

## 自動車用等速ジョイントの変遷と最近の技術 History of CVJ Design for Automobiles and Recent Technology



池田 武\* Takeshi Ikeda

1963年NTNが日本で初めて等速ジョイント(BJ:ボールフィックストジョイント)を世に送り出してから約40年になる。その間の等速ジョイントのニーズの拡大、新しいジョイントの開発、性能の向上などの歴史を解説する。

Constant Velocity Joints (CVJ) are an essential part of front driveshafts in FWD vehicles. NTN first began production of CVJ in Japan for the Suzuki "Suzulight" in 1963. In 1965, NTN produced the world's first "DOJ" plunging joint. As FWD and 4WD vehicle popularity grew, the production of CVJ greatly increased. As the leading CVJ producer, NTN has made improvements to the original CVJ, supplying new, innovated CVJ to major automotive companies all over the world.

### 1. まえがき

等速ジョイント(Constant Velocity Joints, 以下CVJと記す)の原型であるツェッパジョイントは、1930年代にRzeppa(ツェッパ, ハンガリー)により考案された。日本では、前輪駆動車(FF)の登場に伴い、等速性を持つCVJが必須となり、1963年にNTNが初めてボールフィックストジョイント(BJ)を世に送り出した。これを契機に自動車や産業機械分野の技術革新に伴い、CVJの適用は拡大し続け、数々の改良や新タイプの開発も行われ、現在にいたっている。

特に、自動車分野では、前輪駆動車(FF)、四輪駆動車(4WD)、後輪独立懸架車(IRS)の増加に伴い、駆動軸(Halfshaft)や推進軸(Propeller Shaft)への採用が拡大し、国内では現在、乗用車のほぼ100%にCVJが適用されるまでにいたった(図1, 2参照)。

本稿では、日本の自動車産業の発達、技術革新の変遷と共に歩んできた自動車用CVJについて、その変遷と最近の技術を紹介する。

### 2. 設計の変遷； 自動車の駆動系システムの変遷と共に

乗用車の駆動方式は、図2に示すように、1960年代以降さまざまな発展を辿り、CVJはそれらの駆動方式の開発に大きく関与してきた。駆動方式の変遷と共に開発された主要なCVJを紹介する。

#### 2.1 FF車登場以前(～1960年)

FF車が登場するまでは、日本の自動車はほとんど後輪駆動車(FR)で、エンジンからの動力は、推進軸を通して後輪の駆動軸に伝達される構造であった。したがって、前輪にはエンジンからの動力は伝達され

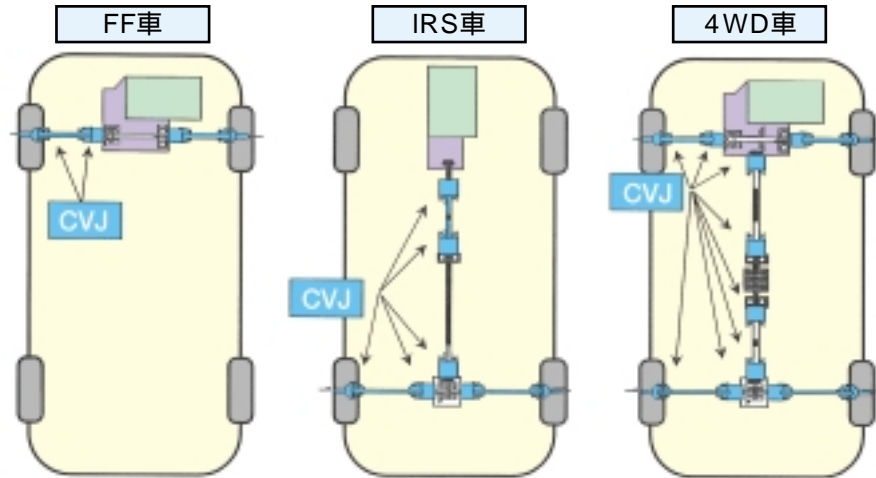


図1 CVJの使用箇所  
Use part of CVJ

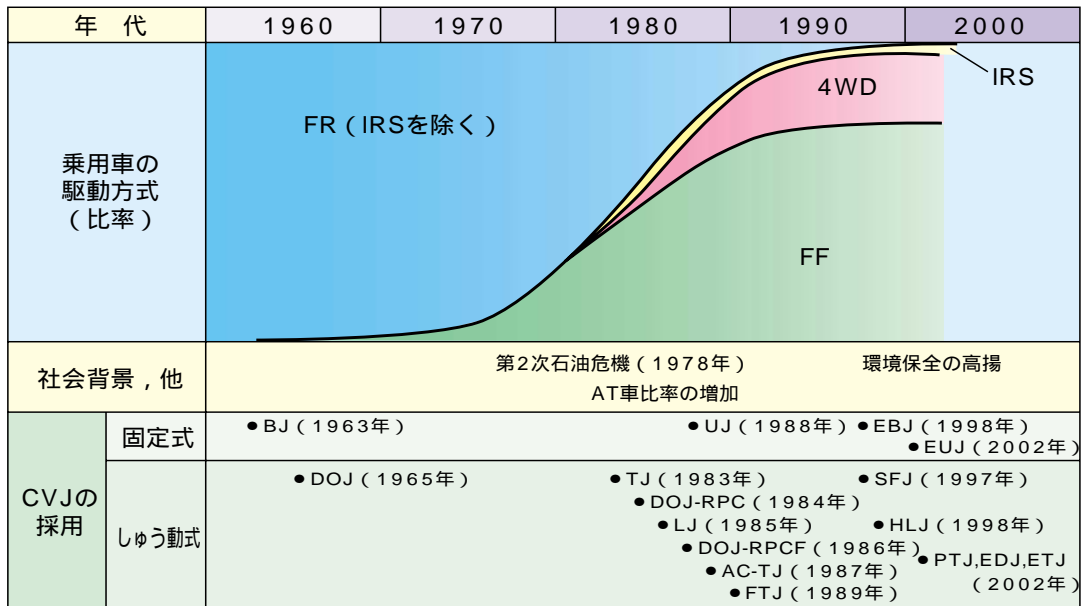


図2 乗用車の駆動方式とCVJの変遷  
Transition of drive system of a passenger car, and CVJ

ておらず、前輪はハンドル操作により転舵する機能のみを有するものであった。また、後輪軸も当時は、リジットアクスルと呼ばれる左右一体構造で後車輪は軸に直結されており、左右の後輪は独立した上下運動は行わない機構であった。このため、前、後輪共にCVJを必要とはしなかった。

## 2.2 FF車へのCVJ採用 (1960年代)

FF車、4WD車では、エンジンからの動力が前輪に伝達されるので、前輪軸は転舵と駆動の両機能を備えていなければならない。このため、エンジンからの回転力を等速でディファレンシャルギヤ 駆動軸 ホイールに伝えるCVJがホイール部分に必須となる。この

FF車、4WD車の歴史は、比較的によく1920年代半ばから1930年代にかけて4WD車を中心にトラック、軍用車、レースカーなどが登場してきた。CVJが開発される以前は、カルダンジョイント(十字軸継手)が用いられていたが、作動角が大きくなると入力軸と出力軸の間で回転変動が大きくなる不等速ジョイントであったため、走行時に振動、騒音が発生し、コーナリング時には不安定なハンドル操作を余儀なくされた。この対策として、トラクタ、ワイス、ダブルカルダンジョイントなど初期のCVJが開発され使用されていたが、トラクタ、ワイスジョイントは、性能・信頼性など不十分であった。これに対して、1956年にハーディスパイサー社(イギリス)で開発されたBJは、

性能・信頼性に優れており、操縦安定性も飛躍的に向上し、1959年のBMC社のオースチン・ミニを始め、欧州でFF車に採用されていった。信頼性の高いFF車開発の成功の鍵は、BJの貢献によるところが大きく、FF車の開発の歴史は、そのままCVJの開発の歴史でもあったといわれている。BJは角度は大きく採れるが軸方向にスライドしない固定式CVJである。日本においても、「居住性能」、「走行性能」などの面から、FF車が検討され始め、CVJのニーズが発生し、1963年にスズライト（スズキ）のホイール側にNTNのBJが初めて採用された。ただし、当時は軸方向にスライドするしゅう動式CVJが開発されていなかったため、作動角の小さなディファレンシャルギヤ側には、カルダンジョイントを用い、軸方向のしゅう動はシャフトにスライドスプラインを設けて吸収するという方式であった。

### 2.3 FF車市場の拡大（1965年～）

自動車メーカー各社で大衆車を中心に本格的にFF車の開発が行われ始めた。ここで、大きな課題となったのは、ディファレンシャル側のジョイントであった。上述のようなカルダンジョイントとスライドスプラインの組み合わせでは、作動角を小さく押さえないと振動が発生するため、FF車の開発の大きなネックとなっていた。この問題の解決策として、軸方向の伸縮を吸収し、かつ作動角をとっても滑らかに回転トルクを伝達することができる画期的なしゅう動式CVJである

ダブルオフセットジョイント（DOJ）がNTNで開発され、1965年にスバル1000（富士重工）に採用された。

このDOJの開発の成功により、ホイール側にBJ、ディファレンシャルギヤ側にDOJを適用し、シャフトで連結した現在の駆動軸の原型（図3参照）が完成し、国内各自動車メーカーのFF車の開発、発展に大きく貢献していくことになった。

### 2.4 IRS車へのCVJ採用（1976年～）

70年代に入り、自動車メーカー各社からFF車が市場投入されるようになり、1978年の第2次石油危機を契機にFF化の流れは、加速度的に拡大され、対象も大衆車から小型車へと広がりを見せてきた。一方、FR車でも乗り心地の改善のために、従来の後輪リジッドアクスルを左右に分割し、左右のホイールが独立して上下の動きを吸収できる独立懸架方式にしたIRS車が登場してきた。このIRS車の後輪軸は、トルクを伝達すると共に左右の独立した動きに対応するため、ホイール側、ディファレンシャルギヤ側双方にCVJが必要とされた。こうして、IRS車にも1976年にマークII（トヨタ）にBJ+DOJの組み合わせで初めてCVJが採用された。

後年になり、乗用車ではFF車、4WD車が増加し、FR車は一部の高級車、スポーツ車のみとなったが、これらのFR車は、すべてIRS車となっている。

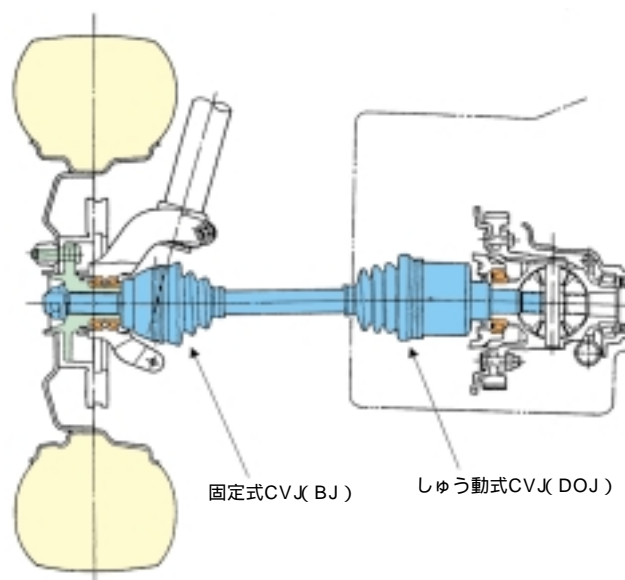


図3 前輪駆動軸  
Front wheel drive axle

## 2.5 AT(Automatic Transmission)車の拡大 (1980年代～)

MT車中心であった日本の乗用車も運転の簡便さからAT車の比率が増加していった。この中で、今まで万能であったBJ+DOJの駆動軸に新たな課題が持ち上がってきた。AT車がDレンジでブレーキを踏んで停車している時に発生するアイドリング振動である。この振動は、エンジンからの軸方向振動が駆動軸を伝わって、車体に伝達されるために発生するものである。この対策として、微小なエンジン振動を吸収可能なDOJ-RPCやDOJ-RPCFが開発され、実用化された。一方でまったく新しい構造のライド抵抗の低いしゅう動式CVJであるトリポードジョイント(TJ)が1983年に登場し、AT車を中心に採用されていった。

## 2.6 4WD車の拡大(1980年代～)

4WD車は上述のように、1920年代半ばから一部の軍用車などに用いられ、その後もジープなどに長く使われてきたが、これらの4WD車は、4WDと2WDの切替えを手動で行うものでパートタイム4WDと呼ばれ、特定の目的で使用されたり、マニアなどが乗る対象の限定されたオフロード車であった。

これに対して、1972年に登場したレオーネ4WD(富士重工)により、オンロード量産乗用車への4WD採用が始まった。1980年代半ばになるとパートタイム4WDは、スタイルも多様化され、車種も増加し、一般者向けの車として市街地でも見受けられるようになっていった。

一方、1980年に発表されたアウディ・クアットロは、運動性及び操縦安定性を増すために常時4WDとして前後輪のトルク負荷配分を走行状況により自動的に制御する方式でフルタイム4WDと呼ばれ、乗用車の新しい駆動方式として注目を浴びることになった。このフルタイム4WDもエンジン高性能化による駆動力の増加、走行安定性向上、イージードライブなどの点から各種の乗用車に設定されるようになっていった。

これらの4WD車では後輪独立懸架方式が採用されており、前後輪の4軸すべてにCVJが採用された。

また、これらの4WD車では、通常の2WD車に対し、音、振動源及びその伝達経路としての駆動系が増加し、自動車としての音、振動性能を向上させるための工夫が必要となった。この傾向は、乗用車タイプ、

特にフルタイム4WDで顕著になる。そこで、従来カルダンジョイントとスライドスプラインで構成されていた推進軸に、等速で回転しながら軸方向にスライドするしゅう動式CVJが使用されるようになっていった。推進軸は、駆動軸に比べ高速で回転するので、ジョイント内部のガタを押さえた回転バランスのよいクロスグループジョイント(LJ)が当初用いられた。その後、DOJ、TJも推進軸用として改良を加えられ、採用されていった。また、固定式のBJも推進軸用に改良され、採用が拡大している。これらの推進軸用CVJは、図1に示すように、車輛の仕様に合わせて、単独または2個以上の組み合わせで使用される。

また、LJは振動特性に優れており、一部の高級乗用車の駆動軸にも採用されている。

## 2.7 推進軸(プロペラシャフト)への採用拡大 (1980年代中頃～)

推進軸へのCVJの採用は、上述のようにフルタイム4WD車の発展と共に拡大されていったが、最近ではオフロード4WD車も振動に対する改善の動きが出てきており、一部の車種にはCVJが適用され始めた。

また、一部の高級車は、FRの駆動方式を踏襲したIRS車になっているが、これらの車両に対しても振動特性のさらなる改善を促進するために、推進軸にCVJが採用されるようになってきている。

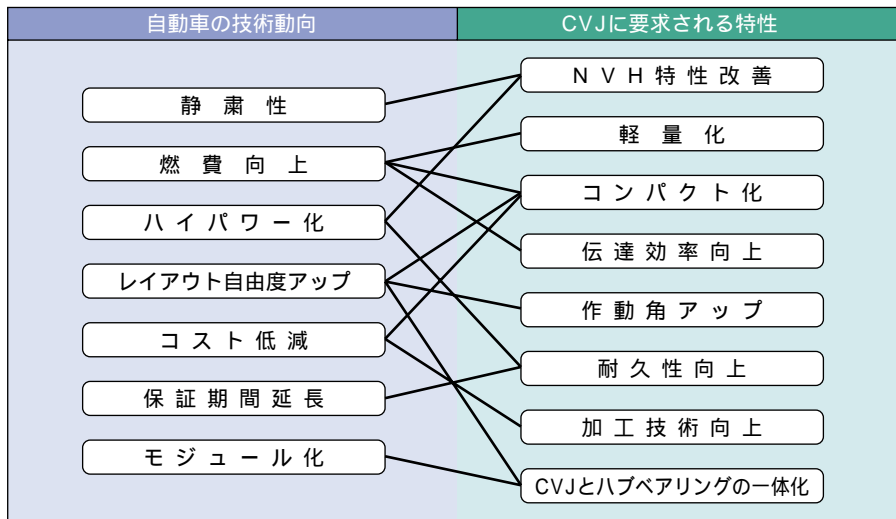
## 3. 設計の変遷； 自動車の発展及び自動車を取巻く 環境の変化に伴う新しいニーズへの対応

CVJの機能、品質は、自動車の性能に直接、間接的に影響を及ぼすため、自動車側の技術動向に対応し、CVJのいろいろな特性の改良が行われてきた。これらの自動車側の技術動向とCVJに要求される諸特性は、相互に関連しあっており、整理すると次ページの表1のようになる。

### 3.1 NVH特性の向上

自動車の軽量化、ハイパワー化、駆動系システムの複雑化などに伴い、自動車のNVH(Noise, Vibration, Harshness = 騒音, 振動, 乗り心地)は、顕在化し易くなっている。一方、快適性の追求などにより自動車の静粛性へのニーズは、一層高まっている。

表1 CVJの技術ニーズ  
Technical needs of CVJ



自動車のNVHは、自動車を構成するユニットや部品自身が起振源になる場合と部品同士が相互に影響し合い発生する場合があります。CVJが関係する代表的なNVHを表2に示す。

表2 CVJが関係する代表的なNVH  
Typical NVH related to CVJ

NVH名称	現象	発生原因
シャッター	発進、加速時の車体の揺れ	TJ誘起スラストとエンジンマウントの共振
アイドリング振動	AT車がDレンジで停止している時のフロア、ハンドルの振動	エンジンの振動が駆動軸で吸収されず、車体に伝達
ビート音	高速走行時に発生する周期的な音	4気筒エンジンの2次振動とDOJの6次誘起スラストが特定の車速域で共振

これらのNVHに対する特性の改善要求は、自動車の発展と共に時代を追って高まりを見せ、CVJにとっては、これに対応するための改良、新製品の開発競争の歴史であった。一例として、シャッター対策としてのTJ系CVJの発展の変遷を紹介する。(図4参照)

(1) TJ(1983年～); TJは、図5に示すように、作動角をとった状態で回転すると、ローラが外輪ローラ溝に対し傾くように回転移動を繰り返すため、ローラとローラ溝間で周期的に変動する滑りが発生する。この滑りに基づく摩擦力の外輪軸方向成分を誘起スラストと呼んでいる。TJでは、トリポードが3本のジャーナルをもつので、外輪1回転中に3山をもつ回転3次の誘起スラストとなって現れる。この誘起スラストは、トルクや作動角に比例して増加するので車によっては、発進や加速時にエンジンマウントの振動と共振し、シャッター(Shudder=横揺れ)を発生させることがある。

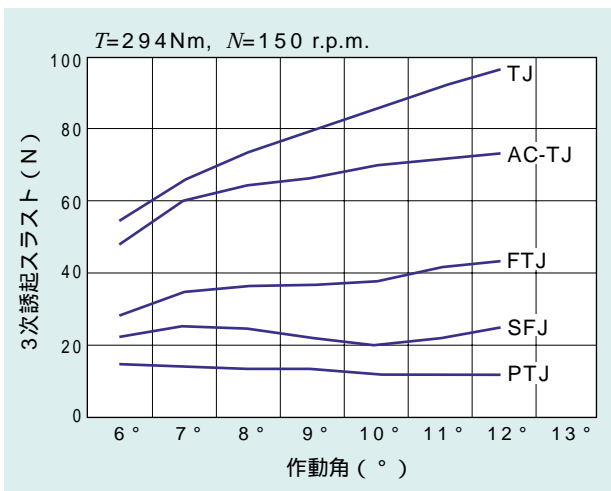


図4 作動角 誘起スラスト  
Working angle-Induced cyclic axial load

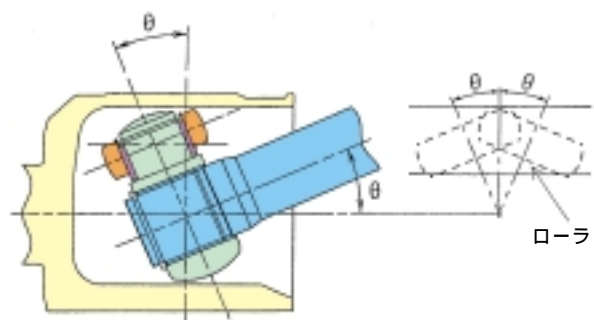
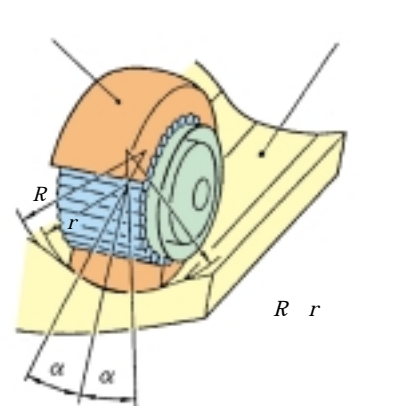
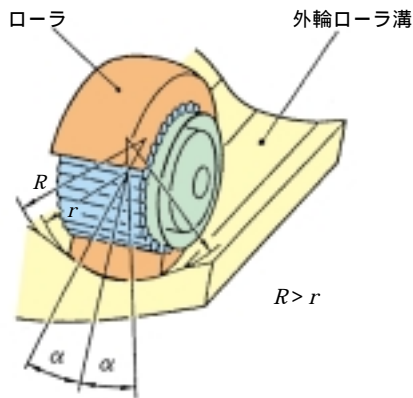
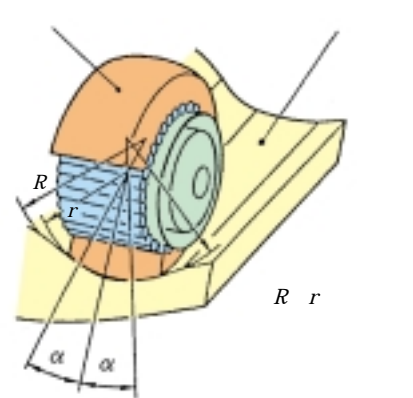
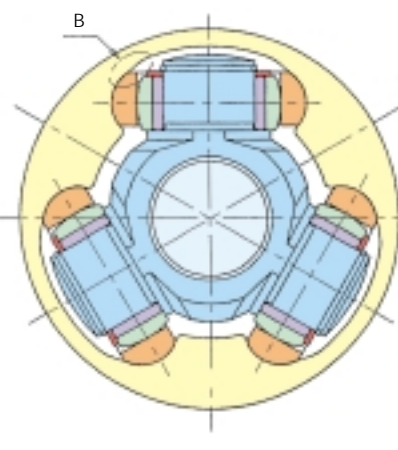


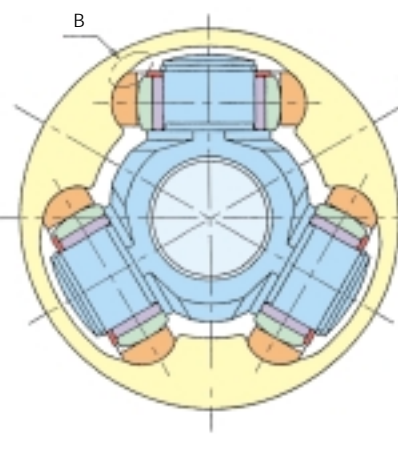
図5 TJ (作動角時)  
TJ (in working angle)

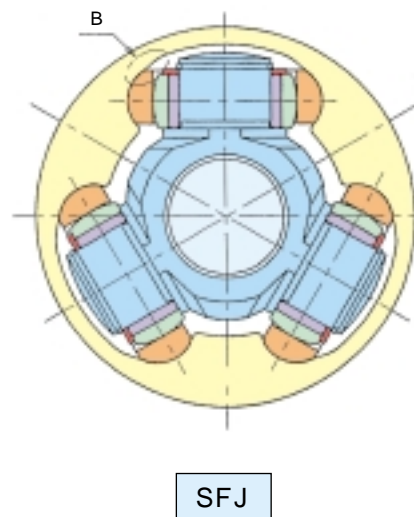
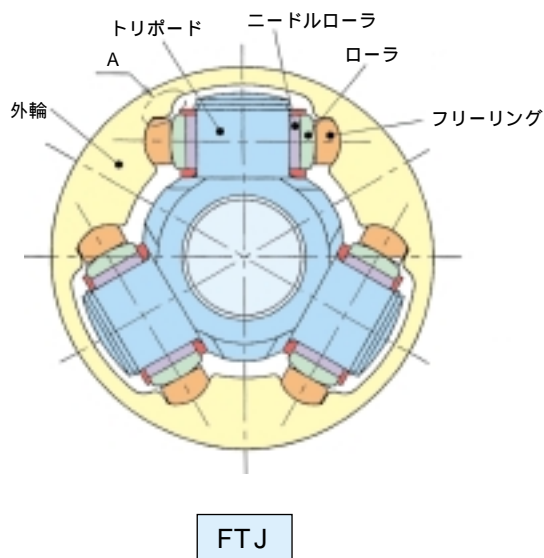
(2) AC-TJ (1987年～); 誘起スラスト低減対策として、に示すように、外輪ローラ溝断面をゴシック形状とし、ローラと角度  $\alpha$  でアンギュラコンタクトになるように形状改良を行い、ローラと外輪ローラ溝の接触状況を改善し、さらにウレア系の低摩擦グリースを適用することで誘起スラストの低減を図った。



 図6 AC-TJ (外輪ローラ溝とローラ部)  
AC-TJ (track grooves of outer race cup and rollers)

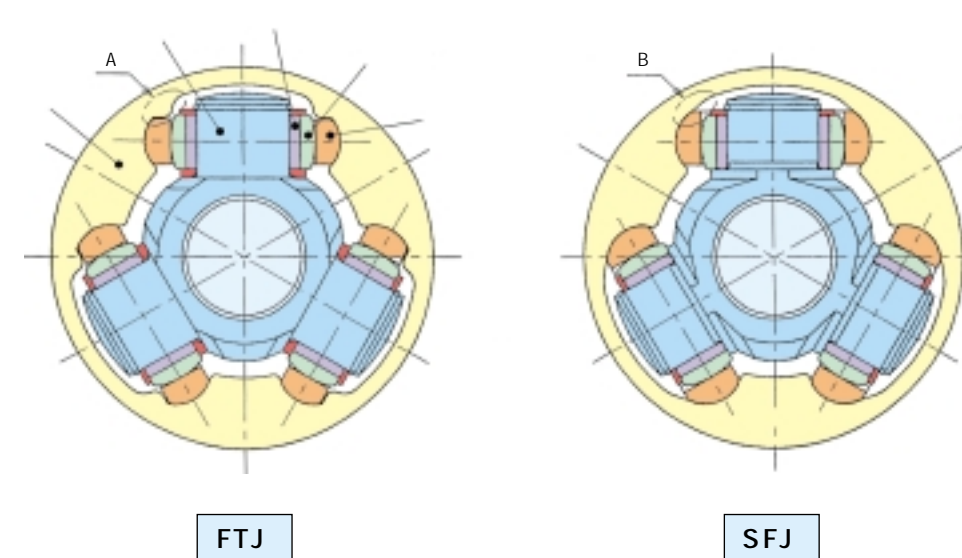
(3) FTJ (1989年～); 誘起スラストの発生を構造的に抑制するために、に示すように、ローラと外輪の間にもう一つのローラ (フリーリング) を設けた。この構造により、角度をとった状態でも、フリーリングは外輪ローラ溝に対して傾くことなく、常に一定姿勢を保ち、外輪ローラ溝上を転がるため、誘起スラストの発生が大幅に低減された。

(4) SFJ (1997年～); FTJの改良型でに示すように、外輪ローラ溝のつば部を廃止するなどの内部設計の見直しを行い、作動角が大きくなって誘起スラストを低く安定した状態に維持することができた。



主な改良ポイント

1. 外輪つば (A) 削除
2. フリーリング非対称化 (B)

 図7 FTJ, SFJ  
Construction of FTJ, SFJ

(5) PTJ(2002年~);さらなる低振動化ニーズに対応するために、開発された新ジョイントで図8に示すように、トリボートの3本のジャーナル断面は変則楕円形状で、それぞれに首振り自在なローラカセットが組込まれ、ローラカセットは外輪の3本のローラ溝に納まる。

作動角をとってもローラカセットが首振り自在で、かつ外輪のローラ溝上を一定の姿勢を保ち、滑らかに転がるため、作動角に依存せず、誘起スラストを常に低く安定して維持することができる(詳細は本誌「低振動等速ジョイント(PTJ)」参照)。

### 3.2 固定式CVJの高角化

ディファレンシャルギヤ中心とホイール中心は車の上下方向に段差があるため、ホイール側、ディファレンシャルギヤ側のCVJは、初めから角度(常用角度)をもっており、ホイール側では転舵によって生ずる角度との合成角度がそのCVJの作動角になる。BJの最大作動角度は、当初は42.5度であったが、次の理由により高角化の要求が発生していった。

(a) 自動車の旋回半径は、ホイール側CVJの最大作動角度によって決まる。CVJが大きな車にも使用されてくるとホイールベースも大きくなるため、旋回半径が大きくなる。この旋回半径の増加を抑えるために高角度のCVJを必要とした。

(b) 比較的、車高の高い4WD車や車輪幅の狭い軽自動車の中には、前述の常用角度の高い車があり、

必要な旋回半径を確保するには、高角度のCVJを必要とした。

固定式CVJの作動角度の変遷は次の通りである。

- (1) 42.5度(1963年~, BJ); スズライト, 他
- (2) 44.5度(1980年~, BJ); ファミリア(マツダ), パルサー(日産), 他
- (3) 46.5度(1982年~, BJ); パルサー(日産), 他
- (4) 50度(1988年~, UJ); レガシー(富士重), 他

固定式CVJの高角化は、BJでは設計的に約47度がほぼ限界であり、50度設計用としてアンダーカットフリージョイント(UJ)が開発された。UJは、BJと同様な部品で構成されているが、図9に示すように、外輪、内輪のボール溝の一部をストレート形状に設定することにより、作動角を大きくとってもボールがボール溝から脱落しにくい設計を採り、高角化を実現した。

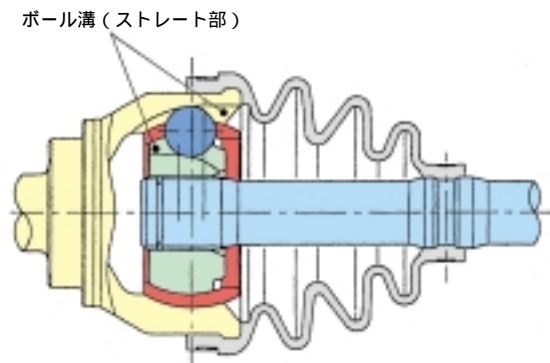


図9 UJ  
Construction of UJ

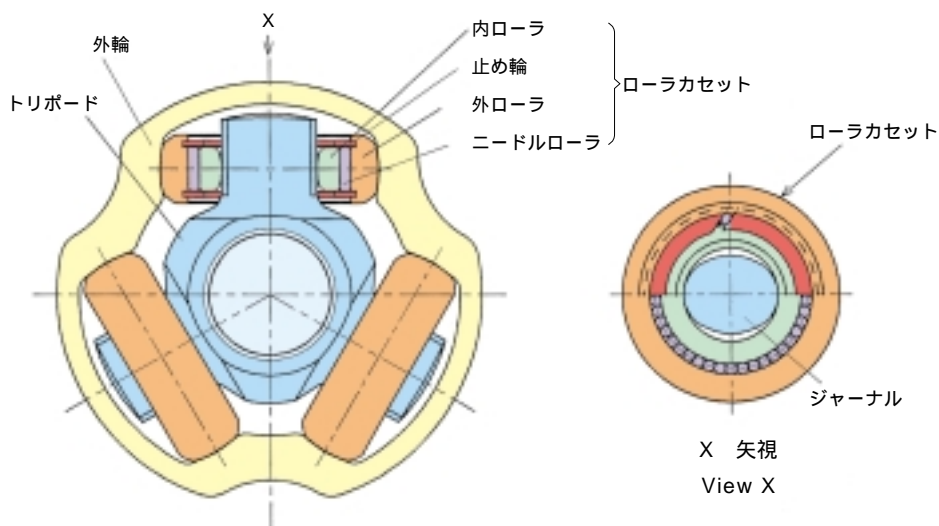


図8 PTJ  
Construction of PTJ

また、ディファレンシャルギヤ側のCVJも上述(b)のように常用角度のアップや車両のバンプ、リバウンド時の瞬間的な作動角の変動に対応するために、高角化が求められるようになった。このため、DOJの最大作動角度は、当初の23度から25度になり、一部の車種には30.5度設計も採用されている。

### 3.3 軽量・コンパクト化

CVJの軽量化及びコンパクト化は、環境問題対応、経済性、自動車設計の自由度(部品レイアウト、ばね下荷重の低減)向上、ダウンサイジングによるコスト低減などから求められてきた。当初は、既存CVJのサイズ細分化及び後述の長寿命グリース、高強度シャフトの適用によるCVJの1サイズダウンで対応してきた。しかしながら、1990年代後半からは、環境保全に対する社会的な要請が急激な高まりを見せ、CVJにも軽量・コンパクト・高効率さがさらに強く求められるようになってきた。

このため、従来のCVJシリーズに対し、大幅な軽

量化を実現するために、FEMやデジタル設計を駆使しての内部設計の見直しにより、コンパクト化を追求した。併せて、実車走行状態を調査し、評価スペックをより実態に即した現実的な条件として、オーバークオリティになることのない総合的なバランスをとった最適設計品を開発した。

一例として、BJをコンパクト化したEBJの概要を紹介する。EBJは、BJに対し、使用するボールサイズを小さくして数を8個に増やし、FEM解析などを駆使して従来タイプと同様な負荷容量を維持しながら、軽量・コンパクト化を図った。EBJは、従来のBJに比べ、重量;15%削減、外径;7%削減、伝達効率;30%向上を実現している。本EBJは、1998年にカルタスクレセントワゴン(スズキ)に採用されている。

図10にBJ87をベースにした軽量・コンパクト化の流れを示す。BJ87は、長寿命グリース、高強度シャフトの適用によりBJ82にサイズダウンされ、さらにEBJ化により2サイズ相当のコンパクト化が図られている。

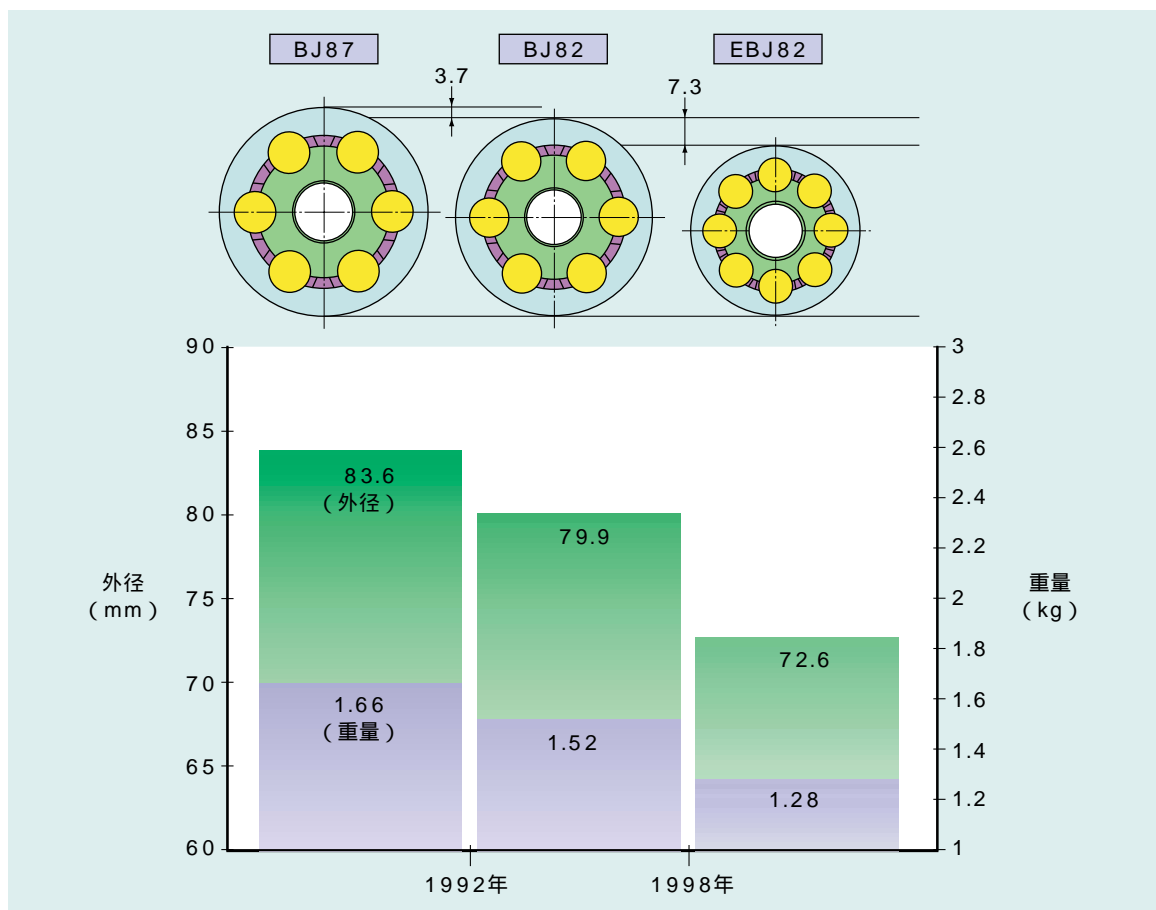


図10 固定式・CVJの外径、重量の変遷(初期87サイズの1例)  
Transition of outer diameter and weight of fixed-type CVJ (an example of initial 87 size)



駆動軸用のコンパクトシリーズとしては、他に EUJ(ベースUJ), EDJ(同DOJ), ETJ(同TJ)が開発されている(詳細は本誌「高効率等速ジョイントEシリーズ」参照)。

推進軸用専用のコンパクトシリーズとしては、HLJ(ベースLJ), EBJ, EDJが開発されている。

また、開発を完了し、実用化を進めている新しい製品にハブベアリングとCVJを一体化した4世代ハブジョイントがあり後述する(本誌「4世代ハブジョイント」参照)。

### 3.4 強度・耐久性の向上

CVJの強度、耐久性の向上は、ダウンサイジングの手法としても継続的に要求される課題であり、以下のような対策を行ってきた。

(1) 鋼材；外輪，内輪，ケージはSCr，SCMなどの浸炭材が用いられ，浸炭熱処理が施され，シャフトは，中炭素鋼材を高周波焼入れしていた。これに対して，外輪強度を増すために，高炭素鋼を用いて高周波焼入れをする方法を開発し，ほとんどの外輪に適用した(1981年～)。高周波焼入れの採用により，全体の焼入れ深さを深くすることや最弱部に対して深さを管理することが可能となり，強度向上が図れた。シャフトに対しては，ボロン鋼を適用した高強度シャフトが開発(1992年)され，CVJの1サイズ相当分の強度向上が図れた。

また，前述のコンパクトシリーズCVJの開発に当たっては，内輪やケージの強度を確保するために，高強度鋼が使われている。

(2) 内部設計，精度；CVJの強度，寿命は，CVJ内部の部品精度，隙間の影響を大きく受ける。例えば，形状が崩れていれば，局部的に大きな荷重を受け，破損や短寿命に繋がることもある。内部精度の見直しは，加工技術の向上と一体のものであり，継続的な改善作業により，強度，寿命向上を推進していった。

(3) グリース；当初は，二硫化モリブデン入りのリチウムグリースが主流であったが，最近では性能向上を図るために各種添加剤を含有したウレア系

グリースが主流となっている。グリースに要求される課題は，「長寿命化」と「低振動化(スライド抵抗，誘起スラスト，他の削減)」である。自動車の高性能化に伴い使用条件が厳しくなる中で，長寿命化対策として，耐久性・耐熱性を向上させるために，耐熱性に優れたウレア系増調剤を用い，有機モリブデンなど各種添加剤を添加することにより，従来のグリースに対して1.5倍以上の長寿命を得るにいたった。

(4) ブーツ；CVJブーツは，常に外気に晒され，外傷も受け易く，また，作動角をとって回転することにより，繰返しの引張り圧縮疲労を受けるなど厳しい条件の下で使用されている。従来は，このブーツ材料としてクロロブレンゴム(CR)が主に使われてきたが，CRは大気中のオゾンの影響を受け易く，長期間使用すると作動角の大きい固定式CVJブーツは，谷部に繰返しの引張り，圧縮応力が加わってブーツ寿命に影響することがある。このブーツの耐久性向上のために，オゾンの影響を受けない樹脂材料の熱可塑性ポリエステル系エラストマー“TPEE”に切り替わりつつある。樹脂ブーツの採用により，ブーツ寿命は飛躍的に延びることになった。樹脂ブーツは，国内では固定式CVJ側への採用がほとんどであるが，欧米では固定式，しゅう動式の両側に採用が広まっている。

### 3.5 環境

環境保全に対する社会的な要請が90年代後半から急激な高まりを見せ“環境に優しい車”の開発が求められている。CVJも環境対策として次のような項目に取り組んでいる。

- (1) 軽量化；コンパクトCVJの開発(製品の省資源化，燃費向上)
- (2) 製品の長寿命化；強度，耐久性の向上(廃棄物廃棄量の抑制)
- (3) 高効率化；伝達効率の向上(燃費向上)
- (4) 環境負荷物質の非含有；欧州ELV指令などへの対応(グリースの鉛廃止，6価クロム含有メッキの廃止，他)

#### 4. まとめ

およそ40年前に、当時としては特殊な駆動方式であるFF車を成立させるために開発されたCVJが現在では、ほとんどの乗用車に適用され、私達の快適なドライブ走行に寄与している。入力軸と出力軸がどのような角度をとって回転しても、常に滑らかにトルク伝達を行うという基本コンセプトは変わっていないが、今後も自動車の発展と共に、CVJもさらに進化を続けていくことになるであろう。そのキーポイントは、環境保全の観点からのさらなる“軽量・コンパクト化”と快適性追求のための“低振動化”と考えられる。

#### 執筆者近影

---



池田 武  
自動車商品本部  
等速ジョイント技術部