

プロセス安全工学

第8回プロセス安全評価

安全性と信頼性

HAZOP

方策

段階

調査・検討項目

反応危険性試験
ベンチスケールテスト

研究開発

物質危険性の把握
操業限界条件把握

予備的危険解析

設備計画

関連法規・基準の調査
立地場所の自然環境条件
プロセス固有の危険性
オペレータの質・員数

プロセス安全性解析
・チェックリスト
・HAZOP
・What if
・FTAなど

基本設計

プロセス危険性の把握
安全システム基本仕様

詳細設計

基本設計仕様に基づく
安全システム細部設計

棄権予知訓練
プロセス危険予知
ヒヤリハット報告

操業

設備管理基準の整備
安全操業基準の整備

化学プラント構成機器

プロセスを制御するシステム

脳

情報伝達ネットワーク

神経系統

ポンプ、コンプレッサなどの輸送機械 . . .

心臓

単位操作機器（反応器、蒸留塔、など） .

内臓

配管

血管

プラント機器を保持する構造体

骨格

信頼性と安全性

- 信頼性
 - 「システム、製品、部品などが既定の条件の下で規定の機能を遂行する確率により表される特性」
 - その確率を「信頼度」として定義。
- 安全性
 - 人員の負傷や死亡、あるいは機器、資材などの損傷、喪失を引き起こす状態がないこと。

信頼性の理論 (1) …故障の数量的取り扱い ← 確率・統計

累積故障確率 $F(t)$ $F(t) = N_f(t) / N_0$

(不信頼度)

総数 : N_0 故障数 : N_f

正常数 : N_s 故障密度 : $N_s(t) = N_0 - N_f(t)$

$f(t)$

信頼度関数 $R(t)$ を定義

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt$$

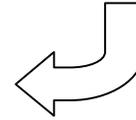
$$R(t) = N_s(t) / N_0 = 1 - F(t)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \frac{1}{N_0} \frac{dN_s(t)}{dt} = - \frac{dF(t)}{dt} = -f(t)$$

信頼性の理論 (2)

時刻 t に残存する個数に対し、引き続き単位時間に故障する個数の割合

瞬間故障率(故障確率) を定義



$$\lambda(t) = \frac{1}{N_s(t)} \frac{dN_f(t)}{dt} = \lambda \frac{1}{N_s(t)} \frac{dN_s(t)}{dt}$$

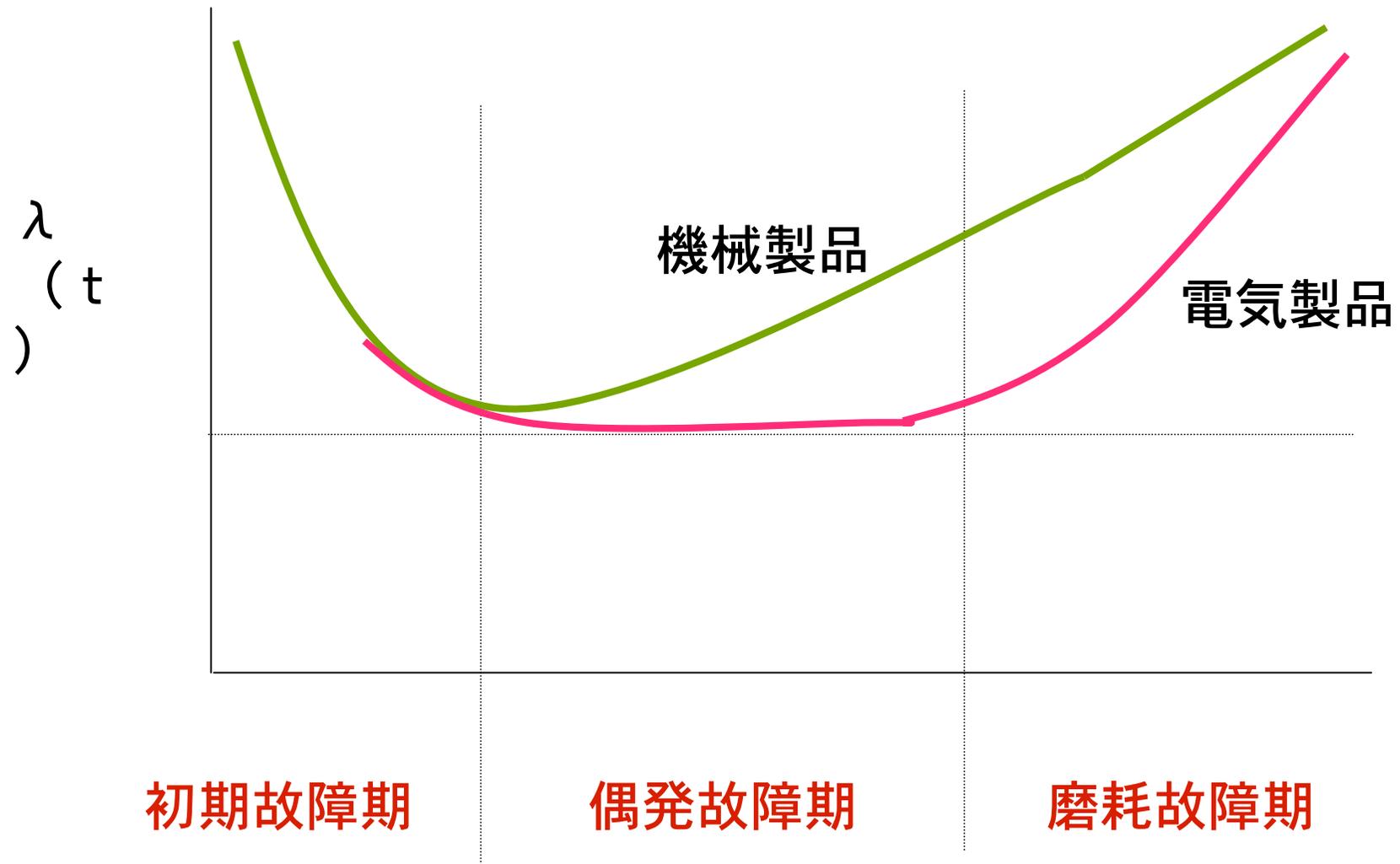
$$\lambda(t) = \lambda \frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt} = \frac{1}{R(t)} \frac{dF(t)}{dt} = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda \frac{d \ln R(t)}{dt}$$

$$\lambda R(t) = \exp \left[\int_0^t \lambda(t) dt \right]$$

$\lambda(t)$ が一定値 λ であれば、 $R(t) = e^{-\lambda t}$

故障確率がわかれば信頼度関数を評価可能

故障率のパターン



平均故障間隔 (Mean Time Between Failure)

⇒ 寿命に対する期待値

$$\begin{aligned} MTBF &= \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t dN_s = \int_0^{\infty} t f(t) dt \\ &= \int_0^{\infty} \int_0^t \frac{dR(t)}{dt} dt = \int_0^{\infty} R(t) dt \end{aligned}$$

$\lambda(t)$ が一定値 λ ならば、

$$MTBF = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

MTBF : 修理不能なものでは寿命のこと

理解のために

$\lambda(t)$: 瞬間故障率(故障確率)

t 才の人の年齢別死亡率

$f(t)$: 故障密度

寿命が t である確率 (t で死ぬ確率)

$F(t)$: 累積故障確率

t 才未満で死ぬ確率

$R(t)$; 信頼度関数

t 才以上長生きする確率
(人口の年齢別分布)

安全性評価手法

- HAZOP(Hazard and Operability Study)
- FMEA(Failure Mode Effect Analysis)
- ETA(Event Tree Analysis)
- FTA(Fault Tree Analysis)

• • • • •

- HAZOP(Hazard and Operability Study)
 - 設計・運転段階の危険性を、系統的・網羅的に検討
 - 潜在危険性の識別に有用、事故の大きさ、重大性の情報は得られない。
- FMEA(Failure Mode Effect Analysis)
 - システム構成要素が持つ故障モードを列挙、これらがシステムに及ぼす影響を解析。
 - 致命的な故障個所を識別、各故障に優先順位
- ETA(Event Tree Analysis)
 - 初期事象から出発、事故の経過過程を解析。
- FTA(Fault Tree Analysis)
 - 頂上事象の定義と初期事象のかかわりを解析
-

FTA

1. 頂上事象の設定

安全性解析にあたっては、頂上現象として、「望ましくない事象」を設定する。

[例] 機能喪失、異常、誤動作、特性変動、
火災、爆発、消化機能喪失、
バックアップ機能喪失

2. 頂上現象が発生する要因、条件を追求し、対策できるレベルの基本事象を求める。

[例] 機器系統 (バルブ故障、ポンプ流量不足・・・)
電気系統(モーター故障、計器誤動作・・・)

HAZOP?

- **操作危険性解析**
 - 内在する潜在危険の洗い出し、
 - 操作上の問題点の洗い出し、
 - 安全対策が十分か否かを系統的に検討する。
- **基本的考え方**
 - 「プラントは、設計意図どおりの設計、運転がなされれば安全であり、危険事象は設計意図からのずれが生じることにより発生する。

HAZOPにおける「ずれ」

- プロセス状態の正常からの「ずれ」
 - プロセスの異常
 - 機器の故障
 - 誤操作
 - 設計上のミス
 - 設計の見落とし、勘違い
 - 材料の選定ミス
 - 安全設備の欠落

HAZOPの基本手順

STEP	1	解析対象範囲設定	
STEP	2	P&IDをスタディ・ノードに分割	
STEP	3	スタディ・ノード選定とずれの想定	
STEP	4	ずれの原因の洗い出し	
STEP	5	システムへの影響検討	
STEP	6	現状の対策評価と追加対策検討	
STEP	7	解析結果の記録	

HAZOPの検討

- HAZOPチーム
 - プロセス設計、計装システム設計、安全、運転などの異分野の専門家
- 特徴
 - 網羅的、定型的な検討
 - 異なった視点からの検討
 - 見落としが少ない
 - ガイドワードとプロセスパラメータの組合せによる「ずれ」の想定

ガイドワードとパラメータ

- ガイドワード
 - 無し、量的増加、量的減少、逆転、
 - 質的增加、質的減少、その他
- パラメータ
 - 流れ、圧力、温度、液レベル、
 - 反応、成分、その他
- ガイドワードとパラメータの組合せから原因を探る。
- HAZOPワークシートに記入