

Argoフロート投下手法に関する調査と開発

岩坂 直人^{*1} 藤田 恒美^{*2} 水野 恵介^{*3}

地球観測フロンティア研究システムと海洋科学技術センターが取り組んでいる「高度海洋監視システムの構築」プロジェクトは国際Argo計画の一翼を担うものであるが、将来商船や漁船など篤志船舶からプロファイリングフロートを投入することも想定している。そのために必要な投入装置と投入手順について検討した。

まず、外洋を航行する商船と漁船について代表的な船種を選んで、フロート投入に適しているかどうかを調べ、あわせて篤志船舶からフロートを投入する際の技術的要件を検討した。ついで、篤志船舶利用で先行しているワシントン大学ライザー教授のグループの投入方法を調査し、そこで使用されている段ボール製緩衝容器を再現して、投下実験で緩衝効果を調べ、また海洋投棄後の環境負荷を調べる実験を行った。

それらの結果に基づいて、より小型軽量で取り扱いが容易であり、また緩衝効果が高く環境負荷の小さい段ボール製緩衝容器を開発し、その性能を投下試験等で調べ効果を実証した。

これらに基づき、ここで考案した改良型段ボール製緩衝容器の利用し、船尾からロープを使って乗組員一人でも実行可能な投入方法を提案した。

キーワード：Argo計画、プロファイリングフロート、投入装置、篤志船舶、緩衝容器

Research and development of the method for the deployment of the Argo float

Naoto IWASAKA^{*4} Tsunemi FUJITA^{*5} Keisuke MIZUNO^{*6}

Voluntary observation ships (VOS), such as merchant ships and fishing boats, will be one of the major platforms for deployment of the profiling floats in the project of "The Establishment of Advanced Ocean Observation System", that has been conducted by Frontier Observational Research System for Global Change and Japan Marine Science and Technology Center, as a Japanese contribution to the International Argo project. In this study we tried to design a device for deploying the float and deployment procedure appropriate for VOS.

We examined whether or not the structures and sailing areas of typical merchant ships and fishing boats were suitable for deployment of the float. Technical requirements for deployment of the floats from VOS were also examined. We learned about the method of float deployment from merchant ships, developed in the University of Washington (UW). We replicated the shock absorbing container developed in UW, and tested its shock absorbing capability and its environment load in the sea.

Based upon the test, we have designed a smaller shock absorbing container, which was easier to handle. We confirmed that the improved container showed better shock absorbing capability in a field test.

*1 地球観測フロンティア研究システム

*2 株式会社NYK輸送技術研究所(現所属株式会社グローバルオーシャンデベロップメント)

*3 海洋科学技術センター

*4 Frontier Observational Research System for Global Change

*5 NYK Logistics Technology Institute (Present affiliation Global Ocean Development)

*6 Japan Marine Science and Technology Center

We have finally developed a method to deploy the float from VOS by only one crew, using the improved shock absorbing container.

Keywords : Argo project, Profiling float, deployment instrument, Voluntary Observation Ship, Shock-absorbing container

1. はじめに

長期予報の予報精度向上などを目的として、平成12年から「高度海洋監視システムの構築」が日本政府のいわゆるミレニアムプロジェクト¹⁾の一つとして始まった。これは、国際気象機関、国連教育科学文化機関政府間海洋パネルなどが共同で計画している国際Argo計画²⁾に対応する日本政府のプロジェクトである。

国際Argo計画は、プロファイリングフロート(以下フロートと略称)を用いて世界の海洋をおよそ緯度経度3度(ないし300km)の空間分解能、10日の時間分解能で監視できる観測網を構築し、海洋の変動を監視することで気象の長期予報や気候変動予測の精度向上を目指す画期的な計画である³⁾。この観測網構築には全世界で約3000本を展開する必要がある。日本は、上記ミレニアムプロジェクトのなかで地球観測フロンティア研究システムと海洋科学技術センター海洋観測研究部が気象庁、海上保安庁と共同で、水産庁など関係機関の協力を仰ぎながら、主に西部太平洋、東部インド洋でフロートを投入することになっている(図1)。また南太平洋についても投入を予定している。平成14年6月現在で世界全体で約500本、日本はそのうち65本を展開している³⁾。

ところでArgo計画を実現するためには、フロートをどのようにして所定の海域に必要な数展開するか、また構築したフロート観測網を維持するために必要に応じて不足分を補給する体制、つまりフロート展開のロジスティクスが重要な課題の一つである。

フロートの運搬投入手段としては、船舶と航空機の利用が考えられるが、日本では船舶利用が現実的である。具体的には本プロジェクト参加および関係機関の船舶、すなわち海洋科学技術センターの研究船、気象庁及び海上保安庁の観測船、調査船、および水産庁の調査船を中心に、大学の研究船、練習船などが利用できる。しかし、これらの船舶だけでは、すべてのフロートを対象海域に偏りなく展開することは容易ではなく、空白海域や空白期間が生じる懸念がある。そのため商船や漁船に協力を得ること、つまり民間の篤志船舶(Voluntary Observation Ship:VOS)の利用が近い将来不可欠になる。

そこでこの研究報告では、民間の篤志船舶によるフロートの展開する場合に考えられる技術的課題を検討し、篤志船舶からのフロート等入手法について提案する。

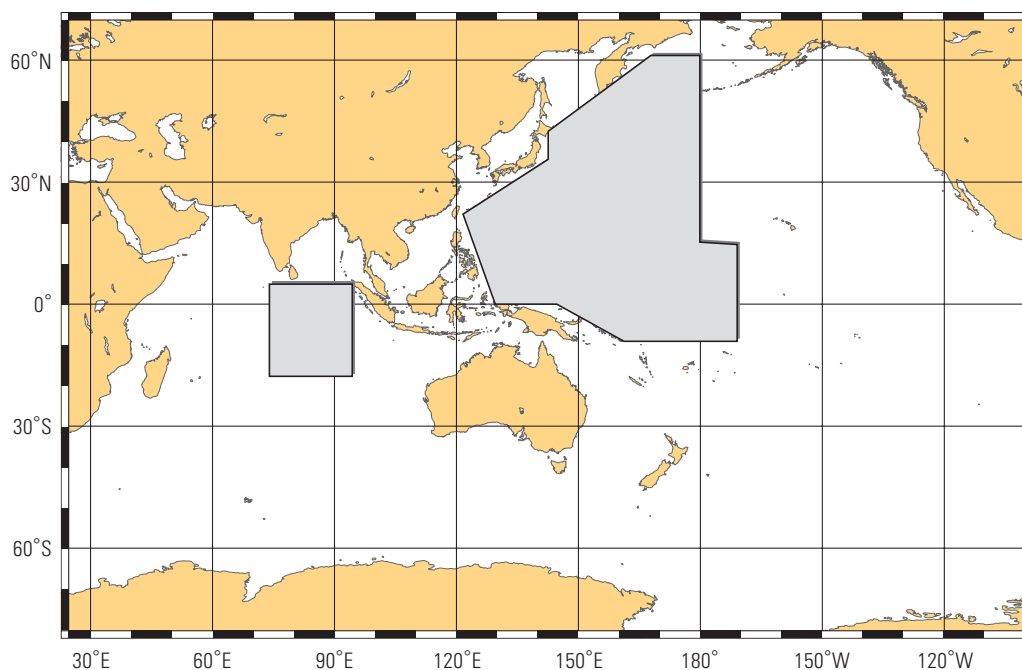


図1 日本のArgoフロート投入対象海域

Fig. 1 The objective area of the Japan Argo Project

2. フロート投入可能船舶の調査⁴⁾

フロート投入を篤志船舶に依頼するためには、船舶の特性を把握し投入作業が現実的に可能である船舶を選ぶ必要がある。そこで、外洋を航行する商船と漁船について代表的な種類を選び、フロートの積込・保管および投入諸作業がどの程度可能であるかについて、運用状況や船種毎の構造を中心に調査した。

2.1. 商船

国内の外航大手船会社が運航している代表的な商船について、フロート投入諸作業空間とフロート等の保管場所について調べた。対象船種は、コンテナ貨物船、自動車専用船、在来型貨物船、原油タンカー、原材料積載船の5種類である。

これらの船種の代表的な船を選び出して調べた結果をまとめると次のようになる。まず、投入作業要員を乗船させることを想定して、居室のゆとりを調べたところ、どの船種でも乗組員以

外用として2～3の余剰居室が用意されているものの船員研修生等のために使用されている事が多く、恒常的に空き居室が不足している。投入作業場所として最適な場所は一般に船尾係船作業甲板である。フロートの保管場所としては、投入作業場所に近いところに求めると必ずしも屋根付きの場所を確保できるとは限らない。その場合は濡れ損対策が必要となろう。また、積み込み作業には、船内に物資を積み込むためのクレーンを利用することが可能である。投入作業に関しては、いずれの船種でも作業甲板等に高さ約90cmの手摺りがあるため、手摺り越しにフロートを降ろす作業をすることになるため、安全確実な作業のためには2名の作業員を配置することが望ましい。また投入補助具として例えば滑り台のような器具を持ち込むことは困難である。船種ごとの特徴は表1にまとめてある。

調査の結果、フロート投入に最適な船種はコンテナ貨物船であり、原材料積載船なども利用可能であるが、自動車専用船は向いていないことが分かった。

表1 代表的な外航商船の特徴とフロート投入プラットフォームとしての適性
Table 1 Characteristics of typical oceangoing merchant ships and their suitability for a platform of float deployment.

船種	性能・構造上の特徴	運航上の特徴	最適投入作業場所	積込・保管場所
コンテナ船	航海速度20～25kt	協同運航で各ルートを数隻から十数隻ほどの船隊でウィークリーサービスを行っている。	船尾係船作業甲板 海面上約12m 高さ約90cmの手摺	補給物資積み込み用クレーン利用可 船尾係船作業甲板と同じ甲板上の場合、暴露甲板上となる。濡れ損対策が必要。
自動車専用船	居住区が最上甲板にある特殊な船型 航海速度17～20kt	スケジュール変更が多い一つの港での停泊時間が非常に短い。	最適作業場所なし 作業場所候補 (1)船尾係船作業甲板 海面上20m以上 高さ約90cmの手摺 (2)乗込み用ギヤングウェイ部 海面上約7m 最も波浪の影響を受ける場所で航行中にギヤングウェイを降下してフロートを投入することは出来ない。 高さ約90cmの手摺	ボートデッキ上の補給物資積み込み用クレーン利用可 積み込み後、狭く急な階段でフロートおよび段ボール製緩衝容器を移動させなければならない。 (1)船尾係船作業甲板の場合 同甲板のロープロッカー (2)乗込み用ギヤングウェイ部の場合 保管場所なし
在来型貨物船	貨物スペースに大型クレーンを備える 航海速度13kt～20kt程度	停泊時間が長い。 定期航路で運航 公共岸壁利用が多く利便が良い	船尾係船索作業甲板 海面上約5m 高さ約90cmの手摺	(1)居住区内 (2)居住区横の狭い暴露甲板上 濡れ損防止対策が必要
原油タンカー	超大型船(全長300m以上幅58m以上) 航行速度3kt～16kt	定期船に近い運航形態 入港地が不便な地域。 フロート積み込み時には荷主の協力が必要。 危険物積載船で甲板作業に制約を受ける。	船尾係船索作業甲板 満載時、海面上約10m バラスト航海時、海面上約20m 高さ約90cmの手摺	居住区内もしくは機関室内 バラスト航海時にはエンジンおよびプロペラから発せられる振動が強いいため、フロートへの影響が懸念される。
原材料積載船	航行速度16kt程度	入港地が不便な地域。 フロート積み込み時には荷主の協力が必要。 不定期航路であるが、長期傭船の場合は、本船のスケジュールがつかみ易い。	船尾係船索作業甲板 満載時、海面上約6m バラスト航海時、海面上約15m 高さ約90cmの手摺である。	(1)暴露甲板 濡れ損防止対策が必要 (2)居住区内もしくは機関室内 バラスト航海時にはエンジンおよびプロペラから発せられる振動が強いいため、フロートへの影響が懸念される。

2.2. 漁船

篤志船舶として利用可能な漁船は遠洋漁船である。そこで、代表的遠洋漁船として、海外まき網漁船、まぐろ延縄漁船、かつお一本釣漁船および大型イカ釣漁船等を取り上げ、運用状況や船種別構造から中層フロートの投入および保管について調べた。ここで取り上げる各漁船の操業海域分布を図2に示す。

漁船を利用する場合、各漁業団体を通じて操業スケジュールや海域、寄港地などの情報を把握する必要がある。まぐろ延縄漁船、大型いか釣り漁船は海外基地または洋上で母船から補給する場合が多い。商船と異なり低速航行や停船も可能である。また船体が小さいため、海面から乾舷までの高さは最大でも5m程度であり、ロープで吊して人手で降ろすか、積み込み用または操業用ブームなどで投入が可能と考えられる。保管場所は一般には船内に確保することは出来ず、暴露甲板や半暴露状態の場所に保管せざるを得ない。船種ごとの特徴は表2にまとめてある。

漁船からのフロート投入を考える場合は、水産高校などの練習船が最適であるが、海域によっては海外まき網漁船、かつお一本釣り漁船、大型イカ釣り漁船も候補として考えられる。

2.3. まとめ

調査の結果、フロート投入に適した構造と運航体制を持つ商船や漁船は、コンテナ貨物船、水産高校練習船など限られることが分かった。また、投入に際して、投入要員を乗船させる余裕はなく、フロートなどの保管場所も限られる。さらに、船の入出港スケジュールに機動的に対応しなければならず、装置については設置工事等が不都合な簡便なものであることが求められる。

従って、篤志船舶でフロートを投入するときは、積み込んでおいたフロートを乗組員に投入してもらうことになる。そのため、投入方法は以下の条件を満たさなければならない。

- (1) 乗組員が手引き書に従って容易に投入できる方法であること
- (2) 必要機材等は小型軽量であること
- (3) 投入時に特別な器具を必要としない方法であること
- (4) 少人数(出来れば1名)で投入可能であること

3. 篤志船舶からのフロート投入方法の設計

3.1. ワシントン大学における篤志船舶からのフロート投入の実例⁴⁾

フロート観測の技術的課題を多角的に調査するために、地球観測フロンティアと海洋科学技術センターのArgo担当者は、2000年5月にライザー博士の研究室を訪問し現地調査を行った。ここではその調査に基づき、特に篤志船舶からフロートを投入する際の方法や機材、技術的課題などについて述べる。なお、調査時点でライザー博士のグループは、アメリカの外航船社であるSea Land社の大西洋航路のコンテナ船から70台投入し、100%成功している。

3.1.1. ライザー博士のグループの投入方法の概要

ライザー博士のグループは、船からの投入に際して二通りの投下方法を採用している。それらは投入に使用する船種によって使い分けている。

まず第1の方法は、フロートを直接ロープで吊して舷側から投入する方法で、その模式図を図3aに示す。主に海洋観測船からの投入の際に用いられる⁵⁾。

第2の方法は、図3bに示すように、段ボール製緩衝容器に

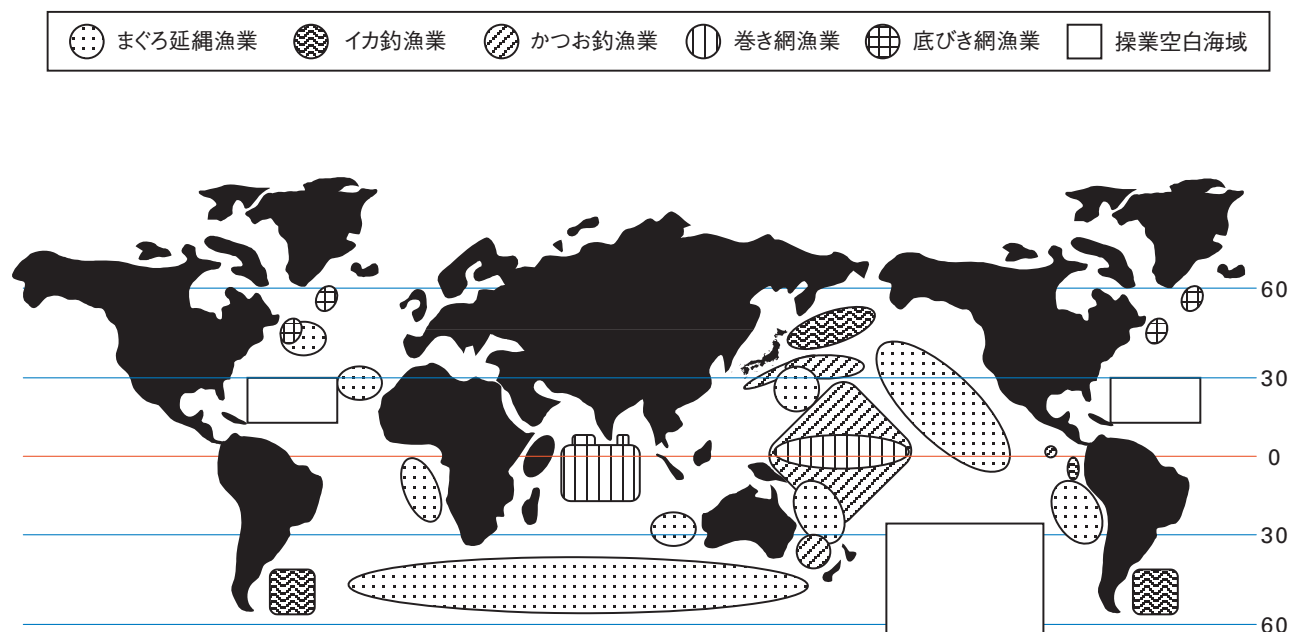


図2 遠洋漁船の操業海域分布図

Fig. 2 Fishing areas of Japanese fishing boats in the world ocean

表2 代表的遠洋漁船の特徴とフロート投入プラットフォームとしての適性, およびとりまとめ団体

Table 2 Characteristics of typical deep-sea fishing boats and their suitability for a platform of float deployment. Owner's association is also listed for each type of the fishing boat.

船種	特徴	作業場所・投入方法	積込・保管場所	団体
海外まき網漁船	緯度経度5度程度の範囲で投入海域を指定可能 航行速度12~13kt フロート投入海域での減速あるいは停船可能。 ラジオブイなどの投入経験も豊富	漁労荷役装置のブームやクレーンを船外に振り出してフロートを投入可能	停船し、伝馬でフロートを投入も可能 漁労荷役装置のブームやクレーン 暴露甲板上	海外まきあみ漁業協会
まぐろ延縄漁船	海外基地または洋上で補給	乗組員が直接ロープで降ろす。 船尾投入の場合、乾舷が海面上約5m ブリッジ前上部作業甲板右舷側の場合、海面上約2~3m程度 フロートが船体と接触しない工夫が必要	暴露甲板上	日本鯉鮪漁業協同組合連合会
かつお一本釣漁船	漁船の操業海域や時期は魚動に伴い移動 魚場への移動中の投入可能	まぐろ延縄漁船と同様但し、乾舷が低い(約3m)ので、投入時の船体への接触等の可能性は少ない	ブリッジデッキ後部スペース、プーパデッキ左舷通路、船尾甲板前部など	日本鯉鮪漁業協同組合連合会
大型イカ釣漁船	南氷洋を航海 日本へは9月~10月頃寄港	船尾係船索作業甲板 満載時、海面上約10m バラスト航海時、海面上約20m 高さ約90cmの手摺	暴露甲板上 または、前部ホールド内の作業デッキ クレーン使用可	(社)大型イカ釣漁業協会
水産高校実習船	学生も含め多数乗船、調査員などが便乗している場合もある。	デッキクレーンを用いて船側から2m程度海上に振り出して投入可 船尾からロープを用いて行なう 船尾の乾舷は、約3~4m	船内余剰居室 暴露甲板上	

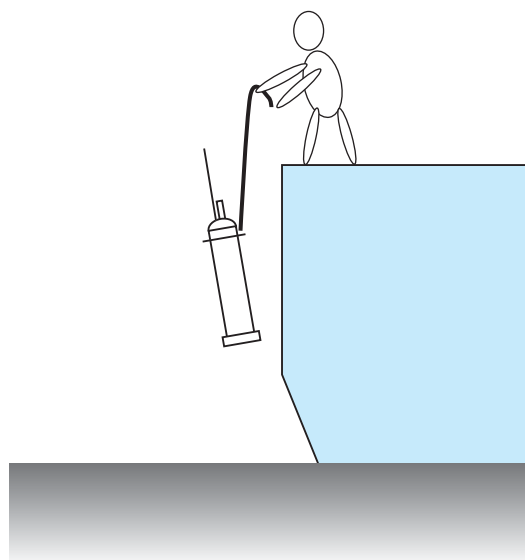


図3a フロート投入方法(1)。乾舷からつり下げて海中に投入する。
Fig. 3a Schematic figure of the float deployment method (1). The float is simply lowered using a rope from the freeboard into the sea.

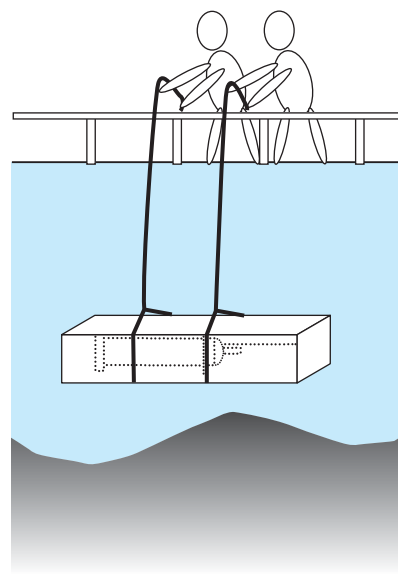


図3b フロート投入方法(2)。フロートをダンボール緩衝容器に入れて水平姿勢で乾舷から海面近くまで下ろし、水中に落下させる。
Fig. 3b Schematic figure of the float deployment method (2). The float is packed in the shock absorbing container and lowered horizontally from the freeboard to a safer height before being released.

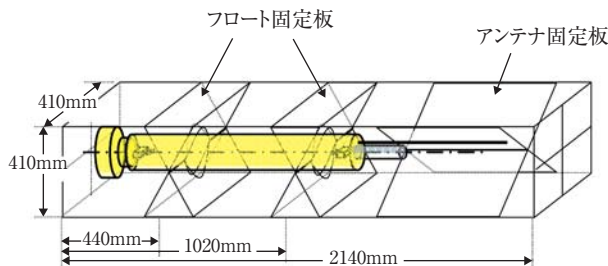


図3c ワシントン大学製段ボール製緩衝容器概略図

Fig. 3c Schematic figure of the shock absorbing container developed in the University of Washington

フロートを納めて投入する方法である。この方法は、フロートの大きさに合わせて段ボールで作成した緩衝容器(図3c)にフロートを納め、舷側から2本のロープで水平に保ったまま水面上約5m以下まで降ろした後、ロープを外して段ボール製緩衝容器ごと海面に落下させるものである。この方法は主にコンテナ船からの投入で用いられており、ライザー研究室の技官など1~2名が乗船し投入作業をおこなう。投入時の様子はライザー博士のグループのホームページ⁶⁾に掲載されている。

3.1.2. 段ボール製緩衝容器

ライザー博士のグループはWebb Research社製のフロートを使用しており、段ボール製緩衝容器もそのフロートに合わせて作成している。段ボール製緩衝容器を含めたフロートの重量は約30kg、大きさは、縦横長さが410mm×410mm×2140mmである。ライザー博士のグループが段ボール製緩衝容器として段ボール箱を選択した理由は、構造が単純で、安価(1つ当たり約100ドル)、そして海中での生分解性である。

段ボール製緩衝容器は、展開された状態で船に積み込み、投入前に船上で組み立て、フロートを納めて投入する。組み立て作業に要する時間はおよそ30分で、特別な工具は必要としない。海中投下後、容器を閉じているロープの水溶性留具が溶けてロープがはずれると段ボール製緩衝容器が展開し、中のフロートが海中に入る⁶⁾。

3.2. ワシントン大学のフロート投入方法の技術的検討⁴⁾

ワシントン大学での現地調査結果から、篤志船舶でのフロート投入には、段ボール製緩衝容器を用いて舷側からロープで下ろしてフロートを投入する方法を採用することが現実的であると考えた。その理由は、この方法が投入作業に特別な装置と技術を必要としないこと、段ボール製緩衝容器などが安価で取り扱いが容易であること、どのような種類の船でも対応可能であることである。

ここでは、ワシントン大学の方法を採用するに当たりその要素技術である投入用段ボール製緩衝容器の性能を実験で調べた結果を述べる。

3.2.1. 投入用緩衝容器緩衝性能試験

(1) 実験方法

緩衝容器には、着水時の衝撃を緩和する性能、及び海中で容易に分解し環境汚染を防ぐような性質を備えていることが求められる。

そこで、まずワシントン大学で使用している緩衝容器と同等の強度を持つ段ボールを入手し、同じ大きさと構造の緩衝容器を作成しその緩衝性能を試験した。

段ボール製緩衝容器について、一般商船からフロートを投入することを想定し、加速度計を内部に搭載した模擬フロートを用いて静水面への落下実験を実施した。これらの実験では、着水時の模擬フロートおよび段ボール製緩衝容器に生じる加速度変化を計測し、その衝撃緩衝機能を評価した。実験に際しては落下高度および投入姿勢を変えて、着水時の加速度変化との関係を定量的に把握した。

なお、模擬フロートはAPEX型中層フロート(Webb Research社製)を模し、実物大の模擬フロートを製作した。模擬フロートの重量は約23.8kgで実物と比べやや軽い、重心は実物と同じくフロート最下部から58cmの位置に合せた。フロート内部のフレーム上部および下部の中心線上に3軸の圧電型の加速度センサーをボルトで固定し、その接合部を接着剤で固めた。模擬フロートの外観と加速度センサー取り付け位置を図4に示す。

今回の実験では、フロート内部の加速度センサーからのケーブルを外部の計測機器に接続し(図4b)、センサー出力



図4a 落下試験用模擬フロート外観

Fig. 4a The mock-up of the Apex-type float, that is used in the falling test.

値をリアルタイムで確認しながら落下実験を行なった。実験時にセンサーケーブルの保護とノイズ防止などのために、ケーブル6本を束ね1本のチューブ内に収めて保護した。実験に使用した計測システムのブロック図を図5に示す。なお参考のため、段ボール製緩衝容器にもフロートと同様の3軸圧電型加速度センサーを中央部および後部(フロート下部に対応する位置)に各1個設置して加速度を計測した。



図4b 模擬フロートとセンサーケーブル。センサーからのケーブルがフロート先端部から出ている。組み立て前のワシントン大学製緩衝容器に設置したところ。

Fig. 4b The mock-up and cables that connect acceleration sensors with a recorder.
The mock-up is laid on the unfolding shock-absorbing container.

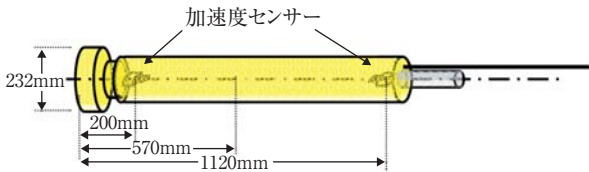


図4c 模擬フロート内部の加速度センサー取り付け位置

Fig. 4c Positions of the acceleration sensors inside the mock-up

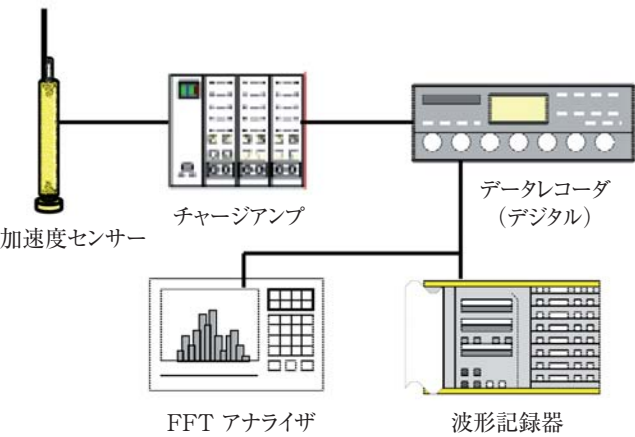


図5 計測システムのブロック図

Fig. 5 Block diagram of the measurement system of the falling test

実験は、2000年11月22日10時30分から16時30分にかけて、東京商船大学構内のポンドで実施した。実験では、段ボール製緩衝容器の有無、水面からの高さ、及び落下時のフロートの姿勢を変えて5通りの試験を行った。フロートの高さは、実際のコンテナ船での投入を想定して5m前後の高さを選んだ。実海域でのフロートの投入時の姿勢は一定していないと思われるので、水平で投入する場合と、観測船から通常APEX型フロートを投入する場合と同じようにフロートの安定板にロープを通してつり下げた状態から落下させる場合の二通りとした。つり下げた場合のフロート中心軸と水平面とのなす角度は58度であった。実験の様子を図6に示す。

ここで「フロートの高さ」とは、いずれの場合も水面からフロートまたは段ボール製緩衝容器全体の重心までの高さを言う。なお、実験に使用したクレーンと当日の潮汐の関係上、落下高度は最高でも6mまでしかとれなかった。実験条件は表3にまとめている。

(2) 結果

5通りの実験条件で合計21回の落下試験を行った。計測された3成分の加速度から合成してそれぞれのセンサー取り付け位置における加速度を求めた。取り付け位置における最大加速度の値には系統的な差が認められなかったので、各実験条件ごとに平均と標準偏差を求めて実験結果を検討する。図



図6 実験の様子。緩衝容器を用いて5mの高さから落下させる場合。
Fig. 6 A photograph of the falling test. A case of 5-m height with the shock absorbing container.

表3 第1回フロート落下試験条件

Table 3 Specification of the first falling experiment

落下高度	落下姿勢	容器	実験回数
5m	水平	有り	6回
5m	水平	なし	4回
6m	水平	なし	4回
3m	水平	なし	3回
5m	傾斜58度	なし	4回

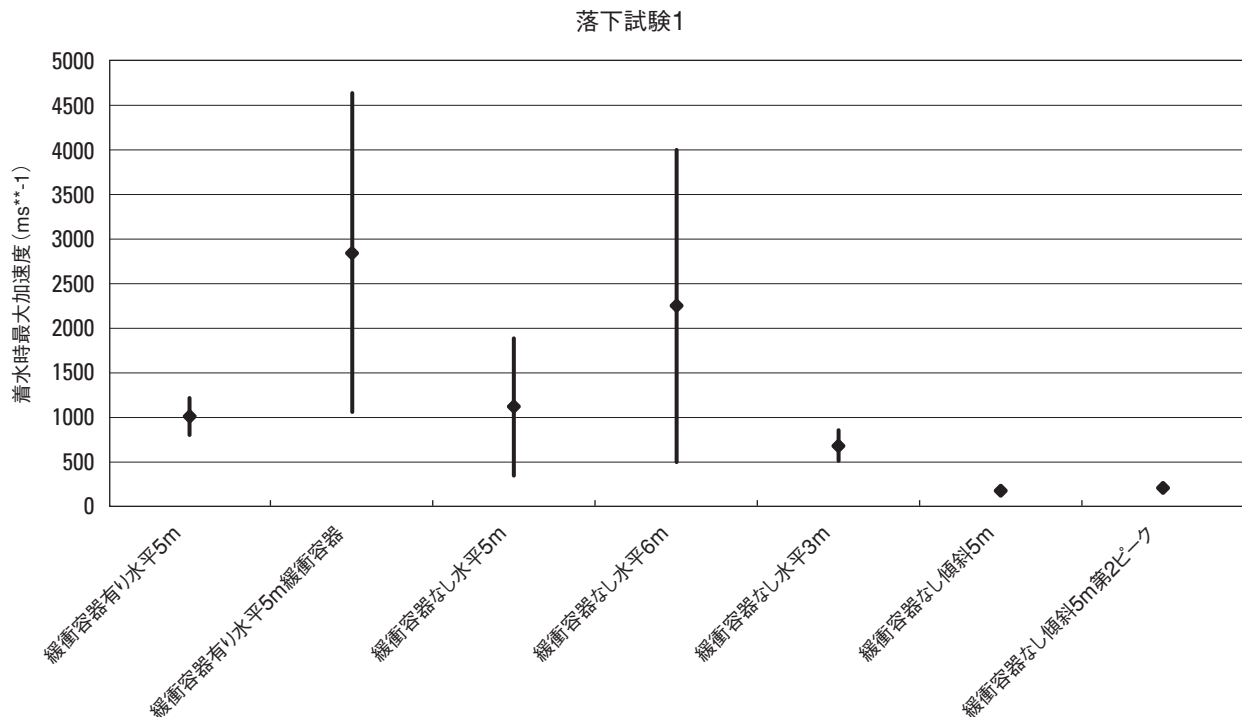


図7 フロート落下試験結果。着水時の最大加速度の平均値を菱形、縦棒で標準偏差を表す。縦軸の単位はms⁻²

Fig. 7 Summary of the first falling test. Average maximum acceleration observed when the float reached the sea surface is shown as a solid rhombus and a bar indicates its standard deviation for each experimental condition. The unit of the ordinate is ms⁻².

7にはそれぞれの実験条件での平均値と標準偏差を示す。なお、投入時の姿勢を傾斜させて行った実験では、計測された加速度時系列に2つのピークが現れる場合がほとんどだったので、第1ピークと第2ピークのそれぞれの最大値を示した。

図から明らかなように、段ボール製緩衝容器を付けて落下させた場合の緩衝容器に設置したセンサーの示す加速度と、6mから段ボール製緩衝容器なし、水平姿勢で落下させた場合の加速度は実験毎のばらつきが大きかった。

(a) 段ボール製緩衝容器の緩衝効果

高さ5mから段ボール製緩衝容器を用いて落下させた場合と裸の模擬フロートを水平姿勢で落下させた場合を比較して緩衝効果を調べた。緩衝効果を評価するため、次の式で定義する衝撃緩衝率を導入する。

$$\text{衝撃緩衝率} = \left(1 - \frac{\text{緩衝容器有りの場合の最大加速度}}{\text{緩衝容器なしの場合の最大加速度}} \right) \times 100 (\%) \quad \dots\dots\dots (1)$$

緩衝容器有りの場合となしの場合の最大加速度の平均的をそれぞれもとめ、平均値の比で衝撃緩衝率を求めたところ、衝撃緩衝率は約10%となった。但し、図7から分かるようにこの実験での最大加速度にばらつきがあるため、ここで算出した衝撃緩衝率の値の統計的有意性については検討の余地がある。

参考として計測した段ボール製緩衝容器の最大加速度（中央部のセンサー値）は、1236～2623 ms⁻²で、内部のフロートの最大加速度650～1307ms⁻²に比べて2倍以上であった。段ボール製緩衝容器と内部のフロートとの最大加速度の比から、段ボール製緩衝容器の緩衝効果を見積もると約1/2から約1/3程度となる。

(b) フロートの投入姿勢と加速度との関係

フロートの投入姿勢と加速度との関係を調べるために、フロートのみを5mの高さから傾斜姿勢で落とした。着水時の加速度の時系列（図は示さない）を見ると4回の実験とも、2つの加速度のピークが顕著に現れた。これは1つめのピークがフロートの最下部が最初に着水した衝撃で、2つめのピークはフロート側部が水面に叩き付けられた衝撃のため生じたものと考えられる。2つあるピークの最大加速度は、92～294ms⁻²の範囲であった。

段ボール製緩衝容器を用いた実験結果とフロートを傾斜させた実験結果を比較すると、段ボール製緩衝容器を用いた実験結果は最大加速度が650～1307ms⁻²の範囲となったのに対し、フロートを傾斜させた実験では92～294ms⁻²と約1/5であった。また、フロートを傾斜させた実験結果は、フロートのみを水平姿勢で落下させた実験結果と比べても最大加速度が小さかった。

(c) まとめ

今回のフロート落下実験では、同一条件の落下実験を複

数回行なったが、フロートに生じる加速度は実験毎に大きく異なった。これは、野外でフロートをクレーンで吊しての実験であったため、投下時の切り離し操作が完全に同じ条件を再現できなかったこと、そのために落下初期の条件がその都度微妙に変化したこと、それにより着水時のフロートの姿勢等が多少変化したことが一つの原因だと考えられる。また、加速度をリアルタイムでモニターするために、模擬フロートおよび段ボール製緩衝容器から加速度センサーにつながるケーブルを引き出して計測したため、ケーブルが多少落下に影響した可能性もある。

実験結果から、ワシントン大学仕様の段ボール製緩衝容器は着水時の最大加速度をある程度軽減する効果があることが分かった。また着水時の姿勢が立っている方が水平に着水する場合より最大加速度が小さくなること、また姿勢が立っている場合は着水後に倒れて側面に衝撃を受け第2の加速度ピークを生じることが分かった。

3.2.2. 段ボール製緩衝容器環境負荷実験

(1) ワシントン大学の投入支援容器の成分

投入支援容器として使用している段ボール箱の主要な成分は、木材の主要な多糖類成分であるセルロースおよびヘミセルロースである。木材から紙を製造する過程で酸やアルカリ性の化学薬品を用いるが、有害化学物質として指定された物質ではなく、ほとんどがその工程の中で回収されている。また、段ボールの製造時に用いる接着剤はでん粉糊を用いており、水溶性が高く無害である。

(2) 投入支援容器の生分解性の検証

ここでは、生分解性を確認するため、海水中に放置させる方法(海水沈設法)により生分解性を評価・検証した。

この方法は波浪による物理的な破壊と海水中の微生物による生物学的分解の総合作用を確認するためのものである。実験場所は、NYK輸送技術研究所近くのマリーナのポンドで2000年10月12日より実験を開始した。ワシントン大学の段ボール製緩衝容器と日本製の段ボール断片(縦約10cm, 横約20cm)をポリプロピレン製の小型網生け簀にいれ、海上に浮遊させ、所定の時間毎にサンプルの外観をチェックした。

図8に実験の様子とサンプルの段ボール片を示す。また沈設3時間後の段ボールの様子を図9aに、23日後の様子を図9bにそれぞれ示す。

3時間後ワシントン大学で使用している段ボールの方は、ライナーと中芯がバラバラとなった。13日後のサンプルはいずれも表面にバイオフィルムの形成が伺えるが、微生物分解により形状が変化するまでには至っていない。実験23日後には、波浪により供試体の端部がネットと擦れ、丸みを帯びてきていた(図9b)。12月6日(44日後)の最終チェックにおいては、ワシントン大学使用の段ボールサンプルはかなり丸みを帯びた状態が認められた。K-7サンプルにおいては、剥離した段ボール原紙の形状が判別できないほど顕著な変化が認められた。今回の実験では、微生物による分解より、波浪による物理的な要素が卓越した結果となった。



図8a 段ボール海水沈設実験に用いた小型網生け簀

Fig. 8a A small fish preserve used for the disintegration experiment of pieces of corrugated cardboard in the sea.



図8b 海水沈設実験に用いた段ボール片。左がワシントン大学製緩衝容器で用いられているもの、右が同じ強度を持つ日本製の段ボール片。

Fig. 8b Sample pieces of corrugated cardboards used in the experiment. Left one is the cardboard used for the container of the University of Washington and the right is the cardboard made in Japan that the containers tested in Section 3 were made of.



図9a 海水沈設後3時間での段ボール片の様子。左がワシントン大学製緩衝容器で用いられている段ボール片，右が日本製の段ボール片。

Fig. 9a Photographs of the cardboard samples that are left for 3 hours in the sea. The cardboard for the Univ. Washington container is shown in the left and the Japan-made cardboard is in the right.

UW



K7



図9b 図9aと同様，但し23日後の様子。

Fig. 9b Same as figure 9a, except for 23 days later.

(3)まとめ

段ボール製緩衝容器は，数ヶ月で波浪などにより細かく分解されることが確認された。素材が天然物（セルロース等）であり最終的には生物により分解されることが期待できる。篤志船舶で投入するフロートの数がどの程度になるかは現状では予想できないが，深刻な環境負荷を与えることはないと考えられる。

3.3. 改良型の段ボール製緩衝容器⁷⁾

3.3.1. 仕様条件

日本のArgo計画では，篤志船舶に研究者あるいは観測支援員を乗船させることは現実的ではないため，フロート投入作業は乗組員に依頼できる程度簡素化されている必要がある。ところがワシントン大学の段ボール製緩衝容器は大き

く取り扱いが容易であるとは言えない。そこで，民間船の乗組員でも容易に取り扱うことが出来，安全かつ確実に投入しフロートが正常に作動するような緩衝容器の仕様条件を検討した。特に緩衝効果については，APEX型フロートの場合はメーカーのWebb Research社が10G（約98ms⁻²）の衝撃まで耐えられると保証しているが，直接投下する場合衝撃をそれ以下に抑えることは実質的に無理である。ワシントン大学の方法では衝撃はこれより遥かに越えるがある程度の緩衝効果を得ている。よってワシントン大学の方法より可能な限り十分衝撃が小さくなるような緩衝効果が得られるもの開発し，投入時の衝撃が10Gを下回ることを目指す。

そのためには，2章3節に述べた条件に加えて，

- ① 投入方法では垂直姿勢で投下すること，
- ② 緩衝容器では衝容器底部に緩衝材を設置すること，

- ③ 生分解性の緩衝材を使用すること,
- ④ 投入準備段階での緩衝容器の組み立て作業の容易化を改良型緩衝容器設計における要件とする。

小型化の要件を満足するため、3章で実験に用いた模擬フロートをもとに段ボール製緩衝容器の寸法を決定し、試作後、その取り扱い容易性を検証した。図10aに段ボール製緩衝容器の展開図を示す。また、フロートを収納する様子を図10bに示す。

環境に配慮した素材として緩衝容器と同じ素材である紙を選定した。ここで使用した紙製緩衝材は米国ランパック社

製のパドパックと呼ばれるもので、3枚の再生クラフト紙を専用の加工機にセットすることで、作業現場で簡単に必要量製造できる。

さらに緩衝容器組み立て容易化のために、箱の蓋になる部分を一片のみ長くし、組み立てが容易な構造とした。

段ボール製緩衝容器の外形はフロートの安定板の寸法より数cm大きく、縦横長さが280mm×280mm×2140mmで、ワシントン大学仕様のものより縦横の長さが約3分の2に小さくした。緩衝容器内の緩衝材としてパドパックをフロート底部側に設置した。

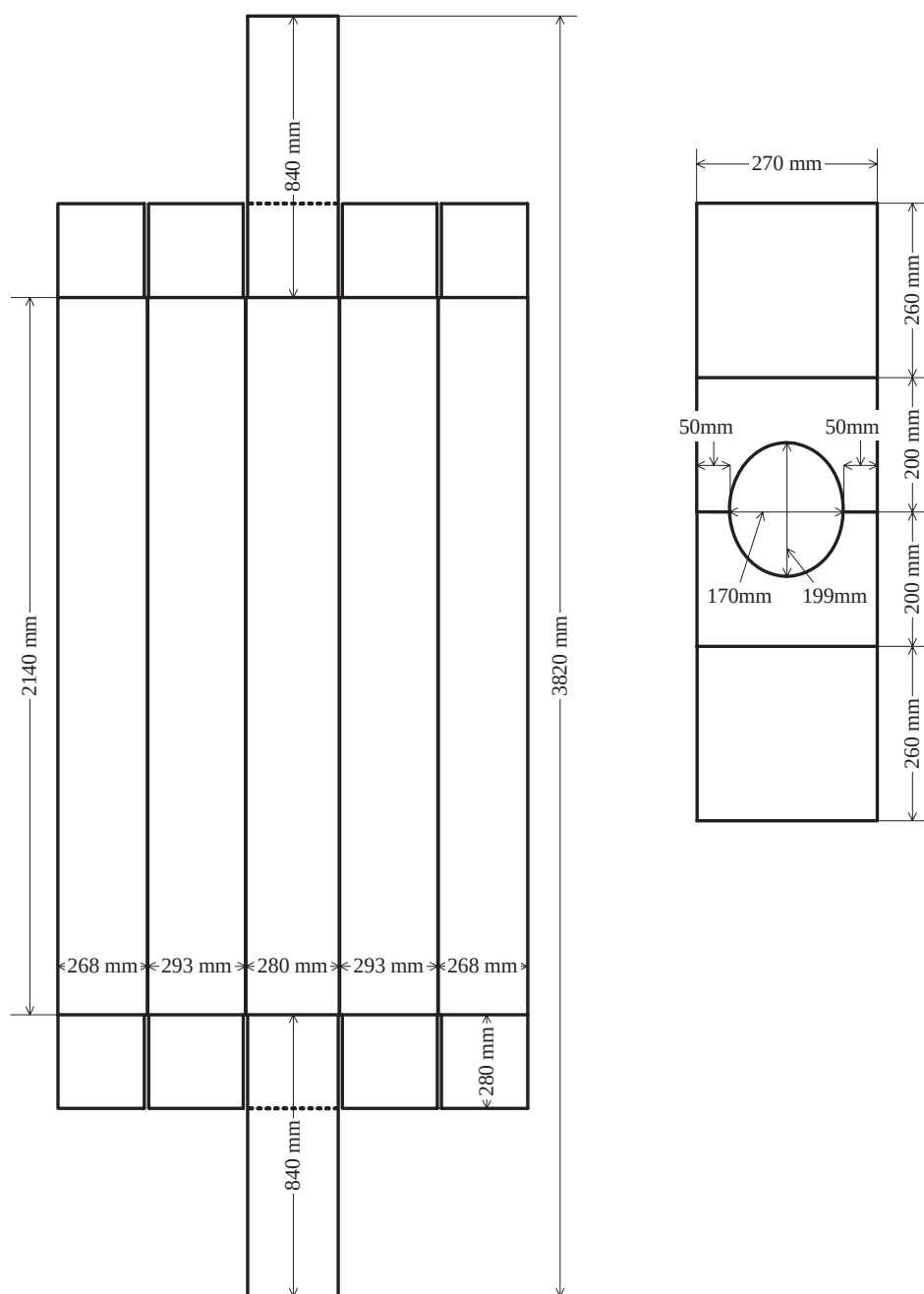


図10a 改良型段ボール製緩衝容器展開図(左)とフロート支持板展開図(右)

Fig. 10a Expansion of the improved shock absorbing container made of corrugated cardboard (left) and that of the mount of the float (right).



図10b 改良型緩衝容器に模擬フロートを収納する様子。右は緩衝容器底部に設置する緩衝材。
Fig. 10b The mock up laid on the unfolded improved container (left). A shock absorber installed in the bottom of the container (right).

3.3.2. 改良型段ボール製緩衝容器の落下実験

(1) 実験方法

改良型の段ボール製緩衝容器について、3章2節と同様に加速度計をフロート内部に設置した模擬フロートを使って落下実験をおこなった。

実験は平成13年10月24日～25日の2日間、東京商船大学のボンドで行った。実験の手順や計測システム、模擬フロートなどは前回の実験と同じである。実験は、容器の有無、投入姿勢、高さを変えて、合計9通りについて行った。条件毎に5～7回の落下試験を実施した。実験条件は表4にまとめている。

(2) 実験結果

各実験条件での落下試験で得られた加速度の最大値を調べると、段ボール製緩衝容器有り水平5m、同3m、段ボール製容器有り二重底垂直5mの3つの場合については、最大加速度の値にばらつきがあったが他の条件ではばらつきは小さかった。結果を図11に示す。

(a) フロートの投入姿勢と加速度との関係

海面に対して水平姿勢で落下した場合の加速度が最も大きく1300 ms⁻²、垂直姿勢での落下ではその50%、海面に対して斜めに落下した場合にその30%であった。したがって、段ボール製緩衝容器無しの場合のフロートにおいて、海面に対して斜めに落下する場合に、フロートに作用する加速度が最小になることがわかった。

(b) 段ボール製緩衝容器による緩衝効果

式(1)で定義した衝撃緩衝率でみると、平均的な衝撃緩衝率はワシントン大学の容器を使い5mの高さから水平姿勢で落下させた場合約10%であったのに対して、同じ条件で新しい容器の効果を求めると約40%であった。さらに、5mの高さから新しい容器で垂直姿勢で落下させた場合の緩衝効果を容器なしで垂直落下させた場合との比較で求めると、約60%となった。また、容器なしのフロートを水平姿勢で落下させる場合と容器を使い垂直姿勢で落下させた

表4 第2回フロート落下試験条件

Table 4 Same as Table 1, except for the second experiment.

落下高度	落下姿勢	容器	実験回数
5m	水平	有り	5回
5m	水平	なし	7回
5m	垂直	有り	5回
5m	垂直	なし	5回
5m	傾斜58度	なし	5回
3m	垂直	なし	5回
3m	傾斜58度	なし	5回
3m	水平	なし	7回
5m	垂直	有り, 二重底	5回

場合を5mの落下高度での実験で比べると、約80%の衝撃緩衝率が得られる。

このことから、新しい容器を使い垂直姿勢で落下させると、フロートにかかる最大加速度を大幅に軽減できることが分かった。

10G以下の衝撃に緩和するという目標については、最も緩衝効果が高かった5mの落下高度で緩衝容器を使用し垂直姿勢投入した場合でも目標の2.5倍程度と、今回の実験ではまだ達成されていない。しかし、ワシントン大学仕様の緩衝容器に比べて飛躍的に緩衝効果を高めることが出来たので、緩衝材と容器の構造をさらに工夫すれば目標達成は十分可能であると考えられる。

(3) まとめ

改良型段ボール製緩衝容器はワシントン大学仕様のものに比べて小型でかつ緩衝材を工夫することで緩衝効果を大幅に向上させることが出来た。また、素材は、緩衝容器、緩衝材とも紙であり、環境負荷については3章で示した実験結果と同様であることが期待できるので、環境負荷の小さいも

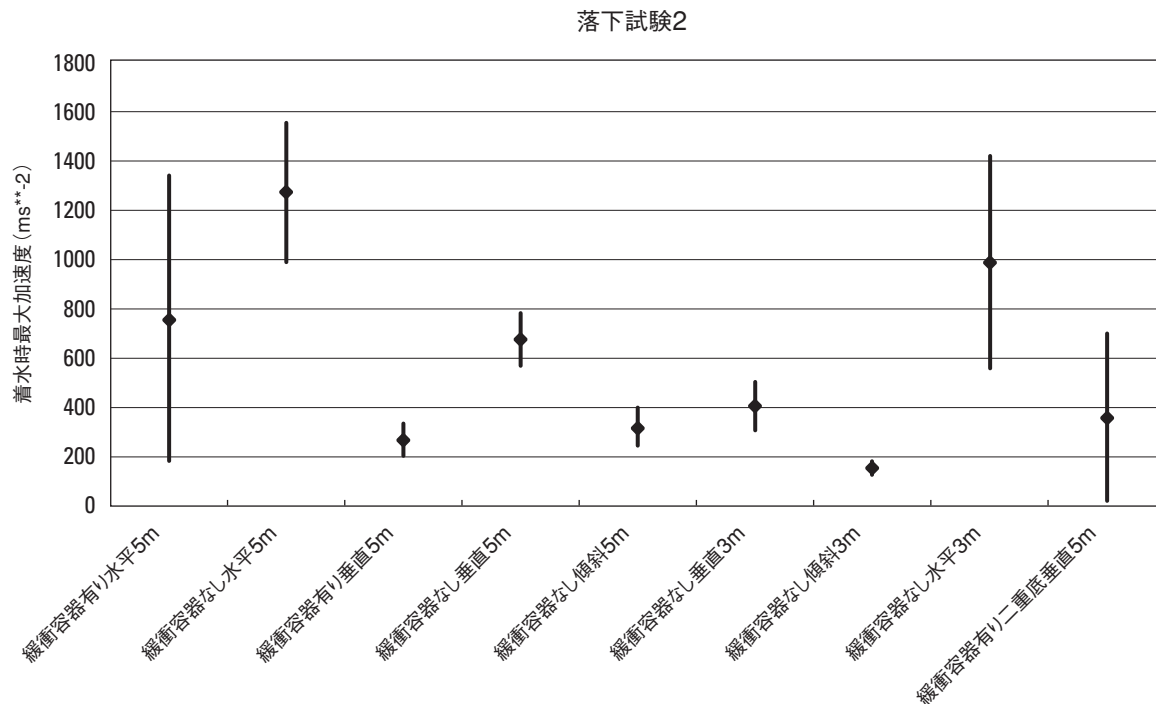


図11 図7と同様。但し改良型緩衝容器使用。

Fig.11 Same as Figure 7, except for the second experiment in which the improved shock absorbing container was used.

のであると言える。

従って、ここで開発した改良型段ボール製緩衝容器は今後篤志船舶からのフロート投入で使用する緩衝容器のプロトタイプとしては十分な性能を持つものと言える。

4. 篤志船舶からの中層フロート投入方法の提案⁷⁾

4.1. 装置

本投入装置は、フロートの正常な作動を確保するために必要な緩衝機能を有する投入支援容器とその段ボール製緩衝容器を簡便で船体への付加を最小限とした投入部で構成した(図10参照)。フロート投入支援用段ボール製緩衝容器は海洋環境への負荷をできる限り少なくするため、本体とフロート支持台を生分解特性を有する段ボール製とし、緩衝材も紙製である。固定のために両面テープと紙テープを用いる。

投入部は船体に設置するような付帯装置等をできる限り排除するという考えと乗組員の取り扱い容易性に配慮したもので、できる限り安価なものとした。また、本投入部は段ボール製緩衝容器と一体化している。

4.2. フロート投入手順

篤志船舶にフロートを搭載し予定された地点で投入する場合を想定したフロート投入手順を以下に示す。ここでは段ボール製緩衝容器の組み立て方法と船尾からの投入方法に大別し説明する。

4.2.1. 組立方法

船上に積み込んだ材料をもとに、以下の手順で段ボール製緩衝容器を組み立てる。

- (1)展開した段ボール容器本体を折り目に沿って折りなじませる。
- (2)フロート支持部品を2個組み立てる。
- (3)フロート支持部品を両面テープで固定する。固定場所は、予めマーキングした容器底部(フロート後端側)折り目から35cmと95cmの線上である。
- (4)予め開けてある段ボール容器吊り下げ用の穴(フロート前端側)に、2本の補強版付き容器吊り下げ用ロープを通し、容器に設置する。
- (5)フロート後端用の緩衝材1つとフロート中間部の緩衝材2つをそれぞれ長さ約100cmの紙材で成型する。前者の緩衝材はそのままコイル状に巻いて、フロートブラッダー保護容器の外径程度の大きさとし、紙テープで仮止める。後者は緩衝材中央で縦折したものをコイル状に巻いて、紙テープで仮止める。
- (6)フロートの安定板が前部支持台にあたる位置にフロートを設置する。
- (7)フロート後端部および、フロート中間部に(5)で成型した緩衝材を設置する。
- (8)展開した段ボール容器本体を折り目に沿って折り曲げ、本体を組み立てる。
- (9)組み立てが完了した緩衝容器胴体に風糸を巻き付け、水溶性の止め具に通して固定する。

4.2.2. 投入方法

天候状態の状況等により、甲板作業が困難な場合も考えられるので、投入前には必ず船長の許可を得る。

- (1) 投入前の最終確認として、フロートからの発信電波をトランシーバーなどで受信し、正常作動状態であることを確認する。
- (2) フロートを納めた段ボール製緩衝容器を船尾手摺り付近に移動させ、手摺りから海面までの高さの約2倍の長さを有する緩衝容器吊り下げ用ロープの一端を手摺りに縛る(図12)。
- (3) 船上からの吊り下げ用ロープを緩衝容器の容器吊り下げ用ロープにかける。
- (4) 段ボール製緩衝容器を手摺りの外側にかわし、段ボール製緩衝容器吊り下げ用ロープを手摺りに沿って徐々に海面から約5m以下の可能な限り水面に近い高さまで垂直に近い姿勢で緩衝容器を降ろす。
- (5) 吊り下げ用ロープを放し、段ボール製緩衝容器を投下する。
- (6) フロート投入時の時間や船位、気象海象等を所定の野帳に記入し、指定された連絡先に通報する。

この方法により、一人でも容易に投入が可能となると期待される。

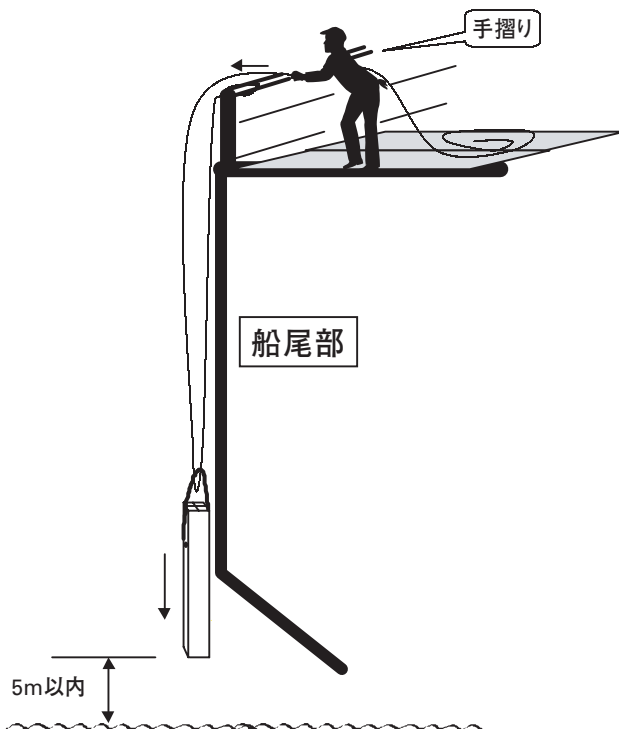


図12 篤志船舶からの投入方法の模式図

Fig.12 Schematic figure of the deployment method from a voluntary observation ship.

5. まとめ

「高度海洋監視システムの構築」プロジェクトでは、将来篤志船舶(商船、漁船等)からフロートを投入することも想定している。そのために必要な投入装置と投入手順について検討した。

本装置の基本設計を行うにあたり、外洋航行船舶への搭載を前提とし、フロートの正常な作動が確保され、航行中の船舶から簡便に投入できること、船体への負荷をできる限り少なくすること、乗組員が容易に取り扱えること、簡単な構造で安全かつ確実に投下できること、可能なかぎり安価であること、海洋環境への負荷を最小限とすることを条件とした。その結果、篤志船舶利用で先行しているワシントン大学ライザー教授のグループが使用している段ボール製緩衝容器を参考に、それより縦横の長さが約3分の2の大きさ、組み立てが容易で緩衝効果の高い段ボール製緩衝容器を提案することができた。この容器を利用することで、小柄な乗組員一人でも十分取り扱えるようになると期待される。

謝辞

この研究ではアメリカ合衆国ワシントン大学ライザー教授およびその研究室にはフロート投入方法および緩衝容器の調査でたいへんお世話になった。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) <http://www.kantei.go.jp/>
- 2) The Argo Science Team: Report of the Argo Science Team 2nd Meeting (AST-2) March 7-9, 2000, Southampton Oceanography Centre, Southampton, U.K.(2000)
- 3) http://w3.jamstec.go.jp/J-Argo/index_j.html
- 4) 株式会社NYK輸送技術研究所, 平成12年度海洋科学技術センター委託研究中層フロート投入方法に関する調査研究報告書, p141, (2000)
- 5) <http://www.webbresearch.com/apex-gallery.htm>
- 6) <http://flux.ocean.washington.edu/atlantic/info/about-deployments.html>
- 7) 株式会社NYK輸送技術研究所, 平成13年度海洋科学技術センター委託研究フロート投入装置の基本設計報告書, p93, (2001)

(原稿受理: 2002年8月15日)