

ガラス繊維充てんポリブチレンテレフタレート歯車の研究*

塚本尚久*¹, 小林公一*², 近藤隆夫*³

A Study on Poly Butylene Terephthalate Gears Filled with Glass Fibers

Naohisa TSUKAMOTO, Koichi KOBAYASHI*⁴ and Takao KONDO*⁴Chiba Institute of Technology, Dept. Mechanical Engineering,
2-17-1 Tsudanuma, Narashino-shi, Chiba, 275-0016 Japan

We tested poly butylene terephthalate (PBT) as a gear material in our previous study and found that it had larger fatigue strength and lower coefficient of friction than those of polyacetal used as a gear material currently. In the present study, since plastic gears that can transmit high power have been strongly demanded by the industrial world, we reinforced PBT by compounding glass fibers for higher power transmission than normal PBT and conducted operation tests on gears made of reinforced PBT. Wear behavior was particularly investigated under a relatively larger torque since plastic gears filled with glass fibers were expected to be worn significantly due to a fall of glass fibers from the mother material. Availability of PBT filled with glass fibers for a gear material was discussed by comparing basic operational characteristics with those of normal PBT gears.

Key Words: Machine Element, Tribology, Gear, Wear, Plastic Gear, Poly Butylene Terephthalate Gear, Poly Butylene Terephthalate Filled with Glass Fibers

1. 緒 言

ポリブチレンテレフタレート(以下これをPBTと呼ぶ)はエンジニアリングプラスチックの中では吸水率が小さいこと、摩擦係数が小さいことなどの優れた特長を有しているにもかかわらず、比較的新しく開発されたプラスチックのためか、その歯車材としての特性等を明らかにした報告が少なく、したがってこのプラスチック歯車の設計を行うにしても資料となる得るものはほとんど見当たらない。

このことから、既報⁽¹⁾のようにPBTの歯車材としての評価をまず電気油圧サーボ式材料強度試験機ならびに小形(小トルク用)歯車試験機を用いて行った。その結果、このPBT歯車は使用実績の多いポリアセタール(以下これをPOMと呼ぶ)歯車よりも疲労強度が高く、低摩擦であることが確認できたので、次にこの特長を産業界で要望している、より大きな動力伝達が

可能なプラスチック歯車において活用する方法を考えた。

そこで本研究では安価にしてPBTの剛性、強度を高め、さらに伸びも小さくすることを目的に、PBTにガラス繊維を充てんした複合プラスチック(以下これをGF15-PBTと呼ぶ)を開発し、歯車に適用を試みた。しかし、一般にガラス繊維充てんプラスチック歯車では母材のプラスチックが摩耗した場合、ガラス繊維が歯面から欠落して歯が著しく摩耗する(歯厚が減少する)ことがあり、このGF15-PBT歯車においてもそのことが懸念されるため、本報ではこの歯車の運転試験を比較的大きなトルクのもとで行ってそれを確認するとともに、運転寿命および歯形の変化、歯面温度等の歯車特性を調べ、これを同条件で行ったPBT歯車のそれと比較し、GF15-PBTの歯車材としての有益性と実用化の可能性を検討した。

2. 実験装置および実験方法

2.1 使用プラスチック 実験(運転試験)に用いたプラスチック歯車の材料は表1⁽²⁾に示す特性を有するPBTと、PBTを母材とし、それに直径10 μ m、長さ300 μ mのガラス繊維を15%(重量比)充てんしたGF15-PBTである。表1には参考のためにPOMに

* 原稿受付 2001年9月20日。

¹ 正員, フジマイクロ(株) (☎290-0057 市原市五井金杉2-13)。² 正員, 千葉工業大学工学部 (☎275-0016 習志野市津田沼2-17-1)。³ 三菱エンジニアリングプラスチック(株) (☎254-0016 平塚市東八幡5-6-2)。

E-mail: p01kobay@pf.it-chiba.ac.jp

ガラス繊維を25%充てんした複合POM(以下これをGF25-POMと呼ぶ)の特性も示した(POMではガラス繊維15%充てんのGF15-POMの市販品がなかった)。

表1のようにGF15-PBTはPBTと比較すると、例えば、曲げ強さは191%、ヤング率は209%高い。一方、伸びはPBTの2%強程度に小さくなっている。

表1の摩擦係数は相手を鋼にして円筒端面接触型摩擦摩耗試験機(通称鈴木式)で測定したものである。一般にガラス繊維の充てん量を増すとそのプラスチックの強度および剛性等が向上するが、摩擦係数は大きくなることが多い。PBTにおいてもこのことがいえるので、本報ではこれを考慮してガラス繊維の充てん量を15%にした。したがってGF15-PBTの摩擦係数は表1のようにPBTのそれよりも多少大きくなった程度である。

図1はGF15-PBTの温度依存性の一例として、温

Table 1 Main characteristics of plastics used in experiments

Items	Unit	PBT	GF15-PBT	GF25-POM
Melting point	°C	224	224	165
Specific gravity		1.31	1.41	1.59
Rockwell hardness	HRR	119	123	—
	HRM	—	—	95
Coefficient of friction		0.13	0.16	0.41
Coefficient of linear expansion	1/K	7.4×10^{-5}	5.5×10^{-5}	$(2-3) \times 10^{-5}$
Tensile strength	MPa	53.9	98.1	137
Bending strength	MPa	79.4	152.0	206
Elongation	%	>200	4.5	3
Young's modulus	GPa	2.35	4.90	9.12

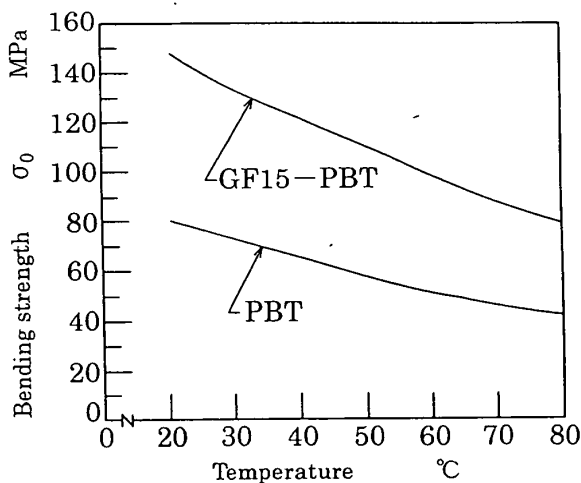


Fig. 1 Temperature dependence on bending strength of PBT and GF 15-PBT

度と曲げ強さ σ_0 の関係を示したものである⁽²⁾。

2.2 試験歯車および相手歯車 実験では表2に示すI形とII形の2仕様の歯車を用いた。駆動がPBT歯車およびGF15-PBT歯車で、被動が鋼(S45C)である。I形およびII形歯車のような大直径のプラスチック歯車を射出成形するのが困難であるので、ここでは両歯車とも射出成形した直径110mmの丸棒を鋼歯車と同じくホブ切り加工した。このときバックラッシュをつけるためにPBT歯車およびGF15-PBT歯車では0.08モジュール、鋼歯車では0.05モジュールそれぞれマタギ歯厚を理論値より減少させている。各歯車は歯幅を厚みとする円板形で、その精度はJIS B1702(1976年版)の4級である。また、その歯面粗さはJIS B0601の十点平均粗さ(R_z)で、鋼歯車は6~7 μm で、PBT歯車は5 μm 強、GF15-PBT歯車は6 μm 強である。

2.3 歯車試験機 実験に用いた歯車試験機はすでに報告した⁽⁴⁾中心距離135mmの動力循環式歯車試験機である。

2.4 測定項目および測定方法 実験ではPBT歯車およびGF15-PBT歯車の歯の摩耗、歯形の変化、歯面粗さを既報⁽⁵⁾⁽⁶⁾と同じ方法で測定した。また歯面温度はいったん運転を停止させ、図2に示すようにピッチ点より1mm歯先側に寄った歯幅中央に表面温度計を接触させて測定した。

2.5 実験条件 実験は表3に示すトルクと回転数(いずれも入力側の値)で行った。表中の σ_0 は、そのトルクにおけるPBT歯車およびGF15-PBT歯車の歯元曲げ応力の計算値である⁽⁷⁾。I形、II形歯車をそれぞれ500, 1000, 1400rpmで運転すると歯形上の平均滑り速度の計算値は、それぞれI形歯車では、0.30, 0.60, 0.84m/s, II形歯車では0.45, 0.90, 1.27m/sとなる。なお実験は室温22~24°Cのもとで

Table 2 Main specifications of gears used in experiments

	Type I gear		Type II gear	
	Driving gear	Driven gear	Driving gear	Driven gear
Module	3		5	
Standard pressure angle	20°		20°	
Number of teeth	30	60	17	37
Addendum modification coefficient	0	0	0	0
Diameter of reference circle	90	180	85	185
Clearance coefficient	0.25		0.25	
Face width	10		10	
Center distance	135		135	
Teeth finishing	Hobbing		Hobbing	

N.B.) A unit of length is mm

無潤滑運転で行っている。

3. 実験結果および考察

3.1 プラスチック歯車の運転寿命 表4に本実験の結果を示す(10^4 未満の回転数は示していない)。各実験ともプラスチック歯車を総回転数(積算繰返し数) $N_T=10^7$ まで運転することにしているが、PBT歯車では7実験、GF15-PBT歯車では8実験が表4のように $N_T=10^7$ 以前に歯車が折損(き裂の発生)し、運転を打ち切っている。この寿命の判定は、既報と同じように運転中の歯車の歯にストロボスコープを当てて観察し、目視で確認できるき裂の成長時とした。GF15-PBT歯車のき裂の発生位置は既報⁽¹⁾⁽⁸⁾のPOM歯車やPBT歯車と同じく、最大曲げ応力が発生すると予測される歯元すみ肉近傍であった。

プラスチックの強度は図1のように温度に依存するため、同じ σ_b での運転であっても歯の滑り速度が違えば歯の温度に差が生じ、それが寿命に影響してくることを考慮し、ここでは表4の実験結果を既報⁽⁸⁾のPOM歯車等の場合と同じ方法で図3のように整理した。図3の横軸は寿命時の N_T で、縦軸は $[\sigma_b/\text{各実験のプラスチック歯車の歯の平衡温度(後に示す図7参照)におけるPBTおよびGF15-PBTの}\sigma_0]$ であ

る。

図3では打点数が少ないが、GF15-PBT歯車の寿命はPBT歯車や既報⁽⁸⁾のPOM歯車と同じく σ_b/σ_0 値に相関し、この σ_b/σ_0 値がわかるとある程度寿命の予測ができる。例えば、GF15-PBT歯車で $N_T=10^7$ を超える長時間運転を望むならば、図3より σ_b/σ_0 値は0.25近傍以下でなければならない。これと同様の見方をするにPBT歯車の σ_b/σ_0 値は図3より0.37で、POM歯車では既報⁽⁸⁾のように0.27である。よってこれらの歯車の σ_b/σ_0 値よりもGF15-PBTの σ_b/σ_0 値は小さい。これは母材のプラスチックの特性にもよるが、ガラス繊維を充てんしたプラスチック歯車では強度および剛性等は向上し負荷能力は大きくなる反面、歯の摩耗が多くなり歯厚が減少し、疲労寿命が低下してくることに起因するものである。

母材の摩耗が比較的少ないガラス繊維充てんナイロン(MXD6)歯車においても $N_T=10^7$ を超える運転では σ_b/σ_0 値は0.24程度以下であることを鑑みると、このGF15-PBT歯車の σ_b/σ_0 値0.25はガラス繊維を充てんしたプラスチック歯車としては高い値のほうである。また、これに加えてGF15-PBT歯車は表4を見るようにPBT歯車よりも負荷能力が大きいのも特長である。なお、無損傷で $N_T=10^7$ まで運転できた

Table 3 Experimental conditions and symbols

Torque N·m (σ_b , MPa)	Number of rotations rpm Materials	500	1000	1400
		Type I gear		
14.7 (27.6)	PBT GF15-PBT	P-I-A-5 15P-I-A-5	P-I-A-10 15P-I-A-10	P-I-A-14 15P-I-A-14
19.6 (36.8)	PBT GF15-PBT	P-I-B-5 15P-I-B-5	P-I-B-10 15P-I-B-10	P-I-B-14 15P-I-B-14
24.5 (46.0)	PBT GF15-PBT	— 15P-I-C-5	— 15P-I-C-10	— 15P-I-C-14
Type II gear				
14.7 (20.6)	PBT GF15-PBT	P-II-A-5 15P-II-A-5	P-II-A-10 15P-II-A-10	P-II-A-14 15P-II-A-14
19.6 (27.4)	PBT GF15-PBT	P-II-B-5 15P-II-B-5	P-II-B-10 15P-II-B-10	P-II-B-14 15P-II-B-14
24.5 (34.3)	PBT GF15-PBT	— 15P-II-C-5	— 15P-II-C-10	— 15P-II-C-14

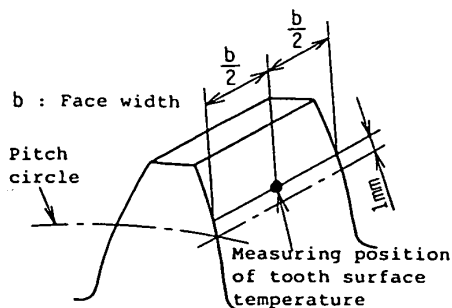


Fig. 2 Position for measuring tooth surface temperature

Table 4 Damage state of tooth

Experimental symbols	Integrated number of rotations	Damage state of teeth
P-I-A-5	10^7	None
P-I-A-10	9.48×10^6	Breakage
P-I-A-14	9.51×10^6	Breakage
P-I-B-5	3.79×10^6	Breakage
P-I-B-10	3.81×10^6	Breakage
P-I-B-14	3.58×10^6	Breakage
P-II-A-5	10^7	None
P-II-A-10	10^7	None
P-II-A-14	10^7	None
P-II-B-5	10^7	None
P-II-B-10	8.21×10^6	Breakage
P-II-B-14	5.39×10^6	Breakage
15P-I-A-5	10^7	None
15P-I-A-10	10^7	None
15P-I-A-14	10^7	None
15P-I-B-5	8.09×10^6	Breakage
15P-I-B-10	7.01×10^6	Breakage
15P-I-B-14	6.37×10^6	Breakage
15P-I-C-5	5.64×10^6	Breakage
15P-I-C-10	3.91×10^6	Breakage
15P-I-C-14	3.11×10^6	Breakage
15P-II-A-5	10^7	None
15P-II-A-10	10^7	None
15P-II-A-14	10^7	None
15P-II-B-5	10^7	None
15P-II-B-10	10^7	None
15P-II-B-14	10^7	None
15P-II-C-5	10^7	None
15P-II-C-10	6.53×10^6	Breakage
15P-II-C-14	7.21×10^6	Breakage

PBT 歯車および GF 15-PBT 歯車の歯はその後の運転も十分継続可能な状態であった。

3.2 プラスチック歯車の歯の摩耗 図 4, 5 は PBT 歯車および GF 15-PBT 歯車の歯の摩耗を比摩耗量の意味をもたせて [(摩耗重量/密度)/(歯数×2モジュール×歯幅× N_T)] と表し, PV [P : 鋼歯車相当ヘルツ応力 (PBT 歯車および GF 15-PBT 歯車と剛歯車のかみあいを鋼歯車同士のかみあいにみなして算出したヘルツの接触応力)⁽⁴⁾, V : PBT 歯車および GF 15-PBT 歯車の歯形上の平均滑り速度] 値との関係で整理したものである。なお, 参考のために図 4 には POM 歯車の比摩耗量⁽¹⁰⁾ を, 図 5 には小 PV 値の範囲であるが GF 25-POM 歯車の比摩耗量⁽⁹⁾ を既報よりそれぞれ転記して破線で示している。

本報はプラスチック歯車としては大きなトルクでの運転であるが, 図 4, 5 を見るように PBT 歯車および GF 15-PBT 歯車の比摩耗量は, ばらつきがあるものの他のプラスチック歯車と同じく PV 値に相関し, PV 値が大きくなると比摩耗量が增大することがわかる。また, 図 4 からは PBT 歯車は POM 歯車よりも比摩耗量が少ないことが確認でき, 図 5 からは GF 15-PBT 歯車の比摩耗量は GF 25-POM 歯車のそれよりも少ないことが窺える。

15%と比較的ガラス繊維の充てん量が少ないほうなのであるが, 図 4 と 5 の比較でわかるように GF 15-PBT 歯車のほうが PBT 歯車よりも摩耗が多い。例えば, $PV=333 \text{ MPa}\cdot\text{m/s}$ の P-II-A-10 と 15 P-II-A-10 の $N_T=10^7$ 時の比摩耗量を比較してみると, 前者はほぼ $1.5 \times 10^{-8} \text{ mm}$ で, 後者はほぼ $9 \times 10^{-8} \text{ mm}$ である。また $PV=189 \text{ MPa}\cdot\text{m/s}$ の P-II-B-5 と 15 P-II-B-5 では前者はほぼ $0.7 \times 10^{-8} \text{ mm}$ で, 後者はほぼ $5 \times 10^{-8} \text{ mm}$ である。

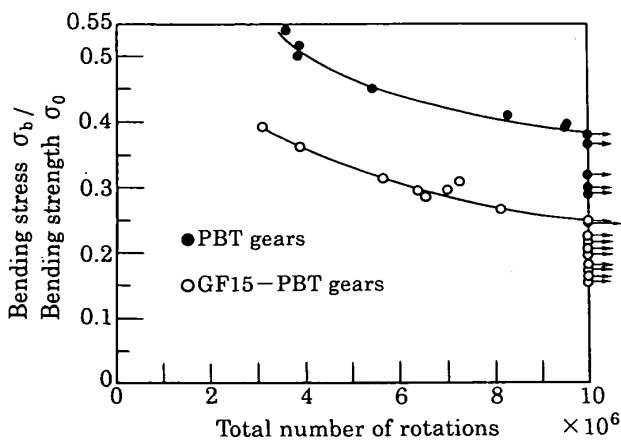


Fig. 3 Relation between σ_b/σ_0 value and life (bending fatigue strength) of PBT and GF 15-PBT gears

歯車の用途とプラスチックの種別によってガラス繊維の最適充てん量が異なってくるが, ここでは PV 値が $400 \text{ MPa}\cdot\text{m/s}$ 近傍以上において GF 15-PBT 歯車の比摩耗の増加量が少なくなっている (比摩耗量のこう配が緩やか) ことが注視される。

3.3 相手鋼歯車の歯の摩耗 強度, 帯電防止, 熱伝導性, 価格などの面から, プラスチック歯車の相手に鋼歯車を多々用いることがある。一般にプラスチック歯車との対で鋼歯車を用いる場合は, 鋼歯車の歯の摩耗は極めて微量なので, その量を問題にする必要はないが, ガラス繊維充てんのプラスチック歯車が相手では, その充てん量によっては鋼歯車の歯も多量に摩耗することがあるので, その量をチェックしておかなければならない。本報の実験 P 15-II-A-10 の場合を例示すると, $N_T=10^7$ 時では鋼歯車の歯の摩耗は 91 mg であった。ここで鋼の密度を 7.8 g/cm^3 とし, また 37 枚の歯が均一に摩耗し, しかも各歯の歯形上の摩耗が均一であると仮定して, この鋼歯車の歯の摩耗厚さ (深さ) を計算してみると, $10.1 \mu\text{m}$ になる。無論この摩耗は少ないほうがよいが, ここでは無潤滑運転であるので, この程度の摩耗はやむを得ない。

3.4 歯形変化の特徴 大きなトルクを伝達するプラスチック歯車の問題点の一つに, 運転経時に伴う歯形の変化があるので, 本報でもこれを調べた。図 6 (a), (b) は一例として実験 P-II-A-10 と 15 P-II-

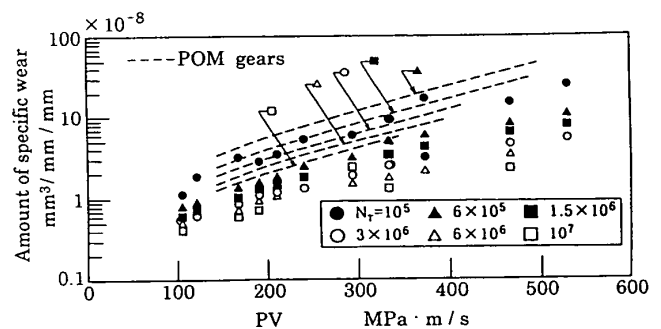


Fig. 4 Amount of specific wear of PBT gears

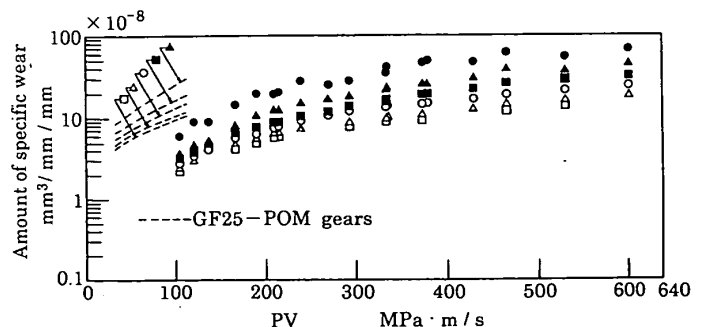


Fig. 5 Amount of specific wear of GF 15-PBT gears

A-10におけるPBT歯車およびGF15-PBT歯車の歯形変化を示したものである。これらの図は基礎円板方式歯形測定機で測定した歯形の記録線図で、各線図間が摩耗深さ(厚さ)を表している。

図6(a)のPBT歯車では、摩耗が少ないため歯厚の減少(T_n が歯厚の減少部)は比較的少ないが、歯元側のかみあい起点Kからピッチ点P近傍にかけての変化が著しい。これは相手鋼歯車の歯先稜(歯先の角)によって歯元がえぐり取られる(T_s の部分)ために起こる現象で(これを歯元の異常摩耗と呼んできた)、ここでは圧力角が大きく変化した歯形になっている。

図6(b)のGF15-PBT歯車では摩耗が多いので歯厚の減少はPBT歯車より多いが、ガラス繊維が充てんされていることからPBT歯車より歯のたわみが小さく、それゆえ歯元の異常摩耗が少なくなり、歯形は図6(a)の下方に示した歯形上の滑り速度の分布形態と類似したV字形になる。よってここでは圧力角はPBT歯車のように大きく変化しない。

この歯形変化からPBT歯車とGF15-PBT歯車の摩耗をみると、前者は歯元の異常摩耗に依存し、後者はPV値に依存していることがわかる。

3.5 歯面温度 図7(a)はPV値(図4に同じ)でPBT歯車およびGF15-PBT歯車の歯面上昇温度(歯面の平衡温度から室温を引いた値)を整理したもので、図7(b)は同方法で整理したこの2種類の歯車とかみあう鋼歯車の歯面上昇温度である。参考のために小PV値の範囲であるが、図7(a)にはGF25-POM歯車の、図7(b)にはこの歯車とかみあう鋼歯

車の歯面上昇温度を破線でそれぞれ示している。

図7(a)のようにPBT歯車およびGF15-PBT歯車の歯面上昇温度は他のプラスチック歯車と同じくPV値に相関し、そしてこの両者ではGF15-PBT歯車のほうが歯面上昇温度が高くなっている。しかし、GF15-PBT歯車はガラス繊維が充てんされている歯車であっても歯面上昇温度POM歯車のそれよりも低くなるように窺える。

図7(a)と(b)の比較でわかるようにPBT歯車およびGF15-PBT歯車と鋼歯車のかみあいでも、他のプラスチック歯車と鋼歯車のかみあいのようにプラスチック歯車よりも鋼歯車のほうが歯面上昇温度は高い。これは鋼歯車が稼働の少ない被動であっても歯面の発生熱はプラスチック歯車よりも熱伝導性のよい鋼歯車のほうに多く伝わるためである。

3.6 歯面粗さ 図8にPBT歯車およびGF15-PBT歯車の運転経時に伴う歯面粗さの変化の一例を示す。これは実験P-II-A-10および15P-II-A-10の場合である。図8を見るようにホブ切りされたPBT歯車およびGF15-PBT歯車の歯面は $N_T=1.5 \times 10^6$ 時まで暫時滑らかになるが、GF15-PBT歯車ではその後少し荒れ、運転終了時の $N_T=10^7$ 時には $7 \mu\text{m}$ 弱になる。この $N_T=(1.5 \sim 3) \times 10^6$ 時に歯面が荒れたのは、この場合はこの間で歯面からガラス繊維が若干多く欠落したためではないかと思われる。他のGF15-PBT歯車においても $N_T=(6 \times 10^5 \sim 3 \times 10^6)$ 間で歯面が少し荒れてくる。PBT歯車は $N_T=1.5 \times 10^6$

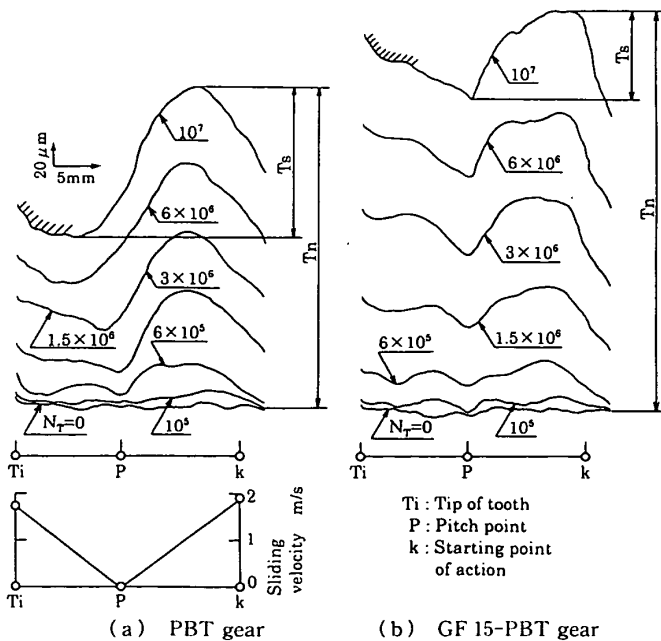
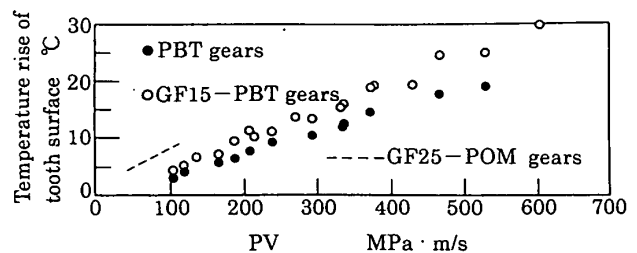
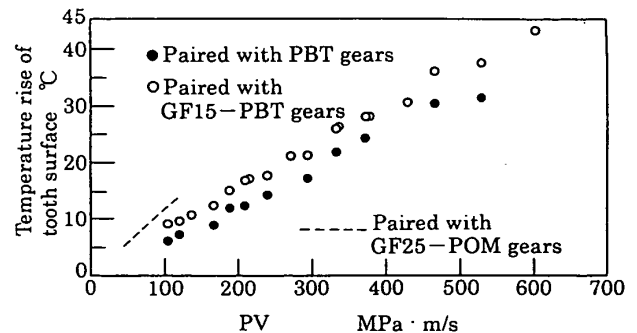


Fig. 6 Tooth profile change of PBT and GF 15-PBT gears



(a) PBT gears and GF 15-PBT gears (Driving gear)



(b) Steel gear (Driven gear)

Fig. 7 Rising temperature of tooth profile

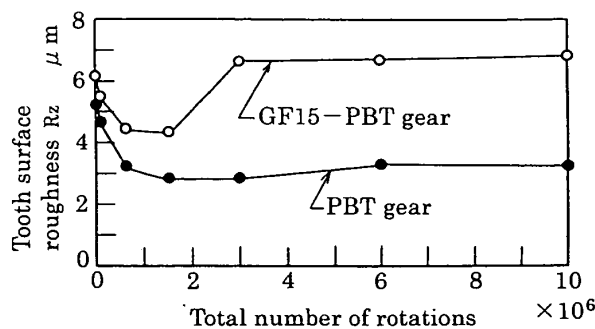


Fig. 8 Tooth surface roughness of PBT and GF15-PBT gears

以後の運転でも歯面粗さはほとんど変わらず、運転終了時では歯面粗さは3 μm 強である。

鋼歯車の歯面粗さはPBT歯車とのかみあいでは、長時間運転してもあまり変化せず $N_T=10^7$ 時ではほぼ4 μm である。一方、GF15-PBT歯車とのかみあいでは、運転経時に伴って小さくなり、 $N_T=10^7$ 時で2 μm 強であった。

4. 結 言

低摩耗のPBT歯車を大きなトルクの伝達に活用する目的で、PBT歯車に安価なガラス繊維を充てんした高剛性、高強度のGF15-PBT歯車を開発し、その運転試験を行って諸特性を調べ、これをPBT歯車と比較した結果をまとめると次のようになる。

(1) GF15-PBT歯車の歯はPBT歯車と同じく最大曲げ応力が作用すると予測される歯元のすみ肉部近傍で折損した(き裂が発生した)。

(2) GF15-PBT歯車およびPBT歯車の運転寿命は、他のプラスチック歯車と同じく σ_b/σ_0 で整理できた。PBT歯車はこの σ_b/σ_0 値がほぼ0.37以下であると $N_T=10^7$ を超える運転が可能であったが、GF15-PBT歯車では σ_b/σ_0 値がほぼ0.25以下でなければ $N_T=10^7$ を超える運転ができなかった。しかし例えば、実験15 P-II-B群 ($\sigma_b=27 \text{ MPa}$) がすべて無損傷で $N_T=10^7$ まで運転できたように、負荷能力はGF15-PBT歯車のほうがPBT歯車よりも大きい。

(3) GF15-PBT歯車の比摩耗量はPBT歯車お

よび他のプラスチック歯車と同じく PV 値に関連した。GF15-PBT歯車はPBT歯車より摩耗が多かったが(例えば、 $PV=333 \text{ MPa}\cdot\text{m/s}$ の $N_T=10^7$ 時の比摩耗量は前者ではほぼ $9 \times 10^{-8} \text{ mm}$ 、後者ではほぼ $1.5 \times 10^{-8} \text{ mm}$)、 PV 値が $400 \text{ MPa}\cdot\text{m/s}$ 近傍以上では比摩耗量の増加量はPBT歯車のそれより少なかった。PBT歯車の摩耗は歯元の異常摩耗に依存し、歯形はかみあい起点からピッチ点近傍にかけて大きく変化(圧力角の変化)したが、GF15-PBT歯車はPBT歯車よりも歯厚が減少したものの、圧力角の変化は少なかった。

(4) GF15-PBT歯車はPBT歯車より歯面の上昇温度が若干高かった(両者の温度差は例えば、 $PV=189 \text{ MPa}\cdot\text{m/s}$ で 2.8°C 程度、 $PV=333 \text{ MPa}\cdot\text{m/s}$ で 3.6°C 程度)。

(5) 無損傷で運転できたPBT歯車の $N_T=10^7$ 時の歯面粗さ(Rz)は3 μm 強で、GF15-PBT歯車ではこれが7 μm 弱であった。またPBT歯車とのかみあいでは鋼歯車の歯面粗さは $N_T=10^7$ 時ではほぼ4 μm であったが、GF15-PBT歯車とのかみあいでは、これが2 μm 強であった。

歯車の用途が異なり、また母材のプラスチックや充てん繊維の種類も多いので、まだ繊維の最適充てん量を簡単に求めることを提案できていないが、ここでは上記のように低摩耗のPBT歯車にガラス繊維を15%充てんすることによって比較的low摩耗にして大きなトルクを伝達できるプラスチック歯車が開発できた。

文 献

- (1) 塚本尚久・ほか2名, 機論, 63-616, C (1997), 4339-4346.
- (2) 三菱エンジニアリングプラスチック(株), ノバドール技術資料, (1999), 2-6.
- (3) 塚本尚久・三村博, 機論, 63-614, C (1997), 3619-3627.
- (4) 塚本尚久, 機論, 46-409, C (1980), 1116-1126.
- (5) 塚本尚久, 機論, 49-447, C (1983), 2048-2056.
- (6) 塚本尚久, 機講論, No. 800-15 (1980-8), 55-59.
- (7) 中田孝・石川二郎, 歯車伝動 (1966), 47, 誠文堂新光社.
- (8) 例えば塚本尚久・ほか3名, 機論, 58-545, C (1992), 231-237.
- (9) 塚本尚久・ほか2名, 機論, 62-593, C (1996), 298-305.
- (10) 塚本尚久・ほか2名, 機論, 57-533, C (1991), 230-235.
- (11) 塚本尚久・ほか2名, 機論, 49-437, C (1983), 74-84.