

S4-1-3 鉄道車両独立回転パワーステアリング台車を用いた車上分岐システム

Proposal of on-board turnout system using power-steering railway bogie with I.R.W.

○ 小宮山 誠 道辻 洋平 中村 誠 (東京農工大)
 須田 義大 (東大 国際・産学共同研究センター) 林 世彬 (東大院)

Makoto KOMIYAMA, Yohei MICHITSUJI, Makoto NAKAMURA; Tokyo University of Agriculture and Technology (TUAT)

Yoshihiro SUDA; The University of Tokyo, Center for Collaborative Research (CCR)

Lin SHIHPIN; The University of Tokyo

The concept of on-board turn out system has great potential which realizes yet unknown smooth operation of the urban transport systems. This paper proposes on-board turnout system which makes use of power-steering railway bogie with independently rotating wheel. The on-board turnout system mainly consists of three elements as bogie structure, bogie control methodology and rail structure. In this paper, the rail structure which suites for the bogie with independently rotating wheel is proposed. Furthermore, the bogie control methodology which realizes robust tracking for desired wheel lateral displacement is also proposed. Numerical simulation shows the robustness of tracking control. The running experiment with scaled model vehicle on mockup rails proves the success of this control and developed rail structure.

Key words : Railway Vehicle, Active Control, Independently Rotating Wheel, On-board Turnout.

1. 緒 言

LRTをはじめとする次世代の軌道系都市交通は、大量輸送性・省エネルギー性を備えた優れた交通システムとして期待されている。この優位性を確保しつつ、さらなる発展的機能として、過密な道路状況においてもフレキシブルな運行が望まれる。これを実現するには、単なる車両のスピードアップではなく、信号待ち時間やポイント切換えといった、軌道系交通システム特有のタイムラグを最小化する運行制御技術が重要となってくる。しかしながら、現状の地上設備の改良というアプローチでは、分岐器のタイムラグを切り詰めていくことに明確な限界があり、地上設備を含めた車両構造・運動制御といったトータルシステムのブレークスルーが望まれる。

本報では図1に示す独立回転パワーステアリング台車^[1]の優れた曲線通過性能に着目し、分岐器やポイントといった地上設備なしで、車両が自律的に分岐する車上分岐^[2]システムを構築することである。今回は、すでに提案された独立回転パワーステアリング台車の分岐器進入前のアクティブ制御と分岐レール形状について検討したのでその内容を報告する。

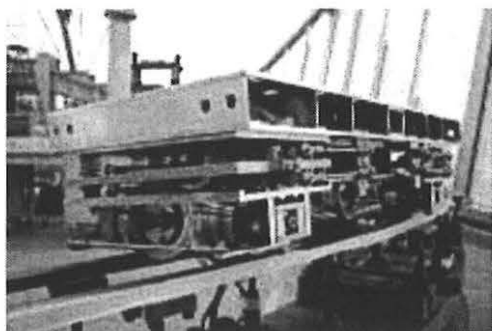


Fig1. Power steering bogie with I.R.W

2. 車上分岐システムの概要

車上分岐システムは車輪の操舵制御と非可動のトングレー・リードレール・フランジウェイ等で構成される専用の分岐レールから構成される。車輪の左右変位を分岐レール進入前に操舵制御の応用で偏り走行させることで、直進走行か分岐走行かを選択的に制御する。図2に示す分岐走行時の順序を簡単に説明すると

- 分岐器進入前に車輪の左右変位 y_w を目標軌道 y_d に追従させ、軌道の片側に寄せる制御をおこなう。
- 両車輪がフランジウェイ上を走行し、トングレーに車輪を誘導する。
- リードレールを通過し、分岐のクロス部分をフランジウェイにより通過する。

このような概念のもと、非稼働のトングレー、フランジウェイ部構成されるモックアップ分岐レールを図3に示す。

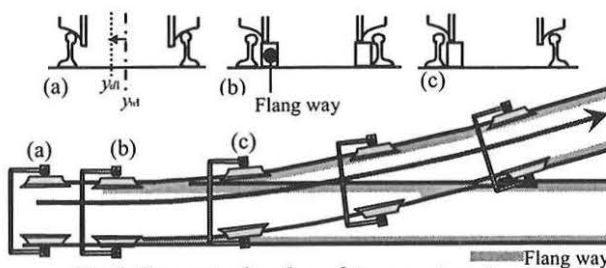


Fig2. Concept of on-board turn-out system

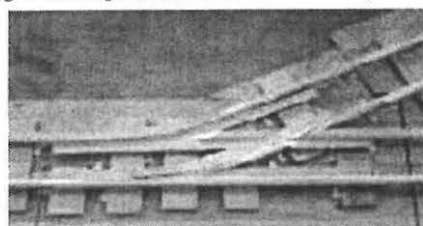


Fig3. Mockup of Turn-out rails

3. 車両モデル

3.1 仮想操舵リンクモデルに基づく軌道追従制御

分岐レール手前で、車輪の左右変位 y_w を目標軌道 y_d に追従させるサーボ問題を考える。走行速度変化によらず、安定した追従系を設計する際に、車輪が仮想的な操舵リンクに拘束されたモデルを導入する。この仮想操舵リンクモデルは図4のモデルに示すように前輪の目標変位 y_{d1} 、台車中心からリンクの結合点までの長さ L とおく。このとき目標角度から前輪のヨー角までの差の目標操舵角として

$$\varphi_d = \frac{y_{d1} - y_{w1}}{L} \quad (1)$$

と考える。目標操舵角 φ_d と実操舵角との偏差に対し PID 補償器 $C(s)$ により制御入力 τ を生成する。目標操舵角から車輪の左右変位までのブロック線図を図5に示す。なお、前輪と後輪のサブシステムはほぼ同一構造であるので、前後のコントローラは共通のもので制御可能である

3.2 数値解析 提案する仮想操舵リンクにもとづく制御器と参照モデル法に基づいて車両運動方程式から導出した制御器を比較する。参照モデル法に関しては $v=1.0\text{m/s}$ で設計した制御器を使う。仮想操舵リンクモデルに関しては PID 制御器のパラメータは固定値を使用する。シミュレーション条件として (1) 速度 $v=1.0\text{m/s}$ 、(2) 速度 $v=0.2\text{m/s}$ の2パターンを考え、直線レール上のステップ目標値に対する前輪左右変位の応答を見た結果を図6に示す。図示されるように参照モデルの場合は速度による応答悪化が大きいのにたいし提案する仮想操舵リンクモデルはそのような悪影響がないことがわかる。

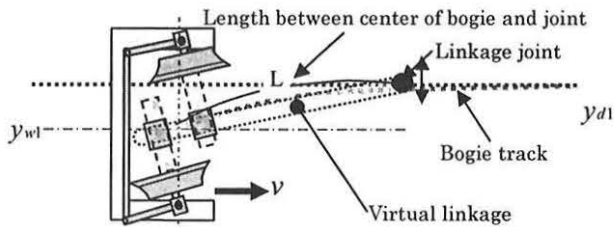


Fig4. Virtual steering linkage model

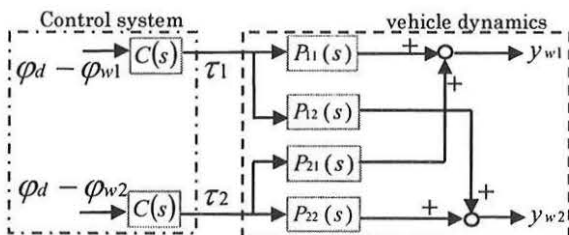


Fig5. Block diagram of vehicle control system

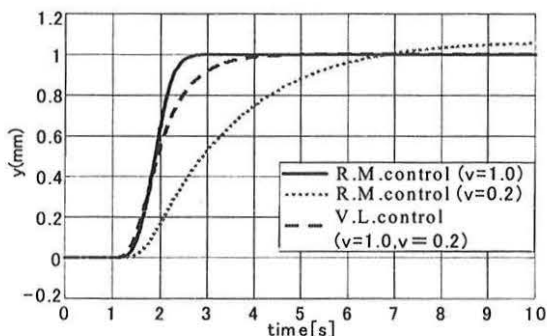
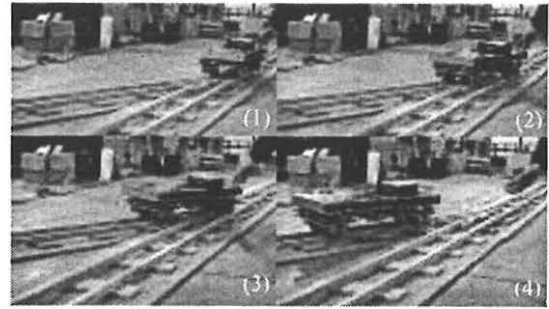
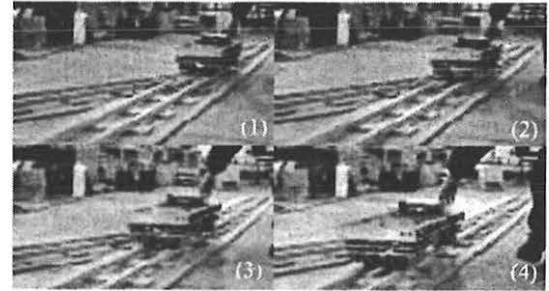


Fig6. Front wheel orbital flutter



(i) turnout running mode



(ii) straight running mode

Fig7. Snap shot of vehicle running motion

4. スケールモデルによる車上分岐実験

製作した分岐レールモックアップ上で試験的に台車を走行させた。図7は(a)分岐走行モードと(b)直進走行モードにおける映像のスナップショットである。図示されるように基礎的な走行実験において分岐が達成されていることを確認している。分岐器通過時における車輪左右変位などの計測法は現在準備中であるため、走行性能の評価は今後の課題としたい。

5. 結 言

本報告では、軌道の構造と車両の制御手法について説明し、数値解析とスケールモデル実験により、提案する車上分岐システムの基礎的検討をおこない、以下の知見を得た。

- 1) レール形状による車輪との接触点変化を利用した車上分岐レールを提案した。
- 2) 提案する仮想操舵リンクモデルにもとづく制御系は、参照モデル法による制御器と比較して、走行速度変化に対してロバスト性が高いことが確認された。
- 3) 車上分岐システムを実証するためのモックアップレールを製作し、1/10 スケール台車の基礎的な車上分岐実験をおこなった。実験により、車上分岐が実現できることを確認した。

今後は、モックアップ上で計測系を完成し、走行性能を定量的に評価する。また、実車への応用を検証するために、分岐器と車輪接触点位置を厳密に考慮した数値解析手法の確立とシミュレーションによる定量的検討が課題である。

参 考 文 献

- [1] 道辻, 須田: 急曲線通過と走行安定性を両立する独立回転車輪を用いた二輪ユニット・パワーステアリング台車の走行性能, J-RAIL2004, P143-146, 2004.
- [2] 曾根悟, 古関隆章: 「車上分岐方式に関する研究 (第1報 その可能性と効用)」平成10年電気学会産業応用部門全国大会講演論文集, pp.211-214, August 1998