平成21年度「革新的な三次元映像技術による超臨場感コミュニケーション技術研究開発」の開発成果について

1．施策の目標

・人体を収容できる大きさの3次元音響空間についてリアルタイムに音響レンダリングできるシステム(シリコンコンサートホール)を2013年までに開発する。具体的には，直方体領域(2m×2m×4m程度)の室内音場を想定し，音声周波数帯域(3kHzまで)のシリコンコンサートホールの実現を目指す。

2．研究開発の背景

・超臨場感コミュニケーションにおいてリアルな雰囲気を醸し出すには，三次元映像技術だけでなく音響技術の開発が不可欠である。コンピュータグラフィックス(CG)の分野では，コンピュータ内の仮想空間をディスプレイ上にレンダリングすることでリアルな視覚情報を提供しているが，これと同様に音響レンダリング技術を実現できれば，超臨場感を音響についても提供できるものと考えられる。さらに，波動音響理論に基づく音響レンダリングをリアルタイムで実現する技術(シリコンコンサートホール)が開発されれば，超臨場感コミュニケーションに革新的な変革をもたらすものと期待される。

3．研究開発の概要と期待される効果

・研究開発で扱う音響レンダリング技術は主に，①音場シミュレーションのハードウェア化手法，②ディジタル境界処理技術，③音場LGA法によるレンダリング技術に大別される(下図)。

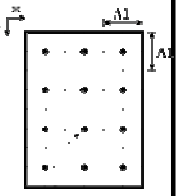
①音場をDHM法で細かいセルに分割し，セルを演算回路としてFPGA上にハードウェア化することで，リアルタイムに音場のシミュレーションが可能となる音響レンダリング技術の開発を目指す。これにより，シリコンコンサートホールの基礎技術の構築が期待される。

②ホールなどの壁面反射率に任意の周波数特性をディジタルフィルタで組み入れることで，多様な壁面材質が容易に再現可能となり，臨場感を飛躍的に増大した音響レンダリングが可能となる。さらに，本技術を椅子などの構造物の散乱応答へ適用すれば音響テクスチャの概念へと拡張できる。

③格子ガス法を音響波動方程式に適用させた音場ＬＧＡ法を開発し，超並列化による次世代のリアルタイム音響レンダリングを目指す。

①音場シミュレーションのハードウェア化手法

DHM法：音場を細かいセルに分割し，各セル内の音波伝搬・散乱を計算する



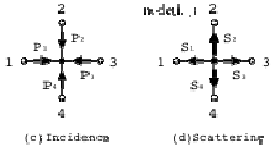
2次元音場シミュレーション回路

セルを演算回路として実現し，2次元音場を構成する

1.伝達線路行列

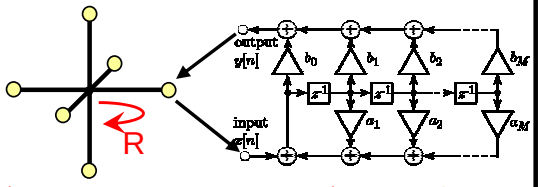
2.高速，回路量を抑えた演算回路の構成法

3.ソフトとハードの協調設計及び動作検証



②ディジタル境界処理技術

ディジタルフィルタで壁面反射率に任意の周波数特性を組み入れることで，音響レンダリングの臨場感を飛躍的に増大

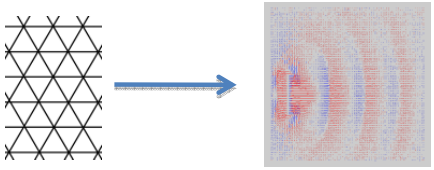


ディジタルホイヘンスモデル(DHM)

ディジタル境界(IIRフィルタ)

③音場LGA法によるレンダリング技術

格子に配置した粒子の振る舞いをブール演算で表現し，超並列演算を駆使して高速リアルタイム音響レンダリングを目指す



空気粒子の挙動の論理演算表現

粗密波伝搬のレンダリング

4．研究開発の期間及び体制

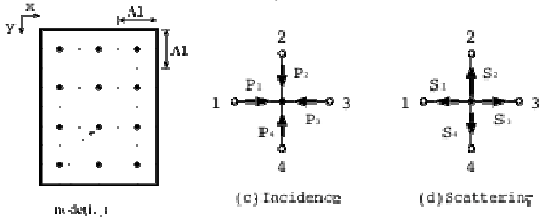
平成21年度～平成24年度 (4年間)

NICT委託研究 (同志社大学、北陸先端科学技術大学院大学、東北大学)

①音場シミュレーションのハードウェア化手法

①音場シミュレーションのハードウェア化手法

DHM法：音場を細かいセルに分割し，各セル内の音波伝搬・散乱を計算



2次元音場シミュレーション回路

セルを演算回路として実現し，それらを接続して2次元音場を構成する

(i) ディジタルホイヘンスモデル法 (DHM法)

(ii) 高速，回路量を抑えた演算回路の構成法

(iii) ソフトとハードの協調設計及び動作検証

(ii) 高速，回路量を抑えた演算回路の構成法

- 本研究開発では，FPGAを用いてリアルタイム音響シミュレーションシステムを構築する．ここで，格子状に分割した空間(セル)それぞれに，音圧を計算するノードを割り当て，FPGA上に並列実装する(図2)
- 各ノードは，固定小数点加算器とフリップフロップのみで構成できる単純な回路である．(図3)

図 1 FPGA board

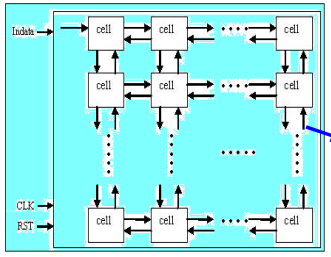


図 2 System diagram

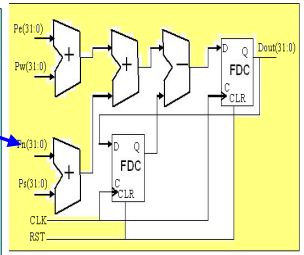


図 3 Cell structure

(i) ディジタルホイヘンスモデル法 (DHM)

- 本研究開発では，DHM は音響伝達の物理モデル(図1, 図2)を用いる．従来多く用いられた FDTD (有限差分時間領域法) は数学モデルである．
- DHMに基づく音響伝達モデルは，図3に示すように，容易にハードウェア回路として実装でき，その回路は単純化できる．

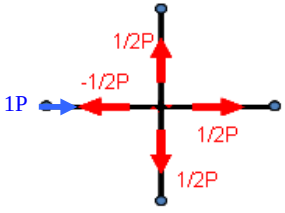


図 1 2D model

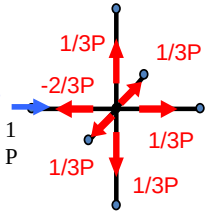


図 2 3D model

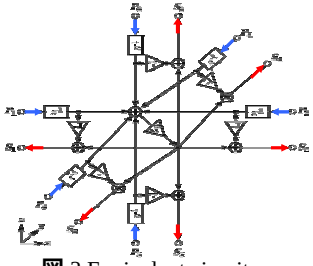


図 3 Equivalent circuit

(iii) ソフトとハードの協調設計及び動作検証

- 音響シミュレーションのためのセルを設計した．最初にC言語でアルゴリズムを実装し，動作を確認した．次に，VHDLでハードウェア回路を設計した．その結果，ソフトウェア記述の動作とハードウェア実装の動作が問題無く一致することが分かった．

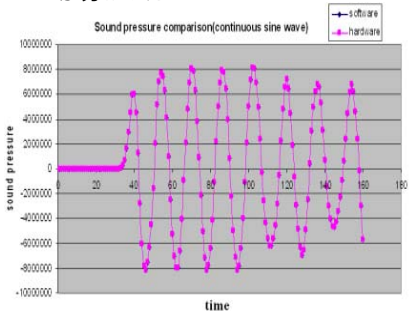


Fig. 1 continuous sine wave

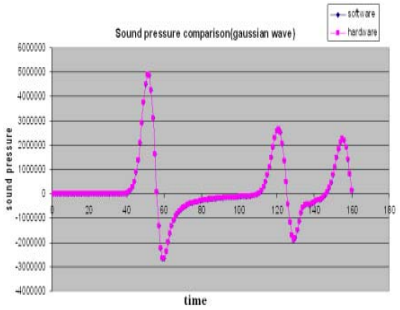
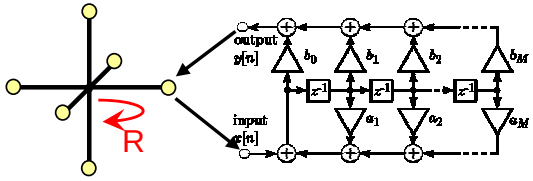


Fig. 2 Gaussian wave

②ディジタル境界処理技術の主な成果

②ディジタル境界処理技術

ディジタルフィルタで壁面反射率に任意の周波数特性を組み入れることで，音響レンダリングの臨場感を飛躍的に増大



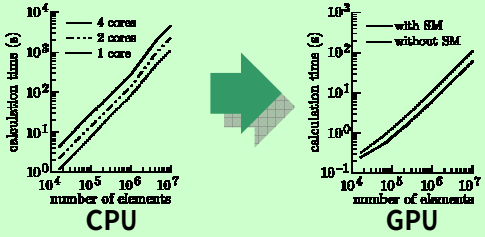
ディジタルホイヘンスモデル(DHM)　ディジタル境界(IIRフィルタ)

A ディジタル境界処理技術
B GPU実装技術
C リンダリング結果提示技術

GPU実装技術

●ディジタル境界をシリコンコンサートホールに組み入れるためには，処理速度の高速化が不可欠である。

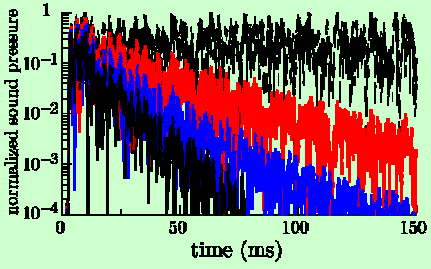
●本研究開発では，処理の高速化に並列処理の得意なGPU (Graphics Processing Unit) を使用し，立方体室において1コアCPUに対し約30倍の高速化を実現(DHMによるレンダリングも含む)，約10.3GFLOPSの演算性能を達成した。



ディジタル境界処理技術

●コンサートホールなどの現実空間の境界壁面には，多様な材質が使用されており，残響特性などのホールの主要な音響特性を支配している。それらの壁面の反射率は任意の周波数特性を有しており，時間領域においては畳み込み積分により応答が求められる。

●本研究開発では，時間領域において任意の周波数特性を組み入れるために，IIR型のディジタルフィルタを壁面に埋め込むディジタル境界を考案し，立方体室において残響特性の制御に成功した。

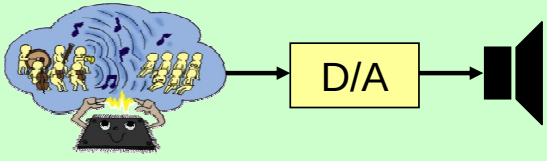


残響特性の変化 (音圧振幅の減衰)

レンダリング結果提示技術

●シリコンコンサートホールの実現には，音響レンダリングの結果を提示する技術も重要となる。

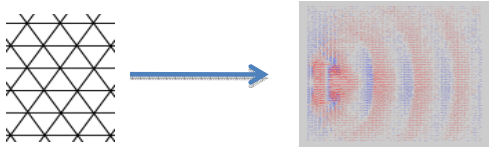
●本研究開発では，8チャンネル同時出力が可能なマルチスピーカシステムを設計・開発中であるが，本年度は1チャンネル分のみの出力を実装し，レンダリング結果の出力が可能であることを確認した。



③音場LGA法によるレンダリング技術の主な成果

③音場LGA法によるレンダリング技術

格子に配置した粒子の振る舞いをブール演算で表現し，超並列演算を駆使して高速リアルタイム音響レンダリングを目指す



空気粒子の挙動の論理演算表現

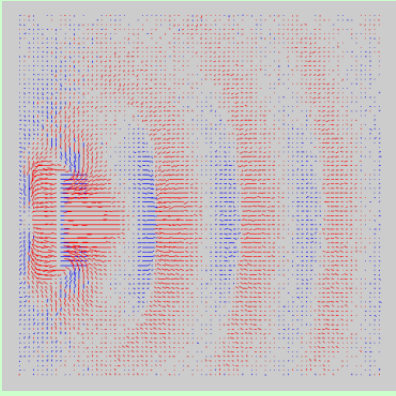
音響物理事象のリアルタイムレンダリング

A. 2次元音場レンダリングの可能性の検証
B. 音響LGA法のための物理表現に関する考察
C. 音源波形の表現に関する検証

2次元音場レンダリングの可能性検証

●LGA法による粗密波伝搬の検証のためFHP-I(三角格子，衝突規則5通り)によりエネルギー伝搬を考慮して，振動板から粒子を放出させた

●格子を16個毎にマクロ化して，計算の並列化をプログラミングして運動量とベクトル方向を可視化することで粗密波の伝搬挙動を観測



音響LGA法のための物理表現に関する考察

●粒子の振る舞いの解釈は，音場表現に適したモデルを構築する必要

●音響インテンシティに着目した音圧分布の推定を考案

格子ガス法

質量(粒子数)
速度(粒子運動)

⇩

流体特性

音響LGA法

音圧(粒子数)
粒子速度(粒子運動)

⇩

音響特性

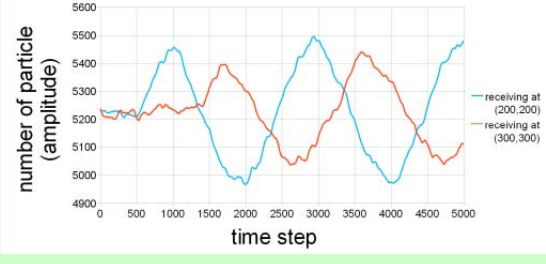
$$|I_r(t)| = \frac{p^2(t)}{\rho c}$$

音響インテンシティの伝搬として解釈

音源波形の表現に関する検証

●音源波形の表現には，粒子変位の大きさが必要でありそのままの1bitの論理演算では困難

●ΔΣ変調を取り入れた1bit波形として表現し，その伝搬を確認した



- 正弦波を点音源から放射
- 格子距離に応じた遅延と距離減衰を確認

1. これまで得られた研究成果 (特許出願や論文発表等)

	国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	報道発表	展示会	標準化提案
五感コミュニケーションの中核的要素技術に関する研究開発	0	0	0	3	0	2	0

⑴ 表彰・受賞

特になし

⑵ 研究成果発表会等の開催について

特になし