

## 解説

## Review

## 自動車用自動変速機の動向と技術課題

上野完治\*

## Technical Review of the Automatic Transmission for Automobile

Kanji Ueno

## Synopsis

The automatic transmission is used for 80 ~ 90 % of automobiles in the USA, Japan, and Korea. The reason of this situation is that the automatic transmission is better than the manual transmission considering environmental protection, driver's safety and drivability.

To improve this situation, both of size down and weight reduction should be important. Therefore it is necessary what the strength of core parts of the automatic transmission is made higher, for example gears and CVT pulley.

The key technologies are to control the microstructure, the micro machining, and the surface engineering.

## 1. 緒 言

近年、自動車用自動変速機に対する地球環境対応、安全対策、運転の快適性向上という課題に対し、種々の開発が行われている。地球環境対応を目的とする燃費向上と低エミッション化では、小型軽量化ならびに多段化・無段化が進んでいる。安全対策では、衝撃吸収の空間を確保するため、変速機の全長短縮などの小型化が進んでいる。また、運転の快適性向上においては、無段変速機でマニュアルモードを併せ持つものや、アクセル操作状況を検知し変速スピードを制御するものが出てきている。静粛性、スムーズな変速や変速領域拡大についても、より高いレベルを求める取組がされている。ここでは、これら自動変速機の動向と求められる材料・生産技術課題につき、ジャトコの実例を交えて解説する。

## 2. 自動変速機全般の目指す方向

過去 60 年間の自動変速機の市場動向を Fig.1 に示す。アメリカ、日本、韓国とも装着率は 90 % 近くまで伸びてきた。今後も、欧州や中国での伸びが期待される。この先 10 ~ 15 年は、まだ燃料電池車の影響は少なく、本市場は

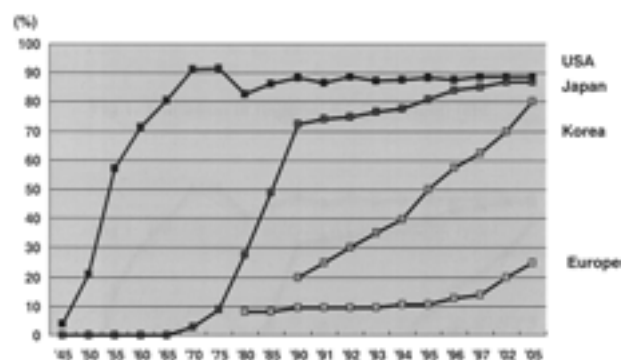


Fig.1. Transition of regional AT installation rate.

年々拡大するものと考えられている。

ジャトコでは“Intelligent Powertrain System”と称し、企業として目指すべき姿を掲げている。Fig.2 に示すように、燃費向上、二酸化炭素の削減による地球環境保護への貢献はもちろん、安全で快適な走りの提供、そしてお客様の最先端車両制御との適合を高い次元の総合技術でお応えしようと考えている。

また、お客様が欲しいと思われた先進的商品をすぐに提供できる先回りの開発体制、世界中のお客様の良きパートナーとしてグローバルな調達、生産体制を築くことを目指

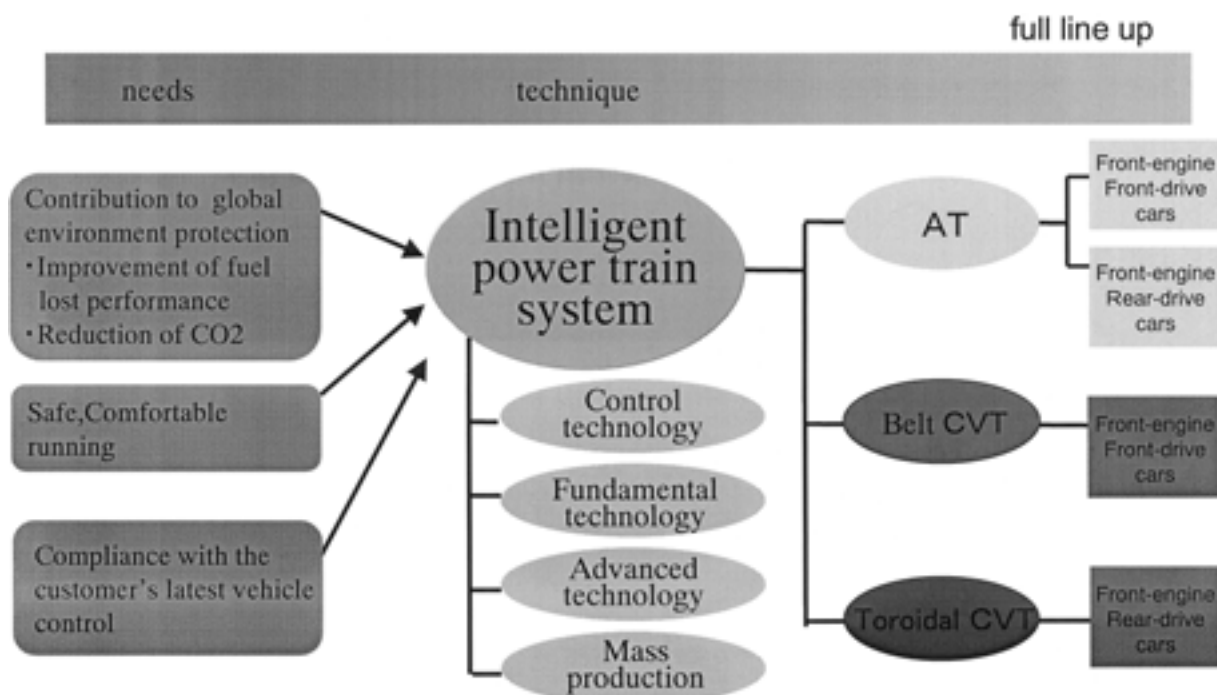


Fig.2. The intelligent power train system (JATCO).

している。

さらに「モノづくり」においては「ジャトコ生産方式」という考え方を導入し、お客様からいただいた注文どおりに、上流工程から下流工程までが一貫して、時間どおり順番どおりに、短い納期で、高品質な製品をお届けすることを目指している。これにより、お客様の变化に限りなく早く対応し、品質、納期、価格でお客様の満足を高めたいと考えている。

これらの方向性は、ジャトコに留まらず各社はほぼ同様のものであろうと推察される。

### 3. 自動変速機の機構と技術動向

#### 3. 1 ステップ自動変速機 (AT)

##### 3. 1. 1 ATの機構

ジャトコ製FR用5速AT(エンジン排気量3.5リットル級)の主断面図をFig.3に示す。エンジンからの駆動力は流体継ぎ手であるトルクコンバータからインプットシャフトを介して、遊星ギアに伝達される。この遊星ギアに対する駆動力の伝達経路を、油圧クラッチで切り替えることにより変速が行われる。駆動力は、最後にアウトプットシャフトに伝達される。

##### 3. 1. 2 ATの技術動向

###### (1) 燃費向上, 低エミッション

ATでは多段化、後に述べる無段変速機への移行が進ん

でいる。FF車では5, 6速ATの採用が欧州を中心に拡大し、FR車でも5, 6, 7速ATの採用が拡大しており、5速は一般的になりつつある。

Fig.4に、ある条件で測定した各自動変速機の燃費を示した。6速ATの燃費をベースとし、プラス側は良好度合い、マイナス側は悪化度合いを示す。ここでは、ATの多段化が燃費向上に有効であることを示している。

###### (2) 小型軽量化

前項で述べた多段化に伴い、部品点数が増加しATは重く大きくなる傾向にある。従って小型軽量化は極めて重要な課題である。ホンダでは、平行4軸構造や超薄型トルクコンバータの採用などで幅を従来比60mm短縮し<sup>2)</sup>、トヨタではギアトレインの見直しにより小型軽量化を行った<sup>3)</sup>。ジャトコでは、部品一体化による全長短縮やアルミニウム鋳物部品への置換による軽量化施策を進めており、メルセデスベンツでは7速ATのケースにマグネシウム合金を採用し5速ATと同等の重量にしている<sup>4)</sup>。

#### 3. 2 無段変速機 (CVT)

##### 3. 2. 1 ベルトCVTの構造

ベルトCVTはプーリの間に挟まれた金属ベルトのブロックの押し力により駆動力を伝達することを特徴としている。Fig.5にジャトコ製FF用ベルトCVT(エンジン排気量3.5リットル級)の主断面図を示す。ベルトCVTでは入力側、出力側各プーリへの巻きつき径を変化させる

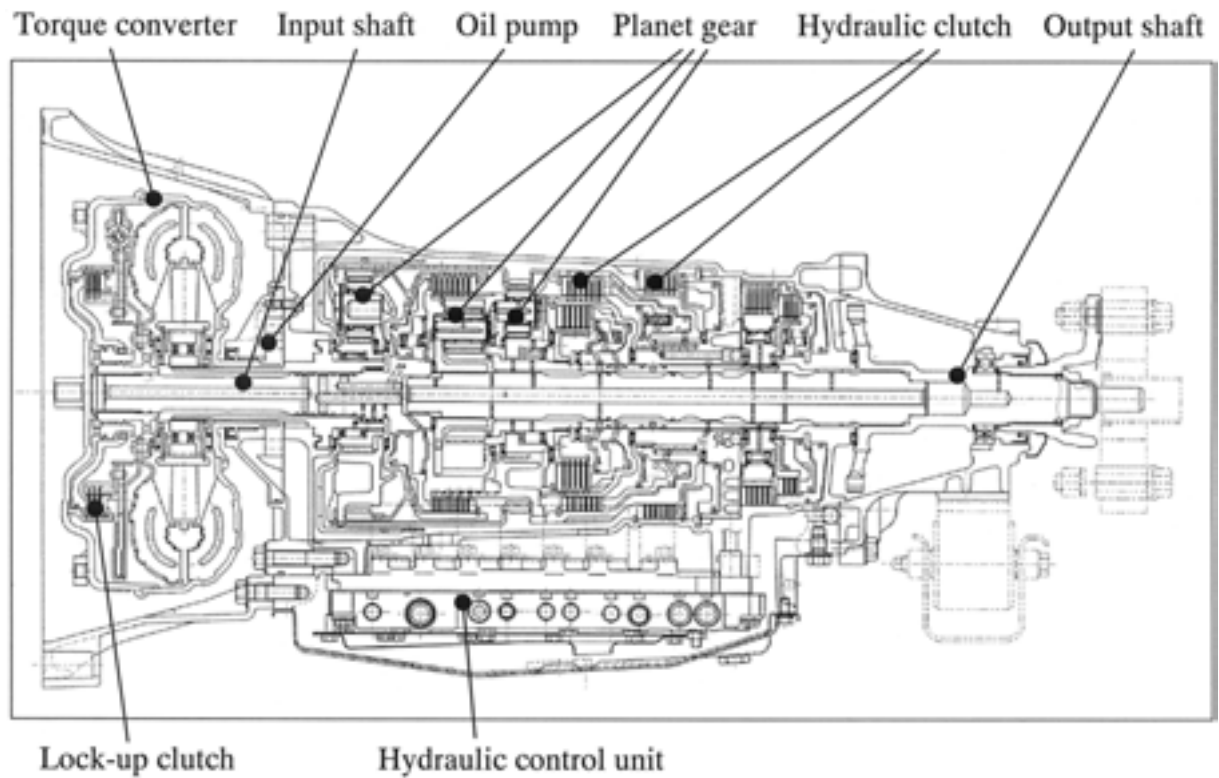


Fig.3. Sectional view of 5-speed automatic transmission for rear-drive cars (JATCO).

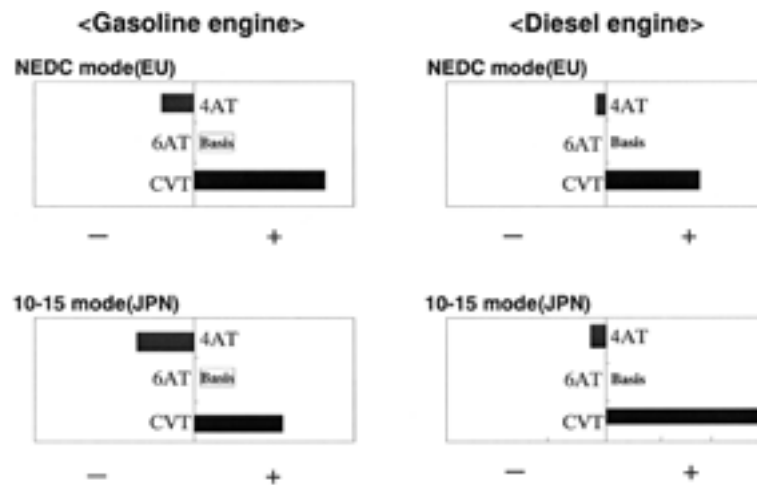


Fig.4. The fuel consumption of automatic transmission.

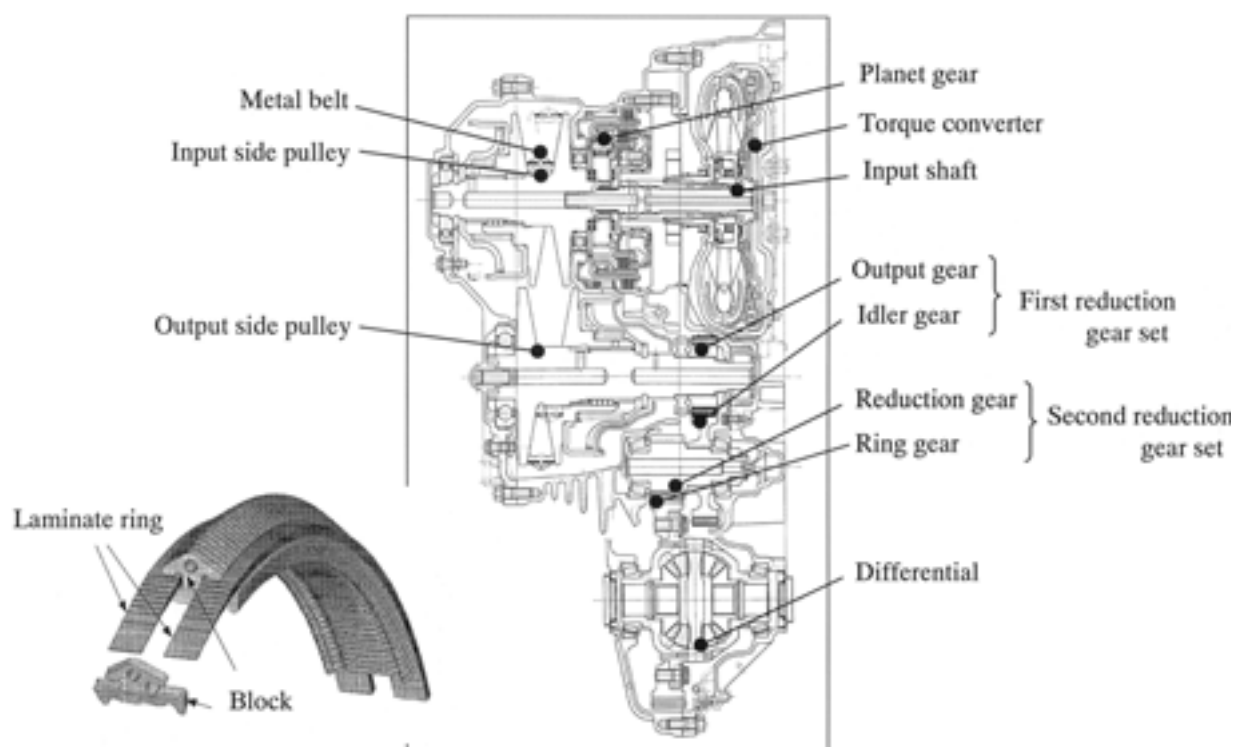


Fig.5. Sectional view of belt CVT for front-drive cars (JATCO).

ことにより、変速比をコントロールする。無段階で変速できることから、どの車速でもエンジンの最も燃焼効率の高い回転数を使用して運転できる。Fig.4 では、ステップ自動変速機より CVT の方が燃費は有利であることを示している。また、スムーズな変速に加え、レスポンスの良い変速、一気に加速できる利点がある。

### 3. 2. 2 ベルト CVT の技術動向

ベルト式 CVT は、大容量化が進み、ジャトコでは 2002 年よりエンジン排気量 3.5 リットル級 FF 車（日産ムラーノ）に搭載を開始した。その後、日産ティアナ、プレサージュに搭載し好評を得ている。ここでは、プーリの軸間拡大と押し力の増加により、従来タイプの CVT よりトルク容量を増大している。また、プーリ変速比を拡大し、燃費向上と運転のしやすさを向上している。

以上の対応にも係らず、CVT の全長は従来に比べ数 % 短縮していることが特徴である<sup>5)</sup>。なお、本ユニットは世界初の高トルク容量 CVT として、2004 年に日産自動車とジャトコが第一回ものづくり大賞（経済産業大臣表彰）優秀賞を受賞している。

また、金属ベルトの設計・製造では、オランダの VDT

社がほぼ独占的にノウハウを有していたが、自動車メーカー各社の自社開発・生産化が進み、今後一層の性能向上や原価低減が期待される。

このように、今後 CVT は小型軽量化、原価低減が行われつつ、一層の大容量化が進むものと考えられる。

### 3. 2. 3 トロイダル CVT の構造

トロイダル CVT は、Fig.6<sup>6)</sup> に示すように、入力ディスクと出力ディスクとの間に挟まれたパワーローラが変速の機能を担う。各部品はオイルを介して高圧で接触し、この摩擦力によって駆動力を伝達する。パワーローラの傾きを変えて、ディスクの任意の位置に接触することにより変速を行う。本ユニットはベルト CVT に比べ、大容量化が容易で、かつ胴回りが小さくできるため、高エンジントルクの FR 車用に使われている。

### 3. 2. 4 トロイダル CVT の技術動向

トロイダル CVT は、高度な機械加工技術、純度の高い鉄鋼材料が必要となり、コスト削減が課題である。安価で耐久性の優れた鉄鋼材料や表面改質技術、ナノサイズでの表面加工技術を用いたトライボロジーの技術開発が期待される。

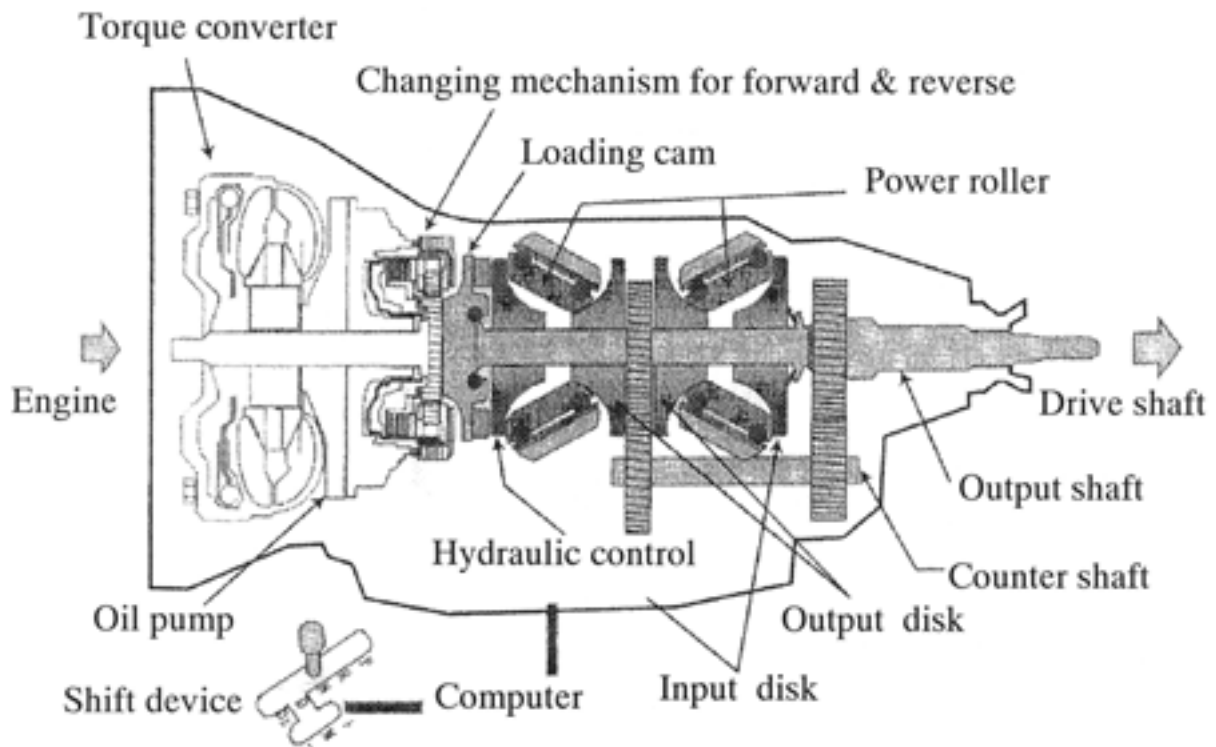


Fig.6. Sectional view of toroidal CVT.

## 4. 材料・生産技術課題

### 4. 1 燃費向上

ATの多段化, CVT化が燃費向上に有効であることは先に述べたが, 前者においては小型軽量化, 後者においては高トルク化, すなわち高強度化が共通課題となる。以下に, 主要部品である歯車とCVTプーリの事例について技術課題を説明する。

Fig.7に歯車に関する各技術の歯面疲労強度と歯元疲労強度を示す。高強度歯車用鋼, 浸炭窒化熱処理, ショットピーニングの組合せ採用により, 高強度化が進んできた。現在, 更なる高強度化のため, 高濃度浸炭, 結晶粒微細化, 表面コーティングの研究開発が活発に行われている。今後は, 表面改質とナノ創生のコラボレーションがブレークスルの鍵ではないかと考えている。これらに対して, 各社でDLC(Diamond like carbon)適用の可能性追及が行われており, ローラーピッチング試験では良い結果を得た事例報告がある<sup>7)</sup>。

CVTプーリに関しては, シーブ面(金属ベルトとの接触面)のピーリング摩耗が課題であり, 微粒子ピーニング技術が実用化されている<sup>8)</sup>。今後は, 油穴およびボール溝の高強度化やシーブ付け根の剛性アップによる軽量化や

シーブ面の摩擦係数向上が課題となる。

高強度化に関しては, 「適材適所」の考え方でコストアップを最小限にとどめる必要がある。例えば, 油穴部では, 破損の基点となる部位だけを高強度化することが有効であると考えられる。従って, 局所的に圧縮残留応力を付与する技術や表面改質技術あるいはこれらの組合せが課題となる。ここでは, できるだけ製造工程を増やさないことが望ましい。

また, 高剛性化に関しては, 最適な部品形状設計と併せて, コストの安い材料開発が課題である。

次に, シーブ面の摩擦抵抗向上に関しては, 駆動力の伝達ロス低減し, 直接的な燃費向上効果が期待できる。また, プーリが金属ベルトを挟み込む力を軽減できれば, 油圧系機器の小型軽量化も可能となる。このため, プーリ・シーブ面の微細形状を制御する技術の研究が進められている<sup>9)</sup>。

歯車やプーリ以外の部品では, 鉄板部品をアルミニウム鋳造品に置き換え, 軽量化を図る取組が進んでいる。この際, アルミニウム鋳造品の耐摩耗特性向上が求められる場合が多く, 今後は安価でかつ耐摩耗性の良好なアルミニウム材料や表面改質技術が課題となる。

さらに近年、民生品に適用が拡大しているマグネシウム合金をトランスミッションケースに採用する場合には、鋳造性改善など製造上の課題と共に、耐熱特性（クリープ特性や剛性）の向上や原価低減が重要な課題となる。

## 4. 2 快適な運転

滑らかな加速感を得るため、ATの多段化やCVTの適用拡大が今後さらに進んでいくと考えられる。CVTは、エンジン回転数との適切な制御により、一気に加速することも顧客に評価されており、また、マニュアルモードとの組合せにより、運転者の好みに合わせた運転ができるようになってきた。

一方、静粛性の向上を目的とする歯車の熱処理歪み低減は、従来からさまざまな革新的技術が導入されてきた。例えば、改良マルクエンチや熱処理歪みを見込んだシェーピング工具の補正、浸炭焼入れ焼き戻し後の歯面研削、ホーニングなどはこれにあたる。これらは、今後も引き続き重要な課題となる。

欧州では、焼き入れ時の歪みばらつき低減のため、真空浸炭後ガス冷却焼入れする技術の実用化が進んでいる。日本においても法規制が緩和されれば、これらの技術を実用化できる可能性があるが、今後は安価なガスの選定、ガス

の送入条件および荷姿を適正化することが課題となる。また、欧州ではソルト焼入れが見直され始めており、クローズタイプの完全循環方式をとることにより、環境への配慮がなされている。

さらに、熱処理歪み予測技術としては、熱処理解析シミュレーションの活用が可能となってきた。これまでに比べ、種々の基礎実験結果に基づく諸特性データベースが充実しつつあり、歯車などに適用した事例も紹介されるようになってきた<sup>10)~12)</sup>。今後はこれらを活用した適切な部品形状、焼入れ条件や荷姿の研究が進むと考えられる。

## 4. 3 生産リードタイムの短縮

自動変速機の「モノづくり」において、Fig.8に示すように浸炭熱処理は生産リードタイムが長く、受注確定生産を達成する上でのキーファクターとなっている<sup>13)</sup>。

### (1) 浸炭時間短縮

浸炭温度を上げれば浸炭時間が短縮できることは知られているが、ジャトロコでは連続ガス浸炭炉で1050℃浸炭を実用化し、CVTプーリの浸炭時間を従来の四分の一に短縮した<sup>14)</sup>。また高温浸炭においては、オーステナイト結晶粒の粗大化による強度特性の低下や熱処理歪み増加が問題となるため、Nb炭窒化物やAl窒化物を微細に分散

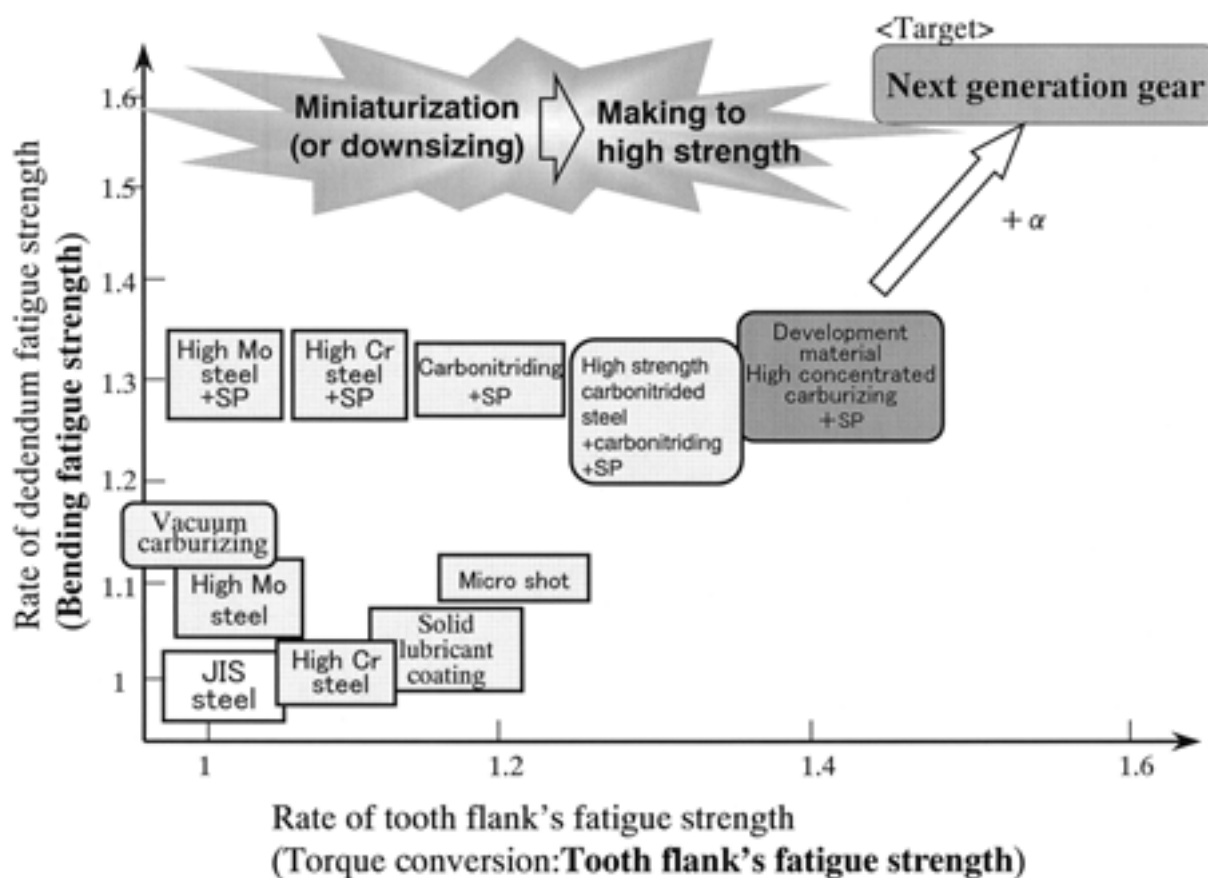


Fig.7. The target of high strength (gears).

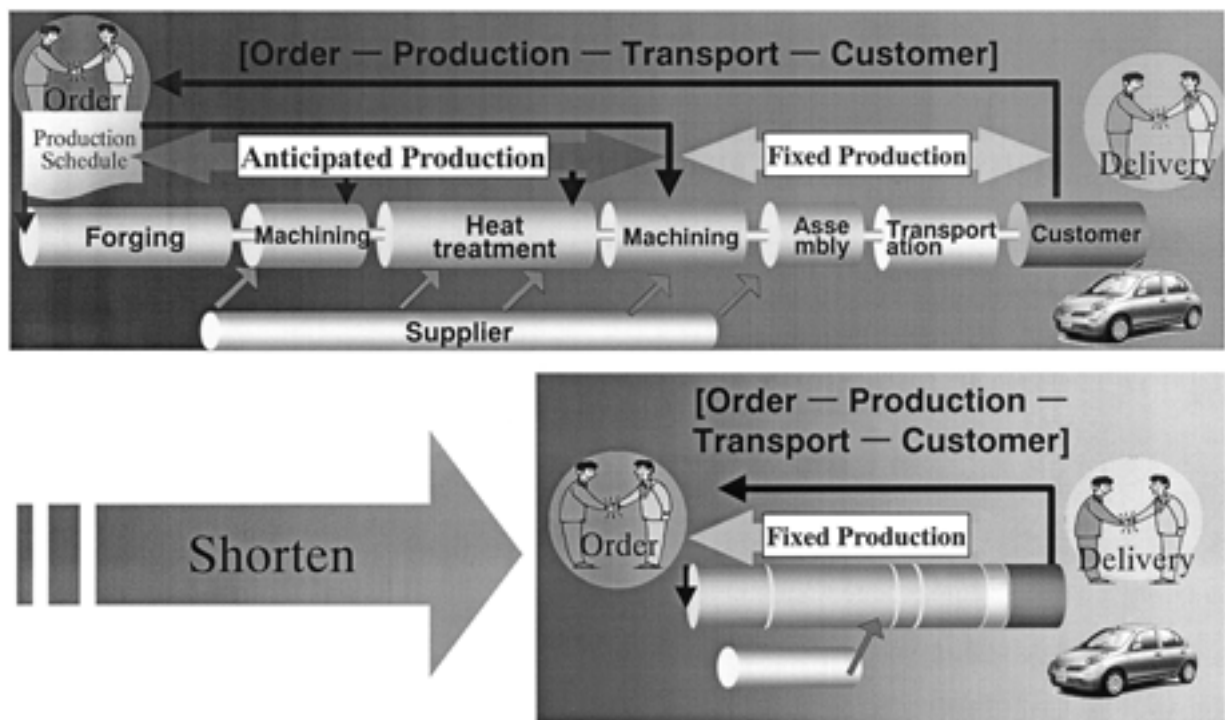


Fig.8. The aim of JATCO Excellent Production System.

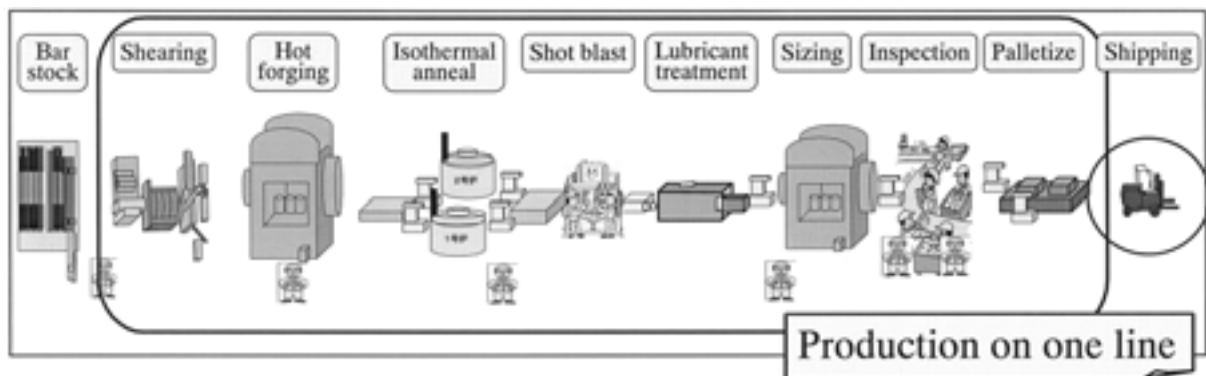


Fig.9. CVT pulley forging line.

させた材料を開発した。

さらに、浸炭時間短縮のために真空浸炭炉の導入も進んでいる。これは、真空に近い減圧状態で浸炭し、短時間で炭素を拡散するもので、高温浸炭を行えばさらに時間短縮が可能である。しかしながら現状では、熱処理炉内の雰囲気制御方法に課題が残っており、各社が試行錯誤しながら実用化を進めている状況にある。欧州では既に数多くの真空浸炭炉が導入されているため、日本でも今後の導入拡大が予測される。

## (2) インライン熱処理

将来的には、機械加工工程内での熱処理が望まれる。その候補として、従来から高周波焼入れが検討されている。高周波熱処理は周波数をうまく制御することにより歯型に沿った硬化層パターンができることは知られているが、浸炭熱処理歯車の強度には及ばない。採用にいたるまでには、結晶粒微細化技術などによる強度向上技術の開発が期待される。

## (3) 鍛造一貫生産ライン

一方、素形材の生産リードタイム短縮では、Fig.9 のよ

うに、プーリの鍛造工程で切断～材料加熱～鍛造～自熱焼鈍～ショットブラスト～潤滑～冷間サイジング～パレタイズと関連工程を一貫化したラインを導入している<sup>15)</sup>。この事例では、生産リードタイムを従来に対し90%近く短縮している。

## 5. 結 言

今まで述べてきたように、自動車用自動変速機は、いまだにさまざまな技術課題が山積しており、日本が今後グローバルな競争に勝ち抜くためには、従来の延長線上の技術だけでは立ち行かない。従って、既存技術の組合せによる新しい技術の創生や、自動車業界以外で活用されている技術の転用、さらには中小企業や研究機関で行われている独創的な研究開発テーマの中から将来性を見極める「目利き」の能力も問われる。また技術領域が拡大し、多様化が進む中では、社内での設計～生産部門の連携はもとより、会社間、業界間の連携の良し悪しも勝負を分けると考える。

加えて昨今のグローバル生産や調達の事情を考えると、どの地域や国でも使える技術が望まれる。特に、微量成分のコントロールが必要となる鋼材については、入手に制限が多いと思われる。これらも今後の課題である。

従来の技術開発のスタイルを見直し、今後とも日本の自動車業界が技術で世界をリードできるよう、各業界の活躍に期待したい。

### (文 献)

- 1) 黒川和司, 志谷有司, 上田和彦:自動車技術, **59**, (2005), 8, 105.
- 2) ホンダ公報資料「MDX」.
- 3) トヨタ公報資料「クラウン」.
- 4) ダイムラークライスラー公報資料「E, S, CL, SLクラス」.
- 5) 柴山尚士, 岡原博文, 落合辰夫:JATCO Technical Review, No.5, (2004), 14.
- 6) 菅野一彦, 三井田茂, 久村春芳, 御子柴美典, 川口明生, 横山 昇:自動車技術, **54**, (2000), 4, 55.
- 7) 矢ヶ部文哉, 神保嘉雄, 上野完治, 熊谷正夫, 高木眞一:トライボロジー会議予稿集 東京2005-11, 65.
- 8) 吉田誠, 池田篤史, 黒田正二郎, 武河史郎, 加地淳:JATCO Technical Review, No.5, (2004), 51.
- 9) 伊藤靖朗, 加藤芳章, 吉田誠, 木野伸郎:トライボロジー会議予稿集 鳥取2004-11, 20.
- 10) 杉本剛, 渡辺陽一:第60回日本熱処理技術協会講演大

会講演概要集, (2005), 3.

- 11) 谷口光一, 林達志, 上野完治:第60回日本熱処理技術協会講演大会講演概要集, (2005), 31.
- 12) K.Tanigichi, K.Ueno, T.Sato: abstracts of 2<sup>nd</sup> International Conference “heat treatment and surface engineering in automotive applications”, 48.
- 13) ジャトコ社内資料「JEPSージャトコ生産方式ー」, (2004), 7.
- 14) 藤原克哉, 伊達陽一郎, 有安健:三菱自動車テクニカルレビュー, No.13, (2001), 114.
- 15) 加藤直樹, 斎藤巖, 村上敏明:第56回塑性加工連合講演会予稿集, (2005), 135.