

# ANSYS と可視化対話 Front End を併用した ピアノシミュレータの音質改善の試み

ATTEMPT AT TONE QUALITY IMPROVEMENT OF PIANO SIMULATOR  
COMBINING INTERACTIVE FRONTEND WITH ANSYS

酒井康博<sup>1)</sup>、梅谷征雄<sup>2)</sup>

Yasuhiro Sakai and Yukio Umetani

1) 静岡大学 情報学研究科情報学専攻 (〒432 - 8001 静岡県浜松市城北 3 - 5 - 1, cs1040@s.cs.inf.shizuoka.ac.jp)

2) 工博 静岡大学教授 情報学部情報科学科 (〒432 - 8001 静岡県浜松市城北 3 - 5 - 1, umetani@cs.inf.shizuoka.ac.jp)

A highly accurate piano simulator is being made now. The simulator is very excellent as not only the piano pronunciation mechanism clarification but also the tool for the sound synthesis. However, it doesn't reach an actual piano sound in the sound synthesis only with a piano simulator no matter how it is highly accurate. Therefore, we made a synthetic sound that was more high-quality than the current piano simulator by combining interactive front end simulator with the results produced by the structure and the analysis package software and ANSYS.

**Key Words:** ANSYS, Piano simulation, soundsynthesis

## 1. はじめに

楽器の発音機構解明のため、または音合成の 1 つの手段として、計算機を用いての楽器の物理シミュレーションは行なわれてきた。楽器の振動特性を物理法則に基づき微分方程式などでモデル化を行ない数値解析することは、設計における個々のパラメータの影響を評価するのに役立つものとなる。また、合成音の生成においても、数値解析において計算された値を直接手に入れて波形化することができ、高い音質を再現することも可能となる。しかし、現在の可視化対話シミュレータにおいて作成される合成音は、響板モデルの精度、シミュレーション方式等の問題で実音にまで至っていない。

そこで本研究では有限要素法解析ソフト ANSYS で作成された高精度の響板モデル[1]と可視化対話シミュレータを併用することで合成音の音質向上を目指すものとする。

## 2. ピアノ合成音の作成法と実音との差異

### (1) 合成音の作成方法

ピアノは主に弦、駒、響板がそれぞれ連動し、振動することによって発音している。これらの発音の機構をそれぞれコンポーネントとして作成し、そのオブジェクト同士をつなぎ合わせることで、ピアノシミュレータを形成している。しかし、現在の可視化対話シミュレータの響板コンポーネントは響板自体の複雑性と、計算の簡略化の観点から 100(cm) × 100(cm) × 0.1(cm) の正方形等方性響板と想定し、その分割数も 50 と少ない。この響板モデルでは実際のピ

アノ響板とかけ離れており、シミュレータの作成する合成音と本来のピアノ音の大きな差異となってしまうと考えられる。そこで、この響板を使わずに、ANSYS で作成した実形状響板モデル(図 1)を用いることで合成音の作成する。



図 1 ANSYS の実形状響板モデル

この実形状響板モデルの C 音の駒位置に圧力をかけた際の 1 秒分のインパルス応答変位を可視化対話シミュレータの弦変位とコンボリューションをとることでピアノ合成音を作成する。また、ピアノ音は響板全体の振動から発生するため、実形状響板モデルに対し、代表点 168 点を取り、その各代表点でのインパルス応答変位をある観測位置で合成し、その合成インパルス応答変位を弦変位とコンボリューションして合成音とする。時刻  $t$  における弦変

位を  $R(t)$ 、響板インパルス応答変位を  $F(t)$ 、合成音を  $U(t)$  とし、響板のインパルス応答のステップ数を  $x$  とするとその合成の式は以下になる。

$$U(t) = \int_0^t F(x)R(t-x)dx \quad (1)$$

## (2) 実音との比較

以上のようにして作成された合成音と、実際のピアノ音それぞれの約 1 秒間でのスペクトル分布を図 2、図 3 として記述する。また、以後の比較音は全て C 4 の音とする。

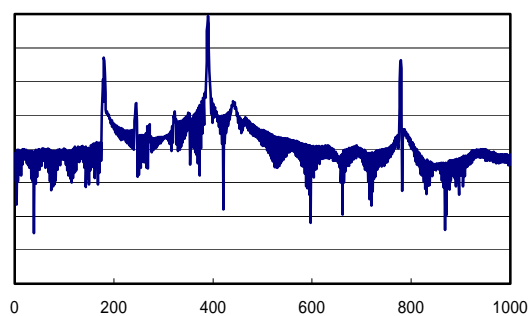


図 2 合成音スペクトル分布図

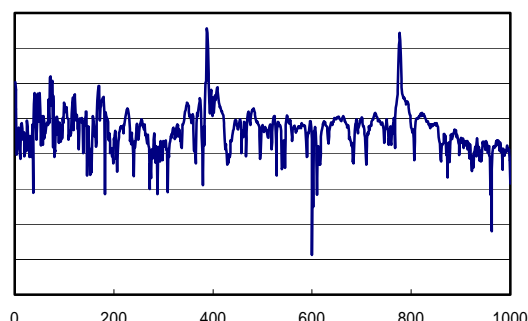


図 3 実音スペクトル分布図

倍音成分や全体像は実音に近いが、倍音成分以外の周波数、特に低周波数成分が実音に比べて低くなっている。この C 4 音よりも高音域では、さらに低周波数成分の実音との差が大きくなっていく。

## 3．響板モデルのパラメータ変更

### (1) 合成音の問題点

前章における合成音は、低周波数域でのスペクトルにおいて実音と合成音では大きな差異があった。この原因として考えられるのは、実形状響板モデルにおいて観測点での音圧を合成する際、その放射音を振動変位データからそのまま用いていることが考えられる。本来放射音圧は、音源部分の速度を用いて合成するのが望ましいとされるため、この観測点での響板変位を速度として合成し直すことで、合成音の音質向上を目指す。

### (2) パラメータ変更の結果

パラメータ変更後の合成音のスペクトル分布図を図 4 として記述する。

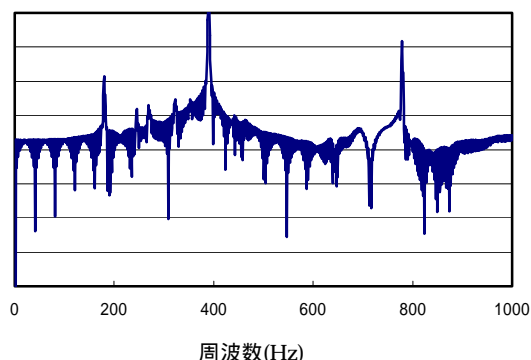


図 4 パラメータ変更後のスペクトル分布図

前節の図 2 と図 4 を比較して、パラメータ変更により低周波数域におけるスペクトル分布は実音に近づけることができた。しかし、図 3 の実音のスペクトル分布図と比べると未だ違いがある。また、高音域ではパラメータ変更前と比べほとんど変化がなかった。高音域位置では響板自体のインパルス応答変位が小さいため、速度に変更しても大きな影響が出にくかったためではないかと考えられる。

また、この合成音の作成方法の問題点として、弦と駒響板をそれぞれ別々にシミュレートし、後にコンボリューションしていることが挙げられる。本来ピアノ響板に弦からの圧力が駒を通して加えられ、その圧力に対する響板の変位が弦に影響を与えるという相互作用の力が働いている。しかし、この合成方法では響板から弦へのフィードバックがなく、弦と駒の接点における変位は 0 ということになる。可視化対話シミュレータと ANSYS を直接接続して同時にシミュレートを行うことで解決はできるものの、ANSYS 単体での動作時に 1 秒分のインパルス応答を作成するのに 6 時間かかり、可視化対話シミュレータと連動して動作させた場合さらにシミュレーション時間がかかってしまい、可視化対話シミュレータとして現実的ではない。

そこでこの問題を解決するために現在のシミュレート方式とは異なる方法でのピアノ合成音の品質改善を検討した。

## 4．ANSYS と可視化対話シミュレータの接続

### (1) 接続概要

ANSYS との直接接続で問題となったシミュレーション時間を解消するための方法として、先に ANSYS 側で外力インパルスに対する時系列変位応答[2]を求めておき、必要なデータを準備し、弦コンポーネントより出力される弦張力データとの合成積をとることにより次時間ステップの弦変位データを計算することで ANSYS との接続を行う。[3]

ANSYS 側で実形状響板モデルのインパルス応答解析を行った結果をファイル形式で準備し、可視化対話シミュレータで、結果のファイルからのデータと弦張力の合成積から、

次時間ステップでの弦変位を計算して弦に伝える。図5としてこの接続モデルを図示する。

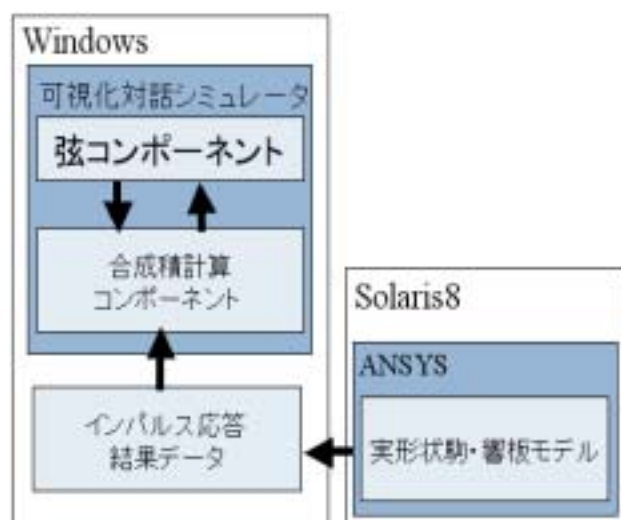


図5 ANSYS と可視化対話シミュレータの接続モデル

## (2) 合成音の比較と実音との検証

単体実行での約1秒間のスペクトル図が図6のようになる。C4弦音と響板音を用いて同じ響板インパルス応答データと、弦変位データを用いて、シミュレート方式の違いによる合成音の比較を行う。

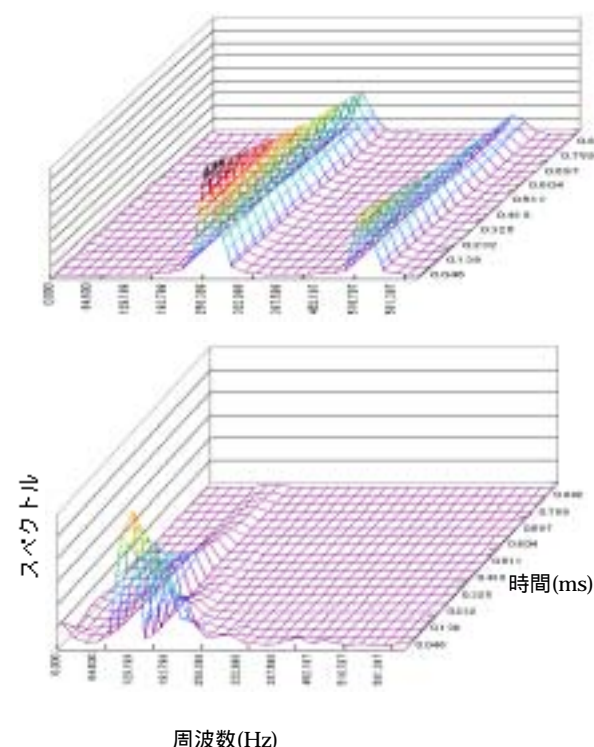


図6 弦単体(上)と響板単体(下)のスペクトル図

ANSYS と可視化対話シミュレータを接続しない場合の1秒間のスペクトル図を図7として、接続した場合の1秒間のスペクトル図を図8として示す。

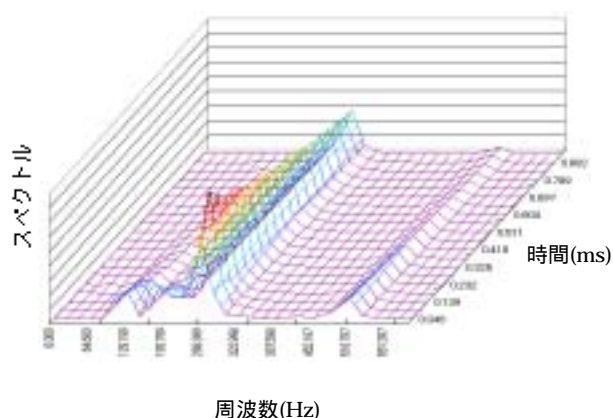


図7 弦と響板を別々にシミュレートしたスペクトル図

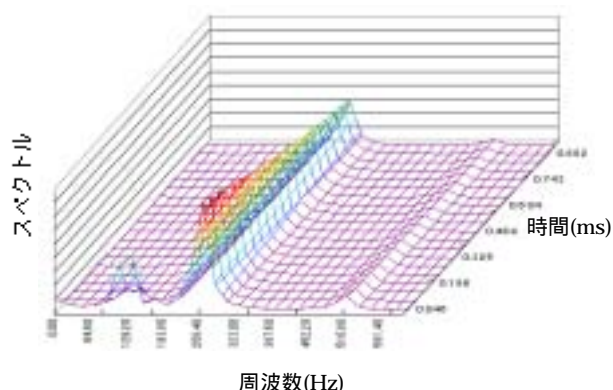


図8 弦と響板を同時にシミュレートしたスペクトル図

2音とも主成分や、その減衰傾向にはほとんど差がなく、弦単体の場合には強く出ていた倍音成分が、合成音になったことで弱くなってしまっている。しかし、主音よりも低い周波数である、響板音に違いが見られた。図7の場合は響板音より、やや高音の周波数スペクトルが強く出ているが、実音のスペクトル図[図9]にはそのようなスペクトルは出ていないことからコンボリューション時に副産物的に出来てしまうノイズであると考えられる。

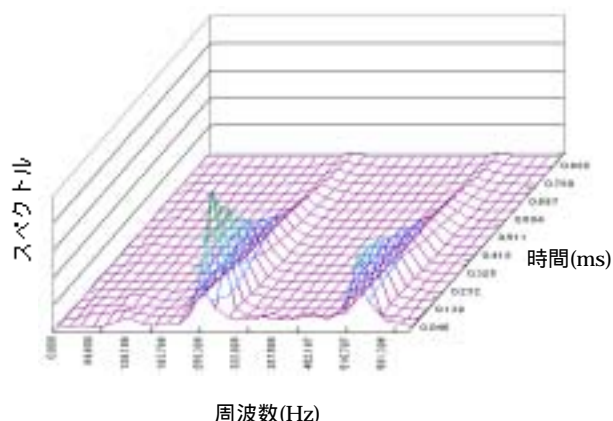


図9 実音のスペクトル図

## 5. 今後の課題

本研究の目的であるピアノシミュレータの音質改善つ

いて、パラメータ調整という点では改善できたと感じるが異なるシミュレート方式での改善にはまだ至っていない。シミュレート方式の違いによる音の違いは、パラメータ調整と同じように1秒単位での平均スペクトルでの比較からではほとんどわからないほどであり、聴覚による差異は感じ取れなかった。

また、実音の時系列データから、現在の合成音は、音の減衰率と倍音成分が大きく異なっていることが見てとれる、音の減衰と倍音成分は弦が深く影響を与えているため、今後の課題としては弦の減衰率と倍音成分の調整が挙げられる。さらに現在では一度に3弦までしか動作させて、他の弦はないと仮定してシミュレートしているため、他弦の影響も考慮出来るように弦モデルの忠実化も望まれる。

#### 参考文献

- 1) 柘植敦司、梅谷征雄：ピアノ響板における減圧とムクリ形状効果の解析、日本音響学会音楽音響研究会資料 MA2003-42, pp.13-1(2003)
- 2) CAD/CAE 研究会：ANSYS 工学解析入門、理工学社、2001
- 3) 窪田篤司、梅谷征雄：可視化対話シミュレータとANSYSを併用するピアノ弦振動シミュレーション、計算工学講演会論文集 Vol.9, pp667-670(2004)