

令和 3 年 6 月 21 日現在

機関番号：82105

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K15889

研究課題名（和文）大ひずみ解析からみた木材の加工欠点の生成メカニズム

研究課題名（英文）Examination on the mechanism of machining defects in wood cutting by using a large strain analysis

研究代表者

松田 陽介（Matsuda, Yosuke）

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・研究員

研究者番号：70760867

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：木材切削時に刃先近傍で発生する大ひずみは毛羽立ちなどの加工欠点の生成と密接に関連しているため、ひずみの制御は重要である。本研究では、従来の画像相関法では測定が難しかった大ひずみを解析できるようにアルゴリズムを改良し、これまで不明であった刃先近傍の領域の大ひずみを測定した。その結果、切削条件に依存して、切屑の分離や加工欠点の生成の原因となるひずみの種類や大きさが異なることが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

木材切削時の刃先近傍の大ひずみは切屑の分離や加工欠点の生成と密接に関連している。本研究では、木材切削時に刃先の微小領域で発生する大ひずみを検出する手法を確立した。さらに、切削条件に依存して刃先近傍のひずみの大きさや種類が変化し、加工欠点の発生に影響することを示した。本研究は、加工欠点の少ない高品質な木材製品の生産に役立つ切削工具の設計に貢献するものである。

研究成果の概要（英文）：In wood cutting, large strain near the cutting edge is closely related to the occurrence of machining defects such as fuzzy grain. Therefore, it is important to control the strain. In this study, we enabled the digital image correlation method to measure large strain, and measured large strain near the cutting edge. It was confirmed that the type and amount of strain, which causes the chip and machining defects, varies depending on the cutting condition.

研究分野：木材機械加工

キーワード：木材切削 ひずみ 画像相関法

1. 研究開始当初の背景

木材製品の表面は切削加工によって仕上げ、「逆目ぼれ」などの木材特有の加工欠点がないことが要求される。切削工具が木材に侵入すると刃先近傍で局所的にひずみが発生し、これがその領域の強度に対応する閾値を超えると破壊が生じ、木材は切削される。ひずみの発生を制御しないと切削が制御できず、木材表面に逆目ぼれや毛羽立ちなどの加工欠点が生じる。したがって、ひずみの把握と制御は加工欠点のない高品質な木材製品を得るために重要である。

これまで画像相関法と呼ばれる手法で切削時の刃先近傍のひずみを測定し、切削条件との関係を調べてきた。しかし、従来の画像相関法では、刃先から 0.1 mm 以内の範囲のひずみの測定が困難であった。この手法では、変形前と後の 2 枚の画像の画素配列を比較してひずみを計算するが、刃先近傍の大変形領域では画素配列が急激に著しく変化するため、その変化を追跡しきれないことが原因であった。しかし、この領域において切屑が分離し始めることから、この領域のひずみこそが切屑の分離や加工欠点の発生と最も密接に関与しているといえる。本研究は、刃先から 0.1 mm 以内の範囲のひずみを明らかにすることを旨とする。

2. 研究の目的

従来の画像相関法を改良し、大ひずみ解析が可能な画像相関法プログラムを開発する。同プログラムによって、木材切削における刃先から 0.1mm 以内の領域の大ひずみを明らかにする。

3. 研究の方法

従来の画像相関法プログラムを改良し、大ひずみ解析が可能な画像相関法プログラムを開発した。従来の画像相関法では、変形前後の 2 枚の画像のみを解析対象としていたが、2 枚間で著しい変形があった場合、画素配列の比較が正確に行われなため、木材切削時の刃先から 0.1mm 以内の大変形領域のひずみ解析が困難であった。そこで、「増分法」と呼ばれるアルゴリズムを導入した。このアルゴリズムでは、変形前と変形後だけでなく、その間の変形途中の画像も解析することでひずみを段階的に計算し、各段階のひずみを積算することで大ひずみを計算する(図 1)。

ヒノキの表面を撮影したデジタル画像(幅 1.4×高さ 1.1 mm)を、画像処理によって拡大・縮小させ疑似的にひずみを付与した画像を作成した(図 2)。元画像に対して疑似的なひずみ(-30%)を付与し、それぞれ変形前と変形後の画像とした。変形前の画像に-5%、-10%、-15%、-20%、-25%のひずみを付与した画像を作成し、変形中画像とした。これら画像を新たに作成した増分法を取り入れた画像相関法プログラムによって解析し、付与したひずみとの誤差を測定することでひずみの測定精度を検証した。

ヒノキのまさ目面を切削したときの様子を撮影したデジタル画像を開発した画像相関法プログラムで解析し、刃先近傍の大ひずみを測定した。なお、切削方向は繊維方向と平行とし、切れ刃は切削方向と垂直とした。変形前後の間の変形中の画像は 3 枚とした。

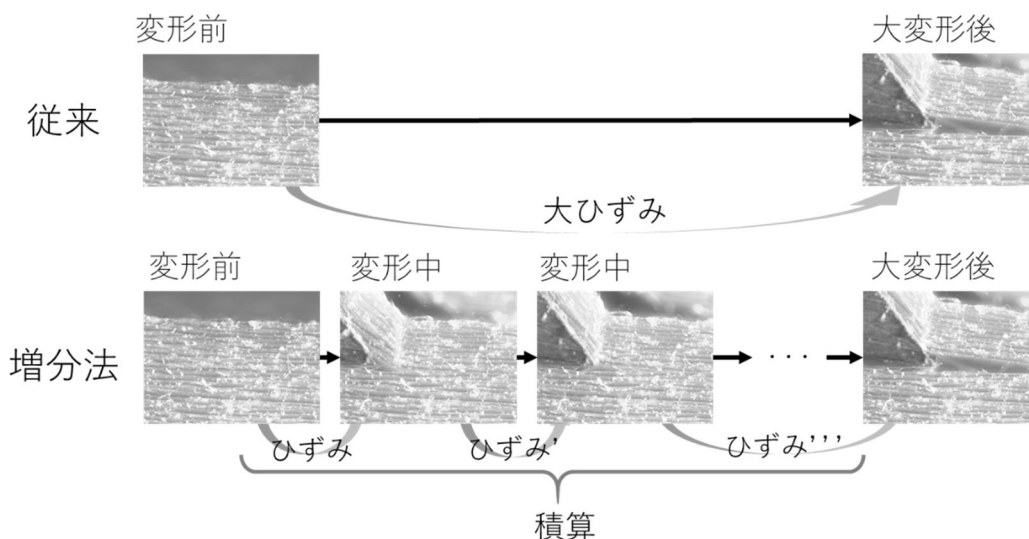


図1 従来の画像相関法と増分法の違い

従来の画像相関法のように変形前後の画像 2 枚のみを解析対象とするのではなく、その間の画像も解析することで大ひずみを計算する。

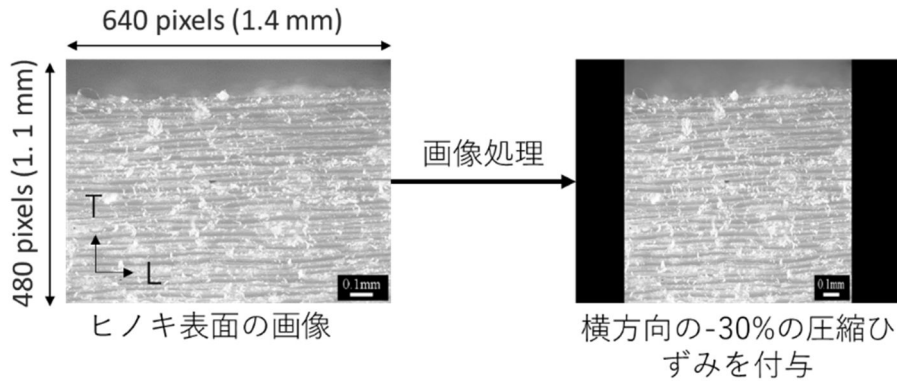


図2 画像相関法の精度検証に用いる疑似ひずみを付与した画像の作成

#### 4. 研究成果

従来の画像相関法で-30%の疑似圧縮ひずみを測定した場合、相対誤差が-0.61%で変動係数は-48.7%であったのに対し、改良した画像相関法の相対誤差は-0.29%で変動係数は-12.4%であった。増分法の適用によって、大ひずみ測定時の誤差やばらつきを抑制できることが確認された。

図3は、切削角 $40^\circ$ 、切込量 $0.2\text{ mm}$ の条件で切削した時の刃先近傍の切削方向（繊維方向）と垂直方向（接線方向）のひずみ分布を従来の画像相関法（左）と改良した画像相関法（右）で解析した結果である。従来の画像相関法では、刃先前方の $0.1\text{ mm}$ 以内（図3の丸で囲まれた領域）のひずみを測定できなかったが、増分法を取り入れることでその領域で10%以上の引張ひずみが発生していることが明らかとなった。

図4は、刃先の軌跡（図3の点線）上で検出されたひずみをプロットしたものである。切削角が $40^\circ$ の条件では、刃先から $0.1\text{ mm}$ 以内の領域で10%以上の切削方向と垂直方向の引張ひずみが検出された。一方で、切削角が $70^\circ$ の条件では、そのような顕著な引張ひずみは検出されなかったが、20%以上のせん断ひずみが検出された。これらの結果から、切削角が小さい条件では、繊維に沿って割裂が発生して切屑が分離するため、切削角が大きい条件と比較して逆目ぼれなどの加工欠点が生じやすいことが示唆された。切削条件に依存して切屑の分離や加工欠点の生成の原因となるひずみの種類やその大きさが異なることが確認された。

本研究では、木材切削における加工欠点の発生メカニズムを探るうえで重要な刃先近傍のひずみ分布を明らかにした。本研究で開発したひずみ測定手法は、加工欠点の発生しにくい切削条件の探索や切削工具の開発に役立つ。本研究では、切削角や切込量などの切削条件に着目し、これとひずみの関係について明らかにしたが、今後は木材含水率など木材側の条件について調べることで、加工欠点の発生メカニズムの解明が一層進むと考えられる。

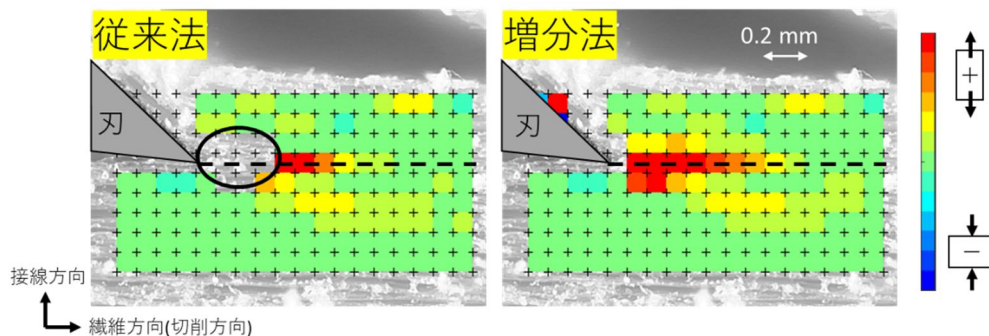


図3 従来画像相関法（左）と増分法（右）による切削方向と垂直方向のひずみの測定結果  
赤い領域は引張ひずみが発生したことを示す。

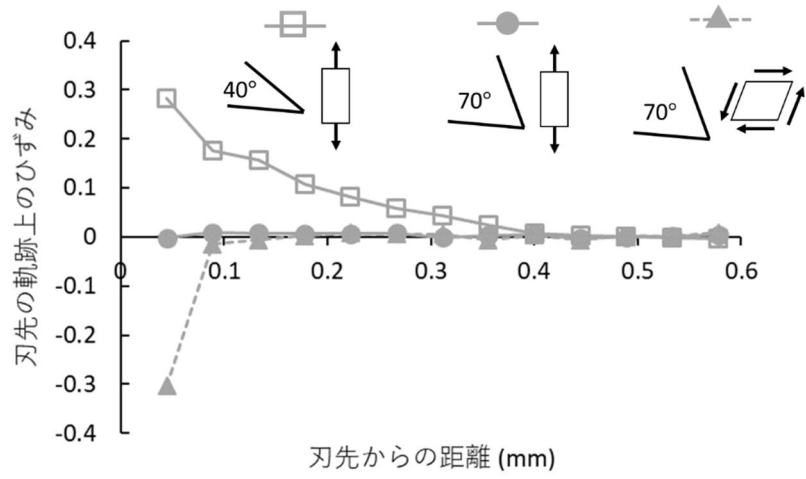


図4 切削角が刃先近傍のひずみに及ぼす影響  
 : 切削角が 40° のときの切削方向と垂直方向のひずみ  
 : 切削角が 70° のときの切削方向と垂直方向のひずみ  
 : 切削角が 70° のときのせん断ひずみ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Matsuda Yosuke, Fujiwara Yuko, Fujii Yoshihisa	4. 巻 65
2. 論文標題 Effect of grain angle on the strain distribution during orthogonal cutting of hinoki (Chamaecyparis obtusa) measured using a digital image correlation method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Wood Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s10086-019-1824-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 松田陽介	4. 巻 74
2. 論文標題 木材切削時に発生する応力・ひずみの測定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 木材工業	6. 最初と最後の頁 260-265
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Matsuda Yosuke, Fujiwara Yuko, Fujii Yoshihisa
2. 発表標題 Relationships Between Chip Formation in Orthogonal Cutting of Hinoki and Strain Near Cutting Edge
3. 学会等名 24th International Wood Machining Seminar (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Minagawa Masumi, Matsuda Yosuke, Fujiwara Yuko, Fujii Yoshihisa
2. 発表標題 Relationships of Crack Propagation and Stress Intensity Factors in Wood Cutting
3. 学会等名 24th International Wood Machining Seminar (国際学会)
4. 発表年 2019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
---------	---------