

# エリアイメージセンサの部分読み出しによる SP 盤の音溝画像合成

魚住 純\*

Composition of sound groove images from SP discs by means of partial readout  
of an area image sensor

Jun Uozumi\*

## 1. はじめに

SP (standard playing) 盤は、いわゆる LP (long playing) 盤の登場以前に広く利用されていたモノラルの円盤レコードである。エジソンのスズ箔蓄音機に端を発するろう管に比べて、プレスによる量産が可能な SP 盤の登場は、音楽や語りなどを個人の所有として購入し繰り返し聴く楽しみを庶民に広めるとともに、音楽家や言語学者などに対しても、貴重な音楽や音声の録音およびその繰り返し再生が可能な媒体として、研究のための重要な手段を提供した。その結果、多くの貴重な音響資料が作成され、その多くが現在も世界の各地に残されている。しかし、そのようなレコードの中には、ひびや割れ、一部欠損などによって針による再生が不可能なものや、レコード自体が貴重な文化財とみなされ、摩耗を伴う触針式の再生を嫌うものも多い。また、金属製の原盤は、破損はし難いものの、不適切な保存によって錆が発生し、それが触針式の再生を阻む場合もある。

そのような円盤レコードから貴重な音情報を取り出す方法として、光学的方法や画像処理を用いた非接触な原理に基づく様々な再生法の開発が試みられてきた<sup>1)</sup>。筆者は、レーザビームをレコードの音溝に照射し、音溝による光回折現象を利用して音溝の向きを検出し、実時間で SP 盤を再生するレーザ回折法<sup>2)</sup>を開発しているが、その再生音には、レーザ光の散乱に起因するノイズが伴うことから、それを回避すること

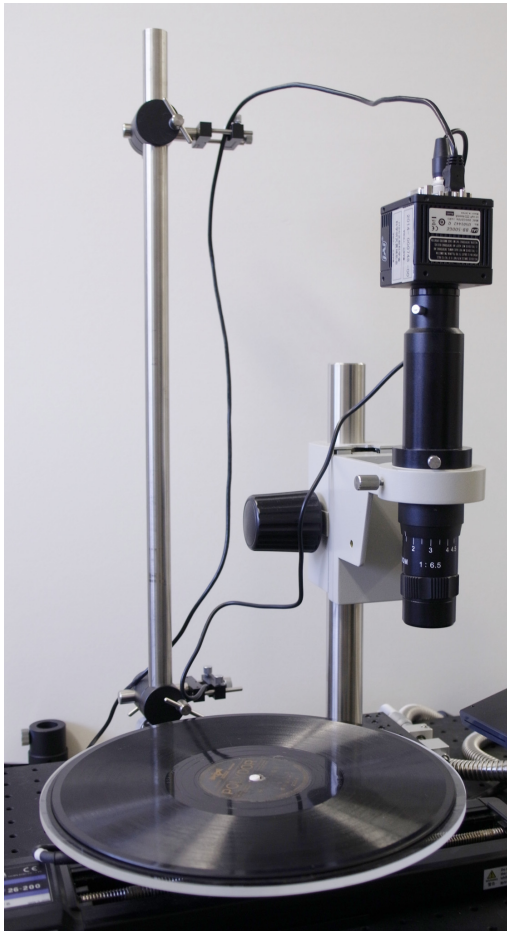
を目的に、デジタルカメラを用いた比較的簡便な音再生法の開発を進めている。その第一段階として、SP 盤の音溝を顕微鏡により拡大し、レコードを一定角度ずつ回転させながら、その区分的拡大静止画像を連続的に撮影して得られた一連の画像から音信号セグメントを生成し、それらを順次接続して音を再生する方法を試みてきた<sup>3)</sup>。この方法は、各撮影フレーム内において高精度な画像が得られる特徴を有するが、その反面、隣接するフレーム間の音信号の接続が再生音の音質を大きく左右することから、十分な接続精度の確保が課題となっている。

筆者らは、デジタルカメラによる古ろう管の再生法の開発も進めており<sup>4)</sup>、その中で、SP 盤の場合と同様に問題となる、エリアイメージセンサによる撮影フレーム間の音溝接続の問題を回避する方法として、部分読み出しの可能な CCD エリアセンサから狭い読み出し幅の画像を動画として取得し、そのフレームを接続することにより、ろう管一周分の音溝の連続画像を取得し、その画像を処理することにより音再生を行う方法を導入し、比較的良好な結果を得ている<sup>5)</sup>。

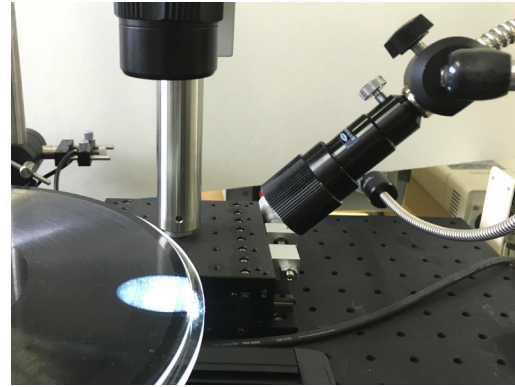
本研究は、SP 盤の再生音の音質向上を図る目的から、古ろう管に用いたこの方法を円盤レコードに適用しようとするものである。現時点までに、レコード 1 周分の比較的高品質な連続画像を取得する方法に関する基本的知見を得たことから、研究ノートとして報告する。

\* 北海学園大学大学院工学研究科電子情報生命工学専攻

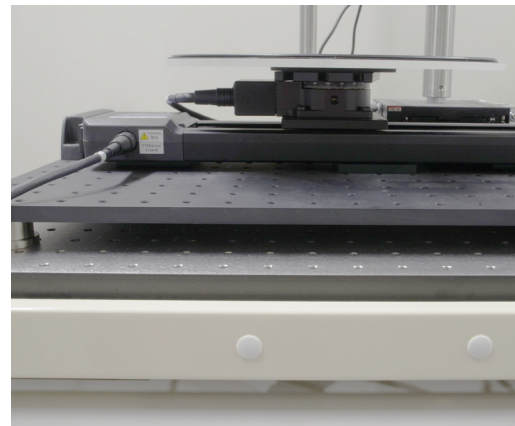
Graduate School of Engineering (Electronics, Information and Life Science Eng.), Hokkai-Gakuen University



(a) 装置主要部



(b) 光照射部



(c) パルスステージと防振台

図 1 実験装置

## 2. 実験装置

実験装置の主要部の写真を図 1(a) に示す．SP 盤の音溝部を単眼ズーム顕微鏡（シグマ光機，MXZ-2）で拡大し，鏡筒の上部に設置した CCD カメラ（JAI, BB-500GE）で撮像する．カメラの出力はイーサネットケーブルを介して GigE によりパーソナルコンピュータ（OS: Windows 7 Professional, 64 bit）に入力する．SP 盤の音溝は，メタルハライド光源（Fiber-Lite, MH-100）から光ファイバ束で導光した光をコリメータレンズにより平行光に近い光束に変換し，図 1(b) に示すように，比較的浅い斜めの角度で照射している．光の角度は，CCD 出力像において音溝が平面部と明瞭に区別されるよう，目視によって定めている．なお，図 1(a) の右端に一部写っている照射ヘッドは，本実験で使用した物とは異なる．

SP 盤は，X 軸パルスステージ（シグマ光機，

SPSG26-200）と回転パルスステージ（シグマ光機，SPSG26-200）を用いて駆動している．図 1(c) に示すように，回転パルスステージを X 軸パルスステージの上に載せ，その上に設置したアクリル板の上に SP 盤を置いている．これらの駆動システムは，外部からの振動を防ぐため，空気ばね方式の卓上型防振台（シグマ光機，DT-A）の上に設置したブレッドボード上に構成している．2 つのパルスステージは，2 軸のパルスステージコントローラ（シグマ光機，SHOT-102）に接続されており，コントローラ自体は，USB 経由の GP-IB（ナショナルインスツルメンツ，GPIB-USB-HS）により，PC から制御している．

## 3. 撮像

本実験で使用した CCD カメラは，有効画素数  $2456 \times 2058$  であるが，部分読み出しの機能

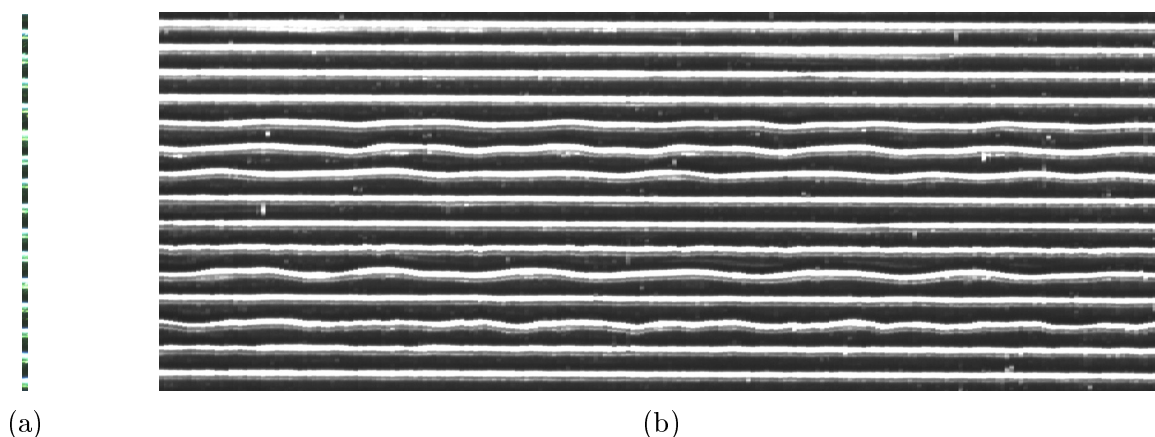


図 2 (a) 幅 32 画素の動画 1 フレームのカラー画像，および (b) 全動画フレームを接続して合成した 1 周分の画像うち，1/20 に相当する部分

を備えており，それを利用して，狭い範囲の音溝画像を取得し，擬似的にラインセンサに近い撮影条件を実現している．部分読み出しの機能は，CCD 撮像素子としては特殊な機能であるが，CMOS 撮像素子には通常備わっている．本実験においてあえて CCD を用いた理由は，CMOS 素子では 1 フレーム内の全画素の露光に必ずしも同時性が担保されないのに対し，CCD は原理的に全画素が同時に露光され，動画撮影モードにおいて場所による露光タイミングのずれが生じないという利点を活かすためである．

上述の構成で，回転ステージにより SP 盤を一定の角速度で回転させながら，カメラの部分読み出し機能を用いて一定の大きさの領域だけを ROI (region of interest) に指定して動画画像撮影した．動画は，1 周の回転分を 1 つの AVI ファイルとして保存し，その後，レコードを  $X$  軸方向に一定距離移動させて，2 周目の撮影を行うという方法を用いた．その際，レコードの回転速度と動画のフレームレートとの関係を整合させる必要がある．

使用したカメラのフレームレートは，ROI の読み出し幅により一定の制限を受ける．本実験では，フレームレートと ROI 幅についていくつかの組み合わせを検討した結果，最終的に ROI 幅 32 ピクセル，フレームレート 30 fps の組み合わせを採用し，これにより撮影を行った．また，撮影した動画をファイルに保存する際に，圧縮の有無を選択する必要がある．圧縮を行うと，ファイルサイズは小さくなるが，画質は低

下する．本実験では，画質を優先して，非圧縮で保存を行った．上記の条件でレコード 1 周分を撮影した場合のファイルサイズは，約 1.4GB であった．

#### 4. 画像の合成と修整

本研究では，実験装置の制御と画像処理を科学技術用計算機言語 MATLAB のプログラムにより行っている．動画撮影した AVI ファイルは，MATLAB の VideoReader 関数を用いて読み込み，連続するフレームを順次接続して 1 フレームの横長の画像に合成した．図 2(a) は，動画の 1 フレームのカラー画像であり，それを合成してモノクロ画像に変換した結果を図 2(b) に示す．ただし，同図にはレコード 1 周の 1/20 に相当する部分だけを表示している．本方法により，通常のエリアセンサによる矩形領域の静止画像を連続的に撮影する場合に問題となる，音溝の円弧状の曲がりの修正，および隣接するフレーム間の音溝画像の接続という処理を行わずに 1 周分の画像が取得できていることがわかる．

一方，1 周分の画像を横方向に 1/20 に圧縮して示したのが図 3 である．この撮影周は，SP 盤のほぼ最外周であり，この画像の上端に音溝の始まりである端点が現れている．図 2(b) に見られる音溝の上下振動は，音信号そのものに対応しているが，横に縮尺している図 3 では，それが細かな振動となっていることが分かる．

図 3 の画像から音信号を抽出するには，2 値

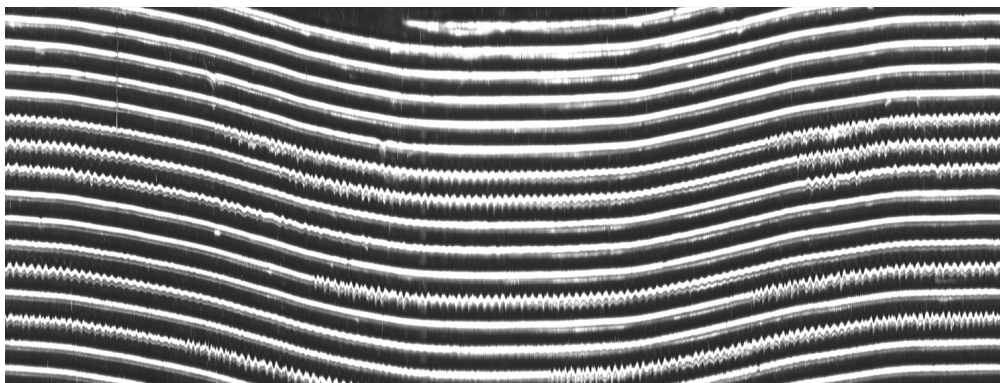


図 3 レコード 1 周分を横方向に 1/20 に圧縮した画像

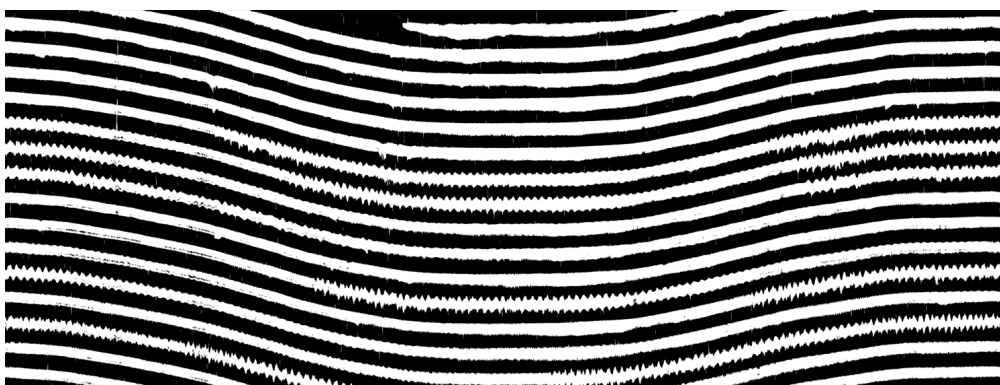


図 4 2 値化後の音溝画像

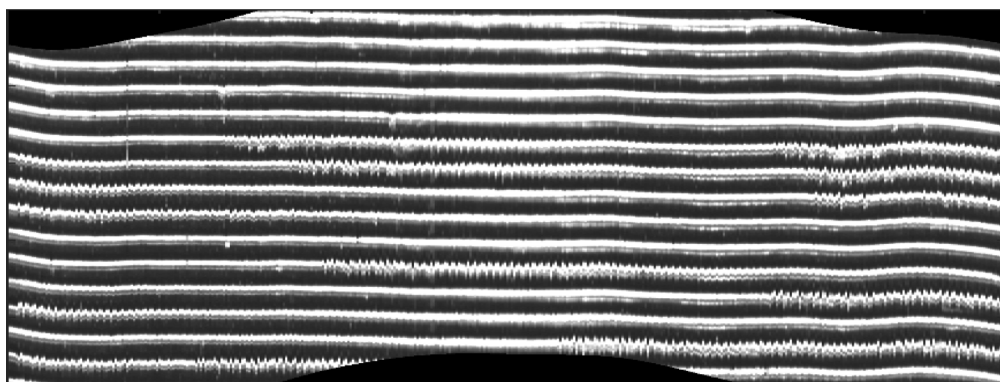


図 5 うねりの除去処理後の画像

化によって音溝の形状を明確にする必要がある．実際に 2 値化を行った結果を図 4 に示す．

また，この図から分かるように，1 周分の音溝画像には，縦に並ぶ一連の音溝の全体にわたる大きなうねりが存在している．これは，レコード盤の中心孔が音溝の中心軸と一致しない偏心に起因するものと推測される．原因は異な

るものの，類似のうねりは，ろう管表面の音溝画像を 1 周分撮影し合成した画像にも見られている<sup>5)</sup>．いずれの場合も，対象の画像からうねりの形状を表す関数を導きだし，うねりを補正する必要がある．

ろう管の音溝に見られるうねりの除去に際しては，2 値画像に対して，ノイズ除去等の画像

調整を行った後，各音溝の中心線を求める細線化処理を行い，その形状からうねりの形状を表す関数を導出して，うねりの補正を行った．本実験においても，図4の2値画像からうねり形状を表す関数を求め，うねりを除去する処理を行った．図3の画像に対する処理の結果を図5に示す．未だ不完全ではあるが，大きなうねりが概ね修整されている．

## 5. おわりに

本報告では，部分読み出し可能な CCD イメージセンサを用いた ROI 指定による撮影動画から，フレーム接続による横に長大なレコード1周分の画像合成について，現時点で得られた結果について述べた．

レコードの偏心によるうねりの修整は，さらに精度を上げる必要がある．さらに，レコードの回転速度と撮像フレームレートの関係についても，現時点では概ね調整されている段階であり，これについても精度の向上を図る必要がある．音溝のうねり除去が適切に行うことができれば，その後の処理は，すでに報告されているように，上下に隣接する音溝の接続により，音信号の抽出は基本的に可能であり，音の再生の成功は近いものと思われる．

本研究は，平成26年度北海学園大学学術研

究助成，および科学研究費補助金（基盤研究(A)）「蠟管等初期録音資料の音源保存，音声復元，内容分析，情報共有に関する横断的研究」の支援のもとで行われた．また，本研究は学部4年生の卒業研究プログラムとも連携して進めてきた．関連するテーマを担当した杉山拓哉，渡辺優太，敦谷蓮，横山直人の各君の協力に謝意を表する．

## 【参考文献】

- 1) 魚住 純：光と画像による古レコードの非接触再生 = 蠟管・SP 盤を針を使わずに再生する = ，光アライアンス，**23**, 5, pp. 21–25, 2012.
- 2) J. Uozumi and T. Asakura: Reproduction of sound from old disks by the laser diffraction method, *Appl. Opt.*, **27**, pp. 2671–2676, 1988.
- 3) 魚住 純：画像処理によるモノラル円盤レコードからの音声再生，北海学園大学工学部研究報告，No. 35，pp. 119–129, 2008.
- 4) 魚住 純・前田尚範・吉田拓馬：古蠟管からの画像工学的音声再生，工学研究（北海学園大学大学院工学研究科紀要），No. 10, pp. 23–32, 2010.
- 5) 魚住 純・三上 亮：エリアイメージセンサの部分読み出しによる蠟管の音再生，工学研究（北海学園大学大学院工学研究科紀要），No. 13, pp. 61–70, 2013.