やわらかい回路と、
いのちのあいだ

有機・バイオ電子工学



材料・加工・回路から、皮膚・細胞・脳との接点まで。

全7章 / 本文30ページ・180コマ / 用語索引・参考資料付き

中央大学 吉田研究室｜研究紹介漫画

2026年11月

材料から、生体との接点へ

六つの問いから、有機・バイオエレクトロニクスを見渡してみよう。



材料と回路

曲がる材料に、電気の通り道を
どうやってつくる？



体と機械

電気を扱う研究室で、どうして
細胞も育てるの？



神経とグリア

細胞がつながって信号を送ったと、
どうやって確かめる？



発電と計測

糖から電気を取り出せる？
小さな針で体液を採れる？



ソフトロボット

やわらかい指なら、果物を
上手につかめる？



実験の組み立て

信号が変わったのは、なぜ？
何を比べれば理由がわかる？

漫画は、左から右へ、上から下へ

①→②、③→④、⑤→⑥の順に読みます。大きな01〜30は漫画の回番号です。

「基礎」「研究室とつながる」「関連分野の研究例」は、各テーマの位置づけを示します。

会話は説明のための創作です。頭・皮膚・臓器などの図は原理を示す模式図です。
有機材料の柔軟性や生体適合性は、材料・構造・環境ごとに評価します。

目次

「つくる・測る・動かす」をつなげながら、研究の入口へ。

第1章　材料から、回路へ

01　やわらかい回路で、何ができる？　4
02　有機物は、電気を通す？　5
03　有機半導体から、基本素子へ　6
04　光を出す。光から電気をつくる。　7

第2章　小さくつくる、流れを操る

05　小さくつくる、微細加工　8
06　回路を印刷してみよう　9
07　小さな流れと、電気浸透流　10
08　実験室を、チップに載せる　11

第3章　体とつながる電子工学

09　曲がると、身につけられる？　12
10　皮膚のように、感じる回路　13
11　体液を読む、小さな針　14
12　電子とイオンの、通訳をする　15
13　目に載る、小さなデバイス　16

第4章　やわらかい動きとエネルギー

14　やわらかい機械を動かす　17
15　穴だらけ、が役に立つ　18
16　ハイドロゲルを、電池に使う　19
17　生物の反応を、発電に使う　20

第5章　分子と細胞を読む

18　分子を見分けて、信号にする　21
19　細胞を測る。細胞で測る。　22
20　DNAの文字列を読む　23
21　DNAで、計算もできる？　24

第6章　細胞が暮らす場所をつくる

22　細胞が暮らす環境をつくる　25
23　体の中の、ミニチュア環境　26
24　細胞と、入出力でつながる　27
25　組織を育て、機能を支える　28
26　細胞が動く、ロボットのかたち　29

第7章　神経と機械、そして研究へ

27　神経を測る。神経から学ぶ。　30
28　脳と機械の、橋を架ける　31
29　研究は、問いを小さくすることから　32
30　次の接点を、君がつくる　33

用語索引 34　／　参考資料 35–36



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　有機・バイオ電子工学は、材料からデバイス、生命との接点までを扱う横断分野。本書の探検や会話は説明のための創作です。

第1章　材料から、回路へ

基礎

02 有機物は、電気を通す？



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　有機材料だから自動的に導電性・柔軟性・生体適合性が得られるわけではありません。分子構造、添加物、加工条件、使用環境が関わります。

第1章 材料から、回路へ

基礎・研究の問い

03 有機半導体から、基本素子へ



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　全有機化は材料・電極・基板などを含む構成の課題です。実用性能、耐久性、周波数特性などを同時に満たす必要があります。

第1章　材料から、回路へ

04 光を出す。光から電気をつくる。

基礎・応用例



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　OLED（有機EL）とOPV（有機太陽電池）は別々に最適化するデバイス。薄膜化は柔軟化に有利ですが、電極や封止の設計も必要です。

第2章　小さくつくる、流れを操る

05 小さくつくる、微細加工

基礎



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　MEMSはMicro Electro Mechanical Systems。バイオMEMSには細胞操作や分析などの用途があります。工程図は概念図で、製造レシピではありません。

第2章　小さくつくる、流れを操る

研究室とつながる

06 回路を印刷してみよう



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　印刷でつくれる材料や解像度には制約があります。材料配合・基板との相性・加工温度・積層時の溶け直しなどが研究課題です。

第2章 小さくつくる、流れを操る

07 小さな流れと、電気浸透流

基礎



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　流れの方向と大きさは壁面電荷、液の組成、電場などに依存します。微小流路でも条件によって流れ方は異なります。

第2章 小さくつくる、流れを操る

08 実験室を、チップに載せる

関連分野



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　検出・分離・反応などを集積する考え方です。装置全体の小型化には、試料前処理、電源、ポンプ、読出し系も含めて考えます。

第3章 体とつながる電子工学

基礎・応用例

09 曲がると、身につけられる？



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　フレキシブルは曲げ、ストレッチャブルは伸びへの適応を表します。ウェアラブルでは、長時間使用時の皮膚との相性や機械的耐久性も重要です。

第3章 体とつながる電子工学

10 皮膚のように、感じる回路

研究室とつながる



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　E-Skinは電子的な皮膚機能の模倣を指す場合があります。培養細胞で皮膚組織を構築する皮膚工学とは関連しつつ、区別して理解します。

第3章 体とつながる電子工学

11 体液を読む、小さな針

研究室とつながる



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　ここでは技術の概念を説明しています。体液中の信号を診断へ結びつけるには、基準法との比較、個人差、安全性などの検証が必要です。

第3章 体とつながる電子工学

12 電子とイオンの、通訳をする

研究室とつながる



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　イオンが電子へ物質として変身するのではありません。界面で電荷や電位の変化を結びつけます。従来の金属電極も生体計測に広く用いられます。

第3章 体とつながる電子工学

13 目に載る、小さなデバイス

関連分野の研究例



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　スマートレンズと電気浸透流は関連する微小デバイスの話題として紹介しています。すべてのレンズが電気浸透流を使うわけではありません。

第4章 やわらかい動きとエネルギー

14 やわらかい機械を動かす

研究室とつながる



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　有機ソフトロボットは研究室のテーマです。ソフトロボット全般の動力源や材料は多様で、有機物のみの構成には別途技術課題があります。

第4章 やわらかい動きとエネルギー

15 穴だらけ、が役に立つ

材料の基礎



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　多孔質化の利点は、孔の大きさ・つながり・表面の性質に依存します。大きな表面積だけで性能が決まるわけではありません。

第4章 やわらかい動きとエネルギー

研究室とつながる

16 ハイドロゲルを、電池に使う



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　ハイドロゲルは電解質や支持体などに使われます。有機電池は有機活物質を用いる電池などを指し、ハイドロゲル電池と同義ではありません。

第4章 やわらかい動きとエネルギー

17 生物の反応を、発電に使う

関連分野

1
糖や汗の成分から、電気を取り出せる？
糖
汗の成分

2
バイオ燃料電池は、酵素や微生物の反応を利用するんだ。
方式の例
酵素型
微生物型
e^-
電極

3
燃料の酸化で取り出した電子を、外の回路へ流すよ。
e^-
負荷
燃料
酸素
イオン
アノード（燃料の酸化）
電解質
カソード（酸素の還元）

4
体の近くの燃料を使えたら、小さなセンサの電源になるかも。

5
燃料や酸素の供給、出せる電力、触媒の寿命が課題だよ。
燃料
燃料がなくなる
酸素
酸素が足りなくなる
出せる電力
大きな電力は出しにくい
触媒の寿命
反応が弱まり長くは使えない

6
発電量だけ自慢してもだめ。センサが使う電力と比べよう！
発電量（供給）
センサが使う電力（消費）

吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　バイオエネルギーは広い概念です。ここでは酵素型・微生物型の燃料電池を中心に説明。燃料や反応物が尽きれば、発電を継続できません。

第5章 分子と細胞を読む

18 分子を見分けて、信号にする

基礎・応用例



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　感度だけでなく選択性、検出限界、測定範囲、応答時間、ドリフトを評価します。検出信号だけで病気の診断が確定するわけではありません。

第5章 分子と細胞を読む

19 細胞を測る。細胞で測る。

関連分野



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　「細胞センサ」「人工細胞」は文脈で意味が異なります。本書の人工細胞は、脂質小胞などに無細胞反応系を封入する構成例を扱います。

第5章 分子と細胞を読む

20 DNAの文字列を読む

関連分野



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　方式によって読み方、読める長さ、誤りの性質が異なります。ここでは基本原理の紹介にとどめ、特定装置の性能値は示していません。



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　DNAの配列を情報の記憶に使う技術と、分子反応で演算する技術は区別します。通常のパソコンをそのまま置き換える技術として説明していません。

第6章 細胞が暮らす場所をつくる

22 細胞が暮らす環境をつくる

基礎



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　細胞の種類ごとに必要条件は異なります。生存、増殖、分化、成熟、機能はそれぞれ別の評価項目です。

第6章 細胞が暮らす場所をつくる

23 体の中の、ミニチュア環境

研究室とつながる



吉田研究室 | 有機・バイオ電子工学を学ぶ | 図は模式図です

補足　臓器チップは目的に合わせた部分モデルです。MPSは広い用語で使われ方にも幅があります。移植できる完成した臓器と同じ意味ではありません。

第6章 細胞が暮らす場所をつくる

24 細胞と、入出力でつながる

研究室とつながる



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　測定対象に合ったセンサを選びます。刺激による変化と、温度・流量・測定自体の影響を分けて考えることが重要です。

第6章 細胞が暮らす場所をつくる

25 組織を育て、機能を支える

関連分野・研究の展望



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　細胞埋め込み型の構成は研究対象・材料によって異なります。本書の一般例は特定の治療の有効性や臨床利用を示すものではありません。

第6章 細胞が暮らす場所をつくる

関連分野の研究例

26 細胞が動く、ロボットのかたち



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　細胞ロボットには複数の構成法があります。紹介した細胞集合体は、意識や人のような判断力をもつことを意味しません。

第7章 神経と機械、そして研究へ

研究室とつながる

27 神経を測る。神経から学ぶ。



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　「人工脳」は広い言葉です。本書は培養神経回路を中心に扱います。学習、知能、意識の意味を混同せず、測定できる機能で議論します。

第7章 神経と機械、そして研究へ

28 脳と機械の、橋を架ける

関連分野



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　BMI／BCIは脳活動と外部機器を結ぶ技術。信号の記録だけでなく、用途に応じた解読・制御・フィードバックの設計が必要です。

第7章 神経と機械、そして研究へ

29 研究は、問いを小さくすることから

配属後の研究を考える



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　実験例は学び方を示す架空の例です。実際の研究テーマや進め方は教員と相談して決めます。電気・電子の基礎が異分野をつなぐ土台になります。



吉田研究室｜有機・バイオ電子工学を学ぶ｜図は模式図です

補足　研究室のテーマは公開ページをもとに要約しました。本文中の関連分野の例すべてが吉田研究室の研究成果・現在の個別テーマであることを意味しません。

用語索引

数字は冊子のページ番号です。本文の大きな回番号に3を足すと、冊子のページになります。

有機エレクトロニクス　4, 5, 33
バイオエレクトロニクス　4, 15, 33
有機高分子　5, 18
有機半導体　6
抵抗器　6
キャパシタ　6
インダクタ　6
ダイオード　6
トランジスタ　6
メモリ　6
有機EL　7
有機太陽電池　7
半導体微細加工技術　8
MEMS　8
バイオMEMS　8
印刷技術　9
ソフト有機電子回路　9
マイクロ流体デバイス　10
電気浸透流　10, 16
Lab-on-a-Chip　11
化学実験・生物実験用マイクロチップ　11
フレキシブルエレクトロニクス　12
ウェアラブルエレクトロニクス　12
スキンエレクトロニクス　13
E-Skin　13
皮膚工学　13, 28
体液センシング　14
マイクロニードル　14
有機電極　15
脳電極　15
埋め込み型センサ　15
サイボーグ技術　15
スマートコンタクトレンズ　16
ソフトエレクトロニクス　17
ソフトロボティクス　17, 29
アクチュエータ　17
多孔質体　18
エアロゲル　18
ハイドロゲル電池　19
有機電池　19
バイオ燃料電池　20
バイオ発電　20
バイオエネルギー　20
生体分子センサ　21
バイオセンサ　21
細胞センサ　22
人工細胞センサ　22
DNAシーケンサ　23
DNAコンピュータ　24
細胞培養技術　25
組織工学　25, 28, 29
Organ-on-a-Chip　26
臓器チップ　26, 27
Microphysiological Systems　26
MPS　26
有機電子デバイス　27
入出力インターフェース　27
細胞埋め込み型再生医療　28
細胞ロボット　29
神経工学　30, 31
人工脳　30
人工知能　30
バイオAI　30
ブレインマシンインターフェース　31
BMI　31
実験　32
比較　32
再現性　32
材料・回路・加工・細胞　32
研究室配属　33

参考資料 1 / 2

原理を確認し、興味を持ったテーマを読み進めるために。閲覧日：2026年11月1日

[01] 吉田研究室｜研究内容・配属希望者向け情報
研究室の方向性とテーマ。個別デバイス図は説明用の創作。原稿の出発点は、ご提供の研究説明とキーワードです。
対応：漫画 01, 06, 10, 11, 12, 14, 16, 23, 24, 27, 29, 30

[02] 米国エネルギー省｜Solar Photovoltaic Cell Basics
有機太陽電池を含む光電変換材料の基礎。
対応：漫画 04

[03] MEMS and Nanotechnology Exchange｜Fabricating MEMS
微細加工の工程と、微小機械の製作方法。
対応：漫画 05, 06

[04] Whitesides研究室｜The Origins and the Future of Microfluidics
Nature 442, 368–373 (2006)。微小流路と実験操作の集積を理解するための資料。
対応：漫画 07, 08

[05] Simple Electroosmotic Pump and Active Microfluidics
電気二重層と電場を利用する送液の研究例。本文の図は一般原理を示します。
対応：漫画 07, 13

[06] Kimら｜Epidermal electronics
Science (2011), DOI: 10.1126/science.1206157。皮膚に沿う薄い電子システムの原著。
対応：漫画 09, 10

[07] Vertical organic electrochemical transistors for complementary circuits
Nature (2023)。イオンと電子の伝導を利用する有機トランジスタと回路の原著。
対応：漫画 03, 12, 18, 24

[08] Soft, smart contact lenses with integrations of wireless circuits...
Science Advances (2018)。センサ・無線給電などを組み込むスマートレンズの研究例。
対応：漫画 13

[09] NASA｜Flexible Aerogel
多孔質なエアロゲルの成り立ちと柔軟化の紹介。
対応：漫画 15

参考資料 2 / 2

原理を確認し、興味を持ったテーマを読み進めるために。閲覧日：2026年11月1日

[10] Wangら｜Lean-water hydrogel electrolyte for zinc ion batteries

Nature Communications (2023)。ハイドロゲルを電解質に用いる原著。全有機電池の例ではありません。

対応：漫画 16

[11] UC San Diego｜Wearable Microgrid

汗の乳酸を利用する酵素型バイオ燃料電池と、電源の統合例。

対応：漫画 17

[12] Robust and tunable performance of a cell-free biosensor...

脂質小胞に封入した無細胞反応系を使うセンサの原著。人工細胞センサの構成例。

対応：漫画 19

[13] NHGRI｜DNA Sequencing Fact Sheet

DNAの塩基配列を読む意味と、読み取り方法の基礎。

対応：漫画 20

[14] Qian・Winfree｜Scaling Up Digital Circuit Computation...

Science (2011)。DNA鎖置換反応を利用する論理回路の原著。

対応：漫画 21

[15] NIH NCATS｜Tissue Chip for Drug Screening

ヒト細胞で臓器機能を部分的に再現するチップと、その研究上の目的。

対応：漫画 22, 23, 24, 25

[16] Tufts University｜Tiny Biological Robots from Human Cells

繊毛をもつ細胞集合体Anthrobotsの研究紹介。体内治療の完成を示すものではありません。

対応：漫画 26

[17] Kaganら｜In vitro neurons learn... in a simulated game-world

Neuron (2022)。培養神経回路の刺激・記録と閉ループ実験。意識の存在を確定する根拠として扱っていません。

対応：漫画 27

[18] NIH NIBIB｜Rehabilitation Engineering

脳コンピュータ接続を含む、支援機器とリハビリテーション工学の説明。

対応：漫画 28

制作について

ご提供の研究説明・キーワードと公開資料をもとに構成。画像は画像生成ツールで制作し、台詞・図・ページ配置を確認しました。
関連分野の研究例を含む入門用教材です。6人のキャラクターは研究室サイトのマスコットをもとに構成しています。