



再生医療に関わる現在の バイオマテリアル研究

多様化する材料開発と人工臓器開発の最前線

晝河政希 Masaki HIRUKAWA

技術の発展により怪我や病気に対する様々な治療法が確立された現在、人の再生能力を活用する再生医療に大きな注目が集まっている。生体で起こる種々の反応は完全に明らかになったわけではないものの、バイオマテリアルの実用化に向けた多様な研究が精力的に進められている。本稿では現在のバイオマテリアルに関わる状況について最新の研究を交えて紹介する。

はじめに

現代では様々な疾患に対し、原因の特定から治療までのプロセスにおいて医学や工学の発展により迅速化、高精度化がなされている。医療の複雑化に伴いメスやハサミといったものから人工呼吸器や診断装置など数多くの医療器具が開発されてきた中、近年では特に再生医療に関する関心が高まっている。実際に国内において再生医療の実施件数は年々増加しており、遺伝子治療や細胞治療に用いられる再生医療等製品の数も増えてきている。この要因の1つとして、治療時に用いられるバイオマテリアル（生体材料）に関する技術の進歩が挙げられる。

バイオマテリアルに関わる研究では、素材そのものの研究から材料の形成技術の研究まであらゆるアプローチにより活発に進められている。本稿では実際に用いられているバイオマテリアルおよび最新の研究について紹介する。

バイオマテリアルとは

バイオマテリアルとは、生体への使用を目的とする材料を指し、その種類は広範にわたる。生体に対して

の使用方法、使用期間、使用部位など用途に応じて材料として求められる条件が異なるため、その分類も観点によって異なる。例えば、使用期間を基準とする場合、生体内で分解されず永久的に残る非吸収性材料と分解時間を制御できる吸収性材料に分けられる。また、素材で分類すると金属材料、無機材料、合成高分子材料、天然高分子材料の4種に大別され、特に天然高分子材料であるタンパク質の医療への応用が盛んに進められている。

実用されているバイオマテリアル

様々なバイオマテリアルが応用されている例として、手術時に使用する縫合糸がある。縫合糸には非吸収性と吸収性のものがあり、非吸収性の材料としてはナイロンやシルク（絹）、ステンレススチールなどが挙げられ、経時的に劣化することはあるが生体内に残留し続ける。一方、吸収性の材料としてはポリグリコール酸（PGA）やポリ乳酸（PLA）などが用いられており¹⁾、素材によって維持される期間は異なるが、生体内において加水分解や酵素により徐々に吸収される（図1）²⁾。

次に、再生医療で用いられているバイオマテリアルの例としてコラーゲンがある。コラーゲンは生体内に

ひるかわ・まさき

三重大学大学院工学研究科応用化学専攻 助教
〔経歴〕2019年三重大学大学院工学研究科材料科学専攻博士後期課程修了、博士（工学）。18年より現職。〔専門〕バイオマテリアル、組織工学。〔趣味〕読書、城郭巡り、紅茶。
E-mail: hirukawa@chem.mie-u.ac.jp

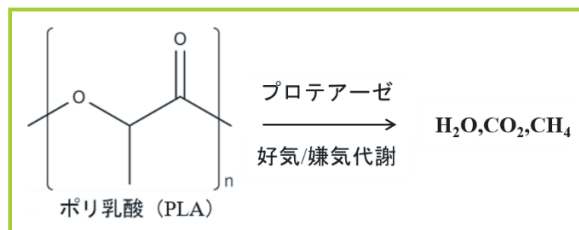


図1 吸収性材料の体内での分解過程

表 1 コラーゲンを含むバイオマテリアル

材料の特徴	主な用途
スポンジ状（多孔質体）	皮膚など軟組織の再生促進
└ リン酸カルシウム複合体	骨欠損部の再生促進
膜状	軟組織の侵入防止
管状（チューブ）	末梢神経の再生促進
シート状（不織布状）	外科全般における手術時の止血

において臓器の構造を維持し、細胞の足場として機能するタンパク質である。コラーゲン分子の末端にはテロペプチドと呼ばれる抗原部位（アレルギーの原因となる部分）が存在するが、これを除去したアテロコラーゲンが医療用として使用されている。市販製品には用途に応じたいくつかの種類があり（表 1）、ほかにも液状で注入剤として使用されているものもある³⁾。

現在のバイオマテリアル研究

バイオマテリアル研究において多くの研究者が取り組んでいるテーマの 1 つに人工臓器の開発がある。人工臓器開発の基盤となる考え方として、細胞、細胞足場、生理活性物質（サイトカイン）の 3 つの要素からなる組織工学というものがあり、細胞と生理活性物質を適切に機能させるためのバイオマテリアルが求められている。細胞の足場材料形成のための様々な技術が確立されてきたが、近年では 3D プリンターの登場により従来よりも複雑な構造や微小環境を再現することが可能となり（図 2）、バイオプリンティングと呼ばれ医療だけでなく培養食肉の研究などでも着目されている⁴⁾。当初はバイオインクのほかに作製後の立体構造を維持するためサポート材が必要であったが、現在ではサポート材を必要としない例も報告されており、応用の幅が広がっている。また、インク成分としてアルギン酸やゼラチンメタクリロイル（GelMA）、コラーゲンが主に用いられてきたが、最新の研究では細胞そのものをインクとして用いる例が報告されている⁵⁾。従来の技術ではインク材料が固められた後に細胞を播種する方法や、造形時に細胞を一部組み込む方法が主流

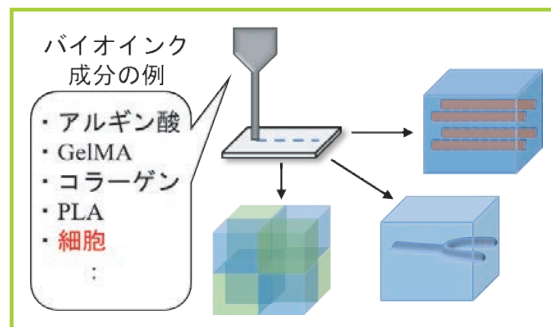


図 2 バイオプリンティングによる 3 次元構造の造形

であり、高密度な細胞を含む造形は困難であった。細胞をインクとして直接用いて高密度化できれば、実際の臓器で行われている細胞間コミュニケーションが可能な人工臓器の開発が期待できる。

おわりに

バイオマテリアルの実用化においては、材料の安全性や実用化に要するコスト、評価に必要な時間に加えて、生体内の反応はいまだに不明な部分も多いため課題は依然として残っている。しかし、バイオマテリアルに関わる研究領域は広く、ここで述べたバイオプリンティング以外にも、細胞足場作製に関わる脱細胞化技術や再生医療における新たな細胞源である iPS に関わる研究、遺伝子治療のための薬物送達に関わる研究なども進められている。バイオマテリアルの需要はこれからも高くなることが予想されるが、これらの研究が世界的に進められているため、今後新たなバイオマテリアルの創出が期待される。

- 1) J.-M. Seitz, M. Durisin, J. Goldman, J. W. Drelich, *Adv. Healthcare Mater.* **2015**, 4, 1915.
- 2) X. Qi, Y. Ren, X. Wang, *Int. Biodeterior. Biodegrad.* **2017**, 117, 215.
- 3) L. Salvatore, M. L. Natali, C. Brunetti, A. Sannino, N. Gallo, *Polymers* **2023**, 15, 1020.
- 4) D.-H. Kang, F. Louis, H. Liu, H. Shimoda, Y. Nishiyama, H. Nozawa, M. Kakitani, D. Takagi, D. Kasa, E. Nagamori, S. Irie, S. Kitano, M. Matsusaki, *Nat. Commun.* **2021**, 12, 5059.
- 5) M. Wang, W. Li, J. Hao, L. Cai, X. Mei, R. S. Flores, P. C. Castillo, C. E. Garciamendez-Mijares, X. Mu, X. Kuang, X. Yu, J. K. Sahoo, G. Tang, Z. Luo, G. Wells, Z. Liu, A. Quiñones-Hinojosa, K. Eggan, S. Gao, Y. S. Zhang, *Cell* **2026**, 189, 106.

© 2026 The Chemical Society of Japan