プラスチック磁石歯車に関する基礎的研究*

(第3報, 小形磁石歯車の設計・製作と性能)

庄 司 彰^{*1}, 川 島 義 一^{*2}

Fundamental Studies on Plastic Magnetic Gears (3rd Report: Design, Manufacture and Performance of Plastic Magnetic Small Gears)

Akira SHOJI and Giichi KAWASHIMA

The first paper described the manufacture of injection-molded plastic magnetic gears and static capacity and dynamic tests. This paper provides information on the manufacture of plastic magnetic gears (module 2) with the establishment of a new method for magnetic yoke and the results of static and dynamic tests. Those gears show a great deal of wear when the gears are used with no lubrication, but little wear when oil was used as lubricant. The shrink-fit plastic and plastic magnetic gears were made as the nonlubricating type. Those types showed a slight degree of wear. It was possible to put the injection-molded plastic magnetic gears to practical use in this experiment. Those gears had a flux density of about 0.03T and it was possible to provide strong magnetism by improving the magnetic yoke for better practical nonbacklash gears.

Key Words: Gear, Wear, Lubrication, Composite Material,
Plastic Magnetic Small Gear, Nonbacklash gear

1. 緒 言

第1報⁽¹⁾にてプラスチック磁石歯車の原理、第2報^{(2),(3)}にてプラスチック磁石歯車の運転試験について述べてきた。その結果、ノンバックラッシュ歯車として可能なことが実証され、OA機器、メカトロ、精密機械や精密計測器に実用可能である。しかし、これらの分野でノンバックラッシュ歯車としてプラスチック磁石歯車を使用するにはモジュールの小形化と摩耗が大きいことを解決しなければならない。⁽²⁾ 本報告はプラスチック磁石歯車のモジュールの小形化と耐摩耗性のため、設計、製作および運転試験を行ったことについて述べ、プラスチック磁石歯車の広範囲な実用化を目的としたものである。

2. プラスチック小形歯車の設計・製作

第1、2報に述べたようにモジュール4の歯車では着磁ヨークの製作は可能であった。しかし、プラスチック磁石歯車が実用化されるためには、モジュール2以下の小形歯車での使用が多いと思われる。これらの小形歯車になると、射出成形は十分可能であるが、着磁ヨークの製作になるとむずかしい。すなわち、母型歯形にコイルを巻くのが大変難しくなる。そこで本実験では成形プラスチック歯車を上下2個の着磁ヨークではさむサンドイッチ方式とした。

2・1 プラスチック小形磁石歯車の諸元 表1にプラスチック小形磁石歯車の諸元を示す。さらに、設計寸法などを図1に示す。プラスチック磁石歯車を無潤滑で使用する場合、第2報によると、歯の摩耗が運転時間と共に急激に進行するため、プラスチックとの焼きばめ歯車も設計製作した。図2に設計寸法を示す軸穴部分をプラスチックにすることにより衝撃荷重に十分耐え、ボス部をプラスチックにすることにより、

* 原稿受付 平成2年3月29日。

^{*1} 正員、宮城工業高等専門学校 (〒981-12 名取市愛島塩手字野田山48)。

^{*2} 正員、住友ベークライト(株) (〒661 尼崎市東塚口町2-3-47)。

軽量化を考えている。かみ合う歯はプラスチック歯車同志とプラスチック磁石歯車同志である。プラスチック歯車はプラスチック磁石歯車より粘性に優れ、プラスチック磁石歯車はプラスチック歯車より曲げ強度に優れている。

表1. プラスチック磁石歯車諸元

Items	Specifications
Module	2
Pressure angle	20°
Gear ratio	22/22
Tooth profile	Involute spur gear

図1. プラスチック磁石歯車寸法

図2. 焼きばめプラスチック磁石歯車 (PPM 歯車) 寸法

2. 2 プラスチック小形磁石歯車の製作 プラスチック磁石小形歯車は成形加工を原則としているが、着磁などを考え、はじめはホブカッターによる機械加工を行った。とくに、プラスチックとの焼きばめ歯車についてはプラスチックとプラスチック磁石の両材料を重ねてホブ切りし、着磁時はプラスチック磁石歯車のみを切り離した。着磁後は再度焼きばめた。着磁の方法は一对の歯車で異なる。図3に示す。これは第12報のようにモジュールが大きいと1つ1つの歯にコイルを巻くことができるが、モジュールが小さいと困難なために図4のような着磁ヨークを製作した。

3. プラスチック磁石歯車の磁束密度の測定

着磁されたプラスチック小形歯車の磁束密度は試作した試験機⁽²⁾により測定した。歯元から歯末まで測定したが、ギヤとピニオンで磁力方向が異なるため磁束密度も異なる。図5に測定値を示す。しかし、ギヤとピニオンではその傾向を異にする。なお、歯の側面における磁束密度も示す。これは歯面の磁束密度と比べてかなり大きく、約2～3倍である。これはプラスチック磁石歯車を着磁ヨークが上下から歯車をサンドイッチするためである。歯面での磁力を大きくするためには、さらに一考を要する。

図3. 大歯車と小歯車の着磁状態

図4. プラスチック磁石歯車の着磁ヨーク

図5. プラスチック磁石歯車の歯の磁束密度

4. プラスチック小形磁石歯車の損傷試験

4.1 無潤滑運転における摩耗 プラスチック磁石歯車同志のかみ合いで、無潤滑運転の場合、歯の摩耗が大きい。しかし、潤滑油での使用はほとんど摩耗がなく実用可能であることを前報にて報告した。しかし、本研究のようにモジュールの小さい小形歯車になるとその使用はOA機器、計測機器、精密機械などに多く、しかも無潤滑での使用が多い。本研究においても無潤滑運転を行った。運転条件を表2に示す。実験は実用を考え、総回転数は 10^7 を一つの目安とし、試作した2台の動力循環式・吸収式歯車運転試験機で行った。本研究での運転は動力吸収式である。図6に試作した動力循環式・吸収式歯車運転試験機を示す。無潤滑運転での使用は歯車箱中での使用もあるが、むき出し状態での使用も多い。本運転試験機は両方の無

表2. 運転条件

Items	Conditions
Load	N/mm 1.5, 2.5, 5
Rotational speed	rpm 200, 400, 800, 1600
Lubrication	Dry
Room temperature	℃ 23~27

潤滑運転試験を行うことができる。すなわち、歯車箱①での試験と②のむき出し運転試験である。本研究では後者のむき出し状態での無潤滑運転を行った。試験は2種類である。1つはプラスチック小形磁石歯車同志のかみ合わせであり、2つはプラスチックとプラスチック磁石歯車の焼きばめ小形歯車である。(以後、後者の歯車をPPM歯車と呼ぶ) 歯の摩耗量は各総回転数における歯形変化を投影機で拡大し、運転前との歯形を比較し、その摩耗面積を計算処理した。図7は各回転速度におけるプラスチック磁石歯車の総回転数に対する歯の摩耗量を比較したものである。図8は回

①: Gear box ②: Test gear ③: Torque meter
④: Magnetic brake ⑤: PS-Variable motor

図6. 動力吸収式・循環式歯車運転試験装置

図7. プラスチック磁石歯車の総回転数と歯の摩耗面積の関係

転速度800rpmにおけるPPM歯車の総回転数に対する歯の摩耗量を比較したものである。PPM歯車の摩耗はほとんどなく、十分実用可能なことが分かった。さらに、同一荷重の場合、回転速度が大きい方が摩耗は大きく、出力で評価することが可能である。図9のPPM歯車の回転速度1600rpmにおける摩耗の変化を見ても分かる。局所摩耗を解析したものを図10～11に示す。PPM歯車の摩耗がほとんど無いことが分かる。さらに、プラスチック磁石歯車においては歯元部の摩耗から始まり、歯末へとその摩耗位置が移動している。歯元部の摩耗が大きいのは相手歯車の歯末のかどによる当たりであり、その摩耗曲線はトロコイド曲線である。

図8. 焼きばめプラスチック磁石歯車 (PPM 歯車) の総回転数と歯の摩耗面積の関係 (1)

図9. 焼きばめプラスチック磁石歯車 (PPM 歯車) の総回転数と歯の摩耗面積の関係 (2)

図10. プラスチック磁石歯車の総回転数に対する歯形変化 (無潤滑)

図11. 焼きばめプラスチック磁石歯車 (PPM 歯車) の総回転数に対する歯形変化 (無潤滑)

る。同時に歯末も摩耗するが、歯末へ摩耗が移動するのは摩耗粉中のフェライト磁性粉が歯面に付着し、これが摩耗を促進させている。一般に言われているザラツキ摩耗である。よって、プラスチック磁石歯車の無潤滑運転は問題があり、潤滑油などによる運転が望まれる。

4・2 潤滑油運転における摩耗 潤滑油を使用しでの運転ではプラスチック磁石歯車のみでも摩耗はほとんど無く、モジュール4の歯車においては十分に使用可能なことが前報にて報告した。しかし、本研究のように小さいモジュールの歯車にも該当するの考察する必要がある。図12.13は潤滑状態を変えた場合の摩耗歯形を比較したものである。摩耗粉であるフェライト磁性粉が洗い流されるため、フェライト磁性粉による摩耗はほとんど見られず、滑りによるアブレイシブ摩耗がわずかに見られる。これらの摩耗量はプラスチック歯車同志の摩耗と同じかやや少ないくらいである。これはプラスチック磁石材料の曲げ強度がプラスチック材料より大きいことによるものと思われる。サラダ油を潤滑油に選んだのは、プラスチック材料の溶剤試験の結果^{(5)・(6)} ポリアミド系樹脂は水溶性溶剤に対しては影響現象が見られ、油脂に対してはあまり

影響現象が見られないことから、サラダ油を選んだがスピンドル油よりも潤滑効果が見られ、優れた潤滑油である。図14.15は総回転数に対する摩耗量を示したものであるが、潤滑油を使用すると摩耗はほとんどなく、実用可能であり、サラダ油がより効果的であることを示す。

図12. プラスチック磁石歯車の総回転数に対する歯形変化 (スピンドル油潤滑)

図13. プラスチック磁石歯車の総回転数に対する歯形変化 (サラダ油潤滑)

図14. プラスチック磁石歯車の総回転数に対する歯の摩耗面積の関係 (スピンドル油潤滑)

図15. プラスチック磁石歯車の総回転数に対する歯の摩耗面積の関係 (サラダ油潤滑)

5. 騒音試験

プラスチック磁石歯車とPPM歯車の騒音試験を行った。図6の運転試験装置のむきだし無潤滑試験歯車の側面から30cmのところにマイクロホンを置き周波数分析を行った。測定結果を図16, 17に示す。PPM歯車はプラスチックと磁石の両歯車の相乗効果により、

図16. プラスチック磁石歯車の騒音値

図17. 焼きばめプラスチック磁石歯車 (PPM 歯車) の騒音値

減音している。プラスチック磁石歯車はプラスチック歯車よりやや大きいですが、騒音減少歯車としても優れた歯車である。

6. 結 言

本研究は原動軸と従動軸の間の回転伝達誤差を少なくする目的で、新しい考えに基づき、より実用的な小モジュールのプラスチック小形磁石歯車の研究を行った。その結果を以下に述べる。

(1) プラスチック小形磁石歯車でも射出成形は問題はないが、着磁ヨークの製作が難しい。本研究ではモジュール2の歯車についてサンドイッチ法による着磁ヨークを製作し、着磁したが、歯の側面の磁束密度は十分であるが、歯面上の磁束密度は0.03Tで、実用範囲の0.08T程度まで向上させる必要がある。

(2) 無潤滑運転の場合、プラスチック磁石歯車の摩耗が大きいことを前報で報告したが、本研究の小形歯車においても同様の傾向を示した。しかし、潤滑油を使用することにより摩耗はほとんどない。

(3) 無潤滑運転はOA機器、計測機器、精密機械などに多く使用されている。これらの目的のために、プラスチック歯車とプラスチック磁石歯車を焼きばめた歯車 (PPM歯車) を開発した。プラスチック歯車の摩耗が少ないことが、実験および計算により証明された。この歯車は重量軽減にもなり、実用可能と考えられる。

以上、プラスチック小形磁石歯車の設計・製作、および動的試験を行った。無潤滑運転も含め、十分実用可能なことが分かった。今後は磁束密度の向上とさらに、微小モジュールの歯車を製作し、実用化を図りたい。本研究は平成元年度、科学研究費 (一般研究B) で行われた。関係者各位に謝意を表する。さらに、射出成形、着磁ヨークの製作などにご助言、ご協力いただいた、住友ベークライト (株) 可溶性樹脂製品研究所、所長重村義紀氏、および同研究所磁性材料研究グループの諸氏に感謝する。

参 考 文 献

- (1) 庄司・川島、機論、56-521, C(1990), 136.
- (2) 庄司・川島、機論シンポ、890-58(1989), 13.
- (3) 庄司・川島、機論誌、東北支部25期誌会, No. 901-1(1990), 67.
- (4) 庄司、機論、51-471, C(1986), 3101.
- (5) 庄司、機論、52-481, C(1987), 2485.
- (6) 庄司、宮城高専研究紀要, No. 9(1972), 13.