

長寿命化を実現する 主電動機用円筒ころ軸受

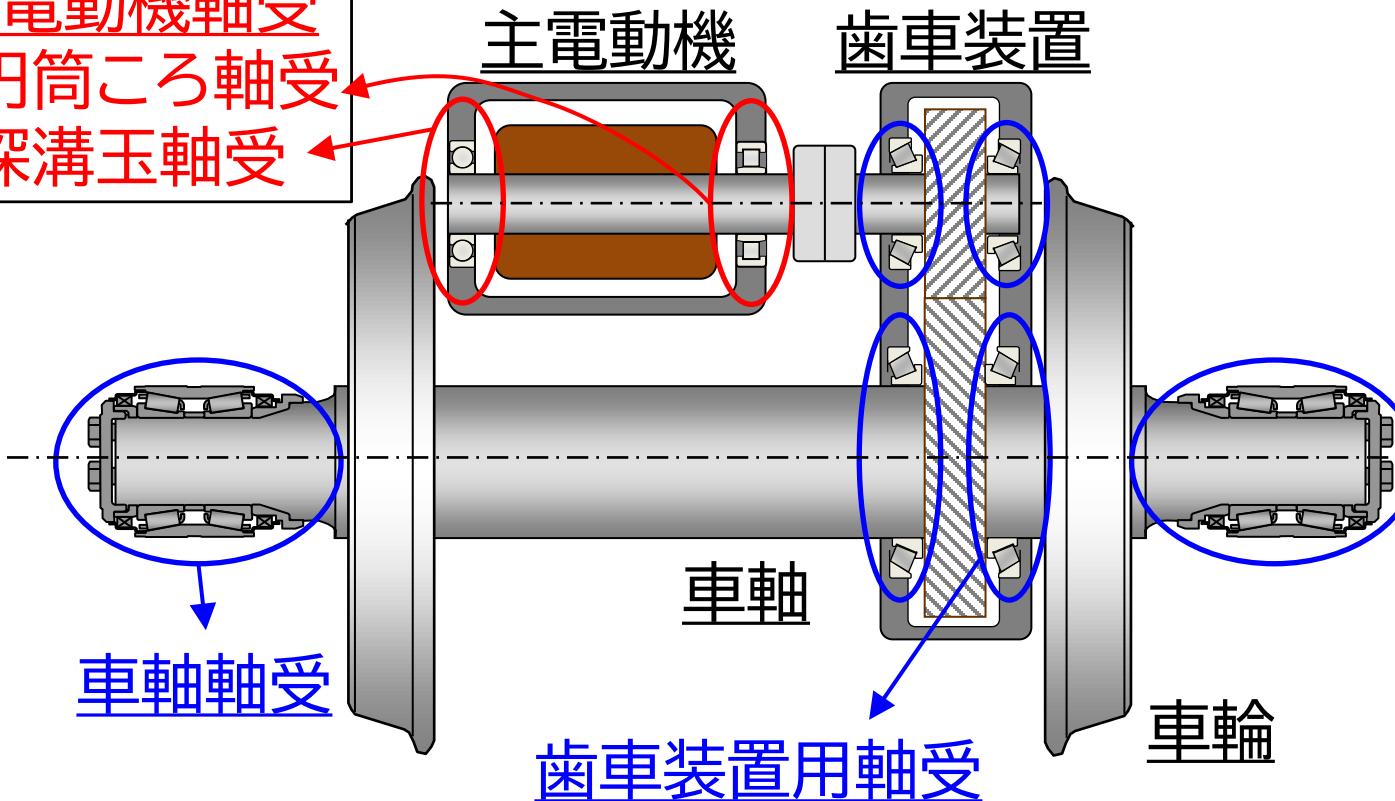
材料技術研究部 潤滑材料研究室
主任研究員 鈴木 大輔

背景・目的

台車に使用されている軸受

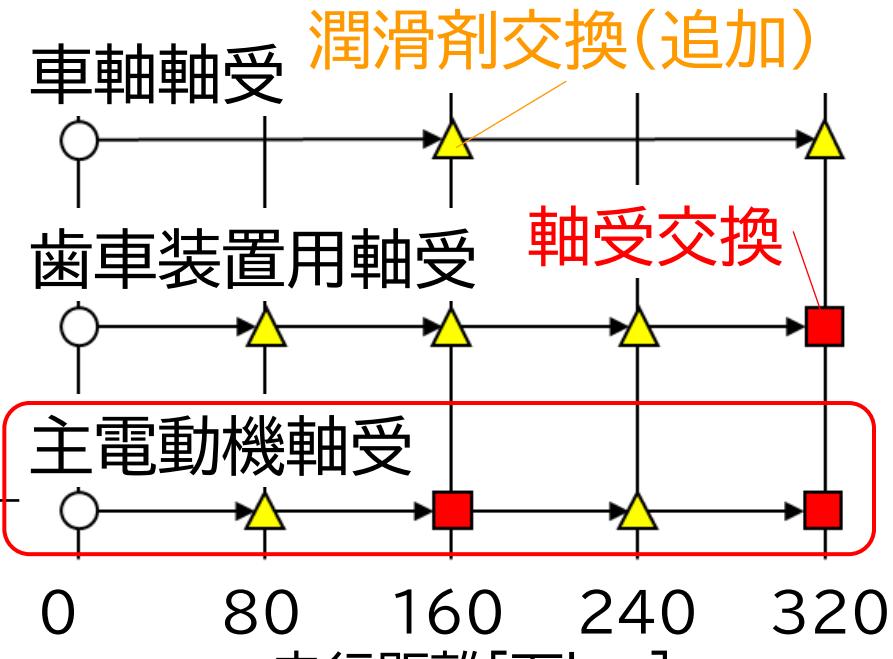
主電動機軸受

- ・円筒ころ軸受
- ・深溝玉軸受



Railway Technical Research Institute

軸受のメンテナンス周期(一例)



台車のメンテナンス周期延伸の制約因子

主電動機軸受の長寿命化により、台車のメンテナンス周期を延伸

背景・目的

開発目標

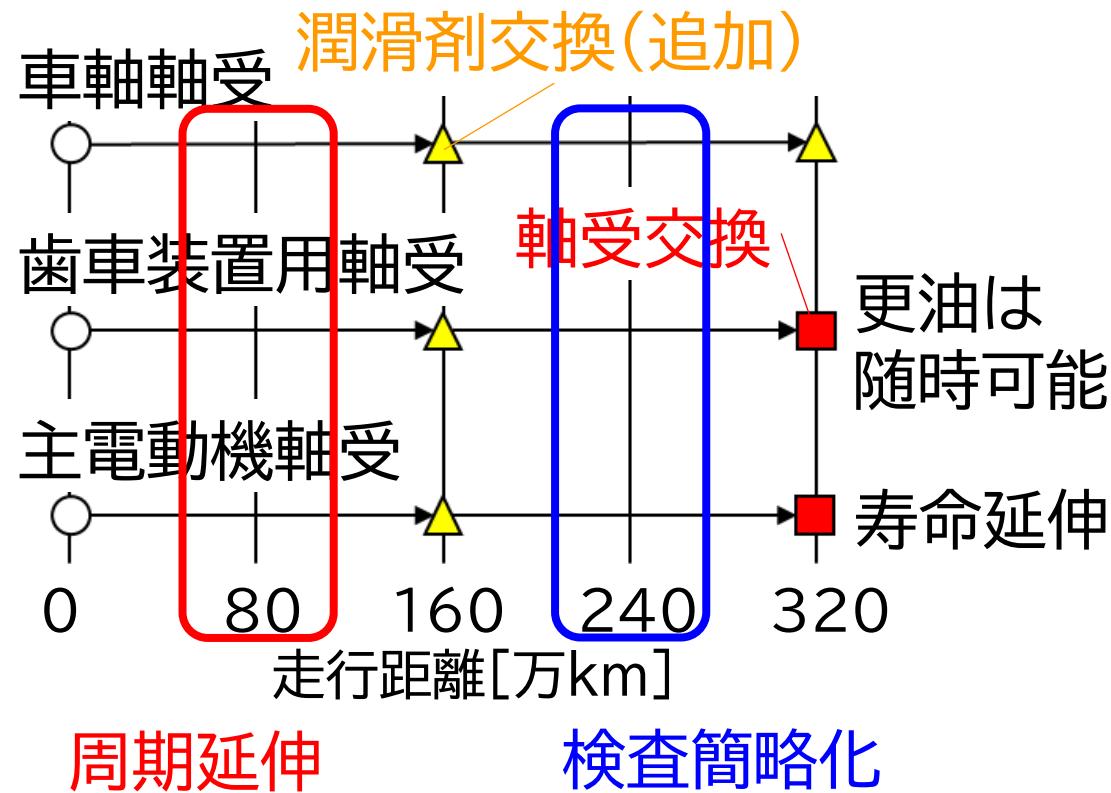
主電動機軸受の長寿命化に向けて

長寿命化手法の検証

まとめと成果の活用

参考文献

長寿命化の目標

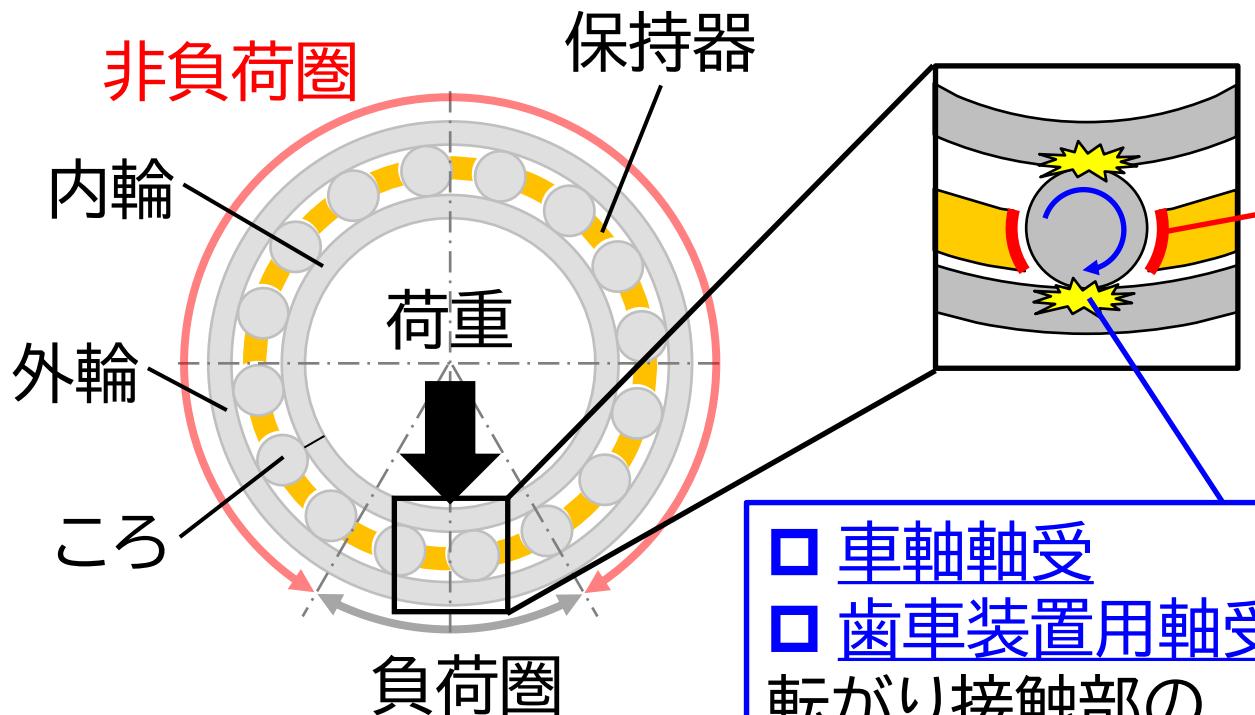


長寿命化の目標は現行の“2倍”以上

主電動機軸受の長寿命化に向けて

Railway Technical Research Institute

主電動機用円筒ころ軸受の損傷原因と対策



□ 主電動機軸受

すべり接触部(保持器)
の摩耗により損傷

【特徴的な損傷要因】

- ✓ 高回転数(6000 min^{-1} 程度)
- ✓ 軽荷重(基本動定格荷重の数%)
- ✓ グリース潤滑



□ 車軸軸受

□ 歯車装置用軸受

転がり接触部の
疲労により損傷

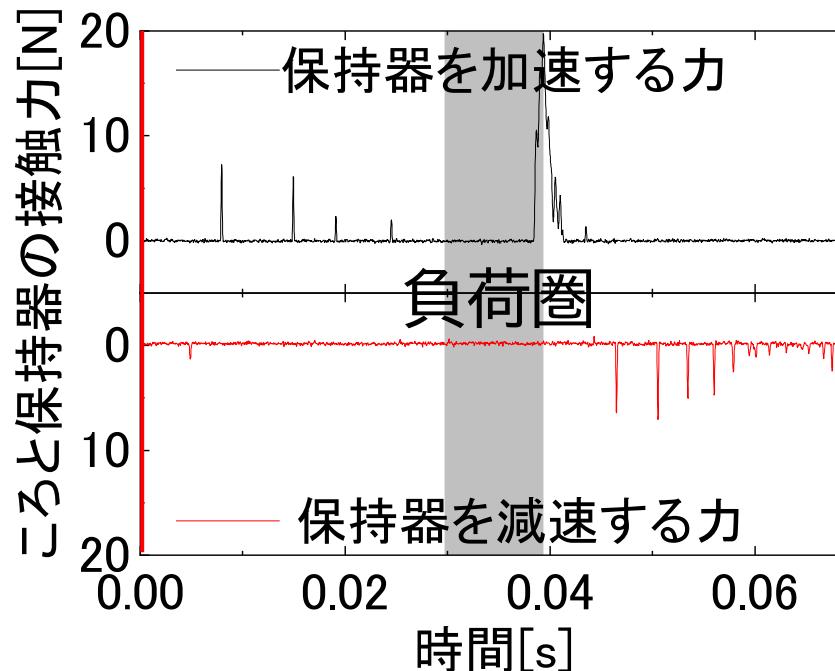


主電動機用円筒ころ軸受は、保持器摩耗を低減することで長寿命化が実現可能

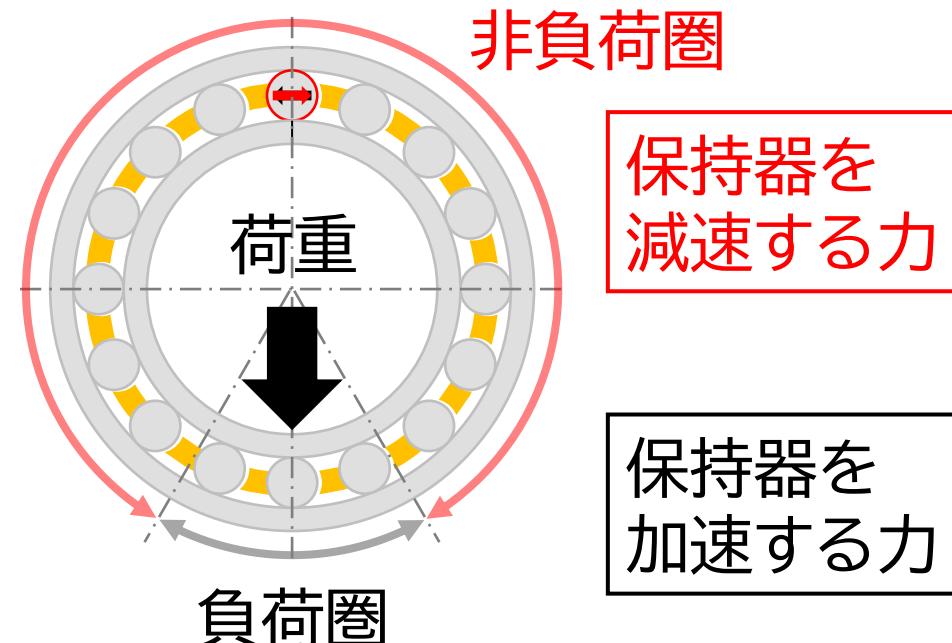
主電動機軸受の長寿命化に向けて

Railway Technical Research Institute

ころ／保持器の接触力の把握



試験条件 内輪回: 2000 min^{-1}
軸受荷重: 970 N



保持器摩耗の原因となるころ／保持器の接触力を把握

主電動機軸受の長寿命化に向けて

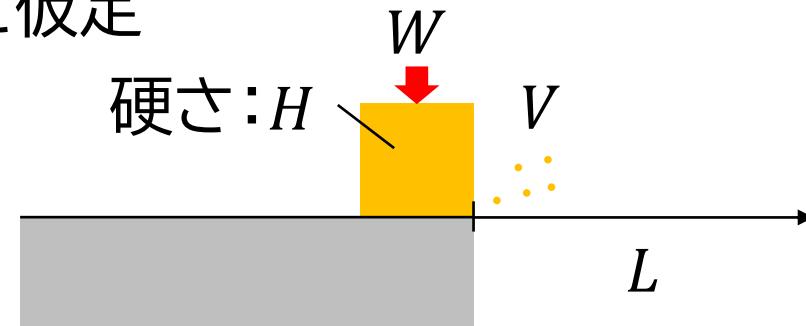
Railway Technical Research Institute

保持器の摩耗量

保持器の摩耗体積 V はArchardの摩耗式に従うと仮定

$$V = k \frac{WL}{H}$$

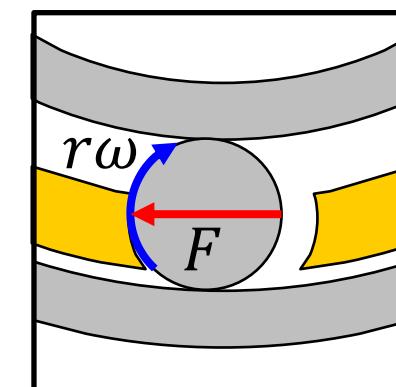
k :摩耗係数, W :荷重, L :滑り距離,
 H :軟らかい方の硬さ



ころ／保持器の接触においては,
 k :一定と仮定, H :保持器の硬さ

$$WL = \int F dL = \int F dt \cdot r\omega = I \cdot r\omega$$

F :ころ／保持器の接触力, $r\omega$:ころの周速度,
 I :ころ／保持器の接触による力積

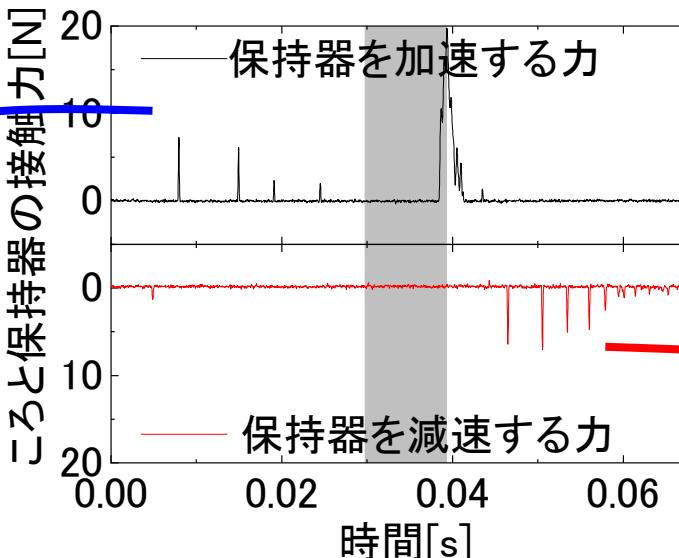
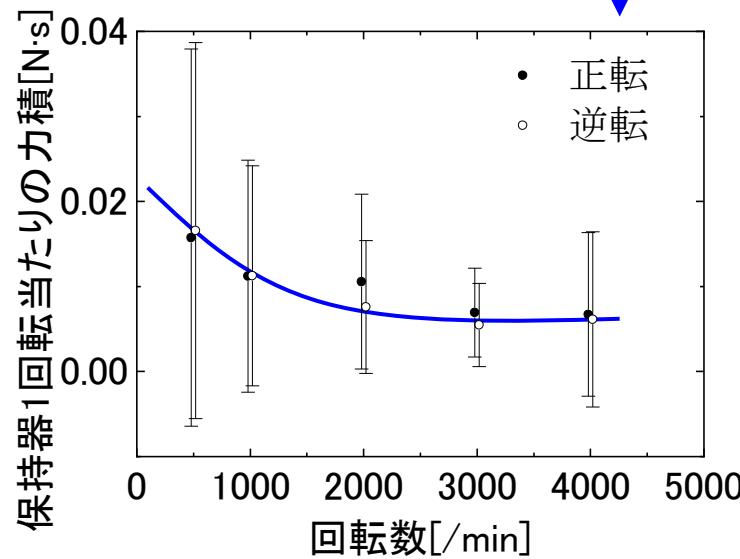


保持器摩耗を低減するには, ころ／保持器の接触による力積を低減する

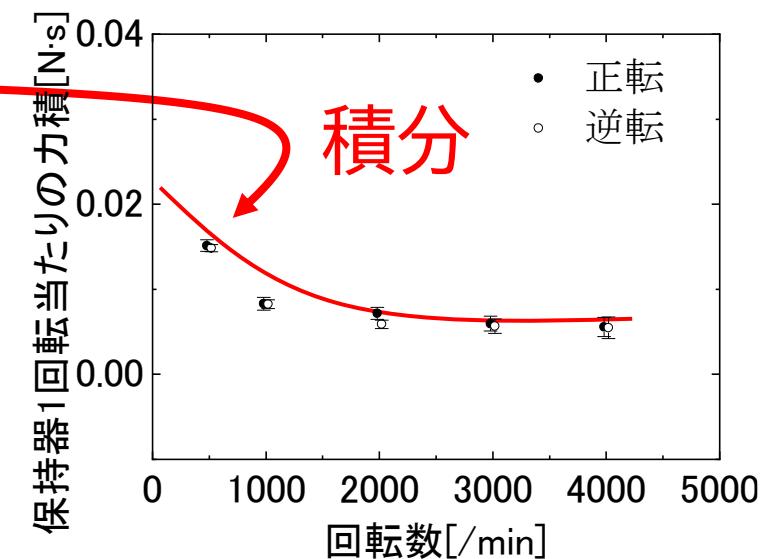
主電動機軸受の長寿命化に向けて

Railway Technical Research Institute

ころ／保持器の力積を求める方法(実測)



試験条件
内輪回転数:
 $500 \sim 4000 \text{ min}^{-1}$
軸受荷重: 970 N

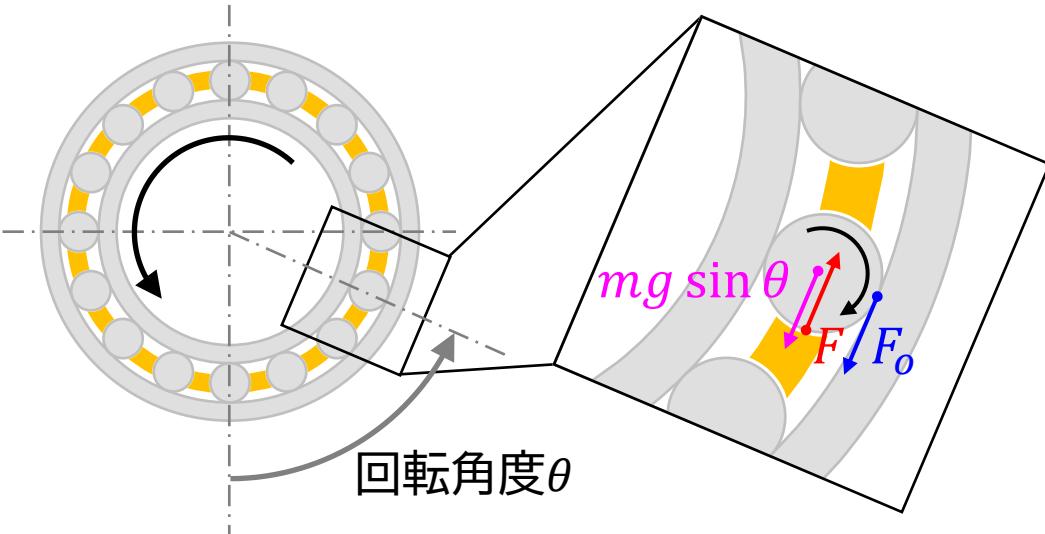


保持器を加速する力と保持器を減速する力から求めた力積はほぼ同じ
軸受の仕様変更→実測→力積算出 を繰り返すと多大な労力を要する

主電動機軸受の長寿命化に向けて

Railway Technical Research Institute

ころ／保持器の力積を求める方法(解析)



➤ ころの運動方程式

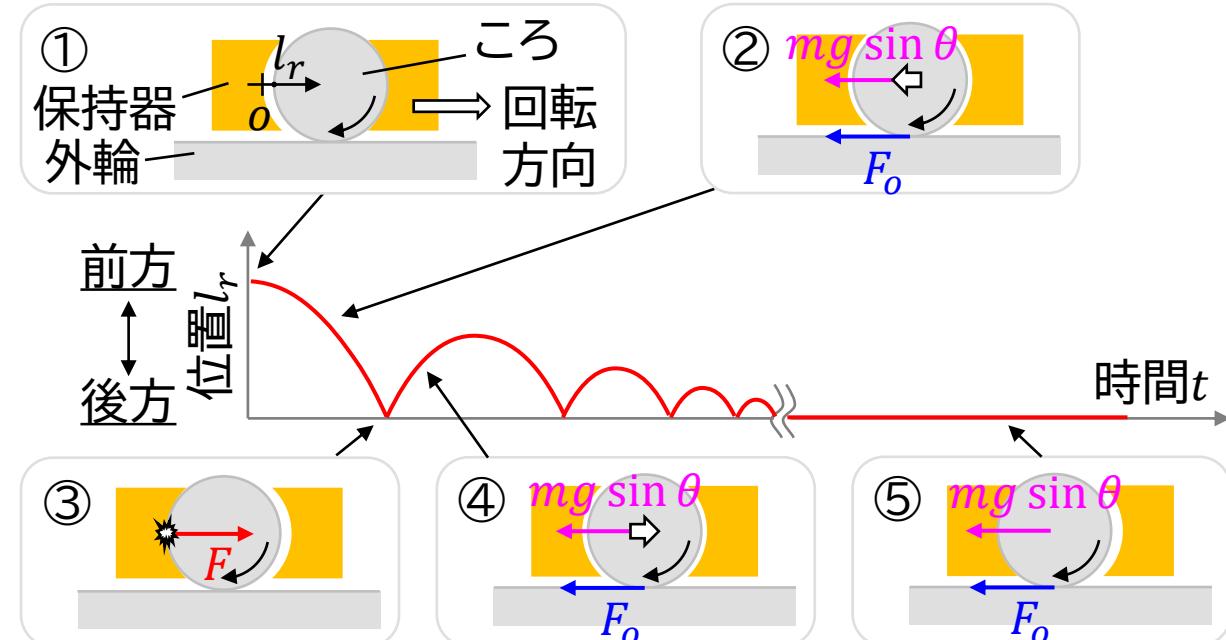
$$m \frac{d^2 l_r}{dt^2} = F - F_o - mg \sin \theta$$

m : ころの質量, g : 重力加速度

F_o : ころ／外輪の油膜力

(Zhouの式を用いて算出)

l_r : 保持器に対するころの位置



➤ ころ／保持器の接触力F

$$\int F dt = -m(1 + e)v$$

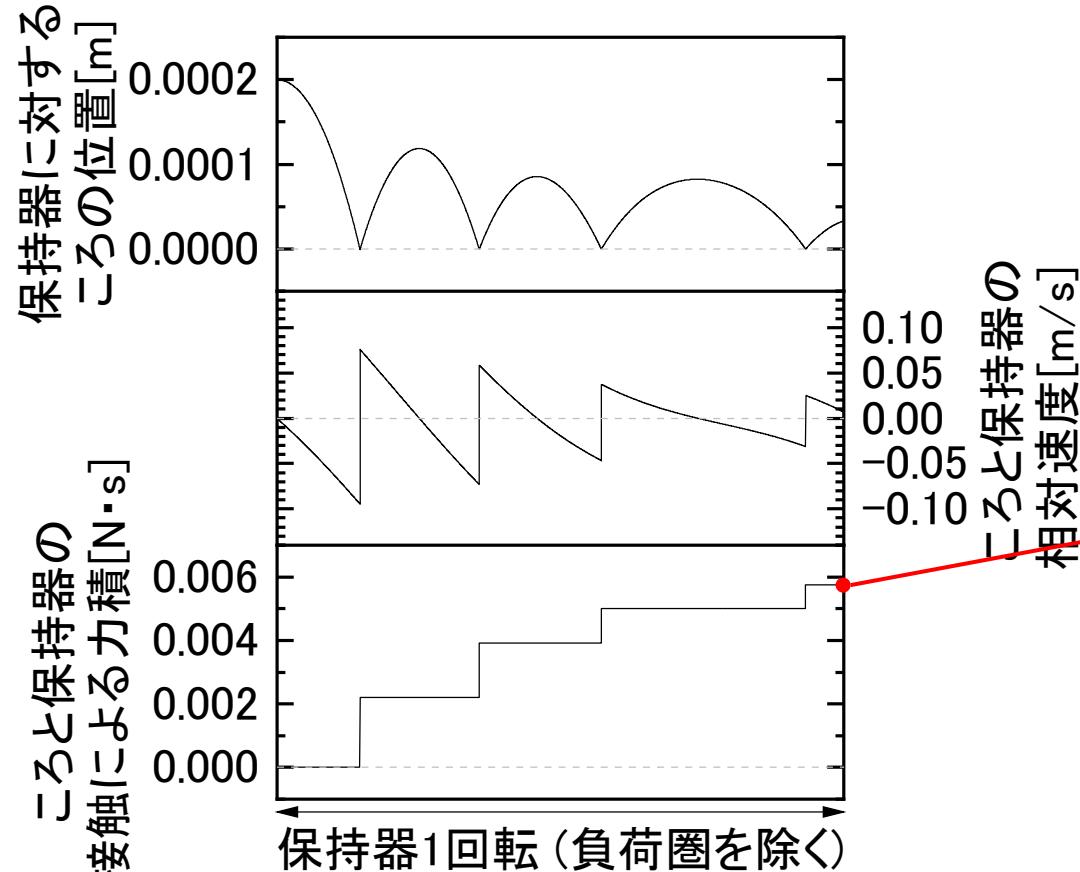
e : 反発係数, v : ころ／保持器の接触速度

⇒ 運動方程式を差分法で解き, 力積を算出

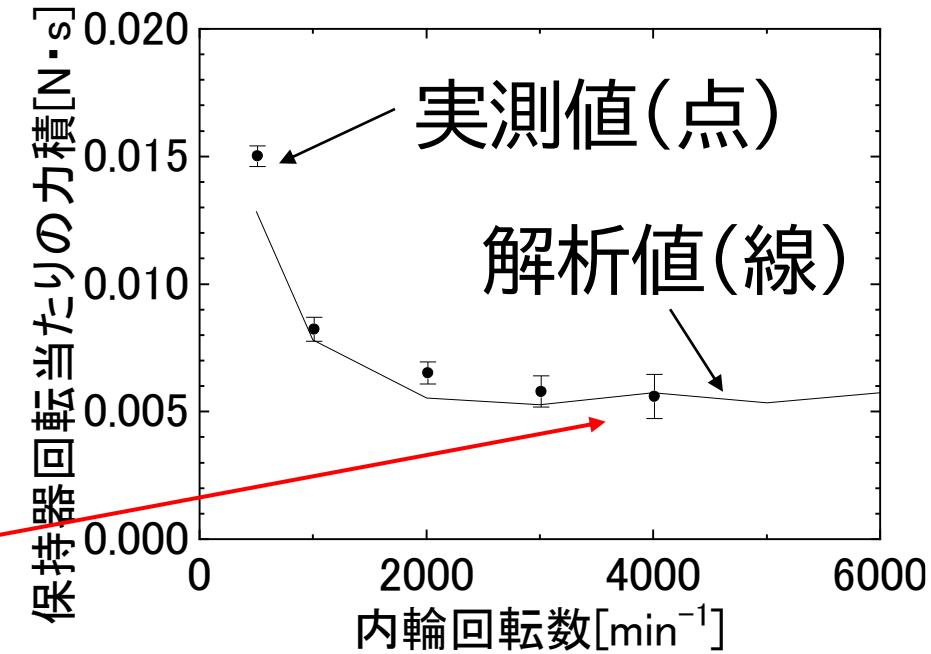
主電動機軸受の長寿命化に向けて

Railway Technical Research Institute

ころ／保持器の力積を求める方法(解析)



解析例 内輪回転数: 4000 min^{-1}
軸受荷重: 970 N



解析値は実測値と一致

解析により力積を精度よく算出可能

主電動機軸受の長寿命化に向けて

Railway Technical Research Institute

解析を用いた検討

変化させたパラメータ

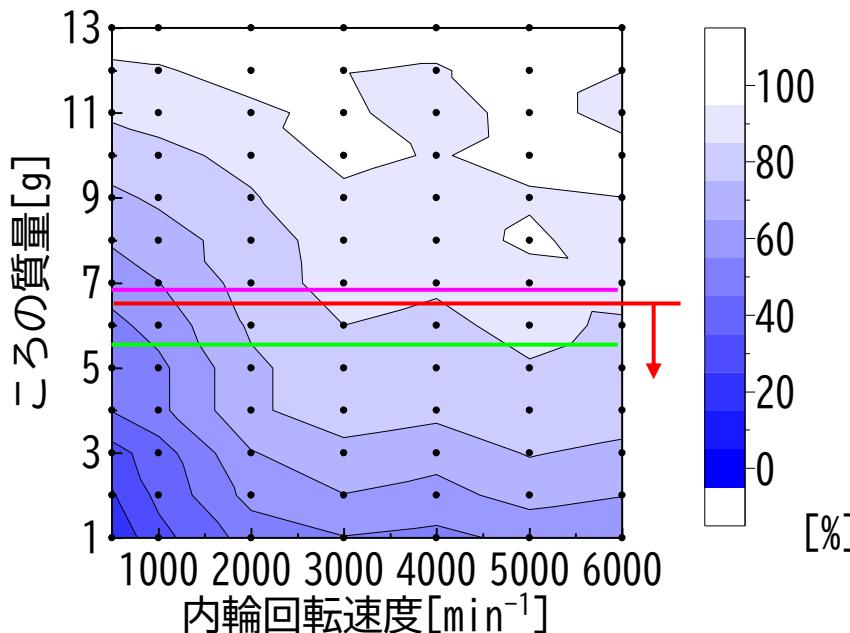
- ころの質量
- 負荷圏の広さ
(=軸受すきま)
- 反発係数
- ころと保持器のすきま

効果 高

効果 低

仕様変更の余地がある
ころの質量に着目

ころの軽量化により大幅な寿命延伸が期待

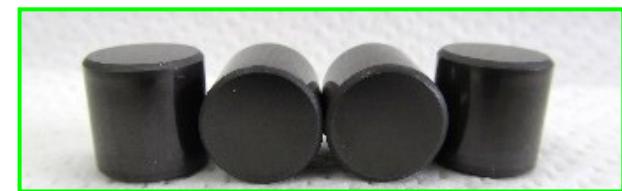


91通りの解析を実施
→“ころの質量”を半分で,
低回転速度:力積5割減
高回転速度:力積2割減

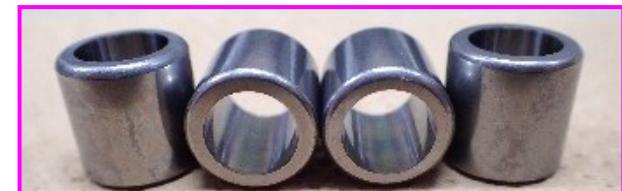


軸受鋼製ころ(中実):13 g

↓ 軽量化



セラミックス製ころ:5.5 g
性能重視

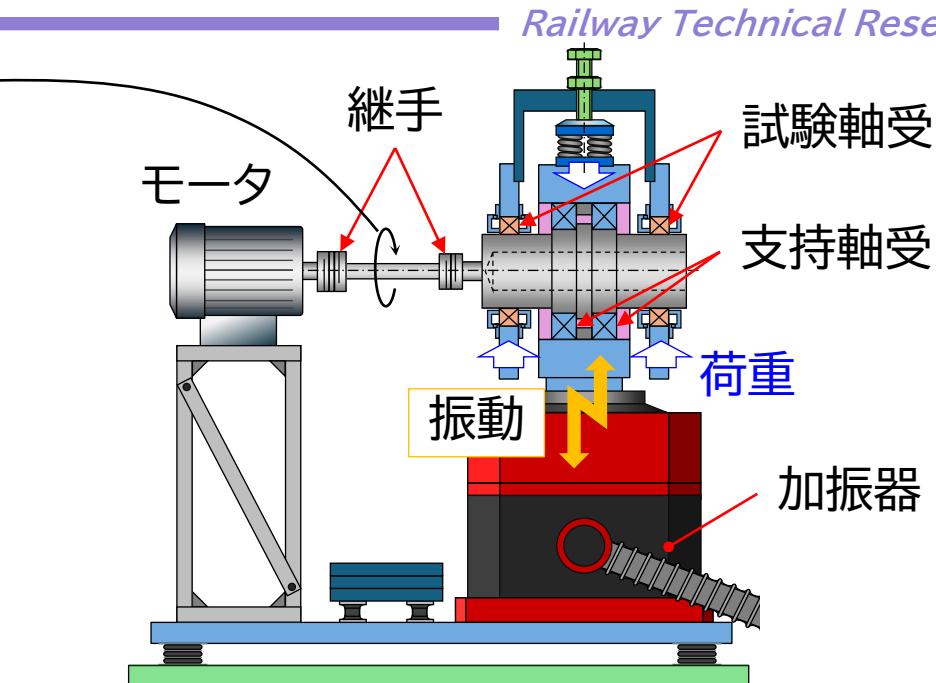
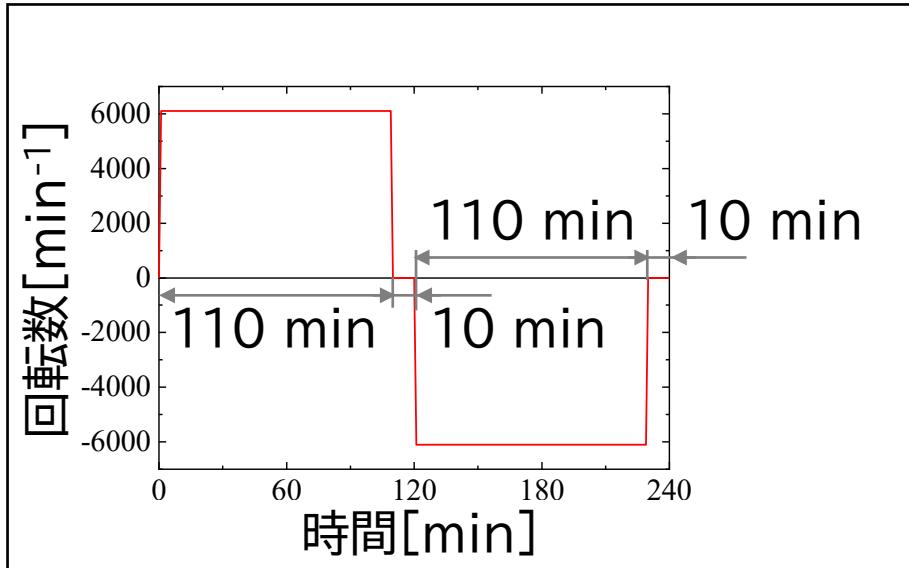


軸受鋼製ころ(中空):6.9 g
コスト重視

長寿命化手法の検証

Railway Technical Research Institute

試験条件



軸受加振回転試験機

ラジアル荷重	922N/軸受
最高回転数	6100 min^{-1}
加振	50 m/s^2 (40 Hz)
試験室温度	30 °Cを目標
グリース	増ちょう剤:複合リチウム石けん 基油:鉛油
グリース量	1 g/軸受

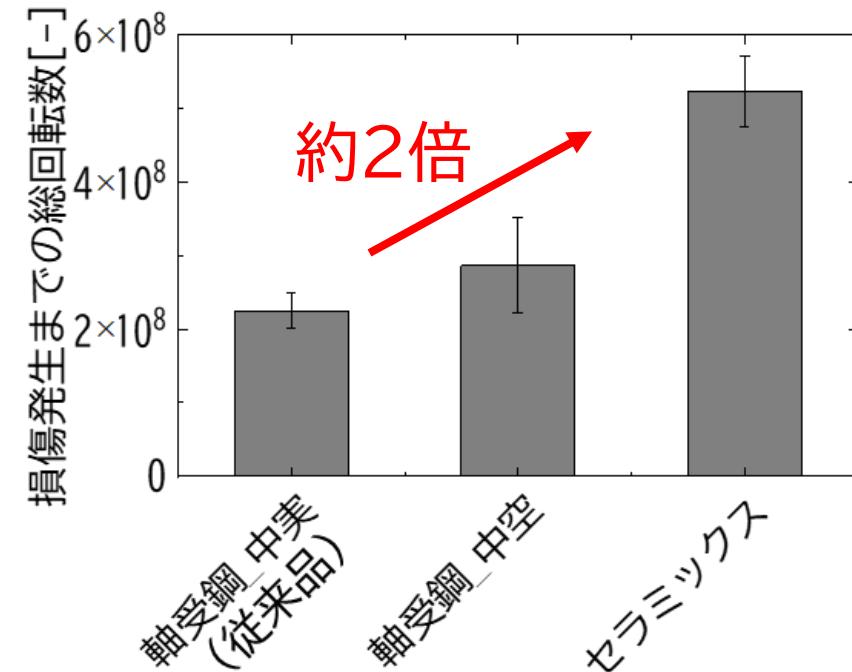
台車枠強度設計通則(JIS E 4207)において主電動機に作用する振動加速度が3~10G(29.4~98.0 m/s^2)とされていることを参考に決定

長寿命化手法の検証

Railway Technical Research Institute

耐久試験結果

- 耐久試験は軸受が焼付く(急激な温度上昇が発生)まで実施
- 焼付いた軸受にて保持器摩耗を確認



→ 軸受鋼製ころ(中空): 1.3倍
セラミック製ころ: 2.3倍

ころの軽量化により、主電動機用円筒ころ軸受の寿命が大幅に延伸

まとめ

鉄道車両の台車のメンテナンス周期延伸を目指し, 主電動機用円筒ころ軸受の長寿命化に取り組んだ結果, 以下に示す知見を得た.

1. 長寿命化には保持器摩耗を低減する必要があり, そのためには, ころ／保持器の接触による力積を低減することが有効である.
2. ころ／保持器の接触による力積を低減するために, 解析を用いて適切な軸受の仕様を検討した結果, ころの質量を概ね半分にすることが有効であった.
3. 2通りのころの軽量化方法を採用し, これらを組み込んだ軸受を試作し耐久試験を行ったところ, セラミックス製のころを用いた場合, 寿命が2倍以上となつた.

成果の活用

この結果をもとに, 現車試験に供することのできる主電動機用円筒ころ軸受のプロトタイプを数年以内に開発する.

参考文献

Railway Technical Research Institute

1. 鈴木大輔, 高橋研, 糸魚川文広, 前川寛, 岡村吉晃: 主電動機軸受における転動体と保持器の接触力測定に基づく保持器摩耗の予測, 鉄道総研報告, Vol.37, No.9, pp.1-7, 2023.
2. D Suzuki, K Takahashi, F Itoigawa, S Maegawa: Study on Cage Wear of Railway Traction Motor Bearings Based on Analysis of Rolling Element Motion, Machines, Vol.11, No.6, 594, 2023.
3. D. Suzuki, K. Takahashi: PREVENTION OF CAGE WEAR IN CYLINDRICAL ROLLER BEARINGS BY REDUCING ROLLER MASS, 49th Leeds-Lyon Symposium on Tribology, 2024.
4. 鈴木大輔, 高橋研: 円筒ころ軸受のころ質量が保持器摩耗におよぼす影響, 日本機械学会第23回機素潤滑設計部門講演会講演論集, 1A2-4, 2024.