

日本国有鉄道納め

浮上式鉄道実験線用浮上体

Experimental Levitated Vehicle of High Speed Ground Transportation Supplied to the Japanese National Railways

地上輸送能力の増大と公害の少ない新しい交通機関として、リニアモータ推進、磁気浮上式鉄道が世界各国で脚光を浴び、その研究開発が活発化している。国内では日本国有鉄道が開発目標速度500km/hを目指す浮上式鉄道実験線を宮崎県に建設中で、延長7kmのうち昭和52年夏一部完成し実験が開始された。日立製作所をはじめとする重電機メーカー3社はこの実験線の建設計画に参画し、日本国有鉄道との協同開発を進めており、今回の浮上体のうち日立製作所は車体、台わくの製作及び各種機器の艤装の取りまとめを行ない納入した。

浮上体は実験線が7km完成時には500km/hの超高速で走行し、しかも浮上走行する特殊条件よりブレーキの安全性、空力特性を含む走行安定性、自重を10tに収めるための軽量構造、材料及び製造法などについて詳細な検討のもとに完成した。本稿はその浮上体の概要について述べたものである。

中島暢之* *Nakashima Nobuyuki*永岡 斉* *Nagaoka Hitoshi*高井正生* *Takai Masao*掛樋 豊** *Takehi Yutaka*

1 緒 言

現在の鉄道車両は車輪とレールの摩擦力を利用した車輪駆動方式であるため、実用上は300km/h程度の速度が限界であり、また高速運転では車輪走行であるため、騒音、振動が大きな問題となる。そこで輸送効率が良く、しかも騒音、振動など公害の少ないリニアモータ推進による磁気浮上式鉄道が脚光を浴びてきた。

現在進められている磁気浮上式鉄道には、常電導磁石を用いた吸引方式と超電導磁石を用いた誘導反発方式とがあるが、日本国有鉄道では約10年前から日立製作所をはじめとする重電機メーカー3社の協力のもとに誘導反発方式の開発を進めており、昭和47年にML100で世界最初の60km/hの走行試験に成功した。

これらの成果をもとに、最高500km/hの速度を目標とした超

高速鉄道の実用化を目指して浮上式鉄道第一次実験線用浮上体(車両)を開発した。

2 浮上体

2.1 概 要

図1に浮上体の外観を、図2にその全体構成図を示す。浮上体の寸法は長さ及び高さが将来予定されている営業線車両の $\frac{1}{2}$ 、幅がそれと同じ大ききで、流線形のスマートな形状をしている。

浮上体はL形をした浮上用及び推進案内用の超電導磁石を台わくに装備し、この超電導磁石の誘導反発によって浮上力を得て浮上し、地上一次リニアシンクロナスモータにより推進力を得て走行する。このほかに、この浮上体には浮上力が



図1 浮上体の外観 浮上体は、長さ13.5m、高さ2.9m、幅3.72mで質量は10tであり、また軌道は全区間高架である。

* 日立製作所笠戸工場

** 日立製作所日立研究所

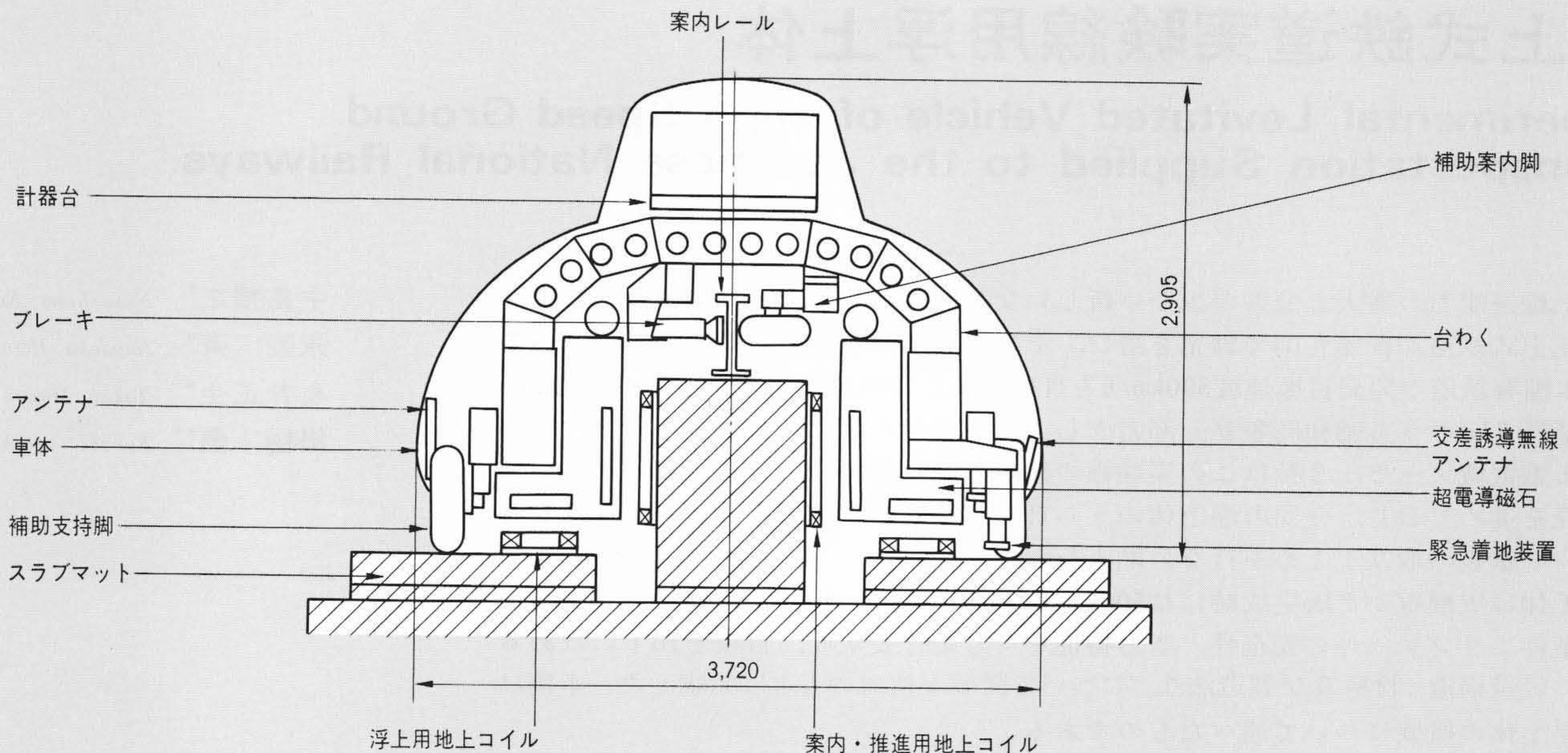


図2 全体構成図 超電導磁石による誘導反発浮上，地上一次リニアシンクロナスマータにより推進する。
補助支持・案内輪は，高速時は引き上げられ非接触走行になる。

十分でない低速状態で車両を支持・案内するための補助支持及び案内車輪，電気ブレーキが故障した場合に作動する機械ブレーキ，タイヤパンク又は超電導磁石が不具合な場合に滑走して車両を保護するための緊急着地装置，補助支持車輪，案内車輪の昇降・機械ブレーキ作用のための油圧装置，制御・計測用計器を搭載した計器台，情報伝送のためのアンテナなどが装備されている。

浮上体の主要仕様は次のとおりである。

- (1) 浮上体寸法：長さ13,500mm，幅3,720mm，高さ2,905mm
- (2) 浮上体質量：10 t (装備状態)
- (3) 走行速度：最高500km/h
- (4) 浮上高さ：100mm
- (5) 浮上力：98kN {10,000kgf}
- (6) 推進力：43.1kN {4,400kgf}

2.2 台わく

台わくは，低速走行状態，浮上走行状態，緊急着地状態，ブレーキ状態及び逸走状態で力の作用点，方向及び大きさに変化するが，どのような状態でも十分な強度をもち，しかも軽量化のためできるだけ小さい形状寸法であることが必要である。このため，台わくは比強度の大きいアルミ三元合金の薄板溶接構造で構成している。

2.3 車体

浮上体の外形形状は最高 500km/h の速度で走行するため，走行抵抗が小さく静的，動的にも安定な形状が要求される。また，この車両は航空機と異なり地上すれすれを高速走行する。このため，外形形状は模型による風洞実験及び自動車などの経験を基に決定された。車体は航空機で使用されている高力アルミニウムを用いたりベット継手による超薄板構造とし，点検ふたにはサンドイッチハニカムを使用して軽量化を図っている。

車体製作に当たっては，形状が流線形であるため外板及び

骨の加工度が大きく，板厚の減少及び加工硬化による影響が考えられるので，試験を行ない問題のないことを確認した。

2.4 機械ブレーキ

浮上体のブレーキは，常用の回生ブレーキのほか，非常用として発電ブレーキと機械ブレーキとをもっている。そのうちの機械ブレーキは，500km/h の高速時に確実に作動して車両を所定のブレーキ距離に停止させることが不可欠の条件である。このため，車両質量が一定であること，故障発生を少なくすることなどから比較的単純なブレーキ系とし，安全性向上のため前後が独立した2系統ブレーキを採用している。

ブレーキシュー押付力は，走行パターンで定められたブレーキ距離を満足するよう決めている。

ブレーキ機構は，従来の鉄道車両と異なって案内レールをはさみ込む方式であるため，レールに対するブレーキシューの追従性が得られるように配慮している。

3 走行安定性

浮上体の 500km/h 走行時の浮上高さは 100mm であり，その最小すき間は上下，左右方向ともにそれぞれ低速走行装置（補助支持及び案内車輪）のタイヤ位置で 50mm と振動系にとっては厳しい条件であり，これに対して高速で安定して走行できるかどうかの一つの問題である。

この点を明確にするために，全自由度を考慮し磁気的な力及び空気力学的な力を等価なばね力，ダンピング力に置き換えた振動系を構成し，安定判別及びランダムな地上コイル面の不整を受けたときのシミュレーションによる振動予測を行った。

3.1 振動モデルと諸定数の算出結果

図3, 4に浮上体の振動モデルを示す。ばね系は磁気ばね，磁気ダンピング及び空力ばねから成る。また，低速時だけ用いる低速走行装置は，タイヤ及びオレオより構成されている。

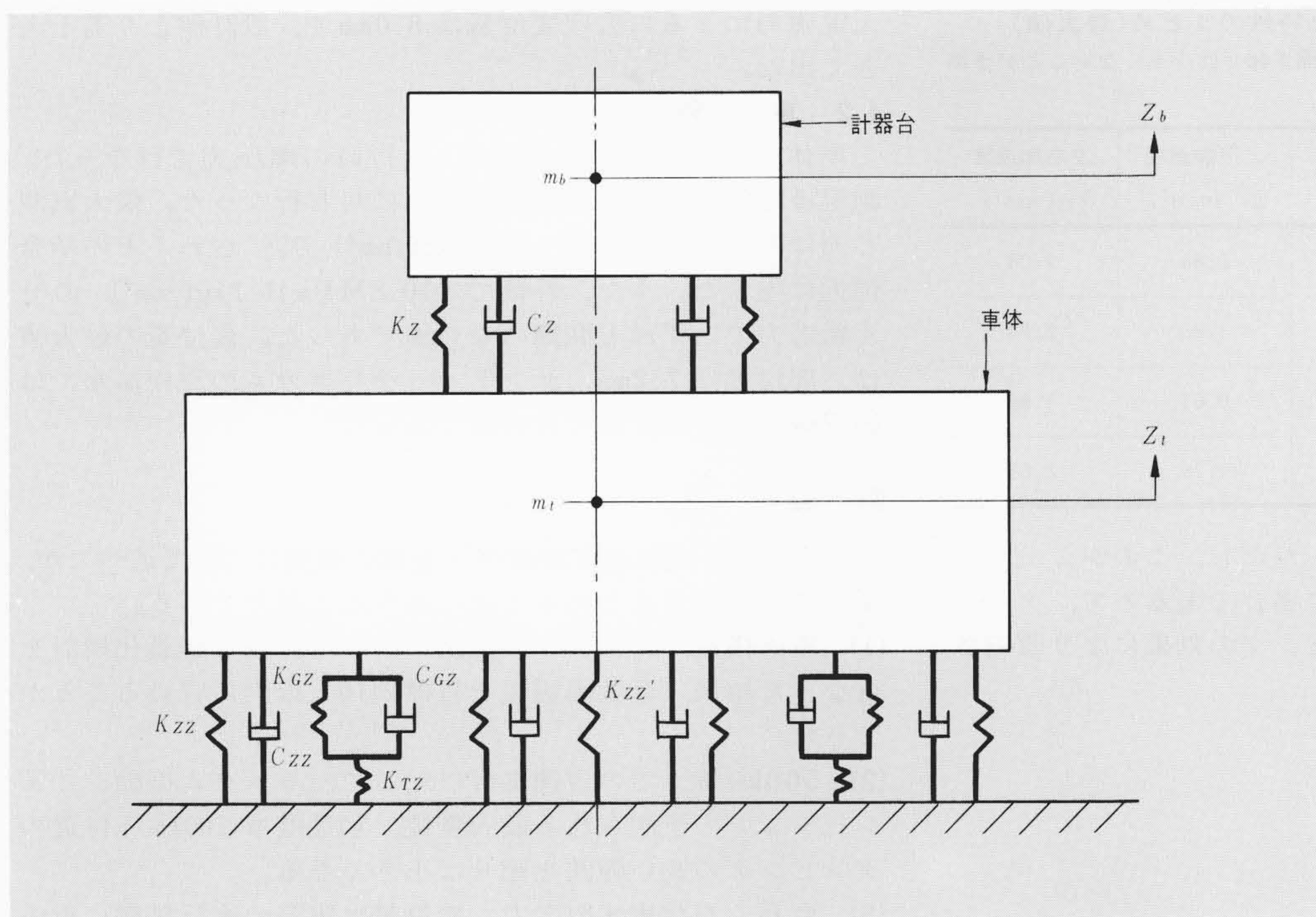


図3 上下方向の振動モデル 磁気ばね，磁気ダンピング，空力ばね系から成っており，低速時は低速走行装置のタイヤ及びオレオで構成されている。

低速車輪支持走行時は当然安定であるが，浮上走行時の静的な安定性については，電磁ばね定数は安定であり，風洞実験などの検討結果から空力的ばね定数は値が小さいことより全体的には安定である。

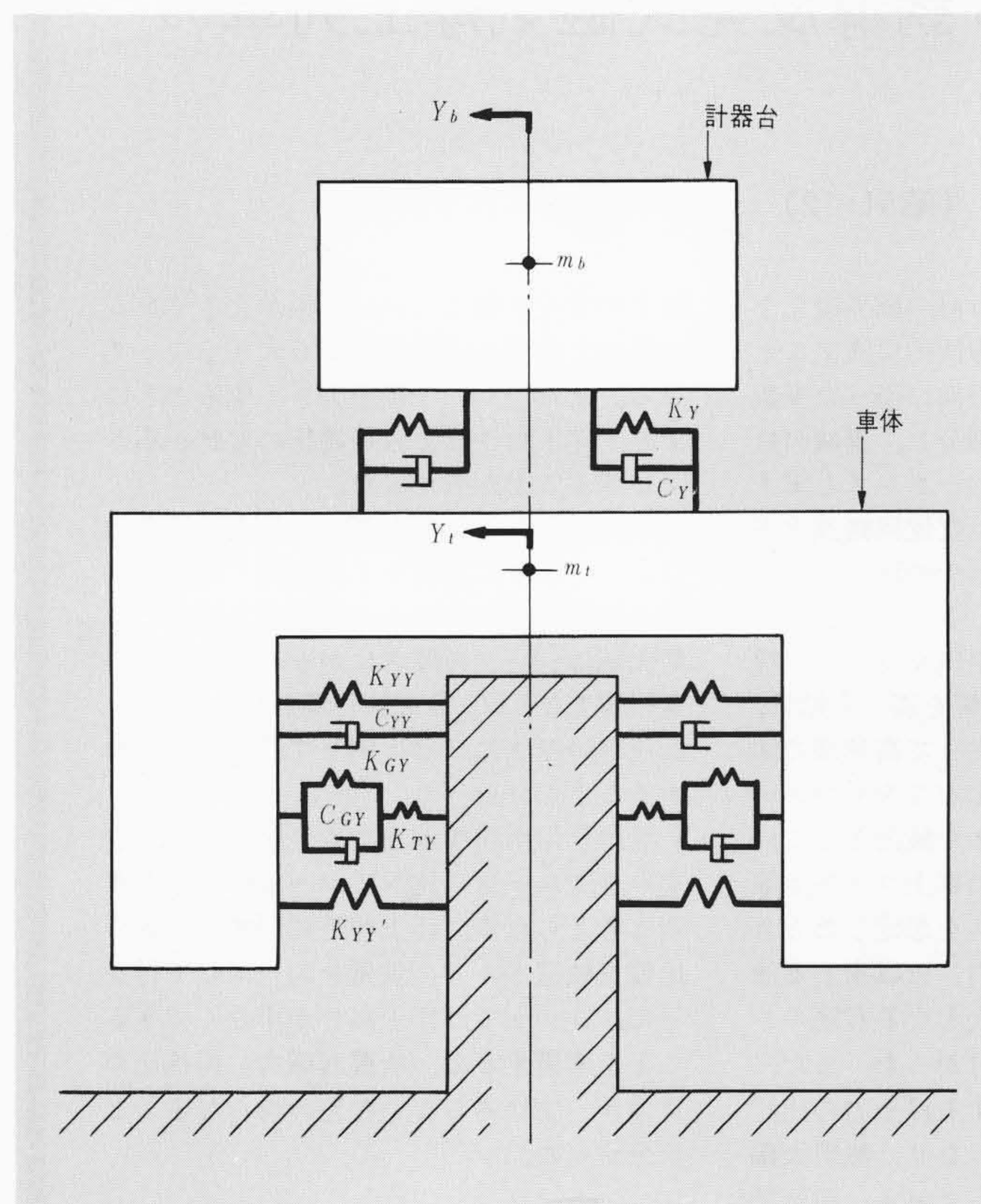


図4 左右方向の振動モデル 磁気ばね，磁気ダンピング，空力ばね系から成っており，低速時は低速走行装置のタイヤ及びオレオで構成されている。

3.2 安定判別

浮上走行での動的な安定度の目安である減衰係数比の計算結果を図5に示す。この結果，すべての減衰係数比は正であり，系は動的にも安定である。

3.3 定速走行時の振動シミュレーション

定速走行での車両振動応答のシミュレーション結果の最大値を表1にまとめて示す。加振源は地上コイル面の不整であり，実験線のコイル設定条件に基づき，上下，左右それぞれ別々なランダム波形を与えている。同表から 500km/h 走行時の振動変位，加速度はタイヤの位置で 27.1mm, $2.94\text{m/s}^2 \{0.3\text{G}\}$ であり，200km/h 付近のダンピングの低い範囲を超せば振

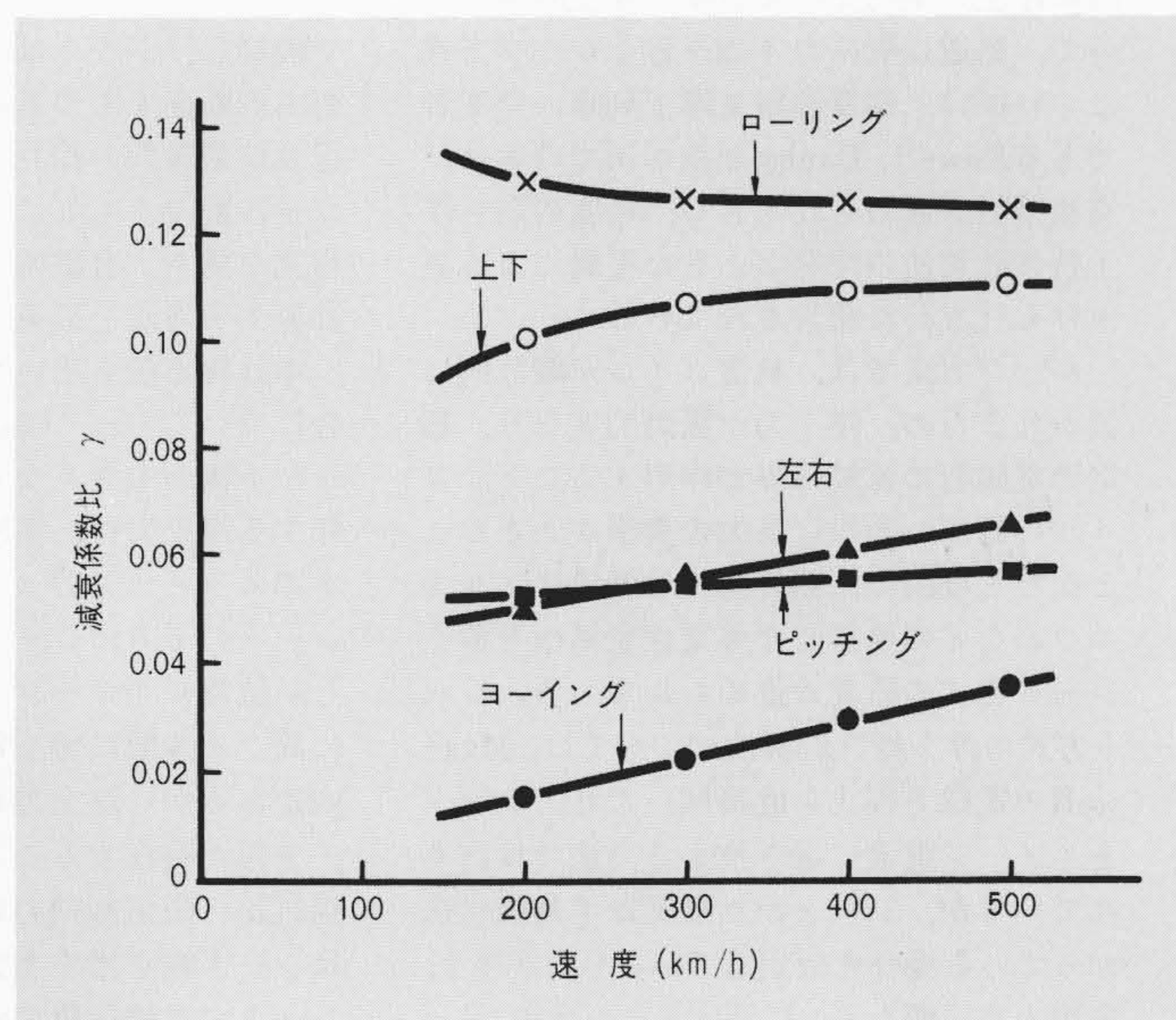


図5 安定判別 減衰係数比は正であり，動的に安定である。

表1 定速走行におけるランダム振動特性のまとめ(最大値)
振動は、200km/h付近のダンピングの低い範囲を超せば小さくなることが予測される。

走行速度 V (km/h)	上下変位 Z _t (mm)	左右変位 Y _t (mm)	上下加速度 $\ddot{Z}_t$ (m/s ²)	左右加速度 $\ddot{Y}_t$ (m/s ²)
500	車体中心 11.2	19.9	0.88	2.06
	タイヤ位置 18.2	27.1	1.86	2.94
200	9.3	29.1	0.67	1.86
	29.3	40.7	1.76	2.65

動は小さくなることが予測される。ただし、このシミュレーションは、ダンピングシート無しの場合であるので、ダンピングシートを装着すれば磁気ダンピングの効果により改善されると予想する。

4 試 験

4.1 台 わ く

応力と変位量を確認するため、台わくの荷重試験を行なった。測定は応力71点、変位量16点に対し行なった。最大実測応力は側ばりでは緊急着地時発生し、 -61.7MPa $\{-6.3\text{kgf/mm}^2\}$ 、横ばりではブレーキ力によるもので、その値は 104MPa $\{10.6\text{kgf/mm}^2\}$ であった。これらの値はほぼ設計値どおりの値であった。

最大実測変位量は、緊急着地状態で上下方向は8.9mm、最



シート軌道による誘導反発式磁気浮上列車の
浮上特性計算

日立製作所 高橋孝夫
電気学会論文誌 96-B, 591 (昭51-12)

車上に搭載した超電導磁石により磁氣的に浮上、案内支持する磁気浮上列車において、軌道に短絡コイルを置くループ方式については、超電導磁気浮上列車の発案者であるPowell, Danbyと我が国で理論及び実験検討が進められており、精度の高い浮上特性計算法の開発とともに実験による裏付けも行なわれ報告されている。

ループ方式では、軌道コイルが離散的に置かれるため、浮上力が脈動的となり、超電導磁石に脈動磁界が作用すること、コイルの製作、敷設に多大の費用がかさむことなどを理由に、諸外国では軌道にアルミニウムなどの連続した導電性金属板を置くシート方式の研究が進められている。シート方式の浮上特性計算法については、Maxwellの電磁方程式を直接解いたり、シートをイメージ電流に置き換える方法で検討されているが、シートが無限又は半無限に広がっている場合を仮定しているものが多く、実用の有限幅シートに関するものは少ない。

筆者は、車上電磁石走行時の磁界変化を車上コイルに交番電流を等価的に流すことで模擬し、シートは走行方向に沿った多数の方形断面をもつ素線に細分し、素線の自己及び素線間の相互インピーダンスと車上コイル電流をもとにたてた交流回路連立方程式を解き、有限幅シートでの浮上特性を計算する方法を提案している。

本計算方法を用いて、平坦なシートの場合について、シート幅の影響を調べた結果、シート幅が大きくなるに従って高速域で飽和する浮上力は、無限の広がりをもつシートでのイメージ力（シートを鏡面として、シートの下方にシート上の車上コイルと等しい位置にイメージコイルを想定したときに両コイル間に働く電磁力）に収束する傾向があるが、浮上力が極大となる有限のシート幅が存在することが分かった。また、揚抗比（磁気制動力に対する浮上力の比）はシート幅を増すと大きくなり、無限大幅シートでの理論値に漸近している。磁気制

動力のピーク値は、シート幅が大きくなるに従って低速に現われ、値も大きくなっている。また、シート幅を大きくすることにより、浮上高さによる揚抗比の変動が小さくできることが分かった。

4.2 車 体

車体の荷重試験は、500km/h走行時の風圧力で行なった。測定は応力135点、変位量127点に対し行なった。最大実測応力は部材では 115MPa $\{11.7\text{kgf/mm}^2\}$ で、台わくとの結合付近に生じた。また、外板では 10.8MPa $\{1.1\text{kgf/mm}^2\}$ のせん断応力でいずれも問題のない値であった。変位量の最大値は、部材では7.2mm、サンドイッチハニカムの点検ふたでは10.7mmではほぼ設計値に近い値であった。

5 結 言

以上、浮上式鉄道実験線用浮上体の概要について述べたが、現状での結論をまとめると次に述べるとおりである。

(1) 車両構造、材料及び製造法について詳細な軽量化検討を行なった結果、全装備質量を目標の10t以内に収めることができた。

(2) 500km/hまでの定速走行に対して、ランダム振動シミュレーションで予測される最大変位、加速度は200km/h付近のダンピングの低い範囲を超せば小さくなる。

(3) 台わく及び車体の応力、変位量は実際の走行状態に近い荷重試験を実施して問題のないことを確認した。

終わりに、この浮上体の設計、製作に終始懇切な御指導をいただいた日本国有鉄道車両設計事務所、鉄道技術研究所の関係各位及び空気力学的特性研究委員会の委員各位、並びにこの浮上体を製作するに当たり、御協力いただいた東京芝浦電気株式会社及び三菱電機株式会社の関係各位に対し深く感謝の意を表わす次第である。