

2302 山梨実験線新型車両へのセミアクティブ振動制御の適用

Application of Semi-Active Suspension System to Yamanashi Maglev Test Line New Vehicles

- [電] ○加藤 佳仁 (鉄道総合技術研究所) 加藤 健一 (鉄道総合技術研究所)
 [機] 渡邊 健 (鉄道総合技術研究所) 狩野 泰 (鉄道総合技術研究所)
 [機] 佐々木 君章 (鉄道総合技術研究所) 中西 俊勝 (東海旅客鉄道株式会社)
 [機] 谷村 正治 (東海旅客鉄道株式会社)

Yoshihito KATO, Railway Technical Research Institute 1-6-6, Yaesu, Chuo-ku, Tokyo
 Ken-ichi KATO, Railway Technical Research Institute
 Ken WATANABE, Railway Technical Research Institute
 Yasushi KARINO, Railway Technical Research Institute
 Kimiaki SASAKI, Railway Technical Research Institute
 Toshikatsu NAKANISHI, Central Japan Railway Co.
 Masaharu TANIMURA, Central Japan Railway Co.

In order to improve the ride comfort of the Yamanashi Maglev vehicles, a semi-active suspension system to control lateral vibrations of the vehicles was designed. Vehicle-running tests on the Yamanashi Maglev Test Line confirmed an improvement in the lateral ride comfort.

This paper describes an overview of the application of the semi-active suspension system on the new vehicles of the Yamanashi Maglev Test Line, and the results of vehicle-running tests.

Keyword: railway, MAGLEV, semi-active suspension, running test

1. はじめに

山梨実験線の浮上式車両では、以前より左右方向の乗り心地向上のため、セミアクティブサスペンション振動制御を導入し、乗り心地の向上を確認してきた。平成14年に製作された新型車両においては、同装置を常設し、現車試験を実施したので、その結果を報告する。

2. 乗り心地

人間が振動を感じる程度は振動加速度の振幅だけでなく、周波数によっても変化する。国鉄の乗り心地管理基準に関する研究委員会は、客観的な振動乗り心地の評価基準として「乗り心地レベル」を1978年に定めた。これは一定時間、振動に暴露された時の疲労状態を基準とするISO-2631の振動評価法をベースとした評価方法である。

乗り心地レベルは、測定された車体振動加速度を人間の振動感覚特性(乗り心地フィルタ: Fig.1)を用いて重み付けし、この実効値(α_w)により式(1)で計算する。

$$L_T = 20 \log_{10} (\alpha_w / \alpha_{ref}) \quad (1)$$

L_T : 乗り心地レベル (dB)
 α_w : 補正した車体振動加速度実効値 (m/s^2)
 α_{ref} : 閾値 ($10^{-6} m/s^2$)

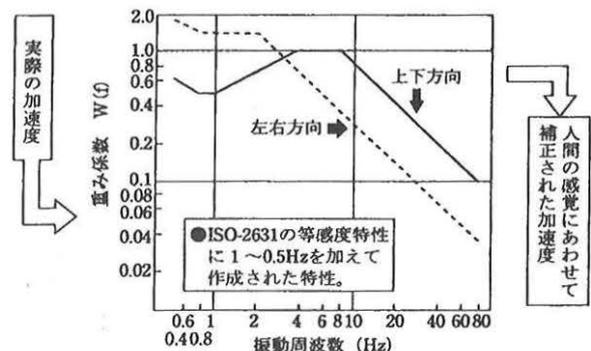


Fig.1 Frequency weight curves

3. セミアクティブサスペンション

山梨の車両には、在来車両と同様、減衰力を発生するダンパが車体と台車の間に取り付けられており、車体の揺れを抑える役目を担っている。その反面、台車の振動を車体に伝える通路にもなっており、このため、ダンパの効きを強くすると、車体質量とばねによる共振周波数付近ではよく振動を抑えるが、台車から車体に伝わる高周波の振動はかえって増えてしまう。従って、ダンパが発生する力は大きい方がよいとはいえない。

Fig.2に示すように、仮に車体の横に仮想の壁があり、それに仮想のダンパを取り付け、車体と結んで制振できるとしたら、台車からの振動の影響を受けず、車体の振動を抑制できる理想的な制振ができることになる。これが、スカイフックダンパと呼ばれる。この時、スカイフックダンパから車体が受ける力を F_s とすると、 F_s は(2)式で求められる。

$$F_s = -C_s \cdot Y_b \quad (2)$$

(Y_b : 車体速度)

(2)で求めた力を車体に伝達する方法として、油圧アクチュエータなどで外部よりエネルギーを供給する方法と、可変減衰ダンパを使用する方法がある。前者がフルアクティブ振動制御であり、後者がセミアクティブ振動制御である。

フルアクティブ振動制御は、乗り心地向上効果の高い制御方法であるが、動力源を必要とする、複雑で大きなシステムであるなどの欠点を持っている。

セミアクティブ振動制御は、フルアクティブと同様、リアルタイムに操作力（減衰力）を制御して、制振特性を改善する方法であるが、操作力を与える動力源を持たず、減衰係数などのパラメータを変化させることによって減衰力を制御する。動的な制御を行う点ではフルアクティブ振動制御と同じであるが、外部からエネルギーを加えないという意味で「セミアクティブ」と呼んでいる。

セミアクティブ振動制御では、スカイフックダンパによる理想の操作力を制御により車体—台車間のダンパの減衰力に変換し、制振する。

この車体—台車間ダンパの操作力は、車体—台車間相対変位に依存する減衰力しか発生できないので、実際はスカイフックダンパの理想的な減衰力を常に発生させることは出来ないが、台車の振動周波数が車体の振動周波数よりも高いことを利用し、スカイフックダンパと同じ

方向の力だけを選択的に利用することで、スカイフックダンパに近い操作力を発生させている。また、鉄道車両用として次のような優れた特徴を持つ。

- (1)フルアクティブ振動制御と同様に、車体の振動に応じてリアルタイムに操作力を制御するので、台車側からの振動の絶縁性能と空力振動に対する制振性能を両立できる。
- (2)動力源が不要なので、装置全体を軽量・コンパクトに構成でき、設置や保守が容易である。
- (3)基本的にダンパなので、安定性が高く、異常時は制御を止めることで通常ダンパ特性に戻るため、フェールセーフなシステムを構成できる。
- (4)フルアクティブ振動制御システムと比較すると安価である。

4. 山梨実験線車両用セミアクティブ振動制御システム

4.1 可変減衰ダンパ

車体の振動速度の大きさ、方向に応じて減衰力を変えられることのできるダンパである。外観を Fig.3 に、構成を Fig.4 に示す。

伸び側と縮み側の両方にアンロード弁を有し、スカイフックダンパと逆方向の力はこの弁を開き、逃がすようにしている。ダンパの動作に従い、内部の油は電磁リリーフ弁を一方に流れる構造となっており、この電磁弁を操作することにより車体の振動速度の大きさに応じた減衰力を発生できるようになっている。

浮上式車両では超電導磁石近傍への設置となるため、強磁場内でも正常に動作することが必要であり、主に非磁性の材料で作った比例式電磁リリーフ弁を工夫して60m テスラでも動作可能な可変減衰ダンパを開発した。一部の耐磨耗性部品を除き、アルミニウムとステンレス鋼で製作し、非磁性化を図っている。

4.2 加速度センサ

車体の左右方向の振動加速度を測定するセンサである。制御装置はこの信号を積分し、車体速度に変換して、その大きさ、方向に応じて可変減衰ダンパの発生する減衰力を決定する。そのため、このセンサに異常等が発生して、この信号を出さなくなると、振動がなくなったと判断し、減衰力をとても小さなものとしてしまう。そこで加速度センサ自身で故障診断ができることがセミアクティブ振動制御システムにとって必須条件である。

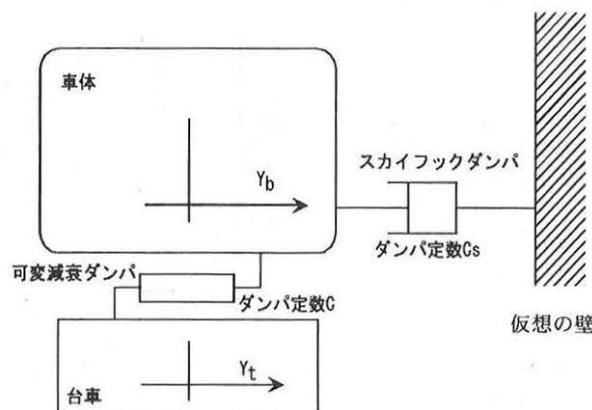


Fig.2 Sky-hook damper

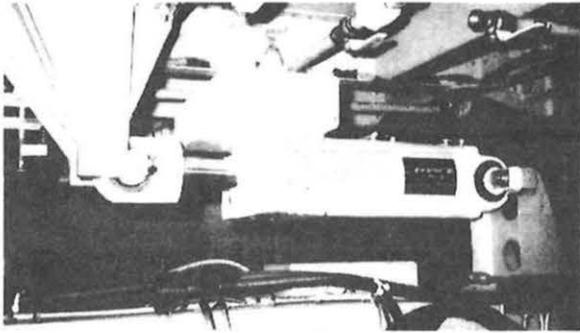


Fig.3 Adjustable damper

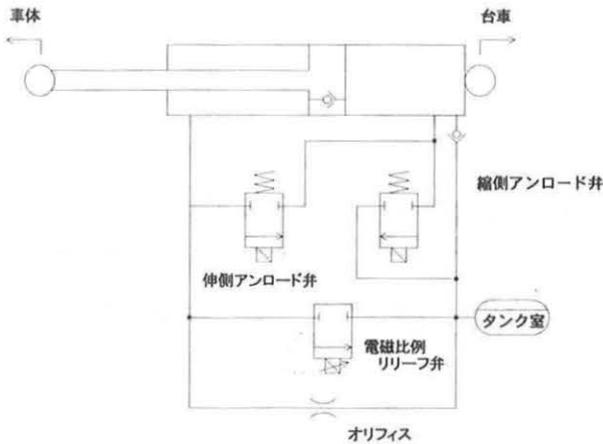


Fig.4 Structure of an adjustable damper using a proportional relief valve system

そこで、浮上式車両で用いている加速度センサは、直交する2軸のセンサを水平面から45°ずつ傾けて配置してある。この2つの感度軸出力を加減算することで左右方向、上下方向の成分を取り出すことが可能である。もしセンサに異常があった場合、上下方向の出力異常となるため、故障が判断できる仕組みになっている。また、磁界の影響を受けにくい薄膜半導体ゲージ式を採用している。

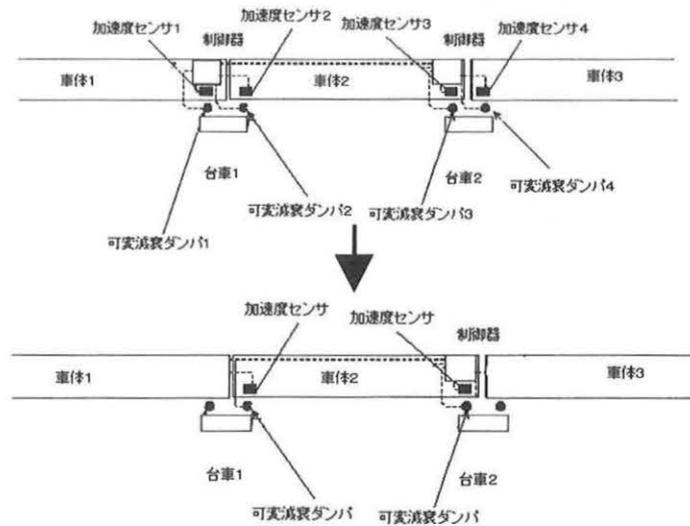


Fig.5 Structure of semi-active suspension system

Table 1. Improved average lateral ride-comfort level (500km/h) [dB]

走行区間 車体部位	全等速 区間	トンネル直線	緩和曲線
車体中央部	2.4	3.4	1.7
車体端部	2.8	3.5	1.7

4.3 制御装置

浮上式車両モデルに適したセミアクティブ振動制御ソフトが組み込まれた制御装置である。加速度センサから受けた振動加速度を振動速度に変換し、スカイフックダンパ理論より求めた減衰力を可変減衰ダンパに出力させるよう電磁リリーフ弁を操作する。

また、本システムの全体構成を Fig.5 に示す。今回より、これまで各台車単位ごとに制御を行っていた構成 (Fig.5 上図) を車体単位ごとの制御 (Fig.5 下図) に変更した。浮上式車両は、在来方式鉄道と異なり、車体間に台車を配置する、連接台車方式をとっているため、実際に1車体に作用するダンパは2本である。そのため、今回のようなシステムチェンジを行い、これまで1車体の制御に2台の制御装置が必要だったところを1台で行なうことが可能になった。

5. 現車試験

平成14年から山梨実験線で走行を開始した新型車両に本システムを艤装し、現車試験を実施した。以下に試験結果の概要を述べる。

Table.1 に500km/h 走行時の各区間における制御の有無による区間平均乗り心地レベル低減効果を示す。また、短時間乗り心地レベル解析を行ったところ、最大約4dBの乗り心地レベル改善が確認された。

また、Fig.6 に制御をする場合としない場合の左右乗り心地レベルを周波数ごとに比較したグラフを示す。同図では、制御なしの時を100%とする加速度パワーの比で表現した。これより、セミアクティブ振動制御により、約3Hz以下のパワーが低減していることがわかる。前記した Fig.1 から、人間の左右方向に関する感度は、こ

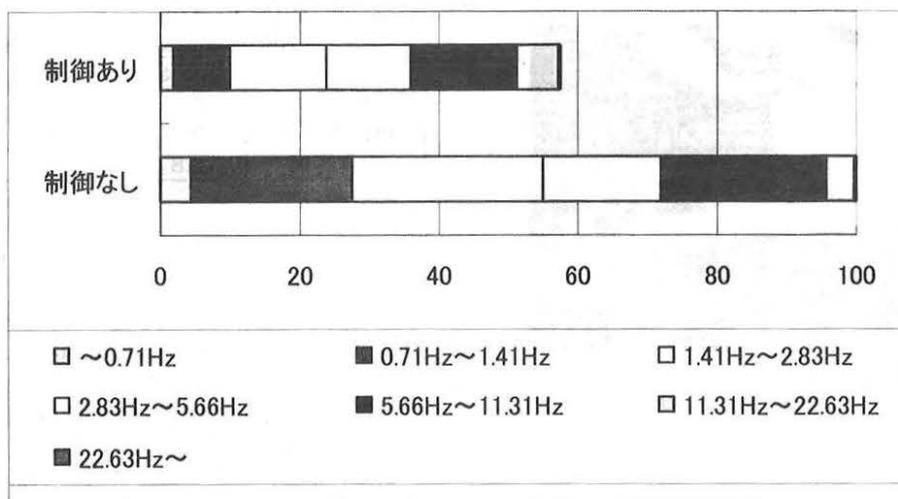


Fig.6 Effect of lateral control at each frequency (500km/h)

の周波数範囲において鋭いため、体感上でも乗り心地向上が感じられた。

今回より車体単位での制御に変更したが、従来方式と同等の制御効果が得られることを確認できた。

6. 終わりに

山梨実験線新型車両に、セミアクティブ振動制御システムを適用し、現車試験を行った。その結果以下のことがわかった。

- (1) 500km/h 等速走行時の乗り心地レベルで、平均約 2.5dB、最大約 4dB の改善効果がみられた。また、体感上もその効果を確認できた。
- (2) 周波数解析の結果、3Hz 以下の領域で振動が減少していることを確認した。

今後の展開として、区間による車両運動の違いを考慮した制御の導入を計画している。

なお、この装置は国土交通省の国庫補助金を受けて開発された。

謝辞

山梨実験線用セミアクティブ振動制御システムの開発にあたり、カヤバ工業（株）殿には多大なご協力を頂きました。この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 佐々木君章：車両の揺れを賢く抑える、Railway Research Review、P6~9、2003.2
- 2) 滝澤秀行：乗り心地向上を目指して、Railway Research Review、P10~13、2003.1
- 3) H.TAKIZAWA etc.：Semi-active Suspension System for the Yamanashi Maglev Vehicles、Maglev2002、2002.9
- 4) 高見創 他：MLX01 すれ違い走行・5 両編成走行における車両運動特性、J-RAIL00'、2000.12

- 5) 山梨実験線車両へのセミアクティブ振動制御の適用：星野宏則 他、鉄道総研報告、Vol.14,No.11、2000.11
- 6) 佐々木君章：乗り心地向上のための制御技術、鉄道総研報告、Vol.13,No.10、1999.10