

## 鮮魚のロール式大小仕分け機構\*

東川直史\*\*・矢田貞美\*\*

### Study on mechanism of an automatic fishes selector of role type for caught fresh fish\*\*

Naobumi HIGASIKAWA\*\* and Sadami YADA\*\*

**Abstract:** We made researches in the mechanism to select accurately the size of fishes by the Automatic Fishes Selector of role type for caught fresh fish. Following results were obtained.

- 1) It was difficult to select accurately the size of fishes if this system have the present efficiency, because there were difference in individuality of fish breadth. Making decrease inclination angle of the selecting role, and fix the shoot in the horizontal position, it might possible theoretically to select accurately the size of fishes.
- 2) In this system, if fishes were fresh, and selecting role had highly a peripheral velocity, and water was sprinkled on roles and fishes, fish might selected size not only the difference in it's breadth, but also it's weight.
- 3) If the adjacent selecting roles were revolving on the same directions, more outside selecting role must keep coefficient of large friction for good selection.

Consequently, it was sure that this system might selected size of fishes by fish breadth and weight.

#### 1. はじめに

一般に、鮮魚の大小仕分け作業には、傾斜ロール式が使用されている(小原, 1981)。本方式では、本機の傾斜ロール(以降、ロールと称する)上端中央に投入された魚体は、間隔が上端から下端へと漸次拡大する一対のロール間を滑降し、魚体幅より広いロール間隔になると落下するが、ロール間隔は魚体の大小により調整可能となっている(Fig. 1 参照)。11本ロールの場合、左端のロール5本は左回転、右端のロール6本は右回転し、各々定速回転する。その際、ロール上端の間隔の狭幅部で小さい魚体を、下端の広幅部で大きい魚体を篩い分けるので、魚体の小さいものから大きいものが無段階にロール下へ落下する縦目篩に分類される大小仕分け方法であり、農産物の大小仕分けにも利用されている(宝谷, 1987)。

このように本システムは、見掛け上では数段階に仕分

け可能と推定される。しかし、現地調査によると、魚体はシステム当たりロール上、ロール下の2段階の大きさに仕分けられており、ロール下へ落下した魚体を2段階以上の大きさに仕分けることは困難であった。

そこで、本報では、本システムの仕分け精度の向上を目的として、大小仕分け機構について検討した。

#### 2. 実験方法

##### 1) 魚体のロール間の移動軌跡の測定

ロール式大小仕分け機の外観をFig. 1に示す。同機の稼働中のビデオ画像を解析し、ロール間の魚体の移動状態を解析した。まず、画像処理装置(FOR(株): VPA-1000, およびピアス(株): PIAS III)により撮影画像のロール1に定間隔の測定範囲を適宜設け、魚体の滑降所要時間を計測した。次に、ロール下端より落下する魚体の運動を画像解析し、ロール下端における魚体の移動速度を算出した。また、大小仕分け機の上段に設置されたベルトコンベヤの魚体運動、並びに同コンベヤより供給される魚体の移動軌跡を解析して、魚体の供給速度および供給位置を計測し、ロールと魚体間の見掛けの摩擦係数を算出した。

\* Received November 16, 1994

\*\* 東京水産大学漁業工学講座

〒108 東京都港区港南4-5-7

Laboratory of Fishing Technology and Engineering, Tokyo Univ. Fish., 5-7 Konan 4, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

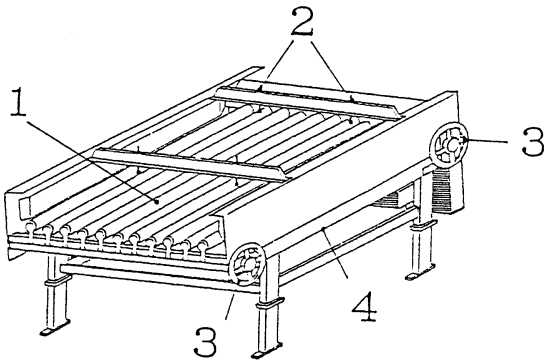


Fig. 1. Automatic Fishes Selector  
 Note; 1: Role (the first role is left, the eleventh role is right), 2: Sprinkler, 3: Adjustment handle of crevice between roles, 4: Shoot

さらに、一定時間内にベルトコンベヤ上を滑降する魚体を計数し、大小仕分け機の単位時間当たりの仕分け能力を試算した。

2) 仕分けロール上における魚体の運動解析

後述の理論式における、魚体とロール面との見掛けの動摩擦係数  $\mu'$  等の係数は、理論的に決定することは困難である(東川ら, 1993; 桜井・広中, 1981)。そこで、次の試作機に測定器具を付設して、これらの係数を計測した。試作機は市販機の約2分の1の全長1mの回転ロールを2本装着し、ロール傾斜角を調節した。なお、市販機のロール材質はステンレス製であるが、試作機では鉄鋼(SS41)である。この試作機により、理論式の必要な各係数を把握し、また各種ロール条件で魚体を供給して、魚体の移動状態を解析した。なお、ロール面に1尾当たり約50cc散水しながら、頭部または尾部方向より滑降させた。

次に、Fig. 2(a)に示すように、回転数の変動可能なロールを水平に設置して、ロール間に置いた魚体を頭部または尾部方向より一定速度で牽引し、その測定張力から摩擦係数を試算した。また、同図(b)に示すように、ロール間に置いた魚体に取り付けた糸の張力を、魚体が落下する際の力とみなした。

3. 結果と考察

1) ロール下端からの魚体の落下運動

ロール下端からの魚体の落下状況を画像解析した結果、魚体は垂直距離0.5m、水平距離0.45mを0.32秒で落

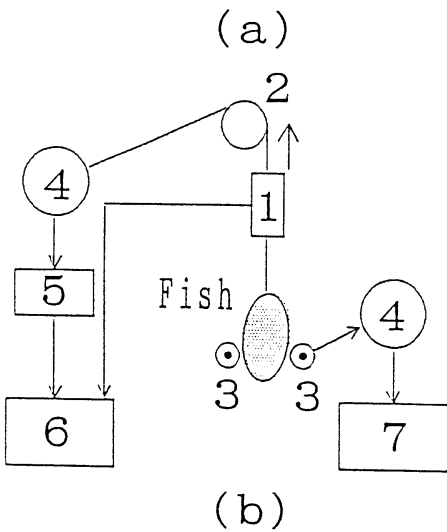
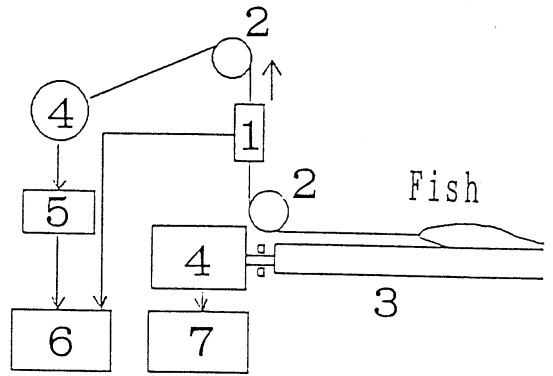


Fig. 2. The system for measuring the friction force.

1: Role, 2: Pulley, 3: Tension meter, 4: Motor and tachometer, 5: Pulse convertor, 6: Recorder, 7: Inverter

下する放物線運動を行っていた。したがって、質点の放物線運動に関する力学公式より、魚体のロール下端における速度は1.4m/sと試算される。また、魚体がロール上において等速運動するものと仮定すると、魚体のロール全長の滑降所要時間は1.71秒と短く、魚体はロール上で等加速度運動しているものと推定される。ロール上における魚体は、初速度約0.93m/s、加速度0.27m/s<sup>2</sup>と推算される。

ところで、傾斜角6度のロール上における魚体の初速度を0.93m/s、下端速度を1.4m/s、加速度を0.27m/s<sup>2</sup>とすると、魚体とロール間の見掛けの動摩擦係数は0.08程度と試算され、魚体と金属間の摩擦係数(三輪・池本、

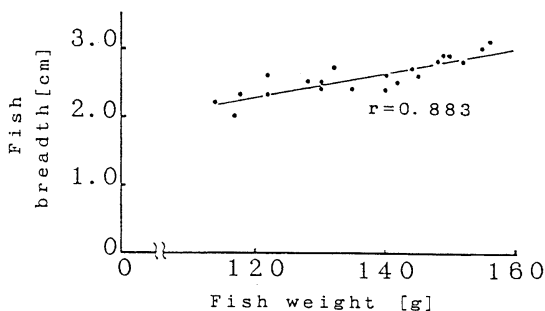


Fig. 3. The relationship between fish breadth and fish weight.

1975) としては小さいことが判明した。これは後述するように、散水による魚体とロールとの付着防止効果により、動摩擦係数が大幅に減少したものと推察される。

なお、Fig. 3 に示すように、体長約30cm、体重114g から170g の市販の刺身用の生鮮サマの体重と体幅の関係には、若干の個体差が認められた。供試魚は出荷前に傾斜ロール式で仕分けされたものであり、鮮魚は体重および体幅による高精度な大小仕分けが困難なことを示している。

2) ロール式大小仕分け機構の解析

Fig. 4 にロール下端の間隔が漸増する1対のロールより構成される仕分け機のモデルを示す。ここで、ロールの軸心を座標軸、魚体を質量  $m(\text{kg})$  の質点とみなし、重力加速度を  $g(\text{m/s}^2)$  とすると、ロール間から落下した瞬間の魚体に作用する  $x$  軸方向の力  $F_x$ 、 $y$  軸方向に作用する力  $F_y$  は、次式(1)で示される。

$$\left. \begin{aligned} F_x &= m\ddot{x} = mg \sin \theta \\ F_y &= m\ddot{y} = mg \cos \theta \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

(1)式で示される魚体の放物運動の経過時間を  $t_1(\text{s})$ 、ロール間より落下した瞬間の  $t_1$  を零、その際の  $x$  方向の初速度を  $v_0(\text{m/s})$  とし、 $t_1$  が零の際の魚体位置を座標の原点とすると、魚体の  $x$  方向および  $y$  方向に作用する力は(1)式を2回積分することにより次式(2)で示される。

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{1}{2} g \sin \theta t_1^2 + v_0 t_1 \\ y &= \frac{1}{2} g \cos \theta t_1^2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$t_1$  が零のときの  $x$  方向の初速度  $v_0$  は、ロール上における魚体の等加速度運動により決定される。そこで、供給されるロール上の魚体の  $x$  方向の初速度を  $V(\text{m/s})$ 、魚体とロール表面との見掛けの動摩擦係数を  $\mu'$ 、ロー

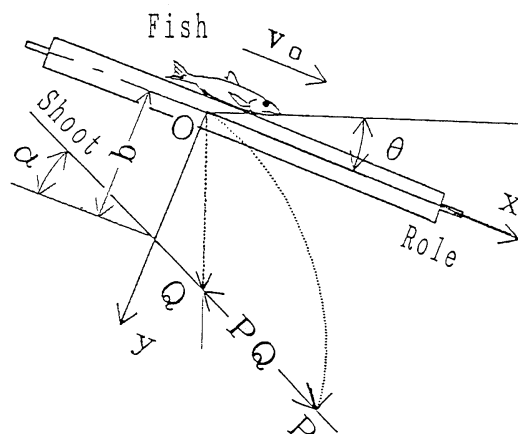


Fig. 4. Schematic diagrams of an Automatic Fishes Selector.

- Note:  $V_0$ : initial velocity of fish on role (m/s)
- $\theta$ : angle to horizon of role (deg)
- $\alpha$ : angle to horizon of shoot (deg)
- $b$ : distance between O and shoot on  $y$  axis (m)
- $P$ : position of fish with  $V_0$  of maximum
- $Q$ : position of fish which  $V_0$  was 0
- $PQ$ : distance which fish fall on shoot (m)

ル上の滑降所要時間を  $t_2(\text{s})$  とすると、 $v_0$  は次式(3)で示される。

$$v_0 = V + mg(\sin \theta - \mu' \cos \theta)t_2 \quad (3)$$

ただし、魚体はロール上で相互に衝突・干渉するので、 $t_1$  が零のときの  $x$  方向の初速度  $v_0$  は、零から(3)式の範囲にあるものと考えられる。

ところで、ロール下段の平板シュートは、原点より下段の間隔  $b(\text{m})$  に水平面との角度  $\alpha(\text{deg})$  で設置するが、同シュートの位置は次式(4)の直線で示される。

$$y = b + (\tan \alpha)x \quad (4)$$

したがって、落下した魚体がシュート上に着底するまでの所要時間  $t(\text{s})$  は、(2)式および(4)式より次式(5)で示される。

$$t = \sqrt{\frac{2\{b + (\tan \alpha)x\}}{g \cos \theta}} \quad (5)$$

$v_0$  の値は、零から(3)式の範囲となり、 $v_0$  が零の場合、魚体は原点Oの垂直下方  $Q$  に落下する。また、(2)式の  $t_1$  に  $t$  を代入して  $y$  を消去すると、初速度  $v_0$  が(3)式で示される場合の、平板シュート上における魚体の落下点  $P$  の  $x$  座標が得られる。したがって、平板シュート上にお

ける魚体の落下点の座標  $P(x, y)$  は次式(6)で示される。

$$\left. \begin{aligned}
 P(x,y) &= (x, b + (\tan \alpha)x) \\
 \text{ただし,} \\
 x &= \frac{D_2 + \sqrt{D_2^2 - D_1^2 D_3}}{D_1} \\
 D_1 &= (1 - \tan \theta \tan \alpha) \\
 D_2 &= b \tan \theta D_1 + \frac{v_0^2 \tan \alpha}{g \tan \theta} \\
 D_3 &= (b \tan \theta)^2 - \frac{v_0^2 2b}{g \cos \theta}
 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

また、初速度  $v_0$  が零の場合における魚体の落下点  $Q$  の座標は次式(7)で示される。

$$\left. \begin{aligned}
 Q(x,y) &= (x, b + (\tan \alpha)x) \\
 \text{ただし,} \quad x &= \frac{b}{\cot \theta - \tan \alpha}
 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

(6)式および(7)式より、平板シュート上の魚体の落下範囲  $PQ$  は、落下時における魚体の  $x$  方向の初速度  $v_0$ 、ロール傾斜角  $\theta$ 、平板シュート設置角  $\alpha$ 、原点  $O$  と平板シュートとの間隔  $b$  などにより決定可能と考えられる。そこで、初速度  $v_0$  で落下する同体幅魚の平板シュートの上落下範囲  $PQ$  が狭いほど、平板シュート上における異体幅魚の混在が少なくなるので、仕分け精度は向上するものと推察される。

なお、魚体の落下範囲  $PQ$  を求めることにより、仕分け精度が良好な平板シュートの設置位置、同角度、ロール傾斜角などが推定される。

次に、Fig. 5 に落下時におけるロールと魚体の関係を示す。ロール間から落下する魚体には、重力、ロールより加わる抗力  $R(N)$ 、および鉛直方向の摩擦力が作用する。ロールと魚体との見掛けの摩擦係数を  $\mu$  とすると、魚体を落下させるように作用する力  $F(N)$  は次式(8)で示される。

$$F = mg + q \cdot 2\mu R \quad (8)$$

ただし、状態変数  $q$  は、魚体とロール接触面の回転方向が魚体の落下方向と同じ場合には 1、逆方向の場合には  $-1$  で示す。

ロール回転により加わる抗力  $R$  は、魚体の体幅および弾性抵抗に起因し、体幅が増大すると大きくなる。すなわち、(8)式において、魚体は  $F > 0$  ではロール間を落下し、 $F = 0$  ではロール間に挟持され落下しないが、 $F < 0$  ではロール間を滑降する。したがって、体幅がロール間隔以下では、 $R$  は零となり、魚体は重力の作用により落下する。体幅がロール間隔より広いと、魚体の弾

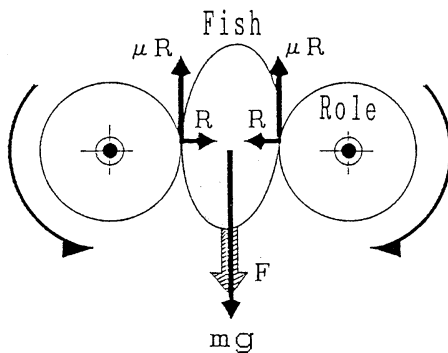


Fig. 5. Schematic diagrams of the fish and roles  
Note:  $F$ : force which the fish has fallen down (N)

- $m$ : mass of fish (kg)
- $g$ : acceleration of gravity ( $m/s^2$ )
- $R$ : normal force (N)
- $\mu$ : coefficient of friction between fish and role surface

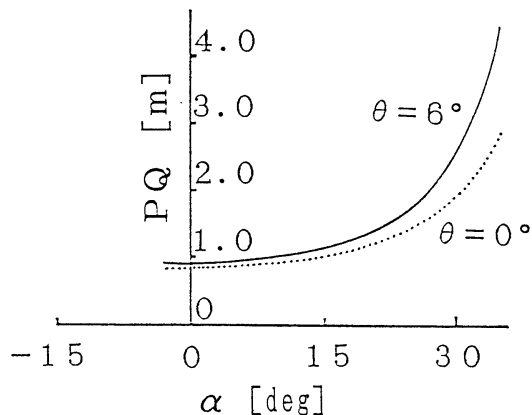


Fig. 6. The simulated curve of suitable angle to horizon of role and shoot

- Note:  $PQ$ : distance which fish fall on shoot (m)
- $\theta$ : angle to horizon of role (deg)
- $\alpha$ : angle to horizon of shoot (deg)

性抵抗は大きくなり、また魚体はロール間に挟持されるので、見掛けの摩擦係数が大きくなるから、魚体はロール間から落下しないでロール間を滑降することになる。

以上より、任意のロール間隔における仕分け可能な魚体の体幅および体重が推定可能と考えられる。

### 3) ロールおよび平板シュートの好適傾斜角

初速度  $0.93m/s$  の場合において、(6)式および(7)式より幾何学的に求めたロール傾斜角  $\theta$  が 0 度および 6 度にお

ける、平板シュート上における魚体の落下範囲 $PQ$ と、平板シュートの設置角 $\alpha$ との関係をFig. 6に示す。任意の $\alpha$ における落下範囲 $PQ$ は、 $\theta$ が小さいと小さく、 $\theta$ が零の場合に最小となり、実測値と同程度の約50cmとなった。

また、 $PQ$ は平板シュートとロールとの間隔 $b$ によっても変動するが、シミュレーションによると平板シュートの設置角 $\alpha$ は、魚体が平板シュートに対して垂直に落下するように設置すると、魚体の落下範囲 $PQ$ は最小になるものと推察される。ただし、実際には、魚体は相互に衝突・干渉しながら滑降するため、(3)式による魚体の滑降速度ほどには高速にならない。そのため、平板シュート付近まで落下魚体はほぼ鉛直下向きに運動していると考えられる。したがって、平板シュートの設置角 $\alpha$ は、市販機ではロールと平行の約6度に設定されているが、水平に設置するべきと考える。

なお、魚体の落下範囲 $PQ$ とロール傾斜角 $\theta$ の関係は、ロールを傾斜させると、魚体は下方に投射運動し、また落下時の $x$ 方向の初速度 $v_0$ も増大するので、ロール上の任意の位置で落下を開始してもほとんど同じ落下範囲 $PQ$ に着底したため、図示は省略した。

これより、ロール傾斜角 $\theta$ が小さいと、また平板シュートの設置角 $\alpha$ は床面に並行に設置すると、平板シュート上における異体幅魚の重複確率が低下するので、仕分け精度は向上するものと推察される。同図より平板シュートの設置角 $\alpha$ が $-5$ 度から $10$ 度程度において、 $PQ$ はロール長の2分の1の1m以下になるので、理論的には現状のシステムでも複数段階の仕分けが可能と考えられる。ただし、ロール傾斜角 $\theta$ が小さいと魚体の滑降速度は遅くなるため、単位時間当たりの仕分け量は減少する。したがって、現状と同程度の単位時間当たりの仕分け量を維持するためには、魚体の滑降速度を速くする必要があり、そのためにロール上へ供給される魚体の初速度 $V$ の増大、あるいはロール傾斜角 $\theta$ の増大、またはロール数の増加が必要となる。しかし、ロール数を増加させると、システム本体の平面的占有率が増大し、また新たにロール上端に魚体を齊一に供給するための装置が必要となる。

ロール上端へ供給される魚体の初速度 $V$ を速くすると、(6)式および(7)式より魚体の落下範囲 $PQ$ が大幅に増大し、加えて魚体の運動エネルギーも増加するため、本来なら仕分けされない体幅の大きい魚体がロール間から落下するなど、仕分け精度の低下が懸念される。したがって、ロール傾斜角 $\theta$ を増大させて魚体の滑降速度を速く

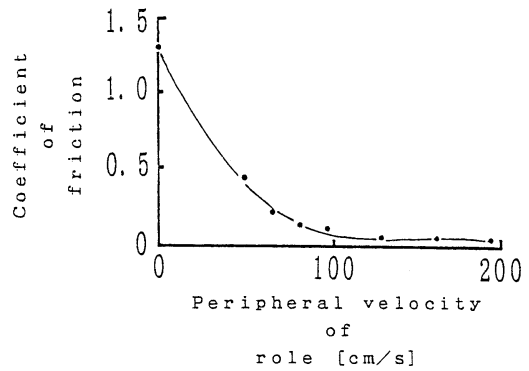


Fig. 7. Relationship between the peripheral velocity of the role and coefficient of friction between fish and role surface

する方法が有効と考えられる。そこで、ロール上における実測値1.7秒以下で魚体を滑降させるには、ロール傾斜角 $\theta$ は5.7度以上必要と試算される。これは、市販機のロール傾斜角6度とほぼ近似している。

以上より、ロール式で大小に鮮魚を仕分ける場合、現状と同程度の単位時間当たりの仕分け量を維持する場合には、高精度な仕分け精度は困難なものと推察される。ただし、1台当たりの仕分け量を現状の約60%程度まで減少させると、2段階以上の大小仕分けが可能と推察される。

#### 4) ロール回転数が魚体とロール間の見掛けの動摩擦係数に及ぼす影響

Fig. 7に、魚体とロール間の見掛けの動摩擦係数と、ロール回転数との関係を示す。図示は省略したが、見掛けの動摩擦係数は散水すると、ロール周速度が1 m/s以上ではほぼ零となり、散水量を増すと、さらに見掛けの動摩擦係数は減少した。これは、散水用海水は粘度が低いので、魚体がロール間を滑降する際に接触面に薄い水膜が生じるため摩擦が小さくなるハイドロプレーニング現象が生じているものと推察される(三輪・池本, 1975; 桜井・広中, 1981; 高島, 1987)。なお、散水量が少ないと、体重および体幅の大小に関わらず魚体がロール面に附着し、回転ロール間から強制的に落下させられるので仕分け精度は低下した。

魚体に取付けた糸の張力から、ロール間より魚体が落下する力を測定したところ、ロールの回転数が高いと、魚体に作用する垂直方向の力は、ロールの回転方向に無関係なことが判明した。これは、前述したように魚体と回転ロールとの接触面の間に薄い水膜が生じ、摩擦係数

が著しく減少したためと考えられる。なお、(7)式の状態変数  $q$  は、これらの実測値から  $-0.8$  程度と試算された。

ところで、供試サンマは  $100\text{g}$  の体重差でも、体幅差はほぼ  $0.8\text{cm}$  以下であった。現地調査では 5 段に設置した仕分け機で 6 段階に仕分けしていたが、魚体の体幅差のみにより仕分けられると考えると、約  $0.1\text{cm}$  の体幅差により仕分けられることになる。しかし、 $0.1\text{cm}$  程度の体幅差であれば、魚体は弾性に富むため落下や滑降の勢いでロール間の通過が可能であり、体幅差のみで大小に仕分けられる可能性は低いものと推察される。

### 5) ロールによる魚体の仕分け機構

Fig. 1 のロール 1 から同 5 までは左回転であり、同 6 から同 11 までは右回転している。ロール上端の中央に投入された魚体は、ロール 5 と同 6 により左右斜め下方向に移送されながら落下する。本システムでは、逆回転する隣接ロール 5 と同 6 間は、魚群を左右に分散させると共に、次項のような仕分け機構を有し、同方向に回転する隣接ロール間（左回転：ロール 1 から同 5、右回転：同 6 から同 11）では、仕分け機作が異なり、次項のように考察することができる。

#### (1) 逆回転する隣接ロール間の機作

左回転のロール 5 と、右回転の同 6 のように隣接ロールが各左右に逆回転する場合について考える。ロールが高速回転する場合、魚体とロール間の摩擦にはロールの回転方向は影響しないので、実測値より(7)式の状態変数  $q$  は  $-0.8$  とする。出荷対象となる魚体の体幅の個体差はほとんど認められないので、Fig. 5 および(7)式において、ロールより加わる抗力  $R$  の大きさも魚体の大小に無関係に一定とすると、上方に魚体を持ち上げるように回転するロールの作用に逆らってロール間から落下するための魚体重の条件は次式(9)で示される。

$$mg \geq 1.6 \mu R \quad (9)$$

本式から、ロール間隔および魚体の体幅が一定でも、体重に差があると、仕分けが可能であることを示している。ただし、魚体は本式で示される原理のみにより仕分けられるのではなく、体幅差との両作用により仕分けられるものと推察される。

なお、魚体を上方に持ち上げるように逆回転する複数の隣接ロールを、並列に連続配置することによっても、大小の仕分けロール機構を構成することも可能と考えられる。その場合には、魚体を強制的に繰り下げるような作用を防止するため、ロール径の上方  $2$  分の  $1$  以上が覆

われるように右回転と左回転の 2 本の隣接ロールに蓋をする必要がある。しかし、この場合には仕分け能力の大幅な低下が懸念される。

#### (2) 同方向に回転する隣接ロール間の機作

左回転するロール 1 から同 5 ままで、右回転する同 6 から同 11 までの両隣接ロール間の機作は同様と推察される。このような場合における、2 本の隣接ロールが同方向に回転する場合について考える。ロールは高速回転するから魚体に働く上下方向への力  $\mu R$  は相殺されるので、(8)式の第 2 項は零になる。それ故、第一項の重力のみで仕分けられることになるので、仕分け精度は低下する。そのため、例えば逆回転するロール 5 と同 6 間を通過する体重  $mg$  の魚体と、ロール 4 と同 5 間を通過する体重  $(mg - 2\mu R)$  の魚体とがシュート上の同じ落下範囲  $PQ$  に着底することになるので、仕分け精度が低下することになる。

仕分け精度のバラツキが大きいの一因は、このように同方向に回転する隣接ロール間における仕分け精度の低下に起因するものと考えられる。同方向に回転するロール間の仕分け精度の低下防止には、(9)式の値に近似させるように(8)式の第 2 項を零以上にする必要があるのである。具体的には、同方向に回転する隣接ロールは、中央部の逆回転するロール 5 及び同 6 から各外側のロールほど徐々に摩擦係数を大きくする。その方法としては、ロール 5 及び同 6 より各外側のロール径を徐々に大きくする、各外側のローラの回転数を徐々に低下する、各外側のロールには摩擦の高い材質を使用する、などにより下向きの  $\mu R$  より上向きの  $\mu R$  の値を大きくすると、効果的と考えられる。

例えば、(10)式において、ロール番号を  $n$  で表すとロール 4 と同 5 の各摩擦係数は各々  $\mu_1$  と  $\mu_5$  で示され、ロール 1 から同 5 までは  $(\mu_{n-1} - \mu_n) > 0$  の場合に、またロール 6 から同 11 までは、 $(\mu_{n-1} - \mu_n) < 0$  の場合に高精度な仕分けが可能となる。ロール 4 と同 5 間を落下した魚体に働く力は、(8)式から次式(10)で示される。

$$F = mg - q(\mu_{n-1} - \mu_n) \cdot R \quad (10)$$

(10)式より、体幅が広がると弾性抵抗により摩擦係数の増大する分、ボール間を滑降してシュート上への落下範囲  $PQ$  は広がるので仕分け段数を多くすることが可能となるから、必然的に仕分け精度を向上させることが可能になるものと推察される。

なお、大小仕分け機の 1 台（ロール数：11本）当たりの仕分け量は、一定時間内にベルトコンベヤ上を滑降す

る魚数から判断すると、重量で約15.5t/hr、尾数で約11万1千尾/hrと推定された。

#### 4. 要 約

魚体大小のロール式仕分け機構について解析し、仕分け精度の向上を試みた。結果は次のとおりである。

1) 魚体の大小は体幅差により仕分けられるが、現状の単位時間当たりの仕分け能力を維持すると、高精度な仕分けは期待できないことが判明した。しかし、ロールの傾斜角を小さくし、またシュートを水平に設置すると、単位時間当たりの仕分け量は減少するが、高精度な仕分けが可能と推察される。

2) 鮮魚では、魚体とロールに散水し、さらにロールを高速回転させると、同程度の体幅でも、体重差により仕分けられることが理論的に推定された。

3) 仕分け精度の向上には、同方向に回転する隣接ロールの各外側の摩擦係数を大きくする必要がある。

以上より、魚体は体幅差および体重差により仕分けられるものと推定される。

#### 文 献

- 東川直史・矢田貞美・酒井久治・秋澤速夫 (1993) : 振動方式による魚体頭尾の方向制御に関する研究. 水産工学, 30 (1), 9-14.
- 宝谷幸男 (1987) : 水産加工機械. 恒星社厚生閣, 東京, pp. 21-24.
- 三輪光雄・池本義夫 (1975) : 基礎物理学ハンドブック. 森北出版, 東京, pp. 27-28.
- 小原哲二郎 (1981) : 食品設備実用総覧. 産業調査会, 東京, pp. 68-70.
- 桜井俊男・広中清一郎 (1981) : トライボロジー. 共立出版, 東京, pp. 13-14.
- 高島鎮雄 (1987) : 日本大百科全書, 小学館, 東京, pp. 537.