

3次元補間処理による車外加速騒音の予測

Calculation of Pass by Noise Level with Three-dimensional Interpolation

大 木 広 子* 半 沢 幸 彦* 濱 野 昌 生*
Hiroko OHKI Yukihiro HANZAWA Masao HAMANO

要 旨

車外騒音に対する改良仕様決定のための開発支援ツールとして、前報¹⁾ではタイヤ騒音に着目し、その温度依存性と加速走行時の騒音評価について報告した。

今回は、3次元補間処理を使った解析手法の次ステップとして、以下の項目について報告する。

- (1) タイヤ仕様変更における加速走行騒音の予測を行った結果、その妥当性が確認できた。
- (2) 加速性能変化による加速走行騒音の予測が可能となった。
- (3) 各地区の気象条件による加速走行騒音の変動予測を行い、その傾向を得ることができた。

ABSTRACT

In last paper¹⁾ we reported on the evaluating method of the tire noise with concerning the temperature-dependent characteristics and conducting the acceleration tire noise.

This paper reports on three items using three-dimensional interpolation method as follow.

- (1) Calculation of pass by noise level under changing tires.
- (2) Calculation of pass by noise level under changing accelerate performance.
- (3) Calculation of pass by noise level deviation under each weather conditions.

1. まえがき

近年、環境騒音の一要因である自動車の車外騒音に対する関心が高まり、欧州や国内において自動車に対する騒音規制の強化が進められてきている (Fig. 1)。その中でも加速走行騒音の規制が厳しく、各メーカーや研究機関においても精力的に車外騒音に関する研究が行われている^{2)~6)}。しかしながら、加速走行騒音の予測解析技術は

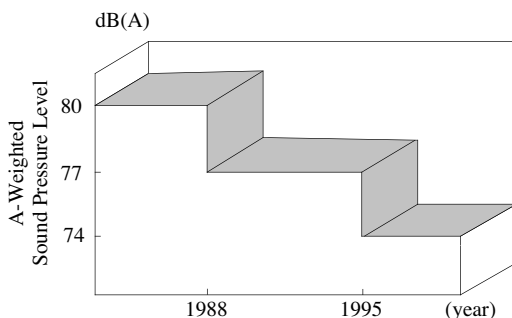


Fig. 1 Change of Pass by Noise Regulation for Passenger Car in EC

未だ確立しておらず、今回その検討を試みた。

Fig. 2 に、加速走行騒音測定法の概要を示す。

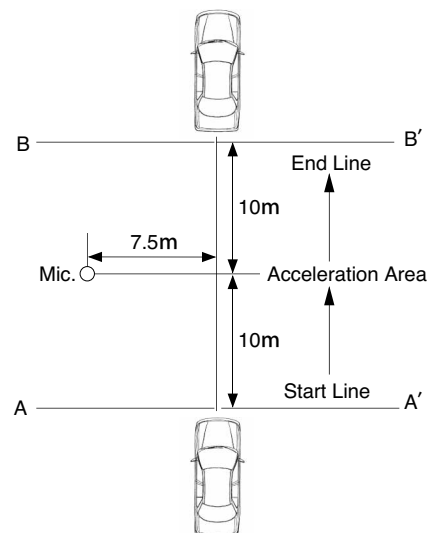


Fig. 2 Down View of Pass by Noise Measurement

加速走行騒音は、全開加速時における車両全体の騒音値を評価するものであり、その要因はFig. 3に示すように、幅広い範囲に渡っている。また、加速走行騒音の音源としては、エンジン回転数に依存するエンジン音、吸気音、排気音等のパワープラント系騒音と車両速度に依存するタイヤ騒音とに大別される。エンジン排気量1.6Lの乗用車において、それぞれの音源について寄与分析した例をFig. 4に示す。加速走行騒音の音源寄与は、エンジン等のパワープラント系騒音とタイヤ騒音双方が大きく、全体の騒音低減のためには両者の低減が必要となっている。

本報告では以上の加速走行騒音に関して、初めに前報のタイヤ騒音評価手法を要約し、次にエンジン等のパワープラント系騒音に与える影響が大きい車両の加速性能に着目し、実測データの3次元補間処理を用いた解析手法とその適用例を紹介する。

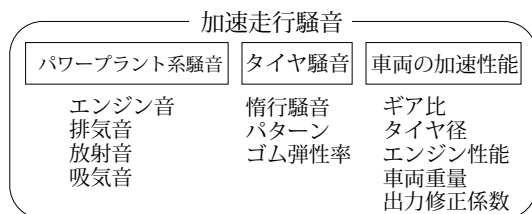


Fig. 3 Primary Factor of Pass by Noise

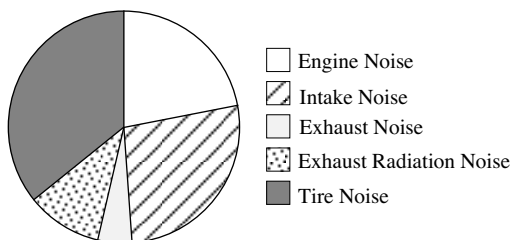


Fig. 4 Contribution of Noise Sound in Pass by Noise

2. タイヤ騒音評価

タイヤ騒音の評価には、実車惰行法が広く用いられており、欧州のタイヤ単体騒音規制においても評価法の一つとして採用される動向である。

しかし、実車惰行法にはいくつかの技術的な課題があり、中でも騒音評価値に大きく影響する次の二点につき前報を要約し紹介する。

- ①温度条件によるタイヤ騒音の変化
- ②惰行走行時と加速走行時のタイヤ騒音の変化

2. 1. タイヤ騒音の温度依存性

実車惰行法によるタイヤ騒音の測定は、年間を通じて屋外で実施され、測定時の温度条件に影響を受ける。そこで、測定の信頼性を高めるために同一タイヤを装着した試験車両で様々な温度条件下で測定を行い、路面温度による補正式を導入した。

Fig. 5に、路面温度とタイヤ騒音レベルの測定結果を示す。タイヤ騒音は路面温度の上昇に対して減少する。

タイヤ騒音レベルの路面温度補正式として、G.RIMONDIら⁷⁾の式を採用した。

$$L = A \times T a^{-3} + B \quad (1)$$

L : タイヤ騒音レベル (dB (A))

T a : 路面絶対温度 (K)

A, B : 係数

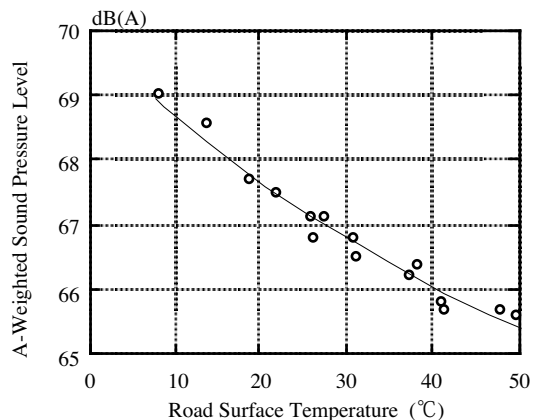


Fig. 5 Temperature Effect on Tire Noise

この式（１）を用い相関解析を行った結果、0.98と高い相関係数が得られ、補正式として実用性が充分あることが分かった。

2. 2. 加速走行時のタイヤ騒音算出

また加速走行中のタイヤ騒音は、駆動トルクの影響により惰行走行時と比較して騒音値が変化することが考えられる。そこで同一タイヤを用い、惰行走行中と加速走行中のタイヤ騒音を比較して、その影響を明確にした。

加速走行中のタイヤ騒音算出法は、加速走行騒音からパワープラント系騒音を減算して求めた。加速走行騒音は、エンジン回転数と車両の速度が変化しながら移動する車両を固定位置のマイクロホンで測定する。このため上記減算には、騒音レベルの時間変化とともに、車両位置、エンジン回転数、車両速度を考慮した処理が必要となり、3次元補間処理法を導入した。

(1) 3次元マップの作成（3次元補間処理）

タイヤ騒音測定を幅広い車両速度で実施し、得られたデータ群をFig. 6で示すように、1/3オクターブバンド騒音レベル、車両速度、車両位置の3軸上で3次元補間

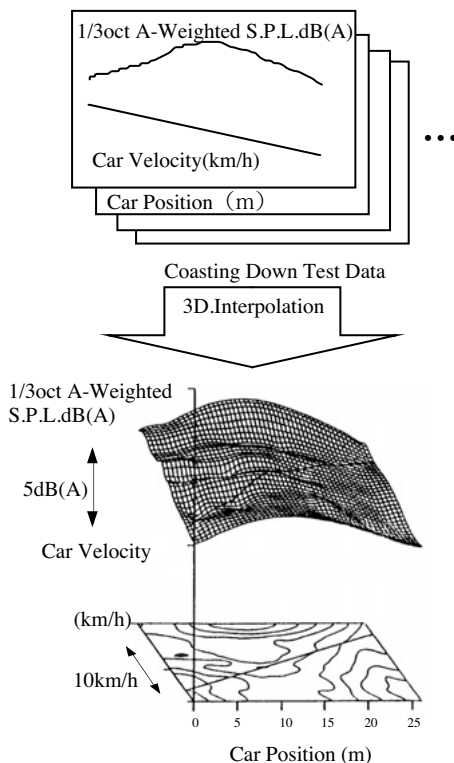


Fig. 6 3D. Interpolation Mapping

処理を行い、離散データを連続データ化する。得られた3次元マップをもとに任意の車両位置、車両速度における、騒音スペクトルが算出可能となる。

(2) 加速走行時のタイヤ騒音算出法

加速走行中のタイヤ騒音は、タイヤパターンの影響がある。そこで、その影響が比較的少ないスリックタイヤ装着時の加速走行騒音からタイヤ騒音を減算して、加速走行時のパワープラント系騒音を算出する。次に、対象タイヤ装着時の加速走行騒音からパワープラント系騒音を減算しタイヤ騒音を算出する。

エンジン排気量1.6Lの乗用車を用い、Fig. 7に示す4種類の乗用車用タイヤとスリックタイヤを装着して、惰行走行騒音および加速走行騒音の測定を実施した。4種のタイヤの内、A、B、Cタイヤは通常タイヤ、Dタイヤはスタッドレスタイヤから選別している。また、路面温度、車両速度、エンジン回転数を同時に計測し、タイヤ騒音の温度補正と3次元マップ作成に用いている。

(3) 加速中のタイヤ騒音比較

Fig. 8に、4種のタイヤに関して、前述の手法で算出した惰行走行時と加速走行時タイヤ騒音の比較を示す。

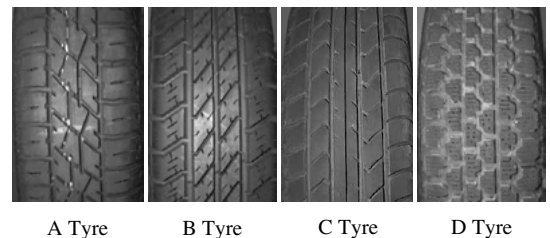


Fig. 7 Pattern of Test Tyres

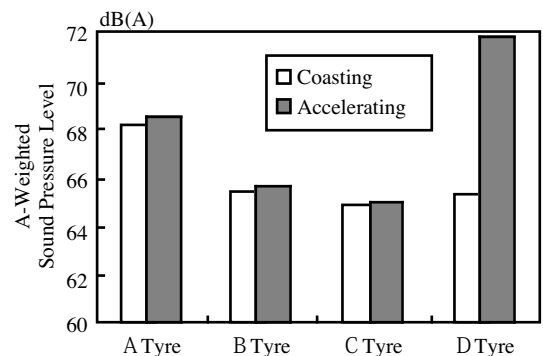


Fig. 8 Tyre Noise in Coasting and Accelerating

A, B, C 3種のタイヤは、惰行走行と加速走行で大きな騒音値の差異は見られないが、Dタイヤでは6 dB以上の騒音レベル増加が見られる。

惰行走行時と加速走行時でのタイヤ騒音差異は、タイヤの種類によって異なることが判明したが、通常タイヤの範疇においては、大きな差異は見られない。

2. 3. タイヤ仕様変更における加速走行騒音予測

前述の3次元補間処理法により作成したタイヤ騒音マップとパワープラント騒音マップを用いて、タイヤ仕様変更時の加速走行騒音を予測した。

Fig. 9に、タイヤ仕様変更後の加速走行騒音を3次元補間処理法によって計算した結果と実際に測定した結果との比較を示す。

実測と予測の加速走行騒音は、 $\pm 0.5\text{dB}$ 以内の精度で一致を示していることから、3次元補間処理法は、タイヤ騒音評価法として妥当性を得た。

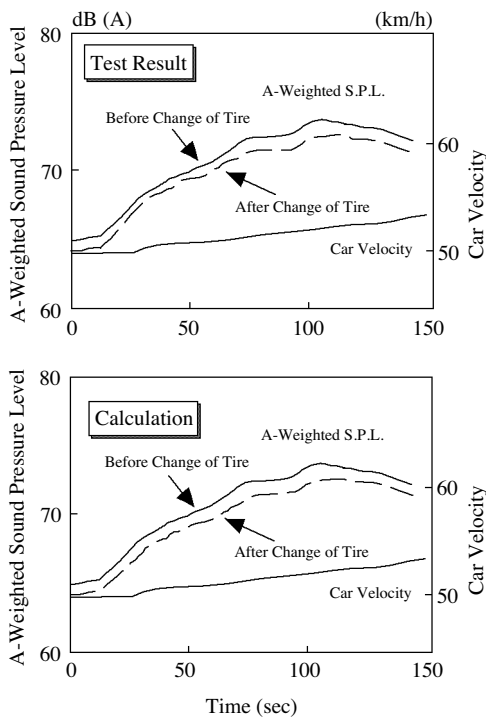


Fig. 9 Pass by Noise Level by Test and Calculation

Table 1 Input Data of Accelerate Performance Calculation

車両諸元	車両重量 ギアレシオ タイヤ動半径 エンジン出力 空力抵抗係数 ころがり抵抗係数 ミッション伝達効率
進入条件	進入速度 加速スタート時間 踏み込み時間 トルク立上り遅れ時間
気象条件	気温 湿度 気圧

3. 車両の加速性能と騒音評価

加速走行騒音モードにおける車両位置、エンジン回転数、車両速度などの車両挙動は、車両の諸元データと測定区間進入時の加速条件データを用いた加速性能予測計算によって算出することができる。

前述の3次元補間処理法と加速性能予測計算を用いて、車両重量、ギア比、エンジン出力などの車両基本諸元を変更した時の加速性能変化に伴う、加速走行騒音予測を試みた。

(1) 算出手法

①加速性能予測計算

加速走行騒音モードにおける加速性能を、Table 1に示す車両諸元および進入時の条件から算出を行ない、車両速度とエンジン回転数の時間変化に関する結果を得る。予測計算は MATRIX-Xを用い、2 msの時間毎に実施した。

②加速騒音予測計算

加速走行騒音の音源としては、車両の速度に依存するタイヤ騒音と車両のエンジン回転数に依存するパワープラント系騒音に大別されることから、騒音値予測計算としては、2種の音源に分離してそれぞれについて実施する。

タイヤ騒音に関しては、まず惰行走行騒音測定結果から、対象とするタイヤの騒音マップを算出する。これに対して、加速性能予測計算から得られた車両速度の時間

変化を計算機上で適用することで、タイヤ騒音を算出する。

パワープラント系騒音に関しては、加速走行騒音および惰行走行騒音測定結果から、対象とするパワープラント系の騒音マップを算出する。これに対して、加速性能予測計算から得られたエンジン回転数の時間変化を計算機上で適用することで、パワープラント系騒音を算出する。

騒音マップから得られたタイヤ騒音とパワープラント系騒音を同距離軸上で合成することで、加速走行騒音を算出する。

算出の流れを、Fig. 10 に示す。

(2) 予測計算結果と実測との比較

上記手法と'92モデル シビックの車両で測定したデータを基に、車両重量変更による加速走行騒音変化の予測計算を行い、実測との比較を行った。

①加速性能予測

Fig. 11に、加速性能計算結果の代表である加速走行騒音測定区間の脱出速度について、車両重量変更時の計算結果と実測結果を示す。

車両重量変更時の加速性能予測は、実測と±0.5%以内の精度で一致している。

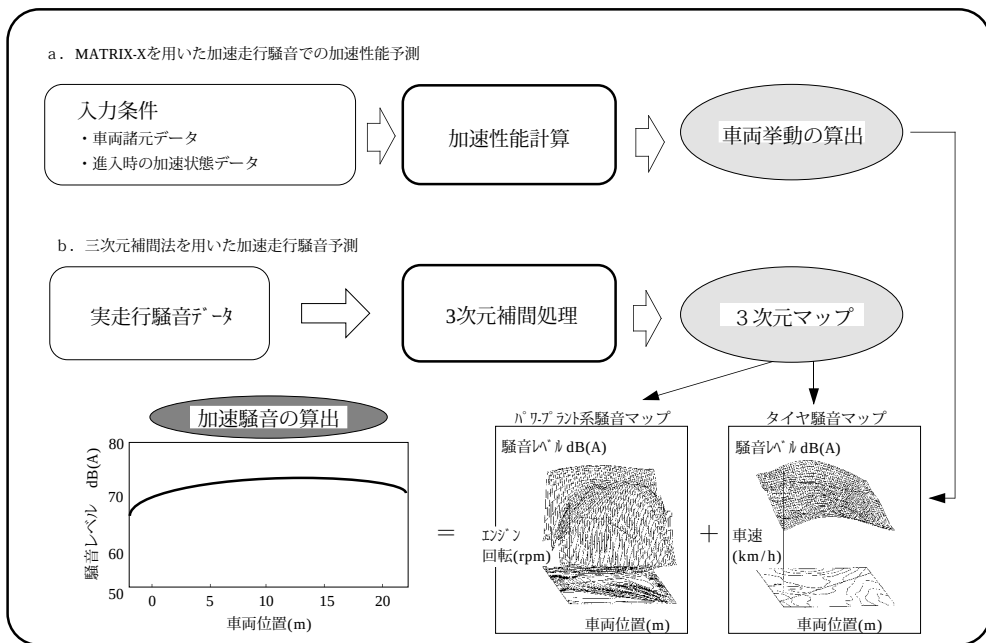


Fig. 10 Method of Calculation

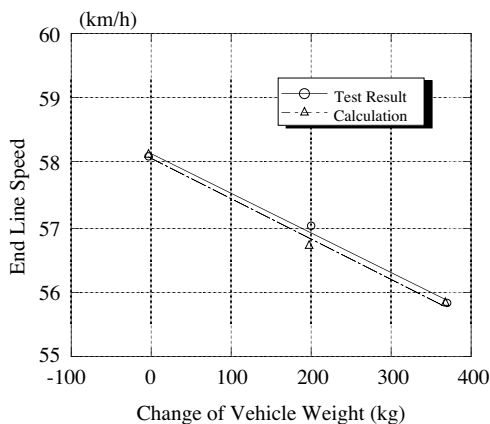


Fig. 11 End Line Speed by Test and Calculation

②加速騒音予測

Fig. 12に、①の計算結果を3次元マップに適用し算出した、車両重量変更時の加速走行騒音計算結果と実測結果を示す。車両重量変更時の加速走行騒音予測は、実測と±0.2dB以内の精度で一致しており、実用精度上の有効性が確認された。

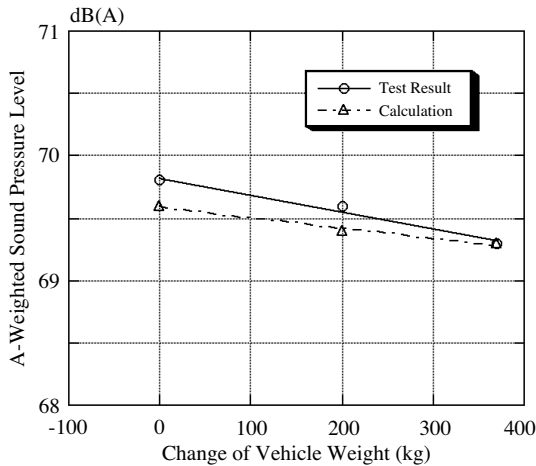


Fig. 12 Pass by Noise Level by Test and Calculation

4. 気象変動に伴う加速走行騒音予測

前述の惰行走行騒音と同様に、加速走行騒音は年間を通じて屋外での計測となるため、その測定結果は測定時の気象条件の影響を受けることが考えられる。

その影響として、次の二点を対象として検討を行った。

- ①路面温度変化によるタイヤ騒音変化
- ②気象条件からのエンジン出力変化による加速性能変化

今回、3次元補間処理法の応用として、上記二点を加味した加速走行騒音の年間変動予測を行った。

(1) 各地の気象条件年間変動

今回、栃木、鈴鹿、オハイオおよびサンパウロの4ヶ所について検討を行った。Table 2に、各地の各月における気象条件、Fig. 13に、平均的気象条件から算出したエンジン出力変化を意味する出力修正係数の変動を示す。サンパウロは、高地に所在することから気圧が低い為1.05～1.09であり、他の地区と比較して出力修正係数は高めの位置付けであると言える。他の地区は、0.95～1.04程度に変動する。

(2) 各地の加速走行騒音値変動予測

Fig. 14に、'92モデルシビックにおいて、各地区の出力修正係数の最大、最小の値から算出した変速ギア3速での加速走行騒音値の出力修正係数1.0を基準とした変動幅を示す。サンパウロ以外については、加速走行騒音値

Table 2 Change of Each Weather Conditions

Temp : (°C) , Press:(mmb), Hum:(%)

Month	Tochigi	Suzuka	Ohio	San Paulo
	Temp Press Hum	Temp Press Hum	Temp Press Hum	Temp Press Hum
1	5.0 989 66	10.1 1013 58	2.2 987 69	23.5 923 76
2	6.0 990 67	9.6 1012 66	6.0 987 60	23.7 923 79
3	9.0 987 64	14.2 1013 61	8.8 985 57	23.4 924 80
4	13.0 985 70	20.8 1013 57	15.1 986 55	22.2 925 76
5	19.0 986 74	23.4 1008 66	20.5 989 54	18.1 929 79
6	24.5 985 80	28.4 1003 69	24.4 984 53	17.1 927 79
7	28.5 987 76	31.2 1003 63	26.5 985 64	15.7 929 75
8	28.5 987 75	29.6 1001 67	25.1 989 57	17.8 928 72
9	25.0 988 73	28.2 1007 71	23.5 990 56	18.5 925 78
10	16.5 990 70	22.7 1007 63	16.2 989 51	18.8 926 79
11	7.5 992 68	17.6 1016 55	6.0 988 60	20.9 922 77
12	5.0 990 70	14.6 1017 60		22.0 922 76

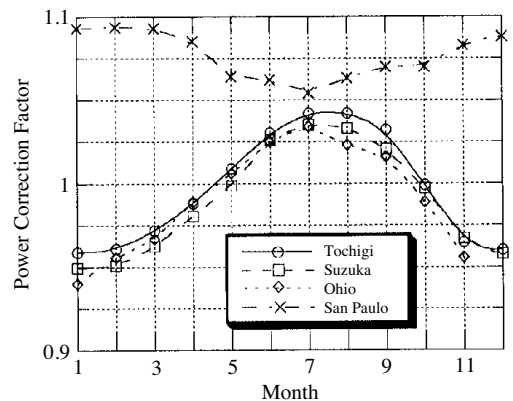


Fig. 13 Change of Power Correction Factor

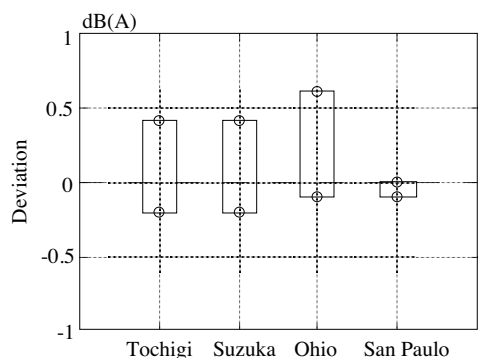


Fig. 14 Change of Pass by Noise Level

は0.7dB程度の変動幅であるのに対し、サンパウロについては、変動の幅が小さく、0.1dBであり比較的安定していることが推定され、加速走行騒音の気象条件に起因する変動幅は地域によって異なることが分った。

5. まとめ

- (1) タイヤ騒音の評価法として、以下の点について明らかとなった。
 - ・ 惰行走行法によるタイヤ騒音の温度依存性に関して、路面温度の補正式を導入することによって、その評価精度の向上をはかることができた。
 - ・ 完成車騒音測定とその3次元補間処理により、駆動トルクの影響を明確化することができた。
 - ・ 3次元補間処理により、タイヤ変更時の加速走行騒音予測が可能なことを確認できた。
- (2) 3次元補間処理と加速性能シミュレーションを用いることにより、加速性能変化による加速走行騒音の予測が可能であることを確認できた。
- (3) 3次元補間処理の応用例として、各地区の気象条件による騒音変動予測を行い、その変動幅の傾向を得ることができた。

参考文献

- 1) 半沢, 濱野, 大木, 小島: 惰行走行法による自動車のタイヤ/路面騒音について, 自動車技術, 1995-5
- 2) 坂本, 田中, 三宅: 音響ホログラフィを用いた自動車の走行中における騒音源探索について, 自動車技術, 1995-5
- 3) 巖, 山崎: タイヤに起因する車外騒音発生メカニズムの一考察, 自動車技術, 1995-5
- 4) 富田, 小西, 坂本, 尾崎: トレーラ惰行法によるタイヤ道路騒音の時系列測定, 自動車技術, 1996-5
- 5) 三上, 押野: タイヤ/路面騒音における駆動トルクの影響に関する検討, 自動車技術, 1996-5
- 6) 小西, 藤野, 富田, 尾崎: 加速時のタイヤ道路騒音評価法について, 自動車技術, 1996-5
- 7) G.RIMONDI: Tire Contribution to Vehicle Noise Generation: ATA 2nd Internal Conference, 1992-10

■著 者■



大木 広子



半沢 幸彦



濱野 昌生