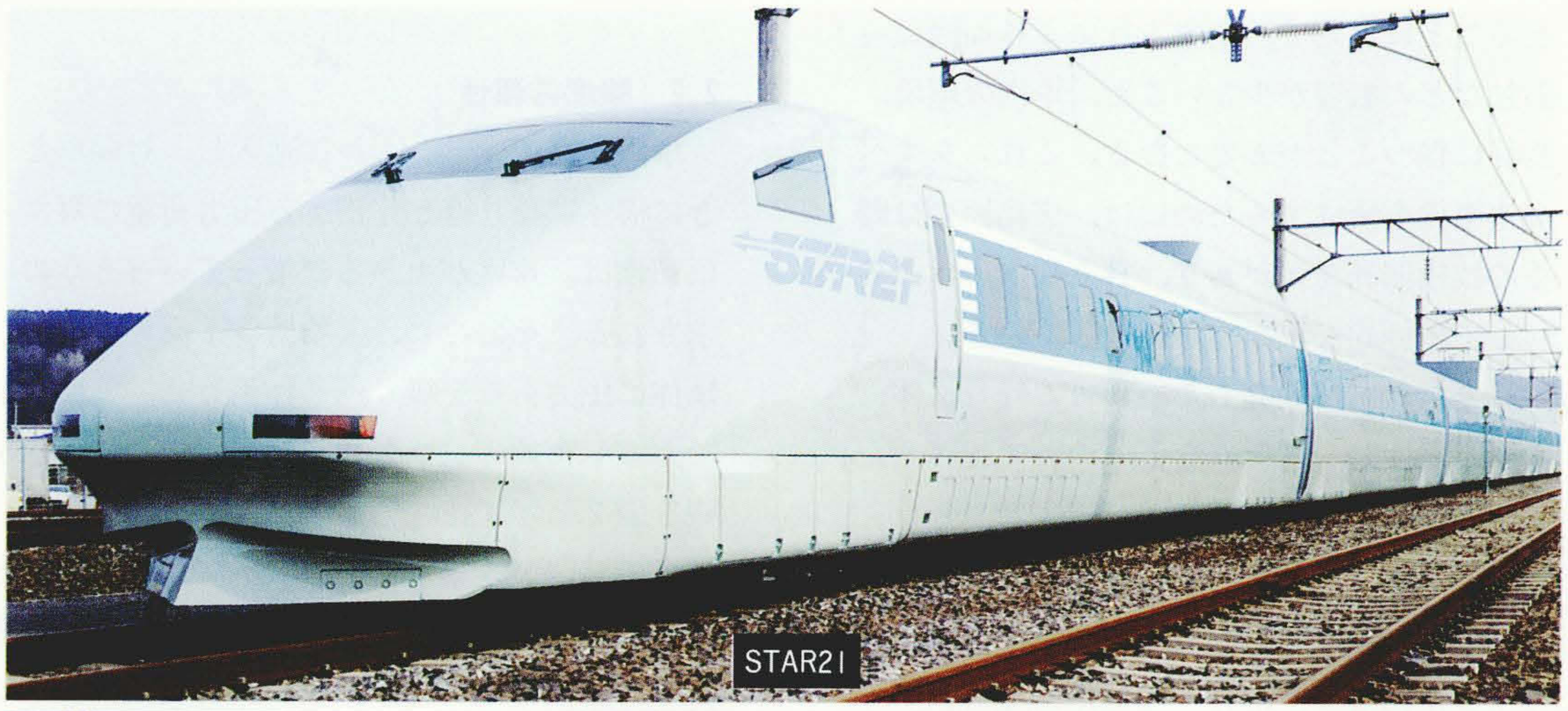
# 次世代新幹線向け高速車両

## High-Speed Rolling Stock for Next-Generation Shinkansen

岡崎正人*　*Masato Okazaki*　松本　勝***　*Masaru Matsumoto*
三宅　亙**　*Wataru Miyake*　今井勇人****　*Hayato Imai*



**次世代新幹線高速試験車両**　現在試験走行中の東日本旅客鉄道株式会社STAR21試験車，および西日本旅客鉄道株式会社WIN350試験車を示す。今後の量産車両の設計に向けて数多くのフィールドデータを蓄積しつつある。

JR各社では，次世代の新幹線車両として300 km/h以上の最高速度で営業運転が可能な高速車両の開発を推進中であり，すでに試験車両を使用して試験走行を開始している。日立製作所はこのニーズに対応して，環境に優しく，乗り心地の良い高速車両を実現するための各種技術開発を行い，JRに協力することにより，近い将来での実用化を期している。

当面の開発技術のうち，車体関係ではハニカム軽量構体，疲労試験装置および二次元音源解析手法の軽量化・低騒音化技術について，台車関係ではアクティブ振動制御，電気・機械一体解析試験手法の乗り心地向上技術について，また，主回路システムでは高電圧化，主電動機の超高速化の低振動化および軽量化技術について紹介する。

* 日立製作所 笠戸工場　** 日立製作所 水戸工場　*** 日立製作所 国分工場　**** 日立製作所 日立工場

## 1 はじめに

近年，新幹線を運営するJR各社は，目的地到達時間の大幅な短縮を目指して高速化計画を推進している。

車両の高速走行の実現のためには，車両が高速で安定して走行できることに加えて，高速走行による周囲環境への騒音，振動などの影響が少ないこと，車内の環境，乗り心地を良好に保つことが必要となる。これらをすべて配慮した高速車両を構成するためには，広範囲の分野にわたる多くの技術開発課題があり，日立製作所はこの各テーマに対して積極的な取組みを推進している。

ここでは，日立製作所が開発したハニカム軽量構体，高速車両用台車，主回路システムなどについて述べる。

## 2 車体構造

### 2.1 軽量・高剛性・高耐圧構体

高速で走行する車両では，沿線の地盤振動を抑制するために軽量化が不可欠であり，構体に対しても軽量化が求められる。同時に，高速走行時の乗り心地を良好に保つために，構体の剛性は高く確保しなければならない。また，高速でトンネルに進入の際，対向車とすれ違うときに構体に繰り返し作用する圧力荷重に十分耐えられる高耐圧性能が要求される。この要求にこたえて，これらの条件に適合する次世代の軽量・高剛性・高耐圧構体として，ろう付けアルミハニカムパネルによる構体を開発した。この構体の一例を**図1**に示す。

この構体は従来の構体が骨組と薄板を溶接で組み立てるのに対して，2枚のアルミ薄板の面板の間にアルミ薄板のハニカム状のコアを挟み，周囲に縁材を回して，真空ろう付けで接合したろう付けアルミハニカムパネルを，縁材部で溶接によって組立製作するものである。すでに東日本旅客鉄道株式会社(以下，JR東日本と言う。)の高速試験電車「STAR21」に採用されて走行試験に供されており，現在，量産化を目指して構造のブラッシュアップをさらに推進している[1)]。

### 2.2 強度信頼性

車両が高速でトンネルに進入し，対向車とすれ違うときに構体に繰り返し作用する圧力荷重に対する疲労強度信頼性は，速度が上がるに従っていっそうの向上策が要求される。そのため，実物構体1両分を内部に収納し，構体に圧力荷重を繰り返し作用させ，強度信頼性を評価できる気密疲労試験装置を開発した。この試験装置の外観を**図2**に示す。

この試験装置は，構体を内部に収納する直径5 m，長さ30 mの本体部，本体部への加圧・減圧源となる各タンクとその駆動ポンプ類，および制御装置から成る。本体内部に収納した構体の外部に対して，実際の車両の走行時にトンネル内で繰り返し加わる圧力荷重を模擬して約1分前後のサイクルで連続して作用させ，実際の走行では長期間にわたる累積疲労を短期間で与えて疲労寿命を評価することができる。

この気密疲労試験装置により，各種構体の寿命評価をすでに実施しており，成果をあげつつある。

### 2.3 低騒音化

300 km/hを超える高速で走行する車両では，走行に伴って生ずる空気の渦による騒音(以下，空力音と言う。)が車外騒音の主な音源となる。空力音の低減対策には，高速で走行中の車両のどの位置でどのような音が発生して

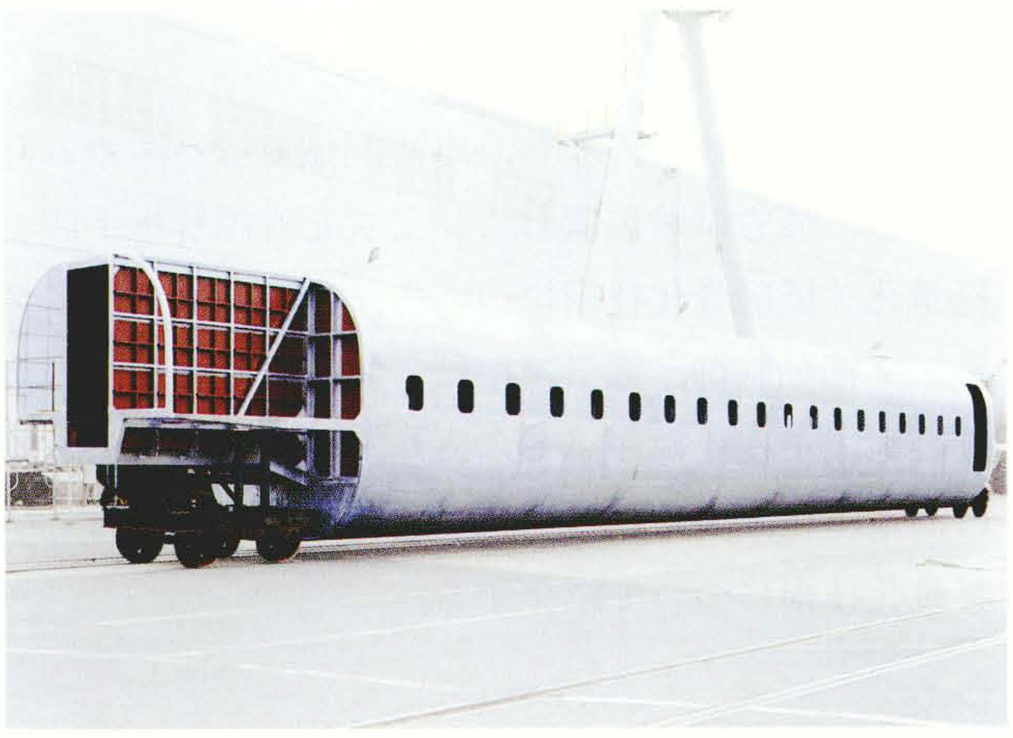


図1 ろう付けアルミハニカムパネル試作構体 骨組を内蔵したアルミハニカムパネルによって製作した試作構体を示す。

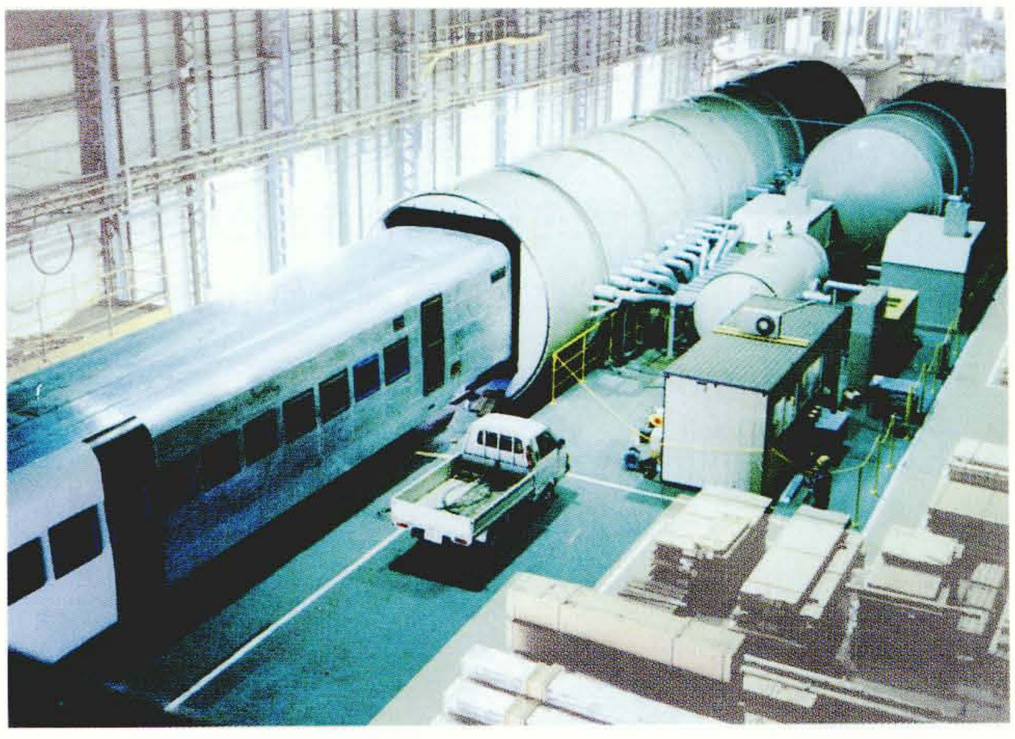
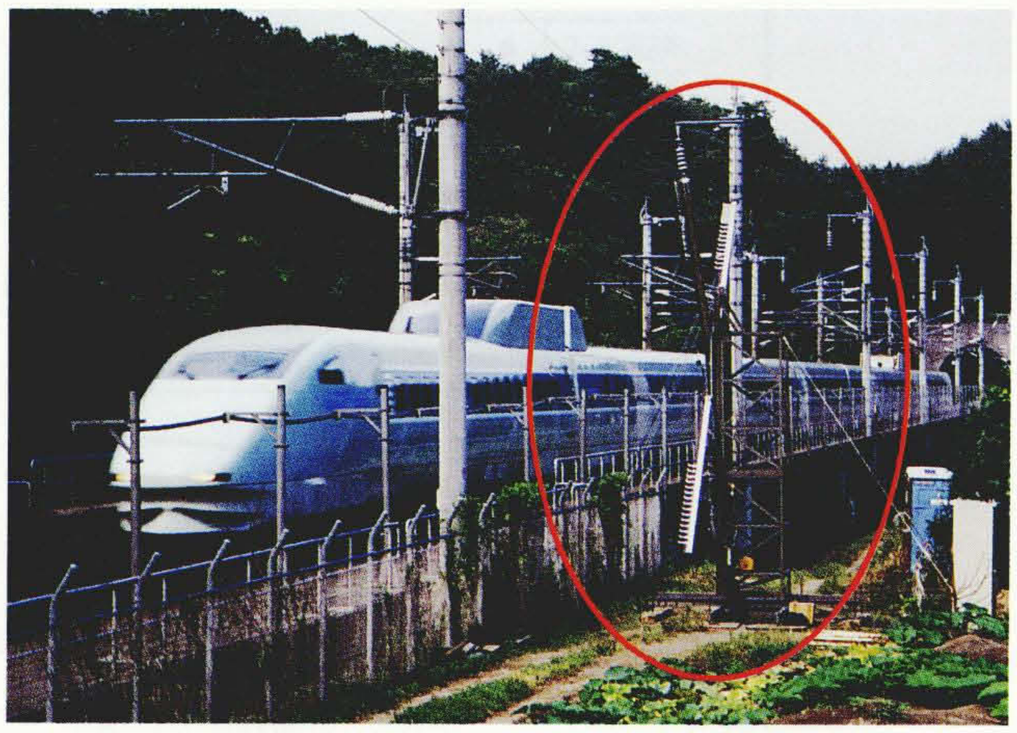
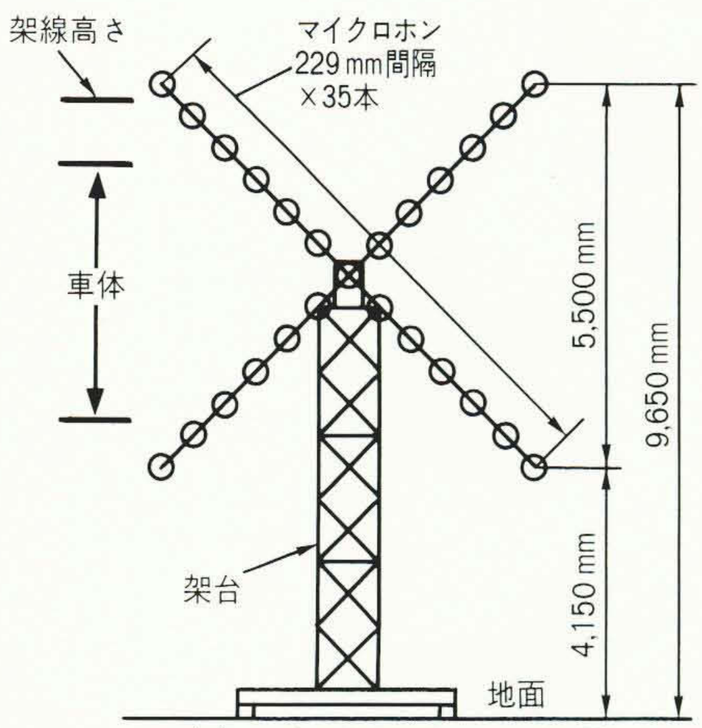


図2 構体気密疲労試験装置 実物の新幹線構体1両を内部に収納して，気密疲労試験を実施することができる。



(a) 線路際にアレーを設置し，高速走行中の車両の車外騒音分布を測定する。




(b) 69本のマイクロホンをX型に配置した構成としている。

図3　X型マイクロホンアレーによる計測状況とアレーの構成

いるかを特定することが不可欠である。従来，車体の全域にわたって分布しているとみられる空力音は，定量的な特定が困難であったが，車両側面から約6 m離れた線路脇の地上に二次元のX型マイクロホンアレーを設置して，高速で走行する車両の車外騒音を測定し，そのデータをコンピュータ処理して，車両上の音源分布を二次元のマップとして視覚的に表示できる解析システムを開発した。解析の精度としては，300 Hz～5 kHzの周波数域で，音源分解能約1 mが得られている。測定中の状況の一例を**図3**(a)に，アレーの構成を同図(b)に示す。

このシステムを用いて，すでに東海旅客鉄道株式会社と共同で試験車両の高速走行中の音源探査を行い，また，JR東日本とも共同で音源探査を推進中である。この技術の確立により，車両の低騒音化対策の効果が車両の各部分ごとに定量的に把握できるので，この解析システムは低騒音化対策の有力な手段の一つとなっている。

## 3 台　　車

300 km/hを超える高速車両用台車として要求される事項と，それらに対する取組みを**図4**に示す。

### 3.1 高速走行性能の向上—台車ばね系の最適化

安定した高速走行を行うためには，レールと車輪の間で発生する不安定振動現象である蛇行動に対し，十分な安定性を持たせる必要がある。従来，高速車両の場合は車輪・車軸～台車～車体間の結合をできるだけ硬くして，車輪・車軸を動きにくくする手法がとられていた。しかし，詳細な車両モデルを用いてシミュレーション計算を行うと，車輪・車軸～台車～車体間の結合ばね定数に最適値が存在することが明らかになってきた。その一例を**図5**に示す。むやみに支持剛性を硬くするよりも，車輪・車軸の舵取り性能など，その他の性能も合わせ考えた最適値を選定している。

### 3.2 乗り心地性能向上—アクティブ振動制御

車両走行速度が上がると軌道からの加振もしだいに増加し，それに伴って乗り心地も悪くなる。従来の軌道のままで速度向上を行おうとすると，車両側で何らかの対応をとる必要が生じる。最も簡単な方法は，車体～台車間のばねを大幅に柔らかくすることであるが，車体の動きが大きくなりすぎるため，あまり柔らかくすることができない。そのため，従来と同じ程度のばね定数を用い

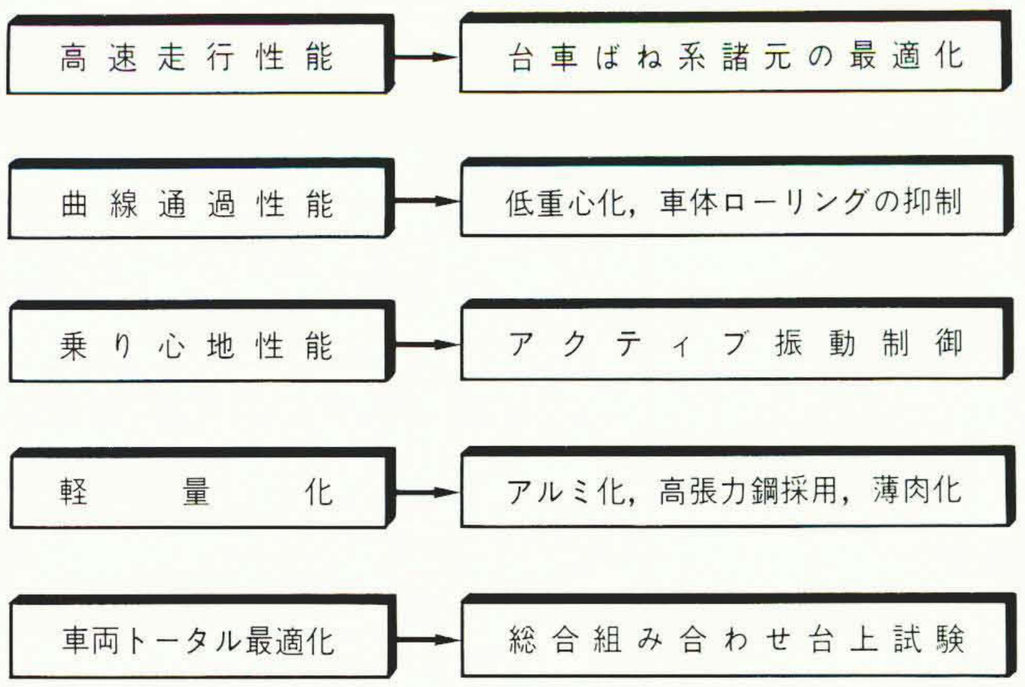



図4　高速車両用台車における要求事項と対応事項
300 km/hを超える高速車両用台車に対して要求される各種事項に対応した開発を進めている。

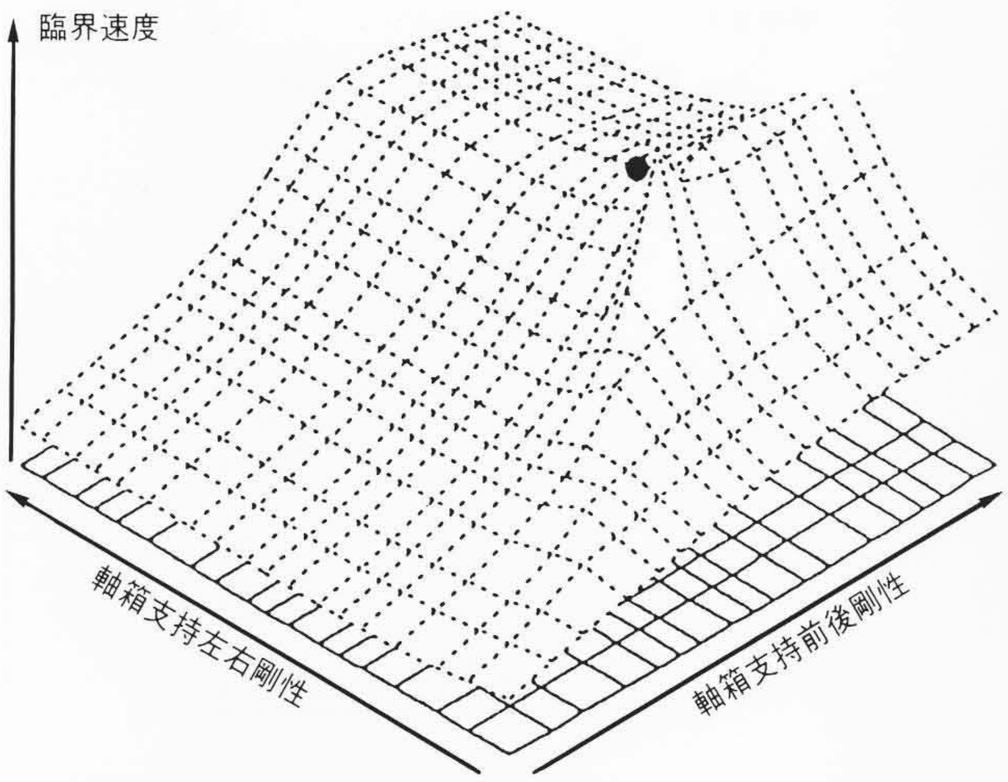



図5　走行安定性向上のための最適ばね系選定
走行安定性解析の結果を示す。軸箱支持前後，左右剛性の組み合わせにより，臨界速度は変化する。●印点に最適ばね系を選択する。

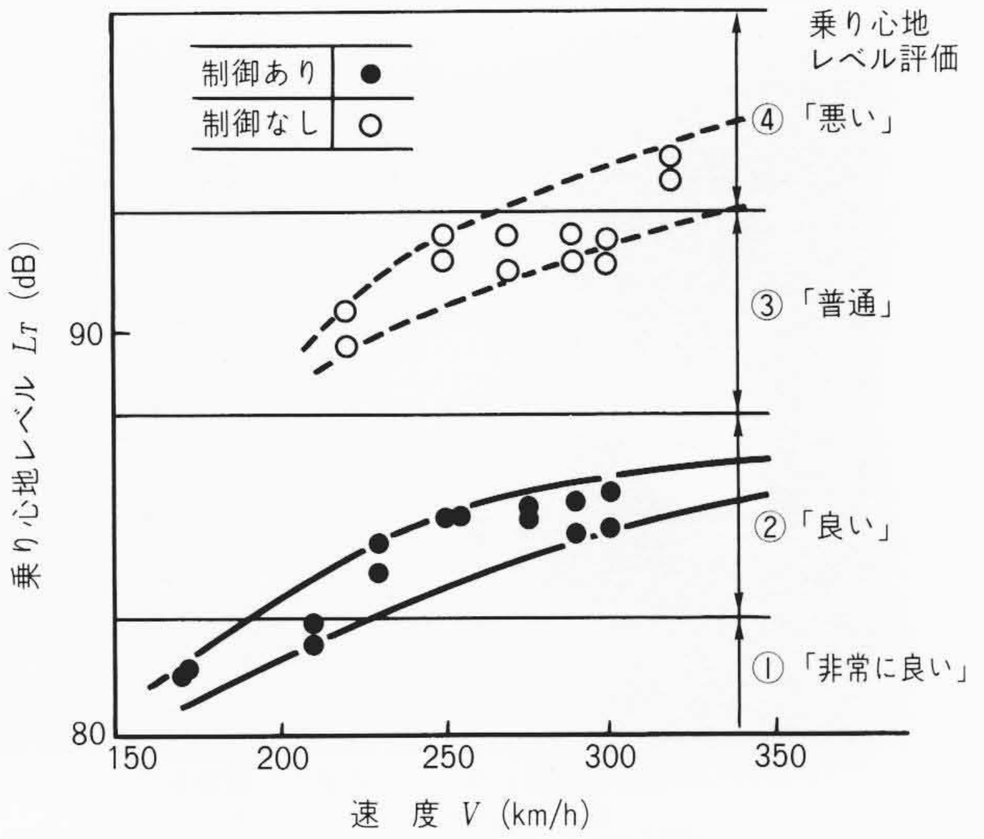



図6　アクティブ振動制御現車走行試験結果
左右方向乗り心地改善のためアクティブ振動制御を取り付けて走行試験を行った結果，6 dB以上の改善効果を得た。

ながら，乗り心地を改良するために振動に対応してアクティブに振動を制御する装置を開発した。当初，このアクティブ振動制御装置の駆動源には圧縮空気を使用したが，空気消費量が大きく，現状の空気圧縮機容量を大幅に増加する必要があることと，出力を大きくするためには大型のアクチュエータが必要となり装置が大型化することなどの理由から現在は油圧を用いている。この装置を西日本旅客鉄道株式会社の高速試験電車“WIN350”に取り付け，現車走行試験を行い，300 km/hで走行時の左右方向振動加速度が半減できる効果を得ている。アクティブ振動制御の現車走行試験結果を**図6**に示す。

### 3.3　車両トータル最適化—総合組み合わせ台上試験

最近の高速車両は，各機器，装置が限界近くまで軽量化されている。そのため，各機器，装置単体で検討，試験を行った場合には何ら問題がなくても，車両全体として組み合わせ，走行を行うと種々の問題が発生すること

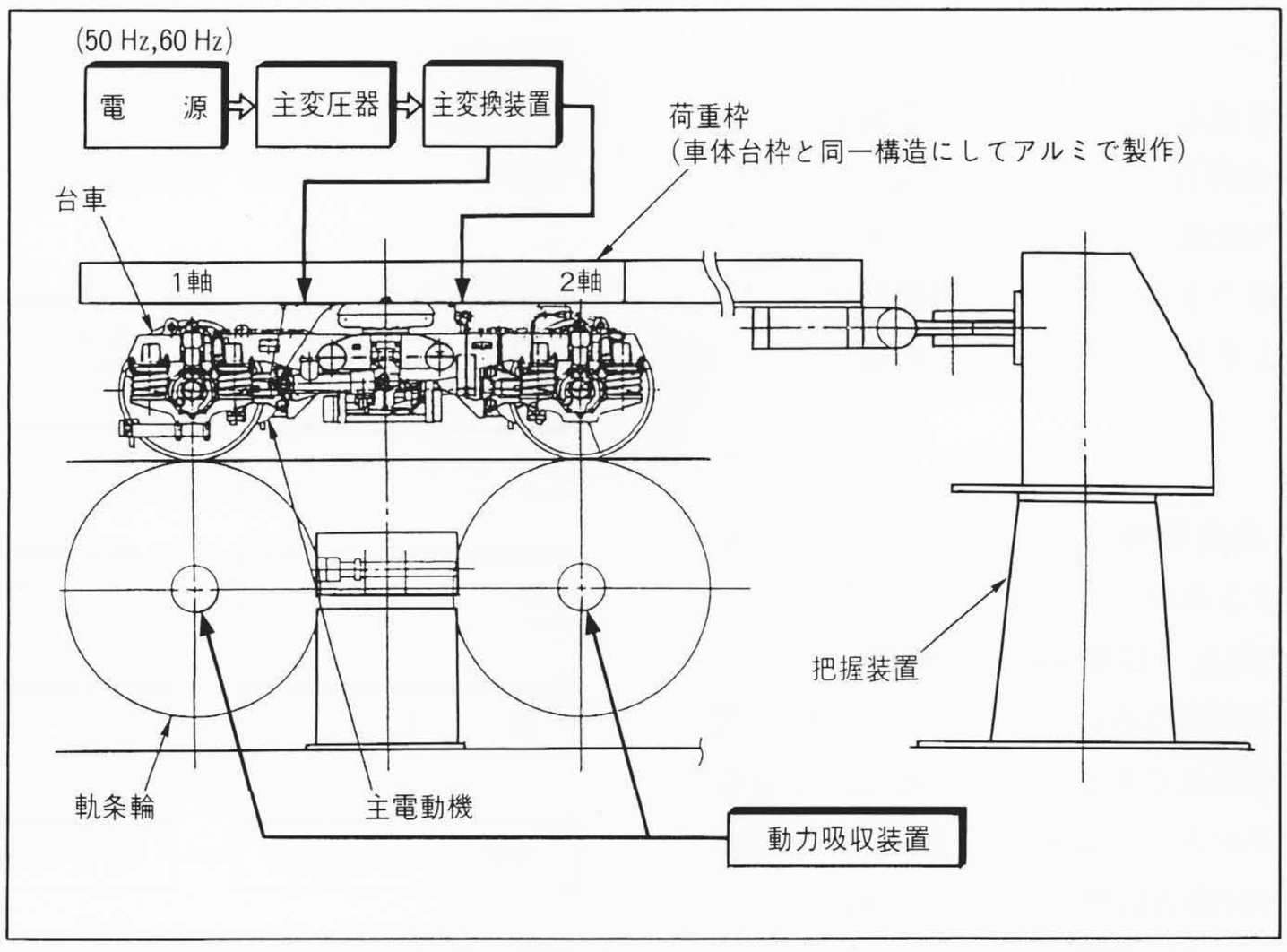


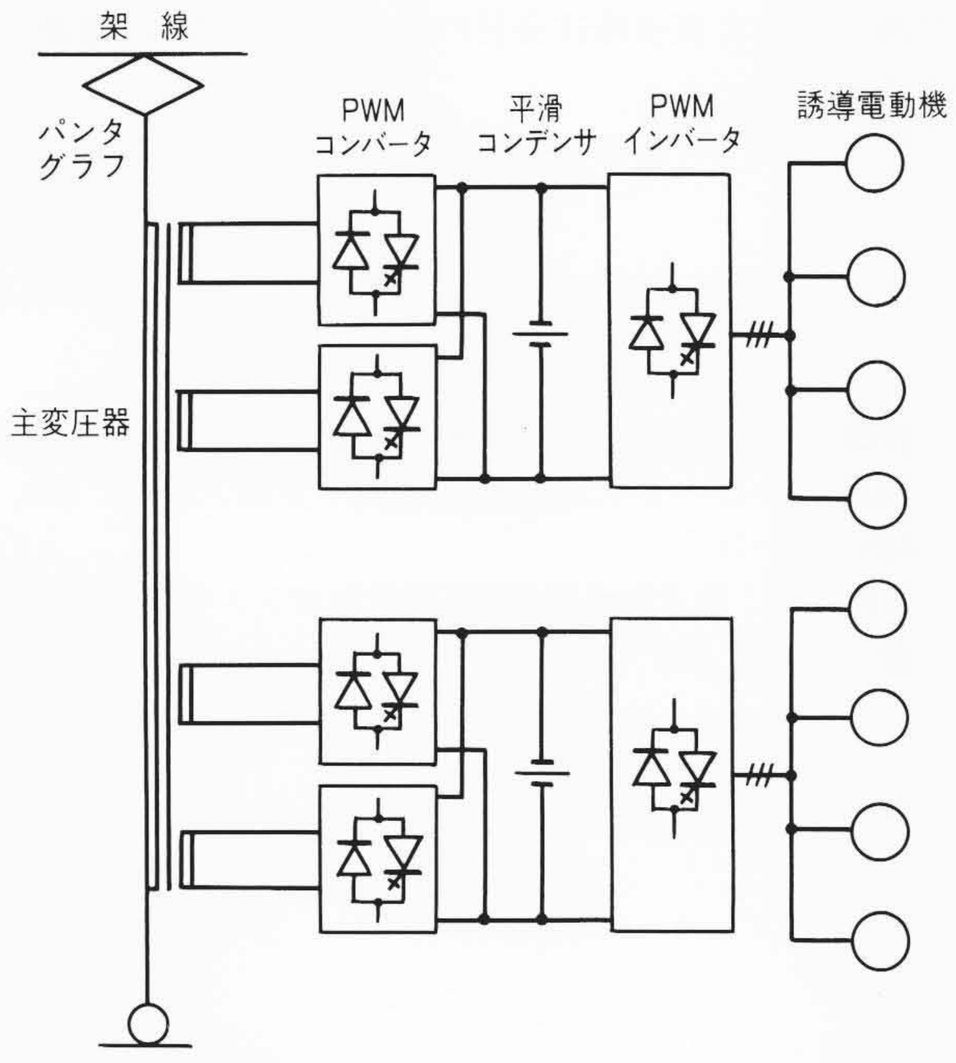

図7　総合組み合わせ台上試験模式図　　高速交流車両の実際の走行状態を試験台で再現するため，電気制御系-車体-台車を組み合わせ，実際に駆動力を加えて試験を行う。

がある。交流高速車両トータルで組み合わせ試験を行ったときの試験構成を**図7**に示す。このように，電気制御装置-主電動機-駆動装置-台車-車体と組み合わせ試験を行うことは，各部の剛性や振動伝達特性などにより，予測しない部位に生じる振動など各種の問題点を事前に試験台上で確認することができるので，高速車両の開発にきわめて有用であり，今後の新設計車両に適用して効果を上げてゆきたい。

## 4　主回路システム

高速車両での主回路システムへの要求としては，大容量化と軽量化の両立があるが，これにこたえるため，「のぞみ」をはじめとする最近の新幹線電車には，PWM (Pulse Width Modulation) コンバータ・インバータシステムが採用されている[2]。このシステムは，パンタグラフ点での基本波力率を1に制御できるうえ，電力回生ブレーキも可能であり，省エネルギー効果にも優れている。

システムの構成を**図8**に示す。パンタグラフで集電した架線電圧を主変圧器で絶縁・降圧し，PWMコンバータで整流した後，PWMインバータで可変電圧可変周波数の三相交流を発生し，誘導電動機を駆動する。




注：略語説明　PWM (Pulse Width Modulation)

図8　PWMコンバータ・インバータシステムの構成
単相交流電圧をPWMコンバータで整流し，さらにPWMインバータによって可変電圧・可変周波数の三相交流電圧を発生して誘導電動機を駆動する。

### 4.1　PWMコンバータ・インバータ

新幹線クラスの大容量車両では，PWMコンバータおよびインバータを構成する半導体デバイスにはGTO (Gate Turn Off Thyristor) を用いているが，最近では，スナバ回路にΔCスナバ方式[3]を採用し，損失の低減を図っている。この方式は，従来の個別スナバ方式に比べてスナバ回路損失を半減できるのが特長である。また，電流遮断時に生じる電圧の抑制効果を高めるようにスナバコンデンサ容量を設定し，直流中間回路電圧を2,600 Vまで高め，電流容量を低減している。その結果，PWMコンバータ・インバータの効率を2％程度改善し，約93％に向上できる見通しを得ている。

交流電車のインバータに特有の制御としては，ビートレス制御[4]がある。これは，直流中間回路電圧に含まれる整流リプルの影響によって生じる主電動機電流のビート現象を抑制するものであり，振動・騒音の低減に寄与している。

### 4.2　主電動機

主電動機の超高速化(超高回転数)のためには，軸受の潤滑を改善する必要がある。潤滑性確認のため，評価試験装置を導入し，独自に評価を行うようにしている。装置の外観を**図9**に示す。潤滑性の改善(グリース銘柄，軸受機構など)による高速化，および高速化による回転子の軽量化によって軸受の小型化，DmN数低減の相乗効果により，試験回転数9,050 r/min(従来比44％増)対応の主電動機を開発した。

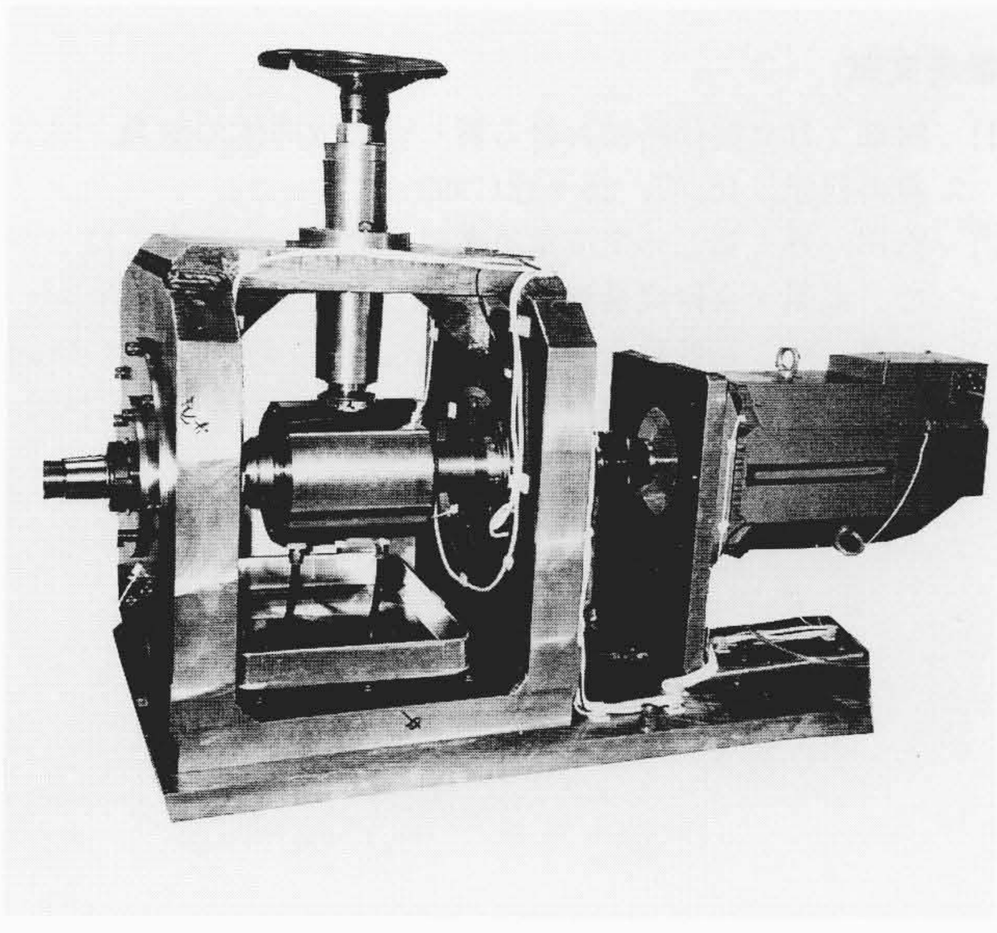


図9　軸受構造評価試験装置　　ロードセルで試験軸受に荷重をかけ，12,000 r/minまで試験が可能である。

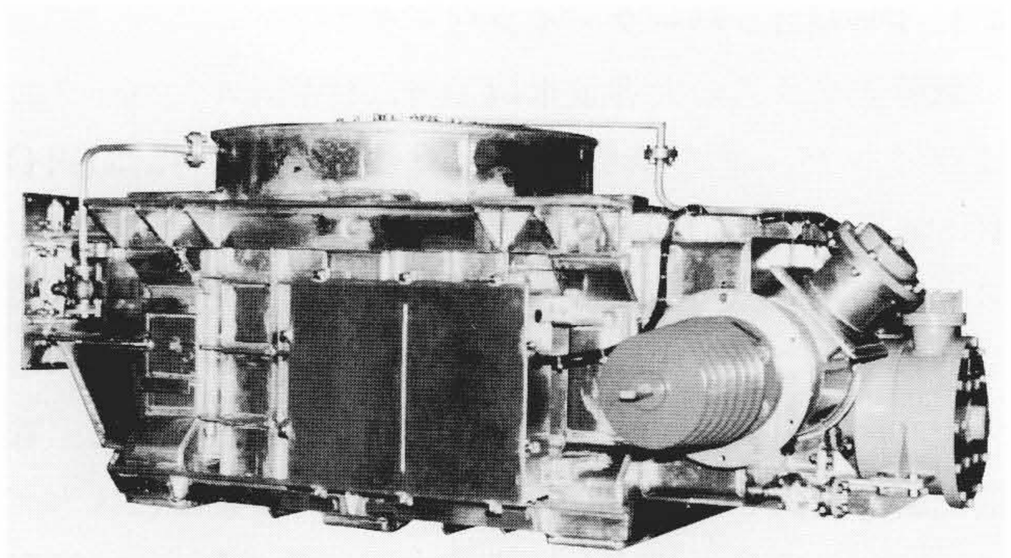


図10 試作軽量主変圧器 新しい絶縁油の採用，タンク等の外部部品のアルミ化などにより，軽量化を図った。

主電動機の軽量化のためには，超高速化以外にシステム的には電圧/周波数比パターンの最適化[5]を，ハード的にはアルミ製ブラケットの採用などをそれぞれ行っている。その結果として，300 km級の新幹線用として1.0 kg/kWを達成することが可能となった(従来は1.3 kg/kW)。

### 4.3 主変圧器

主回路システムの中で，質量的に大きな割合を占める主変圧器で，その小型・軽量化は従来技術では限界に近づきつつある。

日立製作所は，新しい絶縁油の採用，タンク等外部部品のアルミ化などの新技術を導入し，主変圧器の軽量化を進めている。

まず絶縁油には，新難燃性油[5](以下，FRT油と言う。)を採用した。このFRT油は，従来使用していたシリコーン油と比較して膨張係数が60%と小さく，油の温度変化を吸収するためのコンサベータを小型化できる。このFRT油を採用した新幹線用主変圧器を開発したことによって，従来よりも9%軽量化できた(単位容量当たりの質量0.97 kg/kVA)。

さらに，タンクおよび配管をアルミ化した軽量主変圧器を開発し，性能確認を終了している。これにより，4%のさらなる軽量化の見通しを得た。この試作主変圧器の外観を**図10**に示す。

## 5 おわりに

すでに新幹線を運行しているJR各社では，高速化を目指して試験車両を実際に走行させて，フィールドデータを採取，蓄積しつつある。日立製作所でも，各種試験に協力し，ここで述べたハニカム軽量構体，高速車両用台車，主回路システムなどの社内での研究開発と合わせて今後の量産車両の具体化に向けて，技術の確立を推進中である。

おわりに，各種開発に対して終始ご指導いただいている東日本旅客鉄道株式会社，東海旅客鉄道株式会社，および西日本旅客鉄道株式会社の関係各位に対し，深謝の意を表す次第である。

### 参考文献

1) 服部：日立製作所における新しい車両構体の開発，電気車の科学，46，7，26～32(1993-7)
2) 石川，外：新しい交流電気車における主回路方式について，電気学会研究会資料，TER-90-33(1990-12)
3) 安藤，外：新低損失スナバ回路-Δ形スナバ回路-の車両用インバータへの適用，電気学会研究会資料，TER-92-7(1992-2)
4) 仲田，外：脈動電圧源で駆動されるインバータ・誘導電動機系のビートレス制御，電気学会論文誌D，109，485(1989-7)
5) 岩滝，外：鉄道車両用小形・軽量制御システム，日立評論，**73**，3，253～260(平3-3)