

L-6

空中超音波の非線形性を利用したパルスインバージョン法に関する数値シミュレーション  
 Study of Numerical Simulation on Pulse Inversion Method Using Nonlinearity Airborne Ultrasound.

○神谷大樹<sup>1</sup>, 清水鏡介<sup>2</sup>, 伊藤洋一<sup>3</sup>, 大隅歩<sup>4</sup>

\*Taiju Kamitani<sup>1</sup>, Kyosuke Shimizu<sup>2</sup>, Ito Youichi<sup>3</sup>, Ayumu Osumi<sup>4</sup>

Abstract: We have proposed Harmonic Imaging (HI) using the nonlinearity of airborne ultrasonic waves. In this report, a focused airborne ultrasonic source is simulated numerically by the Finite Element Method (FEM). A pulse inversion method (PI) was applied to the results.

1. はじめに

空中超音波の非線形性を利用したハーモニックイメージング(Harmonic Imaging : HI)<sup>[1]</sup>を提案し, 研究を行っている. HI は非線形性の性質より, 高次の高調波になるにつれて信号レベルが小さくなるため, 信号雑音比(Signal-Noise ratio : SNR)が低下する. そのため, 高次の高調波を利用する際には, 受信信号を高感度で検出する必要がある. 本報告では, 空中超音波を励起する集束型空中超音波音源について, 有限要素法(Finite Element Method : FEM)により数値シミュレーションで再現し, その結果に対してパルスインバージョン法(Pulse Inversion method : PI)<sup>[2]</sup>を適用したので報告する.

2. 解析概要

Figure 1 に FEM 解析に用いる点集束型音源のモデルを示す. 点集束型音源は, 音源から 150 mm の位置に集束させるように設計し, 2D 解析でシミュレーションを行った. 材料定数および解析条件をそれぞれ Table 1, Table 2 に示す. 入力条件は, 集束位置で約 10000[Pa] の音圧が得られるように加振部の圧力を設定している. また, FEM 解析は初期位相を  $\theta=0$  とした場合と  $\theta=\pi$  とした場合の条件下で 2 回解析を行った. 上記で取得した集束位置における 2 つの音圧波形を加算することで PI を実施している. なお, FEM は, COMSOL Multiphysics 6.1 を使用し, 圧力音響(過渡)インターフェースの Westervelt 方程式を用いて計算を行った.

3. 結果

結果より, 集束位置の音圧波形において基本波成分および奇数次高調波成分が打ち消され, 偶数次高調波成分が PI 適用前に比べて振幅が増大していることを確認した.

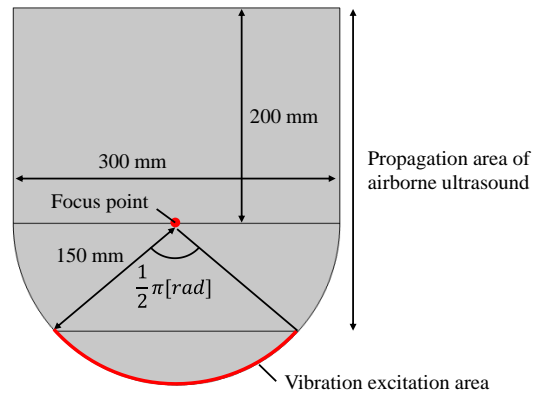


Fig 1. Simulation model.

Table 1. Materials properties.

<b>Materials</b>	Air
<b>Density [kg/m<sup>3</sup>]</b>	1.204
<b>Sound velocity [m/s]</b>	343.4
<b>Nonlinear Parameters</b>	1.2

Table 2. Simulation parameters.

<b>Frequency [Hz]</b>	40,000
<b>Sound pressure [Pa]</b>	1,500
<b>Input signal</b>	Sinusoidal wave
<b>Number of cycles</b>	10
<b>Number of elements</b>	120,056
<b>Shape of elements</b>	Triangle
<b>Time resolution [μs]</b>	1

4. まとめ

FEM 解析を用いて点集束型空中超音波音源の数値シミュレーションを行い, 取得した音圧波形に PI を適用した. その結果, 高次高調波成分を用いた HI の SNR 向上の可能性を得た.

参考文献

[1] Ayumu Osumi et al Jpn. J. Appl. Phys. Vol 58 SGGB14(2019).  
 [2]阿比留巖, 鎌倉友男: 超音波パルスの非線形伝搬. 信学技報 US89-23 53-60(1989).

1 : 日大理工・院(前)・電気 2 : 日大理工・院(後)・電気 3 : 日大理工・教員・電気 4 : 日大名誉教授