

クレジット:

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017 北森武彦

ライセンス:

利用者は、本講義資料を、教育的な目的に限ってページ単位で利用することができます。特に記載のない限り、本講義資料はページ単位でクリエイティブ・コモンズ 表示-非営利-改変禁止 ライセンスの下に提供されています。

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

本講義資料内には、東京大学が第三者より許諾を得て利用している画像等や、各種ライセンスによって提供されている画像等が含まれています。個々の画像等を本講義資料から切り離して利用することはできません。個々の画像等の利用については、それぞれの権利者の定めるところに従ってください。



学術俯瞰講義

2017年度 S semester 主題科目/学術フロンティア講義 2単位 1、2年生対象

工学とは

コーディネータ・ナビゲータ：北森武彦、光石 衛、小関敏彦(工学部)

<講義概要>

この講義は「工学とは?」の問いかけに始まり「工学とは」の答えに終わることを目標とする。どこの大学にも有り高校までに習うことのない「工学」とはいったいどのような学問なのか。学ぶ方も教える方もわかっていそうでもない「工学」について、具体的な別から俯瞰してみよう。

講義期間：4月10日～7月10日

北森武彦 (工学部)

- ・序1：学問と組織(工学と工学部)
- ・序2：学問と社会(震災と工学)
- ・私の工学：液体の集積回路を創ると?

吉村忍 (工学部)

- ・工学教育の体系：シリーズ東京大学工学教程

Dario Gil (IBM Research, Vice President)

- ・学問と産業の急接近：情報社会を創る工学

合原一幸 (生物制御研究所)

- ・情報社会の工学1：ソフト(脳型コンピューター)

古澤明 (工学部)

- ・情報社会の工学2：ハード(量子コンピューター)

藤田香織 (工学部)

- ・歴史と文化と工学：伝統的な木造建築と地震

小関敏彦 (工学部)

- ・環境・安全と工学：移動体における材料工学
- ・持続可能社会と工学：エネルギー、インフラと材料工学

光石衛 (工学部)

- ・医療と工学：医療用ロボット工学
- ・工学とは何か。

駒場キャンパス 21 KOMCEE West 月曜日 5時限 (06:50-18:35)
レクチャーホール

<http://www.gfk.c.u-tokyo.ac.jp/>



学術俯瞰講義 工学とは

北森武彦(工学部)	序1:学問と組織(工学と工学部)	4月10日
	序2:学問と社会(震災と工学)	4月17日
	私の工学:液体の集積回路を創ると?	5月 1日

吉村忍(工学部)	工学教育の体系:シリーズ東京大学工学教程	4月24日

合原一幸(生産技術研究研)	情報社会の工学1:ソフト(脳型コンピューター)	5月 8日

Dario Gil (IBM Research)	学問と産業の急接近:情報社会を創る工学 Novel Engineering opening Information Society	5月15日

古澤明(工学部)	情報社会の工学2:ハード(量子コンピューター)	5月22日

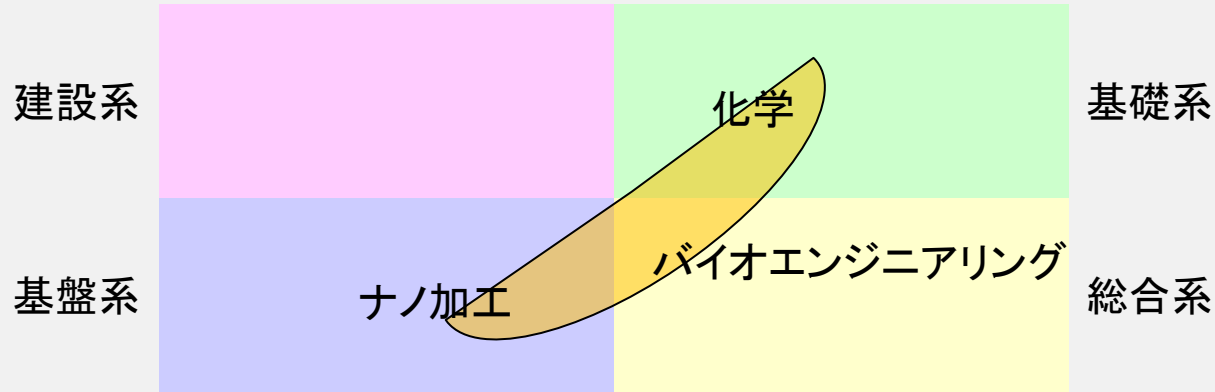
藤田香織(工学部)	歴史と文化と工学:伝統的な木造建築と地震	6月 5日

小関敏彦(工学部)	環境・安全と工学:移動体における材料工学	6月12日
	持続可能社会と工学:エネルギー、インフラと材料工学	6月19日

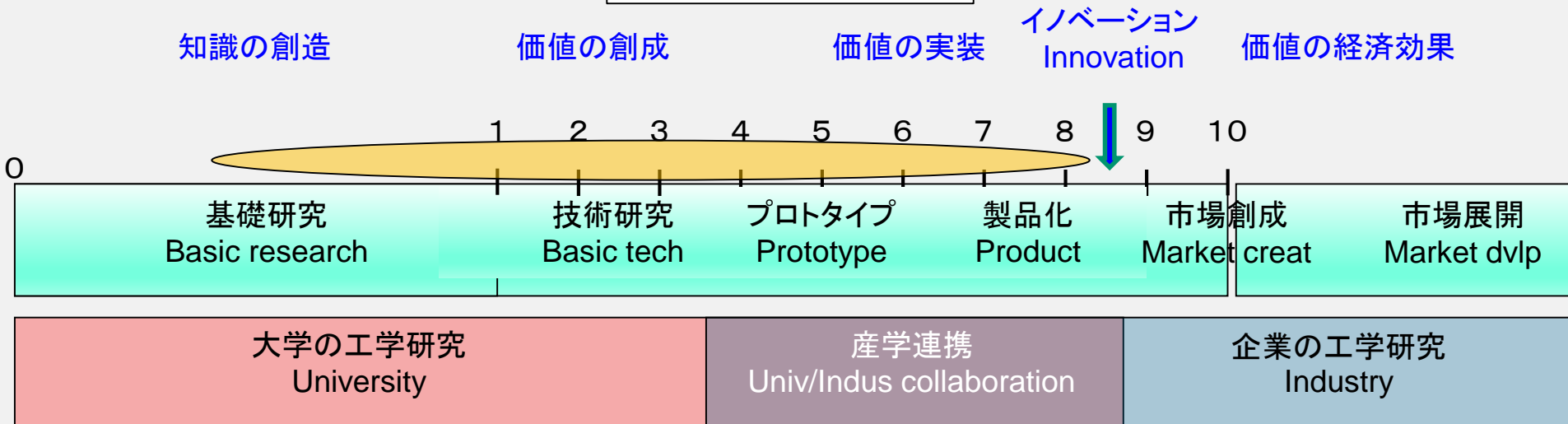
光石衛(工学部)	医療と工学:医療用ロボット工学	6月26日
	工学とは何か。	7月 3日

今日の工学の講義はどこに位置する？

工学研究(教育)の分野

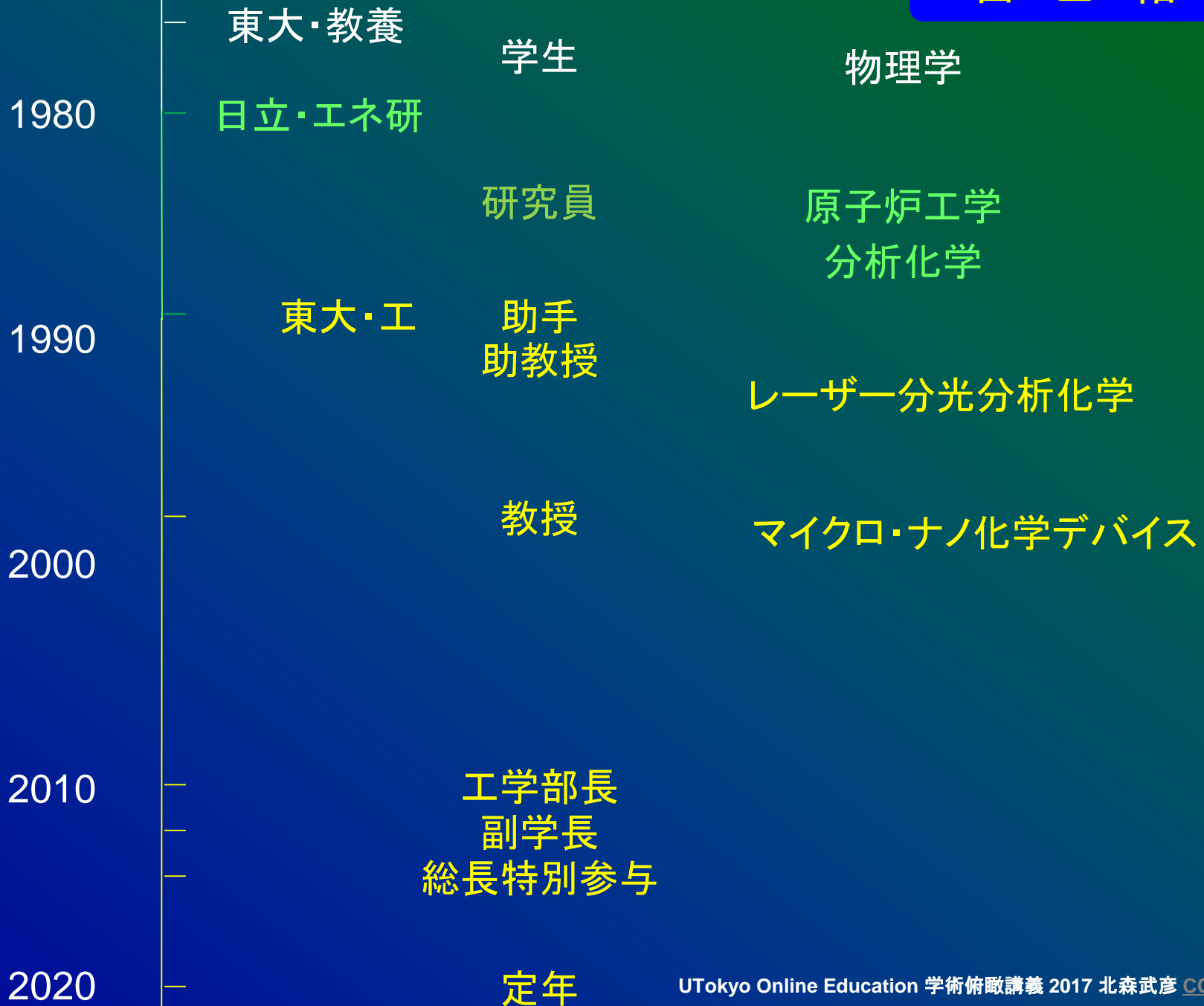


工学研究のフェイズ



講義の内容

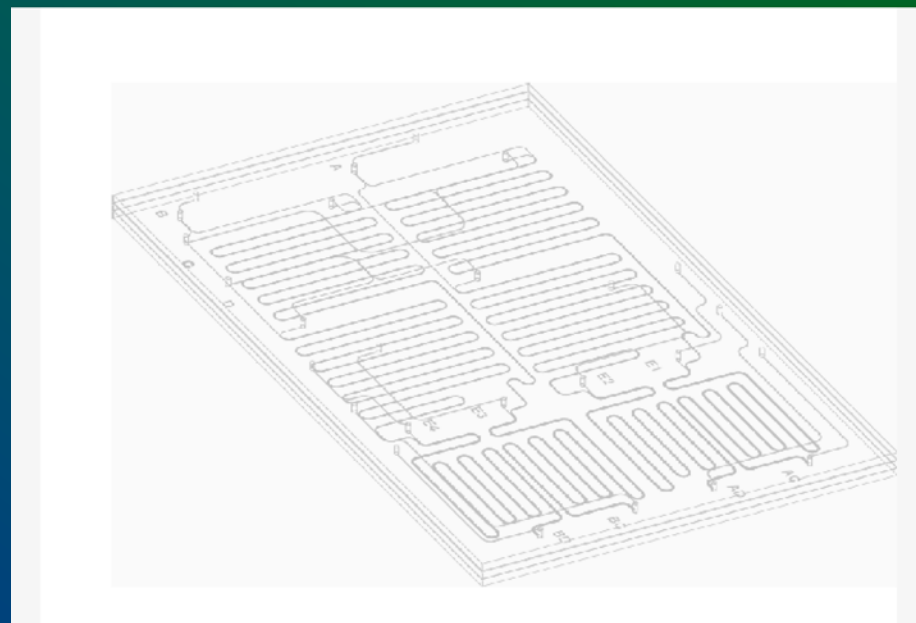
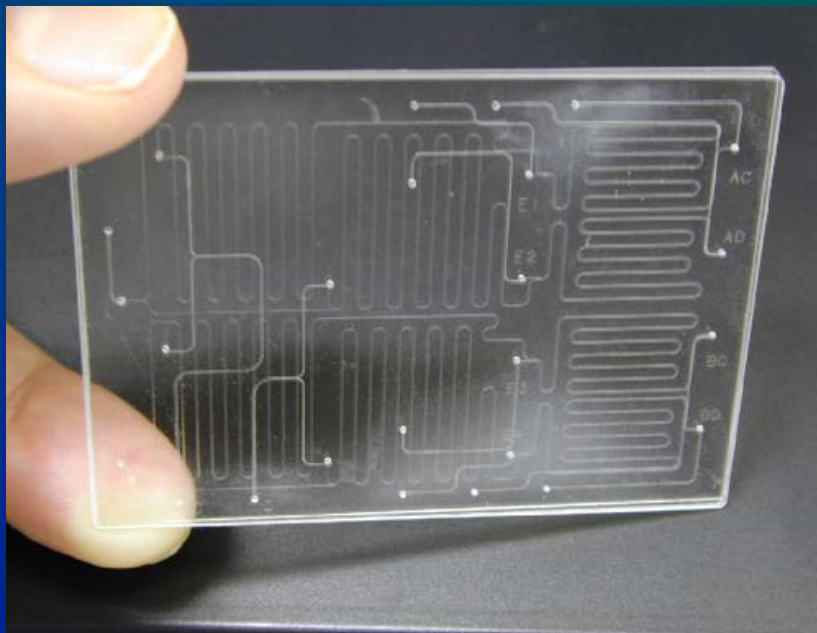
1) 自己紹介



講義の内容

- 1) 自己紹介
- 2) マイクロ・ナノ流体工学 **Micro/Nano Fluidics**

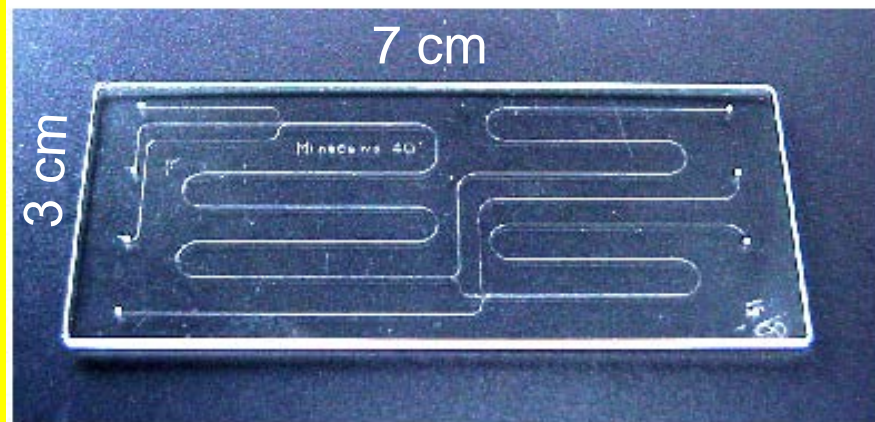
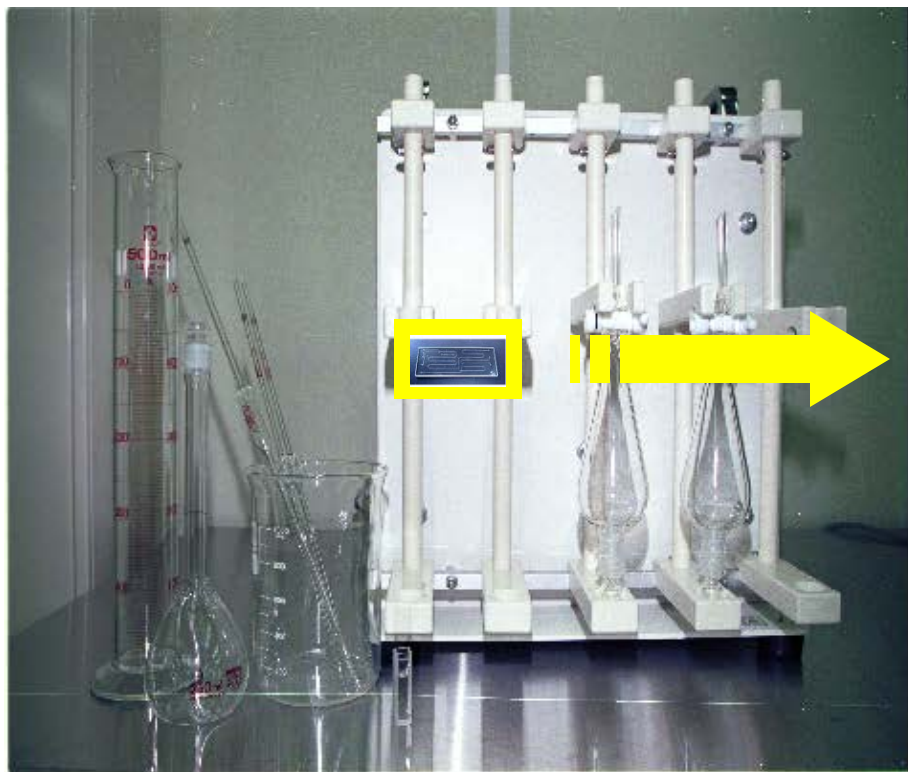
私たちの研究： 液体の集積回路を創った —マイクロ流体デバイス—



液体の回路に薬品を流し化学反応させる → 化学実験装置が小さいチップに

早い 安い 簡単 誰でも使える → エレクトロニクスと同じ技術革新

環境水中の重金属汚染分析チップ

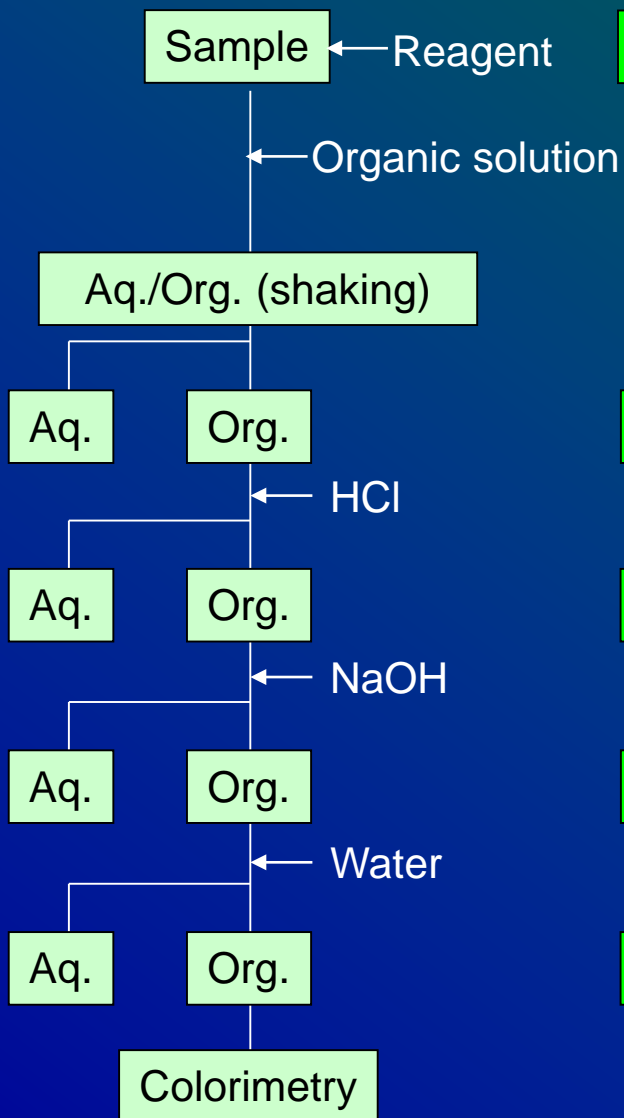


- ▷ 分析時間 : 3 ~ 4 時間 → 50 秒
- ▷ 試料・薬品量 : 1 kg → 1 μ g (十億分の一)
- ▷ 感度 : 1000 倍高感度

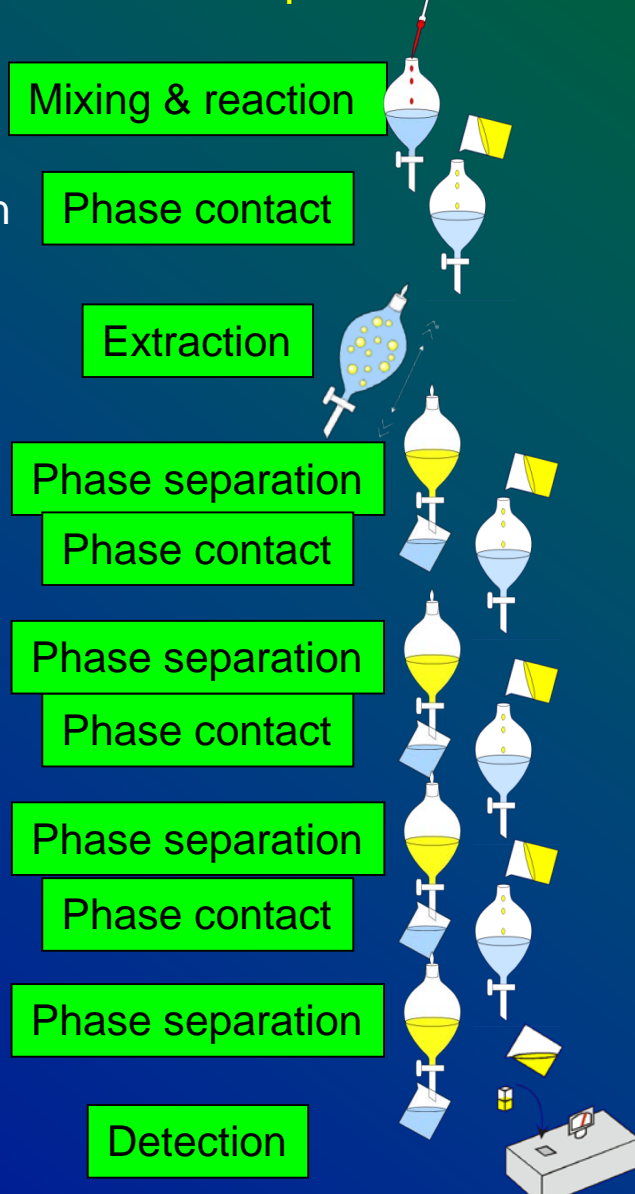
水の中の重金属の分析法

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017 北森武彦 CC BY-NC-ND

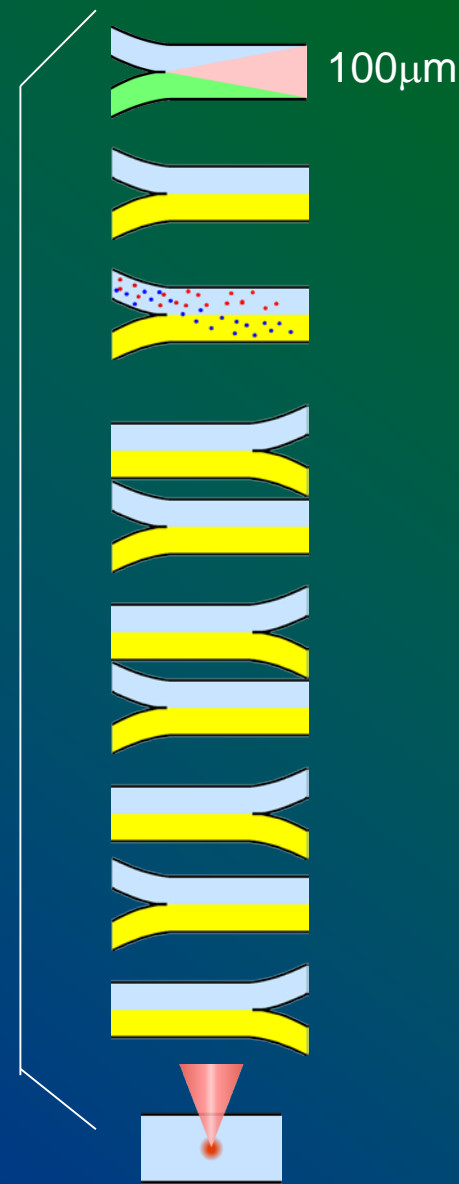
Experimental procedure



Unit operation



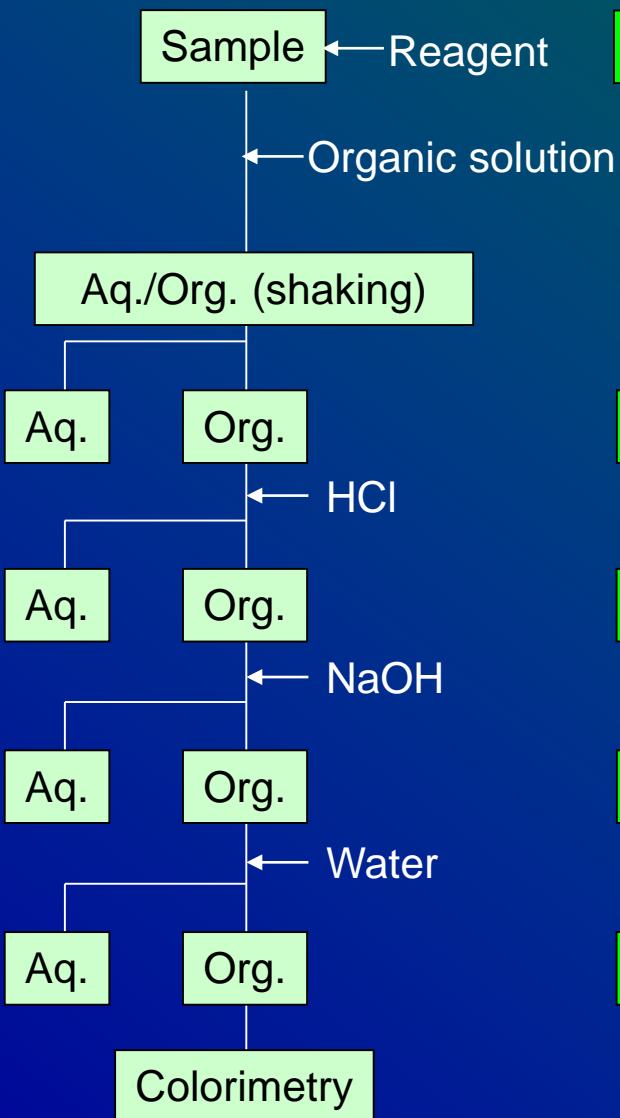
MUO



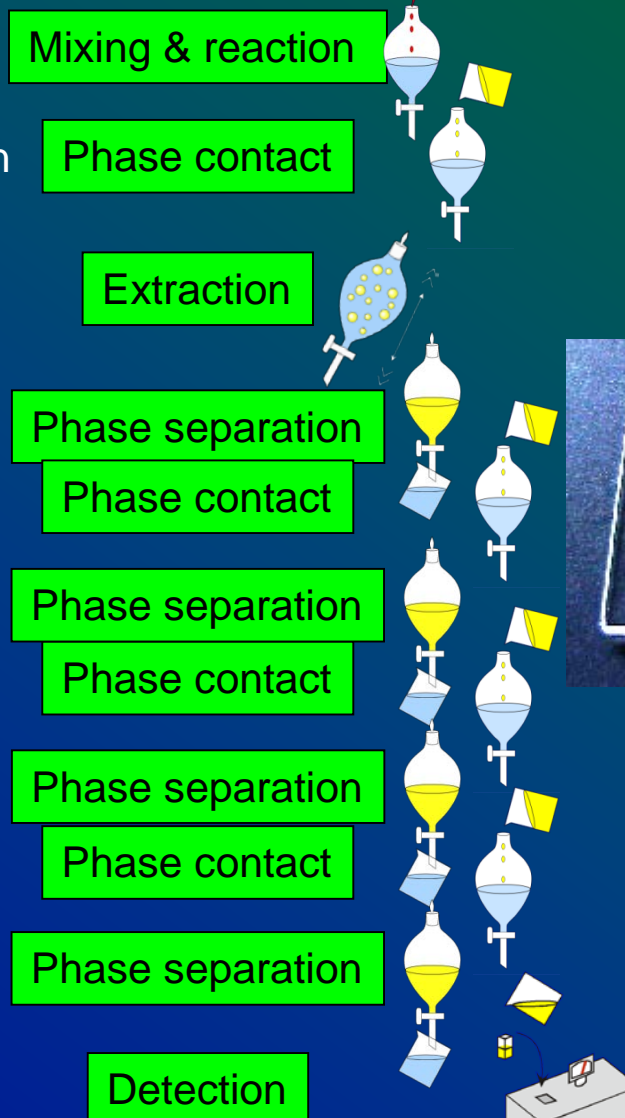
水の中の重金属の分析法

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017 北森武彦 CC BY-NC-ND

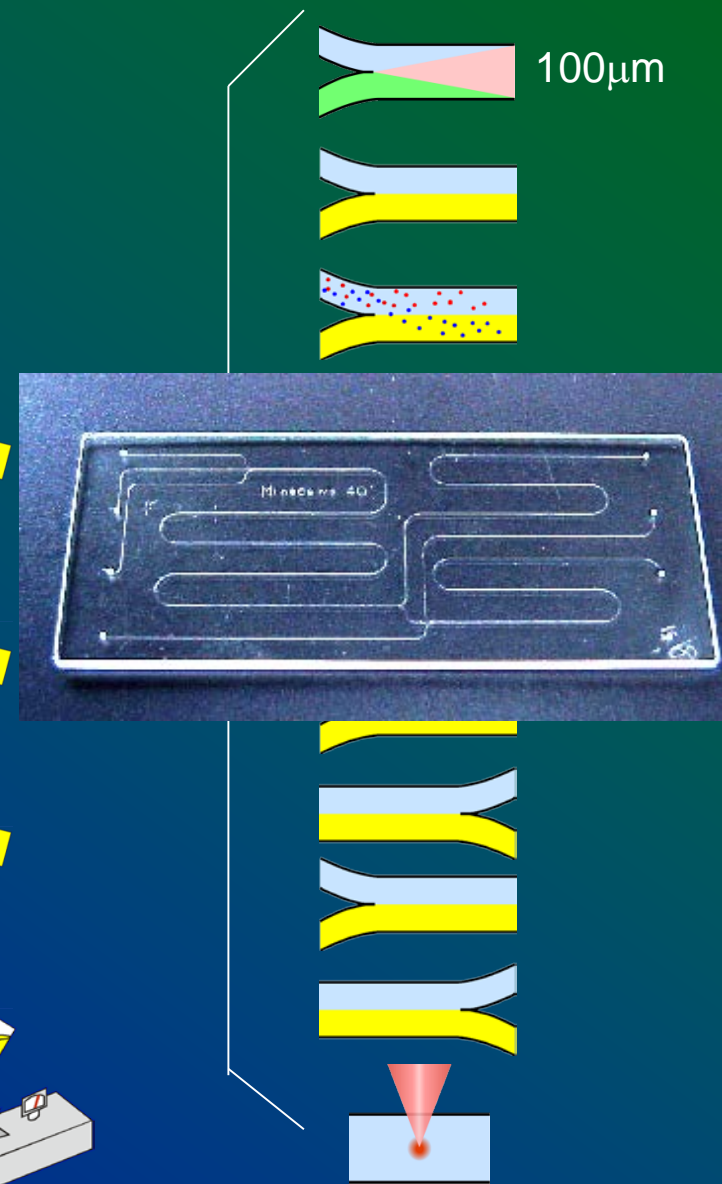
Experimental procedure



Unit operation



MUO



集積化の基本コンセプト

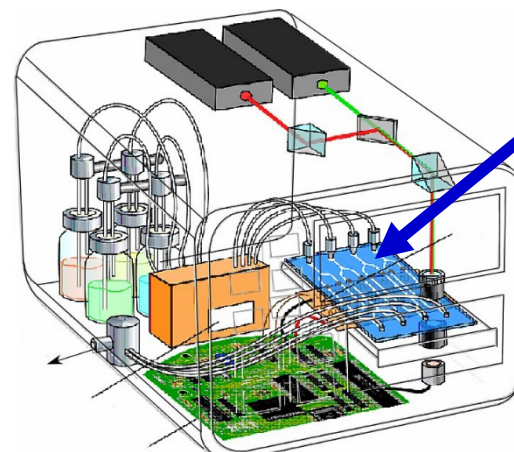
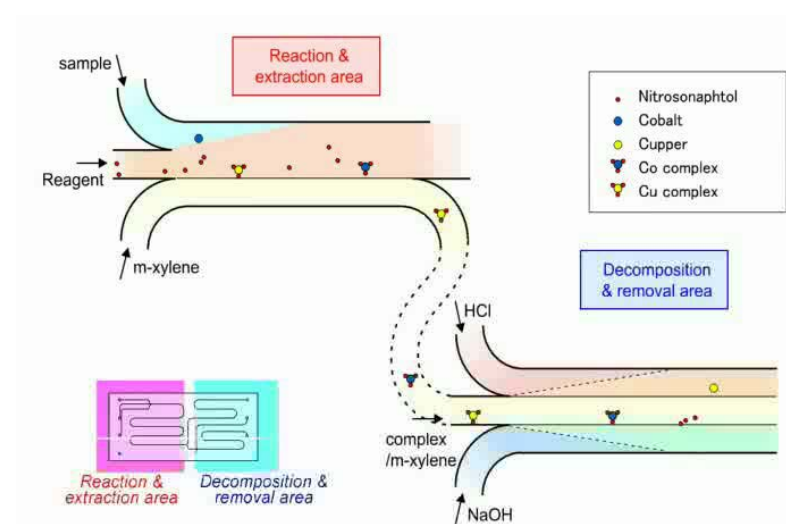
マイクロ単位操作 (MUO) と連続流化学プロセス (CFCP)

マイクロ単位操作 (MUO)

連続流化学プロセス (CFCP)

液液	相合流 	相分離 	
	混合・反応 	分子輸送・溶媒抽出 	
気液	相合流 	気液分離 	蒸発・濃縮
気液	気液反応 	ガス吸収・濃縮 	気泡除去
	蒸溜 	凝縮 	
固液	カラム分離 	膜分離 	分子捕捉・固相抽出
その他	加熱 	細胞培養 	

▶ マイクロ多相流によるMUOの自由な組合せ



マイクロチップ
= 化学CPU

集積化の基本コンセプト

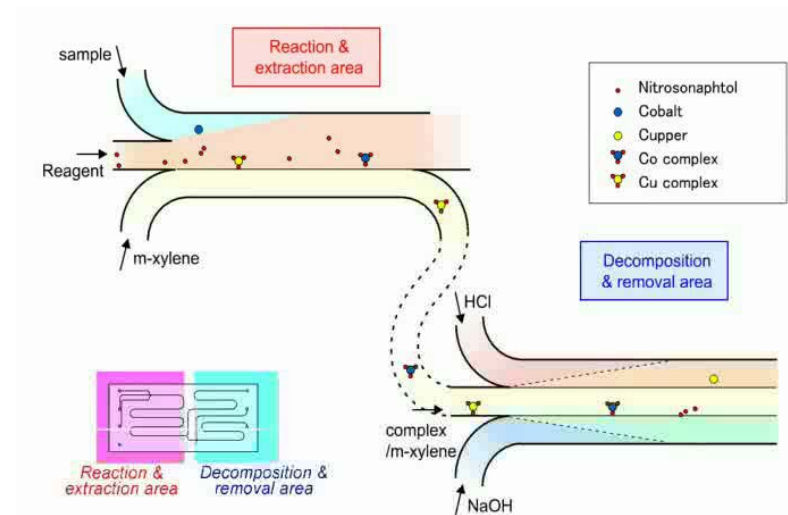
マイクロ単位操作 (MUO) と連続流化学プロセス (CFCP)

マイクロ単位操作 (MUO)

連続流化学プロセス (CFCP)

液液	相合流 	相分離 	
	混合・反応 	分子輸送・溶媒抽出 	
気液	相合流 	気液分離 	蒸発・濃縮
	気液反応 	ガス吸収・濃縮 	気泡除去
	蒸溜 	凝縮 	
固液	カラム分離 	膜分離 	分子捕捉・固相抽出
その他	加熱 	細胞培養 	

▶ マイクロ多相流によるMUOの自由な組合せ



▶ さまざまなマイクロ化学プロセスの実現

- ・医療・診断
- ・環境分析
- ・バイオ分析
- ・覚醒剤分析
- ・医薬品合成
- ・化粧品合成
- ・微粒子合成

エレクトロニクスとマイクロ化学チップとの類似性

エレクトロニクス

ICチップの部品 = 抵抗・コンデンサー・ダイオード

コンピューター



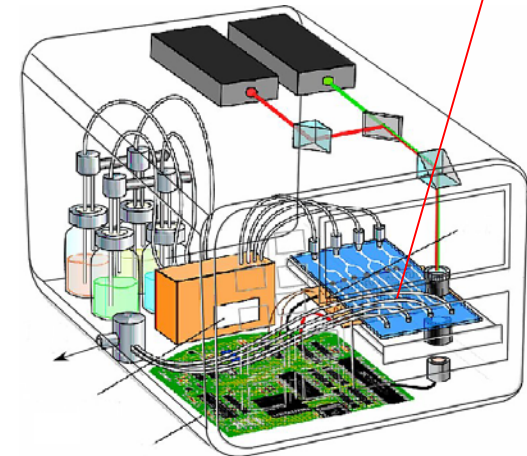
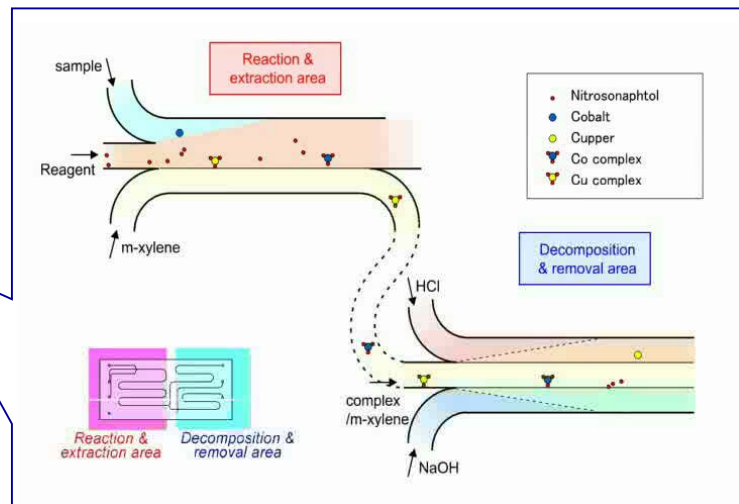
IC



CPU

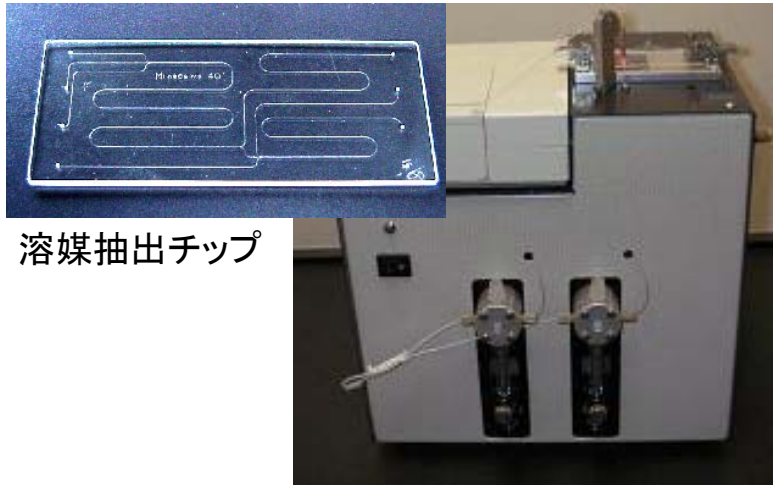
マイクロ化学チップ

反応, 抽出, 蒸留, 精製, ...



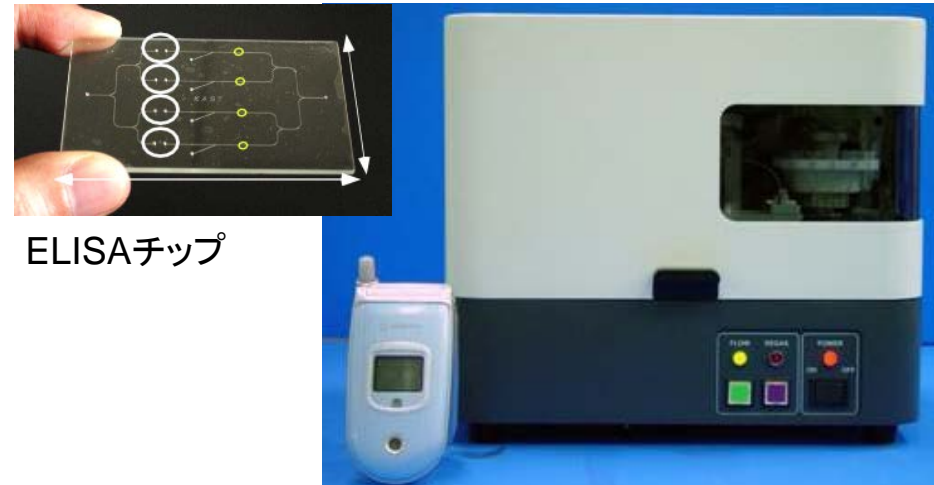
マイクロ化学チップとシステムの例

環境分析システム



溶媒抽出チップ

免疫分析システム



ELISAチップ

マイクロ免疫分析装置 (μ -ELISA)

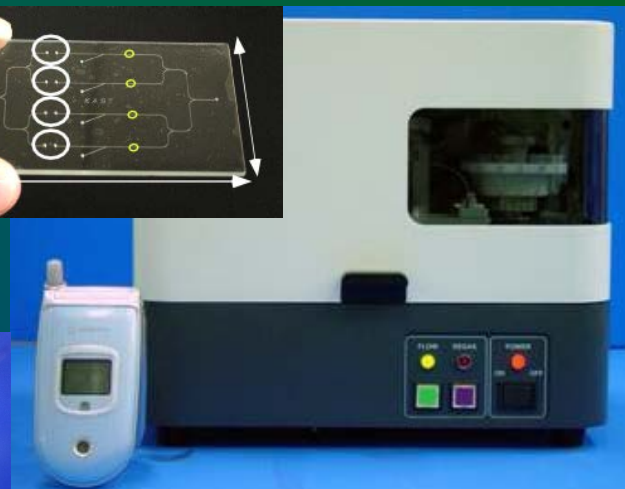
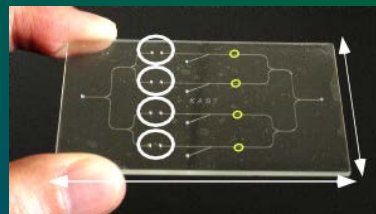
(腫瘍、アレルギー、心筋梗塞、肝炎、覚醒剤、その他)

従来の免疫分析装置



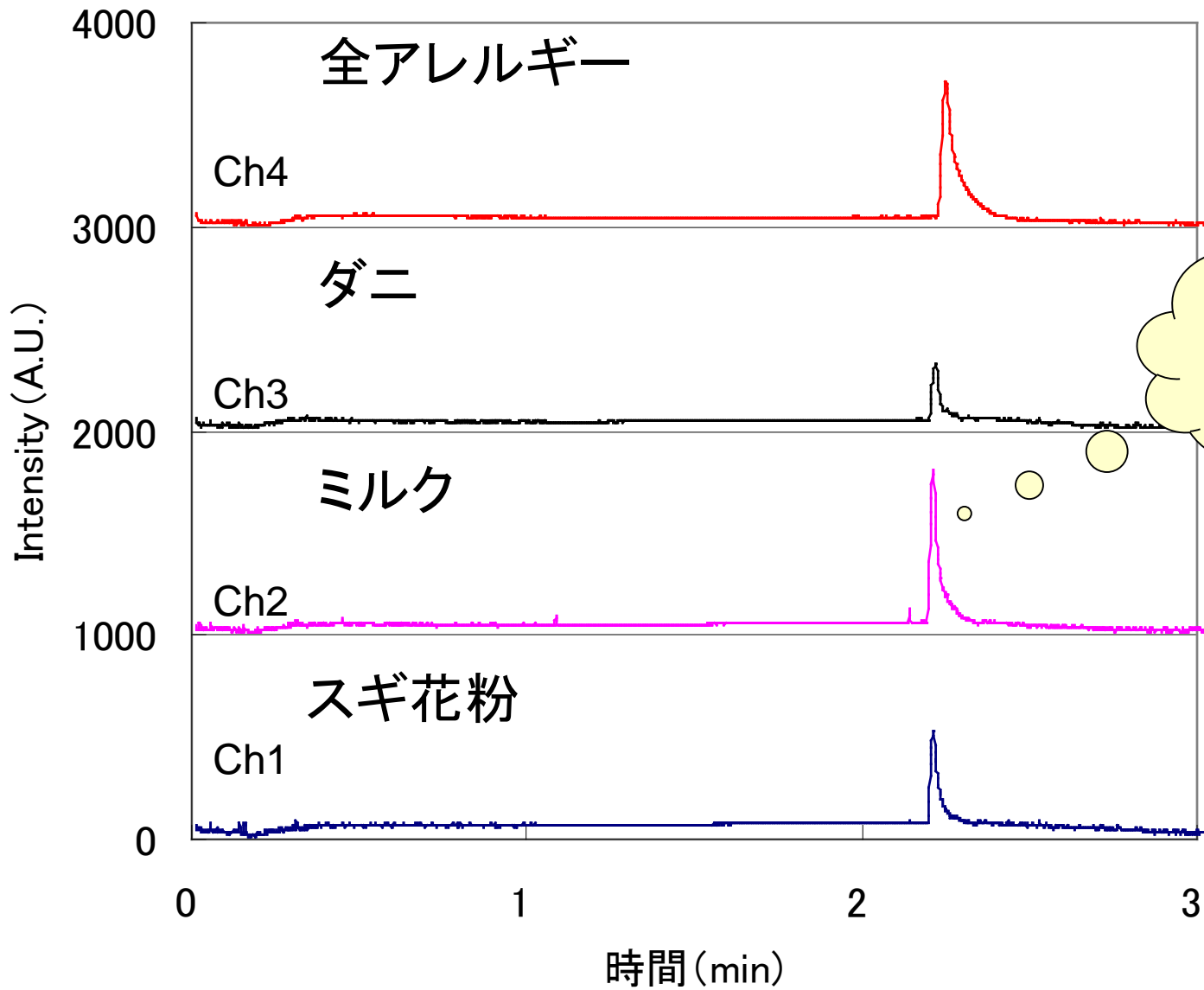
幅 1m超・重さ 200kg程度

マイクロ免疫分析装置



・試料量	: mL	→	μ L	無痛
・分析時間	: 日, 時間	→	分, 秒	待ち無し
・操作	: 専門技術者	→	非専門家	誰でも
・価格	: 数千万円	→	目標100万円	
・ユーザー	: 巨大病院・分析会社	→	小病院・家庭	パーソナル化

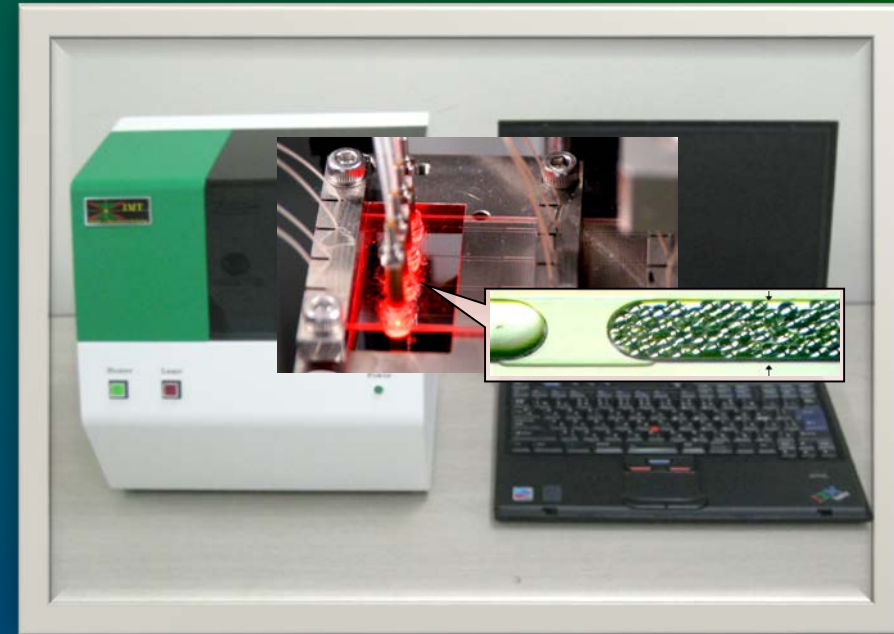
臨床実験結果の一例



この人、
ミルクは
ダメ！

Microfluidics-chip Installed ELISA System

The University of Tokyo Hospital



- Rapidly, Flexibility, and Easy operation comparing to →
- Immunology, nephrology, cardiology, EMS
- Saving life of several patients

著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を
削除しました。

日立ハイテクノロジーズ
自動分析装置 LABOSPECT 008

Example

Anti-MDA5 antibody detection in human serum



UTokyo Online Education 學術俯瞰講義 2017 北森武彦 CC BY-NC-ND

Prof. Yoshizaki in Dermatology

5月1日現在、論文執筆中

Anti-MDA5 antibody (+)



Anti-MDA5 antibody (-)



■ Without medical treatment

- (1) Leading to Progressive interstitial pneumonia (70 %)
- (2) Leading to death (30 %)

■ Medical treatment

Giving very strong immunosuppressant drug
(serious side effects)

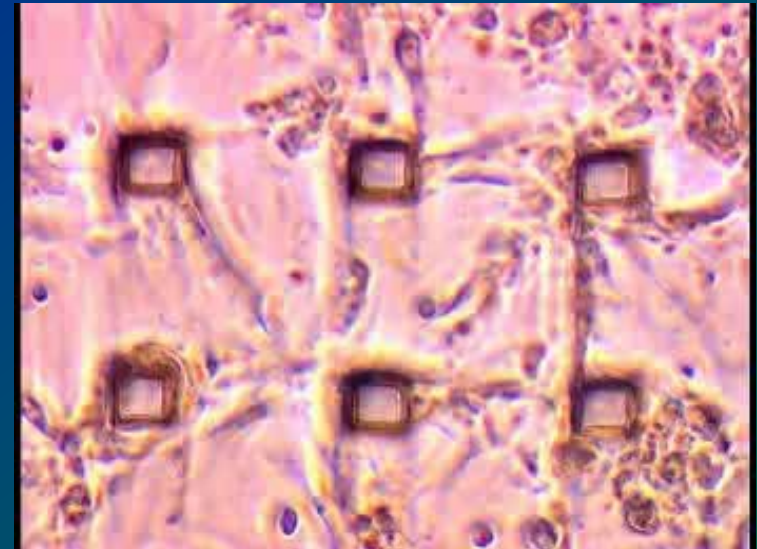
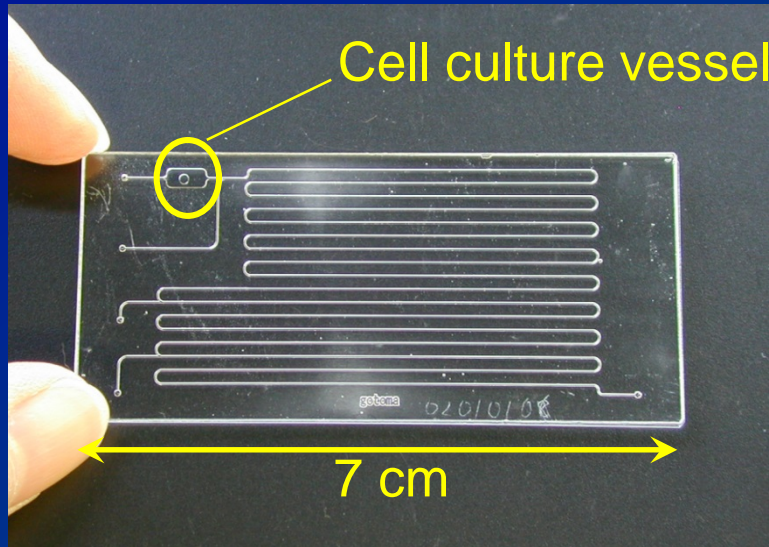
Requirement of sensitive analysis of anti-MDA5 antibody

Precise Medical Treatment with micro-ELISA

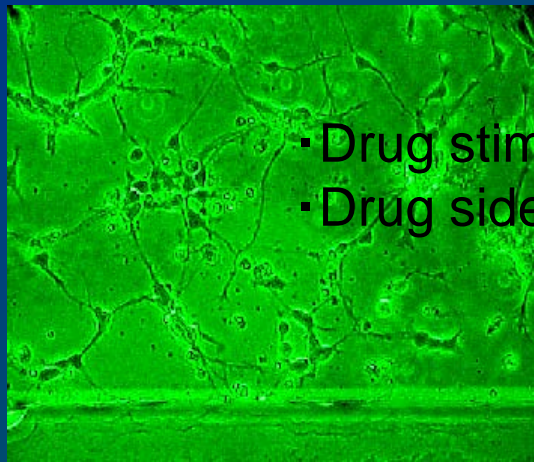
Anti-MDA5 antibody detection in human serum

著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

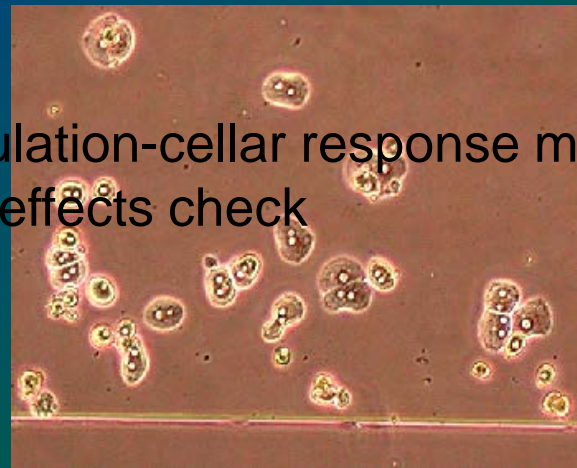
細胞培養チップ



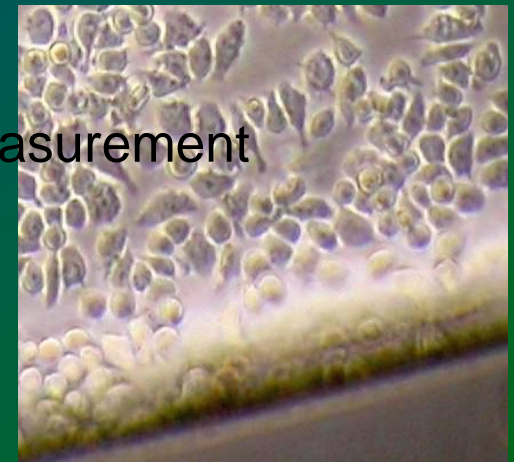
Myocardium cells



- Drug stimulation-cellular response measurement
- Drug side effects check



Liver cells

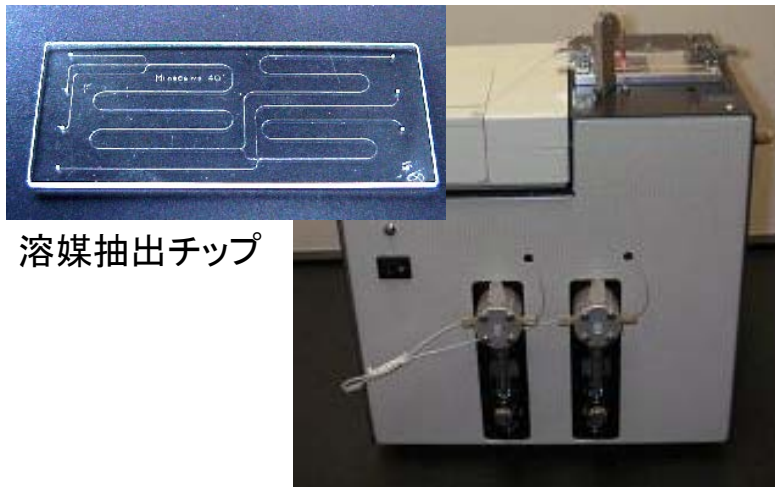


Macrophages

Hippocampus cells

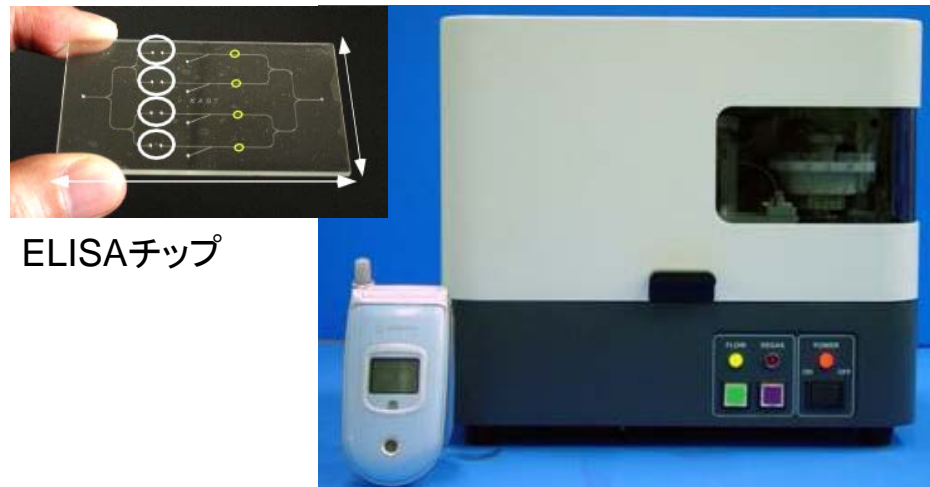
マイクロ化学チップとシステムの例

環境分析システム



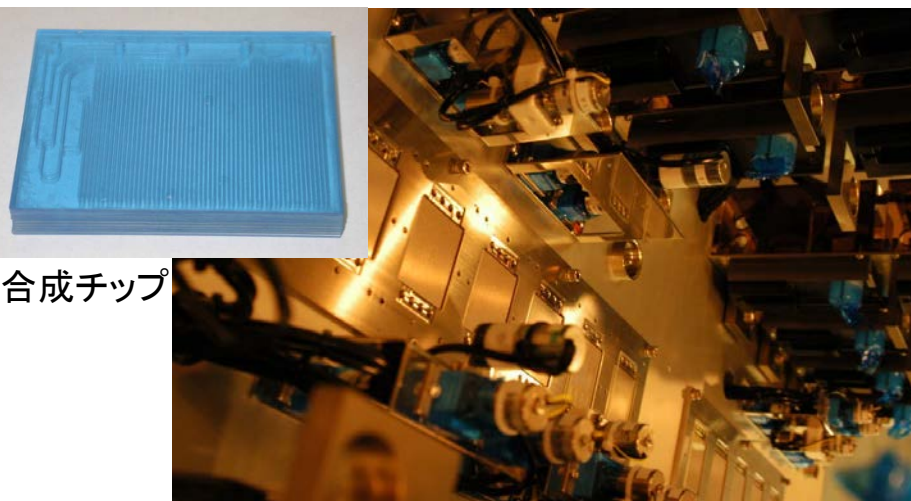
溶媒抽出チップ

免疫分析システム



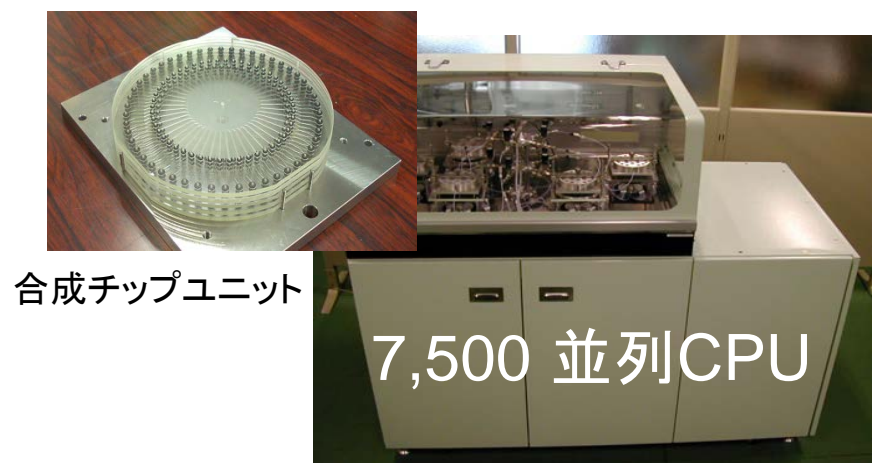
ELISAチップ

抗がん剤合成システム (10 kg/月)



合成チップ

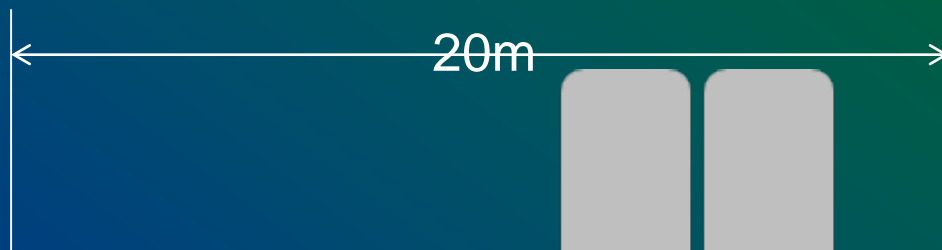
ゲル粒子合成システム150 t/年



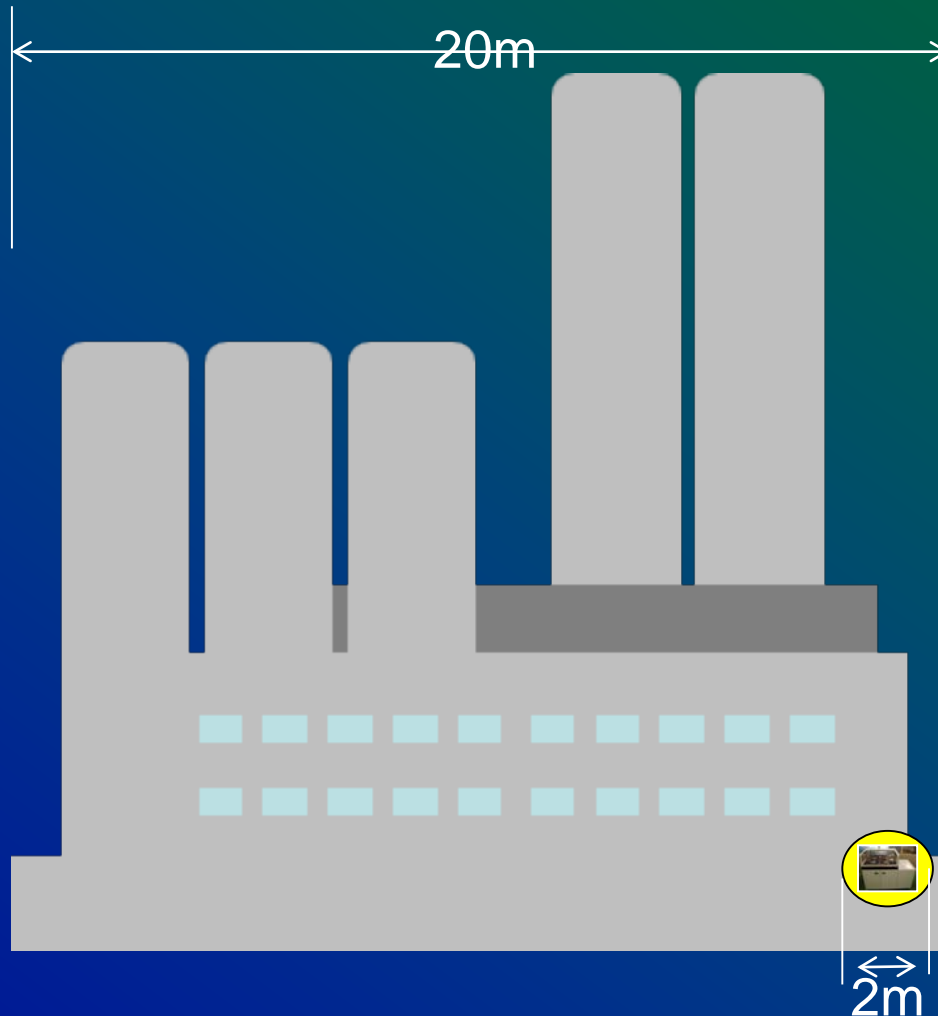
合成チップユニット

7,500 並列CPU

従来の工場とマイクロチップ工場の比較

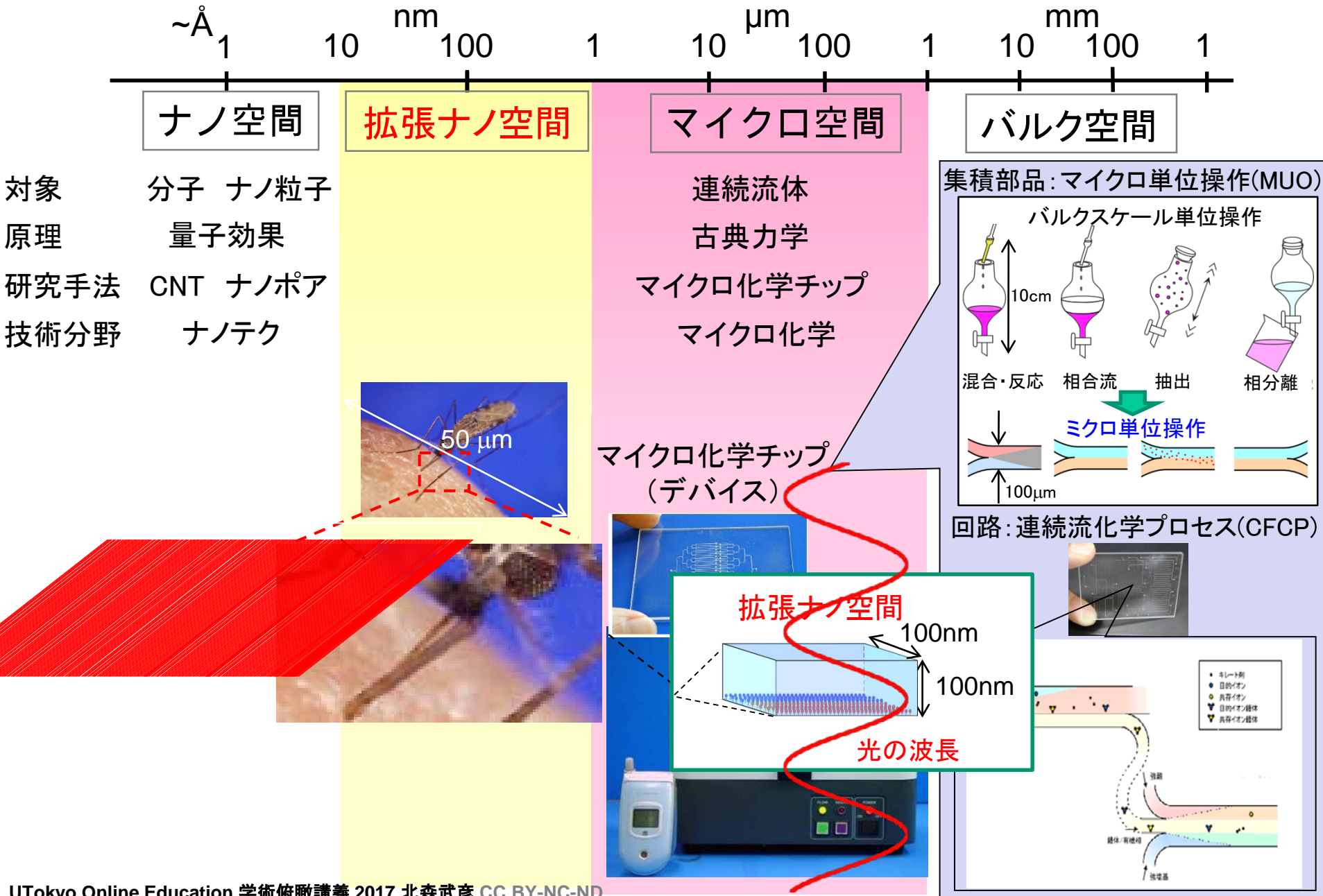


従来の工場とマイクロチップ工場の比較



生産能力150トン／年は同じ！

拡張ナノ空間と拡張ナノ流体デバイス工学



Fabricated channels: 50 nm

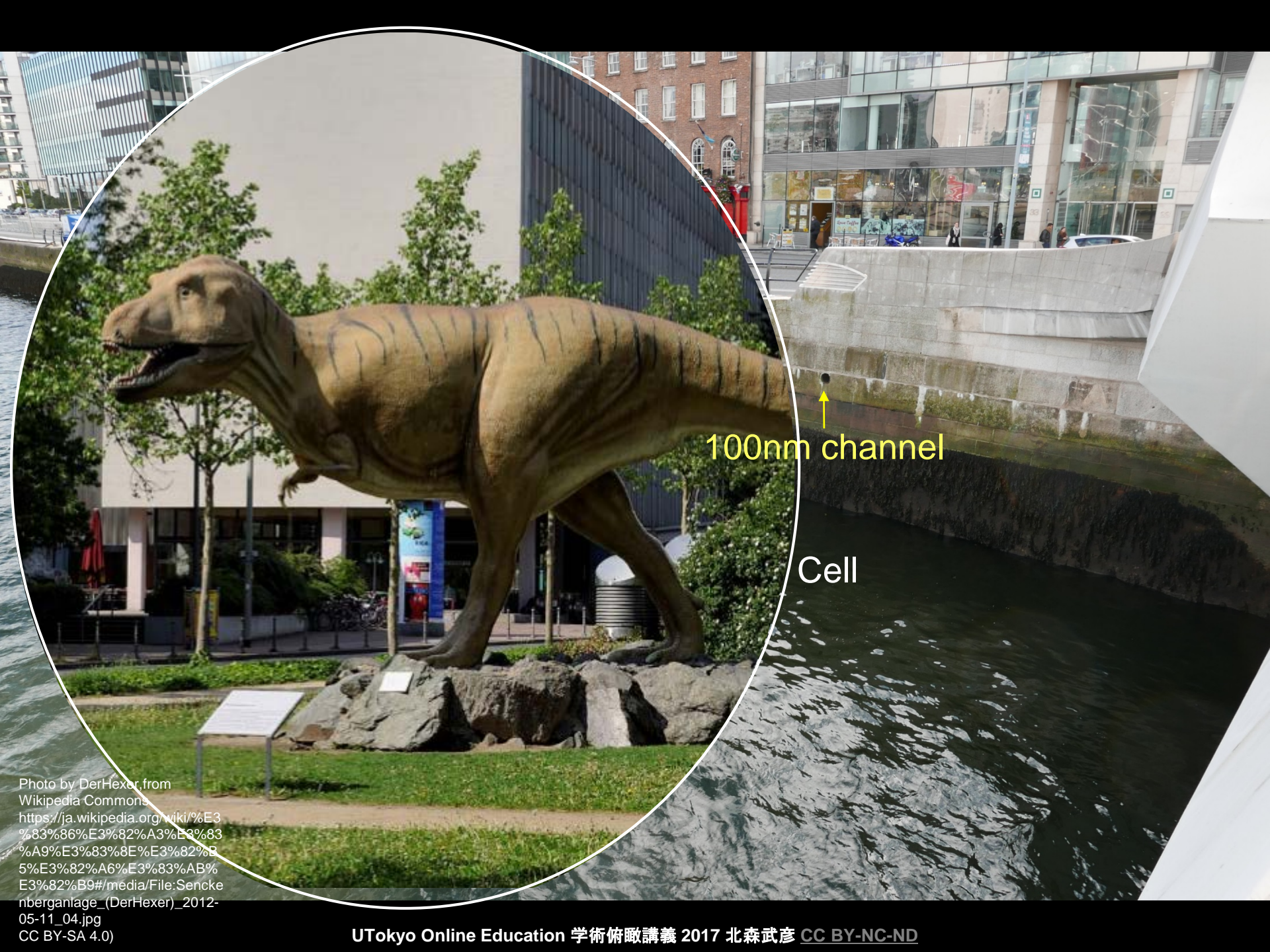
著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。



Look !



Bridge	100m	→	100 μ m
?	10cm	←	100nm

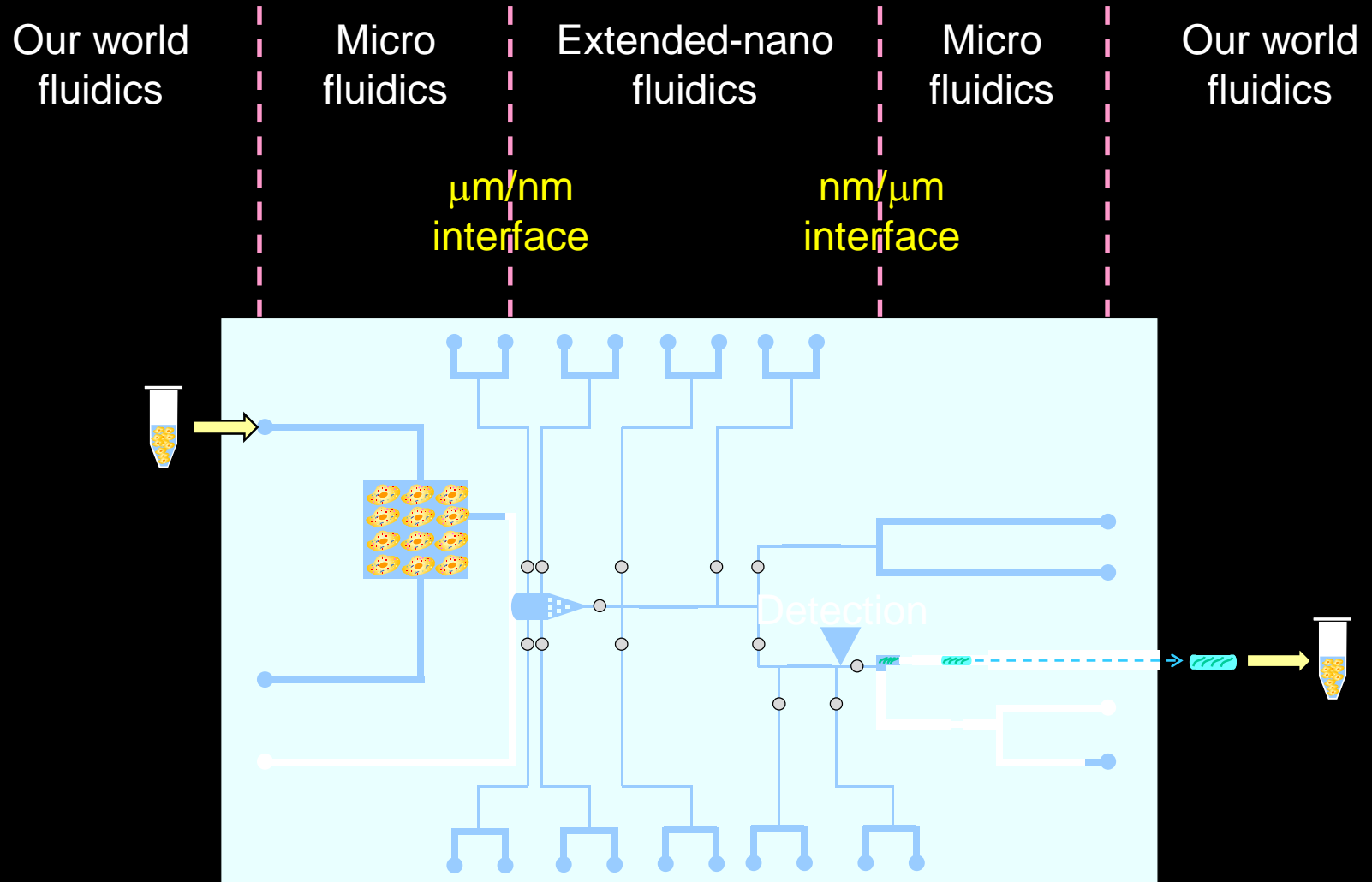


100nm channel

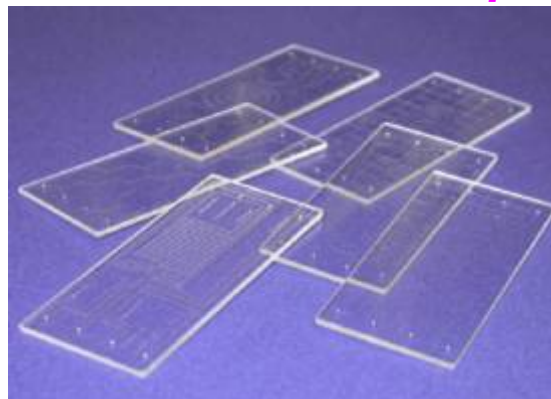
Cell

Photo by DerHexer, from
Wikipedia Commons
[https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%86%E3%82%A3%E3%83%A9%E3%83%8E%E3%82%B5%E3%82%A6%E3%83%AB%E3%82%B9#/media/File:Senckenberganlage_\(DerHexer\)_2012-05-11_04.jpg](https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%86%E3%82%A3%E3%83%A9%E3%83%8E%E3%82%B5%E3%82%A6%E3%83%AB%E3%82%B9#/media/File:Senckenberganlage_(DerHexer)_2012-05-11_04.jpg)
CC BY-SA 4.0)

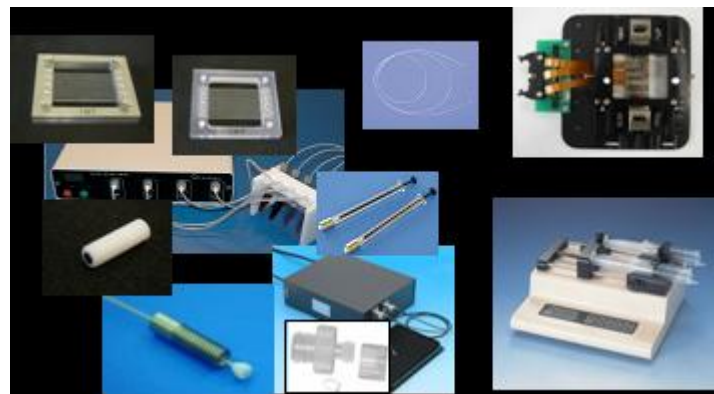
Strategy of Micro/E-nano Nano Unit Operation



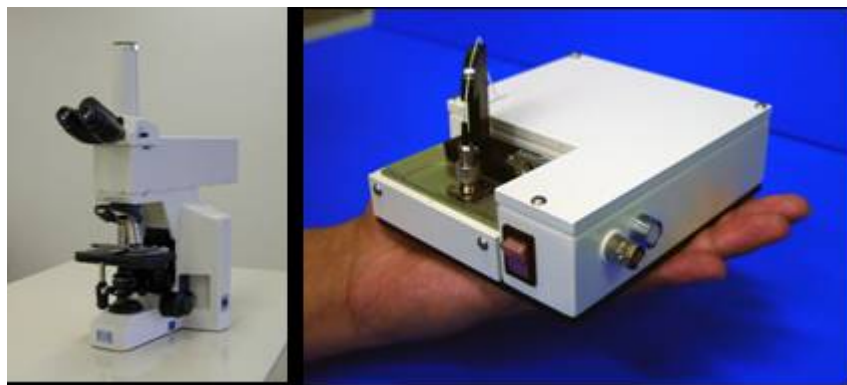
Micro Chemical Chip



Peripheral Devices & Accessories



Detectors: TLM



Systems



マイクロ・拡張ナノ空間 化学バイオ実験ステーション



大病院

- ・専門検査技師がいるため手間がかかるのは問題ない
- ・正確な値が要求される

クリニック

(現場の医師の要望)

- ・初診時で患者の状態を迅速に把握
- ⇒正常、要再検査、重症の三段階
- ・前処理は看護婦が担当

在宅

- ・早期診断、簡易検査レベルでOK
- ⇒正常か異常か
- ・超微量スタンダード技術
- ・超微量採血
- ・全血自動前処理

自動分析装置



提供：株式会社日立ハイテクノロジーズ



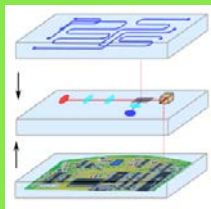
臨床検査技師

微量検体免疫分析装置 (検査15分以内)



在宅型

スマホ型パーソナル健康モニター



- 化学処理
- 光検出
- 電気通信
- データ処理

デバイス分析



第一段階として
ここでの使用を想定

講義の内容

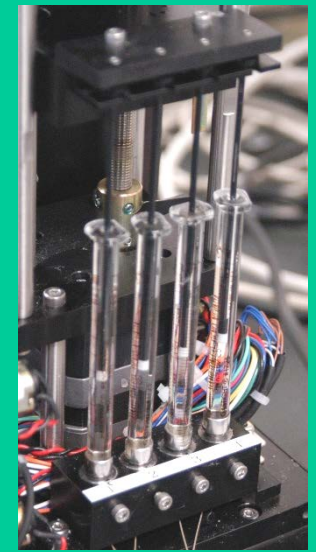
- 1) 自己紹介
- 2) マイクロ・ナノ流体工学 **Micro/Nano Fluidics**
- 3) 課題解決のための工学手法 何でこんなことが出来たか

装置の内部の構成

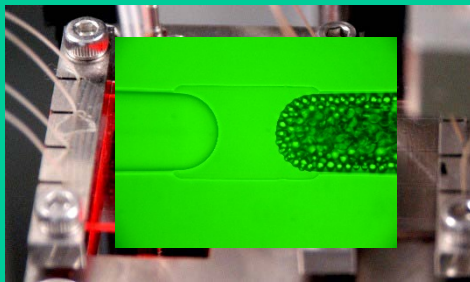
オンチップ° 検出器



シリンジ° ホンプ



マイクロチップ°



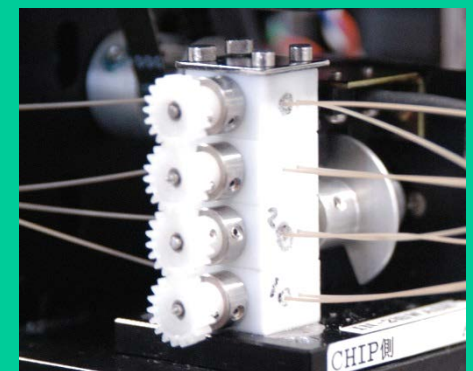
試薬



コネクタ



バルブ°



工学：真理追究と課題解決のための柔軟な学問体系（柔らか頭）

流体力学

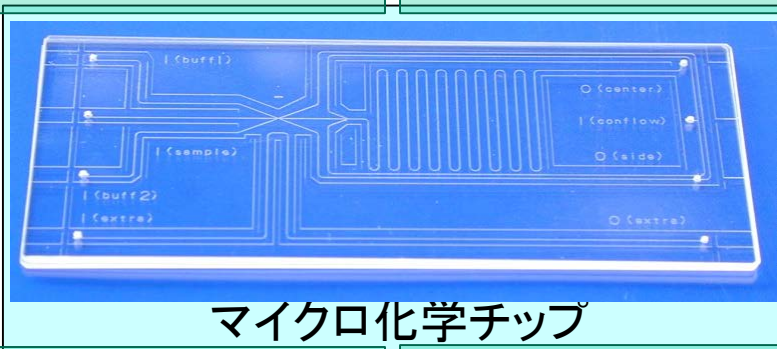
ナノ流体論 ナノ流体物性論 …
マイクロ・ナノ流体デバイス工学 …

流体力学 化学工学 伝熱工学 …
計測学 分子動力学 数値解析 …

MEMS(微小電気機械システム)

マイクロ・ナノセンシングデバイス工学 …
マイクロ・ナノアクチュエータ工学 …

メカトロニクス ソフトウェア 設計工学 …
加工学 機械材料学 計測学 …



化学

マイクロ化学チップ

バイオ

応用レーザー分光学 ナノ反応化学…
単一分子分析化学 ナノ流体化学 …

分析化学 有機化学 物理化学 …
電気化学 界面化学 量子化学 …

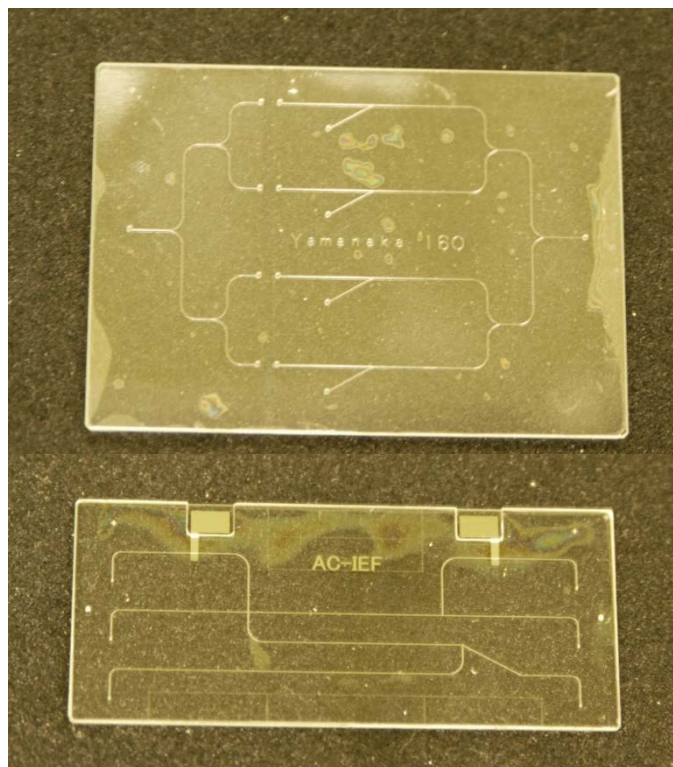
単一細胞プロテオミクス・ゲノミクス …
マイクロ・ナノ診断デバイス工学 …

生化学 細胞生物学 遺伝子工学 …
分子生物学 バイオ分析学 臨床検査学…

マイクロチップ加工技術の進歩

チップがなければ仕事にならない！

1998年研究開始当初



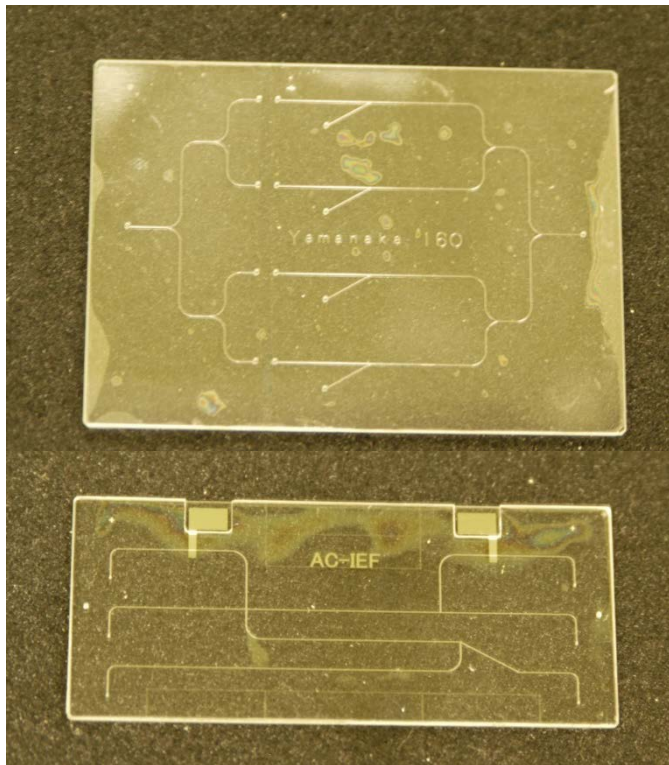
研究室見学: マイクロ化学チップ製造ライン



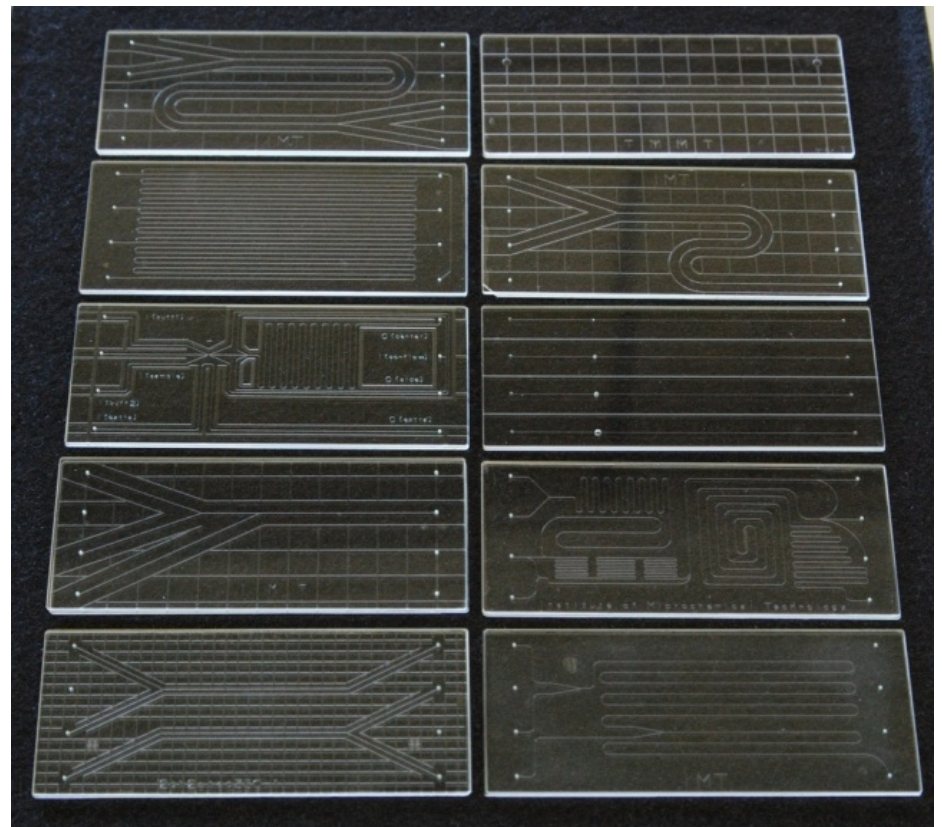
マイクロチップ加工技術の進歩

チップがなければ仕事にならない！

1998年研究開始当初

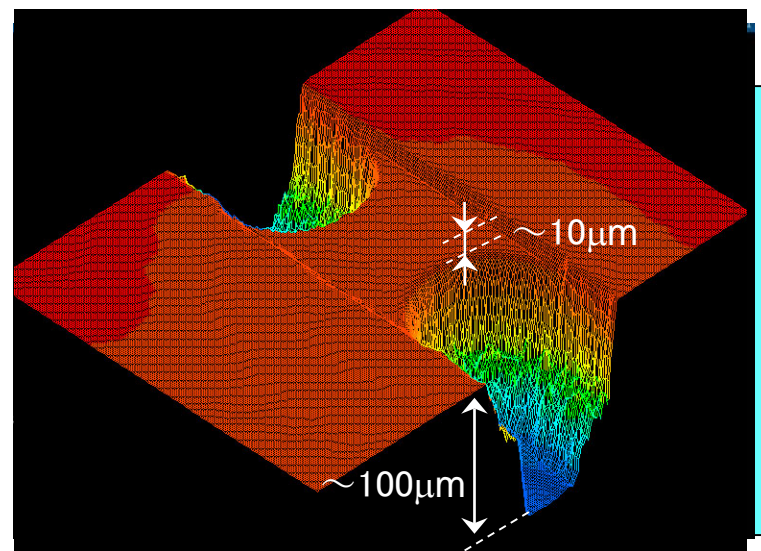
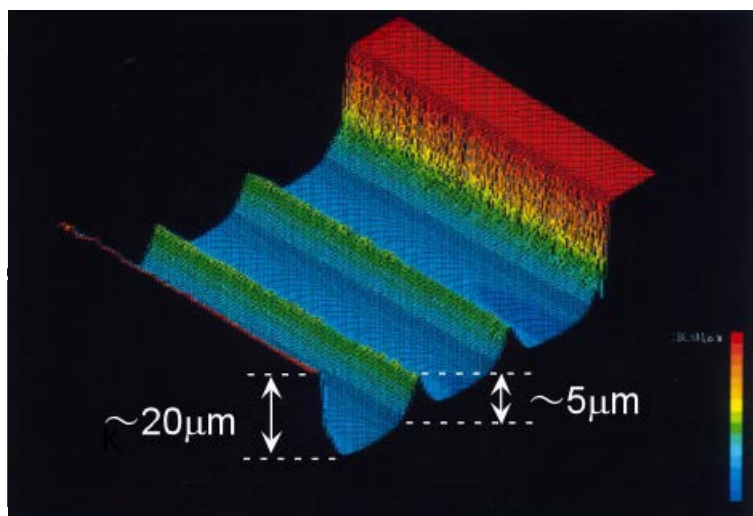


最近の作品(マイクロ化学技研製)



Examples of microchannel fabrication

100 μm channels

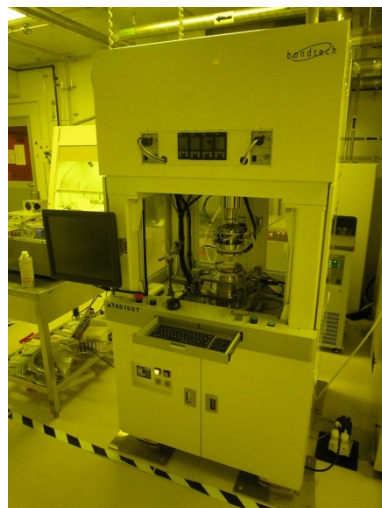


著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

研究室見学: ナノ加工クリーンルーム実験室



プラズマエッチング装置



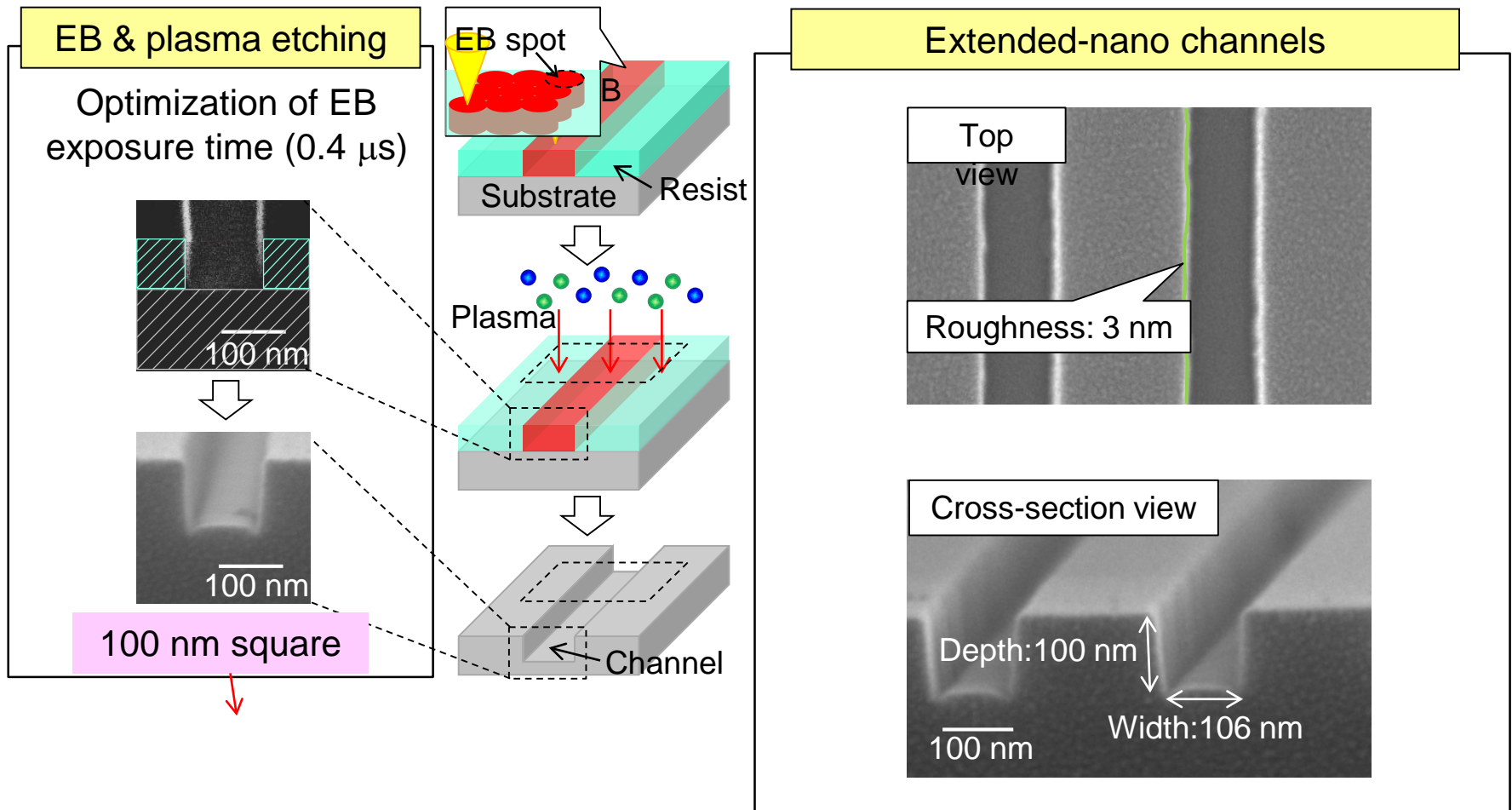
ガラス低温接合装置



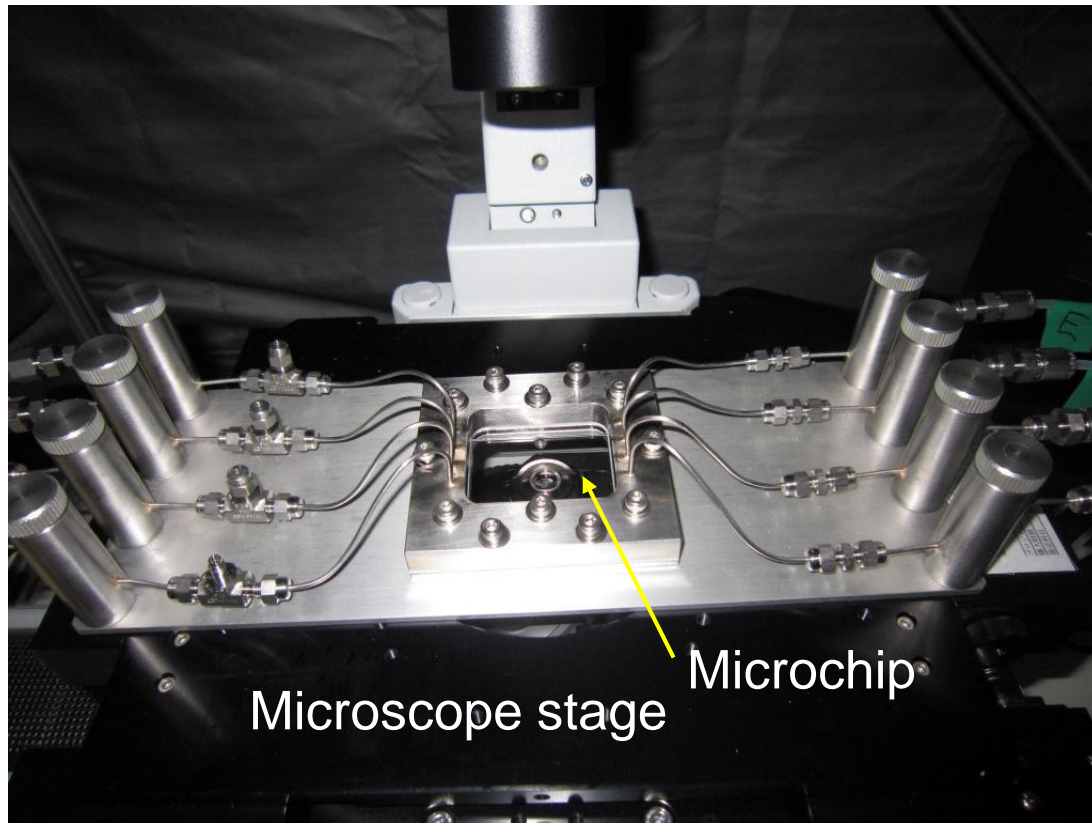
電子線描画装置

Development of channel fabrication method

- ▶ Top-down fabrication by electron beam (EB) lithography and plasma etching



Pressure Drive EN Fluidic Control System



Spec

- Response time: ~ 100 ms
- Pressure: 0.1 ~ 4 Mpa (1 ~ 40 atm)
- 4 channel regulation

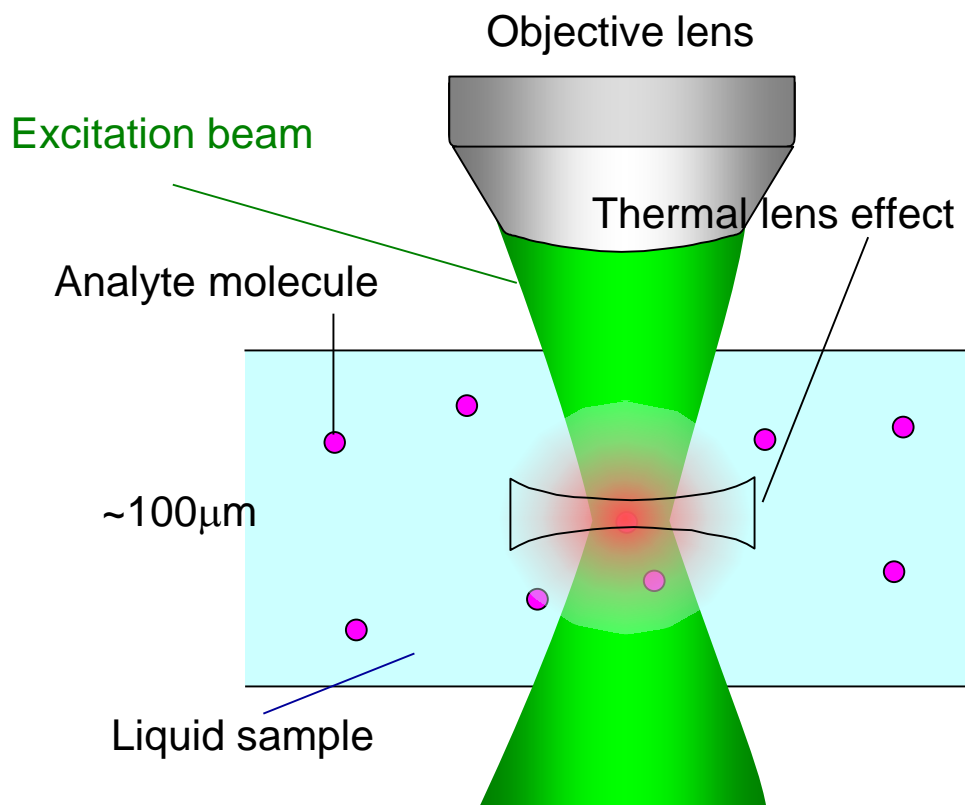
講義の内容

- 1) 自己紹介
- 2) マイクロ・ナノ流体工学 **Micro/Nano Fluidics**
- 3) 課題解決のための工学手法 何でこんなことが出来たか
- 4) 知の創造の現場 何でこんなことを思いついたか

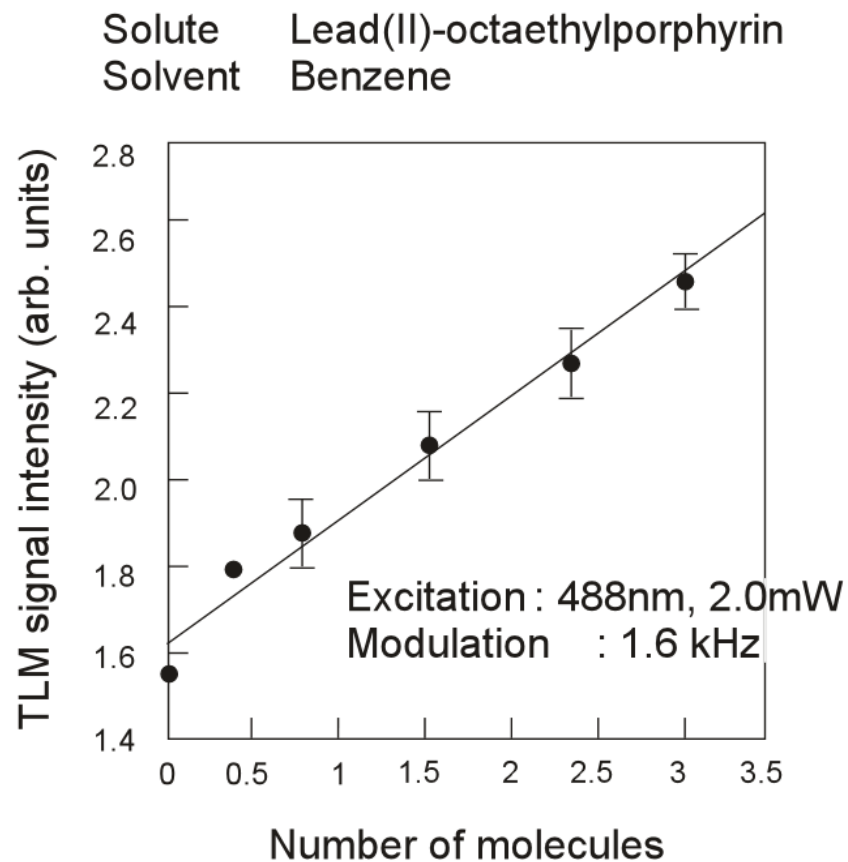
TLM: Thermal Lens Microscope

Ultrasensitive Detector of Optical Absorbance

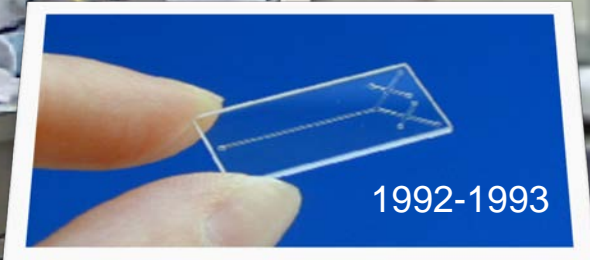
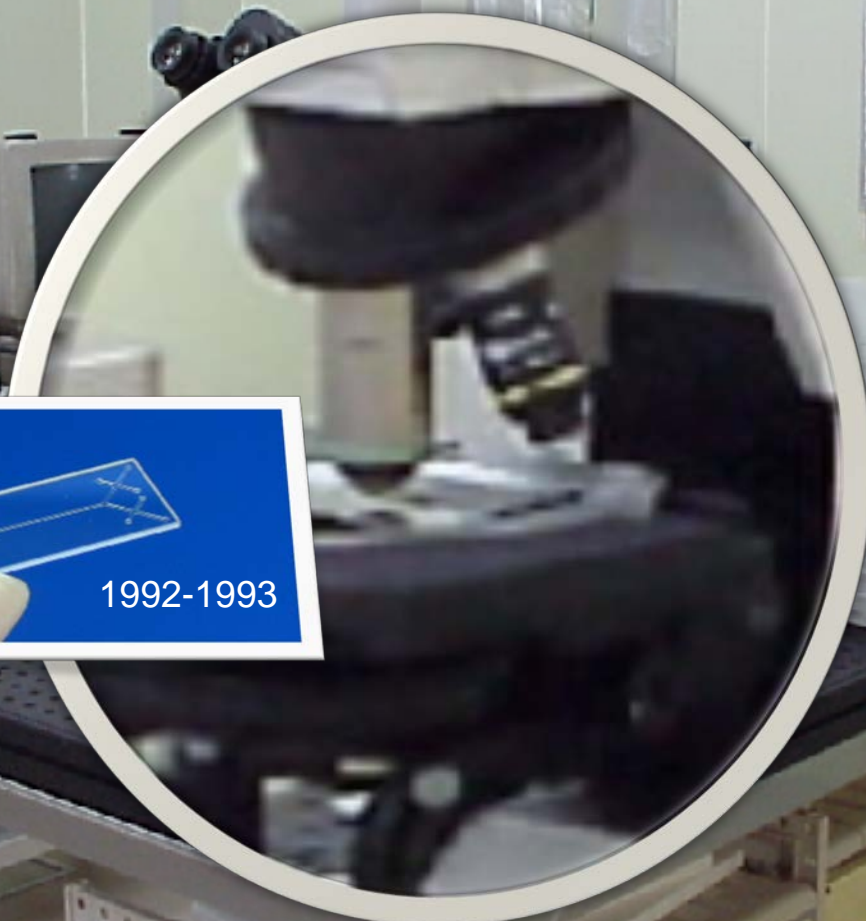
Principle of TLM



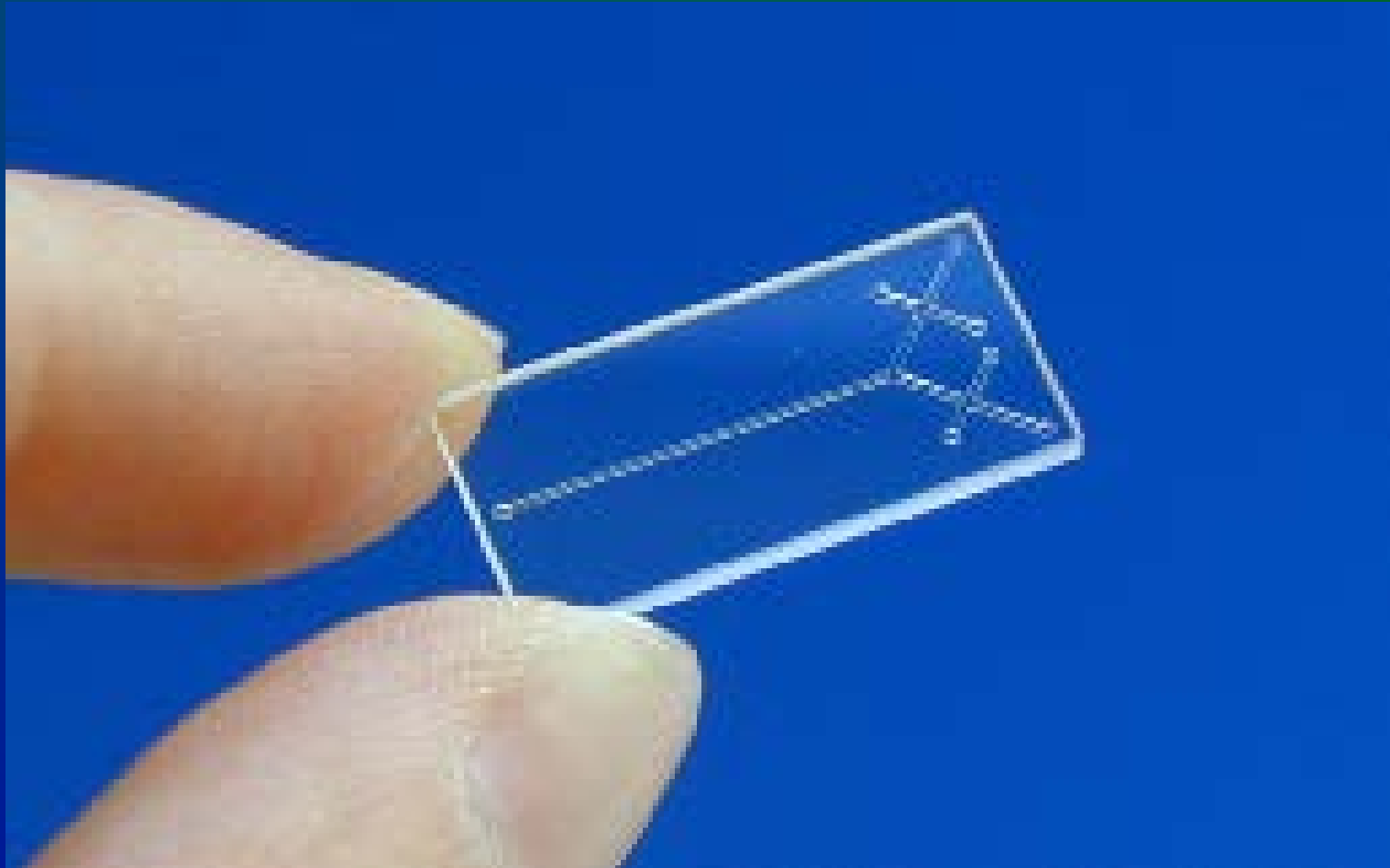
Calibration curve



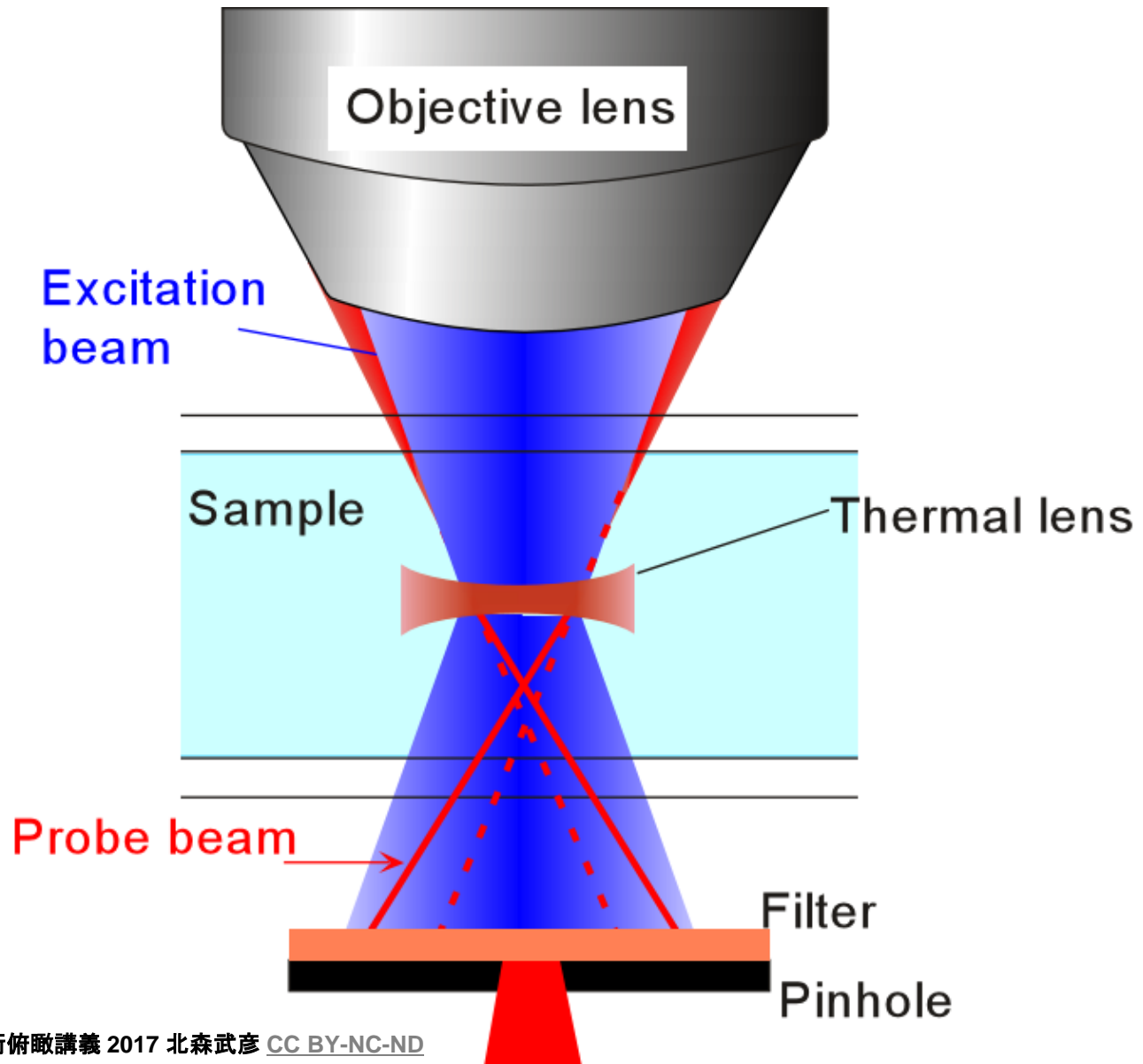
Desktop Thermal Lens Microscope



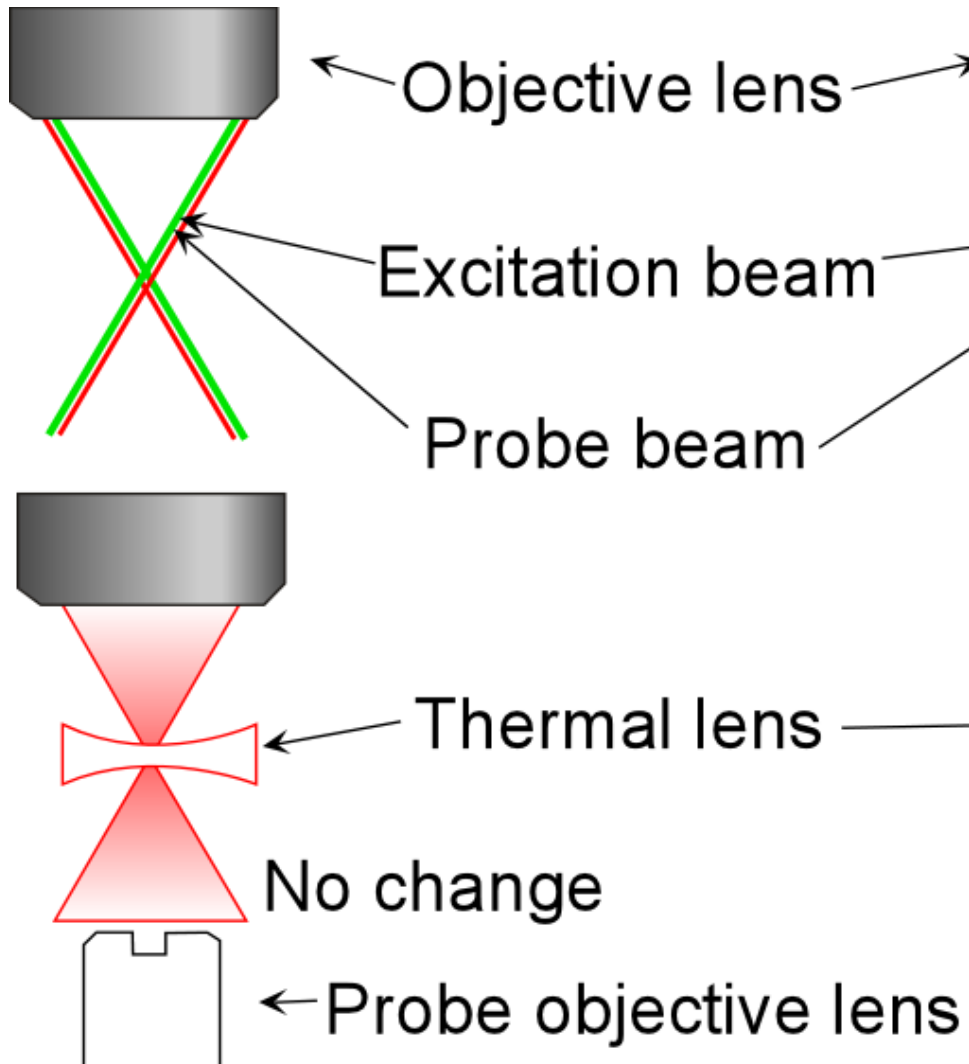
初代チップ ートランジスターチップー



Principle of Thermal Lens Microscope (TLM)



本当に熱レンズ効果???



独自の検出器：熱レンズ顕微鏡の起源

50年前の顕微鏡

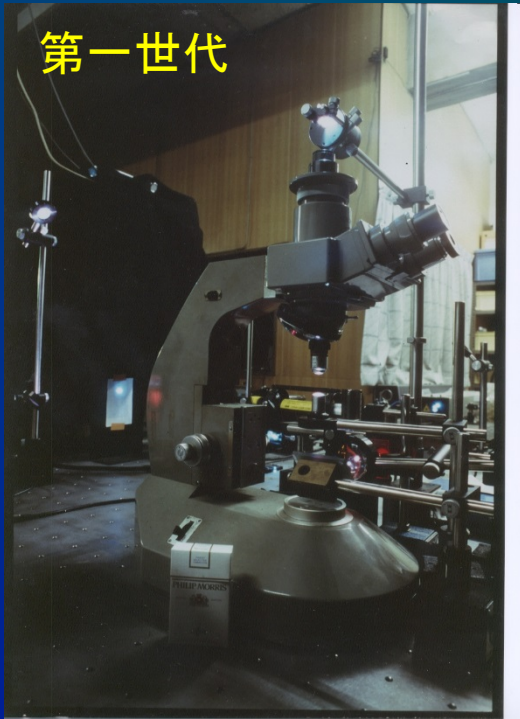
先生、赤と青、焦点ずれてるんでよ…。

著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を
削除しました。

内山君：当時4年生2回目

独自の検出器：熱レンズ顕微鏡の変遷

第一世代



第二世代

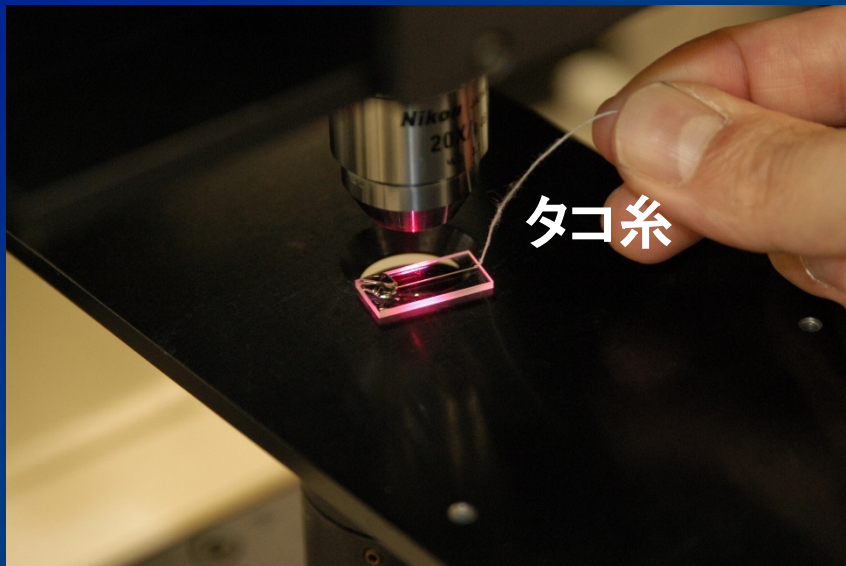


第三世代

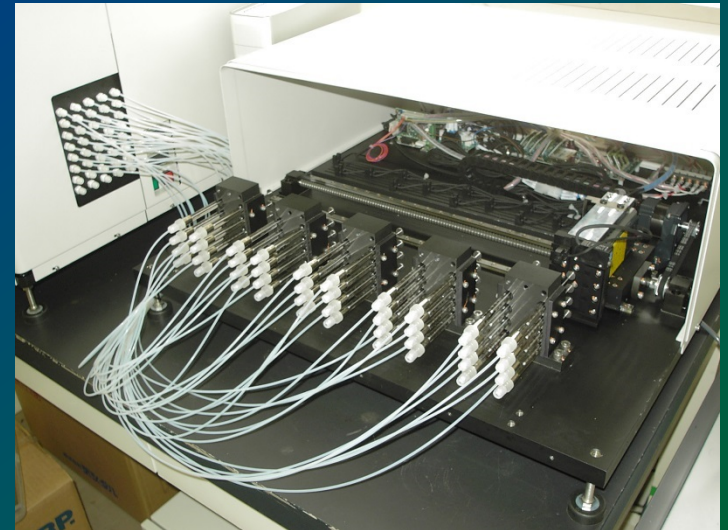


マイクロ流体制御技術の変遷

原始マイクロ流体制御
1997年



最新マイクロ流体制御
2006年



講義の内容

- 1) 自己紹介
- 2) マイクロ・ナノ流体工学 **Micro/Nano Fluidics**
- 3) 課題解決のための工学手法 何でこんなことが出来たか
- 4) 知の創造の現場 何でこんなことを思いついたか
- 5) 新しい工学が拓く新しい基礎科学 –知の循環–

Changes of Physical and Chemical Properties of Water in Extended-Nano Space

Table. Specific properties in extended-nano space

Property	Change	Material	Size (Channel depth)	Method
Viscosity of water	1.4-4×	Silica, lipid bilayer	25-1000 nm	Capillary force ^{1, 2, 3, 4}
Conductivity of water	500×	Silica	100-1000 nm	Streaming current/potential ⁵
Dielectric constant of water	1/7-1/4	Silica	330-800 nm	Fluorescence, ¹ streaming potential ⁶
Proton mobility	20×	Silica	40-800 nm	NMR ⁷
Proton diffusion constant	8×	Silica, lipid bilayer	180-330 nm	Fluorescence ⁸
Proton concentration (pH)	19×	Silica, lipid bilayer	400-1000 nm	STED ⁹
Enzymatic reaction	6×	Silica, lipid bilayer	340 nm-1000 nm	Fluorescence ¹⁰
Dissociation of silanol	Accelerated	Silica	580 nm	Streaming current ¹¹
Vapor pressure of water	Decreased	Silica	120-510 nm	Microscopy ¹²

Papers [1] Hibara & Kitamori et al., Anal. Chem., 2002
 [2] Tas et al., Appl. Phys. Lett., 2004
 [3] Haneveld et al., J. Appl. Phys., 2008
 [4] Li & Kitamori et al., J. Phys. Chem. Lett., 2012
 [5] Morikawa, Ph. D Thesis, 2014

[6] Morikawa & Kitamori et al., Anal. Chem., 2014
 [7] Tsukahara & Kitamori et al., Angew. Chem. Int. Ed., 2007
 [8] Chinen & Kitamori, et al., Angew. Chem. Int. Ed., 2012
 [9] Kazoe & Kitamori et al., Anal. Chem., 2011
 [10] Tsukahara & Kitamori et al., Anal. Bioanal. Chem., 2008
 [11] Morikawa & Kitamori et al., Appl. Phys. Lett., 2011
 [12] Tsukahara & Kitamori et al., RSC Adv., 2012

Lund大学学位授与式 (Swedish Academism)



学術俯瞰講義 工学とは

北森武彦(工学部)

序1: 学問と組織(工学と工学部)

4月10日

序2: 学問と社会(震災と工学)

4月17日

私の工学: 液体の集積回路を創ると?

4月24日

吉村忍(工学部)

工学教育の体系: シリーズ東京大学工学教程

5月 1日

合原一幸(生産技術研究研)

情報社会の工学1: ソフト(脳型コンピューター)

5月 8日

Dario Gil (IBM Research)

学問と産業の急接近: 情報社会を創る工学
Novel Engineering opening Information Society

5月15日

古澤明(工学部)

情報社会の工学2: ハード(量子コンピューター)

5月22日

藤田香織(工学部)

歴史と文化と工学: 伝統的な木造建築と地震

6月 5日

小関敏彦(工学部)

環境・安全と工学: 移動体における材料工学

6月12日

持続可能社会と工学: エネルギー、インフラと材料工学

6月19日

光石衛(工学部)

医療と工学: 医療用ロボット工学

6月26日

工学とは何か。

7月 3日