清司*¹, 奥井健一*¹, 高木裕作*²Effects of Flow around Fin on the Heat Transfer and Pressure Drop
Characteristics of the Serrated Finned Tube BanksKiyoshi KAWAGUCHI*³, Kenichi OKUI and Yusaku TAKAKI*³ Faculty of Engineering, Toyama University,
3190 Gofuku, Toyama-shi, Toyama, 930-8555 Japan

In recent years the requirement for reduction of energy consumption has been increasing to solve the problems of the global warming and the shortage of petroleum resources. For example in the power generation field, as the thermal power generation occupied 60% of the power generation demand, the improvement of the thermal efficiency is required considerably. To attain this purpose, heat transfer tubes used for a heat exchanger for recovering exhaust heat from gas turbine in combined-cycle type power generation must exhibit high heat transfer and low pressure drop. A serrated finned tube with segmented fins to improve heat transfer performance has recently been used for this purpose. This paper described that the effects of flow around fin on the heat transfer and pressure drop characteristics of the serrated finned tube banks used for the heat exchanger in the thermal power generation were clarified by measuring 3-dimensional velocity and turbulence intensity, temperature, and static pressure in the serrated finned tubes banks with different fin height.

Key Words: Heat Exchanger, Heat Transfer, Serrated Fin, Fin Height

1. 緒言

近年,地球温暖化や化石燃料の枯渇問題に対して,省エネルギーの需要が増大している.発電分野においても電源需要の約60%を火力発電が担っており,より一層の熱効率の向上が強く望まれている.

火力発電は,従来ボイラと蒸気タービンで構成される汽力発電方式であったが,更なる熱効率向上を目指して,現在はコンバインドサイクル発電が主流になってきている.コンバインドサイクル発電とは,ガスタービンと蒸気サイクルを組み合わせた発電方式であり,ガスタービンからの高温排ガスの熱エネルギーを排熱回収熱交換器によって蒸気として取り出し,蒸気タービンを駆動する方式である.コンバインドサイクル発電の熱効率を向上させるためには,排熱回収熱交換器に

おける熱回収率を向上させる必要がある.そのためには,伝熱特性に優れ,かつ圧力損失の小さい伝熱管が望まれる.近年,伝熱面積を拡大したスパイラルフィンが用いられているが,更なる伝熱性能の向上を狙って,フィン先端部の切り欠きによる伝熱促進効果が期待できるセレーテッドフィンが用いられ始めている.

従来研究としては,スパイラルフィンに関しては比較的報告例が多く, Schmidt⁽¹⁾, Brauer⁽²⁾, Yudin and Tokhtarova⁽³⁾, Weyrauch⁽⁴⁾はインライン配列およびスタaggerド配列における伝熱性能を報告している.また,河村ら⁽⁵⁾⁽⁶⁾は熱回収に用いられる伝熱管群における熱流動特性に関する報告を行っている.しかしながら,このセレーテッドフィンについてはC. Weiermanら⁽⁷⁾がインライン配列とスタaggerド配列の比較を行った報告例はあるが,設計にあたり熱流動特性が明らかにされていないのが現状である.また,スパイラルフィンと同一の試験条件で比較した報告例は見あたらない.そこで,著者らはスパイラルフィンとセレーテッド

* 原稿受付 2005年8月15日.

*¹ 正員,富山大学工学部(〒930-8555 富山市五福3190).*² 学生員,富山大学大学院理工学研究科.

E-mail: kawaguti@eng.toyama-u.ac.jp

フィンにおける熱流動特性を明らかにするために、フィンピッチやフィン高さを変化させながら、性能試験を行っている。

前報^{(8)~(11)}ではフィンピッチやフィン高さが異なるセレーテッドフィン付伝熱管群とスパイラルフィン付伝熱管群を用いて、同一の実験を行うことにより、熱流動特性を明らかにするとともにそれぞれの特性を比較してきた。また、設計の際に必要な熱伝達率と流動損失の予測式を提案した。その結果、それぞれ6%以内の誤差で予測することが可能である。そこで本研究では、フィン高さの異なるセレーテッドフィン付伝熱管群を用いて、フィン周りの流れが熱伝達や流動損失特性に及ぼす影響を明らかにしたので報告する。

主な記号

d_f : フィン外径	mm
d_h : 流力直径	mm
d_o : 管外径	mm
d_v : 体積等価直径	mm
D_{AR} : 空気流れ方向長さ	mm
D_n : 空気流れ直角方向長さ	mm
f : 流動抵抗係数 = $2 \rho_a \Delta p / G_a^2 N_L$	
G_a : 管群間質量流速	kg/m ² s
h_a : 熱伝達率	W/m ² K
h_f : フィン高さ	mm
N_L : 空気流れ方向管列数	
N_T : 空気流れの横幅方向管列数	
Nu : ヌセルト数 = $h_a d_v / \lambda$	
p_f : フィンピッチ	mm
Re_h : レイノルズ数 = $G_a d_h / \rho_a \nu$	
Re_v : レイノルズ数 = $G_a d_v / \rho_a \nu$	
s_f : フィン間隔	mm
S_D : 管ピッチ	mm
S_L : 空気流れ方向管ピッチ	mm
S_T : 空気流れの横幅方向管ピッチ	mm
t_f : フィン厚さ	mm
u : 空気流れ方向流速	m/s
u' : 空気流れ方向流速変動	m/s
ρ_a : 空気密度	kg/m ³
Δp : 管群前後の差圧	Pa
λ : 空気の熱伝導率	W/mK
ν : 空気の動粘度	m ² /s

2. 供試伝熱管群の構造

2.1 フィン付伝熱管 本研究では実用上比較的良く使用される範囲における形状を考慮して、3種類の

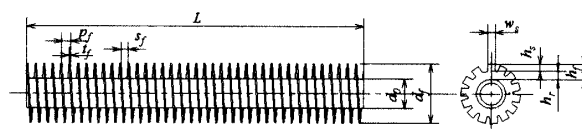


Fig.1 Shape of finned tubes

Table 1 Specifications of finned tubes

Type	Symbol	d_o	d_f	h_f	t_f	p_f	h_s
Serrated fin	SR210	25.3	51.3	13.0	0.9	5.0	6.3
	SR211H	25.3	43.3	9.0	0.9	5.0	4.4
	SR211L	25.3	43.3	9.0	0.9	5.0	2.4

セレーテッドフィン付伝熱管を使用した。フィン付伝熱管の形状を図1、表1に仕様を示す。セレーテッドフィン付伝熱管の形状の違いは、フィン高さ h_f と分割フィン高さ h_s であり、フィン高さの高い方がSR210であり、低い方がSR211HとSR211Lである。また分割フィン高さが高い方がSR211Hであり、低い方がSR211Lである。セレーテッドフィンは管材の外周に矩形のフィン材をらせん状に巻き付けた構造である。フィン材は冷間圧延炭素鋼板(SPCC)、管材は高圧配管用炭素鋼管(STS370S)を用いている。また、フィンは高周波抵抗溶接で管に溶接されており、接触熱抵抗は十分無視できる。

2.2 管群モデル 本研究で対象としているフィン付伝熱管群はスタaggerド配列である。図2に配列形状、表2にセレーテッドフィン付伝熱管を用いた場合の形状寸法を示す。空気流れの横幅方向管ピッチ S_T を58.5mm, 66mmの2パターンとし、空気流れ方向管ピッチ S_L を44mm, 51mm, 58.5mmの3パターンで、合計6種類の配列パターンとする。ここで、配列Iは $S_D=52.8$ mmであり、表1に示すフィン付管形状からもわかるように隣接する伝熱管のフィン先端がほとんど接触する配置である。配列形状は配列Iを基準とし、空気流れの横幅方向および流れ方向に7mmまたは7.5mmずつ広げたものである。

また、管列数は空気流れの横幅方向の管列数 N_T を5列とし、空気流れ方向管列数 N_L を1~6列、配列することができる。ここで、管群はスタaggerド配列であるため空気流れの横幅方向管列数 N_T は偶数列において6列となるが、上下の1本に関しては、それぞれ管の半分がダクト外部に出ており、断熱材により断熱したため、解析においても $N_T=5$ として扱うものとする。Yudin and Tohtarova⁽³⁾によるとフィン付管群の平均熱伝達率は4列以上の管群で評価するのが適切であり、スタaggerド配列においても3列目以降から熱伝達率が一定になるという報告より、本研究では、空気流れ方向管列数 N_L

を3~6列の列数を対象としている。

3. 試験装置と方法

本研究で使用した実験装置を図3に示す。循環水供給装置と空気供給装置、テストセクションにより構成され、フィン付伝熱管の管内に温水を流し、管外を流れる常温の空気との間で熱交換を行う方式をとっている。また、本実験装置は前報⁽¹²⁾で使用したのと同じであるので、詳細な説明を省略する。

3.1 伝熱性能と流動損失測定 テストセクション入口での循環水温度は60°Cに調整する。また、循環水流量はすべて0.075 kg/sで行った。空気質量流量は0.14~0.86 kg/sである。テストセクションは、幅200mm、高さ292.5mm、長さ410mmの矩形ダクト内に伝熱管群を設置した。循環水の温度は各伝熱管の入口と出口にK型熱電対を設けることにより測定した。また、空気温度はテストセクション入口に3箇所と、空気温度を一様にするために設けたミキシングダクト内5箇所にK型熱電対を設けることにより測定した。管群差圧は、テストセクション側板において管群の上流部と下流部にあたる部分に圧力孔を設け、それぞれ圧力変換器を設置し、計測された値から圧力を算出し求めた。また、空気側熱伝達率は、空気側の入口と出口温度、および循環水側入口と出口温度から定義される温度効率と、伝熱ユニット数から熱通過率を求め、そこから円管内強制対流熱伝達から求まる水側熱伝達率と管の熱伝導による熱抵抗などを減じることにより算出した。

3.2 フィン周りの局所流れ測定 本研究ではフィン周りの局所流れが熱伝達や流動損失に及ぼす影響を調べるために、5列目の伝熱管におけるフィン周りの3次元流速、流速変動、空気温度、静圧を測定した。図3に測定点を示す。3次元流速および流速変動は、側壁から傾斜型熱線プローブを挿入し、空気温度は熱電対を用いて測定した。また、静圧は全圧管を用いて全圧を測定し、流速から動圧を算出して全圧から減じるこ

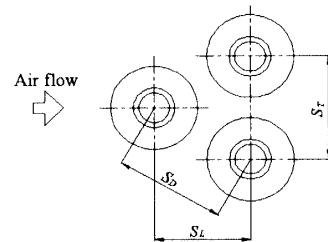
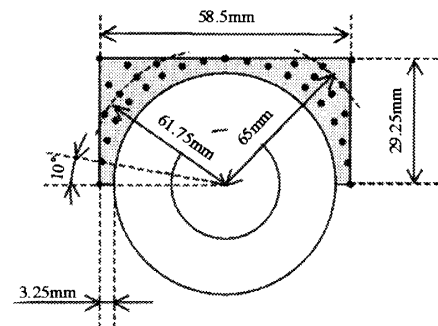


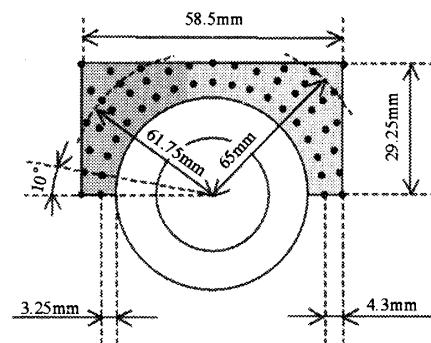
Fig.2 Arrangement of finned tube banks

Table 2 Arrangement of spiral finned tube banks

Arrangement	I	J	K	M	N	O
S_T	58.5	58.5	58.5	66	66	66
S_L	44	51	58.5	44	51	58.5



(a) Measuring points for SR210



(b) Measuring points for SR211H and SR211L

Fig.3 Region for measuring velocity

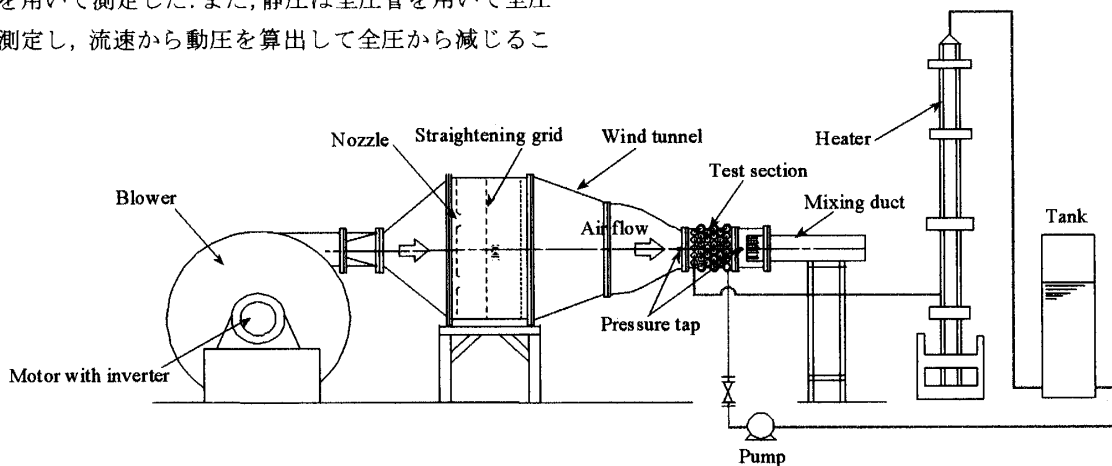


Fig.4 Experimental apparatus

とにより求めた。試験条件のレイノルズ数は約30000である。ヌセルト数と流動損失係数における差が、比較的顕著に表れるレイノルズ数として30000を選択した。

4. 実験結果

4.1 性能試験結果 図5に代表的な配列Kにおけるセレーテッドフィン付管（略称SR）の熱伝達特性の実験結果を示す。これまでの研究において管群配列が熱伝達特性や流動損失特性に及ぼす影響を調べてきたが、ほとんど影響が見られなかったために、代表的な配列である配列Kを用いて行った。熱伝達率の大きい順に並べると、SR210, SR211H, SR211Lの順になり、フィン高さの高いSR210がSR211Hの約1.1倍、SR211Lの約1.3倍の熱伝達率を示した。SR210とSR211Hを比較すると、SR210はフィン高さが高いため、セレーテッドフィン付管の特徴でもあるフィン切り欠きによる伝熱促進効果が大きく出たものと考えられる。この実験結果は、前報のスパイラルフィン付管の結果と反対になる。これは、フィン付管周りの流れが原因と考えられるが、性能試験の結果だけでは原因が不明確であるので、フィン周り流れの測定を行うことにより明らかにしていく。

図6に配列Kにおけるセレーテッドフィン付管の流動損失特性の実験結果を示す。流動損失の大きい順に並

べると、SR210, SR211L, SR211Hの順になり、フィン高さの高いSR210がSR211Hの約1.4倍、SR211Lの約1.3倍の流動抵抗を示した。SR211HとSR211Lを比較すると、両者はフィン高さは同じため、ほぼ同じ流動抵抗を示しているが、わずかにSR211Lの方が流動抵抗が大きくなった。本来セレーテッドフィン付管ではフィン部の存在により流動抵抗が大きくなることが認識されているが、この実験結果はそれを覆すものとなった。この理由を調べるためにフィン周りの詳細な流れ測定を行う。

4.2 フィン周りの流速分布 図7～図9にフィン周りの空気流れ方向の流速分布を示す。図7よりフィン高さの高いSR210の場合、フィン付管の前方での流速は D_n 5[mm]～10[mm]の部分で最も速くなり、また D_n 22[mm]～29[mm]の部分で最も遅くなっている。これは、

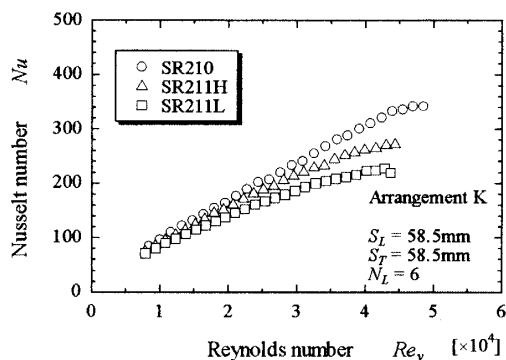


Fig.5 Effect of fin height on heat transfer characteristics in case of serrated finned tube banks

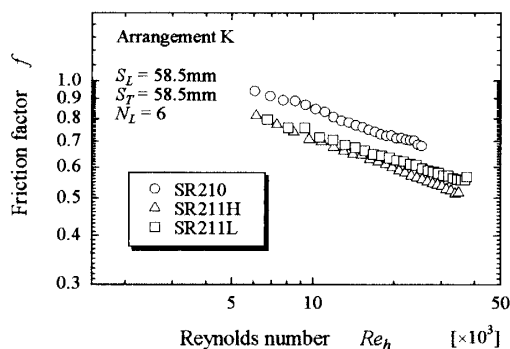


Fig.6 Effect of fin height on pressure drop characteristics in case of serrated finned tube banks

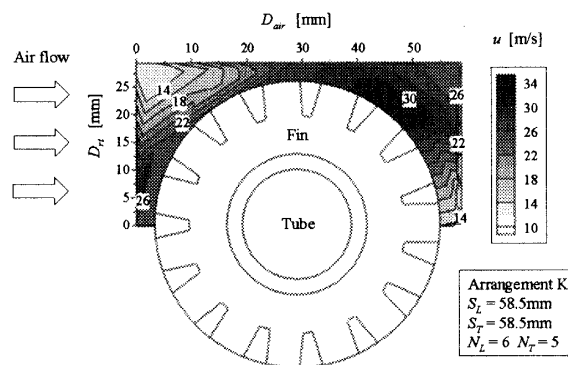


Fig.7 Velocity distributions around fin in case of SR210

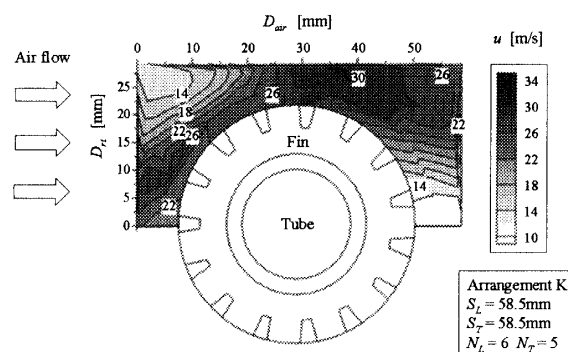


Fig.8 Velocity distributions around fin in case of SR211H

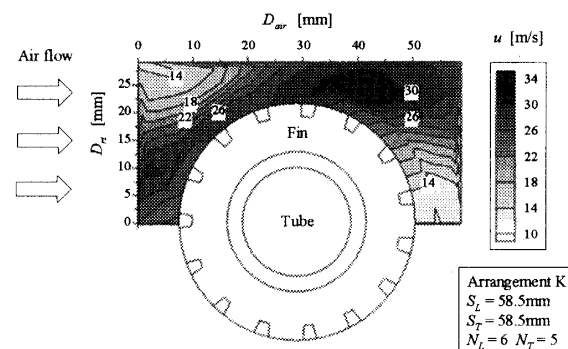


Fig.9 Velocity distributions around fin in case of SR211L

スパイラルフィン付管同様、測定を管群5列目のフィン付管の周りで行っているため、流速の速い部分は4列目のフィン付管のフィン切り欠き部の後方であり、フィン間を通して流速が速くなった空気が到達するからである。また流速が遅い部分は、4列目のフィン付管の裸管部 (D_{n0} [mm] ~ 12.65 [mm]) 後方であり、後流により減速させられたためである。また全体を通してフィン部 (SR210では D_{n1} 12.65 [mm] ~ 25.65 [mm], SR211HとSR211Lでは D_{n1} 12.65 [mm] ~ 21.65 [mm]) の後方で最も速い流速を示している。これは、SR210はフィン高さが高く抵抗の無い流路が極端に狭いため、空気がフィン間を通過せざるを得ない状態になり、フィン間を通して流速が速くなった空気の出口にあたるのが原因であると考えられる。

図8と図9よりSR211H, SR211Lについて、全体的な傾向はSR210とほぼ同様である。フィン高さが低くなったことにより、抵抗の無いフィン付管間の流路が広がったにもかかわらず、流速にあまり違いが無いことがわかる。これはスパイラルフィン付管の場合とは異なり、セレーテッドフィン付管の場合、フィンに切り欠きがあるために空気が入りにくい状態になっており、フィン高さを変化させても空気の流れに大きな違いが出なかったためと思われる。全体を通しての最大流速の位置はスパイラルフィン付管の場合同様、フィン付管間の部分である。これは、SR210に比べSR211H, SR211Lはフィン高さが低いため抵抗の無い流路が大きくなり、空気は抵抗のあるフィン部を避けフィン付管間を通ったため、その部分での流量が増えて流速が速くなったことが理由である。またSR211HとSR211Lを比較すると最大流速の値 (30m/s以上) を示す領域が若干SR211Lの方が広いことがわかる。これはSR211Lの方がSR211Hよりもフィン切り欠きが浅いため、フィンの面積が大きくなり、フィンの抵抗がSR211Hよりも大きくなったためにフィンを避ける空気の流量が多くなったことが原因として考えられる。

図10～図12にフィン周りの流れ方向分布を示す。フィン前方部でSR210の方がSR211H, SR211Lに比べフィンを避けて空気が流れようとしている様子がわかる。これはSR210の方がフィン高さが高いためにSR211H, SR211Lより大きな抵抗となって、空気がフィンを避けて抵抗の少ない方に流れようとしたためと考えられる。SR211HとSR211Lを比較するとほぼ同様の流れ方向を示しているが、若干SR211Lの方がフィンを避けようとしている様子がわかる。これはSR211Lの方がSR211Hよりもフィン切り欠きが浅いため、フィンの面積が大きくなり、フィンの抵抗が大きくなったためと思われる。

フィン上部の流れはSR210, SR211H, SR211Lともにほぼ同様な流れ方向を示しており、大きな抵抗がなく空気流れ方向にほぼまっすぐに流れている。

フィン後方でSP210, SR211H, SR211Lを比較すると、スパイラルフィン付管の場合とは異なり、どれもフィンに沿った流れになっていることがわかる。これは、セレーテッドフィン付管の場合、フィンに切り欠きがあるために空気が入りにくい状態になっており、スパイラルフィン付管の場合に比べフィン高さを変化させても空気の流れに大きな違いが出なかったものと考えられる。しかしながら、SR210が3種類の中では最もフィンの中を空気が通ってきた様子が見られ、ついでSR211H, SR211Lの順になっている。

4.3 流速変動分布 図13～図15にフィン周りの

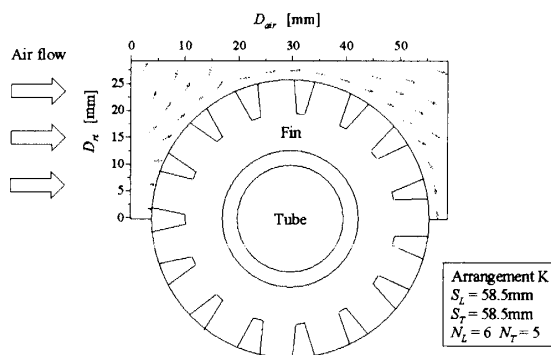


Fig.10 Velocity direction distributions around fin (SR210)

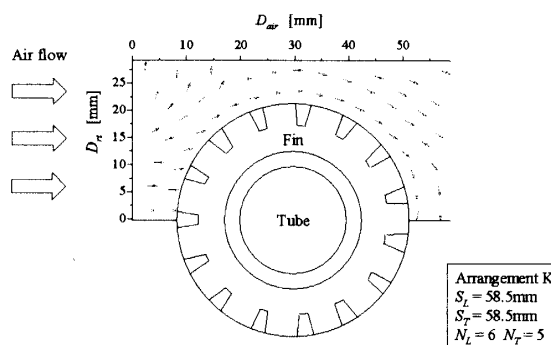


Fig.11 Velocity direction distributions around fin (SR211H)

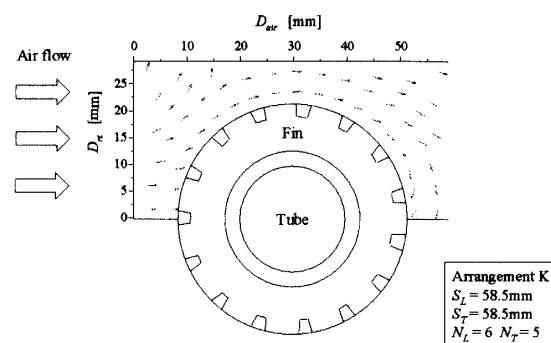


Fig.12 Velocity direction distributions around fin (SR211L)

流速変動分布を示す。ここで流速変動とは、3方向における流速変動の実効値を合成した値を示す。フィン付管前方での流速変動は、SR210では裸管部前方で最大の流速変動を示しているのに対して、SR211H, SR211Lでは裸管部前方からフィン部前方にかけて最大流速変動を示し、最大値もSR210より大きくなっていることがわかる。これは、SR211H, SR211Lではフィン高さが低いいためフィン付管上部(フィン付管の間)の抵抗の無い流路が大きく、フィンの抵抗を受けた空気がフィン付管上部(フィン付管の間)に流れ込みやすく、フィン部前方で流速変動が大きくなったと考えられる。フィン付管後方での流速変動は、フィン後方部においてフィン切り欠きによる乱れの生成のために、SR210, SR211Hで局所的に流速変動の大きくなっている部分が見られる。また、SR210ではフィン高さが高く切り欠きが大きいため、

流速変動の最大値はSR210の方が大きくなっている。SR211Lにおいてもフィン後方部で流速変動が大きくなっているが、SR210, SR211Hと比べ大きな変動ではない。これはSR211Lはフィン高さが低く、切り欠きも浅いため切り欠きによる乱れがあまり発生しなかったためである。

以上より、全体的な流速変動についてまとめると、フィン付管前方およびフィン付管上部(フィン付管の間)での流速変動はSR211H, SR211Lの方がSR210より大きく、SR211HとSR211Lは、ほぼ同様の流速変動を示した。しかし、フィン付管後方での流速変動がSR210が非常に大きく、次いでSR211H, SR211Lとなっている。したがって全体的な流速変動はSR210, SR211H, SR211Lの順となった。これが、熱伝達率はSR210, SR211H, SR211Lの順になった原因として考えられる。また、ス

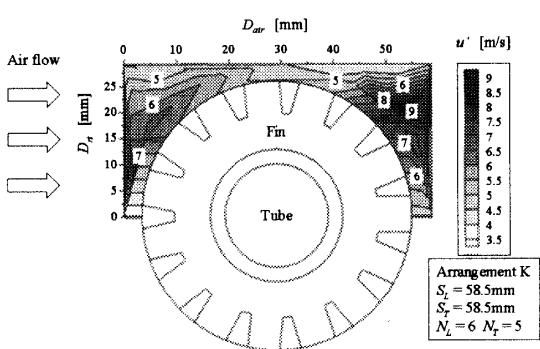


Fig. 13 Velocity fluctuation distribution around fin (SR210)

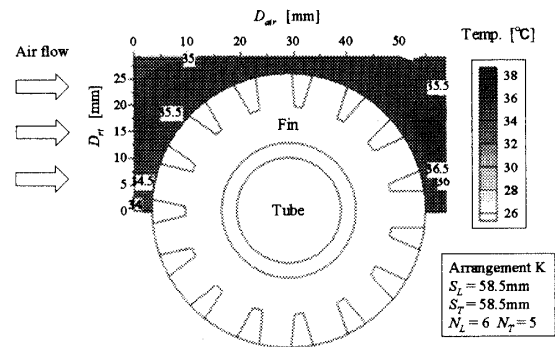


Fig. 16 Temperature distributions around fin (SR210)

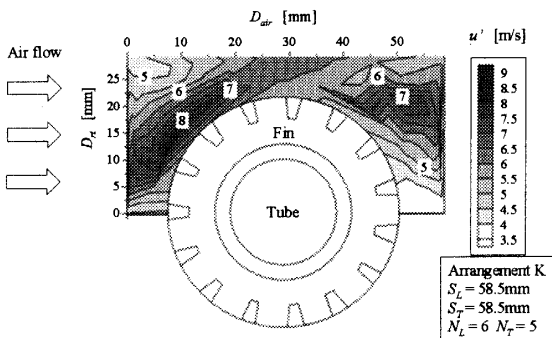


Fig. 14 Velocity fluctuation distribution around fin (SR211H)

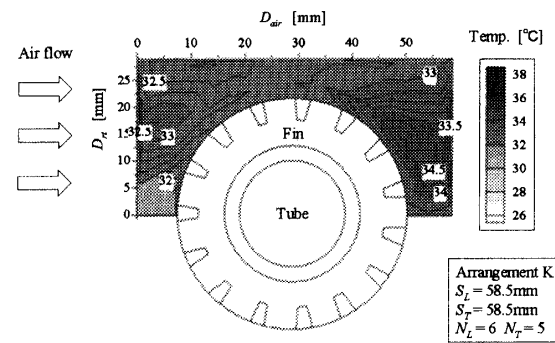


Fig. 17 Temperature distributions around fin (SR211H)

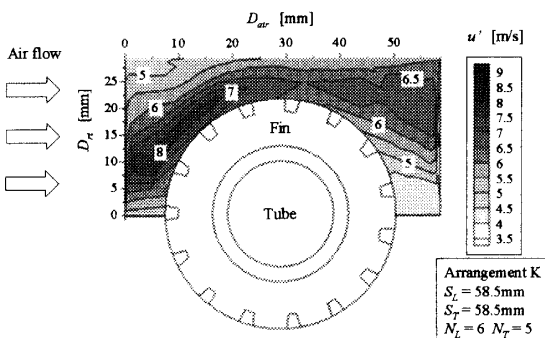


Fig. 15 Velocity fluctuation distribution around fin (SR211L)

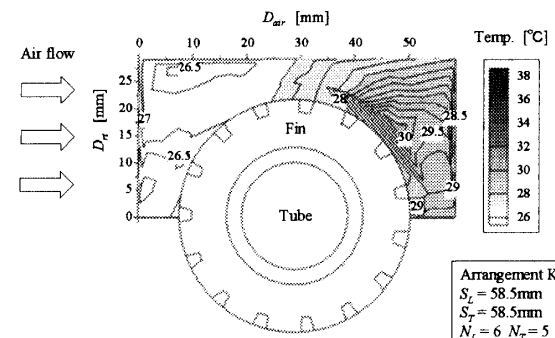


Fig. 18 Temperature distributions around fin (SR211L)

パイラルフィンと比較すると、フィン高さが高い場合、分割フィンの効果によりフィン部後方では流速変動が大きくなり、それが熱伝達を促進させている理由であると考えられる。ただし、フィン高さが低い場合にはフィン間に空気が流入しにくいいため、フィン部後方における流速変動の値は増大せず、分割フィンの効果が得られていない。

4.4 温度分布 図16～図18にフィン周りの空気温度分布を示す。SR210の場合、フィン付管前方の温度分布をみると、フィン付管裸管部の前方 D_n 0[mm]～5[mm]で最も温度が低くなっている。これは D_n 0[mm]～5[mm]の領域は4列目のフィン付管の間であり、この部分には熱源が無く渦の影響も無いことから温度が低くなっている。次にフィン付管後方の温度分布をみると、フィン付管裸管部の後方 D_n 7[mm]～15[mm]で最も温度が高くなっている。これは、フィン切り欠きによる渦発生により、温まった空気が停滞して温度が高くなる。また流速測定の結果からも、熱源であるフィンの中を通過してきた空気が裸管後方に巻き込んでいる様子がわかる。SR211H, SR211Lについて、全体的な傾向はほぼSR210と同様であることがわかる。

以上より、SR210, SR211H, SR211Lを比較すると、全体的な傾向はほぼ同様であるが、最大温度と最大温度の発生する位置、領域に違いが見られる。これは、温度が高くなる原因にフィン切り欠きによる渦の発生があるが、この渦がフィン切り欠きの大きさによって異なり、このような結果になったものと考えられる。SR210はフィン高さが高く、切り欠きが大きいため、発生する渦が大きく、流速変動も大きくなっている。これにより、SR211H, SR211Lに比べ最大温度は高くなり、温度の高い領域も大きくなっている。SR211HとSR211Lではフィン切り欠きの深さが異なるため、発生する渦の大きさが異なる。SR211LはSR211Hに比べフィン切り欠きが浅いため発生する渦は小さくなり、また発生する領域も小さいので、フィン先端部分になっている。全体的な温度上昇はSR210, SR211L, SR211Hの順で、この原因としてSR210は伝熱面積が最も大きく、またフィン切り欠きによる伝熱促進効果が出たものと考えられる。SR211LとSR211HではSR211Hの方が切り欠きが深いため伝熱促進効果が得られて、良い結果になると予想されたが、元々フィン高さが低いのでSR210ほどの伝熱促進効果が発揮されず、伝熱面積の大きいSR211Lの方が良い結果になったと考えられる。

4.5 受熱量分布 図19～図21にフィン周りの受熱量分布を示す。フィン高さの高いSR210の場合、フィン付管フィン部の後方 D_n 10[mm]～18[mm]で最も受熱

量が大きくなっている。これは、流速分布から流速が速い領域であり、また温度測定から温度の高い領域であるので、受熱量が大きくなったためである。

SR211H, SR211Lを比較すると、SR211Hの場合、フィン付管フィン部の後方 D_n 12[mm]～18[mm]で最も受熱量が大きくなっていて、SR211Lの場合、フィン付管フィン部の後方 D_n 15[mm]～20[mm]で最も受熱量が大きくなっている。これは、両者とも流速分布から流速が速い領域であり、また温度測定から温度の高い領域であるので、受熱量が大きくなったためである。

4.6 静圧分布 図22～図24にフィン周りの静圧分布を示す。SR210の場合、4列目のフィン付管の間を流れて流速が速くなった空気が、フィンの抵抗を受け流速が減少して静圧が大きくなるため、フィン付管裸

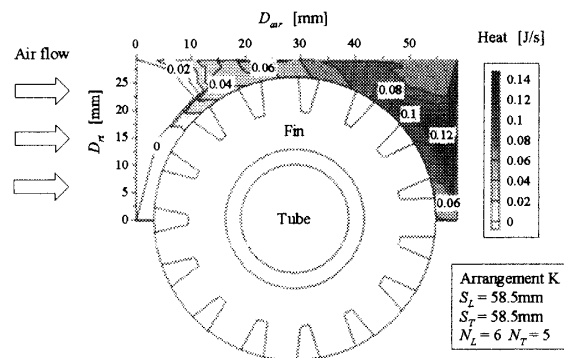


Fig.19 Heat quantity distributions around fin (SR210)

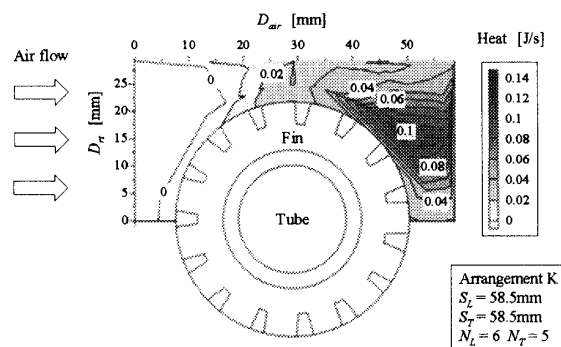


Fig.20 Heat quantity distributions around fin (SR211H)

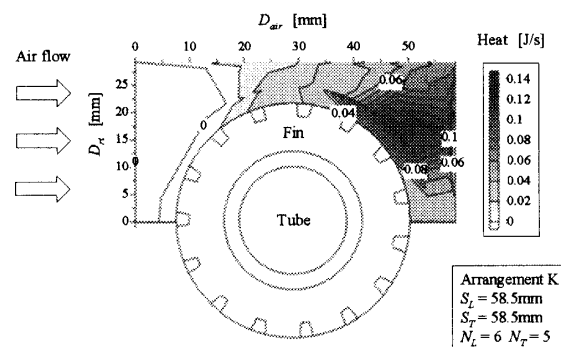


Fig.21 Heat quantity distributions around fin (SR211L)

管部の前方 D_{fr} 0[mm] ~5[mm]で最も静圧が大きくなっている。さらに, SR210のフィン付管裸管部の前方の静圧はSR211H, SR211Lに比べ大きいことがわかる。これはフィン高さがSR210の方が高く, 同じ位置ではフィンが抵抗となって流速の減少率が大きく, 静圧の上昇が大きくなるためである。また, フィン付管フィン部の後方 D_{fr} 12[mm] ~20[mm]で最も負圧が大きくなっている。これはフィンの中を通ってきた空気がフィンの摩擦抵抗により圧力を損失したことと, フィン切り欠きにより空気が乱され流動抵抗が増大し, 圧力損失が増大したものと考えられる。

SR211H, SR211Lについて, SR210とは異なりフィン付管の上部(フィン付管の間)で負圧が発生している。これは流速分布から, この領域でフィン部を避けようとした空気が集まり, 流速が速くなっているためである。

以上よりSR210, SR211H, SR211Lの圧力損失を比較すると, SR210, SR211L, SR211Hの順となった。これは, SR210はフィン高さが高くフィンの摩擦抵抗が大きいこと, フィン付管前方部で静圧が大きくなること, そしてフィン切り欠きにより空気が乱され流動抵抗が増大したことが原因として考えられる。SR211H, SR211Lでは, フィン切り欠きによる乱流促進効果は切り欠きの深いSR211Hの方が強く, 流動抵抗は大きくなると予想された。しかし, SR211H, SR211Lともにフィン高さが低いいため, 切り欠きの影響よりもフィンの摩擦抵抗の影響の方が強く出たため, フィンの面積の大きいSR211Lの方が圧力損失が大きくなったと考えられる。

5. 結言

コンバインドサイクル発電に用いられる大容量排熱回収熱交換器への使用を主目的としたセレーテッドフィン付伝熱管群のフィン周り流れが熱流動特性に及ぼす影響について, 以下の結論を得た。

(1) フィン高さが熱伝達率に及ぼす影響について, フィン高さの高いSR210では, フィンの切り欠きによる流速変動が一番大きく, 熱伝達率の向上に寄与している。SR211Hはフィン高さが低いために, フィン間に空気が流入しにくく, またSR211Lは分割フィン高さも低いために流速変動が小さく, 熱伝達率はSR210と比較して劣る。

(2) フィン高さが流動損失に及ぼす影響について, フィン高さの高いSR210では, 裸管前方の静圧が高くなることとフィンの切り欠きによる流速変動の増大により, フィン高さの低いSR211HやSR211Lと比較して流動損失が大きくなる。またSR211HはSR211Lと比較して切り欠きの影響よりも, フィンの摩擦抵抗の影響が大きいた

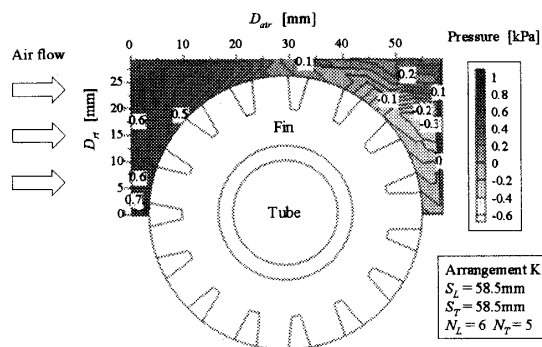


Fig.22 Static pressure distributions around fin (SR210)

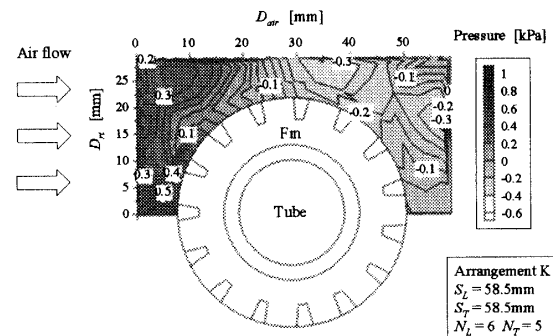


Fig.23 Static pressure distributions around fin (SR211H)

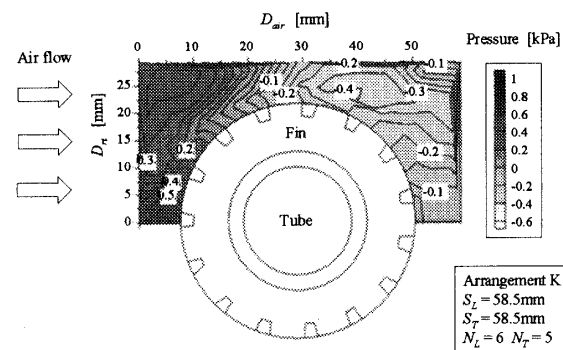


Fig.24 Static pressure distributions around fin (SR211L)

めに流動損失が小さくなる。

(3) セレーテッドフィン付伝熱管を用いる場合, 少ない伝熱管本数で伝熱量を大きくしたい時には, 伝熱面積の増大と熱伝達率の増大効果が期待できるために, 多少流動損失は増大するが, フィン高さを高くする方が良いと思われる。また, その方がセレーテッドフィンではフィン根元の応力を緩和でき, フィン高さを高くすることが可能であるので適している。

参考文献

- (1) Schmidt, T.E., Heat Transmission and Pressure Drop in Banks of Finned Tubes and in Laminated Coolers, *Proceedings of the General Discussion on Heat Transfer*, II (1951), pp. 186-188.
- (2) Brauer, H., Spiral Fin Tubes for Cross Flow Heat Ex-

- changer, *Kaltetechnik*, 13(1961), pp.274-279.
- (3) Yudin, V.F., and Tokhtarowa, L.S., Heat Emission and Resistance of Checkerboard and Corndor Fin Clusters, *Energomashinostroenie*, No.1(1964), pp.11-13.
- (4) Weyrauch, E., The Influence of Geometry of Tube Banks on Heat Transfer and Pressure Drop, when the Fluid is Flowing Normal to the Finned Tube Banks, *Kaltetechnik-Klimatisierung*, 21(1969), pp.62-65.
- (5) Kawamura, T., et al, Heat Transfer and Pressure Drop of Finned Tube Banks with a Staggered Arrangement in Forced Convection (1st Report, Heat Transfer Characteristics and Correlation of Spirally Finned Tube Banks), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, Vol.57, No.537(1991), pp.1752-1758.
- (6) Kawamura, T., et al, Heat Transfer and Pressure Drop of Finned Tube Banks with a Staggered Arrangement in Forced Convection (2nd Report, Pressure Drop Characteristics and Correlation of Spirally Finned Tube Banks), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, Vol.57, No.537(1991), pp.1759-1764.
- (7) Weierman, C., et al., Comparison of the Performance of In-line and Staggerd Banks of Tubes with Segmented Fins, *15th Natl. Heat Tr. Conf. San Francisco, and AIChE Symp. Ser. No.174*, Vol.74 (1974), pp.39-46.
- (8) Kawaguchi, K., et al., The Heat Transfer Characteristics of The Finned Tube Banks in Forced Convection (Comparison of The Pressure Drop Characteristics between Spiral Fin and Serrated Fin), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, Vol.69, No.688(2003), pp.2670-2676.
- (9) Kawaguchi, K., et al., The Heat Transfer Characteristics of The Finned Tube Banks in Forced Convection (Comparison of The Heat Transfer Characteristics between Spiral Fin and Serrated Fin), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, Vol.70, No.693(2004), pp.1258-1265.
- (10) Kawaguchi, K., et al., The Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics of the Finned Tube Banks in Forced Convection (Effects of Fin Height on the Heat Transfer Characteristics), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, Vol.71, No.707(2005), pp.1854-1861.
- (11) Kawaguchi, K., et al., The Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics of the Finned Tube Banks in Forced Convection (Effects of Fin Height on the Pressure Drop Characteristics), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, Vol.71, No.707(2005), pp.1862-1869.
- (12) Kawaguchi, K., et al., Effects of Flow around Fin on the Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics of the Spiral Finned Tube Banks, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, in press.