

氏名	荒野 喆也
授与学位	工学博士
学位授与年月日	昭和60年3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33年3月 東北大学工学部機械工学科卒業
学位論文題目	高電界を利用した熱伝達の促進法に関する研究
論文審査委員	東北大学教授 武山 斌郎 東北大学教授 大塚 芳郎 東北大学教授 大谷 茂盛

論 文 内 容 要 旨

本論文は9章よりなっている。以下各章ごとに内容を概説する。

第1章 緒 論

コロナ放電ともなってコロナから対極に向かって吹くコロナ風を熱移動の増加に利用する方法は、大きな風圧が必要な所には適さないものの振動や騒音を生ぜず、消費動力も少なくすむので最近注目されつつある。例えばパッケージ型クーラーのコンデンサーに多く使われているブロワーによる強制通風方式の熱交換器においては、ブロワーの発する音や振動が都市公害の1つに挙げられその対策をせまられているが、これにコロナ風を利用することが出来れば省エネルギーにもつながり誠に好都合である。高電圧を印加して高い伝熱係数を得る方法については古くは Senftleben らの研究にはじまり、最近でも時折報告がみられるが、しかし高電圧により伝熱の促進される理由についても種々の考えが出され、加えて熱交換器に利用するための系統だった実験は数が少ないように思われる。

そこで円管を熱交換器として用いる事を想定して高電界中に置かれた円柱からの熱伝達に関して、関与する色々な因子について検討し設計上あるいは操作上の基礎資料を得ようと考えた。そして実験の結果を利用してコロナを用いた放熱器を持つ暖房器を試作し十分実用化し得ることを確かめた。

以上の研究動機と目的に引き続き本章ではコロナ風全般について概説し、またコロナ風を利用し

た伝熱あるいは物質移動に関する既往の研究について概説した。

第2章 高電圧印加による熱伝達促進の概況ならびにコロナ放電にともなう諸特性について

本章では予備的な実験を行なった結果について述べた。すなわち水平平面を伝熱面としてその上方なるべく平等電界を生じるように作製した電極をとりつけ高電圧を印加した場合伝熱係数は増加せず、コロナが発生するように伝熱面上に針電極を設けた場合にはじめて伝熱が促進される事を示した。円管を伝熱面とし、これに相対して針電極をとりつけた場合のコロナ電流-電圧特性、円管軸に沿う局所的なコロナ電流の強さ、コロナ風の円管軸に沿う風速分布など伝熱実験に先立って知らねばならぬ事を測定した。その結果コロナ電流印加電圧特性は従来いわれている $\sqrt{I_c} = a(V_c - V_{cs})$ の式に従う事、無次元化したコロナ電流値 $(I_c)_x / (I_c)_n$ を無次元距離 x/H に対して点綴すると電極間隙 H に無関係に1つの曲線で示される事を示した。さらにコロナ風については簡単な解析から針電極直下でのコロナ風の風速がコロナ電流値 I_c の $1/2$ 乗に比例する事を導き実験結果と対比した。さらにコロナ風の伝熱管軸方向の速度分布を測定し無次元コロナ風速 \bar{U}_x / \bar{U}_n は x/H の関数として印加電圧、電極間隙に無関係に規定出来ることを示した。また伝熱面として 0.2mm の白金線を用いた場合についても同様な実験をしたが、大きくみれば円管の時と同じ傾向を示すものの、細かにみれば針電極先端のみならず細線のまわりにもコロナが発生し円管に比し現象が複雑になる事を述べた。なお、いずれの場合も針電極の方を負極とした。

第3章 単一円管からの熱伝達

実験装置の測定部は内部に電気ヒーターを備えた長さ 300mm の肉厚銅管で、外径は $10, 20$ および 40mm の3通りにかえた。両端から逃げる熱をなるべく少なくするため測定部と同一構造の補償部を接合し、実験中測定部の温度と一致するよう補償部のヒーター入力を調節した。この上部に測定管と平行に直径 10mm 、長さ 550mm の銅の丸棒を針電極支持棒として置き、これに針電極をとりつけた。測定管表面温度は 0.1mm C-C熱電対で測定した。まず針電極を取去った支持丸棒と測定管の間に高電圧を印加した時の熱伝達係数を測定したが、自然対流の時の値に一致した。針電極をとりつけて測定した結果は、横軸に I_c の $1/2$ 乗、縦軸にNu数の両対数紙上で直線となっている。他の電極間隙 H 、管径 D 、針電極ピッチ p においても同様であった。 H/p とNu数の関係は伝熱管直径によってその値は異なるがほぼ同じ傾向となっている。他のコロナ電流値についても同様であった。 H/P を 0.7 程度にすると最も効果的である。

さらに測定管のまわりの温度境界層の様子を光干渉計で観察した結果も本章で述べた。

第4章 細線からの熱伝達

本章では円管直径を広範囲にかえ適用範囲を拡げる目的で行なった細線の熱伝達について述べた。高電圧を印加した時のNu数と自然対流時のそれとの差 ΔNu をコロナ電流の $1/2$ 乗に対して点綴すると、全体的にみれば針-円管系の場合と同じく直線で近似されるものの、 $\sqrt{I_c}$ の小さな所で多

少複雑な挙動がみられる。これは恐らくは細線自体にもコロナが発生し、両電極から互いにコロナ風が対極に向かって吹くためであろう。

第5章 コロナ風と類似な速度分布を持つ空気噴流を受ける単一円管からの熱伝達

高電圧を印加して熱伝達が増加する原因を検討するためノズルから噴出する空気中に円管を置いた場合の熱伝達を測定しコロナ風の時と比較した。

単一孔のノズルの場合、伝熱管の位置における管軸方向の速度分布はコロナ風の速度分布と著しく異なり、孔の形を変化させても速度分布にはあまり変化がみられなかった。そこで5ヶの孔を持つノズルを作製した。その速度分布はほぼコロナ風のそれと一致した。このノズルを伝熱管上方110 mmにとりつけて実験し、針電極間隙 $H=110$ mmのコロナ放電時における熱伝達係数と比較した。なお噴流とコロナ風の速度変動も熱線風速計で測定したが両者はほぼ同じ程度であった。これらの事から考えて空気中に置かれた伝熱面に電場をかけて熱伝達が促進するのは、コロナ風による強制対流のためであると思われる。

第6章 コロナ放電下における熱伝達に及ぼす諸因子に関する検討

LykoudisらはNu数に影響を及ぼす因子に考察を加えたが彼らの解析はコロナの生じない場合のものであるから本実験に適用するには無理がある。そこで運動量の考えをもとにして簡単な解析を行なった。実際にはコロナ風の速度分布を2次元として取扱う。さらに高電界の下で電場が誘電体に及ぼす力は単位体積当りに作用する電気力のみ、拡散によるイオンの流れは無視、の仮定の下で微小体積に出入するコロナ風の運動量変化を考え、それが外力（電気力）に等しいと置いて基礎式をたて、二三の仮定の下で変形すると針電極直下でのコロナ風の風速 \bar{U}_{n_0} をあらわす式を得る。第2章で得たコロナ風の速度分布をあらわす式を用いて伝熱管の管軸方向平均速度 $\langle \bar{U}_0 \rangle$ を算出し、これを代表速度と考えればNu数は次の関数形で示し得る。

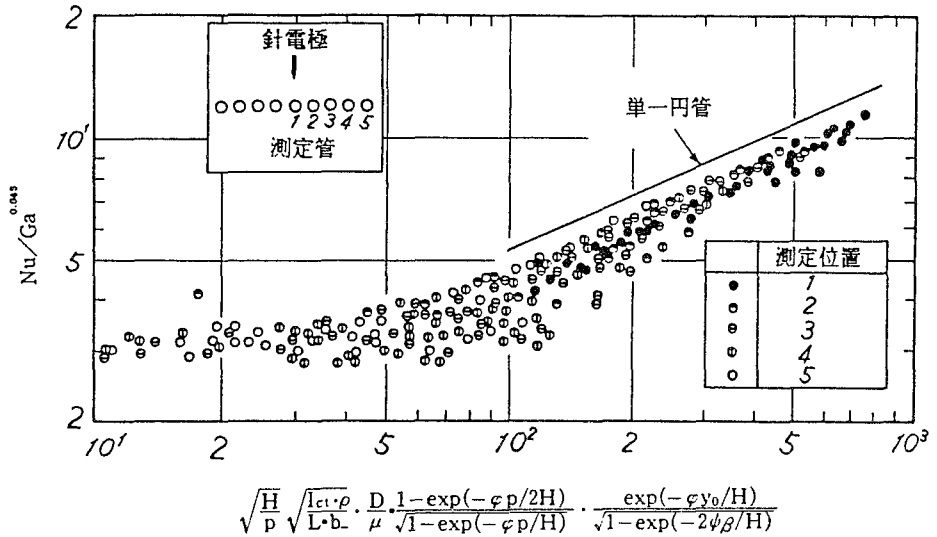
$$Nu = f \left\{ \sqrt{\frac{H}{P}} \cdot \sqrt{\frac{I c \rho}{L b}} \frac{1 - \exp\left(-\varphi \frac{P}{2H}\right)}{\sqrt{1 - \exp\left(-\varphi \frac{P}{H}\right)}} \frac{D}{\mu} \right\} \quad (1)$$

この式に従い測定結果を点綴したところ3管径の影響がみられたのでガリレオ数で補正を行ない、よい相関がみられた。これに基づき実験式を提唱した。

第7章 円管群からの熱伝達

熱交換器などにコロナ風を利用する際には単一管よりむしろ円管群として用いる場合の方が多と思われる。

そこで種々の円管群についての実験を行なった。まず水平な面に平行に並べた円管群について単一円管の場合にならない伝熱係数に關与する因子を運動量式から誘導しそれによって実験値が比較的良好に整理出来ることを示した(図1)。



$$\frac{\sqrt{H}}{\sqrt{p}} \frac{\sqrt{1 \cdot c_1 \cdot \rho}}{\sqrt{L \cdot b}} \cdot \frac{D}{\mu} \frac{1 - \exp(-\varphi p / 2H)}{\sqrt{1 - \exp(-\varphi p / H)}} \cdot \frac{\exp(-\varphi y_0 / H)}{\sqrt{1 - \exp(-2\psi \beta / H)}}$$

図1 円管群の各位置の熱伝達係数

次いで色々な配列の円管群に対して測定し、伝熱係数は両対数紙上で総コロナ電流の1/2乗に対して直線で示されることを明らかにし、コロナ風を利用した伝熱促進法は円管群に対しても有効であることを述べた。

第8章 コロナ風を応用したファンレス暖房器の試作

以上の基礎実験から高電圧印加による熱伝達促進の効果の大きいことが認められたので、これを暖房器に応用しようと考えファンレス暖房器を試作した。熱媒体はR-113を用い、蒸発器で気化したものを放熱器に導き、ここで放熱させて液化し、重力で蒸発器に戻す。

運転の結果放熱器は26℃の下で吹出し温度50℃、風量4.3 m³/minの能力があり十分満足し得る性能を出し得た。

第9章 総括

本章は本論文のまとめである。

審査結果の要旨

熱エネルギーの有効利用を目指す最近の熱伝達の研究は、その促進と限界および最適化に関する展開を志向するようになった。コロナ風による熱伝達促進の技術もその一つであり、これはあまり大きな風圧を発生できないという欠点はあるものの、振動や騒音を生ぜず、消費動力も小さいという特徴を持っている。

本論文は加熱円管とそれに相対して置かれた針電極との間に高電圧を印加するときの熱伝達についておこなわれた系統的研究であり、さらに、得られた結果を管群をもつ熱交換器への応用にまで拡張したもので、全編9章からなっている。

第1章は緒論である。

第2章から第4章では、まず、高圧印加による熱伝達促進の背景と相様を、水平面を伝熱面としておこなわれた基礎実験の結果から考察し、熱伝達が増加するのはコロナ放電時に限ることを指摘している。次いで、円管と水平細線の各伝熱面についての印加電圧に対するコロナ電流とコロナ風速の分布図を確定し、熱伝達への対応と整合を考察できる諸特性値を測定している。また、針電極と円管および水平細線との幾何学的関係の熱伝達に及ぼす影響を検討し、コロナ電流の平方根を用いて、ヌセルト数の整理をおこなっている。なお、これらに関連する、円管まわりの温度境界層の光干渉計による観察と、水平細線に対してコロナ電流の小さい領域に現われる特異な傾向の存在の指摘は興味深い。

第5章はコロナ風と同じような速度分布を実現できる多孔ノズルによる空気噴流の発生を試行し、熱伝達率の測定値において、両者がほとんど一致する噴流をつくることに成功している。すなわち、コロナ放電による熱伝達の促進はコロナ風の起す強制対流によるものと本質的には同じであることを確認している。

第6章では、コロナ放電時における熱伝達におよぼす諸因子の影響を明らかにするため、運動量変化にもとづく解析を行い、ヌセルト数を支配する電極間隙、針電極ピッチ、コロナ電流値および伝熱管直径等に関する関数関係を導き、全実験値を整理できる実験式を導入している。

第7章および第8章は、コロナ風を熱交換器に応用するために必要な円管群の熱伝達に関与する関数形を単一管の手法を拡張して誘導し、さらに種々の配列の円管群に対して検討を加えている。その結果を送風機をもたない暖房器の放熱部に応用し、運転結果は極めて満足出来ることを確認している。

第9章は総括である。

以上要するに本論文は、コロナ放電を熱伝達の促進に応用せんとして、高電界中に置かれた円管の熱伝達に関する研究をまとめたものであり、伝熱工学の進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。