

動力循環式歯車試験機を用いた一對の平歯車の振動解析

Vibration analysis of a pair of spur gears using a power circulation type gear testing equipment

Dr. Shuting Li

1. 概要

歯車の振動・騒音を減らすために、歯車の振動を理論上で精確に解析できるようにする必要があるが、歯車振動は歯車の加工精度、組立精度、歯面修整、歯面摩擦力などの多くの要因を受けるとともに、歯のかみあい枚数や歯のかみあい位置の影響も受けるので、歯車の振動解析は容易ではないことがよく知られている。筆者も歯車振動解析に関する研究を行ってきた多くの研究者の中の一人であり、1987年ごろから独自の研究で歯車振動の解析方法を探ってきたとともに、専用ソフトの開発にも取り込んできたが、20年間以上が掛かって研究があまり進まなかった。近年、歯車振動解析に大きな進展があったので、その解析結果をここで簡単に紹介します。

2. 動力循環式歯車試験機

一對の平歯車の振動を測定するために、図1に示すように動力循環式歯車試験機を用いることができるが、動力循環式歯車試験機は動力吸収式歯車試験機より大きな負荷が掛けられるので、この装置は歯車振動測定に多用されている。図1と図2に筆者が設計・製作した動力循環式歯車試験機である。

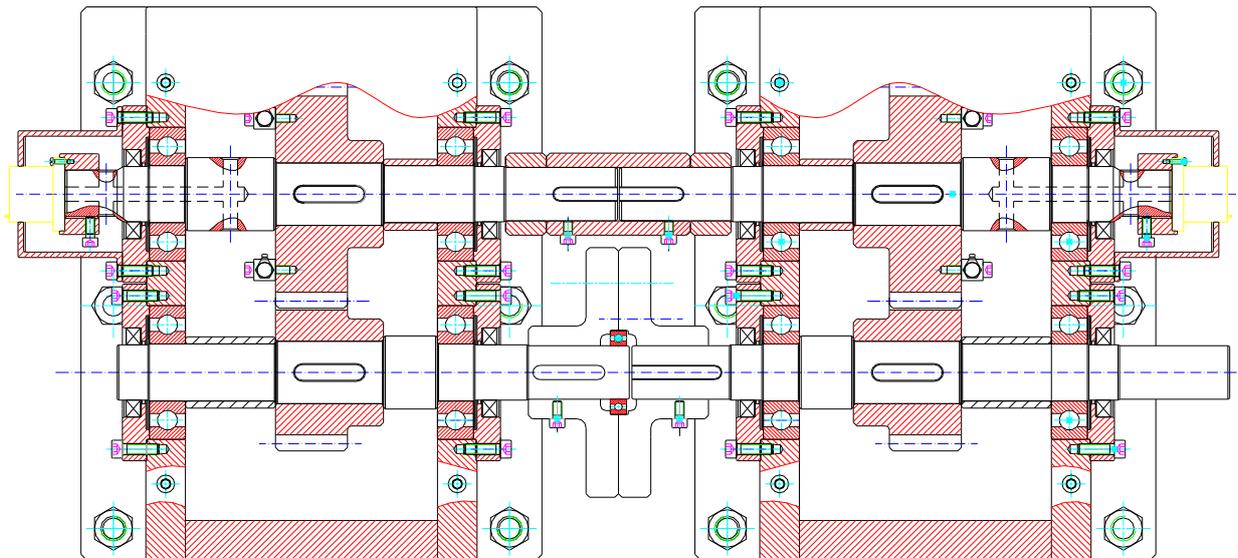


図1 動力循環式歯車試験機の構造断面図

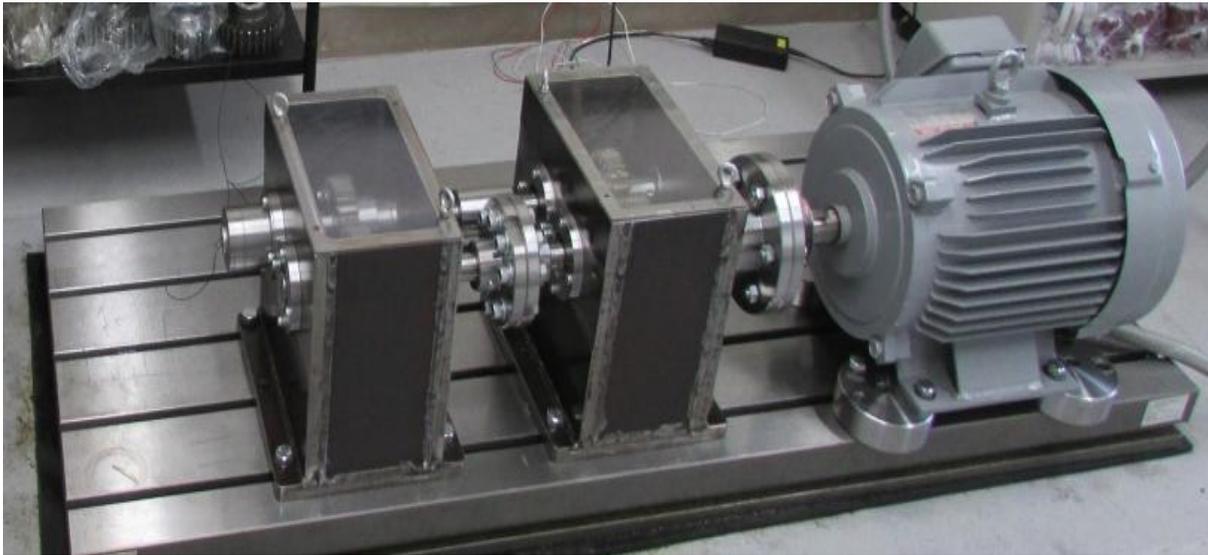


図2 動力循環式歯車試験機の構造断面図

3. 歯車振動解析モデリング

一対の平歯車の回転方向のねじり振動を解析するために、図1と図2に示す動力循環式歯車試験機に対して、振動解析のためのモデリングを行った。図3に提案した7自由度（7-DOF）振動解析モデル、また図4に提案した8自由度（8-DOF）振動解析モデルを示す。これらのモデルで動力循環式歯車試験機に対する振動解析を行い、解析結果を比較する。

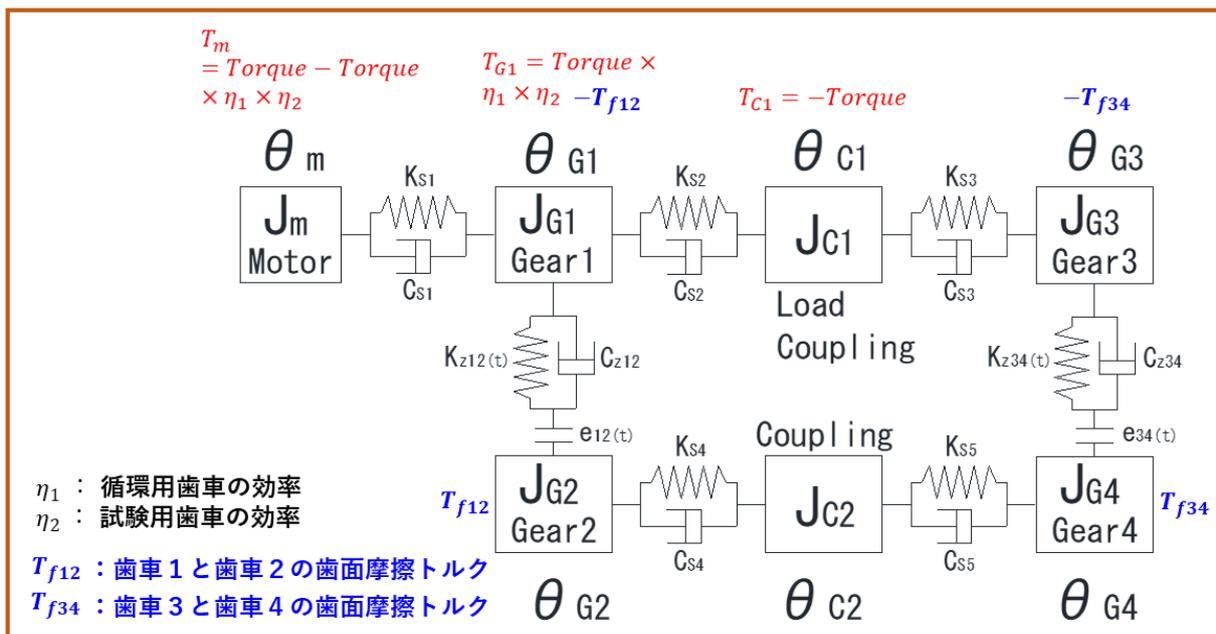


図3 振動解析の七自由度（7-DOF）モデル

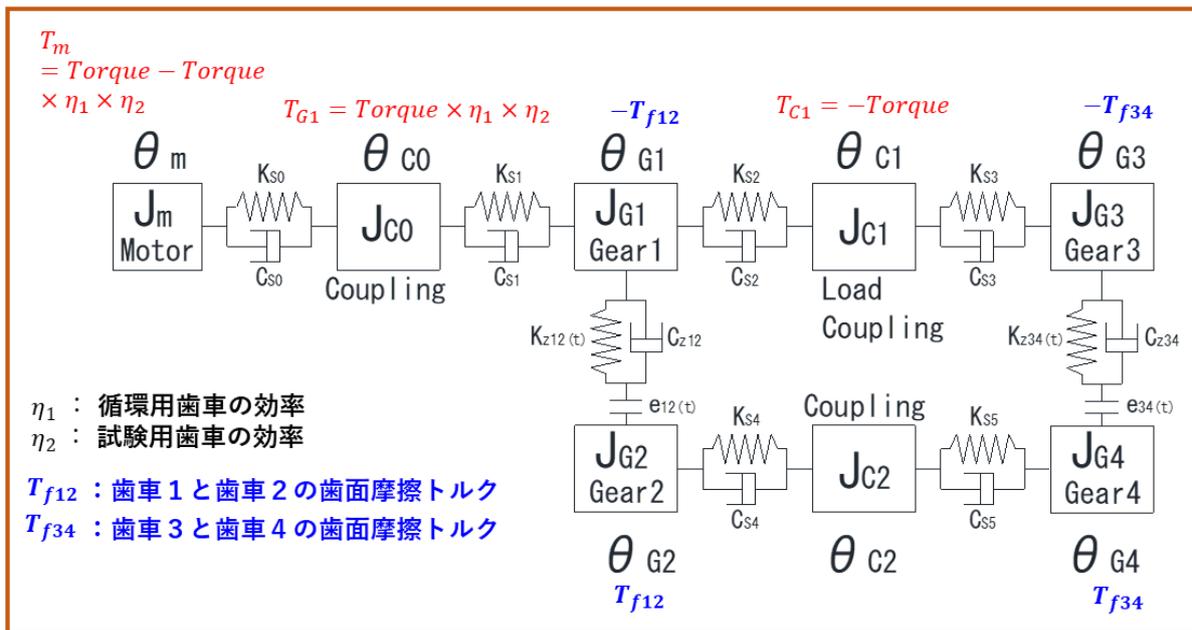


図4 振動解析の八自由度 (8-DOF) モデル

ここで、

- $\theta_m, \theta_{C0}, \theta_{G1}, \theta_{G2}, \theta_{G3}, \theta_{G4}, \theta_{C1}, \theta_{C2}, \theta_{C3}$: モータ, カップリング C0, 動力循環用小歯車, 動力循環用大歯車, 振動試験用小歯車, 振動試験用大歯車, 負荷カップリング C1, 円筒継手 C2 のねじり角度変形
- $J_m, J_{C0}, J_{G1}, J_{G2}, J_{G3}, J_{G4}, J_{C1}, J_{C2}, J_{C3}$: モータ, カップリング C0, 動力循環用小歯車, 動力循環用大歯車, 振動試験用小歯車, 振動試験用大歯車, 負荷カップリング C1, 円筒継手 C2 の慣性モーメント
- $K_{S0}, K_{S1}, K_{S2}, K_{S3}, K_{S4}, K_{S5}$: モータとカップリング C0 の間の軸, カップリング C0 と動力循環用小歯車の間の軸, 動力循環用小歯車と負荷カップリング C1 の間の軸, 負荷カップリング C1 と振動試験用小歯車の間の軸, 動力循環用大歯車と円筒継手 C2 の間の軸, 振動試験用大歯車と円筒継手 C2 の間の軸のねじり剛性
- $C_{S0}, C_{S1}, C_{S2}, C_{S3}, C_{S4}, C_{S5}$: $K_{S0}, K_{S1}, K_{S2}, K_{S3}, K_{S4}, K_{S5}$ に対応した軸のねじり減衰係数
- $K_{Z12(t)}, K_{Z34(t)}$: 動力循環用, 振動試験用の一对の歯車のかみ合い総剛性
- $C_{Z12(t)}, C_{Z34(t)}$: 動力循環用, 振動試験用の一对の歯車のかみ合い総減衰係数
- $e_{12(t)}, e_{34(t)}$: 動力循環用, 振動試験用歯車のバックラッシュ及び一对の歯車の歯形誤差

4. 振動解析方法及び解析ソフト

歯車振動解析方法及び解析ソフトは筆者が長年の研究で開発したものである。詳細について、文献⁽¹⁻²⁾をご参照ください。解析の前に一对の歯車の歯のかみあいばねこわさや軸受の支持剛性を解析する必要があるため、これらの解析にも筆者が開発した専用三次元有限要素法ソフトを用いた⁽³⁻⁵⁾。

5. 振動解析結果

7-DOF モデルで解析した歯車4の振動加速度の Campbell 線図を図5に、また8-DOF モデルで解析した歯車4の振動加速度の Campbell 線図を図6に示している。図6を図5と比べると、周波数一次成分のピークが少し大きくなっていることが分かる。

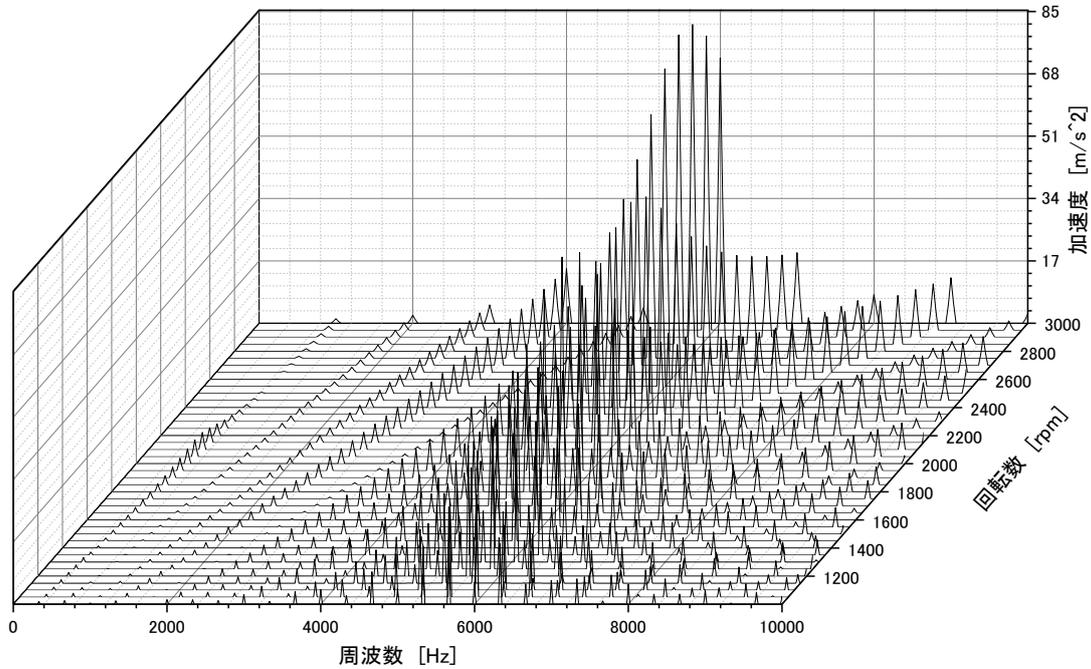


図5 7-DOF モデルで解析した歯車4の振動加速度の Campbell 線図

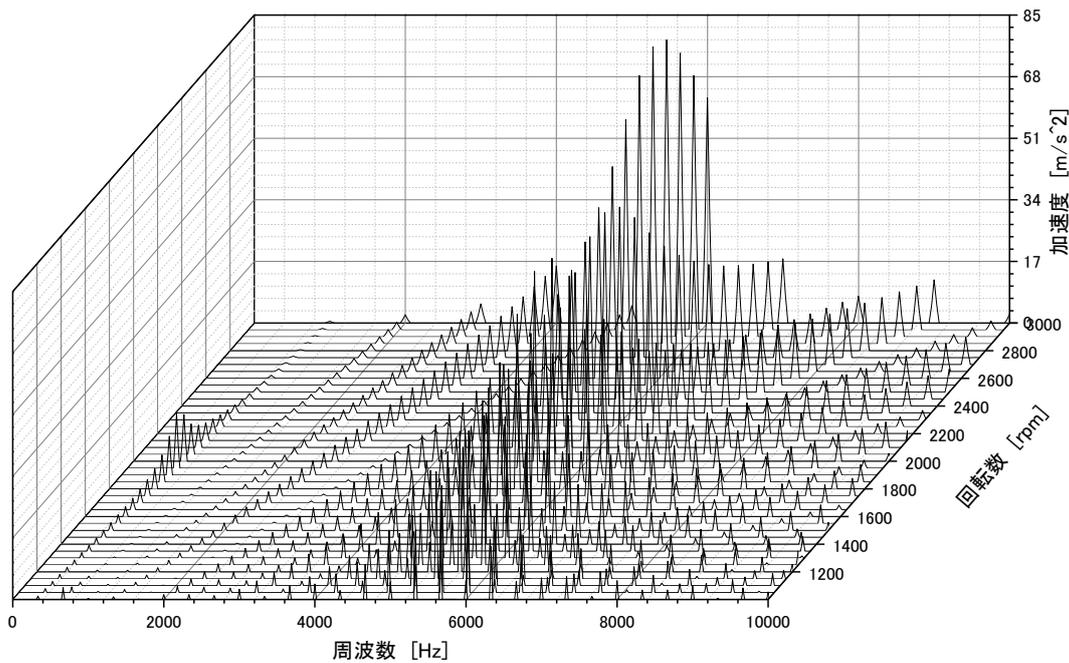


図6 8-DOF モデルで解析した歯車4の振動加速度の Campbell 線図

歯車4の振動加速度測定値のCampbell線図を図7に示している。図7を図8に比べると、共振周波数はほぼ同じであるが、測定値の共振周波数のピークは計算値よりかなり大きいことが分かる。これは計算値に歯車加工精度や組立精度を考慮していなかったため、計算値のピークが小さくなった原因だと考えられる。今後、歯車の加工誤差や組立精度などを考慮して、振動解析を行っていく必要がある。

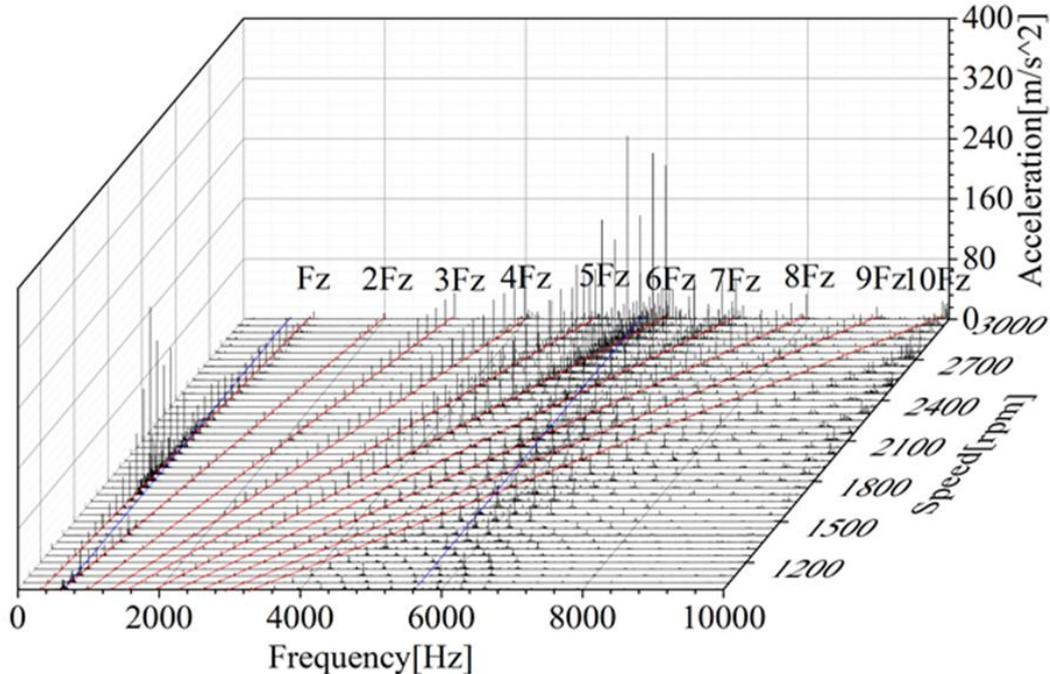


図7 歯車4の振動加速度測定値のCampbell線図

参考文献：

- (1) Shuting Li and Ryuichi SONEZAKI, "Effect of Machining Errors on Vibration Level of Spur Gears", 10th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, Nov., 2015, Japan
- (2) Shuting Li and A. Nishimura, "Dynamic Behavior Analysis of a Pair of Ground Spur Gears", The 6th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2015), Japan, (4/2015)
- (3) Shuting Li, "Finite element analyses for contact strength and bending strength of a pair of spur gear with machining errors, assembly errors and tooth modifications", Mechanism and Machine Theory, Vol.42, Issue 1, pp.88-114, 2007
- (4) Shuting Li, "Strength analysis of the roller bearing with a crowning and misalignment error", Engineering Failure Analysis, Vol. 123, May 2021, 105311, pp.1-15
- (5) Shuting Li, "A mathematical model and numeric method for contact analysis of rolling bearings", Mechanism and Machine Theory, Vol. 119, 2018, pp.61-73