

制御チーム 上智大学理工学部

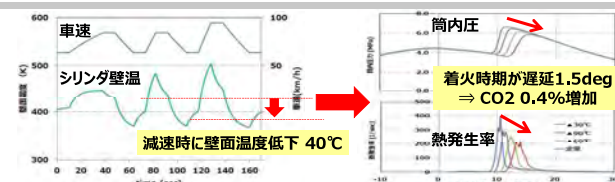
一柳満久, 新田悠登, 鈴木隆

制御
グループ

「エンジンのモデルベース制御用の
壁面熱伝達モデルの構築」

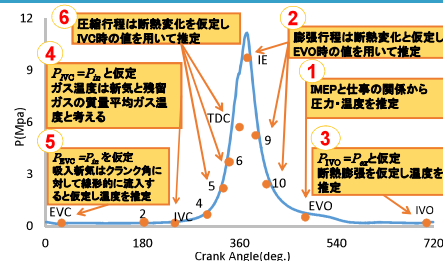
目的

- 加減速等の過渡運転条件においてCO₂排出量が0.4%増加
- 熱損失, 壁温, ガス温をサイクルごとに推定しFF制御
- サイクルごとにECUで計算可能な離散化モデルを構築



モデルの概要

- 熱伝達モデル → 境界層内の乱流熱伝導率をモデル化し計算負荷低減
- ガス流動モデル → 6領域に分割して計算することで計算負荷軽減
- 離散化モデル → 右図のような順番で圧力・温度を計算することでECUにて1サイクルごとに計算可能



進捗状況

1. 熱伝達モデルの構築

◆ 燃焼室における壁面熱流束推定式

- 基礎方程式にエネルギー方程式および連続の式を使用
- 4種のガス流動を用いて筒内を6領域に分割

$$q_w = -\sqrt{\frac{C_p K}{P_0 K-1}} P T_g \left[\frac{1}{\sqrt{\pi \tau}} \frac{T_w - T_g}{T_g \sqrt{\tau}} \right] - \frac{\psi}{4} c \frac{\bar{u}}{P_0} \left(\bar{T}_g - \bar{T}_w \right)$$

温度勾配による熱流束 ガス流動による熱流束

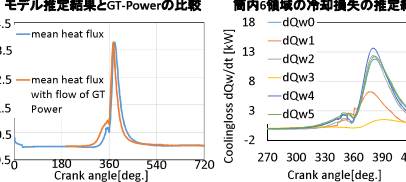
□ 本モデルの特徴

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho c_p \bar{u} \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial \bar{P}}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda + \rho c_p \bar{u} l \right) \frac{\partial T}{\partial x}$$

境界層内の乱流熱伝導率をモデル化

- 混合距離 → Prandtlの仮定
- 温度境界層外の緩やかな速度分布 → 境界層内の熱輸送に大きな影響なし
- 主流における渦の角運動量 → 保存

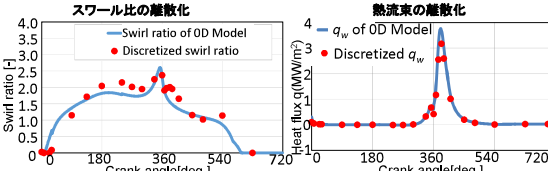
エネルギー方程式を解析的に解けるように変形



構築した0D熱伝達モデルとGT-Powerによる計算結果が良好な一致

2. モデルの離散化

◆ 離散化を行い計算負荷の低減



構築した0Dモデルと離散化モデルが概ね一致

◆ 壁温度モデルの構築

□ 冷却水温から壁面温度を算出

$$dQ_{conv} = A_{conv} K_{conv} (T_{w1} - T_c)$$

$$K_{conv} = \left(\frac{h_{conv}}{\lambda_{conv}} \right) + (1/h_c)^{-1}$$

$$h_c = 2303 G_c^{0.84} \quad G_c \text{ は冷却水流量}$$

$$T_{w1} = T_c + \frac{1}{A K_{conv}} \sum_{conv} dQ_{conv}$$

冷却水温から熱通過を用い、壁表面温度を推定

ヘッド、キャビティ側面・底面の壁表面温度も同様に計算

□ ポリトロープ指数の推定

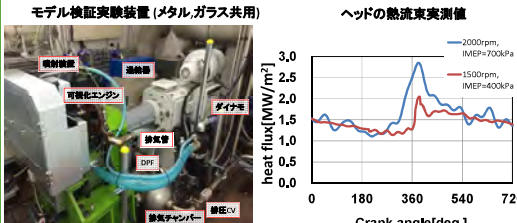
$$Q_{(VOC)} = \int_{VOC}^{EVC} K - n_c P dV = \frac{K - n_c}{K - 1} \frac{P_{EVC} V_{EVC}^{K-1}}{n_c - 1} (1 - e^{-n_c})$$

Regionごとにポリトロープ指数, 筒内ガス温度を推定

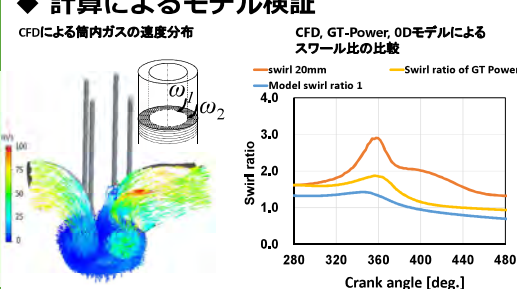
着火時期のクランク角度を予測

3. モデル検証

◆ 実験によるモデル検証



CFDによる筒内ガスの速度分布



ヘッドの熱流束実測値が過去の実験とオーダーが一致

CFDは噴霧条件の調整中, PIV実験は可視化エンジンの調整中

課題

- EGR導入の再検討: ピストンリング摩耗の問題より燃焼時間が限られ, EGRガス生成が不十分 → 予め別のベンチでEGRガスを生成し導入, あるいは模擬EGRガスを導入予定
- モデル検証: ガラスシリンダ, 熱流束測定用シリンダの設計変更による検証実験の遅延 → 2016年度の第三, 第四四半期を目途に検証実験を行う予定

今後の予定

2014	2015	2016	2017	2018
制御モデル用サブモデル構築	熱バランモデルの構築・離散化	β版リリース	制御システム, 制御システム評価	新燃焼の評価
実験システムの構築		熱流束計測 PIV計測	各モデル改良 最新版リリース	オイルダイリュージョンモデル構築のための可視化計測
		モデル検証	熱流束, PIV計測(追加)	