

平成16年9月27日

JSME第12回設計研究会

理研で開発が進む VCADシステムの概要

独立行政法人 理化学研究所
ものづくり情報技術統合化研究プログラム
ディレクター 牧野内昭武

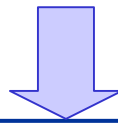
ものづくり情報技術統合化研究プログラム 平成13年4月 - 平成18年3月

目的

ものづくりを支援する次世代情報技術の
研究・開発を行なう

ものつくりを支援する次世代の 情報技術とは

1. 「もの」をものとして忠実に表現できる
2. CAD, シミュレーション, CAM, CATをシームレスに扱える
3. 人工物と自然物、固体と流体、を同一データ形式で扱える



ボリュームCAD (VCAD) システム

VCADシステムで扱いたい「もの」の例

形を持つもの

形: 複雑な形 (自動車エンジンなどボリウムを持つもの。極めて薄いシート、針や糸等は対象外)

構造: すべり面 (プレート境界)、破断面 (クラック、断層) 結晶構造、鑄造巣、パーティクルの分散、フィラー混入、積層材、骨梁構造、生体器官

物性: 連続な分布 (傾斜機能材料)、不連続な分布 (圧着材、生体組織、地殻)

形を持たないもの

空気、水、油、溶けたポリマーや金属 (ただし複雑な境界)

もののモデル化における課題

「もの」「つくり」「情報技術」の統合化

もの

複雑

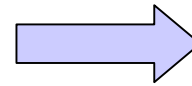
不均一

大規模

つくる

形状ハンドリング

精度



情報技術

物理モデル
は大切

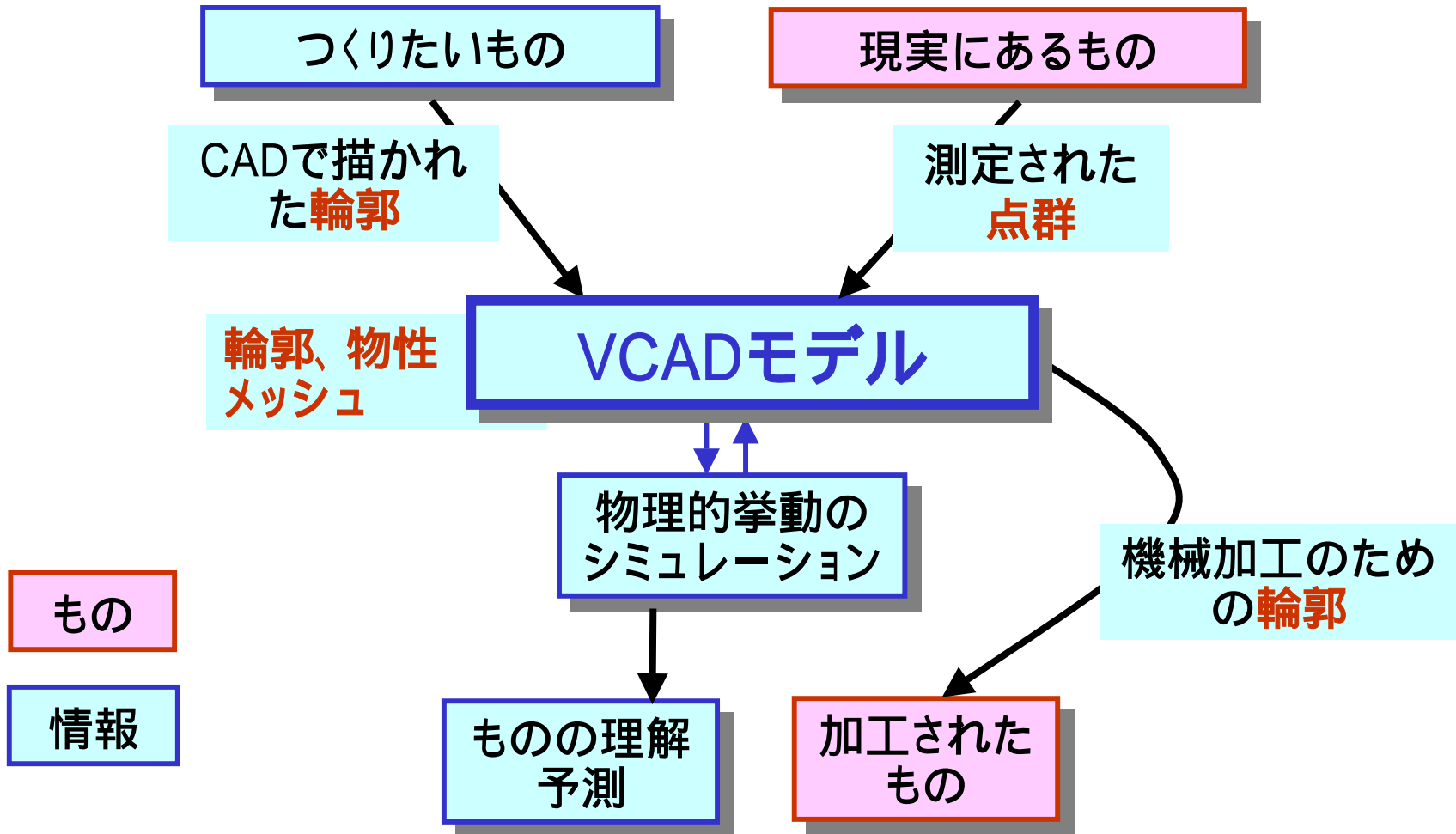
しかし、まず
幾何モデル
をどうつくる
かが課題

「もの」を扱うための幾何モデル技術

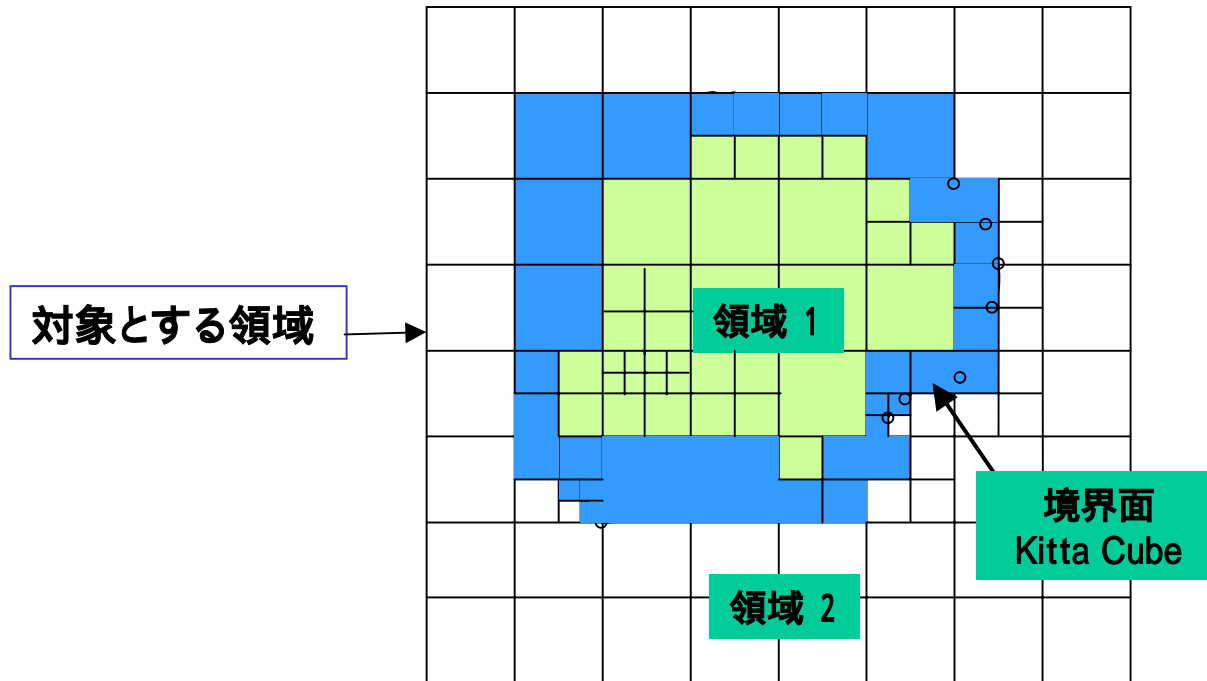
ものの持つ属性	モデル化手法	要件	幾何技術
構造	形状モデル生成手法	外形表現	輪郭表記
		構造表現	輪郭表記
物性	物性測定・付与手法	不均一物性表現	メッシュ分割
機能	物理シミュレーション手法	場の方程式の解法	メッシュ分割

もの(連続体として表現できるもの)を扱うための幾何モデル技術で必要なのは輪郭表記とメッシュ分割の2つ。そしてこの2つが統合されたデータ形式で表現されなくてはならない。

VCADモデルで統合されたデータの流れ



VCADデータ形式



1. 対象とする全空間をセルで分割する。
2. 境界面(輪郭)をセルの中に書き込む (kitta Cube)。領域1、領域2は固体あるいは流体、生体組織も。
3. セルの大きさに階層性を持たせる (八分木)。

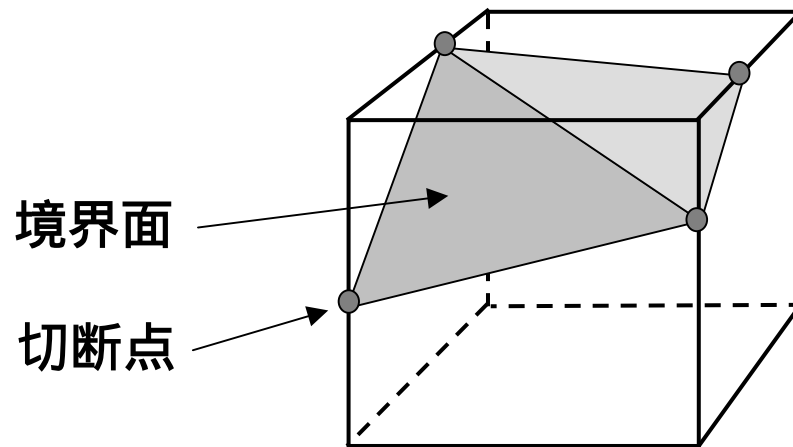
セルの中に境界面を表す方法

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。



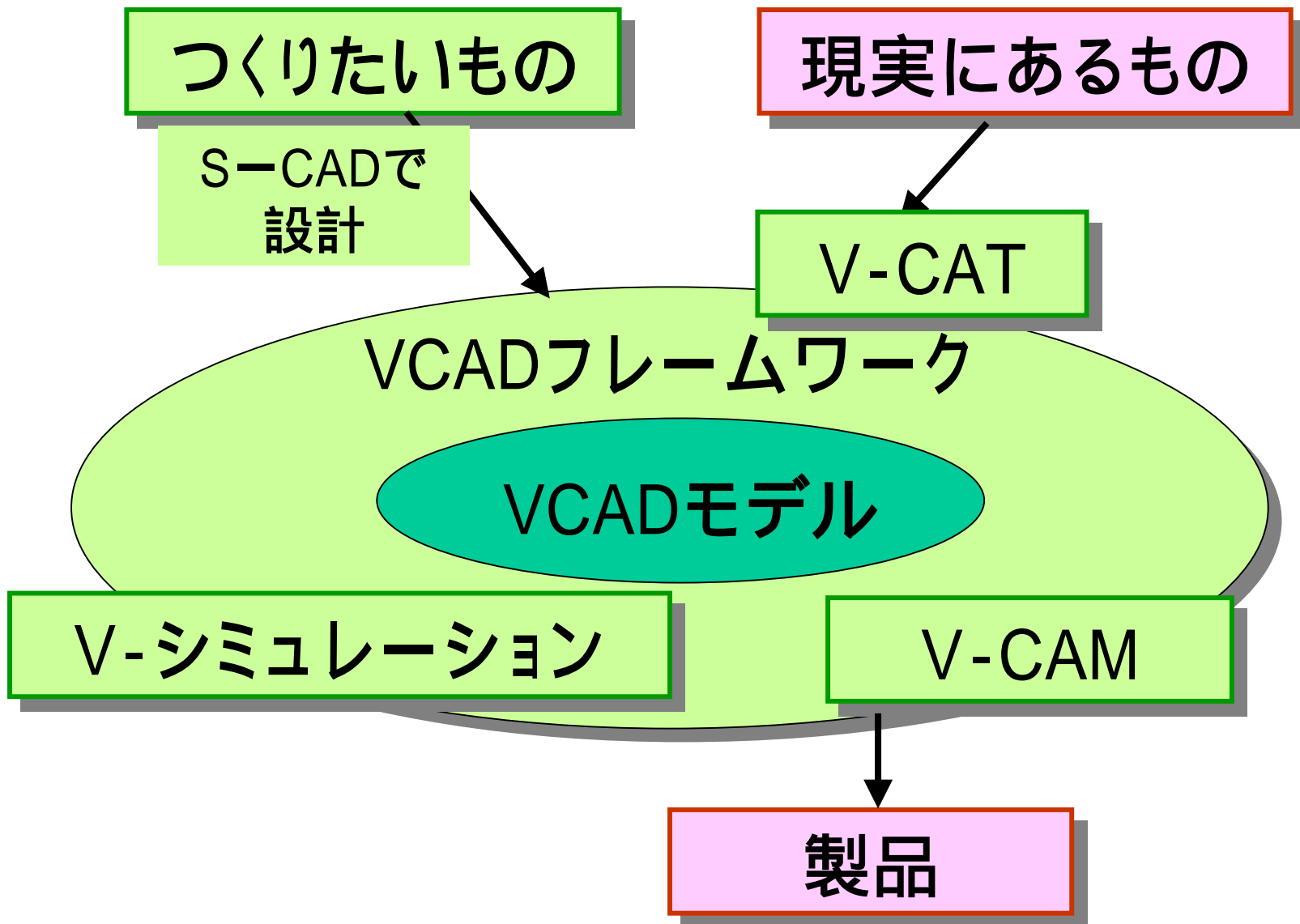
境界セル

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)

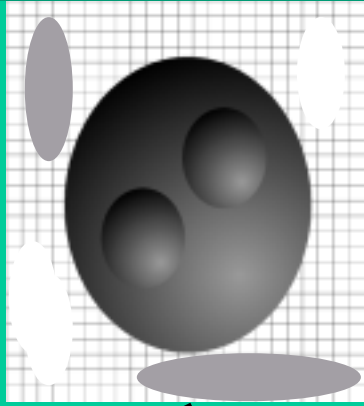
VCAD世界は離散化空間を基準とした世界
で、形状も離散化空間の属性として表現
(離散化空間ありき)

VCADシステムの構成



V-CAT

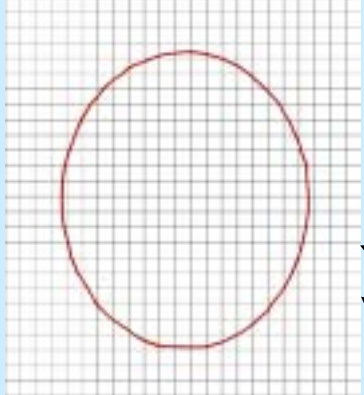
- CTデータからVCADへの形状情報および材料情報の受け渡し
 - 形状情報
 - ボクセルデータ
 - STLデータ
 - 材料情報
 - 各ボクセル毎の推定物性値
 - STL毎に設定した物性値
- CTデータからの特定領域の抽出機能の開発
 - 抽出領域の編集ソフトウェアの開発
 - 抽出領域の確認機能
 - 上記自動抽出法の開発



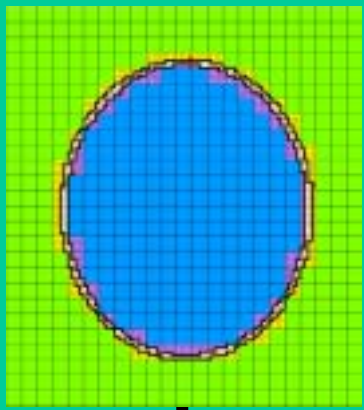
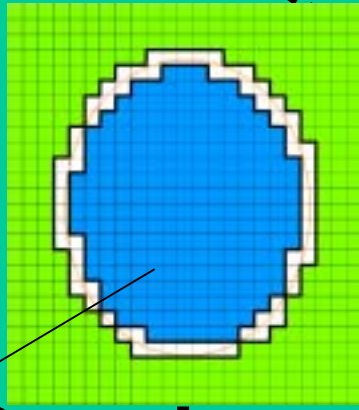
Marching Cube



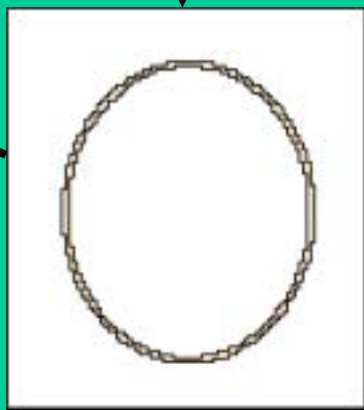
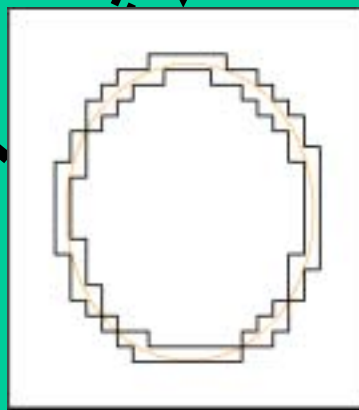
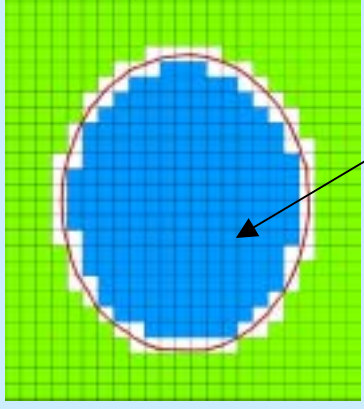
形状生成
サブボクセル



形状
生成



属性
付加



V-CADデータ

ボクセル空間でのセグメンテーション



鑄造巢構築画像 (STL)

V-シミュレーションの例1

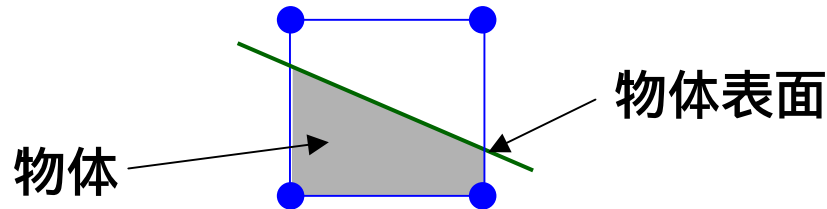
線形構造解析

X-FEM

拡張有限要素法

(eXtended Finite Element Method)

要素の中を境界が通る



- 特徴的な変位場を、内装関数を拡張することによって表現する手法
- き裂などの要素内不連続面を扱うことが可能

X-FEM

X-FEMによる物体内部変位場の表現

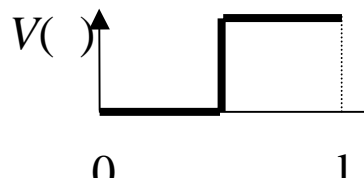
$$u(x) = \sum_i \phi(x) u_i + \sum_j \phi(x) f(x) a_j$$

拡張された自由度

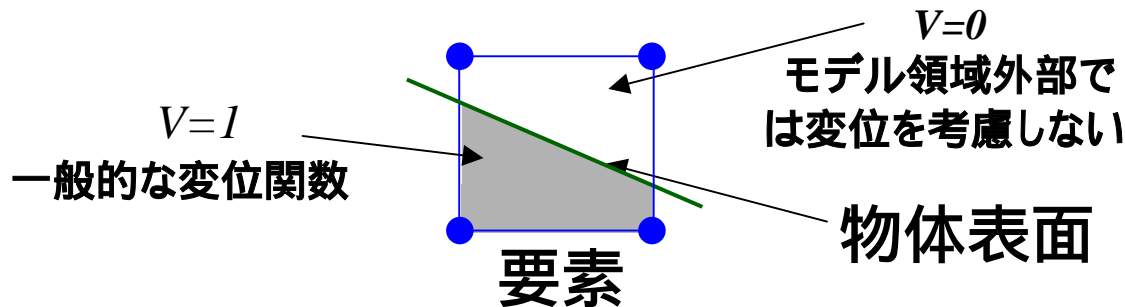
境界が物体表面の場合

$$u(x) = \sum_i \phi(x) V(x) u_i$$

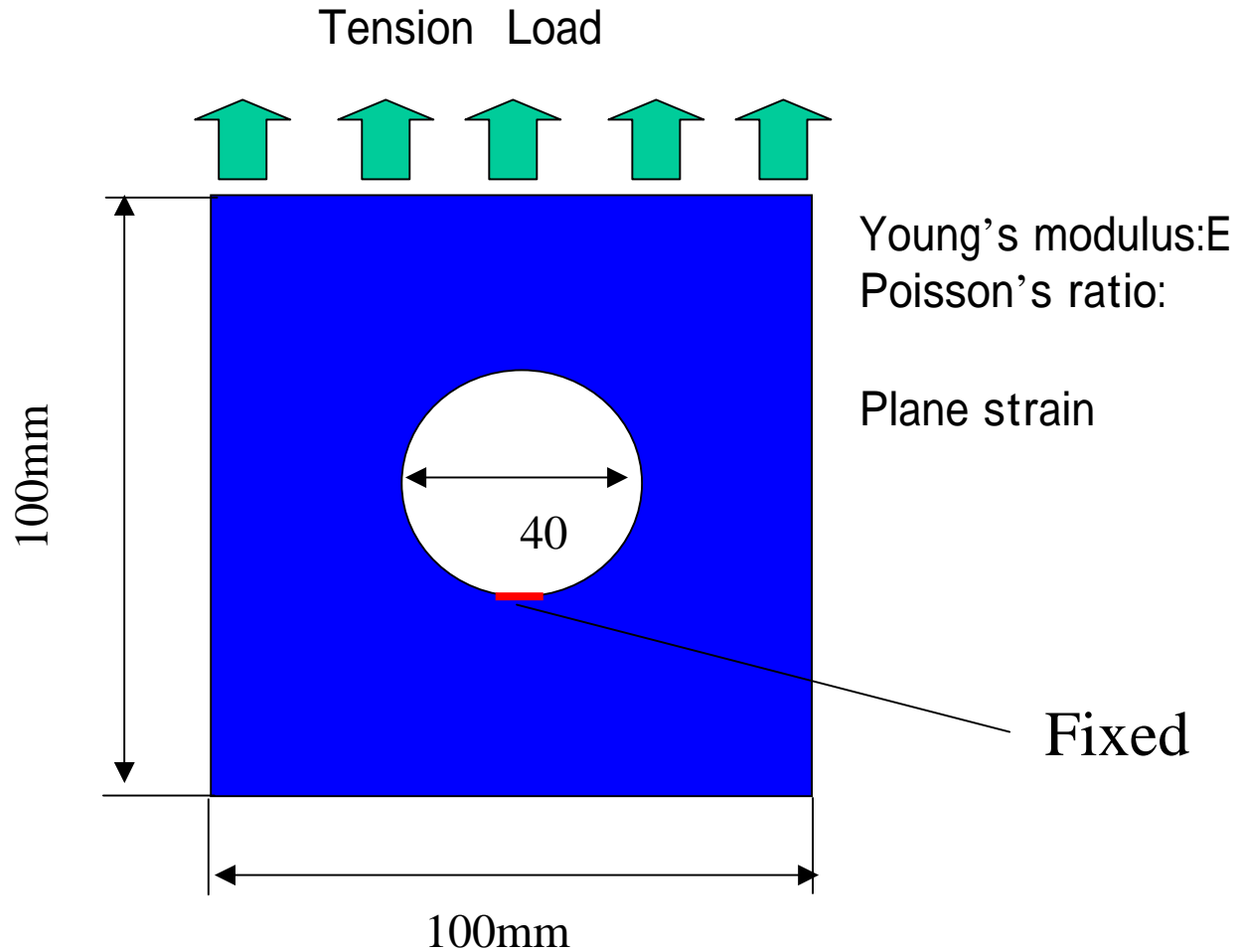
ステップ関数
 $V=1$ (領域内)
 0 (領域外)



- モデル内部の変位のみを考慮することで、形状を表現することが可能となる



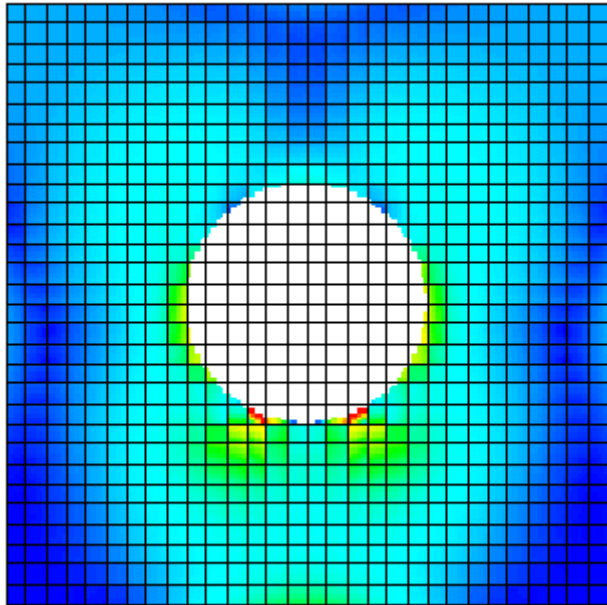
Numerical example



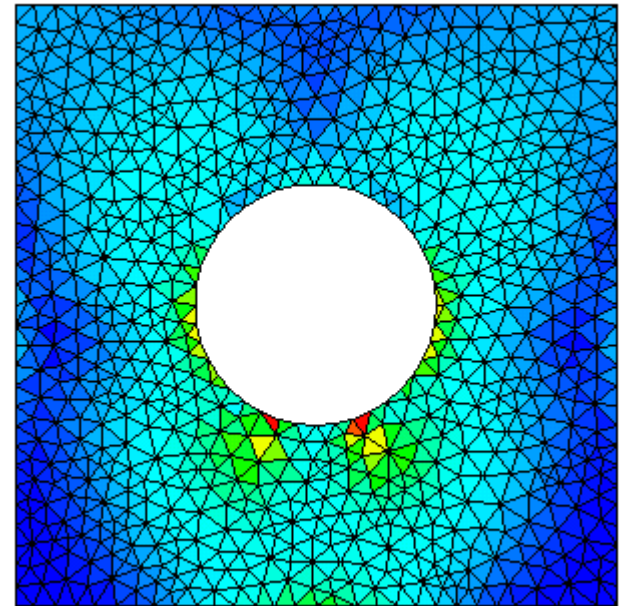
Numerical example

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

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



Max.:11.07kgf/mm²
Min.:0.003kgf/mm²



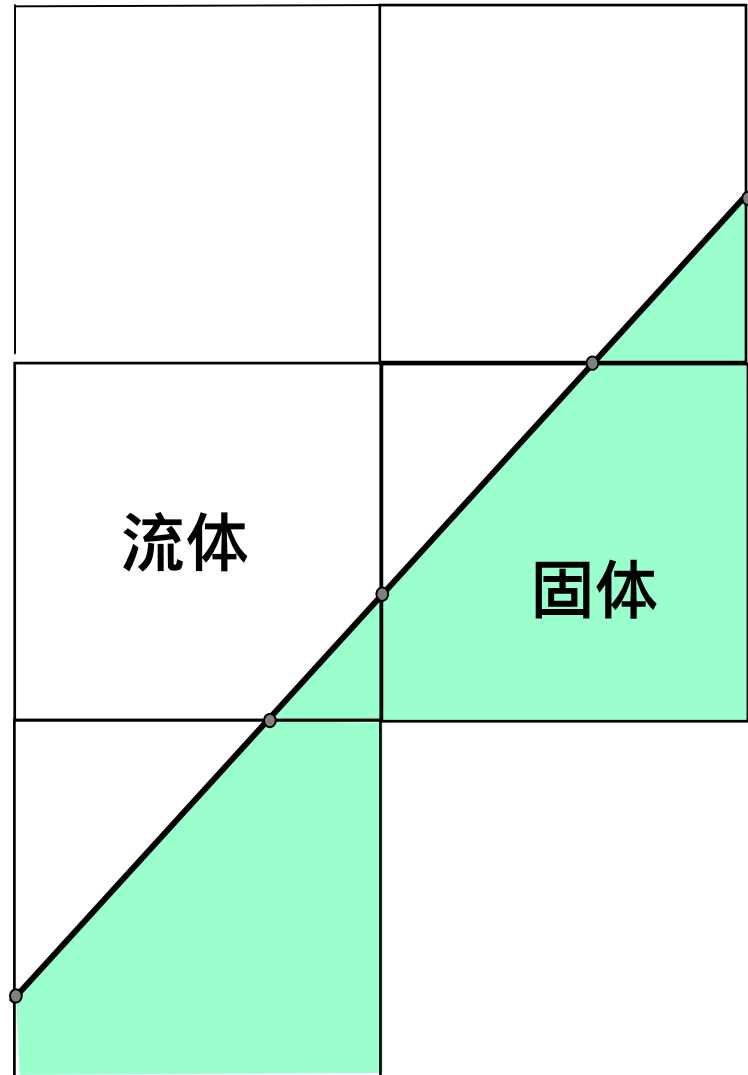
Max.:9.58kgf/mm²
Min.:0.007kgf/mm²

von Mises Stress

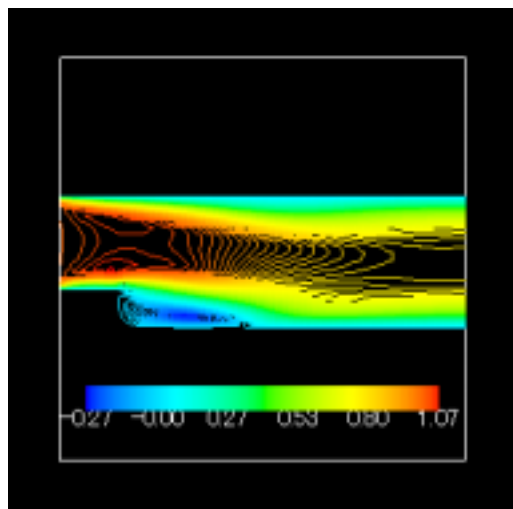
V-シミュレーションの例2

流体解析

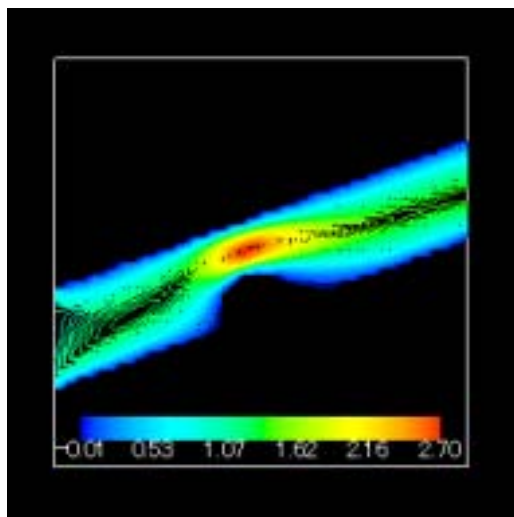
- Cut cell法
 - どこでセルが境界と交わったかの情報を使い、5角形、3角形で扱う
- VOF法
 - 積分値だけを扱い、形状そのものは使わない



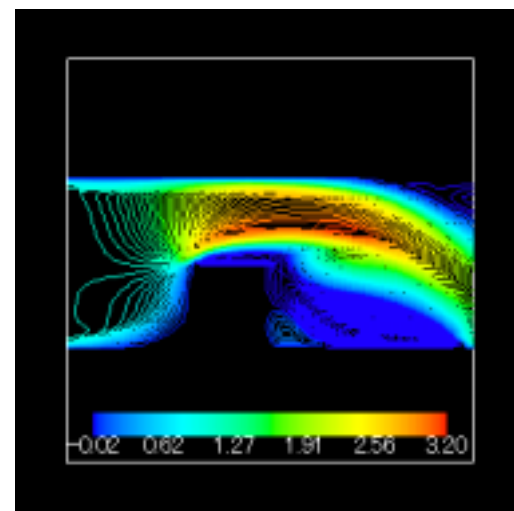
2次元カットセルでの計算例



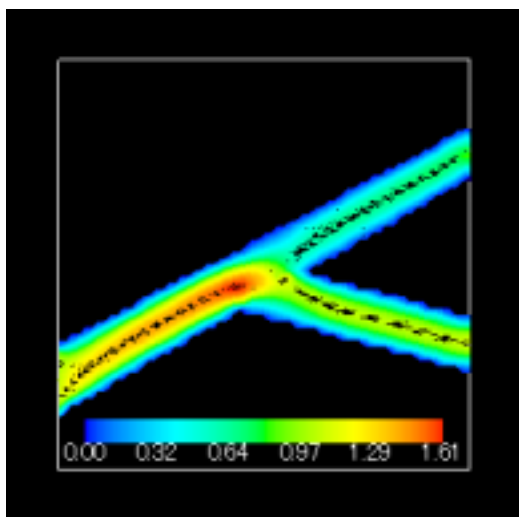
バックステップを過ぎる流れ



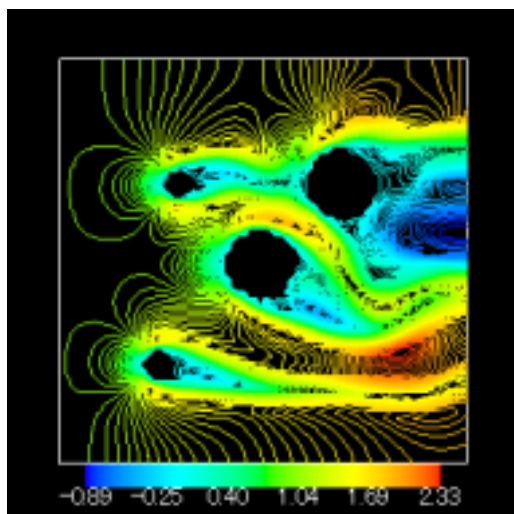
狭窄管内の流れ



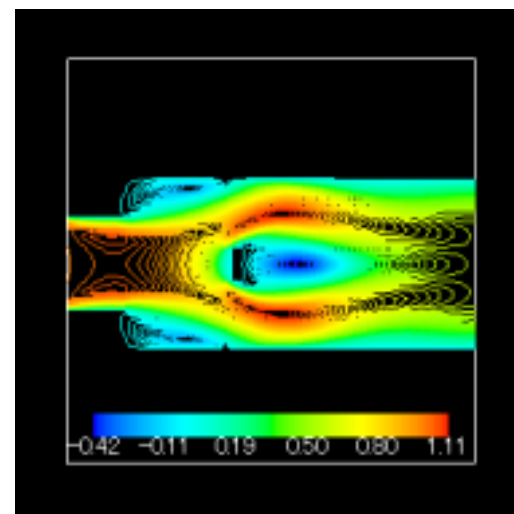
チャンネル内障害物周りの流れ



分岐管内の流れ

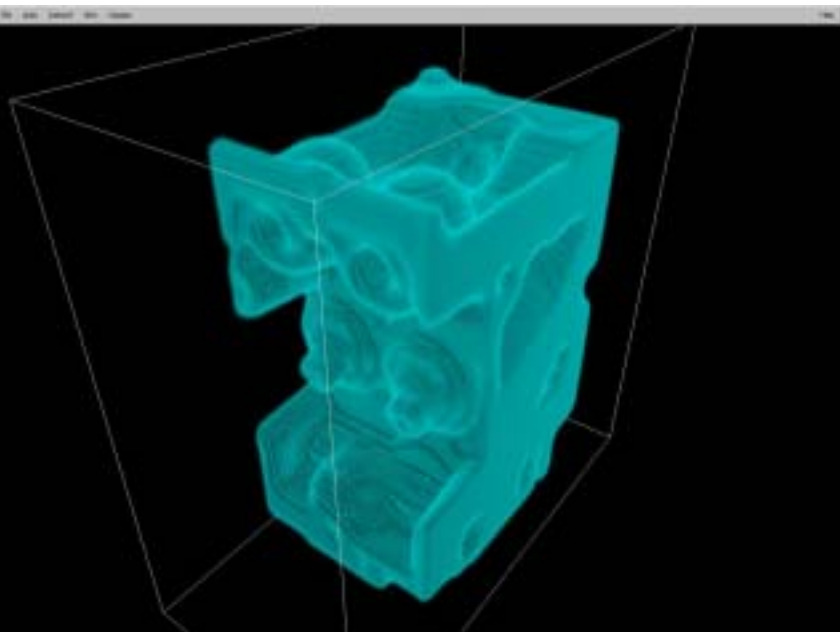


複数Bluff Bodyまわりの流れ

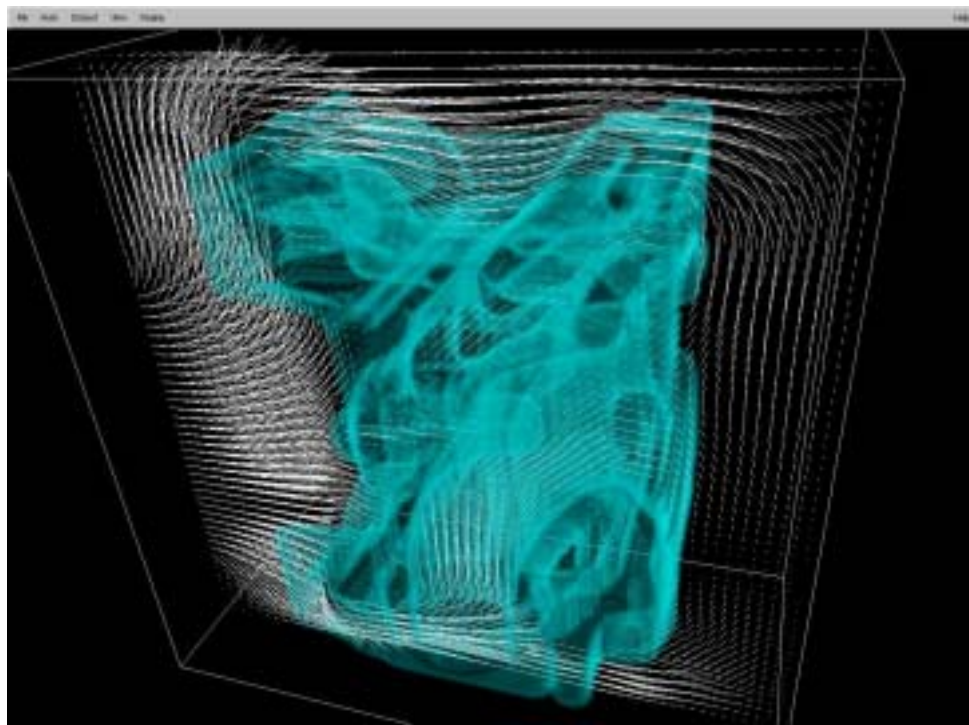


障害物のある管内流れ

シリンダーヘッドの3次元流れ計算例



計算モデル



計算結果




V-シミュレーションの例3

鑄造解析

鑄造解析ソフトウェア V-CAST

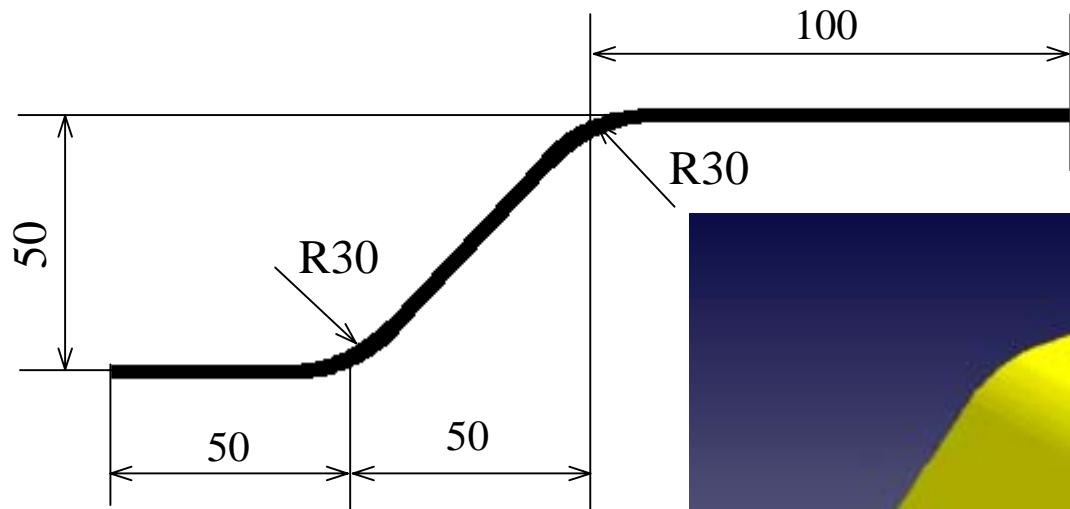
充填解析(自由表面を考慮した熱流体解析)

凝固解析(融解潜熱を考慮した熱伝導解析)

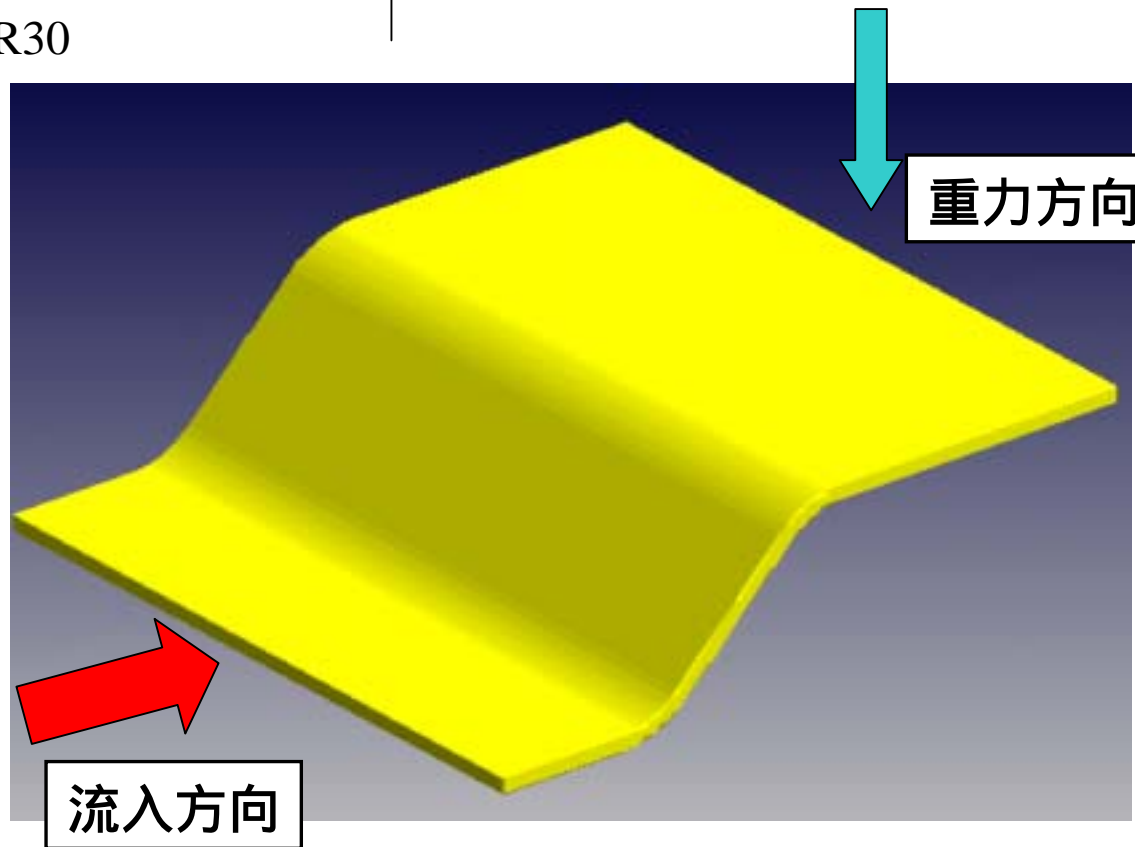
	<i>IGES形状</i>	<i>直交格子</i>	<i>VCADセル</i>
			
体積 (cm ³)	13,492	15,876 (+ 18 %)	13,467 (0.2%)
表面積 (cm ²)	9,311	11,330 (+ 21 %)	9,430 (+ 1%)

VCADの採用による形状再現度の向上

充填解析(鑄型形状)

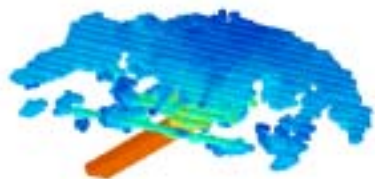


流入した流れが高さ50mmの段差を乗り越える様子を、VCAD要素の有無で比較する

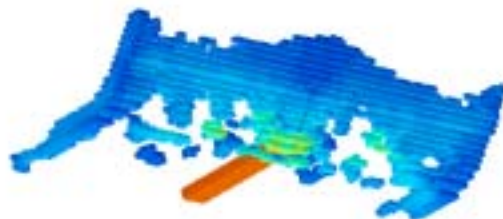


充填解析(湯流れ解析結果)

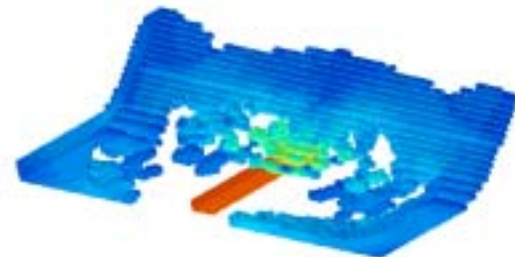
直交格子を用いた場合の充填パターン



0.1秒後



0.2秒後

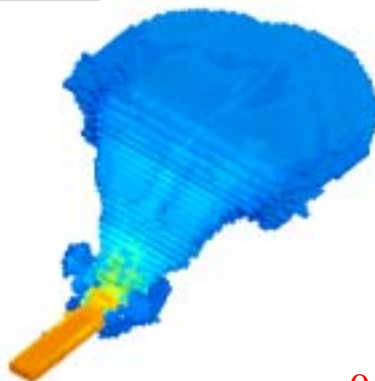


0.3秒後

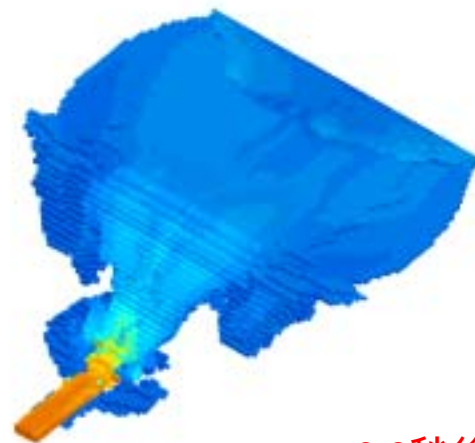
VCADセルを用いた場合の充填パターン



0.1秒後



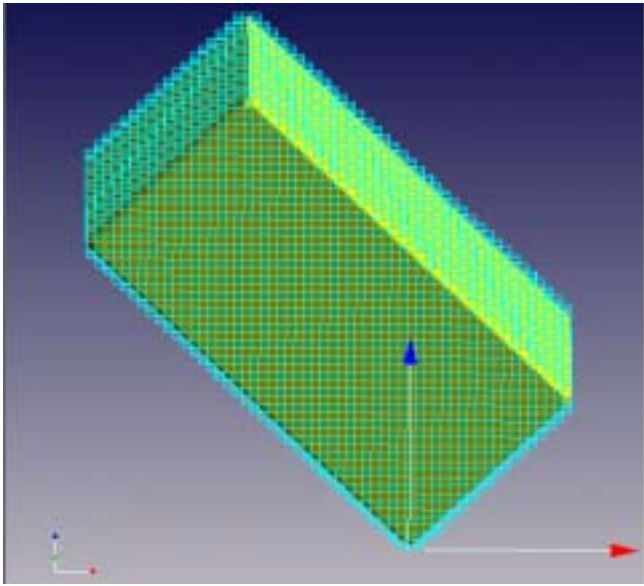
0.2秒後



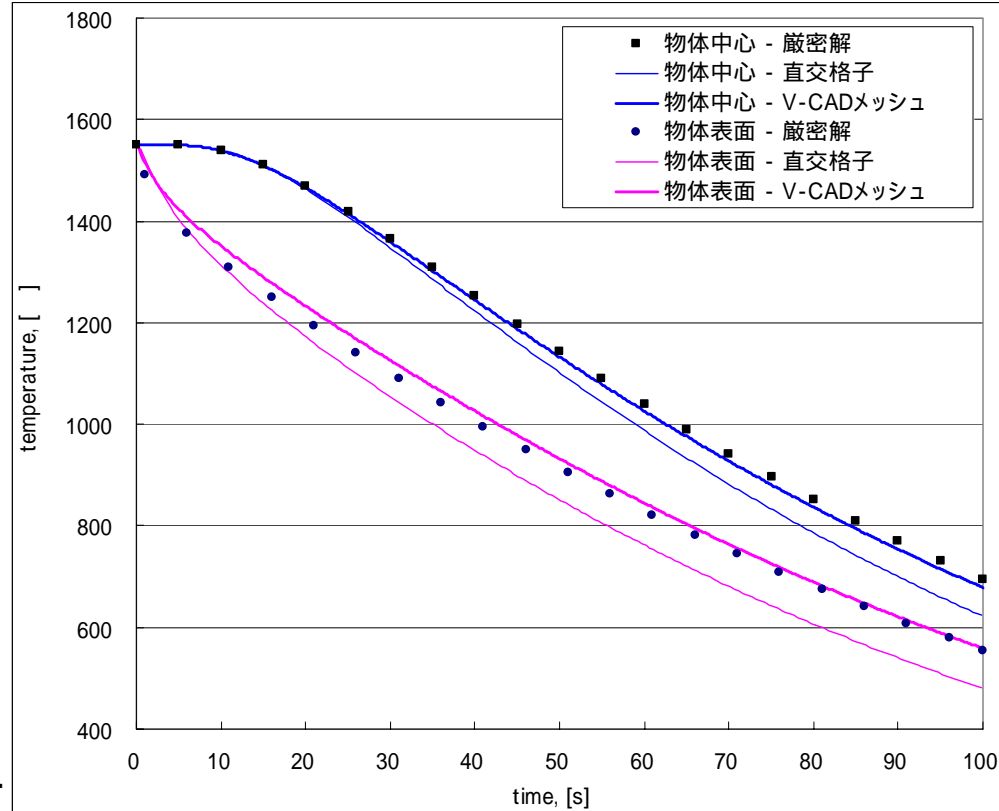
0.3秒後

VCADセルを採用することにより精度が向上

非定常熱伝導解析



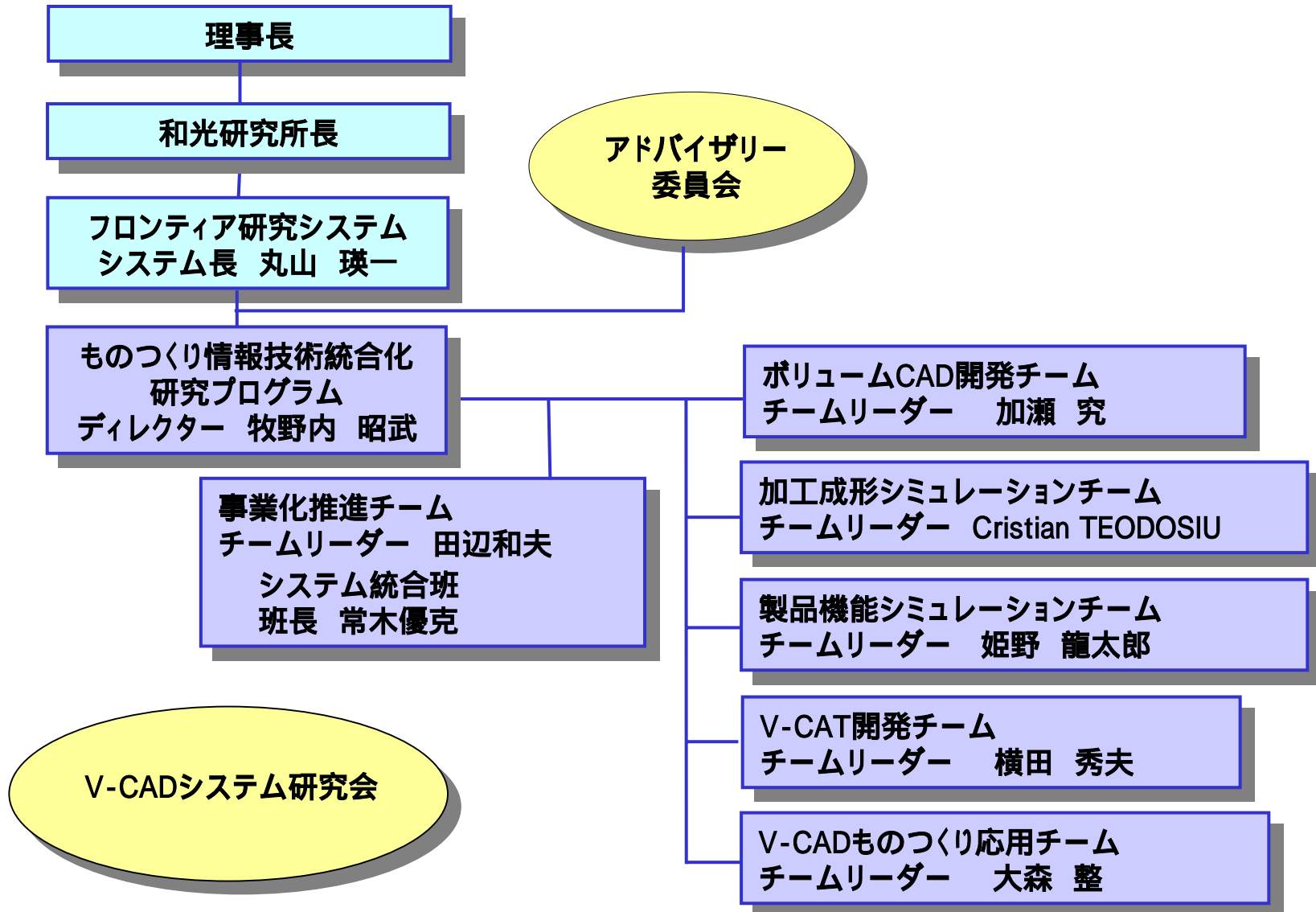
初期温度 $T_0=1550$ の直方体
($50 \times 50 \times 100\text{mm}$)を雰囲気温度
 $T_a=0$ 内に放置する



	直交格子	V-CADメッシュ
表面積	328.7 (cm ²)	255.8 (cm ²)
体積	270.9 (cm ³)	250.3 (cm ³)

VCADセルを採用することにより精度が向上

研究・開発組織



ソフトウェアリリース予定

(V-CADシステム研究会へ)

チーム名	課題	ソフト名		機能の特徴	リリース予定
V-CAD開発	CAD	V-CADフレームワーク	Ver2.1	八分木、Kitta Cube	リリース済み
			Ver3.1	モジュール化、API(データの関数渡し)	平成16年9月
加工成形シミュレーション	線形解析	V-STRUCT	Ver1.0	ボクセル対応X-FEM版	リリース済み
			Ver2.0	八分木対応縮退6面体版	平成17年2月
	鋳造	V-CAST	Ver1.0	ボクセルによる充填・凝固解析	リリース済み
			Ver2.0	八分木による充填・凝固解析+熱収縮解析	平成16年12月
	プレス成形	V-STAMP	Ver1.0	ボクセルによる金型表記	リリース済み
			Ver2.0	八分木による金型表記	平成16年12月
	鍛造	V-FORGE	Ver1.0	八分木による金型表記	平成16年12月
	製品機能シミュレーション	熱流体	V-FLOW	Voxel Ver2.0	ボクセルによる解析
Octree Ver1.0				動的八分木生成による解析	平成16年8月
熱流体可視化		V-Visualizer		八分木の動的表現可	平成16年8月
加工応用	CAM	V-CAM		目的により異なる機能	
V-CAT開発	CAT	V-CAT	Ver1.0	ボクセルエディターマニュアル版	平成16年9月
			Ver2.0	ボクセルエディター半自動版	

理研に求められる研究

企業で取り上げるのが難しいリスクの高い、ある程度息の長い研究。

かつ、大学では困難な組織的拡がりを要求される研究。

VCAD研究での課題

1. 基礎研究
2. 実用化研究
3. 実用化対応
4. 統合化試行

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16年5月現在の会員数

企業会員 27社、 理研外個人会員 14名

4. 平成14年度の活動

定例研究会； 年3回

ソフトウェアのリリース： 5本がリリース済み

VCADシステム研究会へのお誘い

本研究に興味を持ち、私達と共に研究・開発を通じて当技術を育てていただける企業及び個人を募ります。研究会会員としてご参加下さることを期待いたします。

問い合わせ先 (V-CADシステム研究会事務局)

久保貴義 kubo@astom.co.jp

Tel: 048-451-5855, Fax: 048-451-5655

研究会ホームページ

<http://vcad.jp>