

板面衝突における衝突音提示システム

三浦 雄文 赤羽 歩 長谷川 晶一 佐藤 誠
東京工業大学 精密工学研究所

1 はじめに

コンピュータゲーム等では臨場感を高めることを目的に、音の提示が積極的に行われてきている。近年のコンピュータ能力の飛躍的な向上により、音素材を採音するのではなく、物理現象のシミュレーションによって音素材を生成しているシステムの研究も行われている [1]。しかし、このシステムでは、可聴音の生成可能な更新周期で物理シミュレーションを動かす必要があり、リアルタイムで動作させることが非常に困難である。そのため、あらかじめ標準的な状態で音素材を生成しておき、提示時に個別の状態へ適合させて提示するシステムが、その解決法として提案されている [2]。

そこで本研究では、板面への衝突現象に対し、あらかじめ採音された音素材を発生源の位置などから音が受ける影響を反映させて提示することにより、インタラクティブに衝突音を提示するシステムを構築した。

2 理論的背景

板面への衝突による振動は、板面の運動方程式より決定する [3]。この方程式の解により、板の振動を境界条件 (Simply Supported と仮定する) を考慮して正弦フーリエ展開を行うと、板の振動は外力のフーリエ変換に比例する。

図 1 のように、長方形板上に板面の横軸および縦軸方向に平行な長方形衝突面を形成している衝突について考える。単位面積あたりの外力 q は、

$$q(x, y, t) = \frac{1}{s} \delta(t) \Big|_{\text{衝突面}} \quad (1)$$

となる。ただし、 s は衝突面の面積を表す。

次に、式 1 に対し、板の横軸、縦軸および時間

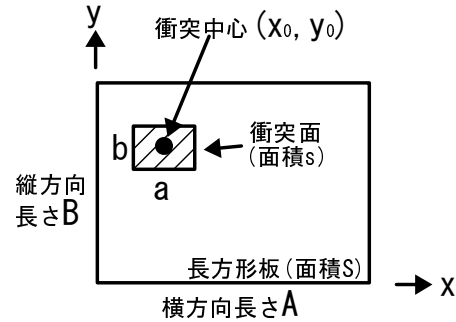


図 1: 長方形板への衝突図

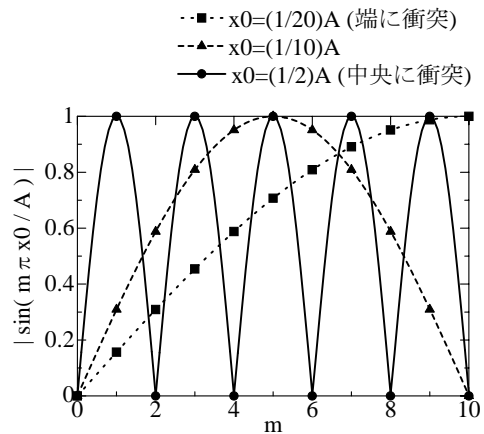


図 2: 衝突位置の変化による上音の変化

軸においてフーリエ変換を行い、式 3 となる。

$$\begin{aligned} F_{mn} &= \frac{4}{AB} \iint_{\text{板面}} \frac{1}{2\pi} \int q(x, y, t) e^{j\omega t} dt \\ &\quad \times \sin \frac{m\pi x}{A} \sin \frac{n\pi y}{B} dx dy \quad (2) \\ &= \frac{1}{2\pi S} \frac{\sin \frac{m\pi a}{2A}}{\frac{m\pi a}{2A}} \frac{\sin \frac{n\pi b}{2B}}{\frac{n\pi b}{2B}} \sin \frac{m\pi x_0}{A} \sin \frac{n\pi y_0}{B} \quad (3) \end{aligned}$$

ここで、衝突に関する変数 x_0, y_0, a, b は外力の項 (式 3) にしか含まれないので、まず、 $\sin \frac{m\pi x_0}{A}$ および $\sin \frac{n\pi y_0}{B}$ について考える。 $x_0 = \frac{1}{20}A$ (板面端に衝突した場合)、 $x_0 = \frac{1}{10}A$, $x_0 = \frac{1}{2}A$ (板面中央に衝突した場合) について図 2 に示す。この図より、 $x_0 = \frac{1}{2}A$ では基音や低次上音の音も含めほぼ全ての高音が励起されるが、 $x_0 = \frac{1}{10}A$ では

Sound Rendering for Collision on a Plate
Takefumi MIURA (tmiura@hi.pi.titech.ac.jp)
Ayumu AKABANE (akabane@hi.pi.titech.ac.jp)
Shouichi HASEGAWA (hase@hi.pi.titech.ac.jp)
Makoto SATO (msato@pi.titech.ac.jp)
Precision and Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of Technology

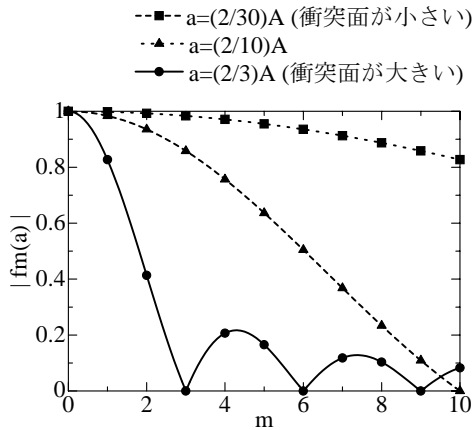


図 3: 衝突面の大きさの変化による上音の変化

$m = 3 \sim 6$ の上音がよく励起され, $x_0 = \frac{1}{20}A$ では $m = 8 \sim 10$ の上音がよく励起されている.

すなわち, 衝突場所が板の中央あたりでは, 基音や低次上音の音も含め, ほぼ全ての音がよく励起されるが, 板の端に行くに従い, 基音や低次上音の音はほとんど励起されず, より高次の上音のみ, よく励起されるようになる. その結果として, 板の中央に衝突するより板の端に衝突する方が, 相対的に高い音を感じる.

次に, $\frac{\sin \frac{m\pi a}{2A}}{\frac{m\pi a}{2A}}$ および $\frac{\sin \frac{n\pi b}{2B}}{\frac{n\pi b}{2B}}$ について考える. $f_m(a)$ を式 4 の通り定義する.

$$f_m(a) = \frac{\sin \frac{m\pi a}{2A}}{\frac{m\pi a}{2A}} \quad (4)$$

$a = \frac{2}{3}A$ (衝突面が板面に対し大きい場合), $a = \frac{2}{10}A$, $a = \frac{2}{30}A$ (衝突面が板面に対し小さい場合) について, 図 3 に示す. この図より, $a = \frac{2}{3}A$ の場合は, 大きさが 0.3 以上である上音は $m = 1, 2$ のみの基音や低次上音だけであるが, $a = \frac{2}{10}A$ の場合, $m = 1 \sim 7$ までの上音までが大きさ 0.3 以上であり, $a = \frac{2}{30}A$ の場合は, $m = 1 \sim 10$ すべての上音で大きさが 0.8 以上となっている.

すなわち, 衝突面が板面に対し大きくなるほど, 高次上音の減少の割合がより大きくなり, その結果として, 相対的に低い音を感じる.

3 実装

前述の理論的背景より, 板面での衝突現象による衝突音に対し, 次のようにモデル化ができる.

1. 衝突面の面積が大きくなるほど音が低くなる.
2. 板面に対し, 衝突位置が外周へ行くほど音が高くなる.

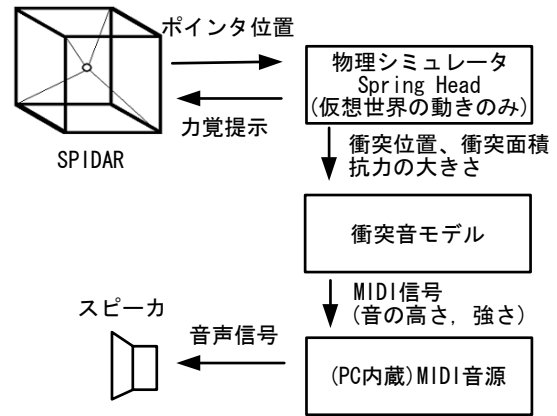


図 4: システム構成図

そこで, 研究室にて開発されている仮想世界開発環境 Spring Head を用い, SPIDAR 操作による, インタラクティブに衝突音を提示するシステムを構築した (図 4). 本システムでは, 衝突音モデルへの入力として, 「衝突の位置」「衝突面の大きさ」「衝突の強さ (抗力)」を用い, 音の提示には, 容易に音の高低を実現できる MIDI 音源を用い, 音の高さ, 音の強さを制御している.

4 まとめ

理論的背景より, 板面における衝突面の位置と大きさによって, 板面が発音する音の高低の変化について式を導出し, その式から変化をモデル化した. 上記モデルに基づき, 実際に音を提示するシステムを構築した.

今後は, 上記モデルの定性的, 定量的評価および, 材質の差 (やわらかさ等) のパラメータの導入等を検討していきたい.

参考文献

- [1] James F. O'Brien and Perry R. Cook and Georg Essl, "Synthesizing Sounds From Physically Based Motion", SIGGRAPH 2001, Computer Graphics Proceedings, P.529-536
- [2] Y.Dobashi, T.Yamamoto, T.Nishita, "Real-time Rendering of Aerodynamic Sound Using Sound Textures based on Computational Fluid Dynamics", ACM Transactions on Graphics 22,3 (2003), P.732-740
- [3] J.S.Rao, "Dynamics of Plates", Marcel Dekker Inc., 1998