

センサ工学 磁気センサとその応用

ロボティクス学科 平井 慎一

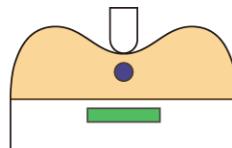
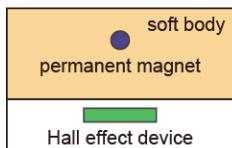


センシング量とセンシング方式

	歪み		応力		近接	表面	温度
	伸縮	曲げ	力	滑り			
電気抵抗							
静電容量							
圧電効果							
磁気							
光							



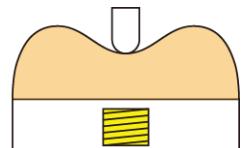
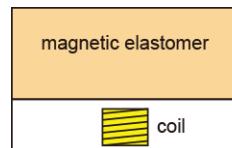
原理



磁束密度の変化をホール素子で検出



原理



透磁率の変化をコイルのインダクタンスで検出



ホール素子



ホール(Hall)効果により磁場を検出
ブラシレスモータ
スマートフォンの地磁気センサ

https://www.asahi-kasei.co.jp/asahi/jp/news/2013/images/ze140320_01.jpg



ローレンツ力

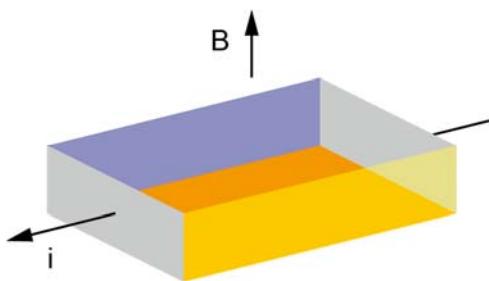
$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

q : 電荷 \mathbf{v} : 電荷の速度

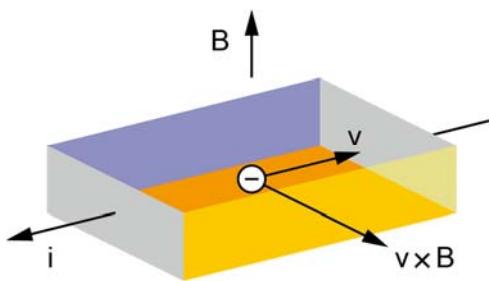
\mathbf{B} : 磁束密度 (磁場)



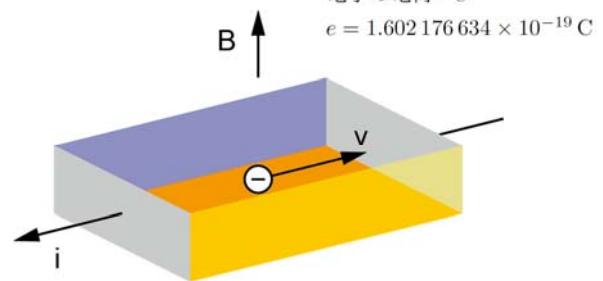
ローレンツ力



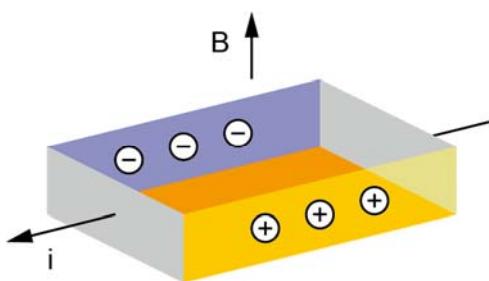
ローレンツ力



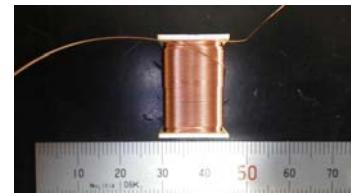
ローレンツ力



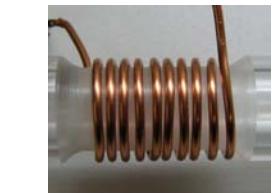
ホール効果



ソレノイドコイル



<https://www.okuyama-coil.jp/images/coil10.jpg>



http://blogimg.goo.ne.jp/user_image/7b/e5/15634cd909ef667ae13c598262783058.jpg

Ritsumeikan Univ.
Soft Robotics Lab.

ソレノイドコイルのインダクタンス

$$L = \mu \frac{SN^2}{L}$$

L : コイルの長さ, S : コイルの断面積

N : コイルの巻き数

μ : コイルの芯の透磁率

透磁率

真空の透磁率

$$\mu_0 = 1.25663706212 \times 10^{-6} \text{ H/m}$$

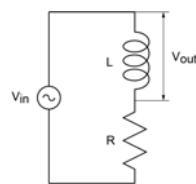


透磁率

比透磁率	
鉄	5,000 – 200,000
パーマロイ	100,000
ケイ素鋼	4,000
ニッケル	100 – 600
アルミニウム	1.000022
空気	1.00000037
銅	0.999994
水	0.999992



インダクタンスの計測



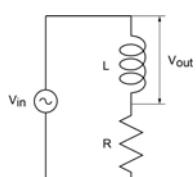
$$V_{\text{in}} - V_{\text{out}} - Ri = 0$$

$$V_{\text{out}} = L\dot{i}$$

$$V_{\text{in}} - V_{\text{out}} - Ri = 0$$

$$V_{\text{out}} = Lsi$$

インダクタンスの計測

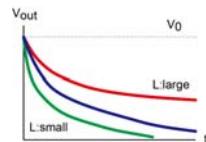
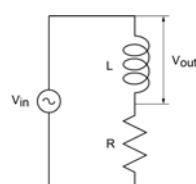


$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= \frac{s}{s + R/L} V_{\text{in}} \\ &= \frac{s}{s + R/L} \frac{V_0}{s} \\ &= V_0 \frac{1}{s + R/L} \end{aligned}$$

$$V_{\text{out}}(t) = V_0 \exp\left(-\frac{R}{L}t\right)$$



インダクタンスの計測



$$V_{\text{out}}(t) = V_0 \exp\left(-\frac{R}{L}t\right)$$



センシング量とセンシング方式

	歪み		応力		近接	表面	温度	
	伸縮	曲げ	力	滑り				
電気抵抗								
静電容量								
圧電効果								
磁気								
光								

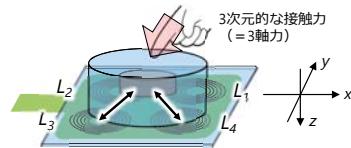
Ritsumeikan Univ.
Soft Robotics Lab.

コイルを用いた磁気式触覚センサ

川節 拓実 (大阪大学)



複数のコイルを用いることで接触力の方向も推定可能



磁性エラストマと各コイル間の距離が各コイルのインダクタンスを決める

$$\begin{cases} F_x \propto (L_1 + L_4) - (L_2 + L_3) \\ F_y \propto (L_1 + L_2) - (L_3 + L_4) \\ F_z \propto L_1 + L_2 + L_3 + L_4 \end{cases}$$

T. Kawasetsu, et al., "Flexible tri-axis tactile sensor using spiral inductor and magnetorheological elastomer," *IEEE Sens. J.*, no. 18, vol. 14, pp.5834-5841, 2018.

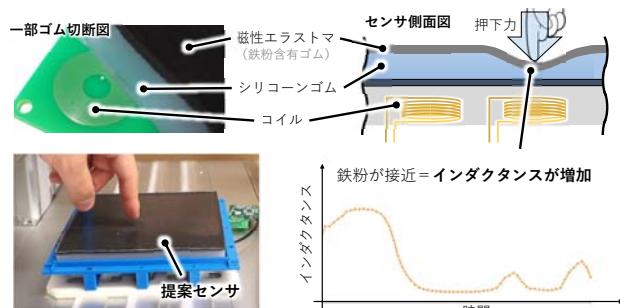
21

コイルを用いた磁気式触覚センサ

川節 拓実 (大阪大学)



磁性エラストマの変位 (=接触力) をインダクタンス変化から取得



T. Kawasetsu, et al. "Size dependency in sensor response of a flexible tactile sensor based on inductance measurement." Proc. 2017 IEEE Sensors Conf., 2017.

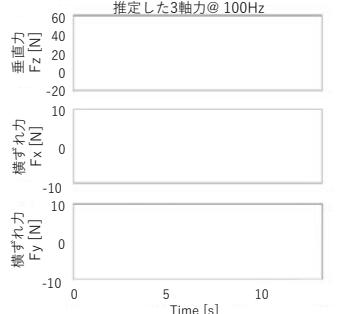
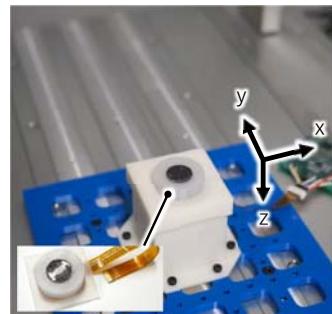
20

コイルを用いた磁気式触覚センサ

川節 拓実 (大阪大学)



複数のコイルを用いることで接触力の方向も推定可能

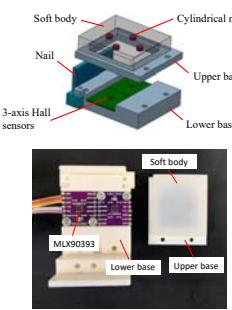


T. Kawasetsu, et al., "Flexible tri-axis tactile sensor using spiral inductor and magnetorheological elastomer," *IEEE Sens. J.*, no. 18, vol. 14, pp.5834-5841, 2018.

22

Magnetic-based Tactile Sensing

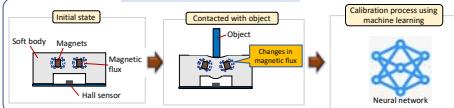
Design and Fabrication



Hisyam Rosle
Universiti Malaysia Perlis



Sensing Principle



Assembly Task

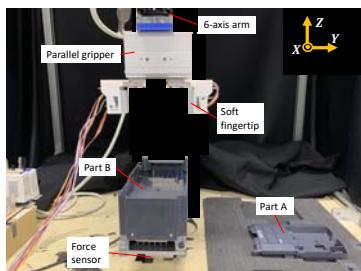


M. H. Rosle, R. Kojima, K. Or, Z. Wang, and S. Hirai, "Soft Tactile Fingertip to Estimate Orientation and the Contact State of Thin Rectangular Objects," in *IEEE Robotics Automation Letters*, vol. 5, no. 1, pp. 159-166, 2020

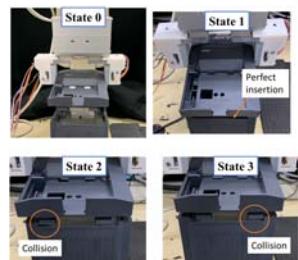
Magnetic-based Tactile Sensing

Contact State Classification

Hisyam Rosle
Universiti Malaysia Perlis



Experimental setup using 6-axis arm: classification of contact states with electrical converter



Contact state definition.
Successful state: State 1
Failure state: State 2 and 3

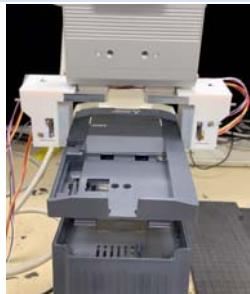
Magnetic-based Tactile Sensing



The arm moved upward once failure state (State 2 and 3) was detected



State 2 (Left collision)



State 3 (Right collision)