

カーフェリーによる危険物タンク車両輸送の安全評価

太田 進

Safety Evaluation on Carriage of Tank Vehicles Containing Dangerous Goods on Ro-Ro Passenger Ships

by

Susumu OTA

Abstract

In accordance with the International Maritime Dangerous Goods Code, which will be made mandatory on 1 January 2004, the transport of particular dangerous substances, materials or articles is prohibited aboard passenger ships where large numbers of people may need to be evacuated at short notice, because of the rapidity with which an accident involving the dangerous goods may affect the whole ship. On the other hand, passenger ships sometimes are almost the sole means of transport for many islands in Japan and some dangerous goods, which are prohibited to be carried on ships with large number of passengers, are essential for the living. In particular, gasoline and liquefied petroleum gas are indispensable for living and liquefied oxygen is also necessary for medical treatment while these three substances are prohibited to be carried on ships with large number of passengers, basically. It is, therefore, strongly demanded to enable carriage of tank vehicles containing these three substances on ro-ro passenger ships. The purposes of the research are to assess the risk due to carriage of tank vehicles containing these three substances on ro-ro passenger ships with large number of passengers and to recommend the necessary safety measures for such carriage. We investigated the reports of the Maritime Accident Inquiry Agency on casualties of ro-ro passenger ships and records of casualties involving dangerous goods published by the Fire and Disaster Management Agency and the High Pressure Gas Safety Institute of Japan. Based on the investigation, we estimated the above mentioned risk. By comparing the estimated risk with the risk due to traffic accident and the risk due to carriage of tank vehicles containing other substances which are not prohibited to be carried with large number of passengers, we concluded that any tank vehicle containing liquefied oxygen should not be carried on ships with large number of passengers in view of safety and any tank vehicle containing liquefied petroleum gas should not be carried on closed ro-ro spaces of such ships. We further concluded that a tank vehicle should be appropriately inspected prior to shipment and all vehicles on the deck for the tank vehicle should be properly secured taking into account the acceleration due to accidents such as collision, in the cases that a tank vehicle containing gasoline or liquefied petroleum gas is stowed.

* 海上安全研究領域危険物輸送・防災研究グループ
原稿受付 平成 年 月 日
審査済 平成 年 月 日

目 次

1. はじめに	2
1. 1. 研究の目的	2
1. 2. IMDG Code における貨物の積付区分	3
1. 3. 危険物船舶運送及び貯蔵規則の現状と予定される改正	3
1. 4. カーフェリーの火災安全措置	5
1. 5. 研究の流れ	5
1. 6. 基本的安全対策	6
1. 7. 検討対象とする安全対策	7
2. カーフェリーの事故発生確率	8
2. 1. 事故発生確率の推定方法	8
2. 2. カーフェリー事故の概況	8
2. 3. 旅客船の事故発生状況	8
2. 4. カーフェリーの運航状況	10
2. 5. 事故発生確率の推定	10
3. 事故例調査と代表事故シナリオ	11
3. 1. 海難審判庁裁決録の調査	11
3. 2. 考慮すべき事故と人的被害	11
3. 3. 事故種類別の発生確率の推定	12
3. 4. 人的被害に基づく事故のグループ化	13
3. 5. 代表事故シナリオ	17
4. タンク車両の事故事例の調査	19
4. 1. 調査の位置付け	19
4. 2. 引火性液体の事故例調査	19
4. 3. 引火性ガスの事故例調査	19
5. 危険物積載によるリスクの増分	20
5. 1. 考慮すべき危険性	20
5. 2. 漏洩に起因する脆性破壊	20
5. 3. 漏洩後の火災・爆発	21
5. 4. 大量漏洩後の出火	21
5. 5. タンク内の調査対象貨物の火災・爆発	22
5. 6. 危険物の積載方法とリスクの増分	23
5. 7. 乗船前の点検の効果	25
5. 8. リスク増加シナリオ	25
5. 9. 調査対象タンク車両の積載によるリスク増加	26
6. タンク車両積載の可否及び安全対策	27
6. 1. 安全対策の検討	27
6. 2. タンク車両積載の危険性の比較	27

6. 3. IMDG 旅客船に積載可能な危険物との比較	28
6. 4. 調査対象タンク車両を積載できる台数	29
7. おわりに	30
参考文献	31
付録A. カーフェリーの運航状況の詳細	32
付録B. 海難審判庁裁決録の調査	36
B. 1. 事故例の抽出	36
B. 2. 考慮すべき事故と人命損失の期待値	36
B. 3. 事故時の乗船者数と定員との関係	40
付録C. 引火性液体の事故例調査	40
C. 1. 事故の概要と発生確率	40
C. 2. 漏洩量の検討	44
C. 3. 漏洩後の出火確率	44
付録D. 引火性ガスの事故例調査	45
D. 1. 事故の概要と発生確率	45
D. 2. LPG の漏洩が火災・爆発に至る確率	45
D. 3. 液体酸素の漏洩が火災・爆発に至る確率	47
付録E. 事故時の加速度の推定	47
付録F. リスクの増分の計算結果	51
F. 1. 調査対象タンク車両の積載によるリスクの増分	51
F. 2. 比較用リスク増分の計算	51
付録G. IMDG Code の分析	54
G. 1. 引火性液体に関するIMDG Code の分析	54
G. 2. ガスに関するIMDG Code の分析	58

1. はじめに

1. 1. 研究の目的

船舶において危険物を運送する方法は安全を考慮して規則に定められており、危険物によっては、旅客と同時に運送することが禁じられている。ガソリン及びLPGは生活必需品であり、また、液体酸素も医療に不可欠であるが、これらの危険物は、現行規則により旅客船で旅客と同時に運送することが禁じられている。一方、離島等では、旅客船が殆ど唯一の輸送手段になる場合があり、旅客を乗船させた船舶で危険物を輸送したいという要望がある⁽¹⁾。特に、ガソリン、LPG及び液

体酸素の三物質（以下、「調査対象危険物」と呼ぶ。）については、タンクローリー及びタンクトレーラー等（以下、「タンク車両」と呼ぶ。）に収納した状態で船舶に搭載して運送したいとの要望がある。

本研究の目的は、調査対象危険物を収納したタンク車両（以下、「調査対象タンク車両」と呼ぶ。）を、一定数以上の旅客を搭載した船舶で運送することのリスクを評価するとともに、運送する際の安全対策を提言することである。

1. 2. IMDG Code における貨物の積付区分

国際海上危険物規程（International Maritime Dangerous Goods Code. 以下、「IMDG Code」と呼ぶ。）⁽²⁾は、船舶による危険物の運送方法を定めたものであり、2004 年 1 月 1 日から、SOLAS 条約付属書第 VII 章により、強制要件として位置付けられる。IMDG Code における、危険物の船舶への積載方法は、火薬類（Class 1）を別にすれば、以下の 5 種類の区分で決定される。但し、以下では便宜的に、25 人または船舶の全長の 3 m につき 1 人のうち大きい方の数を超える旅客を乗せた船舶を「IMDG 旅客船」と呼び、それ以外の船舶を「IMDG 貨物船」と呼ぶ。ここで、船舶の区別は旅客定員ではなく、乗船している旅客の数によることに留意されたい。

- A：IMDG 貨物船及び IMDG 旅客船において甲板上または甲板下に積載可能
- B：IMDG 貨物船においては甲板上または甲板下に積載可能。IMDG 旅客船においては甲板上のみ積載可能
- C：IMDG 貨物船及び IMDG 旅客船において甲板上のみ積載可能
- D：IMDG 貨物船においては甲板上のみ積載可能。IMDG 旅客船においては積載禁止
- E：IMDG 貨物船においては甲板上または甲板下に積載可能。IMDG 旅客船においては積載禁止

このように、危険物によって IMDG 旅客船への積載が制限されることについて、IMDG Code の第 7.1.1.3 節で以下の通り説明している。

"Because of the rapidity with which an accident involving dangerous goods may affect the whole ship, the transport of some particularly dangerous substance, materials or articles is not permitted aboard "other passenger ships" where

large numbers of people may need to be evacuated at short notice."

即ち、「事故の際に当該貨物を含んだ場合、短時間のうちに全船に危険が及ぶ可能性のある危険物は、迅速な避難が困難となるような多くの人間（乗客）を乗せた船舶に積載してはならない」ことが、IMDG 旅客船への積載を禁止する基本的な考え方である。なお、車両甲板（vehicle decks）については、IMDG Code の 7.4.5.7 節に以下の記述があり、開放型の車両甲板には、一般的に、「甲板上のみ積載可能」な危険物を積載することができると言える。

"Dangerous goods required to be carried on deck only should not be carried on closed vehicle decks, but may be carried on open vehicle decks when authorized by the competent authority concerned."

危険物の積載を「甲板上のみ積載可能」とする判断基準については、IMDG Code 第 7.1.1.8 節に以下の原則が示されている。

"Stowage of *on deck only* has been prescribed in case where:

- .1 constant supervision is required; or
- .2 accessibility is particularly required; or
- .3 there is a substantial risk of formation of explosive gas mixtures, development of highly toxic vapours, or unobserved corrosion of the ship."

即ち、常時監視を要するもの、容易な近接を確保する必要のあるもの、爆発性ガス雰囲気を形成する、毒性ガス雰囲気を形成する、または、見づかり難い腐食の恐れのあるものは、甲板下への積載が禁止されるのが基本的考え方である。

1. 3. 危険物船舶運送及び貯蔵規則の現状と予定される改正

現行（2003 年 7 月時点）の国内法、即ち、危険物船舶運送及び貯蔵規則⁽³⁾では、貨物の積付区分を以下の通り規定している。

- A：貨物船及び旅客船において甲板上または甲板下に積載可能
- B：貨物船においては甲板上または甲板下に積載可能。旅客船においては甲板上のみ積載可能
- C：貨物船及び旅客船において甲板上のみ積載可能
- D：貨物船においては甲板上のみ積載可能。

旅客船においては積載禁止

E：貨物船においては甲板上または甲板下に積載可能。旅客船においては積載禁止

ここで、旅客船とは旅客定員 13 人以上の船舶を意味し、貨物船とは旅客定員 12 人以下の船舶を意味する。

ガソリン、LPG 及び液体酸素の積付区分は、それぞれ"E"、"E"及び"D"であり、現状では、いずれも旅客船で運送することが禁止されている。但し、ガソリンは 800 リットル、LPG は 300 kg を

上限として、特別許可による旅客船での輸送を認める場合がある。さらに、危険物船舶運送及び貯蔵規則では、表 1 の危険物を収納したタンク車両を旅客（自動車等の乗務員を除く）を乗せた船舶に積載することを禁止している。表 1 において、国連番号（UN No.）とは、各危険物に与えられた固有の番号である。

IMDG Code は条約上は国際航海に従事する船舶にのみ適用される基準であるが、強制化の際には、原則として本邦各港間の航海にも適用される。

表 1 乗客（乗務員を除く）を乗せた旅客船におけるタンク車両による運送が禁止されている危険物

	国連番号	品名	積載区分
石油蒸留物	3295	炭化水素類（引火点が-18℃未満のもの）	B
	3295	炭化水素類（引火点が-18℃以上 23℃未満のもの）	B
	1010	ブタジエン（安定剤入りのもの）	B
	1038	エチレン（深冷液化されているもの）	B
	1114	ベンゼン [ベンゾール]	B
	1206	ヘプタン	B
	1262	オクタン [イソオクタン、ノルマルオクタン、2,2,4-トリメチルペンタン、2-メチルヘプタン等]	B
	1267	原油（引火点が-18℃未満のもの）	B
	1267	原油（引火点が-18℃以上 23℃未満のもの）	B
	1268	石油蒸留物又は石油製品（引火点が-18℃未満のもの）	B
	1268	石油蒸留物又は石油製品（引火点が-18℃以上 23℃未満のもの）	B
	1294	トルエン [メチルベンゾール、メチルベンゼン又はトルオール]	B
	1307	キシレン（引火点が 23℃未満のもの）	B
	2057	プロピレン三量体（引火点が-18℃以上 23℃未満のもの）	B
	2241	シクロヘプタン	B
アルコール類	1986	アルコール類（引火性かつ毒性のもの。引火点が-18℃未満のもの）	B
	1986	アルコール類（引火性かつ毒性のもの。引火点が-18℃以上 23℃未満のもの）	B
	1986	アルコール類（引火性かつ毒性のもの。引火点が 23℃以上 61℃以下のもの）	A
	1987	アルコール類（引火点が-18℃以上 23℃未満のもの）	B
	1987	アルコール類（引火点が 23℃以上 61℃以下のもの）	A
	1169	抽出香料液（精油）	B
	1169	抽出香料液（精油）	A
	1170	エタノール又はその溶液（引火点が 23℃未満のもの）	A
	1170	エタノール又はその溶液（引火点が 23℃以上 61℃以下のもの）	A
	1197	抽出香料液（着香料）	B
	1197	抽出香料液（着香料）	A
	1201	フーゼル油（引火点が-18℃以上 23℃未満のもの）	B
	1201	フーゼル油（引火点が 23℃以上 61℃以下のもの）	A
	1219	イソプロパノール [イソプロピルアルコール又は 2-プロパノール]	B
	1230	メタノール	B
	1274	ノルマルプロパノール（引火点が 23℃未満のもの）	B
	1274	ノルマルプロパノール（引火点が 23℃以上 61℃以下のもの）	A
その他	1005	液体アンモニア	D
	2073	液体アンモニア溶液	E
	1073	液体酸素	D
	1789	塩酸（容器等級 II & III）	C
	1830	硫酸（51 % を超えるもの）	C
	2796	硫酸（51 % 以下）	B
	1294	トルエン（中引火点）	B
	2838	酢酸ビニル	B

IMDG Code の強制化の際には、表 1 に示した危険物のうち、積付区分が"A"のものは、IMDG 旅客船における運送が認められ、積付区分が"B"及び"C"のものは、IMDG 旅客船の甲板上（許可された開放型車両甲板を含む。）における運送が認められる予定である⁽¹⁾。

調査対象危険物は IMDG Code に以下の通り規定されている。

ガソリン	UN No. 1203, "MOTOR SPIRIT or GASOLINE or PETROL"：積付区分"E"
LPG	UN No. 1075, "PETROLEUM GASES, LIQUIFIED"：積付区分"E"
液体酸素	UN No. 1073, "OXYGEN, REFREGERATED LIQUID"：積付区分"D"

よって、IMDG Code に合わせて危険物船舶運送及び貯蔵規則を改正した場合は、調査対象危険物は、乗船している旅客数によっては、旅客船における運送が認められるようになるが、一定数以上の旅客を乗船させた場合には、原則として、調査対象危険物の積載は、引き続き禁止されることになる。

1. 4. カーフェリーの火災安全措置

船舶の火災安全対策は海上人命安全条約⁽⁴⁾等に定められており、国内では、主として船舶防火構造規則及び船舶消防設備規則⁽³⁾に規定されている。カーフェリーの車両甲板に要求される火災安全措置は、当該甲板が開放型の場合と閉囲型の場合で異なる。防火構造は、国際航海に従事するかどうかにより異なるが、原則として A 級仕切、即

ち「標準火災試験」において 60 分間炎及び煙の貫通を阻止する仕切であることが要求され、且つ、隣接する区画の火災危険性に応じて、非加熱面の温度上昇を 140 度以下に抑える時間が 1 時間以上であること、または、30 分以上であることが要求される。

規則で要求される車両甲板の消防設備を、閉囲型の場合を例として表 2 に示す。表 2 に示した固定式消火装置としては、車両区域（自走用の燃料を有する自動車を積載する貨物区域であって、旅客が出入りすることができるもの。船舶防火構造規則参照）が開放型の場合は、消火栓のみが要求される。閉囲型の車両区域にはさらに、船舶消防設備規則により、固定式加圧水噴霧装置または固定式泡消火装置が要求される。

SOLAS 条約により、国際航海に従事するロールオン・ロールオフ旅客船においては、出港前に、貨物固定マニュアルに従って貨物の固定を終えることが要求される。貨物の固定は、荷崩れによる事故を防止するため重要であり、特に危険物を収納する車両の固定は安全上重要ではある。専ら本邦各港間を航行する船舶（以下、「内航船」と呼ぶ。）には、貨物固定マニュアルの搭載等は要求されていないが、適切に固定すべきことは特殊貨物船舶運送規則⁽³⁾により要求されている。

1. 5. 研究の流れ

本研究では、調査対象タンク車両を運送した場合のリスクを推定し、これを評価する。リスクとしては、カーフェリーの一航海が保有する乗船者の人命に関するリスクを考える。ここでは、事故の種類別にその発生確率と、損害、即ち人命損失数の期待値の積を計算し、その和をリスクとした。

表 2 旅客船兼自動車渡船の閉囲型車両区域の消防設備

設備	航行区域 国際航海	非国際航海				船舶消防設備規則 条番号
		遠洋	近海	沿海	平水	
消火栓	2 条	2 条	2 条	2 条	2 条	第 39 条
水噴霧放射器	3 個	同左	同左	不要	不要	第 41 条の 1
固定式消火装置	要設置	要設置	同左	同左	同左	第 43 条の 2
持ち運び式	面積毎	面積毎	同左	同左	同左	第 43 条の 2
消防員装具	2 組以上*1	2 組以上*2	2 組以上*2	2 組	2 組	第 49 条
火災探知装置	要設置	要設置	同左	同左	同左	第 50 条第 8 項
手動式火災探知装置	要設置	要設置	同左	同左	同左	第 52 条第 3 項
警報装置	要設置	要設置	同左	同左	同左	第 52 条の 2
危険物積載用防火措置	適用	適用	適用	適用緩和	適用緩和	危険物船舶運送 及び貯蔵規則

Note 1：原則として主垂直区域毎に 2 組が要求される。

2：2 組に加えて、合計長の 80 m 又はその端数ごとに 2 組を加えた数が要求される。

検討の手順は、以下の通り。

- (1) 調査対象タンク車両を積載しない場合の船舶のリスクの推定
- (2) 調査対象タンク車両を積載することによるリスクの増分の推定
 - (2.1) 船舶事故時に調査対象タンク車両が積載されていることによるリスクの増分の推定
 - (2.2) 安全対策のモデル化及びリスク低減効果の推定。
 - (2.3) 調査対象タンク車両に起因する船上における事故によるリスクの増分及び安全対策の効果の推定
- (3) IMDG 旅客船における調査対象タンク車両運送の危険性評価及び安全対策の提言

ここで実施するリスクの増分の推定は、現状では禁止されている運送に関するもの、即ち、全く予見的なもので、推定精度の検証は困難であり、精度が高くないことが懸念される。そのため、リスク評価においては、IMDG Code により IMDG 旅客船への積載が認められている危険物の性状を勘案するなど、複数の観点から検討する。

なお、本研究では、国際／国内のタンク車両の技術基準の差異は考慮していない。

1. 6. 基本的安全対策

リスクの推定に先立って、基本的安全対策について整理する。

安全対策としては、まず、乗組員の教育・訓練が挙げられる。危険物を運送する際には、船舶の乗組員は当該危険物の性状を理解し、当該危険物による事故の防止や事故時の対処を可能とするだけの教育・訓練を受けておく必要がある。調査対象危険物は、本来 IMDG 旅客船での運送が禁止されているものであり、その運送を特別に許可するのであれば、例えばタンカーや危険物運搬船の乗組員に倣って、当該危険物の運送に必要な教育・訓練を受ける必要があると考える。本研究では、乗組員がそのような教育・訓練を受けていることを前提として検討する。

次に、甲板上積載と甲板下積載についても検討を要する。前述の通り、IMDG Code によれば、「甲板上のみ積載可」の貨物も主管庁（the competent authority concerned）の承認があれば、開放型車両甲板に積載できる。主管庁の承認のための条件については、規則には特に規定されてお

らず、一般には、積付区分"A"、"B"または"C"の貨物をカーフェリーの開放型車両甲板に積載することが認められている。しかし、本来の「甲板上積載」とは、船橋から見える範囲にある甲板上への積載を意味し、IMDG Code でも常時監視（constant supervision）を要求されるものは「甲板上のみ積載可」とする旨が述べられている。そこで本研究では、IMDG 旅客船に積載することが禁止されている調査対象タンク車両の開放型車両甲板への積載においては、常時監視がなされていることを前提として検討する。具体的には、開放型車両甲板に積載する場合には、船橋から見通せる甲板上である場合を除き、ビデオカメラによる監視がなされていることを前提としてリスクを推定する。船橋から見通せる甲板上以外の開放型車両甲板としては、居住区域等の他の区画の下に設けられた開放型車両甲板が考えられる。開放型車両甲板へのビデオカメラの設置は、一部の船会社では既に実施している。よって、この安全対策は特別なものではなく、調査対象タンク車両の開放型車両甲板への積載の危険性を評価する際には、ビデオカメラによる常時監視がなされていることを前提とする。但し、後述の通り、閉囲型車両甲板においては、ビデオカメラによる常時監視は、リスクを抑制する安全対策として検討対象に含める。

船舶の航海時間が長い場合は、適当な間隔で「巡視」が行われる。タンク車両の近傍まで頻繁に赴き状態を確認することも、事故防止には有効であり、IMDG 旅客船に積載すべきでない調査対象タンク車両を積載するのであれば、当該タンク車両には、巡視の際に特に注意を払うべきと考える。乗組員の嗅覚が正常でなかったため漏洩に気付かなかったことが事故の一因となった例もあることから、巡視の一貫としてガソリン及びLPGを収納したタンク車両の近傍まで赴き異常がないことを確認する際には、携帯型のガス警報装置を使用することが推奨できる（一台でガソリン及びLPGの両方に対応するガス警報装置は市販されている。）。

安全のためには、調査対象タンク車両を積載する場合は、特定の場所が指定されるものとする。タンク車両の積載場所の指定は、荷役の手順に若干の制約を加えることにはなるが、タンク車両が火災となった際に、車両甲板へのアクセスルートを確認し、消火栓や消火器等の消防設備を使用可

能にするため、必要不可欠の措置である。また、調査対象タンク車両には頻繁に注意を払う必要があるため、多数のビデオカメラにより車両甲板の全体を監視している場合には、当該貨物を監視しているカメラのモニターを容易に識別できるようにしておく必要がある。よって、タンク車両の積載場所は適切に指定されることを前提とし、例えば、居住区域への入り口付近に調査対象タンク車両を積載すること等による危険性は、リスクの推定においては考慮しない。調査対象タンク車両の積載場所を決定する際には、ひとたびタンク内のガソリンに火災が及べば、火災を抑制しない限りその近傍には近づけない可能性が高いこと、LPG が火災となった場合には爆発防止のため消火しないこと⁽⁵⁾に留意し、基本的には、火災の影響が居住区域に及びにくい位置を選定すべきと考える。タンク車両と消火設備の場所の関係について言えば、調査対象タンク車両は消火栓から十分に離れた位置（例えば 10 m 以上）であって、且つ、航海中に調査対象タンク車両の近傍を通らずに消火栓にアクセスできる場所に搭載することが望ましい。また、小型のカーフェリーでは、重い車両の積載に起因する転覆事故（復原性への配慮の不足）が発生していることに鑑み、タンク車両による傾斜モーメントにも十分に配慮して、積載場所を決定する必要がある。さらに、船舶の傾斜を考慮して、タンク車両から危険物が流出した場合に、その危険物が車両甲板内に広がり難い位置を選定することも考えられる。

規則により、閉囲型車両甲板には、連続的に運転できる機械式通風装置が備えられており、自走用燃料を含む車両を積載した際には、原則として機械式通風装置を運転するべきことが規定されている。また、引火性ガス（LPG）や引火点が 23℃以下の液体（ガソリン）は、原則として閉囲された車両甲板への積載が禁止されており、これらの危険物を閉囲された車両甲板に積載する場合は、通風装置を運転することが要求されている（IMDG Code 7.4.5.8 節参照）。このことから、調査対象貨物を収納したタンク車両を閉囲型車両甲板に積載する際には、通風装置を連続運転する必要があると言える。そこで本研究では、閉囲型車両甲板の機械式通風装置は運転されているとの前提でリスクを推定する。

1. 7. 検討対象とする安全対策

カーフェリーに調査対象タンク車両を積載する際の追加の安全対策として考えられるのは以下の三つである。

(1) タンク車両の乗船前の点検

調査対象タンク車両の状態を乗船前に点検することは、当該タンク車両に起因する事故を減らす対策として有効と考えられる。

(2) タンク車両等の固定

車両の固定は、車両の転倒を防止したり、衝突等の事故により水平方向の加速度が作用した際に、調査対象タンク車両が他の車両や船倉内面に衝突するのを防止するのに有効と考える。固定方法については後述する。

(3) タンク車両の監視

前述の通り、開放型車両甲板については、暴露甲板上でない場合、ビデオカメラ等による監視がなされ、また、頻繁な巡視がなされることを前提としてリスクを検討するが、閉囲型車両甲板については、巡視やビデオによる監視を前提とせず、こうした監視は火災の早期発見に有効な追加の安全対策と位置付ける。

本研究では、既存のカーフェリーで調査対象タンク車両を輸送する場合についてのみ検討し、甲板面上への車両固定用の金具の設置といった細かなものを除き、船舶の構造の変更や固定式設備の追加は、検討対象としない。

一方、本研究では検討対象としないが、タンク車両を輸送する際に安全上効果があると考えられる固定式設備としては、例えば開放型車両甲板におけるタンク車両への散水装置（遠隔操作できるもの）が挙げられる。こうした装置があれば、調査対象タンク車両以外の車両から火災が発生したり、車両甲板に火災が伝播した際に、当該タンク車両を火災から保護するのに有効と考えられ、推奨できる。

危険物を積載する場合には、その種類に応じて、他の種類の危険物との隔離が要求される。また、ガソリンや LPG は着火源（活魚運搬車等で用いられる冷凍装置を含む）から、また、液体酸素は食料等の燃えやすい物質から隔離する必要がある。調査対象タンク車両を積載した場合でも、関係する隔離要件を適用すべきことは明らかであり、本研究では、隔離要件の免除は検討の対象としない。また、危険物の種類や引火点に応じた船

舶の設備・装置に関する要件の免除も検討の対象としない。さらに、規則の運用上の困難を考慮して、IMDG Code にある人数以外の旅客数の制限は検討の対象としない。

2. カーフェリーの事故発生確率

2. 1. 事故発生確率の推定方法

船舶の事故の発生確率を推定する際の事故件数は、海難審判庁による「海難審判の実態」⁽⁶⁾に基づいて検討した。この資料には、海難審判にかからなかった事故（認知事故）も含まれており、海上保安庁が把握している要救助海難も含む。しかし、この資料では、旅客船の事故のうちカーフェリーの事故を区分していないので、カーフェリーの事故件数は、別途、旅客船の事故件数に基づき推定する必要がある、同じく海難審判庁による「旅客船海難の実態」⁽⁷⁾を参考にした。

事故発生確率を求めるには、カーフェリーの運航回数を求める必要があるため、国土交通省海事局国内旅客課による「旅客（定期・不定期）航路事業現況表」⁽⁸⁾を調査した。この調査は現状のカーフェリーの運航状況に関するものであるため、事故例データのうち古いものまでを用いた場合、カーフェリーの運航状況のデータと対応しなくなる恐れがある。そのため、事故統計としては、平成 3 年～12 年⁽⁶⁾のデータを用いた。これらのデータに基づき、事故件数はある特定の時点で運航されている船舶数に比例するとの仮定を設けて推定した。

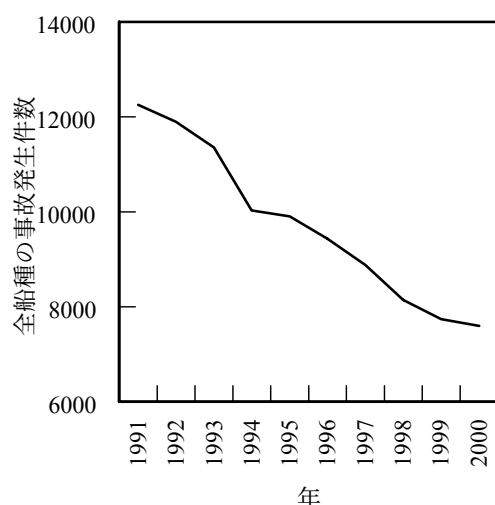


図1 全船種の事故発生件数

2. 2. カーフェリー事故の概況

「旅客船海難の実態」によれば、海難審判庁が平成 2 年～6 年までに裁決した事件のうち旅客船が関連した事件で、平成 7 年 3 月 31 日までに裁決の確定した 156 件（161 隻）を対象とした調査の結果、161 隻のうちカーフェリーは 70 隻（43.5 %）であった。航路の距離（片道）別の内訳をみると、300 km 以上（長距離）が 23 隻、100 km 以上 300 km 未満（中距離）が 10 隻、100 km 未満（短距離）が 36 隻であった。このデータは、カーフェリーの事故件数を推定する際の参考とする。

2. 3. 旅客船の事故発生状況

「海難審判の実態」に基づき、平成 3 年～12 年における船舶の事故の発生件数を図 1 に示す。図 1 より、船舶の事故は年々減少しつつある様子が分かる。

旅客船の事故発生件数及びその船舶事故に占める百分率を図 2 に示す。図 2 において、太線は旅客船の事故発生件数、細線は旅客船事故が船舶事故に占める百分率を示す。図 2 より、旅客船の事故も減少傾向にあり、また、旅客船事故は船舶事故のうち 8 %程度を推移していることが分かる。

全船種の船舶の事故による死者及び行方不明者（以下、「死者等」と呼ぶ。）の数及び死者、行方不明者並びに負傷者（以下、「死傷者等」と呼ぶ。）の数の推移を図 3 に示す。図 3 より、死者等及び死傷者等の数については、暫減の傾向は見てとれるものの、死者等の数は約 220 人、死傷者等の数は約 600 人を推移していると言える。船舶

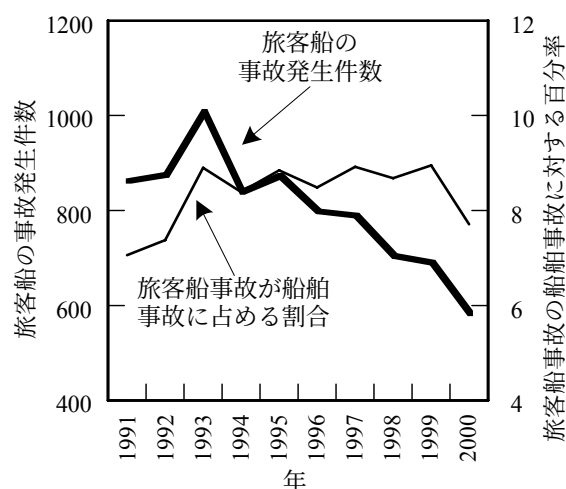


図2 旅客船の事故発生件数及び割合

全体では、死者等の数が死傷者等の数に占める割合は、平均 37 %である。

旅客船の事故による死者等及び死傷者等の数を図 4 に示す。旅客船の事故による死者等及び死傷者等の数は、特定の事故に左右されるため変動するが、死者等の数は平均 4.1 人／年、死傷者等の数は平均 72.2 人／年であった。

1991 年～2000 年における事故の種類毎の発生件数を表 3 に示す。

表 3 において「衝突」は船舶どうしの衝突を、「衝突（単）」は岸壁等への衝突を意味する。

図 5 は旅客船の事故の種類別の発生件数の割合を示したものである。図 5 において、「火災等」は火災、爆発、沈没、船体行方不明の合計を、「その他」は機関損傷、安全運航阻害、施設損傷、属具損傷の合計を意味する。図 6 は、貨物船事故の種類別の発生件数の割合を、図 7 は全船種の船舶

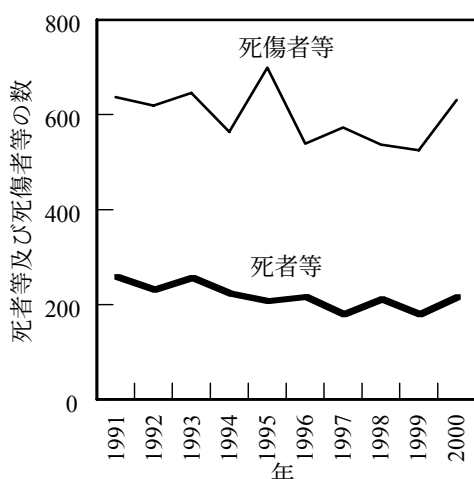


図 3 死者等及び死傷者等の数の推移

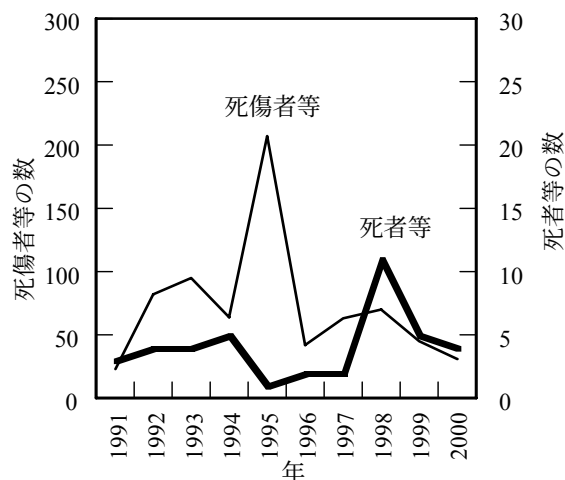


図 4 旅客船事故による死者等及び死傷者等の数

事故の種類別の発生件数の割合を示したものである。図 5 及び図 7 より、旅客船の事故では、総じて岸壁等への衝突及び転覆の占める割合が大きいと言える。

旅客船の総トン数別の事故の発生件数の割合を図 8 に示す。図 8 より、各総トン数の船舶で事故が発生していることが分かる。

表 3 事故の種類と発生件数（1991～2000）

	旅客船	貨物船	全船種
衝突	444	7,737	21,004
衝突（単）	2,475	7,612	12,710
乗揚	421	10,452	16,080
遭難	711	3,468	7,315
沈没	5	38	644
転覆	3,267	13,022	25,001
火災	5	17	160
爆発	12	86	557
機関損傷	71	481	1,754
死傷等	300	1,169	4,820
安全運航阻害	64	1,316	2,451
施設損傷	150	1,326	2,360
属具損傷	113	671	2,150
船体行方不明	13	108	253
合計	8,051	47,503	97,259

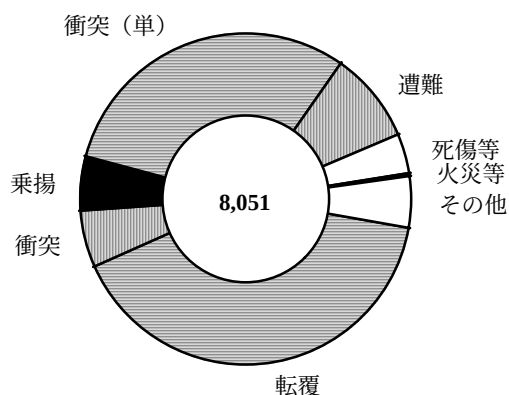


図 5 旅客船事故の種類別発生割合

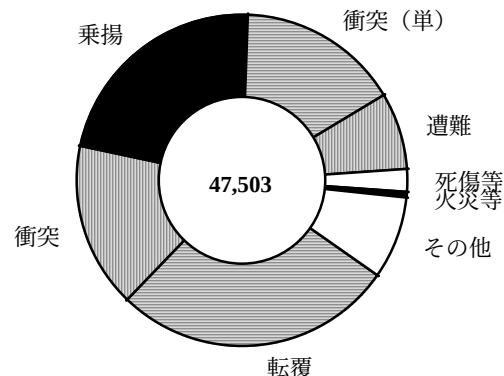


図 6 貨物船事故の種類別発生割合

2. 4. カーフェリーの運航状況

「旅客（定期・不定期）航路事業現況表」によれば、平成 13 年 4 月 1 日時点における一般定期旅客船の自動車航走船（同資料の用語による。カーフェリーと同義とする。）は 377 隻である。1.5 節で述べた通り、本研究では、カーフェリーの一回の航海が保有する人命に関するリスクを検討する。そのため、船舶の総トン数及び航海時間に加えて、運航回数に着目して、データを整理した。調査結果を付録 A に示す。

IMDG Code において調査対象危険物が IMDG 旅客船への積載を禁止されているのは、1.2 節で述べた通り、事故が急激に拡大して全船に及ぶ可能性があるためである。こうした可能性は船舶の大きさにより異なるため、ここでは、船舶を総トン数により区分して、リスクを検討する。総トン数 20 トン未満の船舶は、20 トン以上の船舶と比較して安全基準が大きく異なる。また、総トン数 20～100 トンの船舶の事故件数も少なくないので、総トン数 20 トン以上 100 トン未満を一つの区分とする。船舶の安全対策は総トン数 500 トンを境に異なるので、総トン数 100 トン以上 500 トン未満を一つの区分とする。さらに、事故件数

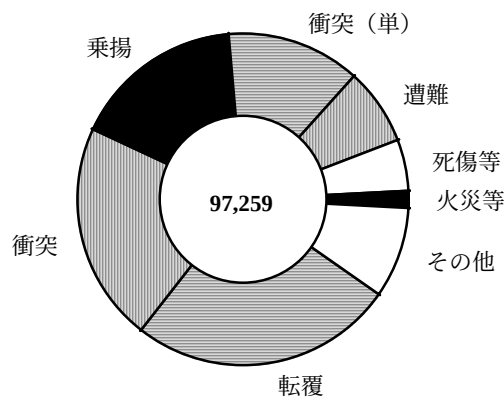


図 7 船舶事故の種類別発生割合

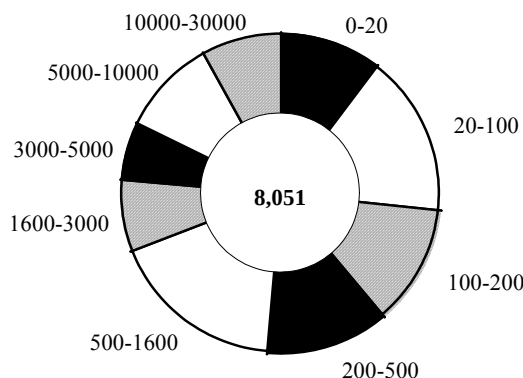


図 8 旅客船事故の総トン数別の割合

（図 8 参照）を考慮して、総トン数 500 トン以上 3,000 トン未満を一つの区分とする。なお、「海難審判の実態」と「旅客（定期・不定期）航路事業現況表」を比較した場合、総トン数の区分としては、5,000 トン、10,000 トンも共通して用いられているが、ここでは考慮しない。

「旅客（定期・不定期）航路事業現況表」には、船舶の種類、総トン数及び船令別に、船舶の隻数が示されている。船令を考慮せず、前述の総トン数に基づく区分別に、船種と隻数の関係を表 4 に示す。自動車航走船について、総トン数別に運航回数、航海時間等をまとめると、表 5 の通り。

2. 5. 事故発生確率の推定

前節までに示したデータに基づき、事故の発生確率を推定する。まず、以下の仮定の下、件数を解析してみる。

- (1) 「海難審判の実態」で言う「カーフェリー」と、「旅客（定期・不定期）航路事業現況表」で言う「自動車航走船」は、同じ船種を意味する。
- (2) 船舶の運航状況及び事故の発生件数の年毎の変化は考慮しない。即ち、運航状況（船舶隻数）は 2001 年 4 月 1 日時点の値で代表させ、事故件数は、図 8 に示した値（1991～2000 年の 10 年間の事故件数）の年平均のみを考慮する。
- (3) 総トン数による区分毎の自動車航走船の事故の発生件数は、各総トン数区分における全旅客船（不定期船を含む）に占める自動車航走船の隻数の割合に比例する。

表 4 船種・総トン数別隻数

総トン数区分	- 20	20 - 100	100 - 500	500 - 3,000	3,000-	合計
自動車航走船	7	18	124	143	85	377
鋼船	126	84	115	20	8	353
木船	190	2	4	0	0	196
その他	1,145	180	83	2	0	1,410
合計	1,468	284	326	165	93	2,336

表 5 自動車航走船の総トン数別運航回数

総トン数区分	年間運航回数	年間航海時間 [hour]	平均航海時間 [hour]
- 20	71,256	4,247	0.06
20 - 100	133,485	10,413	0.08
100 - 500	343,158	134,900	0.39
500 - 3,000	259,363	268,090	1.03
3,000 -	30,293	234,220	7.73
全体	837,555	651,870	0.78

以上の仮定の下、事故件数を算定した結果を表 6 に示す。

表 6 に示したカーフェリーの事故件数の推定値の合計 430 件は、2.2 節で述べた旅客船全体の 43.5 %（平成 2～6 年に海難審判庁が裁決した事故件数に基づく値。805 件に対して約 350 件）と比較すると大きい、その差は約 2 割程度である。表 6 に示した値は、船舶の事故がタンク車両に影響を及ぼす確率と、タンク車両に起因する事故の発生確率との比較においてのみ問題となるものであり、安全対策の評価の観点からは、高い精度を要求されるものではないと考えられる。そのため、以下では、カーフェリーの事故発生確率として、表 6 に示した数値を用いる。

表 6 及び表 5 より、一航海当たりの事故発生確率を求めると表 7 の通り。

以上により、カーフェリーの航海当たりの事故発生確率を求めた。

3. 事故例調査と代表事故シナリオ

3. 1. 海難審判庁裁決録の調査

本研究では、カーフェリーの航海が保有する人命に関するリスクを求めるため、人命損失が同程度になる事故をグループ化して代表事故シナリオを設定し、その条件付き発生確率を求める。恣意性を排除するため、代表事故シナリオは多くの事故例に基づき検討する必要がある。事故の進展の様子が記載されている事故記録としては海難審判庁裁決録（以下、「裁決録」と呼ぶ。）が適当

表 6 カーフェリーの事故件数の推定

総トン数 区分	年平均 旅客船 事故件数	カーフェリー 隻数割合 [%]	年平均 カーフェリー 事故件数
- 20	83.4	0.48	0.4
20 - 100	131.4	6.34	8.3
100 - 500	198.9	38.04	76
500 - 3,000	200.4	86.67	170
3,000 -	191.0	91.40	170
合計	805.1	53.41	430

表 7 カーフェリー事故発生確率

総トン数 区分	年間 運航回数	年平均 カーフェリー 事故件数	航海当たりの 事故発生確率
- 20	71,256	0.4	5.6×10^{-6}
20 - 100	133,485	8.3	6.2×10^{-5}
100 - 500	343,158	76	2.2×10^{-4}
500 - 3000	259,363	170	6.6×10^{-4}
3000 -	30,293	170	5.6×10^{-3}
合計/平均	837,555	430	5.1×10^{-4}

であるため、昭和 40 年から平成 13 年までに出版された裁決録を調査し、559 の記録を抽出し、カーフェリーどうしの衝突及び一つの記録に複数の機関故障事故が含まれるものそれぞれを分けて考え、計 577 件の事故例について解析した。抽出した事故例の概要を付録 B.1 節に示す。

抽出した事故の種類別に、件数及び人的被害を表 8 に示す。表 8 において、負傷者等は死者等（死者・行方不明者）を含まず、死傷者等は死者等と負傷者等を合わせたものである。事故の種類別の割合を図 9 に示す。

図 9 と図 5 を比較すれば、海難審判庁の認知事故と裁決された事故の違いはあるにせよ、事故の種類別の割合は、カーフェリーと旅客船で異なると考えられる。例えば、カーフェリーは一般に旅客船の中でも大型のものが多くことから、転覆事故は少ないと考えられる。

3. 2. 考慮すべき事故と人的被害

事故例解析により得られる各種の数値は、多くの仮定に基づくものであり、その精度は高くない。そのため、以下では数値を丸めて、カーフェリーの事故のうち 90 % は人命に関するリスク解析に

表 8 事故種類別の件数及び人命損失

事故種類	件数	死者等 の数	負傷者 等の数	死傷者 等の数
衝突	297	5	216	221
乗揚げ	51	0	31	31
衝突（単）	93	0	441	441
浸水・転覆	5	6	3	9
火災・爆発	14	0	6	6
機関損傷	66	0	0	0
施設損傷	3	0	0	0
その他	48	18	38	56
計	577	29	735	764

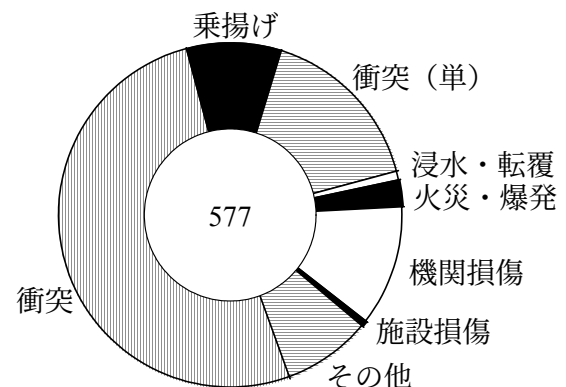


図 9 抽出した事故の種類別割合

において考慮する必要は無く、残りの 10 % が人命に関するリスク解析において考慮すべき、裁決録の事故例に代表される事故と仮定する。この条件付確率の推定の詳細については、付録 B.2 節を参照されたい。

この場合、解析において考慮すべき事故の人命損失の期待値、即ち、一件当たりの死者等の数は、表 8 より、乗船者数を考慮しない場合は 0.05 人（ $\approx 29/577$ ）とするのが妥当と考えられる（付録 B.2 節参照）。

人命損失の期待値は乗船者数に比例すると仮定し、実際の事故時の乗船者数を定員の 20 %（付録 B.3 節参照）とすれば、旅客と乗組員が定員分だけ乗船した航海における、考慮すべき事故一件当たりの死者等の数は 0.25 人ということになる。ここでは、乗船者数を考慮する際に、旅客と乗組員を区別していないが、一般に旅客船では、救命設備の容量（例えば救命筏が 25 人乗り等）の関係で乗組員（限定救命艇手）の必要な人数が決まり、乗客が少ない時には適宜乗組員の数を減らす等の措置がとられること、また、表 A.1 に示したカーフェリーの運航回数に基づく平均旅客定員は 279 人、即ち、乗組員の数が旅客の数に比例すると考えるのに十分な人数であることを考慮すれば、乗船者数を考慮する際に旅客と乗組員を区別しないことは、リスク解析の観点からは、特に問題ではないと考えられる。

以上をまとめると、カーフェリーの事故は、模式的に図 10 のように分類できる。

以下、図 10 に示した解析対象事故の代表事故シナリオ及びその発生確率について検討する。

3.3. 事故種類別の発生確率の推定

代表事故シナリオを設定するため、まず、総トン数区分毎に事故の種類別の発生確率を考える。表 B.3（付録 B.2 節参照）に示した通り、総トン数 20 トン未満では事故件数が 2 件しかないため、ここでは、総トン数 100 トン未満を一つの区分と

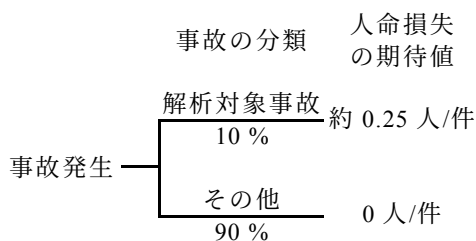


図 10 解析対象事故と人命損失期待値

して、事故の種類別の発生件数を求め、海上保安庁の要救助海難統計のデータ⁽⁹⁾も参照して、事故種類別の事故発生件数の割合の目安について検討した。

事故種類別の発生件数を表 9 に示す。

表 9 より「衝突」は総トン数区分によらず事故の半数近くを占めており、「衝突（単）」は衝突の 1/3 程度発生していることが分かる。また、「乗揚げ」も総トン数区分によらず発生している。「浸水・転覆」は、後述の通り総トン数 200 トン未満の船舶で発生しており、その原因からも、総トン数が大きくなると発生し難いと考えられる。「火災・爆発」は、解析の対象とした事故例の中には総トン数が小さいカーフェリーの火災・爆発事故はなかったが、一般に、火災事故は小型船でも発生するため、総トン数によらず発生すると考えられる。機関損傷も総トン数によらず発生している。施設損傷は、解析の対象とした事故例では数が少なかったため、このデータから総トン数との関係は論じられないが、こうした事故は、対象物は異なるものの、一種の衝突事故と考えられるため、「衝突」や「衝突（単）」と同様に、総トン数によらず発生すると考えるのが適当である。以上を考慮して、「浸水・転覆」は総トン数が小さい船舶に発生する事故と考え、その他の事故は、総トン数によらないとして、事故の種類別の発生確率を求める。

「浸水・転覆」事故の発生確率の検討の参考のため、海上保安庁の要救助海難統計を分析したデータを表 10 に示す。このデータは、平成元年～8 年までの要救助海難統計のうち、旅客船に関するものをまとめたものである。

表 9 に基づけば、総トン数 100 トン未満のカーフェリーの事故の約 14 %（4/28）が「浸水・転覆」である。一方、表 10 では、「転覆」と「浸水」

表 9 総トン数区分毎の種類別事故件数

総トン数区分 事故種類	- 100	100 - 500	500 - 3,000	3,000 -	計
衝突	10	85	104	98	297
乗揚げ	3	22	14	12	51
衝突（単）	4	34	30	25	93
浸水・転覆	4	1	0	0	5
火災・爆発	0	4	4	6	14
機関損傷	3	11	26	26	66
施設損傷	0	2	0	1	3
その他	4	10	20	14	48
計	28	169	198	182	577

を合わせれば、総トン数 100 トン未満の旅客船の事故の約 17% (17/98) である。表 9 及び表 10 を考慮すれば、「浸水・転覆」の発生確率は、総トン数 100 トン未満のカーフェリーについては、15 %程度と言える。また、総トン数 100～500 トンのカーフェリーについては、1 %程度と言える。

3. 4. 人的被害に基づく事故のグループ化

事故シナリオは、調査対象タンク車両を積載した際のリスクの増分の推定を可能とし、また、安全対策の効果の評価を可能とするものでなくてはならない。そのため本研究では、積載車両に影響を及ぼすか否かにより、事故シナリオを分類した。

事故例を調査した結果、事故が積載車両に影響を及ぼすか否かは、基本的には、以下により判定すれば良いと考えた。

[積載車両に影響を及ぼす事故]

- (1) 転覆または沈没
- (2) 衝突（衝突（単）を含む）及び乗揚げ。
- (3) 車両甲板の事故または車両甲板が損傷した事故
 - 積載車両からの火災
 - 乗下船の際、車両が転落、車両がランブドアに衝突等

[積載車両に影響を及ぼさない事故]

- (1) 操舵室、機関室、乗組員室、旅客室の火災
- (2) 主機停止、電源喪失等による操舵不能等
- (3) 人身事故であって、船舶及び積載車両に被害のないもの

但し、機関故障等を原因として衝突に至った事故は「積載車両に影響を及ぼす事故」に含めた。

「衝突」及び「乗揚げ」では、調査した範囲でも、車両甲板上の自動車が移動した事故が多く、裁決録の記述から積載車両の移動の有無を判断することは困難と考え、これらの事故は、原則として積載車両に影響を与える恐れのある事故と考えた。また、「衝突（単）」には、離着棧操船中の岸壁／棧橋への衝突も含まれるが、こうした事

表 10 要救助海難統計に基づく旅客船事故

総トン数区分	衝突	乗揚	転覆	火災	浸水	計
- 20	23	22	6	13	8	72
20 - 100	10	12	1	1	2	26
100 - 500	17	17	0	2	4	40
500 - 3000	15	4	0	0	0	19
3000 -	5	4	0	6	0	15
計	70	59	7	22	14	172

故の多くは操舵失敗、機関後進失敗等の理由により、多くは船体損傷を伴っていた。また、着岸操船中の事故でも、積載車両に被害が及んでいるため、積載車両に影響を及ぼす恐れのある事故に含めた。なお、船体損傷が殆どない着岸時の事故（旅客の転倒等）は、裁決録では「死傷事件」「負傷事件」とされており、ここでは、「その他」に分類されている。

表 9 を参照し、この積載車両への影響に関する考え方に基づいて検討すると、まず、機関損傷事故（66/577）は、死者等のみならず負傷者等の原因にもなっており、また、車両甲板に影響を及ぼすとは考えられない。施設損傷事故（3/577）も、ランプウェーを開いたまま着棧操船を行う際に岸壁上の柱を倒して岸壁上で乗船をまっていた旅客が死亡した事件を含んではいるが、乗船者の死傷の原因とはなっており、また、車両甲板に影響を及ぼすとは考えられない。よって、機関損傷事故及び施設損傷事故（69/577）は乗船者の人命に影響を及ぼさず、且つ、調査対象タンク車両を積載した際のリスクには影響しないと考えられる。

以上を考慮し、表 B.2 に基づき、機関損傷事故と施設損傷事故をまとめ、数値を丸めると、表 11 の通りとなる。表 11 に示した数値は、事故シナリオの発生確率を検討する際の目安となる。

「その他」の事故 48 件のうち、10 件は電源喪失等による操舵不能等「積載車両に影響を及ぼさない事故」の条件(2)に該当するものである。この中には、波により窓が割れて海水が侵入し、操舵スタンドが使用不能になった事故及び係留索が切断して漂流した事故各 1 件を含む。残る 38 件のうち 2 件は、流体力によりカーフェリーが他船に影響を及ぼしたもので、カーフェリー側は気付かず運航を続行した事故と、カーフェリーが引船を転覆させた事故である。後者の事故は、裁決録上の事件名には「転覆事件」とあるが、ここでは「そ

表 11 事故種類別発生確率の目安 (%)

事故種類 \ 総トン数区分	- 20	20 - 100	100 - 500	500 - 3,000	3,000 -
衝突	44	44	52	53	53
乗揚げ	8	8	9	9	9
衝突（単）	14	14	16	16	16
浸水・転覆	15	15	1	0	0
火災・爆発	2	2	2	2	2
機関／施設損傷	10	10	12	12	12
その他	7	7	8	8	8

の他」に分類したものである。また、残る 36 件のうち 4 件は、着岸操船の不適切に起因する衝撃による人身事故であり、「衝突（単）」に分類した「岸壁衝突事故」に近いものであるが、船体損傷は軽微であるため、乗客の転倒等はあるが、加速度は小さいと考え、積載車両への影響は無いと考えられる。残る 32 件のうち、荷役作業中等の人身事故は 31 件ある。このうち 1 件は、係船状態のまま前進力が作用し、乗下船用の可動橋が倒れたもので、陸上作業員が 1 人死亡、2 人負傷しているが、ここでは乗船者の人命損失を問題にしているため、表 8 には含めていない。また、自動車が乗船しようとした際に、ランプウェイを上げる（閉める）のが早すぎて、自動車がランプウェイの先端に衝突し、乗車していた 2 人が負傷した事故もあるが、これらの負傷者も、表 8 には含めていない。また、ロープの外れや切断に起因する人身事故、足を踏み外しての転落事故もあるが、積載車両への影響を考慮する際に問題となるのは、乗下船の際（荷役作業中）に車両が海中や岸壁に転落した事故と、車両が作業員等にぶつかった事故及び車両と船体等の間に作業員等が挟まれて死傷等に至った事故である。事故例をみると、これらの事故においては、車両に損傷はないため、ここでは、積載車両に影響を及ぼさない事故として扱った。残る 1 件は、船体動揺により車両が横転した事故（負傷者 4 人）であるため、積載車両に影響を及ぼすことが明らかである。その他の事故 48 件についてまとめると以下の通り。

- (1) カーフェリーが事故の原因となっているが、カーフェリー側に被害が無かった事故が 2 件
- (2) 単なる操船不能等、人命損失もなく、積載車両に影響しない事故が 10 件
- (3) 人命損失を伴う事故であって、積載車両に影響しない事故が 35 件（死者等 18 人、負傷者等 34 人）
- (4) 人命損失を伴う事故であって、積載車両に影響する事故が 1 件（負傷者等 4 人）

次に、浸水・転覆事故について検討する。これら 5 件のうち、総トン数 100 トン未満が 4 件、199 トンが 1 件であった。これらの事故は、いずれも重量のある車両を積載する際の船舶の復原力の不足または積付不良（判断間違い）によるもので、大型船では発生し難いと言える。浸水・転覆事故は、積載車両に影響すると考えられるが、死者等

の原因はいずれも海中転落である。

次に、事故による被害（死者等の数）をランク分けする。船舶の場合、事故一件当たりの死者等の数が大きいのは、短時間のうちに船舶が転覆または沈没する場合である。こうした事故では、救命設備が有効でないことも多く、海域や季節（水温）によっては、乗船者の大半が死亡または行方不明になる場合もある。船舶が短時間のうちに沈没に至る事故としては、荒天や復原性の不足に起因する転覆、船体構造に大きな損傷を伴う衝突（岸壁等への衝突を含む）、大規模な爆発などが考えられる。こうした事故を"Catastrophic"事故と呼ぶこととし、被害は「浸水・転覆」事故の被害で代表させる。

表 8 に示した通り、「浸水・転覆」の場合、死者等は 5 件で 6 人であった。これらの事故時の乗船者及び死者等の数を表 12 に示す。

表 12 に示したように、乗船者数が既知の範囲で言えば、16 人中 3 人死亡となる。ちなみに、事故時に積載されていた自動車の台数は、順に 5, 4, 2, 7, 4 台であったことが分かっている。ここで仮に、1～3 番の事故については、自動車台数と旅客数が等しいと仮定し、1 及び 2 番の事故については、乗組員が各 2 人と仮定すれば、表 12 は表 12' の通りとなる。即ち、この仮定の下では、乗船者 33 人中 6 人が死亡したことになる。5 件の事故例における推定値を考慮して、ここでは、Catastrophic 事故における死者等の数は、乗船者の 20 %を一つの目安とする。

「旅客（定期・不定期）航路事業現況表」では、旅客定員は記載されているが、乗組員の定員数が明確でないデータを多く含むので、簡単のため、

表 12 浸水・転覆事故時の乗船者及び死者等

No.	総トン数	旅客	乗組員	乗船者	死者等
1	98	不明	不明	不明	1
2	98	不明	不明	不明	1
3	98	不明	2	不明	1
4	199	9	3	12	0
5	99	1	3	4	3

表 12' 事故時の乗船者及び死者等の仮定

No.	総トン数	旅客	乗組員	乗船者	死者等
1	98	5	2	7	1
2	98	4	2	6	1
3	98	2	2	4	1
4	199	9	3	12	0
5	99	1	3	4	3
計	—	21	12	33	6

総トン数 20 トン未満では乗組員は 1 人、総トン数 20 トン以上では乗組員数は旅客 24 人あたりに 1 人（25 人乗救命筏を用いる場合の限定救命艇手の数）と仮定して、表 7 に基づき、総トン数区分毎の平均定員（運航回数ベースの平均値）を求めると表 13 の通り。

「浸水・転覆」について、事故一件当たりの死者等の数の多い事故は、「その他」に分類した人身事故、即ち、前頁の「その他」の(3)で述べた事故である。これらの事故では、1 件につき約 0.5 人（18 人／35 件）が死亡している。これらの事故一件当たりの死者等の数は、乗船者数によらないと考えられる。事故の発生確率は、荷役作業の量等により変わる可能性はあるが、ここでは考慮しない。これらの事故を"Critical"事故と呼び、その死者等の数は、1 件につき 0.5 人とする。

次に、「衝突」、「衝突（単）」、「乗揚げ」、「火災」及びその他の事故のうち船体動揺により車両が横転した事故（負傷者 4 人）について検討する。表 8 からは、これらの事故の中で「衝突」のみ人命に関するリスクが大きいように思われるが、表 8 に示した「衝突」の 5 人の死者等は、1 件の事故により発生したものである点に注意する必要がある。参考のため、Lloyd Maritime Information Service (LMIS) 社が提供する Lloyd Casualty Data により、1978 年～2000 年に発生したカーフェリーの事故について調べた。このデータは、LMIS の分類する重大事故、即ち、総トン数 100 トン以上の船舶の事故であって、船舶が喪失する、または一定程度以上の損傷がある事故に関するものである。そのため、船舶に損害の無い事故は、例え人命損失があっても収録されないことに注意されたい。ここでは、寝台付または寝台の無い旅客船であって、ロールオン・ロールオフ貨物区域を有する排水量型船舶（水中翼船、エアクッション船以外）の事故例を調べた。寝台のあるカーフェリーの事故は 52 件、寝台の無いカーフェリーの事故は 275 件、計 327 件が収録されていた。事故の種類毎の発生件数、死者等の数が特に多い 4 件の事故による死者等の数、これらを除く死者等の数を表 14 に示す。表

表 13 総トン数区分毎の平均乗船定員

総トン数区分	年間 運航回数	平均 旅客定員	平均 乗船定員
- 20	71,256	60	61
20 - 100	133,485	91	95
100 - 500	343,158	233	243
500 - 3000	259,363	446	465
3000 -	30,293	713	743

14 において「衝突」は船舶どうしの衝突であり、「接触」とは船舶以外のものへの衝突、即ち、裁決録に基づく事故の分類の「衝突（単）」に相当するものである。戦争等は、不法行為（例えば海賊）による被害も含む。1978 年～2000 年のカーフェリーの事故による死者等の数は総計 1,273 人であったが、そのうち死者等の数が多い方から 5 件の事故で、全体の 88 %（1,124/1,273）を占めていた。このことから、旅客船の事故による死者等の数は、特定の重大事故に依存することが分かる。

以上を考慮して、ここでは、「衝突」、「衝突（単）」、「乗揚げ」、「火災・爆発」及び「その他」のうち車両が横転した事故 1 件、計 456 件で代表される事故をまとめて"Marginal"事故と呼ぶ。

Marginal 事故を代表する 456 件の事故のうち、事故時の旅客数が不明のものは 25 件、事故時に旅客が乗船していなかったことが記載されているものは 28 件であった。事故時の旅客数が不明の事故を除いた 431 件の事故では、旅客数の総計は 39,837 人、死者等 5 人、負傷者等 694 人、旅客が乗船していない事故を除いた 403 件では、死者等 5 人、負傷者等 692 人であった。このことから、Marginal 事故における死傷者等の数は 50～60 人に一人程度、死者等の数は、これより概ね二桁低いことを目安に検討する。

Marginal 事故における人的被害の有無を表 15 に示す。表 15 より、Marginal 事故のうち人的被害を伴うものは、およそ 2 割程度と考えられる。このことから、Marginal 事故では、およそ 8 割は人的被害を伴わず、人的被害を伴う場合の死傷者等の数は 10 人に一人程度であり、死者等の数はこれより概ね二桁低いことを目安に事故シナリオを構築する。

表 14 LMIS Casualty Data のカーフェリー事故
(1978～2000)

事故の種類	件数	死者等の 数	4 件の 死者等	4 件以外 の死者等
衝突	48	17		17
接触	46	1		1
浸水	28	277	199	78
火災・爆発	59	519	431	88
船体・機関故障	69	19		19
戦争等	4	102	101	1
乗揚げ	69	338	338	0
その他	4	0		0
計	327	1,273	1,069	204

Marginal 事故では、ある程度の確率で、事故が積載した車両に影響を及ぼすと考えられる。事故例は、積載した車両に被害があったことが明記されているもの、積載した車両の被害には言及されておらず船舶にも全くまたは殆ど損傷が無かったものが含まれる。このうち後者は、積載した車両に影響しないと推定して差し支えないと考える。その他の大半の事故例では、事故時に積載した車両に作用した加速度を文脈から推定することは困難であるため、船舶の損傷に基づき、以下により事故例を分類した。

- (1) 擦過傷あるいは凹損もしくは小規模であることが明記されている亀裂／破口以外の損傷（亀裂、破口、損傷、圧壊）が、船体の主構造（外板等。但し、外板裏の骨のみが損傷した場合を除く）またはランプウェーまたはバウドアに生じた事故は、積載した車両に影響を及ぼす可能性が高いとする。
- (2) 舵、プロペラ、防舷材、ブルワーク等船体主構造以外の損傷または、船体主構造の損傷が擦過傷、凹損、曲損であって、小規模であることが明記されていない破口／損傷を伴わない事故は、積載した車両に影響を及ぼす可能性が低いとする。

この考え方に基づき、Marginal 事故が積載した車両に影響を及ぼす可能性を調査した結果を表 16 に示す。表 16 より、火災・爆発を別にすれば、衝突や乗揚げ（「その他」の事故、即ち積載車両の転倒を含む。）が積載車両に影響する可能性は 8 %～90 %程度であり、前述の仮定を採用すれば、442 件中 120 件（33+87）、即ち約 3 割が積載した車両に影響することとなる。事故時の車両への影響を検討するため、以下では、Marginal 事故のうち「火災・爆発」以外のもの、即ち、「衝突」、「衝突（単）」、「乗揚げ」、及び「その他」のうち車両転倒事故を「衝突等」と呼ぶ。

表 15 Marginal 事故の人的被害の有無

事故の種類	人的被害(件)		計 (件)
	有り	無し	
乗揚げ	3	48	51
衝突(単)	47	46	93
衝突	31	266	297
火災・爆発	4	10	14
その他	1	0	1
計	86	370	456

火災・爆発事故については、表 16 より、車両甲板の火災は、火災・爆発事故の 30 %と仮定する。人的被害の有無と事故時の積載車両への影響の可能性をさらに詳しく見てみると、表 17～21 が得られる。

表 16 Marginal 事故の積載車両影響別件数

事故の種類	明記	可能性高	可能性低	無し	計
乗揚げ	2	10	39	0	51
衝突(単)	14	30	48	1	93
衝突	16	47	188	46	297
その他	1	0	0	0	1
小計	33	87	275	47	442
火災・爆発	4	0	10	0	14
計	37	87	285	47	456

表 17 「乗揚げ」の人的被害と車両影響(件数)

死傷者等 車両影響	有り	無し	計
明記	0	2	2
可能性高	2	8	10
可能性低	1	38	39
無し	0	0	0
計	3	48	51

表 18 「衝突(単)」の人的被害と車両影響(件数)

死傷者等 車両影響	有り	無し	計
明記	11	3	14
可能性高	11	19	30
可能性低	24	24	48
無し	1	0	1
計	47	46	93

表 19 「衝突」の人的被害と車両影響(件数)

死傷者等 車両影響	有り	無し	計
明記	9	7	16
可能性高	11	36	47
可能性低	11	177	188
無し	0	46	46
計	31	266	297

表 20 「衝突等」の人的被害と車両影響(件数)

死傷者等 車両影響	有り	無し	計
明記	21	12	33
可能性高	24	63	87
可能性低	36	239	275
無し	1	46	47
計	82	360	442

表 21 「火災・爆発」の人的被害と車両影響(件数)

死傷者等 車両影響	有り	無し	計
明記	1	3	4
可能性高	0	0	0
可能性低	3	7	10
無し	0	0	0
計	4	10	14

表 20 より、積載車両に影響を及ぼす可能性は低いと考えた事故でも、即ち、事故時の加速度は大きくないと考えた事故でも、人的被害は発生している事故が 37 件 (36+1 件) あるが、これは「衝突 (単)」の占める割合 (25 件) が大きいためであり、加速度が小さくても人身事故が発生する原因としては、着岸間近の船内で下船のため階段等にいた乗客の怪我が多いことが挙げられる。よって、「衝突等」においては、人的被害の発生と積載車両への影響の可能性に相関がみられ、このことは、前述の積載車両への影響の判断が必ずしも不合理でないことを示唆している。

前述の通り、機関損傷事故、施設損傷事故、及びその他の事故のうちの 12 件では人命損失が無視できる。これらの事故は "Negligible" 事故と呼び、死者等の数は無視できる。

3.5. 代表事故シナリオ

以上を考慮して、事故を Catastrophic、Critical、Marginal 及び Negligible に分類し、表 11 に基づき、それぞれの発生確率を推定する。但し、安全対策の効果が異なるため、Marginal 事故は衝突等と火災・爆発に分ける。ここまでの考え方をまとめると以下の通り。

- (1) Catastrophic 事故の発生確率は、表 11 の「浸水・転覆」の通りとし、死者等の数 (人命損失の期待値) は乗船者数の約 2 割を目安とする。
- (2) Critical 事故の発生確率は、表 11 の「その他」の約 3/4 (35/48) である。その死者等の数は乗船者数によらず 0.5 人/件を目安とする。
- (3) Negligible 事故の発生確率は、表 11 の「機関/施設損傷」の発生確率に「その他」の発生確率の約 1/4 (12/48) を加えたものを目安とする。死者等の数は零とする。
- (4) 「衝突等」の発生確率は、表 11 の「衝突」、「衝突 (単)」、「乗揚げ」に、「その他」の発生確率の一部 (1/48) を加えたものを目安とする。そのうち死者等が伴う確率は約 2 割であり、死者等を伴う場合の死者等の数は、乗船者数の 0.1 % を目安とする。
- (5) 「火災・爆発」の発生確率は、表 11 の通りとし、死者等を伴う確率は約 2 割で、死者等を伴う場合の死者等の数は、乗船

者数の 0.1 % を目安とする。

以上を考慮して、各事故の発生確率を計算し数値を丸めると表 22 の通り。

危険物の積載によりリスクが変わるのは、「衝突等」及び「火災・爆発」である。「衝突等」において、積載車両の被害が明記されているもの及び影響の可能性が高いものを「大加速度」、その他を「小加速度」と呼び、表 20 をまとめると表 23 の通り。表 23 に基づき、「大加速度」は 30 %、「小加速度」は 70 % として、「大加速度」の場合は 40 %、「小加速度」の場合は 10 % の割合で人的被害を伴うものとする。即ち、衝突等における人的被害を伴う事故の割合は 19 % ($0.3 \times 0.4 + 0.7 \times 0.1$) とする。簡単のため「小加速度」の事故ではタンク車両から収納物の漏洩が発生しないものと仮定する。「大加速度」の事故の際にタンク車両から収納物の漏洩が発生する確率を「事故時漏洩確率」と呼び、記号 "α" で表す。事故時漏洩確率 α については、検討の基礎となる適当なデータが無い。そのため、本研究ではこの確率が 10 %、100 % のそれぞれの場合についてリスクを求め、安全対策を評価する。

火災・爆発については、車両甲板に影響する事故を 30 %、その他の事故を 70 % とし、人的被害を伴う割合は、いずれの場合も 20 % とする。表 21 では、人的被害を伴う割合は約 3 割であるが、人的被害を伴う事故における死者等の数は、衝突等と同じ値を用いること、また、表 8 に示した通り、火災・爆発一件当たりの死者等の数は衝突等と比較して大きくないことから、死者等を伴う割合は 20 % とする。

死者等を伴う事故の一件当たりの死者等の数を、Catastrophic 事故では乗船者数の 20 %、

表 22 総トン数毎の事故分類別発生確率 (%)

総トン数区分 事故種類	- 20	20 - 100	100 - 500	500 - 3,000	3,000 -
Catastrophic	15	15	1	0	0
Critical	6	6	6	6	6
Marginal - 衝突等	65	65	77	78	78
Marginal - 火災・爆発	2	2	2	2	2
Negligible	12	12	14	14	14

表 23 「衝突等」の大加速度と人的被害

死傷者等 車両影響	有り	無し	計
大加速度	45	75	120
小加速度	37	285	322
計	82	360	442

Critical 事故では 0.5 人、衝突等及び火災・爆発では乗船者数の 0.1 %として、表 6 に示した総トン数区分毎の年平均事故件数の割合、表 13 に示した平均乗船定員、表 22 に示した分類別発生確率に基づき、解析対象事故一件当たりの死者等の数の平均値を求めたものが、表 24 である。表 24 の右下の値が、前述の値を用いて、全ての総トン数の船舶による航海及び事故種類を考慮した、満員のカーフェリーの解析対象事故一件当たりの死者等の数の平均であり、この値は、図 10 に示した値と概略一致する。よって、代表事故シナリオは以上の通りとし、解析対象事故の分類を図 11 に Event Tree に模して示す。図 11 において、事故の種類と発生確率の関係については、表 22 を参照されたい。

裁決録から抽出した事故例の中に危険物との関係は特に報告されていないことから、図 11 に示した代表事故シナリオは、危険物の積載が問題にならなかった事故と考えられる。このシナリオによるリスクを基本リスクと呼ぶ。各総トン数区分毎の基本リスクを求めると表 25 の通り。表 25 において、「一人当たりの基本リスク」は「航海当たりの基本リスク」を表 13 に示した平均乗船定員により割った値である。航海当たりのリスクの平均値は、表 5 に示した運航回数を考慮した平均値、一人当たりのリスクの平均値は、乗船者数

は定員に比例すると仮定し、表 13 に示した平均定員と表 5 に示した運航回数の積（輸送人数／乗船率）を考慮して求めた値である。

参考のため、一人当たりの基本リスクの平均値を、旅客船全体の場合と比較してみる。前述の通り、旅客船の事故による死者等の数は年平均 4.1 人であった（2.3 節参照）。これに対して、旅客の輸送に関する統計⁽¹⁰⁾によれば、平成 12 年度に旅客船で輸送した人数は 86 百万人であった。これらのデータで計算すれば、旅客船への乗船による

表 24 総トン数、事故分類、年間運航回数割合に基づく満員のカーフェリーの解析対象事故一件当たり死者等の数

分類 GRT	Cata- strophic	Critical	衝突等	火災 爆発	計
-20	1.7×10 ⁻³	2.8×10 ⁻³	7.1×10 ⁻⁶	2.3×10 ⁻⁷	1.8×10 ⁻³
20-100	5.6×10 ⁻²	5.9×10 ⁻⁴	2.3×10 ⁻⁴	7.4×10 ⁻⁶	5.7×10 ⁻²
100-500	8.7×10 ⁻²	5.4×10 ⁻³	6.4×10 ⁻³	1.7×10 ⁻⁴	9.9×10 ⁻²
500-3,000	0	1.2×10 ⁻²	2.8×10 ⁻²	7.4×10 ⁻⁴	4.0×10 ⁻²
3,000-	0	1.2×10 ⁻²	4.4×10 ⁻²	1.2×10 ⁻³	5.7×10 ⁻²
計	1.4×10 ⁻¹	3.0×10 ⁻²	7.8×10 ⁻²	2.1×10 ⁻³	2.5×10 ⁻¹

表 25 基本リスク

総トン数区分	基本リスク	
	航海当たり	一人当たり
- 20	1.0×10 ⁻⁶	1.7×10 ⁻⁸
20 - 100	1.8×10 ⁻⁵	1.9×10 ⁻⁷
100 - 500	1.2×10 ⁻⁵	5.1×10 ⁻⁸
500 - 3000	8.1×10 ⁻⁶	1.7×10 ⁻⁸
3000 -	1.0×10 ⁻⁴	1.3×10 ⁻⁷
平均	1.4×10 ⁻⁵	4.9×10 ⁻⁸

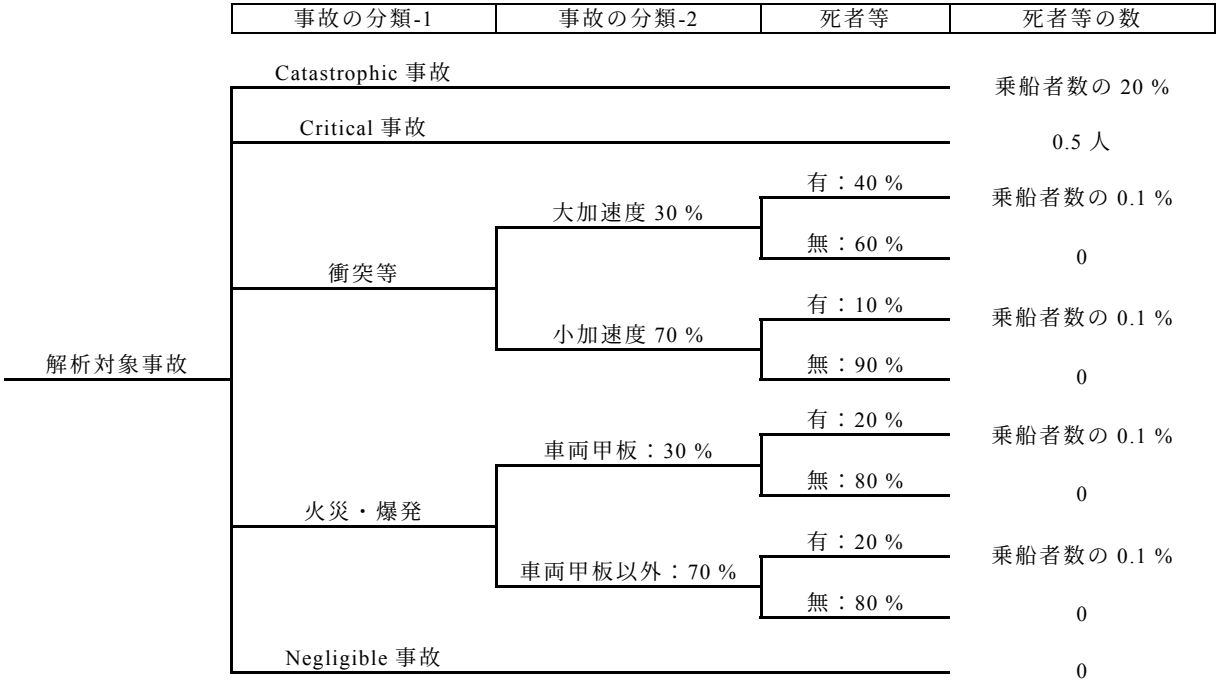


図 11 解析対象事故の分類

人命に関するリスクは、概ね 4.8×10^{-8} 程度であり、表 25 に示した値と概略一致する。

比較のため交通事故（道路上の自動車や列車等による事故）について見てみると、平成 12 年の交通事故による死者数⁽¹¹⁾は 9,066 人であったのに対し、平成 12 年度の自動車による輸送人数は 628 億人、これに鉄道（JR 及び民鉄）による輸送人数を加えると 843 億人であった⁽¹⁰⁾。交通事故による死者数を輸送人数で割ると、自動車では 1.4×10^{-7} 、鉄道を加えた場合 1.1×10^{-7} となる。また、同じく平成 12 年における自動車乗車中の死者数は 3,953 人⁽¹¹⁾であり、これを自動車による輸送人数により割ると、 6.3×10^{-8} となる。

調査対象タンク車両を積載した場合の影響は、図 11 に示した事故シナリオの一部を変更することにより検討する。衝突等事故については、大加速度事故のうち、事故時漏洩確率に応じて危険物の漏洩が発生すると考える。また、火災・爆発事故については、車両甲板に影響を及ぼす事故において、一定確率で、危険物を積載したタンク車両に延焼する場合を考える。大加速度による漏洩の際のシナリオ及び車両甲板火災の際のシナリオについては後述する。

4. タンク車両の事故事例の調査

4. 1. 調査の位置付け

1.5 節で述べた通り、本研究では、船舶に事故が発生した際に危険物を収納したタンク車両が事故の結果に及ぼす影響について検討するとともに、タンク車両に起因する事故とその影響についても検討する。タンク車両に起因する事故の発生確率等を検討するため、消防庁が発行している「危険物に係る事故事例」⁽¹²⁾を調査した。また、LPG 等の事故について、高圧ガス保安協会の事故事例データベース⁽¹³⁾に基づき調査した。

4. 2. 引火性液体の事故例調査

消防庁の「危険物に係る事故事例」のうち、平成 10～12 年の 3 年分の資料について調査した。この資料では、タンク車両は「移動タンク貯蔵所」と呼ばれており、本調査に関する記述においては、この名称を用いる。

調査した事故例は、LPG 等のガスに係るものを含んでいないことから、この調査結果は、ガソリンを収納したタンク車両のリスクの検討の基礎とする。調査においては、船舶における発生の可

能性等を考慮して、事故例を分類・検討した。調査結果を付録 C に示す。

付録 C.1 節（節の末尾参照）に示した通り、総トン数区分によらず、一航海当たりの火災・爆発事故及び漏洩事故の発生確率は、それぞれ 2.3×10^{-8} 及び 2.0×10^{-7} と推定できる。

4. 3. 引火性ガスの事故例調査

LPG 及び液体酸素に係る事故例は、高圧ガス保安協会の平成 13 年度版事故事例データベースに基づき調査した。このデータベースは 1989 年～2000 年に発生した 1,142 件の事故事例が収録されている。このデータベースには、「物質名」、「形態区分」（移動、消費、充填等の別）、「現象」（破裂等、火災、爆発、漏洩等の別）の欄があり、事故事例を分析できる。調査においては、前述の事故例調査と同様に、船舶における発生の可能性等を考慮して、事故例を分類・検討した。併せて、ガス用のタンク車両の数についても調査した。調査結果を付録 D に示す。

付録 D.1 節で述べた通り、調査の範囲では、LPG タンク車両及び液体酸素タンク車両の船上で発生し得る事故例は含まれていなかったと言える。

ここで、漏洩事故の発生確率は、LPG タンク車両と液体酸素タンク車両の漏洩事故の発生確率は等しいと仮定し、さらに、調査の対象となる 12 年間において、漏洩事故が 1 件であった場合の事故発生確率を求めてみる。

通商産業省環境立地局保安課の「高圧ガス保安年報」（平成 8 年度）によれば、平成 9 年 3 月 31 日におけるガスの運送に供されるタンク車両の数は、表 26 に示す通りであった。

タンク車両の台数を表 26 に示した値で代表させれば、LPG 及び液体酸素のタンク車両の台数の合計が 6,567 であることから、事故発生確率を計算する際の分母は 78,804 台・年となり、事故件数を 1 件と仮定すれば発生確率は 1.3×10^{-5} 件／台・年となる。ガソリン用のタンク車両の場合と同じ考え方により一航海当たりの発生確率を求めれば 1.8×10^{-8} 件／台・航海となる。

調査の範囲には船上で発生し得る事故が収録されていなかったことを考慮して、以下では、LPG タンク車両と液体酸素タンク車両の漏洩事故の発生確率を 1.8×10^{-8} 件／台・航海と仮定して検討を進める。また、LPG タンク車両や液体酸素

タンク車両から出火する確率は零とする。なお、漏洩が火災や爆発に結びつく確率については後述する。

5. 危険物積載によるリスクの増分

5. 1. 考慮すべき危険性

まず、調査対象タンク車両を積載することによるリスクの増分を検討する際に考慮すべき危険性について整理する。

カーフェリーの事故のうち、積載したタンク車両に影響を及ぼすものは「大加速度事故」と「車両甲板に影響する火災事故」である。前者はタンク車両からの調査対象危険物の漏洩の原因となり、後者は場合によりタンク車両に火災が及び大事故となる。もう一つは、カーフェリーの事故に起因しないタンク車両からの漏洩及び火災事故である。

調査対象危険物には有意な毒性は無いことから、単に漏洩が発生しただけでは、人命に関するリスクは増大しないと考えられる。漏洩があった際に問題となるのは、漏洩に起因する船舶の脆性破壊と、漏洩した危険物の火災である。以下ではこれらを考慮して、リスクの増分を推定する。参考のため、タンク車両の仕様の例を表 27 に示す。表 27 に示した LPG タンク車両は「10 トン積み」と呼ばれる型である。液体酸素用のタンク車両の容積は、それぞれ 2,050 キロリットル、6,980 キロリットルである。

5. 2. 漏洩に起因する脆性破壊

液化ガス（LPG 及び液体酸素）の漏洩の際の危険性としては、低温による危険性、即ち脆性破壊を考慮する必要がある。「LNG 船／LPG 船技術

資料」⁽¹⁴⁾によれば、上甲板（タンクカバーを含む）の亀裂発生事故 11 件のうち、LNG（約-160℃）または LN₂（液化窒素。約-196℃）の溢出／漏洩によるものが 9 件あり、また、これらの貨物の溢出／漏洩の場合、少数の例を除き、殆ど亀裂発生に至っている。そして、LNG 及び LN₂等がこぼれて局部冷却されると、鋼材は熱応力及び溶接残留応力のみで降伏応力程度の高応力に達し、微小欠陥を発生源として容易に脆性破壊が生ずるとしている。よって、液体酸素（沸点：-183℃）が漏洩した場合については、脆性破壊による危険性を考慮すべきと考えられる。

鋼材のグレードにもよるが、低温用ではない A 級鋼の場合、靱性値は 0℃近辺で急速に低下し、約-50℃程度で桁違いに小さくなる。鋼の比熱は約 0.9 kJ/kg・K であり、初期の温度を 20℃とすれば、鋼材 1 kg を-50℃に冷却する熱量は 63 kJ である。液体酸素の蒸発潜熱（189 kJ/kg）を考慮すれば、液体酸素 0.33 kg が気化する熱量で鋼材 1 kg を-50℃まで冷却できることになる。

液体酸素が漏洩した際の甲板等船舶の構造部材の温度分布は複雑であり、漏洩の様子によっても異なるため、どの程度の漏洩量で船舶に復原性等の重大な危険が生じるかは明らかではないが、ここでは簡単のため、液体酸素を収納したタンク車両の投影面積程度の甲板を-50℃まで冷却できるだけの量が漏洩した場合は、船舶の構造強度が維持できず、Catastrophic な事故、即ち、死者等の数は乗船者の 20 %となると仮定する。これは、漏洩した液体酸素が甲板上に広がった際に、タンク車両の寸法程度の亀裂が発生し伝播すれば、タンク車両を支えることが困難になり、船体構造に重大な危険があると考えことに相当する。タンク車両の投影面積を 20 m² とし、鋼材の厚さを 10 mm、比重を 7.8 とすれば、鋼材重量は 1,560 kg で、これを-50℃まで冷却するのに要する液体酸素の量は約 460 リットル（520 kg）である。よっ

表 26 ガス用タンク車両の運行台数
(H9.3.31 時点)

用途	台数
LP ガス	5,564
液体酸素	1,003
水素	731
液化エチレン	47
液化アンモニア	241
液化塩素	262
液化塩化ビニル	29
酸化エチレン	125
LNG	119
クロルメチル	9
その他	322
計	8,452

表 27 タンク車両の仕様例

対象貨物	石油類	LPG	液体酸素	
タンク容量 (積載量)	16 kℓ	23 kℓ	2,600 kg	8,850 kg
総重量 [kg]	21,930	23,710	8,000	20,000
全長 [m]	9.11	11.98	7.1	9.6
全幅 [m]	2.49	2.49	2.2	2.5
全高 [m]	3.00	3.10	-	-
設計温度	-	-10℃	-	-
設計圧力	-	2.1MPa	-	-

て、液体酸素については、400 リットルを超える液体酸素の漏洩は、短時間のうちに総員退船を必要とする事故と考える。

液体酸素の漏洩量についてはデータがないため、ここでは、事故の際の漏洩量はガソリン等の移動タンク貯蔵所の事故例のうち、船上でも発生し得るもの（付録 C.1 節表 C.5 参照）で代表されると仮定する。漏洩量が 400 リットルを超えたのは 35 件中 5 件であることから、数字を丸めて、漏洩した際にその量が 400 リットルを超える確率は 15 %とする。また、大加速度事故の場合は、表 C.5 に斜体で示した事故、即ち他の車両等と接触した事故 6 件中 2 件で漏洩量が 400 リットルを超えていることを考慮して、漏洩した際にその量が 400 リットルを超える確率は 30 %とする。

LPG の場合、表 27 に示した通り、タンク車両の設計温度は-10℃～40℃程度であり、貨物の温度は通常の鋼材の破壊が問題となる温度ではないため、脆性破壊は考慮しない。

5. 3. 漏洩後の火災・爆発

漏洩が火災・爆発に結びつく確率について検討する。

ガソリンが漏洩した際に火災に至る確率の検討の詳細を付録 C.3 節に示す。船上でも発生し得る漏洩事故のうち、火災になった事故は 35 件中 1 件であったことに基づき、カーフェリーの事故によらない漏洩事故については、漏洩から出火に至る確率は 3 %と仮定する。大加速度事故の際に漏洩から出火に至る確率については、移動タンク貯蔵所の火災事故及び漏洩事故全体の件数に基づいて決定する。事故例は、ガソリン（火災 8 件、漏洩 19 件）とその他の物質（火災 10 件、漏洩 170 件）に分け、ガソリンは 27 件中 8 件が火災であることに基づき、漏洩から出火に至る確率を 40 %と仮定する。

LPG が漏洩した際の火災・爆発の危険性について検討した結果を付録 D.2 節に示す。検討結果に基づき、漏洩した際に着火に至る確率は、大加速度事故か否かによらず、タンク車両が開放型車両甲板に積載されている場合については 7 %、閉囲型車両甲板に積載されている場合については、10 %と仮定する。また、着火した際に爆発になる確率は、18 件中 5 件程度との検討結果に基づき、28 %、（火災 72 %）と仮定する。

液体酸素が漏洩した際の火災・爆発の危険性に

ついて検討した結果を付録 D.3 節に示す。事故例からは、液体酸素が漏洩した際に出火する確率は 12 件中 1 件程度を想定すれば良いと言える。一方、危険物ハンドブック⁽¹⁵⁾によれば、液体酸素と炭化水素の混合物は、外部からの起爆を必ずしも必要としない非常に危険な爆発物であるのに対して、カーフェリーの車両甲板は清浄でない場合も多く、油汚れや油分を含む布等が存在する可能性もある。そのため、液体酸素が船上で漏洩した際に出火（急激に反応）する確率は、12 件中 1 件との陸上の事故例に基づく調査結果の 2 倍程度と考え、15 %と仮定する。

事故例からは酸素が漏洩した際に出火すれば、周囲の可燃物に容易に引火することが分かる。一方、車両甲板には可燃物である自動車があるため、液体酸素が漏洩し出火した場合については、大規模な火災を想定すべきと言える。

ここで、LPG が漏洩した後に爆発した場合の死者等の数について検討する。LPG を収納したタンク車両を開放型車両甲板に積載した場合は、大規模な事故になることが想定される。よって、ここでは簡単のため、爆発事故は Catastrophic な事故になる、即ち、死者等の数は乗船者数の 20 %になる仮定とする。LPG の爆発事故が閉囲型車両甲板で発生した場合、船舶の沈没に加えて、さらにタンク車両や船体の破片が飛散することが考えられる。そこで、船舶の沈没と船体等の破片の飛散のそれぞれを Catastrophic な事故と考え、それぞれの要因により、乗船者の 80 %しか生存できないと仮定する。即ち、LPG を収納したタンク車両を閉囲型車両甲板に積載した際の爆発事故の際の死者等の数は、乗船者数の 36 %と仮定する。

5. 4. 大量漏洩後の出火

ガソリンを収納したタンク車両を含む事故としては火災が問題であり、Catastrophic な事故になると考えられるのは、ガソリンが大量に漏洩した後に着火する場合である。ガソリンの漏洩量と火災の危険性の関係については一概には論じられないが、簡単のため、ここでは、液体酸素による脆性破壊の検討に倣って、火災の面積の指標としてタンク車両の投影面積（20 m²）を考え、その面積において一定程度の時間燃焼するだけの漏洩量を、Catastrophic な事故のクライテリアとする。漏洩量を評価するための時間としては、避

難が開始され、多くの乗船者が集合場所（安全場所：一般には、生存艇乗艇甲板）に集まって待機し、退船を開始するまでの間火勢が弱まることがない状況を危険と考える。避難経路の解析の目的では、例えば国際高速船コードでは、避難開始までの時間として7分を与えている。また、巨大船の場合は別として、数千トン程度の旅客船であれば、避難開始から3分程度で殆どの乗船者は集合場所に達することが避難解析の結果⁽¹⁶⁾から分かる。そのため、Catastrophic な事故となる火災継続時間は10分と仮定する。ガソリンや灯油が円筒容器内で燃焼する場合を考慮すれば、容器直径が1 m 以上で乱流火災領域であるとすれば、燃焼速度（液面の低下）は概略4.8 mm/min であり⁽¹⁷⁾、⁽¹⁸⁾、その際のガソリンの燃焼による発熱量は概略160 MJ/m²・min である。よって前述の条件、即ち燃焼面積20 m²、燃焼時間10分に対応する漏洩量は960 リットルであり、これを超える漏洩量の際に火災になった場合が Catastrophic な事故であると考ええる。

漏洩量が960 リットルを超える確率は、船上で発生し得ると考えられる漏洩事故の際の漏洩量（付録 C.1 節表 C.5 参照）から、大加速度事故以外の場合は6 %（2/35）とする。また、タンク車両が建物の一部等に接触した場合の6件の事故のうち1件で漏洩量が960 リットルを超えていることから、大加速度事故の場合については、15 %とする。

参考のため散水消火の例として加圧水噴霧装置を考えた場合、水量は5 リットル/m²・min であり、水温を20℃として、これが100℃の蒸気になる場合を考えれば、温度上昇（比熱：4.2 kJ/K・kg）及び蒸発（蒸発熱：2.26 MJ/kg）に要するエネルギーは約2.6 MJ/kg である。よって、噴霧する水の総量が単位時間当たりに奪える熱量は13 MJ/m²・min であり、ガソリンの燃焼による熱量（160 MJ/m²・min）よりも小さく、一度ガソリンが燃焼すれば、水蒸気による窒息効果はあるにせよ、加圧水噴霧装置の散水による冷却効果では消火し難いと考えられる。

ガソリンが大量に漏洩した後に出火した場合、火災の規模は大きくなると考えられるが、船舶の転覆やLPGの爆発の場合と比較すれば、避難や総員退船の観点からは、時間的に余裕があると考えられる。そのため、閉囲型車両甲板にガソリンを収納したタンク車両を積載した場合の事故の

際の死者等の数は Catastrophic な事故の半分、即ち乗船者数の10 %と仮定する。また、開放型車両甲板の事故の際の死者等の数については、そのさらに半分、即ち乗船者数の5 %と仮定する。

LPG については、漏洩量よりも火災か爆発かにより Catastrophic な事故になるか否かを判定する。また、液体酸素が大量に漏洩した場合については、船体構造の脆性破壊による Catastrophic な事故を想定していることから、火災の観点からは、大量漏洩に起因するリスクの増分は考慮しない。

5. 5. タンク内の調査対象貨物の火災・爆発

車両甲板内で火災が発生した場合、または、車両甲板に火災の影響が及んだ場合は、当該火災が、その出火時点においてタンク内に収納されていた調査対象危険物に及ぶか否かにより、事故の際の死者等の数が異なると考えられる。出火時点においてタンク内に収納されていた調査対象危険物に火災が及ぶか否かは、当該火災への対処を開始するまでの時間、対処の方法（火災抑制手段）、火災と調査対象タンク車両の位置関係等により異なると考えられる。

出火時点においてタンク車両に収納されていた調査対象危険物に火災が及ぶ確率は、以下の事故に関係する。

- (1) カーフェリーの事故によらないタンク車両からの出火（漏洩無し）
- (2) カーフェリーの事故によらないタンク車両からの漏洩に続く出火
- (3) カーフェリーの大加速度事故の際の漏洩に続く出火
- (4) カーフェリーの車両甲板に影響する火災・爆発事故

貨物の漏洩によらない石油類のタンク車両の火災事故4件（付録 C.1 節参照）のうち、原因不明事故の1件でタンク車両が全焼している。この事故は、タンク車両の常置場所に駐車してあった移動タンク貯蔵所から出火し、付近の住民により通報されたもので、3台の移動タンク貯蔵所が全焼しており、知覚が遅れたことにより被害が拡大したと考えられる。航海中の船舶の火災では、「付近住民による通報」に相当するような火災の知覚遅れが発生することは考え難いが、火災の知覚の遅れによりタンク内の貨物に火災が及ぶ確率は有意な値であると考えべきである。ここで

は簡単のため、通常の火災探知装置が火災知覚の主たる手段になる場合（追加的安全対策を実施していない閉囲型車両甲板における事故の場合）は、タンク車両から出火した場合またはタンク車両の近傍に火災が及んだ場合に、出火時点でタンク内に収納されていたガソリンもしくはLPGに火災が及ぶまたはタンク内の液体酸素が流出して大規模な火災になる確率は、事故例5件のうち1件でタンク車両が全焼したことを考慮し、また、このような火災の知覚遅れによる被害の拡大の可能性は航海中の船舶では半減すると考え、10%と仮定する。即ち、(1)のケースでは、10%の確率で調査対象タンク車両を巻き込んだ火災になると仮定する。また、(2)及び(3)のケースでは、漏洩量が小さい場合でも、10%の確率でタンク内の調査対象貨物の火災・爆発事故になると仮定する。

調査対象タンク車両が開放型車両甲板に積載される場合は、常時監視（ビデオによる場合を含む）や頻繁な巡視が行われることを前提としているため、これらの確率は半減する、即ち5%になると仮定する。但し、漏洩したLPGが火災となった場合は、一度出火すれば爆発の危険を避けるため消火してはならないこと、即ち、対処が困難であることから、LPGについては、確率値は10%のままとする。

(4)のケースについては、車両甲板に影響が及んだ事故例4件に基づき、タンク内の調査対象貨物の火災・爆発事故になるケースについて検討する。各事故の概要は以下の通りである。なお、死者等は無かった。

- (1) 機関室から出火→車両甲板に延焼→総員退船→沈没（火傷2人）
- (2) 温水加熱器の爆発（蒸気圧による）→バス3台・乗用車5台損傷（火災は無し）
- (3) 積載したトラックから出火→任意乗揚げ→他船等による救助・陸岸へ泳ぎ着く等→車両甲板構造物全焼
- (4) 積載した活魚運搬車から出火→トラック2台に延焼→消火活動により鎮火

いずれの事故でも、被害は複数の車両に及んでいる。また、(1)と(3)の事故では、調査対象タンク車両が積載されていれば、これに火災が及んだと考えられる。また、(2)及び(4)の事故でも、調査対象タンク車両が積載されていれば、事故が死者等を伴う大規模なものになっていた確率は大き

いと考えられる。(2)及び(4)では、簡単のため、調査対象タンク車両に火災が及ぶ確率を50%と考え、カーフェリーの車両甲板の火災・爆発事故は、75%の確率で、タンク内の調査対象貨物の火災・爆発事故になると仮定する。

以上により、各ケースについて「タンク内の調査対象貨物の火災・爆発事故」になる確率を想定した。

事故例からは、カーフェリーの車両甲板に影響が及んだ火災・爆発事故では、時間的に余裕があったため、死者等が発生しなかったと考えられる。この点を考慮し、タンク内のガソリンに火災の影響が及び大規模な火災となった場合の死者等の数は、大量漏洩後の火災事故と同じ、即ち、開放型車両甲板の場合は乗船者数の5%、閉囲型車両甲板の場合は乗船者数の10%と仮定する。タンク内のLPGに火災の影響が及び、爆発または大規模な火災となった場合の死者等の数は、時間的余裕を考慮して、漏洩等に起因するLPGの爆発事故の半分、即ち、開放型車両甲板の場合は乗船者数の10%、閉囲型と車両甲板の場合は乗船者数の18%と仮定する。タンク内の液体酸素に火災の影響が及んだ場合、即ち、火災によりタンクが崩壊する等の原因で大量の液体酸素が供給された場合、その燃焼は爆発的なものになると考えられる。よって、液体酸素については、こうした事故における死者等の数はLPGの場合と同じと仮定する。

脆性破壊、爆発、タンク内の危険物への影響を伴わず、且つ、大量漏洩後ではない火災が発生した場合は、船舶の単なる火災事故に準じて、20%の確率で、乗船者数の0.1%だけ、死者等の数が増加すると仮定する。

5.6. 危険物の積載方法とリスクの増分

調査対象タンク車両を積載した場合のリスクの増分は、積載場所が開放型車両甲板か閉囲型車両甲板かにより異なる。開放型車両甲板に積載した場合、爆発または爆発的な燃焼（以下、「爆発等」と呼ぶ。）が生じた場合でも圧力により船体が崩壊する可能性は低い。一方、閉囲型車両甲板に積載した場合、爆発等が生じれば、船舶が航行不能となり、短時間のうちに全ての乗船者が避難する必要が生じる可能性が高い。また、前述の通り開放型車両甲板では、暴露甲板上以外であっても、調査対象タンク車両をビデオカメラ等により

常時監視していることを前提としているが、こうしたタンク車両を閉囲型車両甲板に積載し火災が発生した場合、主たる探知の手段は、一般に、火災探知装置となる。

車両甲板内の車両の固定方法も、リスクの増分に影響を及ぼす要素である。車両を適切に固定すべきことは、前述の通り、特殊貨物船舶運送規則で要求されているが、カーフェリーの場合、航海時間が長い場合や遭遇する海象が厳しいことが予想される場合を除き、車両は特に固定されていない。よって、追加の安全対策として、事故時の加速度に対処するための固定が要求されていない場合については、固定されていない状況を想定してリスクの増分を推定すべきと言える。この場合、事故時の加速度（甲板面に平行な加速度）が一定程度を超えた場合、調査対象タンク車両またはその近傍の車両が移動／転倒して、タンク車両に損傷を生じる恐れがあると考えた必要がある。実際にどの程度の加速度が作用すればタンク車両等が移動／転倒するかは、甲板と車両（タイヤ）の摩擦や甲板面の法線方向の加速度の大きさにもよるため、一概には言えないが、簡単のため、ここでは事故時の加速度が 0.1 G（G は重力加速度）を超えた場合にタンク車両等の移動／転倒が起こると仮定する。

次に、固定を実施した場合にタンク車両等の移動／転倒が起こる加速度について検討する。国際海事機関のトラック等（road vehicle）の固定に関する指針⁽¹⁹⁾によれば、固定用のチェーンや甲板上の固定場所（金具）の強度は 120 kN としており、例えば車両の重量が 20 トンまでの場合には片側 2 本以上が要求されている。これに基づき、20 トンの車両を図 12 に示す通り固定したとし、甲板とタイヤの摩擦（タイヤが滑りを起こす場合には動摩擦）を無視すれば、船首尾方向及び左右舷方向については、固定索（チェーン等）の加速

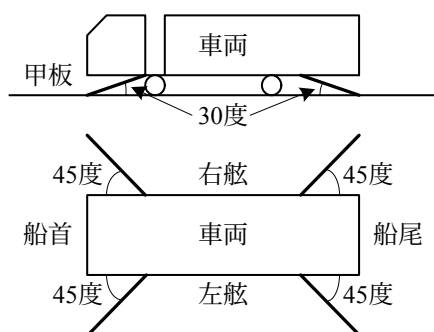


図 12 車両固定の例

度に対する方向余弦を考慮すれば、147 kN（15 トン）の力まで耐えられることになる。即ち、約 0.75 G の加速度に耐えられることになる。

実際の固定では、固定索の方向が調整できる範囲も限られ、より小さい加速度にしか耐えられない場合もあることを考慮して、固定を行った場合については、0.7 G の加速度に耐えられると仮定する。

安全対策としての固定の効果が問題となるのは、大加速度事故の場合である。付録 E に、事故例に基づき事故時の加速度を推定した結果を示す。表 E.1～E.3 に示した 120 件の大加速度事故のデータに基づき、事故時の最大加速度が 0.1 G 及び 0.7 G を超える確率を求めると図 13 の通り。

事故の種類毎に最大加速度が 0.1 G 及び 0.7 G 以内に収まる件数を求めると、表 28 の通り。表 28 に 1 G 及び 1.5 G を含めたのは、固縛の増し取りをした場合の参考とするためである。

図 13 及び表 28 より、固定を行わない場合は大加速度事故の 27 %、固定を行った場合は 60 % の確率で、タンク車両等は移動／転倒しないと仮定する。即ち、安全対策としての固定は、大加速度事故においてタンク車両等が移動／転倒する確率を 73 % から 40 % に引き下げる効果があると仮定する。また、表 28 より、固縛の増し取りをす

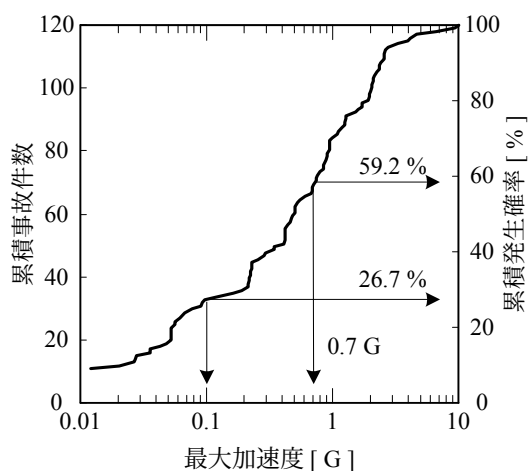


図 13 事故時の最大加速度の分布

表 28 最大加速度の範囲と事故件数

	衝突	衝突 (単)	乗揚げ	その他	計
0.1 G 以下	19	9	4	0	32
0.7 G 以下	34	26	10	1	71
1 G 以下	39	33	11	1	84
1.5 G 以下	45	35	11	1	92
計	63	44	12	1	120

れば、タンク車両等が移動／転倒する確率を 25 %～30 %程度まで引き下げられるであろうことが分かる。

5.7. 乗船前の点検の効果

前述の通り、乗船前にタンク車両を点検することは、タンク車両からの出火や漏洩の確率を下げる安全対策と位置付けられる。この安全対策の効果について、事故例に基づき検討する。

火災について言えば、ガソリンを収納したタンク車両が出火する確率を求める基礎となった5件の事故（付録 C.1 節参照）は、この安全対策では防止できないと考えられるため、タンク車両からの出火確率は、安全対策を実施しても変化しないと考えられる。

次に漏洩についてであるが、表 C.5 に示した船上でも発生し得ると考えられる 35 件の事故のうち、この安全対策で防止できると考えられるものは、ホースの収納が不適切であった 12 件、締め忘れ等の 9 件、計 21 件である。よって、この対策を実施すれば、大加速度事故の場合を除き、ガソリンの漏洩事故の 60 %は防止できると考えられる。LPG 及び液体酸素の漏洩事故の確率は、具体的な事故例を基礎として求めたものではないため、ガソリンの場合と同様に、この対策を実施

すれば、漏洩事故の発生確率が元の確率の 40 %になると仮定する。

5.8. リスク増加シナリオ

調査対象タンク車両を積載した場合は、図 11 に示した大加速度事故及び車両甲板に影響のある火災・爆発事故によるリスクが増加する。

大加速度事故の際に調査対象タンク車両を積載していた場合の一般的な事故シナリオを図 14 に示す。死者等の数に記載した数値は、乗船者数に対する割合である。図 14 において $P_1 \sim P_6$ は、車両の固定の有無、危険物の種類、積載場所及び常時監視／頻繁な巡視の有無により異なる。

車両甲板に影響するカーフェリーの火災・爆発事故の際に調査対象タンク車両を積載していた場合の一般的な事故シナリオを図 15 に示す。

ガソリンについては、カーフェリーの事故によらずに、タンク車両から出火した場合を考える。事故シナリオは図 16 の通り。

カーフェリーの事故によらない漏洩事故の事故シナリオは図 17 の通り。図 17 において漏洩事故が発生する確率は、4.2 節及び 4.3 節で述べた通り、ガソリンタンク車両については 2.1×10^{-7} 、LPG タンク車両及び液体酸素タンク車両については 1.0×10^{-7} である。

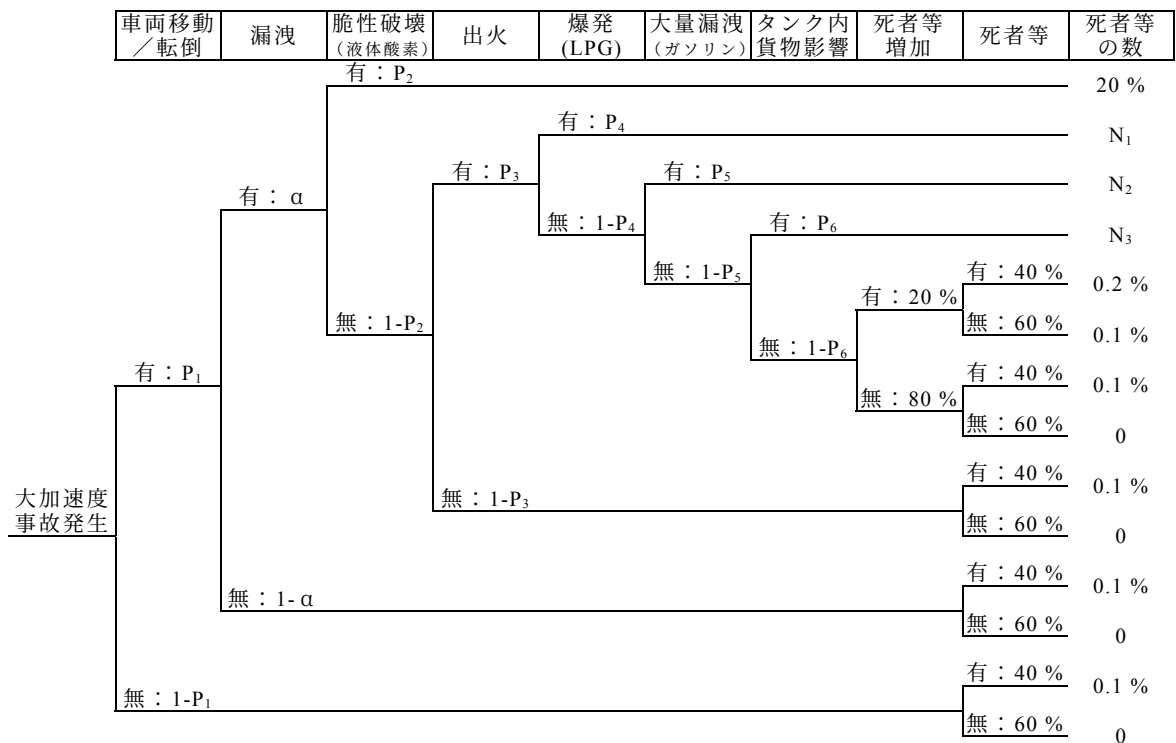


図 14 調査対象タンク車両を積載した際の大加速度事故

これらの事故の発生確率及び基本リスクに対するこれらの事故の寄与を表 29 及び表 30 に示す。また、 $P_1 \sim P_8$ についてまとめると表 31 の通り、 $N_1 \sim N_7$ についてまとめると表 32 の通りである。

調査対象タンク車両の積載によるリスクの増分は、図 14～17、表 31 及び表 32 に基づいて計算できる。

5. 9. 調査対象タンク車両の積載による リスク増加

以上の検討結果に基づき、リスク増加を計算した結果を表 33 に示す。表 33 は左から順に、事故時漏洩確率（3.5 節参照）、安全対策の有無、調査対象危険物、積載場所、航海回数を考慮したリス

クの平均値、航海回数及び乗船者数を考慮した一人当たりのリスクの平均値（3.5 節表 25 参照）である。事故時漏洩確率は 0.1 の場合と 1 の場合、即ち、車両の移動や転倒が起これば必ず漏洩も起こる場合の 2 ケースについて計算した。安全対策の欄に「無」とあるのは固定やタンク車両の乗船前の点検を行わない場合、「有」とあるのは、固定とタンク車両の乗船前の点検の両方を行った場合を意味し、「監視有」とあるのは、閉囲型車両甲板に積載する場合であって、ビデオや頻繁な巡視による監視が行われる場合を意味する。なお、計算結果の詳細は付録 F.1 節に示す。

以上の計算結果に基づき、調査対象タンク車両の積載の可否及び安全対策について検討する。

	タンク内 貨物影響	死者等	死者等 の数
火災・爆発事故 車両甲板影響	有：75 %		N_3
	無：25 %	有：20 %	0.1 %
		無：80 %	0

図 15 調査対象タンク車両を積載した際の
車両甲板に影響する火災・爆発事故

	タンク内 貨物影響	死者等	死者等 の数
ガソリンタンク 車両出火 確率： 2.3×10^{-8}	有： P_6		N_3
	無： $1 - P_6$	有：20 %	0.1 %
		無：80 %	0

図 16 ガソリンタンク車両からの出火事故

	脆性破壊 (液体酸素)	出火	爆発 (LPG)	大量漏洩 (ガソリン)	タンク内 貨物影響	死者等	死者等 の数
漏洩	有： P_7						20 %
	無： $1 - P_7$	有： P_8	有： P_4				N_1
			無： $1 - P_4$	有： P_9			N_2
				無： $1 - P_9$	有： P_6		N_3
					無： $1 - P_6$	有：20 %	0.1 %
						無：80 %	0
		無： $1 - P_8$					0
							0
							0
							0

図 17 調査対象タンク車両からの漏洩事故

表 29 大加速度事故の発生確率及び基本リスク

総トン数区分	発生確率	基本リスク
- 20	1.1×10^{-7}	4.0×10^{-9}
20 - 100	1.2×10^{-6}	6.9×10^{-8}
100 - 500	5.1×10^{-6}	7.4×10^{-7}
500 - 3000	1.5×10^{-5}	4.3×10^{-6}
3000 -	1.3×10^{-4}	5.8×10^{-5}

表 30 車両甲板に影響する火災・爆発事故の
発生確率及び基本リスク

総トン数区分	発生確率	基本リスク
- 20	3.4×10^{-9}	4.1×10^{-11}
20 - 100	3.7×10^{-8}	7.1×10^{-10}
100 - 500	1.3×10^{-7}	6.4×10^{-9}
500 - 3000	4.0×10^{-7}	3.7×10^{-8}
3000 -	3.4×10^{-6}	5.7×10^{-7}

表 31 各種確率値のまとめ

	ガソリン	LPG	液体酸素
P_1	固定無し：73 % 固定有り：40 %		
P_2	0	0	30 %
P_3	40 %	開放型：7 % 閉囲型：10 %	15 %
P_4	0	28 %	0
P_5	15 %	0	0
P_6	開放型：5 % 閉囲型：10 % 監視有：5 %	10 %	開放型：5 % 閉囲型：10 % 監視有：5 %
P_7	0	0	15 %
P_8	3 %	開放型：7 % 閉囲型：10 %	15 %
P_9	6 %	0	0

表 32 人的被害のまとめ

	ガソリン	LPG	液体酸素
N ₁	—	開放型：20 % 閉囲型：36 %	—
N ₂	開放型：5 % 閉囲型：10 %	—	—
N ₃	開放型：5 % 閉囲型：10 %	開放型：10 % 閉囲型：18 %	開放型：10 % 閉囲型：18 %

表 33 タンク車両の積載によるリスクの増分

漏洩 確率	安全 対策	危険物	積載 場所	リスクの増分	
				平均値	一人当
$\alpha=0.1$	無	ガソリン	開放型	1.2×10^{-5}	4.0×10^{-8}
			閉囲型	2.0×10^{-5}	7.0×10^{-8}
		LPG	開放型	1.8×10^{-5}	6.1×10^{-8}
			閉囲型	3.1×10^{-5}	1.1×10^{-7}
		液体酸素	開放型	4.4×10^{-5}	1.5×10^{-7}
			閉囲型	5.4×10^{-5}	1.9×10^{-7}
	有	ガソリン	開放型	1.1×10^{-5}	3.7×10^{-8}
			閉囲型	1.8×10^{-5}	6.3×10^{-8}
		LPG	開放型	1.7×10^{-5}	5.8×10^{-8}
			閉囲型	2.8×10^{-5}	9.8×10^{-8}
		液体酸素	開放型	3.1×10^{-5}	1.1×10^{-7}
			閉囲型	4.1×10^{-5}	1.4×10^{-7}
$\alpha=1$	監視有	ガソリン	閉囲型	1.8×10^{-5}	6.1×10^{-8}
			閉囲型	2.8×10^{-5}	9.8×10^{-8}
		LPG	閉囲型	2.8×10^{-5}	9.8×10^{-8}
			閉囲型	4.1×10^{-5}	1.4×10^{-7}
		液体酸素	閉囲型	4.1×10^{-5}	1.4×10^{-7}
			閉囲型	4.1×10^{-5}	1.4×10^{-7}
	無	ガソリン	開放型	2.8×10^{-5}	9.5×10^{-8}
			閉囲型	5.9×10^{-5}	2.0×10^{-7}
		LPG	開放型	3.6×10^{-5}	1.2×10^{-7}
			閉囲型	7.8×10^{-5}	2.7×10^{-7}
		液体酸素	開放型	2.9×10^{-4}	1.0×10^{-6}
			閉囲型	3.1×10^{-4}	1.1×10^{-6}
	有	ガソリン	開放型	2.0×10^{-5}	6.7×10^{-8}
			閉囲型	4.0×10^{-5}	1.4×10^{-7}
		LPG	開放型	2.7×10^{-5}	9.3×10^{-8}
			閉囲型	5.4×10^{-5}	1.9×10^{-7}
		液体酸素	開放型	1.7×10^{-4}	5.8×10^{-7}
			閉囲型	1.8×10^{-4}	6.2×10^{-7}
	監視有	ガソリン	閉囲型	3.5×10^{-5}	1.2×10^{-7}
		LPG	閉囲型	5.4×10^{-5}	1.9×10^{-7}
		液体酸素	閉囲型	1.8×10^{-4}	6.2×10^{-7}

6. タンク車両積載の可否及び安全対策

6. 1. 安全対策の検討

本研究における解析では、500～3,000 総トンのカーフェリーの運航回数が多く、表 33 に示したリスクの増分の平均値は、付録 F.1 節に示した 500 トン～3,000 総トンのカーフェリーの値に近い。また、この規模の船舶では一航海当たりの船舶の事故発生率が、より小さい総トン数区分の船舶と比較して大きいため、リスクの平均値からは、タンク車両の固定と乗船前の点検を比較すれば、表 33 に示した「漏洩確率」、即ち、大加速度事故により車両が移動／転倒した際に漏洩に結びつく確率が 0.1 の場合であっても、タンク車両の固定の効果はあると言える。但し、安全対策の評価において「固定」と「乗船前のタンク車両の点検」

の効果の比は、漏洩確率に依存し、また、タンク車両からの出火及び漏洩の確率のモデル化の際の仮定（台・年当たりの事故件数から一航海当たりの事故発生確率を求めた際の仮定）にもよるため、「乗船前のタンク車両の点検」の重要性も否定できない。特に、一航海当たりの事故発生確率の低い小型の船舶では、「乗船前のタンク車両の点検」は重要であると言える。後述の通り、調査対象タンク車両の積載によるリスクの増大は大きいことから、調査対象タンク車両を IMDG 旅客船に積載するのであれば、「車両の固定」と「乗船前のタンク車両の点検」の両方を実施すべきと考える。

6. 2. タンク車両積載の危険性の比較

表 33 より、調査タンク車両のうち、特に積載により人命に関する危険性を増大させるのは液体酸素であると言える。また、LPG の閉囲型車両甲板への積載も、液体酸素の積載と同程度の危険性があると考えられる。

本研究において求めたカーフェリーの航海が保有する乗船者の人命に関する基本リスク（調査対象タンク車両を積載しない場合のリスク）は、一航海当たり 1.4×10^{-5} 人であった。一方、閉囲型車両甲板への LPG タンク車両の積載によるリスクの増分は、漏洩確率を 0.1 とし、安全対策を実施した場合でも 2.8×10^{-5} であり、約 2 倍である。液体酸素タンク車両を積載することによるリスクの増分はさらに大きい。一方、ガソリンの積載及び LPG の開放型車両甲板への積載は、前述の安全対策を実施すれば、漏洩確率を 0.1 とした場合、リスクの増分は最大で 1.8×10^{-5} であり、基本リスクの 1.3 倍である。

次に、一人当たりのリスクを基本リスク及び交通事故のリスクと比較してみる。3.5 節で述べた通り、歩行中等の死者を含めれば、自動車及び鉄道による輸送回数を分母として計算した交通事故によるリスクは、輸送一人回当たり 1.1×10^{-7} であり、カーフェリーの基本リスク（ 4.9×10^{-8} 。表 25 参照）の 2 倍程度である。表 33 に示したリスクの増分（漏洩係数=0.1。安全対策を実施した場合）を基本リスクに加えると、ガソリンを閉囲型車両甲板に積載した場合のリスクは（ $4.9 \times 10^{-8} + 6.3 \times 10^{-8}$ ） 1.1×10^{-7} となり、交通事故のリスクと同程度となる。一方、LPG を閉囲型車両甲板に積載した場合のリスクは（ $4.9 \times 10^{-8} + 9.8 \times 10^{-8}$ ）

1.5×10⁻⁷ となり、前述の交通事故によるリスクを超えることになる。

6. 3. IMDG 旅客船に積載可能な 危険物との比較

前述のリスクは多くの仮定の下に推定されており、推定精度は高くない。そこで、IMDG Code により IMDG 旅客船への積載が認められ危険物を収納したタンク車両を積載する場合について、同様の考え方でリスクの増分を推定し、比較してみる。IMDG Code 旅客船への積載が認められる危険物に関する傾向を調べるため、IMDG Code を分析した結果を付録 G に示す。

引火性液体に関する分析の結果（付録 G.1 節参照）からは、毒性、腐食性、水反応性（水反応性引火性物質）が無ければ、即ち、副次危険性を含めて Class 6.1、Class 8、Class 4.3 が指定されていない場合、引火点が-18℃以上であれば、IMDG 旅客船であっても、甲板上（開放型車両甲板）には積載できるとの傾向が見られた。IMDG 旅客船への甲板上積載が認められる物質であって、比較的引火点が低く、物性値が明確な危険物としては n-ヘプタンが挙げられる。ガソリンと n-ヘプタンの物性値の比較を表 34^{(20)~(23)}に示す。

同様に引火性ガスについて IMDG Code を分析した結果（付録 G.2 節参照）からは、毒性の無い引火性ガス（Class 2.1）は、その危険性に依じて IMDG 旅客船の積載の可否が分かれることが分かったが、IMDG 旅客船への積載の可否に関するクライテリアは不明であった。比較的危険性が高く、物性値が明確であり、LPG と比較するのに適した危険物としては、UN No. 1033「ジメチルエーテル」（以下「DME」と呼ぶ。）が挙げられる。LPG と DME の比較を表 35⁽²⁴⁾に示す。

液体酸素については、他に適当な比較対象がないため、圧縮酸素について調べた。酸素の物性値を表 36⁽²⁵⁾に示す。

以上の検討結果に基づき、IMDG 旅客船に積載

表 34 ガソリンと n-ヘプタンの比較

	ガソリン	n-ヘプタン
比重（水：1）	0.76	0.7
爆発限界	1.4 - 7.6 vol %	1.1 - 6.7 vol %
低位発熱量	43.75 MJ/kg	44.59 MJ/kg
発火温度	280 to 471 °C	223 °C
引火点	-46 to -38 °C	-4 °C
火炎逸走限界		0.91 mm
低位発熱量	33 MJ/ℓ	31 MJ/ℓ

可能な物質を収納したタンク車両を運送する場合のモデル化を試みる。

まず、圧縮酸素は IMDG 旅客船の甲板上／甲板下のどちらにも積載可能である。モデルを検討したところ、漏洩の際の出火確率は高いと考えられるものの（付録 D.3 節参照）Catastrophic な事故またはこれに類する事故を想定することを要しないと考えられた。よってリスクの増分は小さいこと、また、圧縮酸素はタンク車両で運送されるものではないことから、比較対象としては適当では無いと考えた。具体的には漏洩に起因する脆性破壊の危険は無いこと、単位体積当たりの酸素量は、液体酸素が常圧の気体の酸素の 800 倍であるのに対して、圧縮酸素はこれより一桁程度低いことにより、Catastrophic な事故の想定を要しないと考えた。

DME は非常に引火し易い物質であり、空気中では数時間から数日で分解するため⁽²⁴⁾、事故の際には影響面では LPG より影響が小さいことは明らかであるものの、事故の発生確率や被害強度の観点から、表 35 に示した引火点、低位発熱量、爆発限界の違いをモデル化することが困難であったため、比較の対象としては採用しなかった。

n-ヘプタンとガソリンを比較した場合、表 34 に示した通り、有意な差は殆ど引火点のみである。消防庁の移動タンク貯蔵所の事故例において、ガソリンを除いた漏洩事故は 170 件、火災事故は

表 35 LPG と DME の比較

	LPG (Propane)	DME
化学式	CH ₃ -CH ₂ -CH ₃	CH ₃ -O-CH ₃
分子量	44	46
ガスの比重	1.52	1.59
爆発限界	2.1 - 9.4 vol %	3.4 - 17 vol %
沸点	-42.0 °C	-25.1 °C
液密度（20 °C）	490 kg/m ³	670 kg/m ³
低位発熱量	46.3 MJ/kg	28.8 MJ/kg
発火温度	470 °C	235 °C
引火点	-104 °C	-41 °C
蒸発潜熱	18.8 kJ/mol (427 kJ/kg)	21.5 kJ/mol (467 kJ/kg)
火炎逸走限界	0.92 mm	0.84 mm

表 36 酸素の物性値

分子量	36
沸点	-183 °C
比重（気体 300 K）	1.284
比重（液体－沸点）	1.14
蒸発潜熱	6.82 kJ/mol (189 kJ/kg)

10 件であった（付録 C.3 節参照）。即ち、ガソリン以外であっても、事故の際に、180 件中 10 件程度は火災になると言える。そこで、n-ヘプタンに代表される引火点-18℃以上 23℃未満の物質（以下、「n-ヘプタン等」と呼ぶ。）は、大加速度による漏洩事故の際の出火確率（表 31 の P_3 ）を 6 %（ガソリンは 27 件中 8 件で出火したとの事故例に基づき 40 %と仮定）と仮定して、リスクの増分の計算を実施した。但し、n-ヘプタン等は、IMDG 旅客船においては「甲板上のみ積載可」であることを考慮して、開放型車両甲板に積載した場合（安全対策無し）についてのみリスクの増分を求めた。

引火点が 23℃以上の石油類は、一般に、IMDG 旅客船においても甲板下積載が可能である。タンク車両からの出火事故におけるガソリン以外の物質の中で代表的なものは、軽油（引火点 50～70℃）、灯油（引火点 35℃）、重油（引火点は例えば 60℃以上）であり（付録 C.1 節表 C.1 及び C.3 節参照）、これらは交通事故 81 件中 1 件しか火災に至っていない。このことを考慮すれば、IMDG 旅客船の甲板下、即ち閉囲型車両甲板に積載できる物質（以下、「灯油等」と呼ぶ。）の漏洩が出火に結びつく確率はさらに低いと仮定するのが妥当である。そこで参考のため、大加速度事故の際に漏洩から出火に至る確率（表 31 の P_3 ）は、前述の数値 6 %の半分、即ち 3 %と仮定し、また、その他の事故で漏洩から出火に至る確率（表 31 の P_8 ）は、ガソリンの場合の 1/10、即ち 0.3 %と仮定して、安全対策を実施しないで閉囲型車両甲板に積載した場合のリスクの増加を求めている。但し、船上で発生し得ると考えた移動タンク貯蔵所の火災事故例は、貨物の種類によらず発生し得ると考えられるため、灯油等のタンク車両からの出火確率はガソリンのタンク車両と同じと仮定する。

計算結果の詳細を付録 F.2 節に示す。表 37 は、表 33 に倣って、総トン数区分別のリスクの平均値を計算した結果である。

表 37 比較用危険物タンク車両の積載によるリスクの増分（安全対策無し）

漏洩 確率	危険物	積載 場所	リスクの増分	
			平均値	一人当
$\alpha=0.1$	n-ヘプタン等	開放型	1.0×10^{-5}	3.5×10^{-8}
	灯油等	閉囲型	1.6×10^{-5}	5.5×10^{-8}
$\alpha=1$	n-ヘプタン等	開放型	1.2×10^{-5}	4.3×10^{-8}
	灯油等	閉囲型	1.8×10^{-5}	6.2×10^{-8}

表 37 に示したリスクの増分を許容限度と考えた場合、最大で 1.8×10^{-5} 程度までのリスクの増分が許容できることとなる。この場合、IMDG 旅客船については、ガソリンタンク車両の積載と LPG タンク車両の開放型車両甲板への積載は、乗船前のタンク車両の点検や固定といった安全対策を実施すれば認められるが、LPG の閉囲型車両甲板への積載や液体酸素の積載は認められないことになる。この考え方は、前節で述べた交通事故との比較の結果と同じである。

よって、本研究の結果からは、IMDG 旅客船については、ガソリンタンク車両の積載と LPG タンク車両の開放型車両甲板への積載は、乗船前のタンク車両の点検や固定といった安全対策を実施すれば認められるが、LPG の閉囲型車両甲板への積載や液体酸素の積載は認められないと考えるのが妥当と言える。

6. 4. 調査対象タンク車両を積載できる台数

前節まで、調査対象タンク車両を 1 台だけ積載する場合を想定してリスクの増分を求めるなど、検討を進めてきた。ここで、調査対象タンク車両を積載できる台数について検討する。なお、液体酸素タンク車両の IMDG 旅客船への積載及び LPG タンク車両の IMDG 旅客船の閉囲型車両甲板への積載は考慮しない。

6.2 節で述べた交通事故によるリスクとの比較の観点からは、積載可能な調査対象タンク車両の台数は 1 台であると言える。即ち、ガソリンや LPG を収納したタンク車両を複数台積載することは、認めるべきではないと言える。

IMDG Code では、物質毎に用いることのできる容器については規定しているものの、基本的には、運送できる貨物の総量については規定していない。そのため、規則上は、多数の乗客を乗せた旅客船であっても、例えば、灯油を収納したタンク車両であれば、多数積載しても良いことになる。一方、IMDG Code はリスクの考え方に基づき危険物の総量（タンク車両の台数）や旅客の人数等との関係において運送を詳細に規定しているものではなく、運用を考慮した規則の簡素化のため、物質の性状に基づいて IMDG 旅客船と IMDG 貨物船を区別して、甲板上及び甲板下への積載の可否を決めているだけである。よって、リスクを考慮すれば、IMDG Code 上は認められるからといって、IMDG Code では、例えば、多数の乗客

を乗せた船舶に、灯油を収納したタンク車両を数十台積載することによるリスクも許容していると考えべきではない。よって、例えば n-ヘプタン等や灯油等を多数積載した場合のリスクを許容限度と考え、ガソリンや LPG を収納したタンク車両も多数積載できると考えるのは妥当ではない。

1.6 節で述べた通り、調査対象タンク車両を IMDG 旅客船で安全に輸送するためには、乗組員がその危険性を知り、適切に対処できることが必要である。具体的には、例えば車両甲板上で火災が発生した場合には、初期消火を除けば、船内外の関係者や乗客に通知し、次に火災の抑制措置を取り、最後に鎮火させるための措置を講じるのが、作業の流れの一例と考えられる。また、調査対象タンク車両を積載している場合は、タンク車両への影響を防止するため、消火よりもタンク車両の防護に重点をおいて消防活動を行うことが考えられる。さらに、消火不能になる確率が高いことを考慮して防火部署配置から退船部署配置への切り替えを早めに行う等の措置が必要になることも考えられる。また、防火部署配置の修正も必要になる可能性があり、教育・訓練を含む乗組員の対応については、今後さらに検討を要する。複数の調査対象タンク車両が積載されれば、調査対象タンク車両が一台の場合と比較して、乗組員の対応はさらに難しくなり、本研究ではモデル化していないが、リスクの増分は、乗組員の対応を考慮すれば、台数に比例する以上に大きくなる可能性もある。

以上の検討結果、また、調査対象タンク車両は基本的には IMDG 旅客船に積載すべきでは無いことを考慮すれば、複数の調査対象タンク車両は IMDG 旅客船に積載すべきでないと言える。

7. おわりに

本研究では、各種事故例調査に基づき、IMDG 旅客船に調査対象タンク車両を積載した場合のリスクの増分を推定し、これを交通事故や IMDG 旅客船への積載が認められる危険物を収納したタンク車両の場合と比較することにより、積載の可否と実施すべき安全対策について検討した。結論は以下の通り。

- (1) 液体酸素を収納したタンク車両は、IMDG 旅客船に積載すべきでは無い。
- (2) LPG を収納したタンク車両は、IMDG 旅

客船の閉囲型車両甲板には、積載すべきでは無い。

- (3) LPG を収納したタンク車両を IMDG 旅客船の開放型車両甲板に積載する場合及びガソリンを収納したタンク車両を IMDG 旅客船に積載する場合は、乗船前に当該タンク車両の点検を行うとともに、当該甲板に積載する全ての車両を、適切に固定すべきである。
- (4) LPG またはガソリンを収納したタンク車両を IMDG 旅客船に積載する台数は、1 台に限るべきである。

本研究では、上述の通り、リスクを考慮すれば、多数の旅客とともに積載すべきでは無いと考えられる調査対象タンク車両の種類及び積載場所（開放／閉鎖の別）を示した。さらに、その他の場合について、積載するとした場合に実施すべき安全対策を示した。また、当該安全対策を実施すれば、安全レベルの向上に一定の効果があることを確認した。

しかしながら、リスクを推定するためにおいた多くの仮定の妥当性の検証は現時点では困難である。このため、国際規則により確保されているものと同等の安全水準の確保を図るとの観点からは、提案している安全対策のみを実施すれば LPG を収納したタンク車両は IMDG 旅客船の開放型車両甲板に積載でき、ガソリンを収納したタンク車両は IMDG 旅客船の開放型車両甲板及び閉囲型車両甲板に積載できるとは単純には結論づけられない。これらの積載を許容するためには、船舶・航路等の特性を考慮し、安全対策の実施の適否や更なる追加的対策の要否、それぞれの対策の効果も含めて判断する必要がある。

また、本研究では、以下の事項を検討の前提としている（1.6 節参照）。

- (1) LPG またはガソリンを収納したタンク車両を積載する IMDG 旅客船の乗組員は、当該貨物の運送に適した教育・訓練を受けていること。
- (2) IMDG 旅客船の開放型車両甲板に LPG またはガソリンを収納したタンク車両を積載する場合は、暴露甲板であって船橋から常時監視できる場合を除き、ビデオ等により連続的な監視がなされること。また、航海時間が長い場合は、適切な時間間隔で巡視を行い、その際、タンク車両

からガソリンまたはLPGが漏洩がしていないか確認すること。

- (3) LPG またはガソリンを収納したタンク車両を積載する場所は、監視、消火活動、居住区域への影響、復原性への影響等を勘案し予め設定した適切な場所に限定すること。
- (4) ガソリンを収納したタンク車両を閉囲型車両甲板に積載する場合は、当該タンク車両を積載している間、通風装置を運転しておくこと。

本研究では、事故の際に短時間のうちに全船に危険が及ぶ可能性があることに配慮して、調査対象タンク車両を IMDG 旅客船に積載した場合の人命に関するリスクの増分を検討した。そのリスクの増分は、過去の事故例に基づきモデル化したカーフェリーの運航が保有するリスクと同じオーダーまたはそれ以上であり、1 台の調査対象タンク車両を積載することにより、当該カーフェリーの運航が保有するリスクは、倍以上になる可能性があることを示した。こうしたリスクの増加を考慮すれば、LPG やガソリンを収納したタンク車両を IMDG 旅客船に積載する際には、SOLAS 条約第 II-2 章の基本原則で言うところの「実行可能な最大限の措置」を要求することが妥当と考えられる。

本研究では検討の対象としていないが、例えば、車両甲板に火災事故の影響が及んだ場合にタンク車両への影響を防止するための散水装置（現行規則では閉囲型区域にのみ加圧水噴霧装置が要求されている）等も検討に値する。また、LPG やガソリンを収納したタンク車両を積載した場合の事故時の対処方法、タンク車両の点検方法、固定方法等については、さらに検討が必要と考えられる。また、規則の運用上問題が無ければ、IMDG Code とは別に、LPG やガソリンを収納したタンク車両を積載する場合の乗客の数の制限を設けることも、安全上は望ましいと考えられる。

本研究は、国土交通省海事局の委託により実施したものである。末筆ながら、本研究の実施にあたり、東京大学田村昌三先生には、貴重な御助言を賜りました。また、国土交通省海事局の方々からは、各種の情報をご提供いただくとともに、検討にご協力いただきました。田村先生並びに国土交通省海事局関係者の皆様、特に、北林邦彦検査測度課危険物係長（当時）に感謝いたします。

参考文献

- (1) 海事局、「旅客フェリーによる危険物タンク車両の輸送に関する調査」、2003
- (2) International Maritime Organization, "International Maritime Dangerous Goods Code", 2000 edition
- (3) 成山堂書店、「船舶六法」平成 14 年度版
- (4) 国際海事機関、「海上人命安全条約」、2002 年版
- (5) 海上災害防災センター、「海上防災ハンドブック」、1996
- (6) 海難審判庁、「海難審判の実態」、平成 4～13 年版
- (7) 海難審判庁、「旅客船海難の実態」、平成 8 年 3 月
- (8) 国土交通省海事局国内旅客課、「旅客（定期・不定期）航路事業現況表」、平成 13 年 4 月 1 日現在
- (9) 日本造船研究協会第 49 基準研究部会、「船舶の総合的安全評価に関する調査研究」、平成 12 年度報告書分冊「内航船の確率論的安全評価に関する研究」、特に 2.4 節表 2.4.4、平成 13 年 3 月
- (10) 国土交通省総合政策局情報管理部交通調査統計課分析室、「貨物・旅客地域流動調査分析」平成 12 年度版
- (11) (財) 交通事故総合分析センター、「交通統計」平成 13 年版
- (12) 消防庁、「危険物に係る事故事例」、平成 10, 11, 12 年版
- (13) 高圧ガス保安協会、平成 13 年度事故事例検索システム（CD-ROM で提供される事故のデータベース）
- (14) 恵美洋彦編著、「改訂増補 LNG 船／LPG 船技術資料」、船舶技術協会、1991
- (15) 吉田忠夫&田村昌三監訳、「危険物ハンドブック」、丸善、1987
- (16) 日本造船研究協会第 48 基準研究部会、「条約改正に伴う国内規則取り入れに関する調査研究」、平成 12 年度報告書
- (17) 日本火災学会編、「火災便覧（新版）」、共立出版、1984
- (18) 安全工学協会編、「新安全工学便覧」
- (19) IMO 総会決議 A.581(14), "Guidelines for Securing Arrangement for the Transport of Road Vehicles on Ro-Ro Ships", 1985

- (20) 日本化学会、「化学便覧」改訂 4 版、丸善、1993
- (21) 日本機械学会、「流体の熱物性値集」、1983
- (22) 日本機械学会、「伝熱工学資料」改訂第 4 版、1986
- (23) 山崎正和、「熱計算入門 III」、(財)省エネルギーセンター、1989
- (24) 大野陽太郎、「DME 製造技術の現状と代替燃料の可能性」、エンジンテクノロジー、2001 年 5 月
- (25) www.jmga.gr.jp, 日本医療ガス協会

付録 A．カーフェリーの運航状況の詳細

「旅客（定期・不定期）航路事業現況表」に基づき、カーフェリーの総トン数、航海時間及び運航回数に着目して、データを整理した。データ整理においては、航海時間及び運航回数と船舶の総トン数の関係を把握するため、一つの航路に複数の船舶が運航している場合は運航回数を各船に均等に割り振った。また、一つの航路に複数の寄港地があり、寄港地間により運航回数が異なる場合は、概ね同じ総トン数の船舶であれば、これを各船毎にそれぞれの寄港地間の運航に従事したとするなど、適宜仮定を設けた。年間運航回数等を求めるためのデータの処理方法は以下の通りとした。

- (1) 寄港地と船舶の関係毎にデータを整理する。寄港地により運航回数が異なり、複数の船舶が運航している場合は、船舶毎に行き先と回数を割り振る。
- (2) 特に記述がない場合は片道の運航回数とし、各船の運航回数の小数点以下は切り捨てる。
- (3) 2001 年のカレンダーに基づく。なお、「平日」に関して特に記載がない場合は月曜日から土曜日（祝祭日を除く）の年間 302 日とし、「お盆期間」は 8 月 13, 14, 15 日とする。
- (4) 複数の船舶で運航している場合、特に記述がなければ、運航回数を各船に均等に割り振る。
- (5) 運航回数の記述がないものに関しては、航海時間が 8 時間未満の場合は 2 回／日、8 時間以上 20 時間未満の場合は 1 回／日とする。
- (6) 寄港地により運航回数が違う場合の「片

道距離」については、年間の運航距離の平均値を記入する。

- (7) 運航回数の範囲が記載されている場合、運航回数はその平均値とする。例えば、9 ～18 回／日との記載がある場合は、13.5 回／日とする。
- (8) 臨時便については以下の通り。
 - 「年間 5 日に限り 1 回／日」は年間 5 回の臨時便を運航するものとする。
 - 便数及び日数の記載がない(年間臨時便数が算出できない)臨時便は運航回数に含めない。但し、前年度の実績が記載されている場合は、前年度と同じ便数とする。
 - 「瀬戸～池島間に限り 15 回／月」などの区間については考慮せず、当該航路を 15 回／月航行するものとする。
- (9) 以下の記述は無視する。
 - 「入渠時については 2 日 1 航海」等、期間の不明な運航回数の変更に關する記述。例えば「必要に応じ、一週間 50 便増加」、「多客期 64 回／日」等
 - 当該航路のうち特定区間（寄港地間）だけに係る運航休止に關する記述及び特定区間のみに係る一ヶ月における便数の内訳の記述
 - 季節により旅客定員を減じる旨の記述

但し、佐世保～神浦（56.4 km）航路については、フェリー（自動車航走船）の運航は「松島-瀬戸-池島、神浦間に限る」旨の記載があり、また、港間距離に關する記述がなかったため、地図上で読みとった距離を丸めて航路長を 16 km とした。解析結果を船舶の総トン数順に表 A.1 に示す。

IMDG Code において調査対象危険物が IMDG 旅客船への積載を禁止されているのは、本文 1.2 節で述べた通り、事故が急激に拡大して全船に及ぶ可能性があるためである。こうした可能性は船舶の大きさにより異なるため、ここでは、船舶を総トン数により区分して、リスクを検討する。総トン数 20 トン未満の船舶は、20 トン以上の船舶と比較して安全基準が大きく異なる。また、総トン数 20～100 トンの船舶の事故件数も少なくないので、総トン数 100 トン未満を一つの区分とした。船舶の安全対策は総トン数 500 トンを境に異なるので、総トン数 500 トン未満を一つの区分と

表 A.1 航路並びに船舶毎の運航状況 (1/3)

総トン数	航海距離 [km]	旅客定員 [人]	速力 [knot]	年間 運航回数	航海時間 [hour]
19.00	1.3	30	5.0	1,195	0.14
19.00	2.7	35	7.0	3,021	0.21
19.00	4.0	59	15.0	2,920	0.14
19.00	16.6	50	22.0	1,628	0.41
19.56	5.6	25	7.5	1,451	0.40
19.71	0.7	30	8.0	7,700	0.05
19.87	0.3	74	7.0	28,939	0.02
19.87	0.4	74	7.1	12,250	0.03
19.93	0.4	44	7.0	12,152	0.03
45.00	2.3	94	9.5	1,825	0.13
45.00	8.5	75	10.5	730	0.44
52.00	0.7	110	6.8	5,188	0.06
52.00	0.7	110	6.8	5,188	0.06
64.00	5.5	90	8.4	2,569	0.35
72.94	0.9	50	7.0	5,654	0.07
77.00	10.0	120	9.6	1,530	0.56
78.00	1.0	76	8.5	5,475	0.06
78.00	3.0	76	8.5	3,648	0.19
86.00	12.9	150	10.5	2,190	0.66
91.00	1.0	112	9.0	5,475	0.06
92.00	0.3	62	8.0	17,535	0.02
96.00	0.4	94	8.0	17,889	0.03
97.00	0.4	94	8.0	17,889	0.03
98.00	0.5	96	8.5	6,750	0.03
98.00	9.5	180	11.0	911	0.47
98.92	0.3	88	6.6	28,939	0.02
99.00	18.8	13	12.0	1,325	0.85
99.67	3.0	231	9.0	2,775	0.18
115.00	3.0	200	7.6	2,775	0.21
115.56	5.0	250	9.0	5,206	0.30
116.00	33.0	212	11.0	374	1.62
120.19	0.3	58	7.0	17,535	0.02
121.09	14.8	200	11.3	1,454	0.71
125.69	0.3	108	6.5	17,535	0.02
127.00	23.5	96	10.3	1,456	1.23
131.04	0.4	200	9.0	8,942	0.02
134.00	2.0	95	9.5	2,752	0.11
135.00	2.0	95	9.5	2,752	0.11
138.44	12.4	100	9.5	742	0.70
144.00	0.4	120	8.5	8,942	0.03
150.00	11.8	180	10.4	729	0.61
151.51	5.0	150	9.9	5,206	0.27
155.00	8.8	93	11.5	1,198	0.41
170.00	2.4	93	9.4	3,770	0.14
170.00	3.0	80	9.5	3,648	0.17
170.00	11.6	126	10.0	2,555	0.63
172.00	13.6	96	10.0	730	0.73
179.00	11.8	250	10.0	729	0.64
181.57	2.2	358	10.9	2,506	0.11
185.36	14.1	95	10.0	1,825	0.76
188.00	2.0	148	8.5	2,853	0.13
192.93	8.8	250	11.0	912	0.43
194.00	6.7	160	12.0	2,565	0.30
194.00	8.5	211	12.5	1,348	0.37
194.00	52.0	130	14.0	365	2.01
194.45	16.0	142	11.0	3,341	0.79
195.00	7.8	96	11.5	1,643	0.37
195.00	8.6	96	11.5	36	0.40
196.00	1.9	315	8.0	6,288	0.13
196.00	2.0	200	8.5	2,853	0.13
196.00	5.5	50	9.2	2,998	0.32
196.00	6.7	315	8.0	243	0.45
196.00	16.6	93	11.5	1,628	0.78
196.27	2.0	250	8.0	1,662	0.13
196.27	2.0	250	8.0	146	0.13
196.53	25.2	135	11.7	1,490	1.16
197.00	0.9	150	7.0	5,654	0.07
197.00	2.0	350	8.0	1,662	0.13
197.00	2.0	350	8.0	1,662	0.13
197.00	2.0	350	8.0	146	0.13
197.00	2.0	350	8.0	146	0.13
197.00	6.0	211	12.5	2,166	0.26
197.00	6.6	350	8.0	182	0.45
197.00	6.6	350	8.0	182	0.45
197.23	9.5	300	11.0	1,306	0.47
198.00	8.1	250	9.4	4,115	0.47
198.00	10.6	250	10.5	1,146	0.55

総トン数	航海距離 [km]	旅客定員 [人]	速力 [knot]	年間 運航回数	航海時間 [hour]
198.00	16.6	93	10.8	1,460	0.83
198.00	17.0	200	12.1	1,092	0.76
198.00	21.1	167	13.0	1,453	0.88
198.00	35.4	158	12.5	375	1.53
198.11	8.8	200	11.5	912	0.41
198.16	14.4	250	10.6	1,825	0.73
198.16	18.8	250	10.6	730	0.96
198.51	2.0	350	8.0	1,662	0.13
198.51	2.0	350	8.0	146	0.13
198.51	6.6	350	8.0	182	0.45
198.72	10.7	250	11.0	2,737	0.53
198.96	16.0	142	11.0	3,341	0.79
199.00	2.2	300	9.5	2,506	0.13
199.00	6.0	211	12.5	2,166	0.26
199.00	12.4	150	11.0	742	0.61
199.37	2.7	96	8.5	4,150	0.17
199.49	3.7	142	10.5	1,049	0.19
199.54	10.0	230	11.0	1,277	0.49
199.84	16.0	250	10.5	1,480	0.82
199.99	14.0	50	9.5	1,825	0.80
207.11	46.3	208	10.5	730	2.38
210.00	59.5	150	13.5	365	2.38
213.00	30.1	250	11.0	1,460	1.48
217.62	8.1	250	10.8	4,115	0.40
218.00	1.9	460	8.0	6,288	0.13
218.00	6.7	460	8.0	243	0.45
234.00	4.0	250	10.0	906	0.22
234.00	5.4	250	10.0	316	0.29
235.00	13.5	148	12.7	730	0.57
235.00	16.0	148	12.7	3,341	0.68
243.00	10.7	250	11.0	2,737	0.53
244.00	4.0	200	8.0	906	0.27
245.29	0.5	200	11.0	6,750	0.02
245.29	2.7	200	11.0	4,150	0.13
249.00	9.2	450	11.9	2,366	0.42
249.00	11.8	450	11.9	365	0.54
251.89	4.5	370	11.3	1,579	0.22
253.00	37.2	158	11.0	1,460	1.83
258.73	51.1	300	13.0	912	2.12
259.23	4.5	370	11.3	1,579	0.22
264.00	10.6	250	10.5	1,146	0.55
266.40	1.9	400	8.0	6,288	0.13
266.40	6.7	400	8.0	243	0.45
267.00	5.4	250	10.0	316	0.29
271.00	71.7	250	14.5	364	2.67
282.00	14.0	350	11.0	1,825	0.69
290.00	5.4	250	10.0	316	0.29
291.00	6.3	250	11.0	1,095	0.31
291.00	7.0	250	11.0	2,392	0.34
297.00	3.9	95	14.0	2,555	0.15
298.00	11.2	200	11.0	4,745	0.55
299.00	13.4	150	11.0	1,664	0.66
312.00	3.1	350	11.0	2,920	0.15
312.00	6.1	350	11.0	2,646	0.30
312.00	7.0	350	11.0	2,392	0.34
312.00	9.2	350	11.0	1,460	0.45
312.00	12.5	350	11.0	2,186	0.61
312.00	12.6	350	11.5	2,007	0.59
312.00	21.0	350	11.0	2,957	1.03
312.00	23.0	350	11.0	365	1.13
318.00	18.5	250	11.5	1,460	0.87
324.00	2.9	268	9.2	3,285	0.17
324.00	58.7	150	15.0	96	2.11
330.00	10.0	300	10.0	1,277	0.54
336.00	12.5	280	10.5	2,186	0.64
341.00	9.2	450	11.4	2,366	0.44
341.00	11.8	450	11.4	365	0.56
345.30	11.6	400	12.0	2,555	0.52
345.30	14.5	400	12.0	897	0.65
346.00	12.6	350	11.5	2,007	0.59
348.00	3.1	250	11.0	2,920	0.15
353.00	6.1	399	12.8	486	0.26
353.00	6.1	399	12.8	2,646	0.26
354.00	6.1	399	12.8	486	0.26
354.00	6.1	399	12.8	2,646	0.26
355.00	12.6	373	11.5	2,007	0.59
356.00	9.5	300	12.2	1,306	0.42

表 A.1 航路並びに船舶毎の運航状況 (2/3)

総トン数	航海距離 [km]	旅客定員 [人]	速力 [knot]	年間 運航回数	航海時間 [hour]
360.00	9.2	250	11.0	1,460	0.45
360.00	21.0	300	12.3	2,957	0.92
361.06	15.1	350	10.9	2,880	0.75
363.00	21.0	300	12.3	2,957	0.92
366.00	16.5	400	14.5	1,581	0.61
368.00	8.4	297	10.0	3,256	0.45
372.00	12.5	250	10.5	2,186	0.64
373.00	8.4	330	11.5	3,256	0.39
380.00	16.5	400	14.5	1,581	0.61
383.00	2.9	206	9.2	3,285	0.17
384.00	7.0	300	11.5	1,783	0.33
384.00	26.0	400	12.5	1,460	1.12
385.00	10.0	242	13.5	1,825	0.40
386.00	12.6	349	11.5	2,007	0.59
391.00	7.0	300	11.5	1,783	0.33
391.28	33.7	209	12.5	1,135	1.46
393.00	26.0	400	12.7	1,460	1.11
396.00	49.8	168	15.5	1,314	1.73
408.00	71.8	100	15.0	400	2.58
424.00	7.0	300	11.5	1,783	0.33
435.00	16.5	303	11.5	1,581	0.77
446.00	41.0	380	17.0	203	1.30
450.00	22.0	250	14.0	1,825	0.85
480.00	35.0	391	15.0	530	1.26
484.00	2.8	300	10.0	5,523	0.15
488.00	7.4	350	10.2	2,372	0.39
489.00	8.4	329	11.5	3,256	0.39
494.00	15.1	350	12.3	2,880	0.66
496.00	32.1	592	16.2	433	1.07
498.00	41.1	300	17.0	730	1.31
498.00	127.4	100	17.0	96	4.05
502.00	4.8	488	10.5	5,353	0.25
502.00	20.0	488	10.5	121	1.03
528.00	51.1	400	13.5	912	2.04
553.00	10.8	350	15.0	771	0.39
577.00	7.4	350	10.2	2,372	0.39
591.00	18.0	85	12.9	2,737	0.75
600.00	4.8	488	10.5	5,353	0.25
600.00	20.0	488	10.5	121	1.03
606.30	23.6	480	13.5	1,306	0.94
606.30	23.6	480	13.5	730	0.94
611.00	22.6	240	14.0	462	0.87
614.00	38.0	280	13.5	519	1.52
616.00	10.8	350	16.0	771	0.36
626.00	35.0	487	15.0	1,064	1.26
629.79	18.0	250	13.5	2,737	0.72
634.00	38.0	265	13.0	519	1.58
639.00	38.0	320	13.5	519	1.52
645.00	85.2	400	15.2	365	3.03
653.00	38.0	320	13.5	519	1.52
654.00	27.8	245	19.0	730	0.79
657.00	38.0	320	13.5	519	1.52
657.38	4.8	674	10.5	5,353	0.25
657.38	20.0	674	10.5	121	1.03
674.00	3.0	350	8.0	4,795	0.20
675.00	27.0	330	14.8	1,102	0.99
676.00	6.5	200	10.0	5,292	0.35
676.00	7.9	450	14.0	1,533	0.31
676.00	70.9	488	13.5	742	2.84
679.00	97.5	337	16.5	131	3.19
680.00	3.0	250	8.0	4,795	0.20
683.00	27.0	350	14.8	1,102	0.99
690.00	23.6	480	13.0	1,306	0.98
690.00	39.2	300	15.0	1,178	1.41
692.70	14.0	488	13.0	2,152	0.58
693.00	6.5	200	10.0	5,292	0.35
693.43	18.0	280	13.0	2,737	0.75
694.00	61.2	300	14.8	1,314	2.23
695.00	61.2	300	14.8	1,314	2.23
695.30	39.2	262	14.0	1,178	1.51
696.00	61.2	300	14.8	1,314	2.23
696.00	66.2	400	14.2	1,825	2.52
696.00	66.2	400	14.7	1,825	2.43
697.00	21.0	600	13.8	1,513	0.82
697.60	97.5	418	16.3	131	3.23
697.69	21.0	700	13.5	1,513	0.84
698.00	39.2	300	15.7	1,178	1.35

総トン数	航海距離 [km]	旅客定員 [人]	速力 [knot]	年間 運航回数	航海時間 [hour]
698.00	61.2	300	14.8	1,314	2.23
698.00	61.2	300	14.8	1,314	2.23
699.00	26.3	490	14.0	2,433	1.01
699.00	26.3	430	14.0	2,433	1.01
699.00	26.3	430	14.0	2,433	1.01
699.00	31.0	292	16.0	1,946	1.05
699.00	31.0	292	16.0	1,946	1.05
699.00	31.0	292	16.0	1,946	1.05
699.00	66.2	355	14.5	912	2.47
699.00	66.2	330	14.5	912	2.47
721.00	14.0	488	13.5	2,152	0.56
722.00	14.0	488	13.5	2,152	0.56
725.00	48.0	380	15.9	1,460	1.63
725.00	57.9	380	15.9	182	1.97
731.00	4.8	488	10.5	5,353	0.25
731.00	20.0	488	10.5	121	1.03
763.00	23.6	490	13.5	1,306	0.94
763.00	23.6	490	13.5	1,460	0.94
815.00	18.0	300	13.5	3,650	0.72
816.00	22.0	480	13.5	912	0.88
816.00	23.6	480	13.5	3,285	0.94
819.00	18.0	300	13.5	3,650	0.72
820.00	18.0	300	13.5	3,650	0.72
828.00	18.0	488	13.0	3,650	0.75
834.00	18.0	488	13.0	3,650	0.75
835.00	18.0	488	13.0	3,650	0.75
835.00	136.3	381	30.0	730	2.45
840.00	18.0	488	13.0	3,650	0.75
848.00	21.0	600	13.8	1,513	0.82
888.00	14.0	590	13.5	2,152	0.56
905.00	22.0	490	14.4	1,825	0.82
924.00	18.0	300	13.5	3,650	0.72
936.00	21.0	500	13.5	912	0.84
965.00	22.0	492	15.5	1,825	0.77
969.00	98.0	354	16.5	1,095	3.21
971.00	14.5	450	15.8	897	0.50
975.00	18.0	285	12.7	2,737	0.77
993.00	7.9	450	14.8	1,533	0.29
993.00	22.0	490	13.5	912	0.88
995.00	22.0	490	13.5	1,825	0.88
997.00	4.8	736	10.5	5,353	0.25
997.00	20.0	736	10.5	121	1.03
998.00	41.0	370	14.5	1,472	1.53
998.00	41.0	492	15.5	1,472	1.43
999.00	18.0	488	13.0	3,650	0.75
999.00	21.0	500	13.5	912	0.84
999.00	28.0	550	19.2	1,825	0.79
999.00	80.0	293	15.3	1,095	2.82
1,134.00	4.8	738	11.0	5,353	0.24
1,134.00	20.0	738	11.0	121	0.98
1,150.00	148.6	495	16.2	415	4.95
1,150.89	139.8	600	15.4	730	4.90
1,196.00	14.5	737	16.5	3,376	0.47
1,200.00	153.0	200	19.0	78	4.35
1,253.73	48.0	423	15.9	1,460	1.63
1,253.73	57.9	423	15.9	182	1.97
1,262.58	115.0	667	16.0	185	3.88
1,262.58	133.2	667	16.0	365	4.50
1,262.58	148.6	667	16.0	415	5.01
1,272.00	232.0	350	18.5	325	6.77
1,295.00	6.2	467	15.0	4,380	0.22
1,296.00	6.2	467	15.0	4,380	0.22
1,296.30	146.7	230	15.5	365	5.11
1,300.00	17.0	737	15.5	2,100	0.59
1,381.00	6.2	467	15.0	4,380	0.22
1,389.00	435.0	200	19.0	200	12.36
1,446.00	80.0	419	18.8	1,095	2.30
1,447.00	23.2	500	16.5	985	0.76
1,447.00	30.0	500	16.5	425	0.98
1,473.00	14.5	737	16.5	3,376	0.47
1,478.00	46.0	275	13.2	755	1.88
1,478.00	78.0	275	13.2	436	3.19
1,498.00	14.5	738	16.5	3,376	0.47
1,503.00	14.5	738	16.5	3,376	0.47
1,509.00	41.0	431	15.6	2,190	1.42
1,518.97	115.0	583	16.9	185	3.67
1,525.00	28.5	342	18.5	1,642	0.83

表 A.1 航路並びに船舶毎の運航状況 (3/3)

総トン数	航海距離 [km]	旅客定員 [人]	速力 [knot]	年間 運航回数	航海時間 [hour]
1,529.00	40.0	560	16.3	823	1.33
1,593.00	23.2	500	15.2	985	0.82
1,593.00	30.0	500	15.2	425	1.07
1,599.00	23.2	500	15.2	985	0.82
1,599.00	30.0	500	15.2	425	1.07
1,687.00	21.0	430	30.0	2,275	0.38
1,776.00	141.7	974	19.0	182	4.03
1,777.00	113.0	57	17.7	1,460	3.45
1,861.00	19.0	540	17.3	612	0.59
1,867.18	133.2	715	17.3	365	4.17
1,867.80	133.2	715	17.3	365	4.17
1,926.00	141.7	819	20.0	182	3.83
1,958.00	113.0	58	17.5	730	3.49
1,958.00	113.0	58	19.0	730	3.21
1,998.00	113.0	81	17.5	1,460	3.49
2,052.00	60.0	500	19.5	1,460	1.66
2,083.00	41.0	520	18.5	2,190	1.20
2,099.14	67.0	354	17.8	1,277	2.03
2,137.00	61.0	520	18.5	1,460	1.78
2,167.00	98.0	548	19.8	1,095	2.67
2,182.00	67.0	460	19.0	1,277	1.90
2,248.00	61.0	534	17.7	1,274	1.86
2,258.00	43.0	534	17.7	654	1.31
2,267.00	19.0	584	17.1	1,036	0.60
2,290.00	113.0	456	18.7	595	3.27
2,291.00	67.0	456	18.6	1,277	1.95
2,323.00	23.2	500	16.3	985	0.77
2,334.00	67.0	463	20.2	1,277	1.79
2,343.00	185.8	928	18.9	362	5.31
2,375.00	185.8	895	18.9	362	5.31
2,399.00	23.2	500	16.3	985	0.77
2,553.00	61.0	470	18.7	1,460	1.76
2,586.00	61.0	520	18.7	1,460	1.76
2,588.77	185.8	928	18.5	362	5.42
2,759.00	11.5	380	13.0	241	0.48
2,785.00	90.0	260	40.0	365	1.21
2,878.00	285.7	200	20.0	365	7.71
2,878.00	618.0	200	20.0	130	16.68
2,980.00	285.7	213	20.0	365	7.71
2,980.00	618.0	213	20.0	130	16.68
3,260.00	11.5	580	13.0	241	0.48
3,392.00	135.0	494	21.8	370	3.34
3,531.00	52.0	632	20.4	2,378	1.38
3,554.00	59.0	632	20.4	2,378	1.56
3,580.00	11.5	580	13.0	241	0.48
3,639.00	119.0	425	19.5	912	3.30
3,664.00	119.0	425	19.5	912	3.30
3,664.89	113.0	500	21.0	595	2.91
4,138.00	281.5	350	19.4	182	7.83
4,234.00	184.0	756	18.0	182	5.52
4,273.00	184.0	756	18.0	182	5.52
4,924.00	733.0	500	20.2	90	19.64
4,945.00	733.0	300	22.0	90	17.99
4,967.00	242.0	520	18.2	365	7.18
5,193.00	113.0	520	19.0	595	3.21
5,193.00	204.0	520	19.0	121	5.80
5,193.00	226.0	520	19.0	121	6.42
5,193.00	242.0	520	19.0	365	6.88
6,118.00	226.0	450	19.4	121	6.29
6,190.00	242.0	600	20.7	365	6.31
6,327.00	226.0	800	20.0	121	6.10
6,327.00	242.0	800	20.0	365	6.53
6,466.00	733.0	695	21.0	90	18.85
6,472.00	356.0	867	21.0	365	9.15
6,586.00	733.0	804	21.5	90	18.41
6,698.00	242.0	800	20.0	365	6.53
6,706.00	113.0	800	20.0	595	3.05
6,706.00	204.0	800	20.0	121	5.51
6,772.95	281.5	1,000	19.7	182	7.72
7,192.00	113.0	600	20.0	595	3.05
7,198.00	113.0	800	20.0	595	3.05
7,198.00	204.0	800	20.0	121	5.51
7,318.00	264.0	604	21.5	270	6.63
7,910.00	1,745.0	150	24.0	78	39.26
8,754.00	67.2	1,133	19.8	563	1.83

総トン数	航海距離 [km]	旅客定員 [人]	速力 [knot]	年間 運航回数	航海時間 [hour]
8,754.00	78.0	1,133	19.8	436	2.13
9,022.00	420.0	942	23.0	365	9.86
9,023.00	420.0	942	23.0	365	9.86
9,200.00	469.0	330	24.3	52	10.42
9,200.00	1,850.0	330	24.3	52	41.11
9,245.00	442.0	777	22.4	121	10.65
9,245.00	442.0	777	22.4	121	10.65
9,320.00	457.0	780	22.9	182	10.78
9,320.00	457.0	780	22.9	182	10.78
9,345.00	457.0	730	22.9	182	10.78
9,347.00	457.0	730	22.9	182	10.78
9,447.00	238.0	942	23.0	182	5.59
9,463.00	238.0	942	23.0	182	5.59
9,504.00	67.2	1,133	18.0	563	2.02
9,504.00	78.0	1,133	18.0	436	2.34
9,684.00	100.0	942	22.1	80	2.44
9,684.00	442.0	942	22.1	121	10.80
9,723.00	726.0	530	23.1	182	16.97
9,917.00	264.0	750	22.5	270	6.34
9,975.00	264.0	750	22.5	270	6.34
10,200.00	105.0	430	25.0	730	2.27
10,200.00	469.0	430	25.0	104	10.13
10,200.00	1,850.0	430	25.0	52	39.96
11,000.00	901.0	150	24.9	39	19.54
11,000.00	901.0	150	24.9	39	19.54
11,085.00	67.2	1,420	20.2	563	1.80
11,114.00	1,163.0	148	21.5	91	29.21
11,114.00	1,163.0	148	21.5	91	29.21
11,272.00	758.0	634	22.8	166	17.95
11,522.00	1,163.0	462	21.5	91	29.21
11,523.00	1,163.0	462	21.5	91	29.21
11,578.00	1,802.0	660	26.2	182	37.14
11,583.00	1,802.0	660	26.2	182	37.14
11,782.00	758.0	514	22.9	166	17.91
11,931.00	502.0	690	25.0	182	10.84
11,933.00	502.0	690	25.0	182	10.84
12,325.00	758.0	342	23.0	166	17.80
12,415.00	584.0	782	24.0	182	13.14
12,418.00	584.0	782	24.0	182	13.14
12,419.00	67.2	1,420	20.3	563	1.79
12,589.00	454.0	921	22.6	104	10.85
12,589.00	454.0	921	22.6	104	10.85
12,589.00	458.0	921	22.6	169	10.94
12,589.00	458.0	921	22.6	169	10.94
13,539.00	728.0	703	24.0	156	16.38
13,597.00	699.5	350	24.9	273	15.17
13,597.00	901.0	350	24.9	39	19.54
13,621.00	699.5	450	24.9	273	15.17
13,621.00	901.0	450	24.9	39	19.54
13,654.00	728.0	630	24.0	156	16.38
13,730.00	18.0	850	21.5	243	0.45
13,730.00	25.5	850	21.5	243	0.64
13,730.00	770.0	850	21.5	182	19.34
13,937.00	18.0	842	21.5	243	0.45
13,937.00	25.5	842	21.5	243	0.64
13,937.00	1,330.0	842	21.5	182	33.40
14,257.00	18.0	854	21.5	243	0.45
14,257.00	25.5	854	21.5	243	0.64
14,257.00	1,330.0	854	21.5	182	33.40
14,988.00	458.0	921	22.9	169	10.80
14,988.00	458.0	921	22.9	169	10.80
15,139.00	758.0	656	22.9	166	17.87
15,188.00	454.0	810	23.0	104	10.66
15,188.00	454.0	810	23.0	104	10.66
16,000.00	885.0	90	28.0	182	17.07
16,000.00	885.0	90	28.0	182	17.07
17,309.00	1,074.0	929	22.6	104	25.66
17,311.00	1,074.0	929	22.6	104	25.66
17,329.00	1,024.0	507	29.4	317	18.81
17,345.00	1,024.0	507	29.4	317	18.81
19,329.00	1,061.0	788	21.8	121	26.28
19,796.00	1,061.0	800	21.8	121	26.28
19,904.00	1,061.0	796	21.8	121	26.28
20,555.00	704.0	926	22.7	317	16.75
20,558.00	704.0	926	22.7	317	16.75

した。さらに、事故件数（図 8 参照）を考慮して、総トン数 3,000 トン未満を一つの区分とした。なお、「海難審判の実態」と「旅客（定期・不定期）航路事業現況表」を比較した場合、総トン数の区分としては、5,000 トン、10,000 トンも共通して用いられているが、ここでは考慮しなかった。

付録 B．海難審判庁裁決録の調査

B．1．事故例の抽出

代表事故シナリオを検討するため、海難審判庁裁決録を調査した。最初に、裁決録の目次及び事実の経過等の記述を調べて、カーフェリーが関係すると思われる事故例を抽出した。具体的には、重複を避けるため高等海難審判庁の裁決録を対象から外し、木造以外の船舶であって、自動車専用船を除く自動車用の貨物区域を有する船舶の事故例を抽出した。各年の裁決録に記載された事故例の数（高等海難審判庁の裁決を除く）と抽出した事故例の数を表 B.1 に示す。

抽出した事故例の船舶の種類については、裁決録上では、「自動車航走船」、「自動車渡船」、「旅客船兼自動車渡船」、「貨客船兼自動車渡船」、「カーフェリー」等、様々な名称で記載されていたため、記述全体を参照して、関係すると思われる事故例を抽出した。

抽出した事故例は、カーフェリーに着目して解析した。解析の都合上、カーフェリーどうしの衝突（15 件）は、それぞれ別の事故として扱った。

また、機関損傷事件において一つの記録の中に「第一」、「第二」として二つの事故が含まれているもの（3 件）場合も、それぞれ別の事故として扱った。そのため、解析の対象とした事故の数は裁決録上の事故例の件数より 18 件多い 577 件となった。解析の対象とした事故を表 B.2 に示す。表 B.2 の各欄は左から順に、当該事故例が記載されている裁決録の年、記載開始ページ番号、事故の種類、カーフェリーの総トン数である。事故の種類のうち、「衝突」は船舶への衝突、「単衝突」は岸壁等への衝突、「機損傷」は機関損傷、「施設損傷」は施設損傷、「火災等」は火災または爆発を意味する。なお、斜体で示したのは、裁決録上の一つの事故例を複数に分けて扱ったものである。

次に、裁決録の事件名に基づき、事故の種類を「衝突」、「乗揚げ」、「衝突(単)」、「浸水・転覆」、「火災・爆発」、「機関損傷」、「施設損傷」、及び「その他」に分類した。「その他」には、「傷害事件」「遭難事件」を含めた。

B．2．考慮すべき事故と人命損失の期待値

事故一件当たりの人命損失の期待値について検討した。「海難審判の実態」では、1999 年～2000 年における旅客船の事故 8,051 件で、死者等は 41 人、死傷者等は 722 人であった。これに対して、裁決録から抽出した 1965 年～2001 年におけるカーフェリー事故では、表 B.1 に示した 577 件の事故で、死者等 29 人、死傷者等は 764 人であった。このように、事故一件当たりの人命損失の数値が異なるのは、海難審判庁で「認知」された事故のうち、重大と考えられるものが審判にかかるためである。実際に、死者等を伴う事故は、関係者が全員死亡して審判が困難である場合を除いて、海難審判にかかる可能性が高い。ここでは、カーフェリーの事故一件当たりの「死者等」の数は、旅客船のそれと同じであると仮定して、事故の発生確率及び事故一件当たりの死者等の数の目安を検討した。カーフェリーは旅客船の中でも総じて大型で定員も多いものが多く、事故一件当たりの死者等の数が乗船者数に応じて変わると考えた場合、この仮定は妥当ではない。一方、転覆のような多数の死者を伴う事故は小型船で発生し易いことは分かっている。カーフェリーの事故一件当たりの「死者等」の数が旅客船のそれと同じであるとの仮定は、転覆等の多数の死者を伴う事故は小型船で発生し易いのに対して、同種

表 B.1 裁決録の事故件数と抽出数

年	収録 件数	抽出 件数	年	収録 件数	抽出 件数
昭和 40	1,074	9	昭和 59	817	14
昭和 41	1,127	9	昭和 60	770	14
昭和 42	1,090	2	昭和 61	741	14
昭和 43	1,028	2	昭和 62	774	18
昭和 44	1,024	10	昭和 63	756	12
昭和 45	906	11	平成元	795	18
昭和 46	954	20	平成 2	782	14
昭和 47	950	16	平成 3	796	15
昭和 48	921	11	平成 4	822	12
昭和 49	874	32	平成 5	834	15
昭和 50	848	20	平成 6	824	15
昭和 51	828	20	平成 7	823	14
昭和 52	789	17	平成 8	833	17
昭和 53	889	27	平成 9	762	14
昭和 54	896	17	平成 10	791	16
昭和 55	914	22	平成 11	795	14
昭和 56	968	9	平成 12	795	13
昭和 57	837	14	平成 13	848	30
昭和 58	778	12	計	32,053	559

表 B.2 海難審判庁裁決録から抽出したカーフェリーの事故例 (1/2)

年度	Page	種類	GRT	年度	Page	種類	GRT	年度	Page	種類	GRT	年度	Page	種類	GRT
S40	261	機損傷	535	S47	930	単衝突	3,978	S50	1,464	単衝突	449	S54	1,227	機損傷	11,210
S40	402	衝突	368	S47	1,243	機損傷	1,623	S50	1,892	衝突	228	S54	1,227	機損傷	11,210
S40	424	衝突	194	S47	1,247	機損傷	1,623	S50	2,053	衝突	713	S54	1,417	衝突	999
S40	471	衝突	649	S47	1,314	衝突	877	S50	2,065	衝突	103	S54	1,440	衝突	948
S40	503	衝突	402	S47	1,343	衝突	4,093	S51	164	衝突	6,709	S54	1,468	衝突	2,927
S40	895	機損傷	530	S47	1,718	衝突	1,919	S51	342	衝突	5,937	S54	1,490	衝突	199
S40	897	機損傷	530	S47	1,771	衝突	4,673	S51	385	火災等	4,851	S54	1,584	その他	4,447
S40	1,735	衝突	402	S47	1,791	衝突	491	S51	539	衝突	108	S54	1,605	その他	6,801
S40	2,364	機損傷	33	S47	1,796	単衝突	199	S51	615	衝突	1,479	S54	1,911	衝突	11,567
S41	401	単衝突	235	S47	1,827	衝突	199	S51	727	機損傷	7,858	S54	1,936	単衝突	197
S41	417	衝突	173	S47	1,827	衝突	877	S51	825	単衝突	607	S54	1,948	衝突	698
S41	453	衝突	255	S47	1,853	衝突	199	S51	855	衝突	2,924	S54	1,958	単衝突	499
S41	472	単衝突	310	S48	242	衝突	2,800	S51	872	衝突	489	S54	2,075	火災等	523
S41	1,063	単衝突	649	S48	242	衝突	4,619	S51	1,184	その他	1,495	S54	2,117	その他	1,262
S41	1,135	衝突	132	S48	270	単衝突	289	S51	1,382	衝突	4,694	S54	2,153	衝突	115
S41	1,872	単衝突	649	S48	279	衝突	217	S51	1,410	乗揚げ	613	S55	157	機損傷	9,551
S41	2,526	衝突	402	S48	298	火災	193	S51	1,430	衝突	193	S55	243	衝突	992
S41	2,576	衝突	480	S48	612	単衝突	479	S51	1,458	単衝突	943	S55	283	単衝突	1,758
S42	457	単衝突	594	S48	1,304	単衝突	158	S51	1,477	単衝突	6,496	S55	485	その他	6,801
S42	1,973	衝突	594	S48	1,344	衝突	402	S51	1,506	乗揚げ	449	S55	751	機損傷	9,536
S43	1,339	乗揚げ	497	S48	1,361	衝突	490	S51	1,543	火災等	1,262	S55	946	単衝突	284
S43	1,675	衝突	497	S48	1,651	機損傷	9,065	S51	1,664	単衝突	499	S55	1,008	衝突	997
S43	1,675	衝突	494	S48	1,786	機損傷	617	S51	1,857	単衝突	170	S55	1,070	衝突	1,262
S44	534	乗揚げ	152	S48	1,863	衝突	344	S51	1,876	機損傷	330	S55	1,080	衝突	195
S44	545	乗揚げ	490	S49	93	衝突	1,215	S52	134	乗揚げ	2,085	S55	1,084	乗揚げ	273
S44	905	衝突	617	S49	115	衝突	9,258	S52	255	衝突	2,800	S55	1,344	衝突	7,171
S44	920	施損傷	194	S49	196	単衝突	5,964	S52	334	乗揚げ	990	S55	1,470	衝突	6,574
S44	1,394	乗揚げ	940	S49	225	衝突	6,489	S52	338	衝突	1,933	S55	1,582	乗揚げ	4,511
S44	1,402	衝突	311	S49	467	衝突	4	S52	376	衝突	138	S55	1,595	機損傷	499
S44	1,424	単衝突	193	S49	485	衝突	81	S52	486	乗揚げ	150	S55	1,639	単衝突	103
S44	1,939	衝突	480	S49	744	衝突	4,851	S52	697	衝突	9,039	S55	1,889	機損傷	2,924
S44	1,983	その他	270	S49	772	衝突	577	S52	736	衝突	794	S55	1,907	乗揚げ	1,051
S44	2,026	機損傷	4,978	S49	804	衝突	480	S52	759	衝突	8,208	S55	1,928	衝突	4,440
S44	2,026	機損傷	4,978	S49	813	単衝突	594	S52	762	火災等	490	S55	1,990	衝突	12,087
S45	277	衝突	877	S49	827	衝突	169	S52	767	衝突	175	S55	1,997	衝突	886
S45	285	衝突	794	S49	966	単衝突	74	S52	908	衝突	1,516	S55	2,178	転覆	98
S45	292	衝突	794	S49	1,046	その他	9,065	S52	1,015	機損傷	9,749	S55	2,186	衝突	115
S45	295	単衝突	176	S49	1,205	火災等	951	S52	1,214	衝突	4,982	S56	238	機損傷	1,051
S45	300	衝突	402	S49	1,223	単衝突	602	S52	1,344	単衝突	499	S56	271	その他	2,927
S45	1,189	その他	366	S49	1,291	爆発	877	S52	1,570	衝突	9,749	S56	290	衝突	2,922
S45	1,612	衝突	366	S49	1,298	衝突	464	S52	1,653	衝突	3,369	S56	869	単衝突	1,608
S45	1,634	機損傷	215	S49	1,414	衝突	391	S53	364	衝突	6,987	S56	947	衝突	6,523
S45	1,670	衝突	5,011	S49	1,417	衝突	195	S53	446	単衝突	103	S56	1,485	浸水等	98
S45	1,703	乗揚げ	193	S49	1,430	衝突	191	S53	457	乗揚げ	259	S56	2,169	単衝突	497
S45	1,705	衝突	199	S49	1,505	乗揚げ	804	S53	666	衝突	7,034	S56	2,187	衝突	497
S46	155	衝突	661	S49	1,750	機損傷	5,885	S53	720	衝突	2,983	S56	2,200	衝突	7,188
S46	286	乗揚げ	193	S49	1,780	衝突	402	S53	729	乗揚げ	8,224	S57	545	機損傷	146
S46	296	その他	46	S49	1,782	機損傷	389	S53	752	火災等	477	S57	546	乗揚げ	123
S46	299	機損傷	649	S49	1,791	単衝突	156	S53	791	単衝突	217	S57	564	衝突	81
S46	305	衝突	45	S49	1,804	機損傷	5,952	S53	810	火災等	170	S57	982	乗揚げ	198
S46	327	衝突	459	S49	1,806	衝突	196	S53	820	衝突	977	S57	1,000	衝突	499
S46	716	機損傷	369	S49	1,811	衝突	939	S53	841	その他	499	S57	1,337	機損傷	6,737
S46	836	衝突	3,988	S49	1,834	衝突	7,173	S53	928	衝突	278	S57	1,481	衝突	1,051
S46	866	衝突	470	S49	1,868	衝突	8,190	S53	954	衝突	115	S57	1,521	衝突	989
S46	1,262	衝突	1,220	S49	1,887	衝突	199	S53	1,041	衝突	537	S57	2,050	その他	96
S46	1,308	単衝突	299	S49	1,950	衝突	77	S53	1,073	単衝突	3,025	S57	2,082	その他	88
S46	1,368	衝突	117	S50	210	衝突	498	S53	1,080	衝突	7,845	S57	2,089	衝突	71
S46	1,428	衝突	940	S50	266	衝突	6,114	S53	1,261	衝突	5,449	S57	2,092	その他	886
S46	1,493	その他	765	S50	302	機損傷	5,935	S53	1,320	機損傷	4,093	S57	2,253	衝突	456
S46	1,575	その他	999	S50	375	衝突	6,523	S53	1,364	その他	1,253	S57	2,261	衝突	115
S46	1,641	乗揚げ	499	S50	379	機損傷	687	S53	1,378	その他	3,228	S58	157	衝突	4,839
S46	1,709	機損傷	1,220	S50	392	単衝突	8,190	S53	1,536	その他	91	S58	163	衝突	4,069
S46	1,789	衝突	460	S50	505	衝突	278	S53	1,541	単衝突	195	S58	378	衝突	198
S46	1,789	衝突	494	S50	520	衝突	166	S53	1,604	その他	1,226	S58	710	衝突	489
S46	1,961	衝突	355	S50	790	乗揚げ	12,710	S53	1,711	火災等	7,034	S58	747	衝突	2,945
S46	1,985	衝突	750	S50	807	衝突	607	S53	1,890	乗揚げ	683	S58	820	衝突	14,618
S47	290	単衝突	436	S50	840	衝突	2,800	S53	1,912	機損傷	9,039	S58	1,667	衝突	6,936
S47	304	衝突	156	S50	1,004	乗揚げ	6,420	S53	1,972	機損傷	999	S58	1,691	乗揚げ	2,728
S47	337	衝突	946	S50	1,342	衝突	988	S54	789	単衝突	116	S58	1,712	衝突	191
S47	816	衝突	4,619	S50	1,365	その他	108	S54	858	衝突	1,608	S58	1,720	乗揚げ	456
S47	832	衝突	886	S50	1,376	単衝突	90	S54	858	衝突	1,758	S58	2,058	衝突	494
S47	832	衝突	403	S50	1,381	衝突	6,523	S54	1,172	衝突	987	S58	2,107	その他	698

表 B.2 海難審判庁裁決録から抽出したカーフェリーの事故例 (2/2)

年度	Page	種類	GRT	年度	Page	種類	GRT	年度	Page	種類	GRT	年度	Page	種類	GRT
S59	81	その他	1,223	S63	2,168	乗揚げ	4,997	H5	1,198	単衝突	3,622	H10	755	機損傷	699
S59	319	衝突	9,009	H1	44	衝突	1,286	H5	1,623	乗揚げ	45	H10	775	機損傷	835
S59	405	衝突	196	H1	178	衝突	10,181	H5	1,792	その他	2,776	H10	965	衝突	213
S59	857	火災	12,771	H1	744	衝突	6,130	H5	2,175	単衝突	696	H10	1,066	衝突	3,717
S59	984	機損傷	983	H1	783	衝突	185	H5	2,356	火災	3,168	H10	1,316	その他	698
S59	1,080	機損傷	32	H1	817	衝突	528	H5	2,433	機損傷	4,994	H10	1,380	衝突	1,134
S59	1,399	機損傷	990	H1	1,162	その他	496	H6	97	衝突	657	H10	1,422	衝突	3,756
S59	1,411	衝突	2,922	H1	1,224	単衝突	3,450	H6	116	衝突	7,060	H10	1,821	単衝突	6,466
S59	1,667	その他	146	H1	1,269	衝突	1,412	H6	469	乗揚げ	696	H10	2,123	機損傷	17,113
S59	1,998	衝突	999	H1	1,327	衝突	8,884	H6	610	機損傷	244	H10	3,058	機損傷	11,931
S59	2,026	単衝突	6,801	H1	1,407	衝突	452	H6	693	その他	2,185	H10	3,062	機損傷	2,922
S59	2,120	衝突	518	H1	1,555	乗揚げ	4,994	H6	1,238	機損傷	196	H11	275	単衝突	13,621
S59	2,195	単衝突	89	H1	1,825	衝突	1,559	H6	1,308	衝突	5,087	H11	518	衝突	6,613
S59	2,230	その他	697	H1	1,860	衝突	1,651	H6	1,514	衝突	11,522	H11	518	衝突	5,968
S60	255	衝突	1,315	H1	1,949	単衝突	191	H6	1,908	その他	5,683	H11	543	衝突	499
S60	362	衝突	3,422	H1	2,002	衝突	606	H6	1,912	その他	634	H11	692	その他	616
S60	756	衝突	9,547	H1	2,043	衝突	2,290	H6	2,071	衝突	3,623	H11	724	沈没	100
S60	883	衝突	3,079	H1	2,077	衝突	1,457	H6	2,236	単衝突	3,664	H11	874	機損傷	194
S60	973	乗揚げ	210	H1	2,419	その他	680	H6	2,271	衝突	7	H11	931	その他	12,112
S60	1,314	単衝突	9,236	H2	243	衝突	6,378	H6	2,524	機損傷	8,052	H11	1,707	衝突	9,022
S60	1,422	機損傷	99	H2	337	乗揚げ	4,994	H6	2,580	機損傷	3,611	H11	1,779	単衝突	194
S60	1,442	機損傷	986	H2	661	単衝突	97	H7	194	単衝突	10,811	H11	1,868	衝突	9,684
S60	1,447	衝突	2,800	H2	783	衝突	5,960	H7	296	単衝突	696	H11	1,942	単衝突	199
S60	1,480	衝突	6,820	H2	1,359	衝突	1,599	H7	480	火災	9,463	H11	2,160	乗揚げ	457
S60	1,567	その他	5,392	H2	1,374	単衝突	577	H7	612	その他	12,524	H11	2,286	機損傷	616
S60	1,768	衝突	9,009	H2	1,447	衝突	1,150	H7	877	単衝突	297	H11	2,857	衝突	363
S60	1,851	衝突	6,972	H2	1,654	機損傷	16,725	H7	1,268	単衝突	698	H12	206	単衝突	14,988
S60	1,932	衝突	693	H2	1,654	機損傷	16,725	H7	1,327	単衝突	1,260	H12	213	衝突	5,968
S61	201	衝突	9,536	H2	1,831	衝突	2,992	H7	1,497	単衝突	2,356	H12	359	単衝突	20,552
S61	235	衝突	198	H2	1,947	衝突	2,988	H7	1,561	衝突	695	H12	424	衝突	697
S61	237	衝突	999	H2	1,997	衝突	499	H7	1,667	乗揚げ	456	H12	471	単衝突	10,182
S61	803	衝突	467	H2	2,049	衝突	7,480	H7	1,833	機損傷	1,020	H12	708	その他	2,785
S61	1,305	衝突	3,079	H2	2,093	衝突	771	H7	2,022	衝突	9,320	H12	789	機損傷	698
S61	1,399	乗揚げ	198	H2	2,295	機損傷	2,153	H7	2,022	衝突	2,922	H12	855	その他	194
S61	1,555	機損傷	4,931	H3	76	衝突	977	H7	2,343	乗揚げ	698	H12	1,100	衝突	366
S61	1,630	その他	194	H3	76	衝突	697	H7	2,447	乗揚げ	99	H12	2,628	単衝突	324
S61	1,758	衝突	687	H3	311	衝突	3,560	H8	90	衝突	386	H12	2,756	単衝突	575
S61	1,849	衝突	191	H3	346	衝突	697	H8	94	衝突	3,623	H12	2,767	単衝突	697
S61	1,876	衝突	1,479	H3	392	単衝突	209	H8	256	単衝突	697	H12	3,194	その他	699
S61	1,876	衝突	1,215	H3	1,206	衝突	9,551	H8	363	衝突	3,560	H13	105	単衝突	13,597
S61	2,015	乗揚げ	199	H3	1,235	衝突	11,295	H8	488	乗揚げ	9,306	H13	112	衝突	1,940
S61	2,044	乗揚げ	18	H3	1,249	単衝突	1,196	H8	1,177	乗揚げ	699	H13	112	衝突	699
S61	2,210	その他	364	H3	1,342	衝突	197	H8	1,396	衝突	960	H13	256	単衝突	4,273
S62	67	衝突	4,069	H3	1,580	乗揚げ	194	H8	1,417	単衝突	2,945	H13	268	機損傷	11,114
S62	133	衝突	7,836	H3	1,609	浸水等	98	H8	1,448	衝突	699	H13	436	衝突	1,446
S62	218	単衝突	1,599	H3	1,811	単衝突	8,755	H8	1,626	衝突	11,272	H13	466	単衝突	380
S62	251	衝突	6,972	H3	1,864	衝突	699	H8	1,638	衝突	1,286	H13	639	乗揚げ	6,472
S62	274	衝突	6,936	H3	1,899	衝突	697	H8	1,656	衝突	9,917	H13	812	火災等	3,664
S62	596	その他	14,406	H3	1,899	衝突	588	H8	1,734	単衝突	1,867	H13	892	機損傷	11,085
S62	855	衝突	3,269	H3	2,075	衝突	1,312	H8	2,014	その他	3,560	H13	907	機損傷	12,520
S62	882	衝突	493	H3	2,136	衝突	74	H8	2,128	衝突	291	H13	941	機損傷	191
S62	888	衝突	217	H4	221	衝突	11,272	H8	2,151	衝突	14,988	H13	1,055	単衝突	6,472
S62	1,199	衝突	1,215	H4	255	衝突	6,823	H8	2,179	衝突	1,498	H13	1,059	単衝突	2,167
S62	1,329	単衝突	225	H4	255	衝突	6,472	H9	86	単衝突	4,234	H13	1,115	単衝突	6,358
S62	1,332	衝突	4,704	H4	282	衝突	7,312	H9	90	衝突	19,329	H13	1,200	単衝突	699
S62	1,349	衝突	1,522	H4	388	乗揚げ	9,707	H9	108	衝突	699	H13	1,230	単衝突	6,327
S62	1,387	衝突	1,175	H4	943	単衝突	11,914	H9	376	衝突	7,020	H13	1,471	乗揚げ	1,263
S62	1,724	その他	199	H4	1,010	乗揚げ	324	H9	483	乗揚げ	1,585	H13	1,792	衝突	98
S62	1,844	衝突	12,789	H4	1,401	単衝突	553	H9	867	衝突	3,217	H13	2,007	衝突	498
S62	1,887	衝突	3,079	H4	1,598	乗揚げ	199	H9	1,012	衝突	1,484	H13	2,094	単衝突	699
S62	2,339	機損傷	146	H4	1,742	機損傷	677	H9	1,434	衝突	194	H13	2,116	衝突	699
S63	78	衝突	6,378	H4	1,819	その他	492	H9	1,502	衝突	3,560	H13	2,308	その他	696
S63	177	単衝突	199	H4	2,028	衝突	9,627	H9	1,550	衝突	151	H13	2,432	その他	17,309
S63	184	衝突	1,074	H4	2,490	その他	10,811	H9	1,681	乗揚げ	7,060	H13	2,635	衝突	2,529
S63	323	衝突	99	H5	156	衝突	5,960	H9	2,056	衝突	9,320	H13	2,686	単衝突	699
S63	323	衝突	236	H5	447	乗揚げ	4,223	H9	2,056	衝突	6,950	H13	2,776	衝突	12,415
S63	827	衝突	6,814	H5	513	転覆	199	H9	2,167	衝突	1,484	H13	2,808	衝突	20
S63	837	衝突	397	H5	609	機損傷	1,599	H9	2,209	単衝突	699	H13	2,832	衝突	763
S63	1,420	単衝突	644	H5	640	その他	13,818	H10	291	単衝突	198	H13	2,925	単衝突	3,260
S63	1,670	機損傷	999	H5	882	衝突	9,536	H10	410	衝突	698	H13	3,015	衝突	1,585
S63	1,882	衝突	955	H5	887	衝突	2,922	H10	433	単衝突	696				
S63	1,983	衝突	2,809	H5	954	乗揚げ	193	H10	623	乗揚げ	775				
S63	2,070	衝突	11,914	H5	1,158	機損傷	5,960	H10	714	機損傷	2,185				

の事故であれば一件当たりの死者等の数は大型船の方が多くなることから、事故一件当たりの死者等の数の目安をつけるため、カーフェリーと旅客船全体で事故一件当たりの死者等の数が概ね等しいと考える。

「海難審判の実態」に基づく 1991～2000 年に認知された旅客船の事故例 8,051 件における一件当たりの死者等の数は 5.1×10^{-3} であった。一方、裁決録から抽出した 1965～2001 年の事故例 559 件における一件当たりの死者等の数は 5.0×10^{-2} （表 B.3 参照）であった。なお、裁決録から抽出した事故例のうち、1990～1999 年までの 10 年間に発生したものは 559 件中 161 件（577 件中 165 件）であり、死者等の数は 6 人（負傷者等 145 人）であった。2000 年までではなく、1999 年までに発生した事故について解析したのは、2000 年に発生した事故については 2001 年（平成 13 年）までの裁決録には収録されていないものも多いと考えられたためである。この 10 年間に着目した場合、抽出した事故一件当たりの死者等の数は 3.7×10^{-2} となった。

旅客船の事故による死傷者等の数は、特定の重大事故に大きく左右される（本文 3.4 節参照）。そのためここでは、「認知事故」のデータと「裁決録の事故」のデータの時期的な整合性よりも、裁決録のデータの安定性、即ち、解析する期間の長さを優先して、抽出した事故例一件当たりの死者等の数 5.0×10^{-2} が旅客船の認知事故一件当たりの死者等の数 5.1×10^{-3} に対応するものと考えた。さらに簡単のため、ここでは、裁決録に収録されない事故は、死者等を伴わない事故と、裁決録で代表される事故、即ち、一件当たりの死者等の数が 5.0×10^{-2} の事故に分けられると仮定した。即ち、船舶の事故は、裁決録に収録される約 1 割の事故と、裁決録に収録されない死者等を伴わない約 9 割の事故に分類され、事故の性質は裁決録に収録される事故で代表されると仮定した。

この仮定の位置付けについて検討するため、抽出した事故の件数を、発生年月日に基づき解析した。昭和 40 年（1965 年）以降に刊行された裁決録には、それ以前に発生した事故も収録されるが、発生年月日に基づき事故件数を解析するには、昭和 40 年より前に発生した事故は除いて考える必要がある。また、前述の通り、2000 年（平成 12 年）以降に発生した事故は、平成 13 年までの裁決録に記載されていない可能性があるため、ここ

では考慮しなかった。なお、裁決まで 2 年以上を要する事故もあるが、その数は有意では無いと考え、無視した。抽出した事故のうち、1965～1999 年までに発生したものの件数を、総トン数の区分毎に示すと表 B.3 の通り。表 B.3 において、「抽出件数」は裁決録上の件数を意味し、解析件数は、カーフェリーどうしの衝突等を 2 件として数えたものを意味する。

図 2 に示した通り、旅客船の事故発生件数は減少傾向にあるが、簡単のため、毎年の事故発生件数は変化しないものとし、表 6 の右の欄に示した年平均の事故件数を 35 倍して 1965～1999 年の事故発生件数を求め、これを表 B.3 の中央の欄に示した裁決録上の件数と比較することにより、カーフェリー事故が裁決録に収録される割合を求めた。結果を表 B.4 に示す。計算結果からは、船舶が大きくなるに従って、その事故が裁決録に収録される確率が低くなっている傾向が見られるが、これは、様々な仮定の下での計算結果であるため、ここでは、裁決録への収録率と総トン数の関係は無視した。表 B.4 において合計のみに着目すれば、前述の仮定は、裁決録に記載されない事故（96.4 %）を、死者等を伴わない事故（89.8 %）と裁決録に記載される事故で代表される事故（6.6 %）に分類していることに相当する。

参考のため、カーフェリーが裁決録に収録される確率を総トン数によらず 3.6 % とし、裁決録に収録されない事故一件当たりの死者等の数の x を求めると以下の通り。

表 B.3 カーフェリー事故裁決録収録件数
(S40 年～H11 年)

総トン数区分	抽出件数	解析件数
- 20	2	2
20 - 100	23	24
100 - 500	159	162
500 - 3,000	181	188
3,000 -	171	178
計	536	554

表 B.4 カーフェリー事故の裁決録収録割合

総トン数区分	年平均事故件数	35 年間の事故件数	抽出件数	裁決録収録率 [%]
- 20	4.0×10^{-1}	1.4×10	2	14
20 - 100	8.3	2.9×10^2	23	7.9
100 - 500	7.6×10	2.7×10^3	159	5.9
500 - 3,000	1.7×10^2	6.0×10^3	181	3.0
3,000 -	1.7×10^2	6.0×10^3	171	2.9
合計	4.3×10^2	1.5×10^4	536	3.6

$$(1-0.036) \cdot x + 0.036 \times 5.0 \times 10^{-2} = 5.1 \times 10^{-3}$$

$$x \approx 3.4 \times 10^{-3}$$

これらの仮定の下では、裁決録に収録されるカーフェリー事故一件当たりの死者等の数は、収録されない事故のそれと比較して約 15 倍程度であると推定される。

B. 3. 事故時の乗船者数と定員との関係

本研究では、多数の乗客が乗船したカーフェリーで調査対象危険物を輸送する際のリスクを検討する必要がある。そのため、リスクを解析する際の運航の条件としては、旅客及び乗組員が全員乗船した状態を考慮するのが適当と言える。一方、人命に関するリスクは乗船している旅客及び乗組員の数によって異なるのに対して、実際の運航においては、常時満員で運航してはいないため、定員まで乗船した場合の事故一件当たりの死者等の数を推定するには、事故時の船舶における乗船者数について検討する必要がある。

解析の対象となる事故例 577 件（カーフェリーどうしの衝突や複数回の機関故障を別の事故として扱ったもの）のうち、事故発生時に乗船していた旅客の数が記載されているものは 525 件、乗組員の数が記載されているものは 235 件であった。一方、旅客定員が記載されているのは 42 件であった。旅客定員が記載されている事故例における船舶の旅客定員の合計は 21,501 人であり、対応する旅客数は 2,860 人であった。よって、単純計算では、平均で、旅客は定員の 18.6 % 乗船していたことになる。

表 B.5 事故時の乗船者数（1990 以降）

総トン数区分	- 20	20 - 100	100 - 500	500 - 3000	3000 -
旅客数記載件数	1	3	28	68	69
事故時旅客数	2.0	8.0	19.0	65.2	145.9
乗員数記載件数	1	3	25	66	65
事故時乗員数	1.0	3.0	4.1	12.0	28.6
事故時乗船者数	3.0	11.0	23.1	77.2	174.5
旅客定員記載件数	1	1	1	8	4
平均旅客定員	30.0	12.0	155.0	305.1	777.5

表 B.6 事故時の平均旅客数と平均定員

総トン数区分	事故時平均旅客数	平均定員 (H13.4.1)	平均消費率 [%]
- 20	2.0	59.6	3.3
20 - 100	8.0	91.2	8.8
100 - 500	19.0	232.5	8.2
500 - 3,000	65.2	446.1	14.6
3,000 -	145.9	712.6	20.5

参考のため、別の方法で事故時の乗船者数と旅客定員の関係を検討してみる。1990 年以降の事故例について言えば、抽出した 177 件のうち、169 件に事故時の乗船者数の記載がある。これらの事故例に基づき、事故時の旅客数、乗組員数の平均値を解析すると表 B.5 の通り。

一方、表 A.1 に示したデータから、平成 13 年 4 月 1 日時点における船舶の旅客定員の運航回数に基づく平均値が得られ、これらの値を表 B.5 に示した旅客数と比較すると、表 B.6 の通り。表 B.6 より、船舶の規模が大きくなるにつれて、乗客数の定員に対する割合が増加する傾向は見取れるが、総トン数が小さい船舶については、抽出できた事故例の件数が少ないので、これが一般的な傾向か否かは不明である。

付録 C. 引火性液体の事故例調査

C. 1. 事故の概要と発生確率

消防庁が発行している「危険物に係る事故事例」の各年の資料には、最近 5 年間の事故発生件数及び確率が示されている。平成 6～12 年の移動タンク貯蔵所の火災及び漏洩事故の発生確率を図 C.1 に示す。なお、図 C.1 に示した事故発生確率は一万台・年当たりのものであり、火災事故の発生件数 3～9 件、漏洩事故の発生件数は 31～70 件であった。これらの事故の中には、カーフェリーにおける移動タンク貯蔵所の輸送時に発生し難いと考えられる事故もある。そのため、平成 10～12 年のデータに基づき、カーフェリーにおける輸送中にも発生し得ると考えられる事故の発生件数について検討した。火災・爆発事故の概要を表 C.1 に示す。

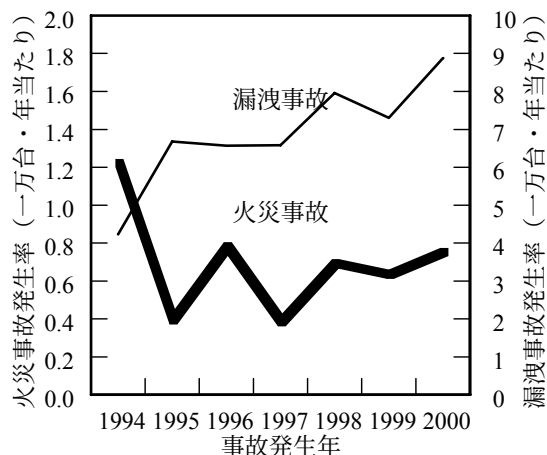


図 C.1 移動タンク貯蔵所の火災及び漏洩事故発生確率

表 C.1 移動タンク貯蔵所の火災・爆発事故

年	頁	発生 月日	船上 発生	主原因	原因物質	給油 等
H10	128	10/14	Y	不明	灯油	
H10	130	6/10	Y	不明	灯油等	
H10	134	9/21	N	交通事故	ガソリン	
H10	138	9/2	N	管理不十分	廃油	
H10	140	4/11	N	交通事故	軽油	
H10	142	10/2	N	交通事故	ガソリン	
H10	146	1/20	Y	管理不十分	ガソリン	
H11	126	5/25	N	管理不十分	トルエン	○
H11	128	6/14	N	類焼	灯油	
H11	130	3/21	Y	破損	灯油	
H11	134	10/3	N	交通事故	ガソリン	
H11	136	8/30	N	交通事故	ガソリン	
H12	142	2/26	N	腐食等劣化	灯油	○
H12	144	10/31	Y	管理不十分	重油	
H12	146	5/5	N	交通事故	ガソリン	
H12	148	2/18	N	確認不十分	ヘキセン	○
H12	150	12/18	N	交通事故	ガソリン	
H12	152	6/8	N	確認不十分	ガソリン	○

表 C.1 の欄は左から順に、事故発生年、資料における記載ページ、事故発生月日、船舶の輸送中における発生の可否の判定、主原因（資料における分類に基づく）、原因物質、給油等作業中（修理、整備を含む）における事故か否かの判定である。「原因物質」は、火災の原因となったと推定される物質であり、ガソリンを含む複数の物質が記載されており特定が困難な場合はガソリンとした。

船舶による輸送中において発生しないための条件は以下の通りとした。

- (1) 交通事故は、船上では発生しない。
- (2) 給油中、修理中、整備中等の作業中の事故は、船上では発生しない。
- (3) タイヤがパンクしたまま走行したことによる事故は、船上では発生しない。
- (4) 類焼は、別途考慮するため、移動タンク貯蔵所に起因する事故には含めない。

漏洩事故の概要を表 C.2 に示す。表 C.2 の各欄の意味は、表 C.1 と同様である。表の欄のうち「主漏洩物」は、最も漏洩量が大きかった物質であり、総漏洩量は各種物質の漏洩量の総計である。多くの事故では、漏洩物（移動タンク貯蔵所の貨物）は 1 種類であるが、複数の物質が漏洩したことが明記されている事故は計 9 件であった。漏洩量について記載の無いものは空欄とした。また、漏洩量は、範囲が記述されているものはその平均値、

「数リットル」と記載されているものは 5 リットル、「微量」と記載されているものは 0.1 リットルとした。

船舶による輸送中において発生しないための条件は以下の通りとした。

- (1) 交通事故は、船上では発生しない。但し、給油取扱所内において後進中に他の自動車と接触した事故（H12 年 938 ページ）は、船上でも発生し得る。また、H12 年 1,100 ページの事故の主原因は「確認不十分」であるが、これは、雨天の走行時におけるスリップ事故であるため、交通事故に準ずるものとして、船舶では発生しないとする。
- (2) 給油中、修理中、整備中等の作業中の事故は、船上では発生しない。
- (3) 注油ホースを引きずったまま走行し、これをタンク車両がカーブで踏むことにより発生した事故（H11 年 748 ページ）は、船上では発生しない。
- (4) 廃棄した走行不能のタンク車両からの漏洩事故（H12 年 988 ページ）は、船上では発生しない。

表 C.1 及び C.2 に基づき、移動タンク貯蔵所に起因する火災・爆発事故及び漏洩事故の発生率を求めると、表 C.3 及び C.4 の通りであった。

火災・爆発事故について言えば、船上でも発生し得ると考えた事故の原因は、不明のもの（2 件）を除けば、エンジンルームに置き忘れた軍手からの出火（主原因：管理不十分）、電線の短絡（主原因：破損）、劣化したパッキンからの危険物の漏洩（主原因：管理不十分）であった。火災事故のうち 1 件は、漏洩した重油が排気管にかかり出火したものであり、漏洩事故とも考えられる。これらの事故においては、出火時においてタンク内に収納されていた危険物への影響は無かった。

漏洩から火災・爆発に至る確率は危険物の種類により異なると考えられるため、ここでは、この事故を漏洩事故とみなし、漏洩から出火に至る確率は別途考慮する。よって、船上で発生し得る漏洩事故は 35 件、火災事故は 4 件と考えて、事故の発生確率を計算したところ、カーフェリーによる輸送中にも発生し得る移動タンク貯蔵所の火災・爆発事故の発生確率は 1.7×10^{-5} （1/台・年）、漏洩事故の発生確率は 1.5×10^{-4} （1/台・年）となった。

表 C.2 移動タンク貯蔵所の漏洩事故（1/2）

年	頁	発生 月日	船上 発生	主原因	主漏洩物	総漏洩量 [ℓ]	給油 等
H10	704	2/4	N	交通事故	重油	1,950.0	
H10	706	2/19	N	不作為	ガソリン	180.0	○
H10	708	4/6	N	管理不十分	灯油	247.0	○
H10	710	4/27	Y	不作為	灯油	10.0	
H10	712	7/17	N	腐食等劣化	重油	6,000.0	○
H10	714	7/30	N	管理不十分	軽油	70.0	○
H10	716	8/10	N	交通事故	ガソリン	30.0	
H10	718	8/30	N	交通事故	軽油	50.0	
H10	720	11/13	N	交通事故	灯油	3,300.0	
H10	722	11/17	N	監視不十分	A 重油	50.0	○
H10	724	1/5	N	確認不十分	重油	25.0	○
H10	726	7/14	N	管理不十分	重油	30.0	○
H10	730	12/16	N	交通事故	軽油	25.0	
H10	732	8/18	N	監視不十分	A 重油	80.0	○
H10	734	10/5	N	交通事故	ガソリン	350.0	
H10	736	5/6	Y	腐食等劣化	灯油	1,600.0	
H10	738	2/1	N	交通事故	ガソリン	1,200.0	
H10	740	3/20	N	交通事故	重油	10.0	
H10	742	10/14	N	交通事故	重油	10.0	
H10	744	12/21	N	交通事故	軽油	8,100.0	
H10	746	1/13	N	交通事故	その他	200.0	
H10	748	11/16	N	交通事故	ガソリン	80.0	
H10	750	7/3	N	交通事故	灯油	3,000.0	
H10	752	5/29	Y	悪戯	溶剤	15.0	
H10	754	6/1	N	交通事故	軽油	20.0	
H10	756	12/28	N	交通事故	軽油	40.0	
H10	758	1/12	N	確認不十分	軽油	180.0	○
H10	760	1/26	Y	確認不十分	灯油	10.0	
H10	762	11/26	N	管理不十分	灯油	30.0	○
H10	764	5/22	Y	管理不十分	廃油	10.0	
H10	766	9/16	N	不作為	重油	40.0	○
H10	768	11/24	Y	確認不十分	灯油	316.0	
H10	770	1/7	N	交通事故	灯油	300.0	
H10	772	9/21	N	交通事故	灯油	50.0	
H10	774	12/18	N	管理不十分	灯油	5,200.0	○
H10	776	1/28	N	交通事故	その他	40.0	
H10	778	2/3	N	交通事故	灯油	280.0	
H10	780	11/12	N	交通事故	灯油	50.0	
H10	782	12/7	N	交通事故	A 重油	4,700.0	
H10	784	3/6	N	交通事故	灯油	40.0	
H10	786	12/22	N	交通事故	軽油	900.0	
H10	788	7/16	N	監視不十分	軽油	1,000.0	○
H10	790	5/6	N	誤操作	A 重油	200.0	○
H10	792	7/2	N	交通事故	軽油	20,000.0	
H10	796	10/2	N	交通事故	灯油	20.0	
H10	798	12/18	N	交通事故	ガソリン	1,000.0	
H10	800	3/11	N	交通事故	ガソリン	6,000.0	
H10	802	10/31	Y	不作為	灯油	30.0	
H10	804	11/26	N	確認不十分	A 重油	20.0	○
H10	806	12/9	N	交通事故	灯油	100.0	
H10	808	2/18	N	監視不十分	重油	500.0	○
H10	810	1/20	N	交通事故	軽油	80.0	
H10	812	3/16	N	交通事故	重油	6,000.0	
H10	814	5/13	Y	管理不十分	廃油	10.0	
H10	816	10/22	N	交通事故	その他	200.0	
H10	818	12/30	N	交通事故	A 重油	5,000.0	
H10	820	5/4	N	交通事故	軽油	2,050.0	
H10	822	6/3	N	交通事故	JP4A	600.0	
H10	824	9/12	N	交通事故	ガソリン	197.2	
H10	826	12/1	N	交通事故	重油	1,000.0	
H10	828	5/14	N	監視不十分	重油		○
H10	830	5/15	N	管理不十分	A 重油	350.0	○
H11	736	1/11	N	監視不十分	A 重油	1,400.0	○
H11	738	1/13	N	確認不十分	A 重油	50.0	○
H11	740	12/14	N	交通事故	灯油	550.0	
H11	742	5/15	N	交通事故	ガソリン	5.0	
H11	744	6/8	N	交通事故	ガソリン	103.0	
H11	746	2/24	N	交通事故	灯油	1,900.0	
H11	748	3/30	N	確認不十分	灯油	50.0	
H11	750	2/1	N	交通事故	灯油	5.0	
H11	752	10/18	N	交通事故	灯油	200.0	
H11	754	4/7	N	監視不十分	灯油	150.0	○
H11	756	6/21	Y	不作為	灯油	167.0	
H11	758	1/20	N	管理不十分	A 重油	100.0	○
H11	760	11/10	Y	不作為	灯油	408.0	
H11	762	5/15	Y	確認不十分	軽油	60.0	
H11	764	9/20	N	誤操作	ガソリン	280.0	○
H11	766	1/9	N	交通事故	ガソリン	1,770.0	
H11	768	2/2	N	確認不十分	重油	500.0	○
H11	770	2/7	Y	管理不十分	灯油	20.0	
H11	772	8/31	N	管理不十分	灯油	160.0	○
H11	776	12/15	N	交通事故	灯油	50.0	
H11	778	5/20	N	交通事故	ガソリン	500.0	
H11	780	12/3	Y	不作為	灯油	67.0	
H11	782	2/2	N	交通事故	灯油	5,000.0	
H11	784	3/15	N	交通事故	灯油	40.0	
H11	786	3/22	N	交通事故	灯油	5.0	
H11	788	6/11	N	破損	軽油	10.0	○
H11	790	9/20	N	交通事故	灯油	30.0	
H11	792	12/28	N	監視不十分	A 重油	1,500.0	○
H11	794	12/10	N	破損	灯油	100.0	○
H11	796	1/21	N	不作為	A 重油	200.0	○
H11	798	4/17	N	不作為	灯油	200.0	○
H11	800	9/28	N	確認不十分	軽油		○
H11	802	1/6	Y	不作為	LSA 重油	20.0	
H11	804	1/22	Y	確認不十分	軽油	3,000.0	
H11	806	2/4	N	不作為	重油	100.0	○
H11	808	3/9	N	管理不十分	重油	100.0	○
H11	810	4/1	N	交通事故	重油	1,530.0	
H11	812	12/21	N	交通事故	軽油	20.0	
H11	814	3/11	N	交通事故	軽油	14,000.0	
H11	816	9/17	Y	管理不十分	軽油	20.0	
H11	818	2/4	N	交通事故	その他	400.0	
H11	820	7/8	N	交通事故	その他	1.0	
H11	822	6/18	N	交通事故	灯油	200.0	
H11	824	1/30	N	交通事故	軽油	300.0	
H11	826	8/27	N	交通事故	灯油	10.0	
H11	828	12/7	N	交通事故	灯油	1,400.0	
H11	832	12/23	N	交通事故	灯油	1.0	
H11	834	1/4	Y	施工不良	灯油	20.0	
H11	836	5/11	N	交通事故	灯油	2.0	
H11	838	10/6	N	交通事故	ガソリン	1,500.0	
H11	840	1/23	N	交通事故	灯油	1,600.0	
H11	842	6/28	Y	誤操作	酢酸	0.2	
H11	844	12/1	Y	確認不十分	重油	100.0	
H11	846	12/18	Y	管理不十分	軽油	193.0	

表 C.2 移動タンク貯蔵所の漏洩事故 (2/2)

年	頁	発生 月日	船上 発生	主原因	主漏洩物	総漏洩量 [ℓ]	給油 等
H11	848	3/8	N	交通事故	A 重油	11.0	
H11	850	6/30	N	監視不十分	重油	75.0	○
H11	852	7/22	Y	確認不十分	A 重油	144.0	
H12	934	7/29	N	交通事故	軽油	10.0	
H12	936	11/7	N	確認不十分	重油	120.0	○
H12	938	11/21	Y	交通事故	ガソリン	500.0	
H12	940	11/30	N	交通事故	灯油	5.0	
H12	942	12/1	N	交通事故	灯油	3.0	
H12	944	12/13	N	交通事故	軽油	13,000.0	
H12	946	12/20	N	交通事故	灯油	3,600.0	
H12	948	12/27	N	管理不十分	灯油	200.0	○
H12	950	1/13	N	確認不十分	重油	50.0	○
H12	954	8/5	N	交通事故	軽油	50.0	
H12	958	3/30	N	不作為	灯油	3.0	○
H12	960	11/2	N	確認不十分	A 重油	70.0	○
H12	962	1/28	Y	不作為	灯油	178.0	
H12	964	12/15	Y	不作為	廃油	100.0	
H12	968	4/5	N	腐食等劣化	灯油	2,000.0	○
H12	972	1/10	N	監視不十分	重油	1,300.0	○
H12	974	3/11	N	交通事故	灯油		
H12	976	6/26	N	交通事故	灯油	0.1	
H12	978	7/29	Y	管理不十分	ガソリン	800.0	
H12	980	1/28	N	管理不十分	廃油	300.0	○
H12	984	6/10	N	交通事故	軽油	50.0	
H12	986	6/28	N	監視不十分	A 重油	30.0	○
H12	988	7/3	N	管理不十分	A 重油	470.0	
H12	990	10/7	N	交通事故	軽油	2,000.0	
H12	994	11/23	Y	不作為	灯油	100.0	
H12	996	8/11	Y	管理不十分	灯油	15.0	
H12	998	10/4	N	交通事故	A 重油	200.0	
H12	1,000	8/1	N	交通事故	A 重油	1,000.0	
H12	1,002	3/10	N	不作為	灯油	15.0	○
H12	1,004	6/5	N	確認不十分	A 重油	500.0	○
H12	1,006	7/2	N	確認不十分	ガソリン	50.0	○
H12	1,010	11/16	N	確認不十分	ガソリン	170.0	○
H12	1,012	5/11	N	交通事故	灯油	1,400.0	
H12	1,014	7/18	N	確認不十分	A 重油	100.0	○
H12	1,016	3/12	N	交通事故	灯油	200.0	
H12	1,020	3/22	N	交通事故	灯油	10.0	
H12	1,024	8/8	N	破損	C 重油		○
H12	1,028	1/17	Y	確認不十分	灯油	60.0	
H12	1,030	4/4	N	交通事故	灯油	20.0	
H12	1,032	6/5	N	交通事故	その他	4.0	○
H12	1,034	7/6	Y	施工不良	重油	3.0	
H12	1,036	3/24	N	交通事故	軽油	200.0	
H12	1,040	3/7	N	交通事故	トルエン	260.0	
H12	1,044	7/15	N	交通事故	灯油	900.0	
H12	1,046	1/13	N	確認不十分	A 重油	50.0	○
H12	1,048	10/19	Y	確認不十分	灯油	0.1	
H12	1,050	7/13	N	不作為	A 重油	5.0	○
H12	1,054	9/27	N	交通事故	石油類	900.0	
H12	1,058	10/11	N	確認不十分	石油類	50.0	○
H12	1,062	11/20	N	交通事故	灯油	350.0	
H12	1,064	4/23	Y	確認不十分	灯油	5.0	
H12	1,066	11/20	N	管理不十分	A 重油	50.0	○
H12	1,068	12/12	N	確認不十分	その他	250.0	○
H12	1,072	3/14	N	監視不十分	灯油	600.0	○
H12	1,074	12/21	N	交通事故	LSA 重油	1,100.0	
H12	1,078	5/18	N	管理不十分	重油	2.5	○
H12	1,080	10/23	N	交通事故	灯油	0.5	
H12	1,082	2/3	Y	不作為	灯油	2.0	
H12	1,084	2/9	N	交通事故	トルエン	10.0	
H12	1,086	8/9	Y	確認不十分	廃油	150.0	
H12	1,088	3/21	Y	確認不十分	A 重油	40.0	
H12	1,090	3/4	N	交通事故	灯油	500.0	
H12	1,092	6/21	N	腐食等劣化	石油類	20.0	○
H12	1,094	12/8	N	確認不十分	軽油	700.0	○
H12	1,098	8/29	N	交通事故	ガソリン	7.9	
H12	1,100	4/2	N	確認不十分	重油	200.0	
H12	1,102	5/24	N	交通事故	A 重油	30.0	
H12	1,104	12/11	N	交通事故	灯油	1,000.0	
H12	1,110	2/1	N	交通事故	灯油	3,800.0	
H12	1,112	3/6	N	監視不十分	石油類	380.0	○

表 C.3 移動タンク貯蔵所の火災・爆発事故件数

年	H10	H11	H12	計
移動タンク貯蔵所の数	77,908	78,091	79,504	235,503
船上では発生し難い火災・爆発事故件数	4	4	5	13
船上でも発生し得る火災・爆発事故件数	3	1	1	5
計	7	5	6	18

表 C.4 移動タンク貯蔵所の漏洩事故件数

年	H10	H11	H12	計
移動タンク貯蔵所の数	77,908	78,091	79,504	235,503
船上では発生し難い漏洩事故件数	54	44	57	155
船上でも発生し得る漏洩事故件数	8	13	13	34
計	62	57	70	189

次に、これらの事故の一航海当たりの発生確率について検討した。火災事故のうち、エンジンルームの軍手からの出火は「発生件数が作業の回数に依存する事故」と考えられ、電線の短絡は「発生件数が使用時間に依存する事故」と考えられる。また、船上でも発生し得ると考えた漏洩事故について言えば、一般に、主原因が「破損」（0 件）、「施工不良」（2 件）や「腐食等劣化」（2 件。パッキン劣化による火災事故を含む。）の事故は「発生件数が使用時間に依存する事故」と考えられる。一方、主原因が「不作為」（10 件）、「管理不十分」（7 件）、「確認不十分」（11 件）といった事故は、例えば、弁の閉め忘れ、注油ホースの不適切な収納またはこれらの確認ミスであり、「発生件数が作業の回数に依存する事故」と考えられる。この

ことから、簡単のため、ここでは事故の発生件数は移動タンク貯蔵所の使用回数（タンクへの注入及びタンクからの排出回数）に依存するものと仮定した。

移動タンク貯蔵所の運用形態については適当な資料が無かったため、ここでは、1日に1回程度（年365回）タンクに危険物を注入／排出するものと仮定した。ここで、例えば弁の閉め忘れ等の「不作為」があった場合を考えると、これに起因する事故はカーフェリーに乗船する前にも発生する可能性があり、また、カーフェリーに乗船することにより、船舶の通常の動揺等により事故が発生することも考えられる。即ち、例えば注油という作業の後、移動タンク貯蔵所が移動開始するというイベントと、カーフェリーへの乗船という二つのイベントが、事故の発生に関与すると考えられる。一方、下船とは、移動タンク貯蔵所にとっては乗船前の状態に戻るだけであり、事故の発生に関与するイベントと考えることは適当ではない。また、ここでは事故の発生は時間に依存しないと仮定しているため、カーフェリー上における事故の発生に関与するイベントとしては「移動開始」と「乗船」の二つを考え、乗船中の事故の条件付発生確率は、タンクへの危険物の注入から排出までの一連の作業の間の発生確率を1とした場合、0.5と仮定した。以上の仮定に基づく火災・爆発事故及び漏洩事故の発生確率は、それぞれ 2.3×10^{-8} 及び 2.0×10^{-7} となった。

C. 2. 漏洩量の検討

表 C.5 は、船上でも発生し得ると考えられる漏洩事故（35 件）の際の漏洩の原因と量を、漏洩量の順に示したものである。漏洩量の平均値は 234 リットルであった。表 C.5 に斜体で示したのは、建物の一部、他の車両等と接触したことが原因のものである。こうした事故は 6 件であり、それぞれの漏洩量は 2、40、60、150、500、3,000 リットル、平均値は 750 リットルであった。これらの値は、大加速度が発生する事故時のタンク車両からの調査対象危険物の漏洩量を推定する際に参照した。表 C.2 で漏洩物を「その他」としたのは、具体的には順に、ポリプロピレングリコール、プロピレンテトラマー、ヘンセイナフテニクゴムキ、アクリル酸ブチル、スチレンモノマー、エチリデン・ビスクロ・ヘプテン及び航空機用の燃料である。

表 C.5 事故の漏洩原因と量

漏洩原因	量 [ℓ]
閉鎖不良—注入口ハンドル	0.1
ドレーンコックに誤って触れた。	0.2
坂道停車—民家の石垣に衝突	2
亀裂—パッキン	3
溢れ—注入過多	5
パッキン劣化（火災）	5
閉鎖忘れ—注入口の蓋	10
閉鎖不良—マンホール蓋	10
ホース／ノズル等収納不適切	10
ホース／ノズル等収納不適切	10
悪戯による吐出口弁開放	15
ホース／ノズル等収納不適切	15
亀裂—注入ホースのノズル接続部	20
ホース内油抜きせず—ネジの緩み—漏洩	20
給油ノズル掛け劣化—ノズル外れ—落下	20
注入ホース断裂—応急処置—接続部離脱	20
ホース／ノズル等収納不適切	30
制動時スリッパ—他の車が側面に衝突	40
ホース／ノズル等収納不適切	60
坂道停車—民家の塀に接触・横転	60
ホース／ノズル等収納不適切	67
閉め忘れ—注入口蓋ロック	100
閉め忘れ—吐出弁	100
ホース／ノズル等収納不適切	100
ホース／ノズル等収納不適切	144
坂道停車—横転	150
ホース／ノズル等収納不適切	167
ホース／ノズル等収納不適切	178
ホース／ノズル等収納不適切	193
ホース／ノズル等収納不適切	316
閉め忘れ—タンク底弁	408
給油所内後進中トラックに接触	500
牽引車との接続不十分—タンク落下	800
亀裂—ゴムの劣化によるホースの亀裂	1,600
タンクが建物に接触—開口発生	3,000

C. 3. 漏洩後の出火確率

リスクを検討するには漏洩から出火に至る確率を求める必要があるため（本文 5.3 節参照）、以下の通り検討した。

船上でも発生し得る漏洩事故のうち、火災になった事故は 35 件中 1 件であった（付録 C.2 節参照）。この火災事故は、漏洩した重油が排気管に降りかかった事故であり、同様の事故であれば、漏洩物がガソリンであっても出火することが明らかである。爆発については、船上で発生し得ると考えられる事故例も無いことから、着火と同時に爆発的に燃焼する可能性については、考慮する必要は無いと考えられる。以上により、カーフェリーの事故によらない漏洩事故については、漏洩から出火に至る確率としては 3 %が適当と考えられる。

カーフェリーの大加速度事故の際に漏洩が出

火に結びつく確率を調べるには、船上でも発生し得ると考えられる事故のみでは件数が不十分であり、ガソリンの出火の可能性については一般的な傾向を示していない。そのため、以下の通り、交通事故等を含む火災・漏洩事故全体に基づき、出火の確率を検討した。

漏洩事故 189 件（表 C.2 参照）のうち、ガソリンが主たる漏洩物であったものは 19 件であった。これに対して、火災事故 18 件（表 C.1 参照）のうちガソリンが原因物質であったものは 8 件であった。即ち、ガソリンの漏洩及び火災事故 27 件中 8 件（約 30 %）が出火したことになる。また、交通事故の場合に限ると、交通事故による漏洩事故 94 件中、ガソリンが主たる漏洩物であったものは 14 件であった。これに対して、交通事故による火災事故 7 件中、ガソリンが原因物質であったものは 6 件であった。即ち、ガソリンに係る交通事故 13 件のうち 6 件（約 46 %）で出火したと言える。

ガソリンを除いた場合、漏洩事故は 170 件、火災事故は 10 件であった。また、ガソリン以外の交通事故 81 件のうち、出火したものは 1 件（約 1 %）であった。ガソリン以外の物質の中で代表的なものは、軽油、灯油、重油であった（表 C.1 参照）。

大加速度の事故について考えた場合、他の車両の衝突により、ガソリンのタンクが破壊されることが想定されるため、その際の出火確率は、交通事故に近いものと考えられる。一方、船上の事故においては交通事故に匹敵する着火エネルギーは発生しないであろうことを考慮すれば、漏洩から出火に至る確率は、交通事故の場合の出火確率を切り捨てて丸めた値を採用し、40 %とするのが適当と考えられる。

付録 D．引火性ガスの事故例調査

D．1．事故の概要と発生確率

高圧ガス保安協会の平成 13 年度版事故事例データベースに基づき、LPG 及び液体酸素に係る事故例等について調査した。

データベースに収録されている 1,142 件の事故例のうち、LPG タンク車両の事故は表 D.1 に示す 7 件であった。

前述の調査の場合と同様に、交通事故及び充填、点検、整備等の作業中の事故は船上においては発生しないと考えると、船上においても発生すると

考えられる LPG タンク車両の事故は無かった。液体酸素タンク車両に係る事故は、1995 年 5 月 8 日に発生したタンク車両から貯蔵施設への液体酸素の移し替えの際の漏洩事故 1 件のみであり、これも船上において発生するとは考え難い。よって、調査の範囲では、LPG タンク車両及び液体酸素タンク車両の船上で発生し得る事故例は含まれていなかったと言える。この調査結果に基づくタンク車両に起因する漏洩の確率については、本文 4.3 節を参照のこと。

D．2．LPG の漏洩が火災・爆発に至る確率

調理用の LPG の事故を含めれば、各種船舶においても LPG の爆発事故が発生している。大規模な爆発事故は、短時間のうちに乗船者が海上に避難する必要がある事故、即ち、Catastrophic な事故と考えられ、LPG については、漏洩が爆発に結びつく可能性も考慮する必要がある。データベースには、船上で発生し得ると考えられる調査対象危険物を収納したタンク車両の事故は含まれていなかったため、ここでは、タンク車両以外の事故も勘案して、LPG の漏洩が火災や爆発に結びつく確率について検討した。

データベースに収録されていた 1,142 件のうち、「物質名」が「液化石油ガス」の事故は 438 件であった。このうち「現象」が「爆発」であるものは 121 件、即ち約 1/4 であった。一方、「形態区分」が「移動」のものは 438 件中 112 件であり、このうち「現象」が「爆発」であるものは 5 件、「火災」であるものは 13 件であった。着火源を主として、移動中の事故の概要を表 D.2 に示す。表 D.2 において、No.1～5 は爆発に分類された事故であり、No. 6～18 は火災に分類された事故である。No.3、11、17 は LPG 以外の火災によるものであり、LPG が漏洩した際に火災／爆発に至る確率を求める際には考慮する必要はない。

これらの事故のうち積荷としての LPG の事故を抽出した。No.6 の事故例は、積荷の LPG では

表 D.1 LPG タンク車両の事故例

事故状況	発生年月日	現象
交通事故	1991/09/24	漏洩等
作業中	1993/04/01	漏洩等
作業中	1995/04/27	火災
作業中	1996/06/25	漏洩等
交通事故	1999/06/18	漏洩等
交通事故	1999/11/11	漏洩等
作業中	2000/07/29	漏洩等

表 D.2 移動中の LPG 爆発／火災事故の概要

No.	事故の概要（着火源）
1	火花（衝突）。2本のボンベが転がった。
2	裸火（ライター）
3	車両火災により積荷のLPGボンベが爆発
4	裸火（ライター）
5	火花（静電気）
6	交通事故。車のエンジン室。火花（電気）
7	裸火（風呂釜）
8	交通事故。ボンベ落下。
9	交通事故。ボンベ落下。火花（静電気）
10	道路工事中。裸火。
11	他の火災によりLPGボンベから漏洩・着火
12	火花（電気。荷台の予備バッテリー）
13	裸火（ライター）
14	火花（ボンベを自動車が引きずった衝撃）
15	火花（ボンベを自動車が跳ね飛ばした衝撃）
16	火花（ボンベのバルブとタイヤの接触）
17	車両火災によりLPGボンベから漏洩・着火
18	火花（ボンベの上に他の物を積載）

なく、ハイヤーの燃料タンクのLPGによる火災であり、本研究では考慮しなかった。また、No.5の事故例は、携帯型のガスコンロのボンベからの漏洩であり、積荷のLPGの事故ではない。移動中のLPGの火災／爆発以外の事故94件を見ると、現象が「漏洩等」の事故90件は全て積荷としてのLPGの事故であり、現象が「破壊等」の2件も同様であり、現象が「その他」の2件のうち1件はボンベが行方不明になったもの、もう1件はボンベが変形したが漏洩には至らなかったものであった。「破壊等」の事故2件及び火災／爆発に至った事故18件中13件を含めれば、積荷としてのLPGの漏洩事故は計105件と考えられる。

No.3、5、6、11、17を除く13件の火災／爆発事故の着火源について検討した。No.7及び10の事故では、風呂釜及び工事用の機材が着火源であり、これらは船上で着火源とならないと考えられる。よって、これらは船上であれば火災／爆発に至らない事故と考えられる。No.12及び18の事故では、LPGのボンベを運送した際のその他の荷物が着火源に関与している。これらは、タンク車両からのLPGの漏洩であれば、火災／爆発に至らない事故例と考えられる。3件はライターによる火災である。カーフェリーの車両甲板では火気の使用が禁止されており、また、航行中は乗客は車両甲板に留まってはならないことになっているが、自動車の運転席に残っていた乗客が怪我を

した事故例があることから分かる通り、実際には、完全には乗客を車両甲板から排除できていないと考えられる。よって、ライターが着火源となる可能性は否定できないので、着火源として考慮するが、船上は乗組員により管理された場所であるため、ライターが着火源となる確率は、船上では、陸送中の場合の1/3と仮定した。残る6件の事故（No.1、8、9、14、15、16）では、着火源はボンベが他の物体に衝突した際のエネルギーであった。こうした衝撃（火花）は、衝突等の大加速度によるタンク車両の損傷を原因とする漏洩の際には着火源となり得るが、その他の漏洩事故については、着火源とはなり得ないと考えられる。以上をまとめると、着火源となりえるのは、ライター（1件）と衝撃による火花（6件）であり、後者は、衝突等の大加速度事故の場合のみ着火源となり得ると言える。

同様に、着火に至らなかった92件の事故について見てみると、1件は盗難にあったボンベからガスが漏洩したもので、船上では発生し得ないと考えられる。交通事故や固定の不備によるボンベの転倒・転落・衝突等による漏洩は85件、その他の漏洩（例えばバルブの閉め忘れや液面計の破損）は6件であった。よって、船舶の衝突等の大加速度事故の場合の着火源7件に対応する漏洩は91件、ライター（1件）に対応する漏洩は6件と考えられる。このデータからは、LPGが漏洩した際に着火する確率は、衝突等の大加速度事故の際の漏洩の場合は98件中7件（約7%）程度と考えられる。その他の場合は7件中1件（約14%）が出火するとも考えられるが、ここでは大加速度事故とその他の事故を区別せず、漏洩した際に着火に至る確率は7%と仮定する方が適当と考えられる。

検討の基礎とした事故例は開放空間におけるものであり、閉囲区画でLPGが漏洩した場合は、他の区画、例えば機関室に侵入して火災／爆発となる可能性も高いため、さらに高い着火確率を想定する必要がある。そのため、ここでは閉囲区域でLPGが漏洩した際に着火に至る確率を10%と仮定した。

火災事故になるか爆発事故になるかは、LPGの濃度分布、即ち漏洩や蒸発の量や速度及び漏洩してから着火するまでの時間等に依存し、特に着火源が強い場合を除いて、着火源の種類には依存しない。よって、LPGが着火した場合に爆発となる

確率は、表 D.2 に示した 18 件中 5 件が爆発したことに基づいて仮定すべきと言える。

D. 3. 液体酸素の漏洩が火災・爆発に至る確率

液体酸素タンク車両の事故例は 1 件しかなく、また、船上で発生するとは考え難いため、ここでは、タンク車両以外の事故も考慮して、酸素が漏洩した場合に火災になる確率を検討した。

データベースの事故 1,142 件のうち、「物質」が「酸素」のものは 45 件であった。このうち 1 件はボンベの盗難であり、1 件は活魚運搬車が火災になった際に積載されていた液体酸素により火勢が拡大したものであった。これら 2 件の事故は、貨物としての酸素の危険性が問題となる事故ではないため、検討対象から外す。残る 43 件の事故のうち、意図的に酸素を流出させた場合を含めて、火災／爆発に結びついたものは 24 件であった。着火源等を表 D.3 に示す。No.6、8、9、10 の事故例は、医療機関において酸素を使用した際に医療器具から出火したものであった。出火燃焼物としては、油污れが多かった。油污れは僅かなものでも、出火燃焼物となり易いことが分かった。カーフェリーにおいても、甲板上や他の車両の僅かな油污れは珍しいものではなく、出火

燃焼物は多いと考えられる。また、一度出火すれば、周囲の可燃物に容易に引火することも事故例から分かる。

「現象」が「爆発」に分類されている事故は No. 22～24 である。No. 22 は、家庭用クーラーの設置の際に、冷媒と間違えて酸素を入れた事故であり、爆発したのはクーラーである。また、No. 23 は、防災訓練の際に液体酸素の危険性を示すため、意図的に液体酸素を染みこませたわら人形に着火した際に、わら人形の芯にしていたパイプが爆発したものである。これらは、船上では発生し難い事故と考えられる。

No.20 及び 21 の事故例は医療機関において患者が持ち込んだ懐炉によるものであり、これらの事故も船上では発生し難いと考えられる。また、No. 13 は発電機、No. 15～17 はガス切断や溶接の際の事故である。No. 14 は、液体酸素を用いた実験中の事故であり、これらの事故は、船上では発生し難いと考えられる。No. 24 の事故は、液体酸素の容器を落下させた際の事故である。まとめると、船上でも発生し得る火災事故は、No. 1～12、No. 17, 18, 24 の 15 件であり、船上では発生し難いと考えられる事故を除けば、漏洩事故 36 件中 15 件で出火すると考えられる。

液体酸素の場合は圧縮酸素と異なり、急激な噴出による温度上昇に起因する着火の危険性はないため、液体酸素と圧縮酸素を分けた。液体酸素の事故は、前述の活魚運搬船が火災になった際に液体酸素が火勢を増した事故を除けば 13 件であり、そのうち火災／爆発に至ったものは、表 D.3 の No. 23 及び 24 である。そして、No.23 の事故は船上では発生し難い。よって、船上において液体酸素が漏洩した際の出火可能性は、事故例からは、12 件中 1 件程度と考えられる。また、船上において圧縮酸素が漏洩した際の出火可能性は、24 件中 14 件程度と考えられる。

付録 E. 事故時の加速度の推定

海難審判庁裁決録の事故例に基づき、大加速度事故時の加速度について検討した。ここで、検討範囲を大加速度事故（120 件）に限ったのは、これら以外の事故については、衝突時の衝撃が小さいため、車両甲板上に積載したタンクに有意な加速度は作用しないと仮定したことに相当する。

船舶の衝突時の加速度については、実測データが皆無と言って良い。そのため、加速度を推定す

表 D.3 酸素流出時の火災／爆発事故

No.	発生年月日	死者	着火源
1	1997/07/15	0	温度上昇（油分の付着）
2	1995/05/03	0	温度上昇（半流動系状態）
3	1994/03/22	0	温度上昇（半流動系状態）
4	1996/03/25	1	温度上昇（半流動系状態）
5	1999/06/10	0	温度上昇（半流動系状態）
6	1993/04/21	0	温度上昇（半流動系状態）
7	1996/08/10	0	温度上昇（半流動系状態）
8	1993/05/15	0	温度上昇（半流動系状態）
9	1989/02/18	0	温度上昇（半流動系状態）
10	1990/04/27	0	温度上昇（半流動系状態）
11	2000/01/23	0	温度上昇（半流動系状態）
12	2000/09/26	0	温度上昇（油分の混入）
13	2000/03/24	0	火花（発電気）
14	2000/03/10	0	火花（衝撃）
15	1993/07/21	0	火花（溶接）
16	2000/09/18	0	火花（溶接）
17	1999/03/25	0	火花（溶断）
18	1991/09/20	0	摩擦熱
19	1994/09/23	0	摩擦熱
20	1989/07/19	1	裸火（カイロ）
21	1992/12/29	1	裸火（カイロ）
22	1994/07/31	0	火花（家庭用クーラー）
23	1994/10/19	0	裸火（意図的着火）
24	1994/04/24	0	その他

るには、事故時に船舶に作用する力を推定する必要があるが、そのためには、事故時の各船の速度、船舶の構造等の詳細など、多くのデータが必要であり、事故例の記述から加速度を正確に推定することは困難である。想定された衝突事故における加速度については、照射済核燃料等運搬船（排水量約 7,000 トン）と各種タンカーの衝突について検討した例^(E1)がある。この例では、大型タンカー（VLCC 等）が照射済核燃料等運搬船に真横から航海速力（15 kts）で衝突した場合について検討しており、タンカーの球状船首の圧壊等の破壊を考慮した結果、加速度は 1.0～1.1 G 程度となると推定している。よって、衝突時の加速度が 1 G を超えることは、高速船の事故時には高い確率で発生すると考えられるが、一般には、さほど高い確率ではないと推定できる。衝突事故時の加速度については、簡単のため、衝突する方向の速力の変化に基づき運動エネルギーの変化を計算し、この運動エネルギーの変化に対応する損傷の深さを想定した上で、運動エネルギーを損傷深さで割ることにより得られる衝突時の力（平均値）から加速度を求め、これを補正した。なお、前述の衝突に関する解析例^(E1)では、平均の加速度に対するピークの加速度は 2 倍程度であった。

以上の検討に本研究では、以下の方法により事故時の加速度を検討した。

- (1) 船舶との衝突事故については、事故例の記述に基づき、以下の仮定の下、衝突時の自船（カーフェリー）と相手船の速度及び自船に対する衝突角度を推定した。また、岸壁等への衝突事故（衝突（単））についても、同様に、衝突時の速度及び角度を推定した。さらに、乗揚げ事故についても、衝突時の速度を推定した。なお、岸壁等への衝突の事故例で衝突の際の角度について記述が無いものについては、記述がある事故の際の平均値を丸めた値である 75 度で衝突したものと仮定した。
 - 「ほぼ平行に衝突した」との記述がある同航船の衝突事故 1 件については、角度は 3 度とした。
 - 速度に関する記述がない場合、港内では 10 kts、港外では 15 kts とした。
 - 事故発生時刻直前の速度の記述がない場合、最も事故発生時刻に近い速度を

記入した。

- 全速は 12 kts、半速は 8 kts、微速は 6 kts、最微速は 4 kts とした。
 - 「行脚がなくなっところ」との記述がある場合は 1 kts とした。
 - 「行脚がとまらない」との記述がある場合は 5 kts とした。
 - 惰力航行中は 3 kts とした。
 - 事故発生時刻の「少し前に機関停止、全速力後進」などの記述がある場合は、最も事故発生時刻に近い速度の 9 割の速度とした。
 - アンカリングによる停止操船（衝突事故 68 件中 1 件、衝突（単）事故の 44 件中 14 件）の影響は無視した。
- (2) 衝突事故（岸壁等への衝突を含む）については、衝突する方向の速力を算出した。ここで、船舶どうしの衝突については、衝突した船舶（衝突船）の衝突時の速度を考慮し、衝突された船舶（被衝突船）は衝突時には静止していたものとした。
 - (3) 船舶どうしの衝突事故については、以下の仮定の下に、総トン数から衝突船と被衝突船の排水量を推定し、衝突方向の運動量保存則（一次元）に基づき、衝突前後の衝突方向の速力（被衝突船は衝突前の速力は零と仮定）を求め、その方向の速力のみを考慮して、且つ、旋回（Yaw）等の船舶の回転運動は無視して、単位質量当たりの運動エネルギーの変化を計算した。また、岸壁等への衝突事故及び乗揚げ事故については、衝突の結果、衝突する方向の速力は零になると仮定して、単位質量当たりの運動エネルギーの変化を計算した。乗揚げ事故については、事故直前の船舶の速力が事故後に零になるとして、単位質量当たりの運動エネルギーの変化を計算した。
 - 公団共有船基本設計図表^(E2)の総トン数と満載排水量の図に基づき、カーフェリーの満載排水量は総トン数の 1.4 倍とした。
 - 漁船については、1984 年から 2000 年までに建造された沖合い底びき網漁船 36 隻のデータ^(E3)に基づき、満載排水量は総トン数の 3.0 倍とした。

- 他の船種については、日本海運集会所のデータ^(E4)に基づき、船舶毎に満載排水量と総トン数の比を計算し、船種毎に平均値を求めて以下の通りとした。但し、当所の購入したデータには満載排水量が含まれていなかったため、満載排水量は、垂線間長、型幅、型喫水に基づき、貨物船（タンカー等を含む）については方形係数（Block Coefft.）を 0.7、他の船種については方形係数を 0.5 と仮定して計算した値を用いた。なお、括弧内の数値は、上記の方法で満載排水量が計算できたデータの数を意味する。

貨物船（1,820）：	4.6
タンカー（874）：	3.2
ケミカルタンカー（553）：	3.4
自動車運搬船（76）：	2.1
L P G 運搬船（130）：	2.5
セメント運搬船（176）：	2.5
石灰運搬船（25）：	1.4
コンテナ船（29）：	1.4
揚播船（52）：	1.4
廃棄物運搬船（36）：	2.4
砂利採取運搬船（689）：	3.9
参考：カーフェリー（425）：	1.4

「廃棄物運搬船」（事故例中関係データ 1 件）については、貨物船及び特殊船のうち、積荷が産業廃棄物及びし尿である船舶のデータを抽出して求めた。

- 貨物船については、バラスト航海時の排水量は満載時の 1/2 とした。

付加質量については、例えば横方向の運動では排水量の 0.4 倍と仮定して解析した例^(E5)もあるが、簡単のため、ここでは付加質量は無視して計算した。

- 船舶どうし及び岸壁等への衝突事故については、相手船や衝突された岸壁等の損傷に関する記述は無視して、カーフェリーの損傷に関する記述に基づき、以下により、事故時の損傷深さを仮定した。また、乗揚げ事故については、以下により、停止するまでの距離（停止距離）を仮定した。
- 損傷深さは、例えば「縦約 80 cm 横約 30 cm の破口を含む直径約 1 m 深さ約

50 cm の凹傷」といった記述があること等を勘案して、0.5 m を既定値とした。「圧壊」、「大破口」、「大破」、「くさび型破口」及び「長さ 19 m、幅 6 m の損傷」との記述がある場合は、損傷深さを 1 m とした。亀裂や破口を伴わない凹損（積載車両に被害が有った事故の場合のみ）の場合は、損傷深さを 0.25 m とした。また、軽微な凹損や防舷材のみの損傷、または、船舶の損傷に関する記述が無い場合は、損傷深さを 0.1 m とした。また、損傷深さに関する記述がある場合（「最大 4 m」が 1 件）については、その値を損傷深さとして用いた。

- 停止距離は 5 m を既定値とした。多数の凹損が生じた場合、船底全体に渡って凹損が生じた場合及び長さ 9 m の凹損との記述がある場合には、停止距離を 10 m とした。

- 単位質量当たりの運動エネルギーの変化を損傷深さまたは停止距離で割ることにより、平均加速度を求めた。
- 事故時の最大加速度は平均加速度より大きいと考えられるが、船舶どうしの衝突事故については、相手船の損傷を考慮していないことから、平均加速度で最大加速度を代表させた。岸壁等への衝突事故については、最大加速度は平均加速度の 2 倍と仮定した。乗揚げ事故については、輸送高度化研究領域遠藤構造解析研究グループ長の過去の座礁時の加速度に関する解析の経験に基づき、最大加速度は平均加速度の 1.6 倍とした。
- 「その他」の事故（1 件）は、船舶の動揺によるものであるため、30 度の静的横傾斜を想定して、最大加速度は 0.5 G（横方向）とした。

事故時の最大加速度を推定した結果を、事故の種類別に、表 E.1～E.3 に示す。表 E.1～E.3 において船舶の速力は、前述の仮定に基づく事故時の速力を意味する。また、運動エネルギー変化は、事故の前後の衝突の方向の速度から求めた単位質量当たりの運動エネルギーの変化を意味する。表 E.1 の衝突角度は、同航船が 0 度、反航船が 180 度である。

表 E.1 船舶どうしの衝突事故の最大加速度

年	ページ	衝突船	自船 速力 [kts]	相手船 速力 [kts]	衝突 角度 [deg]	自船 排水量 [ton]	相手船 排水量 [ton]	排水量 の比	運動エネ ルギ変化 [m ² /s ²]	損傷深さ [m]	最大加速度 [G]
昭和 46	1,262	相手船	4.0	1.0	67.5	1708	27296.4	0.063	0.013	1.00	0.001
平成 13	2,832	自船	1.0	5.0	163.0	1068.2	837.2	0.784	0.008	0.50	0.002
昭和 52	338	相手船	16.0	4.5	150.0	2706.2	17293.7	0.156	0.169	4.00	0.004
平成 11	518	自船	1.0	10.0	130.0	9258.2	8355.2	0.902	0.056	1.00	0.006
平成 3	1,206	相手船	25.5	12.5	3.0	13371.4	31431.8	0.425	0.029	0.50	0.006
平成 7	1,561	相手船	0.0	3.0	169.0	973	1197.6	0.812	0.030	0.50	0.006
平成 11	518	相手船	10.0	1.0	130.0	8355.2	9258.2	0.902	0.056	0.50	0.011
昭和 49	225	自船	1.0	10.8	112.5	9084.6	13754	1.514	0.095	0.50	0.019
昭和 62	888	相手船	0.0	5.0	22.5	303.8	1918.8	0.158	0.123	0.50	0.025
昭和 49	93	相手船	12.6	6.0	45.0	1701	21771.8	0.078	0.333	1.00	0.034
昭和 58	163	自船	15.0	9.7	5.6	5696.6	3193.6	0.561	0.168	0.50	0.034
昭和 49	467	相手船	0.0	2.0	90.0	5.6	21	0.267	0.199	0.50	0.041
昭和 44	1,939	相手船	11.0	7.7	165.0	672	1398.4	0.481	0.286	0.50	0.058
昭和 40	402	自船	1.0	4.0	110.0	515.2	225.4	0.438	0.060	0.10	0.062
昭和 47	832	相手船	1.0	3.0	135.0	564.2	1240.4	0.455	0.314	0.50	0.064
昭和 61	1,849	相手船	1.0	3.0	90.0	267.4	457.7	0.584	0.716	1.00	0.073
平成 11	1,707	相手船	0.0	2.0	65.0	12630.8	2545.6	4.962	0.423	0.50	0.086
平成 3	1,342	自船	3.0	9.4	120.0	275.8	1248.75	4.528	0.864	1.00	0.088
昭和 61	803	自船	2.0	10.8	70.0	653.8	3515.4	5.377	0.456	0.50	0.093
平成 1	817	相手船	4.0	3.0	110.0	739.2	1608.2	0.460	0.558	0.50	0.114
平成 13	2,635	相手船	2.0	4.0	135.0	3540.6	722.2	4.903	1.028	0.50	0.210
平成 3	76	自船	13.4	8.0	165.0	1367.8	975.8	0.713	1.049	0.50	0.214
昭和 50	2,053	相手船	6.5	6.3	151.9	998.2	457.8	2.180	1.052	0.50	0.215
昭和 62	1,349	相手船	1.0	16.0	135.0	2130.8	30277.2	0.070	2.154	1.00	0.220
平成 4	255	相手船	18.6	19.1	12.0	9552.2	9060.8	1.054	1.592	0.50	0.325
平成 4	255	自船	19.1	18.6	12.0	9060.8	9552.2	1.054	1.592	0.50	0.325
昭和 50	807	相手船	0.0	5.0	61.9	849.8	851	0.999	1.929	0.50	0.394
昭和 48	242	相手船	1.0	5.0	78.8	3920	6466.6	0.606	1.949	0.50	0.398
昭和 49	1,780	相手船	10.8	9.0	30.0	562.8	587.2	0.958	1.981	0.50	0.404
平成 8	2,151	相手船	10.0	12.4	40.0	20983.2	132503	0.158	2.141	0.50	0.437
平成 3	1,864	相手船	9.0	7.9	136.0	978.6	1946.1	0.503	2.232	0.50	0.455
昭和 59	2,120	相手船	9.0	6.0	80.0	725.2	1191.4	0.609	2.835	0.50	0.579
昭和 49	772	相手船	13.0	4.0	90.0	807.8	772.2	1.046	1.612	0.25	0.658
昭和 41	417	相手船	10.0	9.5	90.0	242.2	1315.6	0.184	3.425	0.50	0.699
昭和 51	342	相手船	8.0	10.4	150.0	8311.8	386.1	21.528	3.571	0.50	0.729
昭和 50	505	相手船	0.0	8.0	33.8	389.2	457.7	0.850	1.851	0.25	0.755
昭和 51	539	相手船	9.0	8.6	67.5	151.2	388.05	0.390	4.028	0.50	0.822
昭和 55	1,928	相手船	14.3	5.8	75.0	6216	690.2	9.006	4.112	0.50	0.839
昭和 51	615	自船	15.8	6.8	30.0	2070.6	972	0.469	4.434	0.50	0.905
平成 6	1,308	相手船	3.0	6.6	90.0	7121.8	3652.5	1.950	5.055	0.50	1.032
平成 3	76	相手船	8.0	13.4	165.0	975.8	1367.8	0.713	1.049	0.10	1.071
昭和 61	1,876	自船	11.0	9.0	70.0	1701	2070.6	1.217	11.263	1.00	1.149
昭和 51	1,430	相手船	8.6	10.8	90.0	270.2	969.15	0.279	5.996	0.50	1.224
昭和 56	2,187	相手船	6.0	10.0	55.0	695.8	915.4	0.760	6.013	0.50	1.227
昭和 52	1,214	相手船	7.0	8.0	110.0	6974.8	1573.2	4.434	7.225	0.50	1.474
平成 13	112	自船	7.5	2.0	133.0	978.6	2716	2.775	3.702	0.25	1.511
昭和 51	1,382	相手船	14.0	12.5	100.0	6571.6	5553.8	1.183	15.846	1.00	1.617
昭和 41	2,526	自船	4.0	3.5	110.0	562.8	897	1.594	1.592	0.10	1.624
昭和 62	133	相手船	1.0	8.7	75.0	10970.4	2502.4	4.384	9.085	0.50	1.854
昭和 54	858	相手船	10.0	15.0	112.5	2251.2	2461.2	0.915	18.481	1.00	1.886
昭和 55	1,470	相手船	18.3	13.4	95.0	9203.6	7840.7	1.174	18.590	1.00	1.897
昭和 54	1,911	自船	14.0	4.0	70.0	16193.8	5211.8	0.322	9.795	0.50	1.999
平成 12	213	相手船	15.0	9.0	80.0	8355.2	2286.2	3.655	9.915	0.50	2.024
昭和 45	300	相手船	15.0	12.0	90.0	562.8	1255.8	0.448	9.969	0.50	2.034
平成 4	221	相手船	19.0	9.6	75.0	15780.8	2295.4	6.875	11.195	0.50	2.285
昭和 53	1,041	相手船	13.0	10.5	90.0	751.8	372	2.021	12.990	0.50	2.651
昭和 57	1,521	自船	10.0	5.0	73.1	1384.6	915.4	0.661	7.726	0.25	3.153
昭和 54	858	自船	15.0	10.0	112.5	2461.2	2251.2	0.915	18.481	0.50	3.772
平成 12	424	自船	13.4	0.0	115.0	976.486	7849.9	8.039	19.278	0.50	3.934
平成 7	2,022	自船	15.3	15.0	120.0	4090.8	13048	3.190	21.909	0.50	4.471
昭和 49	1,811	自船	11.7	6.0	67.5	1314.6	81489	61.988	15.458	0.25	6.309
平成 7	2,022	相手船	15.0	15.3	120.0	13048	4090.8	3.190	21.909	0.25	8.942
昭和 54	1,948	自船	10.0	3.5	78.8	977.2	901.6	0.923	9.286	0.10	9.475

表 E.2 岸壁等への衝突事故の最大加速度

年	ページ	自船 速力 [kts]	衝突 角度 [deg]	運動エネ ルギ変化 [m ² /s ²]	損傷 深さ [m]	最大 加速度 [G]
平成 11	275	4.0	10.0	0.064	0.50	0.026
昭和 50	1,464	1.0	67.5	0.113	0.50	0.046
昭和 51	1,477	1.0	75.0	0.123	0.50	0.050
昭和 59	2,195	1.0	75.0	0.123	0.50	0.050
平成 10	433	1.0	75.0	0.123	0.50	0.050
平成 13	256	1.0	75.0	0.123	0.50	0.050
平成 13	1,055	1.0	75.0	0.123	0.50	0.050
平成 9	2,209	2.0	30.0	0.132	0.50	0.054
昭和 63	177	1.0	90.0	0.132	0.50	0.054
平成 12	471	1.7	90.0	0.382	0.50	0.156
平成 8	1,734	2.0	75.0	0.494	0.50	0.202
平成 13	105	2.0	75.0	0.494	0.50	0.202
平成 7	1,327	2.0	78.0	0.506	0.50	0.207
平成 7	877	2.0	90.0	0.529	0.50	0.216
昭和 55	1,639	3.0	90.0	1.191	1.00	0.243
昭和 54	1,958	1.0	90.0	0.132	0.10	0.270
平成 5	2,175	2.0	75.0	0.494	0.25	0.403
平成 7	1,268	2.0	75.0	0.494	0.25	0.403
平成 12	2,767	2.0	75.0	0.494	0.25	0.403
昭和 55	283	2.0	80.0	0.513	0.25	0.419
昭和 47	1,796	3.0	75.0	1.111	0.50	0.454
平成 8	1,417	3.0	90.0	1.191	0.50	0.486
昭和 51	1,458	3.0	90.0	1.191	0.50	0.486
平成 2	1,374	4.0	60.0	1.588	0.50	0.648
昭和 49	196	5.0	80.0	3.208	1.00	0.655
昭和 55	946	5.0	90.0	3.308	1.00	0.675
平成 12	206	4.0	75.0	1.975	0.50	0.806
平成 1	1,224	6.0	70.0	4.207	1.00	0.858
昭和 51	1,857	4.0	90.0	2.117	0.50	0.864
平成 7	296	3.0	75.0	1.111	0.25	0.907
平成 8	256	3.0	75.0	1.111	0.25	0.907
平成 13	2,686	3.0	75.0	1.111	0.25	0.907
昭和 48	270	3.0	80.0	1.155	0.25	0.943
昭和 41	472	5.0	70.0	2.921	0.50	1.192
昭和 53	1,073	5.0	70.0	2.921	0.50	1.192
平成 10	1,821	6.0	76.0	4.485	0.50	1.831
昭和 48	612	6.0	90.0	4.764	0.50	1.944
昭和 63	1,420	6.5	75.0	5.216	0.50	2.129
昭和 56	2,169	3.0	75.0	1.111	0.10	2.268
昭和 49	1,223	3.0	75.0	1.111	0.10	2.268
平成 7	194	7.0	75.0	6.050	0.50	2.469
平成 12	359	7.0	75.0	6.050	0.50	2.469
昭和 50	392	7.0	75.0	6.050	0.50	2.469
昭和 47	930	10.0	75.0	12.346	1.00	2.520

表 E.3 乗揚げ事故の最大加速度

年	ページ	自船 速力 [kts]	運動エネ ルギ変化 [m ² /s ²]	停止距離 [m]	最大 加速度 [G]
昭和 63	2,168	1	0.132327	5	0.004321
平成 13	639	1	0.132327	5	0.004321
昭和 61	2,015	6.5	5.590796	5	0.182557
平成 13	1,471	8	8.468899	5	0.276535
昭和 58	1,720	11	16.01151	5	0.522825
昭和 44	1,394	13.7	24.83637	5	0.810983
平成 8	488	21.3	60.03523	5	1.960334
昭和 44	545	1	0.132327	10	0.00216
平成 10	623	3.5	1.621	10	0.026465
昭和 52	134	10	13.23265	10	0.216043
昭和 50	1,004	15	29.77347	10	0.486098
平成 4	388	18	42.8738	10	0.69998

付録 E の参考文献

(E1) 日本造船研究協会第 46 基準研究部会「放

射性物質の海上輸送の安全に関する調査研究」(衝突防護)、平成 10 年度報告書

(E2) 船舶整備公団、「公団共有船基本設計図表(旅客船編)」、1986

(E3) 水産工学研究所、「一そうびき掛回し漁船のモデル設計図作成に関する研究」報告書、2002。データ出典：(社)漁船協会、「漁船」

(E4) 日本海運集会所、「JMIS SHIP 2000」

(E5) V. U. Minorsky, "An Analysis of Ship Collisions With Reference to Protection of Nuclear Power Plants, Journal of Ship Research (SNAME), OCT. 1959

付録 F . リスクの増分の計算結果

F . 1 . 調査対象タンク車両の積載による
リスクの増分

表 F.1 に、大加速度事故及び車両甲板に影響を及ぼす火災事故による基本リスク(図 11 参照)を示す。

図 14～図 17 及び表 31 並びに表 32 に基づき調査対象タンク車両の積載によるリスク(一航海当たりの人命に関するリスク)を計算し、表 F.1 に示した基本リスクを差し引けば、リスクの増分が得られる。カーフェリーの総トン数区分毎に、計算条件を表 F.2 に示す。表 F.2 は左から順に、計算条件の番号、事故時漏洩確率(3.5 節参照)、安全対策の有無、調査対象危険物及び積載場所である。事故時漏洩確率は 0.1 の場合と 1、即ち、車両の移動や転倒が起これば必ず漏洩も起こると考えた場合の 2 ケースについて計算した。安全対策の欄に「有」とあるのは、固定とタンク車両の乗船前の点検の両方を行った場合を意味し、「監視有」とあるのは、閉囲型車両甲板に積載する場合であって、ビデオや頻繁な巡視による監視が行われる場合を意味する。

カーフェリーの総トン数区分毎に、リスクの増分の計算結果を表 F.3～F.7 に示す。カーフェリーの総トン数毎のリスクの増分をまとめると、表 F.8 が得られる。

F . 2 . 比較用リスク増分の計算

リスク増加の許容水準の検討のため、ガソリンタンク車両を積載し、安全対策を実施しない場合を基礎として、表 F.9 に示す条件で計算を実施した。計算の位置付けについては、本文第 6 章を参照のこと。

表 F.1 基本リスク

	大加速度事故	車両甲板に影響する火災事故
-20	6.6×10^{-11}	6.7×10^{-13}
20-100	7.3×10^{-10}	7.4×10^{-12}
100-500	3.0×10^{-09}	2.6×10^{-11}
500-3000	9.3×10^{-09}	7.9×10^{-11}
3000-	7.9×10^{-08}	6.7×10^{-10}

表 F.2 計算条件

No.	漏洩確率	安全対策	危険物	積載場所
1	$\alpha = 0.1$	無	ガソリン	開放型
2				閉囲型
3			LPG	開放型
4				閉囲型
5			液体酸素	開放型
6				閉囲型
7		有	ガソリン	開放型
8				閉囲型
9			LPG	開放型
10				閉囲型
11			液体酸素	開放型
12				閉囲型
13	$\alpha = 1$	監視有	ガソリン	閉囲型
14			LPG	閉囲型
15			液体酸素	閉囲型
16		無	ガソリン	開放型
17				閉囲型
18			LPG	開放型
19				閉囲型
20			液体酸素	開放型
21				閉囲型
22		有	ガソリン	開放型
23				閉囲型
24			LPG	開放型
25				閉囲型
26			液体酸素	開放型
27				閉囲型
28		監視有	ガソリン	閉囲型
29			LPG	閉囲型
30			液体酸素	閉囲型

表 F.3 リスクの増分（総トン数 20 トン未満）

No.	大加速度	車両火災	出火	漏洩	計
1	5.8×10^{-9}	7.7×10^{-9}	3.8×10^{-9}	2.1×10^{-9}	1.9×10^{-8}
2	8.5×10^{-9}	1.5×10^{-8}	1.4×10^{-8}	6.0×10^{-9}	4.4×10^{-8}
3	6.1×10^{-9}	1.5×10^{-8}	0	2.9×10^{-9}	2.4×10^{-8}
4	9.5×10^{-9}	2.8×10^{-8}	0	7.4×10^{-9}	4.4×10^{-8}
5	3.4×10^{-8}	1.5×10^{-8}	0	2.0×10^{-8}	6.9×10^{-8}
6	3.4×10^{-8}	2.8×10^{-8}	0	2.1×10^{-8}	8.2×10^{-8}
7	5.0×10^{-9}	7.7×10^{-9}	3.8×10^{-9}	8.5×10^{-10}	1.7×10^{-8}
8	6.4×10^{-9}	1.5×10^{-8}	1.4×10^{-8}	2.4×10^{-9}	3.8×10^{-8}
9	5.1×10^{-9}	1.5×10^{-8}	0	1.1×10^{-9}	2.2×10^{-8}
10	7.0×10^{-9}	2.8×10^{-8}	0	2.9×10^{-9}	3.8×10^{-8}
11	2.0×10^{-8}	1.5×10^{-8}	0	8.1×10^{-9}	4.4×10^{-8}
12	2.0×10^{-8}	2.8×10^{-8}	0	8.3×10^{-9}	5.6×10^{-8}
13	6.0×10^{-9}	1.5×10^{-8}	7.3×10^{-9}	1.7×10^{-9}	3.0×10^{-8}
14	7.0×10^{-9}	2.8×10^{-8}	0	2.9×10^{-8}	3.8×10^{-8}
15	2.0×10^{-8}	2.8×10^{-8}	0	8.3×10^{-8}	5.6×10^{-8}
16	2.3×10^{-8}	7.7×10^{-9}	3.8×10^{-9}	2.1×10^{-9}	3.6×10^{-8}
17	5.0×10^{-8}	1.5×10^{-8}	1.4×10^{-8}	6.0×10^{-9}	8.5×10^{-8}
18	2.5×10^{-8}	1.5×10^{-8}	0	2.9×10^{-9}	4.4×10^{-8}
19	5.9×10^{-8}	2.8×10^{-8}	0	7.4×10^{-9}	9.4×10^{-8}
20	3.0×10^{-7}	1.5×10^{-8}	0	2.0×10^{-8}	3.4×10^{-7}
21	3.0×10^{-7}	2.8×10^{-8}	0	2.1×10^{-8}	3.5×10^{-7}
22	1.4×10^{-8}	7.7×10^{-9}	3.8×10^{-9}	8.5×10^{-10}	2.7×10^{-8}
23	2.9×10^{-8}	1.5×10^{-8}	1.4×10^{-8}	2.4×10^{-9}	6.1×10^{-8}
24	1.6×10^{-8}	1.5×10^{-8}	0	1.1×10^{-9}	3.2×10^{-8}
25	3.4×10^{-8}	2.8×10^{-8}	0	2.9×10^{-9}	6.5×10^{-8}
26	1.7×10^{-7}	1.5×10^{-8}	0	8.1×10^{-9}	1.9×10^{-7}
27	1.7×10^{-7}	2.8×10^{-8}	0	8.3×10^{-9}	2.0×10^{-7}
28	2.4×10^{-8}	1.5×10^{-8}	7.3×10^{-9}	1.7×10^{-9}	4.9×10^{-8}
29	3.4×10^{-8}	2.8×10^{-8}	0	2.9×10^{-9}	6.5×10^{-8}
30	1.7×10^{-7}	2.8×10^{-8}	0	8.3×10^{-9}	2.0×10^{-7}

表 F.4 リスクの増分（20～100 総トン）

No.	大加速度	車両火災	出火	漏洩	計
1	1.0×10^{-7}	1.3×10^{-7}	5.9×10^{-9}	3.3×10^{-9}	2.4×10^{-7}
2	1.5×10^{-7}	2.7×10^{-7}	2.2×10^{-8}	9.3×10^{-9}	4.4×10^{-7}
3	1.1×10^{-7}	2.7×10^{-7}	0	4.5×10^{-9}	3.7×10^{-7}
4	1.6×10^{-7}	4.8×10^{-7}	0	1.1×10^{-8}	6.5×10^{-7}
5	5.8×10^{-7}	2.7×10^{-7}	0	3.1×10^{-8}	8.8×10^{-7}
6	5.9×10^{-7}	4.8×10^{-7}	0	3.3×10^{-8}	1.1×10^{-6}
7	8.6×10^{-8}	1.3×10^{-7}	5.9×10^{-9}	1.3×10^{-9}	2.3×10^{-7}
8	1.1×10^{-7}	2.7×10^{-7}	2.2×10^{-8}	3.7×10^{-9}	4.0×10^{-7}
9	8.8×10^{-8}	2.7×10^{-7}	0	1.8×10^{-9}	3.6×10^{-7}
10	1.2×10^{-7}	4.8×10^{-7}	0	4.6×10^{-9}	6.0×10^{-7}
11	3.5×10^{-7}	2.7×10^{-7}	0	1.3×10^{-8}	6.3×10^{-7}
12	3.5×10^{-7}	4.8×10^{-7}	0	1.3×10^{-8}	8.4×10^{-7}
13	1.0×10^{-7}	2.7×10^{-7}	1.1×10^{-8}	2.6×10^{-9}	3.8×10^{-7}
14	1.2×10^{-7}	4.8×10^{-7}	0	4.6×10^{-9}	6.0×10^{-7}
15	3.5×10^{-7}	4.8×10^{-7}	0	1.3×10^{-8}	8.4×10^{-7}
16	3.9×10^{-7}	1.3×10^{-7}	5.9×10^{-9}	3.3×10^{-9}	5.3×10^{-7}
17	8.6×10^{-7}	2.7×10^{-7}	2.2×10^{-8}	9.3×10^{-9}	1.2×10^{-6}
18	4.4×10^{-7}	2.7×10^{-7}	0	4.5×10^{-9}	7.1×10^{-7}
19	1.0×10^{-6}	4.8×10^{-7}	0	1.1×10^{-8}	1.5×10^{-6}
20	5.2×10^{-6}	2.7×10^{-7}	0	3.1×10^{-8}	5.5×10^{-6}
21	5.2×10^{-6}	4.8×10^{-7}	0	3.3×10^{-8}	5.8×10^{-6}
22	2.5×10^{-7}	1.3×10^{-7}	5.9×10^{-9}	1.3×10^{-9}	3.9×10^{-7}
23	5.0×10^{-7}	2.7×10^{-7}	2.2×10^{-8}	3.7×10^{-9}	7.9×10^{-7}
24	2.7×10^{-7}	2.7×10^{-7}	0	1.8×10^{-9}	5.4×10^{-7}
25	5.9×10^{-7}	4.8×10^{-7}	0	4.6×10^{-9}	1.1×10^{-6}
26	2.9×10^{-6}	2.7×10^{-7}	0	1.3×10^{-8}	3.1×10^{-6}
27	2.9×10^{-6}	4.8×10^{-7}	0	1.3×10^{-8}	3.4×10^{-6}
28	4.2×10^{-7}	2.7×10^{-7}	1.1×10^{-8}	2.6×10^{-9}	7.0×10^{-7}
29	5.9×10^{-7}	4.8×10^{-7}	0	4.6×10^{-9}	1.1×10^{-6}
30	2.9×10^{-6}	4.8×10^{-7}	0	1.3×10^{-8}	3.4×10^{-6}

表 F.5 リスクの増分 (100~500 総トン)

No.	大加速度	車両火災	出火	漏洩	計
1	1.1×10^{-6}	1.2×10^{-6}	1.5×10^{-8}	8.5×10^{-9}	2.3×10^{-6}
2	1.6×10^{-6}	2.4×10^{-6}	5.7×10^{-8}	2.4×10^{-8}	4.1×10^{-6}
3	1.1×10^{-6}	2.4×10^{-6}	0	1.1×10^{-8}	3.6×10^{-6}
4	1.8×10^{-6}	4.3×10^{-6}	0	2.9×10^{-8}	6.1×10^{-6}
5	6.2×10^{-6}	2.4×10^{-6}	0	8.1×10^{-8}	8.7×10^{-6}
6	6.3×10^{-6}	4.3×10^{-6}	0	8.3×10^{-8}	1.1×10^{-5}
7	9.3×10^{-7}	1.2×10^{-6}	1.5×10^{-8}	3.4×10^{-9}	2.2×10^{-6}
8	1.2×10^{-6}	2.4×10^{-6}	5.7×10^{-8}	9.5×10^{-9}	3.7×10^{-6}
9	9.6×10^{-7}	2.4×10^{-6}	0	4.6×10^{-9}	3.4×10^{-6}
10	1.3×10^{-6}	4.3×10^{-6}	0	1.2×10^{-8}	5.6×10^{-6}
11	3.7×10^{-6}	2.4×10^{-6}	0	3.2×10^{-8}	6.2×10^{-6}
12	3.8×10^{-6}	4.3×10^{-6}	0	3.3×10^{-8}	8.2×10^{-6}
13	1.1×10^{-6}	2.4×10^{-6}	2.9×10^{-8}	6.7×10^{-9}	3.6×10^{-6}
14	1.3×10^{-6}	4.3×10^{-6}	0	1.2×10^{-8}	5.6×10^{-6}
15	3.8×10^{-6}	4.3×10^{-6}	0	3.3×10^{-8}	8.2×10^{-6}
16	4.2×10^{-6}	1.2×10^{-6}	1.5×10^{-8}	8.5×10^{-9}	5.5×10^{-6}
17	9.2×10^{-6}	2.4×10^{-6}	5.7×10^{-8}	2.4×10^{-8}	1.2×10^{-5}
18	4.7×10^{-6}	2.4×10^{-6}	0	1.1×10^{-8}	7.1×10^{-6}
19	1.1×10^{-5}	4.3×10^{-6}	0	2.9×10^{-8}	1.5×10^{-5}
20	5.6×10^{-5}	2.4×10^{-6}	0	8.1×10^{-8}	5.8×10^{-5}
21	5.6×10^{-5}	4.3×10^{-6}	0	8.3×10^{-8}	6.1×10^{-5}
22	2.6×10^{-6}	1.2×10^{-6}	1.5×10^{-8}	3.4×10^{-9}	3.9×10^{-6}
23	5.4×10^{-6}	2.4×10^{-6}	5.7×10^{-8}	9.5×10^{-9}	7.9×10^{-6}
24	2.9×10^{-6}	2.4×10^{-6}	0	4.6×10^{-9}	5.3×10^{-6}
25	6.4×10^{-6}	4.3×10^{-6}	0	1.2×10^{-8}	1.1×10^{-5}
26	3.1×10^{-5}	2.4×10^{-6}	0	3.3×10^{-8}	3.3×10^{-5}
27	3.1×10^{-5}	4.3×10^{-6}	0	3.3×10^{-8}	3.6×10^{-5}
28	4.6×10^{-6}	2.4×10^{-6}	2.9×10^{-8}	6.7×10^{-9}	7.0×10^{-6}
29	6.4×10^{-6}	4.3×10^{-6}	0	1.2×10^{-8}	1.1×10^{-5}
30	3.1×10^{-5}	4.3×10^{-6}	0	3.3×10^{-8}	3.6×10^{-5}

表 F.6 リスクの増分 (500~3,000 総トン)

No.	大加速度	車両火災	出火	漏洩	計
1	6.3×10^{-6}	6.9×10^{-6}	2.9×10^{-8}	1.6×10^{-8}	1.3×10^{-5}
2	9.2×10^{-6}	1.4×10^{-5}	1.1×10^{-7}	4.6×10^{-8}	2.3×10^{-5}
3	6.6×10^{-6}	1.4×10^{-5}	0	2.2×10^{-8}	2.0×10^{-5}
4	1.0×10^{-5}	2.5×10^{-5}	0	5.5×10^{-8}	3.5×10^{-5}
5	3.6×10^{-5}	1.4×10^{-5}	0	1.5×10^{-7}	5.0×10^{-5}
6	3.7×10^{-5}	2.5×10^{-5}	0	1.6×10^{-7}	6.2×10^{-5}
7	5.4×10^{-6}	6.9×10^{-6}	2.9×10^{-8}	6.5×10^{-9}	1.2×10^{-5}
8	7.0×10^{-6}	1.4×10^{-5}	1.1×10^{-7}	1.8×10^{-8}	2.1×10^{-5}
9	5.6×10^{-6}	1.4×10^{-5}	0	8.7×10^{-9}	1.9×10^{-5}
10	7.6×10^{-6}	2.5×10^{-5}	0	2.2×10^{-8}	3.2×10^{-5}
11	2.2×10^{-5}	1.4×10^{-5}	0	6.2×10^{-8}	3.6×10^{-5}
12	2.2×10^{-5}	2.5×10^{-5}	0	6.4×10^{-8}	4.7×10^{-5}
13	6.5×10^{-6}	1.4×10^{-5}	5.6×10^{-8}	1.3×10^{-8}	2.0×10^{-5}
14	7.6×10^{-6}	2.5×10^{-5}	0	2.2×10^{-8}	3.2×10^{-5}
15	2.2×10^{-5}	2.5×10^{-5}	0	6.4×10^{-8}	4.7×10^{-5}
16	2.5×10^{-5}	6.9×10^{-6}	2.9×10^{-8}	1.6×10^{-8}	3.2×10^{-5}
17	5.4×10^{-5}	1.4×10^{-5}	1.1×10^{-7}	4.6×10^{-8}	6.8×10^{-5}
18	2.7×10^{-5}	1.4×10^{-5}	0	2.2×10^{-8}	4.1×10^{-5}
19	6.4×10^{-5}	2.5×10^{-5}	0	5.6×10^{-8}	8.9×10^{-5}
20	3.2×10^{-4}	1.4×10^{-5}	0	1.5×10^{-7}	3.4×10^{-4}
21	3.3×10^{-4}	2.5×10^{-5}	0	1.6×10^{-7}	3.5×10^{-4}
22	1.5×10^{-5}	6.9×10^{-6}	2.9×10^{-8}	6.5×10^{-9}	2.2×10^{-5}
23	3.1×10^{-5}	1.4×10^{-5}	1.1×10^{-7}	1.8×10^{-8}	4.5×10^{-5}
24	1.7×10^{-5}	1.4×10^{-5}	0	8.7×10^{-8}	3.1×10^{-5}
25	3.7×10^{-5}	2.5×10^{-5}	0	2.2×10^{-7}	6.2×10^{-5}
26	1.8×10^{-4}	1.4×10^{-5}	0	6.2×10^{-7}	1.9×10^{-4}
27	1.8×10^{-4}	2.5×10^{-5}	0	6.4×10^{-7}	2.1×10^{-4}
28	2.6×10^{-5}	1.4×10^{-5}	5.6×10^{-8}	1.3×10^{-8}	4.0×10^{-5}
29	3.7×10^{-5}	2.5×10^{-5}	0	2.2×10^{-8}	6.2×10^{-5}
30	1.8×10^{-4}	2.5×10^{-5}	0	6.4×10^{-8}	2.1×10^{-4}

表 F.7 リスクの増分 (総トン数 3,000 トン以上)

No.	大加速度	車両火災	出火	漏洩	計
1	8.6×10^{-5}	9.4×10^{-5}	4.6×10^{-8}	2.6×10^{-8}	1.8×10^{-4}
2	1.3×10^{-4}	1.9×10^{-4}	1.7×10^{-7}	7.3×10^{-8}	3.1×10^{-4}
3	9.0×10^{-5}	1.9×10^{-4}	0	3.5×10^{-8}	2.8×10^{-4}
4	1.4×10^{-4}	3.4×10^{-4}	0	9.0×10^{-8}	4.8×10^{-4}
5	4.9×10^{-4}	1.9×10^{-4}	0	2.5×10^{-7}	6.8×10^{-4}
6	5.0×10^{-4}	3.4×10^{-4}	0	2.5×10^{-7}	8.3×10^{-4}
7	7.3×10^{-5}	9.4×10^{-5}	4.6×10^{-8}	1.0×10^{-8}	1.7×10^{-4}
8	9.5×10^{-5}	1.9×10^{-4}	1.7×10^{-7}	2.9×10^{-8}	2.8×10^{-4}
9	7.6×10^{-5}	1.9×10^{-4}	0	1.4×10^{-8}	2.6×10^{-4}
10	1.0×10^{-4}	3.4×10^{-4}	0	3.6×10^{-8}	4.4×10^{-4}
11	3.0×10^{-4}	1.9×10^{-4}	0	9.8×10^{-8}	4.8×10^{-4}
12	3.0×10^{-4}	3.4×10^{-4}	0	1.0×10^{-7}	6.4×10^{-4}
13	8.8×10^{-5}	1.9×10^{-4}	8.9×10^{-8}	2.0×10^{-8}	2.8×10^{-4}
14	1.0×10^{-4}	3.4×10^{-4}	0	3.6×10^{-8}	4.4×10^{-4}
15	3.0×10^{-4}	3.4×10^{-4}	0	1.0×10^{-7}	6.4×10^{-4}
16	3.3×10^{-4}	9.4×10^{-5}	4.6×10^{-8}	2.6×10^{-8}	4.3×10^{-4}
17	7.3×10^{-4}	1.9×10^{-4}	1.7×10^{-7}	7.3×10^{-8}	9.1×10^{-4}
18	3.7×10^{-4}	1.9×10^{-4}	0	3.5×10^{-8}	5.6×10^{-4}
19	8.7×10^{-4}	3.4×10^{-4}	0	9.0×10^{-8}	1.2×10^{-3}
20	4.4×10^{-3}	1.9×10^{-4}	0	2.5×10^{-7}	4.6×10^{-3}
21	4.4×10^{-3}	3.4×10^{-4}	0	2.5×10^{-7}	4.8×10^{-3}
22	2.1×10^{-4}	9.4×10^{-5}	4.6×10^{-8}	1.0×10^{-8}	3.0×10^{-4}
23	4.2×10^{-4}	1.9×10^{-4}	1.7×10^{-7}	2.9×10^{-8}	6.1×10^{-4}
24	2.3×10^{-4}	1.9×10^{-4}	0	1.4×10^{-8}	4.2×10^{-4}
25	5.0×10^{-4}	3.4×10^{-4}	0	3.6×10^{-8}	8.4×10^{-4}
26	2.4×10^{-3}	1.9×10^{-4}	0	9.8×10^{-8}	2.6×10^{-3}
27	2.5×10^{-3}	3.4×10^{-4}	0	1.0×10^{-7}	2.8×10^{-3}
28	3.6×10^{-4}	1.9×10^{-4}	8.9×10^{-8}	2.0×10^{-8}	5.5×10^{-4}
29	5.0×10^{-4}	3.4×10^{-4}	0	3.6×10^{-8}	8.4×10^{-4}
30	2.5×10^{-3}	3.4×10^{-4}	0	1.0×10^{-7}	2.8×10^{-3}

表 F.8 総トン数区分毎のリスクの増分

No.	- 20	20 - 100	100 - 500	500 - 3,000	3,000 -
1	1.9×10^{-8}	2.4×10^{-7}	2.3×10^{-6}	1.3×10^{-5}	1.8×10^{-4}
2	4.4×10^{-8}	4.4×10^{-7}	4.1×10^{-6}	2.3×10^{-5}	3.1×10^{-4}
3	2.4×10^{-8}	3.7×10^{-7}	3.6×10^{-6}	2.0×10^{-5}	2.8×10^{-4}
4	4.4×10^{-8}	6.5×10^{-7}	6.1×10^{-6}	3.5×10^{-5}	4.8×10^{-4}
5	6.9×10^{-8}	8.8×10^{-7}	8.7×10^{-6}	5.0×10^{-5}	6.8×10^{-4}
6	8.2×10^{-8}	1.1×10^{-6}	1.1×10^{-5}	6.2×10^{-5}	8.3×10^{-4}
7	1.7×10^{-8}	2.3×10^{-7}	2.2×10^{-6}	1.2×10^{-5}	1.7×10^{-4}
8	3.8×10^{-8}	4.0×10^{-7}	3.7×10^{-6}	2.1×10^{-5}	2.8×10^{-4}
9	2.2×10^{-8}	3.6×10^{-7}	3.4×10^{-6}	1.9×10^{-5}	2.6×10^{-4}
10	3.8×10^{-8}	6.0×10^{-7}	5.6×10^{-6}	3.2×10^{-5}	4.4×10^{-4}
11	4.4×10^{-8}	6.3×10^{-7}	6.2×10^{-6}	3.6×10^{-5}	4.8×10^{-4}
12	5.6×10^{-8}	8.4×10^{-7}	8.2×10^{-6}	4.7×10^{-5}	6.4×10^{-4}
13	3.0×10^{-8}	3.8×10^{-7}	3.6×10^{-6}	2.0×10^{-5}	2.8×10^{-4}
14	3.8×10^{-8}	6.0×10^{-7}	5.6×10^{-6}	3.2×10^{-5}	4.4×10^{-4}
15	5.6×10^{-8}	8.4×10^{-7}	8.2×10^{-6}	4.7×10^{-5}	6.4×10^{-4}
16	3.6×10^{-8}	5.3×10^{-7}	5.5×10^{-6}	3.2×10^{-5}	4.3×10^{-4}
17	8.5×10^{-8}	1.2×10^{-6}	1.2×10^{-5}	6.8×10^{-5}	9.1×10^{-4}
18	4.4×10^{-8}	7.1×10^{-7}	7.1×10^{-6}	4.1×10^{-5}	5.6×10^{-4}
19	9.4×10^{-8}	1.5×10^{-6}	1.5×10^{-5}	8.9×10^{-5}	1.2×10^{-3}
20	3.7×10^{-7}	5.5×10^{-6}	5.8×10^{-5}	3.4×10^{-4}	4.6×10^{-3}
21	3.5×10^{-7}	5.8×10^{-6}	6.1×10^{-5}	3.5×10^{-4}	4.8×10^{-3}
22	2.7×10^{-8}	3.9×10^{-7}	3.9×10^{-6}	2.2×10^{-5}	3.0×10^{-4}
23	6.1×10^{-8}	7.9×10^{-7}	7.9×10^{-6}	4.5×10^{-5}	6.1×10^{-4}
24	3.2×10^{-8}	5.4×10^{-7}	5.3×10^{-6}	3.1×10^{-5}	4.2×10^{-4}
25	6.5×10^{-8}	1.1×10^{-6}	1.1×10^{-5}	6.2×10^{-5}	8.4×10^{-4}
26	1.9×10^{-7}	3.1×10^{-6}	3.3×10^{-5}	1.9×10^{-4}	2.6×10^{-3}
27	2.0×10^{-7}	3.4×10^{-6}	3.6×10^{-5}	2.1×10^{-4}	2.8×10^{-3}
28	4.9×10^{-8}	7.0×10^{-7}	7.0×10^{-6}	4.0×10^{-5}	5.5×10^{-4}
29	6.5×10^{-8}	1.1×10^{-6}	1.1×10^{-5}	6.2×10^{-5}	8.4×10^{-4}
30	2.0×10^{-7}	3.4×10^{-6}	3.6×10^{-5}	2.1×10^{-4}	2.8×10^{-3}

表 F.10～F.14 に事故種類毎のリスクの増分(基本リスクを減じた値)を、表 F.15 に総トン数区分毎のリスクの増分を示す。

付録 G．IMDG Code の分析

G．1．引火性液体に関する IMDG Code の分析

引火性液体は Class 3 に分類されるが、主危険性が Class 8 (腐食性物質)、Class 6.1 (毒物)、Class 4.3 (水反応可燃性物質) であって、副次危険性として Class 3 が指定されているものもあり、これらを IMDG Code から抜き出すと表 G.1 が得られる。表 G.1 は、積付区分順、次に国連番号順

表 F.9 計算条件

No.	漏洩確率	積載場所	付加条件
31	$\alpha = 0.1$	開放型	$P_3 = 6\%$
32		閉閉型	$P_3 = 2\%, P_8 = 0.3\%$
33	$\alpha = 1$	開放型	$P_3 = 6\%$
34		閉閉型	$P_3 = 2\%, P_8 = 0.3\%$

表 F.10 リスクの増分 (20 GRT 未満)

No.	大加速度	車両火災	出火	漏洩	計
31	4.2×10^{-9}	7.7×10^{-9}	3.8×10^{-9}	2.1×10^{-9}	1.8×10^{-8}
32	4.2×10^{-9}	1.5×10^{-8}	1.4×10^{-8}	6.0×10^{-10}	3.4×10^{-8}
33	6.8×10^{-9}	7.7×10^{-9}	3.8×10^{-9}	2.1×10^{-9}	2.0×10^{-8}
34	6.2×10^{-9}	1.5×10^{-8}	1.4×10^{-8}	6.0×10^{-10}	3.6×10^{-8}

表 F.11 リスクの増分 (20～100 GRT)

No.	大加速度	車両火災	出火	漏洩	計
31	7.3×10^{-8}	1.3×10^{-7}	5.9×10^{-9}	3.3×10^{-9}	2.1×10^{-7}
32	7.2×10^{-8}	2.7×10^{-7}	2.2×10^{-8}	9.3×10^{-10}	3.6×10^{-7}
33	1.2×10^{-7}	1.3×10^{-7}	5.9×10^{-9}	3.3×10^{-9}	2.6×10^{-7}
34	1.1×10^{-7}	2.7×10^{-7}	2.2×10^{-8}	9.3×10^{-10}	4.0×10^{-7}

表 F.12 リスクの増分 (100～500 GRT)

No.	大加速度	車両火災	出火	漏洩	計
31	7.9×10^{-7}	1.2×10^{-6}	1.5×10^{-8}	8.5×10^{-9}	2.0×10^{-6}
32	7.8×10^{-7}	2.4×10^{-6}	5.7×10^{-8}	2.4×10^{-9}	3.2×10^{-6}
33	1.3×10^{-6}	1.2×10^{-6}	1.5×10^{-8}	8.5×10^{-9}	2.5×10^{-6}
34	1.2×10^{-6}	2.4×10^{-6}	5.7×10^{-8}	2.4×10^{-9}	3.6×10^{-6}

表 F.13 リスクの増分 (500～3,000 GRT)

No.	大加速度	車両火災	出火	漏洩	計
31	4.6×10^{-6}	6.9×10^{-6}	2.9×10^{-8}	1.6×10^{-8}	1.2×10^{-5}
32	4.5×10^{-6}	1.4×10^{-5}	1.1×10^{-7}	4.6×10^{-9}	1.8×10^{-5}
33	7.3×10^{-6}	6.9×10^{-6}	2.9×10^{-8}	1.6×10^{-8}	1.4×10^{-5}
34	6.8×10^{-6}	1.4×10^{-5}	1.1×10^{-7}	4.6×10^{-9}	2.1×10^{-5}

表 F.14 リスクの増分 (3,000 GRT 以上)

No.	大加速度	車両火災	出火	漏洩	計
31	6.2×10^{-5}	9.4×10^{-5}	4.6×10^{-8}	2.6×10^{-8}	1.6×10^{-4}
32	6.2×10^{-5}	1.9×10^{-4}	1.7×10^{-7}	7.3×10^{-9}	2.5×10^{-4}
33	1.0×10^{-4}	9.4×10^{-5}	4.6×10^{-8}	2.6×10^{-8}	1.9×10^{-4}
34	9.2×10^{-5}	1.9×10^{-4}	1.7×10^{-7}	7.3×10^{-9}	2.8×10^{-4}

表 F.15 総トン数区分毎のリスクの増分

No.	- 20	20 - 100	100 - 500	500 - 3,000	3,000 -
31	1.8×10^{-8}	2.1×10^{-7}	2.0×10^{-6}	1.2×10^{-5}	1.6×10^{-4}
32	3.4×10^{-8}	3.6×10^{-7}	3.2×10^{-6}	1.8×10^{-5}	2.5×10^{-4}
33	2.0×10^{-8}	2.6×10^{-7}	2.5×10^{-6}	1.4×10^{-5}	1.9×10^{-4}
34	3.6×10^{-8}	4.0×10^{-7}	3.6×10^{-6}	2.1×10^{-5}	2.8×10^{-4}

に整理したものである。表中に示した引火点は、複数の値がある場合はその最低値とし、斜体太字で示したものは、注を付けたものを除いて「新安全工学便覧」⁽¹⁸⁾から引用した値である。引火点は全て摂氏で表す。また、例えば UN No. 1133「接着剤」、UN No. 1139「コーティング液」、各種殺虫剤、溶液にあたる物質または「その他の物質 (N.O.S.: not otherwise specified)」等、特定の化学物質を意味しないものは、引火点の欄に×印を入れた。空欄は、文献^{(18),(G1)}に引火点が記載されていなかったことを意味する。なお、表 G.1 には、同じ物質 (国連番号) であっても容器等級が異なるものは、IMDG Code に倣って別の危険物として示した。

表 G.1 に基づき、IMDG 旅客船への積載の可否と各種危険性の関係を調べると、620 品目 (容器等級が異なるものは別に数える。) のうち 10 品目の水反応性物質 (Class 4.3) は、全て、IMDG 旅客船への積載が禁止されていることが分かる。残る 610 品目のうち、毒性があるものは 185 品目であり、そのうち IMDG 旅客船への積載が禁止されるものは 67 品目である。腐食性があるものは 89 品目であり、そのうち IMDG 旅客船への積載が禁止されるものは 20 品目である。よって、毒性や腐食性と IMDG 旅客船への積載の可否との関係は、一概には論じられないと言える。

ガソリンには毒性、腐食性、水反応性は無いことから、以下では、これらの性質の無い引火性液体 (351 品目) について分析する。

積付区分が A の危険物は 146 品目であった。表 G.1 に引火点を示した 112 品目の危険物のうち、以下の 3 品目を除き、引火点が 23℃ 以上であった。

- 1 UN No.1105：ペンチルアルコール。引火点 19～21℃
- 2 UN No.1170：エタノールまたはエタノール溶液。引火点 13℃ (容器等級による別あり。)
- 3 UN No.3065：アルコール飲料のうちアルコール分が 70 % 以上のもの。引火点 -13℃ 以上

よって、一部のアルコール類を別にすれば、積付区分が A の危険物の引火点は 23℃ 以上、即ち「高引火点物質」であると言える。

積付区分が B の危険物は 141 品目であった。

表 G.1 引火性液体の危険性と積載方法の関係 (1/3)

積付 区分	国連 番号	容器 等級	毒性	腐食 性	水反 応性	引火 点	積付 区分	国連 番号	容器 等級	毒性	腐食 性	水反 応性	引火 点	積付 区分	国連 番号	容器 等級	毒性	腐食 性	水反 応性	引火 点
A	1104	3				25	A	1988	3	Y			X	A	2528	3				37
A	1105	3				19	A	1989	3				X	A	2529	3		Y		55
A	1106	3		Y		2	A	1992	3	Y			X	A	2541	3				37
A	1109	3				26	A	1993	3				X	A	2560	3				30
A	1110	3				49	A	1999	3				X	A	2589	2	Y			50
A	1112	3				48	A	2023	2	Y			32	A	2607	3				48
A	1123	3				27	A	2046	3					A	2608	3				28
A	1130	3				47	A	2047	3					A	2610	3		Y		39
A	1133	3				X	A	2048	3				26	A	2611	2	Y			51
A	1134	3				29	A	2049	3				49	A	2614	3				34
A	1136	3				27	A	2051	2		Y		31	A	2617	3				58
A	1139	3				X	A	2052	3				43	A	2618	3				54
A	1147	3				52	A	2053	3				41	A	2619	2		Y		58
A	1148	3				64	A	2054	1		Y		38	A	2620	3				52
A	1149	3				25	A	2055	3				32	A	2621	3				44
A	1152	3				26	A	2057	3					A	2622	2	Y			31
A	1153	3				35	A	2059	3				X	A	2668	2	Y			56
A	1157	3				49	A	2219	3				48	A	2684	3		Y		59
A	1169	3				X	A	2222	3				41	A	2685	2		Y		46
A	1170	2				13	A	2227	3				41	A	2686	2		Y		46
A	1170	3				13	A	2234	3				36	A	2707	3				
A	1171	3				40	A	2238	3				43	A	2709	3				34
A	1172	3				51	A	2243	3				56	A	2710	3				49
A	1177	3				54	A	2244	3				51	A	2733	3		Y		X
A	1180	3				26	A	2245	3				31	A	2734	1		Y		X
A	1181	2	Y			54	A	2247	3				47	A	2734	2		Y		X
A	1188	3				38	A	2248	2		Y		39	A	2742	2	Y	Y		53
A	1189	3				44	A	2258	2		Y		33	A	2743	2	Y	Y		32
A	1191	3				44	A	2260	3		Y		35	A	2744	2	Y	Y		38
A	1192	3				46	A	2264	2		Y		43	A	2752	3				47
A	1197	3				X	A	2265	3				58	A	2789	2		Y		40
A	1198	3		Y		32	A	2271	3				43	A	2826	2		Y		29
A	1199	2	Y			48	A	2275	3				57	A	2840	3				58
A	1201	3				33	A	2276	3		Y		50	A	2841	3	Y			52
A	1202	3				43	A	2282	3				57	A	2842	3				28
A	1207	3				32	A	2283	3				49	A	2850	3				
A	1210	3				X	A	2286	3				43	A	2903	3	Y			23
A	1212	3				28	A	2293	3				49	A	2924	3		Y		X
A	1223	3				40*	A	2297	3				46	A	2933	3				32
A	1224	3				X	A	2302	3				43	A	2934	3				50
A	1229	3				32	A	2303	3				38	A	2935	3				38
A	1233	3				43	A	2310	3	Y			34	A	2943	3				45
A	1261	2				35	A	2313	3				28	A	2947	3				56
A	1263	3				X	A	2319	3				32	A	2991	3	Y			23
A	1264	3				27	A	2323	3				44	A	2993	3	Y			23
A	1266	3				X	A	2324	3					A	2995	3	Y			X
A	1267	3				X	A	2325	3				44	A	2997	3	Y			X
A	1268	3				X	A	2329	3				23	A	3005	3	Y			23
A	1272	3				57	A	2330	3				60	A	3009	3	Y			23
A	1274	3				23	A	2332	3				40	A	3011	3	Y			23
A	1286	3				130	A	2341	3				23	A	3013	3	Y			23
A	1287	3				X	A	2344	3					A	3015	3	Y			23
A	1288	3					A	2348	3				36	A	3017	3	Y			23
A	1289	3		Y		X	A	2351	3					A	3019	3	Y			23
A	1292	3				37	A	2357	2		Y		27	A	3025	3	Y			23
A	1293	3				X	A	2361	3		Y		29	A	3054	3				49
A	1297	3		Y		-45	A	2364	3				39	A	3056	3				35
A	1299	3				35	A	2366	3				25	A	3065	2				-13
A	1300	3				X	A	2368	3				33	A	3065	3				X
A	1306	3				X	A	2378	2	Y			35	A	3092	3				29
A	1307	3				23	A	2392	2				34	A	3248	3	Y			X
A	1604	2		Y		34	A	2405	3				25	A	3256	3				X
A	1715	2		Y		54	A	2413	3				38	A	3269	3				X
A	1914	3				32	A	2478	3	Y			X	A	3271	3				X
A	1915	3				32	A	2498	3				57	A	3272	3				X
A	1916	2	Y			55	A	2514	3				51	A	3295	3				X
A	1918	3				31	A	2520	3				38	A	3347	3	Y			X
A	1920	3				31	A	2524	3				30	A	3351	3	Y			X
A	1986	3	Y			X	A	2526	3		Y		37							
A	1987	3				X	A	2527	3				29							

Note : Un No. 1223 灯油の引火点は「理科年表」(G.1)による。

表 G.1 引火性液体の危険性と積載方法の関係 (2/3)

積付 区分	国連 番号	容器 等級	毒性	腐食 性	水反 応性	引火 点
B	1091	2				-4
B	1099	1	Y			-1
B	1105	2				19
B	1106	2		Y		2
B	1107	2				11
B	1111	2				-7
B	1114	2				-11
B	1120	2				37
B	1123	2				27
B	1125	2		Y		-9
B	1126	2				13
B	1127	2				-30
B	1128	2				18
B	1129	2				-7
B	1133	2				X
B	1136	2				27
B	1139	2				X
B	1143	1	Y			13
B	1148	2				64
B	1150	2				6
B	1156	2				13
B	1158	2		Y		-7
B	1160	2		Y		-32
B	1161	2				18
B	1162	2		Y		-9
B	1165	2				12
B	1166	2				2
B	1169	2				X
B	1173	2				-4
B	1175	2				22
B	1176	2				11
B	1178	2				11
B	1179	2				-1
B	1184	2	Y			13
B	1193	2				-1
B	1195	2				12
B	1196	2		Y		14
B	1197	2				X
B	1201	2				33
B	1204	2				X
B	1206	2				-4
B	1210	2				X
B	1213	2				18
B	1214	2		Y		-9
B	1216	2				
B	1219	2				12
B	1220	2				11
B	1224	2				X
B	1228	2	Y			X
B	1228	3	Y			X
B	1230	2	Y			12
B	1231	2				-10
B	1237	2				14
B	1245	2				14
B	1246	2				
B	1247	2				8
B	1248	2				-2
B	1249	2				7
B	1250	1		Y		8
B	1262	2				-12
B	1263	2				X
B	1266	2				X
B	1267	2				X
B	1268	2				X
B	1274	2				15
B	1276	2				10
B	1279	2				15
B	1281	2				-3
B	1282	2				17
B	1286	2				130
B	1287	2				X
B	1288	2				
B	1289	2		Y		X
B	1293	2				X
B	1294	2				7
B	1296	2		Y		-11
B	1297	2		Y		-45
B	1300	2				X
B	1301	2				-8
B	1304	2				-9
B	1305	1		Y		11
B	1306	2				X
B	1307	2				17
B	1308	2				X
B	1308	3				X
B	1917	2				16
B	1919	2				-3
B	1921	1	Y			-4
B	1922	2		Y		3
B	1986	2	Y			X
B	1987	2				X
B	1988	2	Y			X
B	1989	1				X
B	1989	2				X
B	1992	2	Y			X
B	1993	2				X
B	1999	2				X
B	2047	2				
B	2050	2				-18
B	2056	2				-18
B	2057	2				
B	2058	2				12
B	2059	2				X
B	2241	2				21
B	2242	2				
B	2252	2				1
B	2263	2				5
B	2266	2		Y		-11
B	2270	2		Y		11
B	2277	2				20
B	2278	2				-3
B	2287	2				
B	2296	2				-4
B	2298	2				-10
B	2301	2				-30
B	2309	2				9
B	2337	1	Y			50
B	2338	2				12
B	2339	2				21
B	2340	2				
B	2342	2				
B	2343	2				21
B	2344	2				
B	2346	2				6
B	2347	2				26
B	2350	2				4
B	2351	2				
B	2352	2				-9
B	2358	2				
B	2359	2	Y			7
B	2362	2				-10
B	2367	2				13
B	2372	2				21
B	2373	2				-5
B	2374	2				15
B	2376	2				-16
B	2377	2				
B	2379	2		Y		9
B	2380	2				13
B	2381	2				15
B	2383	2		Y		7
B	2384	2				-21
B	2386	2		Y		19
B	2387	2				-15
B	2388	2				9
B	2390	2				21
B	2391	2				
B	2393	2				5
B	2394	3				31
B	2397	2				-3
B	2399	2		Y		3
B	2400	2				
B	2403	2				10
B	2406	2				20
B	2409	2				21
B	2410	2				16
B	2412	2				13
B	2414	2				-9
B	2416	2				27
B	2436	2				
B	2458	2				-3
B	2493	2		Y		18
B	2535	2		Y		13
B	2536	2				-11
B	2616	2				17
B	2707	2				
B	2733	2		Y		X
B	2740	1	Y	Y		28
B	2758	1	Y			X
B	2758	2	Y			X
B	2760	1	Y			X
B	2760	2	Y			X
B	2762	1	Y			X
B	2762	2	Y			X
B	2764	1	Y			X
B	2764	2	Y			X
B	2772	1	Y			X
B	2772	2	Y			X
B	2776	1	Y			X
B	2776	2	Y			X
B	2778	1	Y			X
B	2778	2	Y			X
B	2780	1	Y			X
B	2780	2	Y			X
B	2782	1	Y			X
B	2782	2	Y			X
B	2784	1	Y			X
B	2784	2	Y			X
B	2787	1	Y			X
B	2787	2	Y			X
B	2838	2				12
B	2903	1	Y			23
B	2903	2	Y			23
B	2924	2		Y		X
B	2929	1	Y			X
B	2929	2	Y			X
B	2945	2		Y		0
B	2985	2		Y		X
B	2991	1	Y			23
B	2991	2	Y			23
B	2993	1	Y			23
B	2993	2	Y			23
B	2995	1	Y			X
B	2995	2	Y			X
B	2997	1	Y			X
B	2997	2	Y			X
B	3005	1	Y			23
B	3005	2	Y			23
B	3009	1	Y			23
B	3009	2	Y			23

表 G.1 引火性液体の危険性と積載方法の関係 (3/3)

積付 区分	国連 番号	容器 等級	毒性	腐食 性	水反 応性	引火 点
B	3011	1	Y			23
B	3011	2	Y			23
B	3013	1	Y			23
B	3013	2	Y			23
B	3015	1	Y			23
B	3015	2	Y			23
B	3017	1	Y			23
B	3017	2	Y			23
B	3019	1	Y			23
B	3019	2	Y			23
B	3021	1	Y			X
B	3021	2	Y			X
B	3022	2				-15
B	3024	1	Y			X
B	3024	2	Y			X
B	3025	1	Y			23
B	3025	2	Y			23
B	3248	2	Y			X
B	3269	2				X
B	3271	2				X
B	3272	2				X
B	3273	2	Y			X
B	3274	2		Y		X
B	3275	1	Y			X
B	3275	2	Y			X
B	3279	1	Y			X
B	3279	2	Y			X
B	3286	2	Y			X
B	3295	2				X
B	3336	2				X
B	3336	3				X
B	3346	1	Y			X
B	3346	2	Y			X
B	3347	1	Y			X
B	3347	2	Y			X
B	3350	1	Y			X
B	3350	2	Y			X
B	3351	1	Y			X
B	3351	2	Y			X
C	1747	2		Y		52
C	1767	2		Y		25
C	1816	2		Y		38
C	2218	2		Y		54
C	2353	2		Y		
C	2395	2		Y		
C	2502	2		Y		23
C	2920	1		Y		X
C	2920	2		Y		X
C	2986	2		Y		X
C	3071	2	Y			X
C	3073	2	Y	Y		42
D	1051	1	Y			-18
D	1092	1	Y			-26
D	1098	1	Y			21
D	1131	1	Y			-30
D	1135	1	Y			60
D	1163	1	Y	Y		-18
D	1182	1	Y	Y		16
D	1183	1		Y	Y	-1
D	1185	1	Y			-13
D	1194	1	Y			-35
D	1222	2				12
D	1238	1	Y	Y		5
D	1239	1	Y			-18
D	1242	1		Y	Y	-26
D	1244	1	Y	Y		20
D	1251	1	Y	Y		-7
D	1259	1	Y			-20
D	1295	1		Y	Y	-50
D	1297	1		Y		-45
D	1302	1				-18
D	1308	1				X
D	1411	1			Y	
D	1545	2	Y			46
D	1569	2	Y			45
D	1603	2	Y			58
D	1695	1	Y	Y		25
D	1722	1	Y	Y		31
D	1928	1			Y	X
D	1991	1	Y			-20
D	1994	1	Y			-15
D	2029	1	Y	Y		52
D	2249	1	Y			42
D	2251	2				-18
D	2285	3	Y			56
D	2295	1	Y			47
D	2334	1	Y			-29
D	2345	2				10
D	2382	1	Y			-17
D	2401	1		Y		16
D	2407	1	Y	Y		16
D	2438	1	Y	Y		19
D	2477	1	Y			61
D	2478	2	Y			X
D	2480	1	Y			-7
D	2481	1	Y			-18
D	2482	1	Y			-18
D	2483	1	Y			-10
D	2484	1	Y			11
D	2485	1	Y			19
D	2486	2	Y			
D	2487	1	Y			51
D	2488	1	Y			53
D	2521	1	Y			44
D	2558	1	Y			56
D	2604	1		Y		59
D	2605	1	Y			13
D	2733	1		Y		X
D	2749	1				-18
D	2965	1		Y	Y	20
D	2988	1		Y	Y	X
D	3023	1	Y			31
D	3079	1	Y			4
D	3080	2	Y			X
D	3165	1	Y			X
D	3294	1	Y			X
D	3343					X
D	3357	2				X
E	1088	2				-18
E	1089	1				-27
E	1090	2				-20
E	1093	1	Y			-5
E	1100	1	Y			-29
E	1108	1				-20
E	1113	2				-20
E	1133	1				X
E	1139	1				X
E	1144	1				-53
E	1145	2				-18
E	1146	2				-18
E	1154	2		Y		-39
E	1155	1				-40
E	1159	2				-29
E	1164	2				-37
E	1167	1				-30
E	1190	2				-20
E	1203	2				-46
E	1208	2				-22
E	1210	1				X
E	1218	1				-48
E	1221	1		Y		-37
E	1234	2				-28
E	1235	2		Y		-13
E	1243	1				-32
E	1263	1				X
E	1265	1				-40
E	1265	2				-40
E	1267	1				X
E	1268	1				X
E	1275	2				-18
E	1277	2		Y		-18
E	1278	2				-18
E	1280	1				-18
E	1298	2		Y		-18
E	1303	1				-28
E	1986	1	Y			X
E	1988	1	Y			X
E	1992	1	Y			X
E	1993	1				X
E	2045	2				-24
E	2059	1				X
E	2246	2				-30
E	2256	2				-7
E	2284	2	Y			8
E	2288	2				
E	2333	2	Y			7
E	2335	2	Y			-11
E	2336	1	Y			
E	2354	2	Y			
E	2356	1				-32
E	2360	2	Y			-11
E	2363	1				-45
E	2370	2				-7
E	2371	1				-18
E	1265	2				-40
E	1267	1				X
E	1268	1				X
E	1275	2				-18
E	1277	2		Y		-18
E	1278	2				-18
E	1280	1				-18
E	1298	2		Y		-18
E	1303	1				-28
E	1986	1	Y			X
E	1988	1	Y			X
E	2375	2				-10
E	2389	1				-18
E	2396	2	Y			2
E	2398	2				-18
E	2402	2				-18
E	2404	2	Y			2
E	2411	2	Y			21
E	2456	1				-18
E	2457	2				-29
E	2459	1				-18
E	2460	2				-18
E	2461	2				-18
E	2554	2				-12
E	2561	1				-18
E	2603	2	Y			0
E	2606	1	Y			-18
E	2612	2				-18
E	2615	2				-18
E	2924	1		Y		X
E	2983	1	Y			-18
E	3064	2				X
E	3207	1			Y	X
E	3207	2			Y	X
E	3207	3			Y	X
E	3273	1	Y			X
E	3286	1	Y			X
E	3295	1				X
E	3336	1				X

表 G.1 に引火点を示した 95 品目の危険物のうち、以下の 3 品目を除き、引火点が-18℃以上であった。

- .1 UN No.1127：クロロブタン。引火点-30℃
- .2 UN No.2301：2-メチルフラン。引火点-30℃
- .3 UN No.2384：ジプロピルエーテル。引火点-21℃

よって、積付区分が B の危険物は、原則として引火点が-18℃以上、即ち「中引火点物質」または「高引火点物質」であると言える。

積付区分が C の危険物は 12 品目あったが、一つの毒物（UN No.3071）を除き全て腐食性を有するものであった。よって、ここでは検討対象としない。

積付区分が D の危険物は 8 品目であった。これらのうち、表 G.1 に引火点を示した 5 品目の危険物は全て「中引火点」、即ち、引火点-18℃以上、23℃未満であった。

積付区分が E の危険物は 56 品目であった。これらのうち、表 G.1 に引火点を示した 44 品目の危険物では、以下の 4 品目を除き、引火点は-18℃以下であった。

- .1 UN No.2256「シクロヘキセン」：引火点-7℃
- .2 UN No.2370「1-ヘキセン」：引火点-7℃
- .3 UN No.2375「硫化ジエチル」：引火点-10℃
- .4 UN No.2554「メチルアリルクロライド」：引火点-12℃

よって、積付区分が E の危険物は、原則として引火点が-18℃以下であると言える。

以上を考慮すれば、毒性、腐食性、水反応性が無い引火性液体の場合、原則として低引火点（-18℃未満）であれば IMDG 旅客船への積載が禁止され、中引火点（-18℃以上 23℃未満）であれば、一部の危険物は IMDG 旅客船の甲板上への積載が認められると言える。

次に、Class 3 の物質、即ち引火性液体の中から、UN No.1203「ガソリン」と比較するのに適した危険物を選定してみる。毒性、腐食性、水反応性がない中引火点の引火性液体のうち、引火点が 0℃未満-18℃以上のものを表 G.2 に示す。LEL 及び UEL は IMDG Code に記載されていた値である。

表 G.2 に示した危険物のうち、安定化剤入りのもの（Stabilized）及び混合物（Compounds）は、

物性値が明確でない。また、爆発下限界と爆発上限界の比が小さいものは、安全性が高いと言える。表 G.2 に示した物質の中で、比較的多く用いられる物質としては、UN No.1173「エチルアセテート」、UN No.1206「ヘプタン（n-ヘプタン）」、UN No.1231「メチルアセテート」及び UN No.1262「オクタン」が挙げられる。なお、ガソリンの LEL 及び UEL はそれぞれ 1.4 %及び 7.6 %である^(G2)。物性値が明確で、IMDG 旅客船に積載可能な中引火点の危険のうち代表的なものとしては、n-ヘプタンが挙げられる。

G. 2. ガスに関する IMDG Code の分析

危険物のガスの Class は 2.1、2.2 及び 2.3 の 3 種類、即ち、「引火性ガス」、「非引火性非毒性ガス」及び「毒性ガス」に分類される。また、副次危険性として Class 5.1（酸化性物質）や Class 8（腐食性物質）が指定されるものもある。IMDG Code の危険物リストにおける Class 2.1、2.2 及び 2.3 の物質の国連番号、毒性、引火性、酸化性、腐食性と積載方法の関係を表 G.3 に示す。なお、表 G.3 において UN No. 1950"Aerosols"と UN No.2037"Receptacles, small, containing gas (gas cartridges) without a release device, non-refillable"は、Class 2 と記載されている。

表 G.3 に基づき、IMDG 旅客船への積載禁止の条件を抽出すると以下の通り。

- (1) 毒性のあるもの（Class 2.3）は原則として IMDG 旅客船への積載が禁止されている。例外は UN No. 1082"Trifluorochloroethylene, stabilized"（クロロトリフルオロエチレン（安定剤入りのもの））である。
- (2) 非毒性非引火性（Class 2.2）の物質であって、酸化性物質でないものは、IMDG 旅客船への積載が認められる。

引火性ガス（Class 2.1）は、その危険性に応じて IMDG 旅客船の積載の可否が分かれる。引火性ガスのうち、IMDG 旅客船への積載が認められるものを表 G.4 に示す。表において LEL 及び UEL はそれぞれ体積濃度ベースの爆発下限界及び爆発上限界を意味する。表 G.4 において、UN No. 1033 "Dimethyl ether" の LEL 及び UEL は、国際 DME 協会の WEB SITE^(G3)に記載されている情報である。

表 G.4 に示した危険物のうち、爆発濃度範囲が広い危険物としては、UN No. 1086「塩化ビニル

表 G.2 毒性、腐食性、水反応性の無い引火点-18℃以上 0℃度未満の液体

国連番号	名称	LEL	UEL	引火点
1091	ACETON OIL			-4
1111	AMYL MERCAPTANS			-7
1114	BENZEN	1.4	1.8	-11
1129	BUTYRALDEHYDE	1.4	12.5	-7
1173	ETHYL ACETATE	2.18	11.5	-4
1179	ETHYL BUTYL ETHER			-1
1193	ETHYL METHYL KETONE (METHYL ETHYL KETONE)	1.8	11.5	-1
1206	HEPTANES	1.1	6.7	-4
1231	METHYL ACETATE	3	16	-10
1248	METHYL PROPINATE	2.4	13	-2
1262	OCTANES	1	6.5	-12
1281	PROPYL FORMATES	2.4	7.8	-3
1301	VINYL ACETATE, STABILIZED	2.6	14	-8
1304	VINYL ISOBUTYL ETHER, STABILIZED			-9
1919	METHYL ACRYLATE, STABILIZED	1.2	25	-3
2050	DIISOBTYLENES, ISOMERIC COMPOUNDS	0.8	4.8	-18
2056	TETRAHYDROFURAN	1.5	12	-18
2278	TOLUENE DIISOCYANATE			-3
2296	METHYLCYCLOHEXANE	1.2	6.7	-4
2298	METHYLCYCLOPENTANE	1	8.4	-10
2352	BUTYL VINYL ETHER, STABILIZED			-9
2362	1,1-DICHLOROETHANE	5.6		-10
2373	DIETHOXYMETHANE			-5
2376	2,3-DIHYDROPYRAN			-16
2387	FLUOROBENZENE			-15
2397	3-METHYLBUTAN-2-ONE	1.5	8	-3
2414	THIOPHENE	1.5	12.5	-9
2458	HEXADIENES			-3
2536	METHYLTETRAHYDROFURAN			-11
3022	1,2-BUTYLENE OXIDE, STABILIZED	1.5	18.3	-15

表 G.3 ガスの危険性と積載方法の関係

国連 番号	毒性	引火性	酸化性	腐食性	積載 方法	国連 番号	毒性	引火性	酸化性	腐食性	積載 方法	国連 番号	毒性	引火性	酸化性	腐食性	積載 方法
1001		Y			D	1086		Y			B	2201			Y		B
1002					A	1087		Y			B	2202	Y	Y			D
1003			Y		D	1581	Y				D	2203		Y			E
1005	Y			Y	D	1582	Y				D	2204	Y	Y			D
1006					A	1589	Y			Y	D	2417	Y			Y	D
1008	Y			Y	D	1612	Y				D	2418	Y			Y	D
1009					A	1660	Y		Y	Y	D	2419		Y			B
1010		Y			B	1741	Y			Y	D	2420	Y			Y	D
1011		Y			E	1749	Y		Y	Y	D	2421	Y		Y	Y	D
1012		Y			E	1858					A	2422					A
1013					A	1859	Y			Y	D	2424					A
1014			Y		A	1860		Y			E	2451			Y		D
1015					A	1911	Y	Y			D	2452		Y			B
1016	Y	Y			D	1912		Y			D	2453		Y			E
1017	Y			Y	D	1913					B	2454		Y			E
1018					A	1950					A/B	2455					-
1020					A	1951					B	2517		Y			B
1021					A	1952					A	2534	Y	Y		Y	D
1022					A	1953	Y	Y			D	2548	Y		Y	Y	D
1023	Y	Y			D	1954		Y			D	2601		Y			B
1026	Y	Y			D	1955	Y				D	2602					A
1027		Y			E	1956					A	2676	Y	Y			D
1028					A	1957		Y			E	2857					A
1029					A	1958					A	2901	Y		Y	Y	D
1030		Y			B	1959		Y			E	3057	Y			Y	D
1032		Y			D	1961		Y			D	3070					A
1033		Y			B	1962		Y			E	3083	Y		Y		D
1035		Y			E	1963					B	3136					D
1036		Y			D	1964		Y			E	3150		Y			B
1037		Y			B	1965		Y			E	3153		Y			E
1038		Y			D	1966		Y			D	3154		Y			E
1039		Y			B	1967	Y				D	3156			Y		D
1040	Y	Y			D	1968					A	3157			Y		D
1041		Y			B	1969		Y			E	3158					D
1043					E	1970					B	3159					A
1044					A	1971		Y			E	3160	Y	Y			D
1045	Y		Y	Y	D	1972		Y			D	3161		Y			D
1046					A	1973					A	3162	Y				D
1048	Y			Y	D	1974					A	3163					A
1049		Y			E	1975	Y		Y	Y	D	3164					A
1050	Y			Y	D	1976					A	3167		Y			D
1053	Y	Y			D	1977					D	3168	Y	Y			D
1055		Y			E	1978		Y			E	3169	Y				D
1056					A	1979					A	3220					A
1057		Y			B	1980					A	3252		Y			D
1058					A	1981					A	3296					A
1060		Y			B	1982					A	3297					A
1061		Y			B	1983					A	3298					A
1062	Y				D	1984					A	3299					A
1063		Y			D	2034		Y			E	3300	Y	Y			D
1064	Y	Y			D	2035		Y			B	3303	Y		Y		D
1065					A	2036					A	3304	Y			Y	D
1066					A	2037					B	3305	Y	Y		Y	D
1067	Y		Y	Y	D	2044		Y			E	3306	Y		Y	Y	D
1069	Y			Y	D	2073					E	3307	Y		Y		D
1070			Y		A	2187					B	3308	Y			Y	D
1071	Y	Y			D	2188	Y	Y			D	3309	Y	Y		Y	D
1072			Y		A	2189	Y	Y		Y	D	3310	Y		Y	Y	D
1073			Y		D	2190	Y		Y	Y	D	3311			Y		D
1075		Y			E	2191	Y				D	3312		Y			D
1076	Y			Y	D	2192	Y	Y			D	3318	Y			Y	D
1077		Y			E	2193					A	3337					A
1078					A	2194	Y			Y	D	3338					A
1079	Y			Y	D	2195	Y			Y	D	3339					A
1080					A	2196	Y			Y	D	3340					A
1081		Y			E	2197	Y			Y	D	3353					A
1082	Y	Y			B	2198	Y			Y	D	3354		Y			D
1083		Y			B	2199	Y	Y			D	3355	Y	Y			D
1085		Y			B	2200		Y			B	3358		Y			D

表 G.4 IMDG 旅客船積載可の引火性ガス
(全て甲板上のみ積載可)

国連 番号	名称	LEL [%]	UEL [%]	比重
1010	BUTADIENES, STABILIZED	2	12	1.84
1030	1,1-DIFLUOROETHYLENE (REFRIGERANT GAS R 152a)	5	17	2.3
1033	DIMETHYL ETHER	3.4	17	1.6
1037	ETHYL CHLORIDE	3.5	15	2.2
1039	ETHYL METHYL ETHER	2	10	2.1
1041	ETHYLENE OXIDE AND CARBON DIOXIDE MIXTURE with more than 9% but not more than 87% ethylene oxide			1.5
1057	LIGHTERS OR LIGHTER REFILLS containing flammable gas			
1060	METHYLACETHYLENE AND PROPADIENE MIXTURE, STABILIZED	3	11	1.4
1061	METHYLAMINE, ANHYDROUS			1.09
1083	TRIMETHYLAMINE, ANHYDROUS	2	12	2.1
1085	VINYL BROMIDE, STABILIZED			3.7
1086	VINYL CHLORIDE, STABILIZED	4	31	2.2
1087	VINYL METHYL ETHER, STABILIZED	2.6	39	2.0
2035	1,1,1-TRIFLUOROETHANE (REFRIGERANT GAS R 143a)			2.9
2200	PROPADIENE, STABILIZED	1.7	12	1.4
2419	BROMOTRIFLUOROETHYLENE			5.6
2452	ETHYLACETYLENE, STABILIZED			1.9
2517	1-CHLORO-1, 1-DIFLUOROETHANE (REFRIGERANT GAS R 142a)	8.5	14	3.5
2601	CYCLOBUTANE	1.8	10	1.9
3150	BIPYRIDILUM PESTICIDE, LIQUID, TOXIC, FLAMMABLE flashpoint not less than 23°C c.c.			

(安定化剤入りのもの)」及び UN No.1087「エチルビニルエーテル (安定化剤入りのもの)」が挙げられる。なお、LPG の LEL 及び UEL はそれぞれ 1.8 %及び 9.5 %とされている^(G4)。また、LPG の主成分であるプロパンに近い比重 (分子量に比例。プロパンの分子量：44.10) を有するものとしては、UN No. 1033「ジメチルエーテル」(以下「DME」と呼ぶ。分子量：46.07^(G5)) が挙げられる。性状が明確な物質であって LPG と比較しやすい危険物としては、DME が挙げられる。

付録 G の参考文献及び WEB SITE (2002 年末)

- (G1) 丸善、「理科年表」平成 14 年版
- (G2) 全国危険物安全協会、「危険物取扱必携一実務編」、平成 10 年度版
- (G3) www.aboutdme.org, International DME Association
- (G4) www.khk.or.jp/lpglab/lab_hp.htm, 高圧ガス保安協会液化石油ガス研究所
- (G5) 高圧ガス保安協会、乙種化学・機械講習テキスト、中級「高圧ガス保安技術」平成 13 年度版