

鰹節の切削加工に及ぼすガラス転移温度の影響

羽倉義雄[§], 行友純恵, 鈴木 徹*, 鈴木寛一

広島大学大学院生物圏科学研究科

* 東京海洋大学海洋科学部

Effects of the Glass Transition Temperature on the Shaving Characteristics of *Katsuobushi* (boiled and dried bonito)

Yoshio Hagura[§], Sumie Yukitomo, Toru Suzuki* and Kanichi Suzuki

Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University,
1-4-4 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima 739-8528

* Faculty of Marine Science, Tokyo University of Marine Science
and Technology, 4-5-7 Konan, Minato-ku, Tokyo 108-8477

This study assessed the effect of different temperatures on the product yield of flakes derived from shaving commercial *Katsuobushi* (boiled and dried bonito). The *Katsuobushi* was shaved using a household *Katsuobushi*-plane. The chosen temperature was lower than the glass transition temperature (glass state), and higher than the glass transition temperature (rubber state). Also, the load and energy associated with shaving each *Katsuobushi* was measured and used to compare *Katsuobushi* processing characteristics at the glass state and rubber state.

The results showed that the product yield in the rubber state was consistently higher than for the glass state. The shaving load of rubber state *Katsuobushi* was lower than that associated with the glass state. The rubber state *Katsuobushi* was shaved with a shaving load of between eighty-five and ninety percent that of the glass state. The shaving energy for the rubber state *Katsuobushi* was less than that required for the glass state. Regarding specific shaving energy, which is the shaving energy necessary to get 1g of *Katsuobushi* flake, the energy exerted for the rubber state *Katsuobushi* was less than that of the glass state. The rubber state *Katsuobushi* was shaved using only twenty-five to forty-six percent of the energy needed for the glass state.

From these results, it was shown that rubber state *Katsuobushi* could be shaved more efficiently than glass state *Katsuobushi*. This indicates the potential for laborsaving and boosting material yield in shaving *Katsuobushi* on a commercial scale.

(Received Mar. 20, 2006 ; Accepted Jun. 8, 2006)

鰹節はカツオを原料とした我が国特有の焙乾食品である。その製法はカツオを煮熟した後、段階的な焙乾・カビ付けを行うことにより、水分を13~15%まで減少させている¹⁾。これらの加工により、鰹節は保存性が高く、風味が良好な食品になる。また鰹節は世界で最も硬い食品と言われ、その破断面は赤いガラスのように見える。しかし、鰹節は加熱や吸水によって硬いガラス状態から柔らかいラバー状態へと変化することも経験的に知られている。このような保存性の高さ、ガラスのような外観、そして、温度や水分変化に伴う物理的性質の変化は、鰹節がガラス転移を起こす食品であることを示している²⁾。

冷凍魚、すり身、鰹節など水産物のガラス転移現象に関

する研究報告^{3)~10)}は多少あるが、鰹節そのものの物理化学的变化を捉えた研究報告は少ない。また、ガラス転移温度前後での鰹節の加工特性の変化を評価した研究は殆どない。そこで本研究では、市販の鰹節をガラス転移温度以下(ガラス状態)とガラス転移温度以上(ラバー状態)に設定し、それらを鰹節削り器で削り、鰹節の切削加工における歩留りを測定した。さらに、切削時にかかる荷重(切削抵抗)を測定し、切削に必要なエネルギーを求め、ガラス状態とラバー状態の鰹節の加工特性の違いを評価した。

実験方法

1. 試料

(1) 鰹節の成形

同一銘柄の市販の鰹節(鰹本節, 株式会社柳屋本店)を3本用意し、外側のカビ部分と血合肉部分を除き、中心部

〒739-8528 広島県東広島市鏡山1-4-4

* 〒108-8477 東京都港区港南4-5-7

§ 連絡先 (Corresponding author), hagura@hiroshima-u.ac.jp

の赤いガラス様部分のみを取り出した。これを 80 mm×20 mm×30 mm の直方体状に成形し、実験試料とした。本研究では、この 3 本の試料を試料 1、試料 2、試料 3 と呼ぶ。

(2) ガラス状態の鯉節の調製

試料の水分調節には塩化リチウム（試薬特級，ナカライテスク株式会社）を用い、飽和塩溶液法¹¹⁾により、恒温槽内で 25℃、11.30±0.27%（相対湿度）に調節した。一定時間毎に試料の重量変化を測定し、重量変化が無くなった時点で水分の調節を終了した。水分の調節には 12 日間要した。この試料の水分を常圧乾燥法（105℃）で測定したところ 11.34%であった。本研究では、この状態の試料（温度 25℃、水分 11.34%）を「ガラス状態の鯉節」と呼ぶ。

(3) ラバー状態の鯉節の調製

既往の研究¹⁰⁾より、水分 11.2%の鯉節のガラス転移温度は 55.3±3.0℃であり、この温度以上ではラバー状態になることが分かっている。そこで、70℃に設定した空気恒温槽の中に試料を 6 時間入れ、試料をラバー状態にした。本研究では、この状態の試料を「ラバー状態の鯉節」と呼ぶ。ラバー状態の鯉節の調製にあたっては、試料をポリエチレン・ポリアミドフィルムを用いて脱気包装し、試料表面からの水分蒸発を防いだ。また、70℃に設定したラバー状態の鯉節について予備実験を行い、室温での 50 回の切削動作後の切削面の温度が、常に 60℃以上であることを確認した。

2. 切削装置

切削装置の概略図を図 1 に示した。切削部には、家庭用のカンナ式の鯉節削り器（木製鯉箱 L 型，パール金属株式会社）を使用した。この装置では、手で鯉節を切削する際に生じる切削抵抗をロードセル（LU-10KA，株式会社共和電業）により測定し、ストレインアンプ（DPM-613A，株式会社共和電業）を介して記録計（LR4210，横河電機株式

会社）に出力できるようになっている。また、鯉節削り器の動きを拘束しないために、鯉節削り器は可動支点の上に設置した。この切削装置では、1 回の切削動作で 1 つのピーク状の切削抵抗曲線が得られる。

3. 切削物の採取と評価

恒温槽から取り出した 25℃と 70℃に設定した試料を切削装置を用いて 50 回切削動作を行い、切削物を採取した。試料の切削では、80 mm×20 mm の面を切削面とした。採取した切削物は、薄片状の削り節（以後、「削り節」と呼ぶ）と粉末状の削り屑（以後、「粉末」と呼ぶ）であった。この切削物を目開き 0.71 mm の JIS 標準篩を用いて、削り節と粉末に分離した。分離した削り節および粉末の重量を測定し、それぞれの重量を切削動作回数 50 で除して、切削動作 1 回あたりの削り節量および粉末量を求めた。また、切削動作 1 回あたりの削り節量と粉末量の合計を総切削量とした。さらに、削り節として使用可能な切削物の割合（歩留り）を(1)式を用いて算出した。

歩留り [%] =

$$\frac{1\text{回の切削動作で得られた削り節量}[\text{g}]}{1\text{回の切削動作で得られた総切削量}[\text{g}]} \times 100 \tag{1}$$

4. 切削抵抗の測定

鯉節の切削時に生じる切削抵抗の変化（切削抵抗曲線）を記録した。切削抵抗曲線の模式図を図 2 に示した。切削抵抗曲線のピーク高さ（図 2 の a）を切削抵抗 [N] として、切削抵抗曲線から読み取った。本研究では、50 回の切削動作により得られた切削抵抗の平均値を測定値とした。

5. 切削エネルギーの算出

切削抵抗曲線から切削エネルギー [J] を求めた。切削抵抗曲線では、横軸が時間軸になっているが、本研究では、1 回の切削動作で得られるピークの底辺の長さ（図 2 の b）

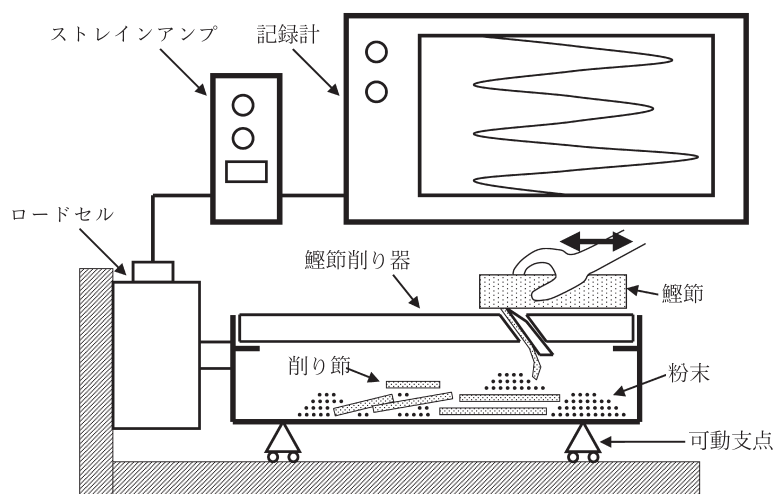


図 1 鯉節の切削装置

を鯉節の切削面の長さ (80 mm) とし、切削抵抗曲線のピーク面積から切削エネルギーを算出した。50 回の切削動作により得られた切削エネルギーの平均値を測定値とした。また、1g の削り節を得るために必要な切削エネルギーを比切削エネルギーと定義し、(2) 式を用いて算出した。

$$\text{比切削エネルギー [J/g]} = \frac{\text{切削エネルギー [J]}}{\text{1回の切削動作で得られた削り節量 [g]}} \quad (2)$$

実験結果と考察

1. 鯉節切削物の評価

ガラス状態およびラバー状態の鯉節について、50 回切削動作を行い、その切削物の評価結果を表 1 に示した。すべての試料において、ガラス状態のよりもラバー状態の鯉節の方が総切削量は多かった。各試料についてガラス状態の鯉節の総切削量を 100% とすると、ラバー状態の鯉節の総切削量は試料 1 で 161%、試料 2 で 241%、試料 3 で 159% であった。さらに、歩留りを見ても、ガラス状態のよりもラバー状態の鯉節の方が常に高い値を示していた。この結果は、鯉節をラバー状態で削ることにより、削り屑となる

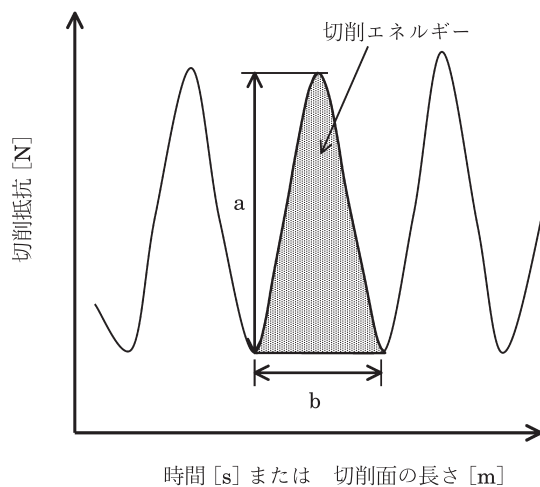


図 2 鯉節の切削抵抗曲線

微粉末の発生を抑制することができ、歩留りの向上に繋がっていることを示している。

2. 鯉節の切削抵抗

鯉節の切削抵抗を図 3 に示した。いずれの試料においても、ガラス状態よりもラバー状態の鯉節の方が切削抵抗は小さかった。ガラス状態の鯉節の切削抵抗を 100% とすると、ラバー状態の鯉節では 85~90% 程度であった。これより、ガラス状態よりもラバー状態の方が、小さい力でより効率的に鯉節を削ることが出来ることが分かった。

金属材料の高温切削に関する研究では、いくつかの研究報告がある^{12)~13)}。例えば炭素鋼では、常温切削に対して高温切削 (600℃) で 50% 程度の切削抵抗の減少が報告されている。これは、高温での金属材料の軟化が切削性を向上させ、その結果、切削抵抗を減少させると考えられている。鯉節の場合も同様に、軟化したラバー状態で切削抵抗が大幅に減少していることから、金属材料と類似した現象が起こっていると考えられる。

3. 鯉節の切削エネルギー

鯉節の切削エネルギーを図 4-a に示した。ガラス状態の鯉節の切削エネルギーを 100% とすると、ラバー状態の鯉節では 77~80% 程度であった。また、比切削エネルギー (削り節を 1g 切削するために必要な切削エネルギー) を図 4-b に示した。すべての試料において、ガラス状態よりもラバー状態の鯉節の方が、比切削エネルギーは小さかった。鯉節の比切削エネルギーは、ガラス状態を 100% とすると、ラバー状態では、25~46% 程度であった。この結果

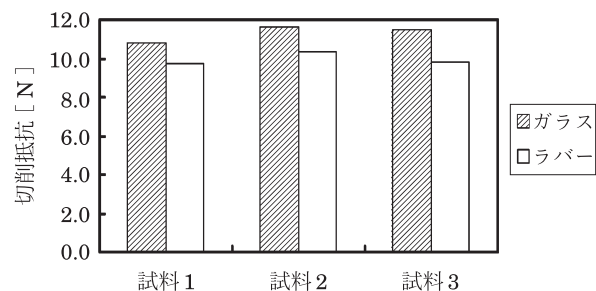


図 3 鯉節の切削抵抗

表 1 鯉節切削物の評価

試料番号	鯉節の状態	切削物の評価			
		総切削量 (g)	削り節量 (g)	粉末量 (g)	歩留り (%)
1	ガラス	0.0296	0.0183	0.0113	61.8
	ラバー	0.0476	0.0424	0.0052	89.1
2	ガラス	0.0396	0.0276	0.0120	69.7
	ラバー	0.0955	0.0854	0.0101	89.4
3	ガラス	0.0185	0.0133	0.0052	71.9
	ラバー	0.0295	0.0227	0.0068	76.9

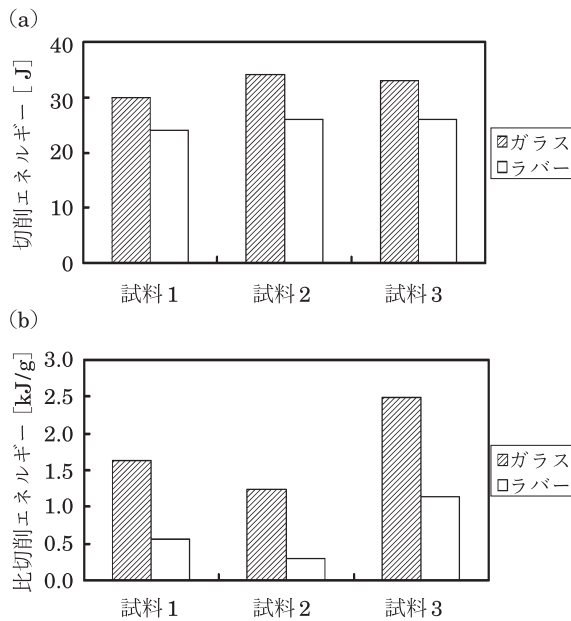


図4 鯉節の切削エネルギー (a) と削り節調製における比切削エネルギー (b)

は、一定量の削り節を製造する場合、必要となる切削エネルギーがガラス状態よりもラバー状態の方が大幅に少ないことを示しており、産業用の電動鯉節削り機においても、鯉節の投入温度をガラス転移温度以上にすることにより、鯉節削り機の切削所用動力を大幅に削減できる可能性を示している。

要 約

鯉節の切削に及ぼすガラス転移温度の影響を検討した。水分 11.34% の鯉節をガラス状態 (25°C) とラバー状態 (70°C) に設定し、それらを鯉節削り器で削り、削り節の歩留り、切削抵抗および切削エネルギーを測定した。

切削物量の評価では、ガラス状態よりもラバー状態の鯉節の方が総切削量は多かった。また歩留りについても、ガラス状態よりもラバー状態の鯉節の方が常に高い値を示していた。

切削抵抗の評価では、ガラス状態よりもラバー状態の鯉節の方が切削抵抗は小さく、ガラス状態の 85~90% 程度の切削抵抗でラバー状態の鯉節を切削することができた。

切削エネルギーの評価でも、ガラス状態よりもラバー状態

の鯉節の方が切削エネルギーは小さく、ガラス状態の 77~80% 程度の切削エネルギーでラバー状態の鯉節を切削することができた。また比切削エネルギー (1g の削り節を得るために必要な切削エネルギー) についても、ガラス状態よりもラバー状態の鯉節の方が小さく、ガラス状態の 25~46% 程度の比切削エネルギーでラバー状態の鯉節を削り節に切削することができた。

以上の結果、鯉節の切削工程では、ラバー状態の鯉節の方が、効率的に切削が可能であることが明らかとなった。これは鯉節を工業的に切削する際の省力化や歩留り向上の可能性を示唆している。

文 献

- 野中順三九, 橋本芳郎, 高橋豊雄, 須山三千三, 「新版水産食品学」, (恒星社厚生閣, 東京), pp. 178-184 (1976).
- 高井陸雄, 食品におけるガラス状態 (固化状態) の利用技術, 「食の先端科学」, 相良泰行編著, (朝倉書店, 東京), pp. 125-126 (1999).
- 鈴木 徹, 水産食品, 「食品とガラス化・結晶化技術」, 村勢則郎, 佐藤清隆編著, (サイエンスフォーラム, 東京), pp. 39-43 (2000).
- 鈴木 徹, 小野規子, 高井陸雄, DSC による鯉節のガラス転移の検出, 日水誌, **61**, 389-390 (1995).
- Ohshima, T., Suzuki, T. and Koizumi, C., New developments in Surimi technology, *Trends in Food Science & Technology*, **4**, 157-163 (1993).
- Levine, H. and Slade, L., In "Water relationships in food", (Plenum Press), pp. 103-112 (1991).
- Blanshard, J.M.V. and Lillford, P.J., In "The Glassy state in food", (Nottingham Univ. Press), pp. 523-526 (1993).
- Inoue, C. and Ishikawa, M., Glass transition of Tuna flesh at low temperature and effects of salt and moisture. *J. Food Sci.*, **62**, 496-499 (1997).
- 井上千春, 石川雅紀, 低温貯蔵食品のガラス化, 食品と容器, **39**, 320-327 (1998).
- Hashimoto, T., Hagiwara, T. and Suzuki, T., Study of the glass transition of *Katsuobushi* (boiled and dried bonito fish stick) by differential scanning calorimetry and dynamic mechanical analysis, *FISHERIES SCIENCE*, **69**, 1290-1297 (2003).
- 加藤高広, 湿度基準器の作り方, 「温度・湿度センサー活用ハンドブック」, トランジスタ技術編集部編著, (CQ 出版社, 東京), pp. 201-203 (1988).
- 臼井英治, 「切削・研削加工学, 上巻一切削加工」, (共立出版, 東京), pp. 147-151 (1971).
- 菊地庄作, 柳沢重夫, 「切削の理論と実際」, (共立出版, 東京), pp. 133-137 (1965).

(平成 18 年 3 月 20 日受付, 平成 18 年 6 月 8 日受理)