

トラックやバスの安全走行に貢献する
軽量コンパクトな補助ブレーキ

永久磁石式リターダ



「リターダ」という言葉をご存知でしょうか？ トラックやバスが長い下り坂などで減速するとき、リターダと呼ばれる補助ブレーキが活躍しています。新日鉄住金は1990年に世界で初めて「永久磁石式リターダ」を開発し、現在では大型観光バスや中大型トラックにおいて、他方式を含むリターダの国内シェアで80%超を誇っています。新日鉄住金の永久磁石式リターダは、絶え間ない技術革新でモデルチェンジを重ねて(図1)性能に磨きをかけ、トラックやバスの安全走行に貢献しています。

さまざまなメリットを生む 第4のブレーキ

トラックやバスが長い下り坂を走るとき、ドライバーは減速するため、アクセルペダルから足を離します。するとエンジンに燃料が供給されなくなり、エンジンの回転抵抗が大きくなることで止まろうとする力が働きます。これをエンジンブレーキといいます。トラックやバスは乗用車に比べて車体が重いうえ、貨物を満載したり定員まで乗客を乗せると、車両重量がさらに増えます。そのため下り坂では予想以上にスピードが出過ぎて、エンジンブレーキだけでは十分に減速できません。そこでタイヤの回転を直接止めることで減速させるフットブレーキや、エンジンの排気を遮断して減速させる排気ブレーキが併用されています。

永久磁石式リターダの開発を開始した当時は、過積載や速度超過などの要因も加わり、急勾配の長い下り坂では、エンジンブレーキや排気ブレーキを併用してもブレーキ力が不足するケースがありました。そうした場合、フットブレーキを多用すると、ブレーキの効きが低下する現象につながり、重大な事故を引き起こすことが社会問題化し

ていました。こうした背景からエンジンブレーキやフットブレーキ、排気ブレーキをサポートする第4のブレーキとして、リターダが開発されました。

新日鉄住金の永久磁石式リターダは、操作方法が簡単で、排気ブレーキとリターダを制御する補助ブレーキ用レバーを操作し、アクセルペダルから足を離すと作動します。そのブレーキ力によって、長い下り坂を安心して運転できるようになります。またソフトにブレーキが効くため、荷崩れや不快な揺れの心配がないことに加え、フットブレーキの使用頻度は大幅に減り、ドライバーの疲労軽減に大きく役立っています。さらにはフットブレーキ用パッドの摩耗量が減って寿命が延び、ランニングコストが低減されるとともに、摩耗粉の飛散量が減り環境負荷の低減にも貢献しています。

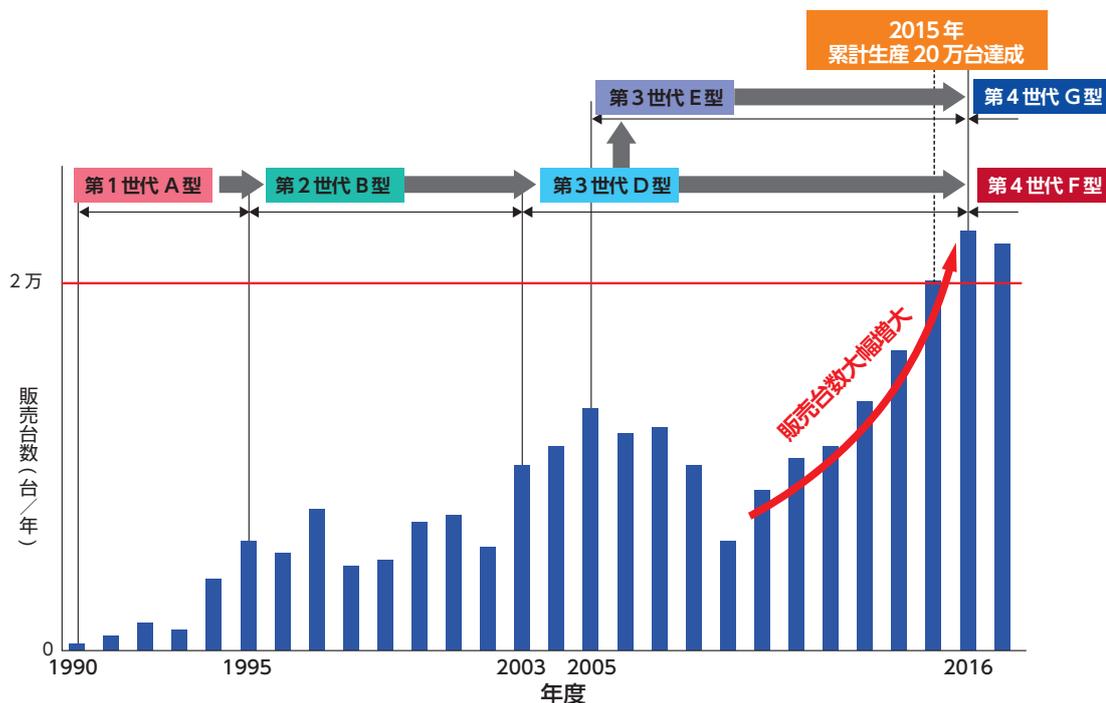


図1 改善を積み重ねた永久磁石式リターダの技術革新の歩み

1990年	第1世代A型	世界初の永久磁石式リターダ実用化 磁石を軸方向にスライドしてオン・オフを切り替える磁気回路の実現
1995年	第2世代B型	ロータ専用耐熱鋼の開発、磁石複列旋回磁気回路によるコンパクト化
2003年	第3世代D型	省部品点数の装置構造の実現(磁石単列旋回型)
2005年	第3世代E型	ロータ用複層銅めっき技術の開発
2016年	第4世代F型・G型	多極化による磁気回路の最適化、磁石新固定技術の開発

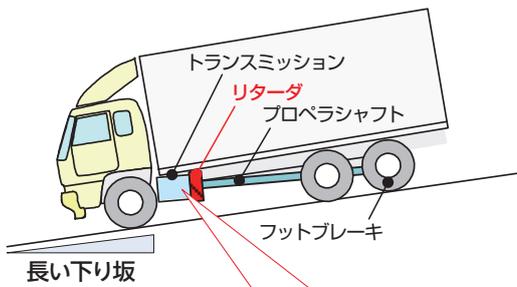


図3 車両搭載位置

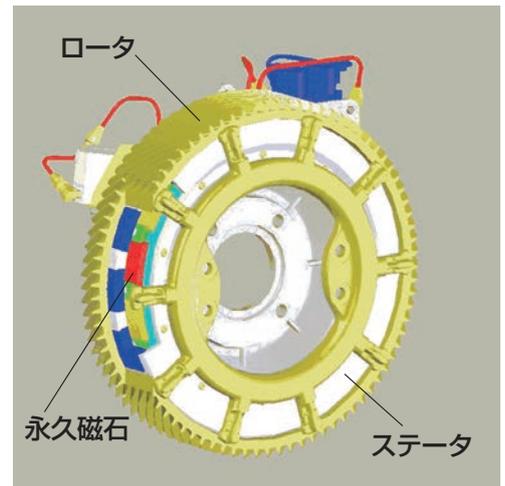
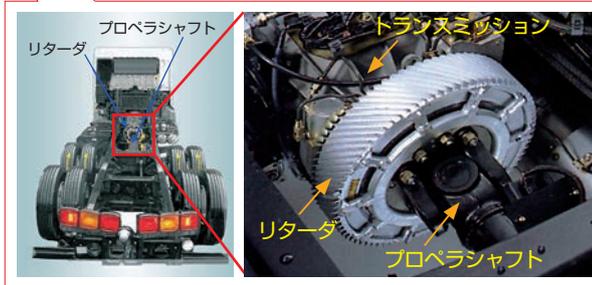


図2 永久磁石式リターダの構造

鉄鋼メーカーとしての
豊富な材料知見を活かす



世界初の永久磁石式
リターダを実用化

永久磁石式リターダはロータとステータという2つの部品で構成され、ステータはトランスミッションの後部に取り付けられています(図2・3)。永久磁石の磁力をプロペラシャフトと一緒に回る鋼製ロータへ非接触で作用させ、プロペラシャフトの回転を遅らせることでブレーキ力を得ています。ここで回転しているロータに磁力を作用させると、ロータには渦電流が発生します。さらにこの渦電流と磁力の相互作用で回転方向と逆方向の力(ローレンツ力)が生じ、この力がブレーキ力となります。このため、永久磁石式リターダは渦電流式減速装置と呼ばれることもあります。

リターダとしては永久磁石式に先立ち、1980年代に欧州で重量2000〜3000キロといった重くて大きな流体式や電磁石式が実用化されていました。流体式はオイルなどの流体の粘性抵抗を用いるため、流体を冷却するラジエータや配管などを新たに追加しなければなりません。また電磁石式は強力な磁気を発生させるため、複数の大型のコイルを配し、それらに大電流を流すもので、日本では重量やコストの増加を理由に導入が進みませんでした。こうした状況のなか、新日鉄住金はクランクシャフトやアルミホイールで取引のあるトラックメーカーからの、軽量でコンパクトなリターダを搭載したいというニーズに応えるため、リターダの研究開発に乗り出しました。

「当初、電磁石の代わりにアルニコ磁石などを使って試作しましたが、狙いどおりにできませんでした。そのとき当時グループ会社だった旧住友特殊金属が永久磁石のなかで最も磁気特性の優れたネオジム系磁石を開発しました。この強力な永久磁石に着目しました。重量はわずか40キロ。重くて大きいというリターダのイメージを覆した永久磁石式リターダ(第1世代A型)を90年に実用化しました。その後、車両総重量の規制緩和やエンジンの小型化によってブレーキ力が不足傾向となったことで、さらに高いブレーキ力が必要とのトラックメーカーの要請に応えるべく試作評価を行いました。その過程でロータ材の熱疲労き裂という課題に直面しました(齋藤晃 上席主幹)。



新日鉄住金
技術開発本部
宮原 光雄 フェロー



新日鉄住金 交通産機品事業部
製鋼所 総務部
齋藤 晃 上席主幹

「鋼に合金元素を多く添加すれば、耐熱性に優れ高温での使用に耐えるロータ材はつくれるものの、電気抵抗が高くなり、ロータに生じる渦電流が減少することでブレーキ力は低下します。私たちはこの制動の切り替えによって急激に温度が600℃を超える温度まで上がったたり下がったりする過酷な使用環境にさらされるため、ロータに熱疲労き裂が生じていました。当時、材料強度の研究に取り組んでいた宮原光雄フェローは、齋藤晃上席主幹から相談を受けたとき、「そんな過酷な使用環境に耐える夢のような材料があるわけじゃないじゃないか!」と思わず頭を抱えました。

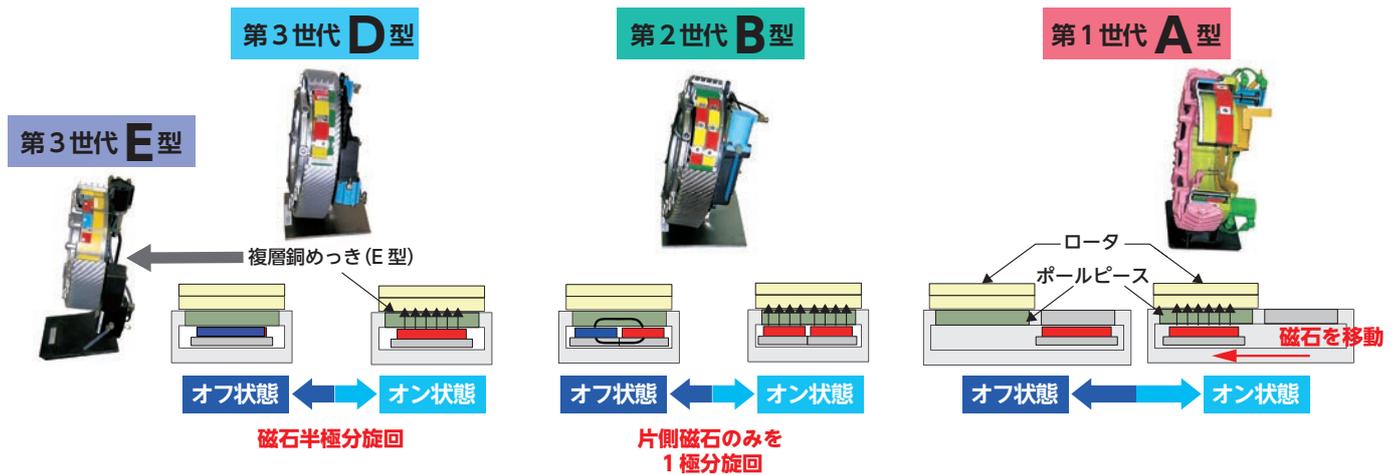


図4 A型～E型への進化の変遷

磁気回路のシンプルな構造を実現

第1世代A型は、ブレーキをかけたときの磁石をドラム状のロータに近接させ、ブレーキを解除したいオフのときには磁石を移動させてロータから遠ざけるような構造です(図4)。そのため

第3世代 D型

省部品点数の装置構造

技術課題を乗り越えなければなりません。当社には鉄鋼メーカーならではの豊富な知見があります。その強みを活かして、合金元素の添加量を最小限に抑え、従来材よりも電気抵抗を低減してブレーキ力を高めつつ、高温強度や熱疲労強度を向上したロータ専用耐熱鋼の開発に成功しました(宮原光雄フェロー)

この専用耐熱鋼を用いたロータは、第1世代A型の問題点であった省スペース化を実現した第2世代B型に採用され実用化されました。ところが新日鉄住金の研究開発チームは、その成果にとどまらず、さらなるモデルチェンジへの挑戦を続けました。

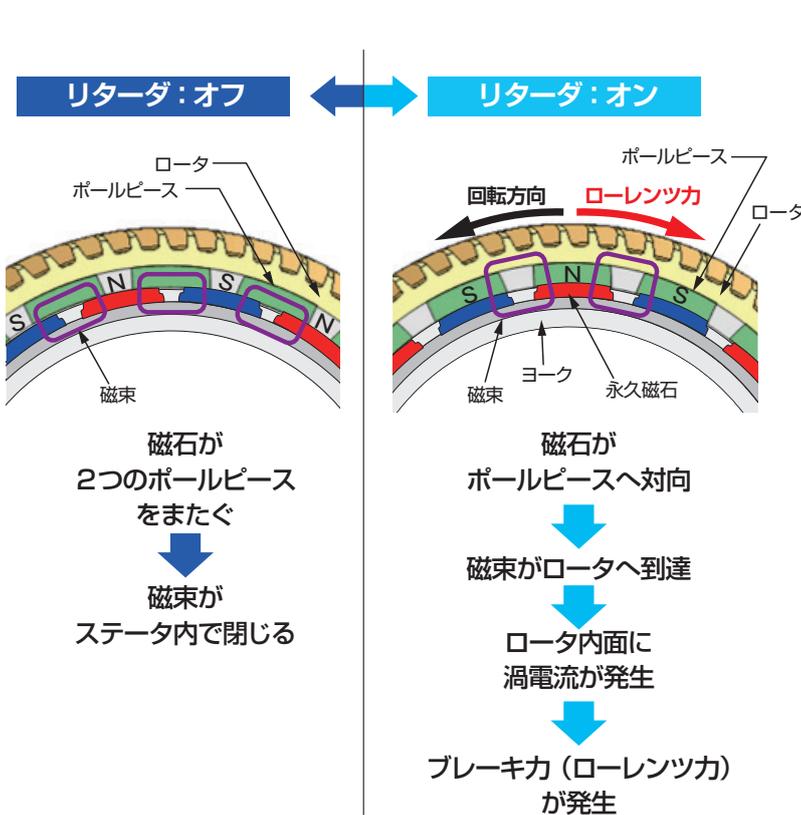
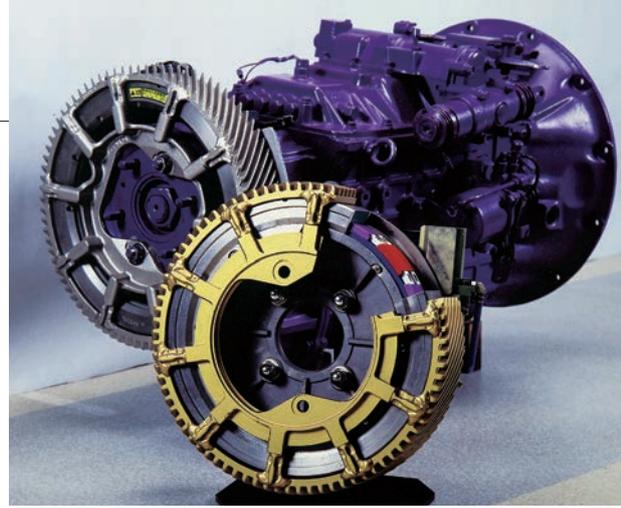


図5 永久磁石式リターダの作動メカニズム

磁石の移動に合わせて大きなスペースが必要でした。A型のスペース問題を解消するため、第2世代B型では磁石を配置した2列のリングを常時ロータに近接させ、その片側のみを磁石1極分だけ回転させてオン・オフを切り替える構造としました。しかし部品点数が多いなどの課題が残りました。

そこで、省スペースでありながら、シンプルな構造の磁気回路の開発に着手しました。磁石を配置したリングを1列のみとし、オフのときは全ての磁石がポールピースをまたぐ位置にあり、オンのときは全ての磁石がポールピースの真下に位置するように磁石半極分だけ回転させてオン・オフを切り替えます(図5)。オフのときは磁気はポールピースの中だけを通り抜けロータに磁力が働きません。一方、オンのときは磁気がポールピースを突き抜け、ロータを通して磁気回路が構成されるため、ロータ内面に渦電流が発生し、ブレーキ力が発生します。この構造の最大の問題点はオフ時の磁気漏れの抑制でしたが、最先端の解析技術を駆使してこの問題を解決し、シンプルな構造を第3世代D型で実現したのです。



新日鉄住金 交通産機品事業部
製鋼所 産機品製造部 産機品技術室
今西 憲治 室長

「第3世代D型では、3次元の大規模な電磁場解析モデルを用いたシミュレーションを行い、磁石の形状や配列、ポールピース周辺の寸法を最適化することで、磁石単列旋回型と呼ぶシンプルな構造を実現しました。さらにD型の磁気回路を使って、ロータ内側に複層銅めっきを施してE型を完成させ、装置を大きくすることなく、ブレーキ性能を1・4倍に向上させました」(今西憲治室長)

挫けることなくトライし続けた 地道な努力の結晶



複層銅めっき 技術の開発



新日鉄住金 技術開発本部
鉄鋼研究所 材料信頼性研究部
野口 泰隆 主幹研究員

第2世代B型(95年)から第3世代D型(2003年・E型(05年)へと進化を遂げましたが、ここでC型はないのだろっかという疑問が湧きます。実は当初、B型のロータに銅めっきを施したC型を開発していました。ところが銅めっき技術の確立は難航を極め、C型の実用化前に第3世代のD型の実用化にこぎつけたため、C型ではなくE型として結実したのです(図6)。

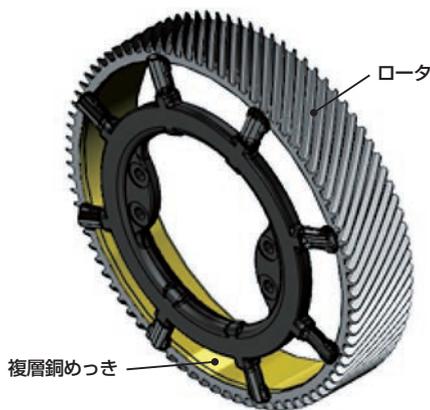


図6 複層銅めっきを施した
永久磁石式リターダのロータ

それでは、なぜ銅めっきにこだわったのでしょうか。銅は電気抵抗がロータで使用する耐熱鋼に比べ非常に低いため、同じ磁力でもたくさん的高温電流が流れ、ブレーキ力が高まるからです。ところがブレーキをかけるが発熱して600℃を超え、その高温に銅めっきは耐えられなかったのです。

「初めは目標の寿命に対して、10〜20%のサイクル数で銅めっきが剥がれてしまう状態でした。どかが剥がれているのか、どご剥がれているのか、どご剥がれているのか、なぜ剥がれるのか、それを観察して評価するため、試験片を山のようにつくりました。表面処理の研究者と一緒に実験室でいろいろな条件で試験を繰り返して、良いめっき条件を選定しては実体試験を行いました。いくつも改善を重ねた結果、徐々に寿命は延びていき、時間はかかりましたが、ようやく目標とする耐久性を持つ独自の耐熱銅めっきを完成することができました」(野口泰隆主幹研究員)

「機械装置の開発には多くの要素技術が必要とします。各担当者はプレッシャーが大きかったと思います。D型の難課題であったブレーキ・オフのときの磁気漏れの抑制もロータの銅めっき技術も、本当にソリューションがあるのかわからない状態から研究開発を始めています。各世代の新機種は、常識ではできるわけがないと思われた高い目標に対して、何度失敗しても挫けることなくトライを続けた技術者たちの地道な努力の結晶です。自分のパートを完成させれば、残りのメンバーが必ず全体として完成させてくれるという信頼関係の下で研究開発が進み、強い連帯感や責任感が醸成されていきました」(宮原光雄フェロー)



多極化による 磁気回路の最適化

脈々と受け継がれる リターダ魂

新日鉄住金の永久磁石式リターダは15年に累計生産20万台を突破しましたが、技術革新の歩みは絶え間なく続いていました。16年には第4世代F型・G型

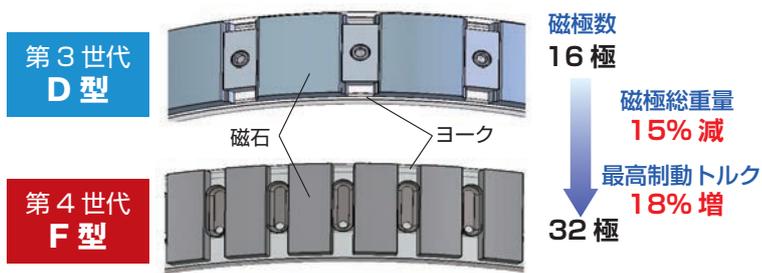


図7 磁気回路の最適化



新日鉄住金 交通産機品事業部
製鋼所 産機品製造部 産機品工場
山口 博行 工場長

の量産を開始しました。
「今回のミッションは磁石の使用量を減らして軽量化とコスト低減を実現することでした。電磁場解析を駆使して、磁極数を16極から32極に変更し磁気回路を最適化(図7)することで、第3世代D型と比較し磁石量15%減と最高制動トルク18%増に成功しました。しかし磁気回路ができたものの、量産化の製造技術の確立が必要でした」(今西憲治 室長)

磁極数が増えたため、磁石をリングに固定する大きな課題とな

りました。これまではボルトで締結した金具を押し当てて磁石を固定していましたが、磁極数が多くなると磁石間隔が狭くなり、量産化のための新しい磁石固定技術が求められました。
「磁石を固定するために接着剤とスポット溶接を採用しました。なかでもスポット溶接は常識を覆す試みでした。同程度の厚さの鋼板同士をスポット溶接することは自動車産業などで行われていますが、今回はさびないよう表面処理を施した分厚いリング状の炭素鋼にステンレスの薄鋼板をスポット溶接しています。これまでスポット溶接で行われたことのない難しい溶接でした。当社の溶接研究者に指導を受けながら、研究所の施設で研究開発に取り組み、新しい溶接技術を確立できました。このような新しい技術を多数採用した結果、初期型と最新型の性能比較で、質量あたりの制動力を2・1倍に向上させるとともに、応答時間の半減を実現しました」(山口博行 工場長)

軽量コンパクトで搭載性、非接触でメンテナンス性に優れた永久磁石式リターダは、絶え間ない技術革新により、車重規制緩和や燃費改善、排出ガス規制、ドライバーの疲労軽減など、トラックやバスのブレーキにかかわる課題を解決し、右肩上がりでも普及してきました。こうした社会貢献が評価され、17年度「文部科学大臣表彰科学技術賞(開発部門)」、第7回「ものづくり日本大賞特別賞」を受賞しました。紹介した技術者のみならず、営業部門、製造部門、協力会社における関係者の尽力とその総力によってここに至っていることは言うまでもありません。これからも新日鉄住金は、脈々と受け継がれている「リターダ魂」で技術に磨きをかけ、トラックやバスの安全・安心の確保に貢献していきます。



永久磁石式リターダ開発に挑んだ新日鉄住金の「リターダ戦士」たち