
タイトル	Fabrizio Corneli影絵作品の再生アプローチ
著者	串山， 繁； 木村， 光； 熊谷， 宜記； 倉本， 麻未
引用	北海学園大学工学部研究報告， 36： 73-85
発行日	2009-02-20

Fabrizio Corneli 影絵作品の再生アプローチ

串山 繁*・木村 光*・熊谷 宜記*・倉本 麻未*

Reproductive Approach of Fabrizio Corneli's Silhouette Works

Shigeru KUSHIYAMA*, Hikaru KIMURA*, Yoshinori KUMAGAI* and Asami KURAMOTO*

Abstract

The art work named "DUETTO" by Italian artist : Fabrizio Corneli is displayed on the south wall of 60m height from the ground level of Kobe Center Plaza Building at Sannomiya. This is a huge silhouette with the size of W×H=11m×13m. Everyone is able to appreciate only the limited time zone on a sunny day. It is favorably evaluated as a new aspect of art appreciation from the view point of a casual encounter or publicity. Fabrizio Corneli has the practical skill over 25 years to specify the optimal shape with minimum material to create a complicated silhouette. However, his technical report is not yet open as far as we know.

Therefore, we developed a computer program in order to create silhouette art like that. This program consists of automatic calculation of solar altitude and azimuth and some basic techniques of image processing. It offers the optimal object parts to create a silhouette. In this paper, some reproductive results including Fabrizio Corneli's works and some trial works are presented.

1 序

三宮の神戸センタープラザビルの南側外壁面地上約60mにイタリア人芸術家：Fabrizio Corneliの制作による“DUETTO”と名付けられた作品がある¹⁾。これは、晴れた日のある限られた時間帯にのみ現れる幅11m×高さ13mの巨大な影絵作品である。季節により鑑賞時刻、鑑賞時間長さが異なり天候にも左右されるなど、偶然的な出遭いや公共性の観点から新しい美術作品

* 北海学園大学工学部建築学科

* Department of Architecture and Building Engineering, Faculty of Engineering, Hokkai-Gakuen University

鑑賞のあり方として好意的に評価されている。Fabrizio Corneliは、25年以上に及ぶ試行錯誤の経験を経て、複雑な図像も最小限の素材で影絵にできるアーティストとして現在知られている²⁾。しかし、彼のノウハウに関する報告は、著者らの知り得る範囲内では公開されていない。

そこで著者らは、芸術性の高い影絵を創生することを目的として、影絵生成の元となる最適なオブジェクトパーツを特定するプログラムの開発を試みた。プログラムの主要部は、太陽高度、方位角の算定と基本的な画像処理テクニックから成っている。本論では、解析法の概要およびFabrizio Corneli作品をはじめとする複数の影絵作品制作事例と模型作品例について紹介する。

2 解析法の概要

影は光と常に裏表の関係にある。光源としては、平行光線を発する太陽と平行光線や放射光線を発する人工光源の2種類あるが、影の生成元であるオブジェクトに対して平行光線或いは放射光線のいずれが当たるのかによって、影の形状は異なる。本論では簡単のために平行光線のみを考慮し、影絵の元となるオブジェクト平面は太陽光線に対して常に垂直であると仮定した。以下に、“DUETTO”を例に挙げて解析法の概要を示す。

写真-1は、Fabrizio Corneliが意図した秋分の日時（9/23/14:34）に接近した2008/9/20/14:29に撮影した“DUETTO”である。図-1は、オリジナル画像として取り込んだ“DUETTO”を表示している。主要な入力データは、オリジナル画像の他に、観測都市の緯度、設計日時、壁面の向きなどである。

まず、観測都市の緯度 φ と設計日時が確定すると、時角 t （太陽の時刻による変動）および日赤緯 δ （太陽の季節による変動）が一意に決まり、球面三角法の公式に基づく次の変換式から最終的に太陽高度 h 、太陽方位角 α が求められる。なお、日赤緯は冬至 $\delta = -23.45$ （度）、春分、秋分 $\delta = 0$ （度）、夏至 $\delta = 23.45$ （度）と変化するので、プログラム内では設計月日を



写真-1 DUETTO 2008/9/20/14:29撮影

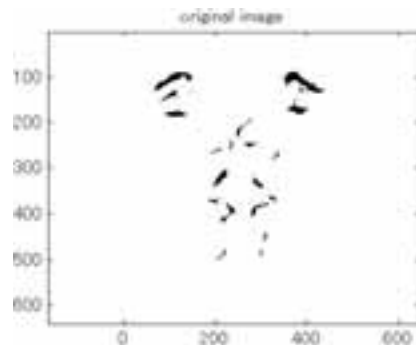


図-1 DUETTO オリジナル画像

入力し線形補間して日赤緯を計算している。

$$\sin(h) = \sin(\delta) \cdot \sin(\varphi) + \cos(\delta) \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(t) \quad \sim (1)$$

$$\sin(\alpha) = \frac{\sin(\delta) \cdot \sin(t)}{\cos(h)} \quad \sim (2)$$

ただし、春分→夏至→秋分の期間における日の出、日の入り近傍時刻の方位角は、その絶対値が90度を越えることに留意する必要がある。図-2の図中には、観測都市：札幌、設計月日7/31、設計表示時刻14:00、南面壁を例とした太陽高度 h 、方位角 α が表示されている。同図中の○は後述するオブジェクトボードの結合点、直線はオブジェクトボードを設置する傾きを表している。

次のステップは、単位厚さの矩形平板であるオブジェクトボードを太陽と影絵の間に設置し、影絵の元となるオブジェクト形状を特定することである。これを遂行するために、以下の2つの座標系を導入する。

第1番目の座標系は、壁面上のオリジナル影絵画像を表す左手系の座標系、それを便宜上 shadow座標系 (X 軸：壁面の水平方向右向きを正、 Y 軸：壁面の鉛直方向下向きを正、 Z 軸：壁面手前方向を正とする) と呼ぶ。第2番目の座標系は、オブジェクトボードを表す左手系の座標系、それを object座標系 (X 軸：ボードの横幅方向、 Y 軸：ボードの縦長方向、 Z 軸：ボードの厚さ方向) と呼ぶ。object座標系の各軸正方向の向きは、shadow座標系と一致した状態からスタートし、オブジェクトボードを太陽光線に対して垂直に設置する様に座標軸の回転や平行移動を経て決定される。

shadow座標系とobject座標系を同次座標系表示で結ぶ座標変換マトリックスは、最初に Y_s 軸回りに太陽方位角 α 回転した後、 Y_{ob} 軸に沿いボード追加高さ分： add_y 下向きに平行移動して、 X_{ob} 軸回りに太陽高度 h 回転させるので、次式となる。式中の下付添え字 s, ob は夫々 shadow座標系、object座標系、同様に x, y は回転軸、 p は平行移動を意味する。

$$[T_{ys}] = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & 0 & -\sin(\alpha) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin(\alpha) & 0 & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \sim (3)$$

$$[T_{yp}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -add_y & 1 \end{bmatrix} \quad \sim (4)$$

$$[T_{xob}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(h) & -\sin(h) & 0 \\ 0 & \sin(h) & \cos(h) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \sim (5)$$

$$\therefore [T] = [T_{ys}] \cdot [T_{yp}] \cdot [T_{xob}] \quad \sim (6)$$

以上より，object座標系の座標値はshadow座標系の座標値に後ろから座標変換マトリックスを乗じて，次式で表される．

$$[x_{ob} \ y_{ob} \ z_{ob} \ 1] = [x_s \ y_s \ z_s \ 1] \cdot [T] \quad \sim (7)$$

次に形状特定の探査法について述べる．探査はオブジェクトボード左上隅，最上段ピクセルの左端列から右端列へと進み，次に2段目，3段目，…，最下段の順に以下の様に考える．単位ピクセル長を有する $1 \times 1 \times 1$ の単位立方体の重心位置を通り抜けた光線ベクトルが，影を投影する壁面と交わる交点座標を求める．その交点が影絵内部に含まれるか否かを識別し，内部ならば該当ピクセルを影絵の元となる形状の一部であると記憶する．なお，壁面との交点座標（shadow座標系表示）は，該当ピクセルの重心位置（object座標系表示）をshadow座標系表示に変換して座標系を揃えてから求めねばならない．重心位置の座標変換式は，(7)式の両辺に $[T]^{-1}$ を右乗積した次式を用いる．

$$[x_s \ y_s \ z_s \ 1] = [x_{ob} \ y_{ob} \ z_{ob} \ 1] \cdot [T]^{-1} \quad \sim (8)$$

上記の操作で形状特定された結果を図-3に示す．同図中の○は図-2の○に対応する壁面との結合点，短い斜線は図-2の斜線に一致させるスナップラインを表している．

最後に影絵を構成するオリジナル画像における個々のパーツの認識と各パーツの結合点決定法について述べる．個々のパーツは，画像処理の基本テクニックのひとつであるラベリング処理を実行すれば認識できる．一方，オリジナル画像における各パーツの結合点は重心算定処理

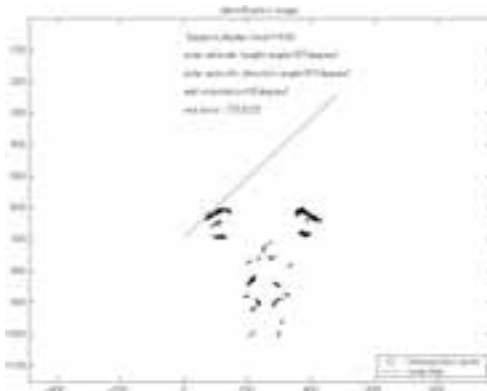


図-2 オリジナル画像同定イメージ



図-3 オブジェクト形状特定

を経て、各パーツの重心を通る光線ベクトルに垂直な直線式とパーツ内の各ピクセル間の符号付距離を求め、その最大値を与えるピクセルとして得られる。

図-4 (a) はラベリング処理の結果、同図 (b) は重心算定結果を表し、図-5 (a) は各パーツの結合点をオリジナルの目標影絵に重ねて表示した画像、同図 (b) はオブジェクトパーツの形状特定とオブジェクト画像上の結合点を表している。図-5 (b) のオブジェクト画

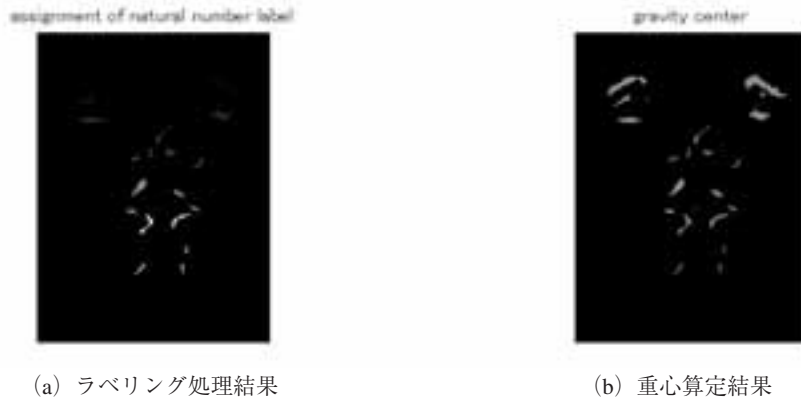


図-4 ラベリング処理, 重心算定結果

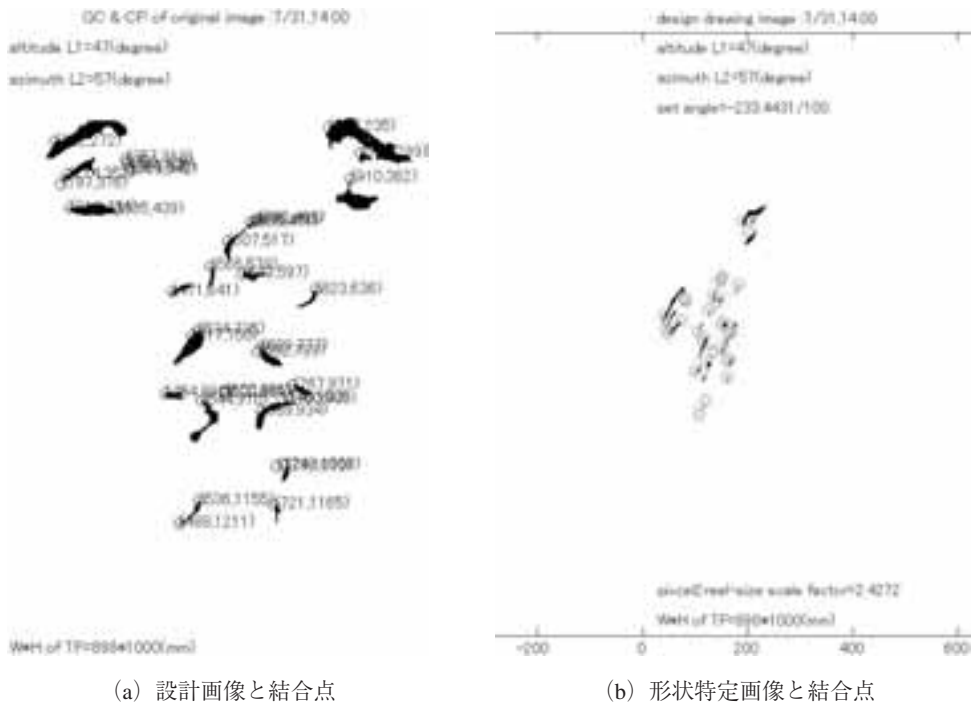


図-5 設計画像, 形状特定画像

像の結合点○は、同図 (a) の○を光線ベクトルと逆向きに辿り、オブジェクト平面との交点として求められる。

なお、作品を制作する際には、(a) 図と (b) 図で同一ラベル番号の○印を対応させて壁面に取付ける。得られたオブジェクト形状の妥当性は、写真-2 に示す様に、図-3 をOHPシートに印刷し短い斜線に沿って鋏で切り取り、それを図-2 の斜線の傾斜に短い斜線が一致する様に壁面に置き、その線を基線として壁面から太陽の方位角相当を開き固定保持し、太陽光線に当てれば容易に分かる。図-6 は、OHPシート画像を設計で意図した通りに固定した状態で、影の時間変化を計算機で追跡した結果である。



写真-2 OHPシートによる確認

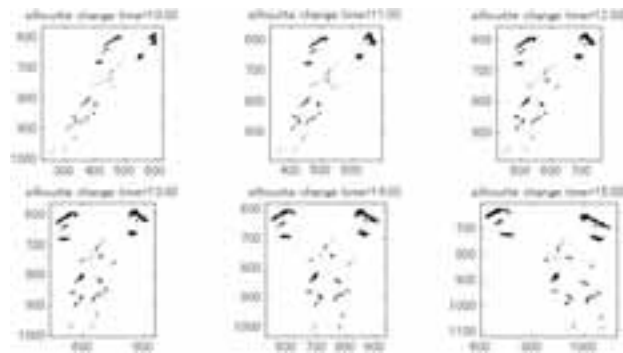


図-6 OHPシート画像に基づく影の時間変化

3 Fabrizio Corneli 作品の再生事例と他の作品例

本節では、最初にFabrizio Corneliの作品再生事例として、ドイツのケルン市にある女性の横顔“Augenblick”と2005年開催愛知万博イタリア館で展示された“踊るサテュロス”を、次に他の作品例としてイタリアルネッサンス期の巨匠レオナルド・ダ・ヴィンチの“白貂を抱く貴婦人”とラファエロ・サンツィオの“ベルヴェデーレの聖母”を取り挙げた。

図-7に示す“Augenblick”は、先に示した“DUETTO”と同じく基本的に単純明快な線画であるので、僅かな計算時間で結果が得られた。一方、図-8に示す“踊るサテュロス”については、イタリア館に展示された影絵の写真が手元に無く、東京国立博物館で展示された石膏のレプリカ像³⁾を基に作成したので、どの程度Fabrizio Corneliの影絵に近づいたのか不明である。前述した作品例と異なる点は、オリジナル写真のネガ作成が必要なことと、影絵を同定する際の判定基準調整手間が増えることである。

“白貂を抱く貴婦人”と“ベルヴェデーレの聖母”については、“踊るサテュロス”と同様の手間が必要となる。しかし、最も理想的なイメージに近づけるための影絵同定判定基準の調整手間は、判定条件を4～5通り変えて計算すれば概ね充分であり、少ない試行錯誤回数で済

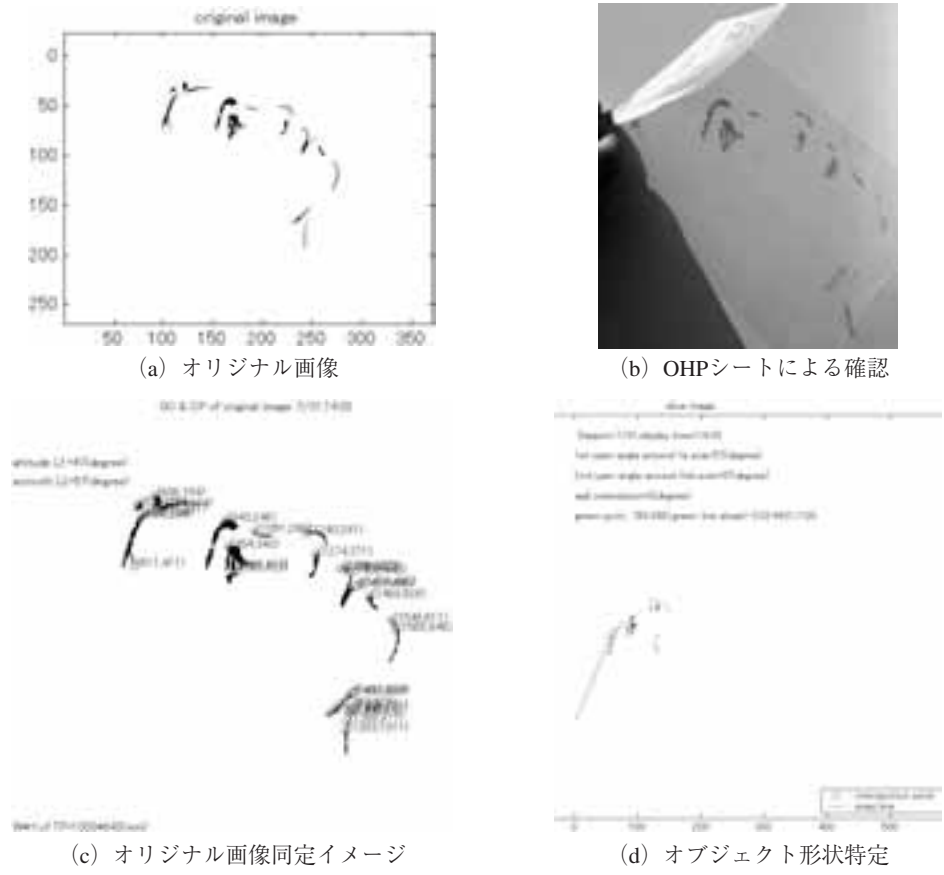
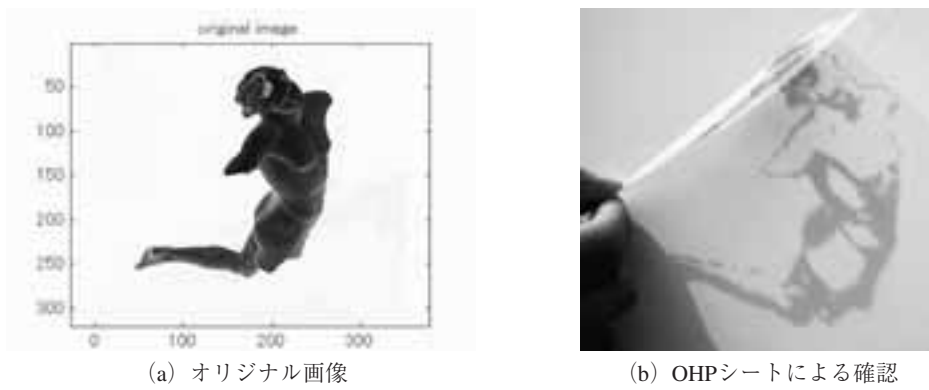


図-7 Augenblick



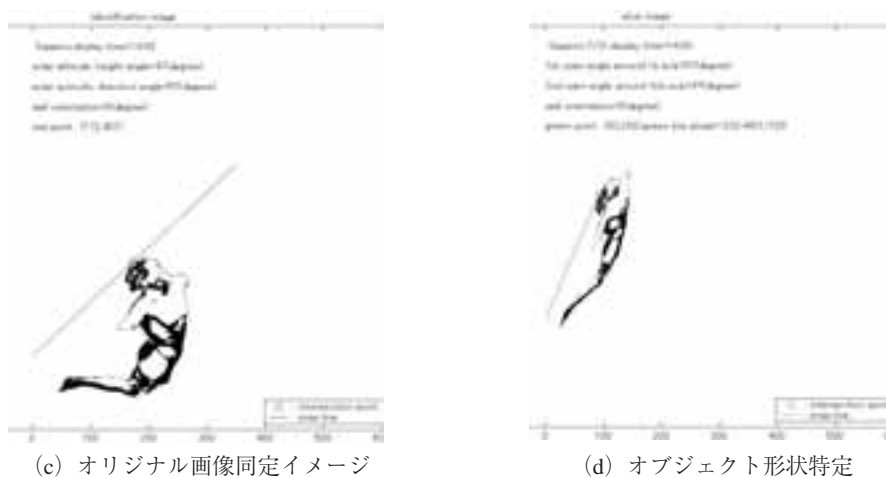


図-8 踊るサテユロス

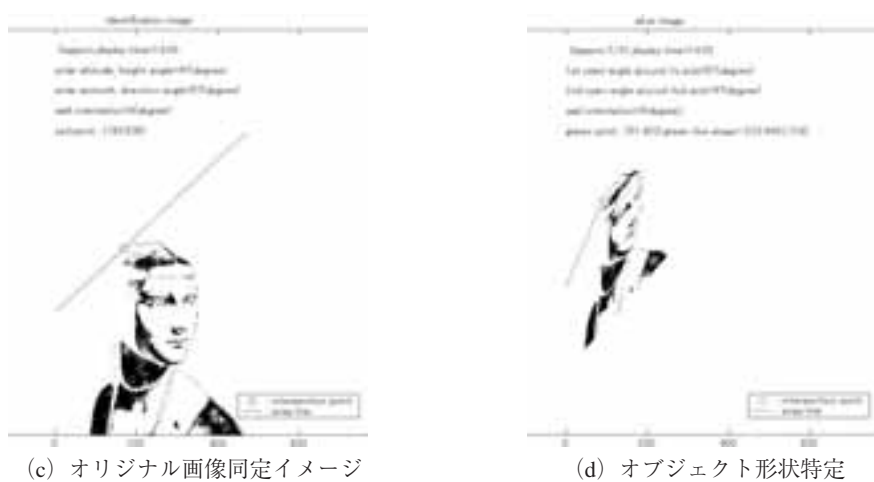
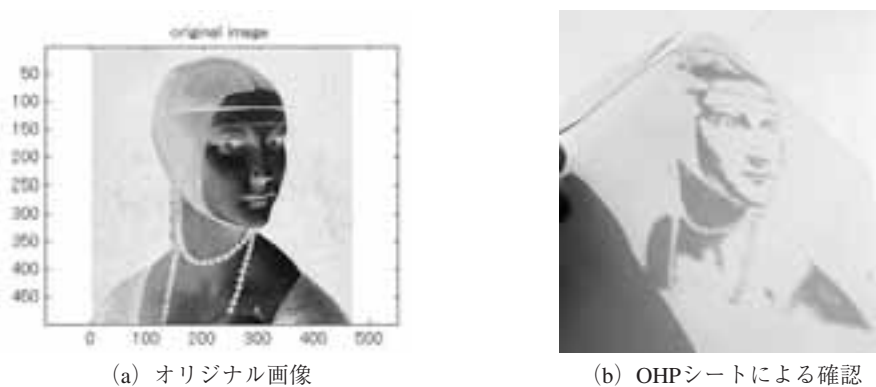
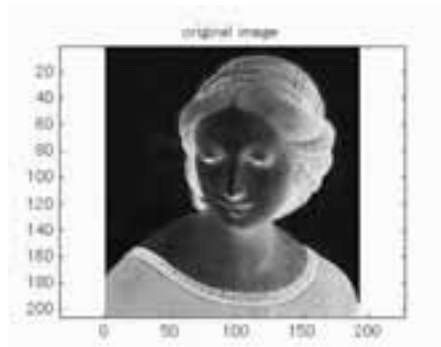


図-9 白貂を抱く貴婦人



(a) オリジナル画像



(b) OHPシートによる確認



(c) オリジナル画像同定イメージ



(d) オブジェクト形状特定

図-10 ベルヴェデーレの聖母

表-1 計算時間とラベル総数の比較

画像名称	計算時間 (sec)	ラベル総数
DUETTO	64.922	37
Augenblick	21.797	30
踊るサテュロス	33.280	66
白貂を抱く貴婦人	119.657	630
ベルヴェデーレの聖母	12.375	112

使用ノートPC : Panasonic CF-R5, Genuine Intel(R) CPU, U1300 @1.06GHz, 786MHz, 504MB RAM

むことが分かった。夫々の結果を図-9, 図-10に示す。

表-1は, 各計算例の所要計算時間とラベル総数を示している。計算時間は, 最長でも2分弱であり, 複雑な原画ほどラベル総数が多くなる傾向にあることが分かる。

4 模型作品

4.1 作品の制作概要

表-2に作品制作に用いた材料および使用道具の一覧を示す。これらの材料, 道具を用いて次の様な作業手順で制作した。

作業手順

- 1) 解析結果をPhotoshopで適当なサイズに拡大, 影絵パーツを出力
- 2) 各影絵パーツを鋏で切り抜き, パーツ型紙をスプレー糊でスチレンボードに貼付
- 3) 上記スチレンボードをパーツの型紙に合わせ, カッターで切り抜き
- 4) 抜き出した型に約1cm角の取付け部を付加した形状のカラー鉄板を切り抜き
- 5) カラー鉄板取付け部の木ネジ下穴あけ, 取付け部のパーツ開き角度折り曲げ
- 6) 水性白色ペイント塗布した合板ボードにパーツ取付け位置と補助線を下書き
- 7) カラー鉄板パーツを合板に木ネジで取付け
- 8) 必要に応じ, カラー鉄板パーツの上に更にスチレンボードパーツを貼り付け
- 9) パーツの取付け角度, 開き角度の調整および水性白色ペイント塗布

表-2 作品材料および使用道具

材料	9mm厚合板(91×91cm), 0.27mm厚カラー鉄板, 木ネジ, 水性白色ペイント, 3mm厚スチレンボード, スプレー糊55
道具	金切り鋏, ハンドドリル, 直径3mm金属用ドリル刃, リーマー, ドライバー, 三角定規, 直線定規, 分度器, 鋏, カッター

次に, 作業のポイントおよび“DUETTO”を例とした1人工換算の作業時間について記す。先ず, 作業に先立つ解析については, 入力画像の解像度が高過ぎると演算時間が長くなるので, 解像度を低く抑え数分以内とした方が無難である。解像度を高くしても, 解析後Photoshopで影絵パーツサイズを拡大するとピクセルの粗さが目立つものとなる。なお, 1)の作業時間は15~30分である。2), 3)のスチレンボードの切り抜きの作業時間は, パーツの個数に依存するが“DUETTO”の例で約3時間であった。4)のカラー鉄板の切り抜きは約3時間, 5)の作業は約1時間であった。なお, 5)の下穴あけは, 小さなパーツを押さえながらハンドドリルを回す作業となるので, 1人の作業では効率が悪い。6)~9)の作業時間は約2.5時間であり, 総作業時間は約10時間弱であった。

なお、8)の作業は、凹部がパーツに沢山あって金切り鋏で上手く切り抜き出来ない場合にカラー鉄板の切り抜きを簡略化して済ませ、その上にきれいに切り抜きしたスチレンボードを貼り合わせる作業で、“DUETTO”の例では省略した。もし、接着力が強い糊を用いるならば、影絵パーツの型紙を直接カラー鉄板に貼り付け切り抜きすることにより、スチレンボードの介在を省くことも可能で作業時間も短縮されるであろう。ただし、カラー鉄板を切り抜く際には、パーツの間隔を広げて切り取り易くする配慮が必要となる。

4.2 作品例

写真-3 (a) ~ (c) に示す3つの作品は、2008/10/4/14:35, 14:45, 14:55を設計表示時刻として制作したものである。これらは、いずれも南面壁2階窓から紐で吊り下げ、写真撮影された。ただし、掲載写真の撮影時刻は (a); 13:41, (b), (c); 12:34であり、設計表示時刻よりもかなり早い時刻で見ごろであった。14:00頃~15:20の時間帯日射しが無く予定時刻に撮影出来なかったが、見ごろの表示時間が早まったのは解析では壁面が完全に南面していると仮定したが実際には8度前後東側に振れていたこと、写真でも分かる様に吊り下げたボードが壁面と平行でなく更に東側に振れていたことなどが原因として考えられる。

写真-3 (d) は、地上の電気設備キュービクル壁面に吊り下げた説明用の小作品で、3節で解説したOHPシートを10/4の日付で作成し直し、A5版の塩ビ板に貼り合わせたものである。設計表示時刻は、上段左から右、下段左から右の順に14:35から15:00まで5分毎にずらしたが、(d)を撮影した時刻はそれをかなり過ぎた15:34であった。

(a)の“DUETTO”を先に掲げた写真-1と比較すると、良好な結果が得られたことが分かるが、左側女性の目の傾きのみが異なっている。これは、図-1に示した入力画像が元々写真-1と相違していることに起因する。(b)の“Augenblick”は、カラー鉄板の上にスチレンボードの切り抜きを貼り合わせたのでその厚みが増したことで、その切り抜きが若干大きめであったためか、影線が少し太めで単調に見える。(c)の“鶯~うぐいす”は、あらかじめ表示された図柄の中に影が浮き出るため、初めて見る人にとっても認識が容易であった。それに較べ (a), (b)の認識については個人差が認められ、1~2分で分かった人は少数派であった。

作品を实际展示したことで、影絵の視認時間が (b), (c)で約1~1.5時間、(a), (d)では約2~2.5時間であることが分かった。ただし、この視認時間長さは10/4頃に限られ、季節により変動することに留意する必要がある。なお、神戸の实在作品“DUETTO”を紹介したホームページでは秋分の頃で表示時間が30分程度と紹介されている。札幌と神戸で大きな時間差が生じたのは、影絵の視認時間をどちらも主観的に捉えていること、札幌と神戸では緯度差があることが理由と考えられる。

最後に、作品の出来映えは、影絵取付け壁面の正確な方位の把握の他、パーツの切り抜き精



(a) DUETTO



(b) Augenblick



(c) 鶯〜うぐいす



(d) 小作品

写真-3 作品例

度, 作業手順6), 9)のパーツ取付け精度に大きく左右されると感じられた. しかし, 当然のことながら作品を制作する上で最も難しいことは, オリジナルのデザインを考案することである.

5 まとめ

Fabrizio Corneliの影絵作品を再現するコンピュータプログラムを試作した. それを基に作品を制作, 展示し, 良好な結果が得られることを確認した. 今後の課題として, 点光源に対する影絵も作成できる様ソースコードを修正し, 室内展示用作品の制作に取り組みたい. また, コンピュータ上で作品をパース的な任意の視点から眺め, 出来映えを事前に動画で検討できるソースコードも追加したいと考えている.

参考文献

- 1) 神戸新聞, 2007/10/27, <http://www.kobe-np.co.jp/rensai/cul/573.html>
- 2) 神戸光プロジェクトについて, <http://mssohkan.com/jpn/about-project.html>
- 3) <http://www.nikkeibp.co.jp/style/life/joy/art/050318tenji/>