

2006年3月7日、8日
理研シンポジウム
生体力学シミュレーション研究

理研における VCADシステム研究

理化学研究所
知的財産戦略センター
ものづくり情報技術統合化研究プログラム

牧野内 昭武

VCAD[®]



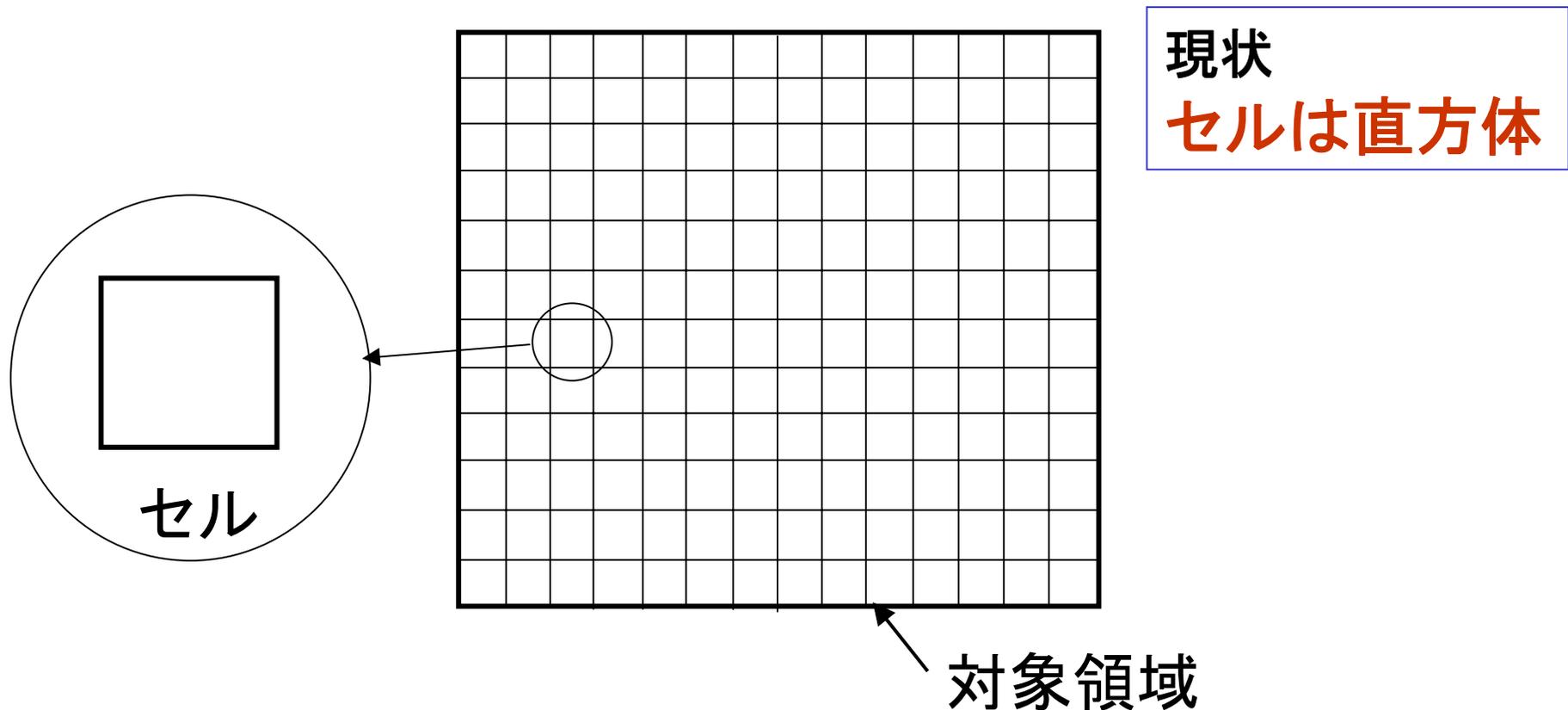
VCADシステムとは

- ものづくり支援のために理研で開発している、設計・製造・シミュレーション・測定を統合する新しい情報技術。
- ものの形だけでなく、複雑な内部構造や内部の物理属性もそのまま表現できる「VCADデータ形式」をその中心に据えている。
- VCADデータ形式で表現されたもののモデルを「VCADモデル」と呼ぶ。

VCADデータ形式 1

対象とする空間をセルで分割する。

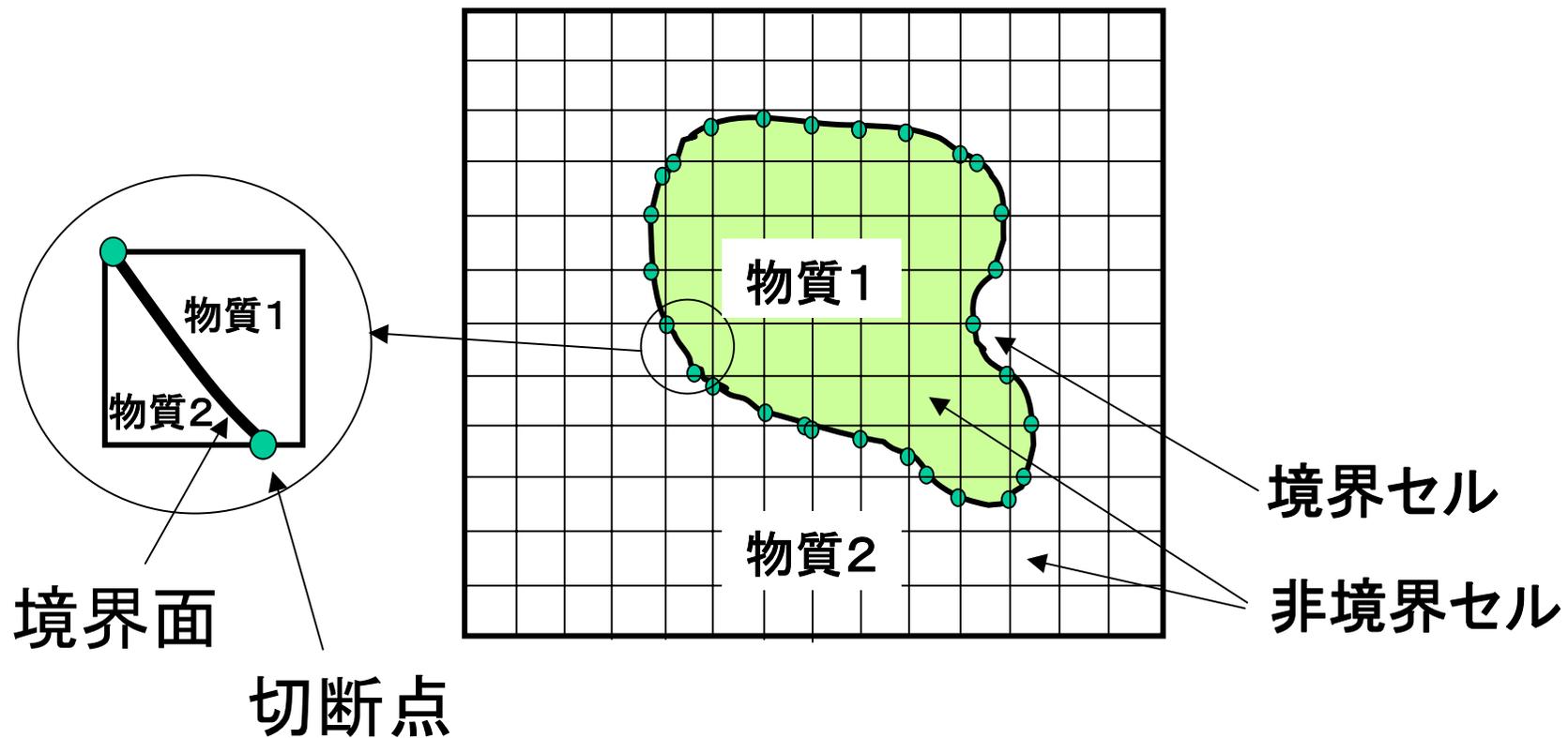
セルは空間を表す基本単位で、対象領域を隙間もオーバーラップも無く埋め尽くす。



VCADデータ形式 2

物体の形をセルを単位として表す。

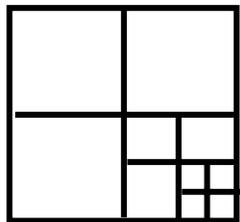
物体の外形形状だけでなく、物体内部に存在する不連続面も、「境界面」によって表現することができる。



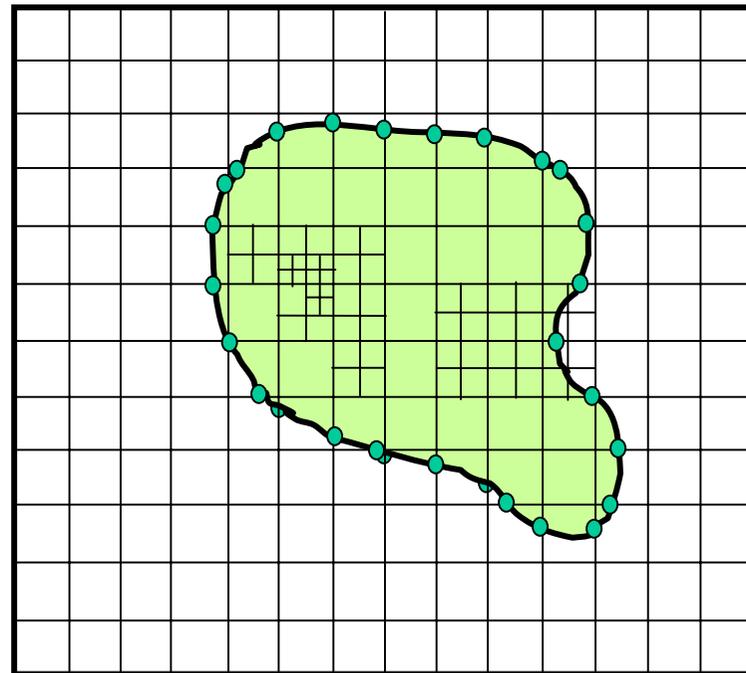
VCADデータ形式 3

セルの大きさは、局所的に変えることができる。

最大のセルは、対象とする空間全域で同一の大きさとし、それを「レベル0のセル」と呼ぶ。



レベル3



現状

セルの階層は
八分木による。
レベル9まで

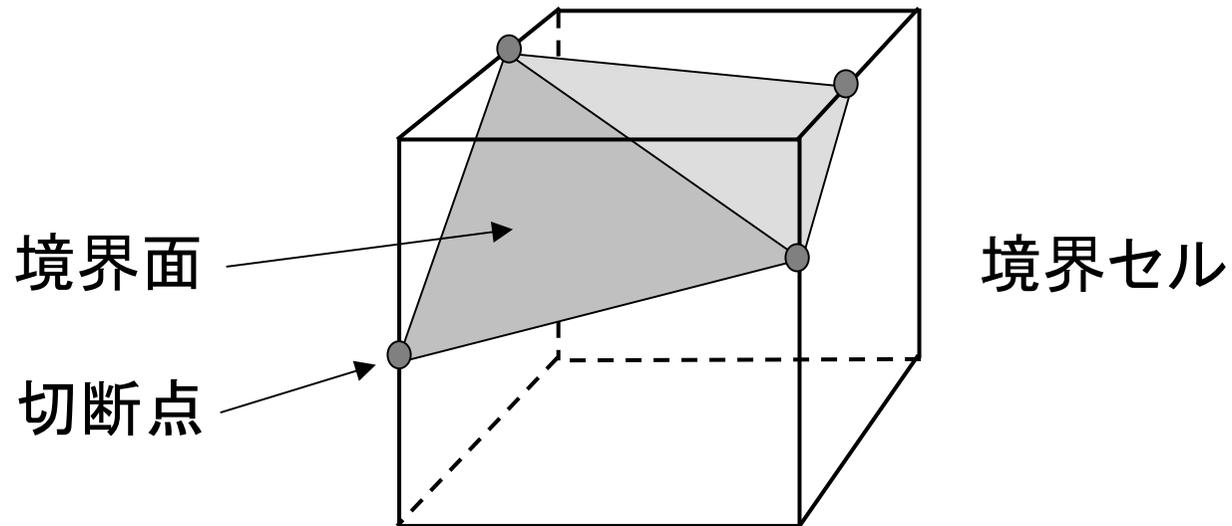
セルの中に境界面を表す方法

Kitta Cube

ルール1 境界面はセルの中に3角形で表現する。

ルール2 三角形の頂点はセルの稜上にある。稜上の頂点を切断点と呼ぶ。

ルール3 切断点はセルの各稜上で1個以下とする。



従来技術との違い

従来のCAD/CAM/CAEは形状(境界面)を
基準とした世界 (形ありき)

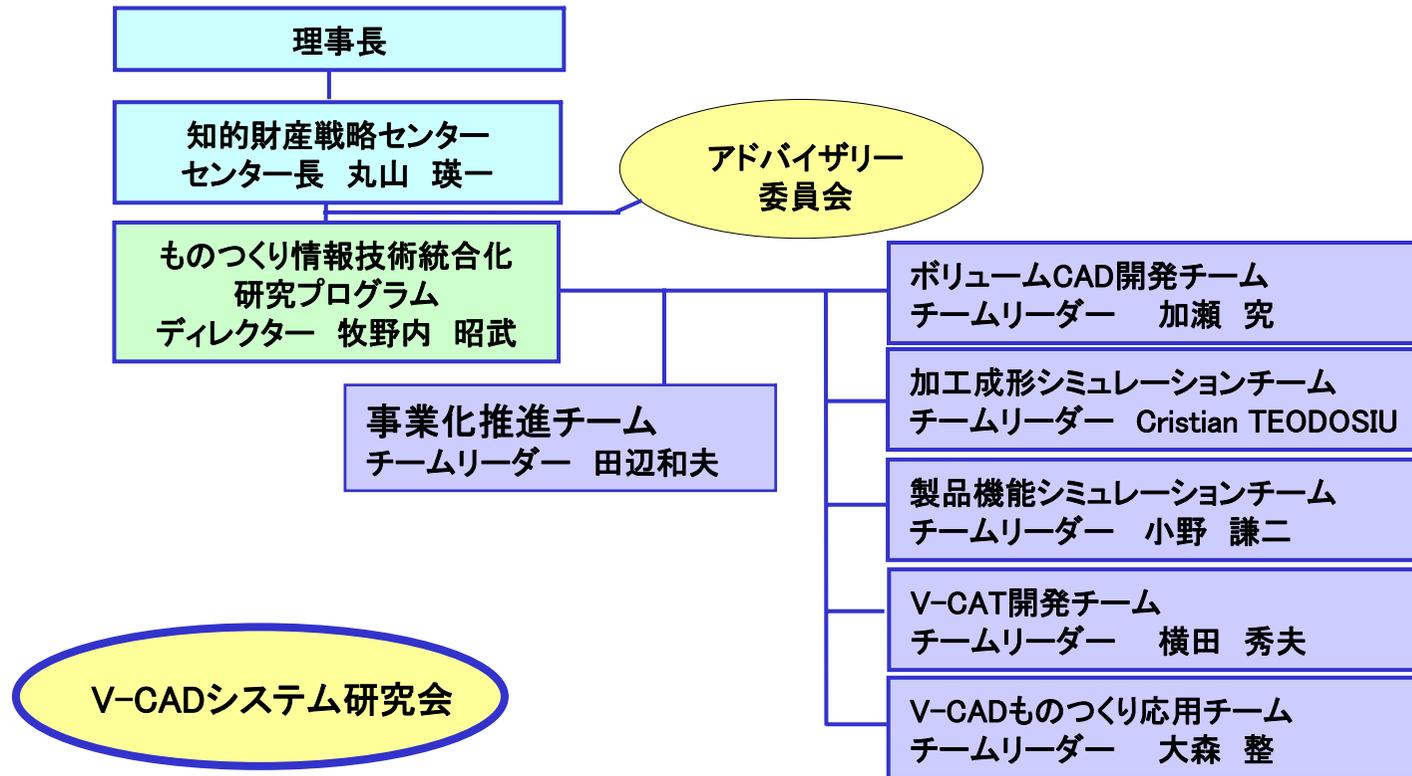
VCAD世界は離散化空間を基準とした世界
で、形状も離散化空間の属性として表現
(離散化空間ありき)

VCADシステムの特長

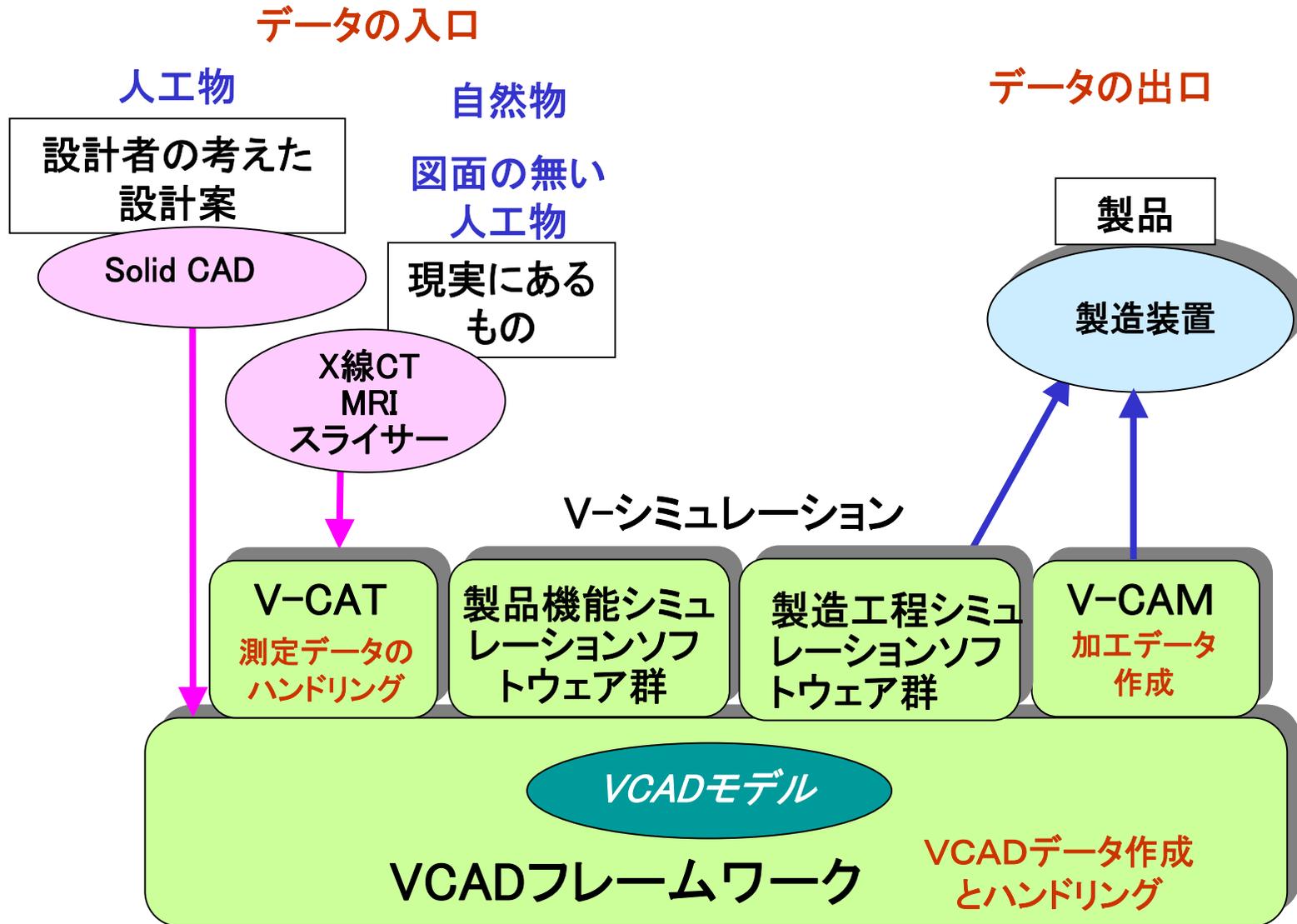
VCADモデルをコアとすることにより

1. シミュレーション、CAM, CATをシームレスに扱える
2. 異なる形式で入力される、人工物（設計した工業製品など）と自然物（複雑な構造を持つ図面の無いもの、生体など）を、同一データ形式のモデルにして扱える

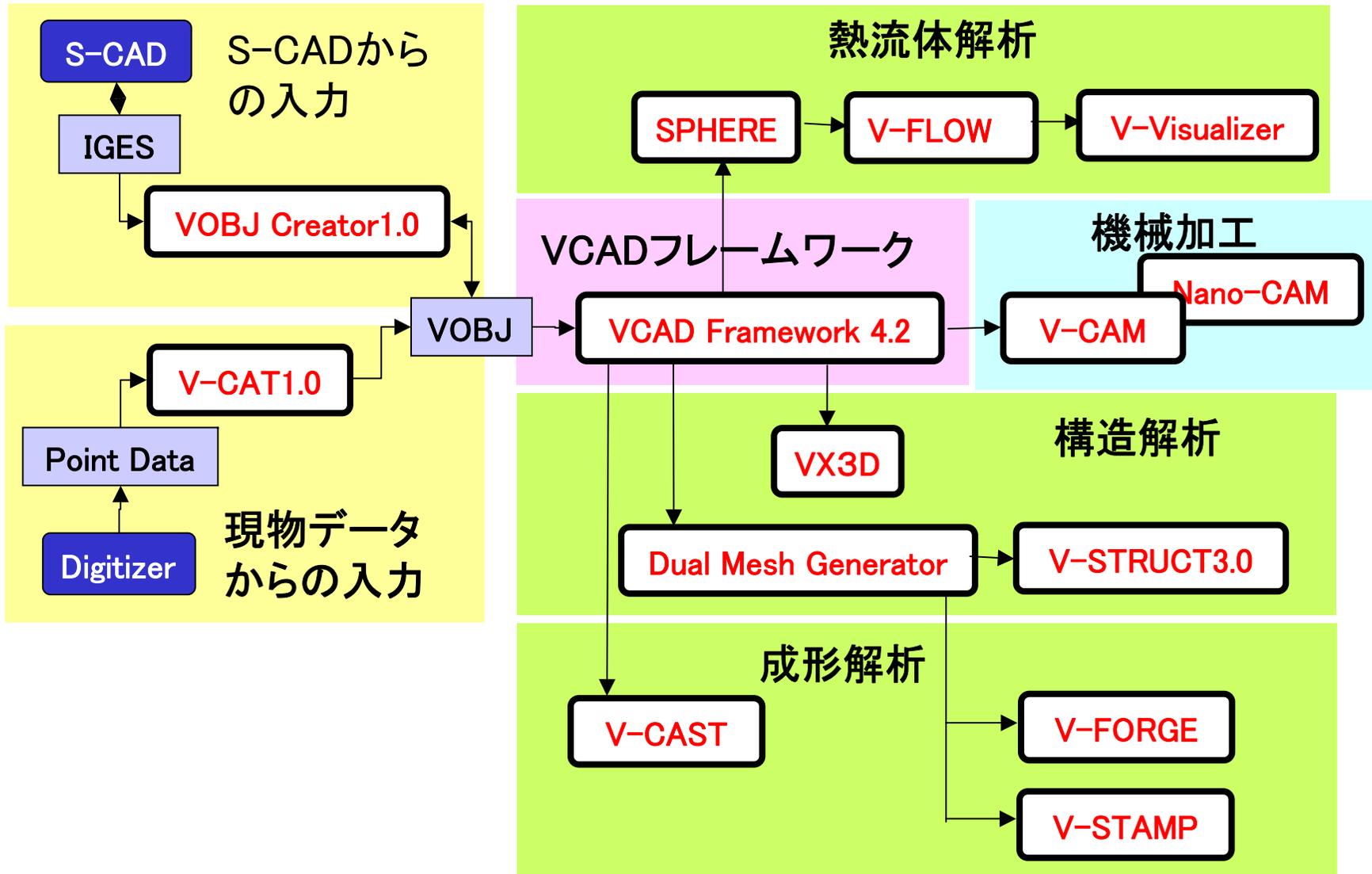
研究組織



VCADシステムの構成



統合化されたVCADシステム

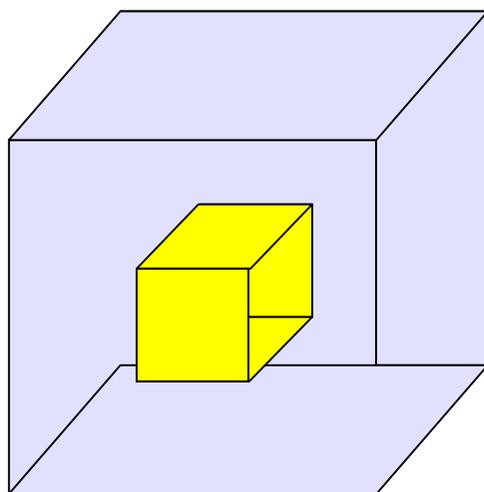


形を取り込む

「V-CAT」

CT、MRI、スライサなどの連続断面画像 からの注目領域の抽出 拡張 Region Growing法

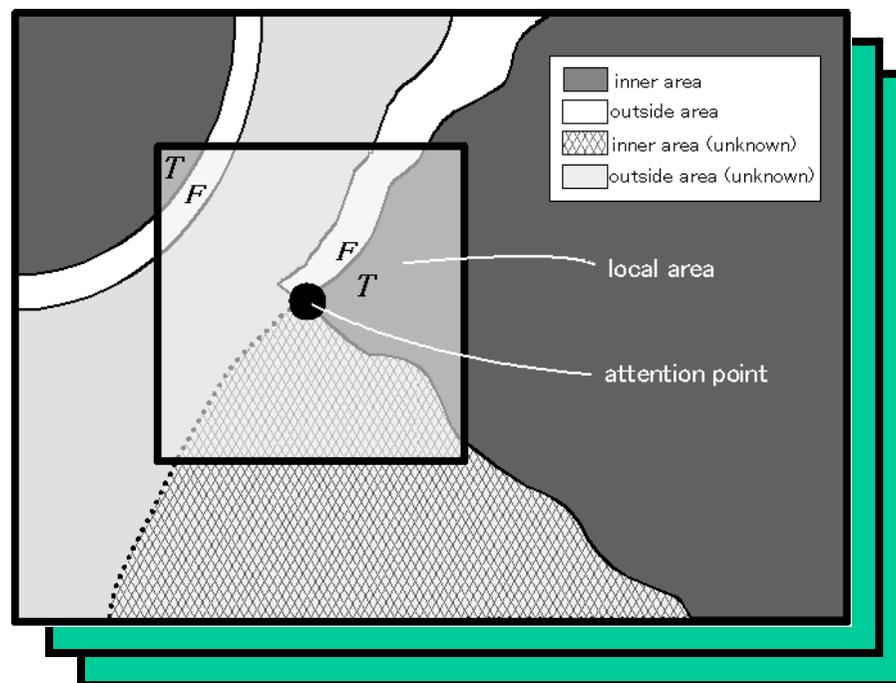
1. 注目点付近の局所領域の情報のみを使用する。
2. 領域内、領域外の既得情報を教師として用いる。
3. メディアン値を使用
4. 3次元空間に拡張



Attention point

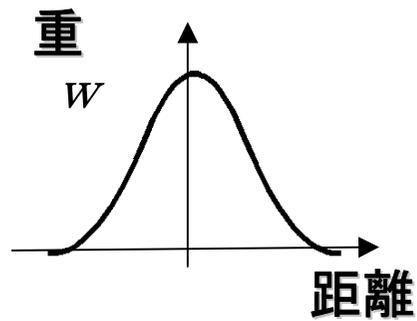
26-connected neighbors

Local area



陰関数による形状表現 (大竹)

Partition of Unity



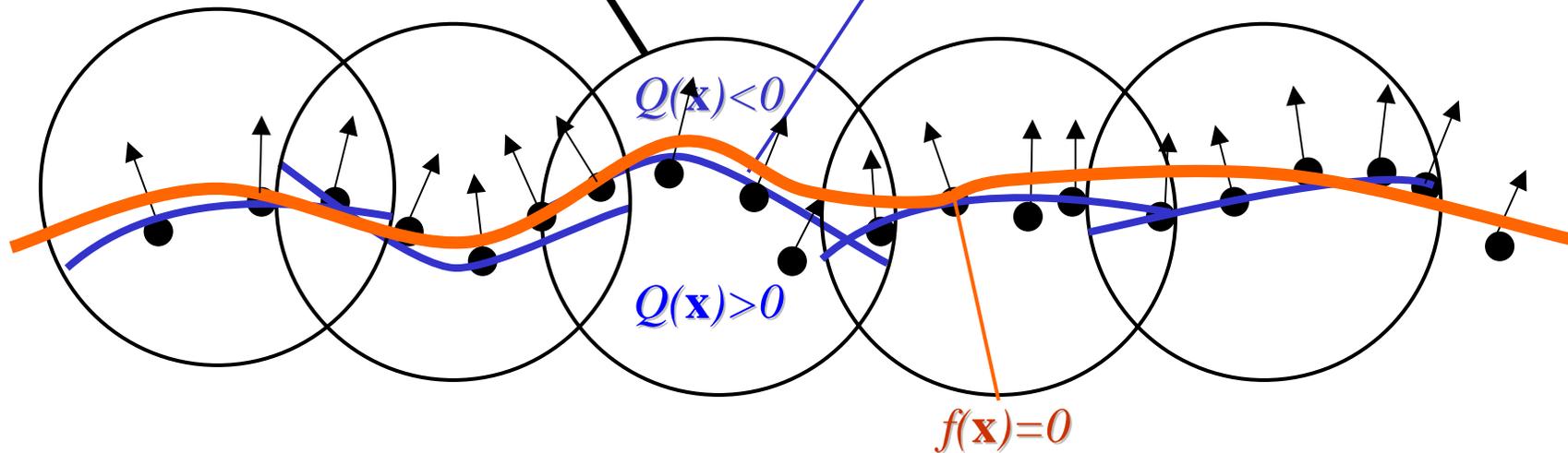
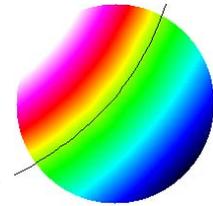
$Q(\mathbf{x})$ のサポート

局所的な陰関
(二次式)

物体内部
 $Q(\mathbf{x}) > 0$

物体表面
 $Q(\mathbf{x}) = 0$ (局所近似)

$Q(\mathbf{x}) < 0$
物体外部



局所近似の重み付き平均

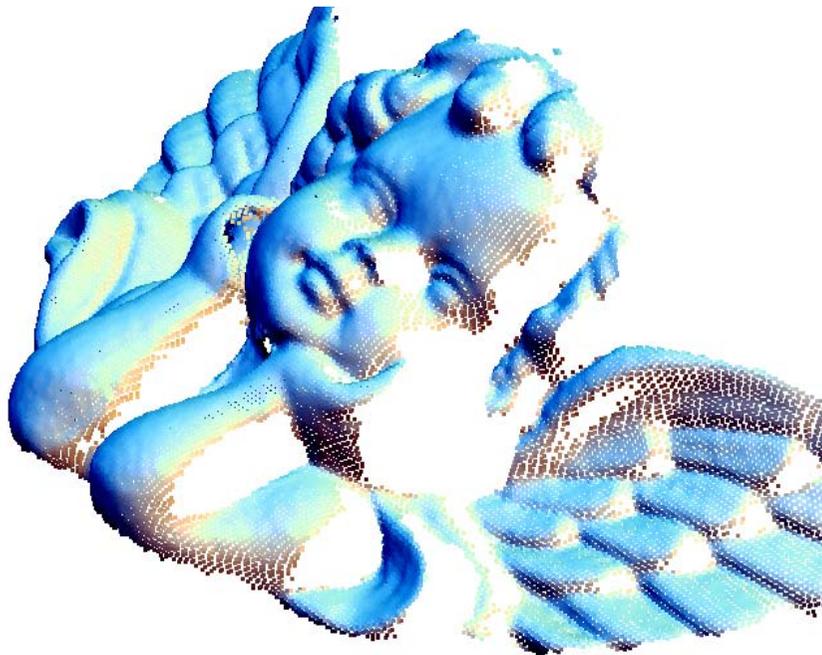
$$f(\mathbf{x}) = \frac{\sum w_i(\mathbf{x}) Q_i(\mathbf{x})}{\sum w_i(\mathbf{x})}$$

大竹による陰関数表現の特長

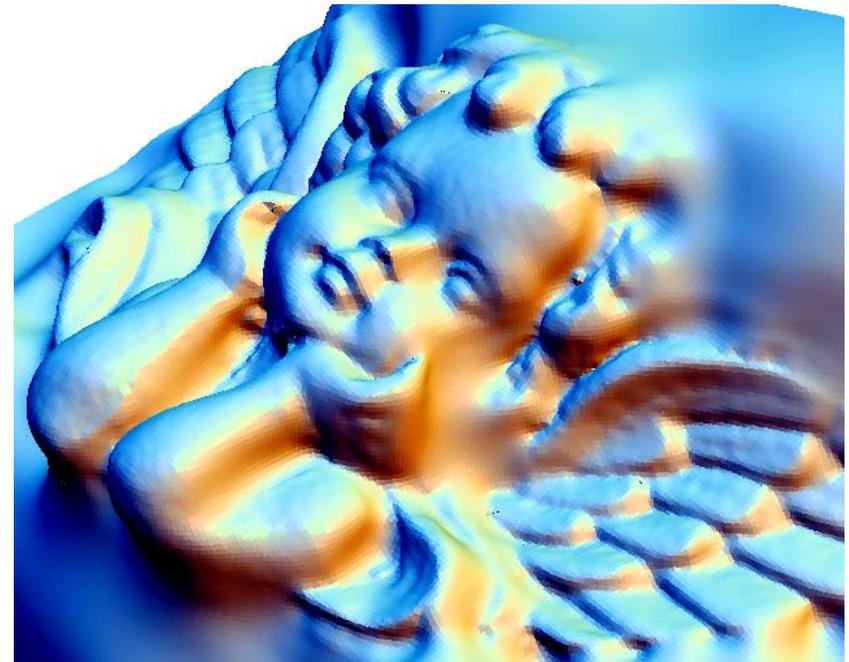
1. 形状欠損部の穴埋めができる
2. ブール操作、ブレンディング、モーフィング等各種の形状操作が容易。
3. 面のスムージングが容易
4. 鋭利な特徴が表現できる。
5. 大規模なデータが扱える。

陰関数による形状表現の有用性 (穴埋め)

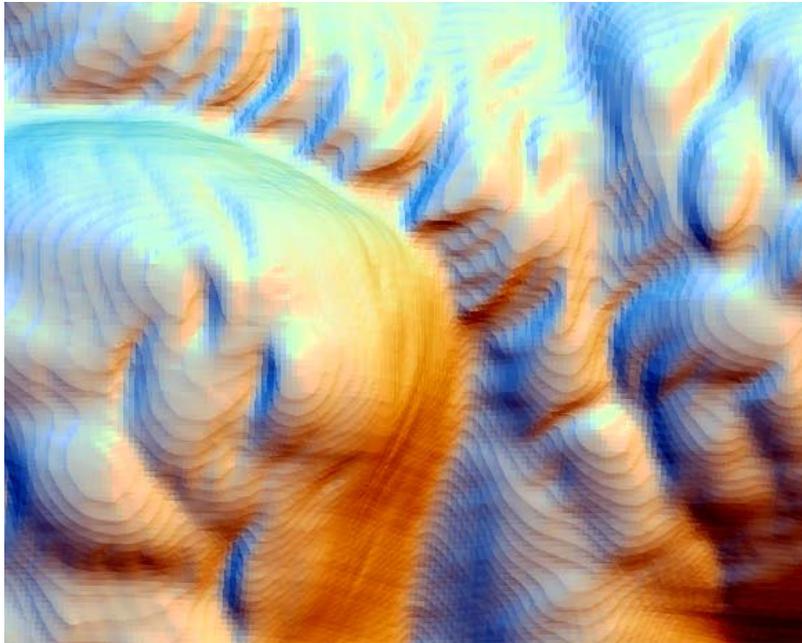
- 陰関数曲面は閉じた曲面を現すので、穴埋めが可能
- 表面スキャンにおける欠損部分
- サーフェイスCADデータにおけるパッチ間の隙間



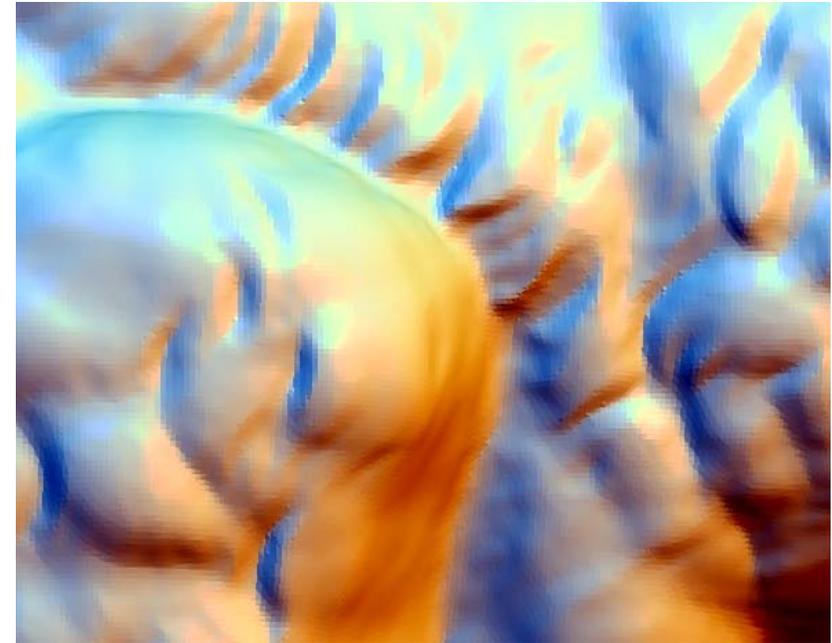
穴埋め



陰関数による形状表現の有用性 (ノイズ除去)



CT値より検出した等値面

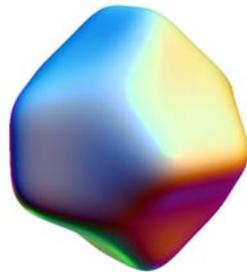


陰関数曲面近似

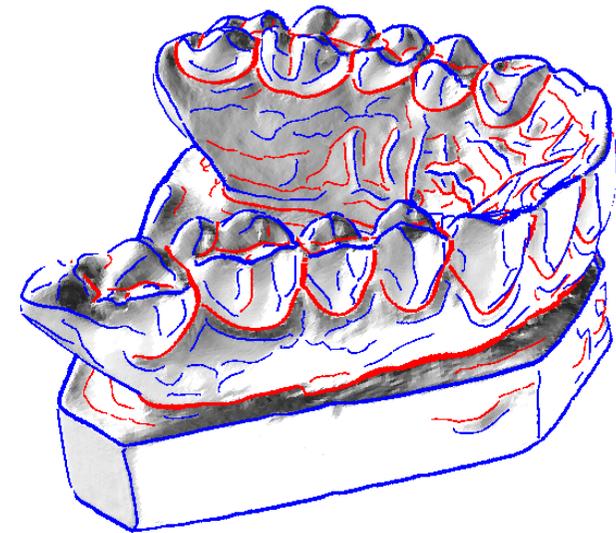
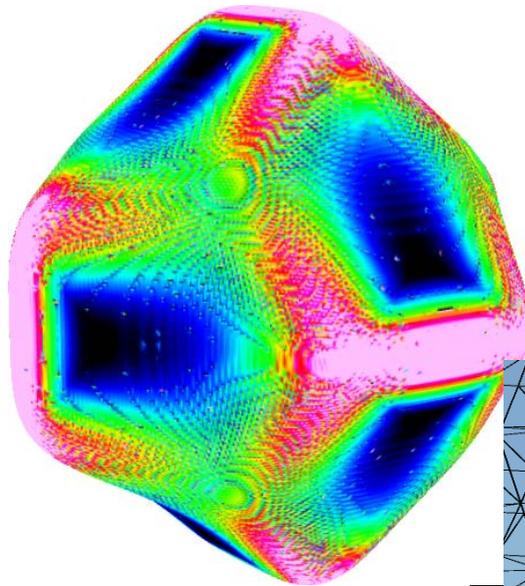
陰関数による形状表現の有用性 (微分値の計算)

解析的に微分値を計算できる

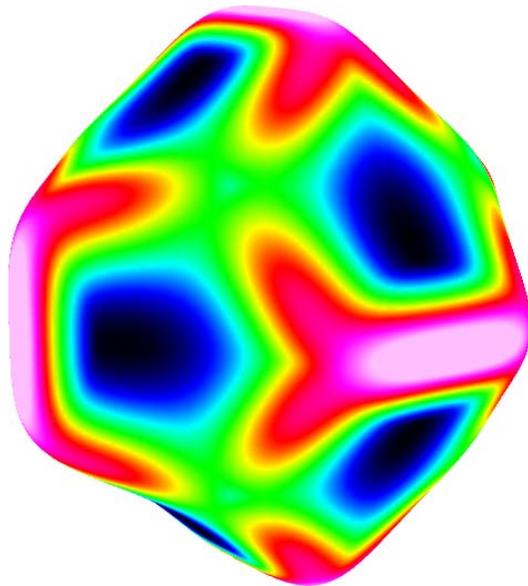
陰関数曲面
近似から
解析的に算出



メッシュから
差分法に
より算出

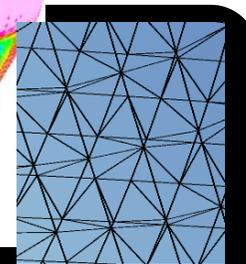


陰関数曲面近似を用いて
検出した曲率極大線

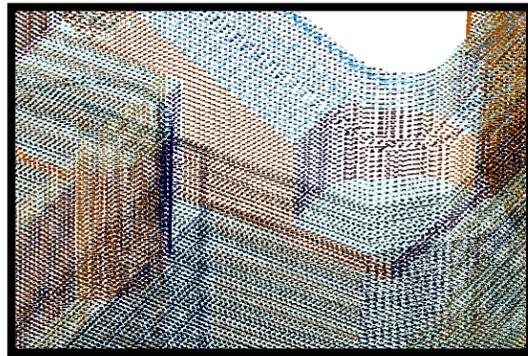


曲率計算の例

原因

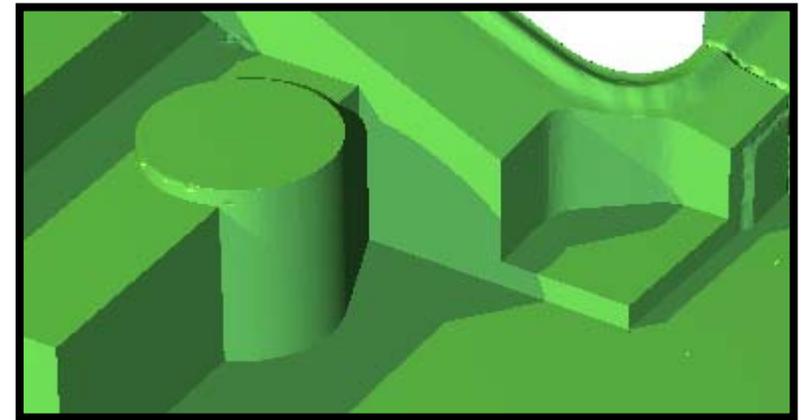


陰関数による形状表現の有用性 (鋭利な特徴の表現)

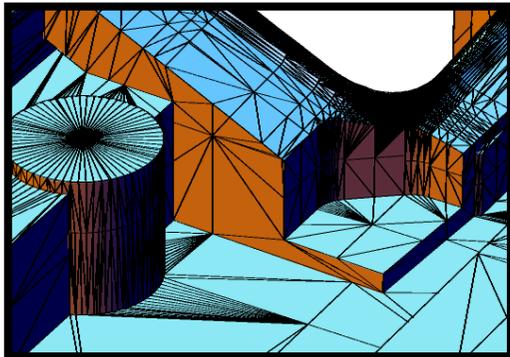


陰関数曲面近似を
光線追跡法により
ピクセル解像度で可視化

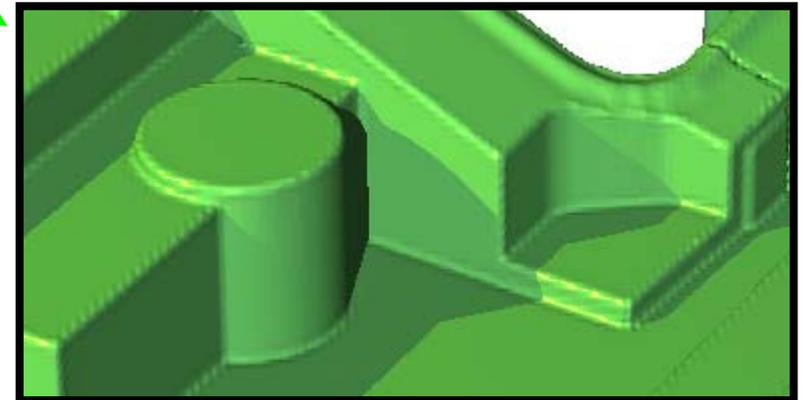
鋭利な特徴関数あり



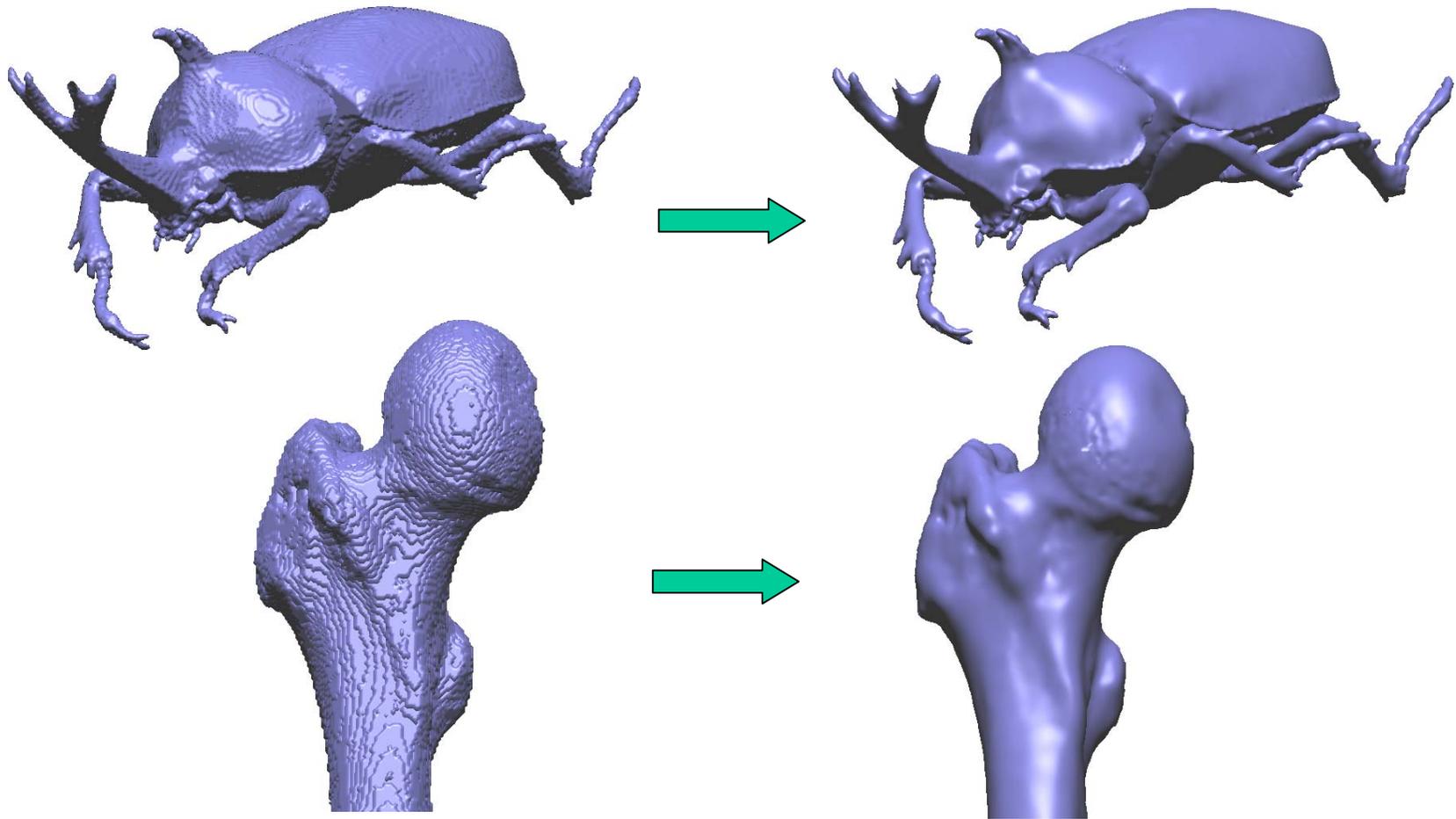
メッシュ上から
点と法線をサンプル



鋭利な特徴関数なし



陰関数によるスムージングの例



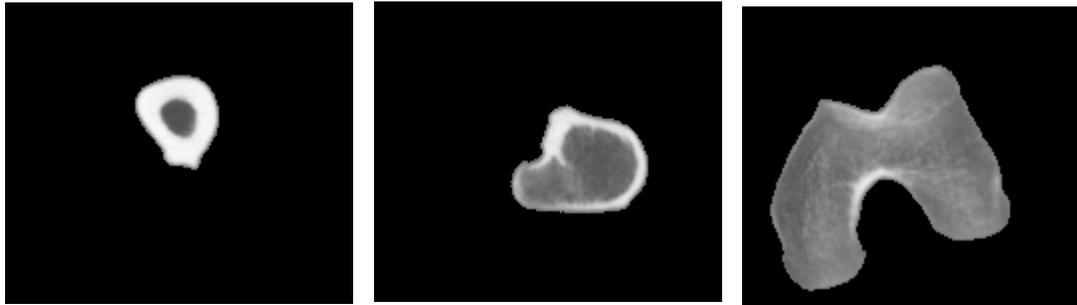
Marching Cube による形状表現

陰関数による形状表現

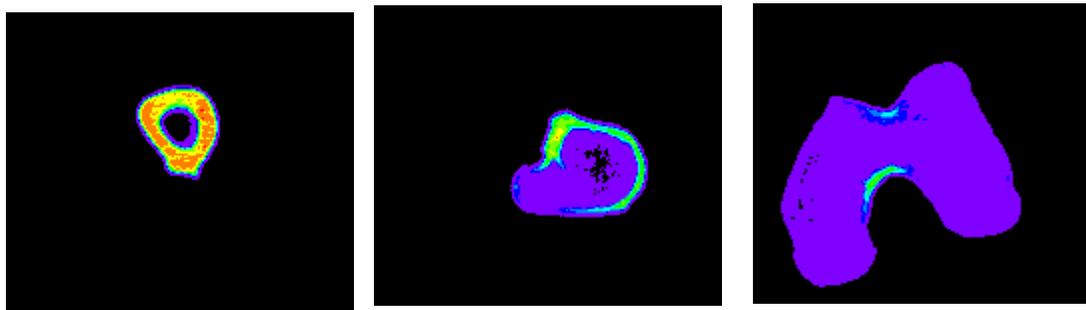
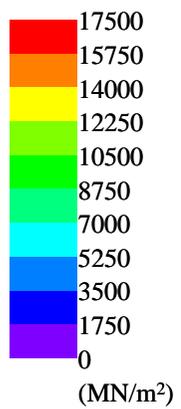
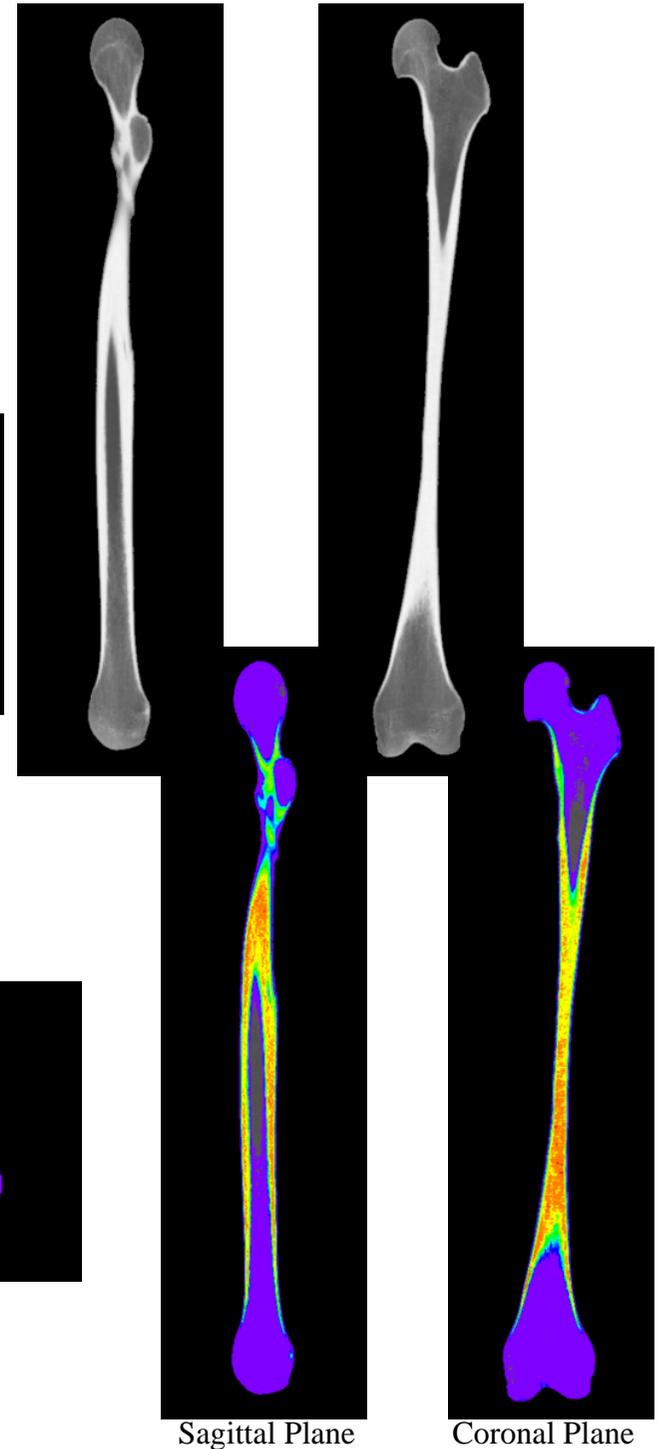
物性値を取り込む

「V-CAT」

CT測定データから生成した 大腿骨



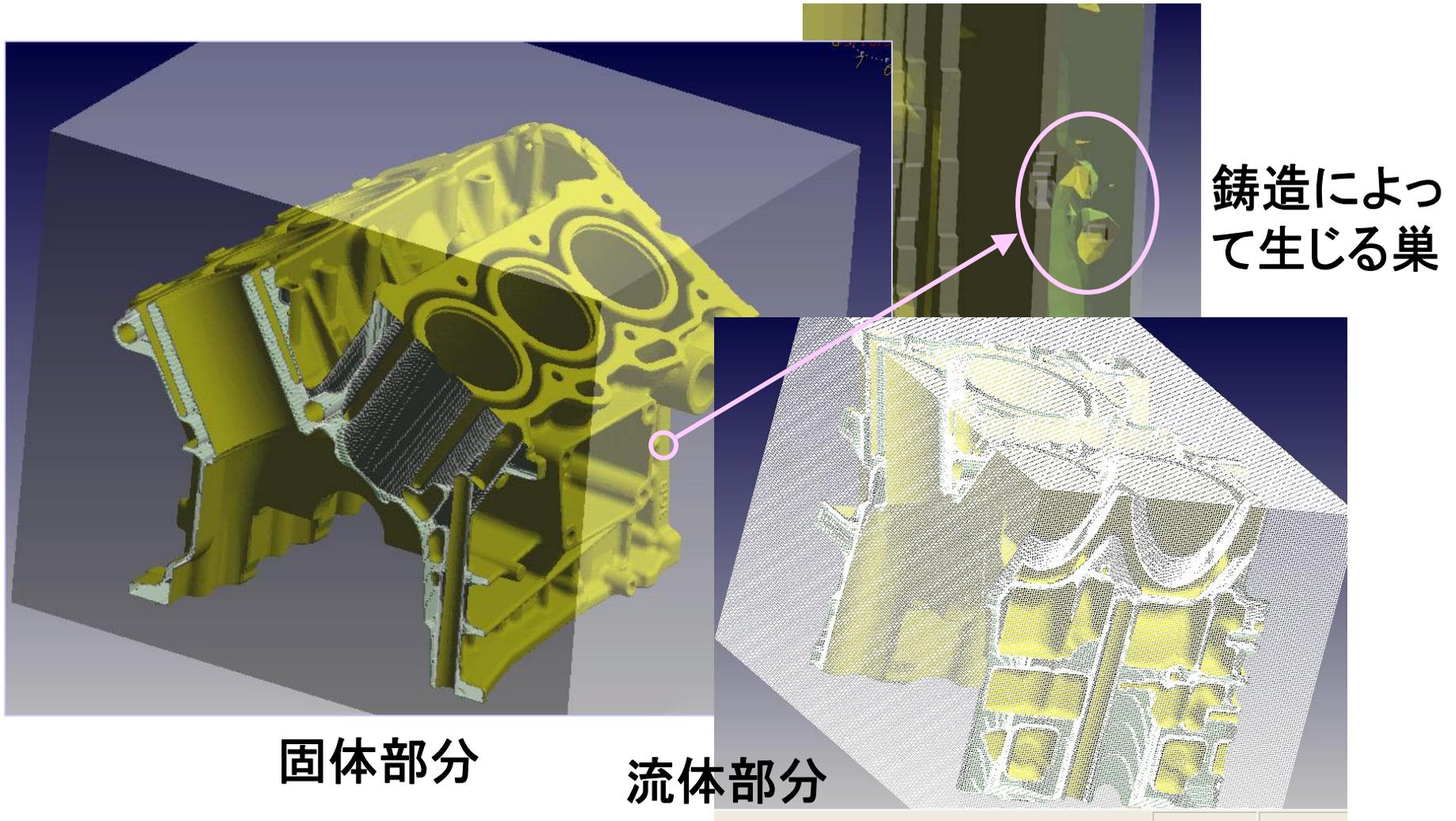
形状モデル



弾性率分布

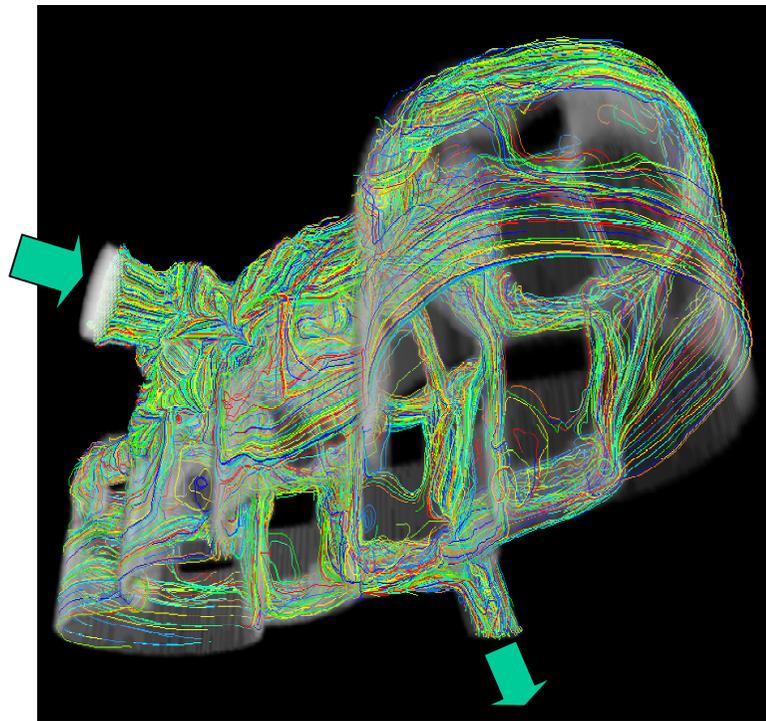
VCADモデルをつくる
「VCADフレームワーク」

アルミV6エンジンのVCADモデル CT測定データより

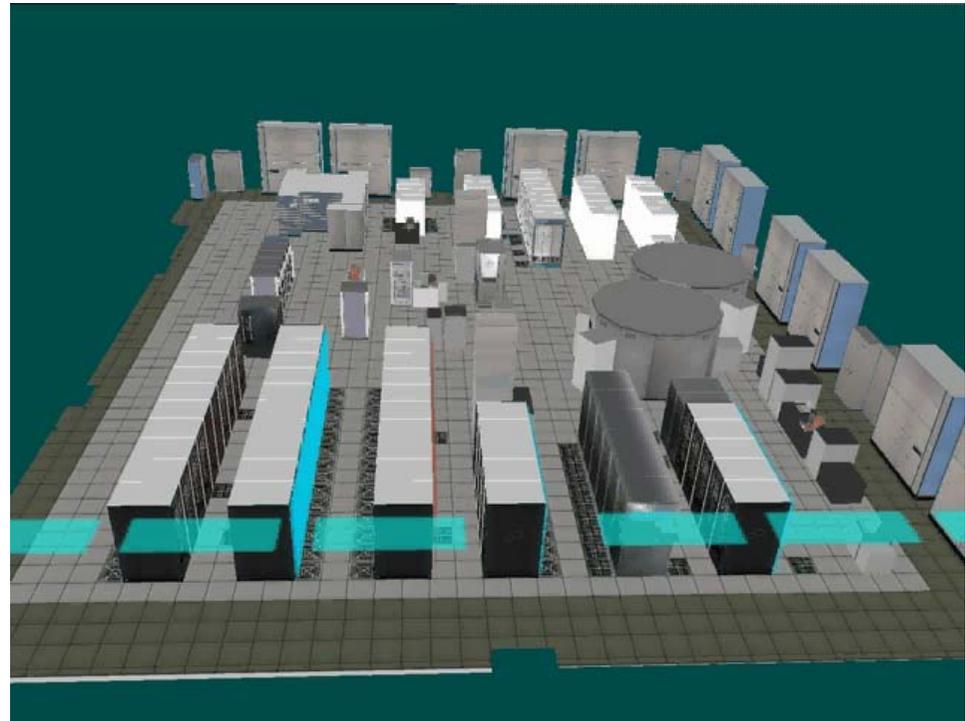


VCADモデルを用いた流体解析 「V-FLOW」

VCADモデルを用いた流体解析



エンジン内の冷却水の流れ



理研情報センター計算機室の熱発生
と伝播

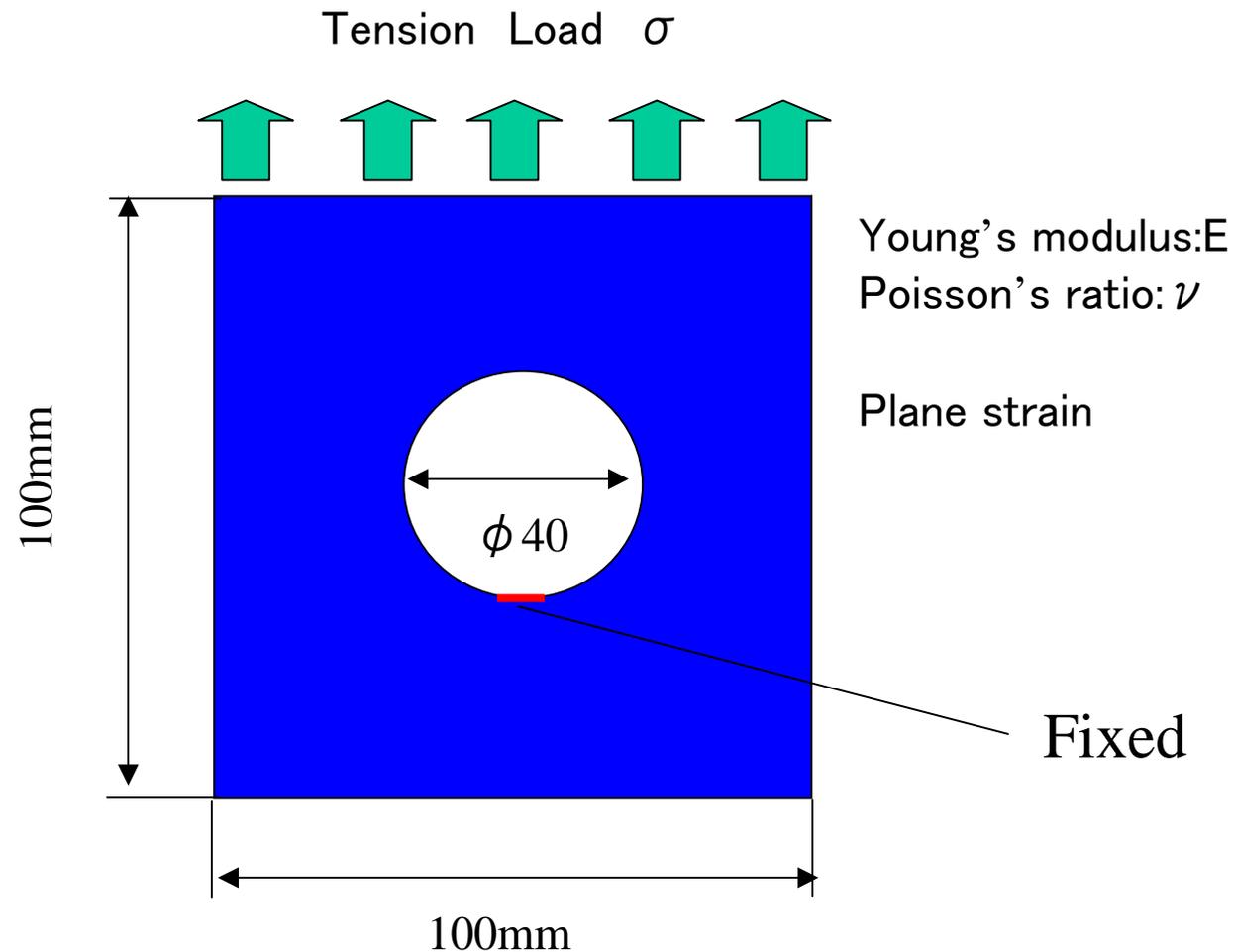
VCADデータ上で走る構造解析手法

(1)VCADデータを直接用いるVX-FEM

(2)双対メッシュに基づく縮退6面体要素FEM

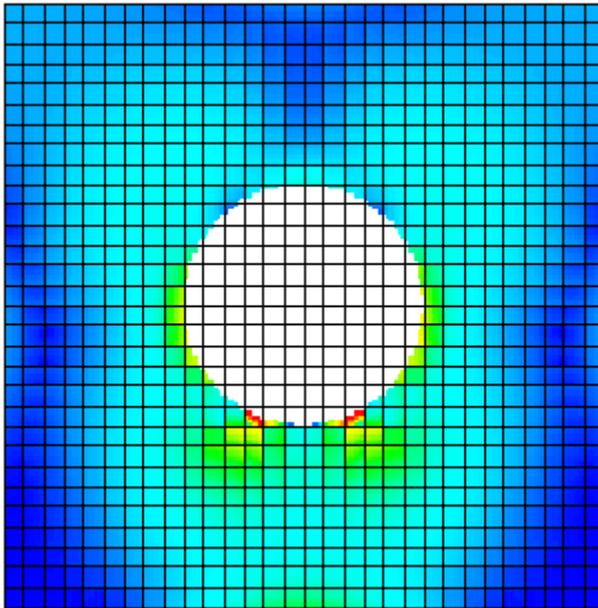
VCADデータ上で走る構造解析

(1) VCADデータを直接用いるVX-FEM



VX-FEM

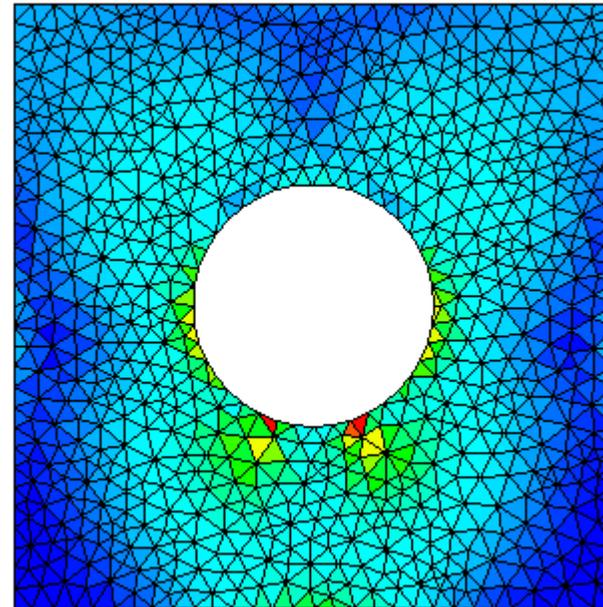
Number of nodes:961
Number of dofs:1774
Number of profiles:105,105



Max.:11.07kgf/mm²
Min.:0.003kgf/mm²

通常のFEM

Number of nodes:811
Number of dofs:1612
Number of profiles:88,598



Max.:9.58kgf/mm²
Min.:0.007kgf/mm²

von Mises Stress

X-FEMによる内挿関数(一般的表現)

$$\mathbf{u}^h(\mathbf{x}) = \sum_{\substack{I \\ n_I \in \mathbf{N}}} \phi_I(\mathbf{x}) \mathbf{u}_I + \sum_{\substack{J \\ n_J \in \mathbf{N}^d}} \phi_J(\mathbf{x}) \mathbf{a}_J f(\mathbf{x})$$

←→
Classical part

←→
Enrichment part

ϕ_I, ϕ_J	通常のFEMでの内挿関数
$\mathbf{u}_I, \mathbf{a}_J$	節点自由度
$f(\mathbf{x})$	エンリッチ関数
\mathbf{N}	全節点集合
\mathbf{N}^d	不連続性を表す節点集合

VX-FEMでの基本方針

不連続面形状表現

Kitta Cube の切断面 (KCT面) を利用

数値積分

Kitta Cube Triangle

体積積分

Kitta Cube を利用

$$\int_{V^e} \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} dV^e$$

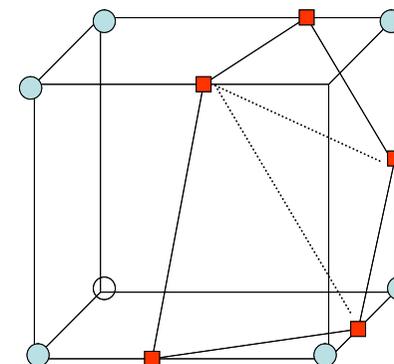
$$\int_{V^e} \mathbf{N}^T \bar{\mathbf{b}} dV^e$$

面積積分

Kitta Cube の KCT面 を利用

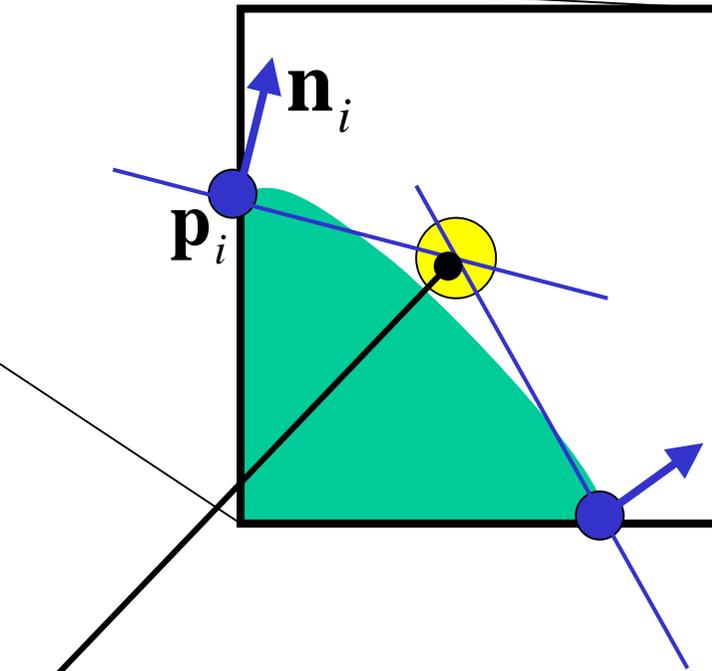
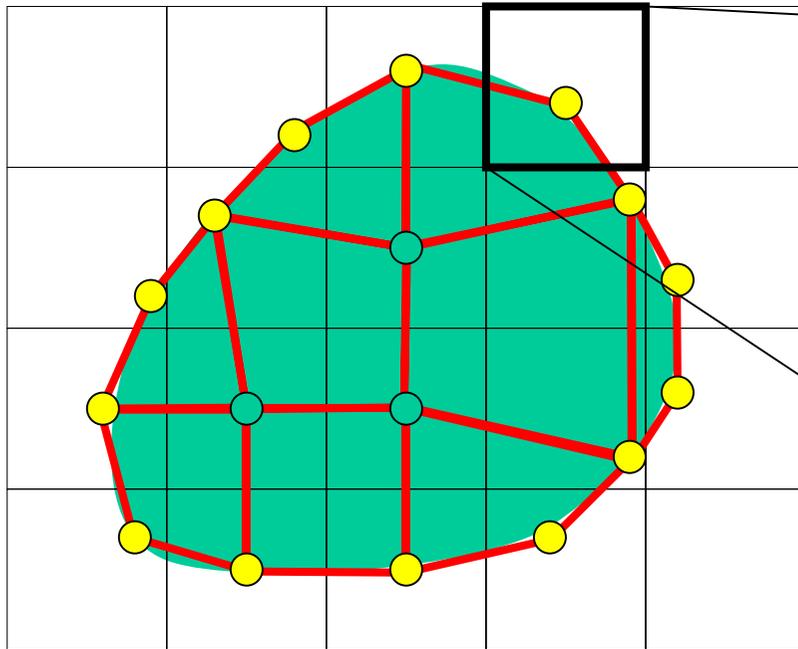
$$\int_{S_t^e} \mathbf{N}^T \bar{\mathbf{t}} dS^e$$

Kitta Cube



VCADデータ上で走る構造解析

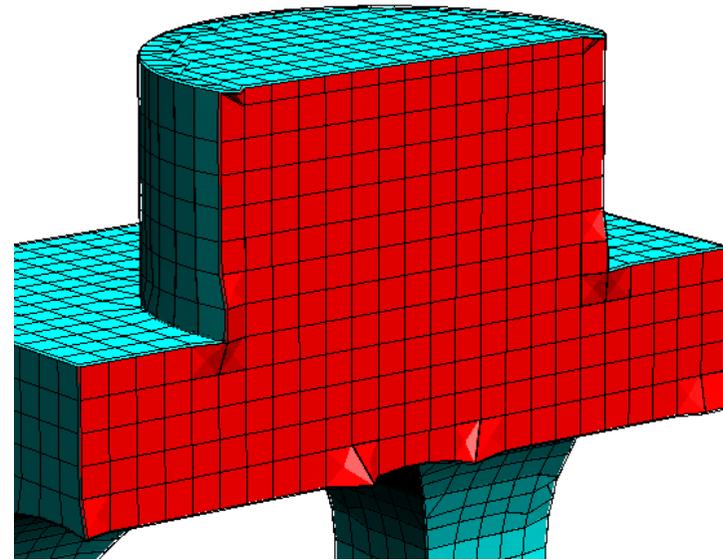
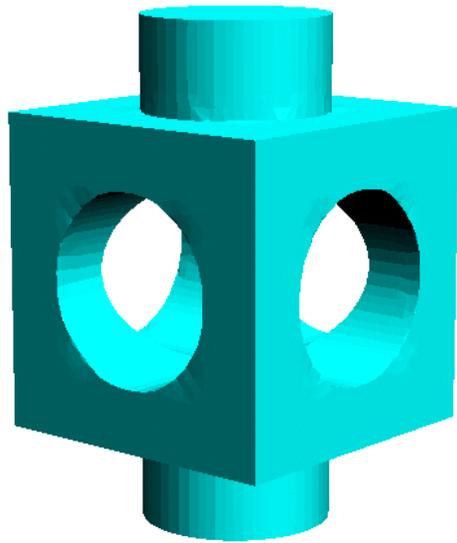
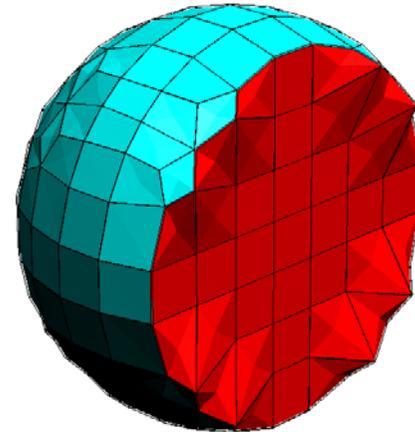
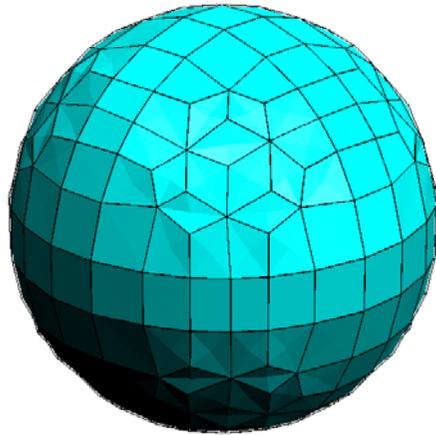
(2) 双対メッシュに基づく縮退6面体要素FEM



$$\operatorname{argmin}_{x \in \text{the cell}} \sum_i \left(\frac{\mathbf{n}_i \cdot (x - \mathbf{p}_i)}{\|\mathbf{n}_i\|} \right)^2$$

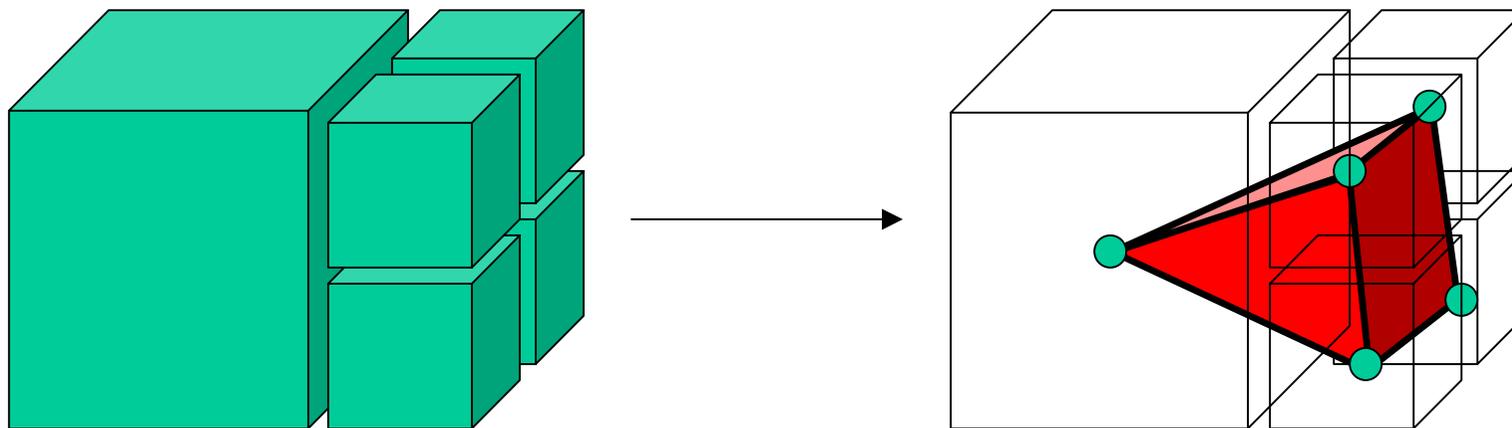
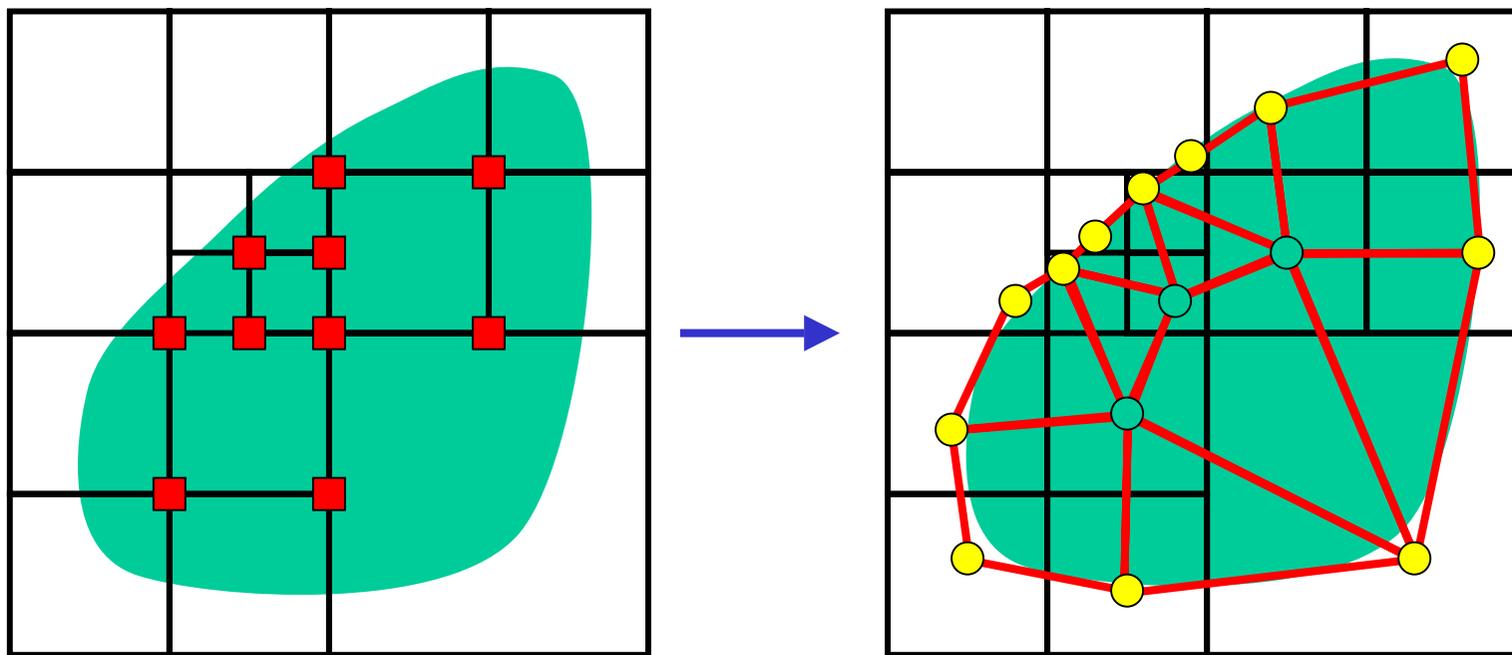
\mathbf{p}_i と \mathbf{n}_i により定義される
接平面への距離

均一格子が入力の際は、縮退無し六面体メッシュになる

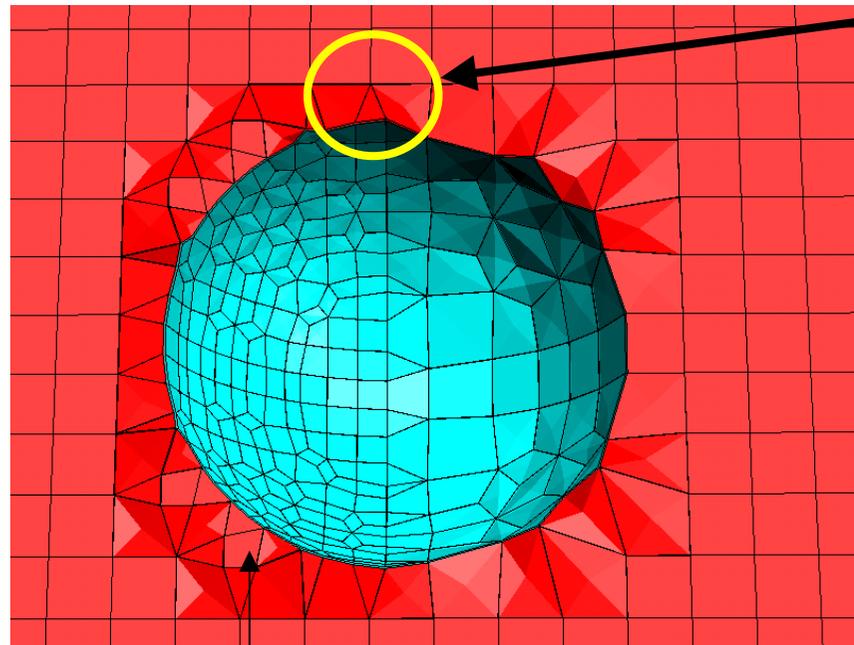


八分木格子によるメッシュ作成

縮退6面体が生じる

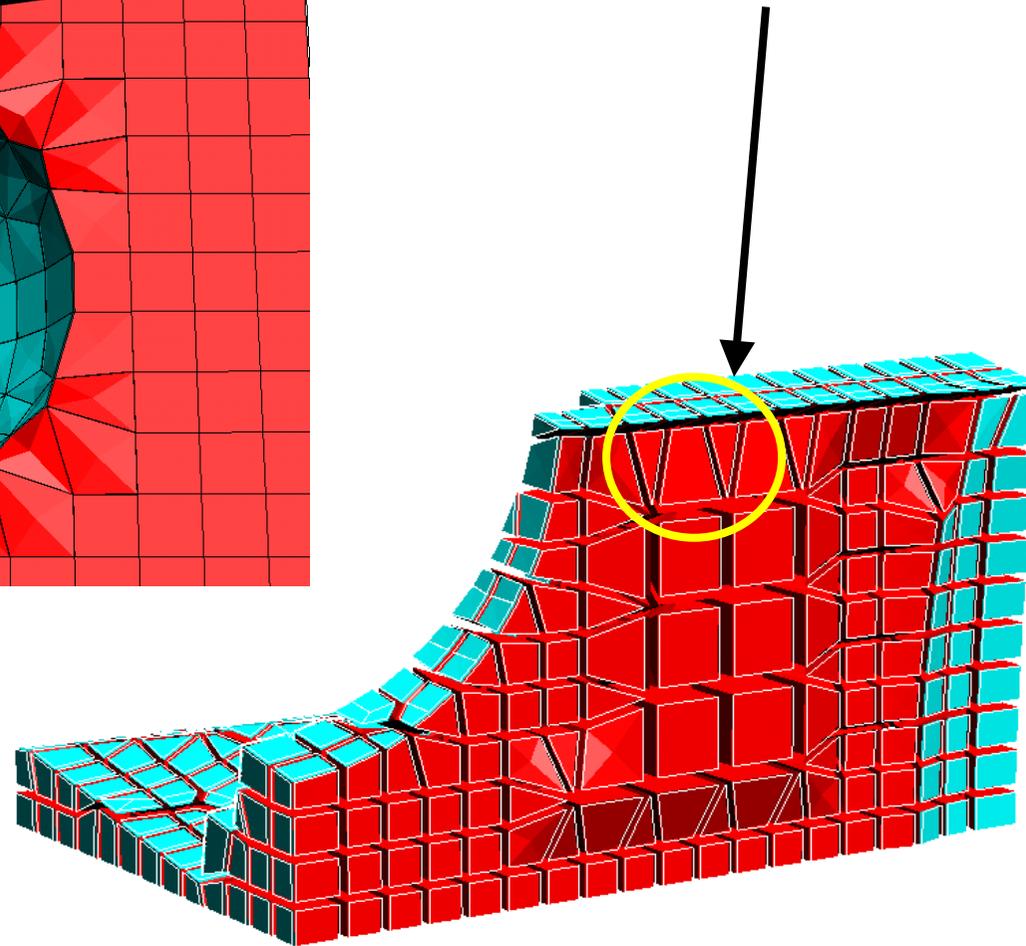


2つの異なる材質からなる物体に発生させた
VCAD双対メッシュ。境界で節点が必ず連続し
ている。



レベル1

縮退六面体要素

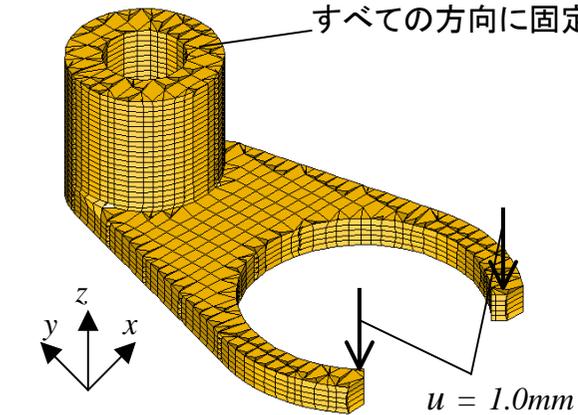


境界セルはレベル1

縮退6面体要素を用いた V-STRUCT (FEM)による構造解析例

解析モデル

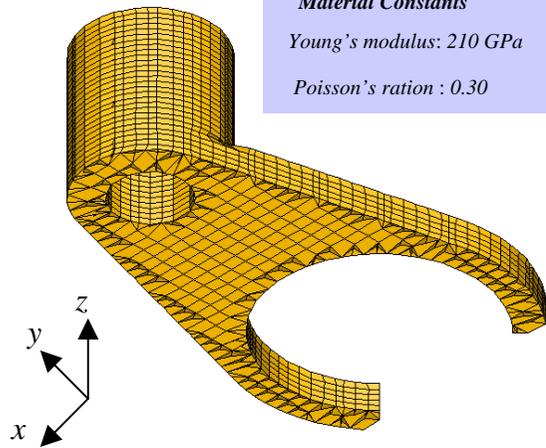
すべての方向に固定



Material Constants

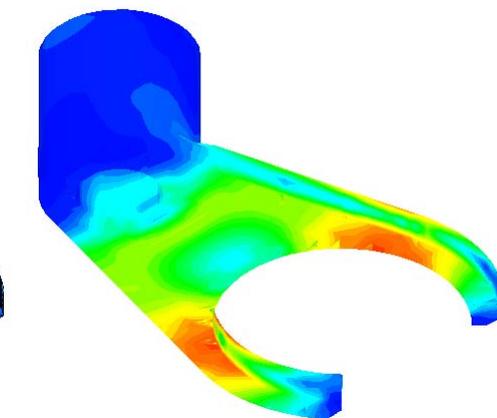
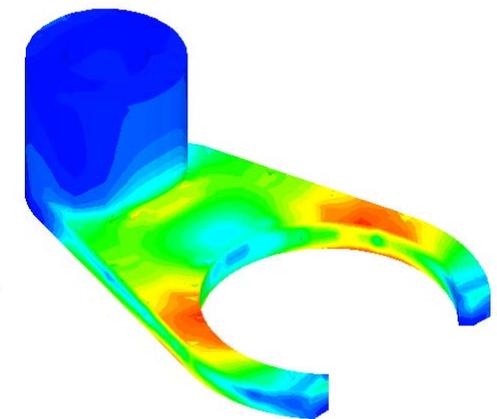
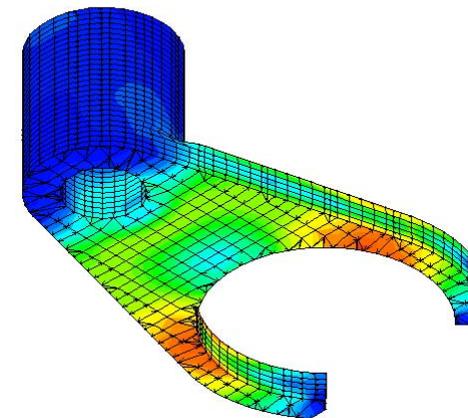
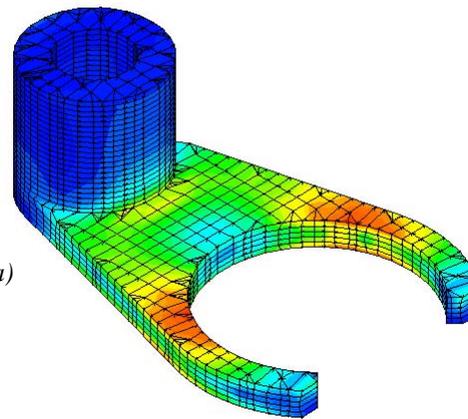
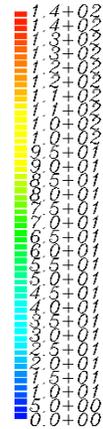
Young's modulus: 210 GPa

Poisson's ration : 0.30



解析結果

Mises's stress(MPa)



VCAD関連ソフトウェア

チーム名	ソフト名	機能
VCAD開発	VCADフレームワーク 4.2	CADデータ生成と修正、可視化
	Dual Mesh Generator 0.5	VCADセルより縮退6面体メッシュの生成
V-CAT開発	V-CAT 2.0	点群データから形状・物性をVCADへ渡す
製品機能シミュレーション	SPHERE 1.1	シミュレーションプログラム開発フレームワーク
	V-FLOW	熱流体解析
	V-Visualizer 1.4	熱流体解析の可視化
加工成形シミュレーション	V-STRUCT 3.0	構造解析(通常有限要素法)
	VX3D	構造解析(拡張有限要素法)
	V-CAST	鋳造解析
	V-SHRINK 1.0	鋳造品の熱収縮解析
	V-STAMP 1.0	プレス成形解析
	V-FORGE 1.0	鍛造解析
VCAD応用	V-CAM	VCADデータの3軸カットパス生成
	NanoCAM	ナノ精度が実現できるCAM
	V-OPT	傾斜屈折率レンズの光路解析
事業化推進	VOBJ Creator	S-CADからVCADへのデータ変換ツール
外部企業	PLANETS Tryshot	樹脂射出成形解析

公開するソフトウェア

商品化を予定

理研以外で開発
商品化済み

普及の方法 1

V-CADシステム研究会

1. 発足:平成14年11月

2. 研究会の活動内容

V-CADシステムの研究・開発に関する情報交換
理研で開発されたソフトウェアの試験的使用及び共同での研究開発

3. 会員

企業会員; 年会費30万円

個人会員(大学、公立研究所の研究者); 年会費5千円,

平成18年3月現在の会員数

企業会員 31社、理研外個人会員 20名

普及の方法 2

VCADシステム公開予定ソフトウェア

平成18年4月予定

