

# 2LクラスCVT用金属ベルトの開発

Development of Metal Pushing V-belt for Continuously Variable Transmission for 2L Class Vehicle

矢ヶ崎 徹\*  
Tooru YAGASAKI  
岡田 善成\*  
Yoshinari OKADA

青山 英明\*  
Hideaki AOYAMA  
片岡 隆平\*  
Ryuhei KATAOKA

大貫 基範\*  
Motonori OHNUKI

## 要 旨

## ABSTRACT

Honda はコンパクトな CVT のレイアウトを可能とする金属ベルトを 1.5L クラスで量産化した。1.5L クラスの量産化で得た技術に加え、新たにゆるみ側弦部のエレメント挙動解析、電気抵抗法によるATF極圧潤滑皮膜評価により、よりコンパクトな CVT を可能とする 2L クラス CVT 用金属ベルトを開発した。

従来、CVT は金属ベルトの最小巻き付き径でトランスミッションのサイズが制約されていた。CVT 高容量化のためには金属ベルトの負荷軽減の目的から最小巻き付き径を大きくとる必要があったが、最小巻き付き径を小さくすることにより軸間距離も縮まり CVT の小型化が可能となる。本金属ベルトの特徴は、軸間距離 170mm で最大許容伝達容量 150kW を達成し、コンパクトな CVT のレイアウトを可能とする金属ベルト仕様を確立した点にある。

Honda presently mass produces a metal pushing V-belt to enable a compact CVT layout in a 1.5L class vehicle. The project discussed in this paper based itself on the technologies developed for mass production of the 1.5L class belt, and employed dynamic analysis of slack string elements and study of ATF extreme pressure lubricant oil films using measurements of electrical resistance to develop a metal pushing V-belt enabling a compact CVT layout in a 2L class vehicle.

The size of CVTs has conventionally been determined by the pitch radius of the V-belt. To increase the torque capacity of the CVT, it was formerly necessary to increase the pitch radius of the belt in order to reduce the belt load. In the newly designed belt, reduction of the pitch radius has enabled the distance between the shafts to be reduced, hence reducing the size of the CVT. The newly developed belt achieves a maximum transmitted power of 150 kW with 170 mm between the shafts, and enables a more compact CVT layout.

## 1. まえがき

金属ベルト CVT (Continuously Variable Transmission) の高容量化は、主にドライブプーリとドリブンプーリの軸間距離(以下軸間距離)拡大によりおこなわれる。これは、他の自動変速機と同様に機械要素の大型化による強度向上である。また、動的強度確保のためには、経験的に最大回転数の制限がおこなわれる。これは、これまで金属ベルトの動的挙動を解析した例を含めて技術報告がほとんどなされていないことによる。

今回、1.5Lクラスの金属ベルト量産で得た技術と経験<sup>(1)~(4)</sup>、新たに起こった動的挙動解析、金属ベルト各部に対するAutomatic transmission fluid(ATF)中の極圧潤滑皮膜(以下皮膜)特性の把握により、2Lクラス金属ベルトの自社

開発に成功した。本稿では、新たにおこなった開発技術について紹介する。

## 2. 開発コンセプト

CVTでは、燃費向上と発進駆動力の両立のため、レシオレンジ拡大が求められる。必要なレシオレンジを確保するには金属ベルトのプーリへの巻き付き径を小径化することが望ましいが、金属ベルトの疲労寿命を維持するため最小巻き付き径の小径化には限界が有る。CVT 高容量化のためには軸間距離の拡大が必要となり、その結果トランスミッションの大型化に繋がっていた。また、プーリから金属ベルトに加わる軸推力も増加するため、金属ベルトの各接触部の摩耗を防止するため皮膜保持が重要となる。

\* 栃木研究所

したがって、CVTの高容量化とコンパクト化を達成するためには、金属ベルトをプーリへの最小巻き付き径の小径化が可能な構造とすること、エレメントおよびリングに対する負荷を軽減し、疲労強度を向上させること、各接触部の皮膜特性を考慮した設計とすることが必要となる。

Fig. 1 は、CVT の高容量化を同一レシオレンジではかった場合の模式図である。CVT をコンパクト化する場合、図の様に軸間距離の短縮が必要となる。ただし、結果的に巻き付き径が減少する。その場合、金属ベルトのリング部疲労強度を確保することが課題となる。

Fig. 2 は、既存の CVT に関し、軸間距離に対する最大許容伝達容量の関係を示した図である。最大許容伝達容量の増加と共に、軸間距離も増加し、CVT が大型化する傾向が示されており、軸間距離の短縮が求められている。

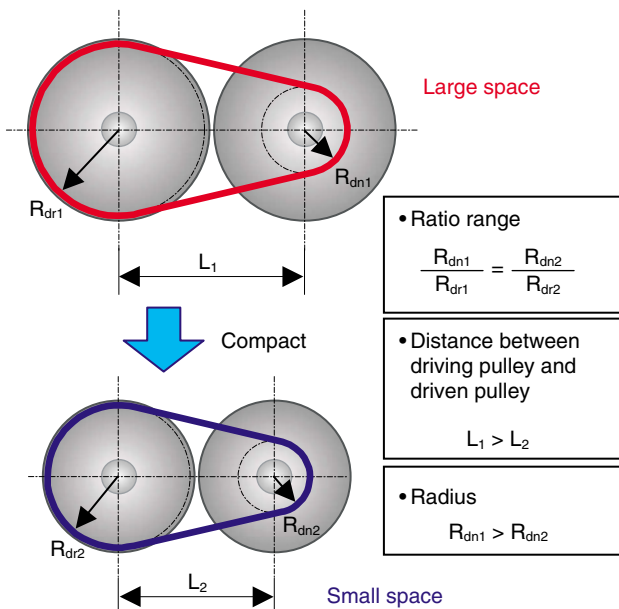


Fig. 1 Structure of CVT with same ratio range

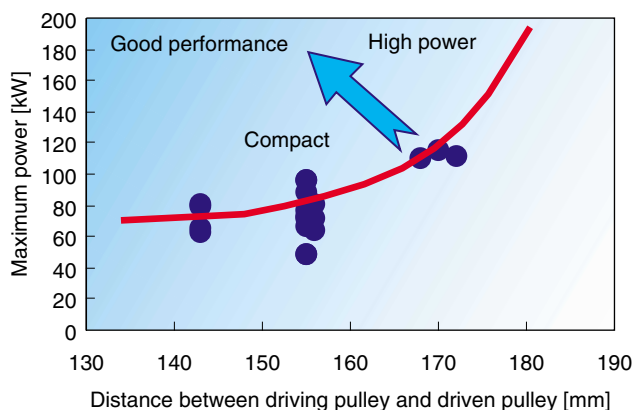


Fig. 2 Maximum power and distance between driving pulley and driven pulley

以上より、本開発のコンセプトを下記に定めた。

- (1) 金属ベルトの緩み側弦部の動的挙動を把握し、金属ベルト各部への動的荷重を明確化する。
- (2) 動的荷重に対し、金属ベルト各部の形状最適化をはかる。
- (3) エレメント疲労限荷重を明確化し、安全率を確保する。
- (4) 金属ベルト各部の皮膜状態を確認し、耐摩耗性を確保する。
- (5) 新製法を採用し、コスト低減をはかる。

### 3. 金属ベルトの構造

#### 3.1. 金属ベルトの構造と各部名称

金属ベルトは数百枚のエレメントと複数層、2束のリングにより構成される (Fig. 3)。

金属ベルト各部の名称を Fig. 4 に示す。

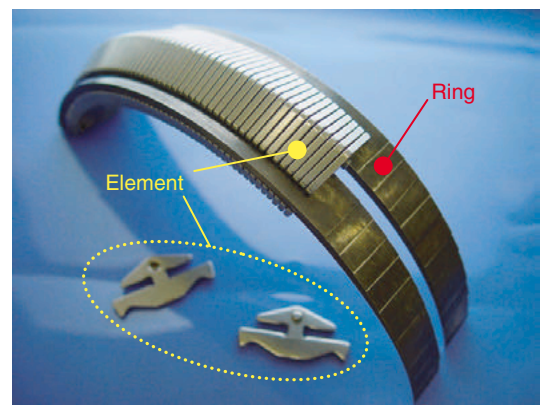


Fig. 3 Metal pushing V-belt

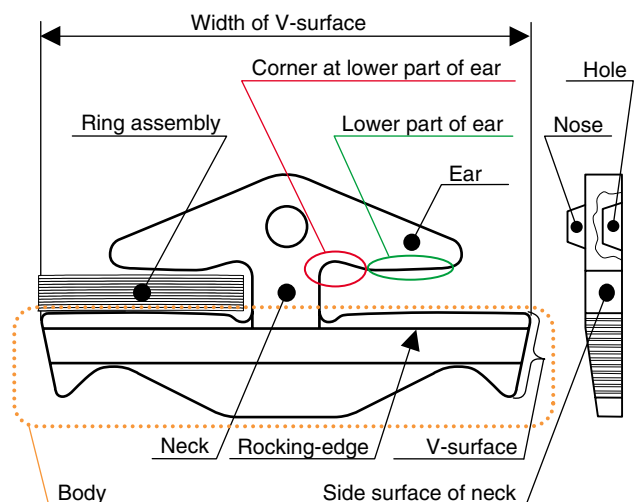


Fig. 4 Configuration of elements and ring assembly

## 4. エLEMENT形状最適化

### 4.1. ELEMENTとプーリ

ELEMENTに作用する荷重について、これまで実働力の測定が困難であった緩み側弦部に関し、動的挙動解析を実施した。

#### 4.1.1. ドリブンプーリ出口近傍のELEMENT挙動解析

Fig. 5, Fig. 6 は動的挙動解析の結果を示す。

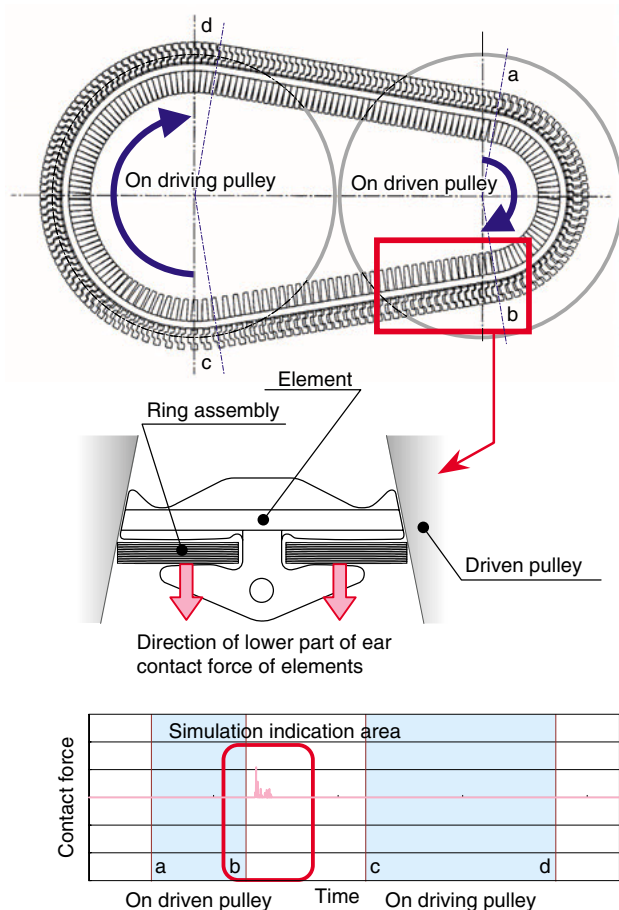


Fig. 5 Lower part of ear contact force of elements

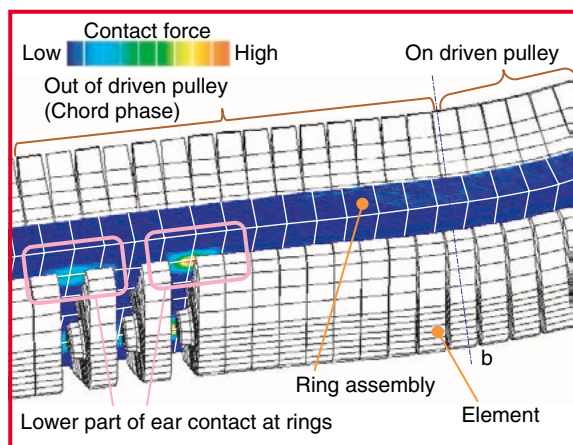


Fig. 6 Lower part of ear contact force of rings

図中ドリブンプーリ入口, 出口, ドライブプーリ入口, 出口の位相をそれぞれ a, b, c, d の記号で示してあり, 緩み側弦部は図中の b から c に相当する. Fig. 5 は, ELEMENT Ear 下部への入力荷重を示し, ELEMENT がドリブンプーリ出口から緩み側弦部に移行する際, 荷重が発生している. Fig. 6 は, ドリブンプーリ出口付近を拡大し, リングアセンブリと, ELEMENT Ear 下部の接触状態を示した図であり, ELEMENT が回転運動から直線運動に移行する際, ELEMENT Ear 下部とリングアセンブリの接触が生じている。

#### 4.1.2. Ear 部形状の最適化

ELEMENT Ear 下部からの入力荷重に対し, ELEMENT に発生する応力を構造解析により確認した. その結果 Ear 下部の Corner に応力が集中することが確認され, Fig. 7 に示す様に Ear 下部の Corner を複合 R 形状に設定することで, 重量増加なしに Ear 部の応力を低減した。

Fig. 8 は緩み側弦部で作用する荷重について構造解析を実施した結果である. 従来, 単一 R 形状を用いていた Ear 下部の Corner 形状を複合 R 形状にすることで, 約 40% の応力低減をはかった。

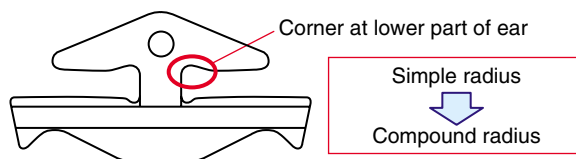


Fig. 7 Configuration at lower part of ear

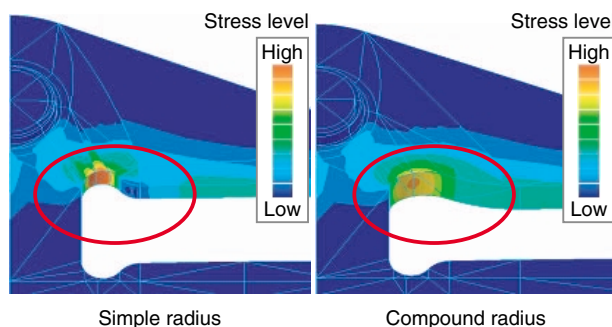


Fig. 8 Corner stresses at lower part of ear

## 5. 皮膜評価

2L クラス CVT に対応した高容量化に伴い, 金属ベルト及びプーリに対して, 1.5L クラスよりもさらなる耐摩耗性が要求される. 金属ベルトとプーリ間には微少滑りがあり, ATF 中の極圧添加剤による皮膜形成によって耐摩耗性が確保されている. したがって, その皮膜状態を評価する必要がある. 皮膜評価法として電気抵抗法を用い, 実機の微少滑り

速度を計測して皮膜を評価した。Fig. 9に電気抵抗法の概略を示す。プーリもしくはリング相当の試験片と、先端がR形状のピンを押し付け、摺動させる。ピンと試験片間に一定電圧を印加し、二面間に発生した抵抗値に対する分離電圧を、接触面の皮膜として判定する。皮膜が形成されないと出力電圧はゼロを示し、皮膜が形成されると、皮膜形成状態に応じた電圧値が示される。

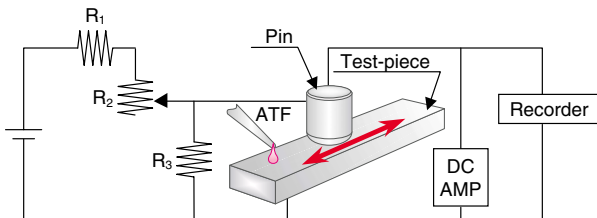


Fig. 9 Circuit for measurement of electrical resistance

## 5.1. エLEMENTとプーリ間

### 5.1.1. ELEMENTとプーリ間の相対速度

Fig. 10にELEMENTとプーリ間の相対滑り速度測定法の概要を示す。ドリブンプーリ側にELEMENT周速測定用のセンサ、金属ベルト巻きつき径測定用の変位計を取り付け、取り付け位置  $0^\circ - 150^\circ$  の角度範囲でそれぞれを測定した。

ELEMENTとプーリの相対速度は、金属ベルト巻きつき位置における、金属ベルト周速とプーリ周速との差分によって求めた。

Fig. 11はレシオ 0.5におけるドリブンプーリ上での金属ベルト巻きつき角度と金属ベルト巻きつき径の関係を示す。ドリブンプーリ入口から出口にかけて金属ベルト巻き付き径が減少していることがわかる。このドリブンプーリ上での金属ベルト巻き付き径の変化は、プーリ中でのELEMENT弾性変形及びプーリ変形が大きく関与していると考えられる。

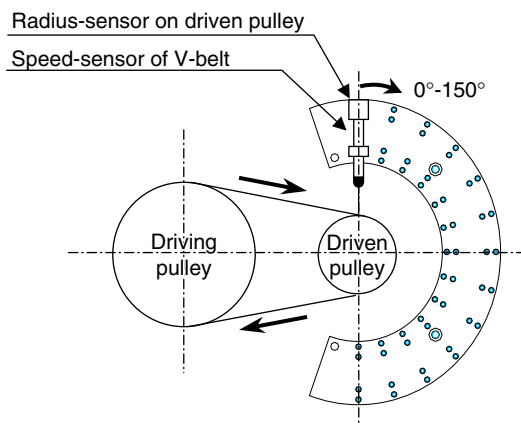


Fig. 10 Schematic view of measurement of sliding velocity on driven pulley

Fig. 12は、ELEMENTとプーリ間の接線方向の相対速度を算出した結果である。ELEMENTとプーリ間の相対滑り速度はドリブンプーリ入口ではほぼゼロであり、入口から出口に向かって徐々に増加し、出口において最大を示す。この最大相対滑り速度を皮膜試験の相対速度として評価に用いた。

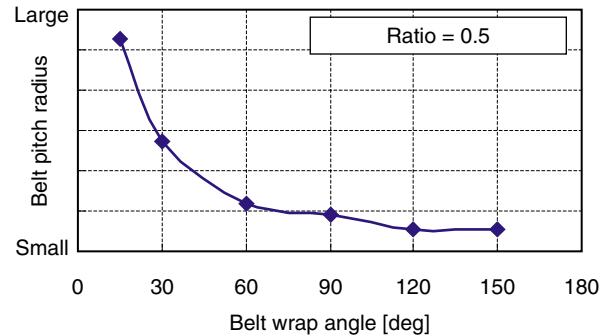


Fig. 11 Variations in belt pitch radius with respect to belt wrap angle

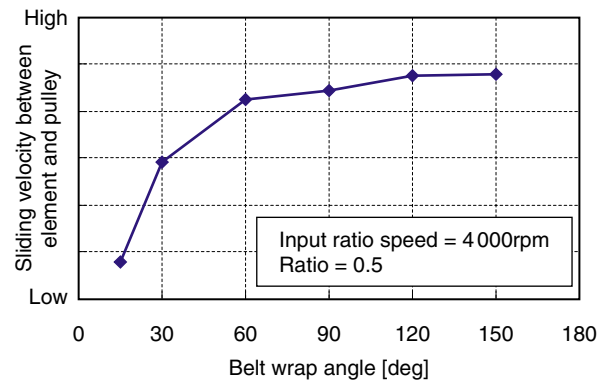


Fig. 12 Sliding velocity with respect to belt wrap angle

### 5.1.2. ATF 極圧添加剤違いの皮膜評価

電気抵抗法を用い、ELEMENTとプーリ間の実用領域におけるヘルツ面圧、相対速度に対し、複数のATFの皮膜保持特性を確認した。ATF1は硫黄-りん極圧添加剤、ATF2は硫黄系の極圧添加剤を含むATFであり、この二種類のATFによる皮膜測定の結果をFig. 13、Fig. 14に示す。

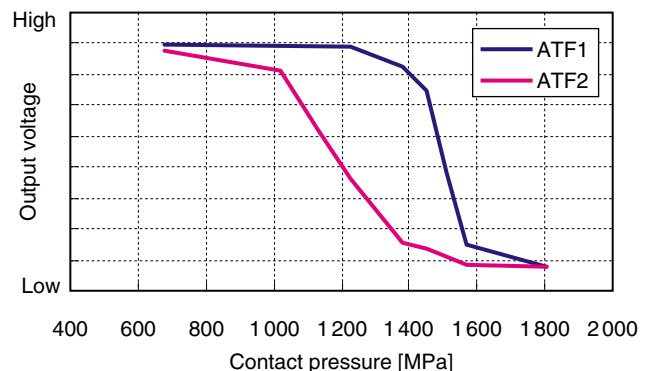


Fig. 13 ATF oil film conditions with respect to contact pressure

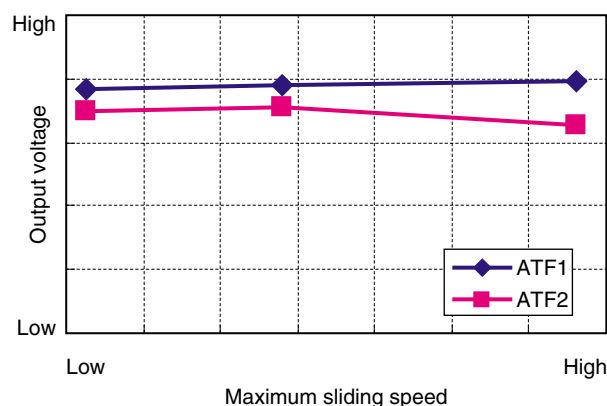


Fig. 14 Relationship between oil film conditions and maximum sliding speed

Fig. 13は、接触面圧を変化させた皮膜測定結果であり、いずれの ATF も低・中面圧領域では安定した皮膜特性を示すが、高面圧領域において ATF1 は ATF2 よりも面圧の増加に対して分離電圧が高く、皮膜特性に優れていることがわかる。Fig. 14 は、相対速度を変化させた皮膜測定結果であり、相対速度の増加に対して ATF1 は一定の皮膜特性を持っているが、ATF2はわずかな減少傾向を示している。

## 5.2. エレメントとリング

Fig. 15に示されるように、リング内周面にはメッシュ加工を施してある。メッシュ形状は、リングの潤滑性能に影響をおよぼす。

Fig. 16はメッシュの接触幅を変化させた場合の皮膜特性を示し、メッシュ接触幅が小さい方が優れた皮膜特性を示していることがわかる。この結果にもとづき、メッシュ形状を最適化した。

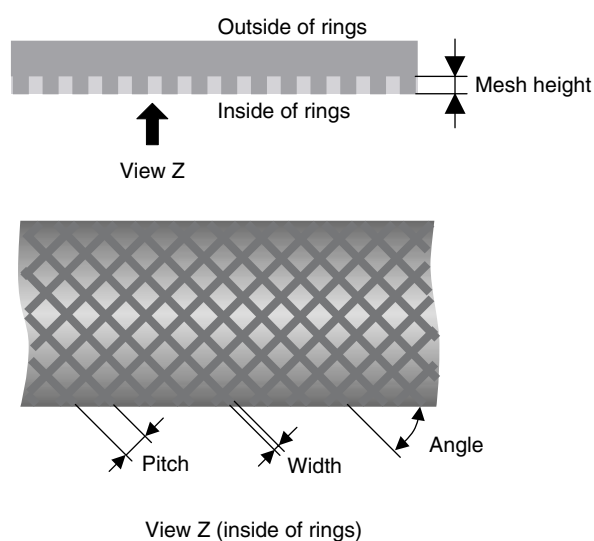


Fig. 15 Configuration of ring mesh

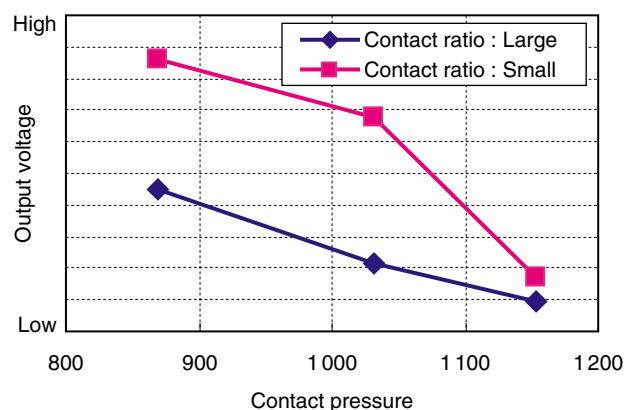


Fig. 16 Oil film conditions at differences of contact ratio

## 6. コストダウン

リングでは、サイズアップによるコスト高に対し、端部成形に新製法を採用してコスト低減を実現した。

### 6.1. リング端部の研磨方法

リング端部はエレメントの Neck 側面とプーリV面との接触時、負荷を軽減するため Fig. 17 に示すラウンド形状に成形することが望ましい。

端部の成形は、従来、Fig. 18に示すように砥石でドラム状のリングを所定寸法に切断後、バレル加工を実施していた。2Lクラス金属ベルトでは、リングが大径化し、加工時間が長くなるためコスト高になる。

そこで、加工時間を短縮するため、砥粒入り樹脂ブラシを用いた新成形法を採用した。

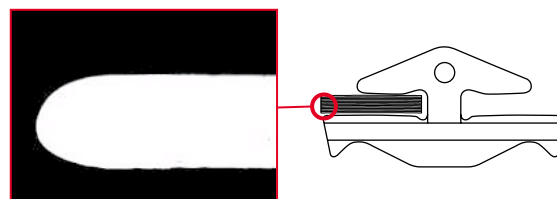


Fig. 17 Profile of ring edge

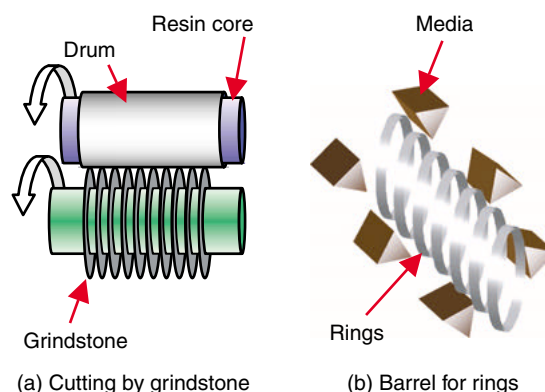


Fig. 18 Manufacturing method of former rings

Fig. 19に砥粒入り樹脂ブラシによる新成形法を示す。新成形法では、所定幅に切断されたリングは自転可能なターンテーブル上にクランプされ、ブラシヘッドに装着された回転するブラシで端部を研磨される。この製法を採用することで、従来より、大幅なコストダウンを達成できた。

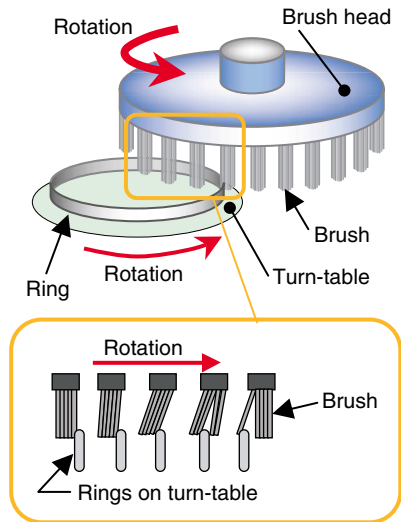


Fig. 19 Ring edge brushing method

## 7. 疲労強度確認結果

### 7.1. エレメント

#### 7.1.1. Ear 部

エレメントの動的挙動解析結果を実証するため、実機および単体で Ear 部破損試験を実施し、複合R形状の効果を検証した。

Fig. 20に、実機耐久により破損させたエレメントの破損形態と破面を示す。Ear下部からの入力を受けて破壊に至ったと判定でき、これは動的挙動解析の結果と一致する。

Fig. 21 にエレメント単体での Ear 部強度試験結果を示す。図中の矢印記号は、該当サイクルにおいて非破損だったエレメントを示す。複合R形状は単一R形状よりも強度が向上しており実機発生荷重に対して必要な安全率を確保できた。

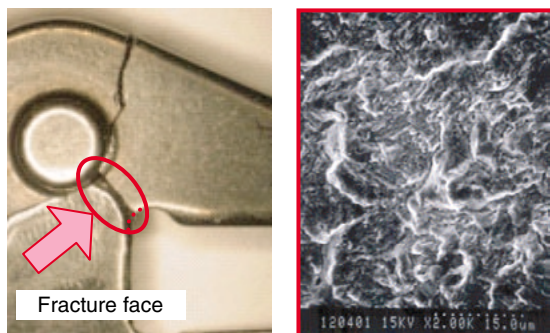


Fig. 20 Damaged element and SEM photograph of fracture face

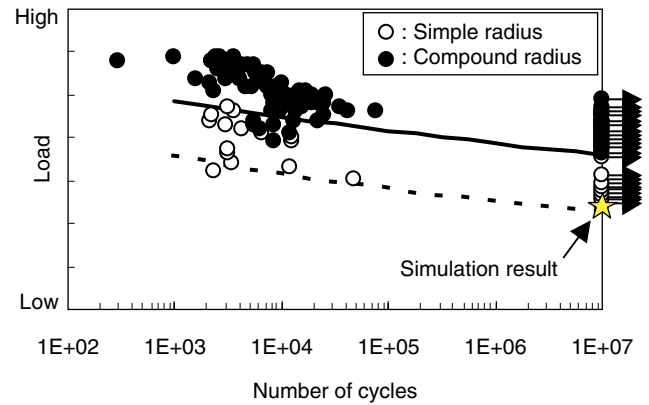


Fig. 21 Comparison of fatigue behavior in simple radius element and compound radius element

#### 7.1.2. エレメント材ギガサイクル疲労強度<sup>(5)</sup>

これまでエレメント単体での強度試験は  $1\sigma$  サイクル打ち切りで疲労限が存在する前提で実施されてきた。疲労限が存在するかを検証するため、エレメント材に対して超音波疲労試験を実施した。Fig. 22にギガサイクル疲労試験の結果を示す。これによりエレメント材では高サイクル領域での介在物起点による破損は見られず、いずれも表面起点で破損に至ることが確認された。これらの結果によりエレメント材に関しては疲労限が存在することが確認された。Fig. 23に超音波疲労試験装置の概略を示した。ピエゾ素子を起振源とし、振動を増幅して試験片を共振させる。

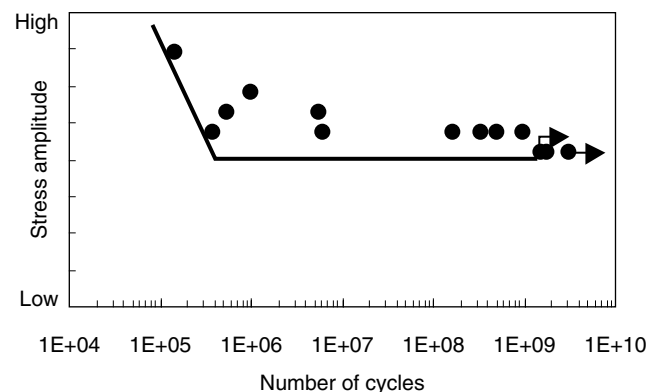


Fig. 22 S-N diagram by ultrasonic fatigue test

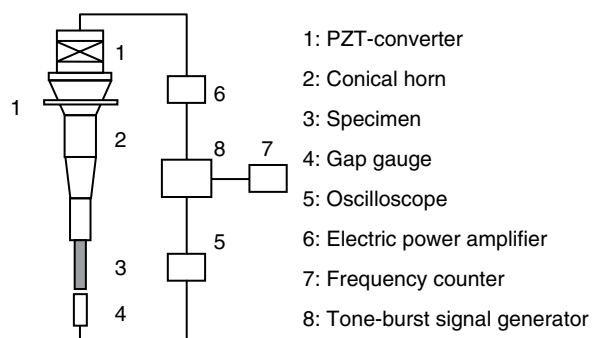


Fig. 23 Block diagram of ultrasonic fatigue test

## 7.2. リング

リング端部成形に、新製法を採用したため、リング強度試験を実施し、その影響を明らかにした。

Fig. 24にリング単体で実施した疲労試験結果を示す。これにより、従来製法と新製法で強度差異は無いことを確認した。

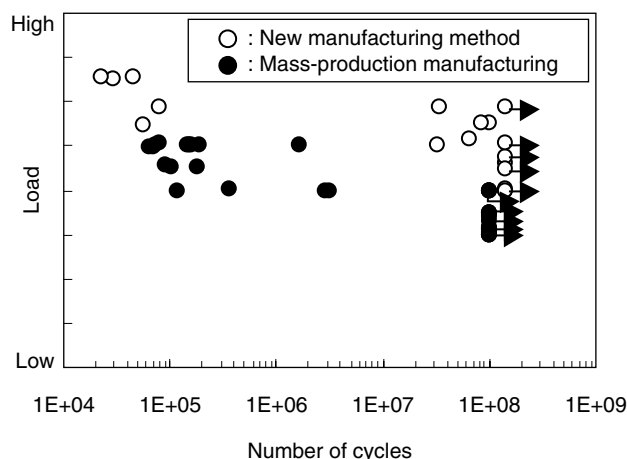


Fig. 24 Comparison of fatigue behavior in rings produced by mass production method and new manufacturing method

## 8. 最大許容伝達容量

軸間距離短縮に伴うプーリへの最小巻き付き径小径化を達成するには、金属ベルトのより高い耐久寿命が求められる。Fig. 25に耐久試験結果に基づく最大許容伝達容量を示す。本、2Lクラス用金属ベルトの技術開発により、CVTの高出力化、コンパクト化が可能となった。

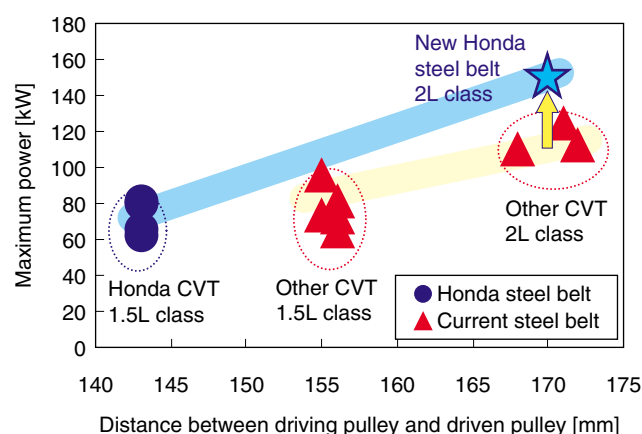


Fig. 25 Potential of newly developed V-belt

## 9. まとめ

2L クラス用金属ベルトの開発技術内容を、以下に記す。

(1) 金属ベルトの動的挙動解析により、ドリブンプーリ出

口において、エレメントの Ear 下部と積層リングの接触により、Ear 下部の Corner に大きな応力が発生する事を確認した。

(2) Ear 下部の Corner を複合 R 形状に成形することで、重量増加なしに Ear 部の応力を低減した。

(3) エレメント材は、高サイクル領域で介在物の影響を受けず、疲労限が存在することを確認した。

(4) 電気抵抗法で ATF 極圧皮膜を評価し、ATF による違い、リングメッシュの接触幅での差を明らかにし、メッシュ形状を最適化した。

(5) リング端部に砥粒入り樹脂ブラシを用いる新製法を採用し、リングの製造コスト低減をはかると共に、従来製法同等の耐久強度を確保した。

上記(1)～(5)の特徴により、金属ベルトの最小巻き付き径を小径化を可能とし、CVTのコンパクト化を可能とした。今後の進化は、さらなる形状の理論的探究と生産技術の開拓の開発によるところが大きいと考え、次の進化をめざしたい。

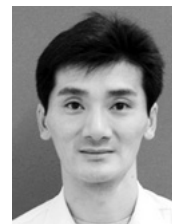
## 参考文献

- (1) 矢ヶ崎徹，青山英明，斎藤俊博，石井和夫，岡田善成，有川守：CVT 用金属ベルトの開発，Honda R&D Technical Review, Vol.14, No.1, p.181-190
- (2) Ishii,H., Yagasaki,T., Akagi,H.: Evaluation of giga-cycle fatigue properties of some maraging steels by intermittent ultrasonic fatigue testing, Proceedings of the International Conference on Fatigue in the Very High Cycle Regime, p.89-96(2001)
- (3) Evaluation method for inclusions in maraging steel, Japan Patent P3345367
- (4) Process for producing maraging steel, United States Patent US 6, 309, 474 B1
- (5) Yagasaki,T., Kanehara,S.: Development of Metal Pushing V-belt for Continuously Variable Transmission, FISITA 2004 World Automotive Congress Barcelona, F2004F384

■ 著 者 ■



矢ヶ崎 徹



青山 英明



大貫 基範



岡田 善成



片岡 隆平