

ミクロの決死圏

マイクロマシン・ナノテクノロジーとその応用



群馬大学 理工学府（機械） / JST さきがけ

鈴木孝明

0277-30-1579
suzuki.taka@gunma-u.ac.jp
http://mems.mst.st.gunma-u.ac.jp/



自己紹介（学歴・職歴）



学歴： 1991年3月 みどり市立笠懸南中学校
1994年3月 群馬県立桐生高等学校 卒業
1998年3月 群馬大学工学部機械システム工学科 卒業
2000年3月 群馬大学大学院工学研究科機械システム工学専攻 修士課程 修了
2003年3月 京都大学大学院エネルギー科学研究科 博士後期課程 修了

1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
群馬大学 修士課程		京都大学 博士後期課程			学振 PD	京都大学 助教				香川大学 准教授				群馬大学 准教授					

メカトロニクス・制御

マイクロナノ工学（設計・解析・制御・評価）

連続体力学とその応用



設計・解析・理論

マイクロ・ナノ加工

デバイス応用・制御・評価
(ハイオ・光・環境・IoT)

機械工学的立場からマイクロナノ工学を研究

なぜ・どうやって、研究者（大学教員）になったのか？



SSH = 科学技術系人材の育成 → 鈴木を紹介

子供	高校		大学		大学院 (修士)	大学院 (博士後期)	ポスト ドク	教員					
1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004

推薦
入学

推薦
入学

京大
受験

書類審査
(10倍)

研究を続けたい
指導も興味深い
いけるところまで行ってみよう。
塾はいつでも開けるかな。

研究を続けたい
恩師「外を見てこい」
少なくとも京大博士号を取って、実家で塾でも開こう

研究を始める(楽しい)

地元の大きめの企業で、ものづくりに関わりたい
(大学入学時点で、大学院進学を希望) 修士の方が生涯賃金が高い

子供の頃から、ものづくり系に興味があった

京都大学内の別の研究室から教員勧誘

本日の内容

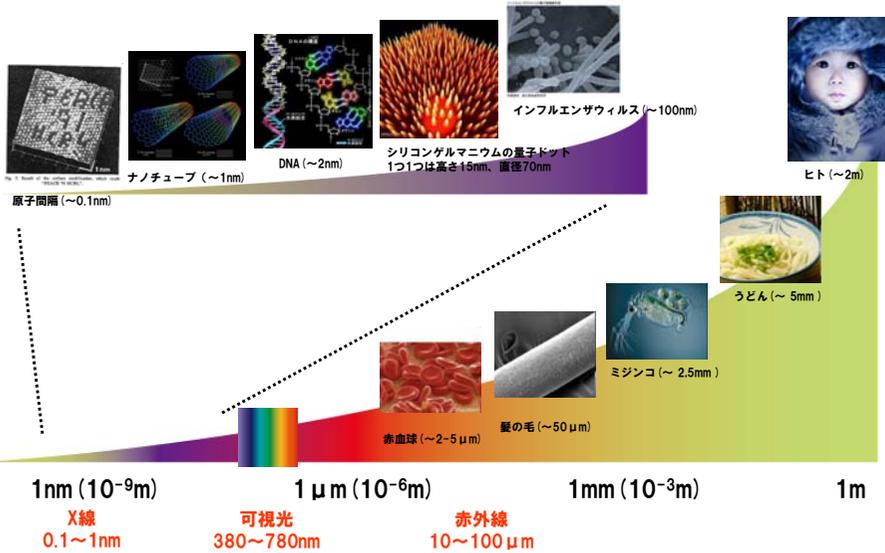


- 自己紹介
なぜ・どうやって、研究者（大学教員）になったのか？
- マイクロマシンとは？
- 応用例（桐生市の問題解決の役に立ちそうな例）
 - ① 老化・ガン化に関わる染色体の長さを測る
 - ② 電池いらずの見守りネットワーク

文字を記入！



マイクロ・ナノサイズとは？



Gold Leaf in Kanazawa (from 16th century)



Hand-made 100 nm-thick free-standing Au film

Coin-size Au



Kinkaku-ji temple



Traditional craft
"金沢漆器"

身近なところで、スマートフォンについて考えます。



iPhone SE iPhone 6s iPhone 7 iPhone 8 iPhone X

From \$349 From \$449 From \$549 From \$699 From \$999

スマホには、どんな機能がある？

テクノロジーの玉手箱

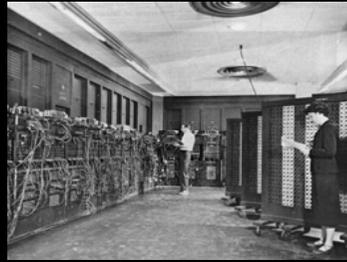


- 携帯電話
- カメラ
- ビデオカメラ
- テレビ
- ラジオ
- ICレコーダー
- 電子手帳
- 電卓
- 電子辞書
- インターネット端末機
- テレビゲーム機
- 方位磁石
- 懐中電灯
- ポータブル音楽プレイヤー
- GPSナビ
- 電子書籍リーダー...

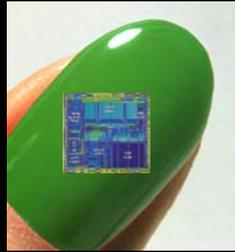
Computer Chipが凄く小さくなった



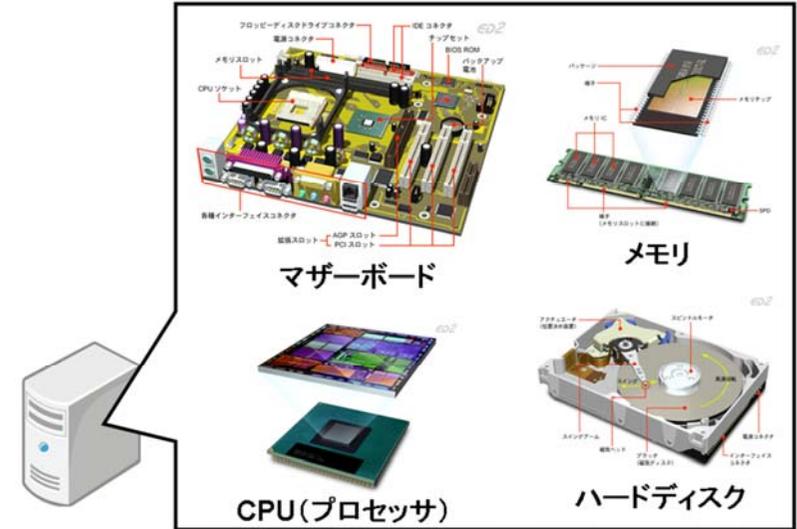
ENIAC boards



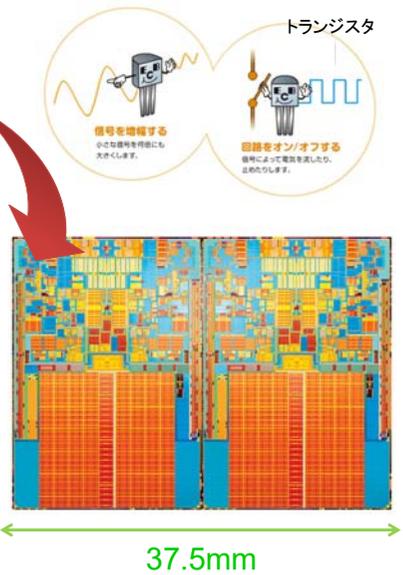
ENIAC(Electronic Numerical Integrator and Computer):世界最初のデジタル電子計算機(1946)



パソコンの中身

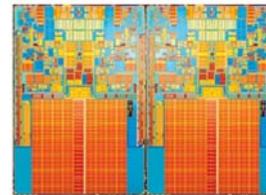


CPU : Central Processing Unit 中央演算処理装置



- 2006年7月 - Core 2 Duo
- ・クロック周波数: 1.06~3.20GHz
- ・トランジスタ数: 個
- ・加工精度:
- ・サイズ: 37.5mm x 37.5mm

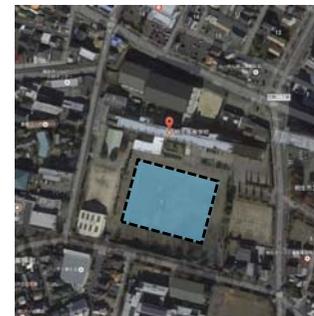
どのくらい細かいのか？

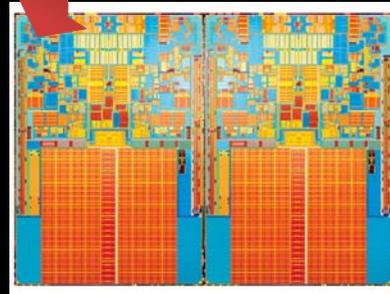


Core 2 Duo
 ・サイズ: 37.5mm x 37.5mm
 ・加工精度: 65nm=65 × 10⁻⁹m



学校のグラウンドで置き換えて考えよう！





- 2006年 - Core 2 Duo
- ・クロック周波数: 1.06~3.20GHz
 - ・トランジスタ数: 2億9,100万個
 - ・加工精度: 65nm
 - ・サイズ: 37.5mm x 37.5mm



除去加工

切削、研削、放電加工



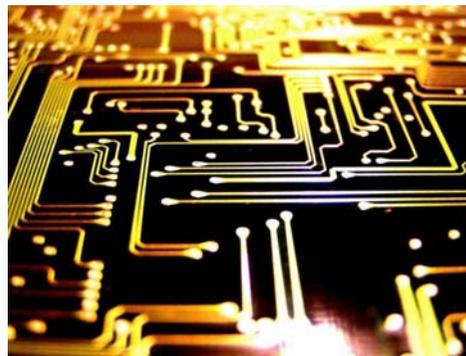
変形加工

鑄造、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



除去加工

ドライ・ウエットエッチング



変形加工

モールド、インプリント、成形



付加加工

フォトリソ、スパッタ、CVD

半導体製造技術の中心はフォトリソグラフィ



Photolithography

写真



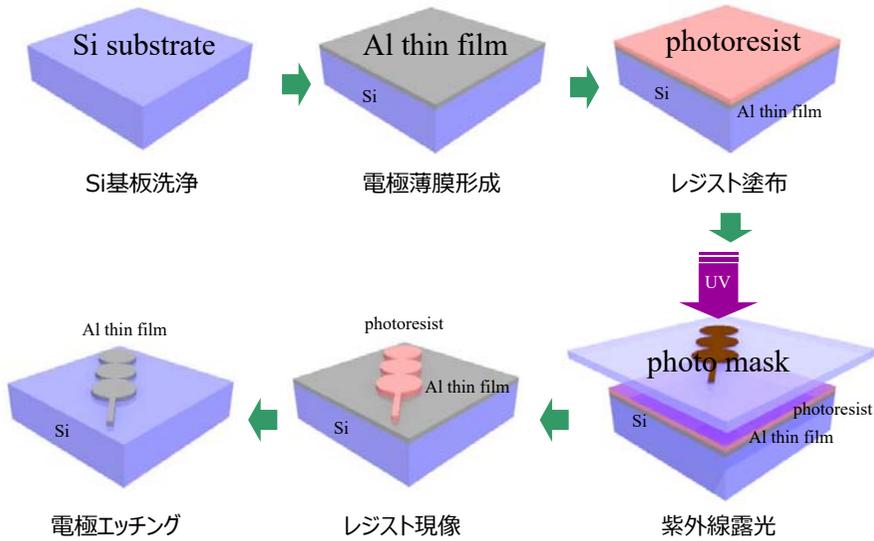
石版印刷(リトグラフ)



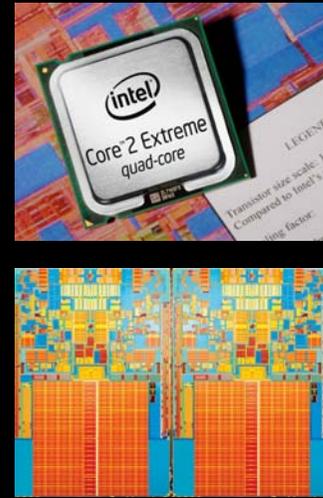
東山魁夷「白馬の森」(1972年)

フォトリソグラフィ =





平面的だが、



電子回路だけでなく、機械も作ってしまおう！

微小電気機械システム



『マイクロマシン』

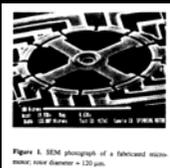
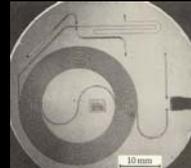
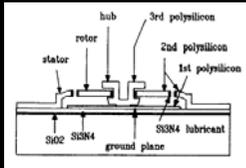


Figure 1. SEM photograph of a fabricated micro-motor. Inset diameter = 120 μm.

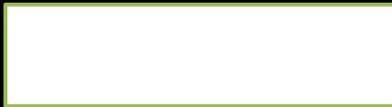


直径120μmの静電気で動くモータ

IC-processed micro-motors: design, technology, and testing.
Tai, Y.-C.; Fan, L.-S.; Muller, R.S. (U.C. Berkeley),
IEEE MEMS 1989.

手のひらサイズのガスクロマトグラフ

A gas chromatographic air analyzer fabricated on a silicon wafer.
Terry, S.C.; Jerman, J.H.; Angell, J.B. (Stanford University)
IEEE Transactions on Electron Devices, 26, 1979.



半導体製造技術を応用した微細加工技術



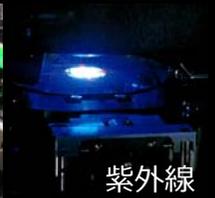
電気電子回路



プラズマ



レーザー



紫外線

※実験装置は、この後、見に行きます。

～ 身のまわりの実用例 ～



プリンタノズル



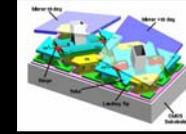
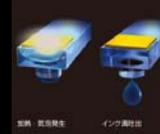
プロジェクタDMD



衝突検知センサ



加速度センサ



コンセプト：より小さく、より多く、より賢く



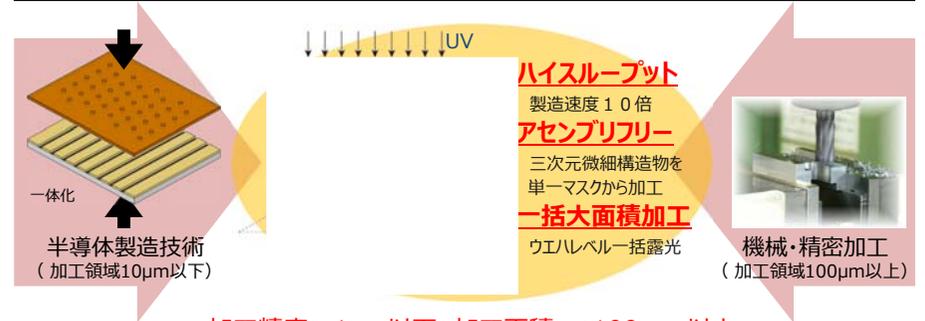
オムロン株式会社
 オリンパス株式会社
 セイコーインスツル株式会社
 ソニー株式会社
 株式会社デンソー
 テルモ株式会社
 株式会社東芝
 株式会社日立製作所
 古河電気工業株式会社
 パナソニック電工株式会社

みずほ情報総研株式会社
 三菱電機株式会社
 横河電機株式会社
 アルプス電気株式会社
 キヤノン株式会社
 京セラ株式会社
 三洋電機株式会社
 シチズンHD株式会社
 住友精密工業株式会社
 住友電気工業株式会社

セイコーエプソン株式会社
 富士電機HD株式会社
 株式会社富士通研究所
 株式会社本田技術研究所
 三菱マテリアル株式会社
 株式会社村田製作所
 株式会社山武
 株式会社リコー



目的：機械・精密加工と半導体製造技術の空白領域を埋める加工技術
方法：複雑3次元構造を単一マスクからアセンブリレスで作製

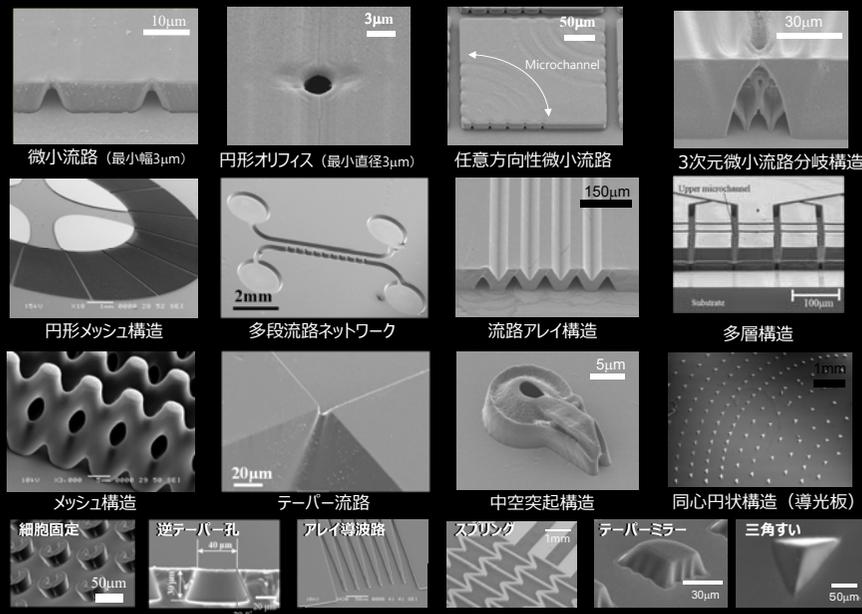


加工精度：1 μ m以下、加工面積： ϕ 100mm以上

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）

- ・従来の光造型法に比べて、シンプルな設備と工程で大面積加工ができる。
- ・既存の3Dプリンタ技術に比べて高精細な加工ができる。
- ・特に、中空構造を有する微細加工ではユニークな形状ができる。

加工例



『桐生学』に関連して・・・



伝統産業、社会問題、地域発展につながる探究

桐生市の問題：少子高齢化

高齢化率が高く、人口10万人以上の地方として、
 消滅可能性の高い地域

マイクロマシン・ナノテクでできそうなこと

対象	懸念	対策	具体的な対策
医療（高齢化）	老化 ガン	メカニズム解明 程度を測る	老化・ガン化に関わる染色体の長さを測る （高速染色体解析マイクロチップ）
高齢者 子供	徘徊 つれさり 迷子	見守り	電池いらずの見守りネットワーク （のための超小型発電機）

老化・ガン化に関わる染色体の長さを測る (高速染色体解析マイクロチップ)

対象	懸念	対策	具体的な対策
医療 (高齢化)	老化 ガン	メカニズム解明 程度を測る	老化・ガン化に関わる染色体の長さを測る (高速染色体解析マイクロチップ)
高齢者 子供	徘徊 つれさり 迷子	見守り	電池いらずの見守りネットワーク (のための超小型発電機)

細胞の基本構造

細胞の構造と機能をみてみよう

核、小胞体、ミトコンドリア……。さまざまな小器官をもつ

細胞の内部にはさまざまな構造がある。細胞の中心には核があり、多くの細胞で最も重要な「遺伝情報」を保持している。核は、細胞の一つの細胞一つだけ持たず、細胞全体の遺伝情報「ゲノム」として共有されている。細胞質には、さまざまな小器官がある。

細胞質には、さまざまな小器官がある。細胞の中心には核があり、多くの細胞で最も重要な「遺伝情報」を保持している。核は、細胞の一つの細胞一つだけ持たず、細胞全体の遺伝情報「ゲノム」として共有されている。細胞質には、さまざまな小器官がある。

細胞の内部にはさまざまな構造がある。細胞の中心には核があり、多くの細胞で最も重要な「遺伝情報」を保持している。核は、細胞の一つの細胞一つだけ持たず、細胞全体の遺伝情報「ゲノム」として共有されている。細胞質には、さまざまな小器官がある。

DNAの構造

遺伝子の本体「DNA」の構造をみてみよう

ワトソン、クリックらは、二重らせん構造を解明した

これまで細胞の構造と小器官の仕組みをみてきた。この際、その中心にあるDNAの構造をみてみよう。DNAは、生物の遺伝情報を決定する重要な物質である。DNAは、二重らせん構造をとっており、その中心には「糖-リン酸骨格」という構造がある。この骨格は、糖とリン酸が交互に結びついており、その間に「塩基対」という構造がある。塩基対は、アデニン、チミン、グアニン、シトシンという4種類の塩基で構成されている。塩基対は、互いに補綴的であり、アデニンとチミン、グアニンとシトシンが対をなしている。このように、DNAは二重らせん構造をとっており、その中心には「糖-リン酸骨格」という構造がある。

細胞中のDNA (ヒト細胞1個)

- 何本ある?
- 1本の長さは?
- 全部つなげたときの長さは?
- ところで、太さは?

DNAの収縮

DNAは、二重らせん構造をとっており、その中心には「糖-リン酸骨格」という構造がある。この骨格は、糖とリン酸が交互に結びついており、その間に「塩基対」という構造がある。塩基対は、アデニン、チミン、グアニン、シトシンという4種類の塩基で構成されている。塩基対は、互いに補綴的であり、アデニンとチミン、グアニンとシトシンが対をなしている。このように、DNAは二重らせん構造をとっており、その中心には「糖-リン酸骨格」という構造がある。

DNAの構造決定とノーベル賞

DNAの構造決定にノーベル賞を受賞したワトソン、クリック、ワイルキンスの肖像画が示されている。

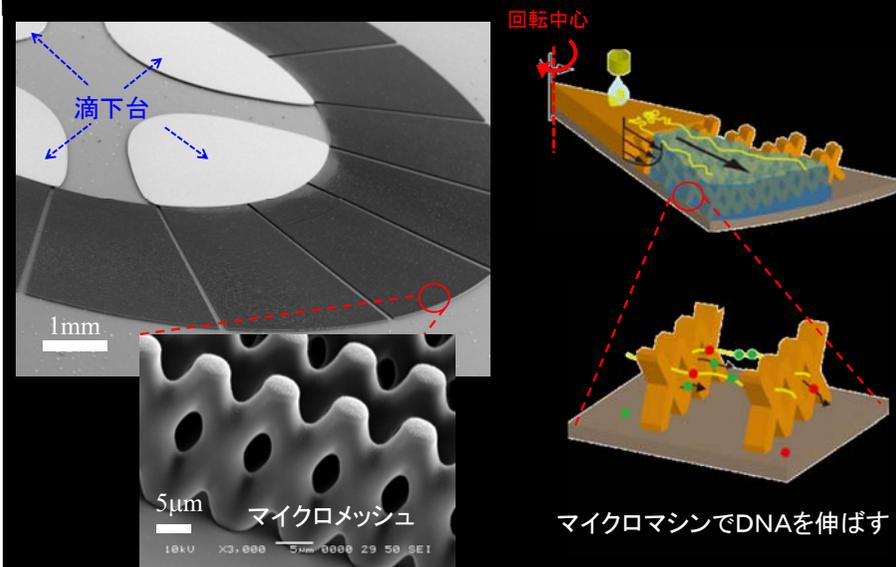
ENIAC boards

ENIAC(Electronic Numerical Integrator and Computer):世界初のデジタル電子計算機(1946)

バイオも小さくできるはず!

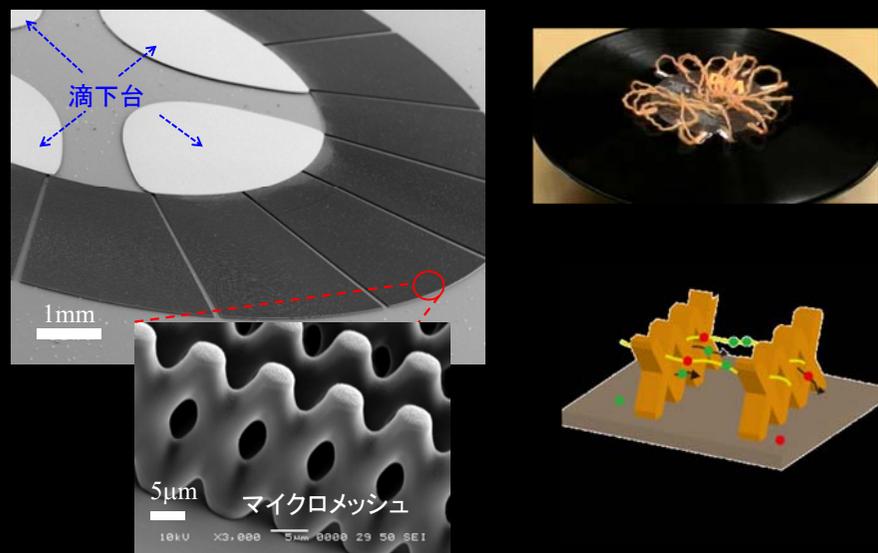


ふけタンの新しい染色体診

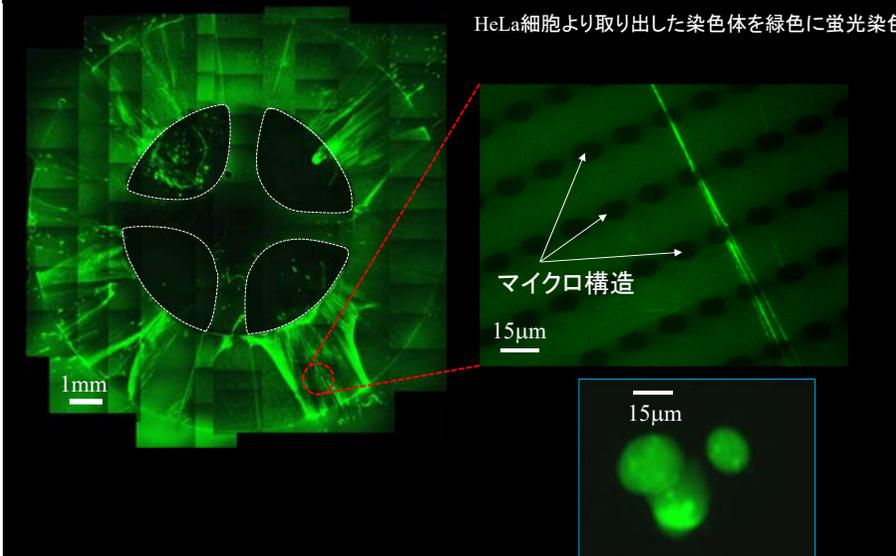


我々の方法で世界で初めて作製できた構造！ (海外特許出願済み)

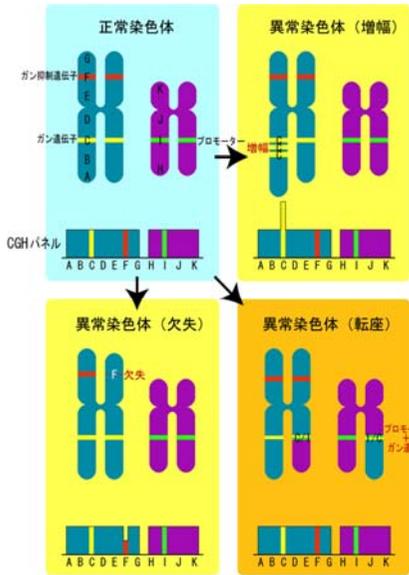
レコード盤によるイメージ映像



マイクロマシンを使って染色体を伸張した様子

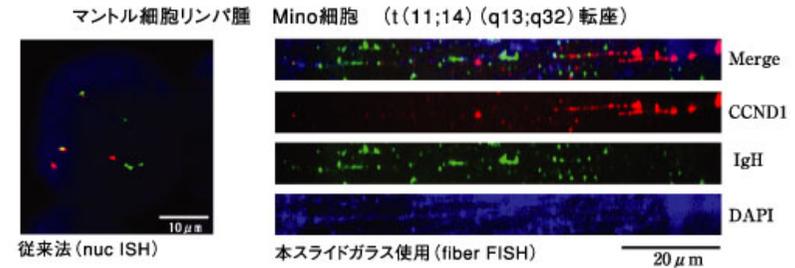
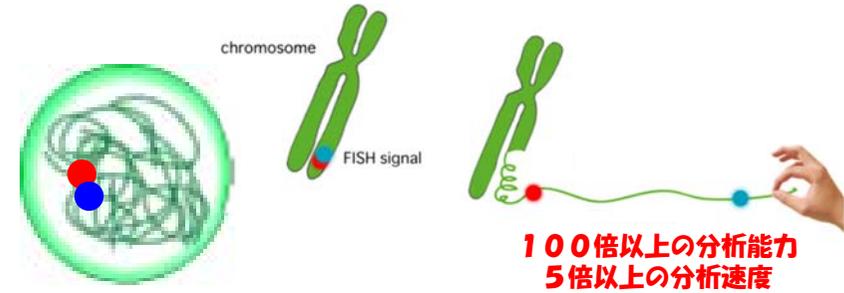
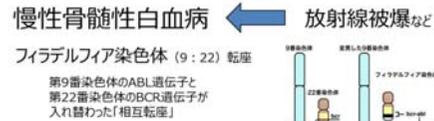


マイクロマシンを回転させるだけで染色体を伸ばして分析できる



分解能 ~10kbの網羅的・発見的解析

	増幅・欠失	転座
CGH	○	▲
伸長染色体の繰り返し配列マッピング	○	○



電池いらずの見守りネットワーク (のための超小型発電機 : エナジーハーベスタ)

対象	懸念	対策	具体的な対策
医療 (高齢化)	老化 ガン	メカニズム解明 程度を測る	老化・ガン化に関わる染色体の長さを測る (高速染色体解析マイクロチップ)
高齢者 子供	徘徊 つれさり 迷子	見守り	電池いらずの見守りネットワーク (のための超小型発電機)



モノのインターネット化 : IoT (Internet of Things)



- Smart house
- Smart city
- Smart grid
- Infrastructure
- Wearable device

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



Battery

- Long life time
- Easy maintenance
- Self-powered

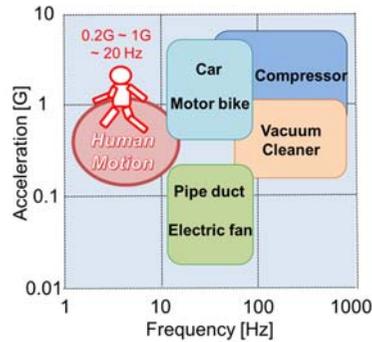




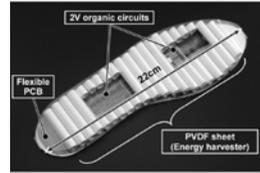
自給自足型のセンサノードが必要
→ エナジーハーベスタ



- ・エネルギー密度10倍
- ・人に身に付けることできる



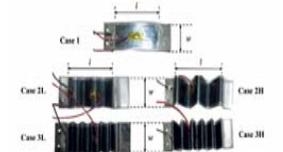
Shoe Insole with PEH, pedometer



Ishida, K. et al. Insole pedometer with piezoelectric energy harvester and 2 V organic circuits. IEEE J. Solid-State Circuits 48, 255-264 (2013).

- 16 μ W Power
- △ Limited application

3D folded VEH for low frequency

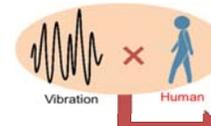


Kim, I.-H. et al. A performance-enhanced energy harvester for low frequency vibration utilizing a corrugated cantilevered beam. Smart Mater. Struct. 23, 37002 (2014).

- Less than 10 Hz
- △ Miniaturization

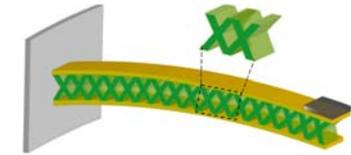


人の動作から、IoTデバイス電源として十分な発電量を得る
10Hz以下の低周波数で、数十 μ W以上の発電量を持つ、ボタン電池サイズの発電機



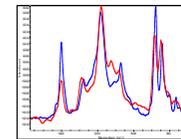
どう実現する？

- ・3次元微細加工
- ・低周波数共振
- ・ポリマー圧電薄膜



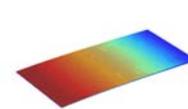
材料

- ・圧電膜PVDF
- ・溶媒、膜質、電極、結晶性制御検討



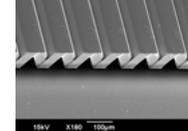
解析

- ・3次元構造設計
- ・モーダル解析
- ・応力、ひずみ解析



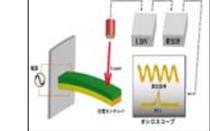
加工

- ・傾斜露光法による3次元ジグザグ構造
- ・デバイス作製



評価

- ・圧電評価実験系構築
- ・発電量評価方法検討



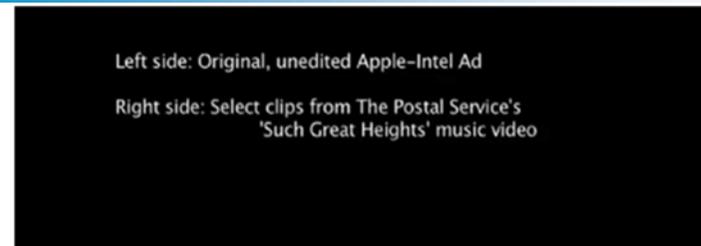
伝統産業、社会問題、地域発展につながる探究

桐生市の問題：少子高齢化

高齢化率が高く、人口10万人以上の地方として、
消滅可能性の高い地域

マイクロマシン・ナノテクできそうなこと

対象	懸念	対策	具体的な対策
医療 (高齢化)	老化 ガン	メカニズム解明 程度を測る	老化・ガン化に関わる染色体の長さを測る (高速染色体解析マイクロチップ)
高齢者 子供	徘徊 つれさり 迷子	見守り	電池いらずの見守りネットワーク (のための超小型発電機)



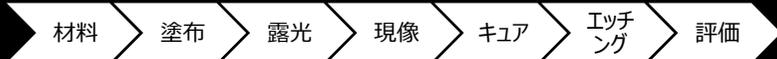
- ・アメリカ・マサチューセッツ州に実在するSkyworks Solutions社の工場にて撮影。
- ・アップル社iMacのCM(2006)に無断コピーされた。

Everything looks perfect from far away.

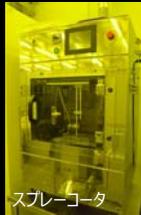
「どんなものだって遠くからなら完璧なように見えるよ」



今日は、近くから (小さいものを) 見てみました!



RFスパッタ装置



スプレーコータ



3次元露光装置



アッシング装置



走査型電子顕微鏡



RFスパッタ装置



スピニングコータ



ドラフトチャンバ



反応性イオンエッチング装置



デジタルマイクロスコープ



真空蒸着装置



直接描画装置
来月導入



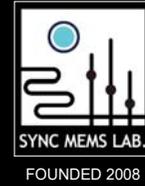
卓上N.Cフライス

イオンスパッタ装置

- UVオゾンクリーナ
- UVキュア装置
- コロナ放電装置
- 光学式膜厚計
- 攪拌・脱泡装置
- マッフル炉
- 精密メッキ装置
- ドラフト
- 超純水製造装置
- 簡易クリーンルーム

- 数値解析WS
- 表面粗さ形状測定機
- 動的接触角計
- デジタル粘度計
- 万能試験機
- レーザードップラー振動計
- 振動加振器
- 電気計測プローバー
- 分光光度計
- 蛍光顕微鏡
- 全反射顕微鏡
- 細胞培養システム一式

スズメケン



大学 MEMS

検索

FOUNDED 2008