

## ヤマバ歯車駆動装置の開発

Development of Double Helical Gear Driving Device



長 恵美子\*



岩波 健\*



鈴木 史比古\*\*



島宗 亮平\*

Double helical gear driving device was contrived newly to realize stable run and high reliability in place of conventional helical gear one, because the load on the driving device is increased by high-speed Shinkansen to 360km/h. Therefore we produced some double helical gear driving devices experimentally, and verified performances and long-term durability by some tests using rotation testing machines and the high-speed examination train (commonly known as FASTECH360) on main track, and could confirm that it was a good result.

This paper describes the summary and characteristics that became clear in the development of the double helical gear driving devices.

●キーワード：駆動装置、ヤマバ歯車、ハスバ歯車、安全性、安定性、信頼性、低メンテナンス化

### 1. はじめに

高速新幹線用台車の開発においては、走行速度の大幅な向上に対応する走行安全性・安定性は勿論のこと、高速走行時の信頼性確保、営業使用を前提とした長期耐久性、メンテナンスの容易性などについても考慮する必要がある。

当社では、十数年前より新幹線の営業走行速度360km/h化をめざし、試作台車や高速試験電車（以下、FASTECH360）を用いたさまざまな技術的確認を行ってきた<sup>1)</sup>。この中で、駆動装置においてはヤマバ歯車を採用した新たな駆動装置を開発してきた。

本稿ではその開発概要や試験結果について紹介する。

### 2. 現行の駆動装置

#### 2.1 ハスバ歯車駆動装置の概要

駆動装置とは、モータの動力を車輪に伝える歯車を用いた装置で、輪軸と一体で構成されている安全・安定走行のための重要な部品である。この駆動装置の動力伝達方式としては従来から「平行カルダン駆動方式」が主流であり、その当時から動力伝達用の歯車に「ハスバ歯車」が用いられている<sup>2)</sup>。

ハスバ歯車の特徴として、トルク伝達で歯車がかみ合う際に軸方向の力が発生する<sup>3)</sup>ため、この力を負担する目的で円錐ころ軸受（図1 (a)）が併用されている。円錐ころ軸受は軸方向の力を軸受内部で負担する構造のため、ある程度の摩耗は避けられない。また、組立時に軸方向隙間の調整が必要となり、メンテナンス時の負担となっているのが現状である。さらに、この隙間が軸受性能の重要な要素となるが、現在使用しているアルミ製の歯車箱の熱膨張率とその他鉄

製部品の熱膨張率にそれぞれ差があることや、走行環境・状態によってもこの隙間が変動することから、隙間管理は特に重要な項目となっている。実際に、過去には軸方向隙間の調整不良に起因する不具合も発生している。

#### 2.2 ハスバ歯車駆動装置の適用性について

ハスバ歯車駆動装置について、他社相互乗り入れに伴う各線区の特状（低温環境など）や、今後、当社新幹線に求められる高速走行に対する適用性について検討・検証を行った。

その結果、耐振動・騒音対策の見直しが必要なこと、低温環境下での起動試験では現行潤滑油との組合せで過大な温度上昇が発生し焼付きのおそれがあること、さらに、軸受の要求寿命を満たすことが難しいことが示され、今後目標とする仕様を満たすためにはハスバ歯車駆動装置では厳しいことが明らかとなった。

### 3. ヤマバ歯車駆動装置の開発

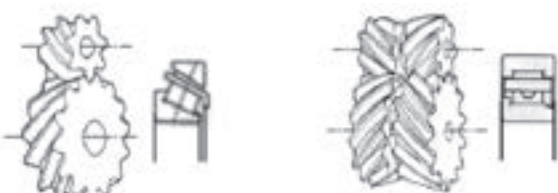
#### 3.1 開発の概要

本開発では、高速走行時における高い安全性・安定性・信頼性などを確保することを目的として、軸受隙間管理を要さない低メンテナンス化を図った新たな駆動装置の開発を進めることとした。さらに走行速度の向上に伴う駆動装置への負荷増大の対策が必須であったため、高速走行に対応する新規駆動装置としてヤマバ歯車（図1 (b)）を採用した。

一般に、ヤマバ歯車はトルク伝達時における軸方向の力の発生がなく<sup>4)</sup>、これにより軸受に円筒ころ軸受の採用が可能となり、耐焼付き性能の向上・軸受の長寿命化・軸受隙間管理を不要（製造時および軸受交換時を除く）にすること

が可能となる。併せて、歯車のかみ合いの安定化（ねじれ角の増大、かみ合い率の向上）による低振動・低騒音化や円筒ころ軸受の特性からも低騒音化の実現が期待でき、車内快適性・環境騒音低減の向上が図れる。

また、台車枠変位に因らず主電動機軸と小歯車軸との芯ずれを小さく抑えるために、歯車箱支持装置を湾曲形状とした。



(a) 現行歯車装置方式  
ハスバ歯車(左)  
円錐ころ軸受(右)

(b) 新規歯車装置方式  
ヤマバ歯車(左)  
円筒ころ軸受(右)

図1 ハスバ歯車駆動装置とヤマバ歯車駆動装置の比較<sup>5)</sup>

## 3.2 ヤマバ歯車駆動装置の構成

前節の基本的な考え方を基に実際の構成を検討した結果、以下に示す細部の異なる2種の駆動装置を製作し、それぞれの方式について検証した。

### 3.2.1 一体式ヤマバ歯車駆動装置

一体式ヤマバ歯車（以下、一体式）は、図2に示すように大歯車・小歯車とも中央に溝を設けて一体歯切りを行ったヤマバ歯車である。歯車中央部に歯切り加工の際のバイト逃げ溝が必要となり寸法・質量の面で不利となるが、歯車の締結が不要となるため高度な信頼性を得ることができる。

また、歯車箱も一体構成としたことで、潤滑油漏れのおそれが少ない利点がある。

### 3.2.2 分割式ヤマバ歯車駆動装置

分割式ヤマバ歯車（以下、分割式）は、図3に示すように2枚のハスバ歯車を背面結合することでヤマバ歯車を構成す

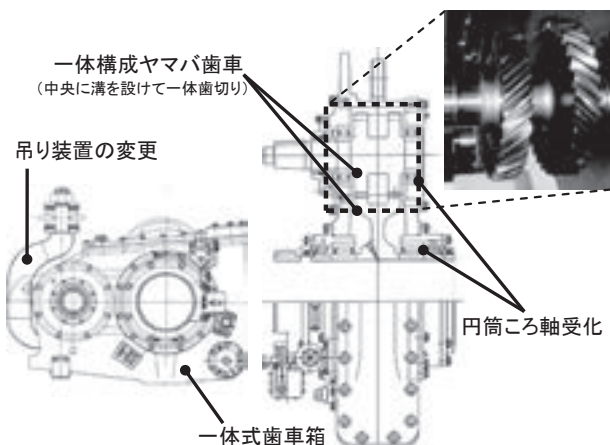


図2 一体式ヤマバ歯車駆動装置

る方式である。締結要素を必要とし信頼性に十分な考慮が必要となるが、小型軽量化の点で有利であり、空間の有効活用とばね下質量の低減が期待できる。

また、歯車箱も車軸中心線から水平に上下2分割となる方式を採用した。締結部の信頼性・油漏れ対策には十分な検討が必要であるが、歯車箱の小型化や、潤滑効率を向上する真円形状歯車箱の構成を容易にすることが可能である。さらに、メンテナンス面では歯車箱が分割可能な構造のため、歯車締結部の点検容易化が図れるとともに歯車箱の分解・組立が行いやすいという利点もある。

## 4. 試作駆動装置の評価試験

製作した2種の試作駆動装置は、まず定置試験として駆動装置単体でベンチ回転試験を行い基本性能を評価した。その後、台車枠に組み込み、台車試験装置<sup>6)</sup>（図4）を用いた実働試験において実使用条件での性能・耐久性を評価した。

さらに、これらの試験結果・評価を反映したFASTECH360用の駆動装置（以下、FASTECH360用）を開発し、本線走行試験・メンテナンスの検証および解体調査を行った。

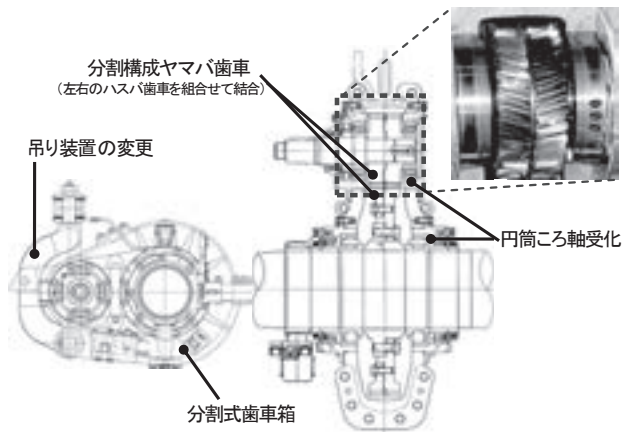


図3 分割式ヤマバ歯車駆動装置



図4 台車試験装置の外観

#### 4.1 定置試験

##### 4.1.1 ベンチ回転試験

ベンチ回転試験装置を使用し、低温急加速試験、常温回転試験、騒音・振動測定を実施し基本特性の確認をした。ここで、試験はE2系用ハスバ歯車駆動装置（以下、E2系用）と比較したが、試作駆動装置とE2系用ではそれぞれ歯数比が異なるため結果として試作駆動装置の方が厳しい試験条件となった。

試験結果の例として、一体式の概要を表1に、振動加速度測定結果を図5に示す。総じて、E2系用と比較して潤滑性能、耐騒音・振動などの各性能が向上していることが明らかとなった。

表1 ベンチ回転試験結果の概要（一体式）

試験項目	試験結果
低温急加速試験	焼付きなし
常温回転試験（試作駆動装置360km/h） 対 E2系用（300km/h）	温度特性 大幅に向上
近傍騒音（小歯車：6000rpm） 対 E2系用 <sup>*1</sup>	正転：△6.0dBA 逆転：△7.2dBA
軸受振動加速度 対 E2系用 <sup>*2</sup>	低減大

\*1: 試作駆動装置とE2系とでは騒音測定環境（暗騒音、周辺環境など）が異なる

\*2: 試作駆動装置とE2系とでは測定対象が異なる

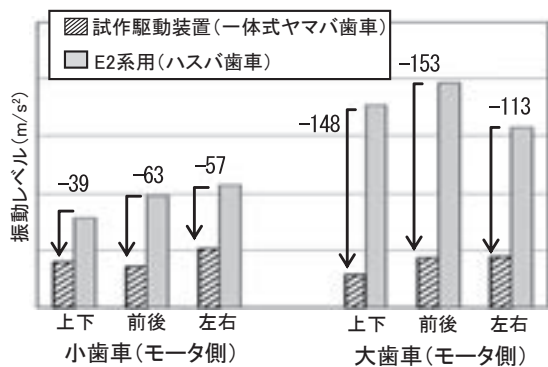


図5 振動加速度測定の結果（ベンチ回転試験）

##### 4.1.2 台車試験装置による試験

###### (1) 基本性能確認（加減速負荷）試験

試作駆動装置を台車試験装置に設置し、主電動機からの加減速（最高400km/hまで）とともに実軌道加振を繰返し負荷して基本性能を確認した。この試験における全加減速回数は1067回、全走行距離は29,691キロに及んだ。

試験結果から著大振動や油漏れなどの異常は認められず、温度特性も許容温度値（120℃）内で飽和状態となり問題なかった。さらに、試験後に解体調査（目視・探傷）を実施したが、歯車の摩耗粉の異常発生などは見られず各部において良好な状況だった。

###### (2) 耐久試験

長期の信頼性を確認するため、台車試験装置で台車検査周期相当の60万キロ走行を目標とした耐久試験を実施した（最終的に総走行距離は65万キロを達成）。耐久試験中の振動特性は終始問題のないレベルであったが、一部オイルシールに起因する油漏れが発生した。この改善策として、以下を今後の課題とした。

(a) シールの改良（シール性能向上）

(b) 潤滑構造の見直し

さらに、耐久試験終了後の解体調査により各部を確認した結果、歯車・軸受の状態や潤滑油の劣化傾向は小さく十分に継続使用が可能な状況であった。

#### 4.2 本線における高速走行試験

4.1節の定置試験の結果が概ね良好であったことから試験電車FASTECH360では全面的にヤマバ歯車駆動装置を採用することとし、さらには、定置試験で得られた結果を受けてFASTECH360用では表2に示した変更・改良を実施した。

FASTECH360に供試する前に、まずベンチ回転試験で輪軸組立単体での基本的な性能を確認した。試験項目は4.1.1項の内容と同等であり、いずれも良好な結果であった。これより、本線における走行試験を実施した。

表2 FASTECH360用駆動装置の変更点

方式	変更点	備考
共通	歯数比の変更	FASTECH360（モータ定格トルクの増大）に合わせた諸元
一体式	潤滑油量を当初の計画に対して減量	試作駆動装置の定置試験結果が極めて良好だったため
	大歯車板厚を減少	軽量化のため（強度上問題ない範囲）
分割式	シールの改良	試作駆動装置の定置試験結果を受けて
	潤滑構造の見直し	

##### 4.2.1 性能確認試験

本線にて走行試験による性能確認試験を表3の内容で実施した。

試験結果は、高速走行時間が短いため潤滑油は飽和温度には至らなかった。小歯車軸受部温度の最大値は71℃以下であり、潤滑油温度も問題のない値であった。また、振動測定については共振現象もなく騒音性能も良好な結果でヤマバ歯車採用の効果を確認できた。

表3 性能確認（本線走行試験）の概要

項目	概要
供試車両	FASTECH360
駆動装置	一体式、分割式
試験期間	2005年6月～7月、2006年4月～6月
走行区間	東北新幹線仙台～北上間（下り線）
最高速度	398km/h
測定項目	駆動装置温度・振動・騒音測定

## 4.2.2 長期耐久試験

性能確認試験の後に、約60万キロの長期耐久試験を実施した。走行試験期間中は他の装置の性能評価試験を行うために急勾配区間などの条件の厳しい線区も走行した。評価については、およそ3万キロごとに実施される交番検査で駆動装置の油量、潤滑油の色などを確認し、状態に問題のないことを確認した。

試験後に行った解体調査では以下の(a)～(f)の項目について確認を行った。調査結果は概ね良好であり、営業車に供する性能を十分に有していることが確認できた。

- (a) 歯車の摩耗粉の発生状況確認（外観調査）
- (b) 歯車のバックラッシュ（互いにかみ合う一對の歯車における回転方向の遊間）測定
- (c) 大・小歯車の歯厚測定
- (d) 歯車の探傷
- (e) 軸受の外観調査・しゅう動部の摩耗状況確認
- (f) 軸受の内・外径寸法、隙間、真円度測定

さらに、耐久試験終了後解体調査により各部を確認した結果、シールなどのゴム部品の劣化傾向は相応に見られたものの、歯車・軸受の状態や潤滑油の劣化傾向は小さく十分に継続使用が可能な状況であった。

## 4.3 メンテナンス性の確認

本線における長期耐久試験の期間中に新幹線電車整備実施標準（規程）に基づく定期検査を実施した。メンテナンス内容は現行の内容を反映して設定した「メンテナンス構想」に基づき、メンテナンス性や車両基地での設備の検証を行った。現行の駆動装置のメンテナンス方法と比較したところ、軸受隙間の調整が不要となり、狙い通りメンテナンスの省力化が図れることが確認できた。また大・小歯車や軸受の外観調査などについては現行の駆動装置と同様のメンテナンス内容で十分であることを確認した。

ただし、歯車箱への小歯車軸や軸受の組込みに工夫が必要であるなど、作業性においての本開発品特有の課題があることも確認した。これらは治具を用いた組込み作業の容易化や、軸受形状の改良を図ることで解決できることを検証済みである。

## 5. 評価試験結果のフィードバック

現在、4章で述べた各種試験結果を反映してより改良を図ったヤマバ歯車駆動装置を開発している。

具体的には、一体式については歯車・歯車箱共に、より小型・軽量化を図ること、また、分割式では大歯車の締結方法をより一層信頼性のあるものとするなどである。

## 6. おわりに

新幹線車両の高速走行における走行安全性・安定性性能と信頼性の確保を実現すべく、ヤマバ歯車を用いた2種の新たな駆動装置の開発を行い、各種試験を実施することでその特性・耐久性を評価した。

試験の結果から、ヤマバ歯車駆動装置の基本特性（潤滑性能、振動・騒音など）が現行のハスバ歯車駆動装置と同等以上に優れていることが示せ、ヤマバ歯車・円筒ころ軸受の組合せの有効性を示すことができた。

さらに、メンテナンス時の軸受隙間調整の省力化などの効果を確認でき、高速化に伴う装置としての信頼性・耐久性については大幅な向上を実現できることが示せた。

本開発の成果を基に営業走行速度360km/h化に向け、今後も継続してヤマバ歯車駆動装置の開発を進めていく。

### 参考文献

- 1) 堀内雅彦: JR東日本FASTECH360S (E954形式) の概要 (2)、鉄道車両と技術、No.113、pp.32-39、2006。
- 2) 高速車両用輪軸研究委員会編: 鉄道輪軸、p.179、2008。
- 3) 日本機械学会編: 機械工学便覧 応用編 B1機械要素設計・トライボロジー、pp.108-119、1985。
- 4) 田島信一郎: E5系新幹線用台車、鉄道車両と技術、No.157、pp.7-9、2009。
- 5) 日本機械学会編: 機械工学便覧 応用編 B1機械要素設計・トライボロジー、p.108、1985。
- 6) Ken IWANAMI: Development of high-speed Shinkansen bogie which utilized bogie test stand, Railway Bogies and Running Gears (Bogie'13), BUDAPEST, pp.122-124, 2013。