

永久磁石式減衰装置 — 渦電流こま —

eRDT (eddy current Rotary Damping Tube)

永久磁石式減衰装置『渦電流こま eRDT (eddy current Rotary Damping Tube)』(図 1) は、日本製鉄(株)と共同開発により、粘性ダンパーとして知られている『減衰こま(RDT)』の増幅機構と、大型車両の補助ブレーキとして広く普及している永久磁石式リターダ(図 2)の減衰機構を組み合わせたダンパーです。RDT はコンパクトで大きな減衰力を発揮する装置ですが、繰り返し依存性があり、長周期地震動などの繰り返し変形に対してはこれらの性能低下を考慮して検討する必要がありました。自動車分野で実績のあるリターダは、温度や繰り返し変形に対する耐久性が高く、両者の技術を組み合わせることで、温度依存性や繰り返し依存性の小さいダンパーが実現可能になると考えました。

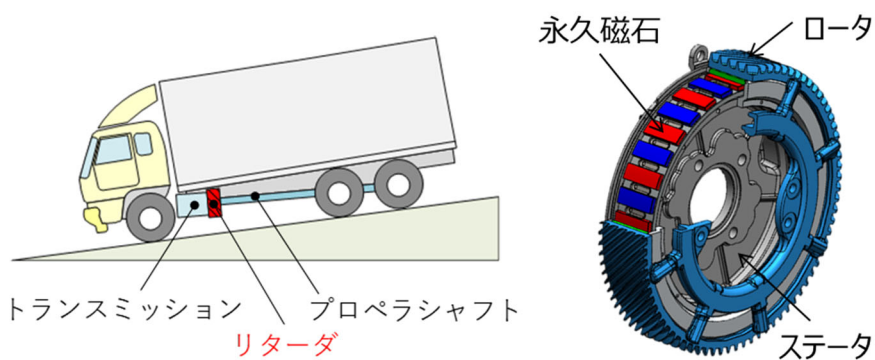


図2. 永久磁石式リターダの概要

永久磁石(写真 1)にはネオジウム磁石を用いています。主原料にはネオジウム(Nd)、鉄(Fe)、ボロン(B)を用いており希土類磁石に分類されます(図 3)。日本で開発された磁石で、現存する磁石の中で磁力が一番強く保持力が高いという特徴を持っています。

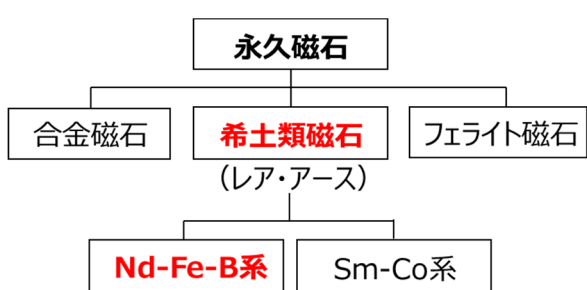


図 3. 永久磁石の分類

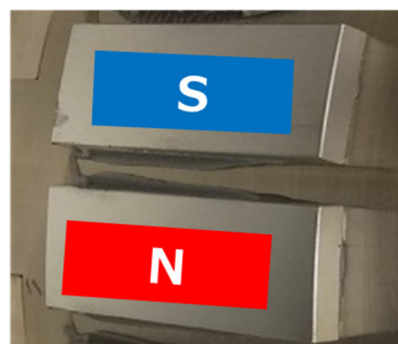


写真 1. 永久磁石

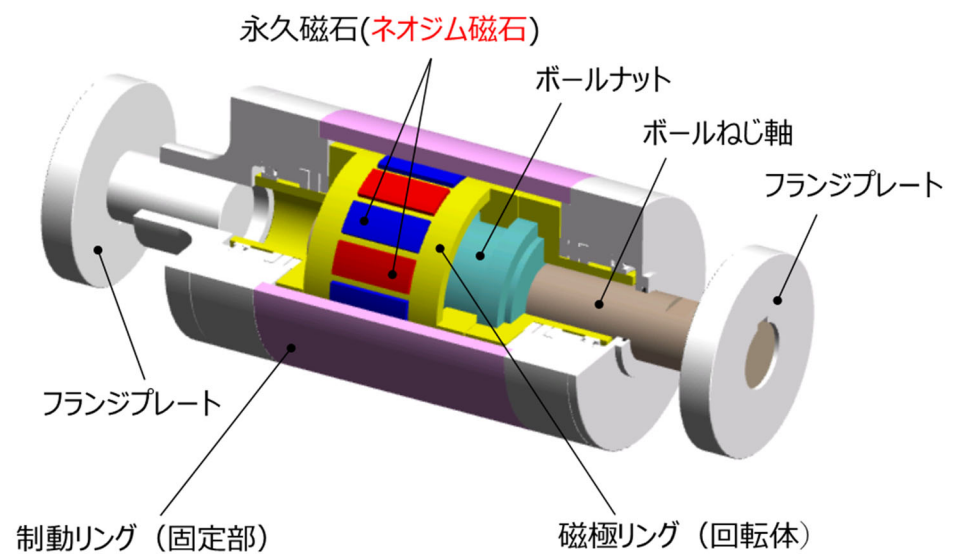


図1. 渦電流こま(eRDT)の構造

構造と基本原理

- ◆ eRDT は、主にボールねじ軸、ボールナット、永久磁石(ネオジウム磁石)、磁極リング、制動リング、フランジで構成されています(図 1)。
- ◆ 永久磁石は、磁極リングの外周面に沿って隣り合う磁極が異極となるように複数取り付けられており、磁極回路が構成されています。
- ◆ 渦電流抵抗力の基本原理には、フレミングの法則(図 4)を利用しています。
- ◆ 図 4 に示すように金属製の円盤に対して、N 極から S 極に向かって磁界が発生するように永久磁石を配置します。
- ◆ この円盤に回転(速度)を与えますと、右手の法則により起電力が発生します。
- ◆ 発生した起電力と元の磁界は、左手の法則によりローレンツ力を発生させます。このローレンツ力は回転を妨げる方向に発生しますので、これが減衰力として作用します。

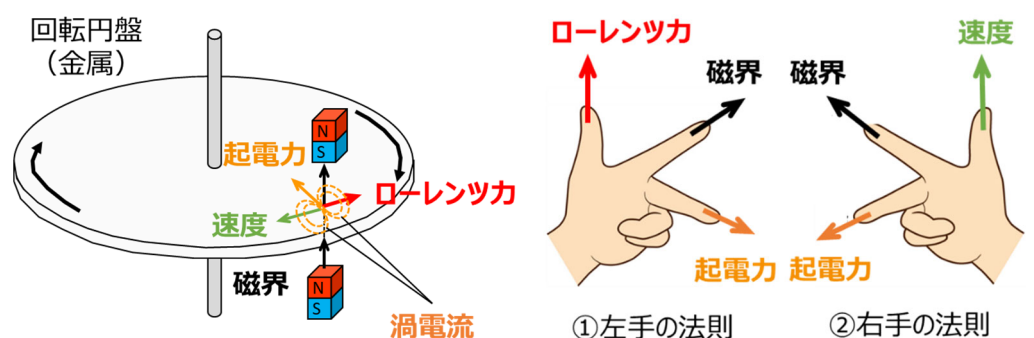


図 4. 基本原理(フレミングの法則)

eRDT 性能確認試験

eRDT の性能を動的加振実験により確認しました。履歴ループは慣性力の影響で、やや右肩下りの楕円特性となっており、正弦波 5 サイクル程度による繰り返し低下は殆どありません(図 5)。全抵抗力は振動数に殆ど依存せず、速度に対してトリリニア型モデル(図 6)で表現できます。

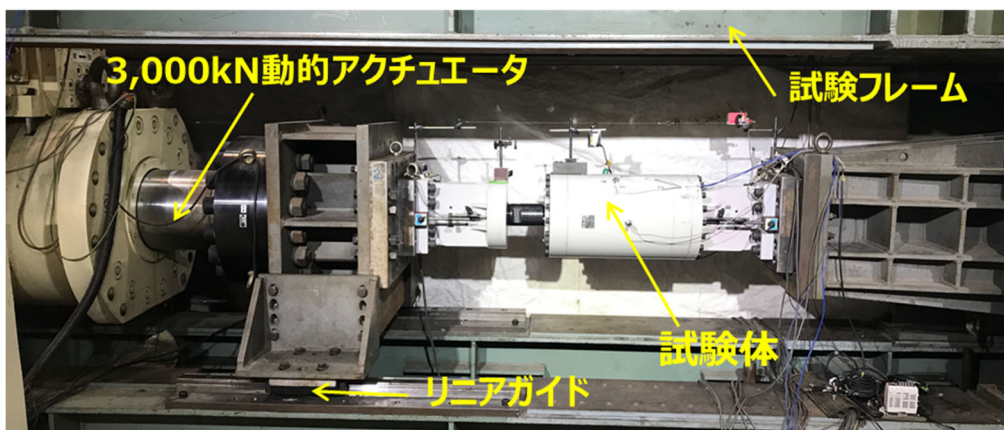


写真 2. 性能確認試験状況

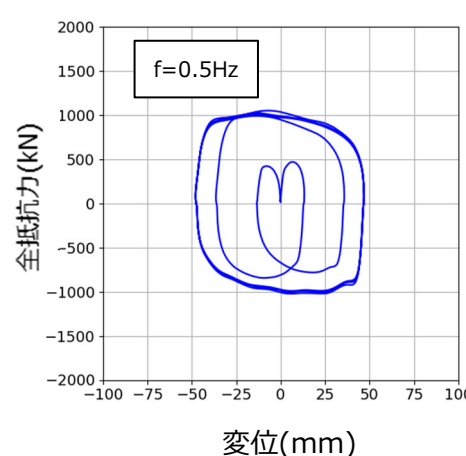


図 5. 履歴ループ例

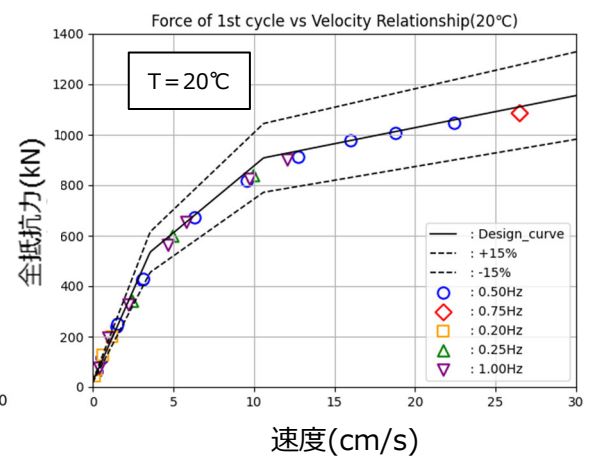


図 6. 速度/振動数依存性



永久磁石式減衰装置 — 渦電流こま —

eRDT (eddy current Rotary Damping Tube)

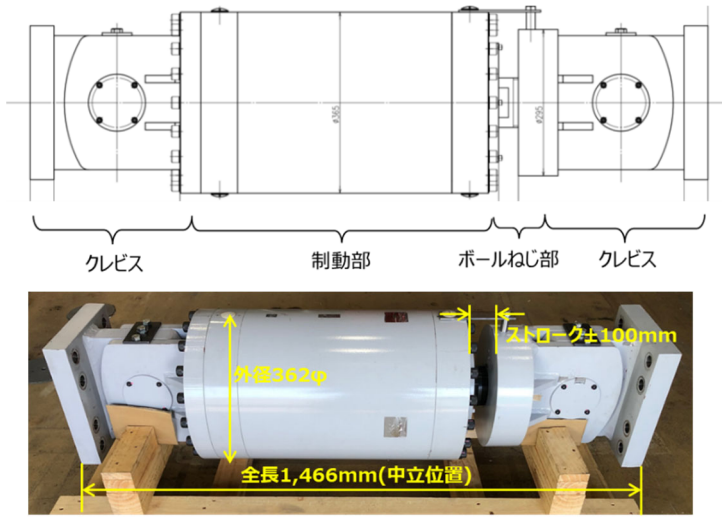


写真1. 渦電流こま(装置型番:eRDT110)の外観

渦電流抵抗力の発生メカニズム

- ◆ 実際の装置ではフレミングの基本原理が成り立つように、永久磁石は磁極リング外周面にN極S極交互に貼り付けられており、制動リング内周面との間に磁界のループが形成されています(図1)。
- ◆ 地震力などの外乱により、ボールねじ軸が軸方向に移動すると、ボールナットと磁極リングが回転するため永久磁石が回転します。
- ◆ 回転する永久磁石と固定された制動リングとの間に相対速度差が生じると、制動リング表面に変動磁場が生じます。この変動磁場と回転速度との相互作用により、制動リング表面には渦電流が発生します。さらに、発生した渦電流と磁力の相互作用によりローレンツ力が発生します。
- ◆ この反力は磁極リングの回転を妨げる方向に発生します。これが本装置の主な減衰力(渦電流抵抗力 Q_e)となります。

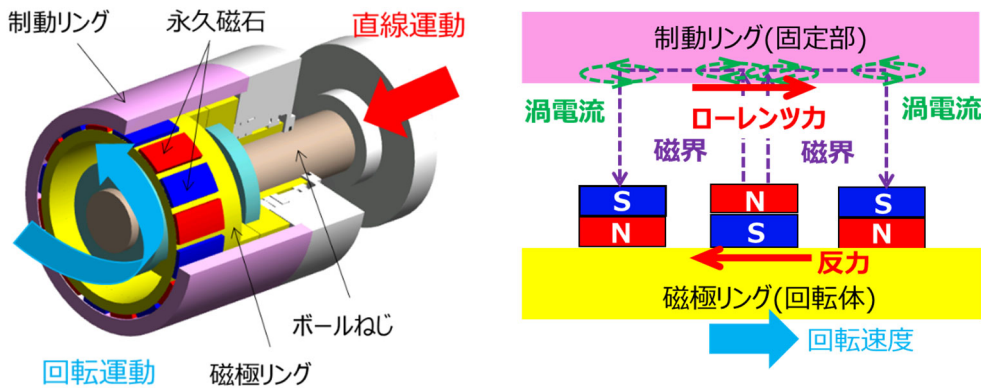


図1. 渦電流抵抗力の発生メカニズム

eRDT110は温度20[°C]、速度25[cm/s]で約1,100kNの全抵抗力を発揮する装置(表1)です。適用温度は0~40[°C]、適用速度は25[cm/s]、適用振動数は0.2~1.0[Hz]、装置の最大耐力は1,500[kN]となっています。製造ばらつきは±15%、温度ばらつきは-4.5~+4.2%(25[cm/s]時)(図4)となっています。永久磁石の温度上昇は吸収エネルギー量1[kJ]当たり0.0125[°C](図5)、温度上昇に伴う渦電流抵抗の低下率は図6に示す特性をもっています。

表1. eRDT110の装置諸元

諸元	記号	単位	数値
装置全長	L	mm	1,466
ストローク	S_t	mm	±100
重量	W	kg	600
ねじ軸外径	D_B	mm	100
リード	L_d	mm	20
制動リング直径	D_{BR}	mm	362
磁極リング直径	D_{MR}	mm	295
増幅率	S_{MR}	-	46
ねじ効率	λ	-	1.4
等価質量	$M_d = \lambda m_d$	ton	105
装置剛性	k_d	kN/mm	400

全抵抗力 P_n は、渦電流抵抗力 Q_e 、機械的な要因による摩擦力 Q_f 、回転体の慣性モーメントによる慣性力 Q_i の合力にボールねじ等の効率 λ を掛け合わされた値で構成されます(図2)。

Q_i 以外の抵抗力は、従来の粘性ダンパーと同様に速度に依存するダッシュポットモデルとして解析できます(図3)。

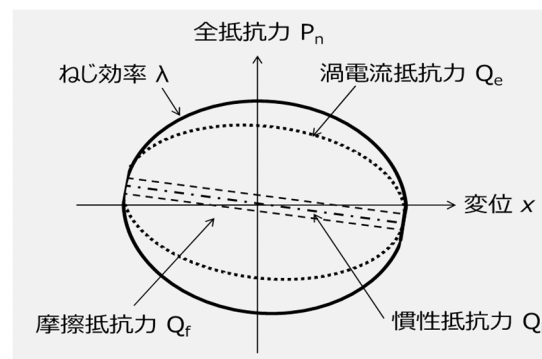


図2. 全抵抗力の構成

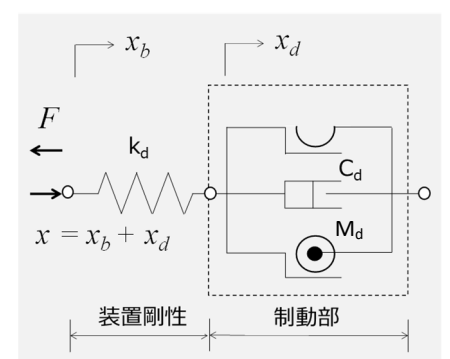


図3. 解析モデル

eRDT110 性能確認試験

本装置の温度依存性や連続繰返し特性は永久磁石の温度に依存します。温度依存性(図4)は速度に依存し高速度になるほど小さくなる特性をもっています。連続繰返しによって吸収されたエネルギーは熱変換され渦電流の発生する制動リング内表面(図7)が発熱します。永久磁石そのものは発熱しませんが、この輻射熱に温められることによって温度が上昇(図5)し抵抗力が低下(図6)します。

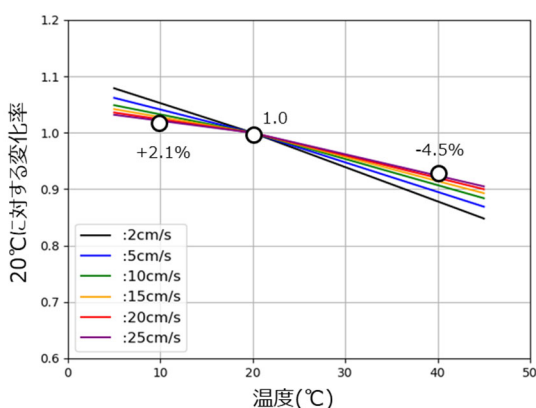


図4. 温度依存性

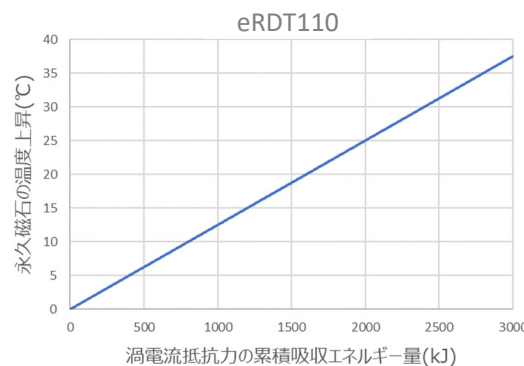


図5. 吸収エネルギー量と永久磁石の温度上昇

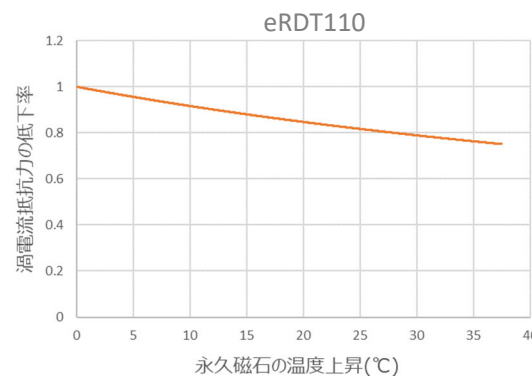


図6. 渦電流抵抗の低下率

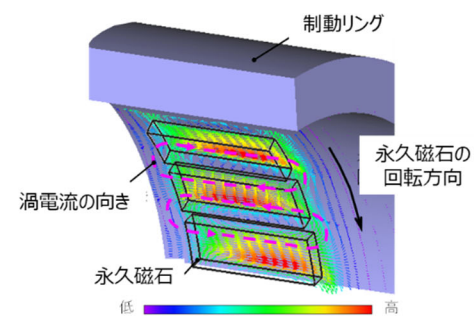


図7. 電磁場解析例

