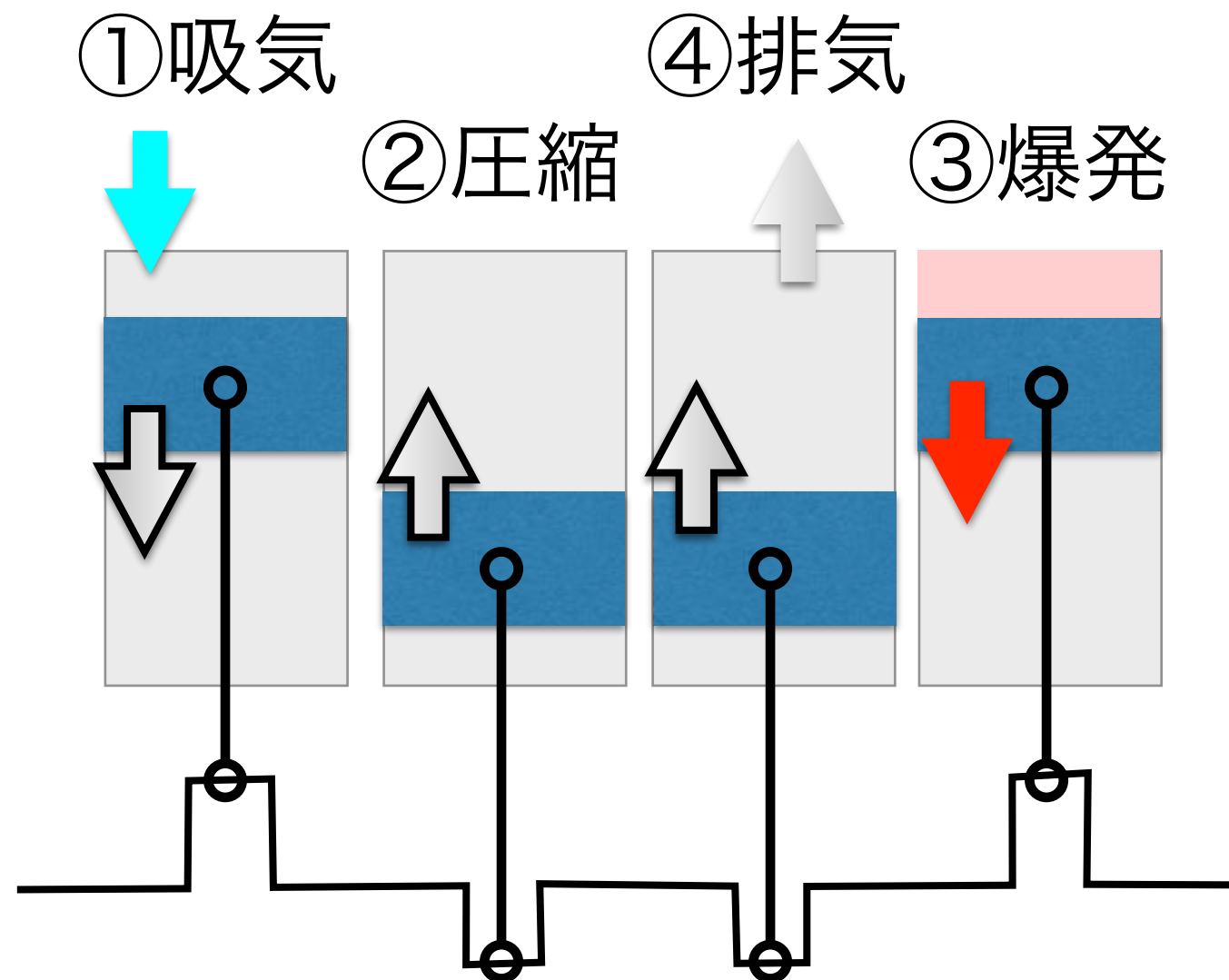


回転体の振動・実際の 振動計測の例

2017/05/18 振動・音響計測特論 松村

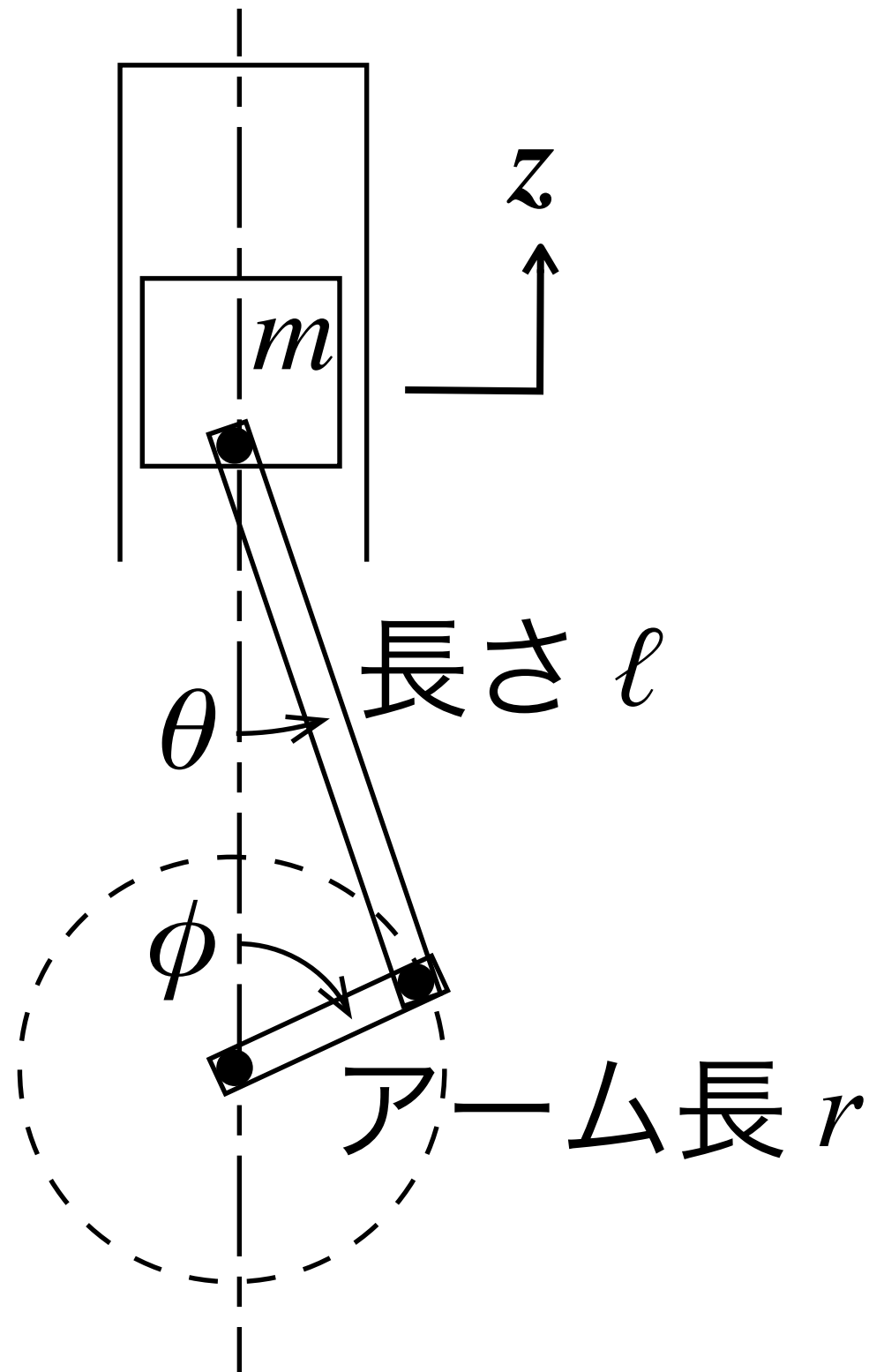
直列 4 気筒 4 サイクルエンジン



各気筒：2 回転に 1 回爆発

エンジン全体：1 回転に 2 回爆発

クランク軸系の回転振動



ピストンの変位

$$z = \ell(1 - \cos \theta) + r(1 - \cos \phi)$$

ここで $\ell \sin \theta = r \sin \phi$

$r/\ell = \rho$ とおくと

$$\cos^2 \theta = 1 - \rho^2 \sin^2 \phi$$

$$\cos \theta \simeq 1 - \frac{1}{2} \rho^2 \sin^2 \phi$$

$$|\alpha| \ll 1 \text{ で } (1 \pm \alpha)^p \simeq 1 \pm p\alpha$$

ピストンの変位の式に代入して

$$z = \frac{\ell}{2} \rho^2 \sin^2 \phi - r \cos \phi + r$$

微分して

$$\dot{z} = r\dot{\phi} \left\{ \sin \phi + \frac{1}{2} \rho \sin 2\phi \right\}$$

クランク軸系の回転振動 2

ピストンの運動エネルギーは

$$\begin{aligned}\frac{1}{2}m\dot{z}^2 &\simeq \frac{1}{2}mr^2\dot{\phi}^2 \{ \sin^2 \phi + \rho \sin \phi \sin 2\phi \} \\ &= \frac{1}{2}mr^2\dot{\phi}^2 \left\{ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2\phi + \frac{\rho}{2} \cos \phi - \frac{\rho}{2} \cos 3\phi \right\}\end{aligned}$$

ピストンの等価慣性モーメントは $T = \frac{1}{2}I_e \dot{\theta}^2$, $\rho = r/\ell \ll 1$ として

$$\begin{aligned}I_e &= \frac{1}{2}mr^2(1 - \cos 2\phi + \rho \cos \phi - \rho \cos 3\phi) \\ &\simeq \frac{1}{2}mr^2 - \frac{1}{2}mr^2 \cos 2\phi\end{aligned}$$

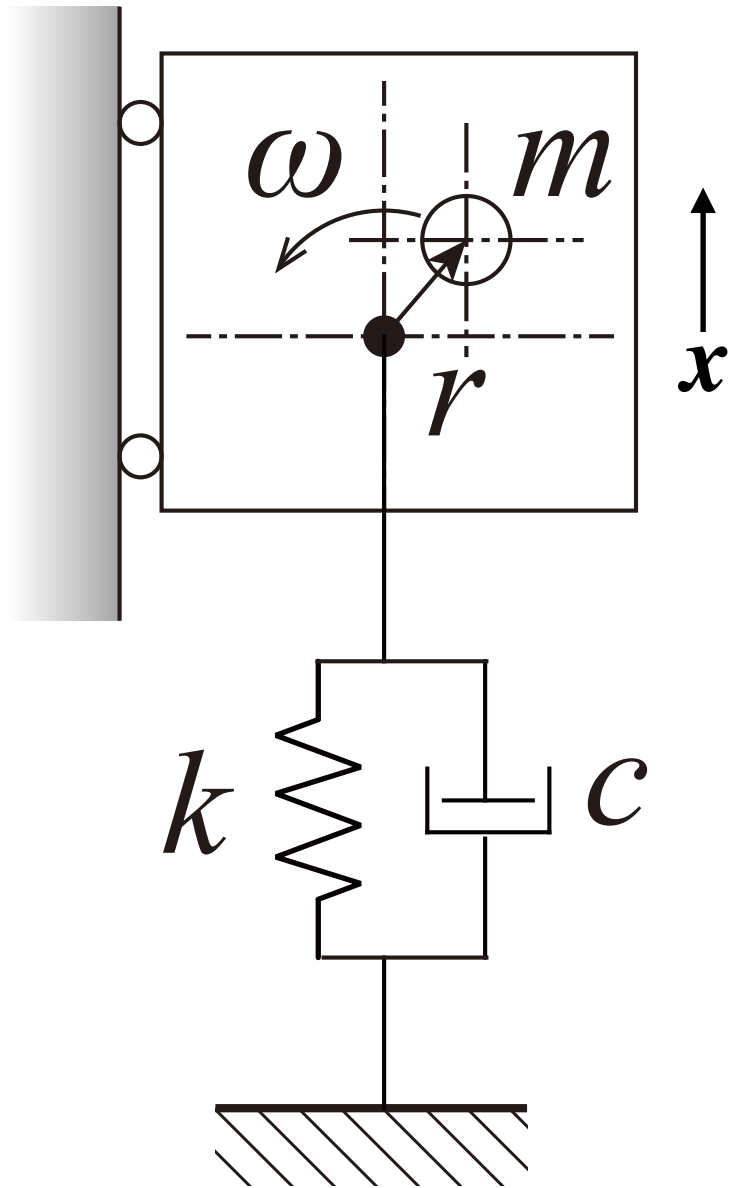


(1 気筒分でも)
回転 2 次成分の変動成分

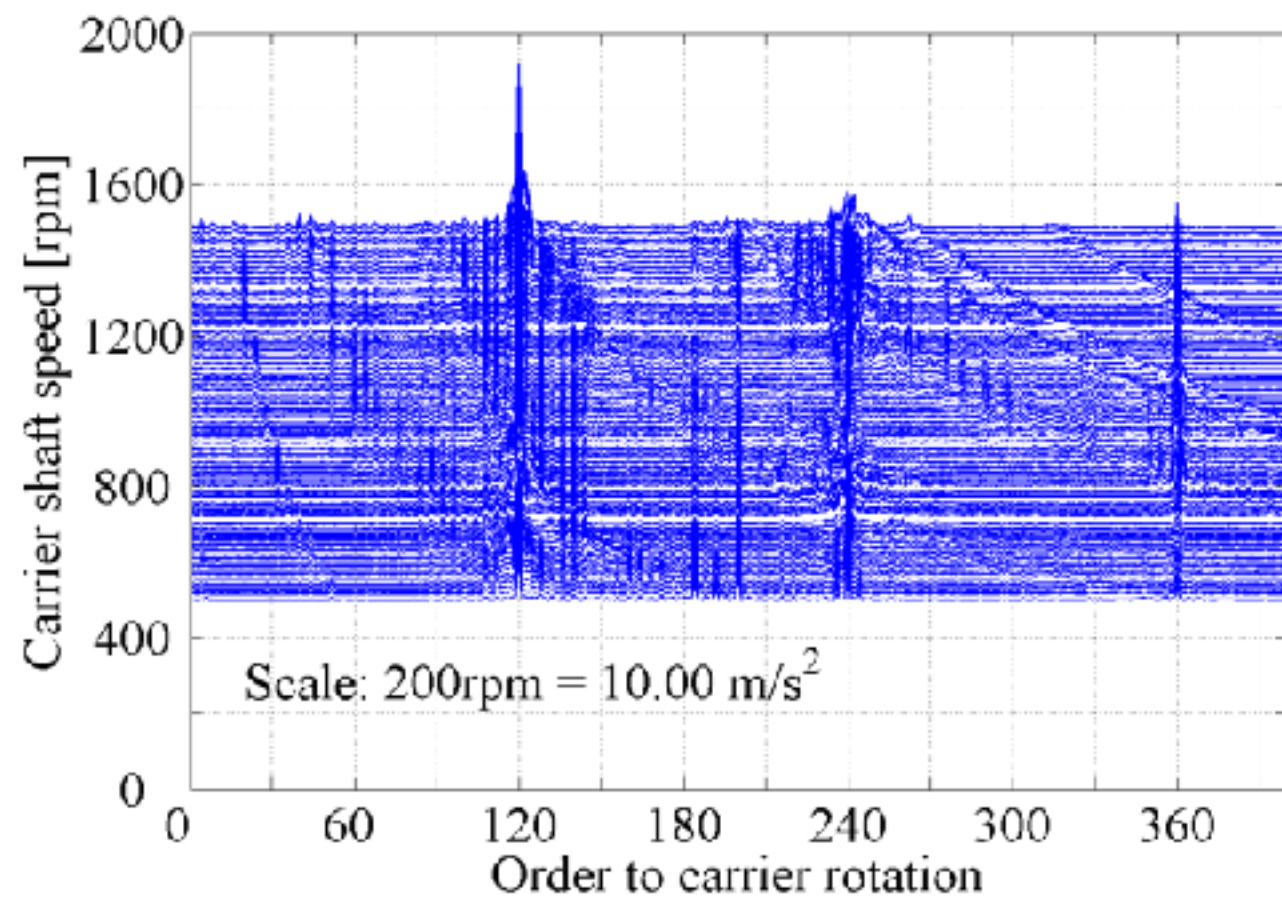
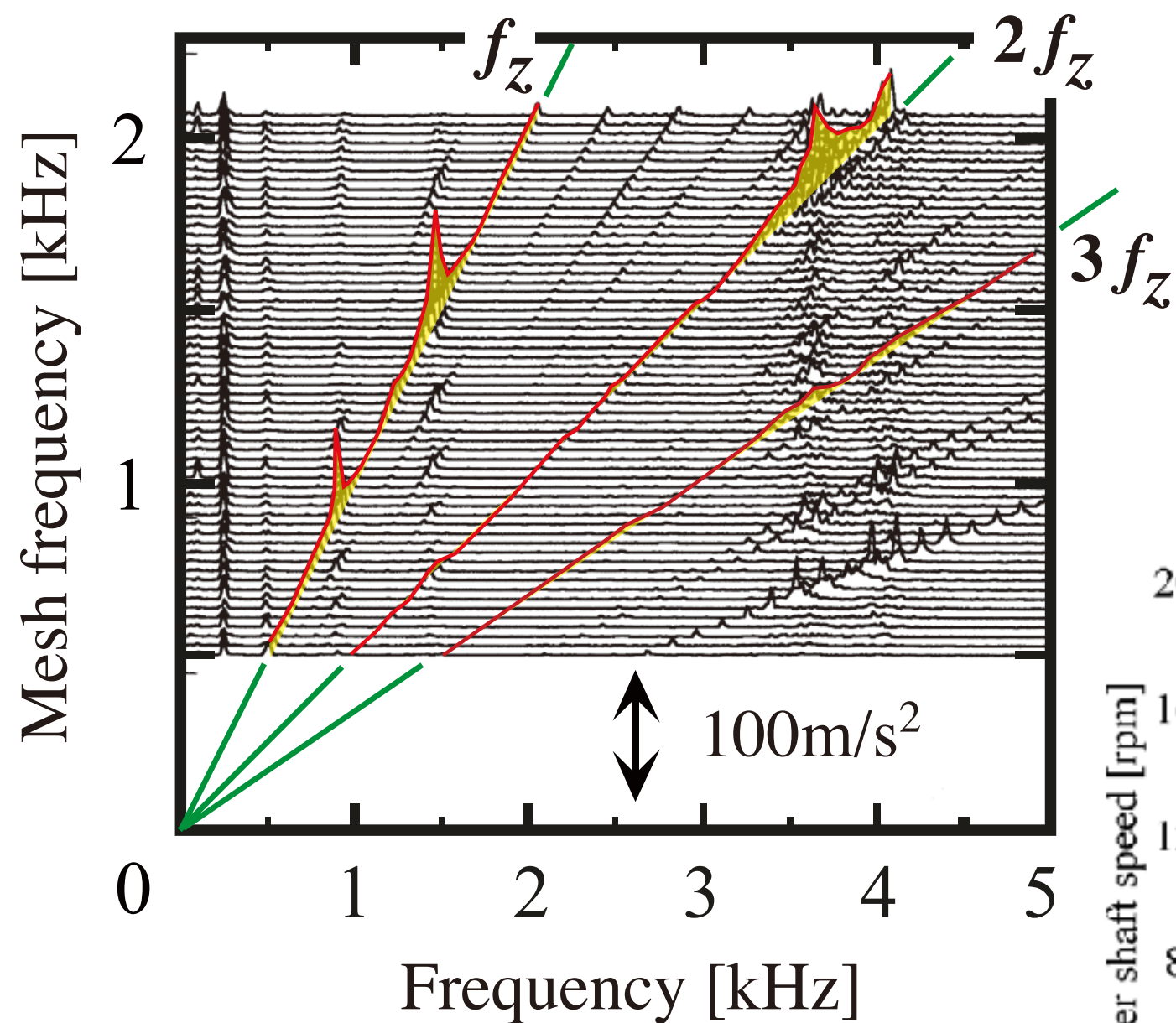
偏心した回転体の応答は？

演習

x 方向のみに移動可能な台車上に偏心 r で質量 m が角速度 ω で回転しているとき、 x の振幅の周波数応答の概形を図示せよ。
なお、台車の質量は0とする。



ウォーターフォール図



歯車系の振動

回転方向のみの振動をさらに
作用線方向の1自由度系とし
て扱う

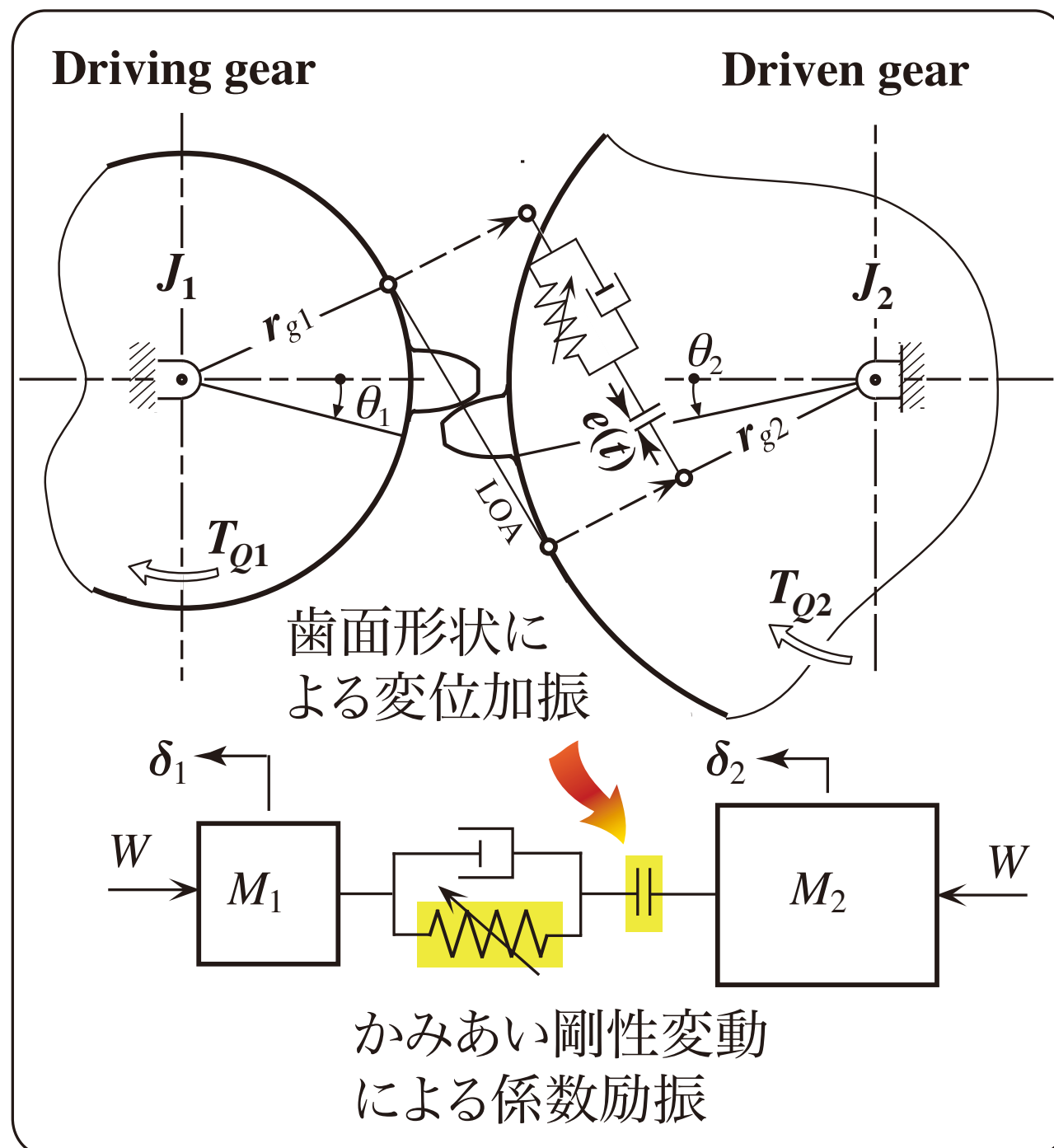
$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + k(t)[x(t) - e(t)] = W$$

以下のように平均値と変動成分
に分離

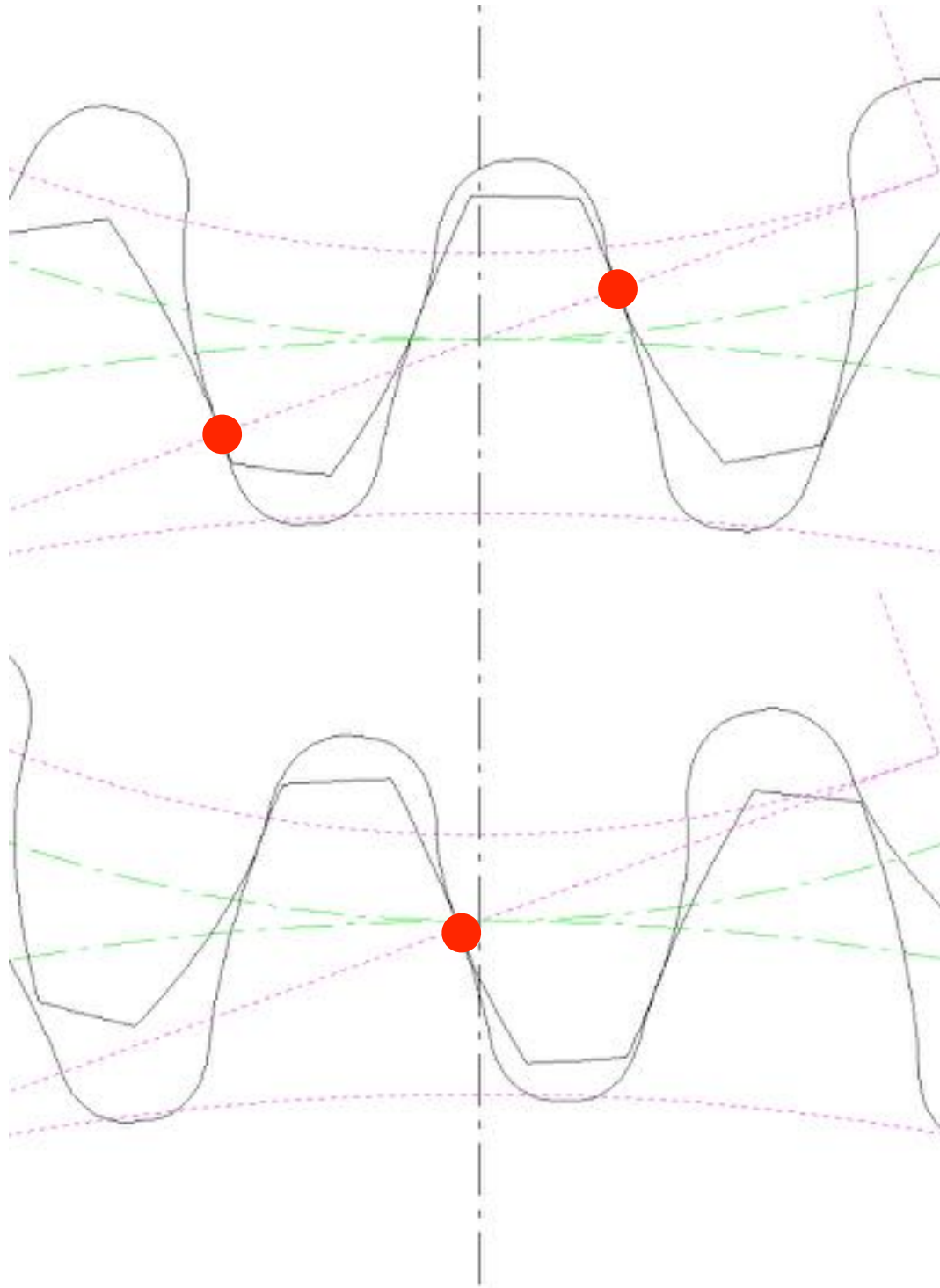
$$k(t) = \bar{k} + \Delta k(t), \quad x = \bar{x} + \Delta x, \quad \bar{k}\bar{x} = W$$

$$\begin{aligned} m \Delta\ddot{x}(t) + c \Delta\dot{x}(t) + \bar{k} \Delta x(t) \\ = \bar{k} e(t) - \Delta k(t) \bar{x} + \Delta k(t) [e(t) - \Delta x(t)] \\ \simeq \bar{k} e(t) - \Delta k(t) \bar{x} \end{aligned}$$

変位加振 係数励振



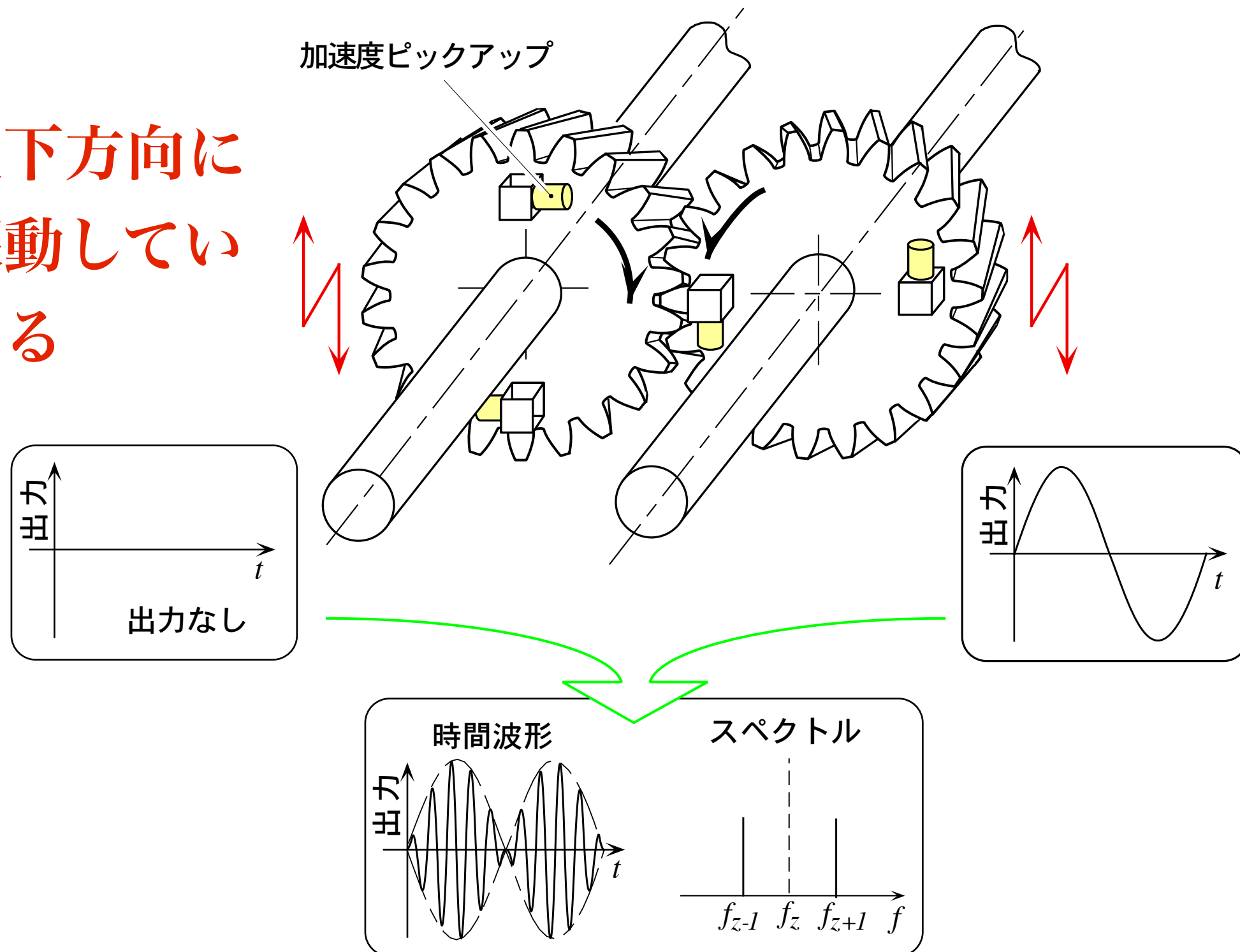
歯車間の剛性の変動



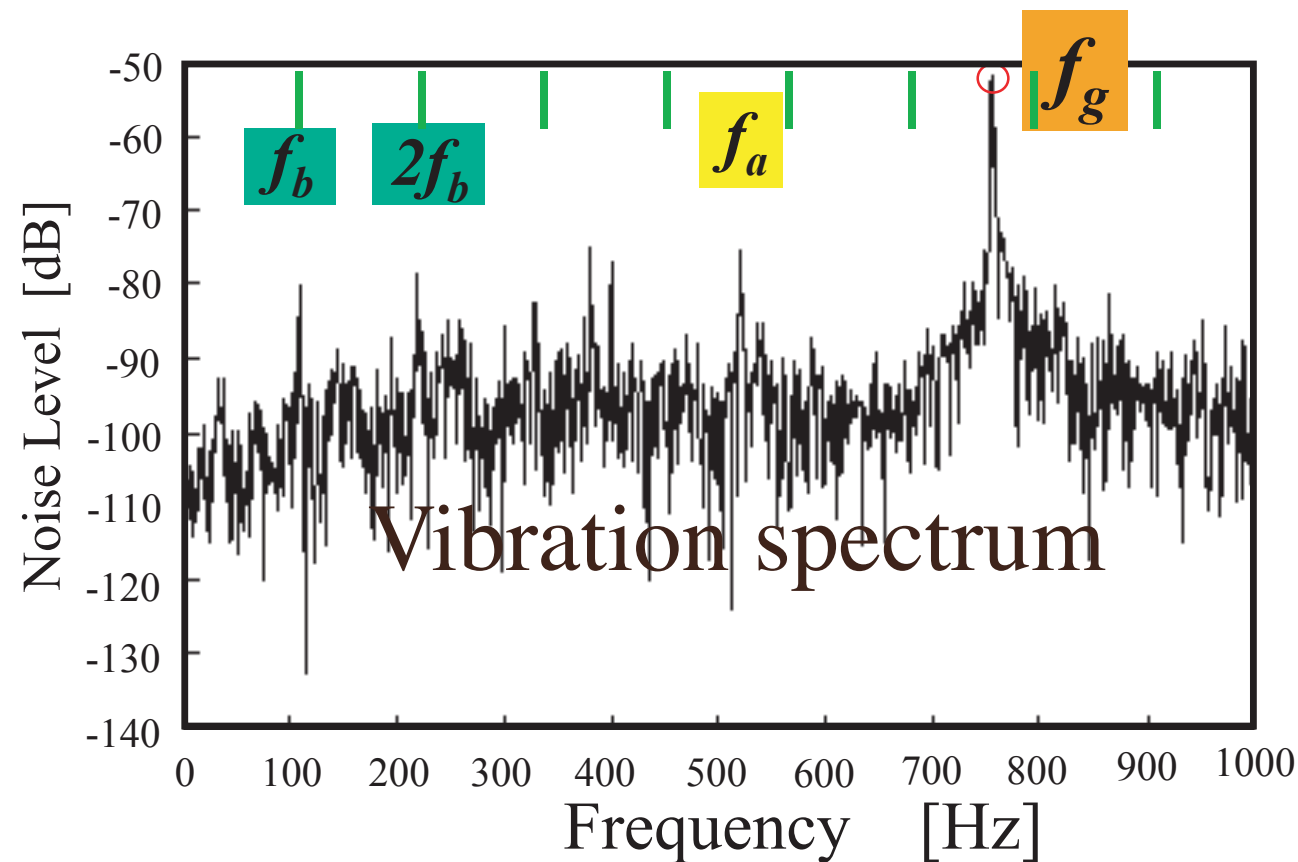
1歯対のみのかみあい
と2歯対のかみあいで
剛性が倍
※平歯車の場合

軸直角方向振動の出力の概念図

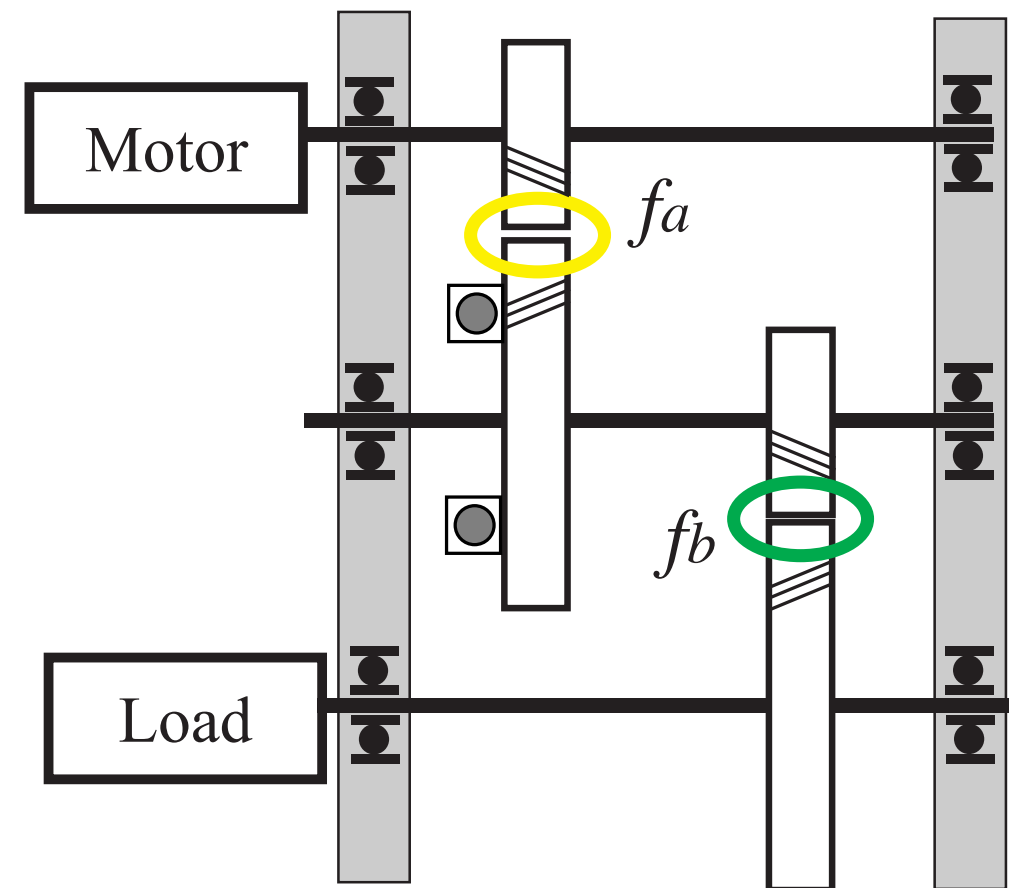
軸が上下方向に
調和振動してい
るとする



かみあい非整数次



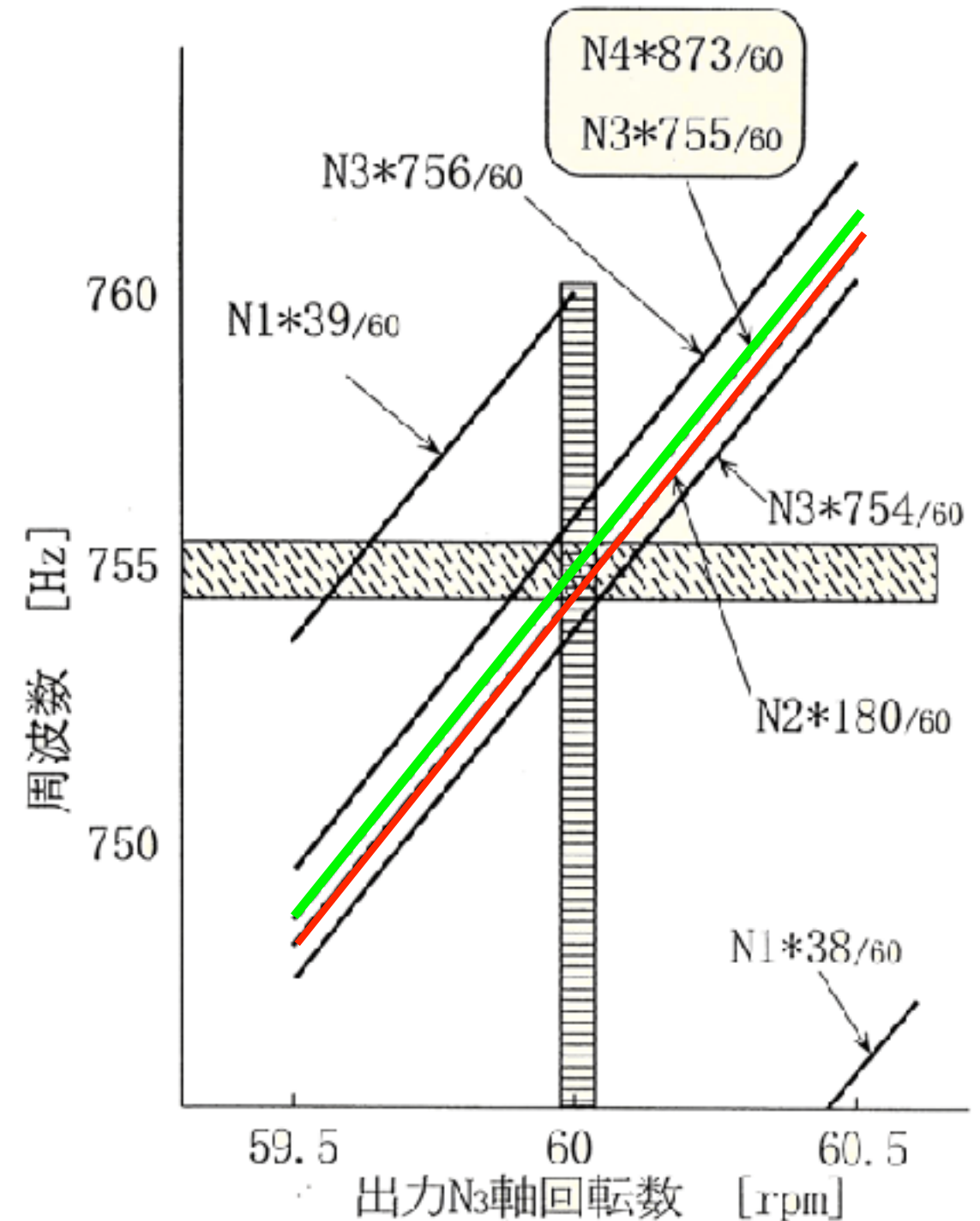
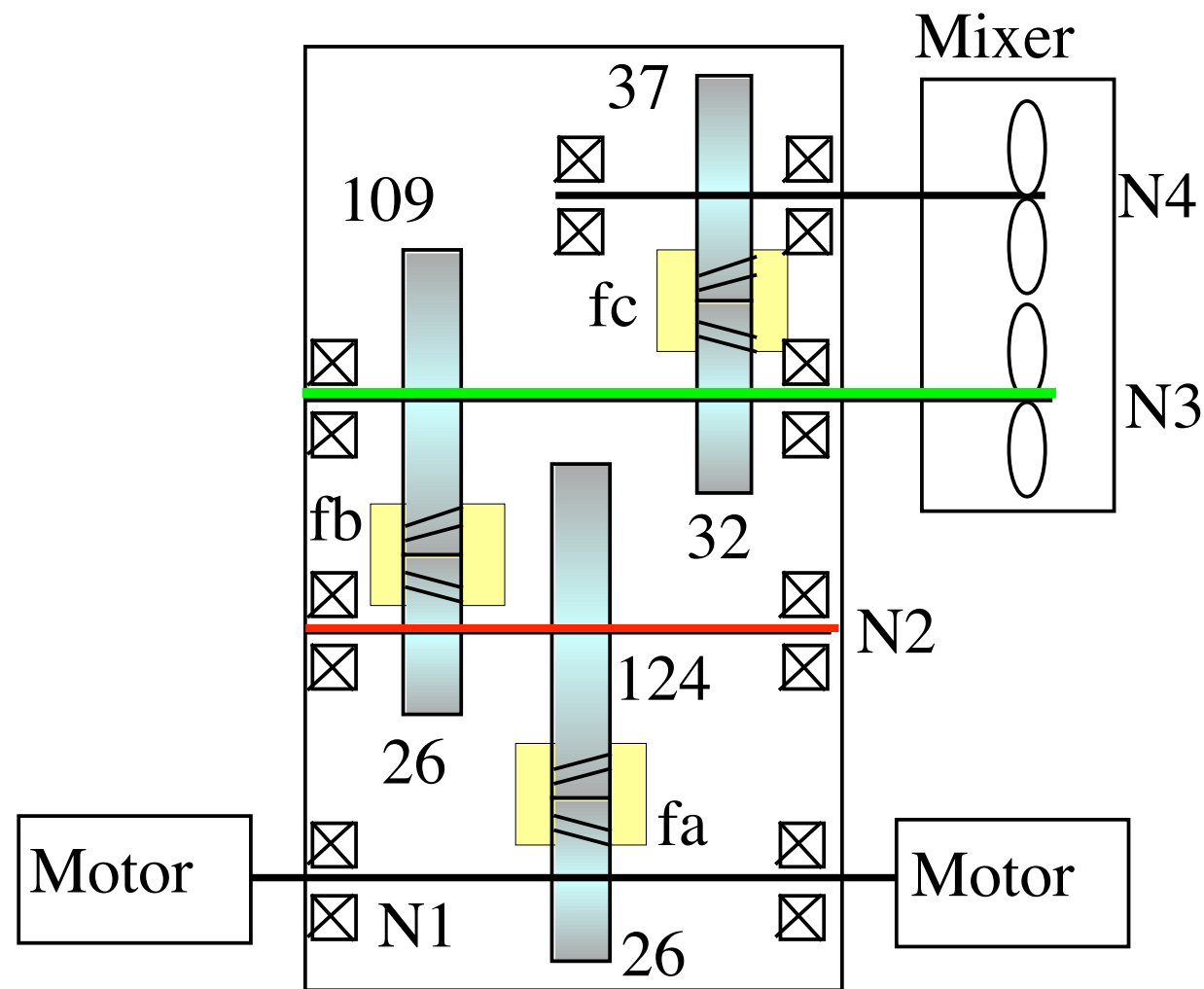
多段減速機



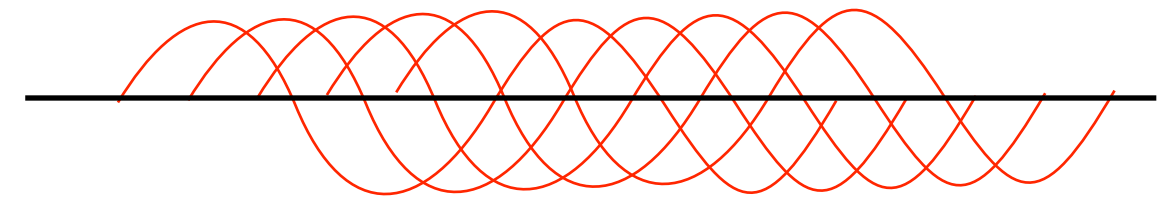
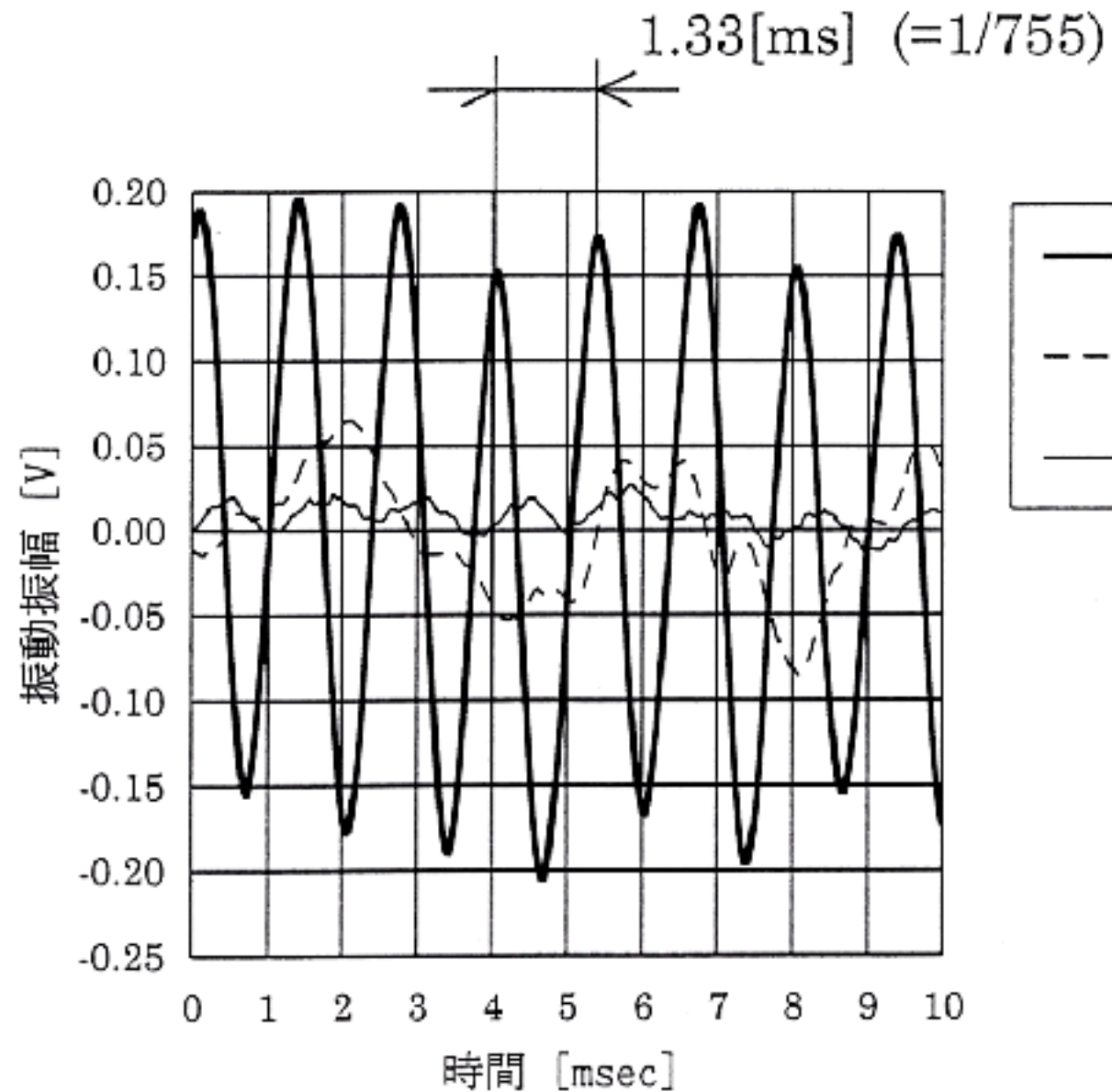
条件によってはかみあい非整数次振動成分の方が振幅
が大きいこともある

※かみあい周波数＝歯数×回転数

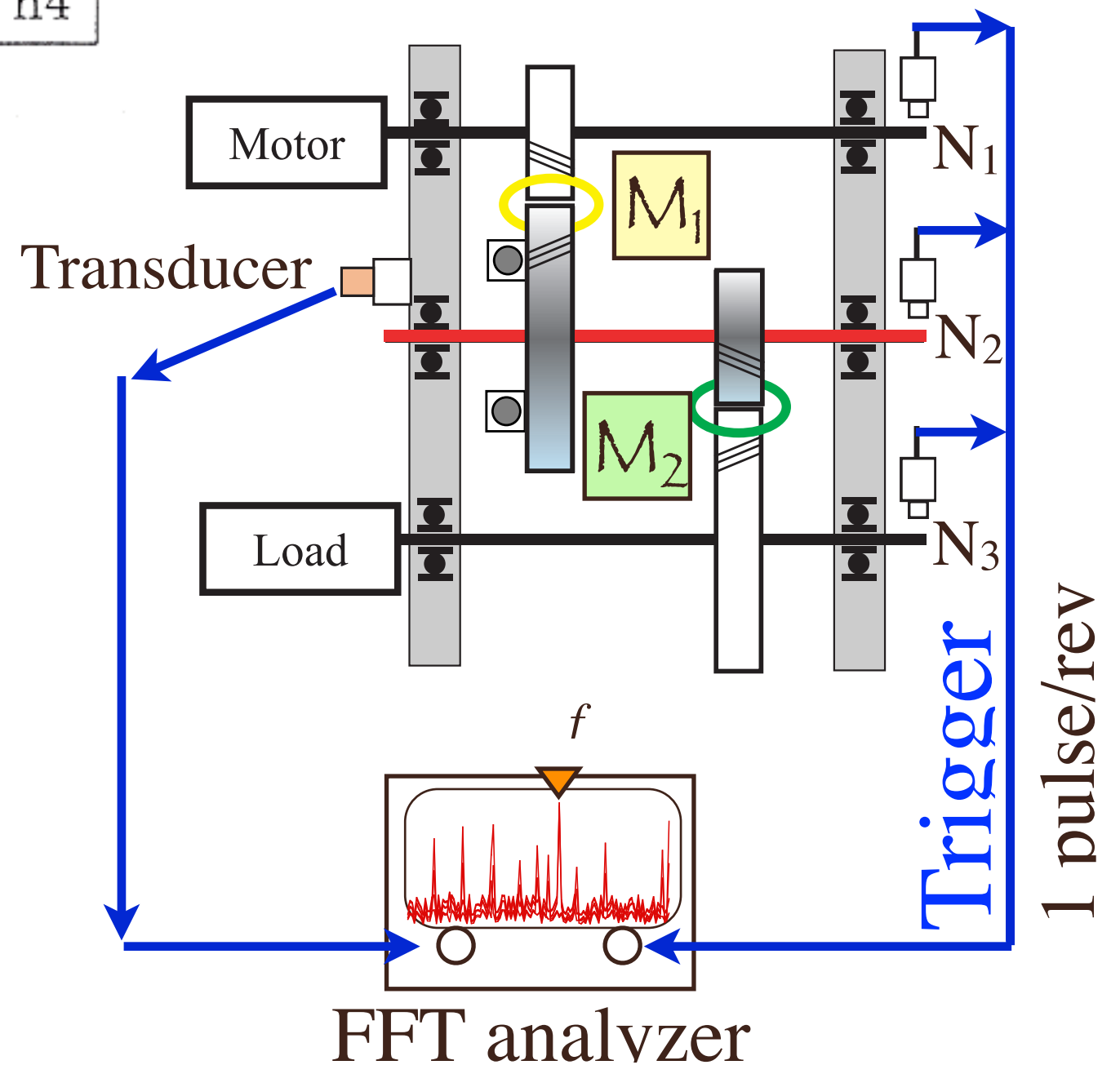
工場で稼働中の機械での騒音



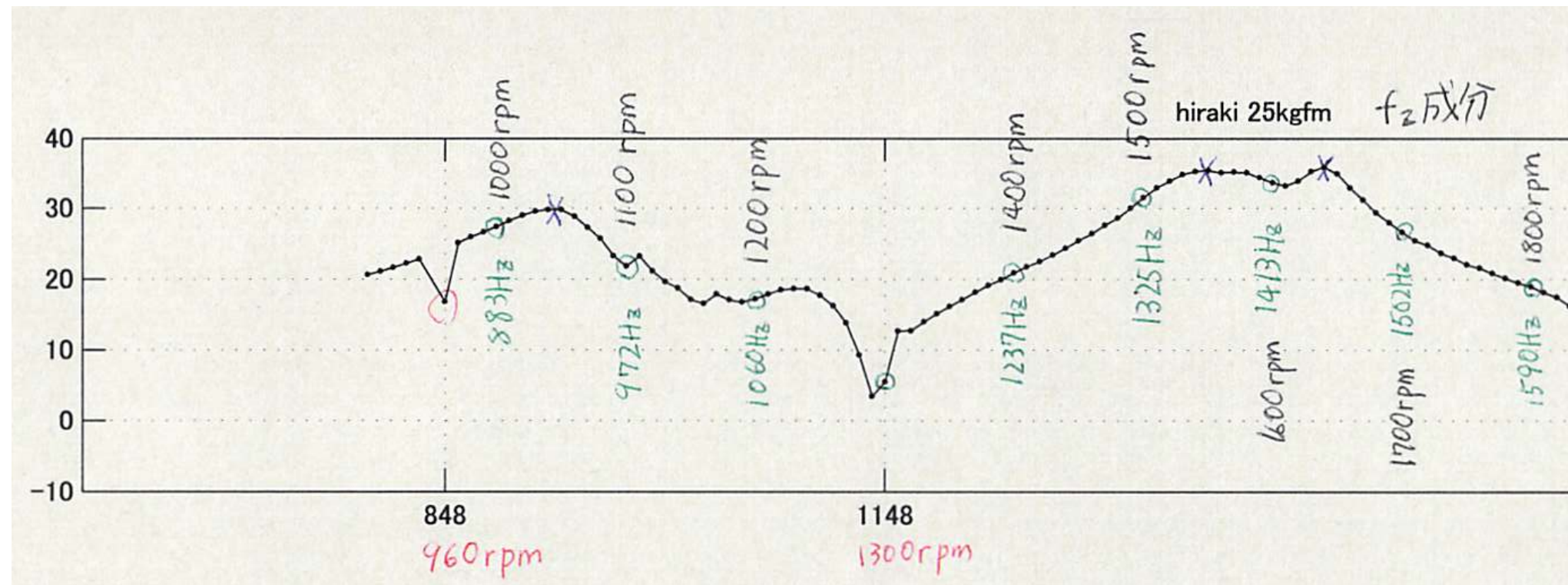
ゴム練り機で間欠運転するため，周波数分解能に限界
※十分な窓幅（計測時間）がとれない



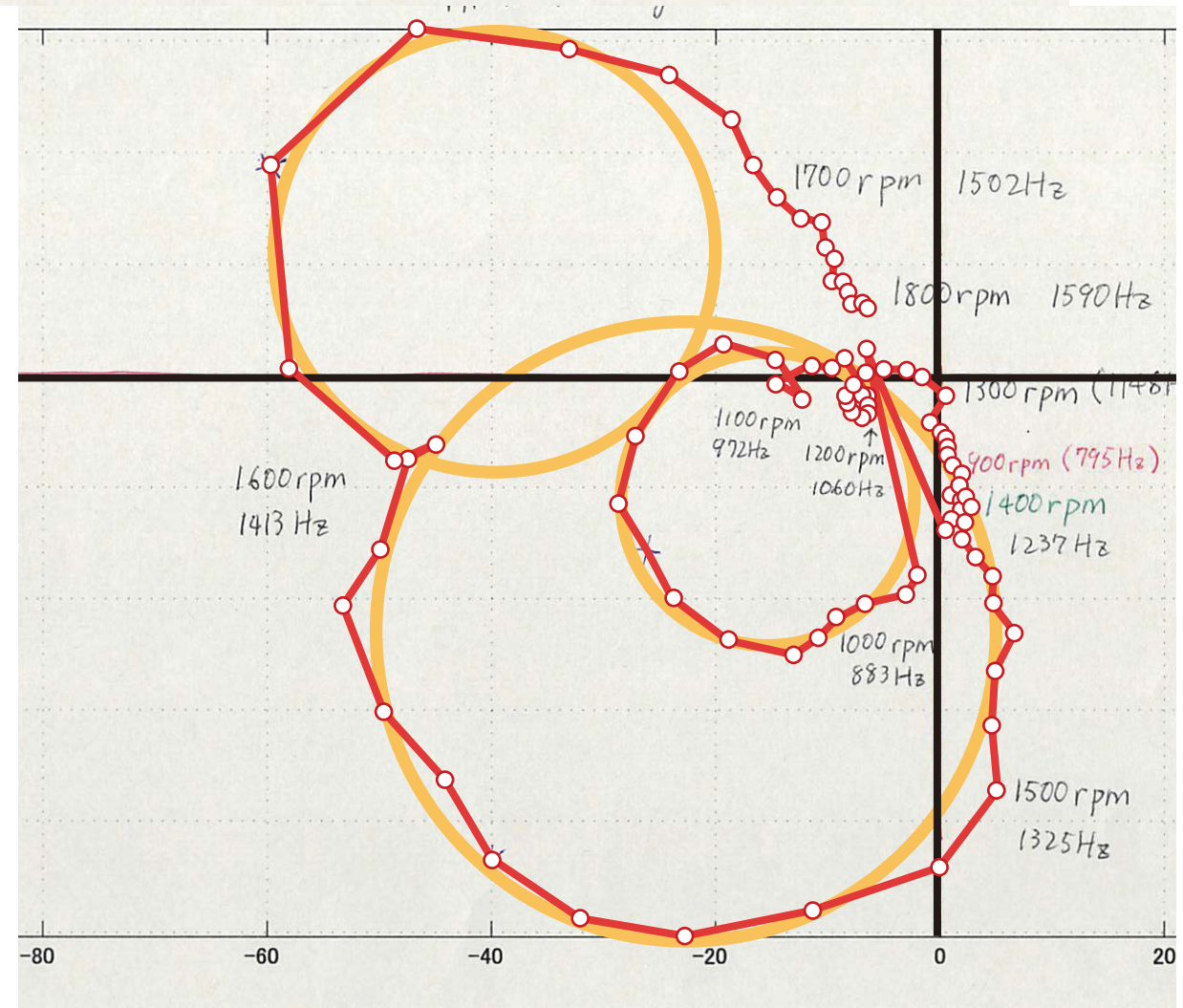
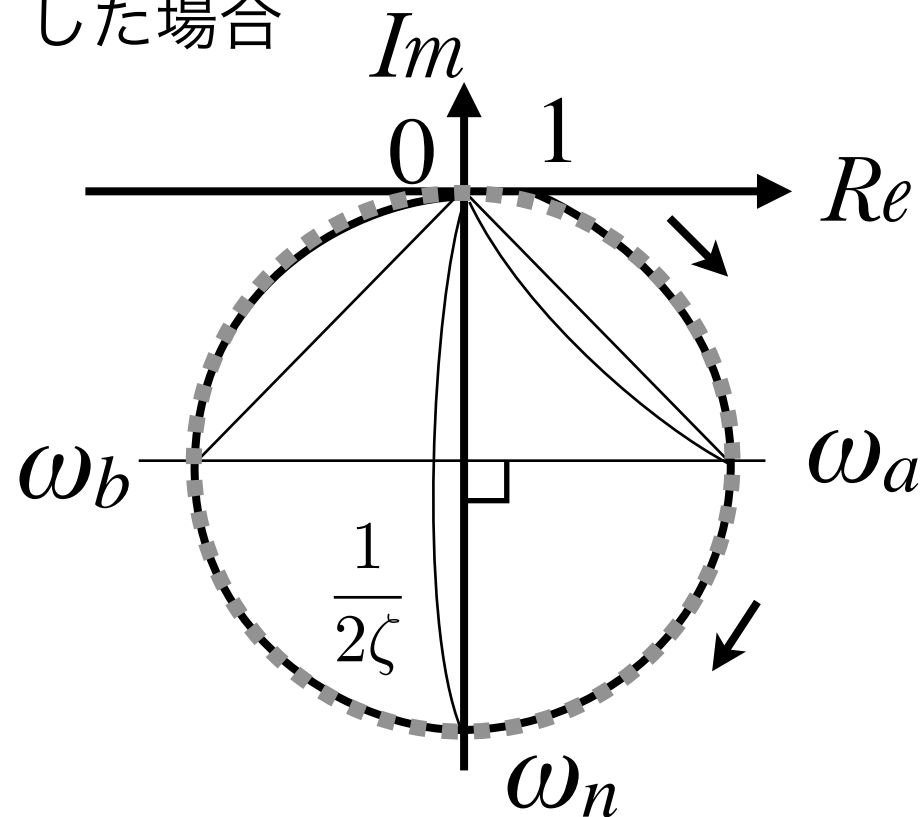
振動と同期していないトリガ信号
を元に平均化すると出力無し



歯車の振動計測とモード円



1 自由度系で無次元化
した場合



平歯車の非線形振動

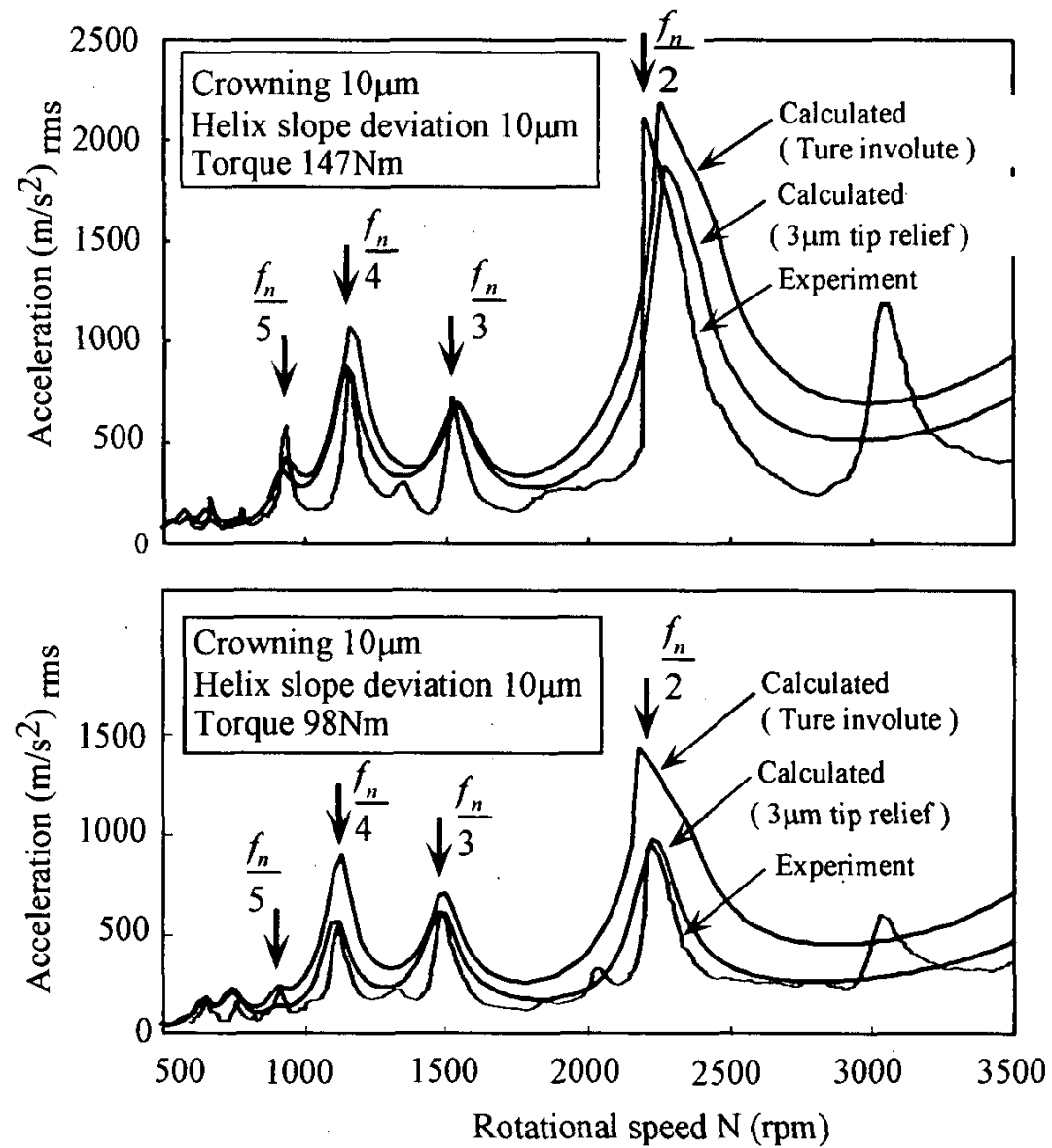


Fig. 4 Rotational vibration of crowned gear with helix slope deviation changing load torque.

