

# 可視化技術の紹介

## CGによる景観まちづくり体験イベントにおけるCAVEの活用



埼玉大学大学院理工学研究科  
深堀清隆

## CAVEと景観研究

- ◆景観研究  
景観評価実験
  - ・景観現象における知覚研究（視野、空間把握、距離認識・・・）
  - ・人工空間における行動研究（歩行者挙動、動線、テリトリー研究）
- Ex) 街路網における歩行者の場所認識（人はどのように道に迷うか）
- ◆ものづくりにおける活用
  - ・設計支援（デザイナーのイメージ確認）  
ものづくりから空間づくりへ
  - ・合意形成、景観まちづくり等での活用  
ワークショップにおける利用可能性
  - ・デザイン教育  
3次元形状認識、空間構成能力の向上

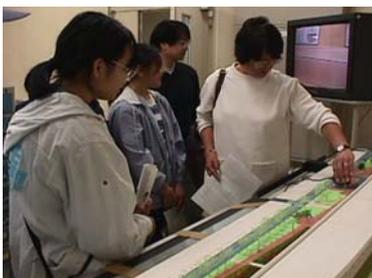
## 景観まちづくりについて

- ◆公共空間、構造物の計画における合意形成と設計のプロセス  
地域住民の生活環境や景観に影響が及ぶプロジェクトにおいて住民や行政などの関係者が、それぞれの利害関係を調整しつつ、合意形成を図りながら、自らが参画してプランを作成する
  - ・地区計画、景観計画
  - ・道路拡幅、電線地中化等に伴う街路事業（交通施設より生活施設）
  - ・橋梁の色彩やデザイン
- ◆可視化ツールの位置づけの変化  
表層的な説明用ツールから、実質的な検討用ツールへ

## 景観まちづくりにおける可視化

- ◆伝統的可視化技術
  - ・透視図（ルネサンス以来の伝統的可視化手法）
  - ・模型
  - ・CG
- ◆都市計画分野に特徴的な可視化技術<ツールの複合化>  
都市計画の専門家が意外に便利だと感じるもの
  - ・CGフォトモンタージュ（写真とCGなど）
  - ・模型と運動した可視化システム（シュノーケルカメラ）
  - ・GIS（地理情報システム）とCGの統合
  - ・各種シミュレーションツールとの統合（交通、災害危険度、大気汚染）

## 景観まちづくりにおける可視化



CCDカメラを模型内で動かし歩行者の目線で環境を見る

## 景観まちづくりにおける可視化の課題

- 可視化におけるリアリティの問題
- ①空間認識に関わる問題
    - ・スケール感
    - ・距離認識
    - ・色彩再現性
    - ・光環境認識
  - ②提示法に由来する問題
    - ・HMD（表示の歪み、装着違和感、疲労）
    - ・大型スクリーン（映像自体の歪み、視点位置による歪み）
    - ・視点移動（歩行のリアリティ、移動速度感覚）
  - ③一般利用者にとっての問題
    - ・操作性、即時変更可能性
- 映像技術は急速に進歩。使われないのは、使い方が悪い。うまく使う人があまりいない。  
 重要なのは、映像のリアリティの問題ではなく、まちづくりプロセス、シナリオのリアリティの問題では。
- 理論面

↑

↓

実践・運用面

## 景観まちづくりの実際(参加、合意形成のスタイル)

デザインシャレット: 計画案の決定と合意形成プロセス  
 ①アイデア創造: 多様な知識が参加者に共有される  
 ②合意形成過程: アイデア、提案についての詳細な説明  
 ③方針決定・提案: 対立する意見の調整と合意可能な成果の提出

ワークショップ: 多様なテーマについての参加、学びの場  
 ※必ずしも合意形成を必要としない  
 現地観察、多様な世代の参加、各種ブレインストーミング手法  
 模擬体験(社会実験)、ロールプレイなど様々なアプローチ

ファシリテーター:  
 参加者の発言を促す、多様な意見を整理する、参加者の同意を確認する、公平な立場に立って話し合いを進行する職能

## 景観まちづくりの実際(模型の活用)

可視化技術が発達しても、模型は無くならないといわれている。

エスキス模型: デザインを検討する段階で用いる模型  
 ①空間のスケール、全体の骨格、配置を認識・確認する上で、余計な情報(色、素材、装飾)はない方がよいとされる  
 ②いろいろなパーツは、デザイン検討の中で実際に手で触れつつ自由に移動、除去、変形できるよう工夫される

プレゼンテーション模型:  
 ・検討成果を正確かつわかりやすく伝える(表現精度高い)  
 ・建物等は実際の写真映像を活用

スケール感把握、視点操作のための工夫  
 ①添景要素をふんだんに活用する  
 ②CCDカメラを活用する(直径8mm×長さ40mm程度のものなど)

▶ 作る楽しみ: 可視化の作業自体が参加(学び・理解・創造)の過程

## 景観まちづくりのプロセスと可視化

ワークショップの流れ	視覚情報	IT・映像系
基本条件の共有 目標確認	現地写真 先進事例写真	GIS 地域情報提供
現状調査、地域の課題抽出	イメージスケッチ 白模型(現場を再現)	◆映像系はアイデア創造に関われるか ・代替案選択は×(参加性低い) ・ファシリテーションのリアリティストーリーに合うか ・諸段階で一貫して使われた映像でない誤魔化しのように感じられる
デザイン方針の検討	フォトモンタージュ 模型(デザイン検討用)	CG 基本検討が終わった辺り
基本設計 全体配置など	フォトモンタージュ 部分模型 実物サンプル	CG・VR アニメーション
詳細設計 パーツのデザイン		
提案の公表 提案の実施		

## 没入型仮想空間体験システムCAVEを用いた景観まちづくり体験

◆企画内容  
 三次元CGとCAVEを活用し、小中高生とその保護者に、街並みの景観シミュレーションを体験してもらう  
 ・景観まちづくりの理解  
 ・3次元コンピュータグラフィックスの理解  
 ・バーチャルリアリティの理解

◆ポイント  
 ・限られた時間内に、子供たちや保護者が、ツールの操作法を理解できるか  
 ・参加者がCGを自ら作成することで、可視化ツールの意義を理解してもらう  
 ・参加者が自ら作成したCGをCAVEで投影する  
 ・単なる道具としてではなく、自らの生活の舞台である街の景観をよくするとの目的意識を伝えることができるか  
 ・まちづくりのワークショップ等での、CGのアイデア創造ツールとしての可能性

## 没入型仮想空間体験システムCAVEを用いた景観まちづくり体験

事前準備  
 ◆一般参加者の目線にあった指導  
 ・学生インストラクター10名への企画意図の伝達  
 ・学生インストラクターによるCG作成シナリオづくり(電線・電柱、看板の問題、建物色彩、セットバック、高さ規制etc)  
 ◆ゲーム感覚(シムシティのようにCGを作成できないか)のCG作成  
 ・マニュアル作成  
 ・街並みパーツのデータ作成およびカタログ集(インテリアのように街の風景をデザイン)  
 ・モデルデータはリアリティを考え写真貼り付けモデル(当初予定)  
 ◆CGソフトから、CAVE投影へのデータ変換  
 早川雄喜氏卒業研究(長谷川准教授)  
 CGソフト(SHADEによるOBJファイル、写真貼り付け)のデータをCAVEに投影するプログラム

## 没入型仮想空間体験システムCAVEを用いた景観まちづくり体験

実施の上での課題  
 ◆データのサイズ  
 街並モデル: 写真映像つき建物や樹木、詳細に再現されたパーツ等を大量に含む  
 ・SHADEの操作上の問題  
 一写真貼り付けパーツを大量に使うことができず、CGモデルパーツを改めて作成  
 一市販のエクステリアデータ集は使えずCGソフト固有の機能を含むとOBJに変換できてもCAVE投影できず  
 ・OBJファイルエクスポート時の問題  
 ・OBJファイルを投影するときの問題(投影できない、投影されても重い)  
 ◆色の問題  
 ・写真貼り付けモデルは問題なし  
 ・パーツ単位で、一定以上明度の高い色彩は、投影時に面が白くなる一問題を起こさない明度・色を事前チェック

### 没入型仮想空間体験システムCAVEを用いた 景観まちづくり体験

日時:平成19年3月22日(土)  
 主催:埼玉大学大学院理工学研究科  
 共催:埼玉県産業技術総合センター 埼玉大学情報メディア基盤センター  
 後援:さいたま市教育委員会  
 支援:科学技術振興機構(JST)地域科学技術理解増進活動推進事業

プログラム  
 13:30-13:40 開会「仮想映像を用いた景観まちづくり」深堀清隆(埼玉大)  
 13:40-13:50 「CGソフトの基本的な使い方」長谷川靖洋(埼玉大)  
 13:50-15:00 「CGソフトを用いた街並みづくり体験」  
 15:00-15:20 休憩および移動  
 15:20-15:30 「バーチャルリアリティとCAVEシステム」  
 田村祐一氏(核融合科学研究所)  
 15:30-16:30 CAVEシステムの体験  
 16:30 閉会

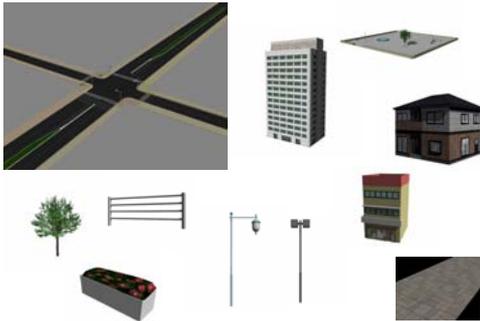
深堀: 街路景観デザインの意義、いくつかの可視化手法の紹介  
 長谷川准教授: CGソフトで何ができるか、基本機能の紹介  
 田村氏: バーチャルリアリティ、立体視の原理の紹介

### 没入型仮想空間体験システムCAVEを用いた 景観まちづくり体験



(インテリアのように街の風景もデザインできるーたつみ通りフォトモンタージュ)

### 没入型仮想空間体験システムCAVEを用いた 景観まちづくり体験



樹木、防護柵、舗装材、照明、住宅、高層建築、公園など、カタログ集を作成

### 没入型仮想空間体験システムCAVEを用いた 景観まちづくり体験



学生インストラクタと協働のCG作成

### 没入型仮想空間体験システムCAVEを用いた 景観まちづくり体験



### 没入型仮想空間体験システムCAVEを用いた 景観まちづくり体験



没入型仮想空間体験システムCAVEを用いた  
景観まちづくり体験



没入型仮想空間体験システムCAVEを用いた  
景観まちづくり体験

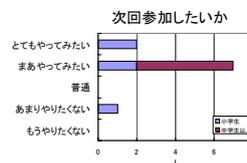
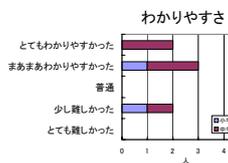
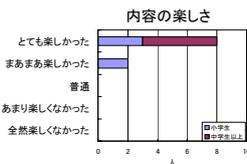


自分で作成したCGIに没入体験

没入型仮想空間体験システムCAVEを用いた  
景観まちづくり体験

実施アンケートについて

参加者  
・小学生5名  
・高校生1名  
・成人女性5名



没入型仮想空間体験システムCAVEを用いた  
景観まちづくり体験

◆今後の課題

- ・景観づくりのストーリーやシナリオをより明確に伝える  
→時間的制約により難しい(CG作成の説明+実際の作業)
- ・CAVE投影時の協働性  
<田村氏> 複数のコンテンツを参加者に見せる場合  
→Googleをつけられない人の関心が逸れやすい  
→立体視の原理など補助的なコンテンツを準備  
今回、参加者はお互いの映像に比較的に関心があった様子  
→課題・問題意識を共有「他の参加者がどのような街を作ったか」  
→他の参加者の成果映像との相互批評ができるとうい(コンペなど)
- ・参加性の向上  
→作成したモデルについて参加者が自ら説明する

没入型仮想空間体験システムCAVEを用いた  
景観まちづくり体験

◆CG+CAVEの景観まちづくりでの活用可能性

→ワークショップの全体プロセスにおいて一部を  
ビジュアルシミュレーションの会と位置づける

検討初期では、

- ・没入感を利用して空間のスケールや全体配置を確認できる
- ・CGの作成自体に参加し、アイデアを出す

検討成果は、模型同様、写真貼り付けモデルによって  
効率的に表現精度の高い映像として体験できる

CGでの作業においては、学生インストラクターの存在が大きい  
ワークショップにおける新しい職能

→ビジュアルファシリテーター

(可視化ツールとまちづくりの両方の専門的知識に明るく  
参加者のアイデア創出や主体的参加を促す)

## シアノバクテリア細胞内構造の三次元構築と可視化

金子 康子<sup>1,2</sup>、関 由起子<sup>2</sup>

<sup>1</sup>埼玉大学教育学部生物学研究室、<sup>2</sup>埼玉大学大学院理工学研究科生命科学部門

**目的：** シアノバクテリアは植物細胞の葉緑体の起源と考えられている、原核の光合成細菌である。細胞内には光合成に利用する集光色素や光化学系のあるチラコイド膜、二酸化炭素を固定する酵素の集積体であるカルボキシソーム、球状のポリリン酸体などいくつかの構造を持つ。近年開発された位相差電子顕微鏡により、桿状のシアノバクテリア細胞の微細構造を急速凍結した状態で丸ごと観察することが可能となった[1]。この方法では、従来の透過電子顕微鏡観察法（化学固定→樹脂包埋→超薄切片→電子染色）に比べて人工像のない、生きている状態に近い細胞内微細構造を高いコントラストで観察することができる[1, 2]。このシアノバクテリア細胞内 DNA の構造を位相差電子顕微鏡観察することを試みた。まず、DNA に BrdU を取り込ませて多細胞を位相差電子顕微鏡観察すると、細胞内には電子密度が高い部位が出現し、その部位に 10 nm 程度の太さのひも様の構造が確認できた（図 5）[3]。位相差電子顕微鏡による観察像は従来の電子顕微鏡により得られる像とは全く異なるため、従来法の結果と詳細に比較していくことが重要とある。しかし、比較の対象となりうる細胞内 DNA 構造のモデルは存在しない。そこで本研究では、化学固定・樹脂包埋したシアノバクテリア細胞の連続超薄切片像をもとに、立体構築することにより特に細胞内 DNA の高次構造モデルを提示する可能性を探った。

**方法：** BG-11 寒天培地上で培養した *Synechococcus elongatus* PCC 7942 を 2% グルタルアルデヒド (0.05M カリウム・リン酸バッファー、pH 7.0) により室温で 2 時間静置後、4℃ で一晩固定した。バッファーで洗浄後 2% オスミウム酸 (0.05M カリウム・リン酸バッファー、pH 7.0) により室温で 1 時間後固定した後、アセトン・シリーズで脱水し、スパー樹脂に包埋した。厚さ 100 nm 程度の連続超薄切片を作製し、ウラニル酢酸、鉛染色液により電子染色後、Hitachi H-7500 透過電子顕微鏡により、加速電圧 100 kV で写真撮影した。印画紙に焼き付けた画像の DNA に色付けし、スキャナーで取り込んだ 5 枚の画像をもとに、AVS/Express Developer による三次元立体構築を試みた。この作業は KGT 技術の方にお任せになった。

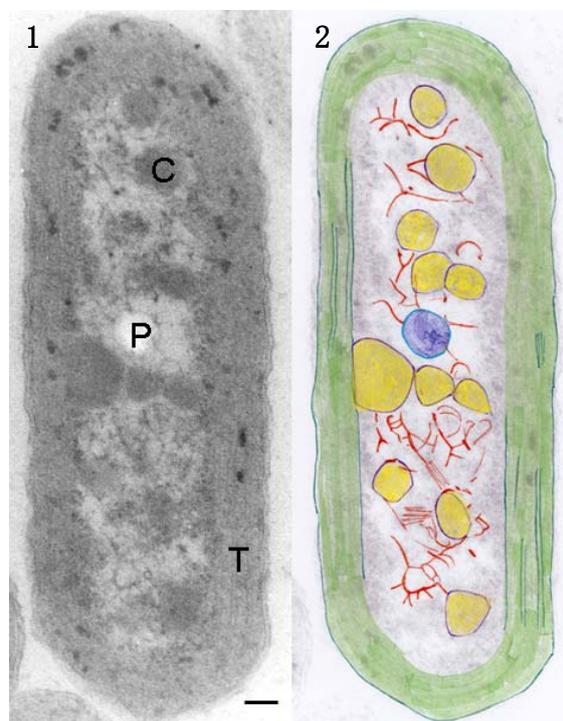


図 1. 化学固定・樹脂包埋したシアノバクテリアの超薄切片 TEM 像. C: カルボキシソーム、P: ポリリン酸体、T: チラコイド膜. Bar=100 nm.  
図 2. 1 の画像に色付けしたもの. 赤: DNA、黄: カルボキシソーム、青: ポリリン酸体.

**結果と考察：** 図1は化学固定後樹脂包埋し田試料から作製した超薄切片を透過電子顕微鏡で観察したシアノバクテリア細胞である。細胞周辺部にはチラコイド膜 (T) に囲まれ、その内側の細胞質部分に多数のカルボキシソーム (C) が点在する。DNA の局在は、DNA 特異的な染色法であるオスミウムアミン法により示すことが可能であり、細胞内の繊維様構造の多くは DNA であることがわかった[3]。DNA とみなされる繊維様構造に色付けした連続切片画像 (図2) を5枚分スキャナーで取り込み作業に用いた。DNA 部位を抽出し立体構築したものを図3に示す。図4は DNA を DAPI で蛍光染色し蛍光顕微鏡で観察した画像で、図5は BrdU をとりこませたのち、位相差電子顕微鏡観察したシアノバクテリア細胞の一部である。

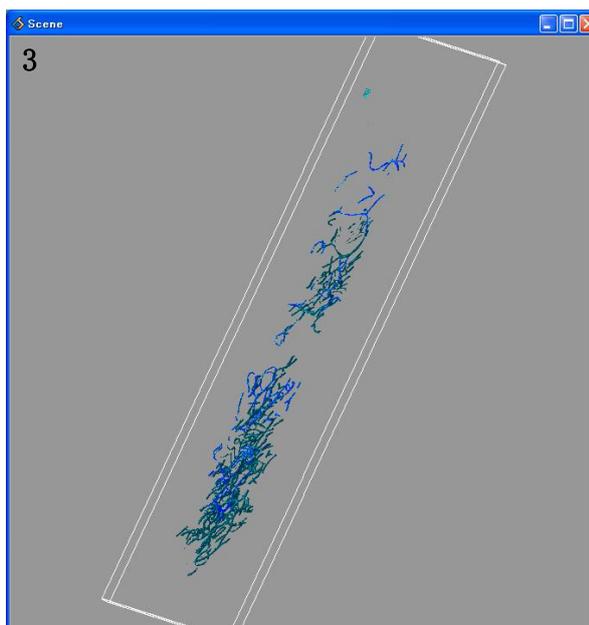


図3. 図2. の DNA 部位 (赤) を抽出し、連続切片5枚分 (細胞全体の約2/3に相当) のデータをもとにした細胞内 DNA の立体モデル。

**結論：** 立体構築した細胞内 DNA は、太さの異なる繊維様構造で構成され、リング様あるいはループ様の構造をはじめとして、いくつかの特徴的な形状をとることが分かった。今後、光の明暗周期により細胞分裂過程を同調させ、今回用いた手法で細胞内 DNA の立体構築データを積み重ねることにより、DNA 高次構造変化の規則性を見出すことが期待できる。

**謝辞：** 本研究の一部は、自然科学研究機構・岡崎統合バイオサイエンスセンターの永山國昭教授、テラベース株式会社の新田浩二博士との共同研究として行ったものである。

**引用文献：**

- 1) Kaneko, Y., Danev, R., Nitta, K. and Nagayama, K.: *J. Electron Microsc.*, 54, 79-84 (2005),
- 2) Kaneko, Y., Danev, R., Nagayama, K. and Nakamoto, H.: *J. Bacteriol.*, 188, 805-808 (2006)
- 3) Kaneko, Y., Nitta, K. and Nagayama, K.: *Plasma and Fusion Research*, 2, S1007, 1-4 (2007)



図4. シアノバクテリア細胞内 DNA の蛍光染色像. Bar=1 μm.

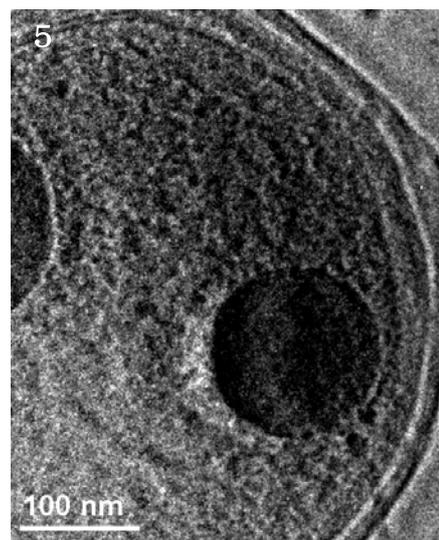


図5. BrdU を取り込ませたシアノバクテリア細胞の位相差電子顕微鏡像。

# ホットウォール反応器中 $\text{AlCl}_3 - \text{NH}_3$ 混合ガスによる $\text{AlN}$ 薄膜生成 の

## CVD 反応シミュレーション

王 大千、小野俊輔、島野雅史、酒井政道  
埼玉大学大学院理工学研究科物質科学部門  
さいたま市桜区下大久保 255 〒338-8570

### Analysis of transport phenomena in chemical vapor deposition of $\text{AlN}$ films from $\text{AlCl}_3\text{-NH}_3$ mixtures

D. OH, S. ONO, M. SHIMANO, and M. SAKAI

Department of Functional Materials Science, Saitama University

$\text{AlN}$  deposition simulation from  $\text{AlCl}_3\text{-NH}_3$  mixtures were carried out using i) STAR-CD (Ver. 4.02), ii) DARS-CFD, iii) DARS-BASIC (Ver.1.00.026), and iv) Absoft Pro Fortran. We performed the simulation letting the surface-reaction activation-energy be a fitting parameter so that the calculated deposition rate is in accordance with the experimental result by Dollet et al. (Thin Solid Films **406** (2002) 1.) The comparison at 1373 K yields a value of about 28 kcal/mol for the activation energy, which is almost the same as the value reported by Dollet et al.

#### 1. はじめに

Chemical Vapor Deposition (CVD) は、気相状態にある複数の原料から出発して、化学反応を利用することによって、固相を析出する技術であり、そのプロセスは (1) 気相反応、(2) 熱・物質輸送、(3) 表面反応、(4) 結晶成長から構成され、大変に厄介なことに、これらの要素が連成するという特徴をもっている。成膜速度、緻密度、結晶配向性などを制御するには、反応条件のうち何をどのように設定すればよいかは成膜上の現実的な問題であるが、複雑な連成現象なため、適切な設定値を得ることは必ずしも容易でない。その為の手段としてCVDプロセスを計算機によってシミュレートするという立場が考えられる。

本稿で紹介する事例は、Dolletらが2002年に報告しているCVD実験結果に注目し[1]、それに対応した数値計算をDARS-BASIC+STAR-CD[2]によって遂行しようとするものである。我々の目標は先行実験の結

果をシミュレーションによって再現することであるが、本稿はその経過報告である。

#### 2. $\text{AlCl}_3 - \text{NH}_3$ 混合ガスからの $\text{AlN}$ 薄膜成長実験

Dollet らの実験[1]は、図1のようなホットウォール反応器中で  $\text{AlCl}_3 - \text{NH}_3$  混合ガスから  $\text{AlN}$  膜を成長させたものであり、成膜速度に関して、(1) 反応器中の成長位置依存性、(2) 温度依存性、(3) 圧力依存性、(4) 原料ガス ( $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{NH}_3$ ) 流入速度依存性、(5) キャリヤガス ( $\text{N}_2$ ) 流入速度依存性を測定したものである。その結果、成膜速度は、(1) 原料ガス入口からある距離隔たった地点で最大値を示し(図2)、その最大位置は反応温度の増加と共に原料流入口に近づくこと、(2) 1100~1300Kの範囲ではアレニウス型で、1400K以上では飽和すること、(3) 圧力変化に

殆ど依存しないこと、(4)  $\text{NH}_3$  流入速度の増加と共に減少すること、(5) キャリヤガス流入量の増加と共に減少することが見出されている。成膜速度に加えて、Dollet らは、析出した  $\text{AlN}$  結晶の表面モフォロジーと結晶配向性にも注目し、c 軸配向度を制御できるのは、 $\text{NH}_3$  流入速度のみであることを見出している[3]。

我々が、Dollet らの実験に注目している第 2 の理由は、彼らが自分たちの実験をもとにしてシミュレーションに着手し、直接測定が困難な、素反応の活性化エネルギー、頻度因子などを、計算と実験との比較によって決定している点である[1]。彼らのシミュレーションでは、(1) 反応体が希薄であることから、化学反応による体積変化が無視できるとし、(2) 反応容器内の温度が均一であることを鑑みて、混合ガスの粘性と密度を定数とし扱うことによって、(3) ナビエーストックス方程式と化学種の質量保存式を独立に解いている。そして、上述の実験結果を再現するように気相反応および表面反応における活性化エネルギーや頻度因子などのパラメータを決定している。

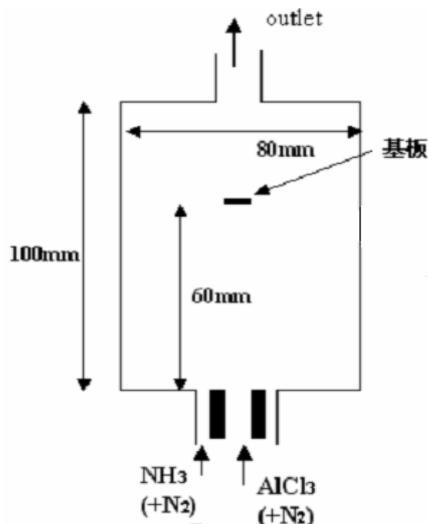


図 1 : Dollet らが  $\text{AlN}$  結晶の CVD 成長に用いた hot wall 型反応容器

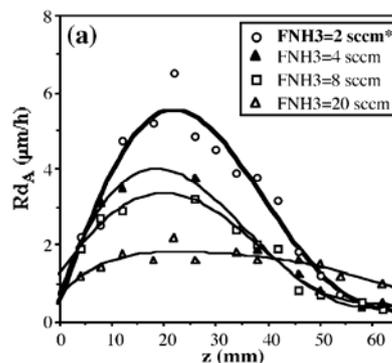


図 2 : 成膜速度の反応炉壁面における場所依存性 (Dollet らによる) : 実験 (黒丸) と計算 (実線)。

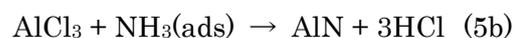
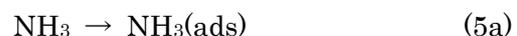
### 3. シミュレーション方法

我々の計算環境は、(1) 3次元熱流体解析ツール STAR-CD (Ver. 4.02)、(2) 詳細化学反応ソルバー DARS-CFD、(3) 詳細化学反応機構評価・診断ツール DARS-BASIC(Ver.1.00.026)、(4) Fortran90 コンパイラ (Absoft Pro Fortran) から構成される。このうち(2)は STAR-CD (Ver. 4.02) Linux 版インストールパッケージに含まれている。Linux は、openSUSE10.0 による。コンピュータの動作環境は、CPU : Intel Pentium4 プロセッサ、メモリ : 512 MB、HDD : 180 GB である。

考慮した化学反応は、Dollet らと同じである。気相反応としては次の 3 式 :



を考慮する。これらの反応の活性化エネルギーと頻度因子は、Dollet らと同じ値を用いた。また、表面反応としては次の 3 組 :





を考慮する。(4a)、(5a)、(6a)式は分子の表面付着を表しているが、それらの付着係数は、Dollet らと同じ値を用いた。表面反応(4b),(5b),(6b)における活性化エネルギーは、計算と実験との比較によって決定する。ただし簡単化のため、これら表面反応の活性化エネルギーは等しいと仮定した。比較に用いる実験データは、温度 1373 K、圧力 133 Pa、 $\text{NH}_3$  流入量 2 sccm、 $\text{AlCl}_3$  流入量 1.8 sccm、という条件下で測定された成膜速度である。注目している成長地点は、容器のほぼ中央にある基板位置である(図1)。

#### 4. 結果と考察

図3は、今回の計算によって得られた成膜速度の温度依存性である。1373 K で測定された成膜速度と合致するように表面反応の活性化エネルギーを評価すると、28.7 kcal/mol であった。この値を用いて、温度依存性を評価したのが図中の実線である。1300 K 以下の温度では、実験値を下回っている。1400 K 以上では、計算の収束が良好でなく、正確な値が得られていない。そこで、1123 K におけるデータと合致するように活性化エネルギーを評価すると、25.8 kcal/mol であった。この値を用いて温度依存性を評価したのが図3中の破線である。今度は、1400 K 以上の温度で実験値を下回るか、計算の収束が良好でない。

図4は今回の計算によって得られた成膜速度の $\text{NH}_3$ 流入量依存性である。 $\text{NH}_3$ 流入量 2 sccm で測定された成膜速度と合致するように決めた活性化エネルギー(28.7 kcal/mol)を用いて、 $\text{NH}_3$ 流入量依存性を評価したのが、図中の実線である。実験結果

と異なり、成膜速度は $\text{NH}_3$ 流入量に殆ど依存しないという結果が得られている。

一方、Dollet らは、表面反応の活性化エネルギーを 28 kcal/mol とすることによって、成膜速度の温度依存性および $\text{NH}_3$ 流入量依存性の実験結果における傾向をほぼ再現している。Dollet らの回帰分析にもとづく活性化エネルギー値 28 kcal/mol は、我々の 1373 K における回帰分析値 (28.7 kcal/mol) とほぼ同じである。

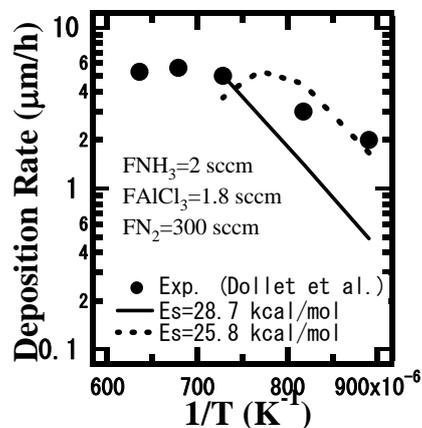


図3：計算によって得られた成膜速度の温度依存性：実験データ（黒丸）はDolletらによる。

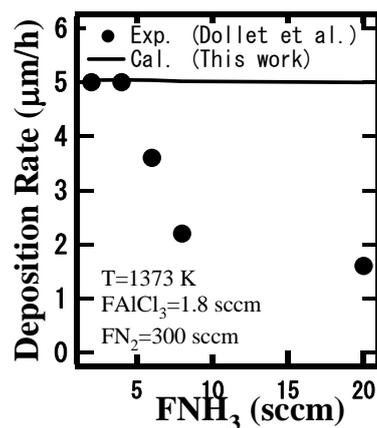


図4：計算によって得られた成膜速度の $\text{NH}_3$ 流入量依存性：実験データ（黒丸）はDolletらによる。

上述のように今回の計算では、成膜速度のNH<sub>3</sub>流入量依存性と成膜速度の温度依存性が再現できない。この原因を考察するために、気相反応(1)式によって生成される中間生成体 AlCl<sub>2</sub>NH<sub>2</sub> に注目し、その濃度分布を調査した。図5は、Dollet らの計算結果、図6は今回の計算結果である。図5では、原料入口と基板位置とのほぼ中間点で濃度が最大値 (2×10<sup>-6</sup> モル分率) なるのに対して、図6では濃度は出口に向かって単調に増大し、その濃度値は図5の約 100倍である。その他のガスの濃度値と空間分布については、二つのアプローチではほぼ同様な傾向が見られることから、中間生成体 AlCl<sub>2</sub>NH<sub>2</sub> の挙動の違いが成膜速度の温度依存性および NH<sub>3</sub> 流入量依存性の違いと関連していると思われる[4]。

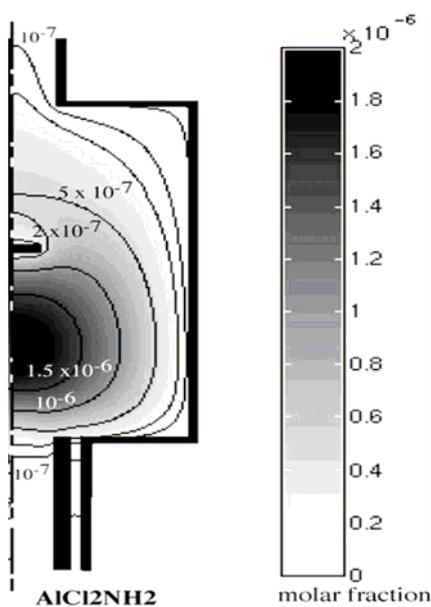


図5：Dollet らの計算による中間生成体 AlCl<sub>2</sub>NH<sub>2</sub> の濃度分布。

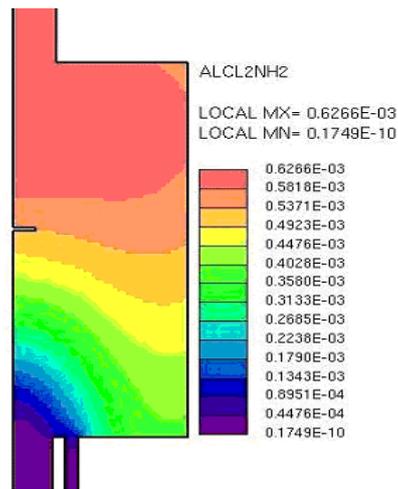


図6：今回の計算による中間生成体 AlCl<sub>2</sub>NH<sub>2</sub> の濃度分布。

## 5. 結論

AlCl<sub>3</sub> - NH<sub>3</sub> 混合ガスによる AlN 薄膜生成の CVD 反応シミュレーションを、(1) 3次元熱流体解析ツール STAR-CD (Ver. 4.02)、(2) 詳細化学反応ソルバー DARS-CFD、(3) 詳細化学反応機構評価・診断ツール DARS-BASIC、(4) Fortran90 コンパイラ (Absoft Pro Fortran) の構成によって行った。AlN 成膜速度の温度依存性および NH<sub>3</sub> 流入量依存性に関しては今回の計算値は Dollet らの実験結果を再現するには至っていない。実験値と一致しない原因を、中間生成体 AlCl<sub>2</sub>NH<sub>2</sub> の濃度挙動に留意して、現在調査中である。

## 謝辞

計算遂行にあたり本学本間俊司准教授からいくつかの助言を頂いた。感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) A. Dollet et al., Thin Solid Films 406 (2002) 1.
- 2) 佐藤昌弘, CDAJ CAE Solution Conference 2007 論文・資料集 C-11&12.
- 3) A. Dollet et al., Thin Solid Films 406 (2002) 118.
- 4) 酒井ら, CDAJ CAE Solution Conference 2008 論文・資料集 pp. 229-233.

# 分子イオンおよび分子クラスターの構造における

## 量子効果とその可視化

柿崎 陽

埼玉大学大学院 理工学研究科

序論：分子イオンや分子の集合体である分子クラスターの構造は、様々な異性体構造を求めることが一般的であった。しかし、これらの系は温度によって構造が大きく変化することが分かっている。さらに、厳密な熱ゆらぎ構造は原子核の量子力学的な広がりも大きく影響する。分子クラスターなどの多原子系における量子原子核分布(熱ゆらぎ構造)を求めることが可能な手法が「経路積分分子動力学法(PIMD)」である。この研究の目的は、以下に述べる二つの系について PIMD シミュレーションを行い、得られた量子原子核分布を可視化することである。

対象とする系：この研究では、二つの系を対象にした。第一の系は、水素の分子クラスターイオンである  $H_6^+$  である。このイオンは Fig. 1 のような  $D_{2d}$  対称性の最安定構造をしており、4 K の極低温で両端にある  $H_2$  は量子力学的な回転をしていることが実験結果から示唆されている。第二の系は、硫酸と水の混合クラスター  $H_2SO_4(H_2O)_n$  である。このクラスターは大気中に存在するエアロゾルのコアとして大気化学の分野で注目されている。しかし、質量が小さく実験的に観測することが困難である一方で、理論的にもその熱ゆらぎ構造についての研究はほとんど行われていない。理論的には複数の異性体構造があることが分かっており、Fig. 2 に示したように、 $n=1$  のクラスターでさえ 4 つもの異性体が存在する。

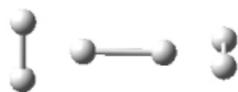


Fig. 1  $H_6^+$  の最安定構造 (計算レベル：CCSD(T)/cc-pVTZ)

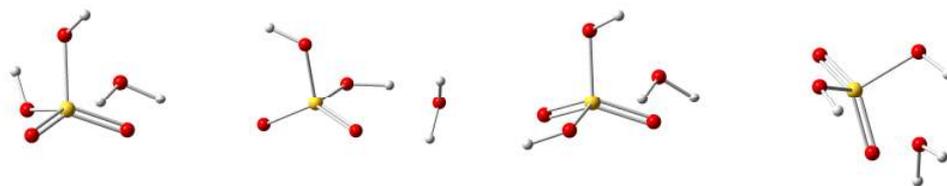


Fig. 2  $H_2SO_4(H_2O)$  の異性体構造 (計算レベル：PM6)

方法：PIMD の結果は原子核分布が計算ステップごとに離散的な座標点として出力される。そこで、系全体の並進および回転の運動を取り除いた上で、座標点をそのままプロットする方法と等密度面を作成し描画する方法の二つを行った。

$H_6^+$ の結果 : Fig. 4 に 4 K における  $H_6^+$  の量子原子核分布を示す。Fig. 4 に見られる原子核の環状分布は、分子内回転を示唆している。

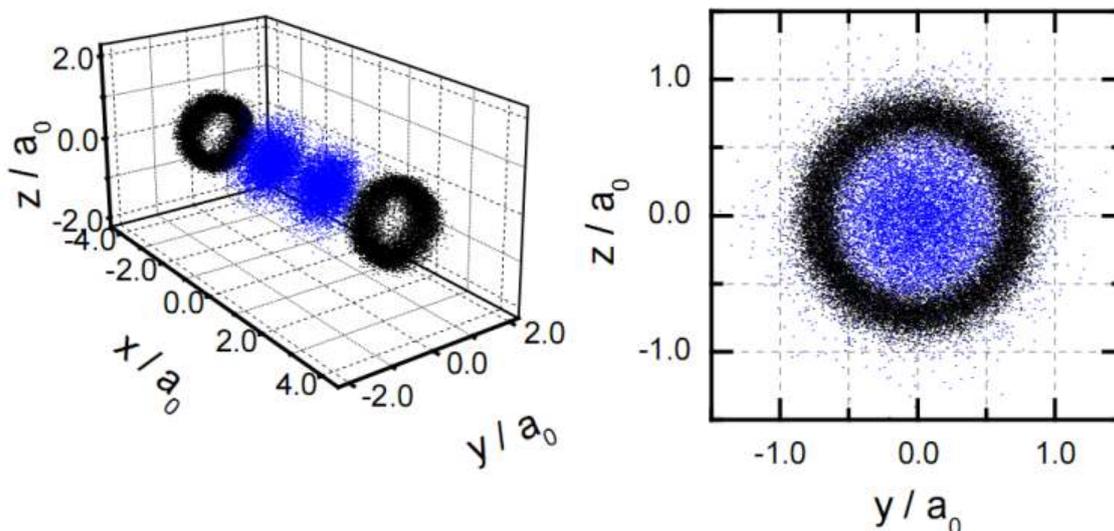


Fig. 4 4 K における  $H_6^+$  の原子核分布

$H_2SO_4(H_2O)_n$  の結果 : Fig. 5 に 250 K における  $H_2SO_4(H_2O)_6$  の酸素と硫黄の原子核分布を示す。この図において左は古典分布、右は量子分布である。Fig. 5 から、量子分布は古典分布に比べ圧倒的に大きな広がりをもっていることが分かる。

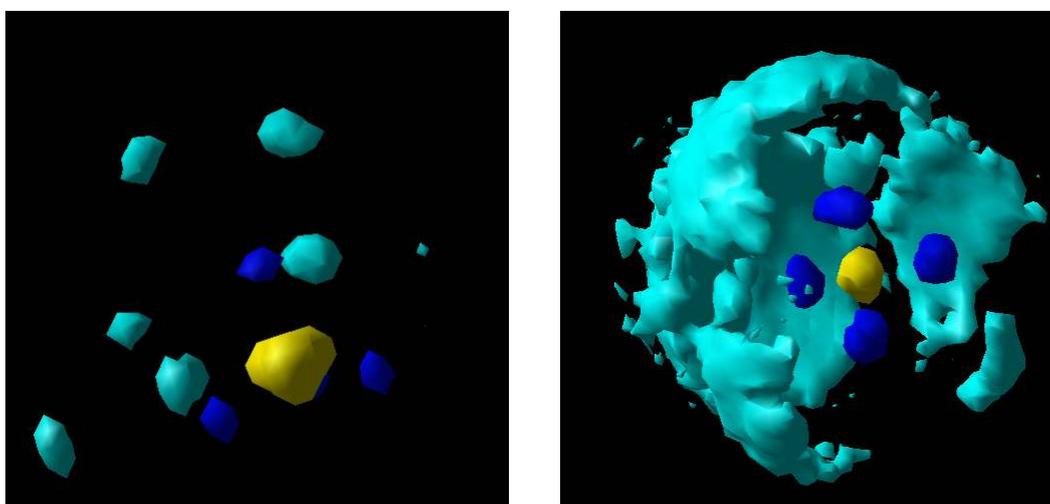


Fig. 5 250 K における  $H_2SO_4 \cdot (H_2O)_6$  の古典分布(左)と量子分布(右)

まとめ : この研究では、 $H_6^+$  と  $H_2SO_4(H_2O)_n$  の PIMD シミュレーションを行い、その結果得られた量子原子核分布を可視化することができ、熱ゆらぎ構造における量子効果を確認することができた。分布の可視化はより直観的に結果を捉えることができるため、可視化技術の理論計算化学の分野へのさらなる応用が期待できる。

# 不動岡高校 SPP の報告

金子康子<sup>1</sup>、井門俊治<sup>2</sup>、安部光志<sup>3</sup>

<sup>1</sup>埼玉大学教育学部、<sup>2</sup>埼玉工業大学、<sup>3</sup>(株)日立製作所

年も押し迫った平成 20 年 12 月 18 日、埼玉大学にて不動岡高等学校 SPP を以下のプログラムで実施しました。参加者は生徒 34 名（男子 3 名、女子 31 名）+ 教員 4 名 = 計 38 名でした。

## 「ミクロの目で植物の世界をのぞいてみよう！」 プログラム

- 10:00 研究紹介（教育学部 B 棟 4 階生物学実験室）  
「ミクロの目で見た絶滅危惧種ムジナモの世界」  
「ランソウ細胞内 DNA の観察」
- 11:00 さまざまな顕微鏡観察（教育学部 B 棟 4 階生物学実験室）  
「ムジナモとミクロの世界観察」実体顕微鏡、光学顕微鏡  
「葉の表面微細構造観察」小型走査電子顕微鏡  
「ランソウの細胞と DNA の観察」光学顕微鏡、蛍光顕微鏡  
など
- 13:00 透過電子顕微鏡見学（理学部 2 号館 2 階電子顕微鏡室）  
「ランソウ細胞内微細構造の観察」
- 13:30 3D 投影装置体験（情報メディア基盤センター1 階）  
「ランソウの細胞の中へ」  
「埼玉大学キャンパス自由自在」

参加した生徒は皆、驚くほど熱心に講義や実験、CAVE 体験に参加し、充実した一日を過ごせたようです。



ムジナモにミジンコを与える実験



ランソウの細胞の中へ

第36回CG・可視化研究会(CAVE研究会)発表  
「不動岡高校SPPの報告」

(株)日立製作所  
阿部 光志  
2009年1月29日

埼玉工業大学(高大連携—不動岡高校)見学会

1. 埼玉大学 教育学部理科教育講座  
金子康子先生 講義 (39名参加)



埼玉工業大学(高大連携—不動岡高校)見学会

2. 埼玉大学 教育学部理科教育講座  
金子康子先生 研究紹介1



埼玉工業大学(高大連携—不動岡高校)見学会

2. 埼玉大学 教育学部理科教育講座  
金子康子先生 研究紹介2



埼玉工業大学(高大連携—不動岡高校)見学会

2. 埼玉大学 教育学部理科教育講座  
金子康子先生 研究紹介3



埼玉工業大学(高大連携—不動岡高校)見学会

3. 埼玉大学 教育学部理科教育講座  
金子康子先生 研究紹介4



埼玉工業大学(高大連携—不動岡高校)見学会  
3. 海洋研究開発機構 地球シミュレータセンター  
荒木文明先生 講義 (16名参)



埼玉工業大学(高大連携—不動岡高校)見学会  
4. 理化学研究所 見学 (前田バイオ工学研究室)



埼玉工業大学(高大連携—不動岡高校)見学会  
4. 理化学研究所 見学 (情報基盤センター 姫野センター長)



埼玉工業大学(高大連携—不動岡高校)見学会  
4. 理化学研究所 見学 (情報基盤センター内マシン室)



# DLP プロジェクタの高周波歪みを用いた 高速度プロジェクタカメラシステム

山崎俊太郎

(独)産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究センター

**目的：**市販の安価な DLP プロジェクタを用いて 1000Hz を超える高速度動的光源を実現する。この光源を高速度ビデオカメラと組み合わせることにより、高速度アクティブビジョンシステムを安価に構成でき、構造化光投影を用いた形状獲得、照度差ステレオ、光の直接・間接反射成分の分離、光源分離が 1000Hz 以上の高速度で実現可能であることを示す。また通常の低速度ビデオカメラと組み合わせることにより、移動ボケの除去など、コンピューショナルフォトグラフィへの応用が可能であることを示す。

**方法：**市販 DLP プロジェクタの光変調素子である DMD は、約 10kHz で白黒 2 値の画像を生成しており、プロジェクタはこれを高速に切り替えながら投影することで、人間の目に滑らかに見える光の階調を合成している。高速度カメラを用いてこの高周波の歪みをあらかじめ計測しておき、計測時に既知の投影パターンとして利用することで、アクティブビジョンを実現できる。

**結果：**高速に移動する物体（剛体、布、多数の小物体）の表面形状を、構造化光投影によって 3000Hz で復元した。また、複数の DLP プロジェクタを用いることにより、照度差ステレオ、物体表面反射の直接光・間接光成分の分離、また光源分離を 120Hz で行った。

**結論：**CMOS などの撮像素子の進歩により計測システムの超高速化が現実的なものになりつつあるが、同様の速度を実現する光源は依然として入手が困難である。特に 1000Hz を超える超高速プロジェクタは非常に高価であり、映画などの予算が潤沢にある場合を除いて、これまでほとんど利用されてこなかった。本研究では、市販の安価な DLP プロジェクタ（～5 万円）と高速度カメラ（～10 万円）を用いて、簡便に高速度アクティブビジョンシステムを実現する方法を示した。



図.1 DLP の高周波歪を使った、構造化光による高速度形状計測システム

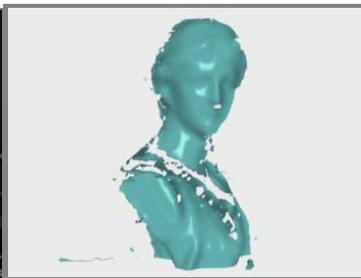


図.2 3000Hz で獲得した物体表面形状

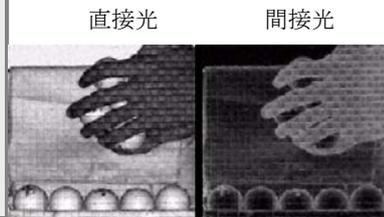


図.3 120Hz で分離した物体表面反射の直接光・間接光成分

# スタイリングデザインレビューソフトウェア 「DesignCentral Imager」のご紹介

広瀬 雅人

日本 SGI 株式会社 高度ビジュアル・メディア開発本部

**概要:** 弊社では、工業意匠デザインレビューソフト「DesignCentral Imager（以下 DC-Imager）」を開発いたしました。今回の発表では、本ソフトウェアで採用した可視化機能をデモを交えてご覧頂き、工業意匠デザインレビューの分野における可視化に必要な概念と、それを実現するために用いた可視化技術についてご紹介します。

**特長:** DC-Imager は、工業意匠 CAD データをリアルタイムに可視化することによって、デザインレビューを行うためのビューワです。従来この分野の可視化では、工業意匠 CAD データをデザイナーが検討できる状態に仕上げるまでに、専門のリアルタイム可視化エンジニア・オペレータによる膨大な調整作業を必要としていました。DC-Imager はこれらの調整作業を半自動化することにより、作業時間の大幅な削減を可能にしました。また、機能をスタイリングデザインレビューに絞ってシンプルかつ直感的な GUI にまとめており、専門のエンジニアでなくとも短時間で使い方を習得できる使い勝手を実現しています。

**機能:** DC-Imager は、以下のような特徴的な機能を搭載しています。

- ・ デザイン CAD データのダイレクトインポート、色・質感再現、変更
- ・ モデルの形状評価に特化した質感の搭載
- ・ HDR（ハイダイナミックレンジ）背景画像を基にしたライティング
- ・ 視点登録による簡易アニメーション機能
- ・ 2 台のモデルの比較表示
- ・ マウス操作を基本としたシンプル・直感的な GUI

**効果:** DC-Imager の利用によって、工業意匠デザインの現場における、デザイン作業～可視化作業～レビューの反復が、従来よりも短時間で可能になります。これによって、デザインの質的向上を支援するソフトウェアになっております。



図 1 日本 SGI コンセプトカー「Astronomia」



図 2 GUI 表示例



## 注目されるホログラフィック・ディスプレイ 自然なインタラクティブ コンテンツ新技術 (EON Human, GoogleEarth連携)

**EON Reality, Inc**  
(米国 イオン・リアリティ)  
小林 広美

[hiromi@eonreality.com](mailto:hiromi@eonreality.com)  
[www.eon-kgt.jp](http://www.eon-kgt.jp)  
<http://eonreality-japan.blogspot.com/>



## ホログラフィック・ディスプレイ What Kind of Technologies?

透明な特殊スクリーンと、高解像度・高輝度のビデオプロジェクタを組み合わせて、透明感のある映像を作る。背景(人物、プロダクト)などと重ね合わせることで、浮き上がるような効果を出す。

<特徴>

- **メガネなし**：視聴者はメガネなどはかけない。
- **ノン・ステレオ**：立体視 (stereo-viewing)、ではない。
- **レーザー技術を使った“ホログラフィー”**、ではない。
- **透明なスクリーンを使ったシースルー・リユースION**  
(素材は、特殊加工されたガラス、アクリル、ファブリック、フィルムなど) と、ビデオプロジェクタや、フラットディスプレイなどの映像ソース (背景は黒) を組み合わせる。
- システムは**シンプル**で設置が簡単
- 実際の人物と、スクリーン上に浮いて見えるCG映像を**重ね合わせる**ことで、拡張現実、Mixed Reality”的な、独特の効果を出す。
- 大勢の人が同時に楽しめ、**アイキャッチング**に高い効果を持つ。

<利用例・適用>

- イベント (コンサート、ファッションショー など)
- 商品プレゼンテーション、ショールーム、展示
- 商業設備での広告ディスプレイ (デジタル・サイネージ)
- シンター 演劇舞台の特殊効果、博物館 など



## ホログラフィック・ディスプレイ イベントでの利用例: Lexus USA

**クライアントの課題と要求:**

- 新車発表のために、如何に強力なアピールを行い、どう販路作りをするか
- 大衆の目を惹くトランジェクションにしたい
- Lexusのラグジュアリー、パフォーマンス、高い品質、というハイレベルなプロダクトに相応しいイベントにしたい
- 競合と差別化するチャンス
- 情報としての価値を顕著的に見せたい

**EONからの提案:**

- EON I-Crystal™ と EON Artificial-H 3D ホログラフィック・ディスプレイを提案
- EONで制作した “Why Live in One Dimension” キャンペーンを基調
- 全米の主要都市でのキャンペーンを展開。ニューヨークのタイムズスクエア、LA、シカゴ、マイアミ、フィラデルフィア、ヒューストンなど

**主な効果:**

- 発表と並に、セールス・マーケティングを強く印象付けることができた
- 統一のとれた商品の営業プレゼンテーション・アプローチであった
- 3Dのフォトリリスティックなプログラムへ、高い注目を集めた
- 15分間タイムでかつ対応性があがる
- 興味のある人は操作して、さらに情報を得ることができる
- Lexusのプロフィールを満足するアプリケーションであった
- 商品プレゼンテーションのみならず体験によって顧客やメディアを惹き付けた
- 特別な設置条件などの要らない、シンプルな利用環境のシステム

Team One プロジェクトリーダーのJennifer Weinberg氏のコメント  
“EONのホログラフィック・ディスプレイ・ソリューションとコンテンツ制作によって、我々は全く新しい次元で新しいLexusのマーケティングキャンペーンを遂行することができました。”  
“このプログラムが全米の各都市に与えた影響は計測の無いものです。見る人を選びを奪えながら、我々のブランドを差別化するのを助けてくれました。”



## EON Holographic I™ 実績 展示会での利用例



特殊な透明のフィルムスクリーンに、高精細・高輝度プロジェクタで映像を投影することで、大型のホログラフィック映像を作り出すことができます。イベント、展示会、ショールーム、人物とコンテンツを重ね合わせたり、アイキャッチングに効果を持ちます。

**ホログラフィック・カンファレンス・ルーム**  
 “臨場感会議システム”への応用  
 スクリーンの向こうにいるのは遠方の人「存在感・一体感」




構成技術 (ハード)  
 ホログラフィック・スクリーン  
 高精細プロジェクタ  
 ハイビジョンカメラ  
 映像の伝送システム  
 ネットワーク  
 インタラクティブCGとカメラ映像の合成




**EON Touchlight™**

“マイノリティ・レポート”体験

自然な手振りを使った  
 対話型ホログラフィックディスプレイ

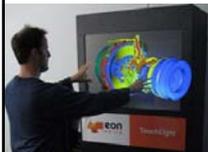


**EON Touchlight**  
 “Minority Report Experience”  
 技術開発: Microsoft Research



**THE WALL STREET JOURNAL**  
DISSEMINATED BY THE WALL STREET JOURNAL

**No-Contact Technology**  
 Microsoft System Reads Hand Movements, Doesn't Require Touch




**EON Human**

2D face to 3D model

顔に関するコンテンツ新技術 -  
 1枚の写真から、3Dの顔を自動生成する技術

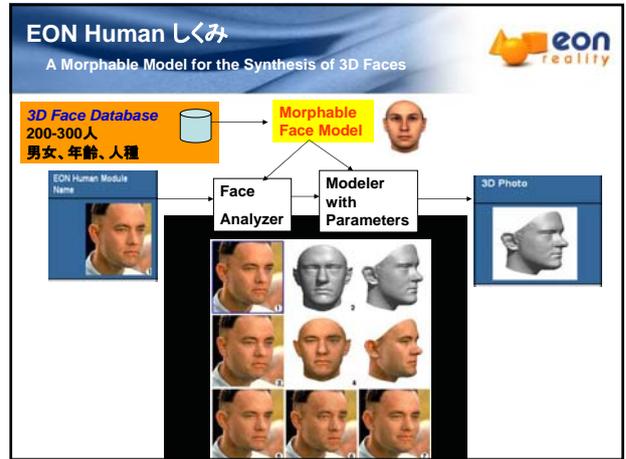
<http://eonhuman.ning.com/>



## EON Human とは？

主な特徴 <http://eonhuman.ning.com/>

- EON Human Face 3Dジェネレータを使ったASPサービス
- 2Dの写真やポートレートから3Dフェイスを約80秒で生成
- 3Dフェイスを操作して、様々な変形させる
  - 感情表現をつける（喜怒哀楽）
  - 年齢を変える
  - 性別を変える
  - 人種を変える
  - 2つ以上の顔をマージする
  - 整った顔にする（美容、整形）
  - talking head機能（音声認識や文字読み取りと組合せ）
  - 3Dのメガネ、帽子、アクセサリなどの装飾品と合成する



## EON Human 例

坂本竜馬

## EON Human Speech™ “talking head”

作成した3Dモデルに、自然な会話をさせる

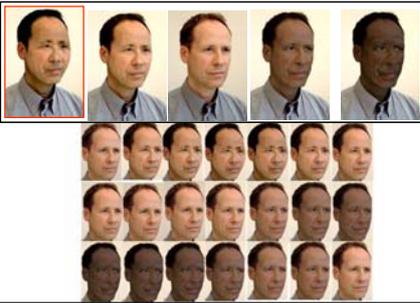
- テキストデータなどの読み取り
- 音声認識
- ビデオ映像への合成

EON Human Talking & Singing Head™  
3D Speech & Song Animation, text to speech,  
Voice to speech

## EON Human Ethnic™



人種を変える (西欧人、アジア人、アフリカ人など)  
EON Humanはあらゆる人種の特徴をパラメータとして持っているため、人工的に自動変換ができます



## EON Human Substitute™



写真の顔にマージして置き換える  
整形、形成外科、コスメティックス など

Synthetic Images:



## EON Human

例: 米国サングラスメーカー



EON Human Styling™ - Select hair Style, Color and Eyewear, Jewelry & Cosmetics



3D Glass Virtual Configuration

## EON Human

ビジネス可能性、適用分野



1. 斬新性、話題性、娯楽性の強いサービス
2. 年間を通して課金ができるサービス
  1. ポータルサイト
  2. 携帯コンテンツ
  3. 著作権、肖像権を販売できるサービス
  4. 事業者へのASPサービス
3. “3D顔”を最大限活用できる
  1. アイウェア、ジュエリー、帽子 など
  2. 美容、化粧品、整形、ファッション、アパレル
  3. おしゃべりや歌:音楽、チャット、インスタントメッセージ
  4. デジカメ、携帯カメラへの組み込み
4. Webを使ったしくみを活用できる
  1. SecondLifeのような、3Dコミュニティのアバター





## Google Earth & EON

### web3D、リッチ3Dコンテンツの活用




## Google Earth™

- 事実上世界標準の3Dマップ  
(個人ユースは無償。ビジネスではGoogle Earth Pro \$400 が必要。)
- 現実の世界の仮想化である (vs. Second Life)
- KMLによって様々なアプリケーションとの統合を可能とした
  - KML=GEブラウザに緯度経度の指定、イメージオーバーレイの追加、リッチデータの組み込みをするためのXMLベースのファイル形式
- 無償のSketchUp™により、誰でも簡単に3Dでビルや家などの建築物を作成して、G.E.に統合できる。
- Google 3D warehouseに認可されれば、実座標(緯度経度)上に3Dモデルが世界に公開される。  
<http://sketchup.google.com/3dwarehouse>

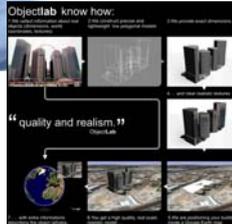
## Google Earth™上に3次元の建築物を建てる

デジタル・アース社のサーバを使う

- ・メリット: 高精細の日本の地図データを利用できる
- ・制限: 原則日本国内。デジタル・アース社のサービスを受ける。

グーグルアース社のサーバに直接掲載してもらう

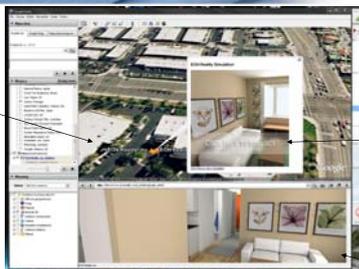
- ・メリット: 世界中のユーザからアクセスの可能性がある
- ・しくみ: 通常、G.E.内の3DモデルはSketchUp™で作成したものの中から、Google 3D warehouseが採用したものだけが掲載される。掲載の有無や時期は保証されない。それに対して、EONのパートナーがGoogle社とライセンスを組んでおり、高品質な3Dモデルを制作し、優先的にモデルを掲載してもらえます。
- ・制限: 場所によっては、詳細の地図データが得られない




## Google Earth™ と EON のリンク webブラウザ内で閲覧する



### 起動方法-2



Step 1: Google Earth 3D 表示

Step 2: バルーン

Step 3: EON コンテンツ (DirectX)

●適用例

- ・室内のウォークスルー(ビルや建物の中の案内)
- ・会社案内 (オフィスから製品ヘリンク。会社案内を3D プレゼンで)
- ・文化遺産 (3Dアーカイブ紹介)
- ・地形のビジュアライゼーション (溪谷、山脈、島の内部や成り立ちなどの可視化)

# 東北大学での第33回CAVE研究会の報告

井門俊治

埼玉工業大学 工学部 情報システム学科

## 1. はじめに

平成20年8月8日(金) 東北大学流体科学研究所にて、第33回CAVE研究会を行った。従来研究会を実施したのは、埼玉大学のほか、東京大学(第22回)、東海大学(第23回、第28回)、第24回(女子美大)、地球シミュレータ(第27回、第32回)、中央大学(第30回)など、東京、神奈川の大学・研究所で行ったが、今回はじめて首都圏以外の大学で実施した。

## 2. 東北大学流体科学研究所

流体研での研究会実施については、藤代一成教授(流体科学研究所 流体融合研究センター 基幹研究部 融合可視化情報学研究分野)および同分野の竹島由里子助教のご協力を得た。研究会は、1号館2階の会議室で行った(図1)。また、VR可視化表示は、同館1階のRWSにて実施した(図2)。この可視化装置は、SGI社により準備されたものであり、4面(正面2面、床2面)のスクリーンからなる。可視化ソフトとしては、Enight と AVS を用いた。



図1 研究会での発表風景



図2 3次元可視化表示装置(RWS)

## 3. プログラム

まず、冒頭の挨拶においては、10分ほどの時間を頂き、井門が過去6年半32回にわたるCAVE研究会の実施とその可視化における成果を紹介した。その後、研究発表を続けた。「プログラムは下記のようなであった。

- (1)「RWS: 複雑流動現象のリアライゼーションを目指して」(藤代一成氏)
- (2)「脳動脈瘤用ステントによる血流制御と治療アセスメント」(太田信氏)
- (3)「後方乱気流の計測融合シミュレーション手法の開発」(三坂孝志氏)
- (4)「大規模シミュレーションによる材料設計と3次元可視化」(佐原亮二氏)
- (5)「TOP500」その変遷を視る」(正田秀明氏)

(1) - (4)は、東北大学の研究についての発表であり、(5)は世界でのスーパーコンピュータのランキング(TOP500)の上位100位までの解析結果の発表であった。

図3は、藤代教授の発表の様子、図4は、正田秀明氏(SGI社)の講義の様子である。



図3 藤代教授の発表



図4 正田氏の発表

### 3. 3次元可視化表示

3次元可視化においては、結晶構造関係、流体関係、など表示、紹介が行われた。その様子を下記に示す。内容などについては、講演において紹介する。



図5 結晶構造

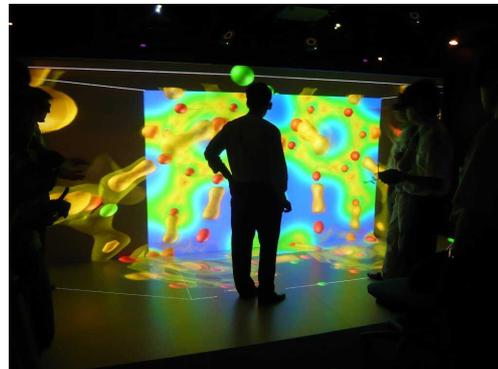


図6 結晶構造



図7 動脈瘤内の血流

### 4. まとめ

3次元解析の結果（血流、航空機の後ろにできる伴流、結晶構造、など）の紹介と、3次元可視化の成果が紹介された。

## Time-Varying Mesh の類似動作検索

山崎俊彦, 相澤清晴

東京大学大学院情報理工学系研究科電子情報学専攻

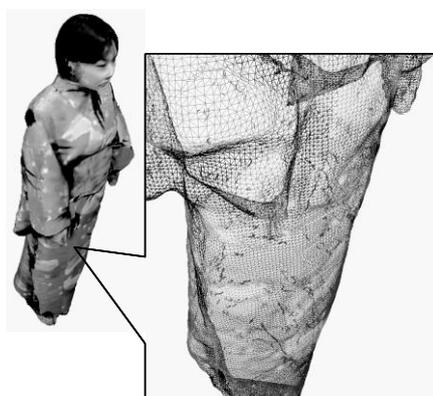


図 1. TVM の例。

**目的:** 本研究の目的は、実写 3 次元映像表現の一つである Time-Varying Mesh (TVM) を対象として、効率よく類似動作の検索を行うことである。TVM は、複数台のカメラから撮影された多視点映像を元に、オブジェクトの大まかな 3 次元(凸)形状を求める視体積交差法と、オブジェクトのへこみ部分や衣服の皺などを忠実に再現するためのステレオマッチング法などの組み合わせによって作られる、3 次元メッシュシーケンスである[1]-[5] (図 1 参照)。TVM をはじめとするこのような実写 3 次元映像は、従来の 3 次元 CG やモーションキャプチャなどとは異なり、実物体の 3 次元形状や動きを忠実に記録・再生できる点が特徴である。TVM 生成技術を利用して、能などの伝統舞踊を 3 次元アーカイブ化する試みがすでになされており[4]、今後様々な TVM のデータベースが構築されたとき、それを効率的に運用するためには検索・編集などの基礎技術が必要不可欠である。

しかしその一方で、TVM は受動素子であるカメラ映像のみから作成され、また被写体が非剛体であることから、フレーム間で頂点や結線情報の対応関係はとらず、1 フレームずつ独立にメッシュを生成することが多い。生成される 3 次元メッシュデータには関節の位置がどこか、などといった構造的な記述はなく、多数の頂点の位置と結線情報が無作為に記述されているだけである。また、フレーム間で頂点同士の明示的な対応関係もとられないため、仮にある 1 フレームにおいて人手で関節の位置などを指定したとしても、それに続くフレームにおいてその位置を追跡できない。そのため、TVM では構造的な特徴点の特定、ならびに追跡が特に困難で、様々な TVM の処理を困難にしている。ごく最近になって、すべてのフレームにおいて頂点の対応関係を取り、頂点数と結線情報に一貫性を持たせながら 3 次元メッシュシーケンスを生成する手法も提案されているが[6][7]、これらはリファレンスフレームとして、予めレーザスキャンなどで人体の形状を詳細に取得しておかなければならないなどの課題が残っている。

そこで本研究では、構造的な特徴点が記述されない TVM に対し、類似動作の検索を行う手法を開発する。TVM からどのような特徴量を抽出し、またどのようにしてシステムにクエリを与えるかが要となる。本論文では Query-by-Example (キーワードで検索するのではなく、例となる動作シーケンスを何らかの形で与えて検索する)を基本とし、クエリとして別の TVM を用いるもの[8]-[15]、モーションキャプチャ・データを用いるもの[16]-[23]、2 次元動画像を用いるもの[24]を提案する。また、モーションキャプチャを用いる手法に関しては、モーションキャプチャ・データを TVM のデータに近づけて動作の類似度を評価する手法と[16]、TVM からモーションキャプチャ互換の動きデータを抽出して検索する手法[17]-[23]について述べる。TVM、モーションキャプチャ、2 次元動画像と、順

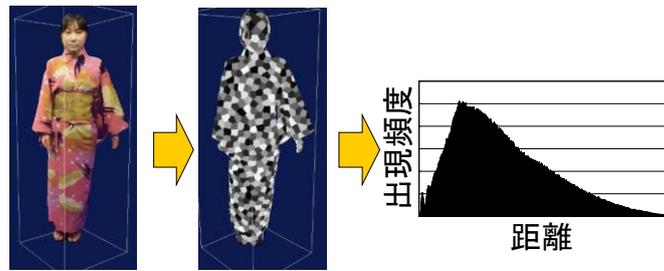


図 2. Modified Shape Distribution 法による形状特徴ベクトル抽出

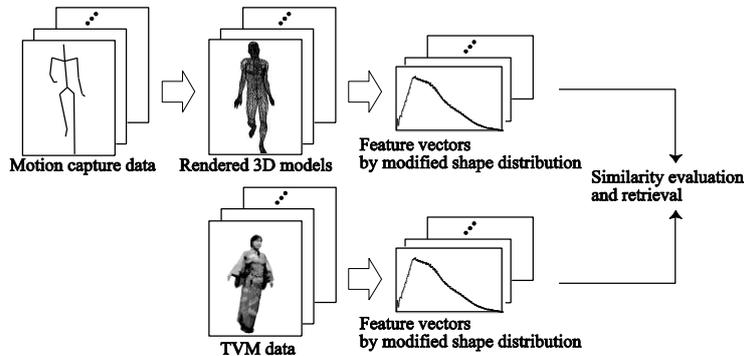


図 3. モーションキャプチャ・データから TVM 互換の動き特徴量を抽出する場合の検索処理の流れ。

にシーケンスの生成コストは低くなるが、元の TVM との共通的な性質が少なくなるために、処理は逆に難しくなる。しかし、いずれの場合においても 60-90%程度の高い精度で検索を行える手法を確立できた。

**方法:** TVM の類似動作検索を実現するために、下記に示す 4 種類の方式を開発した。

#### ①別の TVM をクエリとする方法

TVM から、各フレームの姿勢の特徴を記述できる特徴ベクトルを抽出し、これにより動作の類似度を評価する手法である。これについては、静止 3 次元メッシュモデルの形状特徴記述アルゴリズムとして有名な Shape Distributions 法[25]を頂点のクラスタリングによって安定化させた Modified Shape Distribution 法[8]-[12]、3 次元点群のレジストレーションアルゴリズムとして有名な Iterative Closest Point (ICP)法を用いて対応頂点同士の距離を類似度とする方法[13]-[15]を開発した。概念図を図 2 に示す。シーケンスは、予め動きの大きさによってセグメンテーション（文節化）されて短いクリップに分割されているものとし、クリップ同士の類似度は Dynamic Programming (DP) マッチング法によって計算する。

#### ②モーションキャプチャをクエリとする方法 ～モーションキャプチャから TVM 互換の特徴量を抽出～

TVM を検索するために別の TVM を用いる手法は、新たな TVM を作成しなければならず、人的・時間的コストが膨大である。そこで、比較的設備の利用が容易で、またフリーのデータベースがインターネット上で公開されている [26][27]、モーションキャプチャ・データの利用を考える。

モーションキャプチャのデータをまず 3 次元メッシュに変換した後、①と同様の形状特徴を抽出することを考える (図 3)。まずモーションキャプチャのデータを一般的な 3 次元 CG レンダリングソフトを用いて 3 次元メッシュモデルのシーケンスに変換する。本稿では Poser を使用した。その後、TVM とレンダリングされた 3 次元 CG モデルの双方から特徴ベクトルを抽出する。これによって、①で開発した Modified Shape Distribution 法を用いて効率的に検索を実現することができる。

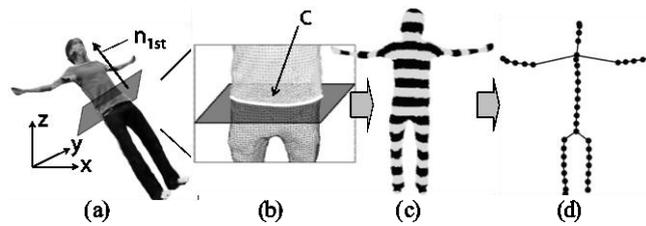


図4. TVM からのスケルトン構造抽出。

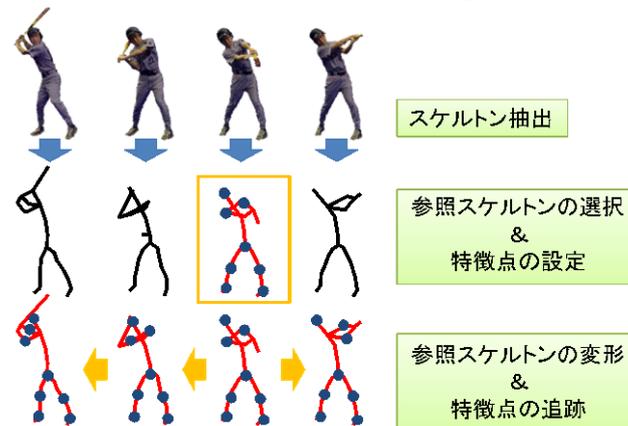


図5. TVM からモーションキャプチャ・データ互換の動き特徴量を抽出する場合の検索処理の流れ。

### ③モーションキャプチャをクエリとする方法 ～TVM からモーションキャプチャ互換の特徴量を抽出～

モーションキャプチャを TVM 互換の形式にする方法は、比較的容易に実現できるが、その反面モーションキャプチャのもつ構造的な特徴量が失われる。仮に TVM からモーションキャプチャと同等な、動き情報を抽出することができれば、検索の効率が格段に向上し、また今までに提案されてきた多数のモーションキャプチャの為の検索技術を利用できる。

TVM からモーションキャプチャ互換のデータを生成する手法[17]-[23]では、まず Reeb-graph と呼ばれるスケルトン構造抽出を行った。スケルトン構造は、メッシュ表面に何らかの連続する関数を定義し、一定値間隔でモデルを輪切りにし、それぞれの輪切りの重心を順に接続することにより求める。このようなスケルトン構造抽出は[28]など多くの手法が提案されているが、演算コストが高い上、人体モデルには適さないなどの問題があった。そこで、3次元モデルの頂点座標の主成分分析により、モデルの重心付近を通り第一主成分を法線ベクトルとするような平面によってモデルを切断し、切断面からの測地線距離を用いることで安定かつ高速な処理を可能にした。TVM からスケルトンを抽出する処理の流れを図4に示す。

得られたスケルトンを用いて、TVM の動きを追跡する。最初に、各フレームのスケルトンの中からユーザーによって被写体の構造を最も良く表しているものが選択される。ここで選択されたスケルトン(参照スケルトンと呼ぶ)を、その他のフレームのスケルトン(目標スケルトンと呼ぶ)に対してフィッティングすることで動きの追跡が行われる。この処理においては、手先や足先など端点の対応付けを先に行い、その結果を元にスケルトン全体に対して線形補間によるフィッティングを行う。この処理はスケルトンの中心点(重心点から最も近いスケルトン上の点)と端点を結ぶパス毎に行う。端点の数は必ずしも一定ではないので、対応付けができない場合がある。このような場合は、目標スケルトンの周囲にエネルギー関数を定義して、ポテンシャル場を通過するコストが最小になるように参照スケルトンを変形することで対応する。一連の処理の流れを図5に示す。

検索は、得られた動きの情報から、いくつかの関節点の情報を取り出して行われる。腕・足・胴体に相当する部分の向きを3次元空間上のベクトルとして取り出し、それぞれのベクトルの距離を計算して足し合わせることで類似度

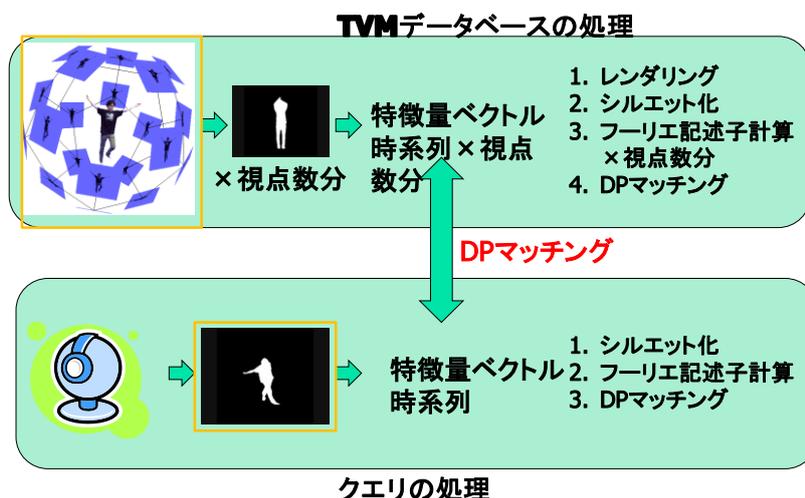


図6. 2次元映像をクエリとしたTVMの検索。

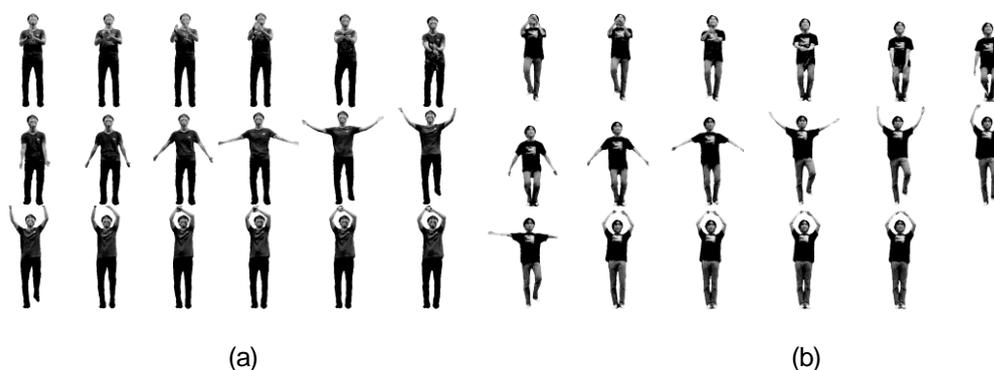


図7. TVMをクエリとした類似動作検索の例: (a) クエリ、(b) 検索結果。

とする。モーションキャプチャ・データからも同様のベクトルが取り出せるので、モーションキャプチャをクエリとした類似検索が可能となる。検索は①、②と同様DPマッチングに基づく手法を採用する。

#### ④2次元動画をクエリとする方法

②、③で述べたモーションキャプチャ・データを用いる手法は、①のTVMをクエリとする方法にくらべるとコストは低い。しかし、特殊なスタジオが必要であったりするなど、一般のユーザへの負担は依然として高い。そこで、Webカメラなどで撮影した映像をクエリとした、直感的かつ低コストな検索手法を提案する[24](図6)。具体的には、3次元静止モデルの検索手法[29]を応用し、TVMを異なる20視点からレンダリングした映像群とクエリ動画とのマッチングをとることにより実現する。マッチングは、両動画から人物のシルエット・シーケンスを抽出し、その形状特徴ベクトル(P型フーリエ記述子)のシーケンス間でDPマッチングを行った。

**結果:** 盆踊り、ラジオ体操などのシーケンスを用いて検索の実験を行った。TVMをクエリとした検索結果例を図7に、モーションキャプチャ・データをクエリとした検索例を図8に示す。図7では動作を行う人物が異なっても正しく類似動作検索が行えていることを示している。また、図8ではモーションキャプチャ・データをレンダリングした歩行シーンをを用いて、TVMの歩行シーンを正しく検出出来ていることがわかる。TVM、モーションキャプチャ・データ、2次元映像を用いたクエリによる検索では、概ね60-90%の検索精度を実現している。両手を大きく開いて円を描くなど、大きな動きの場合は検索精度が高く、逆に体の前で手拍子をうつなど小さい動きは、形状特徴ベクトルを抽出する場合でも2次元映像を用いる場合でも検索が難しいことが明らかとなった。

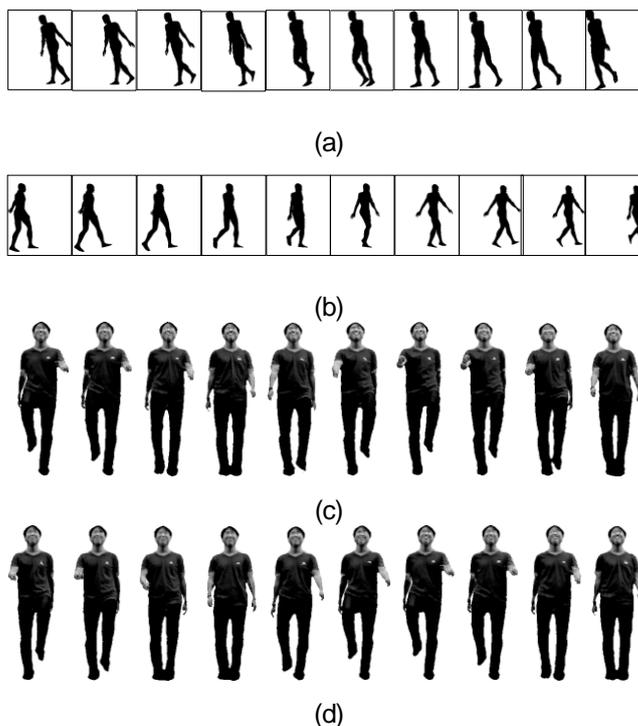


図7. モーションキャプチャをクエリとした TVM の検索例: (a) クエリ、(b)-(d) 検索結果。

**結論:** 本稿では TVM、モーションキャプチャ・データ、2次元映像などをクエリとして、効率的に形状得手用ベクトルを抽出し、TVM を検索する手法について述べた。今後はこれまで提案してきた様々な手法の統合、さらにはインタラクティブな検索などについて検討を行っていく予定である。

#### 参考文献

- [1] T. Kanade, P. Rander, and P. Narayanan, "Virtualized reality: constructing virtual worlds from real scenes," IEEE Multimedia, vol. 4, no. 1, pp. 34-47, Jan/March 1997.
- [2] W. Matusik, C. Buehler, R. Raskar, S. Gortler, and L. McMillan, "Image based visual hulls," ACM SIGGRAPH2000, pp.369-374, 2000.
- [3] T. Matsuyama, X. Wu, T. Takai, and T. Wada, "Real-time dynamic 3-D object shape reconstruction and high-fidelity texture mapping for 3-D video," IEEE TCSVT, vol. 14, no. 3, pp. 357-369, March 2004.
- [4] K. Tomiyama, Y. Orihara, M. Katayama, and Y. Iwadate, "Algorithm for dynamic 3D object generation from multi-viewpoint images," Proc. SPIE, vol. 5599, pp. 153-161, 2004.
- [5] J. Starck and A. Hilton, "Surface Capture for Performance-Based Animation," IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 27, No.3, pp. 21-31, May-June 2007.
- [6] D. Vlasic, I. Baran, W. Matusik, and J. Popovic "Articulated Mesh Animation from Multi-view Silhouettes," SIGGRAPH08, #97, 2008.
- [7] E. de Aguiar, C. Stoll, C. Theobalt, N. Ahmed, H.P. Seidel, and S. Thrun "Performance Capture from Sparse Multi-view Video," SIGGRAPH08, #98, 2008.
- [8] T. Yamasaki and K. Aizawa, "Temporal 3D Video Segmentation Using Modified Shape Distribution," IEEE ICME2006, pp. 1909-1912, 2006.
- [9] T. Yamasaki and K. Aizawa, "Similar Motion Retrieval of Dynamic 3D Mesh Based on Modified Shape Distribution," Proceeding of Eurographics2006 short papers, pp. 9-12, 2006.
- [10] 山崎俊彦, 相澤清晴, "Modified Shape Distribution 法による 3D ビデオの類似動作," 情報科学技術レターズ, LI-011, pp. 201-204, 2006. (letter)

- [11] T. Yamasaki and K. Aizawa, "Motion Segmentation and Retrieval for 3D Video Based on Modified Shape Distribution," EURASIP Journal on Applied Signal Processing, Special Issue on Search and Retrieval of 3D Content and Associated Knowledge Extraction and Propagation, vol. 2007, Article ID 59535, 11 pages, 2007.
- [12] 山崎俊彦, 相澤清晴, "Modified Shape Distribution 法によるダイナミックメッシュの動きセグメンテーション," 映像情報メディア学会, vol. 61, no. 4, pp. 495-501, April 2007.
- [13] T. Yamasaki and K. Aizawa, "Motion Segmentation for 3D Video Based on Spherical Registration," 3DTV-Conference, #25, 2007.
- [14] 山崎俊彦, 相澤清晴, "3次元表面位置合わせによる Time-Varying Mesh の動き" 情報科学技術レターズ, LH-010, pp. 241-244, Sep 2007 (letter).
- [15] T. Yamasaki and K. Aizawa, "Motion Segmentation for Time-Varying Mesh Sequences Based on Spherical Registration," EURASIP Journal on Advances in Signal Processing Volume 2009 (2009), Article ID 346425, 9 pages doi:10.1155/2009/346425.
- [16] T. Yamasaki and K. Aizawa, "Content-based cross search for human motion data using time-varying mesh and motion capture data," IEEE ICME2007, pp. 2006-2009, 2007.
- [17] 唯野隆一, 山崎俊彦, 相澤清晴, "測地線距離による高速かつロバストな3次元ビデオからのスケルトン," 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J90-D, No.7, pp.1729-1732, 2007. (letter)
- [18] 唯野隆一, 山崎俊彦, 相澤清晴, "スケルトンを用いた Time-Varying Mesh からの動き抽出と類似動作検索" 映像情報メディア学会誌, vol. 62, no. 5, pp. 729-742, May, 2008.
- [19] R. Tadano, T. Yamasaki, and K. Aizawa, "Fast and robust motion tracking for time-varying mesh featuring Reeb-graph-based skeleton fitting and its application to motion retrieval," IEEE ICME2007, pp. 2010-2013, 2007.
- [20] T. Yamasaki, Y. Hamazaki, and K. Aizawa "Interactive refinement and editing for time-varying mesh," Proc. 3DTV-Conf 2008, pp. 285-288, 2008.
- [21] N.S. Lee, T. Yamasaki, and K. Aizawa, "Hierarchical mesh decomposition and motion tracking for time-varying-meshes," IEEE ICME2008, pp. 1565-1568, 2008.
- [22] T. Maeda, T. Yamasaki, and K. Aizawa, "Model-Based Analysis and Synthesis of Time-Varying Mesh," AMDO2008) Springer LNCS 5098, pp. 112-121, 2008.
- [23] N.S. Lee, T. Yamasaki, and K. Aizawa, "Motion Tracking of Time-Varying Mesh Through Surface Gradient Matching with Multi-Temporal Registration," ACM SIGGRAPH2008, poster #0196, 2008.
- [24] D. Kasai, T. Yamasaki, and K. Aizawa, "Time-Varying Mesh Retrieval using 2D Video Queries Based on Silhouette Shape Descriptors," PSIVT2009. (submitted)
- [25] R. Osada, T. Funkhouser, B. Chazelle, and D. Dobkin, "Shape distributions," ACM Transactions on Graphics (TOG), vol. 21, issue 4, pp. 807-832, 2002.
- [26] <http://mocap.cs.cmu.edu/>
- [27] <http://www.mocapdata.com/>
- [28] M. Hilaga, Y. Shinagawa, T. Kohmura, and T. L. Kuni, "Topology matching for fully automatic similarity estimation of 3D shapes," Proc. ACM SIGGRAPH 2001, pp. 203-212, 2001.
- [29] D.-Y. Chen, X.-P. Tian, Y.-T. Shen, and M. Ouhyoung, "On Visual Similarity Based 3D Model Retrieval," Computer Graphics Forum, vol. 22, no. 3, pp. 223-232, Sep. 2003.

# 圧縮機動静翼干渉場における サンドエロージョン現象の三次元数値シミュレーション

鈴木 正也

東京理科大学 工学部 機械工学科

**目的:** サンドエロージョンとは、固体粒子が壁面に衝突することにより、壁面が機械的損傷を受け、その一部が脱落していく現象である。この現象は固気二相流と壁面固体材料との干渉によるマルチフィジクス連成問題である。航空用ジェットエンジンや発電用のガスタービンは、設計や運転条件によっては、深刻なサンドエロージョンの被害を受ける。ジェットエンジンの場合、特に圧縮機で問題になる。設計段階からサンドエロージョンによる被害が予測できれば、性能低下を防ぐことが可能となり、ひいてはシステムのオーバーホール回数を減らすことが出来るため、多くの研究が行われてきた。この種の問題の実験は、製品の高度化による広範囲にわたる空力的・熱力的条件に対応する試験設備が要求される上、試験のたびに製品が破壊されるため、非常にコストが高い。このため、数値シミュレーションが有効であると考えられる。本稿では、単段軸流圧縮機におけるサンドエロージョン現象の三次元数値予測<sup>(1)</sup>について報告する。

本計算では、マルチブロック構造格子法を用いて、圧縮機動静翼干渉場の計算を行っている。マルチブロック法の計算結果を可視化するのは面倒な作業である。さらに、ローターの回転により、ブロック間の相対的な位置が時間的に変化するため、可視化作業はさらに煩雑になる。また、運転条件や幾何形状を変えたパラメータ・スタディを行うため、大量の計算結果を処理することになる。従って、これらの計算結果を自動的に処理する方法が必要とされる。本研究では、比較的安価な商用可視化ソフトである MicroAVS を用いて可視化を行い、ユーザーの立場から可視化処理の自動化について考察する。

**方法:** 計算手法の詳細は文献<sup>(2)</sup>に示されている。本手法では、サンドエロージョンの予測は、連続相(気体の流れ)、分散相(固体粒子の流れ)、壁面変形の計算の三つのステップを繰り返すことにより行われる。連続相は、圧縮性乱流場を仮定し、Faver 平均された連続の式、Navier-Stokes 方程式、エネルギー式に基づいて計算される。この際、マルチブロック法を用いて構造格子に分割され、有限差分法により離散化される(図 1 参照)。分散相はラグランジュ法により、個々の粒子軌道が追跡される。壁面変形は Neilson-Gilchrist モデルに基づいて計算される。

可視化には MicroAVS Ver. 10.0 Rev. D を用いる。MicroAVS は三次元の可視化を GUI により容易に行うことができ、スクリプト機能を用いることで可視化の自動化が可能である。近年、知的可視化<sup>(3)</sup>のように可視化に関する体系的なやり方が提案されてきているが、研究の現場では経験に頼った可視化が行われることが多い。このように直感的な判断による場合、どのような可視化をするのかを検討するために、GUI は有効である。GUI により可視化の方法を決定した後、大量の計算結果に対して同様の処理を行う。処理の自動化には CUI が有効である。さらに、可視化の再現性という面からも CUI は有利である。ここでは、

MicroAVS のスクリプト機能を用いて、各々のブロックごとの FLD ファイルから MVG ファイルを生成し、全ての MVG ファイルを同時に読み込み、圧縮機全体を可視化する。

**結果:**

代表的な粒子軌道を図 2 に示す。流入した粒子は動翼の前縁あるいは正圧面で衝突し、その運動量のほとんどを最初の衝突で失う。従って、ロータリ流路を抜ける粒子は相対的に低速である。その後、動翼での衝突により減速した粒子は、遠心力によりチップ側へと移動する。このため、粒子の衝突は下流へ進むほどチップ近傍で頻繁に生じ、チップ側でシビアなエロージョンが生じる。また、静翼での衝突速度は、ほぼローターの回転速度によって決まり、粒子の軸方向速度は小さいため、静翼の前縁付近に集中して衝突する。

エロージョンによる翼面の損傷深さを図 3 に示す。翼の前縁から正圧面までエロージョンによるダメージを受けていることがわかる。一方、負圧面にはほとんど損傷は見られない。動翼正圧面は全体的に損傷を受けているが、チップ付近での損傷が激しい。静翼の損傷は

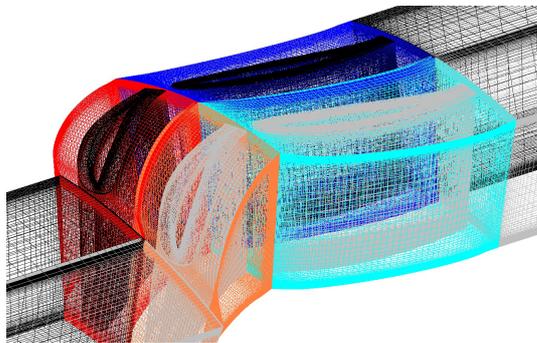
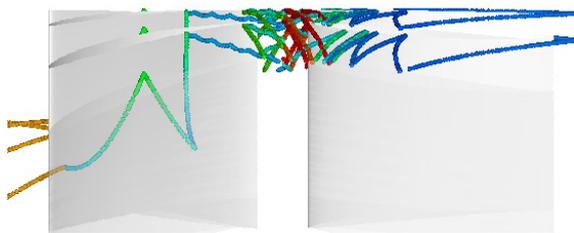
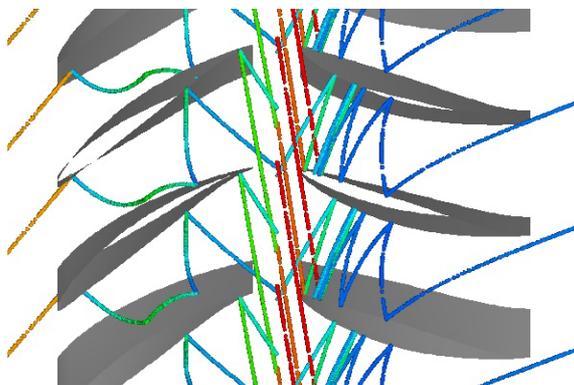


Fig. 1 Computational grid



(a) Side view



(b) Top view

Fig. 2 Particle trajectory (red: high speed, blue low speed)

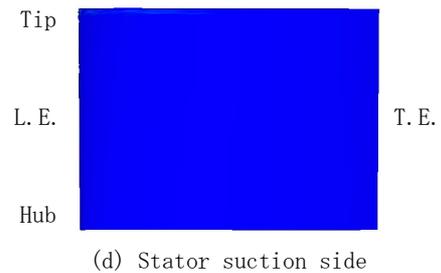
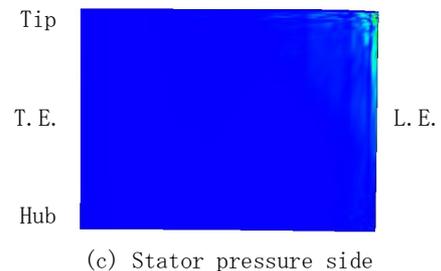
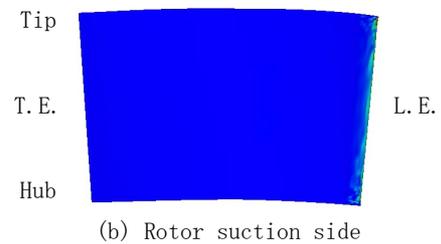
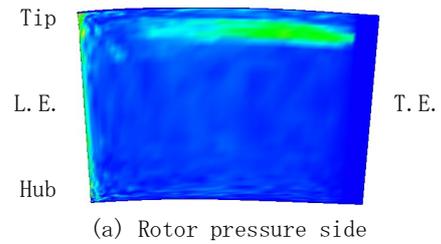
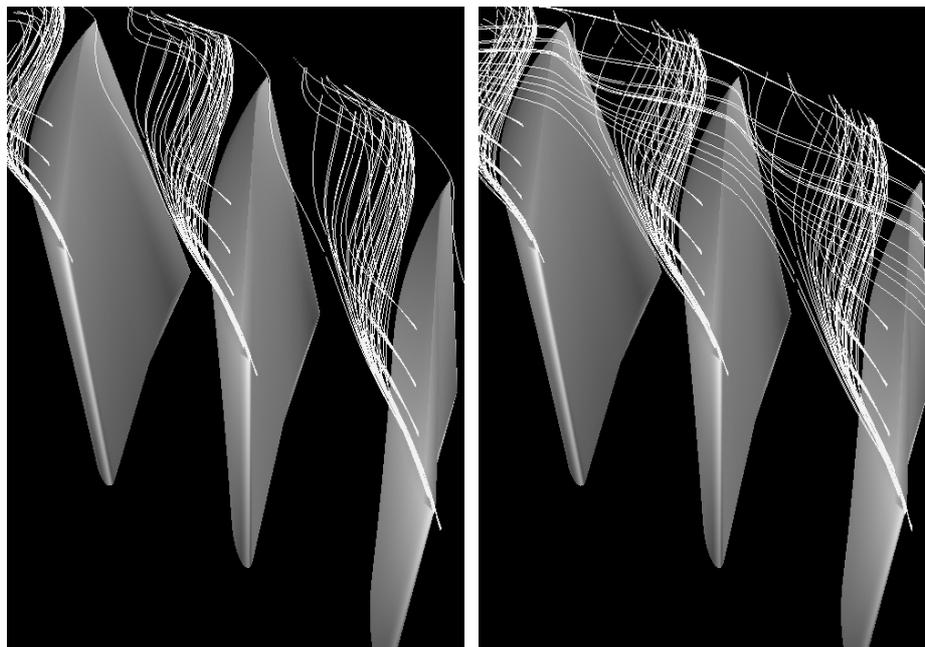


Fig. 3 Depth of erosion (red: deep, blue: shallow)



(a) Before erosion (b) After erosion  
 Fig. 4 Streamline around tip clearance of rotor blade

では正圧面のチップ近傍に限られる。

図 4 は動翼チップクリアランス付近の流線を可視化したものである。エロージョンの発生により漏れ渦が強くなっていることが確認できる。前述のとおり、チップ近傍のエロージョンによるダメージが大きいため、チップ付近の流れの変化は性能低下の重要な原因となる。

上記のような結果には多数のマウスクリックが要求され、特にアニメーションを作成する場合は、数百回にも及ぶクリックが必要になる。しかし、スクリプト機能を使用すれば、数回のクリックで計算結果を可視化することができる。

**結論：**単段圧縮機におけるサンドエロージョンを予測し、エロージョン前後における圧縮機の性能変化を再現した。本研究は、寿命の予測や性能低下を抑える設計に役立つと考えられる。MicroAVS のスクリプトを用いた自動化により、マルチブロック法を用いた計算結果の可視化を容易に行うことができた。

#### 参考文献

- (1) Suzuki, M., Inaba, K. and Yamamoto, M., Numerical Simulation of Sand Erosion Phenomena in Rotor/Stator Interaction of Compressor, *Journal of Thermal Science*, Vol. 17, No. 2 (2008), pp. 125-133.
- (2) 鈴木正也, 因幡和晃, 山本誠, 正方断面 90 度バンドにおけるサンドエロージョン現象の数値予測, 日本機械学会論文集(B編), Vol. 74, No. 743 (2008), pp. 1478-1487.
- (3) 白山晋, 計算力学レクチャーシリーズ 8 知的可視化, (2006), Maruzen Ltd.

# CAVE を用いた有限要素法メッシュの対話的修正

鳥山雄司<sup>1)</sup>、大野暢亮<sup>2)</sup>、陰山聡<sup>2)</sup>、高田知学<sup>3)</sup>、樫山和男<sup>3)</sup>

1)九州大学大学院 総合理工学府

2)海洋研究開発機構 地球シミュレーターセンター

3)中央大学 理工学部

## 目的:

複雑な形状を扱う必要のある様々な数理問題の離散化手法として、有限要素法は広く用いられている。特に工学分野においては CAD システムに入力された 3 次元形状に基づいて自動生成プログラムによって有限要素法メッシュを生成する場合が多い。ところがその自動生成アルゴリズムが完璧ではないため、一部にメッシュが生成されていない不完全な領域や、形状が極端に歪んだ要素ができることも多い。有限要素法においてメッシュの品質は解の精度と収束性に大きな影響を与える。2 次元メッシュの場合にはパソコンのディスプレイ画面で自動生成されたメッシュを表示し、マウスを使って修正することは容易である。しかし、3 次元メッシュの場合ではそのような対話的な修正はむずかしい [1]。そもそも領域全体の 3 次元メッシュを 2 次元のディスプレイに表示すること自体が困難である。そこで我々は、CAVE のもつ高い VR 機能を生かし、有限要素法の 3 次元メッシュに没入し、立体視しながら形状の悪い要素を対話的に修正するソフトウェアを開発した。

## 方法と結果:

本研究で開発したプログラムのアルゴリズムと機能を簡単にまとめる。まずメッシュデータファイルを読み込む。このデータには節点の座標値とコネクティビティが書き込まれている。そのデータに基づき OpenGL で CAVE 空間内に節点と要素を描く。CAVELib の機能を使い、ワンドを用いて 1 つの節点をつかみ、移動させることでその節点を含む四面体の要素形状を変化させることが出来る。今のところ本プログラムでは要素の形状として四面体のみを仮定している。各要素の形状の善し悪しは以下の品質評価式 [2] で評価する。この式は正四面体の場合 1 となり、要素が歪むにつれ無限大に近づく。

$$A_r = \frac{\left( \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 L_i^2 \right)^{\frac{3}{2}}}{8.47967V}$$

$A_r$  : 品質評価値  
 $L_i$  : 四面体を構成する各辺の長さ  
 $V$  : 四面体の体積

この値があるしきい値を超えた場合、その要素の各辺の色を赤く表示するようにしてある。サンプルデータとして立方体の内部に 551 個の四面体要素を自動メッシュ生成ソフトで作った例を図 1 に示す。赤い線で表示された要素が品質の悪い(形状の歪んだ)要素である。図 2 は節点をつかみ、動かしている途中のスナップショットである。面を突き破って体積が負になってしまう場合には、それをユーザーに知らせる為に体積が負となった要素を緑色で表示する。図 3 では修正前と修正後の品質評価値の分布を示した。この場合品質評価値が 3.0 以上を悪い要素と定義し、修正前 3.0 以上あった要素の数が 21 個あったものが、修正後 0 個になっていることがわかる。こうして修正したメッシュのデータはプログラム終了時にファイルに自動的に保存される。

有限要素法では、例えば流体解析における境界面上の節点のように、3 次元的に自由に動かす事が原理的に出来ないような節点もある。そのような節点も考慮に入れる為、このプログラムでは全ての節点を以下の 4 種類に分類して

いる：(1)3次元的にあらゆる方向に動かせる点、(2)ある平面上に拘束されて2次元的にしか動かせない点、(3)ある線上に拘束されて1次元的にしか動かせない点、(4)不動点。ワンドで節点をつかみ、動かす際には、(2)や(3)の節点は、拘束条件を満たす方向にのみ動くようにしてある。また(4)の節点は全く動かさない。

本プログラムの応用として都市部(新宿)の風況シミュレーションのために自動生成されたメッシュデータにこのソフトウェアを適用した例を図4に示す。元々のデータは総要素数1500万以上の膨大なものであるが、ここではそのうち都庁周辺の領域だけを抽出した。メッシュ総節点数は48431、総要素数は239995である。物体の境界面で境界形状が壊れている部分(メッシュが生成されていない場所)が存在していたが、本プログラムを利用して近傍の節点を動かすことで修正することが出来た。

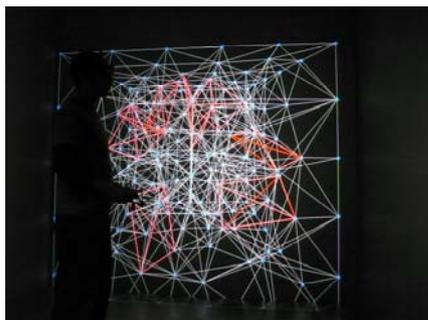


図1: サンプルデータ。自動生成されたメッシュの一例。歪みの大きい要素は赤で表示されている。

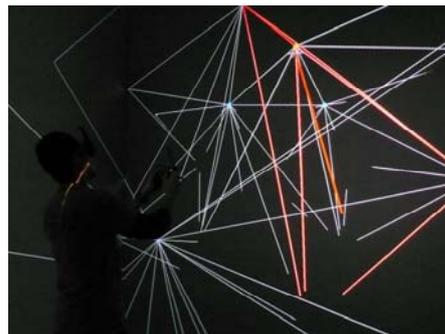


図2: 節点を動かしている途中のスナップショット

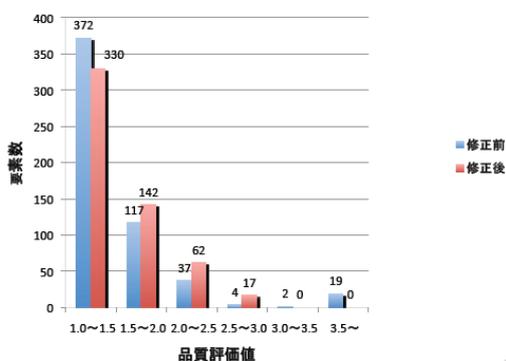


図3: 修正前後の要素品質分布

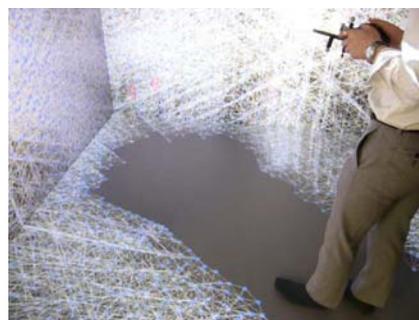


図4: 自動生成された都庁付周辺の風況シミュレーション用メッシュを本プログラムで修正している様子

## まとめ:

自動生成された3次元有限要素法メッシュの品質を向上させることを目的とし、形状の悪い要素をCAVE空間内で直接つかみ、動かすことで修正するソフトウェアを開発した。

## 参考文献:

- [1]谷口健男、自動3次元メッシュ生成手法の検討、シミュレーション、第18巻第2号(1999),p.18
- [2]Lori A. Freitag and Patric M. Knupp: Tetrahedral mesh improvement via optimization of the element conditionnumber: Int. J. Number. Meth. Engng ,(2002),pp.1377-1391,vol.53.