

# 安全マネジメント 第2回

## リスク評価

Risk Analysis

長岡技術科学大学

大学院技術経営研究科

システム安全専攻

実務家教授 山形 浩史

yamagata@vos.nagaokaut.ac.jp

1

---

## Discussion: なぜリスク評価を行うのか？

- 想定外を少なく： 網羅的、体系的に考える
- 効果的な安全対策を立案： 定量的に考える

2

# 1. マトリクス方式

厚生労働省委託平成24年度リスクアセスメント研修事業テキスト「リスクアセスメント担当者養成研修」より抜粋

3

## リスクアセスメントの手順（マトリクス方式）

### (1) 危険性又は有害性の特定

作業標準等に基づき、必要な単位で作業を洗い出した上で、各作業における危険性又は有害性（ハザード）を特定。

### (2) リスクの見積り

（第1段階）

「災害になる可能性」と「災害になったときの怪我の程度」を、事業場であらかじめ定められた区分基準にしたがって区分します。

（第2段階）

上記の2つの区分をもとに、別に定められた見積表をもとに、リスクを見積もり

### (3) リスク低減措置の検討

リスクの見積りにより決定されたリスクレベル（優先度）に従い、優先度の高いものからそのリスクを低減させる措置を、①本質的対策、②工学的対策、③管理的対策、④保護具の順に検討。

### (4) 優先度に対応したリスク低減措置の実施

### (5) 結果の記録

4

# 危険性又は有害性の特定の留意点

- ① 対象作業取扱いマニュアルや作業手順書を用意(それらが無い場合は、作業の概要を書き出す)。
- ② 対象作業をわかりやすい単位で区分。
- ③ 日常の仕事とは違う目、すなわち危険がないかという目で、現場を観察(過去に起こった災害は、そんなことが起きるわけがないと思われるような災害が多い)。
- ④ 機械や設備は故障し、人はミスを犯すということを前提に作業現場を観察。
- ⑤ 危険性又は有害性の特定に当たっては、これによって発生する災害について、次の「リスクの見積り」を適切に行うため、労働災害に至る流れを想定して「～なので、～して、～になる」という形で書き出す。

5

# リスクの見積りの留意点

- ① リスクの見積りは、極力複数の人で実施。多様な観点がより適切な見積り。
- ② リスク見積りのメンバーのリーダーは、必ずしも上位職の者とはかぎらない。作業内容を最もよく知っている人が。
- ③ リーダーは意見の調整役に徹する。
- ④ 現在行っている安全対策を考慮してリスクの見積りを行う。
- ⑤ リスクの見積りにあたっては、具体的な負傷・疾病を想定。
- ⑥ 見積りがばらついた時は、よく意見を聞いて調整(メンバーの経験、知識、年齢、性別等それぞれ違うので、バラつくのが当然)。見積りは平均や多数決ではなく、グループで話し合い、合意したものに。
- ⑦ 見積りは、説明のつくものでなければならない。
- ⑧ 過去に発生した災害の重篤度ではなく、最悪な状況を想定した重篤度で見積もる。
- ⑨ 見積りはグループの中で、最もリスクを高く見積もった評価を出した人からよく意見を聴き、メンバーの納得のもとに採用。

6

# リスクの見積もり(第一段階)

## (1) 負傷又は疾病の重篤度の区分

重篤度(災害の程度)	被災の程度・内容の目安
致命的・重大 ×	・死亡災害や身体の一部に永久的損傷を伴うもの ・休業災害(1ヵ月以上のもの)、一度に多数の被災者を伴うもの
中程度 △	・休業災害(1ヵ月未満のもの)、一度に複数の被災者を伴うもの
軽度 ○	・不休災害やかすり傷程度のもの

## (2) 負傷又は疾病の発生の可能性の区分

危険性又は有害性への接近の頻度や時間、回避の可能性等を考慮して区分

発生の可能性の度合	内容の目安
高いか比較的高い ×	・毎日頻繁に危険性又は有害性に接近するもの ・かなりの注意力でも災害につながり回避困難なもの
可能性がある △	・故障、修理、調整等の非定常的な作業で危険性又は有害性に時々接近するもの ・うっかりしていると回避できなくて災害になるもの
ほとんどない ○	・危険性又は有害性の付近に立ち入ったり、接近することは滅多にないもの ・通常の状態では災害にならないもの

# リスクの見積もり(第二段階)

## リスクレベル(優先度)の判定(見積表)

可能性 \ 重篤度	軽度 ○	中程度 △	重大 ×
高い ×	II	III	III
可能性ある △	I	II	III
ほとんどない ○	I	I	II

III(重大なリスク)、II(速やかにリスク低減必要)、I(必要に応じてリスク低減)

# リスクの程度に応じた対応措置

リスクレベル (優先度)	リスクの程度	対応措置
Ⅲ	直ちに解決すべき、又は重大なリスクがある。	措置を講ずるまで作業停止する必要がある。 十分な経営資源(費用と労力)を投入する必要がある。
Ⅱ	速やかにリスク低減措置を講ずる必要のあるリスクがある。	措置を講ずるまで作業を行わないことが望ましい。 優先的に経営資源(費用と労力)を投入する必要がある。
Ⅰ	必要に応じてリスク低減措置を実施すべきリスクがある。	必要に応じてリスク低減措置を実施する。

9

## 演習1

2グループに分かれ、2種類の演習用作業例から1つを選択します。

この作業例について、「リスクアセスメント実施一覧表」(演習用紙)を使用して以下のことをグループで実施(時間は目安)。

- ① 個人で「2危険性又は有害性と発生のおそれのある災害」を考え、記入(3分)
- ② 個人でリスクアセスメント実施一覧表の3～7欄への記入(8分)
- ③ グループ検討(12分)  
記入した内容についてグループで検討し、統一。
- ④ グループごとの発表(各グループ5分)

# 演習作業例



他者の近くでアーク溶接



高所でのアーク溶接

## A. 溶接作業

フォークリフト荷役作業



## B. 荷役作業

シート掛け作業



11

## 2. 故障モード影響解析

12

# 故障モード・影響解析 (Failure mode and effects analysis: FMEA)

FMEAは、システムをいくつかのサブシステムに分け、各サブシステムの故障モード毎に、システムへの影響、発生頻度、検出方法、原因、対策などを体系的にワークシートに整理するもの。

影響度、発生頻度を1～10の数値で評価し、その積を重要度とする場合もある。

影響度の評価点数

影響度	
10	致命的, 死傷, 破壊
8	重大, 機能喪失, 後遺症
6	機能低下, 怪我
4	軽微, 軽傷
2	極小, 無視できる

発生頻度の評価点数

発生頻度	
10	発生頻度が非常に高い
8	発生頻度が高い
6	ときどき発生する
4	少ないが発生する
2	ほとんど発生しない

出典: 松岡猛、FMEA実施手順

13

## 例: スターリングエンジンのFMEA 定量的に

網羅的、体系的に

番号	構成品	品名	故障モード	推定原因	影響			発生頻度F	故障等級 (E×F)	備考
					構成品への影響	全体への影響	影響度E			
1	ヒータ	ヒータ管	亀裂発生	過圧 ヒートスポット発生	機能停止	作動ガス漏れ 機能停止	8	4	32	要注意
		フランジ	破損	過圧	機能停止	破裂 機能停止	10	2	20	
		燃焼ガス流路	破損	ヒートスポット発生 クリープ	性能低下	燃焼ガス漏れ 性能低下	6	6	36	要注意
2	再生器	マトリックス	摩耗	作動ガス高温化	性能低下	性能低下	4	6	24	やや注意
		ハウジング	破損	過圧	機能停止	作動ガス漏れ	10	2	20	
3	クーラ	クーラ管	亀裂発生	腐食	機能停止	作動ガス漏れ 機能停止	6	2	12	
		フランジ	破損	過圧	機能停止	破裂 機能停止	10	1	10	
		冷却水流路	破損	腐食	性能低下	冷却水漏れ	4	6	24	やや注意
4	ピストン	ピストンリング	異常摩耗	荷重過大	性能低下	性能低下	6	4	24	やや注意
		ピストン	シリンダとの接触	駆動部破損 ねじの緩み	性能低下	性能低下	8	2	16	
5	シリンダ	ライナー	異常摩耗	荷重過大	性能低下	性能低下	4	2	8	
		カバー	破損	過圧 高温化	機能停止	破裂 機能停止	10	2	8	
6	クランク機構	シャフト	破損	荷重過大 ねじり過大	機能停止	機能停止	10	2	8	
		軸受	破損	潤滑不調 荷重過大	機能停止	性能低下	6	2	8	

出典: 松岡猛、FMEA実施手順

14

## 演習2 FMEAワークシート作成 手動操作によるスプリンクラー起動

構成要素	失敗モード	影響		発生頻度	優先度	原因	対策
		全体への影響	影響度				
手動操作によるスプリンクラー起動	起動忘れ						
	起動遅れ						
	流量不足						
	誤起動						
	.....						

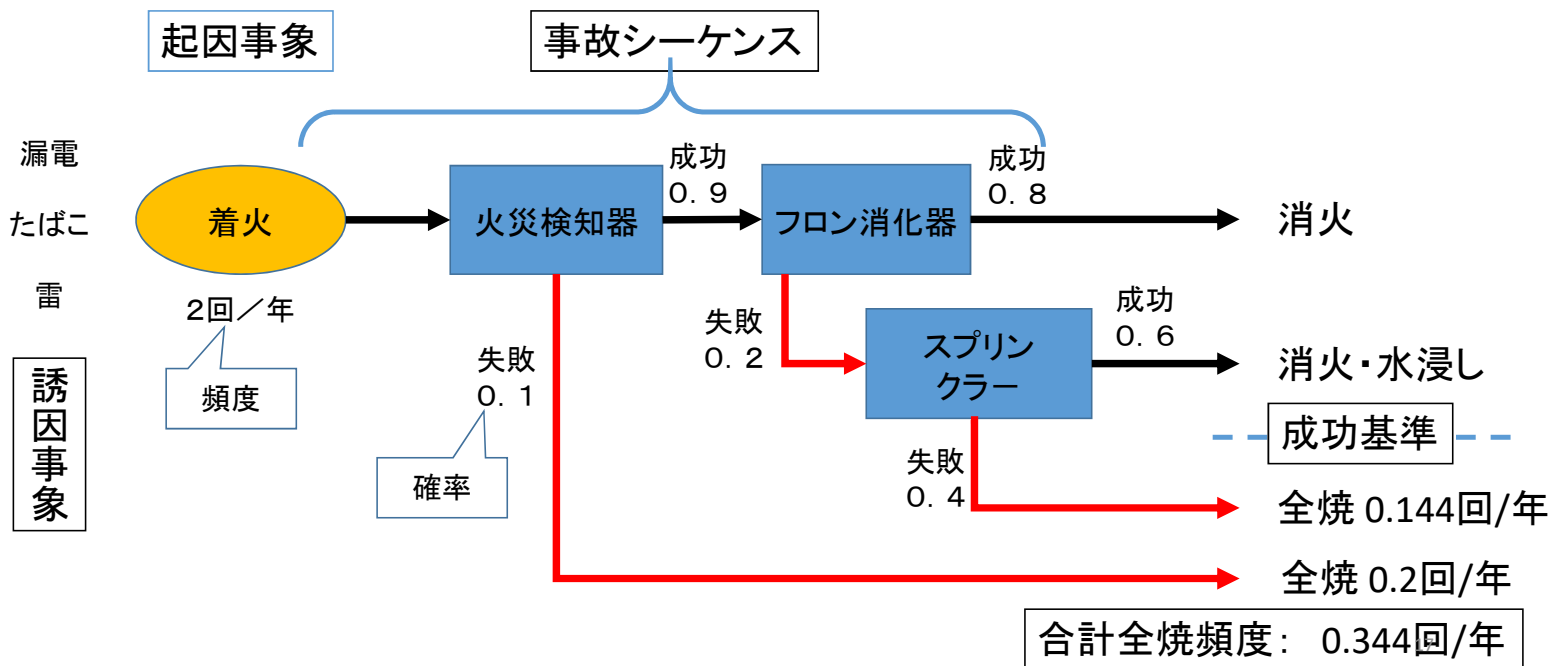
15

### 3. 確率論的リスク評価

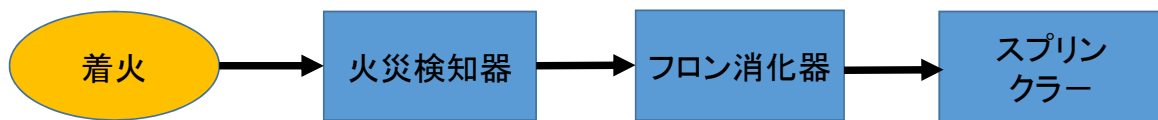
16



# 確率論的リスク評価(例:工場の火災)



# イベント・ツリー解析(ETA)



起因事象	火災検知器	フロン消化器	スプリンクラー		
		成功		消火	
		0.8		1.44	
	成功		成功	消火・水浸し	
	0.9		0.6	0.216	
		失敗		全焼	
		0.2		0.144	
			失敗	全焼	
			0.4	0.2	
火災発生					
2回/年					
	失敗			全焼	
	0.1			0.2	
				合計全焼頻度	0.344回/年

# 演習3-1

火災検知器に加えて、警備員が一時間に1回巡視を行います。  
このイベント・ツリーを作成してください。巡視による火災発見の成功確率は0.5とします。

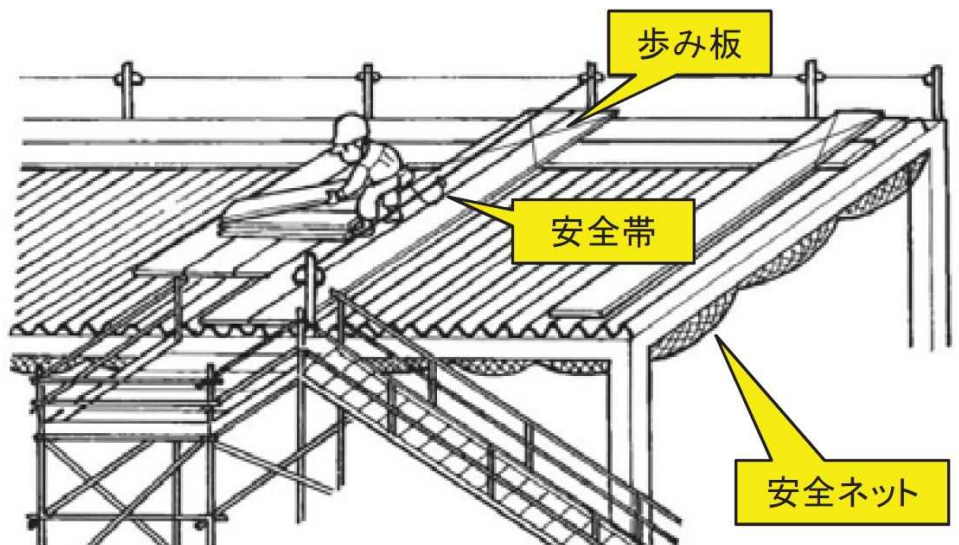
起因事象	火災検知器	フロン消火器	スプリンクラー	
		成功		消火
		0.8		1.52
	成功		成功	消火・水浸し
	0.9		0.6	0.228
火災発生		失敗		
2回/年		0.2		
			失敗	全焼
			0.4	0.152
	失敗			全焼
	0.1			0.1
		失敗		
		0.5		
			合計全焼頻度	0.252回/年

19

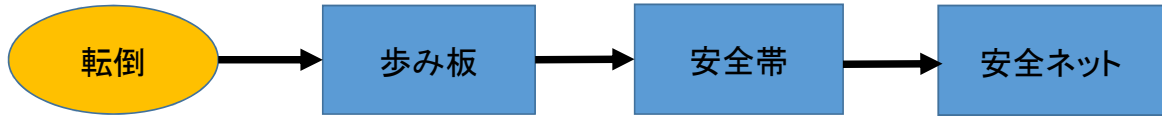
# 演習3-2 イベント・ツリーを作成

高所作業での転落事故は後を絶ちません。

屋根上での作業についてイベント・ツリーを作成してください。成功確率等は各自で想定すること。



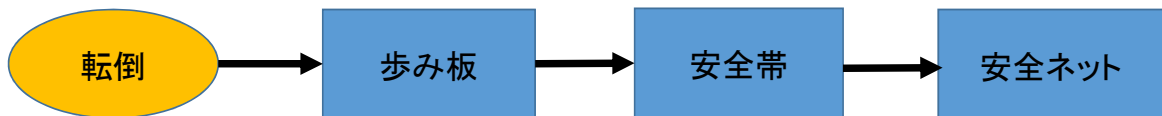
# イベント・ツリー解析(ETA)



起回事象	歩み板	安全帯	安全ネット		
転倒	成功			擦り傷	
	0.6			0.6	
	1回/日	成功			打撲
		0.4	成功		0.36
		失敗		捻挫	
			成功	0.032	
			失敗		
				重症	
			0.2	0.008	
合計重症頻度				0.008 回/年	

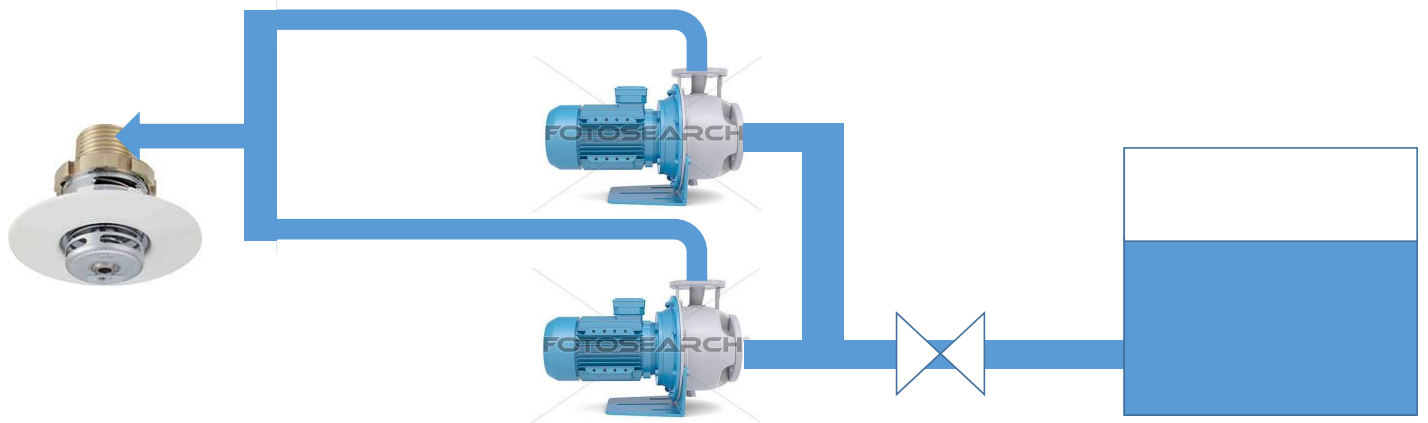
Discussion:  
リスク評価は？

# イベント・ツリー解析(ETA)+リスク評価



起回事象	歩み板	安全帯	安全ネット	頻度	重症度	リスク	
転倒	成功			擦り傷			
	0.6			0.6	1	0.6	
	1回/日	成功			打撲		
		0.4	成功		0.36	5	1.8
		失敗		捻挫			
			成功	0.032	10	0.32	
			失敗				
				重症			
			0.2	0.008	100	0.8	
合計重症頻度				0.008 回/年		3.52 重症度・回/年	

# スプリンクラーの失敗確率？

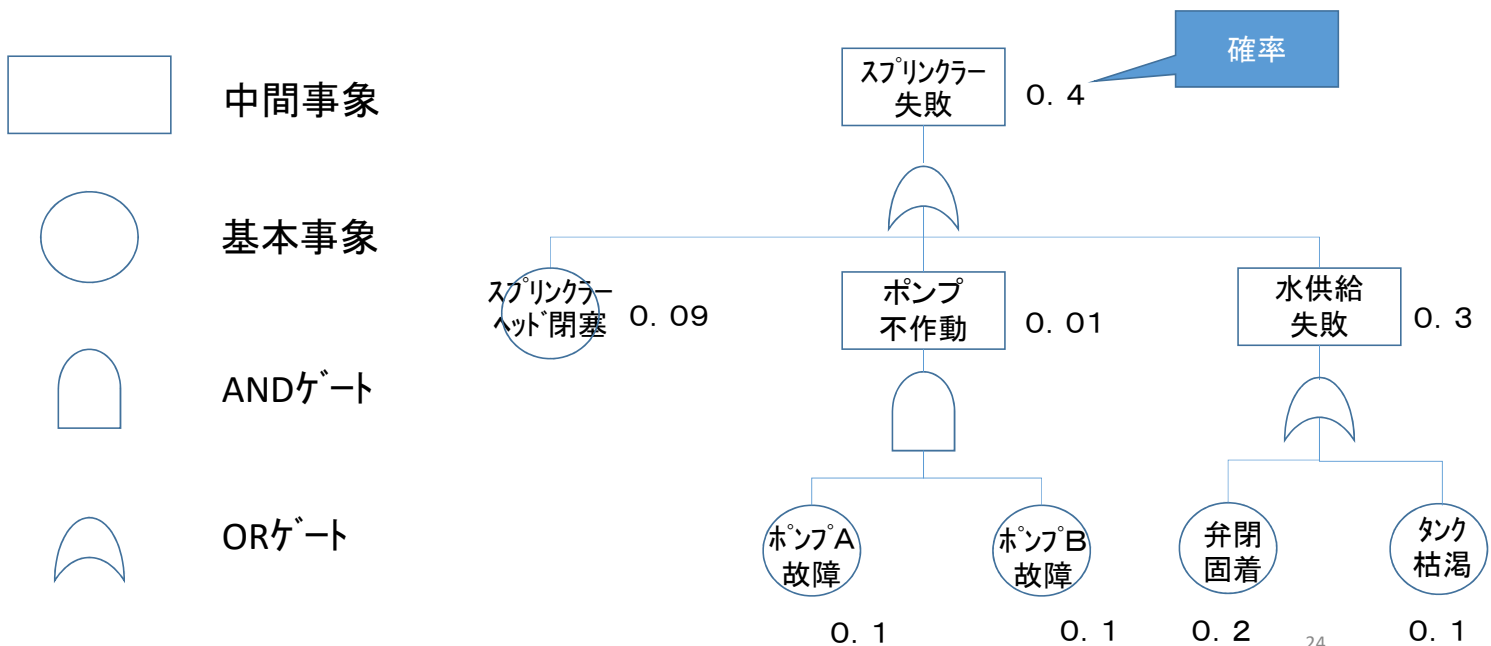


スプリンクラーヘッド  
が閉塞

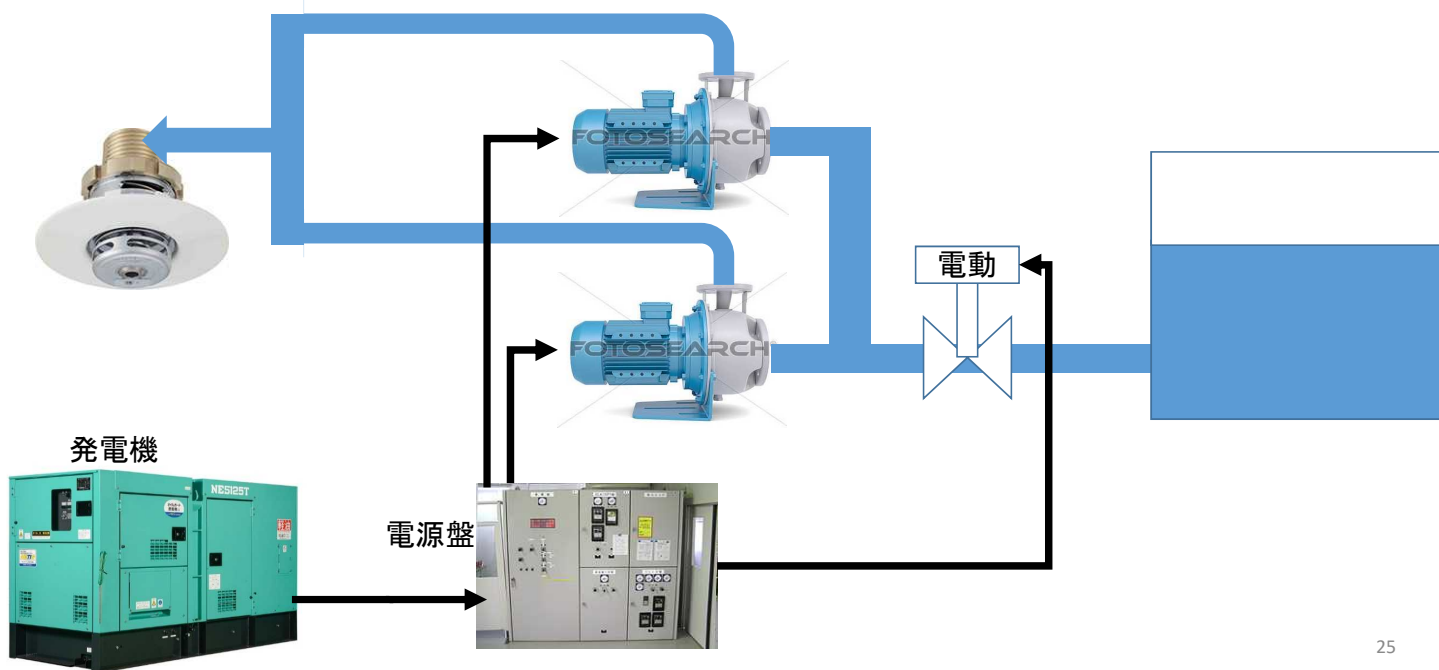
ポンプが動かない

水が供給されない

# フォールトツリー解析 (FTA)

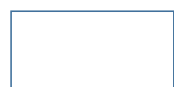


# 演習4 FTA図を書きましょう

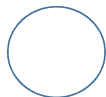


25

## FTA解析： サポート系



中間事象



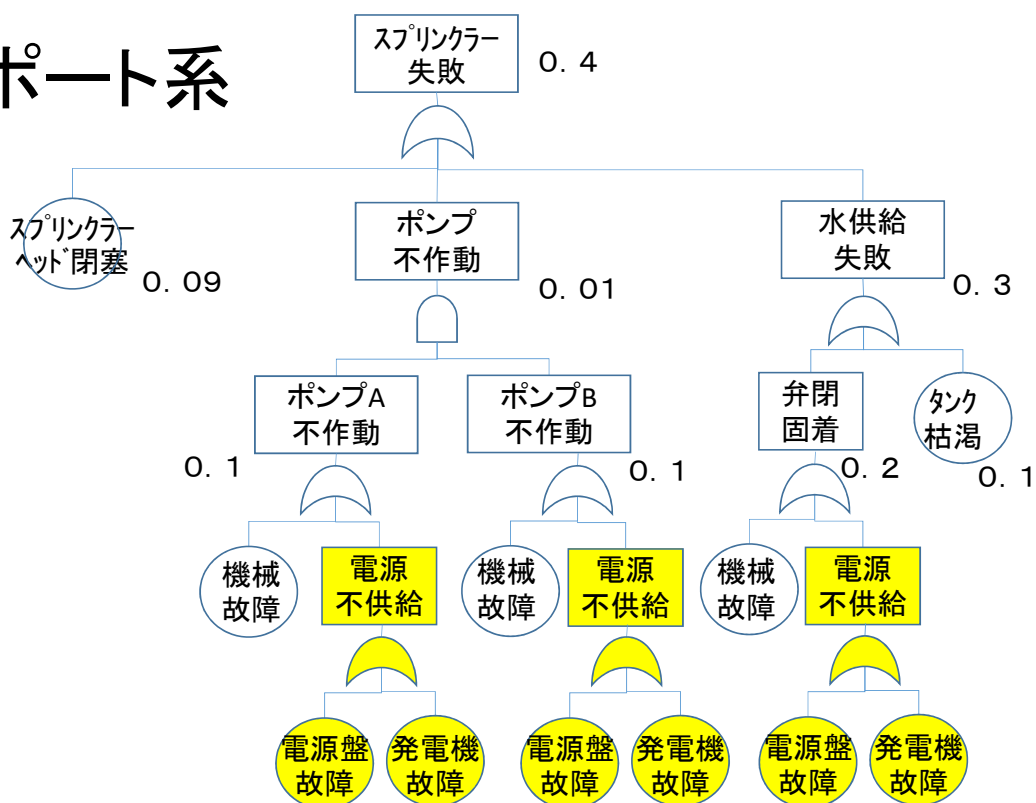
基本事象



ANDゲート



ORゲート



26

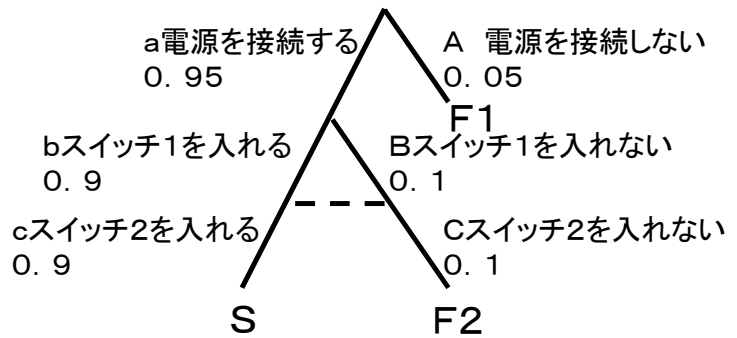
# ヒューマンエラーの発生確率

THERP (Technique for Human Error Rate Prediction)

- ① 必要な情報の収集
- ② 作業分析
- ③ 作業イベントツリーの構築
- ④ 基本エラー率の割当
- ⑤ 行動形成因子の評価
- ⑥ ステップ間の従属性の評価
- ⑦ 作業失敗確率の計算
- ⑧ 回復効果の補正
- ⑨ 感度解析と不確かさ評価

【例題】

装置に電源を接続し、スイッチ1、スイッチ2を入れる。  
どちらかのスイッチが入れば成功。



Discussion: 失敗確率(ヒューマンエラー率HEP)を求めよ

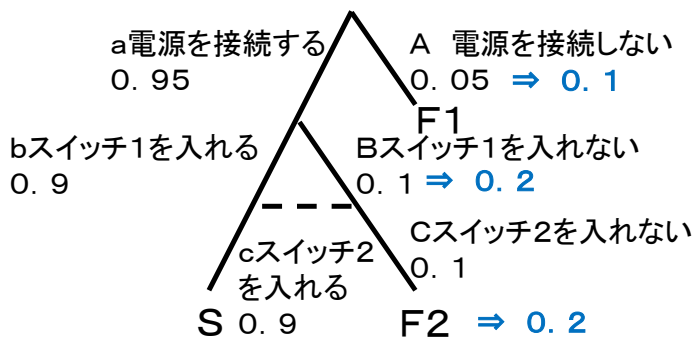
$$HEP = 0.05 + 0.95 \times 0.1 \times 0.1 = 0.06$$

出典: 吉田一雄、安全学入門

27

## 演習5-1 行動形成因子

装置に電源を接続し、スイッチ1、スイッチ2を入れる。  
どちらかのスイッチが入れば成功。



Discussion:

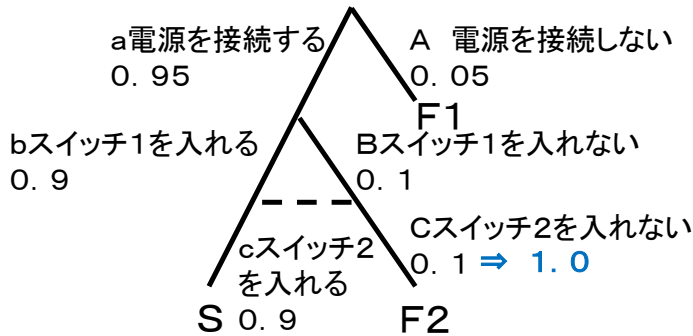
事故のストレスで基本エラー率が倍に  
HEPを求めよ

$$HEP = 0.1 + 0.95 \times 0.2 \times 0.2 = 0.14$$

28

## 演習5-2 従属性モデル

装置に電源を接続し、スイッチ1、スイッチ2を入れる。  
どちらかのスイッチが入れば成功。



Discussion:

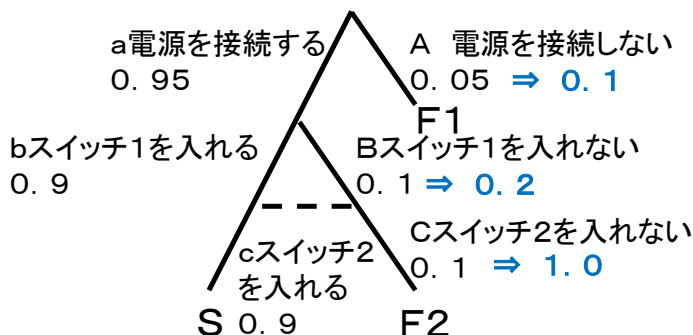
スイッチ1で失敗すれば、スイッチ2でも  
失敗  
HEPを求めよ

$$HEP = 0.05 + 0.95 \times 0.1 \times 1.0 = 0.15$$

29

## 演習5-3 行動形成因子 & 従属性モデル

装置に電源を接続し、スイッチ1、スイッチ2を入れる。  
どちらかのスイッチが入れば成功。



Discussion:

事故のストレスで基本エラー率が倍に  
&  
スイッチ1で失敗すれば、スイッチ2でも  
失敗  
HEPを求めよ

$$HEP = 0.1 + 0.95 \times 0.2 \times 1.0 = 0.3$$

30

## (参考)安全性評価手法の種類と適用(1)

主な安全性評価手法 適用目的	潜在危険性・危険源 の特定	設備・結果 事象の危険 度ランク	既存安全 対策の確 認・評価	システム の弱点 解析	故障・緊急 事象・事故 の頻度解析	備考
(1)チェックリスト(CL)	○		○			主要な危険性項目ごとに潜在危険性の把握、必要な対策の有無および適切さを質問形式により確認
(2)相対的危険度評価(RR)		○	○			主要な危険性項目に点数を割り当て、その合計点によって危険度ランクを決定
(3)予備的危険性評価(PHA)	○	○	○			立地特性、危険物性、その他の主要危険性項目について、おおまかな潜在危険性を把握
(4)What-If(WI)	○	○	○			故障、誤操作、外乱等のWhat-If質問を創出し、それらから起こる危険事象を特定
(5)What-If/チェックリスト(WI/CL)	○	○	○			チェックリストとの併用によりWhat-If質問の抜け落ちを補完し、それらから起こる危険事象を特定
(6)HAZOP	○	○	○			HAZOPガイドワードによりプロセス異常(ずれ)を網羅的に設定し、それらの原因と最終危険事象を特定

31  
出典:松岡俊介、プラントの安全性評価

## (参考)安全性評価手法の種類と適用(2)

主な安全性評価手法 適用目的	潜在危険性・危険源 の特定	設備・結果 事象の危険 度ランク	既存安全 対策の確 認・評価	システム の弱点 解析	故障・緊急 事象・事故 の頻度解析	備考
(7)故障モード影響(重大性)解析(FME(C)A)	○	○	○		○	計機器の故障モードを設定し、それらから起こるシステム機能への影響、危険事象を特定
(8)フォルトツリー解析(FTA)			○	○	○	望ましくない危険事象を想定し、その発生過程(因果関係)、基本要因を演繹的に特定
(9)イベントツリー解析(ETA)			○	○	○	望ましくない危険事象を初期事象として想定し、その進展過程(災害拡大)、最終結果事象を帰納的に特定
(10)原因結果解析(CCA)			○	○	○	FTAとETAを組み合わせて、望ましくない危険事象の基本要因と最終結果事象を特定
(11)作業安全解析/誤操作解析(JSA/HRA)	○	○	○			ヒューマンファクターに焦点をあてたタスク分析により、誤操作の発生要因を特定

32  
出典:松岡俊介、プラントの安全性評価