

クランクトーションナルダンパの市場における 材料・単体特性変化と実車機能への影響

Changes in Market of Material and Product Properties of Crank Torsional Damper
and their Influence on Vehicle Performance

岡崎 雅之* 櫻原 一雄* 今井 世志弘*
Masayuki Okazaki Kazuo Sakurahara Yoshihiro Imai

要 旨

制振材としてゴム材料を用いたクランクトーションナルダンパの市場における劣化実態を明らかにするため、市場使用車のダンパを地域別に回収・解析し、使用環境と特性変化の関係を求めた。

またダンパの材料劣化についてミクロ的解析を行い、材料劣化の特徴から劣化原因の推定を行った。

これらの解析の結果、ダンパの特性は主に外部からの熱の影響で変化し、使用地域の気温に依存して特性変化することが判った。

更に、市場における特性変化が実車の振動・騒音低減機能に及ぼす影響について確認し、ダンパの機能寿命推定を試みた。この結果、ゴム材料の耐熱特性を向上させることにより、実車騒音低減機能をさらに長期にわたり維持できることを見いだした。

ABSTRACT

Research on characteristics changes of crank torsional damper in market was conducted based on the used ones collected in areas of market. The relationship between their characteristics change and the environment of the area was investigated.

With the analysis of their material deterioration, the cause of characteristics changes was estimated. It was, as a result, established that damper characteristics were mainly influenced by external heat. Among other things, environmental temperatures of the geographic area of the market is shown to have the greatest impact.

In addition, vibration and sound level of cars equipped with the used dampers was measured to identify the impact their characteristics changes have on this performance property of the dampers.

The analysis shows that by making the rubber material for dampers more heat resistant, longer-term reliability of the torsional damper's vibration and sound property can be achieved.

1. まえがき

エンジンの高出力化や低騒音化が進められている中で制振材としてゴム材料を用いたクランクトーションナルダンパ(以下ダンパと略す)は、クランクシャフト系の振り振動とそれに伴う騒音を低減する装置として重要な機能を有している。

しかし、エンジンルーム内で高温雰囲気曝され、また振動減衰による内部発熱を伴うため、ダンパのゴム材料の熱老化が発生し、特性変化によるエンジン振動・騒音の低減効果への影響が問題となる。

ダンパの特性に関し、これまで効果的なチューニングを行うための設計計算手法等に関する研究は多く報告

されているが^{1) 2)}、劣化による特性変化の実態について実車機能への影響も含めて調査研究した事例は見当たらない。

そこで本研究では市場走行を行ったダンパを回収し、部品単体特性の変化を調査すると共に、回収品のゴム材料劣化状態についてミクロ的解析を行い、材料劣化と部品単体特性変化の関係を明らかにした。また回収したダンパを使用して実車における振動・騒音レベルの測定を行い、単体特性の劣化が実車の振動・騒音低減機能に及ぼす影響を確認した。

更には、実車機能を長期間にわたり維持するためのゴム材料の耐熱性レベルについても検討した。

* 栃木研究所

2. 市場走行におけるダンパ特性の変化

2.1. 評価方法

市場走行を行ったダンパを回収調査するにあたり、使用環境差による特性変化を明らかにできるよう、主要市場である日本・北米・ヨーロッパ・東南アジアの四地域を選び、各地域から走行距離等の経歴の明確な車を回収した。また部品形状や機種差による特性変化のパラツキを排除するため Fig. 1 に示す同一機種、同一形状の部品を回収した。

回収したダンパは破損等の有無をチェックの後、油圧式振り振動試験装置により共振周波数・振幅倍率の特性測定を行った。測定方法は、加振ヘッド側とサンプルの慣性リング側にそれぞれ加速度センサを設置し、一定振幅で周波数を変化させて加振した時の相対振幅と位相差を検出することにより行った。Fig. 2 に測定法の概略を示す。

2.2. 回収品の特性変化

市場回収品 48 台分について共振周波数を地域別、走行距離別にまとめたものを Fig. 3 に示す。また振幅倍率の測定結果を Fig. 4 に示す。

各地域とも、走行距離と共に共振周波数特性が上昇する傾向がでており、熱環境によるゴム材料のせん断弾性率の上昇があったことを裏付けている。Fig. 5 に走行距離とせん断弾性率の関係に置き換えたグラフを示す。

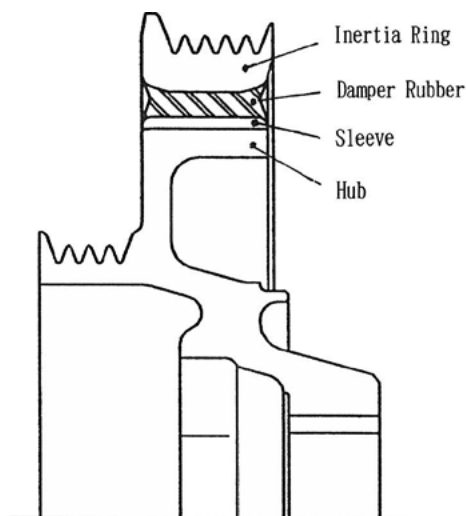


Fig. 1 Cross Section of Sample Damper

また振幅倍率も走行距離と共に上昇する傾向が認められ、熱老化によりゴム材の減衰性能が低下していることが判った。

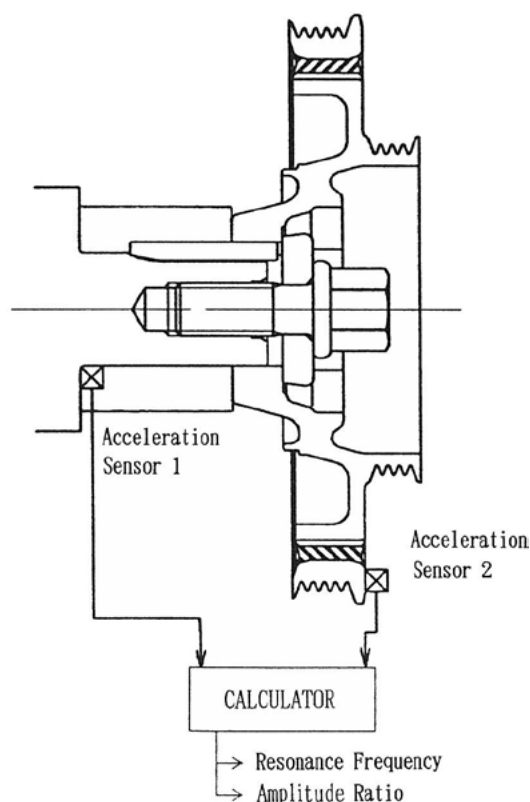


Fig. 2 Method of Damper Characteristics Analysis

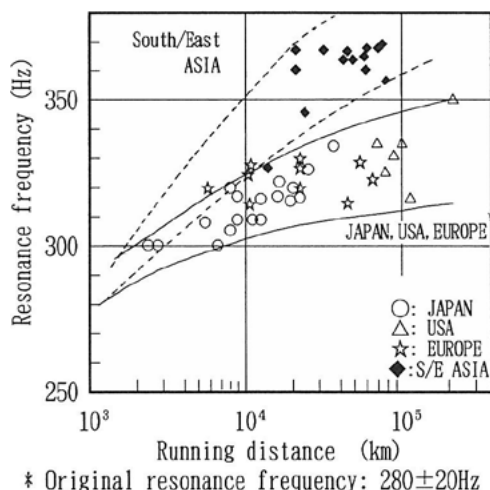


Fig. 3 Changes of Resonance Frequency of Used Dampers in Market

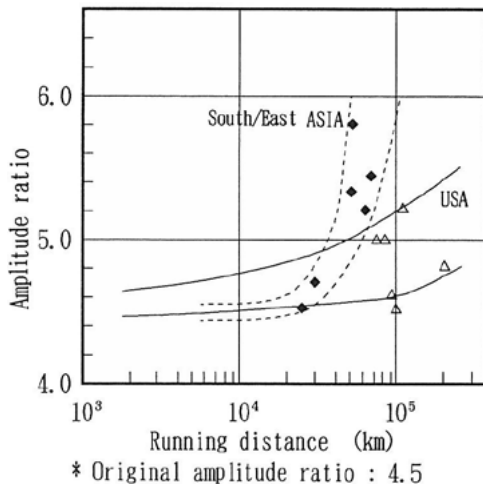


Fig. 4 Changes of Amplitude Ratio of Used Dampers in Market

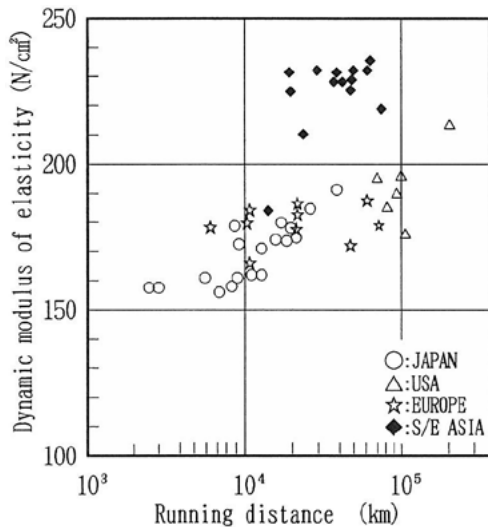


Fig. 5 Dynamic Modulus of Used Damper Rubber

回収地域別に見ると、日本・北米・ヨーロッパ地区では特性劣化の傾向に大きな差はないのに対し東南アジア地区では特性変化が大きく、使用環境の差（主に外気温の差）が特性変化に大きく影響していると考えられる。Fig. 6 に回収地域の外気温頻度分布を示す。これによると、一日の中での最高気温の平均値は日本・北米に対し東南アジアが10～15℃高く、使用環境の差が明確に出ている。

また実車におけるダンパの雰囲気温度はエンジンの発熱と外気温により影響を受けるため、外気温の差を想定し部品単体を100, 120, 150℃で熱老化した時の老化時間と共振周波数変化率の関係をFig. 7に示す。雰囲気温度の差が共振周波数変化に大きく影響していることが判り、東南アジア地区での顕著な特性変化は外気温の差に起因していることを裏付けている。

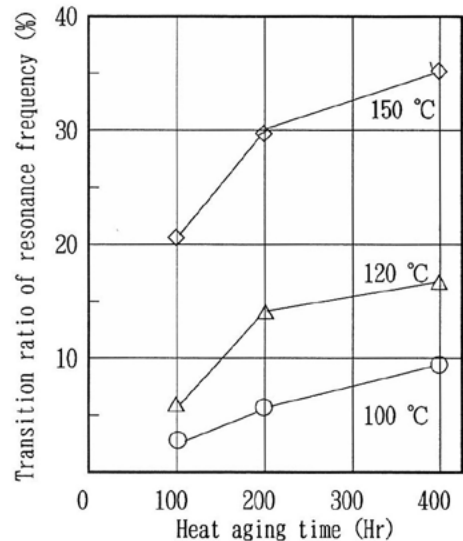


Fig. 7 Transition Ratio of Resonance Frequency by Heat Aging Test

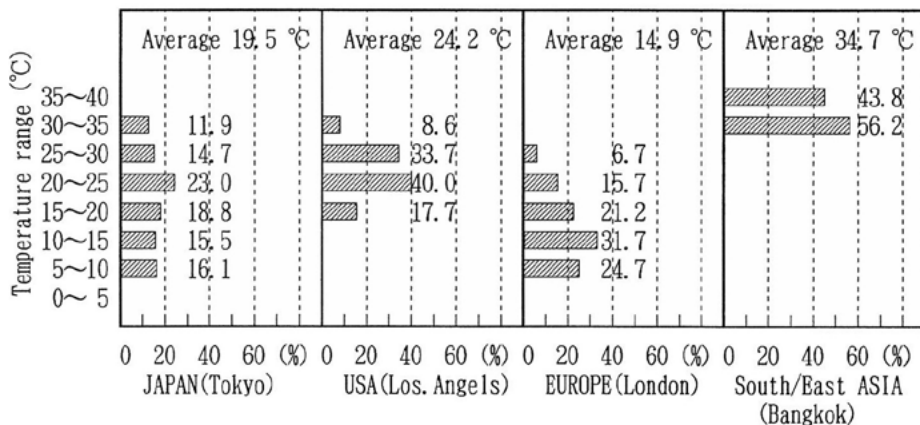


Fig. 6 Frequency of the Highest Temperature in a Day

3. ダンパゴム材料の物性変化

これまでに、回収品の共振周波数特性が、走行距離および走行地域により変化すること、その原因がダンパの雰囲気温度による熱劣化であることが明らかになったがさらに詳細にゴム材料の劣化実態を調べ、使用環境と材料劣化の関係を確認した。

3.1. 実走ダンパのマイクロ物性解析

ゴム部品の劣化に関して、部品から取り出した微小なゴムテストピースの劣化状態を解析する手法（マイクロ解析）は、これまで中内らの研究³⁾に市場における材料特性変化の実態が詳述されており、今回この手法を用いて回収地域別の材料劣化状態の解析を実施した。

Fig. 8 は北米、ヨーロッパ、東南アジア各地区から回収した、ダンパのゴム表面から内部に至るゴムの架橋密度分布を示すものである。

東南アジアにおける回収品は、表面から内部に至るまで架橋密度の上昇が認められ、熱の影響がダンパ内部まで及んでいることが判る。また特に表面から 0.5mm 程度までの表層部に架橋密度の著しい変化が認められ、高温雰囲気で使用された場合の劣化パターンを示している。これに対しヨーロッパ地区のダンパは、新品に対して表

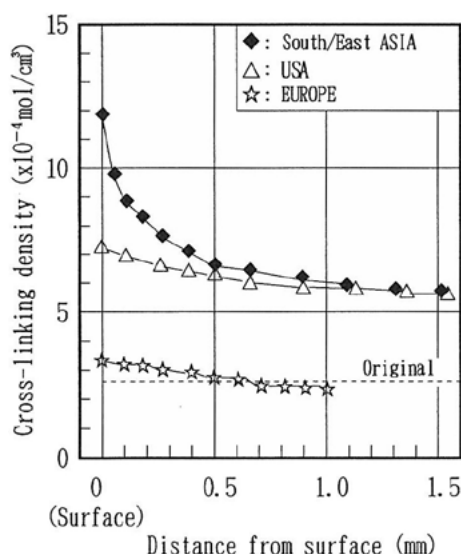


Fig. 8 Changes of Cross-linking Density from the Surface to the Inside of Used Dampers in Market

面近傍にわずかな架橋密度の上昇が認められるだけであり、熱の影響はあまり受けていないといえる。また北米地区では両者の中間となっている。

この結果は、走行地域による温度環境の差の序列と一致している。

3.2. ダンパのゴム硬度解析

ダンパゴム材料の劣化を見るもう一つの手段として、ゴム硬度解析がある。Fig. 9 はダンパの断面を両表面を含め 10 ポイントに分けて微小硬度を測定したものであるが、前記のマイクロ解析による架橋密度分布と同様、内部に対して表面近傍の硬度が高く、またヨーロッパ、北米、東南アジアの順に硬化度合いが大きくなる傾向を示している。

このようにゴム表層部の硬度変化が大きく、内部の変化が小さいことは、ダンパ熱劣化の原因が主に雰囲気温度に起因していて、内部発熱による劣化要因は少ないといえる。

以上のように微小範囲の硬度を精測することによって簡易的に部品の熱履歴を推定することが可能である。

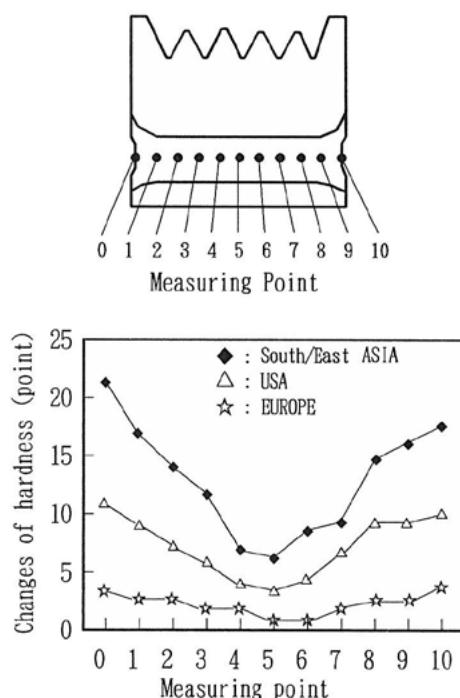


Fig. 9 Micro Hardness Distribution of Used Damper Rubber

4. 特性変化が実車機能に及ぼす影響

実車におけるダンパの機能は、クランクシャフト系の振り振動に伴うエンジンの振動・騒音を低減することであるが、市場での熟老化による特性の変化が実車の振動・騒音低減機能にどのように影響するかを、実車テストにより確認した。

4.1. テスト方法

市場回収したダンパおよび新品ダンパを同一車両に取り付け、実車の室内音レベルをマイクロホンで、エンジンマウント部の振動を加速度センサで測定した。測定ポイントを Fig. 10 に示す。

市場回収品は、東南アジア地区品で、走行距離 5 万 km、共振周波数変化率 +30% のものを使用した。

4.2. テスト結果

Fig. 11 に新品ダンパと回収ダンパにおけるエンジン室内騒音レベルと回転数の関係を示す。テスト条件としてスロットル半開条件 (吸気負圧 -90 mmHg) にて測定した結果、回収ダンパの騒音レベルが全体的に高いことが判る。特に 2000~3500rpm 付近および 4800rpm 付近において騒音の悪化が顕著であり、最大で約 4dB の音圧レベルの差が確認された。

Fig. 12 は、エンジンサイドマウント部のエンジン側、車体側における振動加速度レベルとエンジン回転数の関係を示したものである。振動加速度で見ると、回収品と新品の差は室内音の評価より更に明確に現れており、2000~3500rpm 付近および 5100rpm 付近において最大で 5~7dB の振動加速度レベルの差が確認された。

上記のように、共振周波数で +30% の特性変化は実車におけるダンパの振動・騒音低減機能の低下を引き起こすことが判った。

5. ダンパ機能の長期信頼性

5.1. 材料物性からの機能寿命の推定

回収ダンパによる実車騒音確認テストにおいて共振周波数特性の変化が実車騒音の悪化につながる事が明らかになったが、このダンパの材料物性を見ると表面ゴム硬度が約 20 ポイント上昇している。

一方、ゴム材料の温度別熟老化テストにおけるゴム

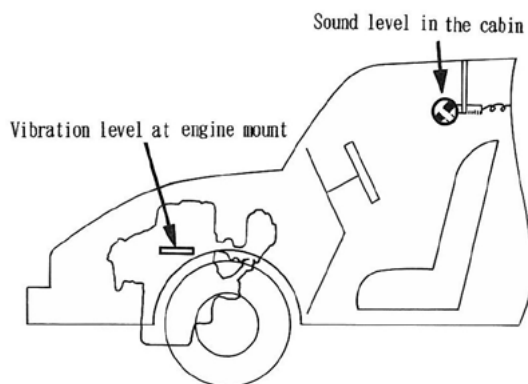


Fig. 10 Measuring Point of Vibration and Sound Level

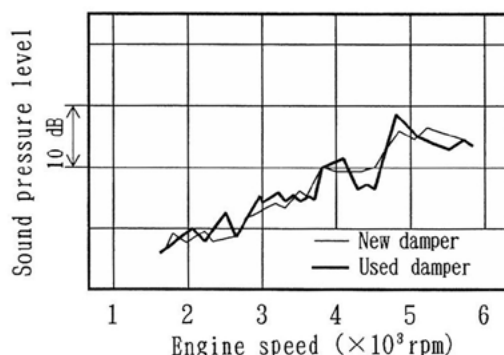


Fig. 11 Sound Level in the Cabin with New Damper and Used Damper

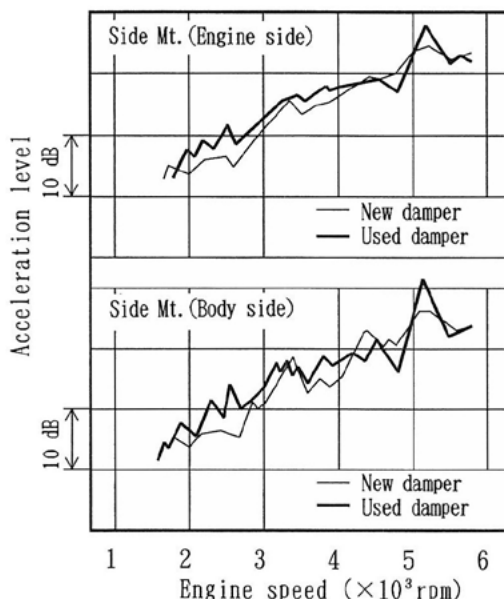


Fig. 12 Acceleration Level at Engine Mount with Used Damper

硬度変化は Fig. 13 のようになっており、ここからゴム硬度 20 ポイント上昇を寿命限界と仮定し、各温度における材料寿命時間を求めた材料限界線図は Fig. 14 のように求められる。この限度線図と実走時のダンパ部温度頻度から、実車における騒音低減機能の寿命予測を試みた。Fig. 15 に寿命予測方法の概要を示す。このようにして求めた本事例ダンパの機能予測寿命は北米地区にて約 8 万 km となり、車両寿命内で振動・騒音が悪化する可能性があると予測された。

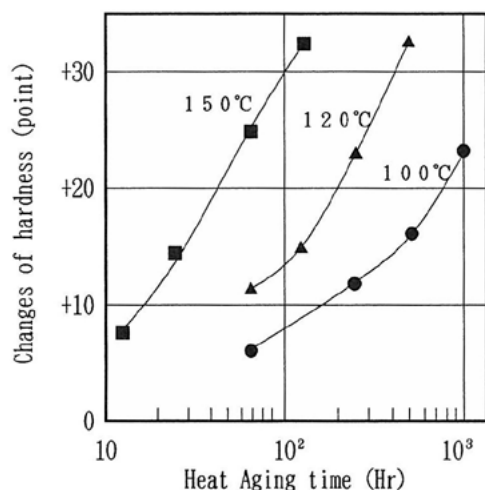


Fig. 13 Hardness Changes after Heat Aging of Damper Rubber

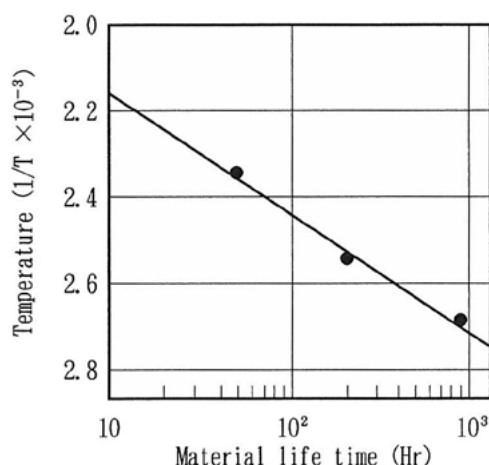


Fig. 14 Material Life Time at Hardness Change "+ 20 points"

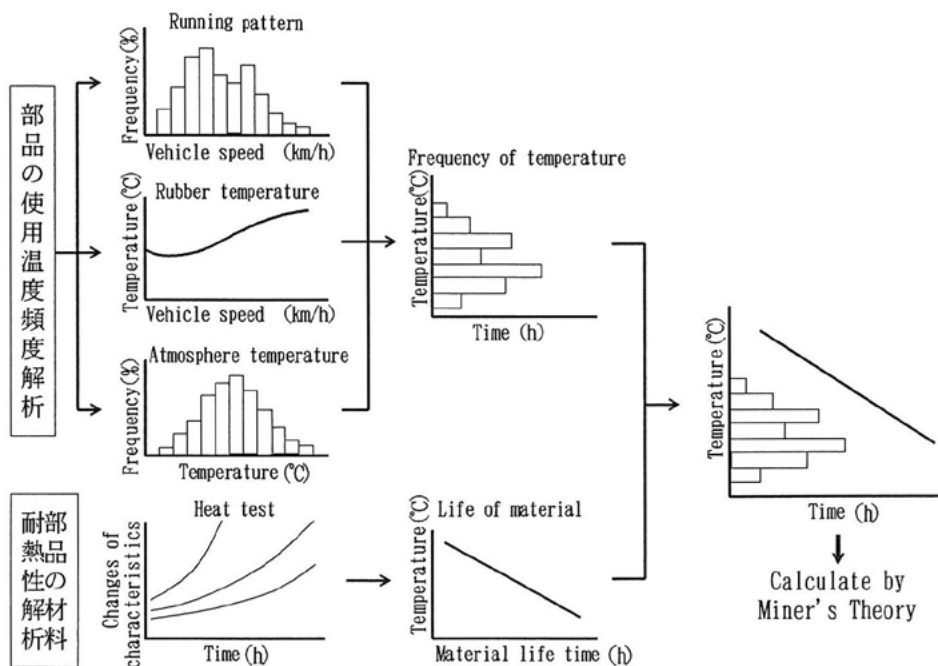


Fig. 15 Outline of the Analysis of Parts' Life

されるゴム部品としての耐熱性レベルは低い方である。これに対しダンパの雰囲気温度はエンジンルームのスペース減少および高出力化により上昇する傾向にある。

Fig. 16 に耐熱性の高いゴム材料を使用したダンパの材料寿命の一例を示す。耐熱性改良材は、従来材に対し100~120℃における耐熱寿命で約5倍の耐熱性を有しており、ダンパの振動・騒音低減機能を、乗用車の平均寿命まで維持できると考えられる。

今後、自動車の使用寿命がさらに延び、より高度な低振動・低騒音化技術が要求されることから、本例のような材料の耐熱性向上によるダンパの機能向上策は有効な手段となる。

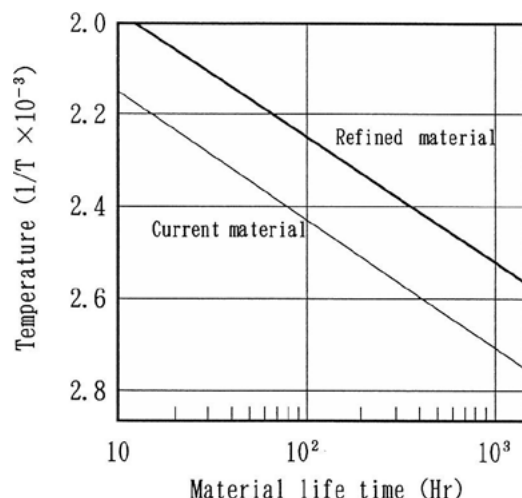


Fig. 16 Life of High Heat Resistance Material at Hardness Change "+ 20 points"

6. 結論

市場回収ダンパを、単体特性・材料物性・実車機能の各方向から解析を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 市場走行による単体特性の変化量は、走行距離および使用環境温度に依存している。
- (2) ダンパゴム部の劣化実態は、表層部の硬度変化・架橋密度変化が内部に比べて大きい傾向があり、市場における劣化は外部からの熱による影響が主要因と考えられる。
- (3) 共振周波数特性の変化により実車における振動・騒音が増加する。共振周波数特性と振動・騒音の関係から実車機能の寿命推定計算が可能となった。
- (4) ダンパの振動・騒音低減機能を長期間維持するための手段としてゴム材料の耐熱性向上を図ることが有効であり、耐熱性改良材の適用により約5倍の機能寿命向上が期待できる。

謝 辞

本テーマを推進するにあたり、材料解析技術において御指導をいただきました、(株)ブリヂストン材料開発部の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 川村他: クランク軸トーショナルダンパーブリー性能予測
自動車技術 Vol.40, No.12, 1986
- 2) 北埜他: クランク軸トーショナルダンパによるエンジン騒音低減の解析
内燃機関 Vol.25, No.317, 1986
- 3) 中内秀雄: 実走防振ゴムの熱履歴解析
日本ゴム協会誌 63 巻 7 号, 1990

■著 者■



岡崎 雅之



櫻原 一雄



今井 世志弘