# 機能向上で需要拡大に応える人工関節

## ――最新型から未来型まで

超高齢社会を迎え、骨・骨関節障害を持つ患者数は増加の一途をたどっている。現状、国内の骨粗しょう症患者は約1200万人、変形性関節症患者は約1000万人と推定されている。変形性関節症やリウマチ性関節症などの関節疾患患者は、人工関節への置換を必要とする予備群である。現在、人工股関節や人工膝関節を含む人工関節置換術の症例数は年間約18万例あり、人工関節市場規模は金額ベースで国内にて1000億円程度まで膨れ上がっている。人口1万人に占める人工関節置換術の症例数はいまだ米国の約3分の1である。国内の人工関節適応患者の理解と人工関節自体の機能向上により、今後の需要はますます拡大するものと予想されている。

大阪大学大学院工学研究科 教授
中野　貴由

## 長寿命化、高強度化へ

### 機能高め、生活の質向上

人工関節の長期臨床成績は20年で約90%の生存率との報告があり、比較的良好である。ただし再置換手術を必要とする場合も多く、人工関節の寿命は決して長いとはいえない。その上、現状の人工関節は術後の可動域に制限があり、特に若年層への適用には注意を要する。さらに疾患による骨状態によっては、平均骨格形状に合わせて設計された人工関節は十分に適合していない。

こうした背景のもと、患者のQOL（生活の質）を向上するために人工関節の機能向上を目指したさまざまな取り組みがなされている。

人工関節は大きな力が負荷されると同時に、作業やスポーツでもたらされる過度な関節運動に耐えなければならない。大きな力のかかる部位では金属材料やセラミックスが利用され、摺動（しゅうどう）部には高分子が一般に用いられる。高分子から生じる摩耗粉は人工股関節周囲での骨溶解のきっかけとなるため、酸化劣化や摩耗を防ぐ工夫がなされている。長寿命化を目指し、酸化防止に効果のあるビタミンEの添加や架橋による高強度化、最近では生体軟骨を模倣した高分子（MPCポリマー）を表面に創製した摺動部材が利用されている。

荷重を支持する金属部では生体骨となじみやすく、高い強さを示すチタン合金が多く用いられている。骨セメント固定を行わない場合では、周囲骨との固定性を短期間で獲得するための表面処理がなされている。

## 限りなく本物に近く

### 骨形状に合わせて作製

究極の人工関節は、人工物ではなく本物の関節としてあたかも振る舞い、周囲骨と同化する必要がある。その結果、骨本来の機能を決める微細なサイズでの骨構造を理解することが求められる。

骨は主にコラーゲンとアパタイト粒子からなる複合材料である。アパタイト粒子は数十ナノメートル程度のサイズで、骨の強さを担う。アパタイト中の原子は六角柱状に配置し、コラーゲン線維の方向とおおむね一致するため、人工関節周囲骨を適正に維持するためにはアパタイトの配列を制御することが重要となる。

アパタイトがコラーゲンとともに、優先的に配列する度合い（アパタイト配向性）は、アパタイトの存在量に基づく骨密度や骨の量とは異なる極めて重要な骨質指標となる。ここで骨質とは、骨の強さを表すための骨密度以外の指標を指す。

**図1**のように、アパタイトの配向性は生体骨の部位に対応して大きく変化する。人工関節を挿入する長管骨では、長手方向に沿ってアパタイトが優先的に配列する。頭蓋骨では骨面内に沿って2次元的に配列し、歯を支える下顎骨の歯冠真下では咀嚼（そしゃく）方向に配列する。つまり、アパタイトは力のかかる方向に優先的に配列することで、骨を強くしている。

未来型の人工関節では人工関節周囲の骨の微細構造、特にアパタイトの優先配列を崩すことなく再生・維持、骨関節機能を再建する必要がある。

元来、人工関節に用いる金属の強さは、境界を接する骨よりも5倍程度高いため力学的な信頼性は高いが、骨に力が伝わり難いという欠点がある。力を感じるセンサーとして骨細胞は骨中に埋まっているため、人工関節周囲では正しく力を感知できなくなる。その結果、骨が溶解するだけでなく、アパタイト配向性も変化し、骨の強さは劣化してしまう。

こうした弊害をなくすために、正常な骨と同程度の強さを持つ人工関節用金属や高分子材料の開発が進められている。同時に、アパタイトの配向性は力の分布や骨の疾患程度に対して極めて敏感に変化することから、骨になじむ未来型の人工関節を開発する場合の指標として利用できる。

アパタイト配向は力のかかる向きに沿って優先的に形成される。**図2**に示すように、骨と人工関節の境界では力の向きに応じた凹凸、溝、孔といった形態をシミュレーションし創製することで、周囲の生体骨が人工関節を本物の骨として認識し、アパタイトとコラーゲンを力の向きに並べることができる。人工関節と生体骨が一体化した瞬間といえる。

患者の骨形状に合わせたテーラーメード人工関節も作製できるようになっている。いわゆる光造形の技術によるもので、金属粉末を電子線やレーザーによって焼結することで患者一人ひとりの骨格形状に合わせた人工関節を作り出す。この方法は人工関節内部の構造まで制御でき、骨に近い強さや衝撃吸収性を持つ金属製人工関節の実現も夢物語ではない。

再生医療技術との組み合わせによって早期に関節の機能を取り戻し、一生涯機能し続ける、長寿命で、日常生活に制約のない究極の人工関節の完成も遠い将来の話ではない。

**図1　骨部位に応じたアパタイトの配向性**

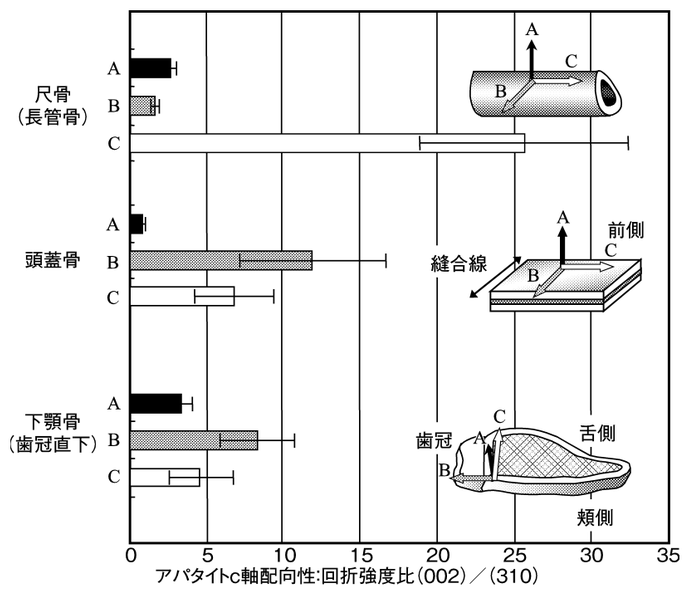
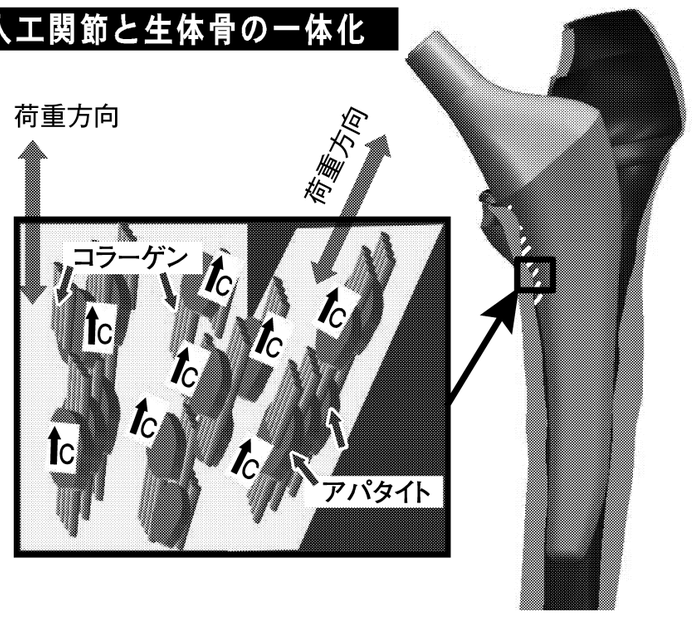



**図2　人工関節と生体骨の一体化**





# 最先端の技術で世界の産業を支えます。

業界初！
ノンフロンかつ高断熱現場発泡

●特徴‥‥◎熱伝導率はフロンシステムに匹敵する0.022W/(m･K)。
◎従来のノンフロンシステムでは実現不可能であったフロンシステムと同レベルの厚みにすることが可能です。
◎住宅金融支援機構が定める断熱材区分のEランクに相当します。
◎高い断熱性と難燃性は、住宅設備機器や保冷分野などへの応用も可能です。

独自の混合・攪拌技術で
省エネと省スペースに貢献します

●特徴‥‥◎希釈、混合、均質、中和、溶解などの製造プロセスにおいて、2液を混ぜる際に発生する混合ムラを低減。
◎攪拌するタンク、外部動力が不要であるため省スペースでメンテナンスも容易です。
●用途…上水道、医薬、紙・パルプ、化学、食品、IT分野など

塩素・薬品を使わずに
オゾンの力で殺菌・除菌を可能に

●特徴‥‥◎水や海水をオゾン処理し、殺菌作用を持ったオゾン水を生成。
◎コンパクトで高効率にオゾンの利用が可能です。
◎オゾン生成部と溶解部を一体化し、オゾンガスの漏洩を完全にシャットアウトします。
●用途…◎殺菌・洗浄（医療分野、水産加工場、浄水場、水道配管など）
◎食品・飲料水の製造ライン

高度な製造技術により、
多様なニーズへ対応する
真球状フェノール樹脂を開発

球状架橋樹脂粒子
天然系、フェノール系樹脂性があります。
●特徴‥‥◎溶剤不溶、熱不融。
◎真球度が高く、流動・充填・分散性に優れます。
●用途…活性炭原料、セラミックス造孔材、各種フィラー

球状活性炭粒子
球状架橋樹脂粒子を原料として製造した活性炭です。
●特徴…高い機械的強度を持ち、充填性に優れます。
●用途…医薬剤、各種吸着剤、電極材料

▲BEAPS®活性炭
▲オゾン殺菌水製造装置 FORMORE™

挑戦力と開発力で、その先の未来へ。
旭有機材
http://www.asahi-yukizai.co.jp/



大陽日酸 The Gas Professionals

# すべては、安心と信頼のために。

大陽日酸は、徹底した製造管理および品質管理のもとに、医療機関や在宅医療のための医療用ガスや機器・装置、ガン診断薬の原料となるWater-$^{18}$O、最先端分野の研究機関向けに液体窒素凍結保存容器など、高品質な製品を常に安定供給しています。さらに、より良い製品の開発に注力し、新製品の提供に努めています。

医療機関や在宅医療向けに
安全・確実な医療ガスの
供給をお約束します。

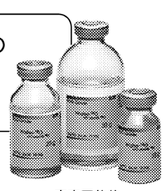
在宅酸素療法関連商品

酸素濃縮装置 オキシウェル-3X
携帯用小型アルミボンベ 呼吸同調式レギュレータ タッチワンデュオ

医療ガス供給機器関連商品
OXYMEDシリーズ

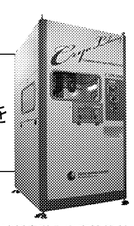
ウォールアウトレット（プッシュリリースタイプ）
自動マニフォールド

PETガン診断用の
Water-$^{18}$Oを
生産しています。

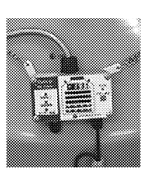


安定同位体 Water-$^{18}$O

多種多様な液体窒素
凍結保存容器・関連商品を
取り揃えています。



試料自動入出庫機能付凍結保存装置 クライオライブラリー



小型凍結保存容器用液面監視装置 Optical $N_2$ View（オプティカル エヌツービュー）

大陽日酸株式会社　メディカル事業本部　東京都品川区小山1-3-26 東洋Bldg. 〒142-8558
TEL 03(5788)8340　FAX 03(5788)8710　http://www.tn-sanso.co.jp
バイオ・メディカル事業部 http://www.tn-sanso-biomedical.com/　SI事業部 http://stableisotope.tn-sanso.co.jp/



TOSOH

空の下には、暮らしがある。

笑っている人。泣いている人。怒っている人。
目には見えないけれど、しっかりと見すえていきたい。
この空の下には、たくさんの暮らしがあることを。
そのひとつひとつに、かけがえのない時間が流れていることを。
化学は、どこまで人にやさしくなれるのだろうか。

人、社会、地球のための化学へ。

東ソー株式会社　東京都港区芝3丁目8番2号　〒105-8623　TEL 03(5427)5103（広報室）　ホームページ　http://www.tosoh.co.jp
●主な事業分野／オレフィン事業　ポリマー事業　化学品事業　セメント事業　有機化成品事業　バイオサイエンス事業　高機能材料事業