

# ガソリンエンジンにおける燃焼室内熱伝達の計測 （空燃比の影響の検討）

長瀬 慶紀<sup>1)</sup>・亀園 淳二<sup>2)</sup>・田坂 英紀<sup>3)</sup>

## Measurement of Heat Transfer to Combustion Chamber of Gasoline Engine (Examination of Influence of Air-Fuel Ratio)

Yoshinori NAGASE , Junzi KAMEZONO , Hidenori TASAKA

### Abstract

As for an internal combustion engine, making to highly effective is requested because of the improvement of environmental problems. For the purpose, the gas flow in the cylinder is introduced for the improvement of the rate of burning. However, to promote the heat transfer between the gas in the cylinder and the combustion chamber wall by introducing the gas flow, it does not necessarily connect with making to highly effective. In this research, gas flow measurements and heat flux measurements are carried out by changing swirl strength and air-fuel ratio. The relation between gas flow and heat transfer coefficient in air-fuel ratio change is clarified.

### Keywords:

Gas flow, Heat transfer coefficient, Air-fuel ratio, Heat flux probe

## 1. はじめに

地球温暖化ガス排出の低減などの環境問題の改善のため内燃機関には高効率化が求められている。改善策の一つとしてエンジン燃焼室内にガス流動を積極的に導入し、燃焼速度の向上を図ることが行われている。しかし、この方法では筒内ガスと燃焼室壁面との間の熱伝達をも促進してしまうため<sup>1-3)</sup> 必ずしも高効率化につながるとはいえないことから、ガス流動と熱伝達率の相互関係を調べる必要があるとなる。

そこで本研究では、同一機関回転数において、スワール強度および空燃比を変えた場合の流速測定および熱流束測定を行い、筒内ガス流動が熱流束に及ぼす影響を調べ、

着火運転時の筒内ガス流動と熱伝達率の関係を明らかにすることを目的とする。

## 2. ガス流動測定

### 2.1 供試機関

本研究で用いる機関は、4サイクルOHV型単気筒試験用の機関（形式名：TRE-1）であり、多様な燃焼状態の解析が行えるように設計されている。供試機関の概要を図1に、主要諸元を表1に示す。燃焼室形状は直径85mm、トップクリアランス24mmのパンケーキ型である。吸排気系は2バルブ方式で、吸気バルブの傘部にシュラウドを取り付け、新気をシリンダ壁面に沿うように誘導することで、筒内にスワールを形成させる。シュラウド設置角を変えることは可能であるが、それでは流れのパターンをも変えることになるため、本研究ではシュラウド設置角をシリ

1) 機械システム工学科助教授

2) 機械システム工学専攻院生

3) 機械システム工学科教授

シユラウド法線方向に対し 90° に固定し、スワール強度の変更はシユラウド角の異なるバルブと交換することで行うこととした。シユラウド設置角を図2に示す。これにより同一パターンの流れでありながら、スワール強度のみの変更を可能としている。

燃焼室を形成しているシユラウドライナには、熱流束計用

アダプタ、可視化窓、圧力計、点火プラグが取り付けられるように取付け口が設けられている。また、シユラウドヘッドにも熱流束計取り付け口がある。

機関の点火方法は、トランジスタを用いた誘導コイルによるものであり、電極として、ステンレス棒材を延長して取付けることで上死点でのシユラウド中心にて点火を行っ

表1 供試機関主要諸元

Engine type	4stroke,OHV
Cylinder number	Single cylinder
Firing system	Full Transistor Ignition
Fuel supply system	Fuel injection
Combustion chamber configuration	Pancake type
Bore×Stroke	85.0 mm×85.0 mm
Stroke volume	482 cc
Top clearance	24.0 mm
Compression ratio	4.54

表2 実験条件

Air fuel ratio	15	20
Engine speed[rpm]	1000	
Charging efficiency[%]	70	
Ig-timing [deg.BTDC] ( ):Shroud angle[deg.]	19(120)	31(120)
	20(180)	28(180)
	20(240)	30(240)
Exposure timing [deg.ATDC] for flow velocity measurement	20	
	30	
	60	
	90	
	120	

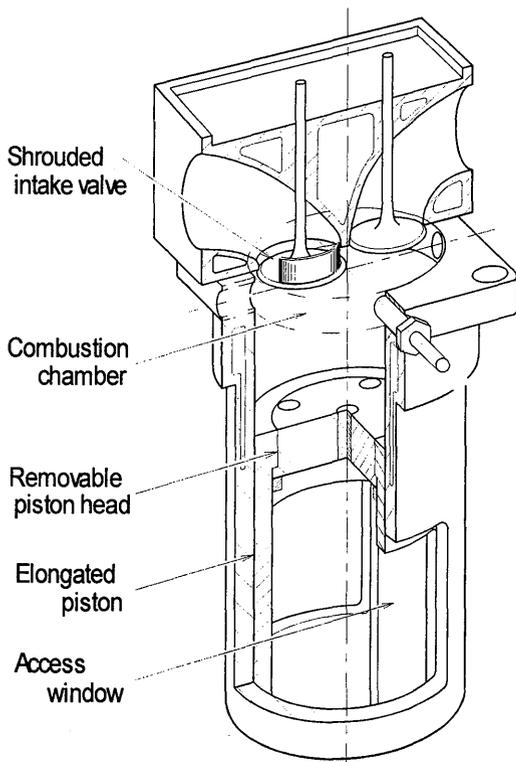


図1 供試機関

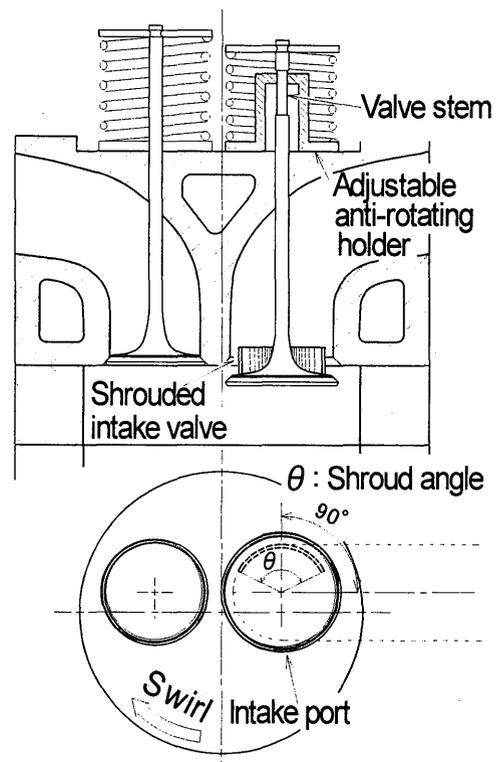


図2 シユラウドバルブ

ている。なお、本実験では、流速測定、熱流束測定共に同じ電極の位置にて行った。表2にガス流動測定、熱流束測定の実験条件を示す。

2.2 ガス流動測定装置

ガス流動装置概略を図3に示す。機関の延長ピストンのピストン頂面に石英ガラス製のピストンヘッドを設置し、延長ピストン下部に45°の反射鏡を設置することで、燃焼室内の可視化計測が行えるようになっている。また、粒子画像追跡法を行うために燃焼室側面に石英ガラス製の可視化窓を装着し、燃焼室内を照明することができる。粒子画像追跡法に用いる光源として2台のNd:YAGレーザを用いた。光源からのレーザビームは、シート状にされ石英ガラス製の可視化窓を通して燃焼室内にある同一平面上のトレーサへ照射される。CCDカメラのシャッタが開いている間にレーザを2回発光させ、撮影した粒子画像をコンピュータで記録し、解析を行った。

3. 熱流束測定

3.1 熱流束計

今回使用する銅-コンスタンタン熱流束計の構造を図4に示す。熱流束計の母材はφ3.2mmのコンスタンタン丸棒を使用し、長さ10mmになるように両面を平行な平面に仕上げており、その片面に3つの深さの異なる小孔a, b, cをそれぞれ端面に垂直に設けてある。

小孔aは、直径0.7mmの貫通穴で0.65mmの表面接点用銅素線を挿入し、表面端面を均一平面にし、素線挿入部

側面をかしめ、表面部分に電解メッキにより厚さ10μmの銅薄膜を施すことにより表面接点を形成している。小孔bは、直径1.4mmで、表面から深さ5.0mmまで穴を設け、深さ5.0mmの部分に0.65mmの銅素線の先端を点溶接することにより内接点を形成している。その際、点溶接部以外での接触を防ぐためにセラミックチューブ（ガイシ）で母材-素線間を覆うことにより溶接点以外での電気的絶縁を可能にしている。

小孔cにはアース線となる0.65mmのコンスタンタン線を挿入し、かしめを行う。

以上より熱流束計には、表面接点と内接点の2つの接点において熱電対が形成されている。

3.2 熱流束測定装置

熱流束測定装置の概略図を図5に示す。各計測部に取り付けた熱流束計より得られた熱起電力のうち、表面接点電圧はバイアス装置を通すことにより逆電圧をかけて全体の電圧を下げ、差動アンプを用いて非定常部分のみ1000倍に増幅している。その後、ひずみゲージ式圧力計から得られる圧力信号と共に、16チャンネル、分解能12bitの

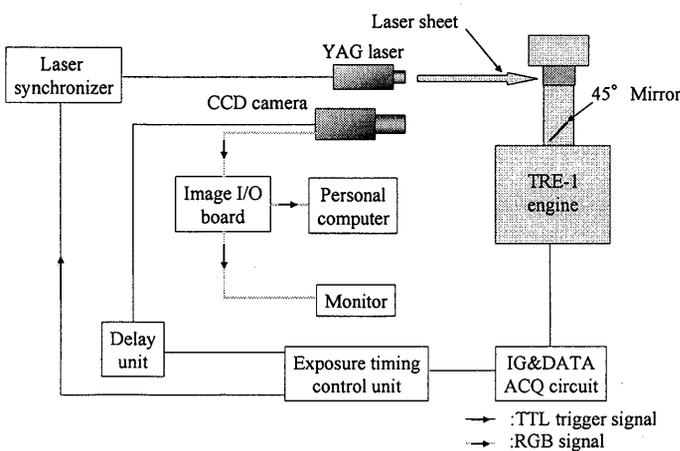


図3 ガス流動測定装置

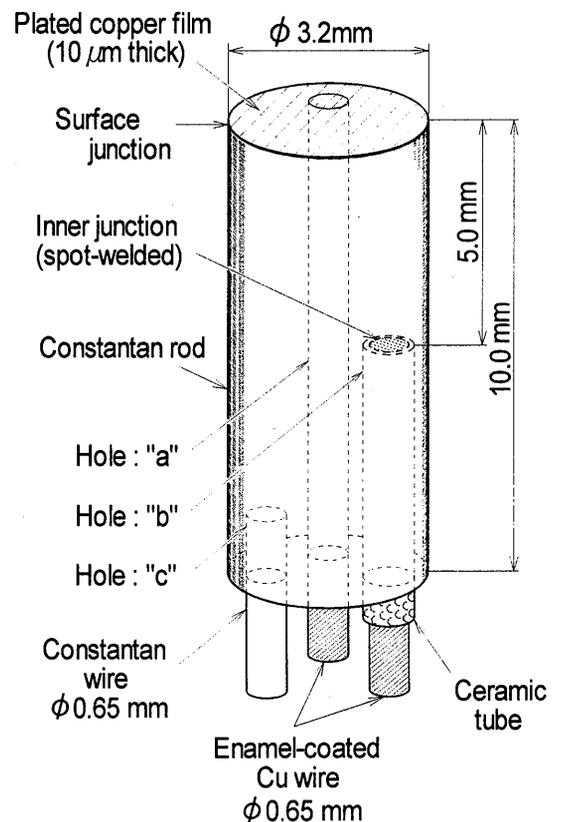


図4 熱流束計の構造

A/D変換ボードを介してデジタル信号としてコンピュータに記録される。これにより 60  $\mu$ s ごとの表面温度変化が計測され、熱流束の非定常成分が計算される。

内接点電圧は機関が十分に暖機された状態では一定値を示すため、バイアス電圧とともにデジタルボルトメータで直接、各熱流束計について読み取る。熱流束測定時には特に重要である機関の熱的平衡を厳密に制御する必要があり、冷却水の温度や潤滑油の温度の管理が重要である。そこで、冷却水と潤滑油の輸送配管部の機関への入り口と出口部分それぞれに設けられた温度計で温度を監視し、機関入り口での両温度が 80°C となるように制御を行っている。

#### 4. 実験結果及び考察

##### 4.1 ガス流動測定結果

今回流速測定法に PIV による自己相関法を用いて流速測定を行ったが、次の様な理由により、十分な解析を行うことができなかった。

- (1) 背景輝度が高く、トレーサの反射光が弱い。
- (2) 2台のレーザの発光強度に差がある。
- (3) 粒子の検査領域外への流出がある。

そこで解析方法を相関法から、PIV 画像による PTV 法に変更した。

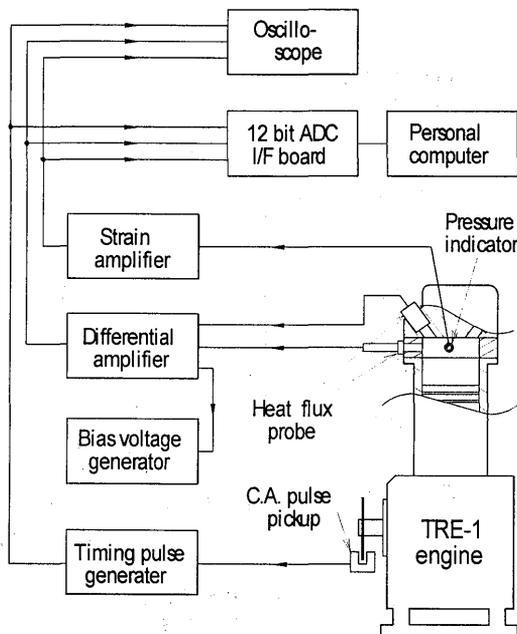


図5 熱流束測定システム図

PTV 法の原理は、画像上の二時刻の同一粒子像の粒子対を判別し、粒子の移動距離とレーザの発光間隔から流速を求めるものである。

各実験条件として、半径比 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 の4領域ごとに粒子対を 20 対ずつ計 80 対判別することとした。PTV 法によるスワール比算出結果を図6に示す。図より、A/F15 と A/F20 による流速値の変化はほとんどないといえる。今回新たに ATDC20° を測定したが ATDC30° より流速は速いがあまり変わらなかった。また、全条件にて燃焼終了後、流速は遅くなる傾向を示す結果となった。

##### 4.2 熱流束測定結果

本研究では実験を行った結果、現時点で最も良い追従を示している<sup>4-6)</sup> コンスタンタン母材銅-コンスタンタン

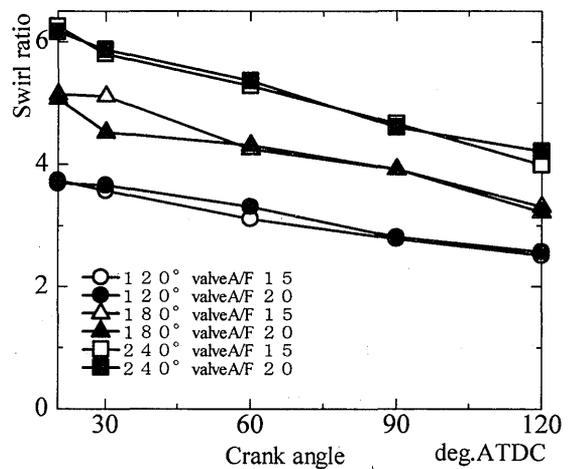


図6 スワール比算出結果

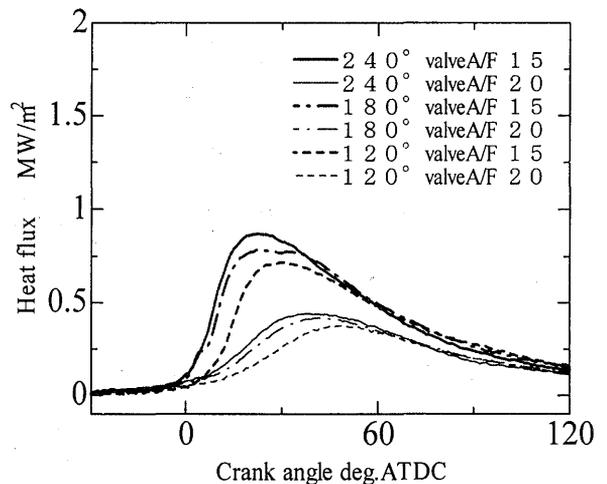


図7 熱流束波形(ライナ部)

熱流束計を熱流束測定に用いることにした。図7にライナ部の熱流束波形を示す。図より、空燃比15と20を比べると、立ち上がり、減衰共に空燃比15の方が急で、熱流束値も大きい結果となった。また、空燃比15の方が、早い時期にピーク値が現れる。バルブごとに見ると、空燃比15はシュラウド覆い角の大きなバルブ順に熱流束値のピーク値も高くなっている。また、空燃比20においても同じ傾向が見られる。

4.3 ガス流動と熱伝達率との関係

熱流束値、ガス温度および燃焼室壁面温度から熱伝達率を求め、スワール比との関係を調べる。図8に比較的安定しているライナ部における熱伝達率とスワール比との関係を示す。図において各プロットは、ライナ部4点の平均値を示している。図より、各バルブともクランク角度が大きくなるにつれてスワールが減少しており、同一クランク角度においては、バルブのシュラウド角が大きくなるにつれスワール比が大きくなっていることがわかる。また、スワール比が大きくなるにつれて熱伝達率が上昇する正の相関がみられる。

4.4 無次元数整理

熱伝達率と流速値を用い、それぞれの無次元数であるヌセルト数（以下Nu数）とレイノルズ数（以下Re数）を算出し無次元数整理を行った。Re数の代表速度にスワール比より燃焼室壁面の流速値を算出し、Nu数はヘッド部、ライナ部、ピストン部の計測部分ごとの計測点の数の差による影響を抑えるため、各計測部における平均値とした。図9にA/F15のNu数とRe数の関係を示す。図9より、Nu数はピストン、ヘッド、ライナの順に高くなっている。全データの傾向ばかりではなく、全ての計測部においても正の相関が見られる。また、バルブごとに見ても正の相関がみられる。

図10にA/F15および20のデータを合わせたNu数とRe数の関係を示す。図よりA/F15、20のデータの分布がほぼ一致したため、同じRe数によるNu数の影響は少ないとし、A/F15およびA/F20の両データを合わせて、無次元数整理を行った。整理式の結果を以下に示す。

$$Nu = 0.012 Re^{0.87}$$

指数の値は0.87となり、従来の研究の結果からすると少し高い結果となったが、空燃比の違いがあっても無次元数整理式を導出することができたことにより、この整理式はより一般性を持った式であるといえる。

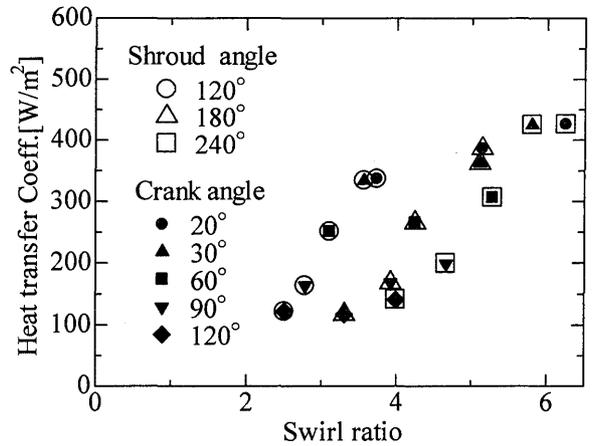


図8 熱伝達率とスワール比との関係

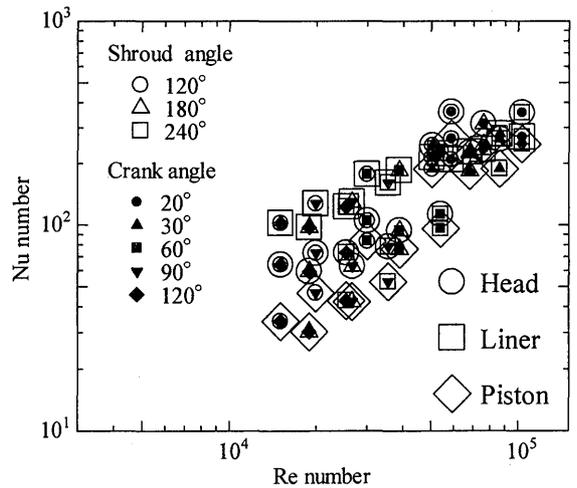


図9 Nu数とRe数の関係 (A/F15)

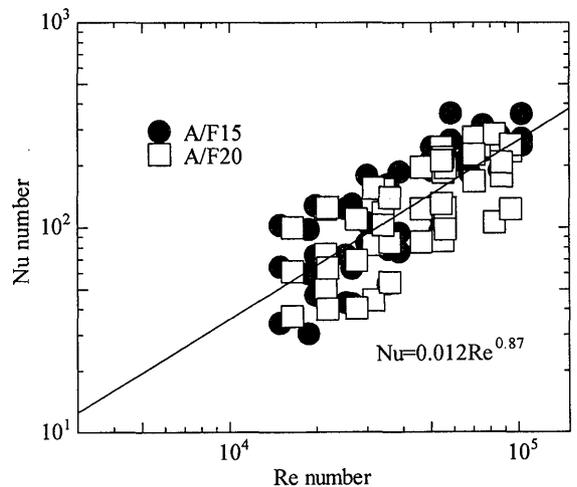


図10 Nu数とRe数の関係 (A/F15とA/F20)

## 5. まとめ

ガソリンエンジンにおける熱伝達とスワール比との関係を調べるために、画像計測法を用いた流速測定および薄膜式熱流束計による熱流束測定を行った。その結果、以下の結論を得た。

1. PTV法を用い流速測定を行った結果、空燃比15および20について、流速値にはほとんど違いはなかった。
2. 熱流束波形は空燃比15の方が空燃比20に比べピーク値が高く、立ち上がり、減衰ともに急であった。
3. 空燃比の違いによるNu数に及ぼす影響は小さいことがわかり、空燃比15および20の両データを合わせて無次元数整理を行うことができた。

## 謝辞

本研究に協力していただいた、木村正寿技官、友松重樹助手、また、実験に協力して頂いた因幡氏、根井氏、末松氏、寺嶋氏に記して感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 田坂英紀, 田島博士: 火花点火機関における熱伝達に関する実験的研究, 日本機械学会論文集 (B編) 62巻 599号, pp. 362-366, 1996
- 2) 榎本良輝, 古浜庄一: 四サイクルガソリン機関の局所熱伝達率に関する研究, 日本機械学会論文集 (B編) 53巻 496号, pp. 3835-3842, 1987
- 3) 吉田正一, 針谷安男, 西田勤: 予燃焼室式ディーゼル機関燃焼室各部の熱の流れ, 日本機械学会論文集 (B類) 45巻 391号 pp. 416-424, 1977
- 4) 西 邦紘: エンジン燃焼室の熱伝達に関する研究, pp. 29, 宮崎大学大学院修士論文, 2001
- 5) 長瀬慶紀, 田坂英紀, 友松重樹, 火花点火機関における熱流束計測の精度向上, 日本機械学会講演論文集, No. 028-1, pp. 189-190, 2002
- 6) 長瀬慶紀, 根井郁拓, 田坂英紀, 定容燃焼容器によるエンジン用熱流束計の実験的研究, 日本機械学会講演論文集, No. 038-1, pp. 329-330, 2003