

バイオメディカル用容量/デジタル 変換器の研究

○田中 洪太, 倉持 泰秀, 倉科 隆,
岡田 健一, 松澤 昭

東京工業大学大学院 理工学研究科



概要

- 研究背景
 - 容量センサとその読み出し回路
- 概念
 - センサの問題点と解決策
- 提案回路
 - 回路動作
- 測定結果
- 結論

研究背景

近年のワイヤレスヘルスケアシステム需要



例1) 体に貼り [1]

- 血圧
- 心拍数
- 他、生体データ

を無線送受信するパッチ



例2) 飲み込むことで

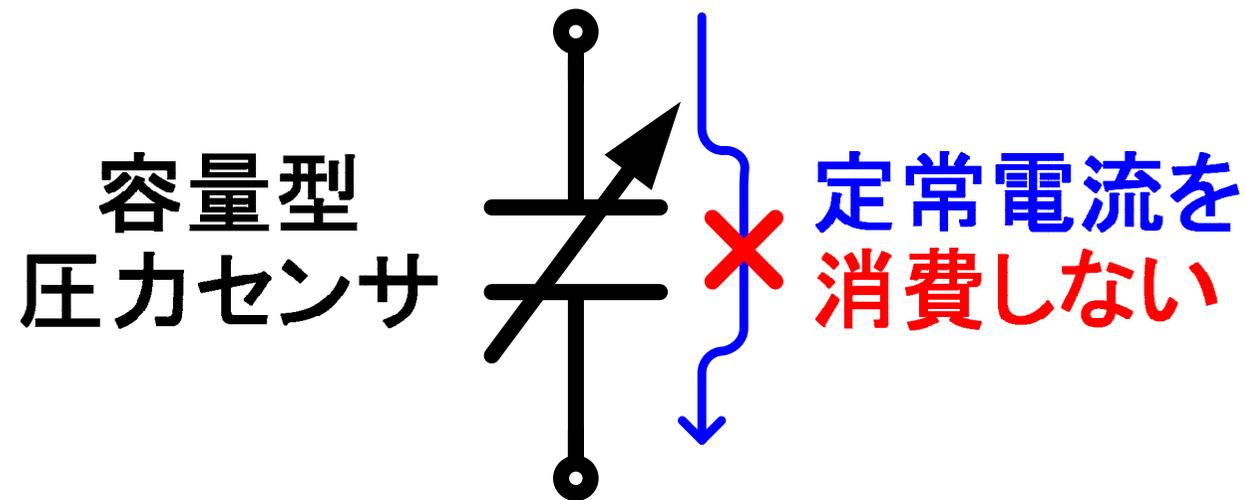
胃や腸の内部を撮影する
カプセル内視鏡

[1] [Online] http://news.com/The+next+thing+on+the+Net+Your+cardio+system/2100-11395_3-5865625.html

[2] [Online] <http://www.rfsystemlab.com/sayaka/>

研究背景

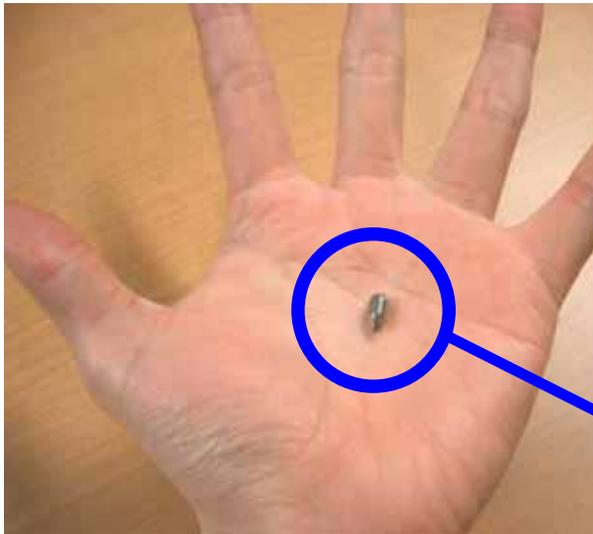
ワイヤレス圧力計測システムでは
容量型圧力センサが好んで使われる



➡ 容量型圧力センサのために
新形式の容量読み出し回路を提案

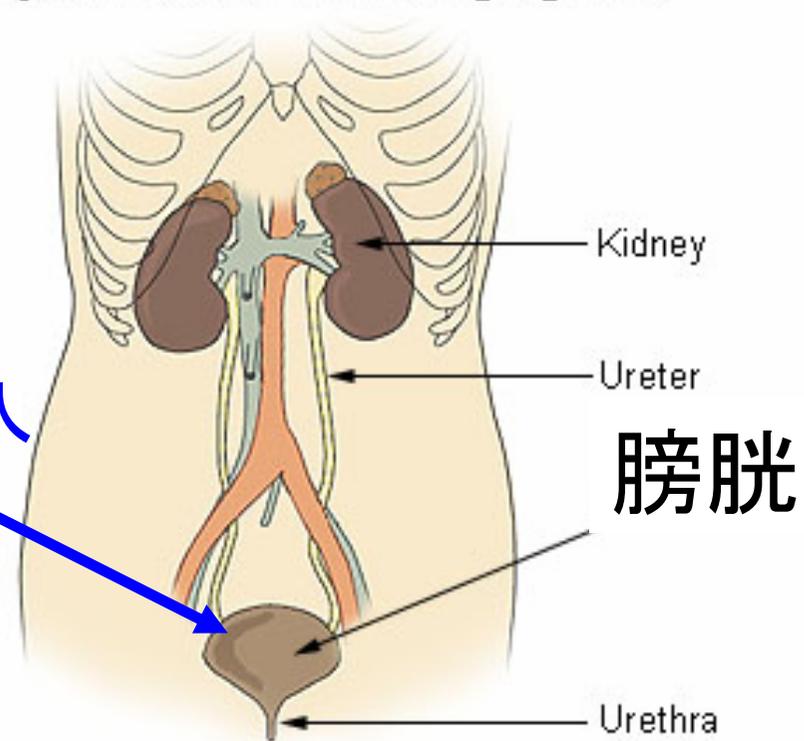
目指すアプリケーション

膀胱内圧無線計測システムのための 容量読み出し回路



挿入

Components of the Urinary System



前立腺肥大疾病のため
3日間の測定が必要

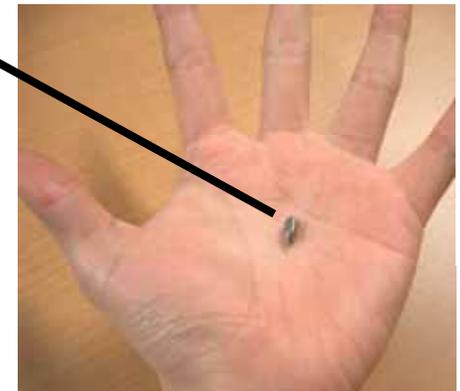
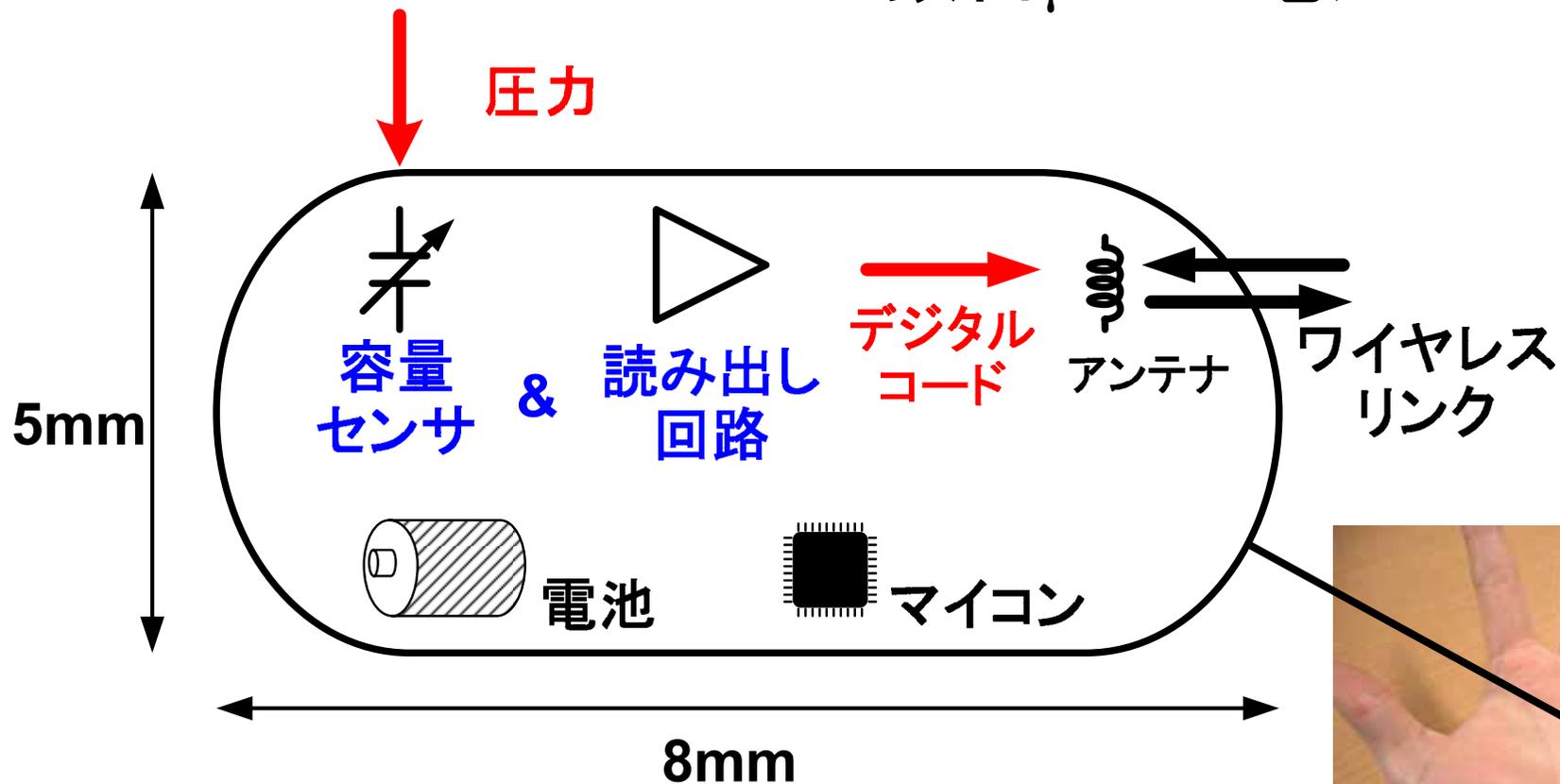
従来: 有線計測を ☹️ 3日!

4

[Online]
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%86%80%E8%83%B1> , Under
GDFL licence
http://ja.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Text_of_GNU_Free_Documentation_License

膀胱内圧力無線計測システム

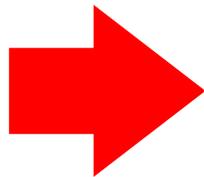
超小型のため、超低消費電力の駆動が必要
数百 μ Wの電池



容量読み出し回路

従来例

- 容量/電圧変換器 + 電圧/デジタル変換器 [3]
☹️ 2つの変換器 ⇒ 消費電力、回路面積増大
- 容量/デジタル変換器 ($\Delta\Sigma$ 型) [4,5] < 4.25 mW
☹️ デルタシグマ: オペアンプ ⇒ 消費電力大



逐次比較型 容量/デジタル変換器
を提案 =100 μ A オーダー

[3] J. C. Lotters et al. "A sensitive differential capacitance to voltage converter for sensor applications," 1999.

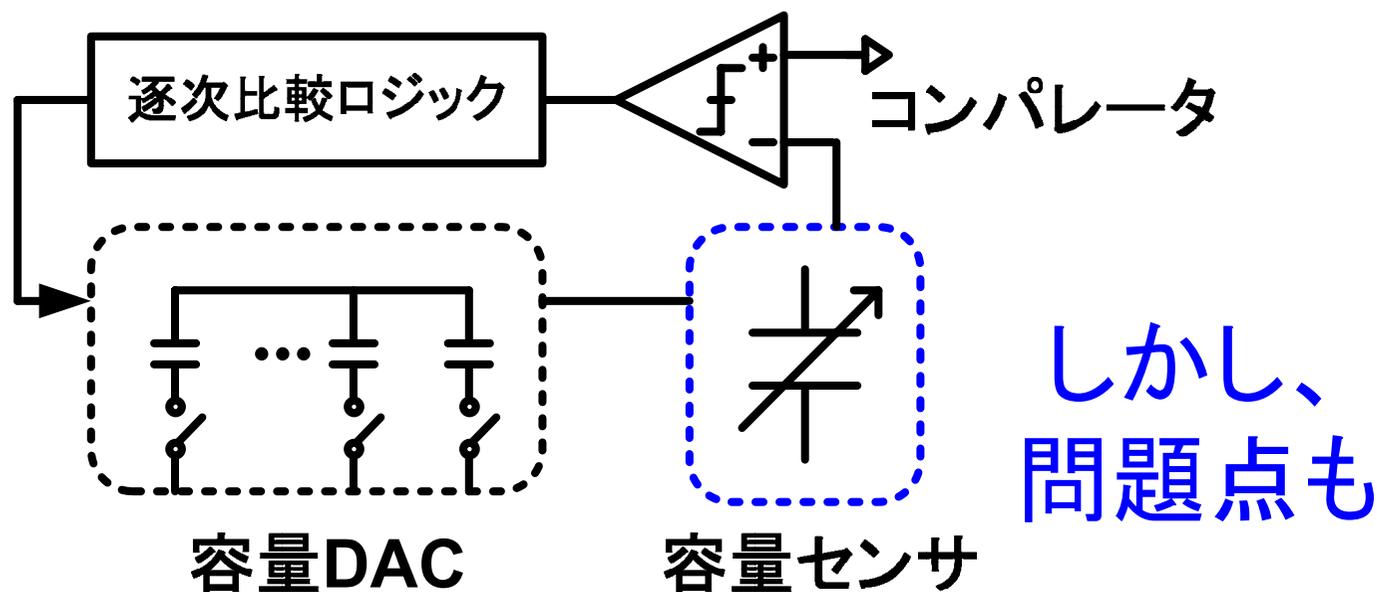
[4] M. Yamada and K. Watanabe, "A capacitive pressure sensor interface using oversampling $\Delta\Sigma$ demodulation techniques," 1997.

[5] Analog Devices "AD7745" Available:http://www.analog.com/jp/prod/0,,760_1077_AD7745,00.html

逐次比較型 容量/デジタル変換器

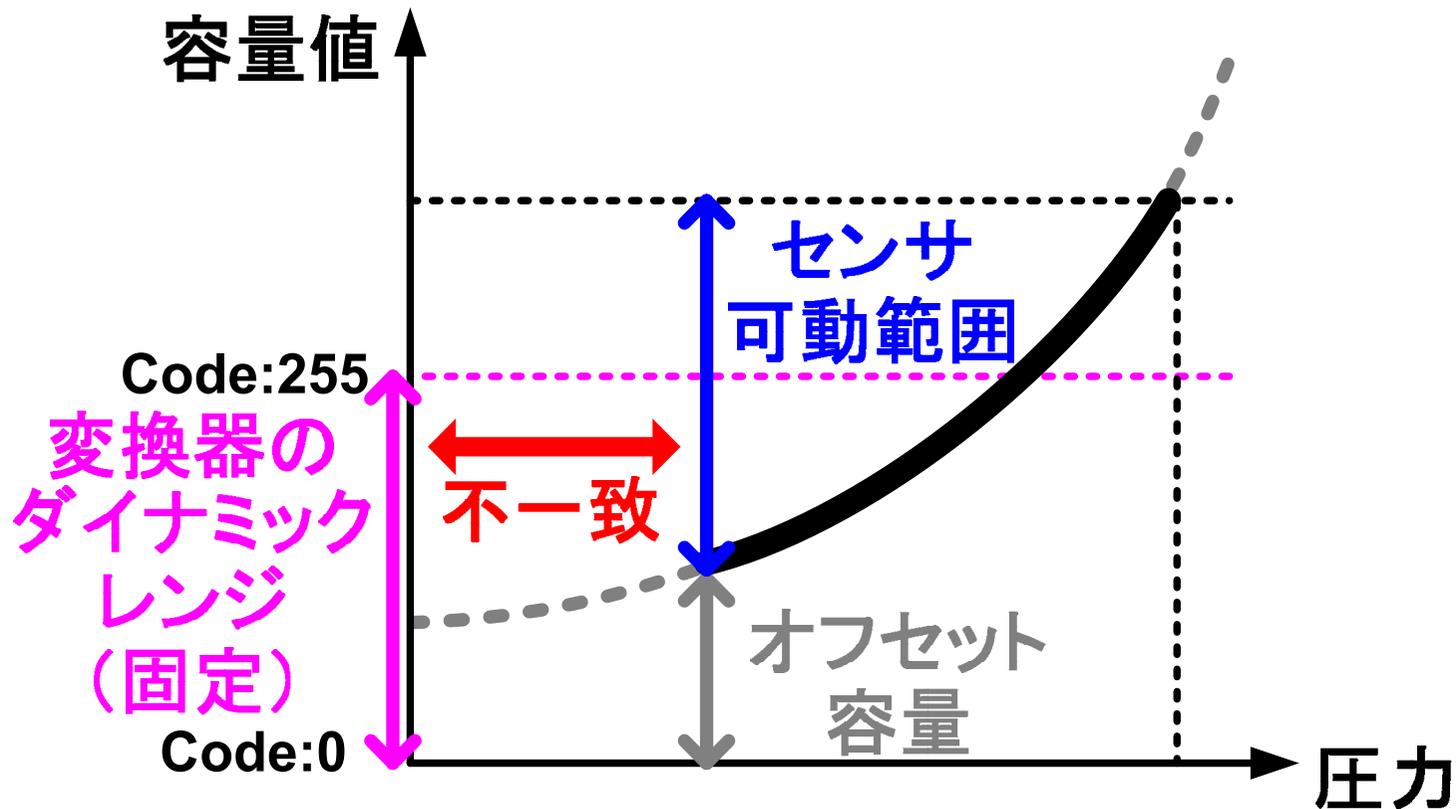
逐次比較型の変換器に容量センサを組み込む

- 😊 低消費電力 (オペアンプ無し)
- 😊 小面積
- 😊 電源電圧変動に対する耐性 (ページ22で説明)



容量センサの問題点

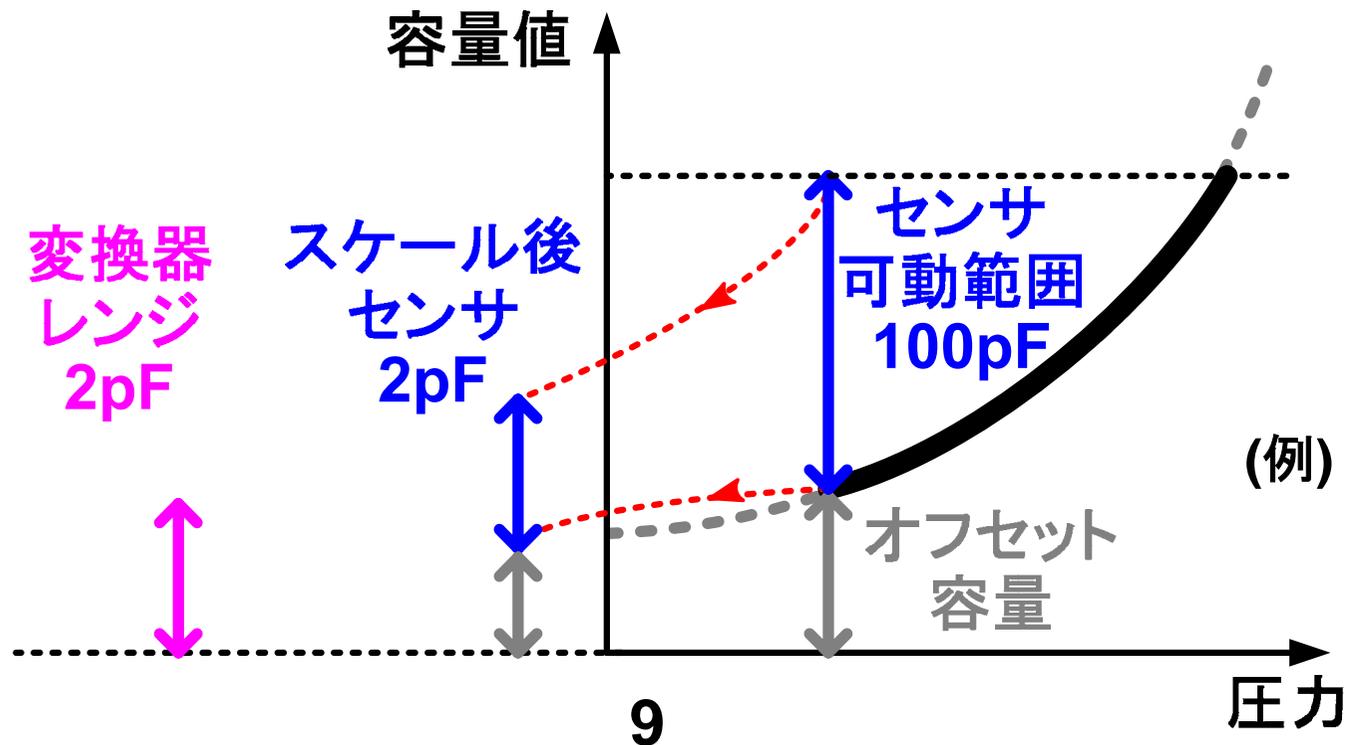
センサの可動範囲と変換器のダイナミックレンジが一致しない



解決策 & 新規性 (1 of 2)

1. センサ容量スケールリング

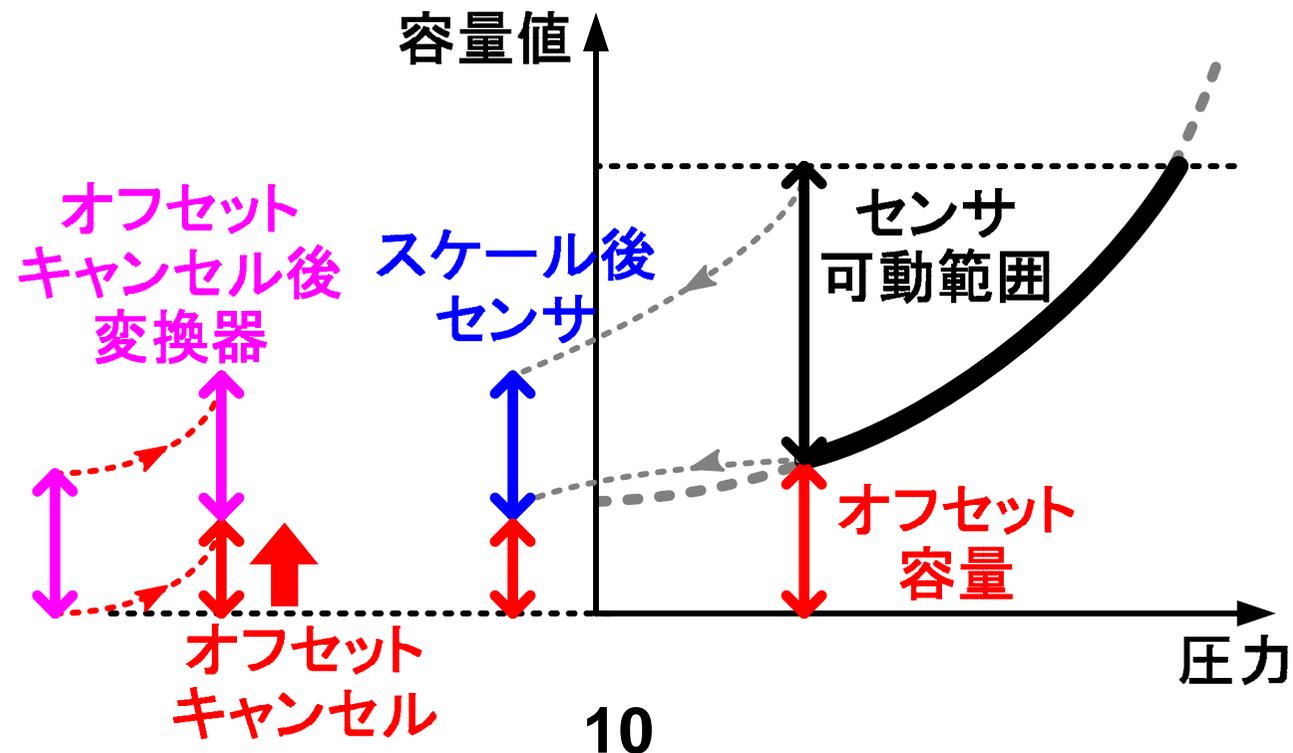
センサ可動範囲(容量:大)が変換器のレンジ(容量:小)にまでスケールリングされる



解決策 & 新規性 (2 of 2)

2. オフセットキャンセル

変換器のレンジがセンサのレンジに合うようにシフトされる

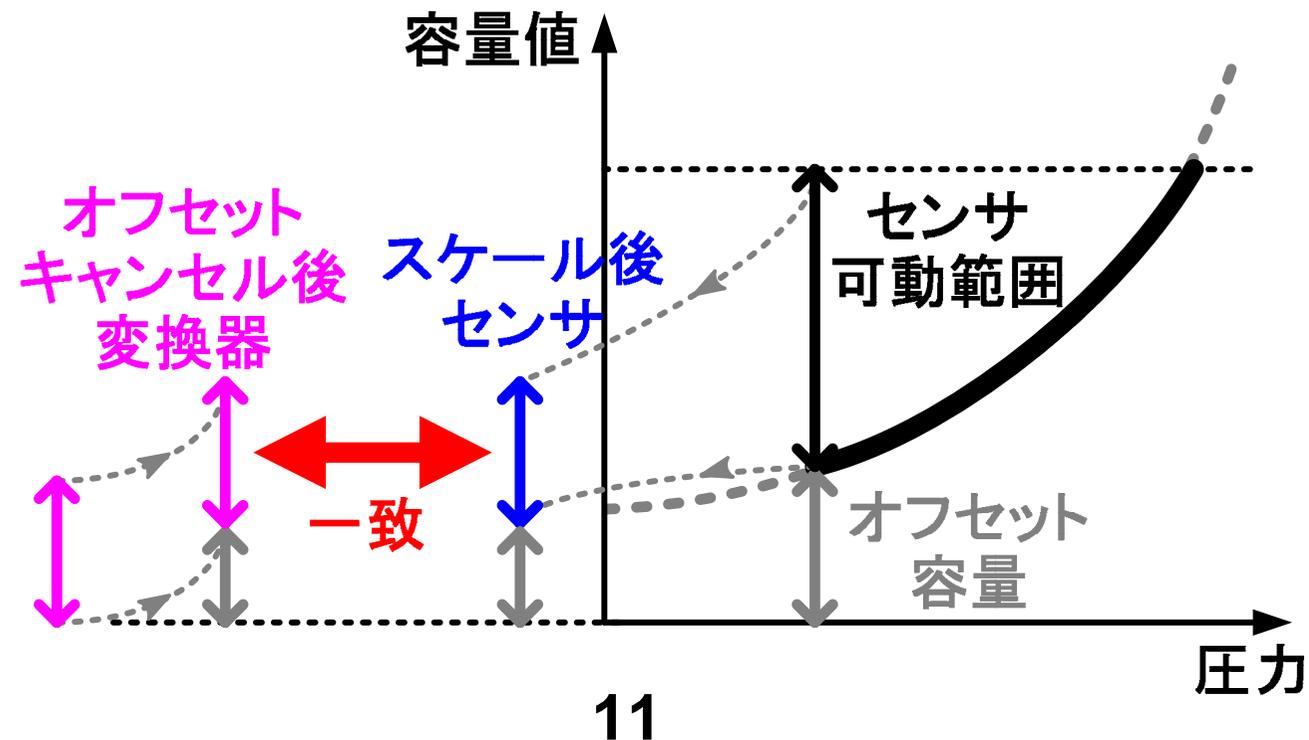


フルレンジの変換

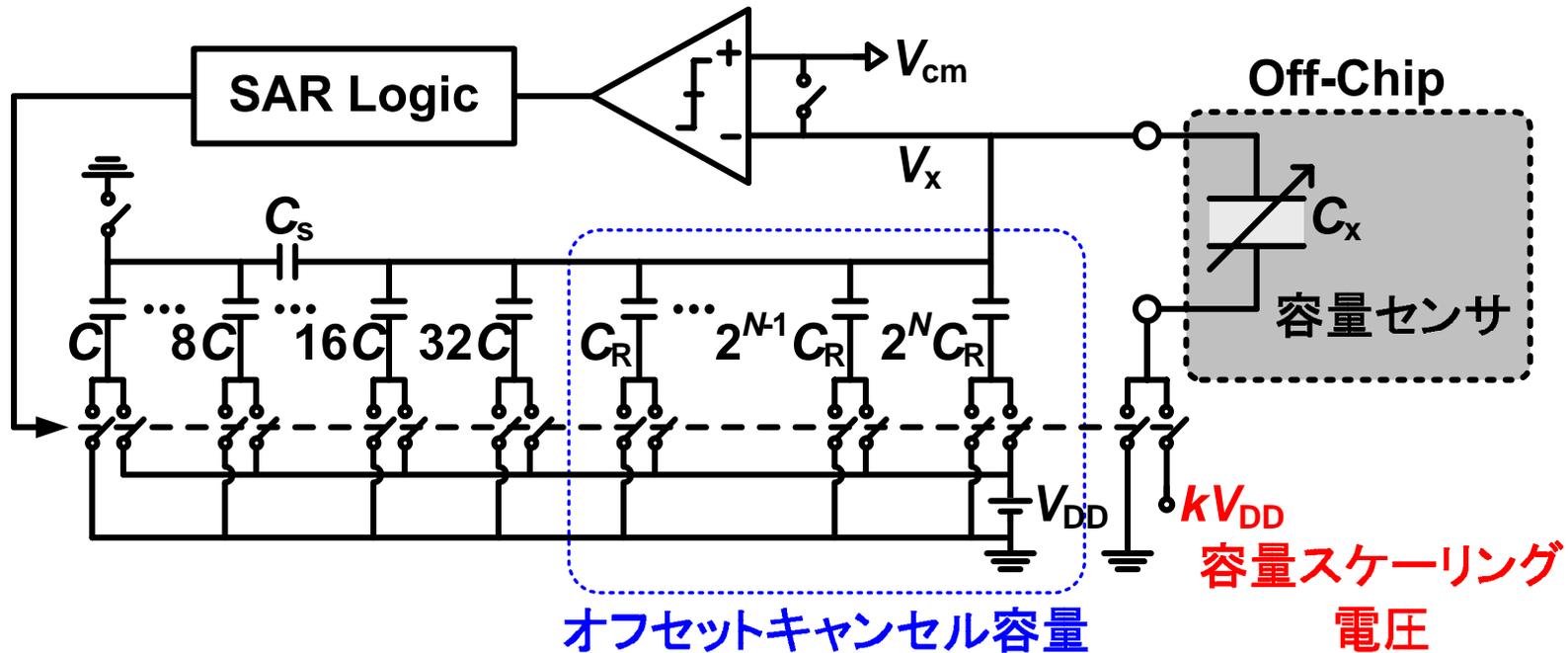
2つの機構により

センサの容量範囲と変換器の可動範囲が一致

⇒変換器によるフルレンジの変換が可能

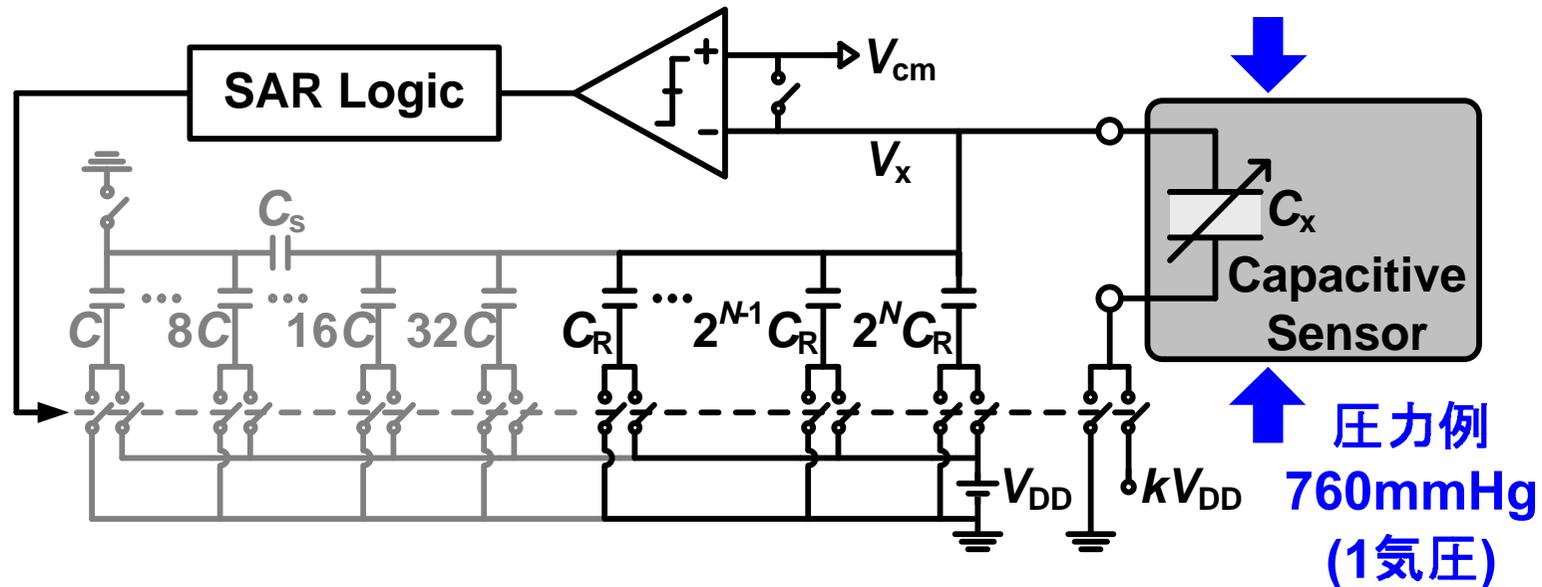


提案回路 & 2つの機構



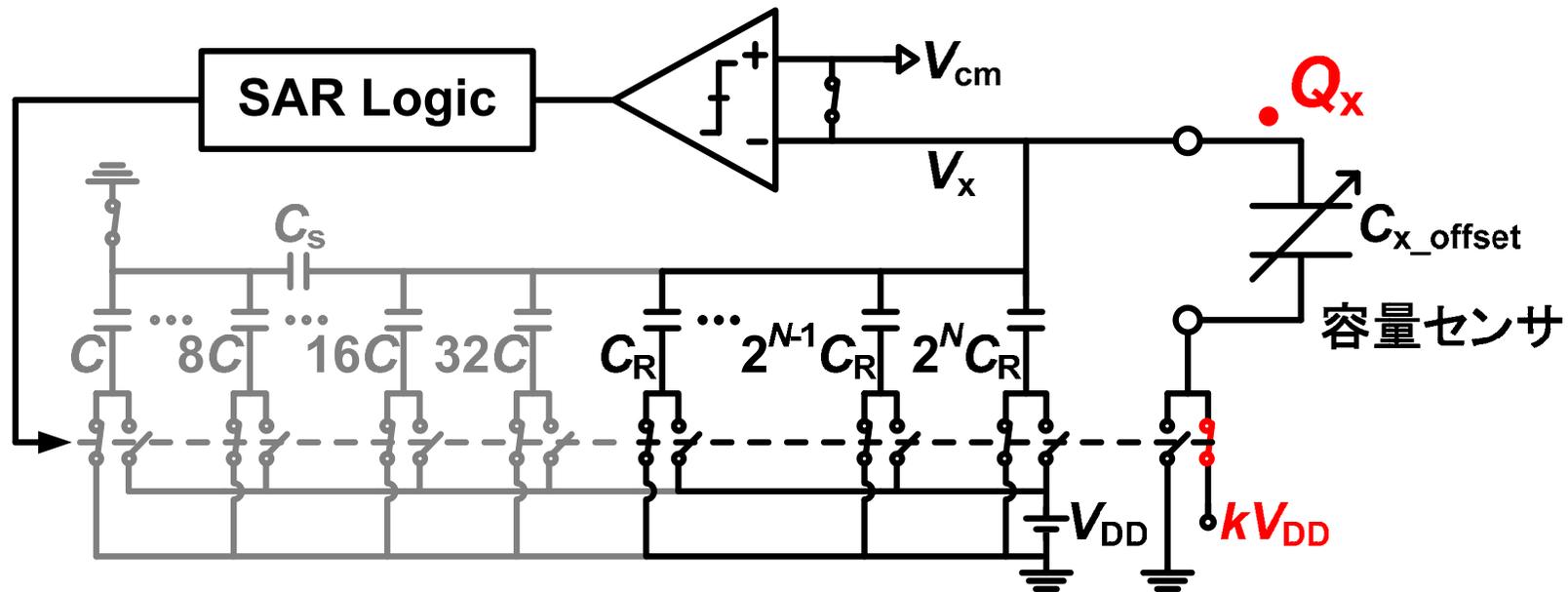
- センサ容量スケールリング
 k : スケールリングファクター
- オフセットキャンセル

オフセットキャンセルセル動作



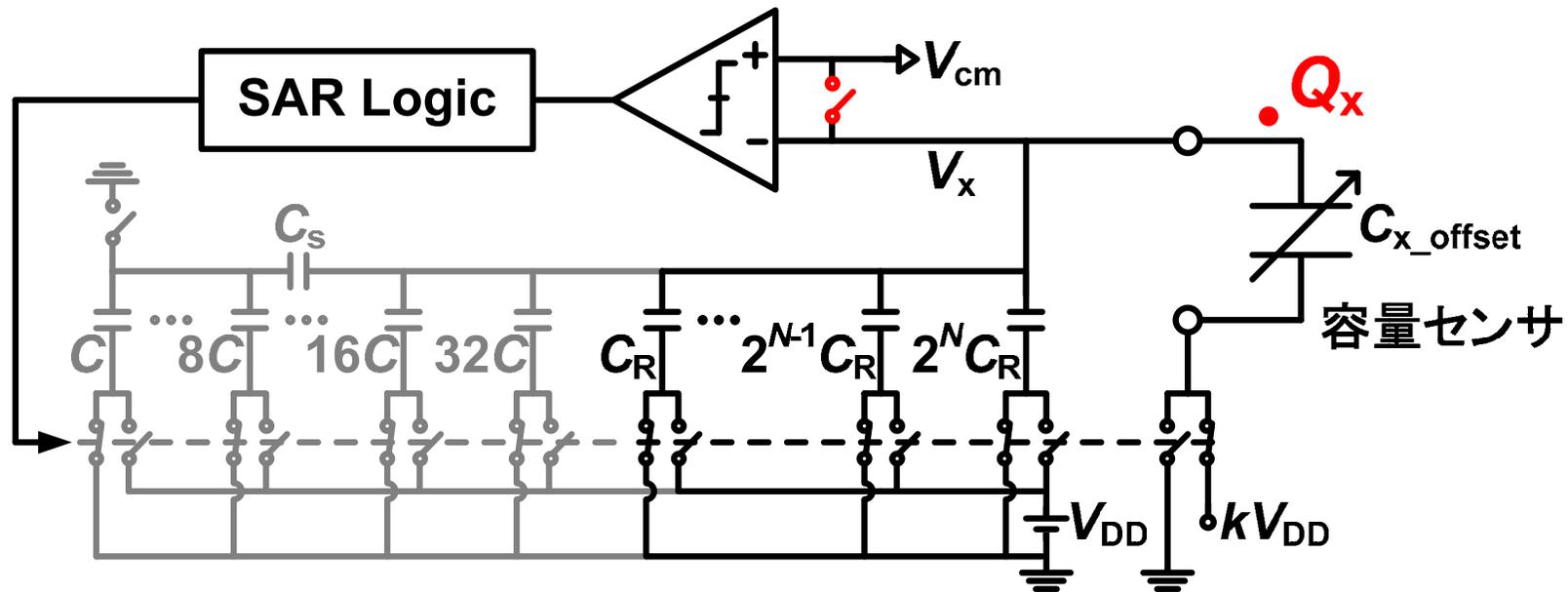
センサに、想定圧力範囲の中での
最小圧力を印加することで
センサ容量はオフセット値を示す
⇒このオフセット値をデジタル変換

オフセットキャンセル動作 (1 of 5)



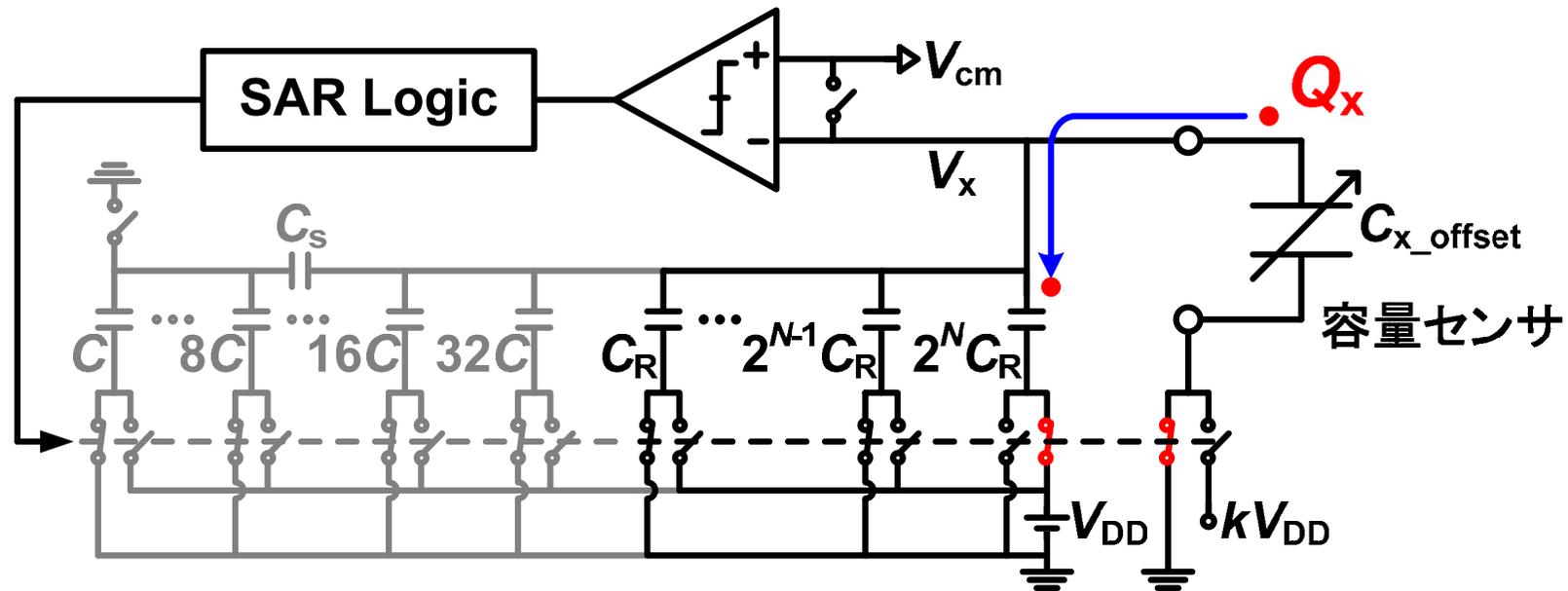
センサにリファレンス電圧(kV_{DD})を印加
電荷をサンプリングする

オフセットキャンセル動作 (2 of 5)



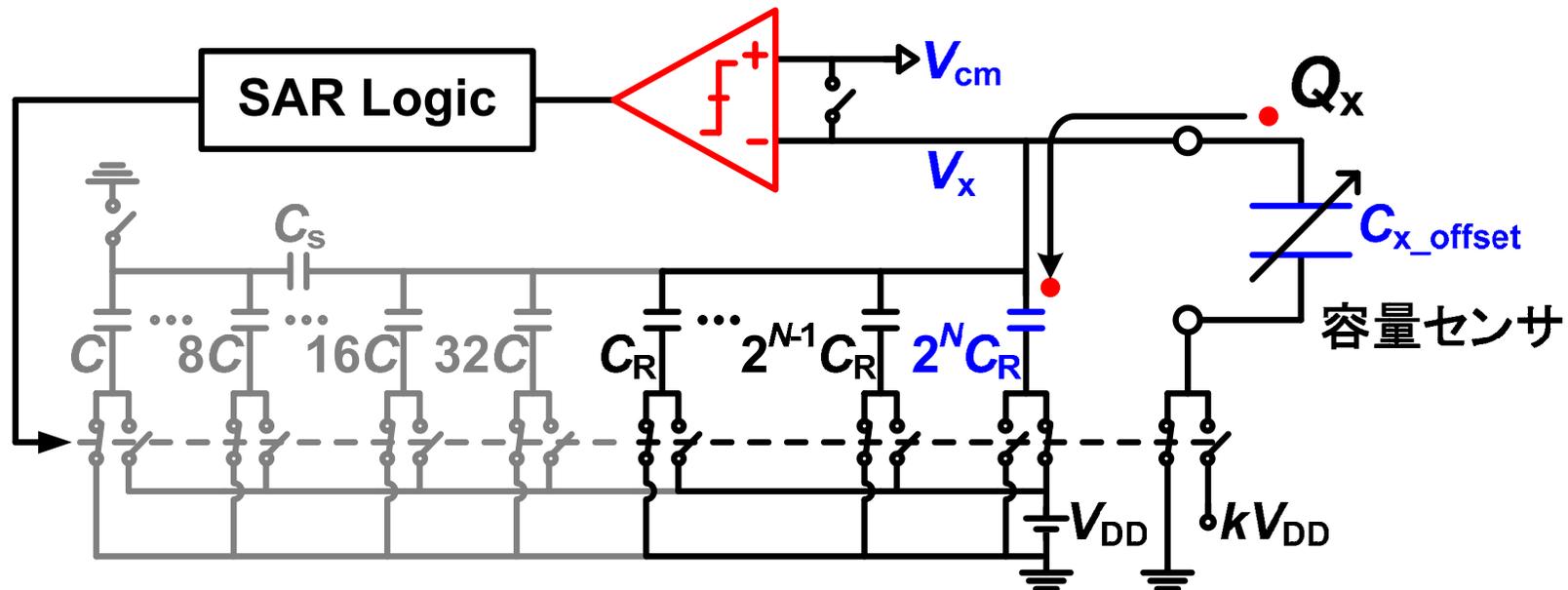
スイッチを切り、電荷を保存

オフセットキャンセル動作 (3 of 5)



オフセットキャンセル用容量へ電荷を再配分

オフセットキャンセル動作 (4 of 5)



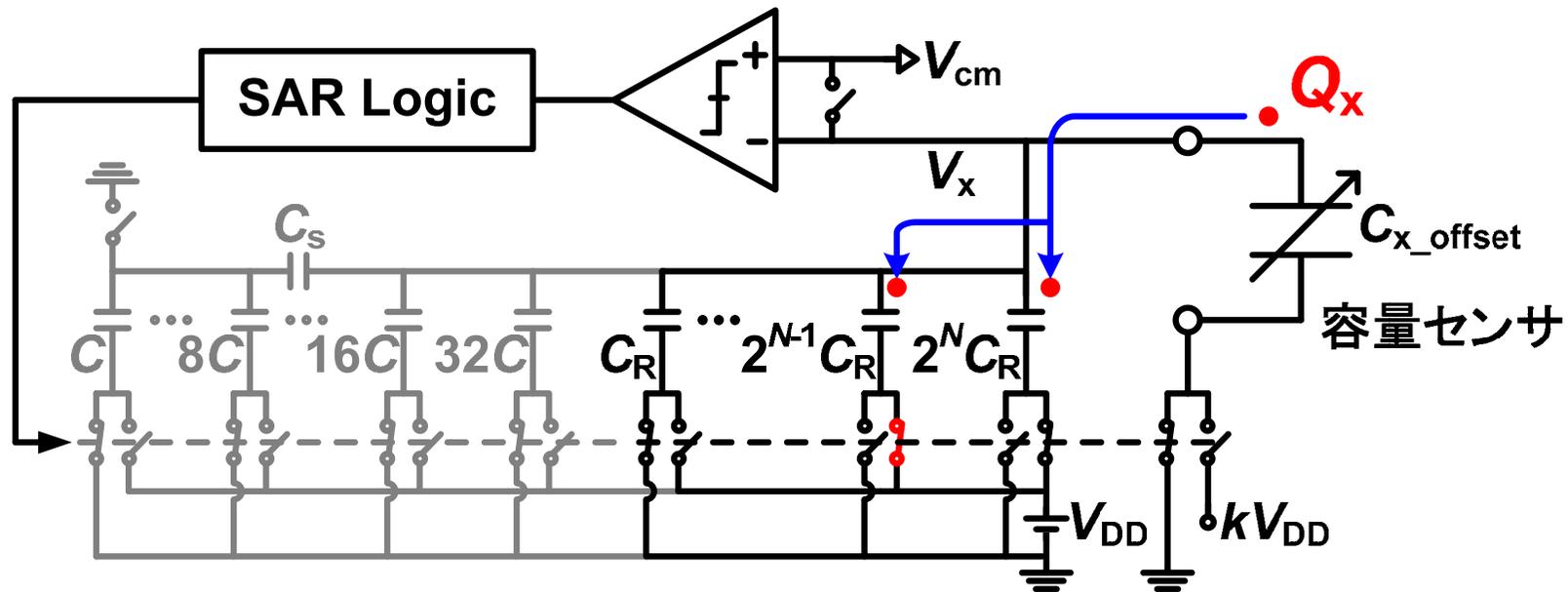
コンパレータにより,容量比較が可能

$$\underline{2^N C_R} > \underline{k C_{x_offset}} ?$$

オフセットキャンセル
用容量

センサオフセット容量

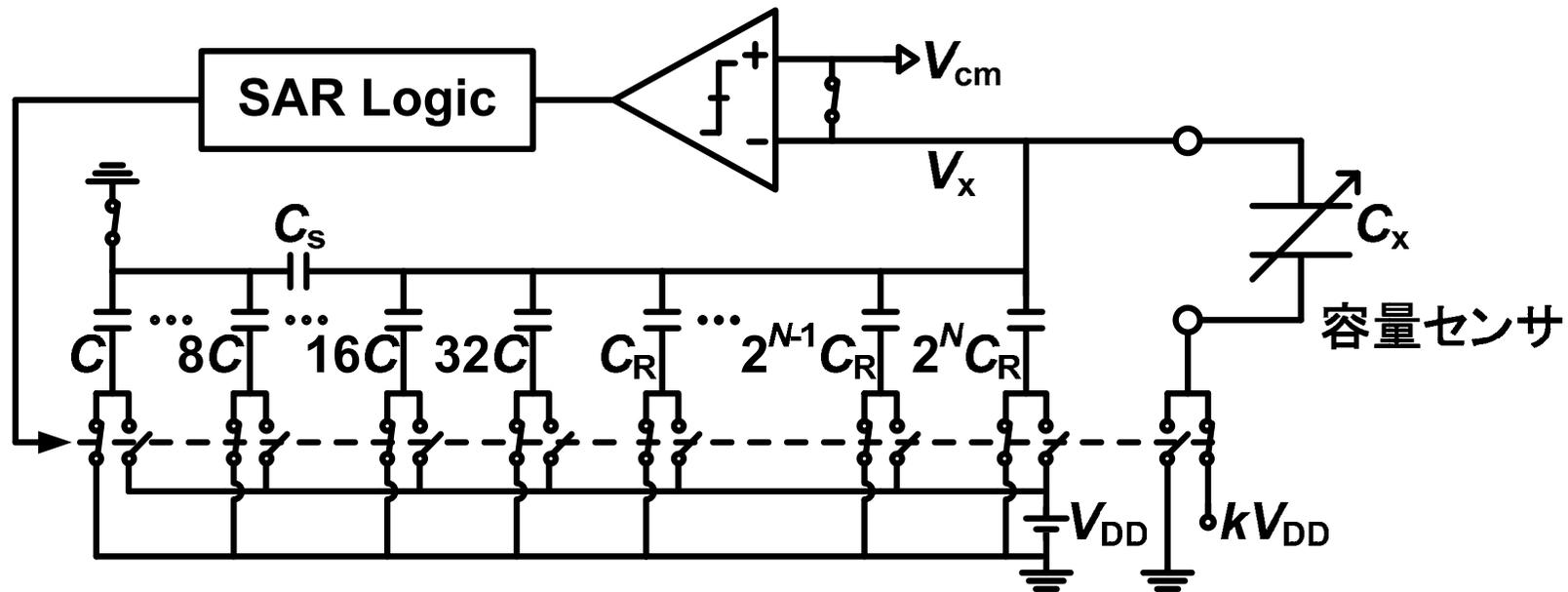
オフセットキャンセル動作 (5 of 5)



同様にして電荷再配分と容量比較
が逐次的に行われていく

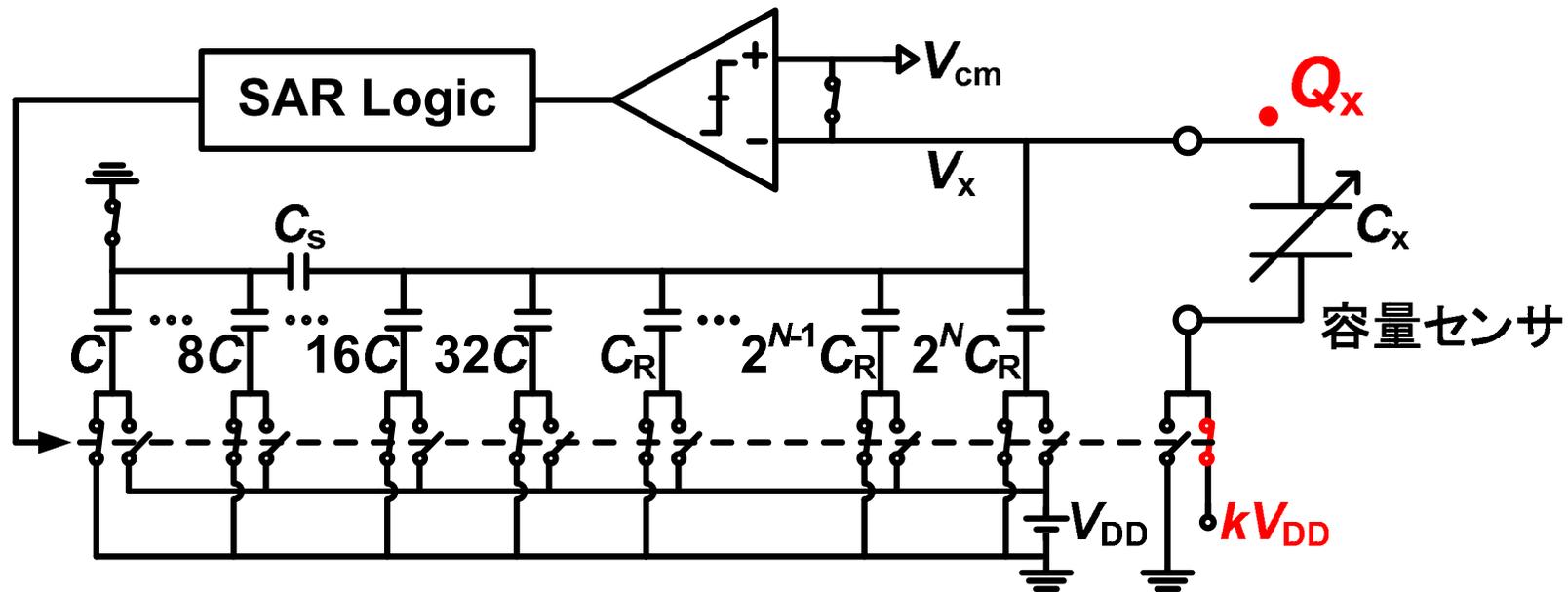
(図: 2bit目の電荷再配分)

変換動作 ～圧力変化有～



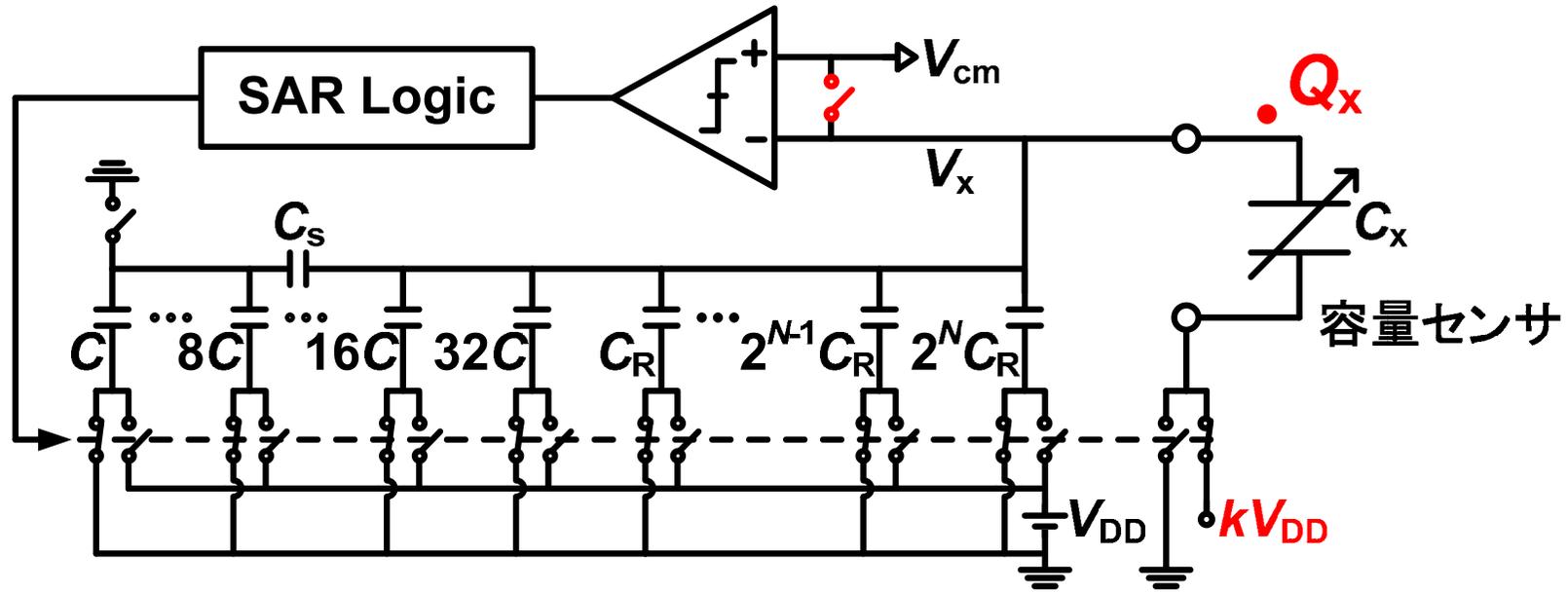
オフセット容量(一定)は既に得られた
圧力によって変化する容量値を変換

変換動作 (1 of 3)



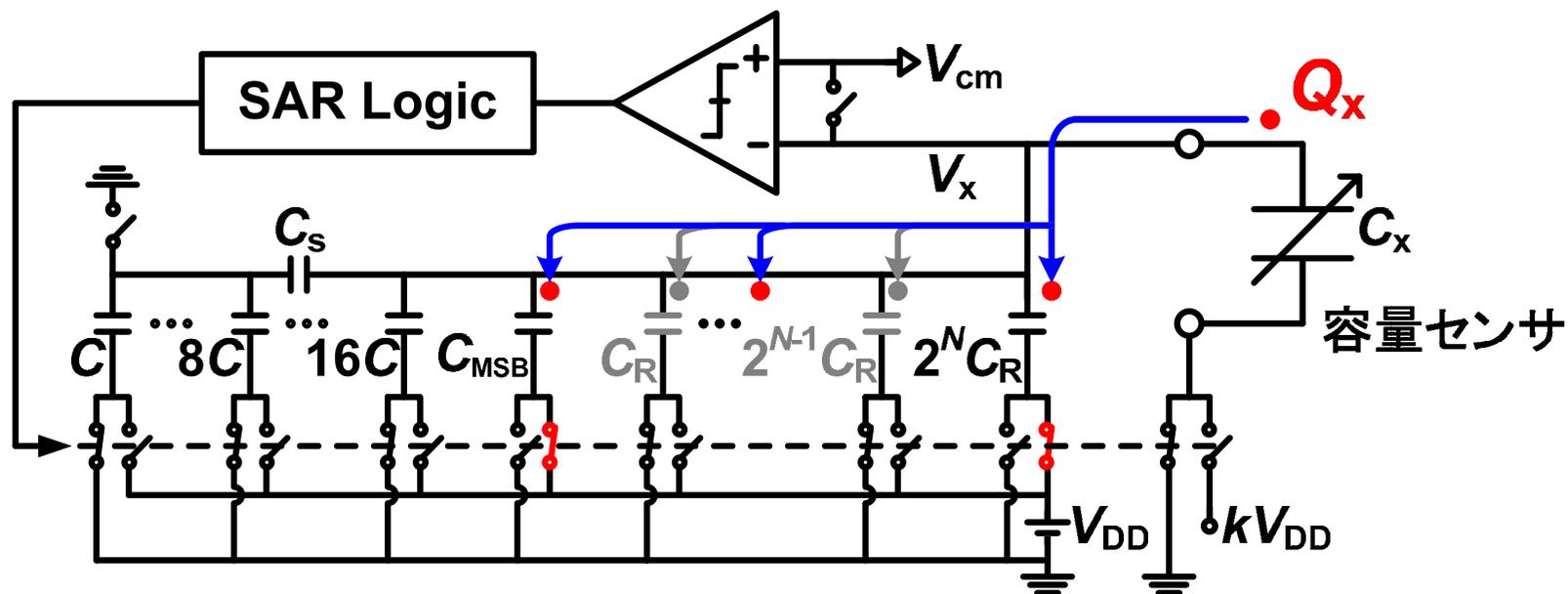
電荷をサンプリング

変換動作 (2 of 3)



電荷を保存

変換動作 (3 of 3)



電荷再配分, MSB変換

$$\frac{V_{DD}}{C_{\text{total}}} \left(\sum C_R + C_{\text{MSB}} - kC_x \right) > 0?$$

変換特性

$$\frac{V_{DD}}{C_{total}} \left(\sum C_R + C_{MSB} - \underline{k}C_x \right) > 0?$$

キャンセル

C_x : センサ容量

1. V_{DD} が変換結果に影響しない

V_{DD} : 電源電圧

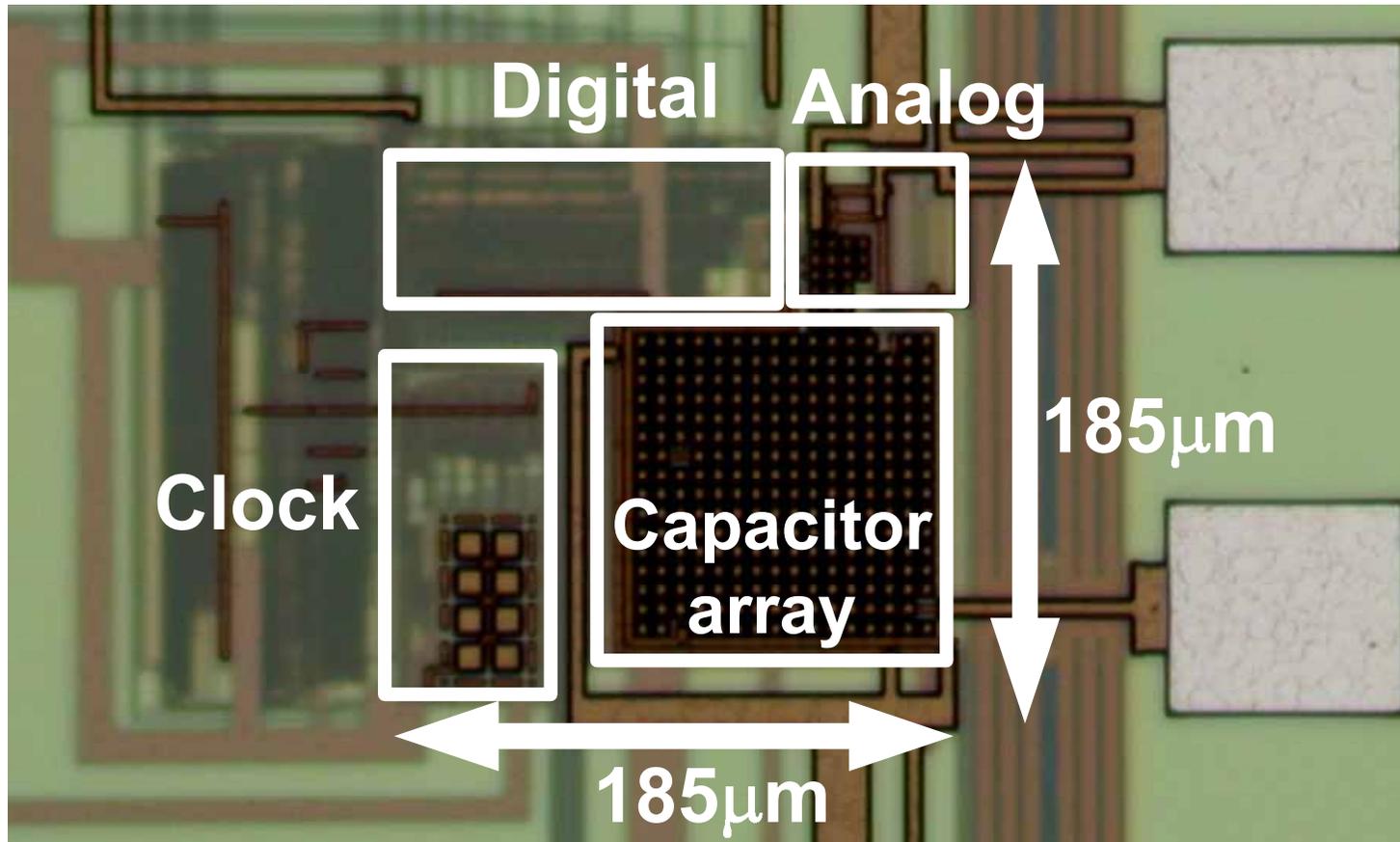
2. $\sum C_R$ がセンサのオフセット分をキャンセル

C_R : オフセットキャンセル容量

3. センサ容量 C_x が k によりスケーリングされている

k : スケーリングファクター

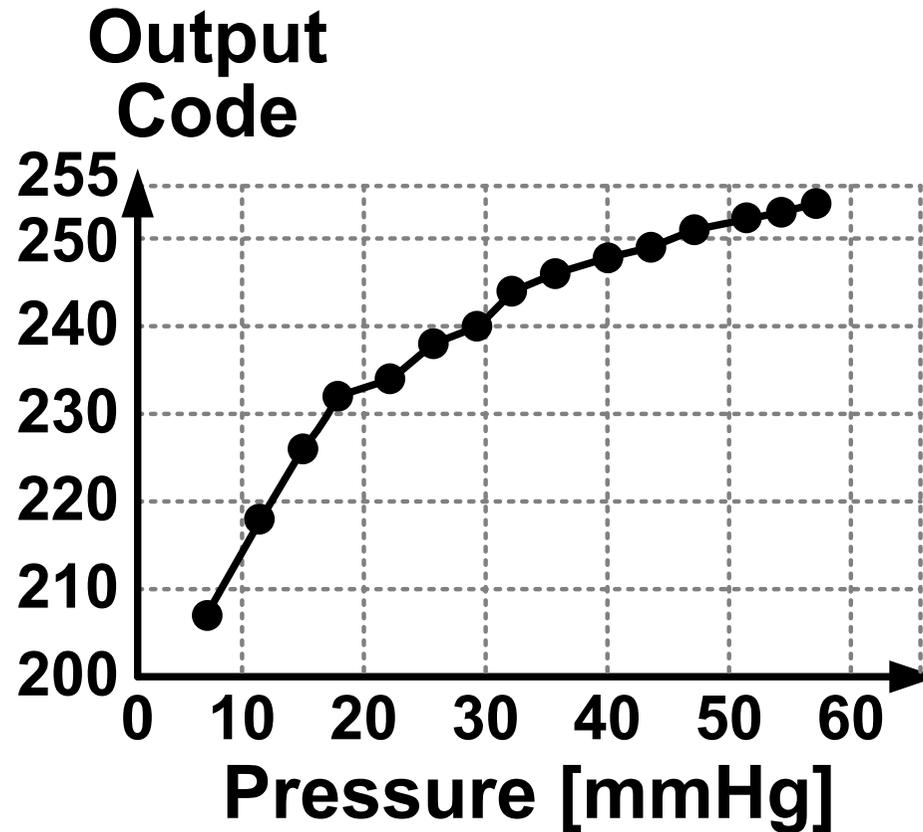
チップ写真



面積 : 0.026 mm²

総容量 : 6 pF

MEMSセンサによる実測



MEMSセンサに圧力を加え、その容量値をデジタル変換できることを確認

実測結果 (1)

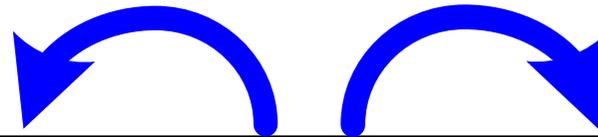
Resolution	8 bit
Supply Voltage	1.0-1.8 V
Sampling Rate	262 kHz
SNR	43.22 dB
ENOB	6.83 bit
Current Consumption	<u>169 μA @ $V_{DD} = 1.4$ V</u> 236 μ W, 従来比1/17
DNL	-0.97 to 0.79 LSB
INL	-1.27 to 0.99 LSB
Area	0.026 mm ²
Total Capacitance	6 pF, including 3.6 pF offset canceling cap

実測結果 (2)

電源電圧±28%の変動に対し、同様のSNR

⇒バッテリーの電圧変動に対して高信頼性

-28% **+28%**



Supply Voltage	1.0 V	1.4 V	1.8 V
SNR	43.4 dB	43.2 dB	43.2 dB
ENOB	6.88 bit	6.83 bit	6.84 bit

*バイアス電圧は電源電圧変動に比例して変化させた

まとめ

新形式の容量/デジタル変換回路を提案

ワイヤレスヘルスケアシステムに特化した特性

😊 特徴

- 低消費電力: $236 \mu W$
- 小面積: 0.026 mm^2
- 高信頼性: V_{DD} 変動に対し、一定のSNR
- センサ容量スケーリングとオフセットキャンセルにより
任意のセンサの容量範囲を変換可能

**Thank you for your
interest!**

**田中 洪太 (Kota Tanaka)
astrokt@ssc.pe.titech.ac.jp**