HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Water Flow Control Methodology to Inhibit Seaweed Twist Based on Physics Simulation [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	小川, 純
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第11742号
Issue Date	2015-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58623
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Jun_Ogawa_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (情報科学)　　氏名　小川 純

審査担当者　主　査　教　授　山本 雅人
副　査　教　授　栗原 正仁
副　査　教　授　鈴木 恵二
副　査　教　授　小野 哲雄
副　査　准教授　飯塚 博幸

学位論文題名

Water Flow Control Methodology to Inhibit Seaweed Twist Based on Physics Simulation
（物理シミュレーションに基づく海洋バイオマスの絡み制御技術）

情報工学分野では, 実環境において検証困難とされる状況を想定し, 低コストで検証可能な方法として, シミュレーション解析がある. しかしながら, 植物などの柔軟な構造をもつ物体の運動に関するシミュレーションは技術的課題が非常に多い. 一方, 近年の省エネルギー推進の観点から, 植物を利用した海藻培養が注目されている. 現在は, 培養費用と収穫量との費用対効果を打破する手段を模索している段階であり, 海藻の光合成効率を向上させる生物学的要因や培養条件について実培養を介して検証するアプローチが一般的である. また, 海藻の高密度培養が培養費用に見合う十分な収穫量が確保できる方法として注目が集まっているものの, 高密度培養では培養槽に生じる海藻同士の絡みの形成が光合成の阻害要因となるため問題となっている. 絡みが形成されないように海藻の運動を制御する方法が必要であるが, 実環境での制御手法を模索することは費用や時間の面も含めて極めて困難である. そのため, シミュレーション技術の応用が見込める分野である.

以上の背景の下, 本学位論文では解析が困難とされるスジアオノリ群の絡みの形成過程を物理シミュレーションに基づく定量的解析から明らかにした上で, 水流制御の観点から絡みの発生を抑制するための情報工学的手法を提案したものである. 各章では以下のように述べている.

第 1 章では, 海藻培養技術に関する古典的手法から近年の動向についてまとめており, 現在の海藻培養が直面している絡みの制御課題について言及し, 本学位論文の位置付けと目的について述べている.

第 2 章では, 物理エンジンと格子ボルツマン法 (Lattice Boltzmann Method, LBM) を組み合わせることで流れ場を考慮しつつ, 計算負荷の低い流体環境を構築し, 培養槽内における物理的運動を表現するシミュレーション方法を提案している. その環境下で, 物理モデル同士が流体環境での運動の中で自然な絡みを形成することを示している. さらに絡みの形成時に特徴的変化を示す平均接触数 (物理的要因), 累積接触時間 (時間的要因) および平均重心間距離 (幾何学的要因) の 3 物理変量を用いて, 海藻間の状態をベクトル表現することで, 非線形サポートベクターマシン (Support Vector Machine, SVM) に基づいた絡みの状態判別および定量化評価を行う方法を提案している. その結果, 学習済み SVM が解析者の認識に近い絡み状態を高精度で判定可能な分類器であることを明らかにしている.

第 3 章では, 海藻の絡み形成の発生リスクを軽減する水流特性を検証するために, 絡みの形成で

生じる海藻の集塊化に寄与する個体間相互作用の性質に着目している. 海藻個体をネットワークのノード, 絡みの定量化指標をノード間のリンク重みに用いることで, 海藻群の運動に応じて, リンク構造が時系列変化する相互作用ネットワークを用い, 情報拡散の観点から絡みの形成過程を分析する方法を提案している. 個体間の絡みを隣接行列およびラプラシアン拡散カーネルに基づく絡みの発生推定手法を適用することで, 絡み形成で生じる海藻の集塊化に最も寄与する個体間相互作用の特徴解析を行っている. その結果, ラプラシアン拡散カーネルに基づく解析手法が最も良好な推定性能を示しており, 本解析手法が示す個体間相互作用の性質から培養槽内における特定の領域で絡みを形成する個体の運動が集塊化に最も寄与することを明らかにしている. また, 絡み形成を抑制するための水流について解析を行っている.

第 4 章では, シミュレーション解析により得られた水流が実環境での絡み形成に対しても抑制可能な水流であることを定量的に検証している. ネオジム磁石を埋め込んだ円盤回転子の回転速度をマグネチックスターラーに実装したマイクロコンピュータで制御する実験環境を構築し, 絡み解析に関するシミュレーションの妥当性を検証するために, 実環境における絡みの解析指標として, 絡みが原因となり生じる海藻の密集状態を任意の固定視点から写像された 2 次元画像の画素領域で計測する方法を提案している. 結果として, 絡み形成の原因が渦流の発生に起因する点を究明し, マグネチックスターラーに与える電圧を周期関数により変化させることで渦流軽減効果をもつ非定常水流を逆流の周期的生成により生成し, 絡み抑制に有効であることを明らかにしている. 第 5 章では, 本学位論文の結論を述べるとともに, 今後の課題を明確にしている.

これを要するに, 筆者は情報科学的手法を用いて, 培養槽で攪拌運動する海藻間の絡み形成を定量的に評価する指標を提案し, 絡み形成により生じる海藻の集塊化に寄与する個体間相互作用の特徴から, 絡み形成の発生原因の究明を行っている. また, シミュレーション解析に基づく実水流制御による絡みの抑制およびシミュレーションの妥当性検証を行っている. これらの成果は植物などの柔軟構造物の運動シミュレーション技術の向上と植物培養技術への応用に貢献するところ大なるものがある. よって筆者は, 北海道大学博士 (情報科学) の学位を授与される資格あるものと認める.