

水産物の動的挙動シミュレーションに関する研究

浦池 隆文, 多田 達実

Research on Dynamic Behavior Simulation Technique of Marine Products

Takafumi URAIKE, Tatsumi TADA

抄 録

水産加工機械の開発においては、加工の対象となる水産物の漁獲期が限定され、当該の水産物を用いたテストが可能な時期に制限があることから、開発が長期化する傾向がある。また、テストに用いる水産物の購入費負担も大きい。設計開発の効率化には、シミュレーション技術の活用が有効と考えられるが、形状が不定で複雑かつ柔軟な構造を持つ水産物の挙動を厳密にシミュレートするのは、モデル作成に多大な手間がかかり、計算機負荷も高いため実用的ではない。

そこで本研究では、汎用の機械設計向け3D-CADおよび機構解析システムを利用して実施可能な、簡便なシミュレーション手法の構築について検討を行った。本来連続体である水産物（魚類の一例として鮭）を、複数のパーツに分割した低自由度な解析モデルで近似し、摩擦と弾性の実測値を適用することで、実物と類似の挙動を再現する。魚体の方向整列を想定した模擬的なコンベア搬送システム上でのシミュレーションを実施し動作確認を行ったところ、良好な結果が得られた。

キーワード：水産加工機械、3D-CAD、機構解析

1. はじめに

水産加工機械の開発においては、加工の対象となる水産物の漁獲期が限定され、当該の水産物を用いたテストが可能な時期に制限があることから、開発が長期化する傾向がある。また、テストに用いる水産物の購入費負担も大きい。このような現状において、設計開発を効率的に実施するには、シミュレーション技術の活用が非常に有効と考えられる。近年は、様々な分野の機械装置類の開発に3D-CADを用いることが一般的となっており、3D-CADと連動して実施可能な各種シミュレーションも、利用しやすい環境が整ってきている。しかし、水産加工分野では、加工対象となる水産物は形状が不定であり、かつ複雑で柔軟な構造であることから、厳密なモデルによるシミュレーションは、モデル作成に多大な手間が必要であり、計算機負荷が極めて高いため、非常に困難である。

そこで本研究では、水産加工機械開発の迅速化および高度化に資することを目的として、形状が不定で複雑かつ柔軟な

構造を持つ水産物（魚類の一例として鮭）について、汎用の機械設計向け3D-CADおよび機構解析システムを利用して実施可能な、簡便なシミュレーション手法の構築について検討を行った。

2. シミュレーション手法の概要

本研究では、水産物（魚類）のモデリングを行う3D-CADにはDassault Systemes SolidWorks社製のSolidWorks、シミュレーションを実施する機構解析システムには、SolidWorks上で動作するSolidWorks Motionを使用した。魚類は、骨格・筋肉・内臓・皮膚等の組織からなる複雑な構造となっており、かつ柔軟で無限の自由度を有している。このよ

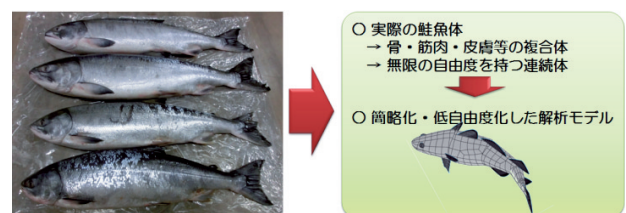


図1 鮭の実体と解析モデル

事業名：経常研究

課題名：水産物の動的挙動シミュレーションに関する研究（平成25～26年度）

うな構造に対して、3D-CADおよび機構解析システムを用いて厳密なモデルを作成することは非常に困難である。ここで、簡略化（低自由度化）したモデルによりおおむね実物と同様な挙動を再現することが可能であれば、開発の対象である加工機械の動作や性能について、実機テストを行う前におおむね予測することが可能になると考えられる。そこで、外形や重量は実際の魚体と同様とし、複数のパーツに分割した魚体モデルを再結合することで、低自由度な解析モデルを生成した（図1）。このモデルに対し、全体の柔軟性や表面の摩擦を、魚体の実測値にもとづいて設定した。さらに、作成した魚体モデルの挙動を確認するため、方向の整列を想定した模擬的なコンベア搬送システムを設計し、シミュレーションを実施することで動作の確認を行った。

3. 鮭魚体の機械的特性と低自由度解析モデルの生成

機構解析システムによるシミュレーションにおいては、対象となる物体の形状・寸法・質量特性や、表面の摩擦および柔軟性（弾性）等の機械的な特性にもとづき、力学的な計算が行われることにより、その挙動が得られる。ここでは本道の主要水産物の一例として鮭を対象とし、シミュレーションに必要な上記特性の測定および解析用モデルの生成手法について以下に述べる。

3.1 鮭魚体の機械的特性

鮭魚体の機械的特性のうち、摩擦および弾性について、次

に示す方法により測定を行った。

摩擦係数の測定（図2）は、電動シリンダにより駆動されるスライドテーブル上に鮭を置き、スライドテーブルを図の左方向へ駆動した際の牽引力を、図の右側に配置しワイヤーで鮭と接続したフォースゲージにより測定した。これにより測定される牽引力（摩擦力）を、鮭の魚体重で割ることにより、摩擦係数が得られる。測定は、鮭の頭を右に向けた場合（前進方向）と左に向けた場合（後進方向）の二通りで行った。鮭と摩擦するスライドテーブルの素材はアルミニウムとした。摩擦対象の表面状態と、鮭の皮膚表面にある鱗の効果により、摩擦方向で摩擦係数が変化すること（異方性摩擦）を想定し、無加工で平滑な表面（平板）と、高さ0.7mm、幅15mmのプレートに15mm間隔で貼り付け凹凸を施した表面（凹凸板）の二種類を用いて測定を行った。

弾性に相当する柔軟性の測定は、図3に示す方法により行った。魚体の弾性を直接測定する一般的な方法はないが、魚の鮮度を表す指標の一つに硬直指数という考え方があり、これを参考とした。その方法は、魚体の頭部先端から魚体身長の1/2部分を水平な板の上に乗せ、板の面から垂れ下がった尾部の付け根までの長さ（垂下長）を測定する。硬直指数は、死亡直後の柔軟な状態に対して、硬直の進行により減少する垂れ下がりの割合を%で表した値となる（死亡直後0～完全硬直100）。機械的特性の観点からは、垂れ下がりの長さから、魚体の曲げに対する弾性が推定できる。

四尾の鮭をサンプルとして測定した結果を表1に示す。摩擦係数の測定結果を見ると、平板と凹凸板では異なる結果と

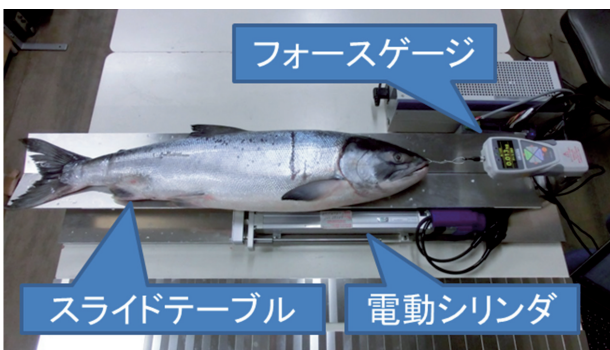


図2 摩擦係数の測定



図3 柔軟性の測定

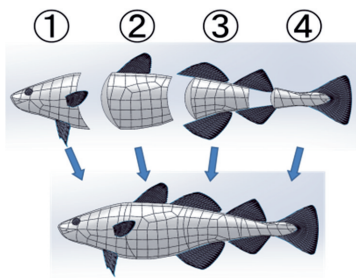
表1 鮭サンプルの測定結果

	身長・体重		摩擦係数				垂下長
			平板(アルミ)		凹凸板(アルミ)		
	尾叉長[cm]	体重[kg]	前進	後進	前進	後進	h[cm]
No.1	63.5	3.9	0.20	0.34	0.64	0.42	10.5
No.2	67.5	4.0	0.26	0.27	0.79	0.38	17.0
No.3	73.0	5.2	0.25	0.20	0.93	0.40	17.5
No.4	69.0	4.4	0.23	0.25	0.89	0.36	17.5
	Ave. 68.3	Ave.4.4	Ave. 0.24	Ave. 0.26	Ave. 0.81	Ave. 0.39	Ave. 15.6

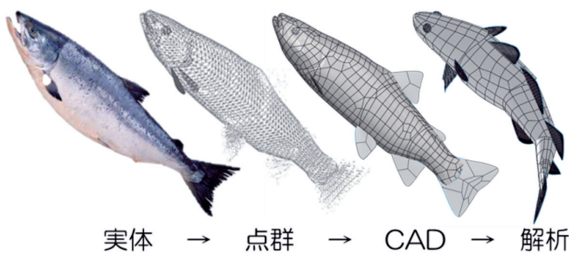
なった。平板では、前進方向と後進方向で明確な差はないが、凹凸板では平板と比較して大きく、かつ前進方向と後進方向で大きく値が異なっている。ここで、測定を実施する前は、凹凸板に対する鱗の「引っ掛かり」により、後進方向の摩擦係数が大きくなるものと想定したが、実際には前進方向の摩擦係数が大きい結果となった。このような現象のメカニズムについては、本研究の範疇を超えるため詳細な検討は行っていないが、後述のシミュレーションは、今回測定された摩擦係数を用いて実施することとした。

3.2 低自由度解析モデルの生成

シミュレーションに用いる鮭魚体モデルは、3D-CADのSolidWorks上で作成した複数のパーツを回転ジョイントで結合し、低自由度なモデルとして再構成することにより生成した(図4(a))。魚体の形状は、近年手軽に利用可能となってきた種々の三次元計測機を使用した計測により得られる点群データを、SolidWorksが有する機能によりソリッドな形状データに変換することで得られる。実際の魚体形状や寸法はすべて異なるものであるが、一度計測したデータに対

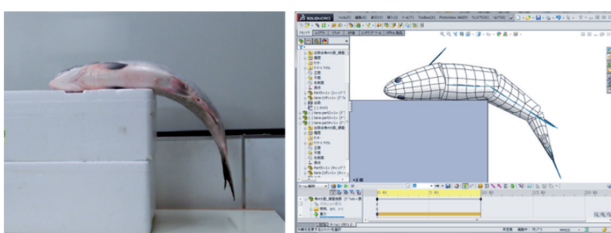


(a) 低自由度モデル



(b) 魚体形状のモデル化

図4 低自由度解析モデルの生成



(a) 実測 (b) ねじりばねを設定

図5 弾性の設定

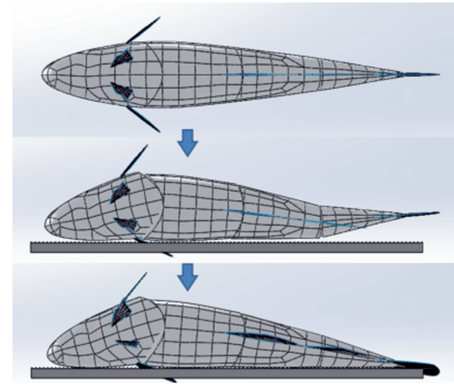


図6 低自由度解析モデルの落下挙動

して、SolidWorks上で縦横比や長さを変化させることにより、バリエーションモデルを作成することが可能である(図4(b))。このようにして作成した低自由度モデルに対し、機構解析システムのSolidWorks Motion上で、回転ジョイント部に「ねじりばね」を設定することにより、柔軟性のある鮭魚体をモデル化した。この際、ねじりばねの強さは、弾性の測定と同じ状態をSolidWorks Motion上でシミュレートし、測定の結果と同様になるよう設定する(図5)。このようにして生成した低自由度解析モデルを、平板上に落下(衝突)させた際の挙動を図6に示す。初期状態では各パーツが一直線上に並んだ状態であるが、胴体部が平板に接触した後は、各パーツが回転ジョイントを軸として回転しながら、最終的には魚体モデルの側面が平板に接した姿勢で静止している。このような挙動は、実物において想定される挙動と一致する。

4. シミュレーションの設定

前述の低自由度解析モデルを用いてシミュレーションを行うにあたり、実測により得られた異方性摩擦を考慮する必要がある。ところが、SolidWorks Motionで設定可能な摩擦は等方性であることから、次のような方法により異方性摩擦を表現することとした。SolidWorks Motionでは、シミュ

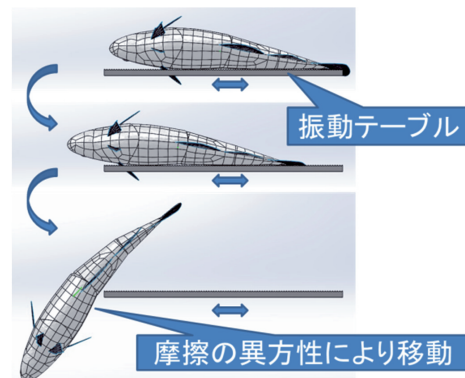


図7 異方性摩擦の効果

レーション中の物体の様々な運動状態を計測しながら、その計測結果をシミュレーションに反映することが可能となっている。この機能を利用して、摩擦対象と鮭魚体モデルの相対的な姿勢と運動方向を計測し、その結果に応じて摩擦力に相当する外力を別途作用させることで、異方性摩擦の効果を与えることとした。これにより、例えば図7に示すように、凹凸板を用いた振動テーブルにより、鮭魚体モデルが一方へ移動するような現象のシミュレーションが可能となる。

5. 方向の整列を想定したシミュレーション

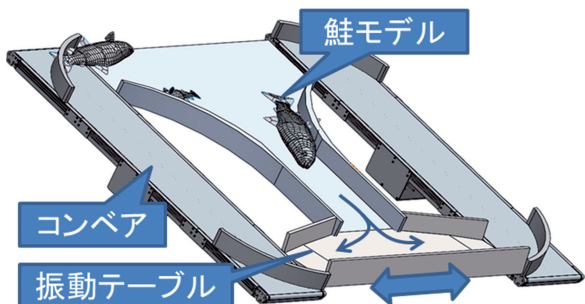
以上のようにして生成したモデルを用いて、魚体の方向整列を想定した模擬的なコンベア搬送システム上でシミュレーションを行い、挙動の確認を行った。シミュレーションは、寸法の異なる三種類の鮭魚体モデルを同時に用いて行った。動作の様子を図8に示す。傾斜したシュートの上部に、初期位置と姿勢をランダムに配置した魚体モデルは、シュートを滑落して振動テーブル部に入る(図8(a))。左右に往復運動

を行う振動テーブル部では異方性摩擦の効果により、それぞれの魚体モデルの姿勢に応じて、左右どちらかの方向へ送られる(図8(b))。コンベア部へ到達すると、コンベアによりシュートの上部へ搬送される(図8(c))。このような動作により魚体モデルがコンベアシステムを繰り返し還流する様子を確認したところ、魚体モデル同士や、シュート壁・振動テーブル壁との衝突により、魚体モデルが振動コンベア部へ到達する際の姿勢や方向は毎回異なるが、確実に方向整列の動作が行われることを確認した。

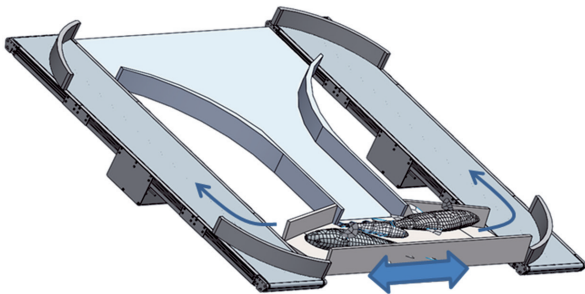
6. おわりに

本研究では、汎用の機械設計向け3D-CADと機構解析システムを利用した、水産物の挙動の簡便なシミュレーション手法の構築について検討を行った。低自由度化した解析モデルを用い、魚体の実測値にもとづいて摩擦係数や弾性係数を設定することにより、実物と類似の挙動が再現可能であることを確認した。また、方向整列を想定したコンベア搬送のシミュレーションを実施し、動作確認を行ったところ、良好な結果が得られた。これにより、試行錯誤を重ねることが多い水産加工機械の開発において、水産物を用いずに、設計段階での動作確認や性能予測ができる可能性が示された。

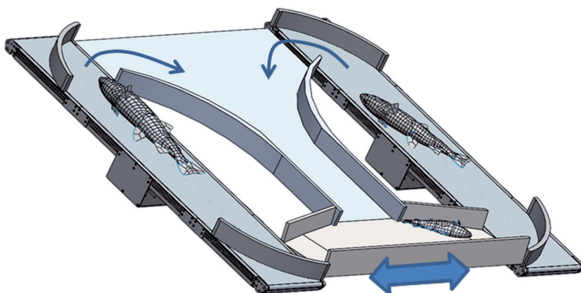
今後は本知見をもとに、実際の機械開発に適用することで技術蓄積を図るとともに、水産分野に限らず、他の生産物への応用についても検討を進める。



(a) ランダムに配置した鮮魚体モデル



(b) 振動テーブルによりコンベア部へ移動



(c) コンベアによりシュート上部へ移動

図8 コンベア搬送のシミュレーション