

レコードプレーヤの定量的な音響評価手法の検討

池上 隆生[†] 和久井 直樹[‡] 矢野 昌平[‡]

[†]長岡工業高等専門学校電子機械システム工学専攻 〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町 888 番地

E-mail: [†] ac34802n@nagaoka-ct.ac.jp, [‡] {wakui, syano}@nagaoka-ct.ac.jp

あらまし レコードプレーヤの音響評価は主に周波数特性や歪み特性等を総合的に判断し、評論家等の受聴により主観的評価がなされる。属人化防止や信頼度向上には主観評価に依存しない評価手法が求められる。本稿ではレコードプレーヤのピックアップ部分であるカートリッジ音響特性を TSP(Time Stretched Pulse)信号, MLS(Maximal Length Sequence)信号によるインパルス応答(Impluse Response:IR)測定法により取得し, t分布型確率的近傍埋め込み法(t-SNE)によりカートリッジ間の音響特性の差異を可視化することで有効な定量的音響評価手法について検討した。
キーワード レコードプレーヤ, インパルス応答, t-SNE

1. はじめに

近年, 温かみのある音, モノとしての味わいを持つとして, アナログ式の音響再生装置であるレコードプレーヤが再注目されている。レコードプレーヤはレコード針を落として音楽を再生することで, デジタル機器とは異なる音質が得られることが特徴である。レコードプレーヤの音響評価においては, 音響周波数特性や歪み特性などを総合的に判断し, さらに人の耳による受聴によって主観的な評価がなされている。そのため, 主観評価に頼らず定量的な評価を行うことで, 属人化を防ぐこと等が求められている。そこで, レコードプレーヤの音響特性を IR 測定手法を用いて取得し, 定量的な音響評価を得る手法について検討する。本稿では, レコードプレーヤのピックアップ部分であるカートリッジの音響評価を目的とした。

2. IR 測定用アナログレコード

IR 測定用信号として代表的なものに, TSP 信号や MLS 信号がある。これらを収録した IR 測定用アナログレコードを作製した。(図 2.1) アナログレコードのサイズは LP($\phi 12$ inch)で, 回転速度は 33.3 rpm である。収録信号は, サンプリング周波数 44.1 kHz での再生を想定した際の信号長で, TSP においては 2^{14} , 2^{15} , 2^{16} , MLS においては $2^{14}-1$, $2^{15}-1$, $2^{16}-1$ とした(以下, 信号長 14, 信号長 15, 信号長 16 と表す)。各信号においてステレオ, モノラル(L, R) で約 2 分間となるよう繰り返して収録されている。

3. IR 測定実験

レコードプレーヤの音響特性はトーンアームやカートリッジの他, ケーブル等の機械的な特性および電気的特性に依存していることが知られている。これらの特性を, IR 測定手法により取得する。本稿ではカートリッジの音響評価を目的としているため, 異なるカ



図 2.1 IR 測定用レコード

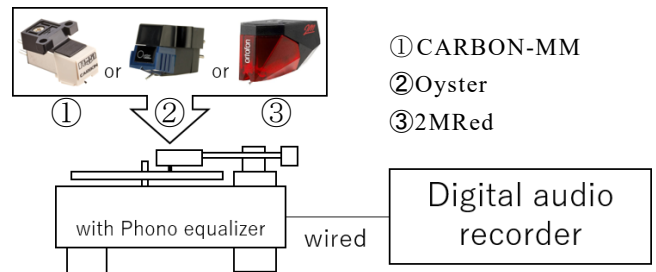


図 3.1 IR 測定実験ブロック図

ートリッジを付け替えて測定することでカートリッジ毎の音響特性を得る。

3.1. 測定実験

図 3.1 に IR 応答測定のプロック図を示す。付け替えるカートリッジとして, Rega 製の CARBON-MM, Sumiko 製の Oyster, Ortofon 製の 2MRed の 3 種類(表 3.1)において測定実験を行った。レコードプレーヤ(TN-4D)より IR 測定用アナログレコードを再生し, デジタルオーディオレコーダ(DR-100MKIII)で録音される(サンプリング周波数 192 kHz)。また, レコードプレーヤには, 本来の音を再生するために, 逆 RIAA カーブ特性を持つフォノイコライザが内蔵されている。デジタルオーディオレコーダに録音されたデータを PC に取り込み, IR 導出処理を行う。1 回のレコードの再

表 3.1 カートリッジの仕様

	CARBON-MM	Oyster	2MRed
針先	丸針	丸針	楕円針
針圧[g]	2.5	2.3	1.8
電圧[mV]	2.5	4.0	5.5

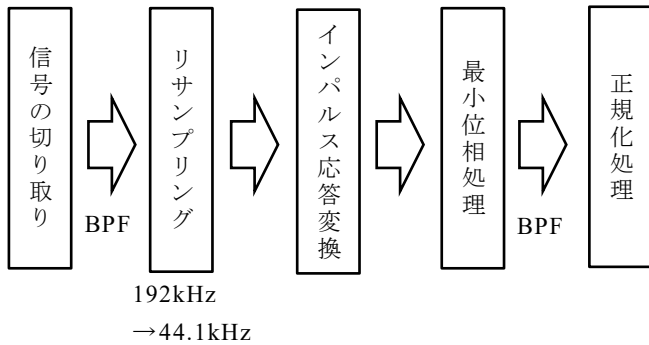


図 3.2 録音データの処理手順

生で MLS 信号及び TSP 信号において、信号長 14, 15, 16 に対して 298 個, 148 個, 73 個の IR 信号が導出される。レコード盤に収録されている全信号に対して 2 回行った。

3.2. 録音データの処理方法

録音データに対し、図 3.2 の手順で IR 導出処理を行う。最初に、連続で流れる信号をまとめて録音しているため、IR 測定用アナログレコードに記録されている個数分の信号の切り出しを行う。切り出した信号の内、各信号の最初と最後の信号は、信号でない音が含まれているため扱わない。次に、サンプリング周波数を 192 kHz から 44.1 kHz に変換するリサンプリング処理を行い、IR 変換処理を行う。さらに、切り出しによる波形のずれや、レコード再生時の遅延による位相のずれを揃えるためにヒルベルト変換を用いて最小位相処理を行う。そして音の大きさを合わせるために正規化処理を行う。また、処理過程において、折り返し歪み等を防止するために BPF (Band-pass filter) 処理(20 Hz~20 kHz)を行っている。

3.3. 測定結果

信号長 15 の TSP 信号(モノラル L)における各カートリッジの IR の時間振幅特性と周波数振幅特性を図 3.3 の上下に示す。図よりカートリッジの違いにより周波数振幅特性に違いが発生していることがわかる。

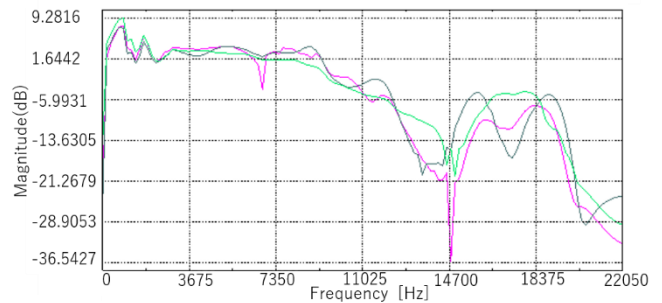
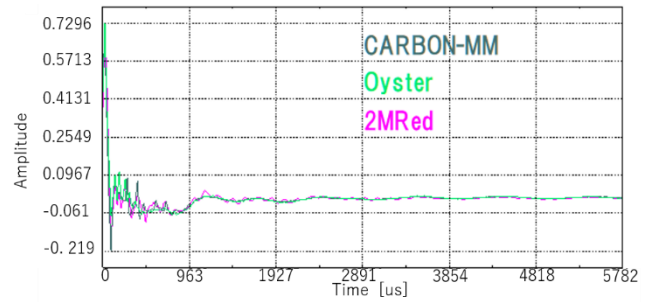


図 3.3 測定された IR

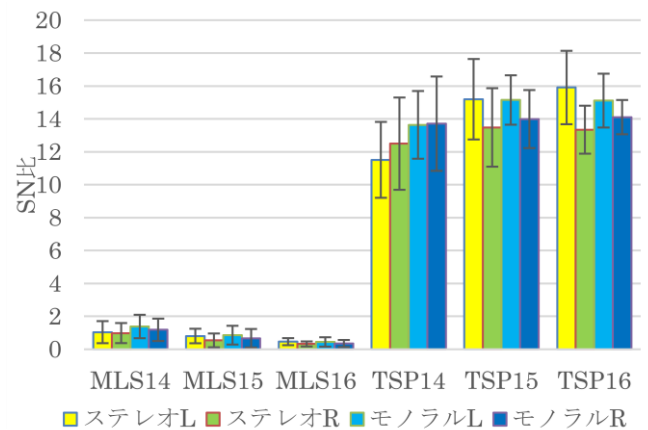


図 4.2 SN 比の比較結果

4. SN 比によるインパルス応答の比較

4.1. SN 比の算出方法

得られた IR に対して SN 比を算出した。SN 比とは信号レベルとノイズレベルの比を示す値である。この値が大きい程、信号中の雑音成分が少ないことを示す。SN 比の算出においては、信号の長さの前半分を信号とし、後半分をノイズとする。SN 比は、信号レベルからノイズレベルを対数値で引くことにより求められる。

4.2. SN 比の比較結果

各 IR の SN 比について種類別に平均をとった。平均値と標準偏差を図 4.2 に示す。SN 比を比較すると、MLS 信号よりも TSP 信号の方が平均 13 dB 程度 SN 比が高いことが分かった。これは、レコードプレーヤの再生時に発生する回転ムラ等によるサンプリングの時間揺らぎの影響が関係していると考えられる。TSP 信号と比較して MLS 信号は、時間揺らぎの影響が誤

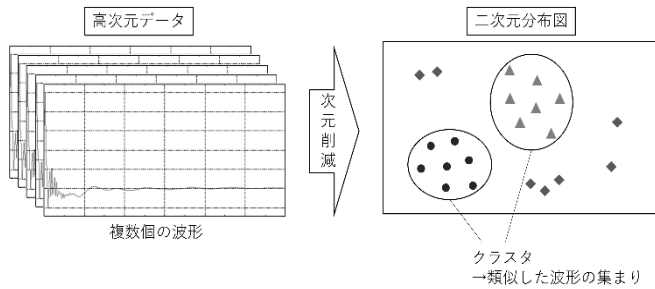


図 5.1 t-SNE の変換イメージ

差として発生しやすいことが知られている[1]. これらのことから, レコードプレーヤの IR 測定においては, MLS 信号よりも TSP 信号の方が適していると考えられる. MLS 信号では信号長が小さい方が, TSP 信号では信号長が大きい方が SN 比が高いことが分かった.

5. t-SNE による差異の可視化

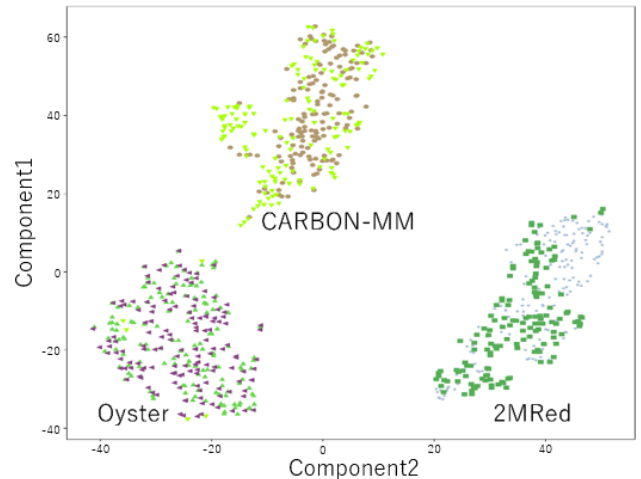
3 種類のカートリッジの音響特性の差異を可視化するために t 分布型確率的近傍埋め込み法(t-distributed Stochastic Neighbor Embedding: t-SNE[2])を用いる.

5.1. t 分布型確率的近傍埋め込み法(t-SNE)

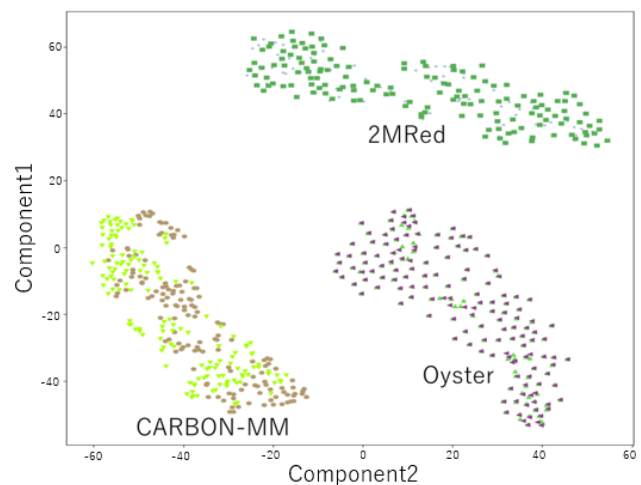
t-SNE は高次元データを可視化するための機械学習アルゴリズムである. 高次元データを 2 次元や 3 次元に落とし込むための非線形次元削減手法であり, 高次元での距離分布が低次元での距離分布にもできるだけ合致するように変換する. 本研究では, 3 種類のカートリッジの IR 波形を t-SNE によって 2 次元平面上にプロットする(図 5.1). この際, 類似したデータがまとまってプロット(クラスター形成) されるため, そのクラスターリング結果よりカートリッジの音響特性の差異を確認する.

5.2. t-SNE による差異の可視化結果

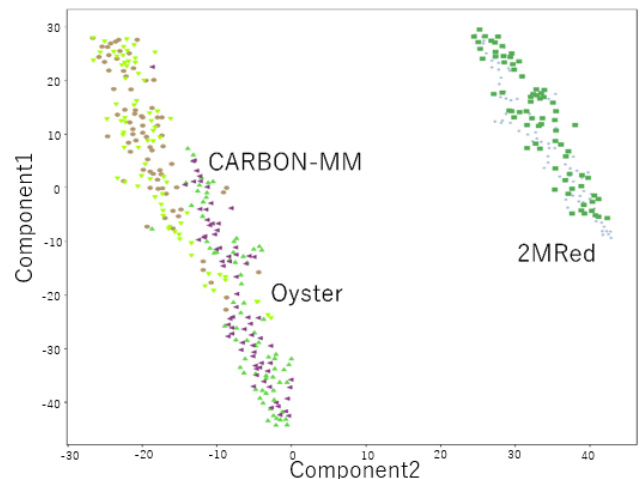
各カートリッジにおいて測定した TSP 信号及び MLS 信号による IR 波形 2 回分を, t-SNE を用いてクラスターリングした. 信号長 15 の TSP 信号(モノラル L)のクラスターリング結果を図 5.2(a)に, 信号長 15 の MLS 信号(モノラル L)のクラスターリング結果を図 5.2(b)に示す. 可視化結果より, カートリッジ毎にクラスターが形成されていることから, 音響特性の差異が見られることが分かった. 同様に他の信号においてもカートリッジ毎にクラスターが形成されていることが確認できた. しかし, 3 種類にクラスターリングされないこともあった. 信号長 16 の TSP 信号(モノラル R)のクラスターリング結果(図 5.2(c))を見ると, 2MRed と他 2 つのカートリッジで別れてクラスター形成されているように見られる. これは, Oyster と CARBON-MM には共通で 2MRed とは異なる点として, 2MRed が楕円針なのに対し, 他



(a) 信号長 15 の TSP 信号(モノラル L)



(b) 信号長 15 の MLS 信号(モノラル L)



(c) 信号長 16 の TSP 信号(モノラル R)

図 5.2 t-SNE によるクラスターリング結果

2 つのカートリッジが丸針であることが関係していると考えられる. また, 3 種類にクラスターリングされない現象が起こるのは信号長 16 のモノラル R の時だけであり, この信号が IR 測定用アナログレコードにおいて 1 番内側に収録されていることも関係していると考えられる.

6. まとめ

レコードプレーヤ部品であるカートリッジの音響特性の、IR 測定手法による取得実験を行った。まず、インパルス応答測定用信号である TSP 信号と MLS 信号を収録した IR 測定用アナログレコードを作成した。次に、カートリッジを 3 種類付け替えて IR 測定を行った。そして、t-SNE を用いて各カートリッジ間の音響特性の差異を可視化し、それらに差異が確認された。これにより、IR 測定手法を用いることでカートリッジの音響特性を得られることが分かった。また、SN 比の比較を行い、MLS 信号に比べて TSP 信号の方が SN 比が高いことから、レコードプレーヤの IR 測定には TSP 信号が適していると考えられる。今後、カートリッジの良し悪しを評価する手法を検討する予定である。これにより、製品生産時に良品・不良品等の評価を人がする必要が無く、属人化を防ぐことができると考えている。また、トーンアーム等の部品についても検討する予定である。

文 献

- [1] 矢野昌平, 波多野裕, “インパルス応答測定における時間揺らぎの影響”, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J91 A, No.3, pp.306-314, 2008.
- [2] L. Maaten, and G. Hinton, Visualizing data using t-SNE, *Journal of Machine Learning Research* 9, 2579-2605, 2008.