固体ー流体連成解析システムによる生体力学シミュレーション

野田茂穂、姫野龍太郎　理化学研究所　情報基盤センター
岡澤重信　広島大学大学院　工学研究科
岡田裕　鹿児島大学工学部　機械工学科
玉木剛、川島康弘（株）富士通長野システムエンジニアリング

一般にCAEと呼ばれている力学シミュレーションの分野では、シミュレーション対象の形状をポリゴンに代表されるCADデータとして作成し、計算対象のモデリングとして利用している。我々がシミュレーションの対象としている生体分野では、前述のような、設計図としてのCADデータが存在する訳ではない。また、個体差に寄る疾患の有無が報告されている事から、CG等で作られた標準的な形状を対象としたシミュレーションではなく、個体差を表現できるシミュレーション環境が必要であると考えている。

生体分野では、シミュレーション対象の形状を計測する方法として、CT、MRI等の画像診断装置が用いられる。近年、医療分野での画像診断装置の技術革新が著しく、二次元断面の画像だけでなく、その画像を積層することにより、三次元の形状を構築する事が可能となってきている。この積層されたデータはボクセルと呼ばれる形式であり、計測した値の空間分布を示している。ボクセル形式のままではポリゴンをベースとした力学シミュレーションは適用出来ない。そのため、取得したボクセルデータに対して等値面等を用いてシミュレーション対象領域をCADデータとして抽出する。その後、幾つかの手順を経て、シミュレーションが必要とする計算格子を得る事が出来る。（Fig 1, a）計算領域の抽出や計算格子の作成には特別なノウハウが必要であり、同じボクセルデータを用いても異なる結果が得られる事がある。

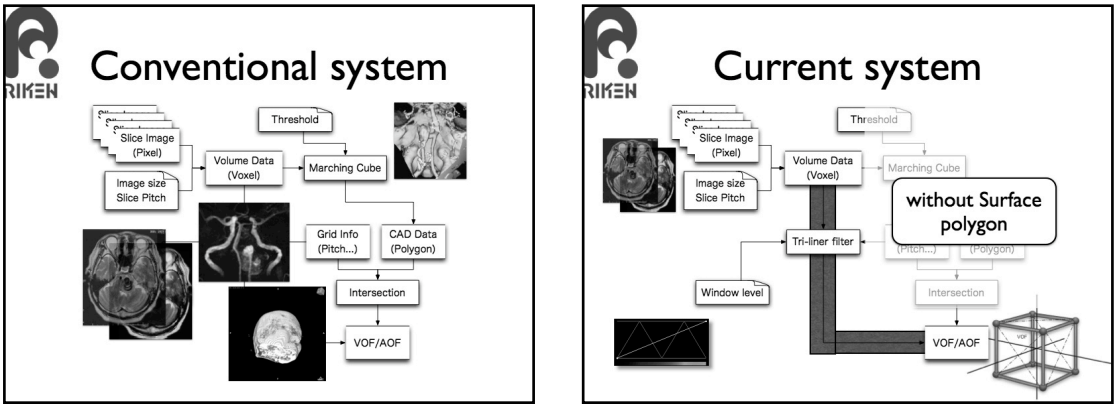

Fig 1: a) ポリゴンベースアプローチ、b)ボクセルベースアプローチ

我々は従来より、このような手順を介さずとも力学シミュレーションが可能な手法を開発してきた。この手法ではボクセルデータを直接シミュレーションの中に取り込み、ポリゴンデータや計算格子を用意する必要が無い。（Fig 1, b）そのため、広く医療現場への適用が見込める有益なアプローチだと考えている。現在は流体力学シミュレーションとして、ボクセルベースの血流解析システムを開発してきており、頸動脈狭窄症や脳動脈瘤の血流解析を行ってきた。[1] ボクセルデータは空間分布を示すスカラー表現なため、複雑に入り組んだ形状も容易に表現可能である。（Fig 2）　血流解析システムではVOF（Volume Of Fluid）法という手法を用いている。VOF法では、ボクセル空間での流体が占める割合を利用して計算を行い、VOF分布は医療画像診断装置から直接的に得る事が出来る。

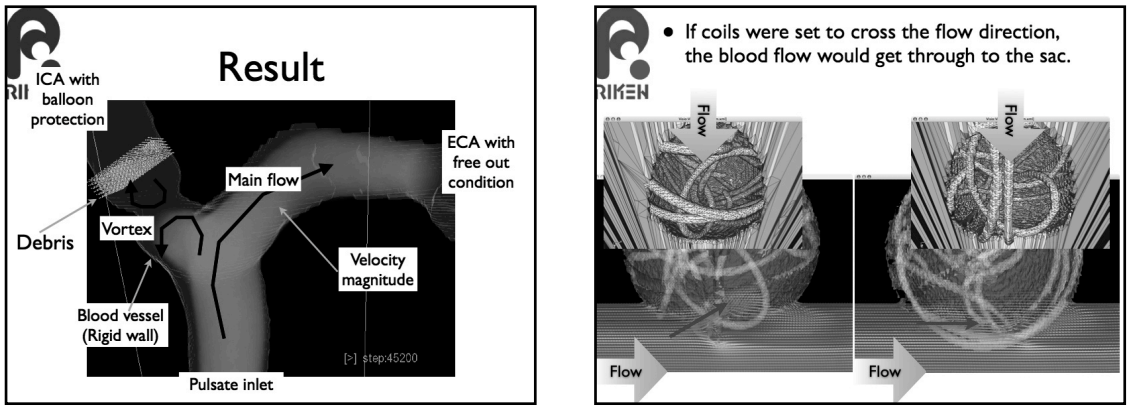

Fig 2:頸動脈狭窄症及び脳動脈瘤への適用例

これまでの計算では血管壁が動かない物として取り扱ってきた。しかしながら、本来の生体は柔らかく、血流の変化や他の臓器等の影響で容易に変形する。したがって、固体の変形を再現する固体力学シミュレーションとの連成解析が必要とされている。固体力学シミュレーションでは計算格子の変形を追跡するLagrange法が一般的であるが、ボクセルデータとの親和性が薄い。そこで、連成解析を行うシステムとして、ボクセルデータを密度関数として扱うEuler法に基づく固体力学シミュレーションを採用した。[2] 連成解析の手法として、弱連成を採用している。

各々のシミュレーションソフトウェアは、理研の小野らが提案しているSPHERE[3] (Skeleton for PHysical and Engineering REsearch)を用いて記述されている。これにより、ベクトル計算機／スカラー計算機／並列計算機といったマルチプラットフォームな計算機環境での動作を容易にしている。現在の連成解析システムでは、血流解析システムはベクトル計算機では高速に実行する事が出来、固体解析システムはPCクラスタでの実行性能が高い事が予測された。 そのため、ベクトル計算機／PCクラスタ機を融合したシステムである、RSCC(RIKEN Super Combined Cluster)を用いて、開発した連成解析システムの動作実証を行った。 異機種間でのデータのやりとりは全てMPIで記述し、連成解析システムの実行制御にはgridmpi[4] を使用した。Table 1にRSCCでのテスト実行計測結果を示す。

ベクトル計算機、PCクラスタ８台を用いた。Case 1は流体解析をPC4ノード、固体解析をPC4ノードで実行した経過時間。Case 2は流体解析をベクトル計算機、固体解析をPC8ノードで実行した経過時間を示している。結果より、流体解析をベクトル機で実行し、固体解析をPCクラスタで並列計算として実行する方がより速く結果を得る事が出来ると言える。

	Total [s]	Fluid [s]	Solid [s]
Case1(Fluid:PCC*4, Solid:PCC*4)	470.044	181.481	424.477
Case2(Fluid:Vector, Solid:PCC*8)	273.8	49.898	203.324

Table 1 : ELAPS time

参考文献

1) 野田 茂穂，姫野龍太郎，小野 謙二，石川 正昭，“医療画像に基づく脳血管血流シミュレーション“，第16回バイオフロンティア講演会講演論文集(2005)139-140.

2) 岡澤重信、河口篤志、藤久保昌彦：各種メッシュ制御における動的陽解法、応用力学論文集、Vol.6,pp.151-158, 2003

3) 小野謙二、玉木剛:SPHERE-物理シミュレーションのフレームワークと実行環境の開発、日本計算工学会論文集、No.20060031 (2006)

4) http://www.gridmpi.org/