

F-049

# オンライン制御パラメータ最適化手法の開発と自動車開発への適用

## On-line Optimization Method of Control Parameters and its Application to Vehicle

岸田 太一 瀬田 至 泉名 克郎†  
Taichi Kishida Itaru Seta Katsuo Senmyo

### 1. はじめに

近年、自動車において、電子制御システムは重要な役割を担っている。電子制御システム開発は主に、CAE (Computer Aided Engineering) に代表されるオフラインシミュレーション技術によって効率的に最適設計されている。しかし、モデル精度不足等の理由から、最終的には実車両による走行実験を実施し、制御パラメータを調整する作業が必要である<sup>(1)(2)</sup>。この調整作業は、専門的な知識や経験を要するものが多く、また、必要な作業コストは膨大なものとなっている。今後ますます複雑化し、搭載数が増加すると予想される電子制御開発において、調整作業の簡略化と工数の削減は必須と言える。

本稿では、この調整作業を最適化問題ととらえ、実車両上にてオンラインで制御パラメータ (特に制御マップ) を自動最適化する技術について述べる。これにより、専門的知識と経験を有した熟練開発者が調整したものと同等、またはそれ以上の制御性を持った制御パラメータを非常に短時間で得ることができたので報告する。

### 2. 制御マップ最適化手法

#### 2.1 制御マップについて

自動車用電子制御システムは、計算負荷の低減と非線形性への対応という観点から、制御マップをベースとして構築されるものが多い。そこで、本稿では、制御マップの最適化を目的とする。

最適化対象とする制御マップは、任意の数の格子点から構成されており、各格子点にはパラメータが与えられている。また、制御出力は、マップ参照ポイント近傍の格子点パラメータより演算されるものとする。このとき、過渡応答を評価して最適化を行う際、参照ポイントが連続的に変化するため、以下のような課題がある。

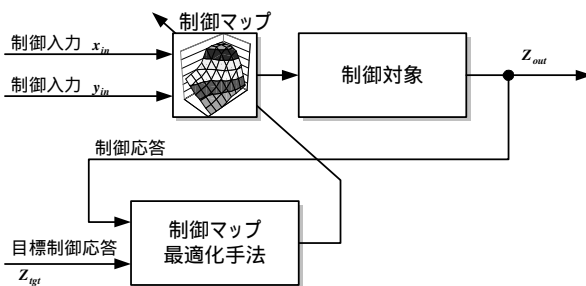


図1 制御マップ最適化手法の構成

- ・ 格子点パラメータ1点毎の最適化はできない
- ・ 格子点そのものを参照することは稀である

以上より、実車両上にてオンラインで、刻々と変化するマップ参照ポイントから格子点パラメータを最適化可能な枠組みが必要である。そこで、最急降下法の概念を用いて、制御マップ格子点パラメータをオンラインで効率的に最適化するアルゴリズムを開発した。

#### 2.2 アルゴリズム

開発した制御マップ最適化手法の構成を図1に示す。本手法は、2入力1出力の制御マップを最適化可能である。目標制御応答を定め、それと実際の制御応答を比較することにより、マップ参照ポイント近傍の格子点パラメータに対してオンライン最適化を行う枠組みとなっている。

以下の図2を例に制御マップの最適化の仕組みを説明する。まず、ある制御入力  $x_{in}$ ,  $y_{in}$  があつた場合、近傍4点の格子点パラメータ A, B, C, D から線形補間を通して制御出力  $z_{out}$  が決定される。ここで、この点における目標制御応答を通して計算される目標制御出力が  $z_{tgt}$  と推定できるとき、式(1)のような誤差関数を定める。式(1)の誤差を最小にするように最急降下法の概念を用いて A 点の制御マップパラメータ  $z_A$  の更新式を求めると、式(2)のようになり、最適な調整量  $z_A$  が決定できる。同様に、B~D 点についても最適な調整量が決定可能である。

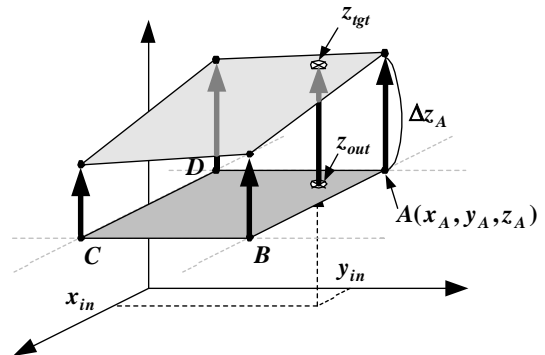


図2 制御マップ最適化の仕組み

$$Error = \frac{1}{2} (z_{tgt} - z_{out})^2 \quad \dots(1)$$

$$\Delta z_A = \alpha \cdot \frac{\partial Error}{\partial z_A} \\ = \alpha \cdot (z_{tgt} - z_{out}) \left( 1 - \frac{y_{in} - y_C}{y_A - y_C} \right) \left( 1 - \frac{x_{in} - x_A}{x_C - x_A} \right) \dots(2)$$

$\alpha$ : 学習係数

目標制御出力の推定値(最適化の指標)は厳密なものである必要はなく、制御マップパラメータを大きくすべきか小さくすべきかを与えるような単純な指標であってもよい。また、式(1)の誤差関数は、 $z_{out}$ に関する2次関数であるため、単峰性であることが保障される。よって、局所解へ収束することはない。

#### 4. エンジンアイドリング安定化制御への適用

##### 4.1 適用対象

エンジンアイドリング安定化制御とは、エンストすることなく決められた目標アイドル回転数に追従するように、スロットル弁によって流入空気量を調整し、エンジン回転制御を行うものである。本制御において、流入空気量を調整する2入力1出力の制御マップの最適化へ適用した。

##### 4.2 最適化の指標

最適化の指標として、エンジン回転数の目標アイドル回転数への収束性を評価することとし、以下の図3のような理想エンジン回転数プロフィールを設定した。これは、エンストや回転落ちの回避を狙ったものであり、急激な回転変化を緩やかにしてから目標へ収束させるようにしている。この回転数プロフィールに追従するように制御マップの最適化を行った。

具体的には、式(3)のように、時刻 $t$ におけるエンジン回転数 $z_{out}(t)$ と理想エンジン回転プロフィール $z_{tgt}(t)$ より、時刻 $(t-\text{delay})$ の制御出力を評価する。ここで、 $\text{delay}$ は遅れ時間を示しており、流入空気量変化から実際にエンジン回転数が応答するまでの遅れ時間を設定している。

$$\text{Error}(t - \text{delay}) = \frac{1}{2} (z_{tgt}(t) - z_{out}(t))^2 \quad \dots(3)$$

$\text{delay}$ : 遅れ時間

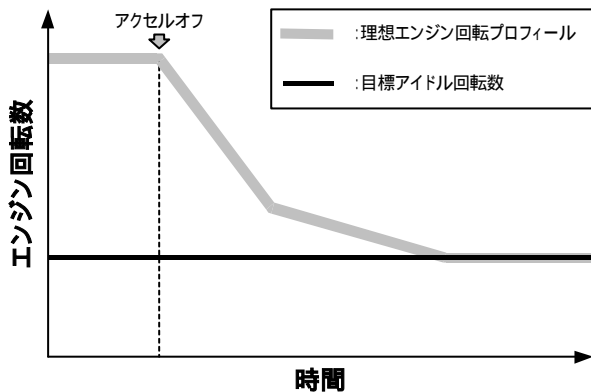


図3 最適化の指標

##### 4.3 実験結果

提案手法により、実車両にて制御マップの最適化を行った。図4に最適化によって得られたエンジン回転数応答を示す。最適化により、理想の目標回転プロフィールを作ることができており、本手法が有効に機能したことが確認できる。

また、最適化によって得られる制御マップの例を図5に示す。熟練開発者が調整を行ったものと微視的な形状は異

なるものの、制御性については同等かまたはそれ以上を示している。最適化に要した時間については、熟練開発者が調整作業を行った場合の約半以下の時間であり、大幅な工数削減が可能となった。

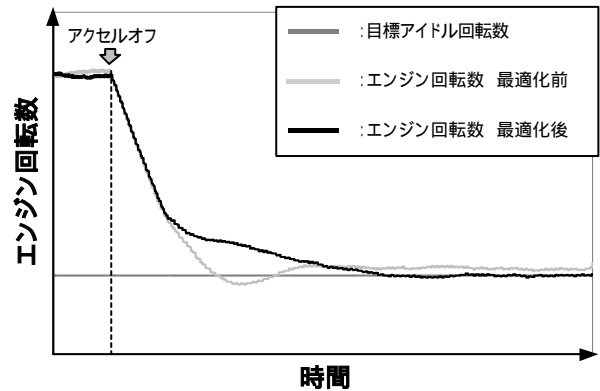


図4 エンジン回転応答

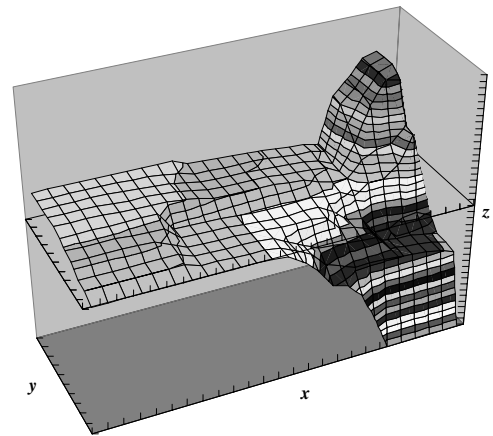


図5 最適化によって得られる制御マップの例

#### 5. まとめ

本稿では、自動車開発における制御マップの調整作業を最適化問題ととらえ、実車両にてオンラインで制御マップを最適化する手法を開発した。

本手法は、最急降下法の概念に用いたもので、制御時のマップ参照ポイント近傍の制御マップ格子点パラメータをオンラインで効率的に最適化できる。評価指標さえ定めればどのような制御マップでも最適化可能な汎用的な枠組みとなっている。

本手法をエンジンアイドリング安定化制御開発へ適用したところ、熟練開発者が調整したものと同等、またはそれ以上の制御性を示す制御マップを非常に短時間で得られることが確認できた。

#### 参考文献

(1)K.Senmyo, et al.: Development of Vehicle Automatic Tuning System using Automatic Learning Method, 2006 JSAE annual congress proceedings, 20065071 (2006)

(2)S.Tezuka, et al.: Multi-objective Optimization System of Control Parameters based on Actual Vehicle, 2007 JSAE annual congress proceedings, 20075061 (2007)