

# 論文の内容の要旨

論文題目 船舶初期計画のための知的支援システムに関する研究  
(A study on intelligent support system for ship initial design)

氏 名 松村 竹実

## 1. 船舶初期計画概論と本論文の目的

船舶は実質的に試作が不可能という点で、非常に製造リスクの高い製品である。このため、実務における設計は実績のある既存設計の雛形修正に頼ることが多く、既存設計との類似度は非常に重要な指標となる。ところが、近年の商業船舶設計の傾向として、緻密なモデルを対象に狭く深い詳細検討をするパワーCAE ツールは充実しても、設計初期のラフな情報をもとに浅く広範囲な簡易検討を行うライト CAE ツールはあまり進歩していない。その結果、多様な経験やデータとの相互参照に基づく類似度の見極めが非常に難しくなりつつあると言える。

このような問題の解決には、大勢の多様な経験やデータをまとめて知識化した簡易システムが必要になる。設計者は過去の様々な経験やデータとの相互参照に基づいて常に既存設計との類似度合を見極め、補間的なアプローチを試みる。そして、図 1 に示すように、(1) 実用的な推定精度で各種性能の推定を行い、(2) 計画や推定値に対する妥当性の評価、或いは開発の必要度合を判定し、(3) さらに要求仕様条件から目安となる最適な計画設計値を導出することを試みる。

そこで本研究では、既存の試運転結果や水槽試験結果を点群として保持する離散的なデータベースに加えて、ニューラルネットワークを用いて、その分布を連続的な面として記憶汎化し、上述の 3 つの機能を持つ船舶初期計画のための知的支援システムを構築する。

## 2. 提案する知的支援システムの基本構成

システム構築に際しては、まず、船舶はアーキテクチャ(軽荷重量比率)や計画速力域に応じて、設計上のプロセスやパラメータの種類が大きく異なる点に着目した。当然システムの入出力構成もそれに呼応して変化させるべきであり、本論では滑走艇、高速船、低速船の 3 種類に分類した上でニューラルネットの入出力構成を変化させた。各々学習計算を施した結果、実用的な推定精度を有するシンプルな構成の各種推定ネットが構築された。

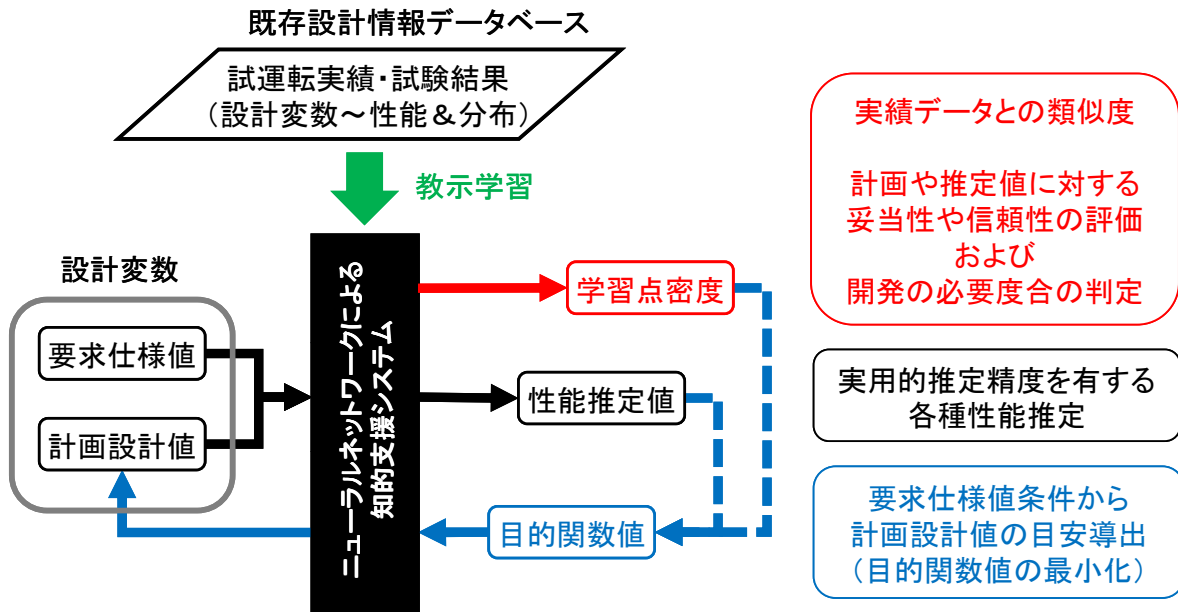


図 1 本研究で構築する知的支援システムの概略構成

次に、システムの出力に信頼性基準を持たせるため、推定ネットに学習させた実績データ（試運転実績や模型試験結果等）の分布を、随伴ネットと呼ばれるニューラルネットワークに学習させた。本支援システムは学習点の密度を算出することにより、計画対象が既存の設計範囲なのか未知の開発領域なのかを設計者に示唆することができる。

さらに、初期計画では設計を進めていく上での原型(プロトタイプ)を用意する必要があるため、システムには既存設計の範囲内で最適な入力パラメータを提示させる工夫を施している。具体的には推定ネットと随伴ネットの出力からなる目的関数を設定し、その目的関数が最小となる計画設計値（入力パラメータ）を要求仕様値から逆算出する仕組みである。逆算出には推定ネット群の前端に調整ネットと呼ばれるニューラルネットワークを導入して実現する。目的関数に随伴ネットの出力値もペナルティ係数を介して内包させているのは、非現実的な解まで探索することを防ぐためである。なお、最小値探索の領域をペナルティ係数の調整によって段階的に拡張すれば、設計者は最初に既存設計の範囲内で目安となる性能と船型を把握しておき、次に目的関数の最小値探索の領域を拡張し、新しい船型開発のヒントを得ることも可能になる。以上 3 つのニューラルネット(推定ネット、随伴ネット、調整ネット)による独自のシステム構成を図 2 に示す。

### 3. 具体的システム構築のノウハウと成果の要点

以上のシステム基本構想のもと、製品アーキテクチャと速力域に応じてカスタマイズを施し、3 種類の実用的な支援システムを構築した。以下に具体的なシステム構築のノウハウと成果の要点を述べる。

#### 滑走艇の初期計画システム

学習データに Series 62 の水槽試験データを採用し、ハードチャインモノヘドロン船型のウォータージェット推進艇を対象としている。滑走艇は軽荷重量比率が高いインテグラル型の船舶であり、軽荷重量重心が性能全体に及ぼす影響が大きく、設計者は軽量化目標を立てた上で、設計過程において全体の重量重心変化をフォローしていく必要がある。従ってシステムの入力には、速力と主要目の他に重量および重心に直接関わる係数が適切である。また、速力が滑

走域に及ぶため、走行時の姿勢と静止時の姿勢が著しく異なる。このため、抵抗特性のみならず姿勢変化も視界検討や付加物設計の点から重要な設計上のパラメータになる。従ってシステムの推定ネット出力には、走行姿勢、浮上量、浸水面積、剰余抵抗の4つが必要である。実際に業務用滑走艇の設計に本システムを適用したところ、船型計画のみならず、艤装品配置計画や付加物設計、さらには波浪中性能の推定にも有益なことが判明した。

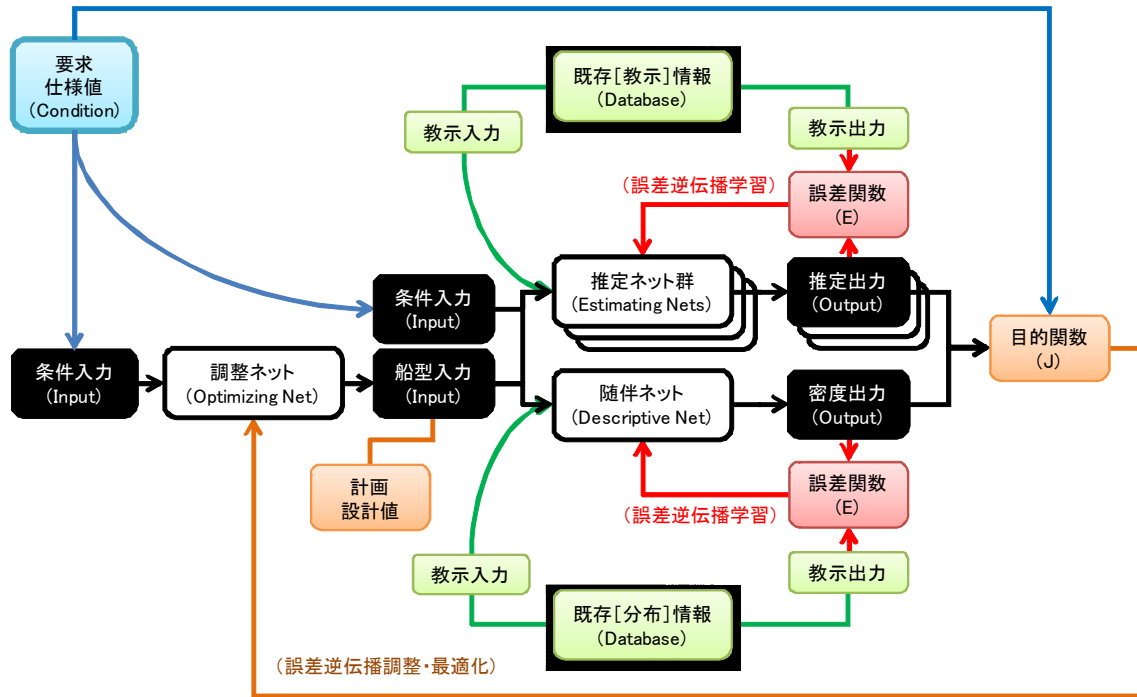


図2 ニューロ型計画システムの基本構成

### 高速船の初期計画システム

学習データに高速船の試運転実績データを採用し、ハードチェーン船型のスクリュープロペラ推進船を対象としている。高速船も軽荷重量比率が高く、軽荷重量が性能全体に及ぼす影響が大きい。但し滑走艇ほど重心や船型に敏感な反応を示さないため、システムの入力には、速力と船長と重量に関わる係数で必要十分である。但し、高速船では船型とスクリュープロペラの配置の擦り合わせが諸々のデザインを実質的に決定する。このためスクリュープロペラの回転数に連動した直径や展開面積比が重要な設計上のパラメータになる。特に所要馬力の推定には、プロペラ展開面積比を考慮することが精度上望ましく、推定ネットにはプロペラ計画ネットと馬力算定ネットの2つを用意し、馬力算定ネットの入力にプロペラ計画ネットの出力の一部を代入する構成とするべきである。実際に、未学習な5隻の検証用高速艇の実績情報をもとに本システムの検証を実施した結果、馬力算定ネットはプロペラ計画ネットと連動させることにより、非常に高い推定精度を示し、随伴ネットと併用すれば、プロペラ要目の妥当性も評価できることが判明した。

### 低速船の初期計画システム

学習データに Series 60 の水槽試験データを採用し、一般的な汎用バルブレス船型を対象としている。低速船は軽荷重量比率の低いモジュラー型の船舶であり、排水量が載荷重量等の要求仕様値と連動してほぼ決定される。しかも貨物倉前後で船首部と船尾部に船体を切り分けて計画することが可能であるため、設計者にとっては船首尾部分の局所的な形状が設計計画値の対象となり、抵抗特性を主とした目的関数の最小化が課題となる。このため、システ

ムの入力パラメータは仕様要求値（速力、主要目比、排水容積係数）と、設計計画値（船首尾形状パラメータ）の 2 種類に整理して構成するのが適切である。なお、調整ネットによる目的関数  $J$  を最小にするプロセスは、局所解に陥ることを防ぐため、標準化学習と最適化学習の 2 段階に分けるべきである。標準化学習では入力空間全体に対して  $J$  が平均的に最小化されるように学習を施す。実際、各種検証を通して、本提案システムの造波抵抗推定ネットは主要目に基づく非線形影響が考慮できるため、従来の推定近似式と比較して格段に精度が優れた実用的な推定が行えることが明らかになった。また、調整ネットによる横切面積曲線の最適化計算を実施したところ、俗に言われる形状の「肩張り」と「肩落ち」を速力域に応じて適切に選択できる信頼性を有することが判明した。さらに、目的関数における随伴ネット出力値に科したペナルティ係数  $\beta$  を緩めれば、船型開発に関する新しいヒントが得られる可能性があることも判明した。図 3 に具体的なネットワーク構成を示す。

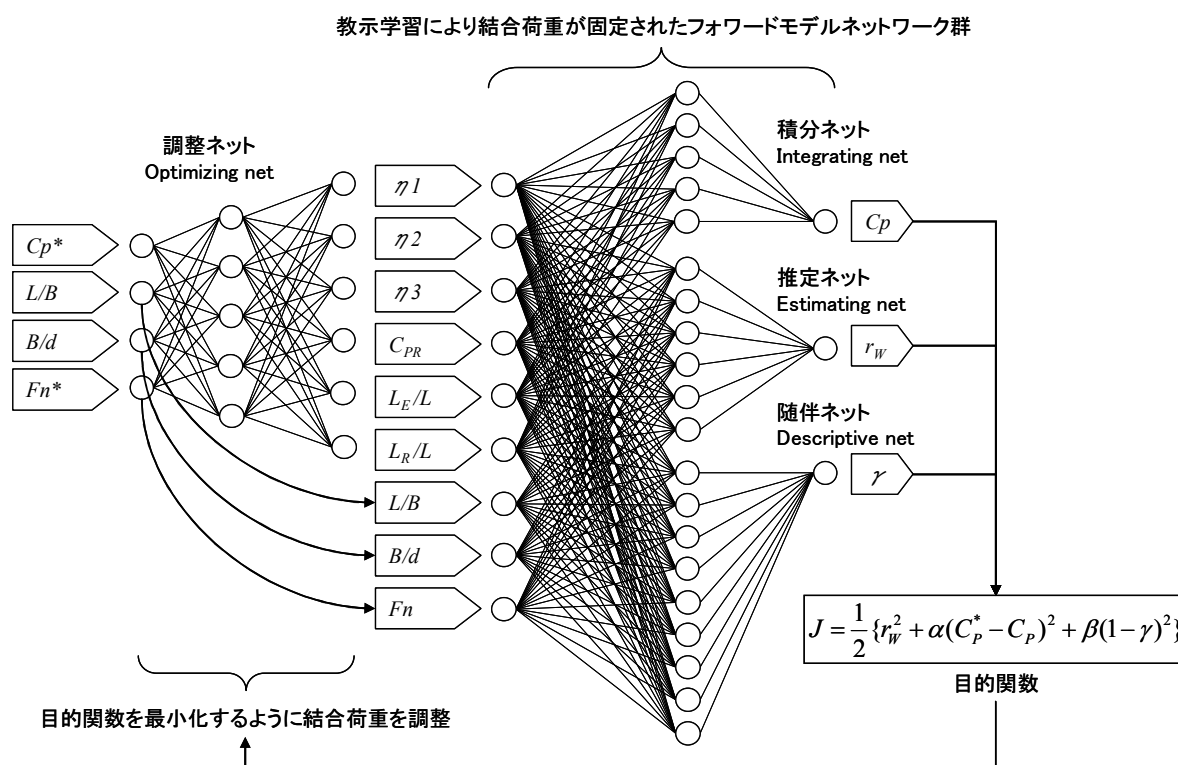


図 3 低速船初期計画システムにおけるニューラルネットワーク構造

提案したシステムは、学習計算自体には複雑な繰り返し収束計算を要すものの、一度学習済みのシステムは表計算ソフトの類にも容易に実装できるロジックである。また、教示データを後から追加してネットを再構築すれば、容易に学習領域も拡張される。実用的な設計システムが備えるべき利便性と拡張性を兼ね備えていると言える。

本システムは、単にマクロなパラメータ群を統計解析した回帰計算結果ではなく、製品種別ごとのアーキテクチャと設計プロセスを吟味した上でパラメータを選定し、その写像関係を全て 3 種類のネットで統一的に扱っている。言わば、シンプルで実用性の高い普遍的なコンセプトであり、水槽試験結果や試運転結果のみならず、CFD 等の重い数値計算結果を対象としても、他の設計分野でも、同じような枠組みで対応できることが期待される。

以上