

2022年度 新産業創出研究会「研究成果報告書」

「高い伝達効率性能を実現する“コルヌ歯形はすば歯車”の開発」

[広島県立総合技術研究所 東部工業技術センター・主任研究員][佐々木 秀和]

1. はじめに

歯車は一般機械、産業機械をはじめとした殆どの機械製品に利用されている動力伝達部品であり、その性能及び耐久性の向上が強く望まれている。さらに、最近では機械の高精度化(バックラッシ低減によるロボット・計測器の位置決め精度向上や振動の抑制)及び省エネルギー化(面圧強度の向上による長寿命化、伝達効率の向上)に関するニーズが高まっており、弊所においても、これらの問題に対する技術相談が企業から多く寄せられている。現状としては、歯車が組み込まれた製品のほとんどは、世界中で最も普及しているインボリュートと呼ばれる歯形を適用している歯車である。市場規模の面から見ると、歯車単体の国内生産(2019年度 JGMA 生産統計売上高)は1,265億円でありとても大きく、その中でも“平歯車”及び“はすば歯車(歯筋がつるまき状にねじれている円筒歯車)”は両者で637億円と歯車のおおよそ5割を占めており、これらの歯車が工業製品の中に多く利用されている。しかしながら、このインボリュート歯車は最も普及している反面、技術的にはほぼ成熟しているため、ここからの歯車に関する技術的改良による製品の高性能化は非常に困難になっている。これまでも歯車の性能向上を目的として、インボリュートとは異なる特殊歯形の歯車が幾つも提案されているが、製造が容易でない、或いはコストがかかるなどの理由から際立った普及に至っていないのが現状である。そこで、製造面での困難さを無くすことが新たな歯形の普及に最も効果があると考え、本研究参加企業である宮奥エンジニアリングと共同してインボリュート歯車と同様にホブと呼ばれる歯切り工具を用いた製作が可能でありながら高耐久性を有するコルヌ歯車と呼ぶ特殊歯形歯車の開発を行ってきた。その結果、平歯車と呼ばれる形態の歯車に関しては少しずつではあるが関係企業も徐々に増え、普及に向かって進んでいるところである。これからさらに幅広く用途開発を図るためには、従来からの平歯車に続いて用途の広い“はすば歯車”についても容易にコルヌ歯形を適用できるようにする必要があると考えた。そこで、本研究ではコルヌ歯形を有する“はすば歯車”の実用化に向けた基礎技術の開発を目的とした。

2. 概要

本研究は、コルヌ歯形平歯車の基本歯形を使った“コルヌ歯形はすば歯車(以下:コルヌはすば歯車)”の設計手法の確立を第一の目的とし、その技術を活用して得られた歯形を使って実際に歯車を試作した。さらに一般的な歯形であるインボリュート歯形はすば歯車(以下:インボリュートはすば歯車)との歯形形状の違いから生じる“すべり率”の差異を評価し、伝達効率の向上効果を確認するための実験を実施した。

3. 研究成果および今後の課題

3.1 コルヌ歯形のはすば歯車の設計

コルヌ歯形の基本歯形から“はすば歯車”として回転軸直角断面形状を創成する手法を確立した。この手法はホブがブランク材を切削加工する工程において、かみ合う歯車同士のピッチ円の共通接線と基本歯形であるラック歯形のピッチ線とを重ねたときに、この3つの歯形が互いに接している箇所が創成される歯形となることを利用し、はすば形状のねじれ角に応じて回転軸直角断面のコルヌのはすば歯形を計算できるようにした。こ

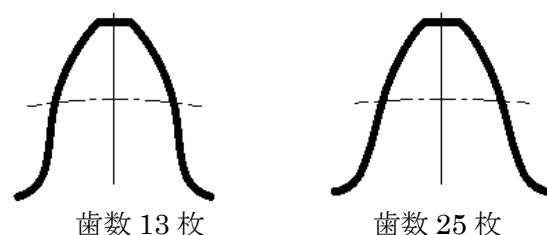


図1 コルヌはすば歯車の軸直角断面形状

の手法を使って設計したねじれ角 30° のコルヌはすば歯車の断面形状を図 1 に示す。

本研究は、小歯車の歯先側における“すべり率の絶対値(以下: |すべり率|)”がインボリュートはすば歯車と比較して小さいというコルヌはすば歯車の長所が伝達効率の改善にどの程度効果があるのかを調査するため、両歯車のすべり率を計算した。その結果を図 2 に示す。この図からコルヌはすば歯車は、小歯車の歯先先端よりも少し歯元側の位置で |すべり率| の最大値が 0.8 となり、そこから歯先に向かってすべり率ゼロに近づく様子が分かる。これに対してインボリュートはすば歯車は歯先の端が最も大きい値となり |すべり率| = 2.8 である。本研究で試作したインボリュートはすば歯車は加工時にセミトップピングと呼ばれる歯先修正が施してあり、歯先のすべり率を改善してあるものを使用した。

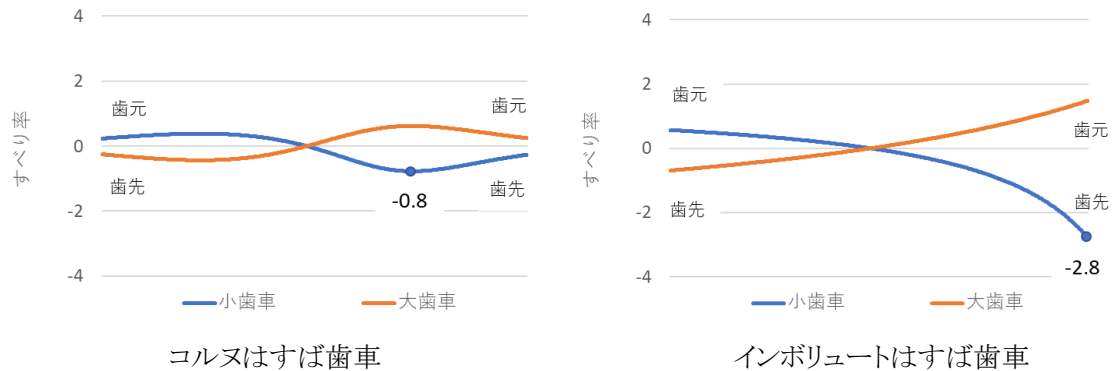


図 2 すべり率の比較

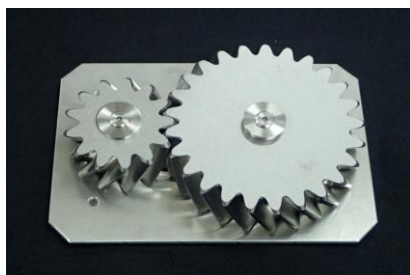
表 1 試作歯車諸元

	コルヌ		インボリュート	
	小歯車	大歯車	小歯車	大歯車
歯直角モジュール (mm)	3			
歯数	13	25	13	25
圧力角 (°)	17.5		20	
ねじれ角 (°)	30		30	
ピッチ円直径 (mm)	45.033	86.603	45.033	86.603
歯末のたけ係数 (mm)	1.2	1.2	1.0	1.0
全歯たけ (mm)	7.609		6.75	
転位係数	0	0	0	0
バックラッシ (mm)	0	0.2	0	0.2
歯幅 (mm)	20	20	20	20
材質	SCM420			
加工方法	ホブ切り⇒焼入れ研磨			

3.2 コルヌ歯形はすば歯車の試作

コルヌはすば歯車試作のための歯切り加工は、インボリュート歯車と同様にホブ盤を使用して行った。その理由から、本研究用にコルヌはすば歯車の専用ホブを製作した。試作した歯車の諸元を表 1 に示す。

実際に試作したはすば歯車を写真 1 に示す。コルヌ及びインボリュートのどちらのはすば歯車対も理論中心間距離が 65.818mm になるよう製作した。かみ合い試験を実施するためバックラッシを設ける必要があり、本研究では試験機組付け時にトータルバックラッシが 0.2mm となるよう大歯車にのみ片歯面 0.1mm のバックラッシを設定した。



コルヌはすば歯車



インボリュートはすば歯車

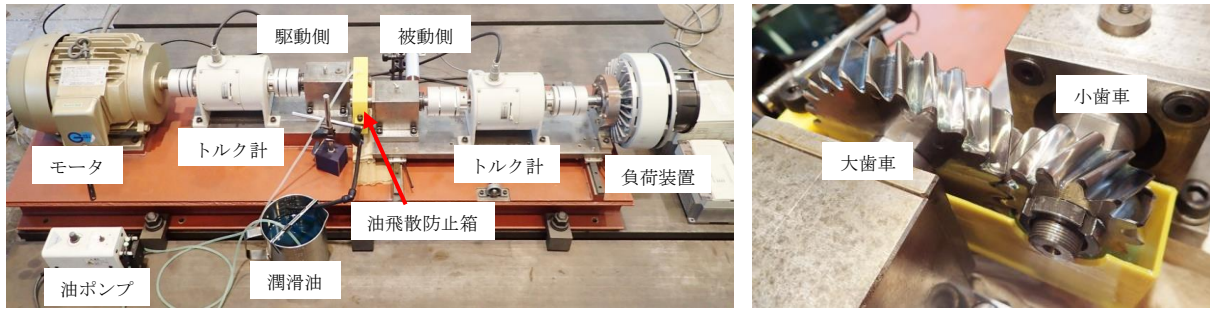
写真 1 試作歯車

3.3 伝達効率評価試験

試作した歯車を写真2の動力吸収式歯車試験機に取り付けて駆動軸及び被動軸に設置したトルク計から各軸トルクを計測して伝達効率を算出した。試験条件は表2の通りである。試験方法は、無負荷設定から始まり、負荷を試験機上限の20N・mに達するまで段階的に大きくした。試験結果を図3に示す。

表2 試験条件

試験機の種類	動力吸収式歯車試験機
中心間距離(mm)	65.818
回転数(rpm)	1800(小歯車)
潤滑油	タフニスパーギヤオイル100
潤滑法	滴下式
負荷(N・m)	5 → 20



動力吸収式歯車試験機

組付け状態(コルヌ歯車)

写真2 伝達効率測定の実験風景

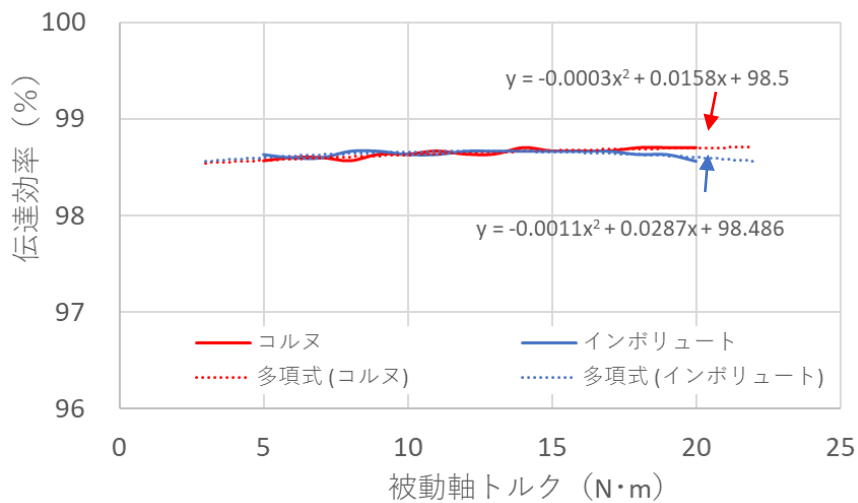


図3 被動軸トルクと伝達効率の関係

図3の実線のグラフが実際の試験データである。本試験において2種類の歯車における伝達効率において全体的に98.5%程度であり顕著な差異が見られない結果となった。伝達効率が98.5%以上の性能とは一般的に言われているインボリュート歯車の最高値に近い効率であり、本試験は潤滑を含め適切な試験条件で試験を実施できたことは非常に良かったと言える。この結果を注意深く見ると、試験時の最大トルクである20N・m付近ではその効率値に若干の差異が見られた。

本実験では、試験機の最大トルク条件下において歯面損傷を発生させないようにするため、インボリュートはすば歯車の歯面強さの安全率を3程度に設定していた。そのためトルク計の測定範囲に制限されて被動軸トルクが20N・mを超える領域での試験は実施不可であったので、その後の傾向予測として各グラフ対して多項式(2次関数で近似曲線)を作成して20N・mを超えるデータを描いたのが点線のグラフである。これによると被動軸トルクが17N・mを超えるあたりからインボリュートはすば歯車の伝達効率がわず

かずつではあるが減少する様子が見られた。これに比べてコルヌはすば歯車は一定値を保持する傾向が視える。この理由として、被動軸トルクが大きくなるに従い歯面同士の油膜厚さが低減し、歯面同士のすべりによる摩擦抵抗の増加による効率悪化が起りやすくなることが考えられる。このことは、すべり率の差異だけでなく、コルヌ歯車特有のかみ合い面の効果も考えられる。1対のコルヌ歯車の歯先付近と歯元付近が接触しているタイミングでは凹凸面のかみ合い状態になっており、常に凸凸面かみ合いであるインボリュート歯車は相対的に接触面圧が高いため油膜切れが起りやすい性質がある。本実験では試験後の歯面観察での目立った損傷がないことから、油膜切れまでは起こっていないと判断するが、被動軸トルクを大きくすることは、その状況に近づけていることであり、その影響が 20N・m あたりから見え始めたと考えられる。

本研究により、本試験で使用したコルヌはすば歯車が、比較対象のインボリュートはすば歯車の歯面強度の安全率 3 を超える負荷領域において良好な特性を持つ可能性が期待できるが、どの程度の優位性があるかは確認できておらず、この調査は今後の課題である。但し“コルヌ歯形はすば歯車”の伝達効率特性はしっかりと把握できたため、次のステージでは CAE による動的なシミュレーションに取り組む際の比較用実験データとして活用し、コルヌはすば歯車の特性をより明確にしていくことが今後の課題である。

4. おわりに

本研究によってコルヌ歯車のはすば歯車化の設計法の確立及びコルヌ平歯車用のホブを用いたコルヌはすば歯車の製作が可能であることの検証ができた。本研究実施の過程において、コルヌ歯車をはすば歯車にする際の加工関連技術や計測及び加工誤差等の指示方法などについて非常に多くの知見を得ることができた。

5. 本研究の今後の計画

「コルヌ歯形はすば歯車」の技術移転を円滑に進めるためには、歯形の設計支援ソフトウェアを使いやすくするためのユーザーインターフェイスを開発することや歯形の微調整ができるなどの使い勝手の良いソフトウェアにしていく必要を感じており、引き続き改良したいと考えている。また、CAE を活用したコルヌ歯車の性能評価技術を修得し幅広い顧客ニーズに対応できるよう技術開発を進めて行く。

6. その他

(1) 出願特許(タイトル・出願番号・発明者・特許権者など)

特になし

(2) 投稿論文(タイトル・学会名等)

特になし

(3) 本研究会の参加企業・団体名

宮奥エンジニアリング



競輪の補助事業

この報告書は、競輪の補助により作成しました。

<https://jka-cycle.jp>