

自動車エンジンベンチマーク問題における制御系の解析

2015SC064 森部貴斗

指導教員：大石泰章

1 はじめに

近年、自動車台数の増加により大気汚染や地球温暖化が問題視されている。これに対する効果的な手段としてガソリンエンジンの燃費向上が重要と考える。本研究ではSICE (計測自動制御学会) と JSAE (自動車技術会) が作成した自動車エンジンベンチマーク問題 [1, 2] を使用し、燃費向上のためにノッキングを起こさないように制御することを考える。

このベンチマーク問題の課題は、自動車エンジンの状態をノッキングの起きない領域に留めつつ、筒内圧力を目標値に近づけることである。また、設計された制御のアルゴリズムは時間のかかる計算をしてはならない。

本研究ではベンチマーク問題に対してサンプルとして用意されている MPC (モデル予測制御) の制御器に対して、サンプル周期や予測時間を変えたときの計算時間や制御性能の変化について調べ、モデル予測制御の理解を深める。

2 ベンチマーク問題

2.1 問題の概略

本研究で扱うベンチマーク問題は、SICE 制御部門の非線形制御に関する研究委員会と JSAE が作成して配布したものである。

本ベンチマーク問題では、規範モデルに従って上昇する筒内圧力の目標値を、ノッキングが起きない領域中では正確に追従し、この領域を外れる場合は追従を諦めてノッキングが起きないことを優先する制御を行わなくてはならない。

本研究で扱うエンジンモデルは、4つの気筒の中の圧力と温度の平均を状態変数とする簡易モデル (MVEM) である。この制御対象である簡易エンジンモデルを以下に示す：

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\theta_1 x_1 + \theta_2 (1 - x_2^2) u \\ -\theta_3 x_1 + \theta_4 (1 - x_2^2) u \end{bmatrix}.$$

ただし、状態変数は、 P を大気圧で正規化した圧力、 T を外気温度で正規化した温度として、

$$x_1 := \frac{P}{P}, \quad x_2 := \frac{T}{T}$$

である。また入力 u はスロットル開度を表し、 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ は正の定数である。

2.2 モデル予測制御

モデル予測制御は未来の応答を予測して予測値を求め、その予測値を最適化するような制御入力を求める方法であり、多入力システムや、制約を含むシステムにも適用できる [3, 4]。また、外乱などにも強く、実用性の高い制御を

実現することができる。モデル予測制御の具体的な手順を次にまとめる。

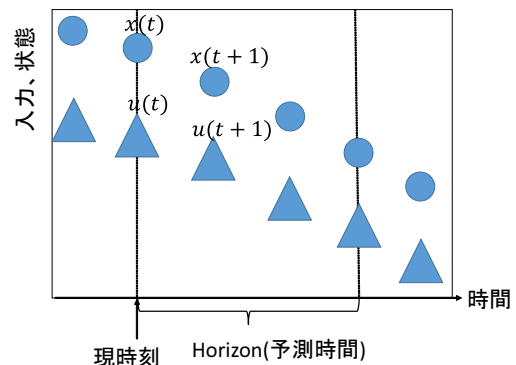


図1 モデル予測制御の概略

図1に示すように、現時刻から一定時間の未来を予測し、最適化計算を行い、適切な入力 $u(t)$ を求める。求めた入力系列の最初の値を入力し、次のサンプル時刻が来たら同じ手順を繰り返す。

しかし、この制御方法は毎時刻ごとに最適化計算をする必要があるため膨大な計算量を必要とし、自動車などの高速な応答性が必要な制御システムには利用しづらいという欠点がある。

そこで、サンプルとして用意されているモデル予測制御の制御器に対して、サンプル周期と予測時間を変えたときの計算時間や制御性能の変化を調べる。また、本研究では目的関数が規範モデルの圧力に近くなるように入力を求めている。

2.3 サンプル周期の影響

予測時間を一定に保ち、サンプル周期を変化させ、実時間で7s分のシミュレーションを行うのに必要な計算時間を図2に示す。また、サンプル周期を変化させた時のノッキング境界近傍での状態変化を図3、制御入力の変化を図4に示す。

図2からわかるように、サンプル周期を短くすると、計算時間が大きくなってしまふ。図3にはノッキングが起きない領域の境界 (以下ノッキング境界) を示した。状態はノッキング境界の左下になくなくてはならないが、ノッキング境界に近い方が燃費効率がよくなる。図中にはサンプル周期が0.0015sと短いときのサンプル周期と0.003sと長いときの状態変化を示している。図3は、横軸が正規化された圧力、縦軸が正規化された温度である。図3からサンプル周期を長くすると、ノッキング境界に正確に追従せず時間刻みの影響が出てしまうことがわかった。図4は横軸が時間、縦軸がスロットル開度のグラフで制御入力を示して

いる。図4からわかるように、サンプル周期が長いと制御入力はハンチングを起こしてしまうことが分かった。

これらのことから、サンプル周期は計算時間を考慮してなるべく短くした方が正確に制御できることが分かった。

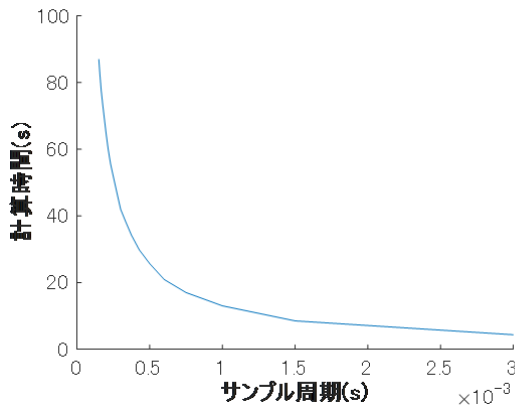


図2 サンプル周期と計算時間の関係

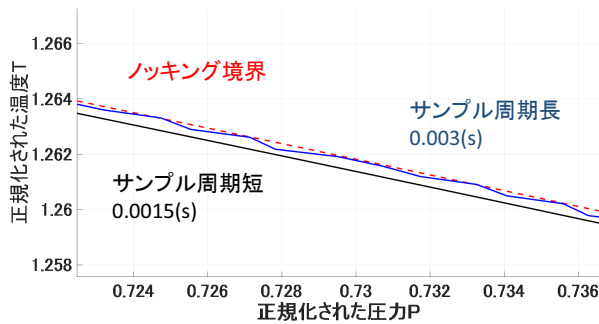


図3 ノッキング境界近傍での状態変化

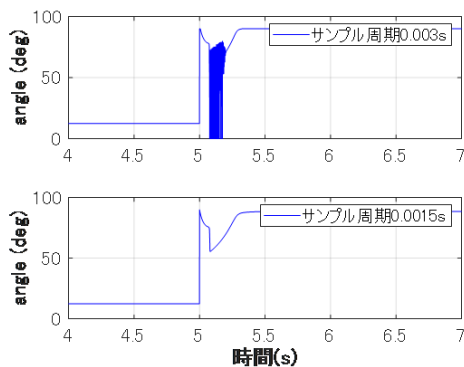


図4 制御入力

2.4 予測時間の影響

サンプル周期を一定に保ち、予測時間を変えた時のノッキング境界近傍での状態変化を図5、制御入力を図6に示す。

図5からわかるように、予測時間が短すぎると状態がジグザグ状に変化してしまい、正確な制御が出来ないことが

わかった。また、予測時間を長くすると境界から次第に離れてしまい、燃費を良くするという観点から見て望ましくない。また、予測時間が短いと制御入力はハンチングを起こしてしまうことがわかった。

これらのことから、予測時間はハンチングが起きない程度に短くすることが制御として望ましいことがわかった。

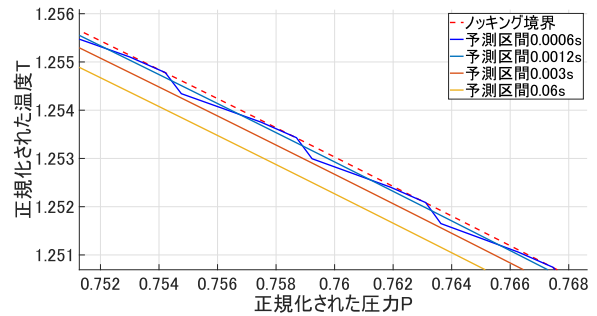


図5 ノッキング境界近傍での状態変化

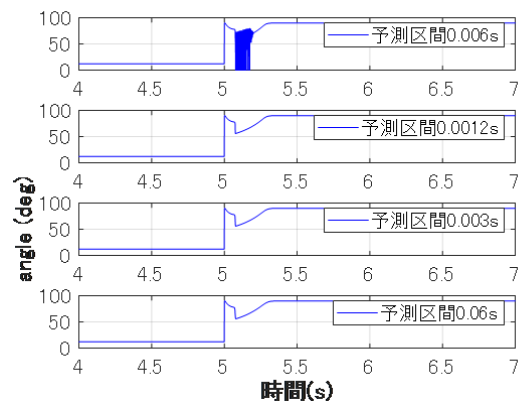


図6 制御入力

3 おわりに

本研究では、サンプルとして用意されたモデル予測制御の制御機に対して、サンプル周期、予測時間を変化させたときの計算時間や制御性能の変化について調べた。

本研究で分かったことは、サンプル周期は計算時間に考慮してできるだけ短い方が良く、予測時間は状態がジグザグ状に変化しない程度に短い方が良いということである。

4 参考文献

- [1] Akira Ohata: Benchmark problems on automotive engine controls. 第59回自動制御連合講演会予稿集, 北九州, 2016年11月, pp. 801-806.
- [2] Akira Ohata: Benchmark problem 1, ver. 1.0. 2016年10月
- [3] 児島晃・大塚敏之: 「モデル予測制御の考え方」. 計測と制御, Vol. 42 (2003), pp. 310-312

- [4] 大塚敏之: 『非線形最適制御入門』. コロナ社, 東京, 2011.