

NMRI

National Maritime Research Institute, MPAT

小中学生向け造船構造設計を対象としたトレードオフ思考体験教材の開発

-拡張機能 Ver1.0-

小中学生向け造船構造設計 を対象としたトレードオフ 思考体験教材の開発 -拡張機能 Ver1.0-

報告書

令和6年3月

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所

目 次

1. まえがき	1
2. 昨年度開発した教材の小中学校教育現場での試行及び改善事項の抽出	2
2.1 昨年度開発した教材の小中学校教育現場での試行	2
2.2 昨年度開発した教材の改善事項の抽出	4
3. 効果的な学習体験(UX)の検討及び提案	4
4. 教材仕様の策定	5
5. 変形形状のデータベース作成	5
5.1 変形形状データベースの構成	5
5.2 変形形状データベースから被設計物の変形量の推定	6
6. 教材開発（機能拡張の実装）の結果概要	7
6.1 変形表示に関する拡張機能	7
6.2 追加・修正された機能一覧	8
7. まとめ	9
参考文献	9

1. まえがき

社会全体で少子化が進む中で持続的に産業を成長させるためには、未来を担う人財の育成が不可欠であり、そのためには、義務教育段階から海事産業に対する興味・関心を喚起し、理解を深めることが重要である。このような背景から、一般社団法人 日本中小型造船工業会は「海事産業ものづくり体験講座」（以降、単に「ものづくり体験講座」と称す）を開設しており、当所においても平成 28 年度～平成 29 年度に造船工学と小・中学生の理数教育とをリンクする教材、令和元年～令和 2 年度に船体構造を抽象化・簡略化したペーパークラフトにより船体建造工程や船体強度を体験可能な教材（造船工学キット）の開発を行った。

一方、令和元年 12 月に発表された「GIGA スクール構想¹」に基づき、義務教育現場に ICT (Information and Communication Technology) 機器が広く普及している。文部科学省の資料²によると、令和 4 年 2 月の段階で 98.5% の自治体で、義務教育段階の生徒 1 人あたり 1 台の ICT 端末の整備が完了しており、令和 4 年 4 月以降に整備完了予定としている自治体を含めると、日本全国 100% の自治体で義務教育段階の生徒 1 人あたり 1 台の ICT 端末の整備が完了する。

上記背景を踏まえ、令和 4 年度に当所において「中学生向け造船構造設計を対象としたトレードオフ思考体験教材」の開発を行った。本業務では令和 4 年度に開発を行った「中学生向け造船構造設計を対象としたトレードオフ思考体験教材」の機能拡張を行う。

実施項目は以下の通りである。

- 昨年度開発した教材の小中学校教育現場での試行及び改善事項の抽出
- 効果的な学習体験 (UX) の検討及び提案
- 教材仕様の策定
- 変形形状のデータベース作成

なお、令和 4 年度に開発した教材では表 1 に示す 8 つの変数から生成される構造模型の設計を行う。図 1 に生成された構造模型の例を示す。また部分的に構造の形状も変更可能とするために、船底ロンジ、船側ロンジ、隔壁の部材には数量を指定する変数が存在する。

表 1 構造模型を生成する 8 つの変数

部材名称	変数	説明
船底外板	横	外板を模した部材の横方向の寸法
	縦	外板を模した部材の縦方向の寸法
船底ロンジ	本数	船底外板を模した部材に取りつけるロンジの本数 (取付位置は均等割りとする。)
	高さ	船底外板を模した部材に取りつけるロンジの高さ
船側外板	高さ	船側外板を模した部材の高さの寸法。 (縦方向の寸法は船底外板の縦により決定される。)
外板ロンジ	本数	船側外板に取りつけるロンジの本数 (取付位置は均等割りとする。)
	高さ	船側外板を模した部材に取りつけるロンジの高さ
隔壁	枚数	隔壁を模した部材の枚数

¹ GIGA スクールとは、Global and Innovation Gateway for All (全ての児童・生徒のための世界につながる革新的な扉) の英単語頭文字をとって作られた造語であり、「1 人 1 台端末と、高速大容量の通信ネットワークを一体的に整備することで、特別な支援を必要とする子供を含め、多様な子供たちを誰一人取り残すことなく、公正に個別最適化され、資質・能力が一層確実に育成できる教育環境を実現する」ことを目的の一つに掲げた施策である。

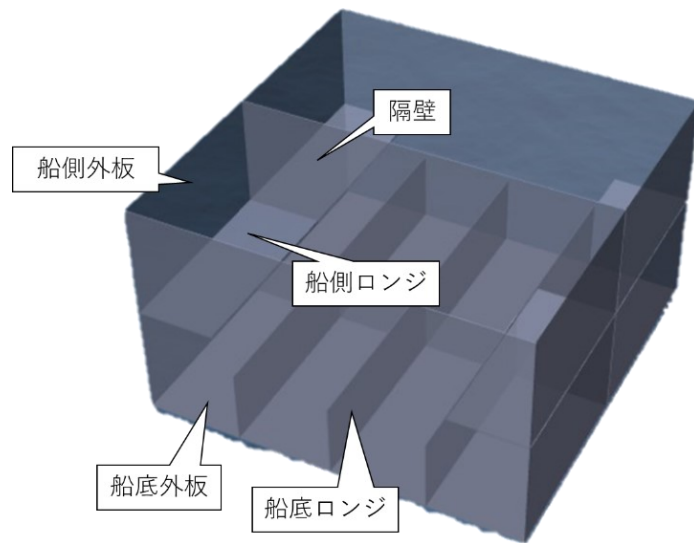


図 1 生成された構造模型の例

2. 昨年度開発した教材の小中学校教育現場での試行及び改善事項の抽出

2.1 昨年度開発した教材の小中学校教育現場での試行

日本中小型造船工業会が主催するものづくり体験講座の一部において、昨年度開発した教材を用いた授業を行った。試行実施の日程、対象者、及び人数を表 2 に示す。また実施状況の写真を図 2、及び図 3 に示す。

なお、本教材の使用においてタブレットの操作方法に関する説明はほとんど不要であり、本教材のユーザーインターフェース (UI : User Interface) は十分に優れていたと言える。

表 2 試行実施の日程、対象者、及び人数

日程	対象者	人数
2023 年 6 月 1 日	下関市立 C 中学校 2 年生	84 名
2023 年 6 月 6 日	宇和島市立 J 中学校 2 年生	74 名



図 2 実施状況の写真 (下関市立 C 中学校 2 年生)

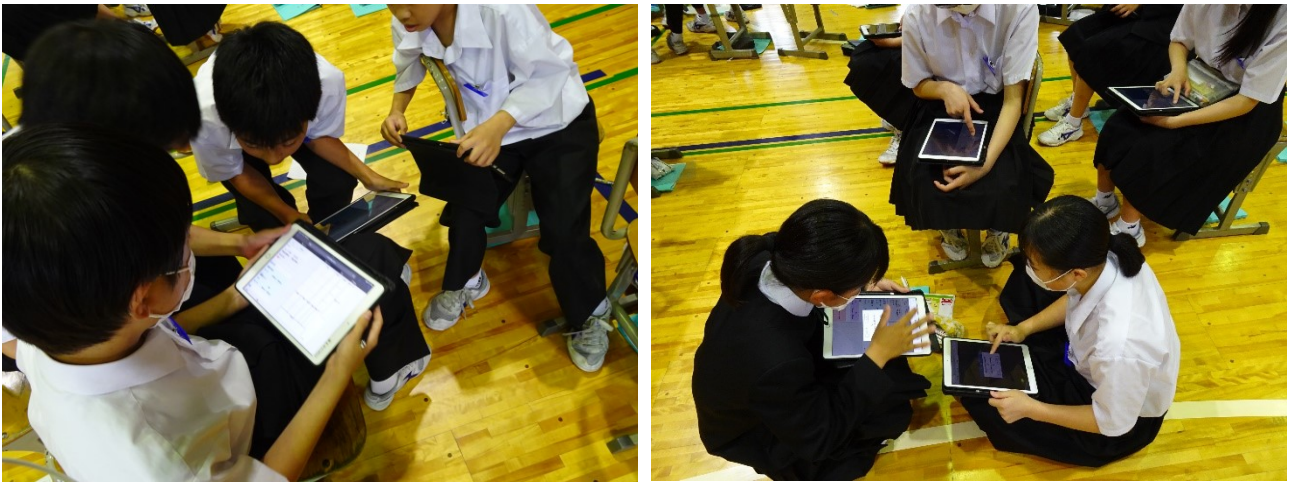


図 3 実施状況の写真（宇和島市立 J 中学校 2 年生）

また、宇和島市立 J 中学校においては、教材使用前後の構造強度に関する理解度の確認を行うために図 4 に示す構造【A】、構造【B】、及び構造【C】に 1～5 点の評点を付けるアンケートを実施した。なお、構造【A】、構造【B】、及び構造【C】の実際の構造強度を評価するには、具体的な寸法、材質や構造物に作用する荷重などの情報が必要であるが、授業時間の制約から船体構造を抽象化・簡略化した構造ということ以外の説明は行わないまま本アンケートを行った。

本アンケートの集計において、評点の具体的な値は重要ではなく、構造【A】、構造【B】、及び構造【C】の評点の大小関係が重要である。一般論として構造強度上の部材の重要度は、船側ロンジ \leq 船底ロンジ \leq 隔壁となることを前提に、構造【C】 \leq 構造【A】 \leq 構造【B】（但し、構造【B】 \neq 構造【C】）の大小関係を満たす人数を集計した。

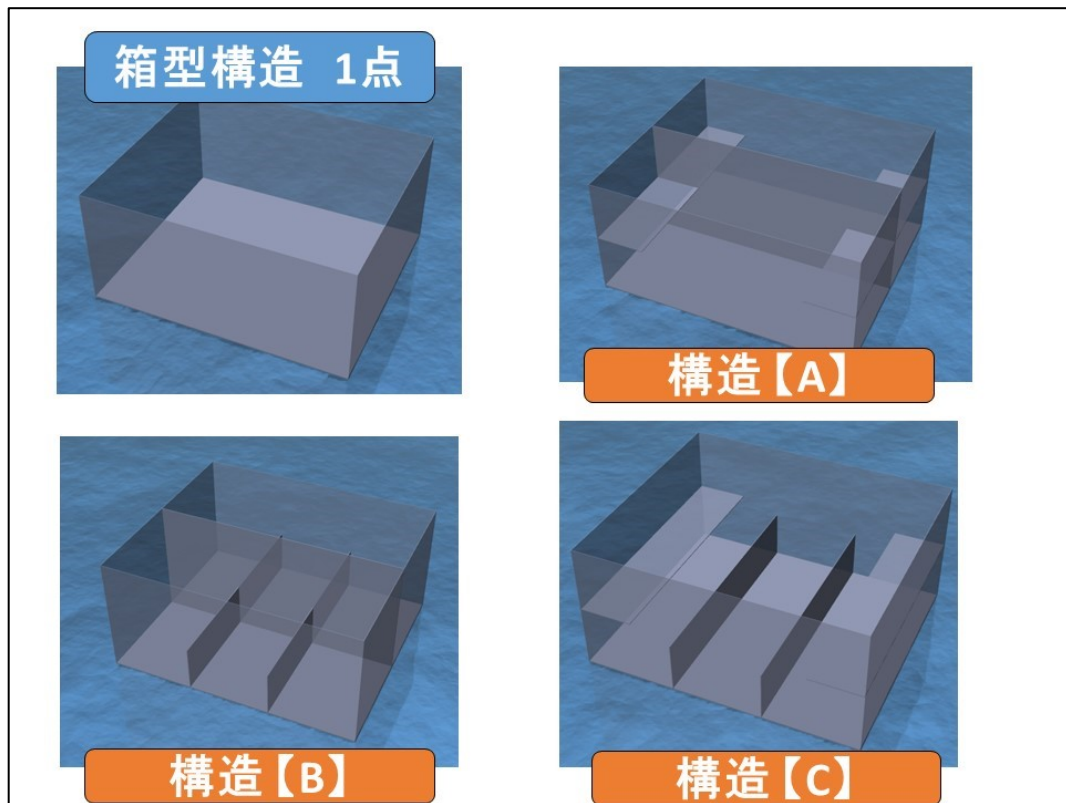


図 4 構造強度に関する理解度確認のためのアンケート

集計結果を表 3 に示す。アンケートの回答は受講者全体のおよそ半数から得られた。構造【A】、構造【B】、及び構造【C】の評点の大小関係を正しく評価出来た人数は講義の前後でおよそ 2 倍に増加しており、本教材を使用することで構造強度に関する理解が深まったと推察される。一方、構造【A】、構造【B】、及び構造【C】の評点の大小関係を正しく評価出来た人数の割合に着目すると、講義後も 44%程度に留まっており、構造強度について直感的理解を促す機能が必要であると考えられる。

表 3 アンケート結果

	構造【C】、構造【A】、構造【B】 の全てに評点を回答した人数	構造【C】 ≤ 構造【A】 ≤ 構造【B】 の大小関係を満たす回答者数 (但し、構造【B】 ≠ 構造【C】)	構造【C】 ≤ 構造【A】 ≤ 構造【B】 の大小関係を満たす回答者数の割合 (但し、構造【B】 ≠ 構造【C】)
講義前	40 人	11 人	0.275
講義後	48 人	21 人	0.438

2.2 昨年度開発した教材の改善事項の抽出

試行の結果得られた課題、及びこれらを解決するための改善事項、留意事項について、主なものを以下に示す。なお、2.1 節で記述した通り、操作方法に関する説明はほとんど不要であったことから、本教材のユーザインターフェースは十分に優れていたと推察できる。

- ICT 機器 (Ipad) の OS が最新版となっておらず、一部の生徒の端末で本教材が使用できなかった。
- トレードオフ関係の評価に置いて、評価最上位の出現率をより小さくする (評価最上位を得るための難易度を上げる) 必要がある。(講義の終盤ではおよそ半数の生徒が最上位の評価となっていた。)
- 体積 (排水量) に応じて、喫水が変わるなどの表示方法に工夫の余地がある。
- 2.1 節で記述した通り、構造強度について直感的理解を促す機能の追加が必要である。

3. 効果的な学習体験 (UX) の検討及び提案

2 章に記載した通り、構造強度について直感的理解を促す機能が必要である。一方、構造強度を理解するためには材料力学、構造力学を系統立て学習し、材料内部に生じる応力や、材料の降伏現象等の概念を理解する必要があるが、中学生を対象とした授業の 1~2 コマの時間内でこれを理解することは極めて困難である。

一方、本アプリケーションを用いた講義において被設計対象物に静水圧が作用した際の変形形状については、直感的に理解している様子であった。したがって、本来構造強度は応力にて評価されるべきであるものの、直感的理解を促す方策として、被設計対象物に外力が作用した際の変形形状を表示する機能の実装で代替できることが期待される。

造船構造設計における基本的な外力は、静水中の浮体に作用する浮力と自重を重ね合わせた力 (分布荷重) である。一方、本アプリケーションでは浮体の安定性については考慮しておらず、静水中で安定しない構造も生成され得る。そこで被設計対象物を水面まで押し沈めた際に生じる水圧を外力と設定することとした。なお、本アプリケーションでは、船体構造の一部を取り出していることから、隔壁に相当する部材には外力を作用させないこととした。本アプリケーション拡張機能における想定外力の模式図を図 5 に示す。

また、ものづくり体験講座において、長さ 200m の船の船底外板の板厚は 20mm 程度であり、この比率を保持したまま船の長さを 1m とした場合には船底外板の板厚が 0.1mm 程度となることを講義している。詳細は 5 章にて記述するが、上記との関連を勘案し変形量の算出においては、板厚 0.1mm の鋼板を仮定することとした。

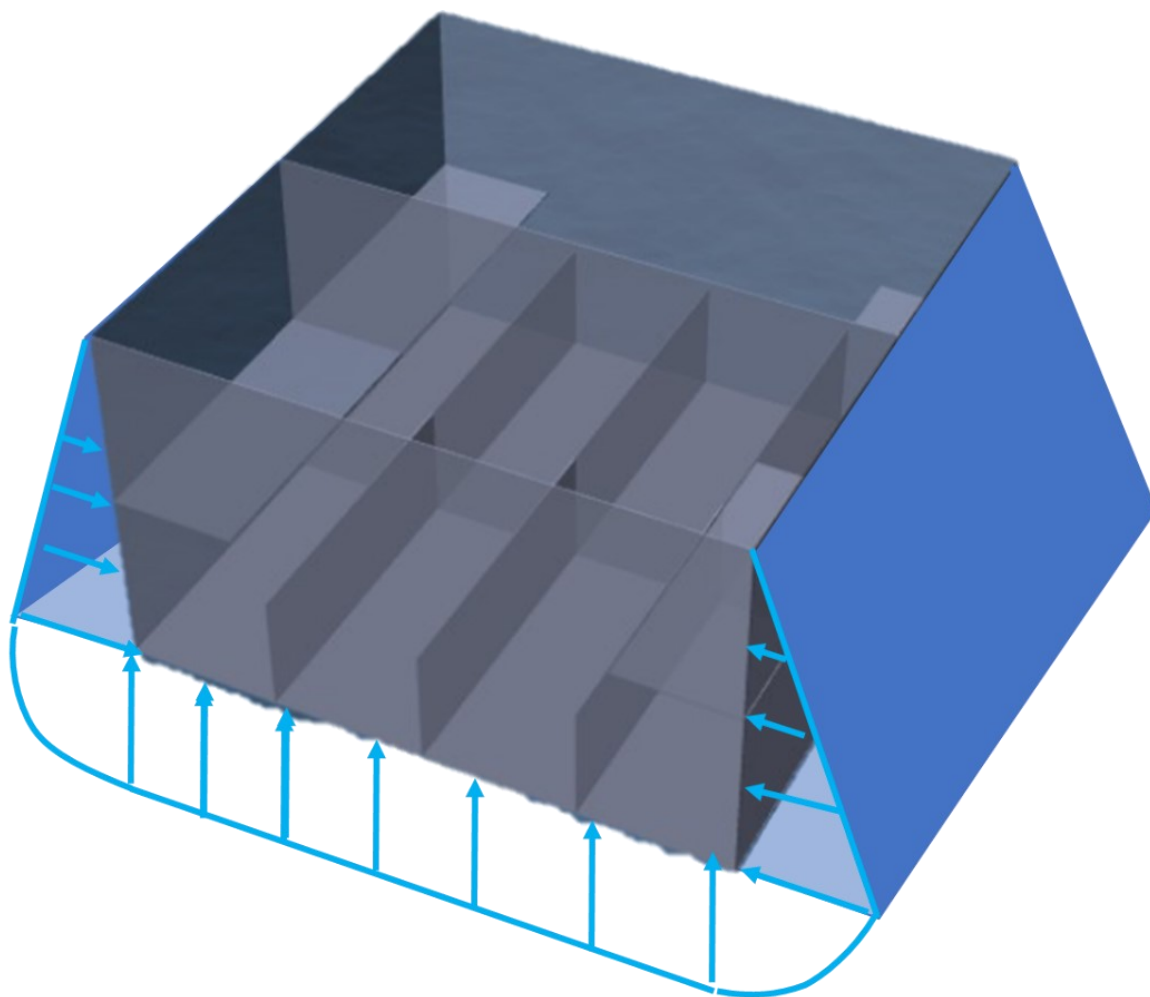


図 5 外力の模式図

4. 教材仕様の策定

2 章，及び 3 章での検討を踏まえて，本件アプリケーション機能拡張の仕様書の策定を行った．別紙付録 1 に策定した仕様書「造船構造設計を対象としたトレードオフ思考体験教材アプリの拡張機能の製作一式」を示す．

なお有限要素法（FEM：Finite Element Method）などの手法により，生徒が使用する ICT 機器にて変形状を直接計算することも可能であるが，学校によって整備されている ICT 機器の性能にばらつきがあることから，変形状をデータベースとして保持し，簡素な数理アルゴリズムによりこのデータベースの変形量を適宜拡大・縮小して表示することとした．またデータベース方式とすることで，有限要素法に必要なメッシュ分割やメッシュ生成機能を実装する必要がなく，大幅な開発費用削減効果も期待される．

5. 変形状のデータベース作成

5.1 変形状データベースの構成

変形状データベースは表 1，及び図 1 に示す「船底ロンジ」、「隔壁」、「船側ロンジ」について，本件アプリケーションにおいて生じ得る全ての組合せを網羅した構成とした．なお対称性を考慮して，データベースは船底外板の中央を原点として全体の 1/4 のデータを保持することとした．

また，ものづくり体験講座において長さ 200m の船の船底外板の板厚は 20mm 程度であり，この比率を保持したまま船の長さを 1m とした場合には船底外板の板厚が 0.1mm 程度となることを講義している．そこで，上記と

の関連を勘案し変形量の算出において、板厚0.1mmの鋼板を仮定することとした。また、鋼板のヤング率は206GPa、ポアソン比は0.3と仮定した。

なお変形形状データベースの生成に際して、構造のモデル化は汎用構造解析ソフトウェア MSC.Apex 2021、変形形状の算出に当たっては MSC Apex Structures を使用した。

5.2 変形形状データベースから被設計物の変形量の推定

周辺単純支持された矩形版に等分布荷重が作用する際の、矩形版の最大たわみは式 (1)、及び表 4 に示す α にて表される³⁾。

ここで、 P は矩形版に作用する等分布荷重の大きさ、 a は矩形版の短辺の長さ、 D は板の曲げ剛性、また表 4 中の b は矩形版の長辺の長さである。

$$w = \frac{\alpha Pa^4}{D} \quad (1)$$

表 4 細長比(b/a)と α の関係³⁾

細長比(b/a)	α
1.0	0.00406
1.1	0.00485
1.2	0.00564
1.3	0.00638
1.4	0.00705
1.5	0.00772
1.6	0.00830
1.7	0.00883
1.8	0.00931
1.9	0.00974
2.0	0.01013
3.0	0.01223
4.0	0.01282
5.0	0.01297
∞	0.01302

変形形状データベースから被設計物の変形量の推定に際しては、データベースが保持する a , b , P の値と、被設計対象のこれらの値を参照することで、適宜被設計物の推定量を算出することとした。なお、表 4 の値は離散的に与えられているため、式 (2) に示すシグモイド関数を用いて、解析的に細長比(b/a)と α の関係をモデル化した。表 4 で与えられた離散値と式 (2) の関係の比較結果を図 6 に示す。

$$\alpha = 0.01792 \left\{ \frac{1}{1 + e^{1.687[(b/a)-1]}} - 0.5 \right\} + 0.00406 \quad (2)$$

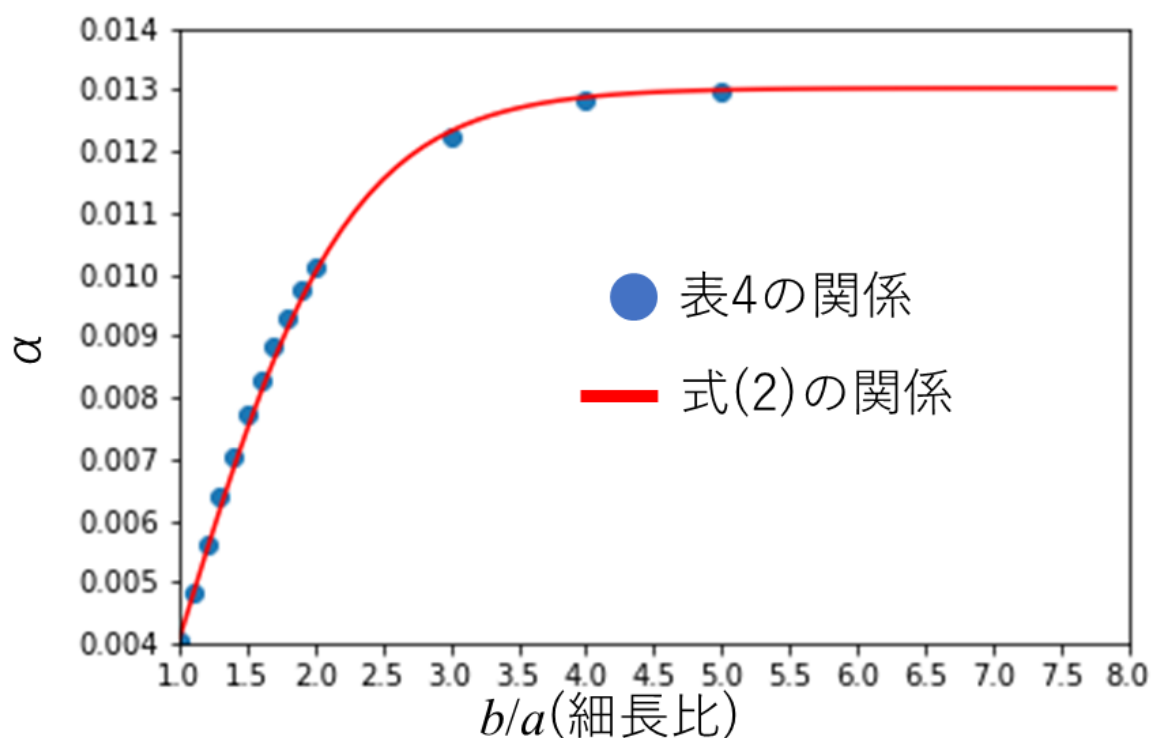
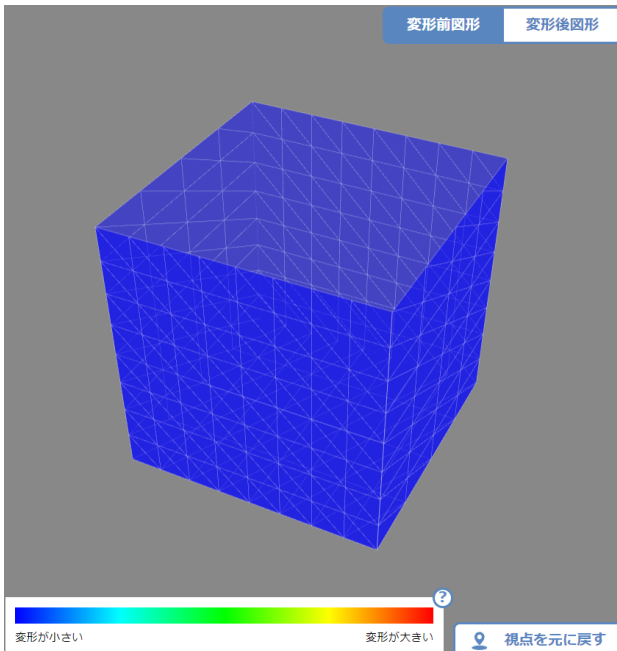


図 6 表 4 で与えられた離散値と式 (2) の関係の比較結果

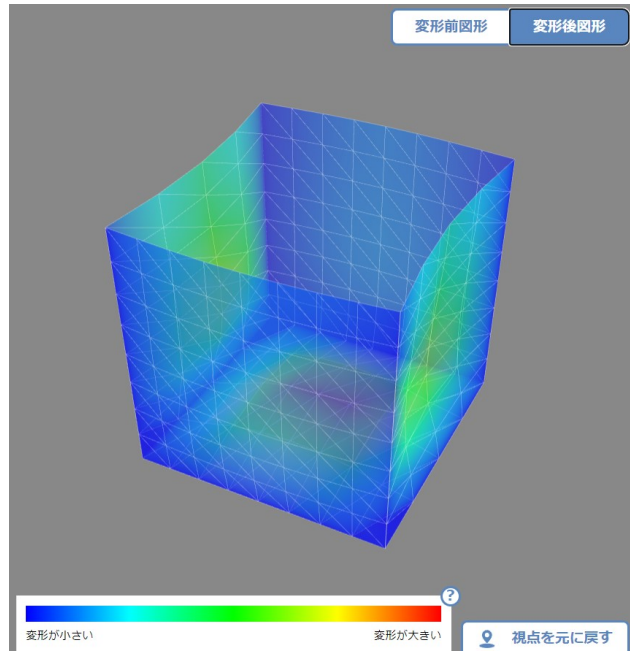
6. 教材開発（機能拡張の実装）の結果概要

6.1 変形表示に関する拡張機能

図 7 (ア), 及び図 7 (イ) に示す通り, 両図中の右上に配置された「変形前図形」と「変形後図形」のコンポーネントを有効にすることで変形前後の差異が確認できる機能が追加された. また図 7 の両図は単純な箱型構造であるが, この両舷に船側ロンジを追加した場合の変形形状を図 8 に示す. 図 7 (イ) と図 8 に示すように, 船側ロンジを追加することで船側の変形が小さくなり, 船底の変形量は依然として大きい事が視覚的に示されている. また, 変形形状の大きさを示すカラーバーが図 7, 及び図 8 の下方に配置されているが, カラーバー中の「？」のコンポーネントを有効にすることで, 図 8 (イ) に示すように変形量の大小が強度にどのように影響を及ぼすかの補足解説が参照できる機能も実装されている.

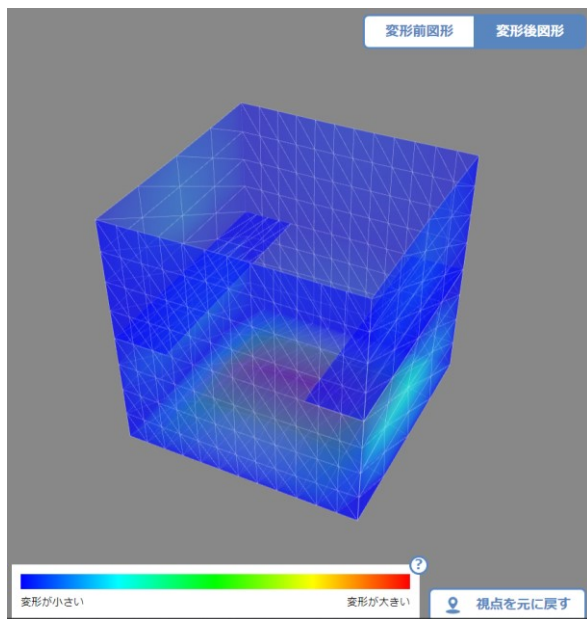


(ア) 変形前形状を表示している画面

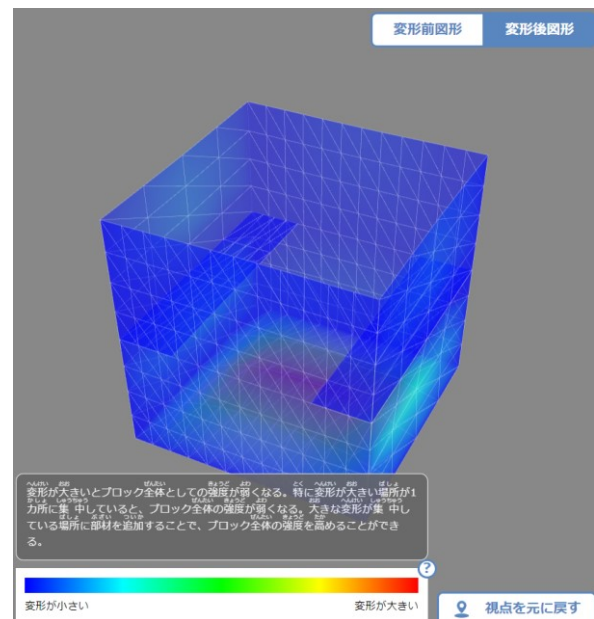


(イ) 変形後形状を表示している画面

図 7 単純な箱型構造の場合の変形表示例



(ア) 変形後形状を表示している画面



(イ) 補足説明を表示している画面

図 8 単純な箱型構造に船側ロンジを追加した場合の変形表示例

6.2 追加・修正された機能一覧

本事業で実装された機能の一覧を表 5 に示す。変形表示機能の概要は 6.1 節に記載した通りである。

また、本教材は造船構造設計を対象としてトレードオフ思考による意思決定プロセスを体験学習できる教材であり、そのトレードオフ関係として「容積（体積）」と「強度」を想定している。一方、これら 2 つの評価項目だけでは、被設計対象物の総合評価が理解しにくいという観点から、「容積評価」、「強度評価」に加え「総合評価」の項目が追加された。図 9 に評価項目確認画面の一例を示す。加えて、総合評価を補足する「？」のコンポーネントが追加された。

表 5 教材機能の新旧比較

	拡張機能実装前の教材 (追加・修正前の項目)	拡張機能実装後の教材 (本事業で追加・修正された項目)
変形表示機能 (図 7, 図 8 参照)	なし	あり
変形と強度の関係の補足説明 (図 8 参照)	なし	あり
評価項目の追加 (図 9 参照)	「容積評価」, 「強度評価」の 2 項目	「容積評価」, 「強度評価」に加えて, 「総合評価」の項目を追加。
総合評価の補足説明 (図 9 参照)	なし	あり

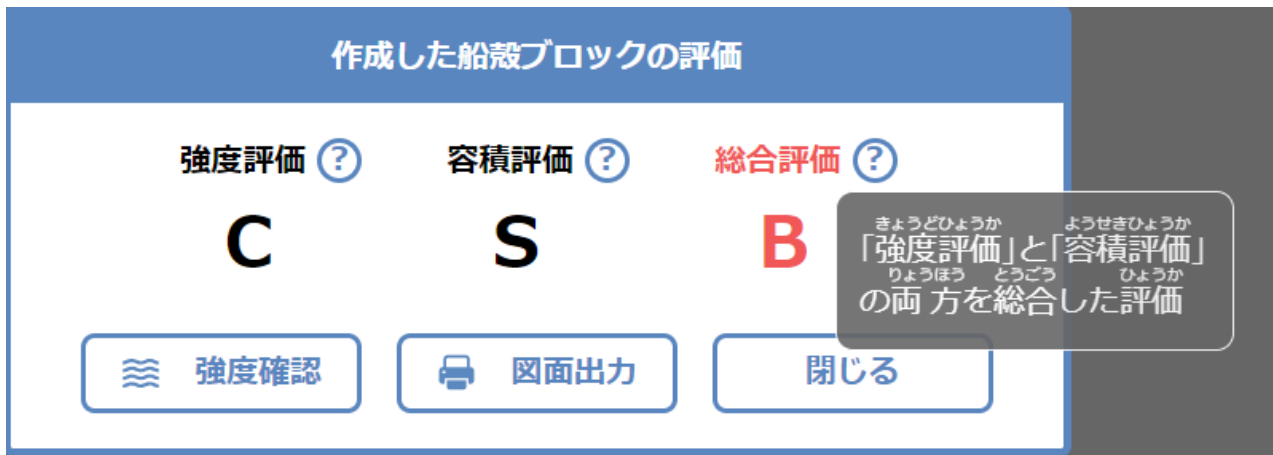


図 9 評価項目確認画面の例

7. まとめ

本事業において、主に中学生または小学生（主に高学年）を対象に、単に知識を教授するのではなく、造船構造設計を対象としてトレードオフ思考による意思決定プロセスを体験学習できる教材の機能拡張を行った。本仕様に基づくアプリケーションが今後ものづくり体験講座や学校における授業に広く用いられることで、造船業に従事する人材の早期育成・確保、さらにはわが国の造船業の成長・発展に資することを期待する。

参考文献

- 1) 文部科学省 HP: GIGA スクール構想の実現に向けた端末の利活用等に関する状況(令和 3 年 7 月末時点)について(確定値), https://www.mext.go.jp/content/20211125-mxt_shuukyo01-000009827_001.pdf
- 2) 文部科学省 HP: GIGA スクール構想に関する各種調査の結果, https://www.mext.go.jp/content/20210827-mxt_jogai01-000017383_10.pdf
- 3) 寺澤一雄: 船体構造力学, 海文堂

仕 様 書

1. 件名及び数量

造船構造設計を対象としたトレードオフ思考体験教材アプリの拡張機能の製作 一式

2. 概要

社会全体で少子化が進む中で持続的に成長するためには、未来を担う人財の育成が不可欠である。このような背景から日本中小型造船工業会は、義務教育段階から海事産業に対する興味・関心を喚起することを志向した「海事産業ものづくり体験講座」を開設している。2022 年度には、日本中小型造船工業会は日本財団の助成を受けて、単に知識を教授するのではなく、造船構造設計を対象としてトレードオフ思考による意思決定プロセスを体験学習できる教材アプリの開発を行った。本業務では、構造強度の直感的理解を促すために、構造体の変形表示機能の追加を行う。

3. 作業内容

本業務は、小学校 5 年生以上、及び中学生を利用者と想定し、造船構造設計を対象としたトレードオフ思考体験教材アプリについて、構造強度の直感的理解を促すために、構造体の変形表示機能の追加を行う。

3. 1 アプリの基本構成

- (1) 既存の「造船構造設計を対象としたトレードオフ思考体験教材アプリ」について、「剛性確認」等のボタンを押下することで、変形を表示させる。
- (2) 上記の変形形状は予め保持しているデータベースを基に出力を行う。
- (3) 上記のデータベースは海上技術安全研究所より提供する。
- (4) 上記データベースは「船底ロンジ」、「隔壁」、「船側ロンジ」の組合せに応じた最小形状について、ベース板の中央を原点とした(x,y,z)の座標データであり、対称性を考慮して全体の 1/4 のデータである。

3. 2 変形表示機能

- (1) 構成部材の寸法が変わった場合には、変形量を長さの 2 乗に比例する等の方法により、適宜拡大処理して表示する。
- (2) この際、変形量が大きいところは赤、そうでないところは青など、直感的理解を促す表示方法を採用する。
- (3) また、「変形前形状」と「変形後形状」をボタン押下等で切り替えることを可能にする。

3. 3 構造体の評価機能

- (1) 構造体の強度評価、及び構造体の総合評価のアルゴリズムの変更を行う。