

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-42514  
(P2020-42514A)

(43) 公開日 令和2年3月19日(2020.3.19)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>G06Q 40/08 (2012.01)</b>	G06Q 40/08	5L049
<b>G06Q 10/04 (2012.01)</b>	G06Q 10/04	5L055
<b>B63B 43/18 (2006.01)</b>	B63B 43/18	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2018-169062 (P2018-169062)	(71) 出願人	000006655 日本製鉄株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
(22) 出願日	平成30年9月10日 (2018.9.10)	(71) 出願人	501204525 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 東京都三鷹市新川6丁目38番1号
		(74) 代理人	110002675 特許業務法人ドライト国際特許事務所
		(72) 発明者	山田 安平 東京都三鷹市新川6丁目38番1号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内

最終頁に続く

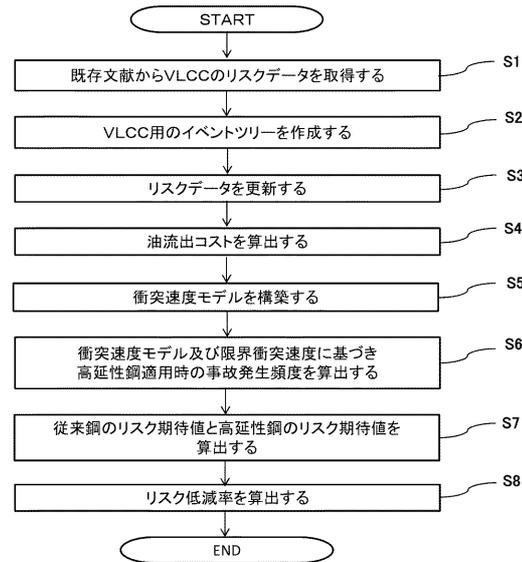
(54) 【発明の名称】 船舶事故のリスク解析方法、解析装置、及びプログラム

(57) 【要約】

【課題】 船舶に高延性鋼を適用したことによる経済性効果を推定する、船舶事故のリスク解析方法、解析装置、及びプログラムを提供する。

【解決手段】 解析装置のプロセッサは、船舶の衝突速度に関するデータから、船舶の衝突速度の確率分布を求め (S5)、船舶に高延性鋼が適用されたときの限界衝突速度における確率分布の値に基づいて、規定の衝突リスクモデルにおける事故発生頻度であって、船舶に高延性鋼が適用されたときの事故発生頻度である高延性鋼事故発生頻度を算出し (S6)、船舶の衝突によって想定される損害を、高延性鋼事故発生頻度の重みで平均することにより、船舶に高延性鋼が適用されたときの損害である高延性鋼損害の期待値を算出する (S7)。

【選択図】 図4



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

船舶事故のリスクを解析する方法であって、  
船舶の衝突速度に関するデータから、前記船舶の衝突速度の確率分布を求めるステップと、

前記船舶に高延性鋼が適用されたときの限界衝突速度における前記確率分布の値に基づいて、規定の衝突リスクモデルにおける事故発生頻度であって、前記船舶に高延性鋼が適用されたときの事故発生頻度である高延性鋼事故発生頻度を算出するステップと、

前記船舶の衝突によって想定される損害を、前記高延性鋼事故発生頻度の重みで平均することにより、前記船舶に高延性鋼が適用されたときの損害である高延性鋼損害の期待値を算出するステップと、

を含むリスク解析方法。

**【請求項 2】**

前記規定の衝突リスクモデルにおける事故発生頻度は、当該規定の衝突リスクモデルのイベントツリーにおける事故発生頻度である、請求項 1 に記載のリスク解析方法。

**【請求項 3】**

前記高延性鋼損害の期待値を算出するステップは、前記船舶の衝突によって想定される損害額を、前記高延性鋼事故発生頻度の重みで平均することにより、前記船舶に高延性鋼が適用されたときの損害額である高延性鋼損害額の期待値を算出する、請求項 1 又は 2 に記載のリスク解析方法。

**【請求項 4】**

前記船舶は油タンカーであり、

前記高延性鋼損害の期待値を算出するステップは、前記油タンカーの衝突による油流出量に対応するコストを前記高延性鋼事故発生頻度の重みで平均することにより、前記高延性鋼損害額の期待値を算出する、請求項 3 に記載のリスク解析方法。

**【請求項 5】**

前記高延性鋼損害の期待値を算出するステップは、所定のデータソースから、最新の油価格及び最新の船価の一方又は双方を取得し、前記油流出量と、前記最新の油価格及び前記最新の船価の一方又は双方とによって定められるコストを前記高延性鋼事故発生頻度の重みで平均することにより、前記高延性鋼損害額の期待値を算出する、請求項 4 に記載のリスク解析方法。

**【請求項 6】**

前記船舶の衝突によって想定される損害を、前記船舶に従来鋼が適用されたときの事故発生頻度である従来鋼事故発生頻度の重みで平均することにより、前記船舶に従来鋼が適用されたときの損害である従来鋼損害の期待値を算出するステップと、

前記従来鋼損害の期待値と前記高延性鋼損害の期待値とを比較することにより、前記船舶に高延性鋼が適用されたことによるリスク低減率を算出するステップと、

を更に含む請求項 1 ～ 5 の何れか 1 項に記載のリスク解析方法。

**【請求項 7】**

船舶事故のリスクを解析する装置であって、

船舶の衝突速度に関するデータから、前記船舶の衝突速度の確率分布を求め、

前記船舶に高延性鋼が適用されたときの限界衝突速度における前記確率分布の値に基づいて、規定の衝突リスクモデルにおける事故発生頻度であって、前記船舶に高延性鋼が適用されたときの事故発生頻度である高延性鋼事故発生頻度を算出し、

前記船舶の衝突によって想定される損害を、前記高延性鋼事故発生頻度の重みで平均することにより、前記船舶に高延性鋼が適用されたときの損害である高延性鋼損害の期待値を算出するプロセッサを備える解析装置。

**【請求項 8】**

船舶事故のリスクを解析するコンピュータに、

船舶の衝突速度に関するデータから、前記船舶の衝突速度の確率分布を求めるステップ

10

20

30

40

50

と、

前記船舶に高延性鋼が適用されたときの限界衝突速度における前記確率分布の値に基づいて、規定の衝突リスクモデルにおける事故発生頻度であって、前記船舶に高延性鋼が適用されたときの事故発生頻度である高延性鋼事故発生頻度を算出するステップと、

前記船舶の衝突によって想定される損害を、前記高延性鋼事故発生頻度の重みで平均することにより、前記船舶に高延性鋼が適用されたときの損害である高延性鋼損害の期待値を算出するステップと、

を実行させるプログラム。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、船舶事故のリスク解析方法、解析装置、及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

海洋環境保護の観点から、船舶からの油流出事故を防止することは重要な課題の一つである。タンカーの二重船殻（double hull）構造が義務化された後においても、油流出事故は後を絶たず、ひとたび油流出事故が発生すると、環境的にも経済的にも甚大な被害をもたらす。そこで、船舶衝突時の被害を軽減させるために、高延性鋼（Highly Ductile Steel：HDS）を適用した船体構造が提案されている（例えば、特許文献1参照。）。また、従来から、船舶に関わるビジネスモデルも提案されている。例えば、特許文献2には、船舶等の構造物の耐久性を考慮して保険料を算出する方法が提案されている。また、特許文献3には、造船会社等の顧客の製造する製品に要求される特性等の仕様値に基づいて材料メーカーが能動的に最適な材料を選別し供給する方法が提案されている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】国際公開第2016/013288号

【特許文献2】特開2004-264913号公報

【特許文献3】特開2004-295823号公報

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、船舶に高延性鋼を適用したことによる工学的な衝突安全性はこれまでに十分に解析計算により検証されている一方で、その経済性効果が十分に示されていない。高延性鋼が適用された船舶が実際に船舶オーナーや荷主に受け入れられ、商業的に使用されるためには、環境合理性だけでなく経済合理性も求められている。

【0005】

そこで、本発明は、船舶に高延性鋼を適用したことによる経済性効果を推定する、船舶事故のリスク解析方法、解析装置、及びプログラムを提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明に係る、船舶事故のリスクを解析する方法は、船舶の衝突速度に関するデータから、前記船舶の衝突速度の確率分布を求めるステップと、前記船舶に高延性鋼が適用されたときの限界衝突速度における前記確率分布の値に基づいて、規定の衝突リスクモデルにおける事故発生頻度であって、前記船舶に高延性鋼が適用されたときの事故発生頻度である高延性鋼事故発生頻度を算出するステップと、前記船舶の衝突によって想定される損害を、前記高延性鋼事故発生頻度の重みで平均することにより、前記船舶に高延性鋼が適用されたときの損害である高延性鋼損害の期待値を算出するステップと、を実行するものである。

50

## 【 0 0 0 7 】

本発明に係る、船舶事故のリスクを解析する装置は、船舶の衝突速度に関するデータから、前記船舶の衝突速度の確率分布を求め、前記船舶に高延性鋼が適用されたときの限界衝突速度における前記確率分布の値に基づいて、規定の衝突リスクモデルにおける事故発生頻度であって、前記船舶に高延性鋼が適用されたときの事故発生頻度である高延性鋼事故発生頻度を算出し、前記船舶の衝突によって想定される損害を、前記高延性鋼事故発生頻度の重みで平均することにより、前記船舶に高延性鋼が適用されたときの損害である高延性鋼損害の期待値を算出するプロセッサを備える。

## 【 0 0 0 8 】

本発明に係るプログラムは、船舶事故のリスクを解析するコンピュータに、船舶の衝突速度に関するデータから、前記船舶の衝突速度の確率分布を求めるステップと、前記船舶に高延性鋼が適用されたときの限界衝突速度における前記確率分布の値に基づいて、規定の衝突リスクモデルにおける事故発生頻度であって、前記船舶に高延性鋼が適用されたときの事故発生頻度である高延性鋼事故発生頻度を算出するステップと、前記船舶の衝突によって想定される損害を、前記高延性鋼事故発生頻度の重みで平均することにより、前記船舶に高延性鋼が適用されたときの損害である高延性鋼損害の期待値を算出するステップと、を実行させるものである。

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 0 9 】

本発明によれば、船舶に高延性鋼が適用されたときの損害の期待値を算出することにより、高延性鋼適用時のリスク低減効果を求めることができ、経済性効果を推定することができる。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 1 0 】

【 図 1 】 本発明の実施形態に係る解析装置の構成を示すブロック図である。

【 図 2 】 油タンカーの衝突リスクモデルのイベントシーケンスを模式的に示す図である。

【 図 3 】 解析装置のデータベースに格納されたイベントツリーのデータ構造を模式的に示す図である。

【 図 4 】 本実施形態の解析装置によって実行されるリスク解析処理を示すフローチャートである。

【 図 5 A 】 日本における船舶衝突事故時の衝突速度の確率密度分布を示すグラフである。

【 図 5 B 】 日本における船舶衝突事故時の衝突速度の累積分布関数を示すグラフである。

【 図 6 】 限界衝突速度の衝突角度依存性を示すグラフである。

【 図 7 】 90度真横衝突における従来鋼適用時の限界衝突速度と高延性鋼適用時の限界衝突速度とを比較する表である。

【 図 8 】 衝突速度の累積分布関数から外板の破壊確率及び内板の破壊確率を算出する方法を説明するためのグラフである。

【 図 9 】 外板の破壊確率比を示す表と内板の破壊確率比を示す表である。

【 図 10 】 従来鋼適用時の外板破断確率と高延性鋼適用時の外板破断確率を航行海域別に示す表である。

【 図 11 A 】 従来鋼のイベントツリーの一部を模式的に示す図である。

【 図 11 B 】 高延性鋼のイベントツリーの一部を模式的に示す図である。

【 図 12 A 】 高延性鋼適用によるリスク低減効果を示すグラフである。

【 図 12 B 】 高延性鋼適用によるリスク低減率を示すグラフである。

【 図 12 C 】 2008年と2018年におけるリスク低減効果を比較したグラフである。

【 図 13 A 】 高延性鋼を適用した部位ごとにリスク低減効果を示すグラフである。

【 図 13 B 】 高延性鋼を適用した部位ごとにリスク低減率を示すグラフである。

【 図 13 C 】 2008年と2018年において、高延性鋼を適用した部位ごとにリスク低減効果を比較したグラフである。

## 【 発明を実施するための形態 】

## 【 0 0 1 1 】

以下、図面を参照して本発明の実施形態を説明する。

なお、添付の図面の一部において、明細書の最終箇所に列挙した参考文献に開示された図表を引用している。

## 【 0 0 1 2 】

本実施形態では、国際海事機関 (International Maritime Organization : I M O ) に  
よって提供された既存の文献 (MEPC 58/INF.2, 4 July 2008, FORMAL SAFETY ASSESSMENT  
) で提示された衝突リスクモデルをベースに、大型原油タンカー (Very Large Crude Car  
rier : V L C C ) に高延性鋼 (H D S ) を適用したことによる経済性効果 (経済的損失の  
抑制効果) を推定する。油流出を引き起こす要因は様々あるが (MEPC 58/INF.2, p24, Fi  
gure 15参照)、本実施形態では、船舶の衝突 (collision) のみに着目し、V L C C に別  
のV L C C が衝突した場合を想定する。

10

## 【 0 0 1 3 】

本実施形態において、「従来鋼」を国際船級協会連合 (I A C S ) の統一規格 (Unifie  
d Requirement W11 Rev.8 2014) で規定された全伸びの値を有する鋼板と定義し、「高延  
性鋼」を上記全伸びの1.2倍以上 (より好ましくは1.4倍以上) を有する鋼板と定義する。

## 【 0 0 1 4 】

まず、船舶事故のリスクを解析するコンピュータである解析装置 1 の構成について説明  
する。解析装置 1 は、図 1 に示すように、プロセッサ 1 0、入力部 1 1、表示部 1 2、通  
信部 1 3、メモリ 1 4、及びデータベース 1 5 を備え、各部はバスを介して接続される。

20

## 【 0 0 1 5 】

プロセッサ 1 0 は、C P U (central processing unit) 等を有し、メモリ 1 4 に格納  
されたプログラムにしたがってリスク解析処理 (図 4 参照) を実行する。また、プロセッ  
サ 1 0 は、処理結果のデータをメモリ 1 4 及び / 又はデータベース 1 5 に格納させるとと  
もに、表示部 1 2 に表示させる。プロセッサ 1 0 により実行される処理については後述す  
る。

## 【 0 0 1 6 】

入力部 1 1 は、キーボード、マウス、又はタッチパネル等の入力デバイスからなり、ユ  
ーザの操作を受け付ける。

## 【 0 0 1 7 】

表示部 1 2 は、液晶ディスプレイ (L C D)、プラズマディスプレイ、又は有機エレクト  
ロ・ルミネッセンス (E L) ディスプレイ等のディスプレイを有し、プロセッサ 1 0 か  
らの制御に従ってリスク解析処理 (図 4 参照) の結果を表示する。

30

## 【 0 0 1 8 】

通信部 1 3 は、解析装置 1 を L A N (Local Area Network)、W A N (Wide Area Netw  
ork)、インターネット等の通信ネットワークに接続する。

## 【 0 0 1 9 】

メモリ 1 4 は、R O M (Read Only Memory) 及び R A M (Random Access Memory) を有  
する。R O M は、プロセッサ 1 0 よって実行される各種プログラムやこれらのプログラムの  
実行時に必要なデータを格納する。R O M に格納された各種プログラムやデータは R A  
M にロードされて実行される。メモリ 1 4 は、ハードディスクドライブ (H D D) 等の磁  
気メモリ、又は光ディスク等の光メモリを有するようにしてもよい。あるいは、解析装置  
1 に着脱可能な記録媒体にプロセッサ 1 0 よって実行される各種プログラムやデータを格  
納するようにしてもよい。

40

## 【 0 0 2 0 】

データベース 1 5 は、リスク解析処理 (図 4 参照) の実行時に必要なデータを格納して  
いる。具体的に、データベース 1 5 は、I M O の W e b サイトからダウンロードして得ら  
れたMEPC 58/INF.2のデータを格納している。また、データベース 1 5 は、Yamada et al.  
(2013)及びYamada et al.(2014)から得られた船舶の衝突速度分布のデータと、Yamada(20  
15)から得られた衝突速度の累積分布関数のデータと、Yamada(2016)及び今治造船ら(2016

50

)から得られた限界衝突速度のデータとを格納している。なお、このようなMEPC 58/INF.2のデータ、衝突速度に関する統計データ及び解析データの一部又は全てをデータベース15に格納せずに、通信ネットワークを介して外部のデータベースから取得するようにしてもよい。

【0021】

データベース15は、さらに、船舶事故のイベントシーケンスごとの事故発生頻度を示すイベントツリー151のデータを格納している。イベントシーケンスは、図2に示すように、初期の事象(本実施形態では"Collision")から波及する結果を表したものである(MEPC 58/INF.2, p27, Figure 16の引用)。イベントツリー151は、IMOで作成されたイベントツリーに準拠しており、図3に示すように、各事象の発生の有無によりシーケンスが分岐しており、シーケンスがたどる事象ごとに発生確率が設定されている。図3に示すイベントツリー151において、1行が1つのイベントシーケンスに対応しており、総数で98通りのイベントシーケンスを有する。

10

【0022】

次に、図4のフローチャートを参照して、解析装置1によって実行されるリスク解析処理について説明する。

【0023】

まず、プロセッサ10は、既存文献(MEPC 58/INF.2)からVLCCのリスクデータを取得し(ステップS1)、取得したリスクデータをデータベース15に格納する。ステップS1においてプロセッサ10は、例えば、MEPC 58/INF.2の以下のテーブルから、VLCCに関するデータをリスクデータとして取得する：

20

Table 4: Basic characteristics of the VLCC tanker (MEPC 58/INF.2, p.18);

Table 8: Average of tank size for SH and DH ships (MEPC 58/INF.2, p.25);

Table 9: Reference ships, Oil cargo carried (MEPC 58/INF.2, p.25);

Table 10: Ship & oil cargo typical values (MEPC 58/INF.2, p.26);

Table 11 (MEPC 58/INF.2, p.28);

Table 12 (MEPC 58/INF.2, p.28 p.29);

Table 13: Probability of damage will lie entirely outboard of the tank (MEPC 58/INF.2, p.29);

Table 14 (MEPC 58/INF.2, p.29);

30

Table 15: Collision events Consequences on human life (MEPC 58/INF.2, p.30);

Table 16 (MEPC 58/INF.2, p.30);

Table 47: Average of tank size for SH and DH ships (MEPC 58/INF.2, p.89);

Table 48: Reference ships, Oil cargo carried (MEPC 58/INF.2, p.90);

Table 49: Weighted Average of tank size for DH ships (MEPC 58/INF.2, p.90);

Table 50: Reference ships, Oil cargo carried (MEPC 58/INF.2, p.91);

Table 52: PLC (tonnes per ship year) Enhanced Cargo Tank Subdivision (MEPC 58/INF.2, p.102);

Table 53: RCO 7.1 (Enhanced Cargo Tank Subdivision) PLC (tonnes per ship year) (MEPC 58/INF.2, p.103);

40

Table 54: RCO 7.2 (Increased Double Bottom Height) PLC and PLC (MEPC 58/INF.2, p.103 p.104);

Table 55: RCO 7.3 (Increased Side Tanks Width) PLC and PLC (MEPC 58/INF.2, p.104 p.105);

Table 56: RCO 7.1 (Enhanced Cargo Tank Subdivision) C (MEPC 58/INF.2, p.109 p.110);

Table 57: RCO 7.2 (Increased Double Bottom Height) C (MEPC 58/INF.2, p.110);

Table 58: RCO 7.3 (Increased Side Tanks Width) C (MEPC 58/INF.2, p.111);

Table 59: RCO 7.1 (Enhanced Cargo Tank Subdivision) CATS(\$)(MEPC 58/INF.2, p.113);

50

Table 60: RCO 7.2 (Increased Double Bottom Height) CATS\$(MEPC 58/INF.2, p.113)

;

Table 61: RCO 7.3 (Increased Side Tanks Width) CATS\$(MEPC 58/INF.2, p.114);

Table 67: Particulars of Representative Tankers (MEPC 58/INF.2, p.133);

Table 68: Incident Frequencies (per ship year)(MEPC 58/INF.2, p.133 p.134); and

Table 69: Basic PLC (tonnes per ship year)(MEPC 58/INF.2, p.134).

【 0 0 2 4 】

次に、プロセッサ 10 は、データベース 15 からイベントツリー 15 1 を読み出し、ステップ S 1 で取得された V L C C のリスクデータをイベントツリー 15 1 に適用することで V L C C 用の従来鋼のイベントツリー 15 1 a を作成し、作成したイベントツリー 15 1 a をデータベース 15 に格納する (ステップ S 2 )。

10

【 0 0 2 5 】

次に、プロセッサ 10 は、船舶に関する最新の統計データに基づいて、ステップ S 1 で取得された V L C C のリスクデータを更新する (ステップ S 3 )。具体的に、ステップ S 3 において、プロセッサ 10 は、V L C C のリスクデータのうち、原油価格及び船価を更新する。

【 0 0 2 6 】

MEPC 58/INF.2 に提示された原油価格 (Table 10) は 2008 年時点での価格であるが、原油価格は様々な影響を受けて常に変動していることから、最新の価格に変更する必要がある。そこで、ステップ S 3 においてプロセッサ 10 は、例えば、原油価格変動データを提供する複数のデータソースから通信ネットワークを介してそれぞれの直近の原油価格を取得し、取得された直近の原油価格の平均値を現在の原油価格 [US\$/ton] とする。複数のデータソースの一つには、例えば、原油価格変動データを W e b サイトで提供している米国エネルギー省のエネルギー情報局 (Energy Information Administration) が含まれる。

20

【 0 0 2 7 】

MEPC 58/INF.2 に提示された船価 (Table 10) は 2008 年時点での船価であるが、社会情勢や経済情勢の変化により船価は変動することから、最新の価格に変更する必要がある。そこで、ステップ S 3 においてプロセッサ 10 は、例えば、船価を提供するデータソースとして、国土交通省が提供する船価に関する資料から、現在の船価 [US\$/隻] を推定する。具体的には、「第 4 回 造船業・海洋産業における人材確保・育成方策に関する検討会参考資料 4 「造船業の概況」」に提示された V L C C の船価の推移と直近の船価に基づいて、現在の船価 [US\$/隻] を推定する。当該資料によると、2008 年より船価は下落しており、例えば、V L C C の船価の過去 10 年の減少率に基づき、MEPC 58/INF.2 から取得された船価の 80% を現在の船価 [US\$/隻] とする。上記の国土交通省が提供する船価に関する資料のデータは、国土交通省の W e b サイトから予めダウンロードしてデータベース 15 に格納してもよいし、通信ネットワークを介して外部のデータベースから取得するようにしてもよい。

30

【 0 0 2 8 】

次に、プロセッサ 10 は、ステップ S 1 で取得した V L C C のリスクデータに基づいて、油流出コスト関数を用いて油流出コストを算出する (ステップ S 4 )。具体的に、プロセッサ 10 は、ステップ S 1 で取得した V L C C のリスクデータのうち、V L C C の平均タンクサイズ (MEPC 58/INF.2, p.90, Table 49) に基づき、式 (1) で与えられる油流出コスト関数  $f_{cost}(W)$  (MSC91/22 Add.1 ANNEX34(2012)参照) を用いて油流出コスト [US\$] を算出する。

40

$$f_{cost}(W) = 42301 \cdot W^{0.7233} \quad (1)$$

ここで W は油流出量 [ton] である。MEPC 58/INF.2, p.90, Table 49 に示された平均タンクサイズを油流出量とした。

【 0 0 2 9 】

次に、プロセッサ 10 は、データベース 15 から船舶の衝突速度に関する統計データを読み出し、船舶の衝突速度の確率密度分布に基づく衝突速度モデルを構築する (ステップ

50

S 5)。ここで、衝突速度モデルを構築するのは、船舶の衝突によるリスクをより合理的に推定するためには、衝突速度を考慮したリスクモデルが必要と考えられるからである。また、高延性鋼の効果は、荷油タンク破壊までの吸収エネルギー又は限界衝突速度で評価されていることから、高延性鋼の効果より合理的に評価するためには、衝突速度を考慮したリスクモデルを構築することが合理的であると考えられる。

#### 【 0 0 3 0 】

Yamada et al. (2013)及びYamada et al. (2014)は、比較的最近の海難審判庁採決録データを解析し、大型船舶の衝突速度分布を詳細に求めている。図 5 A 及び図 5 B に、Yamada et al. (2013)及びYamada et al. (2014)による解析に基づいて求められた、日本における船舶衝突事故時の衝突速度の確率密度分布と累積分布関数 (Cumulative distribution function: CDF) をそれぞれ示す (いずれも総トン数 (GT) 3000トン)。図 5 A から明らかなように、衝突速度の確率密度分布は概ね正規分布の確率密度関数で近似することができる。また、図 5 B に示された衝突速度の累積確率分布についても、若干の差はあるものの概ね正規分布の累積分布関数で近似することができる。このように、ステップ S 5 では、正規分布で近似された累積分布関数に基づく衝突速度モデルが構築される。

#### 【 0 0 3 1 】

次に、プロセッサ 10 は、衝突速度モデルと限界衝突速度とに基づいて、高延性鋼適用時の事故発生頻度を算出する (ステップ S 6)。限界衝突速度とは、破口を発生させない限界の速度である。図 6 に、Yamada et al. (2016)に開示された、限界衝突速度の衝突角度依存性のグラフを示す。図 6 に示すように、衝突角度が 90 度 (真横衝突) の場合に限界衝突速度が最も小さくなっている。図 7 に、今治造船ら (2016)によって非線形シミュレーションにより得られた、90 度真横衝突における従来鋼適用時の限界衝突速度と高延性鋼適用時の限界衝突速度とを示す。図 7 における高延性鋼適用時の限界衝突速度は、外板 (OS)、内板 (IS)、及び外板ロンジ (OSL) に高延性鋼が適用されたときの限界衝突速度を示している。

#### 【 0 0 3 2 】

ステップ S 6 において、まず、プロセッサ 10 は、衝突速度モデルと図 7 の限界衝突速度とに基づいて、従来鋼適用時の破壊確率に対する高延性鋼適用時の破壊確率の比 (Ratio) を算出する。このRatioは式 (2) で与えられる。

#### 【 数 1 】

$$\text{Ratio} = \frac{P(\text{rupture}, \text{HDS})}{P(\text{rupture}, \text{Conventional})} \quad \dots (2)$$

#### 【 0 0 3 3 】

式 (2) のRatioは、図 7 に示した従来鋼適用時の限界衝突速度と高延性鋼適用時の限界衝突速度を、ステップ S 5 で求められた正規分布の累積分布関数 (図 8 及びYamada(2015)参照) に当てはめることにより求められる。外板 (OS) と内板 (IS) のそれぞれについて式 (2) によりRatioを求めた結果を図 9 に示す。図 9 において、 $P(\text{Safe})+P(\text{Fail})=1.00$ であり、従来鋼適用時の破壊確率 $P(\text{Fail})$ が式 (2) の $P(\text{rupture}, \text{Conventional})$ に対応し、高延性鋼適用時の破壊確率 $P(\text{Fail})$ が式 (2) の $P(\text{rupture}, \text{HDS})$ に対応する。

#### 【 0 0 3 4 】

高延性鋼適用時の外板 / 内板破断確率 $P(\text{breach}, \text{HDS})$ と従来鋼適用時の外板 / 内板破断確率 $P(\text{breach}, \text{Conventional})$ との関係は式 (3) で与えられる。

$$P(\text{breach}, \text{HDS}) = P(\text{breach}, \text{Conventional}) \times \text{Ratio} \quad (3)$$

図 10 に、従来鋼適用時の外板破断確率 $P(\text{breach}, \text{Conventional})$ と、式 (3) によって得られた高延性鋼適用時の外板破断確率 $P(\text{breach}, \text{HDS})$ とを航行海域別に示す。図 10 において、従来鋼適用時の外板破断確率 $P(\text{breach}, \text{Conventional})$ は、ステップ S 1 で取得されたリスクデータのうちMEPC 58/INF.2, p. 28 p.29, Table 12の外板破断確率 (Probability of hull breaching) である。すなわち、図 10 の高延性鋼適用時の外板破断確率 $P(\text{breach}, \text{HDS})$ は、式 (3) に、ステップ S 1 で取得された従来鋼適用時の外板破断確

率 $P(\text{breach, Conventional})$ と、図9で示した外板のRatioとを代入することによって求められる。なお、図10では、船舶が公海(open sea)上を航行する場合は速力が12kt以上と高速であることから、高延性鋼による効果は生じないと仮定している。

【0035】

図11Aに、従来鋼のイベントツリー151aを示す。従来鋼のイベントツリー151aに設定された外板/内板破断確率(図11Aの左側の太枠内参照)と、図9で示したRatioとを式(3)の右辺に代入することによって高延性鋼適用時の外板/内板破断確率を求めると、図11Bに示す高延性鋼のイベントツリー151bが作成され(特に、図11Bの太枠内参照)、作成されたイベントツリー151bはデータベース15に格納される。

10

【0036】

図11Aの従来鋼のイベントツリー151aにおいて、シーケンスがたどる事象の発生確率を順次乗算すると、従来鋼適用時の事故発生頻度(incident frequency)が求められる。同様に、図11Bの高延性鋼のイベントツリー151bにおいて、シーケンスがたどる事象の発生確率を順次乗算すると、高延性鋼適用時の事故発生頻度(incident frequency)が求められる。このように、イベントシーケンスごとに事故発生頻度が求められる。

【0037】

ステップS6の後、プロセッサ10は、従来鋼適用によるリスク期待値(従来鋼損害額の期待値)と高延性鋼適用によるリスク期待値(高延性鋼損害額の期待値)を算出する(ステップS7)。そして、プロセッサ10は、これらのリスク期待値により、高延性鋼適用によるリスク低減率を算出する(ステップS8)。

20

【0038】

具体的に、プロセッサ10は、式(4)で与えられる、衝突によって生じる結果(consequences)として想定される損害額Cを、ステップS6で算出された事故発生頻度の重みで平均した値をリスク期待値として求める。

$$C = C_{oil\ spill} + C_{ship} + C_{cargo} \quad (4)$$

ここで、 $C_{oil\ spill}$ は式(1)の油流出コスト関数 $f_{cost}(W)$ であり、 $C_{ship}$ は船舶の損害額であり、 $C_{cargo}$ は貨物(原油)の損害額である。船舶の損害額 $C_{ship}$ 及び貨物(原油)の損害額 $C_{cargo}$ は、ステップS3で得られた最新の船価及び最新の原油価格に基づいてそれぞれ求められる。船舶が全損した場合、最新の船価が船舶の損害額 $C_{ship}$ となる。リスク期待値Risk[US\$]は式(5)で与えられる。

30

【数2】

$$\text{Risk}[US\$] = \sum_{i=1}^N (P_i \times C_i) = \sum_{i=1}^N \{P_i \times (C_{oil\ spill,i} + C_{ship,i} + C_{cargo,i})\} \quad \dots (5)$$

ここで、 $P_i$ 及び $C_i$ は、それぞれ、イベントツリーのi番目のイベントシーケンスにおける事故発生頻度(incident frequency)及び損害額であり、Nは、イベントツリーに設定された衝突に関するイベントシーケンスの総数である。従来鋼適用によるリスク期待値は、式(5)の $P_i$ に従来鋼適用時の事故発生頻度を代入することで求められ、高延性鋼適用によるリスク期待値は、式(5)の $P_i$ に高延性鋼適用時の事故発生頻度を代入することで求められる。

40

【0039】

式(5)により求められた、従来鋼適用によるリスク期待値と高延性鋼適用によるリスク期待値とを比較したグラフを図12Aに示し、高延性鋼適用によるリスク低減率を図12Bに示す。図12Bに示すように、従来鋼適用によるリスク期待値を100とした場合、高延性鋼適用によるリスク期待値は48.36となり、衝突によるリスクが約50%程度低減されていることがわかる。図12Cに、2008年におけるリスク期待値と2018年におけるリスク期待値とを比較したグラフを示す。図12Cより、原油価格及び船価の下落により、リスク期待値は低下しているが、高延性鋼適用によるリスク低減率については大き

50

く変化していないことがわかる。

【 0 0 4 0 】

図 1 2 A ~ 図 1 2 C に示された高延性鋼適用によるリスク期待値及びリスク低減率は、外板、内板、及び外板ロンジに高延性鋼が適用され、且つ建造直後 ( as built ) の条件下で限界衝突速度が 12kt であると仮定して算出されたものである。高延性鋼適用の効果は、適用部位によって異なる ( 今治造船ら (2016) 参照 )。また、限界衝突速度についても、船舶の建造直後 ( as built ) に比べると、船舶の経年劣化により若干低下する可能性が考えられる。

【 0 0 4 1 】

そこで、外板及び内板のみに高延性鋼を適用し、且つ限界衝突速度が 9kt であると仮定した場合 ( パターン HDS P1 と表す。 ) に式 ( 5 ) によりリスク期待値を求め、図 1 2 A で示されたリスク期待値と比較したグラフを図 1 3 A に示す。図 1 3 A において、パターン HDS P2 は、図 1 2 A ~ 図 1 2 C に示した高延性鋼適用 ( 外板、内板、及び外板ロンジに高延性鋼を適用し、且つ限界衝突速度は 12kt ) のパターンを表している。また、図 1 3 B に、パターン HDS P1 のリスク低減率とパターン HDS P2 のリスク低減率とを比較したグラフを示す。さらに、図 1 3 C に、パターン HDS P1 とパターン HDS P2 の各々について、2008 年におけるリスク期待値と 2018 年におけるリスク期待値とを比較したグラフを示す。

【 0 0 4 2 】

図 1 3 B より、パターン HDS P1 のリスク低減率が約 3 0 % となり、パターン HDS P2 よりもリスク低減率が小さくなることがわかった。すなわち、リスク低減効果は、パターン HDS P1 よりもパターン HDS P2 の方が高い。これは、衝突速度の平均値及び最頻値が 10kt ~ 11 kt 付近であることから ( 図 5 A 参照 )、当該ピーク値をカバーすることができるパターン HDS P2 の適用 ( 限界衝突速度 = 12kt ) がリスク低減に大きく寄与しているからと考えられる。

【 0 0 4 3 】

以上のように、本実施形態によれば、船舶に高延性鋼を適用したことによるリスク低減効果を求めることによって、高延性鋼適用による経済性効果を推定することができる。これにより、船舶オーナーや荷主に高延性鋼のメリットを訴求することができ、高延性鋼が適用された船舶の商業的使用を期待することができる。

【 0 0 4 4 】

なお、上述の実施形態では、リスク解析処理 ( 図 4 ) を一台のコンピュータが実行するものとしたが、通信ネットワークに接続された複数台のコンピュータが実行するようにしてもよい。例えば、第 1 のコンピュータがステップ S 1 ~ S 5 を実行して処理結果のデータを通信ネットワークを介して第 2 のコンピュータに送信し、第 2 のコンピュータが、第 1 コンピュータから受信したデータに基づいてステップ S 6 ~ S 8 を実行するようにしてもよい。

【 0 0 4 5 】

また、上述の実施形態では、イベントツリーを用いてリスク解析処理を行う例を説明したが、イベントツリーに代えて、ベイジアンネットワーク、フォールトツリー解析 ( Fault Tree Analysis ) 等を用いてもよい。

【 0 0 4 6 】

さらに、上述の実施形態では、船舶の衝突による損害を貨幣価値で算出したが、油流出量 ( トン )、死傷者数等、貨幣価値以外の単位で被害度 ( 損害 ) を算出するようにしてもよい。

【 0 0 4 7 】

また、上述の実施形態では、V L C C について、MEPC 58/INF.2 のテーブルから、データをリスクデータとして取得し、高延性鋼適用による標準的なリスク低減効果を求めたが、特定の船舶 ( 個船 ) について高延性鋼適用による個船毎のリスク低減効果を求めてもよい。この場合、例えば、MEPC 58/INF.2 のテーブルの Table 4、Table 8、Table 9、Table 10、Table 13、Table 47、Table 48、Table 49、Table 50、Table 52 を個船のデータに入

10

20

30

40

50

れ替える。また、データがあれば、Table 11、Table 14、Table 15、Table 16についても、個船のデータに入れ替えることもできる。なお、これら用いる個船のデータの組み合わせは、任意にでき、個船のデータが無い場合は、MEPC 58/INF.2のテーブル等のデータを用いる。MEPC 58/INF.2のデータは、更新があった場合は、更新後のデータを用いることもでき、また他に別の統計データや別の標準的データがある場合は、それらを用いることも可能である。このように、高延性鋼適用による標準的なリスク低減効果と、個船毎のリスク低減効果のいずれも求めることができる。

【 0 0 4 8 】

また、言うまでもなく、V L C C以外のタンカー及びタンカー以外の船舶についてリスク低減効果を求めるようにしてもよい。この場合、V L C C以外のタンカーについては、相当するMEPC 58/INF.2のテーブルを用いることができるが、タンカー以外の船舶については、統計データや標準的データがある場合は、それらを用いて標準的なリスク低減効果を求めることができる。また、統計データや標準的データの一部を個船のデータに入れ替えて、個船毎のリスク低減効果を求めることができる。

【 0 0 4 9 】

例えば、船種、船体の大きさ、船側構造、載荷重量、高延性鋼の適用の範囲やレベルに応じて油流出リスクを算出し、高延性鋼を適用しない場合と高延性鋼を適用した場合とを比較して、油流出リスク低減効果を求める。個船の場合、高延性鋼を適用しない場合は、標準的な船舶についての油流出リスクを用い、高延性鋼を適用した場合の個船毎の油流出リスクとの差異から油流出リスク低減効果を求めることもあり得る。

【 0 0 5 0 】

対象船舶がタンカー以外の場合（ばら積み船、ケミカル船、L P G船、自動車専用船など）、対象船舶毎に取得した統計データや標準的データを用いて、また定めた統計データや標準的データの一部を個船のデータに置き換えて油流出リスクの低減効果を求めることができるが、これらの場合は主に、燃料タンクからの油流出リスクを求めることになる。

【 0 0 5 1 】

< 参照文献 >

今治造船ら (2016) : 今治造船株式会社、新日鐵住金株式会社、国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所、一般財団法人 日本海事協会「衝突時の被害低減のための船体構造への高延性鋼(HDS)適用に関する研究」(2016) <http://report.classnkrx.com/researchresult.nsf/vwMainByHTML/34E130E93D1B3C38492580B1001C0CA8?OpenDocument> .

Yamada et al. (2013): 山田安平、金湖富士夫「海難審判庁裁決録に基づく我が国沿岸の船舶の衝突事故データベース構築とその類型化について」日本船舶海洋工学会講演会論文集、Vol. 17 (2013) .

Yamada et al. (2014): 山田安平、金湖富士夫「海難審判庁裁決録に基づく我が国沿岸の船舶の衝突事故データベース構築とその類型化について(第2報)」日本船舶海洋工学会講演会論文集、Vol. 19, pp.311 pp.314 (2014) .

Yamada (2015): 山田安平、金湖富士夫「衝突によるタンカーからの油流出リスク評価手法及び環境FSAについて」日本船舶海洋工学会講演会論文集、Vol. 21, pp.31 34 (2015) .

Yamada et al. (2016): Yamada, Y., Tozawa, S., Arima, T., " Effects of Highly Ductile Steel on the Crash worthiness of Hull Structure in Oblique Collision " , Proceedings of International Conference on Collision and Grounding of Ships and Offshore Structures (ICCGS2016).

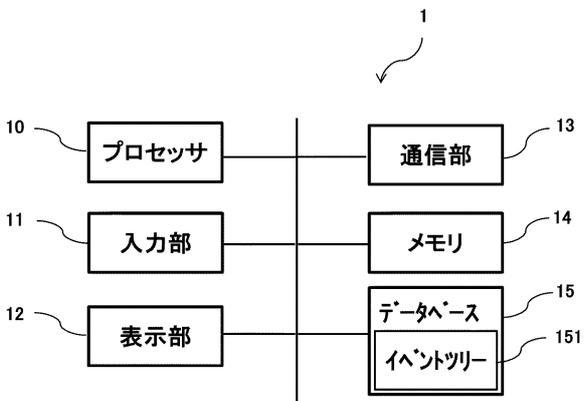
【 符号の説明 】

【 0 0 5 2 】

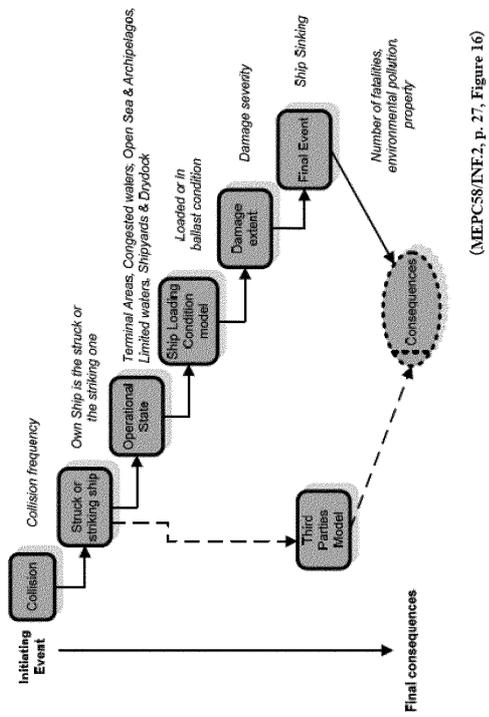
- 1 解析装置
- 1 0 プロセッサ
- 1 1 入力部
- 1 2 表示部

- 13 通信部
- 14 メモリ
- 15 データベース
- 151、151a、151b イベントツリー

【 図 1 】



【 図 2 】

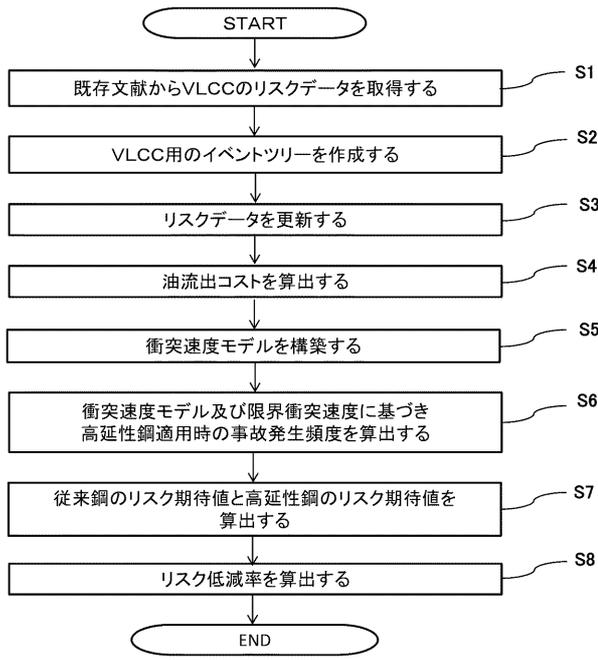


【 図 3 】

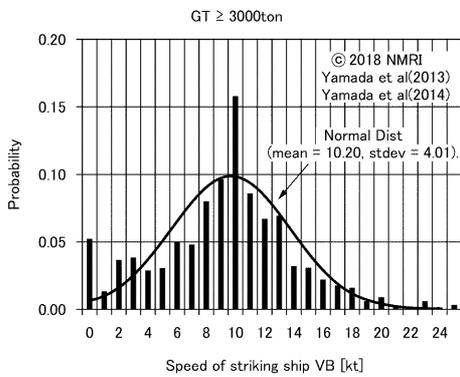
151

Collision	Operational state	Loaded	No breach in hull	No breach in inner hull	Fire/Explosion	Damage severity	Ship sinking/Total loss	0 Ft Frequency (計算値)
Collision 1.02E-02	struck	loaded	No breach in hull	n/a	No fire	severe damage	No sinking	5.60E-05
Collision 1.02E-02	struck	loaded	No breach in hull	n/a	No fire	No severe damage	No sinking	7.43E-04
Collision 1.02E-02	struck	loaded	breach in hull	breach in hull	breach in inner hull	severe damage	sinking	8.04E-06
Collision 1.02E-02	struck	loaded	breach in hull	breach in hull	breach in inner hull	severe damage	sinking	8.04E-06
Collision 1.02E-02	struck	loaded	breach in hull	breach in hull	No fire	severe damage	sinking	0.00
Collision 1.02E-02	struck	loaded	breach in hull	breach in hull	No fire	severe damage	sinking	1.51E-04
Collision 1.02E-02	struck	loaded	breach in hull	breach in hull	No fire	severe damage	sinking	3.69E-04
Collision 1.02E-02	struck	loaded	breach in hull	breach in hull	breach in inner hull	severe damage	sinking	2.18E-06
Collision 1.02E-02	struck	loaded	breach in hull	breach in hull	breach in inner hull	severe damage	sinking	2.18E-06
Collision 1.02E-02	struck	loaded	breach in hull	breach in hull	No fire	severe damage	sinking	0.00
Collision 1.02E-02	struck	loaded	breach in hull	breach in hull	No fire	severe damage	sinking	4.08E-05
Collision 1.02E-02	struck	loaded	breach in hull	breach in hull	No fire	No severe damage	No sinking	9.99E-05
Collision 1.02E-02	struck	ballast	No breach in hull	n/a	No fire	severe damage	No sinking	3.73E-25
Collision 1.02E-02	struck	ballast	No breach in hull	n/a	No fire	severe damage	No sinking	4.96E-04
Collision 1.02E-02	struck	ballast	breach in hull	breach in hull	breach in inner hull	severe damage	sinking	0.50
Collision 1.02E-02	struck	ballast	breach in hull	breach in hull	breach in inner hull	severe damage	sinking	0.50

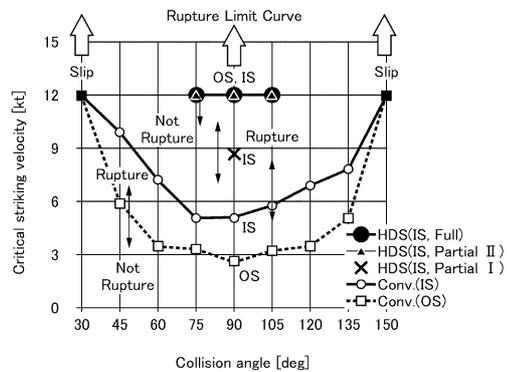
【 図 4 】



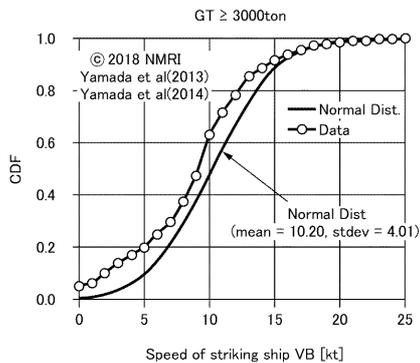
【 図 5 A 】



【 図 6 】



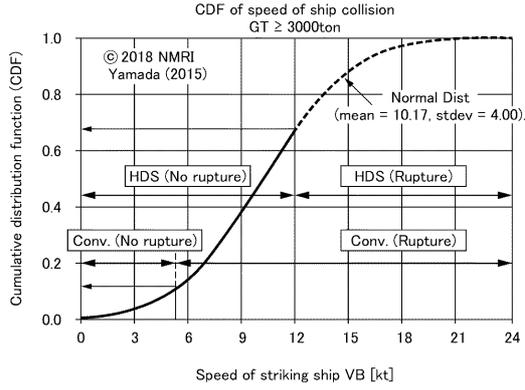
【 図 5 B 】



【 図 7 】

	Critical velocity [kt]	
	Conventional	HDS (OS+IS+OSL)
OS	2.62	12.00
IS	5.09	12.00

【 8 】



【 9 】

OS	P(Safe)	P(Fail)
Conventional	0.04	0.96
HDS	0.68	0.32
Ratio	0.3359	

$$0.3359 = \frac{0.32}{0.96}$$

IS	P(Safe)	P(Fail)
Conventional	0.10	0.90
HDS	0.68	0.32
Ratio	0.3588	

$$0.3588 = \frac{0.32}{0.90}$$

【 10 】

Operational State	Probability of hull breaching (given collision)	
	Conventional	HDS
terminal areas	0.46	0.15
congested waters	0.36	0.12
open sea	0.46	0.46
limited waters	0.42	0.14

【 11 A 】

151a

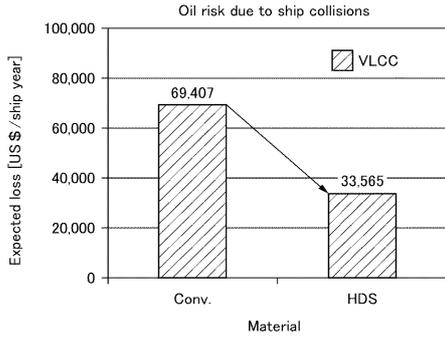
Collision	Operational state	Loaded in hull	No breach in hull	No breach in inner hull	Fire/Explosion	Damage severity	Ship sinking/Total loss	0 FI' Frequency (計算値)
Collision	struck	loaded	No breach in hull	n/a	No fire	severe damage	No sinking	1 5.60E-05
Collision	struck	loaded	No breach in hull	n/a	No fire	No severe damage	No sinking	2 7.43E-04
Collision	struck	loaded	Breach in hull	0.46	No fire	severe damage	sinking	3 8.04E-06
Collision	struck	loaded	Breach in hull	0.46	No fire	severe damage	No sinking	4 8.04E-06
Collision	struck	loaded	Breach in hull	0.46	No fire	severe damage	sinking	5
Collision	struck	loaded	Breach in hull	0.46	No fire	severe damage	No sinking	6 1.51E-04
Collision	struck	loaded	Breach in hull	0.46	No fire	No severe damage	No sinking	7 3.69E-04
Collision	struck	loaded	Breach in hull	0.46	No fire	severe damage	sinking	8 2.18E-06
Collision	struck	loaded	Breach in hull	0.46	No fire	severe damage	No sinking	9 2.18E-06
Collision	struck	loaded	Breach in hull	0.46	No fire	severe damage	sinking	10
Collision	struck	loaded	Breach in hull	0.46	No fire	severe damage	No sinking	11 4.08E-05
Collision	struck	loaded	Breach in hull	0.46	No fire	No severe damage	No sinking	12 9.99E-05
Collision	struck	ballast	No breach in hull	n/a	No fire	severe damage	No sinking	13 3.73E-25
Collision	struck	ballast	No breach in hull	n/a	No fire	No severe damage	No sinking	14 4.96E-04
Collision	struck	ballast	Breach in hull	0.46	No fire	severe damage	sinking	15 5.96E-06

【 11 B 】

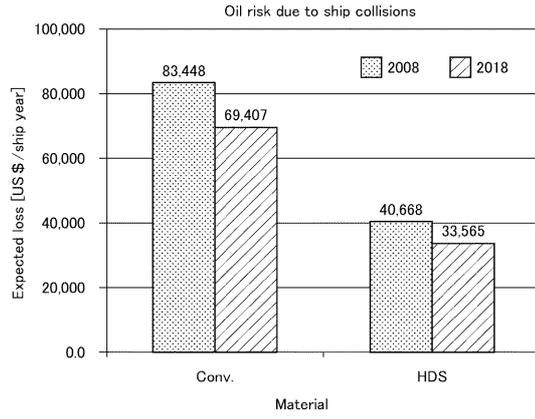
151b

Collision	Operational state	Loaded in hull	No breach in hull	No breach in inner hull	Fire/Explosion	Damage severity	Ship sinking/Total loss	0 FI' Frequency (計算値)
Collision	struck	loaded	No breach in hull	0.85	No fire	severe damage	No sinking	1 8.76E-05
Collision	struck	loaded	No breach in hull	n/a	No fire	No severe damage	No sinking	2 1.18E-03
Collision	struck	loaded	Breach in hull	0.15	No fire	severe damage	sinking	3 3.16E-06
Collision	struck	loaded	Breach in hull	0.15	No fire	severe damage	No sinking	4 3.16E-06
Collision	struck	loaded	Breach in hull	0.15	No fire	severe damage	sinking	5
Collision	struck	loaded	Breach in hull	0.15	No fire	severe damage	No sinking	6 5.92E-05
Collision	struck	loaded	Breach in hull	0.15	No fire	No severe damage	No sinking	7 1.45E-04
Collision	struck	loaded	Breach in hull	0.15	No fire	severe damage	sinking	8 2.73E-07
Collision	struck	loaded	Breach in hull	0.15	No fire	severe damage	No sinking	9 2.73E-07
Collision	struck	loaded	Breach in hull	0.15	No fire	severe damage	sinking	10
Collision	struck	loaded	Breach in hull	0.15	No fire	severe damage	No sinking	11 5.12E-06
Collision	struck	loaded	Breach in hull	0.15	No fire	No severe damage	No sinking	12 1.25E-05
Collision	struck	ballast	No breach in hull	n/a	No fire	severe damage	No sinking	13 5.84E-05
Collision	struck	ballast	No breach in hull	n/a	No fire	No severe damage	No sinking	14 7.76E-04
Collision	struck	ballast	Breach in hull	0.15	No fire	severe damage	sinking	15 2.10E-06

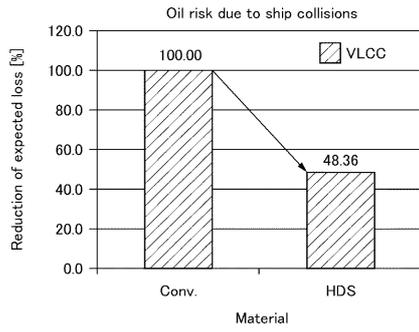
【 図 1 2 A 】



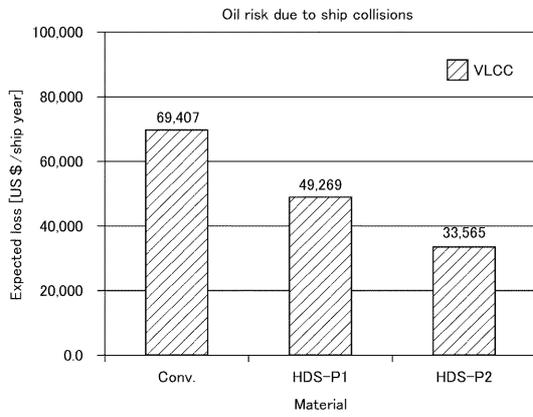
【 図 1 2 C 】



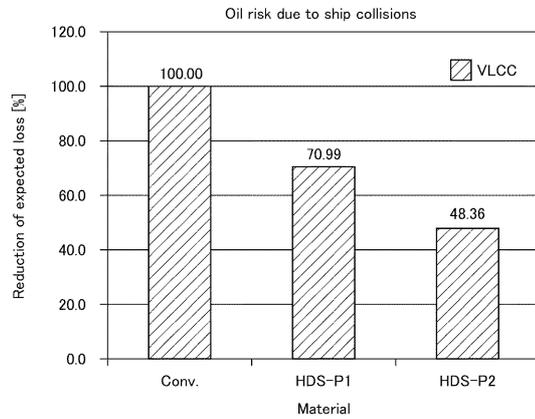
【 図 1 2 B 】



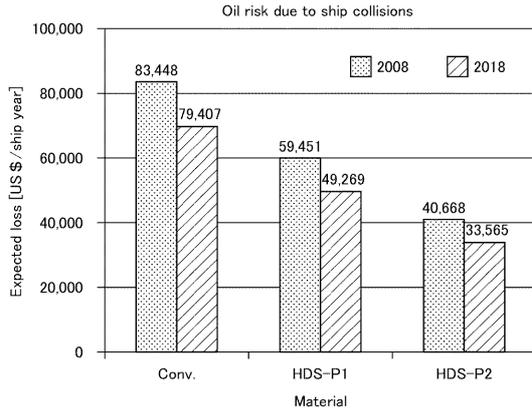
【 図 1 3 A 】



【 図 1 3 B 】



【 13C 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 市川 和利

東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内

(72)発明者 越智 宏

東京都三鷹市新川6丁目3番1号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内

Fターム(参考) 5L049 AA04 BB21

5L055 BB61