

旅客フェリーによる危険物タンクローリーの 輸送に関する調査 - 2

- 危険物タンク車両輸送の安全評価 -

海上安全研究領域 危険物輸送・防災研究グループ 太田 進

1. はじめに

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。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各種危険物も輸送したいという要望がある。特に、ガソリン、LPG（液化石油ガス）及び液体酸素（医療用）の三物質（以下、「調査対象危険物」と呼ぶ。）については、現行規則では禁止されているものの、タンクローリーに収納した状態で船舶により運送したいとの要望がある⁽¹⁾。

本調査の目的は、調査対象危険物を収納したタンクローリー（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、運送の際の安全対策を提言することである。なお、リスクとしては、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考える。

国際海上危険物規程（以下、「IMDG Code」と呼ぶ。）では、「事故の際にこれを含んだ場合、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乗客を乗せた船舶に積載してはならない」、また、「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若しくは毒性ガスを発するまたは船体を腐食する恐れのあるものは、甲板下に積載すべきでない」との考えに基づき、危険物の船舶への積載方法を規定している。調査対象危険物について言えば、ガソリン及びLPGは多数の乗客とともに運送することが禁止され、液体酸素はさらに甲板下に積載することが禁止されている。なお、開放型の車両用貨物区域には、一般的には、「甲板上のみ積載可能」な危険物を積載することが

できる。

リスクの推定に先立って、評価の対象となる安全対策について検討した。

現時点において、カーフェリーの車両甲板の固定式消火装置としては、開放型の場合は、消火栓のみが要求される。閉鎖型の場合には、船舶消防設備規則及び関連通達により、さらに固定式加圧水噴霧装置及び固定式泡消火装置が要求される。国際航海に従事するカーフェリーにおいては、貨物固定マニュアルに従って、出港前に貨物の固定を完了することが要求される。専ら本邦各港間を航行する船には、貨物固定マニュアルの搭載等は要求されていないが、貨物を適切に固定すべきことは規則により要求されている。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。本調査では、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、リスクを検討した。貨物の監視については、頻繁な巡視やビデオカメラにより、貨物の監視がなされていることを前提とした。

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保し、消火栓や消火器等の消防設備を使用可能にするのに必要不可欠の措置である。そのため、調査対象タンク車両を積載した場合は、特定の場所が指定されるものと考えた。

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対策としては、以下について検討した。

- (1) 危険物タンク車両の乗船前の点検
- (2) 危険物タンク車両等の固定

本調査では、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検討し、甲板上への

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、検討対象としなかった。また、本調査では、隔離要件の免除及び危険物の種類や引火点に応じた船舶の設備に関する要件の免除は検討の対象とせず、国際／国内のタンク車両の技術基準の差異も考慮しなかった。さらに、規則運用上の困難を考慮して、新たな旅客数の制限は検討対象としなかった。

2. 調査対象タンク車両を積載しない場合のリスク

旅客船の事故の発生確率を推定する際の事故件数は、「海難審判の実態」⁽²⁾に基づいた。旅客船の事故発生件数及び船舶事故に占める割合を図 1 に示す。死者並びに行方不明者（以下、「死者等」と呼ぶ。）の数は年平均 4.1 人、負傷者を含めると年平均 72.2 人であった。

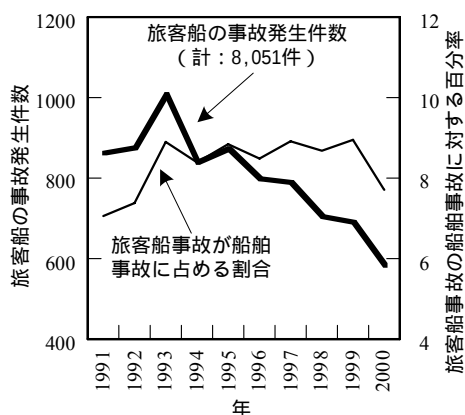


図 1 旅客船の事故発生件数及び割合

カーフェリーの総トン数別の運航回数、航海時間等⁽³⁾を解析した結果を表 1 に示す。

表 1 自動車航走船の総トン数別運航回数等

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
計	837,555	651,870	0.78

船舶隻数は平成 13 年 4 月 1 日時点の値で代表させ、事故件数は、1991～2000 年の 10 年間の年平均のみを考慮し、総トン数区分毎の事故の発生件数は、旅客船における自動車航走船の隻数の割合に比例すると仮定すると、カーフェリーの事故件数が推定でき、事故発生確率が求められる。事故発生確率を表 2 に示す。

表 2 カーフェリー事故発生確率

総トン数区分	年間運航回数	年平均事故件数 (推定)	事故発生確率 (一航海当)
- 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}

乗組員の数と総トン数 20 トン未満では 1 名、総トン数 20 トン以上では旅客 24 名当たり一人（限定救命艇手）と仮定すれば、総トン数区分毎の運航回数ベースの乗船定員の平均値は表 3 の通り。

表 3 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

調査対象タンク車両を多数の乗客とともに運送する際のリスクを求めるとの目的を勘案し、船舶の乗船者数は定員通りと仮定してリスクを求めた。

カーフェリーが保有する人命に関するリスクを検討するため、昭和 40 年から平成 13 年までに出版された海難審判庁判決録（以下、「判決録」と呼ぶ。）から、カーフェリーの事故に関する 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を別に扱った計 577 件の事故例について解析した。抽出した事故の種類別に、件数及び人的被害を表 4 に示す。

表 4 事故種類別の件数及び人命損失

事故種類	件数	死者等	負傷者等	死傷者等
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

表において、負傷者等の欄は死者等を含まない数値である。また、「衝突 (単)」は、岸壁等への衝突を意味する。

「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」である。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

あった。また、残る 36 件のうち 4 件は、着岸操船が不適切なことによる衝撃による人身事故であった。残る 32 件のうち、荷役作業中等の人身事故は 31 件あった。この中には、陸上作業員が死亡した例もあったが、ここでは乗船者の人命損失を問題にしているため、表には含めていない。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 名）であった。まとめると以下の通り。

- (1) カーフェリーが事故原因であるが、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 名、負傷者等 34 名）
- (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 名）

「海難審判の実態」⁽²⁾、即ち、裁決録に収録されない認知事故を含むデータに基づけば、旅客船事故一件当たりの死者等の数は 5.1×10^{-3} (41/8,051) であるのに対し、裁決録から抽出した事故例 559 件（死者等：29 人）では、事故一件当たりの死者等の数は 5.1×10^{-2} であった。これらを考慮して、カーフェリーの事故のうち 90 % は人命に関するリスクを考慮する必要が無く、残りの 10 % が人命に関するリスクの解析において考慮すべき、裁決録により代表される事故（以下、「解析対象事故」と呼ぶ。）と仮定し、解析対象事故一件当たりの死者等の数は 0.05 人程度と考えた。ここで、裁決録から抽出した事故例 577 件（カーフェリーどうしの衝突等を別の事故としたもの）のうち、旅客定員や事故時の乗船者数が記載されている事故例のデータに基づけば、平均で旅客は定員の 18.6 % が乗船していたと推定される。よって、定員が乗船した際の解析対象事故一件当たりの死者等の数は 0.25 人程度と考えた。

次に、被害の程度に基づき、事故をグルーピングした。事故一件当たりの死者等が多いのは、短時間のうちに船が転覆または沈没する場合であり、例えば、荒天や復原性の不足に起因する転覆、浸水を伴う衝突（岸壁等への衝突を含む）、大規模な爆発などがある。こうした事故を"Catastrophic"事故と呼び、被害の程度は「浸水・転覆」事故で代表させ、死者

等の数は乗船者数の 20 % と仮定した。前述の「その他」の事故のうち、人命損失を伴い積載車両に影響しない事故（同ページ左(3)参照。35 件で死者等 18 人）を"Critical"事故と呼び、その死者等の数は 1 件につき 0.5 人（乗船者数によらない）と仮定した。「衝突」、「衝突（単）」、「乗揚げ」、「火災・爆発」及び「その他」のうち船体動揺により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。事故時の旅客数が不明の事故を除いた 431 件の事故における乗船者数等の解析結果に基づき、Marginal 事故については、死者等を伴う確率は 20 %、その際の死者等の数は乗船者数の 0.1 % と仮定した。「火災・爆発」が、車両区域に影響する確率は 30 % とした。Marginal 事故のうち、「火災・爆発」を除いたものを「衝突等」と呼ぶ。衝突等の事故のうち、小規模であることが明記されていない「亀裂、破口、損傷、圧壊」等が、船体の主構造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仮定し、さらに積載車両への影響が明記されている事故を加えたものを「大加速度事故」と呼び、衝突等の事故のうち、30 % と仮定した。機関損傷事故、施設損傷事故及びその他の事故のうち 12 件では人命損失が無視できると考え、これらの事故はまとめて"Negligible"事故とした。

事故例解析結果を丸めて、各事故種の総トン数区分別の発生確率を表 5 の通り仮定した。

表 5 総トン数毎の事故種別発生確率 (%)

事故種類 \ 総トン数区分	- 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

解析対象事故の分類を図 2 に示す。図 2、表 3 及び表 5 に基づき、定員通り乗船した場合の解析対象事故一件当たりの死者等の数の平均値を求めると 0.25 人となる。

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 2 は、危険物の積載が影響しなかった事故を代表すると考えられる。このリスクを基本リスクと呼び、表 6 に示す。

		事故の分類-1	事故の分類-2	死者等	死者等の数
解析対象事故	Catastrophic 事故				乗船者数の 20 %
	Critical 事故				0.5 人
	衝突等	大加速度 30 %	有：60 %	乗船者数の 0.1 %	
			無：40 %	0	
		小加速度 70 %	有：10 %	乗船者数の 0.1 %	
			無：90 %	0	
	火災・爆発	車両区域：30 %	有：20 %	乗船者数の 0.1 %	
			無：80 %	0	
		車両区域以外：70 %	有：20 %	乗船者数の 0.1 %	
			無：80 %	0	
Negligible 事故				0	

図 2 解析対象事故の分類

表 6 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}

3. 調査対象タンク車両の積載によるリスク増加
カーフェリーの事故では、「大加速度事故」と「車両区域に影響する火災事故」がタンク車両に影響を及ぼすと考え、また、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も考慮し、調査対象タンク車両の積載に起因するリスクの増分を求めた。

調査対象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、ガソリンについては「危険物に係る事故事例」⁽⁴⁾のうち「移動タンク貯蔵所」の事故事例を、LPG 等の事故については、高圧ガス保安協会による事故事例データベース⁽⁵⁾を調査した。調査においては、船舶における発生の可能性等を考慮し、事故例を分類・検討した。

「危険物に係る事故事例」には、タンク車両の事故発生確率（台・年当たり）が記載されている。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、年に 365 回タンクに危険物を注入／排出するものと仮定し、且つ、事故の発生に関係するイベントとして「移動開始」と「乗

船」を考えた場合、ガソリンを収納したタンクローリーについては、総トン数区分によらず、一航海一台当たりの火災・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} と推定した。

高圧ガス保安協会による事故事例データベースには 1989～2000 年に発生した 1,142 件の事故例が収録されているが、船上で発生し得ると考えられるタンク車両の事故例は含まれていなかった。そのため、漏洩事故件数を 12 年間に 1 件と仮定し、LPG 及び液体酸素のタンク車両の台数⁽⁶⁾が計 6,567（H9 年 3 月 31 日）であることから、ガソリンの場合と同様の運用形態を仮定し、一航海一台当たりの事故の発生確率を求めたところ、 1.7×10^{-7} であった。

安全対策としての車両の固定の効果を評価するため、大加速度事故時の車両甲板における甲板面方向の最大加速度を推定した。推定においては、裁決録の記述に基づき船舶の衝突前後の速度を仮定し衝突角度を考慮して運動量変化を求め、損傷深さも裁決録の記述に基づき仮定し、加速度を求めた^{(7), (8)}。また、車両の固定が無い場合は 0.1G（大加速度事故の 27 %）、固定がある場合は 0.7 G（大加速度事故の 60 %）の加速度に耐えられると仮定し⁽⁹⁾、固定の効果をモデル化した。また、「移動タンク貯蔵所」の事故例⁽⁴⁾より、船舶の事故によらないタンク車両（ガソリン）からの出火は、乗船前の点検により防止できないと仮定し、漏洩事故は、乗船

前点検により 60 %が防止できると仮定した。

その他、事故例分析を主として、各種の検討を行った結果、図 3～6 及び表 7、8 に示す通り、調査対象タンク車両の積載によるリスクをモデル化した。図 3 において"α"は、調査対象タンク車両または周囲の車両が移動 / 転倒した際に、

調査対象タンク車両から調査対象危険物が漏洩する確率を意味する。この確率値は複数の値を仮定した。ここでは 0.1 と仮定した場合について、調査対象タンク車両の積載による安全対策を実施した場合のリスクの増分（全総トン数区分の船舶の平均値）を表 9 に示す。

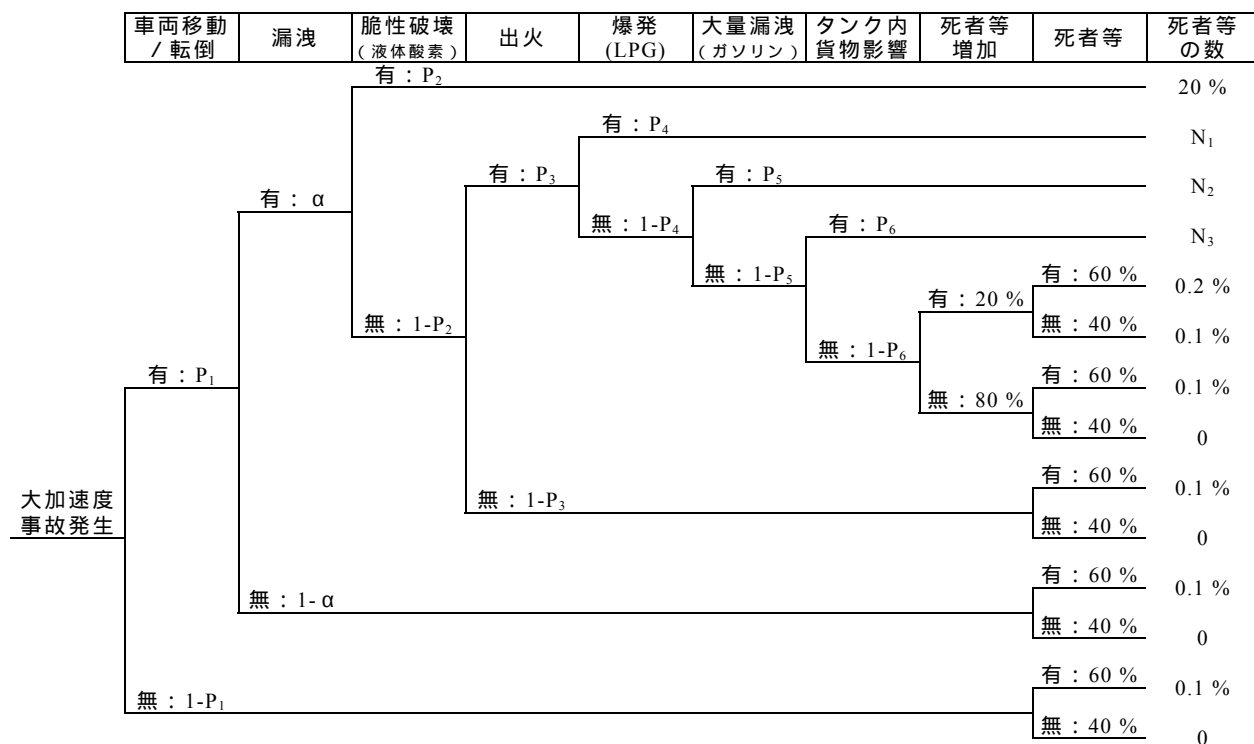


図 3 調査対象タンク車両を積載した際の大加速度事故

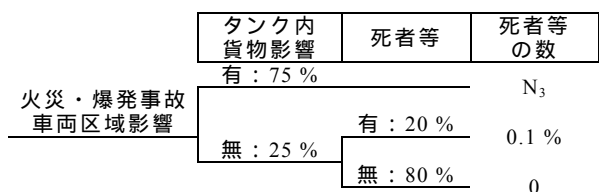


図 4 調査対象タンク車両を積載した際の車両区域に影響する火災・爆発事故

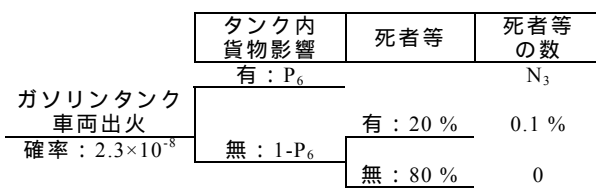


図 5 ガソリタンク車両からの出火事故

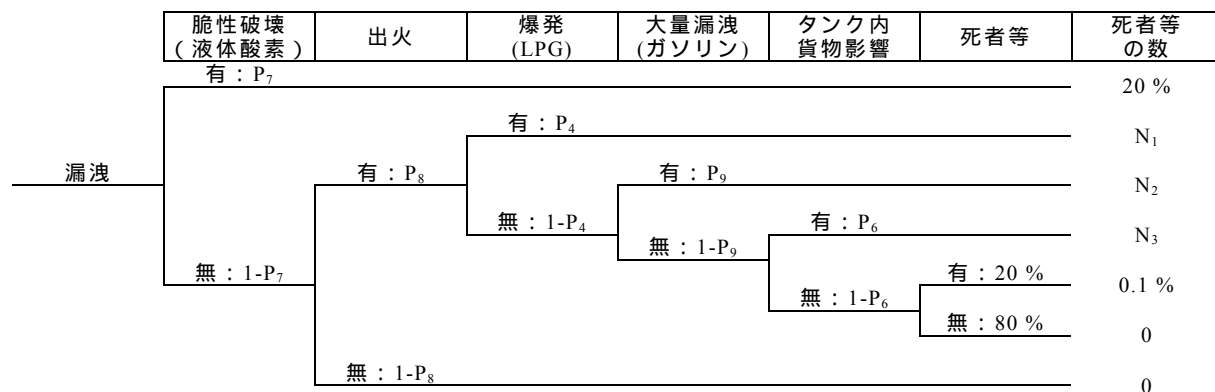


図 6 調査対象タンク車両からの漏洩事故

表 7 各種確率値

	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	5 %	10 %	5 %
P ₇	0	0	15 %
P ₈	3 %	開放型：7 % 閉囲型：10 %	15 %
P ₉	6 %	0	0

表 8 人的被害の期待値

	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 9 タンク車両の積載によるリスクの増分

漏洩 確率	危険物	積載 場所	リスクの増分	
			平均値	一人当
$\alpha=0.1$	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}

4. おわりに

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は 1.4×10^{-5} であった (c.f. 表 6)。一方、閉囲型車両区域への LPG タンク車両の積載によるリスクの増分は、安全対策を実施したとしても基本リスクの 2 倍程度であり、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、ガソリンのタンク車両の積載及び LPG のタンク車両の開放型車両区域への積載は、前述の安全対策を実施すれば、リスクの増分は基本リスクの約 1.3 倍となった。また、IMDG Code で多数の旅客と同時に積載することが認められている灯油等のタンク車両を積載した場合のリスクの増分を同様の手法で推定したところ、特別な安全対策を実施しない場合は、 1.6×10^{-5} であった。このことから、リスクとして許容できるのは、ガソリンのタンク車両の積載及び LPG のタンク車両の開放型車両区域への積載までと言える。

参考のため、交通事故⁽¹⁰⁾について検討した。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、輸送一人当たり 1.1×10^{-7} であり、カーフェリーの基本リスク (c.f. 表 6) の約 2 倍であった。ガソリンのタンク車両を閉囲型車両区域に積載した場合のリスクは、交通事故のそれと同程度であり、LPG のタンク車両を閉囲型車両区域に積載した場合のリスクは、交通事故によるそれを超えることになる。

以上を考慮すれば、液体酸素のタンク車両は多数の乗客を乗せたカーフェリーに積載すべきではなく、LPG のタンク車両は、こうした船の閉囲型車両区域に積載すべきで無いと言える。また、ガソリンのタンク車両を積載する場合及び LPG のタンク車両を開放型車両区域に積載する場合は、タンク車両等の固定や乗船前のタンク車両の点検といった安全対策を実施すべきと言える。

本調査は、国土交通省海事局の委託により実施したものであり、調査に際しては、海事局関係各位から情報を提供していただいた。また、東京大学田村昌三先生からはご助言を賜った。関係者に謝意を表する。

参考文献

- (1) 勝原光治郎 他、「旅客フェリーによる危険物タンクローリーの輸送に関する調査 - 1 離島への危険物輸送の規制緩和の経済効果」、第 3 回海上技術安全研究所研究発表会講演集、2003
- (2) 海難審判庁、「海難審判の実態」、平成 4～13 年版
- (3) 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
- (4) 消防庁、「危険物に係る事故事例」、平成 10、11、12 年版
- (5) 高圧ガス保安協会、平成 13 年度事故事例検索システム
- (6) 通商産業省環境立地局保安課、「高圧ガス保安年報」（平成 8 年度版）
- (7) 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
- (8) V. U. Minorsky, "An Analysis of Ship Collisions With Reference to Protection of Nuclear Power Plants, Journal of Ship Research (SNAME), OCT. 1959
- (9) IMO-A.581(14), "Guidelines for Securing Arrangement for the Transport of Road Vehicles on Ro-Ro Ships", 1985
- (10) (財)交通事故総合分析センター、「交通統計」平成 13 年版