

特集 可変コンプレッサ用樹脂DLプーリの開発*

Development of Plastic DL Pulley for Variable Displacement Compressor

大 口 純 一

Junichi OHGUCHI

谷 村 圭 宏

Yoshihiro TANIMURA

青 木 祐 一

Yuichi AOKI

岡 秀 樹

Hideki OKA

山 田 耕 二

Kouji YAMADA

The needs of a variable displacement compressor are high with a view to an improvement regarding fuel cost saving, power saving, acceleration, and also reducing the ON/OFF shock. Commencing with the European market, the demand has tended to expand worldwide.

In this report, we describe the development and design of material and shape for a simple structured material breaking type torque-limiter that is a built-in plastic DL (Damper & Limiter) pulley, and the development of excellent heat resistance plastic material for the plastic pulley that has achieved a 50% or more reduction in weight compared with the magnet clutch.

Key words : Variable displacement compressor, Torque-limiter, Plastic pulley

1. まえがき

近年エアコン (A/C) 用コンプレッサを取り巻く環境としては、省燃費・省動力、加速性の向上及びON/OFFショック低減を目的に可変容量コンプレッサのニーズが高く、欧州市場を始めとし、全世界に需要拡大の傾向にある。

1997年に初めてDCSのAクラス向けに連続可変容量型6SE12コンプレッサW (ウイズ) /DL (Damper & Limiter) プーリを流動した。このコンプレッサは片斜板構造で0%~100%まで、連続的に容量を変化させるので、マグネットクラッチにあった断続機構を全く必要としない。2001年にはトヨタ欧州向けヤリスにさらに小型・軽量化した5SE09コンプレッサW/樹脂DLプーリ (Fig. 1) を開発し、その後、コンプレッサの容量シリーズ化を展開した結果、現状では300万台/年以上の規模に成長した。

本論文では樹脂DLプーリに内蔵された、構造的に簡素な材料破断式トルクリミッタに関する材料及び形状についての開発・設計と、従来のマグネットクラッチに対して50%以上の超軽量化を達成した樹脂プーリに関する耐熱性・耐熱変形性に優れた樹脂材料の開発について述べる。

2. 樹脂DLプーリの特徴と狙い

開発品の構造についてFig. 2にて説明する。DLプーリは3部品で構成されている。ベアリングを内蔵しエンジンからの動力をベルトを介して受けるプーリと、コンプレッサに動力を伝達するための締結部であるハ

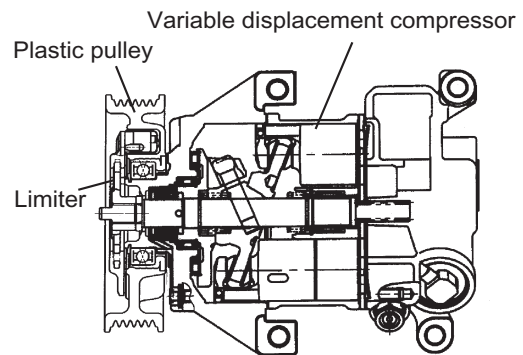


Fig. 1 Variable displacement compressor w/ DL pulley

ブ、それとこの2部品を連結し、トルク変動を吸収するためのダンパである。ハブには、コンプレッサが万が一ロックした時のベルト保護のためのリミッタ機構を内蔵している。構造的にも断続機能がないためマグネットクラッチに比べ、簡易であり低コストも可能である。

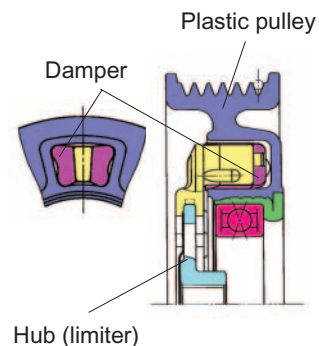


Fig. 2 Structure of DL pulley

*2005年2月17日 原稿受理

Fig. 3にプーリの軽量化トレンドを示す。樹脂DLプーリは鉄DLプーリと比較すると55% (870g→400g)、マグネット・クラッチと比較すると最も軽量な当社のLS20とでも約70% (1200g→400g)の軽量化となり圧倒的に差別化できる。その他従来の鉄DLプーリとの比較をTable 1に示す。体格では最小プーリ径で10% (10mm縮小)、軸長30% (11mm短縮)、リミッタトルクバラツキ半減という超小型・軽量及び格段の性能向上を狙ったものである。

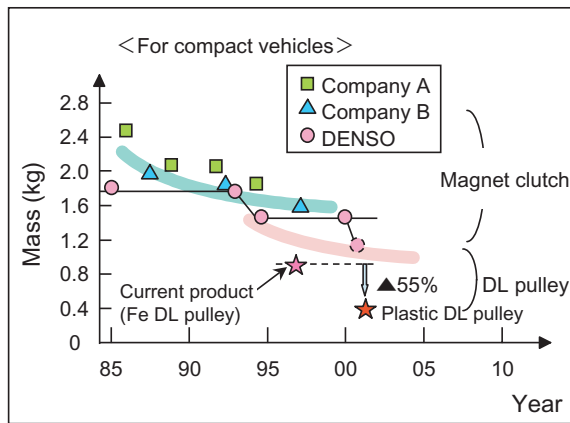


Fig. 3 Weight reduction trend of pulley for compressor

Table 1 DL pulley specification comparison

	Developing product	Fe DL pulley	LS30 magnet clutch
Structure			
Diameter	φ 100 (▲10%)	φ 110	φ 110
Length	27 (▲30%)	38	42
Mass	400g (▲55%)	870g	1500g
Limitor torque variation	±15% (▲50%)	±30%	—

2.1 ハブ部の特徴

まず、ハブに内蔵されたりミッタについて説明する。コンプレッサが万が一ロックしたときのベルト保護のためのリミッタであるから1回作動できればよい。しかも近年コンプレッサのロックは非常に低減しているので、できるだけ簡素が望まれる。従来はダンピングのゴムをリミッタと兼用し、過大なトルクが負

荷されるとゴムが摩滅するような構造としてきたが、ゴムを用いるため温度依存性が大きく、またダンピング機能とリミッタ機能を独立に設計できないという難点があった。今回はリミッタ部分とダンパ部分を分離独立させリミッタ部分に金属を用いることにより、温度依存性が全くなく、バラツキを従来の半減にできるというものである。

機能としてはFig. 4に示すように、通常時はコンプレッサシャフトとDLプーリハブは一体で回転しているが、コンプレッサのロックによる過大負荷が加わると、リミッタ部が破損しベルトを保護する。特に最近ではエンジン周りのベルトレイアウトがサーペンタイン化で、すべての補機が1本のベルトで駆動されるようになったので、ベルトの信頼性は車両メーカーにとっても非常に重要視されている。

Function : Belt protection at compressor lock

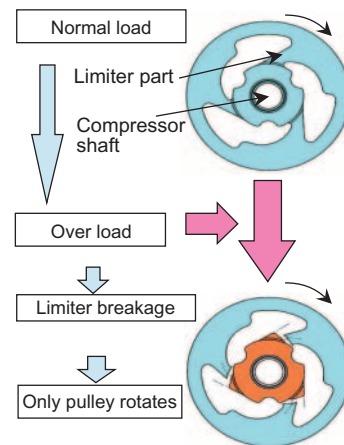


Fig. 4 Limiter structure

2.2 プーリ部の特徴

プーリ部は、マグネットクラッチと異なり磁気回路を形成する必要がないため従来の鉄鋼から樹脂にした。欧州や米国ではP/S (パワステアリングポンプ)、W/P (ウォーターポンプ) の樹脂プーリは流動しているが、補機の中で最も負荷の大きいA/C用コンプレッサプーリに樹脂を用いたのは世界初である。このことが最も軽量化に寄与している。しかも他の補機プーリと違い、ベアリングを内蔵しているがこのベアリングにおいても従来の複列ベアリングではなく、荷重付加時のボールと内外輪の接触点を増加させた新単列ベアリングを開発し、コンプレッサ全長の短縮化を10mm (ベアリング幅22→12mm) 図った。

3. リミッタに要求される機能と技術課題

Fig. 5に代表的なエンジンレイアウトを、Fig. 6に簡略化したコンプレッサのトルク変動の時間波形を示す。通常（正常）運転時は平均トルク T_m 、振幅トルクを T_a でコンプレッサは駆動するが、コンプレッサが万が一ロックした場合にはこのようにトルクが上昇し、ついにはベルト滑り→ベルト切れに至る。

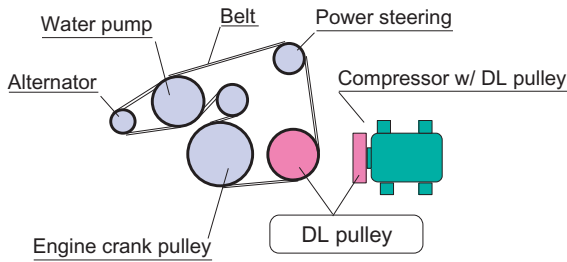


Fig. 5 Engine layout

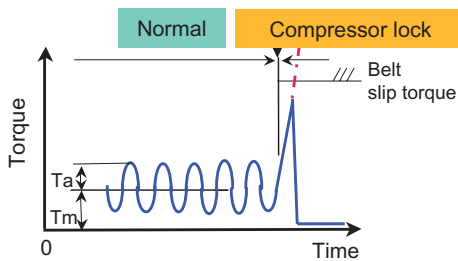


Fig. 6 Force acts on limiter

そこで要求される機能としては、一つ目はコンプレッサ正常時にはトルク伝達するという点から強度安全率を確保すること、二つ目としてコンプレッサロック時にベルトが滑る前にトルクを遮断することである。この二つは疲労強度と破壊強度という相反事項であり、これをFig. 7の疲労限度線図で説明する。

疲労強度安全率はコンプレッサの平均トルク T_m 、振幅トルク T_a という負荷領域と、金属の疲労限度線図との比から求められる。強度安全率を高めるために疲労限度線を実線から破線に持ち上げようとする、このようにベルト滑りトルクを超えてしまう。つまり、リミッタの設計としてはエンジンレイアウトにおけるコンプレッサプーリ部のベルト巻角、ベルト張力、摩擦係数で決まるベルトスリップトルク以下で、疲労強度安全率を確保することが必要である。この疲労限度比＝振幅トルク（または振幅応力）/平均トルク（または平均応力）は材料で決まってくるので、リミッタ材料としては疲労限度比を大きくする必要がある。

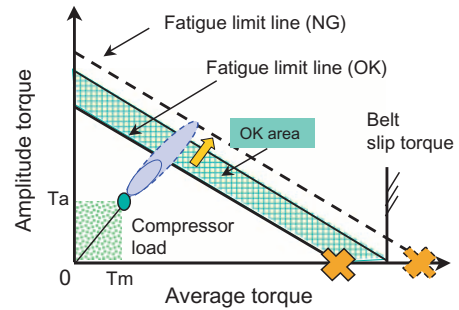


Fig. 7 Function demanded from limiter

3.1 リミッタ形状の最適設計

開発初期の形状は、Fig. 8に示すものであった。これを評価したところ大きな問題が判明した。それは予測破断トルク値（FEM解析）と実測トルクとの差が非常に大きいことである。以下この点についての改良内容について説明する。

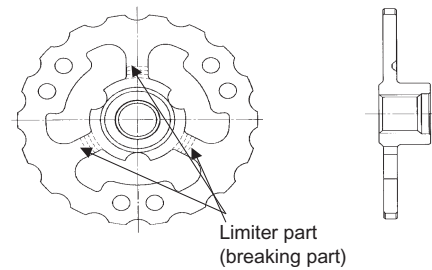


Fig. 8 Shape of initial development

この原因は、Fig. 9に示すようにリミッタ破断部に圧縮部分があるため、亀裂が入っても圧縮部により亀裂の進展が阻害されることにあった。改良方向としては、当然のことながら圧縮部をなくすことである。この点から、リミッタ形状としてはリミッタ部全体に引張り応力が働く形状とする必要がある。

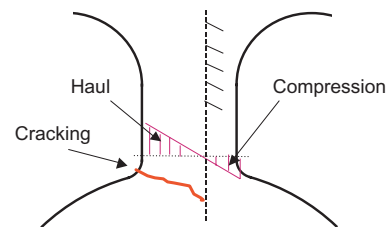


Fig. 9 Stress distribution and cracking around limiter part

次に形状について具体的に検討してみた。その結果がFig. 10である。この検討は、強度安全率が一定の条件下での破断トルクを比較したもので、Fig. 10の応力分布は、破断トルク近辺でのものである。

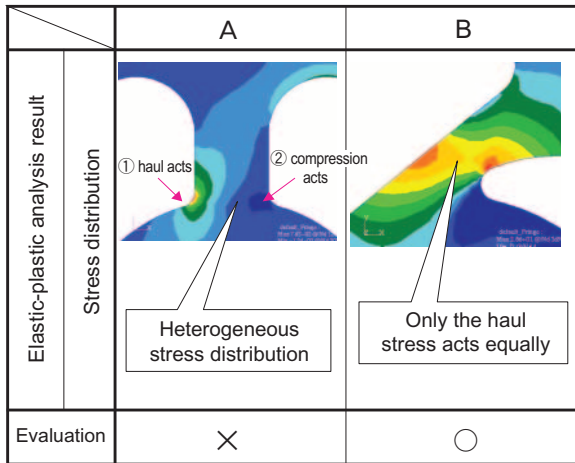


Fig. 10 Optimal shape of limiter
(homogenization of stress distribution)

A形状では、曲げの要素が強く①部に引張り応力が、逆に②部には圧縮応力が発生し、破断部の応力分布が不均一であることが分かる。従って、A形状では根元部の応力が極端に高くなり、破断トルクが上昇してしまう。B形状ではリミッタ破断部の引張り応力がほぼ均一に作用している。

以上で、基本的な形状は決定し大幅な特性向上となった。しかし、制約条件が厳しく、さらなる特性向上が必要であった。そのため、主要寸法および公差の最適化を図ることとした。

最適化の検討方法としては、最適化ソフトウェアを用い、各設計パラメータに対し設計可能範囲内で、最適仕様（強度安全率の目標値を満足しながら破断トルクを最小とする仕様）の探索を実施した。

当然であるが、安全率や破断トルクについてバラツキを考慮しなければならない。かといって、バラツキを小さくするために必要以上に寸法公差を小さくすることは生産性から問題がある。

そこで、主要寸法の一般公差に対する破断トルク・疲労強度に対する寄与度を分析し、公差特別管理を必要とする部分があるか解析した。その設計フローと結果をFig. 11に、解析結果をFig. 12に示す。解析結果より板厚の寄与度が大きく、公差を見直す価値があることが分かった。生産性が低下しない範囲で公差を

見直した結果、ばらつきが大幅に改善された(Fig. 13)。

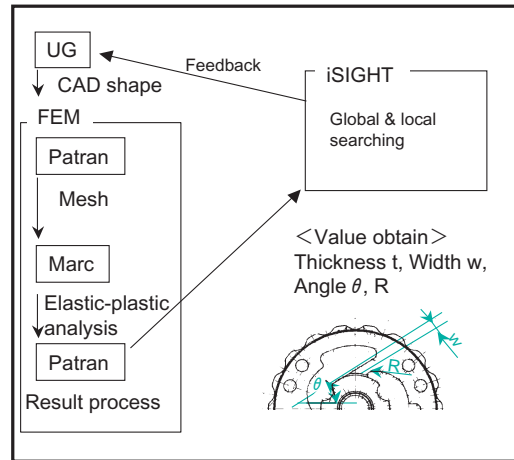


Fig. 11 Optimal design flow chart

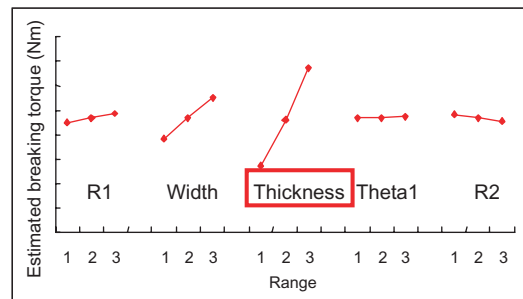


Fig. 12 Contribution from tolerance design

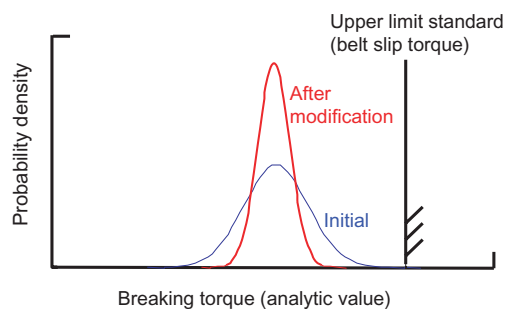


Fig. 13 Comparison of breaking torque variation

3.2 リミッタの材料選定

各種鉄系材料の回転曲げ疲労強度と引張強さから疲労限度線を記したのがFig. 14である。これを見ると溶製材では疲労限度比が小さく、鋳鉄・焼結材料は高い疲労限度比を有している。このリミッタが成立するためには、疲労限度比として一般溶製材の約2倍以上が必要であった。また、リミッタ材料としては材料強度が高いとリミッタ部の幅・板厚設計値が小さくなり

形状のゆがみが問題となるため製造が困難であることも考慮する必要がある。Fig. 14からは焼結材料ないし球状黒鉛鋳鉄が有利であることが分かる。この二つの中から、材料としては、生産性の高い焼結材を選定した。

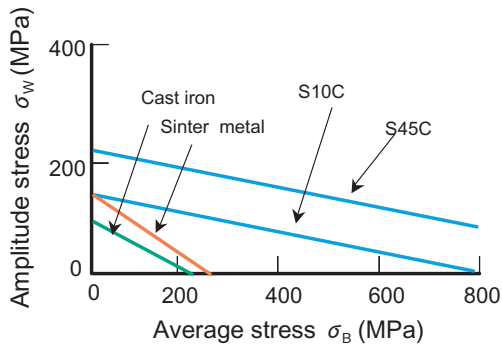


Fig. 14 Fatigue limit line figure of various materials

テストピースにて引張り試験と回転曲げ疲労試験をおこなった結果をFig. 15に示す。横軸は実際の試験片中の全C量 (ICPにより分析) にて整理した。全C量の増加にとまぬ引張強さは大きく増加するが、疲労強度は微増であった。これより疲労限度比を大きくしたい場合、C量は少ない組成としたほうが有効であることが分かった。

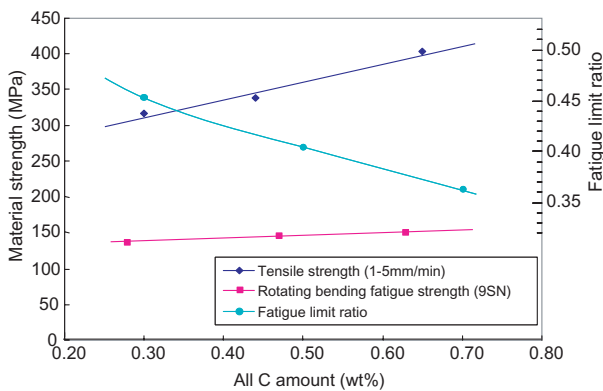


Fig. 15 C amount and material strength

C量が少ないことは、絶対強度が低いいため適度な厚みの部品形状でリミッタ特性を実現できる可能性がある。加えてスチーム処理により引張強さはあまり変動なく疲労強度のみ高めることができるため、疲労限度比が高くなる。スチーム処理とは高温高压の水蒸気中で焼結体を保持し、材料表面・気孔表面に酸化鉄を形成、これにより欠陥である空孔のRが大きくなり切欠

き感受性が下がるため疲労強度が上昇すると言われている。

以上より低Cの焼結材料にスチーム処理をしたものがリミッタ材料として適当であると考え、Fig. 16のような焼結製造工程とした。またリミッタはエンジンルーム内にあり、万一腐食が発生した場合、引張強さおよび疲労強度の低下が懸念されるため、防食処理としてダクロ塗装処理を適用することとした。

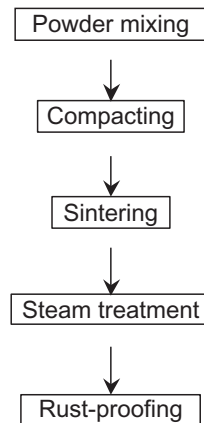


Fig. 16 Production process of sintered metal limiter

4. 評価結果

以上の材料開発・形状開発・形状最適化を実施することにより、大幅な特性の改善ができFig. 17に示すように目標とする強度安全率・破断トルクを達成することができた。

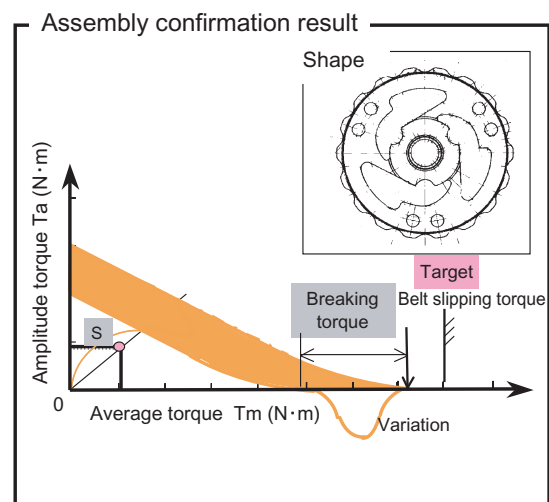


Fig. 17 Comparison of breaking torque variation

5. 樹脂プーリに要求される機能と技術課題

プーリの樹脂化に当たり、材料に必要な要求特性と一般的な樹脂材料のポテンシャルをTable 2に比較した。ベルトとの摩擦熱で樹脂が溶融することを考慮すると、熱可塑性樹脂での成立は困難であるため、熱硬化性であるフェノール（PF）樹脂材料を候補材料として選定した。

材料開発要領は、はじめに汎用PF樹脂を用いて製品特性から材料要求特性を明確にし、それに基づき評価・解析を行い汎用PF樹脂の課題を抽出する。次に各々の課題について材料の改良を行い、最終的に開発材料の適用性を確認した。

Table 2 Comparison of material required characteristic for typical plastic

	PF	PA	PAA	PBT	PPS	Steel
Low density	○	○	○	○	○	×
Dimensional accuracy	○	△	○	△	○	○
Strength	○	○	○	○	○	○
Thermal shock	△	○	○	○	△	○
Heat resistance	○	×	×	×	×	○
Chemical resistance	○	×	△	△	○	○
Productivity	△	○	○	○	○	△
Judgement	○~△	×	△	×	△	

○ : Good △ : Some concerns × : Poor

6. 要求特性の明確化

プーリを樹脂化するに当たり、構造的にTable 3に示したようにベルトと接触するV溝部(A)とインサート金属リングとの界面部(B)に以下項目が必要であり、個々の要求項目について、汎用材を用いた試作評価結果に基づき材料要求特性を明確にし性能予測をした。

Table 3 Product required items of plastic pulley.

Section	Problem	Required item
A	① Crack according to the belt tension	Fatigue strength
	② Deterioration because of heat when belt slips	Heat resistant
B	③ Crack by the heat stress between the plastic and the metal	Fatigue strength
	④ Crack due to retentivity shortage of a metallic ring.	Linear expansion coefficient

6.1 疲労特性

6.1.1 ベルトテンションによる応力

エンジンからのトルクをプーリが回転してコンプレッサに伝達する際に、プーリA部にはベルトテンションによる繰り返し応力が掛かり、疲労現象が発生する。

この時の疲労強度予測は、FEM解析によりプーリに発生する応力を求め、使用環境温度の疲労限度線図を作成することにより把握することができる。

FEM解析結果と劣化後の高温疲労限度線図および汎用材試作品評価でベルトテンションによる問題は発生しないことが確認できた。

6.1.2 冷熱時の熱応力

本樹脂プーリは、金属リングをインサート成形しているため、冷熱時に樹脂と金属界面で熱応力が発生する。これは、金属より線膨張係数の大きな樹脂部分が高温から低温になるとき、樹脂が収縮することにより金属に対し引張応力が発生し、これが材料許容値を超えると界面からき裂が発生し、プーリ破壊につながるかと予測される。先のベルトテンションと同様に、FEM解析により発生応力を把握し、き裂が発生すると考えられる低温時の疲労限度線図において汎用材は目標を満足し、試作品評価でも異常は認められなかった。

6.2 耐熱性

A/Cコンプレッサ用プーリは他のプーリに比べ負荷トルクが最も高いため、水・粉塵等が付着した際にプーリがスリップする可能性が考えられる。スチール製プーリではスリップしてもプーリ自身の変化は生じないが、樹脂プーリの場合は、ベルトとの界面の発熱により樹脂が劣化・分解することが予測される。この場合特にベルト接触部であるV溝が局部的に熱劣化し、V溝強度が低下し欠ける可能性があると考えられ、V溝が欠けるとトルク伝達能力が下がり、さらには相手のベルトを損傷させる危険性がある。

汎用材の試作品評価では、冠水路走行中にプーリのスリップが発生し表面が膨れる現象が起きた。評価後のサンプルの断面を走査電子顕微鏡（SEM）で精査すると、Fig. 18(a)の新品に比べFig. 18(b)の評価後サンプルはプーリ山部（ベルトとの接触部）に変形・膨れが観察された。さらにFig. 18(b)-1写真中の破線部を拡大しFig. 18(b)-2に表した。樹脂組織に無数のポイド（発泡跡）が変形箇所近傍に観察された。

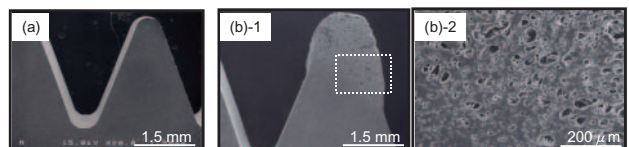


Fig. 18 SEM micrographs of cross section surface

次に発泡部分の熱重量 (TG) 分析結果を Fig. 19 に表した。評価後のサンプルは新品に比べ熱分解開始温度 (重量減少開始点) が高温側にシフトしていた。この現象は評価後のサンプルが熱履歴を受け、低温で分解する成分が消失したことにより評価後サンプルが高温側にシフトしたと解釈される。

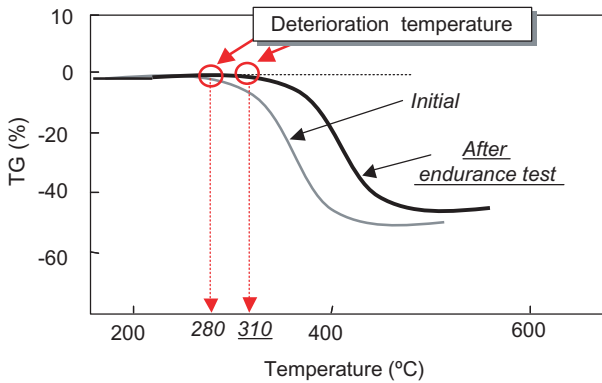


Fig. 19 TG decomposition profile of material both before (initial) and after endurance test

この発泡現象を推定するために、エンジンルーム内に取り付けたビデオカメラでスリップ現象をその場観察した。スリップは冠水路走行中にプーリとベルト間に水膜が形成され、樹脂本来の摩擦係数を失い発生していた。スリップの発生時間は10~20秒と短時間であり、この時にベルトとの界面が摩擦により異常発熱し、樹脂が熱分解して発泡に至ったと考えられる。

スリップ時の界面異常発熱を把握するために、急激な熱履歴をテストピースに与えて検証実験を行った。時間はその場観察より20秒間と決定し、負荷する熱を250~400°Cで設定し、横軸に与えた熱履歴、縦軸にTG分析より熱履歴の指標となる熱分解開始温度をとり Fig. 20 に表した。これより、評価後の発泡サンプルは約300°Cの熱履歴を急速に受けていることが明確になり、開発当初には全く予測できなかった熱履歴を受けていた。従って、300°C以上の耐熱性を有する材料が必要である。

6.3 耐熱変形性

本開発プーリは金属リングがインサート成形されているが、樹脂と金属の界面の接着は、接着剤を使用せず、樹脂の収縮により発生する締付け力にて金属との固定を行っている。プーリが高温かつ高速で回転したとき、金属への樹脂の締付け力が重要な課題となる。

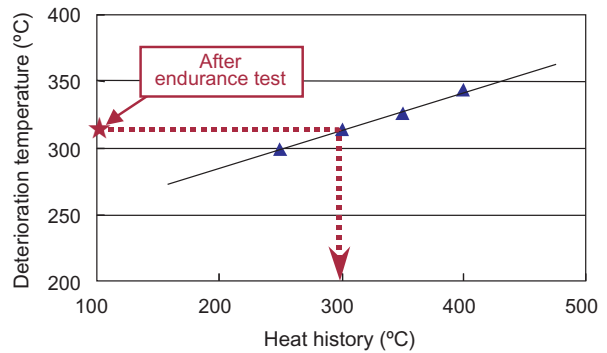


Fig. 20 Calibration curve of heat history and deterioration temperature

仮に界面の締付け力が保持されていない場合、界面に隙間が発生し、ベルトテンションにより繰返し応力が掛かり、疲労現象が生じる。

汎用材の試作品評価では、高温高速運転時に樹脂と金属界面に微小き裂の発生が確認された。き裂の発生した樹脂と金属界面の観察を詳細に行うと、Fig. 21 に示したように樹脂部分が初期形状を維持しておらず、金属リングで擦れたと考えられる異常摩耗跡が観察された。

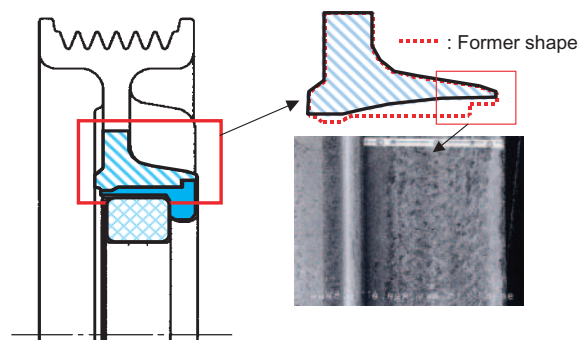


Fig. 21 Investigation of the interface between plastic and metallic ring

試作品評価後の観察を基に、き裂発生メカニズムを以下に推定する (Fig. 22)。高速回転時のBrg発熱によりプーリ内径が拡大し、金属リングとの界面に隙間が発生する。この隙間発生時にプーリと金属リング間に位相差が生じ (Fig. 23)、Fig. 21 のような樹脂界面のフレッチング摩耗が発生したと考えられる。さらに隙間発生時にベルト荷重やオフセット荷重が界面部に繰返し作用して、Fig. 24 に表したようにプーリ端面に応力集中を引き起こしたと推定され、発生応力が許容値を超えプーリ界面にき裂が生じたと考えられる。

この課題に対して(1)隙間の発生を抑制する, (2)オフセットを無くし, 応力集中を避ける, (3)材料強度を向上させるなどの改良が考えられるが, 発生源となった(1)に対しての隙間低減化の改善を進めた。

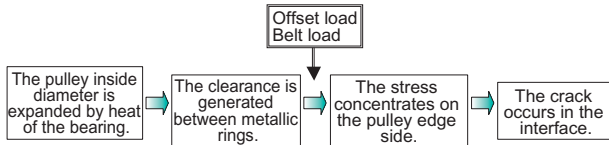


Fig. 22 Presumption of crack generation mechanism

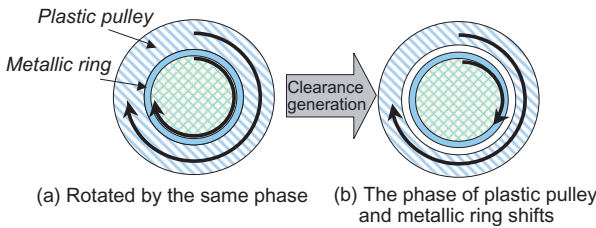


Fig. 23 Phase difference between plastic pulley and metallic ring by clearance generation

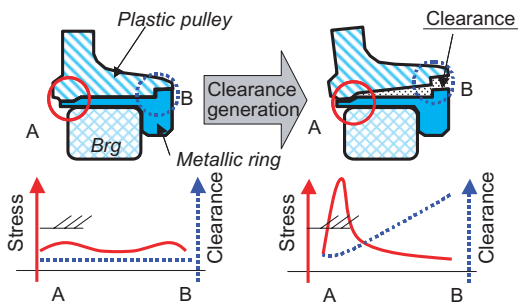


Fig. 24 Scheme of crack due to retentivity shortage of a metallic ring

界面隙間発生の抑制には, 樹脂と金属の線膨張係数差に注目する必要がある。仮に樹脂と金属の線膨張係数差が存在しなければ, 隙間は発生せずこの課題は発生していないと考える。界面の温度が上昇するにつれ, 樹脂は大きく膨張しようとするが, 金属はほとんど膨張しない。回転中の樹脂と金属の温度を実測し, 各温度での各々の線膨張係数を用い隙間発生シミュレーションをFig. 25に表した。汎用材では運転時に界面に隙間が発生することが明確であり, 本推定メカニズムの裏付けができたと考える。この課題を克服するためにはFig. 25に示したように, PF樹脂の線膨張係数を30ppm/°C以下にすることが必要であり, これを材料要求特性とした。

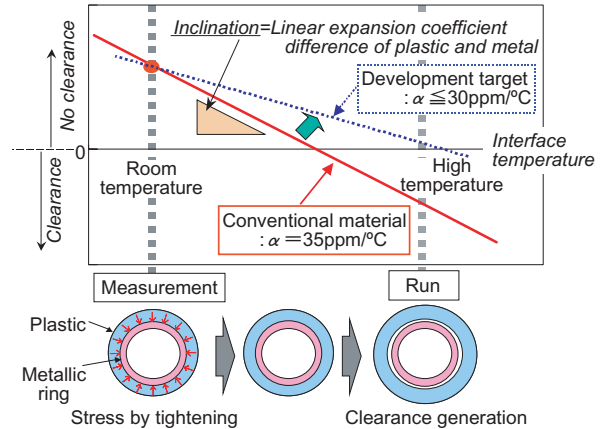


Fig. 25 Simulation of interfacial amount of clearance generation

7. 樹脂材料開発

前章の課題より材料要求特性を明確にし, 材料開発指針をTable 4に表した。課題1に対しては, 熱分解開始温度が300°C以上の耐熱性が必要であり, 有機成分を中心とした熱分解温度の低い成分の改良が必要となる。課題2に対しては, 材料目標値が30ppm/°C以下の低線膨張係数化で, 無機フィラーの最適化が必要である。材料開発手順は, ベースとなる有機成分を決定した後, 無機成分の調整を行う。

Table 4 Material development indicator

Problem	Material development target value	Means
1. Control of foam	Pyrolysis temperature $\geq 300^{\circ}\text{C}$	Review of low boiling point agent
2. Thermal deformation	Linear expansion coefficient $\leq 30\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$	Optimization of amount of inorganic filler

7.1 耐熱性

耐熱性阻害要因は, 材料中の有機成分が主である。Fig. 26に汎用材および汎用材に含まれる個々の成分のTG曲線を示した。硬化剤と柔軟性付与剤の低い温度での熱分解が顕著であり, この2成分の影響を受け汎用材は300°C以下での熱分解が発生していると考えられる。

はじめにベースレジンを硬化剤が不要で熱分解開始温度が360°Cの成分に変更し, 機械的特性を付与させる柔軟性付与剤は耐熱性を改良し熱分解温度が320°Cである成分に変更した。さらに柔軟性付与剤は, 機械的特性を満足する最小添加量に抑え, 熱分解抑制を行

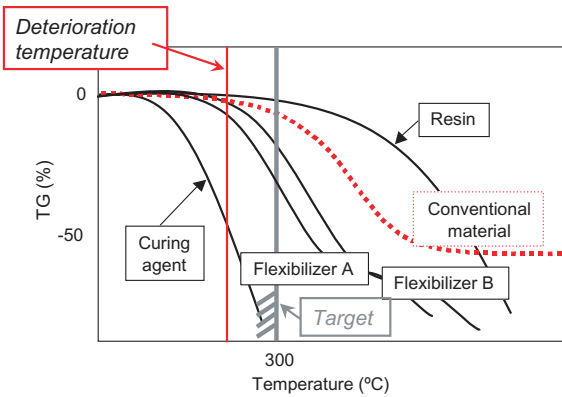


Fig. 26 Thermal decomposition behavior of the ingredients contained in the conventional material

った。

開発材料の耐熱性の指標評価として、所定の温度で一定時間熱履歴を与えた時の重量減少率を把握する手法を採用した。これは、材料中の低沸点成分のガス化現象を捉えることができる。Fig. 27に汎用材と開発材の熱処理温度と重量減少率の関係を示し、組織観察において発泡が確認された部分をBlister Areaと定義した。開発材料は硬化剤と柔軟性付与剤の低沸点成分の改良を行ったため、プーリスリップ時の負荷温度である300°Cでも発泡は認められず、良好な結果を得た。

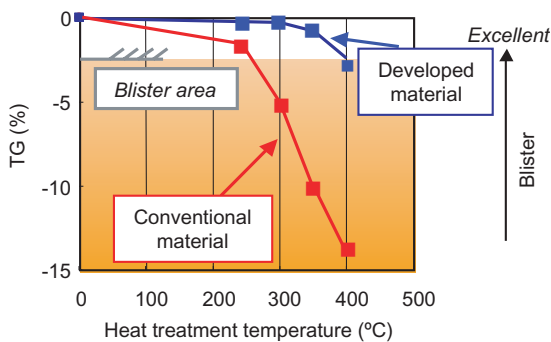


Fig. 27 TG decomposition profile showing blister formation if developed material

7.2 耐熱変形性

運転中に熱変形が発生する要因は、材料中の有機成分と無機成分のバランスに依存し、無機成分の含有量に強く影響を受ける。無機成分には強化材で代表されるガラス繊維（GF）が挙げられ、これに支配される材料物性値は強度と線膨張係数に影響を与える。そこで、強度を維持しつつ線膨張係数を30ppm/°C以下に

するようにGFを含む無機フィラーを35～55wt%含有させ目標の線膨張係数に調整した。

8. 開発材料の効果確認

課題1の耐熱性については、実機評価において、高回転で強制的にスリップを誘発させてもPF樹脂は発泡すること無く、A/Cコンプレッサ用樹脂材料として十分な耐熱性を確保していることを確認した。

課題2に対しては、線膨張係数をインサート金属リングに近づけることにより、高温高速運転時でもインサート金属リングから離れることなく、樹脂と金属界面での保持力を確保することができた。また、使用中における樹脂材料のクリープを考慮しても十分な締め代を確保しており、耐久試験後の締め代測定時にも隙間は発生していなかった（Fig. 28）。

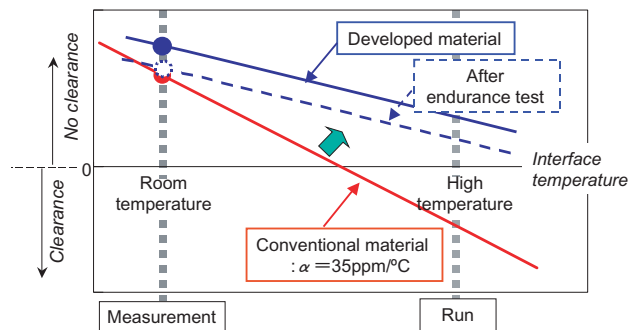


Fig. 28 Simulation of interfacial amount of clearance

9. おわりに

今回、他社に先駆け可変容量コンプレッサ用として構造的に簡素で高精度な材料破断式トルクリミッタと、小型で超軽量の樹脂プーリを同時に達成したDLプーリを開発できた。今後は開発品の各車両への展開・拡大を進めるとともに、車両が進化する中でさらなる改良も必要と考える。我々としては今回開発品をベースに性能向上はもちろんのこと、品質と低コストの両立を目指した要素技術開発に挑戦していきたい。

<参考文献>

- 1) 大口純一：“技術ハイライター樹脂プーリー”，デンソー技術会会報No.60
- 2) 青木祐一・大口純一・山田耕二・谷村圭宏・岡秀樹・袴田尚樹：“可変容量コンプレッサ用DLプーリーの開発－材料破断式トルクリミッタの開発－”，自動車技術会2002年春季大会学術講演会前刷集，No. 64-02 (2002)，pp.13-16.
- 3) Y. Aoki, J. Ohguchi, K. Yamada, Y. Tanimura, H. Oka, N. Hakamada, : JSAE Review24 (2003), pp.277-281.
- 4) 岡秀樹・加藤和夫・田淵泰生・谷澤秀実：“自動車用樹脂プーリーの材料開発”，自動車技術会2001年秋季大会学術講演会前刷集，No.34(2001)
- 5) 岡秀樹・加藤和夫・田淵泰生：“自動車用樹脂プーリーの材料開発”，デンソーテクニカルレビューVol.7, No.2 (2002)
- 6) H. Oka, Y. Tabuchi and H. Yazawa : SAE Technical Paper 2002-01-0603



<著者>



大口 純一
(おおぐち じゅんいち)
冷暖房開発2部
エアコン用動力伝達装置の開発・
設計に従事



青木 祐一
(あおき ゆういち)
基礎研究所
冷暖房製品の要素技術研究に従事



岡 秀樹
(おか ひでき)
材料技術部
樹脂材料の研究に従事



山田 耕二
(やまだ こうじ)
材料技術部
材料強度の研究に従事



谷村 圭宏
(たにむら よしひろ)
材料技術部
金属材料の研究に従事