

車両用新形式台車

Hitachi New Type Bogie Truck

最近、車両用台車でも更に軽量化、無保守化及び快適化への要求が強まってきている。日立製作所はこれらの要求にこたえるため、ボルスタレス式車体支持装置、支持板式軸箱支持装置、又はシェブロン式軸箱支持装置などの新しい試みを種々採用し、従来台車の壁を破るものとして車両用新形式台車を開発した。

本論文では、この新形式台車の概要と特長について述べる。

岩崎文雄* *Fumio Iwasaki*
高井英夫* *Hideo Takai*
弘津哲二** *Tetsuji Hirotsu*
寺田勝之*** *Katsuyuki Terada*

1 緒 言

近年、エネルギーコストの上昇に伴い、鉄道車両についても省エネルギー化への要求が強まっている。この要求にこたえるため、日立製作所はこのたび車両用新形式台車を開発した。

本台車は徹底した軽量化と小形化を図るため、まくらばりのないボルスタレス式車体支持装置を採用するとともに、優れた乗心地、走行安定性を得るため、また低騒音化を図るため、各部に新しい試みを採り入れた。

この論文では、本台車の概要と各種の特長について述べる。

2 新形式台車の概要

車両用新形式台車は、小形・軽量であること(Lightweight & Compact)、保守に手のかからないこと(Maintenance Free)、快適であること(Comfortability)を目指したものであり、これらの頭文字をとってLMC形台車と名付けた。

LMC形台車は軸箱支持方式の違いにより、LMC形台車とLMC-A形台車の2種類がある。各台車の諸元を表1に、その写真を図1、2に、また三面図を図3、4に示す。

(1) LMC形台車

LMC形台車は軸箱支持装置に支持板式を採用した。これは薄い2枚のばね鋼製の支持板で、軸箱体の台車わくへの位

表1 LMC形、LMC-A形台車の主要諸元 本台車の主要諸元を示す。20m級の通勤電車用の台車を目標として設計してある。

台車種別 項 目	LMC形台車	LMC-A形台車
軸箱支持方式	エリゴばね併用支持板式	シェブロンゴム支持式
車体支持方式	空気ばねボルスタレス式	空気ばねボルスタレス式
軌 間	1,067 mm	1,067 mm
固 定 軸 距	2,000 mm	2,000 mm
車 輪 径	波打 860 mm	波打 860 mm
ジャーナル径	120 mm	120 mm
ブレーキ方式	ディスクブレーキ	ディスクブレーキ
最 高 速 度	120 km/h	120 km/h
台 車 重 量	4,200 kg	4,700 kg
満員心ざら荷重	21,400 kg	21,400 kg

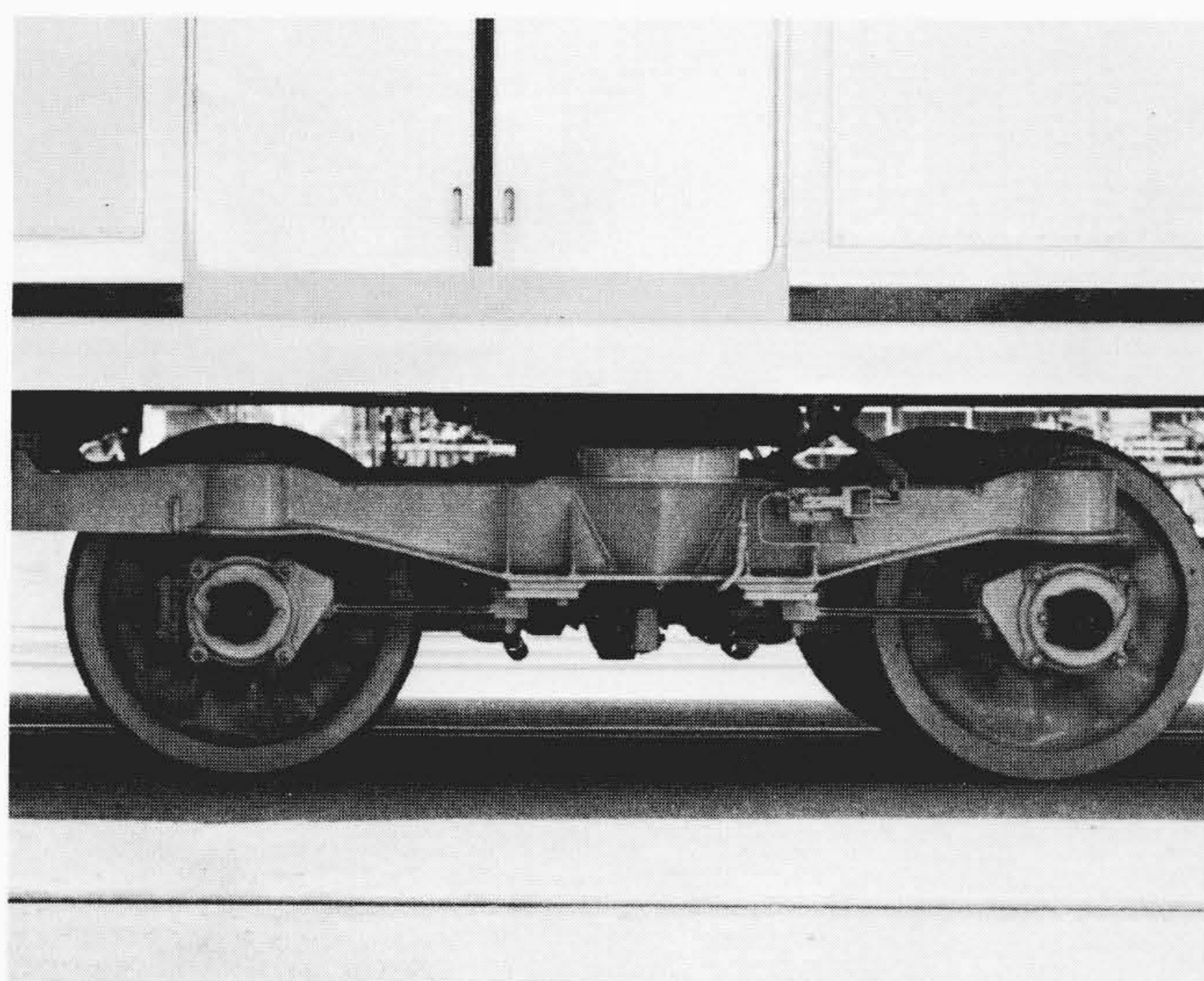


図1 LMC形台車 支持板式軸箱支持装置とボルスタレス式車体支持装置をもっている。

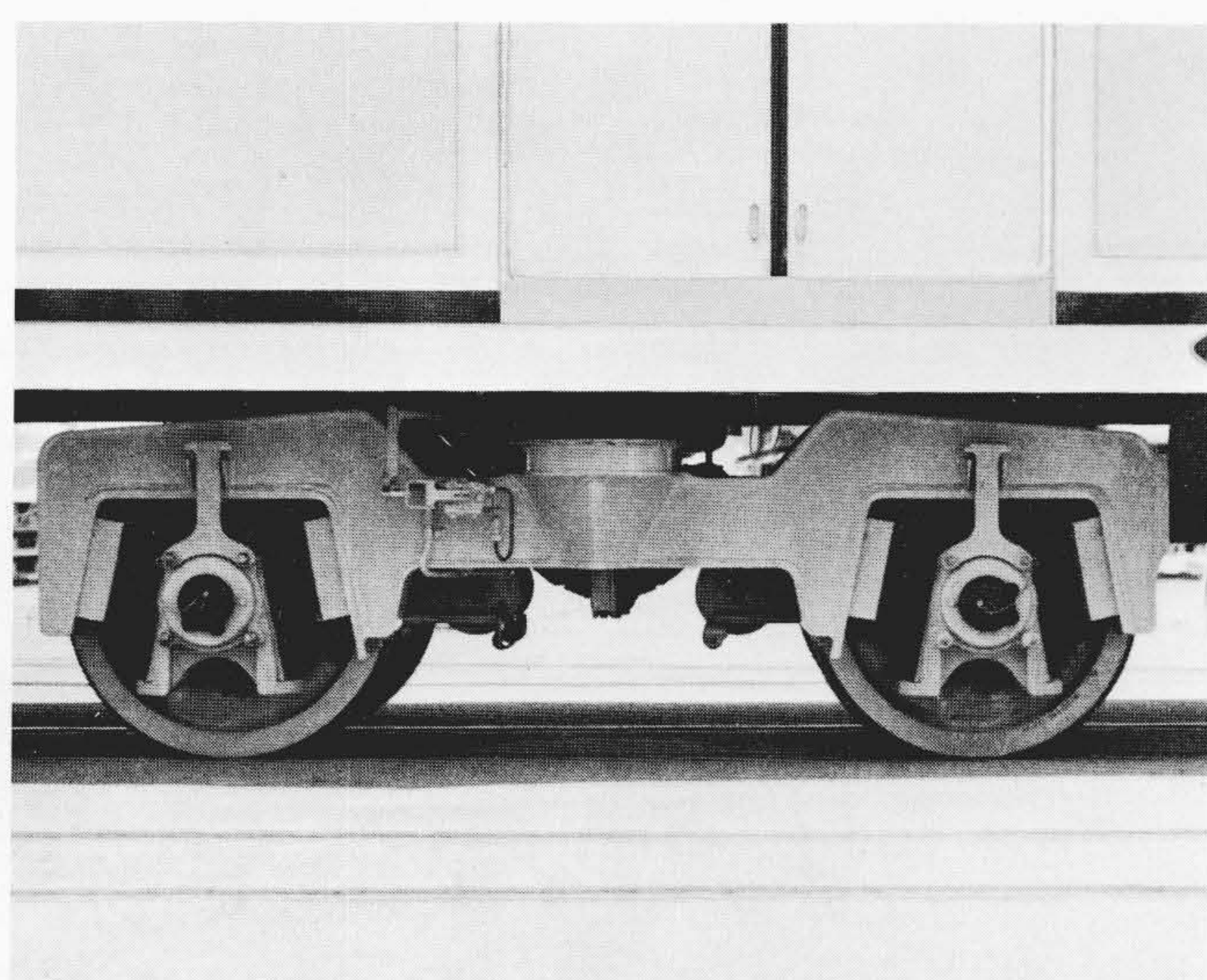


図2 LMC-A形台車 シェブロン式軸箱支持装置、ボルスタレス式車体支持装置をもっている。

* 日立製作所笠戸工場 ** 日立製作所日立研究所 工学博士 *** 日立製作所機械研究所

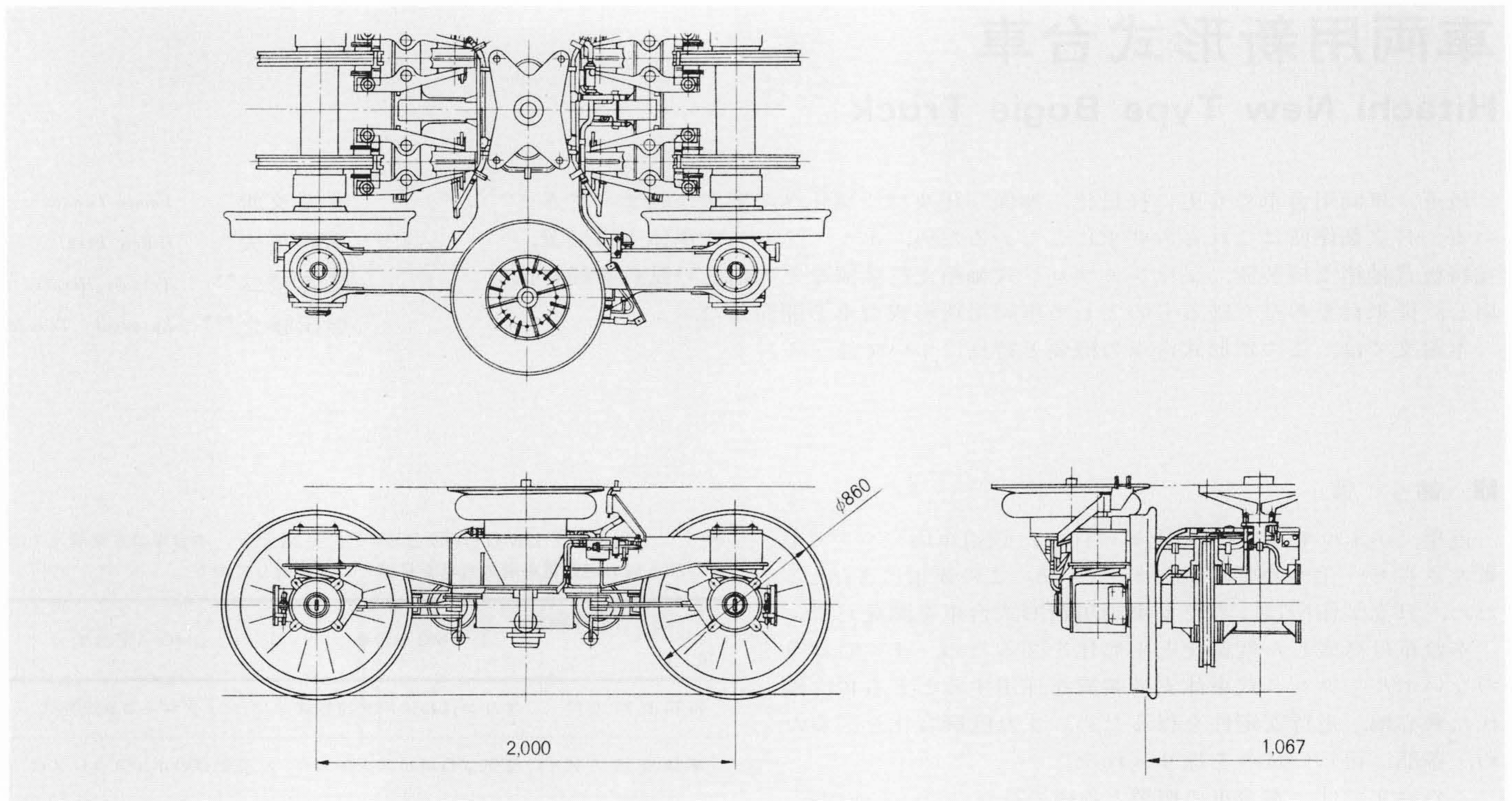


図3 LMC形台車三面図 台車わくはシンプルなH形の構造であり、直線を基調とした合理的な形状となっている。

置決めを行なうものであり、軸ばねのたわみに伴う軸箱の上下動に対しては支持板がたわんで動きを許容するが、前後・左右方向の動きに対しては支持板の剛性が極めて高いため、軸箱を台車わくに対ししっかりと位置決めするようになっている。本方式では支持板は、ボルトで直接軸箱体及び台車わくに固定されており、極めて部品点数の少ない構造となっ

ている。

軸ばねにはコイルばねをゴムで被覆したエリゴばねを用いて、ゴムの内部減衰によりダンピングを与えている。軸ばねは各軸箱に1個ずつで、軸箱体の直上に軸ばねを配置する通称タコ坊主方式を採用し、台車わく側ばりのばね帽から外側へのオーバーハングを省略し、小形化と軽量化を図っている。

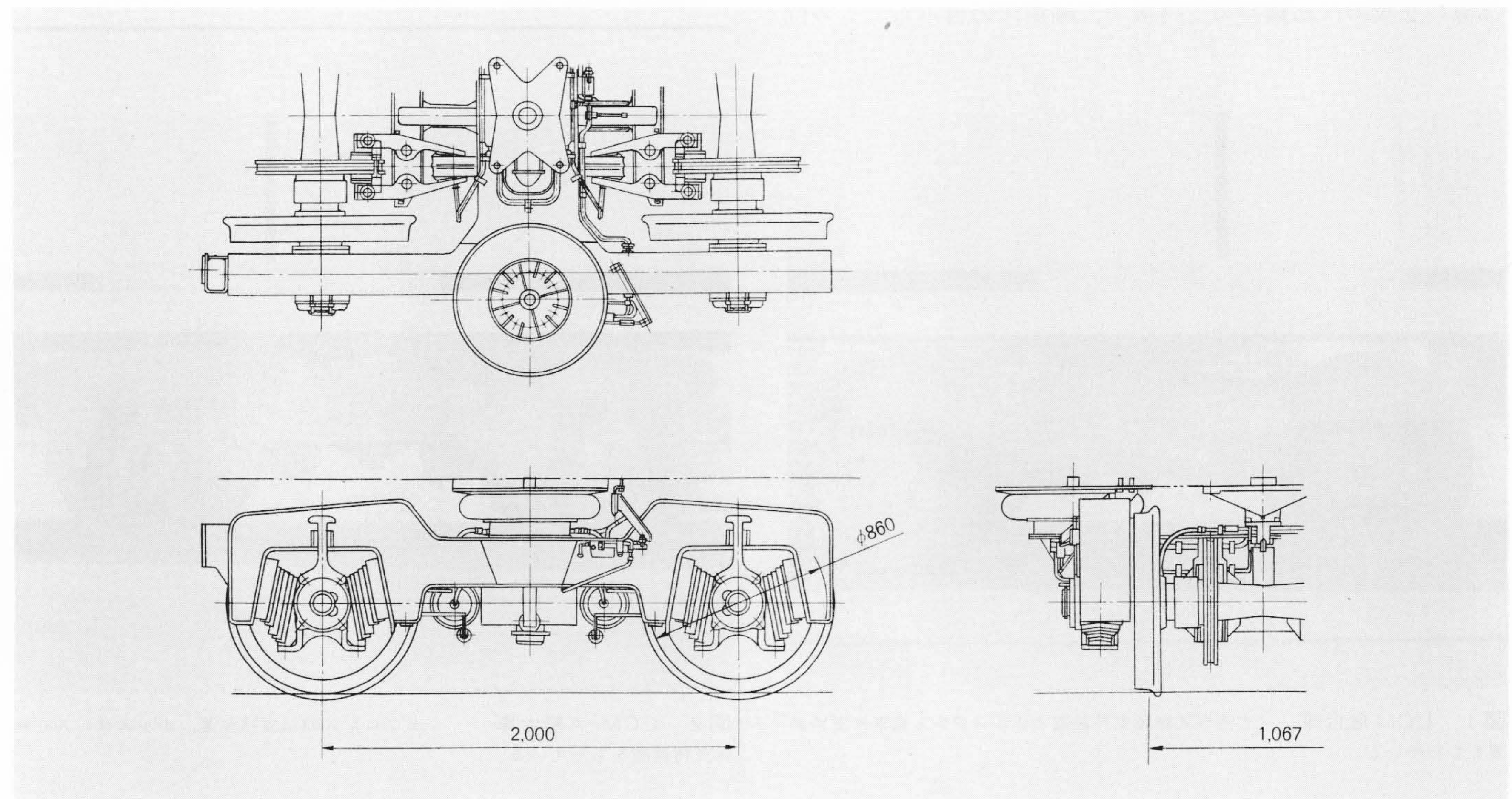


図4 LMC-A形台車三面図 台車わくはシンプルなH形の構造であり、軸箱支持部はシェブロンゴムのくさび力に耐えるよう丈夫な構造を採用している。

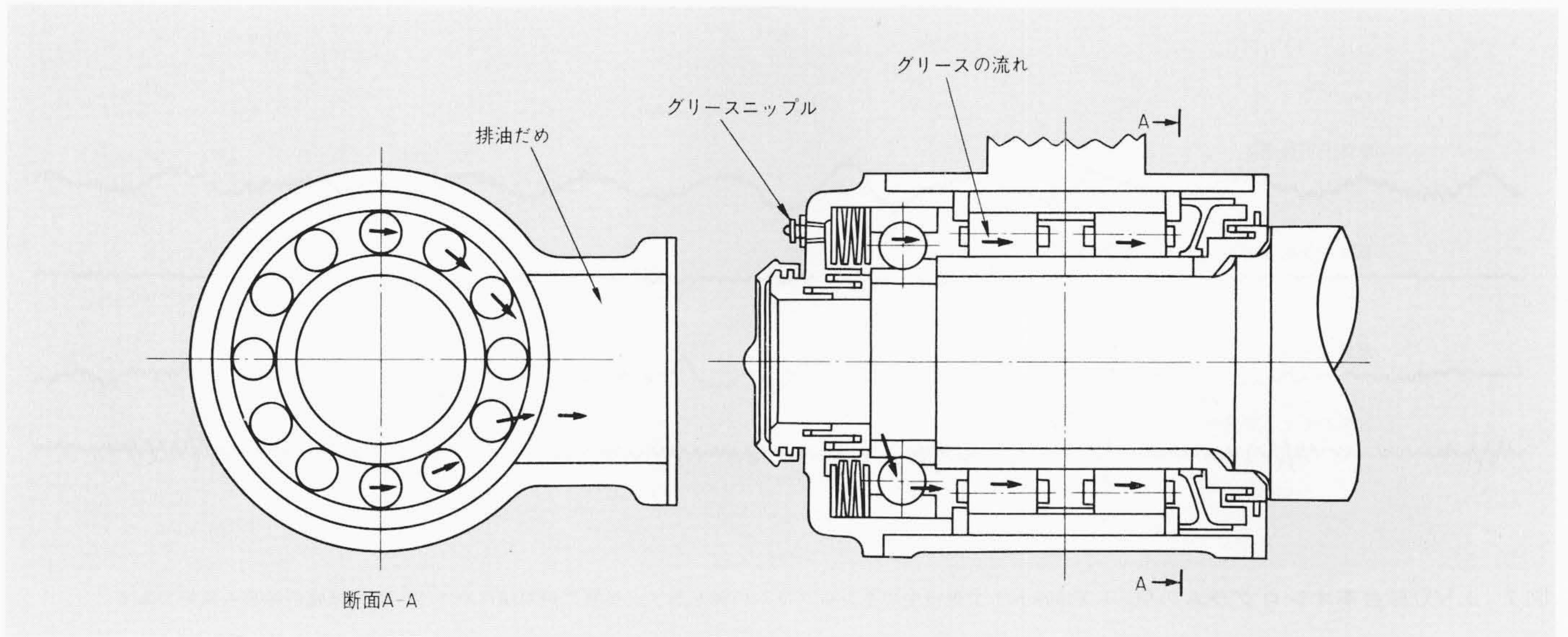


図5 MF軸受 グリースニップルから新しいグリースを補給すると、軸箱内の古いグリースは押し出されて矢印の方向に進み、最終的にはグリースニップルの反対側に設けた排油だめの中にたまる。したがって、長期間軸受を分解する必要がない。

また、本方式は遊間や摩耗部分がないため、長期間にわたって初期の性能が維持されるという特長をもっている。

台車わくは鋼板の溶接構造で9mmと12mmの板を主体とし、不要な部材を省いて軽量化する方法を採ったため、従来台車以上の強度をもっている。側ばり内部は、空気ばねの補助タンクとなっている。

軸箱体は、既に鉄道車両用主電動機で実用化されているPACK式軸受の原理を応用したMF(Maintenance-Free)軸受であり、軸箱を分解しないでグリース交換、車輪転削及び車軸超音波探傷が迅速に行なえる。

MF軸受の構造を図5に示す。ベアリングの配列は従来台車と大差ないが、軸箱体の一端にグリースニップルを、他端には排油だめを設けたことに特長がある。すなわち、グリースニップルから定期的に新しいグリースを補給すると、補給された新しいグリースは少しずつ古いグリースを排油だめのほうへと押しやり、ベアリングは常に新しいグリースで潤滑されるようになる。また排油だめへ一度排出された古いグリースからも、軸箱体の回転に伴う温度の上昇などにより、まだグリース内に残っていた潤滑に有用な基油分が少しずつ分離してベアリングのほうへ流れ込むので、ベアリングは常に良好な潤滑状態に保たれるし、軸受内部のグリースが少しずつ入れ替わるため、長期間にわたって従来の軸箱のように軸箱を分解洗浄して内部のグリースを詰め替える必要がなく、軸箱の保守作業が大幅に改善される。また長期間にわたって軸箱を分解しないので、従来は軸箱の分解時に施行していた車輪の転削や車軸超音波探傷が軸箱を分解しなくても可能なように、前ぶたのゴムキャップを外すだけで軸端が露出するようになっている。

ブレーキは、ダイアフラムシリングを用いたディスクブレーキであり、ブレーキディスクには熱応力の緩和構造をもつ2分割ハット形ディスクを採用した。

図6にその構造を示す。ブレーキディスクを取り付けるボスに薄肉円筒部が設けてあり、ここがディスクの熱変形を吸収することにより熱応力を緩和する。ディスクは2分割になっており、摩耗などにより交換する必要があるときは容易に取り外し交換することができる。またディスクの幅も、従来の

2分割形のものに比べて半分以下に薄くなっており、軽量化を図っている。

車体支持方式は、従来台車のように台車回転は心ざら又は側受の摺動で行ない、まくらばり(ボルスタ)を介して車体を支える方式をやめ、前後・左右方向に大きな変位が可能で、横方向のばね定数が極めて低い低横剛性空気ばねを介して、台車わくが直接車体を支えるボルスタレス方式を採用した。

横剛性の低い空気ばねで車体を支えたため、従来の台車の心ざらや側受の摩擦力によるものよりも台車の回転抵抗を大幅に減らすことができ、レールへの台車の追従性を向上することができた。またまくらばりを省略することができたため、

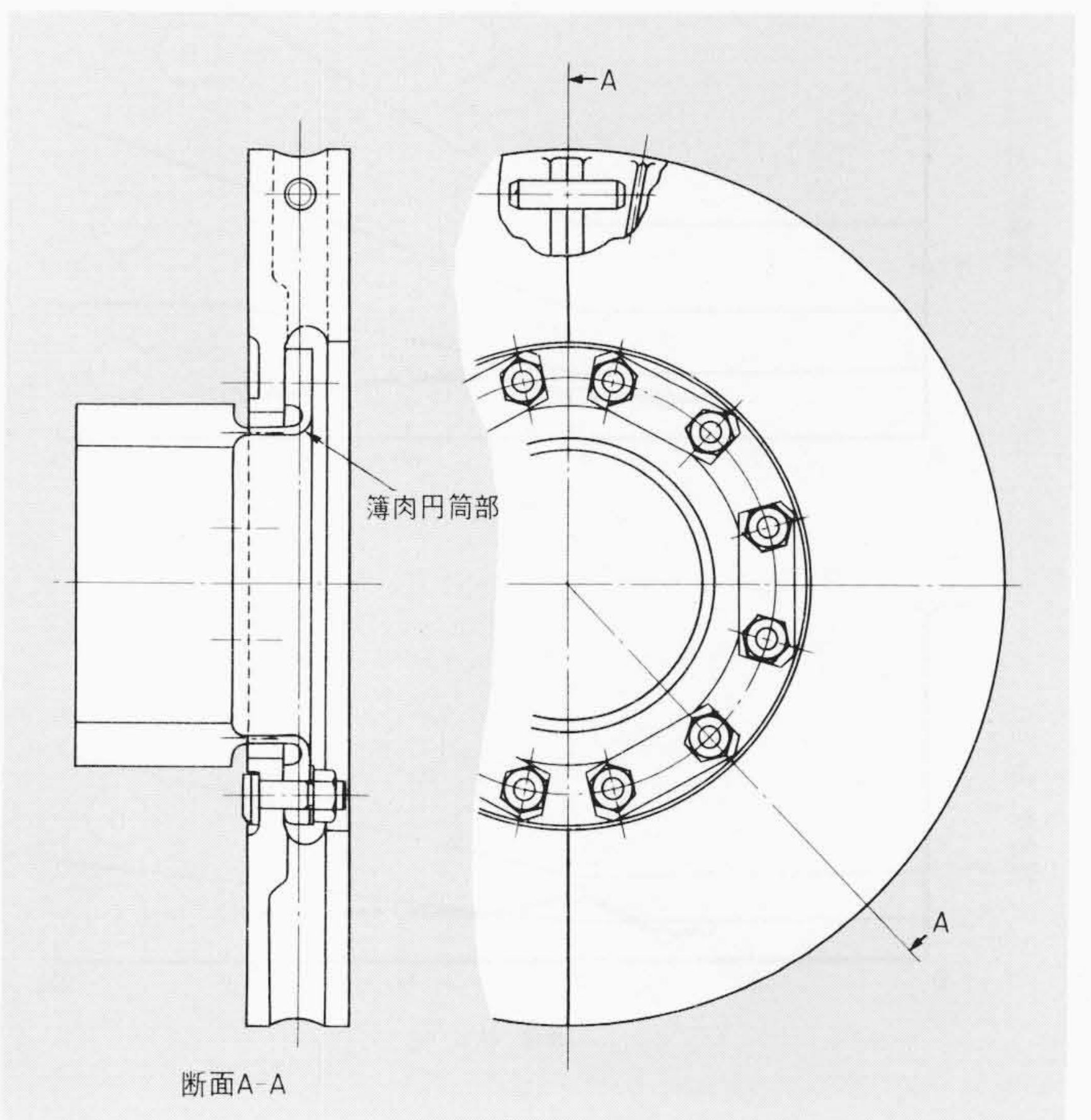


図6 2分割ハット形ディスク 2分割されたディスクとボスの間にディスクの熱変形を吸収し、熱応力を減少させるための薄肉円筒部をもっている。

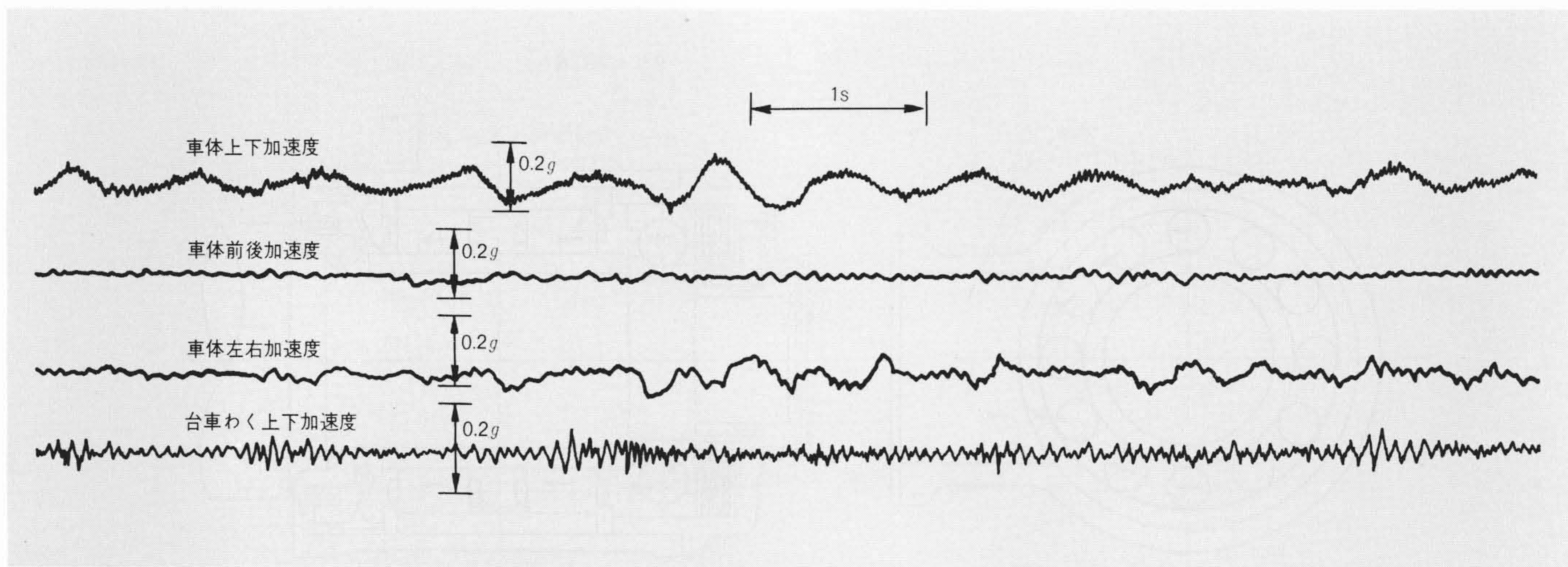


図7 LMC形台車オシログラムの例 約90km/hで走行中のオシログラムの例を示す。振幅の絶対値は小さく、また振幅の減衰も良好である。

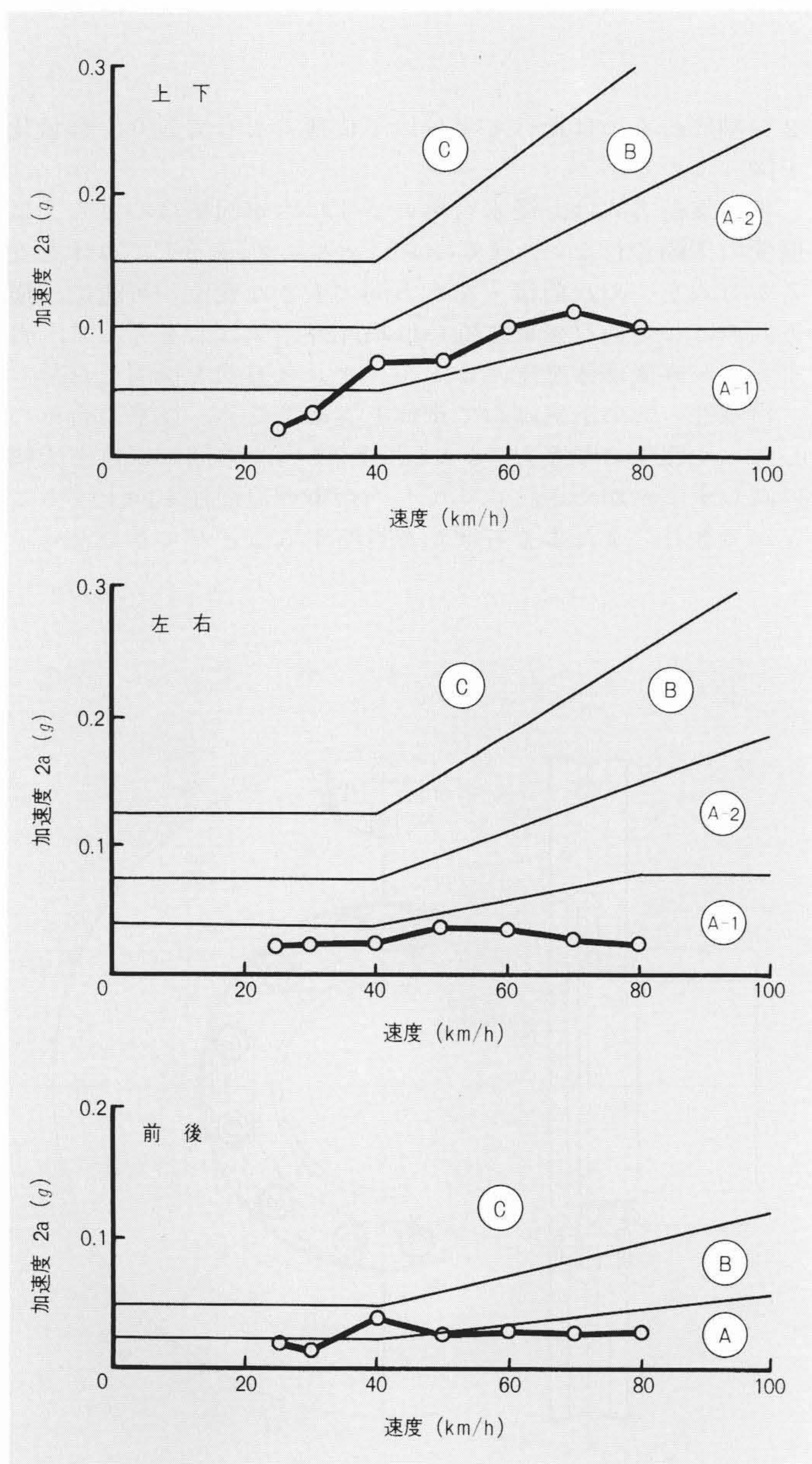


図8 LMC形台車の乗心地等級 100mごとに加速度の最大値を求め、それを速度別に分類して平均したもので、非常に良い乗心地を示しているが、特に高速になるほど左右の乗心地が良くなる特長をもっている。

その分だけ軽量化ができるとともに、心ざらや側受といった摩耗部分を廃止することができた。

前後力の伝達は、車体より下方へ突出した中心ピンの先端に設けたリンクで行ない、遊間や摩耗部分のない構造となっている。

これらの構造を採用して、重量は約4,200kg/台車と当社比較で約1,300kg/台車の軽量化が実現できた。

(2) LMC-A形台車

本台車は、一つの試みとして軸箱支持にシェブロンゴム(山形の積層ゴム)を用いたものであり、軸箱支持以外の構造は、LMC形台車とはほぼ同じになっている。シェブロン式軸箱支持装置は一切の金属接触なしに軸箱を台車わくに位置決めできるため、軸箱から台車わくへの振動の絶縁が良くなり、ゴムのダンピングを大幅に利用できるため低騒音化が図られる。また摩耗、摺動部もなく分解組立も簡単なので、保守は極めて容易である。

3 新形式台車の乗心地

LMC形台車の走行時のオシログラムの一例を図7に、また乗心地等級を図8に示す。

図7のオシログラムは約90km/hで走行中の例を示すものであるが、上下、前後、左右とも振幅の絶対値は十分小さく、振動の収束も良いことが分かる。また高周波のビビリ振動も非常に小さいことが分かる。

乗心地等級は、上下はA-1級からA-2級、左右はA-1級、前後はA級からB級となっており、非常に良い乗心地といえることができる。特に、左右の乗心地等級が高速になるほど良くなっているのは、本台車の高速での走行安定性が良好で蛇行動作を起こしにくいことを示している。

本台車には摩耗部分がないため、この優れた乗心地が新造時だけでなく、長期間にわたって多大な保守作業なしに保たれるという特長をもっている。

4 新形式台車の走行安定性

(1) 蛇行動作に対する安定性

鉄道車両は、一般に高速になると直線線路でも車輪が左右に振動しながら走行する蛇行動作と呼ばれる現象を起こすことが知られている。そして、激しい蛇行動作が発生すると軌道の変形や車両の振動、脱線などの不都合な問題が生じることが

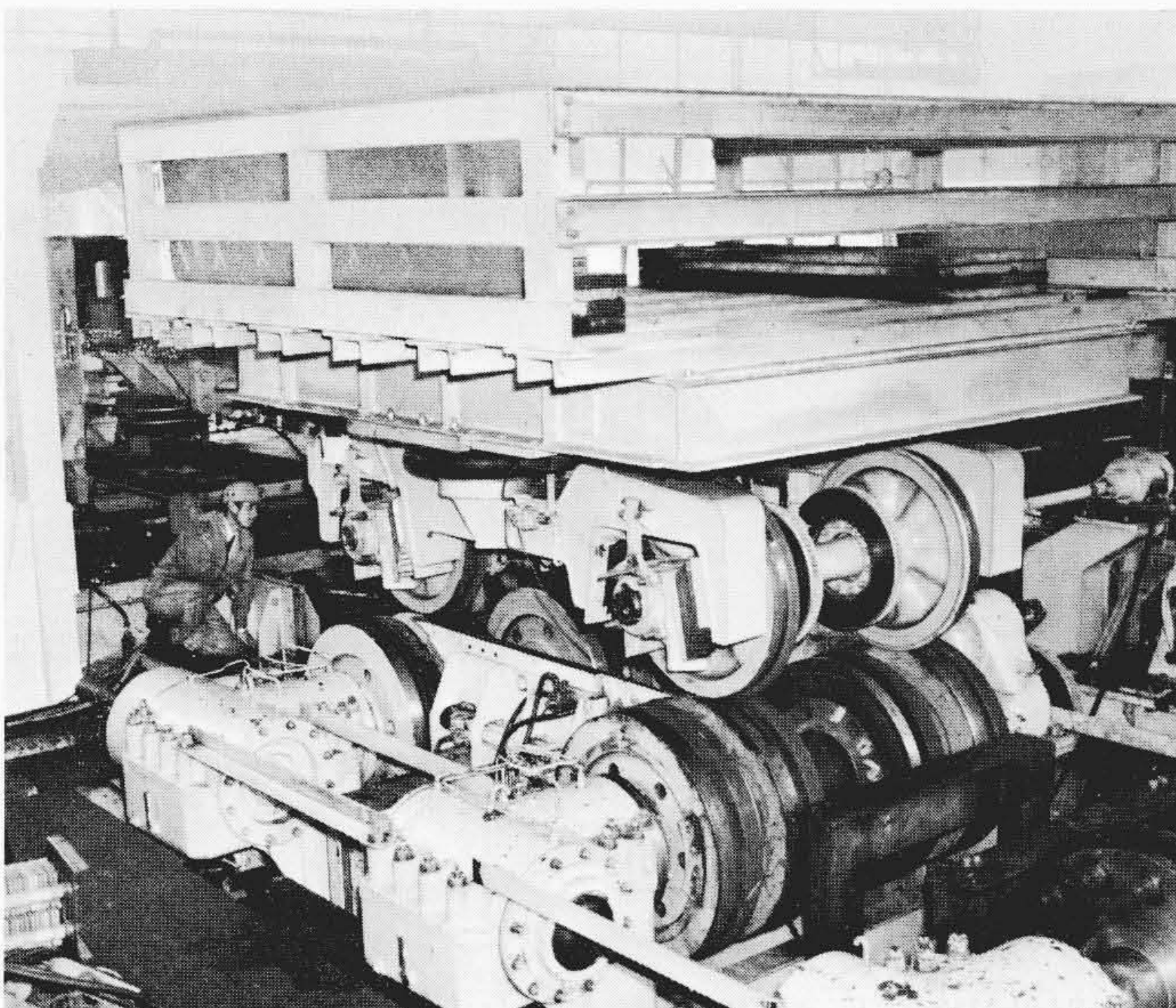


図9 台車試験機に取り付けたLMC-A形台車 レールに相当する軌条輪の上に載せて回転させ、台車の蛇行動に対する走行安定性を確認した。

ある。

本台車は従来台車とは異なり、従来蛇行動の抑制に有効と考えられていた側受や心ざらすり板などに相当する摩擦力を与える部分が全くなく、台車の回転に対する抵抗が非常に低いため、計画当初から蛇行動に対する検討を十分に行なった。まず設計段階ではコンピュータを用いたシミュレーション計算を行なって最適な台車諸元を求めた。

台車完成後、台車試験機に台車を取り付けて回転させ、実際にレール上を走っているのと等しい状態で輪軸を強制的に横に押して左右方向に初期変位を与え、その後の減衰状態を記録して蛇行動に対する安定性を調べた。台車試験機に台車

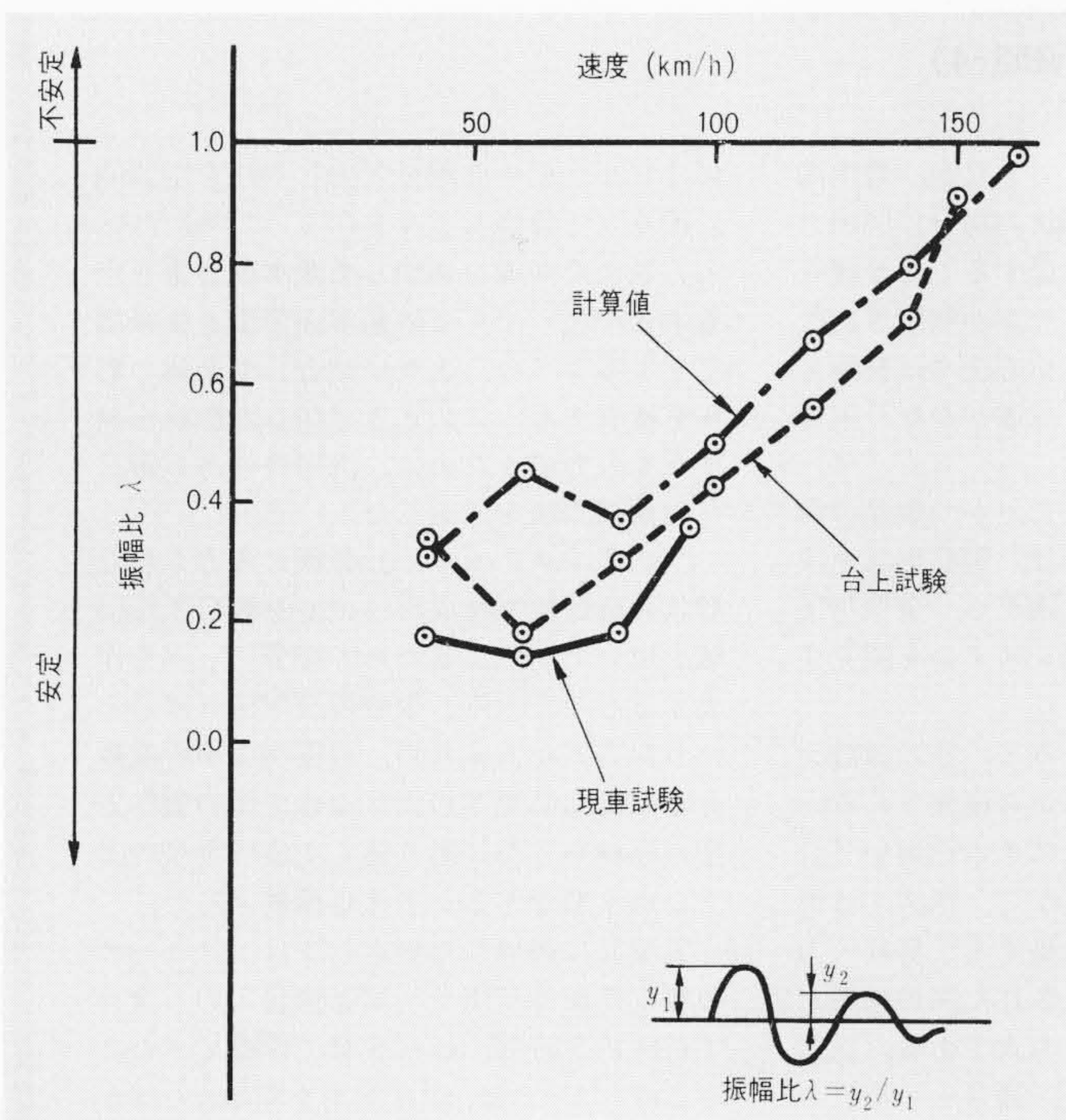


図10 LMC形台車の蛇行動安定性(空車) $\lambda < 1$ ならば蛇行動は発生せず、安定であることを示す。計算値、台上試験及び現車試験の結果は良く一致している。140km/h程度まで蛇行動に対し安定であることが分かる。

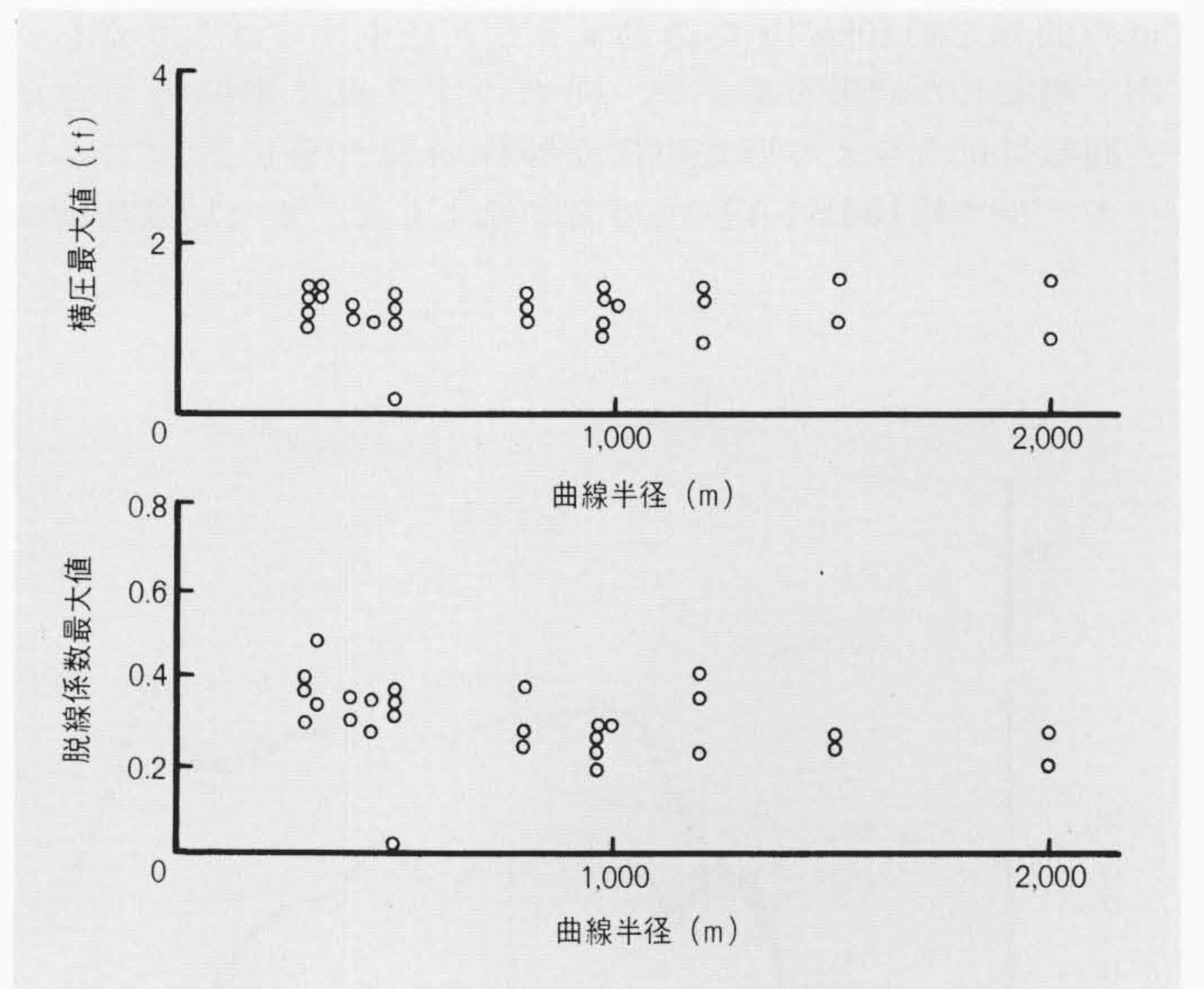


図11 曲線半径と横圧、脱線係数の関係(空車) 100mごとの横圧、脱線係数のそれぞれ最大値を、曲線半径を横軸にとってプロットしたものである。

を取り付けた状態を図9に示す。

最終的には現車で95km/hまで走行し、蛇行動に対して安定であることを確認した。その結果を整理したものを図10に示す。計算値と台上試験の結果も合わせて示してある。振幅比は1周期ごとの振幅の減少割合を示し、これが小さいほど振動の収束が良く安定であることを示している。

これから分かるように、現車試験と台上試験の結果は良く合っており、両者の対応関係から推定すると本台車は蛇行動に対しては140km/h程度まで十分安定な性能をもっていることが分かる。

従来の通勤電車用台車が100km/h程度から蛇行動に対して安定性が低下してくる傾向にあるのと比べると、新形式台車は回転抵抗を大幅に減らしたにもかかわらず、蛇行動に対し140km/h程度まで十分安定であることは大幅な進歩である。このことと左右方向のばねを軟らかくしたことにより高速での優れた乗心地が得られた。

(2) 脱線に対する安全性

実際に線路を走行中の新形式台車の脱線に対する安全性を確認するため、車輪にひずみゲージをはり車輪に加わる輪重、横圧を測定した。図11にその結果を曲線半径について整理したものを示すが、横圧は1.6tf以下、脱線係数(横圧を輪重で割ったもので、脱線に対する安全性の目安となる。)も0.5以下であり脱線に対する安全限界といわれる0.8に対して十分余裕があり、脱線に対し安全であることが分かった。

注目すべきは横圧の低さで、これは低横剛性空気ばねを用いたボルスタレス方式として台車の回転抵抗を大幅に小さくした効果と考えられる。その結果、軌道のいたみが少なくなりフランジ、レール双方の摩耗の減少が期待できるとともに、後述するように曲線でのフランジのきしり音も小さくすることができた。また曲線半径が小さくなっても横圧は増大することがなく、曲線に対する追従性が極めて良い台車といえることができる。

5 新形式台車の騒音

本台車は前述したように曲線での横圧が小さいので、曲線通過中のきしり音が大幅に小さくなる。図12に半径220～300

mの曲線を約40km/hで通過するとき発生するきしり音を車内で測定した結果を示すが、従来のすり板の摩擦力で台車の回転抵抗を与える形式の日立製作所製台車に比べてオーバオールで約10dB(A)きしり音が低下した。また周波数別に

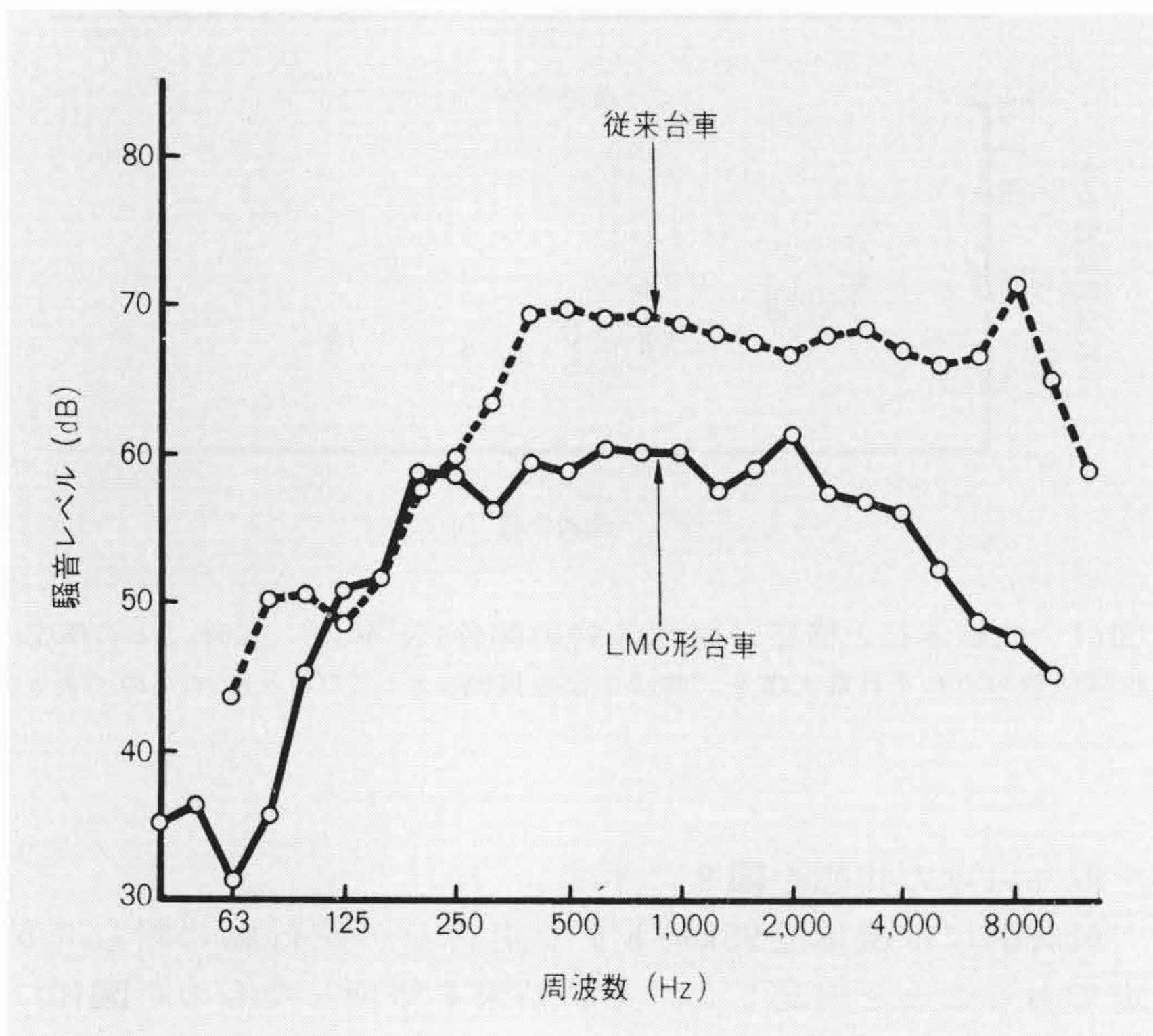


図12 LMC形台車と従来台車のきしり音比較 半径220~300mの曲線を約40km/hで通過する際のきしり音を周波数分析したものを示す。オーバオールで従来台車は約79dB(A)、LMC形台車は約69dB(A)である(測定点は車内床上1.2m)。

みると特に耳につく高周波域の成分が大幅に低下していることが分かる。

このことから曲線通過時の横圧を極力下げることにより、曲線通過時のきしり音の低減に関しては弾性車輪や防音車輪を使用するのと同等あるいはそれ以上の効果を、より簡単な方法で得ることができた。

これは、車両の低騒音化に本台車が極めて有用であることを示すものである。

6 結 言

以上述べた新形式台車の特長を要約すると以下に述べるようになる。

- (1) 日立製作所の従来台車に比べて1台車当たり1,300kgの軽量化を実現した(LMC形台車)。
- (2) 摩耗、摺動部分が全くなく、MF軸受の採用とあいまって保守が容易である。
- (3) 140km/h程度まで蛇行動に対し安定である。
- (4) 左右方向乗心地は日立製作所の従来台車に比べて1ランク向上する。
- (5) 曲線通過中の横圧が小さく、きしり音が日立製作所従来台車に比べて約10dB(A)低下する。

台車は車両がその性能を発揮するためには最も重要な部品の一つであり、その認識の上に立って今後共本台車の基本理念である小形・軽量、無保守化及び快適化に沿って更に努力していく考えである。

最後に、本台車の開発に当たり終始絶大な御協力と御助言をいただいた相模鉄道株式会社の関係各位に対し、厚く御礼を申し上げる。

論文抄録

意匠部品のCAD/CAMシステム

日立製作所 兵藤良博・津田順司・他2名
日本機械学会誌 81-713 (昭53-4)

家庭電気製品を構成する部品のうち、意匠設計の対象となるものを意匠部品と呼んでいる。意匠部品は現在ほとんどプラスチック化されており、モールド品の特徴を生かして一般に複雑な形状をしている。しかも製品の外観を形成する面は、自由曲面が複雑に組み合わせられたものが多い。これらの意匠部品の成形用金型の製作にも、製作時間の短縮、省人化、精度向上などをねらって徐々に数値制御(以下、NCと略す)が利用されるようになってきた。

一般にNC加工用指令テープは、NCプログラムを使って計算機により作成するが、意匠部品の場合は自由曲面を主体とするために、普通のプログラムでは処理が不可能であることが多い。したがって、普通は自由曲面処理用の汎用プログラムか、あるいは特に開発した専用プログラムによって指令テープを作成している。

意匠部品は幾つかのプロセスを経て製品化される。各プロセス間の形状情報の伝達

には従来図面を主に用いてきたが、自由曲面を主体とした複雑な形状の場合、図面だけでは形状情報を十分伝達することが難しく、補助的にデザインモデルが利用されてきた。しかし、このような方法では製作部門でのパートプログラム記述がかなり困難なものが多かった。

これらの問題点を解決し、かつ製品の開発期間を短縮するためには、製品形状を決定する意匠デザインの段階から、金型加工までの一貫した形状処理システムを開発することが必要となった。

システムを大きく分けると、意匠設計システムと型加工システムから構成される。デザイナーは意匠設計システムを用いて計算機と対話を繰り返しながら、意図する形状の計算機内モデルを構築する。形状入力法としては、図面に表現された図形情報だけを使って入力を行なう方式である。立体形状を図面表現する場合、通常その形状を特徴づける代表的な曲線を用いて図が描か

れており、その曲線を入力しそれを空間的に組み立て骨格モデルを作る。このように、入力された曲線を補間して基本要素を定義する。次いで、この基本要素を張紙細工をするように、次々に結合して全体の形状を構成する。このとき意図した形状を無理なく入力するために、汎用性のある新しい曲面補間法を考案した。

型加工システムは、計算機に入力された形状の確認模型や成形用金型をNC工作機械を用いて切削するための指令テープを作成するものである。金型の製法にはいろいろな方式があるため、放電加工用の電極あるいは商品見本のようなおす型の製作と型の原材をじかに彫り込んで成形金型のようなめす型を作るシステム構成とした。

実製品に適用した例としては、クリーナの放電電極加工用テープを形状入力も含めて正味約7時間、延べ5日で作成できた。

このシステムは、現在実用を開始したばかりで徐々に応用を拡大している段階である。