

## III Know How &amp; Technique

— 3Dプリンタの技術と  
運用の実際

## 1. 臓器実体モデル作製のための基礎知識

— プリンタ選び、臓器造形、後処理、利活用法まで

森 健策

名古屋大学情報連携統括本部情報戦略室/  
大学院情報科学研究科メディア科学専攻

3Dプリンタの急激な低価格化により、さまざまな分野での活用が近年注目されている。最近では、石膏タイプのフルカラープリンタだけでなく、紫外線硬化樹脂を用いた3Dプリンタにおいてもフルカラー造形が可能になり、新たなモノづくりの形が各所で注目されている。医療応用においても例外ではなく、マスコミなどにおいても数多く報道されているのは読者の知るところである。3Dプリンタの医療応用としては、患者ごとの解剖構造の観察、臓器実体モデルを実際に切断するといった、さまざまな手術操作シミュレーションなどに活用されている。

3Dプリンタは付加造形 (additive manufacturing) と呼ばれており<sup>1)</sup>、一般的に3Dプリンタと呼ぶ場合には、この付加造形法を利用した造形機のことを指す。一方、切削加工機でも物体造形はできるが、これは減算的造形法である。すなわち、材料が足されて物体が出来上がるのではなく、材料を削ることによって造形する方法である。切削造形の場合、その原理から複雑な内部構造を持つ物体を造形することは難しい。また、細胞をインクジェットヘッドから噴射して組織造形を行う研究も行われて

いる。このような造形技術はバイオフィabrication、バイオプリンティングなどとも呼ばれ、再生医療をめざした研究である<sup>2)</sup>。

本稿では、診断治療支援目的に限定し、CT画像、MR画像に基づいて3Dプリンタによって臓器実体モデルを造形する方法について概説する。ここで造形される臓器実体モデルは、①解剖構造の観察、病変部位の位置確認といった診断支援目的、②解剖構造の観察、病変の広がり、切除線の決定、切除範囲の決定、手術リハーサル、実体ナビゲーション、移植時の臓器形状適合性確認といった治療支援目的<sup>3)~5)</sup>、③解剖構造学習、フィジカルアセスメント (皮膚表面と臓器との位置関係の把握)、希少症例の学習 (小児心臓奇形など)、初等中等教育における人体構造学習などといった教育目的、④インフォームド・コンセントといった説明目的に利用されるものである。このような目的に利用される3Dプリンタにはどのようなものがあるか、どのような造形法が存在するのか、プリントのみでなくプリント後の後処理はどうすればよいかについて解説したい。

## 3Dプリンタの医療分野における導入

3Dプリンタの医療分野への導入においてよくある誤解としては、「3Dプリンタを導入すれば、すぐに臓器実体モデルを作ることができる」というものである。このような誤解の下、3Dプリンタを病院あるいは大学などの研究室に導入すると、大きく後悔することになる。3Dプリンタを用いて臓器実体モデルを造形しようとする場合、①データ、②コスト、③処理時間、④後処理、そして⑤利活法の5つのハードルをクリアする必要がある。これらのハードルをクリアする方法として、臓器実体モデル作製を外注するといった選択肢も存在することを忘れてはならない。

最初にクリアしなければならないハードルは、データである。当たり前のことであるが、造形したい臓器モデルの3Dデータを3Dプリンタに送信しないかぎり、臓器実体モデルの作製はスタートしない。最近のワークステーションでは、3Dプリンタが理解できる形状フォーマット [一般的にはSTL (standard triangulated language) フォーマットが利用される] の出力をサポートしている。また、筆者らの研究室では、STLフォーマットでの出力が可能な、三次元表示で出力したい臓器を確認しながらSTLファイル出力できるソフトウェアを提供している。ほかにも、“OsiriX”などのソフトウェアがSTLフォーマット出力に対応している。データ準備については、本特集の別稿 (72~77ページ) も参考にされたい。

次なるハードルはコストである。紫外線硬化樹脂噴射法を利用した3Dプリンタの場合、最低でも1gあたり40円程度の材料費を要する。おおよそ同量のサポート材が必要であり、ほぼ同じ価格であるため、1gを造形するのに合計80円を要する。これに加えて、定期的なメンテナンス費用などの保守費用も必要である。利用目的によっては10万円程度の3Dプリンタでも十分に役立つ場合もあるが、例えば、透明な臓器実体モデルの内部に脈管系を再現したモデルを作製したいような場合には、高価な3Dプリンタの導入が必須となる。

処理時間も大きなハードルとなりうる。例えば、図1に示すような肝臓実体モデルを3Dプリントする場合の出力時間は約



図1 肝臓実体モデルの例

13時間である。出力サイズによっては24時間、48時間を要する場合もある。「明日までに必要」などといった要望を臨床の場から寄せられることもあるので、導入しようとするプリンタがどの程度の印刷時間であるかをあらかじめ確かめておくことよい。プリント時間だけでなく、後述する後処理に要する時間も十分に検討しておく必要がある。

後処理は、3Dプリンタを用いた臓器実体モデル造形プロセ

スにおいてきわめて重要である。粉体造形法であれば余分な粉を吹き飛ばし、その後固定するための処理、紫外線硬化樹脂噴射法や熱溶融積層法であればサポート材除去などの処理が必要とされる。さらに、透明な樹脂を利用し内部を観察したいような場合には、表面研磨、塗装などの処理も必要となってくる。このような後処理は、医療分野における3Dプリンタの活用において十分に解説されておらず、注意が必要である。

## 3Dプリンタによる臓器実体モデル造形の流れ

3Dプリンタによる臓器実体モデル造形を行う場合、セグメンテーション、画像加工、STLファイル生成、3Dプリント、後処理、利用の過程を経ることになる。この一連の流れを図2に示す。セグメンテーションについては、別稿(76ページ)において、実際の手順を解説しているので参考にされたい。

### (1) セグメンテーション

造形したい臓器領域を画像上にてセグメンテーションする。3Dプリンタを用いて臓器実体モデルを造形する場合には、CT画像、MR画像、三次元超音波画像などが利用される。特に、CT画像、MR画像が用いられることが多い。使用する画像から、プリントしたい臓器領域をセグメンテーションする。医用画像処理ワークステーションに備えられた自動あるいは半自動セグメンテーション機能を利用してもよいし、統合型高汎用コンピュータ支援画像診断システム“PLUTO”(75～77ページ)を利用して、シード点を設定した上で領域拡張法により半自動でセグメンテーションしてもよい。内部構造造形法(68ページ)を利用する場合には、臓器領域だけでなく、内部の脈管領域も併せてセグメンテーションしておく必要がある。例えば、肝臓実体モデルの場合、筆者の研究室では肝臓領域、門脈領域、静脈領域、腫瘍領域をセグメンテーションしている(図3)。

### (2) 画像加工

3Dプリンタで適切に造形されるよう、セグメンテーション結果に対して加工を施す。内部構造造形法によって臓器実体モデルを作製する場合、内部構造を再現するために意図的にサポート材を臓器実体モデル内部に残すことになる。このような領域は、内部構造が背景、すなわち臓器実体モデルの外側に接しないように画像加工する必要がある。背景に接していないか否かのチェックは、デジタル位相幾何学的に空洞となっているかどうかを確認すればよい。

また、臓器実体モデル内に意図的に残す洞穴が必要なこともある。例えば図1に示す肝臓実体モデルでは、静脈領域を洞穴とし、最後に着色料を注入することで静脈領域を表現している。これは、サポート材を意図的に残して造形された門脈(白色)との区別をしやすくするためである。このような洞穴領域は、その端点が背景に接触するようにする。このような状況は、デジタル位相幾何学的には洞穴領域とされ、これをチェックするためのアルゴリズムが実現されている。

さらに、造形する臓器実体モデルに太い脈管から細い脈管

まで含まれている場合、細い血管が途切れる、あるいは造形されない可能性もある。このような事態を防ぐため、必要に応じて1画素程度セグメンテーション結果を膨張させることも行われる(画像処理にdilation演算を用いる)。

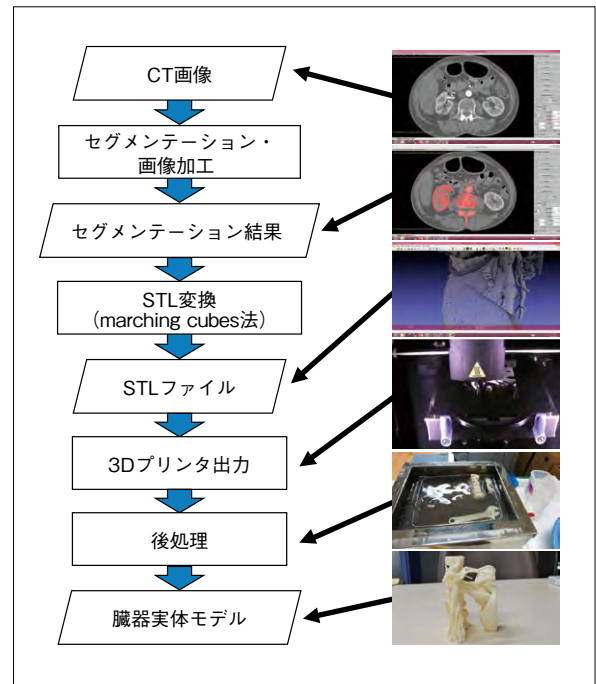


図2 臓器実体モデル造形のフロー

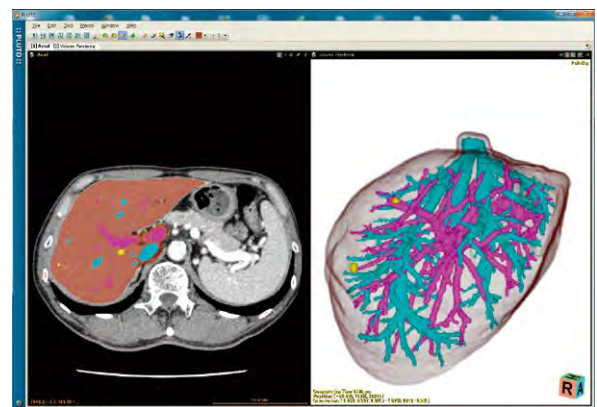


図3 PLUTO上における臓器セグメンテーション結果の例