

セーフティ・アセスメントにおける リスク評価

中野 一夫

1. はじめに

石油代替エネルギーの鍵となる原子力発電所の建設、クリーン・エネルギーとして注目を集めているLNG(液化天然ガス)基地の建設、および、化学プラントの規模の膨大化。これらプラントは、万一、事故、災害が発生すれば、プラント周辺の住民に重大な影響を与える恐れがある。しかし、われわれは、エネルギー・コストの面等から考えれば、非常に便益を得ることになる。すなわち、これら新技術開発にもなうリスクは、便益の代償ともいえる。そこで、リスクの定量化や、社会的評価を行ない、総合的な安全性を評価しようとする目的で、セーフティ・アセスメントが注目されている。

2. セーフティ・アセスメントとは

セーフティ・アセスメントは、図1に示す3つの要素で構成される。ここでリスク同定とは、新しいリスクの要因、その因果関係を明らかにすることである。

リスク推定とは、ある事象の発生確率の値、その結果より生ずる損害を予測することである。

社会的評価とは、個人、団体、社会が、ある便益を得るために、どの程度のリスクを受けるかを評価することである。

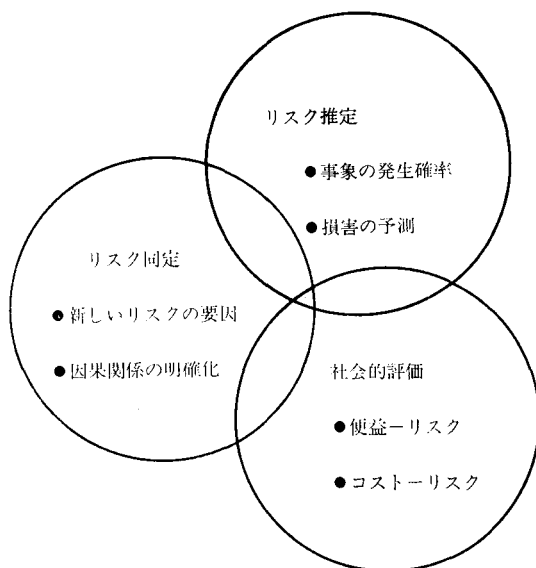


図1 セーフティ・アセスメントの要素

この中で、リスク推定は、リスクの定量化という面で重要な要素である。セーフティ・アセスメントでのリスクは、通常次の式で定義される。

$$\text{リスク} = (\text{事故の発生確率}) \times (\text{その事故が発生した時の災害の大きさ})$$

すなわち、

$$\text{そのシステムの実際の危険度} = (\text{システムの信頼度}) \times (\text{潜在的危険度})$$

と考えられる。

システム設計者の努力は、原子力発電や、航空機のように潜在的危険度の大きなものはシステムの信頼度を向上させ、事故の発生確率を最小化させることにより実際の危険度を最小化することに

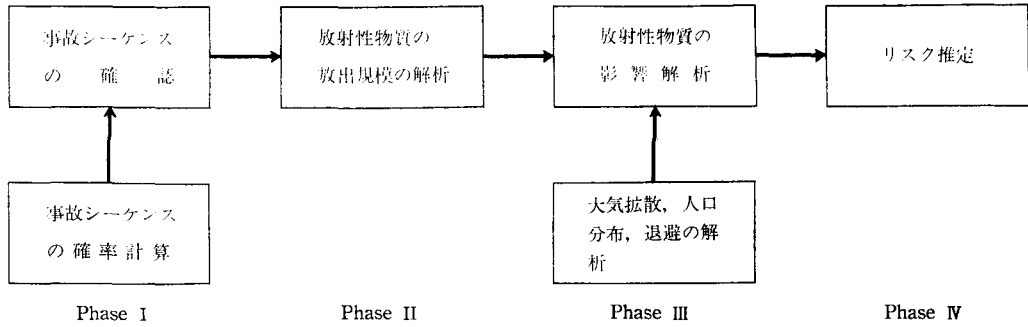


図 2 原子力発電所のリスク推定プロセス

ある。

リスクを定量化するためには、各種の分野の技術が必要となる。たとえば原子力発電所のリスク推定は図 2 に示すプロセスで実施される。

この中で、特に OR と関係するのは、事故の発生確率を求めるための信頼性評価手法である。(図 2 の Phase I の部分)

3. システム信頼性解析の手法

セーフティ・アセスメントで使用されている信頼性解析手法の比較を図 3 に示す[1]。

1974年 8 月当時の米国原子力委員会が「米国における原子力発電所の事故リスク評価」の研究結果として発表した WASH-1400[2]の中では、想定した事故(起因事象)の経過が系統・施設等の作

動・不動作状況によってどのように変化するかを体系的に同定するためにイベント・ツリー手法が使用された。

また、系統・施設等の不動作(機能喪失、使用達成不能など)の原因をさかのぼって基本事象(たとえば、電動弁開失敗)まで調べ、システム・モデリングを行なう手法としてフォールト・ツリー解析手法が使用された。このアプローチは、その後の原子力分野の安全性評価法に大きな影響を与えている。

システム・モデリング手法としてのフォールト・ツリー解析の利点は次のとおりである。[3]

- ①あらゆる故障を探し出すことができる。
- ②興味の対象とする故障に限って重要な箇所をシステムの中からぬき出すことができる。

	FMECA	F T A	E T A
解析原理	帰納法	演えき法	帰納法
解析結果	定性、定量的	定量的	定量的
上位レベル (装置の火災、 爆発)	(影響)	トップ事象	(小災害)
中位レベル (流量、圧力 の変動)			引き金事象
下位レベル (弁、ポンプ の故障)	要素故障	(原因)	成功 (中災害) 失敗 (大災害)

FMECA: 故障モード・影響・致命度解析
 FTA: フォールト・ツリー解析
 ETA: イベント・ツリー解析

図 3 信頼性解析手法の比較

表 1 リスクに対する人間の態度(WASH-1250)

一般公衆に対する死亡リスク・レベル	人間の態度
10^{-2} /年	過大なリスクと考え、リスク減少への行動 ex. 病気(がん)
10^{-4} /年	リスク減少のための支出は行なう ex. 交通事故
10^{-5} /年	気にはしている。リスクを避けるために注意はする。 ex. 溺死
10^{-6} /年	天災(an Act of God) ex. 航空機事故, 鉄道事故

- ③システムの設計変更にもなって生じる信頼性上の問題の検討を目視できる形で提供できる。
- ④システム信頼性解析の道具として定性的にも定量的にも使用できる。
- ⑤一時的にある特定のシステム故障だけに注目して解析を進めることができる。
- ⑥システムのふるまいに対して洞察力を与える。

この他、つけ加えなければならないことは、1970年以後、各種のプログラムが開発され、計算機を用いたフォールト・ツリー解析が容易になったことであろう。

4. リスク許容レベル

リスク推定値の評価を行なうためにはリスク許容レベルの設定が重要である。米国で実施されている原子力、LNG基地のリスク評価では、社会にすでに在存しているリスクの調査・分析を行ない“許容リスクレベル”の考え方から、原子力、LNG基地の建設によるリスクと比較し評価している。

WASH-1250[4]には、リスクに対する人間の態度の調査結果がまとめてあり、許容リスクに対する1つの基準を設定している。

それを整理すると表1のようになる。

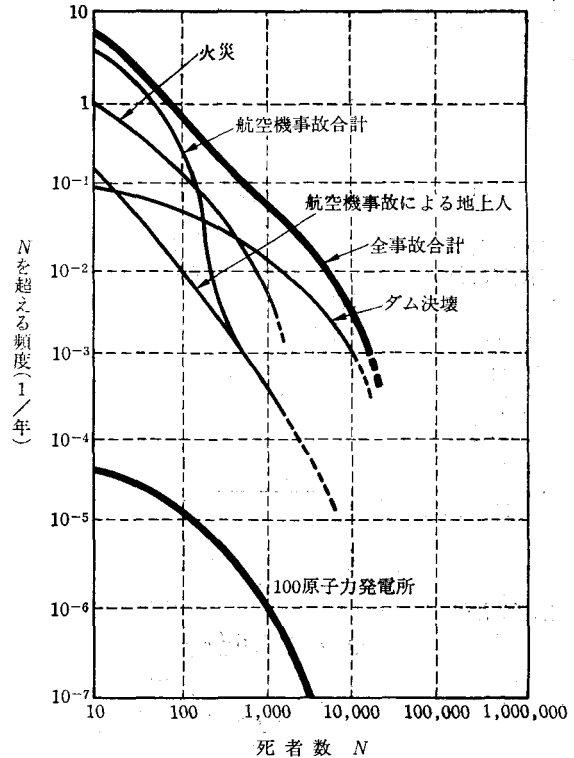


図 4 名種の社会災害と原子力発電所事故による死者数の比較(WASH-1400)

WASH-1400では各種の社会災害と原子力発電所事故による死者数の比較を行なっている。(図4)これは原子力発電所による死亡リスク・レベルは、既存の種々の社会リスクに比較して非常に小さく、100基の原子力発電所の運転を行なっても社会リスクに有意な増加をもたらすことはないことを示している。

5. おわりに

セーフティ・アセスメントの最終目標は社会的評価である。社会に容認されるリスクの限度を求めるとは、それともなり利益、すなわち、リスクと便益、リスクと費用の関係を考慮し、個人、あるいは団体、社会が、ある便益を得るためにどの程度のレベルのリスクを受け入れるかという問題を解決しなければならない。この問題には一般的には、

- ①リスクを最小化する。
- ②便益を最大化する。

③費用を最小化する。

という複数の目標を考慮した最良な意思決定を行なわなければならないという多目標問題となるであろう。この問題を定量的に評価する手法の確立が今後のセーフティ・アセスメントの残された課題であろう。

最後に、本テーマに関して、日頃、ご指導、ご援助いただいている岡山大学佐山隼敏教授、日本原子力研究所安全解析部リスク評価解析室、飛岡利明室長をはじめとする諸研究員方および、構造計画研究所OR研究室、三矢直城、清田三紀雄、本田龍也の3君に心から感謝する所である。

参 考 文 献

- [1] 佐山隼敏：システム信頼性解析. 電気学会誌100巻7号(昭和56年7月), 11—14
- [2] U. S. Nuclear Regulatory Commission : *Reactor Safety Study-An Assessment of Accident Risk in U. S. Commercial Nuclear Power Plants* (WASH-1400). NUREG-75/014, 1975
- [3] 石井博司, 飛岡利明, 中野一夫：信頼性予測のためのフォールト・ツリー手法の有効性. オペレーションズ・リサーチ, Vol. 28. No. 1 (1983年1月) 32—40
- [4] Atomic Energy Commission : *The Safety Nuclear Power Reactor and Related Facilities* (WASH-1250). AEC, 1973