

# ボリューム CAD 開発チーム

## Volume-CAD Development Team

チームリーダー 加瀬 究  
KASE, Kiwamu

ものづくりの最も基本となる情報は、従来は図面であったものが三次元の CAD (Computer Aided Design) データにとってかわり、自動車や携帯電話など美しい曲面が使われた製品が作られるようになった。しかしながら、現状の三次元 CAD データは表面の形状情報しか持たず、難しい加工や、製品の機能を事前に評価するシミュレーションに用いるにも、人手を介さないと使えないなどの問題があった。当研究チームでは、三次元形状情報に加え物性情報を持つボリュームデータを抱える全く新しい CAD の開発を目指している。このボリューム CAD は、各種のシミュレーション間で共通して用いることのできる頑健なデータ表現を実現し、それらのシミュレーション結果を加工に直接用いることのできる生産システムの構築の中心的な役割を果たす。

### 1. ボリューム CAD の開発のための理論的な研究

本研究はボリューム CAD (VCAD) を開発するために必要な理論の構築を行っている。

(1) Kitta Cube を用いた表面形状の表現に対する離散数学的基礎付け (手嶋, 加瀬)

当研究チームでは、VCAD のセル (直方体) 内に陽に境界面を持たせるデータ構造として Kitta Cube を考案した。Kitta Cube では、通常の三次元 CAD データの表面形状を立方体内に適合した三角形群で近似する。我々は組合せ数学における数え上げの観点から Kitta Cube の数学的基礎づけを行ってきた。元の表面形状情報とセルの稜との交点を切断点と呼ぶが、その切断点個数を 1 稜上でただだか 1 個と仮定する (1 稜 1 切断点条件)。この仮定の下で我々は同値類 (= パターン) の数え上げを実行した。対称性として考慮に入れたのは立方体の回転群と鏡映群であり、Polya の数え上げ理論を適用した。これにより、立方体の切断点配置 (立方体の 12 稜上における切断点配置)、そして三次元 Kitta Cube (立方体内での切断三角形の配置) に対して各々厳密に同値類の数を得た。従来からボリュームデータに陰に境界面を持たせる方法として、直方体の頂点に数値を持たせて等値面抽出をする方法 (頂点ベース。稜上切断点配置の総数 = 2 の 8 乗通り) があったが我々は、従来手法の切断点配置 (14 パターン) が、Kitta Cube の切断点配置 (144 パターン) の部分集合であることを示した。Kitta Cube を使うと比較的少ない情報量で従来手法と同じ解像度においてはるかに表現力が向上することが分かった。

(2) 陰関数を用いたボリュームデータのモデリング手法 (大竹, 加瀬)

形状の表面をサンプルした点群データに対して、陰関数曲面を当てはめることにより曲面を再構築する方法の考案、および、VCAD システムへの実装を行った。これにより、測定データのような曲面の位相が付いていないものを入力として扱うことが可能になった。また、曲面を陰関数で表すことにより、物体の内外判定が容易になり、ブル操作などのモデリングも単純かつ正確に行うことができる。さらに、陰関数曲面から VCAD の Kitta Cube 面への変換は、VCAD のセル構造を利用することにより、高速に行うこと

が可能である。

(3) 多媒質ボリュームデータからの等値面生成に関する研究 (藤森 \*3, 鈴木 \*1, 加瀬)

CT 計測技術が工業分野において広く利用されつつあるが、工業分野における応用においては、計測および画像再構成の原理から、CT 計測によって鮮明な三次元画像を得ることはできないという問題があり、この問題が工業応用を難しくする要因となっている。多媒質ソリッド形状について、この問題を解決するため、離散化された格子空間で位相的な完全性を保証し、その保証の下でポリゴンモデルの位相を作成し、最後にポリゴンモデルの幾何を最適化するという手法を示した。

### 2. ボリューム CAD の実用的な開発

実際に他チームに使ってもらい、効力を発揮するためのソフトウェア (ボリューム CAD の各版) を開発している。本年度は外部のソフトウェアが直接利用できる Application Program Interface (API) を具備したフレームワークの API を大幅に追加した (Ver.3.1, 3.2) を開発した。また、分散環境におけるフレームワーク版 (Ver.4.0) を開発した。これにより、特殊な設定を必要とせずに複数の PC をつないでさらに大規模な VCAD データを抱えるようになった。これらを他チーム (V.3.1, 3.2, 4.0) および外部団体である VCAD システム研究会 (V.3.1, 3.2) にリリースした。

(1) ボリューム CAD フレームワークの開発 (加藤, 宇佐見, 伊藤 \*4, 大竹, 加瀬)

昨年度開発した、シミュレーションソフトなど関連アプリケーションがその目的に応じてカスタマイズできる土台と成るソフトウェア (VCAD フレームワーク) Ver.3.0 で使われる外部のソフトウェアが直接利用できる Application Program Interface (API) を 3 倍に増やした版 V.3.1, V.3.2 を新たに開発し、理研内および VCAD システム研究会にリリースした。

また必然的に扱う情報が増えることとともない、VCAD システムにおいて分散環境 (Linux と Windows と MacOS など、プラットフォームの異なる複数 PC による、ゆるい分散) に対応できるように拡張したソフトウェア VCAD フ

フレームワークを Ver.4.0 として開発し、理研内にリリースした。

(2) VCAD と CHIKAKU CAD のインターフェース開発 (金井 \*2, 加瀬)

理研で開発された地殻変動予測ソフトウェアである CHIKAKU CAD とのインターフェースの開発を行った。本年度は、VCAD フレームワーク Ver.3.2 を対象として、VCAD の入力形式である VOBJ ファイルへの出力ルーチンを CHIKAKU CAD 側に追加した。これにより、CHIKAKU CAD から VCAD へのデータ変換が可能となった。

---

\*1 客員研究員, \*2 非常勤研究員, \*3 ジュニア・リサーチ・アソシエイト, \*4 共同研究員

With the transition of the most fundamental data in manufacturing from drawings to three-dimensional (3D) CAD (Computer Aided Design) data, we are now able to fabricate products with beautiful curved surfaces, for example, automobiles, cellular phones, etc. However, current 3D CAD involves only shape data, which consequently poses certain difficulties in process modeling and simulations aimed at predicting the performance of final products. Our Team aims to develop a totally new type of CAD—Volume CAD (VCAD)—which can handle volume data consisting of three-dimensional shape information as well as physical attributes information. This volume CAD realizes the representation of robust data which can be shared by various simulations and flexible manufacturing methods, and plays a central role in the construction of production systems which can be used directly for manufacturing processes requiring accumulated simulation results.

### 1. Theoretical researches for the development of VCAD

In these researches, theories required for developing VCAD are being established.

(1) The combinatorial analysis for the representation of 3D shape using a Kitta Cube

One conventional method of representing surface information explicitly for volume data is extracting isovalue surfaces by giving density to the vertices of cubes (there are  $2^8$  ways of switching cutting points in the vertex based method). We discovered that representation ability can further be improved with less information using a data structure with one cutting point on one edge ( $2^{12}$  ways, in the edge based method) as a Kitta Cube which we proposed. We calculated the exact number for patterns of a Kitta cube using Polya's counting Theory. Our results showed that the set of 14 patterns of the cutting points configurations for the conventional method is a subset of the set of 144 patterns for the Kitta cubes. Therefore the Kitta cubes are more expressive than the conventional method.

(2) Volume modeling with implicit functions. Using a technique of implicit surface fitting, we developed and incorporated a method for reconstructing the surface represented by the points approximating a surface.

The method allows us to input data without defining surface-topology, e.g. point-sampled real world data, into a VCAD system. Since implicit functions gives us inside/outside information of the solid at any points in the space, we can also perform solid modeling operations, such

as boolean operations, in more accurate and simple ways. Furthermore, the conversion from an implicit surface to the Kitta Cube triangles is quickly done by using the cell based structure of the VCAD system.

(3) Contouring the Non-manifold Surface of Multi-material volumetric data

There are some contouring methods which can be applied to multi-material volumetric data. However, they assume that the volumetric data are clear with no noise (such as implicit functions). We extended the contouring methods to apply the real data (such as CT scanned data of mechanical parts) and improve the precision of contouring surfaces.

### 2. Development of practical software systems for VCAD

In these researches, software for allowing other teams to actually use VCAD and demonstrate the full performance of VCAD are developed (for various VCAD versions). This fiscal year, we developed the revised versions of VCAD Framework (V.3.1 and V.3.2) provided with new application program interfaces. and a full distributed version of VCAD framework (V.4.0). We released these software to other teams, and developed a feedback system to implement the required corrections and version upgrading.

(1) Development of VCAD framework (V.4.0)

Fundamental software (VCAD framework) which enables the users customize VCAD functionalities is newly developed. This framework is actually performed in distributed PCs without special settings even with different platforms such as, Linux, Windows, and Mac OS.

(2) Development of interfaces between VCAD and CHIKAKU CAD

We developed softwares which connect between VCAD and CHIKAKU CAD, developed in RIKEN. In this year, we added an output routine of the VOBJ format (input format file for VCAD) in VCAD framework ver 3.2 to CHIKAKU CAD, which establishes the conversion from CHIKAKU CAD to VCAD.

### Research Subjects

1. Surface modeling and robust geometric representation in volume data
2. Practical software development, distribution and maintenance of Volume-CAD

### Staff

#### Head

Dr. Kiwamu KASE

#### Members

Dr. Yoshinori TESHIMA

Dr. Yutaka OHTAKE

Mr. Shugo USAMI

Mr. Masaya KATO

#### Visiting Members

Prof. Hiromasa SUZUKI (Grad. Sch. Eng., Univ. Tokyo)

Dr. Takashi KANAI (Fac. Environ. Inf., Keio Univ.)  
Mr. Tomonori FUJIMORI (Grad. Sch. Eng., Univ.  
Tokyo)  
Mr. Masao Ito (Nil Software, Corp.)

## 誌 上 発 表 Publications

### [雑誌]

(原著論文) \*印は査読制度がある論文

Ohtake Y., Belyaev A., and Seidel H.: "Ridge-valley lines on meshes via implicit surface fitting", *ACM Trans. Graph.* **23**, 609–612 (2004). \*

Teshima Y., Kase K., Usami S., Kato M., Ikeda N., and Makinouchi A.: "Self-reversed configurations on cube", *Symmetry: Art Sci.: J. Int. Soc. Interdiscip. Stud. Symmetry (ISIS-Symmetry)*, No. 1-4, pp. 258–261 (2004). \*

小野謙二, 大竹豊, 白崎実: "ボリウムデータを用いた流体解析システムの可能性", *シミュレーション* **23**, 286–291 (2004). \*

山崎俊太郎, 加瀬究, 池内克史: "PC グラフィックスハードウェアを用いたスカラ場の等値面の高速描画法", *電子情報通信学会論文誌 D-II* **87**, 1823–1833 (2004). \*

### [単行本・Proc.]

(原著論文) \*印は査読制度がある論文

Teshima Y., Kase K., Usami S., Kato M., Ikeda N., and Makinouchi A.: "Enumeration of cutting points configuration in cube cutting", *Human and Artificial Intelligence Systems from Control to Autonomy: Proc. Fourth Int. Symp. on Human and Artificial Intelligence Systems, Fukui, 2004–12, Advanced Knowledge International, Adelaide*, pp. 407–414 (2004). \*

Ikeda N. and Teshima Y.: "The information measure for diagrams described by cutting segments", *Human and Artificial Intelligence Systems from Control to Autonomy: Proc. Fourth Int. Symp. on Human and Artificial Intelligence Systems, Fukui, 2004–12, Advanced Knowledge International, Adelaide*, pp. 485–489 (2004). \*

Wu P., Suzuki H., Kuragano J., and Kase K.: "Three-axis NC cutter path generation for subdivision surface", *Proc. Geometric Modeling and Processing: Theory and Applications, Beijing, China, 2004–4*, edited by Hu S. and Pottmann H., IEEE, Los Alamitos, pp. 349–354 (2004). \*

Ohtake Y., Belyaev A., and Seidel H.: "3D scattered data approximation with adaptive compactly supported radial basis functions", *Proc. Int. Conf. on Shape Modeling and Applications, Genova, Italy, 2004–6*, edited by Giannini F. and Pasko A., IEEE, Los Alamitos, pp. 31–39 (2004). \*

Fujimori T., Suzuki H., Kobayashi Y., and Kase K.: "Contouring medial surface of thin plate structure using local marching cubes", *Proc. Int. Conf. on Shape Modeling and Applications, Genova, Italy, 2004–6*, edited by Giannini F. and Pasko A., IEEE, Los Alamitos, pp. 297–306 (2004). \*

## 口 頭 発 表 Oral Presentations

(国際会議等)

Teshima Y., Kase K., Usami S., Kato M., Ikeda N., and Makinouchi A.: "Self-reversed configurations on cube", *Symmetry: Art and Science 2004: 6th Interdisciplinary Symmetry Congr. and Exh. of ISIS, (International Society for the Interdisciplinary Study of Symmetry (ISIS-Symmetry))*, Tihany, Hungary, Oct. (2004).

Teshima Y., Kase K., Usami S., Kato M., Ikeda N., and Makinouchi A.: "Enumeration of cutting points configuration in cube cutting", *4th Int. Symp. on Human and Artificial Intelligence Systems: From Control to Autonomy (HART 2004)*, (University of Fukui), Fukui, Dec. (2004).

Ikeda N. and Teshima Y.: "The information measure for diagrams described by cutting segments", *4th Int. Symp. on Human and Artificial Intelligence Systems: From Control to Autonomy (HART 2004)*, (University of Fukui), Fukui, Dec. (2004).

(国内会議)

加瀬究: "V-CAD システムの概要", *日本応用数学会講習会*, 東京, 4月 (2004).

三谷純, 鈴木宏正: "CG を用いたポップアップカード作成のための教材システム", *2004 年度日本図学会大会*, 神戸, 5月 (2004).

大竹豊, Belyaev A., Seidel H.: "陰関数近似を用いたメッシュ上での山線・谷線", *Visual Computing/ グラフィクスと CAD 合同シンポジウム*, (画像電子学会, 情報処理学会), 東京, 6月 (2004).

三谷純, 鈴木宏正: "ペーパークラフト製作のための Strip 集合を用いたメッシュモデルの近似展開", *Visual Computing/ グラフィクスと CAD 合同シンポジウム*, (情報処理学会グラフィクスと CAD 研究会, 画像電子学会 Visual Computing 研究委員会), 東京, 6月 (2004).

手嶋吉法, 加瀬究, 山澤建二, 牧野内昭武: "光造形法による VCAD データの三次元実体化モデル", *理研シンポジウム「機能と形: かたちが生み出す新しい世界—現代の寺田寅彦を探しに—」*, 和光, 6月 (2004).

手嶋吉法, 加瀬究, 牧野内昭武: "対話: Kitta Cube の数え上げ—VCAD 形状表現の基礎—", *理研シンポジウム「機能と形: かたちが生み出す新しい世界—現代の寺田寅彦を探しに—」*, 和光, 6月 (2004).

手嶋吉法, 加瀬究, 山澤建二: "光造形法による VCAD データの三次元実体化モデル", *理研シンポジウム「VCAD システムの世界: ものづくり情報技術統合化研究 (第4回)」*, 東京, 7月 (2004).

手嶋吉法: "対話: Kitta Cube の数え上げ—VCAD 形状表現の基礎—", *理研シンポジウム「VCAD システムの世界: ものづくり情報技術統合化研究 (第4回)」*, 東京, 7月 (2004).

三谷純, 鈴木宏正: "ペーパークラフト製作のための Strip 集合を用いたメッシュモデルの近似展開", *三次元映像のフォーラム第69回研究会*, 東京, 9月 (2004).

手嶋吉法, 加瀬究, 牧野内昭武: "Kitta cube の数理 (VCAD メッシュの基礎)", *日本応用数学会 2004 年度年会*, 東

京, 9 月 (2004).  
白崎実, 大竹豊, 小野謙二: “陰関数と直交格子ソルバー群の  
カップリング”, 第 18 回数值流体力学シンポジウム, (日  
本流体力学会), 東京, 12 月 (2004).

三谷純, 鈴木宏正: “集約法による組み立て方を把握しやす  
い多面体の展開図生成手法”, 第 118 回情報処理学会グラ  
フィクスと CAD 研究会, 東京, 2 月 (2005).