

2050年までに
細胞と人工素材を融合したiL-Cellにより
場所を選ばず未病を実現できる社会を実現

チーム iL-Cell

チームリーダー：樋口ゆり子（京都大学薬学研究科）
サブリーダー：松下智直（京都大学理学研究科）
メンバー：高須清誠（京都大学薬学研究科）
内田智士（京都府立医科大学）

アンケート：（太陽）光でエネルギーを産生して「はたらく細胞」があったら？

（日本の各地域の理系または文系志望の高校2年生対象）

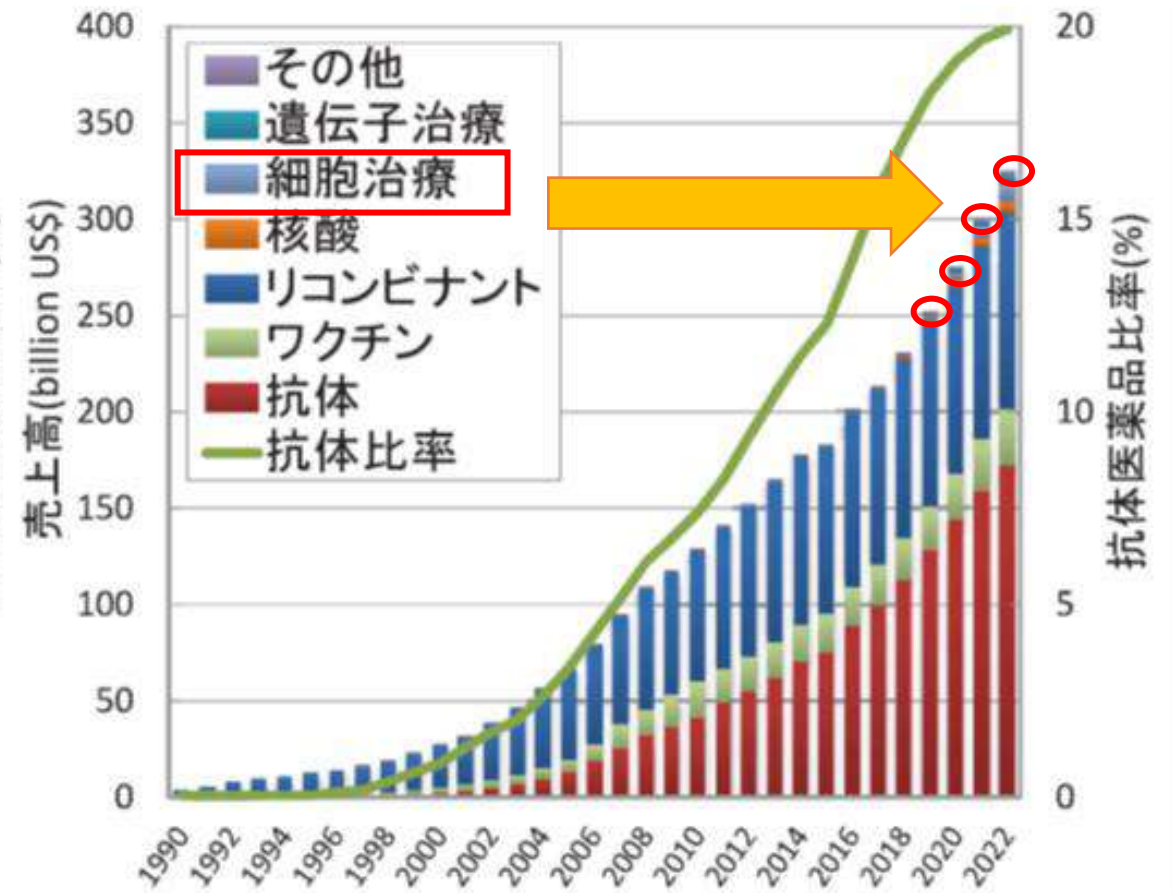
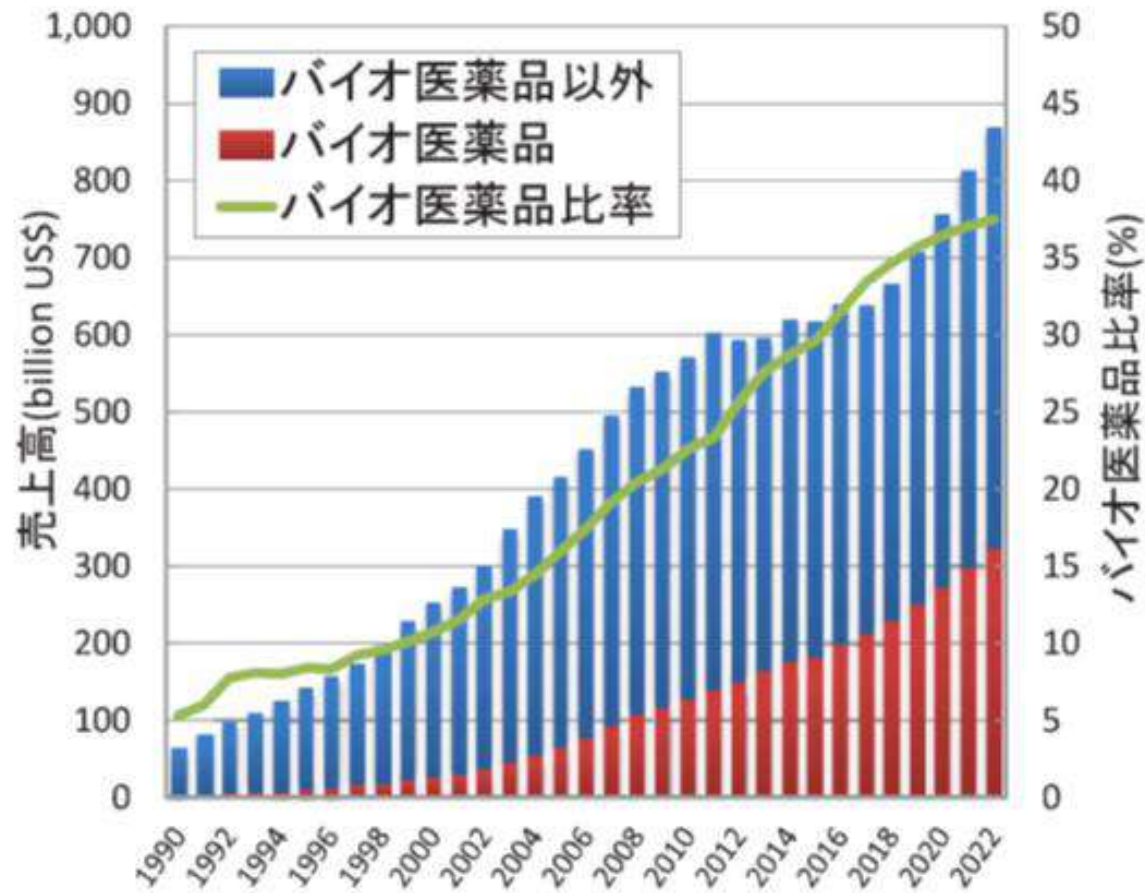
あなたや社会の生活はどう変わりますか？



どのような機能を搭載して欲しいですか？

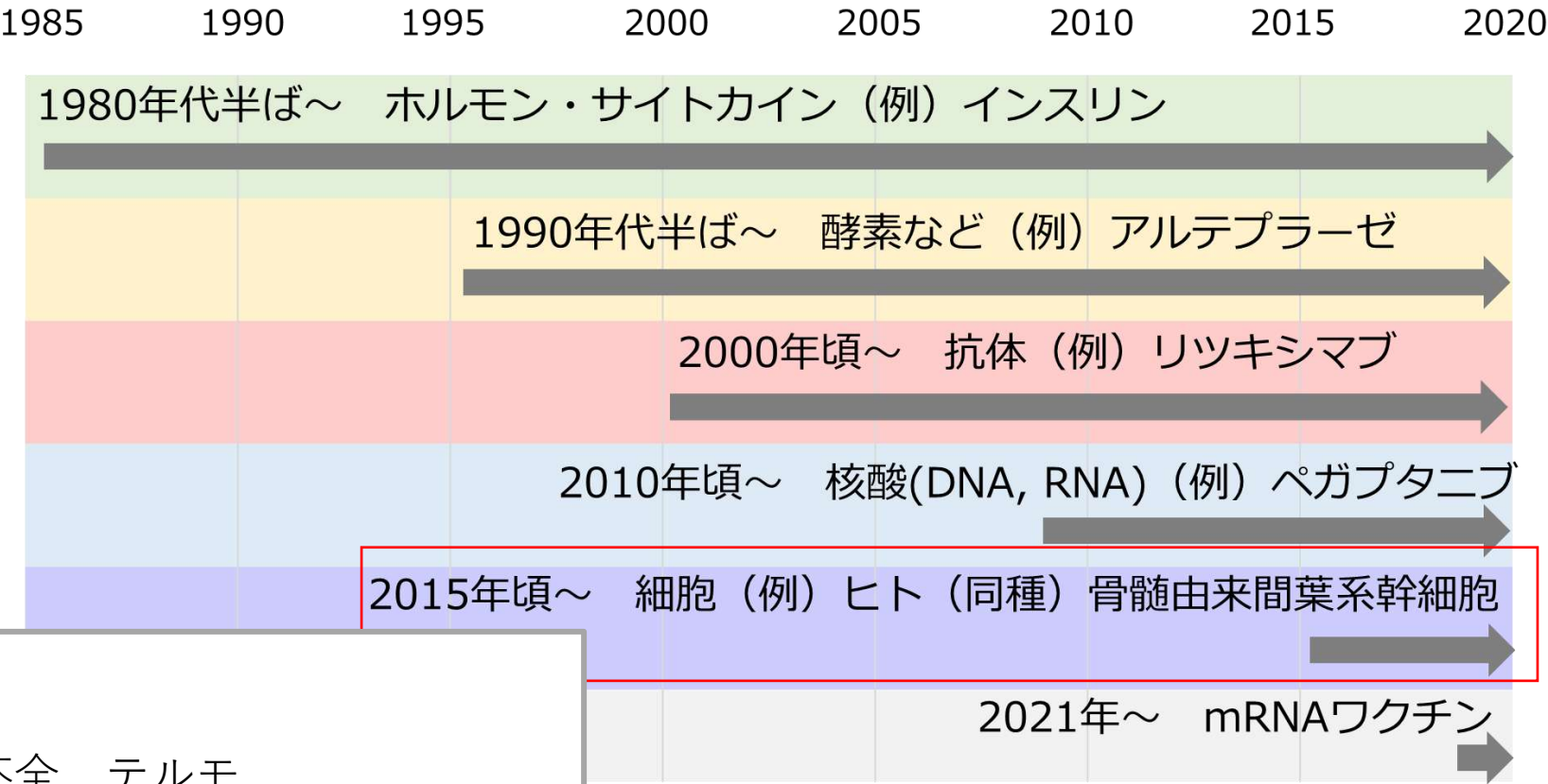
医療	ワクチン 遠隔操作による医療（離れたところから個人にあった化学物質を投与） 通報（交通事故などで生命の危険があった場合に自動通報） 医薬品（薬を服用が不要に） 健康状態の確認（健康状態を感知して治療する医療機器）
健康	眠気覚まし（眠くなっていることを感知して、体に害のないくらいの電流を流す） 目覚まし機能（寝坊がなくなる、睡眠時間と健康の調整） 摂取カロリーの確認（栄養過多の解決、糖尿病の予防） 体温調節機能（寒いのが苦手、冷却機能で体温を下げる） 子育て（赤ちゃんが泣く理由を知れたら子育てに役立つ） その他（身体欠損等の先天的な障害者の生活改善）
情報通信	支払（電子マネー、電車の運賃、お店のポイントカード） 個人識別（コインロッカーなどの鍵、オートロックのパスワード） GPS機能（迷子、誘拐、遭難の時の位置情報） タイマー（作業時間測定、時間管理） ロボット（人や動物、その他の生き物に限りなく近いロボットの作製） 機器との連動（スマホの機能と連動させてメッセージの送信）
その他	AI、判断支援（人工知能を入れてほしい） 安全装置（ON/OFF切り替えることで暴走を防ぐ機能がほしい） 環境問題・光合成（植物のように酸素を出せたら良い） 生体情報マッチング（DNA情報から個人の相性マッチング） 素材として（形や硬さを自由に変えられると良い、鉄のように固くもできるし柔らかくもできたら色んな所に使える）

世界のバイオ医薬品市場の推移



出所：EvaluatePharma をもとに作成

日本のバイオ医薬品の開発・承認品目の変遷



- 承認年**
- 2015年**
ハートシート（骨格筋由来細胞）心不全 テルモ
テムセル（間葉系幹細胞）急性GVHD JCRファーマ
- 2018年**
ステミラック（間葉系幹細胞）脊髄損傷 ニプロ
- 2019年**
キムリア（T細胞）白血病 ノバルティスファーマ
- 2020年**
ネピック（角膜上皮細胞）角膜疲弊症 ジャパンティッシュエンジニアリング

なぜ私たちは「細胞」に注目しているのか？

人のからだ

細胞の種類

約200種類

人間の体を構成する細胞の数

37~60兆個

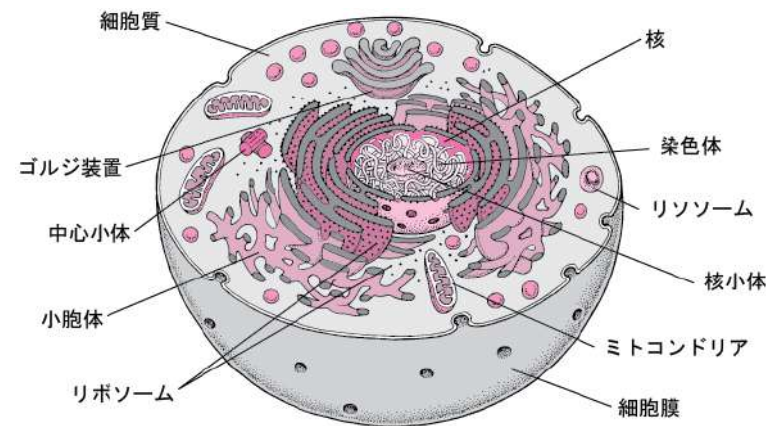
細胞

1つの細胞のサイズ

直径約10-20マイクロメートル
(1 mmに50-100個並ぶ)

細胞を構成する分子の数

約5000万個



環境に適応して少ないエネルギーで精密に制御されている

人工的にすべてを再現するの極めて困難

生体を構成する細胞とインタラクティブに作動する

個人にあわせた個別化医療の実現

医薬品/ヘルスケアとIoT

医薬品

デジタルメディスン

半導体チップが埋め込まれた錠剤（経口投与）
胃液と反応したらシグナルを発信する

デジタルメディスン
（エビリファイマイサイト・大塚製薬）
半導体技術・プロテウス社



ヘルスケアIoT/医療機器

ウェアラブルデバイス／埋込型医療機器

- ・バイタルデータのセンシングと送信
- ・治療機能はない（電気刺激のみ）
- ・日常生活の装着感が課題

インプラントブルマイクロチップ

- ・個人認証、支払い機能などを搭載したマイクロチップ埋め込みの実験的社会的実装（アメリカ、スウェーデン）
- ・センシング、治療機能はない

糖濃度を測定
（Rockley Photonics）



涙の中の糖濃度を測定
（Google X）



埋め込み型マイクロチップ
（Medihome社）



治療細胞
（治療機能）

解離している！

デバイス
（センシング）

細胞と人工素材の
共生および協奏的作動

2050年の社会に向けて必要な新しい概念

細胞と人工材料（デバイス）の共生および協奏的作動の実現に向けた課題



iL-Cellに求められる機能

- ・ 生体分子のセンシング
- ・ 治療分子の産生
- ・ 充電不要
- ・ 情報の送受信

細胞の
機能制御

デバイスとの
協奏的作動



【課題】

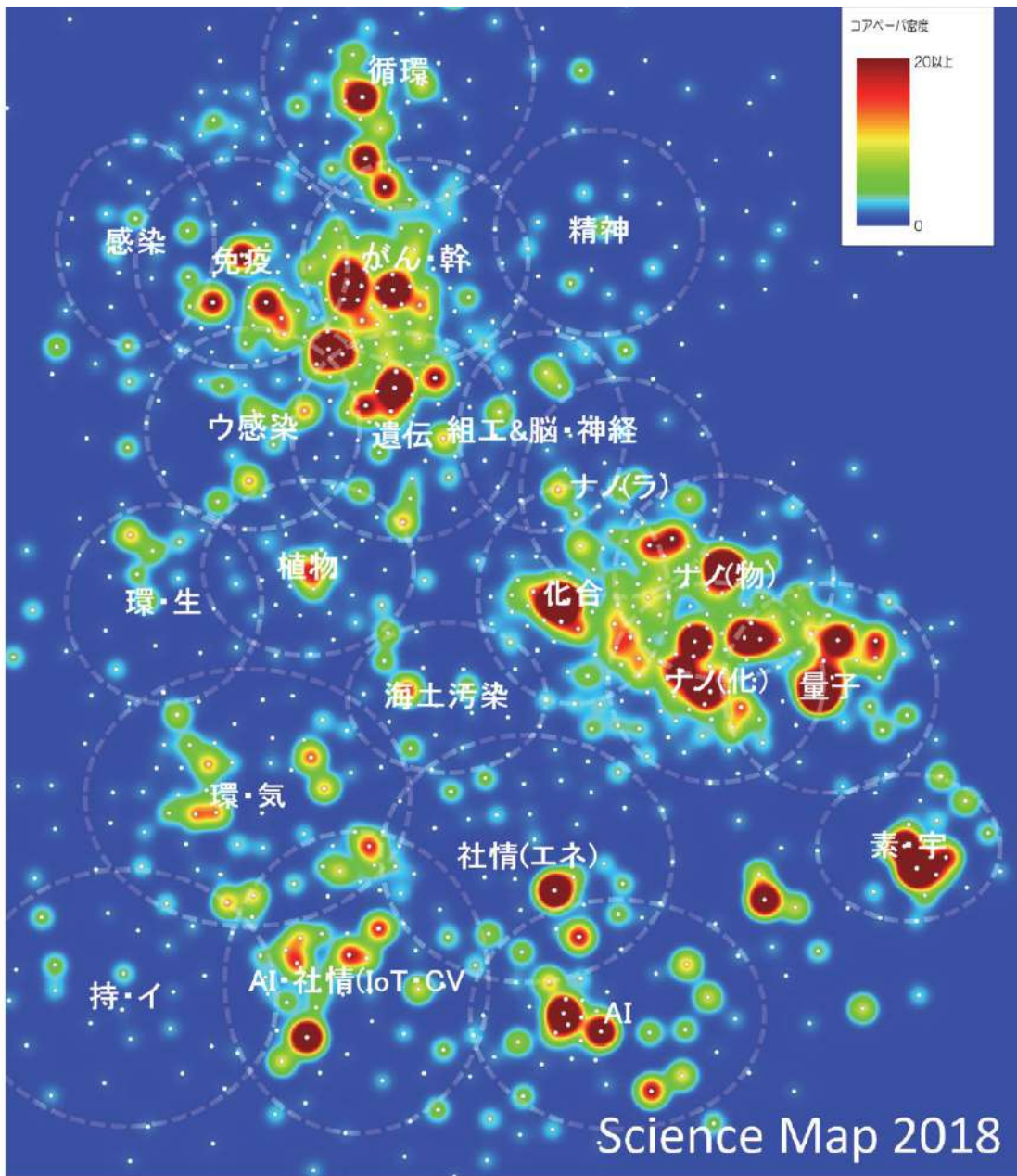
・ 細胞とデバイスの融合

（デバイスと細胞を物理的に繋げるか？）

・ 細胞とデバイスのコミュニケーション

（光・電気などを介してデバイスと情報のやりとりができるか？）

国際的に注目を集めている研究の抽出および分布



サイエンスマップ

学術論文の中で研究領域を牽引する論文（コアペーパー）を分析

- ・ 国際的に注目を集めている研究の抽出
- ・ 研究分野の関係

を可視化したもの

サイエンスマップ2018
文部科学省科学技術・学術政策研究所

iL-Cellの実現に向けた基盤技術の俯瞰

デバイスと細胞のコミュニケーション

光合成光化学系反応
(日本のコアペーパー占有率19%)
微生物・細菌発電
(物材研・農研機構)

ウェアラブル/
インプラントブル
デバイス

持続可能な発展・
イノベーション
社会情報インフラ
(IoT, CV等)

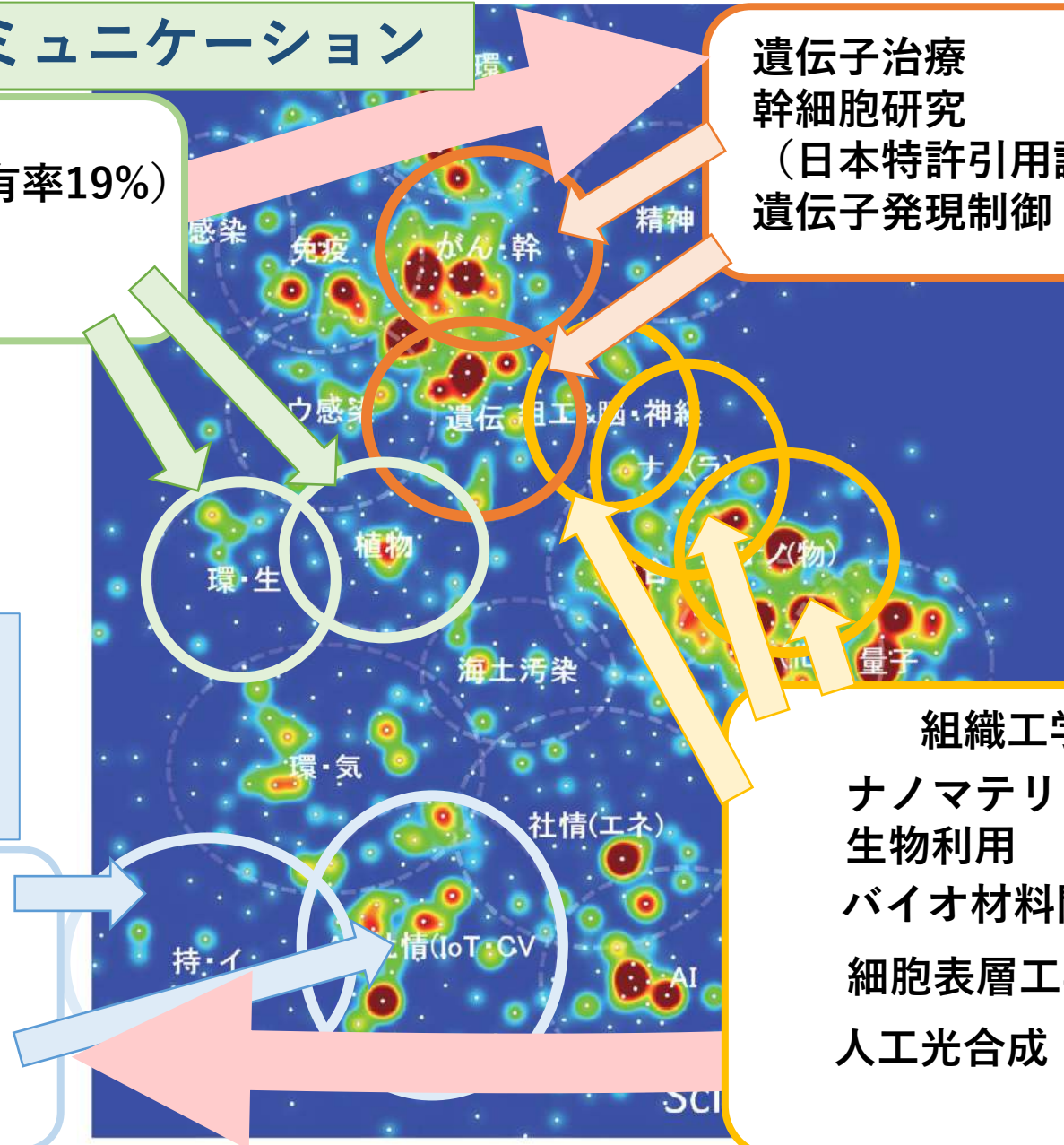
遺伝子治療
幹細胞研究
(日本特許引用論文数Top5)
遺伝子発現制御

治療細胞/
治療分子
発現

デバイスと細胞の融合

組織工学
ナノマテリアル・
生物利用
バイオ材料開発
細胞表層工学
人工光合成 (名古屋大学/トヨタ研究所、
歴史的に日本が牽引)

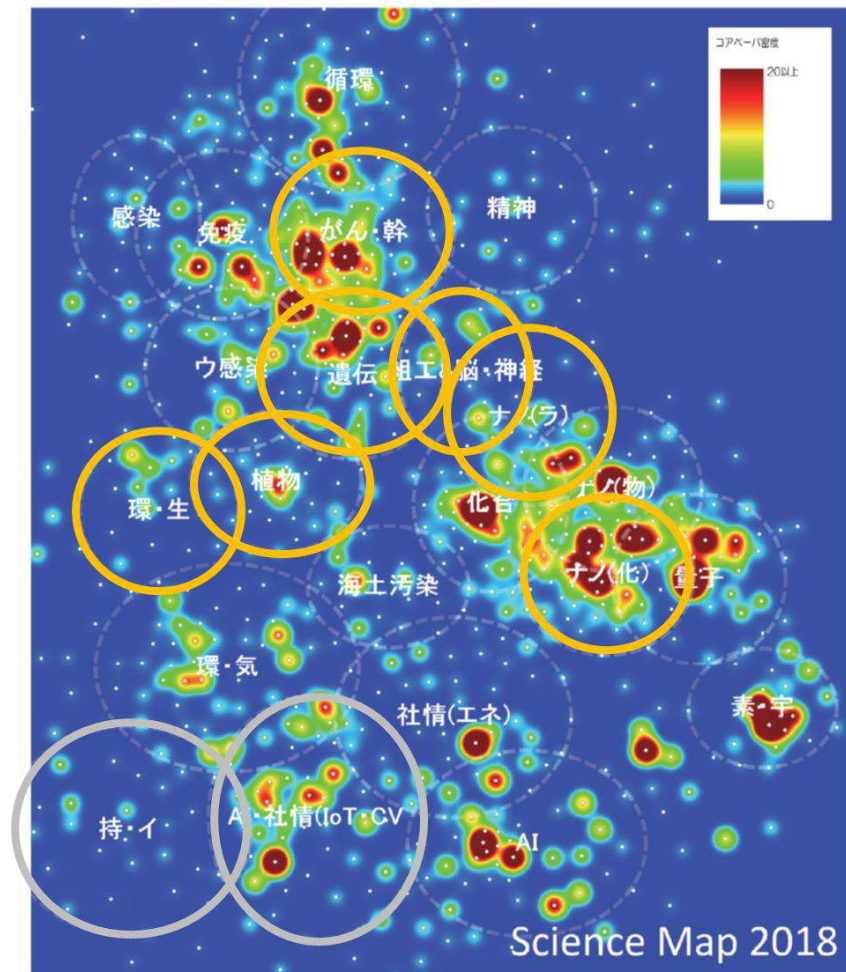
論文・特許
日本の強み



iL-Cell開発に有用な要素技術における世界の潮流と日本の強み（研究）

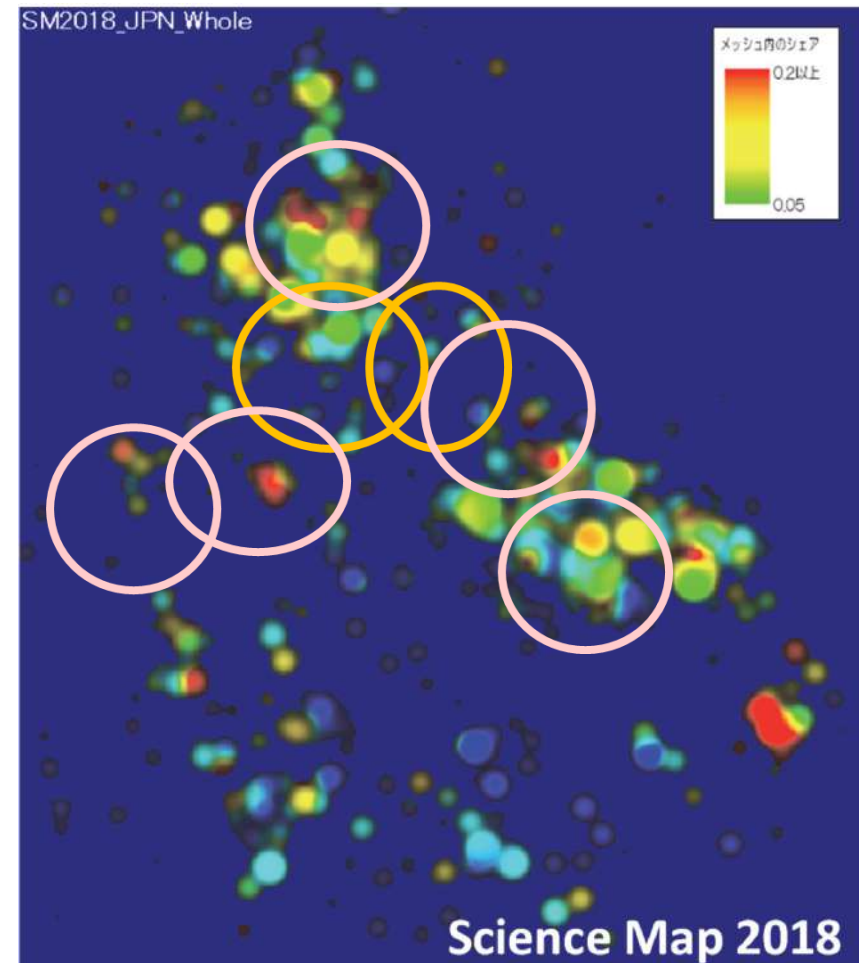
国際的に注目を集めている研究領域

コアペーパー：
研究領域を先導する論文



日本が存在感を示している研究領域

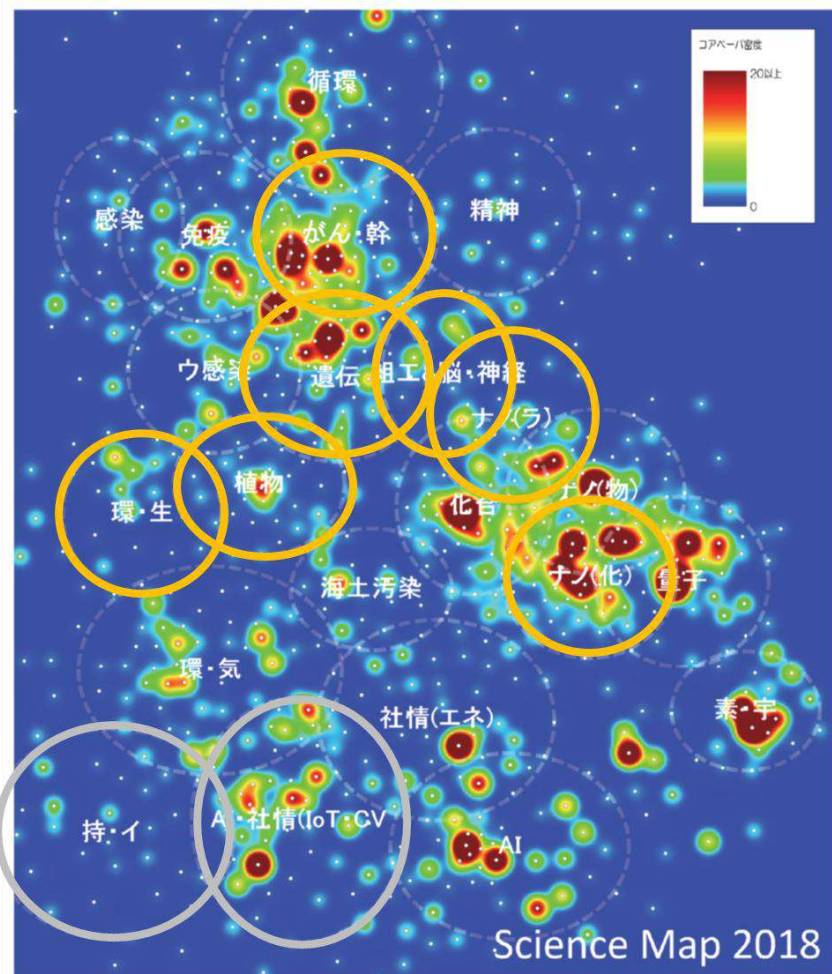
コアペーパーにおける
日本の論文シェア率



iL-Cell開発に有用な要素技術における世界の潮流と日本の強み（特許）

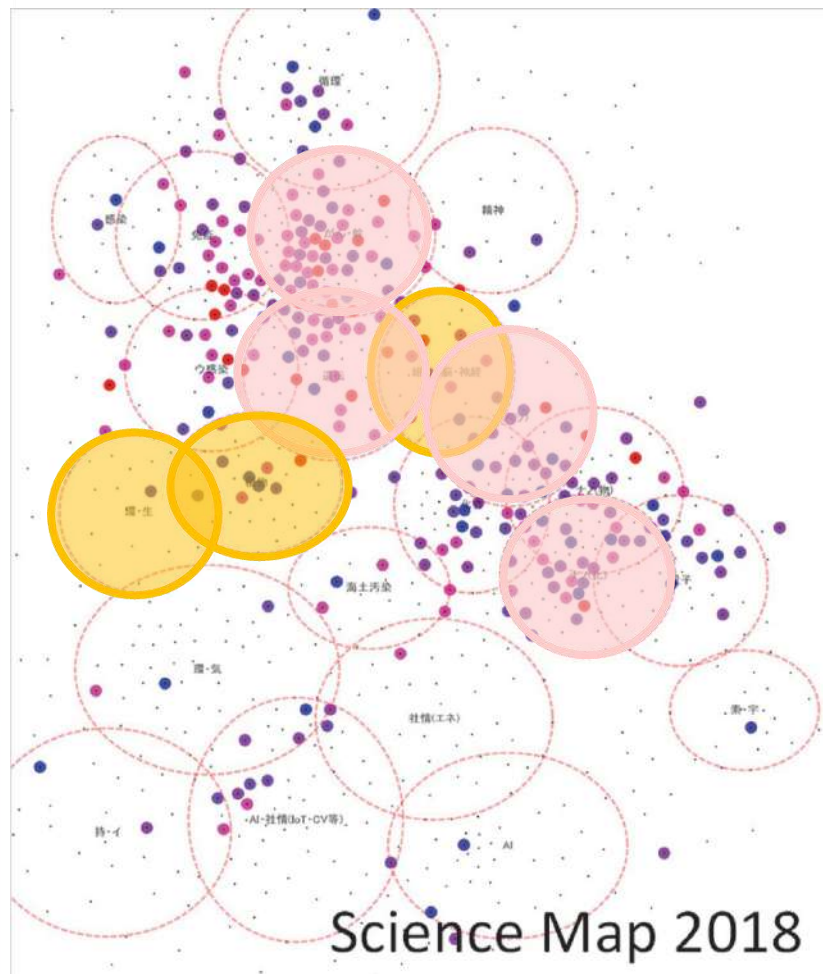
国際的に注目を集めている研究領域

コアペーパー：
研究領域を先導する論文



国際的に特許と関連のある研究領域

優先権によって直接、間接的に
結び付けられた
2 か国以上への特許出願の束



日本の特許の国際競争力

世界知的所有権機関（WIPO）のデータ
2020年の各分野における
世界標準に対する日本の特許の平均的価値

TOP10

1. 医薬品 (1.65)
2. マイクロ構造・ナノテクノロジー (1.60)
3. 半導体 (1.45)
4. 基本的な材料化学 (1.33)
5. 表面技術、コーティング (1.31)
6. AV機器 (1.29)
7. 基本的な通信処理 (1.45)
8. 光学 (1.20)
9. 有機ファイン・ケミストリー (1.24)
10. 高分子化学・ポリマー (1.21)

全35技術分類の内、
1.2以上のものを列挙した

なぜ今「iL-Cell開発研究」を開始する必要があるのか？

【社会的な要請】

- 少子高齢化、労働人口の減少
- スマートホーム、シティの実現
- 最先端科学を利用した病気を未然に防ぐ「未病」の必要性
- 低コストで環境に負荷をかけないサステイナブルな形での「未病」の実現

【科学技術的な要請】

- 生体親和性が高く生体内の環境に応答して機能を発揮するバイオ医薬（細胞治療）の急速な発展
- 遺伝子改変技術の発展による細胞機能制御技術の確立
- 細胞を部品となる分子からボトムアップ的に再現することは困難
- 日本には強みになる基盤技術が揃っている
- 検出は医療機器、治療はバイオ製剤と研究領域が解離している中で、世界に先駆けた分野融合による日本発のイノベーション

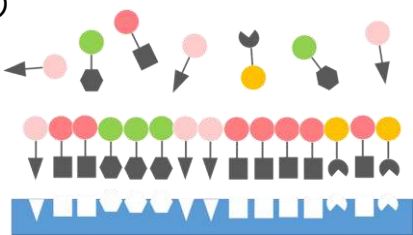
【長期的視野に立って進める必要性】

- 医療デバイスのスマート化に伴う社会あるいは個人の価値観、利便性、抵抗性のバランスのとれた社会制度ありかたについての研究、教育を早急な開始の必要性
- 新しい異分野融合研究を担う人材を育成するための教育システムの必要性

2050年 iL-Cellの実現に向けたマイルストーン

2025年
デバイスへの細胞マッピング
および細胞シグナルのセンシング
を実現

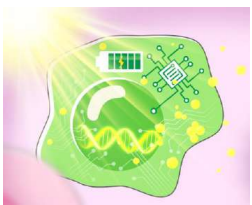
2030年
治療細胞とデバイスの連携
POC: 糖尿病などの
治療への応用



2040年
機能性細胞ブロックの開発
哺乳類細胞をベースとした発電
医療デバイスの
電源不要化



2050年
すべての機能を搭載した
iL-Cellの開発
個別化医療
未病医療の実現



	現在	2030年	2040年	2050年
治療分子 産生		治療細胞とデバイスの連携	細胞ブロックによる センシングと治療分子発現	iL-Cell
センシング	細胞のデバイスへの固定 デバイスからの信号による タンパク質発現の on/off制御			
	細胞から産生された 分子のセンシング			
	電池入替回数の 軽減		チップのサイズダウン 分子ロボットとの連携	
エネルギー	量子ドット、全固体電池な どの新しい電池	発電哺乳類細胞 治療分子細胞の ブロック化、協奏的作動		
	細菌・微生物発電の哺乳類 細胞への応用		哺乳類細胞での光合成	
ELSI/ 教育	医療デバイスのスマート化に伴う社会と個人 の価値観の変化とバランスに関する研究 医療および研究倫理教育	プライバシー保護、セキュリティ問題などの 社会制度および法規制の整備		
	異分野融合を担う人材の教育 最先端科学技術の理解を深める教育			



*I find out what the world needs. Then, I go ahead and invent it.
(Thomas A Edison)*