

PS-31 旅客船のリスクベース設計に有効なシミュレーションを用いた火災リスク評価手法

海洋リスク評価系 *金湖富士夫、浅見光史、岡秀行

1. はじめに

SOLAS 等の国際基準の適用が困難な大型旅客船等の設計手法として欧州研究プロジェクト SAFEDOR でリスクベース設計手法が開発された。また、そのためのガイドラインが IMO で承認されて同設計手法による設計が公認された。海上技術安全研究所ではこの動向に対応し、リスクベース設計に使用されるシミュレーション技術等の開発とそれらにより短時間でリスク評価を行うことのできる事故シナリオ作成手法を開発した。ここでは、火災と避難シミュレーションによる居室火災リスク解析を例題として、開発した手法を概説する。

考慮すべき重大な事故シナリオは、火災と浸水が同時に生じた場合であり、その場合は、IHSF 海難データの解析により得られた表 1 にあるように 1 事故当たりの死者数が多いという特徴がある。リスク解析では船体傾斜時の火災の進展の予測と乗船者の避難の推定が必要である。また、考慮すべき事故シナリオの数が多くなるとシミュレーションに要する時間が長くなって、設計のためには不適である可能性が高くなるため、シミュレーションを実施する事故シナリオを極力少なくすることが必要である。

表 1 事故時の平均死者数 (IHSF, 1980 ~ 2010)

		火災		計
		有	無	
浸水	有	16.04(人/件) (=5812/363)	2.42(人/件) (=13935/5764)	3.22(人/件) (=19756/6127)
	無	0.61(人/件) (=2222/3623)	0.10(人/件) (=3482/36628)	0.14(人/件) (=5704/40251)
計		2.02(人/件) (=8043/3986)	0.41(人/件) (=17417/42396)	0.55(人/件) (=25460/46378)

2. 手法概要

シミュレーションの実施回数をできる限り少なくする方法を以下に示す。

- 1) イベントツリーを火災検知とそれに基づく消火および区画化手続きの正否のみの枝から構成されるものとする。
- 2) 1)により作成されたイベントツリーの最終枝に至る過程のすべてに影響を与える要素は場合分け要素としてイベントツリーの外に出し、イベントツリーを簡略化する。
- 3) 火災検知、消火、区画化というイベントツリーの要素には、それらの手続きが成功する場合、成功するまでの時間の確率分布関数を設定する。
- 4) 火災検知、消火、区画化等が成功するまでの時間は短ければ短いほど被害(人命損失)が少ないと仮定する。

1)~4)により作成したイベントツリーを Simplified Event

Tree with Probabilistic Distribution of Time to Success

(SETwithPDTS)と呼び、種々の対策成功時間等のシミュレーション条件を SimVAR と呼ぶことにする。各 SimVAR は、火災による死者数の増加に影響するという観点から、シミュレーションを実施すべき幾つかの値と、その値が代表する区間に分割する。そして、シミュレーションを実施すべき SimVAR の組合せを決定する。これは、ある SimVAR においてその値の大小が、死者数の多少に対応させることができる、という仮定に基づく。そのため、SimVAR を幾つかの区間(SIS: Segment in SimVAR)に分け、各 SimVAR より一つずつ SIS を取り、それらの組合せ(CSIS: Combination of SIS)を作成する。そうすると図 1 にあるように、CSIS 間にそれらによるシミュレーションでの死者数で順序を定義することができる。そうすれば幾つかの代表的な CSIS(RCSIS: Representative CSIS)とそれが代表する CSIS の集合の確率がわかり、RCSIS でシミュレーションを実施すれば、対象船舶の死者数の上限と下限を求めることができる。上/下限に対応する RCSIS を RCSISmax/min と呼ぶ。

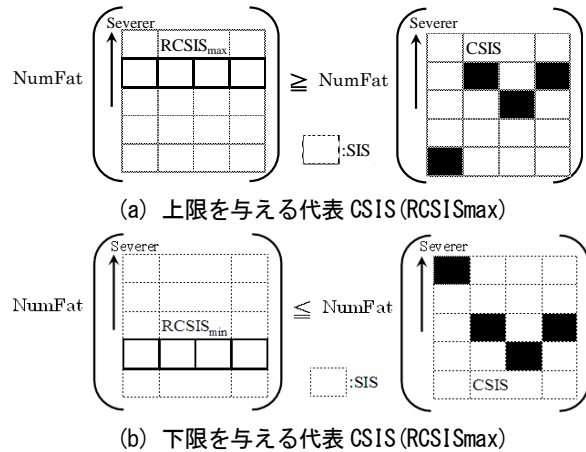


図 1 SimVAR の SIS 分割と死者数の上下限

この方法は、最も区分数の多い SimVAR の区分数+1 だけシミュレーションを実施すれば良いという利点を持つため、シミュレーションが必要な事故シナリオの数を大幅に削減でき、シミュレーションに要する時間が劇的に短縮される。

3. 例題

試算対象船舶の一般配置図(GA)を図一に、避難者の初期分布を図二に示す。得られた SETwithPDTS を図一に、シミュレーション結果とリスク解析に使用した各事故シナリオ毎の死者数を表一に示す。また、リスク解析結果を個人リスクお

よび PLL (Potential Loss of Lives (人/隻年)) を表-1 に、そして、 FN 線図を図 5 に示す。考慮したケースは以下である。

ケース A: 船体傾斜を 0 度と 20 度とし、RCSISmax には 20 度を用い、RCSISmin には 0 度を用いた場合。

ケース B: ケース A に船体傾斜 10 度を加えた場合

ケース C: 船体傾斜を 0 度と 20 度とし、それらを RCSISmax にも RCSISmin にも用いた場合。

4. 結論

上記の方法により、SimVAR の値の可能な組合せすべてで

シミュレーションを実施することに比較すると桁違いに少ない回数で不確実さのある程度評価した火災リスクを評価することが可能となった。この手法によりリスクベース設計がさらに現実的なものとなることが期待される。

参考文献

- 1) Kaneko, F. et al.: A method for analyzing fire risk of passenger ships utilizing simulation technique in risk-based design, Proceedings of IMDC2015, 2015

Case/Deck	Event time	Event	SimVAR (Set release time)	CDF of the time to success (Actual of the bearing to success) (value in (t) were modified after bearing)																
				Success Probability	Success time (object) (sec)	Success time (object) (sec)	Success Probability	Success time (object) (sec)	Success time (object) (sec)	Success Probability	Success time (object) (sec)	Success time (object) (sec)	Success Probability	Success time (object) (sec)	Success time (object) (sec)					
1 case (0 degree)	Failure	Step 1	NO	0.9	5	30														
		Step 2	Success	0.1	17.5	4.2s	1(0.96)	5	7											
		Step 3	Success	0.1	6.0s	0.32s	1(0.99)	180	190	1(0.99)	180	190	200							
	Failure	Step 4	Success	0.1	185s	1.7s	0(0.04)			1(0.99)	180	190	190	200						
		Step 5	Success	0.1	185s	1.7s	0(0.04)			1(0.99)	180	190	190	200						
		Step 6	Success	0.1	185s	1.7s	0(0.04)			1(0.99)	180	190	190	200						

図 2 居室火災の SETwithPDTS

表 2 試算対象船舶の主要目

主要目	値	主要目	値	主要目	値
L _{OA}	90.00 (m)	D	6.30 (m)	乗客	80 (人)
L _{pp}	83.00 (m)	d	4.00 (m)	乗組員	40 (人)
B	13.40 (m)	排水量	2,293 (t)	証書	国際

表 3 シミュレーションの SimVAR と結果

Initial distribution	Normal prob. or Reverse prob.	Time to smoke detection (sec)	Evacuation from fire room (sec)	Evacuation from other room (sec)	Fire door closing (sec)	Hydrant extinguishing (sec)	Num. of fatality (Simulation)		Num. of fatality (Judged)	
							List = 0 deg.	List = 10 deg.	List = 0 deg.	List = 10 deg.
Sequence 2 (Success of sprinkler extinguishing)										
A	Normal	0	11	167				0	0	0
		38	56	215				0	0	0
		70	92	253				0	0	0
		133	161	236				48(0)	0	0
Sequence 3 (Success of fire door closing, Success of hydrant extinguishing)										
A	Reverse	0	11	190	190	190		0	0	32
		38	56	228	226	232		0	0	35
		70	92	262	257	266		0	15	41
		133	161	333	321	333		1	20	53
A	Normal	0	11	166	177	190		0	0	31
		38	56	214	222	232		0	10	34
		70	92	251	257	266		0	15	39
		133	161	321	327	333		1	20	45
Sequence 4 (Failure of fire door closing, Failure of hydrant extinguishing)										
A	Reverse	0	11	190	190	190		32(0)	0	0
		38	56	228	226	232		35(0)	0	10
		70	92	262	257	266		41(0)	0	15
		133	161	333	321	333		53(0)	1	20
A	Normal	0	11	166	177	190		0	0	31
		38	56	214	222	232		0	10	34
		70	92	251	257	266		39(0)	0	15
		133	161	321	327	333		45(2)	1	20
Sequence 5 (Failure of fire door closing, Success of hydrant extinguishing)										
A	Normal	0	11	167		190		0	0	31
		38	56	215		232		0	0	34
		70	92	253		266		0	0	43
		133	161	326		333		1	20	48
Sequence 6 (Failure of fire door closing, Failure of hydrant extinguishing)										
A	Normal	0	11	167		190		0	0	31
		38	56	215		232		0	0	34
		70	92	253		266		0	0	43
		133	161	326		333		1	20	48

表 4 居室リスク解析結果

リスクの表現形	ケースA	ケースB	ケースC
個人リスク			
への上	3.25E-07	2.97E-07	3.82E-08
への寄与分	7.19E-11	1.24E-09	2.29E-08
PLLへの寄与分			
への上	3.90E-05	3.56E-05	4.58E-06
への下	8.63E-09	1.49E-07	2.74E-06

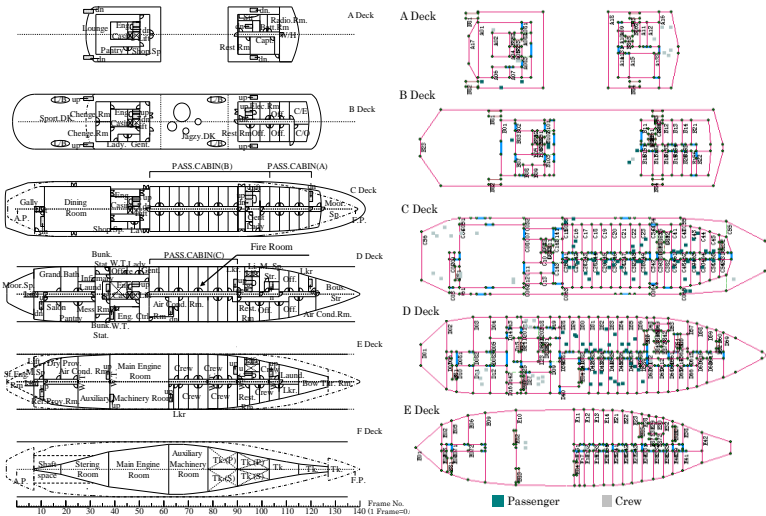
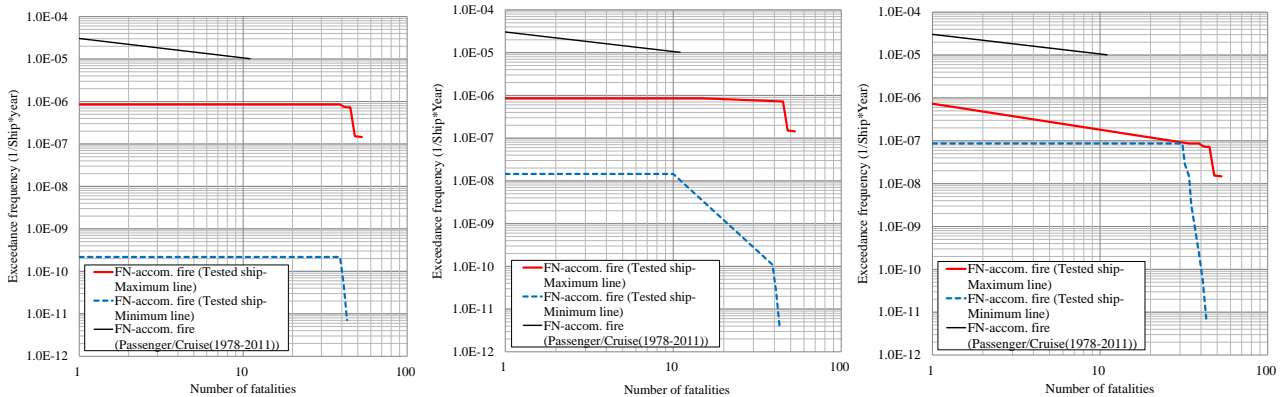


図 3 試算対象船舶の GA

図 4 避難者の初期位置の分布



(a) ケース A

(b) ケース B

(c) ケース C

図 5 居室火災リスクの FN 線図