104 CAEによる発熱抵抗体式エアフローセンサの構造適正化

Structural Optimization of Air Flow Sensors by CAE

○斎藤 直生 五十嵐 信弥 鬼川 博 小澤 正之 正 保川 彰夫 (日立 自動車機器グループ)

Naoki Saito, Shinya Igarashi, Hiromu Kikawa, Masayuki Kozawa, Akio Yasukawa,
Hitachi, Ltd., Automotive Products, 5020 Takaba, Hitachinaka, Ibaraki, 312-8503, Japan

Structural optimization of air flow sensors (AFS) for automotive engine control systems is performed by using CAD and CAE tools. An AFS structure with high measurement accuracy and reliability is obtained based on the integrated results of various simulations conducted by using 3-dimensional CAD data.

Key Words: Air Flow Sensor, CAE, 3D CAD, Structural Optimization

1. 緒言

発熱抵抗体式エアフローセンサ (Air Flow Sensor : 以下 AFS と記す) は、発熱素子を用いて、空気流量を測定するセンサであり、質量流量の高精度測定が可能であることから、自動車用エンジンの電子燃料噴射システムのキーセンサとなってきた。AFS に関する研究としては、検出回路や信号処理方法の解析・改良による測定精度向上については既に報告されている。⁽¹⁾⁽²⁾ しかしながら、AFS の構造適正化に関する研究は、AFS の精度向上、信頼性向上、コンパクト化を図る上で重要であるにもかかわらず、まだ発表されていなかった。本論文では、3次元CAD及び振動解析、熱流体解析といったCAE技術を総合的に適用し、構造の適正化を行なった結果について報告する。

2. エアフローセンサの概要

Fig. 1 にエンジン制御システムの概要を示す。Fig. 2 に発熱抵抗体式AFSの構造を示す。AFSは吸入空気の質量流量に応じた信号を出力するもので、センサ素子(ホットワイヤ及びコールドフィルム)と検出回路(ハイブリッドIC)を樹脂ハウジングの中に組み込んだモジュール構造を取る。その測定原理は、電流により発熱するホットワイヤから空気への熱伝達が、空気の流速によって変化する現象を応用したものである。

Fig. 1 Outline of engine control system

Fig. 2 Structure of air flow sensor

3. 構造適正化手順

本研究では、Fig. 3 に示すように初期構造案から3次元CADデータを作成し、このデータを基に熱流体解析、構造解析等を実施した。得られた結果を基に3次元CADデータの改良と再解析を繰り返すことにより、性能、信頼性、生産性を総合的に考慮した適正化構造を効率的に求めることを可能とした。

Fig. 3 Structural optimization procedure

4. 温度特性の改善

AFSの測定精度を向上するためには、壁温誤差と呼ばれる誤差を低減することが重要である。壁温誤差とは、AFSを取付ける吸気管(ボディ)の壁温が、エンジンからの熱によって上昇し、この熱がさらにAFSのセンサ素子にまで伝わることによって生じる誤差である。そこで、この誤差を低減するために、熱流体解析により構造適正化を進めた。

Fig. 4 に解析モデルを示す。流入条件として、入口に流速 0.5 m/s 、温度 20°C の空気を一様流入させた。流出条件としては、出口を自由流出とした。熱的な条件としては、外気温度を 80°C 、ホットワイヤの温度を 220°C 、回路に組み込まれたパワートランジスタの発熱量を 1 W とした。

Fig. 4 Model for temperature analysis by computational fluid dynamics

本AFS構造では、回路内で発生する熱を、アルミベースを放熱板として吸気へ放熱する構造とした。しかしながら、Fig 5(a)初期構造案での結果から、このアルミベースがボディからフランジ部に伝わってくる熱を、モジュール先端のセンサ素子のある部分に伝えてしまっていることがわかる。そこでこのアルミベースに着目して、熱影響低減構造の検討を進めた。

様々な対策案を解析により検討した結果、Fig. 5(b)に示すようにフランジ部とアルミベース間に隙間を空け、樹脂による断熱構造とすることで、センサ素子に対する熱影響を大幅に低減できることを明らかにした。

Fig. 5 Temperature analysis result

Fig 6 に実験による確認結果を示す。この結果から、構造適正化によって壁温誤差を大幅に改善できていることがわかる。

Fig. 6 Experimental verification of error reduction by structural optimization

($\Delta Q/Q$: error caused by outside temperature change 20→80°C)

5. 耐振性の向上

AFSは、エンジンで発生する振動の影響を受ける部分に取付けられる。このため、共振周波数を向上し耐振性を確保する必要がある。また、ボディ内に挿入されるため、流路内での圧力損失をできるだけ少なくする必要がある。

Fig 7(a)の初期構造案での解析結果を、Fig. 8 の左端のプロットで示す。この結果から、共振周波数の目標レベルに対する比率は0.83となり、さらなる改善が必要であることがわかった。この場合の振動モード解析結果を詳細に検討した結果、フランジ部が変形することにより共振周波数を下げていることが推定できた。そこで、このフランジ部の変形を抑えるために、様々な形状について計算した結果、Fig 7(b)に示すように、フランジ部にアルミのフランジベースを挿入することと、外観寸法を変えない範囲でハウジングを厚肉化することで、圧力損失を大きくせずに目標レベルを満足することを明らかにできた。(Fig. 8 の右端のプロット)

Fig. 7 3D model revision based on resonant frequency analysis

Fig 8 には実験による確認結果も示している。この結果より、計算値は実験値とほぼ一致し、目標レベルを満足することが確認できた。さらに、共振点で加振された場合の応力についても検討し、充分耐振性の高い構造であることを確認している。

Fig. 8 Increase of resonant frequency by structural optimization

6. その他の特性改善

これまで4、5節で述べた以外にも、様々な特性改良を行なった。耐熱サイクル性の解析には、有限要素法熱応力解析手法を適用した。耐ダスト性については、粒子連成流体解析手法を適用し解析を行なった。また、ハウジング樹脂の成形性については、樹脂流動解析により検討を行なった。これらの解析結果を基に、総合的な構造適正化を図ることができた。

7. 結言

3次元CAD、CAE技術をAFS開発へ適用することにより、測定精度と信頼性に総合的に優れたAFS構造を開発することができた。

参考文献

- (1)Sugiura M., Okazaki I., Saikalis G., SAE Technical Paper Series 940625 (1994-2),9
- (2)小渡武彦、荒井信勝、小林千尋、機論、65-650、C(1998)、630.