

塗布型制振材の高精度塗布工法

Highly-accurate Application System of Liquid Sound Deadener

高崎 政憲*1
Masanori Takasaki

河瀬 英一*2
Eiichi Kawase

高場 宣弘*3
Nobuhiro Takaba

要約

自動車の環境性能と静粛性を向上させるためには、軽量かつ振動の少ないボデーが必要であるが、振動は重量による減衰効果が大きいために、軽量化と静粛性は相反しやすい。塗装工程では、ロードノイズ減衰のために、数 kg の制振シートを車室内に貼り付けており、軽量化に加え、ゴミなどの生産性の観点からも、課題であった。

CX-5 では、軽量の塗布型制振材を採用し、必要最小限の塗布仕様の開発と、それを正確に塗布する工程開発を行い、軽量化/静粛性/生産性を高次元で成立させた。塗布精度を飛躍的に向上させた塗布工法の開発を中心に、この技術を紹介する。

Summary

To improve environmental performance and quietness of vehicle, light weight and vibration absorbed body structure is required. However, weight has large effect for vibration absorbance, there is confliction between weight reduction (WR) and quietness. In paint shop, several kg of damping sheet is applied into inside of cabin for Road Noise (R/N) absorbance, and it has difficulty not only with WR but also productivity, such as dirt defect.

We developed technology of application design optimization and accurate application system for LSD (Liquid Sound Deadener), and implemented to RX-5 to achieve simultaneous improvement of WR / quietness/ productivity. This report introduces these technologies, focusing on application system development which significantly improved accuracy of application position and amount.

1. はじめに

自動車に求められる環境性能向上の観点から、車体の軽量化による燃費向上の重要性が増しているが、一方で、高級感や快適性の要素である室内静粛性に対する期待も高く、重量による振動減衰の効果が大きいために、重量増加の傾向と相反し、軽量かつ静粛性の高いボデー構造が求められている。音の発生源は、エンジン音、ボデーの風切音、タイヤと路面で発生するロードノイズ（以下 R/N）、などがあるが、一つの音の静粛性を向上させると他の音に気づきやすくなる。例えばエンジン振動のない電気自動車は、よりハイレベルな風切音、R/N 対策が求められることになり、

軽量化と静粛性を両立させる技術の重要性は、今後の自動車性能の進歩に欠かせない要素技術である。

2. ボデーでの R/N 対策と課題

2.1 塗装工程での制振シート

塗装工程では、一般的に、車室内に伝わってきた R/N 振動を重量で減衰させるために、Fig.1 のように、数 kg 程度の制振シートをフロアパネルに貼り付けている。制振シートは、アスファルトと比重の重い無機物を主成分とした粘性のある材料であり、積み重ねて保管する間にシート同士が張り付くのを防止するために付着防止粉がまぶして

*1~3 車両技術部
Painting, Trim&Final Assembly Engineering Dept.

あるため、ボデーに貼り付け後の外板塗装時に粉が飛散してゴミ不良の起因になる。また、重い制振シートをキャビン内に前屈姿勢で貼り付ける作業は、エルゴノミクスの重筋作業であり、塗装工程の生産性の観点からも課題の多い工程である。

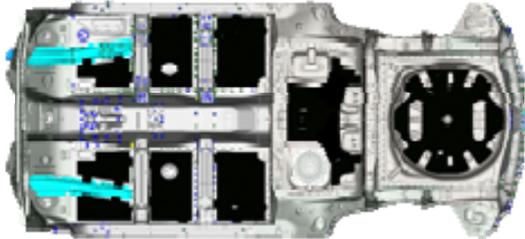


Fig.1 Damping Sheet

2.2 塗布型制振材

制振シートの問題を解決する技術の一つとして、塗布型制振材の適用が拡大しつつある。この材料は、強度の高いアクリル樹脂と、振動を摩擦熱に変換するための無機粒子を主成分とした液体塗料であり、重量だけではなく塗膜強度と熱エネルギーへの変換で振動を減衰させることで、Fig.2のように、軽量で高い制振性を持っている。また、この塗料をロボットで自動塗布することで従来の制振シートの生産性の課題を同時に解決できる材料である。

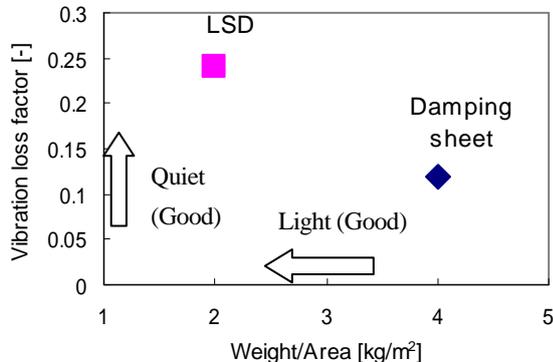


Fig.2 Weight and Vibration Loss Factor

2.3 塗布型制振材の課題

一般的な塗布工法はスリット塗布工法であるが、膜厚分布の均一性や塗布位置の正確性に課題があり、部位ごとの最低塗布量を確保するために過剰な塗布をしている。一方、塗布仕様は、既存車種での制振シートの仕様のコピーをベースにして、工法の塗布精度のリカバリーを含めた塗布仕様で実車を作成し、音響評価結果を元に最終仕様を決定する結果、Fig.3のように、過剰な塗布による重量増が起きている。

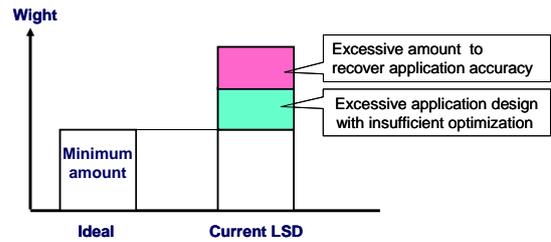


Fig.3 Excessive Application of LSD

上記の課題は、塗布工法と車両設計が相互影響しているため、CX-5の開発では、車両開発の初期段階から開発部門と生産部門が協調し、塗布精度を飛躍的に向上させる塗布工法と、振動シミュレーションを活用した塗布仕様の最適化ソフトを平行して開発して適用することで、軽量化と静粛性を同時に実現する取り組みを行った。

3. 高精度塗布工法の開発

3.1 スリット塗布工法の現状と課題

一般的なスリット塗布工法は、Fig.4のように、ブースタポンプで塗料を圧送し、ロボットアーム先端にあるスリットノズルから高圧で塗料を吐出させて広げて、ノズルの移動速度で膜厚を制御するシステムである。

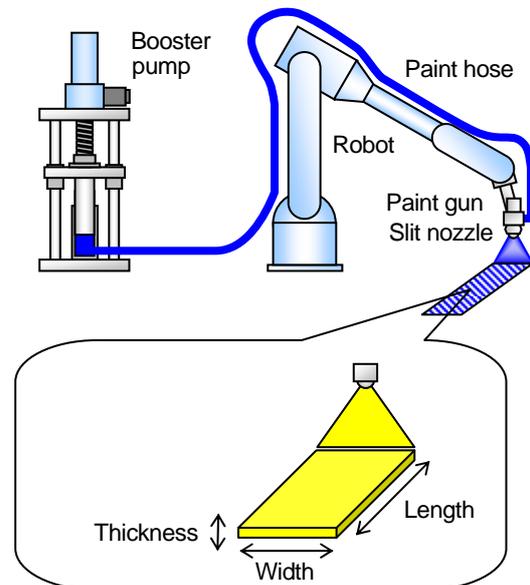


Fig.4 Paint System for Slit Nozzle

しかし、実際の塗布では、塗料の広がりパターンは、Fig.5のように不均一であり、かつ、ガン先でのバルブON/Off時に塗料圧力が安定しないために、過剰な塗布が必要である。

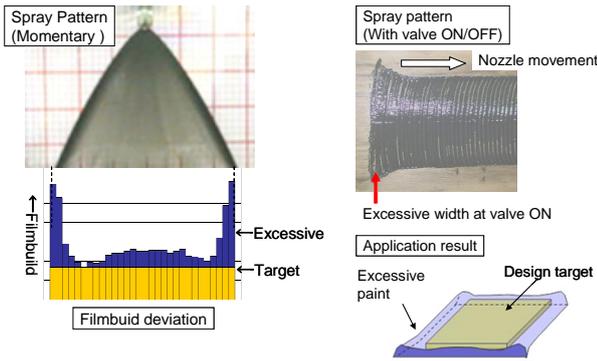


Fig.5 Paint System for Slit Nozzle

また、厚みを一定にするためには、ノズルの移動速度が一定であることが必要であるが、実際のロボットは慣性力があるために、Fig.6のようにロボットアームの移動速度は加減速し、速度が遅い間の塗布での厚みは過剰になる。この加減速は、ボデー曲面に沿わせて複雑な動きをさせる場合は増大する。

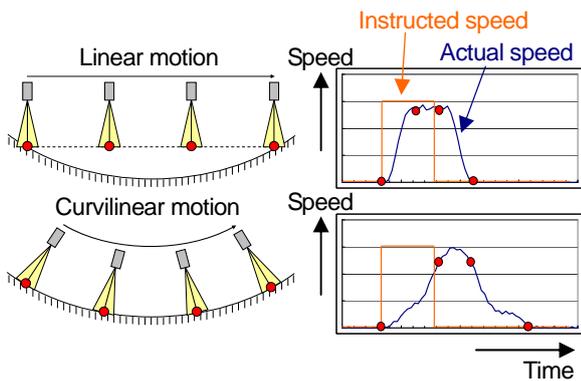


Fig.6 Actual Gun Speed In Different Motions of Robot

3.2 新しい塗布工法

上述の問題を解決する塗布工法の要件は以下である。

- ① 圧力で吐出パターンを広げる ⇒ 直進吐出させ、ガン距離依存性をなくした吐出パターン
- ② 塗料を止める/動かす塗料供給制御 ⇒ 塗料を止めない塗料供給制御
- ③ ロボットアーム速度が変動 ⇒ ボデーに沿わせずロボットアームを直線運動で定型化

上記の要件を満たすシステムとして、塗布システム開発を行った(Fig.7)。

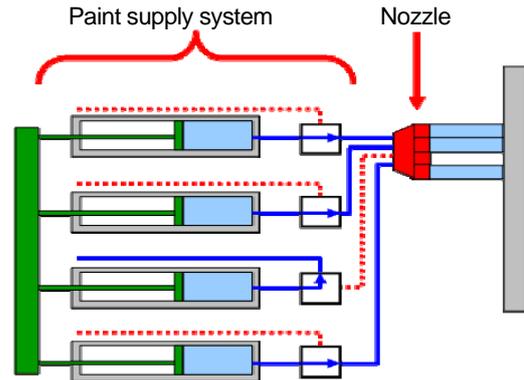


Fig.7 Sketch of High-Response Paint System

4. 新しい塗布工法の開発

4.1 課題解決する塗布工法の実現

(1) 塗布ノズル

塗装距離依存性から脱却し、パターン形成の応答性を向上させるため、微細な円の隙間から塗料を棒状に出し、複数を並べることで塗布幅を作るノズルを採用した。

高い吐出応答で平滑な塗膜を得るため、1本の棒状流れから形成される塗着幅に対して、平均吐出流速・ガン速度・ノズル径を因子として、検証実験を行った。例えばFig.8に示すようにノズル口径が小さいほど平滑性は向上する。しかしながらあまり小さな径のノズルは量産工程での維持・管理の面で不利である。

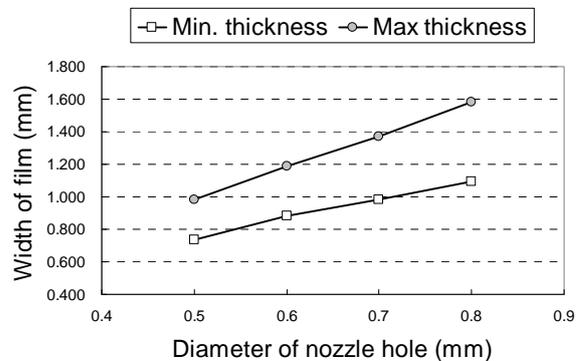


Fig.8 Verification of Nozzle Hole

平均吐出流速は、Fig.9の様に、大きいほど塗着幅の広がり鈍化してくることから、小さいほうが薄膜化や平滑性の向上に有利である。しかしながら、吐出流速は吐出応答に関わっており、一方で一定量をボデーに塗着させるためにはガン速度と連動させる必要がある。ガン速度は生産タクトに関わる因子であり、極端に遅くすると工程としての生産効率が落ちる。このように車両性能に必要な塗布重量と塗布工程の生産性から、最適な吐出流速を決定した。

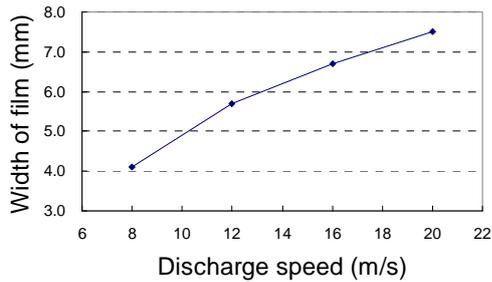


Fig.9 Verification of Discharge Speed

以上のように塗膜品質と生産効率やメンテナンス性を考慮した上で各因子を決定し、最適化を行った結果、平滑性においては $\pm 10\%$ 以下を実現することができた。

このようにしてノズル孔単体の吐出条件を決定した上で、ガン 1 個に対して複数個のノズル孔を設けた構造とした。高粘度流体のため、複数個のノズル孔から吐出される塗料の等量性、直進性が課題である。これに対し、Fig.10 のような 3D の流体シミュレーションと基礎実験から、ノズル内部の流れ、吐出後の流れを解析し、ノズルの内部構造を最適化することで、各孔における塗料流量の等量性および吐出後の直進性を確保した。

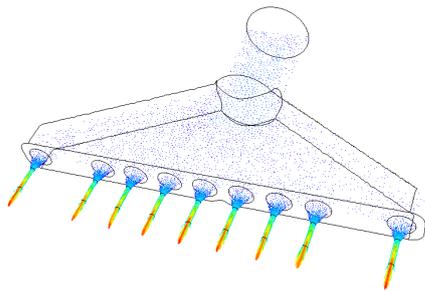


Fig.10 3D-Simulation for Inner Flow Of Nozzle

以上のように複数孔から吐出される塗料を、ボデーに衝突させることで、Fig.11 のように平滑な塗膜を得られるノズルを開発した。

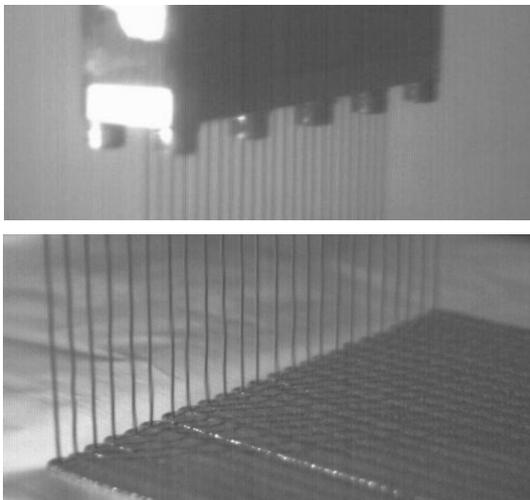


Fig.11 Discharged Flow and Applied Film by New Nozzle

(2) 塗料供給システム

流れをとめずに流体を制御する身近な例は、水が出る／出ないという変化を短時間に行う噴水であり、これはポンプから送られてくる水の流路を 3 方弁で切り替えることで実現している。今回のシステムでも、この原理を応用し、Fig.12 に示すような塗料供給システムを開発した。

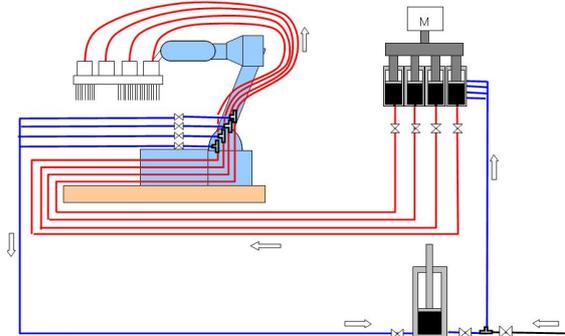


Fig.12 High-Response Paint Supply Diagram

ノズルから吐出される塗料の量の精度を向上させるためには、頻繁に開閉を繰り返すガン内部の圧力をいかに一定に保つかが重要である。従来のシステムでは、ガンの開閉に同期してポンプの駆動/停止を行うため、圧力は常に変動している。そのうえ、一般に制振材塗料は高粘度であるため、塗料を動かすためには高い動圧が必要になる。ゆえにガン内部の圧力を一定にすることは難しく、結果的に吐出する量がばらついたり、塗着位置がずれたりする。

これに対して本システムは、常に一定速度でポンプを駆動させ続け、ガン側と戻り配管側の瞬間的な経路変更をさせることにより、経路全体の動圧を一定に保つ。その上で、戻り配管側の背圧を適切に調整する機構を設け、両経路の圧力損失を等しくすることで、物理的にデッドエンド区間となるガン側ホース内の圧力を保つ。

逆にいえば、本システムにおける精度を決定するのは、唯一の変動機会である瞬間的な経路変更の応答性と両経路の圧力損失差であり、これを適切に制御する必要がある。

経路変更の応答性は、バルブの開閉速度に依存しており、厳密にはバルブ内のピストンを空気で押し引きする速度である。ゆえに、開閉速度を高めるためには、力を大きくするかピストンの質量を小さくするかのどちらかである。今回は、ガンの内部部品構造とピストン駆動エア圧の両方を最適化することで、数ミリ秒での開閉を可能にした。

両経路の圧力損失については、経路の分岐後に、背圧を調整する抵抗を設け、この抵抗を調整することで、ガン側と戻り側の圧力損失を同じにすることができた。

以上の結果、微小な時間間隔でガンを開閉させても、塗布開始から終了まで圧力は一定となり、流れを止めないコンセプトの具現化により、圧力変動を極小化することができた。これにより Fig.13 に示すように、平滑かつ一定幅の塗膜を微小な塗分けで塗布することができた。

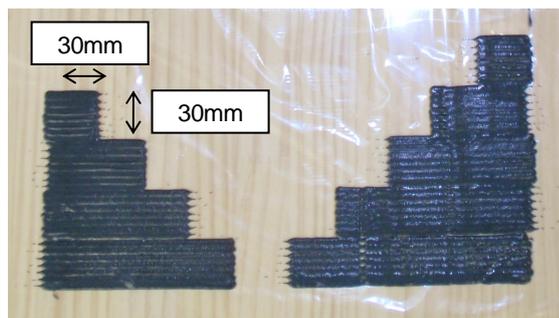


Fig.13 Applying Trial by Developed Method

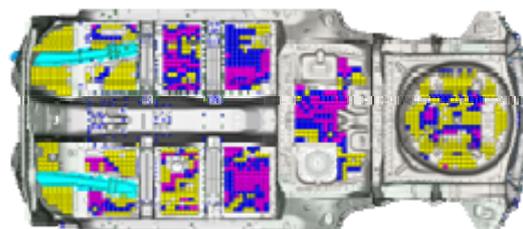


Fig.15 Applying Area Based on Vibration Analysis

(3) ロボット制御

ロボットでの塗布では、移動しながら作業することからロボットアームの移動速度が一定であることが求められる。一定量をボデーに塗布するという目的から考えると、塗料吐出量とガン速度を追従して制御するという考え方もできるが、本件にて開発している塗料の流れを変化させないコンセプトとは矛盾しており、やはりその応答性が問題となる。本工法ではいかに移動速度を一定にするかを追求し、ロボットの動作特性を検証した。その結果、ガンの角度を変化させず、等速直線運動を教示することが最も意図どおりに一定速度で動くということがわかった (Fig.7)。

以上より、微小な塗分けに対しても一定量の塗料をノズルから吐出させ、等速で移動することによって、精度良く一定量をボデーに塗布する工法が構築できた。

4.2 塗布仕様の最適化

上記の塗布工法の精度を基に、車両開発における塗布仕様の最適化を実施した。Fig.14 に示すようにパネル振動が音に変換されるメカニズムを明らかにし、それに基づいたパネル振動シミュレーションを実用化した。このシミュレーションでは、工法の塗布精度を前提に、30mm 角の塗布位置数万点×塗布厚み 3 段階の膨大な組み合わせの中から、最適解を探索するアルゴリズムを構築し、Fig.15 に示すような最少量の塗布仕様を決定した。

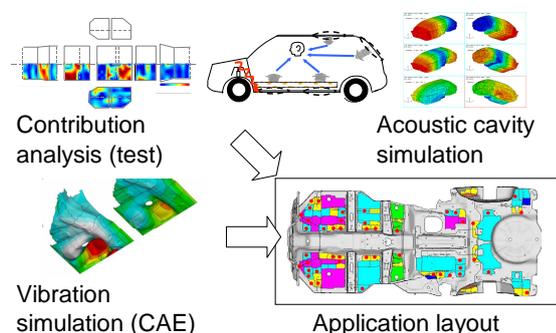


Fig.14 Optimization of LASD Application Layout

4.3 成果

以上のような工法開発により、当初の開発目標値を達成し、制振性能と軽量化・コストを両立する制振材塗布工程を実現した。

この塗布工程を 2011 年 11 月にマツダ宇品第 2 工場に導入し、SKYACTIV ボデー第 1 段となる CX-5 へ適用した。

Fig.16 に CX-5 での塗布状態を示す。



Fig.16 Result of Application For Floor Panel of CX-5

CX-5 では、従来の制振シートによる重量に比べ、台あたり 30%の軽量化を実現し、同時に 12%のコスト改善を達成した。また同工場で生産中のプレマシーにも続けて適用完了し、同工場においては制振シートの貼り付け工程廃止を達成した。また 2012 年 11 月発売の新型アテンザにも適用されており、今後、他車種への展開を予定している。

5. おわりに

今回の技術開発は、車両構造、工法、材料の面から要求機能を徹底的に追求し、課題をブレイクスルーし、「ものづくり革新」できた案件であると確信している。

本工法開発にあたっては、共同開発先である(株)安川電機殿に機器の提供ならびに種々の御助言を賜り、実現できました。ここに謝意を示します。

参考文献

- (1) 中村哲也ほか:高粘度塗料のダストレス塗布工法の開発,
[マツダ技報, No.23, pp.165-170 \(2005\)](#)

■ 著 者 ■



高崎 政憲



河瀬 英一



高場 宣弘