

受賞技術 - 32

# 鉄道用低騒音歯車装置の開発

Development of Low Noise Gear Unit for Railway Vehicles

木村 誠 日本製鉄(株) 関西製造所 鉄道車両部品製造部  
 Makoto Kimura 輪軸設計室 室長

## 1 はじめに

鉄道は他の交通機関に比べてエネルギー効率がが高く、迅速な大量輸送手段であることから、社会的役割への期待は非常に大きく、安全性に加えて環境規制や乗り心地改善に向けた車内外低騒音化が必須である。特に、在来線や民営鉄道は住宅地域に隣接した鉄道網であるため、沿線の居住環境改善に向けた車外騒音低減が必要である。

日本製鉄はこれらのニーズに応える低騒音の鉄道用歯車装置を開発した。

## 2 鉄道車両用歯車装置の特長

鉄道車両は2台の台車によって支えられており、各台車には2対の輪軸(車輪と車軸を合わせた呼称)が組み込まれている。鉄道車両はモータの回転数が歯車装置によって最適な回転数に減速され、これが輪軸に回転力として伝えられるこ

とによって走行する(図1、図2)。

この歯車装置は、車軸に圧入された大歯車と、モータの回転力を伝える小歯車からなる1段減速機である。変速機構を使用せずに、広範囲な駆動トルク域や車両速度域を担う機能部品であり、かつ周囲に遮蔽物がないため、その騒音が車内外に直接伝わるのが大きな特徴である。

## 3 開発の背景

低騒音化の対策は、一般に筐体の板厚を大きくする、あるいは防音材を取り付ける等の構造変更が有効であるが、歯車装置は鉄道用台車の足回り部品であるため、重量や寸法に制約が課せられ、このような対策は容易ではなかった。

従来から歯車装置は多くの騒音発生機構を有することが知られていた。これに対して、当社はまず独自の実体評価試験を継続的に行うことにより、歯車装置を構成する歯車による噛み合い起振力が騒音の主要因であることを明かした。次

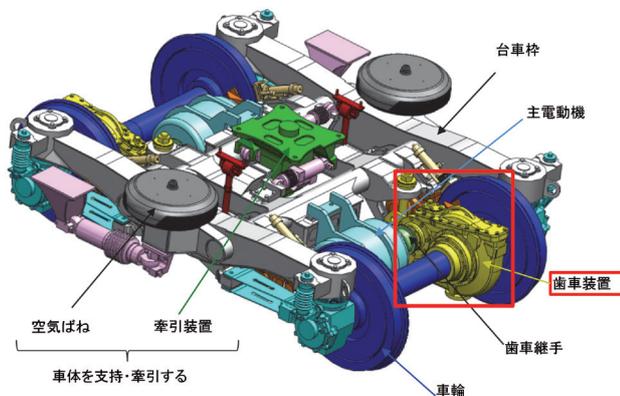


図1 鉄道用台車の構成

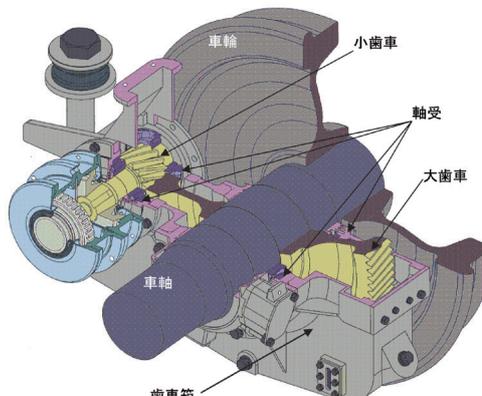


図2 歯車装置の構成

\*第54回(令和元年度)機械振興賞 機械振興協会会長賞受賞

にその噛み合い起振力低減に向けた抜本的対策として歯車の3次元歯面修整に基づく新しい設計手法を考案した。これにより、従来にはない低騒音性能を有する歯車装置を実現した。

## 4 開発内容

### 4.1 騒音発生要因の分析

歯車装置の騒音の測定は、従来から回転試験機（装置の作動状況を確認する装置）または実車走行試験で評価するしかなかった。しかしながら、前者の評価では、実車走行条件で騒音を測定することができず、後者の評価では、歯車装置以外にも多くの騒音の発生源があり外乱も大きいため、歯車装置の騒音のみを分離して評価することができなかった。

そのため、歯車装置単体の騒音を評価することを目的に、世界で初めて（注）鉄道用歯車装置専用の無響室負荷試験機<sup>1)</sup>を導入した。この試験機は40dBの暗騒音環境で、実体の歯車装置に車両走行時のトルクを与え、最高速度500km/hまでの評価試験を行うことができる（図3）。

これにより、継続的に試験を行った結果、種々の騒音要因を見いだした。そのなかで、特に従来の車両では正確に把握できていなかった歯車の噛み合い音が、歯車装置の騒音の大部分を占めることを明らかにした（図4）<sup>2)</sup>。そこで、この歯車噛み合い音の低減対策を最重点課題として対策検討を行った。（注：当社調べ）

### 4.2 噛み合い音の発生機構

歯が噛み合った状態で負荷がかかると、歯が変形して駆動軸と被駆動軸の回転角にずれが生じる。この回転角のずれ量は歯の変形抵抗を表すばね剛性で決定される。歯車が運転中にはこのばね剛性の変動に伴って回転角のずれの大きさが変動し、振動を励起する力、すなわち振動起振力が発生する。

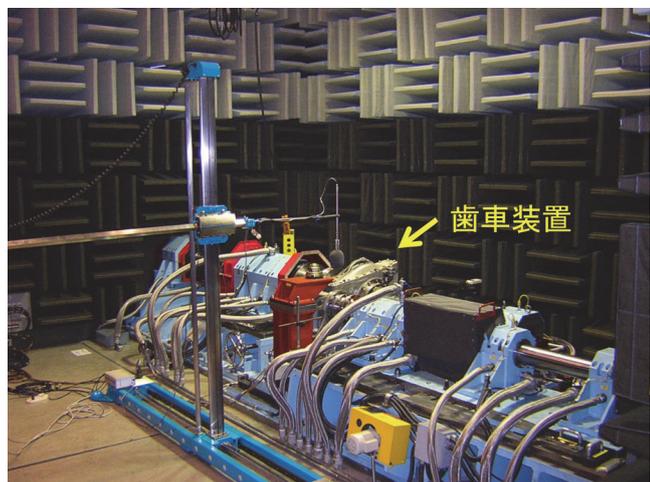


図3 無響室負荷回転試験機

この振動起振力が噛み合い音の主原因である。従って、歯車装置の騒音を低減するためには、この振動起振力を低減することが必要である。

### 4.3 3次元歯面修整に基づく新設計手法の考案

歯車では衝撃的な接触によって生じる歯の損傷や加工誤差に起因する歯先の干渉を避けるために、歯面修整と呼ばれる歯面の微細な調整加工が施される。鉄道分野では、従来から過去の経験に基づいた歯面修整が行われ、必ずしも振動起振力を低減できていなかった。

そこで、歯面の接触シミュレーション技術に基づいた詳細な解析を行い、振動起振力が歯当たり面の接触率や実噛み合い率（歯面修整を考慮して求めた噛み合い率）との相関が高いことを見だし、このような解析を重ねることにより、振動起振力を低減可能な歯面修整の設計手法を考案した（図5、図6）。

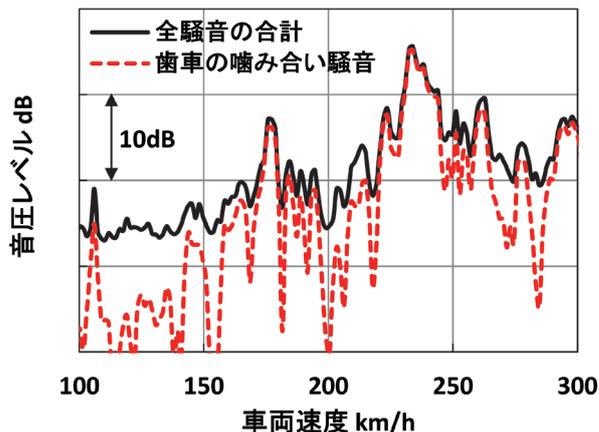


図4 歯車装置の騒音分析結果例

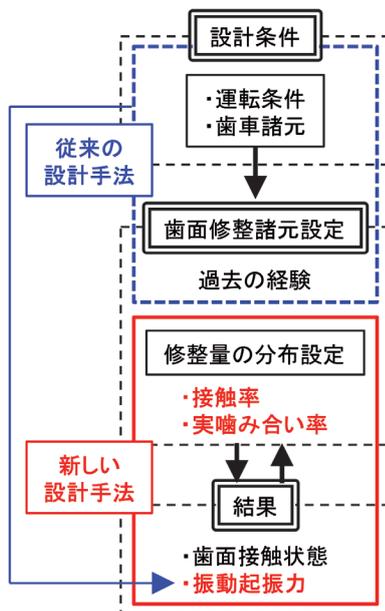


図5 設計フローの比較

項目	従来の手法	新しい手法
修整方法	2次元修整	3次元修整
修整位置	歯幅両端、 歯先、歯元	噛み合い 接触線両端
修整量	多い	少ない

図6 設計手法と修整範囲の比較

従来の歯面修整形状では、歯幅方向の両端部と歯たけ方向の歯先と歯元部の領域で、一様に歯面修整を施していた。さらに、歯端部当たり回避を重視し、歯面修整量を大きく確保しているため、歯車の実噛み合い長さは歯面全体を有効に活用できていなかった。

これに対して、新しい歯面修整形状では、主に噛み合い接触線方向両端部に歯面を修整し、また歯面修整量を小さくしているため、実噛み合い長さを確保でき、歯面全体を有効に活用できる広い歯当たりが得られている。

#### 4.4 製造技術

これまでに述べた3次元歯面修整歯車を実用化するためには、極めて狭い寸法範囲で高精度に修整研削を行うことが要求される。

この課題に対して、歯面と研削砥石の接触線の動きを適切かつ厳密に制御することにより目標精度を達成することが可能となり、量産加工技術を確立した。

## 5 実用上の効果

新しい設計手法により歯面を修整した試作品を開発し、無響室負荷回転試験機によって評価するとともに、従来品と比較した。その結果、広いモータトルク範囲で振動起振力低減効果を確認でき(図7) さらに、最大15dBの大幅な低騒音化を実現できた(図8)。

これにより、電鉄事業者各位へのサンプル出荷を行い、高い評価を頂くことができたため、2013年から量産を開始した。それ以降、従来品の交換用歯車と新造歯車装置の出荷累計を年々伸ばしており、新幹線を含む高速車両や首都圏通勤車両に採用頂くとともに、現在はほぼすべての新設計車両に採用頂いている。

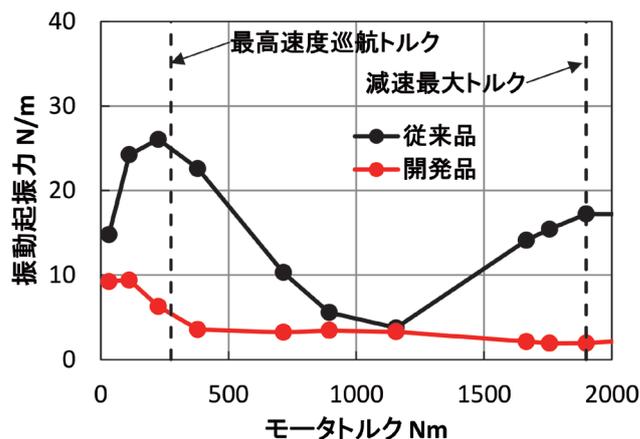


図7 モータトルクと振動起振力の関係

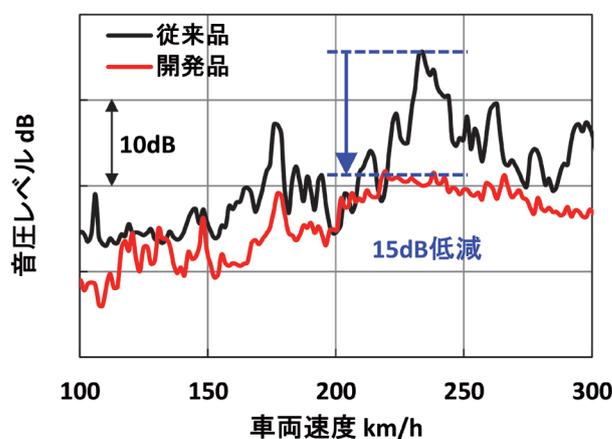


図8 開発品の騒音低減効果

## 6 結言

3次元歯面修整技術によって得られた15dBの低騒音化効果を有する鉄道用歯車装置を実現した。

本開発品は、歯車装置構造を変更することなく、既存歯車を本開発品に交換するだけで車内外の騒音を大幅に低減できるため、例えば防音カバー等の歯車装置以外の車両防音対策をとる必要がなく、また沿線住民への環境改善に向けた遮音壁や吸音壁の設置が不要となり、費用対効果の面でも非常に有用な技術である。今後も、本技術の適用拡大を進めていく。

#### 参考文献

- 1) 乾利一, 南秀樹: 第11回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, 電気学会, (2004), 491.
- 2) 近藤修, 藤本隆裕, 木村誠, 南秀樹: 第22回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, 日本機械学会, (2015), 3703.

(2020年10月27日受付)