

博士学位論文要約  
Summary of Dissertation

専攻 Major	応用生命科学	氏名 Name	庄 鑫
論文題目 Title	高揚力複葉型オッターボードの設計と運用に関する研究		

オッター式底びきトロール漁業は海面漁業における重要な漁業種の一つとして、日本国内外において沿岸から遠洋まで広く行われてきた。しかし、近年日本では少子高齢化や過疎化を背景に、人手不足が進んでおり、また燃油価格も絶えず上昇している中で、燃油に依存するオッター式底びきトロール漁業は存続の危機に直面している。さらに、拡網装置として鋼鉄製の重いオッターボードが操業中に海底との接触による海底環境への影響が世界的に注目されているだけでなく、操業中のオッターボードが海底構造物や岩礁との衝突による危険性も懸念されている。そのため、漁具の軽量化や海底との非接触化制御技術の研究開発が望まれている。

本研究では、日本の沿岸底びきトロール漁業に広く使用されている複葉型オッターボードを対象として取り上げ、近年開発されている高揚力オッターボード (HLTD: Hyper-Lift Trawl Door) の特徴を取り入れた小型で取り扱いやすく、海底環境にもやさしい高揚力と高揚抗比をもつ複葉型オッターボードを開発するとともに、底びきトロール漁具に使用される場合の適正な運用技術に関する一連の実験と理論研究を行った。

### 1. 複葉型 HLTD の流体力特性に及ぼすスリットの影響

これまでの研究で開発されている単葉型の HLTD では、縦横比が 2.0 以上になると、最大揚力係数の減少が確認されている。本研究では、反り比 20%、縦横比 2.0 の単葉型 HLTD について、翼幅中央の翼弦方向にスリットを設けることを考案し、スリット比 (スリット幅/翼弦長) を 0.1, 0.2, 0.3 に変えた模型を用いて、回流水槽における計測実験を行った。その結果、スリット比 0.2 の模型では正方形 HLTD に匹敵する揚力性能を有することが認められた。そこで、スリット比 0.2 の単葉型 HLTD を複葉型オッターボードの前、後翼として用いて、スリット付き複葉型オッターボード (以降、複葉型 HLTD と呼ぶ) の水槽実験を行った。後翼にのみスリットを設けた複葉型 HLTD では、中層時と接地時のいずれも最大揚力係数が 2.1 を超える優れた揚力特性をもつことが確認され、CFD 解析による可視化結果からも揚力係数の増加はスリットから形成される翼端渦が背面剥離を抑制し、失速を遅らせることによるものであることが観察された。従来の複葉型オッターボードに比べて翼面積を約 2 割減らした複葉型 HLTD を用いた海上での比較試験から、曳網速度 2.5~3.5knot において後者のオッター一間隔は前者の 1.3 倍になることが確かめられた。

### 2. 設計最適化手法による複葉型 HLTD の揚抗比の向上

複葉型 HLTD では、優れた拡網性能を有するものの、失速角における揚抗比は高くない。ここでは、複葉型 HLTD の高揚力特性を維持しながら、揚抗比を向上させる設計最適化手法を提案した。まず、予備実験で得た結果を踏まえて、選んだ 9 つの設計パラメータの下限と上限を決め、実験計画法に基づいて 64 個のモデルの流体力を CFD 解析により算出した。得られた結果を教師データとして、RBF ニューラルネットワークによる応答曲面を構築し、多目的遺伝アルゴリズムにより、揚力係数が最大化、抗力係数が最小化となることを目的とした最適モデルを求めた。設計最適化手法で得た最適モデルの中から、高揚抗比モデルの模型を製作し、水槽実験で調べた結果、元の複葉型 HLTD と同等な最大揚力係数を持ち、失速角における揚抗比は 30% 以上大幅に増加した。また、海底との接触面積を減

らすために、複葉型 HLT D の沓かね下面に曳網方向と平行なそりの装着を提案した。そりを取り付けることによる接地時の揚抗比には変化が少なく、揚力係数が若干大きくなることが実験で確認した。

### 3. 内外と前後傾斜を伴う複葉型 HLT D の流体力係数の評価

オッター式底びきトロール漁具の挙動を数値シミュレーションで推定するには、操業中のオッターボードに内外または前後傾斜が生じた場合の流体力係数の変化を知る必要がある。そこは、流水中におけるオッターボードの姿勢を、固定座標系におけるヨー角、ピッチ角とロール角および流れ座標系における迎角と横滑り角を用いて表し、複葉型 HLT D 模型を用いた回流水槽実験を実施した。ロール角とピッチ角にあたる内外傾斜角度と前後傾斜角度を $-30^{\circ}\sim 30^{\circ}$ の $10^{\circ}$ 間隔、迎角を $0^{\circ}$ から $55^{\circ}$ まで $5^{\circ}$ 間隔の条件で複葉型 HLT D 模型に働く各流体力を計測した。測定された各流体力とモーメントより、流れ座標系における抗力、揚力、鉛直力係数および曳航点を原点とするオッターボード座標系における3軸周りの回転モーメント係数を算出した。次に、実験で得られた結果を教師データとして、BP ニューラルネットワークによる各流体力係数の適合モデルを求めて、傾斜が複葉型 HLT D の流体力係数への影響を調べた。失速前の迎角において、揚力係数に及ぼす内外傾斜または前後傾斜の影響が大きいことと、内外傾斜に比べて前後傾斜による揚抗比への影響が大きいことも確認された。

### 4. 複葉型 HLT D を用いた底びきトロール漁具の微離底制御

底びきトロール漁具が海底との接触による海底生態系への影響を緩和するために、漁具の微離底制御が必要である。本研究ではオッター式底びきトロールシステムの三次元運動方程式と、これに基づいたファジィ制御およびファジィ-PID 制御モデルを構築し、複葉型 HLT D を用いた模型による底びきトロール漁具の微離底制御シミュレーションを行った。また、微離底制御シミュレーションの妥当性を検討するために、曳網速度 $0.6\text{ m/s}$ とウインチ速度 $0.2\text{ m/s}$ の条件で複葉型 HLT D を用いた模型曳網試験をニチモウ株式会社所有の曳行水槽で実施した。ワープの繰り出しと巻き上げによるオッターボードの深度およびワープ張力の変化傾向は、制御シミュレーションと曳行水槽実験でよく一致する結果が得られた。複葉型 HLT D の離底距離をコマンド値として、ウインチ速度をファジィ制御またはファジィ-PID 制御で行った場合、定速制御に比べてオッターボードの深度変化にオーバーシュートがなく、ワープ張力のピーク値も小さかった。特にファジィ-PID 制御ではオッターボードを目標離底深度へスムーズに制御できることが示唆された。

### 5. 複葉型 HLT D を用いた底びきトロール漁具の衝突実験とシミュレーション

操業中に重量物であるオッターボードが岩礁などの海底障害物と衝突した際の動的特性を調べるために、本研究では、曳行水槽における模型底びきトロール漁具の衝突実験を行うとともに、衝突シミュレーションを試みた。曳行水槽実験では、水槽の底面に模型複葉型 HLT D とほぼ同じ高さの大石を設置した。曳網速度 $0.6\text{ m/s}$ でオッターボードが大石に衝突した直後、ワープ張力は瞬時に定常時の5倍以上に増加することが確かめられた。オッターボードを剛体と見なしたオッター式底びきトロールシステムの動的特性を有限要素法により解析し、衝突が生じたときのトロールシステムの動的応答を明らかにした。

以上のように、本研究では海底環境にやさしい高揚力と高揚抗比をもつ複葉型オッターボードを開発するとともに、構築した複葉型 HLT D の流体力学モデルで内外または前後傾斜が生じた場合の流体力係数の変化を評価した。さらに、複葉型 HLT D を用いた底びきトロール漁具の微離底制御方法を提案し、複葉型 HLT D と海底障害物との衝突による動的特性を検討した。一連の研究成果は今後現場への実用と効率的な運用に役立つことを期待する。