

医療機器開発と最適化手法の接点

1. はじめに

くも膜下出血の主要原因である脳動脈瘤の破裂は、その致死率の高さと予後の要介護率の高さから、破裂前もしくは破裂直後の治療が大変重要である。そのため、治療方針に関して、破裂と未破裂動脈瘤に対し数値流体力学的に解析し、破裂の予測を行い治療に役立てようとする研究がなされているが、多くの検証が必要と考えられる。

一方、治療を安全に行うために、医療機器そのものの開発も行われている。治療法の主目的は、脳動脈瘤内の血流量や流速を低減させ血栓化を誘起し、瘤ネック部の血栓上を内皮細胞が覆い、最終的に瘤が血流部から分離されることにある。フローダイバーステント (FD) は、本目的達成のために開発されたステント^(注1)で、直径 $35\mu\text{m}$ 程度のストラット^(注2)を多数用いることで、より高い瘤内の血流低減効果がある (今までのストラットは約 $75\sim 100\mu\text{m}$ 程度)。しかしながらFD留置により、親血管まで血栓化する報告例や破裂の報告例が挙がっている。これは、直径の小さなストラットを用いたために異物であるインプラントの表面積が増加し、異物反応が引き起こされたためと考える。そこで、ストラット数を削減しつつ血流低減を実現させるためのストラット配置を探索する研究が注目され、本目的のために最適化手法が用いられている。

2. 瘤内の血流を減少させるためのステント形状の最適化設計

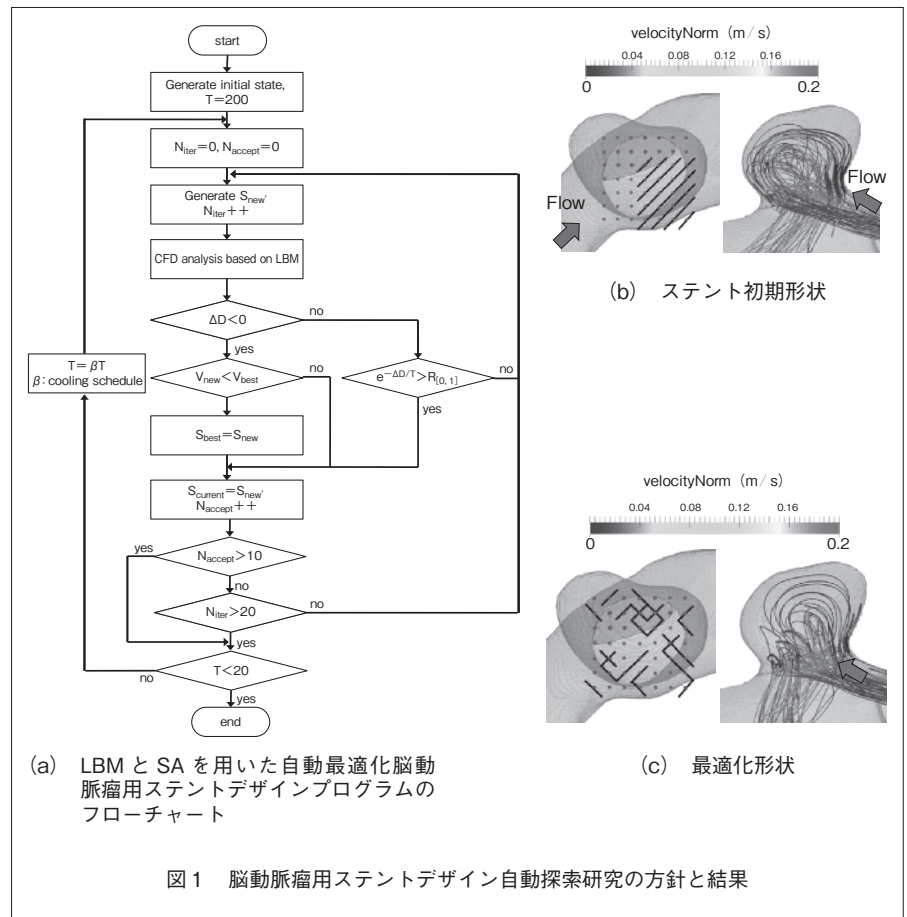
Srinivasらはストラットのパラメータである厚み、長さ、方向 (角度) などを変化させ、血流の流速と渦度低下を目的関数としている⁽¹⁾。最適化の手法にはデザイン空間の探索と予測サーフェスを作成するクリギング法を用いている。

3. 医療機器に対する最適化手法の応用の問題点

ステントの形状は非常に複雑であり、多くの設計変数が存在する。さらに、目的関数も多く必要とする。その

注1 ステント：網目構造をもつチューブ状の医療機器で、血管内に入れて血管を広げ空洞を確保するために使用する。ここでは、編み目を利用して瘤内への血流流入を阻害する。

注2 ストラット：ステントの編み目を構成する1本のこと



ため、上記の方法で最適化を行おうとすると、多くのサンプルを作り、その一つ一つに数値流体力学解析を行わなければならない。これは、実際に解析を行う者にとっては非常に大変な作業となる。

4. 脳動脈瘤用ステントデザイン自動最適化プログラム

われわれは、流体力学計算に格子ボルツマン法 (LBM)、そして最適化計算にシミュレーテッドアニーリング法 (SA) を用いて脳動脈瘤用ステントデザイン自動最適化プログラムを構築した。LBMを用いることにより、離散化 (メッシュ) を手動で行う必要がなくなり、ステントデザインに対する多くのコンセプトを試すことができる。

図1はその計算手法と、計算結果の一例⁽²⁾である。瘤内の血流速度を下げるには、瘤ネックの流入領域 (Bundle of Inflow, BOI) にストラットを配置するのが重要であると考えられるが、本プログラムにおいても同様の最適解を示した。このことは、「最適解から実際の設計に役立つ情報を引き出

すこと」⁽³⁾が容易になったことを意味する。

5. 今後の展望

医療機器の最適化設計には、医療機器の使い手 (医者) の意見も大切であると同時に、作用を受ける側 (患者) の意見も反映されるべきである。今後は、治療後のフォローアップ (経過観察) データも目的関数に取り入れた最適化設計がなされ、より低侵襲で効果的な医療機器の開発がなされていくと考える。

(原稿受付 2014年4月3日)

[太田 信 東北大学]

●文献

- (1) Lee, C.J., ほか, Three-dimensional Hemodynamic Design Optimization of Stents for Cerebral Aneurysms, *Proc. Inst. Mech. Eng. H. J. Eng. Med.*, **228** (2014), 213-224.
- (2) Anzai, H., ほか, Combinational Optimization of Strut Placement for Intracranial Stent Using a Realistic Aneurysm, *J. of Flow Control, J. Flow Cont. Meas. Vis.*, **136-6** (2014), 67-77.
- (3) 大林 茂, CFD利用の新段階—数値最適化, *日本機械学会誌*, **105-999** (2002), 64-69.