

# 浮上式鉄道“MLU002”の車両構造

## Construction of Maglev “MLU002”

日本国有鉄道(昭和62年4月から財団法人鉄道総合技術研究所が開発を継続)は、将来の超高速輸送機関として二十数年間超電導磁気浮上式鉄道の開発を進めてきており、その集大成とも言うべき将来の営業車両を想定した実験車MLU002の開発を計画し、日立製作所は車体及び台車の製作を担当した。

日立製作所は実験車ML-500・MLU001の製作経験を基に、1車体2台車のボギー方式の採用及び複合材料などを用いて超軽量車両を実現し、走行抵抗及び騒音低減のため、車両の外表面を平滑化し、44人乗りの車内の各座席に液晶テレビジョンを設けるなど、内装及び座席を充実させた。

この車両は昭和62年3月に宮崎実験線に搬入され、有人走行実験及び高速走行実験を含めた各種走行実験が繰り返されている。

原 義雄\* *Yoshio Hara*  
 鶴田 仁\* *Hitoshi Tsuruda*  
 永岡 斉\* *Hitoshi Nagaoka*  
 寺田勝之\*\* *Katsuyuki Terada*  
 宮入公明\*\*\* *Koumei Miyairi*

### 1 緒 言<sup>1)</sup>

日本国有鉄道鉄道技術研究所(現財団法人鉄道総合技術研究所)が中心になり、次の世代の超高速交通機関として、超電導磁石を用いた誘導反発式磁気浮上式鉄道の開発が昭和37年から進められており、将来の営業車両を想定したMLU002が昭和59年から計画された。

日立製作所では、当初から参画し、宮崎実験線で世界最高記録を達成したML-500・有人走行実験を考慮したMLU001の車体及び台車を製作し、このたびMLU002の車体、及び台車を製作し納入した。

この車両は、超軽量化のため、1車体2台車のボギー方式及び複合材料などの使用を図り、走行抵抗及び騒音低減のため外表面平滑車体として極薄板外板のスポット溶接結合構造及び側出入口の外開きプラグドアを採用した。車内は、44人乗りで各座席に液晶テレビジョンを設けるなど内装及び座席を豪華にし、空調装置も設けるなど将来構想を盛り込んだ。MLU002の外観を図1に示す。

### 2 開発方針<sup>2)</sup>

将来の営業車両は、軽量化、空気抵抗の低減、コスト低減などを考慮すると、超電導磁石を間欠的に配置する超電導磁石2極集中配置方式<sup>\*1)</sup>、車両の断面積を極力小さくする連接・低床客室方式が最適との結論に達しているが、現在の宮崎実験線の地上設備は、超電導磁石連続配置を基本に設計されており、上述の確認を行うには地上コイルの全面的な交換

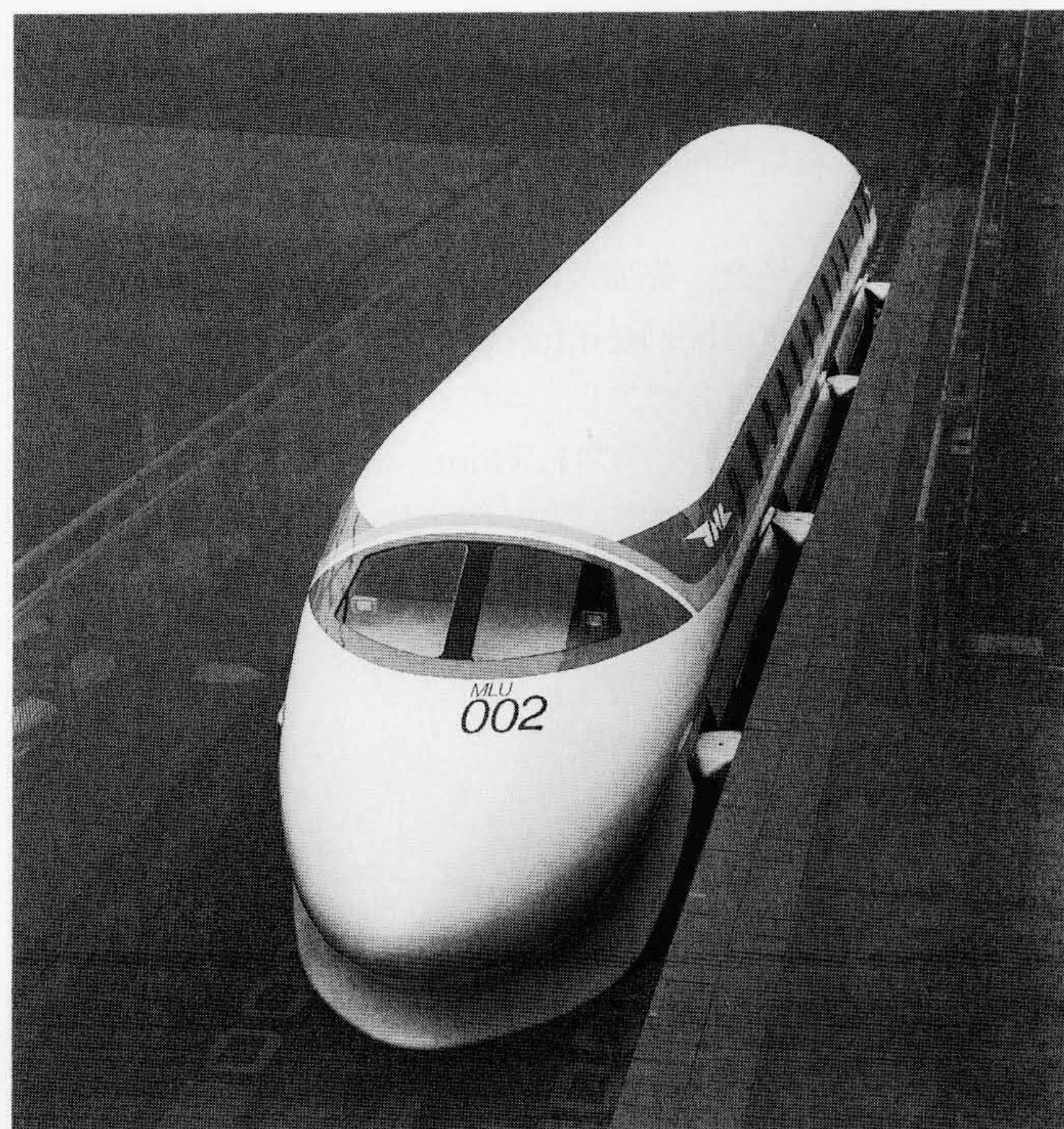


図1 MLU002の外観 車両長22mの1車体2台車のボギー方式で、前頭部には複合材料を使用するなど、超軽量化を図っている。

やガイドウェイ構造物の変更など大がかりな改造が必要となる。そこで、今回は地上側の設備に大幅な変更を要しない範囲で車両を開発することが、日本国有鉄道鉄道技術研究所によって決定された。

現状の地上コイルを前提とした場合は、台車に取り付ける

\*1) 超電導磁石2極集中配置方式：超電導磁石N極及びS極の2箇所を台車部に直列・左右対称に配置する方式である。



超電導磁石は浮上力などの関係で2極ではなく3極必要となり、台車間も2極分しか離せない。しかし、この構成でも将来の超電導磁石集中配置の諸特性の把握は十分可能であると考えられた。

したがって、今回のMLU002は連接ではなく、2台車で1車体を支えるボギー方式車両とし、客室は高床式となるが台車間の床下スペースに機器室を設けた。更に、今回の車両は44人乗りのプロトタイプ車として、車内設備も充実することにした。MLU002の車両全体構造を図2に示す。

### 3 MLU002の性能と諸元<sup>3)~5)</sup>

MLU002は、従来の実験車MLU001などの実験成果を踏まえて開発されたものである。MLU002の基本性能をMLU001と比較して表1に示す。また、この基本性能に基づいた最高速度達成時の計画走行曲線を図3に示す。

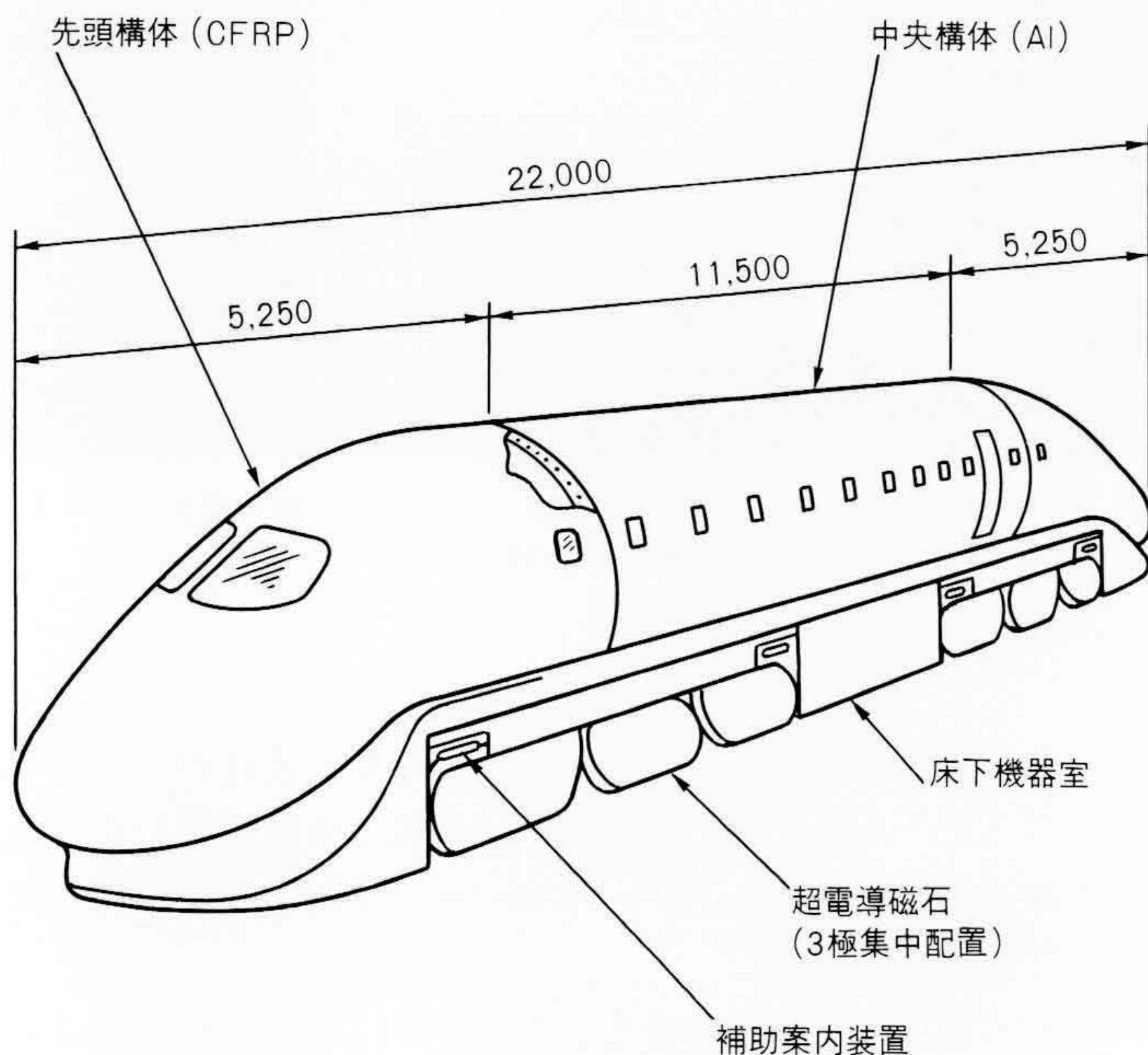
この車両の基本諸元については、表2に示したように長さ22 m、幅3 m、高さ3.7 mである。

### 4 MLU002の構造<sup>3)~5)</sup>

#### 4.1 車体構造

MLU002と従来の実験車両であるMLU001との構体構造比較を図4に示す。超高速車両の走行性能に大きな影響を与える軽量化及び走行抵抗については、下記の方針で開発を行った。

軽量化については、先頭及び後尾部の構体を複合材料であるCFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)で作製し、中央構体は、主要部材としてアルミニウム合金0.8 mm厚の極薄板外板及びアルミニウム合金の1.5 mm厚の骨材を採用し、スポット溶接構造としている。また、薄板外板部の変形防止及び

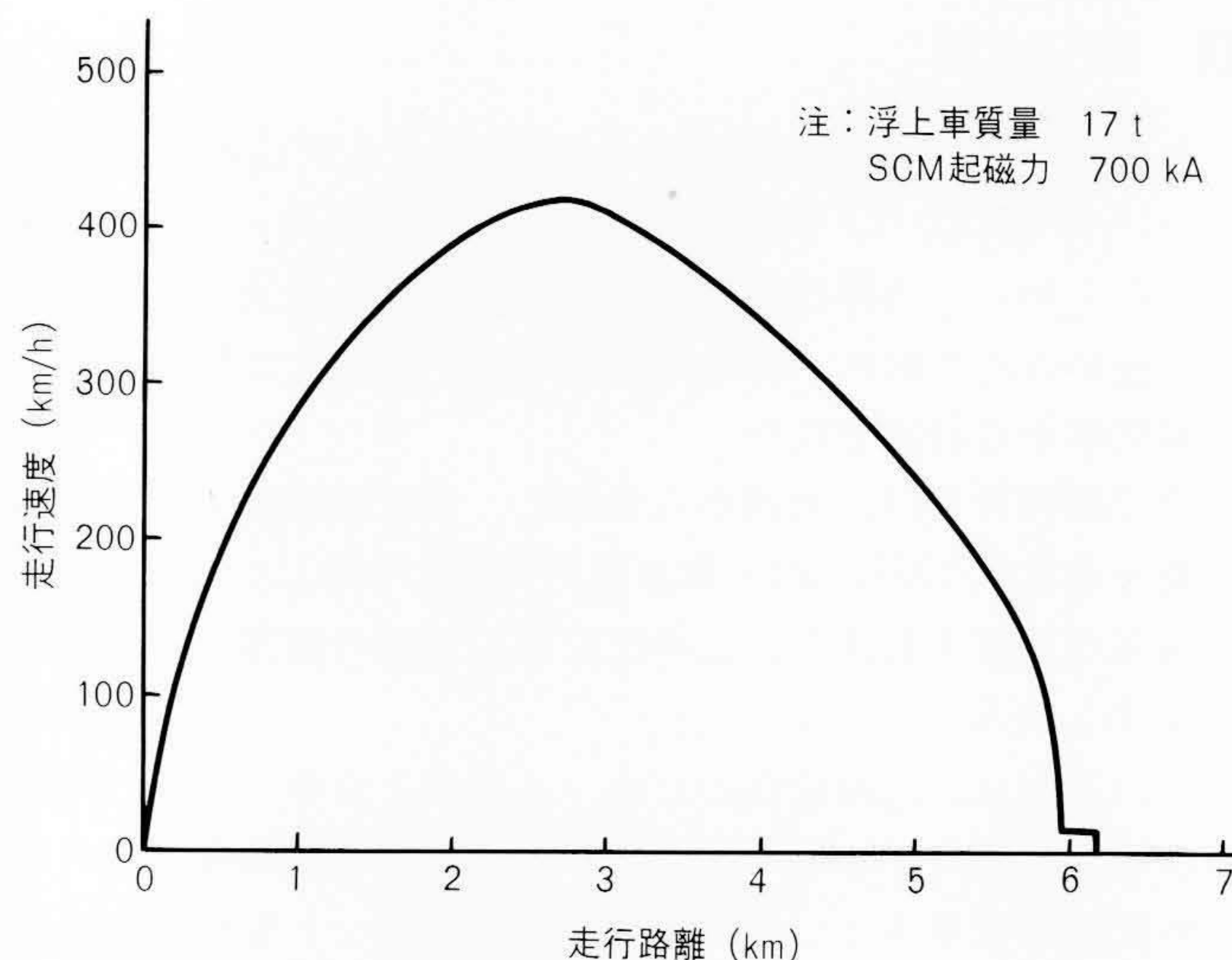


注：略語説明 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)

図2 MLU002の車両全体構造 44人乗りの車両で、軽量化、走行抵抗及び騒音低減を考慮した車体構造である。

表1 MLU002とMLU001の性能比較 性能としては、ほぼ同様な値であるが、新しい超電導磁石構造によって浮上の有効間げきがアップしている。

項目		MLU002	MLU001	
浮上	浮上力	196 kN/両	98 kN/両	
	浮上高さ	コイル中心間距離	210 mm	240 mm
		有効間げき	110 mm	100 mm
案内	案内力	84 kN/両 (50 mm変位時)	49 kN/両 (50 mm変位時)	
	有効間げき	150 mm以上	150 mm以上	
推進	推力	0 ~ 80 kN/両	0 ~ 51 kN/両	
	相数	3	3	
	周波数	0 ~ 28 Hz	0 ~ 27 Hz	
	電圧	5,800 V	3,000 V	
	電流	900 A	1,100 A	



注：略語説明 SCM(超電導磁石)

図3 MLU002の計画走行曲線 本計画曲線は、最高速度420 km/hで走行を行う場合の走行パターンである。

座屈強度向上を図り、かつ軽量化のため従来の金属補強材に代えて樹脂製外板補強を採用し、更に、前面窓ガラスにアクリルと強化ガラスとのコンジット構造を採用した。その結果、図5に示すように単位長さ(m)当たりの質量を0.1 t以下にすることが可能となった。軽量化を行うに当たり、有限要素法構造解析によって十分な強度及び従来車と同等以上の垂直曲げ固有振動数が得られることを把握し、最終的には実車の構体による荷重試験を実施し、設計の妥当性の確認を行っている。車体構体の有限要素法解析を図6に、荷重試験状況を図7に、固有振動数結果を表3に示す。

次に走行抵抗についても低減を図った。前頭構体では、CFRPで作成した前頭形状のノーズ部を長くすること、複合材料成形による外表面の平滑化を行った。中央構体では、従来のリベット止め構造をやめ極薄板外板のスポット溶接構造に



表2 MLU002の諸元 従来の実験車よりも一段とレベルアップされた車両であり、新材料及び新方式を盛り込んでいる。

項目		内容
車両寸法	最大長	22,000 mm
	最大幅	3,000 mm
	最大高さ	3,700 mm(走行路面から)
定員		44人
質量		17 t
最高速度		420 km/h
SCM起磁力		700 kA
車体		先頭・後尾部：CFRP 中間部：アルミ合金セミモノコック構造
台車		1車体2台車構成、アルミ合金構造
ブレーキ方式		電気ブレーキ・機械ブレーキ・停留ブレーキ
超電導磁石		(1コイル/クライオ)×3個×3/台車 極ピッチ：2.1 m
車載冷却システム	冷却部SCM組込形	前台車：クロードサイクル 後台車：スターリングサイクル
車上機器制御		車上制御装置・位置検出装置・機器制御装置
車上電源装置		インバータ 3相交流200 V DC/DCコンバータ±24 V・蓄電池

注：クライオ(超電導コイルを保護する外槽)

よる外表面平滑化、更には前面窓部と外板段差の解消、側出入口の外開きプラグドアの採用、車体と台車のつなぎ部にフレキシブルなふさぎ板の採用による平滑化を行った。車内騒音についても十分な対策が必要となるが、吸音材の取付けだけでなく客室全体を気密構造としている。更に、外表面の平

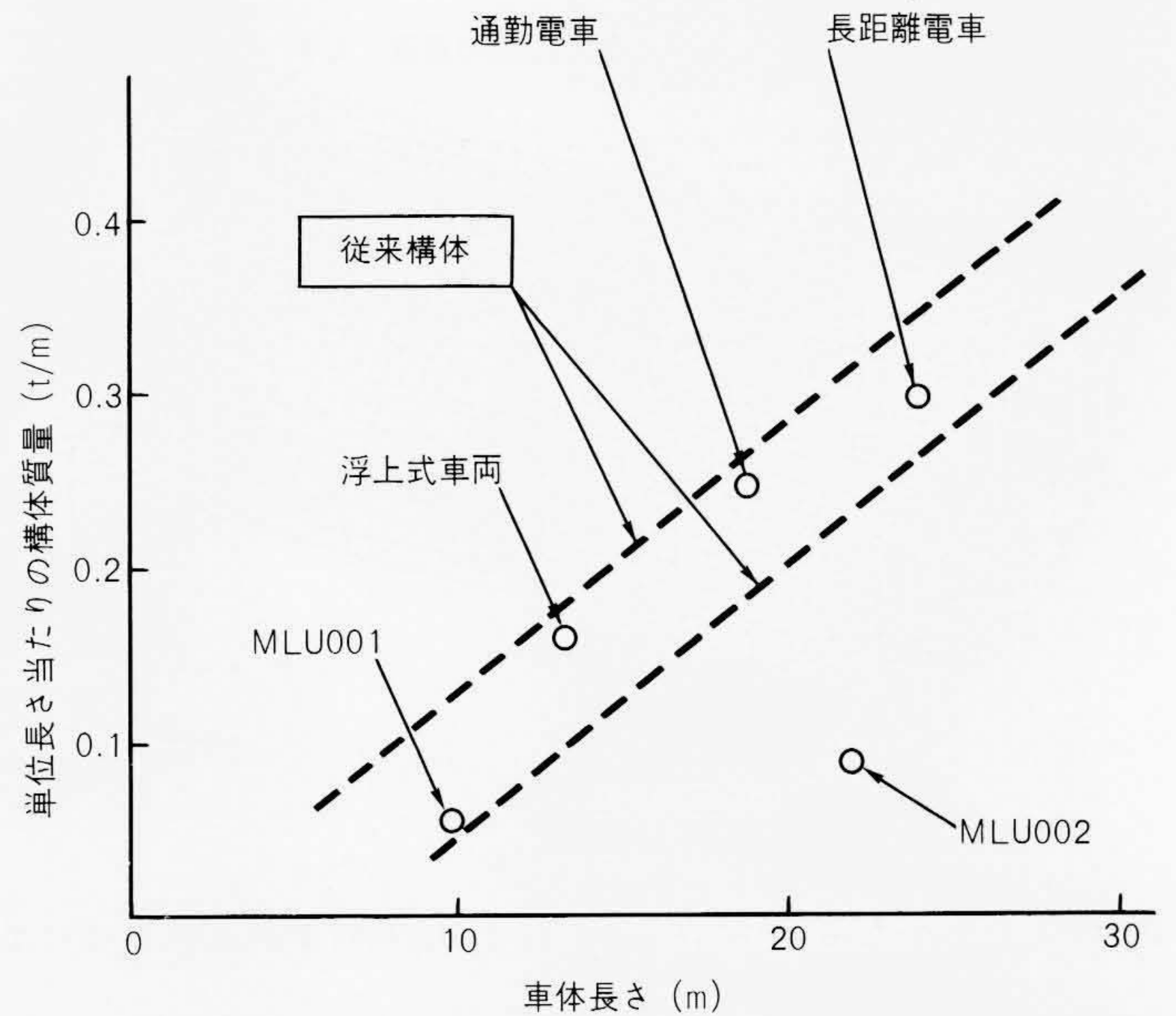


図5 アルミ車両構体の質量比較表 各種車両構体の質量を比較したもので、MLU002が超軽量化構造になっていることが分かる。

滑化、側窓の複層構造などの騒音低減策を施している。

車内設備としては、44人分の座席を設けるとともに、ラインフロー方式の空調設備を施し、実用車としての使用を可能にしている。更に、液晶テレビジョン、インフォメーションパネルなども設置し、情報サービスの提供も行える構造とした。

車体構造の開発項目を図8に示す。

#### 4.2 台車構造

軽量化を図るため、MLU002は1車体2台車のボギー方式を採用しており、台車枠についてはアルミニウム合金を使用

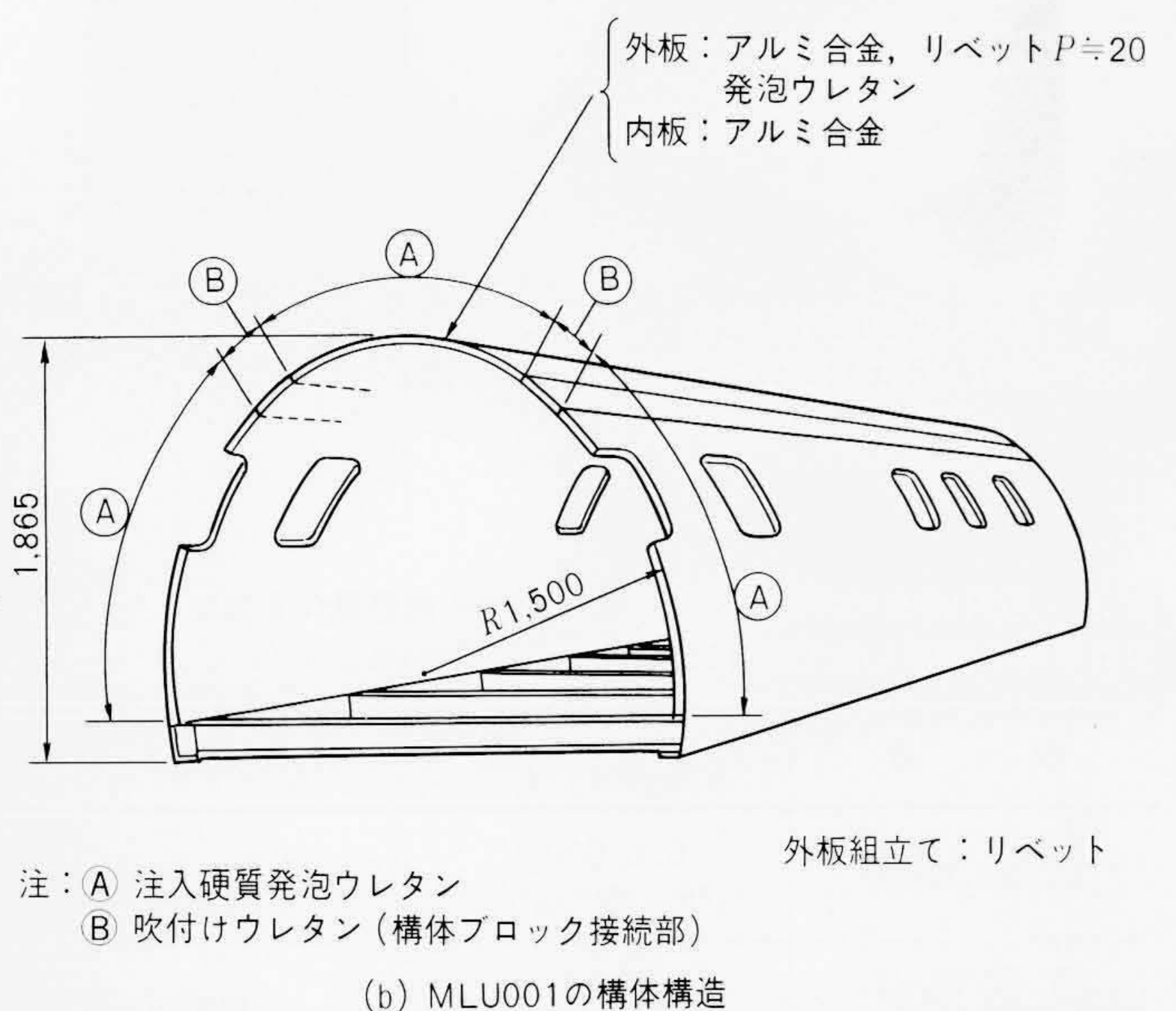
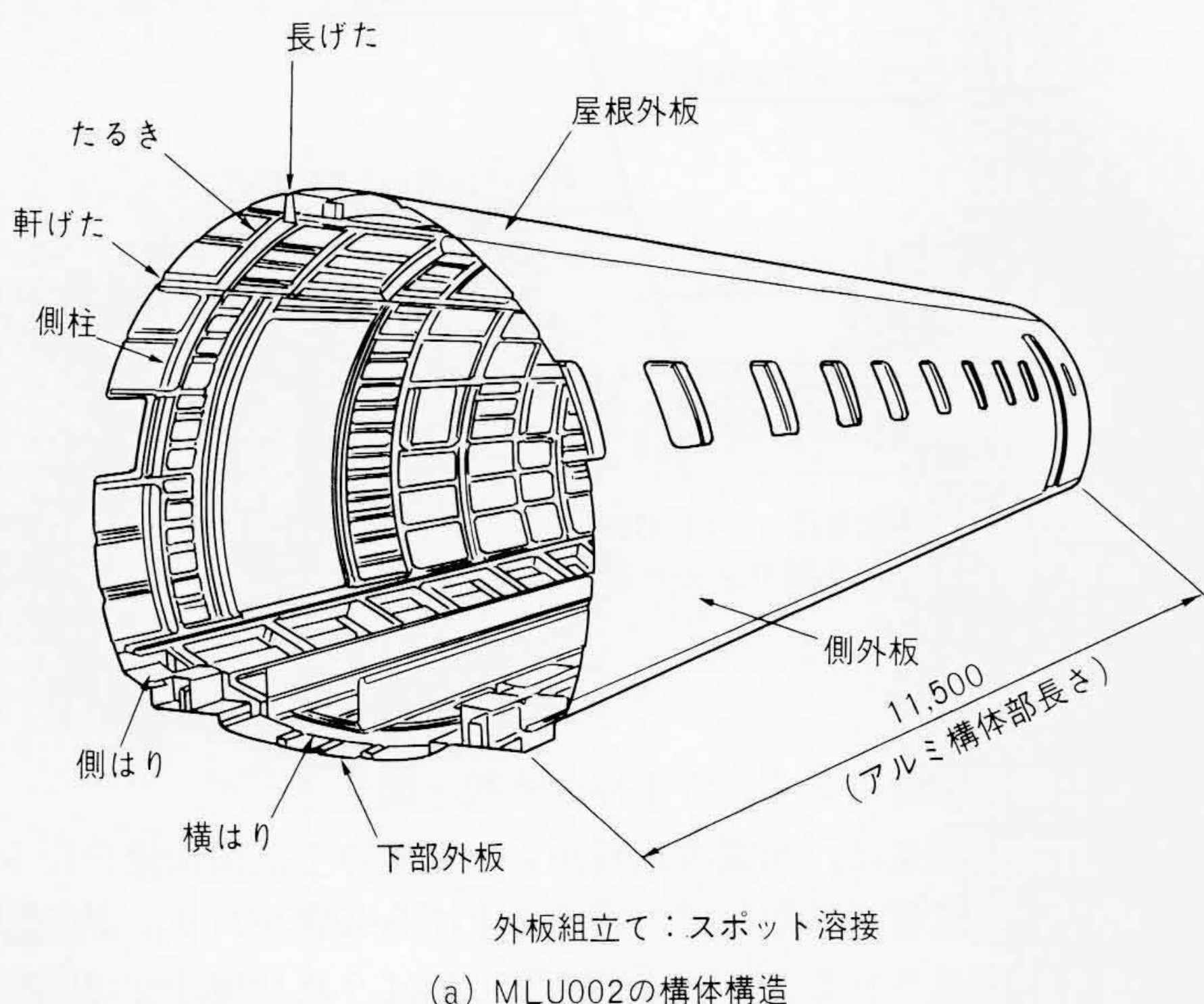


図4 構体構造比較 構体は、従来のリベット構造から極薄板外板のスポット溶接構造に変更して、軽量化及び走行抵抗の減少を図っている。



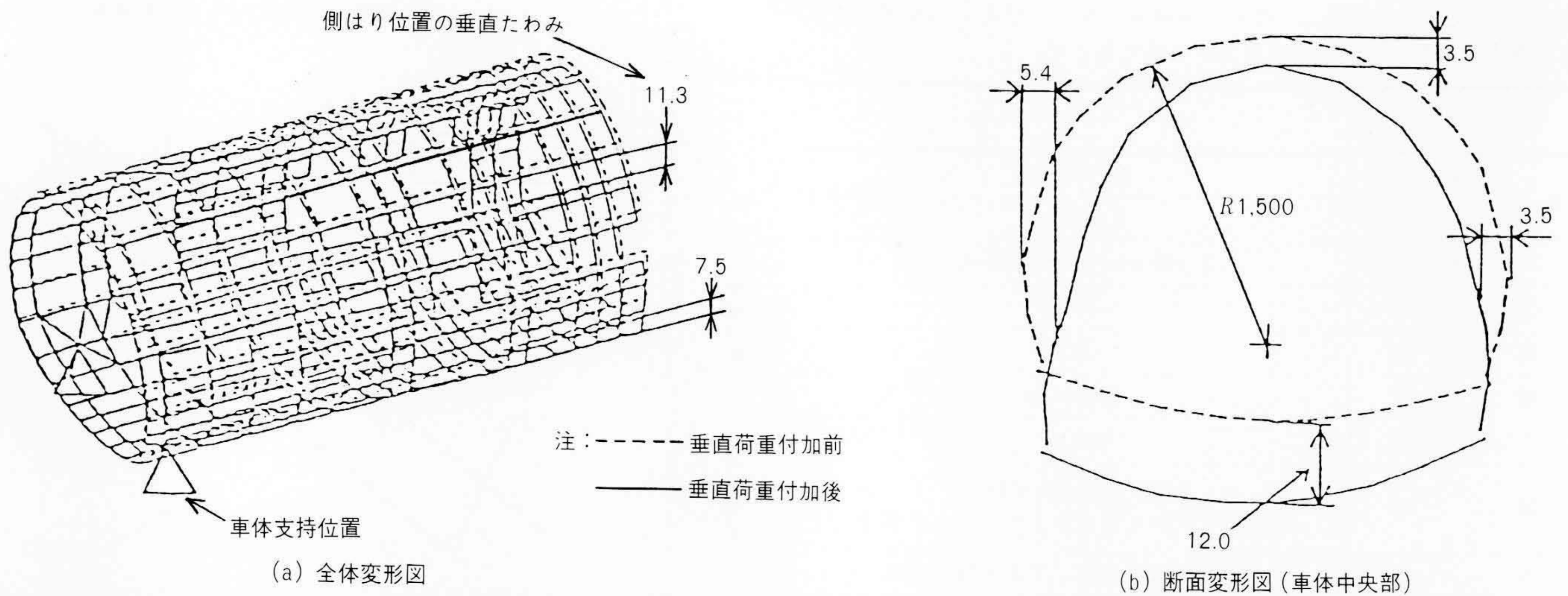


図6 車体の有限要素法解析 車体の強度解析及びたわみ解析には、有限要素法を用いた。

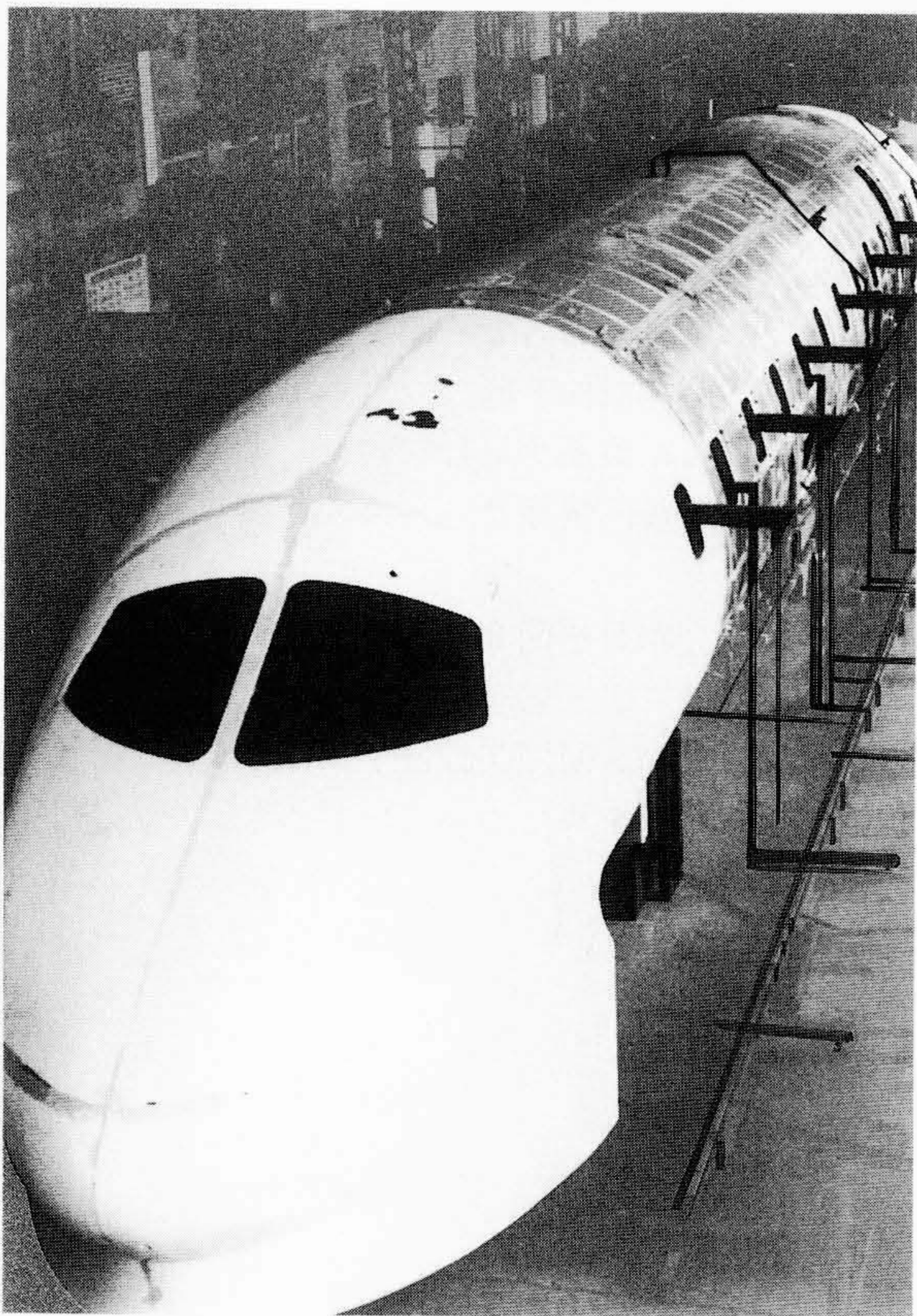


図7 車体の荷重試験状況 構体の主要部分にひずみ計及び変位計を取り付け、各状態での応力、変位の測定を行った。

表3 車体構体の荷重試験結果 構体の超軽量化を達成しながら、在来車両と同様な曲げ固有振動数が得られている。

項目	実測値	記事
相当曲げ剛性	0.12 GN・m <sup>2</sup> {1.25 × 10 <sup>13</sup> kgf・mm <sup>2</sup> }	—
垂直曲げ固有振動数	13.8Hz	構体時

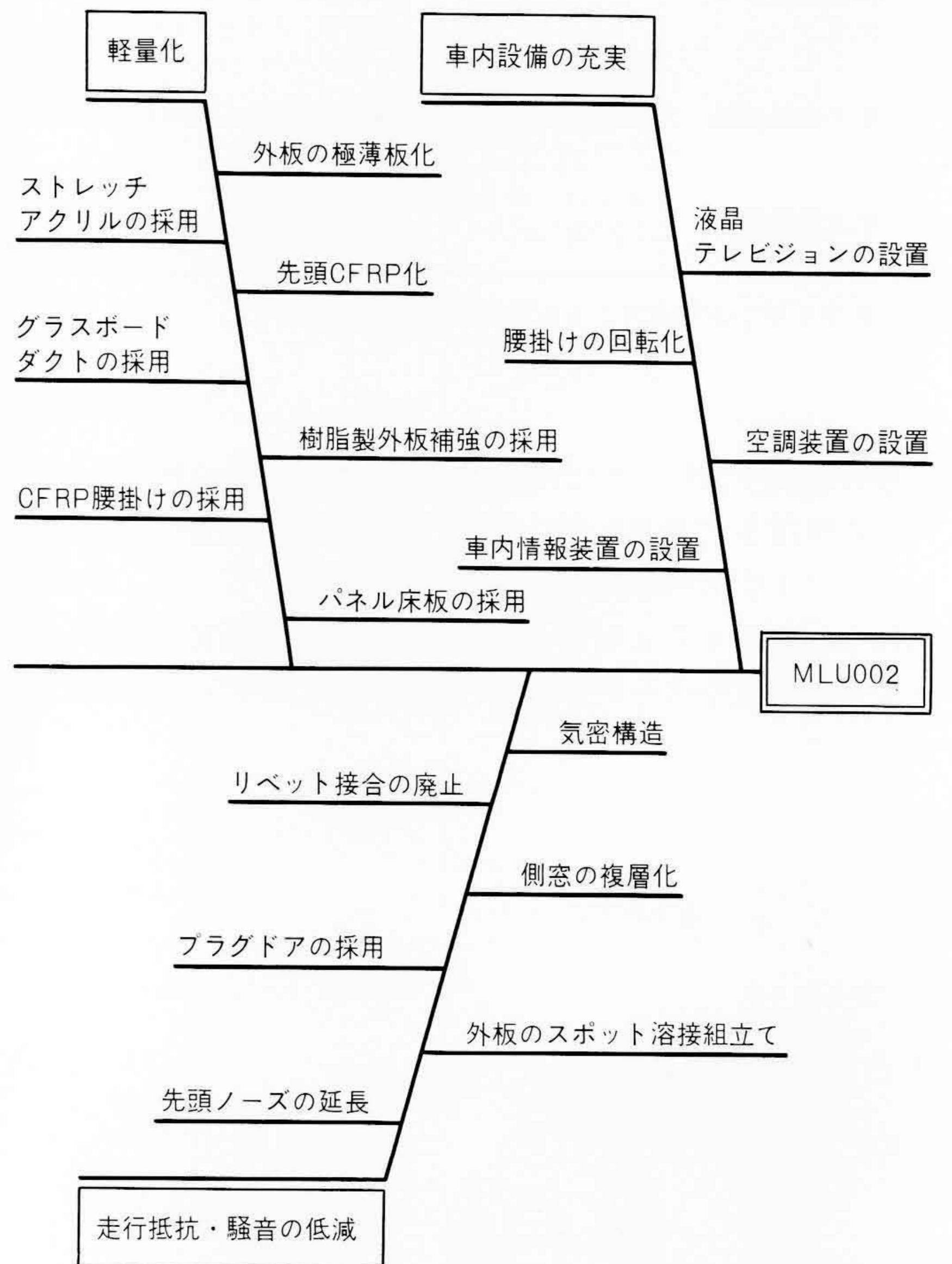


図8 車体開発項目 MLU002の開発に関連した項目をまとめたもので、新しい内容を盛り込んだ車両構造である。

した溶接構造である。台車枠の外観を図9に示す。

台車枠構造は、超電導磁石からの電磁力を直接伝達されるので、超電導磁石取付部の剛性を上げる必要があり、直接横ばりに伝達されるようにしており、側ばり及び横ばりで構成されている。強度については、3次元有限要素法で解析を行



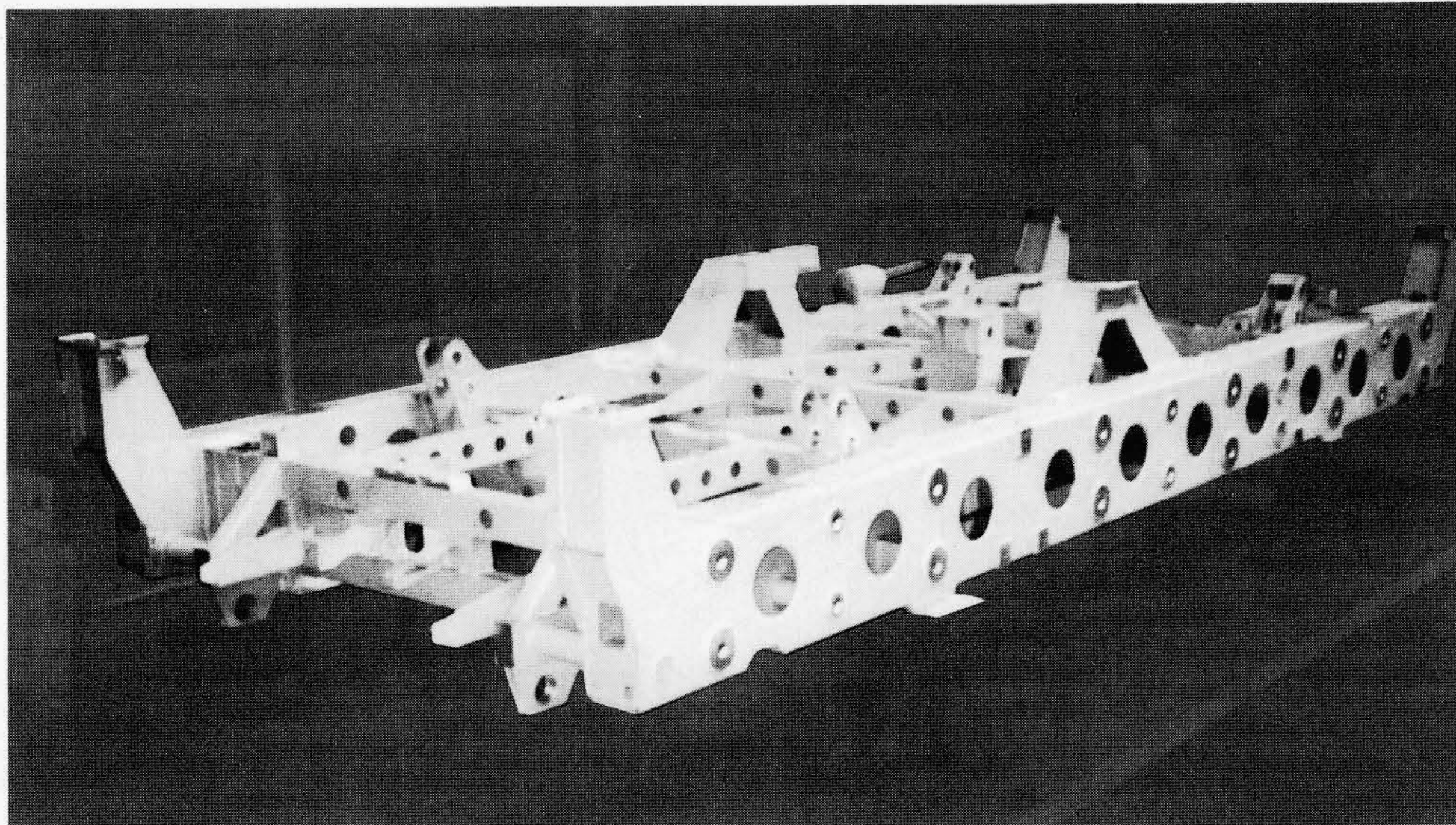


図9 MLU002台車枠の外観 台車長5.9mの長い台車構造であるが、軽量化及び台車剛性を考慮したアルミ合金製のものである。

い、通常荷重については疲労設計、最大荷重については耐力設計とし十分な強度であることを把握し、実車での荷重試験で問題のない応力値であることを確認した。更に、台車枠の固有振動数は、超電導磁石と地上側コイルで加振される周波数と高い速度で共振しないように台車枠の剛性を設定し、上下方向29.9 Hz、左右方向31.7 Hzである。有限要素法解析モデルを図10に示す。

各台車はボルスタレス構造とし、台車中央部に空気ばねを、台車端部に上下・左右のダンパを設けており、空気ばね及びダンパの定数は乗り心地に最適になるように制御可能な構造である。また、推力・ブレーキ力を車体に伝達するため、各台車に1個アンカ装置を設けた。

電磁力の弱い低速時に車両を支持・案内するため、ゴムタイヤの付いた補助支持・案内装置を各台車の四隅に設けている。いずれもガスばね付きであるが、補助支持装置については、浮上時タイヤが完全に格納できる構造としている。

補助案内装置については、左右方向のストッパ機能を内蔵しているため、空気整流用のFRP(Fiber Reinforced Plastics)カバーを備えた構造とした。

補助支持車輪がパンクするなど異常のあった際に、車両を支持する緊急着地装置を各台車の四隅に設けており、超電導磁石の異常時などには緊急着地装置を走行路面に接地させ、機械的なブレーキ力が働く機能を持たせている。

超電導磁石及び冷却システムは、1冷却機3超電導コイル

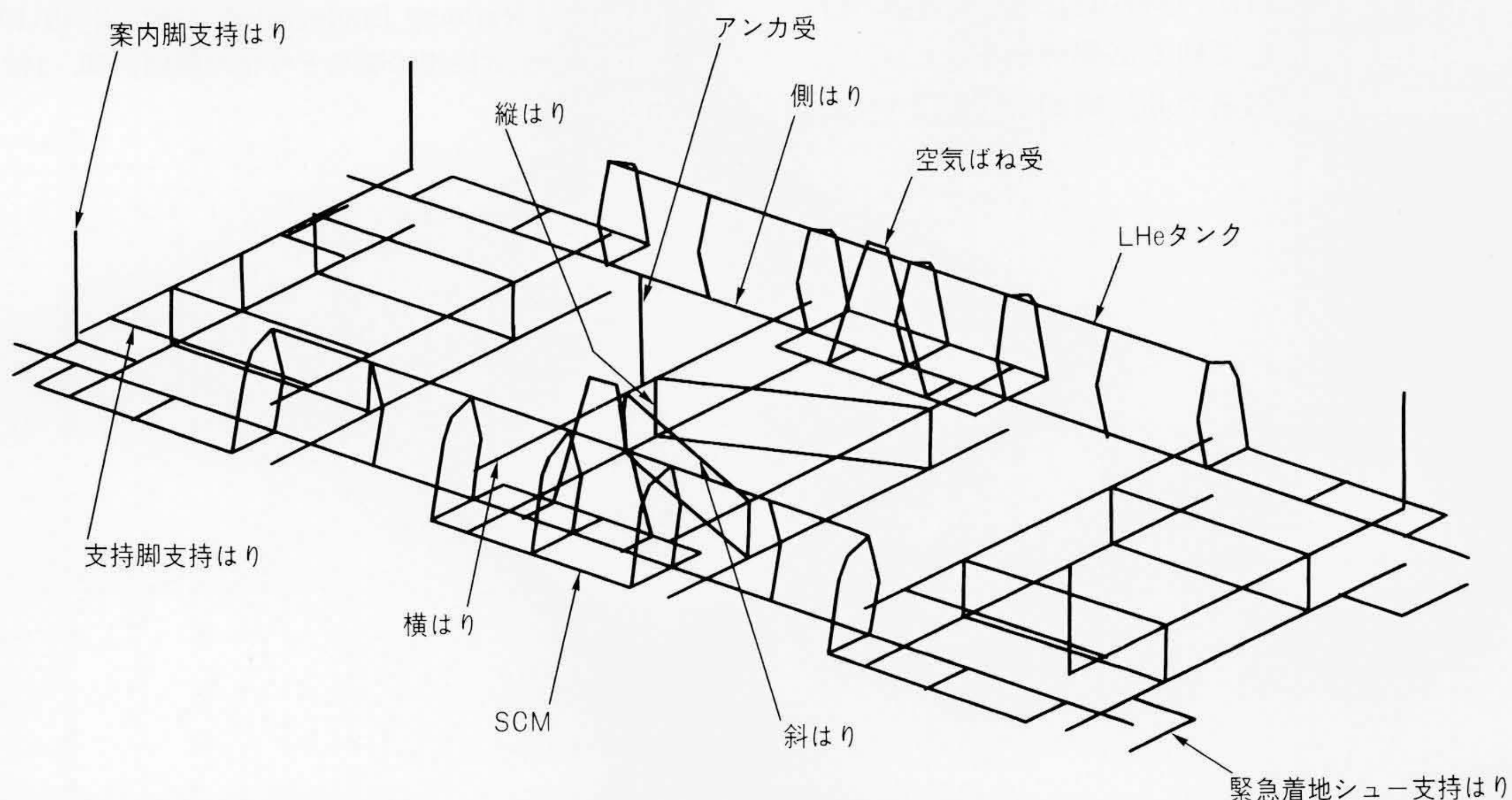


図10 台車枠の有限要素法解析モデル 台車枠の強度及びたわみ解析のため、3次元の有限要素法解析を行った。



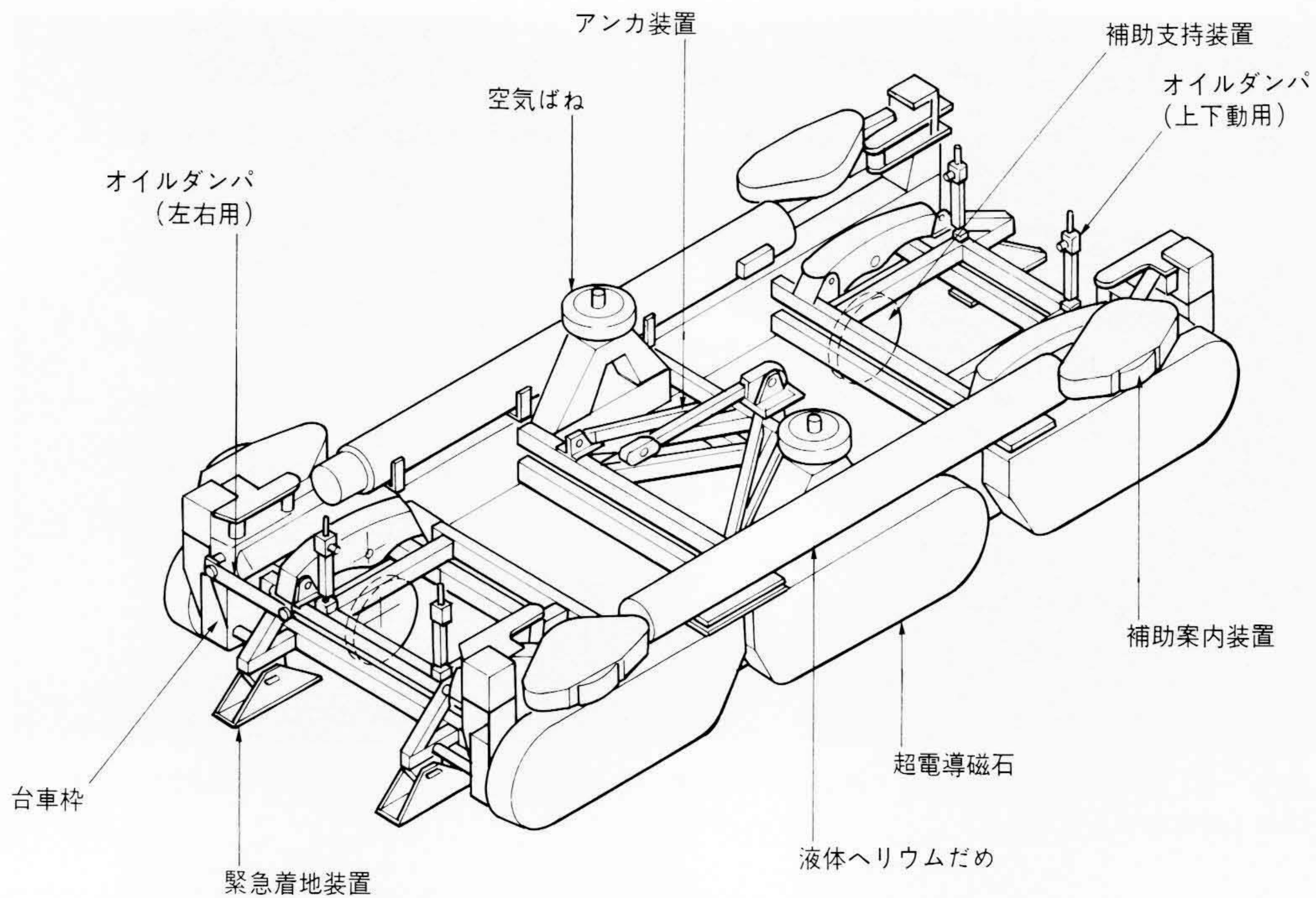


図11 MLU002の台車 台車に超電導磁石，補助支持装置などが取り付けられている。

を一組みとし，各台車の左右に各一組み装架した。冷却機については，前台車はクロードサイクル方式，後台車はスターリングサイクル方式を採用している。

台車の概略を図11に示す。

## 5 結 言

MLU002は，従来の実験車(ML500, MLU001)の走行実験成果を踏まえて開発されたプロトタイプ車両である。開発に当たっては，極薄板外板及び複合材料を用いた超軽量車体，車体外表面の平滑化による走行抵抗及び騒音の低減対策，更にはプロトタイプ車両にふさわしい充実した車内設備などを盛り込んでいる。

今後，最高速度420 km/hでの乗り心地・空力・電磁力などの各特性把握を行う予定であるが，得られた結果を基に更に性能をアップした車両を開発してゆく必要がある。

終わりに，この車両の製作に当たり，終始御指導をいただ

いた日本国有鉄道(現JRグループ)車両局設計課及び鉄道技術研究所(現鉄道総合技術研究所)の関係各位に対し，深謝の意を表す次第である。

## 参考文献

- 1) 京谷：浮上式鉄道実験線，電気学会誌，97巻，8号，687～693(昭和52-8)
- 2) 佐々木：新しい実験車MLU002，車両と機械，179，14～19(昭和62-7)
- 3) 西：マグレブプロトタイプMLU002の開発，電気車の科学，465，13～19(昭和62-1)
- 4) H. Tanaka：Maglev Approaches Toward Practical Use, Japanese Railway Engineering, 102, 2～6(1987-6)
- 5) 澤田：浮上式鉄道の現状と今後の展望，30，17218～17222(昭和62-5)