

# 定在波レーダを用いた距離画像の構築

張菁<sup>†1</sup> 梅田智広<sup>†1</sup> 高田雅美<sup>†1</sup> 城和貴<sup>†1</sup>

本研究では、定在波レーダで得られた情報から 3D サーフェイスモデルを構築する。定在波レーダは、非接触で対象物までの距離を測定することができる。定在波レーダを用いて取得した距離情報を処理対象として最適組み合わせアルゴリズムを適用し、その 3 次元距離情報を 2 次元座標に変換し、ドロネー三角分割法を用いて 3D サーフェイスモデルの構築を目指す。

## Construction of the range image by using a standing wave radar

SEI CHO<sup>†1</sup> TOMOHIRO UMEDA<sup>†1</sup>  
MASAMI TAKATA<sup>†1</sup> KAZUKI JOE<sup>†1</sup>

In this research, we construct a 3D surface model, which is translated in information of standing wave radar. The standing wave radar can measure distance to an object without contact. In the information of the standing wave radar, an optimal combination algorithm is adopted. Then, once the three-dimensional information is transformed into the two-dimensional coordinates, a 3D surface model is constructed by using the Delaunay triangulation.

### 1. はじめに

平成 24 年、65 歳以上の高齢者人口は過去最高の 3,079 万人となり、総人口に占める割合（高齢化率）は 24.1% となっている [1]。つまり、日本における約 5 人に 1 人が 65 歳以上という高齢化社会となっている。その結果、独居高齢者や全員が高齢者という世帯が増加している。それに伴い孤独死の数が増えると予想される。孤独死とは、誰にも看取られることなく、近隣に気づかれずに亡くなり、相当日数が経ってから発見される死のことである。特に独居高齢者は自宅内において転倒などで体が動けないことにより孤独死に至る可能性が高い [2]。内閣府が発表した「2011 年版 高齢社会白書」によると、単身の居住者が賃貸住宅内で死亡した件数は、平成 11 年度から平成 20 年度までの 9 年間で、約 3 倍に増えている。これらの死亡者数がすべて孤独死とは言えないが、孤独死もこれらの中に含まれるため、お年寄りの孤独死は全体的に増えていると推測されている [3]。高齢者には健康上の不安が付き物であるため、孤独死を減らすためには、普段の生活状態を踏まえた上で、緊急時に対応可能な支援体制を用意する必要がある。このための仕組みとして、独居高齢者の生活状況を把握し、異常を監視し事前に検出する見守りシステムを開発する必要がある。

そこで、高齢者の異常を検出するための方法が検討されている。この際、被験者は束縛されることを嫌がること

多い。ゆえに、被験者に何も身につけることなく、被験者の 3 次元位置を求める方法として、超音波センサ、ステレオビジョン、マイクロ波測距レーダなどを用いることが望ましい。超音波センサは、天井や壁に多くの超音波センサを取り付ける必要があり、これらから得られた情報を統合的に扱う必要があるため、検出精度は低い。ステレオビジョンでは、2 台以上のカメラで 2 次元画像を取得し、視差を測定するため高画質とそれに伴う高性能処理が必要である。従来型マイクロ波測距レーダでは、精度が高いが、コストが高く近距離の測定が困難であるため、応用分野が限られており、普及が進んでいないのが現状である。

そこで、非接触、位置計測精度が高い、コンパクト、周辺環境の影響を受けにくい、シンプルな構造で低コストなどの利点を考慮して、定在波レーダを用いた高齢者の見守りシステムを開発を行う。定在波レーダで得られる情報は、距離情報のみである。これは、数値で表されるため、直観的理解が困難である。よって、本稿では、距離情報から 3D サーフェイスモデルを構築する方法を提案する。

以下、2 章では既存の見守りシステムについて紹介し、3 章で、定在波レーダについて紹介し、4 章で、距離画像を構築する手法の提案を行う。最後に、5 章では 4 章で述べた提案手法の実験を行う。

### 2. 既存の見守りシステム

種々のセンシング技術を活用した見守りシステムやその解析手法が研究されている。これらのシステムを用いて行われる高齢者の見守りの方法は大きく 2 つに分けられる。

<sup>†1</sup> 奈良女子大学  
Nara Women's University

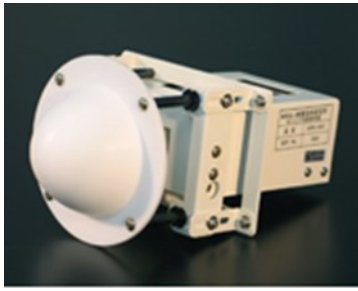


図 1 定在波レーダ評価キット

1 つはビデオカメラなどを用いて姿を撮影し、画像を解析することで健康状態を見守り、異常を検知する方法である。この方法は目で見てわかるため異常検知の精度は高いが、生活の状況も詳しくわかってしまうため、利用者の抵抗感も強い。また、自動検知させるためには、高性能な画像処理技術が必要である。

もう 1 つは、姿を撮影せずに見守りする方法である。高齢者による自己発信を前提とした見守りシステムでは電話機を活用したタッチパネル方式の“おげんき発信”システムなどが挙げられる。ただし、自動発信ではないため、情報の欠如が発生しやすい。別の方法として、センサを用いた見守りシステムが開発されている。たとえば、日常生活の音圧を計測し、対象者がどんな状況であるかを把握する事を目的とした研究がある。ただし、通常の生活では、様々なノイズがのってしまい検知精度を高めることは難しいのが現状である。別の例として、対象者の体動と呼吸を検知できるマイクロ波ドップラーセンサを用いて、発射したマイクロ波の反射波を受信し、発射した周波数と受信した周波数の差から動体を検出するドップラー効果を利用して対象者の行動パターンを解析し、在宅かどうかの検出に加え、健康状態までも推測可能な見守りシステムの研究もある。ただし、システムが大規模なものとなるため、コストが高い [4][5]。

### 3. 定在波レーダ

定在波レーダ評価キットを図 1 に示す。特徴としては送信波と反射波を分離する必要がなく、従来のレーダに見られる反射波の受信回路に相当するものがないため、構成が非常に簡素となり極めて低コストで実現できることである。また、24 GHz 帯を使い、相対変位分解能は世界初 0.01mm で、静止している人体の心肺の動きを十分に検知でき、呼吸数把握も可能になる。定在波レーダで取得したデータは 2144 バイト単位でバイナリデータとして計算機で受信ができる。このバイナリデータには最大 8 ターゲットまでのデータ、距離スペクトルと位相スペクトルで構成されている。ターゲットのデータには信号レベル、距離、変位、速度が含まれている [6][7]。

近年では、定在波レーダを用いて人体心拍検知、人体異常検出など安全・セキュリティ分野に関する研究が多い。し

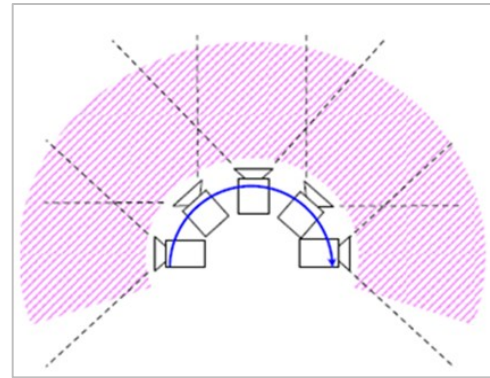


図 2 回転制御のイメージ

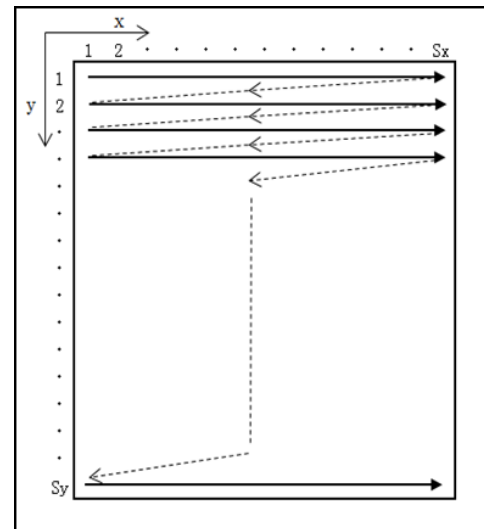


図 3 定在波レーダのスキャン順序のイメージ

かし、定在波レーダを用いて人体の位置を示す具体的なモデル化は行われていない[8]。

現在の定在波レーダは一回に限られた数の距離データ群を近い順に取得するが、反射位置を特定することはできないため、人の全身の距離情報を取得するために定在波レーダの回転制御が必要である。図 2 は定在波レーダ回転制御のイメージで、図 3 は回転制御にてスキャンした距離データの並びである。つまり、定在波レーダを用いた見守りシステムを開発するためには、自動的に回転させながら人体を走査して、距離情報を得ることが前提条件となる。

## 4. 距離画像の構築手法の提案

### 4.1 提案の概要

本章では、定在波レーダ回転制御を用いて人の全身の距離情報を取得し、その距離情報を対象として距離画像の 3D サーフィスモデルを構築する手法を提案する。

距離画像の 3D サーフィスモデルを構築する手順は下記の通りである。

1. 最適組み合わせ法によって距離情報を整理
2. 整理された距離情報を座標変換
3. 手順 2 で得られた 2 次元座標データによる 3D サーフィスモデルを作成

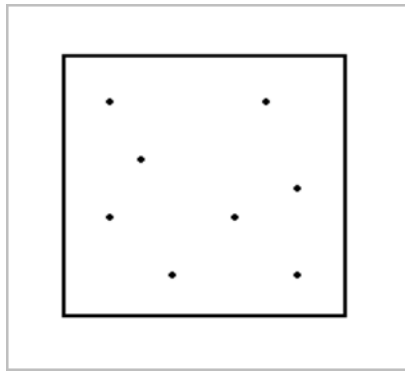


図 4 一回で取った距離情報

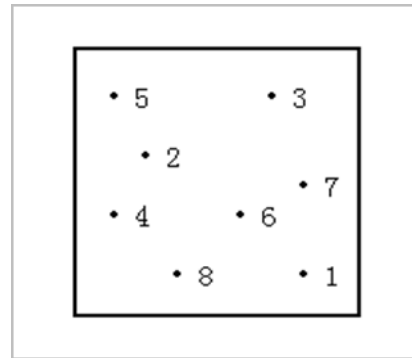


図 6 格子内の距離値の順番を求める例

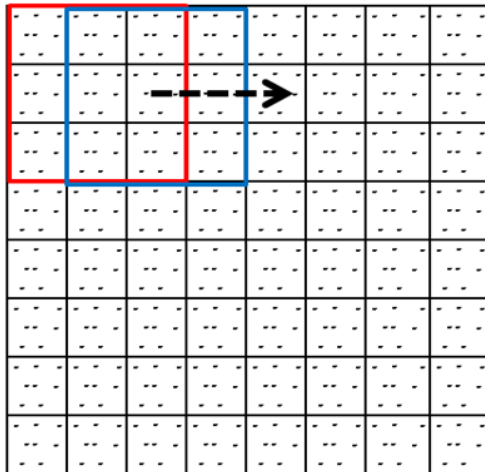


図 5 処理前の距離情報のイメージ

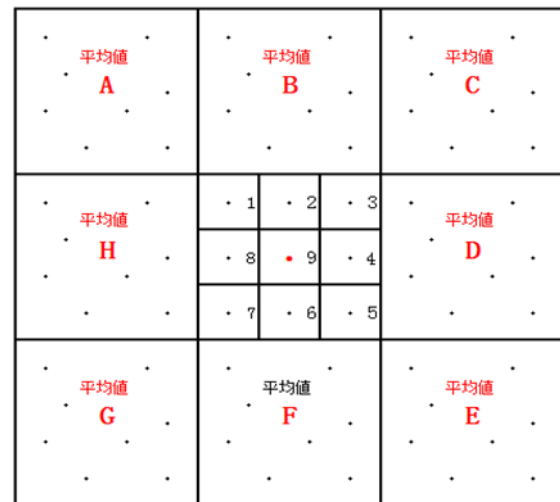


図 7 整列計算の詳細イメージ

それぞれの手順の詳細については4.2節から4.4節で説明する。

#### 4.2 距離情報の整列

定在波レーダで取得した距離情報はランダムで、間隔が大きい場合、3Dサーフィスマデルを構築するには、まず距離情報を整列する必要がある。

定在波レーダが一回で取得する距離情報は図 4 の通り、8 つのランダム順の点である。回転制御にて対象物を走査して取得する際の距離情報も 8 点範囲毎ではランダム順である。そのため、なめらかな表面にいびつな凹凸が出現する可能性がある。そこで、ランダムな距離情報をきれいに整列するために最適組み合わせ法を提案する。

手順 1 では、定在波レーダが取得した距離情報を左上から  $3 \times 3$  個の格子を 1 計算単位として、真中の格子内の 8 つの点を周りの 8 格子の平均値によって、整列を行う。真中の格子内の 8 つの点の順番を周りの 8 つの格子の平均距離値の大きさの順番と一致させることによって点の段差を緩やかにすることができ、現実の物の表面にもっとも近似することができる。これは、対象とする物体が曲面をなしていることを利用している。曲面であるため、真ん中の格子の中で最も長い距離情報を持つ点は、周りの格子の中で最も長い平均距離を持つ格子と隣接しているものと考えられる。

図 5 は整列の順序を表している。まず、図 5 の赤色の範囲内の格子に着目する。図 6 はこの着目されている格子の真中の格子を示している。まずは図 6 の格子内の 8 つの距離情報点を大きさ順に並べ、番号を振る。つまり、8 つの点の距離値の大きさは  $1 > 2 > 3 \dots > 8$  の順となる。

次に、周りの 8 つの格子のそれぞれの平均距離値も求め、図 6 の点を整列する。図 7 は、周りの 8 つの格子によって整列された図 6 の 8 点の関係図である。仮にそれぞれの平均距離値の大きさは  $A > B > C > \dots > H$  の順にする。この場合、図 6 の格子内の 1 番の点を A 格子に一番近い位置に移動する、次に 2 番の点を B 格子に一番近い位置に移動する、3 番の点を C 格子に一番近い位置に移動する。このように 8 番の点まで調整する最後に真中の 9 の所に 1~8 点の平均値で埋める。

ある格子の計算が終了すると、図 5 の青枠で示すように、右に 1 格子ずれて図 6 および図 7 で示した計算を繰り返す。このように距離データ全体を走査しながら計算を行うことによって、図 5 の距離情報を図 8 のようにきれいに整列できるようになる。ただし、斜線で表されている外周の格子は、周りの格子数は 8 個未満であるため、整列することができない。本研究で対象とする 3D サーフェイスの作成では、対象とする物体が中心部に置かれていることを想定してい

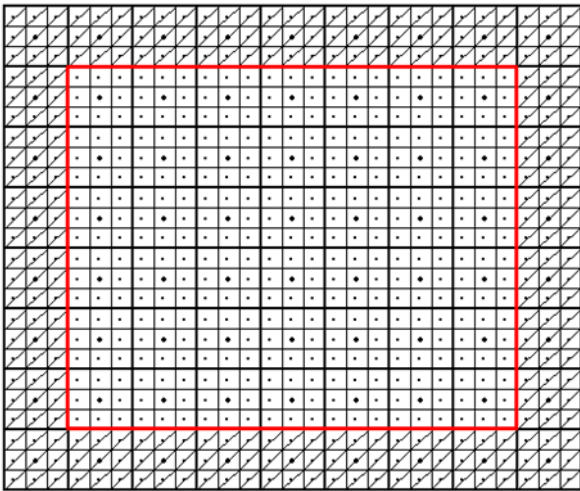


図 8 整列後の距離情報のイメージ



図 10 3次元データと2次元座標変換後のデータ

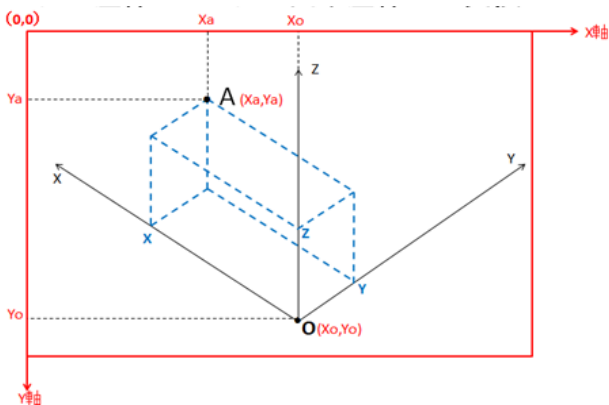


図 9 座標変換のイメージ

る。そのため、外周の格子は、内部隣接の格子整列計算に使うのみで、整列終了後、削除する。つまり、図 8 の赤色枠内の部分は最終的に整列された全部の距離情報となる。

#### 4.3 距離情報の座標変換

手順 1 で得られるデータは、3次元の距離情報である。そのため、直観的に理解することは難しい。そこで、得られた距離情報を人間が直観的に認識できるように変換するために、手順 1 で得られる距離情報を用いて 3次元距離画像の構築を行う必要がある。3次元距離画像を構築するために、手順 2 では、3次元座標データより構成されている距離情報を 2次元座標へ変換する。即ちワールド座標系中のデータを 2次元の画像座標系のデータに変換する [9][10]。

本節では距離情報の座標変換原理について述べる。図 9 は、座標変換原理の概念図である [11]。

3次元のワールド座標系（黒色）に点 A があるとしたら点 A の座標：(X,Y,Z)

原点 O の座標：(0,0,0)

これを 2次元の画像座標系（赤色）に投影すると点 A の座標は(Xa,Ya)になる。2次元座標の原点は左上の(0,0)点で、画像座標の長さの単位としては画素を用いる。一般に 3次

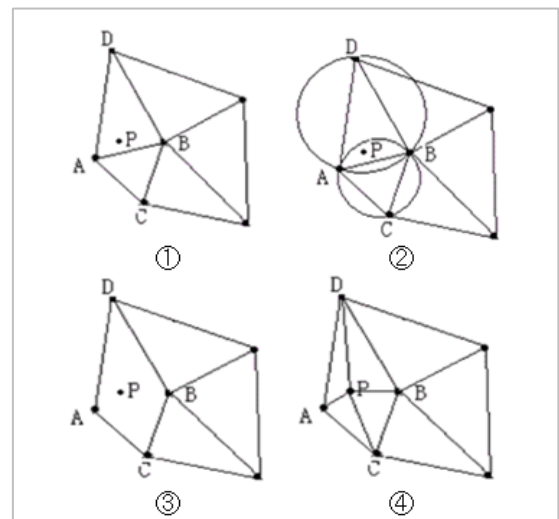


図 11 ドロネー三角分割のイメージ

元座標系の原点 O(0,0,0)を 2次元画像中のある適当な位置に定める。ここでは中心位置の点(座標(Xo,Yo))に決める。3次元座標系中の点 A の座標を 2次元画像の座標に変換すると、下記の変換関係が得られる：

$$Xa = Xo + Z * \sin \theta + X * \cos \theta$$

$$Ya = Yo - Y$$

これで 3次元の距離情報を 2次元の画像座標へ変換し、3次元座標内の各点を 2次元画像のピクセルにマッピングすることができる。図 10 は座標変換前後が保存されている距離情報のファイルの中身を表す。

#### 4.4 3D サーフィスマodelの作成

4.3 節の方法で得られた 2次元の座標データを対象にドロネー三角分割処理を行う手法を用いて 3D サーフィスマodelを作成する[12]。

ドロネー三角分割の原理は空間内の点を連結して三角形のグループにし、その三角形のすべての角に対する最小角度が最大になるようにするテクニックで、与えられた任意の三角形の頂点に接する任意の円の内部には、その他の頂点が含まれないようにして三角分割が行われている。

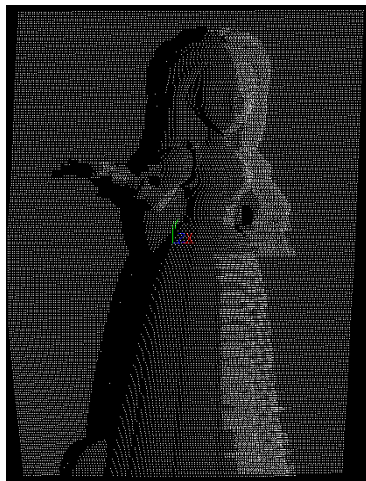


図 12 オリジナル距離情報の様子

ドロネー分割アルゴリズムの手順は下記の通りである。

step1 外部三角形を作成

step2 外部三角の頂点を1つの開始点に設定

step3 内部の点を追加

step4 すべての三角形の外接円を探索し追加した点を含む三角分割を削除

step5 削除した三角分割の外接円の内部にある追加点も含めてグラフを三角分割し直し

step6 追加点があれば, step2に戻る

詳細は図 11 に示すように, ①は P 点を新たに挿入するイメージである。②ではすべての既存の三角分割の外接円を探索し, P 点を含むかどうかを判断するイメージである。この例では線 AB にて分割した三角形 ABC と三角形 ABD の外接円は点 P を含むため, AB 分割を削除する。③は AB 分割を削除したイメージである。④は分割し直したイメージである。新たに追加した点 P を包含することになっている。

## 5. 実験

### 5.1 実験方法

4 章で提案した距離画像を構築する手法を用いて実験を行う。

本稿では, 被験者が動かない状態を前提とする。そのために, 本実験では, 静止状態の人形を対象物とする。背景には, 白紙の紙を置く。人形は, カメラに向かって正面を向いた状態で設置する。

現在開発されている定在波レーダは回転制御ができない。そこで, 仮想的に定在波レーダと同等の距離情報を取得するために, PICZA LPX-600 スキャナーにて距離情報を利用する。PICZA LPX-600 スキャナーにて取った距離情報はすでに整列された情報である。そこで, 定在波レーダのランダム距離情報を模擬するために, ランダム化処理を行う。具体的には  $3 \times 3$  点を単位にランダム順で再配置する。得た距離情報は 30294 個 ( $153 \times 198$ ) の点を含む大きさ 0.5MB

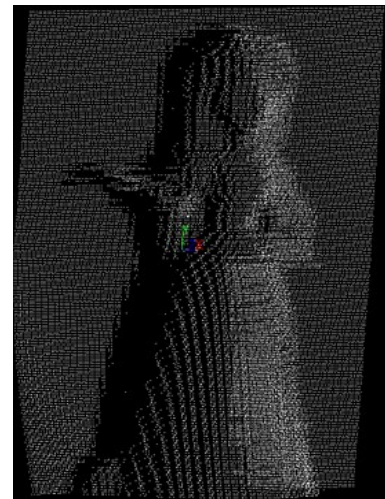


図 13 ランダム化した後の様子

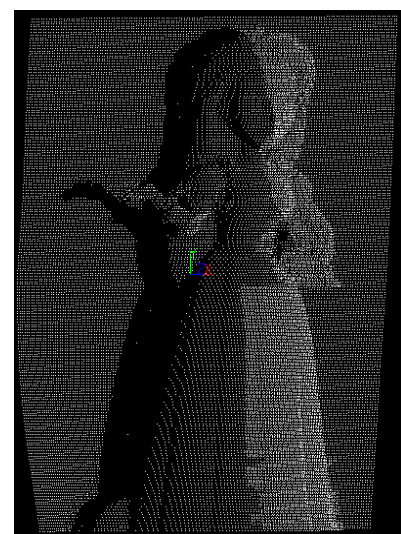


図 14 アルゴリズムを適用した様子  
ぐらいのデータである。

### 5.2 実験結果

図 12 に PICZA LPX-600 スキャナーを用いて取得したオリジナル距離情報の画像を示す。PICZA LPX-600 の機能により, すでにノイズ除去や平滑化などの内部処理がされているため, 目立った凹凸はない。

図 13 に図 12 の距離情報を定在波レーダにて取得する距離情報の特徴のように  $3 \times 3$  点単位でランダム化した後の画像を示す。図 12 のオリジナル画像の下の部分と比較すると, 画像が  $3 \times 3$  点単位に目立った凹凸になっていることが分る。

図 14 に最適組み合わせアルゴリズムを適用し, 整列された様子を示す。図 13 と比較すると, ランダム化した画像の凹凸はなくなり図 12 のオリジナル画像と同じぐらいに処理され, 本アルゴリズムの手順 1 の整列は良い効果があることが分る。

図 15 は図 13 と図 14 の側面から見た距離画像の様子を示す。背景である紙は影となりため, 処理後の画像は顔や体の表面が処理前より滑らかになり, 正面からの比較より

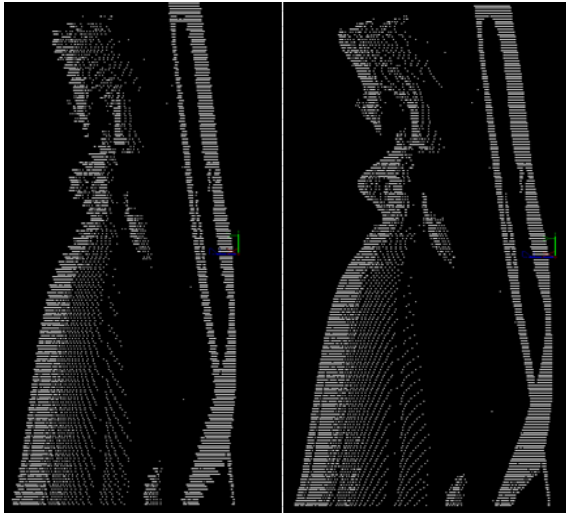


図 15 側面から見る効果  
(左：処理前，右：処理後)

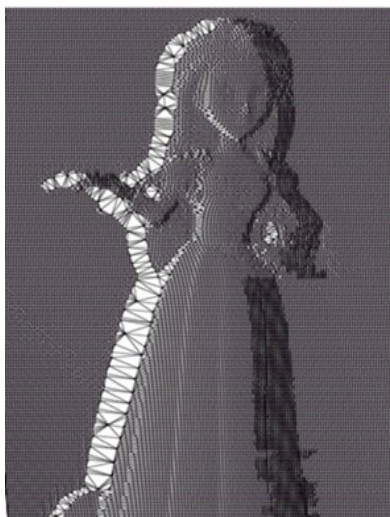


図 16 3D サーフィスマodelの様子  
更に直観的にアルゴリズムの効果が確認できる。

図 16 にドロネー三角形分割アルゴリズムを適用し，構築された 3D サーフィスマodelの様子を示す．三角分割前の画像は分散する独立の点で構成されている．ドロネー三角分割を用いることによって，隣接する点が適切に線で繋がれ三角形メッシング処理されることにより面で構成されることになる．図 16 より，3D 物体の表面がなめらかに形成されていることがわかる．

以上より，本稿の方法で，データの整列ならびに 3D サーフィスマodelの構築が可能であるものと考えられる．

## 6. まとめ

本稿では，定在波レーダを用いて取得した距離情報を処理対象として最適組み合わせアルゴリズムを適用し，その距離画像の 3D サーフィスマodelを構築する手法を提案した．第一に，定在波レーダで取得した距離情報を整列する手法を提案した．最適組み合わせアルゴリズムを適用し，

距離情報を整列することができる．第二に，距離情報を 3 次元座標から 2 次元座標へ変換し，2 次元座標を適用し，距離画像を構築する手法を提案した．整列された距離情報を用いてドロネー三角形分割アルゴリズムを適用し，3D サーフィスマodelを作成する．実験結果より処理前のランダムな距離情報をきれいに整列することができ，ドロネー分割によって構築された 3D サーフィスマodelには，目立った凹凸がない．ゆえに，提案手法は，有効であるものと考えられる．

今後の課題は動いている被験者を対象として，リアルタイムによる高齢者の位置と状況の検出を目指す．

**謝辞** 定在波レーダを用いた距離画像の構築にご協力頂いた皆様に，謹んで感謝の意を表する．

## 参考文献

- 1) 内閣府: 2015 年版 高齢社会白書  
[http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2013/zenbun/25pdf\\_index.html](http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2013/zenbun/25pdf_index.html)
- 2) 小林守, 江口正治, 井上翔太, 田中美優, 中村和希, 栄智徳: Kinect を用いた独居高齢者に対する支援の判定, 情報処理学会研究報告. UBI, vol.2013-UBI-39(5), pp.1-5 (2013).
- 3) 内閣府: 2011 年版 高齢社会白書  
[http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2009/zenbun/21pdf\\_index.html](http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2009/zenbun/21pdf_index.html)
- 4) 伊藤孝輔, 生田英輔, 森一彦: 5517 ICT を活用した高齢者見守りシステム: 高齢者等居住安定化に関する研究, 学術講演梗概集 E-1, 建築計画 I, 各種建物・地域施設, 設計方法, 構法計画, 人間工学, 計画基礎, vol.2011, pp.1067-1068 (2011).
- 5) 岩手県立大学: 3.1.2. 高齢者見守りシステムプロジェクト, 岩手県立大学ソフトウェア情報学部研究教育活動報告, vol.7, pp.279-287 (2010).
- 6) 上保徹志: 0m から測距可能な定在波レーダ, IEEJ Trans.EIS, Vol.125, No.11, pp.1646-1651 (2005).
- 7) T. Uebo, Y. Okubo, and T. Iritani: Standing wave radar capable of measuring distance down to zero meters, IEICE Trans. Commun., Vol.E88-B, No.6, pp.2609-2615 (2005).
- 8) SAIKA 一般財団法人雑質技術研究所: 新型定在波レーダ  
<http://www.saika.or.jp/wave/index.html>.
- 9) 鳥脇純一郎: 3 次元デジタル画像処理, 昭晃堂 (2002).
- 10) 井口征士, 佐藤宏介: 3 次元画像計測, 昭晃堂 (1990).
- 11) 奥富正敏: デジタル画像処理, 財団法人画像情報教育復興教会 (2004).
- 12) 奈良先端科学技術大学院大学 OpenCV プログラミングブック制作チーム: OpenCV プログラミングブック, 毎日コミュニケーションズ (2007).