

車両駆動用永久磁石同期電動機の開発

車両制御技術研究部 動力システム
副主任研究員 近藤 稔

1. はじめに

鉄道車両の駆動用電動機としては誘導電動機が現在主に用いられているが、これよりもさらに効率の高い永久磁石同期電動機が近年自動車用等で用いられており、発展が目覚ましい。永久磁石同期電動機は鉄道車両駆動用としても優れた特長があり、鉄道総研ではこれまでに永久磁石同期電動機を用いた在来線用全閉形主電動機などの開発を行ってきた。

本発表ではこれらの永久磁石同期電動機に関する研究開発について紹介する。

2. 鉄道車両用主電動機への永久磁石同期電動機の適用

1980年代にインバータを用いた鉄道車両駆動システムが広く実用化され、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った。一方、インバータの実用化により、同じ交流電動機である永久磁石同期電動機も、鉄道車両駆動に適用できる可能性が出てきた。しかし、比較的大出力の鉄道用でも永久磁石同期電動機を用いることができるようになるには、永久磁石材料の進歩が必要不可欠であった。1982年に発明されたNd-Fe-B(ネオジム-鉄-ボロン)磁石は、高い磁束密度と耐熱性を有しており、これにより鉄道用でも永久磁石同期電動機が可能となった。これまでに鉄道総研で試作した永久磁石同期主電動機でもこのNd-Fe-B磁石が使用されている。

永久磁石同期電動機は誘導電動機のように回転子で電流が流れて発熱することが無いため、冷却負担が小さく小形大出力に有利である。そのため、小形軽量化が強く要求される車輪一体形主電動機の開発等でその適用が検討されてきた。一方、その冷却負担の小ささを利用して主電動機を全閉構造とすることで様々なメリットを得ることもできる。以下では鉄道総研で行った全閉形永久磁石同期電動機の開発について紹介する。

3. 全閉形永久磁石同期電動機の開発概要

主電動機は小形軽量化のために通常は通風冷却方式を採用しているが、通風に伴い大きな騒音が発生したり、分解清掃が必要となるといった問題がある。そこで、通風冷却に代えて全閉構造を採用し、冷却負担の小さい永久磁石同期電動機を用いることで、主電動機の出力を低下させずに、上記のような騒音問題や保守の問題を解決することができる。また、高効率な永久磁石同期電動機を用いることで消費電力の低減も期待できる。

鉄道総研ではこのような考え方にに基づき全閉形永久磁石同期電動機の開発を行い、従来の自己通風式誘導電動機と同等の寸法質量で同等の出力を得ることができる全閉形主電動

機を開発した(図1)。今回開発した主電動機は次世代在来線電車向けに1時間定格出力270kW(通常は200kW程度)の大出力を実現しており、同等の性能を有する自己通風式誘導電動機に比べて省エネ・省保守・低騒音なものとなっている。



図1 全閉形永久磁石同期電動機

4. 全閉形永久磁石同期電動機の冷却構造

本全閉形永久磁石同期電動機では、大出力を実現するために、永久磁石同期電動機の採用以外にも冷却構造を工夫するなどの方策を用いている。まず、全閉形主電動機では、電動機全体が均一に温度上昇する傾向があるため、比較的溫度上昇限度が小さい軸受部の冷却が重要となる。そこで図2に示すような冷却構造を考案し、軸受周りに冷却空間を設けるとともに、小さなファンでそこに外気を導入する構造としている。また、限られた寸法制約内で電動機を構成できるように、新幹線等で用いられているフレームレス構造を採用し、さらに、センサレス制御を前提として回転角センサを省略している。

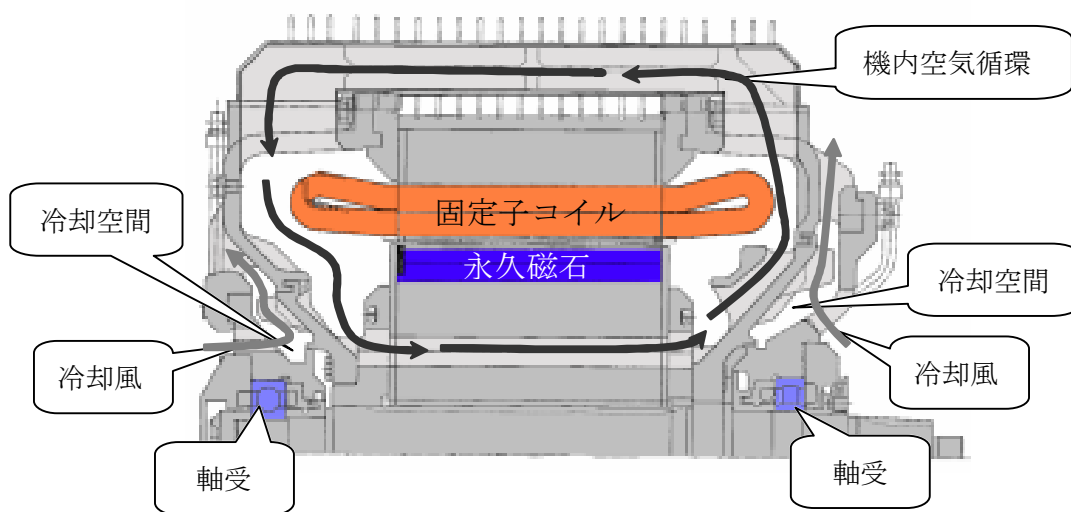


図2 大出力を実現するための冷却構造

5. 永久磁石同期電動機の課題と対策

次に、本全閉形永久磁石同期電動機も含めた永久磁石同期電動機を鉄道車両駆動に適用する上での課題と対策について紹介する。

永久磁石同期電動機では、惰行時にも磁石の磁束により誘起電圧が発生する。この誘起電圧が過大であると、不要な電力回生や機器の破壊が起きるおそれがあり、これを抑制する必要がある。しかし、そのために磁石による磁束を減らすと、必要トルクを得るのに必

要な電流が増大するという問題がある。

この問題の対策としては、リラクタンストルクを利用することで、磁石による磁束を減らしながら電流の増大を防ぐ方法がある。リラクタンストルクは固定子がつくる回転磁界に回転子の鉄心がひきよせられて発生するトルクであり、回転子の鉄心形状を工夫して磁気的な突起（突極性と呼ばれる）が大きい形状とすることで、大きなリラクタンストルクを得ることができる。鉄道総研では回転子の最適形状について研究をすすめ、その成果を反映した回転子形状（図3）を用いることにより、前述の全閉形永久磁石同期電動機においても、必要電流を実用的なレベルまで低減している。

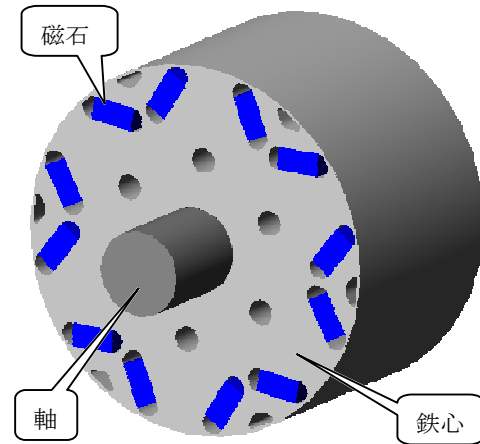


図3 回転子形状

これ以外の永久磁石同期電動機の課題としては、磁石の吸引力に起因する鉄粉付着や保守時の扱いについての懸念事項もあるが、これまでに実施した多くの走行試験等により、それらは実用上大きな問題とならないことが確認されている。

また、永久磁石同期電動機は同期電動機であるため、一電動機あたり一台のインバータを必要とする。これに対し、誘導電動機では大容量のインバータ一台で複数台の電動機を駆動することが可能であり、駆動システム全体では誘導電動機の方が初期コストを安くできる。しかし、省エネによる電力コスト削減効果や保守コスト削減効果を考えれば、全閉形永久磁石同期電動機の方がトータルでは低コストとなる可能性が高い。それを確認するには、これらのメリットを定量的に評価することが重要であり、以下では省エネ効果等について行った定量的評価結果の例を示す。

6. 全閉形永久磁石同期電動機による省エネ・省保守・低騒音化

以上のようにして必要な目標出力と実用的な電気的特性を実現した上で、省エネ・省保守・低騒音化の効果について評価を行った。

まず、省エネ効果については、定置でフライホイール負荷を用いて通勤電車を想定したパターンで運転し、その際の消費電

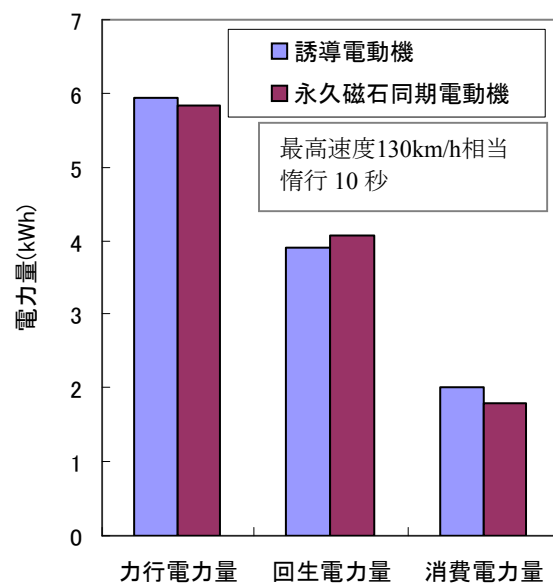


図4 消費電力量測定結果

力を実測した。その結果、従来の誘導電動機に対して約1割消費電力が小さくなるという結果を得た(図4)。

さらに、走行シミュレーションと実測に基づく主電動機特性を用いて実際の電車の走行パターンを想定して、消費電力量の計算を行ったところ、同じく約1割の消費電力量削減効果があることが確認できた(図5)。

次に、省保守化効果について保守費の試算により、省保守化効果の評価を試みた。その結果、現在の誘導電動機の保守では、分解組立作業に伴う作業量が多いことが分かった。よって、全閉化と軸受潤滑の長寿命化を図り分解周期を延伸することができれば保守費を半減できるという結果を得た。

最後に、騒音については定置単体で測定を行った結果、図6のような結果が得られ、全速度域にわたり低騒音化が実現されていることを確認した。特に、騒音が大きい高速回転時と比較すると7dB程度の騒音低減効果があることが分かった。

7. おわりに

省エネ・省保守・低騒音を達成する全閉形永久磁石同期電動機の開発について紹介し、これにより得られるメリットを示した。

また、その一方で、永久磁石同期電動機特有の技術課題とその対策等についても述べた。

永久磁石同期電動機は鉄道車両駆動用としても優れた特長を有しており、今後、利用が広まって行くものと考えられる。

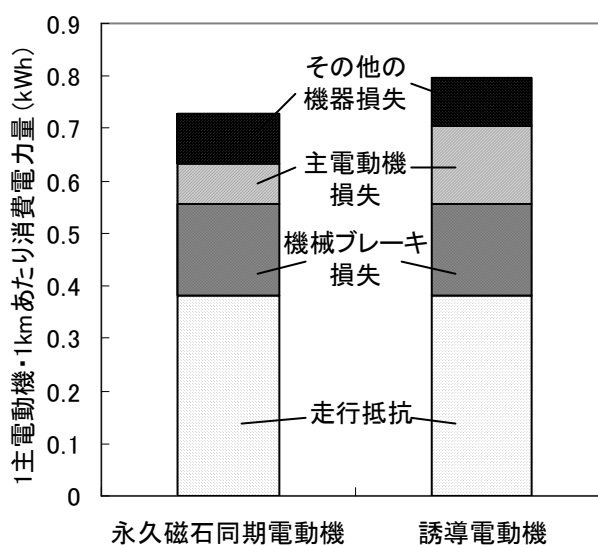


図5 消費電力量の比較

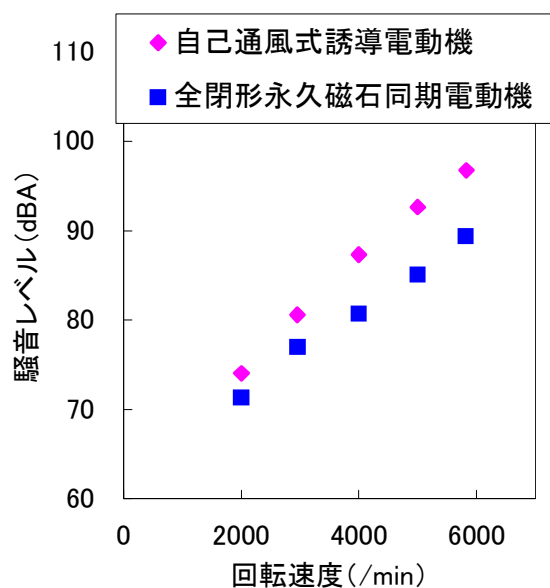


図6 騒音測定結果の比較