

波動ポンプ式魚の肉質改善システム*

川口勝之*¹, 槌本六良*²

Fish Meat Improving System Powered by a Wave-Energy Pump

Katsuyuki KAWAGUTY, and Mutsuyoshi TUCHIMOTO

A new fish farming system based on the improvement of product values and energy saving and supported by a newly designed wave-energy pump has been developed. An experimental approach to the realisation of single and double-acting wave-energy pumps and fish meat improvement by giving a suitable motion to the cultivated fish was taken. The correlation of motion speed and period with body muscle and fatness of the cultivated fish with low-temperature preservation characteristics was investigated, and the "jogging effect" was proven most effective at a speed of 2.5 BL/s. Furthermore, system investigations related to wave-energy pumps and fish training were performed in an integrated and optimum arrangement. The application of the double-acting pump with a suitable float piston weight gives a possible solution to compact design as well as optimum pump flow performance.

Key Words: Fish Meat Improving System, Wave-Energy Pump, Single and Double Action, Piston and Float, Optimum Jogging Speed, Muscle and Fat

1. 緒言

わが国の水産業は漁場ならびに漁獲量の制限のために低迷を続けており、これを工学技術により高度化し新しい分野の産業へ転換することが急務である。また、養殖漁業においては経済性の追求のために海水量に対する魚数は増大して、海水中の溶存酸素濃度は魚の生存可能な限界に達しており、若干の環境変化によっても多量の弊死が起こるなどの問題が報告⁽¹⁾されている。また、過度の給餌による海域汚染が著しく、海水交換が行われにくい内海では、養殖場の寿命は数年といわれている。一方、海洋の自然エネルギーの利用に関する報告⁽²⁾⁻⁽⁷⁾は多いが、従来の単発的な利用では経済性に乏しく実用化のためには多くの問題が残されている。

著者らは、これらの諸問題を解決しかつ経済性を達成するために、波動ポンプを利用して養殖魚に運動を与えその肉質を改善して付加価値を高め、さらに自動的な給餌・溶存酸素供給・海水浄化を行う新たな高生産海域造成システムの構築を提案している⁽⁸⁾。本研究

では、養殖魚に与える運動速度および期間に対する肉質の改善特性および低温保存特性を明らかにするとともに、魚の肉質を改善する養殖システムのために新たに開発した連続的な給水が可能な二重ピストン式波動ポンプの性能試験を行いその特性を明らかにしている。

記号

BL: 魚の体長
D: 上下浮動フロートの直径
g: 重力の加速度
H: 揚程
H_w: 波高
Q: 流量
T: 波の周期
ρ: 水の密度

2. 波動ポンプ式魚の肉質改善システム

波動ポンプ式魚の肉質改善システムの構成を図1に示す。周期的な波の運動により波動ポンプの上下浮動フロートおよび同軸の吐出ピストンが往復運動を行い海水が吐出される。この流れは円形回流水槽の周辺において接線方向に導かれ、水槽内の海水の旋回ならび

* 平成元年11月21日 九州支部・中国四国支部合同長崎地方講演会において講演。原稿受付 平成元年5月25日。

¹ 正員、長崎大学工学部 (〒852 長崎市文教町1-14)。

² 長崎大学水産学部。

に溶存酸素供給が行われる。水槽内の魚は海水の流れと反対の向きに泳ぐため、この運動により魚の肉質が改善される。例えば、直径3m、深さ2mの水槽内の海水を剛体渦として周速1m/sで回転させる場合には、摩擦抵抗に打ち勝つだけの運動量を与えるために直径100mmのパイプから流速約2m/sで海水を供給すればよい。また、回流水槽において水槽底部に沈殿した残餌や魚糞は、図1に示されているような半径方向内向きの二次的流れにより水槽中央部に集積されるため、排水孔を設けることにより養魚槽内の自動的な海水浄化が可能である。

3. 実験装置および実験方法

魚の肉質改善特性を調べるために魚に運動を与える回流水槽を図2に示す。スクリューの回転により生じた水流の流速分布は整流装置で均一化され、長さ1.1m、幅0.7m、深さ0.55mの運動遊泳槽に送られ、魚は流れに対抗して流水と同じ速さで運動する。この試験部

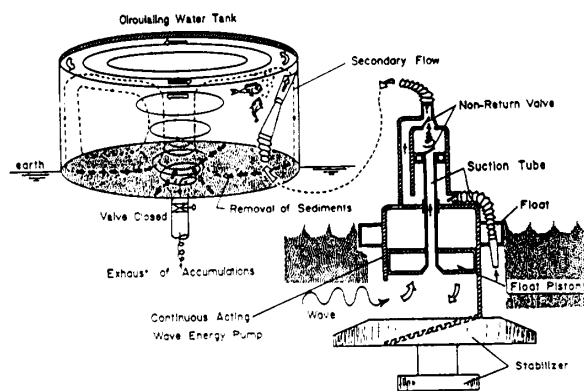


図1 波動ポンプ式魚の肉質改善システム

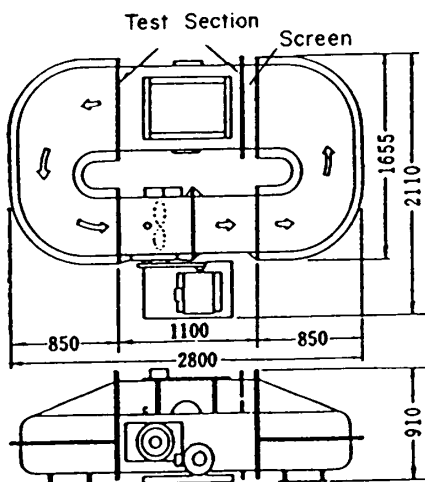


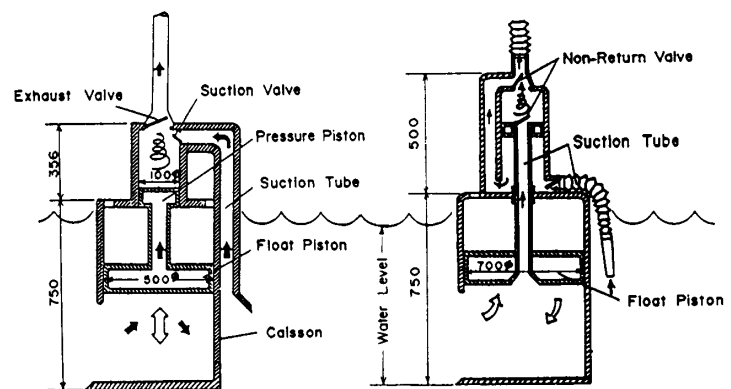
図2 回流水槽

には上部と両側面にアクリルの覗板を設置してあるので運動状況を観察することができる。水槽内にはフィルタと砂ろ過装置が設置され、ろ過水は水温調整装置を通過し別置の補助タンク内でエアレーションされて回流水槽内に戻される。流速、運動時間および休憩時間などはコンピュータで自動的に管理されている。

供試波動ポンプを図3(a)および(b)に示す。(a)は波の下降時に水を吸入し、波の上昇時に吐出する間欠形である。また、(b)は吐出シリンダ下部室に吸い込み管を設けピストンおよびフロートを含む往復動部の重力によって、その下部室内流体を押し上げる機構を備えており、ピストンの上面および下面で吸入および吐出を同時に行う連続作動形である。シリンダ部はアクリル製で、内部の水や気泡の流動および弁の作動状態が観察できる。吐出ピストンの直径は100mmであり、浮動フロートには直径が500mmと700mmの2種類を採用した。以後、前者をD500、後者をD700と称する。流動ポンプ特性試験は、長さ60m、幅4m、深さ2.3mの造波水槽の中央部に波動ポンプを取付けて実施した。波高は電気式抵抗計を用いて計測し、流量は質量計測法により求めた。波が持つエネルギーは単位幅当たり $2 \cdot H_w^2 \cdot T$ [kw/m]であるが⁽⁹⁾、上下浮動の場合には運動エネルギーの利用はわずかであるので、波動ポンプへの入力として位置エネルギーのみを考え、出力 $\rho g Q H$ を入力 $H_w^2 \cdot T \cdot D$ で除してポンプ効率と定義した。

4. 結果および考察

4.1 魚の運動と肉質改善特性 図4(a)および(b)は、養殖マダイを4時間運動させた場合について、単位時間当たりの運動距離を魚の体長を基準として表した運動速度に対する血糖値および血液中の遊離脂肪酸(FFA)の計測結果の平均値の変化を示す。太い実線



(a) 間欠作動形

(b) 連続作動形

図3 供試波動ポンプ

は標準偏差の範囲を示している。運動速度が2.5(BL/s)より大きい場合には血糖値が急激に上昇していること、これに対しそれより遅い速度では血糖値は低く遊離脂肪酸が高いことがわかる。これらのことから2.5程度の運動速度で糖質主体燃焼の代謝系から脂肪を主体に燃焼して運動エネルギーを産出する代謝系へ移行しているものと考えられる。

運動速度2.5の場合において体重を体長の三乗で除して表した肥満度および体密度の変化を図5(a)および(b)に示す。体密度が大きいことは脂肪が少なく筋肉が多いことに対応する。実線は運動飼育群、破線は

非運動飼育群であり、いずれも同一魚体の飼育前後の変化を示している。なお、給餌は非運動飼育群の体重減少がない程度に行われている。運動飼育群では肥満度の低下と体密度の上昇がみられ、運動による体脂肪の選択的な減少が理解される。一方、非運動飼育群では、ほとんどの魚体に肥満度の上昇と体密度の低下がみられる。

養殖魚および天然魚の背付近の筋肉においてサルコメア4個以下の筋原繊維の割合の冷凍日数に対する変化を図6に示す。縦軸は肉質を構成する筋原繊維の切れやすさを表し、低い値は冷凍保存性が良好であるこ

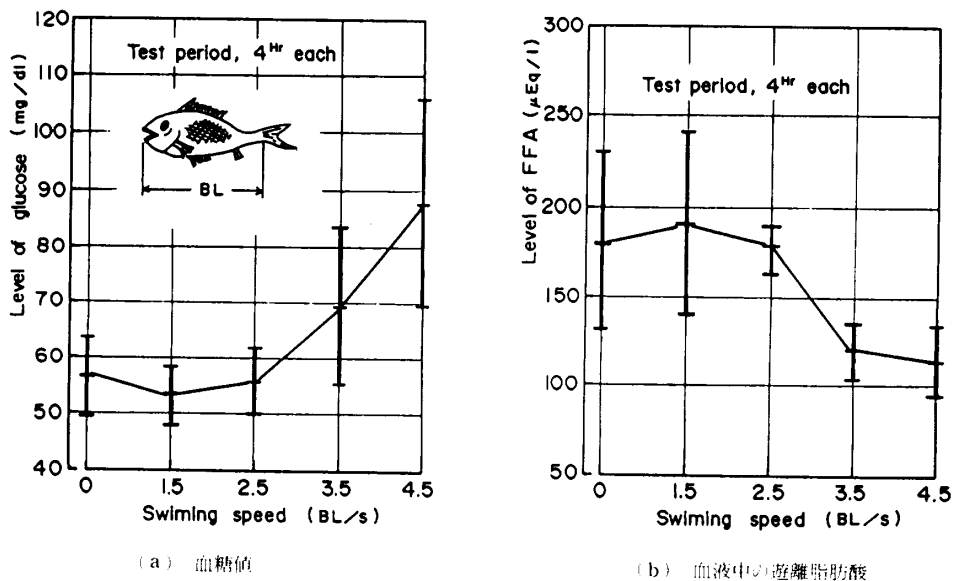


図4 運動速度と魚の肉質変化

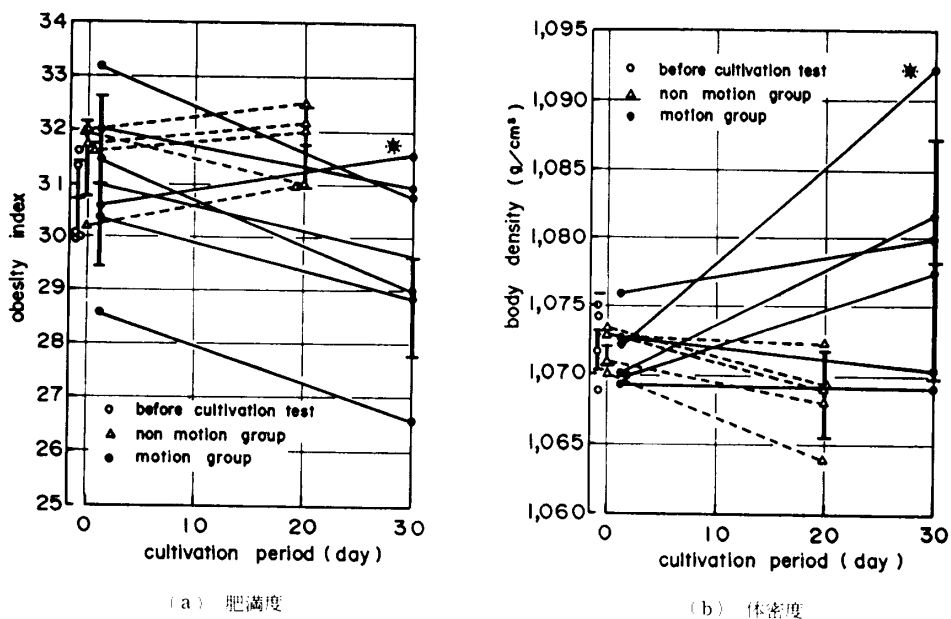


図5 運動日数と魚の肉質変化

とに相当する。養殖マダイのその増加割合は天然マダイに比べ5倍程度大きい。一方、運動養殖魚での増加割合はかなり減少しており冷凍保存性が改善されていることがわかる。また、これらのことは尾部の筋肉でも同様の結果であった。

4・2 波動ポンプの特性 間欠作動形波動ポンプについて波高をパラメータとした流量・揚程特性を図7に示す。波の周期は1.74 sであり、これは実海域試験を実施する予定の長崎港外の標準波周期に相似せし

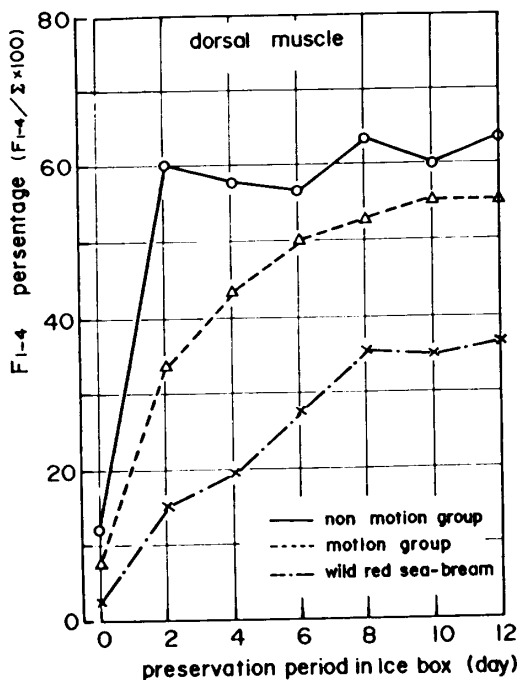


図6 低温保存性の比較

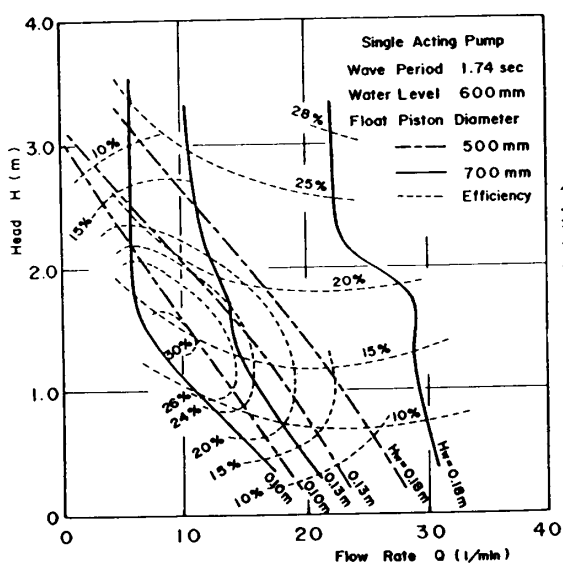


図7 間欠形波動ポンプ特性 (フロート直径の影響)

める値である。図の一点鎖線はD500の場合であり、実線はD700の場合である。また、破線はポンプ効率を示す。D700の特性はD500に比べて立ち上がっている傾向がみられ、 $H_w=0.18\text{ m}$ の場合には流量、揚程ともに増加している。実験の範囲では最高効率も両者とも約30%程度であった。

上下浮動フロート直径が700 mmの連続形波動ポンプにおいて往復動部質量を変化した場合のポンプ特性を図8に示す。波高が0.1 mおよび0.18 mの場合において質量が増大するとともに流量・揚程が大幅に増加しポンプ効率も上昇していることがわかる。往復動部質量が11.5 kgの場合ピストンの下降速度が波面の速度より遅く、フロート底部から水面が離れて空気を吸い込む現象が観察された。また、揚程が高くなるとピストンの下降時には吐出がほとんどみられなかった。これに対して、23.5 kgの場合にはフロートの往復運動が極めて安定しており、下降時にも流体の吐出が確認された。連続式波動ポンプにおいては、ピストン下降時の吐出行程において上昇時と同程度の吐出が行われることが望ましく、このとき流量は間欠形の2倍になると考えられる。したがって、ピストン下降行程では往復動部の重力がピストン・シリンダの摺動摩擦に打ち勝ち、ピストン下部室の流体を押し上げ、かつフロートと波面が分離しないだけ十分に大きいことが必要である。しかし、重力が大き過ぎるとピストン上昇時の吐出力とその分だけ相殺されることになる。このように連続作動形の場合は往復動部の質量が重要な特性パラメータである。

間欠形ポンプと連続形ポンプの特性の比較を図9に示す。一点鎖線は間欠形、実線は連続形であり、フロート直径は両者とも700 mmである。間欠形に比較して

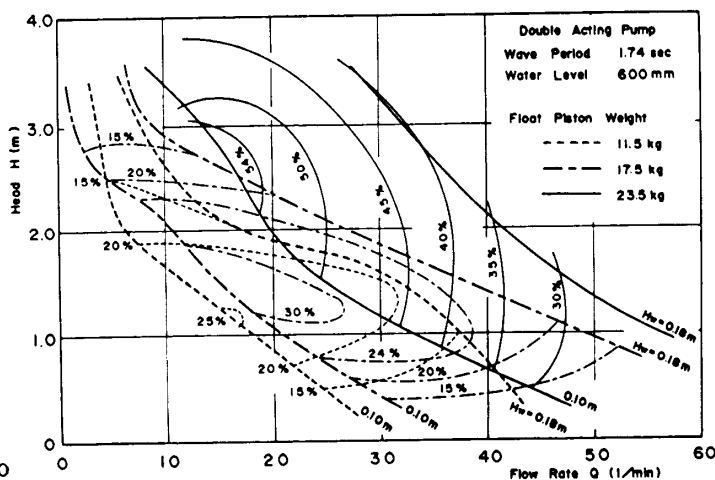


図8 連続形波動ポンプ特性 (往復動部重量の影響)

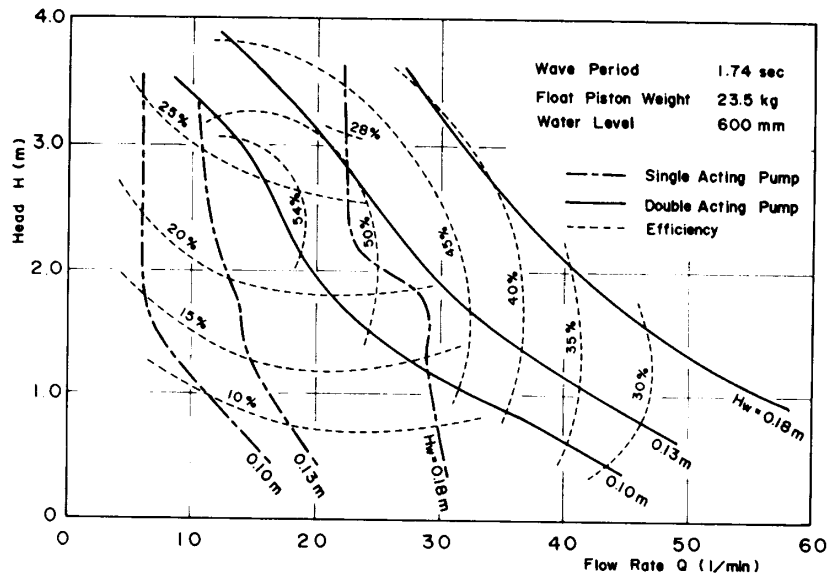


図9 連続形と間欠形のポンプ特性の比較

連続形では大幅に流量、揚程が増加し、効率も約2倍程度に上昇している。

5. 結 言

波動ポンプを利用して養殖魚に運動を与え肉質を改善するシステムにおいて、魚に与える運動速度および期間に対する肉質改善特性および低温保存特性を調べるとともに、新たに開発した連続作動形波動ポンプの性能試験を行って以下の事項が明らかとなった。

(1) 養殖マダイの体脂肪を選択的に減少させるには、2.5 BL/s 程度の速度で運動させることが有効であり、低温保存性も大幅に改善される。

(2) 連続形波動ポンプでは、往復動部の位置エネルギーによりピストン下降時の仕事が行われるため、往復動部の質量が性能を左右する重要な因子である。

(3) 往復動部の質量を適切に決定することにより、連続形波動ポンプは間欠形に比べ約2倍の効率向上が達成された。

(4) 高効率波動ポンプによる給水を利用した魚の肉質改善システムの開発が達成された。

今後の研究開発の展開として、波動ポンプ流動特性

解析ならびに浮体式新形ポンプの開発を進行中である。長期計画として、海洋機器にふさわしい軽くて丈夫なかつきびない透明なエンジニアリング・プラスチックを構成材とし、現代デザインを取り入れた波動ポンプの開発を進めている。さらに、実用化試験に関しても、流量0.5~1.0 t/min級の波動ポンプシステムを閉山の島・高島にて構築中であるので、近く報告する予定である。

文 献

- (1) 守村, 第8回海洋工学シンポジウム論文集, 1(1988), 123.
- (2) 石橋・ほか2名, 第2回波浪エネルギー利用シンポジウム論文集, AI-5(1987), 35.
- (3) McCormick, M. E., "Ocean Wave Energy Conversion" (1981), 59, John Wiley & Sons.
- (4) 上原・ほか1名, 日本船舶機関学会誌, 21-2(1986), 77.
- (5) 本間, 第1回波浪エネルギー利用シンポジウム論文集, 11(1984), 1.
- (6) 前田, 文献(5)の49ページ.
- (7) Jet Cottril, ほか1名, Wave energy, Department of Energy, London, 42(1979).
- (8) 田口, 文献(1)の25ページ.
- (9) 服部, 海岸工学, (1987), 28, コロナ社.