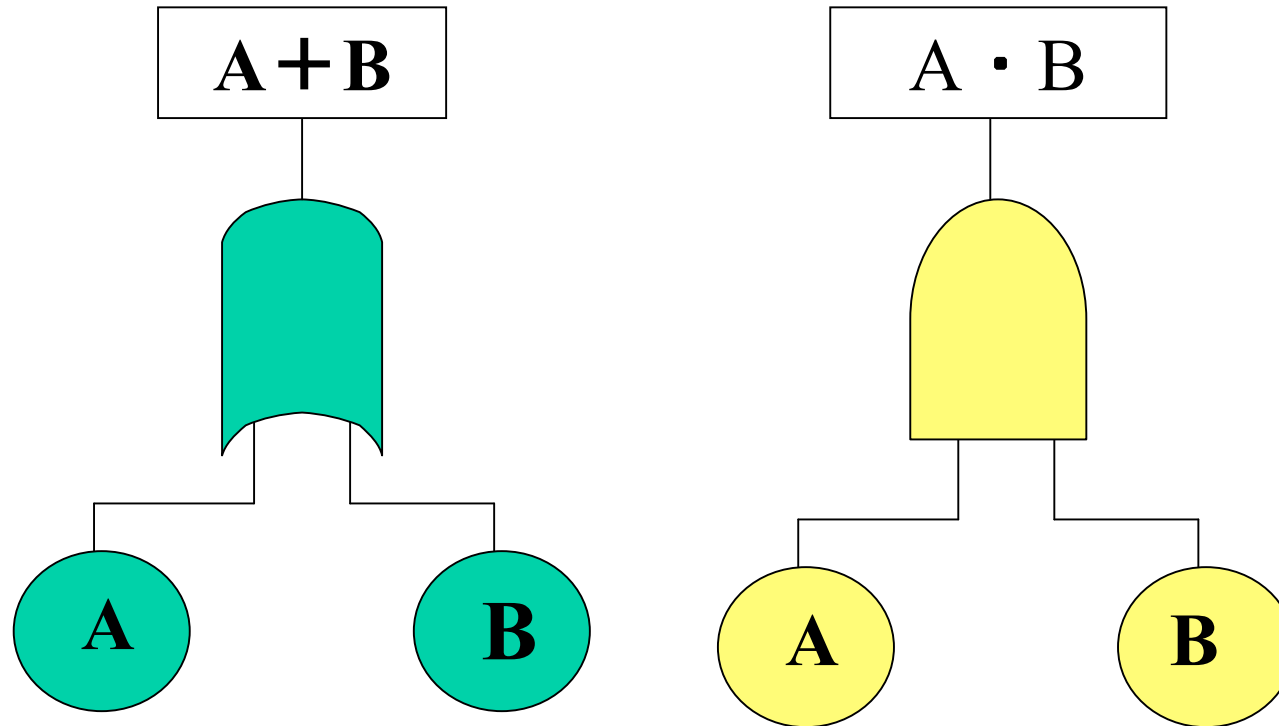


第9回プロセス安全評価(2)

FTA

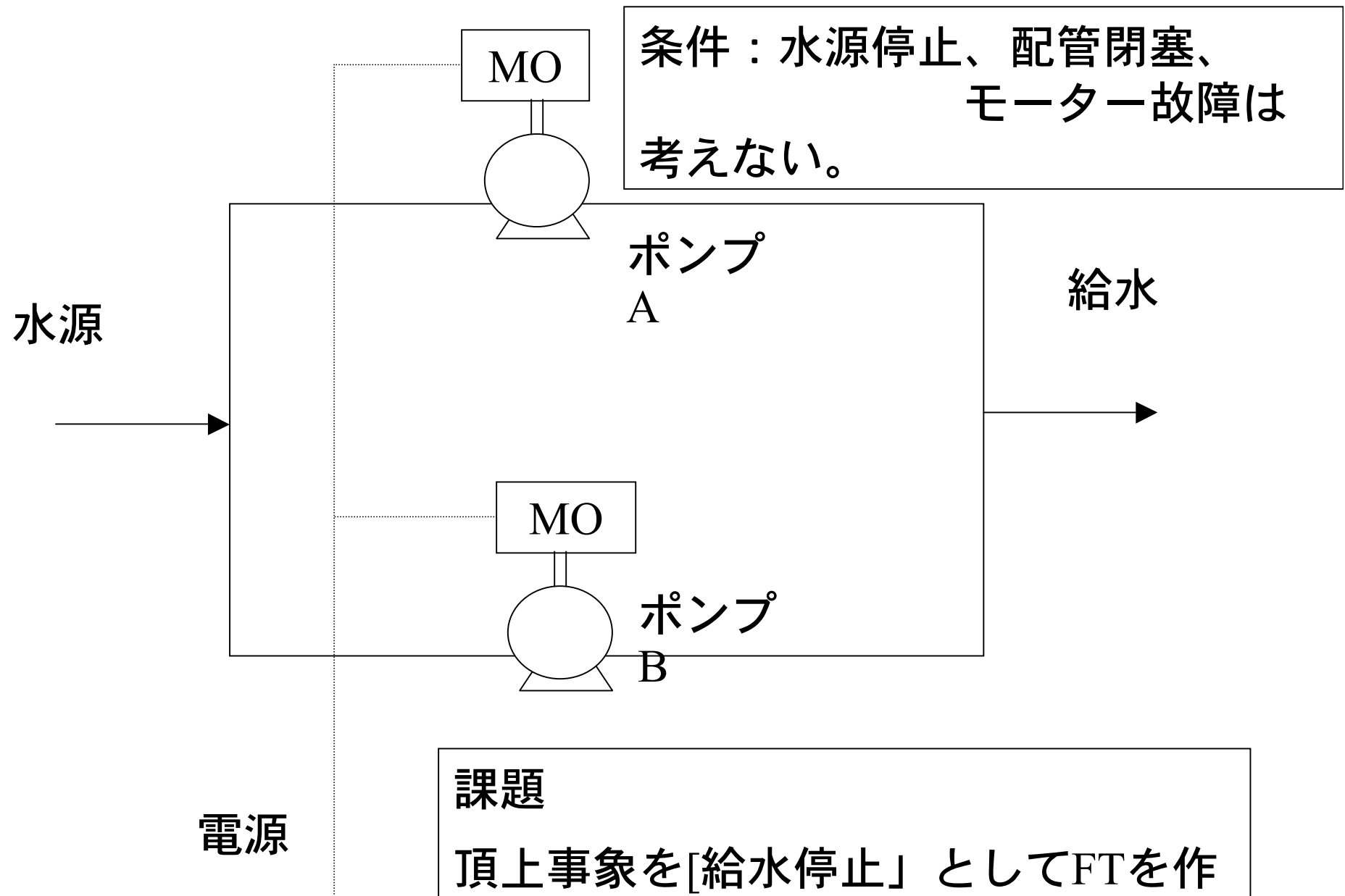
論理和（ORゲート） 論理積(ANDゲート)



FT図はブール代数を使って簡素化が図れる。

特に、共通故障原因がある場合。

大きなシステムの簡素化に便利



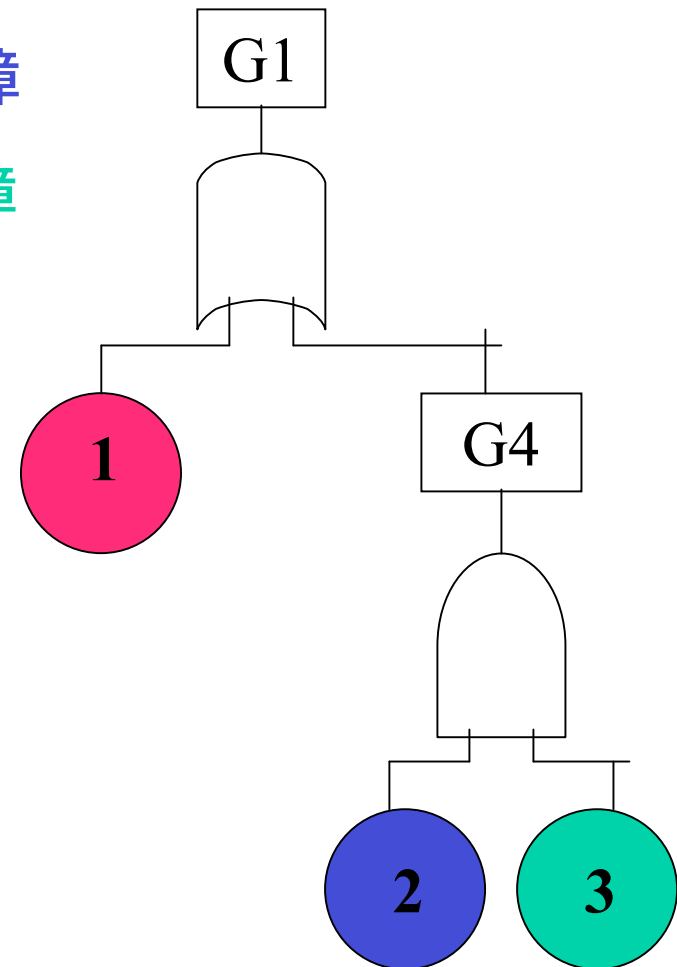
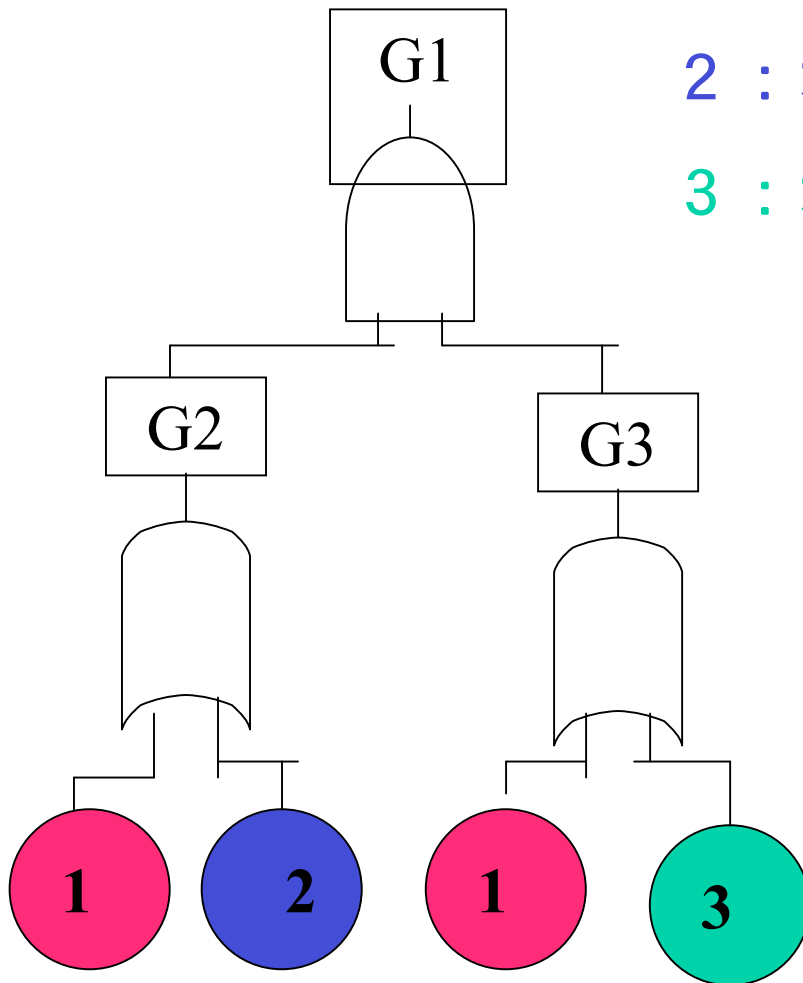
G1 給水停止 G2 ポンプA給水不能 G3 ポンプB給水不能

G4 ポンプA、B共故障

1 : 停電

2 : ポンプA故障

3 : ポンプB故障



Boolean Algebra

$$A + B = B + A \quad A \cdot B = B \cdot A \quad \text{commulative laws}$$

$$A + (B + C) = (A + B) + C \quad \text{associative laws}$$

$$A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C$$

$$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C \quad \text{distribution laws}$$

$$(A + B) \cdot (A \cdot C) = A + B \cdot C$$

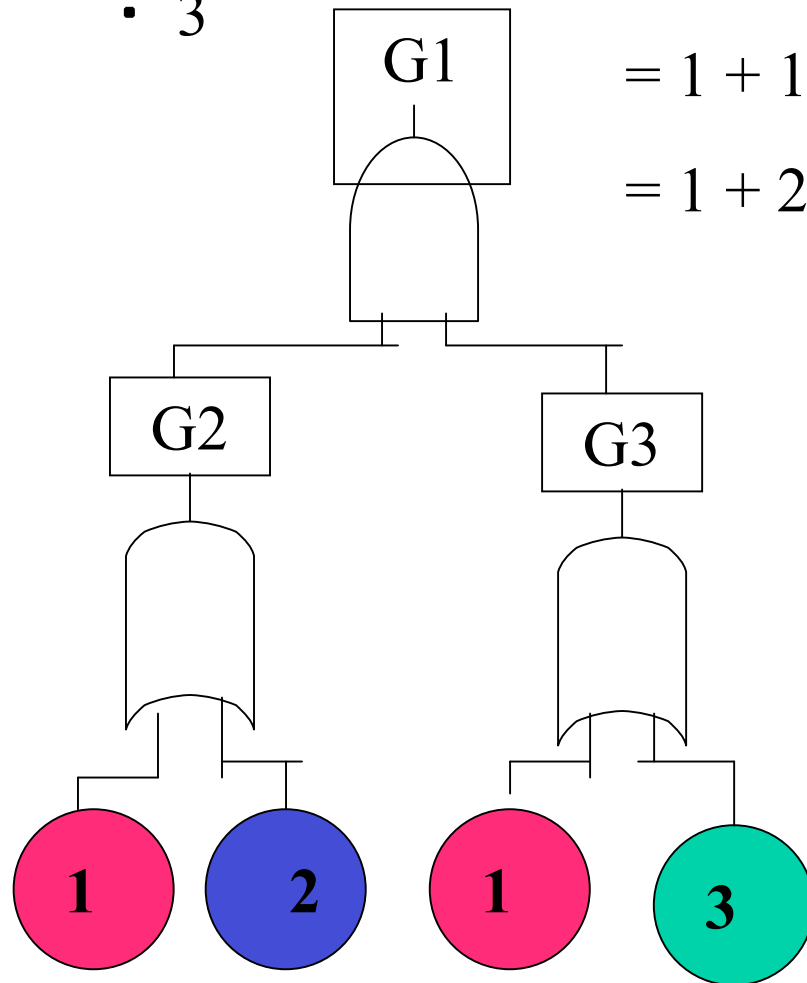
$$A + A = A \quad A \cdot A = A \quad \text{independent properties}$$

$$A + A \cdot B = A \quad A \cdot (A + B) = A$$

$$G2 = 1 + 2 \quad G3 = 1 + 3$$

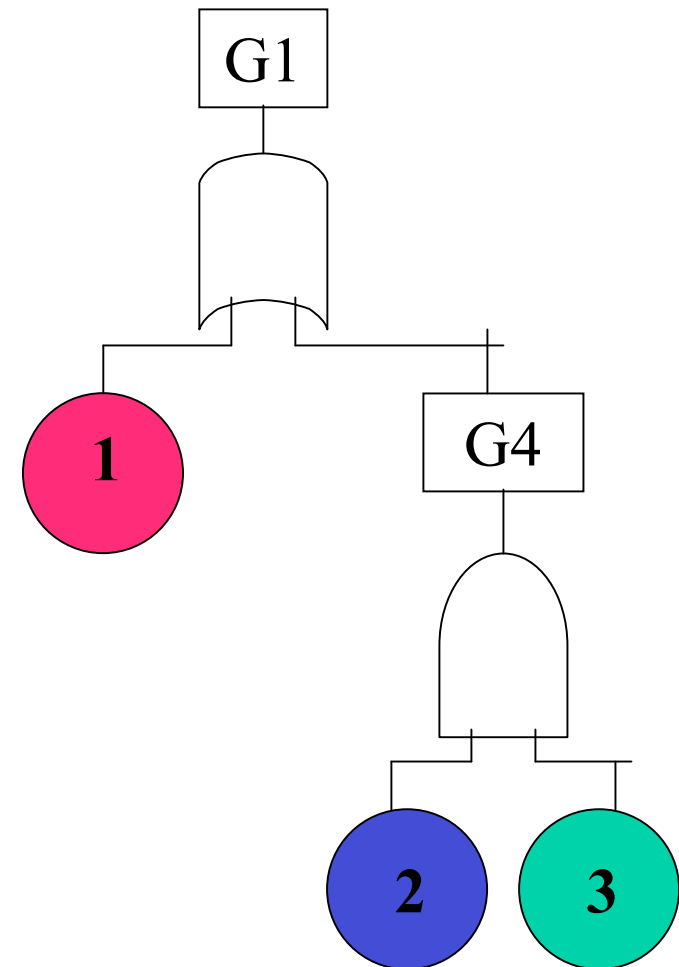
$$G1 = G2 \cdot G3 = (1 + 2) \cdot (1 + 3)$$

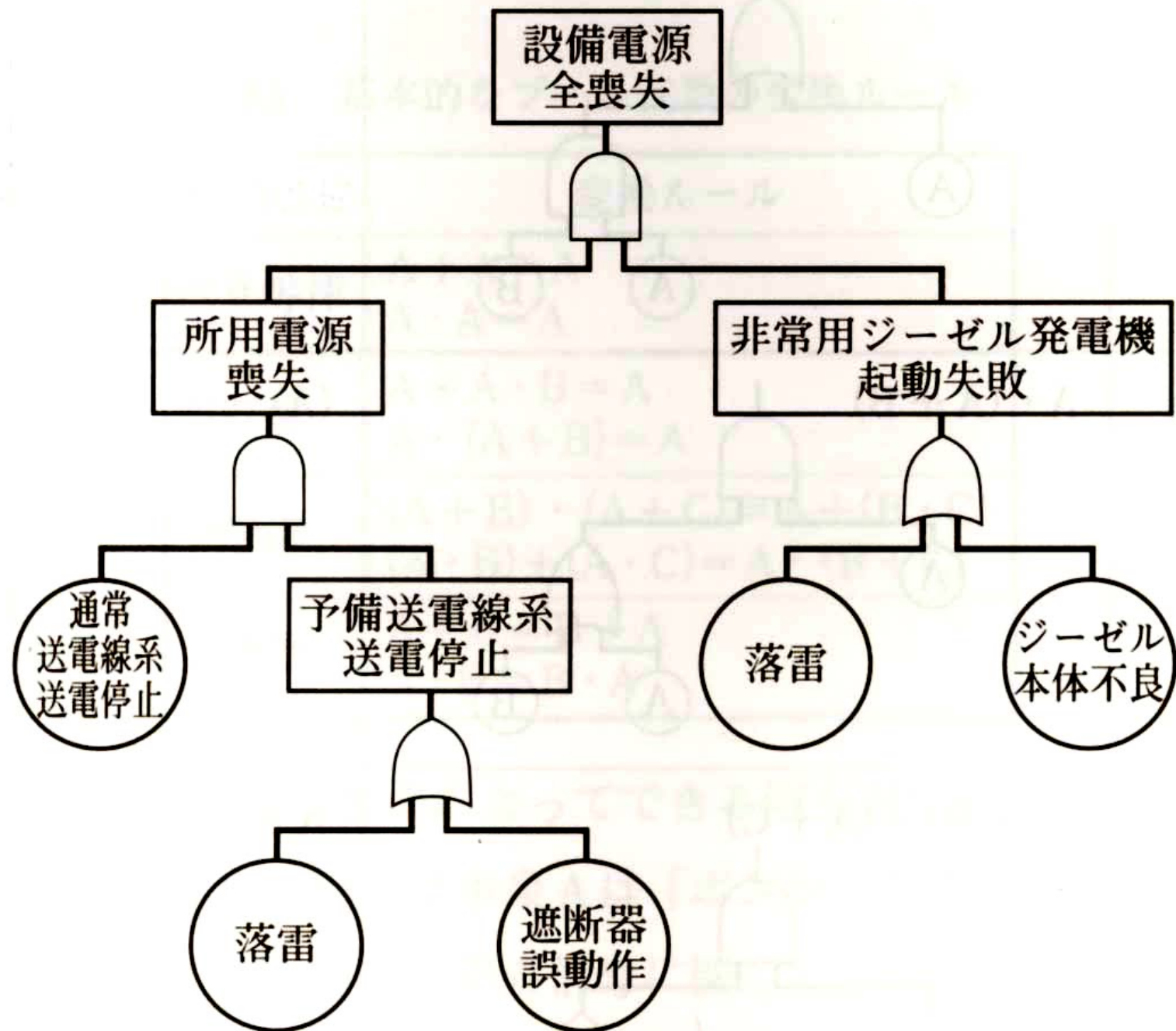
$$= 1 \cdot 1 + 1 \cdot (1 + 2) + 1 \cdot 3 + 2 \cdot 3 = 1 + 1 \cdot (1 + 3) + 2 \cdot 3$$



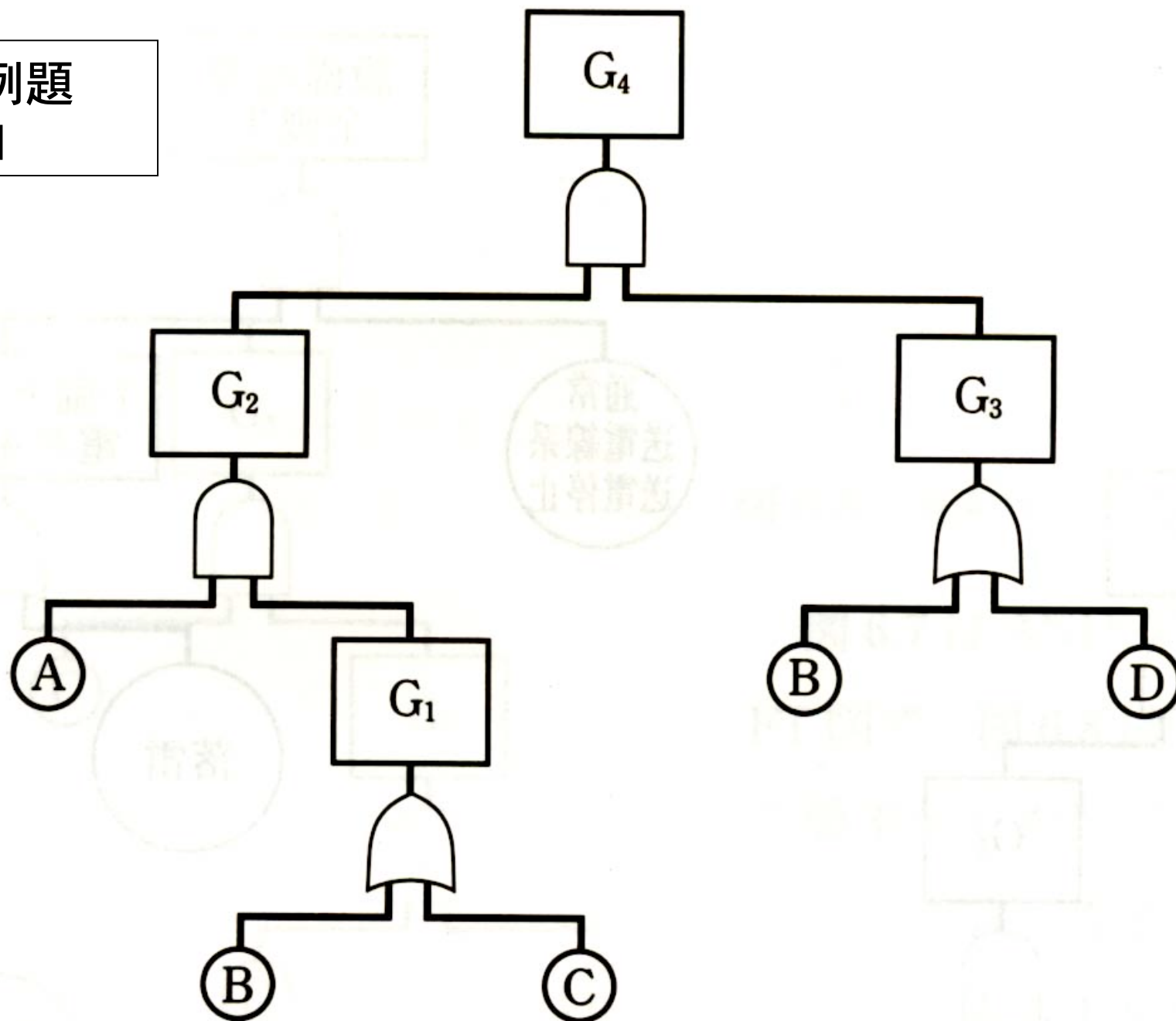
$$= 1 + 1 + 2 \cdot 3$$

$$= 1 + 2 \cdot 3$$

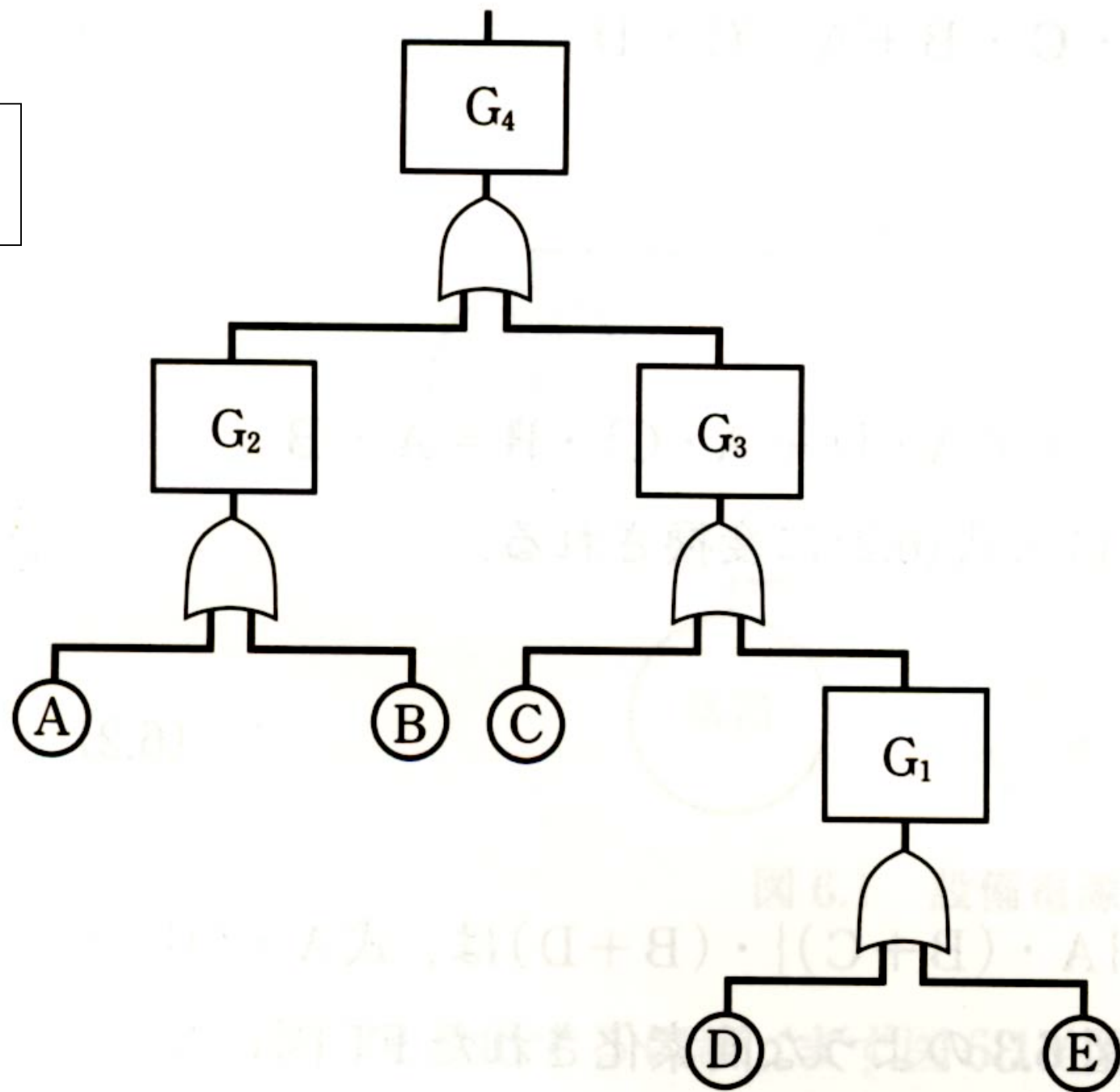




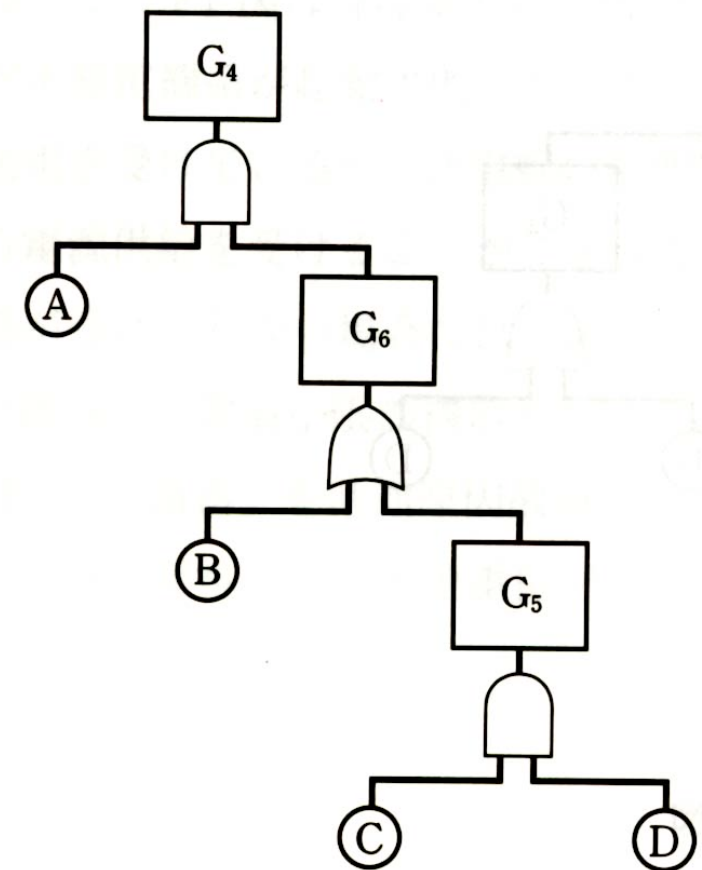
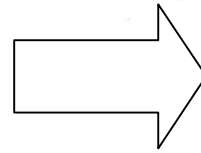
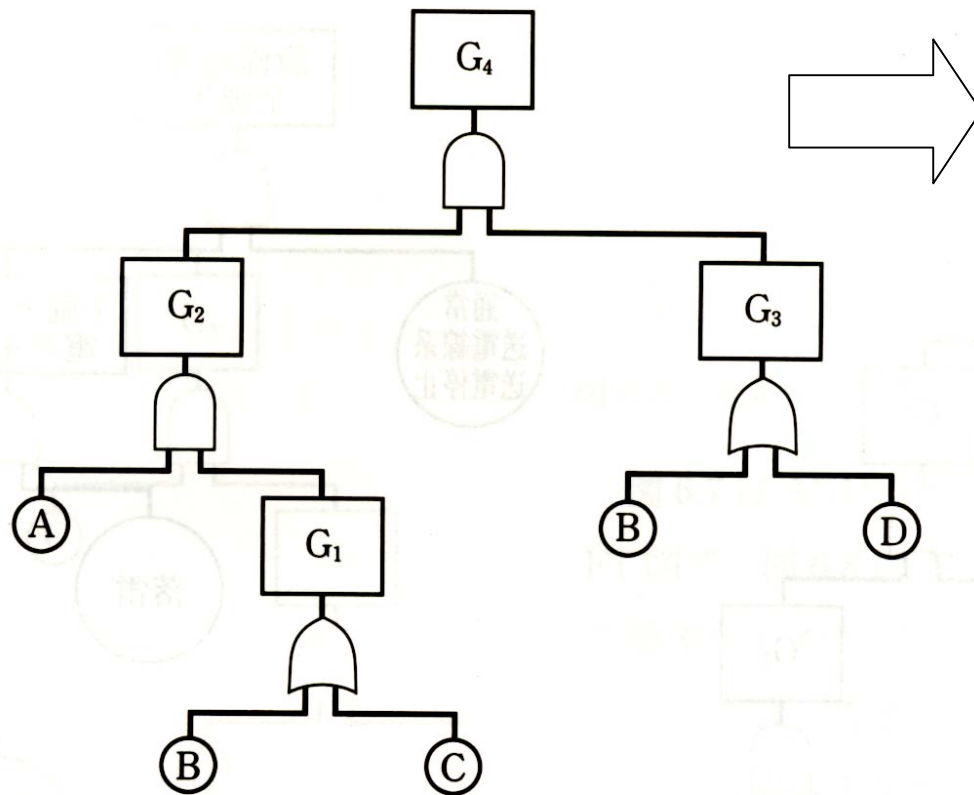
例題
1

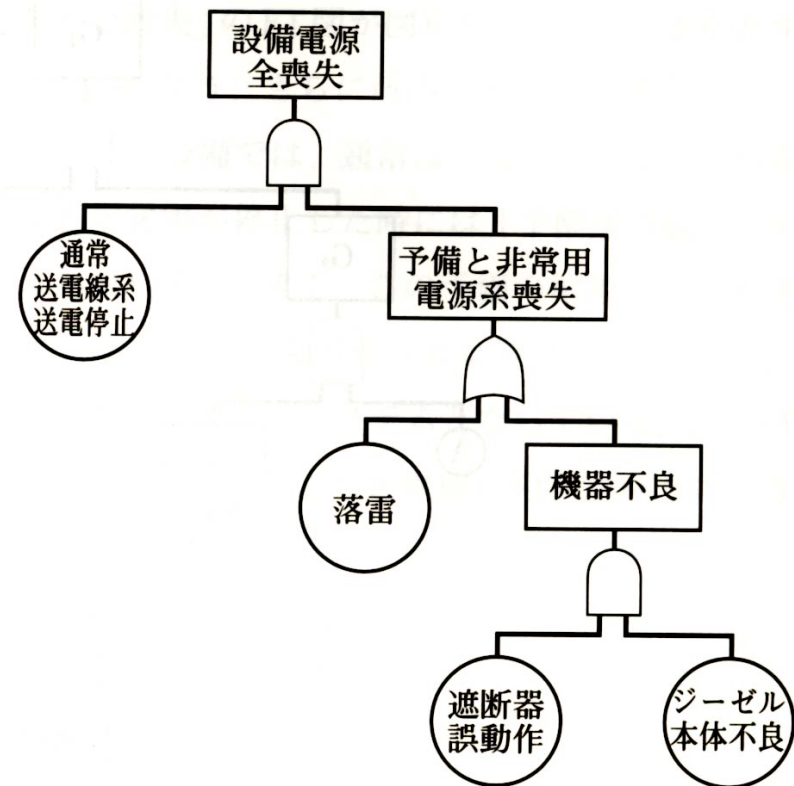
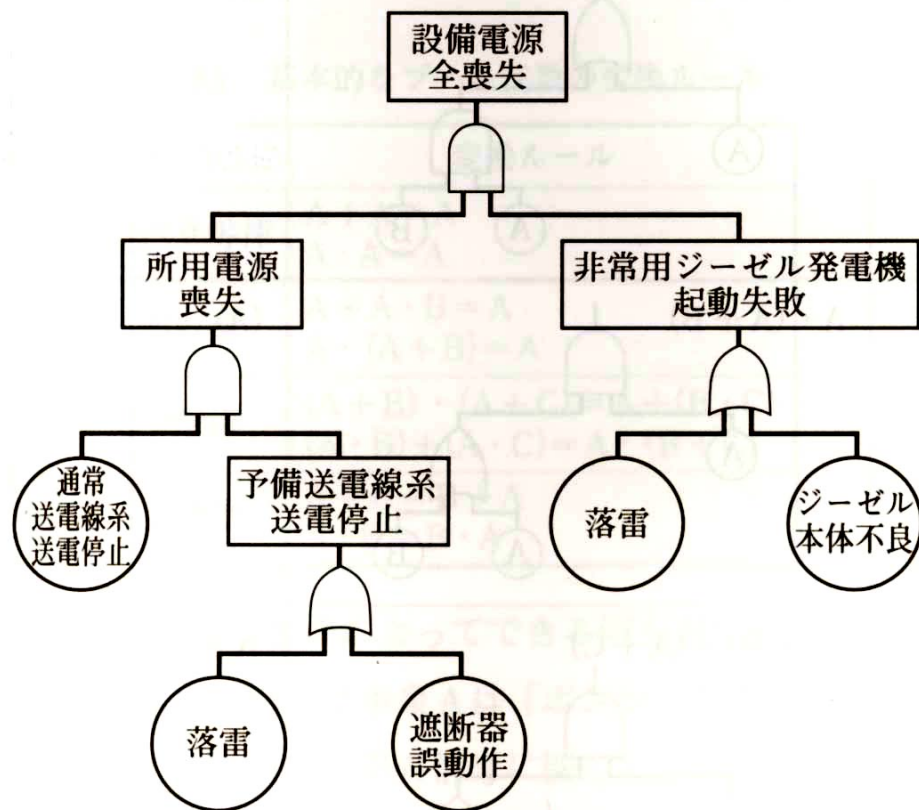


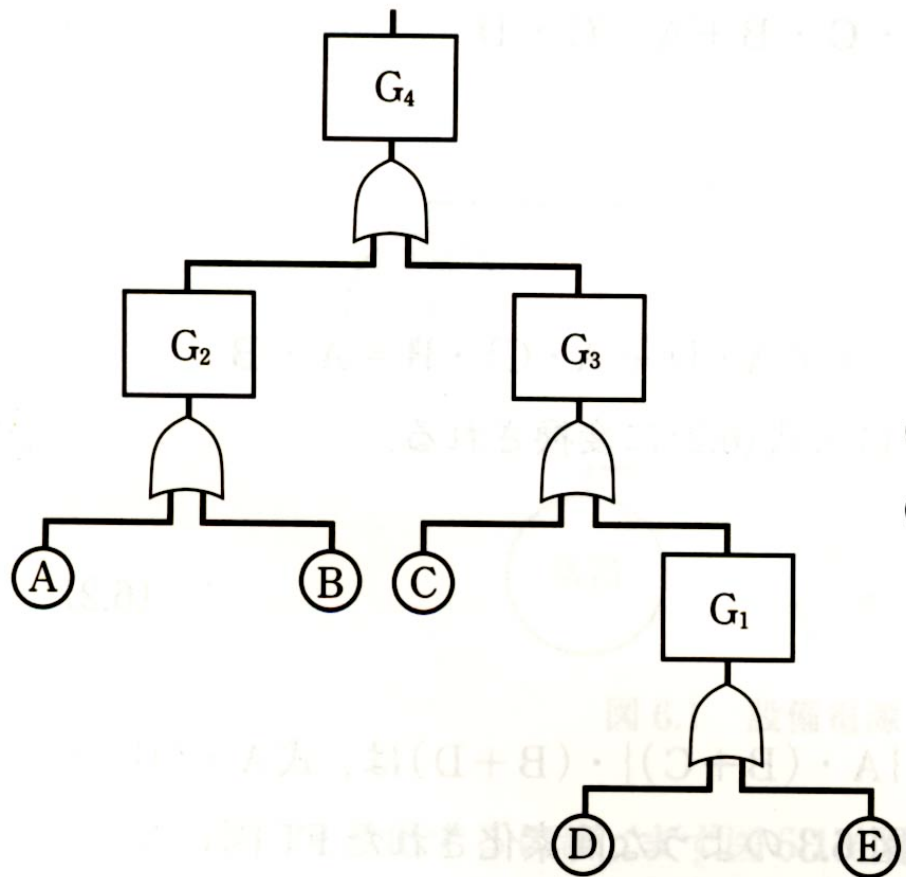
例題
2



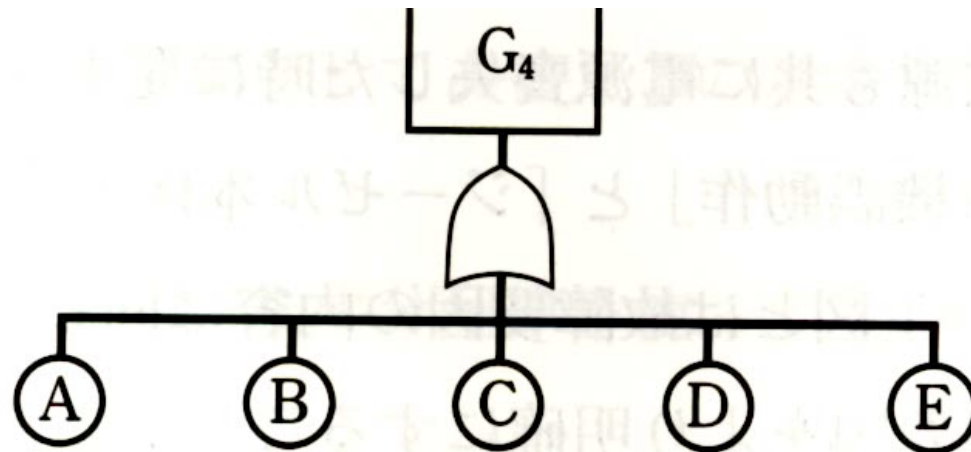
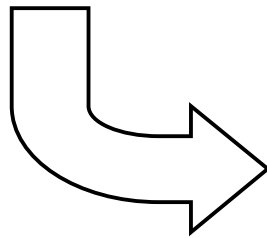
例題 1 の解答







例題2の解答



FTAによる定量解析

- システムや機器の故障要因を下に不信頼度を求める。
 - $(\text{不信頼度}) = 1 - (\text{信頼度})$
- 不信頼度は,故障要因をもとにFT図を作成し,頂上事象の不信頼度を求める。
- FTAの解析方法
 - 発生確率による方法 (○)
 - 故障率による方法 (×)

発生確率によるFTAの解析手法

現在正常な車が1年後に故障している「発生確率」が「不信頼度」

これが1%ならば、「信頼度」(残存確率)は99%となる。

$$\text{信頼度 } R(t) = 1 - \text{不信頼度 } F(t)$$

FTAでは、FT図の頂上の「発生確率」を求める。

→ 通常は「不信頼度」を解析することになる。

頂上事象の発生に寄与する発生確率の高い基本事象、すなわち、対策効果の大きい基本事象を抽出できる。

ORゲートの発生確率

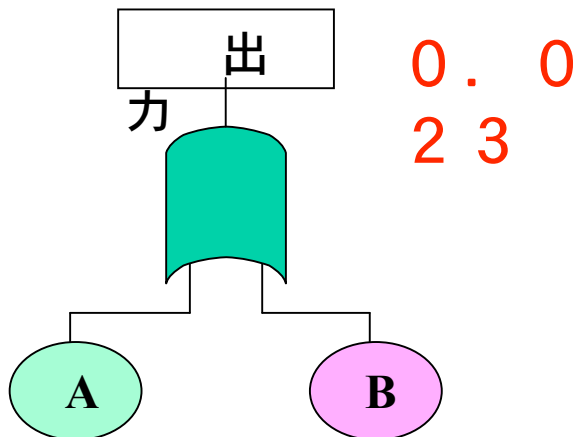
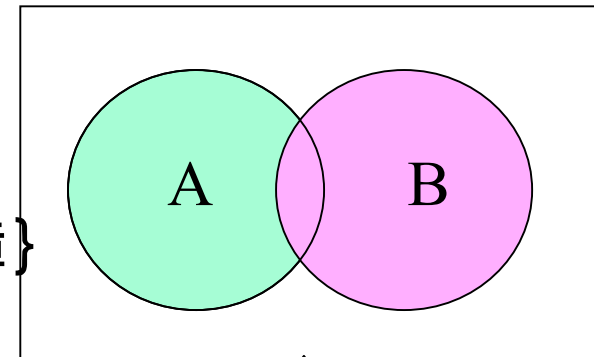
ORゲートの発生確率{A故障またはB故障}

$$= \Pr\{A \cup B\} = \Pr\{A\} + \Pr\{B\} - \Pr\{A \cap B\}$$

$$\doteq \Pr\{A\} + \Pr\{B\}$$

$$\because \Pr\{A \cap B\} \ll$$

$$\Pr\{A \cap B\} = 0.0006$$



0.003

0.02

出力：弁が開かない

A：弁棒曲がり

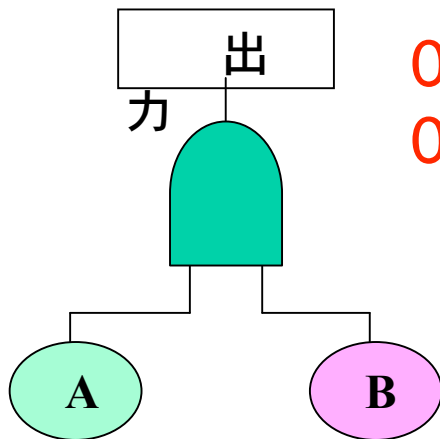
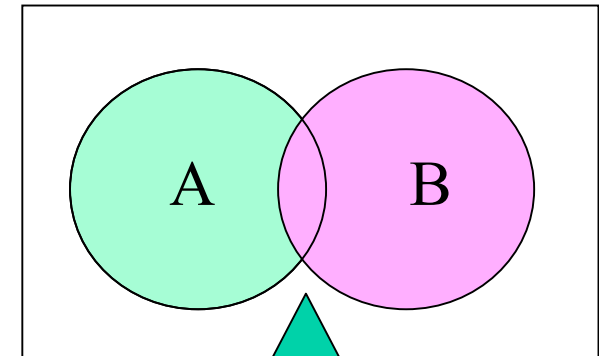
B：シール部固着

ANDゲートの発生確率

ANDゲートの発生確率{A故障とB故障}

$$= \Pr\{A \cap B\} = \Pr\{A \mid B\} \cdot \Pr\{B\} = \Pr\{B \mid A\} \cdot \Pr\{A\}$$

A,Bが独立ならば、 $\Pr\{A \cap B\} = \Pr\{A\} \cdot \Pr\{B\}$



$$0.0001 = 0.005 \times 0.02$$

$$0.005$$
$$0.02$$

出力：ランプ不点灯

A：エンジン停止

B：バッテリー切れ

ORゲート

$$\begin{aligned} & \Pr\{A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cdots \cup A_n\} \\ &= \Pr\{A_1\} + \Pr\{A_2\} + \cdots + \Pr\{A_n\} = \Sigma \Pr\{A_n\} \\ &\rightarrow \text{各入力事象の発生確率の和} \end{aligned}$$

ANDゲート

$$\begin{aligned} & \Pr\{A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cdots \cap A_n\} \\ &= \Pr\{A_1\} \cdot \Pr\{A_2\} \cdots \Pr\{A_n\} = \prod \Pr\{A_n\} \\ &\rightarrow \text{各入力事象の発生確率の積} \end{aligned}$$

注 各入力事象の発生確率の値が0.1より 小

瞬間故障率(故障率)

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

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt}$$

一般に、偶発故障期間中の故障はランダムに発生するので

$$\int_0^t \lambda(t) dt = \lambda t \quad R(t) = e^{-\lambda t}$$

ORゲートに故障率一定値の複数入力がある場合、
ORゲートの出力故障率は各入力故障率の和で求められる。

$$R_G(t) = e^{-\lambda_G t}$$

$$R_G(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdots R_n(t) = \exp(-(\lambda_1 + \lambda_2 + \cdots \lambda_n)t)$$

ANDゲートに対して一定故障率を持つ複数の入力がある場合、ANDゲート出力故障率は時間の関数となる。

$$R_G(t) = e^{-\lambda_G t}$$

$$R_G(t) = 1 - F_1(t) \cdot F_2(t) \cdots F_n(t)$$

$$F_i(t) = 1 - e^{-\lambda_i t}$$

不信頼度と故障回数

一定期間 T に発生すると予想される故障回数 $N(T)$ とする。

時間 0 から一定時間 T までの平均故障率

$$\bar{\lambda}_m = \frac{1}{T} \int_0^T \lambda(t) dt$$

$$\begin{aligned} N(T) &= \bar{\lambda}_m \times T = \int_0^T \lambda(t) dt \\ &= [-\ln R(t)]_0^T = -\ln R(t) = -\ln \{1 - F(t)\} \\ &\doteq F(t) \doteq \lambda T \end{aligned}$$

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t} \doteq \lambda t$$

ただし、 $\lambda T < 0.1$

不信頼度と故障回数

不信頼度 $F(T)$	故障回数 $N(T)$
0.001	0.001
0.01	0.01005
0.1	0.10536
0.5	0.6931
0.8	1.609
0.9	2.303
0.95	2.996
0.99	4.605
0.999	6.908

