

氏 名 <sup>しま</sup> 島 <sup>だ</sup> 田 <sup>りょう</sup> 了 <sup>はち</sup> 八

授 与 学 位 工 学 博 士

学位授与年月日 昭和 60 年 11 月 13 日

学位授与の根拠法規 学位規則第 5 条第 2 項

最 終 学 歴 昭和 49 年 3 月

山形大学工学部機械工学科卒業

学 位 論 文 題 目 対流熱伝達促進法の回転体への応用に関する光学的  
研究

論 文 審 査 委 員 東北大学教授 武山 斌郎 東北大学教授 大谷 茂盛  
東北大学教授 相原 利雄

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 序 論

現在、さまざまな分野で、回転する機器が広く使用されている。これらの機器の中には、その内部発熱とそのおかれている環境によって、冷却に苦慮しているものも多い。もしも、「回転する」という特性をいかして、それを冷却に応用することができるならば、回転体の冷却も容易になりうる可能性をもつということが、本研究の発想であった。

熱伝達の向上をはかるには、温度境界層を薄くしなければならず、もしもその厚さをゼロとすることが可能であるならばそれが理想となろう。温度境界層を薄くする方法としては、それを機械的にはぎとってやる方法や、乱流プロモータによる境界層の剥離・再付着などの擾乱を与える方法などが考えられる。

回転体に乱流プロモータを取りつけると熱伝達の促進は容易に得られるが、この場合、プロモータを含めた周速が強度的にも問題となり、また、消費するエネルギーの観点からもなるべく小さく、しかも熱伝達の促進のはかれるものでなければならない。一般に乱流プロモータは層流でつかうほど効果があがるといわれているように、回転体が低速の層流境界層の領域ではより高い効果が期待できるのは当然であるが、さらに、乱流境界層の領域においても有効である乱流プロモータの開発的応用が望ましい。本研究はこれらの目的を達成させるために、基礎的ならびに応用的研究を行ない、それに考察を加えたものである。

## 第2章 回転円柱まわりの温度境界層のはぎとりと熱伝達の光学的実験

熱伝達がおこなわれている伝熱面上には温度境界層が形成されるが、もしもこの境界層が回転体に発達するならば、薄い板を伝熱面近傍に近づけることにより、容易にはぎとることが可能である。この場合、熱伝達が促進される場合のあることが当然期待できる。そこで、本章では、大気中で中心軸のまわりに回転する円柱を回転体としてえらび、その加熱面上に発達する境界層を長方形の板を近づけてはぎとり、境界層内の温度分布を光学的に計測することによって局所熱伝達率を測定し、熱伝達の様相を考察した。その結果として、図1で示すように、はぎとり板が熱伝達の促進に寄与するのは、回転レイノルズ数450～

1000の範囲であり、はぎとり角の影響は自然対流が熱伝達において支配的である臨界レイノルズ数以下で大きくあらわれた。

また、円柱とはぎとり板のすきまは小さいほど熱伝達は良く、はぎとり板の高さは温度境界層の厚さと一致する程度が良いという知見が得られた。なお、はぎとり板を円柱の上半分に置いてはぎとりの流れを妨げるだけで熱伝達の向上は望めない。また、多数のはぎとり板の場合も考察されている。

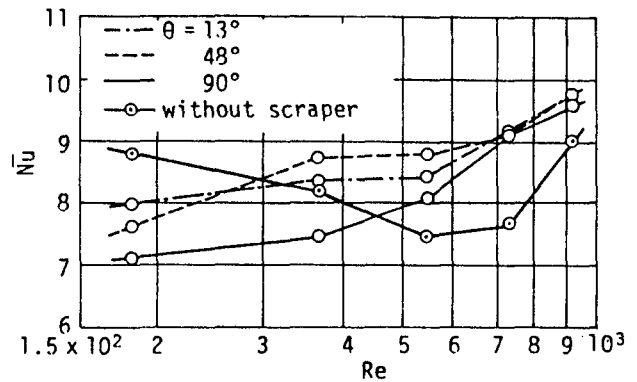


図1 回転円柱の平均熱伝達率  
(はぎとり板1枚の場合)

## 第3章 表面凸起による回転円柱の熱伝達促進

はく離流れの再付着点近傍で熱伝達が大きくなることが知られている。この現象を応用して回転体に凸起をつけて流れのはく離と再付着を起こし、熱伝達を促進しようことが考えられる。本章は大気中で回転する水平円柱の表面に凸起を取り付け、凸起の瞬間的各位置における円柱の熱伝達の様相、凸起の高さと数の影響などをマッシュェンダ干渉計を用いて瞬間写真の撮影をおこない、局所熱伝達率を解析しそれに考察を加えた。その結果として図2中に示す実

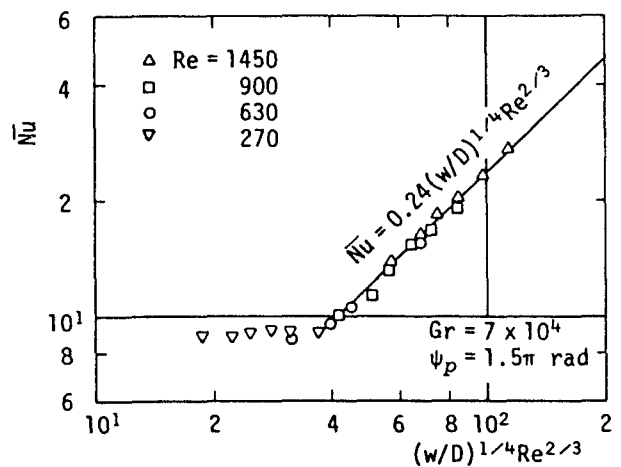


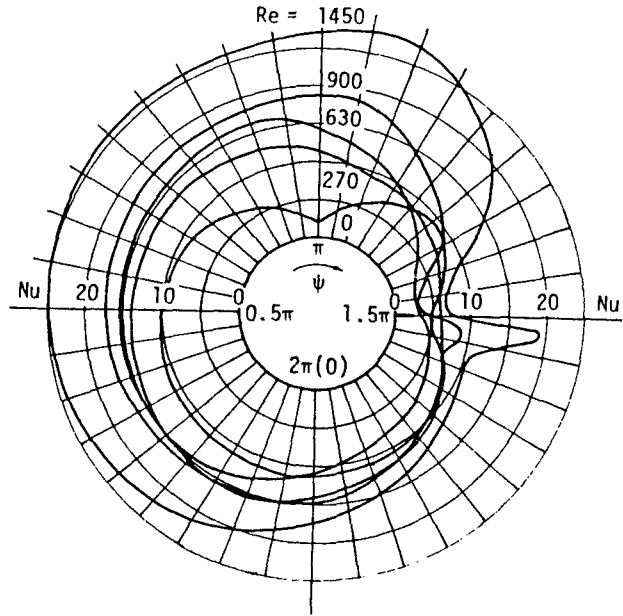
図2 実験式

験式が得られた。また、凸起の高さは高いほど、回転レイノルズ数が高くなるほど熱伝達率の向上に寄与することが明らかになった。さらに図3に示すような円柱まわりの局所熱伝達分布も測定され、熱伝達向上のための示唆を与えた。

#### 第4章 一様流れ中の円柱の対流熱伝達におよぼす壁面の影響

第2章で行なったはぎとり板による伝熱促進は乱流領域では十分な効果が現われず、また、第3章で行なった凸起によるものはその直後において死水圏による熱伝達の劣化が現われた。すなわち、理想の乱流プロモータは壁面との間にある最適の距離をもつ隙間の存在が必要であろう

との予想は容易に可能となる。それらの基礎的な考察をするために、本章の研究は行なわれている。本章は壁面にそい直列におかれた二つの円柱の後方の円柱に着目しこれを加熱し、前方円柱と壁面は非加熱とし、壁面が層流と乱流の二つの場合について壁との間隔、円柱間距離を変化させ、後方円柱の熱伝達率の測定を行なった。その結果として図4、図5に示されるように円柱と壁面距離との間隔により熱伝達率に最大値の存在することが明らかとなった。層流、乱流いずれの場合も、排除厚さ $\delta_1$ と円柱直径 $D$ の割合 $\delta_1/D=0.08$ の時、



( $Gr=7 \times 10^4$ ,  $\psi_p=1.5\pi$  rad,  $D=2.5 \times 10^{-2}$  m,  $w/D=0.20$ )

図3 熱伝達分布の基本的パターン

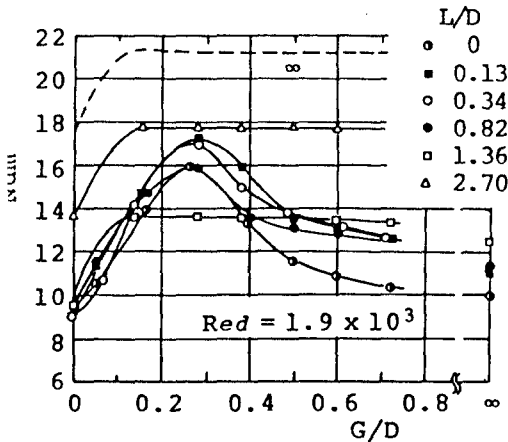


図4 層流壁面における壁面距離の影響

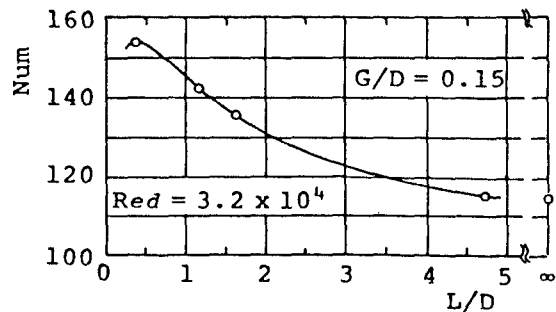


図5 乱流壁面における円柱間距離の影響

熱伝達が最も良くなる。なおここでの0.08は境界層厚さに相当する。

## 第5章 間隙を持つ乱流プロモータによる強制対流熱伝達の促進

本章では層流境界層の壁面で、伝熱面との間に間隙を持つ板状の乱流プロモータによる熱伝達の向上と流動損失の低下を解析するため、層流境界層に1枚のプロモータを設置した場合、多数のプロモータを入れた時の助走区間を想定して2枚のプロモータを設置した場合、そして多数のプロモータの設置による温度場、流れ場が発達した場合の3通りについて、プロモータと伝熱面の間隔、プロモータ間隔などを変化させマッシュペンダ干渉計により温度場の可視化計測を行ないながら局所熱伝達率を求めた。同時に煙による流れ場の可視化、圧力係数、摩擦係数の測定から乱流プロモータの性能の考察を行ない、回転体への応用のための基礎的研究とした。その結果として、1枚のプロモータでは、プロモータ高さが高いほど熱伝達が良く、多数のプロモータを挿入した場合、図6に示すように流動抵抗も考慮した性能比較を行ない、プロモータ高さ4mmにおいて間隙3mm、ピッチ

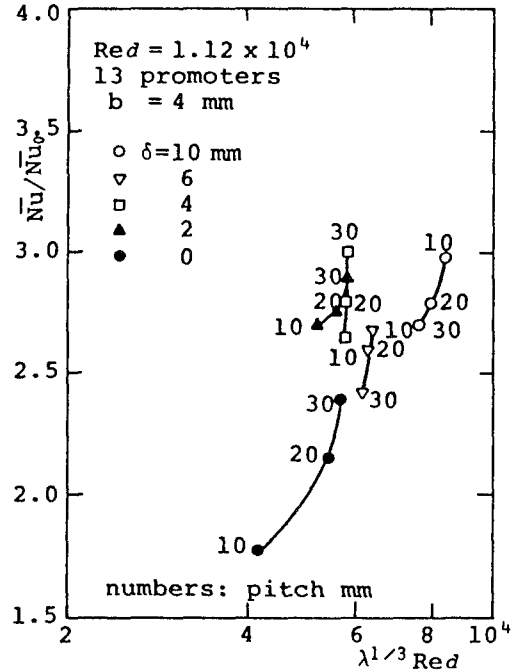


図6 性能比較

30mmが総合的性能の良いプロモータとなることが明らかとなった。この間隙は排除厚さと一致しており、排除厚さだけ伝熱面とプロモータとの間に間隙を設けるのが最も良い性能が得られる。これを回転体に応用することは容易である。

## 第6章 スリット付き乱流プロモータによる回転円柱の伝熱促進

第3章で行なった回転体に凸起を設ける方法は、回転が速くなるほど、凸起の高さが高くなるほど、熱伝達率は向上した。しかし、回転円柱を回転するためのエネルギーを考慮するとき、凸起は小さい方が望ましい。また、局所熱伝達率分布を見ると、凸起のすぐ後方で熱伝達が悪くなる場所がある。そこで、4章、5章の結果をふまえて、回転円柱表面と凸起との間にスリットを設け、スリットを通して凸起後方にも流れをつくると、エネルギー損失を減じながら熱伝達の向上が期待できる。本章は、回転する円柱表面にスリットを有する凸起を設け、熱伝達率を解析し、エネルギー消費割合についても検討した。

## 第7章 回転体における乱流促進体の熱流束密度による評価と本論文の総括

第6章ではエネルギー消費を考慮して熱伝達の促進率を検討したが、本章では熱交換器などに応用する場合を対象とし、小型化を要求した場合の熱流束密度で検討する。この観点に立てば、図7に示すように小さな凸起でも有効であることがわかった。なお、6章、7章で行なった評価法により以下のことが明らかになった。

- 1) 熱伝達だけに着目すると排除厚さと同じスリット高さを持つ凸起が良い。
  - 2) 熱伝達とエネルギー損失を考慮する場合、凸起高さを小さくし、スリット高さは凸起の約1/2を用いるのが良い。
  - 3) 小型化を要求する場合、凸起高さは、円柱直径の0.05倍、スリット高さは凸起の約1/2で回転数も高くするのが良い。
- 6章、7章で明らかになったことから使用目的に合わせた応用が可能となった。
- また、本章では本論文のまとめとしての総括を行なっている。

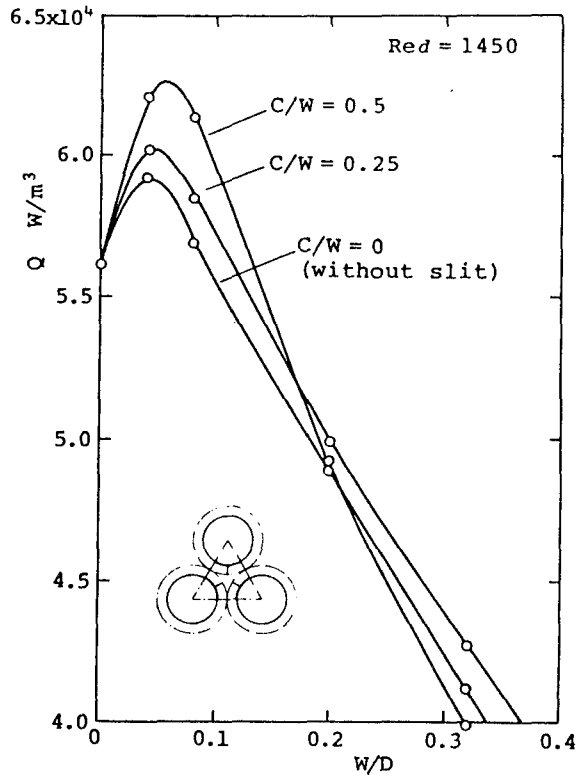


図7 熱流束密度

## 審査結果の要旨

乱流プロモータによって、熱伝達の効率のよい向上をはかる方法は伝熱工学における常套手段の一つである。

現在、広い分野で、回転する機器が使用されており、内部発熱と悪環境の中で、冷却に苦慮しているものも多い。もしも、「回転する」という特性をいかして、乱流プロモータを冷却に応用することができるならば、回転体の冷却も容易になりうる可能性をもつということが、本論文の発想である。

熱伝達を促進するためには温度境界層の構造を変えなければならず、その方法としては、境界層を機械的にはぎとること、また、境界層に剥離・再付着などの擾乱を与え、渦を発生させることなどが挙げられ、しかも消費エネルギーの少ないことが望ましい。

本論文は乱流プロモータを回転体に応用するための基礎的ならびに開発的研究をマッハツェンダ干渉計によっておこなったものであり、全編7章からなる。

第1章は序論である。

第2章では、加熱回転円柱面上の境界層を長方形の薄板を近づけて剥ぎとり、再び発達する境界層の温度分布から局所熱伝達率を考察し、はぎとり板の高さは温度境界層の厚さと一致することが望ましいが、回転レイノルズ数の大きい乱流境界層では効果が少ないという結果を得ている。

第3章は回転円柱に設けた表面凸起が、回転体表面の流れに剥離・再付着などの擾乱を与えることを利用した熱伝達促進の実験である。凸起の瞬間的位置における熱伝達の様相、その高さや数の影響などの写真を解析し、凸起の直後に伝熱劣化の領域があるものの、凸起の高さは高いほど、また、回転数が大きいほど、促進効果のあがることを発見し、整理式を提示している。これは、はぎとり板による結果とは正反対の特性である。

第4章および第5章は新しい乱流プロモータの指針をうるための基礎的研究である。前章で指摘された凸起直後のよどみ領域の伝熱劣化を回避することは伝熱促進とエネルギー損失との両面に対し、相乗効果のあがることを予期し、一様流れ中の円柱の対流熱伝達におよぼす壁面の影響を層流および乱流境界層のおのおのに対し詳細に検討し、理想の乱流プロモータは壁面との間にある最適の距離をもつ隙間の存在が必要であることを考察している。すなわちこの円柱と壁面の組み合わせを、スリットをもつ板状の乱流プロモータに対応させる平板境界層問題に拡張し、とくに流動抵抗を考慮するエネルギー評価をおこなっていることは有用な知見である。

第6章のスリット付き乱流プロモータによる回転円柱の伝熱促進の実験結果は、新しい乱流プロモータの開発の成功例であり、熱伝達のみを考えるならば、境界層の排除厚さと同じスリット高さをもつ凸起が良好であるとする結果は興味深い。

第7章では乱流促進体の熱流束密度の観点に立つ評価法に言及しながら本論文の総括をおこなっている。

以上要するに本論文は、乱流プロモータによる伝熱促進法を回転体に応用し、同時にプロモータに対する新たなる進展を示唆したものであり、伝熱工学ならびに機械工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。