

平成23年 6 月 6 日現在

機関番号： 82401

研究種目： 基盤研究(C)

研究期間： 2008～2010

課題番号： 20560175

研究課題名(和文)

VCADに基づいた高精度流体計算手法の研究

研究課題名(英文) Research of the high precision approach for Computational Fluid Dynamics based on VCAD System

研究代表者

雷 康斌 (LEI KANGBIN)

独立行政法人理化学研究所・VCADモデリングチーム・上級研究員

研究者番号： 80392174

研究成果の概要(和文)：複雑形状流れ場を対象としたCFDにおいて格子生成にかかるコスト問題が顕著となり、直交格子による流体解析が再び注目される。本研究では、理化学研究所で開発されたVCAD (Volume CAD) システムのKittaCubeボクセルデータを直接流体シミュレーションに利用するため、VCADのKittaCube形状表現において新たに提案した離散解析手法と数値モデルを開発し、構造格子及び非構造格子法を用いて非圧縮粘性流体解析ソフトウェアV-Flow3Dを開発した。また、V-Flow3Dを用いた建築周りの風環境などの流れシミュレーションに適用し、開発したソフトウェアの有用性を示した。

研究成果の概要(英文)：With the extensive application of Computational Fluid Dynamics (CFD) technique in various industries, mesh generation for complex geometry is becoming a bottleneck in CFD practical use. Based on VCAD (Volume CAD) Framework, which is developed at RIKEN Institute for storing shape and material attribute data of geometry, we developed a general flow analysis solver, named as V-Flow3D, for three dimensional incompressible viscous fluid flows and heat transfer problems with arbitrary geometries using unstructured grid method. A novel approach has been proposed to deal with the shape of KittaCube of VCAD in Navier-Stokes equation discretization. In this study, the wind environment of buildings is simulated by using V-Flow3D software, and the numerical simulation results show the practical applications of V-Flow3D in the building design and planning.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：Computational Fluid Dynamics, Cut Cell Method, VCAD システム, V-Flow3D, Kitta Cube モデル, Octree Structure, V-DSMC, Wind Environment Simulation

## 1. 研究開始当初の背景

本研究開始の背景は以下の二つにある。

(1). 日本発の次世代 CAD の開発を目的とした VCAD (Volume CAD) システム研究プログラムが、2001 年より独立行政法人理化学研究所で展開されていた。これまでの CAD では、物体の表面を規定していたが、このプロジェクトで開発している VCAD システムでは、シミュレーションと一体化するため、CAD 内部のデータをボクセルで持つことに特徴がある。これにより従来 CAD からシミュレーションを行う場合に問題となった格子生成に要する手間や時間が大幅に短縮されることを期待される。VCAD は、物体形状を滑らかに表現する Kitta Cube (切ったキューブ) とボクセルに粗密をつける Octree (八分木) 構造を採用していたため、VCAD データ構造に対応する高度な流体シミュレーション技術の開発が必要とされている。

(2). 一方、流体解析技術は、当初から流体運動方程式をいかに速く精度よく解くかということに主眼をおいて開発されてきたが、計算機や計算技術の高速な発展に伴い、近年では流体解析の実用化に関わる技術的な問題は、シミュレーションの前後処理、特に前処理の格子生成に手間や時間がかかることに移った、この問題に関しては、非構造格子や重合格子などの研究とともに、格子生成を完全自動化できる直交格子法の研究も期待されている。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、VCAD システムにおける Kitta Cube および Octree 構造データを直接利用した、格子作成が不用となる 3 次元非圧縮性粘性流体の新しいシミュレーション技術を確立し、形状記述性とローバスト性に優れた (VCAD システムに対応した) 高精度流体解析ソフトウェアを開発することである。ここで開発する流体シミュレーションソフトウェアは、実際の設計での利用を考慮し、生産性を高める支援環境を提供する。また、将来 X 線 CT や MRI 等で測定された生命体データを利用し、生命体のシミュレーションにも役に立つと考える。

直交格子系による任意形状の数値解析では、物体境界の取り扱いの難しさがよく知られている。これまでにカットセルと呼ばれる直交格子法が開発されていたが、それも主に非粘性流体の解析に使われており、粘性流れ、特に非圧縮性粘性流れの解析例は未だに少ない。また、物体境界が直交格子内の任意の場所を通るため、境界上で隣接するセルの大

きさに大きな差が生じることがあり、従来のカットセル直交格子法では粘性流れの解析が難しいという報告もある。本格的な 3 次元カットセル法による非圧縮性粘性流体の計算は、世界においても報告が見当たらない。

本研究の特色および独創性は、新たに本格的に 3 次元カットセル手法および Octree 流体離散化手法を開発したところにある。その新しい計算手法により、VCAD システムを直接利用した 3 次元非圧縮性粘性流体を高精度シミュレーションすることができる。また、開発した VCAD システムデータを直接使える 3 次元非圧縮性粘性流体解析ソフトウェアは、VCAD システムの産業応用においても必要不可欠であり、数値流体力学の解析手法においても学問的な意義が大きいと思う。

## 3. 研究の方法

### (1). VCAD とは

理化学研究所ではボリュウム CAD システム (VCAD システム) と名づけたソフトウェア・システムの開発を行っていた。VCAD システムでは「もの」を表現するのに図 1 に示すような手法をとっていた。それは、①. 対象とする全空間を直方体のセルで分割する。②. 境界面を KittaCube としてセルの中に書き込む。③. セルの大きさをセル毎に変える事が出来る。

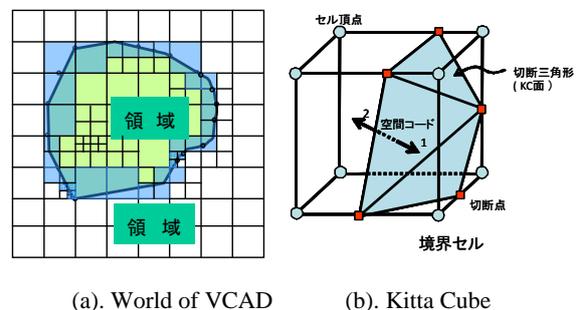


図 1. VCAD のデータ形式

これを VCAD データ形式と呼び、この形式で表現された物体を「VCAD モデル」と呼ぶ。VCAD モデルにおいて大切なのは、セル内の境界面の表現法である。現在は図 1(b)に示すように 3 三角形の集まりで面を表すシンプルなお方法をとっており、Kitta Cube と呼んでいる。

### (2). V-Flow3D の開発

VCAD の最大特徴は、形状表現において Kitta Cube と Octree 構造をもつことである。この表現では境界面の形状を多数の三角形を用いて近似的に表現するものである。ところが、Kitta Cube を用いて 3 次元形状を表現する場合は、立方体境界セルにおける三角形の形状パターンは非常に多いため、VCAD のデータをそのまま用いて 3 次元流体解析技術を構築することは極めて困難である。

本研究では、まず流体力学の数値計算に適するように、Kitta Cube による 3 次元形状表現をカットセルと呼ばれる方法に転換する。つまり Kitta Cube における多数三角形による境界表現を、一枚の平面と立方体との切断面によるものとする。そうすると、我々が開発した V-FLOW2D 二次元カットセル直交格子法を 3 次元任意形状の流体計算に拡張することが可能となり、VCAD に基づいた従来の方法より形状精度を改善した 3 次元流体解析が可能になった。

**Octree** データ構造を用いた流体計算ソルバーについては、構造格子的な離散化（例えば差分法）でしばしば研究されるが、その離散化手法は必ずしも「構造格子+非構造格子」という性格の **Octree** データ構造に向いているとは言えない。

本研究では、さらに **Octree** データ構造の特徴に適用する「構造格子+非構造格子」のハイブリッド離散化手法を新たに開発した。この研究の基本的な考え方は、背景のボクセル直交格子に構造格子的な離散化を導入するが、境界や物理量の変化の激しい **Octree** 格子のところに非構造格子的な流体計算離散化技術を開発するということである。

上記の方法及びモデルを使って VCAD フレームワークを直接利用した流体解析ソフトウェア V-Flow3D を開発した。図 2 は V-Flow3D のフローチャートと操作環境を示す。现阶段では、解析条件やパラメータなどを、まだコマンドラインで入力することだが、今後、GUI による複雑な境界条件の設定や計算結果の可視化を開発する予定である。

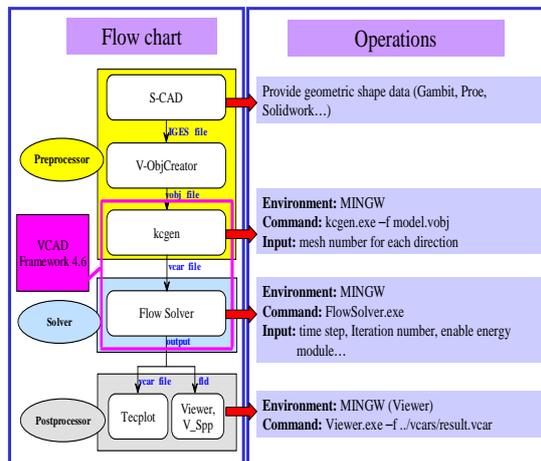


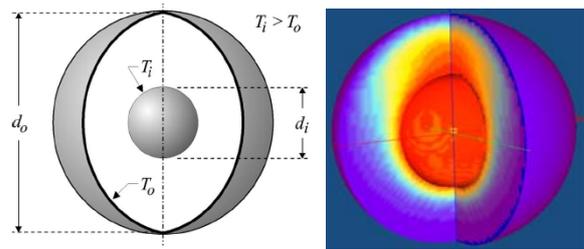
図 2. V-Flow3Dの概要

### (3). 検証計算及び実際の適用

VCAD では物体の形状表現において Volume を意識した Kitta Cube と Octree 構造をもつほか、CAD 内部のデータに物性値を持たせることも特徴である。VCAD によって、X線 CT や MRI など実物から測定されたイメージデータは、計算機に適した形に表現され、複雑な形状や不均一な物性値を持つ生体シミュレーションにも適している。

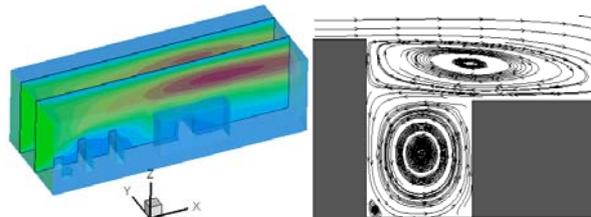
本研究では、我々が構築した VCAD に基づいた高精度流体解析技術を実際の工業設計や建築風環境の予測に利用するほか、VCAD システムに基づくマルチスケール流体解析技術を開発し、希薄気体の流動予測に適応する 3 次元計算ソフトウェア V-DSMC3D を開発した。開発した V-Flow3D 及び V-DSMC3D などのソフトウェアを用いて、都市のビル風環境の数値シミュレーションや、MEMS 部品の性能評価に試み、環境保全問題および製品性能評価に適用してみた。

V-Flow3D を用いて 3 次元同心球面の中の自然熱対流を計算した温度分布の結果を図 3 に示す。図 3 (a) は計算対象の 3 次元同心球面、図 3 (b) は 3 次元の温度分布をそれぞれ示す。計算精度を検証するための内外球面の平均ヌセルト数はベンチマーク値との相対誤差が 0.5% 以内である。図 4 (a) は都市建築まわりの垂直断面の風速分布を示す。図 4 (b) は市街地におけるビル風の流線分布を示す。現在の V-Flow3D Version 1.0 に乱流計算の k-ε モデルが実装されているが、将来 LES 乱流モデルも実装し都市建築の風環境の予測に利用できるように開発したい。



(a). 同心球面の熱対流 (b). 3次元温度分布

図 3. 同心球面の中の自然熱対流



(a). 建築風の速度分布 (b). 建築風の流線分布

図 4. 都市建築まわりの風速分布

## 4. 研究成果

平成 20 年度には、VCAD システムの Kitta Cube データに基づいた実現可能な 3 次元流体計算手法を提案し、非定常・非圧縮性・粘性流体の数値シミュレーションソフトウェア V-Flow 3D の開発を実施した。具体的には Kitta Cube による 3 次元形状表現をカットセルと呼ばれる方法、つまり Kitta Cube における多数三角形による境界表現を一枚の平面と立方体との切断面によるものに転換し、VCAD システムに基づいた従来の

VOF 近似から形状精度を改善した 3 次元高精度の流体解析手法を提案した。また、提案した解析手法の離散化やソフトウェアの信頼性と精度を検証し、VCAD フレームワークに実装することにより、複雑 3 次元形状のある流れ場への流体シミュレーションを試みた。さらに VCAD システムに基づくマルチスケール流体解析技術を開発し、希薄流れ解析に Direct Simulation Monte Carlo 法を導入し、V-DSMC 2D ソフトウェアの開発も成功した。また、塵旋風における風・砂・電場のマルチカップリングの研究も着手し、環境保全問題における砂塵運動の粒子帯電の静電気モデリングを検討した。

平成 21 年度には VCAD システムの Kitta Cube データ構造に対応した、ロバスト性の良い非構造格子法による新しい 3 次元流体計算手法を提案し、非定常・非圧縮性・粘性熱流体の数値シミュレーションソフトウェア V-Flow3D Verison 1.0 を開発した。具体的には VCAD システムのボクセル Kitta Cube における数値離散化に SIX+N モデルを提案・導入し、KittaCube の 3 次元形状パターンの数え上げに起因する流体支配方程式の数値積分の困難を克服した。SIX+N モデルとは、有限体積法で Kitta Cube をコントロールボリュームとして積分する際に、完全な六面体 (SIX) とカットされた不特定数の切断面 (N 個) をそれぞれ分け、六面体は従来の方法で積分するが、不特定数 (N 個) の切断面の積分はまとめて整理し、既知の境界条件として離散化方程式に代入して済む方法である。提案した新しい手法は平成 21 年 12 月 25 日に日本特許に出願した (特願 2009-296254)。また、開発した V-Flow3D ソフトウェアは SOFTIC にソフトウェア登録された。VCAD システムに基づくマルチスケール流体解析技術の開発に関して、引き続き、希薄流れ解析に適用する V-DSMC2D ソフトウェアを開発し、V-Flow3D Version1.0 とともに V-DSMC2D Version1.0 も 2010 年 3 月に理化学研究所の Web ページを通して一般公開される予定である。また、開発したソフトウェアを用いて都市ビルの風環境の数値シミュレーション評価に試み、環境保全問題における粒子帯電の静電気モデリングや乱流中の微細粒子運動の数値モデルを検討した。

平成 22 年度には都市建築物の風環境および災害インパクトを評価する CFD シミュレーション手法を構築するため、(1). 都市建築物をシミュレーションするための格子生成技術、(2). 市街地環境ファクターを考慮した乱流モデル、(3). 竜巻や旋回強風を生成するための数値境界条件、(4). 都市建築物の風環境を評価する方法などの要素技術を CFD ソフトウェア V-Flow3D に取り入れるように開発してきた。本研究では、(1). VCAD に基づくカットセル直交格子を使う

ことにより、都市高層ビル周りの強風災害を評価するための高品質な格子が自動的に生成できること。(2). これまで考慮できなかった接地境界層の地表面粗度を考慮し、ダイナミック LES による非定常流れ場の計算を行い、強風災害のインパクトを精度よく評価できること。(3). 市街地における旋回風による災害やウォーク汚染を評価し、人々の健康を守るのに貢献できることに関して、一定の研究成果が得られた。また、VCAD システムに基づくマルチスケール流体解析技術の開発に関して、平成 21 年度の研究成果である V-DSMC2D の開発を踏まえ、希薄気体予測に適応する 3 次元ソフトウェア V-DSMC3D を開発した。開発した V-Flow3D 及び V-DSMC3D 等のソフトウェアを用いて、都市のビル風環境の数値シミュレーションや、MEMS 部品の性能評価に試み、環境保全問題および製品性能評価に適用してみた。V-Flow3D Version1.0 ソフトウェアが 2010 年 10 月 8 日に、V-DSMC2D Version1.0 ソフトウェアが 2010 年 2 月 16 日に理化学研究所の Web ページを通して一般公開されていた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文 (査読有り)] (計 13 件)

- [1] Xilian LUO, Zhaolin GU, Kangbin LEI, Sheng WANG, Kiwamu KASE, "A finite volume method for solving the Navier-Stokes equations on three dimensional Cartesian cut cells", International Journal for Numerical Methods in Fluids, in press.
- [2] WANG Sheng, LUO Xilian, LEI Kangbin, GU Zhaolin, KASE Kiwamu, "Viscous Micropump Simulation by Particle/Continuum Methods", J. Shanghai Jiaotong Univ. (Sci.), 2011, 16(3): 1-4, DOI: 10.1007/s12204-009-0501-3.
- [3] GU ZhaoLin, ZHANG YunWei, LEI KangBin, "Large eddy simulation of flow in a street canyon with planting under various atmospheric instability conditions", SCIENCE CHINA, Technological Sciences, Vol.53, No.7, 1928-1937, (DOI: 10.1007/s11431-010-3243-x), July 2010.
- [4] XiLian LUO, KangBin LEI, ZhaoLin Gu, Sheng WANG, and Kiwamu KASE, "A novel Cartesian cut cell solver for incompressible viscous flow in irregular domains.", International Journal for Numerical Methods in Fluids, (DOI: 10.1002/fld.2347), 19 May 2010.
- [5] Luyi LU, Zhaolin GU, Kangbin LEI, Sheng WANG, Kiwamu KASE, "An efficient algorithm for detecting particle contact in non-uniform size particulate system", Particuology, Vol.8, Issue 2, 127-132, 2010.
- [6] LUO Xilian, GU Zhaolin, LEI Kangbin, Kase Kiwamu, "A Novel Discretization method for the Incompressible N-S Equations on Three

- dimensional Cartesian Cut Cell Method”, Journal of Xi’an Jiaotong University, Vol.44, No.5, 15-20, 2010.
- [7] Sheng WANG, Kangbin LEI, Xilian LUO, Zhaolin GU, and Kiwamu KASE, “Effect of Boundary Conditions on the Performances of Micro-Gas Bearings with Different Temperatures”, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. Volume 10, Number 1, 012179, 2010.
- [8] Luyi LU, Zhaolin GU, Kangbin LEI, "An inter-particle contact area and time restoration for softening treatment in thermal discrete element modeling", Europhysics Letters (EPL: a letters journal exploring the frontiers of physics), Vol.87, No.4, 44004, 1-4, 2009.
- [9] LUO Xilian, GU Zhaolin, LEI Kangbin and KASE Kiwamu, "An Adaptive Cartesian Grid Method for the Incompressible Navier-Stokes Equations", Journal of Xi'an Jiaotong University, Vol.43, No.11, 11-17, 2009.
- [10] LUO Xilian, GU Zhaolin, LEI Kangbin, WANG Sheng and KASE Kiwamu, "Solution of N-S Equations Based on Quadtree Cut Cell Method", Science in China Series G, 52(6), 877-884, 2009.
- [11] Sheng Wang, Hisashi Ninokata, Elia Merzari, Kangbin Lei, Xilian Luo, Luyi Lu, Kiwamu Kase, "Numerical study of a single blade row in turbomolecular pump", Vacuum, Vol.83, No.8, 1106-1117, 2009.
- [12] Kang-Bin Lei, Kiwamu Kase, Nobuyuki Oshima, Toshio Kobayashi, “Solid particle distribution in particle-laden turbulent channel flows”, Progress in Computational Fluid Dynamics, Vol.8, Issue 7/8, 413-423, 2008.
- [13] Lu Lu-Yi, Gu Zhao-Lin, Luo Xi-Lian, Lei Kang-Bin, “An electrostatic dynamic model for wind-blown sand systems”, ACTA PHYSICA SINICA, Vol.57, No.11, 255-261, 2008.
- [学会発表] (計 2 3 件)
- [1] Kangbin LEI, Xilian LUO, Sheng WANG, Zhaolin Gu, and Kiwamu KASE, “A Novel Cartesian Cut Cell Method for Incompressible Viscous Flows in Irregular Domains”, 9th World Congress on Computational Mechanics and 4th Asian Pacific Congress on Computational Mechanics (WCCM/APCOM 2010), Keynote Speech, 19-23, July 2010, Sydney, Australia.
- [2] Sheng WANG, Kangbin LEI, Xilian LUO, Zhaolin Gu, and Kiwamu KASE, “Effect of Boundary Conditions on the Performances of Micro-Gas Bearings with Different Temperatures”, 9th World Congress on Computational Mechanics and 4th Asian Pacific Congress on Computational Mechanics (WCCM/APCOM 2010), 19-23, July 2010, Sydney, Australia.
- [3] Sheng WANG, Xilian LUO, Kangbin LEI, Zhaolin GU and Kiwamu KASE, “Viscous micropump simulation by particle/continuum methods,” Proc. of 4th International Conference on Thermal Process Modeling and Computer Simulations (ICTPMCS), (DVD H29), 31 May - 2 June 2010, Shanghai, China.
- [4] Kangbin LEI, Xilian LUO, Noboru IMAI, Sheng Wang, Yoshinori TESHIMA, Kiwamu KASE, "Flows Analysis Software V-Flow3D based on VCAD directly", Conference on Computational Engineering and Science (Japan Society for Computational Engineering and Science (JSCES), Vol.15, No.2, Kyushu University, Japan, 26-28, March 2010.
- [5] Sheng WANG, Kangbin LEI, Xilian LUO, Kiwamu KASE, “V-DSMC and Its Applications to MEMS”, RIKEN Symposium on VCAD System Research 2009, RIKEN, Wako, Japan, 4-5, March 2010, 33-36.
- [6] Kangbin LEI, Xilian LUO, Noboru IMAI, Sheng WANG, Kiwamu KASE, “Development of V-Flow3D using Unstructured Grid”, RIKEN Symposium on VCAD System Research 2009, RIKEN, Wako, Japan, 4-5, March 2010, 57.
- [7] Hirotaka Asaki, Takeshi Fukuda, Lei Kangbin, Wang Sheng, Kiwamu Kase, Zentarou Honda, Norihiko Kamata, Jungmyoung Ju, Yutaka Yamagata, “Spray area control of electrospray deposition technique”, Vol. 110, No. 243, IEICE Technical Report, OME2010-46, 1-4, NTT Musashino R&D Center, 22 October 2010.
- [8] Kangbin LEI, Xilian LUO, Masataka Fukui, "Wind Environment Simulation using V-Flow3D", RIKEN Symposium on VCAD System Research 2010–The Future of VCAD, RIKEN, Wako, Japan, 2-3, March 2011, 148-151.
- [9] Sheng WANG, Xilian LUO, Kangbin LEI, Kiwamu KASE, "Development of Three-Dimensional DSMC under VCAD", RIKEN Symposium on VCAD System Research 2010–The Future of VCAD, RIKEN, Wako, Japan, 2-3, March 2011, 145-147.
- [10] Wei WEI, Sheng WANG, Kangbin LEI, Kiwamu KASE, "Numerical simulation of the deposition pattern in electrostatic spray deposition method", RIKEN Symposium on VCAD System Research 2010–The Future of VCAD, RIKEN, Wako, Japan, 2-3, March 2011, 143-144.
- [11] Xilian LUO, Zhaolin GU, Kangbin LEI, Kiwamu KASE, “Solution of N-S Equations Based on Three-Dimensional Cut Cell Method”, China Congress on Theoretical and Applied Mechanics 2009 (CCTAM2009) , August 24-26, 2009, Zhengzhou University, Zhengzhou, China, 259.

- [12] Luyi LU, Zhaolin GU, Kangbin LEI, "Numerical Simulation of the Triboelectric Behavior in Wind-blown Sand System", China Congress on Theoretical and Applied Mechanics 2009 (CCTAM2009), August 24-26, 2009, Zhengzhou University, Zhengzhou, China, 199.
- [13] Sheng WANG, Kangbin LEI, Xilian LUO, Kiwamu KASE, Elia Merzari, Hisashi Ninokata, "Cylindrical Couette flow of a rarefied gas from macro- to micro-scales", 2009 ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting (FEDSM2009), August 2-6, 2009, Vail, Colorado, USA, FEDSM2009-78359.
- [14] Sheng WANG, Kangbin LEI, Xilian LUO, Kiwamu KASE, Elia Merzari, Hisashi Ninokata, "Simulation of eccentric-shaft journal microbearing by DSMC", 2009 ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting(FEDSM2009), August 2-6, 2009, Vail, Colorado, USA, FEDSM2009-78572.
- [15] Luyi LU, Zhaolin GU, Kangbin LEI, Kiwamu Kase, "Numerical simulation of contact heat transfer between particles by TDEM", 6th International Symposium on Multiphase Flow, Heat Mass Transfer and Energy Conversion (ISMF2009), July 11-15, 2009, Xi'an, China.
- [16] Sheng Wang, Kangbin Lei, Xilian Luo, Kiwamu Kase, "Development of Two-Dimensional DSMC under VCAD Framework", 1st African Conference on Computational Mechanics (AfriCOMP 2009), 7-11 January, 2009, Sun City, South Africa.
- [17] Kangbin LEI, "A new dynamic SGS model for turbulent transport of particulates in LES", International Symposium on Multiphase Flow in Atmospheric Boundary Layer: Wind Erosion, Dust Storms, Invited Speech, October 16-18, 2009, Lanzhou University, Lanzhou, China.
- [18] Kangbin LEI, Sheng WANG, Kiwamu KASE, "Full way coupling of large eddy simulation for particle-laden turbulent flows", 2009 International Conference on Advances in Construction Machinery and Vehicle Engineering (CACMVE09), Keynote Speech, August 21-23, 2009, Jilin University, Changchun, China
- [19] Xilian Luo, Kangbin Lei, Zhaolin Gu, Kiwamu Kase, "A pressure based Cartesian cut cell method for incompressible viscous flow", ICCES Special Symposium on MESHLESS METHODS (ICCES MM2008), 13-17 October, 2008, Suzhou, China.
- [20] Kangbin LEI, Xilian LUO, Ikumi MAITA, Kiwamu KASE, "Development of V-Flow",

Proceedings of the Conference on Computational Engineering and Science (Japan Society for Computational Engineering and Science (JSCES) 2008, Vol.13, No.2, Sendai, Japan, (19-21, May 2008), 619-620.

- [21] Xilian Luo, Kangbin Lei, Zhaolin Gu, Sheng Wang, Luyi Lu, Kiwamu Kase, "Development of V-Flow Using Structured/Unstructured Hybrid Grid", RIKEN Symposium on VCAD System Research 2008, RIKEN, Wako, Japan, 6-7, November 2008, 22-25
- [22] Sheng Wang, Kangbin Lei, Xilian Luo, Luyi Lu, Kiwamu Kase, "Development of Two Dimensional DSMC under VCAD", RIKEN Symposium on VCAD System Research 2008, RIKEN, Wako, Japan, 6-7, November 2008, 26-28.
- [23] Kangbin Lei, Xilian Luo, Luyi Lu, Sheng Wang, Ikumi MAITA, Kiwamu Kase, "Development of V-Flow based on Cut Cell", RIKEN Symposium on VCAD System Research 2008, RIKEN, Wako, Japan, 6-7, November 2008, 36-38.

[産業財産権]  
○出願状況 (計 1 件)

名称:「数値流体計算方法、数値流体計算装置、プログラム、及び、記録媒体」  
発明者: 雷康斌, 羅昔聯, 今井登, 王盛, 加瀬究  
権利者: 独立行政法人理化学研究所  
種類: 特許  
番号: 特願 2009-296254  
出願年月日: 2009年12月25日  
国内外の別: 日本

[その他]  
ホームページ等  
<http://www.riken.jp/vcad/>

6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
雷 康斌 (LEI KANGBIN)  
独立行政法人理化学研究所・VCAD モデリングチーム・上級研究員  
80392174
- (2) 研究分担者
- (3) 連携研究者  
手嶋 吉法 (Yoshinori TESHIMA)  
独立行政法人産業技術総合研究所・システム技術研究チーム・研究員  
80392174  
王 盛 (Sheng WANG)  
独立行政法人理化学研究所・VCADモデリングチーム研究員  
20501795