

ハーモニックドライブ®減速機の原理と応用

笹原 政勝*

1. はじめに

ハーモニックドライブ（一般名称は波動歯車装置）は、1955年に Musser 氏が発明し、米国ユナイテッドシューマシナリー（U S M）社で開発された高減速比の動力伝達装置である。日本では1964年に(株)ハーモニック・ドライブ・システムズの前身である(株)長谷川歯車がU S M社から技術導入し、国内生産を開始した。技術導入後、用途開発、技術改良が進められ、現在では産業用ロボットをはじめ計測機器、半導体製造装置、工作機械、印刷機械、ヒューマノイドロボットなど幅広く、サーボメカニズム用減速機として使用されている。

本稿ではHDの動作原理、特徴について解説するとともにその応用例を紹介する。

*「ハーモニックドライブ」は(株)ハーモニック・ドライブ・システムズの登録商標

2. ハーモニックドライブの構造と動作原理

ここでは図1に示す最も基本的なカップ型のハーモニックドライブについて説明する。ハーモニックドライブは楕円形状のウェーブジェネレータ（以下 W/G）と薄肉の外歯車であるフレクスプライン（以下 F/S）、厚肉の内歯車であるサーキュラスプライン（以下 C/S）の3部品により構成されている。W/G は楕円状のカム板の外周に薄肉ボールベアリングを楕円状に変形させた状態で挿入したもので、カム板を回転させると楕円状の移動が効率よく薄肉ボ-

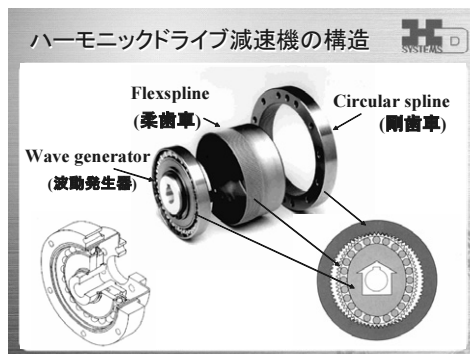


図1

ルベアリングの外輪に伝えられる文字通り波動発生器である。F/S は薄肉のカップ状をしており、その開口部外周に外歯車が切られている。この F/S の開口部に W/G を挿入すると F/S の外歯車も楕円状に変形する。C/S は F/S より通常 2 枚歯数が多く切られている。

この 3 部品を同一軸上に組み合わせると図 2 の様に F/S の楕円形状の長軸上の 2 箇所

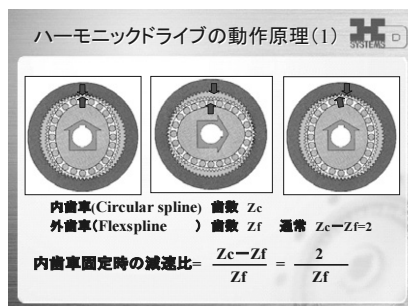


図2

* (株)ハーモニック・ドライブ・システムズ取締役

F/SとC/Sの歯が噛み合う。C/Sを固定しW/Gを回転させると、この楕円形状の長軸位置が移動しF/SとC/Sの歯は順次噛み合い、1回転するとF/Sは歯数差分W/Gとは逆方向に回転する。

ここで、F/Sの歯数が200枚、C/Sの歯数が202枚の組み合わせであれば、 $200/2$ すなわち減速比100が1段の歯車の組み合わせで得られる。現在では歯数の組み合わせによって30から320の減速比が標準として販売されている。

3. ハーモニックドライブの特長

ハーモニックドライブの最大の特長は歯車のかみ合いに、バックラッシュを全く必要としないことである。これは歯車のかみ合いが転がりでは無く、くさびの様に入り込む独特なかみ合いによるもので、完全な両歯面かみ合いとなってもスムーズに回転が可能なためである。又、高減速比を3部品だけで実現できるといった機構的特徴から次のような減速装置としての特長が得られる。

- (1) 歯車部分の高いかみ合い効率（90%以上）とノンバックラッシュであることから繰り返し位置決め精度が高く、高い制御性が得られる。
- (2) 同時かみ合い歯数が多いことから、歯車誤差が平均化され角度伝達精度が高く、又伝達トルク容量も大きい。
- (3) 部品点数が少ないことから設計の自由度が大きく、又軽量コンパクトな装置設計が可能である。
- (4) 簡単な機構のため、小型のものが製作できる。現在市販されているもっとも小さいものは外形13mmである。

4. ハーモニックドライブ製品の種類

4.1 形 状

ハーモニックドライブには図3に示す様に、大きく分けて3種類の形状がある。

(1) カップ型

F/Sの形状がカップ型をしており、最も基本的且つ代表的なハーモニックドライブである。

(2) シルクハット型

F/Sの形状がシルクハット型をしたもので、F/Sの内部空間の利用と中空構造がし易い特長があり、基本的な性能はカップ型と同じである。

(3) リング型

F/Sは歯車部のみで、その減速された回転をF/Sと同歯数をもったC/Sによって取り出し（一種のギアカップリング）、軸方向長さを短くした薄型で、中空構造が容易にできる構造となっている。

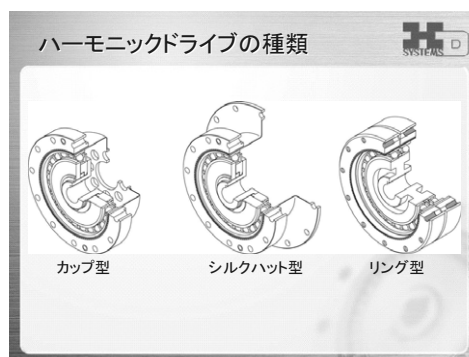


図3

4.2 サイズ

C/Sの外形が13mm から330mm の間で17種類がある。(図4)



図4

何より正確な動きが要求される脳神経外科手術システム(図6)はハーモニックドライブの卓越した高精度位置決め制御性能が支えている。



図6

5. ハーモニックドライブの応用

軽量・コンパクト・高精度を特長とし且つ豊富な製品群を揃えているハーモニックドライブはモーションコントロール分野で幅広く使用されている。ここでは代表的な応用例を紹介する。

1980年代から広く普及した電動産業用ロボット(図5)はハーモニックドライブの小型軽量、高精度の特長から多用され、現在もその性能の向上発展に貢献している。

宇宙誕生の謎を解き明かすために、150億光年の彼方の宇宙を見つめているハワイ島マウナケア山の大型光学赤外線望遠鏡「スバル」(図7)の心臓部の主鏡(直径8.3メートル)の凹凸を $0.1\mu\text{m}$ 以内の鏡面に保つために264個のハーモニックドライブが使われている。



図5

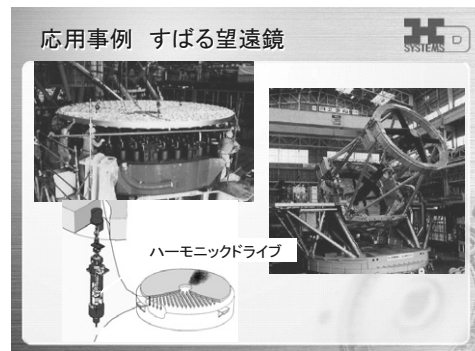


図7

現在では通信や天気予報などには欠かせない宇宙衛星(図8)の太陽電池パネルの位置・姿勢制御システムにも宇宙空間の過酷な環境にも

長時間耐えられるように開発されたハーモニックドライブが多く使用されている。

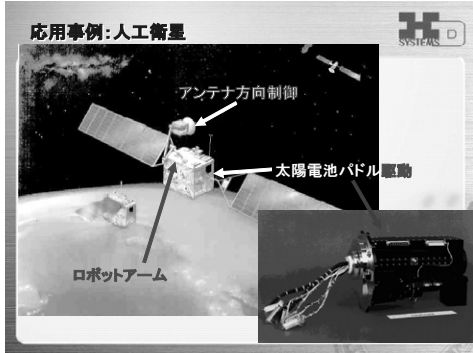


図 8

人類初の火星探査車（図 9）オパチュニティとスピリットには、それぞれ19個のハーモニックドライブが重要な駆動部分に使用されている。

安全なフライトを導く航空機のナビゲーションシステム（慣性航法装置）（図10）にも軽量・高信頼性の性能が評価されハーモニックドライブ



図10

この他、近年ではエネルギー関連の油田及びガス産業向け操舵掘削システム（図11）にも正確な掘削穴と掘削スピードを得るために、独特の構造を持った当社システムが採用されている。このシステムによって、原油またはガスを取り囲む岩の構造を精密に掘削穴が貫くことが可能になり、油井・ガス井の高い生産性が得られている。



図 9



図11

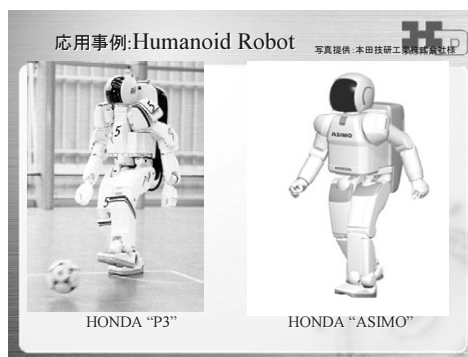


図12

産業用から現在では非産業分野に発展を続けているロボット分野では最近脚光を浴びているヒューマノイドロボット（図12）の基本的な「脚」「腕」にくわえ最近では「指」の駆動，すなわちハンドシステム（図13）には最近当社の数多くのノウハウを投入して開発された世界で最小の金属製ハーモニックドライブ（図14）が採用され，人間型ロボットの研究開発に貢献している。



図13

6. 終わりに

ご紹介したように独特の機構，特長を持つハーモニックドライブは益々高度な性能が要求され，発展を続けるモーションコントロール分野の要求を満たすためにその性能の向上を追及するとともに，マッサー氏の発明原理を応用した新たな機構，製品を提供するために日々研究開発が続けられている。



図14

参考文献

1. ハーモニックドライブカタログ
(株)ハーモニック・ドライブ・システムズ発行