

## シミュレーションによる仮想水面の波動を可視化する AR システムの開発

漆原航平<sup>†</sup>                      高井昌彰<sup>‡</sup>                      飯田勝吉<sup>‡</sup>                      高井那美<sup>\*</sup>  
 北海道大学                      北海道大学                      北海道大学                      北海道情報大学<sup>\*</sup>  
 大学院情報科学院<sup>†</sup>              情報基盤センター<sup>‡</sup>              情報基盤センター<sup>‡</sup>              経営情報学部

### 1 はじめに

AR システムで可視化される仮想物体として、単純な剛体やその複合体だけでなく、より複雑な物理的挙動と光学的特性をもつ液体を対象に加えることによって、新たなインタラクションを可能にする AR コンテンツの新展開が期待できる。本研究では実世界に仮想水面を重畳し、ユーザーが仮想水面に触れることで、多様な波や波紋を生じさせるシステムを開発する。

### 2 システムの概要

ユーザーの接触を検知するアプローチとして、シンプルな形で認識が容易な道具を想定し、これをインタフェースとしてユーザーが操作する。

図 1 にシステムの概要を示す。インタフェースとして棒の先端に AR マーカーを取り付けたパドルを用いる。仮想水面を表示するため水面用マーカーを付したプール(箱型の容器)を設置し、これら2つの AR マーカーをカメラで認識する。

ディスプレイに表示される映像には仮想水面が重畳され、ユーザーの操作によってパドルが水面に接触して移動したり、水中をパドルで掻くことにより同心円状に伝播する波が描画される。

本システムはゲームエンジンである Unity を開発環境とし、AR 開発ライブラリ Vuforia でマーカーの認識、仮想水面の重畳を実現している[1]。

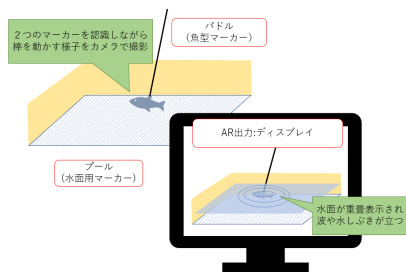


図 1 システムの概要

### 3 仮想水面の形成

#### 3.1 仮想水面の表示

仮想水面は Unity 内の平面オブジェクトとして扱い、平面のテクスチャや法線マップを用いて水面の光学的特性を表現する。

まず水面用マーカーを認識して背景画像に仮想水面を表示する領域を決定する(図 2a)。仮想水面のテクスチャに背景が仮想水面と重なる領域をマッピングし(図 2b)、最後に背景画像に仮想水面を重畳表示する(図 2c)。背景を透過する半透明の平面オブジェクトではなく、指定の背景領域を投影したテクスチャを重畳表示する。

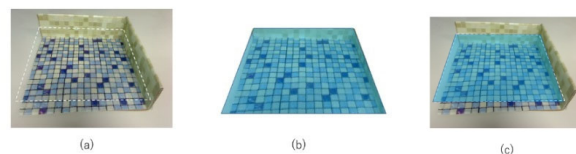


図 2 仮想水面の表示

#### 3.2 仮想水面への干渉

仮想水面に物理的に接触するには同じ空間に存在するゲームオブジェクトでなければならないため、Unity 空間にサイズ・形状ともに実世界のパドル(以後パドルと呼ぶ)と同一の仮想パドルを作成し、これを仮想水面に接触させる。

2つのマーカーを認識してパドルと仮想水面の位置関係を取得し、Unity 空間内で水面を基準にパドルと同じ位置に仮想パドルを設置することで、パドルと仮想水面の位置関係を Unity 空間内で再現する。パドルが動けばシステム内の仮想パドルも同じように動き、その過程で仮想パドルが仮想水面に接触すれば Unity のメソッドによって簡単に接触点の座標を得ることができる。

AR system that visualizes simulated waves on the virtual water surface

<sup>†</sup>Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

<sup>‡</sup>Information Initiative Center, Hokkaido University

<sup>\*</sup>Hokkaido Information University

### 3.3 仮想水面のハイトマップ

仮想水面を構成するポリゴンの頂点座標を鉛直方向に変化させることで表面の起伏を形成する。仮想水面の標高情報は仮想水面のテクスチャと同サイズのハイトマップとして保存する(図3)。ユーザーが図3(a)の仮想水面を見ている時、ハイトマップは同図(b)のようにピクセル単位で保存される。

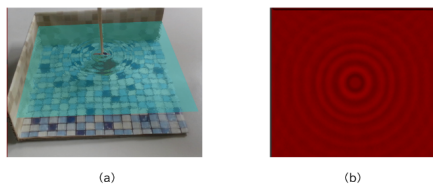


図3 仮想水面の標高情報

### 3.4 波動のシミュレーション

仮想水面における波の伝搬を実時間で表現するため、波動方程式に基づく簡易的なシミュレーションを行う。すなわちタイムステップごとにハイトマップを更新し、あるステップのハイトマップから次ステップのハイトマップを生成することで、仮想水面上の波の伝搬を実現する。

更新のアルゴリズムは水面の波動方程式に基づいている。すなわちハイトマップの横軸を  $x$ 、縦軸を  $y$ 、時間を  $t$ 、標高値を  $z(x, y, t)$  とするとき、ある点の次の時刻の標高値は、その点と近傍の標高値から次式に従って求められる。

$$z(x, y, t + 1) = 2z(x, y, t) - z(x, y, t - 1) + s^2 \{ z(x - \Delta x, y, t) + z(x + \Delta x, y, t) + z(x, y - \Delta y, t) + z(x, y + \Delta y, t) - 4z(x, y, t) \}$$

$s$ : 伝搬速度  
 $\Delta x, \Delta y$ : 差分距離

有限の広さをもつ仮想水面の境界条件を設定することで、プール境界での波の反射も表現できる。

## 4 動作結果

ユーザーが操作するパドルが仮想水面に接触した際に波紋が形成される様子を図4示す。パドルが仮想水面に触れた位置を正確に取得し波動を形成するとともに、水中の床部分は歪んで見えるように水の光学的特性を表現できている。

映像は一般的な Windows デスクトップ PC 環境において 30fps で描画される。多様なパドル操作とそれに伴う波動形成・描画処理の遅延は、ユーザーの

主観評価においてほとんど感じられない程度であり、液体を扱う AR コンテンツとして十分な実時間性を達成している。パドルの操作に起因して生じる水しぶきを個別のエフェクトとして重畳することは可能であるが、忠実な波の破碎等を再現することは困難である。

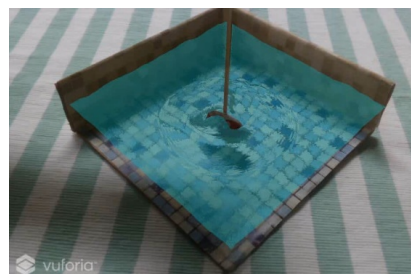


図4 パドルの動きで波紋を生じる仮想水面 (パドルの魚型マーカ画像: コイキング©任天堂)

## 5 粒子法によるアプローチ

さらにリアルで自然な流体の描画を実現するには、ハイトマップに替わって粒子法のアプローチを導入する必要がある。粒子法の一つである SPH 法[2]をもとに、流体を構成する粒子の振る舞いをシミュレーションした様子を図5に示す。この粒子の空間分布から、近似的な仮想水面形状を実時間で可視化するためには、計算コストを削減した高速なレンダリング処理が必要である。現在その GPU 実装の検討を進めている。

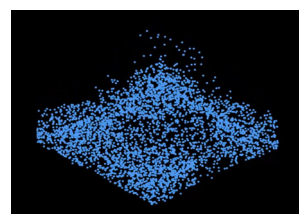


図5 粒子法による流体シミュレーションの例

## 6 まとめと課題

仮想水面とのインタラクションを可能にする AR システムを開発した。より精緻な波の破碎等を表現可能な粒子法の実装は今後の課題である。

### 参考文献

- [1] 漆原航平, 高井昌彰, 飯田勝吉: インタラクティブな仮想水面波を可視化する AR コンテンツ, 第 19 回情報科学技術フォーラム FIT2020, I-027, (2020)
- [2] M.Müller, D.Charypar and M.Gross: "Particle-based fluid simulation for interactive applications", *Proc. of ACM/Eurographics Symp. on Computer Animation 2003*, pp.154-159 (2003)