

サクシヨンブロー製ターボダクトの開発

田中達哉^{*1}

Development of Turbo Ducts with Suction Blow Molding

Tatsuya Tanaka^{*1}

要旨

エンジン吸気系のターボ配管部分の樹脂化について紹介する。従来配管の一部には金属製配管を使用していたが、環境対応で軽量化を求めるニーズに対応すべく、サクシヨンブロー工法を適用した樹脂ターボダクトを開発、量産化を実現。本稿は、その開発事例を紹介する。

Abstract

This paper describes the development of technology to change the material of turbo air pipes in the engine area from metal and rubber to plastic. General turbo air pipes use metal for some parts, but plastic turbo ducts have been developed by Toyota Gosei using suction blow technology in order to respond to the market need for weight reduction and the production of more environmentally friendly parts.

1. はじめに

2015年のパリ協定など地球規模での環境対応を背景に、自動車分野においては、燃費規制対応が求められている。

EVやFCVなど、次世代車の開発が進む一方で、ICE（Internal Combustion Engine、HEVやPHEVを除く内燃機関のみ）の自動車は、富士経済の2019年度レポート¹⁾によると、2030年において50～60%存在すると見込まれていることから、ICE車の燃費向上は、依然として見過ごせない状況である。その対応策の1つとして、車両軽量化＝部品の軽量化は重要であり、今回の部品において、質量▲50%を目標値と置いた。

本稿は、2019年に量産採用されたトヨタグランエース向けサクシヨンブロー製ターボダクト開発に繋がった技術検討結果であり、その設計手法確立を紹介するものである。

2. ターボダクトとは

今回のターボダクトは、ターボエンジンの吸気配管の一部であり、エンジンに空気を供給するための導管である。ターボチャージャーにより

過給された高圧エアを、インタークーラーで冷却してからエンジンに繋がる経路部分に位置する（図-1）。

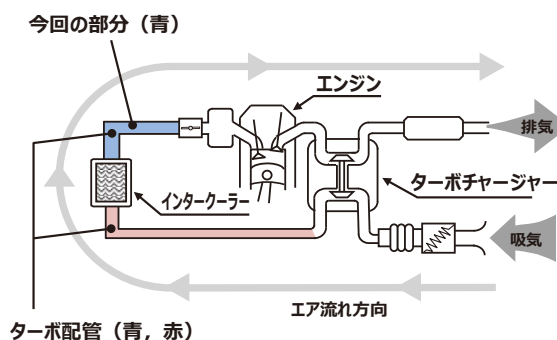


図-1 ターボエンジンの吸気回路図

高温下で高圧が配管内壁に繰り返し加わることから、高分子材料にとって、過酷な使われ方をする部品である。

3. 開発仕様

今回の検討ベース仕様を図-2に示す。

複数の部品を接続した構成であり、試算を行った結果、質量半減するためには全域を樹脂

*1 FC技術部 FC第4技術室

化（樹脂1本化）する必要があることが分かった（図-3）。

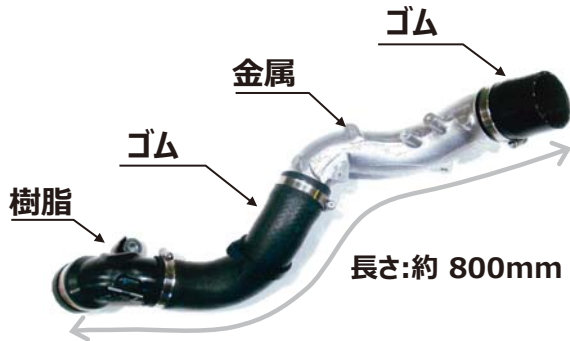


図-2 検討ベース仕様

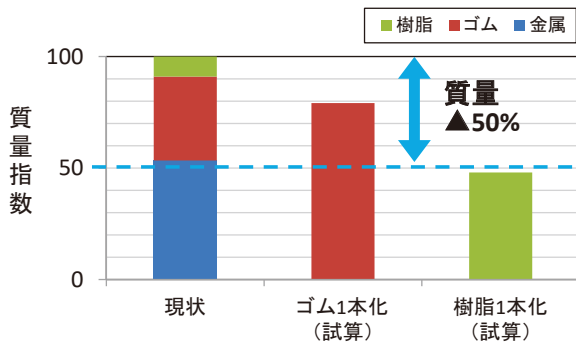


図-3 質量試算結果

検討ベース仕様（図-2）は、各部材質特性に応じ機能を分担する構成である。質量半減仕様は、樹脂1本化の仕様であり、熱やターボ過給圧の入力時において、配管が膨らんで破損しない強さと、エンジンの動きを吸収する柔軟さの2つの相反事象を両立する必要がある。

4. 工法選択

吸気配管は一般に両端径が異なることが多く、径変化させにくい樹脂押出成形は不向きである。今回の樹脂1本化の仕様を行なうためには、筒形状や内径徐変形状を継ぎ目なく成形する必要があることから、ブロー成形を選択した。ブロー成形はダイレクトブロー、エクステンジブロー、サクシヨンブローの3通りに区分できる（表-1）。

表-1 3種類のブロー成形

	ブロー成形		
	ダイレクトブロー	エクステンジブロー	サクシヨンブロー
質量低減率 (従来仕様比)	▲50%	▲30~40%	▲50%前後
製品性能 (耐圧性能)	×	○	○
生産性 (成形サイクル)	○	△	○
総合判定	×	△	○

3種類の工法の特徴について以下に述べる。

ダイレクトブロー工法とは一般に「製品よりも周長の長いパリソン（筒状に吐出した溶融樹脂）を金型で挟みブローする」工法である（図-4）。利点は成形サイクルの短さである。欠点は、金型でパリソンを圧縮融合したPL部が低強度であり、耐圧性が必要な部品では剥離が生じる。よって、高温下で繰り返し加圧されるターボダクトには不適である。

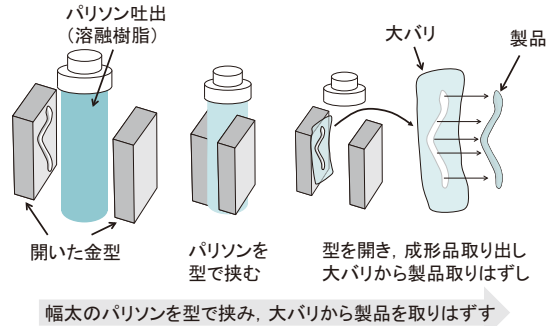


図-4 ダイレクトブロー

エクステンジブロー工法とは「開いた金型に、製品径に見合った太さのパリソンを置き、金型で挟みブローする」工法である（図-5）。利点は、人やロボットが金型にパリソンを置くため、形状自由度の高さ（曲がりの厳しい製品が作れる）にある。欠点は、成形サイクルの長さや質量低減しづらいことである。これは、パリソンを金型に置く際、金型に接触した部分から樹脂の固化が始まることで、先に接触した部分は厚くなり、接触していない部分は固化していないため、その部分がブローにより膨らみ、樹脂が伸びることで肉厚が薄くなる（図-7）。耐圧性が必要な部品では、低強度である薄肉部の肉厚を増す必要があるが、工法的に特定部位のみを選択的に厚くできず、全体の肉厚を一律増すことで、薄肉部の肉厚を確保する。結果的に最初から厚い部分はさらに厚くなるため、質量低減効果が低くなる。

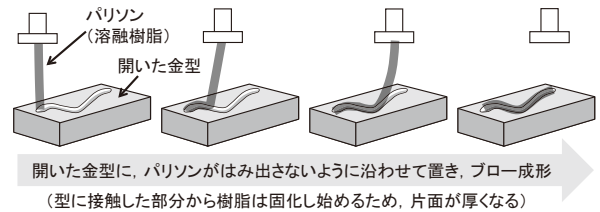


図-5 エクステンジブロー

サクシヨンブロー工法は「閉じた金型内に、パリソンを引き込みブローする」工法である（図-6）。パリソン吐出と同時に、出口側からエア吸引（Suction）を行なうことから、サクシヨンブロー

と呼ばれている（サクシヨンプロー工法の詳細については、豊田合成技報 Vol.61²⁾ 参照）。

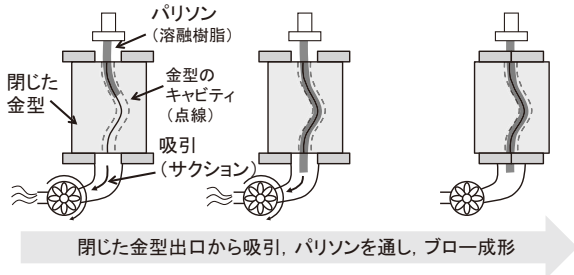
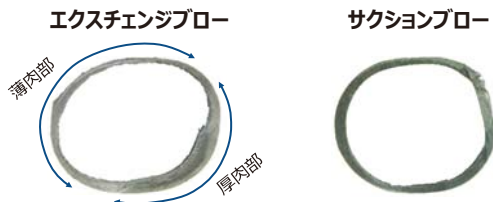


図-6 サクシヨンプロー

サクシヨンプロー工法の利点は、成形サイクルの短さにある。短さゆえに固化の速い材料が成形できることに加え、周方向の厚肉部が比較的少なくなる（図-7）。キャビティ内にパリソンを引き込む工法であり、パリソン片面のみを優先的に冷却固化させないことから厚肉部や薄肉部が発生しにくい。



Exchangers Blowで耐圧性能を確保するには
薄肉部を厚くする → 全体を一律厚くする → 重くなる

図-7 現物断面比較

以上のことから、耐圧性能、成形サイクルに優位性があり、今回の開発目的である質量低減に有利であるサクシヨンプローを工法に選定した。

5. 性能予測技術

5-1. 性能予測技術に必要なツール

ターボ配管の要求機能は、図-8の通りである。配管の端部は、一般にエンジンとボデーに双方に取り付けられることから、配管内でエンジンの動きを吸収する=柔軟さを有しつつ、耐久性が求められる。

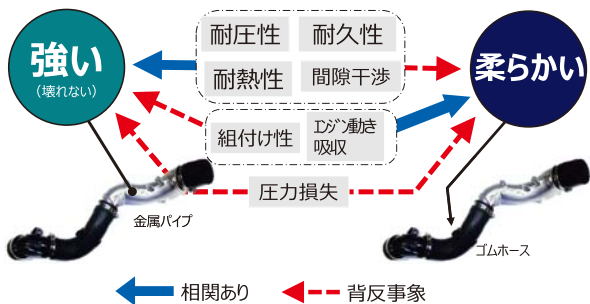


図-8 ターボ配管の要求機能

これを設計段階で必要な予測技術で整理しなおしたものが、図-9である。本稿ではこの中から下記2項目について報告する。

- ・強度設計（強度解析=耐久性予測）
- ・柔軟性設計（反力解析=蛇腹配置の検討）

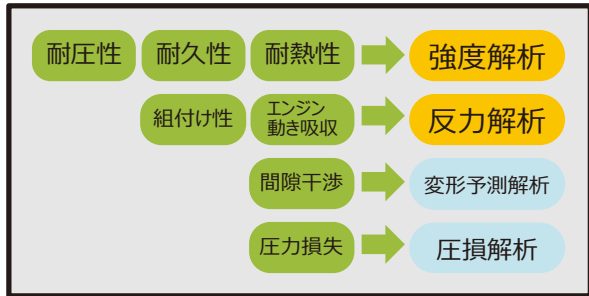


図-9 製品機能と予測技術

5-2. 強度設計

ターボ配管は前述の通り、高温下で、高圧が配管内壁に繰り返し入力するという厳しい使われ方をしている部品である。よって、疲労線図（S-N線図）を用いた寿命予測が必要となる（図-10）。

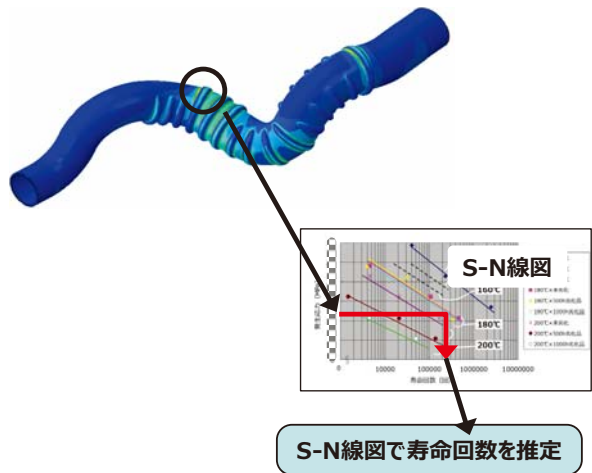


図-10 S-N線図を用いた寿命推定

ブロー製円柱テストピースを用い、製品に加わる熱や繰り返し圧力を負荷する試験で疲労データを測定した。疲労データの蓄積と同時に、同形状で強度解析から応力値を得て、疲労データと解析応力を紐付けたS-N線図を整備した（変形モードや破損部位が実物と解析で一致）。以上のことから、使われ方の厳しいターボダクトで、CAD形状からダイレクトに寿命推定を行なえるようにした（図-11）。

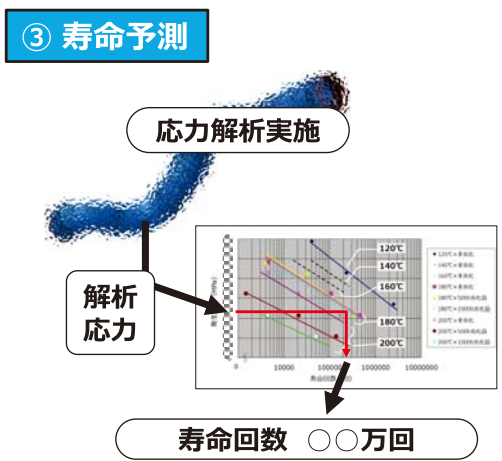
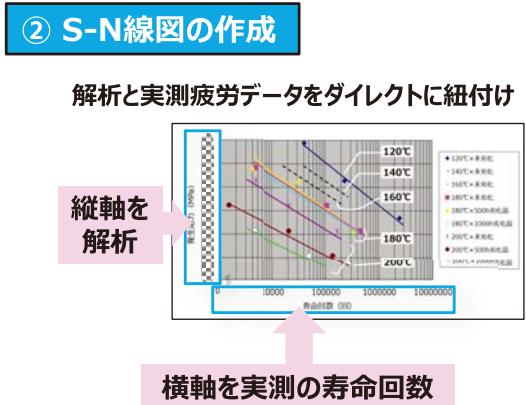
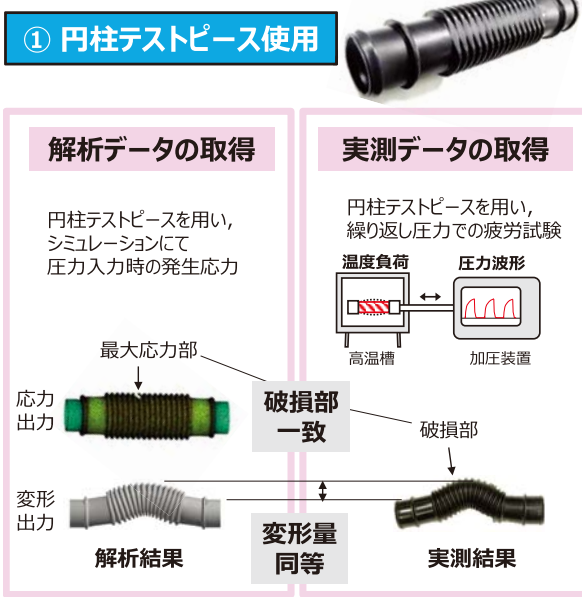


図-11 耐久性予測手法

5-3. 柔軟性設計

柔軟性に関わる機能である組みつけ荷重や屈曲性能は、共にダクト変形時の反力値を指標とした。反力値に寄与する形状要素は、蛇腹配置と蛇腹形状であるが、本稿では、蛇腹配置に絞って記載する。

柔軟性を高める手段として蛇腹を増やすことが考えられるが、この場合、柔軟性は高まるが、背反事象として強度が低下する。

そこで、最適な蛇腹付与設計をするために、まず蛇腹付与エリアをA～Gに区分けし(図-12)、各エリアに蛇腹を割付けた時の解析反力値と、前項の強度解析により応力値の出力を行なう。

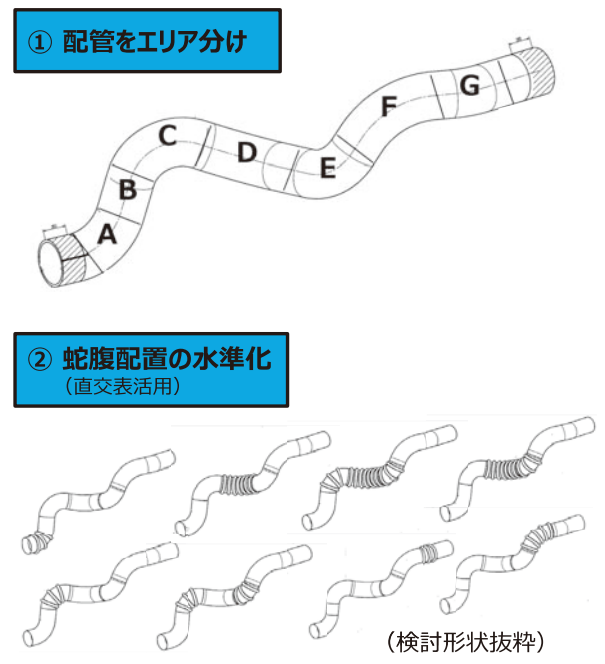


図-12 蛇腹配置の検討形状

これを蛇腹配置ごとに反力値と応力値で整理すると、図-13の通り、交互作用や寄与度が抽出でき、強度と柔軟性を両立した蛇腹数と蛇腹配置が設定できる。なお、蛇腹を付与するほどに、圧損性能は低下するため、圧損解析を用いて、適宜チェックを掛けていくことも重要である。

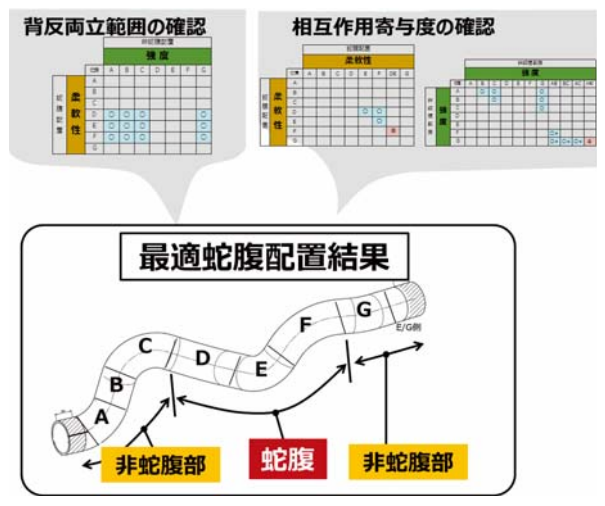


図-13 蛇腹配置の最適化

6. 結果の刈り取り

樹脂1本化仕様にて、質量▲65%に到達(図-14)、実物を用いた検証評価および製品性能のいずれにおいても目標性能を達成した。今回のアプローチをサクシヨンブロー製ターボダクトの設計手法とした。

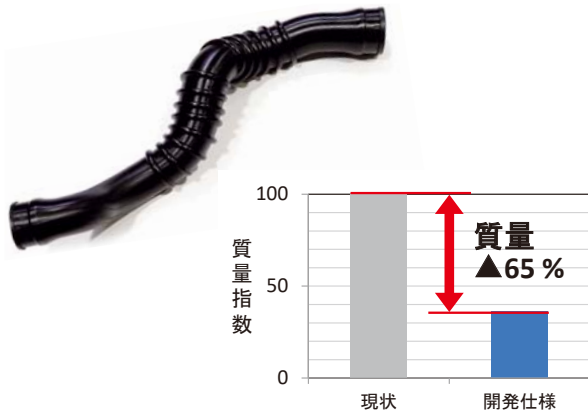


図-14 開発仕様の質量結果

7. おわりに

この取り組みを足がかりに、2019年トヨタグランエース向けターボダクトに量産採用いただいた(図-15)。その開発、量産化に際し、多大にご尽力いただいたトヨタ自動車株式会社 CVボデー設計部、トヨタ車体株式会社 車両基盤企画部の皆様に、改めて感謝申し上げます。



図-15 トヨタグランエース向けのサクシヨンブロー製ターボダクト

参考文献

- 1) 富士経済：2019年版 HEV、EV 関連市場徹底分析調査
- 2) 中井司，田中達哉，酒井高明，千田裕之：豊田合成技報 Vol.61 P56 (2019)

著 者



田中達哉