

鉄道用低騒音歯車装置の開発

日本製鉄株式会社

代表取締役社長 橋本 英二

日本製鉄(株) 製鋼所 輪軸製造部	木村 誠
日本製鉄(株) 製鋼所 輪軸製造部	近藤 祥一
日本製鉄(株) 製鋼所 輪軸製造部	南 秀樹
日本製鉄(株) 製鋼所 輪軸製造部	高原 孝史
日本製鉄(株) 鉄鋼研究所 交通産機品研究部	近藤 修

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い。この観点から新幹線を中心に速度向上が図られており、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。また、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。

日本製鉄は国内の鉄道用車輪と車軸のほぼ100%を供給する唯一のメーカーであり、鉄道用歯車装置についても国内の60%を超えるシェアを有するリーディングカンパニーである。そのため、これらのニーズや社会的使命に応える低騒音の鉄道用歯車装置を開発した。

開発のねらい

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とした。次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。

装置の概要

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)。

また、台車に取り付けられているモータの軸と、歯車装置の小歯車の軸の間には走行中に相対的な変位が発生するため、この変位を吸収す

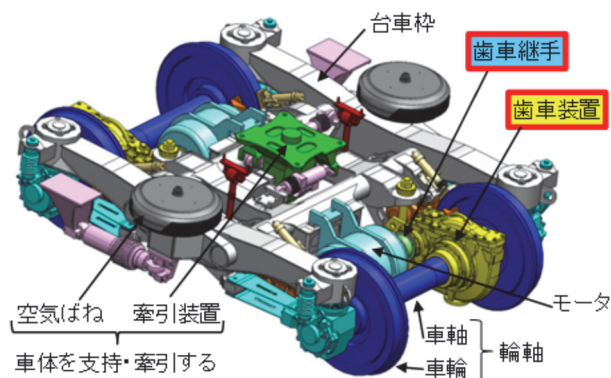


図1 鉄道用台車の構成

るために歯車継手が使用されている（図3）。

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。両歯車ともはすば歯車を採用しており、それぞれの軸受を介して歯車箱で覆われている。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。

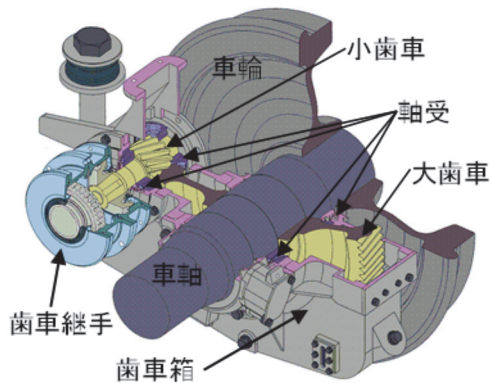


図2 歯車装置の構成

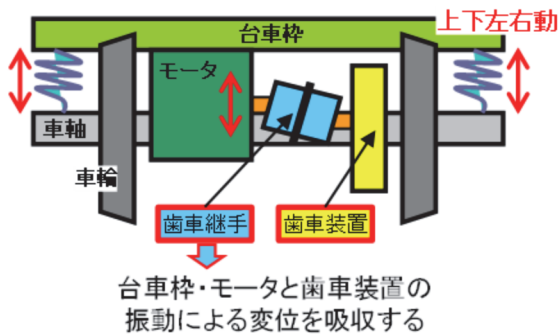


図3 歯車継手の機能

技術上の特徴

<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。そのため、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4）。

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かにした（図5）。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）

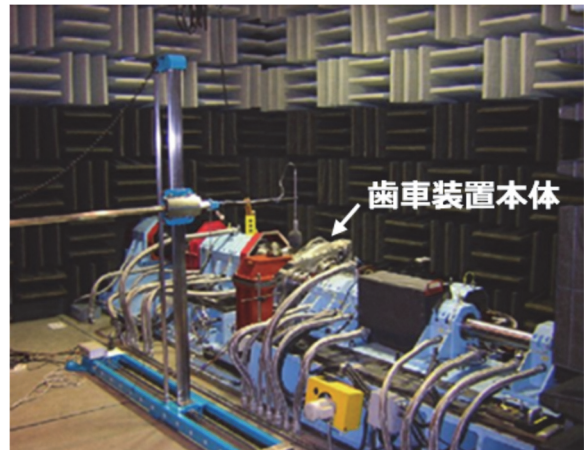


図3 無響室負荷回転試験機

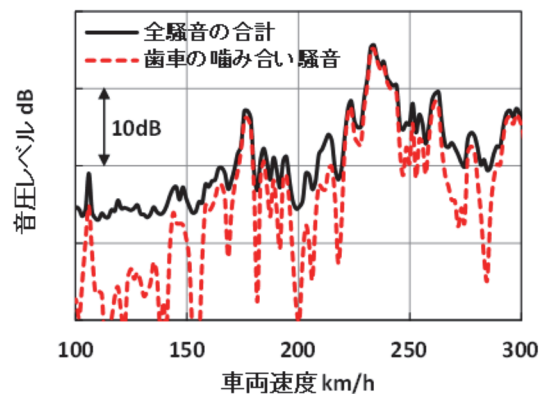


図5 歯車装置の騒音分析結果例

<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。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。

＜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いだした（図6、図7）。

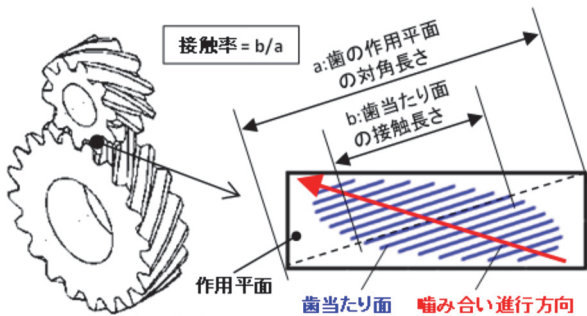


図6 歯車の歯面接触形態と接触率の定義

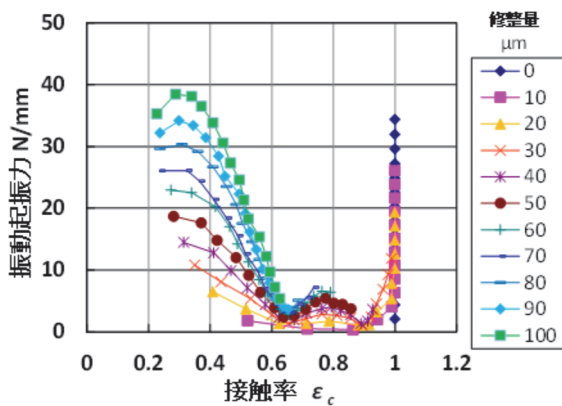


図7 接触率と振動起振力の関係（数値計算）

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8、図9）。

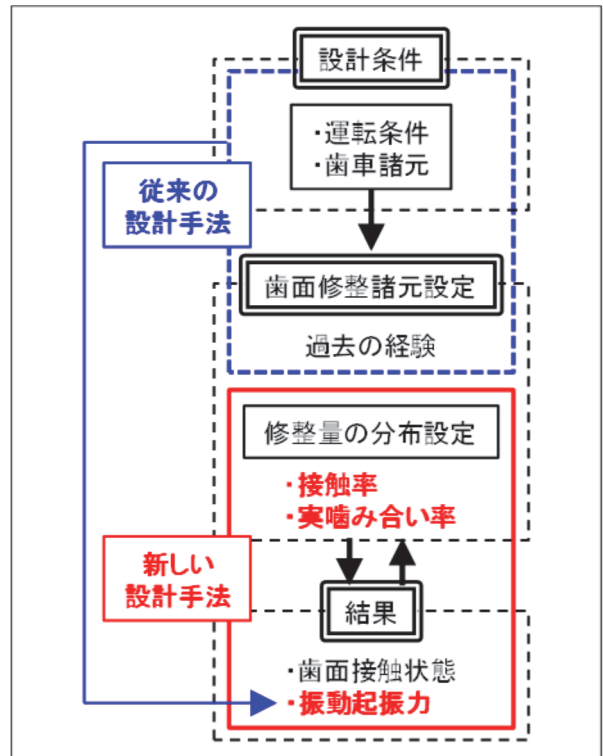


図8 設計フローの比較

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。

＜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。

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

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9 設計手法と修整範囲の比較

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10)さらに、最大15dBの大幅な低騒音化を実現できた(図11)

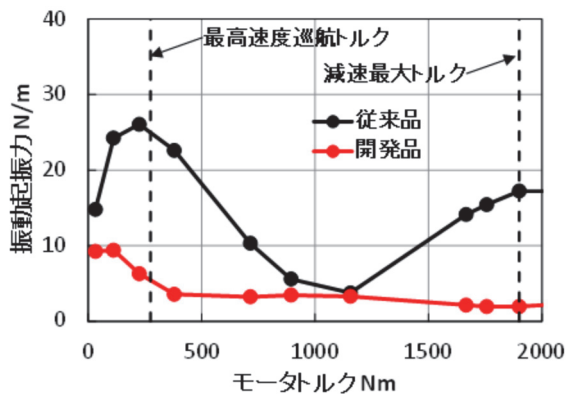


図10 モータトルクと振動起振力の関係

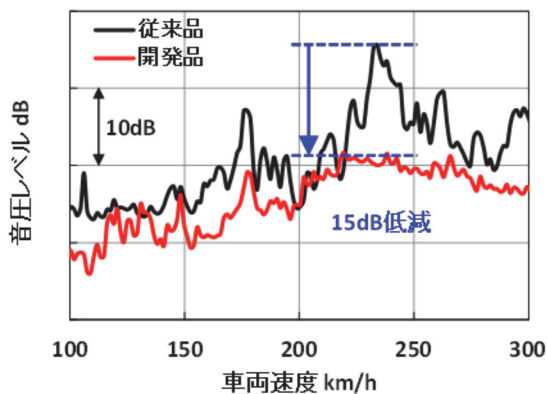


図11 開発品の騒音低減効果

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。

的財産権の状況

本開発品に関する特許登録は下記の通り。

① 日本国特許第 4335076 号

名称：回転試験機

概要：鉄道車両用歯車装置の無響室負荷回転試験機

② 日本国特許第 4952362 号

名称：鉄道車両用歯車装置

概要：3次元歯面修整の具体的な内容
その他8件を登録、または出願中。

むすび

3次元歯面修整技術によって得られた15dBの低騒音化効果に加えて、歯車継手を小径軽量化する等の改善により、トータルで最大20dBの騒音低減効果を有する鉄道用歯車装置を実現した。

従来品の構造を変更することなく、既存品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る。さらに、次世代新幹線の実現や海外への日本新幹線輸出に大きく貢献ができるものである。

鉄道は身近で便利な移動手段であるため、安心安全に加えて、より一層の環境に優しい姿が求められている。我々日本製鉄は国内の鉄道部品製造に係わるリーディングカンパニーとして、今後も弛まぬ技術革新に貢献していきたい。