

令和 2 年 5 月 19 日現在

機関番号：34315

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2019

課題番号：18K19829

研究課題名（和文）音環境の協和音化に基づく騒音環境の快音化

研究課題名（英文）Soundscape aestheticization with noise chordization

研究代表者

西浦 敬信（NISHIURA, TAKANOBU）

立命館大学・情報理工学部・教授

研究者番号：70343275

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：騒音問題に対して、これまでの騒音を削減する考え方に加えて音楽分野にて研究が進む和音の考え方を取り入れた新しい騒音解決策を提案し、「騒音環境の快音化」という新しい研究パラダイムの確立に挑戦した。特に聴感上不快と感じる高域のピーク周波数を協和音の1音（例えば高域の第5音）として捉え、不足する協和音（例えば低域の根音と第3音）を人工的に付与することで、音環境の協和音化に基づく快音化を実現した。さらに騒音の時間変動量を推定し、協和音の考え方を時間周波数領域に拡張することで、実騒音環境の更なる快音化を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本の都市部では文明の発展が騒音の増大へと繋がっているのが現状である。そこで、これまでの社会常識である「騒音の削減」に加え、新たな解決策として「騒音環境の快音化」という新しい研究パラダイムを切り開き、これまでの学術の体系や方向を大きく変革、転換させる新しい研究分野を開拓した。さらに騒音は不要な音として抑圧の対象とされてきたが、本研究では騒音も快音環境を構成する1要素として有効活用するため、エネルギー量としてはごく僅かではあるが、今まで捨てていたエネルギーを活用する姿勢は、資源の乏しい日本にとって非常に有益な考え方であり、他分野の研究に対しても波及効果の高い挑戦的な研究である。

研究成果の概要（英文）：To help in reducing noise pollution, we tried to establish a novel noise solution that incorporates the concept of chords, which is researched in the music field, as an addition to the conventional ways of reducing noise. In particular, the peak frequency in the high range, which is uncomfortable to hear, is assigned as one note of chords (for example, the fifth note in the high range), and the missing notes (for example, the root note and the third note in the low range) are artificially added. As a result, we realized soundscape aestheticization with noise chordization. Furthermore, we designed a more comfortable sound in an actual noise environment by estimating the time fluctuation of noise and extending the concept of chords into the time-frequency domain.

研究分野：音響情報処理

キーワード：騒音 快音化 協和音 聴覚マスキング

1. 研究開始当初の背景

騒音問題に対して、これまでの社会常識である「騒音の削減」に加え、新たな解決策として「騒音環境の快音化」という考え方を提案することで、新しい研究パラダイムを切り開き、これまでの学術の体系や方向を大きく変革、転換させる新しい研究分野を開拓する。特に日本の都市部では交通騒音やエアコン・エコキュートの室外機騒音など劣悪な音環境に曝されており、騒音対策が急務であるが、有効な手立てはなく文明の発展が騒音の増大へと繋がっているのが現状である。近年、電気自動車や静かな洗濯機など世の中は静音へと徐々にシフトしつつあるが、自身が源となる騒音は制御できても他人が源となる騒音を制御する有効な手立てがなく、ストレスの増強へと繋がっている。これまでもレストランやサロンなどで活用される「Back Ground Music : BGM」や公衆トイレの音を掻き消す商品など、音の意識を逸らす試みはいくつか行われているが、単に音のプライバシーを確保しているに過ぎず、更なる技術革新が切望されている。

騒音の快音化に関する研究成果の活用場所として被災地からも大きな期待が寄せられている。特に避難所や仮設住宅では個人の空間確保が優先され、騒音問題はほぼ手付かずの状況である。そこで将来的には、図 1 のように本研究成果を小型の電気スタンド程度に仕上げてユーザの周辺に設置することで、音のストレスだけでも軽減できれば生活の QOL 向上に貢献できるのではと期待する。

最後に、本研究は単に騒音環境を快音化するだけでなく、音のエコロジーという点にも着目したい。これまで騒音は不要な音として抑圧の対象とされてきたが、本研究では騒音も快音環境を構成する 1 要素として有効活用する。エネルギー量としてはごく僅かではあるが、今まで捨てていたエネルギーを活用する姿勢は、資源の乏しい日本にとって非常に有益な考え方であり、他分野の研究に対しても波及効果の高い挑戦的な研究である。



図 1：騒音環境の快音化

2. 研究の目的

深刻な社会問題として捉えられている騒音に対し、これまでは受動騒音制御技術 (Passive Noise Control (PNC): 物理的な遮音壁による吸音) や能動騒音制御技術 (Active Noise Control (ANC): 逆位相の制御信号による騒音相殺) を中心に騒音を削減・抑圧する方針で研究が進められてきた。しかしながら、音は拡散し回折する性質を持っているため、従来の騒音制御技術等で完全に抑圧することは非常に困難である。また、騒音はそのエネルギーだけでなく音色 (周波数特性) も受聴者のストレスを増大する主要因となっており、騒音削減後の抑圧信号の周波数特性によっては、小さい騒音エネルギーであっても不快と感じる。そこで、これまでの騒音を削減する考え方に加えて、音楽分野にて研究が進む和音の考え方を取り入れた新しい騒音解決策を提案し、「騒音環境の快音化」という新しい研究パラダイムの確立に挑戦する。

3. 研究の方法

基本的な枠組みとして、騒音の周波数特性に基づき、特に聴感上不快と感じる高域のピーク周波数を協和音の 1 音 (例えば高域の第 5 音) として捉え、不足する和音 (例えば低域の根音と第 3 音) を人工的に付与することで、音環境の協和音化に基づく快音化を実現する。さらに騒音の時間変動量を推定し、協和音の考え方を時間周波数領域 (和音のコード進行) に拡張することで、実騒音環境の更なる快音化を実現する。図 2 に快音化のコンセプトを示す。

懸念事項としては、騒音のエネルギーが大きい場合、付与する人工音のエネルギーも増大し、さらに不快感を増大させる可能性もある。そこで、最初に人間の最小可聴域に基づく聴覚マスキング現象 (ある音が別の音影響により聞き取り難くなる現象) を積極的に活用し、不快と感じる

高域のピーク周波数に対して聴覚的にマスキングすることで騒音の不快感を低減し、さらにその抑圧信号に対して協和音化を行い騒音環境の快音化を実現する．この聴覚マスキング現象はこれまで補聴器の分野で研究が行われており，補聴器では聴覚マスキングが生じないように周囲の環境音を強調してユーザに提示していた．本研究ではこの考え方を逆転の発想で活用し，積極的に聴覚マスキングを発生させることで周辺の騒音が聞き取り難くなる音環境を構築し，騒音の不快感を低減するところが1つ目のポイントとなる．さらに，聴覚マスキングにより聴感的に小さくなった騒音に対して協和音化を実現し，快音空間を構築するところが2つ目のポイントとなり，これら2つの技術を統合することで騒音の快音化という斬新かつ挑戦的な研究に挑む．

また，具体的な評価対象騒音として，歯科治療音に着目する．歯科治療音は，誰もが不快に感じている騒音であるが，患者のみならず歯科医師も長時間治療音に曝されている環境である．そこで，歯科治療環境において試作した快音化システムを試験的に導入し，実際に患者や歯科医師らに使用頂くことで，有効性を検証する．特に劣悪な騒音環境の快音化を目指して，挑戦的かつ社会に役立つ研究を展開する．

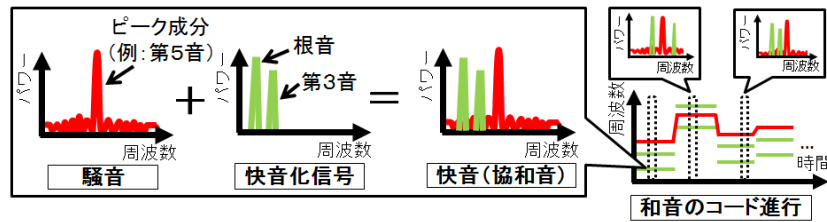


図2： 協和音化に基づく騒音環境の快音化のコンセプト

4. 研究成果

試作機を図3に示す．この試作機を用いて音環境の協和音化に基づく騒音環境の快音化を実現する．まずは，歯科治療音を和音構造の一部として利用する際の制御音のゲインを抑えるため，低周波域と高周波域それぞれに和音の基音を設定する．低周波域の基音を持つ和音は，楽器音の調波構造を考慮してスペクトルゲイン比を制御し，快音化効果の向上を図る．高周波域の基音を持つ和音は，スペクトルゲイン比を均一に制御し，ピーク成分のリシェイピングに必要な最小限の基本波成分のみで制御音を構成する．騒音環境の快音化処理に関する全体像を図4に示す．時間指標 $t = 0, 1, \dots, T-1$ における歯科治療音 $x(t)$ をフレーム分析し推定したピーク成分の周波数に対して制御音 $y(t)$ を生成し， $x(t)$ と $y(t)$ を同時に受聴することで，歯科治療音の快音化を実現する．フレーム指標 $m = 0, 1, \dots, M-1$ における $\tilde{x}_{m,n}$ はマイクロホンで収録した歯科治療音 $x(t)$ を式(1)よりフレーム分割して得られる．ここで， $n = 0, 1, \dots, N-1$ はフレーム内の時間指標， S はシフト長を表す．そして，制御音 $\tilde{y}_{m,n}$ を基に式

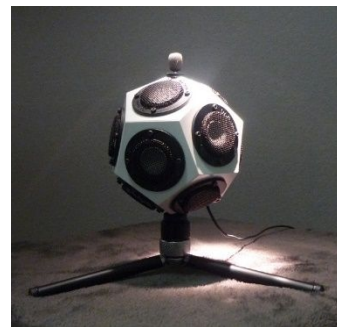


図3： 快音化装置の試作機

$$\begin{aligned} \tilde{x}_{m,n} &= x(mS+n), & (1) & \quad \eta_o = \underset{\eta}{\operatorname{argmin}} S \left(\left| \tilde{Z}_{m,f}^{[\eta]} \right| \right), & (7) \\ y(mS+n) &= w(n+S) \cdot \tilde{y}_{m-1,n+S} & (2) & \quad \left| \tilde{Z}_{m,f}^{[\eta]} \right| = \left| \tilde{X}_{m,f} \right| + \left| \tilde{Y}_{m,f}^{[Lo,\eta]} \right|, & (8) \\ &+ w(n) \cdot \tilde{y}_{m,n}, & & \quad \left| \tilde{Y}_{m,f}^{[Lo,\eta]} \right| = \begin{cases} V \cdot R_i^{[\eta]}, & |f - f_{m,i}^{[Lo]}| < \frac{CB(f_{m,i}^{[Lo]})}{16}, \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases} & (9) \\ w(n) &= 0.5 - 0.5 \cos \left(\frac{2\pi n}{N-1} \right). & (3) & \quad V = 10^{\frac{G}{20}} \left| \tilde{X}_{m,f_{m,P}} \right|, & (10) \\ \tilde{y}_{m,n} &= \operatorname{IFFT} \left[\left| \tilde{Y}_{m,f} \right| e^{-j\hat{\theta}_{m,f}} \right], & (4) & \quad CB(f) = 25 + 75 \left(1 + 1.4 \left(\frac{f}{1000} \right)^2 \right)^{0.69}, & (11) \\ \left| \tilde{Y}_{m,f} \right| &= \left| \tilde{Y}_{m,f}^{[Hi]} \right| + \left| \tilde{Y}_{m,f}^{[Lo,\eta_o]} \right|, & (5) & & \\ \left| \tilde{Y}_{m,f}^{[Hi]} \right| &= \begin{cases} V, & |f - f_{m,i}^{[Hi]}| < \frac{CB(f_{m,i}^{[Hi]})}{16}, \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases} & (6) & & \end{aligned}$$

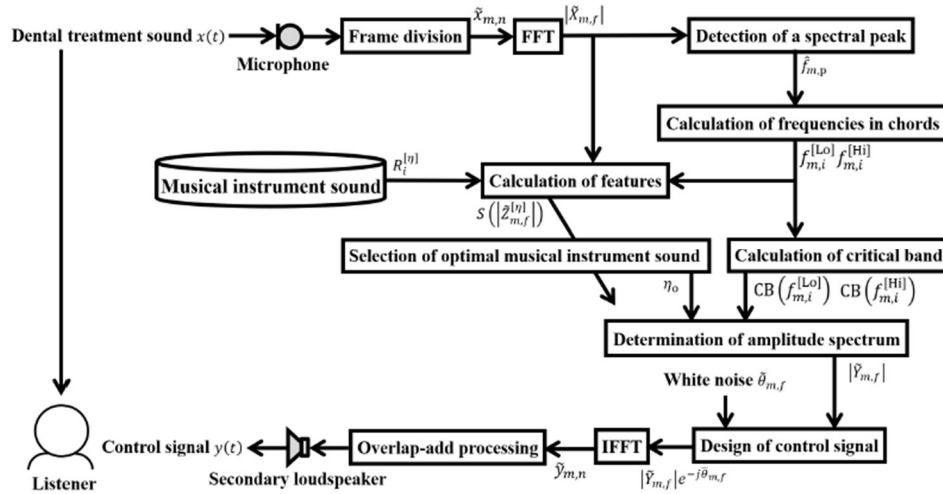


図4： 協和音化に基づく騒音環境の快音化のブロック図

(2),(3)より $y(t)$ を得る．また式(4)-(11)により，ピープ音らしさを知覚させずに和音構造を付与できるよう，周波数マスキングに用いられる臨界帯域幅よりも狭い帯域信号で制御音 $\tilde{y}_{m,n}$ を生成する．ここで， $f = 0, 1, \dots, F - 1$ は周波数指標， F はフーリエ点数， j は虚数単位， $|\tilde{Y}_{m,f}|$ は制御音の振幅スペクトル， $\tilde{\theta}_{m,f}$ は白色雑音の位相スペクトル， $|\tilde{Y}_{m,f}^{[Hi]}|$ は高周波の基音を持つ和音の振幅スペクトル， $|\tilde{Y}_{m,f}^{[Lo,n]}|$ は楽器音 に対する低周波の基音を持つ和音の振幅スペクトル， η_o は歯科治療音の振幅スペクトル $|X_{m,f}|$ に対する最適な楽器音のインデックス， $S(|z_{m,f}^{[n]}|)$ は振幅スペクトル $|z_{m,f}^{[n]}|$ に対する評価関数， $f_{m,i}^{[Hi]}$ と $f_{m,i}^{[Lo]}$ はそれぞれ高周波と低周波の基音を持つ和音の i 番目の周波数， $R_i^{[n]}$ は楽器音 の調波構造の倍音比， $f_{m,p}$ は検出したピーク成分の周波数， G は歯科治療音のピーク成分と制御音のスペクトルゲイン比， $CB(f)$ は f に対する臨界帯域幅を表す．本研究では，最適な楽器音の調波構造を付与することで，歯科治療音環境の快音化性能の向上を目指した．低周波と高周波の基音における周波数比は $f_1^{[Lo]}: f_1^{[Hi]} = 1: 2^4$ (4 オクターブ)とし，歯科治療音のピーク成分と制御音のスペクトルゲイン比 G を -9 dB，歯科治療音として高速タービン(High-speed turbine)と超音波スケーラ(Scaler)による治療時の騒音をそれぞれ使用した．高速タービンは6 kHz 近傍に，超音波スケーラは9 kHz 近傍にピーク成分が存在する．また，楽器音の定常部の振幅スペクトルから各楽器音の調波構造の倍音比 $R_i^{[n]}$ を算出した．使用する評価音源は以下である．

- ・ A: 原音（制御なしの歯科治療音）
- ・ B: 高周波の基音を持つ和音構造のみ付与
- ・ C: 時間周波数変動を考慮した聴覚マスキングによるピーク雑音の不快感低減
- ・ D: クラリネットの調波構造に基づく和音構造付与
- ・ E: オルガンの調波構造に基づく和音構造付与
- ・ F: トランペットの調波構造に基づく和音構造付与
- ・ G: バイオリンの調波構造に基づく和音構造付与

主観評価実験として，対象音の快音度合を5段階（5: 非常に快音である ~ 1: まったく快音でない）にて評価した．また，評価音はヘッドホンを用いて提示し，実験は20代の被験者6名に対して，オフィス（ $L_A = 33$ dB）にて実施した．主観評価実験の結果を図5に示す．結果より，聴覚マスキングによるピーク雑音の不快感低減および各楽器音の調波構造に基づく和

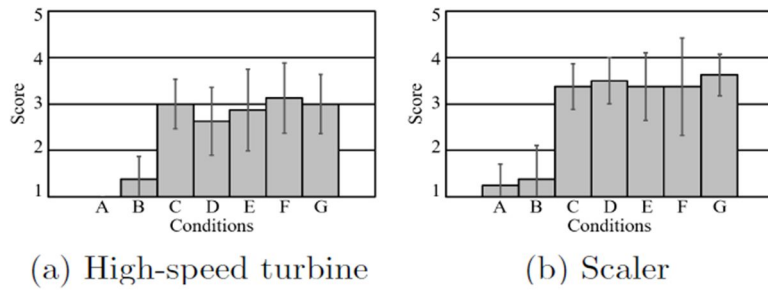


図5：主観評価実験結果

音構造付与の効果を確認できた．さらに高周波の基音を持つ和音構造のみを付与しただけでは，原騒音とほぼ変わらず，高域のピーク成分をリシェイピングするだけでは十分な快音化効果が得られないことも明らかとなった．また客観評価実験でもこれら主観評価実験結果を支持する結果が得られており，音環境の協和音化に基づく騒音環境の快音化の可能性を見出すことができた．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Marori Yoshioka, Shunsuke Endo, Kenta Iwai and Takanobu Nishiura
2. 発表標題 Reducing Discomfort of Dental Treatment Sound based on Simultaneous Auditory Masking with Environmental Sound
3. 学会等名 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2020 (NCSP2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉岡 真呂理, 大塩 祥剛, 岩居 健太, 西浦 敬信
2. 発表標題 多重和音構造の付与による歯科治療音の適応快音化 ~最適な多重和音構造の選択手法の検討~
3. 学会等名 令和元年電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenta Iwai, and Takanobu Nishiura
2. 発表標題 Audio Integrated Active Noise Control System with Auto Gain Controller
3. 学会等名 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference 2019 (APSIPA-ASC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩居 健太, 西浦 敬信
2. 発表標題 光レーザマイクロホンを用いたフィードフォワードANCシステムの検討
3. 学会等名 第34回信号処理シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Endo Shunsuke, Kenta Iwai, and Takanobu Nishiura
2. 発表標題 Discomfort Reduction Based on Auditory Masking and Power Fluctuation Control for Railway Noise
3. 学会等名 13th Western Pacific Conference on Acoustics (WESPAC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshitaka Ohshio, Haruka Adachi, Kenta Iwai, Takanobu Nishiura, and Yoichi Yamashita
2. 発表標題 Active Speech Obscuration with Speaker-dependent Human Speech-like Noise for Speech Privacy
3. 学会等名 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference 2018 (APSIPA-ASC 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshitaka Ohshio, Takahiro Fukumori, Masato Nakayama, Takanobu Nishiura and Yoichi Yamashita
2. 発表標題 Comfortable Sound Design with Chord-forming of Musical Instrument Sound for Dental Treatment Sound
3. 学会等名 INTER-NOISE 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大塩 祥剛, 岩居 健太, 西浦 敬信, 山下 洋一
2. 発表標題 多重和音構造の付与による歯科治療音の適応快音化に向けた快音特徴量の最適化
3. 学会等名 日本音響学会2019年春季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大塩 祥剛, 岩居 健太, 西浦 敬信, 山下 洋一
2. 発表標題 多重和音構造の付与による歯科治療音の快音化
3. 学会等名 日本音響学会2018年秋季研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 遠藤 駿介, 大塩 祥剛, 岩居 健太, 西浦 敬信
2. 発表標題 聴覚マスキングと音圧変動抑圧による新幹線騒音の不快感低減
3. 学会等名 日本音響学会2018年秋季研究発表会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 西浦敬信	4. 発行年 2018年
2. 出版社 (株)技術情報協会	5. 総ページ数 721
3. 書名 遮音・吸音材料の開発、評価と騒音低減技術	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	中山 雅人 (NAKAYAMA MASATO) (90511056)	大阪産業大学・デザイン工学部・准教授 (34407)	