動画・漫画で学ぶ

生体材料・バイオ



バイオものづくりとバイオエレクトロニクス

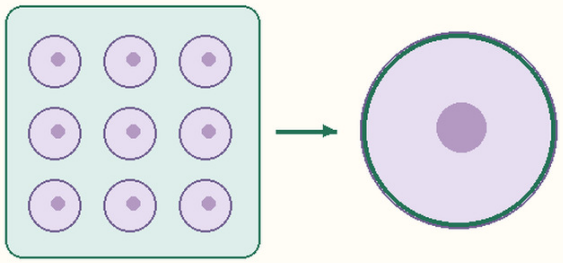
全8章 / 分子・細胞・電極・生体模倣チップ

組織から、細胞と分子へ

生き物の体を拡大すると、似た役割の細胞と、その周りを支える物質が集まっている。こうしたまとまりが組織なのね。

大きさと働きをつなぐ　1 / 4

組織は細胞と周囲の物質の集まり



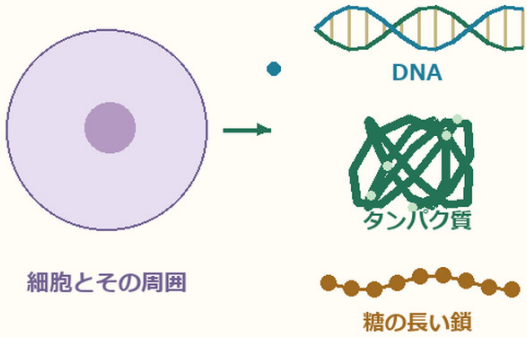
膜で囲まれた生命の基本単位

生物の機能を、材料と装置へ

細胞は、膜で囲まれた生命の基本単位だよ。その中や周りには、小さな分子がつながった生体高分子がある。タンパク質やDNA、糖の長い鎖などだ。

大きさと働きをつなぐ　2 / 4

細胞の中と周りにある生体高分子

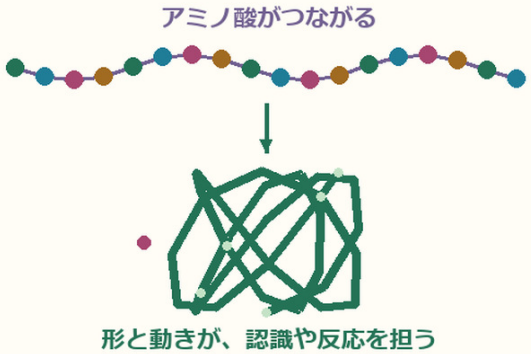


生物の機能を、材料と装置へ

タンパク質はアミノ酸がつながった高分子。形や動きを利用して、反応を進めたり、特定の分子を感じ取ったりするナノマシンなのね。

大きさと働きをつなぐ　3 / 4

タンパク質は働きを持つ分子

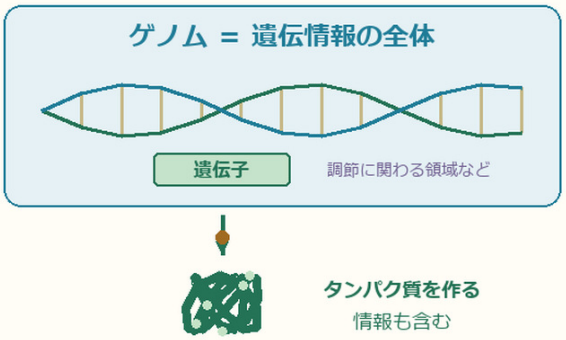


生物の機能を、材料と装置へ

ゲノムは、その生物が持つ遺伝情報の一そろい。細胞ではDNAに記録され、タンパク質を作る遺伝子や、その働き方の調節に関わる領域も含むんだ。

大きさと働きをつなぐ　4 / 4

ゲノムは遺伝情報の一そろい

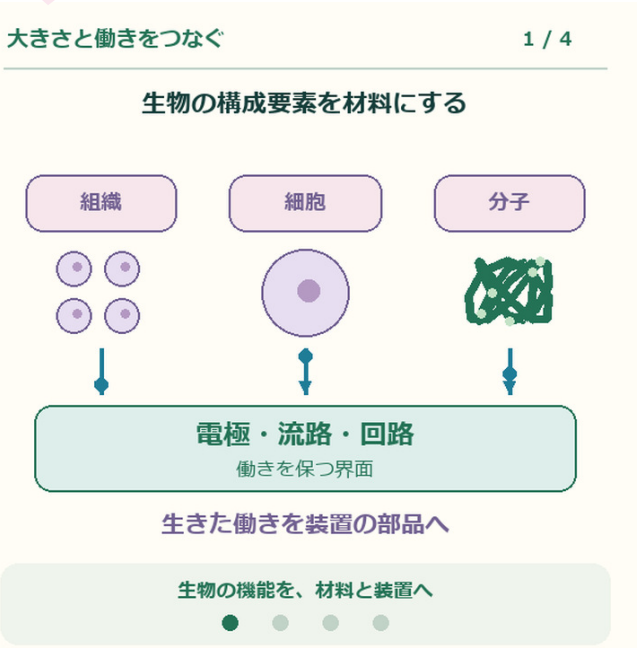


生物の機能を、材料と装置へ

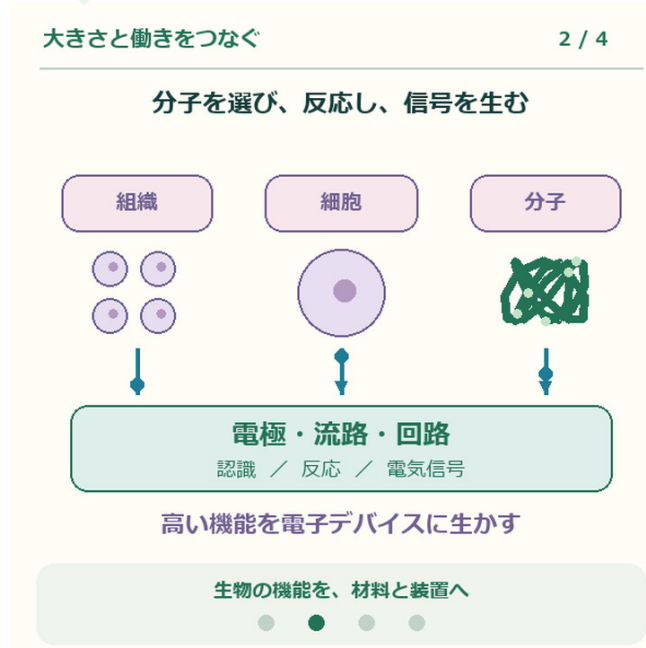
補足　動物や植物の組織を簡略化した図。単細胞の生物もいる。

生きた働きを、材料として使う

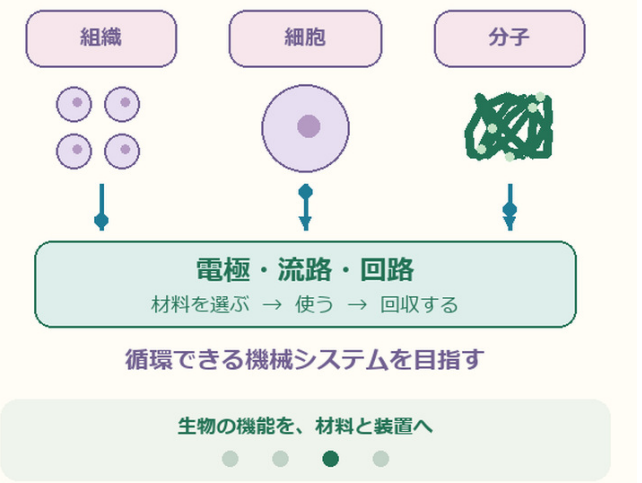
組織も細胞もタンパク質も、働きを持つ材料として見られるんだね。電極や回路と組み合わせたら、何ができるかな。



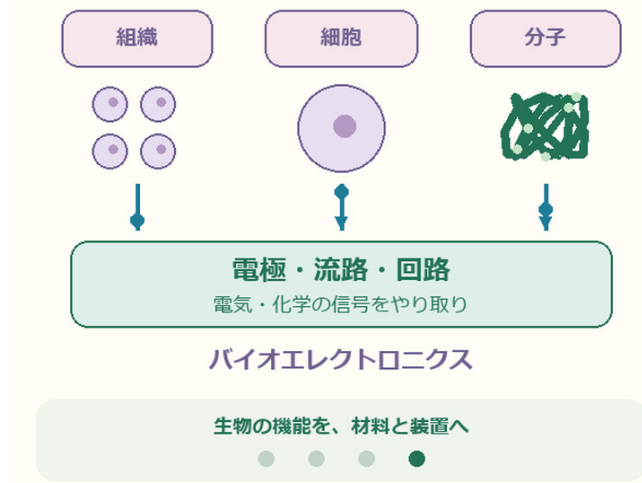
例えば犬の高感度な鼻のように、生物は今の電子デバイスだけでは再現が難しい機能を持つ。その認識や反応の力を装置に利用する方法を考えるんだ。



有機材料だけを使う機械システムも目指せそう！　資源が循環する仕組みまで取り入れれば、持続可能なものづくりにつながるかもしれないね。



これがバイオエレクトロニクスの大きな目標だよ。生物の構成要素を材料として生かし、電気や化学の信号をやり取りする界面を設計しよう。



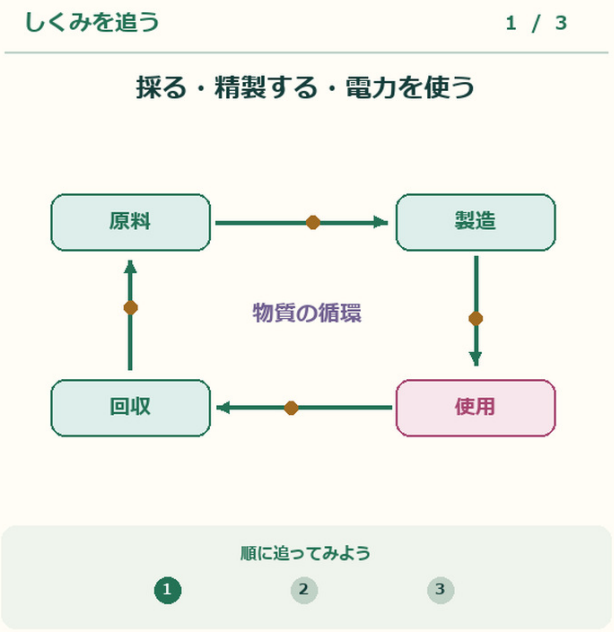
補足　生物の機能を装置に組み込むには、働きを保つ環境と界面が必要。

使い終わったチップはどこへ

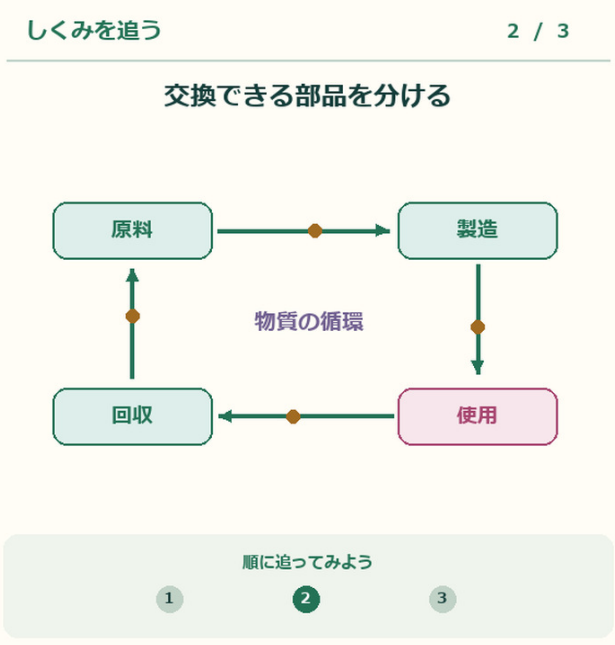
スマホを開けると、小さなチップがある。ナノメートルの構造を加工して、たくさんのスイッチを動かしているのね。



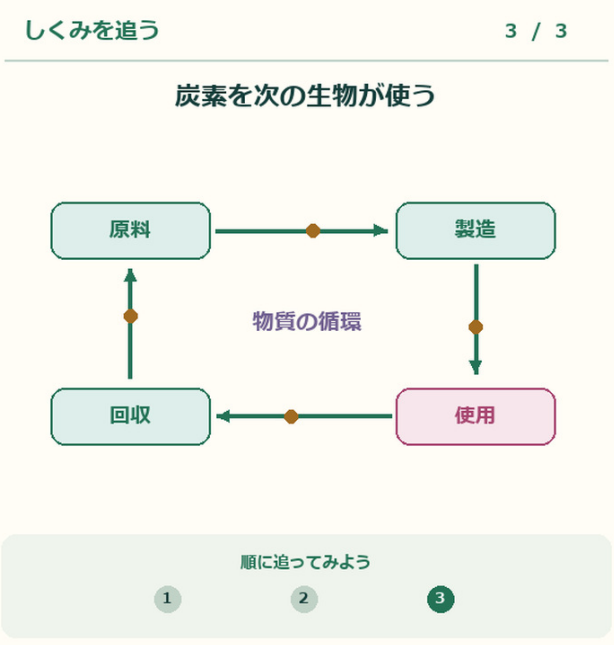
一台を作るにも、原料を掘り、工場で水や電力を使う。資源の枯渇や、温室効果ガスが気候に与える影響も考えたいね。



壊れた部品だけ替えられたら、本体は長く使える。回収できずに散らばる材料も減らしたいね。



生物では、植物が炭素を取り込み、微生物は落ち葉を分解する。次の生物がまた使う。長く続くものづくりのヒントだよ。



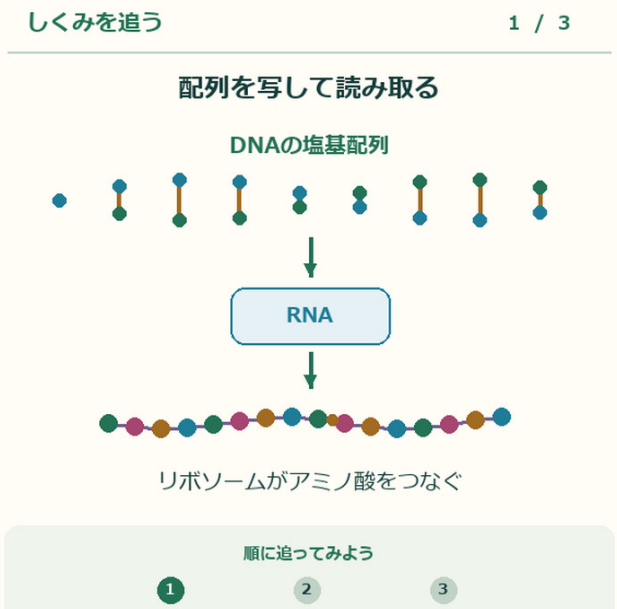
補足　原料・電力・回収を同じ範囲で比べる。

ナノの仕事を、細胞に集める

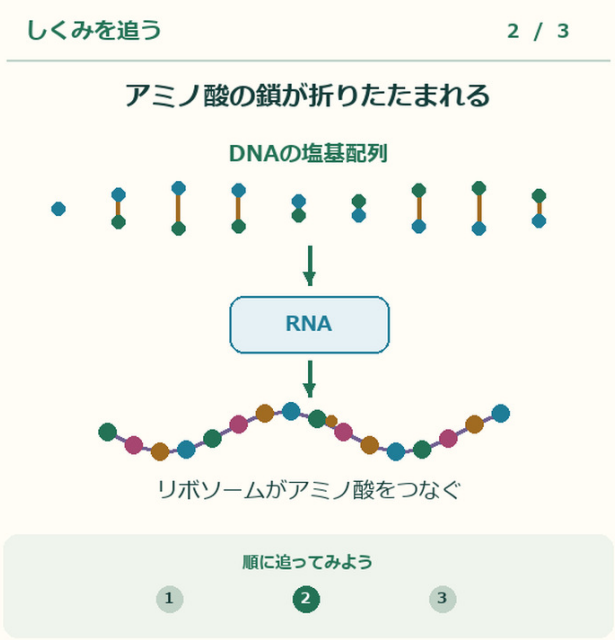
同じくらい小さな世界でも、生物は何をしているの？　小さなスイッチを並べているのかな。



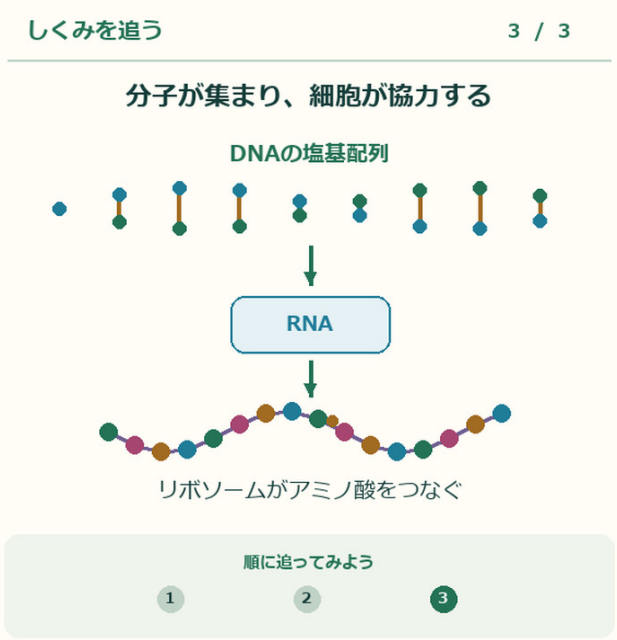
DNAの塩基配列には情報がある。その一部をRNAに写し、リボソームが読みながらアミノ酸を順につないでいく。



できたタンパク質は折りたたまれて、特定の分子をつかんだり、反応を速くしたりする。形が仕事を決めるのね。



こうしたナノメートルの道具が、マイクロメートルの細胞で協力する。細胞どうしもつながって、個体の働きが生まれるんだ。



補足　長さの目安。1マイクロメートルは1000ナノメートル。

培養槽から、何を取り出す？

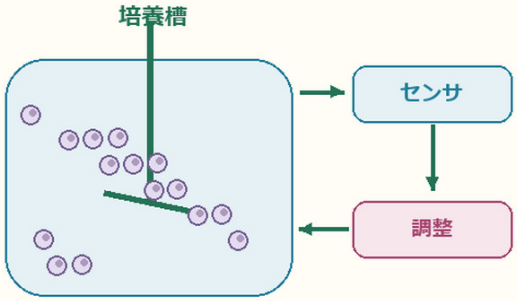
同じ糖を与えても、微生物の種類や持っている酵素が違えば、作る物質も変わるの？



そう。例えば目的のタンパク質を作る遺伝子を微生物に持たせる。細胞は栄養を使い、その配列に従ってタンパク質を合成する。

しくみを追う　1 / 3

目的の遺伝子を発現する



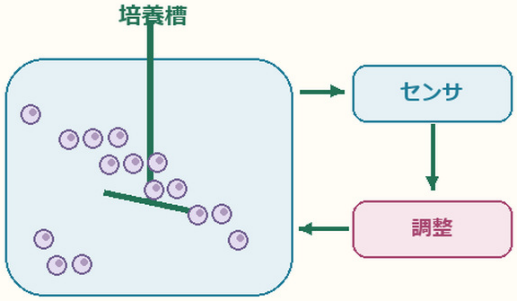
温度 ／ 酸素 ／ 酸性度

順に追ってみよう　1　2　3

培養槽の温度や酸素、酸性度を測って調整するのね。最後に目的物を回収して、量と働きを確かめる！

しくみを追う　2 / 3

培養環境を測って調整する



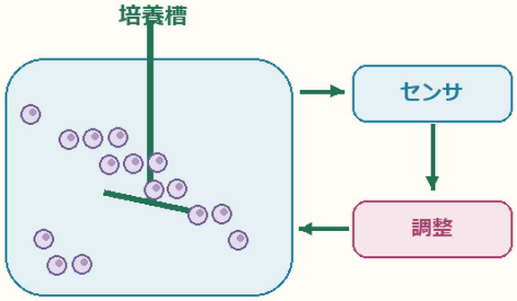
温度 ／ 酸素 ／ 酸性度

順に追ってみよう　1　2　3

細胞を増やすことと、目的物がたくさんできることは別だよ。得られた量、電力、精製に使った資材も記録して比べよう。

しくみを追う　3 / 3

回収量と資材の使用量を比べる



温度 ／ 酸素 ／ 酸性度

順に追ってみよう　1　2　3

補足　作らせる分子と宿主に合わせて設計する。

足場の穴が、育ち方を変える

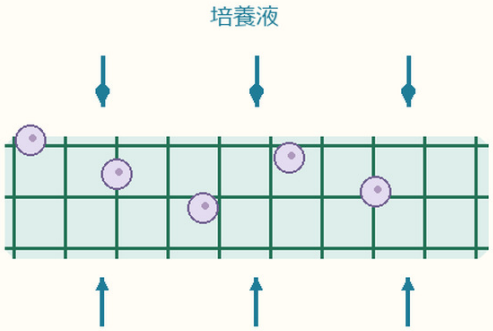
細胞そのものを育てて材料にするなら、どこに乗せて育てるのがいいかな。



研究の一例として、キトサンとゼラチンで微細なメッシュを作った。培養液が通る開口と、細胞が接着できる足場がある。

しくみを追う　1 / 3

細胞が接着する微細な足場



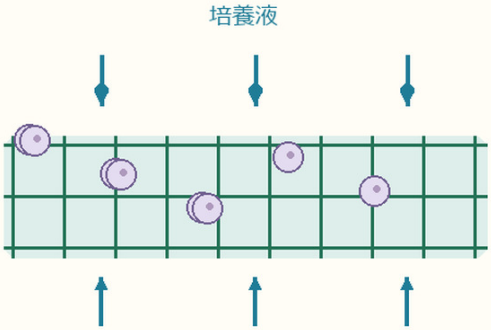
順に追ってみよう

1　2　3

平らな皿に置くのと違って、両側から培養液に触れられるのね。足場の上で細胞が増え、連続したシートになる。

しくみを追う　2 / 3

開口を通じて培養液が届く



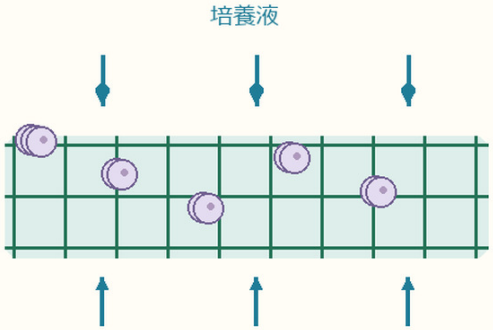
順に追ってみよう

1　2　3

これは培養食肉を目指した培養実験だよ。材料の組成と穴の配置を決める微細加工が、細胞を育てる工学につながるんだ。

しくみを追う　3 / 3

細胞が増えてシートを作る



順に追ってみよう

1　2　3

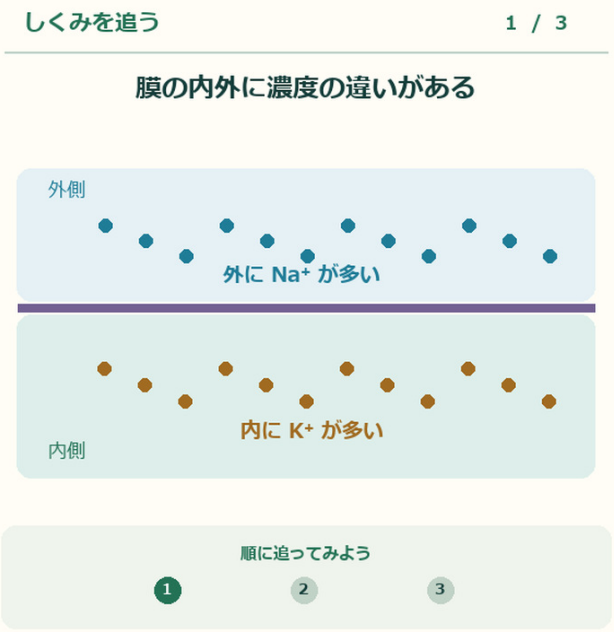
補足　Xuらの研究例。培養条件を制御した実験例。

イオンの偏りが電圧になる

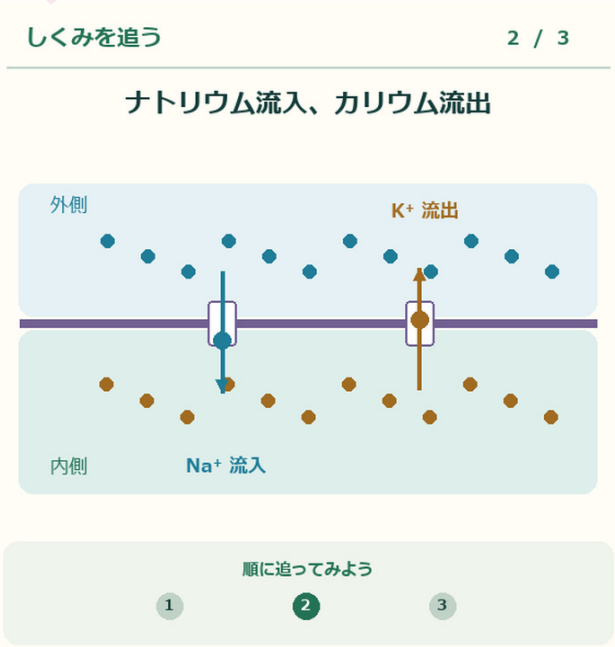
細胞の内と外は、薄い膜で仕切られている。ナトリウムイオンは外に多く、カリウムイオンは内に多いんだね。



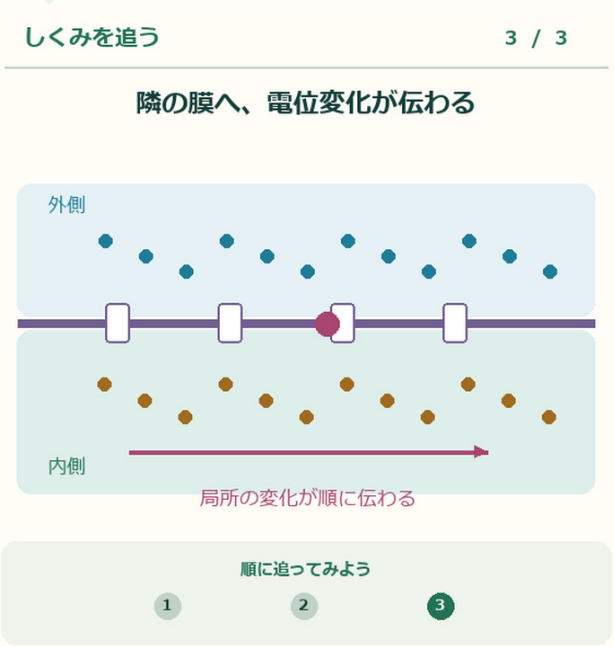
イオンを通しやすい穴と、濃度差を保つポンプがある。選んだイオンが通ることで、膜の内外に電位差ができるんだ。



刺激でナトリウムのチャネルが開くと内側の電位が上がり、続いてカリウムが外へ出ると電位が戻る。これが活動電位ね。



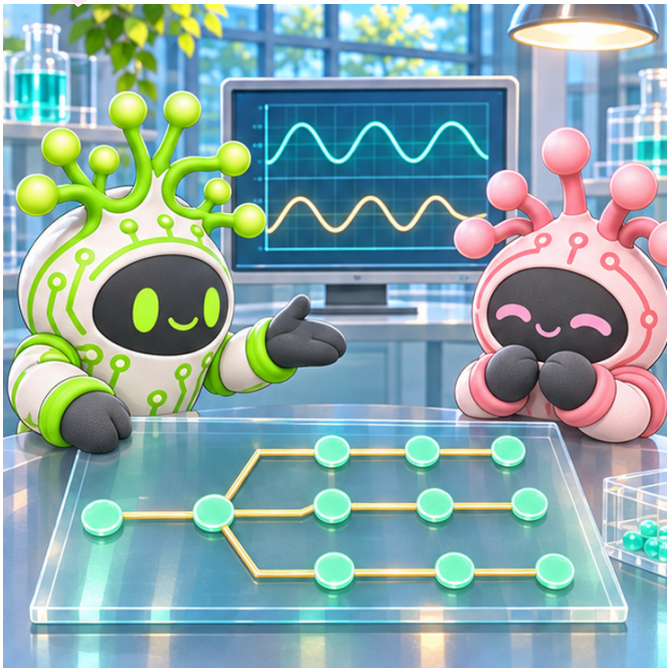
隣の膜でも順にチャネルが開き、信号が先へ進む。一つのイオンが端から端まで走らなくても、電圧の変化は伝わるよ。



補足　活動電位は局所的なイオンの流れが順に起こる現象。

つながり方が、活動で変わる

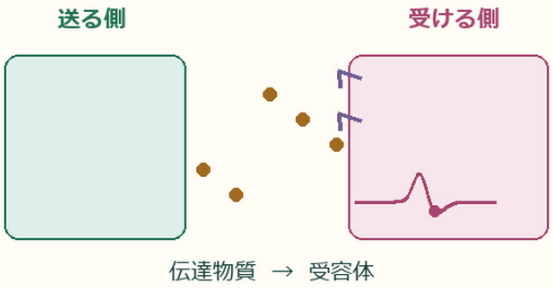
信号が神経の端まで来た。次の細胞へは、隙間をどうやって渡るの？



化学シナプスでは伝達物質が放出され、次の細胞の受容体に結合する。そこでイオンの通り方が変わり、次の信号に影響する。

しくみを追う　1 / 3

隙間を伝達物質が渡る



伝達物質 → 受容体

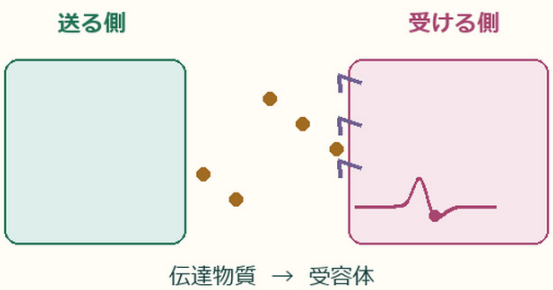
順に追ってみよう

1　2　3

繰り返し活動すると、受容体の数やつながりの強さも変わる。長く残る変化には、遺伝子の発現や新しいタンパク質も関わるのね。

しくみを追う　2 / 3

受容体や結合の強さが変わる



伝達物質 → 受容体

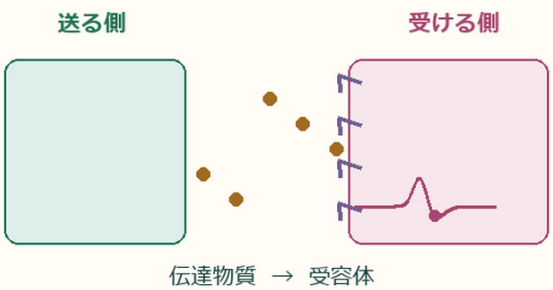
順に追ってみよう

1　2　3

その変化を電極で読み、入力を返せたら、生きた回路の学習を調べられる。人工のバイオコンピューターに近づくための研究課題だよ。

しくみを追う　3 / 3

回路を刺激し、応答を比べる



伝達物質 → 受容体

順に追ってみよう

1　2　3

補足　計算に使う生きた回路は研究の構想。学習には複数の機構が関わる。

柔らかな電極で広い面を読む

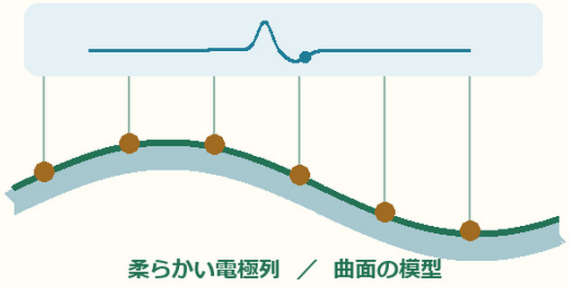
神経の活動を面として読みたい。硬い板を曲面に置くと、ところどころに隙間ができるね。



ECoGは、脳の表面付近に並べた電極で、集団の活動に伴う電位を測る方法。柔らかいゲルの電極なら、曲面の形に沿いやすい。

しくみを追う　1 / 3

柔らかな電極が曲面に沿う



柔らかい電極列 ／ 曲面の模型

ECoG：複数の細胞の活動を反映

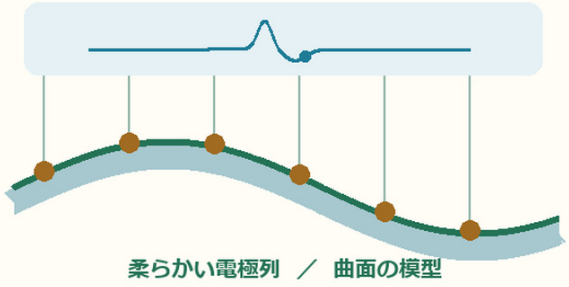
順に追ってみよう

1　2　3

研究の一例として、有機材料で作った電極を動物で評価したんだ。柔らかさには、信号を安定して受ける役割もあるのね。

しくみを追う　2 / 3

複数の電極で集団活動を記録



柔らかい電極列 ／ 曲面の模型

ECoG：複数の細胞の活動を反映

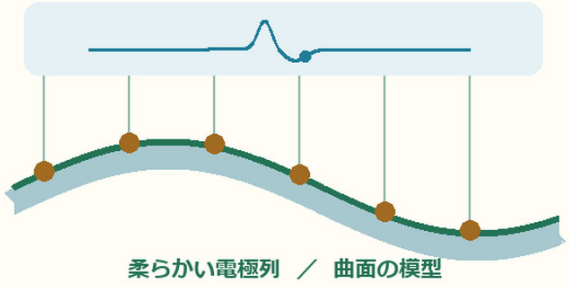
順に追ってみよう

1　2　3

電極と水の境目で、溶液のイオンの動きと回路の電荷が結びつく。参照電極との差を増幅して、波形として読み出すんだ。

しくみを追う　3 / 3

参照点との差を波形にする



柔らかい電極列 ／ 曲面の模型

ECoG：複数の細胞の活動を反映

順に追ってみよう

1　2　3

補足　Oribeらの研究では動物実験で評価した。

小さな窓で、一つの細胞に近づく

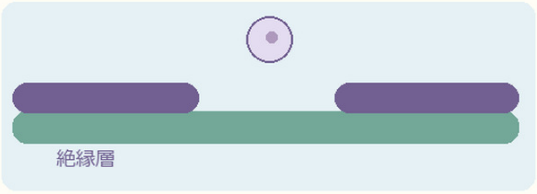
細胞一つに近い場所を測りたいときも、大きな電極をそのまま使えばいいの？



窓を小さくして露出する場所を絞ろう。ただし面積が小さいと、界面のインピーダンスが増え、小さな信号が雑音に埋もれやすい。

しくみを追う　1 / 3

絶縁層の窓を小さくする



20 µm角の窓



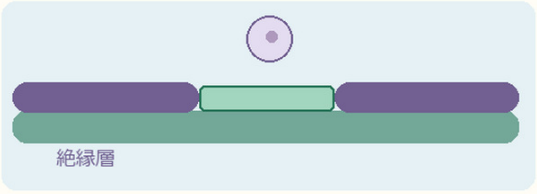
順に追ってみよう

1　2　3

研究の一例として、約20マイクロメートル角の窓に導電性ゲルを加え、神経信号をまねた試験入力で応答を調べたんだね。

しくみを追う　2 / 3

導電性ゲルを窓に配置する



20 µm角の窓



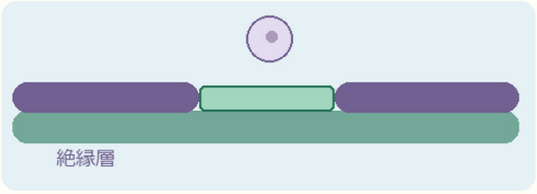
順に追ってみよう

1　2　3

次は細胞との距離や周囲の細胞の寄与も確かめたい。記録する電極と刺激する電極を組み合わせれば、入力と応答を対応づけられる。

しくみを追う　3 / 3

位置・信号源・雑音を検証する



20 µm角の窓



順に追ってみよう

1　2　3

補足　細胞外電位と、膜をまたぐ電位は別の測定量。

層にできた隙間と電場

上皮の細胞がイオンを運ぶと、層の内外に電位差ができる。電池の両端に少し似ているね。

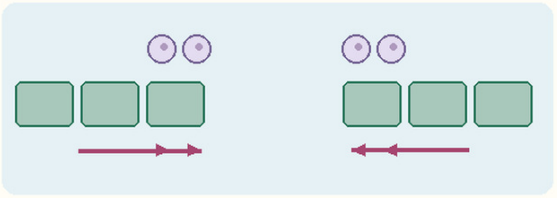


層の一部に隙間ができると、そこに電流が流れやすくなり、周囲の電場が変わる。図では淡いタイルの切れ目で表したよ。

しくみを追う　1 / 3

層の切れ目で電場が変わる

上皮をタイルで表した断面



隙間の周囲に電場が生じる

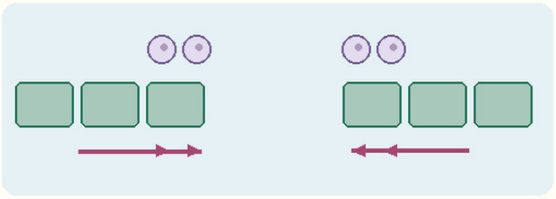
順に追ってみよう　1　2　3

その電場が移動の手がかりの一つになるんだ。培養した上皮細胞では、電場をかけると移動に向きの偏りが見られるのね。

しくみを追う　2 / 3

細胞の移動の向きが偏る

上皮をタイルで表した断面



隙間の周囲に電場が生じる

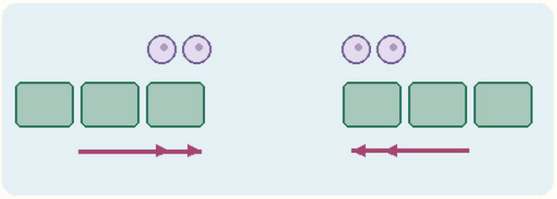
順に追ってみよう　1　2　3

修復に役立てる研究では、刺激を加えた群と加えない群を比較する。細胞の動きや傷が閉じる時間を、条件をそろえて確かめるよ。

しくみを追う　3 / 3

刺激がある群とない群を比べる

上皮をタイルで表した断面



隙間の周囲に電場が生じる

順に追ってみよう　1　2　3

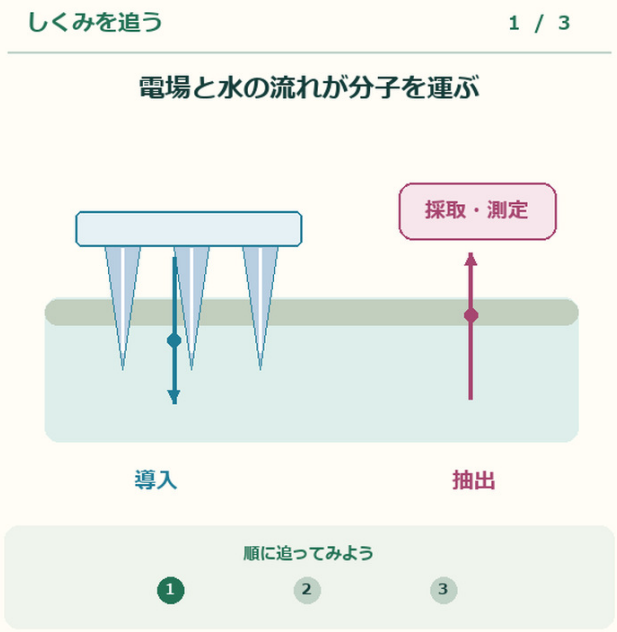
補足　細胞移動への影響は、細胞の種類や電場の条件で異なる。

薬を届ける方向、成分を採る方向

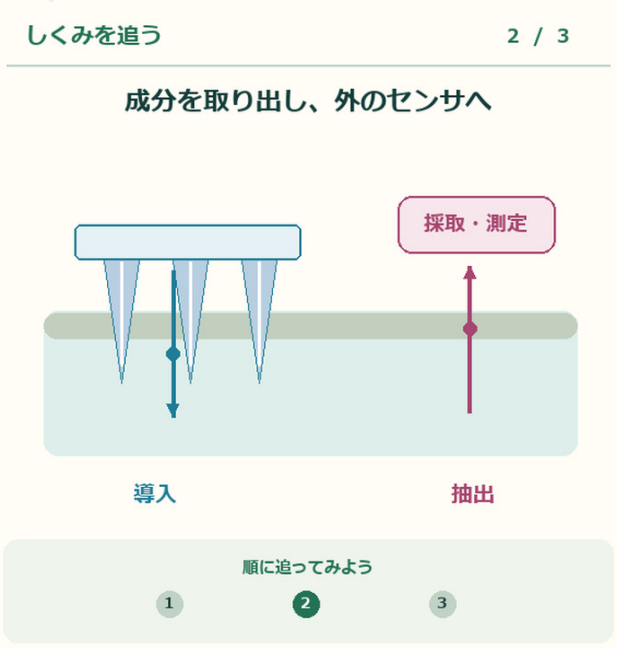
貼り薬の成分は、電気を使うと動かせるの？
電極から一斉に押し出されるのかな。



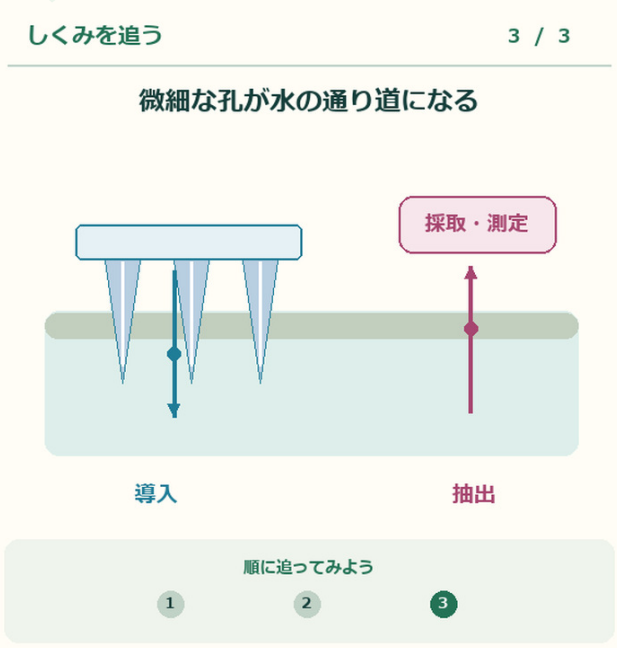
電場で荷電分子が移動し、水の流れが分子を運ぶ場合もある。運べる量は薬の電荷や大きさ、皮膚のバリアで変わるんだ。



逆向きの利用では、組織液の成分を少量取り出して外のセンサで測る。採れた濃度と、体内の濃度の関係を調べる必要があるね。



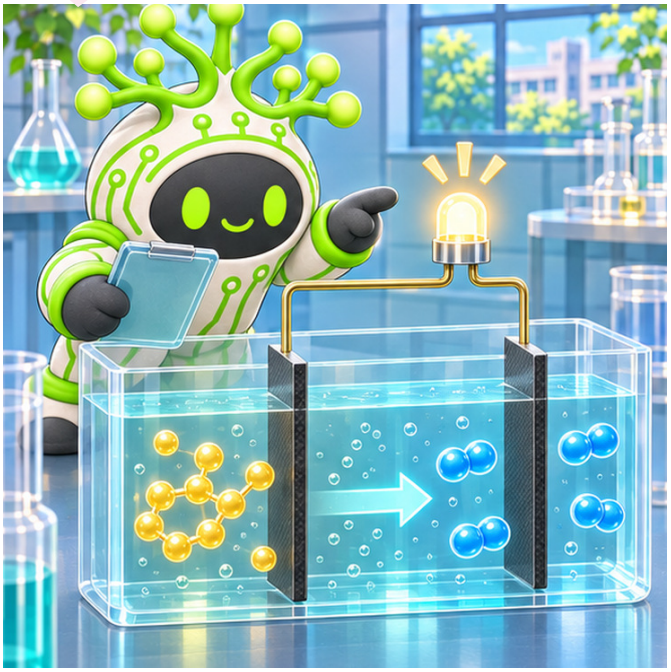
研究の一例として、細かな孔をもつマイクロニードルを使い、皮膚試料で物質を運んだ。短い針で痛みを抑えることと、よく運ぶことの両方を目指すよ。



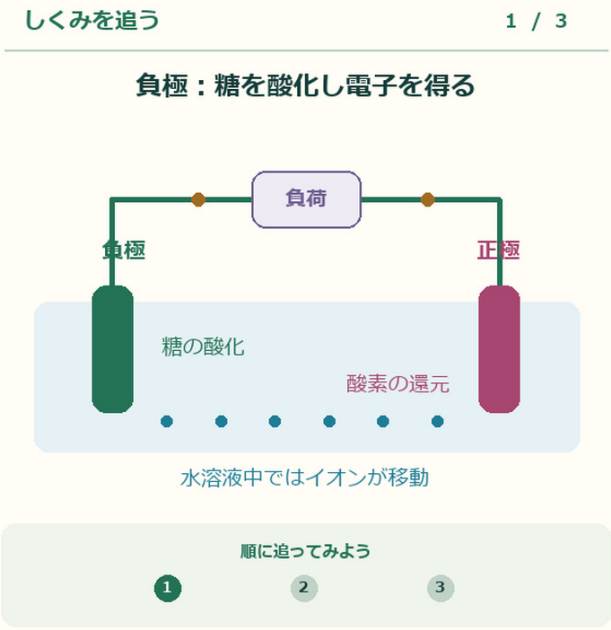
補足　多孔質針によるモデル物質の送達と糖の抽出は皮膚試料で実証。

糖と酸素に、別々の仕事を任せる

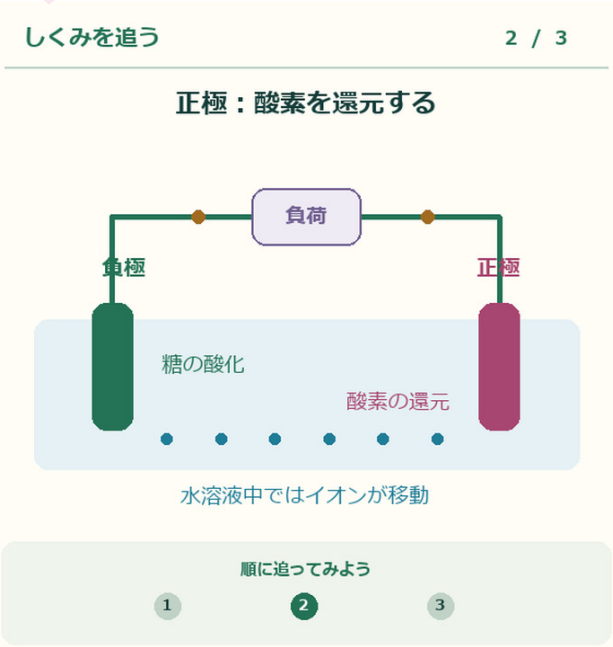
生き物は食事に含まれる糖と酸素を使って、仕事に使えるエネルギーを取り出す。その一部を電極で再現できる？



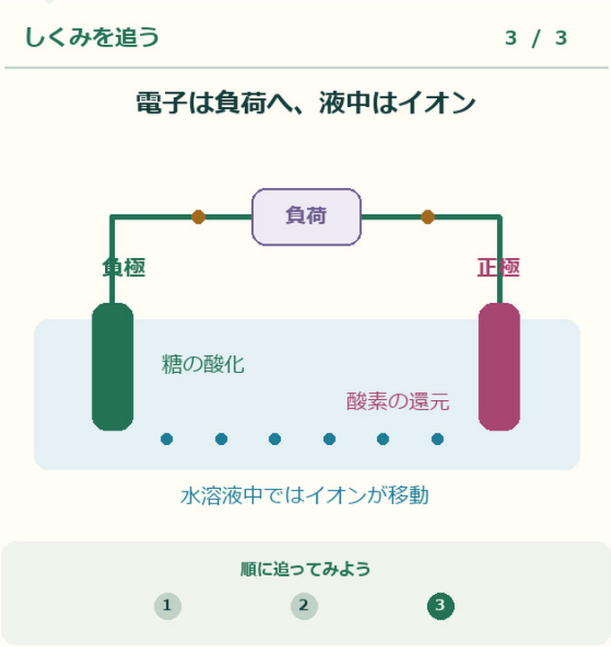
負極では、酵素が糖の酸化を助ける。取り出した電子を外部回路に渡すと、電子は負極から負荷を通って正極へ向かう。



正極では酸素が電子を受け取り、水になる反応が進むのね。両側の液ではイオンが動いて、回路全体のつじつまが合う。



糖と酸素を供給し続けても、酵素の寿命や物質の届く速さで出力は変わる。電圧だけでなく、負荷をつないだ電流も測ろう。



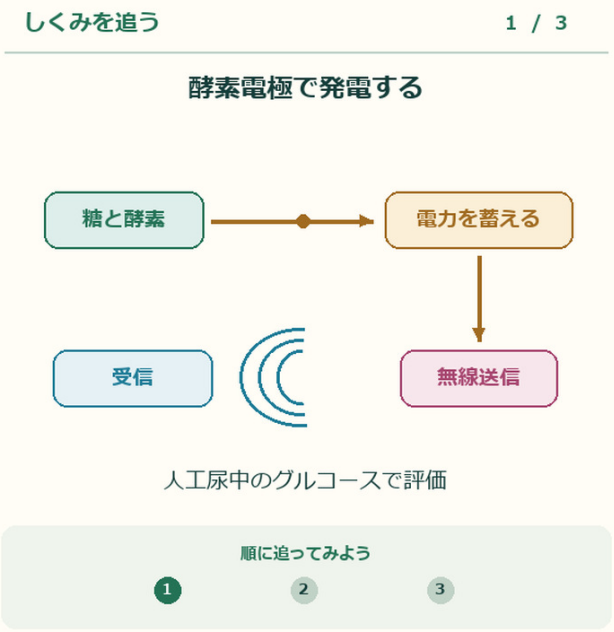
補足　電子は外部回路を流れ、電解液ではイオンが電荷を運ぶ。

発電した電力で、糖を知らせる

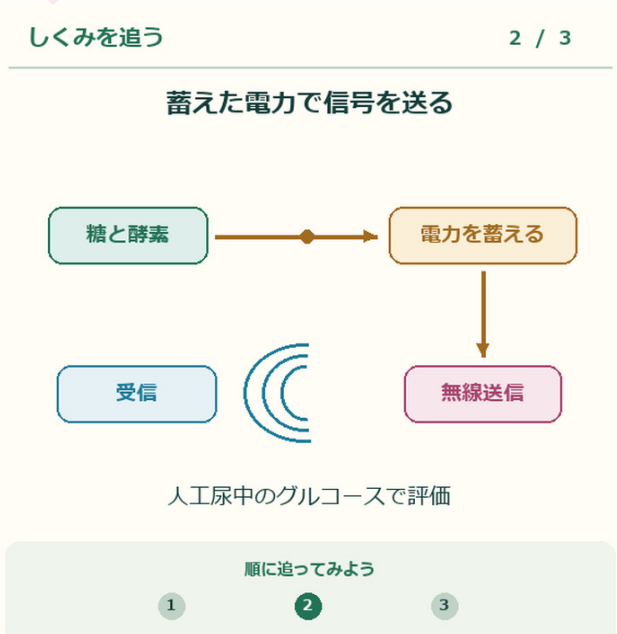
発電量が糖の濃度で変わるなら、この電池自体をセンサにもできる？



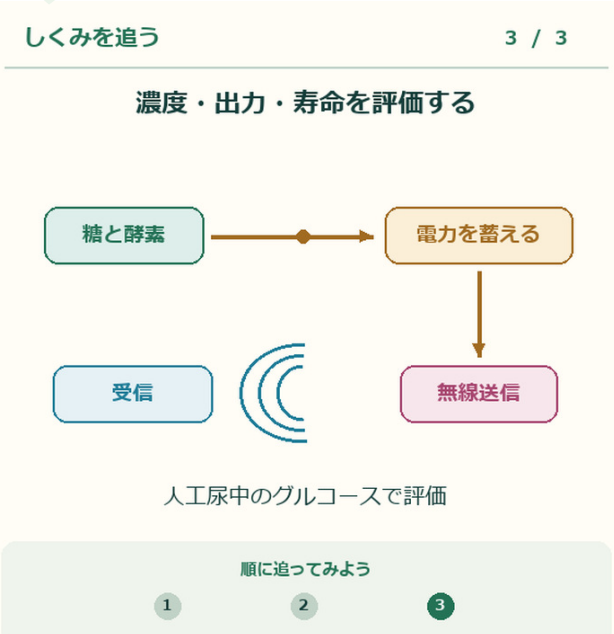
研究の一例として、有機材料で作った酵素電極を使い、人工尿中でグルコース濃度に応じた応答を測ったよ。



発電した電力をため、送信回路を動かす。電極が有機材料でできていることと、外部の送信回路は分けて考えるのね。



柔らかく体になじむ電源が目標だよ。どこで使い、どれだけ長く働き、使い終わったら何を回収するかまで設計したいね。



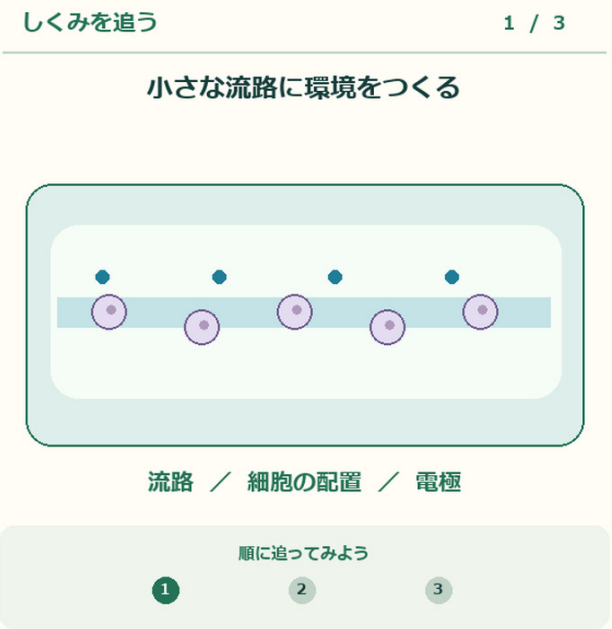
補足　Yahagiらは人工尿中で発電と濃度応答を評価。実用化には耐久性等の検討が必要。

地形を変え、返事を測る

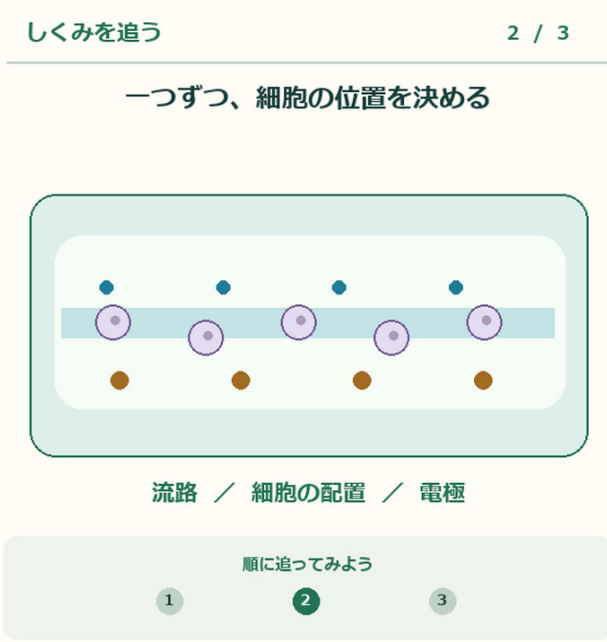
皿の上と体内では、栄養の流れも周りの硬さも違う。細胞の過ごす場所だけ、小さなジオラマにできないかな。



微細加工した流路、柔らかい足場、隣の細胞を配置する。再現したい環境を選んで作ったものが生体模倣チップだよ。



研究の一例として、細胞一つを小さなプレートに乗せ、配置を変える方法も研究した。並べ方を決めると、つながり方を調べられる！



ポンプで刺激を変え、電極で応答を読む。センサが「聞く」、アクチュエータが「働きかける」。同じ場所で繰り返すのが面白いね。



補足　再現したい機能を決め、流れ・足場・刺激を一つずつ検証する。

薬の前後を、同じ条件で比べる

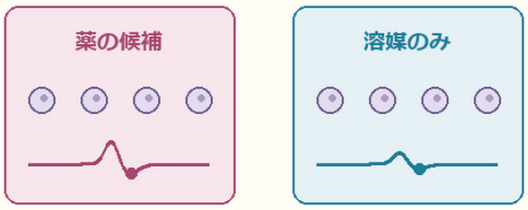
病気に関係する条件を流路に加えてから、薬の候補を試したら、細胞の返事が変わるかな。



薬を加えたチップと、溶媒だけのチップを用意しよう。流量や細胞数をそろえ、電気信号や細胞の動きを時間に沿って比べる。

しくみを追う　1 / 3

薬あり・溶媒のみで比較する



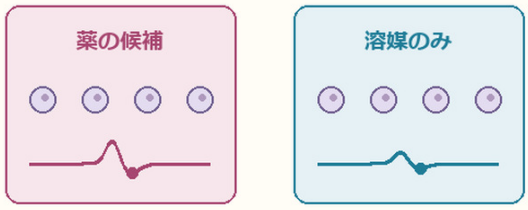
流量・細胞数・観察時間をそろえる

順に追ってみよう　1　2　3

本人の細胞からiPS細胞を作り、目的の細胞に分化させれば、人による応答の違いを調べる手がかりになりそうね。

しくみを追う　2 / 3

iPS細胞から目的の細胞へ



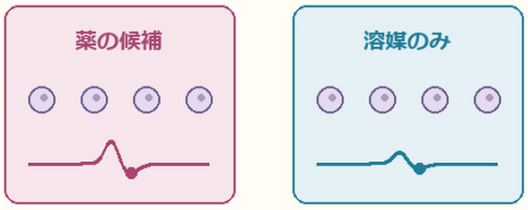
流量・細胞数・観察時間をそろえる

順に追ってみよう　1　2　3

提供への同意を得て細胞を扱い、モデルの再現性も確かめる。動物実験を減らし、人ごとの病気のしくみを探ることが目標だよ。

しくみを追う　3 / 3

条件・再現性・同意を確かめる



流量・細胞数・観察時間をそろえる

順に追ってみよう　1　2　3

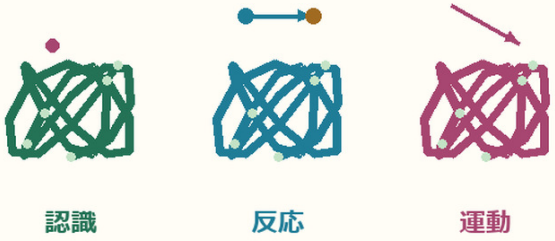
補足　モデルで観察した変化を、患者本人での効果と区別する。

ほしい働きから、タンパク質を設計する

においを感じる受容体は一例なのね。物質を見分ける分子や、化学反応を進める酵素も、目的に合わせて作れるのかな。

大きさと働きをつなぐ　1 / 4

認識・反応・運動を担う分子



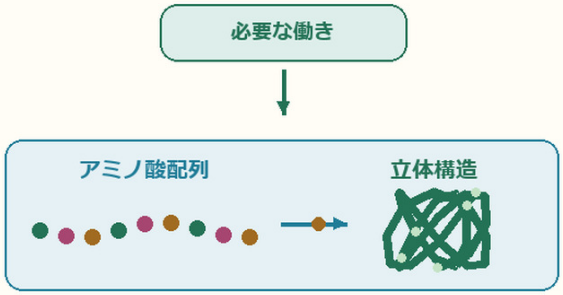
タンパク質の機能は、におい以外にも

生物の機能を、材料と装置へ

新しい配列や構造からタンパク質を生み出す、de novo設計が進んでいる。狙った分子に結合するタンパク質や、反応を助ける酵素を設計する研究があるよ。

大きさと働きをつなぐ　2 / 4

目的の働きから配列と構造へ



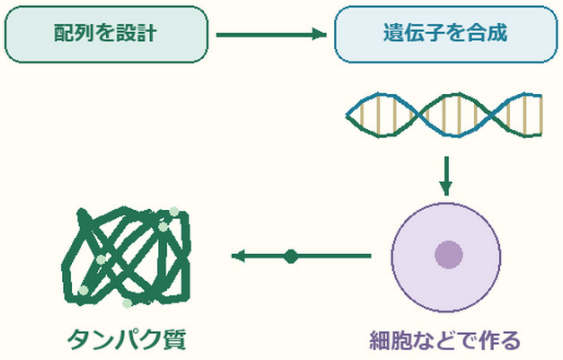
新しい配列・構造から設計する

生物の機能を、材料と装置へ

まず必要な働きを決め、アミノ酸の配列や立体構造を考える。設計した配列の遺伝子を合成し、細胞などでタンパク質を作る方法もあるのね。

大きさと働きをつなぐ　3 / 4

設計を合成につなげる

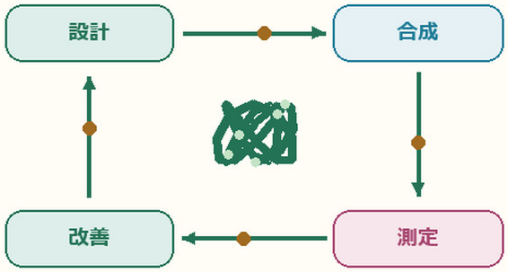


生物の機能を、材料と装置へ

作った分子が、狙いどおりに働くか測り、結果を次の設計に戻そう。タンパク質という高機能なナノマシンを、設計し、合成し、確かめるんだ。

大きさと働きをつなぐ　4 / 4

作り、測り、設計に戻す



予測を、実験で確かめる

生物の機能を、材料と装置へ

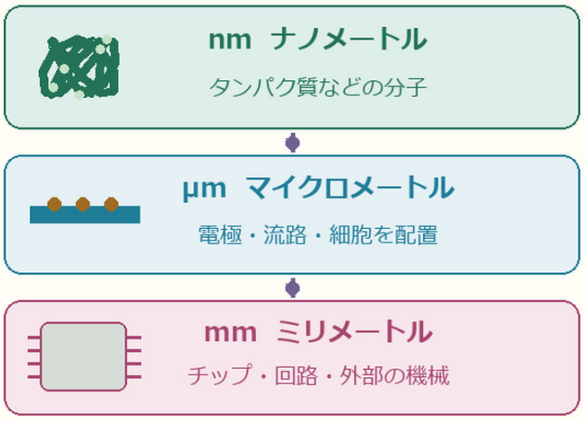
補足　配列・構造の予測に加え、合成した分子の働きを実験で検証する。

ナノの分子を、ミリの装置へ

ナノマシンが一つできても、そのまま手に持てるセンサや機械になるわけではないんだね。どうやって装置につなぐの？

大きさと働きをつなぐ　1 / 4

ナノからマイクロ、ミリへ

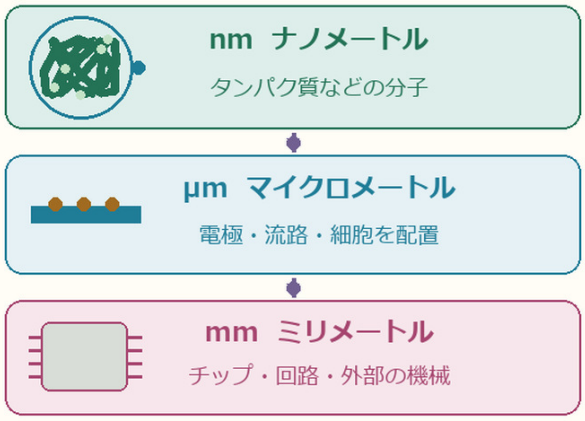


大きさの目安 ／ 1 mm = 1000 μm

ナノメートルのタンパク質を、マイクロメートルの電極や流路に配置する。分子の向き、水やイオン、物質の届く道を整えて、働きを保とう。

大きさと働きをつなぐ　2 / 4

分子の向き・水・物質の道

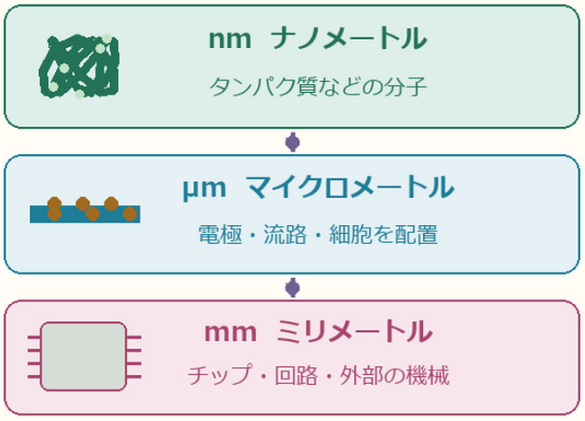


大きさの目安 ／ 1 mm = 1000 μm

その小さな部品を、ミリメートルサイズのチップへ集め、回路や外部の機械につなぐ。センサ、反応器、発電、動く仕組みへと応用を広げられるね。

大きさと働きをつなぐ　3 / 4

部品を集め、回路につなぐ

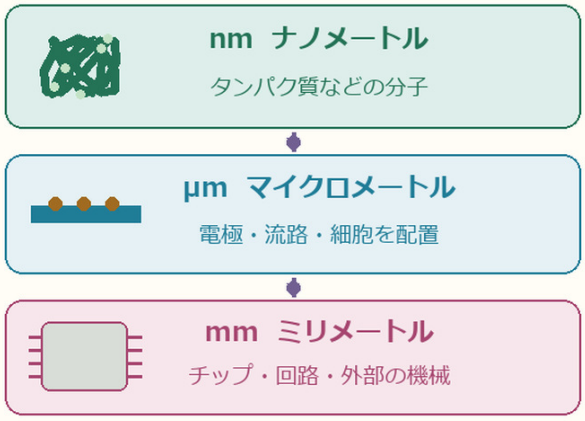


大きさの目安 ／ 1 mm = 1000 μm

半導体をナノサイズにする研究に加え、ナノの生体分子をマイクロ、さらにミリの電子デバイスへ統合する研究が重要になる。機能と大きさをつなぐ工学だよ。

大きさと働きをつなぐ　4 / 4

機能と大きさをつなぐ工学



大きさの目安 ／ 1 mm = 1000 μm

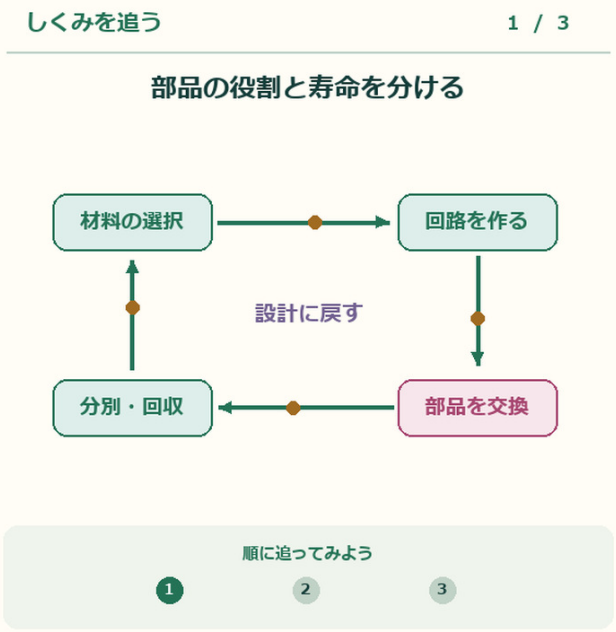
補足　大きさは一例。分子を置く位置・向き・環境と読み出し回路を設計する。

どんな一台を、次に作る？

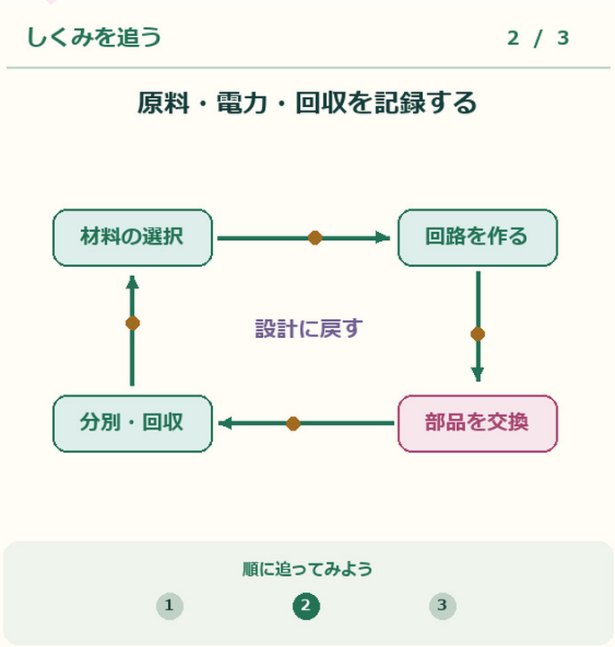
細胞を丸ごと使う方法と、設計したタンパク質を部品として使う方法がある。装置に必要な働きから、材料を選ぶのね。



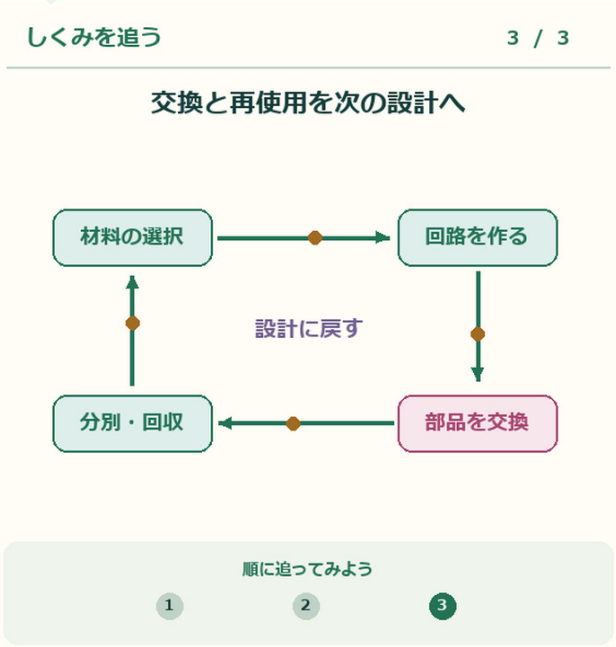
長く保てるか、手入れに何が必要か、どれだけ電力を使うかを比べたい。交換する部分と何度も使える回路も分けて設計しよう。



有機材料で持続可能な機械を目指すなら、作るときから回収までを測るのね。材料の選び方と、循環させる仕組みを一緒に考えたい！



分子を設計し、細胞を育て、信号を聞き、刺激を返す。生物の高い機能を使い、地球で循環できる機械システムを、吉田研で一緒に考えてみよう。



補足　持続可能性は原料、製造、使用、回収の条件を含めて評価する。

用語をつなぐ

ゲノムとタンパク質

ゲノムは遺伝情報の全体。タンパク質はアミノ酸の鎖からなり、認識や反応など多様な働きを担う。

膜電位と活動電位

膜をはさんだ電位差と、それが短時間に大きく変化して伝わる現象。イオン濃度とチャネルの開閉が関わる。

ECoGと微小電極

ECoGは皮質表面付近から集団の電気活動を読む。微小電極は露出面積を絞り、局所の細胞外電位を測る。

イオントフォレシス

電場で荷電分子を移動させたり、水の流れで分子を運んだりする方法。皮膚から成分を採取する応用もある。

酵素型バイオ燃料電池

酵素の選択的な酸化還元反応を電極に結びつけ、糖と酸素などから電力を取り出す。

生体模倣チップ

流れ・足場・細胞の配置など、着目する微小環境をチップ上に構成し、刺激と応答を比較する。

de novoタンパク質設計

目的の働きに向け、新しい配列や構造を設計する。合成し、実験で機能を確かめ、次の設計に生かす。

一次資料へのリンク

参考資料と研究例 I

吉田研究室の研究内容

中央大学 吉田研究室

有機電極、スキンエレクトロニクス、人工神経回路、生体模倣チップ。

https://yoshidalab.r.chuo-u.ac.jp/research/

細胞が育つキトサンメッシュ

Xu et al., Scientific Reports (2026)

微細加工したキトサン・ゼラチンのメッシュ上で細胞シートを作製。

https://doi.org/10.1038/s41598-026-46287-2

膜電流と神経の興奮

Hodgkin & Huxley, Journal of Physiology (1952)

膜を流れる電流と活動電位の伝導の関係を定量化。

https://doi.org/10.1113/jphysiol.1952.sp004764

柔らかい有機ECoG電極

Oribe et al., Scientific Reports (2019)

ゲル電極の曲面への追従と電気記録を動物実験で評価。

https://doi.org/10.1038/s41598-019-49772-z

印刷微小電極と導電性ゲル

Murakami & Yoshida, Mechanical Engineering Journal (2026)

小さな電極窓と導電性ゲルで、神経信号を模した入力への応答を評価。

https://doi.org/10.1299/mej.26-00193

細胞を一つずつ配置するマイクロプレート

Yoshida et al., Advanced Healthcare Materials (2016)

個別の神経細胞の形態と配置を制御するチップ技術。

https://doi.org/10.1002/adhm.201500782

参考資料と研究例 II

電場と上皮細胞の移動

Zhao et al., Nature (2006)

上皮修復時の細胞移動と電場の関係を実験的に検証。

https://doi.org/10.1038/nature04925

多孔質マイクロニードルによる物質輸送

Kusama et al., Nature Communications (2021)

皮膚試料で、モデル薬物の送達とグルコースの抽出を評価。

https://doi.org/10.1038/s41467-021-20948-4

酵素型燃料電池を用いた自己給電センサ

Yahagi et al., Mechanical Engineering Journal (2026)

人工尿中で有機酵素電極の発電とグルコース濃度応答を評価。

https://doi.org/10.1299/mej.26-00174

微小環境の機能をチップに再現

Huh et al., Science (2010)

細胞層・流路・機械的な変形を統合した生体模倣システム。

https://doi.org/10.1126/science.1188302

ヒトの細胞からiPS細胞を作る

Takahashi et al., Cell (2007)

ヒト成人由来の線維芽細胞を初期化して多能性を誘導。

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18035408/

昆虫の嗅覚受容体でにおいを検出

Science Advances (2021)

人工膜の受容体と微細加工した流路で揮発性分子を電気的に検出。

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7806217/

参考資料と研究例 Ⅲ

ゲノムと遺伝情報

NHGRI, Talking Glossary of Genomic and Genetic Terms

ゲノムは細胞に含まれるDNAの情報全体。

https://www.genome.gov/genetics-glossary/Genome

細胞と組織の基本

NIH, National Cancer Institute

細胞と細胞間の物質が、組織を構成する。

https://training.seer.cancer.gov/anatomy/body/

de novoタンパク質設計

Watson et al., Nature (2023)

RFdiffusionで構造と機能を設計し、結合などを実験で評価。

https://doi.org/10.1038/s41586-023-06415-8

新しい酵素の設計と検証

Lauko et al., Science (2025)

新たな構造のセリン加水分解酵素を設計し、触媒活性を評価。

https://doi.org/10.1126/science.adu2454

制作　中央大学 吉田研究室　/　2026年11月

絵の制作に生成AIを使用。会話、図解、組版は教材用に構成。

動画・漫画の公開ページを開く