

SMALLs make big goals!

～小さな機械・マイクロマシンが創る未来～



群馬大学 理工学府 知能機械創製部門
鈴木孝明 (修H12M)

大学 MEMS 検索

自己紹介

鈴木孝明 桐生高校OB



笠懸町出身

サイクリング部

桐生タイムス (カラー面)
「笠懸南中40周年：コロナ禍で式典はリモートも」
2021年11月6日

高校：北海道 小樽～函館 400km (5泊)
大学：上毛三山 赤城～榛名～妙義180km (1日)
大学：北海道 道東～道北 500km (4泊)

半導体不足 ⇒ 車、ゲーム機、給湯器、...

4

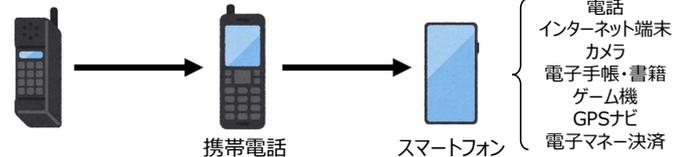


<https://www.yonemari.co.jp/economy/2021/11/01-0YTI150238/>
<https://news.yahoo.co.jp/articles/3ac1e94246f6ab49822655df83855864a07>
<https://www.jomo-news.co.jp/articles/-69174>

半導体・IT業界の今

半導体・IT企業の創業 約50年 → デジタル・IT社会

1968年 Intel
1975年 Microsoft
1976年 Apple



10年前(2010年)の製品と30年前(1990年)の製品の比較 6



現在の製品種類	20年前の製品	前世代の産業	何がどう変わったか	これからどうなるか
携帯電話	家の黒電話	電電公社	家庭から個人へ無線にTV付き	スマートフォンへ移行する可能性がある
パソコン	ブラウン管デスクトップ	コンピュータメーカー	LCD化 ノートブックへ移行	スマートブックへ移行する可能性がある
テレビ	ブラウン管据え置き型	家電メーカー	LCDやプラズマへ	本当の壁掛けの実現
デジタルカメラ	機械式カメラ	精密機械メーカー	失敗ができる その場で確認可能 アルバム不要	笑顔しか写さないなどの技術が登場
MP3プレーヤ	MD/CDプレーヤ	家電メーカー	小型化、ポケットに入って1万曲集録etc	イヤフォンのワイヤレス化 動画再生機能
ICレコーダ	テープレコーダ	家電メーカー	ランダムアクセス可能 テープ不要	MP3プレーヤとの一体化
Blu-Rayレコーダ	VTR	家電メーカー	ランダムアクセス可能 テープからディスクへ	ダウンロード or HDD化
クルマ (LEDライト、バックモニター、カーナビ)	手動式	自動車メーカー	燃費/安全性/快適性の向上	電気自動車化 プラグインハイブリッド 燃料自動車

https://news.mynavi.jp/article/20090825-electronics_education/

半導体は、様々な産業に用いられている ⇒ 「産業のコメ」

高性能・小型・低価格の中身

7



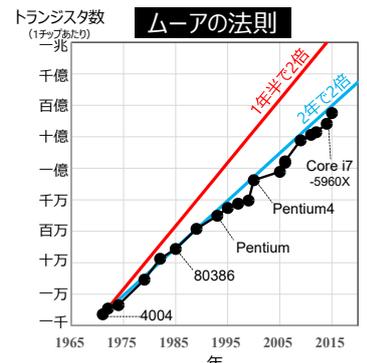
CPU (中央演算処理装置) パソコンやスマホの頭脳



高性能・小型・低価格

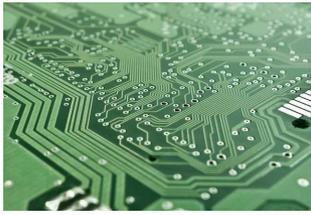
最新スマートフォンのCPU配線幅 10nm以下 (人の毛髪の1万分の1)

Intel (1968)の創業者のひとり
ゴードン・ムーア
「半導体の集積率は18か月で2倍になる」





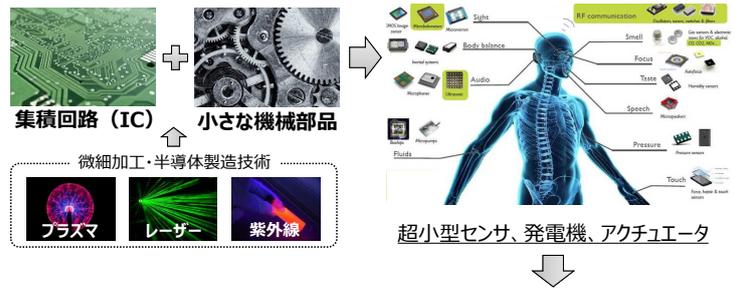
Micro Electro Mechanical Systems
微小電気機械システム



半導体集積回路



電子回路だけでなく、
小さな機械部品もまとめて作ろう！
“動く半導体”



IT機器 (スマホ・IoTデバイス) カーエレクトロニクス・センサ バイオチップ・医療デバイス

MEMS・マイクロマシンの実用例



MEMSの3M

- Micro (超小型)
- Multi function (高機能)
- Mass production (低コスト)



スマートフォン

- 加速度センサ
- ジャイロセンサ
- 電子コンパス
- マイクロフォン
- 高周波フィルタ
- 高周波発信器



自動車

- エンジン圧カセンサ
- GPS
- 加速度センサ
- ジャイロセンサ
- 障害物検知スキャナ
- 衝撃センサ
- 温度、湿度センサ

MEMSの産業化 (一般化) が進んでいる

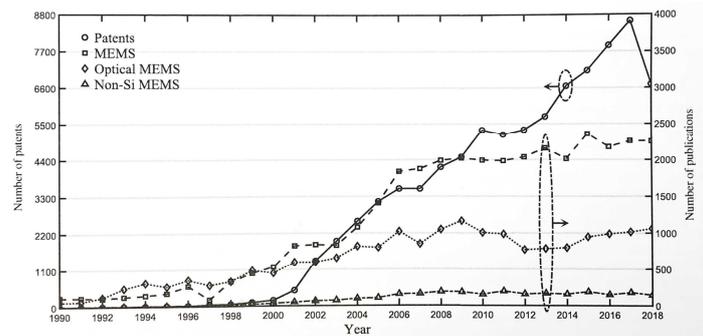


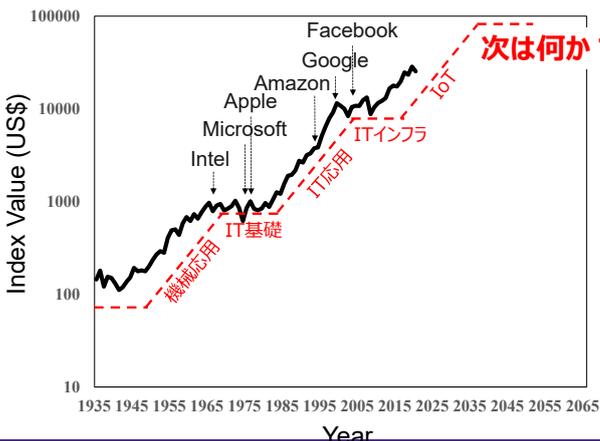
FIGURE 3 Bibliometric data and patent analysis generated from the Scopus database. Specific keyword search strings were used in generating the bibliometric database from 1990 to 2018. The patent data were limited to the US Patent & Trademark Office to reduce the number of multiple results due to patent families.

Handbook of Silicon Based MEMS Materials and Technologies, Elsevier, 2020

半導体製造技術の未来



ダウ平均株価の推移



Research Targets of SyncMEMS Lab.

マイクロ・ナノ加工

- 3次元リソグラフィ
- プラズマエッチング
- 機能性薄膜成膜

マイクロデバイス

- ハルプレスマイクロポンプ
- 多相流マイクロミキサ
- マイクロバルブ
- マイクロトマイザ
- シリコンマイクロフォン
- 細胞配置アレイ

加工要素

加工 **要素**

応用

バイオ

細胞に遺伝子を入れる

バイオ

染色体のそのまま解析

光

均一に光る明るい画面

光

小型レーザーレーダー

環境発電

身体の動きで発電

機械加工技術

除去加工
切削、研削、放電加工

変形加工
鋳造、鍛造、プレス、成形

付加加工
溶接、被覆

半導体製造技術

- ・パワー密度が高い（作用面積が小さい）
- ・非削加工（非接触）
- ・材料の硬さや脆さに無関係
- ・エネルギー輸送や物質輸送が伴うため、加工表面に塑性変質層がない
- ・加工エネルギーは、電子・電力制御が容易
→ 高精・細度加工向き

プラズマ
除去加工
ドライ・ウエットエッチング

レーザー
変形加工
モールド、インプリント、成形

紫外線(UV)
付加加工
フォトリソグラフィ、スリット、CVD

ラボの設備：4inchまでの微細加工に対応

解析
材料
塗布
露光
現像
エッチング
評価

RFスパッタ装置

スプレーコータ

3次元露光装置

反応性イオンエッチング

RFスパッタ装置

スピナー

ドラフトチャンバ

プラズマアッシング

プラズマドライクリーナー

真空UVキュア装置

カラー放電装置

光学式膜厚計

攪拌・脱泡装置

精密抄字装置

レーザー切断機

超純水製造装置

クリーンルーム

デジタルマイクログラフ

測長顕微鏡

表面粗さ形状測定機

動的接触角計

デジタル粘度計

万能材料試験機

レーザードップラー振動計

振動試験装置

電気計測プローバ

分光顕微鏡

全反射顕微鏡

細胞培養システム一式

機械加工と微細加工

	機械加工	微細加工 (マイクロマシニング)
加工	並列	直列
組立	直列	並列
複製レベル	部品レベル	システムレベル

加工工程

出典：「はじめてのMEMS」江刺正喜
SMALLS make big g.als! 2022/04/16 Takaaki SUZUKI

3次元リソグラフィ

提案技術：3次元リソグラフィ

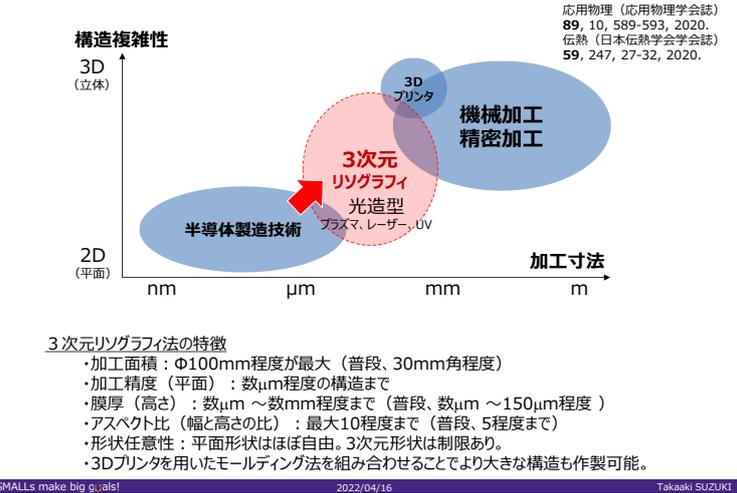
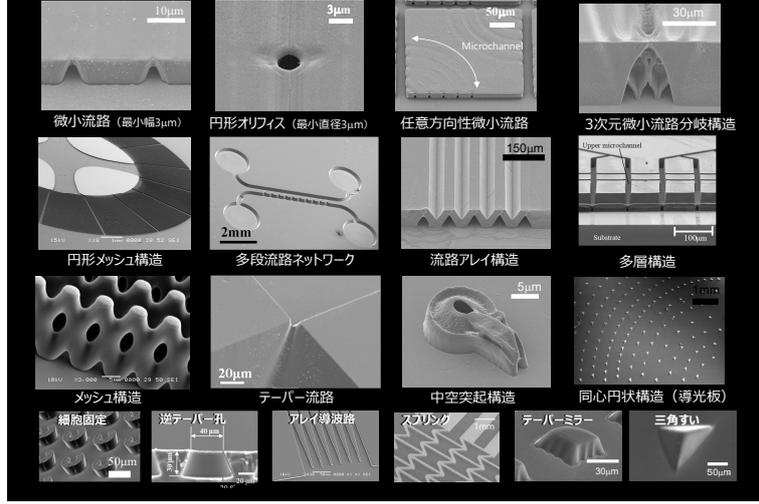
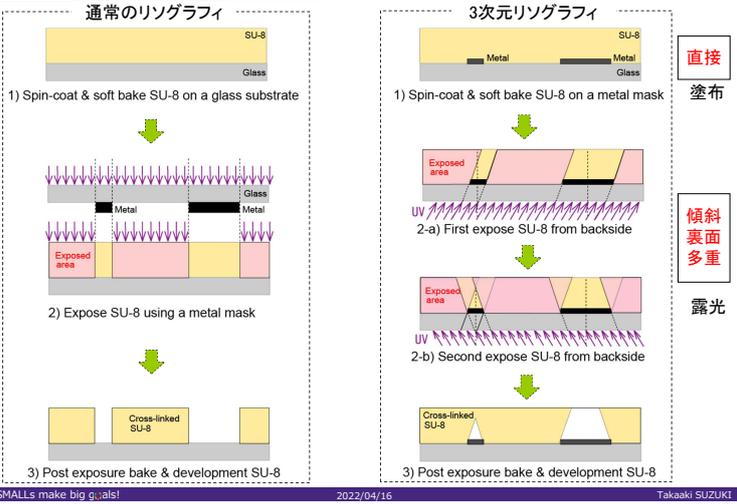
半導体製造
(2次元10μm以下)

3次元リソグラフィ法

機械加工
(3次元100μm以上)

3Dマイクロ構造・ハイスルーブット・大面積加工
 日本特許第5458241号、US Patent 8871433
 文部科学大臣表彰・若手科学者賞（2015年）

SMALLS make big g.als! 2022/04/16 Takaaki SUZUKI



細胞に遺伝子を入れる

染色体のそのまま解析

均一に光る明るい画面

小型レーザーレーダー

身体動で発電

1. 微細金型
 - 光学部品 (液晶パネル導光板、アレイ導波路、再帰性反射材など)
 - ウェルアレイ、剣山アレイ、マイクロ流路
 - マイクロヒートシンク
2. バイオ応用
 - ヒト染色体伸張解析チップ
 - 細胞操作アレイ (遺伝子導入、放射線被ばく量評価、Optogenetics、細胞融合など)
 - in vitroがん浸潤モデルチップ
 - Body-on-a-Chip
3. IoT関連
 - 振動/変形発電デバイス
 - 次世代モビリティ (自動運転車) 向けレーザーレーダ
4. 材料開発
 - バイオチップ向け低自家蛍光厚膜レジスト
 - 感光性磁気ナノコンポジット
 - 圧電ポリマー材料

各種フェーズ・分野での共同研究を検討しています

SMALLS make big g...als! 2022/04/16 Takaaki SUZUKI



臨床診断 (ヒト染色体の高感度・高速分析)

ヒト細胞 1 個中の DNA

- 総延長 2m
- 二重らせんの直径 2.4 nm

高分解能 (従来 100 倍以上)

高プローブ結合能 (従来 5 倍)

特許第5661984号

3次元リソグラフィ・日米特許加工例 - 末梢毛球の10分の1

ヒト染色体の伸張・固定

分析・設計

加工

評価

- 異分野研究者と相談・これまでの方法を体験
- 3次元リソグラフィ・鋳型成形技術
- バイオ評価・フィールドワーク

SMALLS make big g...als! 2022/04/16 Takaaki SUZUKI



ピペットで1滴垂らすだけで、ヒトの細胞をひとつずつ格納して、個別に分析

がん

誰が癌?

正常な細胞

細胞膜を丸ごと取り出す技術

後の細胞膜打ち

私の

ガン細胞の目印(内部)

上司の細胞

分析・設計

加工

評価

- 異分野研究者・従来法を体験
- 3次元リソグラフィ・鋳型成形技術
- バイオ評価・フィールドワーク

放射線 5Gy

SMALLS make big g...als! 2022/04/16 Takaaki SUZUKI



人のわずかな動作 (10Hz以下) から、自家発電する超小型発電機

Vibration × Human
共振で効率化! 身につけるために小型化!

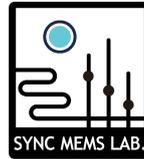
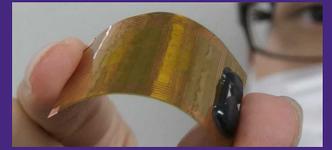
MEMS (小型) 振動発電デバイス
印刷電極層
圧電体層

デバイス小さくできない! 柔らかくしてみよう!
・3次元リソグラフィ
・メタマテリアル構造
・低周波数共振

解析 加工 評価

- 有限要素法 (FEM) 構造-圧電連成
- 3次元リソグラフィ 積層化技術
- 発電量評価 実装技術検討

プラスチックの特性を生かしたより身近なIoTデバイス

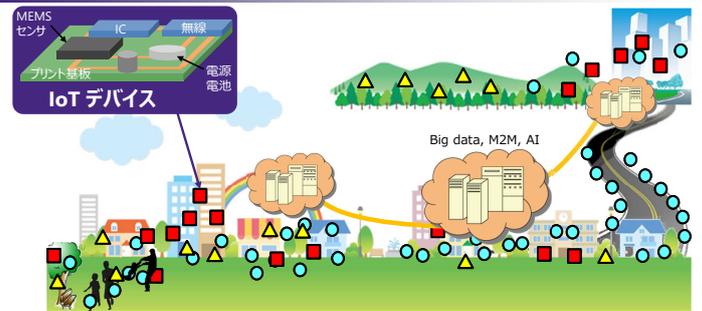


syncMEMS Lab.

鈴木孝明



2021/7/12 第一回ぐんまテックプランングランプリ 最優秀賞・柴田合成賞



2023年 1,000,000,000,000 / 年

2040年: 45兆個のセンサがネットワークに接続され、飢餓・医療・環境・エネルギーなどの社会問題を解決する。

センサ 1兆個 世界 78億人 ⇒ ひとり毎年128個のIoTデバイス



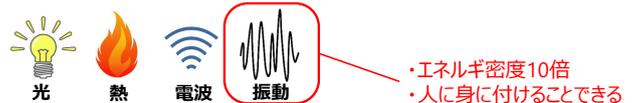
モノのインターネット化

課題: 膨大な数のセンサの電源確保
メンテナンス、電池交換のコスト大

電池切れ... 手間 コスト



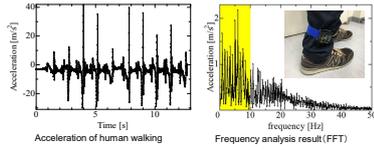
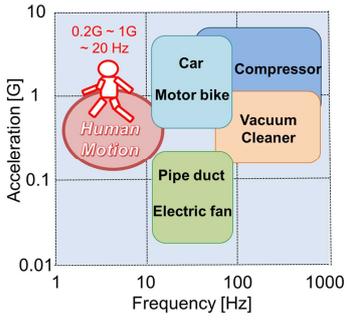
自給自足型のセンサ (ノード) が必要



振動発電 (VEH)
Vibration Energy Harvesting

課題: 膨大な数のセンサの電源確保
メンテナンス、電池交換のコスト大

機械 (力学) と、
電気部品を組み合わせて、
振動 (力学) エネルギーを、
電気エネルギーに変換する
→ MEMSでやろう!

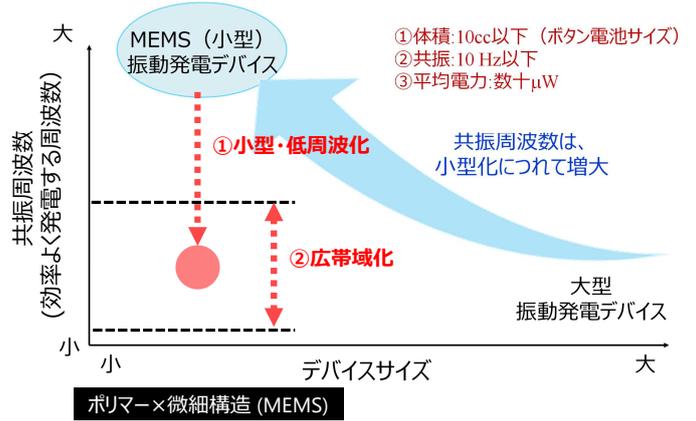


For what?
ウェアラブルデバイスを想定したデバイス構築

- ①小型: 10cc以下 (ボタン電池程度)
- ②低周波数: 10Hz以下, 0.2~1G程度
- ③発電量: 数μW



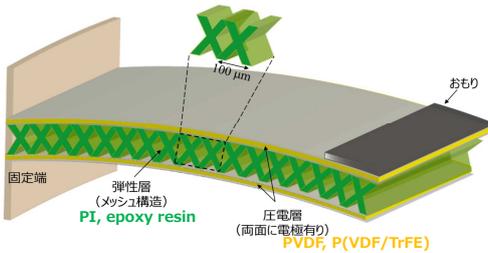
(小型) × (低周波数領域) × (数μWの発電量)を実現できていない



原理：柔軟微細構造（3Dメッシュ構造）



ボタン電池サイズ (10 mm × 20 mm) のカンチレバ (電極以外をポリマー材料で構成)



共振周波数の近似式

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3EI \rightarrow \text{曲げ剛性}}{(m + \frac{33}{140} m_s) L^3}}$$

$Power \propto (\text{変形量})^2$

圧電層
弾性層
圧電層
Neutral Axis
δ

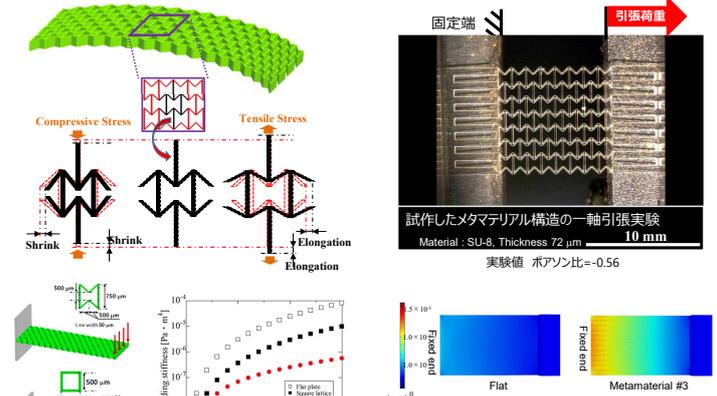
共振周波数の低減

発電量の向上

原理：メカニカルメタマテリアル構造



人工的に作られた内部構造によって、通常の材料では実現不可能な特性を有する構造物



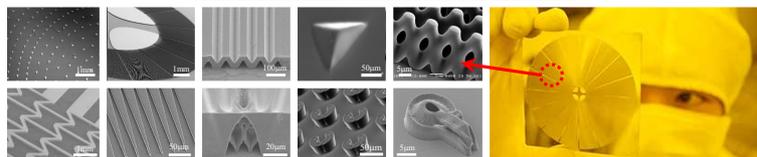
プラスチックIoTデバイスに有効な加工技術



コア技術：3Dリソグラフィ法

半導体製造 (2次元10μm以下) → 機械加工 (3次元100μm以上)

3Dマイクロ構造・ハイスルーブット・大面積加工
日本特許第5458241号、US Patent 8871433
文部科学大臣表彰・若手科学者賞 (2015年)



現在の状況：板ガムより軽いIoT向け発電機



Vibration × Human
共振で効率よく発電したいが、身につけるために小型化もしたい

固定
GUM
圧電ポリマー
おもり
発電デバイス
LED
加振台
メタマテリアル
肉眼では見えない特殊微細構造で、自然界の物質には無い変形挙動をする人工物質構造

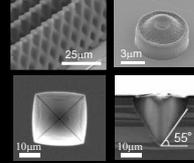
負のポアソン比
フレキシブル
3Dメッシュ

Science and Technology of Advanced Materials, 2018
電気学会 第35回「センサ・マイクロシステム」応用システムシンポジウム 優秀ポスター賞 2018
日本機械学会マイクロナノ工学部門若手優秀講演表彰 2019

Research Targets of SyncMEMS Lab.

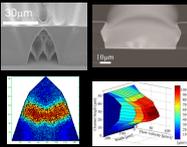
マイクロ・ナノ加工

- 3次元リソグラフィ
- プラズマエッチング
- 機能性薄膜成膜



マイクロデバイス

- バルプレスマイクロポンプ
- 多相流マイクロミキサー
- マイクロバルブ
- マイクロアトマイザ
- シリコンマイクロフォン
- 細胞配置アレイ



バイオ・IoTシステム

- 高効率細胞遺伝子導入チップ
- 高速染色体DNA解析チップ
- 高均一液滴バックライト導光板
- 小型・大偏角MEMSミラー
- 柔軟ポリマー発光デバイス



バイオ

細胞に遺伝子を入れる

バイオ

染色体のどこのまき解析

光

均一に光る明るい画面

光

小型レーザーレーダー

環境発電

身体の動きで発電

ものづくりの一連の流れを実践する



設計・解析・理論

マイクロ・ナノ加工

デバイス応用・評価
(バイオ・IoT)

材料力学・機械力学
電気回路・電子回路
製図・システムデザイン
シミュレーション
(構造解析・動力学・ロボット・熱流体)

基礎加工学
基礎計測学
精密・微細加工

制御工学
電磁気学
流体力学
組込システム
医療・バイオ・光・環境

マイクロナノ工学研究のメリット・デメリット

- 大きな機械は、物理的・時間的にすべてに関わることは難しいが、小さな機械ならできる。
⇒ 研究活動を通して、電子・機械工学を網羅的に体験できる。
- × 設計～加工～評価は、範囲が広く、深掘りが難しい。
⇒ 学生間の連携と最先端の研究設備で、効率的に進められる。



OB、OGの進路 ⇒ ものづくり全般

機械・電気・情報

食品・生活

Canon 2名 精密機械	EPSON EXCEED YOUR VISION	Panasonic Ideas for Better	MITSUBISHI Challenge for the Better	TOPPAN
HONDA 2名 自動車・バイク関連	YAMAHA	Autoliv	SONY ソニーグループ	IT
NSK 3名 機械部品	KIMURA KIMURA FOODS	muRata 村田製作所	ALPS ALPS ELECTRIC	SHOEI
TEL 3名 産業機器	FANUC	住友重機械	TADANO	TOWA
JFE JFEスチール	MITSUBISHI ELECTRIC 三菱電機	アパコ アパコ	TMEiC TMEiC	NIKKEN TOTAL SOURCING

博士後期課程 修了者

- 山口大学 大学教員
- AIST 研究員
- アパコ電子 電子部品

化学・材料

UNIPLASKA ユニスカ	Mitsubishi Chemical 三菱化学
Hitachi Chemical 日立化学	BANDO
住友化学	昭和化学工業株式会社

OB、OGの進路

修士

学士

2016	TEL 産業機器	NSK 機械部品	SONY IT	TMEiC プラント・設備	SHOEI 電子部品	ALPS 電子部品	大学院 進学 3名
2018	TEL 産業機器	NSK 機械部品	SONY IT	Autoliv 自動車関連	大学院 進学 3名		
2019	Canon OA・精密機械	NSK 機械部品	FANUC 産業機器	KAWASUMI 加工	大学院 進学 3名		
2020	TEL 産業機器	TEL 産業機器	HONDA 自動車	NSK 機械部品	大学院 進学 3名		
2021	YAMAHA バイク	EPSON 精密機械	HONDA 自動車	ヤマサキ 食品	NIKKEN TOTAL SOURCING 製造業	大学院 進学 4名	
2022	TEL 産業機器	KIOXIA 半導体	活動中	活動中	大学院 進学 5名		

博士

- AIST**
産業技術総合研究所 研究員

高校生向け科学体験イベント

一日体験機械教室『機械の学校』

今年は、2022年7月18日実施に向けて準備中

大学の施設・実験装置を使って機械・電気・情報工学の面白さを体験できる無料科学体験イベントです。例年、約20テーマ・約150名が参加しています。



SMALLs make big goals!



大学 MEMS 検索