

# ファインセラミックス研削加工技術研究

## —ダイヤモンドワイヤソーによる鶏卵切断装置の試作—

佐川 克雄\* 小松崎哲郎\*

\*

### 1. 緒 言

本報告は、(株)三友製作所より相談のあった鶏卵上部除去システム開発の一貫として、共同で開発した試作鶏卵切断装置の中の、高張力鋼の細線にダイヤモンド砥粒を電着したアプレッシブワイヤ<sup>1)</sup>(以後ワイヤソーと記す)を用いたワイヤソー切断機についてまとめたものである。

### 2. 必要性能に対する検討

要求仕様は、時間当りの切断数量が非常に多いので、切断速度の速い装置、もしくは切断部を並列に並べた装置が必要であると考えた。その様なことから切断方式は、切断速度の速くなる可能性の高い方式と、本報告書のマルチ切断可能な市販のワイヤソーを用いた切断機の二通りとした。

### 3. 試作の方法

切断機を開発するにあたっては、三方式の切断機を同時に試作し性能を評価して最適な方式の装置を選定することにしたので、ワイヤソー切断機はマルチ切断ではなく鶏卵1個の切断機とし出来るだけ簡易に製作した。また、試作であること及び滑車の組合せとなること等の理由で、不都合が生じた場合その都度変更できる様に切削加工による部品は使用せず、山型鋼や平鋼を加工して用いた。この様なことから、装置の構造部分は、既存の600×600×600Hで上部積載(集中)荷重40Kgf、横方向荷重20Kgfとして主にL30×30×3で製作された鉄骨フレームを流用した。これに山型鋼や平鋼を加工した部品を、万力等を用いて取り付けした。

### 4. 装置の設計製作

#### 4.1 装置設計上の問題点

装置を設計するには、ワイヤソーの破断荷重を測定すると同時にワイヤソーの取扱方法を把握する必要がある。

表1 ダイヤモンドワイヤソー仕様  
(レーザーテクノロジー社)

直径	φ 80 μm
ダイヤモンド粒径	φ 80 μm
ニッケル電着	

表2 ワイヤソーの静的破断強さの測定

測定回数	破断強さ(Kgf)
1	7.0
2	6.5
3	7.0
4	3.5
5	3.5

実装した場合の破断強さは最小値の1/5として0.7 Kgfとする。

ワイヤソーの仕様を表1に、破断荷重を測定した結果を表2に示す。次に、取扱方法を把握するために概略の切断装置を組み立て、ワイヤソーの走行試験を行ったところ、滑車からワイヤソーが外れたり破断荷重以下でのワイヤソー断線等の問題が発生した。これらの原因は、(1)ワイヤソーの力学的特性が糸と棒の中間 (2)滑車半径が小さいことから、ワイヤソーの曲げ角度を大きくすると、大きな反力がワイヤソーに働くために滑車から外れ易くなると考えられる。同時に、大きな曲げ応力も発生し引張り応力と合わさってワイヤソーの弾性限界を越え、それが繰り返されるので短い時間で疲労破壊したと考えられる。

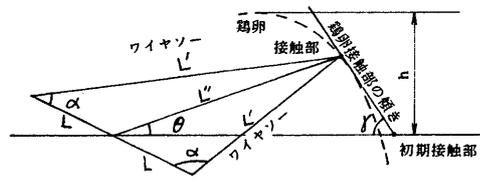


図1 模式的ワイヤソーと鶏卵の接触状

以上のことから装置の基本形状は、水平のワイヤソーに鶏卵を横方向から押し付ける形状にして、ワイヤソーの走路は逆方向の曲げが発生しないように単純にし、滑車半径の小さいのは曲げる角度を90°以下とすることにより解決した。

$$\tan(\theta + \gamma) \geq \frac{1}{\mu} \quad (1)$$

$$f_w = 2T \sin \alpha \cdot \cos \theta \quad (2)$$

$$\tan \gamma = \frac{x}{\sqrt{r^2 - x^2}} \quad (3)$$

他の問題点としては、鶏卵の上部を切断するために鶏卵の傾斜部分にワイヤソーが作用するので滑って上方へ逃げてしまい、切断が出来なくなることである。そこで、ワイヤソーの上滑りについては次節の様に検討した。

4.2 ワイヤソーの逃げの検討

表3 鶏卵とワイヤソーの摩擦係数μの測定

図1は、鶏卵切断部の鶏卵とワイヤソーの接触状態を模式的に示したものである。表3は、ワイヤソーの上滑りを検討するために、接触時のワイヤソーの鶏卵の表面の摩擦係数を測定した結果である。

測定回数	法線抵抗Fn(N)	接線抵抗Ft(N)	摩擦係数μ(Ft/Fn)	備考
1	9.3	3.0	0.32	装置設計用摩擦係数は、安全側に考えて0.3とする。
2	11.1	5.0	0.45	
3	11.6	5.66	0.49	
4	16.9	7.45	0.44	

図1からワイヤソーが上滑りしない場合の関係は、式(1)、(2)、及び(3)のように導かれる。鶏卵の切断部分付近は球に近似すると半径約r=30mm程度であることから、切断高さh、鶏卵押し付け力fw、及び張力Tを式に与えて、鶏卵の中心線より接触点までのx座標の長さxを変えることによりワ

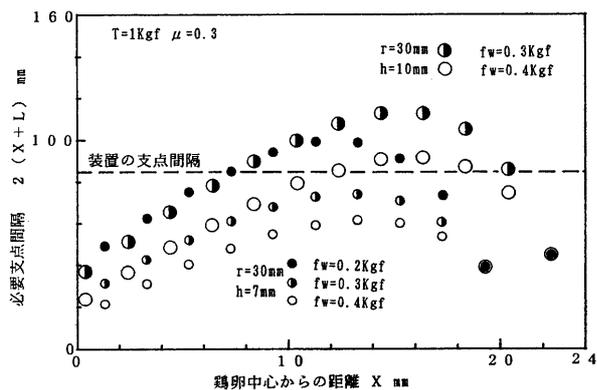


図2 ワイヤソーの滑りとfwの関係

イヤソーの上滑りしない条件を、(鶏卵の幅/2)+Lを安全側に考えて X+L としてパソコン(PC9801)にて計算し、切断部ワイヤの支点間長さの(85mm)と比較したものを図2及び図3に示す。

この結果から、鶏卵の切断高さは概略決まっているので、Tは大きくfwは小さい方が良いことがわかる。よって、装置の設計は、(切断部ワイヤ支点間長さ)/2の最小値は鶏卵や滑車の大きさから決まる最小の42.5mmとし、Tは安全を見て700gf以下とした。ワイヤソーへの鶏卵の押し付けは、fwが小さいので滑らかに鶏卵を移動させる機構を製作することが困難なので強制切込み方式とした。強制切込みの場合でもfwに見合う小さい切込み速度でなければならないことになる。

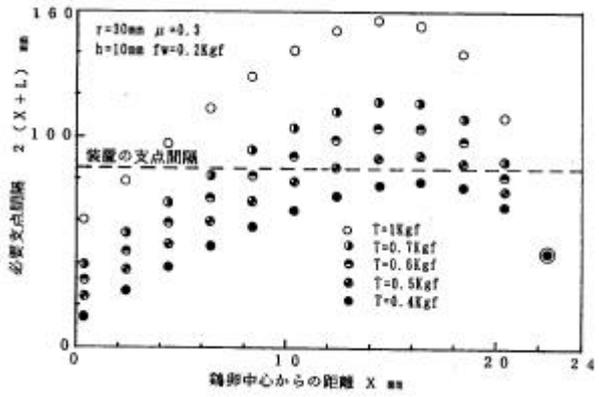


図3 ワイヤソー滑りとTの関係

#### 4.3 切断装置

試作した装置を図4に示す。鶏卵は図4のようにXYテーブル上のホルダに固定して、ワイヤソーの走路下部の水平部分に取り付けた切断用支点となる滑車の中間に押し付ける構造にした。ワイヤソーの巻取り巻戻しは、図5に示す機構と図6のリレーによるシーケンス制御により自動的に行った。

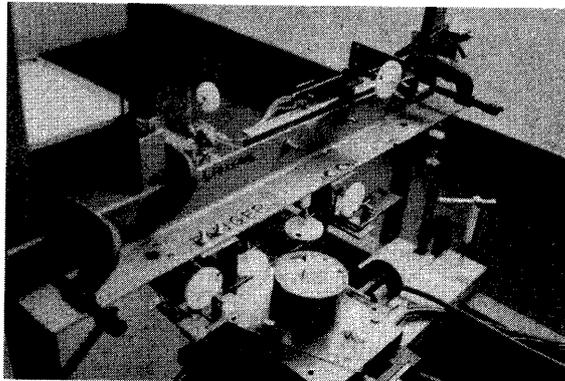


図4 試作ワイヤソー切断機

#### 5. 切断実験

予備的な試し切断及び予備実験を行った後のワイヤソーを用いて実験を実施した。使用した鶏卵は、MSサイズの市販のものである。実験は、欠けの大きさを小さくすることを目的とし、ワイヤソーの走行する速度を変えるパラメータVの目盛り、鶏卵の切込み速度を変えるパラメータNNN、及び張力を変えるパラメータの張

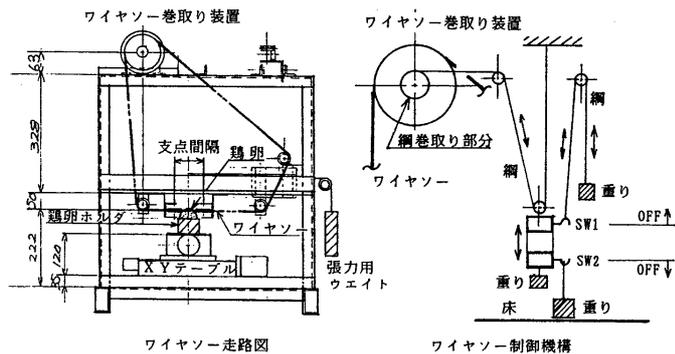


図5 ワイヤソー走路及び制御機構

力用荷重  $W$  を、L9直交表<sup>2)</sup>に割付け切断実験を行った。

その時の各因子の水準を表4に、最大欠けの分散分析結果を表5に示す。

表5より各因子の効果は、全くないことがわかるこれは、鶏卵の強度のばらつきや、ワイヤーの鶏卵切断終了時の欠け(出口欠け)のためである。ワイヤーの新しい間は出口欠けの小さかったこと

から、切れ味のよいワイヤーを用いれば欠けを小さく出来ると思われる。しかし、ここまで切断した鶏卵の数は50個程度であり、実用化した場合にはこれ以上の累積切断個数で運転しなければならないと思われる。

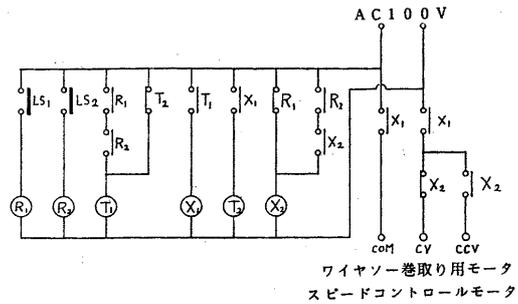


図6 ワイヤソー巻取り巻戻しシーケンス図

表4 実験方法

6. 考察

欠けの発生はほぼワイヤソーの出口で発生しており、切断中の観察の結果から図7に示す様に切断状態を順に、入口付近のワイヤソー上滑り、ワイヤソーの食い込み、鶏卵中央部までの切断、鶏卵中央部以降の切断、出口付近の欠け、と分類することが出来る。

ここで、は図1の通りである。はワイヤソーが傾斜面にも作用するので上方へ滑る力が働くために、張力により下方に引っ張られているにもかかわらず水平に切断が進行する。しかし、において切断形態が大きく変化する。これは、ワイヤソーの作用する傾斜面が逆の角度となるので上向きの力が存在しなくなり、下方へ引っ張られかつ上向きの力がなくなった分だけワイヤソーに作用する力が大きくなり切断から割れの発生を伴う加工形態へと変化する。では、この様にして切断が鶏卵端部まで進行すると、ワイヤソーの張力に起因

要 因	L9 直交表に割付		
	1	2	3
W ワイヤー張力用おもり (gf)	6 0 0	6 5 0	7 0 0
N N N 鶏卵切込み送り用目盛り	4 0 0	5 0 0	6 0 0
V ワイヤー送り速度目盛り	4	5	6

表5 最大欠けの分散分析表

要 因	自由度	散	
		(単位:mm <sup>2</sup> )	
W ワイヤー張力用おもり	2	6.222	3.111
N N N 鶏卵切込み送り用目盛り	2	6.222	3.111
V ワイヤー送り速度目盛り	2	3.556	1.778
e 誤差	2	37.556	18.778
T	8	53.556	

欠けの最大値 11mm 最小値 4mm  
欠けの平均値 7.2mm

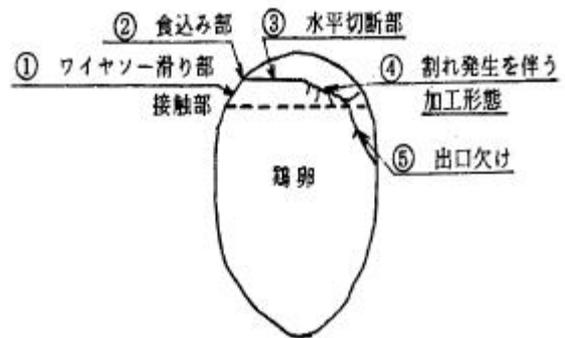


図7 鶏卵の切断状況

する切断力が、切断されていない部分の鶏卵の耐力を越えて大きな割れを発生させることがわかった。

このことから、ワイヤソーの切れ味が良い場合には、ワイヤソーの上滑り及びたわみに起因する切断力が小さくなり、出口欠けを小さく出来ることがわかる。同様に、ワイヤソーの張力を十分大きく出来るならば、切断中のワイヤソーのたわみは小さくなり割れや欠け発生時の力が、僅かの亀裂進展で急激に減じるので、鶏卵内部の薄皮の強さの効果と併せて考えると、欠けを小さくすることが出来ると考えられる。

以上のことから出口欠けを小さくして本切断装置を実用化するには、ワイヤソーの切れ味の向上、切れ味の持続性、及び破断強度の大幅な向上を必要とすることがわかった。

## 7. 結 言

硬脆材料切断等の加工変質層を小さくする必要がある切断加工<sup>1)</sup>に向くとされているワイヤソーを用いて、鶏卵切断装置を試作し性能を評価した結果は、鶏卵を切断するのに十分な性能を発揮できなかったが、以下の事項を改善して鶏卵の切断を行えば、出口欠けが小さくなり十分に鶏卵切断装置として使用出来ることが明らかになった。

(1) 鶏卵を多数切断する場合は、ワイヤソーの切れ味、持続性の向上が必要である。

(2) 本装置の様に鶏卵上部を切断する場合には、傾斜面に作用することによるワイヤソーの逃げが大きな問題となることから、+分な張力を与えることが出来る強度が必要である。

(3) ワイヤソーを鶏卵切断に用いる場合は、鶏卵及びワイヤソーの状況により切断速度にばらつきがあり、かつ遅い事などから、多数個を同時に切断する必要がある。

以上のことから鶏卵切断装置は、他方式の切断装置を採用することになった。しかし、本切断装置は容易に改良できるので、現在は改良を施し他の用途に使用している。

## 参考文献

1) ファインセラミックスの成形・加工と接合技術編集委員会編、ファインセラミックスの成形・加工と接合技術、(株)工業調査会(1989)76

2) 小西省三、例解演習実験計画法、日刊工業新聞社(1986)49