

# 機械・航空宇宙工学序論

## 4月15日

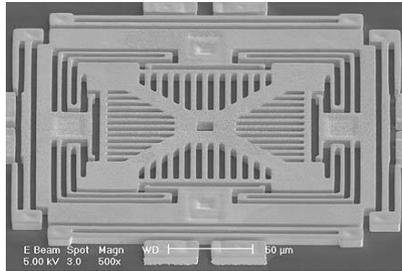
### 本日の担当

- 伊藤伸太郎 マイクロ・ナノ機械理工学専攻・福澤研
- [shintaro.ito@mae.nagoya-u.ac.jp](mailto:shintaro.ito@mae.nagoya-u.ac.jp)

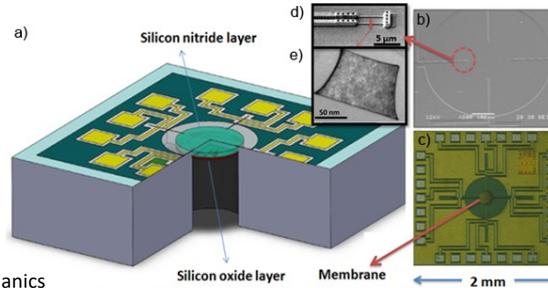
# マイクロ・ナノ機械

[https://www.researchgate.net/figure/a-Schematic-drawing-of-a-pressure-sensor-b-a-SEM-picture-of-the-central-part-of-the-fig8\\_231097167](https://www.researchgate.net/figure/a-Schematic-drawing-of-a-pressure-sensor-b-a-SEM-picture-of-the-central-part-of-the-fig8_231097167) 2023.2.10

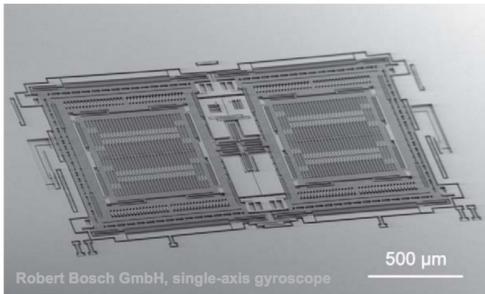
## 加速度センサ



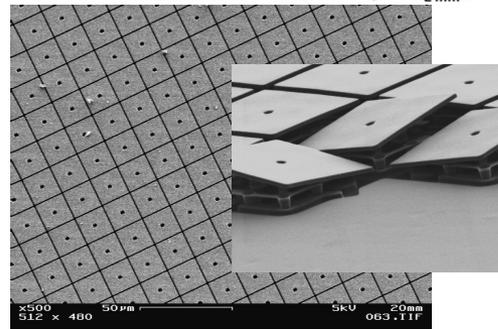
## 圧力センサ



©IC Mechanics



Robert Bosch GmbH, single-axis gyroscope  
J. Marek, IEEE, ISSCC 2010



- 圧力センサ
- 加速度センサ
- ジャイロスコープ
- 光スキャナ (ガルバノメータ)
- AFM用カンチレバー
- 流路モジュール
- デジタルミラーデバイス(DMD)
- HDDのヘッド
- DNAチップ
- 光スイッチ
- ボロメータ型赤外線撮像素子
- 波長可変レーザー
- 光変調器
- etc...

## ジャイロ

## デジタル・ミラー・デバイス

<https://emb.macnica.co.jp/articles/5757/> 2023.2.10

[https://www.researchgate.net/figure/Image-of-the-DMD-mirrors-with-SEM-microscope-18\\_fig37\\_315669635](https://www.researchgate.net/figure/Image-of-the-DMD-mirrors-with-SEM-microscope-18_fig37_315669635) 2023.2.10

マイクロな機械 → 小型化  
高機能化

# IoT internet of things

2020年には530億個  
のモノがネットに接続

小型化  
高機能化



情報集積 & 解析

人工知能  
ビッグデータ解析

ナノレベルの  
ものづくり



リアル

ナノ  
 $10^{-9}$  m



サイバー



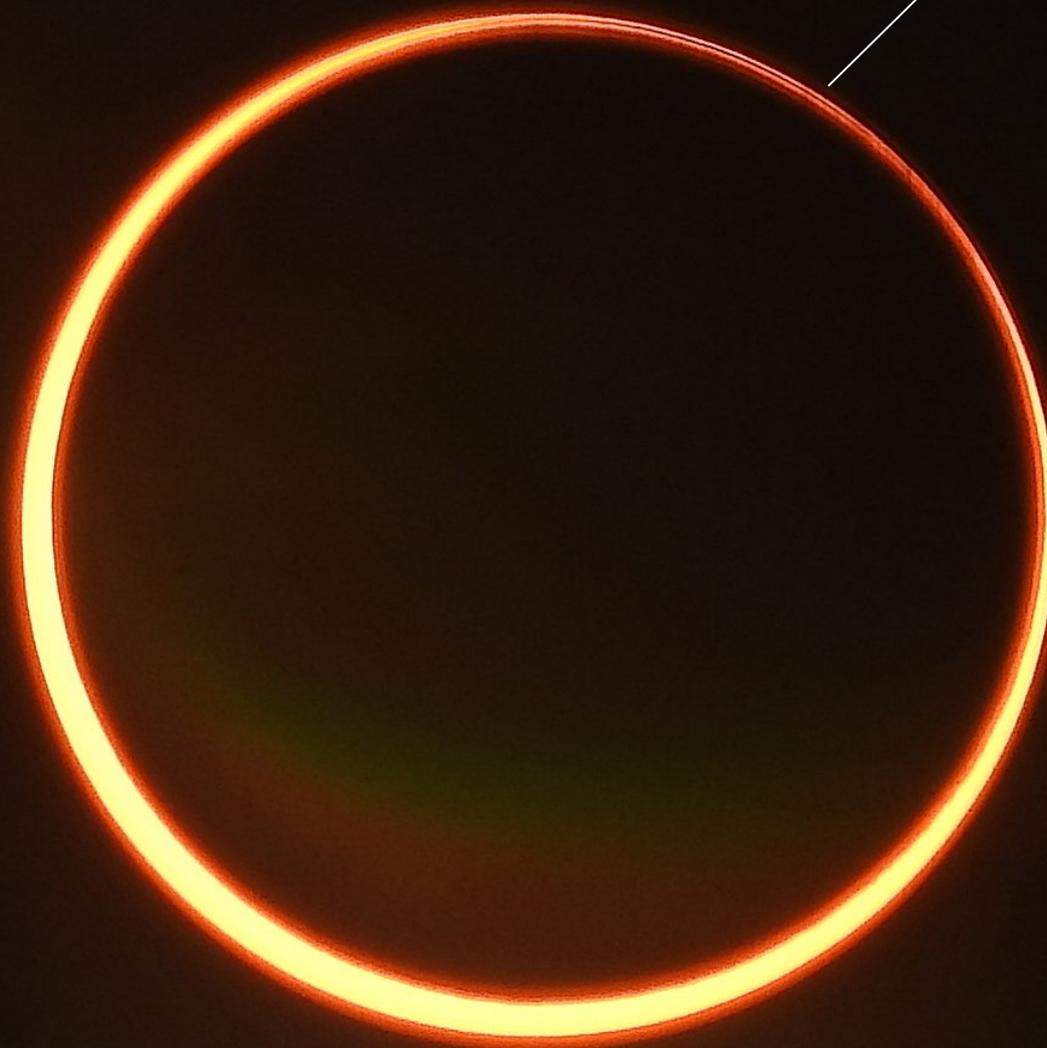
ESB Professional via shutterstock  
<https://www.shutterstock.com/ja/image-photo/nagoya-japan-city-skyline-tower-178258268> 2023.5.2

[https://gigazine.net/news/20090709\\_markov\\_chain/](https://gigazine.net/news/20090709_markov_chain/) 2023.5.17

最適化・効率化  
少し先の未来を予測

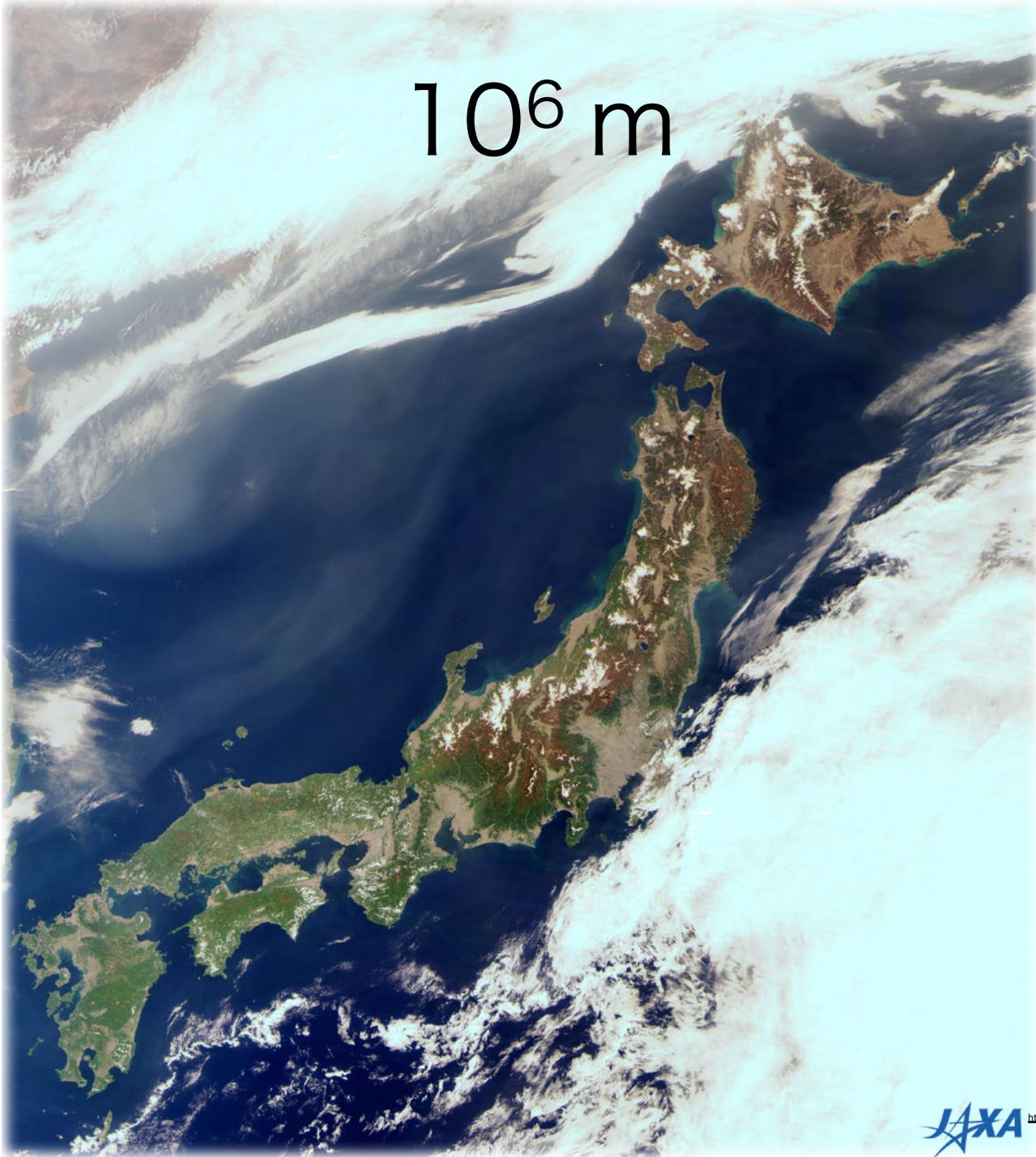
$10^9$  m

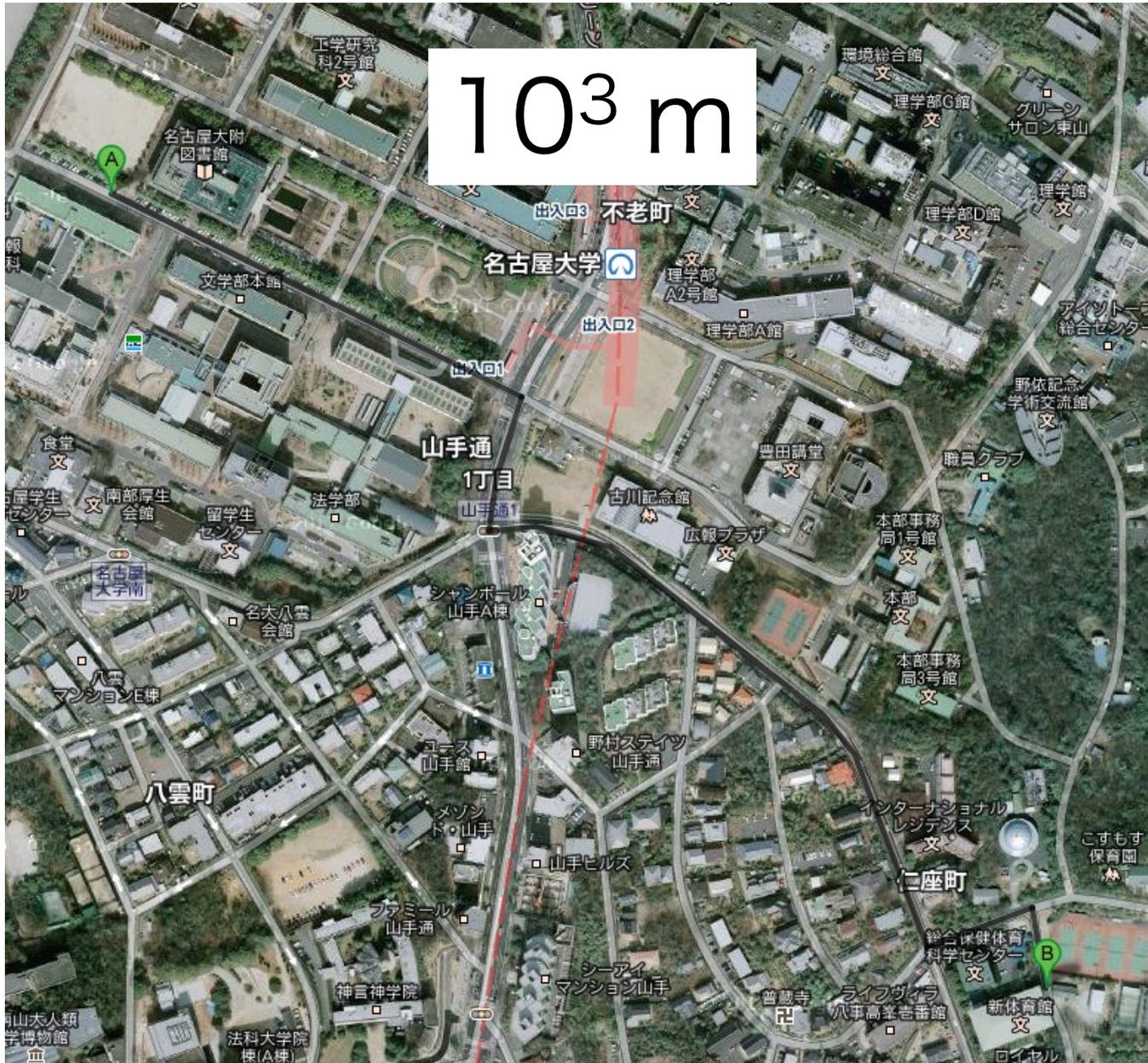
直径139万2000km

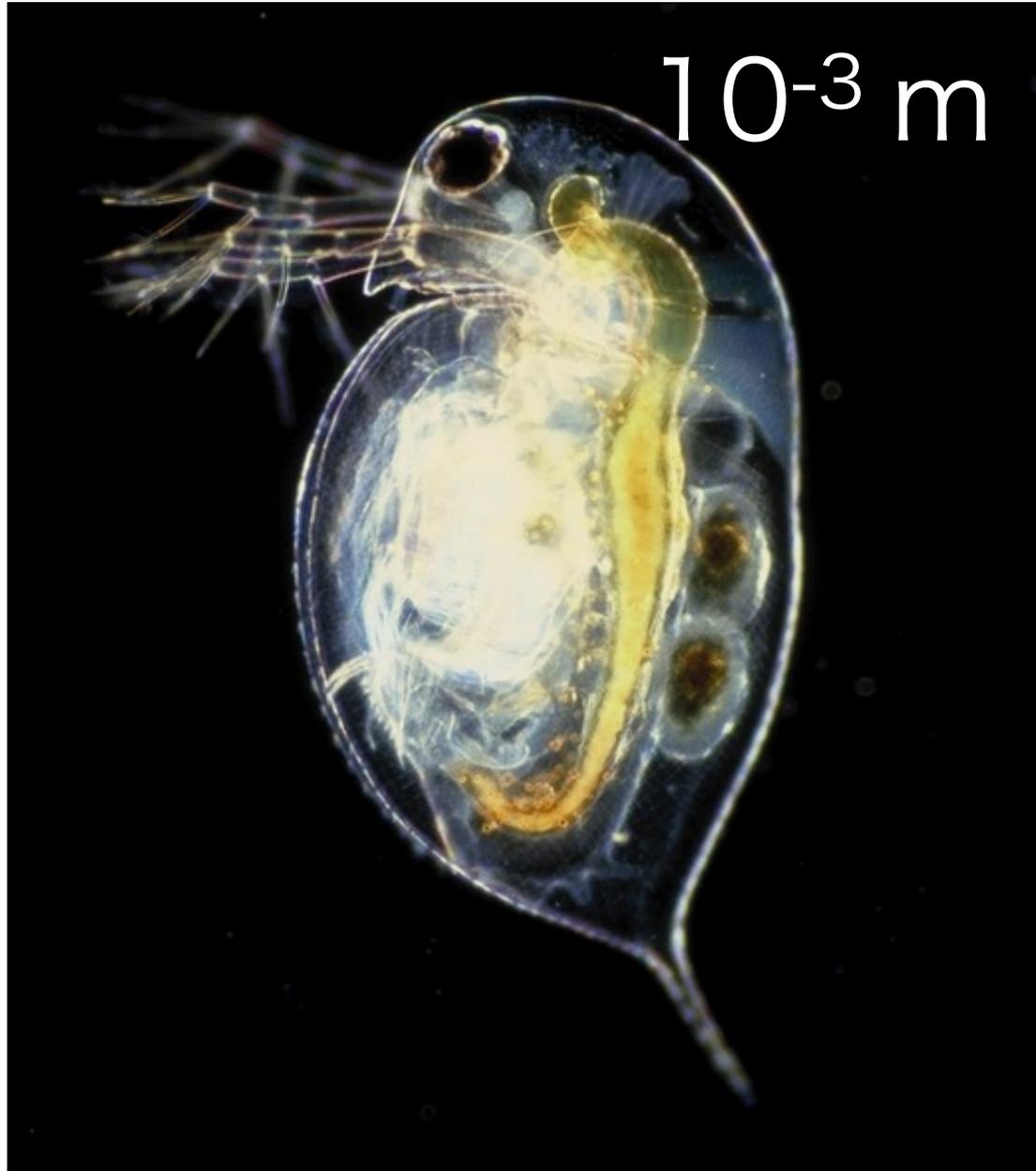


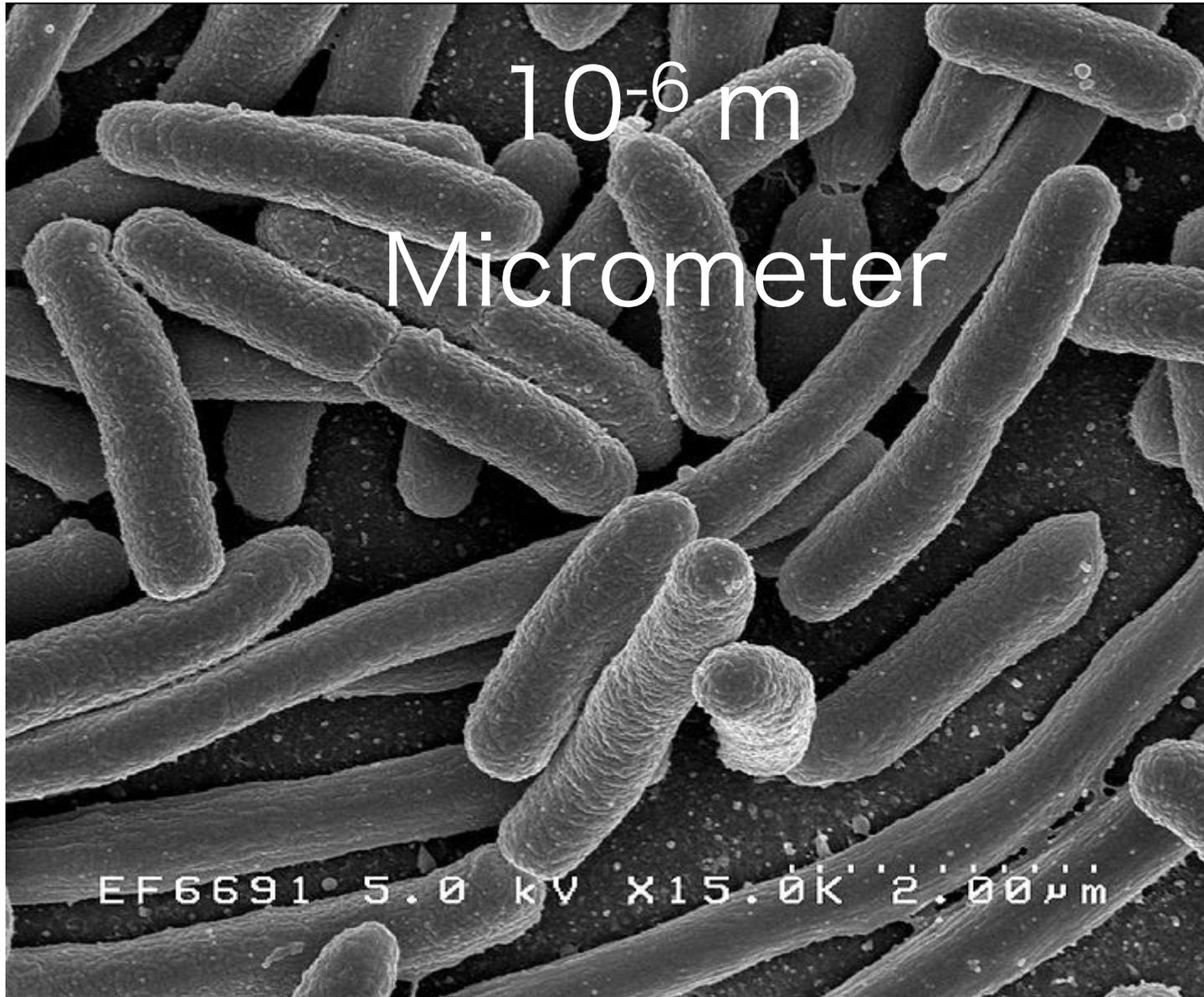
大きさを世界はどう変わるか？

$10^6$  m





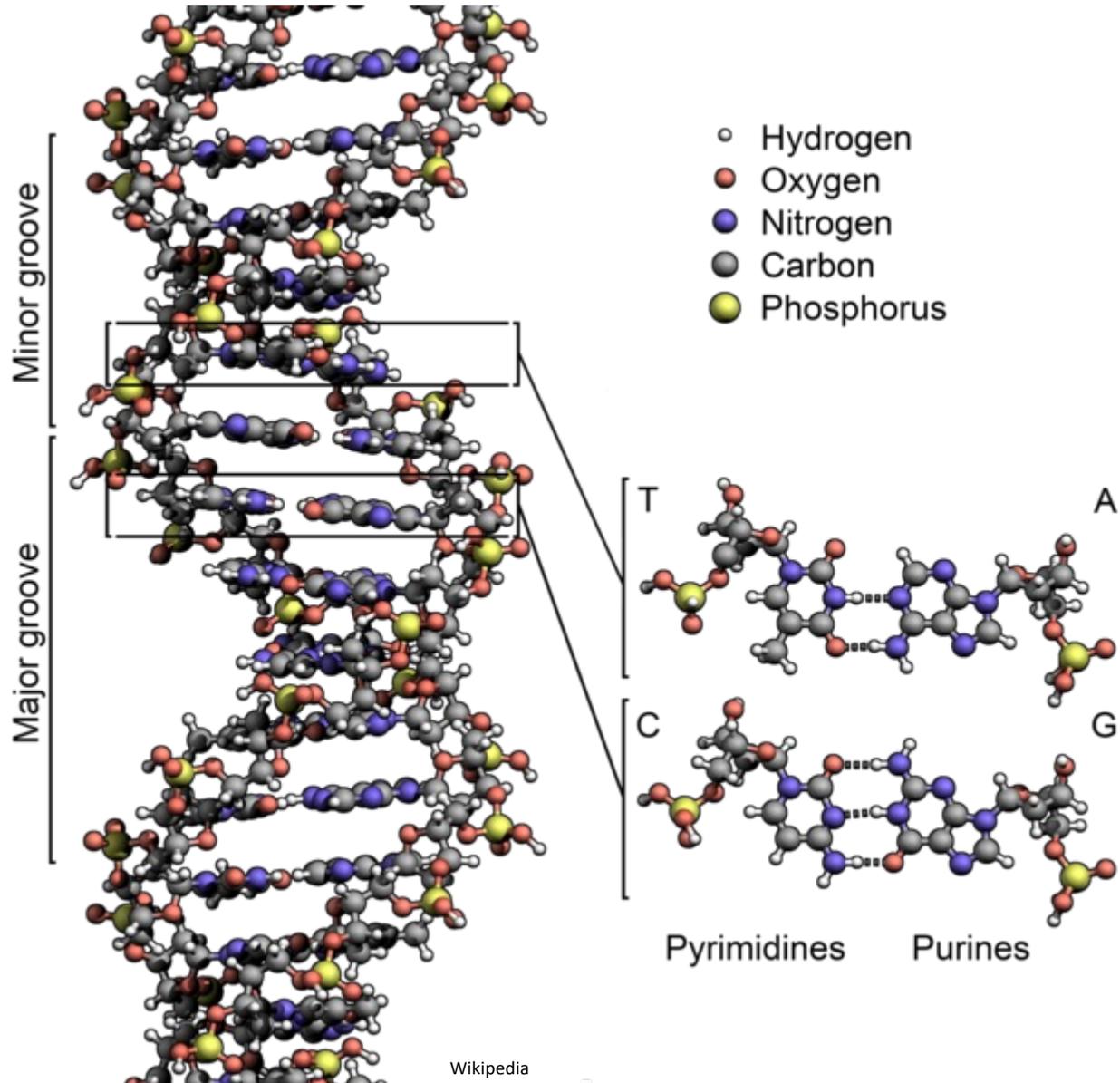




$10^{-6}$  m  
Micrometer

EF6691 5.0 kV X15.0K 2.00 μm

# $10^{-9}$ m Nanometer



# マイクロ・ナノメートルの世界

マクロ

髪の毛の直径：約100  $\mu\text{m}$

毛細血管の直径：約10  $\mu\text{m}$

人の赤血球の直径：約8  $\mu\text{m}$

細胞のサイズ：1~100  $\mu\text{m}$

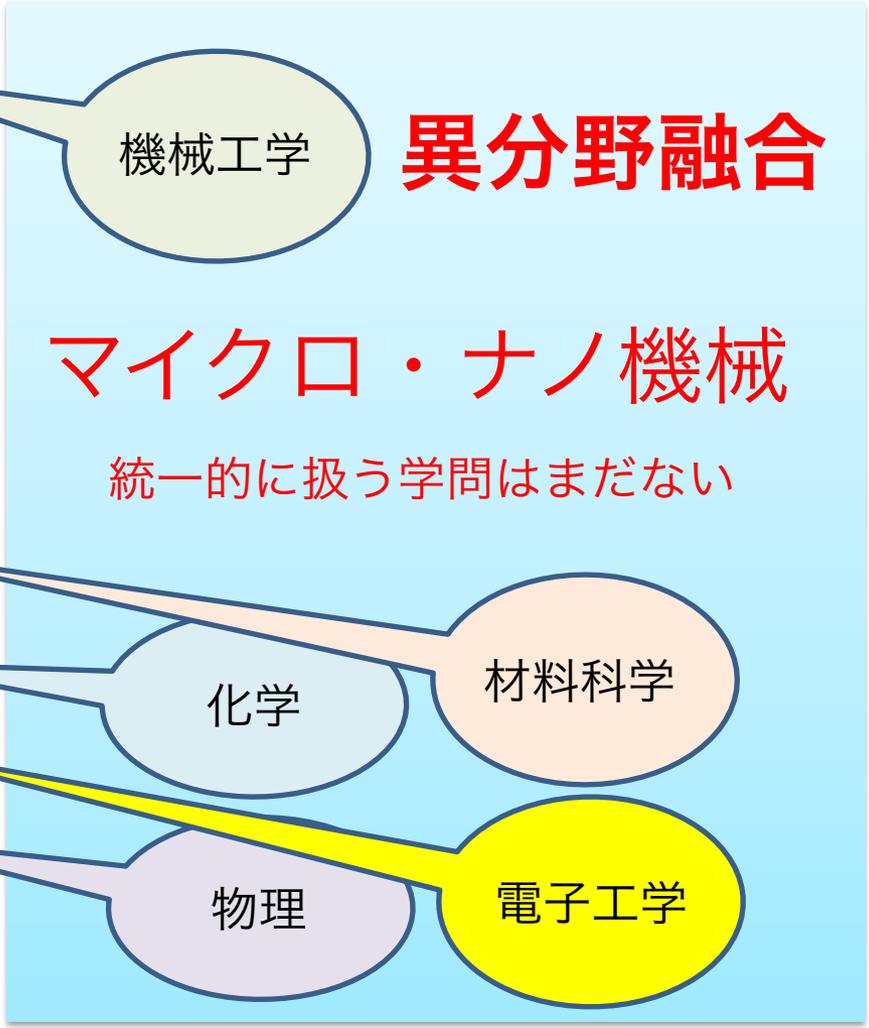
ウイルス：80~120 nm

CNTの直径：数 nm

DNAの直径：約2 nm

酸素原子の直径：約0.3 nm

ミクロ



# 光学顕微鏡でどこまで見えるのか？

髪の毛の直径：約 $100\mu\text{m}$

毛細血管の直径：約 $10\mu\text{m}$

人の赤血球の直径：約 $8\mu\text{m}$

細胞のサイズ： $1\sim 100\mu\text{m}$

ウイルス： $80\sim 120\text{nm}$

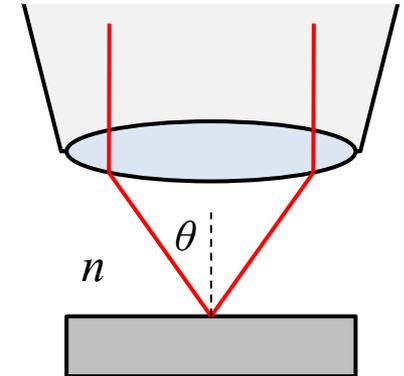
CNTの直径：数 $\text{nm}$

DNAの直径：約 $2\text{nm}$

酸素原子の直径：約 $0.3\text{ nm}$



[https://www.material.t.u-tokyo.ac.jp/dl/pamphlet2021\\_pc.pdf](https://www.material.t.u-tokyo.ac.jp/dl/pamphlet2021_pc.pdf) 2023.5.17



$$\text{分解能} = \frac{0.61\lambda}{n \sin \theta}$$

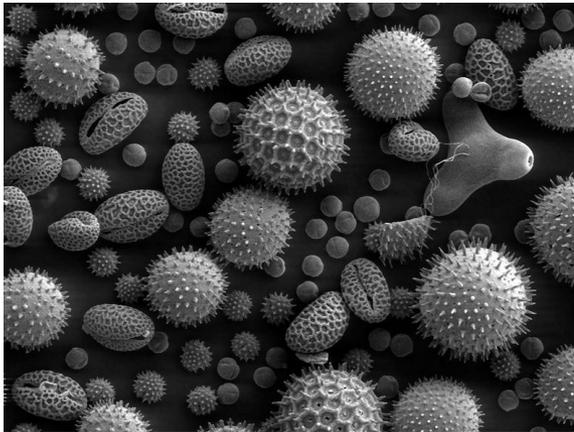
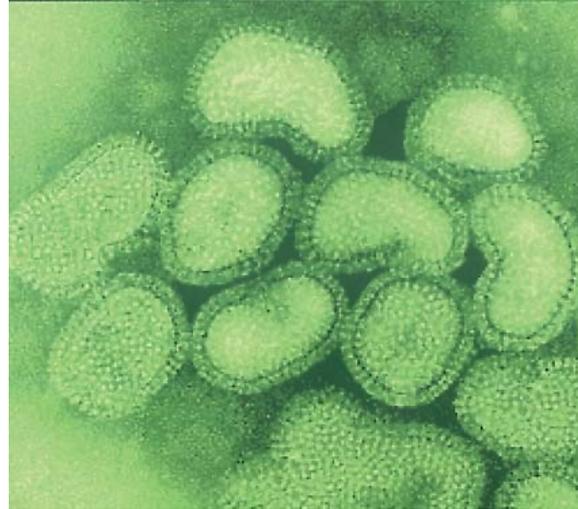
光の波長  
屈折率  
光の入射角

分解能 200nm程度

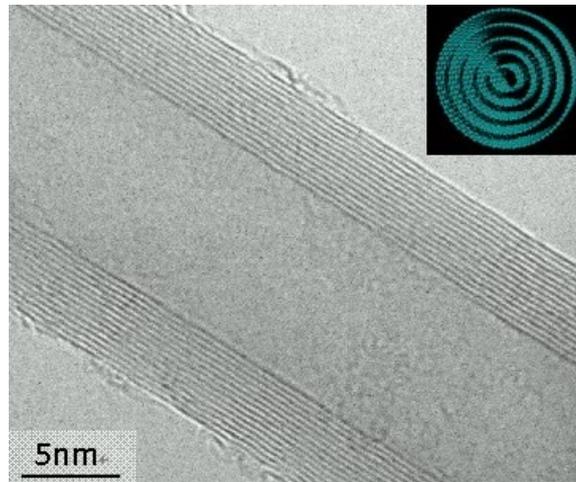
# 電子顕微鏡で見えるもの

<https://health.uct.ac.za/medical-virology/teaching/influenza-virus> 2023.5.17

著作権の都合により  
画像を削除しました



Wikipedia



[http://endomoribu.shinshu-u.ac.jp/works1\\_2.html](http://endomoribu.shinshu-u.ac.jp/works1_2.html) 2023.5.17

こちらもおすすめ 

<https://youtu.be/GY9IfO-tVfE>

# 原子間力顕微鏡

## Atomic Force Microscope

著作権の都合により  
画像を削除しました

著作権の都合により  
画像を削除しました

### ナノ加工

- ✓ マイクロマシニング  
(微細加工技術)  
先端径：数 nm

### ナノ制御

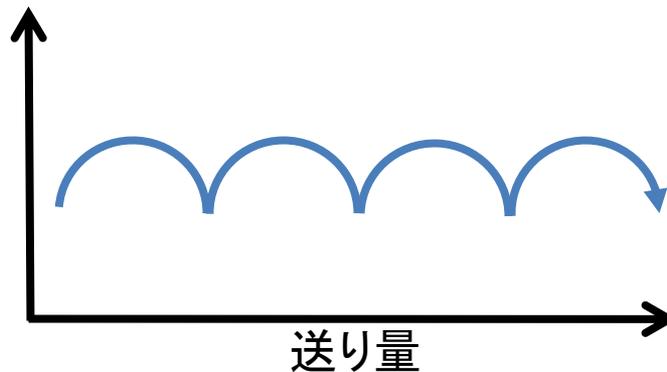
- ✓ 高精度な位置決め  
( piezoelectric actuator )  
分解能：0.1 nm以下

### ナノ計測

- ✓ 高感度な変位センサ  
( optical lever method )  
分解能：0.1 nm以下

著作権の都合により  
画像を削除しました

プローブ変位  
( ⇄ 表面の凹凸 )



# 情報社会を支える マイクロ・ナノ機械

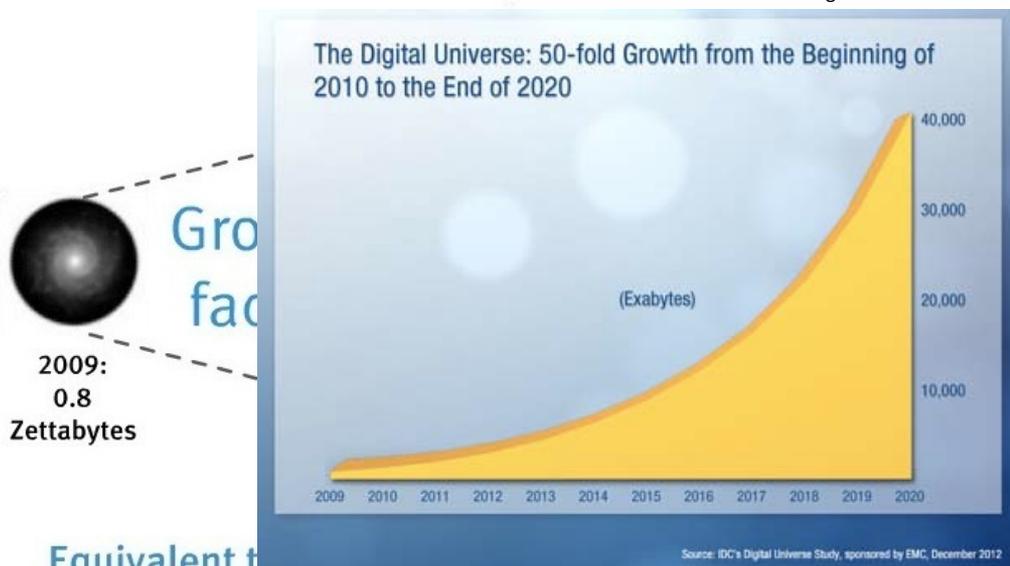
- データストレージ  
(情報記録)
- MEMS

# デジタルユニバース

## 情報爆発時代の到来

### The Digital Universe 2009 to 2020

IDC "The Digital Universe in 2020"



Equivalent to the distance from the moon and back, now reaching halfway to Mars by 2020

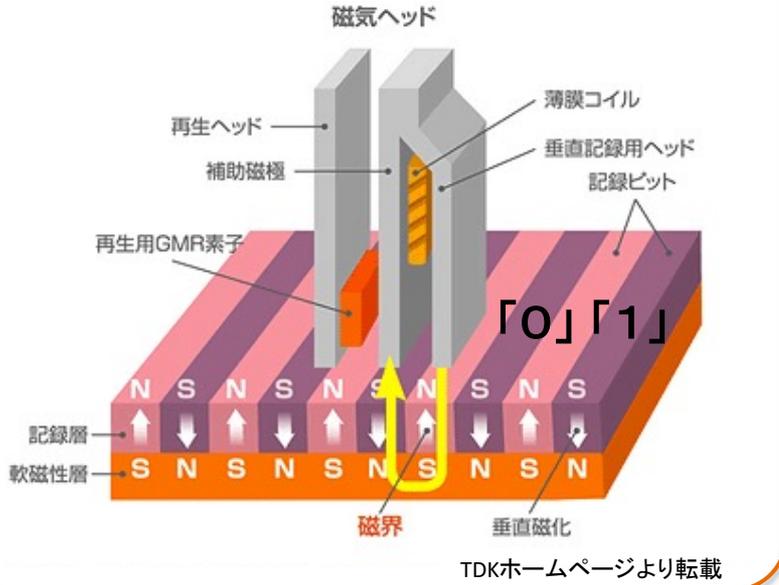
©EMC

$10^{24}$	ヨタ (yotta)	Y
$10^{21}$	ゼタ (zetta)	Z
$10^{18}$	エクサ (exa)	E
$10^{15}$	ペタ (peta) P	
$10^{12}$	テラ (tera) T	
$10^9$	ギガ (giga) G	
$10^6$	メガ (mega)	M
$10^3$	キロ (kilo) k	
$10^2$	ヘクト (hecto)	h
$10^1$	デカ (deca)	da
$10^0$		
$10^{-1}$	デシ (deci)	d
$10^{-2}$	センチ (centi)	c
$10^{-3}$	ミリ (milli) m	
$10^{-6}$	マイクロ (micro)	$\mu$
$10^{-9}$	ナノ (nano)	n
$10^{-12}$	ピコ (pico) p	
$10^{-15}$	フェムト (femto)	f
$10^{-18}$	アト (atto) a	
$10^{-21}$	ゼプト (zepto)	z
$10^{-24}$	ヨクト (yocto)	y

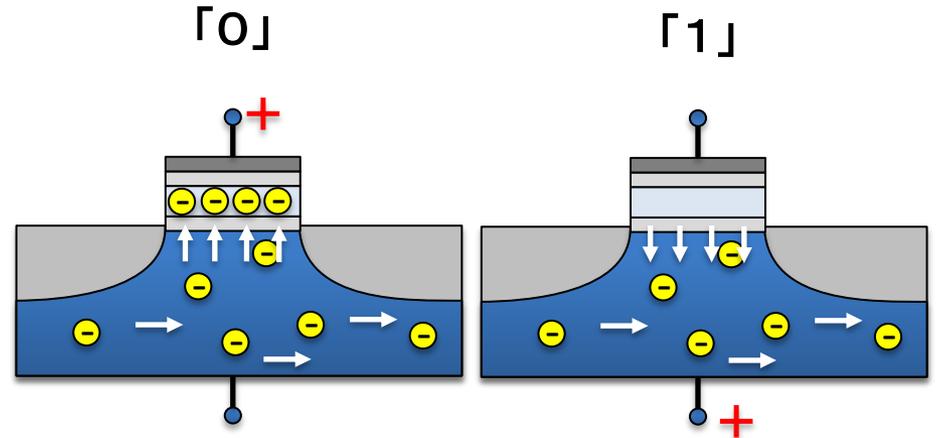
情報量は膨張し続ける (永久に?)

# デジタルデータ保存

## 磁石の向き (HDD)

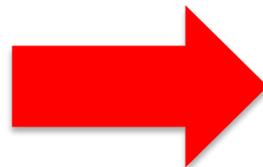


## 電子の有 or 無 (SSD)



## 記録デバイスへの要求

- ・小型化
- ・大容量化



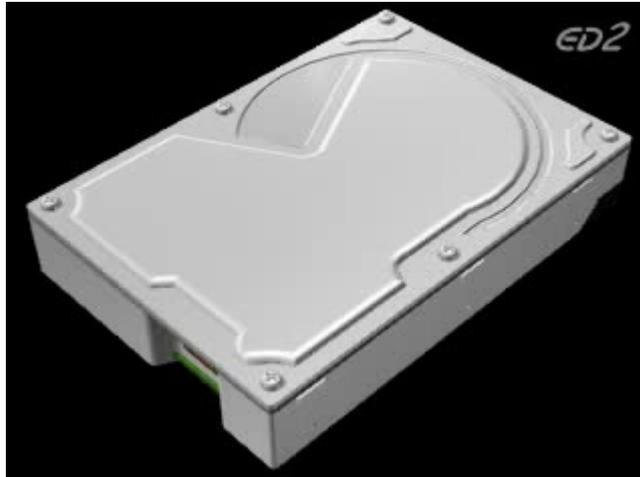
1ビットを保存する素子は  
約10 ~ 100 nmまで微小化

ナノレベルのものづくり

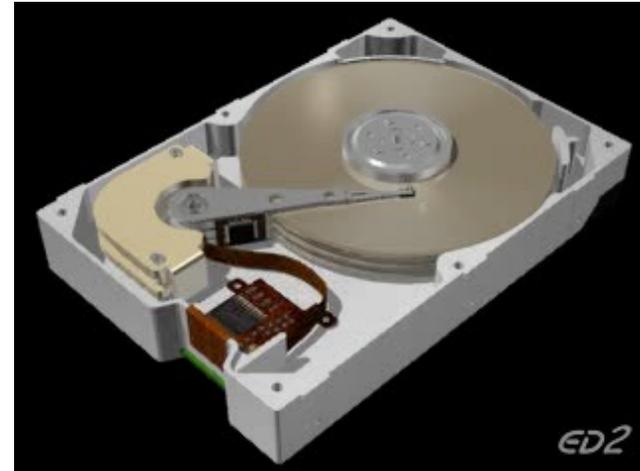
# 磁気記録装置

# Hard Disk Drive

全体構成



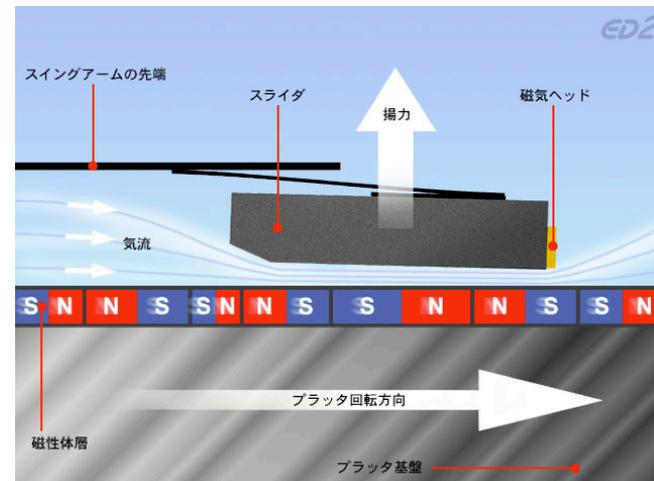
書き込み



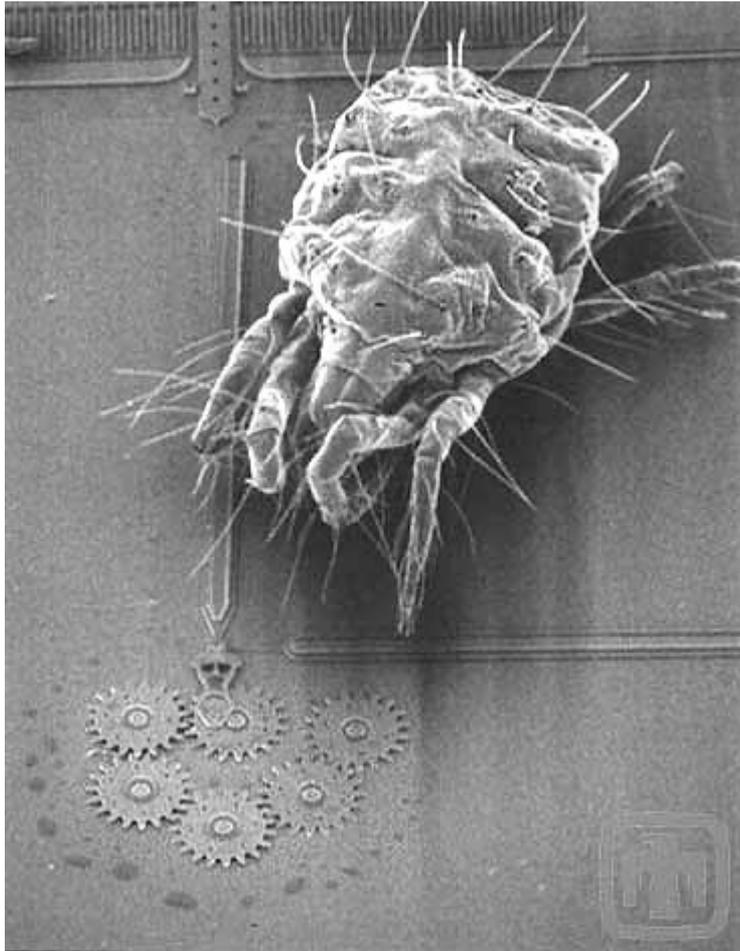
読み出し



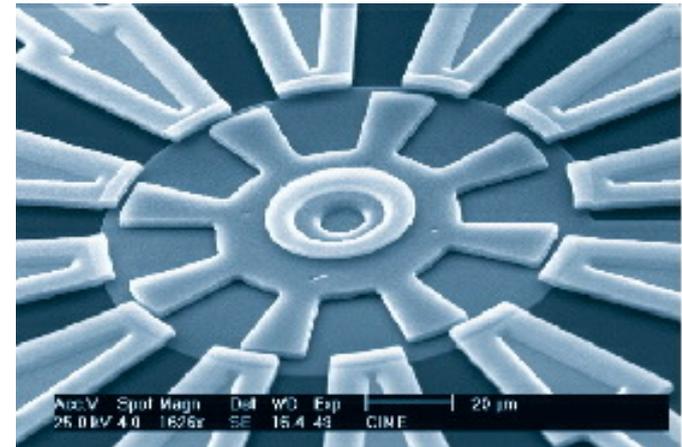
ヘッド・ディスク・インタフェース



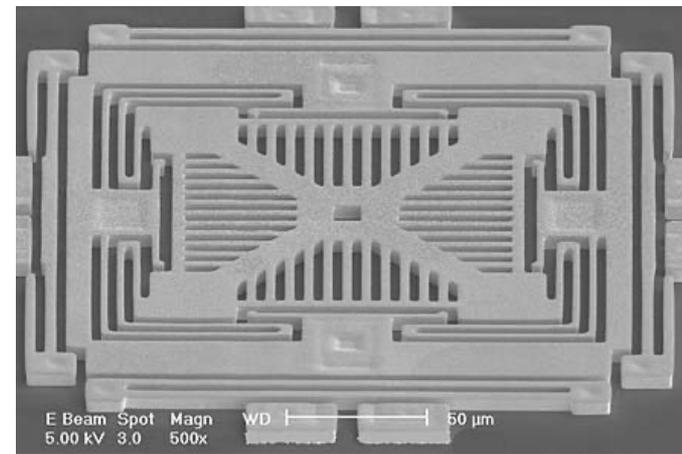
# Micro Electrical Mechanical System (MEMS)



<https://www.sandia.gov/app/uploads/sites/145/2021/11/4.jpg> 2023.5.17



[https://wps.prenhall.com/chet\\_lockhart\\_engineer\\_1/42/10875/2784049.cw/content/index.html](https://wps.prenhall.com/chet_lockhart_engineer_1/42/10875/2784049.cw/content/index.html) 2023.5.2



©IC Mechanics

# MEMSのアプリケーション

<https://www.eeweb.com/smallest-location-placing-solution/> 2023.5.17

<https://av.watch.impress.co.jp/docs/20050802/plus.htm> 2023.5.17

[https://www.supercars.net/blog/2006-volkswagen-golf-r32/2006\\_volkswagen\\_golfr32/](https://www.supercars.net/blog/2006-volkswagen-golf-r32/2006_volkswagen_golfr32/) 2023.5.17



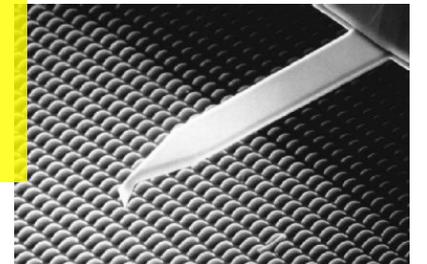
<https://www.canondrivers.net/canon-pixma-ip3600-driver/> 2023.5.17

パナソニック LUMIX LX3 コンパクトデジタルカメラ

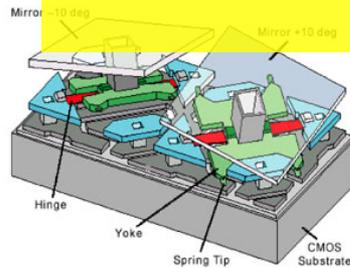
©Nintendo

- ✓ 加速度センサー
- ✓ 圧力センサー
- ✓ ジャイロセンサー
- ✓ 光スイッチ
- ✓ 発振器

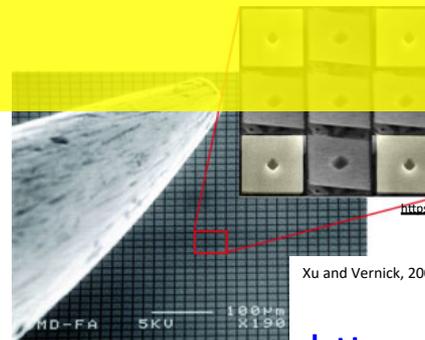
など



©DB HiTek



©テキサス・インスツルメンツ



<https://warwick.ac.uk/fac/sci/physics/current/postgraduate/rees/mpaeswarwick/ex5/techniques/structural/afm/> 2023.5.2

Xu and Vernick, 2006

こちらもおすすめ

<https://youtu.be/iPGpoUN29zk>

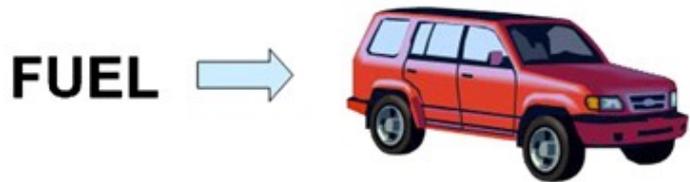
Copyright © 2001-2004 Astrium Corporation

# 情報社会を支える マイクロ・ナノ機械

- データストレージ
- MEMS

**What's next?**

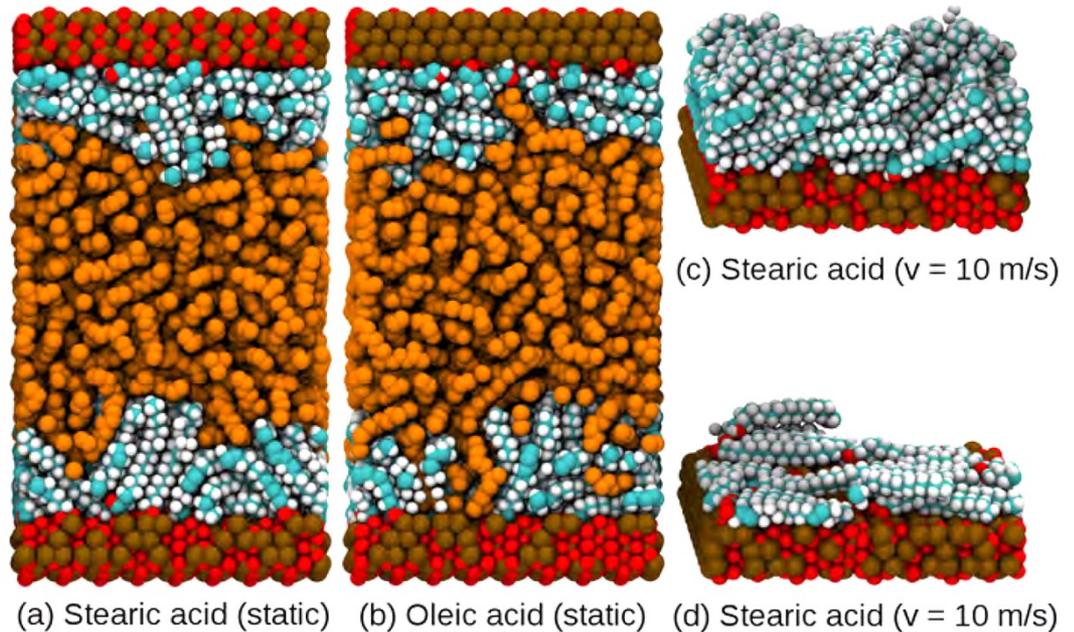
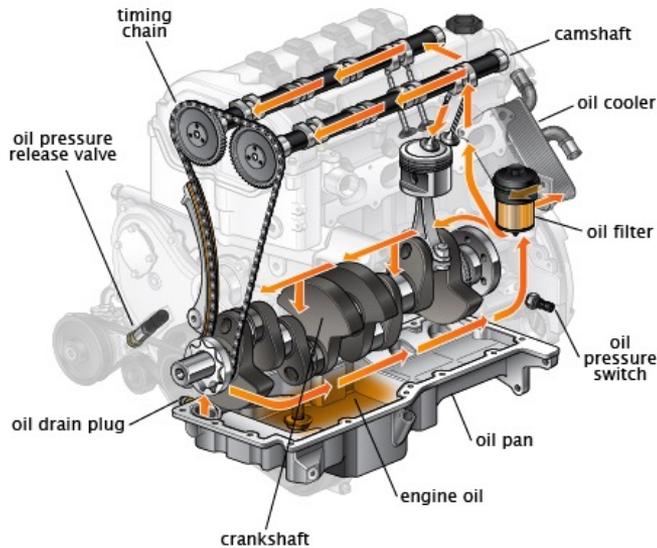
# マクロ機械の性能をミクロで設計



Exhaust 33% => convection of heat and gases  
 Cooling 29% => conduction and dissipation of heat  
 Air drag 5% => gas shear => heat  
Friction 33% => heat & material degradation

- 11 % tires rolling friction
- 5 % braking friction losses
- 17 % engine & transmission friction losses

Holmberg, 2012

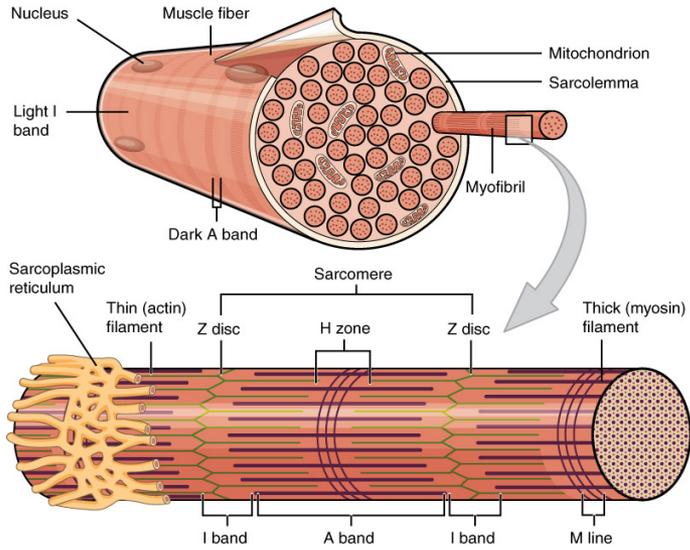


Doig, M., Warrens, C.P., & Camp, P.J. (2014). Structure and friction of stearic acid and oleic acid films adsorbed on iron oxide surfaces in squalane. *Langmuir: the ACS journal of surfaces and colloids*, 30 1, 186-95.

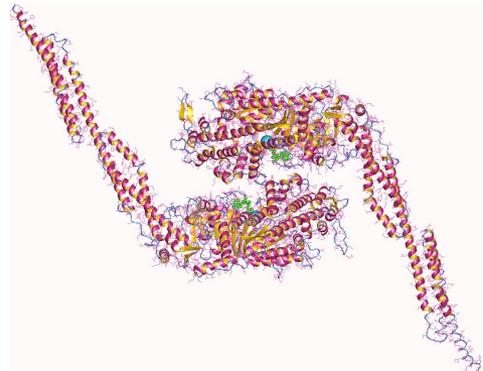
image courtesy of [ClearMechanic.com](http://ClearMechanic.com)

# ナノマシンの可能性

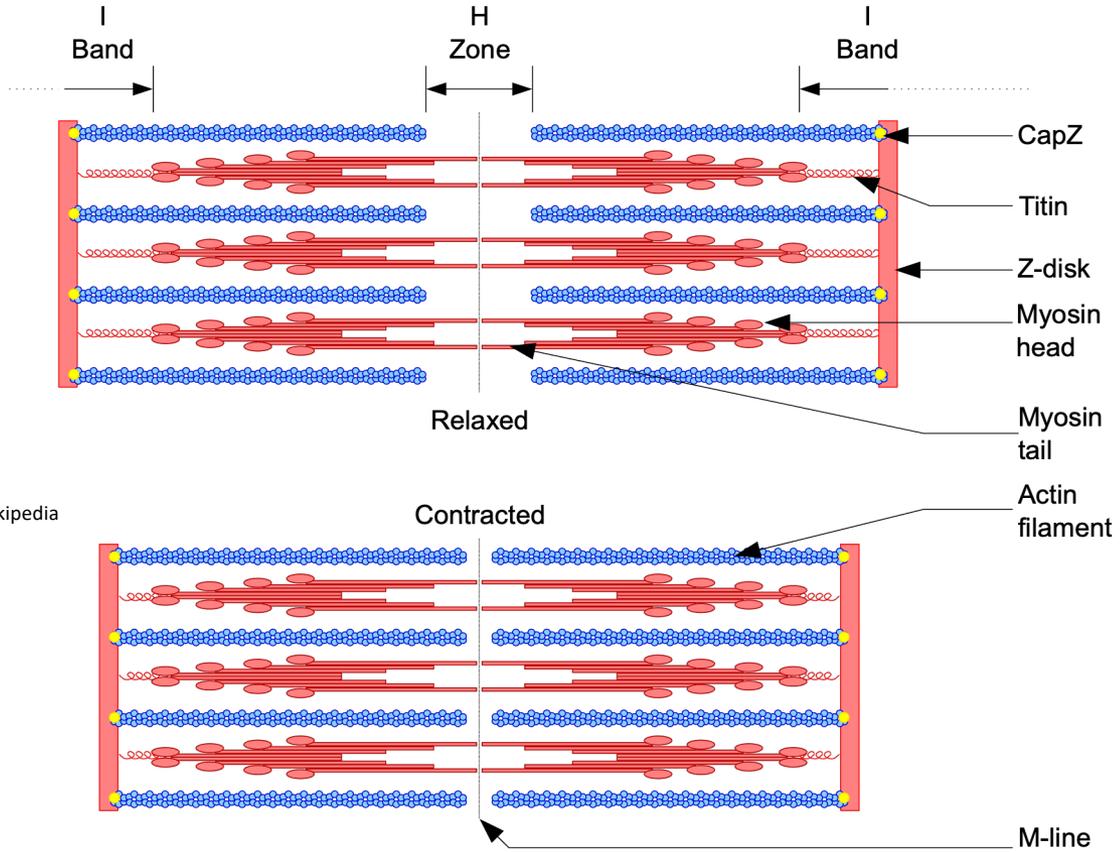
## 筋肉



Wikipedia



Wikipedia



Wikipedia