

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：56301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760125

研究課題名(和文)竹繊維を用いた竹歯車の製作とその動的性能評価

研究課題名(英文)Fabrication of bamboo gear using bamboo fiber and there dynamic performance

研究代表者

越智 真治(Ochi, Shinji)

新居浜工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号：20390388

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：原材料に竹を用いて竹歯車を作製し、実際に使用されているPOM(ポリアセタール)製歯車と精度および動的な性能の比較を行った。その結果、160、180、200で円筒状の予備成形体を作製し、それをホブ盤で加工する手法を確立した。本手法により作製した歯車は、射出成形により成形されたPOM歯車と同等の精度を有した。また、動的な性能として、200で成形した竹歯車は、騒音、歯面温度、摩耗量ともにPOM歯車と同等の性能を有することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This research was performed to comparison the accuracy and the dynamic performance a gear made from bamboo and POM (polyacetal). At first, cylindrical pre bamboo product was fabricated. Next, the product was processed into the gear using the gear hobbing machine. The gear produced with this technique had accuracy equivalent to POM gear fabricated by injection molding. Moreover, the bamboo gear fabricated at 200 degree centigrade showed clearly that noise, temperature and wear have performance equivalent to POM gear as dynamic performance.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・設計工学・機械要素・トライボロジー

キーワード：機械要素 竹 歯車 動力試験

1. 研究開始当初の背景

日本は以前タケノコの産地であった。しかし、近年では中国から安価なタケノコが輸入されるようになり、日本の竹林は荒れてしまい、その処分に困るようになってきた。特に徳島の阿南地区では、多くの竹林が放置され、その処分に手を焼いている状態である。実際に阿南市では、竹を有効利用するため、竹を伐採し、竹繊維や竹粉を製造する装置をつくる企業などができつつある。しかしながらその出口の部分、つまり繊維や竹粉をどのように利用するのか、まだ確立できていないのが現状である。現在は、家畜の餌や農業用堆肥などに使用されている。

2. 研究の目的

本研究では、竹を利用し、プラスチック材料への代替を試みることにした。粉碎した竹は、温度を上げ、圧力をかけると自己接着性により、成形が可能になることに注目し、竹をホットプレスにより、プレス成形材料を作製し、その引張特性、曲げ特性についての基礎的な研究を行ってきた。今後はこの材料の応用を成し遂げるため、機械要素用材料への実用化を試み、歯車への加工を試みて、プリンターやコピー機などの短サイクルな商品への応用を成し遂げることを目的とする。

研究期間内に(1)竹歯車の創製(2)竹歯車の精度評価(3)動的性能試験を実施し、現在利用されているポリアセタール製プラスチック歯車(以後、POM 歯車と記す)と精度および性能の比較を行い、より性能のよい竹歯車の製作方法を明らかにしてプラスチック歯車に勝る竹歯車を開発することを目標とした。

3. 研究の方法

(1) 竹歯車の創製

使用した竹の写真を図1に示す。粉碎した竹は、繊維部と木質部とがあり、これらが入り交じっている状態を用いた。(以後、竹粉と記す)。

竹歯車の作製は、歯車成形用の金型による歯車の製作と一度予備成形体を作製しその予備成形体をホブ盤で加工する2つの方法を試みた。



図1 使用した竹粉

歯車成形用金型を用いた方法は、小型熱プレス機(ASONE AH2003)を使用した。歯車の成形条件は竹粉 20g, 成形温度 200℃, 成形圧力 127.6MPa である。まず、室温 20℃, 湿度 30% に温度管理された竹粉を金型に入れる。次にプレス機にセットし 200℃ まで加熱し、所定の圧力をかけ、扇風機で空冷した。最後に金型から歯車を取り出した。

ホブ盤による歯車の成形は、成形温度を 160℃, 180℃, 200℃ とし、円柱状の予備成形体を作製し、この予備成形体をホブ盤によって歯切りを行った。3条件の成形温度で作製したのは、成形温度によって、竹粉が溶融する具合が変わり、この違いによって、歯車の性能に違いが生じると予想したためである。歯車成形用金型を用いた場合は、160℃, 180℃ では十分に成形できなかったため、200℃ 一つのみ条件とした。

(2) 竹歯車の精度評価

歯車かみ合い試験機(NITM DF-10)を用いて、全かみあい誤差、1ピッチかみ合い誤差を測定し、JIS規格と比較して等級を求めた。

(3) 動的性能試験

動力吸式歯車試験装置を使用し、歯車の動力試験を行った。動力試験は連続運転とし、折損がなければ総回転数 10^7 回まで回転させた。

使用した歯車動力試験機のモデルを図2に示す。図2(A)のモーターで竹歯車1の回転数を調節し、(B)のパウダーブレーキで竹歯車2から竹歯車1に負荷をかけ(C)のトルクメータでその負荷を調整した。その際、回転数(1000~1500rpm)、負荷(0.5~1.0Nm)を変えて 10^7 回まで回転させて、騒音、歯面温度、摩耗量を測定し、様々な条件下における歯車の性能を評価した。騒音は、歯車がかみあっている所から 100mm 上に騒音計(RION NL-32)設置し、騒音を測定した。歯面温度は、放射温度計(HORIBA IT-550)を用いて、非接触でかみ合い点の温度を測定した。摩耗量は、試験前後の歯車の質量の変化を測定した。

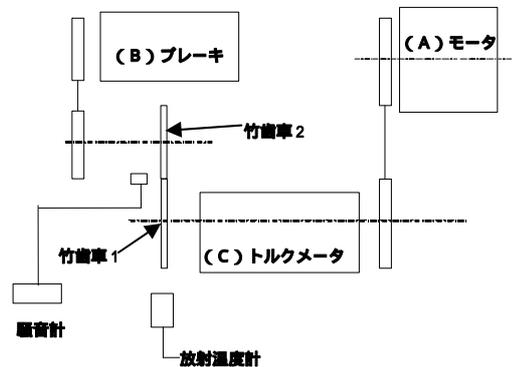


図2 歯車動力試験機

4. 研究成果

(1) 竹歯車の創製

図3にホブ盤により加工した歯車の外観写真および歯の拡大写真を示す。モジュール=1, 歯数=40, 厚さ10mmのインポリュート歯形の平歯車である。図に示すように本手法を用いることにより, 竹のみを原材料とした歯車を作製することが可能であった。ホブ盤で加工した歯車は, 160, 180, 200 全ての成形温度で加工が可能であった。しかし, 歯車成形用の金型を用いた場合は, 160, 180 では, 歯先まで十分竹粉が充填されず, 成形不良となった。このため, 歯車成形用金型を用いた竹歯車の精度評価および動的試験は, 200 で作製した歯車のみ実施した。

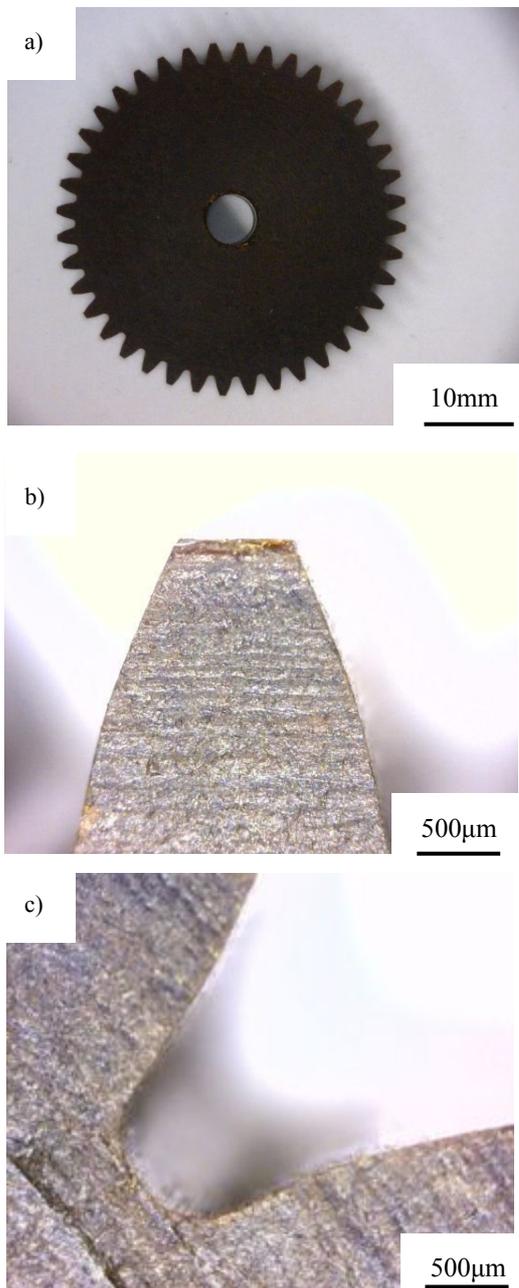


図3 作製した竹歯車の写真
a) 歯車の外観, b) 歯車の歯先, c) 歯車の歯元

(2) 竹歯車の精度評価

表1に歯車かみ合い試験機を用いて評価した竹歯車の精度を示す。表にはホブ盤で加工した歯車の精度と目標とする POM 歯車の精度等級を示している。歯車成形用の金型で作製した歯車は精度等級には当てはまらなかった。この原因としてプラスチック製歯車作製の金型はプラスチックの熱収縮を考慮した寸法で設計されているが, 今回製作した竹歯車は成形後収縮せず, 逆に膨張する傾向がみられた。竹を用いて歯車を成形するには熱収縮ではなく, 膨張を考慮した金型を設計する必要があると考えられる。竹粉を用いる場合の歯車用金型設計については, 今後の課題とする。歯車の精度は, 全かみあい誤差, 1ピッチかみあい誤差それぞれの測定結果から等級を出し, 等級の大きい方をその歯車の精度等級としている。図4は竹歯車の精度測定結果の一例を示す。両歯面かみあい試験で, 歯車を検査用マスター歯車とかみあわせたときの中心距離の変動を測定している。ここで, 1ピッチかみあい誤差とは, 1ピッチだけかみあう間の中心距離の変動であり, 全かみあい誤差とは, 歯車1回転中における中心距離の変動の最大値である。表は, 測定結果の一例であり, 各条件で4個の結果を示している。表より, 作製した竹歯車は9~10級

表1 竹歯車の精度等級

歯車の種類	番号	精度 (等級)	全かみあい誤差 (等級)	1ピッチかみあい誤差 (等級)
竹歯車(160°C)	1	9	8	9
	2	9	8	9
	3	10	7	10
	4	10	10	10
竹歯車(180°C)	1	9	8	9
	2	9	9	9
	3	10	7	10
	4	10	7	10
竹歯車(200°C)	1	9	8	9
	2	9	8	9
	3	10	9	10
	4	10	9	10
POM	1	9	7	9
	2	9	7	9
	3	10	8	10
	4	10	8	10

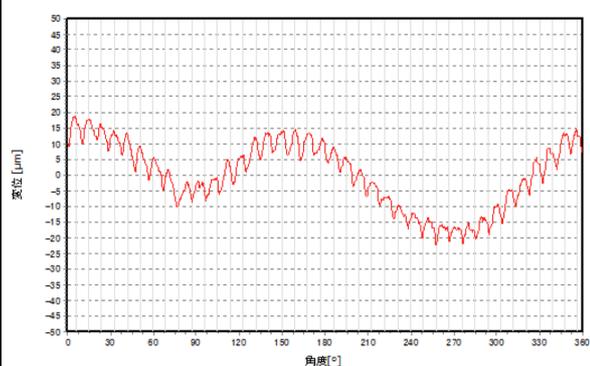


図4 竹歯車の精度測定結果の一例

となり、目標とする POM 歯車と同等の精度等級となった。

以上の結果より、今後はこのホブ盤により加工した歯車を耐久試験に使用することとした。また、歯車の動的な性能に及ぼす成形条件の影響を調査するため、160、180、200 で作製した歯車および POM 製の歯車について動力試験を実施することにした。

(3) 動的性能試験

歯面温度について

図 5 に回転速度 1000rpm、負荷トルク 0.5Nm で試験した歯車の歯面温度の上昇と総回転数との関係を示す。図より、各歯車は 10^7 回転まで破損しなかった。 10^7 回転したときの竹歯車(160)、竹歯車(180)、竹歯車(200)、POM 歯車の歯面温度はそれぞれ、10.1、9.8、10.2、9.8 となり大きな差異は見られなかった。各竹歯車の 10^5 回転以降の歯面温度の上昇には差が見られなかった。 $10^3 \sim 10^4$ 回転で各歯車の歯面の温度にばらつきが見られるのは、この回転数の間で試験機の回転数とトルクの調整を行っているからだと考えられる。このことを考慮すると竹歯車の歯面温度に及ぼす成形温度の影響は、現れていないと考えられる。

騒音について

図 6 に騒音と総回転数との関係を示す。図より、 10^7 回転したときの竹歯車(160)、竹歯車(180)、竹歯車(200)、POM 歯車の騒音はそれぞれ、84.2dB、83.6dB、84.0dB、87.1dB となった。 $10^3 \sim 10^4$ 回転の間で回転数とトルクを調整していることから、これらの回転数付近では各竹歯車の騒音にばらつきが見られる。 10^7 回転時の各竹歯車の騒音には大きな差は見られず POM 歯車より騒音は小さい。POM 歯車は総回転数が上がるにつれて騒音が増しているが、竹歯車ではそのような傾向は見られなかった。また、成形温度が変わると竹粉の溶解の度合いが変わることから、成形温度が変わると騒音にも影響すると予想していたが、竹歯車は、いずれの成形温度でもほぼ同じ値を示した。

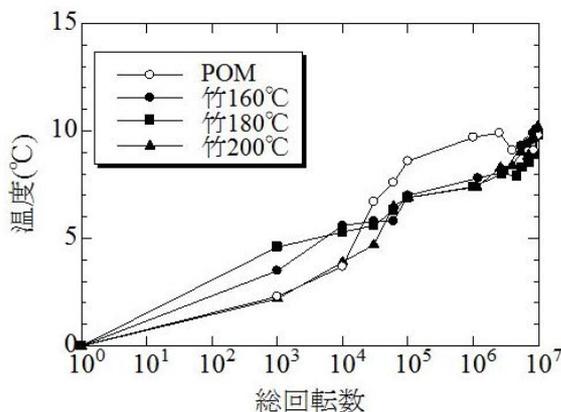


図 5 総回転数と歯面の温度の関係 (1000rpm, 0.5Nm)

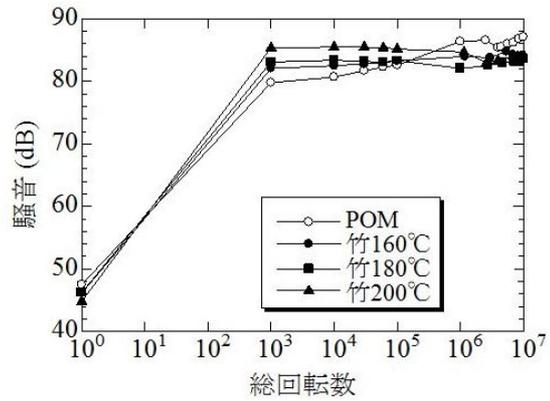


図 6 総回転数と騒音の関係 (1000rpm, 0.5Nm)

摩耗量

図 7 に回転速度 1000rpm、負荷トルク 0.5Nm の条件での 10^7 回転後の摩耗量を示す。図より、竹歯車の摩耗量を比較すると 160、180、200 と成形温度が高くなるにつれて、摩耗量が減少していることがわかる。駆動側の歯車では、160 が 0.062g、180 が 0.0176g、200 が 0.0052g、POM が 0.0061g となった。これは、竹粉は温度が上昇すると自己接着性が強まる性質を持っているからだと考えられる。竹歯車(160)、竹歯車(180)は、POM 歯車と比べて摩耗量が大きい。竹歯車(200)の摩耗量は POM 歯車と同程度の値となっていることがわかる。

図 8 に試験条件回転速度 1000rpm、負荷ト

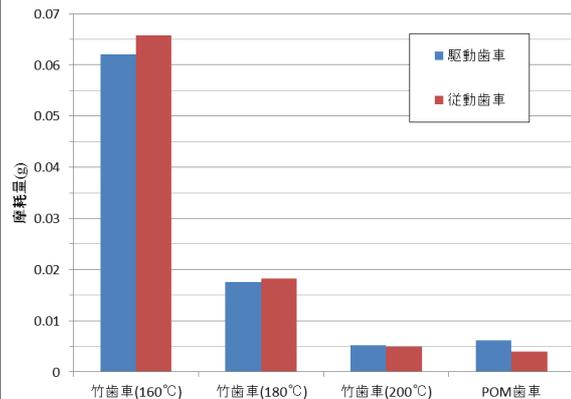


図 7 摩耗量 (1000rpm, 0.5Nm)

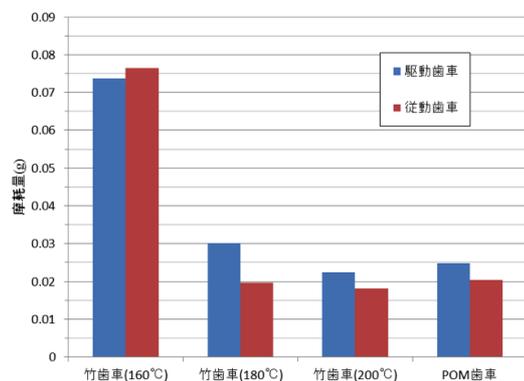


図 8 摩耗量 (1000rpm, 1.0Nm)

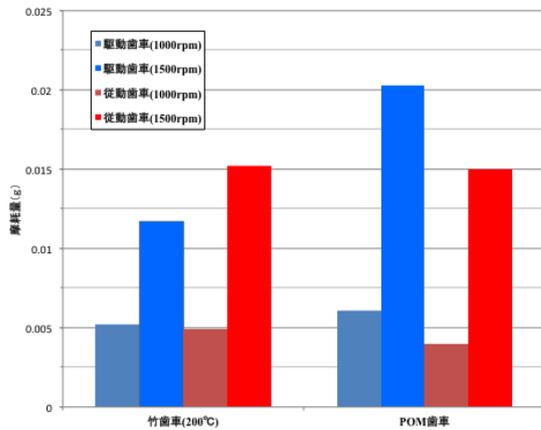


図9 摩耗量(1000rpm・1500rpm,0.5Nm)

トルク 1.0Nm の条件で試験した場合の 10^7 回転後の摩耗量を示す。駆動側の摩耗量は、160 が 0.0738g, 180 が 0.0302g, 200 が 0.0225g, POM が 0.0249g となり、負荷トルク 0.5Nm の場合にくらべて、摩耗量は多くなった。しかし、傾向としては、負荷トルク 0.5Nm 同様に成形温度が高くなるにつれて摩耗量は、小さくなり、200 で成形した竹歯車は、POM 歯車と同程度の摩耗量となった。

図9に回転速度を 1000rpm, 1500rpm とした場合の 10^7 回転後の摩耗量を示す、200 で

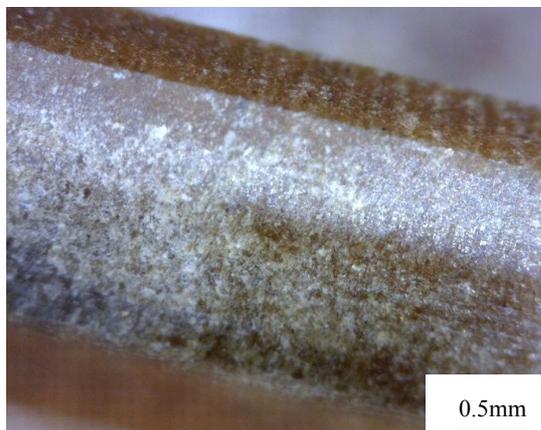
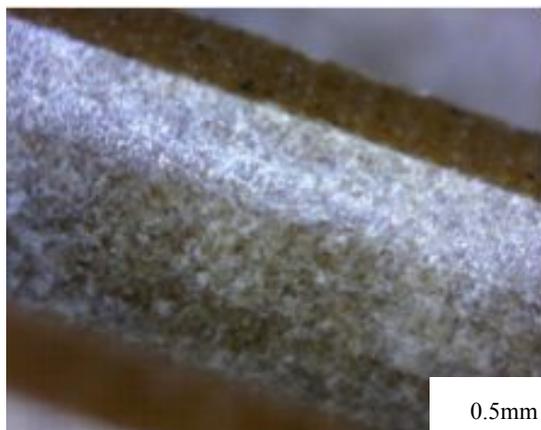


図10 動力試験後の歯車の写真
a)160 , b) 180

成形した竹歯車で、負荷トルク 0.5Nm である。駆動側の摩耗量は、1000rpm が 0.0052g, 1500rpm が 0.0117g, POM は、1000rpm が 0.0061g, 1500rpm が 0.0203g となり、回転速度が上がるにつれて摩耗量は大きくなった。この結果より、負荷を変えた時と同様に 200 で成形した竹歯車は、POM 歯車と同程度の摩耗量となった。

図10に 10^7 回転後の歯車の歯面の写真を示す。図10a)は、成形温度 160 , 図10b)は 180 で成形した歯車である。図から明らかなように 160 で成形した歯車は 180 で成形した歯車よりも摩耗している範囲が大きく、図7, 8 で示したように成形温度が高くなると摩耗量が小さくなる結果は、可視的にも観察できた。

まとめ

本研究では、原材料に竹を用いて、歯車を作製し、その精度および動的な性能を POM 歯車と比較した。その結果、竹粉を用いて円柱状の予備成形体を作製し、ホブ盤で加工することにより、目標とする POM 歯車と同程度の精度を有する竹歯車を作製できること、作製した竹歯車は、回転数 1000~1500rpm, 負荷トルク 0.5~1.0Nm の条件において 10^7 回転まで破損せずに耐えること、歯車回転時の歯面温度および発生する騒音は、POM 歯車と同程度であること、摩耗量は、成形温度を上げると小さくなること、負荷・回転速度を上げると POM 歯車と同様に大きくなること、200 で成形した竹歯車は、負荷および回転速度を変えても POM 製歯車と同程度の値を示すこと。以上のことを明らかにした。

今回は、竹歯車と POM 歯車と比較するため、室温 20 における竹歯車の動力試験を行ってきたが、今後は、温度や湿度を変え、様々な環境下における動力試験を実施していくことにより、実用化を成し遂げられるのではないかと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

越智真治, 竹材を用いた歯車の製作とその精度評価, 新居浜工業高等専門学校研究紀要, vol.49, 2013, 13-17

〔学会発表〕(計3件)

越智真治, 島田純次, 竹歯車の騒音におよぼす成形条件の影響, 日本設計工学会四国支部平成25年度研究発表講演会 2014, 11-12

越智真治, 竹歯車の動的性能に及ぼす成形条件の影響, 第24回プラスチック成形加工学会年次大会 成形加工'13, 2013, 371-372

越智真治, 竹粉を用いた歯車の成形とその精度評価, プラスチック成形加工学会 成形加工シンポジウム'12, 2012, 411-412