
加速度センサ・パラメータ抽出仕様

2008/3/10 第 1.0 版

ファイン MEMS システム化設計プラットフォーム

研究開発プロジェクト

はじめに

本文書では、MEMS 等価回路 Web ライブラリに掲載されたデバイスのうち、「加速度センサ」の等価回路の回路定数を計算する際に必要なパラメータの抽出仕様について概説する。

更新履歴表

版名	改訂日付	主要改訂内容
第 1.0 版	2008.3.10	初版

目次

1	ピエゾ抵抗型加速度センサ	3
1.1	抽出対象パラメータ	3
1.2	パラメータ抽出方法	4
1.2.1	抵抗の計算	4
1.2.2	Azブリッジにおける応力.....	5
1.2.3	Axブリッジにおける応力.....	7

1 ピエゾ抵抗型加速度センサ

本節では、ピエゾ抵抗型加速度センサのパラメータ抽出仕様を示す。

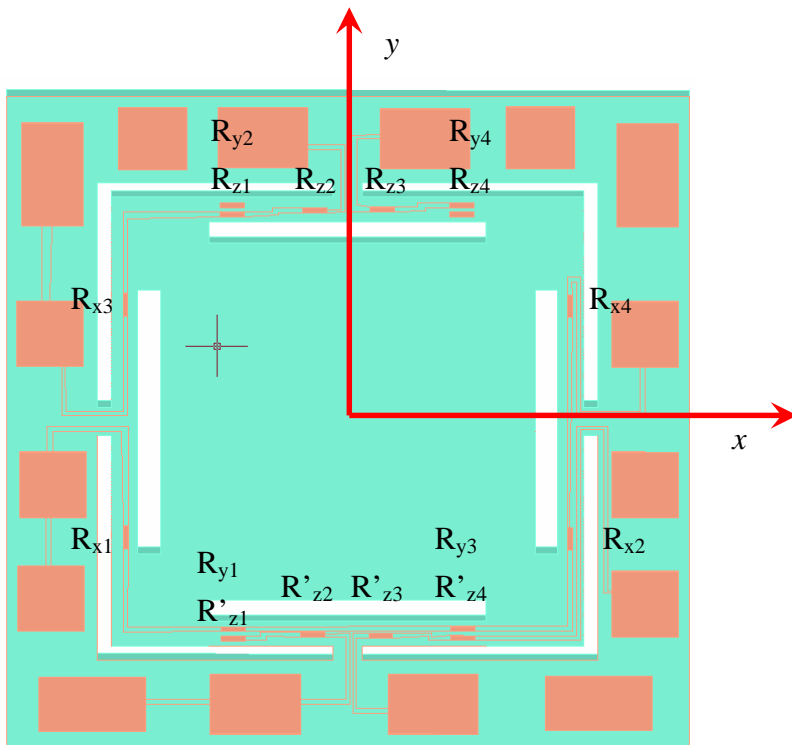


図 1 ピエゾ抵抗型加速度センサ

1.1 抽出対象パラメータ

加速度の成分ごとに、検出ブリッジ回路が構成されている。このブリッジ回路の各抵抗値を抽出する。

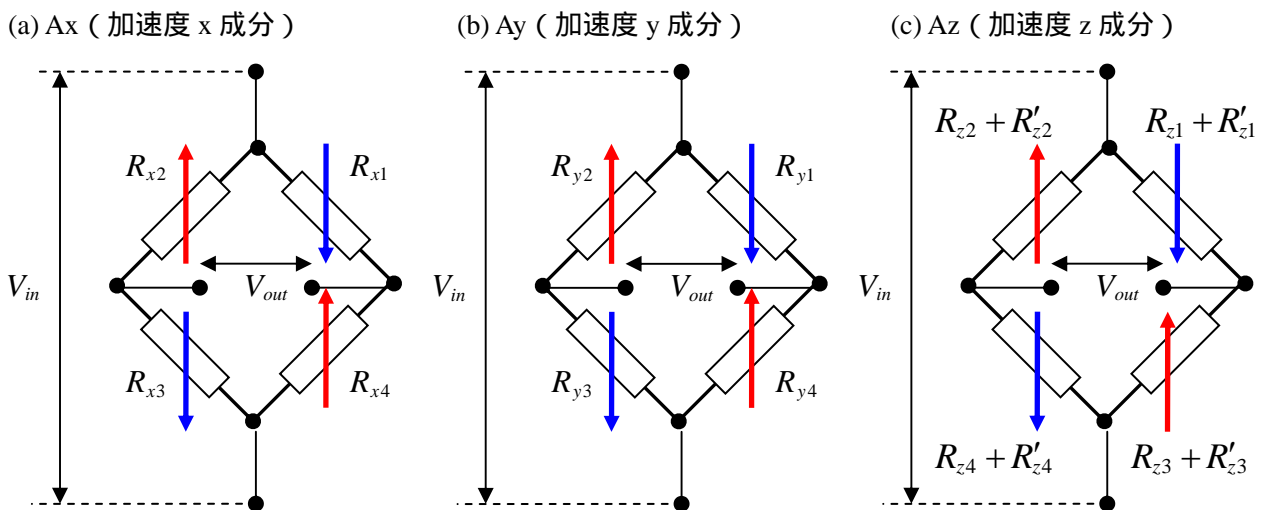


図 2 ブリッジ回路

1.2 パラメータ抽出方法

1.2.1 抵抗の計算

抵抗変化の計算においては、ビームの長さ方向の応力だけを考慮する。

$$\frac{\Delta R}{R_0} = \pi_l \sigma_l$$

ここで、

抵抗変化： ΔR 、長さ方向の応力： σ_l

応力ゼロでの抵抗： $R_0 = \rho \frac{L}{wt}$ (e.g. $\rho = 7.8 \Omega\text{cm}^{-1}$)

長さ方向のピエゾ係数： $\pi_l = \pi_{11} - 2(\pi_{11} - \pi_{12} - \pi_{44}) \cos^2 \phi \sin^2 \phi$

(e.g. x軸が $\langle 110 \rangle$ の場合、 $\pi_l = \frac{1}{2}(\pi_{11} + \pi_{12} + \pi_{44}) = 71.8 \times 10^{-11} \text{ Pa}^{-1}$)¹

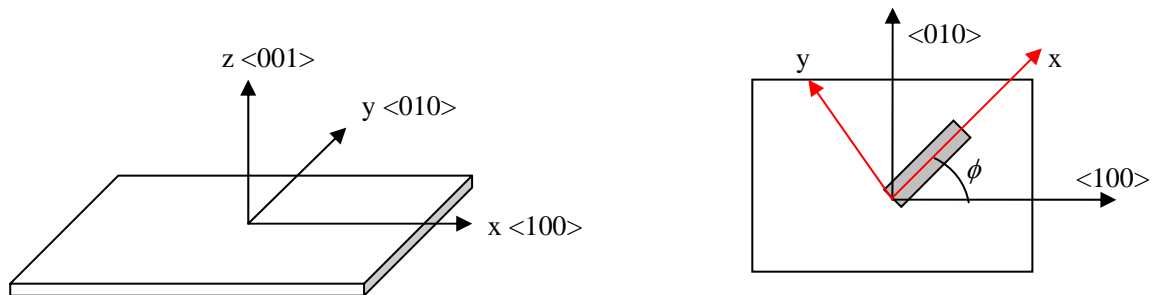


図 3 角度 の定義

¹ 室温でのp-型ピエゾ抵抗係数として、 $\pi_{11} = +6.6 \times 10^{-11} \text{ Pa}^{-1}$ 、 $\pi_{12} = -1.1 \times 10^{-11} \text{ Pa}^{-1}$ 、 $\pi_{44} = +138.1 \times 10^{-11} \text{ Pa}^{-1}$ を用いた。

1.2.2 Azブリッジにおける応力

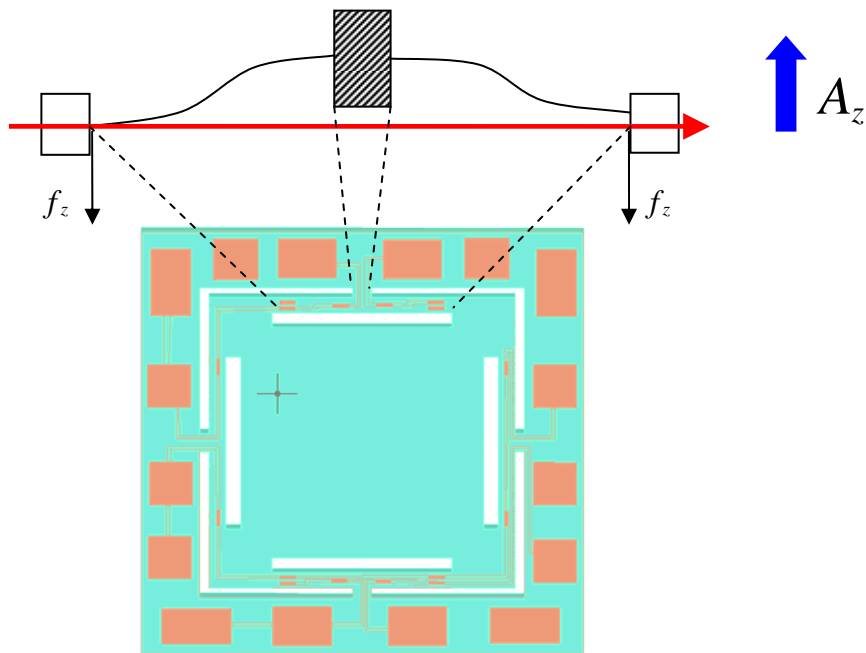


図 4 Z 方向加速度が加わったときのビームの変形

Z 方向に加速度が加わったときにビームの一端に働く慣性力は、

$$f_z = \frac{1}{8} m A_z$$

ここで、m は錘の質量、Az は z 方向の加速度である。

ビームの一端に慣性力 fz が加わったときの変形は図 4 に示す通りである。このとき、曲げモーメント²は、

$$M(x) = \frac{f_z}{2} (l - 2x)$$

と表わされる。従って、Si 表面での長さ方向の応力は、

$$\sigma_l = -\frac{M}{I_z} \cdot \frac{t}{2} = \frac{3(2x-l)}{wt^2} f_z$$

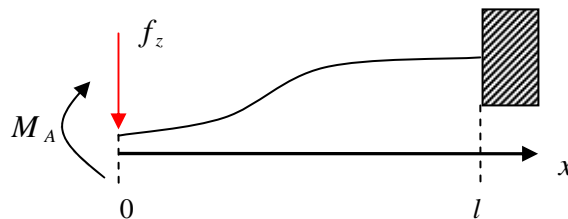


図 5 一端完全固定、一端回転拘束のビーム

² W. C. Young and R. G. Budynas, "Roark's Formulas for Stress and Strain (Seventh Edition)," pp.189 Table8.17, McGraw-Hill (2002).

図 6 の形状パラメータに対して、- z 方向に 20g の加速度が加わった場合、応力を計算すると、

$$f_z = \frac{mA_z}{8} = \{2331\text{kg/m}^3 \times (206\mu\text{m} \times 206\mu\text{m} \times 400\mu\text{m})\} \times (-20 \times 9.8\text{ms}^{-2}) / 8$$

$$\sigma_l(x=0) = -\frac{3l}{wt^2} f_z = -\frac{3 \times 58\mu\text{m}}{13\mu\text{m} \times 3\mu\text{m} \times 3\mu\text{m}} f_z = 1.442\text{MPa}$$

CoventorWare による FEM 解析で得られた応力値 1.334 MPa と比較すると、解析式による値は FEM 解析とよい一致を示している。

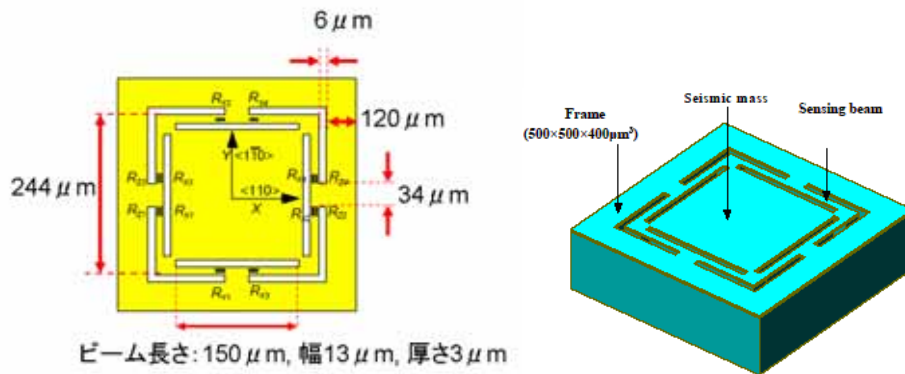


図 6 形状パラメータ³

³ Asamitsu Sakai, Dzung Viet Dao, Akira Okamura, and Susumu Sugiyama, "Fabrication of an Ultra Small 3-DOF Accelerometer Utilizing Small External Influence Structure and Si Nanoscale Piezoresistors" Proceedings of the 23rd Sensor Symposium on Sensors, Micromachine and Applied Systems, Oct.5-6, 2006, Takamatsu, Kagawa, Japan, pp.270-273 (2006.10).

1.2.3 Axブリッジにおける応力

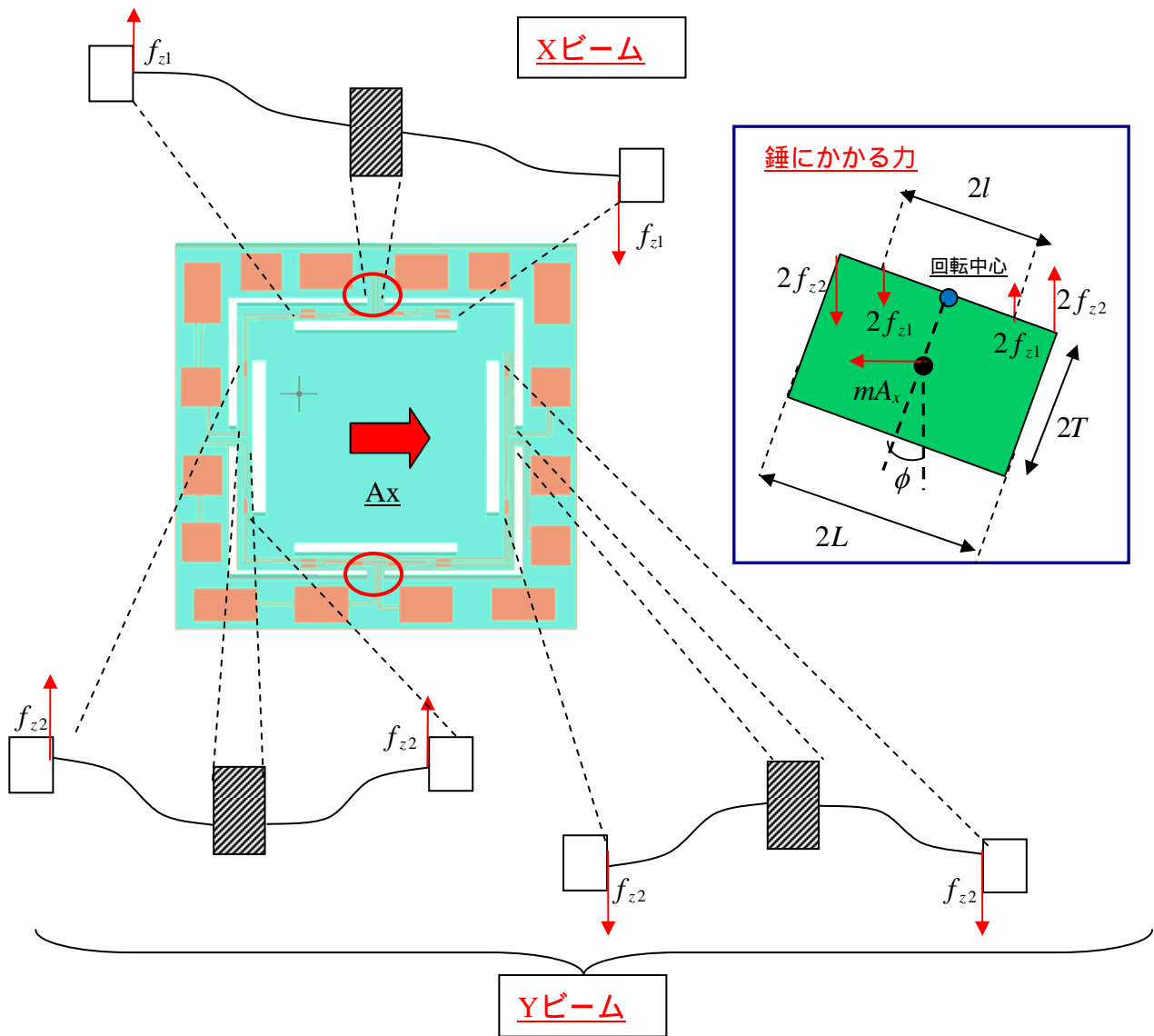


図 7 x 方向に加速度が加わったときの変形

y軸周りの力のモーメントの釣り合い

x 方向の加速度が掛かったとき、錘は y 軸まわりに ϕ [rad] だけ回転するとする。このとき、モーメントのつりあいの式は、

$$(mA_x \cos \phi)T = 2 \times (2f_{z1} \cos \phi) \times l + 2 \times 2f_{z2} \cos \phi \times L \quad (1)$$

$$\therefore mA_x T = 4f_{z1}l + 4f_{z2}L$$

Xビーム、Yビームの曲げの解析

ビームの曲げの解析から、ビームの一端に働く力 f_{z1} 、 f_{z2} を求める。

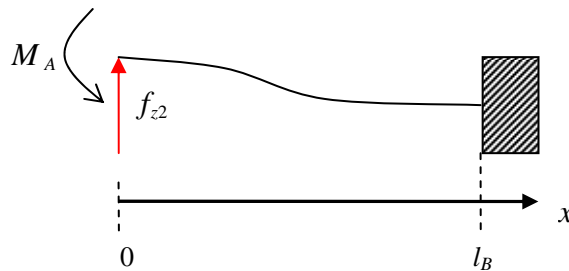
【Yビームの一端に働く力 f_{z2} と z 方向変位 z_2 の関係】

z 方向に加速度が掛かったときと同様に、X、Yビームの変形を「一端完全固定、他端回転拘束」の梁の解析式で表現できるとする。このとき、 z 方向変位は、

$$z_1 = \frac{l_B^3}{12EI} f_{z1} \quad (2)$$

$$z_2 = \frac{l_B^3}{12EI} f_{z2} \quad (3)$$

と表わされる。

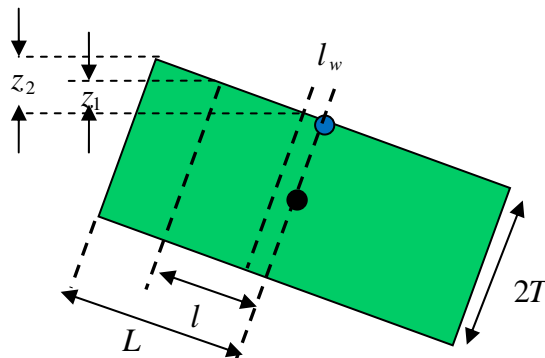


【 z 方向変位 z_1, z_2 の関係】

下図から、 z 方向変位 z_1, z_2 の関係は、

$$\frac{z_1}{l-l_w} = \frac{z_2}{L-l_w} \quad (4)$$

が成り立つ。



【ビームの一端に働く力 f_{z1} 、 f_{z2} 】

(1)-(4)より、

$$f_{z1} = \frac{mA_x T(l-l_w)}{4\{l(l-l_w) + L(L-l_w)\}}$$

$$f_{z2} = \frac{mA_x T(L-l_w)}{4\{l(l-l_w) + L(L-l_w)\}}$$

Xビーム、Yビームの応力分布

「一端完全固定、他端回転固定」の梁の長さ方向の応力分布の解析式を用いると、Xビーム、Yビームの応力分布はそれぞれ、

$$\sigma_l(\text{X beam}) = \frac{3(2x - l_B)}{wt^2} f_{z1}, \quad \sigma_l(\text{Y beam}) = \frac{3(2x - l_B)}{wt^2} f_{z2}$$

下図に示した形状パラメータを用いて、ビームの一端に働く軸方向応力を計算すると、
 $m = 2331 \text{kg/m}^3 \times (206 \mu\text{m} \times 206 \mu\text{m} \times 400 \mu\text{m})$

$$\sigma_l(\text{X beam}) = \frac{3l_B}{wt^2} f_{z1} = \frac{3 * 58u}{13u * (3u)^2} \frac{m * (20 * 9.8) * 200u * (75u - 17u)}{4\{75u * (75u - 17u) + 122u * (122u - 17u)\}} = 1.949 \text{MPa}$$

$$\sigma_l(\text{Y beam}) = \frac{3l_B}{wt^2} f_{z2} = \sigma_l(\text{X beam}) * \frac{L - l_w}{l - l_w} = * \frac{122u - 17u}{75u - 17u} = 3.529 \text{MPa}$$

となる。CoventorWare による FEM 解析で得られた応力値

$$\sigma_l(\text{X beam}) = 1.889 \text{MPa}$$

$$\sigma_l(\text{Y beam}) = 3.503 \text{MPa}$$

と比較すると、解析式による値は FEM 解析結果とよい一致を示している。

