

車輪一体形主電動機

近藤 稔(車両制御技術研究部 動力システム)

車輪一体形主電動機とは？

車輪一体形主電動機とは、文字通り車輪と一体に構成された主電動機です(電車はモータで走りますが、そのモータを主電動機と呼びます)。普通の電車では歯車を介して主電動機の動力が車軸に伝えられ、車輪が回るしくみになっていますが、車輪一体形主電動機ではモータの力がそのまま車輪に伝えられるため歯がありません。そのため、歯車の騒音やエネルギー損失が無く、歯車のメンテナンスも不要です。また、車軸を省略することも可能なので超低床車両も実現できますし、線路に合わせて車輪の間隔を変えて新幹線と在来線を直通運転する軌間可変電車にも適しています。

一方、普通の電車で歯車が使われる理由は、モータを小形化するためです。歯車を使うと、力を大きくすることができるため、モータが出す力は小さくて済み、モータを小さくできます。逆に歯車無しの場合にはモータが大きな力

を出す必要があります。また、車輪はレールの継ぎ目等で大きな衝撃を受けます。普通の電車では主電動機にこの衝撃が直接伝わることはありませんが、車輪一体形主電動機は車輪と一体なので、この衝撃に耐えなければなりません。昔はこのような要求に応えることができる技術がありませんでした。

しかし、1980年代にインバータ電車が実用化され、鉄道車両用にそれまで用いられていた直流電動機に代わり誘導電動機が用いられるようになり、主電動機が大幅に小形大出力で堅牢にできるようになりました。また、1982年に発明された強力な耐久性の高いネオジム(Nd-Fe-B)磁石の登場により、大出力の永久磁石同期電動機が実現可能になりました。この永久磁石同期電動機は誘導電動機よりもさらに小形大出力化が可能な電動機です。また、永久磁石同期電動機の回転側は鉄に磁石を取り付けただけのシンプルな構造であり、頑丈な構造にすることが可能です。このような新技術の登場により、車輪一体形主電動機の実現も夢では無くなってきました。

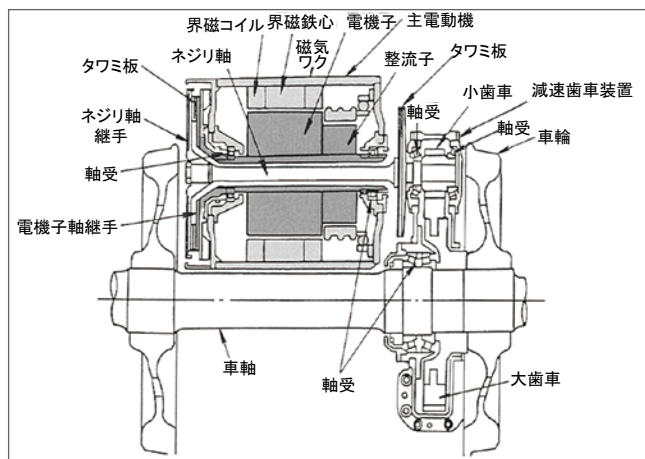


図1 従来の電車における駆動システムの構成例

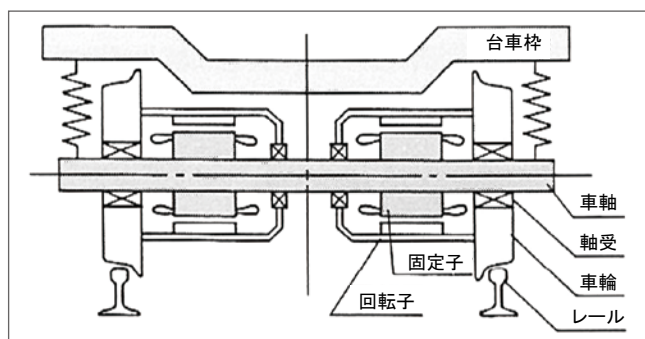


図2 車輪一体形主電動機の構成例
(アウターロータ・独立車輪方式)

鉄道総研における車輪一体形主電動機開発のはじまり

このような時代背景の中で、1986年に発足した鉄道総研が最初に行った本格的な主電動機開発が、在来線用高速電車の開発の一環として実施した車輪一体形主電動機の開発でした。この開発では、各輪独立車輪駆動方式が提案され、これに対応する駆動方式として主電動機を車輪に直結した車輪一体形主電動機が提案されました。そして、1991年頃からは行われた車輪一体形主電動機の試作検討では、十分な小形軽量化を達成するために永久磁石同期電動機が採用されました。また、小形軽量化に有利との判断から、モータの外側が回転側となるアウターロータ方式が採用されました。

ネオジム磁石を用いた永久磁石同期電動機は、今ではハイブリッド自動車や省エネエアコンで幅広く用いられている有名な技術ですが、当時は電気自動車用等で研究開発が進められている段階で、高速電車用の大出力モータの開発例はありませんでした。

この開発は現在の技術から見ても難易度の高いものであり、当時の技術レベルを考えると果敢な挑戦だったといえると思います。実際、最初の試作機は回し始めるとすぐに

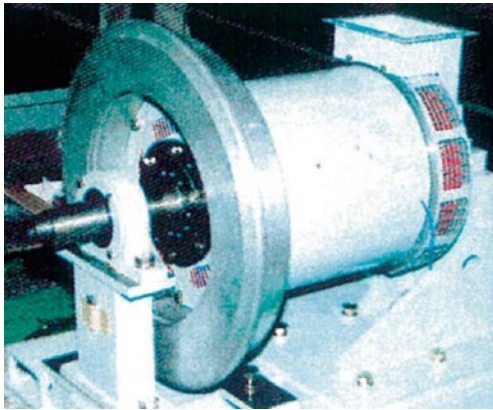


図3 はじめて試作された車輪一体形主電動機

磁石が過熱してしまい、実用に耐え得るものではありませんでした。その原因は磁石内部の渦電流による発熱で、固定側の鉄と回転側の磁石との相対運動によって、回転に伴い磁石内部の磁場が脈動することによって発生する現象でした。この現象は現在では良く知られた現象ですが、当時は、磁場の脈動に関する知見が十分に無く、全く予期しないトラブルでした。

このように、初挑戦の結果は散々なものでしたが、その後も粘り強く開発が継続され、磁石発熱問題の解決法も考案され、試作試験を繰り返し、車輪一体形主電動機はどんどん洗練されたものになっていきました。

軌間可変電車用主電動機の開発

車輪一体形主電動機の開発は、その後、軌間可変電車用主電動機の開発へと発展していきました。軌間可変電車の開発はレールの間隔が異なる新幹線と在来線の直通運転を、車輪の間隔を変更可能な軌間可変電車により実現しようとするものです。軌間可変電車を実現するためには様々な機構が考えられますが、独立車輪各輪駆動で車輪一体形主電動機を用いる方式が最もシンプルに構成できそうだとすることで、第1次試験電車はこの方式を基本として試作されました。

第1次試験電車は1999年から2001年にかけて、アメリカ・コロラド州にある実験線で試験されました。試験では基本的な性能試験に加え、新幹線相当の速度（最高速度250km/h）での約60万kmの耐久走行試験も行われました。この実験線は夏には灼熱の砂漠で冬には雪も降るといった過酷な環境でした。また、大阪環状線ほどの大きさのループ状の線路を新幹線の速度で走行するため、大きな加減速も行う必要があり、様々な点で主電動機にとって厳しい条件の耐久試験でした。車輪一体形主電動機はこの高速走行す

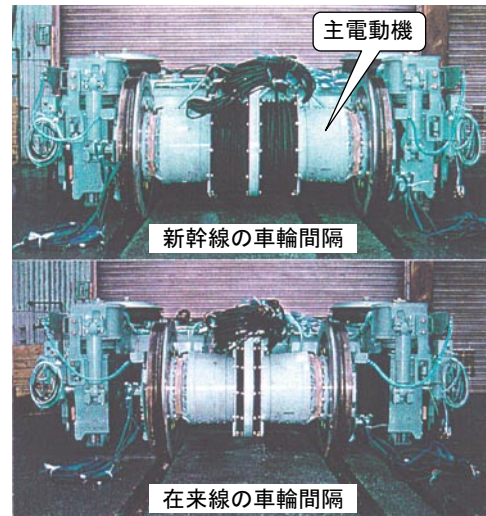


図4 軌間可変電車の台車に取り付けられた車輪一体形主電動機

る試験電車の車輪に取り付けられ、激しい衝撃を受けながら、厳しい気候条件の中、約60万kmの耐久走行を耐えぬきました。耐久走行試験中には厳しい環境に耐えられず不具合を生じる部品もあった中で、最もトラブルが懸念されていた車輪一体形主電動機は本体の故障が一切無いままに耐久走行を終えました。これにより、永久磁石同期電動機を用いた車輪一体形主電動機が非常に高い耐久性を持つことが実証されました。

車輪一体形主電動機関連技術の発展

一方、軌間可変電車のような特殊な用途以外でも、歯車が無いことによる省保守性や騒音の小ささが注目されるようになり、通勤電車用の直接駆動式主電動機の開発も行われました。この直接駆動式主電動機の開発では、アウターロータで車輪に直接動力を伝える方式の他に、中空のインナーロータで車軸に動力を伝える方式も開発され、最終的には、そのインナーロータ方式がJR東日本のE331系で実用化されています。

また、海外でも様々な直接駆動式や車輪一体形の主電動機開発が行われ、営業車両で使用されています。

今後も主電動機技術は発展を続けていくと考えられますが、その源流の一つには車輪一体形主電動機の開発があります。当時を顧みると、先人たちの果敢な挑戦に改めて尊敬の念を覚えます。

文献

- 1) 松岡他：鉄道車両駆動用車輪一体形主電動機の開発，電気学会論文誌D，121巻，11号，pp.1176-1184，2001