

客観的評価指標であるスポーティネスを用いた ミディアムクーペ室内音音色の開発

Development of Interior Sound for a Medium Coupe with Sportiness as an Objective Evaluation Index

岩井 正 志*
Masashi IWAI
沼田 智 行*
Tomoyuki NUMATA

石井 康 夫*
Yasuo ISHII
沓 沢 和 也*
Kazuya KUTSUZAWA

伊藤 浩 二*
Koji ITO
清 家 秀 規**
Hidenori SEIKE

要 旨

実車を用いた主観評価と客観的なパラメータの相関解析から構築された室内音音色指標のスポーティネスを適用し新型ミディアムクーペの開発を行った。開発初期に車両コンセプトと競合車の位置付けからこの指標上で目標値を決定し、目標値となる加工音の候補から視聴による主観評価で目標音を設定した。ベース車両のセダンに対して吸気系をクーペとして専用化することで、クーペ独特のニーズに合わせることを可能とし、インテークチューブの径、長さ、吸気口位置などで制御した。これによりクーペのねらいとなる加速時にスポーティでリニア感のある室内音音色を達成した。

ABSTRACT

A new-type medium coupe was developed by applying a sportiness according to an interior sound index derived from correlation analysis of objective parameters and subjective evaluation using actual cars. The target values on this index were determined at the initial stage of development from the new car concept and the relative positioning of competing cars. The target sound was then determined on the basis of subjective evaluation from listening to artificial sounds that represented candidate target values. The air intake system taken from the base sedan system was modified exclusively for the coupe so that its intake tube diameter, length, location of the intake orifice, and so on could be controlled to adapt it to the particular needs of the coupe. This yielded an interior sound with the sportiness and linear feeling during acceleration that were the objective for the coupe.

1. まえがき

自動車の商品性魅力として室内音は重要な要素の一つとしてあげられる。高級車のように静粛性が求められるケースやスポーツカーのように積極的に音を聞かせるケースなど車両のコンセプトによりさまざまである。その中でも積極的に音を聞かせるケースでは、室内音音色をドライバーの走行状況にあわせて気持ちの良い音に作り上げることが要求される。近年、音作りに対する考え方やそのアプローチ手法も報告されている⁽¹⁾。一方、このような車両の開発で

は、具体的な数値目標の設定がなく車両を前提とした主観評価が中心であったため試行錯誤による対応が多く多大な工数が費やされてきた。

そのために筆者らの一人が報告したように、室内音音色に対するスポーティな度合いを客観的なパラメータを用いて表現した指標としてスポーティネスが開発され、目標値の定量評価が可能となった⁽²⁾。

今回、新型ミディアムクーペの開発にあたりスポーティネスを適用し車両のコンセプトにあったスポーティな音の味付けが実現できたのでその内容について報告する。

* 栃木研究所

**タイガースポリマー株式会社

2. 室内音音色の客観的評価法

加速中の室内音を人がどの程度スポーティに感じるかという主観的な評点を、客観的なパラメータで表現したすなわち計測器で計測可能な量がスポーティネスである。評点は「全くスポーティでない」を表す0から「非常にスポーティである」である50までの値をとり、以下に示す式により算出される。

$$\text{スポーティネス} = A \cdot (\text{ONR}) + B \cdot (\text{TP}) + C \cdot (\text{ESP}) - D$$

A, B, C, D: 正の定数 ONR: 主要次数成分比

TP: トナリティ ESP: エンジン回転数の上昇率

スポーティネスの基本的な考え方として、エンジン回転数次数成分の音をスポーティな感覚に対してポジティブに作用する成分すなわちサウンド成分と定義し、次数成分以外をネガティブな成分としてノイズ成分としている。

主要次数成分比 ONR はノイズ成分に対してサウンド成分がどの程度超過しているかを回転数ごとに各次数の重み付けを行い、サウンド成分の大きさを加味し表している。ONRを効果的に向上させることは実在の室内音においてサウンド成分の絶対値を大きくすることを意味する。

トナリティ TP は純音が目立つ度合いを表す心理音響尺度であり、サウンド成分の音がノイズ成分に対して相対的に目立つ割合を表している。TPを効果的に向上させることは実在の室内音においてノイズ成分を低減することを意味する。TPはONRと異なりサウンド成分の絶対値の影響をかならずしも受けない。

エンジン回転数の上昇率 ESP は rpm/sec である。ESPを向上させることは吹け上がりのよいエンジンを選択することを意味する。

したがって前式からスポーティネスを向上させるためには ONR, TP, ESP の各パラメータを効果的に向上させることが必要である。

室内音音色のスポーティネスという新しい評価指標の開発についてはすでに報告しているが⁽²⁾、今回、新型車の開発に対してあらたにスポーティネスを用いた二つの客観的評価方法を導入した。

その一つは開発車の目標とする室内音音色の位置付けを客観的に評価するために、スポーティネスと音量を表すラウドネスの二つの数値で対比したマップを用いてその位置付けを示したものである。二つの数値はそれぞれ 2000 ~ 6000rpm の区間で平均化し単一の値として表している。現存する主要な車両をこのマップ上で示すと Fig. 1 のように、純粋スポーツカー、スポーティカー、高級スポーティカー、無性格車の4領域に分類できる。この評価方法により開発車がどの領域に属するかを把握したり、またその位置付けを比較車に対して相対的にとらえることができ、目標とする室内音音色の方向性を決める際に有効となる。ただしこ

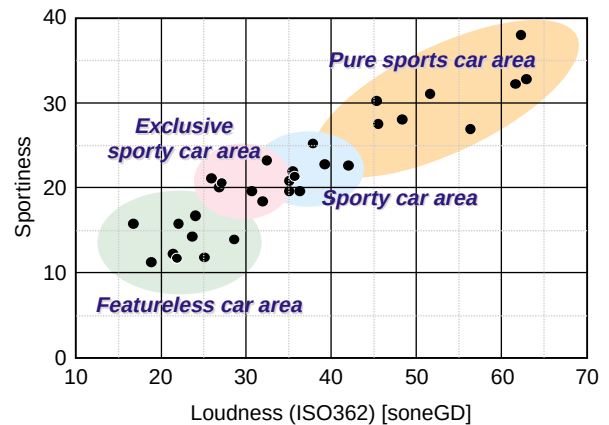


Fig. 1 Sportiness/loudness map

のマップ上での分類は各領域に位置する車両から便宜的に名づけたもので各領域の境界は厳密なものではない。

もう一つは加速時におけるリニア感といった感覚的な表現を客観的に評価するためにエンジン回転数に対するスポーティネスの変化をその特性として表したものである。この評価方法によりスポーティネス/ラウドネスマップ上で示した開発車の位置付けをより詳細な特性として把握することができ、目標特性と照らし合わせることで改良すべき回転数領域とその必要量を明確にすることができる。

3. 目標音の設定

3.1. スポーティネス/ラウドネスマップでの目標設定

新型クーペの室内音音色の目標設定にあたり、まず車両のコンセプトからユーザの使用走行状況とその時の音色の感覚的な表現として置き換えた。クルージングでは静粛感が高く、また一方でアメリカのハイウェイでの合流や追い越しのような加速中にはドライバの感覚に合致したスポーティでリニア感のある音を演出することとした。すなわちこれは、クルージングでは静粛感をコンセプトとしたベース車両のセダンと同等と位置付け、加速中にはクーペ独特のスポーティサウンドを演出しセダンとは異なる室内音音色を実現するという方向性である。

次に、実際にベース車両のセダンおよび比較車A, B, Cの計4台の車両を用意しエキスパートの試乗による室内音音色の主観評価を行った。比較車は新型クーペに競合すると考えられる6気筒3リッターエンジンをもったミディアムサイズのセダンおよびクーペを選択した。用意した車両についてはあらかじめ加速中での室内音を測定し、スポーティネス/ラウドネスマップでの位置付けを明らかにした。その客観的評価と試乗による主観評価を照らし合わせて検証した。その中で主観評価と客観的評価は、非常に相関が高く、Fig. 2に示すようにエキスパートの主観評価で最も今回の新型車の目標に近い比較車Aの指標値をもとに客観的評価値としてそのマップ上で目標エリアを設定した。

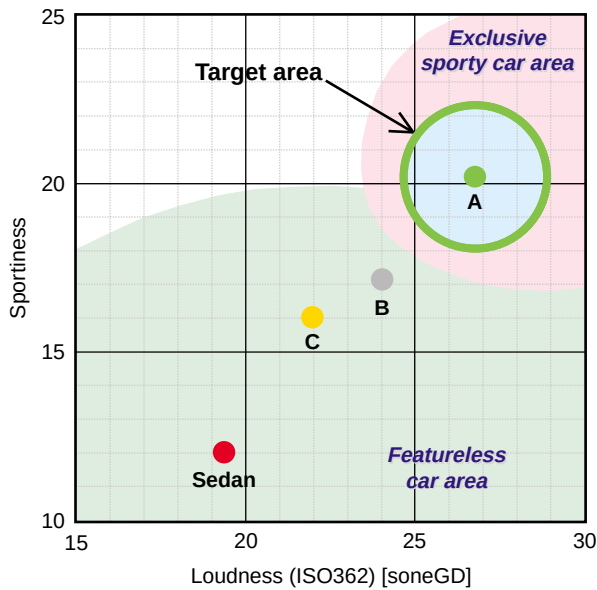


Fig. 2 Target area of sportiness/loudness map

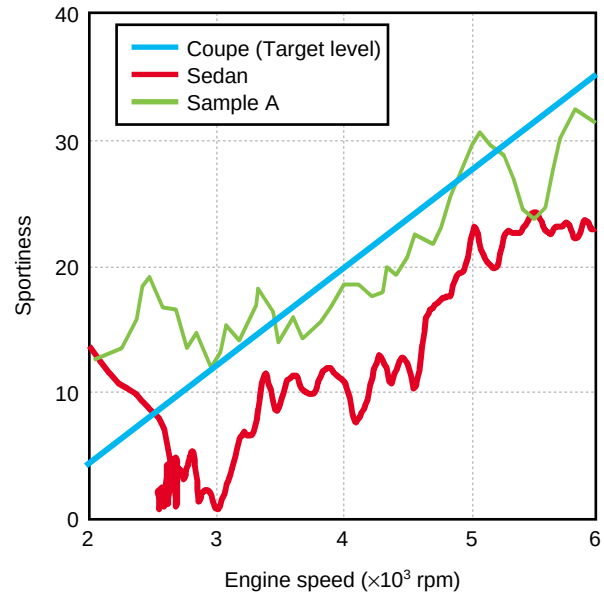


Fig. 3 Target sportiness characteristics

3.2. 加工音の主観評価による目標音設定

スポーティネス/ラウドネスマップ上で目標エリアを設定したのちに目標音の検討を実施した。まず新型車のベース車両となるセダンの室内音を測定した。それをもとにサウンドエディタを用いて加工し、マップ上の目標エリアの位置となる目標音を数種類作成した。次にこの目標音の数種類の候補からエキスパートの試聴による主観評価により目標音を絞り込んだ。最終的に得られた目標音をスポーティネスとエンジン回転数に対比した特性で示すと Fig. 3 のようになる。クーペの目標音はセダンに対してスポーティネスが10程度向上しエンジンの回転上昇に対してリニアに上昇する。またこの目標音を次数比分析しエンジン回転数ごとに積算した結果は Fig. 4 のとおりでエンジン回転次数の 3.0 次成分の音が最も高く。これはスポーティな感覚に対してポジティブに作用する成分すなわちサウンド成分が高いことを示している。

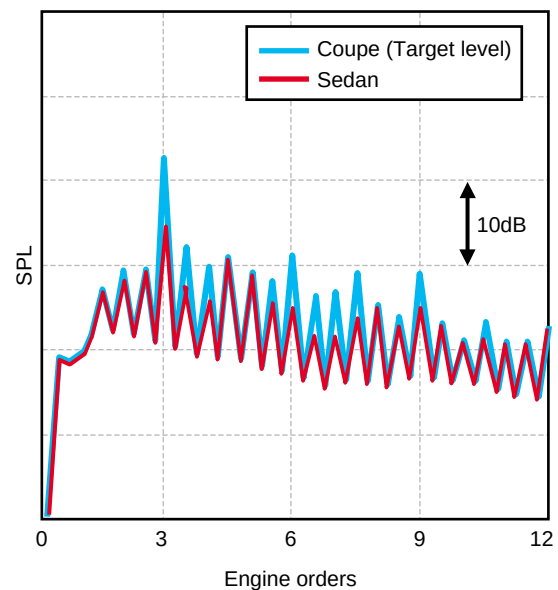


Fig. 4 Target interior sound characteristics

3.3. 目標音のユーザ検証

エキスパートの主観評価から絞り込んだ室内の目標音を一般のユーザに試聴してもらい、ユーザにどのように受け入れられるか検証した。被験者には、新型車を発売する地区に在住し現在同一のカテゴリーの車を保有しているユーザを無作為に 55 名抽出した。試聴による主観評価に対しては、新型車の目標音のほかに前述のエキスパートが主観評価を実施した 4 台の室内音を用意し、室内音音色に関する以下の 3 項目に対して質問した。

- (1) 好むか、否か。
- (2) スポーティであるか、否か。
- (3) 車両デザインの印象に適合しているか、否か。

3 番目の質問の中では、実際に新型車のデザイスケッチをみてもらいデザインから受ける印象に適合している音色かどうか確認した。

評点はそれぞれの質問に対して肯定側の最大を 50、最小を 0 とし 0～50 の値を任意に選択できるようにした。その結果をクラスター分析し、最大のクラスターについての評点を平均化した結果を Fig. 5 に示す。今回の新型車の目標音はすべての質問に対して高い評価が得られ、中でもスポーティであるか否かという質問でより高い評価が得られた。またその次に高い評価が得られた車は、エキスパートの主観評価の中で新型車の目標とした車両の室内音であった。

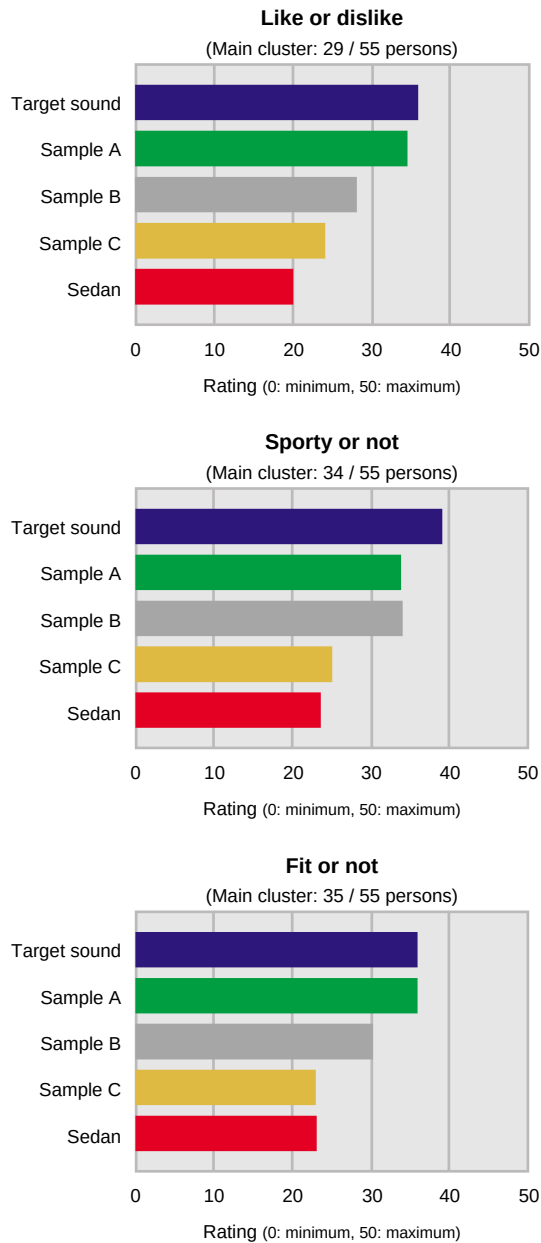


Fig. 5 Results of subjective evaluations

4. 対応手法の検討

目標音が決定したところでそれを達成するための手法の検討を行った。新型クーペの室内目標音はクルージングではベース車両のセダンと同等の静粛感を保ち、また一方で加速中にはスポーティでリニア感のある音を演出すると設定した。その観点から、クーペの加速中の室内音はエンジン回転次数の 3.0 次成分をセダンに対して特に際立たせる必要がある。したがってスロットル開度量に応じて発生する吸気音を用いて加速中の音を制御することとした。

4.1. 吸気口位置

吸気音を用いて室内音を制御するにあたり吸気音特性と車体の空気伝播特性が重要な要素となる。空気伝播特性は

吸気口位置により決定されるため、まずその検討を行った。吸気口位置は、Fig. 6に示すようにベース車両のセダンと同じエンジンルーム内の左前方と吸気系配管が可能な左側のフェンダ内の二種類について比較した。両者の伝達関数をFig. 7に示す。伝達率はセダンと同じエンジンルーム内の吸気口位置よりもフェンダ内の方が大きい。すなわち室内で吸気音が聞こえやすいという特性を示している。よって加速中に吸気音を特に際立たせたいという観点からクーペの吸気口位置はフェンダ内に設定することを決定した。

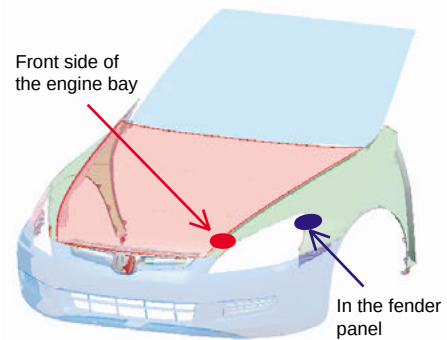


Fig. 6 Location of the intake orifice

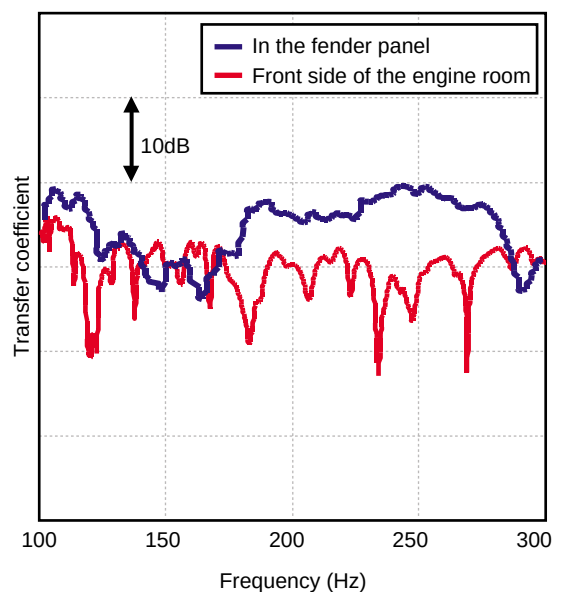


Fig. 7 Air-borne transfer characteristics

4.2. 吸気音特性

吸気口位置をフェンダ内に設定し、その吸気音を用いて室内音を制御した。まず室内目標音と吸気口に対する空気伝播特性から逆に目標吸気音を算出した。クーペの目標吸気音はベース車両となるセダンの吸気音との差異で示すとFig. 8のようになる。この結果、特に高回転側の吸気音 3.0 次成分をセダンより 20dB 程度高くする必要がある。

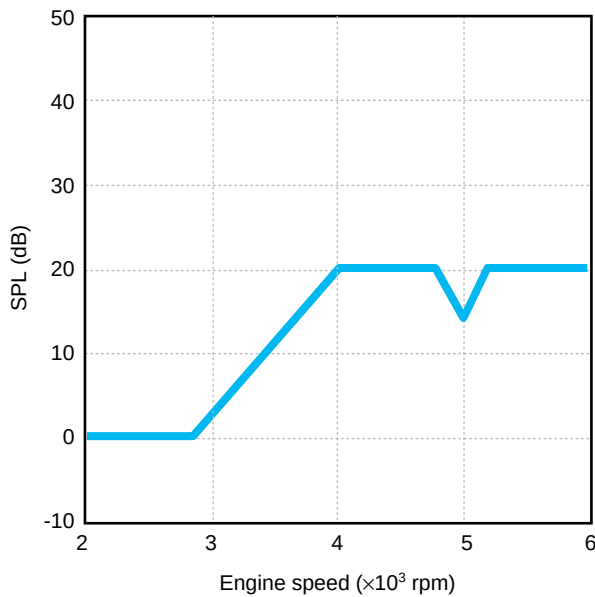


Fig. 8 Difference of intake noise target (3rd order)

吸気系の仕様検討に対しては基本諸元となるエンジンおよび吸気系エアクリーナ、エアフローチューブをセダンと共用化を前提とし、インテークチューブを中心に検討した。セダンのインテークチューブは内径が 80mm、長さが 1000mm で容量約 7L のレゾネータと複数のブランチ管をもつため消音性能の高い仕様となっている。クーペのインテークチューブの仕様検討は吸気系減衰量計算によって行い、目標値はセダンの吸気系減衰量に対して 3.0 次成分の領域を 20dB 程度低くなるように設定した。計算よりクーペの減衰量目標値を満足するインテークチューブ仕様として内径が 90mm、長さが 700mm、195Hz のブランチ管付きという結果が得られた。この仕様での減衰量計算結果を Fig. 9 に示す。またこの仕様をクーペの試作車に装着し吸気

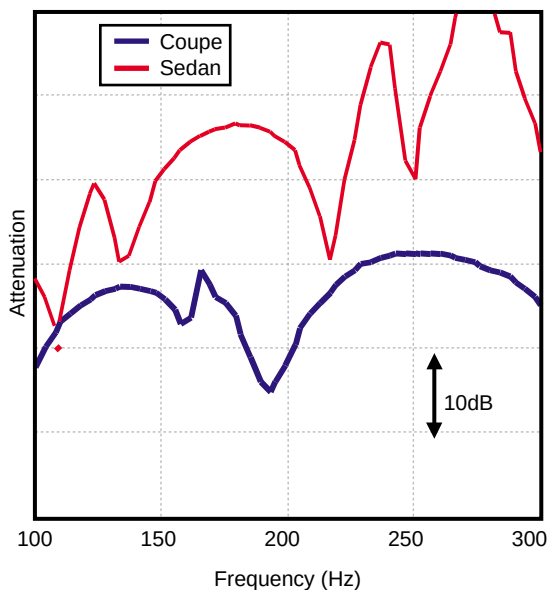


Fig. 9 Intake attenuation characteristics

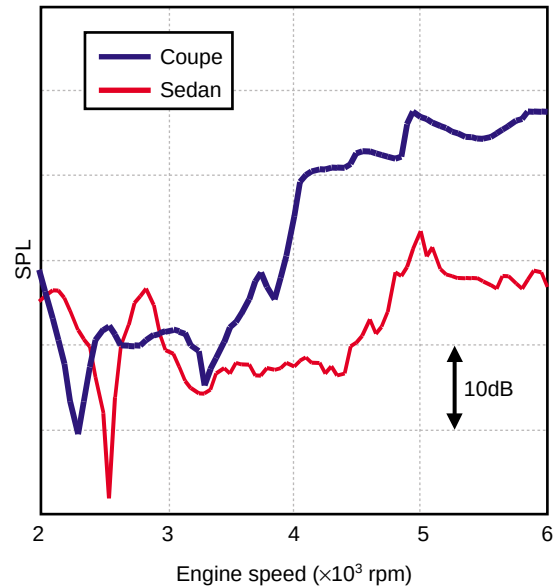


Fig. 10 Result of intake noise (3rd order)

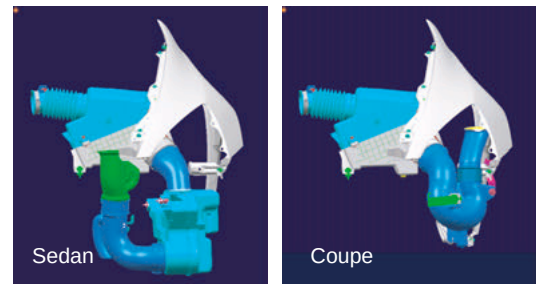


Fig. 11 Intake system layout

音を測定した。Fig. 10 に示すようにセダンに対して 3.0 次成分の高回転側の領域を 20dB 程度高くするという目標の吸気音特性を満足する結果が得られた。

以上の結果から、新型クーペの吸気系は Fig. 11 に示すようなベース車両のセダンと異なるシステムとして専用化した。

5. 実車確認結果

前述の吸気系の検討結果からこの吸気系仕様を実際に新型クーペの試作車に組みこみ室内音の測定を行った。今回の測定結果と室内目標音との位置付けをスポーティネスとエンジン回転数に対比した特性で示すと Fig. 12 ようになる。この結果から今回提案した仕様で室内目標音に近い結果が得られた。また Fig. 13 のように、今回の結果はスポーティネス/ラウドネスマップ上の目標エリアを満足することができた。

最終的にエキスパートによる主観評価を実施し、新型クーペのコンセプトである加速中のスポーティでリニア感のある音として良好な結果が得られた。

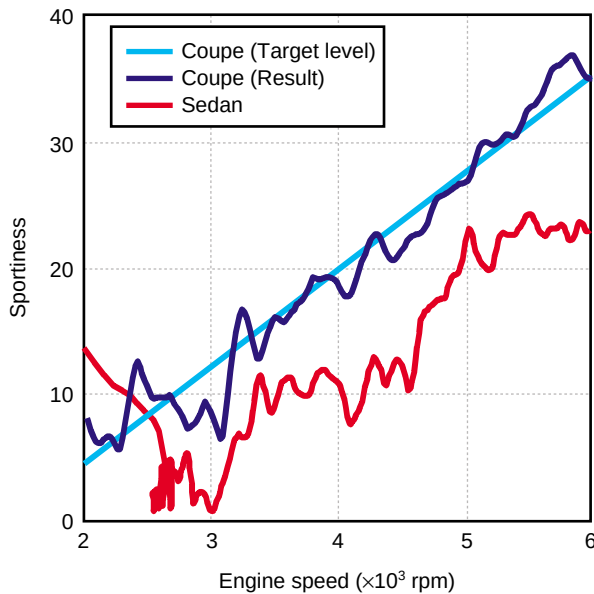


Fig. 12 Result of sportiness characteristics

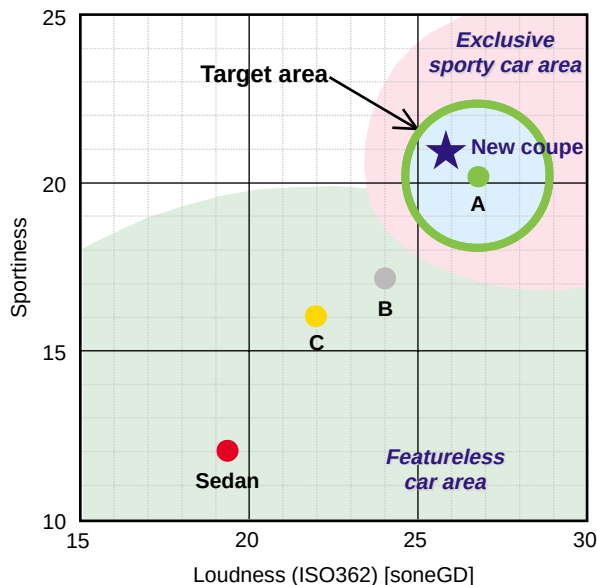


Fig. 13 Result of sportiness/loudness map

6. まとめ

新型ミディアムクーペの室内音音色の開発に対して以下の成果をあげることができた。

- (1) 比較車による主観評価と客観的評価手法であるスポーツィネスを用いてその位置付けを明確にすることで、ねらいとする新型車の目標値設定を開発初期に定量的に表現することができた。
- (2) スポーツィネス/ラウドネスマップ上で目標エリアに位置付けられる加工音を用いて目標音の候補を作成し、試聴による主観評価を実施することで開発初期に目標音の絞り込みが可能となった。

(3) 室内目標音をもとに制御する音源と車体の空気伝播特性を考慮することで音源の目標値設定が定量的に可能となり、その音源特性の設計をより効率よく開発できるようになった。

以上のように室内音音色指標を導入することで、新型車のねらいとなる加速時にスポーティでリニア感のある室内音音色を達成することができた。また同時に開発工数を大幅に低減することもできた。

参考文献

- (1) Lindner, U. : Sounddesign-the BMW Inline Six-Cylinder Engine in Different Vehicle Applications, SAE Paper 2001-01-1428
- (2) 石井康夫ほか：スポーツカー室内音の客観的評価ソフトウェアツールの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.13, No.1, p.131-138 (2001)

■ 著 者 ■



岩井 正志



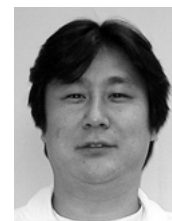
石井 康夫



伊藤 浩二



沼田 智行



沓沢 和也



清家 秀規