

# 薄膜による表面の機能化

D L C (ダイヤモンド状アモルファスカーボン)

東京電機大学工学部  
電気電子工学科  
平栗 健二

# 大量消費 → 省エネ → 環境 → バイオ

## 研究経歴の紹介

### サンシャイン計画 (エネルギー問題：1980年代)

- $\alpha$ -Si (太陽電池) の研究

### 京都議定書 (環境問題：第3回気候変動枠組条約締結国会議1997：1990年代) 「リサイクル」

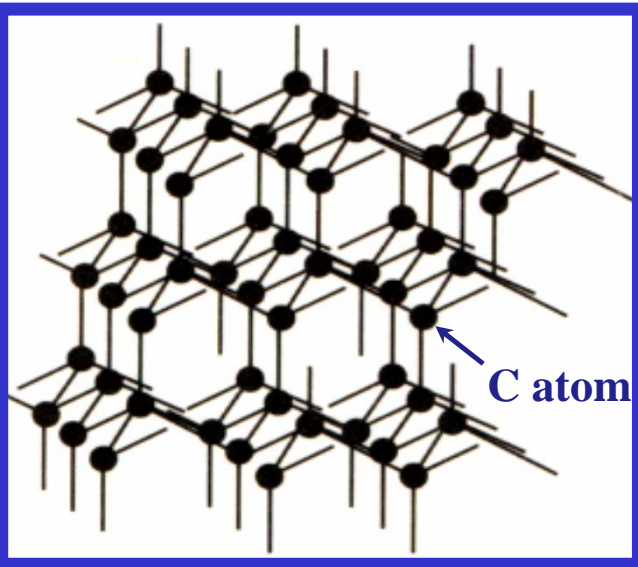
- 人工ダイヤモンドの合成
- ナノシリコンの作製
- DLC (ダイヤモンド状炭素) 膜の作製

### ヒューマン (ES細胞の作製、再生医療：生命、細胞)

- DLC膜の応用 (医用生体材料)
- ナノシリコンの医用生体応用 (DDS、トレース材料)

# 炭素材料の構造

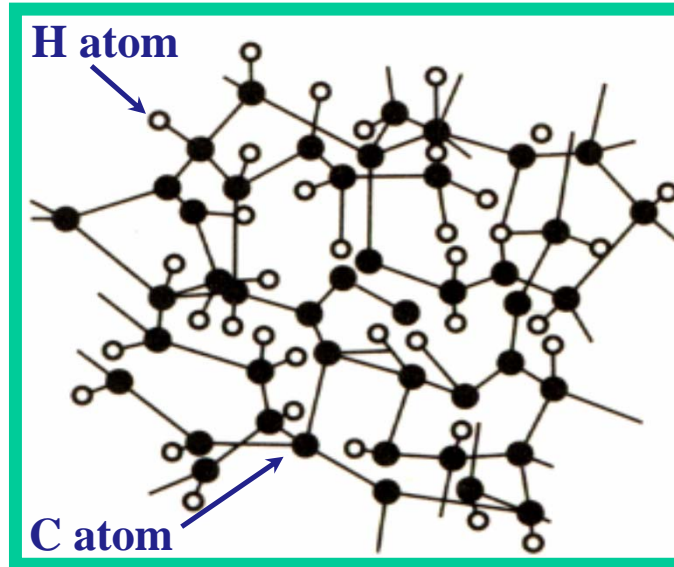
## Diamond



### Diamond structure

$sp^3$  (C-C covalent bond)  
(tetragonal, 3-dimensional)  
Component: C  
Hardness: High

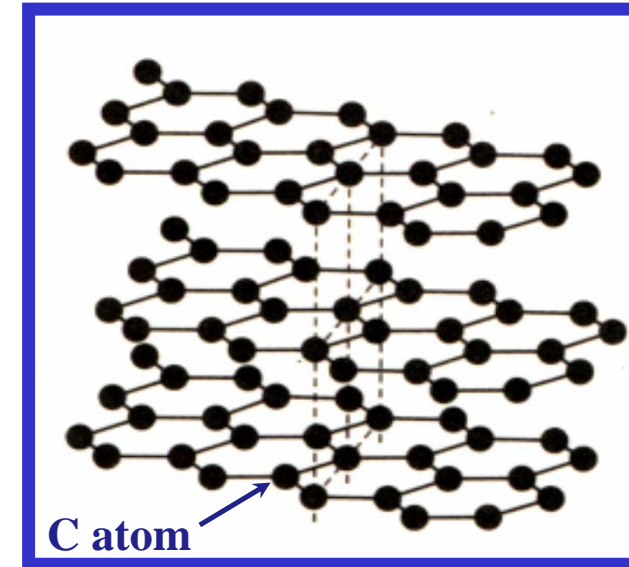
## Diamond-like Carbon (amorphous hydrogenate carbon)



### Amorphous structure

$sp^3$  and  $sp^2$  bond  
( $Sp^3$  and  $Sp^2$  microstructures)  
Component: C, H  
Hardness: High ( $sp^3$  rich)

## Graphite



### Graphite structure

$sp^2$  bond  
(trigonal, 2-dimensional)  
component: C  
Hardness: Low

# DLCの特徴

分野	特性	
遮蔽（抵抗）性	ガスバリア性	ガスの透過を防ぐ
	高電気抵抗	電気の絶縁性を高める
	光学的フィルター	紫外線の透過を防止する
機械的特性	低摩擦係数	摩擦が少なく、スムーズである
	高耐摩耗性	摩耗が少なく、長寿命、省エネルギー材料である
	高硬度	硬度が高く、超硬材に匹敵する
	平滑性	数nm程度の極めて滑らかな表面である
	高離型性	軟性金属に対しての離型性が高い
安定性	耐薬品性	酸、アルカリ溶液に対して安定である
	耐腐食性	腐食性が低い
	防汚性	親水性、はっ水性制御が可能で、汚れが付着しづらい
生体特性	抗菌性	菌成長を抑止する効果がある
	抗血栓性	血栓（血液の塊）の形成を低く抑える
	生体適合性	生体に対する反応（炎症）が低い

# 期待される分野

## 発光性ナノシリコンの応用分野

### 特性

発光現象

低価格

人類への安全性

低環境負荷

有毒性Quantum dot: CdSe, CdS

**The nc-Si particles are attractive candidate materials for many application fields.**

### 応用分野



工学



医学



衣装



化粧

# DLC膜の生体材料への期待

● 安定性→インプラント材料, 血液接触材料

➤ 耐摩耗性, 耐腐食性, 生体親和性

● 平滑性→手術器具などの保護膜

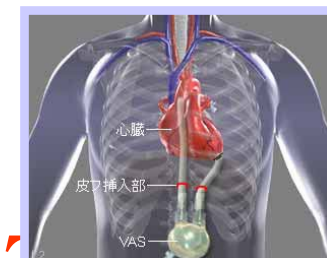
➤ 低摩擦性, 防汚性, 抗菌性

● 透明性→コンタクトレンズ

➤ 光学透過性(赤外～可視領域)

● 遮断性→人工臓器システムのための機能性材料

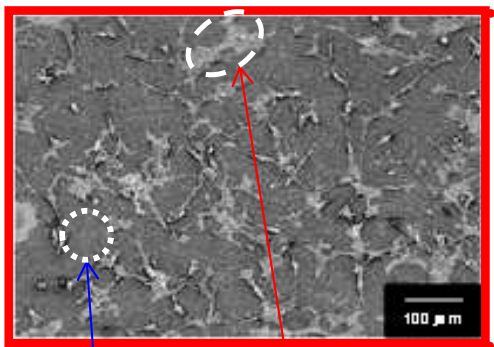
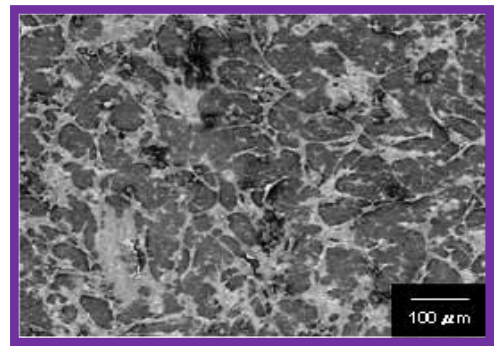
➤ 紫外線遮断, ガスバリア性, 絶縁性



# 講演要旨

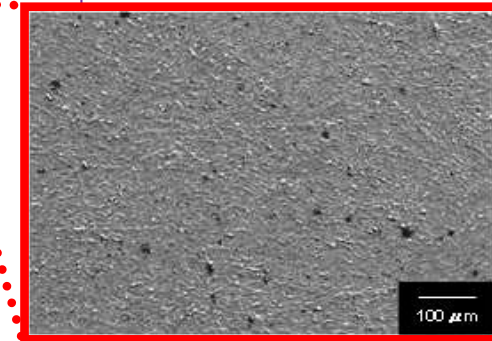
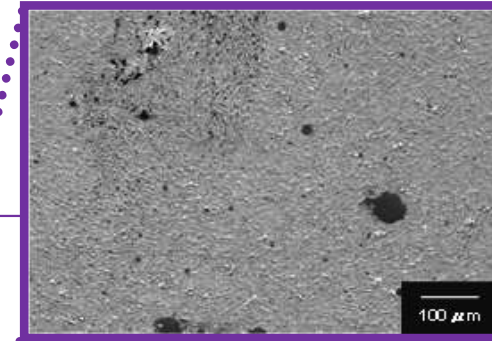
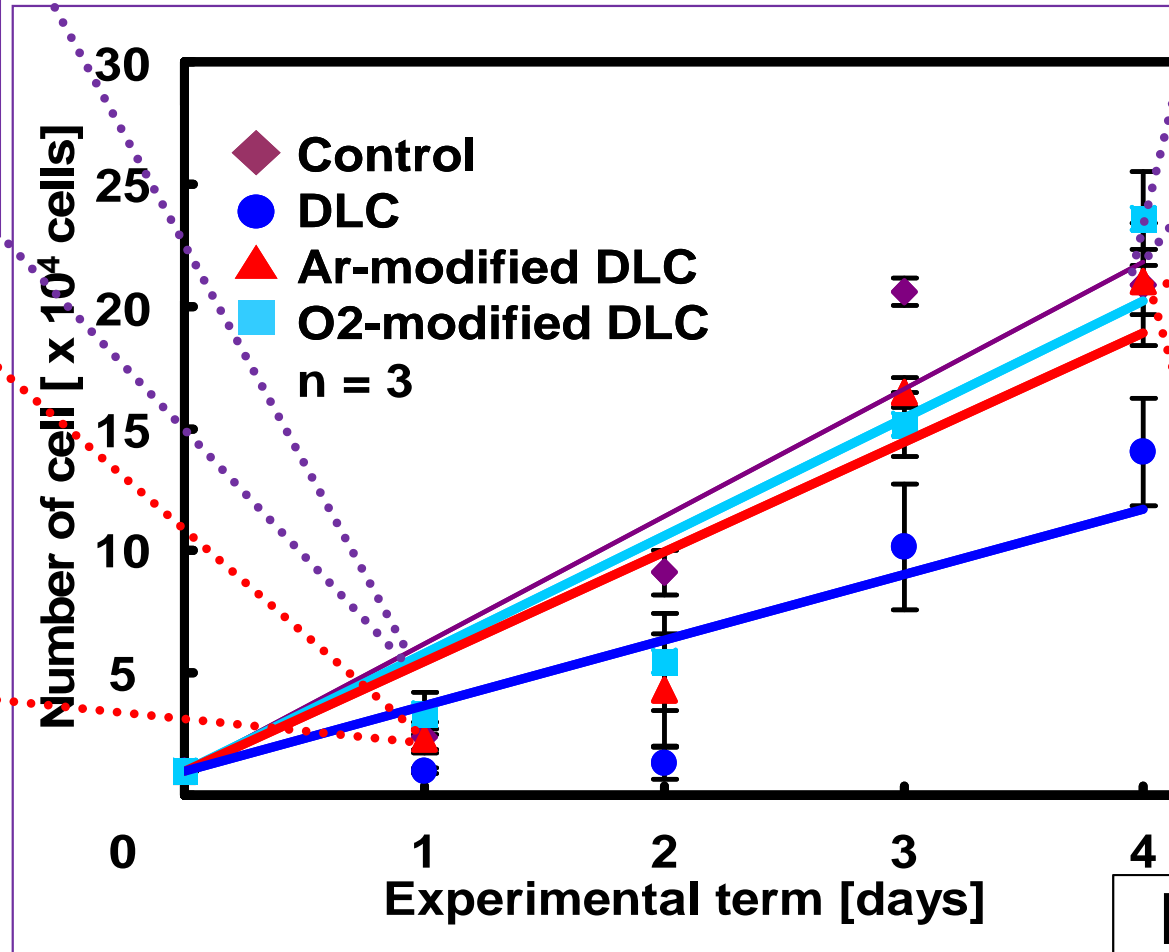
- バイオマテリアルとしてのDLCとは
- 生体適合性特性について
- DLCのバイオマテリアルとしての将来性は

# 細胞親和性



細胞

下地基板



DLCコーティング  
で細胞被覆率向上

著作権は著者に帰属



# 抗菌性評価

## DLC膜に対する抗菌性 (Ar+H<sub>2</sub>処理、DLC 100 [nm])

サンプル名	菌種：黄色ブドウ球菌		評価
	初期状態	平均（18時間後）	
control	$1.1 \times 10^5$	$1.3 \times 10^7$	—
Ar+H <sub>2</sub> 処理	$1.1 \times 10^5$	$2.7 \times 10^3$	○
DLC 100 [nm]	$1.1 \times 10^5$	<100	◎

<100 : 検出せず CFL/mL

サンプル名	菌種：肺炎桿菌		評価
	初期状態	平均（18時間後）	
control	$1.3 \times 10^5$	$2.2 \times 10^8$	—
Ar+H <sub>2</sub> 処理	$1.3 \times 10^5$	$1.1 \times 10^3$	○
DLC 100 [nm]	$1.3 \times 10^5$	<100	◎

<100 : 検出せず CFL/mL

黄色ブドウ球菌、肺炎桿菌に対して有効な抗菌性

# 分類

## 作製条件

- ・原料ガス
- ・作製温度
- ・作製圧力

# 評価

## 生体特性

- ・細胞特性
- ・抗菌性
- ・抗血栓性

# 開発

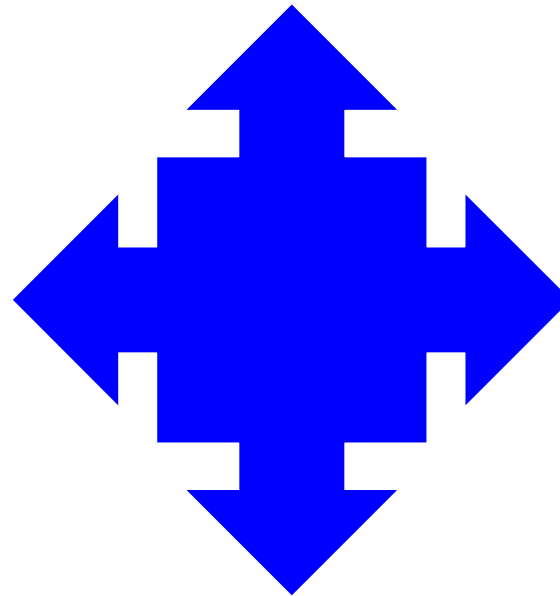
## 作製装置

- ・高周波プラズマ
- ・スパッタリング
- ・イオン化蒸着

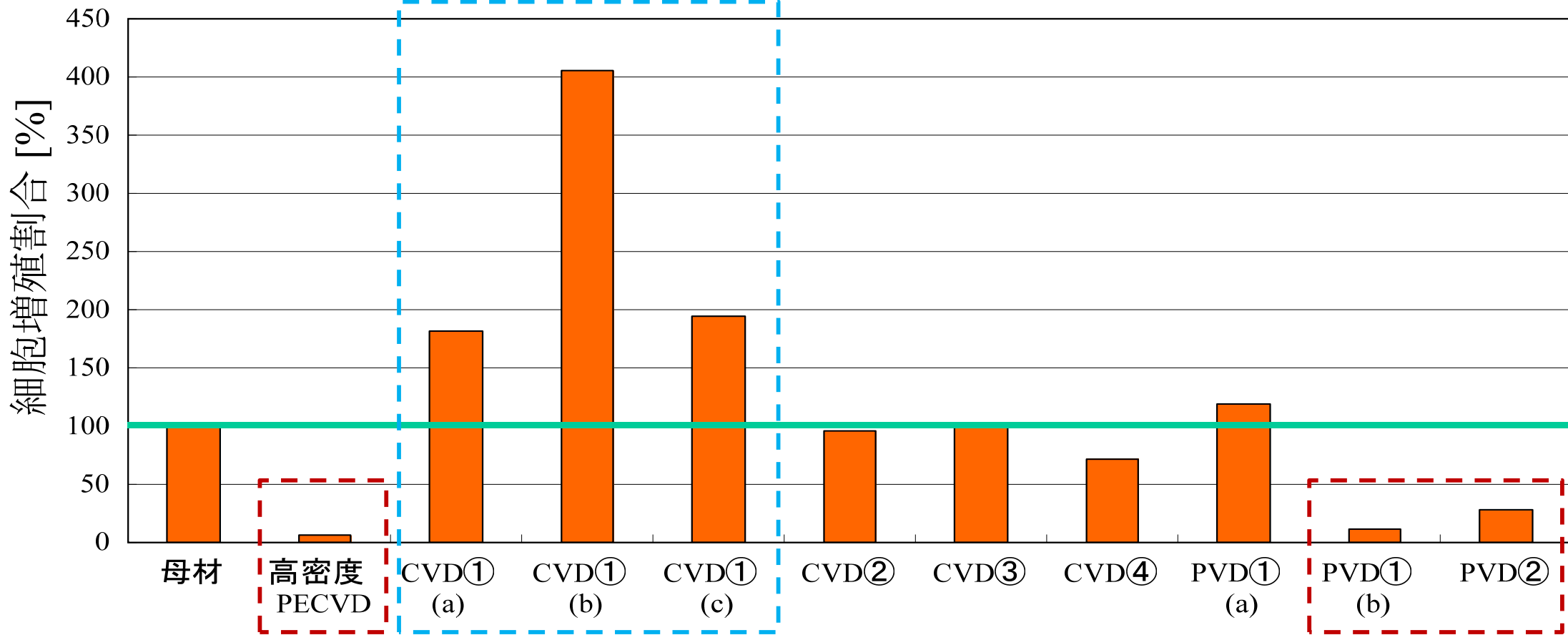
## 膜特性

- ・DLCの表面粗さ
- ・DLCの親水性
- ・DLCの摩擦係数

# 応用



# *in-vitro* 試験による細胞親和性評価



\* 母材 (ポリスチレン) の細胞増殖割合を100 [%]基準とした

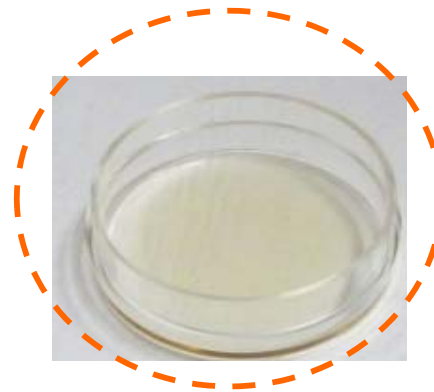
作製方法により、母材と比較して大幅に細胞増殖割合が変化した



母材 (ポリスチレン)



高密度PECVD



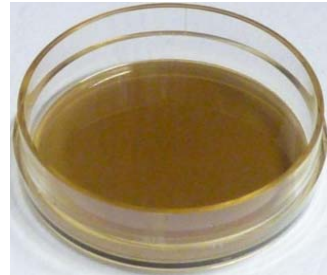
CVD① (a)



CVD① (b)



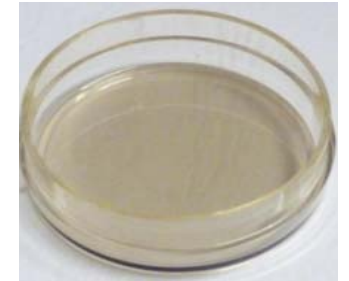
CVD① (c)



CVD②



CVD③



CVD④



PVD① (a)



PVD① (b)



PVD②



細胞親和性良好

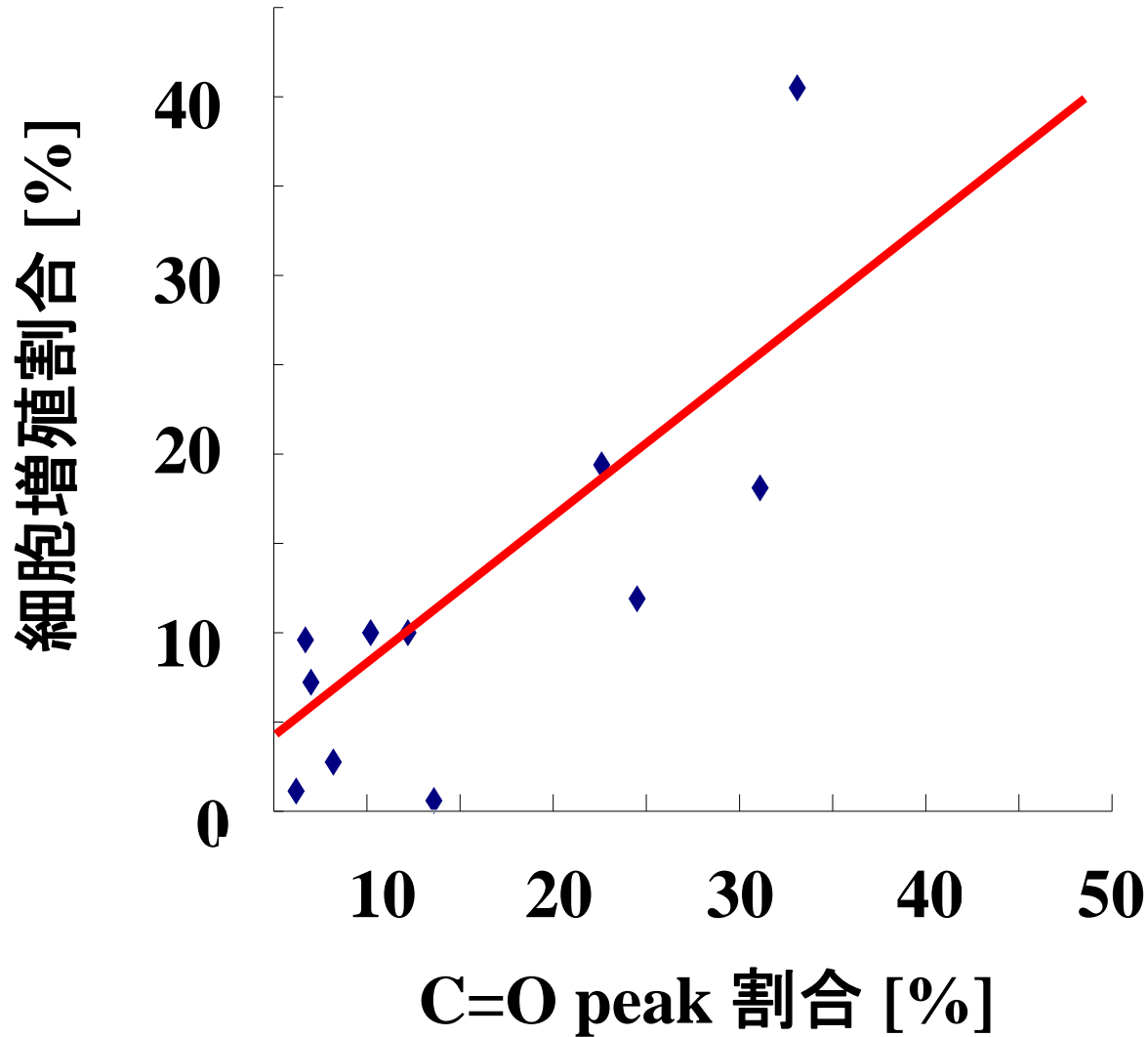


細胞親和性準良好



親水性試料

# XPSによる表面組成評価



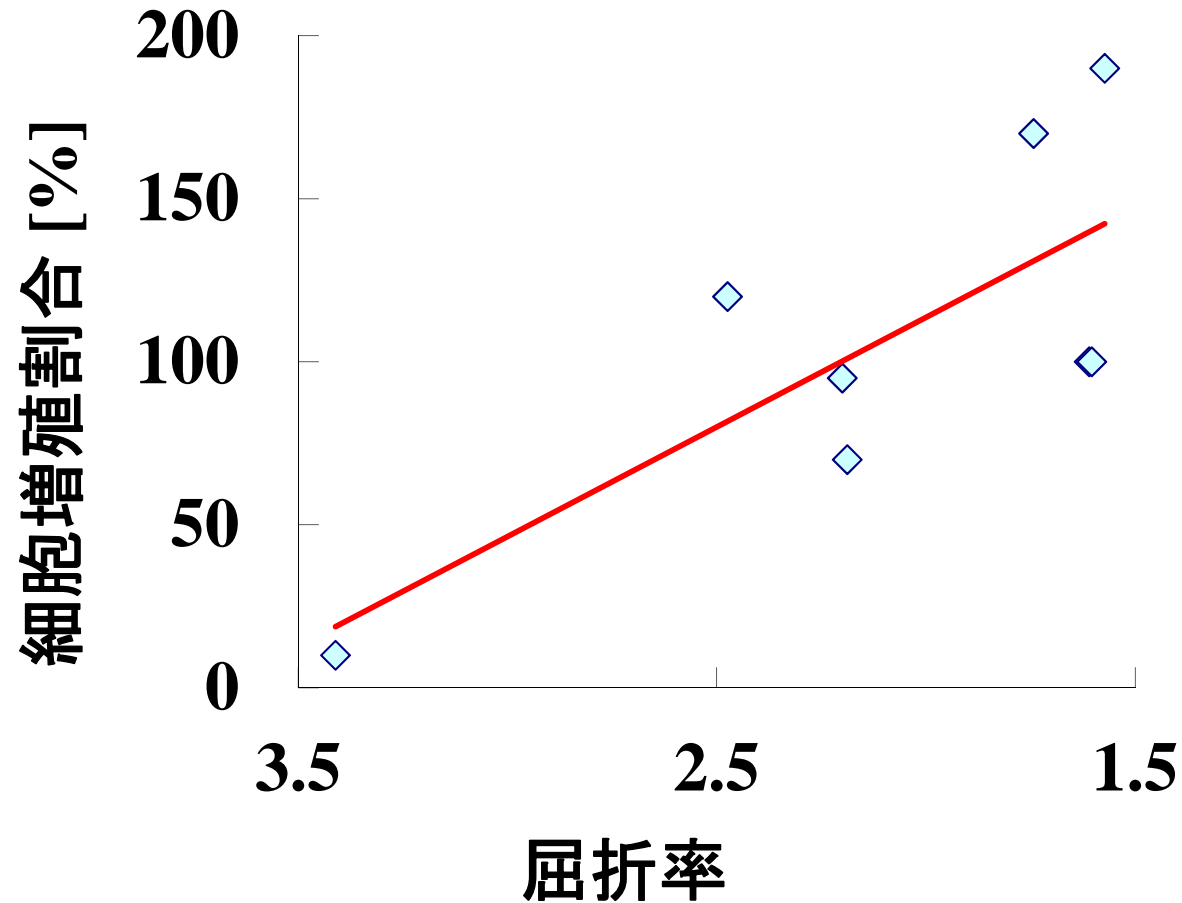
C=O peakと細胞増殖率の

相関係数  $r = 0.831$

有意差  $P < 0.05$

細胞増殖率とC=O結合の割合に強い相関が得られた

# 細胞増殖割合と屈折率の相関



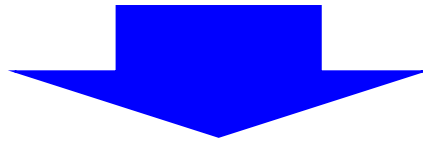
屈折率と細胞増殖割合は

相関係数  $r = 0.753$

有意差  $p < 0.05$

細胞増殖割合と屈折率に強い相関が見られた

DLC膜の屈折率が低いほど細胞親和性が良い

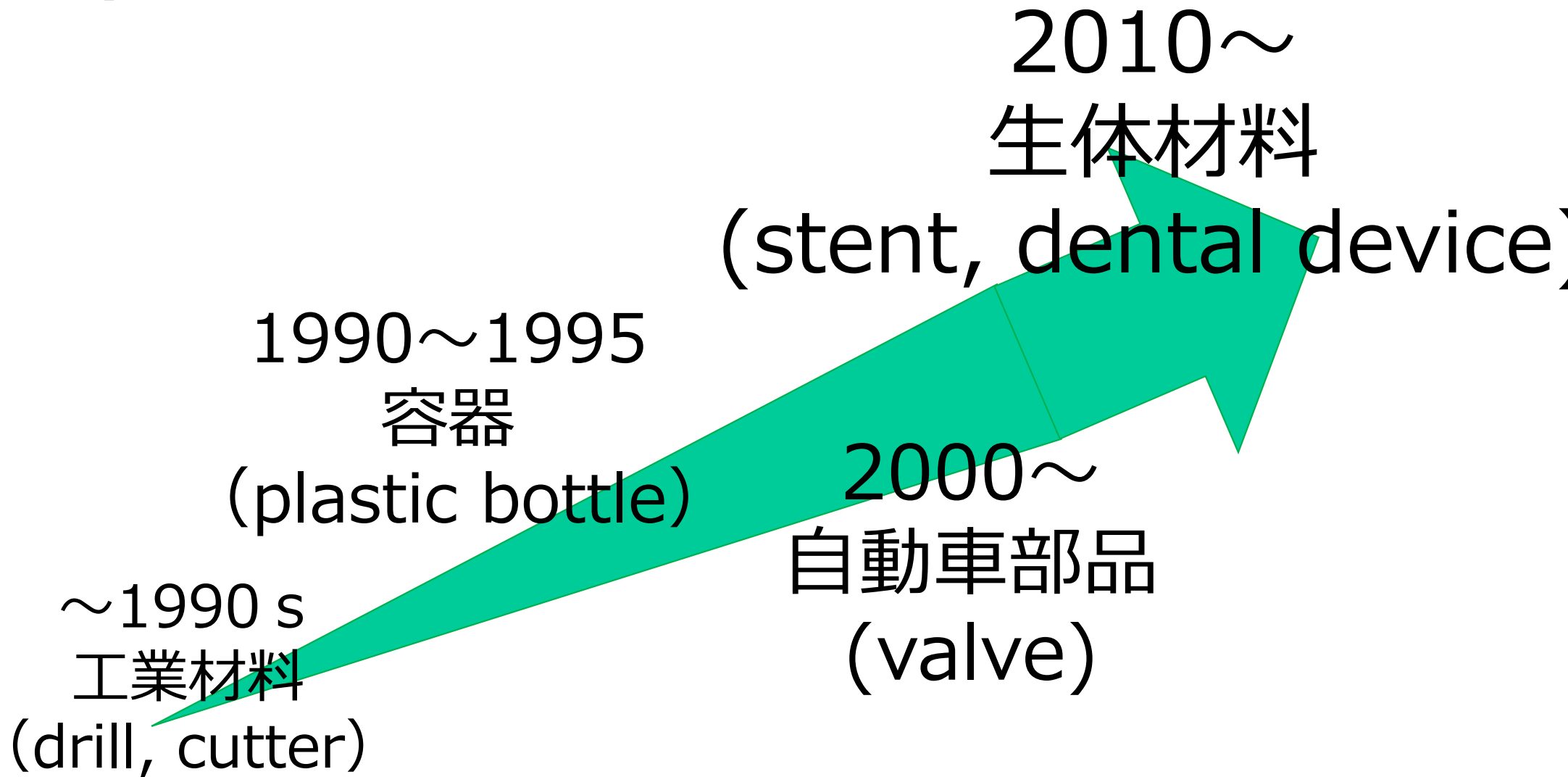


屈折率：真空中の光速と物質中の光速の比(理学辞典)

光が二つの媒質の境界で屈折するとき、  
入射角の正弦と屈折角の正弦との比

## 表面状態の情報

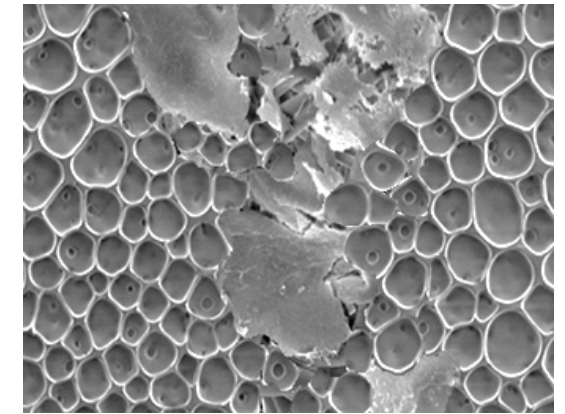
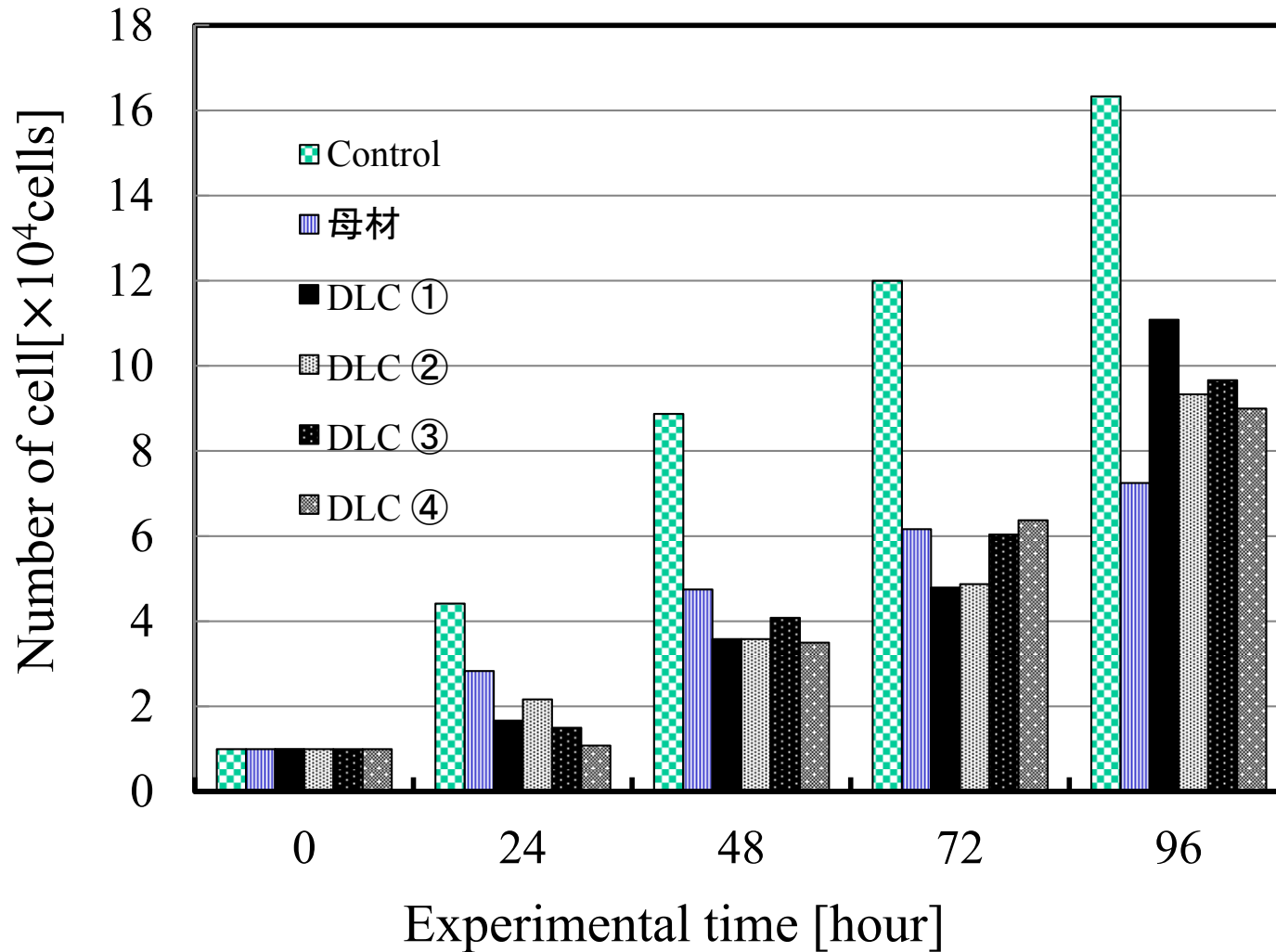
# 将来予測



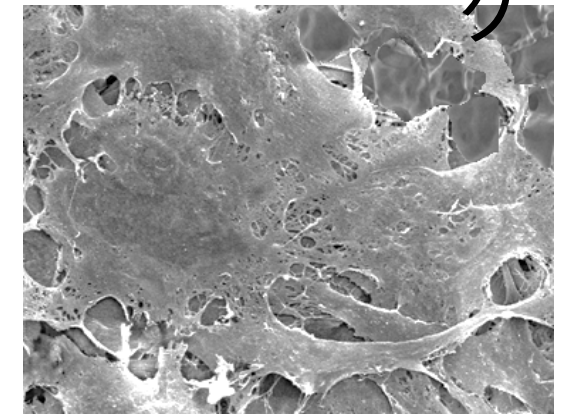
DLC の可能性は、ますます拡大



# 生体特性評価



DLC膜  
コーティング



足場への細胞の接着率の向上を実現

# D L C (アモルファスカーボン) の 生体適合性とバイオ応用

ご清聴ありがとうございました。  
ご指導、ご支援をよろしくお願いいたします。