

制御性T細胞(Treg)療法における日本の産業競争力と「勝ち筋」に関する包括的調査報告書

Gemini 3 pro

1. エグゼクティブ・サマリー

本報告書は、日本のバイオテクノロジー産業、とりわけ制御性T細胞(Regulatory T cells: Treg)療法における競争優位性と、グローバル市場での「勝ち筋」を、科学的、産業的、および政策的な観点から詳細に分析したものである。2025年の坂口志文博士(大阪大学)によるノーベル生理学・医学賞受賞は、日本がTreg発見の地であることを世界に再認識させた歴史的な快挙であった¹。しかし、その発見から四半世紀を経て、産業化のフェーズにおいては、米国企業(Sonoma Biotherapeutics、GentiBioなど)が先行し、日本企業が後塵を拝する「パテント・パラドックス(特許の逆説)」と呼ばれる状況に直面している¹。

本調査の結果、日本がこの劣勢を覆し、再び主導権を握るための核心は、単なる創薬シーズの創出ではなく、「次世代他家(Allogeneic)プラットフォームの確立」、「製造プロセス(CMC)の自動化・低コスト化」、そして**「日米ハイブリッド型の開発戦略」**の3点に集約されることが明らかになった。特に、京都大学iPS細胞研究所(CiRA)発の技術を核としたShinobi Therapeuticsの「Katanaプラットフォーム」や、坂口博士の知見を社会実装するRegCellのエピジェネティック制御技術は、既存の第一世代Treg療法(自家移植)が抱える構造的な限界(高コスト・低品質・不安定性)を突破する破壊的イノベーションである¹。

加えて、製造インフラの観点からは、住友化学と住友ファーマの合併によるS-RACMOのCDMO機能の拡充、およびキヤノンやパナソニックといった異業種大手による「my iPS」プロジェクトへの参画が、グローバルなコスト競争力を決定づける要因として浮上している⁴。

本稿では、これらの技術的・戦略的要素を深掘りし、日本がグローバル市場で勝利するための3つの具体的な提案を行うとともに、なぜ「日本発・米国経由」のモデルがドラッグ・ロス解消の鍵となるのかを論じる。

2. 序論: Treg療法のパラダイムシフトと日本の立ち位置

2.1 免疫抑制から免疫寛容の復元へ: 治療概念の革命

現代医療において、自己免疫疾患や臓器移植後の拒絶反応に対する治療戦略は、長らく「免疫抑制」という概念に支配されてきた。ステロイド剤の投与から始まり、カルシニューリン阻害剤やmTOR阻害剤といった低分子化合物、さらには特定の炎症性サイトカインを標的とする生物学的製剤(抗TNFα抗体や抗IL-6受容体抗体など)へと進化したこれらの治療法は、過剰な免疫反応を強力に抑

え込むことで症状をコントロールすることに成功してきた¹。

しかし、これらのアプローチには根本的な限界が存在する。それは、免疫系全体の機能を低下させることによる感染症リスクや発がんリスクの増大、そして何より、薬剤の投与を生涯にわたって継続しなければならないという「対症療法」としての性質である。患者は、病気の苦しみだけでなく、治療薬による副作用の恐怖とも戦い続けなければならない。

これに対し、近年急速に注目を集めているのが「制御性T細胞 (Regulatory T cells: Treg)」を用いた細胞療法である。Tregは、免疫系が自己の組織を攻撃しないように制御する「免疫寛容 (Immune Tolerance)」の維持において中心的な役割を果たす細胞集団である¹。1995年に坂口志文博士によってCD25陽性細胞として再発見され、後にマスター転写因子Foxp3の同定によってその分子基盤が確立されたこの細胞は、免疫の「ブレーキ」役として機能する¹。Treg細胞療法の革新性は、単に免疫反応を遮断するのではなく、破綻した免疫寛容システムそのものを「修復・再建」し、薬剤フリー (Drug-free) の寛解を目指す点にある。これは、従来の「化学療法」から「細胞療法 (Living Drug)」へのパラダイムシフトであり、数兆円規模の抗体医薬品市場を塗り替えるポテンシャルを秘めている。

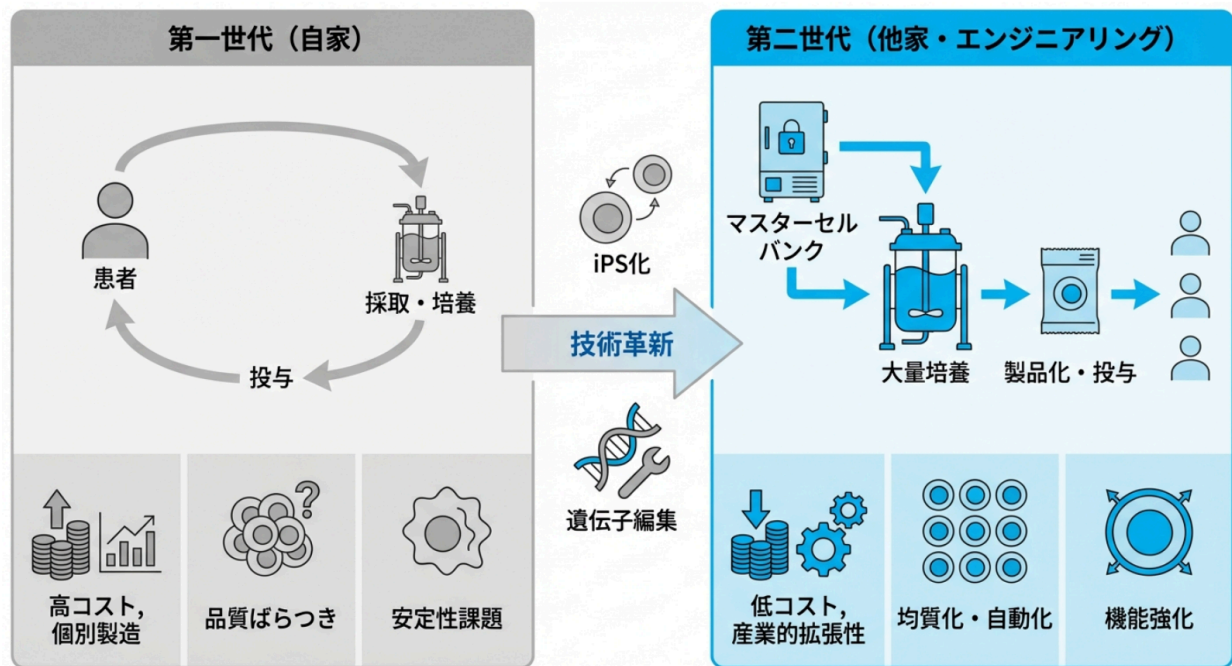
2.2 「第一世代」Treg療法の限界と産業的ボトルネック

初期の臨床試験、いわゆる第一世代のTreg療法は、患者自身の末梢血からTregを採取・分離し、体外で増幅して戻す「自家 (Autologous) ポリクローナルTreg療法」が主流であった。GvHD (移植片対宿主病) や1型糖尿病において一定の安全性と有効性が示唆されているものの、産業化の観点からは致命的なボトルネックが露呈している¹。

1. 製造コストとスケーラビリティの問題: 患者一人一人に対して個別の製造プロセス (スケールアウト) が必要となるため、労働集約的であり、スケールメリットが働きにくい。Sonoma Biotherapeuticsなどの先行企業も直面しているように、無菌操作を伴う複雑な培養工程は自動化が難しく、治療コストは極めて高額 (数千万円規模) になり、広く普及させる障壁となっている⁷。
2. 細胞の品質 (Quality) と機能 (Potency) の不均一性: 自己免疫疾患患者のTregは、長期間の炎症環境下ですでに機能不全に陥っている場合が多い。また、採取される細胞数も限られており、治療に必要な数億～数十億個の細胞を安定して確保することが困難である⁷。
3. 可塑性 (Plasticity) のリスク: 天然のTregは可塑性を持ち、強力な炎症性サイトカイン (IL-6など) の存在下ではFoxp3の発現を失い、あろうことか炎症を促進するTh17様細胞へと形質転換してしまうリスク (不安定性) を抱えている¹。

こうした背景から、現在、Treg療法の開発競争の主戦場は、これらの課題を根本的に解決する**「大量生産可能で低コストな他家 (Off-the-shelf) Treg」と、遺伝子改変等により機能を強化した「エンジニアリングTreg」**へと完全に移行している。ここにこそ、iPS細胞技術と精密なものづくり技術を持つ日本の勝機が存在する。

Treg療法のパラダイムシフト：自家から次世代他家への進化



第一世代（自家）Treg療法は、患者ごとの製造による高コストと品質のばらつきが課題である。これに対し、日本が先行する第二世代（他家iPS・エンジニアリング）は、マスターセルバンクによる均質化、製造の自動化、遺伝子改変による機能強化により、産業的なスケーラビリティと臨床的な有効性を両立させる。

3. 日本の技術的優位性:「iPS細胞」×「免疫回避」×「エピジェネティクス」

日本の「勝ち筋」は、個別の要素技術ではなく、それらを統合したプラットフォームにある。ここでは、Shinobi TherapeuticsとRegCellという二つの象徴的な企業の戦略を通じて、その技術的優位性を詳細に分析する。両社は、それぞれ異なるアプローチで「Tregの産業化」という難題に挑んでおり、その技術基盤は世界でも類を見ない独自性を持っている。

3.1 Shinobi Therapeutics: iPS細胞と「Katana」プラットフォーム

京都大学CiRAの金子新博士（Shinobi Therapeutics創業者）らが開発した技術を基盤とするShinobi Therapeuticsは、他家細胞療法の最大の壁である「拒絶反応」に対し、免疫学的および工学的に洗練された解決策を提示している²。

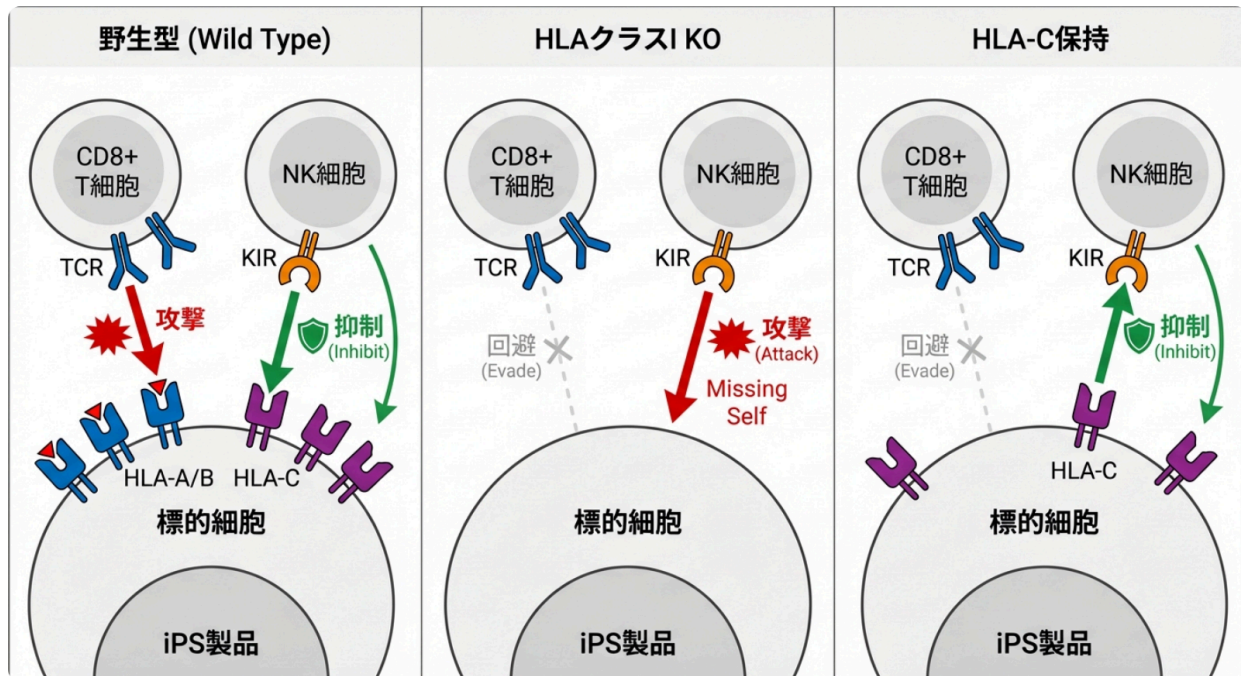
3.1.1 HLA-C保持(Retention)戦略による完全なステルス化

他家細胞を用いた際の最大の障壁は、宿主（患者）の免疫系による拒絶反応（Host-versus-Graft reaction: HvG）である。初期の免疫回避戦略では、CRISPR/Cas9などのゲノム編集技術を用いて、HLAクラスI（A, B, C）を全てノックアウトすることで、キラーT細胞（CD8+T細胞）からの攻撃を防ぐアプローチが取られた。しかし、これには重大な欠点があった。すべてのHLAクラスIを消失した細胞は、自然免疫系であるNK細胞（ナチュラルキラー細胞）によって「自己の標識（Missing self）」を失った異常細胞とみなされ、攻撃を受けてしまうのである（Missing self説）¹。

このジレンマに対し、Shinobiの「Katana」プラットフォームは、**HLA-AとHLA-Bのみを破壊し、HLA-Cを残存させる（HLA-C Retention）**という極めて論理的な戦略を採用している。HLA-CはキラーT細胞への抗原提示能が比較的低い一方で、NK細胞の抑制性受容体（KIR）に対するリガンドとして機能し、NK細胞の攻撃を強力に抑制するシグナルを送る。すなわち、HLA-Cを残すことで、T細胞とNK細胞の両方からの攻撃を回避し、体内での長期生着を可能にするのである⁹。

さらに、HLA-Cには多型が存在するが、HLA-AやBに比べて種類が少なく、主要なHLA-C型をホモ接合体として持つiPS細胞株を揃えることで、多くの患者に対応可能となる。試算によれば、わずか7～12種類のHLA-C保持iPS細胞ラインを用意すれば、世界人口の90%以上、日本人であればほぼ全人口に対して免疫学的に適合する製剤を提供可能となる¹¹。これにより、完全な個別化医療ではなく、現実的な在庫管理が可能な「ユニバーサル」製剤への道が開けることになる。

Katanaプラットフォーム：HLA-C保持による二重の免疫回避機構



従来のHLA全欠損細胞（左）は、T細胞の攻撃は回避できるが、NK細胞の抑制シグナル（KIR-HLA相互作用）が失われるため、「Missing Self」として攻撃を受ける。ShinobiのHLA-C保持細胞（右）は、HLA-A/Bの欠損によりT細胞を回避しつつ、残存させたHLA-CがNK細胞のKIR受容体に結合し、攻撃抑制シグナルを送ることで、両方の免疫細胞から生存する。

3.1.2 「若返り」とテロメア伸長による機能強化

iPS細胞技術の真価は単なる「量」の確保にとどまらない。特筆すべきは、**「若返り(Rejuvenation)」と「テロメアの伸長」**である。金子新博士らの研究によれば、疲弊した(Exhausted)抗原特異的T細胞からiPS細胞を作製し、再びT細胞へ分化誘導する過程で、細胞の寿命を決定するテロメア長が回復し、高い増殖能力と細胞殺傷能力(CD8の場合)あるいは抑制能力(Tregの場合)を取り戻すことが実証されている¹²。

通常、体内で慢性的な炎症にさらされたT細胞は疲弊し、エピジェネティックに老化しているが、一度iPS細胞という初期化状態を経由することで、その「記憶」をリセットし、若々しい状態で再生させることができる。このプロセスを経た「若返りTreg」は、体内での長期生存(Persistence)と持続的な治療効果の発揮において、既存の自家Tregを凌駕するポテンシャルを秘めている。

3.1.3 サイトカイン・アーマリング(Armored Treg)

Shinobiの技術には、免疫回避に加え「Armoring(装甲化)」が含まれる。これは、Tregが体内で生存・機能するために必要なサイトカイン(IL-2、IL-7、IL-15など)を、細胞自身に分泌させる、あるいは膜結合型として発現させる技術である¹⁴。通常、自己免疫疾患患者の体内ではIL-2が不足している

ことが多く、Tregの生存が難しい。しかし、外部からのIL-2投与は副作用のリスクがある。Shinobiの Armored Tregは、自律的に生存環境を作り出すことで、過酷な炎症環境下でも長期間にわたって効果を発揮できる。

3.2 RegCell: エピジェネティクスによる機能の「絶対化」

坂口志文博士が創業したRegCellは、遺伝子編集という物理的な改変に頼るのではなく、**「エピジェネティック・リプログラミング」**によってTregの運命を固定化する独自のアプローチを採用している。これは「S/F-Epigen-Treg (Stable/Functional Epigenetically-reprogrammed Treg)」と呼ばれる技術である¹⁶。

3.2.1 CDK8/19阻害によるFoxp3のロック

Treg療法の安全性における最大のリスクである「可塑性（炎症環境下でのFoxp3消失）」に対し、RegCellは低分子化合物である**CDK8/19**阻害剤を用いてT細胞を処理する手法を確立した。CDK8およびCDK19は、STAT1と会合してFoxp3の発現を抑制する機能を持つが、これらを阻害することでSTAT5シグナルが優位になり、Foxp3遺伝子座、特にTregの安定性に重要な「CNS2領域（Treg-specific demethylated region: TSDR）」の脱メチル化が誘導される¹。

この脱メチル化状態は、胸腺で自然に分化した天然Treg (tTreg)と同じエピジェネティックな特徴であり、一度この状態が確立されると、炎症性サイトカインにさらされてもFoxp3の発現が維持され、極めて高い安定性を示す。このアプローチの最大の利点は、ウイルスベクターを用いた遺伝子導入（Foxp3強制発現など）に伴う「挿入変異リスク（がん化リスク）」を回避できる点にある。また、低分子化合物による処理は製造プロセスが簡便であり、既存の医薬品製造のノウハウを活かせるため、コスト面でも有利である。

3.2.2 日米ハイブリッド戦略とドラッグ・ロスの解消

RegCellは2025年に本社を米国カリフォルニア州エメリービルに移転し、4,580万ドル（約68億円）の資金調達に成功した¹⁷。この動きは一見すると「日本の頭脳流出」と捉えられがちだが、実際には日本の構造的な課題を解決するための**「クロスボーダー・エコシステム」**の構築である。

日本国内には、後期臨床試験 (Phase 2/3)に必要な数百億円規模のリスクマネーを供給できるVCが不足しており、また「ドラッグ・ラグ（承認遅延）」や「ドラッグ・ロス（開発回避）」の問題も深刻である¹⁸。RegCellは、米国の豊富な資金とFDA対応のノウハウを活用して迅速に開発を進めつつ、研究開発 (R&D)の中核拠点は日本に残すことで、日本の科学技術力を維持・発展させる戦略をとっている。さらに、AMED（日本医療研究開発機構）の「創薬ベンチャーエコシステム強化事業 (V-ECO)」からも巨額の支援を受けており、国策としての後押しも強力である¹⁹。このモデルは、米国で成功を収めた後に日本市場へ「逆輸入」する形で、日本の患者にも最新の治療を届けるための現実的な解となり得る。

4. 製造エコシステムの垂直統合：隠れた勝者たち

Treg療法が一部の富裕層や重篤な患者のみならず、広範な患者層に届く「標準治療」となるためには、製造コストを現在の数千万円から100万円以下にまで劇的に下げる必要がある¹。この「コスト破壊」を実現するのが、日本の強力なものづくり企業とCDMO（医薬品受託製造開発機関）の連携による垂直統合である。

4.1 「my iPS」プロジェクトと自動化の勝利

CiRA財団が進める「my iPSプロジェクト」は、他家だけでなく、拒絶反応のない「自家iPS細胞」を低コストで製造することを目指している。ここでは、キヤノンやパナソニックといった日本の電機メーカーが重要な役割を果たしている⁴。

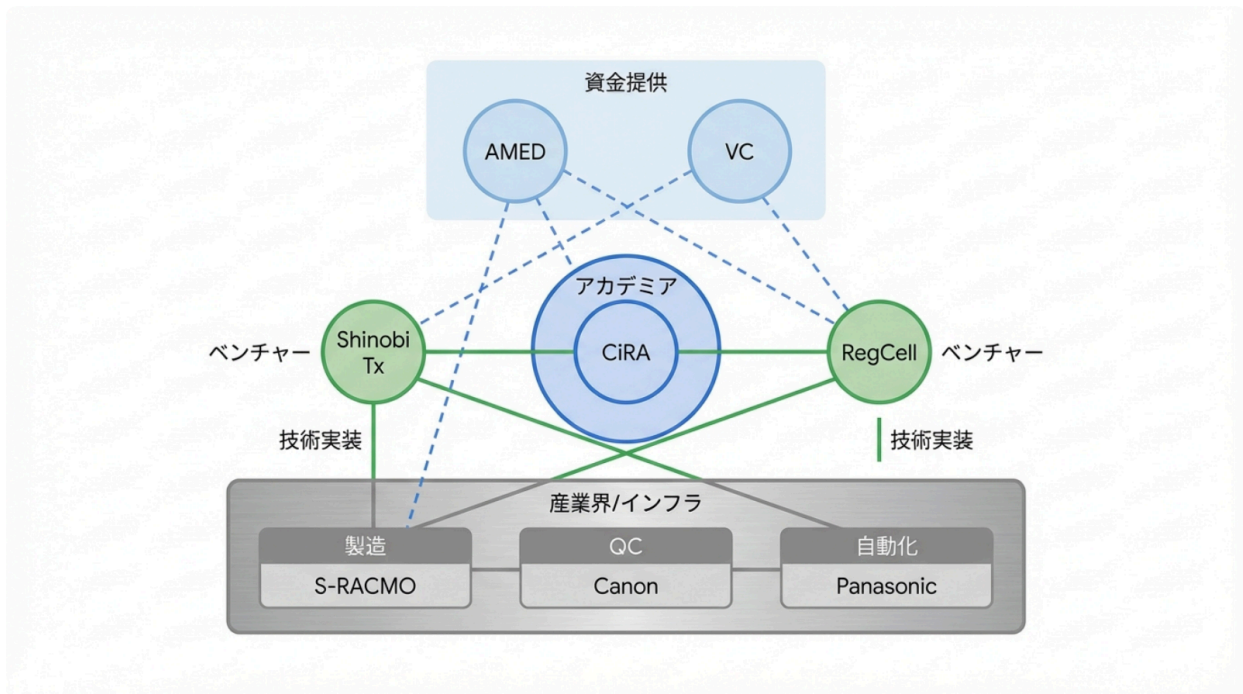
- キヤノン：光学・計測技術による品質管理（QC）革命
キヤノンは、自社の光学・画像処理技術を応用し、iPS細胞の品質を非侵襲的かつ低コストで評価する技術を開発している²²。従来のQCは細胞を破壊して検査する必要があったが、キヤノンの技術を用いれば、生きたままの細胞を高精度にモニタリングできる。これにより、不良ロットの早期発見と廃棄ロスの削減が可能となり、製造コストの大幅な圧縮に寄与する。
- パナソニック：閉鎖系自動培養装置による「匠の技」のロボット化
パナソニックは、家電や産業用ロボットで培った自動化技術を活かし、iPS細胞の培養プロセスを完全に自動化する装置を開発している⁶。熟練した技術者の手技をロボットに代替させることで、人件費の削減だけでなく、ヒューマンエラーの排除、コンタミネーション（汚染）リスクの低減を実現する。特にShinobi Therapeuticsとの提携により、同社のiPS-T細胞製造プロセスに最適化された自動培養ラインの構築が進められており、2025年にはプロトタイプの完成が見込まれている⁶。

4.2 S-RACMO：細胞のファウンドリとしての地位

住友化学と住友ファーマの合併会社である**S-RACMO（エス・ラクモ）**は、iPS細胞由来製品の製造に特化したCDMOとして、その存在感を急速に高めている²⁴。

- iPS細胞の工業化ノウハウ：住友ファーマは、パーキンソン病に対するiPS細胞由来ドパミン神経前駆細胞の治験を京都大学と共同で主導しており、世界トップクラスの臨床用iPS細胞製造ノウハウを有している²⁶。S-RACMOはこの強固な技術基盤を活用し、プロセス開発から商用製造までをワンストップで請け負う。
- 積極的な設備投資と「CRAFT」：S-RACMOは大阪府吹田市に新たな製造施設「CRAFT（Center for Regenerative Medicine and Future Therapy）」を建設し、製造能力を倍増させた²⁵。この施設はBSL-2（バイオセーフティレベル2）に対応し、複数の製造ラインを独立して稼働させることが可能である。
- サプライチェーンの垂直統合：住友化学グループは、培地や足場材といった細胞培養に必要な素材技術も保有しており、これらを統合したサプライチェーンを構築している²⁷。これにより、原材料の安定調達とコスト削減を同時に実現し、海外のバイオベンチャーからの受託製造を一手に引き受ける「細胞のファウンドリ（受託製造工場）」としての地位を確立しつつある。

日本発Treg療法の製造・開発エコシステム



京都大学CiRAを中核に、Shinobi TherapeuticsやRegCellといったベンチャーが技術を社会実装する。これを支えるのが、S-RACMO（CDMO）、キャノン（QC）、パナソニック（自動化）といった産業界の製造インフラである。AMEDやVCからの資金流も加わり、強固なエコシステムが形成されている。

5. 日本の「勝ち筋」: 3つの具体的な提案

以上の調査分析に基づき、日本がTreg細胞療法市場で覇権を握るための具体的な3つの提案を行う。これらは、技術的優位性を産業的勝利へと転換するためのアクションプランである。

提案1:「ユニバーサルiPS-Treg」によるプラットフォーム標準化戦略

内容:

自家細胞療法 (Autologous) という「ニッチで高額な市場」での競争を避け、Shinobi Therapeuticsの「HLA-C保持型」技術を業界標準 (デファクトスタンダード) とする戦略を推進すべきである。

理由と実行策:

- 優位性: 米国のSonomaなどが進める自家Tregは、患者ごとの製造コストが重く、市場拡大に限界がある。対して、HLA-C保持型iPS細胞は、わずか12ラインで世界人口の90%をカバーできるため、製品を「在庫 (Off-the-shelf)」として病院に常備できる¹¹。これにより、急性期のGvHDや臓器移植拒絶に対し、即座に投与可能な体制を構築できる。
- アクション: 国 (AMED等) は、個別の治療薬開発だけでなく、この「免疫回避iPSマスターセルバ

ンク」の構築と維持に重点的に投資し、このバンクを国内外の企業が利用できるオープンイノベーションの核とすべきである。これにより、世界中の製薬企業が日本の細胞バンクを使わざるを得ない状況を作り出し、プラットフォーマーとしての地位を確立する。

提案2: 日米ハイブリッド型の「創薬・製造分業」モデルの確立

内容:

「日本ですべてを完結させる」という自前主義を捨て、**「R&Dと初期製造は日本、臨床開発と資金調達は米国」**というRegCellモデルを国家戦略として推奨・支援すべきである。

理由と実行策:

- 課題解決: 日本には「ドラッグ・ラグ(承認遅延)」や「ドラッグ・ロス(開発回避)」の問題があり、特に後期臨床試験(Phase 2/3)に必要な巨額資金(数百億円)を供給できるVCが不足している¹⁸。無理に国内で資金調達を行おうとすれば、開発スピードが鈍化し、米国勢に敗北する。
- アクション: RegCellのように、本社を米国に置きつつ、日本の技術シーズとS-RACMOのような国内CDMOを活用する企業に対し、税制優遇や補助金(V-ECO事業の拡充)を集中的に投下する。これにより、「米国で稼ぎ、日本に技術と製造益を還流させる」サイクルを確立する。特に、S-RACMOをアジアにおける細胞治療の製造ハブとして育成し、米国企業からの製造受託(インバウンド)も積極的に取り込むべきである。

提案3: 「機能的安定性(Stability)」を規制の絶対基準化する

内容:

Tregの安全性における最大のリスクである「可塑性(炎症環境下での変質)」に着目し、日本発の厳格な品質評価基準(QC)を世界の規制当局(FDA/EMA)に提案し、国際標準化する。

理由と実行策:

- 優位性: RegCellのエピジェネティック制御技術(Foxp3のロック)や、キヤノン・パナソニックの精密計測技術は、細胞の品質を担保する上で世界最高水準にある。品質の低いTreg製剤は、患者の体内でTh17細胞に変化し、病態を悪化させるリスクがある。
- アクション: PMDA(医薬品医療機器総合機構)が主導し、Treg製剤の承認要件として「炎症環境下でのFoxp3発現維持率」や「エピジェネティックな脱メチル化率」などの数値基準を明確化する。日本発の技術でなければクリアできない高い安全基準を設けることで、品質の低い競合他社の参入障壁を築き、技術力のある日本企業の優位性を制度面から固定化する。これは「ルールメイキング」による市場防衛戦略である。

6. 結論

Treg細胞療法は、日本の基礎科学(坂口博士の発見)と工学技術(iPS細胞、精密製造)が融合した、稀有な領域である。現在、米国勢が先行しているように見えるが、それは第一世代の「自家移植」における先行に過ぎない。彼らが製造コストと品質の壁に苦しむ中、日本は次世代の「解」をすでに手にしている。

真の勝負所である「大量生産可能な他家製剤」において、日本は**「iPS細胞×免疫回避(Shinobi

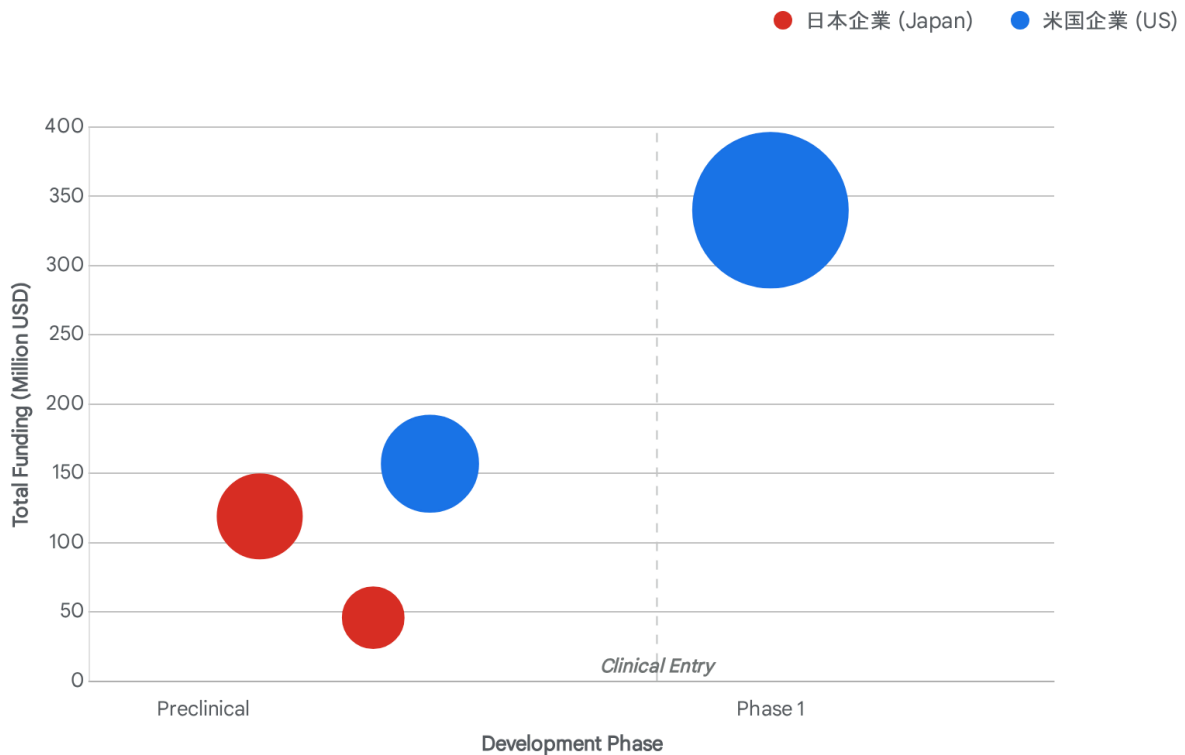
）」、「エピジェネティックな安定化 (RegCell)」、そして「自動化製造インフラ (S-RACMO/Panasonic/Canon)」という最強のカードを保持している。これに、米国の資本力を活用する「日米ハイブリッド戦略」**を組み合わせることで、日本はTreg療法という次世代医療のプラットフォームとしての地位を確立できる。

「パテント・パラドックス」を乗り越え、科学的発見を産業的勝利へと転換する歴史的な転換点が、今まさに訪れている。

補足データ・分析

以下の図表は、日米の主要プレイヤーの資金調達と開発フェーズの比較を示している。米国勢の資金力が圧倒的である一方、日本勢も急速に追い上げている状況が視覚的に理解できる。

日米Treg開発競争：資金調達と臨床フェーズの相関



米国企業（青）は後期臨床開発に進み資金規模も大きいですが、日本企業（赤）もAMEDの大型助成や米国VCからの調達により急速に規模を拡大している。特にRegCellとShinobiは、前臨床から臨床入りする重要な転換点にある。

Data sources: [Gemini 3 Report](#), [Shinobi Pipeline](#), [Shinobi Series A](#), [Shinobi AMED Grant](#), [RegCell Funding](#), [RegCell PR](#)

引用文献

1. Treg特許と日米の実用化格差 Gemini 3 .pdf
2. Shinobi Therapeutics, 1月 4, 2026にアクセス、<https://www.shinobitx.com/>
3. GeneFab Partners with RegCell to Support U.S. Clinical ..., 1月 4, 2026にアクセス、<https://pharmasource.global/content/news/cdmo-news/genefab-partners-with-regcell-to-support-u-s-clinical-manufacturing-of-treg-therapies/>
4. Automated iPS cell production to start in Japan in April, 1月 4, 2026にアクセス、<https://www.japantimes.co.jp/news/2025/01/08/japan/science-health/automated-ips-cell-production/>
5. Sumitomo Chemical Advances CDMO Business with New ..., 1月 4, 2026にアクセス、<https://pharmasource.global/content/news/cdmo-news/sumitomo-chemical-advances-cdmo-business-with-new-regenerative-medicine-facility-in-osaka/>
6. Panasonic and Shinobi Therapeutics Partner to Develop Efficient ..., 1月 4, 2026にアクセス、<https://www.prnewswire.com/news-releases/panasonic-and-shinobi-therapeutic-s-partner-to-develop-efficient-and-cost-effective-ips-cell-therapy-manufacturing-technology-302118777.html>
7. Treg cell therapy manufacturability: current state of the art ..., 1月 4, 2026にアクセス、<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12141221/>
8. Vera Health - Latest Medical News & Research - Vera Health, 1月 4, 2026にアクセス、<https://www.verahealth.ai/pt/news/79db6dad-da60-46a7-a960-53cfe43e289f>
9. The New Kid on the Block: HLA-C, a Key Regulator of Natural Killer ..., 1月 4, 2026にアクセス、<https://www.mdpi.com/2073-4409/10/11/3108>
10. HLA-C and HLA-E reduce antibody-dependent natural killer cell ..., 1月 4, 2026にアクセス、<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15316337/>
11. Generation of hypoimmunogenic induced pluripotent stem cells by ..., 1月 4, 2026にアクセス、<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9198376/>
12. Genome editing iPSC to purposing enhancement of induce CD8 ..., 1月 4, 2026にアクセス、<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11025212/>
13. Telomere extension turns back aging clock in cultured human cells ..., 1月 4, 2026にアクセス、<https://med.stanford.edu/news/all-news/2015/01/telomere-extension-turns-back-aging-clock-in-cultured-cells.html>
14. Technology – Shinobi Therapeutics, 1月 4, 2026にアクセス、<https://www.shinobitx.com/technology>
15. Pipeline - Shinobi Therapeutics, 1月 4, 2026にアクセス、<https://www.shinobitx.com/pipeline>
16. RegCell, Inc. | Our Companies - UTEC, 1月 4, 2026にアクセス、https://www.ut-ec.co.jp/english/our_companies/regcell/
17. Japanese-Founded Regulatory T-cell Reprogramming Company ..., 1月 4, 2026に

アクセス、

<https://www.prnewswire.com/news-releases/japanese-founded-regulatory-t-cell-reprogramming-company-regcell-secures-45-8m-in-funding-and-completes-u-s-headquarters-transition-302403489.html>

18. Mitigate Japan's Drug Loss With Model-Informed Drug Development, 1月 4, 2026
にアクセス、<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12625164/>
19. FTI Co-Leads USD 45.8 million Investment in RegCell to Accelerate ..., 1月 4, 2026
にアクセス、
<https://us.fasttrackinitiative.com/fti-co-leads-45-8m-usd-investment-in-regcell-to-accelerate-development-of-treg-therapy-for-autoimmune-diseases/>
20. Panasonic and Shinobi team to develop cost-effective cell therapy tech, 1月 4,
2026にアクセス、
<https://www.bioprocessintl.com/deal-making/panasonic-and-shinobi-team-to-develop-cost-effective-cell-therapy-tech>
21. News | Press Releases - Canon Medical Systems, 1月 4, 2026にアクセス、
<https://global.medical.canon/News/PressRelease/Detail/46841-834>
22. News & Events | CiRA | Center for iPS Cell Research and ..., 1月 4, 2026にアクセス、
<https://www.cira.kyoto-u.ac.jp/e/pressrelease/news/190801-110000.html>
23. Canon, Canon Medical and CiRA to commence joint research ..., 1月 4, 2026にア
クセス、<https://global.canon/en/news/2019/20190801.html>
24. Sumitomo Chemical Announces an Expansion of the Production ..., 1月 4, 2026に
アクセス、
https://www.sumitomo-chem.co.jp/english/news/files/docs/20250805_1e.pdf
25. Notice Regarding the Completion of the CRAFT Regenerative ..., 1月 4, 2026にア
クセス、<https://www.sumitomo-pharma.com/news/assets/pdf/ene20250805.1.pdf>
26. Sumitomo Chemical and Sumitomo Pharma to Establish ..., 1月 4, 2026にアクセス、
<https://www.sumitomo-pharma.com/news/20241217-2.html>
27. Advanced Medical Solutions Sector | SUMITOMO CHEMICAL, 1月 4, 2026にア
クセス、<https://www.sumitomo-chem.co.jp/english/products/pharmaceuticals/>