

バイノーラル技術の応用研究

橋場 参生, 岡崎 伸哉, 飯島 俊匡, 本間 稔規, 高橋 裕之

Study on Applications of Binaural Technology

Mitsuo HASHIBA, Shinya OKAZAKI, Toshimasa IIJIMA,
Toshinori HONMA, Hiroyuki TAKAHASHI

キーワード：バイノーラル, ダミーヘッド, 臨場感, 音響計測, 遠隔点検

1. はじめに

実寸大の頭部模型の両耳鼓膜位置に埋め込まれたマイクロホンを通して音を計測すると、人間が耳で聴く状態を模擬した音響計測が可能になる。この手法は、バイノーラル技術と呼ばれており、実際の聴取に近い音の質感を得られる特長から、音場の録音・再生、ヘッドホンや携帯電話等の音響特性の測定、人間の心理的印象を考慮した音質評価等に利用されている¹⁻³⁾。

本研究では、道内中小企業等でのバイノーラル技術を活用した新事業・新サービスの実現可能性を探ることを目的として、臨場感通信、音響計測・分析、遠隔点検の3つをケーススタディとして、試作や実験を通じた検討を行った。

以下、本報ではまず、バイノーラル技術で用いられる実寸大の頭部模型（ダミーヘッド）の概要と特性について述べ、続いて、バイノーラル技術の活用可能性について検討を行った3つのケーススタディについて順に報告する。

2. バイノーラル技術

2.1 ダミーヘッドの概要

人間が聴いている音は、耳介(耳たぶ)や頭部等での回折・反射の影響によって周波数や位相等に変化が生じているため、通常のマイクロホンで計測された音とは質感が異なる。バイノーラル技術では、図1に示すような両耳鼓膜位置にマイクロホンが埋め込まれたダミーヘッドを用いて音を計測する方法が一般的で、このような方法によって、人間が耳で聴く状態を模擬した音響計測を可能にする。その効果として、実際の聴取に近い音の質感だけでなく、音場の立体感や臨場感を

備えた音の取得が可能になる。図1は、(株)サザン音響⁴⁾製のダミーヘッド(SAMREC)で、本報の計測や実験は、すべてこのダミーヘッドを用いて行っている。



図1 ダミーヘッド

2.2 ダミーヘッドの特性

吸音ボードを内壁に取り付けた組立式防音室（内寸：W1198×D1639×H2163mm）内に、スピーカ（口径：13cm）とダミーヘッドを1mの間隔で対面させて設置し、スピーカから20Hz～20kHzのサイン波を20Hz刻みで発生させてダミーヘッドの周波数特性を測定した。図2(a)にダミーヘッドの左耳側の測定結果を示す。同図(b), (c)には、比較のために、ダミーヘッドの耳介を外して測定を行った場合と、通常のマイクロホン（精密騒音計RION製NL-31を使用）を左耳の位置に設置して測定を行った場合の結果をそれぞれ示した。図2より、ダミーヘッドを用いて音響計測を行った場合には、耳介等の影響によって、3kHz～6kHz付近の帯域等に音圧の変化が生じることがわかる。

事業名：経常研究

課題名：バイノーラル技術を用いた音響計測処理手法の高度化に関する研究

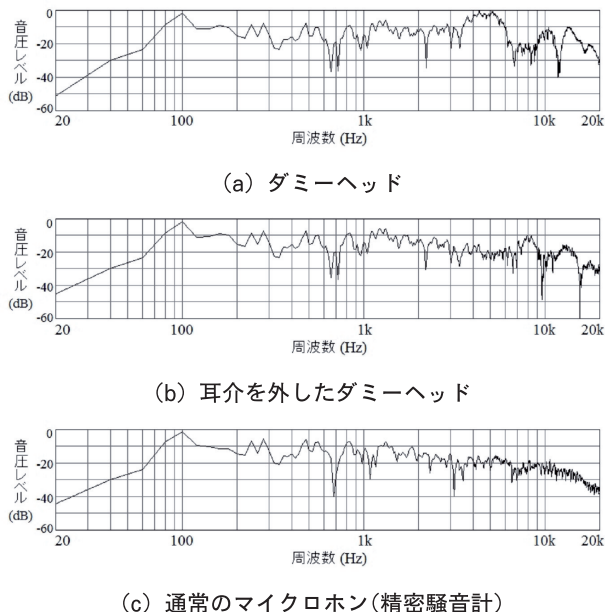


図2 ダミーヘッド等の周波数特性の測定結果

3. 臨場感通信への活用検討

遠隔地の音場を、あたかもその場にいるかのように体感できる臨場感通信サービスへの活用可能性を検討するため、ダミーヘッドで計測された両耳の音を、離れた場所で聴取できる無線送受信システムを試作し、展示会等に出展して来場者の反応を調査した。

3.1 無線送受信システムの試作

試作した無線送受信システムを図3に示す。送信部は、電動雲台に取り付けられたダミーヘッドと無線送信機器で構成し、ダミーヘッドに取り付けたCCDカメラの映像も同時に送信できるようにした。また、受信部では、受信したダミーヘッド両耳の音をヘッドホンで聴取できるようにするとともに、眼鏡型ディスプレイにより、ダミーヘッドが置かれた現場の映像も同時に視認できるようにした。さらに、リモコンスイッチで電動雲台を無線操作することで、ダミーヘッドの向きを上下左右に回転できるようにした。以上の試作の結果、本システムを用いることで、たとえば、ダミーヘッドの前を人が通過した場合には、受信部側で、人の気配も感じるような臨場感で足音等を聴取できるようになることを確認した。

3.2 展示会への出展

試作した無線送受信システムを「いきいき福祉・健康フェア」(2013, 2014: 札幌開催)等の展示会に出展し、一般来場者にバイノーラル技術の体験の場を提供した。図4は2013年の展示の様子で、会場入口に置かれたダミーヘッドからの音や映像を、入口から離れた体験ブースで視聴できる展示構成になっている。また、体験ブースには、図5のように、生

活・福祉分野での活用提案を示したパネルを掲示し、外出が困難な高齢者や障がい者に、遠く離れた観光地や自然環境の音風景を体験できるようにするサービス等の実現可能性について、来場者と意見交換を行った。

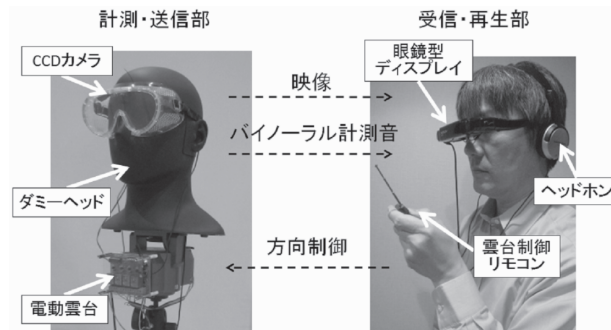


図3 試作した無線送受信システム



図4 いきいき福祉・健康フェアでの展示風景



図5 臨場感通信の活用提案(生活・福祉分野)

3.3 考察と今後の計画

システムを体験した来場者の反応は良好であり、生活・福祉分野等での活用に対しても多くの関心を得られたことから、臨場感通信サービスへのバイノーラル技術の活用は有効であ

り、新規事業の創出等に繋がる可能性も期待できると考える。今後は、具体的事例での実証試験への展開を目指す一方、音だけでなく、映像の高精細化・3次元化を図ることで、より高い臨場感の視聴体験を可能にするシステムへの拡張も進めたい。

4. 音響計測・分析への活用検討

バイノーラル技術の計測・分析への活用可能性について、道内企業から相談があった「トラックミキサ攪拌音からのスランプ値の推定」を適用事例として検討を行った。

4.1 取組の背景

生コンクリートの流動性は、円錐台の試験容器に詰められた生コンクリートの頂点の高さが、容器を引き抜いた際に何cm下降するかによって評価され、その値はスランプ値と呼ばれる。工場で製造された生コンクリートは、トラックミキサで攪拌されながら現場に輸送されるが、輸送に伴うスランプ値の変化を調べるためには、ミキサから生コンクリートを排出して上記の測定を行わなければならない。一方、道内企業からの相談において、当該業務の従事者の中には、ミキサの攪拌音を手がかりにしてスランプ値を推定できる熟練者がいることから、この熟練技能の自動化の可能性を探りたいとの要望があった。そこで、この相談案件を実験対象として、バイノーラル技術を用いた音響計測と分析を行った。

4.2 ミキサ攪拌音の計測実験

生コンクリートの攪拌中にトラックミキサから発せられる音に対して、熟練者がスランプ値を推定しやすいとする聴取位置に精密騒音計とダミーヘッドを交互に設置し、スランプ値が小さい場合(生コンクリートが硬い場合)と、スランプ値が大きい場合(生コンクリートが柔らかい場合)のそれぞれについて、攪拌音の計測を行った(図6)。

図7に、精密騒音計を用いて計測した攪拌音のスペクトログラム(時間-周波数分析結果)を、図8にダミーヘッドを用いて計測した攪拌音のスペクトログラムを示す。両図ともに図(a)がスランプ値が小さい場合の分析結果、図(b)がスランプ値が大きい場合の分析結果で、横軸の時間長はいずれも180秒である。

分析の結果、今回、精密騒音計を用いて計測した攪拌音の場合には、図7に示したように、スランプ値の大・小によってスペクトログラムに明確な違いは確認できなかったが、ダミーヘッドを用いて計測した場合には、図8に示したように、スランプ値の大・小によって濃淡のパターンに変化が生じ、スランプ値が大きい場合(図8(b))の方が、ミキサの回転に伴って周期的に現れる濃い縦縞が比較的明瞭に確認できる結果となった。

一方、精密騒音計を用いて録音された攪拌音と、ダミーヘッ

ドを用いて録音された攪拌音を、当該業務の熟練者にヘッドホンで聞き比べてもらった結果、精密騒音計を用いて録音された攪拌音からはスランプ値を推定し難いが、ダミーヘッドを用いて録音された音であれば、通常聞いている音質に近く、スランプ値の推定も可能であるとの意見を得た。このことから、図8で確認された分析結果の相違点は、今後、熟練者の技能の自動化を目指す際の手がかりのひとつになると考える。



図6 トラックミキサ攪拌音の計測実験

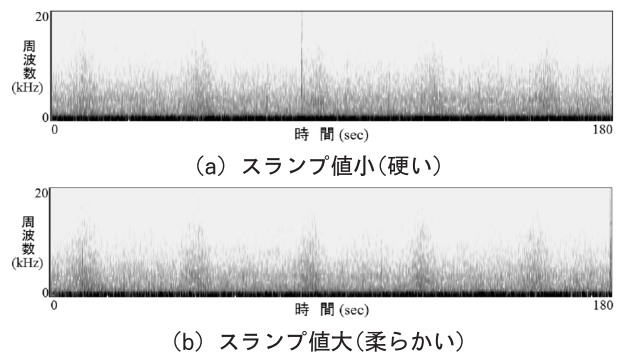


図7 精密騒音計で計測した攪拌音のスペクトログラム

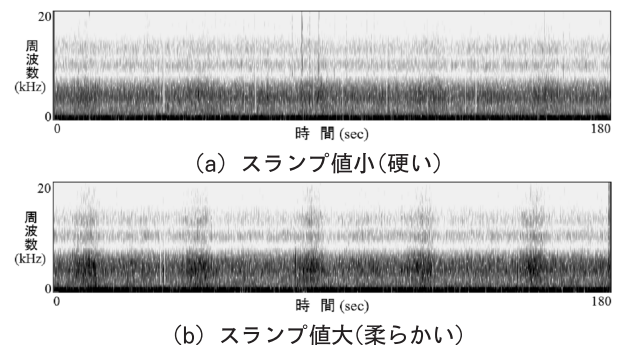


図8 ダミーヘッドで計測した攪拌音のスペクトログラム

4.3 考察と今後の計画

精密騒音計で計測するか、ダミーヘッドで計測するかによって、攪拌音そのものの特性が変化するわけではないが、本実験の結果より、人が聴診によって何らかの判断を行っているような事例を調査する場合には、対象音の計測にバイノーラ

ル技術を活用することによって、着目すべき特徴を効率的に発見できる可能性があると考えます。また、実際の聴取に近い音質で録音結果を残せるという特長も、熟練者の判断基準を探る実験等に活用する上で利点になる。今後は、スランブ値の推定に係る実験を継続して自動化の可能性を探るとともに、音質評価に関連する他の事例にもバイノーラル技術の適用を図りたい。

5. 機械・設備等の遠隔点検への活用検討

バイノーラル技術の遠隔点検への活用可能性について、電力設備等の監視制御装置を開発・製造する道内企業と共同で検討を行った。

5.1 取組の背景

機械・設備等の点検を行う際の代表的方法のひとつに、熟練者の聴覚によって異音の有無や音質の変化を調べる方法がある。しかし、点検・診断箇所が広域・遠隔にわたるような場合には、限られた人員で十分な対応を図ることは難しい。そこで、点検現場の音場をダミーヘッドによって計測し、遠隔地の熟練者に送信して点検・診断を実施する運用方法を想定して、バイノーラル技術を活用した遠隔点検の検討に着手した。

5.2 予備試験

機械・設備等の遠隔点検への活用可能性を検討するため、騒音レベル65dB程度の機械室に図3の無線送受信システムの送信部（CCDカメラは不使用）を設置し、室外の離れた場所でヘッドホンにより聴取する予備試験を行った。その際、接触音を発するように羽根に細工を施したファン（120×120×25mm）を異音発生源として、ダミーヘッドから4m程の場所に設置し、異音の有無や方向の推定が可能かどうかについても調べた。その結果、ダミーヘッドで計測された音をヘッドホンで聴取し、また、必要に応じてダミーヘッドを回転さ

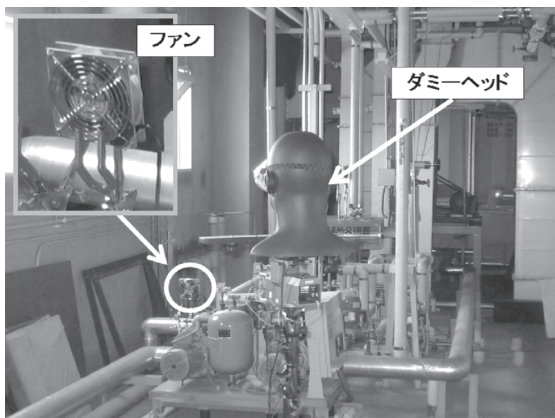


図9 機械室内に設置したダミーヘッドとファン

せながら聴取することによって、機械室内の音場の把握、異音の有無の判定、異音の発生方向のおおよその推定が可能であることを確認した。

5.3 実環境試験

北海道電力（株）札幌水力センターの協力を得て、藻岩発電所（図10）の発電機室にダミーヘッドと前記のファンを図11の概略平面配置図のように設置し、三号発電機のみが稼働している状況下で、計測試験を行った。

図12は、図11に示した①～③の順にダミーヘッドを回転させながら50秒間録音した計測音のスペクトログラムで、上段が左耳、下段が右耳のマイクロホンからの計測音に対応している。図12の両耳のスペクトログラムの変化を比較観察することにより、左耳がファンに近づくと異音の周波数成分に起因する濃い縦縞が強まり、離れると弱まる様子が、また、右耳はその逆の変化を示す様子が確認できる。この分析結果が



図10 北海道電力（株）藻岩発電所

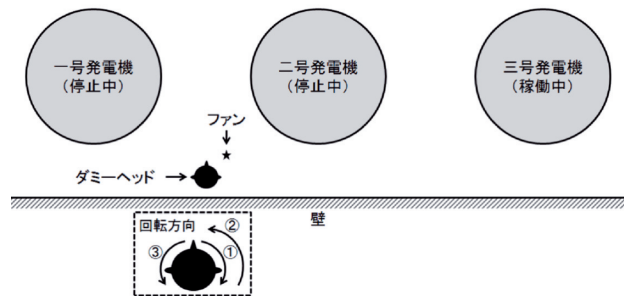


図11 計測時の概略平面配置図

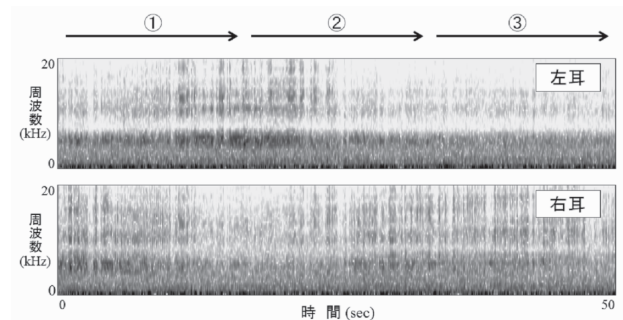


図12 ダミーヘッド両耳の計測音のスペクトログラム

らもわかるように、計測音をヘッドホンで聴取すると、異音の存在だけでなく、ダミーヘッドの回転に伴って異音の方向が変化していく過程も立体的に把握することができた。

5.4 考察と今後の計画

今回聴取の対象とした異音は擬似的、かつ、意図的に発生させたものであったが、発電機等が稼働する実環境の中でも、異音の有無や移動を音場の臨場感とともに把握できたことから、機械・設備等の遠隔点検の用途にもバイノーラル技術の活用が見込めると考える。今後は、様々な実環境での計測試験を引き続き実施して技術蓄積を図るとともに、現場の映像のほか、図12のような分析結果も同時に作業者に呈示することで、より高度な点検を可能にするシステムの実現を目指したい。

6. おわりに

バイノーラル技術を活用した新事業や新サービスの実現可能性を探るため、遠隔地の音場を体験できる臨場感通信サービス、熟練技能の自動化に向けた音響計測・分析、機械・設備等の遠隔点検の3つの事例をケーススタディとして取り上げ、試作や実験を行った。検討の結果、いずれの事例についても、バイノーラル技術の活用の有用性が確認されたことから、今後も各事例の取組を継続するとともに、道内企業等の技術支援にも同技術の活用を積極的に図っていく。

謝辞

音響計測・分析への活用検討にご協力頂いた㈱ホッコン、ならびに、遠隔点検への活用検討にご協力頂いた㈱電制、さらに、㈱電制との現地試験において、貴重な実験の場をご提供頂いた北海道電力㈱札幌水力センターの皆様にご感謝いたします。また、ダミーヘッドの使用に関してご助言頂いた㈱サザン音響の稲永潔文氏にお礼申し上げます。

本研究で使用した低・高周波対応騒音計測システムは、公益財団法人JKAの機械工業振興補助事業により整備されました。記して感謝いたします。

引用文献

- 1) 平原達也：はじめてのバイノーラル録音，日本音響学会誌，71巻，2号，pp.80-88，(2015)
- 2) 大谷真・岩谷幸雄・矢入聡：バイノーラル技術の基礎と応用，騒音制御，Vol.33，No.3，pp.197-203，(2009)
- 3) 佐藤利和：特殊マイクロホンとダミーヘッドの基本特性，騒音制御，Vol.28，No.2，pp.85-92，(2004)
- 4) サザン音響 <http://www.s-acoust.jp/>