



# BEANS:加工寸法や材料を超えた 異機能集積プロセス技術

BEANSプロジェクト サブリーダー

東京大学生産技術研究所

マイクロナノメカトロニクス国際研究センター

藤田博之

# MEMS は身の回りに広く応用されている

- 車の中
- カメラ
- 携帯電話、スマートフォン
- TV ゲームのコントローラ
- ビデオプロジェクター
- プリンター
- 光通信ネットワーク
- PC
- ロボット

マイクロマシンプロジェクト(1990)から  
20年余、ようやく広く商品化



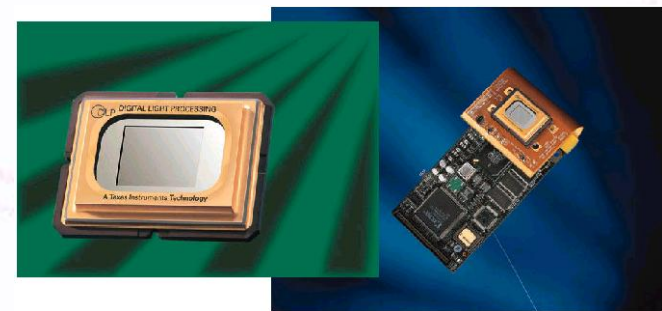
Nintendo Wii™ controller



Apple  
iPhone



Honda Asimo



Digital Light Processing™  
Texas Instrument

# 実用化段階での重要課題

- 早く容易な設計・解析
- 集積化: 電子回路
- 産業レベルでの生産
- 標準化
- 検査法試験法
  
- 異分野企業協力

# 実用化段階での重要課題

各種プロジェクトで対応

- 早く容易な設計・解析 ✓ MemsONE設計ソフト
- 集積化:電子回路 ✓ ファインMEMS
- 産業レベルでの生産 ✓ MEMSファクトリー
- 標準化 ✓ 各種標準化活動
- 検査法試験法 ✓ (検査法・試験法標準化)
  
- 異分野企業協力 ✓ グリーンセンサネットワーク

# NEDO MEMSプロジェクト

- MEMSファクトリーPJ (FY15-FY17)
  - 光MEMS、センサMEMS、RF MEMS
- MemsONE(設計解析ソフト)PJ (FY16-FY18)
  - プロセスシミュレータ、電気・機械解析ソフト、知識データベース
- 集積化MEMS PJ (FY18-FY20)
  - MEMS回路集積、MEMSナノ材料集積、MEMS-MEMS集積
- グリーンセンサ・ネットワーク PJ (FY23-26)
  - 無線通信、自立電源、ユーザー企業と実証



# NEDO MEMSプロジェクト

- MEMSファクトリーPJ (FY15-FY17)
  - 光MEMS、センサMEMS、RF MEMS
- MemsONE(設計解析ソフト)PJ (FY16-FY18)
  - プロセスシミュレータ、電気・機械解析ソフト、知識データベース

## MEMS産業のインフラ整備

- 集積化MEMS PJ (FY18-FY20)
  - MEMS回路集積、MEMSナノ材料集積、MEMS-MEMS集積
- グリーンセンサ・ネットワーク PJ (FY23-26)
  - 無線通信、自立電源、ユーザー企業と実証

# NEDO MEMSプロジェクト

- MEMSファクトリーPJ (FY15-FY17)
  - 光MEMS、センサMEMS、RF MEMS
- MemsONE(設計解析ソフト)PJ (FY16-FY18)
  - プロセスシミュレータ、電気・機械解析ソフト、知識データベース

## MEMS技術の高度化

- 集積化MEMS PJ (FY18-FY20)
  - MEMS回路集積、MEMSナノ材料集積、MEMS-MEMS集積
- グリーンセンサ・ネットワーク PJ (FY23-26)
  - 無線通信、自立電源、ユーザー企業と実証

# MEMS産業の発展を支える技術開発プロジェクトの展開

MEMSフロンティア

M E M S 産 業 の 発 展

次世代MEMS産業  
(高度化MEMS産業)

- ・既存MEMS メーカー
- ・半導体メーカー
- ・ベンチャー企業

次世代MEMSへの飛躍: 第1ステップ

高集積複合MEMS製造技術プロジェクト  
(2006-2008)

MEMS産業

- ・精密機器メーカー
- ・センサーメーカー
- ・装置メーカー、etc

MEMS  
ファンドリービジネス

- ・ファンドリー企業
- ・MEMSファンドリ  
サービスネットワーク

MEMS設計解析ソフトビジネス

- ・ソフトベンダー

基盤技術の開発

製造インフラの強化

ソフトインフラの強化

マイクロマシン技術プロジェクト  
(1991-2000)

MEMSプロジェクト  
(2003-2005)

MEMS-ONEプロジェクト  
(2004-2006)



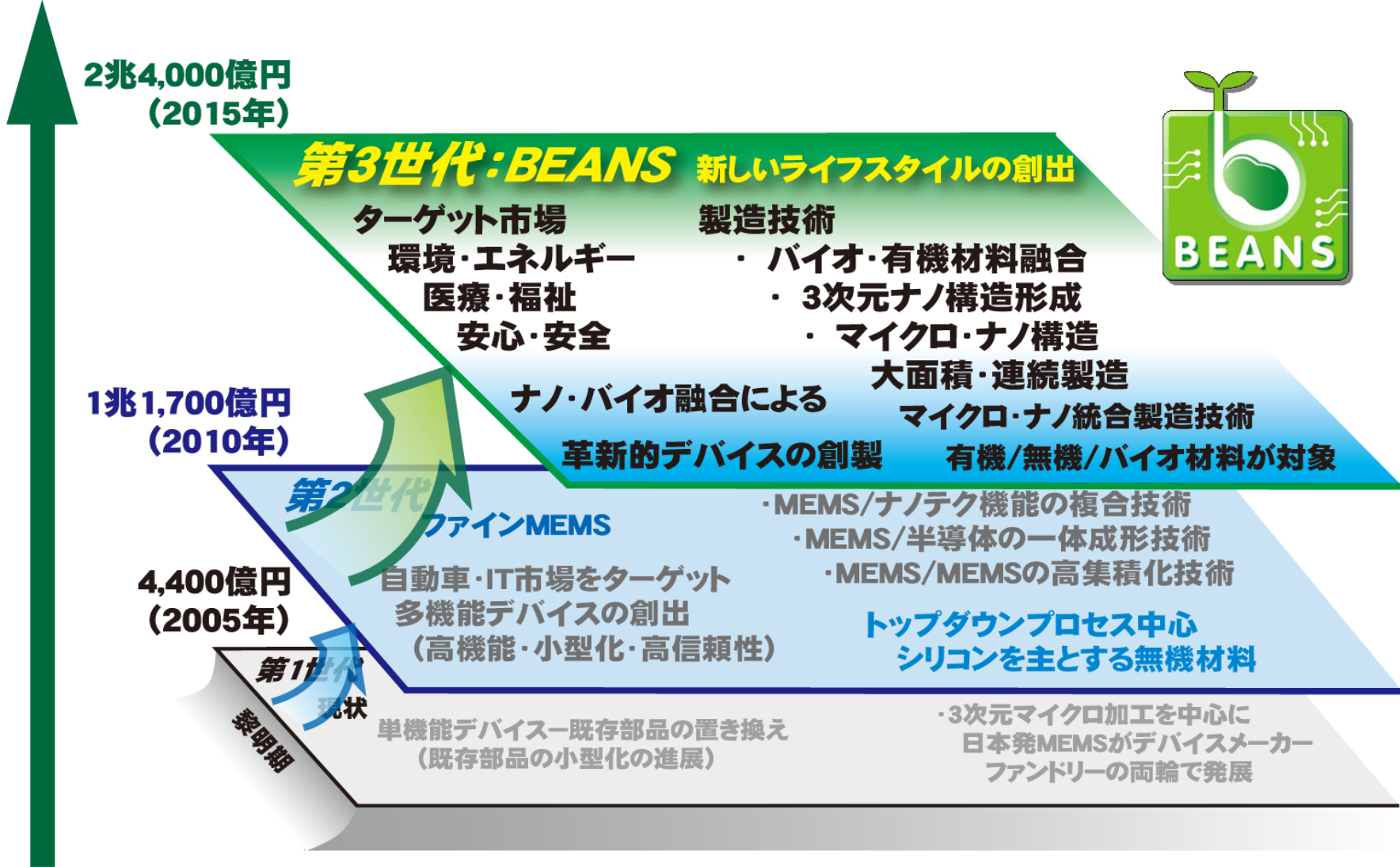
では、この次は何？

## 異機能集積次世代デバイス

**MEMS とナノ・バイオ技術の融合  
マイクロデバイスを大面積へちりばめる  
世界を主導するコンセプトの樹立**

# 第3世代のプロジェクト

産業の高度化  
(技術の発展と市場の拡大)



# BEANSプロジェクトの概要

マイクロマシン  
MEMS技術

ナノ加工

製糸・紡績

印刷技術

バイオ材料

有機材料



プロセス融合  
スケール融合  
材料融合

ライフ  
イノベーション

グリーン  
イノベーション

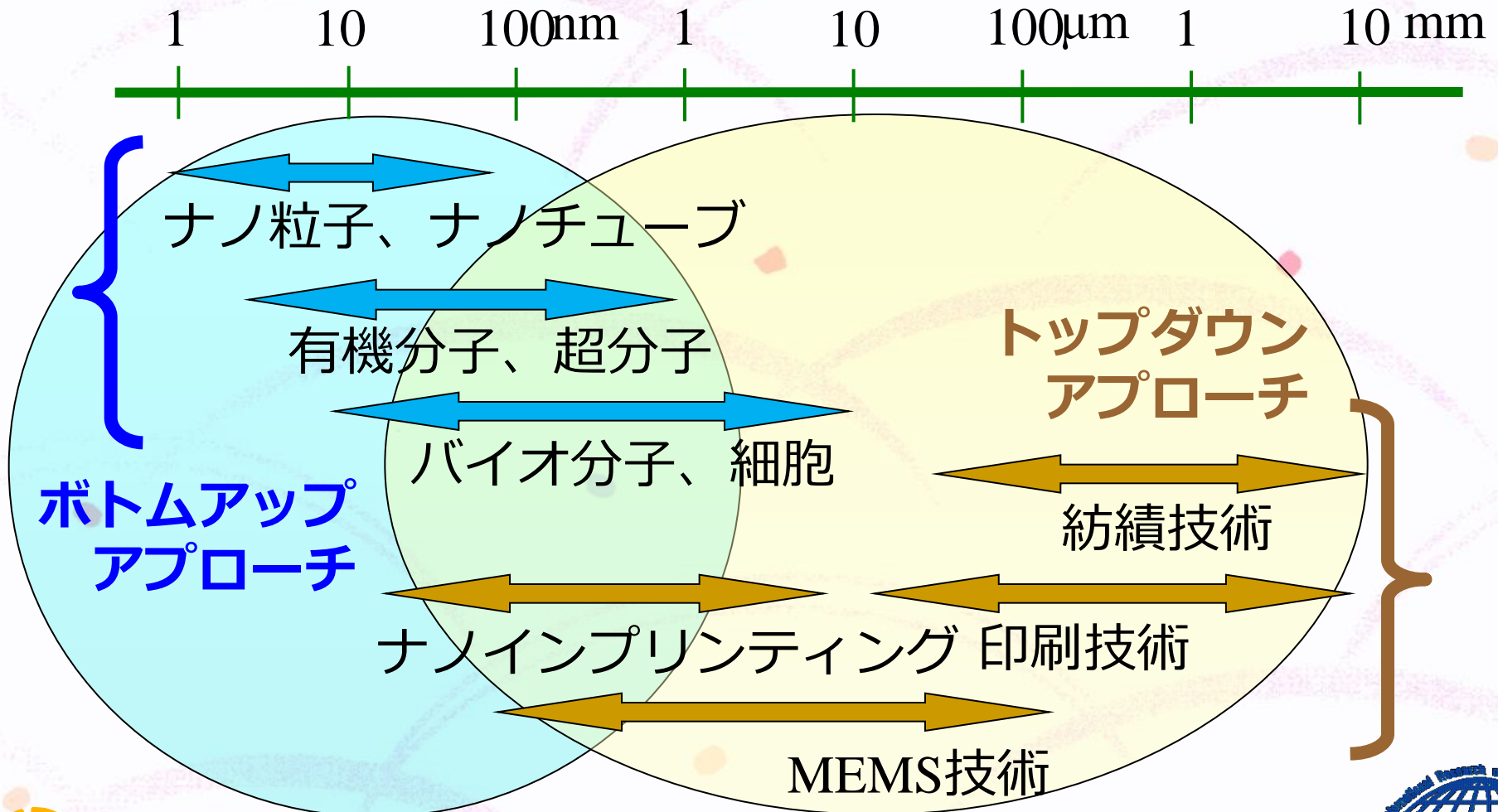


産業の再生

社会問題の解決

# トップダウンとボトムアップの技術融合

## ナノからマクロまでの異スケール融合



# BEANSにおける異分野融合

- ナノからメートルまで異なったスケールを融合
- バイオから半導体まで異なった材料を融合
- ボトムアップからトップダウンまで異なったプロセスを融合



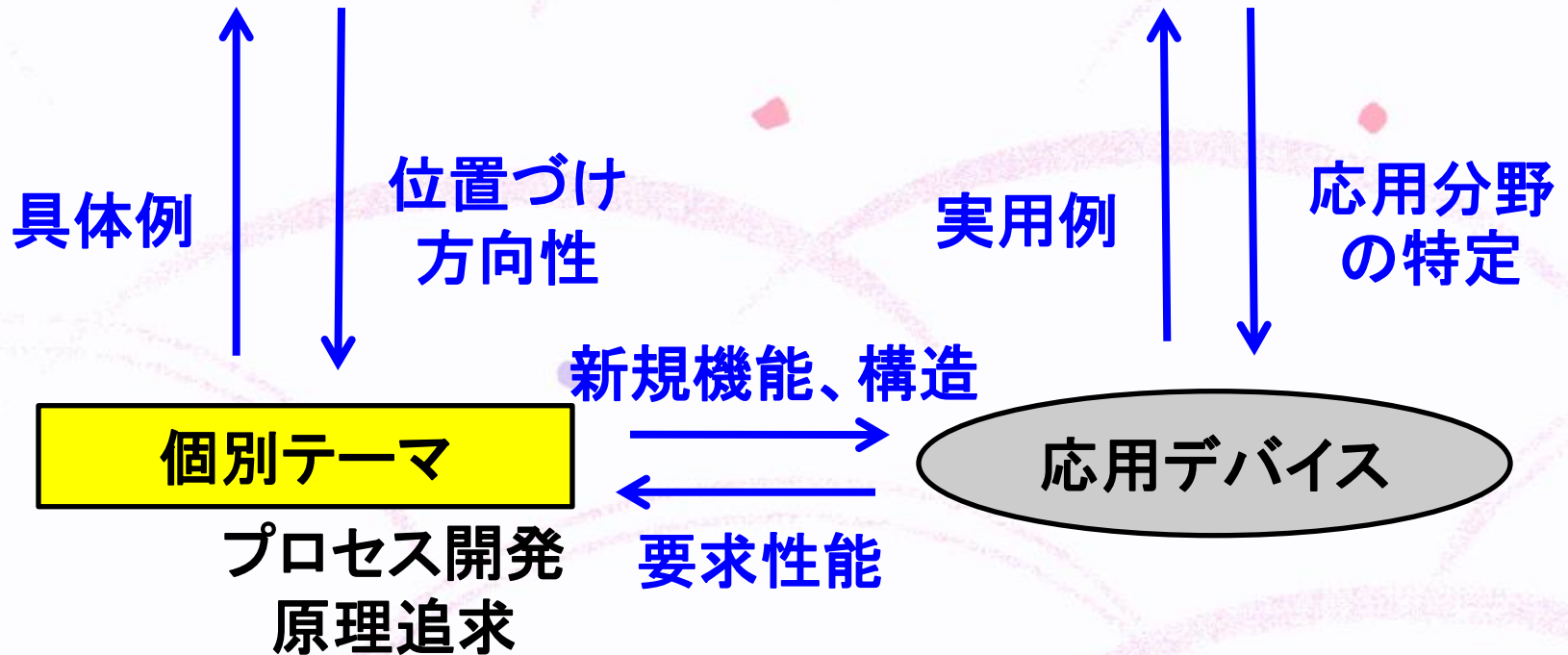
# Grand Question

## BEANSとは何か？

(全体像、将来目標)

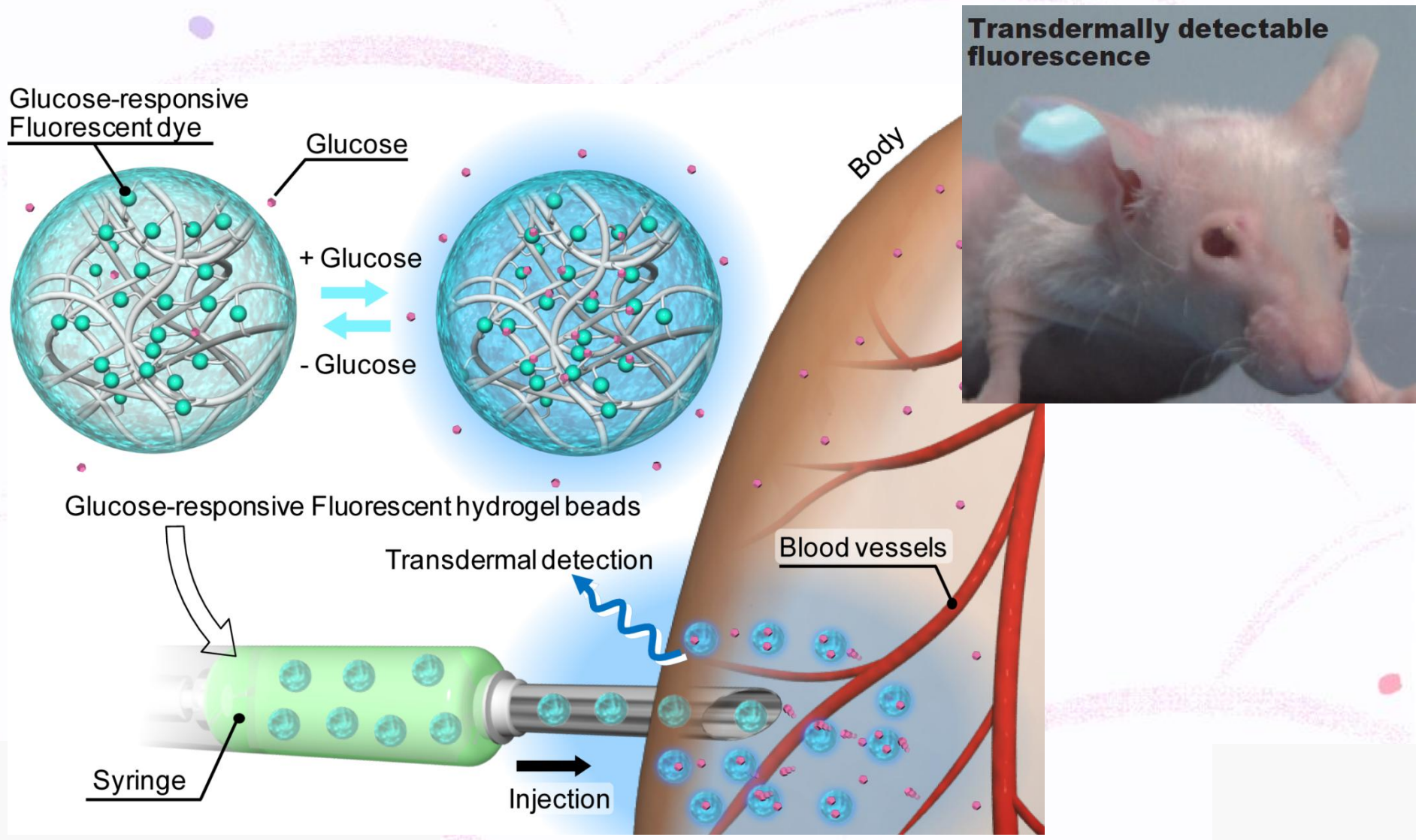
## それは何を意味するか？

(応用、デバイスイメージ)



# 埋め込み可能血糖値センサ

Takeuchi Labs at IIS, U-Tokyo and Terumo Co.



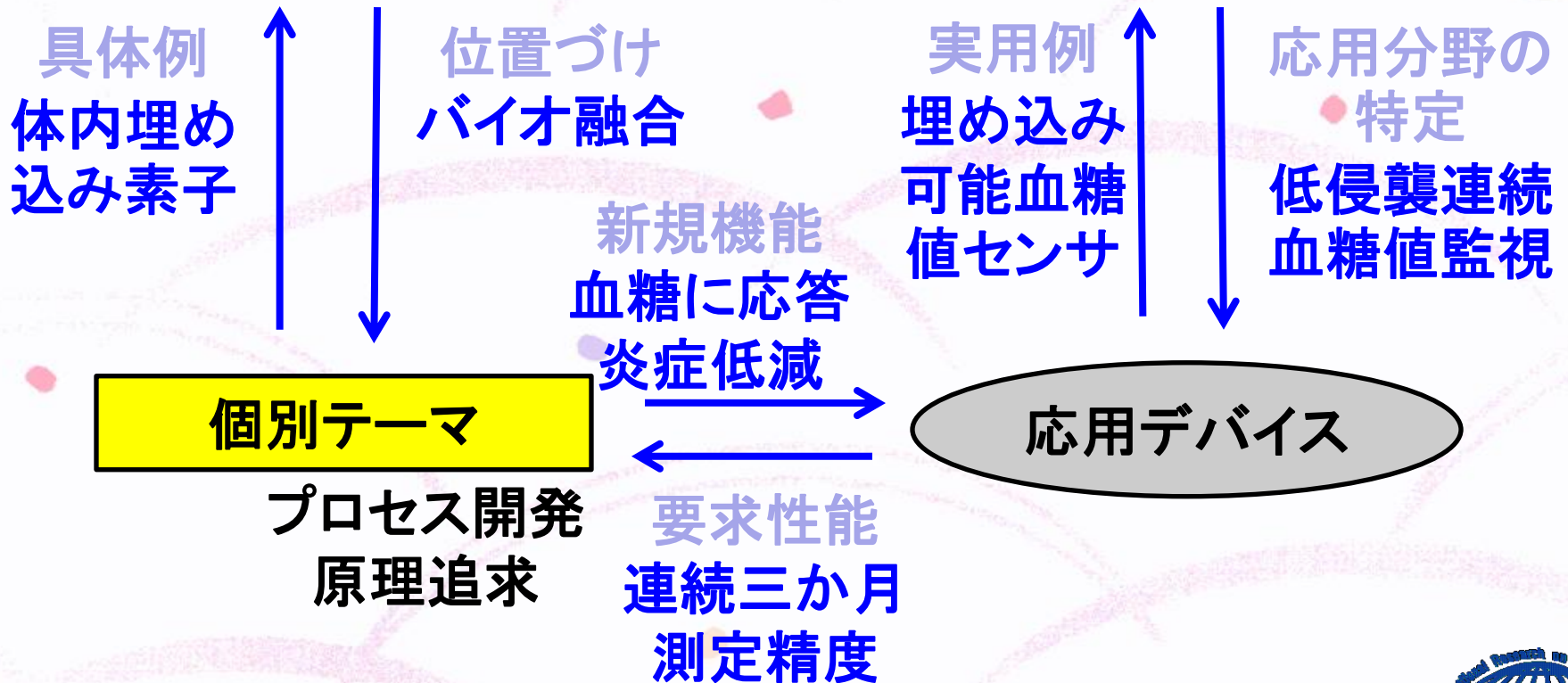
# 埋め込み可能血糖値センサの例

## BEANSとは何か？

(全体像、将来目標)

## それは何を意味するか？

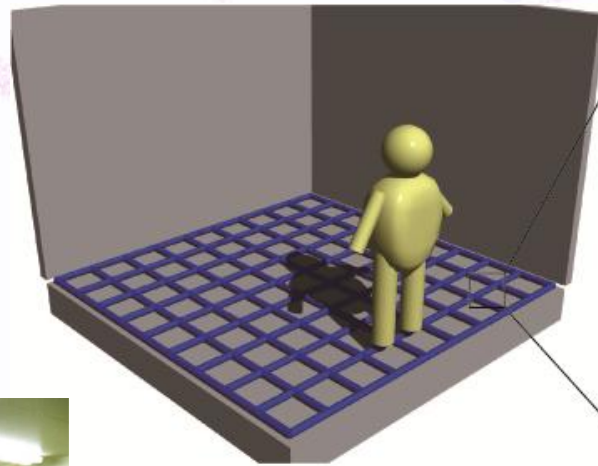
(応用、デバイスイメージ)



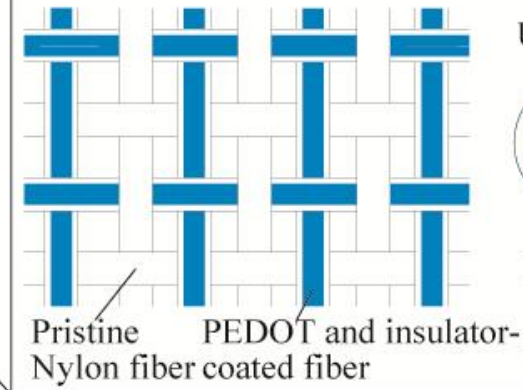




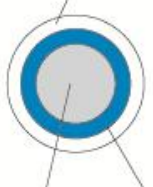
# MEMS感圧シートを織り上げた



Large Area Touch Sensors

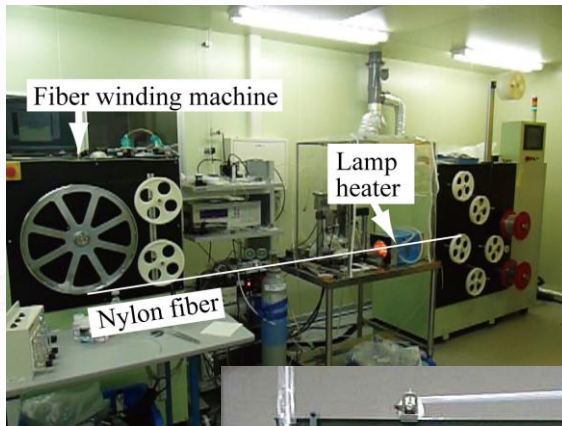


UV-adhesive



PEDOT:PSS

Nylon Fiber



1.2 m



S.Takamatsu, T. Itoh, et al: DTIP-2011

# MEMS感圧シートの例

## BEANSとは何か？

(全体像、将来目標)

具体例  
織物  
MEMS

位置づけ  
大面積柔軟

実用例  
感圧シート

応用分野の  
● 特定  
不審者監視  
床擦れ防止

個別テーマ

プロセス開発  
原理追求

新規構造  
絶縁電極膜付き  
ファイバー

応用デバイス

要求性能  
面的な圧力検出

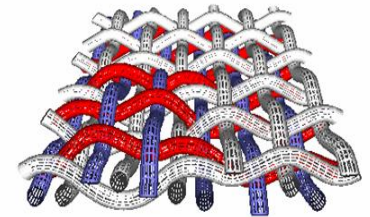


# BEANSにおける異分野融合

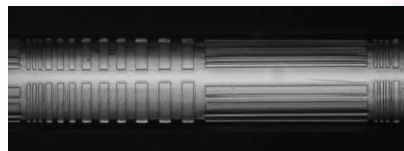
- ナノからメートルまで異なったスケールを融合
- バイオから半導体まで異なった材料を融合
- ボトムアップからトップダウンまで異なったプロセスを融合
- Beansでは、三つの融合の系統的な研究を通じて、各個の具体的な研究成果を元に異分野融合プロセスの体系を確立する

# 線状基材マイクロ加工と織布

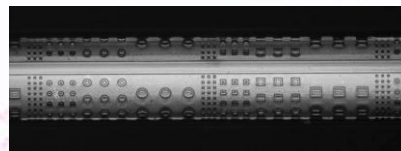
- 線の表面にマイクロ加工してそれを織ることで布地のように柔らかい、広い面積のデバイスを作る
  - 異スケール: ミクロの構造を持ったm級の大面積デバイス
  - 異プロセス: 繊維上への型押し、紡織
  - 異材料: 高分子繊維 + 導電性高分子



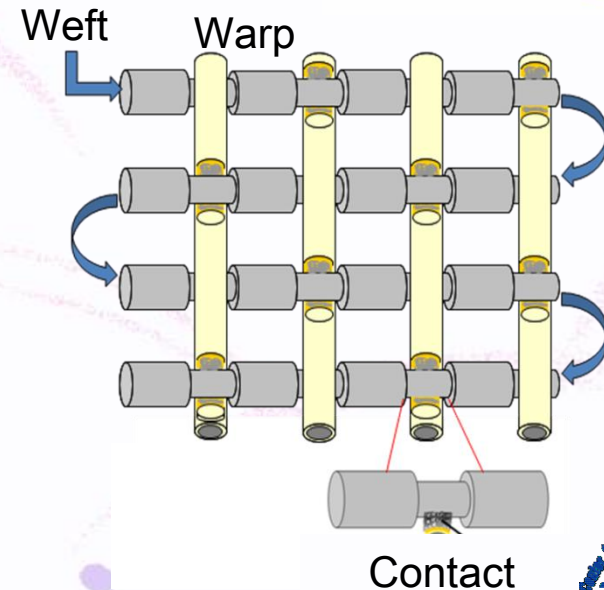
MICROMACHINE



Lines / spaces

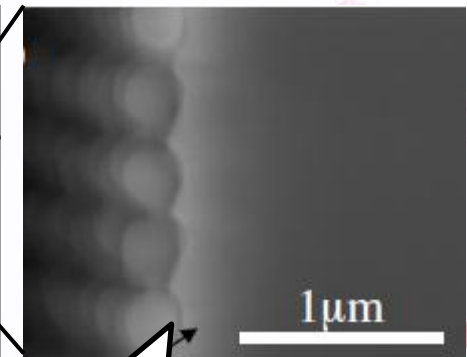
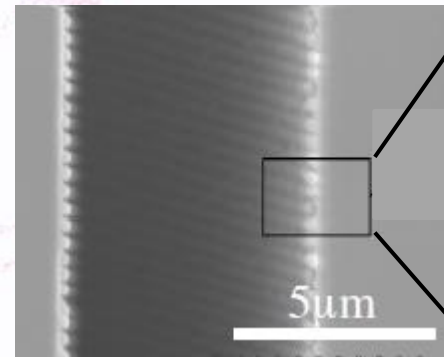
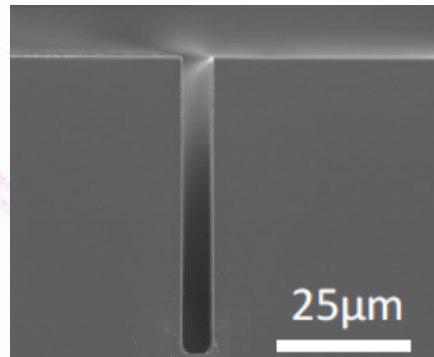
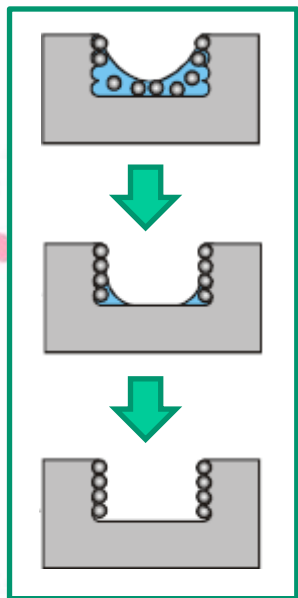


Dots



# DRIE深溝内への整列ナノ粒子付加

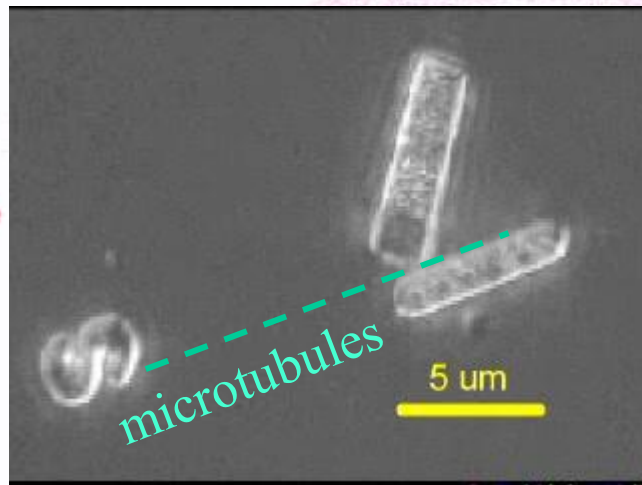
- ナノ粒子の自己組織化配列を用い、ミクロの深溝の側面に規則的かつ稠密な単層ナノ粒子膜を得た
  - 異スケール: ミクロ構造、サブミクロン粒子
  - 異プロセス: MEMS加工と自己組織化
  - 異材料: Ptナノ粒子を取り込みガスセンサに応用予定



300nm  
シリカ粒子

# MEMSに生体分子モータを組み込むナノ搬送

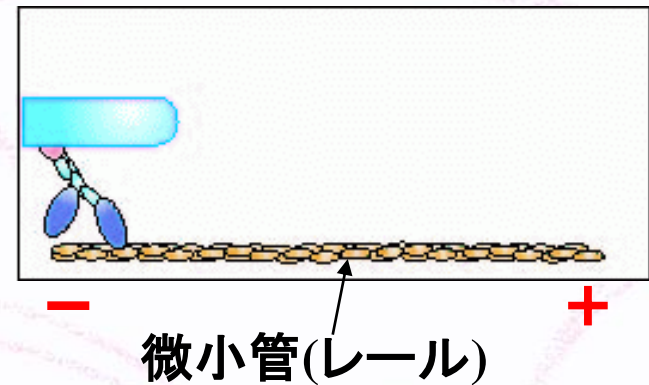
- ガラスの表面に微小管を付加し、その上でSiマイクロ構造をキネシン分子の力で動かした
  - 異スケール: ミクロの構造とナノのモータ分子
  - 異プロセス: 半導体加工、バイオアッセイ
  - 異材料: シリコン、ガラス、タンパク質



x 10 速

MEMS

キネシン  
(モータ)

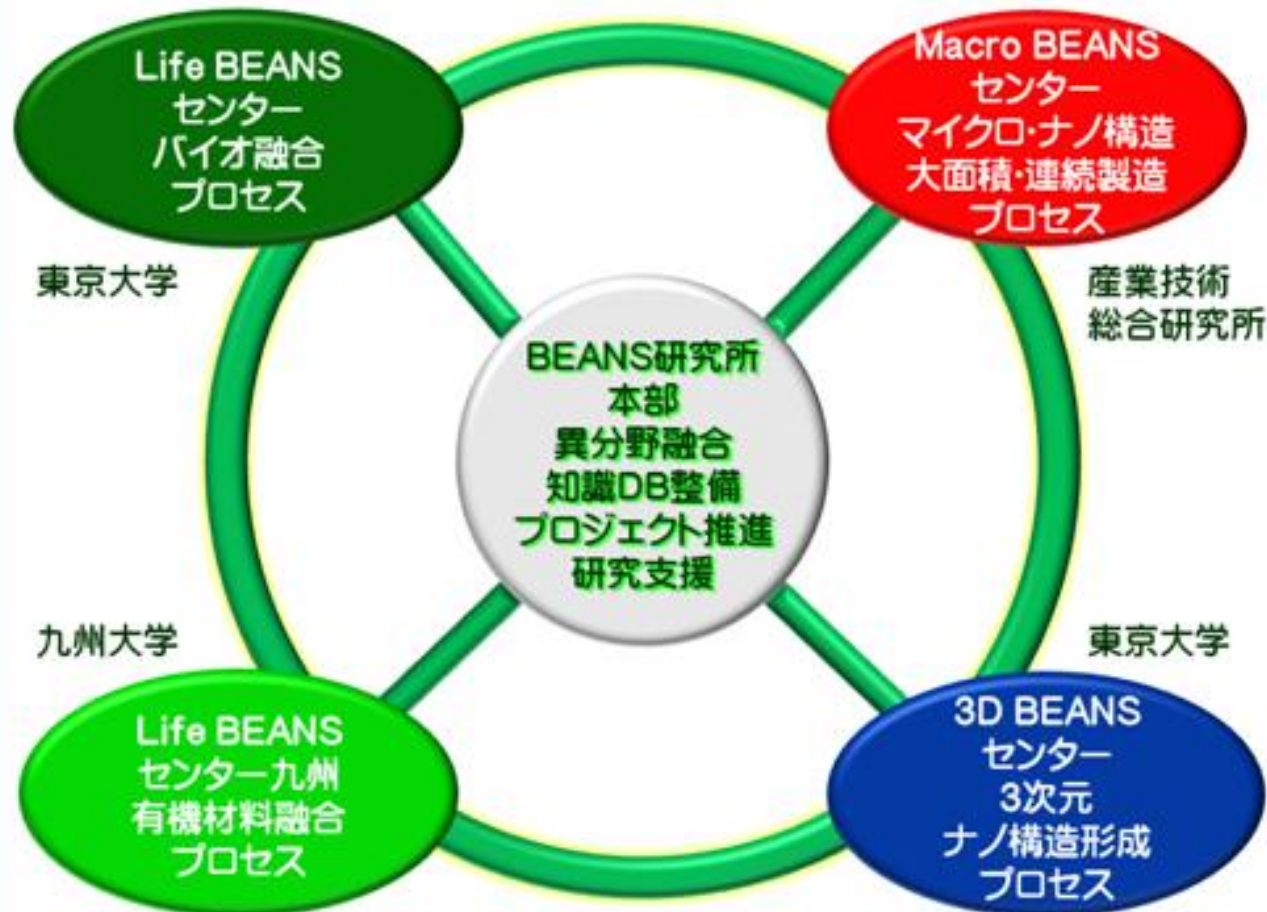


これは、藤田博之研究室オリジナル  
R.Yokogawa, H. Fujita, et al: Nanotech. 2006



# BEANS研究体制

プロジェクトリーダー： 遊佐 厚  
サブプロジェクトリーダー： 藤田博之





# ライフBEANSセンター

- 細胞や生体分子をMEMSと融合
  - 異スケール: ミクロ構造、細胞( $\mu\text{m}$ )、分子(nm)
  - 異プロセス: 細胞培養、バイオアッセイ、微細加工
  - 異材料: ガラス、高分子、ゲル、細胞、タンパク質
- 応用: 血糖値モニタ、薬剤スクリーニング、超高感度バイオセンサ

# ライフBEANSセンター九州

- 有機材料をMEMSと融合
  - 異スケール: ナノ構造、ミリ構造
  - 異プロセス: 分子合成、結晶化、自己組織化(分子配向)、微細加工
  - 異材料: 有機分子、プラスチック、酸化物、 $C_{60}$
- 応用: 有機太陽電池、有機EL、熱電変換素子

# 3D BEANSセンター

- ナノ構造とMEMSの融合
  - 異スケール: ミクロ構造、ナノ構造・ナノ粒子、CNT
  - 異プロセス: レーザ改質、自己組織化、半導体加工（中性粒子無損傷エッチング、超臨界流体成膜）、選択的分子結合（接着ペプチド）
  - 異材料: 半導体、金属、高分子、ナノカーボン
- 応用: ガスセンサ、ナノ流体デバイスのバイオ応用、プローブリソグラフィ、超高容量キャパシタ

# マクロBEANSセンター

- 大面積MEMSの連続製造
  - 異スケール: ミクロ構造、メートル級シート・フィルム
  - 異プロセス: 型押し、ダイコート、大気開放系成膜、印刷、紡織
  - 異材料: 半導体、金属、高分子
- 応用: 太陽電池シート、スマート衣服、布状センサー



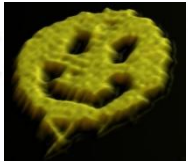
# 異機能集積化プロセス

異機能集積システム

異機能集積化技術

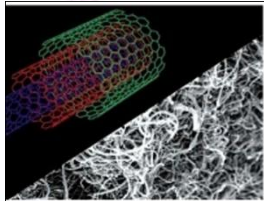
機能分子

合成化学



バイオ化学  
機能素子

マイクロ  
流体技術

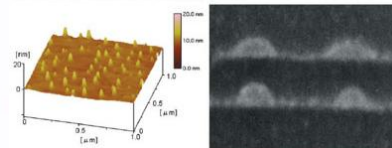


ナノ  
機能素子

ナノ技術

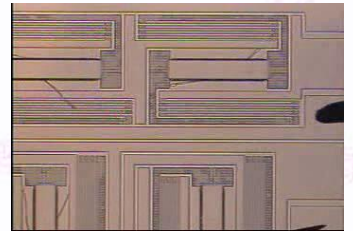
光学機能  
素子

化合物半導体技術  
光集積技術



電子機能  
素子

シリコン技術



運動機能素子

マイクロ  
マシーニング

柔軟デバイス

印刷  
紡績

# 異機能集積化プロセス

異機能集積システム

異機能集積化BEANS技術



柔軟デバイス

印刷  
紡績

運動機能素子

マイクロ  
マシーニング

電子機能  
素子

シリコン技術

光学機能  
素子

化合物半導体技術  
光集積技術

ナノ  
機能素子

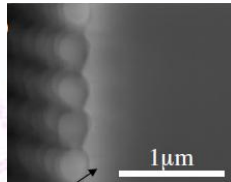
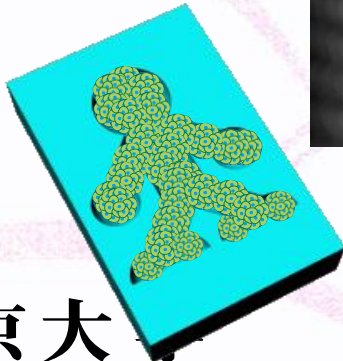
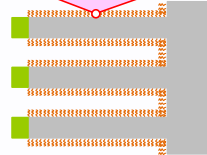
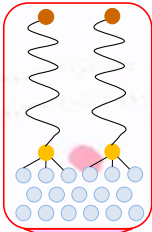
ナノ技術

バイオ化学  
機能素子

マイクロ  
流体技術

機能分子

合成化学



# まとめ

- MEMS 技術は成熟し、実用化段階に入った
- MEMSをナノテク、バイオ技術、印刷、紡績などと組み合わせ異機能集積プロセスにする
  - トップダウン技術とボトムアップ技術の融合
  - 自己組織化の活用
  - スケール、材料、プロセスを超える異分野融合
- BEANSプロジェクトはこの端緒となる試み。
- 上記のコンセプトに基づき、それを具現化する研究成果が得られている

# 謝辞

- 経済産業省
- NEDO
- マイクロマシンセンター
- BEANS研究組合
- 産業競争力懇談会
- 文部科学省
- JST
- JSPS
- フランス科学研究センター

(COCN)