

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 17 日現在

機関番号：56301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03919

研究課題名（和文）高負荷に耐えられる竹歯車の開発

研究課題名（英文）Development of high-strength bamboo gears and the 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） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：平成30年度には高強度な竹粉成形体を作製するため、繊維強化により竹粉成形体の高強度化を図ることを目標としていた。その結果、成形温度180℃、繊維含有率70%の条件の成形体が曲げ強度101.4MPaと最も高い強度を示した。平成31年度には竹歯車の耐久試験を行い、より高い負荷に耐えられることを実証することであった。その結果、負荷トルク1.5Nmにおいても10の7乗回転まで耐えた。令和2年度には歯車運転に適した竹歯車の成形条件を見いだすことであつた。繊維強化した竹歯車の騒音はPOM製歯車より小さい値を示すことを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の目的は、竹粉を母材とし竹繊維を強化材として繊維強化複合材料を作製し、高負荷に耐えられる竹歯車を開発することであつた。一般的な複合材料の強度と繊維体積率の関係についての複合則は確立されているが、成形温度に影響を受ける天然植物を用いた複合材料に関する複合則は申請者の知る限り確立されていなかった。この点において本研究は学術的な意義があると考えられる。また、竹繊維を用いた成形材料の研究や応用、複合材料に関する新しい知見、歯車のみでなく他の機械構造物への応用の可能性も示すことができ、関連研究分野の進展および科学技術の発展に対して貢献できたと言え、社会的意義があると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this work is to investigate whether bamboo gear can replace POM(polyacetal) gear. At first, relationship between mechanical properties and molding temperature of bamboo product was examined. Afterwards, relationship between tensile and flexural strength and bamboo fiber contents was examined. Next, cylindrical pre-bamboo product contained bamboo fiber and powder was fabricated. Then, the product was processed into the gear using the gear hobbing machine. Finally, temperature of surface of gear, sound level and wear of bamboo gear were determined in using dynamic testing machine. As a result, bamboo product contained 70% bamboo fiber bundles molded at 180℃ showed higher strength than POM. Bamboo gear reinforced by bamboo fiber showed that durability of spur gear is improved. Moreover, bamboo gears showed less sound level than POM gear when they were driven under the condition of torque 1.5Nm and rotational speed 1000 rpm.

研究分野：機械要素

キーワード：機械要素 歯車 竹

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

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。しかし現在では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。地元四国でも、多くの竹林が放置され、その処分に手を焼いている。現在は竹を有効利用するため、竹を伐採し、竹粉を製造する装置をつくる企業ができている。しかしながら、その竹粉をどのように利用するのかを模索しており、現在では主に堆肥や家畜の餌としての利用、容器の成形や竹炭への応用などの研究が行われている。国外では、竹や麻などの天然植物を素材としたエコ材料の研究が行われ、国内外で天然素材を用いた新材料の研究、開発が活発に行われている。

そこで本研究では、より付加価値の高い竹の有効利用方法として、竹のみを原材料とし、プラスチック材料への代替を目指すことにした。竹粉は加熱圧縮することにより自己接着性を発揮し、竹粉のみでプラスチックの様に成形材料を作製することが可能となる。この成形品の応用の一例として、竹粉で歯車を創製し、その性能評価を行ってきた。この竹歯車の実用化としては、コピー機やプリンター等の短サイクルな商品へ利用を想定している。実際に竹を用いて歯車を作製した所、歯は欠けることなく加工が可能であった。動力試験を行った結果、騒音は現在使用されている POM 製の歯車と同等、 10^7 回転後の摩耗量は、200 で成形した竹歯車は POM 歯車と同等の値を示した。しかしながら、これは負荷トルク 0.5 Nm, 1.0 Nm の場合の結果であり、負荷トルクを 1.5 Nm まで上昇させると竹歯車は耐久試験の限度回数の 10^7 回転まで耐えることができなかった。これは、竹粉成形体自身の強度が POM よりも低いことが原因と推察した。POM の曲げ強度は 90 MPa であるが、竹粉成形体の曲げ強度は 60 MPa であり、この竹粉成形体の強度を上昇させることができれば、この問題を解決できるのではないかと考えた。

2. 研究の目的

本研究では、竹を原材料として、現在幅広い分野で使用されているプラスチック製歯車に匹敵する性能を有する竹歯車を新規開発することを目的とする。特に、より高い負荷に耐えられる竹歯車の作製を目指す。そのために、まず(1)繊維強化により竹粉成形体の高強度化を図る。次に(2)歯車動力試験機を用いて竹歯車の耐久試験を行い、より高い負荷に耐えられることを実証する。最後に(3)竹繊維と竹粉の配合率の関係や他の因子から歯車運転に適した竹歯車の成形条件を見いだす。以上を達成し、目標とする POM(ポリアセタール)製歯車との比較を行い、より高い負荷に耐えられる竹歯車を製作することを目指す。この竹歯車のメリットは、石油を原材料としたプラスチック歯車と異なり、植物由来のため枯渇せず再生産が可能であること、使用後は埋立てや焼却処分が可能になることである。

3. 研究の方法

(1) まず高強度な竹粉成形体の作製については繊維強化を図る。竹粉成形体の利点を生かすため、同じく天然植物の竹繊維を使用する。竹繊維は、爆砕処理を行うことにより取り出すことができる。爆砕とは竹を釜の中に入れ、高温高圧にし、その後、大気解放することにより、木質部を粉砕し、竹繊維を取り出す方法である。釜のサイズに応じて長い繊維で取り出すことが可能であり、切断することにより任意の長さにすることが可能になる。この竹繊維自身の引張強度は約 500 MPa を得ている。この竹繊維を強化材として POM(曲げ強度 90 MPa)以上の強度を得る。図 1 に用いた竹粉の写真、図 2 に竹繊維の写真、図 3 に竹繊維で強化した竹粉複合材料の写真を示す。写真で示すように竹のみでプラスチックのように成形材料の製作が可能である。

(2) 次に耐久試験については、1 年目に明らかにした成形条件で竹歯車を作製し、動力試験を行う。耐久試験は、歯車動力試験機を用いる。負荷を変えて耐久試験限度の 10^7 回まで回転させ、歯車の耐久性を評価する。これまでは竹粉のみを用いていたため、負荷を 1.5 Nm にすると 10^7 回転まで耐えられず、破損する歯車があった。本研究では、高強度化を図った素材を用いるため、更に高い負荷まで耐えられると予測している。図 4 に作製した竹歯車の写真、図 5 に歯車の歯先の拡大写真を示す。写真で示すように歯はかけずに加工できていることがわかる。

(3) 歯車運転に適した竹歯車の成形条件を見いだすについて説明する。本研究での一番の目的は、より高い負荷に耐える竹歯車を創製することである。しかしながら、この材料を歯車に加工



図 1 竹粉の写真



図 2 竹繊維の写真



図 3 竹繊維/竹粉複合材料

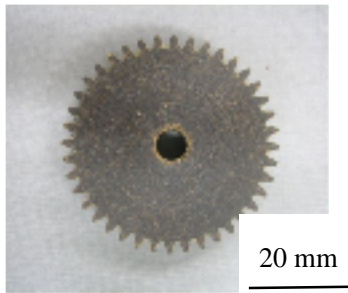


図4 竹歯車の外観写真

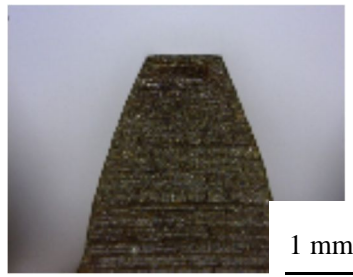


図5 歯先の写真

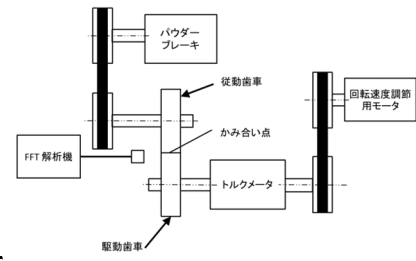


図6 歯車動力試験機

した際、高い負荷に耐えられても、繊維強化により、物性値が変化し、これが歯車の騒音や温度、摩耗量に影響することが考えられる。いくら高強度化を成し遂げたとしても、騒音や発熱が大きくなると歯車として適さない。このため本研究を遂行するにあたり、竹歯車の動的な性能と繊維/竹粉の配合比との関係、成形温度の影響などを明らかにし、高強度化のみでなく、騒音が小さくなるような条件を見いだす計画である。図6は歯車耐久試験機の模式図を示す。駆動歯車、従動歯車を取り付け、中心間距離を調整する。ストロボスコープを利用し、モータで規定回転速度に合わせ、トルクメータを利用し、パウダーブレーキでトルクを調整した。一定時間毎にかみ合い点の温度、騒音を記録した。温度は赤外線温度計 (HORIBA IT-550) による非接触測定、騒音はかみ合い点の上方 100mm に設置した騒音測定器 (RION NL-32) によって測定した。

4. 研究成果

(1) 竹粉成形材料の強度特性におよぼす成形条件の影響

図7、図8に引張強さおよび曲げ強さと成形温度の関係を示す。繊維含有率は50%一定としている。成形温度 160、180、200 の引張強さは 曲げ強さはそれぞれ 76.8、80.7、59.3MPa となり、160 から 180 にかけて強度が上昇し、200 では強度が下がる傾向が見られた。このことから、繊維含有率の影響を調べる際の成形温度は 180 とした。

図9、10に引張強さおよび曲げ強さと繊維含有率の関係を示す。繊維含有率 30%、50%、70% それぞれの曲げ強さは 58.2、80.7、101.4MPa となり、繊維含有率の上昇に伴い強度が上昇している様子が見られ、繊維含有率 70%では POM の曲げ強度である 90MPa を超えた。

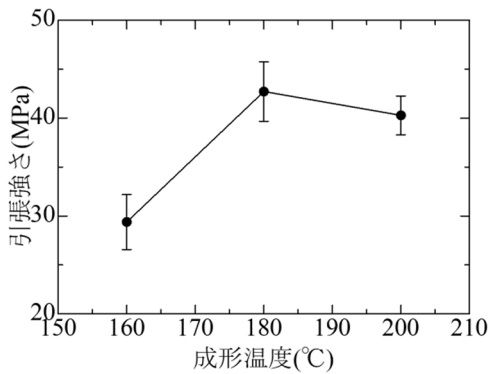


図7 引張強さと成形温度の関係(繊維含有率 50%)

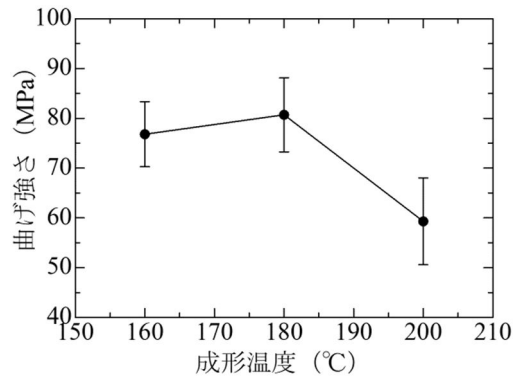


図8 曲げ強さと成形温度繊維含有率の関係 (繊維含有率 50%)

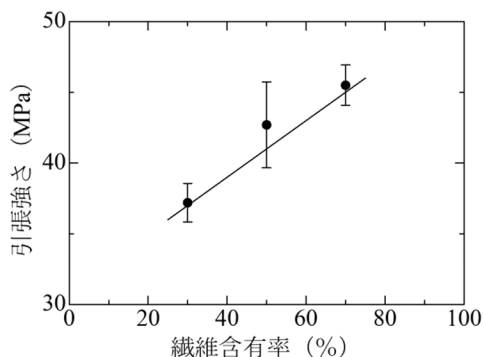


図9 引張強さと繊維含有率の関係(成形温度 180)

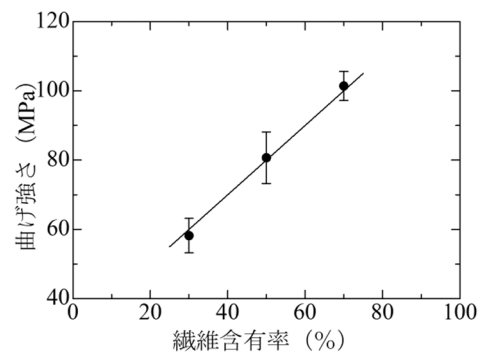


図10 曲げ強さと繊維含有率の関係(成形温度 180)

(2)竹歯車の動力試験

図 11 に回転速度 1000rpm で、トルク 1.5Nm を負荷した竹歯車(成形温度 180)と POM 歯車の総回転数と歯面温度の関係を示す。ここで 10^0 回転は 1 回転目ではなく、歯車を運転していない 0 回転の状態を表す。 10^7 回転時の竹歯車の各条件における歯面温度は、繊維含有率 30%が 30.7 , 50%が 26.7 , 70%が 27.3 となっており、POM 歯車は 25.5 となっている。本実験において、3 条件とも負荷トルク 1.5Nm, 回転速度 1000rpm の条件下で 10^7 回転まで耐えた。このことから、材料強度の上昇によって製作した歯車の耐久性が上がるということが明らかとなった。 10^7 回転時における竹歯車と POM 歯車の温度上昇は同程度である様子が見られた。竹粉のみで成形した場合の歯車において、竹歯車と POM 歯車に温度上昇の違いは見られなかったため、本実験においても同様の傾向が見られたと考えられる。

図 12 に回転速度 1000rpm で、トルク 1.5Nm を負荷した竹歯車(成形温度 180)と POM 歯車の総回転数と騒音レベル(A 特性)の関係を示す。 10^7 回転時の竹歯車の各条件における騒音レベルは、成形温度 180 の場合、繊維含有率 30%が 89.2dB, 50%が 88.5dB, 70%が 86.4dB となっており、POM 歯車は 93.9dB となっている。騒音の変化の傾向として、 10^5 回転以降 POM 歯車は騒音レベルが上昇していることに対し、竹歯車は一定になっている傾向が見られた。POM 歯車には回転数が大きくなると滑りによる摺動音の発生が確認されており、本実験における POM 歯車の騒音の上昇もこれが原因と考えた。

(3)竹歯車の特性

図 13, 14 に回転速度 1000rpm で、トルク 1.5Nm を負荷した竹歯車(成形温度 180)と POM 歯車の 10^5 回転時および 10^7 回転時における周波数解析の結果を示す。図より、 10^7 回転時において、赤丸で示すように POM 歯車の 3000Hz 以上の高周波成分が 10^5 条回転時よりも増加している様子が見られた。このことから、POM 歯車の 10^7 回転時の騒音が増加した原因が摺動音による高周波成分の増加であると考えられる。また、竹歯車と POM 歯車に共通して、同じ周波数成分がみられた。これは歯面がかみ合う際に生じるピッチノイズであると考えられる。

図 15 に竹歯車と POM 歯車の表面粗さの変化を示す。表面粗さは竹歯車と POM 歯車のピッチ円付近の歯面粗さを歯すじ方向に測定し、実験前後の変化の様子を調べた。竹歯車の各条件における表面粗さは、実験の前と後それぞれ、繊維含有率 30%で 0.98Ra, 1.24Ra, 50%で 1.37Ra, 1.23Ra, 70%で 1.38Ra, 0.80Ra となっており、POM は 0.55Ra, 2.73Ra となっている。算術平均粗さの増加は摺動音にも影響を及ぼすとされているため、周波数解析で見られた POM 歯車の高周波成分は歯面粗さ増加に伴う摺動音の増加であると考えた。

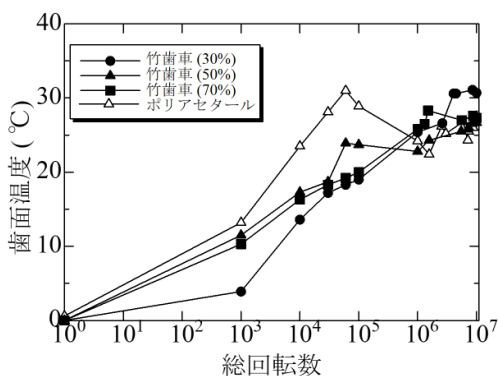


図 11 歯面温度と回転数との関係

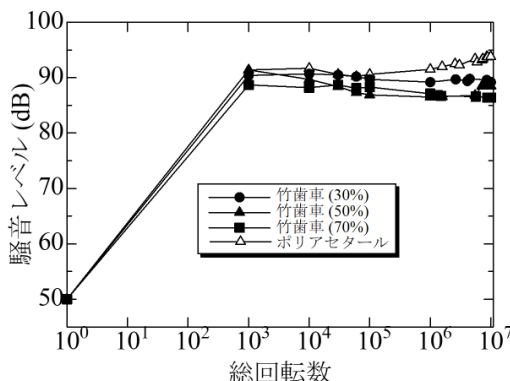


図 12 騒音と回転数との関係

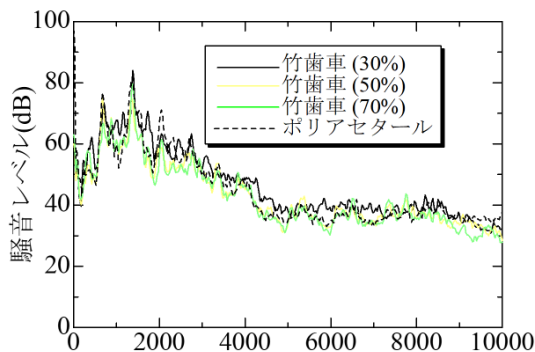


図 13 歯車の周波数解析の結果
(10^5 回転時)

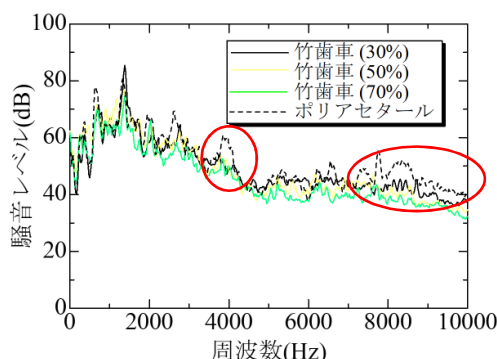


図 14 歯車の周波数解析の結果
(10^7 回転時)

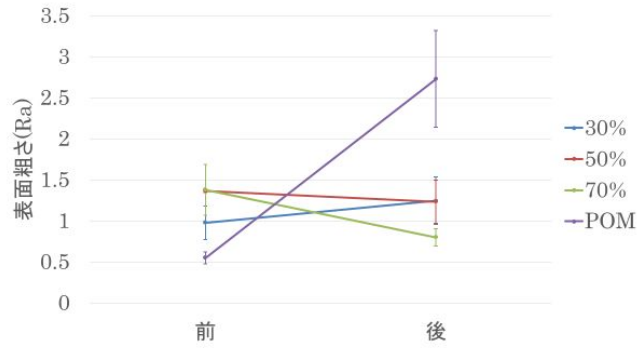


図 15 動力試験前後の歯面粗さ

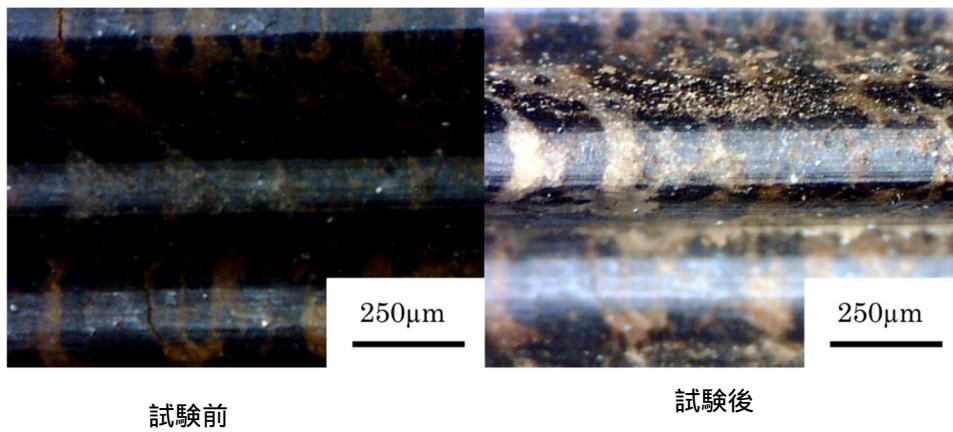


図 16 動力試験前後の竹歯車の歯面の写真

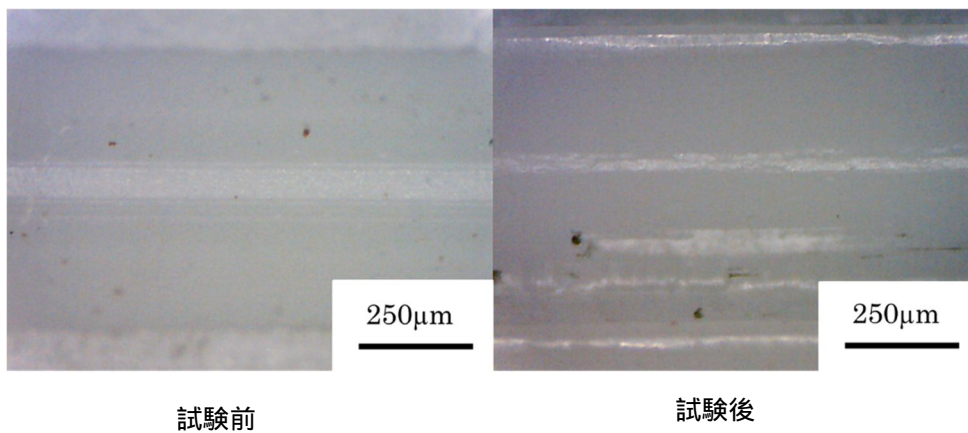


図 17 動力試験前後の POM 歯車の歯面の写真

図 16, 17 に動力試験前後の歯車の歯面の様子を示す。竹歯車は摩耗跡は見られないが、POM 製歯車には摩耗している様子を写真でも確認することができた。これが、図 15 の粗さの増大につながりその結果として、図 13, 14 に示すように高周波領域で POM 歯車の周波数レベルが竹歯車よりも大きくなったと推察した。

これらの結果より (1) 竹粉を竹繊維で強化することによって、強度が向上し、成形温度 180℃、繊維体積率 70% で最も高い強度を有し、POM に匹敵する強度を得られること。(2) 繊維強化により作製した竹歯車は、負荷トルク 1.5Nm において総回転数 10^7 回転まで耐えること。(3) 歯面温度については、繊維体積率 50%、70% の場合、POM 歯車と同程度であること、騒音については POM 歯車よりも小さい値を示すことが明らかになったといえる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 越智真治
2. 発表標題 竹粉成形材料の強度特性と歯車への応用
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会 第30回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 越智真治, 河津翼
2. 発表標題 竹繊維で強化した竹歯車の製作とその動的性能
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 越智真治, 河津翼
2. 発表標題 高負荷に耐えられる竹歯車の製作とその動力性能
3. 学会等名 日本機械学会中国四国支部 第59期総会・講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 越智真治, 河津翼
2. 発表標題 竹歯車の騒音特性
3. 学会等名 日本設計工学会四国支部令和2年度研究発表講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------