

剛体台車와 비틀림 應答型台車의 制御特性

權 丙 · 正田 英介
(東京大学)

Controll Characteristics of Electromagnetically Levitated Rigid Body Bogie-Truck and Twist Response Type of Bogie-Truck

B.I.Kwon E.Masada
The University of Tokyo

The electromagnetic suspension system, which is a kind of magnetic levitation, can be categorized into two groups; separate lift & guidance system and combined lift & guidance system. This paper deals with the latter system, in which lift and guidance forces are generated by a pair of staggered magnets with the inverted U-shaped rail.

In this work, a rigid body bogie-truck and a twist response type of bogie-truck, which are constructed by two magnetic wheels consist of two staggered magnet pairs, are modeled, and curvature running characteristics of both types obtained by simulation are presented. Simulation result showed that curvature running characteristics of twist response type of bogie-truck is better than that of rigid body bogie-truck.

1. 序 論

磁氣浮上 鐵道の 驅動系는, 車輛을 을 非接觸으로 支持하기 위한 浮上系와 浮上狀態에서 推進하기 위한 推進系에 의해 構成되어 진다.

浮上方式으로서는 超電導反發方式과 常電導吸引方式이 있으며, 常電導吸引方式은, 支持와 案内를 各各의 磁石으로 行하는 支持 案内獨立方式과 支持와 案内를 同一의 磁石으로 行하는 支持·案内兼用方式으로 區分되어 진다. 支持·案内兼用方式으로서는 스테거배치 페어자석 (Staggered Magnet Pair: 以下, 스테거 자석이라 칭함)이 U字形레일과 함께 사용되어, 車兩의 輕量化에 寄與하고 있다.⁽¹⁾

日本の HSST(High Speed Surface Transpost) 시스템⁽²⁾은, 支持·案内兼用方式의 스테거 자석 2個와 推進力을 發生하는 편측식線形 誘導電動機 (SLIM: Single Sided Linear Induction Motor)를 1個의 構造에 配置한「모듈」이라 불리는 磁氣車輪을 갖는다.

本 研究에서는, 2個의 磁氣車輪으로 構成되는 台車를, 剛體台車와 비틀림運動의 自由度를 갖는 비틀림應答型台車로 모델化하여, 構造의 相異에 의한 制御特性의 相異를 比較한다. 즉, 兩台車의 曲線走行特性을, 시뮬레이션 수법⁽³⁾에 의해

求하여 比較檢討한다.

2. 台車와 軌道모델

2.1 스테거 자석과 磁氣車輪

HSST시스템의 스테거 자석構造를 그림 1에, HSST-03 스테거 자석의 諸元을 表 1에 나타낸다. U字形 레일에 對向하는 U字形磁石은, 橫方向의 變位가 發生하면 復元力의 案内力이 發生하므로, 支持뿐만 아니라 案内를 兼하게 된다.

2個의 스테거자석과 1個의 SLIM에 의해 構成되는 磁氣車輪을 그림 2에 나타낸다. 推進系의 SLIM은, 制御方法에 따라서는, 推進力 뿐만 아니라 上下力 및 橫方向의 變位에 의해 左右力도 發生한다. SLIM에 의한 上下力 및 左右力은 浮上系의 力外亂으로 作用하므로 바람직 하지 않다. 하지만, 그 크기는 浮上系의 吸引력과 案内力에 比해서 數%에 지나지 않으므로 本 論文에서는 이를 無視하여 浮上系의 發生力만을 고려하기로 한다.

2.2 스테거 자석의 制御系

스테거 자석에 의한 支持·案内系制御에 대한 研究로서는, 浮上空隙長과 橫變位量이 微少한 것으로 假定하여, 線形手法에 의해 運動方程式과 回路方程式을 支持系와 案内系로 分離시켜 非干涉化한 研究⁽⁴⁾와, 큰 案内力을 얻기 위해서 長橫變位量에 대해서도 支持·案内系의 相互干涉가 적은 準非干涉制御에 대한 研究의 例⁽⁵⁾가 있다.

本 研究에서는 各磁石의 制御 電壓 e를 式(1)하며, 非干涉化에 의해 제어계를 설계하여 제어정수를 表 2에 나타낸다.

$$e = k_{00} \int z_{c1} dt + k_{10} z_{c1} + k_{20} \frac{dz_{c1}}{dt} + k_{30} \frac{d^2 z_{m1}}{dt^2} + k_{3p} \frac{d^2 y_{m1}}{dt^2} \quad (1)$$

단, Z_{e1} : 浮上空隙長變位, Z_{m1} : 基準座標에서의 Z 方
의 變位, y_{m1} : 基準座標에서의 y 方向的
變位.

式(1)에 있어서 浮上空隙長變位 Z_{e1} 은 空隙長센서, 加速
도와 加速度計에 의해서 측정되며, 그외는 數值計算에 의
해서 求해진다.

2.3 剛體台車와 비틀림 應答型台車

2 個의 磁氣車輪으로 構成되는 台車を 그림 3에, 그 諸
元을 表3에 나타낸다.

左右의 磁氣車輪을 연결하는 棒은 磁氣車輪에 比해서 充
分히 가벼우며, 剛體인 것으로 假定한다.

연결 棒에 의해서 兩磁石의 運動力의 自由度가 相互 拘
束되는 台車を '剛體台車'라 칭하기로 한다.

연결 棒과 兩磁氣 車輪과의 연결部分에 있어서의 回轉方
向의 差가 없는 것으로 假定하여, 兩磁氣車輪은 pitching
(pitching) 運動의 自由度를 갖고 該의 運動의 自由
도는 서로 拘束되는 台車を '비틀림應答型台車'라 칭하기로
하자⁽⁶⁾.

本 論文에서는, 剛體台車와 비틀림應答型台車를 모델로
하지만, 一般의 彈性體台車の 制御特性은, 두 모델의 制
御特性의 사이에 位置한다고 할 수 있겠다.

2.4 軌道 모델 및 走行條件

磁氣 浮上台車의 制御特性을 確認하기 위해서 시뮬레이션
에 의해 曲線走行 特性을 얻기로 한다.

軌道の 直線部를 직접 一定曲率線에 연결시켜 설치하면,
走行하는 車兩은 該部分에서 스템形의 遠心力을 받게
되어 乘車感이 나쁘게 된다. 이러한 現象을 피하기 위해
서, 直線部와 一定曲率曲線 사이에, 曲率 및 롤(roll)角이
零으로부터 連結적으로 變化하는, 緩和曲線이 必要하다.

緩和曲線에는 Sin, Cos, Clothoid 緩和 曲線等이 있으며⁽⁷⁾
緩和曲線の 種類에 따라서는 그 走行特性이 相異하다. 本
論文에서는, Clothoid 緩和曲線을 갖는 曲線을 모델化 하
기로 한다.

曲線軌道の 모델은 다음과 같다.

直線部 (1.88 m) → 緩和曲線 (20 m) → 一定曲率曲線 (20 m, 一
定曲率半徑: 250 m) → 緩和曲線 (20 m) → 直線部 (10.3 m)

走行時間은 5 sec, 一定走行速度 11 m / S,

一定曲率曲線에서의 均衡速度는 7 m / S이며,

一定曲率曲線에서의 롤角은 0.01 rad 이다.

3. 台車의 曲線走行特性

3.1 비틀림 應答型 台車

비틀림應答型台車의 左磁氣車輪, 台車의 曲線走行 特性을 그
림 4에 나타낸다. 右磁氣車輪의 特性은, 緩和曲線에서의 軌
道の 上下變化가 左側軌道の 變化和 反對이어서, 浮上空
隙長 特性이 左側의 磁氣車輪의 浮上空隙長 特性과 反對이
다. 그 結果, 電壓, 電流特性도 거의 反對이므로 提示하지
않았다.

緩和曲線の 出入口에서의 軌道の 上下變化 때문에, 浮上
空隙長은 急激히 變化하지만, 該의 軌道에서는 거의 一
定의 浮上空隙長을 유지한다. 一定曲率曲線에서의 超過遠心
力에 의한 台車의 橫變位量은 約 3.5 mm이다. 台車의 橫變
位量가 發生함에 勿論하고 制御電壓과 電流가 平衡値와
거의 같으므로, 橫變位量으로서 超過遠心力에 對向하고 있
음을 알 수 있다.

台車와 磁氣車輪의 俯角은 軌道の 俯角과 一致하나, 左
右磁氣車輪의 特性은 反對이다.

3.2 剛體台車

剛體台車의 曲線走行特性을 求해서 그림 5에 나타낸다.
緩和曲線の 비틀림 레일에 追從하지 못하므로, 各 磁石의
浮上空隙長은 一定偏差가 發生하나, 一定曲率曲線에서 一定
浮上空隙長을 유지한다. 그 結果 制御電壓, 電流와 一定
曲率曲線에서 새로운 平衡點에 移動하게 되나, 直線部에서
本來의 平衡點에 되돌아 간다.

一定曲率曲線에서의 各 磁石電流의 平衡點 移動에 의해,
各 스태가 磁石의 案內力이 不平衡하게 되어 台車와 레일
사이에 요-角(yaw)이 發生한다. 이와같은 案內力의 不平
衡은 台車를 비트는 힘이므로 바람직하지 못하다. 該의
台車의 特性은 비틀림應答型 台車와 同一하다.

4. 結 果

2 個의 磁氣車輪에 의해서 構成되는 台車를 비틀림 應答
型台車와 剛體台車로 모델化하여, 曲線走行特性을 比較한
結果, 兩磁氣車輪의 構造의 相異에 의한 制御한 結果, 兩
磁氣車輪의 構造의 相異에 의한 制御特性의 相異를 構體
의으로 알 수 있었다.

[参考文献]

- (1) Limbert, et al., "Controlled Dynamic characteristics of Ferromagnetic Vehicle Suspensions Providing Simultaneous Lift and Guidance", Journal of Dynamic System, Measurement and Control, Vol. 101, Sept., pp.217-222(1979)
- (2) E.Masada, "EMS-Technique and State of Applications in Japan", Int.Conference on Maglev, Hamburg, June, pp.17-26(1988)
- (3) 藤崎: 「電磁吸引制御式磁気浮上車両の走行simulation」、simulation, 論3-4、88 (昭和59-7)
- (4) 藤崎: 「電磁吸引制御式磁気浮上車両の走行特性の研究」、東京大学学位論文(1986)
- (5) 権、正出: 「スタガ磁石による支持系、案内系非干渉制御の一考察」、電気学会リニアドライブ研究会資料 LD-89-1
- (6) 中川、山村、中西: 「ねじれ応答型磁気浮上ギャップ長台車の制御法とデジタル制御実験」、電学論D、107、411 (昭和62-3)
- (7) Y.Hikasa, M.Iwaya, K.Kusunoki, Y.Hosoda, "A Study of Curvature Running of HSST Vehicle", International conf. Maglev a Linear Drives, Canada, pp.127-137(1986)

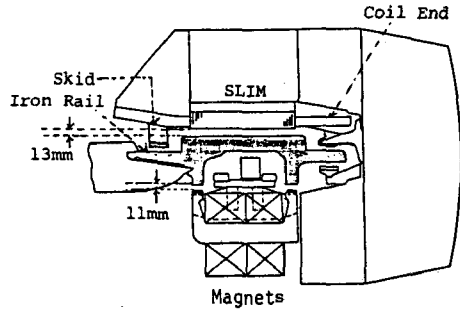


Fig. 2. Magnetic wheel

Table 2. Controller parameters

k_{0z}	8835.03 [v/m·s]
k_{1z}	8040.12 [v/m]
k_{2z}	1225.85 [v/m/s]
k_{3z}	18.7 [v/m/s ²]
k_{3y}	10.24 [v/m/s ²]

Table3. Dimensions of a electromagnetically levitated Bogie-truck

台車質量	4224[kg]
台車長	3.76[m]
台車rolling 慣性性能率	4657[kg·m ²]
台車pitching 慣性性能率	5167[kg·m ²]
台車yawing 慣性性能率	4770[kg·m ²]
磁気車輪質量	2112[kg]
磁気車輪慣性性能率 (twist 応答型台車)	2385[kg·m ²]

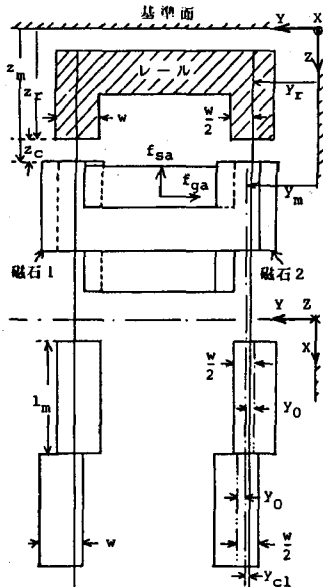


Fig. 1. Model of a staggered magnet pair

Table 1. Dimensions of a staggered magnet pair of HSST-03

負荷質量	M = 1056[kg]
電磁石 inductance	$L_{0z} = 0.234[H]$
巻線抵抗	R = 0.54[Ω]
定常電流	$i_0 = 30.8[A]$
coil 巻数	n = 270[turn]
x 方向長	l = 0.94[m]
幅	w = 0.025[m]
標準浮gap 長	$z_c = 0.011[m]$
stagger 量	$y_0 = 0.005[m]$

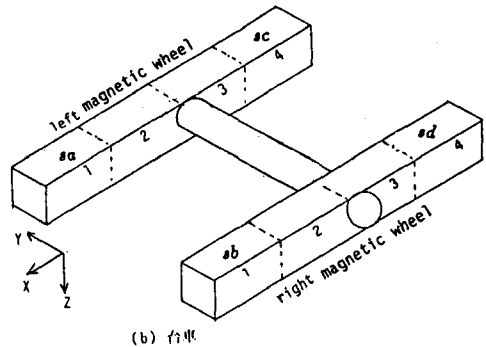
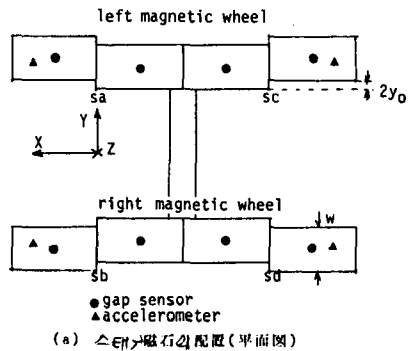
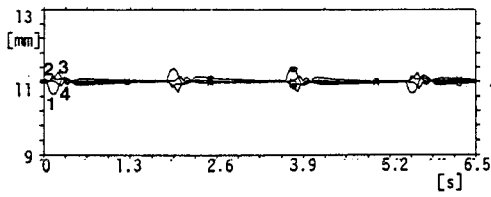
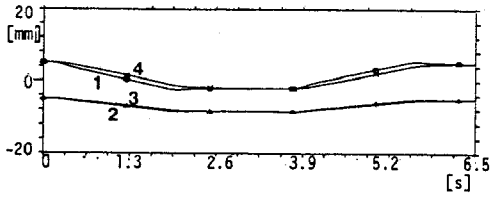


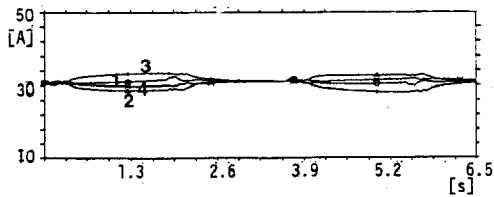
Fig. 3. Model of a electromagnetic levitated bogie-truck



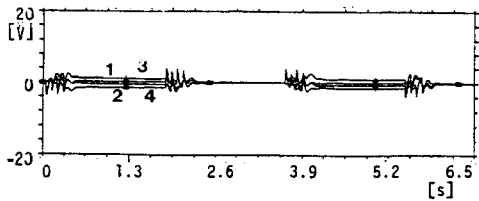
(a) 左磁気車輪各磁石浮上gap 長



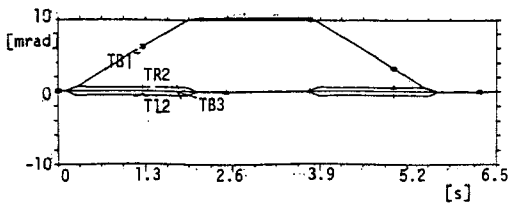
(b) 左磁気車輪各磁石横変位量



(c) 左磁気車輪各磁石電流



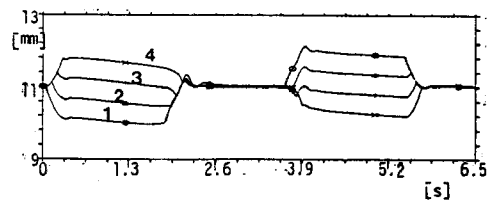
(d) 左磁気車輪各磁石制御電圧



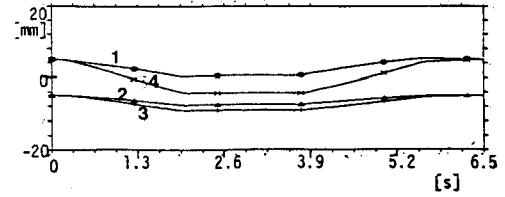
(e) 台車と磁気車輪の姿勢

(TB1: 台車roll角、TB3: 台車yaw 角、
TL2、TR2: 左右磁気車輪pitch 角)

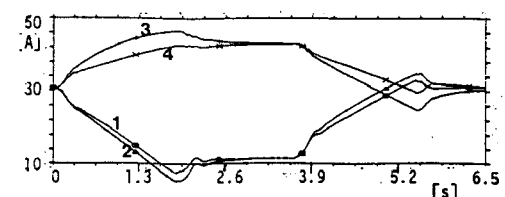
Fig.4. Curvature running characteristics of a twist response type of bogie-truck



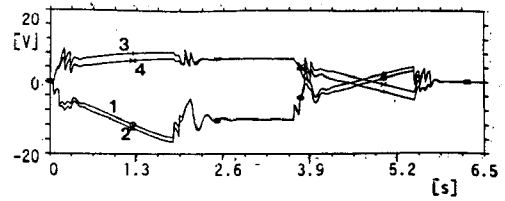
(a) 左磁気車輪各磁石浮上gap 長



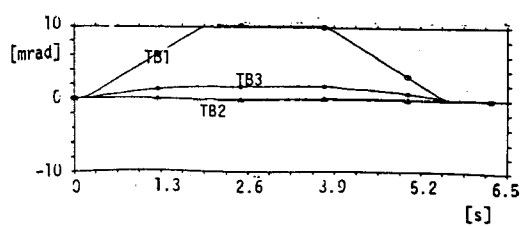
(b) 左磁気車輪各磁石横変位量



(c) 左磁気車輪各磁石電流



(d) 左磁気車輪各磁石制御電圧



(e) 台車姿勢

(TB1: 台車roll角、TB2:台車pitch 角、
TB3: 台車yaw 角)

Fig.5. Curvature running characteristics of a rigid body bogie-truck