

Explicit MPCによるディーゼルエンジン 吸気系の制御と安定性に関する基礎的検討

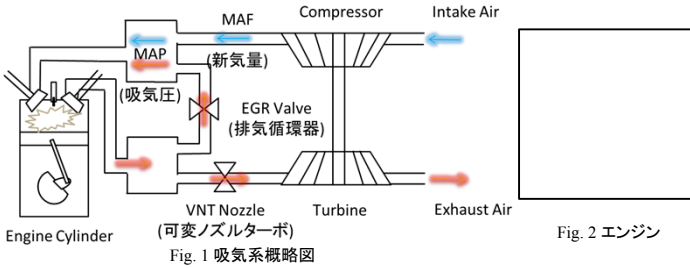
ヒューマンメカトロニクスシステム学域 澤戸 一晃 (児島研究室)
キーワード: モデル予測制御, Explicit MPC, ディーゼルエンジン

1.はじめに

■ ディーゼルエンジンは近年の**原油価格の高騰**や**地球温暖化対策**の一つとして位置付けられている

- ◆ ディーゼルのメリット
- ✓ 熱効率の良さ
 - ✓ CO2排出量の少なさ

- ◆ ディーゼルのデメリット
- ✓ 干渉系
 - ✓ サンプル周期の短さ



制御入力 { 排気循環器(EGR)のバルブ開度, 可変ノズルターボ(VNT)のバルブ開度 }
制御量 { 新気量(MAF), 吸気圧(MAP) }

MPC(Model Predictive Control ; モデル予測制御)^{[1], [2]}のオフライン設計法である**Explicit MPC**を導入する

2. 制御対象と制御則

■ 制約を考慮した無限時間LQ制御をMPCにより設計 (非線形ゲインのオフライン設計)

プラントモデル

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k)$$

目標値 $x_{ref} = \begin{bmatrix} x_{maf} \\ x_{map} \end{bmatrix}$

$$x = \begin{bmatrix} x_{maf} \\ x_{map} \end{bmatrix}, u = \begin{bmatrix} u_{egr} \\ u_{vnt} \end{bmatrix}$$

制約 $0 \leq u \leq 100$

定常状態を基準点に定めた偏差系

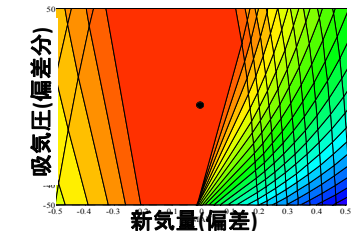
$$x(k) = x_{ref} + \tilde{x}(k)$$

$$u(k) = u_{ref} + \tilde{u}(k)$$

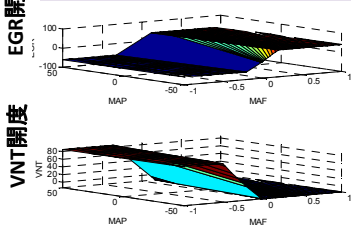
偏差系状態方程式

$$\tilde{x}(k+1) = A\tilde{x}(k) + B\tilde{u}(k)$$

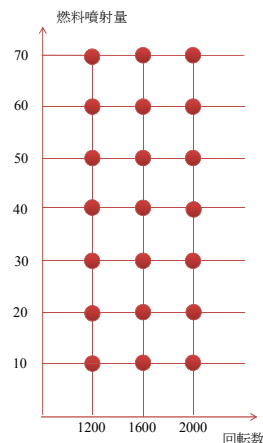
各状態における制御則



各状態における印加すべき入力



吸気系の運転状態



あらかじめ制御則を計算しておいて、非線形ゲインとして実装

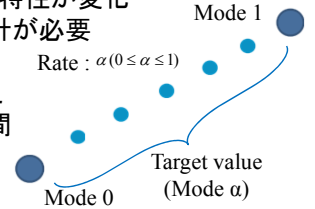
3. 補間制御則

■ 運転状態の移行

- ✓ 運転状態が複数存在(回転数, 燃料噴射量に応じて)
- ✓ 回転数, 燃料噴射量に応じて動特性が変化
- ✓ 運転状態に応じた制御則の設計が必要

■ 補間による運転状態の切り替え

- ✓ システム, 目標値, 制御則の補間



システム

$$A^\alpha = (1-\alpha) \cdot A^0 + \alpha \cdot A^1$$

$$B^\alpha = (1-\alpha) \cdot B^0 + \alpha \cdot B^1$$

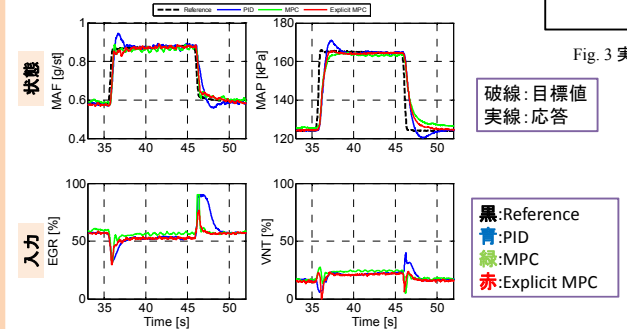
制御則の補間

$$u(k) = u^{ref, \alpha} + \tilde{u}^\alpha(k)$$

$$\tilde{u}^\alpha = (1-\alpha) \cdot F^0(\tilde{x}^0(k)) + \alpha \cdot F^1(\tilde{x}^1(k))$$

4. 実験結果

■ 回転数: 2000, 燃料噴射量20⇒50へ変化



従来手法であるPID制御よりも、オーバーシュートの抑制された良好な応答を確認

5. 今後の展開と課題

■ 課題

1. モード移行時における共通線形制御領域の安定性
2. 初期またはモード移行後が補間した状態の場合における安定性の保証

■ アプローチ

1. 制御対象のLMI条件の導出
2. LMIを解くことにより、数値的に安定性の解析を行う

$$x_{k+1} = A(\alpha)x_k \quad A(\alpha): A(\alpha) = \sum_{i=1}^N \alpha_i A_i, \sum_{i=1}^N \alpha_i = 1, \alpha_i \geq 0$$

$$\begin{bmatrix} P_i & A_i^T G^T \\ G A_i & G + G^T - P_i \end{bmatrix} > 0 \quad \text{for all } i = 1, \dots, N.$$

6. 参考文献

- [1] A. Bemporad, M. Morari, V. Dua, and E. N. Pistikopoulos: The explicit linear quadratic regulator for constrained systems, Automatica, 38-1, 3/20 (2002)
- [2] 向井, 畑中, 藤田: ハイブリッドシステムの制御Ⅳ—モデル予測制御, システム/制御/情報, 51-11, 512/519 (2007)
- [3] M.C de Oliveira, J. Bernussou, J.C. Geromel: A new discrete-time robust stability condition
- [4] 丸山, 江尻, 伊海, 下谷: ディーゼルエンジン吸気系の外乱を考慮したモデル予測制御の構成法に関する検討, 第12回制御部門大会 (2012).