

## 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26日現在

機関番号：12601  
 研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2009～2011  
 課題番号：21360069  
 研究課題名（和文） 3次元計測に基づく大規模環境の形状処理カーネルの開発とその応用に関する研究  
 研究課題名（英文） Research on Geometry Kernel for Large-Scale Point-Clouds Captured by Laser Scanners  
 研究代表者  
 増田 宏（MASUDA HIROSHI）  
 東京大学・大学院工学系研究科・准教授  
 研究者番号：40302757

## 研究成果の概要（和文）：

本研究では、中距離用の3次元レーザ計測装置によって生産設備やプラントを計測して得られた大規模点群データから、形状情報を効率的に抽出するための新しい形状処理カーネルを開発することを目的とした。この目的を達成するために、球面画像と3次元点群が連携しながら、効率的な点群処理を行える新しいデータ構造を定義するとともに、そのデータ構造に基づいて、大規模点群を扱うために必要となるアルゴリズム群を開発し、点群処理カーネルとして体系化した。さらに、実際の生産設備（発電プラントと自動車の組立ラインなど）の点群計測データを用いて、開発した点群処理カーネルの有効性・実用性を検証した。

## 研究成果の概要（英文）：

Recent mid-range laser scanners can capture large-scale point-clouds of manufacturing facilities and industrial plants. This research project aims to develop a new geometry kernel that can handle very large point-clouds. To achieve this goal, we defined a new framework that can unify point-clouds and their 2D images. This framework allows us to very efficiently process large-scale point-clouds. Then we developed algorithms for various point processing methods, and incorporated them into our geometry kernel. In addition, we evaluated algorithms and the kernel using point-clouds of facilities, such as power plants and automobile assembly factories.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
2010年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
2011年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
年度			
年度			
総計	14,600,000	4,380,000	18,980,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学，設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：形状モデリング

- |                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| 1. 研究開始当初の背景<br>研究を開始した当初は、100m 程度の中距 | 離の範囲で、生産設備を高密度で計測できる<br>3次元レーザ計測装置が飛躍的に進歩してい |
|---------------------------------------|--|

た時期であった。こうした計測装置は、生産設備やプラント設備の迅速な立上げやメンテナンス、設計生産のライフサイクル管理など、様々な応用への活用が期待できた。

しかし、その当時は、大規模設備の点群データに適した便利なモデリングツールがほとんどなかった。そのため、モデリング技術と自動処理技術の研究によって、大規模整備の計測とモデリングが容易に行える環境を整備することが急務であると考えに至った。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、大規模環境が計測できる3次元レーザ計測装置によって取得された数千万から数十億個の点群データから、短時間・低コストで形状情報を抽出するための新しい形状処理カーネルを研究・開発し、設計生産を統合的に支援するための新しい応用システムの基盤技術を確立することである。

## 3. 研究の方法

新しい点群表現手法に基づく点群処理カーネルを開発し、それに基づいた応用システムを構築する。そのために、まず、球面画像と3次元点群が連携しながら、効率的な点群処理を実現するための新しいデータ構造と点群処理フレームワークを定義する。また、そのデータ構造に基づいて、大規模点群を扱うためのアルゴリズムを研究開発し、点群処理カーネルとして体系化する。さらに、実際の生産設備（発電プラントと自動車の組立ラインなど）の点群計測データを用いて、点群処理カーネルの有効性・実用性を検証する。

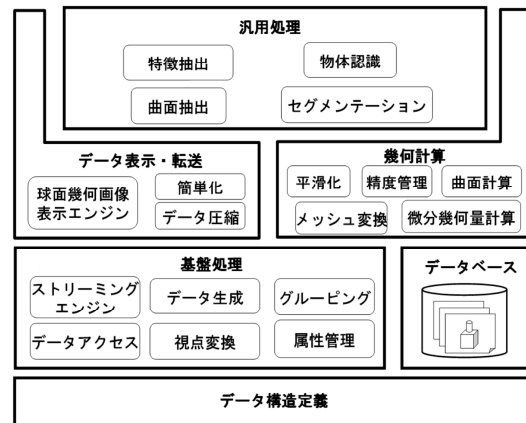
## 4. 研究成果

### (1) 成果の概要

平成21年度は、研究を進めるにあたっての環境整備、システム開発用のツール群の整備、さらに、画像と点群を連携させた新しいモデリング手法の研究と検証を行った。また、平成22年度には、平滑化処理の高速化、画像と点群を組み合わせた形状抽出、誤差モデルの解析、モデリング作業の自動化と精度管理手法の確立を行った。平成23年度は、複数のレーザスキャナの精度解析、精度管理手法、大規模点群からの曲面自動抽出、フィーチャ形状自動再構成手法についての研究を行った。また、開発した各種手法を統合し、点群処理カーネルを構築した。

### (2) 主な研究成果

本研究で開発した技術体系は、以下の図のようにまとめられた。モジュールは、データ構造定義、基盤処理、データベース、データ表示と転送、幾何計算、汎用処理から構成される。汎用処理は、大規模な点群から形状情報を抽出するための上位レベルの機能群である。



本研究の主たる成果は以下のようにまとめられる。

① 大規模点群処理の基盤となるデータサーバの設置と検証用点群データの整備を行った。まず、レーザ計測装置ベンダ3社の協力を得て、大規模点群データを収集した。次に、東京大学に設置したデータサーバでデータ管理する環境を作成し、研究代表者と研究分担社が大規模点群データを共有できる環境を構築した。

② 大規模点群・メッシュを扱うことのできるデータ構造の設計・実装を行った。複数のデータ構造が実装されており、オンメモリでの処理のほか、メモリ容量を超える規模のデータを扱うために、外部記憶装置を用いたストリーミング処理や、外部記憶装置上の点群を高速にランダムアクセスできる表現法が実現されている。また、点群計測の標準データフォーマットからのデータ変換モジュールも実装した。

③ イメージベースモデリングとメッシュモデリングを融合した新しいモデリング手法を開発した。本手法は、点群のレーザ反射強度から生成された画像と、座標データから生成されたメッシュモデルを用いて、直感的なモデリング操作を可能にするものである。

④ 上記の基盤ツールに基づいて、プラントのモデリングのためのフィーチャベースモデリングシステムを実装した。また、テストデータを用いて検証を行い、点群からのソリッドモデリングが効率的に行えることを確認した。さらに、モデリングシステムの入出力に関して、汎用的な点群フォーマット入力と AutoCAD などの CAD システムへの出力を実装した。

⑤ GPU を用いることで、大規模点群を短時間で平滑化するアルゴリズムを提案した。また、実装と評価を行い、計算時間が飛躍的に

向上することを確認した。

⑥ 画像処理と点群処理を融合させることで、プラント施設から配管と矩形面を自動抽出するアルゴリズムを開発した。この方法は、画像から配管の特徴を有する領域を抽出し、局所的な点群を処理することで、大規模点群処理に対応する。

⑦ 複数視点から取得された大規模点群を用いた点群モデリング手法を開発した。これは、複数のデプスマップの対応関係を導出して、点群の融合処理を行う手法である。

⑧ レーザスキャナの誤差モデル解析を行い、距離や反射強度などによる誤差レベルの推定を行う手法を開発した。また、複数の位相差方式とタイムオブフライト方式のレーザスキャナに関して、精度評価を行った。その結果、計測装置に応じた誤差パラメータによる誤差モデルを構築した。

⑨ 誤差モデルに基づいて誤差予測を行うことで、曲面抽出処理の信頼性が向上することを示した。また、レーザスキャナの誤差はレーザ照射方向に大きくなるという性質を利用した最尤推定を行うことで、曲面計算の精度を向上できることを示した。

⑩ モデリング作業を自動化するために、大規模点群から高速で曲面抽出する手法を開発した。この方法では、曲面検出に RANSAC 法を用いるが、大規模点群に対応するために、曲面探索領域を階層的に分割することで、大規模な点群でも実用的な計算時間で曲面検出ができることを示した。

⑪ 円柱の同軸性と直交性を利用して、断片的な円柱曲面から配管を再構成する手法を開発した。

⑬ 本研究の目的は、「大規模点群処理の手法の開発を通じて、点群処理システムを構築するためのカーネルを構築し、点群処理の実務での応用を促進する」ことである。この目的を達成するために、本研究を通じて開発した手法をソフトウェアパッケージとして統合した。本パッケージは、Windows, Linux, MacOSX のマルチプラットフォームで稼働する。

⑭ 開発した手法が、実際の設備を計測したデータで有効に動作することを確認した。本手法の評価に用いた設備データは、自動車の組立ライン、発電プラント、大型機械製造現場を計測したものである。

### (3) 研究のインパクト

① 本研究に関連する研究業績で、「精密工

学会論文賞」(2011年3月15日)を受賞した。(受賞論文:増田宏,村上健治,大規模点群データの平滑化手法に関する研究)。

② 本研究の成果発表において、日本機械学会から優秀講演表彰(2011年10月28日)を受賞した。(受賞講演:増田宏,大規模点群に基づくインタラクティブな形状モデリングシステム)

③ 本研究で開発した成果を実際の生産現場で活用するために、複数のソフトウェアベンダに対して技術協力を行った。現時点において、国内のソフトウェアベンダにおいて、本研究成果を活用した生産と保守の支援システムを開発中である。

④ 本研究成果に関連する技術を社会に普及するために、精密工学会に「大規模環境の3次元計測と認識・モデル化技術専門委員会」を2012年度に立ち上げ、産学連携のための活動を行った。企業会員は29社、大学会員は30名となっている。研究代表者は、この専門委員会の設立メンバーであり、設立初年度は副委員長、次年度からは委員長として活動している。

⑤ 精密工学会において、本研究で扱ったテーマに基づくオーガナイズドセッションを2010年度に開始し、現在にいたるまで、春と秋の学会で継続的に行ってきた。さらに、精密工学会でのシンポジウムの開催、や国際会議等でのセッション企画など、大規模環境の3次元計測に基づく形状処理のための研究を広めるための活動を行った。

### 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] (計10件)

以下の10件は、査読付き論文である。

① 池田邦彦, 増田宏: 大規模点群データの平滑化手法に関する研究 (第3報) GPUを用いたストリーミング処理による大規模点群の高速な平滑化, 精密工学会論文誌, 78巻7号, pp. 611-615, 2012.

② H. Masuda, I. Tanaka, M. Enomoto : Reliable Surface Extraction from Point-Clouds using Scanner-Dependent Parameters, Computer-Aided Design and Applications, Vol. 10, No. 2, pp. 265-277, 2012.

③ K. Ikeda, C. Matsunuma, H. Masuda : Robust Edge Detection and GPU-Based Smoothing for Extracting Surface Primitives from

- Range Images, Computer-Aided Design and Applications, Vol.8, No.4, pp.603-616, 2011.
- ④ Y. Kawauchi, S. Usuki, K. Miura, H. Masuda, I. Tanaka : An Integrated Processing Method for Multiple Large-Scale Point-Clouds Captured from Different Viewpoints, Computer-Aided Design and Applications, Vol.8, No.4, 519-530, 2011.
- ⑤ 松沼千央, 増田宏 : 画像特徴量を用いた大規模点群からの円柱面と矩形面の検出, 機械学会論文集(C編), 76巻772号C編, pp.540-545, 2010.
- ⑥ 増田宏 : 画像インタフェースを用いた大規模点群からのソリッドモデリングシステム, 機械学会論文集(C編), 76巻771号C編, pp.2748-2752, 2010.
- ⑦ H. Masuda, I. Tanaka : As-Built 3D Modeling of Large Facilities Based on Interactive Feature Editing, Computer-Aided Design and Applications, Vol.7, No.3, pp.349-360, 2010.
- ⑧ 増田宏, 村上健治 : 大規模点群データの平滑化手法に関する研究 (第2報) 大規模点群平滑化のためのストリーミング処理, 精密工学会論文誌, 76(6), pp.689-693, 2010.
- ⑨ 増田宏, 村上健治 : 大規模点群データの平滑化手法に関する研究 (第1報), ロバスト推定に基づく平滑化手法, 精密工学会論文誌, 76(5), pp.582-586, 2010.
- ⑩ H. Masuda, I. Tanaka : Extraction of Surface Primitives from Noisy Large-Scale Point-Clouds Computer-Aided Design and Applications, Vol.6, No.3, pp.387-398, 2009.
- [学会発表] (計33件)
- ① 増田宏, 榎本昌一 : レーザスキャナによる設備計測に適した曲面当てはめ手法, 精密工学会秋季講演会, 2012(9)
- ② 田中一郎, 増田宏 : シミュレーションに基づくレーザスキャンデータの球当てはめ手法の精度評価, 精密工学会秋季講演会, 2012(9)
- ③ 榎本昌一, 増田宏 : 位相差方式レーザスキャナの計測誤差の評価と推定, 精密工学会秋季講演会, 2012(9)
- ④ 増田宏, 松岡諒 : 大規模点群からのトーラスと楕円体の抽出, 精密工学会秋季講演会, 2012(9)
- ⑤ 増田宏 : 大規模環境の3次元計測に基づく形状モデリング, 日本計算工学会 S & V 研究会, 2012(8)
- ⑥ 榎本昌一, 小栗昇悟, 増田宏, 田中一郎 : 複数のレーザスキャナによる平面計測精度の比較, 精密工学会秋季講演会, 2012(3)
- ⑦ 佐藤昌幸, 佐藤友哉, 田中一郎, 榎本昌一, 増田宏 : レーザスキャナを用いた球の位置測定精度評価, 精密工学会秋季講演会, 2012(3)
- ⑧ 増田宏 : 大規模点群からの曲面抽出に基づく生産設備の形状再構成, 精密工学会秋季講演会, 2012(3)
- ⑨ 増田宏 : 大規模3次元環境計測データのための形状処理技術, 精密工学会秋季講演会 シンポジウム, 2011(9)
- ⑩ 増田宏 : キーノートスピーチ : サイバーワールド構築技術研究の構成, 精密工学会秋季講演会, 2011(9)
- ⑪ 池田邦彦, 増田宏 : 大規模点群の平滑化と評価, 精密工学会秋季講演会, 2011(9)
- ⑫ 増田宏, 阿部佑二 : 複数のレーザ計測点群からの曲面抽出, 精密工学会秋季講演会, 2011(9)
- ⑬ 田中一郎, 石津秀人, 榎本昌一, 増田宏 : 位相差方式レーザスキャナを用いた球の位置測定精度評価 (第3報), 精密工学会秋季講演会, 2011(9)
- ⑭ 増田宏 : キーノートスピーチ : サイバーワールド構築技術研究の展開, 精密工学会春季講演会, 2011(3)
- ⑮ 阿部佑二, 池田邦彦, 増田宏 : 大規模点群からのエッジ抽出を用いた円柱面と矩形面の検出 (第2報), 精密工学会春季講演会, 2011(3)
- ⑯ 布村壮太, 増田宏, 田中一郎 : レーザスキャナの誤差モデルに基づく異常値除去, 精密工学会春季講演会, 2011(3)
- ⑰ 池田邦彦, 増田宏 : GPU を用いた大規模点群の平滑化 (第2報), 精密工学会春季講演会, 2011(3)
- ⑱ 石津秀人, 森山皓太, 田中一郎, 増田宏 : 位相差方式レーザスキャナを用いた球の位置計測精度評価 (第2報), 精密工学会春季講演会, 2011(3)
- ⑲ 増田宏 : 大規模点群を用いた3次元形状モデリング, 動体計測研究会, 2011(1.26)
- ⑳ 松沼千央, 阿部佑二, 増田宏 : 大規模点群からのエッジ抽出を用いた円柱面と矩形面の検出, 精密工学会春季講演会, 2010(9)
- ㉑ 池田邦彦, 増田宏, GPU を用いた大規模点群の平滑化, 精密工学会春季講演会,

- 2010(9)
- 22 河内陽介, 臼杵 深, 三浦憲二郎, 増田宏, 田中一郎: 複数視点に対する大規模点群データの統合処理, 精密工学会春季講演会, 2010(9)
- 23 石津秀人, 森山皓太, 阿部佑二, 増田宏, 田中一郎: 位相差方式レーザスキャナを用いた球の位置精度評価, 精密工学会春季講演会, 2010(9)
- 24 増田宏: 大規模計測点群のための形状処理技術, 精密工学会 サイバーフィールド構築研究分科会, 2010/6/4)
- 25 藤井智, 増田宏: 大規模点群からの既知部品の検出とパラメータの同定, 精密工学会春季講演会, 2010(3)
- 26 増田宏: 大規模点群に基づくインタラクティブな形状モデリングシステム, 日本機械学会 設計工学・システム部門講演会, 2009(10)
- 27 藤井智, 増田宏: 密な点群からの平面抽出を利用したインタラクティブなモデリングシステム, NICOGRAPH 2009 秋季大会, 2009(10)
- 28 山中佑治, 増田宏: 平面抽出に基づく大規模点群データのレジストレーション, 精密工学会秋季講演会, 2009(9)
- 29 村上健治, 藤井智, 増田宏: 大規模点群データのための平滑化処理の高速化, 精密工学会秋季講演会, 2009(9)
- 30 増田宏: 対象物の制約を用いた点群データからの幾何曲面抽出, 精密工学会秋季講演会, 2009(9)
- 31 H. Masuda, S. Fujii : Surface Extraction from Incomplete Point Data for Digitizing Factories, Design Engineering Workshop, 2009(10)
- 32 N. Kanata, S. Fujii, H. Masuda : An Interactive Method for Generating Solid Primitives Based on Large-Scale Point-Clouds, 12th International Conference on Humans and Computers, 2009(12)
- 33 N. Kanata, S. Fujii, H. Masuda : Interactive 3D Modeling Based on Point-Clouds with Reflectance Image, SIGGRAPH Asia Poster, 2009(12).

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :  
 発明者 :  
 権利者 :

種類 :  
 番号 :  
 出願年月日 :  
 国内外の別 :

○取得状況 (計◇件)

名称 :  
 発明者 :  
 権利者 :  
 種類 :  
 番号 :  
 取得年月日 :  
 国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

本研究の成果を記述した論文リストは以下から参照できる。また、研究論文の一部がダウンロード可能である。

<http://www.nakl.t.u-tokyo.ac.jp/~masuda>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

増田 宏 (MASUDA HIROSHI)  
 東京大学・大学院工学系研究科・准教授  
 研究者番号 : 40302757

### (2) 研究分担者

三浦 憲二郎 (MIURA KENJIRO)  
 静岡大学・創造科学技術大学院・教授  
 研究者番号 : 50254066

榎本 昌一 (ENOMOTO MASAKAZU)  
 東京大学・大学院工学系研究科・技術専門員  
 研究者番号 : 00396764

田中 一郎 (TANAKA ICHIRO)  
 東京電機大学・工学部・教授  
 研究者番号 : 40260963

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号 :