

[別刷]

システム/制御/情報

Vol. 37

No. 11

1993

I S C I E

システム制御情報学会

磁気浮上システム

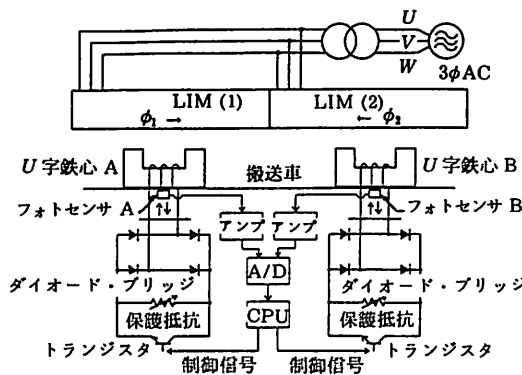
引原 隆士*

1. はじめに

磁気浮上技術は、原理的には古くから知られていたが、磁気浮上列車、磁気軸受、産業用磁気浮上搬送システムとして実現し始めたのは近年のことである¹⁾。Moonは早くから磁気浮上システムの非線形振動に着目し、反発型浮上系のヨーイング振動モードにカオスが発生することを示した²⁾。筆者らは、従来よりリニアインダクションモータ (LIM) を用いた交流吸引型磁気浮上搬送システムを開発してきた³⁾。吸引型浮上系は本質的に不安定な系であるが、適当なフィードバック制御により、安定な浮上が達成できる。このシステムの浮上変位の変動においてもカオスが発生する⁴⁾。以下、この事例について紹介する。

2. システムの概要

開発している LIM を用いた交流吸引型磁気浮上搬送システムの浮上実験システムを、第 1 図に示す。本システムは軌道として上方に配した 60 Hz の三相電圧を印加した LIM と、上部に二次巻線を巻いた U 字鉄心を取り付けた搬送車からなる。各二次巻線の両端に接続したダイ



第 1 図 交流吸引型磁気浮上搬送システム

* 関西大学 工学部

Key Words: chaos, magnetic levitation system, linear induction motor, U-shaped iron core, connection of phase plane.

オード・ブリッジの直流側には、トランジスタスイッチと保護抵抗が並列接続されている。トランジスタは、搬送車の浮上変位とその変位の変化分(変位速度)により、位相面構造を考慮してオン・オフされる。二次回路に流れる電流は、このスイッチングで不連続に制御される。搬送車はオフ状態で LIM に吸引され、オン状態では吸引力が弱められて落下状態となる。以上の状態の切り換えにより、搬送車は指令位置近傍で完全に非接触な周期定常状態で浮上する。このシステムは LIM の進行磁界を吸引力と搬送力に用い、システムの簡素化を図る。

本システムの浮上原理は、1 極だけに着目した 1 次元の振動モデルで検証できる。この実験装置を作成し検証すると共に、次の常微分方程式系で解析した。

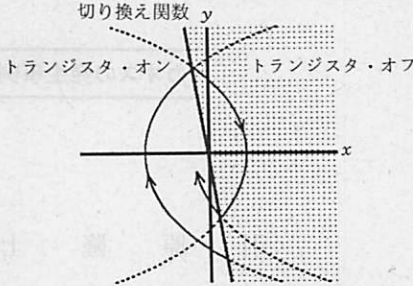
$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= y \\ \frac{dy}{dt} &= a_1 + \frac{a_2(i_1 - i_2)^2}{x^2} - a_3 y \\ \frac{di_1}{dt} &= a_4 \cos \omega t \\ \frac{di_2}{dt} &= \frac{x}{x + a_5} \left\{ -a_6 \frac{y(i_1 - i_2)}{x^2} + a_6 \frac{1}{x} \frac{di_1}{dt} - a_7 f(i_2) \right\} \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 x は浮上変位、 y は変位速度、 i_1 は LIM の電流、 i_2 は二次電流を表わす。関数 $f(i_2)$ はトランジスタのスイッチング特性を表わしている。

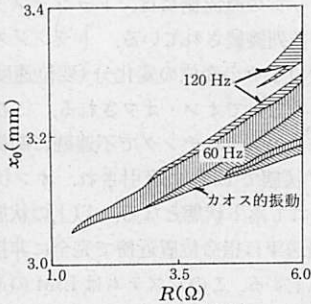
3. 制御方式と浮上振動

システムの浮上制御は、第 2 図に示す変位と変位速度の位相平面に状態空間の軌道を射影し、軌道が切り換え関数に左から右へ横断的に交わるとき、トランジスタをオフとする。逆に、右から左に交わるときには、オンに切り換える。このルールにより、指令位置近傍における浮上が達成できる。

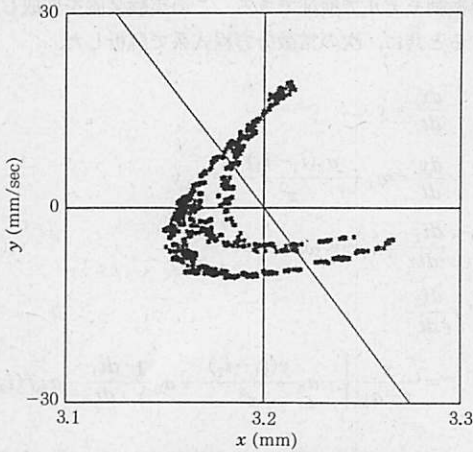
(1) 式の一次元モデルを用いたシミュレーション結果を以下に示す。このシミュレーション結果は、自由度を一



第2図 位相平面上の切り換え関数



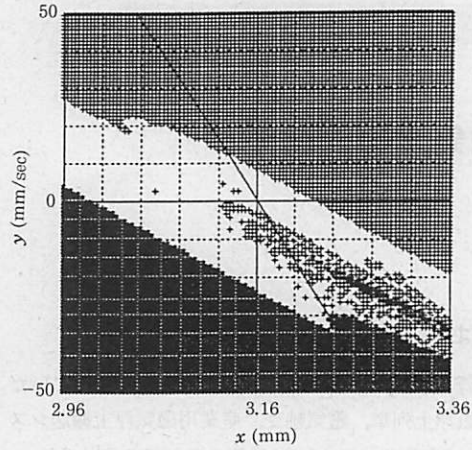
第3図 浮上領域



第4図 カオス発生時の振動とポアンカレマップ

次元に制限した浮上実験における測定結果³⁾より、ほぼ裏付けられたものである。保護抵抗 R と浮上指令位置 x_0 のパラメータ平面で浮上領域を求めると、LIM への吸着領域(下方)と落下領域(上方)の間で浮上領域が存在する。この領域を詳細に調べると、第3図に示すように、浮上領域内にカオスの発生領域が存在することが確認された。この領域内のカオスが発生する領域にある $(R, x_0) = (5.6(\Omega), 3.2(\text{mm}))$ において、発生する振動のポアンカレマップ、振動波形、スペクトルを第4図に示す。

ここで、切り換え関数(直線)と軌道の交点で一次元写像を定義すると、周期倍分岐によりカオスが発生する



第5図 浮上領域の初期値依存性

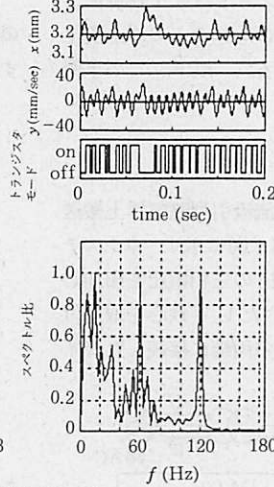
ことが明らかとなっている⁴⁾。

最後に、初期値依存性の例を第5図に示す。これは $(R, x_0) = (3.6(\Omega), 3.16(\text{mm}))$ における、120Hz 周期定常状態の場合の初期値依存性を示している。周期定常状態でも、浮上領域(白色領域)に吸引領域(濃色領域)と落下領域(淡色領域)が複雑に入り込んでいる。

状態でも、浮上領域(白色領域)に吸引領域(濃色領域)と落下領域(淡色領域)が複雑に入り込んでいる。

4. おわりに

磁気浮上システムに発生するカオスの一事例を示した。カオス現象に対する磁気浮上システムの開発における対応は、本質的に非線形な磁気浮上システムにどのような制御方式を適用し得るかという保守的な立場にならざるを得ない。しかし、システムの開発を通してカオスをいかに制御するかという点が重要(1992年12月5日受付)



と思われる。

参考文献

- 1) 電気学会技術報告：磁気浮上方式と関連技術 (II 部), 第353号 (1990)
- 2) F. C. Moon : Chaotic Vibrations, Wiley-Interscience, New York (1987)
- 3) 平田, 引原, 平根 : LIM を用いた交流吸引形磁気浮上システムの浮上特性; 電学論誌 D, Vol. 110, No. 10, pp. 1091~1099 (1990)
- 4) T. Hikiyara and Y. Hirane : Simulated Levitation Characteristics of Magnetic Suspension System by Linear Induction Motor; Int. J. Appl. Elect. Materials, Vol. 3, No. 2, pp. 73~85 (1992)