

車載音響制御技術の活用シーンの拡大と技術進化

Growth Applicable Fields and Technical Advancement of Acoustic Control Technology for Automotive Applications

谷 充 博*
Mitsuhiro Tani

自動車の燃費向上技術とトレードオフとなる静粛性の背反克服や付加価値としての音づくり要求へ応えるため、騒音を低減するANC (Active Noise Control) やサウンドをデザインするASC (Active Sound Control) などの音響制御技術の搭載が進んでいる。CASE (Connected, Autonomous, Shared & Service, Electric) 時代の到来によって、AVAS (Acoustic Vehicle Alerting System) の搭載義務化やANCの対象騒音拡大など、音響制御技術の活用シーンが拡(ひろ)がっている。

Applications of acoustic control technologies such as Active Noise Control (ANC), which reduces noise, and Active Sound Control (ASC), which modifies sound, are advancing in order to satisfy the requirements of automotive sound design and overcome the trade-off between fuel economy improvement technologies and cabin quietness. New trends have been introduced into automotive acoustic technology including Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS) mandatory and ANC Target noise expanding, and these are introduced that have accompanied the development of CASE (Connected, Autonomous, Shared & Service, and Electric) as a technological concept.

1. 時代のなかで変化する自動車の騒音制御技術

当社がスピーカから逆位相の音を再生することで騒音を低減するANC (Active Noise Control) システムを初めて量産した2000年ごろまでは単に静かにするためのパッシブでの騒音制御技術が話題の中心であった。近年は、車体の軽量化や、気筒休止、低回転時のロックアップ運転、低燃費タイヤなど地球環境への取り組みが盛んになっている。これらの燃費向上技術は乗心地・静粛性とトレードオフになる場合が多く、背反を克服するアイテムとしてANCなどのアクティブ技術が普及してきている。

また一方で、ブランドイメージに合った加速サウンドや運転する愉(たの)しみなど、自動車の付加価値として音づくりへの要求も高い。このニーズに応えるようにANCに加え、スピーカからのサウンド付加により、自由度の高い音づくりを行えるASC (Active Sound Control) システムの搭載も増加している。

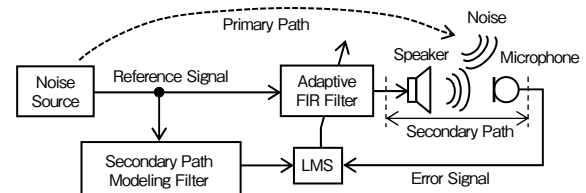
2. ANCの車載適用から普及

2.1 ANCアルゴリズムの発明

ANCは1936年にFF (Feedforward) による制御アイデアが、1953年にFB (Feedback) による概念が発表されている。しかし研究報告はほとんどなく、1970年代以降に盛んに研究されるようになった。

一般に機械系の制御ではFBが主流であるが、ANCではスピーカと制御点が近接していない場合には第1図に示すFF

を用いる場合が多い。ANCは騒音の元となる参照信号を、制御点に設置したマイクロフォンで取得した誤差信号に対して、逆位相・同振幅になるように調整する。調整した信号を打ち消し音としてスピーカから出力することにより騒音を低減する。この制御には一般的に適応理論が用いられ、Fx-LMS (Filtered-x Least Mean Square) アルゴリズムによって誤差信号が最小になるようにFIR (Finite Impulse Response) フィルタの係数を算出する。



第1図 Fx-LMSを用いたFF型ANCシステム

Fig. 1 Block diagram of FF type ANC system with Fx-LMS algorithm

2.2 車載ANCの実用化

自動車を対象とした研究は1980年代から活発になり1991年に日産自動車(株)が実用化している[1]。エンジンこもり音(注1)を対象としたこのANCはFx-LMSを実装するために当時高価であったDSP (Digital Signal Processor) を搭載したため、上位グレードのみへ適用された。

2.3 アナログ回路による低コスト化

当社が最初に量産したANCは2000年に本田技研工業(株)

* オートモーティブ社 HMI システムズ事業部
HMI Systems Business Div., Automotive Company

(注1) エンジン燃焼サイクルに同期した次数成分が主成分の周期性騒音。

によって標準搭載された[2]。対象騒音をドラミング^(注2)に限定することで適応制御を行わない固定フィルタとし、これをアナログ回路で実装、低コスト化を実現した。

2.4 低価格マイコンを用いたANCの普及

2003年、燃費対策として本田技研工業（株）が気筒休止を採用するのに合わせて、減筒時のこもり音対策としてANC[3][4]を採用した。Fx-LMSではなく、SAN（Single Frequency Adaptive Notch）と呼ばれる周期騒音に特化したシングルタップ適応フィルタを採用し、当時安価になり始めた16bitマイコンへの実装を実現した。量産初期には制御周波数は60 Hz以下と減筒時の1次数に絞られていたが、普及が進むにつれ、制御周波数は100 Hzを超えた。またロックアップ運転の低回転シフトやエンジンのダウンサイジングなどの燃費向上技術と相反する騒音の克服アイテムとして多くの自動車メーカーが採用するようになった。

2.5 プロセッサの進歩と機能拡充

自動車へのANC搭載が広がるのと同時期、携帯端末などの普及に伴い、マイコンの処理能力向上と低価格化が飛躍的に進んだ。これに伴い、ANCは複数次数の同時制御を実現し、1次数のこもり音を低減するだけでなく、エンジンの音づくりにも役割を広げる。

さらに、2006年にはエンジンの回転情報などをもとに、補強したい次数成分の正弦波をスピーカから再生し、車室内の加速サウンドを演出するASC機能も搭載される。これにより、音づくりを通じて付加価値創造への貢献度を高めた。

3. 音響制御技術のCASE^(注3)による変化

3.1 AVASの搭載義務化

CASEにおいて自動車の音響技術で顕著な変化があったのは車外音である。これまで車外音という道路交通騒音に対する規制が主であり、日本では1951年に定常走行騒音規制が定められて以来、近年マフラやタイヤ単体の騒音が規制されるなど年々規制強化による静音化が進んでいる。

一方でEV（Electric Vehicle）やHEV（Hybrid Electric Vehicle）は低速走行中の走行音が環境音にマスクされ、歩行者が自動車の接近を認知しにくいという危険性が指摘されるようになった。そこで歩行者などに自動車の接近を知らせるた

(注2) 走行中の路面からの入力によって発生するランダム騒音であるロードノイズの1つで、40 Hz付近に生じる共鳴音。

(注3) 2016年にDaimler AGが発表した中期戦略。Connected, Autonomous, Shared & Service, Electricの頭文字であり、現在の自動車業界の変革の要点を表している。

めの装置AVAS（Acoustic Vehicle Alerting System）の搭載が継続生産車を含め義務化された。しかしながら、各国の法規制が統一されていないほか、通報音の設計自由度もあるため、認知されやすい音のデザインが進められている[5]。

3.2 車室内音のさらなる低減

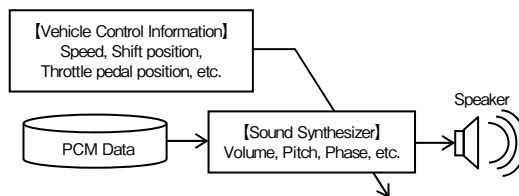
電動化によってエンジン音がなくなると、その他の騒音が顕著になる。また、燃費向上やバッテリー重量相殺など軽量化要求も依然高く、ロードノイズ対策としてANCへの期待がますます高まってきている。

広帯域なランダム騒音をFFのANCで低減するには、騒音が制御点に到達するまでに打ち消し音を制御点に届かせる必要がある。これに必要な参照信号を取得するための加速度センサやFx-LMSを高速で処理するためのDSPなどコスト面がネックとなり量産が見送られていたが、現代自動車（株）が2020年に量産、Jaguar Land Rover Automotive PLCも2021年に量産車に採用すると発表された[6]-[8]。これはかつて当社がアナログ回路で実現した40 Hzに限定されるものでなく、300 Hz以上にまで制御帯域を広げている。

3.3 多様化する駆動サウンド

エンジン車ではエンジン燃焼の次数成分をANC、ASCで調整してきた。EVの加速サウンドとしてもエンジン音をリアルに再現する、あるいはEVらしい先進的な音を付加するなどのニーズがある。また、加速サウンドは加減速状況などの車両挙動の理解をサポートしており、HEVの複雑な制御を体感とマッチさせるうえでも重要な要素となっている。

EV、HEVではエンジン音を補完して加速サウンドを調整するのではなく、一から創造することが必要で、数本の次数成分の付加では不十分である。そこで、第2図に示すASC[9]を開発した。車速やペダル操作に応じてPCM（Pulse Code Modulation）データの音量やピッチを調整して再生することにより、さまざまなニーズに対応可能となった。



第2図 ASCシステムの概略図
Fig. 2 Schematic diagram of ASC system

4. 動向と展望

CASEにおける音響技術の活用シーンの変化は電動化の

みにとどまらない。携帯端末の着信音を変えるように、乗員それぞれが、ときに自動運転で音楽を楽しむ、ときに好みの加速サウンドで運転を楽しむなど、ネットワークからシーンに応じたサウンドを設定する日も遠くない。自動車と人をつなぐHMI (Human Machine Interface) の1つとして要求の高まる音響制御技術を、音響デバイスと制御技術の両輪で進化させることにより、新しい時代の車づくりへ貢献していく。

参考文献

- [1] 長谷川聡, “自動車用アクティブ・ノイズ・コントロール (ANC) ・システム,” TECHNO MARINE 日本造船学会誌, vol. 761, no. 0, pp. 839-842, 1992.
- [2] 佐野久他, “低周波ロードノイズのアクティブ制御システムの開発(1),” 日本音響学会講演論文集, no. 2, pp. 499-500, Sept., 2000.
- [3] 井上敏郎 他, “適応ノッチフィルタを応用したアクティブこもり音制御システムの開発,” 自動車技術学術講演会前刷集, vol. 84, no. 3, pp. 1-4, 2003.
- [4] 今野文靖 他, “エンジンこもり音を低減するアクティブ騒音制御システム,” パナソニック技報, vol. 54, no. 4, pp. 49-54, 2009.
- [5] 山内勝也, “次世代自動車における接近通報音のデザイン,” 日本音響学会誌, vol. 75, no. 2, pp. 73-80, 2019.
- [6] Hyundai Motor Group “GENESIS Luxury Flagship SUV GV80 Debuts In Seoul,” <https://tech.hyundaimotorgroup.com/press-release/genesis-luxury-flagship-suv-gv80-debuts-in-seoul/>, 参照 Apr. 20, 2021.
- [7] Jaguar Land Rover Automotive PLC, “NEW JAGUAR F-PACE: LUXURIOUS, CONNECTED, ELECTRIFIED,” <https://media.jaguar.com/news/2020/09/new-jaguar-f-pace-luxurious-connected-electrified>, 参照 Apr. 20, 2021.
- [8] Jaguar Land Rover Automotive PLC, “RANGE ROVER VELAR ELECTRIFIES WITH PLUG-IN HYBRID AND STATE-OF-THE-ART INFOTAINMENT,” <https://media.landrover.com/news/2020/09/range-rover-velar-electrifies-plug-hybrid-and-state-art-infotainment-0>, 参照 Apr. 20, 2021.
- [9] 林毅, “アクティブ制御を用いたエンジンサウンドのデザイン,” 自動車技術会論文集, vol. 47, no. 6, pp. 1355-1359, 2016.