

車軸に取り付けられたモータによる鉄道貨車の前後振動抑制

○若林 秀 (東京大学)

[機] 中野 公彦 (東京大学)

Control of longitudinal vibration of a freight car with an electric motor on
a wheelset

○Shu Wakabayashi (University of Tokyo), Kimihiko Nakano, (University of Tokyo)

In recent years, a modal shift from trucks to rail transports has been expected through a perspective of reduction of CO₂ emission and energy consumption. However, there are problems such as cargo damage because of longitudinal vibration during rail transportation. Therefore, the needs of vibration reduction are increased. Some rail vehicles have a generator on a wheelset, where generators are used to generate for service or to sense vehicle velocity. The generators may be used as actuators when voltage is applied. The authors suppose the control of longitudinal vibration using this generator. In this research, the authors simulate time historical analysis of 5-cars-train set. The effect of vibration reduction is examined. The numerical results show the vibration is reduced by the proposed method

キーワード：振動，振動制御，貨物車両，数値計算

Key Words：Vibration, Vibration Control, Freight Car, Numerical Simulation

1. 緒言

近年，排出二酸化炭素量削減，消費エネルギー削減などの観点から，物流においても自動車から鉄道へのモーダルシフトが期待されている．ところが，鉄道貨物輸送において，積荷の荷崩れや痛みなどが発生し，輸送効率を低下させる原因となっている¹⁾．これらは鉄道輸送時の振動に起因するものが多く，振動の低減が必要である．これらの振動は，垂直方向だけではなく，連結時などに発生する前後方向の振動（衝撃）が大きく，この前後振動の低減が課題となっている．

また，一部の鉄道車両には車軸発電機が取り付けられている．これは本来，速度検出や電源として用いられるものであるが，この発電機の代わりにアクチュエータを設置することによって，振動制御に使える可能性がある．また，旅客列車の電動機によって車両の上下振動を抑制する研究もなされている²⁾．

本研究では，貨車の車軸発電機をアクチュエータとして使用して制御を行うことで，前後方向への振動を低減することを提案する．前後振動を表現するために，機関車に貨車が4両連結された貨物列車のモデルを作る．平均60km/hでの走行時に，レール継ぎ目などにより前後振動外乱が加わった状況を想定し，MATLAB を使用した時刻歴解析に

よって，提案手法の有効性を示す．

2. 数値解析

2.1 数値解析条件

対象としたのは，機関車1両に貨車が4両連結された貨物列車である．機関車，貨車はそれぞれ質量100t，50tとした．また，60km/hでの定常走行時を考えた．(図1参照)
このモデルの状態方程式を次のように定めた．

$$\dot{X} = AX + B_u U + B_F F \dots \dots \dots (1)$$

ここで，

$$X = [\dot{x}_0 \quad \dot{x}_1 \quad \dot{x}_2 \quad \dot{x}_3 \quad \dot{x}_4 \quad x_0 \quad x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad x_4]^T (2)$$

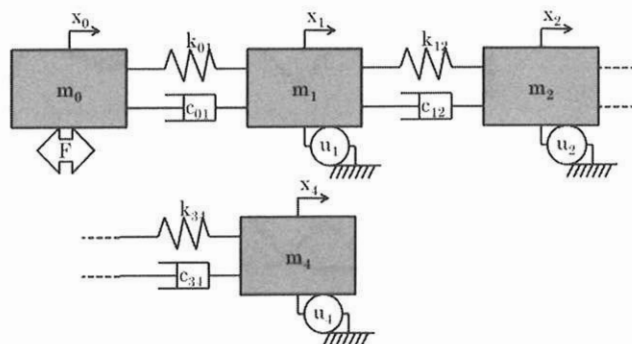
とした． $\dot{x}$ は速度の変動成分とし， x はその積分値とする．

図1 貨物列車の前後振動モデル

機関車に加わる外乱は、図 2(a) のような最大 1MN の外乱を 20Hz 正弦波の半波として入力した。

2.2 制御入力

次の式で示す、速度変動成分をフィードバックする制御を行った。

$$u_n = -h\dot{x}_n \quad (n=1, \dots, 4) \dots\dots\dots (3)$$

使用したパラメータを表 1 に示す。³⁾⁴⁾⁵⁾ 平均速度からの相対速度を h 倍する制御量を入力している。

3. 結果

図 2 に、機関車次位、および最後尾貨車においての時刻歴応答のシミュレーション結果を示す。実線は最後尾の貨車の応答であり、破線は機関車次位の貨車の応答である。太線は非制御時の応答であり、細線は制御時の応答を示す。(b)は制御入力、(c)は加速度、(d)は速度の各応答を示している。これより、貨車に働く最大加速度が 5 両編成最後尾の貨車で 10% 程度低減できることがわかる。機関車次位の貨車でも、最大加速度は 5% 程度低減されている。また、制御入力 は 10kN 程度となっており、車輪径を考えると、9kNm 程度のトルクが必要である。

本制御を行う上では、速度の変動成分に対してのみ減衰成分を発揮することが必要である。センサで得られた速度から、ハイパスフィルタで変動成分だけを取り出して制御を行う。また、今回は減衰成分として制御を行なっているので、振動制御と同時に発電を行うこととなる。

4. 結言

本研究では、貨物列車の前後振動を低減するため、車軸に取り付けられた発電機をアクチュエータとして振動制御

表 1 使用したパラメータ

機関車質量 m_0	100[t]
貨車質量 $m_1 \sim m_4$	50 [t]
連結器バネ剛性 $k_{01} \sim k_{34}$	5000000 [N/m] ⁽⁴⁾
連結器ダンパ減衰係数 $C_{01} \sim C_{34}$	10000 [N/m/s] ⁽⁵⁾
フィードバックゲイン h	30000

への利用することを提案した。また、5 両編成の貨物列車の数値モデルを作り振動制御の時刻歴数値解析を行った。

その結果、前後方向への振動制御の実現可能性を示した。今後は電動機出力や走行抵抗などに関して、より現実的な条件の下で検討を行う予定である。

参 考 文 献

- 1) 岡田明, 岡成豊, 森川忠男, 大野真弘, 和田賢一, 荒木雅之: 防振コンテナの開発と振動測定結果, 東急車輛技報, No.58, pp.40-45, 2008.
- 2) 牧島信吾, 永井正夫: 平行カルダン駆動電気鉄道車両の主電動機トルクによる車体振動制御, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference, CD-ROM, 2010.
- 3) 電気鉄道ハンドブック編集委員会編: 電気鉄道ハンドブック, コロナ社, 2007.
- 4) 早勢剛, 長南征二, 深澤香敏: 鉄道車両連結器用緩衝装置の高機能化に関する研究, 日本機械学会論文集 C 編, No.67,654, pp.491-498, 2001.
- 5) 足立雅和: 車輪とレールの接触特性が車両運動に及ぼす影響に関する研究, 京都大学博士論文, 2010.

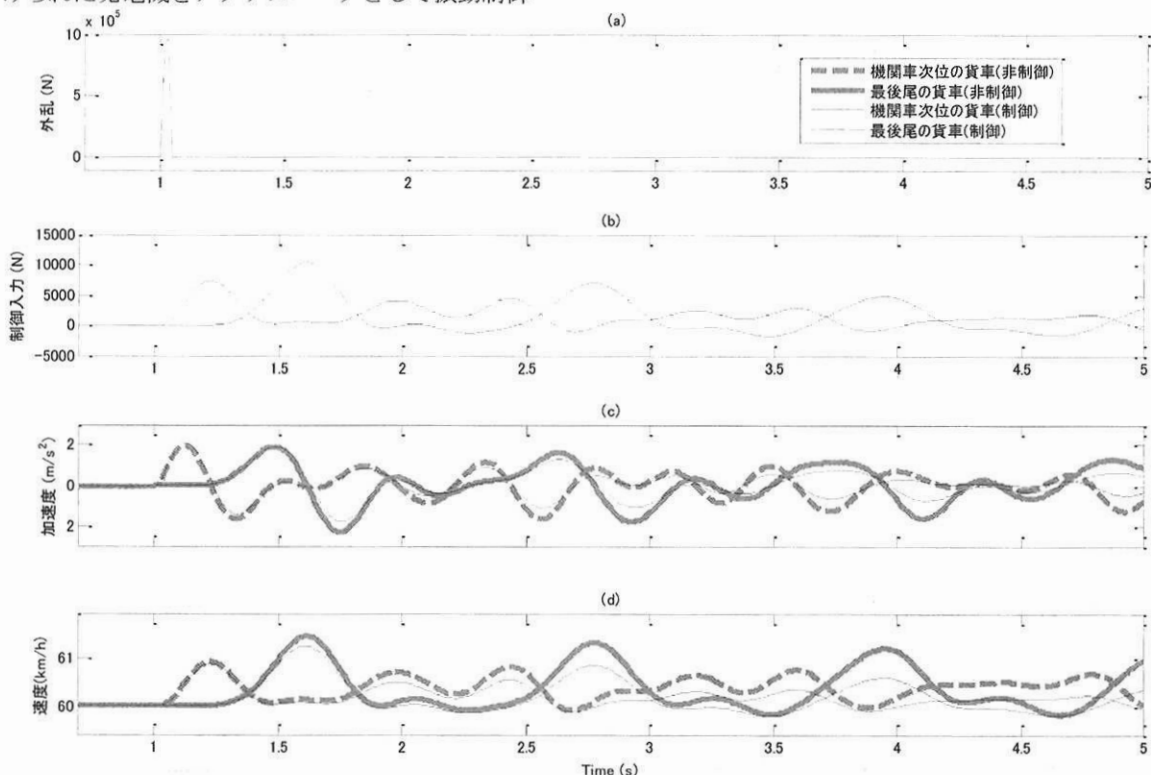


図 2 貨車の前後振動時刻歴応答

(a) 外乱 (b) 制御入力 (c) 加速度 (d) 速度