

氏名（本籍）	渡部 英昭（秋田県）
専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	理博工 第261号
学位授与の日付	令和2年12月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項 該当
研究科・専攻	理工学研究科 総合理工学専攻 高精度温度流速計の開発と加熱円柱後流輸送機構の解明
学位論文題目 （英文）	（Development of high-precision thermo-anemometer and measurement of transportation in the intermediate wake of a heated cylinder）
論文審査委員	（主査）教授 田子 真 （副査）教授 中村 雅英 （副査）教授 足立 高弘 （副査）教授 今野 和彦

論文内容の要旨

本論文は、水平加熱円柱後流における輸送機構について、実験的に詳細に検討したものである。

自然界の流れの内部に発生する浮力は、流れ場内のエネルギー輸送機構に影響を及ぼし、温度変動場特有の現象を生じさせる。流れ場内での輸送機構を解明できれば、エネルギー機器の効率向上や大気中での汚染物質の拡散予測、正確な長期気象予測等を、より高いレベルで実現することが可能となる。しかし、従来、温度・速度変動の同一位置・同時刻計測が可能な手段がほとんど存在しなかったため、輸送機構の解明に不可欠な、温度・速度変動間の高精度な高次相関量等を求めることは不可能であった。それゆえ、過去の研究の大部分が、浮力の効果を見逃せる流れ場のみで限定されており、自然界の流れにおける輸送機構の厳密な解明は困難であった。よって、温度・速度変動の同一位置・同時刻計測手段の確立が求められて来た。

本研究では、①温度・速度変動の高精度な同一位置・同時刻計測が可能な、新たなシステムを構築し、②比較的高いレイノルズ数 Re_D と比較的低いリチャードソン数 Ri_D を持つ水平な温度変動流れ場を風洞内に形成し、③前記計測システムで得られた平均量や変動量、

高次相関量から、浮力が流れ場の輸送機構に与える影響について詳細に検討すること、及び、④Direct Numerical Simulation 等による数値解析結果の物理的妥当性を検証する際に不可欠な、信頼性の高い実験データを提供すること、を目的としている。

第1章の序論では、温度・速度変動の同一位置・同時刻計測に関し、従来の計測手法が内包している諸問題、これらの問題をほぼ解決した蒔田らの二線式温度流速計に残されている若干の問題点、及び上記諸問題を全て解消した新型二線式温度流速計を完成する必要性、等を述べた。そして、同温度流速計を使用して高精度な計測を実施することにより、流れ場の構造や輸送機構に対し、浮力が及ぼす影響を明らかにする必要性について述べた。

第2章では、前章で触れた蒔田らの二線式温度流速計に残る諸問題の内容と、解決手段として本研究で新たに考案した諸回路について、具体的かつ詳細に述べた。すなわち、①任意の温度の気流中で、熱線温度の設定だけで流速の温度補償式の係数を決定できる回路、②高精度化した温度補償回路、③高温気流中での速度信号の減衰を高精度で補正できる回路、④計測中、無調整で温度波形の遅延が可能な遅延補償回路、等を新たに実現した。そして完成した温度流速計が、温度・速度変動の同一位置・同時刻計測による、高精度な高次相関量を導出可能であること、非熟練者でも容易に、高い精度の較正を短時間で実施することが可能になったこと等を述べた。

第3章では、風洞内に、比較的高いレイノルズ数($Re_D=3000\sim 10000$)と比較的低いリチャードソン数($Ri_D=0\sim 0.0568$)を持つ水平な加熱円柱後流を形成し、 $X/D=5\sim 40$ の各断面における温度・速度変動を、温度流速計により同一位置・同時刻計測した結果と流れ場の可視化写真から、平均場への加熱の影響について検討した。その結果、加熱により、 X 、 Y 方向速度乱れ強さ、及び温度乱れが増加しエネルギー交換が活発になること、 X 方向で渦崩壊が早まること、等を明らかにした。また加熱による運動エネルギー交換の活発化により、 X 方向での欠損速度の回復が非加熱時より早められること、加熱により最上流断面で増大した平均速度分布の平均勾配が、 X の増加にしたがい非加熱時より早く減衰すること、平均場の構造が非対称化すること、等を明らかにした。さらに各断面における平均温度、温度乱れ強さ、及び X 、 Y 方向速度乱れ強さの最大値が、 X/D 、 Re_D の増加と共に減少し、 Ri_D の増加と共に増加すること、各最大値が、全 U_0 及び $\Delta\theta$ に対し、 X 方向においてそれぞれ同じ減衰特性を持つこと、この減衰特性が渦崩壊と密接な関係を持つこと、等を示した。

第4章では、 $X/D=5\sim 40$ で変動速度間の高次相関量分布を求め、加熱による後流構造の非対称化が、運動量輸送機構に及ぼす影響について検討した。そして、本流れ場のような高 Re_D 数、低 Ri_D 数の後流内でも構造が非対称化すること、その原因が、上流側断面での渦対の回り込みと下流側断面での上層渦の上方への伸長であること、構造の非対称化により、レイノルズ応力分布のピーク値が、上流側断面では $Y/D>0$ 側で増加し $Y/D<0$ 側で減少するが、中盤以降の断面では上下ピーク値間の差が無くなること、平均渦度分布もレイノルズ応力分布と同様な傾向を持つこと、等を示した。以上の結果から、加熱による構造の非対称化が、運動量輸送機構に影響を及ぼすことを明らかにした。さらに、後流内で運動量輸送の主体となるのは、上流側断面では渦放出周波数 f_c を持つ変動速

度であるが、下流へ向かうにしたがい、加熱時のみ f_c 以外の周波数を持つ変動速度へと変化し、その原因が加熱による渦崩壊の促進であること、等を示した。

第5章では結論を述べた。

論文審査結果の要旨

自然界の流れの内部に発生する浮力は、流れ場内のエネルギー輸送機構に影響を及ぼし、温度変動場特有の現象を生じさせる。流れ場内での輸送機構を解明できれば、エネルギー機器の効率向上や大気中での汚染物質の拡散予測、正確な長期気象予測等をより高いレベルで実現することが可能となる。

本研究では、①温度・速度変動の高精度な同一位置・同時刻計測が可能な、新たなシステムを構築し、②比較的高いレイノルズ数 Re_D と比較的低いリチャードソン数 Ri_D を持つ水平な温度変動流れ場を風洞内に形成し、③前記計測システムで得られた平均量や変動量、高次相関量から、浮力が流れ場の輸送機構に与える影響について詳細に検討すること、及び、④Direct Numerical Simulation等による数値解析結果の物理的妥当性を検証する際に不可欠な、信頼性の高い実験データを提供することを目的としている。

本論文は、全5章で構成されている。

第1章では、温度・速度変動の同一位置・同時刻計測に関し、従来の計測手法が内包している諸問題、これらの問題をほぼ解決した蒔田らの二線式温度流速計に残されている若干の問題点、及び上記諸問題を全て解消した新型二線式温度流速計を完成する必要性等を述べた。

第2章では、前章で触れた蒔田らの二線式温度流速計に残る諸問題の内容と、解決手段として本研究で新たに考案した諸回路について、具体的かつ詳細に述べた。すなわち、①任意の温度の気流中で、熱線温度の設定だけで流速の温度補償式の係数を決定できる回路、②高精度化した温度補償回路、③高温気流中での速度信号の減衰を高精度で補正できる回路、④計測中、無調整で温度波形の遅延が可能な遅延補償回路等を新たに実現した。

第3章では、風洞内に比較的高いレイノルズ数($Re_D=3000\sim 10000$)と比較的低いリチャードソン数($Ri_D=0\sim 0.0568$)を持つ水平な加熱円柱後流を形成し、 $X/D=5\sim 40$ の各断面における温度・速度変動を、温度流速計により同一位置・同時刻計測した結果と流れ場の可視化写真から、平均場への加熱の影響について検討した。その結果、加熱により、 X 、 Y 方向速度乱れ強さ、及び温度乱れが増加しエネルギー交換が活発になること、 X 方向で渦崩壊が早まること等を明らかにした。

第4章では、 $X/D=5\sim 40$ で変動速度間の高次相関量分布を求め、加熱による後流構造の非対称化が運動量輸送機構に及ぼす影響について検討した。そして、本流れ場のような高 Re_D 数、低 Ri_D 数の後流内でも構造が非対称化すること、その原因が、上流側断面での渦対の回り込みと下流側断面での上層渦の上方への伸長であること、構造の非対称化により、レイノルズ応力分布のピーク値が

上流側断面では $Y/D > 0$ 側で増加し $Y/D < 0$ 側で減少するが、中盤以降の断面では上下ピーク値間の差が無くなること、平均渦度分布もレイノルズ応力分布と同様な傾向を持つこと等を示した。

第5章では結論を述べた。

以上より、本研究では高精度な新型二線式温度流速計を開発するとともに、計測により得られた温度・速度に関わる各種平均量、変動量、渦放出周波数の変化等から、平均場構造の非対称化や渦放出周波数の変化に対する加熱の効果、各平均量最大値の流れ方向における減衰特性を検討するとともに、高精度な温度・速度変動間での高次相関量を導出し、加熱により非対称化した後流構造が運動量輸送機構に与える効果を検討した。これにより、流れ場内の運動量輸送機構の詳細な測定が可能となり、熱交換器など各種工業装置の高効率化への貢献や汚染物質の拡散予測など地球環境問題への適用も期待される。したがって、工学的な意義も極めて大きく、本論文は、博士（工学）の学位として十分に価値があると認められる。