

「異分野融合型次世代デバイス製造技術開発プロジェクト」

事後評価分科会資料7-1-1A

プロジェクトの詳細説明資料 バイオ材料融合プロセス技術の開発

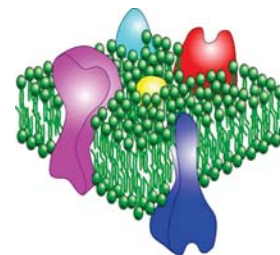
平成25年5月24日

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術開発推進部

LifeBEANSが注目したバイオ・有機材料

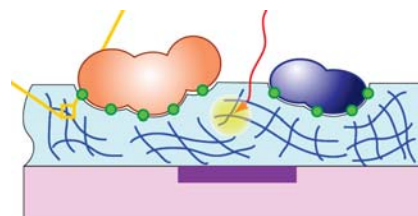
(1)脂質2重膜

→ 超高感度化学量センサへ応用



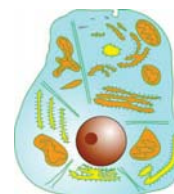
(2)ハイドロゲル

→ 埋め込みデバイス界面へ利用
(血糖値センサなど)



(3)細胞

→ 生体組織の3次元形成
動物実験が要らない創薬プロセス



2025年の社会(日本学術会議)

カプセル1錠で寝ながら健康診断



- ・分子センサ
- ・埋め込みデバイス
- ・臓器モデル

家庭における健康管理と異常時の診断システム(2012年/2018年)
 マイクロマシンに基づく超小型健康管理デバイス(2015年/2025年)

食物の安全情報を一目でキャッチ



生鮮食品の鮮度が分かる
 家庭用鮮度検査器(2012年/2018年)

がん・心筋梗塞・脳卒中を克服



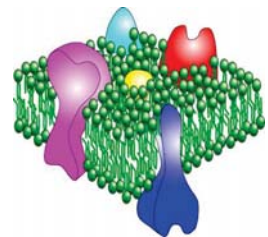
個人の体質に合った副作用の少ないがん治療
 (2014年/2023年)

LIFE研究項目と自主目標

①脂質2重膜安定界面形成プロセス

【自主目標】

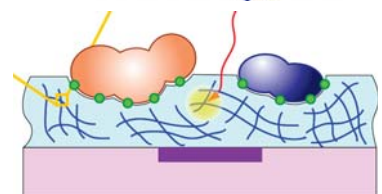
- ・24時間以上安定な脂質膜形成プロセスの確立(最終)



②ハイドロゲル安定界面形成プロセス

【自主目標】

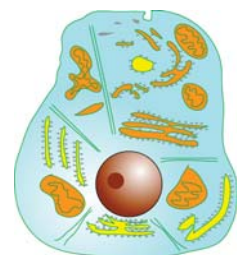
- ・3ヶ月以上体内で安定して機能する(最終)



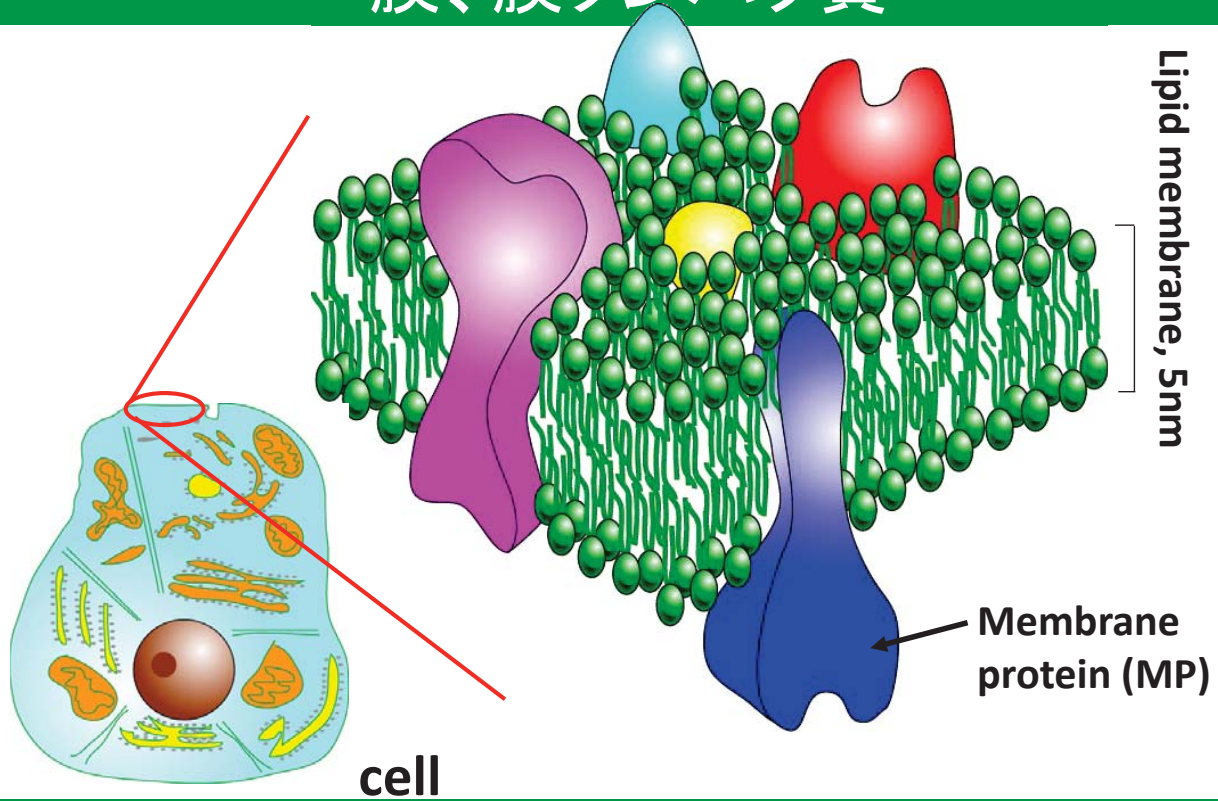
③細胞の3次元ヘテロ組織構造形成プロセス

【自主目標】

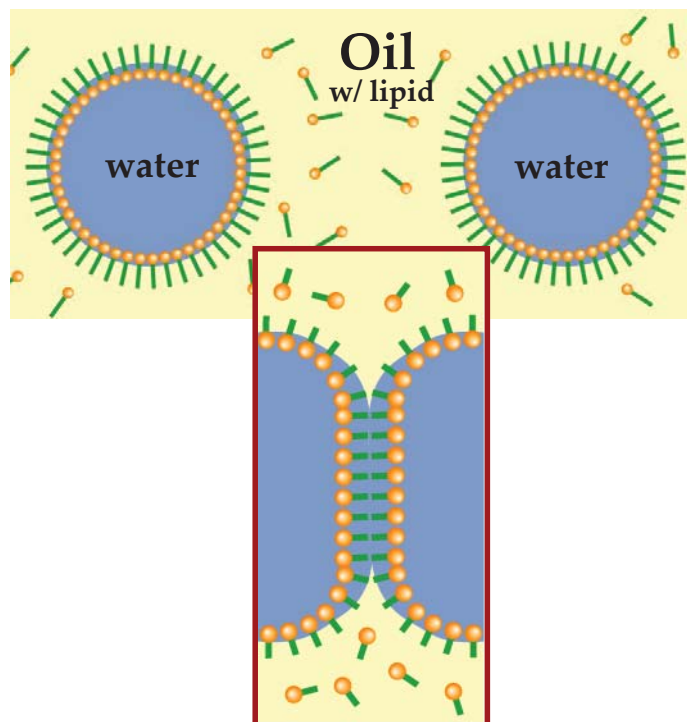
- ・胆管をデバイス上に形成し、薬物動態計測を可能とするプロセス(最終)



膜、膜タンパク質



挑戦：24時間安定して機能する膜を作る

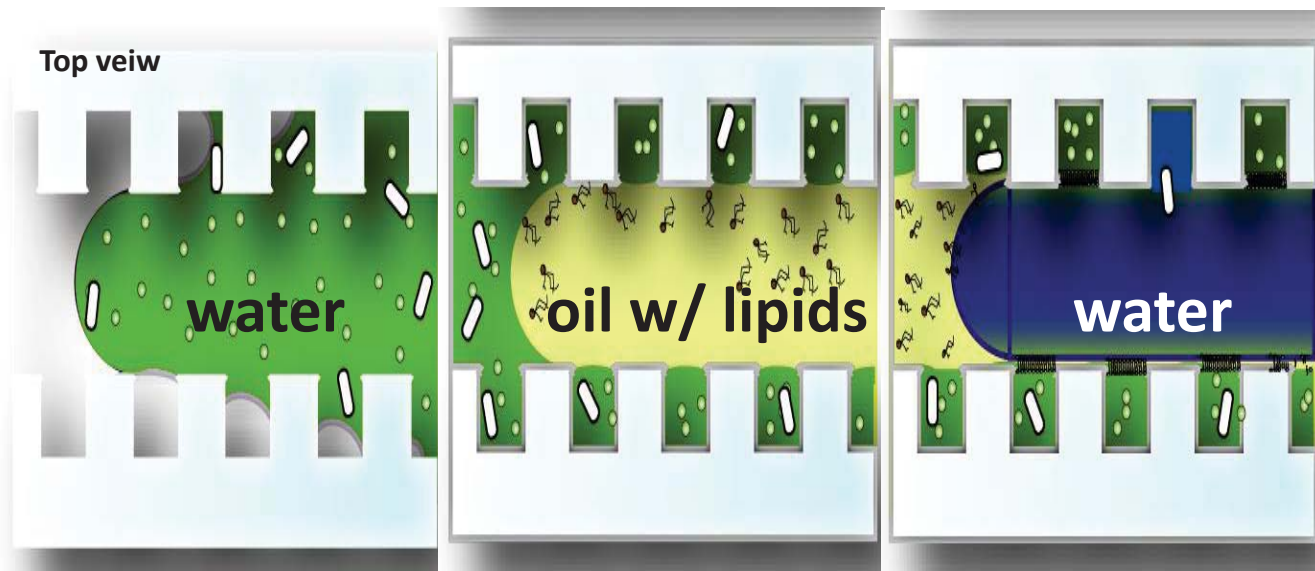


マイクロ流路で膜を大量に安定形成

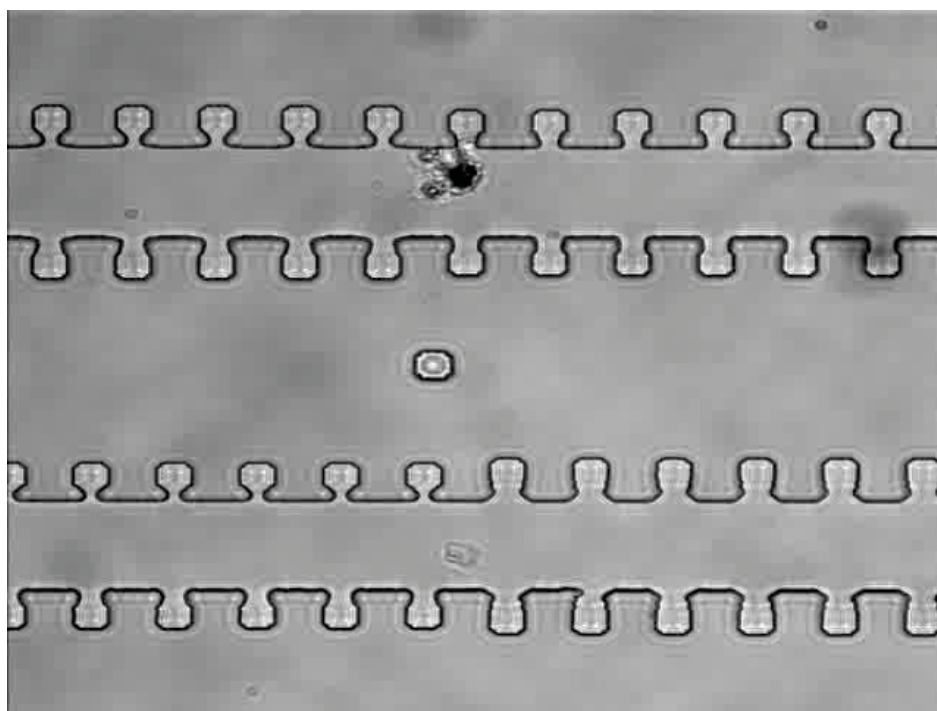
Step 1

Step 2

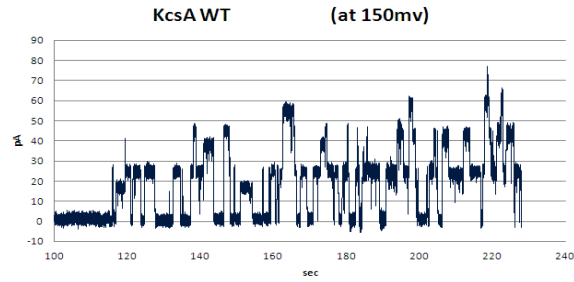
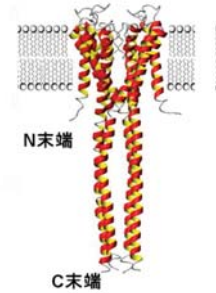
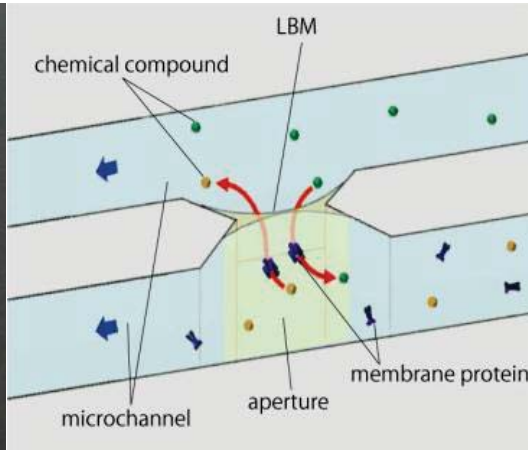
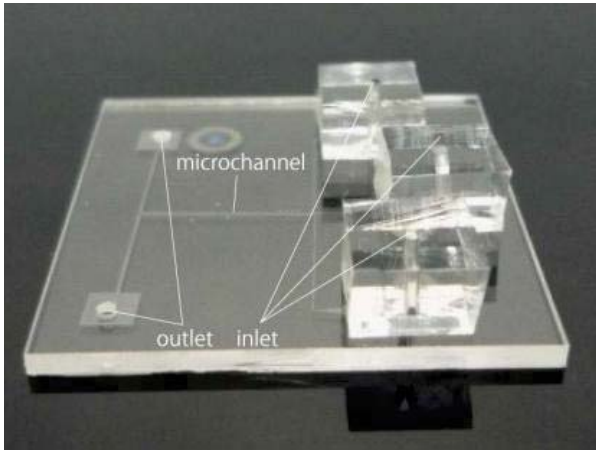
Step 3



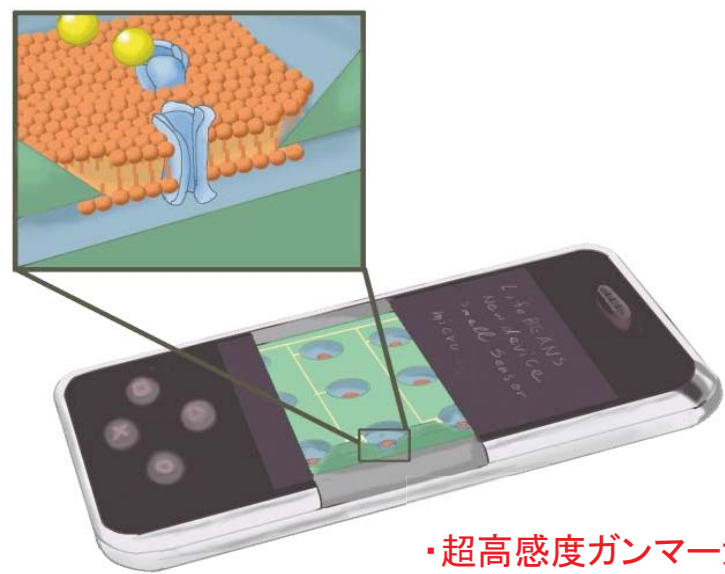
ガラス基板加工により24時間形成に成功！



膜タンパク質を導入し、電気計測も可能



将来：1分子でも認識できる 超高感度デバイス

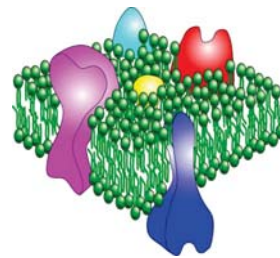


- ・超高感度ガンマーカ検出デバイス
- ・創薬スクリーニングデバイス
- ・超高感度「環境」センサーデバイス

LifeBEANSが注目したバイオ・有機材料

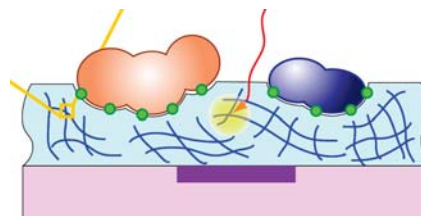
(1)脂質2重膜

→ 超高感度化学量センサへ応用



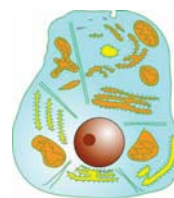
(2)ハイドロゲル

→ 埋め込みデバイス界面へ利用
(血糖値センサなど)



(3)細胞

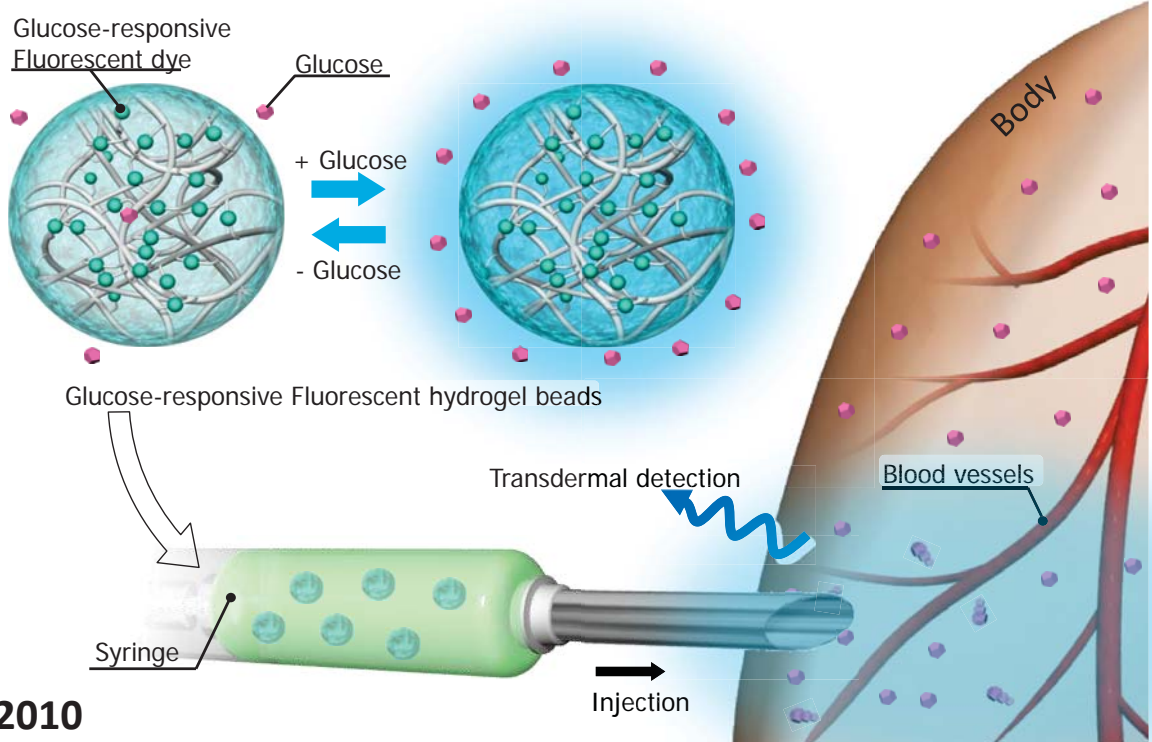
→ 生体組織の3次元形成
動物実験が要らない創薬プロセス



血糖値モニタリング

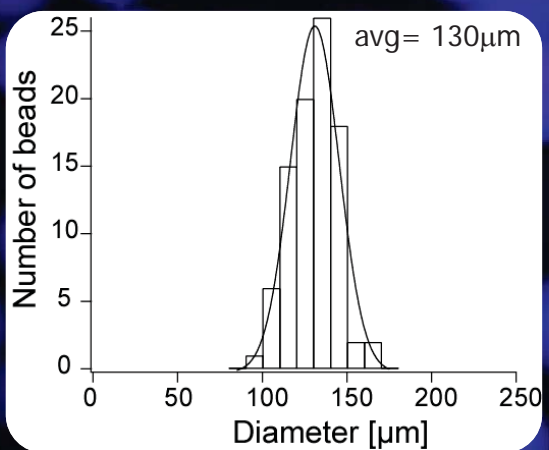
	血液採取型	半埋め込み型	完全埋め込み型
デバイス 外観	デバイス例. terumo 	デバイス例. MiniMed 	所望のデバイス 埋め込みセンサー  受信機
侵襲頻度	4~5 時間毎	3~7 日に1回 (針の長さ:13 mm, 外径:0.60 mm)	センサー 埋め込み時のみ
測定間隔	4~5 時間	5分	常時モニタリング

挑戦：体内埋め込み型長期血糖値モニタリング



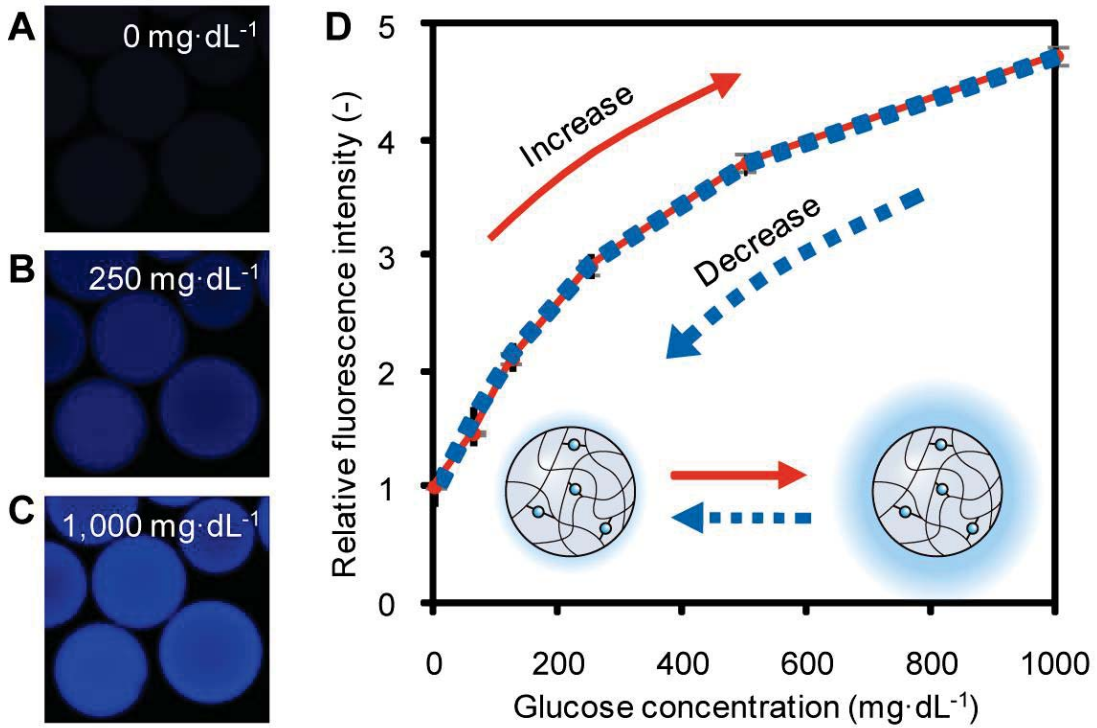
PNAS 2010

蛍光ゲルビーズ外観と粒径分布

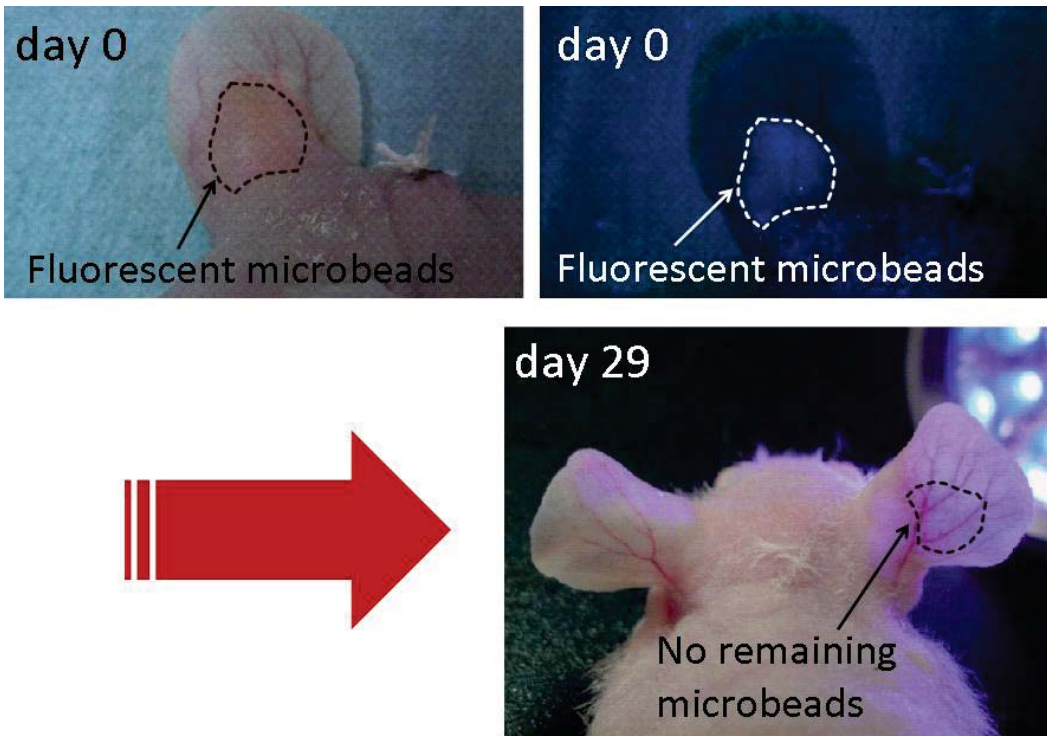


100 μm

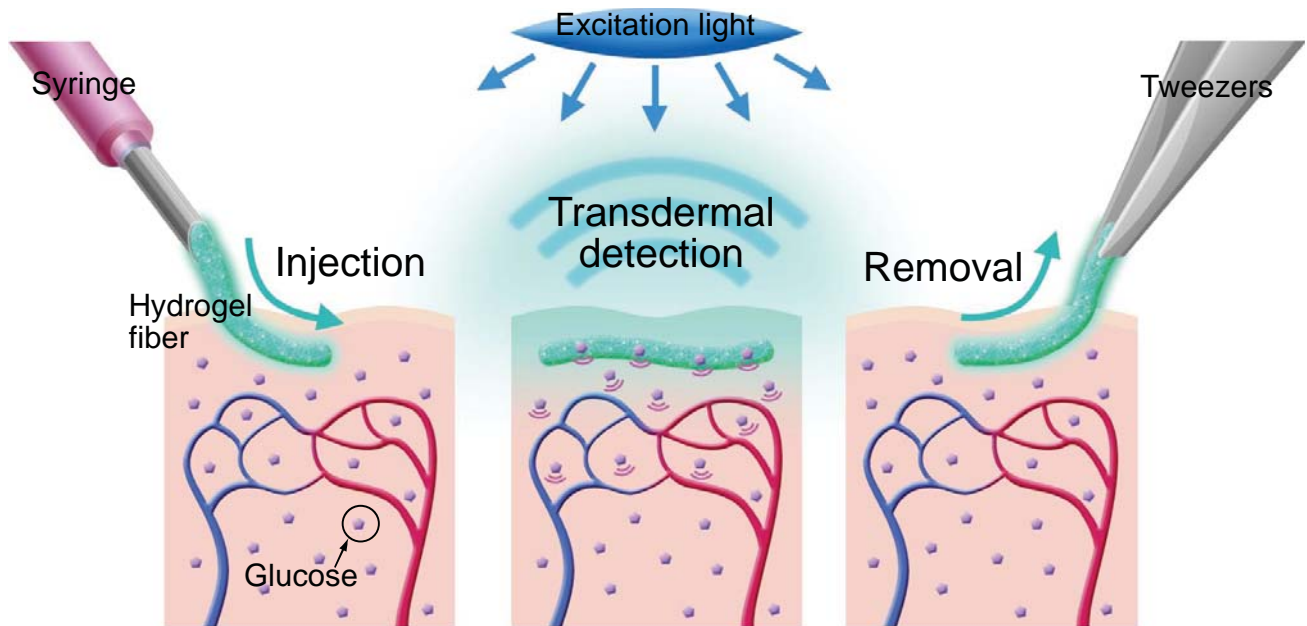
グルコース応答能



一ヶ月後の状態



ビーズからファイバーへ



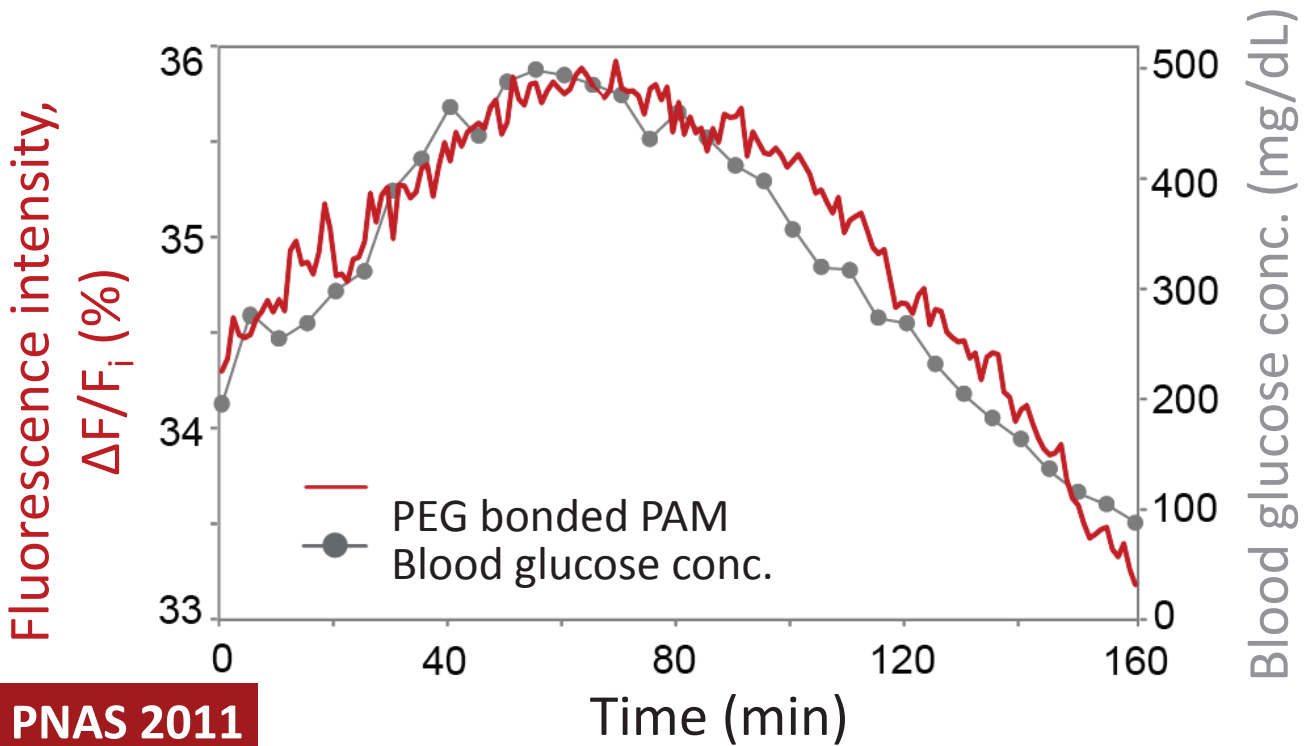
PNAS 2011

ファイバーの埋め込み



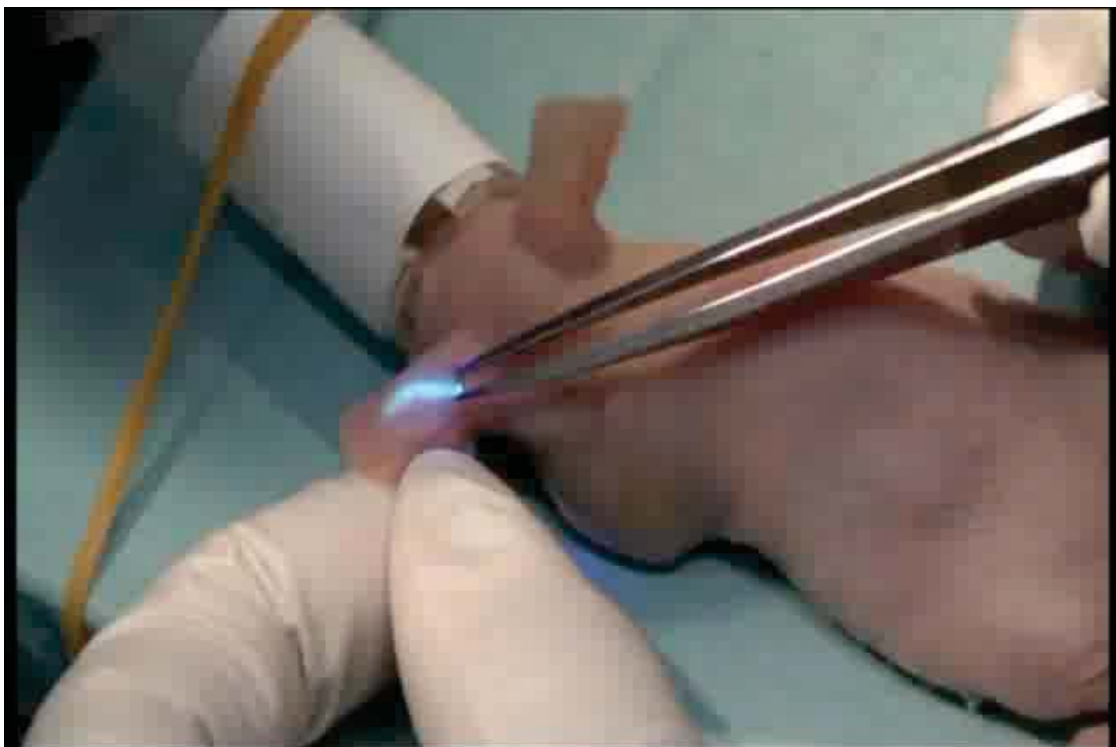
PNAS 2011

140日後も計測に成功！

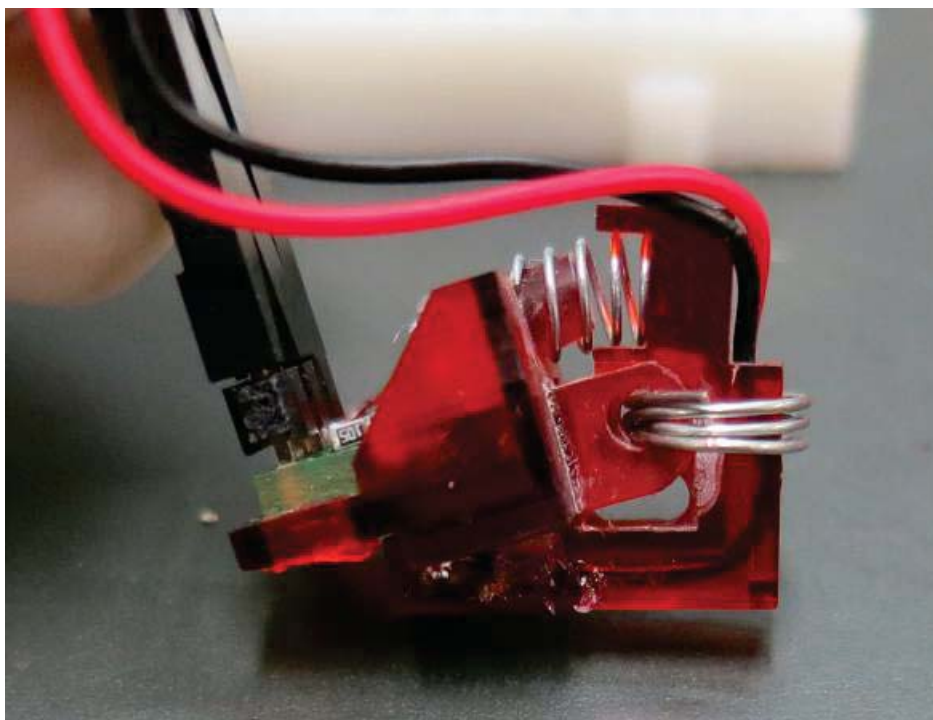


PNAS 2011

取り外しも簡単！



小型計測器の開発

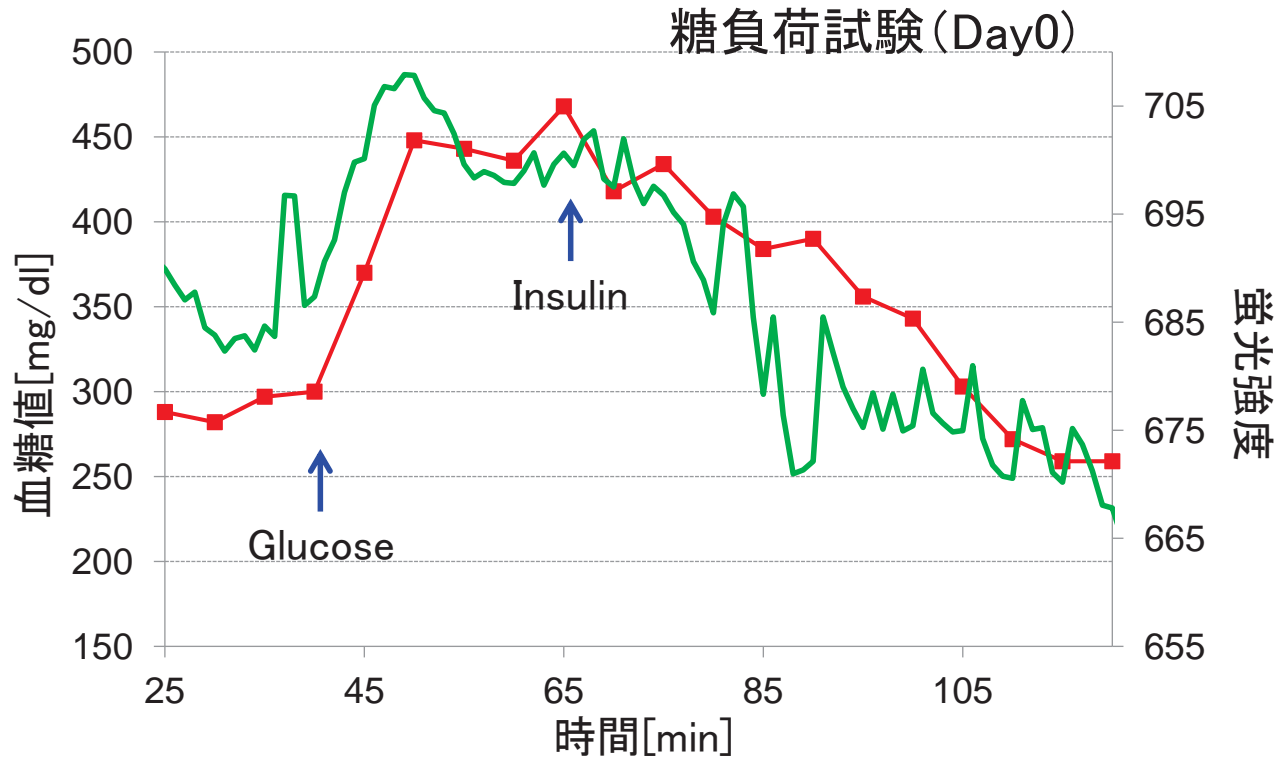


クリップ型蛍光測定デバイスの開発

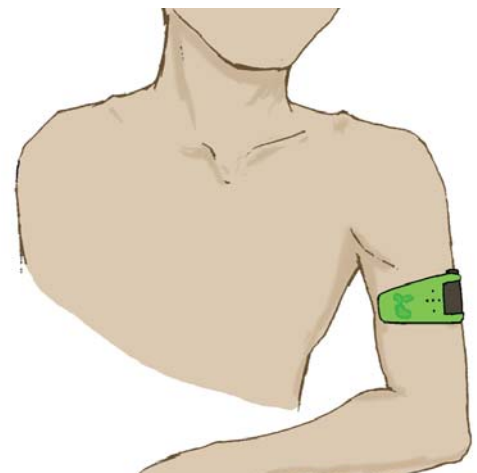


PD&LEDの簡単な構造でも、測定可能であることを確かめた。

クリップ型蛍光測定デバイスの測定結果



将来: 誰でも簡単! 24時間体調モニタリング



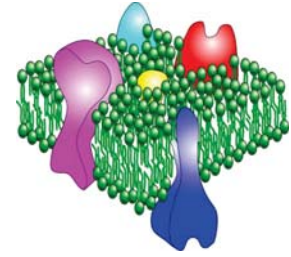
血糖値などのバイタルサインの常時計測

世界の糖尿病市場
 ・患者数: 3億6600万人
 ・血糖計市場規模: 96億ドル

LifeBEANSが注目したバイオ・有機材料

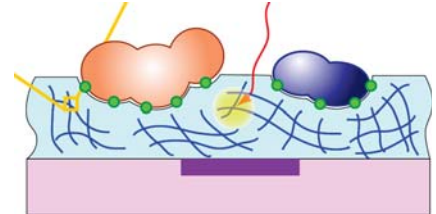
(1)脂質2重膜

→ 超高感度化学量センサへ応用



(2)ハイドロゲル

→ 埋め込みデバイス界面へ利用
(血糖値センサなど)



(3)細胞

→ 生体組織の3次元形成
動物実験が要らない創薬プロセス



動物実験をなくした薬物動態解析実験



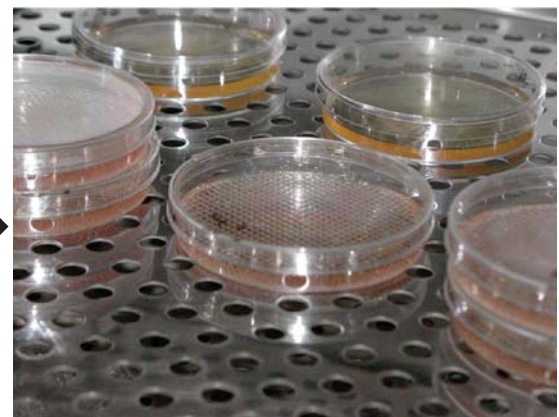
Much time
Much compounds
Not human



Low cost
Human cells

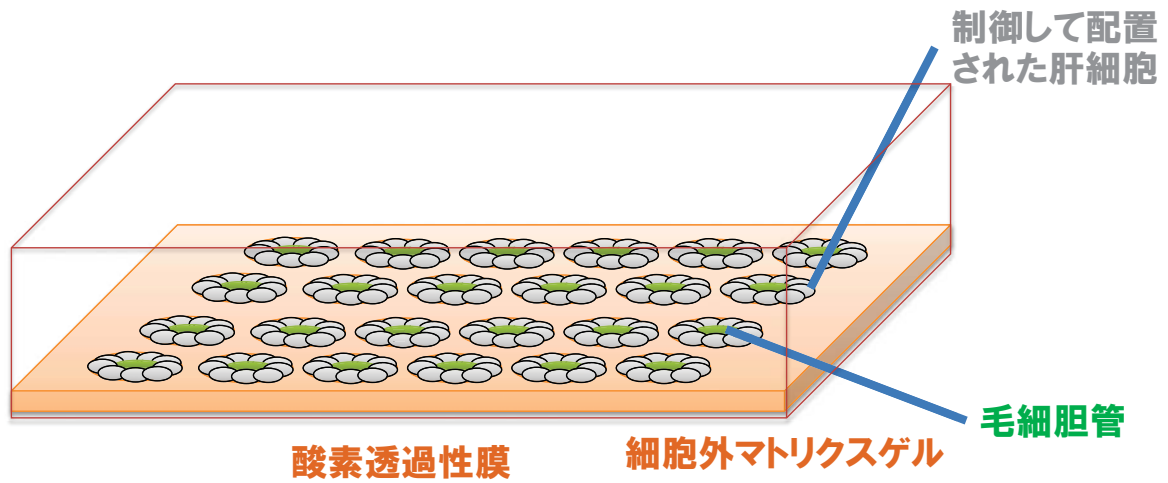


動物実験

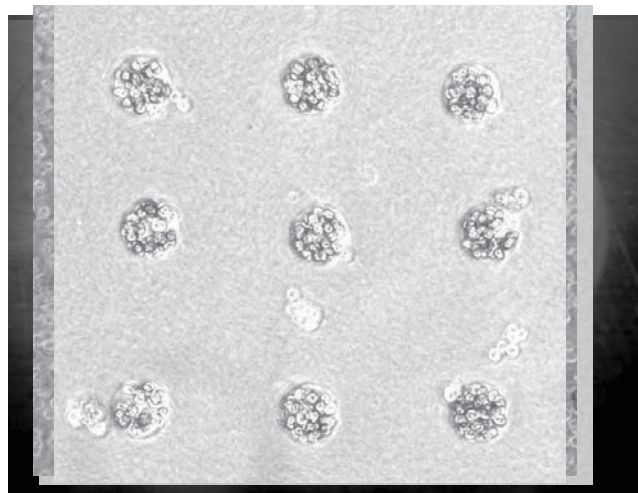
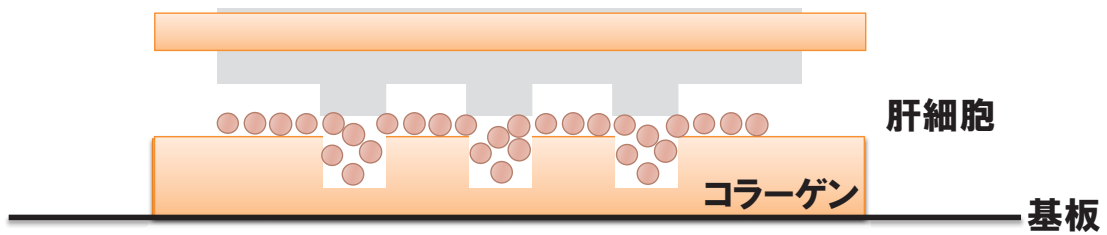


細胞実験

挑戦:「胆管」を所望の位置に配置し、胆汁を回収する。

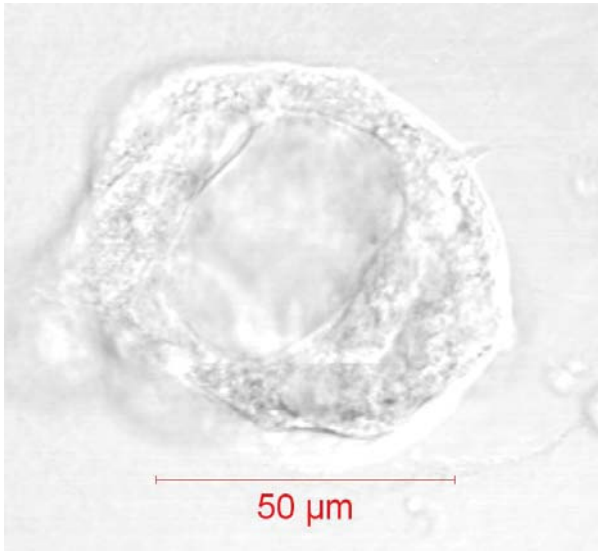


肝細胞の3次元培養系をつくる！

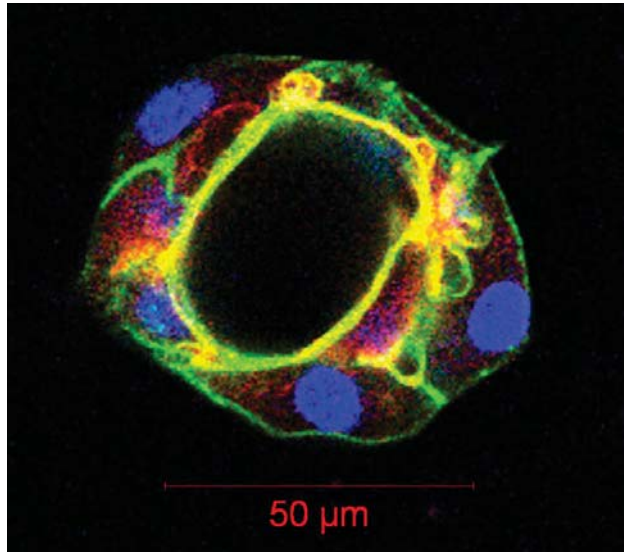


肝細胞塊内部に形成された胆管の構造

明視野像

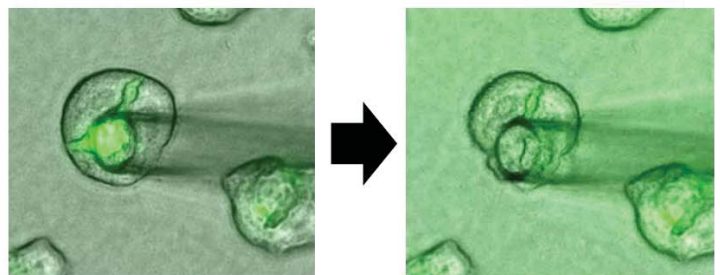
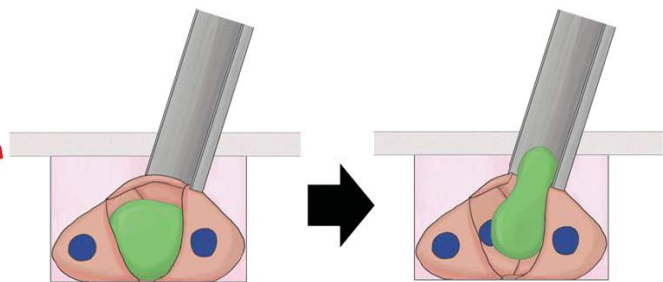
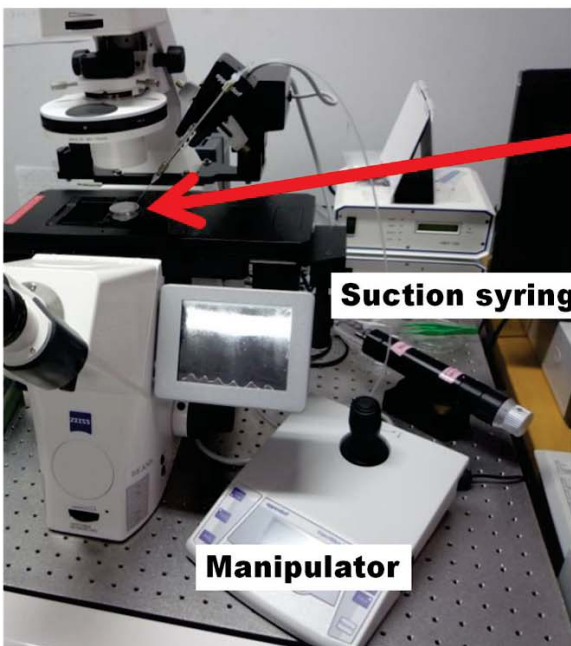


核 細胞膜 胆管膜



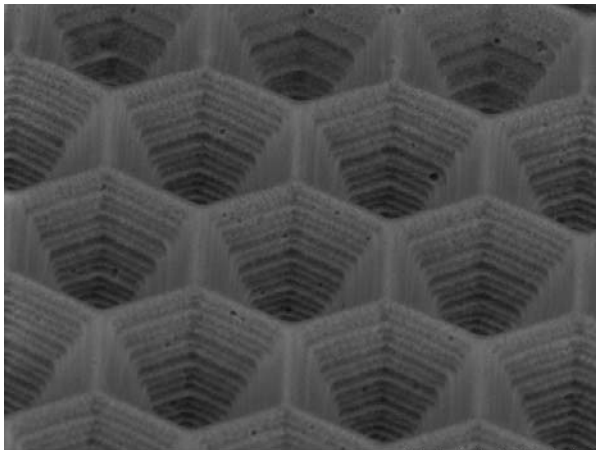
肝細胞塊の中央に胆管が形成された

胆汁を回収する！

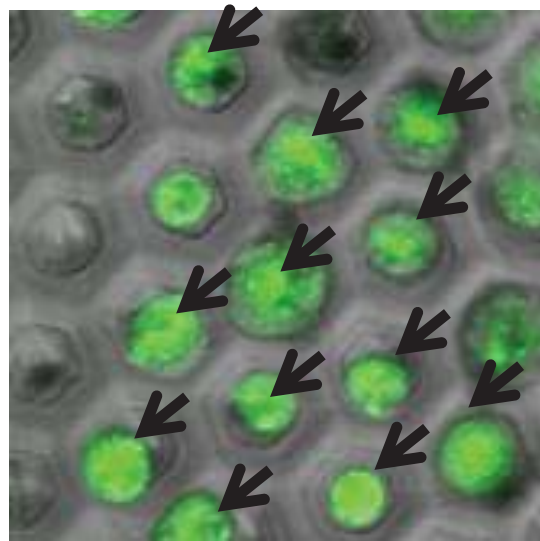


ヒトの肝細胞から胆管形成に成功！！

少量かつ貴重な「ヒト」肝細胞

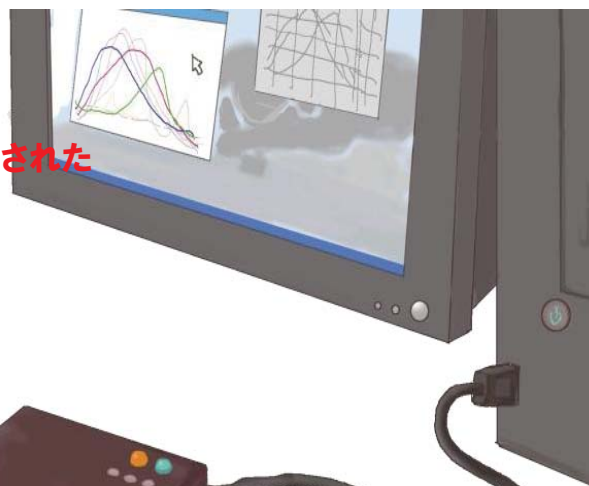
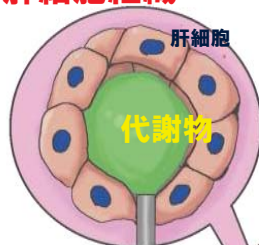


Miniscope 0097 2012/11/30 14:41 L D3.4 x600 100 um TM-1000



将来：動物実験を使わない 高速薬物動態解析

3次元ゲル内に配置された
肝細胞組織



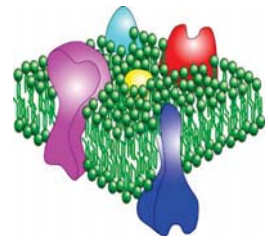
肝細胞組織培養デバイス

LIFE研究項目と自主目標

①脂質2重膜安定界面形成プロセス

【自主目標】

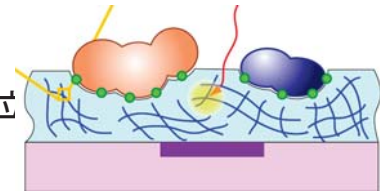
・24時間以上安定な脂質膜形成プロセスの確立



②ハイドロゲル安定界面形成プロセス

【自主目標】

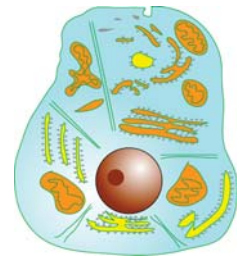
・3ヶ月以上体内で安定して機能する界面形成プロセスの確立



③細胞の3次元ヘテロ組織構造形成プロセス

【自主目標】

・胆管をデバイス上に形成し、薬物動態計測を可能なヘテロ組織形成プロセスの確立



「異分野融合型次世代デバイス製造技術開発プロジェクト」

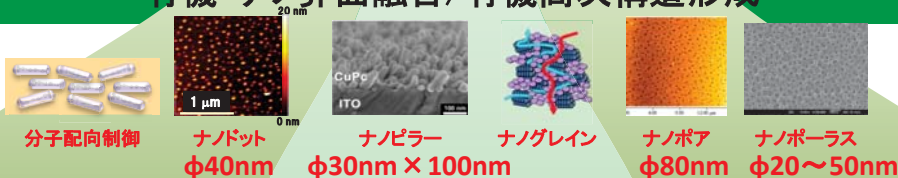
事後評価分科会資料7-1-1B

プロジェクトの詳細説明資料 有機材料融合プロセス技術の開発

平成25年5月24日

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術開発推進部

有機・ナノ界面融合/有機高次構造形成



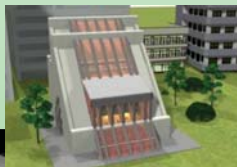
高発光効率の有機EL

高効率の有機薄膜太陽電池

有機・無機熱電デバイスの実用化



有機EL照明&ディスプレイ



有機太陽電池ガラス



ウェアラブルデバイス



ビル・住宅ガラス



フレキシブルディスプレイ



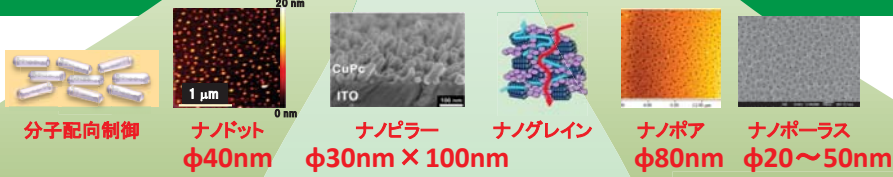
フレキシブル太陽電池



自動車 (ハイブリッド)

排熱を利用する熱電発電

有機・ナノ界面融合/有機高次構造形成



高発光効率の有機EL

高効率の有機薄膜太陽電池

有機・無機熱電デバイスの実用化

有機の特長である
大面積かつ安価なプロセスにフォーカス



有機材料融合プロセス技術の研究推進体制 Life BEANS九州

研究開発項目	研究開発テーマ	九州大学	BEANS研究所								
			九州先端科学技術研究所	九州工業大学	3D BEANS 東北大学	リンテック(株)	パナソニック(株)	大電(株)	東京大学	オリンパス(株)	(株)デンソー
	研究マネジメント	○	○								
(1B) 有機・ナノ界面融合プロセス技術	(1B)-1 ナノマーキング・配向制御によるナノ構造形成 【有機太陽電池】	○				○	○	○			
	(1B)-2 トップダウンプロセスによるナノ構造形成 【有機薄膜エッチング】	○			○						
(2B) 有機高次構造形成プロセス技術	(2B)-1 有機分子の構造・結晶制御による高次構造形成 【有機ELデバイス】	○				○	○	○			
	(2B)-2 ナノポーラス構造形成と熱電特性評価 【熱電デバイス】	○		○		○					
BEANS 成果促進	赤外線共鳴アンテナへの適用 【赤外線センサ】	○	○				○		○	○	○

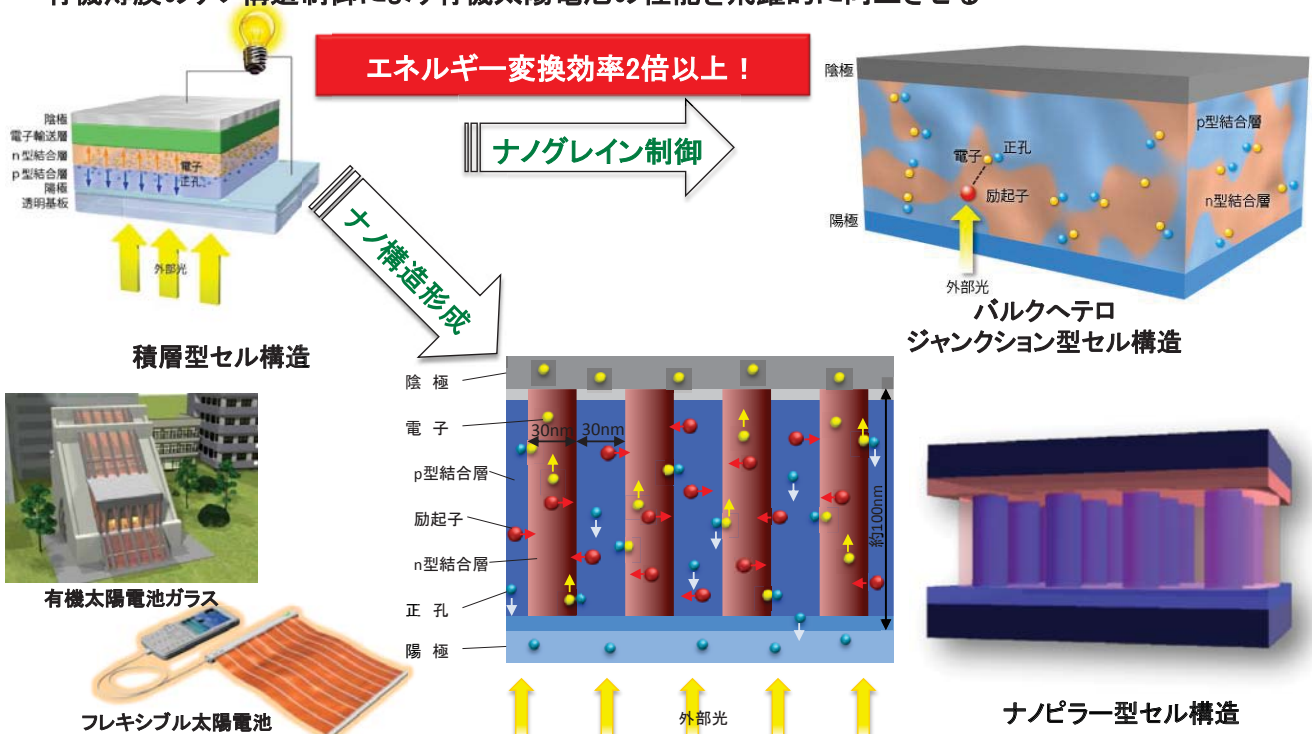


Life BEANSセンター九州 研究開発目標の達成状況

研究開発項目	研究開発テーマ	開発目標 ※黒文字:当初目標、赤文字:加速目標	達成状況	結果
(1B) 有機・ナノ界面融合プロセス技術	(1B)-1 ナノマーキング・配向制御によるナノ構造形成	<ul style="list-style-type: none"> ・200nm以下の間隔を有するナノ構造体表面への配向・被覆プロセスの開発 ・有機薄膜の分子配向制御プロセスの開発と、光電変換デバイスの変換効率の20%向上 ・材料・デバイス構造の最適化による、光電変換効率を30%向上(効率8%) ・タンデム型有機薄膜太陽電池において単層セルに対し、2倍以上の電圧(Voc)、及び効率20%向上を目指す ・セルの信頼性を評価し、実用化への課題抽出 	<ul style="list-style-type: none"> ◎ ◎ ○ ◎ ◎ 	<ul style="list-style-type: none"> ・100nm以下のナノ構造体への配向・被覆に成功 ・プロジェクト開始時から効率2.2倍(3.2%→7.0%)を達成 ・材料・ナノ構造の最適化により8%の達成の可能性を示す ・多層化による6倍のVoc、タンデム化により効率1.85倍を達成 ・効率10%を達成への開発課題を抽出
	(1B)-2 トップダウンによるナノ構造形成	<ul style="list-style-type: none"> ・有機薄膜の損傷によるデバイス特性の低下を10%以下に抑える中性粒子ビームエッチングプロセスの開発 	◎	特性劣化、 約7% に押さえるプロセスを開発
(2B) 有機高次構造形成プロセス技術	(2B)-1 有機分子の構造・結晶制御による高次構造形成	<ul style="list-style-type: none"> ・自己組織化ナノ構造の形成プロセスの開発 ・径50 nm以下の有機ナノピラー構造 ・100 nm以下の均一ポアを有する有機ナノポーラス構造 ・ライン・アンド・スペース100 nm以下の網目や直線構造 ・陰極上へのナノ構造形成による発光デバイスの光取り出し効率20%向上 ・分子配向性発光材料の多色化、及びPL量子効率80%の実現 	<ul style="list-style-type: none"> ◎ ◎ ◎ 	<ul style="list-style-type: none"> ・径30nm、長さ100nmのナノピラー、80nmのナノポア、100nm以下のナノポーラスを実現 ・光取り出し効率31%向上 ・黄、緑、赤を実現 ・PL量子効率85%を実現
	(2B)-2 ナノポーラス構造形成と熱電特性評価	<ul style="list-style-type: none"> ・有機半導体ナノ構造を熱電変換デバイスに適用し、熱電特性(パワーファクター)PF = 10μWm⁻²K⁻²以上の達成 ・有機半導体水平型デバイスの更なる高性能化、及び垂直型のデバイス構造での水平型と同等のパワーファクターの実現 ・シミュレーション技術を活用した熱電特性評価法の確立 ・BCPによるナノポーラス熱電半導体膜形成プロセス最適化によりZT=1.0超のフレキシブル熱電半導体デバイス作製 	<ul style="list-style-type: none"> ◎ ○ ◎ ◎ 	<ul style="list-style-type: none"> ・PF=36μWm⁻²K⁻²を達成 ・塗布プロセス対応技術開発 ・垂直型デバイスを試作するも、リーク等により特性は未確認 ・面内熱伝導率測定法を確立 ・p/nとも約ZT=1.5を達成し、フレキシブルデバイスを作製

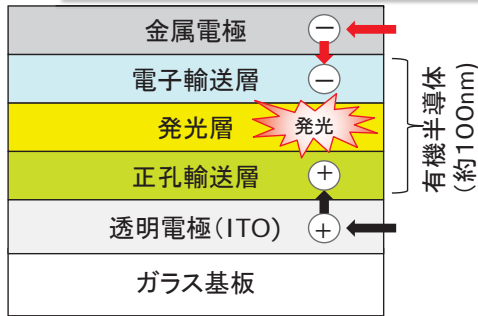
デバイスにおける有機材料のナノ構造形成の重要性2: 有機太陽電池

有機薄膜のナノ構造制御により有機太陽電池の性能を飛躍的に向上させる

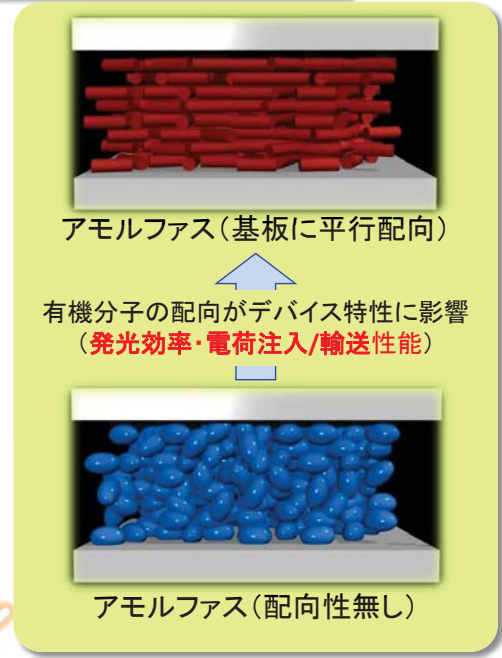
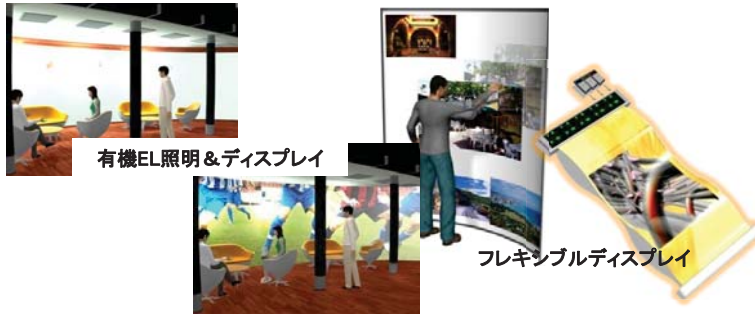


デバイスにおける有機材料のナノ構造形成の重要性1: 有機EL①

分子配向により光取り出し効率1.6倍！ 移動度10倍以上！



有機ELの発光原理



分子配向と有機EL特性

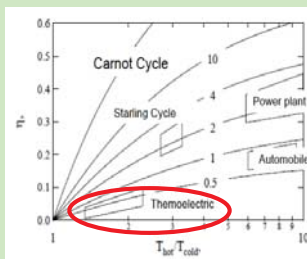
デバイスにおける有機材料のナノ構造形成の重要性3: 熱電デバイス

低コスト・大面積・フレキシブル、かつ高性能化をめざす

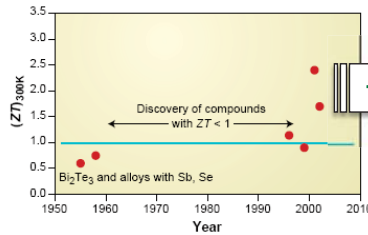
バルク材料の2倍以上の熱電特性を達成！

生活空間にある廃熱を利用できる唯一の方法

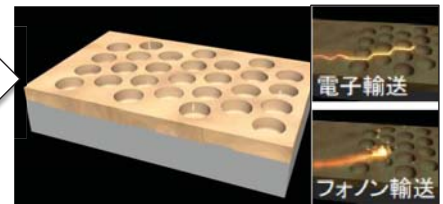
高効率化
大面積・フレキシブル化



ナノ構造導入によりバルク材料の物性を超える熱電特性を実現



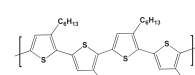
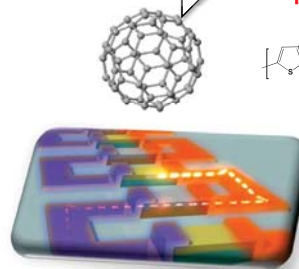
100nm以下のナノポーラス構造による高電気伝導度、低熱伝導度を両立



世界トップレベルの有機熱電デバイス

熱伝導度の小さい有機半導体の応用

ナノレベルの膜厚制御と新規デバイス構造による高い熱電特性の達成

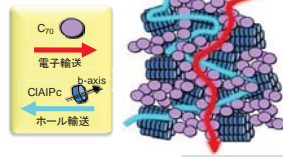


ナノグレイン・配向制御によるナノ構造形成が 有機太陽電池の光電変換特性を飛躍的に向上: 従来比2.2倍を達成

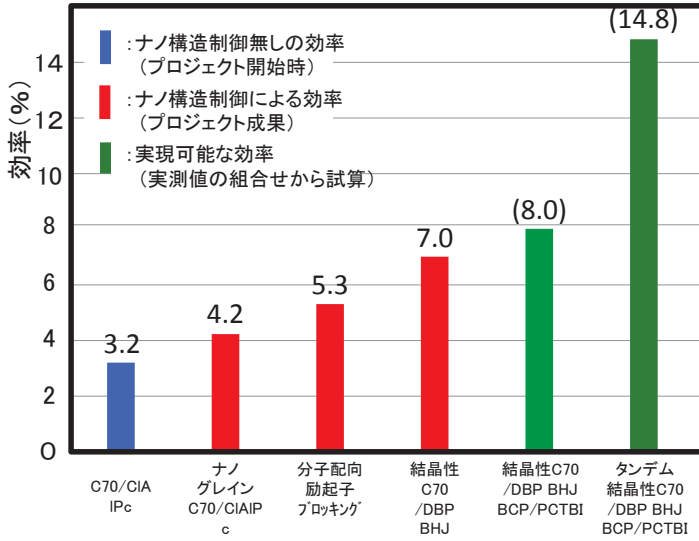
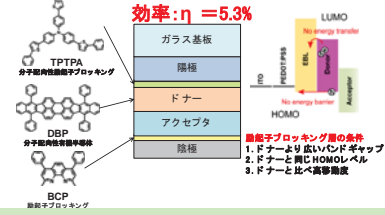
ナノ構造・分子配向制御により
光電変換効率を従来比2.2倍

デバイス構造最適化 → 8.0%
タンデム化 → 14.8%
達成可能性を示す

効率: $\eta = 4.2\%$



分子配向性有機薄膜太陽電池の基本構造



効率: $\eta = 7.0\%$

Ag
10nm BCP
DBP/C₇₀: BHJ (5%, 50nm)
5nm MoO₃
ITO

①ナノグレイン制御 & 結晶性C₇₀

効率: 14.5%向上
7.0 × 1.145 = 8.0%

Ag
PTCBI / BCP
DBP/C₇₀: BHJ (5%, 50nm)
5nm MoO₃
ITO

②陰極側バッファ層の最適化

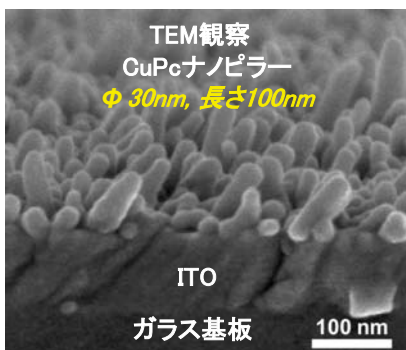
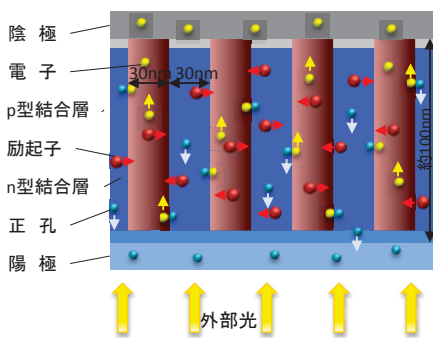
タンデム化により
単層セルに比べ
1.85倍の効率を実現

3つの手法を同時に実施
7.0 × 1.145 × 1.85 = 14.8%

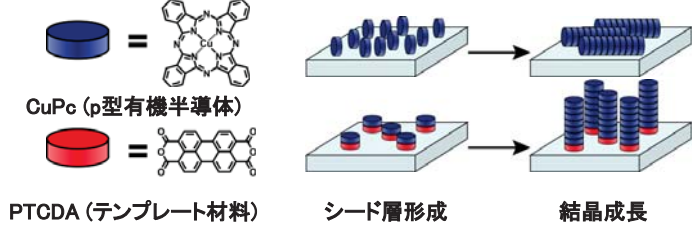
③CRZに有機EL用電子輸送材料を採用

有機ナノピラー構造形成と有機太陽電池への応用

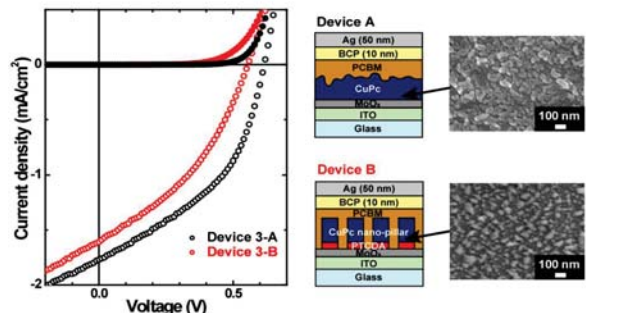
理想的とされる太陽電池構造



ナノピラー形成方法

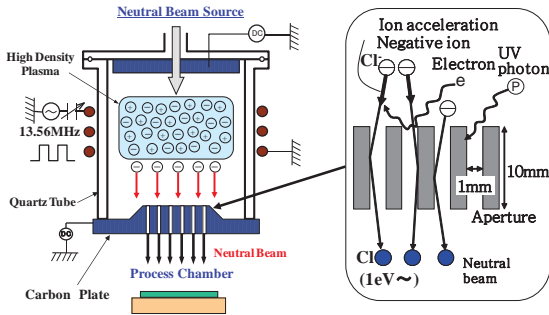


太陽電池特性の比較

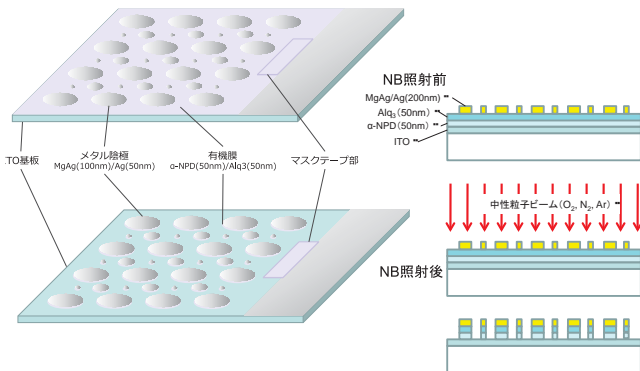


中性粒子ビームによる有機薄膜の低損傷エッチング

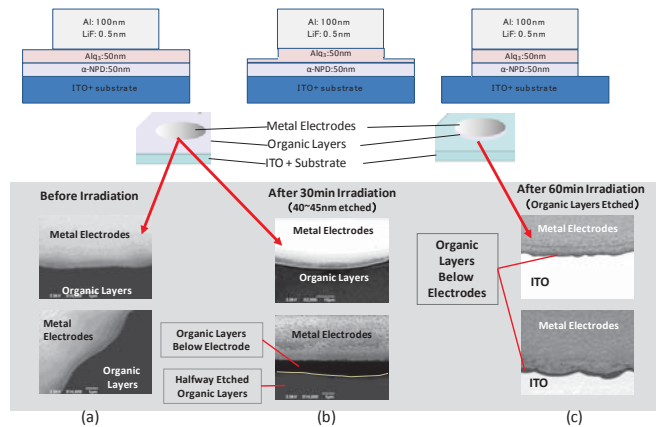
中性粒子ビームエッチング装置の概要



中性粒子ビームによる円盤形有機ELデバイス作製



中性粒子ビームによる有機薄膜エッチング結果

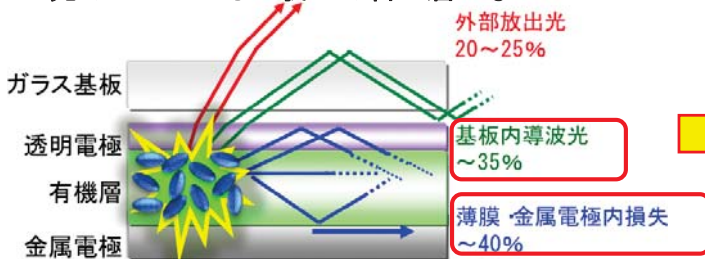


中性粒子ビームにおいて特性劣化7%: 目標を達成

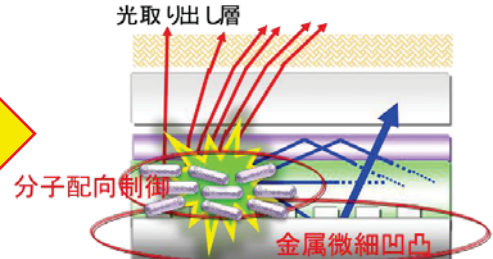
		V _{th}		V @ 10m A/cm ²	
		(V o l t a g e)	Ref. との比較	(V o l t a g e)	Ref. との比較
中性粒子ビーム照射	Ref.	2.09		7.98	
	N 2 N B	2.09	1.00	8.53	1.07
疑似プラズマ照射	Ref.	2.09		5.71	
	N 2 P l a s m a	2.09	1.00	8.80	1.54

分子配向、及びナノ構造による有機EL光取り出し効率の向上

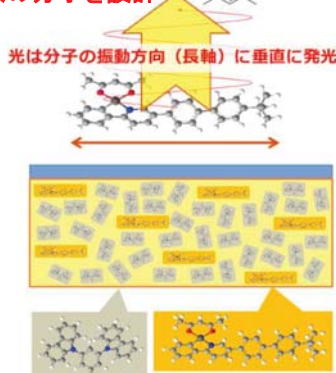
光の20~25%しか我々の目に届かない



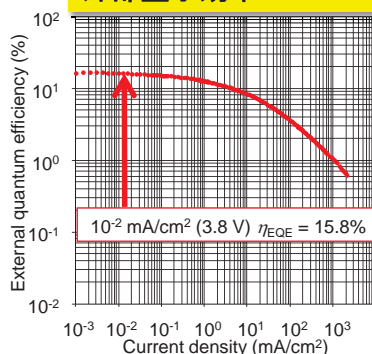
分子配向&ナノ構造で光取り出しアップ



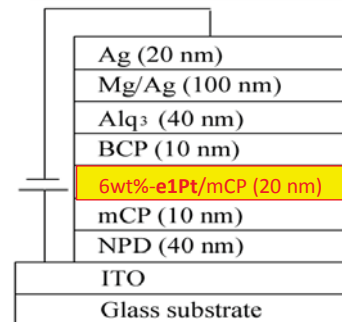
棒状の分子を設計



内部量子効率: 50%
外部量子効率: 16%



光取り出し効率: 32%
従来比: 1.6倍のアップ

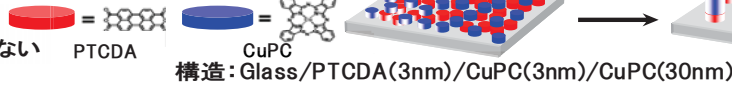


分子配向、及びナノ構造による有機EL光取り出し効率の向上

凹凸基板の特徴と作製プロセス

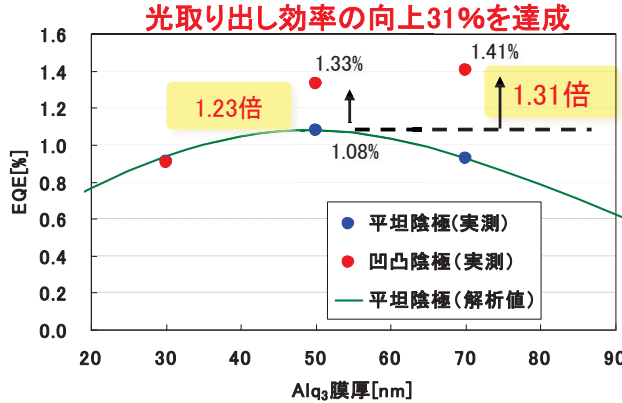
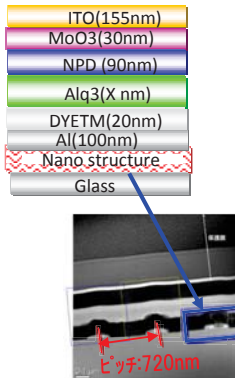
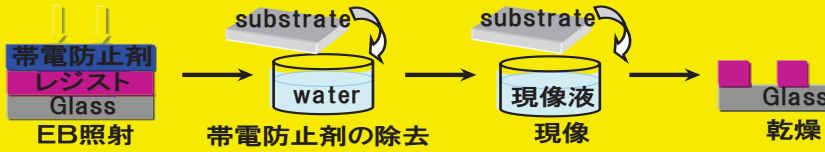
有機ナノピラー

ランダムな微細凹凸
作製時間が面積に依存しない



EBリソグラフィー

規則的な微細凹凸
作製時間が面積に依存

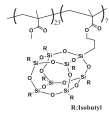
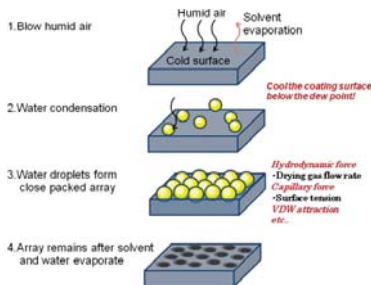


有機EL光取り出し効率
↓
分子配向で1.6倍
ナノ構造導入で1.3倍
組み合わせにより
更なる効率アップが可能

フレキシブル熱電デバイス開発による実用化への可能性を示す
有機・無機ハイブリッド熱電素子でp型:ZT1.3、n型:ZT1.5を実現

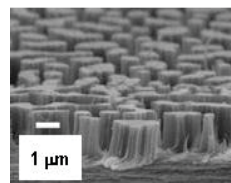
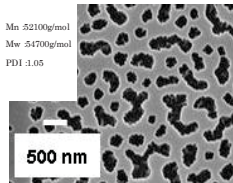
狙い: 100nm以下の均質なナノポア構造をテンプレートとしてナノポーラス熱電半導体を形成

ナノミスト法: 80nmのナノポア構造に成功
しかし、膜厚に制限がありデバイス化が困難

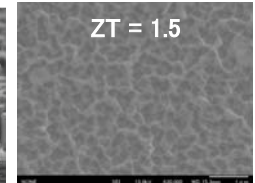


ブロックコポリマー(BCP)をテンプレートとする
有機-無機ハイブリッド材料の熱電デバイス作製

BCPによるテンプレート

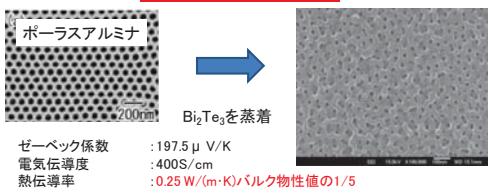


ナノポーラス熱電素子

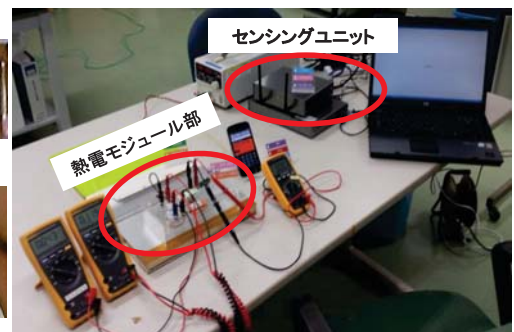


陽極酸化アルミナをテンプレートにZT1.8を達成
しかし、自立膜とならないためデバイス化が困難

ZT=1.8 ★世界トップレベル

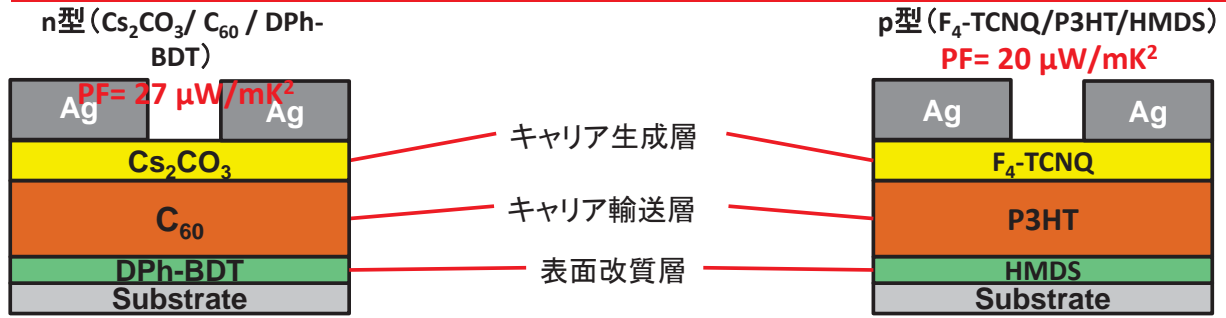


試作したフレキシブル熱電デバイスとデモンストレーション

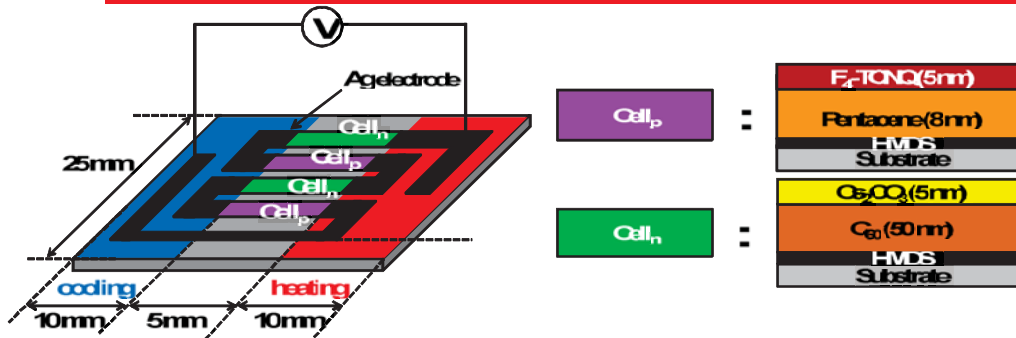


有機半導体応用熱電デバイス
熱電特性(パワーファクター)従来比2桁アップ

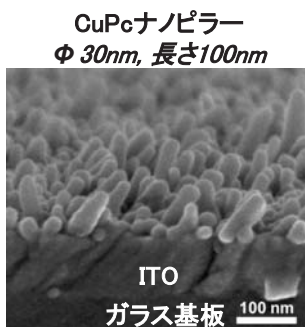
機能分離積層型有機薄膜熱電素子で世界トップレベルのパワーファクターを達成



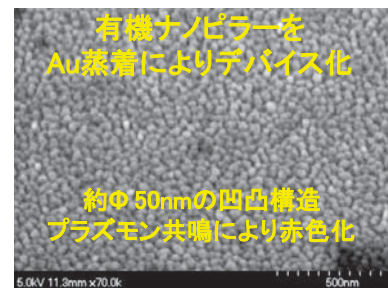
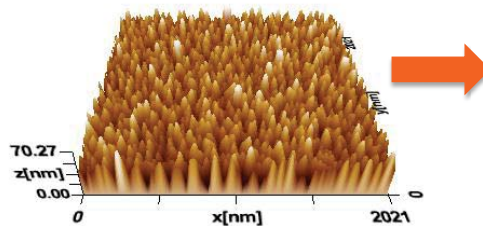
直列有機薄膜熱電デバイスを試作: 実用化への可能性を示す



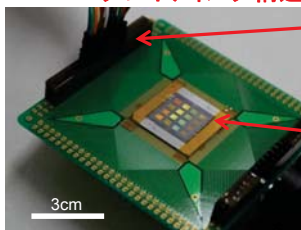
成果促進: プラズモン共鳴アンテナ構造を持つ赤外線センサ
トップダウン構造によるアンテナレイ作製と有機ナノピラーの適用による効果を確認



真空蒸着によるSi基板上への
CuPcナノピラー形成に成功



トップダウンによる
Auグレイティング構造形成とアレイ化



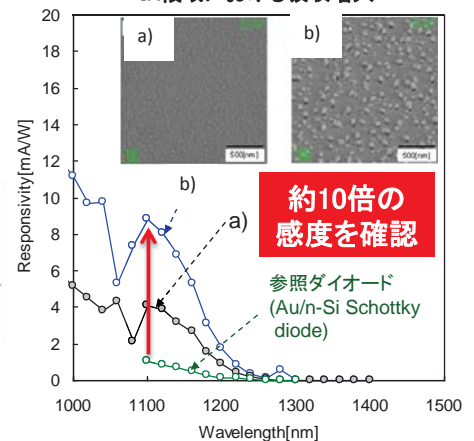
取り出し配線

回折光が見える
箇所がNIR検出部
(4x4アレイ)

CuPcナノピラー利用
Auナノグレイティング



IR領域における吸収増大



約10倍の
感度を確認

参照ダイオード
(Au/n-Si Schottky diode)