

使える触覚センサシステム ～デバイスから認識まで～

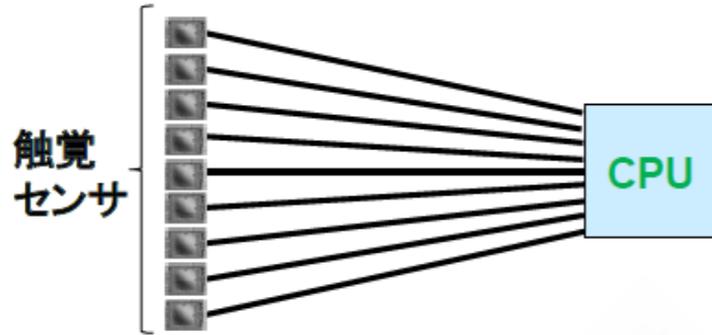
東北工業大学 工学部 電気電子工学課程
教授 室山 真徳

2025年11月18日

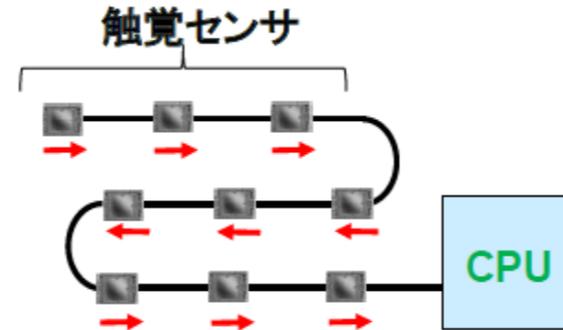
従来技術とその問題点

- 多数個接続の場合、全身に分布配置させるのが難しい
- 仕様に合わせた触覚センサを少数個試作して試し、さらに量産に対応させることも難しい
- センサの故障が起きたときに認識の性能が急激に悪化する課題もある

従来技術とその問題点



パラレル配線:速いが重い

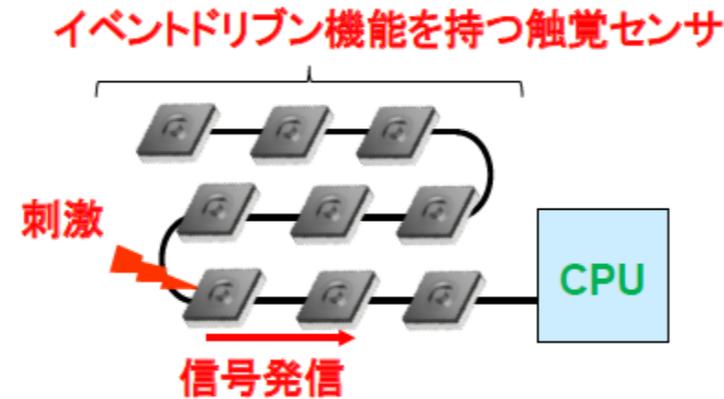


大量データが集中する
ホストCPUに過大な負
荷がかかる

直列配線+時分割:軽いが遅い



ヒト (イベントドリブン):
軽くて速い



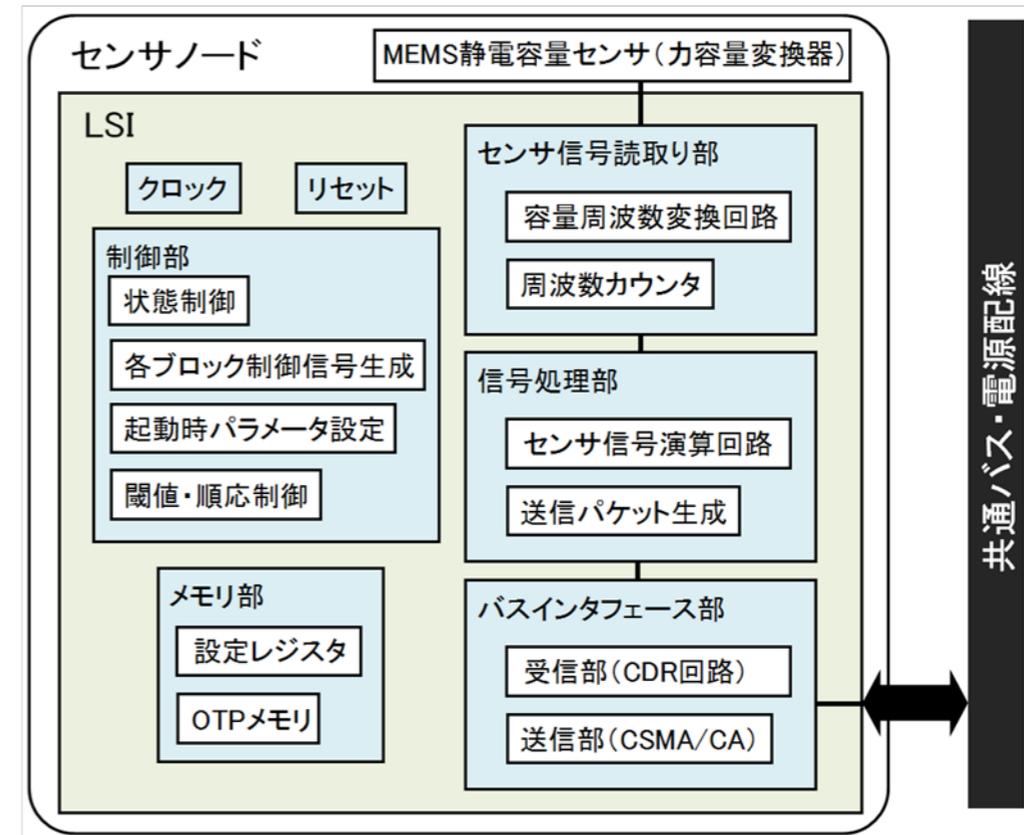
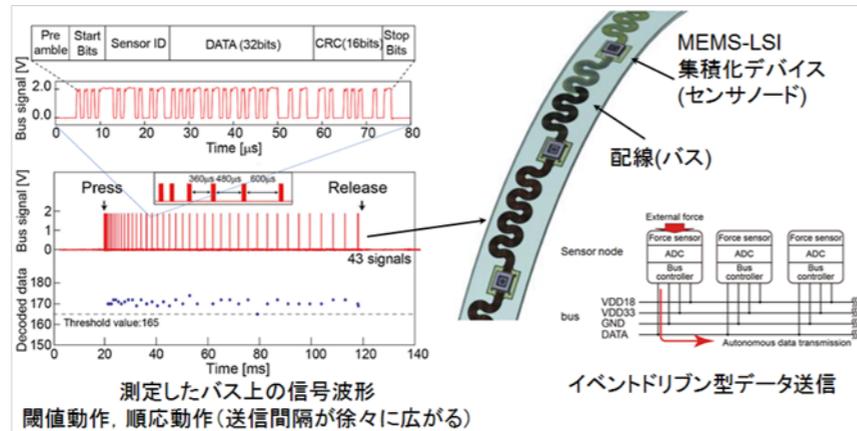
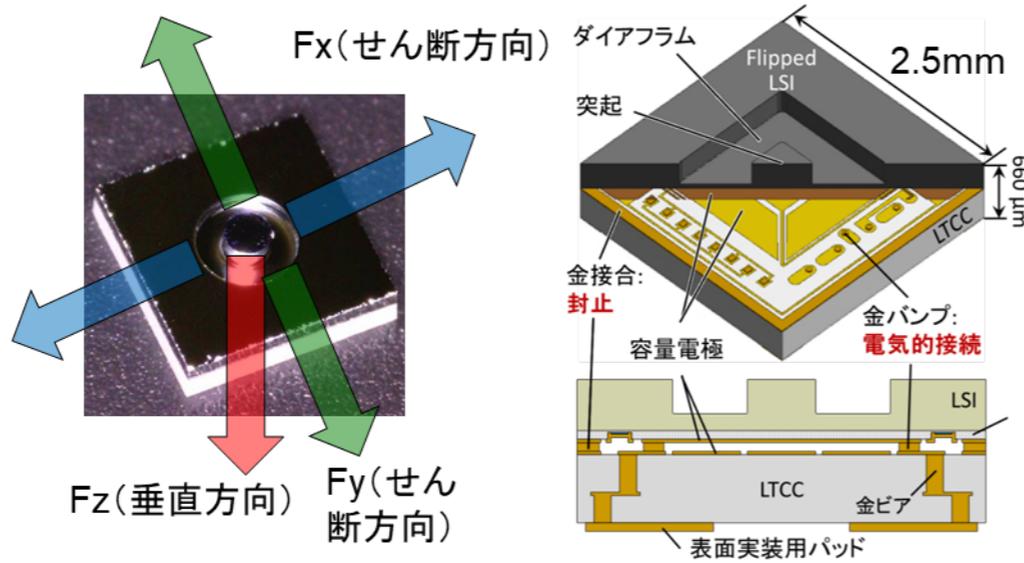
直列配線+イベントドリブン通信:
軽くて速い

新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来の触覚センサは、センサ数が限られ、配線が煩雑でリアルタイム性に課題があり多数個のセンサを任意の箇所に配置することが難しくデータ量も多い。
- 我々の技術は、多点・高密度／任意配置に対応し、耐故障性や拡張性にも優れる点で競合に対し優位性を持つ。
- 小型で3軸のカセンシングにも優れ、半導体技術による一括製造も可能。
- イベントドリブン応答によるデータ削減も可能。

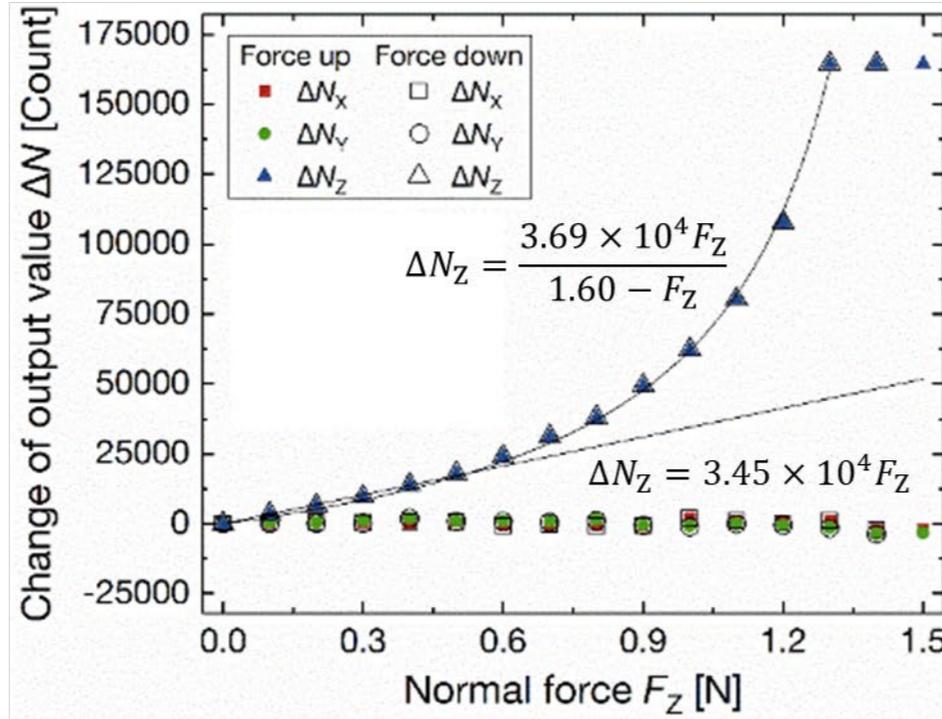
新技術の特徴・従来技術との比較

センサ+信号処理+データ伝送機能



MEMS→Micro Electro Mechanical Systems, 微小機械電気システム

新技術の特徴・従来技術との比較



Deformation of diaphragm

$$F_Z = k\Delta d$$

Gap change

C-F converter

$$f[\text{MHz}] = \frac{4.74 \times 10^5}{C[\text{fF}] + 497}$$

Capacitance

$$C_{Z+} = \frac{\epsilon S_Z}{d - \Delta d} + C_p$$

Initial gap

Parasitic capacitance

Output value

$$N_Z = f_{Z\text{ref}} T_{Z\text{ref}} - \frac{4.74 \times 10^4 T_{Z+}}{\left(\frac{d}{d - \Delta d} C_{Z+,0} + C_p\right) + 497}$$

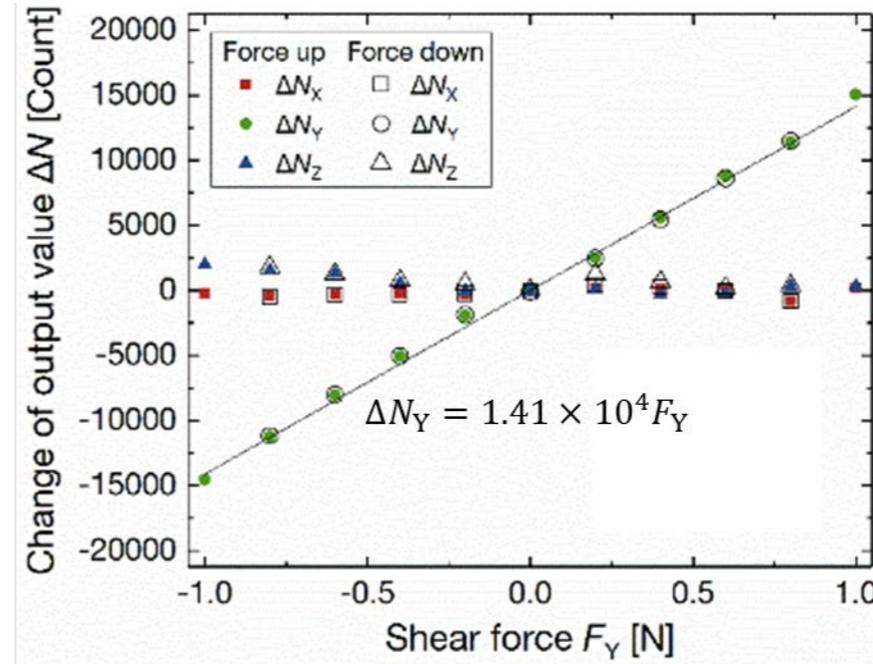
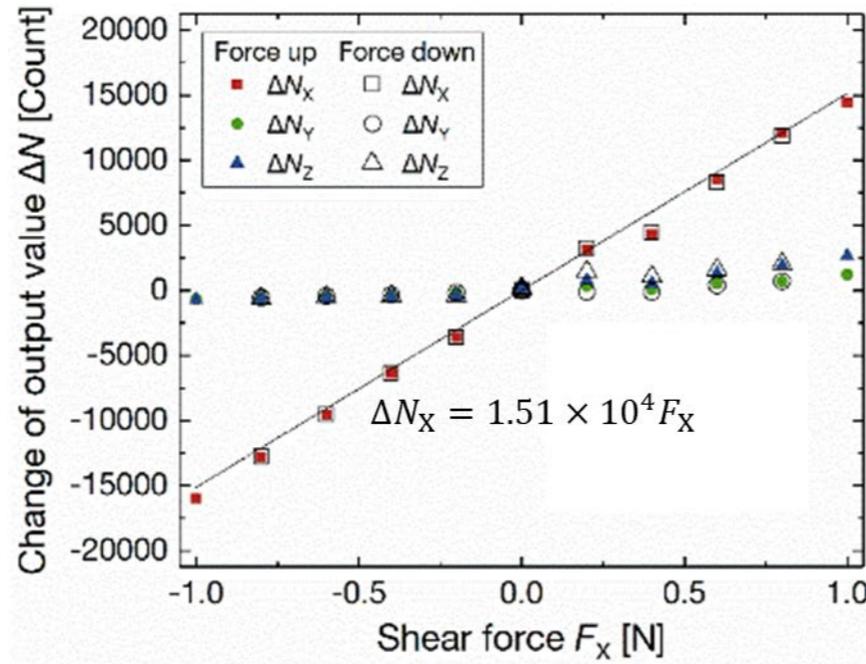
Change of output value

$$\Delta N_Z = \frac{4.74 \times 10^4 C_{Z+,0} T_{Z+} F_Z}{(C_p + 497)(C_{Z+,0} + C_p + 497)} \cdot \left(\frac{C_{Z+,0} + C_p + 497}{C_p + 497} kd - F_Z\right)^{-1}$$

$$C_p: 0.96 \text{ pF}, k: 2.9 \times 10^5 \text{ N/m} (k_{\text{FEM}}: 3.1 \times 10^5 \text{ N/m})$$

Sensitivity: $\geq 34.5 \text{ Count/mN}$, Resolution: $\sim 0.1 \text{ mN}$

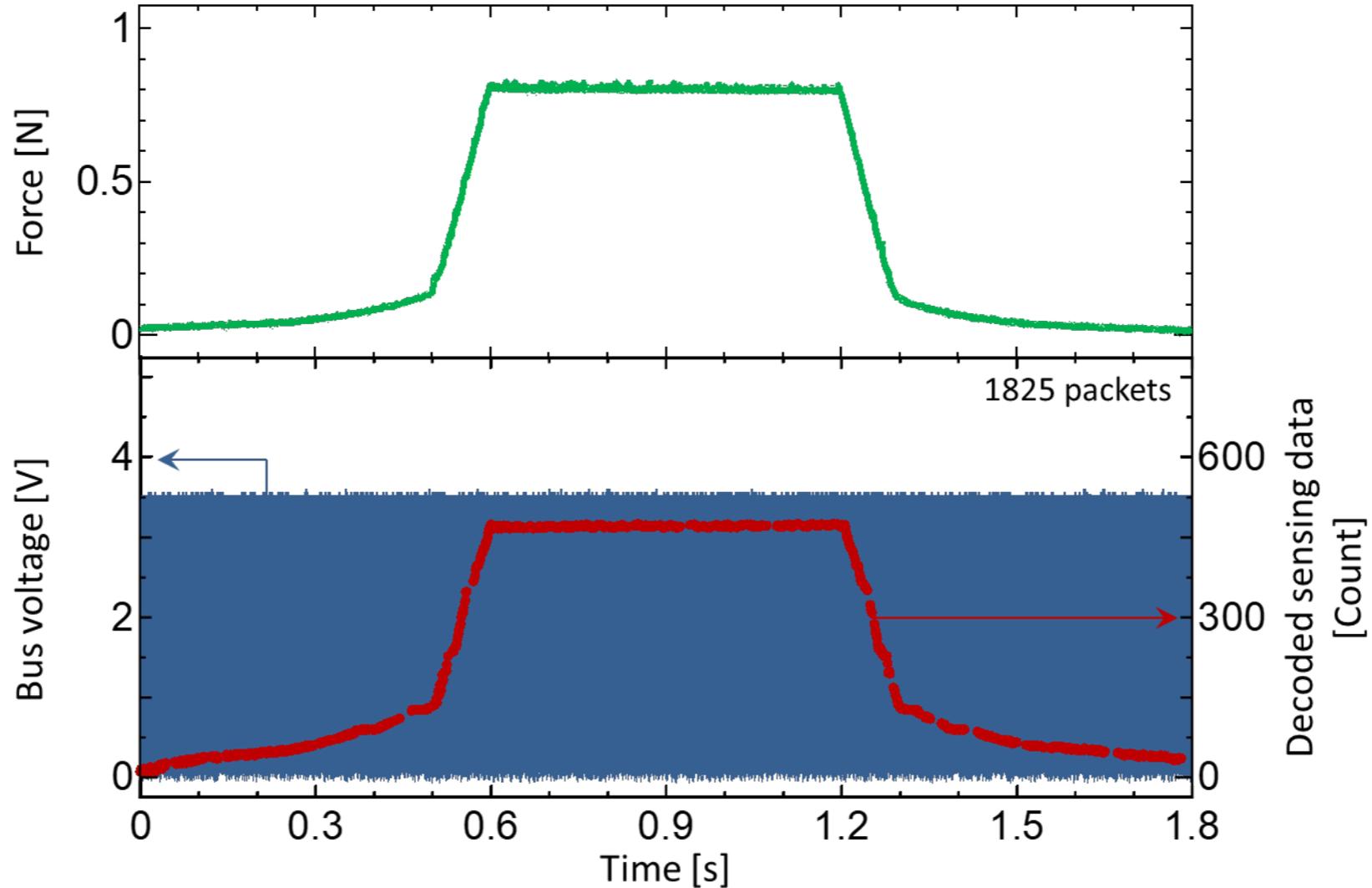
新技術の特徴・従来技術との比較



Force	Sensitivity	Noise	Hysteresis	Average cross-axis sensitivity [%]		
	[Count/mN]	[Count]	[%]	X-axis	Y-axis	Z-axis
F_x (-1 to 1 N)	15.1	12.4	≤ 1.7	-	5.5	9.0
F_y (-1 to 1 N)	14.1	7.6	≤ 1.1	5.2	-	7.2
F_z (0 to 1.3 N)	≥ 34.5	3.5	≤ 0.3	8.2	10.4	-

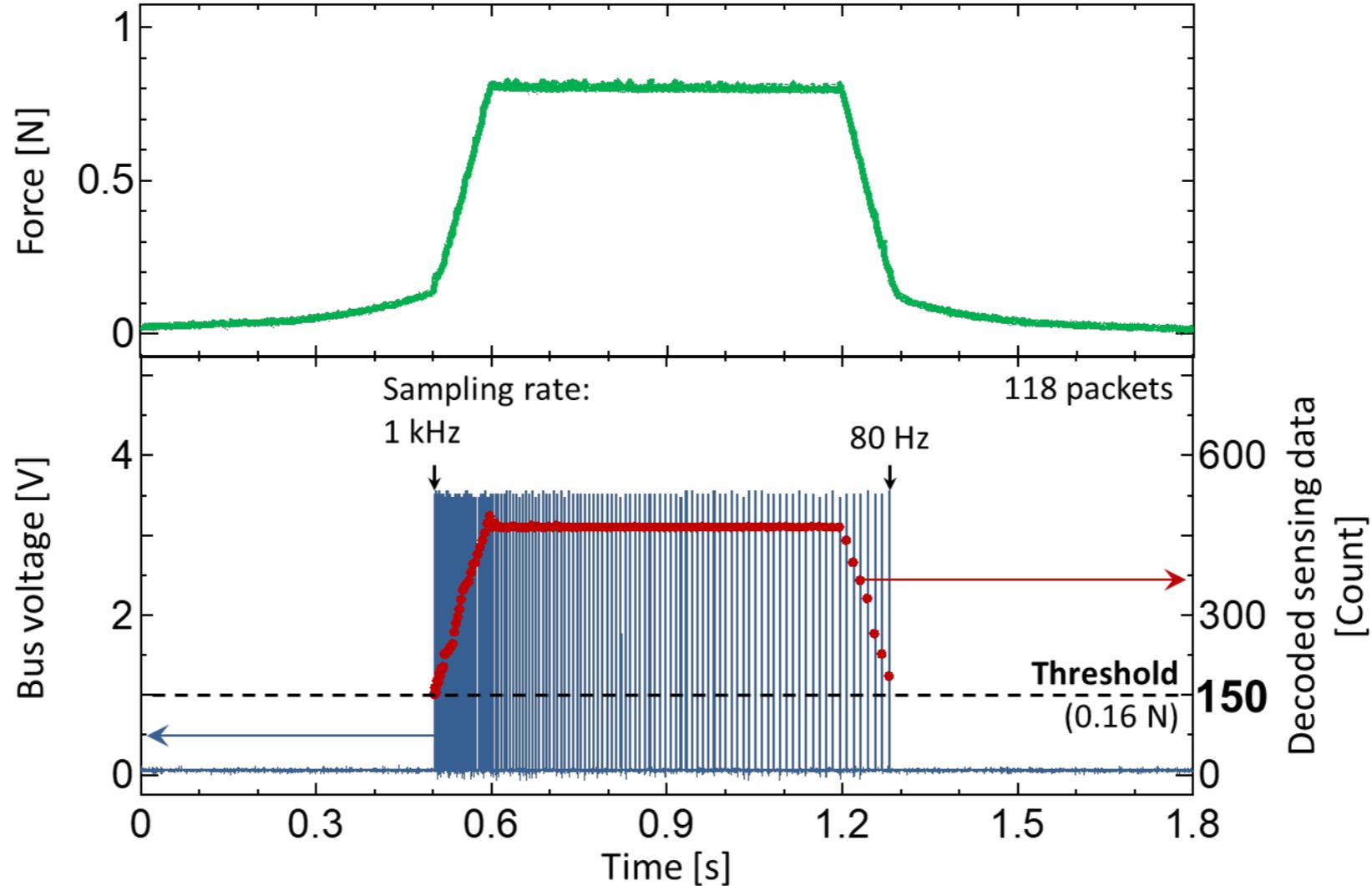
High sensitivity with small hysteresis and cross-axis sensitivity

新技術の特徴・従来技術との比較



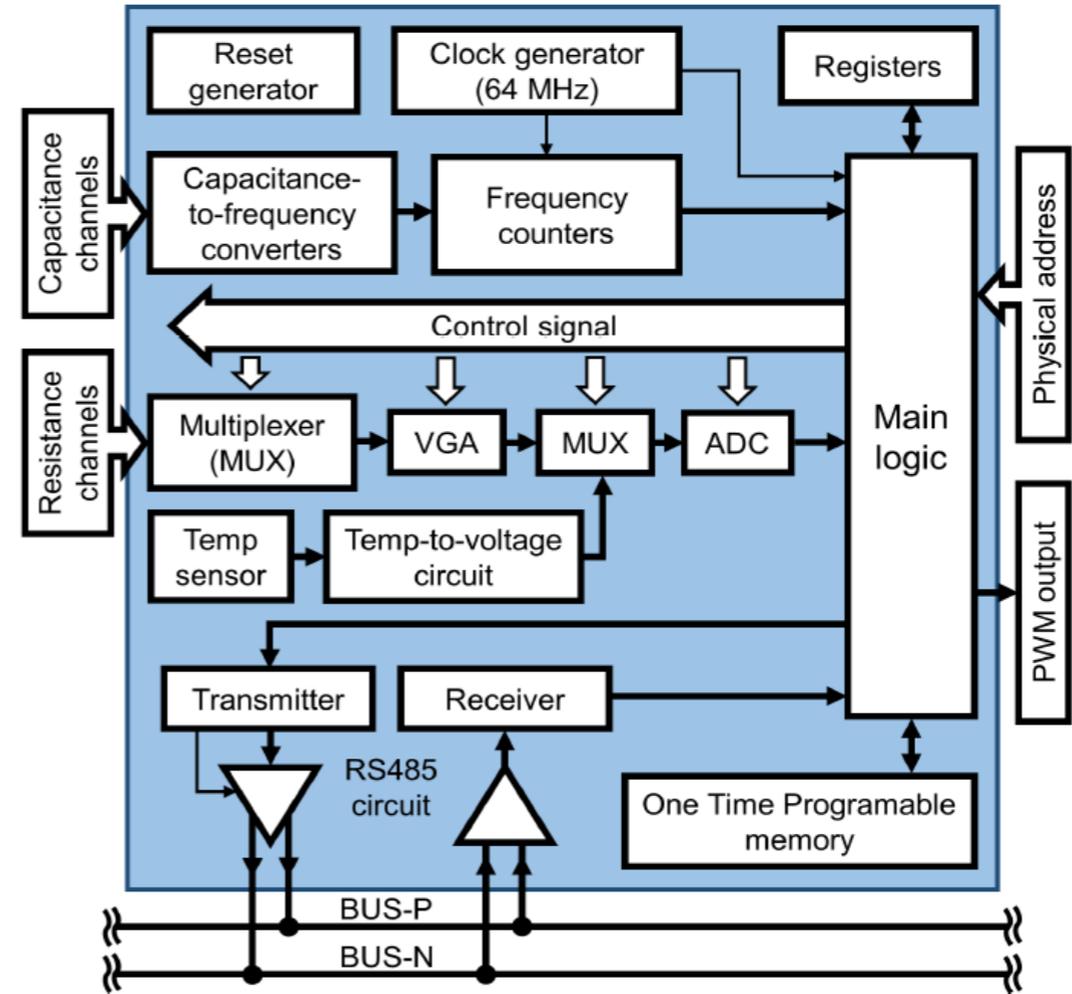
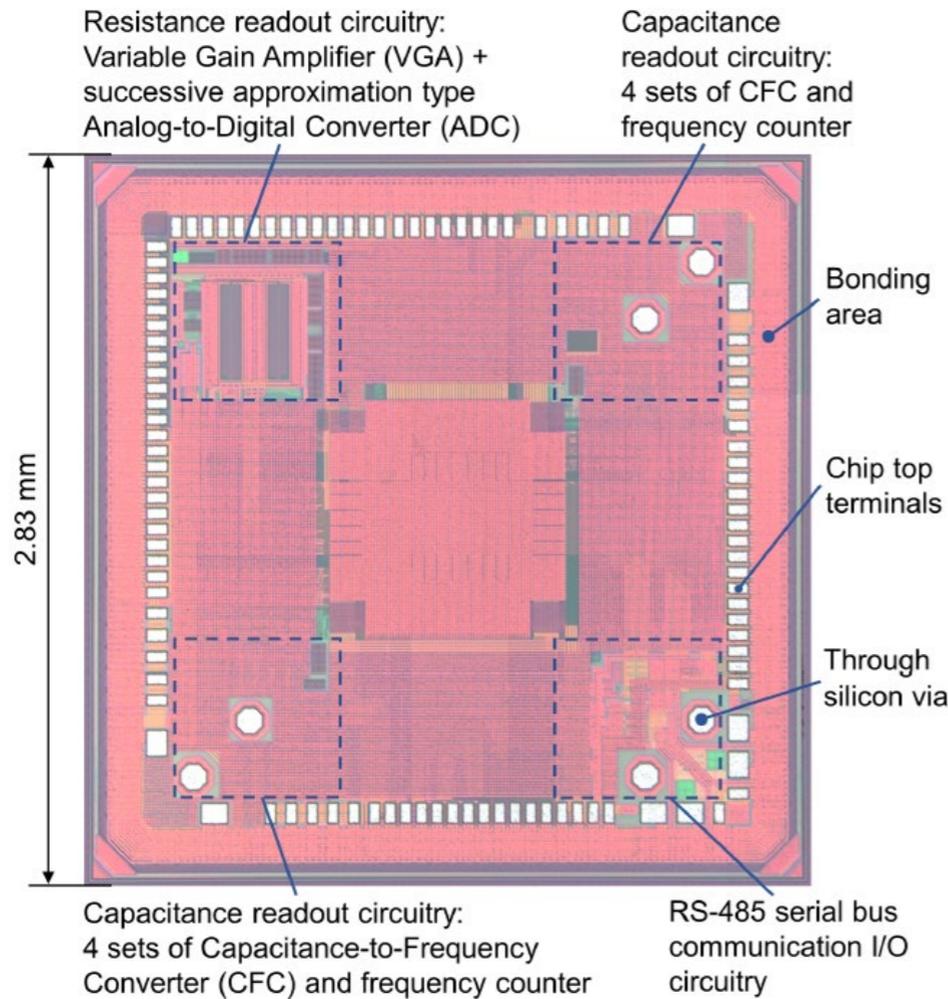
Sensing data is transmitted all the time

新技術の特徴・従来技術との比較



Data transmission interval increases while applying strong force
イベントドリブン応答によるデータ量の効果的な削減

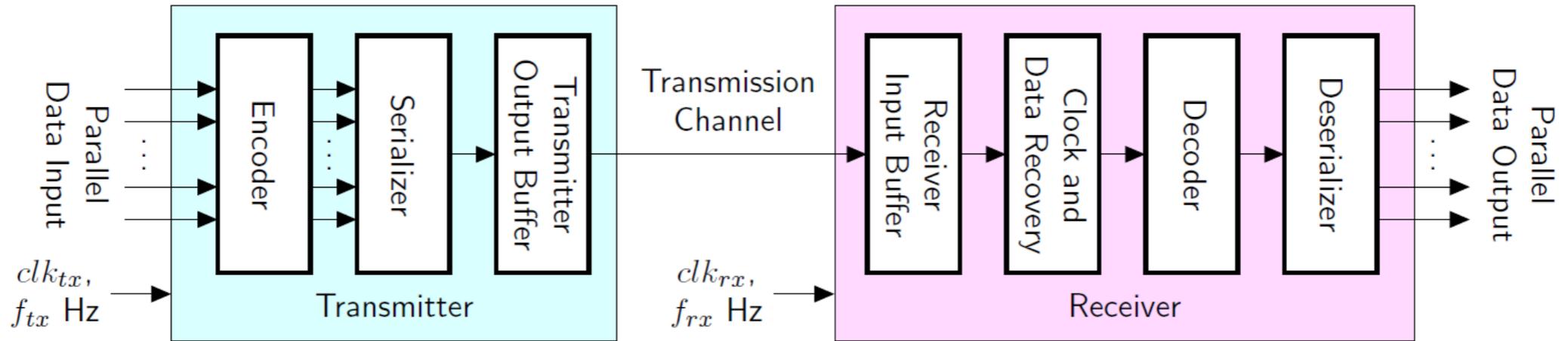
新技術の特徴・従来技術との比較



オリジナルのセンサ・プラットフォームLSI (TSMC0.13 μ mで製造)

出典: C. Shao, M. Muroyama, S. Tanaka et al., IEEE Sensors Journal, 2020

新技術の特徴・従来技術との比較



クロックを共有しておらず、非同期にてシリアル通信できる方法を提供。以下の要件を満たす技術を開発。

- 有線での短いデータでも、短いプリアンプル（クロック推定用ビット）でよい
- 通信における電圧の変動にも強い
- 大きな周波数のばらつきでも対応

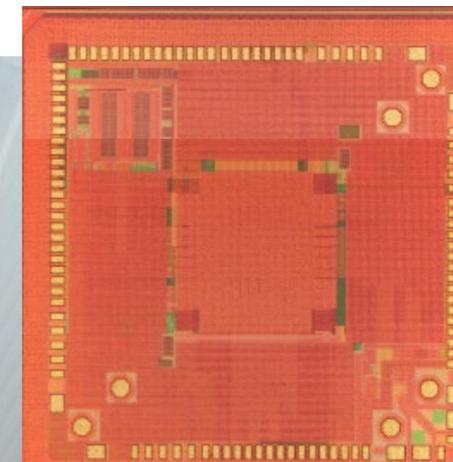
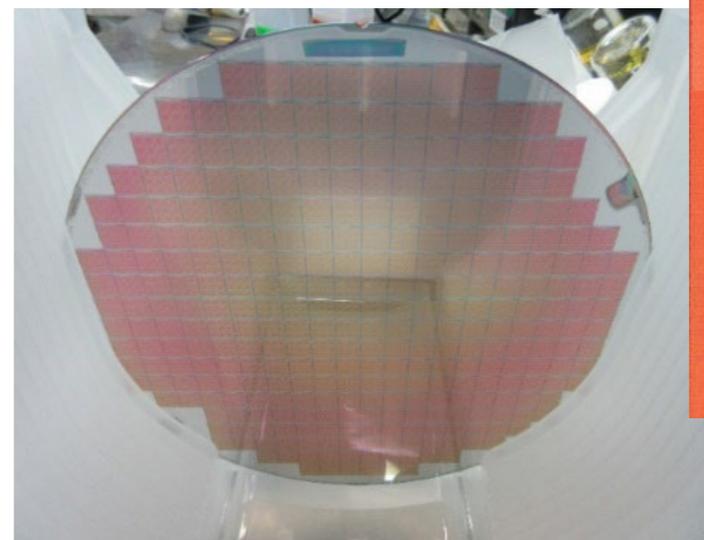
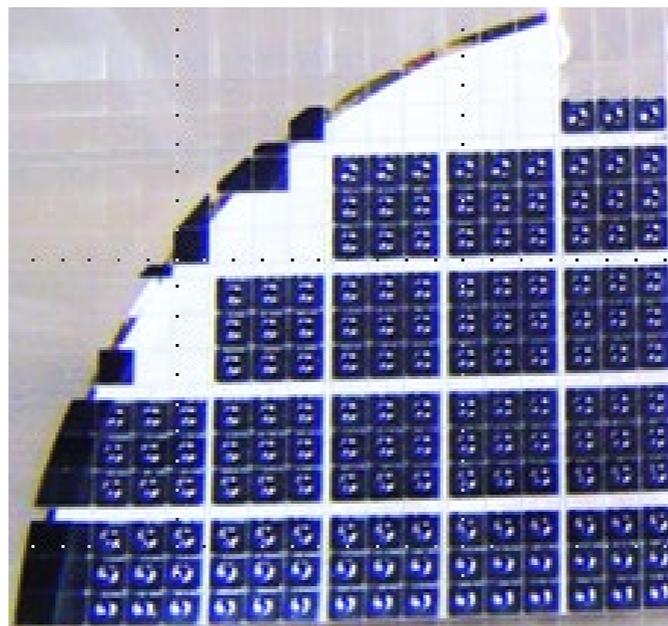
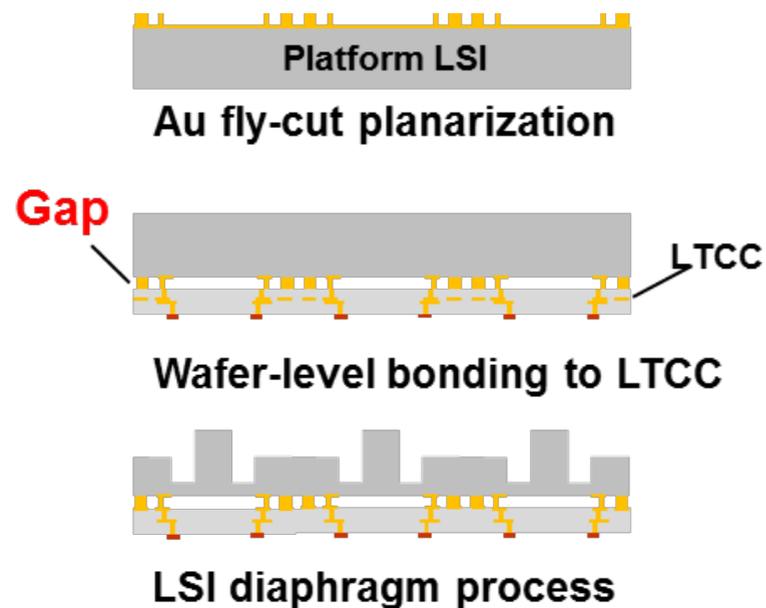
想定される用途

- 本技術の特徴は介護ロボット等全身に触覚を分布させる必要がある用途に向く
- 装着型デバイスへの接触センサ付与（外骨格デバイス、センサグローブ）
- 多指ハンドへの触覚付与による高度な作業
 - － 物流現場などのもののハンドリング
 - － 食品加工などでのハンドリング
 - － 農業等におけるハンドリング

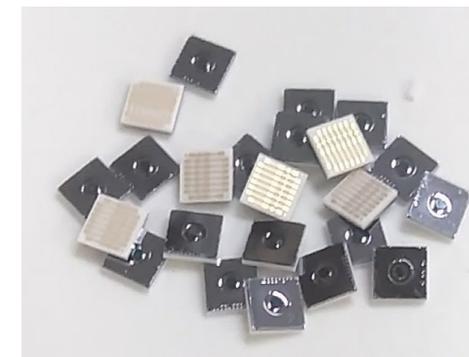
実用化に向けた課題

- 現在、以下を開発済
 - 少数個生産用のPCB型触覚センサのプロトタイプ
 - 多数個生産用のウェハレベルMEMS-LSI集積化触覚センサの試作
- 接触に対するセンサの強靱化および故障対応の点が未解決であるが、以下で対応中である
 - 壊れにくいPCB型センサデバイスの実現
 - 故障しても認識精度を低下させない技術の開発

実用化に向けた課題



2.5mm X 2.5mm LSI

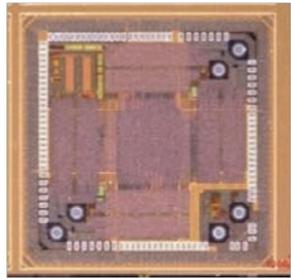


2.7mm X 2.7mm 集積化チップ

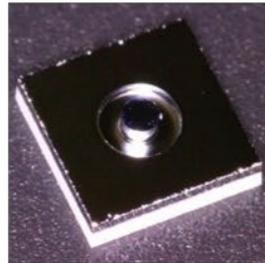
量産化技術の開発(数千個単位チップ一括製造)
4インチウェハでの製造、歩留り90%程度

実用化に向けた課題

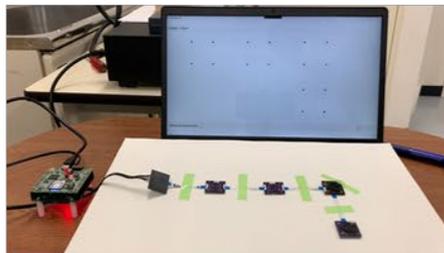
HW / SW / システム



センサ・プラットフォームLSI



集積化触覚センサ

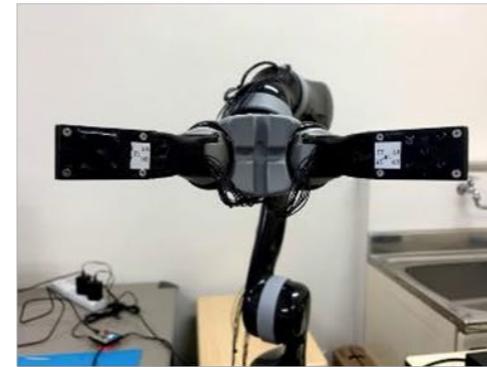


モジュールキット(HW+SW)

ソリューション



ハンドへの実装



ロボットへの実装

センサ実装サポート
センサシステム保守
コンサルティング

データ

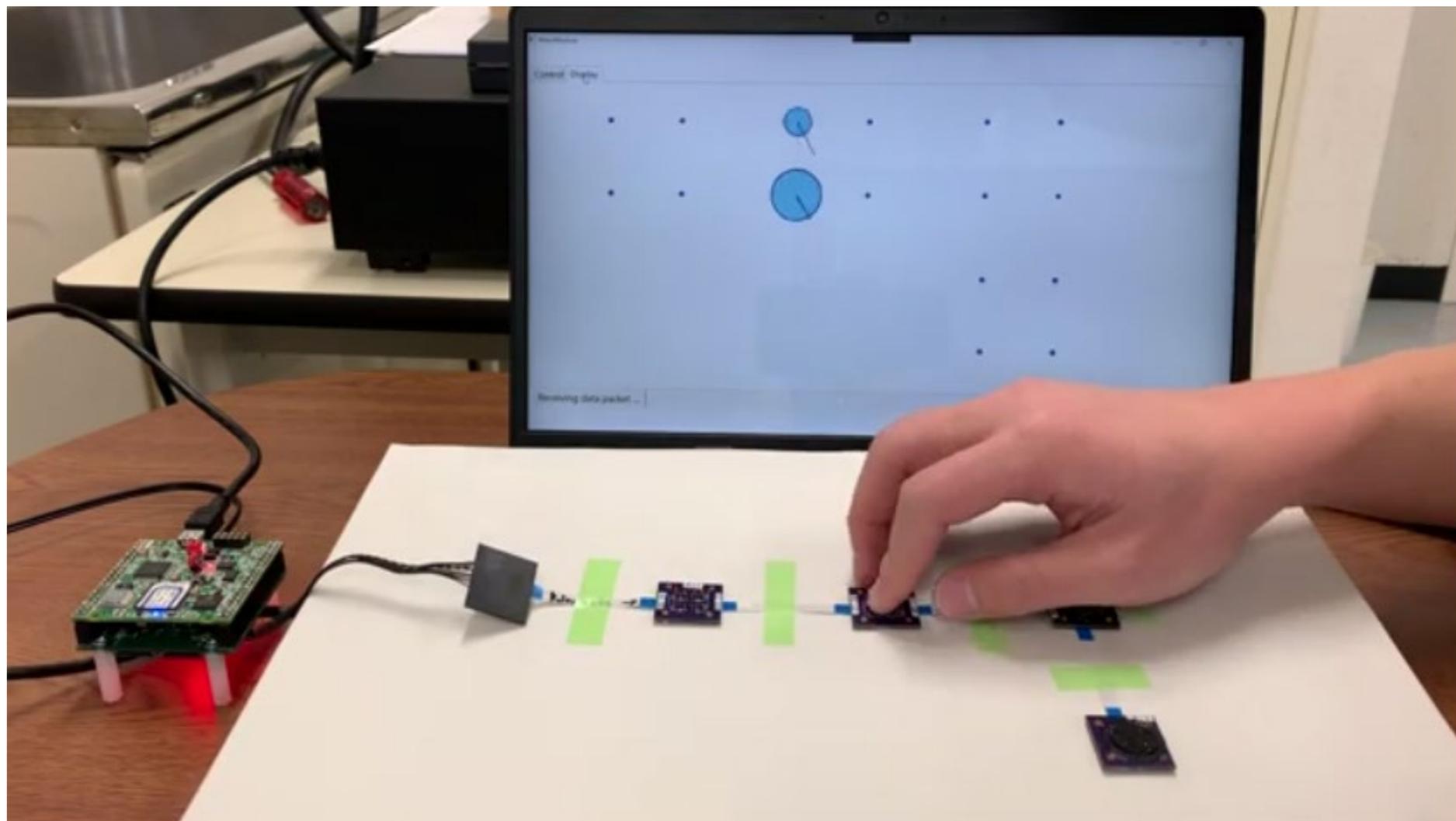


センシングデータ

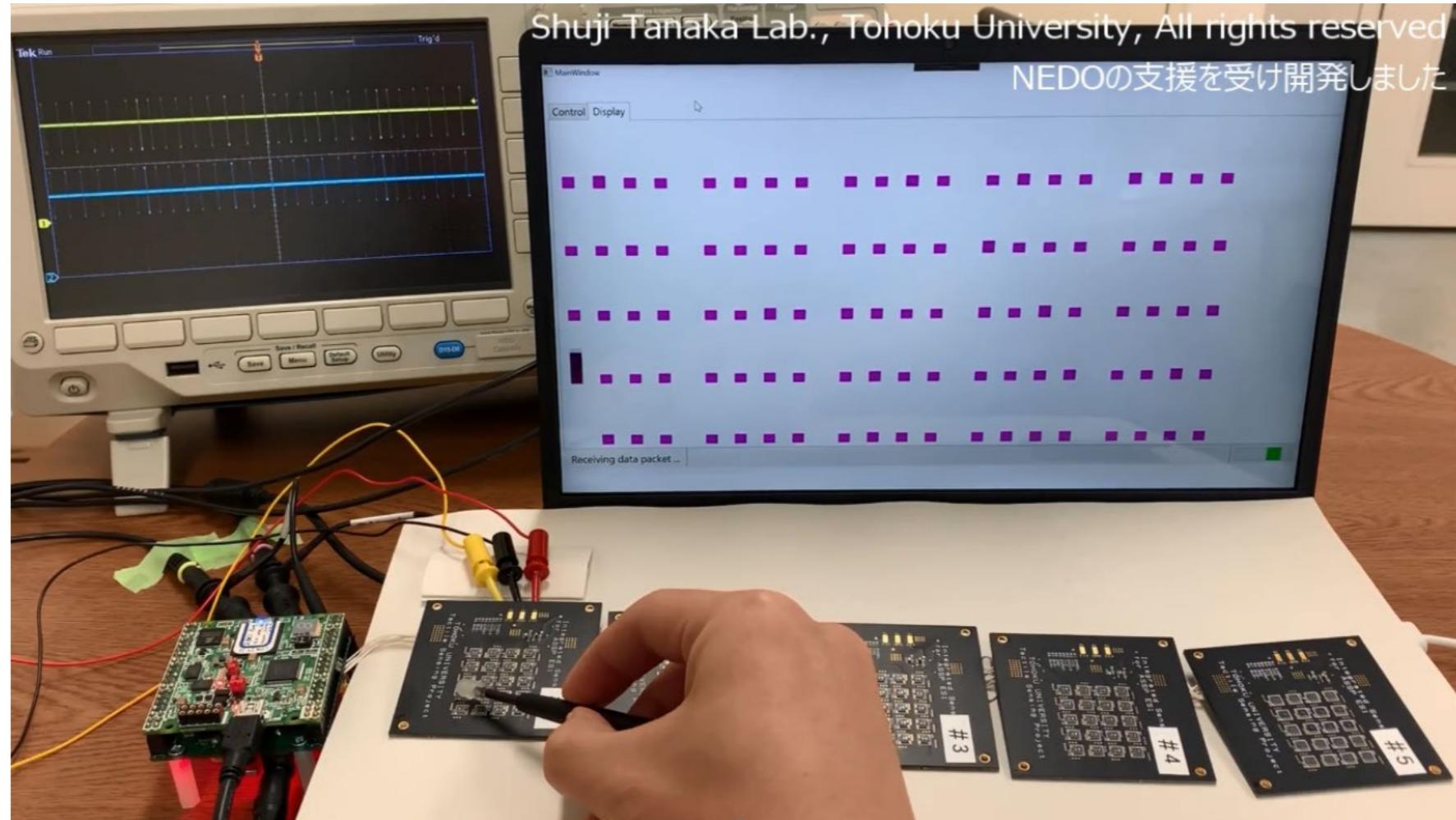


解析レポート

実用化に向けた課題



実用化に向けた課題

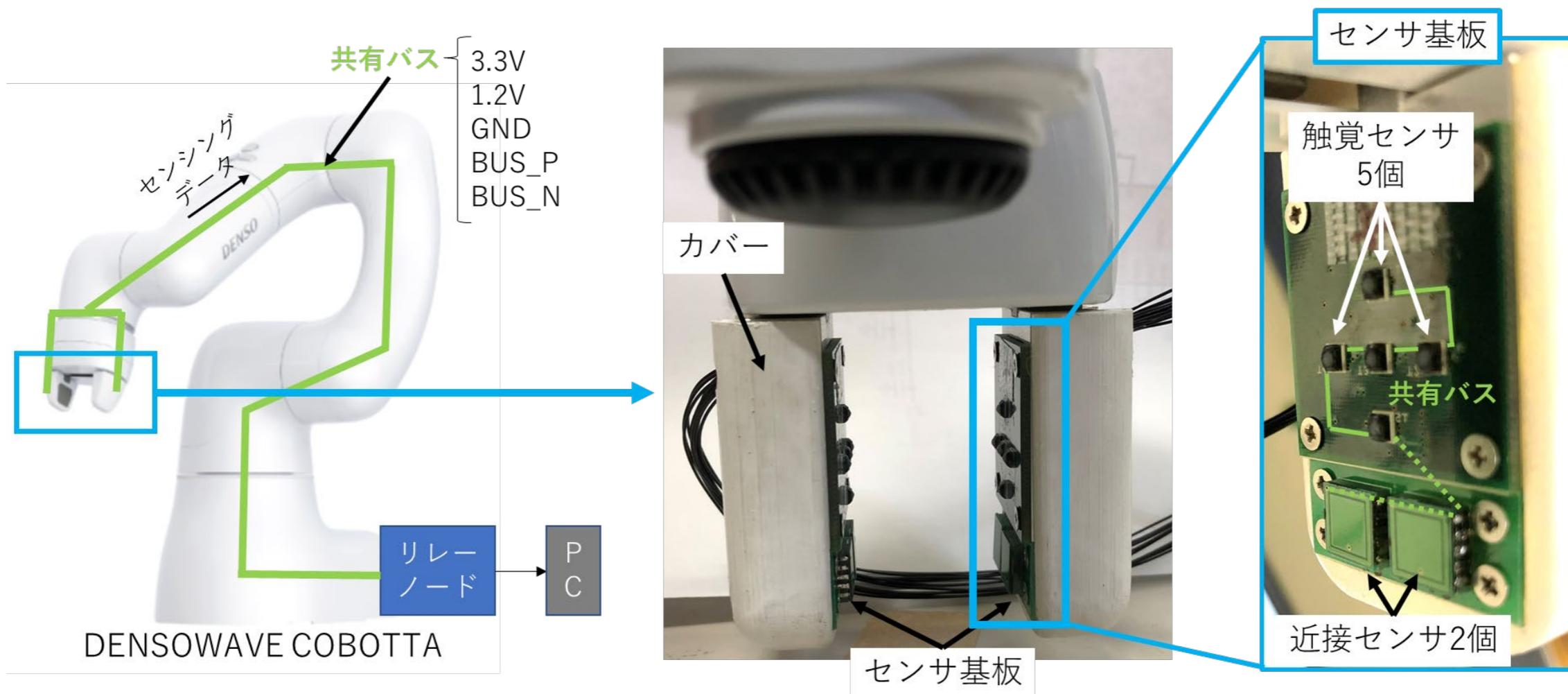


実用化に向けた課題

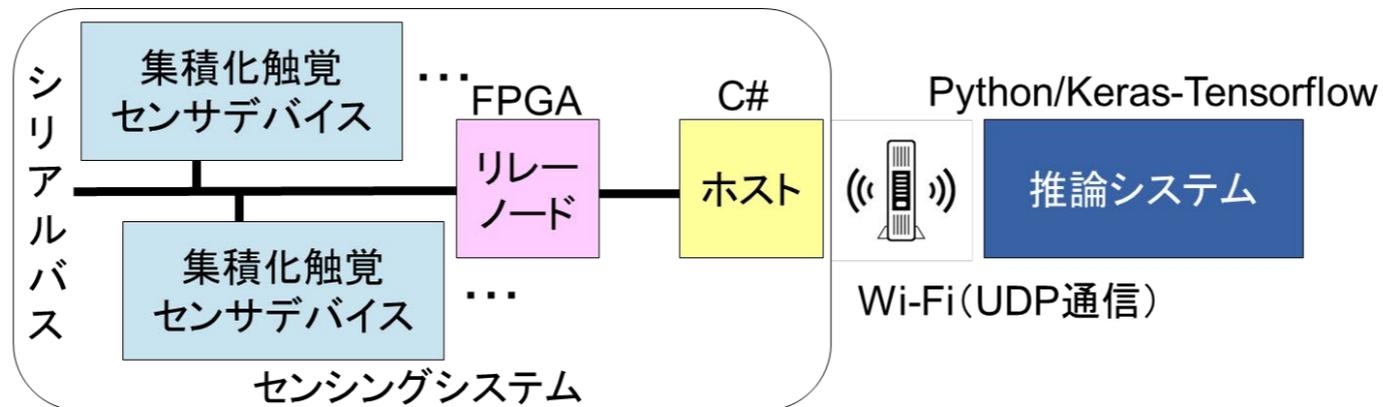
Shuji Tanaka Lab., Tohoku University, All rights reserved
NEDOの支援を受け開発しました

ハンドの移動量に対して触覚センサからの出力値の変化を見ることで硬さを知ります。

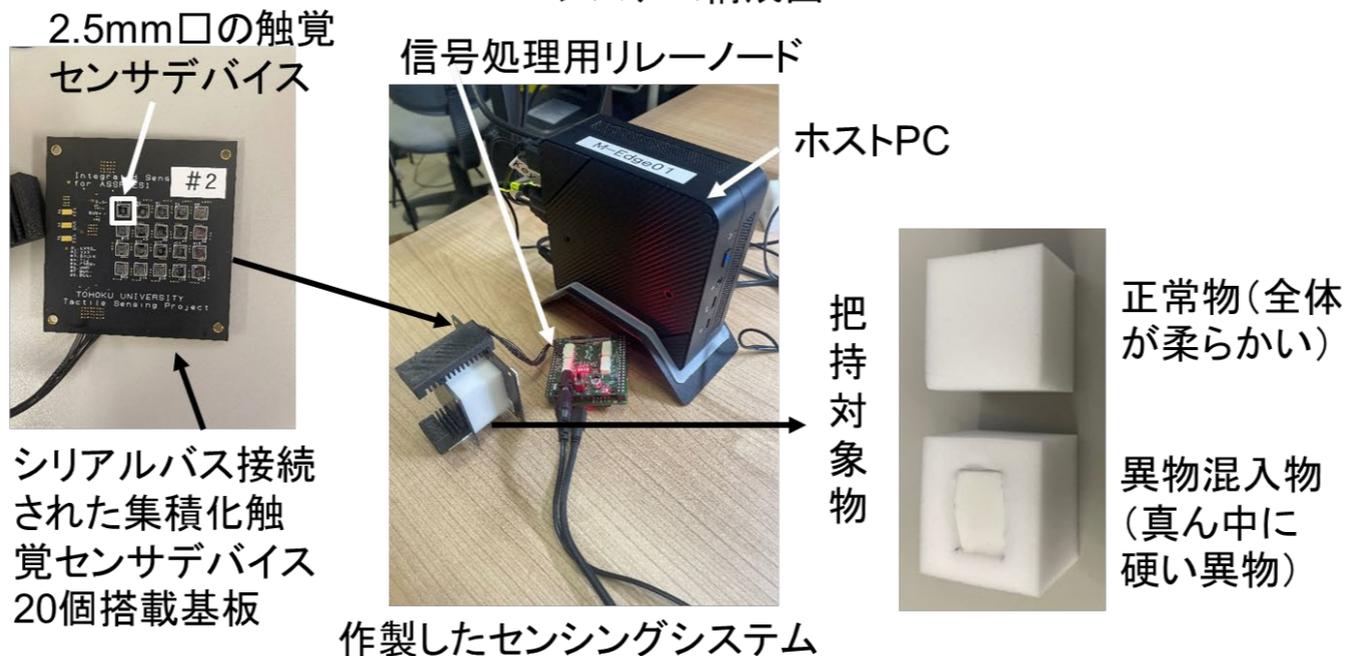
実用化に向けた課題



実用化に向けた課題

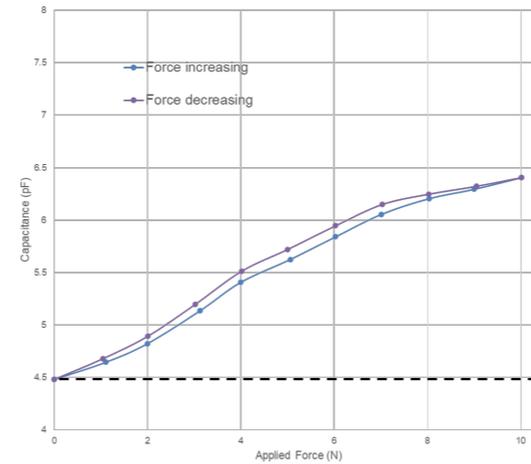
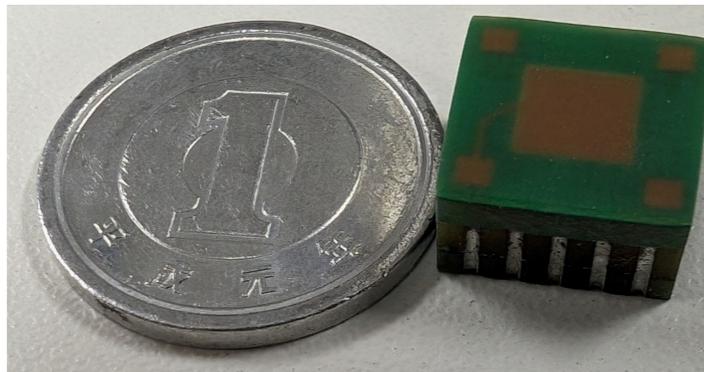
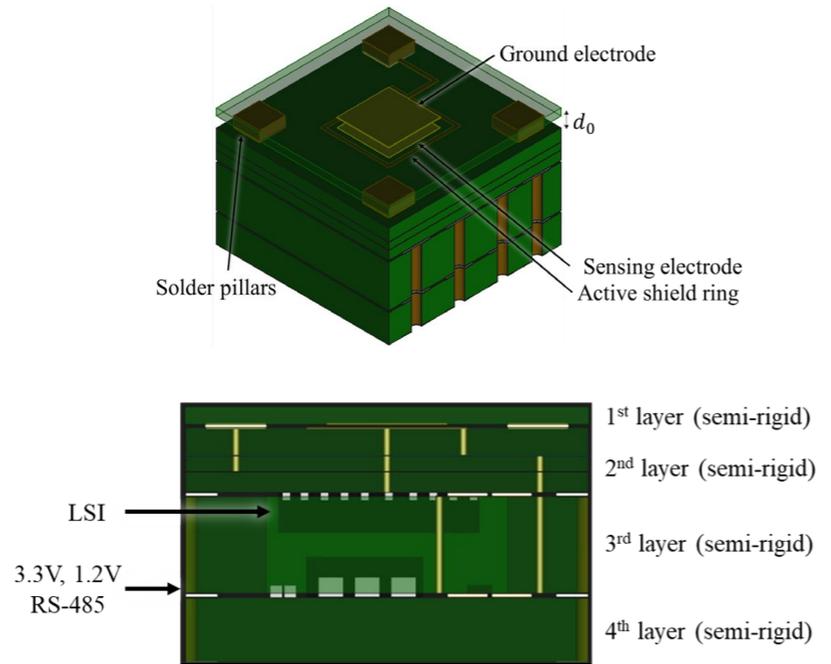


システム構成図

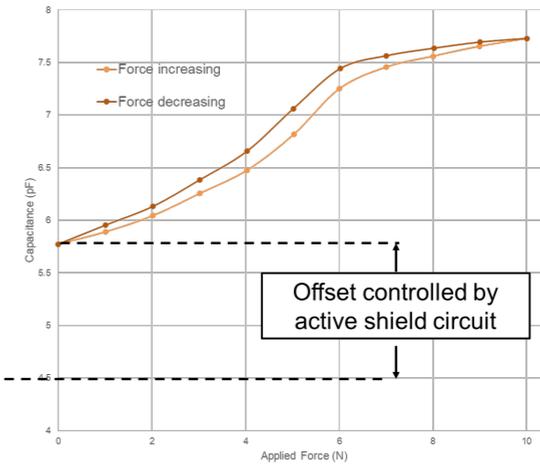


作製したセンシングシステム

実用化に向けた課題



Force response of device with active shield



Force response of device without active shield.



Lopez Jorge, Muroyama Masanori, Tsukamoto Takashiro, Tanaka Shuji, "PCB-based Single-axis Capacitive Tactile Sensor with Embedded Sensor Platform LSI", 第41回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 25P4-PS-99, 2024

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	<ul style="list-style-type: none">・ウェハレベルによるMEMS-LSI3軸集積化触覚センサデバイスの製造(2.5mm□サイズ)	
現在	<ul style="list-style-type: none">・PCBを利用した10mm□サイズの試験回数30,000サイクル以上の高耐久を実現する1軸触覚センサデバイス・PCBを利用した10mm□サイズの3軸触覚センサデバイスのプロトタイプ^①の試作と評価・触覚センサが複数個故障しても認識性能の低下を数%以内に収める基本技術の確認	
1~2年後	<ul style="list-style-type: none">・PCB製造会社と共同で1軸、3軸の触覚センサデバイス製造方法を開発・実故障に対応した長期運用可能な認識技術の開発	デモンストレーション実施 :JSTの産学共同事業へ応募し研究資金獲得
3年後	<ul style="list-style-type: none">・様々な用途に対応可能な触覚デバイスおよび認識システムの提供環境の構築	評価基礎データの提供 サンプル提供が実現

企業への期待

- 実際のアプリケーション応用による、
 - 触覚センサが使えるかどうか、ならびに、仕様の洗い出し
 - 故障データの取得および認識精度の低下のデータ取得、さらにはその解決に対する効果の確認

は企業との共同研究により達成できると考えている。

- さらに、LSIやMEMSの技術を持つ、企業との共同研究を希望。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は少数個生産および大量生産の両方が可能なため、小さく始めて大きく展開したい企業に向いている。
- センサシステムおよび認識システムについても開発しており、様々なレベルでの技術提供が可能。
- 質が良いデータ取得が可能で、触覚データによるデータサイエンスも可能。
- 本格導入にあたっての技術指導等が可能である。
- 通信などの個別技術のライセンスも可能。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 触覚センサシステム
- 出願番号 : 特願2011-543887
- 出願人 : 国立大学法人東北大学, 株式会社豊田中央研究所, トヨタ自動車株式会社
- 発明者 : 室山真徳, 江刺正喜, 田中秀治, 松崎栄, 巻幡光俊, 野々村裕, 藤吉基弘, 中山貴裕, 山口宇唯, 山田整

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 触覚センサシステム
- 出願番号 : 特願2010-229761
- 出願人 : 国立大学法人東北大学, 株式会社豊田中央研究所, トヨタ自動車株式会社
- 発明者 : 室山真徳, 江刺正喜, 田中秀治, 松崎栄, 巻幡光俊, 中野芳宏, 野々村裕, 藤吉基弘, 山田整, 中山貴裕, 山口宇唯, 美馬一博

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 触覚センサシステム
- 出願番号 : 特願2013-223714
- 出願人 : 国立大学法人東北大学, 株式会社豊田中央研究所, トヨタ自動車株式会社
- 発明者 : 田中秀治, 室山真徳, 江刺正喜, 野々村裕, 船橋博文, 畑良幸, 中山貴裕, 山口宇唯, 山田整

産学連携の経歴

- 2007年-2017年 トヨタ自動車と共同研究実施
- 2020年- 大学発ベンチャー株式会社レ
イセンス設立
- 2023年-2025年 JST A-STEP（育成）事業に採
択

お問い合わせ先

東北工業大学
研究支援センター 守 和彦

T E L 022-305-3814
e-mail rs-center@tohtech.ac.jp