回転体におけるエナジー・ハーベスティング

Energy Harvesting in Rotating Tires

Partner: Northwestern Polytechnical University

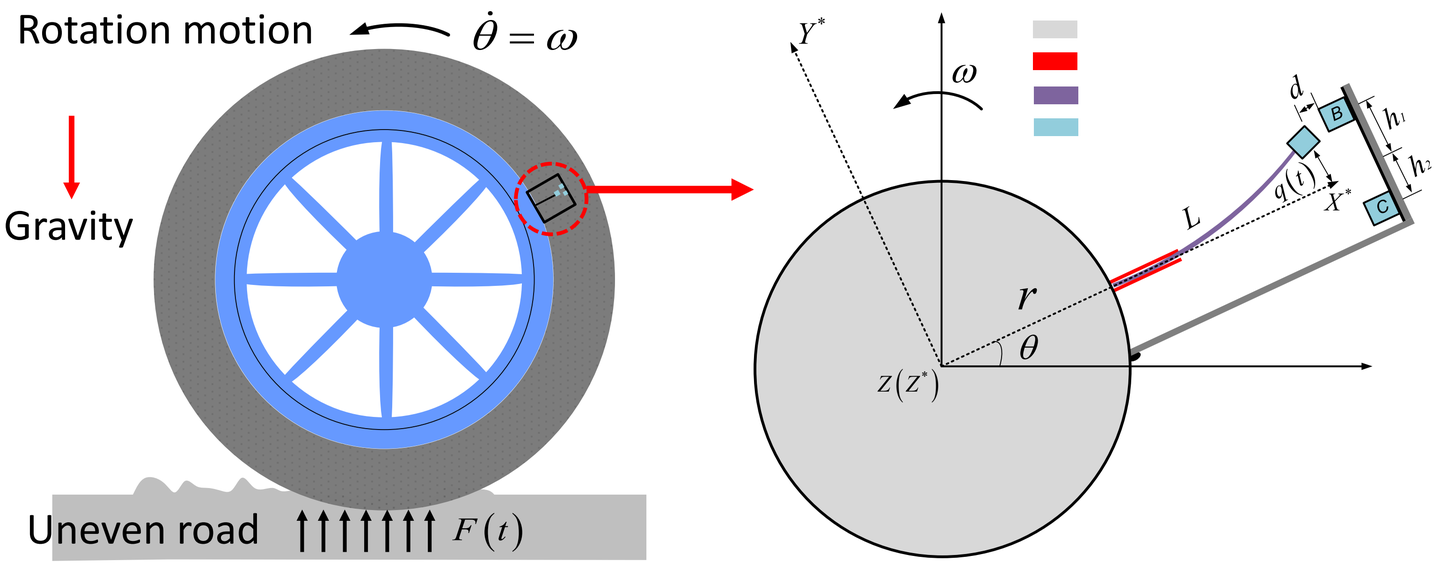
はじめに Introduction

環境に存在する微小なエネルギから発電を行うことをエナジーハーベスティングと呼ぶ。

ここでは、回転運動中に発生する振動エネルギを、圧電素子を用いて電気エネルギに変換する研究を行っている。タイヤにセンサを埋め込むことなどが考えられているが、回転している環境下では、外部からエネルギを供給することが困難である。この技術を用いれば、タイヤ内でセンサと無線送信機に必要な電力を得ることができる。

多安定系の非線形振動を用いて振動を増幅して、エナジーハーベスティングの性能を上げることを提案している。

システム設計とモデリング System design and modeling



Notes:

- *XYZ* is the reference frame
- *X*Y*Z** is the rotational coordinate system.
- θ is rotation angular displacement
- $\dot{\theta}$ is rotation angular velocity
- $\ddot{\theta}$ is rotation angular acceleration
- $q(t)$ is the displacement of the tip mass A
- $F(t)$ is external excitation
- r is the radius of rotating hub
- d, h_1 and h_2 are the parameters of the harvester.

ラグランジュ方程式を使って、提案するエナジーハーベスターの機械電気系の方程式は以下のように導かれる。

Equivalent excitation

$$M_e\ddot{q}(t)+C\dot{q}(t)+\left(K_e+K_c\dot{\theta}^2\right)q(t)+\chi\ddot{\theta}-\vartheta_p v(t)+F_m=\left[-\Gamma g+F(t)\right]\cos\theta \quad (1)$$

$$c_p\dot{v}(t)+v(t)R_l^{-1}+\vartheta_p\dot{q}(t)=0 \quad (2)$$

遠心力による等価的な剛性

加速度の影響係数

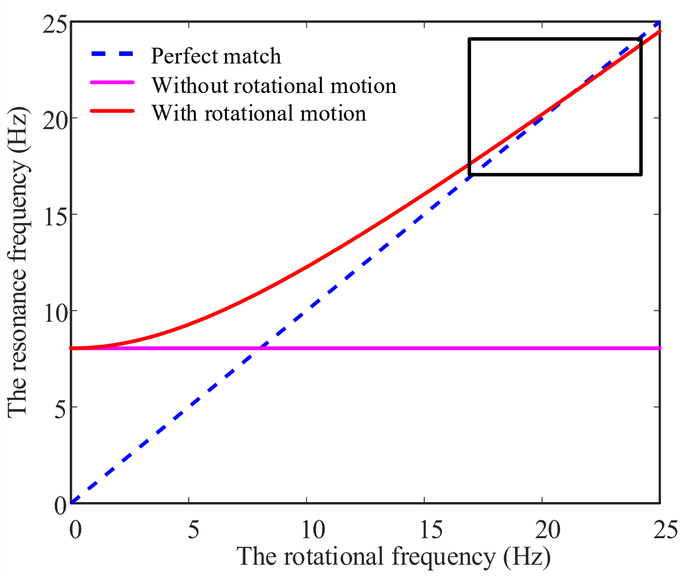
磁界の力

重力項

外力

自己調整効果の原理 Principle of self-tuning effect

Centrifugal stiffening effect → Rotational motion → Driving frequency ↑ → Resonance frequency ↑ → **Self-tuning** PEH

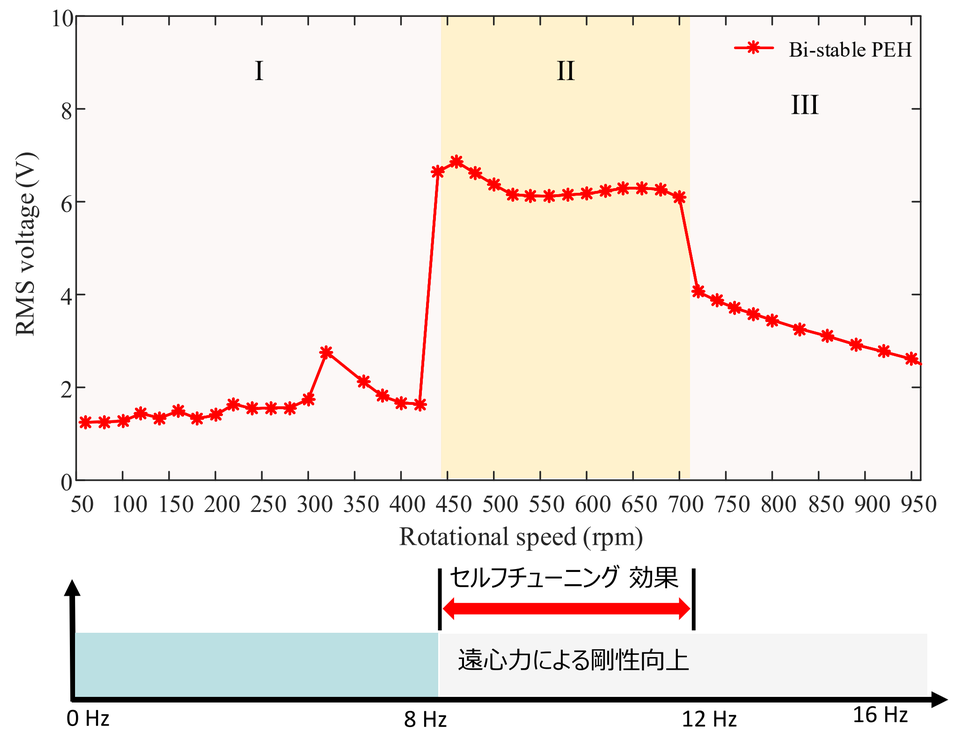


$F_c = K_{c1}\dot{\theta}^2 \cdot q(t)$ 遠心力成分

$\omega_n = \sqrt{\dfrac{\left(K_e + K_{c1}\dot{\theta}^2\right)}{M_e}}$ → 角速度

$K_{c1} = m_b\left(0.06+0.37\dfrac{r}{L}\right)+M\left(0.23+1.23\dfrac{r}{L}\right)>0$

実験結果 Experimental results



結論 Conclusions

- 先端の質量に作用する遠心力によって，セルフチューニング圧電エネルギーハーベスタを実現することができる。
- 遠心力による剛性向上効果によるセルフチューニング効果は、回転運動でのエネルギーハーベスティング性能を広げる効果的な方法。

[1] Mei X, Zhou S, Yang Z, Kaizuka T and Nakano K (2019) The benefits of an asymmetric tri-stable energy harvester in low-frequency rotational motion. *Appl. Phys. Express* **12** 057002.

[2] Mei X, Zhou S, Yang Z, Kaizuka T and Nakano K (2020) A tri-stable energy harvester in rotational motion: Modeling, theoretical analyses and experiments. *Journal of Sound and Vibration*, 469, 115142

[3] Mei X, Zhou S, Yang Z, Kaizuka T and Nakano K (2020) A passively self-tuning nonlinear energy harvester in rotational motion: theoretical and experimental investigation. *Smart Materials and Structures*, 29(4), 045033.