

アート系コンテンツ制作のための 3D スキャナー活用方法の研究

熊谷 武 洋

Study on 3D Scanner Application Method for Content Creation in Art Workshop

KUMAGAI Takehiro

(Received September 29, 2017)

1. はじめに

近年、3Dプリンタやデジタル加工機の普及に伴い、デジタル・ファブリケーション化が促進されファブラボをはじめとする多種多様なデジタルクラフト工房が設立されている。そうした工房において、それらの機器を活用したワークショップが数多く実施されているが、3Dスキャナー活用したワークショップは実施事例が少ない。その理由としては、工作としての最終的な成果を想定しにくく、かつ扱いの難度が比較的高いということが挙げられる。そこでアート系ワークショップでの活用を前提として安価かつ簡便操作にてアート系作品制作を展開するための基本フローを検討することを企図した。

従来、3Dスキャナーは高価な業務仕様のものが主流であったが、PrimeSense社のセンサーを搭載したKinect等の発売により、比較的安価かつ簡便に物体の標準化が行えるようになった。計測精度的には多くの改善点が残るものの、アート表現としての可能性は十分にあると考え、アート系ワークショップの手段として期待できる。そこで、本論では主として深度センサーを搭載した3Dスキャナーについてベンチマークを行った。タブレット装着型とゲームインターフェイス転用型の3Dスキャナー3種類に加え、比較として写真計測型の3Dスキャンについて用途別の最適化や使用感を評価した。その結果、実用性としてはゲームインターフェイスの転用型の3Dスキャナーおよび処理ソフトウェアが高く、運用展開としてはタブレット装着型が高いことがわかった。そして、これらの結果を踏まえたうえで最もそれらを効果的に活用する応用作品2点を制作した。

2. 試用した3Dスキャナーについて

3Dスキャナーの型式や種類は様々な形式がラインアップされているが、その中で主なものを示す(図1)。今回試用したスキャナーの種別は、主としてアクティブ

ステレオ法のパターン光に区分されるものである。次に特性についてそれぞれ述べる。

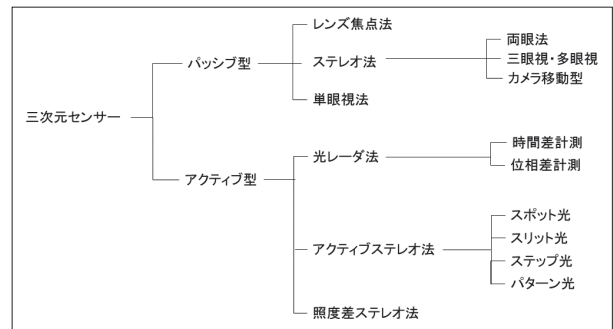


図1 3次元画像計測技術の区分

2-1. Kinect for Windows V1

2010年にマイクロソフト社より発売されたゲームコントローラーであり、身体動作によって直感的にゲームプレイする実売2万円以下のNUIの一種である。赤外線ドットパターンを投影するプロジェクターと、物体に投影されたドットパターンを読み取る赤外線カメラで構成されている(図2)。

赤外線プロジェクタからは、波長850nm以上の約30,000点のランダム・ドット・パターンが投影される。それらを赤外線カメラで受光し、各点毎に高速処理することにより、距離や形状を計測することがKinectの基本処理過程である。投影点から物体までの距離や形状によって、物体の上に映るドット・パターンの形や間隔が変化する。この変化の度合いや差分を逆算して物体までの距離や形状を再現するということが、Kinectの原理とされている。これらの概要をCGの模式図で示す(図3)。

もちろん、実際の処理過程は更に複雑であり、ドット・パターンにも距離に応じて数種類があるとされ、この技術は開発元のPrimeSense社の特許となっている。詳細については公式にはオープンにはなっていないようであるが、これらの基本原理と仕様から、ある程度の特

性や適性は把握できる。想定されることとしては、次のとおりである。

- 屋外等の直射の自然光が大量に差し込む場所では、日光に含まれる赤外線ドット・パターンが正確に検出できないので、使用ができない
- 鏡や金属など、反射率が高すぎる物体や髪や黒で染めた衣服など吸収率が高い物体、ペットボトル等透過度の高い物体は正確に測距できない
- 液体や流動体など個体でない物質や、動物や振動する機械など静止できない物体は、ドットパターンが安定しないので、使用できない

実際に試験したところ予想通りの結果となった（図4）。ただし、これらの特性を逆手にとった予想外の使用方法も検討していきたい。なお本体は、ゲーム用途のため内部に角度調整などの小型モーターが内蔵されているため電源はACアダプターからの供給となる。



図2 Kinect for Windows V1

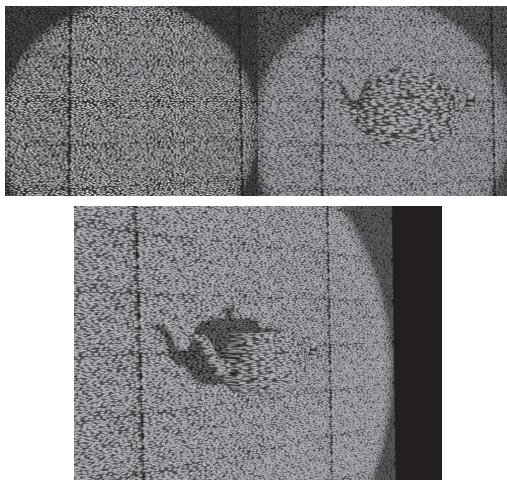


図3 投影されるドット・パターンが物体によって変形



図4 原理上、計測不良を起こしやすい対象物

2-2. Kinect for Windows V2

2014年にV1の後継機としてマイクロソフト社より発売されたゲームコントローラーであり、身体動作によって直感的にゲームプレイするNUIの一種である（図5）。V2はV1とは異なるTOF（Time of Flight）方式のセンサーを搭載している。TOF方式のセンサーはかつて20万円以上の高価なセンサーモジュールであったが、当該製品は実売3万円程度で販売されている。

TOF方式は、その名の通り光の到達時間の違いによって測距を行うものである。変調された赤外線光を投射してイメージセンサで物体から反射した光を読み取る。その際、変調された位相の遅延を計測し、往復に要した時間から物体までの距離を画素毎に算出するものである。

ただし、計測可能が鏡や金属などの反射率が高い物体では距離がうまく測れないが、形状のセンサリングはV1に比し精度向上が図られている。

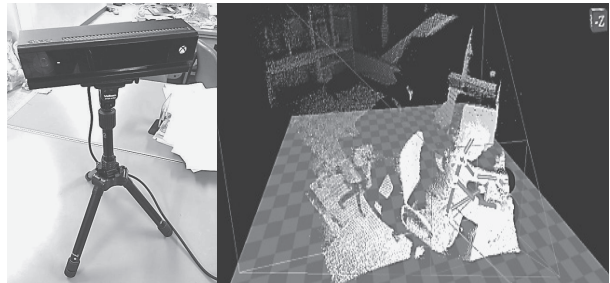


図5 Kinect for Windows V2

2-3 Xtion PRO LIVE

2011年にASUS社より発売されたゲームコントローラーであり、身体動作によって直感的にゲームプレイするNUIの一種である（図6）。基本仕様はV1と同様でありPrimeSense社製のセンサーチップを搭載している。実売もV1同様3万円以下で購入が可能である。大きな差異は、チルトモーターがなく、音声方向の取得ができない。しかしながら、Kinectは外部電源が必要なのに対して本機はUSBバスパワーのみで動作する。この点はスキャン作業時においては大きな利点と言える。



図6 Xtion PRO LIVE

2-4. iSense

iPad本体にアタッチメントする形で装着する。筐体内部には、Apple Primesense Carmine 1.08が搭載されており、センサーチップ性能は実質V1相当である（図7）。

テクスチャ画像取得のためのRGBカメラは、iPad本体のカメラを転用するために解像度が高い。

価格は定価 6 万円程度であるが、実売価格は半額以下である。処理ソフトウェアが同梱されており、3 ステップで作業展開をするというタブレットらしい簡潔で簡便な仕様であるが、プロジェクト単位の保存ができないため、スキャンと同時に汎用 3 D ファイル化せねばならず、そのファイル転送もiTune経由のみであるため、他ソフトウェアとの連携性は優れていない。しかしながら、そうした制約を上回る運用性と可搬性を有している。



図7 iSense

2-5. VIVID910

山口県産業技術センターに導入されているコニカミノルタ製非接触 3 次元デジタルVIVID910を対照比較した。VIVID910はレーザービームによる光切断方式を採用した高速な 3 D スキャニングシステムである(図8)。本体は400万円であり、これにハード制御用ソフトとスキャンデータ処理ソフトを含めると600万程度の価格になる。測定方式は三角測量・光切断方式でレーザービームによる光切断方式によりスリット状のレーザー光で入力対象をスキャンし、その反射光をCCDカメラで受光し、三角測距の原理で被写体との距離情報を得て、三次元データ化している。一回のスキャンで640×480点の計測を行い、また、距離データだけでなくカラー画像データも入力することができ、受光データを回転フィルタで分光することで、距離データと同一CCDにより640×480点のカラー画像データを得ることができる。

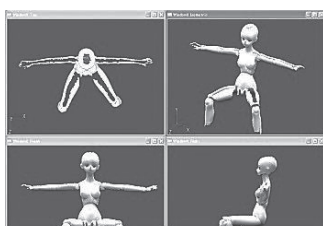


図8 VIVID910

2-6. Autodesk 123DCatch

比較検討としてAutodesk社のフォトグラメトリー写真計測技術である123D Catchによる実験も併せて行った(図9)。現在では名称が変更され、改良ベータ版のMementoを経由し、正式版として2016年にRemakeとしてリリースされている。

特別な機器や高性能PCは必要なく、デジタルカメラだけがあればよい。対象物を中心に、画角を60%以上オーバーラップして撮影を行う。通常はハイポジション、ノーマルポジション、ローポジションの3方向から24度間隔で15回、合計45枚程度の写真を撮影し、それらのデジタル写真のファイル群をネットにアップロードし、クラウドサーバへ転送する。サーバによる特徴点の抽出から点群化、メッシュ化された後、STLファイルやOBJファイルとして出力結果がサーバ側から渡される。このように基本処理はサーバサイドで行うため、クライアントはPCでもタブレットでも環境依存がないのが利点である。しかしながら、写真ベースであるため、簡便かつ手軽ではあるが素材となる写真の精度に左右されるため、高い精度を求めるなら、対象の撮影環境には入念な準備や環境設定が必要となり、変化しない背景空間内で安定した光源等が求められる。

サーバからの応答も高速ではなく平均20分から30分程度の待ち時間が発生するためフローとしては分かりやすいが、現時点でのサービス品質では即時性を求められるワークショップやイベント向けではない。



図9 123D Catch

3. 後処理ソフトウェア

3 D スキャニング成果の良し悪しはセンサー自体の精度や機能性能だけでなく、計測したデータ処理を行うためのソフトウェア性能・機能と不可分である。空間上の特徴点を捉えた点群情報からメッシュに変換して最終的な形状にまで成形する処理過程を行うのがこうした後処理ソフトウェアである。今回試用した後処理ソフトウェアについては以下のとおりである。

3-1. Microsoft 3DScan 3DBuilder

Kinect 1、V2に対応し、WindowsOSに付属するツールである。ハンドヘルドモードという機能があり、オンの場合にはスキャン本体側が対象物を周回してスキャンし、オフの場合にはスキャン本体を固定しターンテーブルを用いて回転する対象物をスキャンするというように用途別

に形状認識の処理過程を選択できる。精度を妥協しつつもリアルタイムでサーフェスを形成し、スキャン後にメッシュが形成され、形状色は頂点カラーとして処理するというものである(図10)。形状の編集は汎用3DフォーマットであるOBJで出力、別途3D Builderや他3Dソフトにて行うという工程となる。

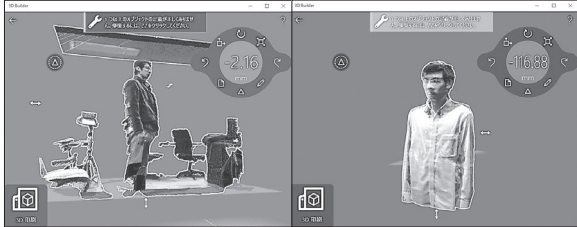


図10 Microsoft・3DScan 3DBuilder

3-2. ARTEC STUDIO 9.0

価格は代理店価格で9万円と高価であり、最低動作PCも、GPU実装、メモリ16GB以上といったハイスペック仕様のものに限られる。KinectV1、XTionに対応しており、毎秒30フレームで画像と深度情報を取得し、それらを一旦プロジェクト化してから、特徴点を抽出、COREi7相当CPUで30分以上をかけて立体構造を構築する(図11)。スキャナー自体の性能を鑑みれば、最大効果を発揮するものの、精度重視の設計のため、スキャンから形状化まで最短モードでも20分は必要とするため、即時性は低い。ただし、精度が低減するもののリアルタイムメッシュモードがあるため軽作業や事前確認、ワークショップなどのような即時性を求められる用途にも対応できる。

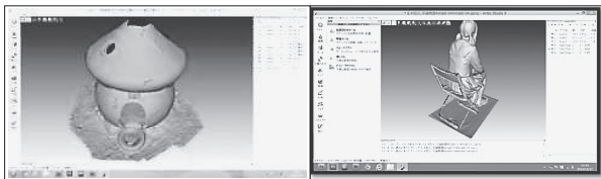


図11 ARTEC STUDIO 9.0

3-5. iSenseアプリ

スキャナー専用のアプリである。そのため使用感が高く処理内容も最適化されている。スキャナーの認識やキャリブレーションは精確で、動作速度も体感上比較的早い。リアルタイムメッシュであるため精度的には相当であるが、スキャナー本来の計測精度を鑑みると速度と精度のバランスが図られている(図12)。タブレット本体のカメラを色情報取得のために使うのでテクスチャー解像度が高い。ただし、前述したとおり計測後取得したデータ群はプロジェクト化されないため、基本的に1テイク、1ファイルという工程になる。つまり、即時メッシュ化され、その後アプリ内で編集、最終的な

ファイル出力は汎用3DフォーマットによるOBJファイル出力のみという仕様である。これを簡便と捉えるか、単純と捉えるかは運用目的によって異なる。

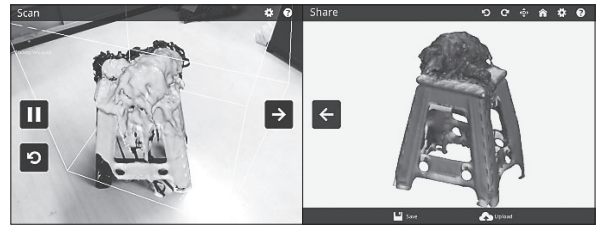


図12 iSenseアプリ

3-3. VIVID910専用ソフトウェア

スキャナーに付属した専用処理ソフトウェアであるためスキャナーの制御機能も併せ持つ。本来、プロダクトエンジニアリング用途の機器であるために、業務用途の複雑な機能が多く網羅されているものの、即応性や利便性は考慮されていないインターフェイスである(図13)。あくまで今回の試用は比較対照として行った。

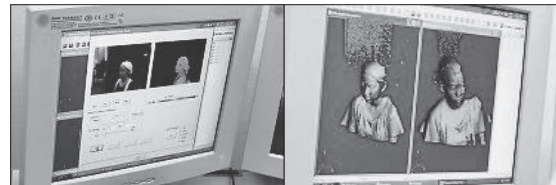


図13 VIVID910専用ソフトウェア

4. 評価作業

次に、ARTEC STUDIO 9.0とXTion、3D BuilderとKinectV2、iSenseと専用アプリ、VIVID910と専用ソフト、123DCatchという組み合わせでそれぞれの項目の評価を行った。

アート系コンテンツ制作が目的であるため、評価の観点や項目としては以下を定めた。

- 設置、運用展開の準備に30分以内
- 操作系が簡便であり、事前修得のトレーニングは30分以内
- LED簡易照明下において対象計測計測で80%程度の計測データ充足度
- 精度よりも即応性能とユーザビリティ性優先
- ポスト処理から成形まで120分以内

4-1. 物理的運用面

Kinectはコンソールゲーム用のインターフェイスであるために、据え置きが前提である。よってケーブルレスといった点はあまり考慮されていない。そのため、センサーの角度調節用にモーターなどが内蔵されており電力を多く消費するため、ACアダプターが必須である。

XtionのようにUSBケーブルから電源を供給する型の

方がスキャン時の自由度がよい（図14）。

iSENSEはタブレットに装着するため、軽量で意図した場所にセンサーを向けやすいものの、iPad miniでは小型であるため、逆に自由な角度へ向ける微修正が若干困難になるため、iPad Air以上の大きさが適切であることがわかった。

結果としては、電源ケーブルレスでUSBケーブル接続のみのXTionとSENSEが実用性としては選択できる。V1は取り回しができないが、Xtionは可能なので、あらゆる角度から随意にスキャンが可能であり、結果的に情報を計測取得できる範囲に大きな影響を与えることになる。よって運用自由度は精度以前に重要な要素であると言える。



図14 スキャナーの運用とりまわし

4-2. データ精度

スキャンのモチーフは、本来は同一対象同一条件が望ましいのであるが、基本的には人物をモチーフとし、撮影条件もほぼ同じであるため、比較検討としては充分であると判断し、モチーフとなる人体は複数人にわたる。

ARTEC STUDIO 9.0とXTionは、テクスチャーなどが照明環境条件に左右されやすく、照度が低いとテクスチャーだけではなく形状取得において欠損部分が40%出ることもあった。しかし、連動ソフトウェアの性能がよく、処理に30分以上必要とするが、ワークショップやイベント用途にはタイムメッシュモードとの併用が運用上、解消できると考えられる（図15）。

ただしV1については電源ケーブルがあるために、ターンテーブルを用いた小型の物体が計測対象となり、人間のように大型かつセンサーから遮蔽される領域が多く含まれる物体においては実質、計測ができない。その点、XTionは本体だけを自在に動かすことが可能であるため、センサー角度を調整しながら未計測領域を低減できる。

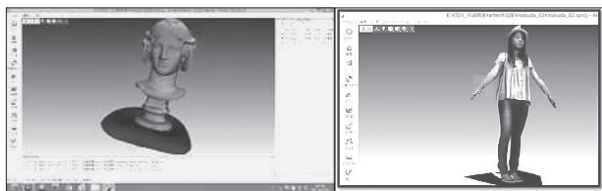


図15 ARTEC STUDIO 9.0とXTionの結果

V2については、大変精度は高く、テクスチャー情報

がなくとも、頂点カラー情報のみで、詳細な形状が識別できる（図16）。

TOFであるために、照度の低い空間でも表面形状自体の情報は計測できるのは利点であるが、露出がロックできないので、照明条件や対象の反射率によってテクスチャー情報が大きく変化する。そしてV1同様さらに筐体が大型になり実質固定してのターンテーブルでの利用が前提となる。手軽であるように見えるが、操作に慣熟する必要があり、実際には実用性は低いと判断した。

今回は、LED照明を用意して上方に向かって照射し反射光によって照射した。このことにより露出が安定してテクスチャーの精度が向上したが、処理全般が遅く即応性に欠け、インターフェイスの完成度も低く視認性に欠ける。ハード性能としての可能性は高く、高品質な後処理ソフトウェアとの組み合わせにおいては潜在性能を發揮しうる余地はあるが、取り回しが実質不可能なので、今回の用途に照らした場合、不向きという評価となった。

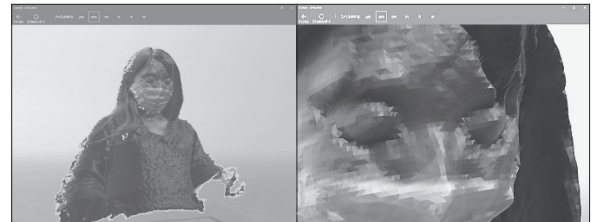


図16 3D BuilderとKinectV2の結果

iSenseは、前述したとおり、精度とテクスチャーのバランスがよくアート系ワークショップのようなイベント目的に合致している。しかし、プロジェクト保存ができず、編集がポスト処理のみである。

仕様上、iTUNEを経由せねばならないので、ファイルの移動転送に多くの手間が必要である。加えて処理速度は装着するiPadの性能に左右されるので、最低限Air相当の機種が必要になる。計測され生成されるオブジェクト精度は相対的に高くとも、他スキャナーに比するとメッシュの最適化等のアルゴリズムに改良の余地があり、見たままの形状をそのまま取得という用途には不向きであった（図17）。ワークショップイベントには最適であるが、アート系作品を作るための手段として捉えた場合は、メッシュデータの精度が若干実用に満たないという評価となった。

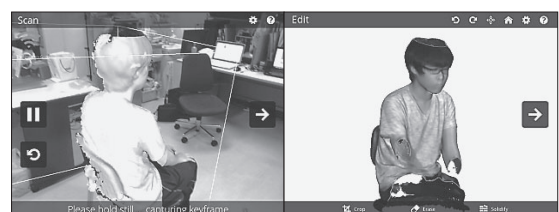


図17 iSenseと専用アプリの結果

VIVID910はレーザーを用いるため、髪の毛など黒いものは原理的に取得できない。また目全体を保護しなければならないために開眼した状態でのスキャンはできない。今回の目的としては合致しない欠点であると言える。

計測ピッチが精細なのは目視でも確認ができる程度にゲームコントローラーを転用した深度センサーとは異なる高い精度を有している(図18)。しかし、運用自由度に制限があり、処理環境も特殊であるため、本来用途ではなく今回の用途に照らした場合、不向きであるという評価となった。



図18 VIVID910と専用ソフトの結果

123DCatchについては、撮影場所である大学校舎内の光源が安定する日陰の領域で25枚程度の写真を撮影して処理した結果である(図19)。サービス自体が試験的な運用ということもあり、精度は多くを期待できない程度となった。しかし、導入コストや簡便さにイベントに適しており利用目的によっては有用性の高い選択の一つではある。フォトグラメトリによるモデル化は今後検証していきたい。

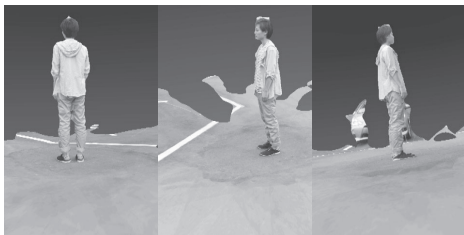


図19 123DCatchの結果

このことから、XtionとARTEC Studioという組み合わせが今回の目的には合致していることが分かった。

ソフトウェア調達コストが若干かかってしまうという点を除くと、マルチユースで多方面に運用でき、結果的にはコストパフォーマンスが最も高い組み合わせであると言えよう。

5. 実制作

これまでを踏まえ、最終的な試験として、XtionとARTEC Studioという組み合わせで、どの程度の実証作品が応用制作できるか、その特性や特徴、性質、制約、制限等を勘案し非具象と具象という大きく異なる2つの方向性から次の2点の作品を制作した。

5-1 芸術科学会表紙

非具象的題材作品として作品制作を試みた。作品のモチーフを人体とし、標本化によるリアルな実在性と作り手の想念という非実在性という相反的な要素を揚棄して前衛芸術的な造形美を創出することを企図した。

過度にポスト処理を加えると、もはやそれはモデリング行為そのものであり、標本化による生の実在性が殺がれてしまうと考え、ポスト処理は基本一段のみと前提した。必然的に標本化するポーズと選定するポスト処理の組み合わせの適度によって作品の完成度が左右される。組み合わせの最適化については、アート作品制作という位置付けから、作り手本人の感性に依存し、いくつかの試行錯誤を行って今回の成果となった。本作品は、片足を折り曲げて座っているポーズを標本化し、球状化処理を一段加えたものである(図20)。

処理過程自体は最小限であるが、上半身が対称で下半身が非対称となるようなポージングを施し、球状化処理が最大効果となるような値と効果基点を探ることにより、単純な処理過程からは予想しにくい非線形な成果を得ることができた。こうした単純なポージングは、再現が容易であり、一般的であるため、ワークショップでの活用展開が期待できる。なお本作品は、芸術科学会誌DiVA38号表紙として採用された(図21)。

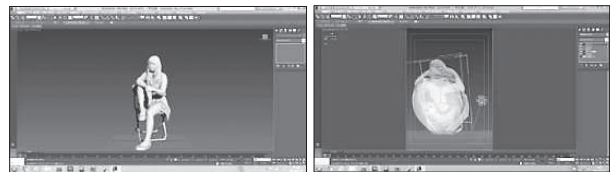


図20 立膝姿の計測データと球状化処理

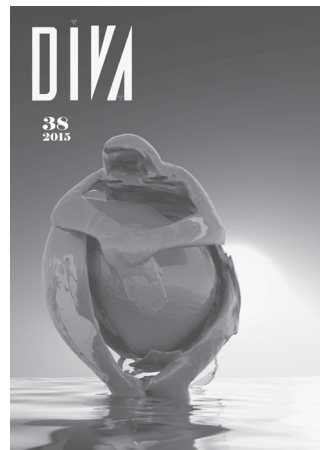


図21 「一所に座して揚棄する人」

5-3 タナトスとの闘い

具象的題材作品として制作を試みた。前述したとおり、深度センサーは原理上、安定した静止状態しか計測できない。しかし、ダイナミックな人体の動きを表現したいと思い、単体の標準形状からバリエーションを生み出すためスキャン後のモデルにリグ構造を組み込んだ(図22)。そして、人体挙動を標準化したモーションキャプチャーを適用し、手付けで行った動きと組み合わせ躍動感を醸した。動く彫刻感を表現するために表面質感はあえて無機質かつ低反射質に設定した。加えてアクセントとして、身体の周囲にプロシージャルによって植物のつたのような形状を纏わりつくように配し、作品世界に奥行を与えた(図23)。なお本作品は2015年1月にアジア文化社文芸思潮主催のコンテストにて第五回イラスト・漫画賞にてイラスト部門優秀賞を受賞した(図24)。



図22 リグ構造によりポージングされたCG人体

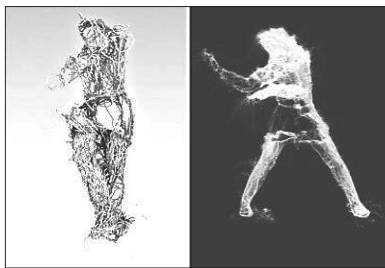


図23 CG人体周囲の植物形状のオブジェクト



図24 タナトスとの闘い

6. まとめ

今回の制作を通して、3Dスキャンを活用したCG作品の可能性や有効性について確認できた。作業中における留意点としては、スキャナー本体の取り回しのよさは、計測精度よりも重要であることが再認識できた。加えて、比較的緩い計測条件下において良好な計測結果を得るためには、着座した人体程度が大きさとして最も適していることが分かった。照明は、発熱や機器の大きさ、光の方向を変更する簡便さ、設置の利便性から考えて演色性の高いLEDが適している。そしてその数は、少なくとも2点、できれば4点以上が良好な計測結果を得ることができた。1テイク150秒程度が計測のために人間が動作を一時的に止める限界時間であることが経験上わかった。呼吸以外のフィジカルノイズが発生すると、動計測エラーや欠落、ノイズ形状が含まれてしまい、良好な計測結果とならない。よって、ポーズは着座や正立が安定する。それ以上の運動性や多様性のあるポーズは現状ではポスト処理にて対応する他ない。その点、フォトメトグラフィーはカメラ台数を50基以上調達できるなら、技術的には1/1000秒のオーダーで人間の瞬間動作を計測できる。計測データ量については、メッシュ情報に正比例して精度に貢献するとは限らないことが分かった。余分なノイズが増えてメッシュパターンの方が崩れることの方が多く、現行のパーソナルユースの3Dプリンタとの整合性を勘案すると、データ自体の高精度性は、デジタルアーカイブ目的でない限り、オーバースペックとなる。ただし、現状ではVGA相当であるため解像度が足りない場面が多々あった。よってHD程度の解像度があることが望ましいことが分かった。いずれにせよ3Dスキャンを用いる必然性のある魅力的な作品やワークショップでのイベントデザインを行う上では、スキャナーの利用方法や性能制限を理解した上での利用者のアイデアに依るところが大きいことを確認できた。制作した作品が一定以上の評価を得たことにより、今後も更にこれらを応用して活用の幅を広げ、興味深い視覚表現の可能性を追求していきたい。

参考文献

- [1]. 中村薫 杉浦司 高田智広 上田智章、“KINECT for Windows SDK プログラミング Kinect for Windows v2 センサー対応版”、秀和システム、2015
- [2]. 藤岡功、“3Dプリンターの実力！フィギュア製作最前線”、(株)エム・ディ・エヌコーポレーション、2013
- [3]. 中村薫、“KINECT for Windows SDKプログラミング C#編”、秀和システム、2012