

快音化技術を用いた工事騒音の不快感低減システムの開発

原澤 悠 阿部 将幸
江川 隼太

概 要

建設工事騒音は、普段身近に存在する音に比べ異質なものであり、発生する時間帯や騒音レベルも様々に変化することから、一般的に不快な音として認知されている。また、工事騒音による被害は、人の主観的印象に依存するとされ、音の大小だけでなく不快感に対する低減策も重要だと考えられる。そこで筆者らは工事騒音対策の手段として「快音化技術」に着目し、制御音の付加による不快感低減システム「工事騒音快音化くん[®]」を開発した。

本報告では、不快感低減システムの概要とその効果検証結果、実現場への導入事例を示す。その結果、本システムにより工事騒音の不快感低減及び、印象改善効果を確認した。

Development of a system to reduce construction noise discomfort by using pleasant-sounding technology

Abstract

Construction noise is generally recognized as an unpleasant sound because it is different from the sounds that normally exist around us, and this varies according to the time of day and level of the noise. Furthermore, the damage caused by construction noise is said to depend on people's subjective impressions, and it is thought that not only the loudness of the sound but also measures to reduce discomfort are important. Therefore, the authors focused on "pleasant sound technology" as one proactive countermeasure against construction noise and developed "Construction Noise Kaionka-kun[®]," a system that reduces discomfort by adding control sounds.

This report provides an overview of the discomfort reduction system, the results of effectiveness verification, and examples of its implementation. As a result, we confirmed that this system was effective in reducing construction noise and improving the overall impression of construction works.

キーワード：工事騒音、快音化、不快感低減、印象改善、デジタルサイネージ

§1. はじめに

建設工事騒音は、普段身近に存在する音に比べ異質なものであり、発生する時間帯や騒音レベル、周波数も様々に変化することから、一般的に不快な音として認知されている。

総務省公害等調整委員会による調査^{1,2)}によれば、典型7公害のうち苦情件数は「騒音」が全体の36.5%と一番多く、なかでも「工事・建設業」に対する苦情件数は「騒音」全体の38.5%と最も多い。また図1のように、「騒音」の公害苦情受付件数を被害の種類別にみると「感覚的・心理的」が最も多い。さらに、騒音被害は人の主観的印象に依存するとされ、音の大小だけでなく不快感に対する低減策も重要だと考えられる。

そこで筆者らは、工事騒音の対策の手段として、騒音の不快感を低減する「快音化技術」^{3,4)}に着目した。

「快音化技術」とは、騒音の音質改善、もしくは騒音に制御音を加え、不快感の低減や快適性の向上を図る技術の総称を指す。主に機械産業や自動車産業で発展してきた技術であり、建設業での採用実績⁵⁾は殆どない。

本報では、工事騒音に対して、制御音の付加による不快感低減システムの概要とその効果検証結果、実現場への導入事例を報告する。

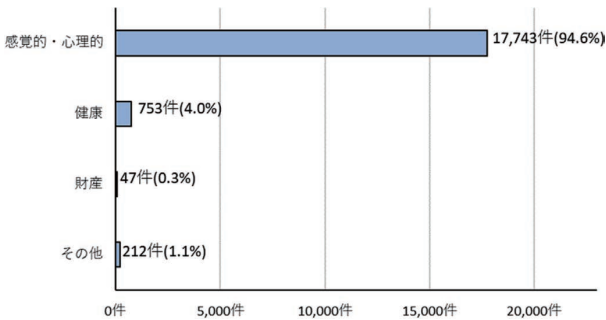


図1 騒音に対する被害の種類別公害苦情受付件数

§2. 新しい制御音作成の概要

快音化技術の付加制御音には、「広帯域ノイズ」「狭帯域ノイズ」等が考えられるが、今回は工事騒音自体を、楽器の音色へ変換する試みを行った。

以下に図2の「工事騒音の音楽変換フロー」(以下、「変換フロー」と呼ぶ)の概要を示す。

入力された工事騒音は、「変換判定ライン」より大きい場合MIDI (Musical Instrument Digital Interface)⁶⁾規格の「ノート」へ変換される。MIDIとは、電子楽器やコンピューター間でデジタル演奏データを伝送す

るための世界共通規格であり、波形データを「ノート」と呼ばれる形式に変換し伝送及び編集が出来る。「ノート」とは、「ノートナンバー (音名)」「ベロシティ (音の強さ)」「デュレーション (音の長さ)」で構成されるデータ形式であり、音色のデータを自由に出し入れし出力することが出来る。工事騒音を「ノート」へ変換後、クオンタイズ処理(「ノート」のタイミング補正)し、予め設定したキー(調)、スケール(音階)、BPM(テンポ)の整理を実行、そして「ノート」へ楽器の音色を付加する。その後、リズム(ドラムビート)挿入の有無を選択し、制御音の生成が完了する。生成された制御音は随時出力される。入力から制御音の出力まで、0.5秒以内で実行し、工事騒音と制御音を重ねて聴くことが出来る。

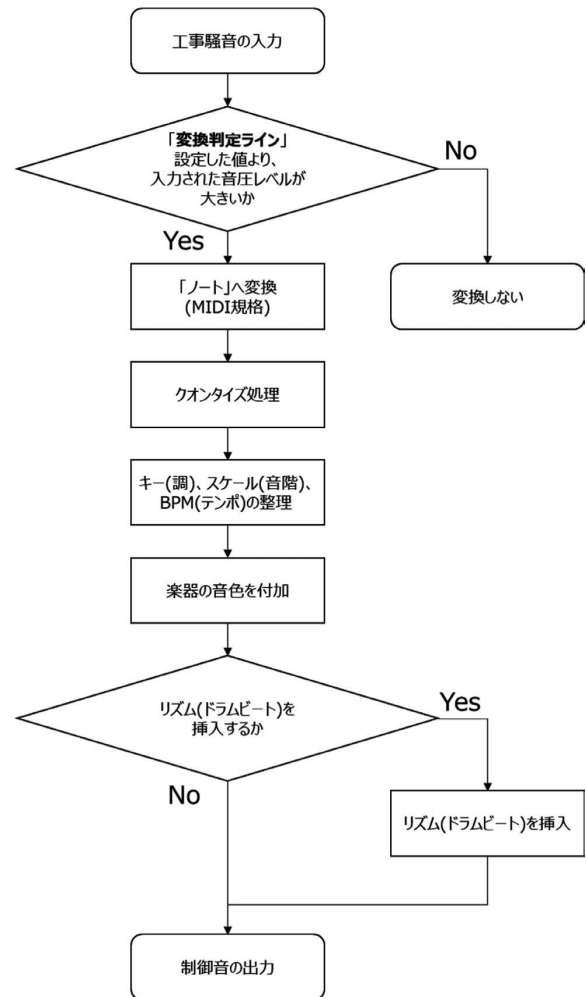


図2 「工事騒音の音楽変換フロー」

§3. 制御音の効果検証試験

3.1 試験概要

「変換フロー」によって生成された制御音(以下、「快音化音源」と呼ぶ)を工事騒音へ付加することで、

不快感が低減するかを検証するため、SD法を用いた主観評価アンケート試験を実施した。試験はフジタ技術センター内の無響室(図3)で行い、被験者は男女10人(男性8人、女性2人)である。本試験で用いた音源を表1に示す。「快音化音源」(音源4)は、音色をオルガン、リズムをドラムの8ビート、BPMは120として生成した。また、比較として快適な音^{7,8)}と評価される「ヒーリングミュージック」(音源2)、「自然音」(音源3)を制御音とし付加したのも合わせて音源とした。

音源再生は、「工事騒音」をYAMAHA A-S801(アンプ)、NS-B330(スピーカー)から65 dBA程度で提示し、「快音化音源」、「ヒーリングミュージック」、「自然音」はHSS-3000(アンプ+超指向性スピーカーのセット)から63 dBA程度で提示した。

試験手順を図4に示す。アンケートの回答に制限時間は設けず、音源1から4つの音源を順に被験者へ提示し、アンケート回答中は、絶えず音源を提示し続けた。

評価方法は、図5に示す対となる形容詞20項目が記載されたアンケート用紙を用いて、7段階で音の印象について回答を求めた。

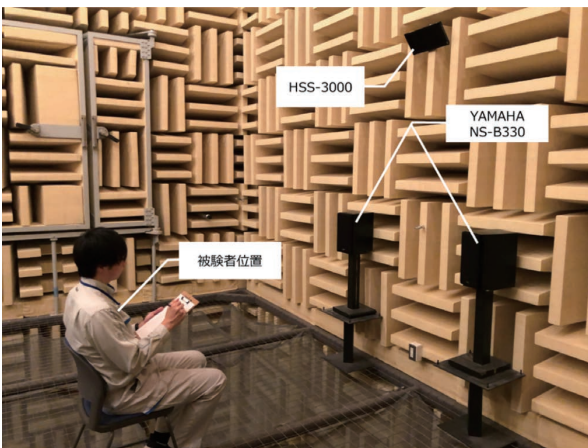


図3 被験者試験状況

表1 試験音源

音源	備考
音源1	工事騒音 解体工事騒音
音源2	工事騒音+ヒーリングミュージック
音源3	工事騒音+自然音 川のせせらぎ音
音源4	工事騒音+快音化音源 音色：オルガン、 リズム：ドラム8ビート(BPM120)

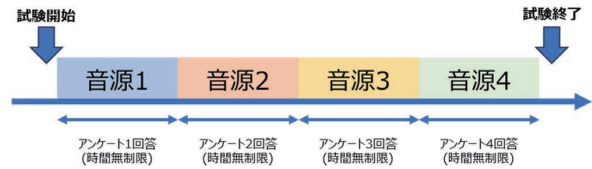


図4 試験手順

	形容詞一覧							
	非常に	どちらでもない					非常に	
生気の無い	1	2	3	4	5	6	7	生き生きした
愉快な	1	2	3	4	5	6	7	不愉快な
かたい	1	2	3	4	5	6	7	柔らかい
魅力のある	1	2	3	4	5	6	7	魅力のない
つまらない	1	2	3	4	5	6	7	面白い
元気な	1	2	3	4	5	6	7	疲れた
快い	1	2	3	4	5	6	7	不快
陰気な	1	2	3	4	5	6	7	陽気な
感じの良い	1	2	3	4	5	6	7	感じの悪い
騒がしい	1	2	3	4	5	6	7	静かな
強い	1	2	3	4	5	6	7	弱い
悪い	1	2	3	4	5	6	7	良い
新しい	1	2	3	4	5	6	7	古い
清潔な	1	2	3	4	5	6	7	不潔な
親しみにくい	1	2	3	4	5	6	7	親しみやすい
明るい	1	2	3	4	5	6	7	暗い
落ち着く	1	2	3	4	5	6	7	イライラする
醜い	1	2	3	4	5	6	7	美しい
小さい	1	2	3	4	5	6	7	大きい
単純な	1	2	3	4	5	6	7	複雑な

図5 アンケート項目

3.2 試験結果

図6に音源毎における、各被験者の回答を平均した結果を示す。図中の「○」は「工事騒音のみ」と工事騒音へ制御音を付加した場合について、Wilcoxonの符号順位検定にて有意差の確認を行った結果である。

「快い-不快」の項目を見ると「工事騒音のみ」に対し、「快音化音源」、「ヒーリングミュージック」、「自然音」を付加した音源は、値がポジティブ評価側へ移動していることから、制御音を付加することで工事騒音の不快感が低減したことが確認された。

さらに他の項目を見ると、「快音化音源」は他の制御音を付加した場合に比べて「弱い-強い」「複雑な-単純な」「静かな-騒がしい」「落ち着く-イライラする」の4項目を除いた16項目において、最も高いポジティブ評価を得ていることから、印象改善効果も高いことが確認された。

上記結果の理由として、「快音化音源」は「変換フロー」により、工事騒音を追従しながら生成された制御音であり、不規則に変化する工事騒音へ適時重なることで、他の制御音と比べ被験者が工事騒音を知覚しづらくなったためと考えられる。

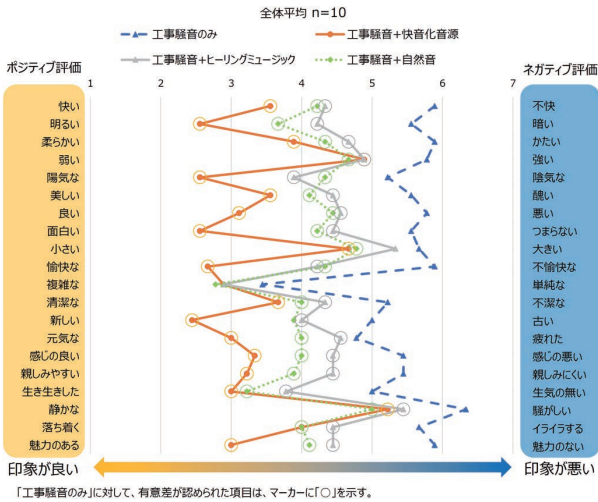


図6 被験者試験結果

§4. 不快感低減システム「工事騒音快音化くん®」の概要

4.1 システム概要

前章にて、「快音化音源」の付加による工事騒音の不快感低減効果を確認した。そこで実現場での効果を検証するため、新規開発したアプリケーションと、ハードウェアの組み合わせによる不快感低減システム「工事騒音快音化くん®」（以下、「快音化くん」と呼ぶ）を構築した。

4.2 アプリケーションの概要

本アプリケーションは仮囲いに設置されるデジタルサイネージ用として開発し、「変換フロー」による「快音化音源」生成機能、及び利用者による楽器の音色選択等の GUI 機能を併せ持つ物である。

図7にアプリケーションの操作画面を、表2に操作画面に搭載された機能一覧を示す。なお、図7に記載されている番号と表2の番号は対応している。

「①設置現場名表示」「②アプリケーション説明文」「⑧お知らせ」は、任意の文面を表示する機能である。

「③音色選択」「④リズム選択」は、利用者が楽器の音色を6種類（ピアノ、オルガン、トランペット、サクソ、バイオリン、縦笛）、リズムを4種類（ドラムビート3種類、リズム停止）から好みに合わせて選択する機能である。

「⑤入力騒音表示」は、アプリケーションに入力された工事騒音を1/3オクターブバンドにて表示し、周波数特性を視覚的に確認する機能である。

「⑥騒音変換後ピアノロール表示」は、制御音がどの音階で鳴っているか、ピアノロールを用いて確認する

機能である。

「⑦アンケート」は、利用者がアンケートに回答する機能で、「年齢」「性別」「質問」の3項目について選択し、回答することが出来る。

アプリケーションの管理者は1台のPCにて、複数の建設現場に設置したアプリケーションの設定が出来る。管理者による設定では、クオンタイズ設定、キー選択、楽器の音色毎のイコライジング（1/1オクターブバンド 32 Hz～16 kHz）と音量設定、リズム音量設定、現場名・アプリケーション説明文・アンケート質問文・お知らせの文章の変更、アンケート結果送信先メールアドレスの設定をすることが出来る。さらに、PC上の設定で収音マイクの感度を調整し、「変換判定ライン」を設定することで、大きな工事騒音から小さな工事騒音まで幅広く対応することが出来る。



図7 アプリケーションの操作画面

表2 操作画面機能一覧

機能	詳細
1 設置現場名表示	システムを設置している現場名の表示
2 アプリケーション説明文	アプリケーションの効果、目的の表示
3 音色選択	アプリケーションに登録されている楽器音の表示、選択
4 リズム選択	アプリケーションに登録されているリズムの表示、選択
5 入力騒音表示	入力された工事騒音の1/3オクターブバンド表示
6 騒音変換後ピアノロール表示	楽器音へ変換後のピアノロール表示
7 アンケート	利用者向けアンケート回答機能
8 お知らせ	現場からのお知らせ



図8 ハードウェアの構成、及び工事騒音の収音から快音化音源出力までの流れ

4.3 ハードウェアの概要

図8にハードウェアの構成、及び工事騒音の収音から「快音化音源」出力までの流れを示す。全天候型マイクにより工事騒音を収音し、オーディオインターフェースによりA/D変換を行う。その後デジタルサイネージ内のPCへ入力される。PC内のアプリケーションにより「快音化音源」を生成し利用者へ向けてスピーカーより、「快音化音源」を出力する。

なおスピーカーは、「快音化音源」を利用者へ明瞭に届けるため、及び対象エリアを限定するため超指向性スピーカーを採用した。

「快音化くん」は、図9に示すとおりH：3000mm W：500mmのフラットパネル2枚に収まるよう設計されており、約半日ほどの施工で現場へ設置することが出来る。



図9 「工事騒音快音化くん[®]」

§5. 「快音化くん」の現場導入

構築した「快音化くん」の有効性を確認するため、実現場へ導入した。

5.1 現場周辺環境の概要

現場は東京23区内のオフィスビル新築工事現場である。「快音化くん」は、現場に接する通りの中で、最も人通りが多い通りへ向けて設置した。現場周辺はオフィス街であり、「快音化くん」が接している通りは特に、平日朝と夕方の通勤時間帯、多くのオフィスワーカーが「快音化くん」の前を往来する立地である。

5.2 利用者アンケートの概要

2023年2月9日から同年8月10日の約半年間において、アプリケーションに搭載されたアンケート機能を用いて、「快音化くん」の利用者に対し、工事騒音に対する不快感低減効果の有無についてアンケート調査を実施した。

集計対象は、現場閉所日である日曜日を除く8：00から17：59に回答した者のみとした。

アンケートの設問は「工事騒音の不快感は低減しましたか？」とし、最高評価点が10点の「不快感は低減した」から最低評価点が1点の「より不快になった」までの10段階評価とした。

5.3 アンケート結果

図10にアンケートの結果を示す。全回答数は422人であり、うち有効回答数は264人であった。最も回答者数が多い評価点は10点であり、全体の36.4%である。ま

た、平均点は6.5点であり、6点以上の評価点を付けた回答者は全体の64.4%であった。この結果から、実現場で発生する工事騒音においても「快音化くん」が一定の不快感低減効果を有していることが確認出来る。

一方で、次に多い評価点は1点であり、全体の21.6%である。原因として、実装されている音色やリズムが利用者に対して不適切だった事、発生する騒音に対し「判定ライン」の設定が不十分であり、適切に変換出来なかった事などが考えられる。

今後、得られたアンケートの結果を用いて、より多くの利用者に対し「快音化くん」による不快感低減効果が有効に現れるよう、引き続き改良を続けていく。

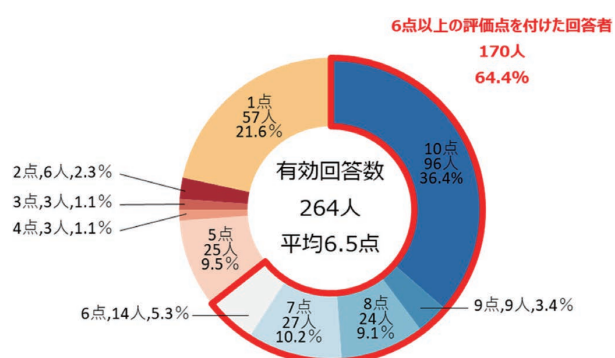


図10 アンケート結果

§6. まとめ

快音化技術の一つである制御音付加による工事騒音の不快感低減システムを考案し、その効果検証及び、実現場へ導入を行い以下の知見を得た。

- 工事騒音へ制御音を付加すると不快感が低減する事が判った。
- 「快音化音源」は「ヒーリングミュージック」「自然音」に比べ、工事騒音に対する印象改善効果が高い事が判った。
- 「快音化くん」を実現場へ導入した結果、過半数の利用者に対し不快感の低減効果がある事が判った。

参考文献

- 1) 公害等調整委員会事務局、騒音に関わる苦情とその解決方法、2013
- 2) 公害等調整委員会事務局、令和3年度公害苦情調査結果報告書、2022.12
- 3) 岩宮眞一郎、高田正幸、製品音の快音化技術—感性にアピールする製品の音作り—、S&T出版、2012
- 4) 田中基八郎、戸井武司、佐藤太一、静音化&快音化—設計技術ハンドブック—、科学情報出版、2012
- 5) 田中俊光、木村康正、上田員弘、中島一、油圧シヨ

バルの快音へのアプローチ、神戸製鉄技報、Vol. 57、2007

- 6) JIS X 6054-1、電子楽器デジタルインターフェース (MIDI) —第1部：総則、1999
- 7) 柴田慎一、秋田貴俊、木村春彦、簡易脳波センサを用いた快・不快音聴取時の情動推定に関する一考察、大同大学紀要 第51巻、2015
- 8) 宮崎良文、自然と快適性、日生氣誌、2003

ひとこと

工事騒音の不快感を低減させ、快く近隣の方々に工事を受け入れてもらえるよう、快音化技術について引き続き検証・開発を進めてまいります。



原澤 悠