

## 音波の高振幅時間反転集束

### 背景：

波を集束する機能は、通信、超音波、非破壊検査（NDT）、医学、オーディオなどの多くの分野で興味深い可能性を提供します。たとえば、生物医学用途では、結石の治療や脳腫瘍を標的とするための碎石術で超音波集束を使用できます。同様に NDT では、TR プロセスが固体材料の欠陥の特定と特性評価に使用されています。さらに、非破壊評価に使用される非接触ソースとして超音波高振幅集束を使用することができます。



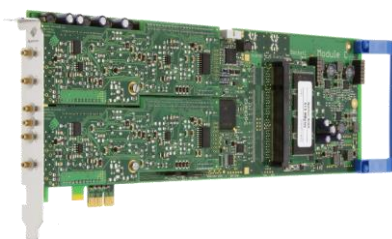
### Time Reversal (TR)：

波を集束させる 1 つの方法は、時間反転（TR）信号処理です。この手法は、遠隔配置された信号源を使用した意図的な波の集束に使用できます。アメリカの Brigham Young 大学の物理学および天文学科の音響研究グループでは、室内で高振幅の音を集束するために TR 技術を使用する研究が行われています。目的は、非線形音響伝搬を研究するため、十分な強度の球面波の仮想ソースを作成することです。

TR 信号処理方法は、前方および後方のステップを使用して、離れた場所にある音源からの音波を集束します。フォワードステップでは、ソースとレシーバのインパルス応答（または周波数領域の伝達関数）が取得されます。その後、インパルス応答は時間的に反転し必要に応じて追加の処理を適用できます。バックワードステップでは、逆インパルス応答がソースからブロードキャストされ、レシーバの位置で音が集束されます。Brigham Young 大学では、音の高振幅焦点が残響室で作成されます。TR は、すべての方向から選択された場所に波を集束させて焦点を生成し、その場所から発散します。そのため、TR 集束後の波の発散は仮想ソースと見なすことができます。

### 高振幅集束実験：

高い集束振幅を実現するために、8 つのホーンが取り付けられた BMS 4590 同軸圧縮ドライバーで構成された実験装置がセットアップされました。測定には、26AC GRAS プリアンプを備えた 0.3175 cm (1/8 インチ) 375 40DP GRAS フリーフィールドマイクを使用しました。マイクには、 $\pm 1$  dB の精度を得るために、175 dB (178 dB ピークまたは 15.9 kPa) のダイナミックレンジ上限が指定されています。12AA GRAS マイク電源を使用して、マイクに電力を供給します。実験に使用される信号は、MATLAB で作成され、



Spectrum 製 M2i.6022-exp



Spectrum 製 M2i.4931-exp

Spectrum 製 M2i.6022-exp 4ch AWG カード (D/A ボード) を 2 枚使用して出力します。

Spectrum カードからの出力は、2 つの 4 チャンネル Crown CT4150 アンプで増幅され、

Speakon ケーブルによりパッチパネルを介して残響室に送られ、次にホー

ンドライバーに送られます。

マイクと GRAS プリアンプ

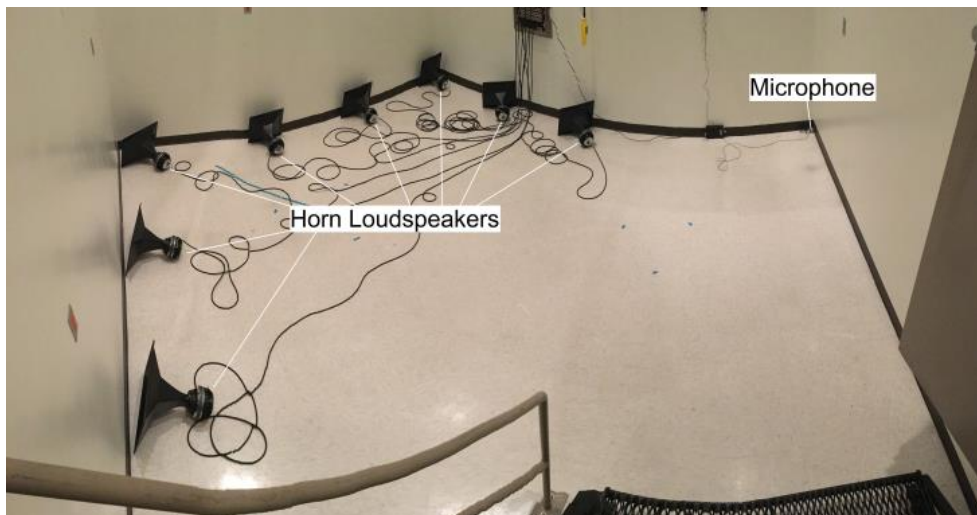


Figure 1 8つのホーンラウドスピーカーとマイクを残響室内に配置した実験セットアップ

からの信号取得は、Spectrum 製 M2i.4931-exp 4ch デジタイザカード (A/D ボード) を使用します。50 kHz のサンプリング周波数で、分解能は 16bit です。Brigham Young 大学の准教授である Brian Anderson 氏は次のように述べています。「さまざまな種類の生成カードと収集カードの使用を検討し、Spectrum 製カードが私達の超音波周波数範囲に対して最も費用対効果の高いソリューションであると判断しました。複数チャンネル、同期の生成と取得、および高いサンプリング周波数の組み合わせは、超音波非破壊評価技術の開発における私たちの研究に理想的でした。また、これらのカードは、サンプリング周波数が高く、発生した急な波形を特徴付けることができるため、部屋の音の非線形音響測定にも使用しました。」 高振幅集束実験のセットアップ写真を Figure 1 に示します。

大学の研究では、音の最大振幅集束を生成するために、クリッピング法として知られる技術を使用することにより、最良のインパルス応答修正法が達成されることがわかりました。残響室内の Spectrum 製 AWG によって駆動される 8 つのホーンスピーカーソースにより、9.05 kPa (173.1 dB ピーク) の最適なクリッピングしきい値が達成されました。

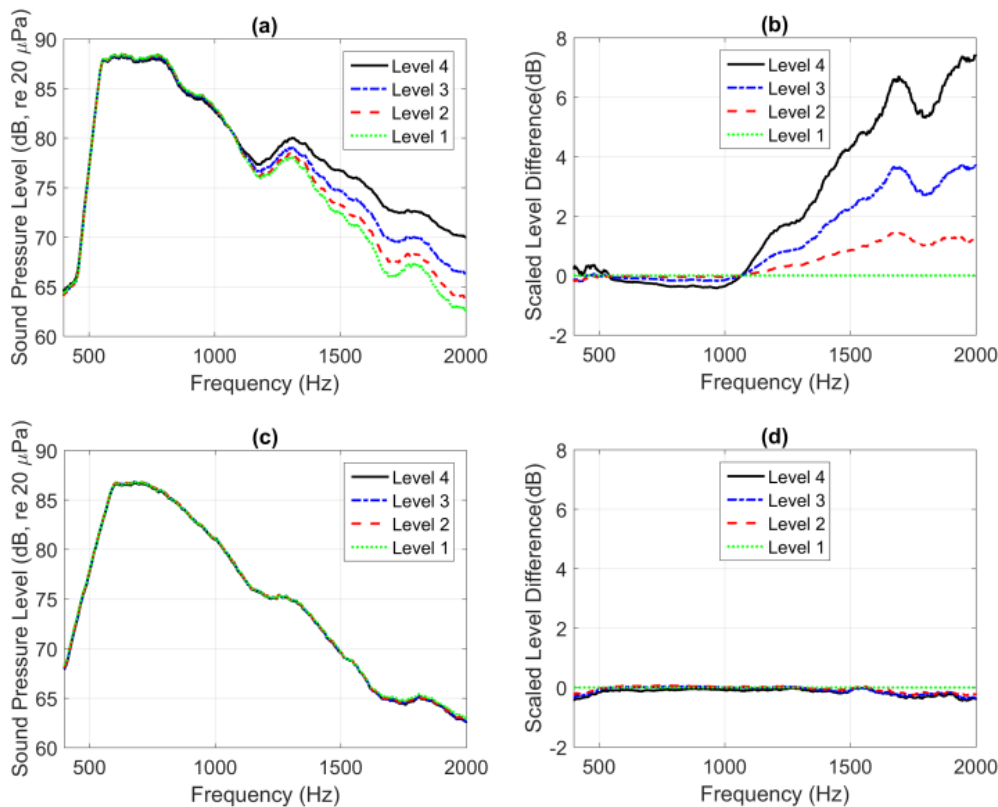


Figure 2 異なる入力振幅を使用した場合の TR フォーカシングの非線形性の結果

より低い振幅で、最高の振幅結果に適切にスケーリングされたこの実験は、これらの高振幅での TR 集束が非線形プロセスであることを立証しています。Figure 2 は、2a) 4 つの異なる入力振幅を持つ集束信号全体の音圧レベルスペクトルのスケーリング、2b) スペクトルの差 (レベル 1 スペクトルの減算)、2c) 時間 0 から 10.4 秒までの焦点時間の前の各焦点信号の部分のスペクトル、および 2d) レベル 1 スペクトルから同じスペクトル部分を差し引いたもののプロット結果を示しています。

### 結果：

結果は、圧縮振幅がより高い集束振幅で非線形に増加したのに対し、希薄化振幅はより高い集束振幅で非線形に減少したことを示しています。線形にスケーリングされた焦点信号のスペクトルにおける低周波エネルギーの減少と高周波エネルギーの増加は、集束の前に観測された線形スケーリングとともに、観測された歪みが振幅依存波急峻効果によるものであることを示唆しています。

解説と著作権：Brigham Young 大学准教授 Brian Anderson



## Spectrum Instrumentation 社について

Spectrum 社は、Spectrum Systementwicklung Microelectronic GmbH として 1989 年に設立され、2017 年に Spectrum Instrumentation GmbH に改名されました。最も一般的な業界標準（PCIe、LXI、PXIe）で 500 を超える デジタイザおよびジェネレータ製品を作成するモジュール設計のパイオニアです。これら高性能の PC ベースのテスト&メジャーメントデザインは、電子信号の取得・生成および解析に使用されます。同社はドイツの Grosshansdorf に本社を置き、幅広い販売ネットワークを通じて世界中に製品を販売し、設計エンジニアによる優れたサポートを提供しています。Spectrum 社の詳細については、[www.spectrum-instrumentation.com](http://www.spectrum-instrumentation.com) を参照してください。