

品質工学(タグチメソッド)に基づく サスペンション系の最適設計

リスク解析戦略研究センター 製品・サービスの質保証・信頼性グループ
助教 河村敏彦

1 背景と目的

近年、自動車の環境問題・エネルギー問題への意識の高まりから、新しいエネルギー制御方法や省エネ対策が求められている。例えば、低転がりタイヤは走行抵抗を低減し消費エネルギー減少に有望であるが、走行安定性が低下するという欠点がある。そこで低転がりタイヤ装着時でも安定に走行できるアクティブサスペンションに期待がかかるが、その制御系も使用条件や環境条件によっては不安定になりやすいという問題がある。

本研究では、数値シミュレーション実験によるロバストパラメータ設計を行う。ここで、加振力と振動エネルギー(の平方根)の理想機能をゼロ点比例式で記述し、誤差因子は制御因子の実現値が設定値のまわりにばらつくことを考慮した内乱誤差因子を想定する。なお、2段階設計法においては平均2乗対数損失の最小化に基づく最適化を行う。

2 基本機能と因子の設定

剛体の車体は、4輪のタイヤとサスペンションで支持され、7つの基本振動モードで表現される。各サスペンションはアクチュエータを持ち、乗心地の確保(=車体振動の抑制)、タイヤ接地性の確保(=車輪振動の抑制)のための制御を行う。

本システムの基本機能はアクチュエータによる振動制御を安定的に行うことである。したがって加振力と振動エネルギー(の平方根)の関係が、使用条件や環境条件によらず一定かつ線形であることが理想となる。そこで、信号因子を加振力の大きさとし、出力を振動エネルギーとした理想機能をゼロ点比例式(動特性アプローチ)で表現した。

標示因子としては加振モード、振動モード、時刻を取り上げ、制御因子としては4つの特性の合計14因子を取り上げた。主要な誤差因子は、ここでは温度や路面といった外乱ではなく、制御因子の実現値が設定値のまわりにばらつくような内乱を想定した。その水準幅は、実使用条件下で生じ得るノイズを考慮して、制御因子の変動幅よりも小さく設定した。

制御因子、誤差因子ともに14因子3水準なので、内側と外側にそれぞれ L_{54} 直交表を用いて、数値シミュレーションによる直積配置実験を行った。

3 2段階設計法による最適化

従来のアクティブサスペンションのロバスト設計では、時間関数を基本機能として用いてきた(内田ら(2006))。本研究では、第2節で述べたように、加振力と振動エネルギーの入出力関係がゼロ点比例式で表現される基本機能をシステムとして選択した。

本研究は、マツダ技術研究所内田博志氏、富士ゼロックス立林和夫氏(リスク解析戦略研究センター客員教授)らと共同研究を行った成果である。

本研究では、2段階設計法によるパラメータ設計を試みる。機能性(感度) B の誤差因子を意図的に変動させたときの平均、ばらつきが

$$E_N[B] = \beta(\theta_1, \theta_2)$$

$$\text{var}_N[B] = \phi(\theta_1)\text{var}(\beta(\theta_1, \theta_2))$$

で表されているとする。ここで、 θ_1 は制御因子、 θ_2 は調整因子(感度に対して非線形性をもっているパラメータ)である。なお、散らばり母数 ϕ は θ_1 だけに依存していることに注意されたい。このシステムのもとで、最適化のための2段階設計法は次のようになる。

感度 B の目標値を β_0 としたとき、次の2段階で平均損失を最小化する。

Step 1 $\phi(\theta_1^*) = \min_{\theta_1} \phi(\theta_1)$

Step 2 $\beta(\theta_1^*, \theta_2^*) = \beta_0$

このような最適な設計パラメータ θ_1^*, θ_2^* が存在すれば、平均損失は $\phi(\theta_1^*)\text{var}(\beta_0)$ となる(詳しくは、椿・河村(2008)を参照)。散らばり母数 ϕ の逆数は、動特性のSN比 $\eta = 1/\phi$ と呼ばれる。ここで、制御因子が規定する処理条件でのデータを y_1, y_2, \dots, y_n とすると、平均対数損失に基づく対数SN比 $\hat{\eta} = 1/\hat{\phi}$ を用いて計算する(河村・岩瀬(2009)を参照)。ただし $\hat{\phi} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\log(y_i/\bar{y}_G))^2$ である。ここに、 \bar{y}_G は幾何平均である。

図1は、理想機能をゼロ点比例式を想定し、対数SN比を用いて、サスペンションの最適化を行った結果である。この結果、ある標示因子に関してバウンスモードの理想機能からのズレが改善していることがわかる。

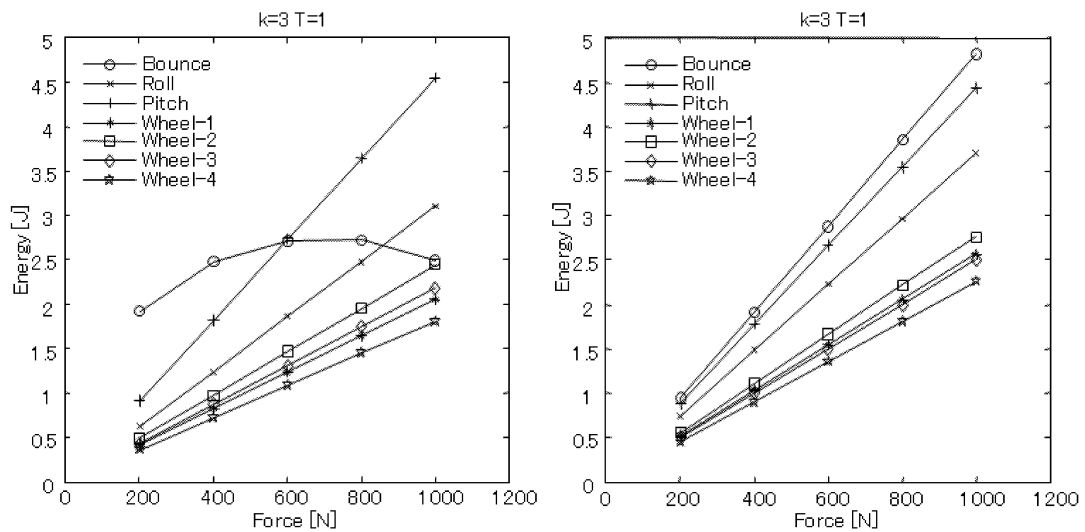


図1 最適化前と最適化後

参考文献

内田博志, 山下真一郎, 末富隆雅 (2009) : “品質工学に基づく自動車サスペンション系のロバスト最適設計”, 品質工学, 17, 69-76
 椿広計, 河村敏彦 (2008) : 『設計科学におけるタグチメソッド; パラメータ設計の体系化と新たなSN比解析』, 日科技連出版社
 河村敏彦, 岩瀬晃盛 (2009) : “平均2乗対数損失に基づくSN比とその等SN比検定”, 「品質」, 39, [2], 107-114.