

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 31 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22300037

研究課題名（和文） 協調的可視化ライフサイクル管理ミドルウェアの開発

研究課題名（英文） Development of a Cooperative Visualization Lifecycle Management Middleware

研究代表者

藤代 一成 (FUJISHIRO ISSEI)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：00181347

研究成果の概要（和文）：本研究プロジェクトでは、可視化オントロジーを定義することにより、既存の可視化ワークフローを分類し、ケースリポジトリを介してユーザの要求に合致する可視化技法を推奨し、対応ワークフローを半自動的に実行する可視化支援機構を実現する。そして、微分位相解析に基づく可視化パラメータ値自動選択と階層的出自制御の機構を組み合わせ、総合的にスケーラブルなワークフローのバージョンングと知見獲得プロセスの追跡・再利用を可能にする協調的可視化ライフサイクル管理ミドルウェア VIDELICET を開発する。さらに、各種の最先端流動解析事例への応用を通じて、その効果を実証する。

研究成果の概要（英文）：In this research project, a novel visualization ontology is defined to realize a user support mechanism which searches the case repository for appropriate techniques so as to meet his/her requirements and executes the corresponding workflows in a semi-automatic manner. By combining this with additional mechanisms for differential topology-based parameter tweaking and hierarchical provenance control, a cooperative visualization lifecycle management middleware, named VIDELICET, is developed, which enables workflow versioning & tracing and reutilization of knowledge acquisition process in a scalable manner. The effectiveness of the middleware is illustrated with applications to multiple, leading-edge studies on flow analysis.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	7,500,000	2,250,000	9,750,000
2011年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2012年度	3,300,000	990,000	4,290,000
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：可視化，コンピュータグラフィックス

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：オントロジー，出自制御，可視化，微分位相解析，流体工学

## 1. 研究開始当初の背景

豊富な計算資源を活用して科学技術のさらなる推進を図ろうとする e-サイエンスの背景にあるユーザの根本的期待は、高精度測定装置や高性能計算環境、地球規模の情報通信基盤に係る ICT 革新が進むにつれ、加速度的に増大し続けている大量の科学技術データを効果的に管理し、そこから有用な知見を効率的に獲得する方法論に向けられている。

特に、大量の多次元・多変量データを情報伝達効率の高い視覚形式に効果的に変換するデータ可視化（data visualization）には大きな期待が寄せられている。実際 1980 年代後半から始まった各種の技法やソフトウェア開発により、近年ではユーザ自らがデスクトップ上で手軽に、“第一人称的”な可視化を実行できる環境が普及・浸透してきた。しかしながら、欧米から発信された旧来技術の本流

は、仮想記憶領域にも入りきらないような超大規模データのすべてをただ力任せに見せようとする“out of core” visualizationにとどまる。この考え方のままでは、今後も加速度的に膨らんでいくデータサイズには適応しきれない。幾多の商用可視化ソフトウェアは、バージョンアップを重ねる度に提供する機能やオプションを拡充し、一見その利便性が增强されているように見えるが、これによりユーザによる作業の多様性はかえって増すことになる。従ってさまざまな解釈を生む可能性のある現行の可視化環境は、むしろデータビッグバンを助長しているとさえいえる。

## 2. 研究の目的

このような問題を解決する可能性を秘めた新しい概念が出自制御 (provenance control) である。これは、可視化プロダクト (画像やアニメーション) だけでなく、それを生成するワークフロー (workflow) の設計プロセスも記録することにより、それらの追跡と再利用を通じて、同じ関心をもつユーザの知見獲得の確度を向上させようとする技術である。同一データに対しても可視化の様態は常に変貌する。当初は、所与のデータから何をしようとするのかという目的 (問題仕様) だけが存在するが、試行錯誤的にワークフローの構成や関連パラメタを調整する段階を経て、可視化プロダクトの洗練の度合いは高まり、同時に得られる知見は質や量も増して、最後には対象の理解に至る。ユーザは、さらに支配方程式や計測手法のパラメタ変更やスキーム改良によって異なるデータを得て、新たな可視化を実行する。この処理の反復により、問題の本質を追究する螺旋的枠組みが可視化ライフサイクル (visualization lifecycle) である。

本研究ではまず、可視化オントロジーを定義することにより、既存の可視化ワークフローを分類し、ケースリポジトリを介してユーザの要求に合致する可視化技法を推奨し、対応ワークフローを半自動的に実行するユーザ支援機構を実現する。そして、微分位相解析に基づく可視化パラメタ自動選択と階層的出自制御の機構と組み合わせ、総合的にスケラブルなワークフローのバージョンングと知見獲得プロセスの追跡・再利用を可能にする協調的可視化ライフサイクル管理ミドルウェア VIDELICET (Visualization Design Life Cycle management) を開発する。さらに、仮想風洞における計測融合シミュレーション解析を含め、複数の最先端流動解析事例への応用を通じて、その効果を実証する。

## 3. 研究の方法

### (1) 可視化オントロジーの定義

科学技術可視化設計支援環境 GADGET のプロトタイプで採用した Hesselink, Post, van Wijk の可視化マッピング分類と Wehrend 可視化目的指向マトリクスを発展させ、流動場を主対象とする可視化オントロジーを構築する。特に東北大流体研が管理する流体科学データベース等に収蔵された研究論文の調査により、代表的な可視化目的を表現する語彙を抽出し、Wehrend マトリクスを拡充する。

一方、情報可視化設計支援環境 GADGET/IV プロトタイプに採用された分類である B. Shneiderman の TTT (data Type-Task Taxonomy) の考え方も取り込むと同時に、IEEE VAST を中心として、視覚分析論の関係する最新論文を丹念にあたり、開発する可視化オントロジーの網羅性を確保する。

### (2) 微分位相解析に基づく可視化パラメタ値自動選択機構の取込み

微分位相解析は、ユーザに代わって流動対象データの特徴を事前解析し、それを強調描画できるように各種可視化パラメタの最適値を示唆でき、ユーザの暴走による無益な可視化プロダクト生成を抑制することによって、システム利用効果のスケラビリティ実現に貢献する。ここでは、上記可視化オントロジーに現れる可視化目的に合わせて、既開発の各機能をワークフローのなかにフィルタとして組み込むようにする。

### (3) 階層的バージョンング機構の強化

プロトタイプのプロジェクマネージャ/ビューワを拡張し、上位バージョンの下位バージョンとの連動更新する機能を強化する。特に下位の同型最新可視化バージョンを収集し、スプレッドシート型に組織化する並置化 (juxtaposition) に対応し、未実行のセルに対応する可視化プロダクトを出自情報から自動的に補完 (completion) してバージョンングする機能を実装する。

### (4) 出自管理における詳細度制御機構の実現

既設のプロジェクマネージャ/ビューワの下位のバージョンング機能に、バージョンツリーの詳細度制御機構を導入する。そのために、可視化目的・技法選択・可視化パラメタ調整・研究メモ追加等の多くの設計ファクタを考慮に入れたバージョン価値評価関数を設計し、その閾値処理により適切な粒度のバージョンツリー縮合表示を可能にする。

### (5) VIDELICETの応用評価

ハイブリッド風洞システムから得られた角柱後流の2次元流動場解析をはじめとする様々な流動解析問題への適用を通じて、上記機能のフィージビリティスタディを実施する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 拡張流動可視化オントロジー

より包括的な視覚分析オントロジーを構築したことにより、旧来の流動可視化と情報可視化を連動させることができ、意志決定に直接的に役立つ可視化応用設計支援環境の理論的基盤を確立した。対象となるデータ型は2/3次元時系列；データ階数はスカラ・マルチスカラ・ベクトル・対称2次テンソル；格子構造は構造・非構造をカバーしている。さらに、微分位相解析により、各種可視化パラメータ値を推奨するフィルタリング機能の組み込みについても考慮されている。

##### (2) 階層的出自制御

階層的出自管理モデルに基づき、上位バージョンの下位バージョンとの連動更新機能、特に下位の個々の同型最新可視化バージョンを収集し、スプレッドシート型に組織化する並置化と、未実行のセルに対応する可視化プロダクトを出自情報から自動的に補完する機構が実現された。図1にその実行例を示す。これにより、下位ユーザの可視化タスクを上位ユーザが代理することができ、多人数が関わる大規模プロジェクトのバージョンングのスケラビリティを確保できる。

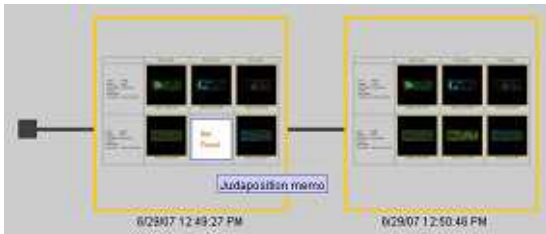


図1: 並置化ビューの補完処理による上位階層のバージョンング

##### (3) バージョンツリーの詳細度制御表示機構

図2に、バージョンツリーの詳細度制御表示の実例を示す。これにより、多人数で長期間に渡る視覚分析に伴って生成される複雑で大規模の出自情報をスケラブルに制御し、さらなる視覚解析の方向性の探索を容易にすることができた。



図2: 下位バージョンツリーの縮合表示例

##### (4) VIDELICETの応用評価

応用評価事例は、ハイブリッド風洞システムから得られた角柱後流の2次元流動場解析から、人体の線維構造・高分子構造・火炎・焼結・生体内外血流・砂塵まで多岐に渡った。

例として、図3に計測融合シミュレーションによって計算された角柱後流の圧力場の時間変化を、オイルミストによって可視化された実際の流脈線に重ねて、複合現実表示した例を示す。VIDELICETに対して指示される可視化目的は、(1)で定義した拡張流動可視化オントロジーの語彙を用いて、“Superimpose unsteady 2D pressure field on streaklines.”と表現されるが、非定常流の時系列データが対象データとして入力されると、ダイナミックレンジの広い圧力場から渦領域を絶えず見失わないように、自動的に圧力場の微分位相解析が実行されて、極小点周りを強調表示するカラーマップが適用される。

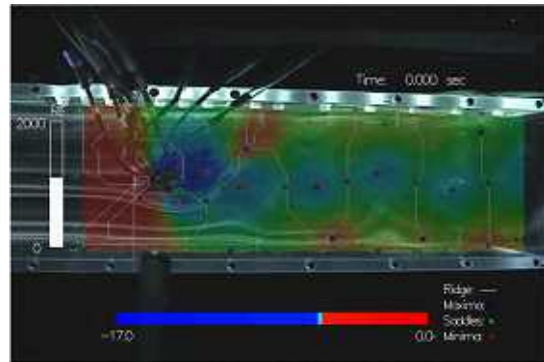


図3: 計測融合シミュレーション可視化例

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計7件)

- (1) Yuriko Takeshima, Issei Fujishiro, and Toshiyuki Hayase: “GADGET/FV: Ontology-supported design of visualization workflows in fluid science,” *Scientific Programming*, 2013. (査読有,掲載予定)
- (2) 中島 聡, 藤代一成: 「砂塵ビジュアルシミュレータの GPU 高速化」, 画像電子学会誌, **42**(3), 2013.7 (査読有,掲載予定)
- (3) Satoshi Nakajima and Issei Fujishiro: “Interactive simulation of whirlwind using grid and particles”, 芸術科学会論文誌, **11**(4):157-165, 2012.12. (査読有)
- (4) Shigeo Takahashi, Issei Fujishiro, Yuriko Takeshima, and Chongke Bi: “Previewing volume decomposition through optimal viewpoints,” *Scientific Visualization: Interactions, Features, Metaphors* (Hans Hagen, ed.), Dagstuhl Follow-Ups (ISSN 1868-

- 8977), Vol. 2, Chapter 23 (pp. 346-359), Dagstuhl Publishing, Germany, 2011. 10. (査読有)
- (5) 間淵 聡, 藤代一成, 大野義夫: 「SPH ベースリアルタイム火炎シミュレーション」, 情報処理学会論文誌, **52**(10): 2965-2972, 2011.10 (査読有)
- (6) 小田川雅人, 竹島由里子, 藤代一成, 菊川豪太, 小原 拓: 「GPU を用いた適応的粒子系可視化」, 日本機械学会論文集(B編), **77**(781):1767-1778, 2011.9 (査読有)
- (7) 間淵 聡, 藤代一成, 大野義夫: 「粒子ベースリアルタイム火炎レンダリング」, 画像電子学会誌, **40**(4):541-548, 2011.7 (査読有)
- [学会発表](計 36 件)
- (1) Yuriko Takeshima and Issei Fujishiro: “Ontology-based support of visualization workflow design for structural analysis,” *Proceedings of SMiRT-22*, San Francisco, USA, 2013.8.18-8.23 (accepted).
- (2) Yuriko Takeshima, Issei Fujishiro, Shigeo Takahashi, and Toshiyuki Hayase: “A topologically-enhanced juxtaposition tool for Hybrid Wind Tunnel.” *Proceedings of the Sixth IEEE Pacific Visualization Symposium*, pp. 113-120, Sydney, Australia, 2013.2.28. (査読有)
- (3) Issei Fujishiro: “Condensed views for long-duration visualization provenance,” *IEEE Pacific VAST 2013*, Sydney, Australia, 2013.2.26 (invited).
- (4) 上田和英, 藤代一成: 「周辺空気圧を考慮した液体のスプラッシング」, 情報処理学会グラフィクスと CAD 研究会第 150 回研究報告会(情報処理学会研究報告 2013-CG-150-20), 東京大学柏キャンパス, 2013.2.18
- (5) Issei Fujishiro: “Managing scalable visualization lifecycle,” *The Second International Symposium of Simulation Sciences, Ochanomizu University, Visualization for Simulation Sciences*, 2013.1.16 (invited).
- (6) 藤代一成: 「スパースモデリングを促進する多次元可視化の可能性」, 圧縮センシングとその周辺研究会シンポジウム(4), 東京大学浅野キャンパス, 2012.12.15 (招待講演)
- (8) 藤代一成, 茅 暁陽, 豊浦正広, 杉浦篤志, 上田和英, 竹島由里子, 早瀬敏幸: 「計算フォレンジクスの拡張構成要素に関する一考察」, 画像電子学会ビジュアルコンピュータリングワークショップ 2012, 秋保温泉, 2012.11.5 (要旨: 画像電子学会誌, **42**(1):123, 2013.2)
- (9) Tetsuya Takahashi and Issei Fujishiro: “Particle-based simulation of snow trampling taking sintering effect into account,” *ACM SIGGRAPH 2012 Posters*, Article No. 3, Los Angeles, USA, 2012.8.7-8.8. (査読有)
- (10) Satoshi Nakajima and Issei Fujishiro: “Visual simulation of whirlwind using a grid and particles,” *CD Proceedings of NICOGRAPH International 2012*, Bali, Indonesia, 2012.7.2. (査読有)
- (11) 高橋哲也, 藤代一成: 「雪の踏み散らしシミュレーション - 焼結作用の考慮 - 」, Visual Computing/グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2012 予稿集, No. 8, 早稲田大学, 2012.6.23 (査読有)
- (12) Kazuhide Ueda and Issei Fujishiro: “Visual simulation of bleeding on skin surfaces taking physisorption and congelation into primary account,” *Proceedings of CG International 2012*, Bournemouth, UK, 2012.6.12. (査読有)
- (13) 瀬下裕介, 藤代一成, 高山 毅, 竹島由里子: 「視覚協創学(2): 可視化出自情報の縮合表示」, 第 17 回計算工学講演会 (DVD 論文集, OS29-1-2), 京都, 2012.5. 30
- (14) 藤代一成, 森 眞一郎, 高橋成雄, 伊藤貴之, 茅 暁陽, 小山田耕二, 奥田洋司, 早瀬敏幸, 竹島由里子: 「視覚協創学(1): 視考支援基盤の目的と構成」第 17 回計算工学講演会 (DVD 論文集, OS29-1-1), 京都, 2012.5.30
- (15) 青木智寛, 藤代一成: 「時系列学力データのビジュアルクラスタリング」, 情報処理学会第 74 回全国大会, 3ZB-3 (講演論文集 4:293-294), 名古屋工業大学, 2012.3.7
- (16) 高橋哲也, 藤代一成: 「焼結作用を考慮した雪の踏み散らしシミュレーション」, 情報処理学会第 74 回全国大会, 3ZB-3 (講演論文集 4:143-144), 名古屋工業大学, 2012.3.7 [高橋は学生奨励賞受賞]
- (17) Chongke. Bi, Shigeo Takahashi, and Issei Fujishiro: “Degeneracy-aware interpolation of 3D diffusion tensor fields,” *Proceedings of SPIE Visualization and Data Analysis 2012*, San Francisco, USA, 2012.1.24 (<http://dx.doi.org/10.1117/12.908117>). (査読有)

- (18) 藤代一成, 高橋成雄: 「微分位相特徴解析に基づくボリュームグラフィックスの高度化」, 情報処理学会第 179 回コンピュータビジョンとイメージメディア研究発表会 (研究報告 2011-CVIM-179-9), 筑波大学, 2011.11.17 (招待講演)
- (19) Yuriko Takeshima, Issei Fujishiro, Shigeo Takahashi, and Toshiyuki Hayase: "Measurement-integrated simulation and visualization of Karman vortex streets in Hybrid Wind Tunnel," *Proceedings of ASIAGRAPH2011*, pp. 35-40, Tokyo, 2011.10.21 (invited).
- (20) Satoshi Mabuchi, Yoshio Ohno, and Issei Fujishiro: "SPH-based method for interactive flame simulation - Implementation on CPU and GPU," *Proceedings of ASIAGRAPH2011*, pp. 41-46, Tokyo, 2011.10.21 (invited).
- (21) 藤代一成: 「フルードインフォマティクスから見た可視化」, 日本機械学会 2011 年度年次大会先端技術フォーラム, 東京工業大学大岡山キャンパス 2011.9.12 (招待講演)
- (22) 上田和英, 藤代一成: 「媒体としての血液のビジュアルシミュレーション」, 芸術科学会第 27 回 NICOGRAPH 論文コンテスト DVD 論文集, IV-3, 中央大学後楽園キャンパス, 2011.9.6 (査読有)
- (23) Kazuhide Ueda and Issei Fujishiro: "Visual simulation of bleeding on skin surface," *ACM SIGGRAPH 2011 Posters*, Article No. 9, Vancouver, Canada, 2011.8.9-10. (査読有)
- (24) 上田和英, 大野義夫, 藤代一成: 「物理吸着と硬化作用を考慮した出血のビジュアルシミュレーション」, *Visual Computing/グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2011 予稿集*, No. 21, 島根県立産業交流会館, 2011.6.26 (査読有)
- (25) 藤代一成: 「可視化 (ポスト・プロセス) の最近の進歩 - 微分位相幾何学のアプローチ -」, 日本計算工学会講習会 No.11-2, 中央大学後楽園キャンパス, 2011.3.7
- (26) 中島 聡, 大野義夫, 藤代一成: 「砂塵の対話的ビジュアルシミュレーション」, 情報処理学会第 73 回全国大会 5Z-4 (講演論文集(4):101-102), 東京工業大学, 2011.3.4
- (27) 上田和英, 大野義夫, 藤代一成: 「皮膚表面上を流れ落ちる血液のビジュアルシミュレーション」, 情報処理学会第 73 回全国大会 5Z-4 (講演論文集(4):99-100), 東京工業大学, 2011.3.4 [上田は学生奨励賞受賞, 推奨卒業論文認定]
- (28) Huamin Qu, Issei Fujishiro, Seok-Hee Hong, Tung-Ju Hsieh, Shixia Liu, Qunzheng Peng, Jinwook Seo: "Panel: Visualization research in Asia Pacific," *Proceedings of IEEE Pacific Visualization Symposium 2011*, pp. 212-215, Hong Kong, 2011.3.3 (invited).
- (29) Chongke Bi, Shigeo Takahashi, and Issei Fujishiro: "Degeneracy-aware interpolation of 3D diffusion tensor field," *Poster Proceedings of IEEE Pacific Visualization Symposium 2011*, pp.9-10, Hong Kong, 2011.3.2. (査読有)
- (30) Yuriko Takeshima, Issei Fujishiro, and Takahashi Tokumasu: "A PID control-based scheme for time-critical rendering of particle systems," *Poster Proceedings of IEEE Pacific Visualization Symposium 2011*, pp.3-4, Hong Kong, 2011.3.2. (査読有)
- (31) 間淵 聡, 藤代一成, 大野義夫: 「粒子ベース火炎レンダリング」, 情報処理学会グラフィクスと CAD 研究会第 142 回研究報告会 (研究報告 2011-CG-142-20), 慶應義塾大学日吉キャンパス, 2011.2.9
- (32) Chongke Bi, Shigeo Takahashi, and Issei Fujishiro: "Interpolating 3D diffusion tensors in 2D planar domain by locating degenerate lines," *Proceedings of ISVC2010*, Springer Lecture Notes in Computer Science, Vol. 6453, pp. 328-337, Las Vegas, USA, 2010.11.29. (査読有)
- (33) Issei Fujishiro, Yuriko Takeshima, Yusuke Seshita, and Toshiyuki Hayase: "Design of version tree operators for sophisticated visualization provenance," *Proceedings of the Tenth International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration* (ISSN 1344-2236), CRF-50 (pp. 134-135), Sendai, 2010.11.2.
- (34) 竹島由里子, 徳増 崇, 藤代一成: 「大規模粒子系可視化における描画速度の安定化」, 日本機械学会 2010 年度年次大会講演論文集, 6:15-16, 名古屋工業大学, 2010.9.6
- (35) 間淵 聡, 藤代一成, 大野義夫: 「SPH ベース火炎シミュレーション」, 情報処理学会グラフィクスと CAD 研究会第 140 回研究報告会 (研究報告 2010-CG-140-9), 熱海, 2010.9.9 [間淵は情報処理学会グラフィクスと CAD 研究会優秀研究発表賞受賞]

- (36) 藤代一成：「見せない可視化：データビクバンを抑止する微分位相幾何学的アプローチ」，日本計算機統計学会第24回大会論文集，pp. 121-130，統計数理研究所，2010.5.15（招待講演）

〔図書〕（計3件）

- (1) 藤代一成，高橋成雄，竹島由里子：「微分位相特徴解析に基づくボリュームグラフィックスの高度化」，コンピュータビジョン最先端ガイド VI，アドコム・メディア，2013年刊行予定
- (2) 藤代一成 「ビジュアルデータマイニング」，「ビジュアルアナリティクス」，コロナ社，シミュレーション辞典（日本シミュレーション学会編），pp. 278-279，2012.2
- (3) 早瀬敏幸，大林 茂，白山晋，中村育雄，藤代一成，渡邊 崇：フルードインフォマティクス「流体力学」と「情報科学」の融合，日本機械学会編，技報堂出版，総198頁，2010.4

〔産業財産権〕

出願状況（計0件）

取得状況（計0件）

〔その他〕

該当なし。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤代 一成 (FUJISHIRO ISSEI)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：00181347

(2) 研究分担者

早瀬 敏幸 (HAYASE TOSHIYUKI)

東北大学・流体科学研究所・教授

研究者番号：30135313

竹島 由里子 (TAKESHIMA YURIKO)

東北大学・流体科学研究所・講師

研究者番号：20313398

高橋 成雄 (TAKAHASHI SHIGEO)

東京大学・新領域創成科学研究科・准教授

研究者番号：40292619

高山 毅 (TAKAYAMA TSUYOSHI)

岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・准教授

研究者番号：70275402

(3) 連携研究者

該当なし