

等速ジョイントの歴史 History of Constant Velocity Joints

高部 真一* Shinichi TAKABE



NTNが日本で初めて等速ジョイント（Constant Velocity Joints, 以下CVJと記す）の量産を開始したのは1963年である。NTNは自動車産業の変化に対応してCVJの開発に取り組み、CVJはNTNの基盤商品へと成長した。本稿では、NTN創業100周年を記念して、CVJの歴史を振り返る。

In 1963, Constant Velocity Joints (CVJ) have been started production by NTN for the first time in Japan. NTN responded to changes in the automobile industry and worked on the development of CVJ. And CVJ has grown to be the foundation product of NTN. In this article, to celebrate the 100th Anniversary of NTN, I look back on the history of CVJ.

1. はじめに

CVJは、入力軸と出力軸が任意の角度（作動角）で回転する際に、回転変動がなくなめらかに動力を伝達する継手の総称である。現在は当然のごとく自動車や産業機械の駆動部品に使用されているが、前輪駆動車（FF車）での必要性から誕生し、自動車や産業機械の進歩と共に進化した。

CVJの原型であるツェッパジョイントが1930年

代にRzeppa（ツェッパ、ハンガリー）により考案され、その後、1959年にバーフィールドジョイントが欧州の自動車に採用され、FF車の歴史が大きく動き始めた。

日本では、1963年にNTNが初めてCVJの製造を開始した。それから半世紀以上が経過し、今では多くの海外拠点で製造するに至り、累計で7億2千万本（2017年6月時点の自動車用CVJ）を世界中に届けている（図1参照）。

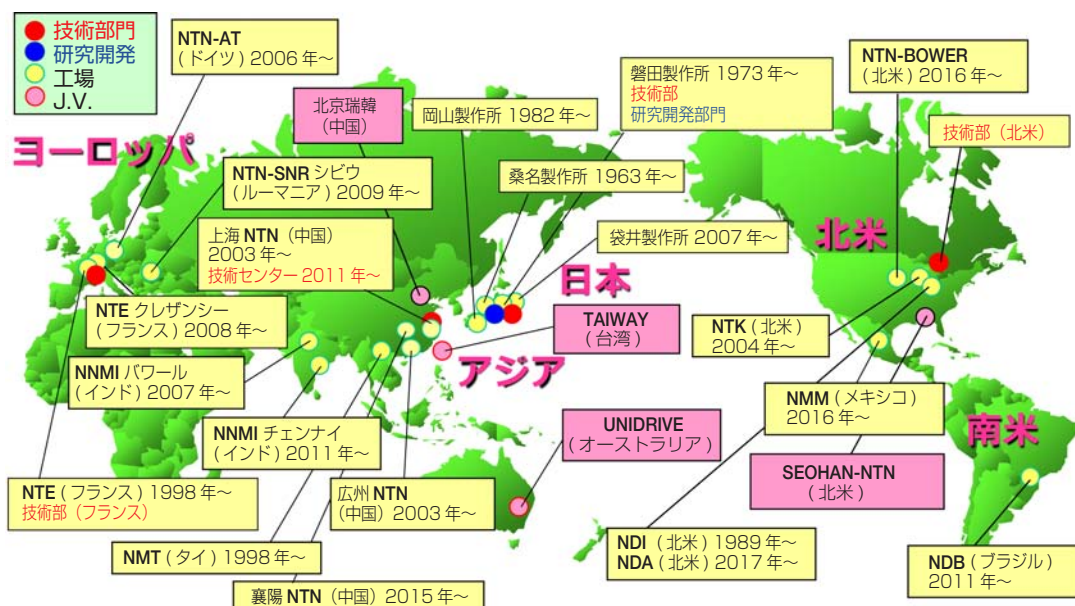


図1 CVJの生産・技術拠点
Manufacturing & engineering location of CVJ

*自動車事業本部 ドライブシャフト技術部

2. 車両変遷とCVJの歴史

自動車の駆動方式は時代と共に変化し、この変遷にNTNのCVJは少なからず貢献してきた。車両変遷を交えてCVJの歴史を振り返る(表1参照)。

2.1 CVJの発明以前(～1960年)

今ではFF車が大半を占めるが、1960年以前は、ほとんどが後輪駆動車(FR車)であった。FR車のエンジン動力は推進軸(プロペラシャフト)を介して後輪に伝達されるが、当時、左右の後輪は軸と一体に直結され、独立した上下動ができない構造(リジッドアクスル)であり、CVJは必要なかった。一方、前輪は、ハンドル操作による転舵のみでエンジン動力を伝達しなかったため、同様にニーズがなかった。

2.2 CVJの登場(1960年代初頭)

CVJの開発以前は、FF車や4輪駆動車(4WD車)の前輪の駆動軸(ドライブシャフト)にクロスジョイント(カルダンジョイント)が使われた。しかし、不等速で、作動角が大きくなると走行時に振動や騒音が発生し、コーナリング時の操縦安定性が悪かった。この対策にトラクタジョイントやワイスジョイント、ダブルカルダンジョイントなどが開発されたが、前輪の駆動軸としての性能は十分でなかった。

その後、1956年にイギリスのハーディスパイサー社がバーフィールドジョイントを開発し、1959年にBMC社のオースチン・ミニを始め、欧州のFF車に採

用された。それまでのジョイントに比べて騒音や振動が少なく、操縦安定性が飛躍的に向上した。

日本でもFF車が脚光を浴び始め、1963年にスズキ・スズライトにNTNのボールフィクストジョイント(BJ)が日本で初めて採用された。

当時は、軸方向にスライドするしゅう動式CVJがなく、車輪側にBJを用い、作動角が小さいディファレンシャルギヤ側(デフ側)にはクロスジョイントを用いて、軸方向のしゅう動はシャフトに設けたスライドスプラインで吸収する方式であった。

2.3 FF車の市場拡大(1965年～)

NTNは、クロスジョイントとスライドスプラインの組み合わせで発生する振動を解決するため、軸方向にしゅう動可能なダブルオフセットジョイント(DOJ)を開発し、1965年にBJ+DOJの駆動軸が富士重工(現株)SUBARU)のスパル1000で初めて採用された。この構造は現在も使用される駆動軸の原型となっている(図2参照)。

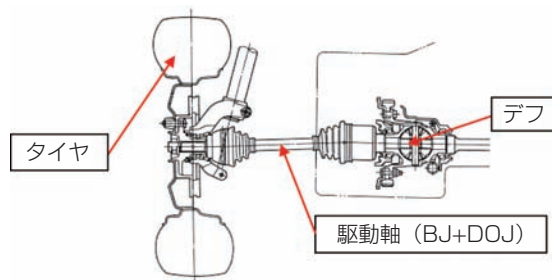


図2 駆動軸の構造
Structure of driveshaft

表1 NTNのCVJ歴史年表
History of NTN CVJ

年代		1960	1970	1980	1990	2000	2010
市場・自動車の動向		●国産FF車登場	●第一次オイルショック ●第二次オイルショック ●FF車ブーム	●日系自動車メーカーの海外生産拡大 ●AT車比率の増加 ●4WD車の拡大		●新興国市場の拡大 ●燃費規制の強化 ●HV, EVの登場	
駆動軸	固定式	●BJ(1963年)		●LJ(1988年)	●EBJ(1998年)	●VBJ(2010年)	●VUJ(2012年) ●CFJ(2012年) ●REBJ(2015年)
	しゅう動式	●DOJ(1965年)		●TJ(1983年) ●DOJ-RPC(1984年) ●AC-TJ(1987年) ●FTJ(1989年)	●SFJ(1997年) ●PTJ(2002年) ●DOJ-RPCF(1986年) ●EDJ(2002年) ●ETJ(2002年) ●EPTJ(2005年)		●REDJ(2015年)
推進軸	固定式					●HEBJ(2005年)	
	しゅう動式			●LJ(1985年) ●DOJ-RPCF(1987年) ●AC-TJ(1991年)	●HLJ(1997年) ●HEDJ(2005年)	●HETJ(2006年)	

1970年代には自動車各社がFF車を市場投入し、1978年の第2次石油危機を契機にFF化の流れが加速した。そして、1980年代にはFF車の普及に伴って静粛化ニーズが高まり、CVJの改良によりFF化の対象は小型車へと広がり、CVJの使用が拡大していった。

2.4 IRS車の台頭（1976年～）

FR車は、乗り心地改善のためにリジッドアクスルから独立懸架方式(IRS: Independent Rear Suspension)に変化し始めた。IRSは左右の後輪が独立して上下動するため、駆動軸にCVJが必要となり、1976年にトヨタ・マークIIでBJ+DOJがIRS車で初めて採用された。その後、IRS仕様のFR車の推進軸にも、振動性能の改善を狙ったCVJの適用が増加した。

2.5 4WD車の普及（1980年代～）

4WDは、当初、オフロード車に限定されていたが、1972年の富士重工（現(株)SUBARU）のレオネ4WDや1980年代の欧州メーカーによるフルタイム4WD車の登場以降はオンロード車にも採用され始め、1980年代半ばに4WD車が広まった。4WD車の後輪にはIRSが採用され、前後輪の4輪すべてにCVJを用いた駆動軸が必要となった。

オンロード車への4WDの普及に伴い、4WD車の騒音、振動性能の向上が求められ、推進軸のクロスジョイントとスライドスプラインに代わってしゅう動式CVJが採用されるようになった。

推進軸は、駆動軸より高速回転するため、ガタが少なく回転バランスに優れたクロスグループジョイント(LJ)が適用された。その後、微振動を吸収できるDOJやしゅう動抵抗が小さくて発熱が少ないTJ、そしてクロスジョイントより高角で使用できる固定式CVJのBJが推進軸用に改良して採用された。

オンロード4WD車の推進軸へのCVJ適用が拡大し、次第にオフロード4WD車へも波及した。

3. CVJ技術の変遷

CVJは、自動車の性能に大きく影響するため、NTNは、CVJの改良を通じ、自動車の性能向上に貢献してきた。

1980年頃、日本の自動車はマニュアルトランスミッション(MT)に代わってオートマチックトランスミッション(AT)が増加する時代を迎えた。AT車は、

Dレンジでブレーキを踏んで停車している際に、エンジンの軸方向振動が駆動軸から車体に伝わって、アイドリング振動を発生した。NTNは微小なエンジン振動を吸収できるDOJ-RPC、DOJ-RPCFを開発し、この課題を解決した。また、しゅう動抵抗が小さい新構造のしゅう動式CVJ「トリポードジョイント(TJ)」を1983年に量産し、AT車を中心にTJの採用が広がった。

現在では、AT車のほとんどにTJタイプのCVJが採用されている。

3.1 しゅう動式CVJの低振動化（1983年～）

自動車の快適性や静粛性の要求は、自動車の進歩に合わせて高度化した。自動車のNVH(Noise, Vibration, Harshness=騒音, 振動, 乗り心地)の一例として、TJのシャダー(Shudder=横揺れ)対策の歴史を記す。

(1) TJ (1983年～)

TJは、角度を取って回転すると、ローラと外輪のローラ溝間で周期的に変動するすべりが発生し、これに起因する外輪軸方向の力(誘起スラスト)が発生する。この誘起スラストが発進時や加速時にエンジンマウンツの振動と共振してシャダーを発生させることがある。

(2) AC-TJ (1987年～)

外輪のローラ溝断面をゴシック形状にしてローラと角度を持ってアンギュラコンタクトする構造とし、低μウレアグリスと組み合わせて誘起スラストを低減した(図3参照)。

(3) FTJ (1989年～)

ローラの外側にもう一つのローラ(フリーリング)を設け、フリーリングが外輪のローラ溝に対して常に一定の姿勢を保つ構造とし、誘起スラストを大幅に低減した(図4参照)。

(4) SFJ (1997年～)

FTJのフリーリング端面が外輪のローラ溝の鏝部に強く当たって誘起スラストが増大することを防止するため、外輪のローラ溝の鏝部がない構造にした(図5参照)。

(5) PTJ (2002年～)

トリポードのジャーナル断面を変則楕円形状とし、そこに首振り自在なローラカセットを組み込んで、外輪のローラ溝に収める構造とした。大きな作動角を取ってもローラカセットは外輪のローラ溝上を一定の姿勢を保ってなめらかに転がるため、作動角に依存せず誘起スラストを常に低く維持できる(図6参照)。



図3 AC-TJの構造
Structure of AC-TJ

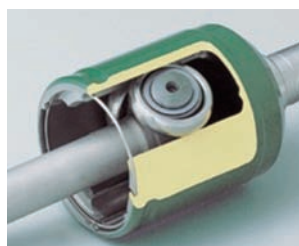


図4 FTJの構造
Structure of FTJ

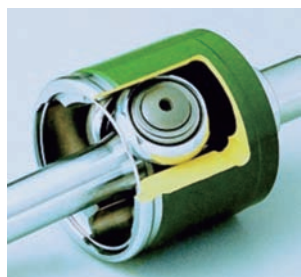


図5 SFJの構造
Structure of SFJ



図6 PTJの構造
Structure of PTJ

表2 固定式CVJの最大作動角の変遷
Transition of max. angle of fixed CVJ

最大作動角	量産開始時期	CVJタイプ
42.5度	1963年～	BJ
44.5度	1980年～	BJ
46.5度	1982年～	BJ
47度	1998年～	EBJ
50度	1988年～	UJ
50度	2012年～	VUJ



図7 BJの構造
Structure of BJ

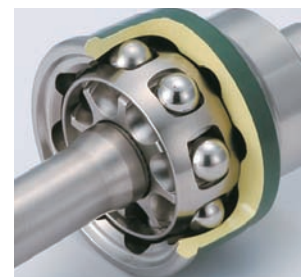


図8 EBJの構造
Structure of EBJ



図9 UJの構造
Structure of UJ



図10 VUJの構造
Structure of VUJ

3.2 高作動角化

(1) 固定式CVJ (1980年～)

デフ中心と車輪の中心は自動車の上下前後方向の位置に差があるため、車輪側とデフ側のCVJは、初期状態で角度(常用角)を取る。そして、車輪側のCVJは転舵で生じる角度との合成角度がCVJの作動角となる。自動車の旋回半径はCVJの最大作動角で決まり、自動車のロングホイールベース化や常用角の高角化による旋回半径の増大を抑えるため、CVJの高作動角化が求められる。

当初は42.5度であったBJの最大作動角は46.5度まで高角化され、さらに50度を取ることが出来るアンダーカットフリージョイント(UJ)を開発し、1988年に富士重工(現株)SUBARU)のレガシーに採用された。UJは、BJと同様の部品構成で、外輪、内輪のボール溝の一端をストレート形状とし高角化を図っている。

なお、現在は、BJはEBJ(最大作動角:47度)に、UJはVUJ(最大作動角:50度)にそれぞれ内部設計が進化している(表2、図7～図10参照)。

(2) しゅう動式CVJ (1984年～)

デフ側のCVJも常用角アップや車両のバンプ、リバウンド時の作動角変動に対応するため高角化が求められる。当初23度であったDOJの最大作動角は25度に高角化し、さらに30.5度設計品も量産した。

3.3 軽量・コンパクト化

(1) 第一期 (1981年～)

車両スペックに適合するよう、CVJの呼称サイズを細かくシリーズ化した。

また、外輪は、浸炭鋼から中炭素鋼を用いて高周波焼入れする製造方法に変更して強度を向上させ、より小さいサイズの選定を可能とした。

(2) 第二期 (1992年～)

中炭素ポロン鋼の高強度シャフトと長寿命ウレアグリンスを開発し、第一期より1サイズ小さなCVJの選定を可能とした。

(3) 第三期 (1998年～)

BJと同等の負荷容量を維持して軽量・コンパクト化を図るため、ボールサイズを小さくしてボール数を6個から8個に増やしたEBJを開発し、1998年にスズキ・カルタスクレセントワゴンに採用された。

また、しゅう動式CVJも、ボール数が8個のEDJや

内部設計を刷新したETJを開発した。また、PTJをコンパクト化したEPTJも量産した。

一方、推進軸は、LJを推進軸用に軽量・コンパクト化、かつ、しゅう動量を拡大したHLJを開発し、EBJ、EDJ、ETJを推進軸用に改良したHEBJ、HEDJ、HETJを開発した。

3.4 グリースとCVJブーツ

当初は二硫化モリブデン入りのリチウム石鹼グリースを使用していたが、1980年代からウレアグリースに着目し、CVJの「耐久性」「低振動」「高効率」「低発熱」などの性能向上を図った。有機モリブデン等を配合した高性能なウレアグリースを開発し、現在はウレアグリースを主に使用している。

一方、CVJブーツは、クロロプレンゴム (CR) を使用していたが、外傷や材料劣化による疲労での破損が多かった。材料改良や設計改良を行ったが、前輪の固定式CVJでの使用には十分でなかった。

1985年頃、熱可塑性ポリエステル系エラストマー製ブーツ (樹脂ブーツ) を開発し、ブーツ寿命は飛躍的に伸びた。今では固定式CVJのほぼすべてに樹脂ブーツが採用され、しゅう動式CVJにも適用が広がっている。

3.5 CVJの高機能化 (2010年～)

高機能化を図ったCVJについて説明する。

(1) 固定式CVJ [VUJ]

グローバルでのSUV人気の高まりから、最大作動角が大きいUJの要求が高まった。そこで、UJを軽量・コンパクト化、かつ、ロバストネスを向上したVUJを開発し、2012年から量産している。

(2) 次世代高効率固定式CVJ [CFJ]¹⁾

環境対策や経済性を求めて自動車の低燃費化が進んでいるが、その貢献策としてCVJの軽量化の他に、CVJの伝達効率向上に取り組んでいる。

BJに対してトルク損失を20%低減したEBJを量産し、さらに、そのEBJに対しトルク損失を60%低減したCFJを開発した。

CFJは、外輪と内輪のボール溝を軸方向に互い違いに傾斜した構造 (クロスグループ) とし、内部摩擦を少なくしてトルク損失を低減した (図11参照)。

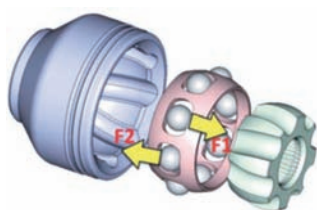


図11 CFJの構造
Structure of CFJ

(3) リア用軽量ドライブシャフト「Rシリーズ」

後輪の駆動軸に用いるCVJは、前輪用を流用しているが、FR車や4WD車の後輪専用設計として、軽量・コンパクトを追求したREBJとREDJを開発した。前輪用CVJで世界最高水準の軽量・コンパクトを誇るEBJ、EDJに対し、中間軸への中空シャフト使用も含めて駆動軸全体で30%の軽量化に成功した (図12参照)。



図12 リア用軽量ドライブシャフトの構造
(REBJ+中空シャフト+REDJ)
Structure of light weight driveshaft for rear
(REBJ + hollow shaft + REDJ)

3.6 駆動軸の高機能化

(1) ダイナミックダンパー (DD) 付き中間軸

駆動軸の中間軸の曲げ固有振動数とエンジン振動によって共振することがある。その共振周波数をずらす手段として、中間軸にDDを装着する。

自動車の静粛性向上により、駆動軸への制振要求が多様になった。1990年代までは、1つの共振周波数を解消する1マス仕様のDDであったが、1990年代後半からは2つの共振周波数を解消する2マス仕様のDDを適用した。更に、2000年代中盤には、2つの共振周波数を1つのマスで解消できるデュアルモードのDDが適用されている。

(2) 一体型中空シャフト

駆動軸には高剛性が求められるが、剛性アップのために中間軸を太くすると重量が増える欠点がある。そこで、中間軸を中空状にして軽量化を図る。

従来はパイプ材の両端にCVJと嵌合する軸部を溶接した中間軸を適用していたが、スウェーピング加工による一体型中空シャフトを2003年から量産している。

(3) 左右等長仕様の駆動軸

FF車は、トランスミッションの配置から駆動軸の全長が左右で異なる。中間軸の太さを変えて左右の剛性バランスを合わせても限界があり、特に高出力車ではトルクステアが発生する場合がある。

そこで、デフ側の外輪ステム長を左右で異なる長さ (長軸と短軸) にし、駆動軸の中間軸を左右等長にすることで左右の常用角を合わせる仕様が採用されてい

る。長軸外輪は、軸受やブラケット等を介してデフに接続される。

長軸外輪は、カップ部とステム部を一体で製造するものや、カップ部とステム部を別々に製造して接合するものがある。カップ部は共通仕様とし、ステム部は車両仕様毎に設計したものを電子ビーム溶接（EBW）で接合したEBW外輪を開発し、2016年から量産している（図13参照）。

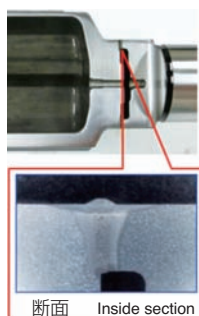


図13 電子ビーム溶接（EBW）による接合部
Combined by electron beam welding

4. 今後の展望

自動車の動力はHEVやEVが台頭して来たが、ディーゼルエンジンやガソリンエンジンも日進月歩で技術革新している。一方、車両設計は軽自動車から大型乗用車、SUVなど、多岐に渡る上にそれぞれに応じた動力性能や乗り心地が高いレベルで要求される。

動力や車両設計が多岐に渡っても、ドライブトレイン構造は現在のものがベースになって進化する。その中で駆動軸は不可欠であると共に、担う役割は更に増す。

駆動軸に求められる性能は、動力や車両設計の違いにより変化するが、その要素は、「軽量」「高角化」「高剛性」「静粛性」「高効率」「高速化」にあり、NTNはニーズを的確に捉えて先取りし、駆動軸の開発にスピードを緩めることなく取り組んで進化を続ける。

5. まとめ

50年前は画期的な駆動方式であったFF車が、現在は世界中を走っている。100年前には想像できなかったと思われるFF車の発展に、NTNのCVJが貢献できたことを誇りに思う。

NTN創業100周年を機にCVJの歴史を振り返った。この先の100年後を想像し、その想像も上回る進化をしたCVJを世界中に届けていきたい。NTNは、今後もCVJの歴史を刻みながら成長を続ける。

参考文献

- 池田武：自動車用等速ジョイントの変遷と最近の技術
NTN TECHNICAL REVIEW No.70（2002）
8～17
- 1) 藤尾輝明：次世代高効率固定式等速ジョイント「CFJ」
NTN TECHNICAL REVIEW No.81（2013）
64～67

執筆者近影



高部 真一
自動車事業本部
ドライブシャフト技術部