

ガソリン燃焼チーム クラスター大学14 (冷却損失低減班)

明治大学 理工学部 中別府修, 出島一仁, 樋口雅晃

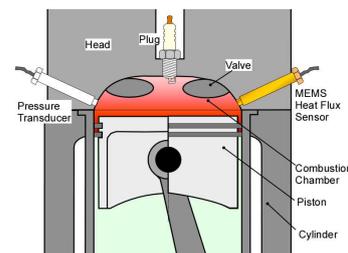
MEMSを用いた高空間分解能熱流束センサの開発

目的

- エンジンの冷却損失の把握と低減技術の開発のため、エンジン内壁面の定量的な熱流束計測技術の開発
- HINOCA検証用熱流束実験データの提供
- MEMS技術を用いたエンジン用多点熱流束センサによる乱流熱伝達情報の抽出手法の開発

研究方法

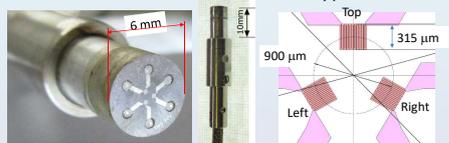
- 隣接3点熱流束センサの開発
薄膜RTD方式, エンジン用センサ制作, 較正方法, 解析方法の開発
- 共用エンジンにおける熱流束計測と乱流熱伝達情報の抽出
HINOCAへの熱流束に関するアンサンブルデータ, 瞬時データ, 条件付平均データの提供
相関解析による壁面接線方向流速, 変動スケールの抽出



主な成果

- エンジン用隣接3点熱流束センサの開発

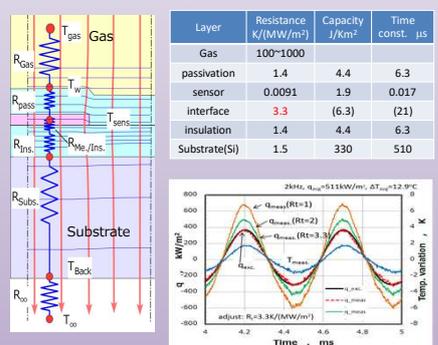
MEMS3点熱流束センサ (RTD type)



センサ特性

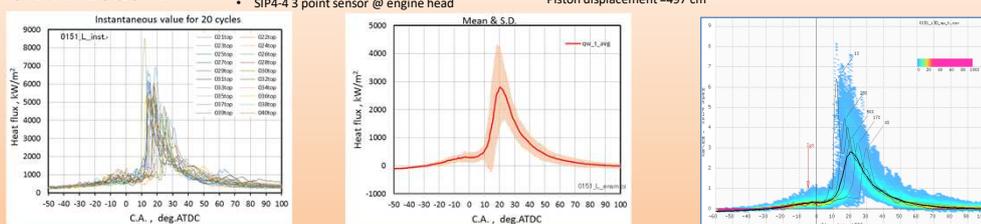
- 応答性: 10kHz Cut off
- 空間分解能: 300 μ m (隣接3点同時計測)
- 熱流束レンジ: 10 kW/m²~20MW/m²
- 耐熱性: ~200 $^{\circ}$ C
- 耐圧性: ~10MPa (ロック条件対応)
- 形状: Medtherm compatible shape
- 基板: AC8A (Al alloy, engine metal)
- 正確性: 自己発熱による較正

自己発熱による解析モデルの較正



周波数2kHz, 振幅380K/m²の自己発熱に対して, 界面熱抵抗3.3 K/MW/m²を設定することで, 温度計測・非定常熱伝導解析による熱流束測定値は一致

瞬時熱流束計測

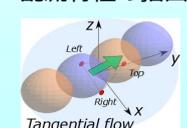


連続20サイクルの瞬時熱流束。サイクル変動が大きく、各サイクルにはkHzレベルの変動がみられる。

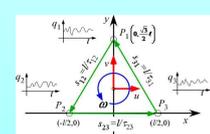
熱流束のアンサンブル平均と標準偏差 (200サイクル)。平均トレンドはサイクル変動によってプロードになり、瞬時熱流束トレンドと異なる波形になってしまう。単純な平均処理は現象理解を誤らせる可能性がある。

瞬時熱流束の確率コンターマップとピーククランク角度による条件付平均熱流束。火炎がセンサ面に到達したクランク角度毎の平均熱流束は、筒内圧の影響により、CAが大きいほどピーク値が低下している。

乱流特性の抽出



センサ上を通過する流体塊 (渦, 温度斑) のイメージ



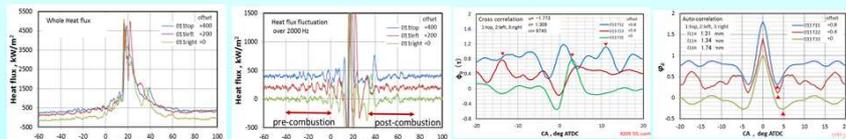
3点センサの熱流束信号の時間差から流体塊の移動速度・渦度を算出

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ \omega \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2/\sqrt{3} & 1/\sqrt{3} & -2/\sqrt{3} \\ 1/\sqrt{3} & 0 & 1/\sqrt{3} \\ 4/\sqrt{3} & 4/\sqrt{3} & 4/\sqrt{3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tau_{12} \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \end{pmatrix}$$

$$L_i = \sqrt{u_i^2 + v_i^2} \times \tau_{ii} \quad (i=1,2,3)$$

接線速度 u, v, 渦度 ω , 流体塊スケール L の算出可能

Firing, CR=15, w tumble, $\lambda=1.0$, Sensor: 3 RTDs on 900 μ m, 400pt corr. analysis



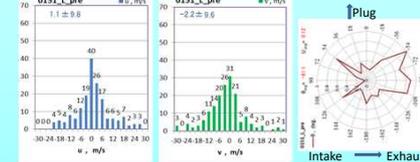
隣接3センサの熱流束信号には変動の時間差が捉えられている。

火炎の到達を示す主ピークを除いた熱流束の高周波成分。

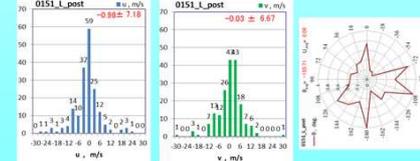
相互相関関数。ピーク角度差が流体塊の移動時間に対応。

自己相関関数。負ピークは空間変動の半波長がセンサを通過する時間に対応。

Pre-combustion (-40 $^{\circ}$ CA)



Post-combustion (35 $^{\circ}$ CA)

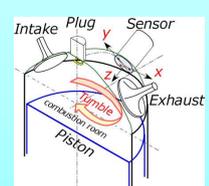


Radial velocity

Circumfer. velocity

Direct. Probability

Thermal Scale



燃焼前は、変動速度は10m/s程度。吸気弁から排気弁方向へ向かう傾向が強く、タンブルの影響とみられる。燃焼後は、変動速度が低下し、変動速度の方向は発散する傾向にある。スケールは燃焼によって小さい方へシフトする傾向があり、燃焼による粘性の増加の影響とみられる。

まとめ・今後の展望

- エンジン用隣接3点熱流束センサの開発に成功し, 高S/N比の瞬時熱流束の計測を実施。HINOCAの検証用データとして提供。
- 隣接3点で計測した熱流束信号からセンサ直上の流動特性を抽出する方法を開発した。実機の診断や制御に利用が期待される。
- 多点熱流束センサを発展させ, 壁面垂直流れを含む流動特性と熱伝達との関係を解明する。