

現実的な透明物体の表現 —透明物体の多角的表現—

5N-11

米山英彦¹ 田中敏光^{1*} 大西 昇^{1*} 杉江 昇¹

(†名城大学 ††名古屋大学)

1. はじめに

板ガラスにはその製造過程でわずかなうねりが生じているため、窓の外の景色は微妙に歪んで見える。特に視線をゆっくりと移動する場合やガラス窓を開け閉めする場合には風景の歪みがはっきりと認められる。この現象はガラスの存在を知覚する大切な手がかりとなるため、リアルなCG画像を作る上で歪みのシミュレーションが必要と考えられるが、従来技法では窓ガラスを幾何学的な平面として扱っており、うねりや歪みまでは考慮されていない。

そこで、本研究では窓ガラスに生じるうねりや歪みの要因をモデル化することで、よりリアルなCG画像の生成を目指す。また、心理評価実験により提案手法の有効性を評価する。

2. 表現手法

本研究では、以下に示す要因により生じるうねりと歪みをモデル化する。

(1) 製造過程で生じるうねり

一般の板ガラスは、「フロート法」と呼ばれる方法で製造されている^[1]。これは、溶かしたガラス素地を熔融金属の上に浮かべることで厚みを均一にする方法である。熔融金属の表面は水平なので、ガラス板も自然に平行平板に仕上がる。しかし、円筒型のローラーの上を転がしながら徐冷する間に、細かいうねりが生じる。

(2) 施工過程で生じるうねり

板ガラスを窓枠にはめ込む際、窓枠が平面でないためにわずかに捻じれが生じる。また、上下左右の窓枠で押さえられることやガラス自身の重さにより、ガラスが反ることもある。

3. うねりのモデル化

雲^[2]や波^[3]の表現技法と同様に、うねりを三角関数の重ねあわせで定義する。製造過程からうねりは一方向に生じると考えられるので、窓の横幅に沿った位置をパラメータとする1次元関数で表現する。

はじめに、施工で生じるガラスの反りを、窓の両端が同一平面に固定されると仮定して、図1のよう

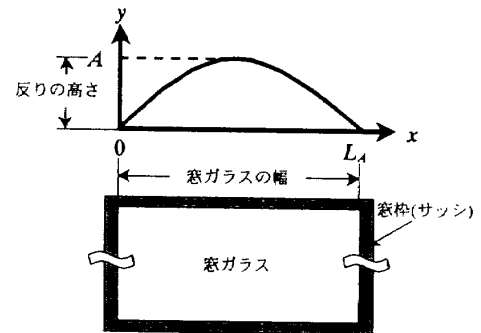


図1 モデルの概要 (1次元モデル)

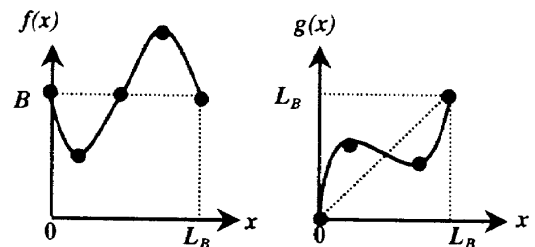


図2 パラメータの設定

に模擬する。この図で、 A は反りの高さ、 L_A は窓の幅である。この上に、製造過程で生じる細かいうねりを重ねる。結果的に、うねりは式(1)で表現される。ここで、 $L_B (< L_A)$ は微妙なうねり幅である。

$$y = A \sin \frac{\pi}{L_A} x + f(x) \sin \frac{2\pi}{L_B} g(x) \quad (0 \leq x \leq L_A) \quad (1)$$

この式の $f(x)$ と $g(x)$ は振幅と周期を三角関数からずらすためのパラメータで、それぞれ図2のように任意に与えた制御点を3次スプライン関数で補間することで記述する。

ガラスのうねりはその幅に比べて極めて小さいので、CGで一般的に用いられているバンプマッピングで表現することにする。すなわち、上記関数から求められる面法線を平行平面で定義されるガラス面に貼り付けることで近似的にうねりを与える。

4. 心理評価実験

図3は提案手法で作成した窓ガラスを通して見た風景である。ガラスのうねりはおくわずかのため、静止画ではどこにうねりが生じているか見分けが付かない。しかし、窓を開け閉めするとガラスを通し

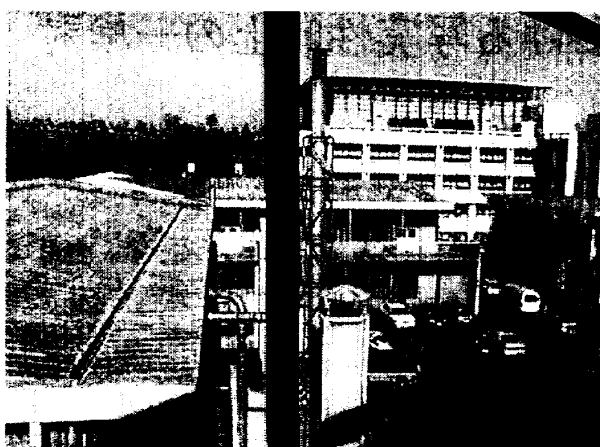


図3 窓ガラスを通して見た風景画像
(うねり有り)

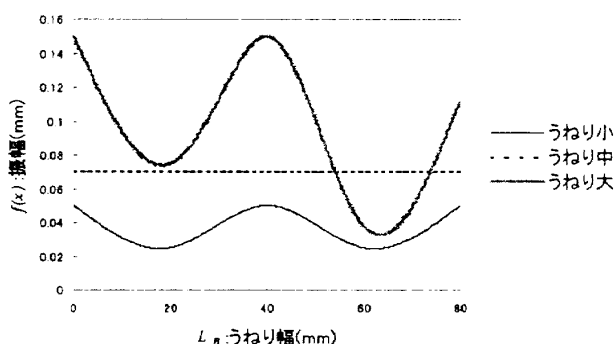


図4 パラメータの形状

て見える風景が揺らめくため、うねりの存在を容易に知覚できる。これは、われわれの日常での体験とよく一致している。そこで、窓を開閉するアニメーションを用いてガラスの本物らしさを評価した。

提案手法でパラメータを設定し、うねりの強度が異なる3種類の動画像を作成した。今回の実験では、うねり周期 L_b を8cmに、振幅 $f(x)$ を図4のように設定している。値が大きいほどうねりが強くなるが、最大でも0.15mmで、極めて小さい。形状は、中くらいのうねりでは $f(x)$ が一定のため純粋な \sin カーブになるのに対し、他の2つは高周波成分を含んでいる。他のパラメータは $g(x)=x$, $L_A=105\text{cm}$, $A=0.15\text{mm}$ に設定している。この値からわかるように、ガラスの反りもきわめてわずかである。

表1 心理評価実験結果

	本物	無し	小	中	大	本物度
本物		7-3	5-5	6-4	8-2	65.0%
うねり無し	3-7		4-6	3-7	7-3	42.5%
うねり小	5-5	6-4		5-5	6-4	55.0%
うねり中	4-6	7-3	5-5		8-2	60.0%
うねり大	2-8	3-7	4-6	2-8		27.5%

比較のためうねりの無い画像を作成した。また、本物の窓ガラスを通した風景も撮影した。ただし、窓枠の違いから実際の画像と判断されてしまうことを防ぐため、実画像にもCGで作成した窓枠を重ねがきして提示した。

被験者の一人一人に、これら5種類の動画のすべての組み合わせをランダムな順序で提示し、本物の画像と思われるほうを選択してもらった。表1に10人の被験者の結果を示す。ハイフンの前の数字は行に示される画像を本物に選んだ人数を、後ろの数字は列の画像を本物と判断した人数である。また、本物度は画像が本物として選ばれる割合を示している。

この結果から、適当なうねりを付けたほうが、うねりや歪みを考慮していない窓ガラスよりも本物らしく感じられることがわかる。ただし、過度なうねりは逆効果である。実物を撮影した画像が最も本物らしいと判定されたが、3回に1回は誤って判定されており、絶対的な優位性はない。うねりが小さい画像と中くらいの画像を実画像と比べると（網掛けの部分）、どちらも同じ程度に本物と判断されており、提案手法が実際のうねりをうまく真似できていることを示している。

5. まとめ

よりリアルなCG画像を生成するため、窓ガラスに生じる歪みやうねりを再現する手法を提案した。アニメーションを用いた心理評価実験により、従来のうねりや歪みを考慮していないものに比べて、提案手法の有効性が確認できた。実際の画像と比べても遜色の無い結果が得られた。

今後は、本物以上に本物らしく見えるように、最適なパラメータの設定を行う。また、自動車のフロントガラスなどさまざまなガラスに適用するための拡張を行う。さらに、ガラス（透明物体）をよりリアルに表現するため、くもり、汚れ、傷などについてもモデル化を行う。

参考文献

- [1] 月刊 建築知識—[特集] 基礎から学ぶ ガラス マルチガイド—, 株式会社建築知識, Vol.34, No.409, (Jan.1992).
- [2] G, Gardner : "Visual simulation of clouds," Computer Graphics, 19, 3, 297-303, (1985).
- [3] A, Fournier and W, Reeves : "A simple model of ocean wave," Computer Graphics, 20, 4, 75-84, (1986).