構成部品の多いアセンブリモデルを対象とした同一モデル検索手法

坂本 一成† 久米 貴大† 片山 薫†

† 首都大学東京大学院 システムデザイン研究科 情報通信システム学域 E-mail: †{sakamoto-issei,kume-takahiro}@ed.tmu.ac.jp, ††kaoru@tmu.ac.jp

あらまし 近年,3次元 CAD モデルは医療,工業,映画など様々な分野で利用されており,その扱うデータ量・数は増加している.特に自動車や航空機,建造物など巨大なデータでは,CAD などのデジタルモデリングソフトによる3次元モデルを用いた設計などが行われており,3次元モデルのデータ量増加に伴い,生産性の低下を防ぐためにはモデルデータを効率的に管理するシステムが必要不可欠となってきている.また,アセンブリモデルの構成部品に付与する数値がユーザやモデル間で統一されていない場合には,アセンブリモデルの識別が難しい.本稿では構成部品の多いアセンブリモデルを対象とした検索手法の提案する.3次元 CAD モデルを形成している部品のポリゴンメッシュから,使用されている部品の材質の種類ごとに数値が反映される投影画像を複数視点で生成し,部品の材質の種類ごとに投影画像を有数視点で生成し,部品の材質の種類ごとに投影画像を有数視点で生成し,部品の材質の種類ごとに投影のなどの方が少くためを能数フーリエ変換を行いサイノグラムを生成し,サイノグラムを離数フーリエ変換を行い動径方向に連結したものをフーリエ変換しパワースペクトルを行ったものを特徴量とすることで,アセンブリモデルの構成部品を付与する数値をユーザやモデル間で統一することができる.また,データベースモデルには部品の配置が異なる3次元 CAD アセンブリモデルを 20 種類用意し,提案手法を実験的に評価した.

キーワード 3次元モデル,投影画像,アセンブリ構造,データ構造

1. はじめに

近年, アセンブリモデルは様々な分野で用いられている.特 に製造業では, CAD などのデジタルモデリングソフトによる3 次元モデルを用いて設計などを行っている.しかしこのような データは複数の部品で構成され1つのモデルを表しているアセ ンブリモデルになっていることが多い.アセンブリモデルを効 率的に管理することが可能になれば3次元 CAD モデルの作成 に対しての時間を削減することができ,より生産性の低下を防 ぐことができるため,3次元モデルの検索に対しての需要が高 まることが期待される.3次元モデルの検索手法は数多く提案 されている.しかし多くはモデルの形状のみ反映した特徴量を 検索に用いている.アセンブリモデルは形状だけではなく,外 部形状が同じでも内部の部品に使用されている材質などの情報 や幾何学的な配置の違いがあるモデル存在するため,アセンブ リモデルの検索手法が必要となる.

我々は形状だけではなく、モデルに用いられる部品の材質や 幾何学的配置の違いといった内部構造情報を考慮した検索手法 を提案した.[1].部品の幾何学的な配置を識別するために複数の 視点から投影画像を生成し3次元アセンブリモデルの検索を行 うものである.まず3次元モデルを構成しているポリゴンメッ シュの情報を3次元配列に変換し格納する.そして、構成部品 ごとにユーザーが数値を重みづけする.この数値の付与により 部品の種類や配置の情報を含む3次元配列となる.次に複数の 視点から3次元アセンブリモデルの投影画像を生成する.この 投影画像から内部構造の情報を取得することができる.この投 影画像に対してラドン変換を行い、フーリエ変換を行ったもの を振幅スペクトルをとったものを特徴量とする.この特徴量を 用いてモデル間の類似度をユークリッド距離で計算を行うこと で高い精度で検索を行うことが可能となった.

しかし,構成部品が多い3次元モデルになると,モデル全体と 比べて非常に小さい部品を検索しなければならない場合や,構 成部品の材質の種類が増加する場合がある.構成部品が多いア センブリモデルを3次元配列に格納すると計算時間の増加とメ モリ使用量が不足する課題がある.また従来では,アセンブリモ デルの構成部品は事前にモデルやユーザによって構成部品の種 類の数値付けが統一されている場合が想定されており,使用さ れている部品の情報はユーザが与えた数値に依存するため,構 成部品の種類の数値付けが統一されていない場合にアセンブリ モデルの識別が難しいという問題点があった.したがって,事 前にモデルやユーザによって構成部品の種類の数値付けが統一 されている場合において,大規模で内部の細かな構成部品まで 識別可能な検索手法が必要となる.

本稿では、投影画像を 2 次元ラドン変換を行いサイノグラム を生成し、サイノグラムを動径方向に連結したものを用いた手 法を提案する.アセンブリモデルを構成する頂点データを用い て投影点ごとの構成部品の材質の種類ごとに投影画像を生成す る.次に、投影点ごとに生成した投影画像を 2 次元ラドン変換 を行って得たサイノグラムを動径方向に離散フーリエ変換を行 い振幅スペクトルをとり動径方向に連結する.そして、連結さ せたものを角度ごとに離散フーリエ変換を行い振幅スペクトル をとったものを特徴量として 3 次元アセンブリモデルの検索を 行う.これにより部品の付与する数値がユーザやモデル間で統 ーされていない場合に対して、アセンブリモデルの識別を可能 にした.GrabCAD [2] から選んだ 3 次元 CAD データを、形状 が同じまたは異なるデータ同士を複合し、これらを 1 つのアセ ンブリモデルとして定義したものを評価実験に用いる. データ ベースモデルは複合したアセンブリモデルの1種類のみ部品の 配置が異なる3次元 CAD アセンブリモデルを5種類用意し, 実験的な評価を行い性能を評価する. これにより構成部品の材 質の種類が従来より増加し,内部構造がより複雑化された人工 的なデータで実験を行うことが可能となった. 提案手法に対し て,部品の配置が異なるアセンブリモデルを5種類用意し,実 験的な評価を行い性能を評価する.

2. 関連研究

3次元モデルの形状をもとにした検索はこれまでに数多く 提案されている. Chen [3] らは3次元モデルを"Light Field Descriptor (LFD)"という特徴量から形状検索を行う方法を 提案している. LFD は3次元モデルを正二十面体の頂点からレ ンダリングし,得られたシルエット画像を用いて検索を行って いる. Wang [4] らは球面調和関数を用いて3次元モデルにおい ての回転に不変な特徴量を計算した. Panadakis [5] らは6つの 軸からの深さ画像に対してフーリエ変換を行った2次元特徴量 と球面調和関数を用いた3次元特徴量とを組み合わせたものを モデル全体の特徴量とした.立間[6] らはモデル面上にランダ ムな点をとり,その点群の主成分分析を検索の前準備として行 うことで,モデルの軸を決定し,その軸を利用した位置合わせで 検索を行っている.

3次元モデルの形状に注目した検索は多く提案されているが、 3次元モデルの内部構造や部品の材質情報,部品の幾何学的な配 置まで考慮した検索手法はあまり多くはない. Deshmukh [7] ら は3次元モデルの構成部品をグラフ化し、グラフの検索アルゴ リズムにより内部構造を考慮した検索手法を提案した.Hu[8] らは3次元アセンブリモデルを部品ごとに分解し、上記の LFD を特徴量として検索を行っている.三浦 [9] らは 3 次元アセン ブリモデルの構成部品間の接続関係をアセンブリグラフとして 表現し、内部構造を考慮した検索手法を提案した. Hu [10] ら は3次元アセンブリモデルを部品ごとに分解し、上記の LFD を特徴量として検索を行っている. Chen らは[11] はアセンブ リモデルの構成部品間の関係を階層グラフで表現し、形状につ いて "Assembly-bone" と呼ばれる,構成部品の重心を結ぶ線 で表現し、グラフ探索アルゴリズムを用いて内部構造を考慮し た検索手法を提案した. これらは3次元モデルの内部構造を識 別しているが、部品の材質情報や幾何学的な配置の違いまでは 考慮されていないので、我々が提案した手法とは異なる.また、 Li [12] らは SHREC14 と呼ばれるベンチマークを使用して検索 技術のパフォーマンスを用いて評価した. モデルの種類数は一 定数あるが、構成する部品数が少ないので本稿で用いるアセン ブリモデルとは異なる.

3. 提案手法

構成部品が多いアセンブリモデルを対象とした,アセンブリ モデルの構成部品の材質や幾何学的な配置を考慮した検索手法 を提案する.検索に用いるアセンブリモデルの形式はポリゴン メッシュであり,異なる形式で表示されている場合はポリゴン



	8 個	12 個	27 個	64 個
配置の座標	(w/4 +	(w/4 +	(w/6 +	(w/8 +
	[0, w/2], w/4 +	[0, w/2], w/4 +	[0, w/3, 2w/3], w/6+	[0, w/4, 3w/4], w/8+
	[0, w/2], w/4 +	[0, w/2], w/6 +	[0, w/3, 2w/3], w/6+	[0, w/4, 3w/4], w/8+
	[0, w/2])	[0, w/3, 2w/3])	[0, w/3, 2w/3])	[0, w/4, 3w/4])

表 1: アセンブリモデルを複合する際に用いる配置

メッシュに変換する.ポリゴンメッシュ自体には構成部品の材 質の情報がないためユーザが入力する必要がある.

3.1 アセンブリモデルの複合

ー般に内部構造が複雑なアセンブリモデルの場合, 内部構造 が単純なアセンブリモデルと比べて検索するのが難しい.した がって構成部品が多い3次元アセンブリモデルの検索手法が必 要となってきている.しかし構成部品の多いアセンブリモデル が少なく, 我々の研究室にはそういったモデルが今までなかっ た.本稿では, GrabCAD [2] から複数個の3次元モデルのポリ ゴンメッシュを用いることで,人工的に構成部品が多いアセン ブリモデル生成する手法を提案する.

本稿では GrabCAD [2] から同じまたは異なる 3 次元 CAD モデルを 2 × 2 × 2 = 8 個, 2 × 2 × 3 = 12 個, 3 × 3 × 3 = 27 個, 4 × 4 × 4 = 64 個で複合し,人工的に構成部品の多いアセン ブリモデルを生成する.図1 は複合したアセンブリモデルの概 要図である.提案手法は以下のような流れになる.以下の流れ では 8 個のアセンブリモデルを複合していく.アセンブリモデ ル k,l,m,n,p,q,r,sの頂点データを $v_k, v_l, v_m, v_n, v_p, v_q, v_r, v_s$ とする.3次元空間の一辺の大きさは w とする.

- k を構成している頂点データを保存している stl ファイル から v_k を取得する.
- (2) v_kからkの中心を計算し、アセンブリモデルごとに配置する座標に平行移動する.
- (3) モデル空間の一辺の長さが w/2 に合わせるため倍率を平
 行移動した k に反映させる.
- (4) 上記を *l*,*m*,*n*,*p*,*q*,*r*,*s* において行い総和する.

2 の場合においての配置する座標の決定は、図 1 に基 づき、K = (w/4, w/4, w/4), L = (3w/4, w/4, w/4), M =(w/4, 3w/4, w/4), N = (3w/4, 3w/4, w/4), P = (w/4, w/4, 3w/4), QQ = (3w/4, w/4, 3w/4), R = (w/4, 3w/4, 3w/4), S =(3w/4, 3w/4, 3w/4)と定義している. 図 2 がアセンブリモ デルを 8 個複合するときの概要図である. 8, 12, 27, 64 個を複 合するときの配置する座標は表 1 で示す.

これによりアセンブリモデル同士が重なることがなく複合す ることができる.しかし配置する座標の決定や, 複合したモデ



図 2: アセンブリモデルの複合方法



図 3: 投影

ル空間の中心から離れているので,検索前に保存されている姿 勢変化量によってモデル空間からはみ出す可能性があるので考 慮する必要がある.

3.2 3次元アセンブリモデルの特徴量

一般的に、3次元モデルの位置や向きはそれぞれ異なり、それ を正規化する手法にはいくつかの問題点が存在する.このよう な問題点を改善するには平行移動や回転に対して頑健な特徴量 が必要である.図3のような3次元 CAD モデルを3次元ボク セルモデルに変換し、それを投影点ごとに投影画像を生成し、得 られた投影画像に対して、2次元ラドン変換を行ったあと動径 方向に対して1次元フーリエ変換し振幅スペクトルをとり、そ の後偏角方向に対して1次フーリエ変換を行い振幅スペクトル をとることで平行移動や回転に対して頑健な特徴量を得ること ができた.しかし、構成部品の材質の種類ごとの数値の付与に ついて、ユーザーやモデル間で統一されていない場合、2つのア センブリモデルの類似度を計算する際に数値の正規化を行わな ければ、その数値によって検索の結果に影響を及ぼす.このよ うな場合を想定し、以下のような手法を提案する.

アセンブリモデル m とし, m の構成部品集合の1 要素である c_i の体積を V(c) とし, m の構成部品の材質の種類の数 を n と する. 球面座標系における2次元ラドン変換の角度をA とする.

- 投影点ごとに ci の投影画像を計算し、2次元ラドン変換を行いサイノグラム sino(ci) を n 個分すべて計算し sino(c1,..., cn) に格納する.
- (2) sino(c₁,..,c_n)を動径方向に離散フーリエ変換を行い振幅 スペクトルをとり, f(sino(c₁,..,c_n))に格納する.
- (3) f(sino(c₁,..,c_n))のそれぞれの A ごとに f(sino(c₁,..,c_n))の要素 e(c_n, A) を 2 乗し総和した結果の平方根を B(c_n, A)として格納する.
- (4) s(c_n, A) = e(c_n, A)/B(c_n, A) とし, s(c_n, A) を e(c_n, A) に 再付与する.

- (5) V(c) が小さいものから f(sino(c₁,..,c_n)) をソートし、動
 径方向に連結したもの f(sino(c_{s1}+...+c_{sn})) を生成する.
- (6) $f(sino(c_{s1} + ... + c_{sn}))$ を角度方向に離散フーリエ変換を 行い振幅スペクトルをとり, $f(f(sino(c_{s1} + ... + c_{sn})))$ に 格納する.

これにより $f(f(sino(c_{s1} + ... + c_{sn})))$ は構成部品の体積が 異なる場合においても特徴量を得ることができる.

3.3 特徴量の削減

本節では,特徴量の削減について述べる.本章では同一モデ ル検索に,サイノグラムをフーリエ変換したものを特徴量とし て用いている.フーリエ変換は,ラドン変換の動径方向と偏角 方向に行っているため,中心をピークとした2次元配列に変換 される.特徴量はピークから離れるほど値が小さくなり,検索 結果に対する影響が少なくなる.そこで,値の小さい高周波成 分を削減し,低周波成分だけを特徴量として用いることで特徴 量自体のデータ量が削減でき,検索精度を維持したまま類似度 計算時間を削減することができる.削除する配列数は特徴量の 配列数の半分とし,1回削減するたびに2次元配列を大きさが 1/4になるように高周波成分を取り除いた.今回は提案手法と 後述する比較手法,ともに4回特徴量を削減している.

3.4 3次元 CAD アセンブリモデルの類似度

アセンブリモデルの特徴量は2次元配列として表されている. 2次元配列をユークリッド空間のベクトルとし,2つのベクトル のユークリッド距離を計算し,これを類似度とする.本論文は, 2つのアセンブリモデル間の類似度を以下のように計算する.

ユーザやモデルによって構成部品に付与する数値が統一され ていない場合には、その数値によって共通の構成部品を検索す ることは難しいため、後述する従来手法では、2つのアセンブリ モデルの類似度が一致する可能性のある、それぞれの構成部品 をすべて計算する必要があった.しかし、提案手法では投影点 ごとにすべて構成部品の材質ごとのサイノグラムを生成し一つ にするのでユーザやモデルによって構成部品に付与する数値が 統一されていない場合においても同じ特徴量を得ることができ るため、アセンブリモデルの投影点ごとの類似度計算を行い、最 小となるものをその投影点の類似度とし、投影点ごとに出た類 似度を総和したものを最終的な類似度とする.

4. 評価実験

表 2: 複合するアセンブリモデルの概要と構成部品の種類数

	8 個	12 個	27 個	64 個	
アセンブリモデル	Clutch1,	Clutch1 \cdot 2,	$Clutch1{\sim}4,$, Clutch1~8,	
	Die1,	Die $1 \cdot 2$,	$Die1 \sim 4$,	$Die1 \sim 8$,	
	Gear1,	Gear1 · 2,	$Gear1 \sim 4$,	$Gear1 \sim 8$,	
	Mold1,	Mold1 \cdot 2,	Mold1 \sim 3,	Mold1 ~ 8 ,	
	Hydraulic1,	Hydraulic1,	Hydraulic1	Hydraulic1	
	Steam-	Steam-	~ 3 ,	~ 8 ,	
	Trap1,	Trap1,	SteamTrap1	SteamTrap1	
	Swash1,	Swash1,	~ 3 , Swash1	~ 8 , Swash1	
	Turbine1	Turbine1	~ 3 ,	~ 8 ,	
			${\rm Turbine1}{\sim}3$	Turbine $1 \sim 8$	
構成部品の種類数	40	60	135	320	





図 6: 複合したモデル

我々は、提案手法について、複合したアセンブリモデルの1 種類のみ部品の配置が異なるアセンブリモデルを用いて実験的 評価を行った. 複合するアセンブリモデルは, GrabCAD [2] か ら選んだ、様々な部品を持つ図4に示したようなClutch, Die, Gear, Mold, Hydraulic, SteamTrap, Swash, Turbine の 8 種 類を用いる.本論文ではアセンブリモデルを 8, 12, 27, 64 個を 複合したアセンブリモデルを用いるので、8個のときはすべて のアセンブリモデルを1個ずつ存在し、12個の時ははClutch、 Die, Gear, Mold が複合したアセンブリモデルに2個ずつ,他 のアセンブリモデルは1個ずつ存在し、27個はClutch、Die、 Gear が4個,他のアセンブリモデルが3個存在し,64個のとき はアセンブリモデルには8種類すべて8個存在している. 複合 するアセンブリモデルの1個あたりの構成部品の材質の種類は 5 種類なので,8 個のときは40 種類,12 個のときは60 種類,27 個のときは 135 種類, 64 個の時は 320 種類となる. 表 2 は複合 するアセンブリモデルの概要と構成部品の材質の種類数を示し ている.図6が8種類のアセンブリモデルを複合したアセンブ リモデルの図6となる.

クエリとして与えられたアセンブリモデルをクエリモデル と呼び、クエリモデルと比較するデータベースモデルと呼ぶ. データベースモデルは Clutch が複数個ある内の1個について のみデータベースモデルごとに部品の異なり、他の複合された

表 3: 識別する Clutch モデルの構成

構成部品の種類	タイプ 1	タイプ 2	タイプ 3	タイプ 4	タイプ 5
label 1	1,2,3	1,2,3	1,2,3	3,5,6	2,4,6
label 2	4,5,6	4,5,6	4,5,6	1,2,4	1,3,5
label 3	1,2,6	3,5,6	2,4,6	1,2,6	1,2,6
label 4	3,4,5	1,2,4	1,3,5	3,4,5	3,4,5
label 5	1	1	1	1	1

(a) Clutch



(e) Hydraulic



(f) SteamTrap (g) Swash

図 4: 使用したモデル

(h) Turbine

アセンブリモデルはデータベース間の部品の配置は同じである. よってデータベースモデルは 8, 12, 27, 64 個複合したアセンブ リモデルの 4 種類に Clutch1 の部品が異なるタイプ 1 からタイ プ 5 までの 5 種類, 計 20 個のアセンブリモデルを用意した. 図 5 は Clutch モデルにおいての部品の配置を示しており, タイプ ごとに配置が異なる.また,同じ色はそれぞれ同じ材質の種類 の部品であることを示している.表 3 は識別する Clutch モデ ルの構成について表している. 識別する Clutch の構成部品の 材質の種類を label1, label2, label3, label4, label5 の 5 種類と している.データベースモデルは 1 個の Clutch の部品の配置 が異なるパターンを 5 種類用意し, それぞれにランダムに平行 移動と回転を加えている.クエリモデルは 10 種類用意し, デー タベースモデルのタイプ 1 と部品の配置が同じであり, クエリ モデルに対してもランダムに平行移動と回転を加えている.

投影画像サイズは複合するアセンブリモデルが 8, 12 個は 1200×1200, 27 個は 1536×1536, 64 個は 2048×2048 として おり, データベースモデルの投影枚数は 162, クエリモデルの投 影枚数は 12 で評価実験を行う.本論文では, MATLAB 2017b を Windows 10 Enterprise 64bit 上で使用し, 4.00GHz Intel Core i7-6700K プロセッサ, 32GB RAM のコンピュータで計 算を行った.

4.1 比較手法

千田 [13] らが用いた部品を強調した投影画像を特徴量として 用いた検索を行う.アセンブリモデル投影画像は提案手法と同 じ3次元 CAD モデルのポリゴンメッシュを用いて生成する. 比較手法の特徴量計算の流れは以下の通りになる.

アセンブリモデル m の体積を V(m) とする. 同様に m の構 成部品である c の体積を V(c) とし, $V(m \setminus c)$ を構成部品 c を除 く m の体積とする. このとき, 構成部品 c についてラベルが再 付与されたアセンブリモデル m(c) の各要素の値は以下の通り に与えられる. 球面座標系における 2 次元ラドン変換の角度を A とする.

- mの構成部品である c に対して,体積の逆数である 1/V(c) をラベルとして再付与する.
- (2) c を除いた全ての部品集合に対して、体積の逆数である 1/V(m\c)をラベルとして再付与する.
- (3) これら以外の要素には0を付与し部品を強調した投影画像
 vp(m(c))を生成する.
- (4) Aのそれぞれの角度からvp(m(c))に対して2次元ラドン 変換を行いr(vp(m(c)))に格納する.
- (5) r(vp(m(c))) に対して動径方向に離散フーリエ変換を行い、
 振幅スペクトルをとり f(r(vp(m(c)))) に格納する.
- (6) f(r(vp(m(c)))) に対して角度方向に対しても同様に、離散フーリエ変換を行い振幅スペクトルをとり f(f(r(vp(m(c))))) に格納しこれを特徴量とする.

この特徴量をそれぞれのクエリモデル, データベースモデル



24 個のときの従来主任 図 7: 検索手法の平均類似度



図 8: 構成部品の種類数による正解率への影響

で生成し、これらを用いて類似度計算を行う.類似度計算は構 成部品の材質の種類ごとに行い、クエリモデルある構成部品の 材質の1種類とデータベースモデルのすべての構成部品の材質 の種類間のユークリッド距離を求め、最小となるものを構成部 品の類似度とし、このとき用いたデータベースモデルの構成部 品は次から類似度計算には用いらないことにする.最終的に構 成部品の類似度を総和したものをモデル間の類似度とする.

4.2 構成部品の種類数による類似度への影響

本稿では,構成部品の材質の種類数による類似度への影響を 提案手法と比較手法を実験的に評価し比較した.またここで,球 面座標系における2次元ラドン変換の角度を180とする.

図 7 は複合するアセンブリモデルが 8, 12, 27, 64 個のとき の平均類似度, 図 8 は構成部品の種類数による正解率への影響,





図 10: メモリ使用量

図9は複合するアセンブリモデルが8,12,27,64 個のときの 検索における計算時間を示している.図8の横軸のaは従来手 法, b は提案手法を示している. データベース間の一番非類似度 が小さいものを正解モデルとする.本実験においての正解率は, クエリモデルの集合を Query とし、Query に含まれる、クエ リモデルを q とする. 正解率は以下の式で表される.

q と最も類似度の高いデータベースモデル内の $q \in Query$: モデルが q と同じ種類, タイプであるモデル 正解率 = -| Query | (1)

ここでは、クエリモデルの集合である Query の要素数を |Query| としたときに、|Query|=10 である. 従来手法では複合したア センブモデルが 64 個の時タイプ4 が検索結果となり識別でき なかったのに対して、提案手法はすべての複合したアセンブリ モデルにおいてタイプ1が検索結果となり部品の配置が異なる アセンブリモデルにおいて、構成部品の材質の種類が増加して も識別することができた. 正解率は, 従来手法は 8, 12, 27 個に 関しては正解率80%と精度を維持することができたが,64 個複 合したアセンブリモデルは正解率が40%と低下した.これは同 じ体積をした構成部品が数多く存在するため,構成部品の材質 の種類ごとの対応付けが正しく行えなかったからである.一方 提案手法は,8個のとき100%,12個のとき90%,27,64個のと きは 80%と提案手法以上の検索精度を出すことができた.

検索の処理時間は投影画像の計算時間が最大 70%削減するこ とができ、特徴量計算は最大 75%削減できた. これは従来手法 における部品を強調した投影画像を計算する時間が大きかった ため、このような結果になった. また、特徴量計算は構成部品ご との計算回数を削減することができたため計算時間を削減する ことができた.また、類似度計算においては構成部品の材質の 種類ごとの計算を行わずに投影点ごとのみの計算を行えたので 計算時間を削減することができた.

また,図 10 は従来手法において投影画像を 256 × 256 × 256 の3次元アセンブリモデルのボクセルモデルから投影画像を生 成するときのメモリの使用量と、提案手法において投影画像を 3次元モデルのポリゴンメッシュから生成するときのメモリの 使用量を表している. ボクセルモデルでは本稿で用いたモデル サイズの場合、メモリ使用量がポリゴンメッシュと比べて非常 に大きいため、構成部品の多いアセンブリモデルを対象とした 同一モデル検索には不向きである.提案手法は1枚における投 影画像サイズと構成部品の材質の種類数においてのみメモリ使 用量に依存するので、特徴量計算全体のメモリ使用量を削減す ることができた.

結論と今後の課題

本稿では、投影画像を2次元ラドン変換で求めたサイノグラ ムに動径方向の離散フーリエ変換の振幅スペクトルをとった後, 構成部品の材質の種類ごとの体積が異なるので振幅スペクトル の要素の正規化を行い、振幅スペクトルを構成部品の材質の種 類ごとの体積順にソートしたものを動径方向に連結した.っそ の連結したものを角度方向に離散フーリエ変換の振幅スペクト ルをとったものを特徴量を用いて,構成部品が多いアセンブリ モデルを対象とした同一モデル検索手法の提案を行った. 我々 は, 従来手法と提案手法の評価に4種類の構成の多いアセンブ リモデルに対して、複数個ある Clutch の1個のみ部品の配置が 異なる5タイプのモデルをデータベースモデルとして用意し, 実験結果から提案手法の有効性を示した. 今後の課題としては、 実用化にむけて、より構成部品の多いモデルにおいての検索の 精度検証と,投影時間や特徴量計算の効率化が必要となる.

文 献

- [1] K. Katayama and T. Sato. Matching 3d cad assembly models with different layouts of components using projections. IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E98-D, pp. 1247–1250, 2015.
- [2]Grabcad.http://grabcad.com/library.
- D.Y. Chen, X.P. Tian, Y.T. Shen, and M. Ouhyoung. On [3] visual similarity based 3d model retrieval. Computer Graphics Forum, Vol. 22, pp. 223-232, 2003.
- [4] Panagiotis Papadakisa, Ioannis Pratikakis, Theoharis Theoharis, Georgios Passalis, and Stavros J. Perantonis. 3d object retrieval using an efficient and compact hybrid shape descriptor. Neurocomputing, Vol. 194, p. 183191, 2016.
- [5] Panagiotis Papadakis, Ioannis Pratikakisa, Theoharis Theo-

haris, Georgios Passalis, and Stavros J. Perantonis. 3d object retrieval using an efficient and compact hybrid shape descriptor. *Eurographics Association*, p. 916, 2008.

- [6] 立間淳司, 関洋平, 青野雅樹. 多重フーリエスペクトル表現に基づく三次元モデルの形状類似検索. 電子情報通信学会論文誌, Vol. J91-D, p. 2336, 2008.
- [7] Abhijit Deshmukh, Ashis Gopal Banerjee, Satyandra K. Gupta, and Ram D. Sriram. Content-based assembly search: A step towards assembly reuse. *Computer-Aided Design*, Vol. 40, p. 244261, 2008.
- [8] K.M. Hu, J.H. B. Wang, and J.C. Paul Yong. Relaxed lightweight assembly retrieval using vector space model. *Computer-Aided Design*, Vol. 45, pp. 739–750, 2013.
- [9] 三浦岳,金井理.3次元モデルのアセンブリ構造を考慮した類似 検索(第3報).精密工学会学術講演会講演論文集, Vol. 2010S, pp. 153–154, 2010.
- [10] K.M. Hu, J.H. B. Wang, and J.C. Paul Yong. Relaxed lightweight assembly retrieval using vector space model. *Computer-Aided Design*, Vol. 45, pp. 739–750, 2013.
- [11] Xiang Chen, Shuming Gao, Song Guo, and Jing Bai. A flexible assembly retrieval approach for model reuse. *Computer-Aided Design*, Vol. 44, No. 6, pp. 554–574, 2012.
- [12] Bo Li, Yijuan Lu, Chunyuan Li, Afzal Godil, Tobias Schreck, Masaki Aono, Qiang Chen, Nihad Karim Chowdhury, Bin Fang, Takahiko Furuya, Henry Johan, Ryuichi Kosaka, Hitoshi Koyanagi, Ryutarou Ohbuchi, and Atsushi Tatsuma. Shrec' 14 track: Large scale comprehensive 3d shape retrieval. *Eurographics Workshop on 3D Object Retrieval 2014 (3DOR 2014)*, pp. 131–140, 2014.
- [13] 千田伸男, 佐藤拓実, 片山薫. 部品を強調した投影画像による 3 次元モデルの検索手法とその実験的評価. データ工学と情報マネ ジメントに関するフォーラム, pp. E5-2, 2016.