

# QCM センサにおける AT-cut と SC-cut の Kanazawa-Gordon 式の関係について

## On Kanazawa-Gordon equation of AT-cut and SC-cut in QCM sensors

首都大理工 ○渡邊慎也, 馬昀灝, 佐藤隆幸, 渡部泰明<sup>1</sup>

Tokyo Metro. Univ., <sup>○</sup>Shinya Watanabe, Ma Yunhao, Takayuki Sato, Yasuaki Watanabe

E-mail<sup>1</sup>: y.watanabe@ieee.org

### 1. はじめに

一般に QCM には AT-cut 水晶振動子が多く用いられるが, 本研究では SC-cut 用いたセンサを開発中である. その理由は 1) QCM では SC-cut 利用した例が殆ど無い点, および 2) SC-cut には AT-cut に見られるような厚み滑りだけでなく厚み屈曲を持ち得る点の 2 点である. ここでは前々会の応物 (2016 秋) で概要を説明したが, 今回 Kanazawa-Gordon の式 (以下 KG 式) を用いて厳密解を求める方法について考察する.

ここでは, 35°C に保ったグリセリン水溶液の濃度を変化させる実験を行った. このことより KG 式を用いることで, AT-cut に比べ SC-cut は約 3.5 倍の有効感度差があることが分かった.

### 2. Kanazawa-Gordon 式

KG 式は以下のように表すことができる.

$$\Delta f = -f_0^{3/2} \left( \frac{\eta_1 \rho_1}{\pi \mu_x \rho} \right)^{1/2} \quad (1)$$

ここで  $f_0$  は共振周波数,  $\rho = 2.648 \text{ g/cm}^3$  は水晶密度,  $\mu_x$  は AT-cut および SC-cut の剪断弾性係数である. ( $\mu_x = 29.47 \text{ GPa}$  (AT-cut), および  $\mu_x = 41.33 \text{ GPa}$  (SC-cut (B mode))). さらに  $\eta_1$  および  $\rho_1$  は各水溶液の濃度に対する粘性および密度である. ここで AT-cut では基本波 24MHz 振動子を用い, SC-cut は基本波 36MHz の振動子をそれぞれ用いた.

### 3. 測定結果

Fig.1 はこの式を用いずに周波数特性をプロットしたものである. これより SC-cut が AT-cut に比べ検出感度が高いことが分かり, AT-cut と SC-cut の共振周波数を鑑みても, その優位性が顕著である.

Fig.2 は, 式(1)を用い, 密度は分かっているのに粘性だけを取り出した結果である. 但し粘性は純水を 0 として換算したため誤差を含んでいる.

これより KG 式を用いても SC-cut の優位性は変わらず約 3.5 倍の感度差が得られた.

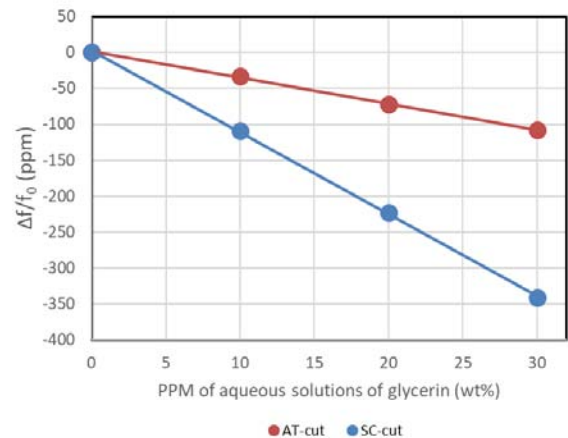


Fig. 1. PPM of aqueous solutions of glycerin in 35°C

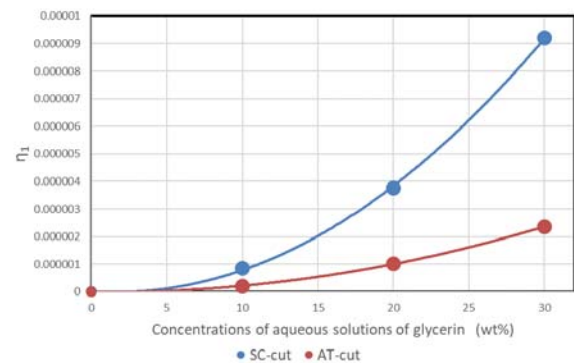


Fig. 2. Viscosity concentrations of aqueous solutions of glycerin in 35°C

### 4. まとめ

QCM における SC-cut の優位性について検討した. その結果, AT-cut に比べ約 3.5 倍の感度差が得られたが, 更に厚み屈曲 (例えば Z-cut) を調べ SC-cut の優位性を明らかにする.

### 謝辞

本研究は圧電デバイスを使用したセンサの国際標準化委員会の助成を受けたものです. また Rutgers 大の Prof. Yook-Kong Yong においては, SC-cut の定数を頂き深謝します.