



メカノバイオ
生体力学シミュレーション#1
1/15,22,29

東京大学・理化学研究所

姫野龍太郎

himeno@riken.jp

生体力学のシミュレーションが目指すもの

- ・ 生きている人体をコンピュータ上に再現
- ・ 医療で実際に応用できるもの
 - 診断・治療・手術計画

目標

- 生きている人体の部分的な再現
 - Visible Human Projectとは違う
- すでに支配方程式の理解が進んだ領域
 - 構造力学・流体力学・動力学など
 - マクロな立場でのシミュレーション
- 医療現場での実際の応用を図る

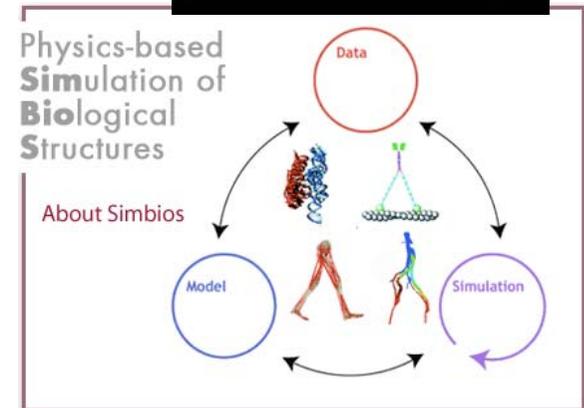


理研における生体力学 シミュレーション研究

- 1998年3月に最初のシンポジウム
- 1999年4月から第一期スタート
- 2004年3月第一期終了
- 2004年4月から第二期スタート
– 5年間のプロジェクト

関連する分野

- Visible Human Project
- Digital Human (Model)
- Digital Astronaut (NASA)
- Virtual Soldier (DoD)
- Physiome project
 - IUPS Physiome Project
 - Simbios: Physics-based Simulation Biological Structures
 - Virtual Physiological Human





Digital Human

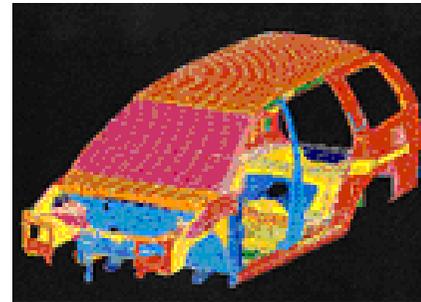
- 日本ではデジタルヒューマン研究センター（産総研）
- 製品設計のためのツールで、人間の身体機能をデジタル化し、コンピュータ上に実装したもの。CAE（Computer Aided Engineering）の1ツール

名古屋大・長谷和徳氏による デジタルヒューマンの概念

機械



デジタル化

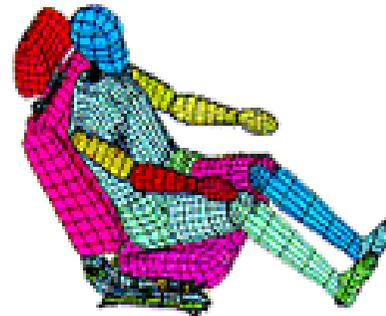


CAD/CAE

人間



デジタル化



デジタルヒューマン

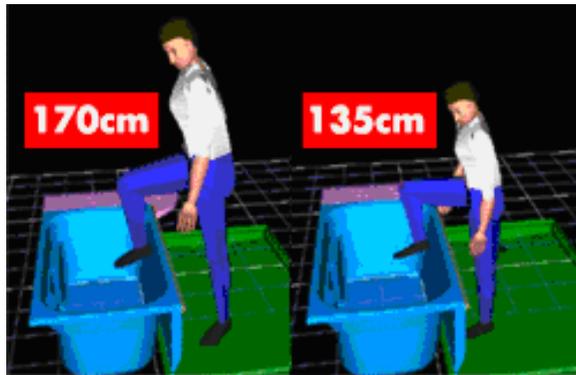
機械システム
の設計

人間・機械システム
の評価

出展：<http://www.mathforum.jp/sentan/04digital/intro.html>

日常生活や工場での作業を想定した場合の利点

- 視認性
- 環境の物体との干渉
- 手先などの到達域
- 身体の力学負荷、作業性の評価
- 体格差の評価



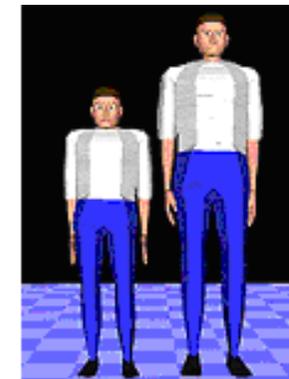
2008/1/15



視認性の確認



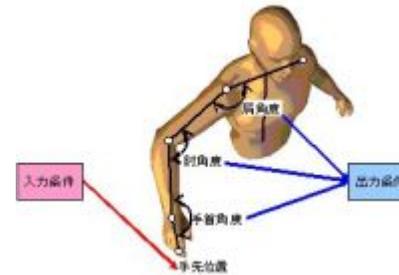
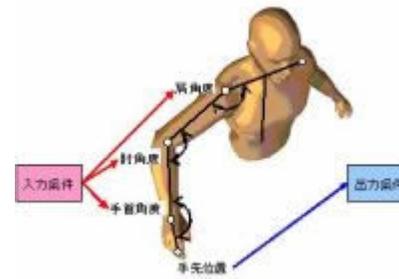
干渉チェック



体格差の評価

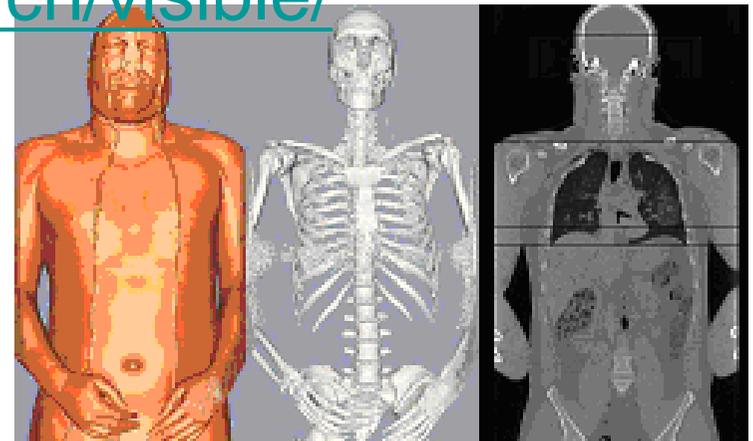
動きのシミュレーション

- 順運動学
- 逆運動学
- 順動力学
- 冗長性と最適化



DB

- a) 人間生活工学研究センター
人間特性データベース
<http://www.hql.jp/database/>
- b) 製品評価技術基盤機構 人間特性データベース
<http://www.tech.nite.go.jp/human/>
- c) 産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センター AIST人体寸法・形状データベース
<http://www.dh.aist.go.jp/AIST91DB/>
- d) ビジブルヒューマンプロジェクト
<http://www.nlm.nih.gov/research/visible/>



現状

- 充実してきているもの
 - 形状寸法データのデータベース
 - 体の動きのシミュレーション、CG
 - 個別臓器のシミュレーション
 - 血管、循環器系、心臓
- まだまだ
 - 臓器組織の力学特性データ
 - 骨、歯はあるが、その他は文献情報程度、データまちまち
 - 肺は形も分かっていない部分がある

生体力学シミュレーション

- 形状モデル: 人体モデル
- シミュレーション
 - 流体力学・構造力学
 - 動力学
- 生理学・生理学的モデル
 - 酸素・二酸化炭素分率
 - 適応・成長・最適化



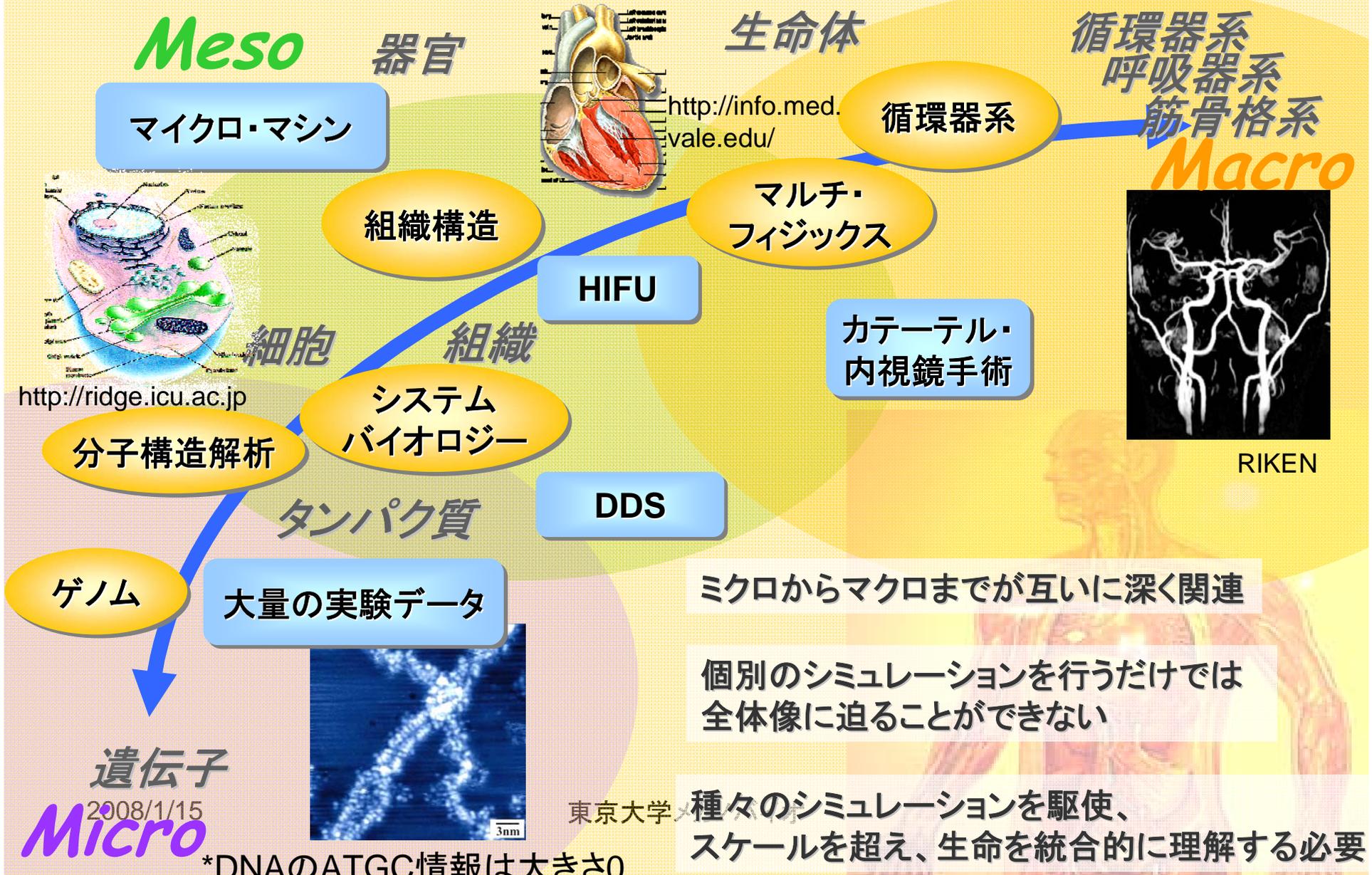
第一期で取り組んだ三分野

- 循環器系シミュレーション
- 器官の損傷治療シミュレーション
- 運動シミュレーション

人体のシミュレーションの難しさ

- 形状取得
 - 空間分解能と時間分解能
 - ノイズ
 - 非侵襲: CT、MRI、超音波
- 材料特性(粘弾性特性)
 - 非侵襲: 超音波Elastography、MRElastography
 - 摘出臓器による測定
- 境界条件・支持条件
 - 周りの臓器・骨・筋肉の影響
- 空間時間スケール
 - 拍動1s、病変: 数秒から数年、月 2.6×10^6 、年 10^9
 - 内皮細胞、血球: $10^{-6} \sim -4$ 、毛細血管 $10^{-5} \sim -4$ 、臓器: 10^{-1} 、全身: 10
- 病変・治療
 - DNA、生活習慣、生体の適応反応

人体のシミュレーションの広がり





生命のシミュレーションのスケールの広がり と 計算方法



*DNAのATGC情報は大きさ0

バイオインフォマティクスからのアプローチ

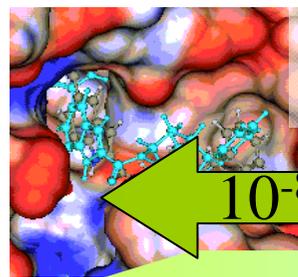
ミクロからのアプローチ

マクロからのアプローチ

MD・第一原理・量子化学シミュレーション
空間スケール

方法論が未知の領域

連続体シミュレーション



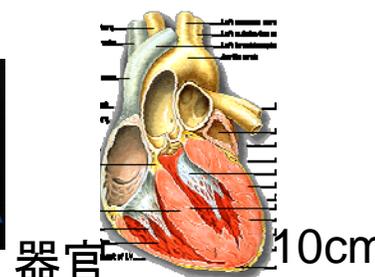
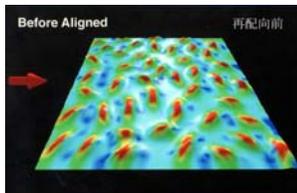
タンパク DNA
10nm



細胞 10 μ



組織



器官

10cm



全身循環器

1m

10⁻⁸ 10⁻⁵ 10^{-3~-2} 10⁻¹ 10⁰

Micro

Meso

Macro

大きさ



2008/1/15

1cm



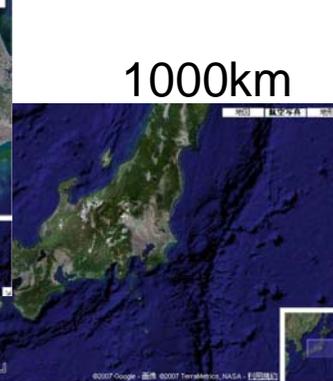
10m



100m



100km

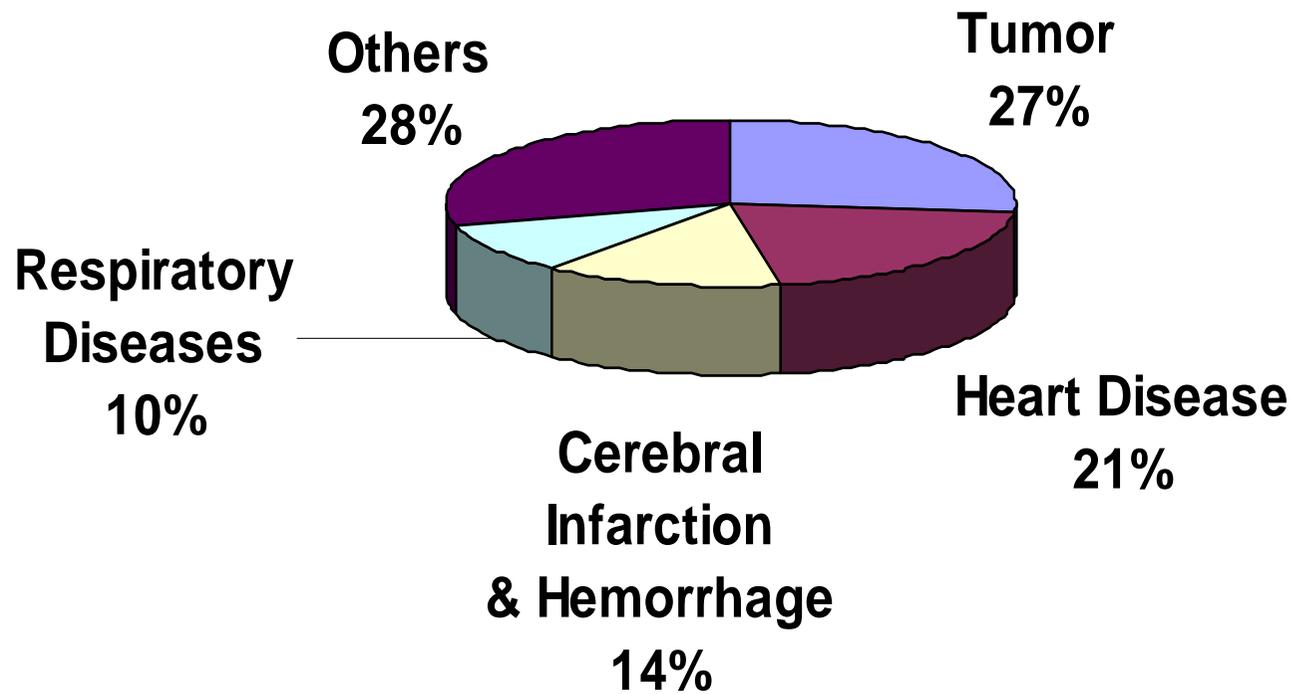


1000km

この間が広いことが分かる

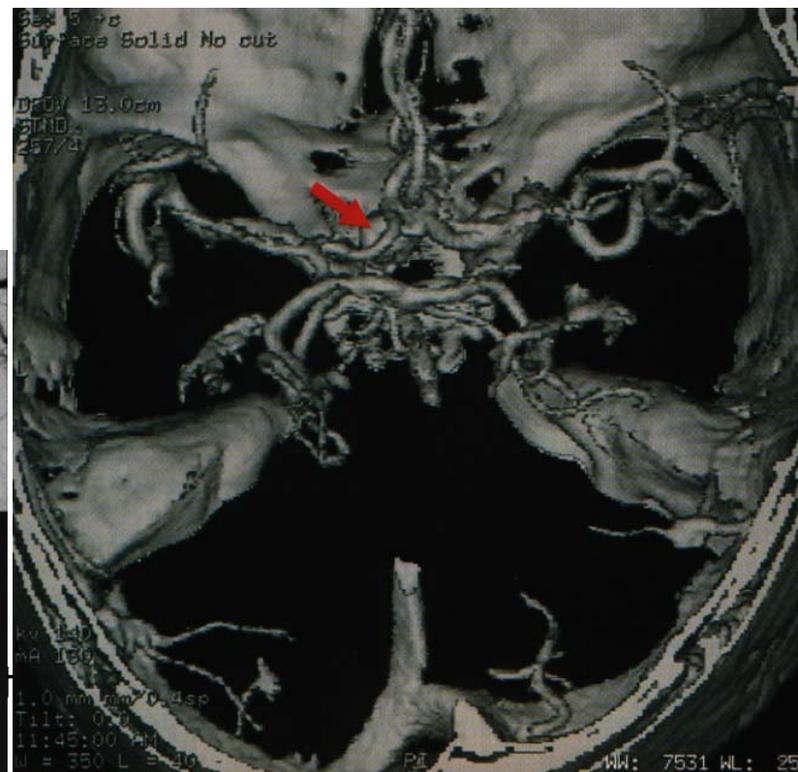
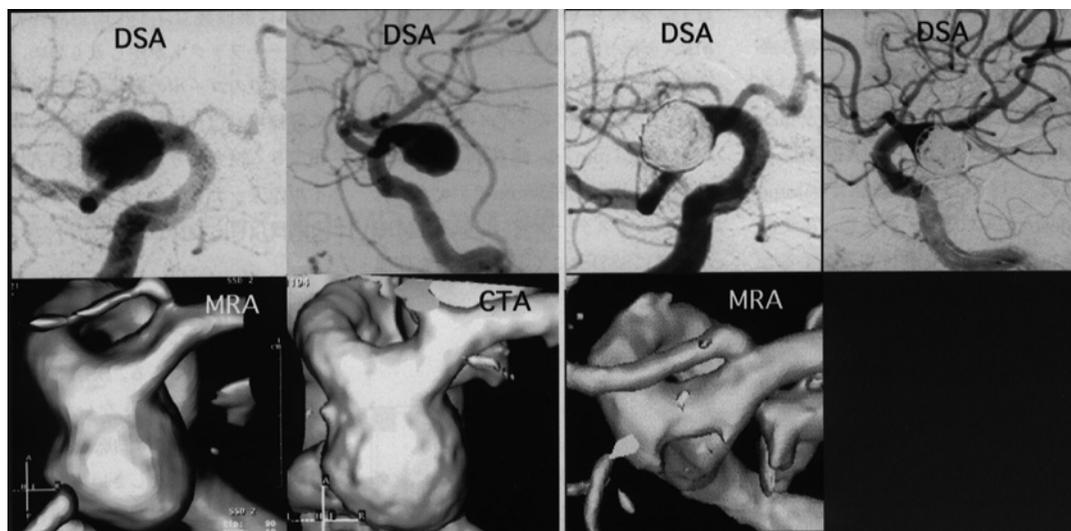
バイオ

日本人の死因



異常が見つかるが？

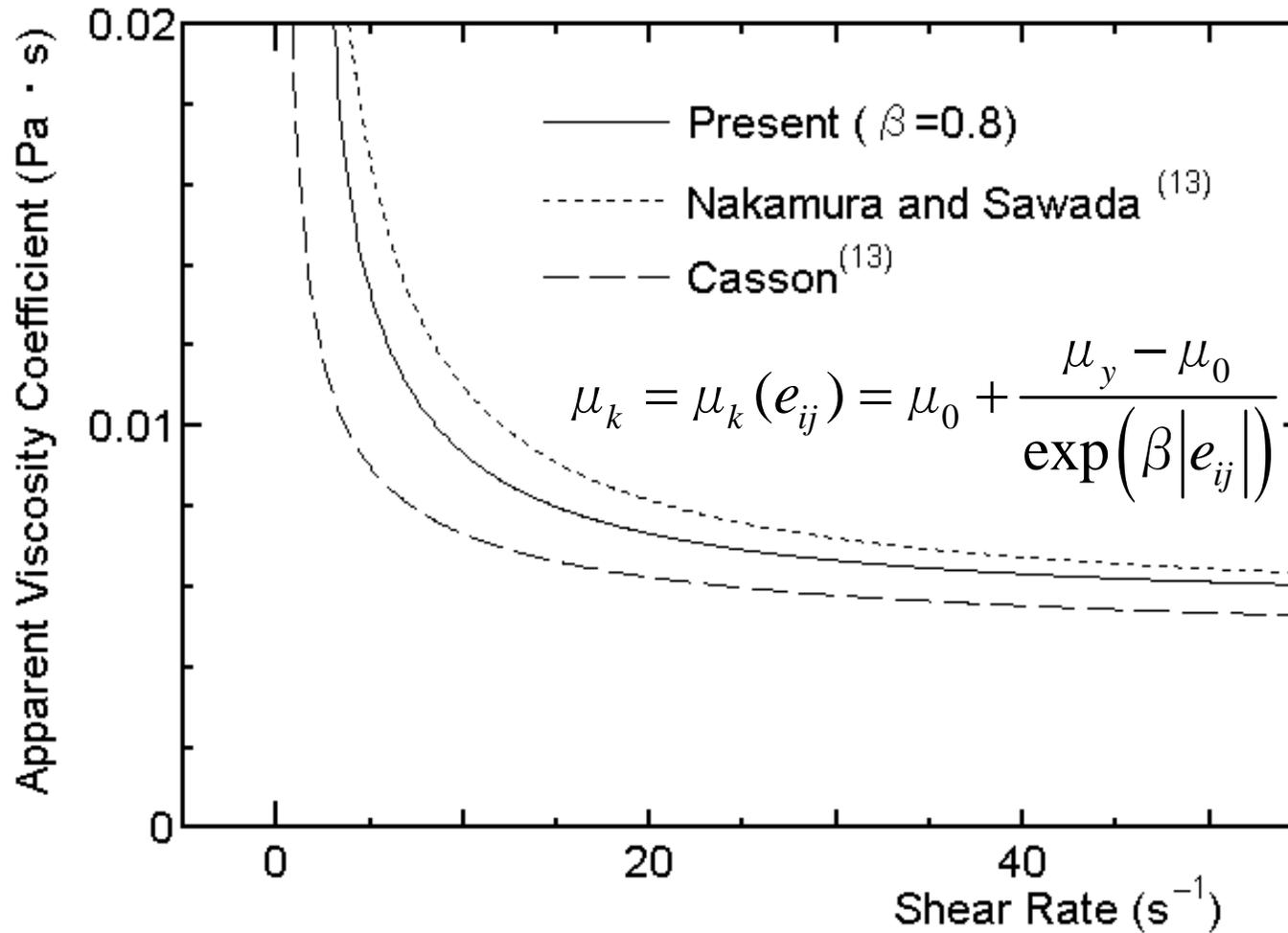
- 治療すべきかどうか
 - 動脈瘤の形や大きさと破裂には大きな相関がない
- 開頭手術か、カテーテルか
 - 患者はカテーテルを希望



レイノルズ数範囲

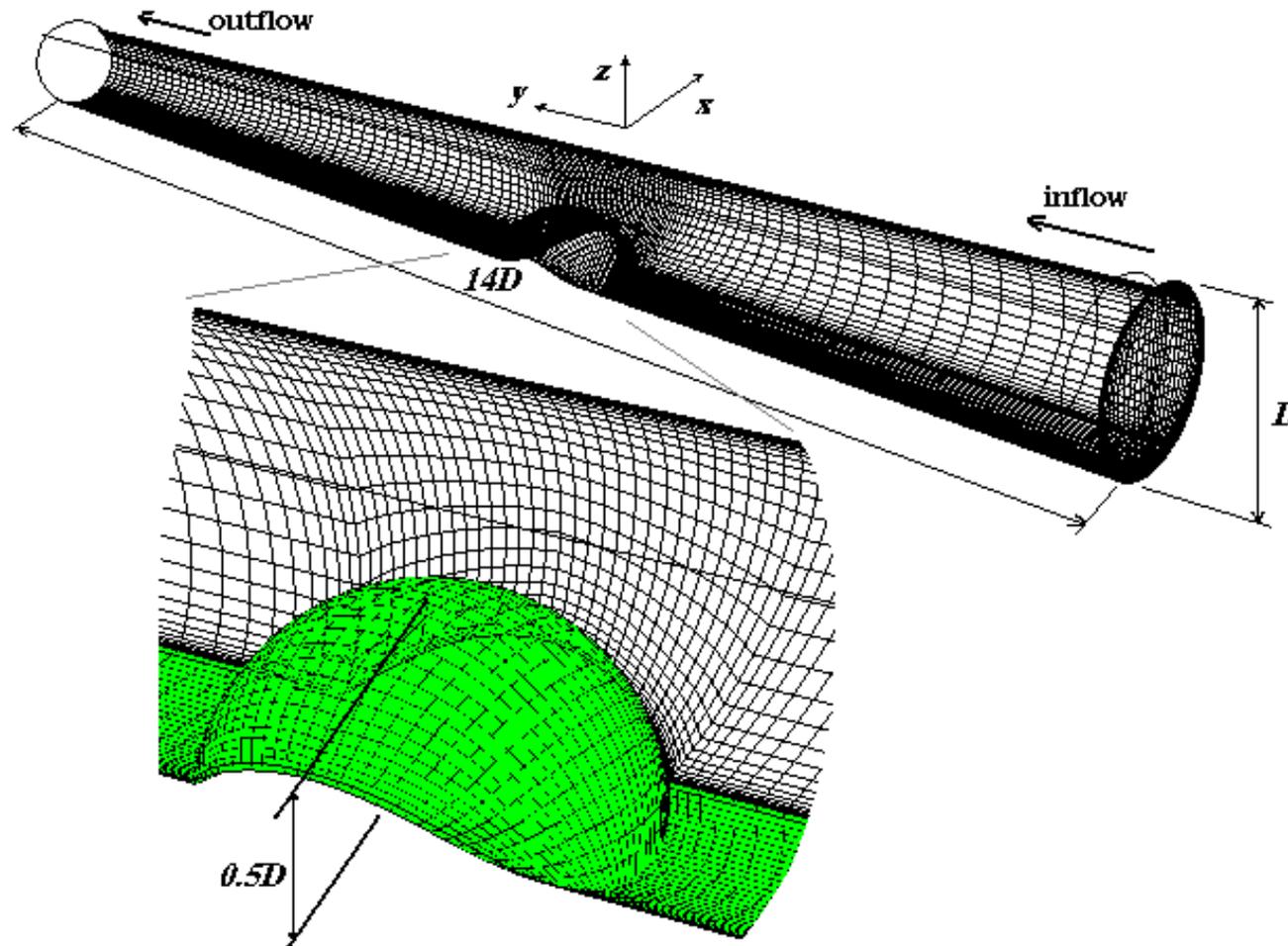
- 最大: 左心房出口5000~10000
- 乱流か？
- 非ニュートン性の影響は？
 - レイノルズ数が低くなければ無視できる？

非ニュートン性の影響の予測

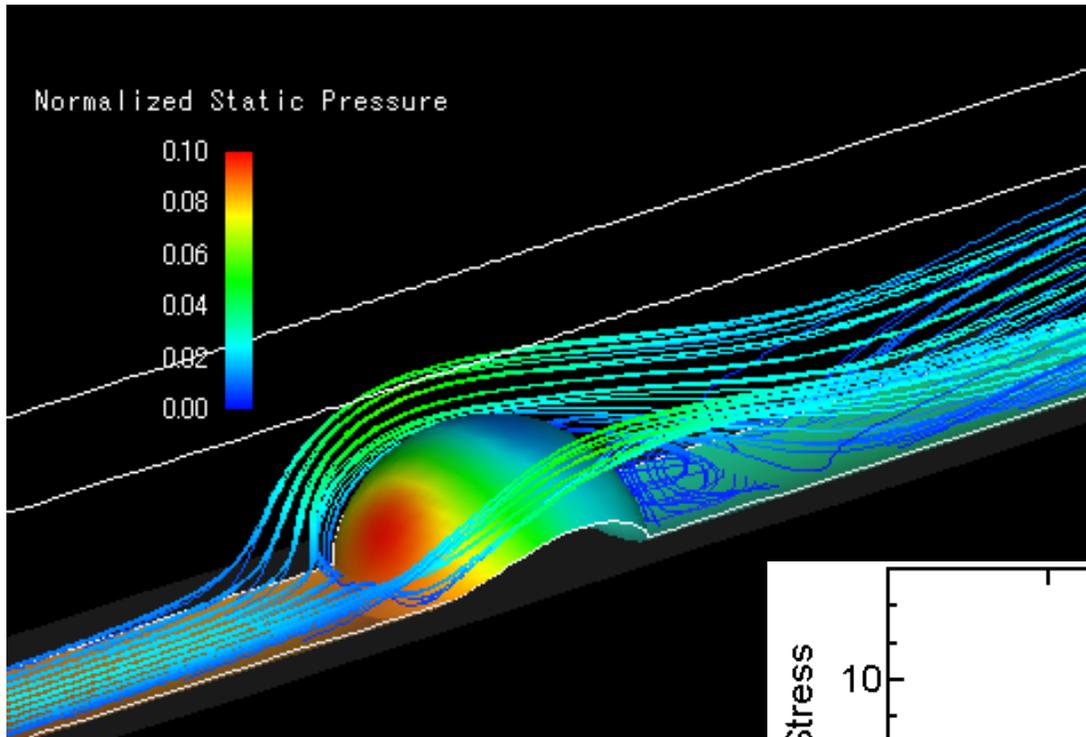


Grid System for Artery with Stenosis

- 115 x 32 x 32 : 117,760

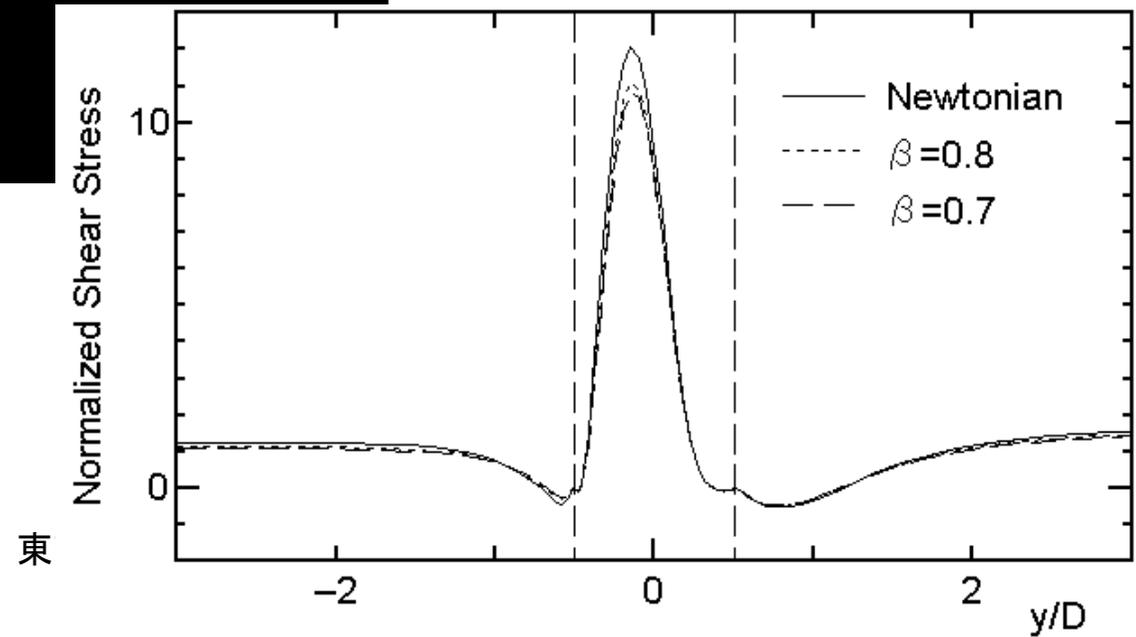


Steady State Results



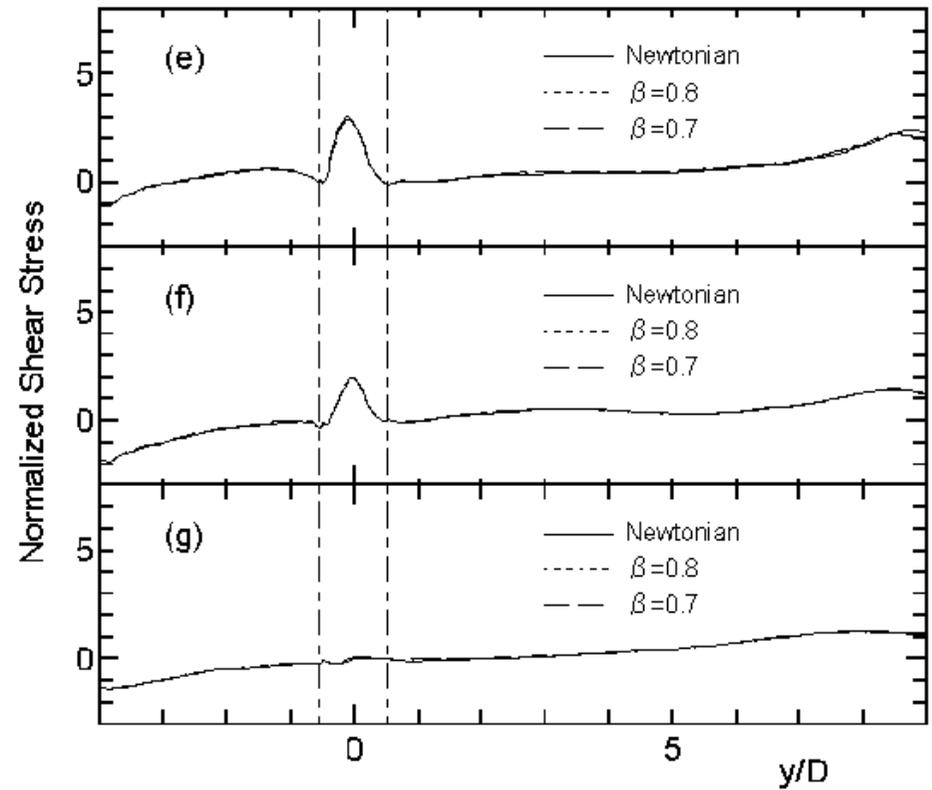
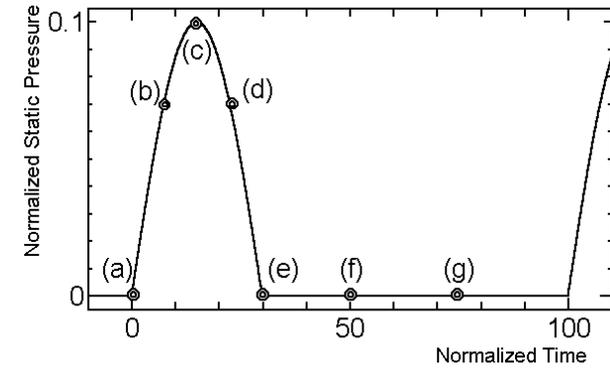
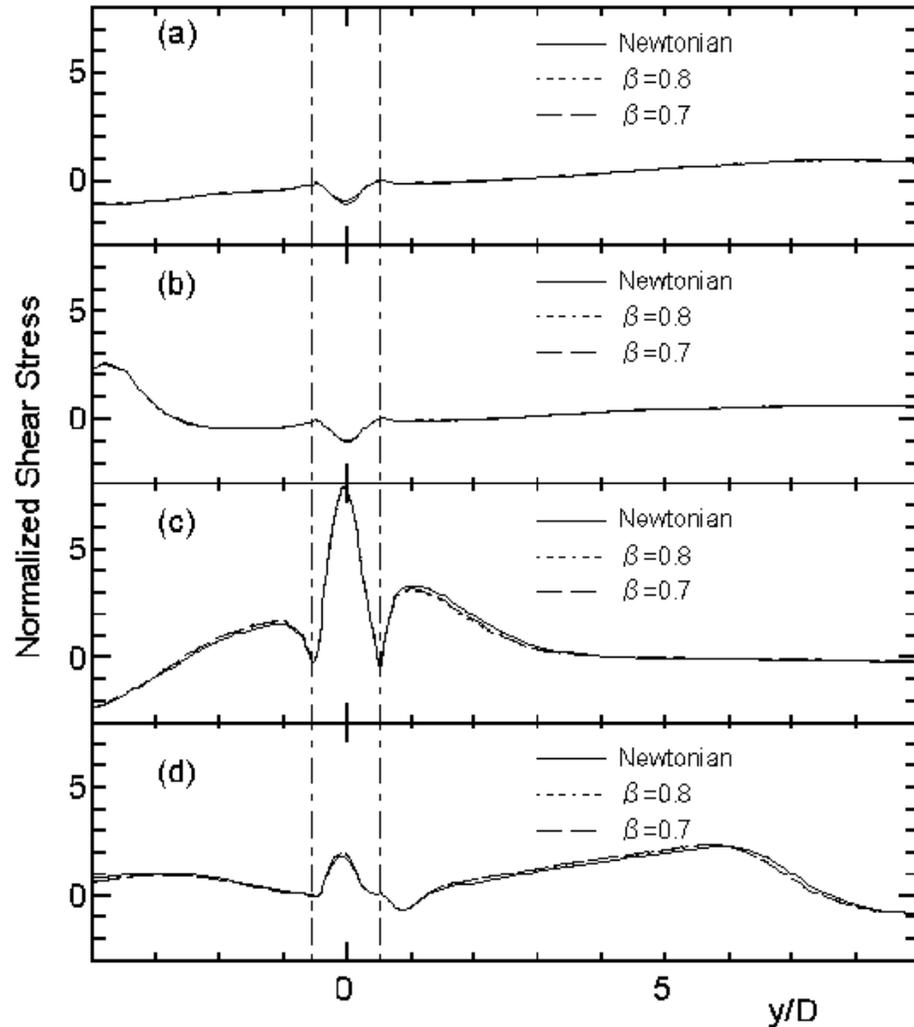
Re:1,000

Dimiameter:5mm



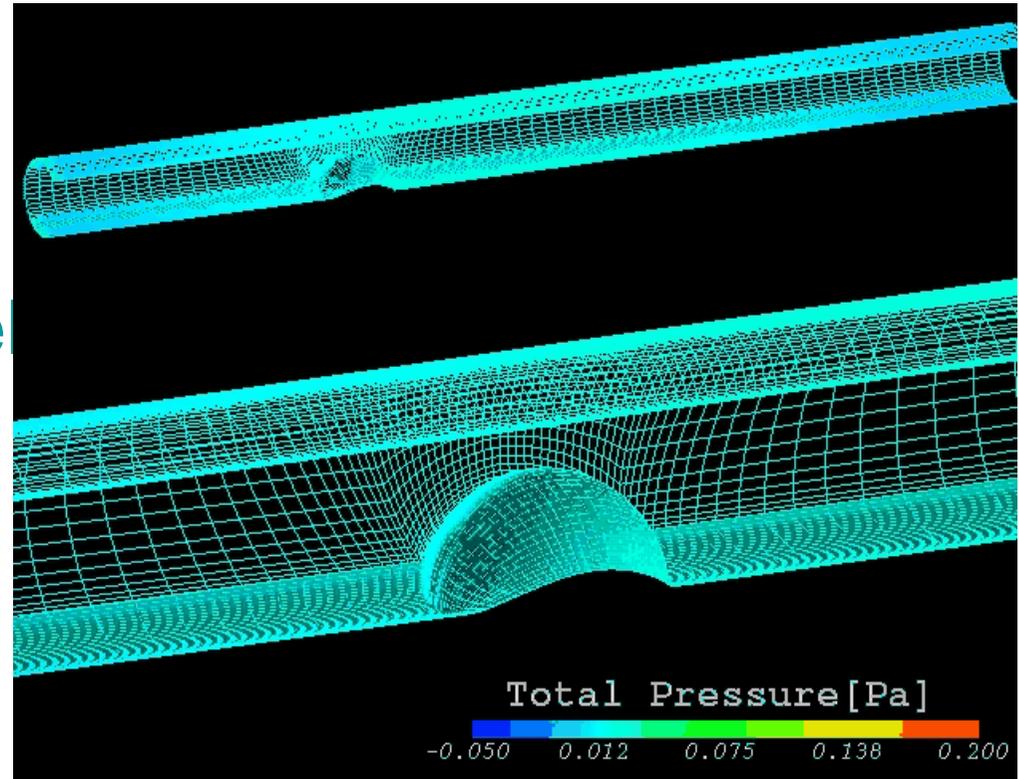
Pursatile Flow case

Womersley number : 3.9



2. Fluid-Structure Coupling Sim.

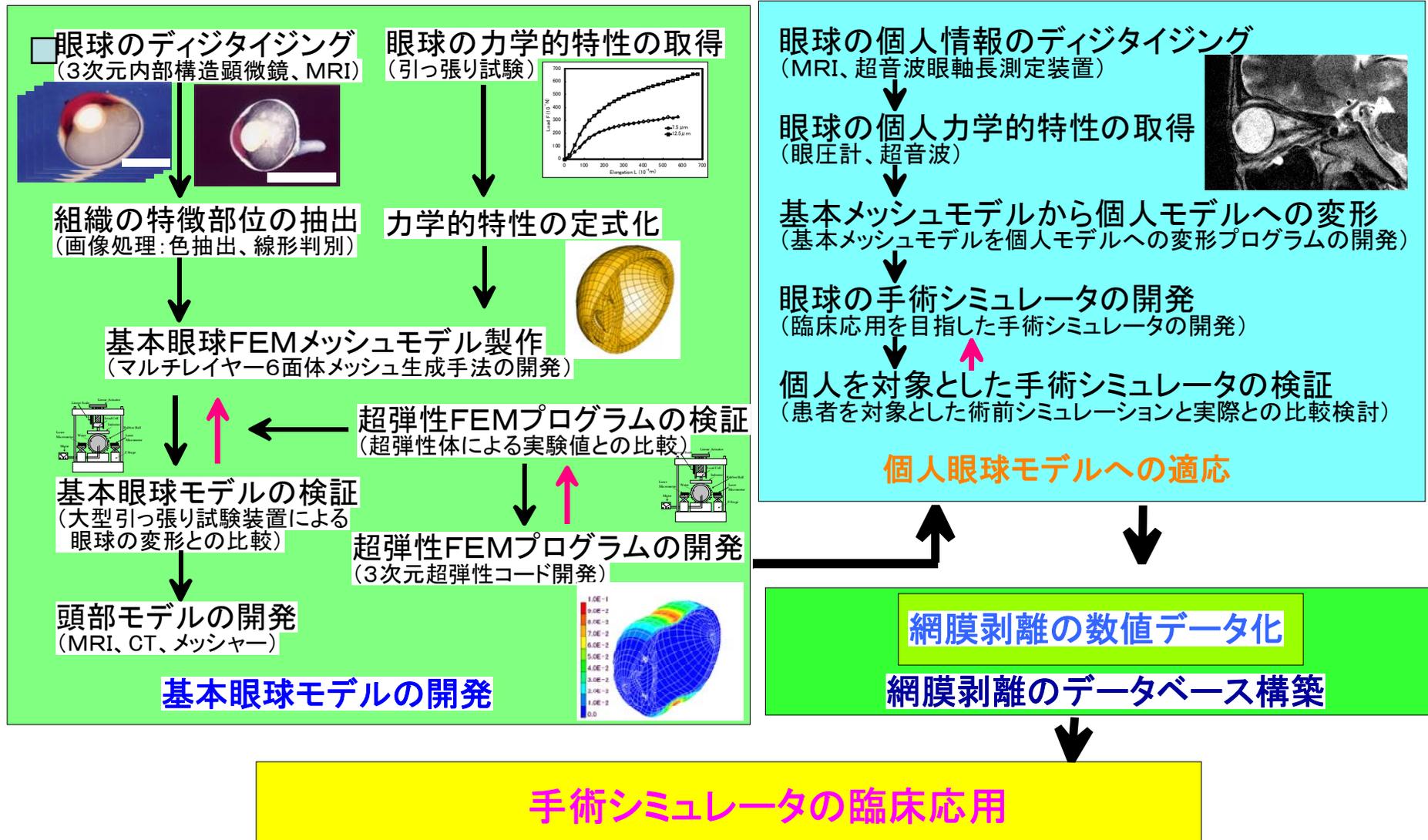
- Pulsatile flow, elastic wall
- Maxwell model, weakly coupled mode



医療用形状測定装置の比較

	CT	MRI	超音波
空間分解能	◎ 0.1mm	○ mm	△
時間分解能	○	△	◎ ビデオレート
人体への影響	× X線被爆	○ 造影剤: △	◎

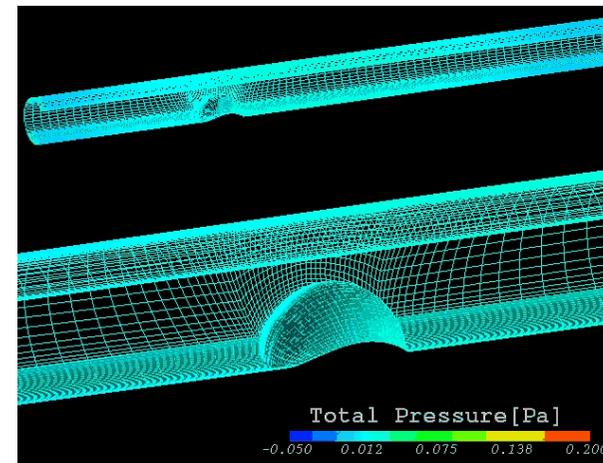
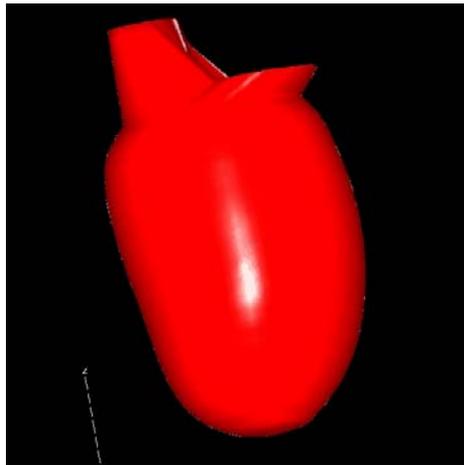
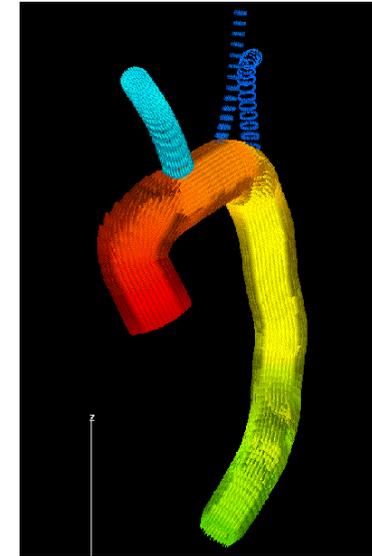
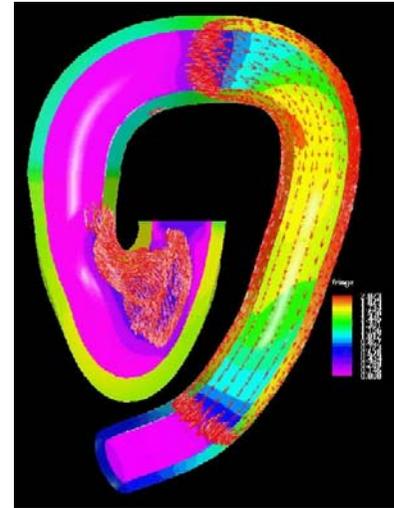
シミュレーションにおける方針





RIKEN(1)循環器系シミュレーション

- 3次元の詳細モデル
 - 左心房、大動脈弓、動脈瘤
- 拍動による血管の動きのシミュレーション
- 1次元解析と組み合わせた全身モデル

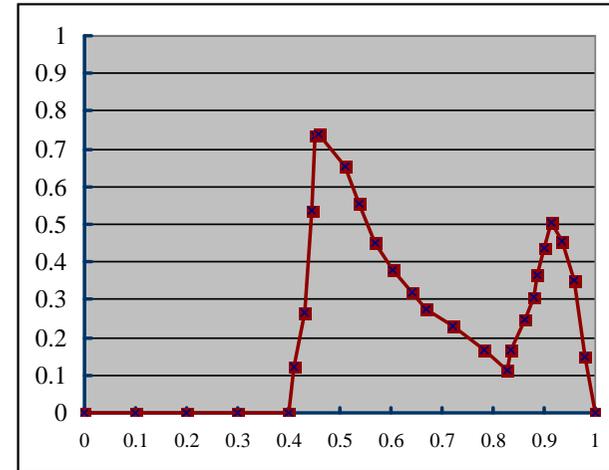
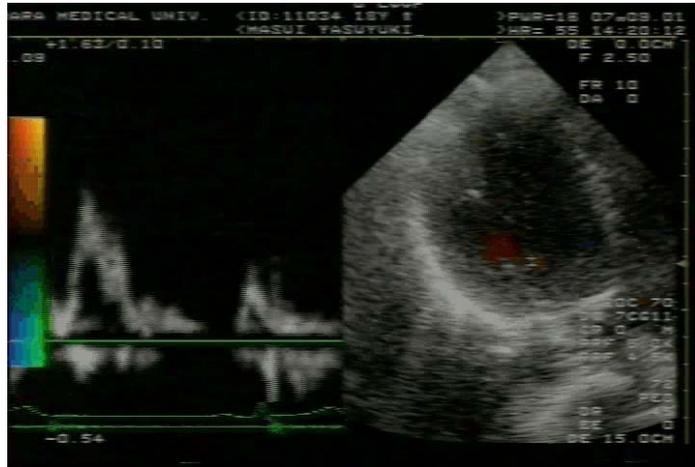


2008/1/15

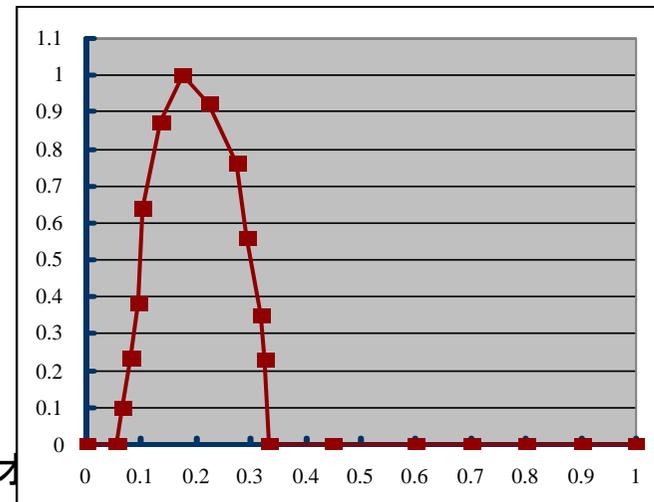
東京大学メカノバイオ

ヒト左心室モデリング A physio-model for human left ventricle

Measured inflow velocity(Q) is imposed at mitral valve (僧帽弁) .

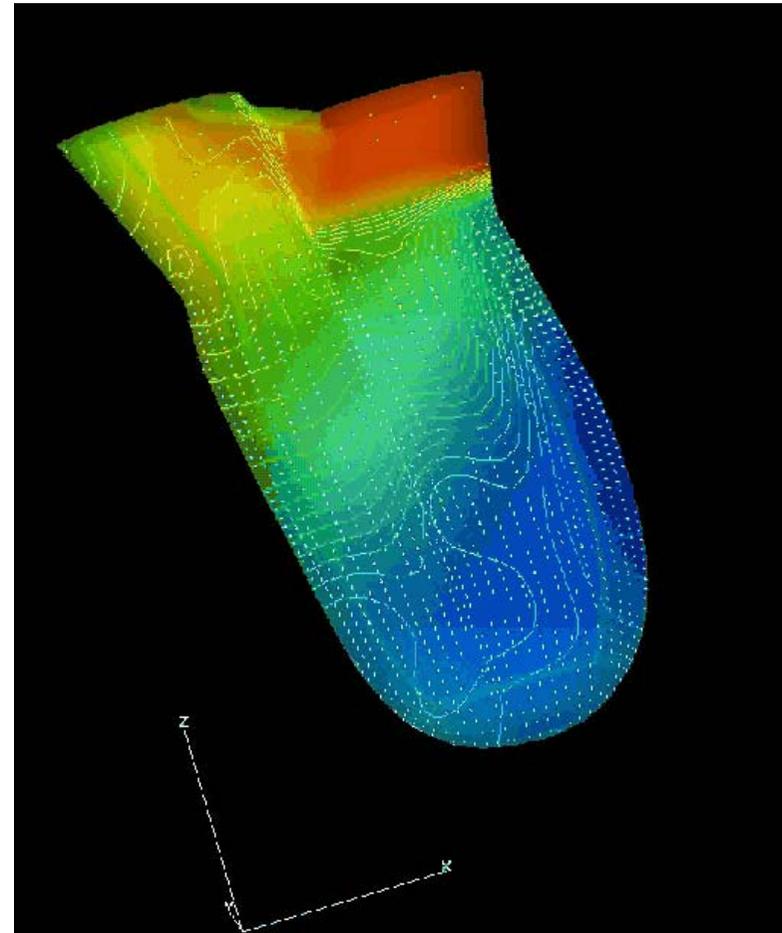
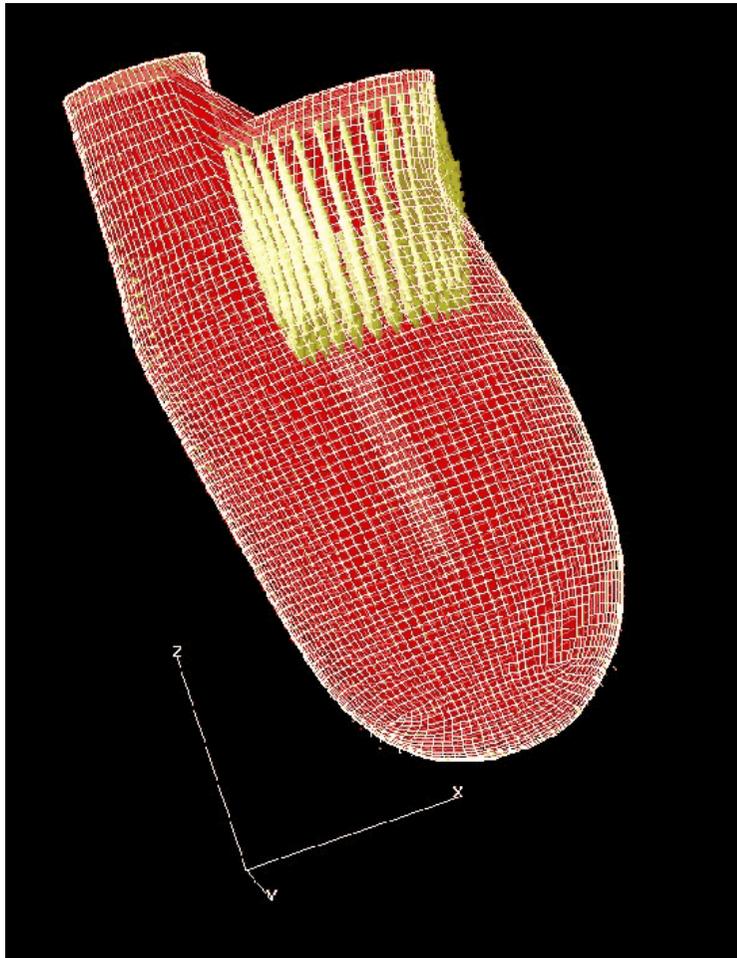


Measured outflow velocity(Q) at aortic valve (大動脈弁) is used to validate simulation.



CFD modeling of left ventricle hemodynamics

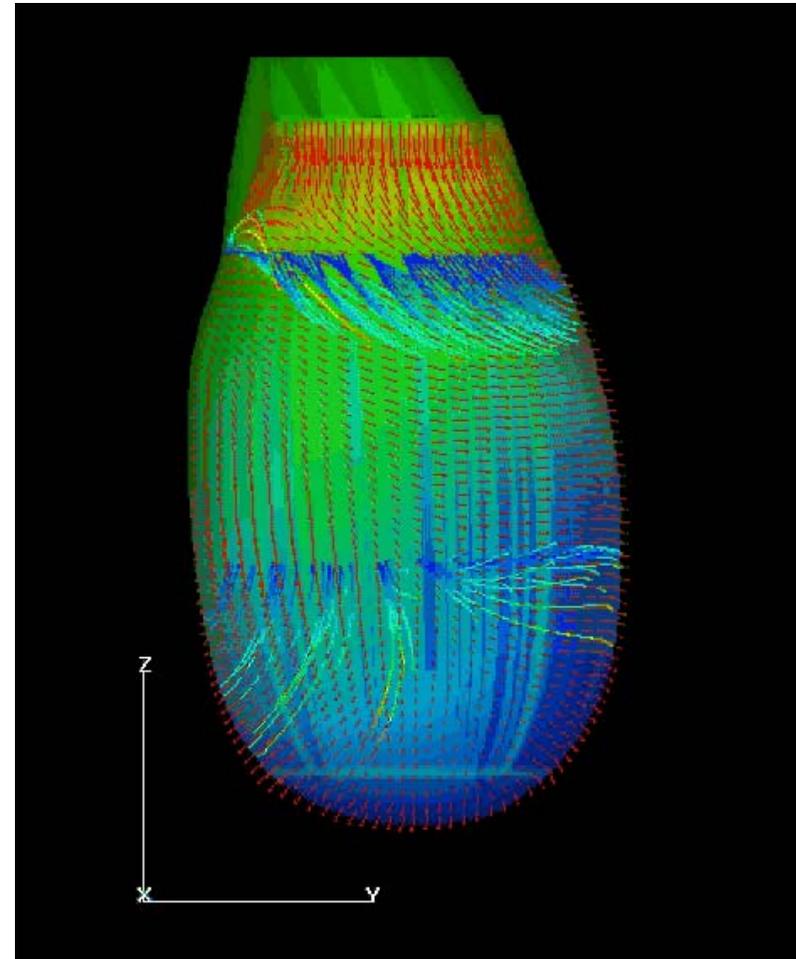
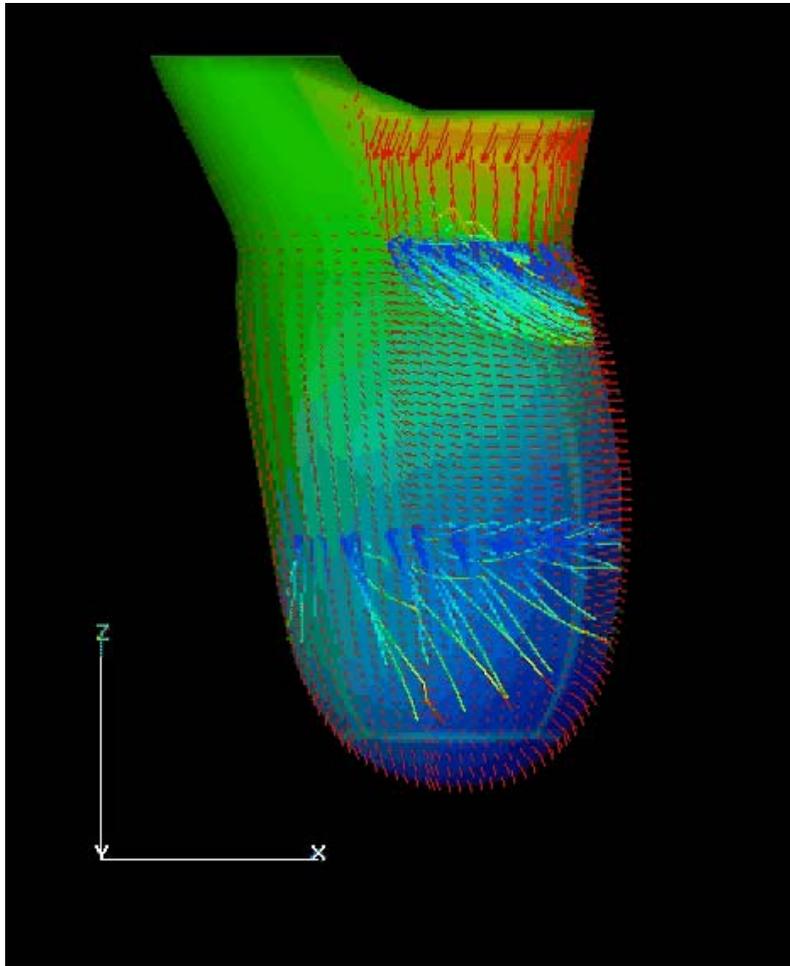
Re=1000/6000, Womersley Number=15 with realistic dynamic motions



Dynamic Vortical Flow in the LV

Front view

Side view

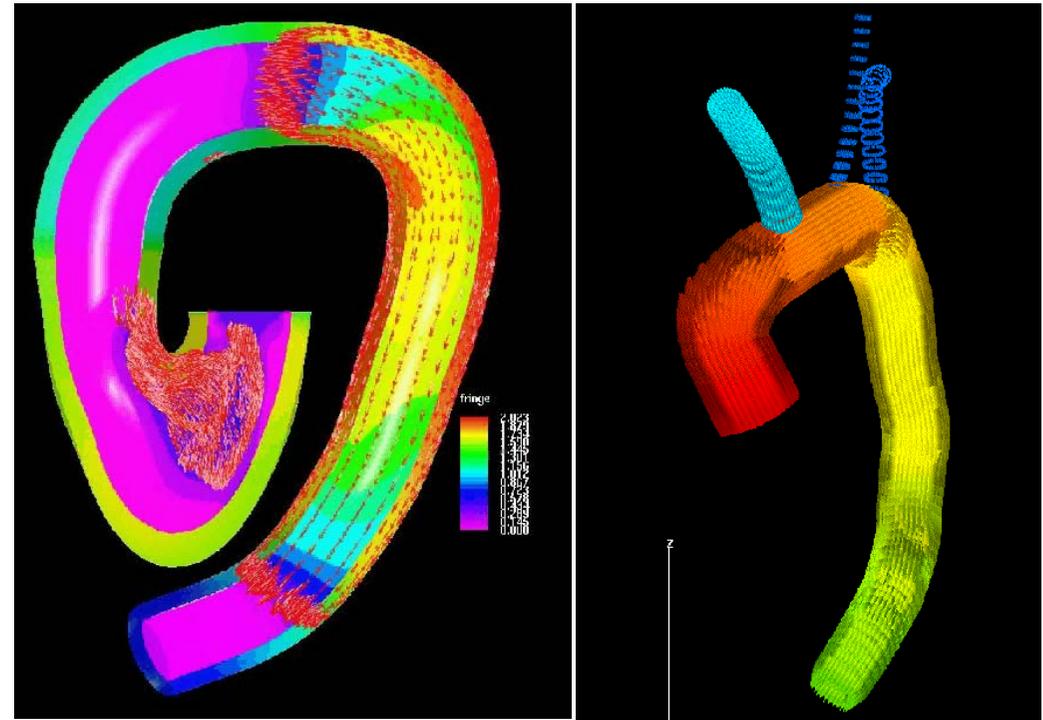


大動脈と左心室

- 左心室と大動脈弓を連結したモデル
- 大動脈弓の動きを反映し、分岐部を取り込んだモデル

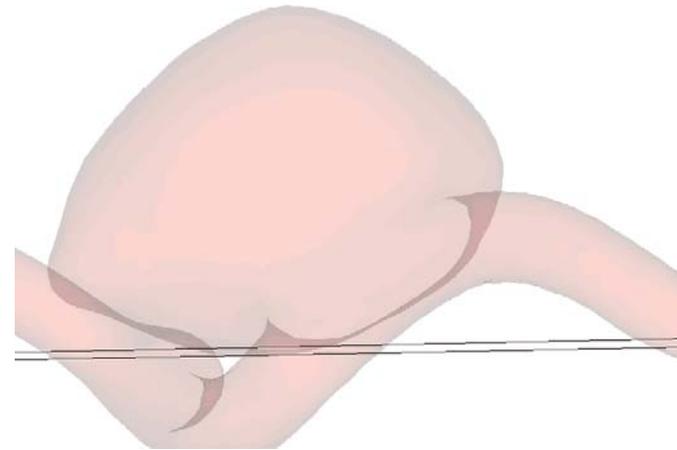
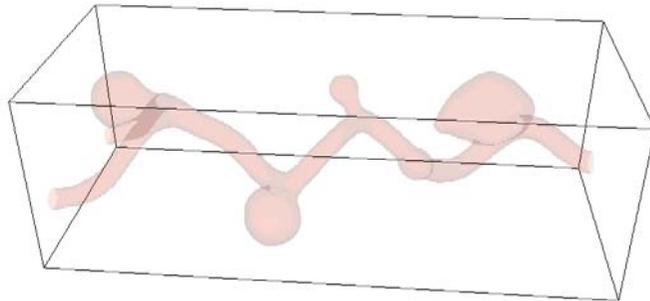
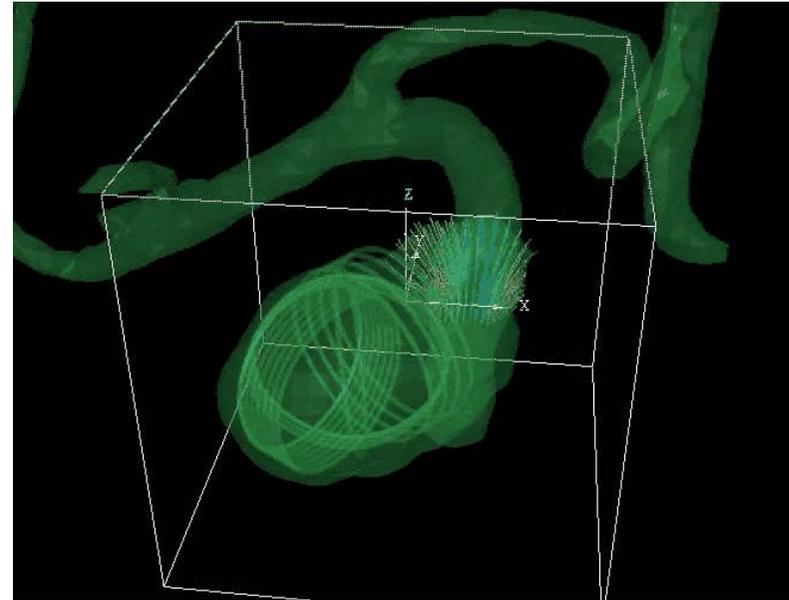
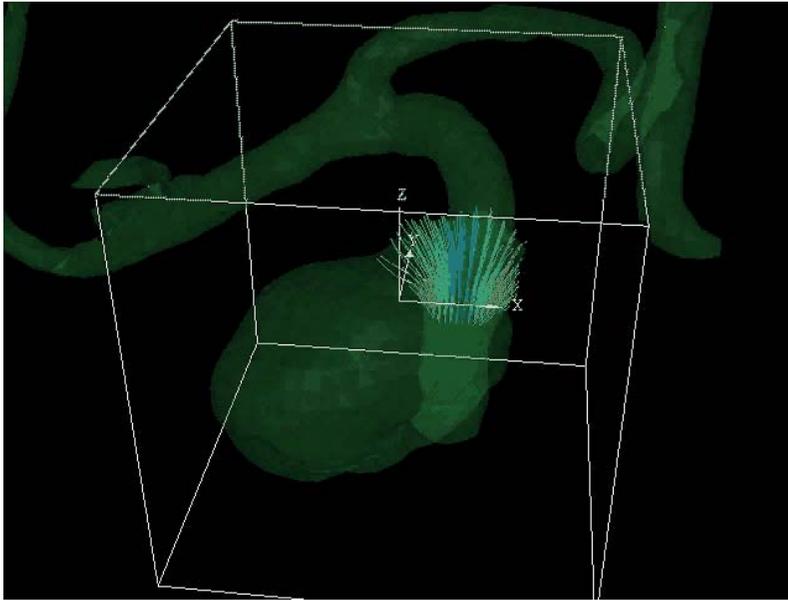


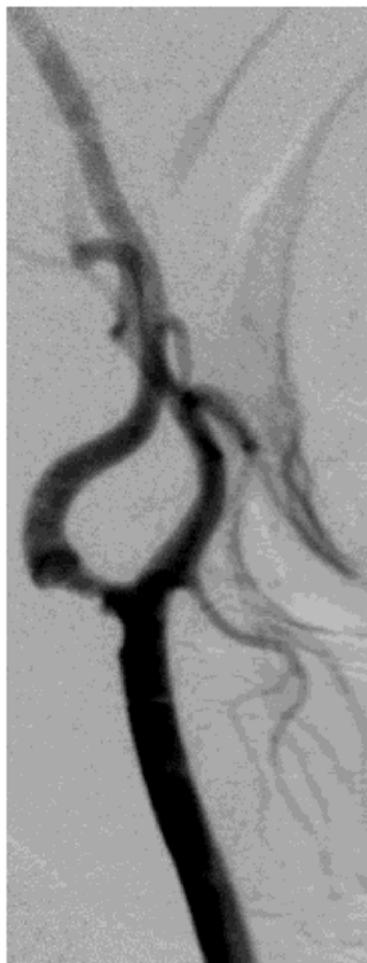
2008/1/15



東京大学メカノバイオ

脳動脈瘤と血流



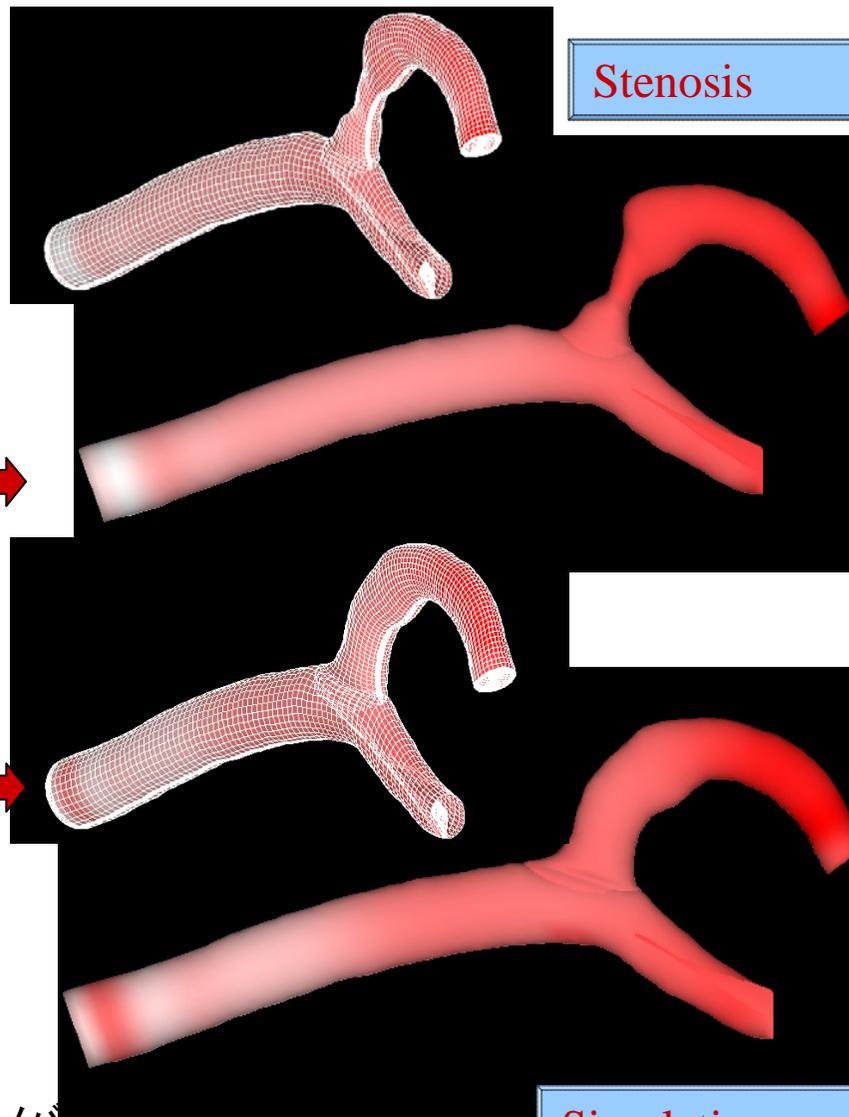


2008/1/15

Raw X-ray image



Segmentation

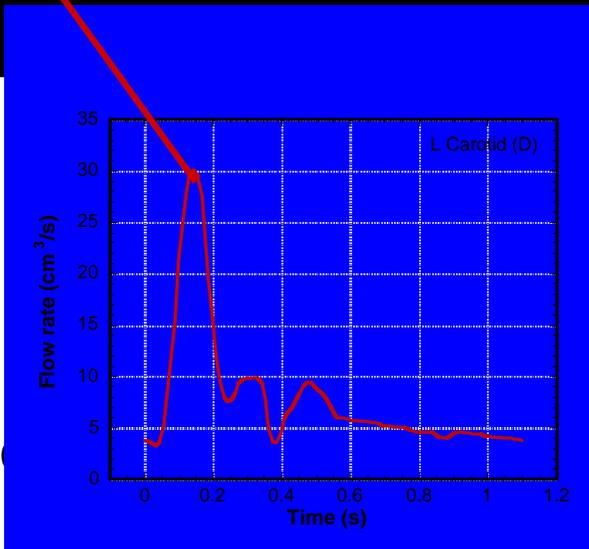
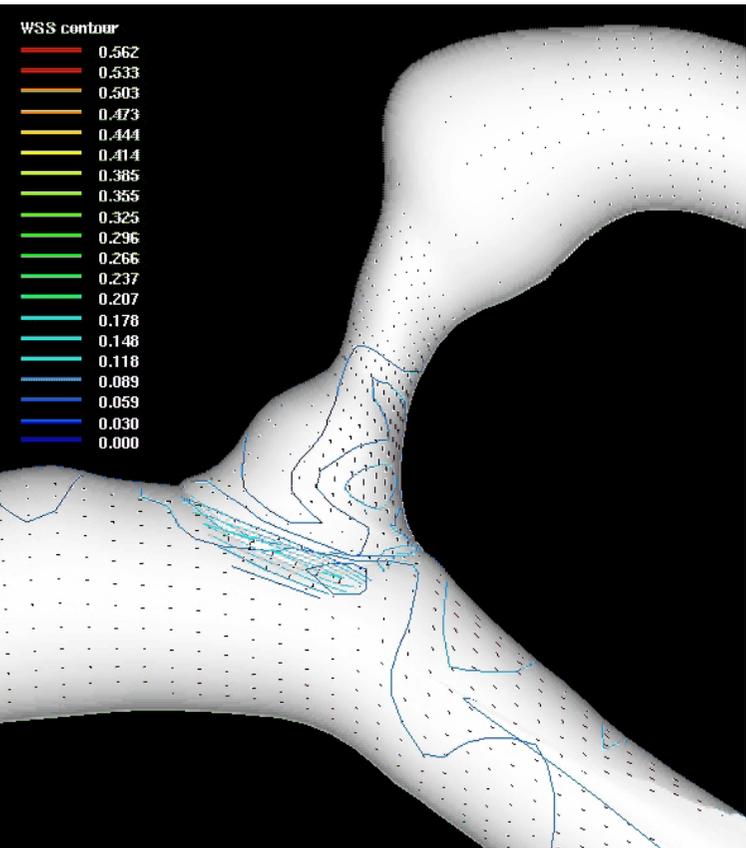
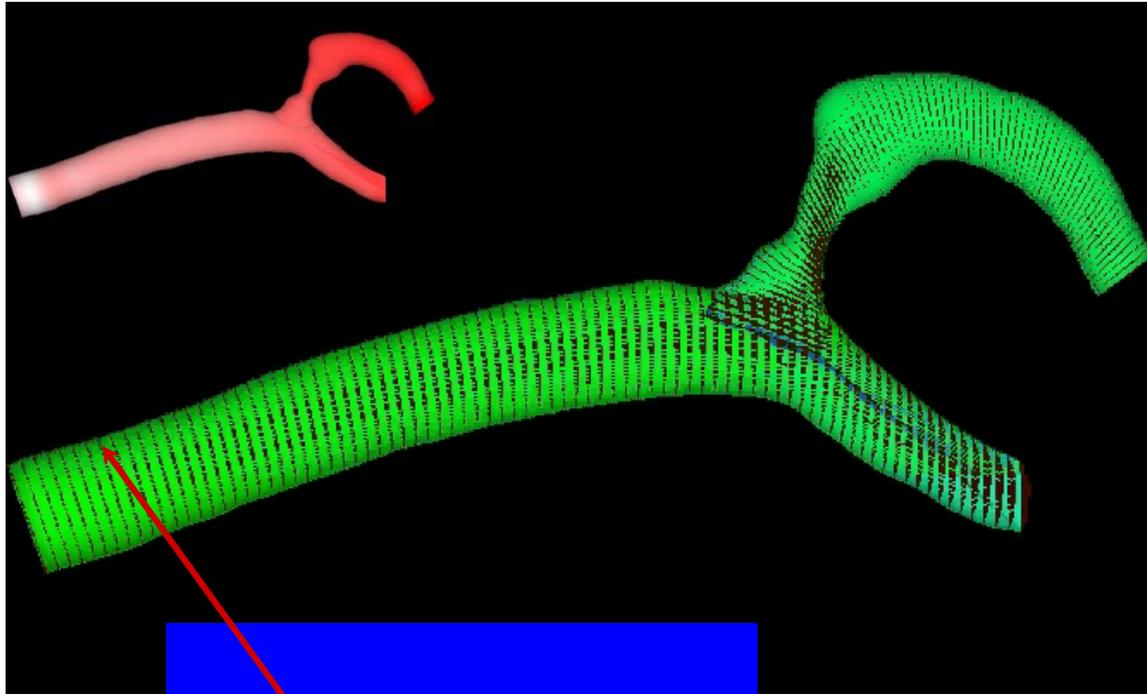


Stenosis

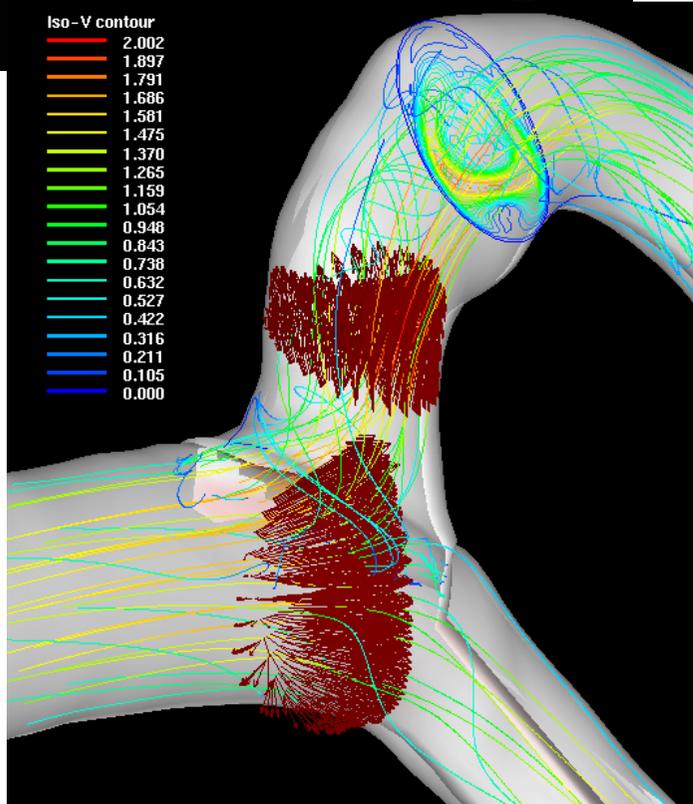
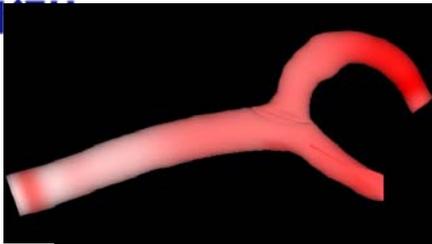
Simulation

Flow and WSS distribution in the stenosis model

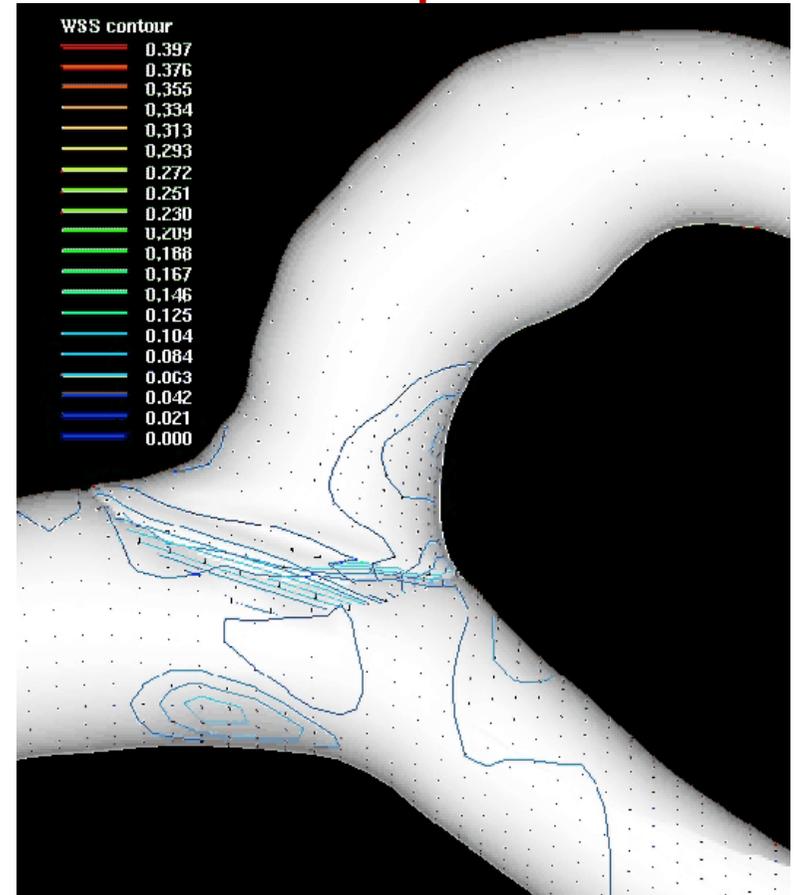
$Q_{\text{peak}} = 80 \text{ cm}^3/\text{s}$
 $D = 0.8 \text{ cm}$
 $Re_{\text{max}} = 1000$
 $St = 0.012$
 Womersley number=8.1



Flow and WSS distribution in the modified model



WSS: 30% down



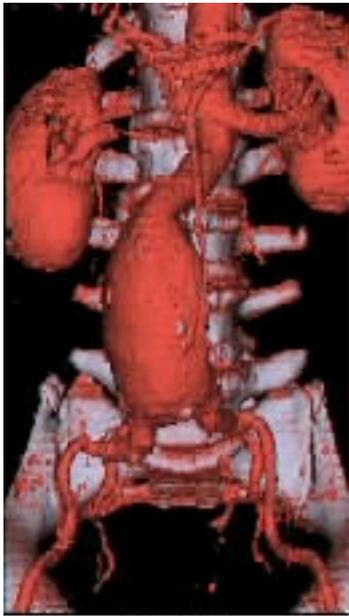
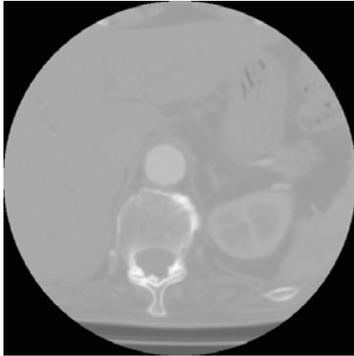
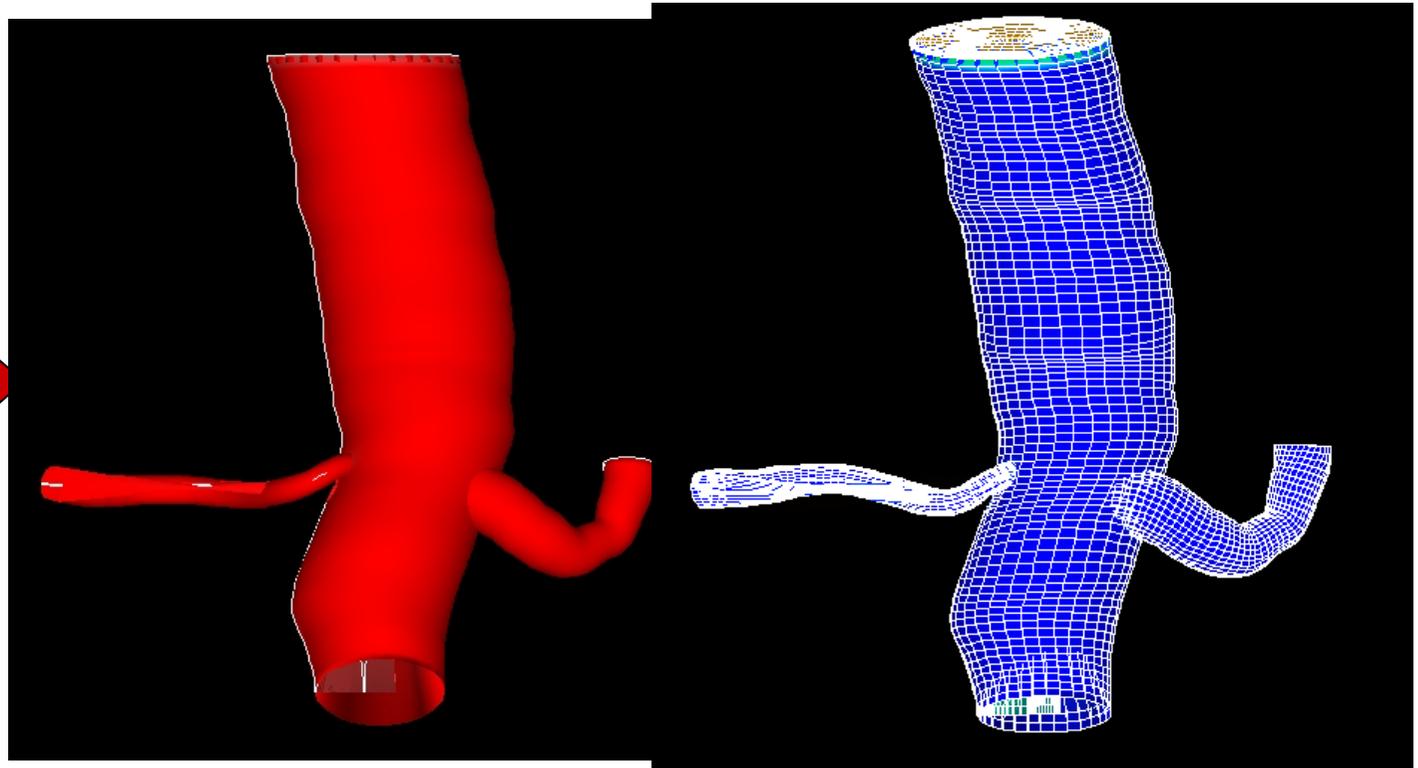
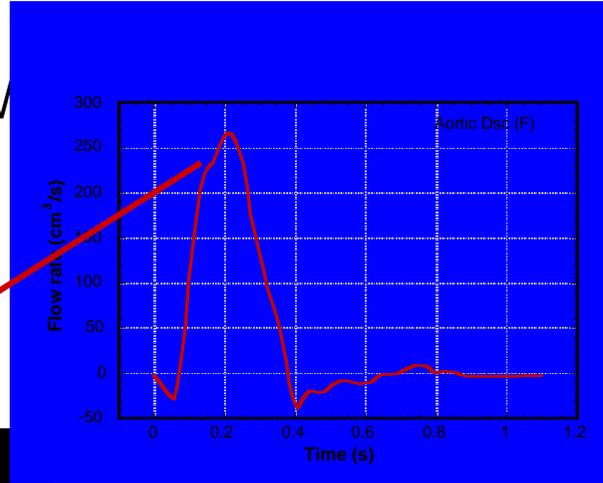
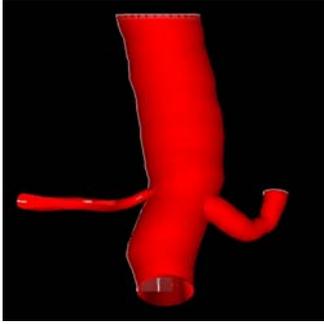


Fig.4 (A)

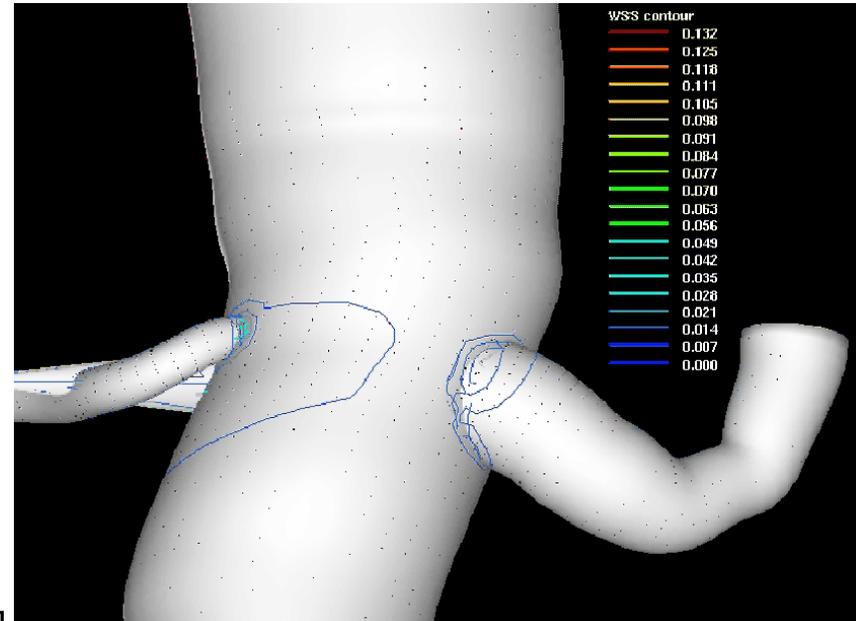
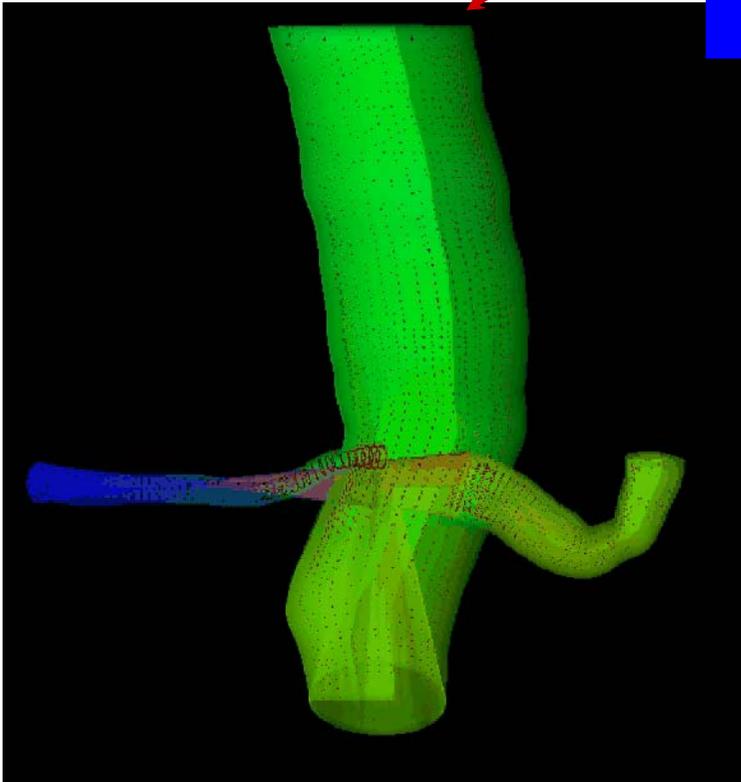


Raw CT-images &
Volume-rendered model

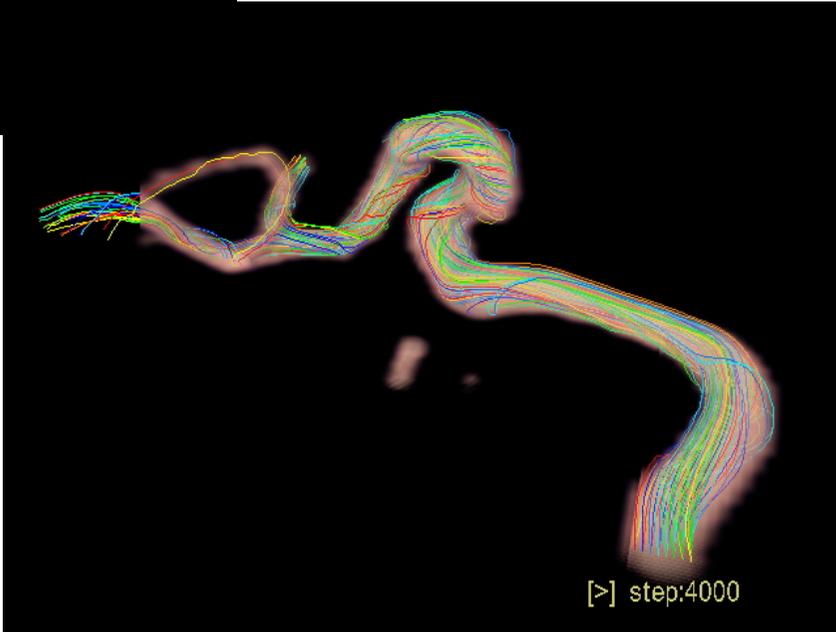
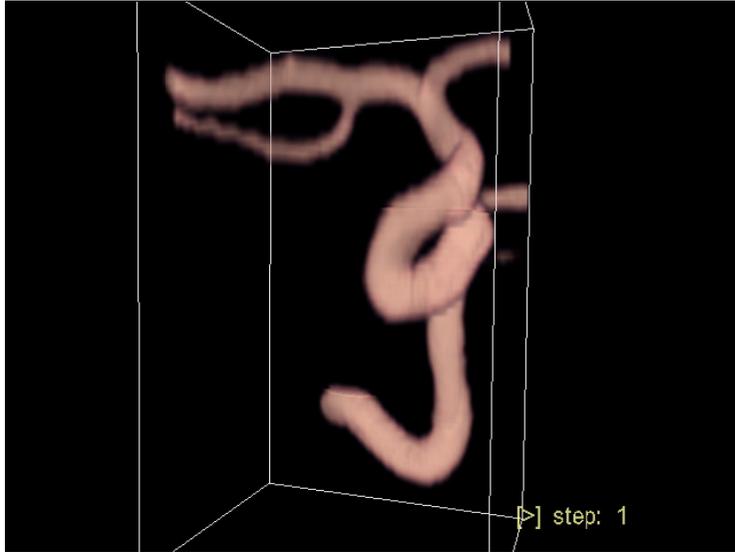
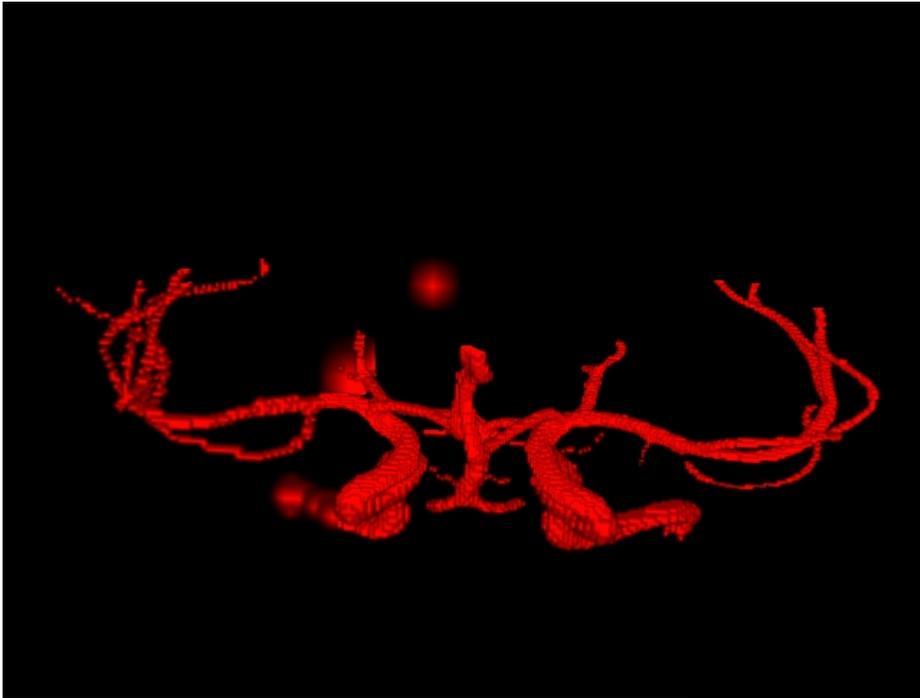
Flow and W



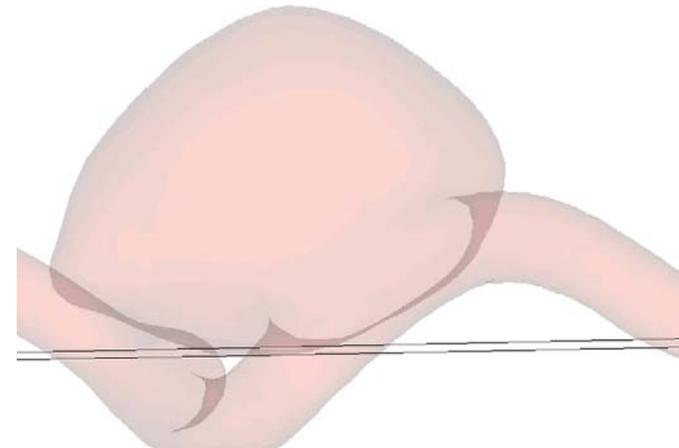
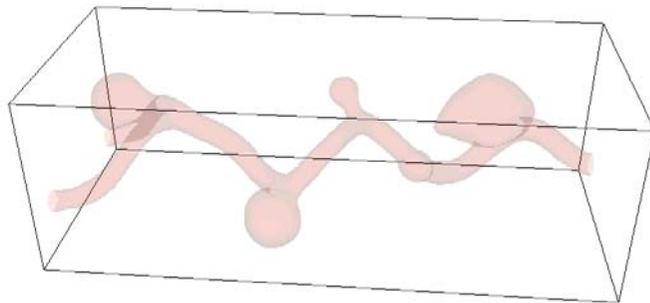
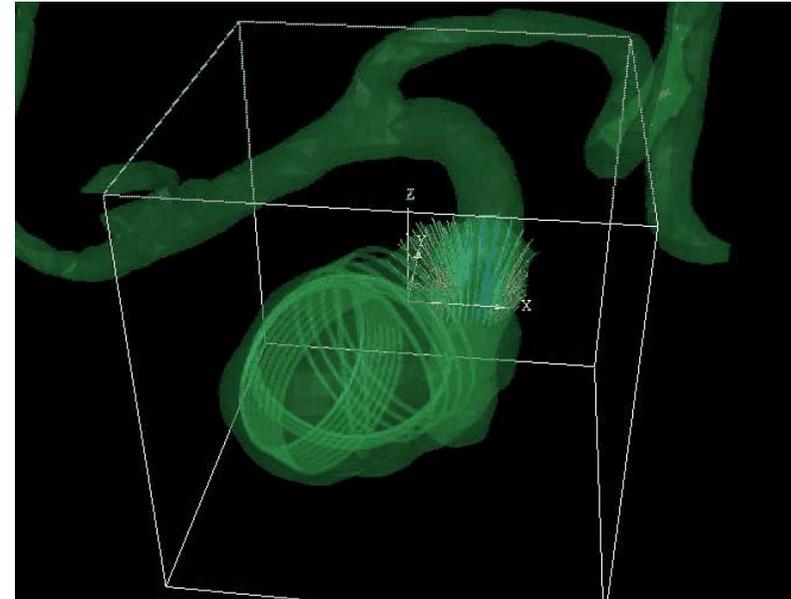
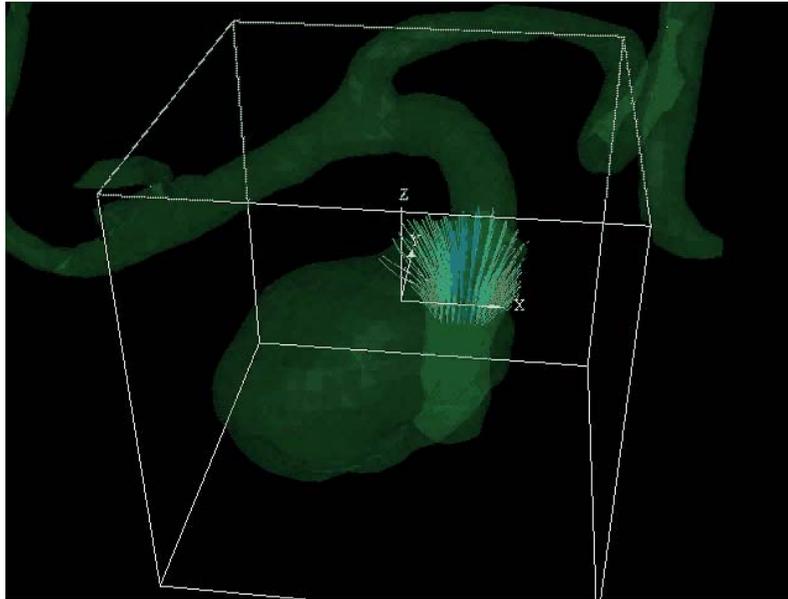
$Q_{\text{peak}} = 130 \text{ cm}^3/\text{s}$
 $D = 1.2 \text{ cm}$
 $Re_{\text{max}} = 2500$
 $St = 0.018$
 Womersley number=13.1



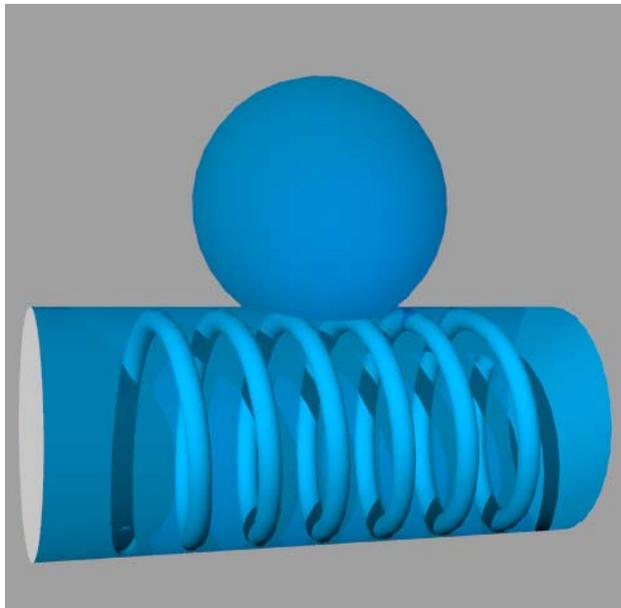
Cerebral Arteries



Simulation of actual aneurysm



Operation instruments

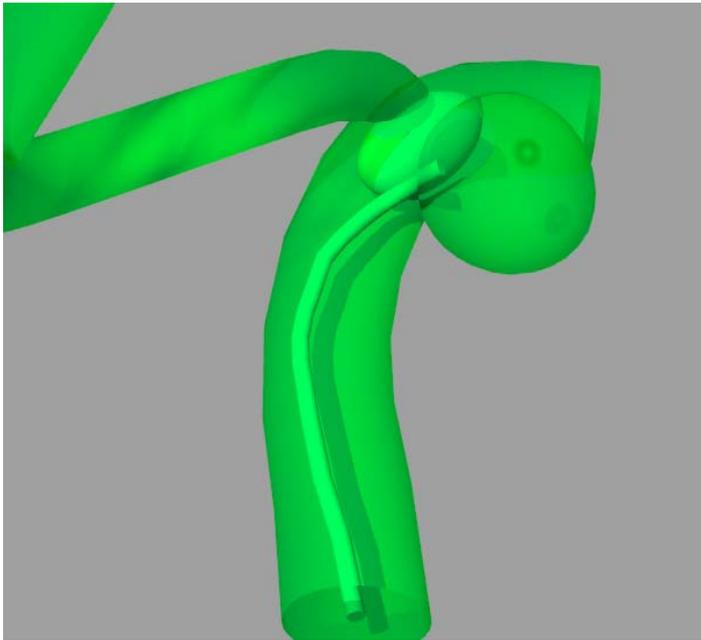


Stent

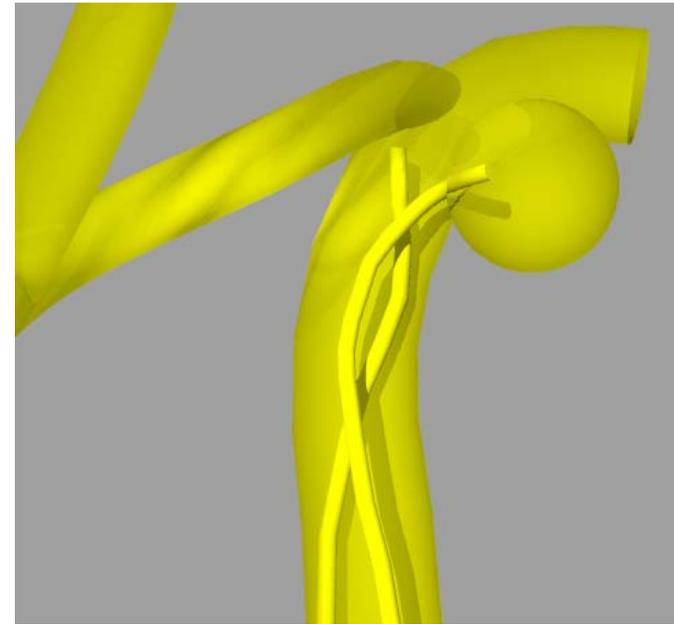


Coil

Operation instruments (2)



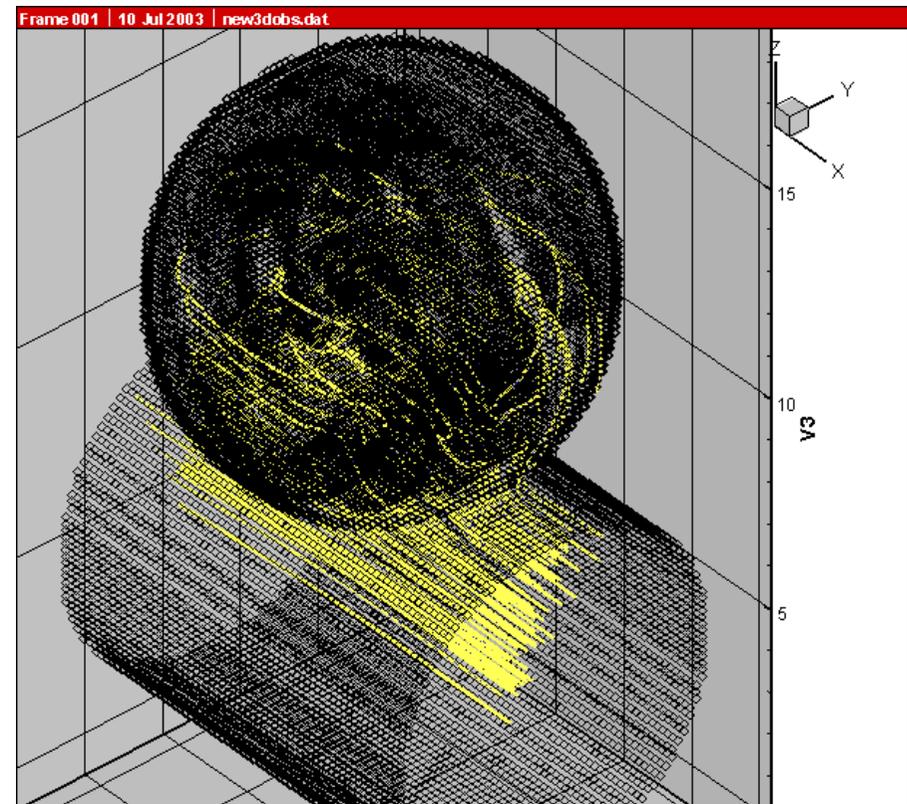
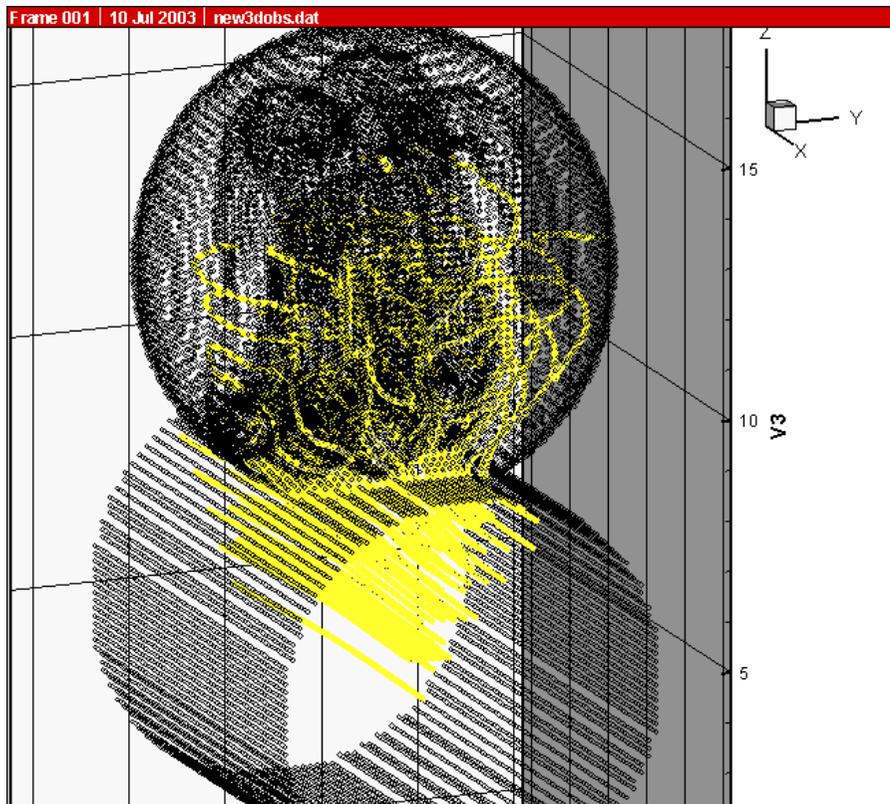
Catheter and Balloon



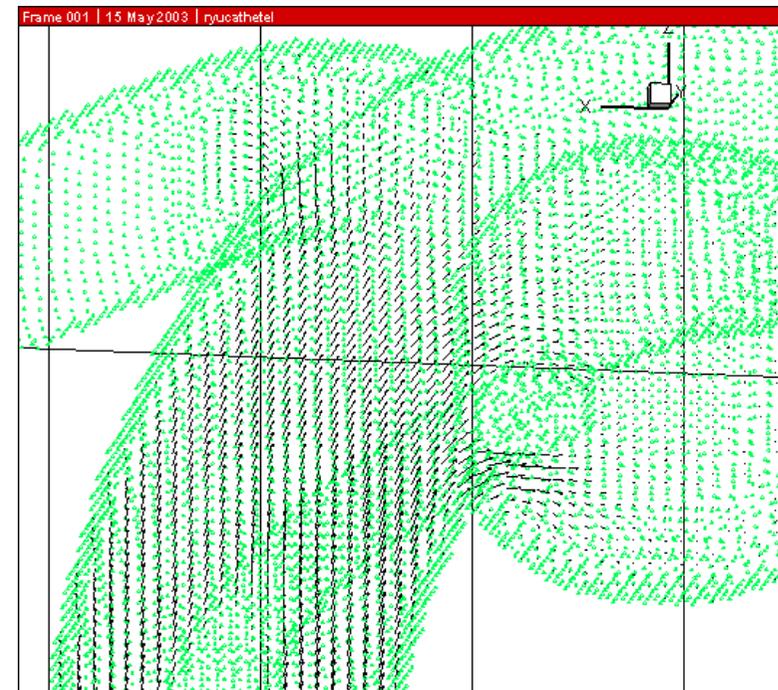
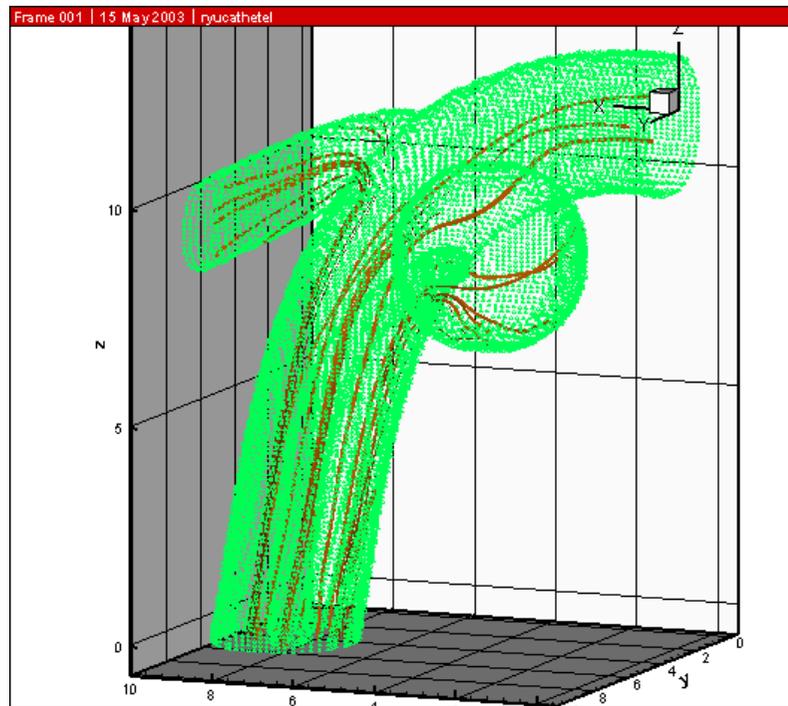
Double Catheter

Results

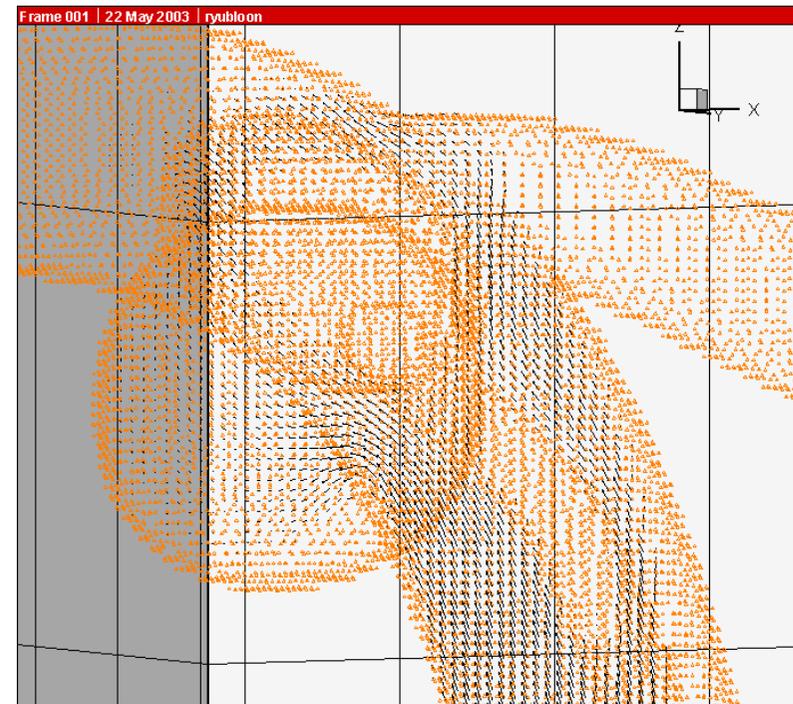
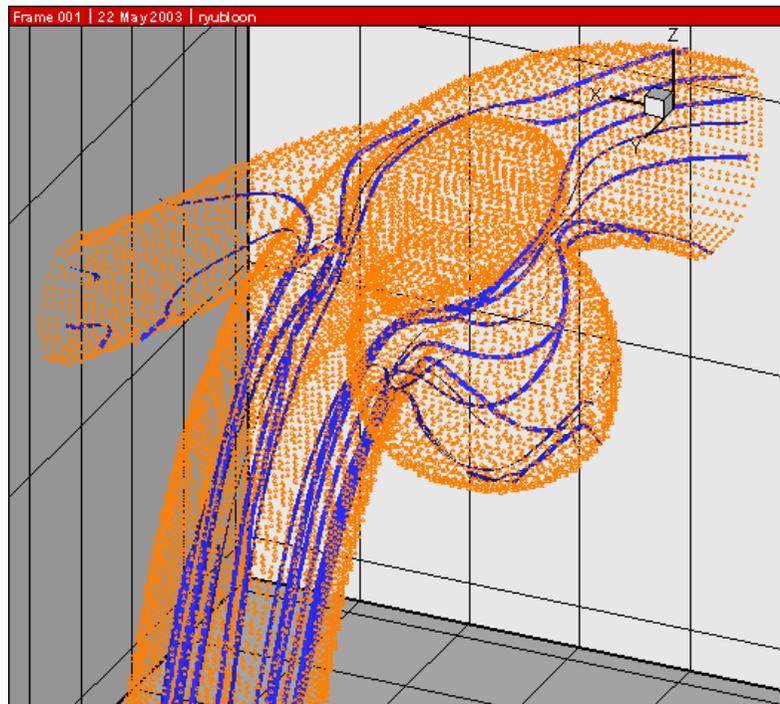
Coil



Catheter



Balloon and Catheter



カテーテルシミュレータ



手術風景



シミュレータ入力部

(2) 器官の損傷治療チームの成果

当初：牧野内主任研究員がチームリーダー

- 眼球モデル
 - － 網膜剥離手術、眼底映像利用
- 骨モデル(神戸大・東北大との共同研究)



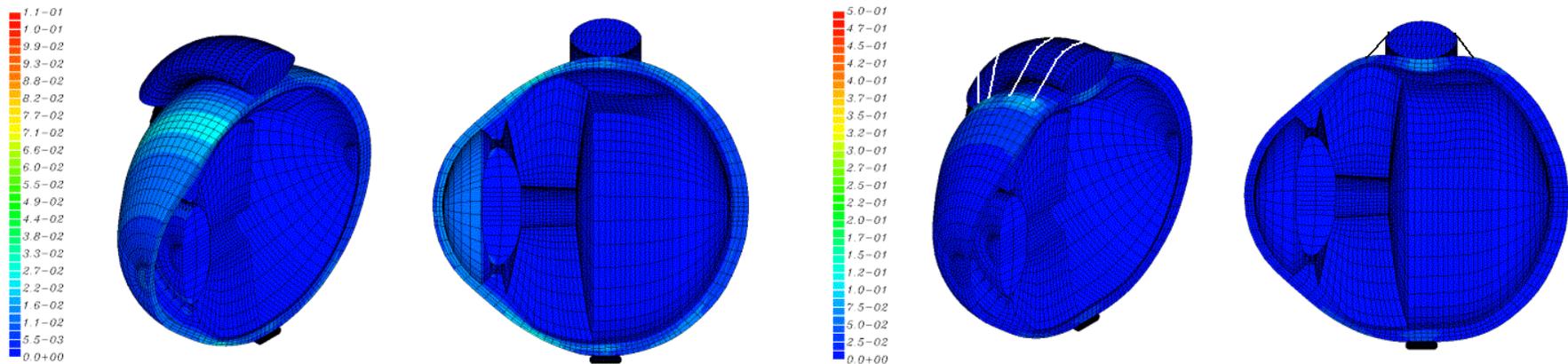
RIKEN(2)器官の損傷治療チームの成果

当初: 牧野内主任研究員がチームリーダー

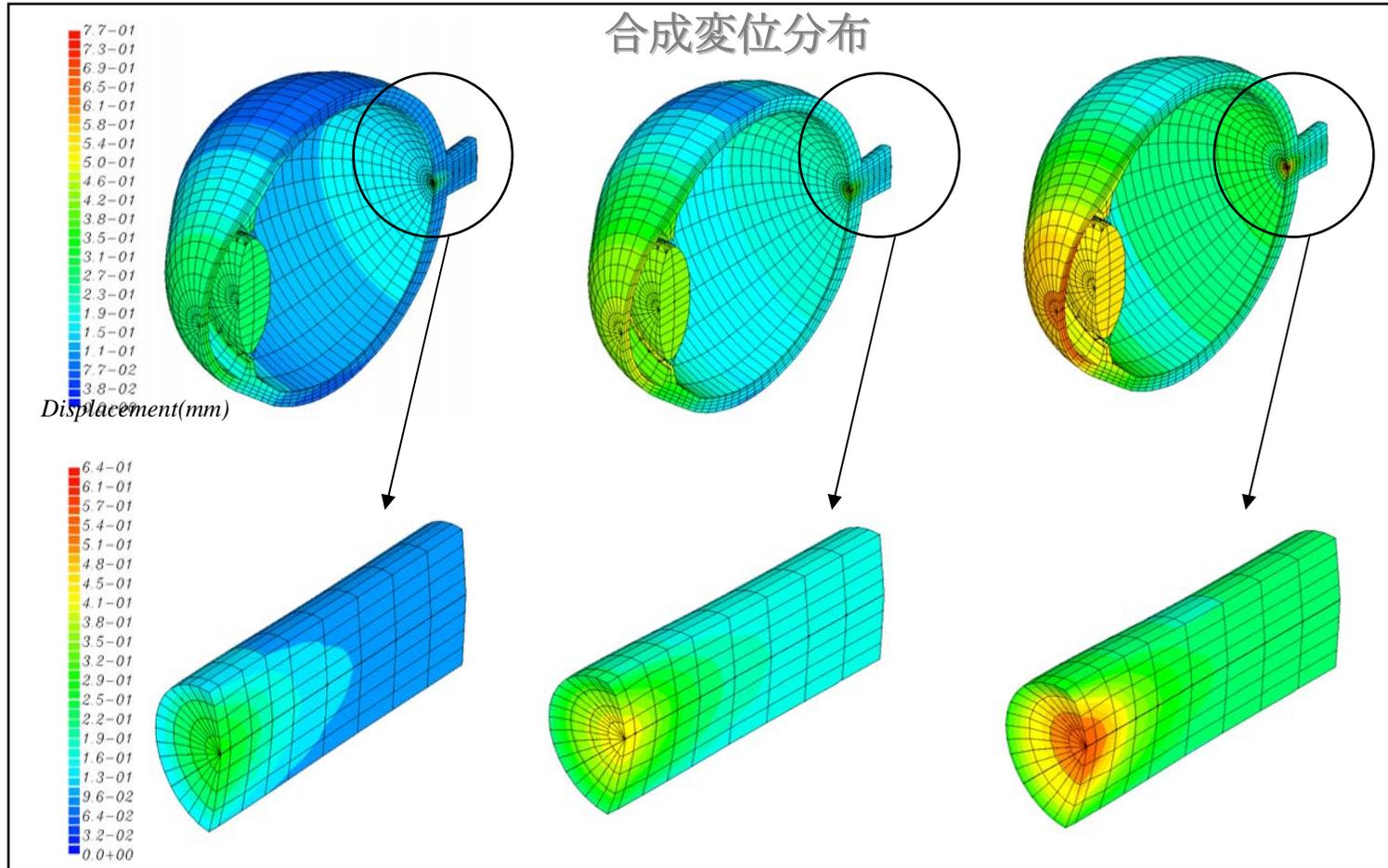
- 眼球のシミュレーション(東邦大学との共同研究)
- 骨のシミュレーション(神戸大学・東北大学との共同研究)

眼球のシミュレーション

- 網膜剥離手術のシミュレーション



緑内障のシミュレーション

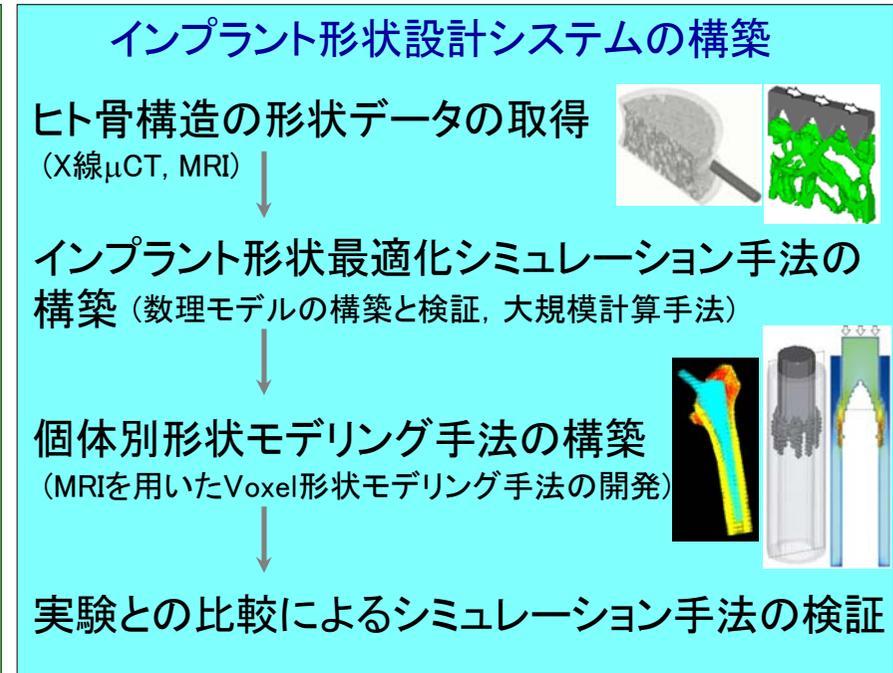
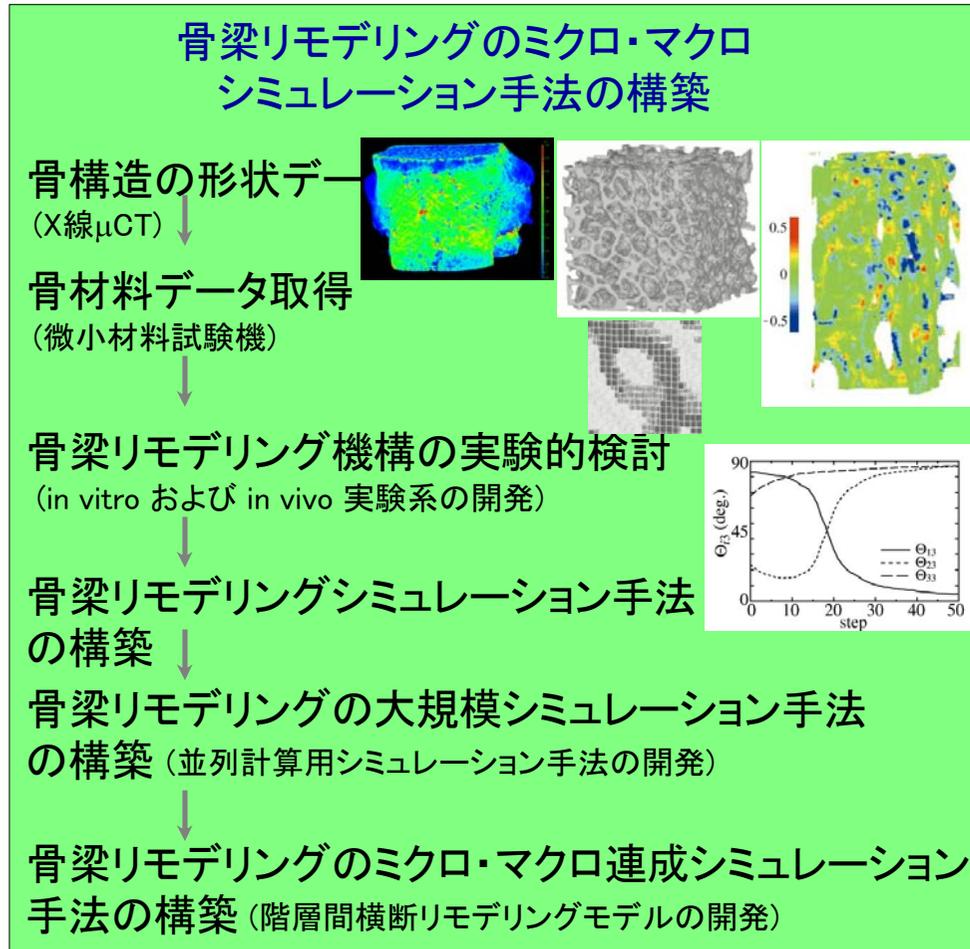


2008/1/15

眼圧15.0mmHg

東京大学メカノバイオ
眼圧22.5mmHg

眼圧30.0mmHg



インプラント形状設計システムの臨床応用

Image-based modeling: example for rat vertebra

- 201 Slices
- 480×480 pixels
- 32mm/pixel

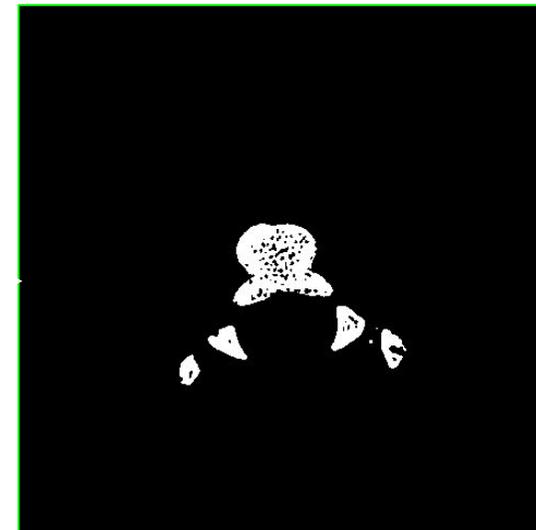
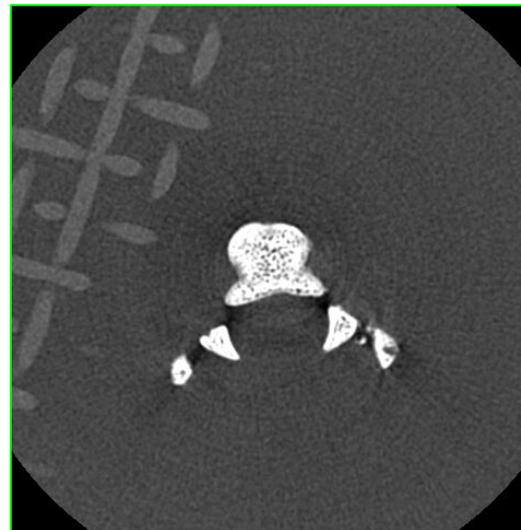
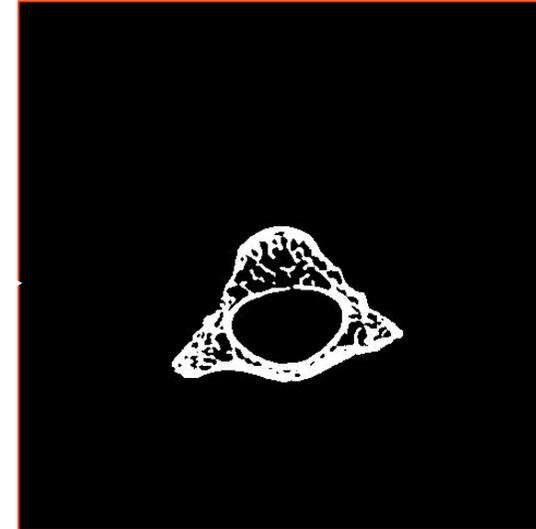
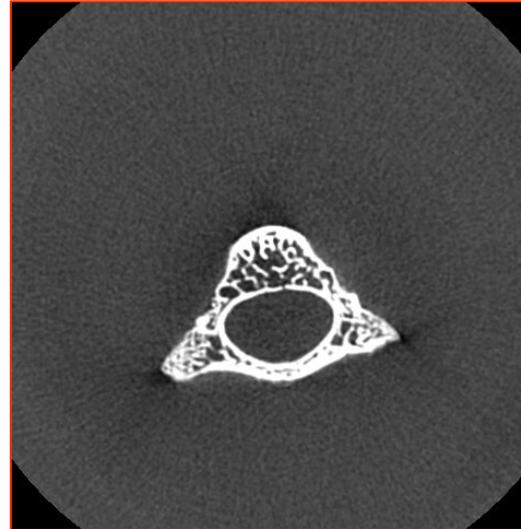
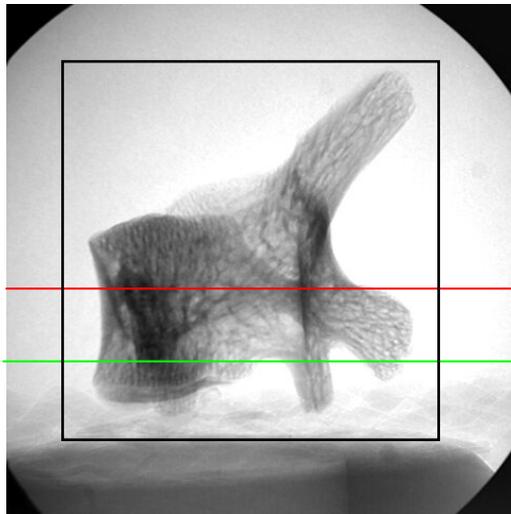
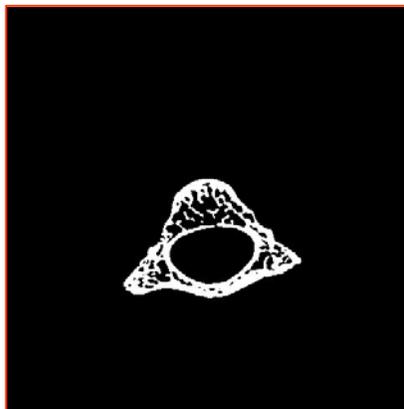




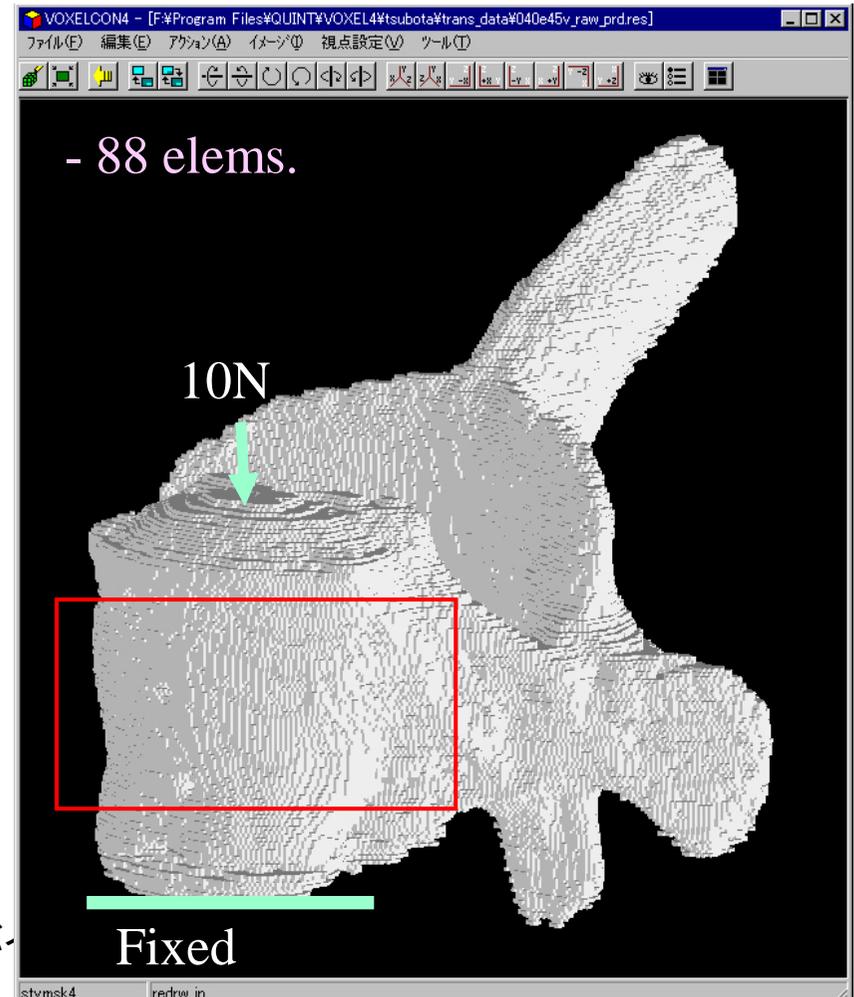
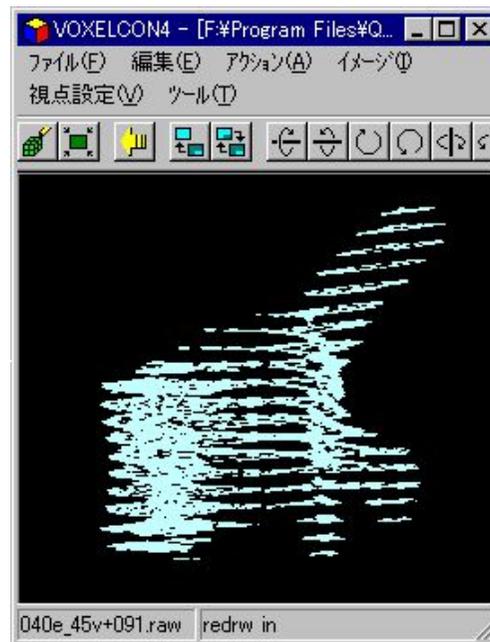
Image-based modeling: example for rat vertebra (cont.)

If you use VOXELCON (Quint corp.),

- (1) Read sequential image data
- (2) Create voxel elements for FEM (automatically...)
- (3) Create B.C. (manually...)



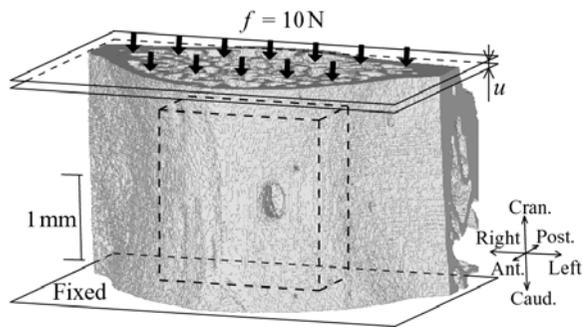
2008/1/15



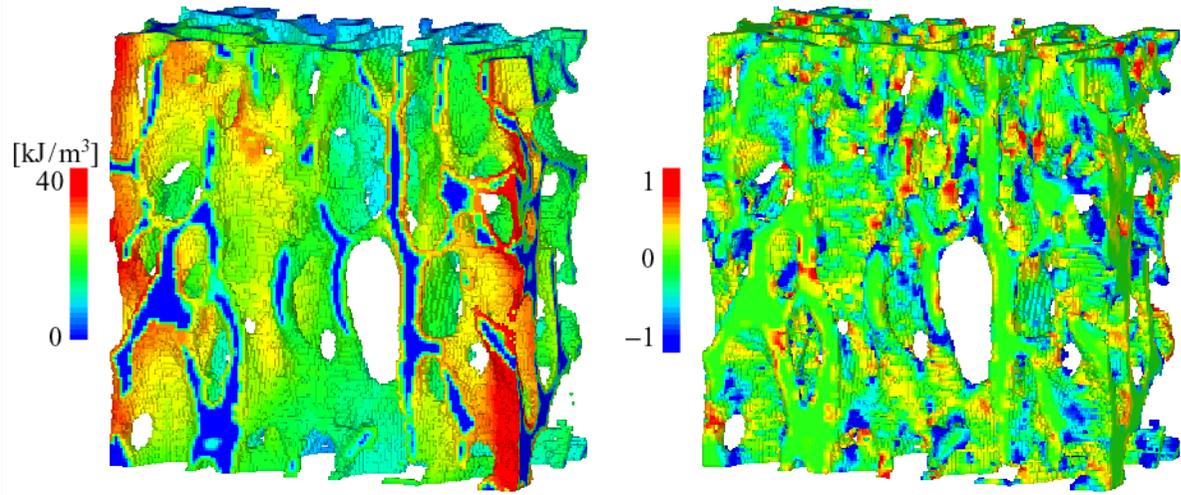
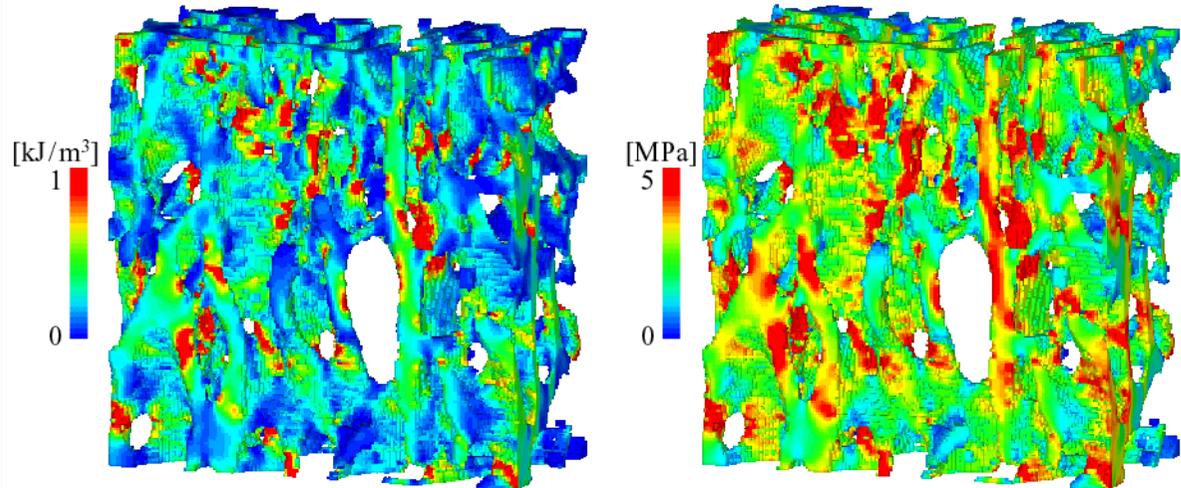
ノバ



Distribution of mechanical quantities in rat vertebra predicted by image-based FE analysis



- 4.5 million elems.
- 12.8 $\mu\text{m}/\text{voxel}$



SED integration

Stress nonuniformity

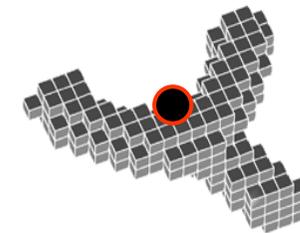
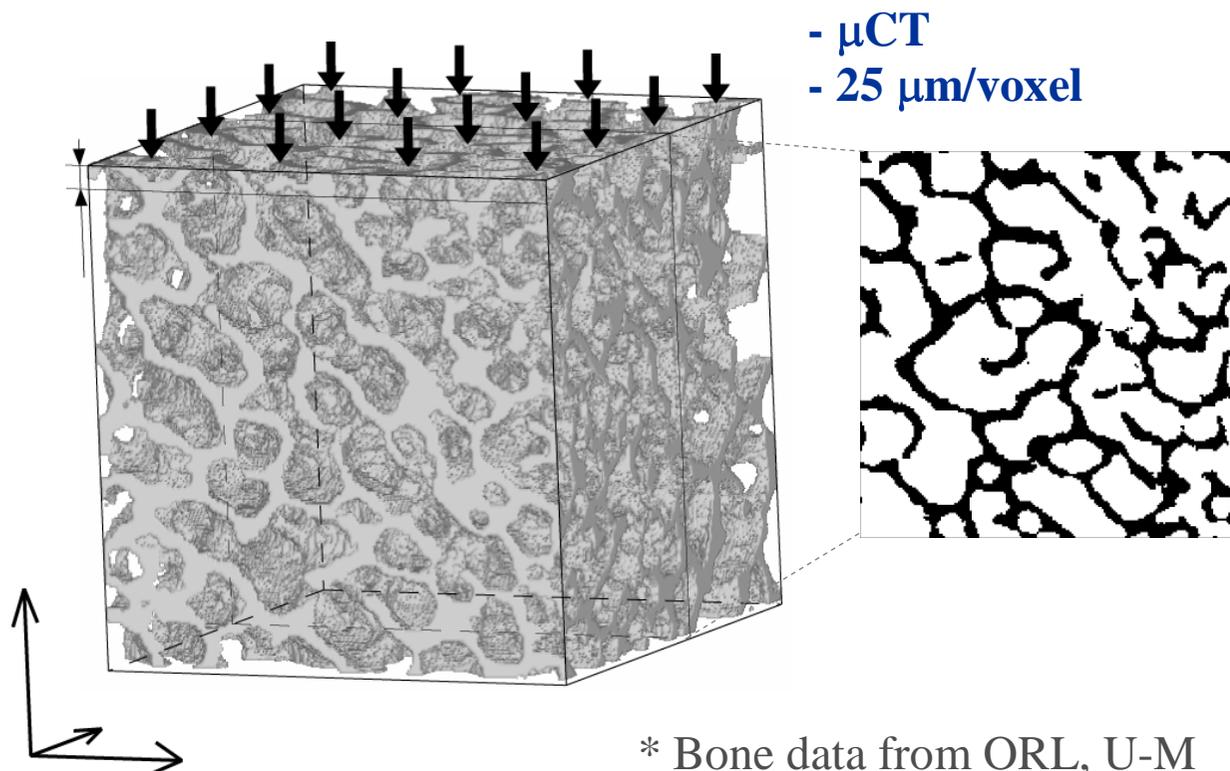
Computational biomechanics for bone remodeling

- **Understanding mechanical bone remodeling**
 - **Complicated three-dimensional structure**
 - **Mechanical environment of trabeculae**
 - **Morphological change of trabeculae**
- **Application of the simulation method**
 - **Medical image data**
 - **Individual comp. modeling**
 - **Evaluation and design of bone-implant**

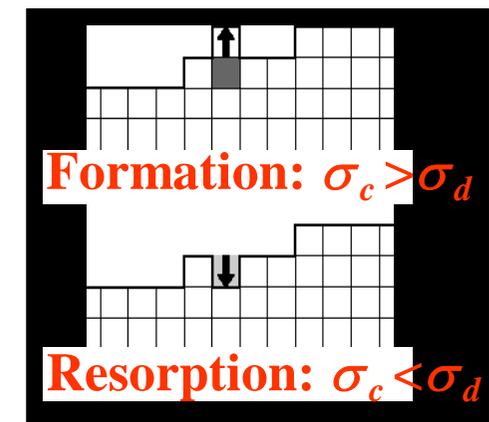


Microstructural changes under compressive loading

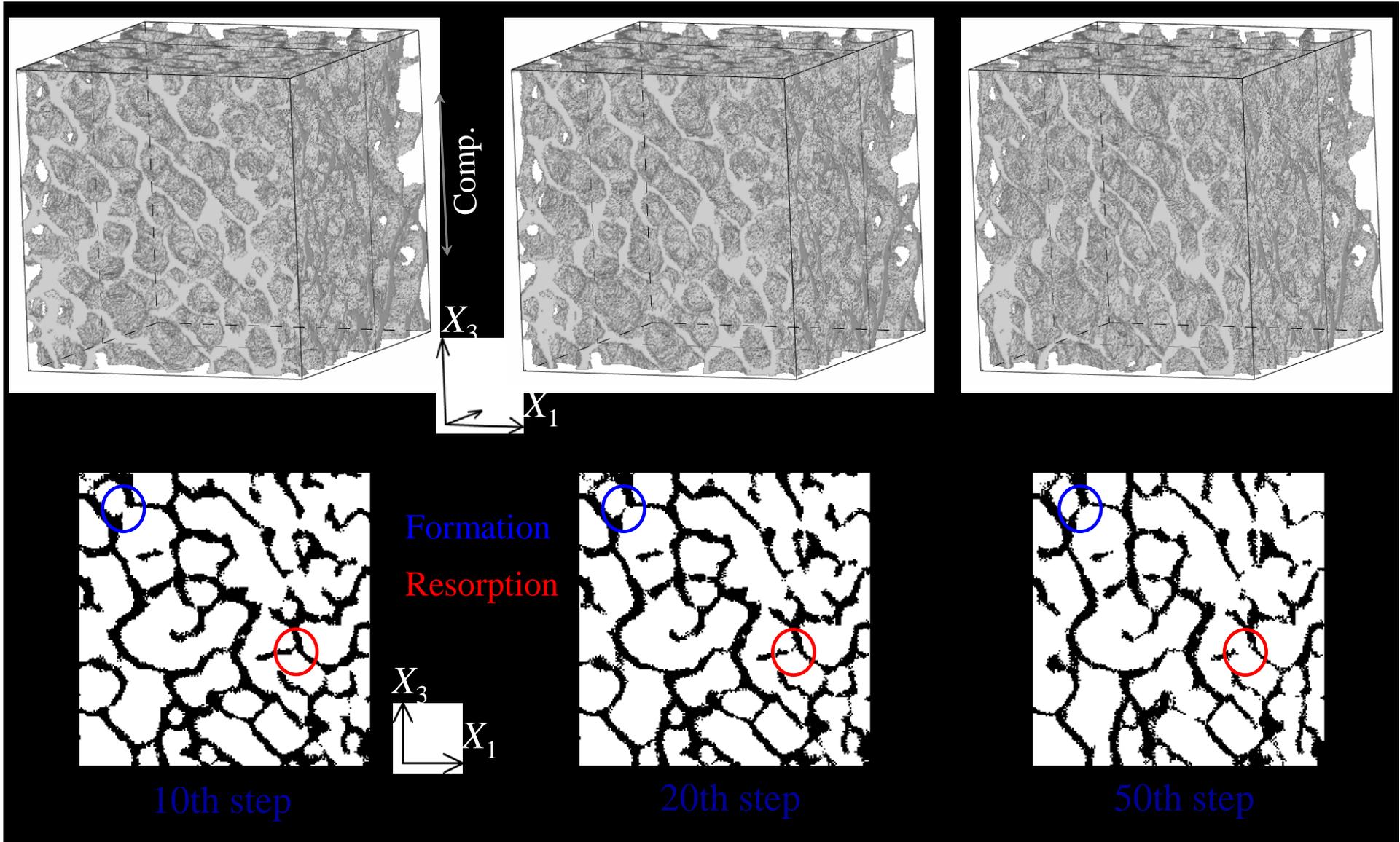
- Canine distal femur under compressive loading (Guldborg97)
- Local stress nonuniformity as a mechanical stimulus



σ_c : Stress at point c
 σ_d : Representative stress around c



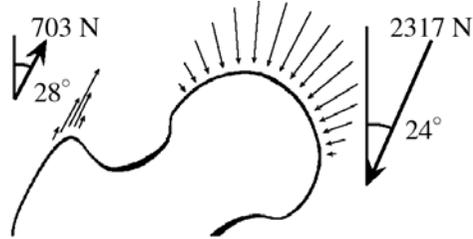
Microstructural changes under compressive loading



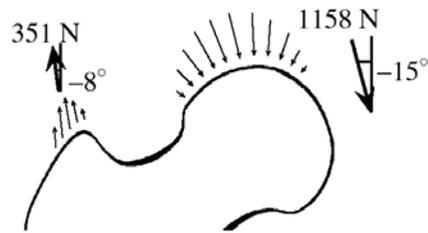


Trabecular surface remodeling for proximal femur

(1) One-legged stance: 6000/day



(2) Abduction: 2000/day



(3) Adduction: 2000/day

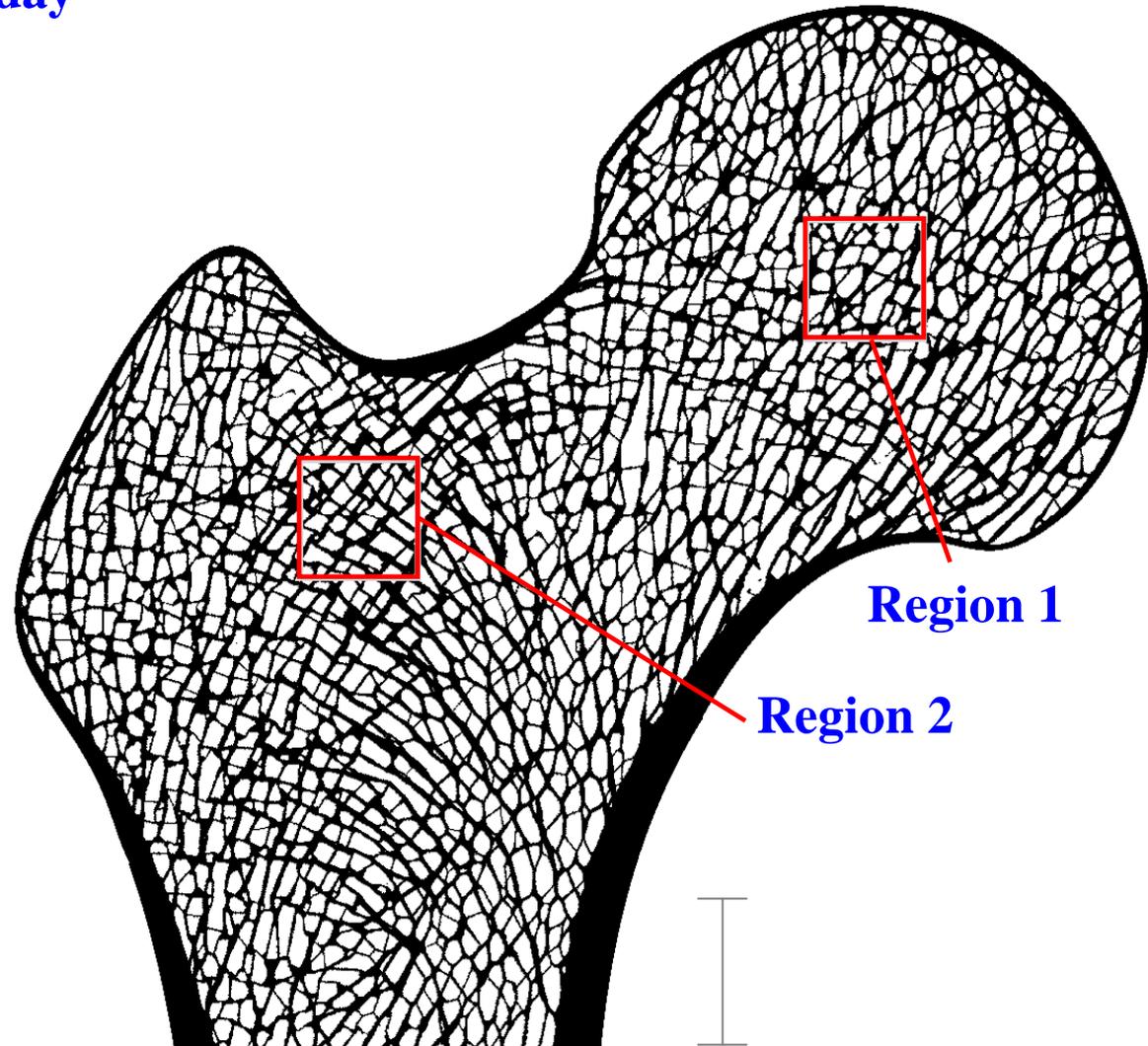
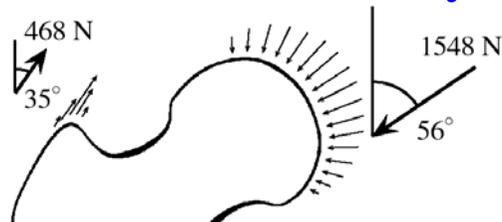
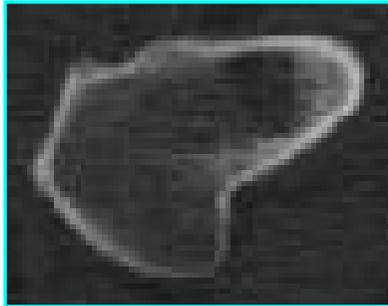


Image-based model of human proximal femur

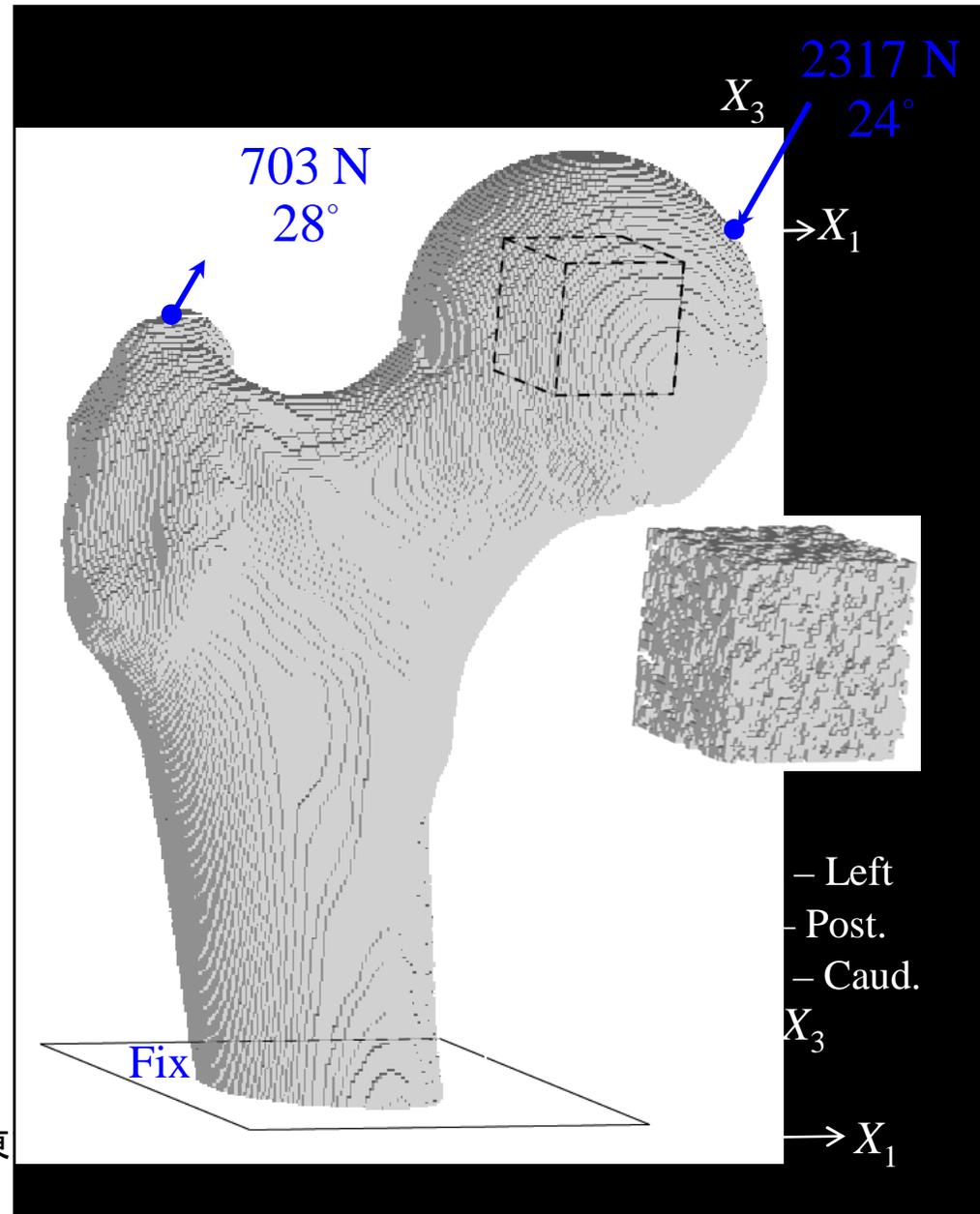
- CT image data



(Research systems inc.)

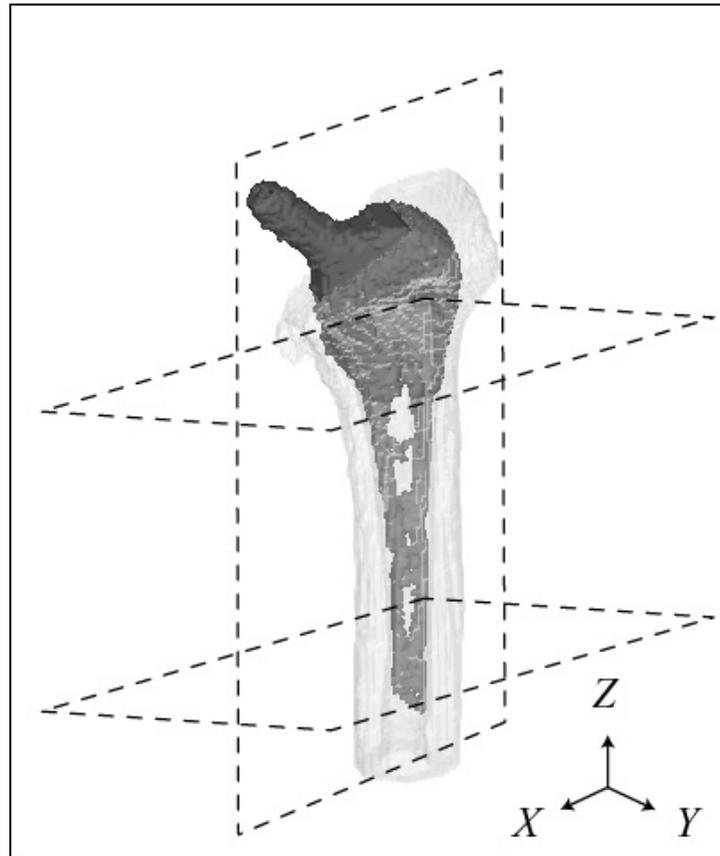
- One million voxels
- 250 $\mu\text{m}/\text{voxel}$
- Isotropic structure
- Volume fraction of cancellous bone: 0.51

2008/1/15

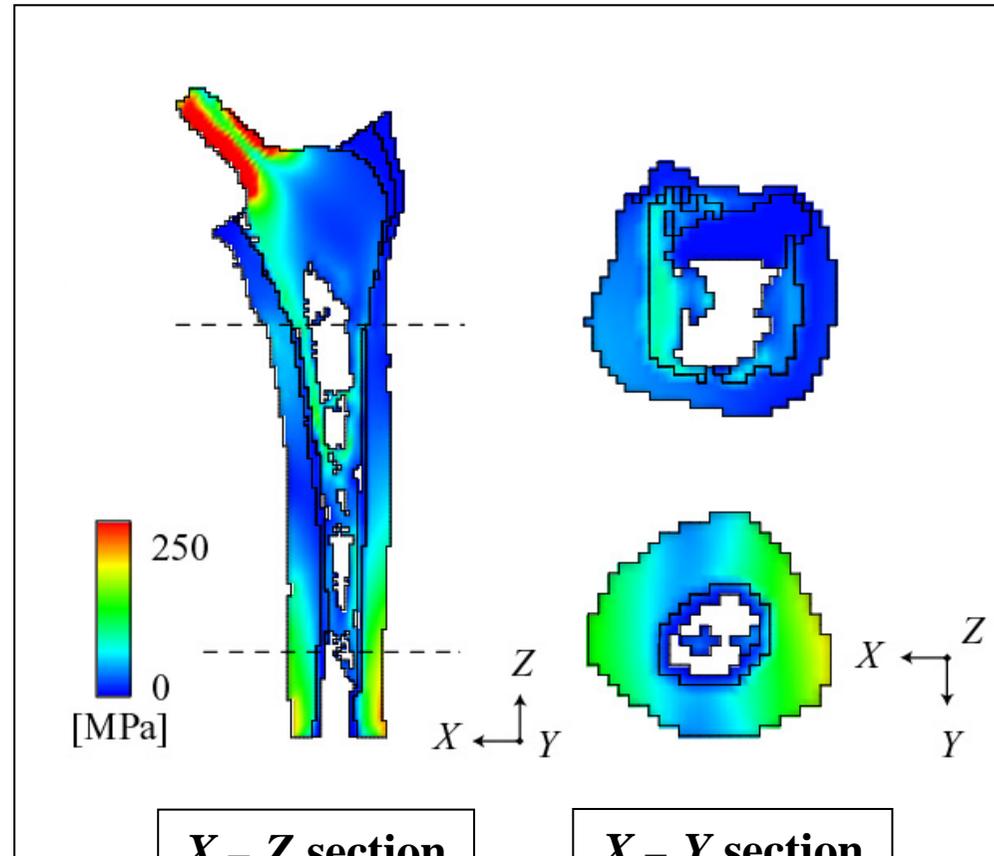


骨のインプラントシミュレーション

Case L1 : L2 : L3 = 3 : 1 : 1



Stem Shape



X - Z section

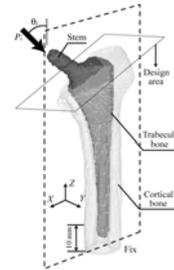
X - Y section

Equivalent Stress

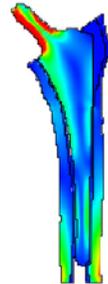
Computational design system for bone implant

**Individual modeling
of bone and implant**

Medical image, 3D CAD data



**Evaluation
of implant**



* IPA: Information-technology Promotion Agency, Japan

**Choice of the
implant type**

**Design of
stem shape**



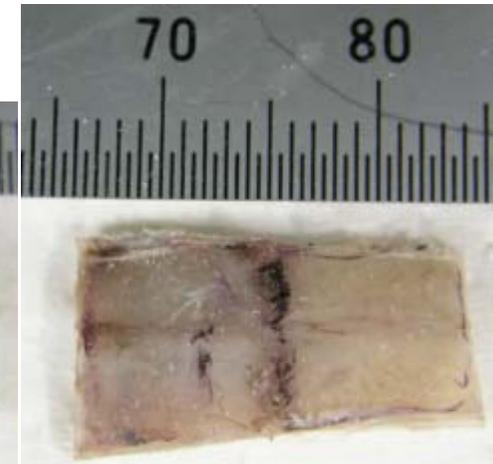
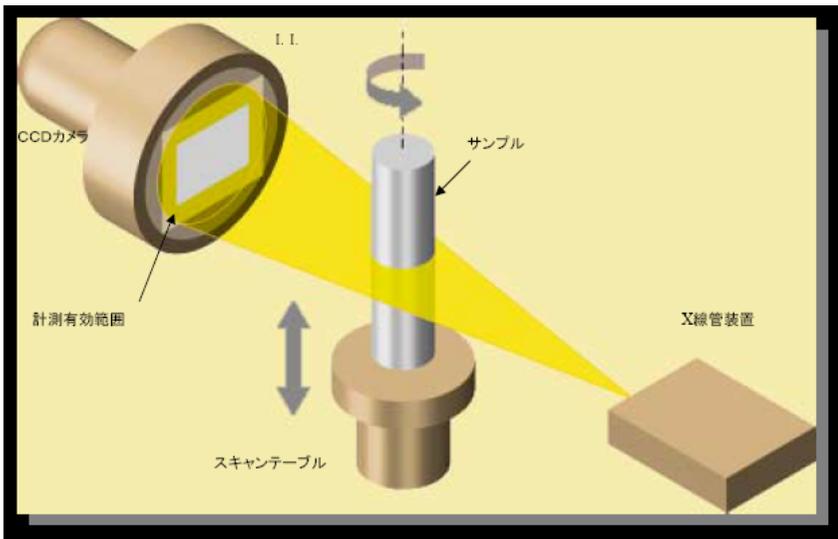
**Manufacturing directly
from image-based model**



マイクロCTによる骨梁の計測



- コーンビームX線マイクロCT
HITACHI MCT-CB100MF
- 1回転でボリュームデータを収集
- 撮影時間5分程度(1ボリューム)
- 拡大・縮小観察が可能
- 最小分解能16 μm



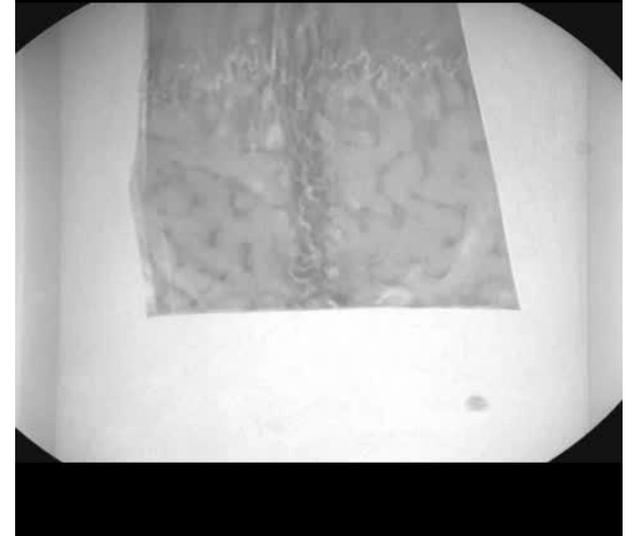
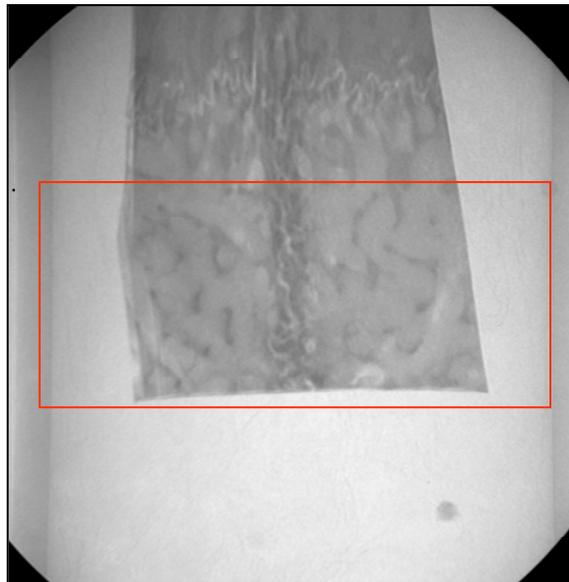
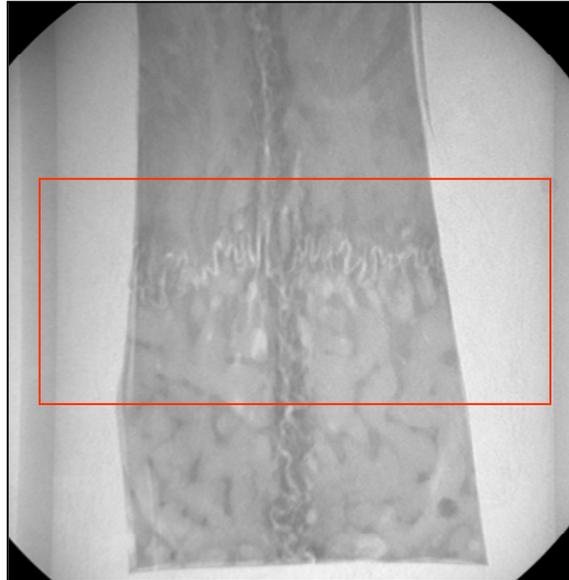
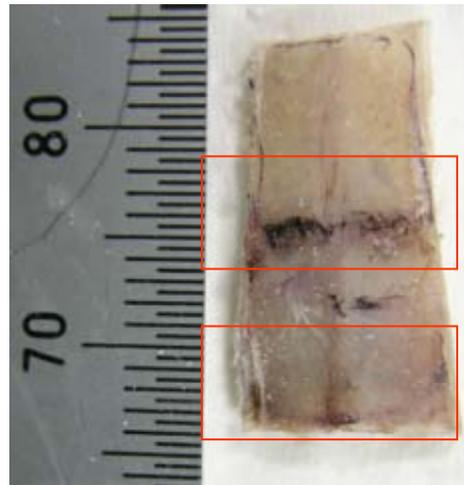
内側
観察試料(家兔頭骨:頭頂部)

外側

2008/1/15

東京大学メカノバイオ

観察結果

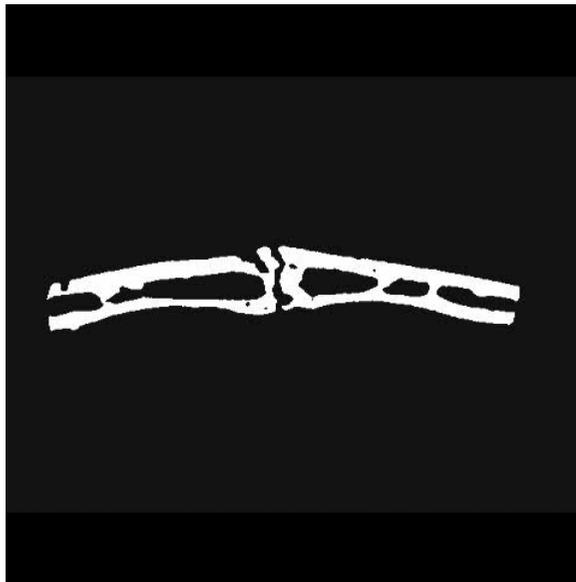
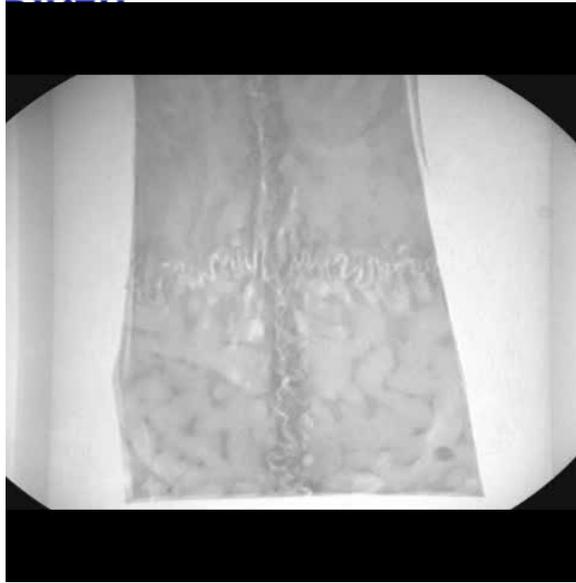


2008/1/15

東京大学メカノバイオ

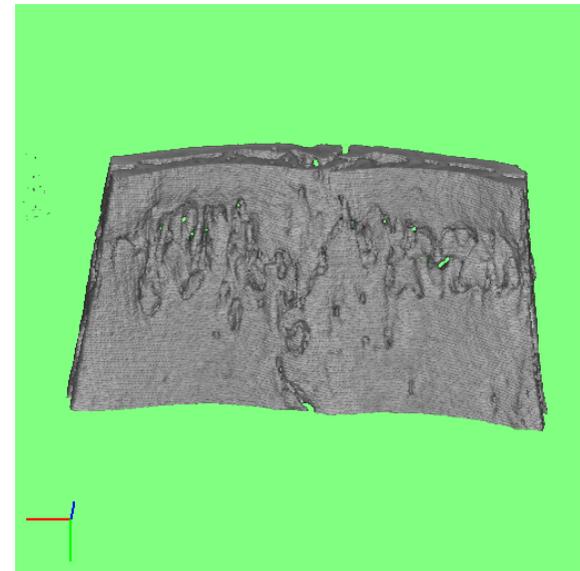
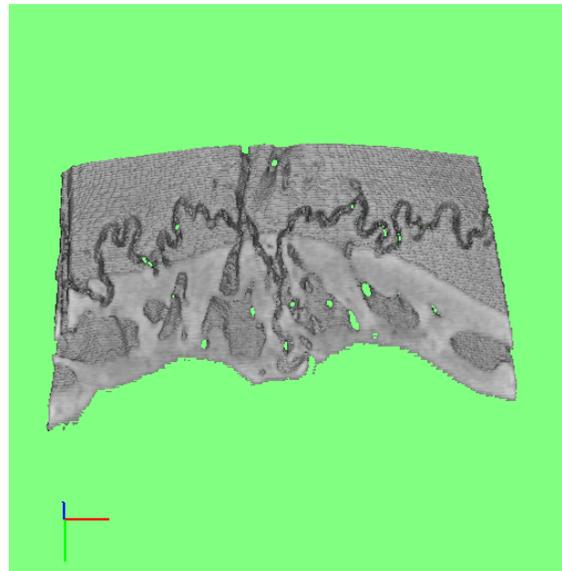
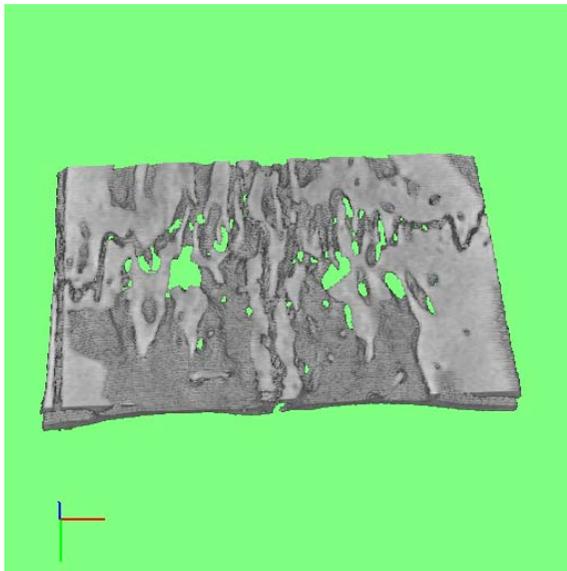
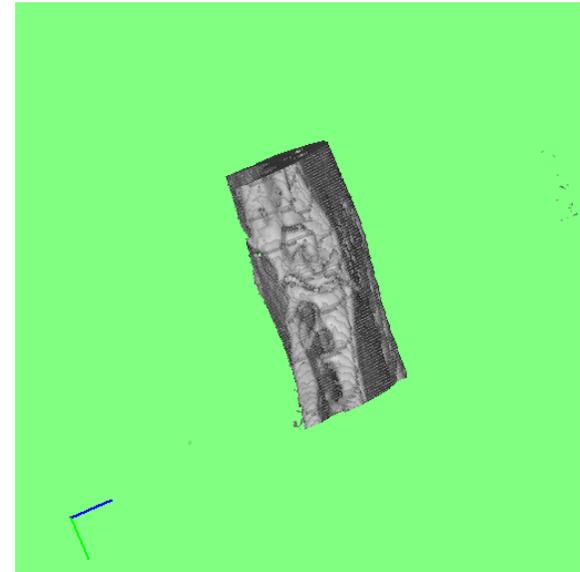
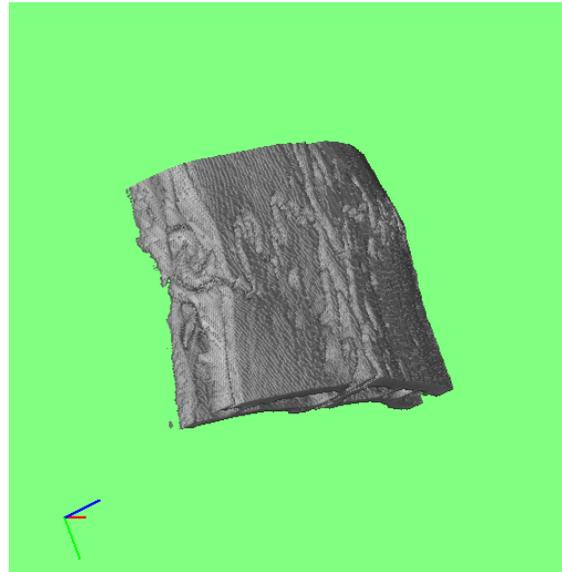
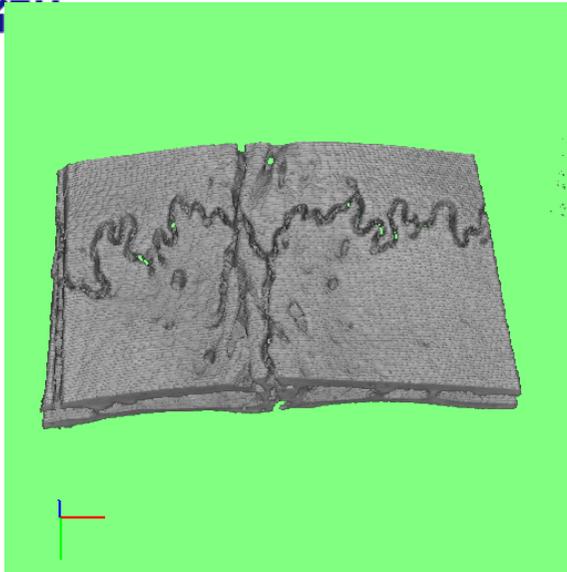


画像処理



- 断面画像から骨のみを抽出
- ファーストステップ: HSV抽出法
- セカンドステップ
 : 拡張リージョングロウイング
- フィルタリング等
- 等値面処理 (Marching Cubes)
- STLデータ変換

立体画像



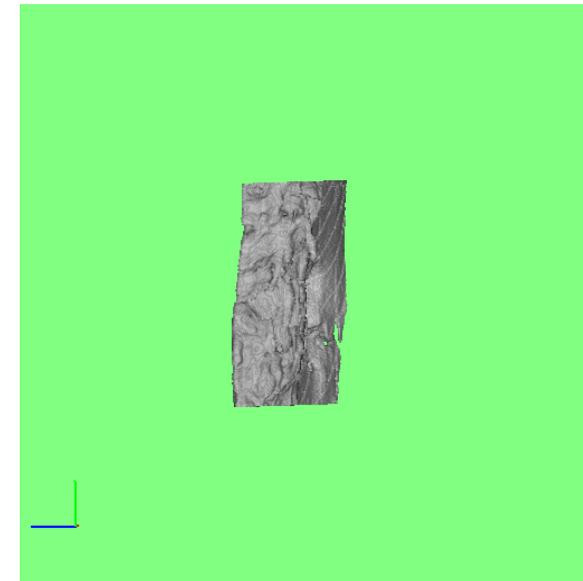
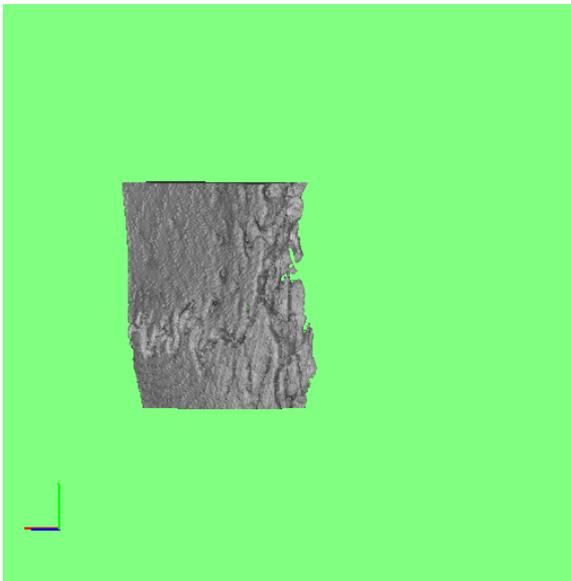
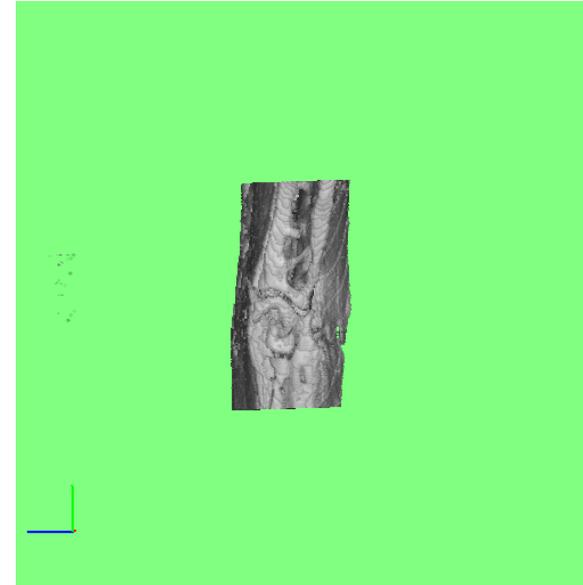
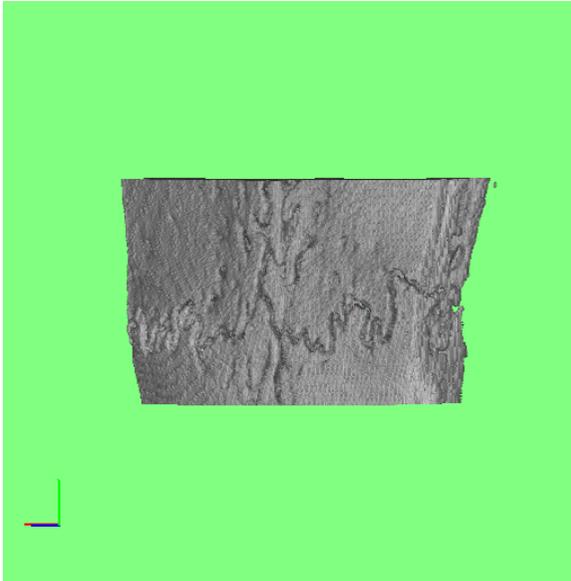
2008/1/15

東京大学メカノバイオ

画像処理(右側抽出)



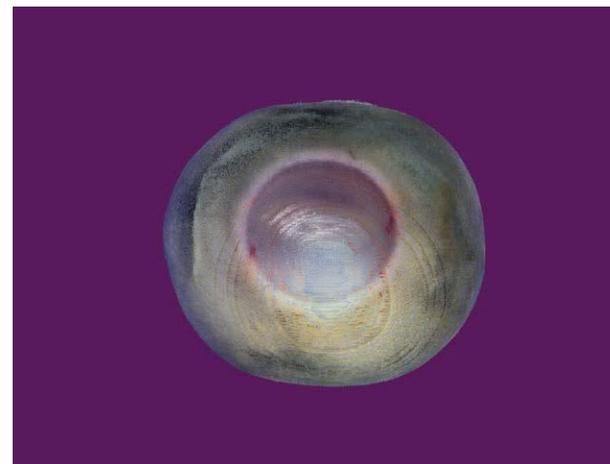
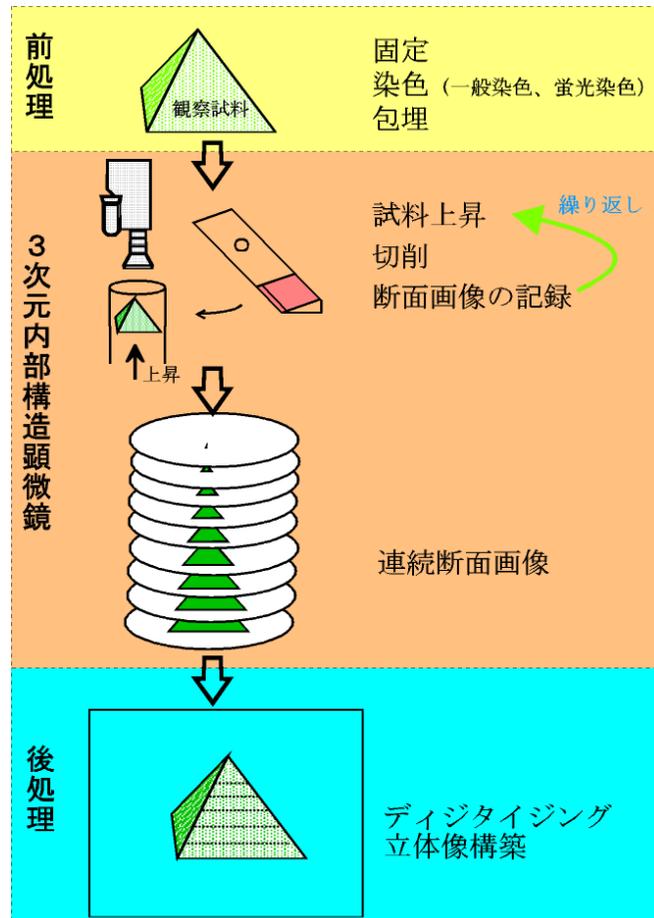
立体画像(右側のみ)



次のステップ

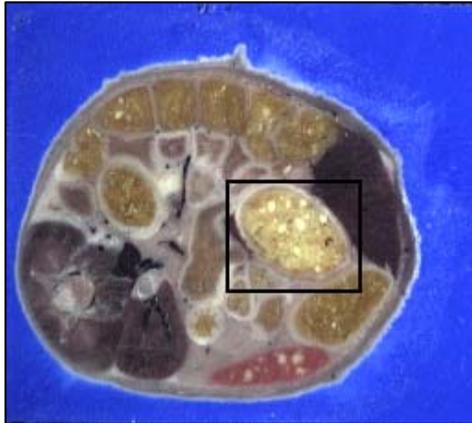
- 生体置換材料を使って人工骨を試作
- 骨梁を再現
- シミュレーションにより再生を促進できる形状を検討
- 動物実験
- 他に、軟骨（耳殻）で再生医療応用を検討中

シミュレーションを支える技術(1)

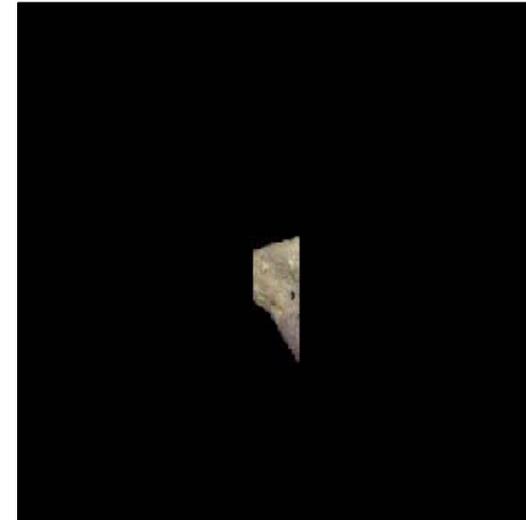


取得画像からの組織の抽出

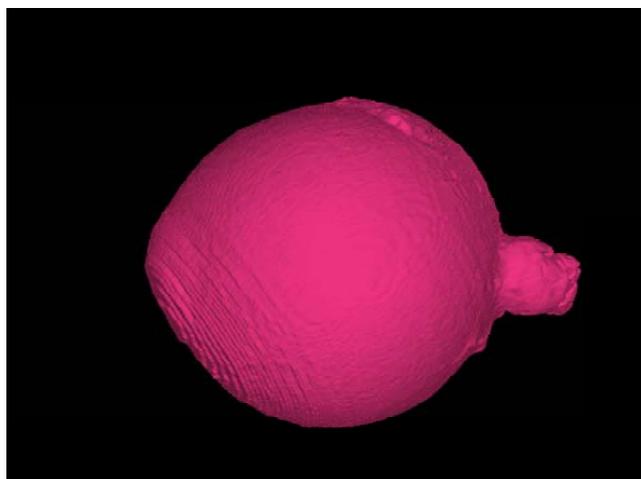
- 抽出領域 : マウスの胃



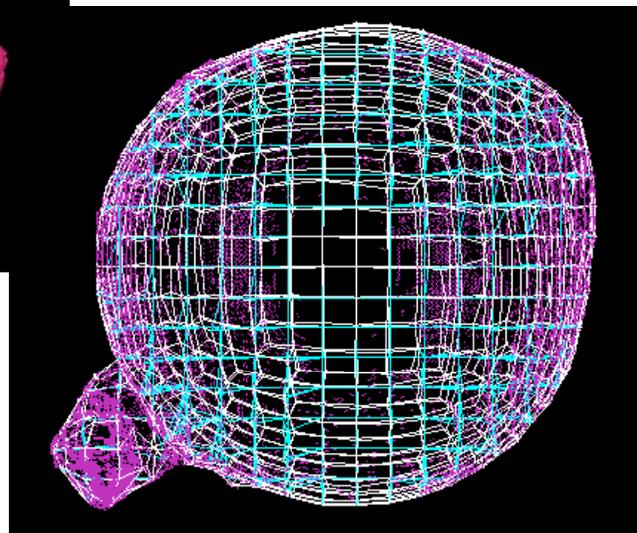
Original image : mouse
320 × 240 (pixel / slice)
150 slices (212 μ m / pix)
Z-axis resolution : 30 μ m



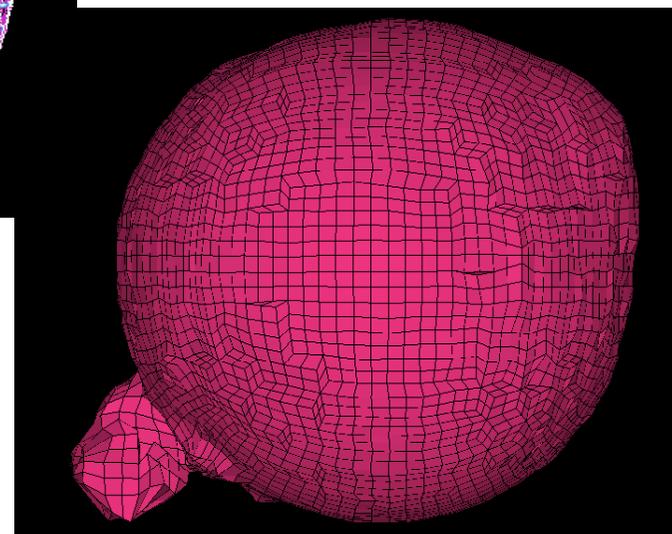
眼球形状へのマップドメッシュ



STLデータ



テンプレートメッシュ

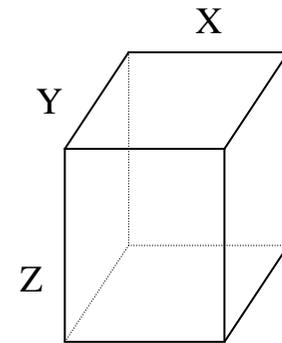


6面体メッシュ

高解像度3DISMによる腎臓血管観察

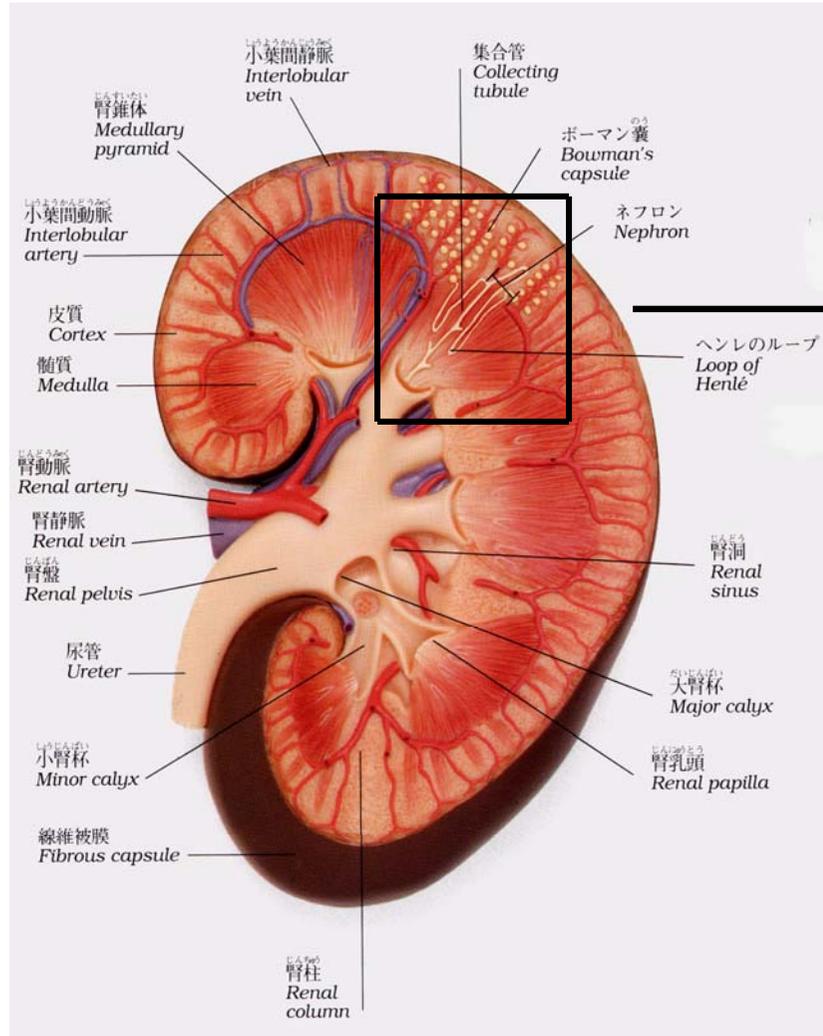
観察条件

- レーザ波長: 488nm (Arガスレーザ) 出力: 75mW
568nm (Arガスレーザ) 出力: 150mW
- DM: 460nm 520nm 600nm (3波長透過)
- EM: 中心波長: 615nm 半値幅: 30nm (OMEGA)
中心波長: 530nm 半値幅: 30nm (OMEGA)
- ナイフ: ディスポーザブルナイフ C35 (FEATHER)
- スライス厚さ: $1.0 \mu\text{m}$
- ナイフ回転速度: 90rpm
- 撮像カメラ: ICCD (浜ホト ICP300-DF)
- 対物レンズ: 超長作動距離対物レンズ M PLAN ApoSL x20 (MITUTOYO)
- 分解能: XY: $0.7 \mu\text{m}$ Z: $1.0 \mu\text{m}$

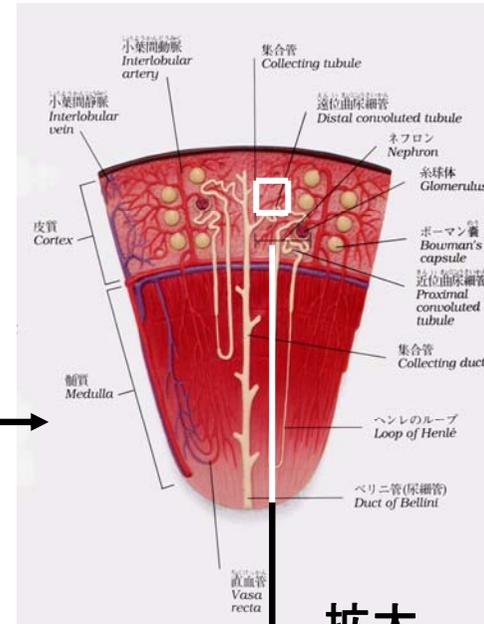




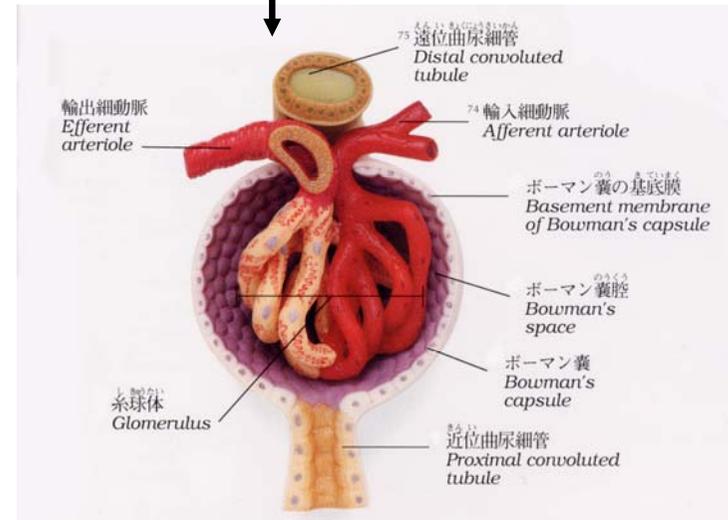
腎臓全体図



拡大



拡大



120 μm

2008/1/15

東京大学メカノバイオ

蛍光・CLSMによる腎臓血管観察



図1 蛍光観察画像
(FITC染色)

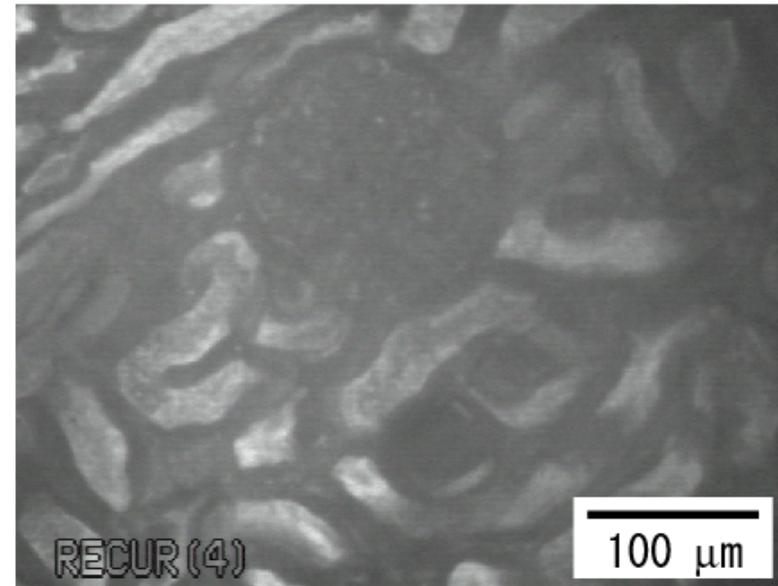
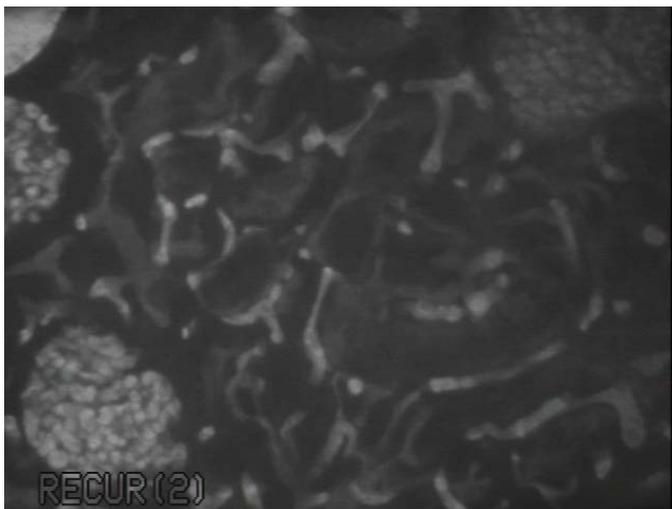
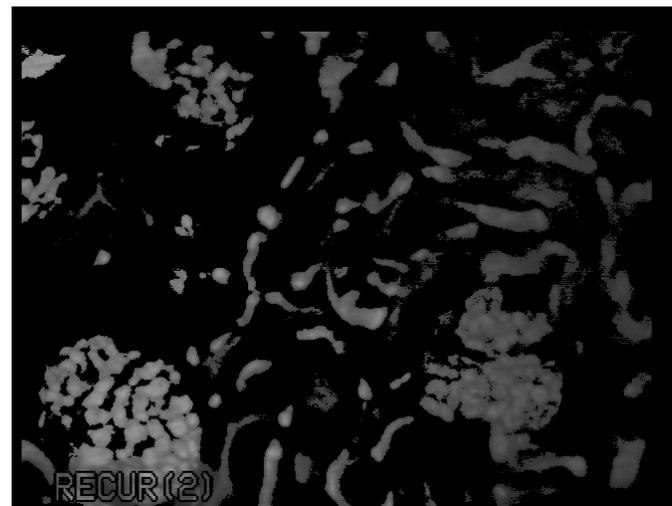


図2 CLSM観察画像
(FITC染色)

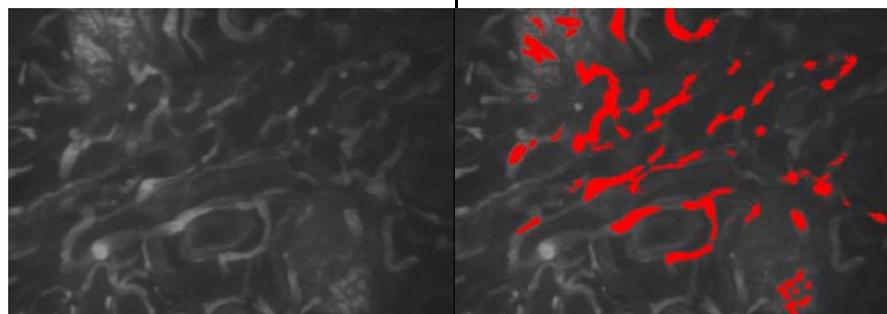
観察結果・及び血管系の抽出



ラット腎臓(RITC染色)



2値化領域の抽出及び濃淡情報の再付加

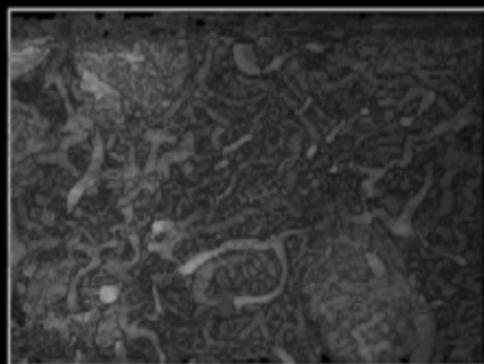


元画像(ラット腎臓) 2値化 領域抽出
 東京大学メカノバイオ
 血管抽出画像

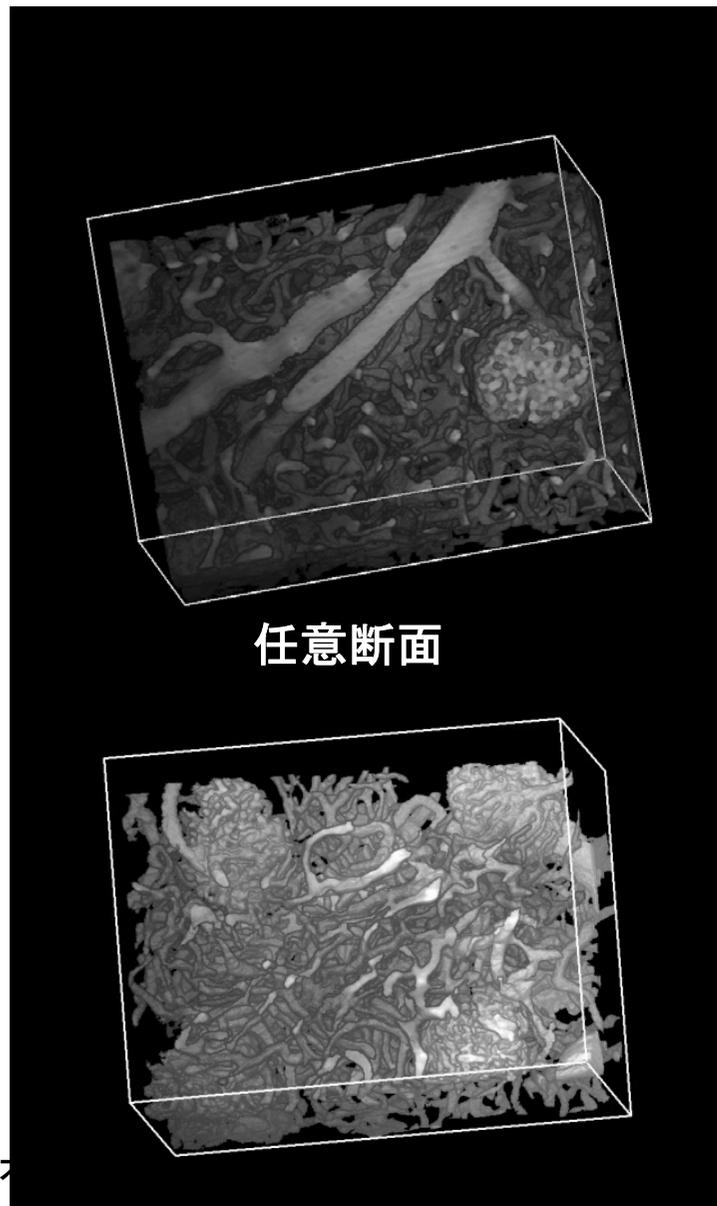
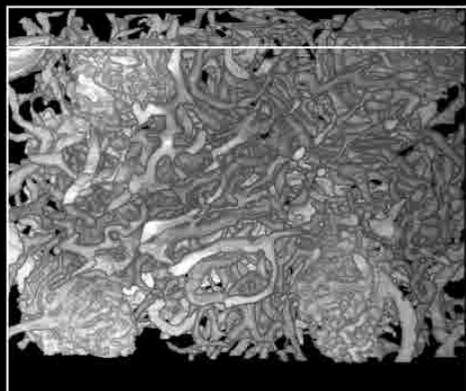
拡張Region Growing
 停止条件を可変
 停止条件の局所判定
 3次元処理

Initial value
 Size of local area : 29x29x57
 α : 30
 inner area : 9 points
 outside area : 15 points

血管系の抽出 -立体表示-



視点回転



任意断面

Resolution
X:0.7 μ m
Y:0.7 μ m
Z:1 μ m

Area
X:448 μ m
Y:336 μ m

厚さ500 μ m

シミュレーションを支える技術(2)

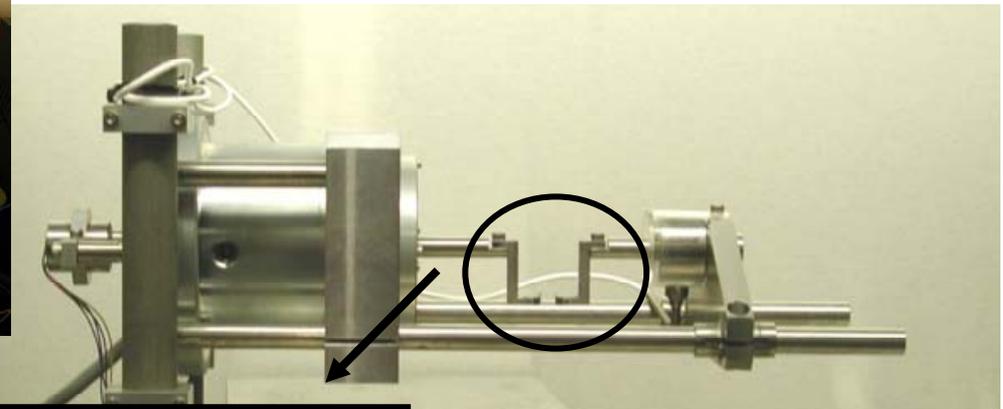


切断した網膜

装置外観

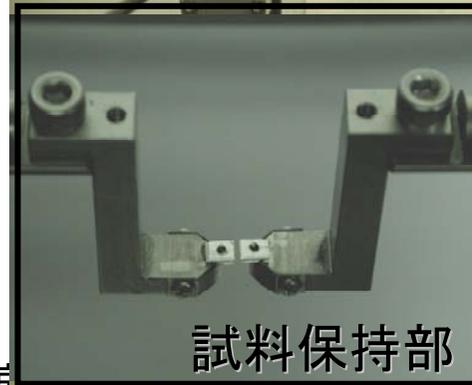
引っ張り試験装置

横型液中測定可能な引っ張り試験装置
力、ストローク制御可能

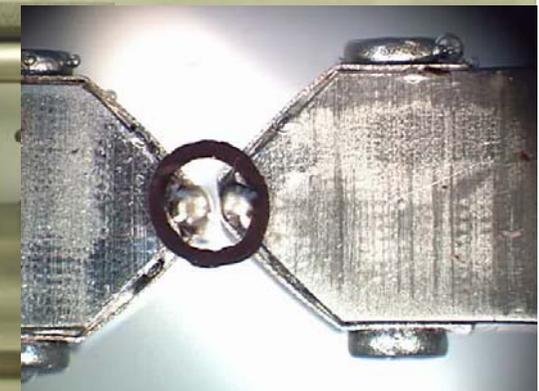


試料切り出し装置

ArF193nmエキシマレーザーを用いて軟組織を切断
移動ステージの制御により自由形状に切り出し可能

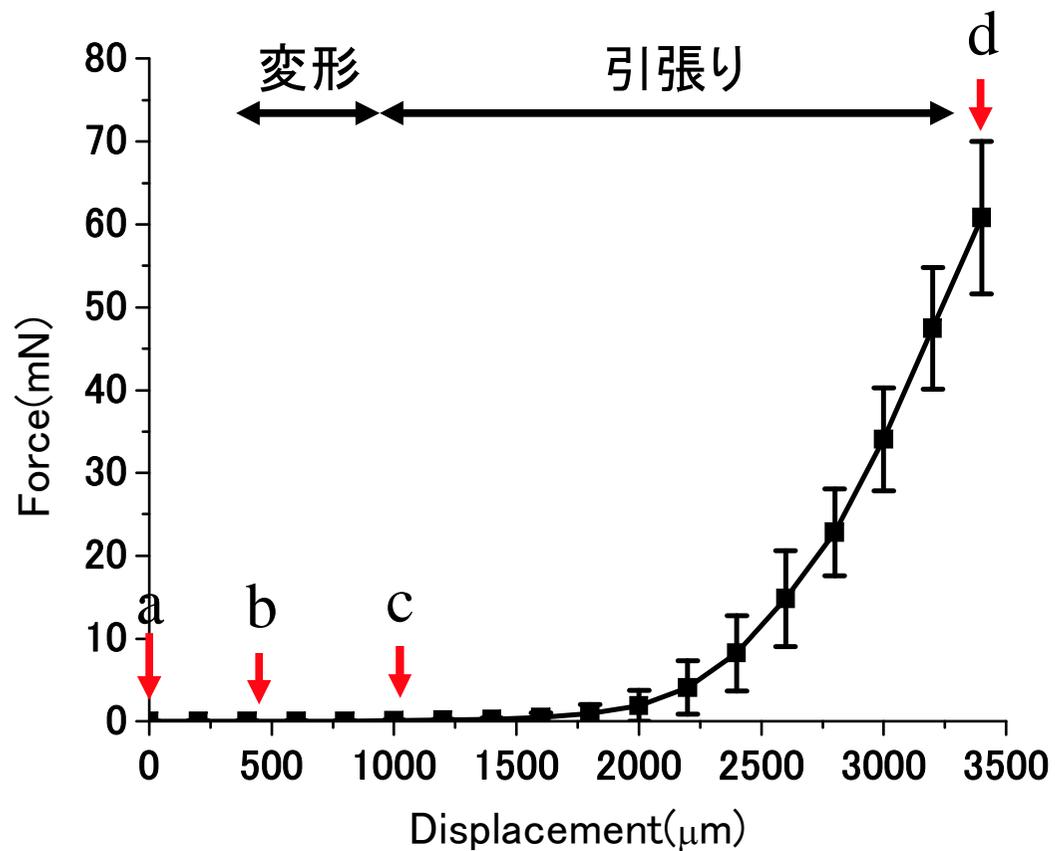
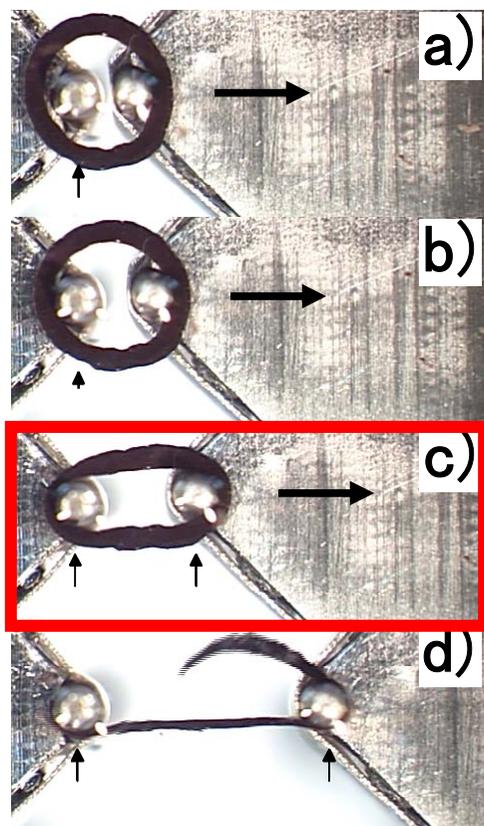


試料保持部



引張試験の様子

引張り試験による測定

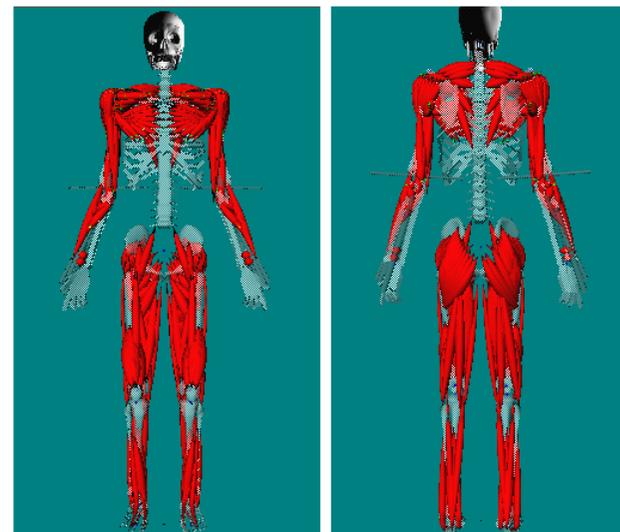


⇒ 公称応力-公称ひずみの関係に変換する

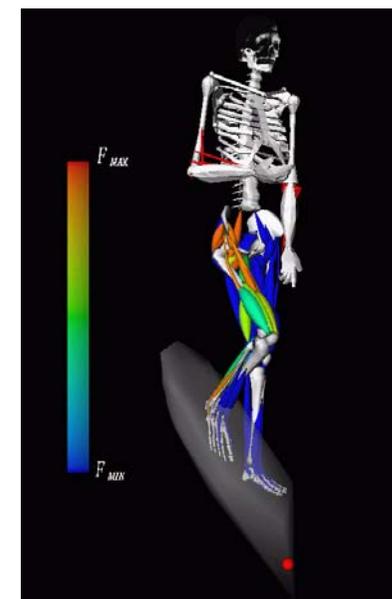
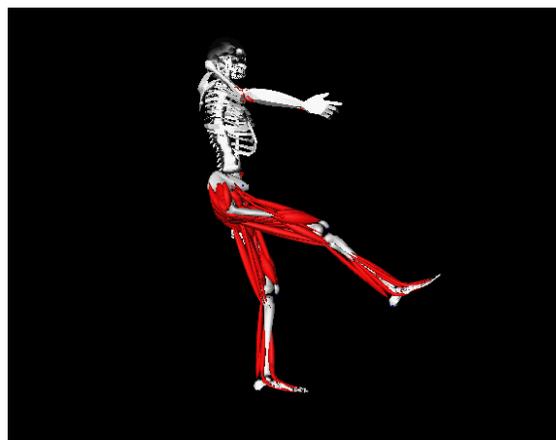
(3)運動シミュレーション

チームリーダー：戒崎情報基盤研究部部長

- 筋骨格モデルで人の動きを表現
- モーションキャプチャ技術
- 動きから筋肉の作っている力を逆算
- 体格の変化や動きのバリエーションも模擬できる



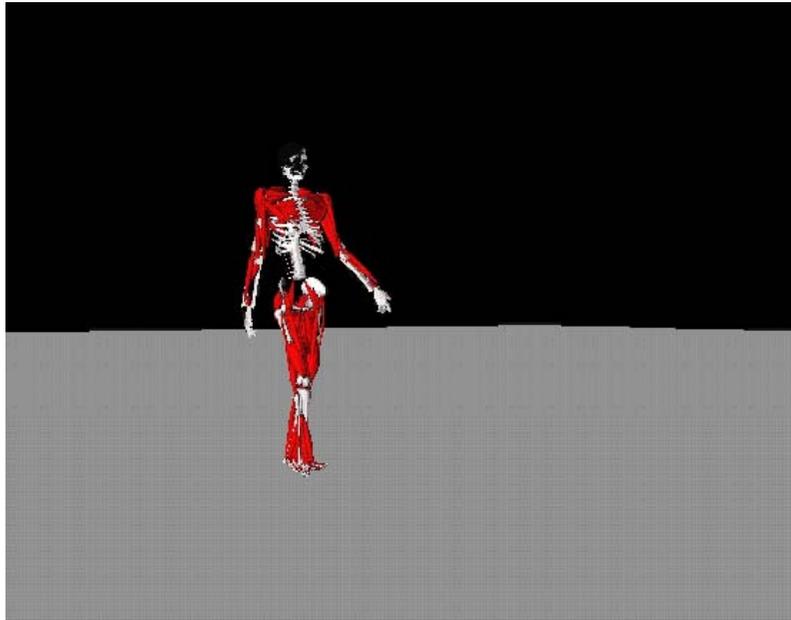
Musculoskeletal model



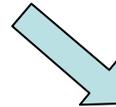
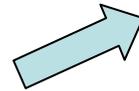
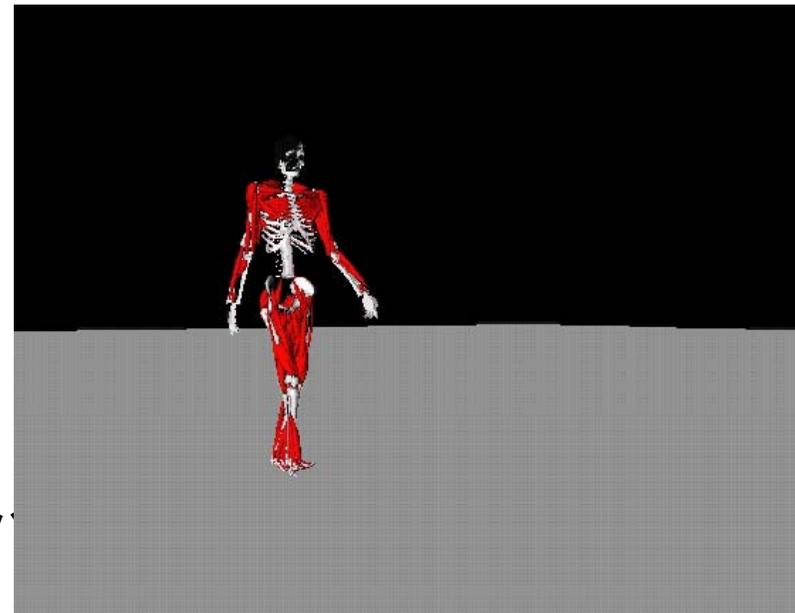
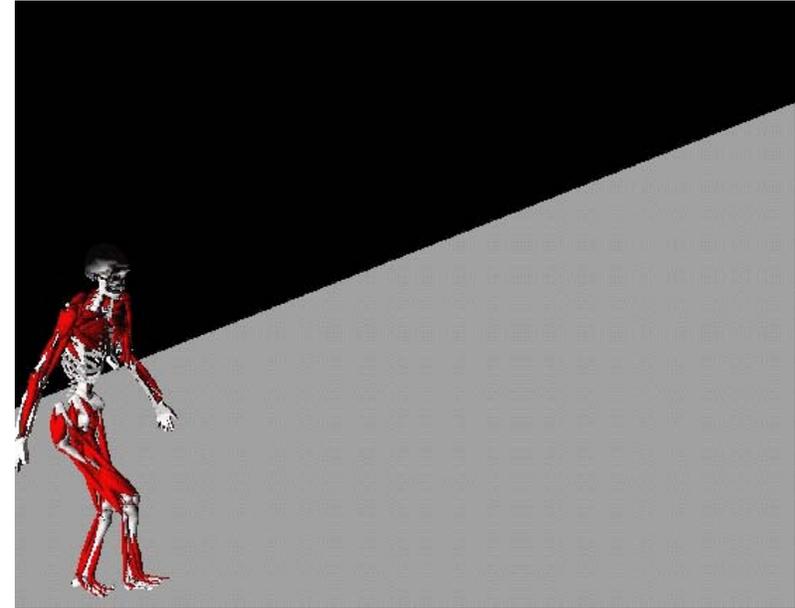


歩行動作シミュレーション

坂道の予想歩行動作



計測した歩行動作



2008/1/15

足の傷害時
東京大学メカニクス



プロジェクト全体の現状と課題

現状

- 計算手法(流体構造連成、超弾性、ワイヤモデルなど)
- 形状測定(測定器・測定方法)の開発

実用域

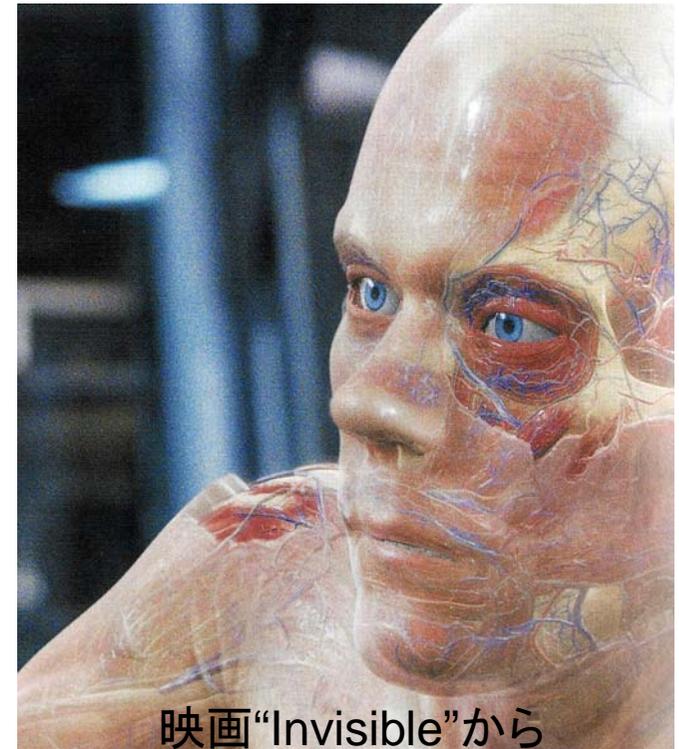
- カテーテルシミュレータ
- 眼球シミュレーション
- インプラント・シミュレーション

もう少しで実用域

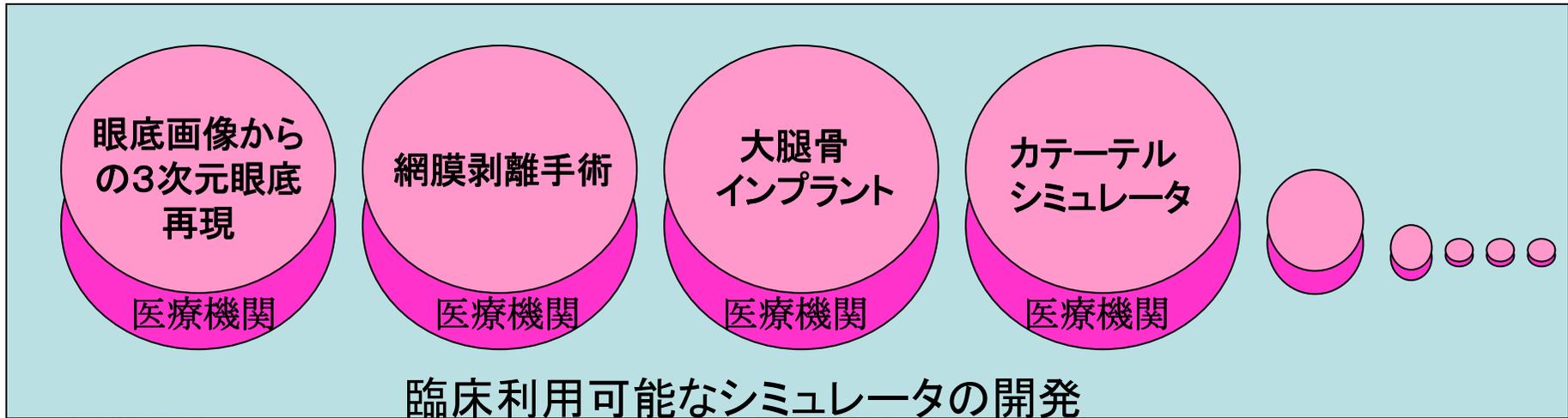
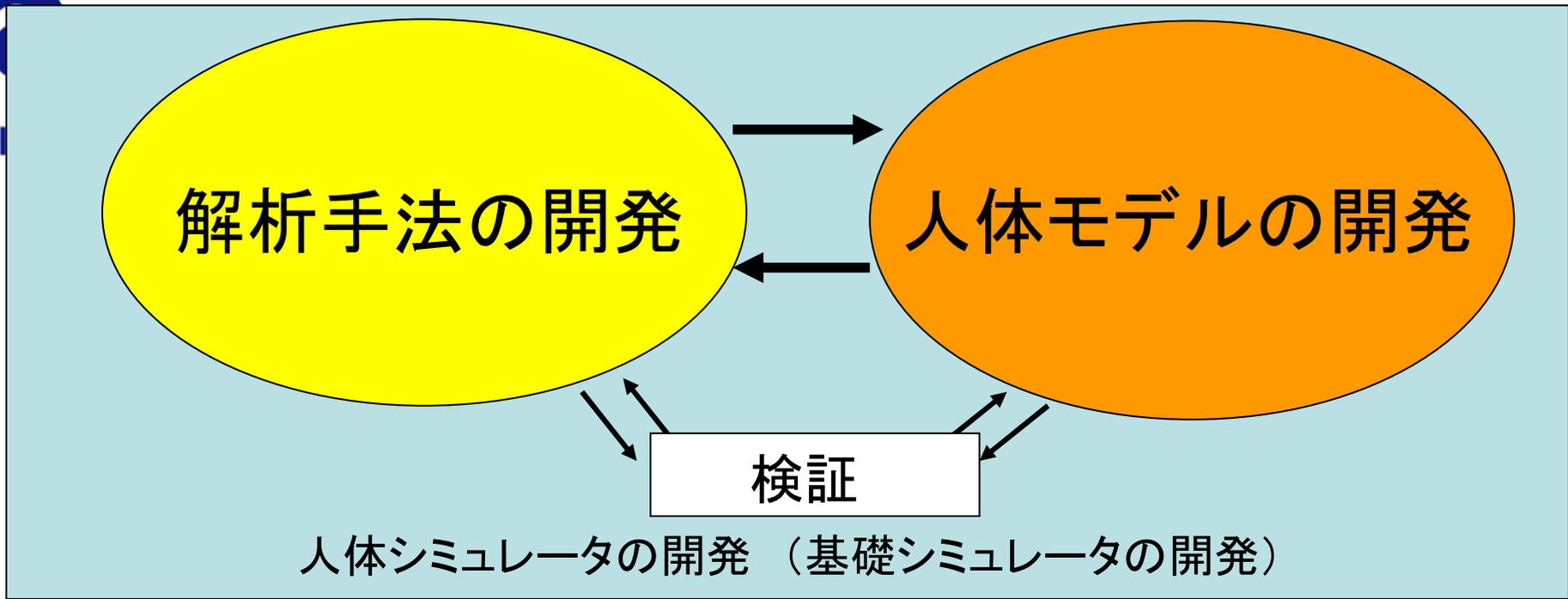
- 動脈瘤シミュレーション

第2期プロジェクトを開始

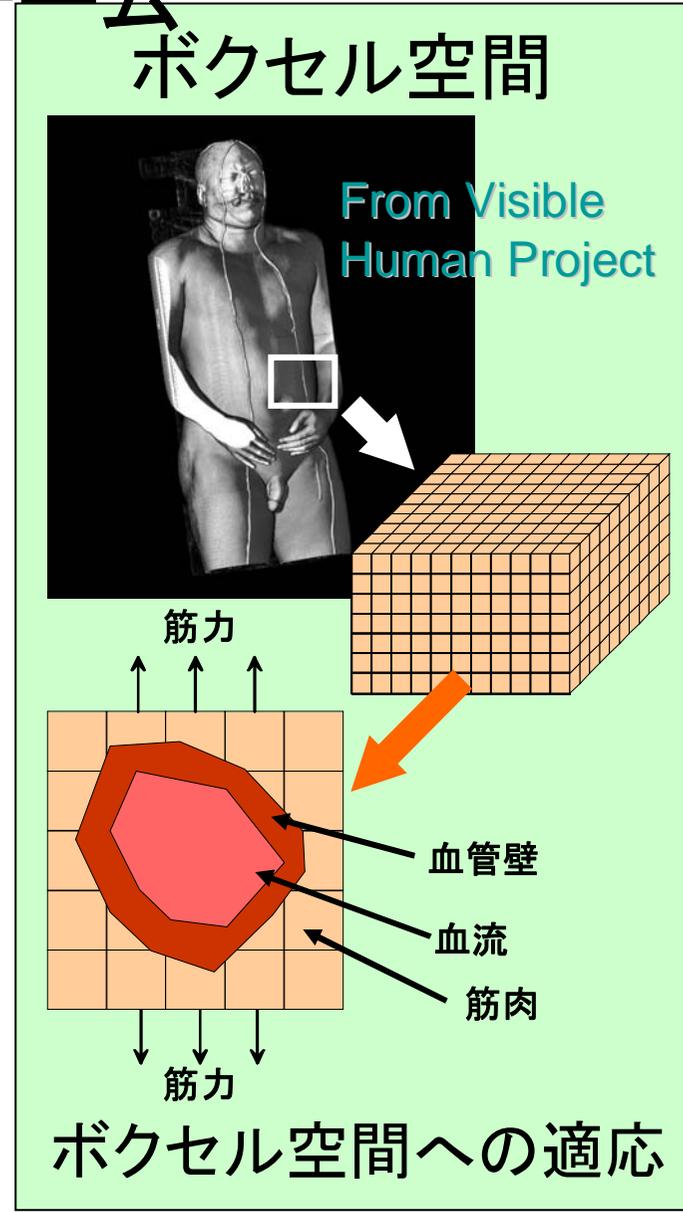
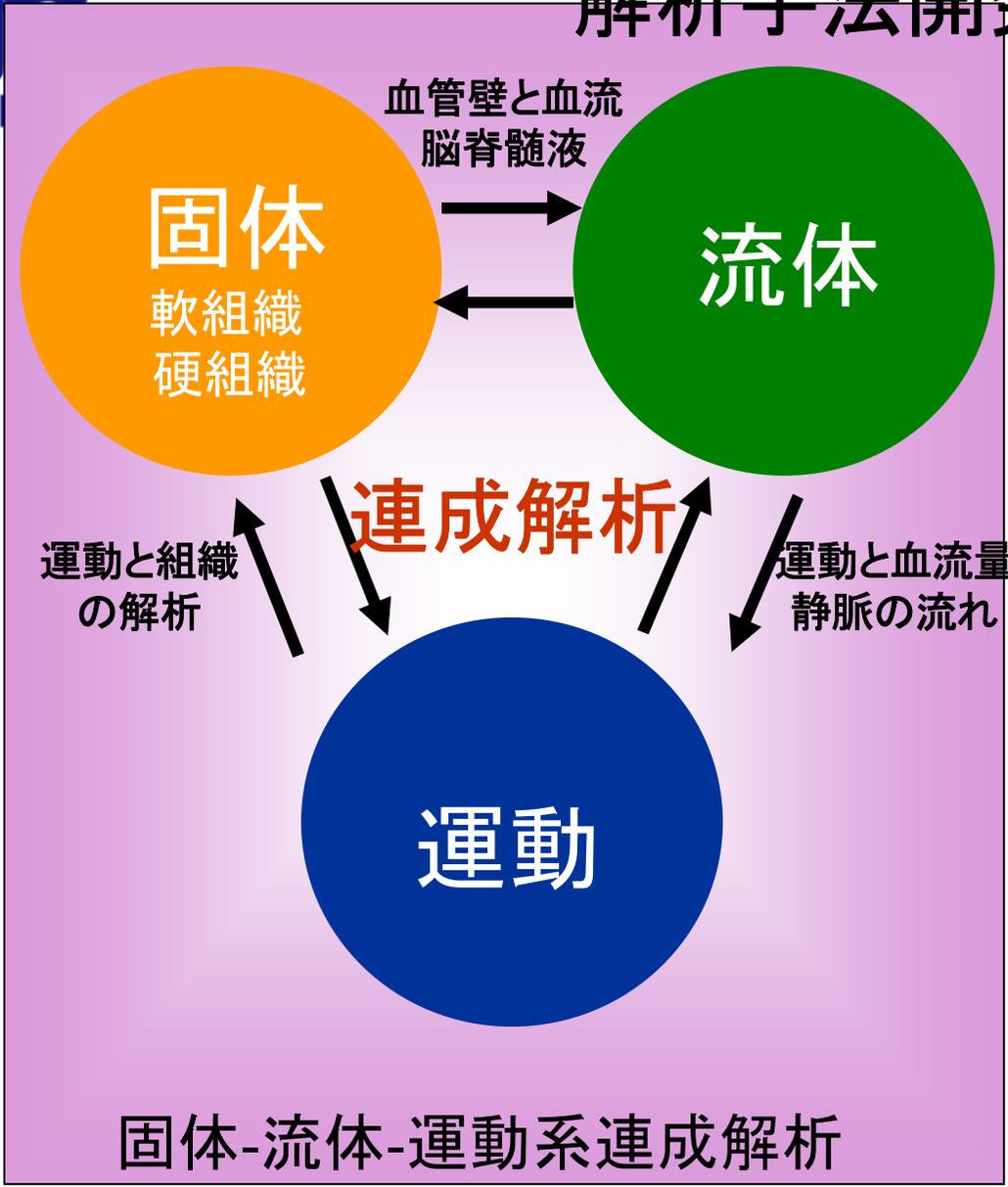
- 人体シミュレータ: Live Human Simulator
 - 筋骨格モデルに人体の全ての臓器・器官を加え、呼吸し、心臓が動き、運動するマクロモデルを作る(元々第1期でやろうとしたこと)
 - 手術シミュレーション
 - 姿勢変化による体内の変化
 - エコノミークラス症候群、床ずれ防止
 - 血圧計の改良、
 - 運動による変化
 - リハビリ・介助用品・補助具
 - 体内の臓器が全てあるので、HIFUによる癌治療が可能
 - HIFU:high intensity focused ultrasound
 - 非侵襲の測定器の開発
 - Drug delivery system



映画“Invisible”から



解析手法開発チーム



人体モデル開発チーム

撮影方法の開発

高速MRI
 超音波3Dエコー
 走行時の動作測定装置の開発
 フォースプレート付トレッドミル
 3D動作解析ソフト

人体全身の撮影
 間接の動きのある測定
 動きのある臓器の測定
 走行時のフォームの測定

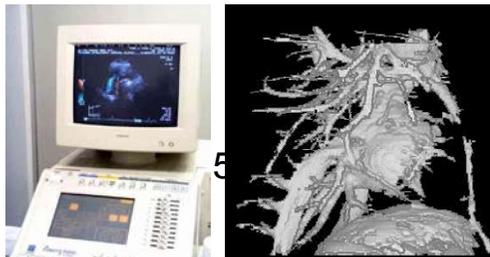
人体構造情報の収集

測定方法の開発

超音波による弾性率
 弾性率CTの開発
 走行時の心電・筋電測定装置の開発

摘出臓器の引っ張り試験
 弾性率の測定
 HIFUのための人体測定
 走行時の脚部にかかる力の測定
 走行時の心臓・血流の測定

力学的特性の収集

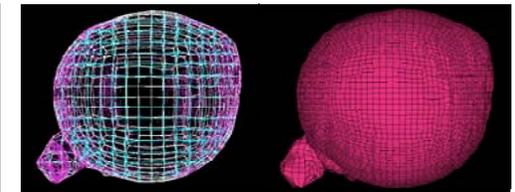


メッシュモデル作成法の開発

画像処理法の開発
 3次元エディタの開発
 メッシュの開発

全身モデル
 個別モデル
 詳細臓器モデル

人体モデルの開発



解析手法開発チーム

人体モデル開発チーム



眼底画像からの
3次元眼底構築装置

医療機関

網膜剥離手術の
手術前シミュレータ

医療機関

大腿骨インプラントの
選定シミュレータ

医療機関

カテーテル手術
シミュレータ

医療機関

深部静脈血栓症
シミュレータ

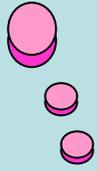
医療機関

マラソン
シミュレータ

医療機関

HIFU

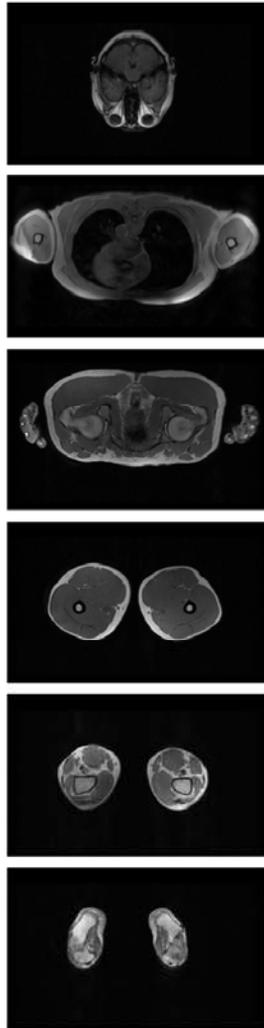
DDS



手術シミュレータ開発チーム

Toward Whole Body Analysis

Measured data



MRI Images



Voxel Whole model

Multi-resolution

Whole model



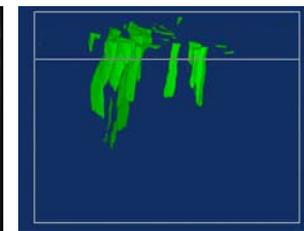
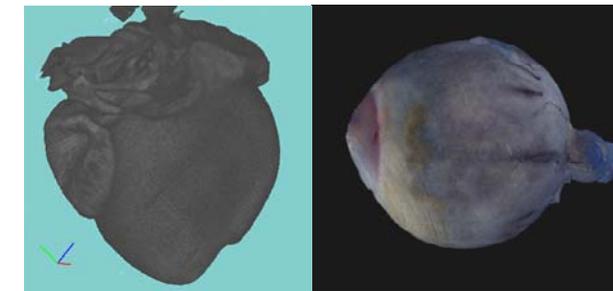
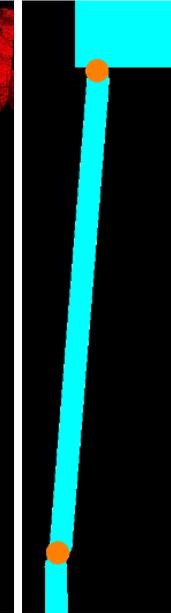
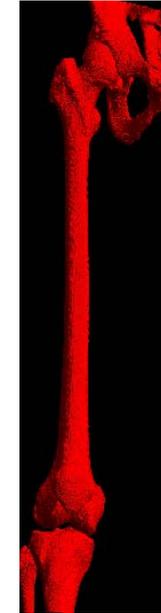
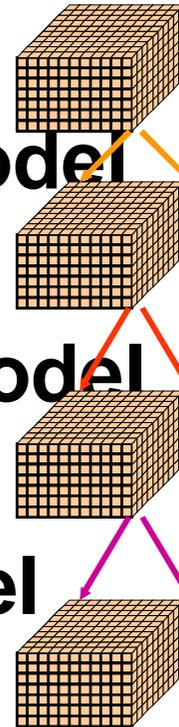
Organ model



Tissue model

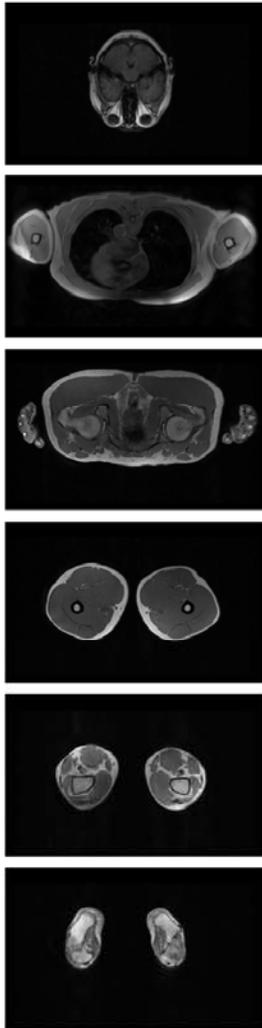


Cell model

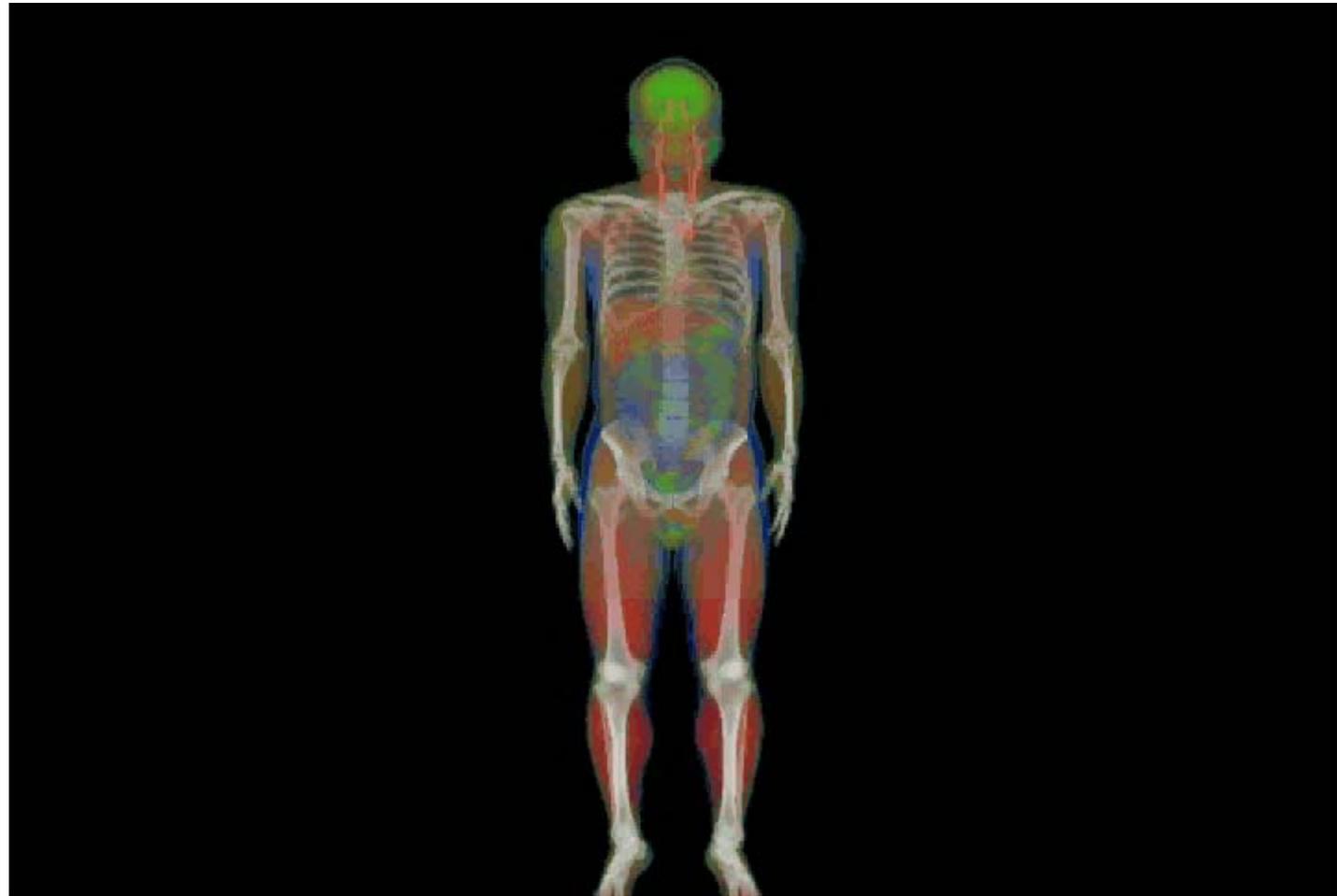


Whole Body Base Resolution Model

Measured data

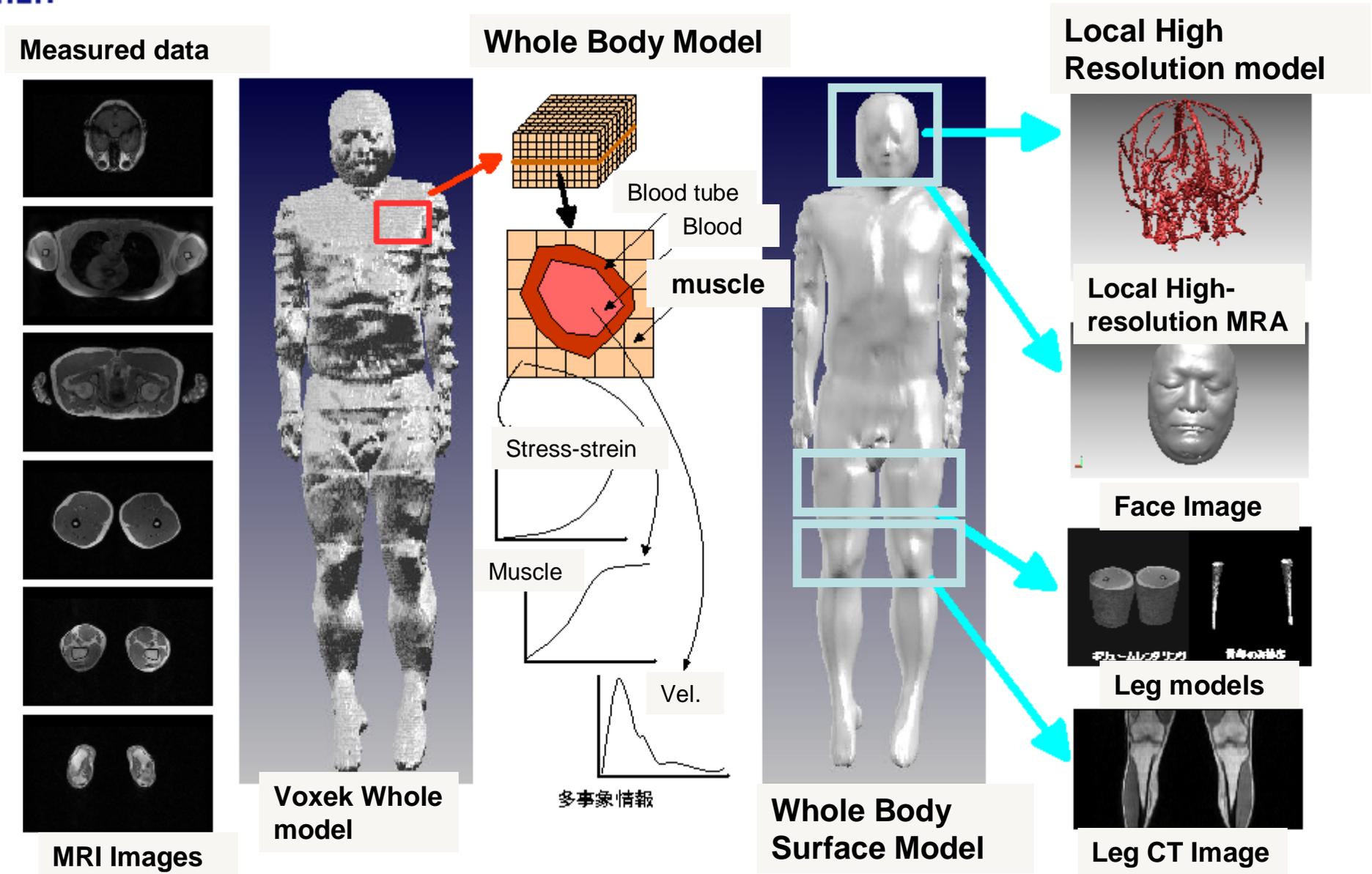


MRI Images



Whole Body (MRI)

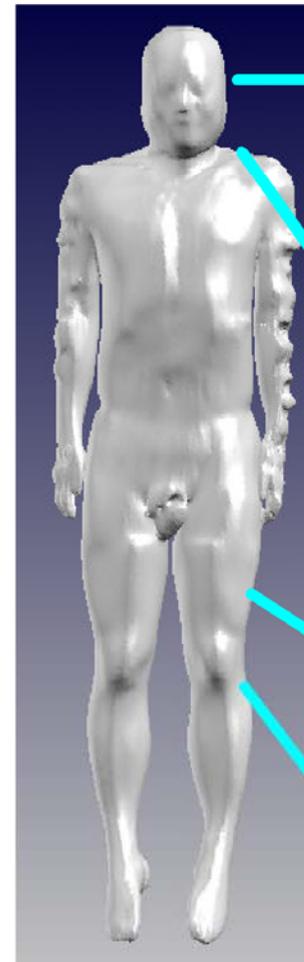
Model Concept



Local High-Resolution Model

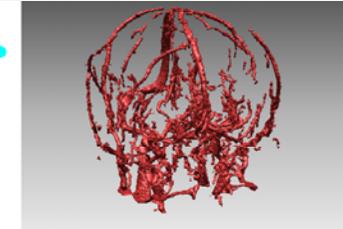


Extracted Blood Vessel



Whole Body Surface Model

Local High Resolution model



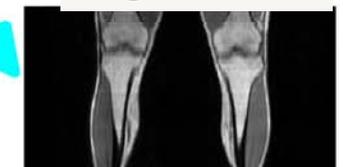
Local High-resolution MRA



Face Image

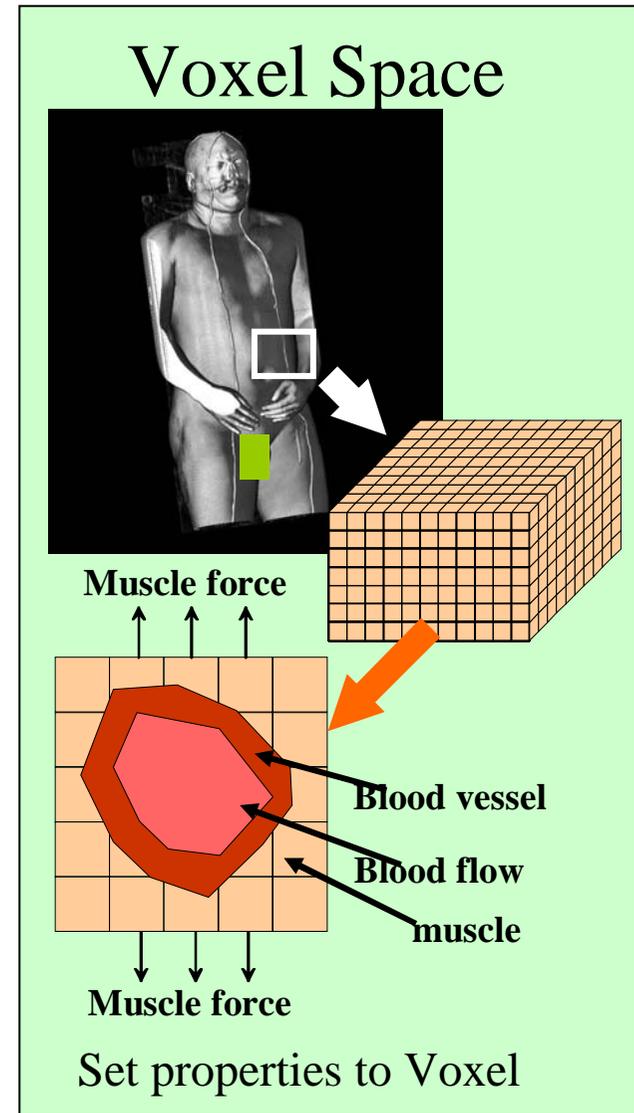
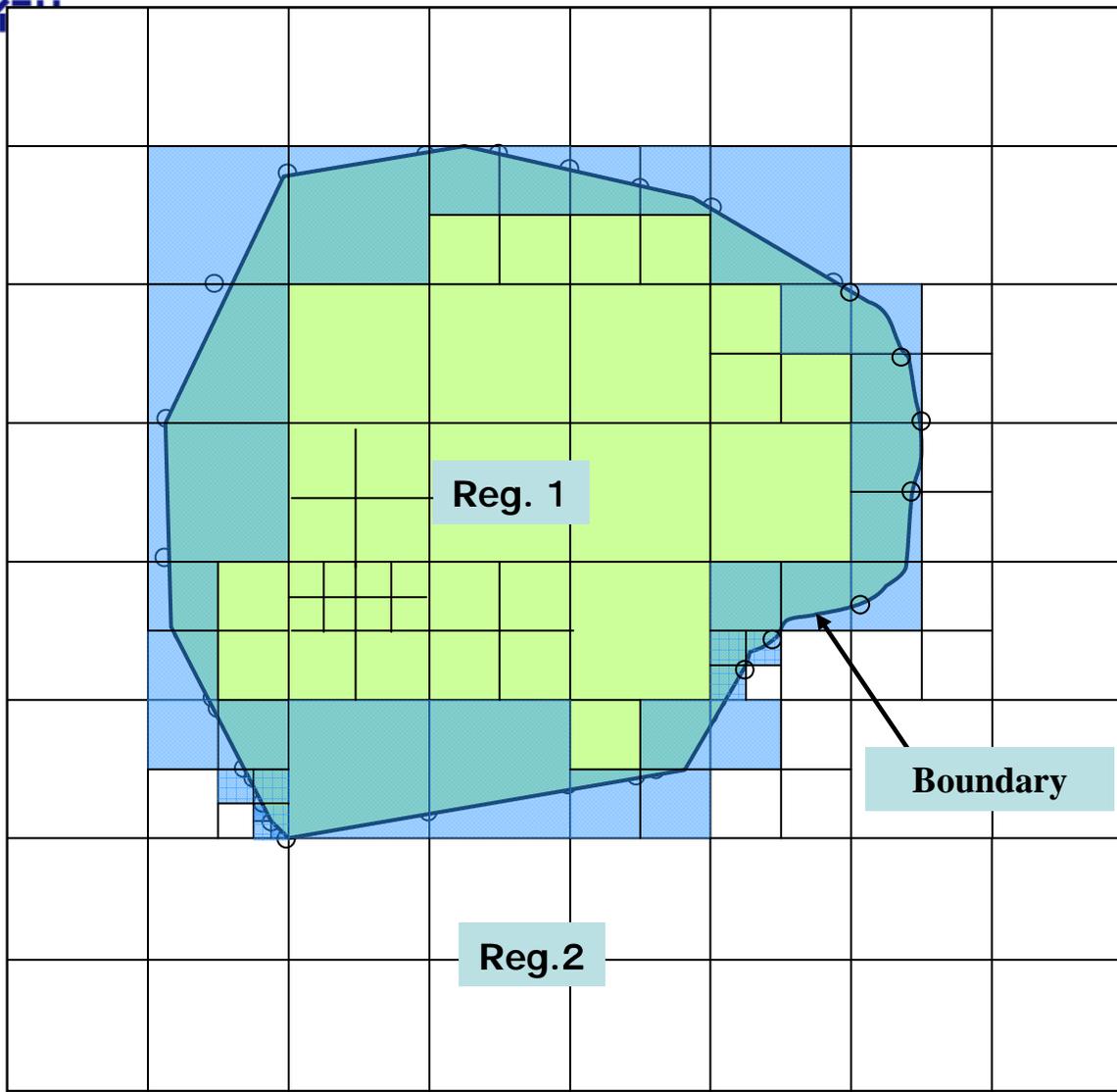


Leg models



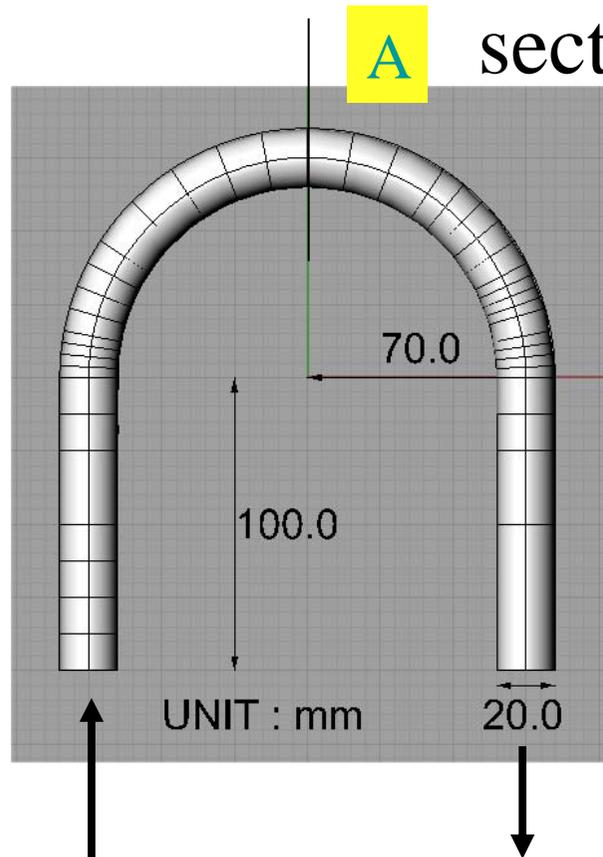
Leg CT Image

Multi-resolution Mixed Model



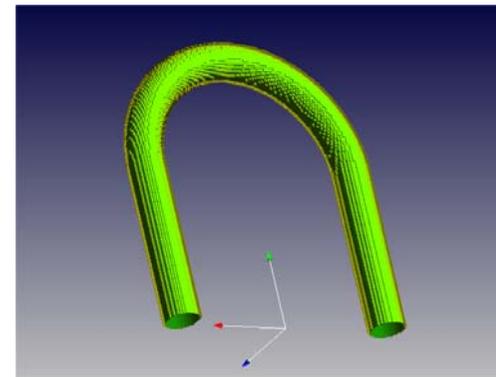
Validation stage

Velocity vector in A cross section



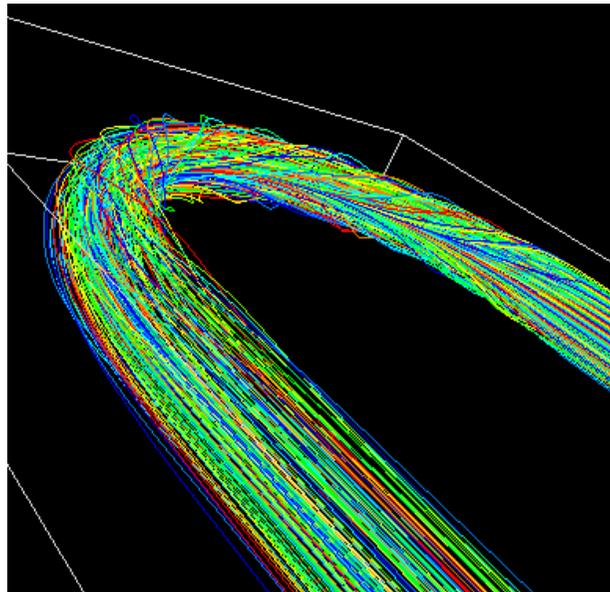
Re=1500 124*124*32

Uniform flow at inlet

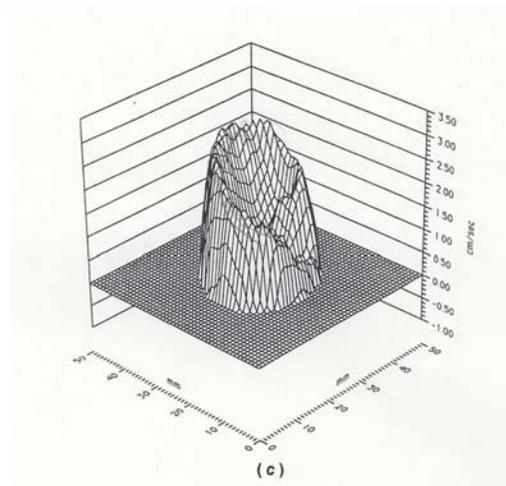


Results

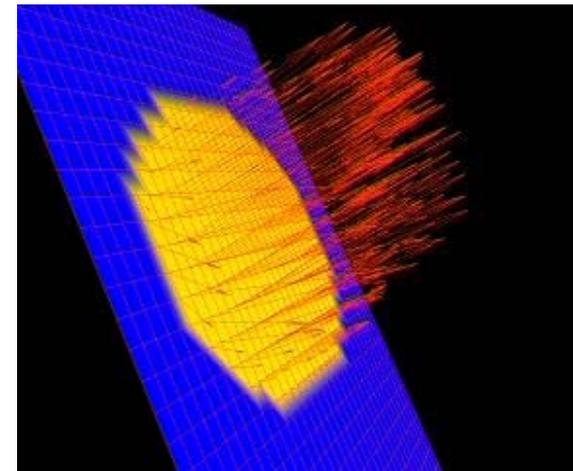
Velocity vector at the 90° elbow



Experiment

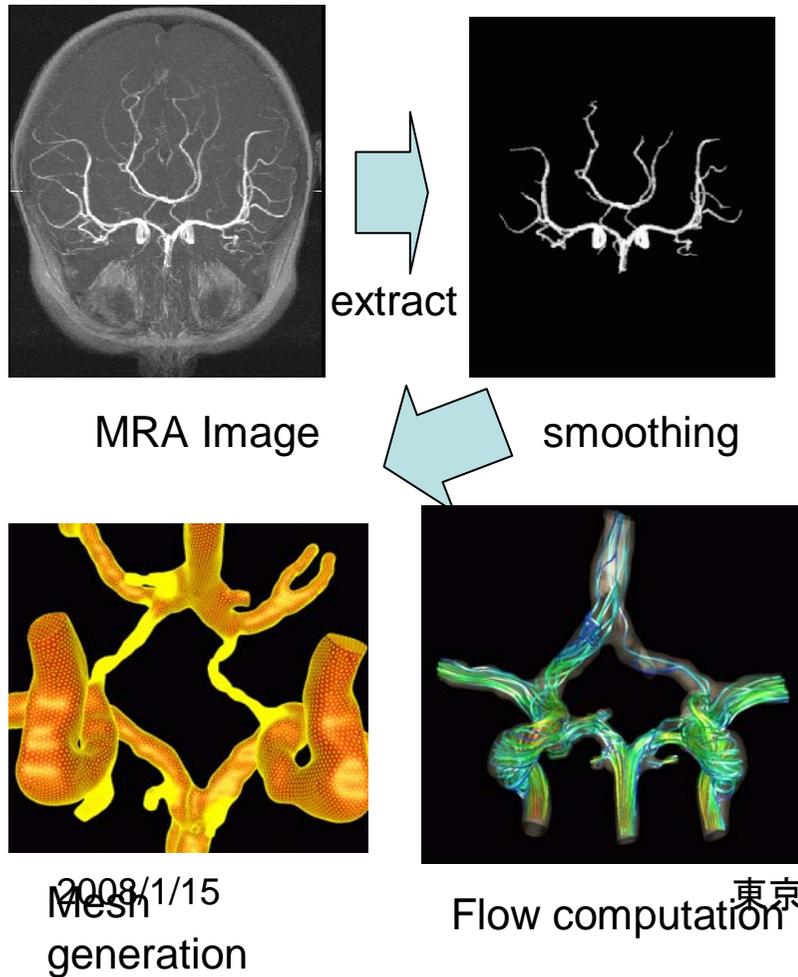


Simulation

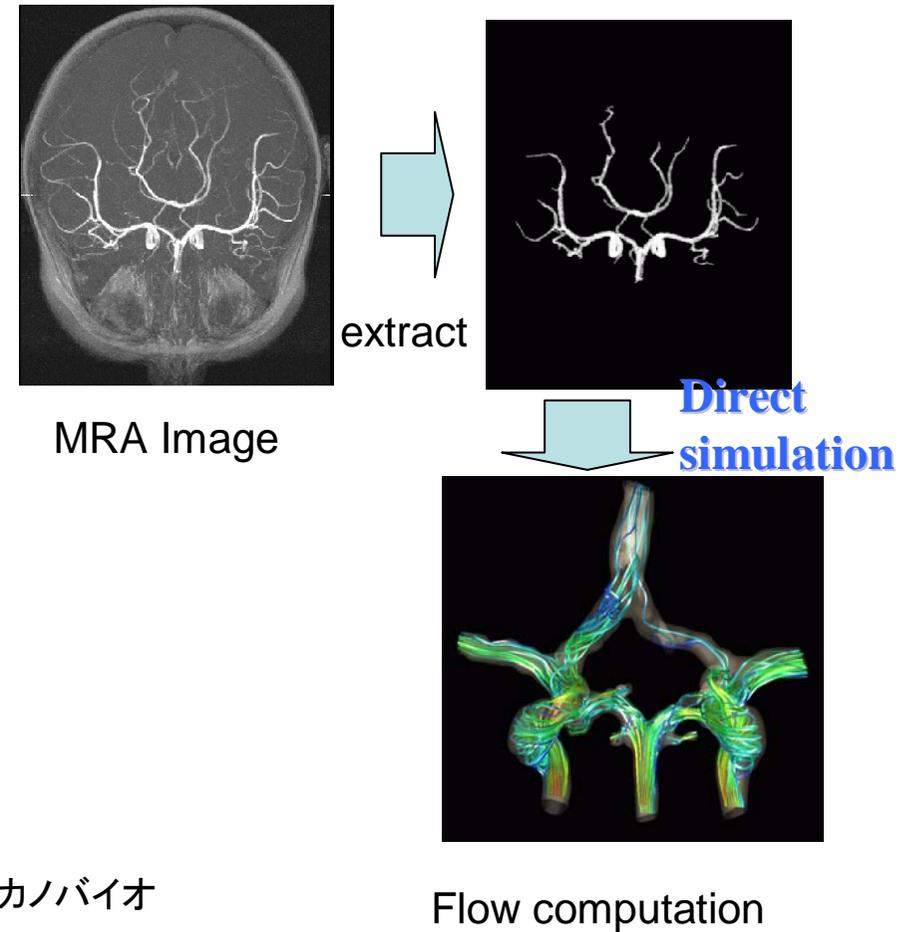


Concept

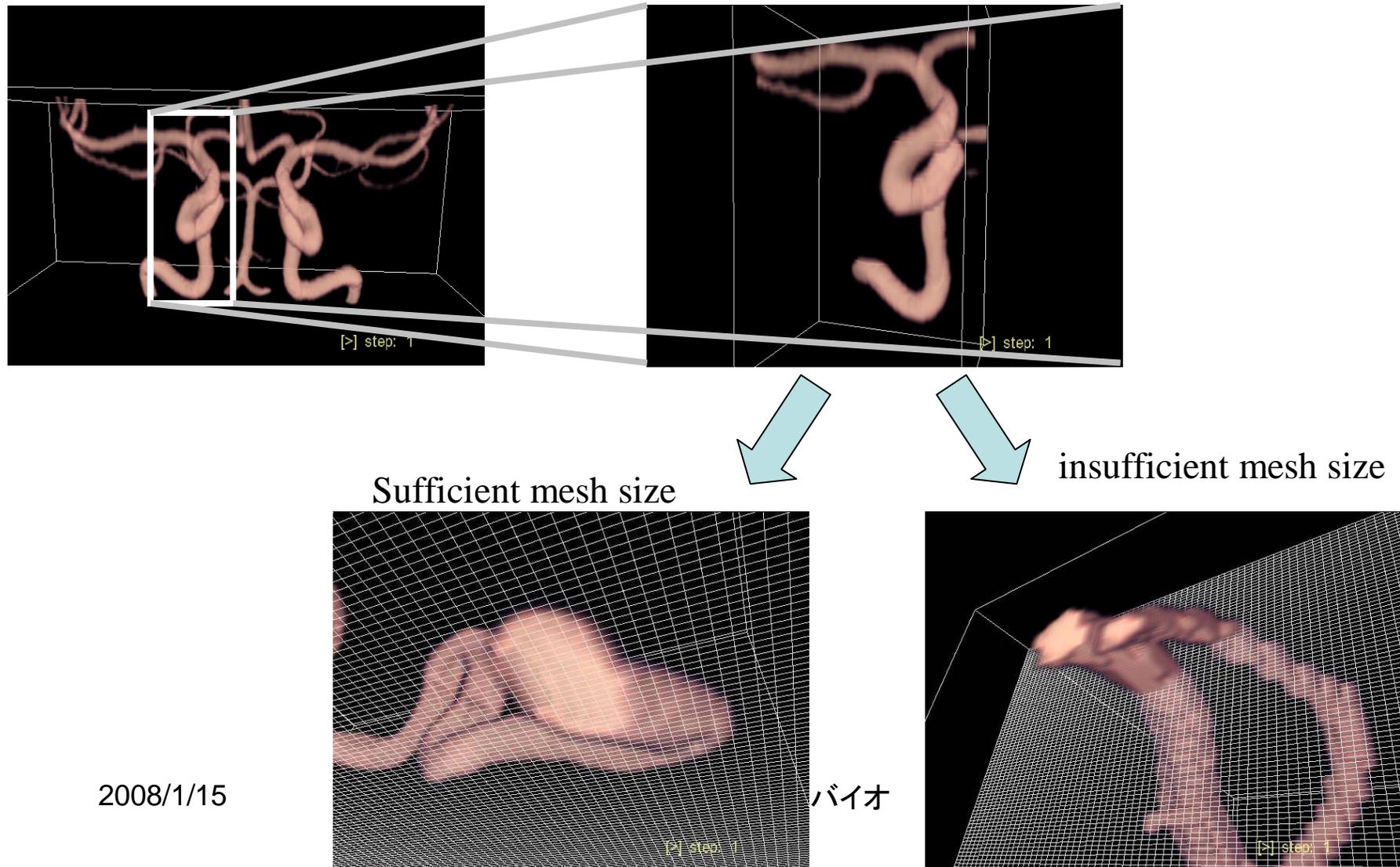
Conventional Approach



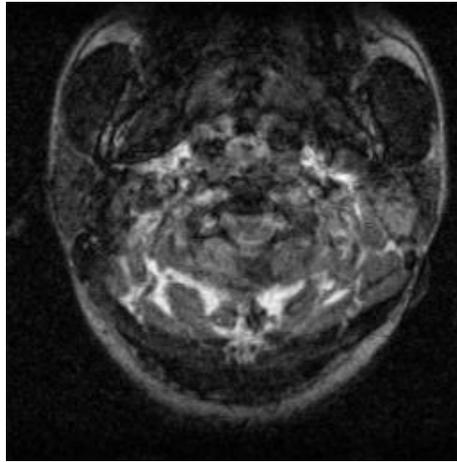
New Direct Approach



Evaluation of mesh size



Sub division



MRI image



Edge lines

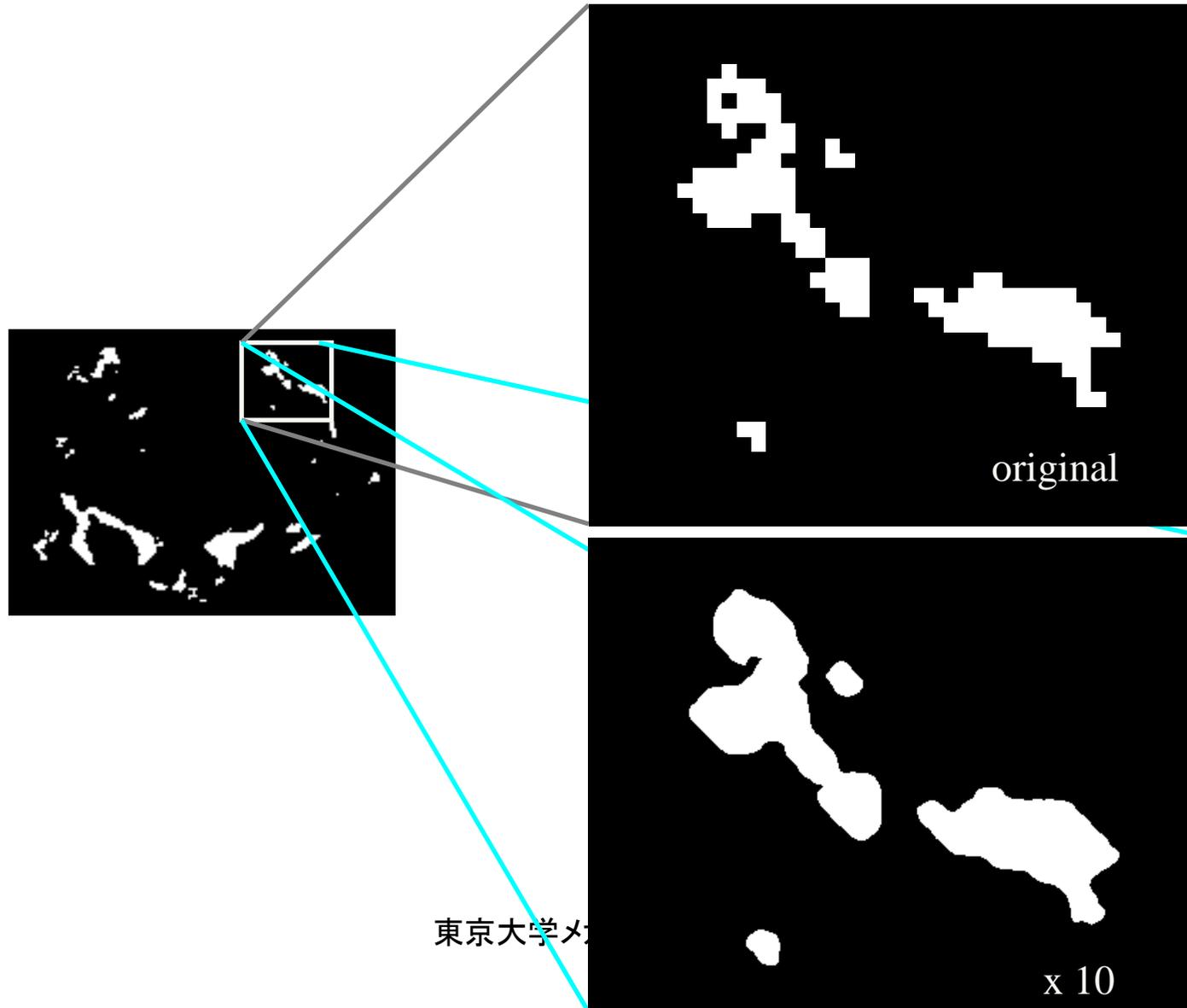


extract

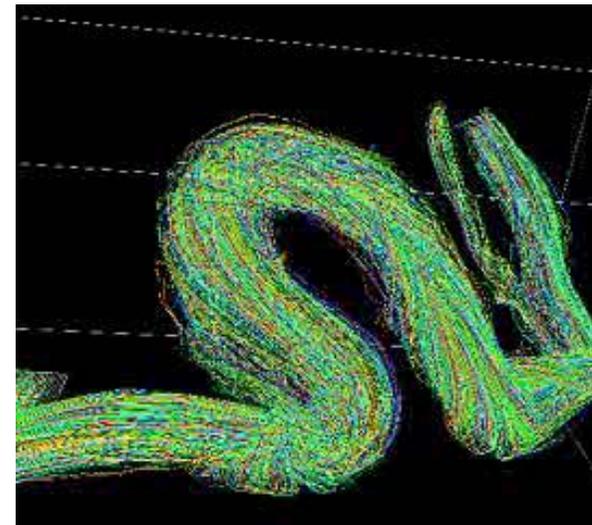
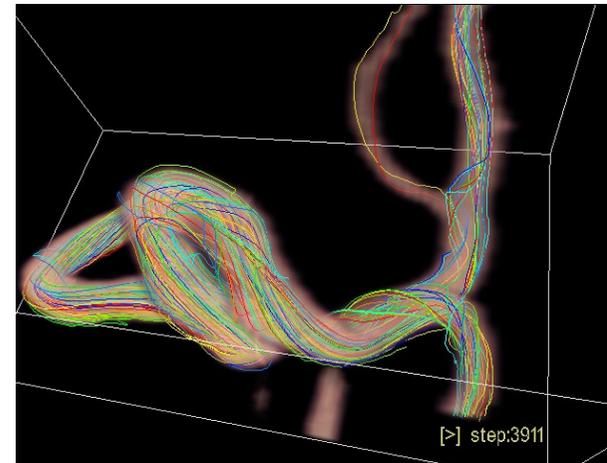
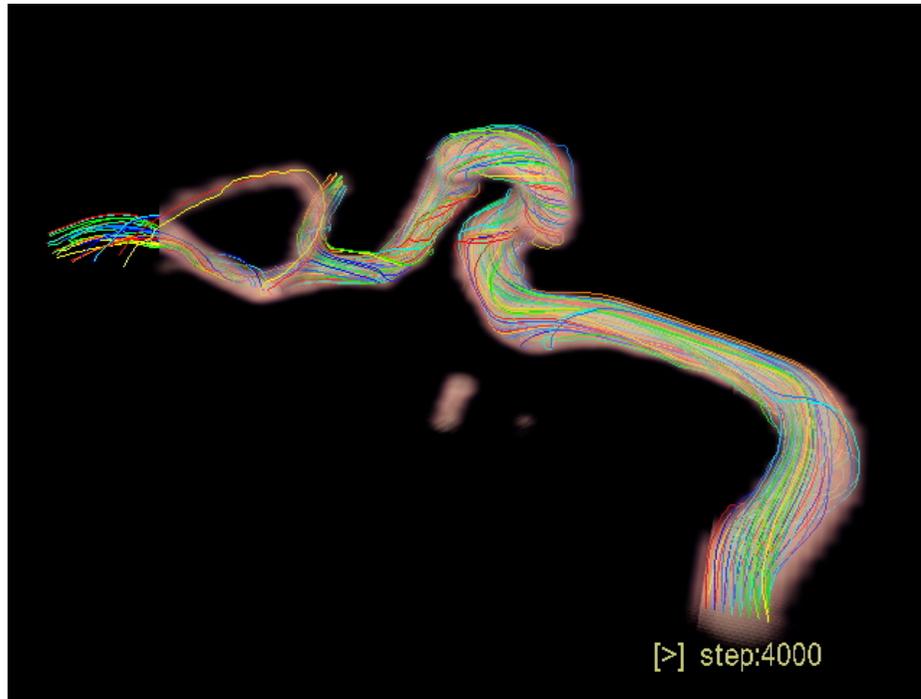
x10 resolution



Close-up View



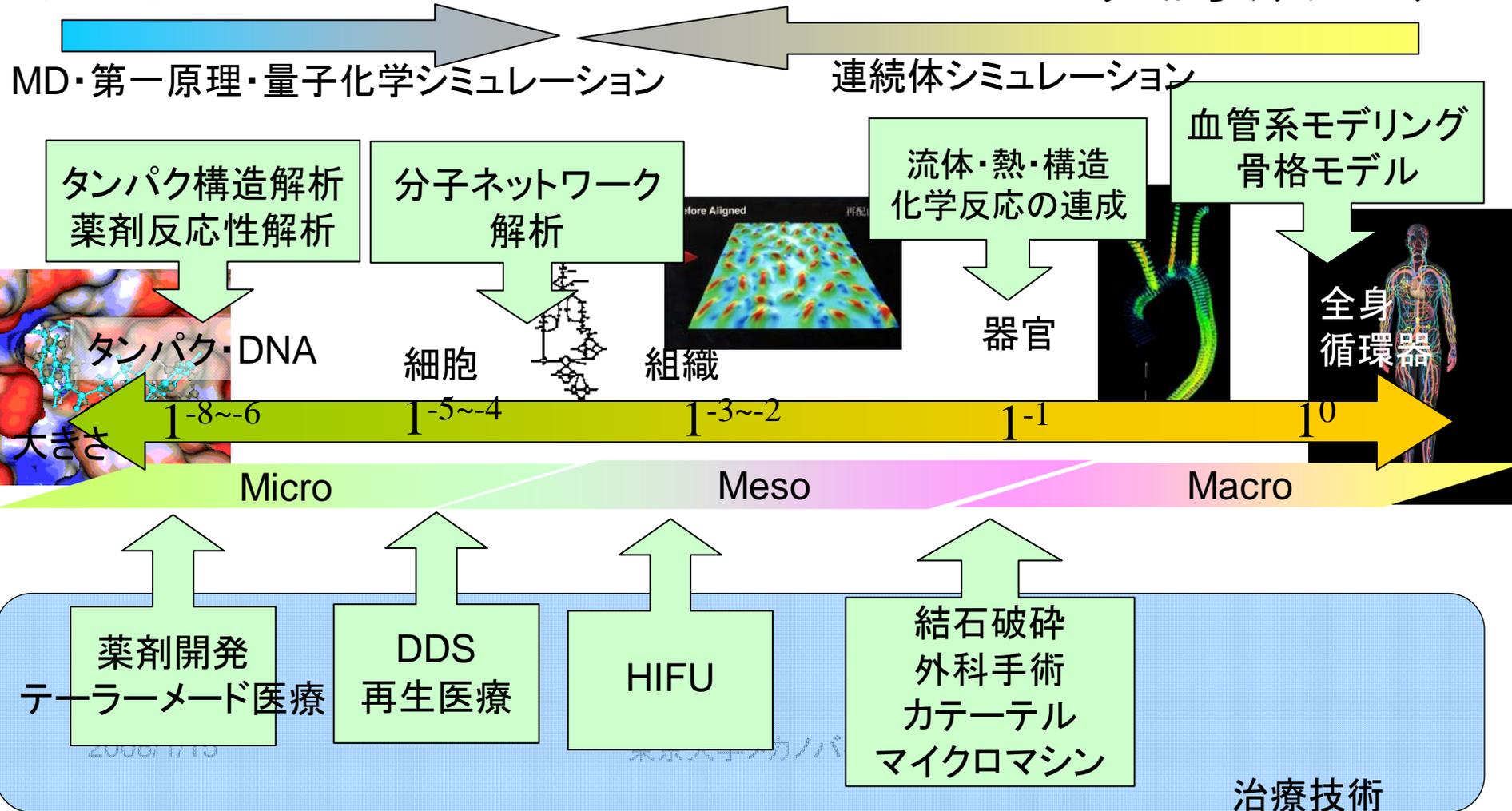
Results of Direct Simulation



マルチスケール人体シミュレーション

ミクロからのアプローチ

マクロからのアプローチ



理化学研究所(20) 生体力学シミュレーション研究プロジェクト(17)

戒崎俊一、姫野龍太郎、加藤陽子、賀纓、岩瀬英仁、早坂智明、横井 研介、孫智剛、中村佐紀
子、山村直人、平田忍、覚正信徳、横田秀夫、長野明紀、清水鉄也、M.Tadjfar、B. V.
Rathish Kumar

理化学研究所 ものつくりV-CAD(2) 牧野内昭武、加瀬究

理化学研究所 素形材工学研究室(1) 山形 豊

神戸大学工学部 富田佳宏、安達泰治

千葉大学 劉浩

東北大学大学院 山口隆美、坪田健一

春日部中央総合病院 深作 和明

岡山大学医学部 北脇知己

奈良県立医大 藤本 眞一

東邦大学第2眼科 矢部比呂夫、川口龍平

東京大学工学部 樋口俊郎

日本大学生物資源科学部 佐藤嘉兵、須長純子

埼玉大学工学部 三島健稔、竹本智子、島井博行

慶応大学環境情報学部 金井 崇

ソフトウェア・クレイドル 渡辺則彦

松下電器産業 望月義幸

City University of Hong Kong 幸村琢

まとめ

- 理研での生体力学シミュレーション研究の現状を紹介した。
- 今後は全ての筋骨格臓器が含まれた状態でのシミュレーションを目指す。
- 非侵襲的粘弾性特性の測定器を開発したい。