

琉球大学学術リポジトリ

リアルタイム温度場測定による非円形噴口群の衝突熱伝達特性の制御に関する研究

メタデータ	言語: 出版者: 親川兼勇 公開日: 2009-03-26 キーワード (Ja): 衝突噴流, 強制対流熱伝達, 噴流群, 可視化, 赤外線映像, 噴流の干渉, スイッチング現象, 等温度分布線図 キーワード (En): IMPINGEMENT JET, CONVECTIVE HEAT TRANSFER, MULTIPLE JETS, FLOW VISUALIZATION, INFRARED IMAGE, INTERACTION OF JETS, AXES SWITCHING, ISOTHERM 作成者: 親川, 兼勇, Oyakawa, Kenyu メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/9388

リアルタイム温度場測定による非円形噴孔群の
衝突熱伝達特性の制御に関する研究
(07650263)

平成7年度～平成8年度科学研究費補助金(基盤研究C)

研究成果報告書

平成9年3月

研究代表者 親川 兼勇
(琉球大学工学部教授)

はじめに

衝突噴流は岐点近傍で高い局所熱伝達率を有するために、物体の冷却・加熱に多く用いられている。その場合には単一の噴流ではなく複数の噴流群となる。噴流群による熱伝達率は噴流と噴流との干渉、噴流と流出流との干渉を含み、複雑な現象となる。単一噴流でも、噴口と衝突平板間距離が短い場合には噴口形状によって結果に多くの差異が生じる。たとえば長円形、十字形などの非円形噴口の場合に衝突平板上の可視化用の油膜や、等熱伝達率線図は長軸と短軸が入れ替わる90°回転した"Switching"の現象が、また十字形では45°回転する。噴口形状によりこのような現象が起こるのであるから、非円形噴口を用いた噴流群の場合には、噴流自身の性質および干渉とを明確にしておく必要がある。噴流中の大規模な渦構造については、円形噴流を対象とし、その生成、成長の過程の研究が行われている。一方非円形噴流中で形成される大規模渦は、噴口の曲率半径の違いによって非円形渦輪が流れ方向にひずむことになり、混合および熱伝達率を著しく促進されることが推察される。すなわち非円形の場合、乱流制御への工学的応用の可能性は高い。ここでは2個の長円形噴流を噴出させた場合に、衝突熱伝達特性および流れ場特性が両噴口の設置位置によってどのように変化するかを調べ、伝熱促進機構を考察したい。とくに噴口と平板間距離が短く、渦が三次元変形をうける領域に注目する。この衝突平板上の温度を、赤外線センサが二次元素子として構成されている高感度の赤外線放射温度計を用いてリアルタイムで測定し、熱画像の解析を行うことで、温度変化の経時的変化をとらえる。またこの分布は衝突平板全面の空間分布を知ることができるので、両噴流の干渉、噴流と流出流との干渉による空間分布の変化を知ることができる。衝突熱伝達の温度分布をリアルタイムで測定できるので、従来の測定にみられる平均的な処理でなく、渦の三次元変化を多く受ける噴流外縁と、コア部などの温度変化の違いが明らかになる。また噴流間の干渉等を全面でとらえることで時空間的考察が可能となり、非円形噴流群による伝熱制御の基本を知ることになる。

研究組織

研究代表者 : 親川 兼勇 (琉球大学工学部教授)

研究経費

平成7年度	2,000千円
平成8年度	300千円
計	2,300千円

研究発表

(1)学会誌等

- Heat Transfer and Flow Pattern by Impingement Jet with Cross-shaped Nozzle, Proceedings of the Fourth Asia Symposium on Visualization, 1996, pp.481-484
- Effects of Nozzles Spacing in Elliptic Dual Jet on Impingement Heat Transfer and Flow Pattern, Proceedings of the Fourth Asia Symposium on Visualization, 1996, p.485-488
- Study on Impingement Heat Transfer with Non-circular Jets Using Infrared Imaging Method, Proceedings of 4th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, 1997, 8pages(In Print)

(2)口頭発表

- 2噴口衝突熱伝達におよぼす噴口間距離の影響, 日本機械学会講演論文集, No.955-2, 1995, pp.69-70
- 衝突噴流熱伝達特性の赤外線映像による解析, 可視化情報, Vol.16, Supply, No.2, 1996, pp.143-146

研究成果

噴流群による衝突は単一の噴流の場合の流れの様子とはかなり異なったものとなるが、本質的には単一噴流の流動・伝熱特性を維持している。3:1のアスペクト比の長円形噴口の2噴流の衝突熱伝達特性を噴口中心間距離 S と噴口短軸幅 L の比 $S/L=1.67\sim 6.67$ に対して、噴口と衝突平板間の距離 X/D (X :相当直径)を $X/D=1\sim 12$ に変化させた場合について調べる。それに先立ち、円形、3:1の長円形、十字形形状の相当直径を同じとした単一噴口の場合についても調べた。噴流群としては円形形状の噴口が簡単ではあるが、噴流群はその配置によっては、非円形が望ましい場合もある。たとえば、噴流と噴流との干渉および噴流と流出流との干渉によって、単一噴流の局所熱伝達率より低い熱伝達率域が存在するが、その領域の伝熱改善を図る必要性からである。

本研究での熱伝達率算出の基となる衝突平板の表面温度は赤外線映像装置を用いて測定した。この装置は赤外線センサーに水平160×垂直120素子のインジウム・アンチモン(InSb)が搭載され、1/100秒程度の瞬間に衝突平板全面の温度分布を熱画像として取り込み、最大1/52秒のフレームタイムで処理し温度分布を映す非接触型の測定器であり、温度分解能は0.025℃、最小の空間分解能は0.35mm×0.35mmである。時定数を小さくするために、加熱用平板としては、厚さ10μmのステンレス箔を用いた。噴流の衝突するステンレス箔の周囲をベークライト板に固定し、ステンレス箔の裏面に1.5mmの隙間ができるように赤外線の透過率が1に近い塩化ポリニデン・フィルムを貼り付け、熱散逸を除いた状態で真後ろから表面の温度を撮影した。この方法の測定により表面温度と噴口出口との温度差が80%の値に減少するまでの時間は0.057秒であり、非定常現象または急激な温度変化にも対応できる測定系である。この測定により従来の熱電対1本1本の測定をした場合に起こる各測定値の時間遅れをなくすことができ、同一時刻に起こっている熱移動現象が空間的に知ることが可能になった。またそれらの温度場は、時間平均の熱電対による温度場との比較および検定がなされており、本実験の範囲では十分な温度精度をもっている。また流れ場、とくに衝突平板上の流跡を酸化チタンにアマニ油を混ぜ、さらに粒子の凝固を防ぐための添加剤としてオレフィン酸を加えたものを油膜として用いて可視化した。それらの比較・対照より衝突熱伝達特性に関する新たな知見をえた。2噴流の熱伝達特性を知るための、実験装置の検定および噴流チャンバ

一部の流動チェックも兼ねて円，長円，十字形噴流による実験を行った。まず円形の単一噴流について明らかになったことは，熱伝達率分布は $X/D \leq 3$ (D : 噴口直径)では岐点 $r/D=0$ (r : 半径方向距離)よりむしろ $r/D=\pm 0.5$ にピークをもっている。この $r/D=\pm 0.5$ のピークは噴口直径 D と一致すること，噴口と平板間が小さい場合に現れる事を考えると，噴口から噴出したリング渦の影響と思われる。 $X/D < 4$ では噴流はポテンシャル・コアが存在する状態で衝突しており，岐点では最大速度は大きいものの乱れが小さく熱伝達率は余り増加しない。一方その周辺部ではリング渦により熱伝達率が高められ， X/D が増加するとリング渦の効果は消え軸線上の速度は減少するが軸線上の乱れの成分が大きくなるため $r/D=0$ でピークをもつ分布となる。 $X/D=1\sim 5$ において $r/D=\pm 2.0$ で極値がみられるが，それは岐点近傍の層流境界層が乱流境界層に遷移する遷移領域であるため，層流に比べ拡散作用が著しく大きくなるために現れる。さらに下流， $X/D=5\sim 6$ で岐点熱伝達率は最大となる。これはポテンシャル・コアが消滅した $X/D=4$ 以降では乱れ強さが大きくなる一方，最大速度の減衰が始まり，そのため両者の相殺の結果として岐点熱伝達率は $X/D=5\sim 6$ で最大となる。全体の分布は半径方向のみに依存し，周方向に変化のない分布である。

つぎに長円形噴流では X/D が増加するに伴い中心部の低温度域は，長軸方向に縮まり短軸方向に広がって長短軸が入れ替わる。また長短軸方向の外縁部でも長短軸が入れ替わり横に細長い分布となる。これは長円などの非円形噴流の渦構造は自己誘導速度がその曲率半径に反比例することより三次元変形を受け，曲率の大きい長軸側が短軸側の前方かつ噴流中心部に移動しその結果長径は減少し短径が増加し長短軸が入れ替わっていると考えられる。この長短軸が入れ替わる現象をスイッチング現象という。この現象は従来，自由噴流の場合に認められたものであり，衝突噴流の場合にもこのような現象の起こるといふのは新たな知見である。また平板上の流れ，熱伝達の場合を支配するものは衝突前にもっていた噴流特性によって決まることが分かった。長軸方向と短軸方向の熱伝達率を比較すると円形噴流の場合と異なり周方向に均一の挙動はなさず，噴口と衝突平板間距離が小さい場合，長軸方向では噴口端位置におけるピークが最高値となるのに対し，短軸方向では岐点が最高値となる。しかし $X/D=6$ 以降になると長短軸方向とも岐点で最大局所熱伝達率を有し，このピークを中心として長短軸方向へ緩やかに減少した分布となる。また長短軸方向における高

熱伝達率域の拡がりは、長軸方向より短軸方向が大きい。このことは、前述の自己誘導速度がその曲率半径に反比例し長短軸が入れ替わるためである。

本研究の主要な2噴口の衝突噴流の熱伝達特性についてつぎのようなことが明らかになった。

噴口間距離が短い $S/L=1.67$ では、 $X/D=1\sim 4$ で中心部に噴口形状と同じ縦長の低温度域が現れる。また $X/D=5\sim 6$ 以降で中心部の低温度域の長短軸が入れ替わり単一の非円形噴流で現れる自己誘導速度がその曲率半径に反比例することによるスイッチング現象(axis switching)である。

$S/L=3.33$ の場合、中心部では $S/L=1.67$ と同様な縦長の低温度域が $X/D=1\sim 4$ の範囲で見られ、 $X/D=5$ 以降ではスイッチング現象により長短軸が入れ替わる。しかし $S/L=1.67$ とは異なり $X/D=6$ 以降でも二つの低温度域は合体せず独立した円形の分布をしている。これは噴口間距離が大きいためであるが、 X/D がさらに増加すると $S/L=3.33$ においても二つの低温度域は合体して、分布の形状はほぼ円形に近づいていく。また $S/L=3.33$ において $X/D=1\sim 5$ の範囲では、二つの噴口の間際に当たる所に縦に細長い低温度域が存在する。これは両噴口から流出する噴流の干渉および噴流と流出流との干渉によるものである。噴口の中心間距離が $S/L=1.67$ に比べて大きくなったため低温度域は $S/L=1.67$ のように両噴口間の長軸方向には拡がらず、二つの噴口の間際に存在する。 $X/D=6$ 以降では、両噴流の干渉による影響より噴流軸線上の最大速度の影響が強くなり両噴口間の低温度域が消える。また長軸方向外縁部の低温度域の拡がりも $S/L=1.67$ に比べて小さく、全体の分布の形状は眼鏡型の形状をしており、長軸方向の低温度域の拡がりも $S/L=1.67$ に比べ $S/L=3.33$ は小さくなっている。

長円形の単一噴流と2噴流との比較をより明確にし噴流の干渉による影響を知るために、つぎのことを行った。単一噴流による分布の片側に2噴流の場合の片半分の温度分布図(Infrared Image)を重ねた。その場合の左右の分布の図の相違はつぎのようなものであった。

$S/L=1.67$ を合成した等熱伝達率分布線図において2噴口の方が高熱伝達率域が空間的に拡がっている。長軸方向の拡がりも両噴流の干渉によるものである。また2噴口の方が流量が大きいため空間的に高熱伝達率域が拡がっている。

$S/L=3.33$ の合成の場合は、2噴口の噴口間距離が大きくなったため、高熱伝達率域の長軸方向の拡がりも小さく、長短軸方向外縁部の分布は長円も2噴口も

同じ様な分布をしている。しかし2噴口においては両噴流の干渉および噴流と流出流との干渉により生じた高熱伝達率域が両噴口間に存在する。

噴口間距離が大きくなり $S/L=6.67$ となると($S/D=4$ に対応), 2噴口はずい分
離れに置かれた形となる。噴口と平板間距離が短い場合には, 両噴流の中間域
の長軸方向では, 内側では2噴流の特性が強く作用するために, 低熱伝達率域
となるが, 逆に外縁部では長軸方向に高熱伝達率域が突出する形となる。噴流
の干渉というより, 両噴流外縁の方は噴流が衝突した後長軸方向に沿って流出
する流出流れの影響である。 X/D が増大すると流出流の影響が薄まり, 2個の
明確な分布が現れる。その際の各分布のSwitching現象は S/L が小さい場合よ
り遅れる。

S/L を変化させた場合の2噴流の衝突熱伝達特性は S/L が小さい場合に, 噴流
が衝突する前に両噴流が干渉し, あたかも周方向に非対称な噴流曲率をもつ噴
流が衝突したような特性を示し, 1個の噴流としてSwitchingを起こす。また
 S/L が大きいと噴流は衝突した後に流出流として干渉し, 2個の単独な噴流の
特性を示し, 各々2個の噴流がSwitchingを起こし, 眼鏡状の分布を示す。中
間の S/L において, 噴流間の干渉, 噴流と流出流との干渉が存在し, そのいず
れの作用の強弱により流れ場・熱伝達率の場は非定常となる。それが本実験で
は $S/L=3.33$, ($S/D=2$)近傍であり, 強弱によって決まる双安定的なものでは
なく, たえず変動しており, 一体となった噴流が衝突した場合に, その流出す
る流れが非定常的か, あるいは準定常的な渦を伴った流動をしていると思われ
る。

まとめ

長円形オリフィス型噴口を用いて噴流群の干渉などによる伝熱促進・制御の
基礎資料を得るために, 2噴口の中心間距離および噴口と平板間の距離を変化
させ, 衝突熱伝達特性および流れ場特性を調べた。得られた主な結果は次の通
りである。

(1) 各噴口間距離 S/L に対する半径方向局所熱伝達率分布の変化は短軸方向で,
岐点および遷移によるピークのほかに2つの岐点間にもピークが現れる。また,
 X/D の増加にともない岐点のみをピークとする分布へ移行する。さらに噴口間

距離が小さい場合は $r/D=0$ 付近にピークをもつ分布へと移行する。

(2) 各噴口間距離 S/L において、長円形噴流の特性である"axis switching"現象が見られ、 X/D の増加にともない熱伝達率分布は岐点近傍において長軸方向への拡がりは減少し、短軸方向へ発達する。外縁部では逆の現象が起こる。

(3) 各噴口間距離 S/L において等熱伝達率分布と油膜法による可視化および赤外線映像装置による温度分布の対応は外縁部において熱伝達率の発達過程はよく一致している。岐点付近においては油膜法による可視化の様子は明確ではないが等熱伝達率分布および赤外線映像装置による温度分布においてはほぼ一致する。

(4) 各噴口間距離 S/L において、噴口平板間距離の近い $X/D=1$ の場合に衝突平板上の熱伝達率分布および流れの様子は、かなり異なってくる。 $S/L=1$ におけるその分布は十字形となり、他の L/D における分布は眼鏡状の形に近い分布となる。また噴口間においては均一な分布をとらない。また、 X/D が大きくなると $S/L=1.67$ では円形の分布へと変化し、噴口間距離が離れるにしたがい眼鏡状の形状に似た分布へと近づく。

(5) 半径方向における熱伝達率分布は長軸方向に比べ短軸方向の分布が広範囲にわたって高い値を示し、噴口間距離が離れるにしたがい顕著に見られる。

(6) 噴口間距離における噴流の干渉による熱伝達率分布への影響は噴口間距離が離れるにしたがい大きくなる。その分布は半径方向に対して均一な分布をとらない。 S/L の大きさの違いにより、衝突前の噴流間の干渉、噴流間の干渉と流出流との干渉、流出流との干渉による流れ場・伝熱特性が現れる。とくに $S/L=3.33$ の X/D が小さい場合に、噴流間の干渉と流出流との干渉を含み流れ場は非定常となる。