オーディオスポット技術を用いた工事現場等における注意喚起手法の検討

NTT アクセスサービスシステム研究所　正会員　○池口　雄大，笠原　久稔，吉村　勇祐
NTT アクセスサービスシステム研究所　非会員　小口　傑，中川　雅史，荒武　淳
立命館大学　非会員　佐山　史織，西浦　敬信

１．はじめに

NTT では，回線工事等の作業時における人身事故や設備事故の防止に向けた安全対策に取り組んでいる．人身事故の一例として，マンホールや電柱での工事に伴う路上作業時に，作業帯へ車両が誤って突入し作業員が被災するケースがある（以降，車両飛び込まれ事故と言う）．路上作業時には，看板の設置，交通誘導員の配置，十分な作業帯の確保，進入車両強制停止装置の設置等，様々な対策を行っている．しかしながら，車両飛び込まれ事故による人身事故の撲滅には至らず，近年も発生しているのが現状である．

２．事故発生原因と対策案

車両飛び込まれ事故は，居眠り運転，脇見運転等による前方不注意によって発生している．これらは，看板設置や交通誘導員による誘導等の視覚に訴えかける注意喚起だけでは対策しきれない．そこで，前方不注意状態のドライバーに対して視覚以外にも聴覚等から注意喚起を行い，複合的に対策を行う必要がある．聴覚からの注意喚起手法の一つとして，超指向性スピーカを用いて直線的な領域にのみ警告音を再生する技術が存在する．高速道路や幹線道路等の大規模な道路では非常に有効であるが，市街地や住宅地では，超音波の反射等によって近隣環境への騒音問題が懸念される．

今回，音による注意喚起の際に発生する騒音を解消するため，ある領域でのみ警告音を再生するオーディオスポット技術[1]に着目し，**図-1** のような注意喚起手法を新たに提案する．既往知見では，0.4 m 地点のオーディオスポット内において約 50 dB 程度の音圧レベルを確認できている．今回，工事現場等での効果的な注意喚起手法となるよう，再生音の大音量化を検討した．

３．対策技術の検討

ドライバーへの注意喚起に必要な音圧確保に向け，車外にて 5 m 地点で 130 dB の復調を目指す．通常の超指向性スピーカでは，可聴音を超音波へ変調した際に生成されるキャリア波と側帯波の 2 種類の超音波を 1 台のスピーカで放射するが，オーディオスポット技術では，2 種類の超音波を別々のスピーカから放射し，2 種類の波が干渉するエリアのみで可聴音が復調する．大音量化にあたっては，振幅変調波の出力音圧をアンプで増幅させるだけでは，歪の発生によってノイズが大きくなってしまうため，音質の低下や周辺環境への騒音問題につながる可能性がある．そこで，一定の音質を担保しながら音圧を上昇するため，側帯波を複数分割し，複数のスピーカから出力することとした．また，各スピーカから出力する側帯波のパワーが均一となるよう周波数分割を行い，混変調歪の発生を抑制し相対的に音圧を向上させる手法を試みた．側帯波αの分割手法を以下の式で示す．

$$\alpha = \int_{b_0}^{b_M} \left| A_f e^{j\{2\pi(f_c - f)t - \theta_f\}} \right| df \qquad (1)$$

$$\frac{\alpha}{\mathrm{M}} = \int_{b_{i-1}}^{b_i} \left| A_f e^{j\{2\pi(f_c - f)t - \theta_f\}} \right| df \qquad (2)$$

このとき，b_i：音響信号の分割周波数，M：側帯波の分割数，f_c：キャリア波の周波数，A_f：音響信号における周波数fの振幅，θ_f：音響信号における周波数fの位相，t：時間指標を表す．警告音の音源に対して本分割手法を用い，側帯波を 7 分割し

図-1 オーディオスポット技術を用いた注意喚起手法の概要図

キーワード　交通事故，事故防止，超音波，超指向性スピーカ，オーディオスポット技術
連絡先　〒305-0805　茨城県つくば市花畑 1-7-1　NTT アクセスサービスシステム研究所　TEL：029-868-6212

© Japan Society of Civil Engineers

た際の例を**図-2** に示す．この信号に対する各分割周波数は，$b_0 = 0$ Hz，$b_1 = 491$ Hz，$b_2 = 740$ Hz，$b_3 = 960$ Hz，$b_4 = 1479$ Hz，$b_5 = 2597$ Hz，$b_6 = 5070$ Hz，$b_7 = 7950$ Hzとなる．

4．検証

4-1. 検証概要

今回の検証では，キャリア波および側帯波のスピーカ数による音圧の変化，距離依存性を室内試験にて確認した．スピーカの個数は可搬性を考慮し合計 8 個とし，**表-1** のパターンのように同じキャリア波を放射するスピーカ数を増加させ，側帯波の分割数を少なくした．スピーカは地面に対して並行に向いた円形の支持台に設置し，キャリア波および側帯波を同一方向から放射することでオーディオスポットを形成した．検証条件は**図-3** の通りとし，1 m，5 m，10 m の 3 地点の最大音圧レベルを計測した．

4-2. 検証結果

各スピーカ個数と計測点における音圧レベルの計測結果を**図-4** に示す．キャリア波のスピーカ数が最も多い検証 4 のパターンが最も音圧レベルは大きくなり，1 m 地点で約 72 dB となった．また，本検証で用いた超音波音圧は 1 m 地点で約 110 dB であり，これを基準音圧として，温度・湿度・気圧を考慮し距離減衰に音圧低下を算出した [2]．超音波から可聴音に復調される際の音圧低下は約 40 dB であり，キャリア波を増やした構成であれば可聴音の音圧をほぼ再現できた．10 m 地点ではすべてのパターンにおいて雑音レベル程度まで低下した結果となった．これは，一般的に超音波音圧が 100 dB を下回るとオーディオスポットの形成が困難となることから，10 m 地点では可聴音が復調されていなかったと考えられる．

5．まとめ

本稿では，オーディオスポット技術を用いた注意喚起技術の開発にあたり，復調音声の大音量化および距離依存性に着目した基礎検証を行った．キャリア波数の増加に伴い音圧レベルが上昇することを確認し，5 m 地点では人間への注意喚起が可能な音圧レベルを確保した．今後，ドライバーに対して適用するにあたっては，アンプや超音波素子の改良を行い，更なる音圧の上昇や復調距離の長延化を行う必要がある．

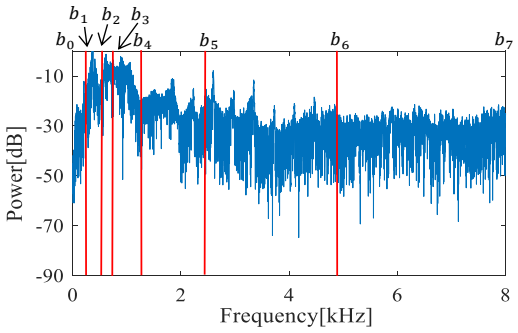

図-2 警告音への分割手法適用例

表-1 検証パターン

パターン	キャリア波	側帯波
検証 1	1	7
検証 2	2	6
検証 3	3	5
検証 4	4	4

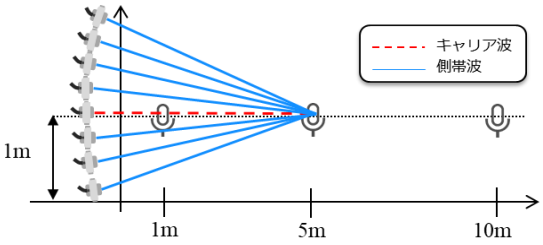

図-3 検証条件（5 m 地点にスポット形成時）

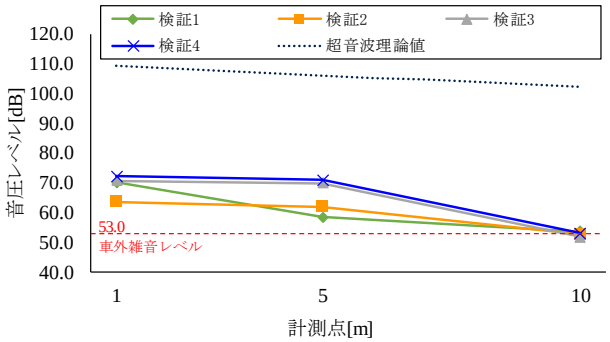

図-4 各検証パターンと計測点にける音圧レベル

参考文献

1) 松井唯ら：キャリア波と側帯波の分離放射によるオーディオスポット形成の研究， 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. J97-A, No. 4, pp. 304-312, 2014.
2) 吉村光一：（解説）屋外の音の伝搬における空気吸収の計算（ISO9613-1 について）， 騒音制御, Vol. 21, No. 3, pp. 130-135, 1997.

© Japan Society of Civil Engineers