

2023年6月8日

第43回新産業技術促進検討会シンポジウム「IoT  
社会実現のための革新的センシング技術開発」  
成果報告会

# マルチモーダルセンサが拓く オープンイノベーション

豊橋技術科学大学  
次世代半導体・センサ科学研究所長

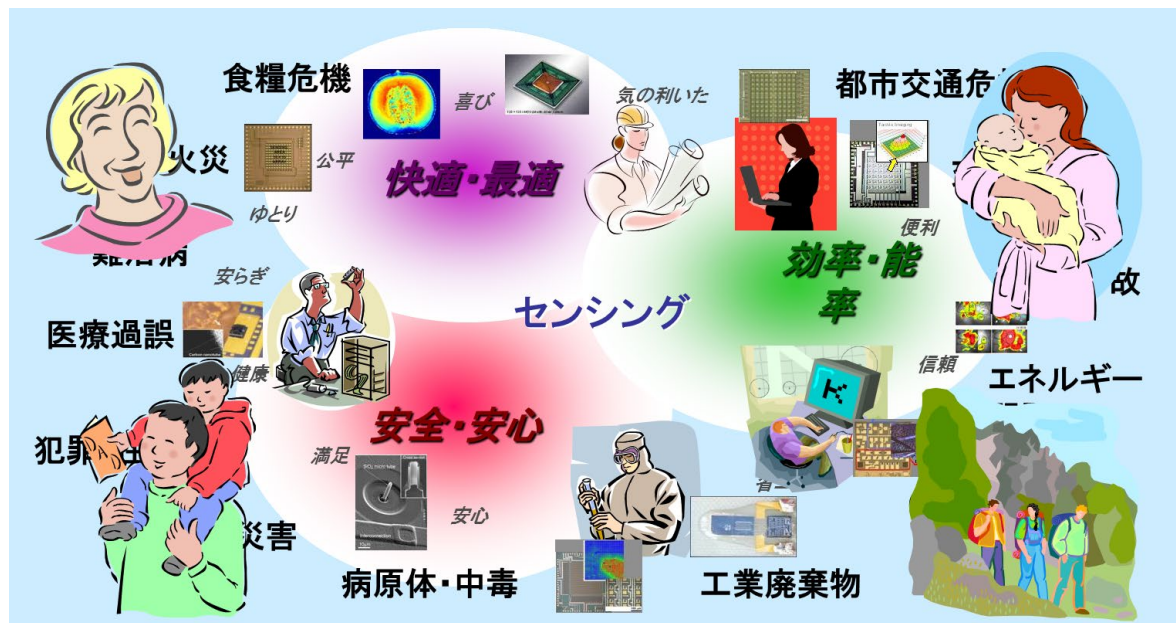
澤田和明

# グリーン社会のためのセンサ

## センサはグリーン社会の見守り役(陰の主役)

- ・ エネルギーのミニマム化(効率・能率)
- ・ 生活の心地よさ(快適・最適)
- ・ 危険からの防御(安全・安心)

トリリオン(1兆個)センサ社会



Dr. Janusz Bryzekが提唱  
"TSensor Summit"  
<http://tsensorssummit.org/>

## グリーン社会に不可欠なセンサ

半導体市場 前年比 8.8%  
センサ市場 前年比 11.3%  
世界半導体市場統計 2021より

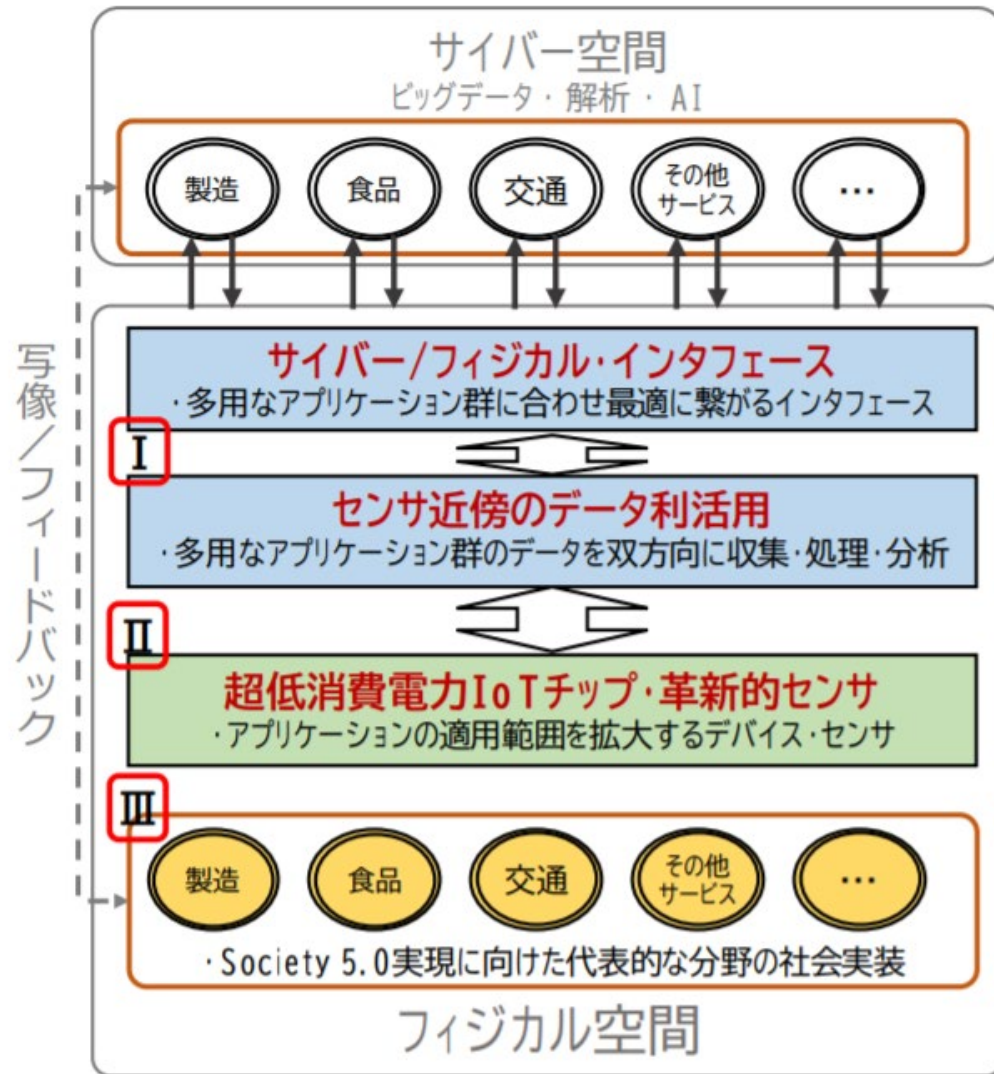
## 半導体産業の現状

世界 2008年比 78%  
日本 ▲ 7%

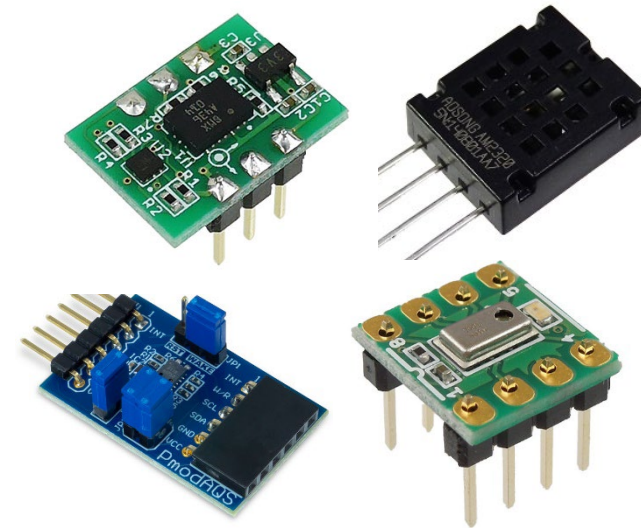
センサ市場の獲得は  
日本の半導体産業の救世主に  
成り得る

革新的な生産技術によるセンサ研究・  
開発のグリーンイノベーションを目指す

# 従来のSociety 5.0に向けた取り組み



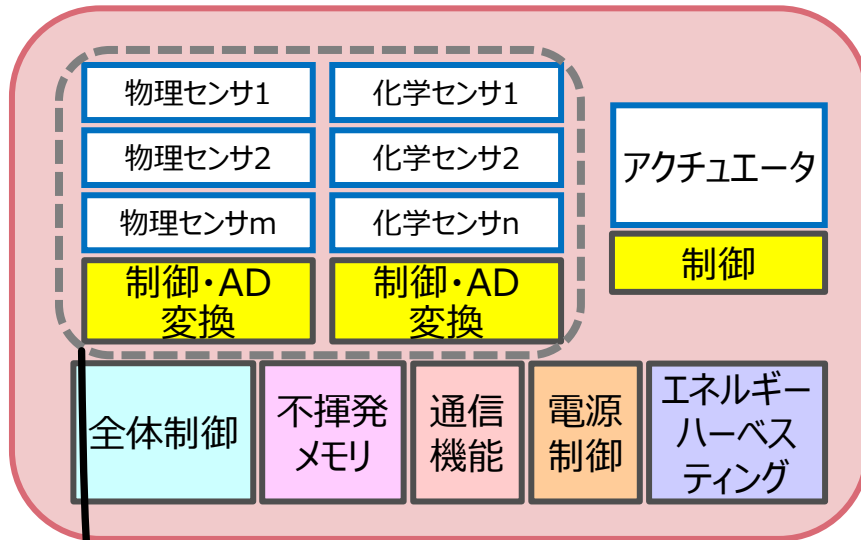
【エッジPF方式】  
ネットワーク接続できる  
多数のセンサが必要



引用 <https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/index.html>

# センサには高い選択性が必要なのだろうか

## センサ端末

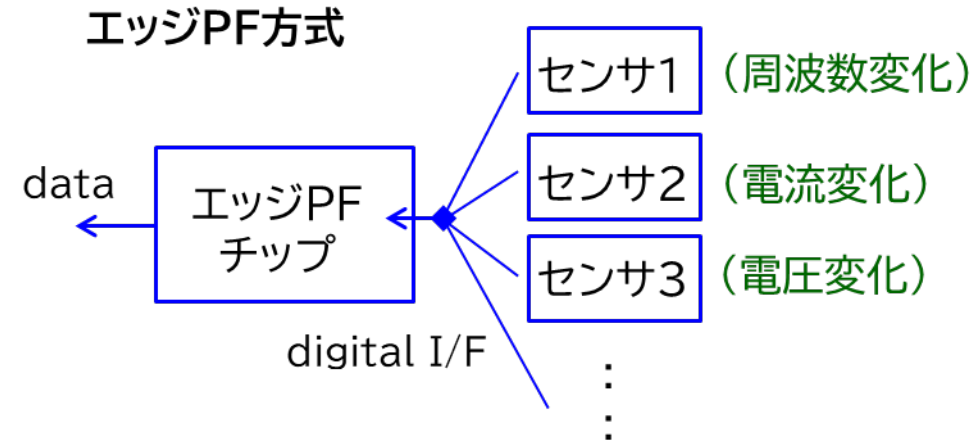


**センサ性能の  
飛躍的向上**  
高感度、高選択性、  
アレイ化、etc.

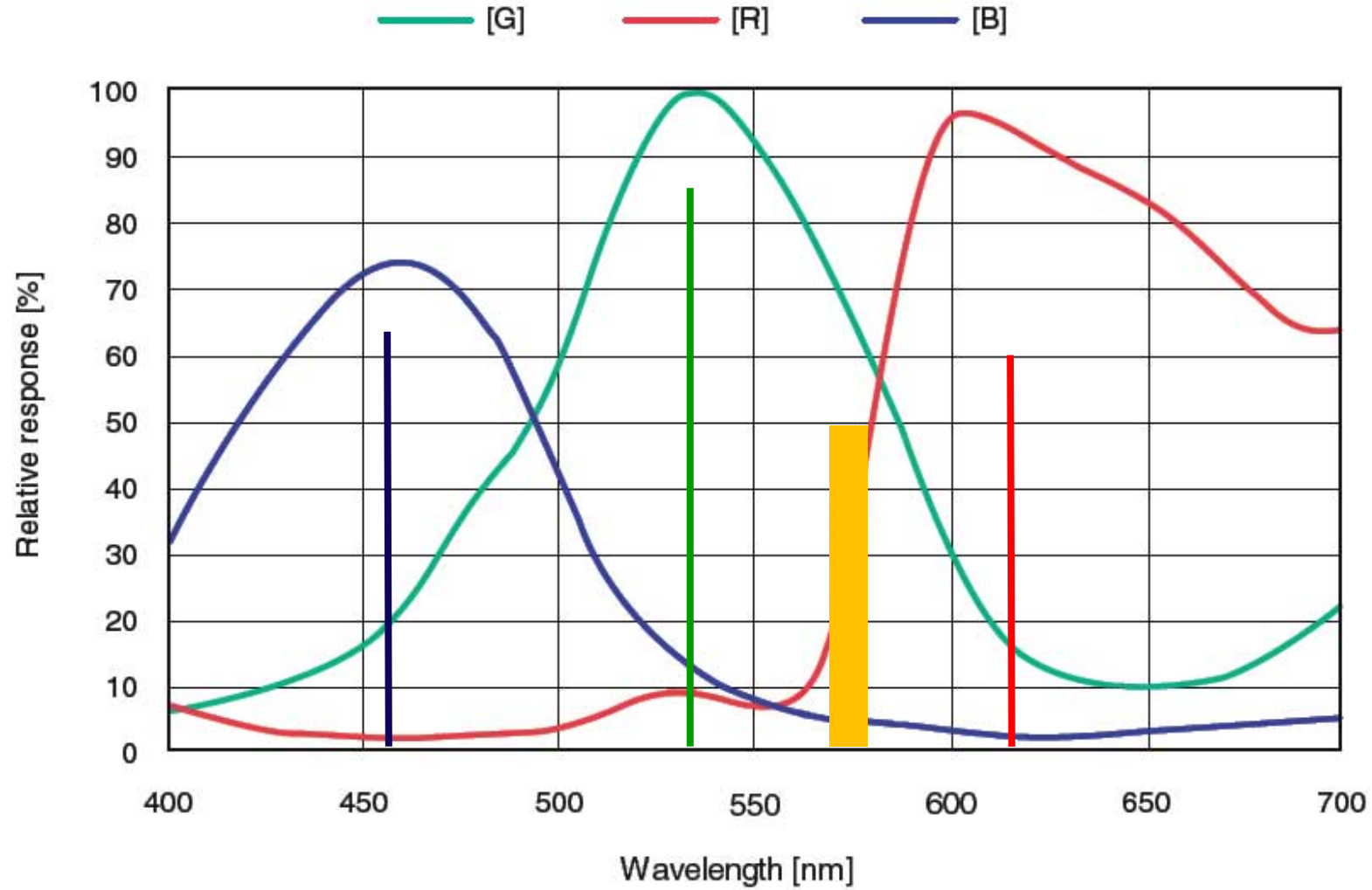
Society5.0:

フィジカル空間の**ありとあらゆる情報**  
をサイバー空間にあげる必要性

**ありとあらゆる情報**を高い選択性で  
取得するには、無限のセンサが必要に  
なる？



# カラー画像取得（例）



# マルチモーダルセンシングの概念

## ひとつで複数種の情報が計測可能なセンサ

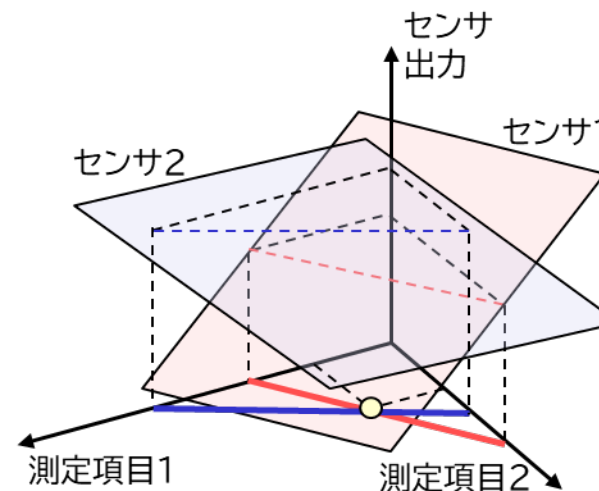
### 特徴

- 多数の情報取得が可能
- 高い選択比（他の項目に応答しない）のセンサが不要

### ケース3 応答特性の異なる2つのセンサを使用

測定値1と2が一義的に決定

- 測定項目数と同数以上のセンサの組み合わせにより, 各測定値を一義的に求められる
- センサ数を増やすと測定精度が上がる



$$V_{\text{sensor1}} = A \phi_1 + B \phi_2$$

A, B, C, D: 定数

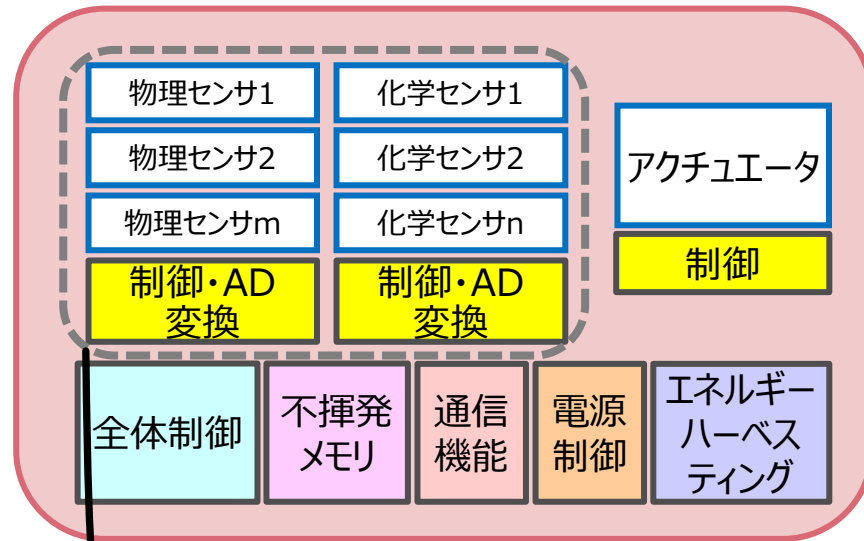
$$V_{\text{sensor2}} = C \phi_1 + D \phi_2$$

$\phi_1, \phi_2$  センサ出力 (例えば温度, 湿度)

連立方程式で求めることができる

# センサには高い選択性が必要なのだろうか

## センサ端末



### 課題3 センサ性能の飛躍的向上

高感度、高選択性、アレイ化、etc.

Society5.0:

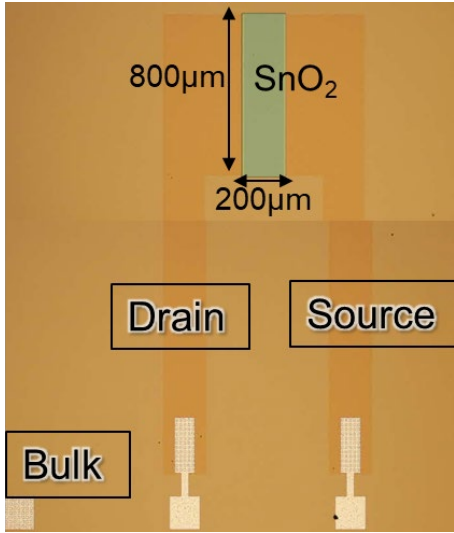
フィジカル空間の**ありとあらゆる情報**をサイバー空間にあげる必要性

**ありとあらゆる情報**を高い選択性で取得するには、無限のセンサが必要になる？

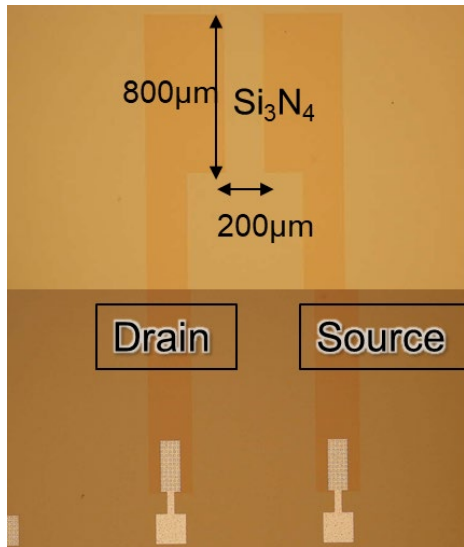
**特性が異なる(特性が既知)選択性がないセンサで同時に計測できれば良い。**

これまで使えなかった材料が出現？

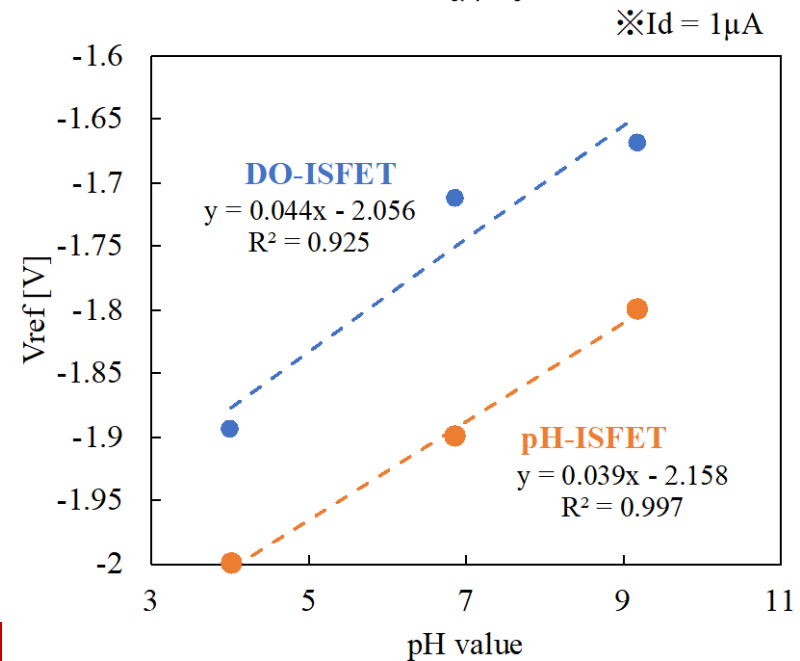
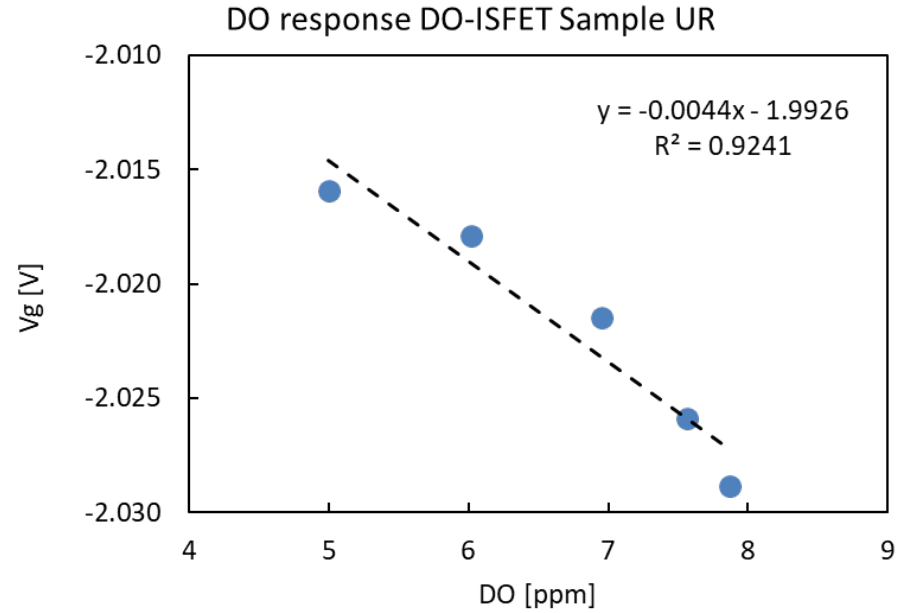
# マルチモーダルセンサの例 (溶存酸素)



DoFETゲートにSnO<sub>2</sub>: 溶存酸素とpH応答

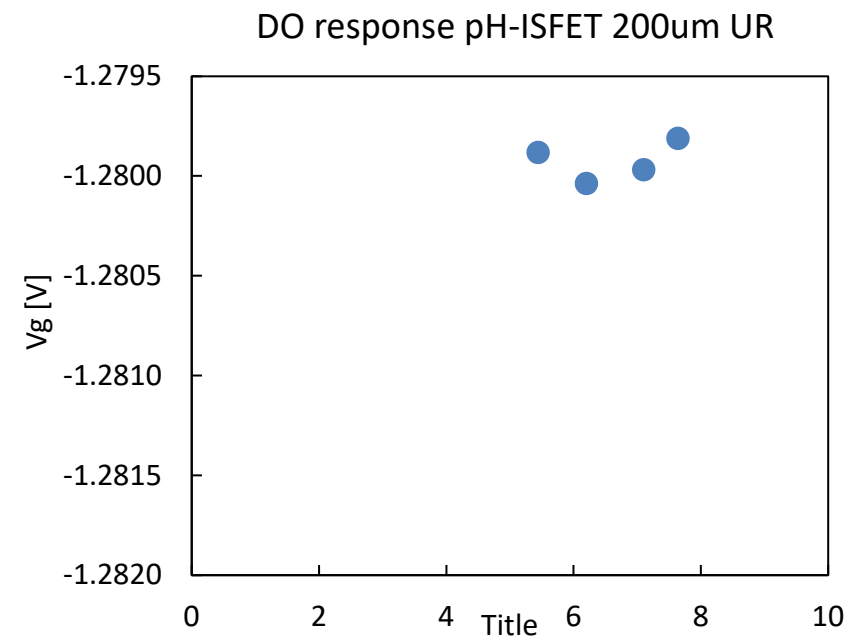
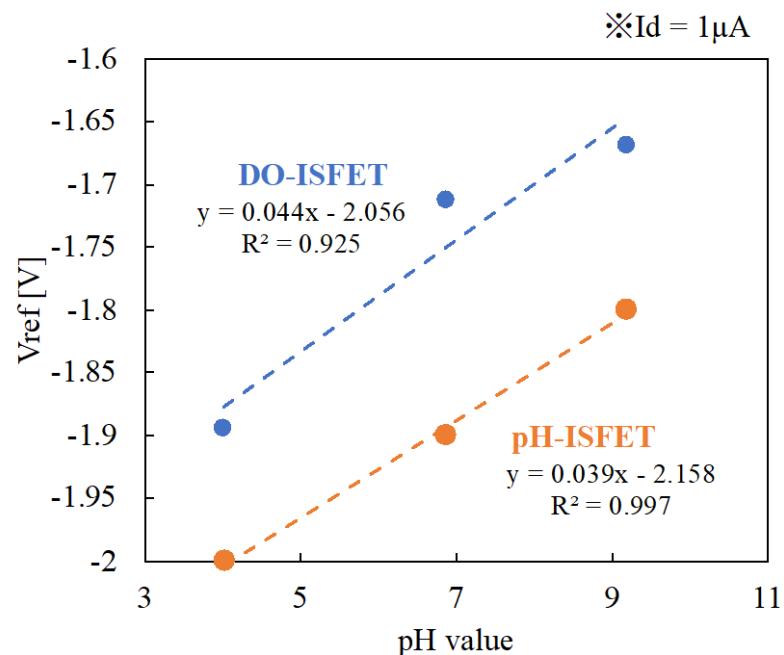
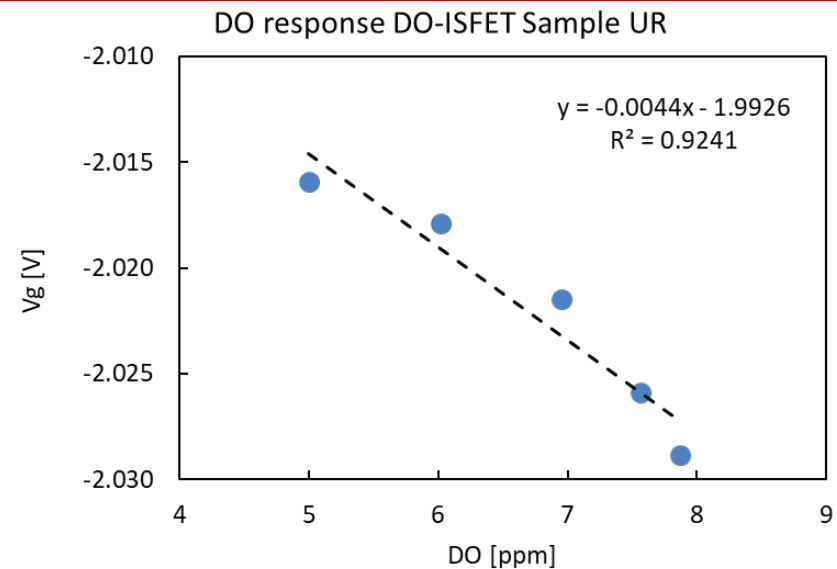
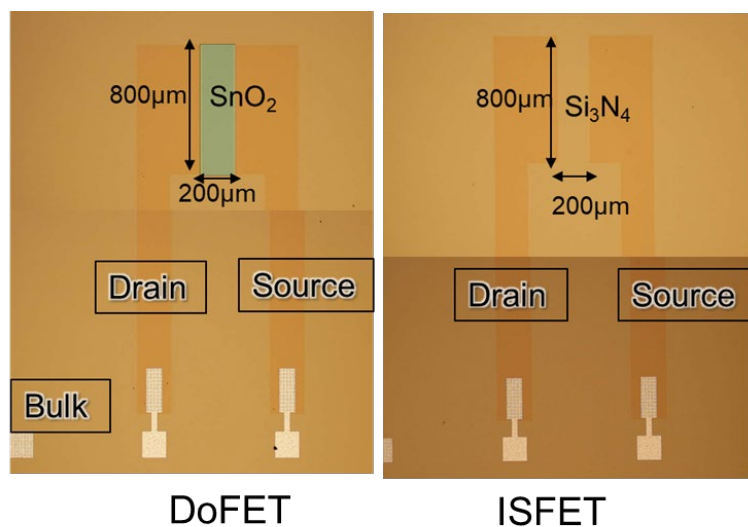


ISFETゲートにSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub> pHに応答





# マルチモーダルセンサの例（溶存酸素）



# マルチモーダルセンサが目指すグリーン貢献革新シナリオ

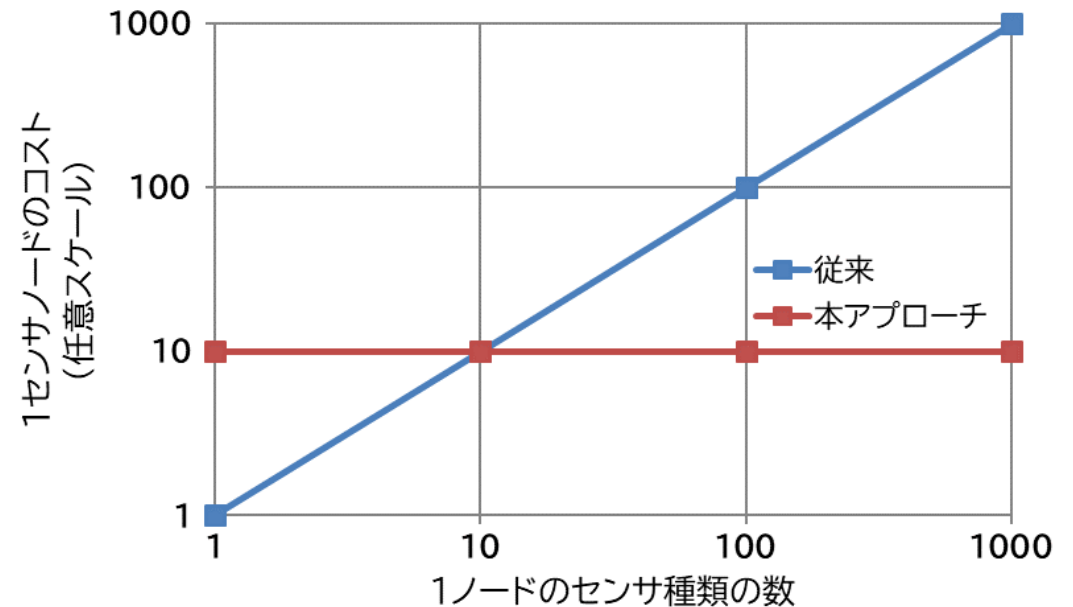
## ■ 新たな基幹産業育成の核となる技術を創出する

- グリーン社会を実現するためには様々な情報が取得できるセンサノードを莫大な数の、フィジカル空間に設置する必要がある。
- 現状のままでは消費電力・コストがネックとなり、少数のセンサに留まる。
- グリーン貢献度(製造コストや設置コスト)を考えた新たなプラットフォームを生み出す。

グリーン社会の実現には様々な種類のセンサを莫大な量世の中にばらまく必要性

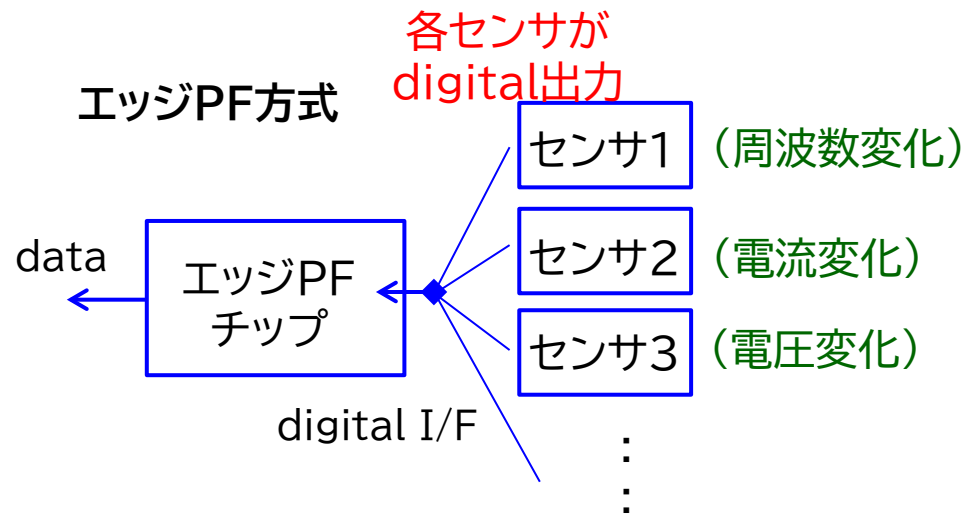


1ノードのコスト・消費エネルギーはセンサの種類が増える毎に増加する

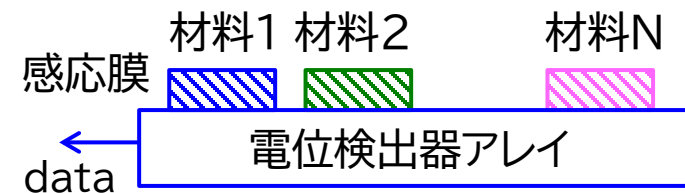


# グリーン社会に貢献するマルチモーダルセンサの特徴

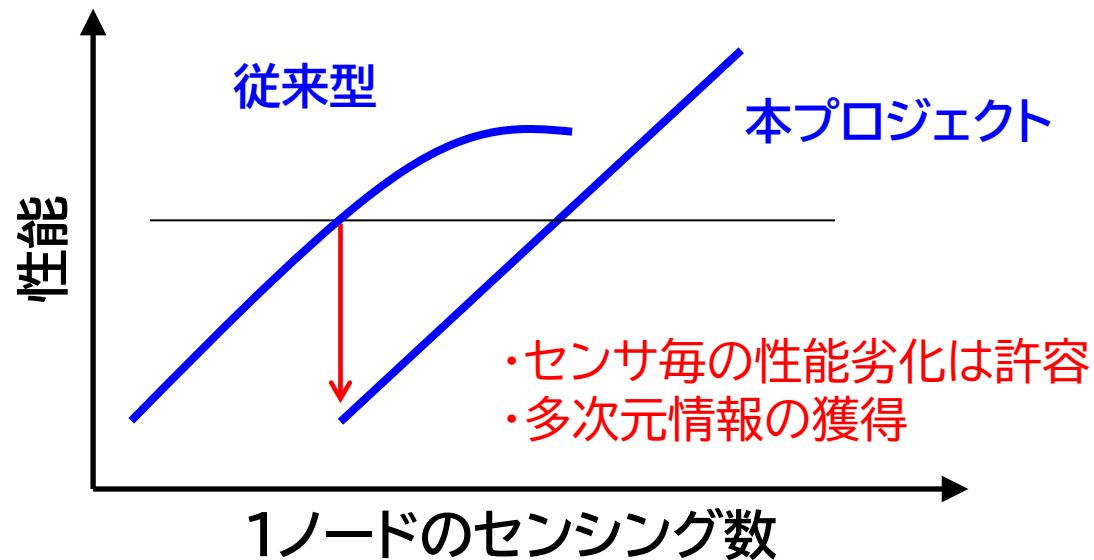
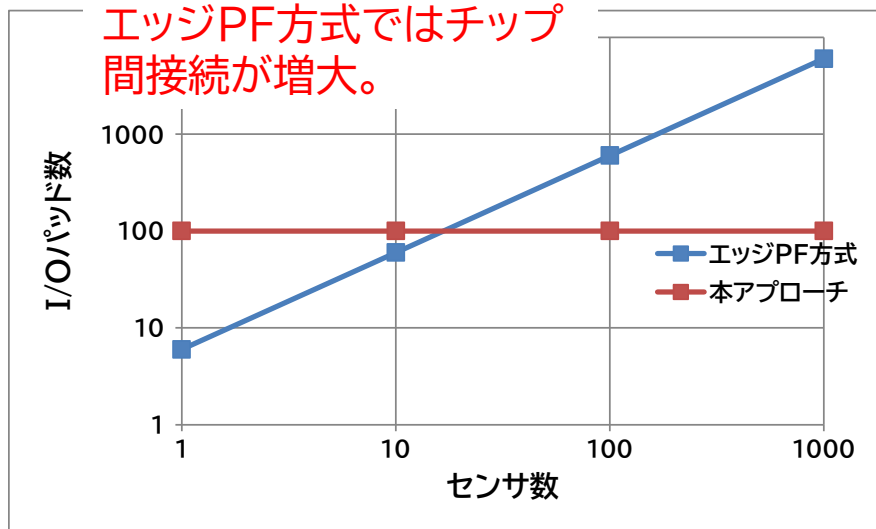
## ■ platform/sensorの一体化



## 本プロジェクトのアプローチ



【接続コスト】  
エッジPF方式ではチップ間接続が増大。



# 次世代センサのプラットフォームの議論

基本は**CMOS**（ありとあらゆるところに設置する必要）  
（CCD VS. CMOS イメージセンサ論争 1993.）

材料屋が手軽に使えるプラットフォーム

センサ出力：電流, 抵抗変化, 電圧変化, 周波数変化 etc

様々な方式のセンサチップに集積化するのは困難（コスト, 面積）

基本は**電位/電荷領域(Q=CV)出力**が良い。

- 面積が小さくなくても出力は低下しない
- 電流を流さないのので低消費電力

（例）電流型 小型化すると電流量が減る

MEMS変位型 小型化すると機械的変位量が小さくなる

# LSI工場；集積回路(LSI)/センサ/MEMSデバイス研究施設

固体機能デバイス研究施設 700m<sup>2</sup>

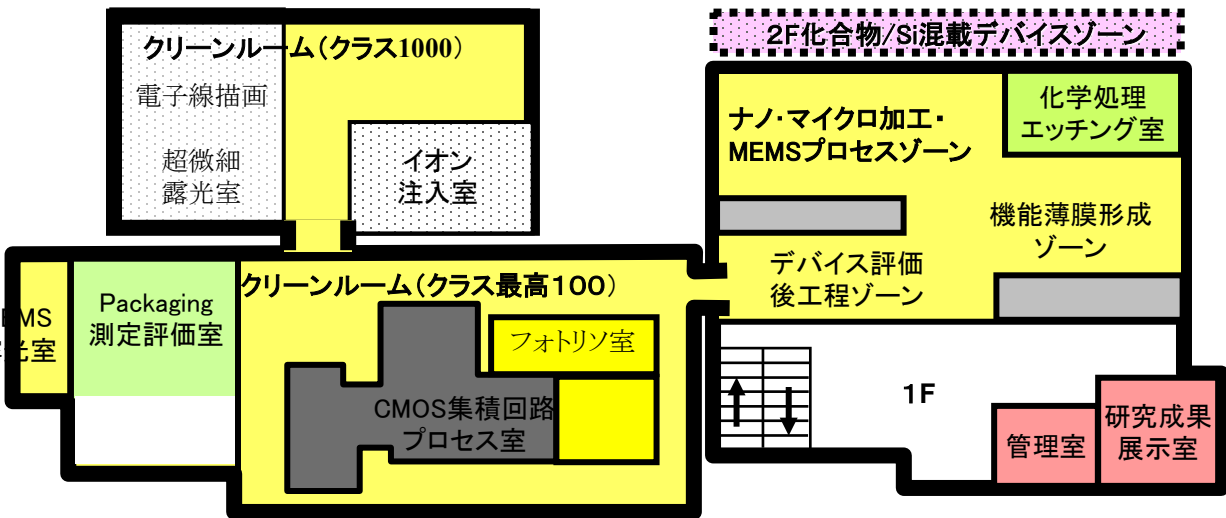
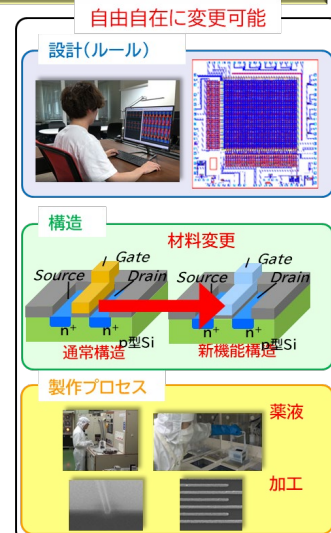
(1994年設立, 06/08年増設)

VBL 1500m<sup>2</sup> (2003年)

集積回路試作を設計からウェーハ試作・評価まですべて一気通貫

## 集積回路試作の流れ

	他大学	本学
回路設計	可能	可能
- 設計情報	工場から提供 (変更不可)	内製 <b>(変更可能)</b>
ウェーハ試作	工場に外注	内製
- デバイス構造 - 製作プロセス	変更不可	<b>自由自在</b>
チップ評価	可能	可能



・半導体工場によって、設計ルール、デバイス構造、製作プロセス(工程)すべてが決められ、制限の中でできるものしかできない  
・新しい半導体イノベーションに繋がる、教育・研究は不可能

・新規材料や構造と集積回路を**自由自在**に組み合わせ、新たな価値の創造につながる教育・研究が可能  
・半導体製作に関する**高度な専門知識**を持った**技術職員**が研究者等をサポート

CMOS集積回路 約8000素子  
p-sub n-well、ツインTub プロセス

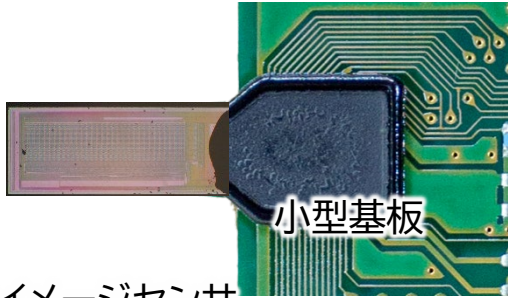
## 本施設のGreen-niX拠点のマザーCRとしての整備必要事項

- ・ SPICEパラメータの共有化
- ・ T-CADシミュレーション環境
- ・ 対応技術スタッフの充実化(技術職員ではなく専門員、スーパテクニシャン)

# CMO集積回路と化学センサ

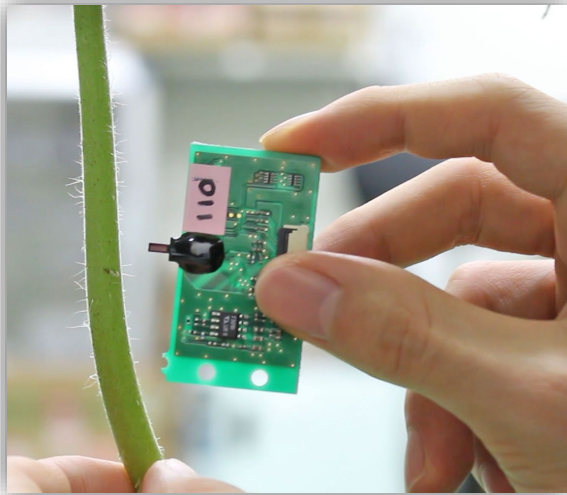
# CMOS集積回路と新材料

# CMOS集積回路とMEMSセンサ

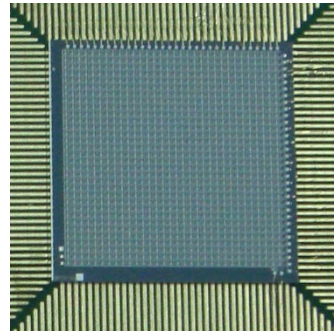


小型基板

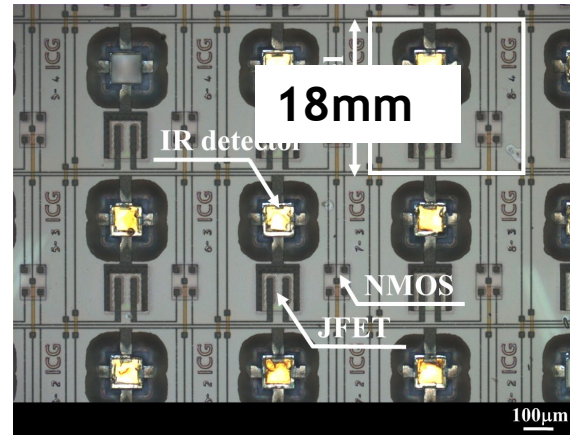
イオンイメージセンサ  
2 mm×4 mm  
薄さ 0.1 mm (≒紙幣厚さ)



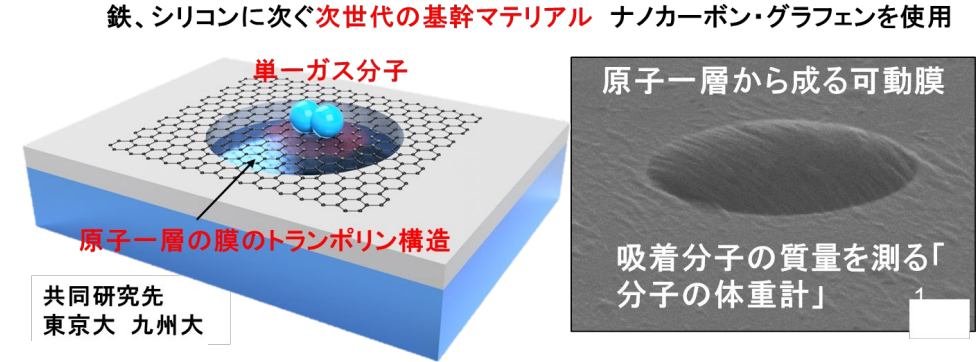
豊橋技術科学大学 野田准教授



**-Pyroelectric IR Sensor Array with Circuitry:** Au/PZT(001)/Pt(001) detector  
 - micromachined thermal isolation  
 - JFET Source follower  
 - NMOSFET selector

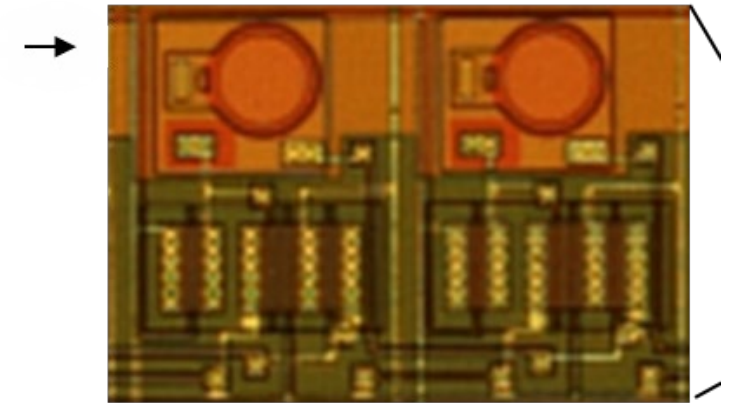


豊橋技術科学大学 赤井先生



共同研究先  
東京大 九州大

センシングエリア



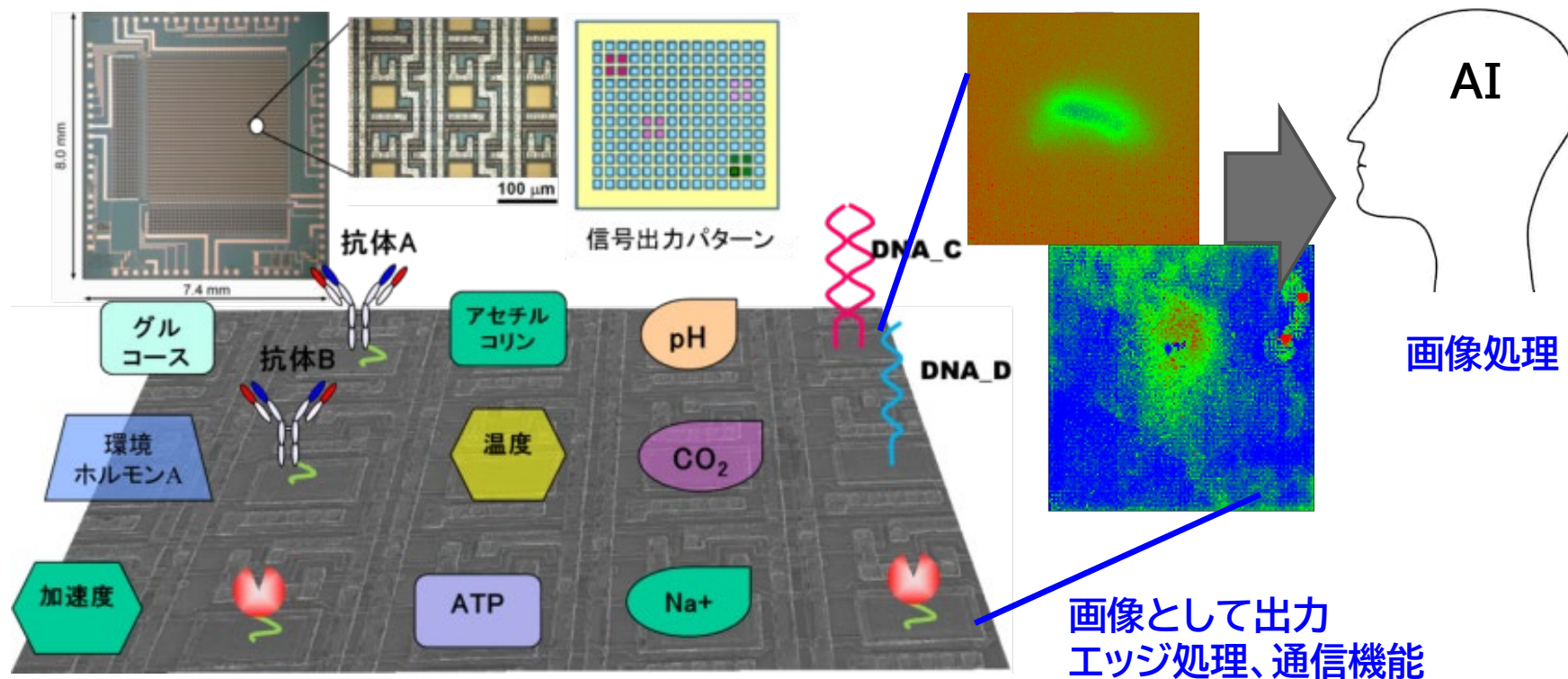
画素内アンプ  
豊橋技術科学大学 高橋准教授

# グリーン予兆センサチップ

## 世の中に存在するすべてのセンサをワンチップに

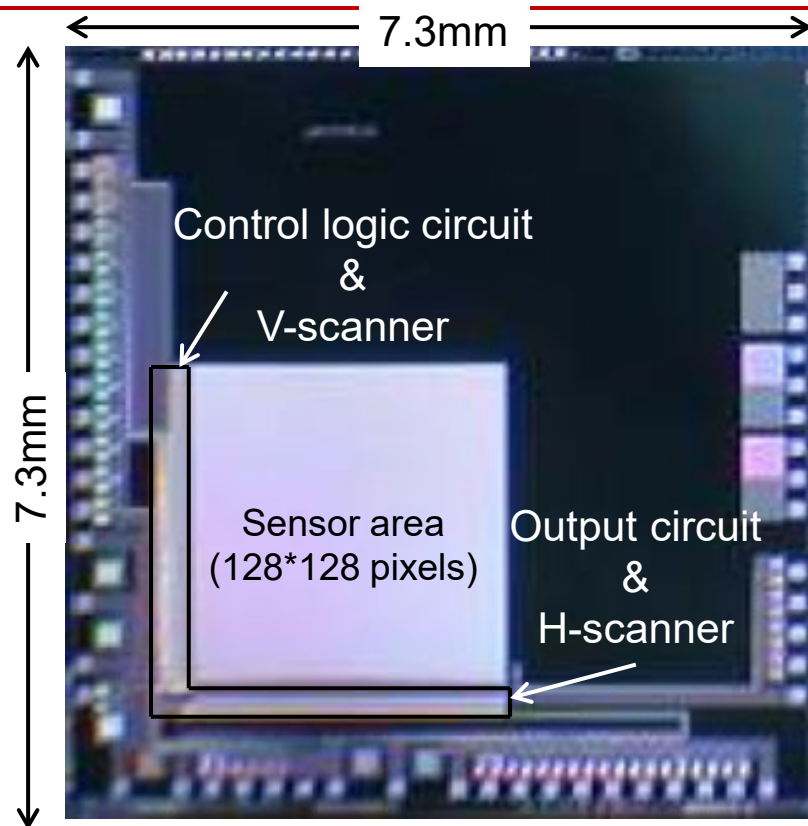
(マルチモーダルセンサ：万能センサ)：実績100万センサアレイ

- ✓ 一見不要なデータも一度に取得
  - ✓ 様々なセンサ形態(単一、マルチモーダル、イメージング等)を実現
- ⇒ **フィジカル空間のデータを網羅的に取得**

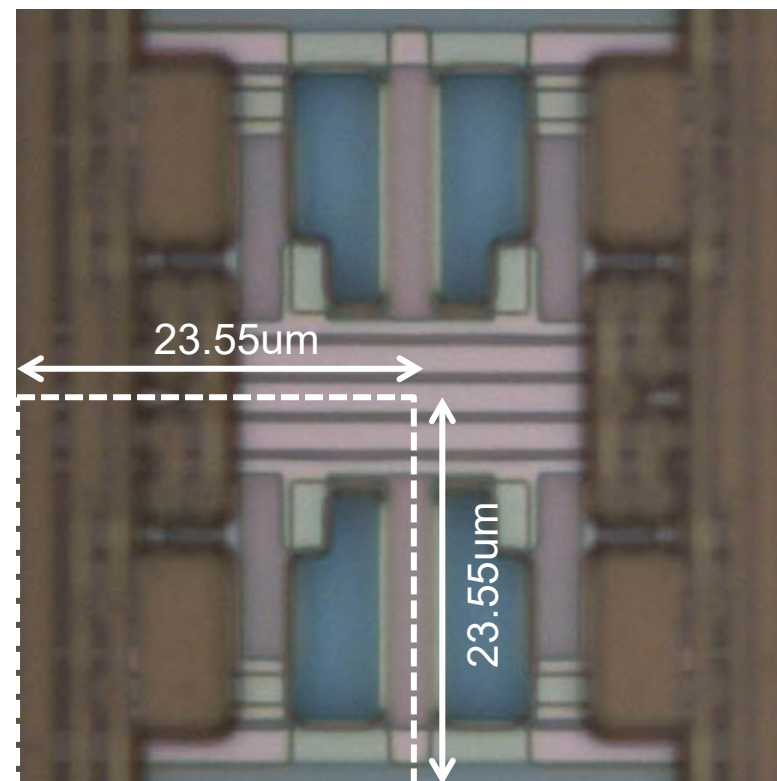


センサの理想図

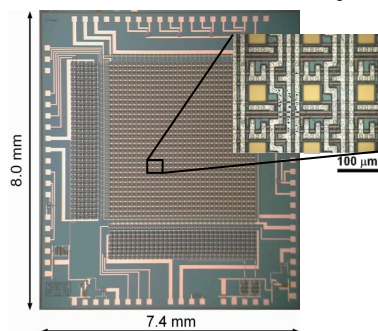
# イオンの動きが見えるイメージセンサ(1.6万画素)



Chip overview of new sensor



Pixel cell view of new sensor



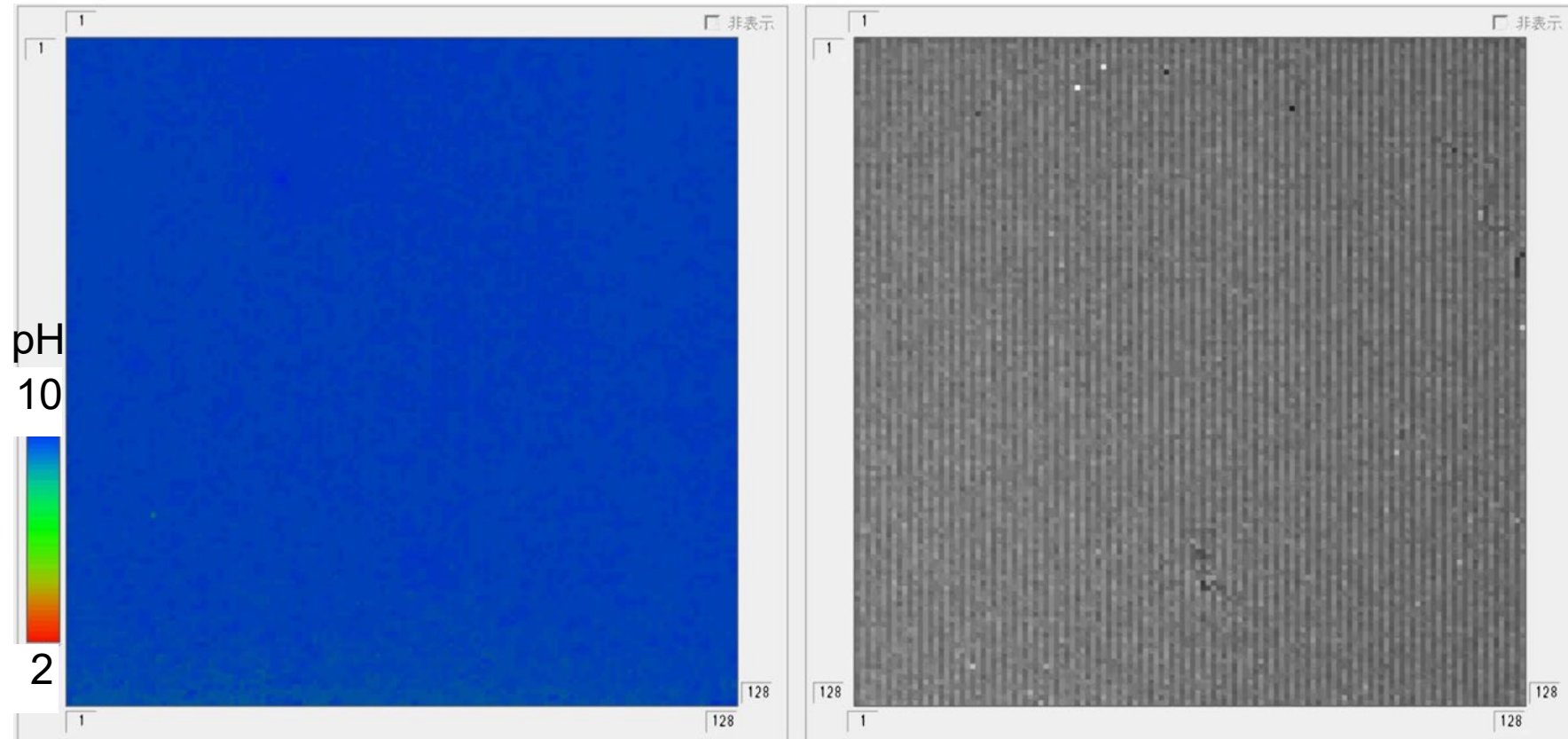
32×32画素 H<sup>+</sup>イオンイメージセンサ  
製作:豊橋技術科学大学LSI工場 (2007)  
世界的に希有な LSI/MEMS・センサ研究施設  
(21世紀COE中間評価)





# Image of a pH change

Dropping of pH 6.89 solution onto sensing area (covered pH 9.18 solution)

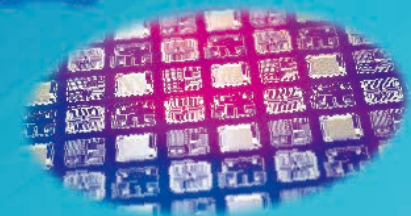


pH image

Photo image

# 物理・化学情報をミクロンレベルで可視化する マルチモーダルセンシング技術の創出

超スマート社会を支える半導体産業の活性化  
医療・バイオ・化学分野等の高度情報化に向けた基幹産業の創出



キーテクノロジー  
**1** **マルチモーダルイメージセンサ構造**  
センサ基本素子の高性能化【基盤技術】

キーテクノロジー  
**2** **マルチガス成分センシング**  
マルチガス感応膜の形成とセンシング技術

**環境分野**  
マルチモーダルセンシング技術  
による環境分野への展開

**農業分野**  
マルチモーダルセンシング技術  
による農業分野への展開

**医療創薬分野**  
マルチモーダルセンシング技術  
による医療創薬分野への展開

**ヘルスケア分野**  
マルチモーダルセンシング技術  
による健康見守り

**ロボット分野**  
マルチモーダルセンシング技術  
による人間機械調和への展開

キーテクノロジー  
**3** **マルチフィジカル・ケミカルセンシング**  
水素イオン感応膜上への圧電膜形成とセンシング技術

キーテクノロジー  
**4** **マルチケミカル・バイオセンシング**

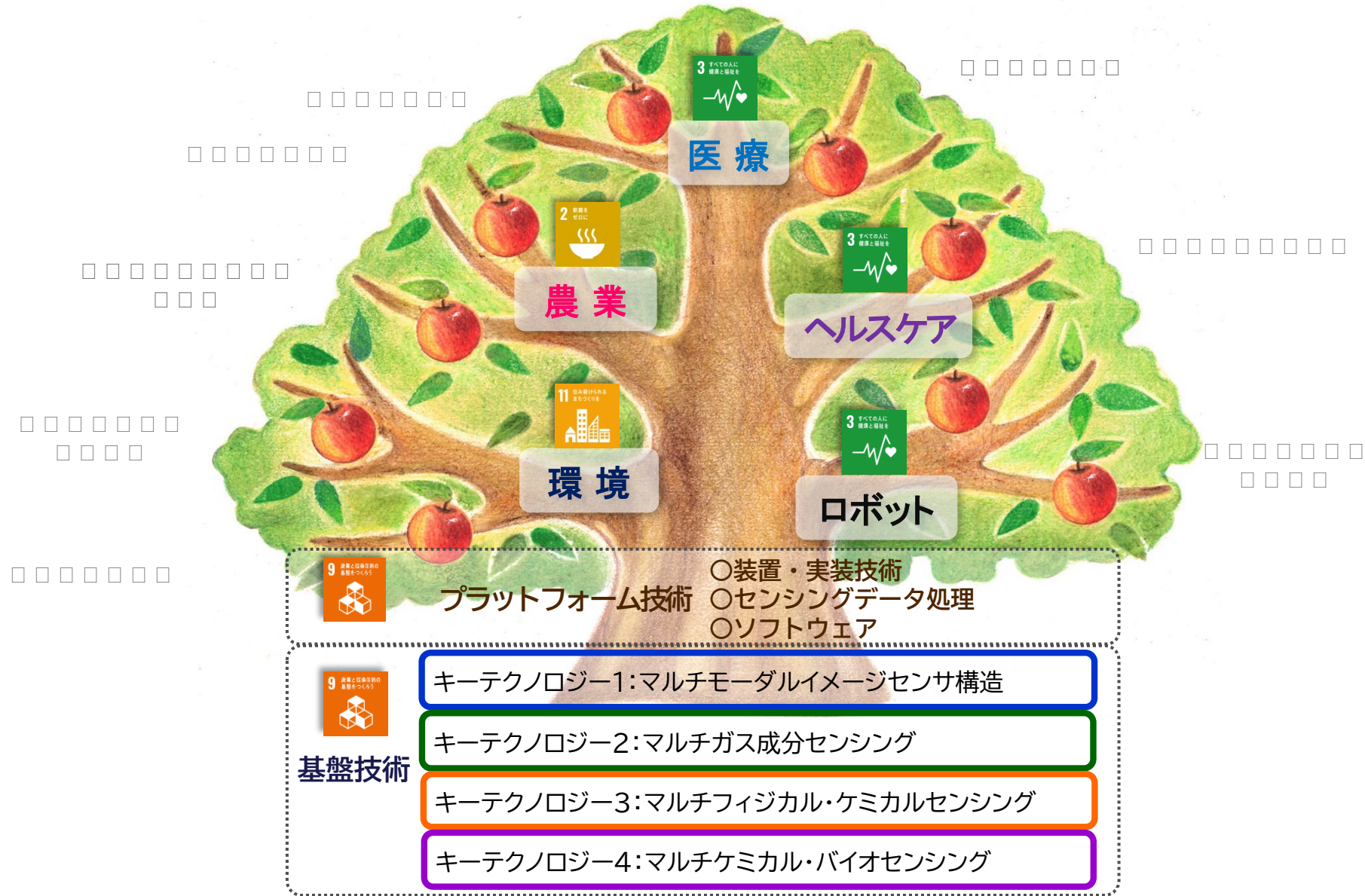
## マルチモーダルセンシング共創コンソーシアム

大学等 ● 愛媛大学、東京大学、山梨大学、長野工業高等専門学校、豊橋センサ協議会

参画企業 ● 株式会社アロマビット、イムラ・ジャパン株式会社、京セラ株式会社、協和株式会社、グローリー株式会社、新東工業株式会社、シンフォニアテクノロジー株式会社、株式会社デンソー、東邦化成株式会社、東朋テクノロジー株式会社、浜松ホトニクス株式会社、株式会社ファームシップ、株式会社プラネット、株式会社リッコー、ワイエイシイホールディングス株式会社、CKD株式会社、NSW株式会社、Hinge Therapeutics, Inc.、InfiniteBio, Inc.、株式会社 PROVIGATE、株式会社 T A N S A Q

幹事機関 ● 豊橋技術科学大学  
Master technology, create technology  
**TOYOHASHI**  
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

# ■ 大樹型オープンイノベーション

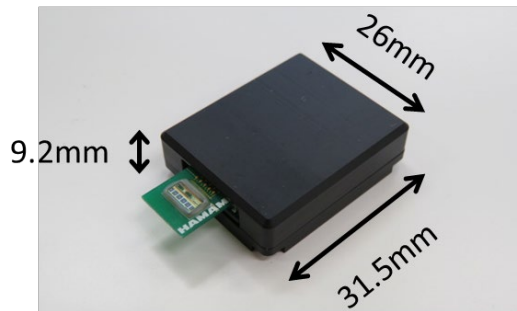
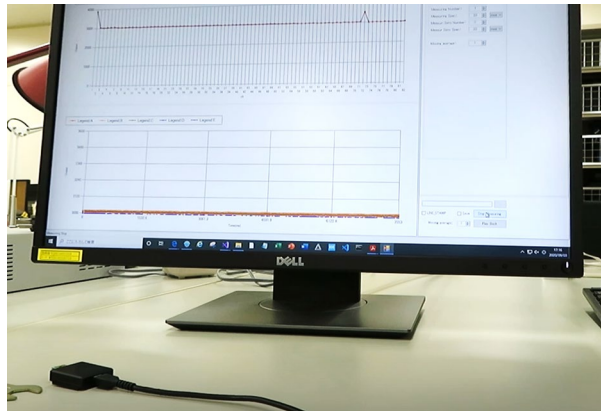
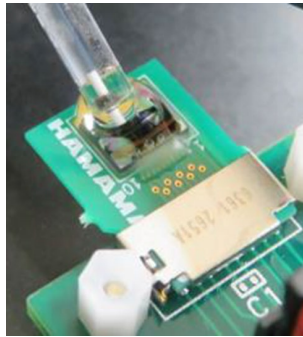


# 小型マルチモーダルセンサプラットフォーム

## ■ 浜松ホトニクス

- ・ 携帯端末搭載可能なセンサチップ・モジュール

5種類のかおり検出膜の応答デモ: アロマビットとの連携プロジェクト  
アロマビットSSTに提供開始



センサチップ・モジュールの評価機器



センサチップ・モジュール  
外観写真

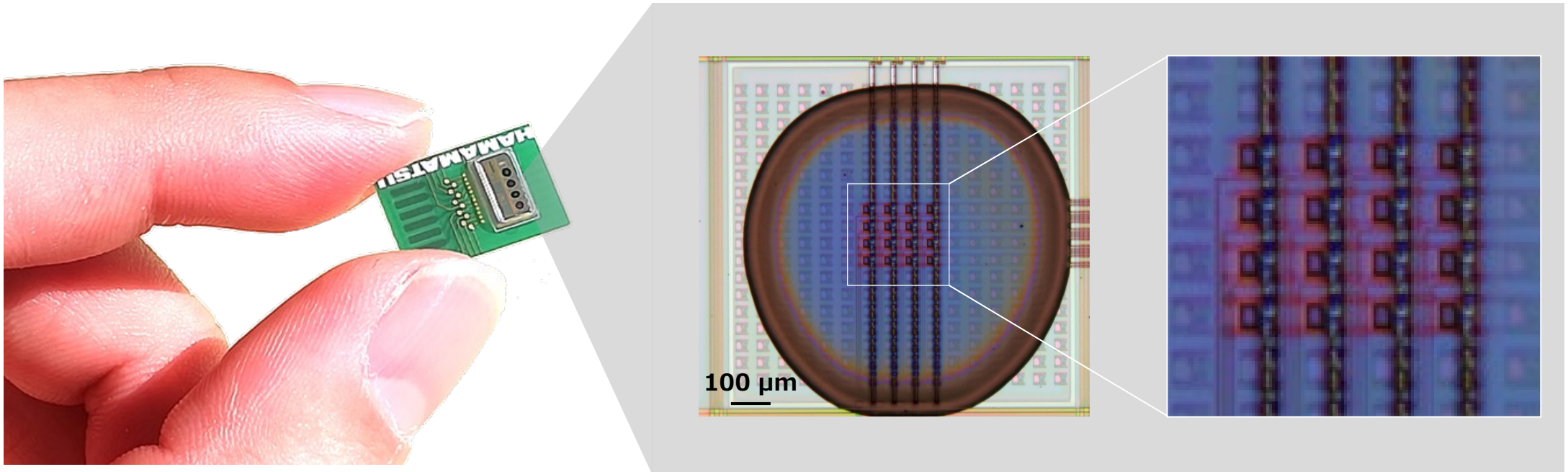
項目	イオン イメージセンサ	小型 イオンチップ
画素サイズ	30um	30um
画素数	256×256	4×4×5群
ビデオ出力	アナログ	デジタル
制御タイミング	外部供給	内部生成
チップサイズ	12.8×12.8mm	5.8×3.2mm
I/Oピン数	39	12
パッケージ	PCB セラミックLCC	小型PCB

提供: 浜松ホトニクス株式会社

# 展開:CMOS匂いセンサ

## ■ アロマビット

- ・ 浜松ホトニクスと協働で実現し、開発キットを提供開始



### 5C-SSM外観

小型のCMOSセンサチップに  
5種類の異なる匂い吸着膜を実装

### 匂い吸着膜外観

1膜当たり16個のセンサを配置

- ・ 平均化によるノイズ低減
- ・ センサ不良のリスク低減

提供:株式会社アロマビット

# 新型コロナウイルス検出

## ■ AMED事業

- 東海大学、中部大学、デンソーと共同で受託した。



※当資料は10月21日(木)、文部科学記者会、科学記者会、厚生労働記者会、厚生日比谷クラブ、本町記者会、中部産業記者会、自動車産業記者会、神奈川県政記者クラブ、愛知県政記者クラブ、秦野記者クラブ、豊橋市政記者クラブにて資料配布を行っております。

報道関係各位

2021年10月21日

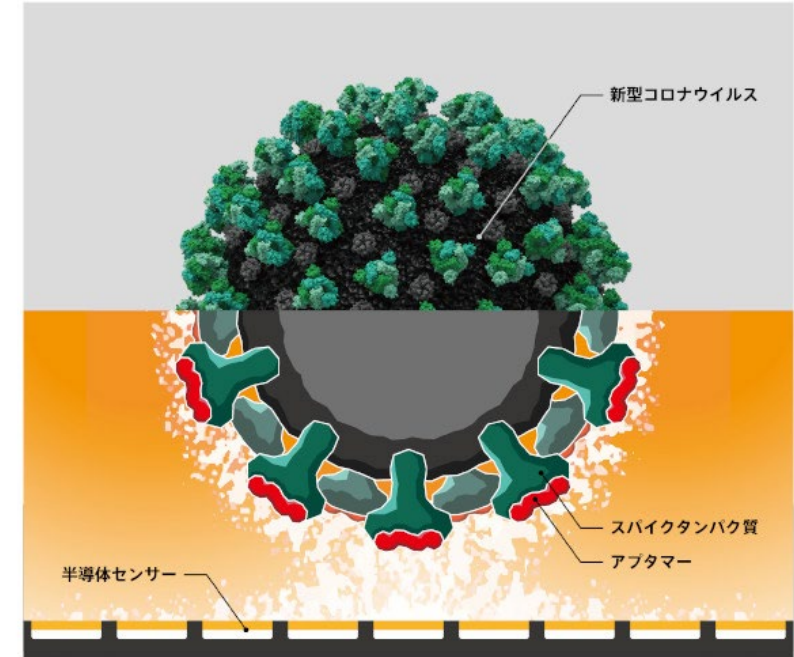
学校法人東海大学  
国立大学法人豊橋技術科学大学  
学校法人中部大学  
株式会社デンソー

## 新型コロナウイルスを検出するバイオセンサーを開発

～バイオと半導体技術で簡便・高感度なウイルス検出を実現、

実用化に向け開発を加速～

(東海大学、豊橋技術科学大学、中部大学、デンソー)



新型コロナウイルス検出のイメージ

引用 <https://www.tut.ac.jp/docs/PR211021.pdf>

# 共同研究者 謝辞

文部科学省科学研究費補助金 基盤研究(A) (JP23H00182)

「学術変革領域研究(学術研究支援基盤形成)」先端バイオイメージング支援プラットフォーム(JP22H04926)

JST OPERA産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム

物理・化学情報をミクロンレベルで可視化するマルチモーダルセンシング技術の創出 (JPMJOP1834)

文部科学省次世代X-nics半導体創生拠点形成事業 (JPJ011438)



ご清聴ありがとうございました

澤田和明