

# ミクロの決死圏



香川大学 工学部  
知能機械システム工学科

鈴木 孝明



- 香川大学 工学部  
知能機械システム工学科  
准教授 (2008年4月着任)
- 専門分野; マイクロシステム工学
- 誕生日; 1976年1月 群馬県生まれ



- 前職  
京都大学 工学研究科  
マイクロエンジニアリング専攻  
助教 (2004年2月~2008年3月)



## The Postal Service "Such Great Heights"



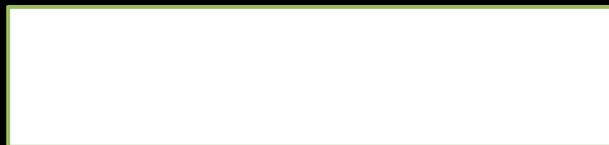
2003年作品

Left side: Original, unedited Apple-Intel Ad

Right side: Select clips from The Postal Service's  
'Such Great Heights' music video

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

Everything looks perfect from far away.



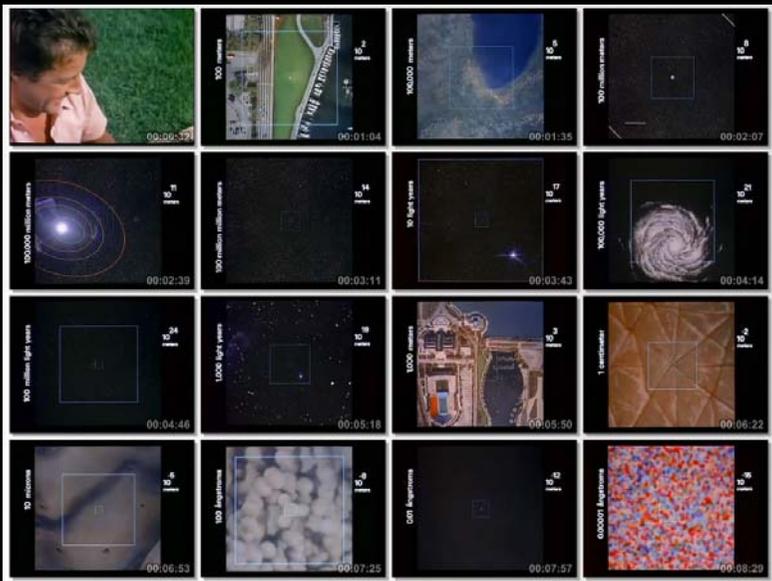
## 本日の内容



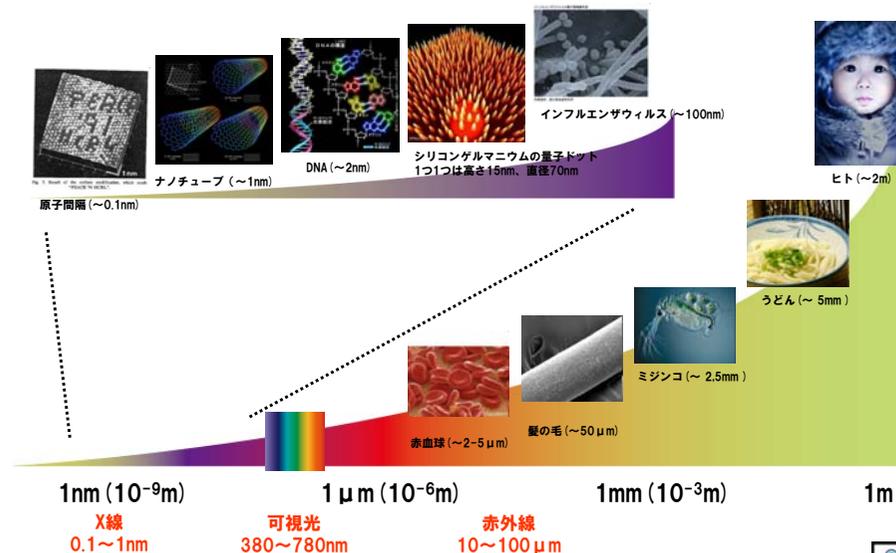
- どのくらい小さいのか?  
ナノって何なの?
- どうやって作るの?  
写真(光)と印刷
- なぜ光を使うのか?  
光の実験
- 身近にある最先端?  
マイクロ・ナノマシンのある現代生活
- さらにその先へ  
マイクロマシンの医療応用
- ミクロの決死圏





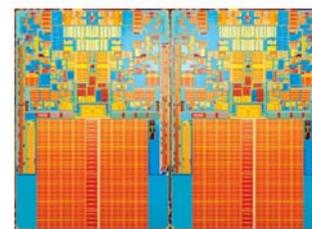


1968年に作られた教育映画。家具デザインで有名なイームズ夫妻によって脚本・監督された。IBMの資金協力。



10 <sup>n</sup>	接頭辞	記号	漢数字表記 (命数法)	十進数表記
10 <sup>0</sup>	なし	なし	—	1
10 <sup>-1</sup>	デシ (deci)	d	十分の一 (一分)	0.1
10 <sup>-2</sup>	センチ (centi)	c	百分の一 (一厘)	0.01
10 <sup>-3</sup>	ミリ (milli)	m	千分の一 (一毛)	0.001
10 <sup>-6</sup>	マイクロ (micro)	μ	百万分の一 (一微)	0.000 001
10 <sup>-9</sup>	ナノ (nano)	n	十億分の一 ( ? )	0.000 000 001
10 <sup>-18</sup>	アト (atto)	a	百京分の一 (一刹那)	0.000 000 000 000 000 001
10 <sup>-24</sup>	ヨクト (yocto)	y	一秤分の一 (一涅槃寂靜)	0.000 000 000 000 000 000 000 001

nano =

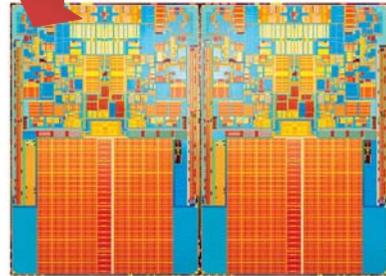


Core 2 Duo  
 ・サイズ: 37.5mm x 37.5mm  
 ・加工精度: 65nm=65 × 10<sup>-9</sup>m



半径100mの扇型球技場の面積で  
 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



### 機械加工技術



除去加工

切削、研削、放電加工



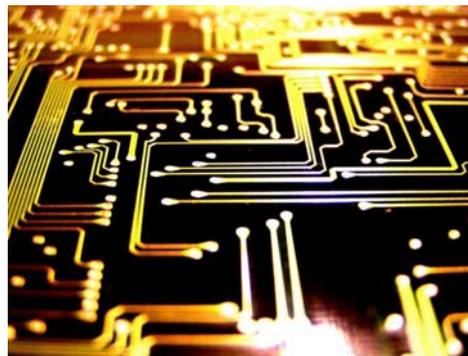
変形加工

鑄造、鍛造、プレス、成形



付加加工

溶接、被覆



### 半導体製造技術



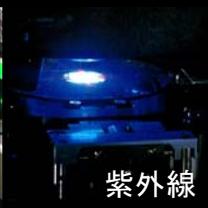
- ・パワー密度が高い（作用面積が小さい）
- ・非削加工（非接触）
- ・材料の硬さや脆さに無関係
- ・エネルギー輸送や物質輸送が伴うため、加工表面に塑性変質層がない
- ・加工エネルギーは、電子・電力制御が容易  
→ 高精・細度加工向き



プラズマ



レーザー



紫外線



電気化学

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

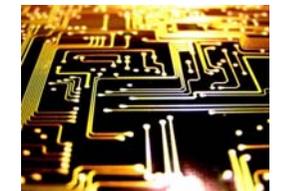
フォトリソ、スパッタ、CVD



### 半導体製造技術の中心はフォトリソグラフィ



#### Photolithography



lith-, litho- 「石」の意味の語形成要素  
-graphy 「画風・書法・記録法」の意味の名詞連結形





アロイス・ゼネフェルダー (1771-1834)

基本は、水と油の反発原理

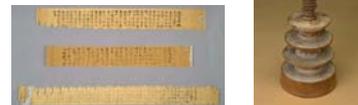
ゼネフェルダーは、活版印刷のインクを練る台として凝灰岩(石灰石)を購入した。その石に油性のクレヨンでメモ書きをして、後に洗い落とそうとしたが痕が残ったままで、その部分に油分が付き、それ以外の部分に水がしみ込む事に気が付いた。



活版印刷



唐代(618年~907年) 中国 木版印刷



百万塔陀羅尼經 世界最古の現存する印刷物？ 称徳天皇(770年)

15世紀 ヨーロッパ J・グーテンベルグ 活版印刷(鉛製活字とプレス式印刷機)

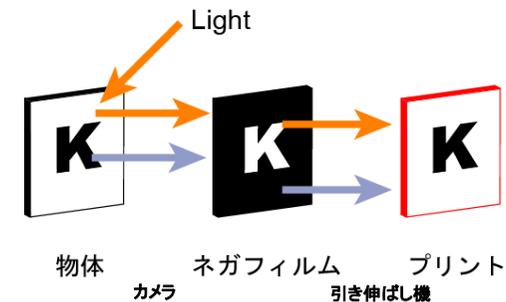
1798年 ドイツ A・ゼネフェルダー 石版印刷(リトグラフ)

1904年 アメリカ I・W・ルーベン オフセット印刷(ブランケット胴)

現在の印刷の主流



写真: 光学的映像を感光材料に作用させて定着する技術



露光 → 現像 → 焼付

白い紙に当たった光は反射してフィルムに当たる (黒い文字に当たった光は吸収される)





# Photolithography

写真



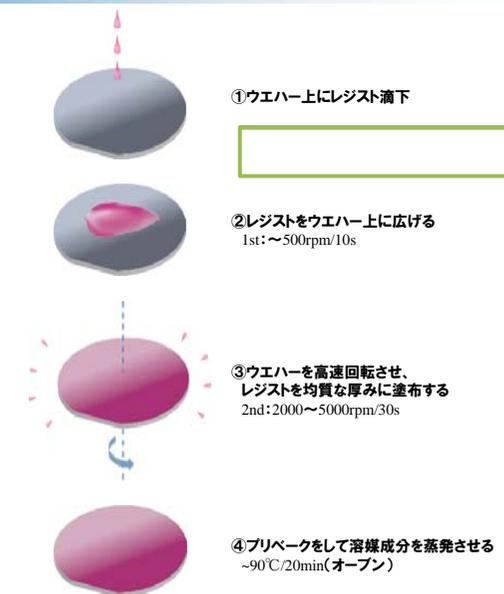
石版印刷(リトグラフ)



東山魁夷「白馬の森」(1972年)



フォトリソグラフィ =



⑤ウエハー上にマスクをセット



ガラスマスク(マイクロパターン)

⑥紫外線露光

⑦現像

1st: 5min, 2nd: 2min, 純水洗浄

⑧ポストベーク

110°C/~30min



マスクに何か、描いてある。よく観察しよう!

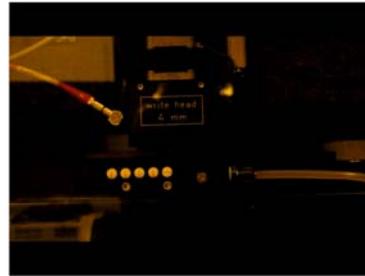


5 mm





ドイツ・ハイデルベルグ社製 DWL-66



光源 He-Cdレーザー

描画方法 直接描画

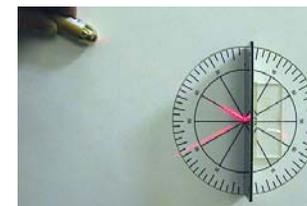
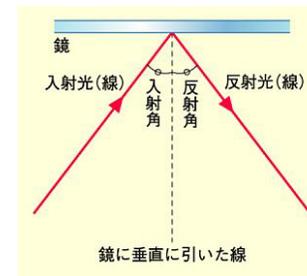
描画対象 2.5~5inch角のクロムマスク等

描画精度 1 $\mu$ m程度

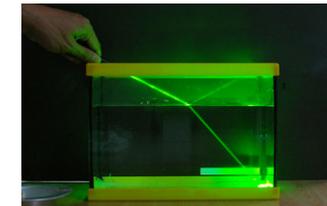
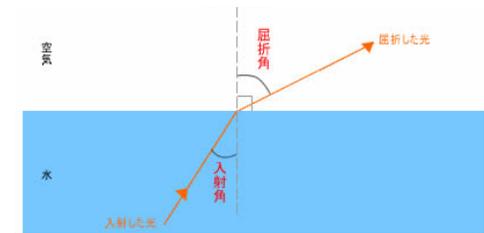
描画所要時間(最短)

・線幅1 $\mu$ mで2.5インチマスクに描画; 6時間・線幅1 $\mu$ mで5インチマスクに描画; 1日

## 光の反射



## 光の屈折



## 光の性質について調べる。

## 使うもの

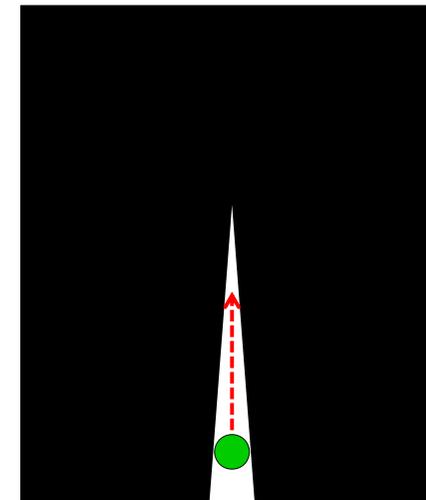
- ・レーザーポインター
- ・画用紙
- ・はさみ

## 実験方法

1. 画用紙に切り込み(5cm位)を入れる。
2. 切り込みを根本から広げて、指で押さえ、鋭角三角形のスリットを作る。
3. スリット上方から、レーザーを入射する。
4. スリットの根本(広い方)から先端(狭い方)にレーザーを移動させながら、下に写るレーザー光を間接的に観察する。

## 注意

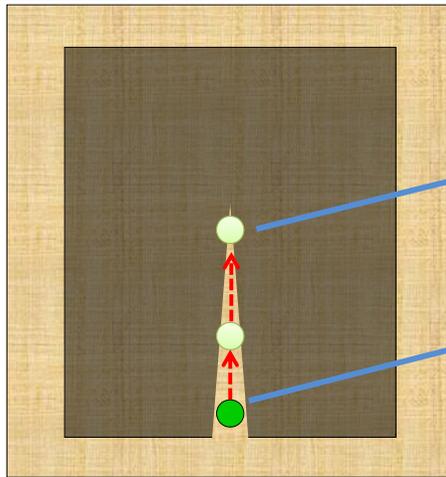
1. レーザーの出射口を直接見ない(のぞき込まない)。
2. レーザーポインタは、胸より低い位置で操作し、上に向けない。



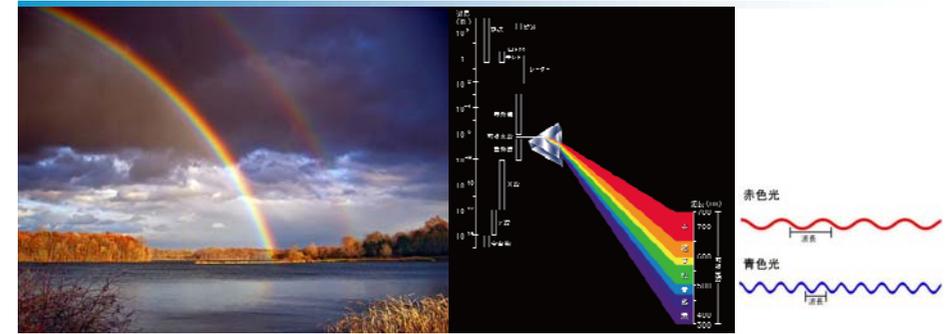
4. スリットの根本(広い方)から先端(狭い方)にレーザーを移動させながら、下に写るレーザー光を間接的に観察する。



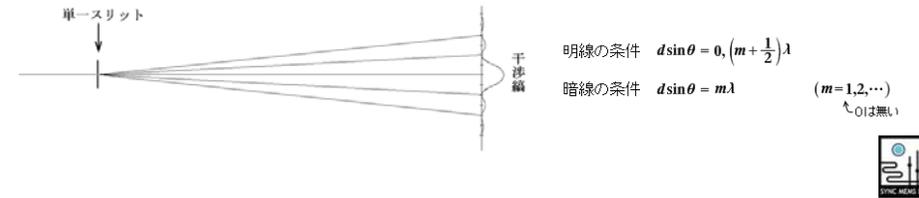
机に写っているレーザーの形はどうなっている？



光は波でもある



単スリットによる光の [ ] と [ ] (光の [ ] 性)

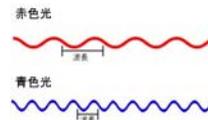


解像度と焦点深度



$$\text{解像度} = \frac{\text{定数} \times \text{波長}}{\text{レンズ開口数}}$$

どのくらい細かいパターンを転写できるか



$$\text{焦点深度} = \frac{\text{定数} \times \text{波長}}{(\text{レンズ開口数})^2}$$

焦点(ピント)をずらしたときに、ある一定の解像度を維持できる範囲

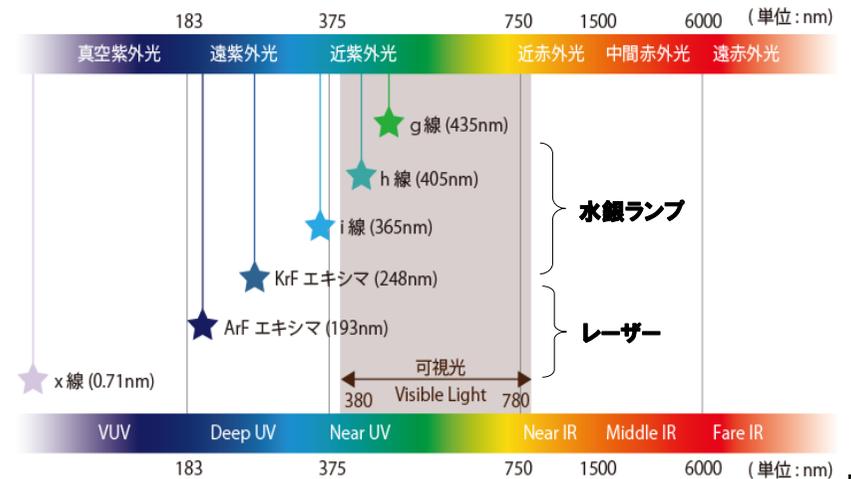
波長が短いものほど解像度は良いが、焦点深度が小さくなる。



フォトリソグラフィで使う光の波長



波長が短いものほど解像度は良いが、焦点深度が小さくなる。





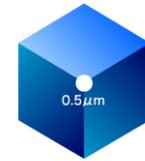
半導体製造技術 (FROM香川)

黄色になった。



半導体製造技術 (FROM香川)

1フィート(30cm)立方の空気中の粒子



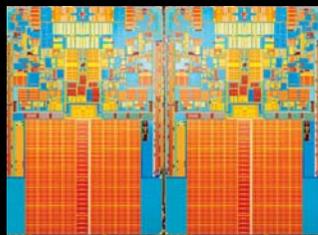
クラス1 : 粒子1個  
 クラス10 : 粒子10個  
 クラス100 : 粒子100個

- 非常に細かく分厚い(HEPA)フィルタを通した空気を天井から送り込み、クリーン度を保つ。
- クリーン度は「クラス～」で示され、1ft<sup>3</sup>(30×30×30cm<sup>3</sup>)の空気中に存在する直径0.5μm以上の粒子数を表す。

今いる部屋はどのくらいのクリーン度だろう？



## 発想の転換



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

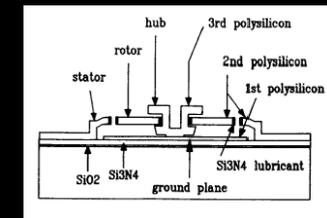


MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)

「」



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



直径120μmの静電気で動くモータ

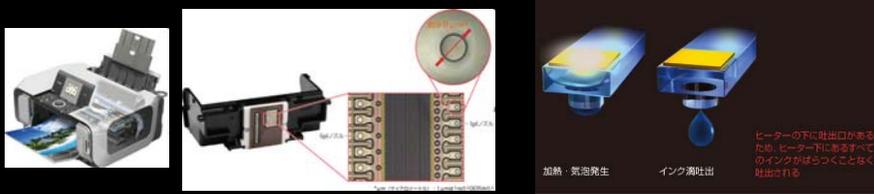
IC-processed micro-motors: design, technology, and testing  
 Tai, Y.-C.; Fan, L.-S.; Muller, R.S. (U.C. Berkeley)  
 IEEE MEMS 1989, pp.1 -6.



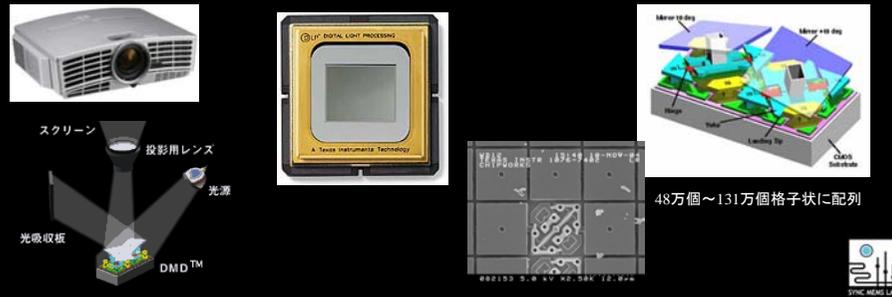
43 身近なマイクロマシン技術の例 ① 小さなモーター



・インクジェットプリンタ



・プロジェクタ DMD (Digital Micromirror Device)



45 日本のマイクロマシン関連企業 結構たくさんあります。



残念ながら、Wiiコントローラ内のセンサは日本製ではありませんが・・・。

- |               |             |              |
|---------------|-------------|--------------|
| オムロン株式会社      | みずほ情報総研株式会社 | セイコーエプソン株式会社 |
| オリンパス株式会社     | 三菱電機株式会社    | 富士電機HD株式会社   |
| セイコーインスツル株式会社 | 横河電機株式会社    | 株式会社富士通研究所   |
| ソニー株式会社       | アルプス電気株式会社  | 株式会社本田技術研究所  |
| 株式会社デンソー      | キヤノン株式会社    | 三菱マテリアル株式会社  |
| テルモ株式会社       | 京セラ株式会社     | 株式会社村田製作所    |
| 株式会社東芝        | 三洋電機株式会社    | 株式会社山武       |
| 株式会社日立製作所     | シチズンHD株式会社  | 株式会社リコー      |
| 古河電気工業株式会社    | 住友精密工業株式会社  |              |
| パナソニック電工株式会社  | 住友電気工業株式会社  |              |



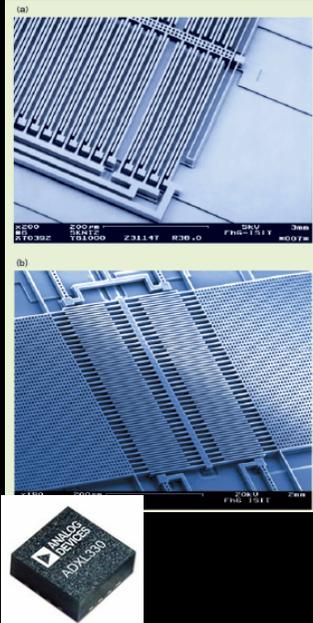
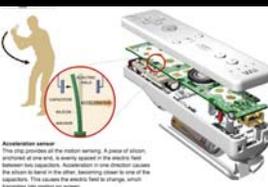
44 身近なマイクロマシン技術の例 ② 加速度センサ



・車のエアバック



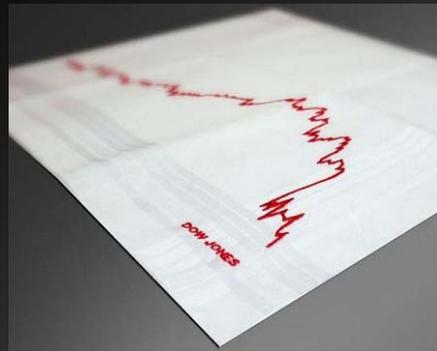
・任天堂 Wiiリモコン



46 ここらへんで、ちょっとひと休みして、お金(経済)のお話



ダウ工業株30種平均 (Dow Jones Industrial Average)

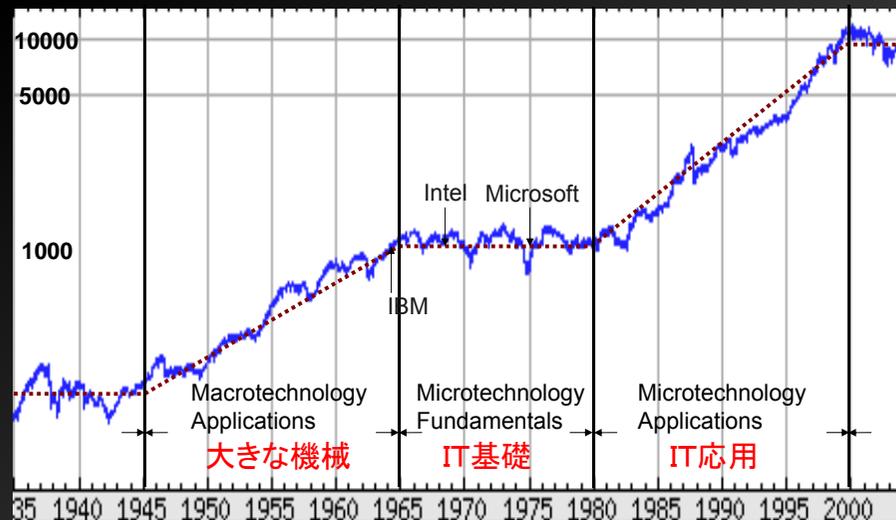


### 現在の工業株30種採用銘柄

アルコア	JPモルガン・チェース
アメリカン・エクスプレス	クラフトフーズ
ボーイング	ザ コカ・コーラ カンパニー
バンク・オブ・アメリカ	マクドナルド
キャタピラー	スリーエム
シスコシステムズ	メルク
シェブロン	マイクロソフト
デュポン	ファイザー
ウォルト・ディズニー・カンパニー	プロクター・アンド・ギャンブル (P&G)
ゼネラル・エレクトリック	エーティーアンドティー
ホームデポ	トラベラーズ
ヒューレット・パッカード	ユナイテッド・テクノロジーズ
アイ・ビー・エム	ベライゾン・コミュニケーションズ
インテル	ウォルマート・ストアーズ
ジョンソン・エンド・ジョンソン	エクソンモービル



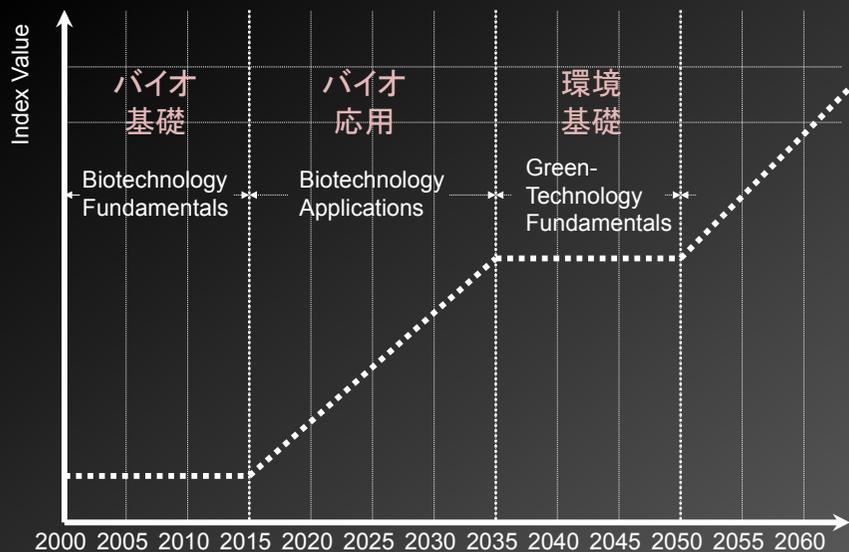
### ダウ工業株の推移



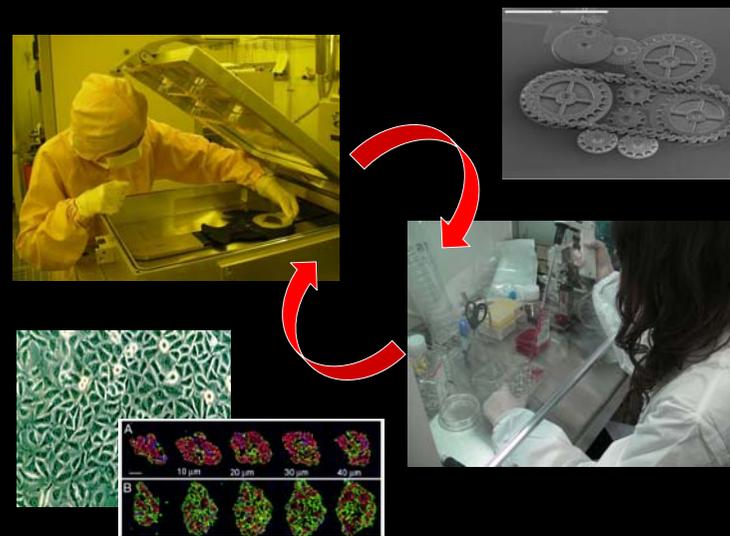
<http://finance.yahoo.com>



### Vision of Technology Roadmap

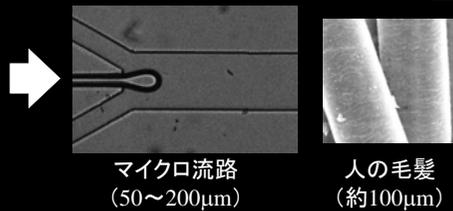


### さらに、発想の転換

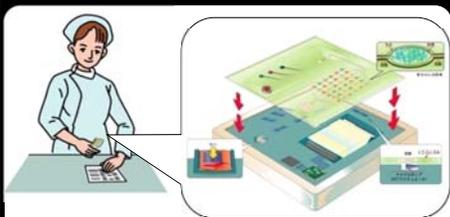


電気と機械を組み合わせ、バイオ応用しよう!





半導体製造技術により、  
化学・生物学の実験室・プラントを一枚のチップ上に実現



血液1滴で高速診断



微細加工技術の開発・解析

- › 微小物 (umオーダー) の集積化技術
- › 3次元露光法
- › スパッタ法による機能性薄膜の成膜

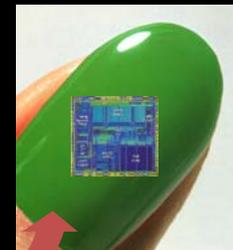
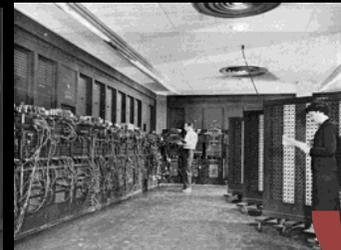
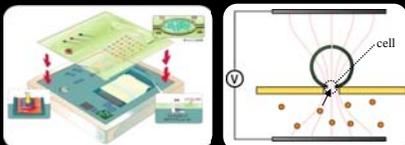
マイクロデバイスの開発・評価

- › 多層マイクロ流路
- › バルプレスマイクロポンプ
- › 多相流を用いたマイクロミキサ
- › マイクロアトマイザ

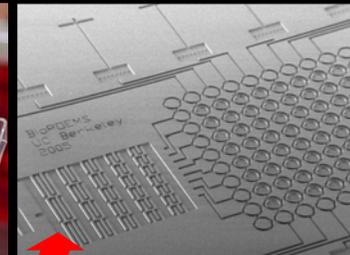


マイクロシステムのバイオ応用

- › 細胞への遺伝子導入用マイクロチップ
- › 染色体DNA伸長固定マイクロチップ
- › ナノデバイスによる医療用検査システム



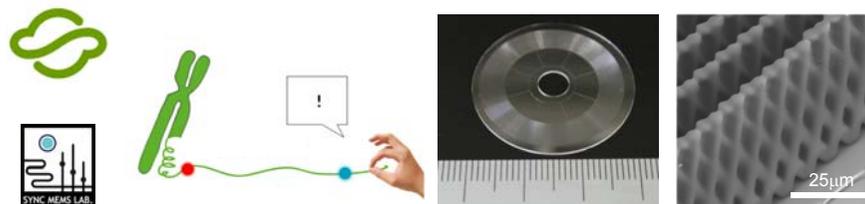
ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer): 世界最初のデジタル電子計算機 (1946)



バイオも小さくできるはず!



マイクロ構造を利用した  
染色体DNA解析技術



25 $\mu$ m





Point  
マイクロ凹凸構造  
(レコード盤の溝)

直径3cm

Stretched DNA

100 µm

25 µm 80 µm

高分解能 (従来の100倍以上)  
高フロー結合能 (従来の5倍)

異常染色体 (転座)

プロモーター  
遺伝子

図2 マントル細胞リンパ腫 Mino細胞 (t(11;14)(q13;q32)転座)

Fluorescence (nuc ISH)	Fluorescence (Iber FISH)	Merge
CCND1	IgH	DAPI

20 µm

SYNCHROM LAB

レコード盤によるイメージ映像



末梢血 → 細胞固定 (遠心力) → 取り出し → 伸張固定 (遠心力) → 可視化 → 顕微鏡

1. 細胞懸濁液の滴下
2. 遠心力により細胞を固定構造に固定
3. 溶解液による染色体の取り出し
4. 遠心力(せん断力)により伸張
5. メッシュ構造上に物理吸着固定

細胞の固定から染色体の伸張までを1チップ上で実現

SYNCHROM LAB



滴下台

1mm

X19 1mm 0000 28 52 SEI

50µm

同心円マイクロメッシュ構造

5µm

X3,000 5µm 0000 29 50 SEI

今まで平面加工しかできなかったが、提案技術によって、複雑で微細な三次元構造を一度に作るできるようになった(国際特許出願)



HeLa細胞より取り出した染色体を緑色に蛍光染色

マイクロ構造

15µm

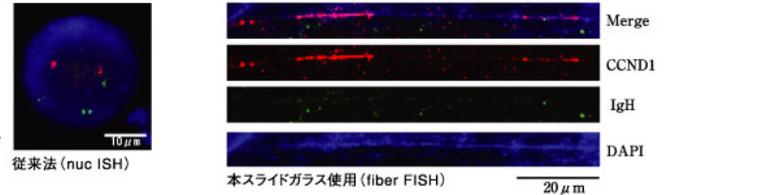
15µm

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

SYNCHROM LAB



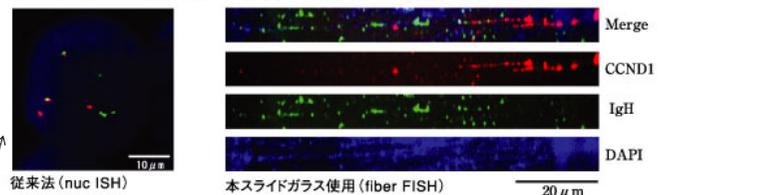
図1 バーキettリンパ腫 Ramos細胞 (t(8;14) (q24;q32) 転座) (正常細胞に相当)



約6%の細胞では2つのプローブが重なっているように見えるもしくは良く判らない

同じ染色体ファイバ上にはCCND1とIgHのプローブは存在していない (確認できた範囲ではほぼ100%)

図2 マントル細胞リンパ腫 Mino細胞 (t(11;14) (q13;q32) 転座) (異常細胞に相当)



CCND1とIgHのプローブが重なっている細胞→95%

同一染色体ファイバ上にCCND1とIgHのシグナルが存在する



第29回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム  
平成24年10月22日～24日  
北九州国際会議場



発表件数(総数:150件程度)

1. 東京大: 28件
2. 香川大: 17件
3. 東北大: 15件

	香川大学の ノミネート件数
五十嵐賞 (35歳以下)	2/5
最優秀技術論文賞	1/2



最優秀技術論文賞 受賞



1. どのくらい小さいのか?  
ナノって何なの? →
2. どうやって作るの?  
写真(光)と印刷 →
3. なぜ光を使うのか?  
光の実験 →
4. 身近にある最先端?  
マイクロ・ナノマシンのある現代生活 →
5. さらにその先へ  
マイクロマシンの医療応用 →
6. ミクロの決死圏

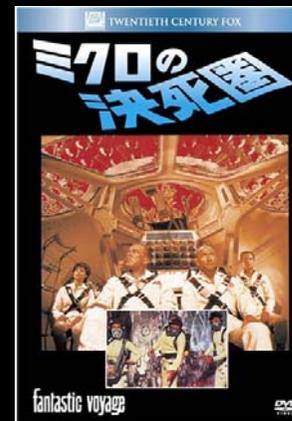
本日の講義の裏テーマは「黄金比」でした。  
いくつかのページに黄金比に関連した  
図形、キーワード、人物などがあります。  
探してみてください。( \_\_\_\_\_ 個)



1:1.618



Fantastic Voyage : ミクロの決死圏



1966年度アカデミー賞2部門受賞 (特殊視覚効果賞/美術監督・装置賞)





潜水艇は二段階の縮小を経て、人体へ導入可能なサイズへと(0.1mm=100 $\mu$ m)縮小される。

その後、注射器を用いて患者の頸動脈(7mm)から導入される。



ドラえもんのスモールライト



1,2,3,4  
潜水艇が縮小され、注射器で体内へ導入される様子



血管内を移動する潜水艇

有毛細胞(7-8 $\mu$ m)にとらわれる船員

現在、リメイクの企画が進行中...



### 最後に一言...



Dr. DUVAL (体内に入った直後のセリフ)

The Medieval Philosophers were right...  
<Man> is the center of the Universe...  
We stand in the middle of Infinity,  
between Outer and Inner Space.  
And there's no limit to either.



脳外科医デュバル博士  
(Arthur Kennedy)

哲学者が言ったとおり...  
人間は宇宙の中心だ。  
マクロの世界とマイクロの世界の中間にいる。  
そのどちらも無限だ。



今、何をすべきか？

広い視野・深い洞察力が求められています。  
皆さんの将来は無限です。



スズキケン

真剣な楽しいが、ココにある。



FOUNDED 2008

SYNCMEMS

検索

