

令和 4 年 5 月 16 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06182

研究課題名(和文) 仔魚期初期生残率改善を目指した養殖水槽の開発

研究課題名(英文) Study on development of rearing tank for improving survival rate of larval stage

研究代表者

木村 暢夫 (Kimura, Nobuo)

北海道大学・水産科学研究院・教授

研究者番号：50186326

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、仔魚期初期を対象とした養殖水槽を対象に、流体解析シミュレーション(CFD解析)を用いて、生残率向上に向けた流れ場の評価・改善を行った。まず、円形水槽を対象として、PIVによる流れの可視化実験を行い、CFD解析の推定精度を検証した。その結果、シミュレーションの妥当性を確認した。

続いて、八角形水槽・円形水槽を対象にエアーストーンの配置を様々に変更してCFD解析を行うと共に、沈降死を抑制するための上昇流の発生範囲、排泄物の滞留傾向を指標とすることで、流れ場の評価を行うとともに、エアーストーン配置の提案を行った。今後は提案水槽を対象に飼育実験を行うことで、改善効果を確認することが課題といえる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年は、獲る漁業から育てる漁業(養殖漁業)への転換が求められている。しかし、わが国の養殖は種苗を漁獲に頼っている場合が多く、天然資源に依存しない養殖生産のために、種苗(仔稚魚)を人工的に生産する必要がある。ただし、仔稚魚期は遊泳力が低く、沈降死による大量斃死が度々報告されている。種苗の安定生産のためには、養殖水槽内の流れ場が重要といえる。

本研究では、仔稚魚期の養殖水槽を対象にシミュレーション技術を適用し、沈降死の抑制と水質維持を可能とする養殖水槽を考案できる技術を開発した。本技術を養殖水槽に適用することで、仔稚魚期の生産効率向上ができ、最終的に我が国の養殖生産の安定化に貢献できると考える。

研究成果の概要(英文)：In this study, we used computational fluid dynamics (CFD) analysis to evaluate and improve the flow field of aquaculture tanks targeting the early juvenile stage, for improving survival rates. First, flow visualization experiment using PIV was conducted on a circular tank to verify the estimation accuracy of CFD analysis. The results confirmed the validity of the CFD simulations.

Then, CFD analysis was conducted for octagonal and circular tanks with various changes in the placement of airstones, and the flow field was evaluated and airstone placement was proposed by using the range of upwelling to prevent sinking death. For the future's task, rearing experiment using proposed tank should be conducted to confirm the effects of the improvements.

研究分野：水産工学

キーワード：仔稚魚飼育水槽 エアレーション CFD解析 PIV実験

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

魚類養殖における課題のなかで、養殖魚仔魚期の初期減耗の改善は特に重要である。なかでも、仔魚期の沈降死は初期生残率低下の主要原因の1つとなっている。特に仔魚期は、卵黄消失等の影響で日齢とともに体密度が増加し、海水の比重より大きくなることで夜間の遊泳停止時に沈降し、(1)水槽底に接触することによる外傷や病原細菌への感染、(2)水流が弱すぎることによる酸素等ガス交換効率の低下、(3)頻りに上下移動することによる過剰なエネルギー消費等が原因で沈降死に至ると推察されている。体比重、遊泳力、飼育水の流れ等は仔魚の沈降に大きな影響を及ぼす。しかし、養殖水槽内の流れは複雑で水面の流れから全体を把握できず、その管理は飼育技術者の経験的知見に基づくことが多く、水流、温度、水質等の物理環境の設定を誤ると大量斃死に繋がる危険性がある。

### 2. 研究の目的

本研究では、CFD 解析技術を応用し、給排水に加え、微細な気泡から緩やかな上昇・循環流を作り出すエアレーションを合理的に組み合わせることで水槽内流れと溶存酸素等の養殖水槽内環境を安定維持するシステム開発を目指す。

### 3. 研究の方法

#### 1) 給排水による流れ場のシミュレーション技術の検証

本研究のファーストステップとして、水槽飼育の流場解析のために、PIV(粒子画像可視化法)実験とCFD解析によるシミュレーションを比較し、妥当性の検証を行った。

ここでは、円筒形の小型アクリル水槽(直径0.487m、水位0.400m)を対象とし、給水管(外径:18mm、内径:13mm)をアクリル水槽の中心部に、給水口が底面から2mmだけ離れるように配置した(図1)。また、排水管(外径:13mm、内径:10mm)は中心から0.208mに配置し、その長さは水面から0.086mとした。給水量は46.9mL/s、105.3mL/sの二通りに設定した。以上の条件設定の下、CFD解析を行うと共に、同条件でPIV実験を実施し、CFD解析の精度を検証した。

#### 2) エアレーションによって生じる流れ場のシミュレーション技術の確立

エアレーションによって生じる流れ場の解析を可能とするCFD解析手法を提案するために以下の実験・解析を行った。

実験対象の水槽を、上記同様円筒形の小型アクリル水槽(直径0.487m、水位0.400m)とし、エアストーン(直径0.03m、長さ0.165m、気孔径12 $\mu$ m)を水槽中心の底面に配置した(図2)。CFD解析では、水と空気の2層流を再現するために、VoF (Volume of Fluid) 法を用いると共に、エアストーンの細かい気孔径を再現するために、多孔質モデル (Porous model) を用いた。加えて、上記と同条件でPIV実験を実施し、CFD解析による推定結果の妥当性を検証した。

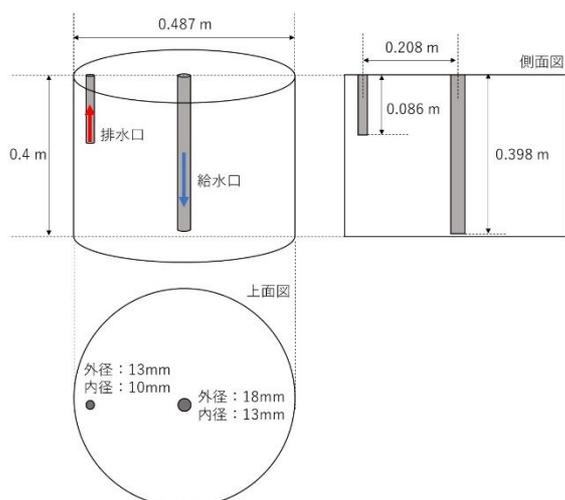


図1 給排水による流れ場シミュレーションに用いた水槽の概要図

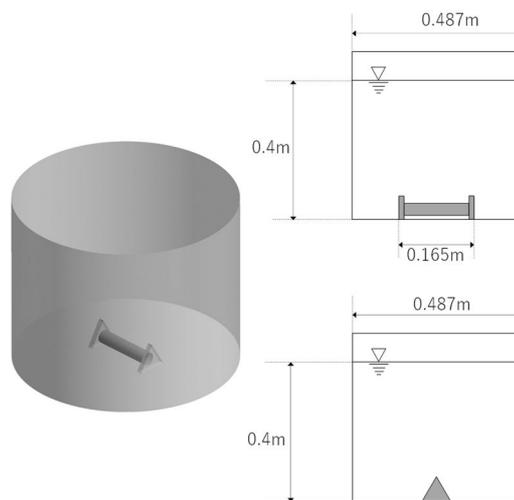


図2 エアレーションによる流れ場シミュレーションに用いた水槽の概要図

### 3) 水槽環境の最適化に向けたエアレーション配置の検討

上記、1)および2)で構築したシミュレーション技術を基に、実際の養殖水槽を対象に流体解析を行った。ここでは、クロマグロ (*Thunnus orientalis*) 仔魚飼育を対象とした八角形水槽 (Tanaka et al., 2009) と、チョウザメを対象とした円形水槽を対象にシミュレーションを行った。ここでは、八角形水槽を対象とした結果について説明する。同水槽は、底面積: 19m<sup>2</sup>、体積 50m<sup>3</sup>であり、底面に交差する形で給水口が設置されており、反時計回り方向に循環流が発生するように給水角度が設定されている。加えて、ここでは、同図に示したようにエアレーションの個数を2個と6個で流場を比較した(図3)。シミュレーション結果から、流れ場を可視化すると共に、上昇流(上向きの流速が0 m/s以上)、下降流(下向きの流速が0 m/s以上)、淀み(流速が0.001 m/s以下)が生じている体積を比較した。

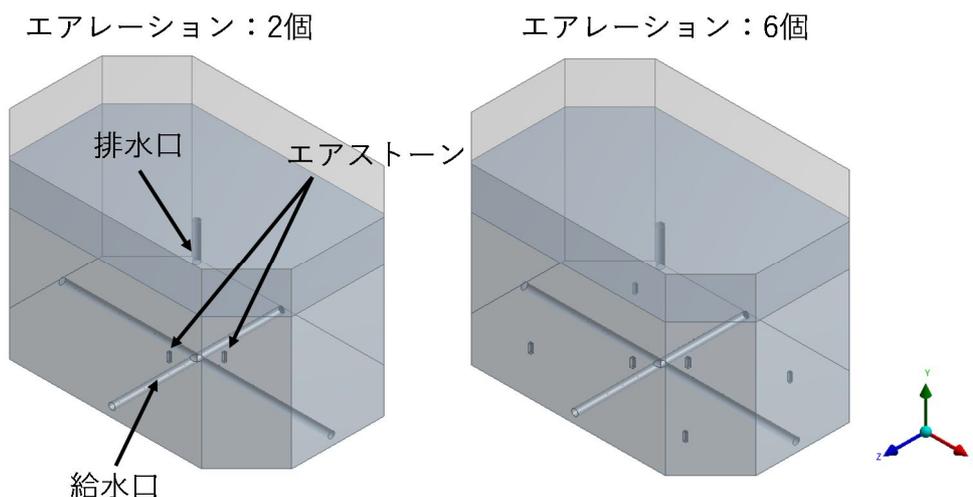


図3 クロマグロ (*Thunnus orientalis*) 仔魚飼育を対象とした八角形水槽

## 4. 研究成果

### 1) 給排水による流れ場のシミュレーション技術の検証

図1の水槽を対象としたPIV実験とCFD解析の結果を図4に示す。図4の右図はPIV、左図はCFD解析の結果をそれぞれ表している。PIV実験では、底面付近の給水口付近で大きい流速が確認され、その流速方向は底面に沿って水平方向であった。その流れは壁面にぶつかり、上昇流が生じたことにより、縦方向の循環流が発生した。加えて、排水口(同図左上)の近辺でも、他の箇所よりも早い流速が見られた。これに対して、CFD解析の結果では、PIVと同様に給水口付近で流速の大きい箇所が生じた。併せて、壁面付近に縦方向の循環流が発生した。以上から、両者の流速値を比較すると、CFD解析で流速を若干過大評価したものの、両者で縦方向の循環流が確認された。

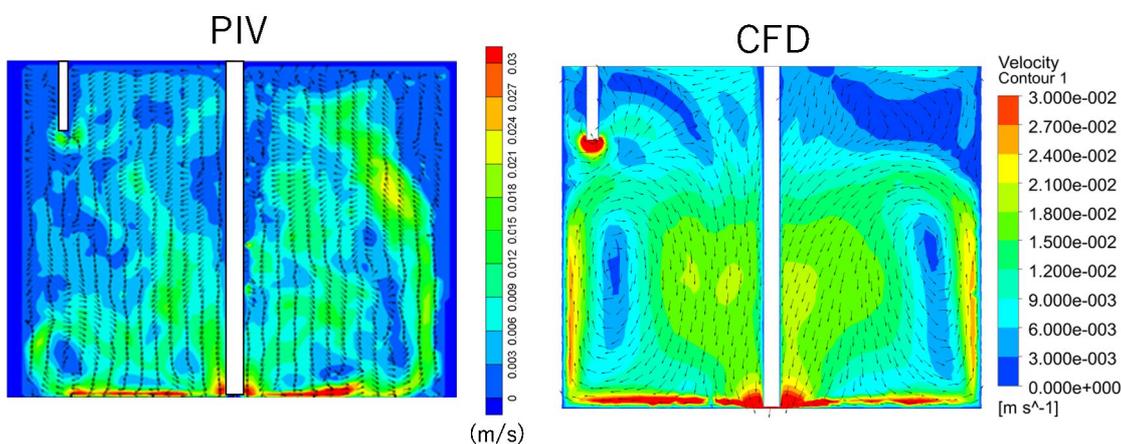


図4 給排水による流れ場のシミュレーション及び実験結果  
左図: PIVによる可視化実験結果、右図: CFDによるシミュレーション結果

## 2) エアレーションによって生じる流れ場のシミュレーション技術の確立

図2の水槽を対象としたPIV実験とCFD解析の結果を図5に示す。図5の右図はPIV、左図はCFD解析の結果をそれぞれ表している。まず、PIV、CFDの両者でエアレーションの上部で上昇流が生じていた。これらで発生した上昇流は水面で水平方向の流れとなり、壁面に到達すると下降流となった。その結果、水槽全体に縦方向の循環流が発生したことが分かる。また、CFD、PIVの傾向は定性的に一致していたと判断した。ただし、エアレーションの直上の流速については、エアがレーザーを反射し、正確な計測ができなかったため、当該箇所の精度検証については今後の課題といえる。

以上の、1)、2)の結果から、エアレーションと給排水によって生じる流れについて、シミュレーションの妥当性を確認したことから、養殖水槽内の流れを表か・可視化できる手法を確立したと考えた。

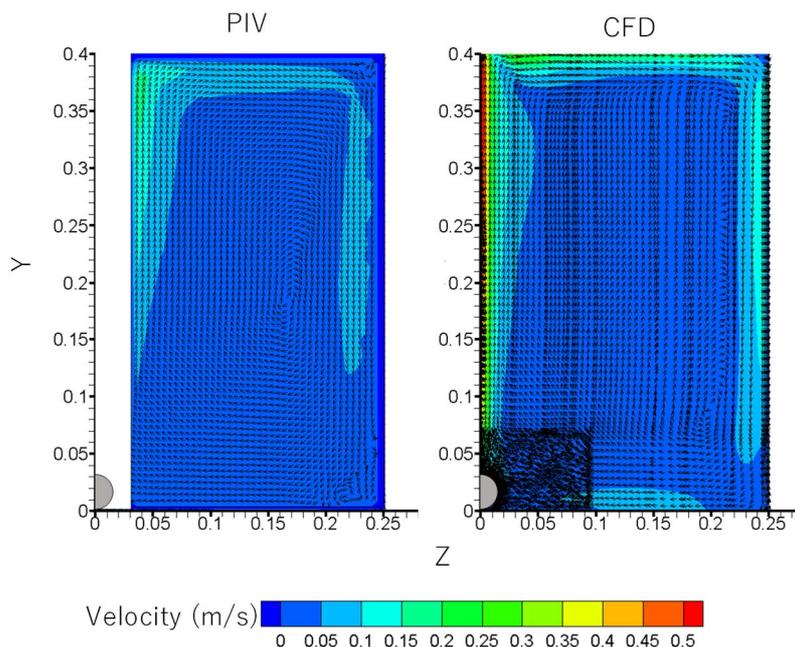


図5 エアレーションによる流れ場のシミュレーション及び実験結果  
左図：PIVによる可視化実験結果、右図：CFDによるシミュレーション結果

## 3) 水槽環境の最適化に向けたエアレーション配置の検討

上記で構築した手法を用いて、実際の飼育に用いられているクロマグロ仔稚魚用養殖水槽 (Tanaka et al., 2009) を対象として流体シミュレーションを行い、エアレーションの配置・数を変更した際の流れに与える影響を考察した。結果を図6に示す。

可視化結果から、底面から0.2mの平面に関しては、十字に流速の早い箇所が見られるが、これは給水口による影響といえる。底面から1.5mの箇所を比較すると、給水口による流れは減衰しており、エアレーションによる上昇流が顕著にみられ、それぞれのエアストーンの上で流速が高いことが見て取れる。

続いて、上昇流、下降流、淀み域が水槽全体に占める割合を可視化し、一覧として表に示した (表1)。エアストーンを2個から6個に増やすことで、上昇流域は6.2から7.4%に増加し、下降流域は82.8から77.3%に、淀み域は約14.1から2.3%に減少した。よって、エアレーション数を増やすことで、上昇流を増加させながら、淀み域と下降流の範囲を減少させることができ、沈降死と水質維持を考慮したばあい、水槽環境の改善が見られたといえる。また、Tanaka et al. (2009) は、仔魚の沈降密度はエアストーン2個の場合と比較して、6個の場合で有意に小さいとことを報告していることから、本結果は妥当と考えた。

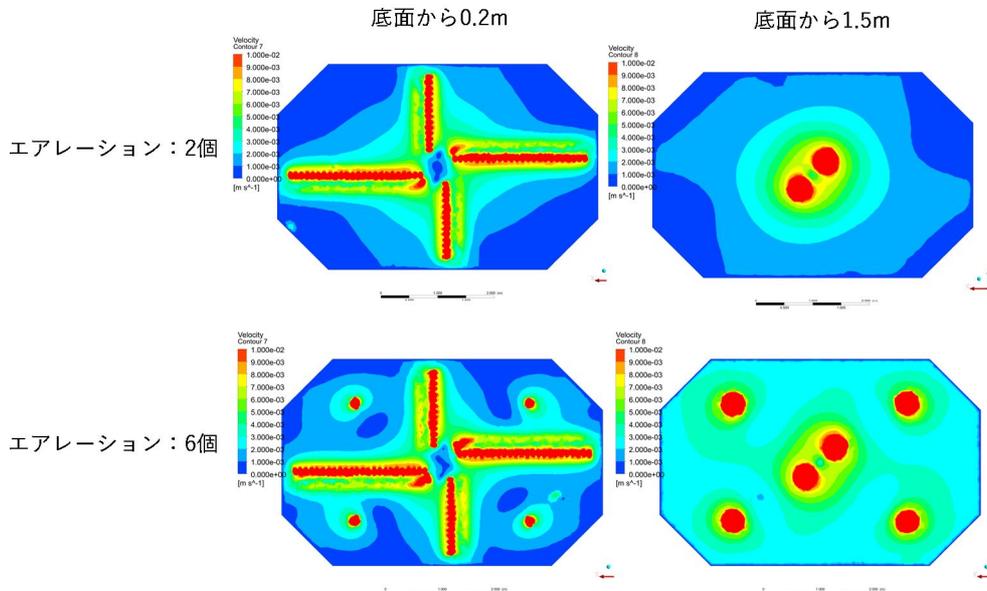


図6 八角形水槽を対象としたシミュレーション結果

表1 八角形水槽における上昇流・下降流・淀み域の存在割合

		上昇流 (%)	下降流 (%)	淀み域 (%)
エアレーション数	2個	6.2	82.8	14.1
	6個	7.4	77.3	2.3

#### 4) 考察及び今後の課題

本研究から、養殖水槽を対象としてエアレーションが生じさせる流れを含めたシミュレーション手法をCFD解析によって構築した。併せて、同手法を実際の養殖現場の水槽に適用することで、養殖環境の評価と改善方針について明らかにした。

本研究で残った課題として、定性的な改善・最適化にとどまったことがある。現手法では、1ケースの解析に計算時間を有することから、当初想定した応答曲面法を用いた厳密な最適化(高橋ら, 2017)に至らなかった。今後は計算能力の向上と、計算手法の簡易化によって、上記課題を解決できると考える。加えて、本シミュレーション手法に基づいて改善した水槽を対象に、飼育実験を実施することで、より現場に即した養殖水槽環境を提案できるものと期待する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1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 TAKAHASHI YUKI、HASHIBA RYO、KOTAKE GENKI、KIMURA NOBUO	4. 巻 86
2. 論文標題 Visualization of circular flow by aeration in an aquaculture tank and simulation of larval fish behavior using a CFD approach	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 NIPPON SUISAN GAKKAISHI	6. 最初と最後の頁 302～311
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2331/suisan.19-00039	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 -

1. 著者名 Takahashi Yuki, Yasuma Hiroki, Kimura Nobuo, Kotake Genki	4. 巻 2020
2. 論文標題 Development of a culture tank to improve the survival rate in the early larval stage	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Impact	6. 最初と最後の頁 58～59
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.21820/23987073.2020.6.58	査読の有無 無
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 留目諒, 高橋勇樹, 三田哲也, 米山和良, 清水智仁	4. 巻 -
2. 論文標題 アミメノコギリガザミの種苗生産水槽を対象とした水流解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2019年日本水産工学会学術講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 77, 78
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18903/pamjsfe.2019.0_77	査読の有無 無
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 0件）

1. 発表者名 留目諒, 高橋勇樹, 三田哲也, 米山和良, 岩崎隆志
2. 発表標題 流体解析と行動シミュレーションによるアミメノコギリガザミ種苗生産水槽の流場評価
3. 学会等名 令和3年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 留目諒, 高橋勇樹, 三田哲也, 米山和良, 清水智仁
2. 発表標題 アミノコギリガザミの種苗生産水槽を対象とした水流解析
3. 学会等名 2019年度日本水産工学会学術講演会
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
研究分担者	高橋 勇樹  (Takahashi Yuki)  (00761701)	北海道大学・水産科学研究院・助教   (10101)	
研究分担者	安間 洋樹  (Yasuma Hiroki)  (50517331)	北海道大学・水産科学研究院・准教授   (10101)	
研究分担者	前川 和義  (Maekawa Kazuyoshi)  (80250504)	北海道大学・水産科学研究院・助教   (10101)	

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
---------	---------