

# 通信ネットワーク信頼性設計・管理

2020年2月15日

渡邊 均  
東京理科大学

# 趣旨

電話網は国家レベルでもっとも重要な通信ネットワーク

大規模な故障や災害等を経るたびに信頼性対策は強化

高信頼化をバランスよく進めるために；

- ・ サービスの観点からの機能モデルの構築
- ・ 妥当な信頼性目標の設定
- ・ 設計理論の手順化とツール化
- ・ 故障データからのフィードバック方法

に至る信頼性設計・管理手法の体系を整えることが必要

電話網の信頼性設計・管理について、その基本的な考え方を中心に他のネットワークへの応用可能性を念頭にした解説を試みる

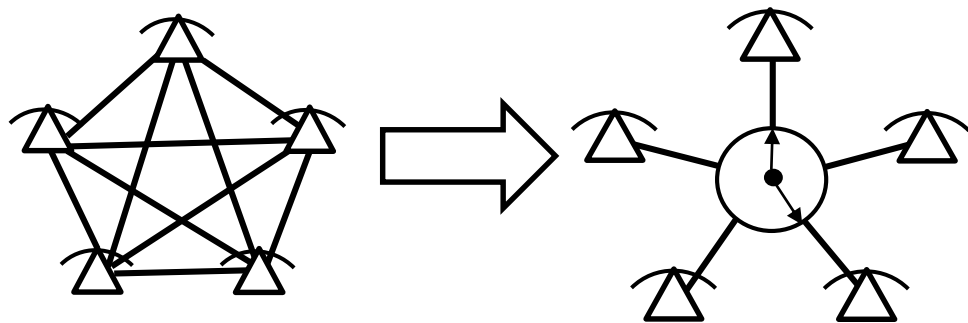
# 内容

通信網とはどのようなシステムか  
通信網の高信頼化対策（災害対策も）  
設計・管理の体系化  
信頼性目標の設定  
現実的要因を考慮した設計手法  
信頼性実態の把握  
所感

通信網とはどのようなシステムか

# 1対1の通信からネットワークへ

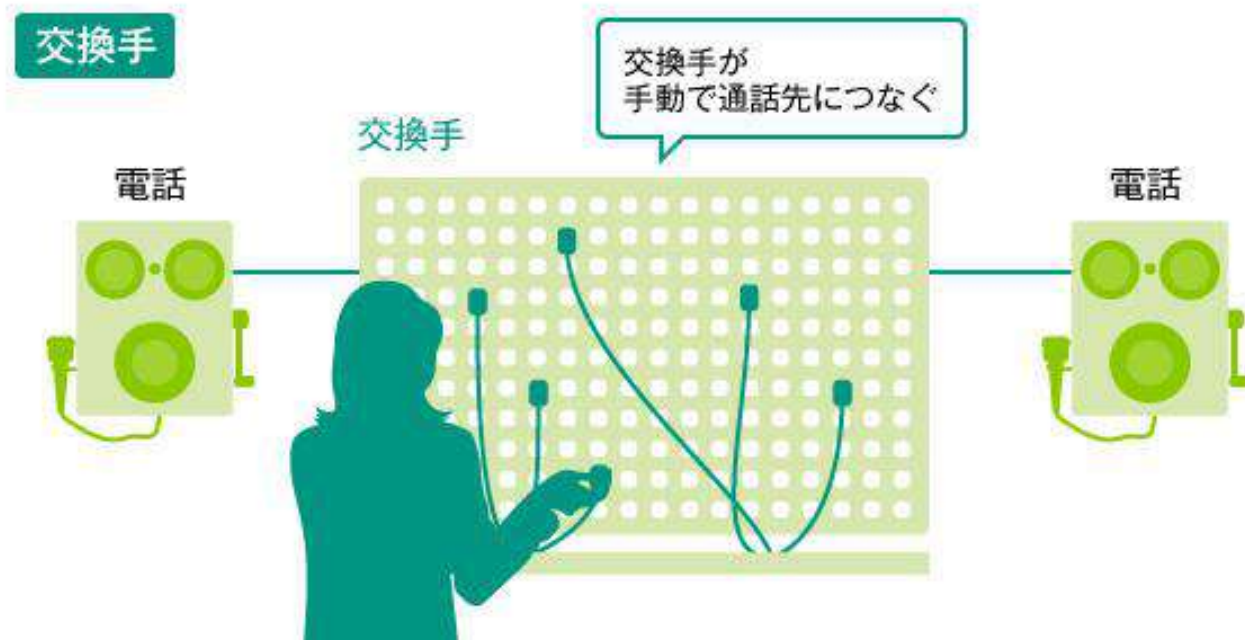
多くの人の通信を司るのが通信ネットワークである



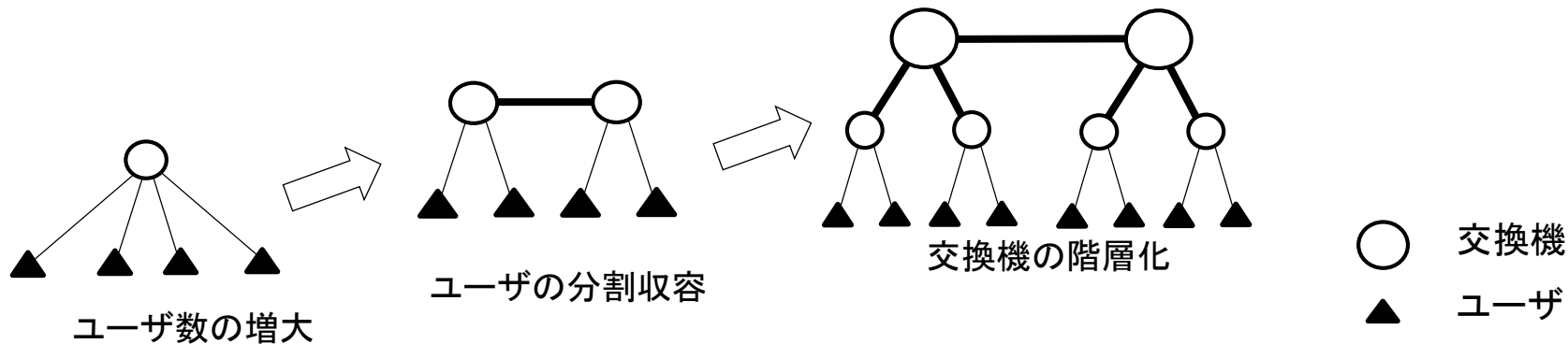
$$\text{回線数} = \frac{n(n-1)}{2} ?$$

交換機の導入

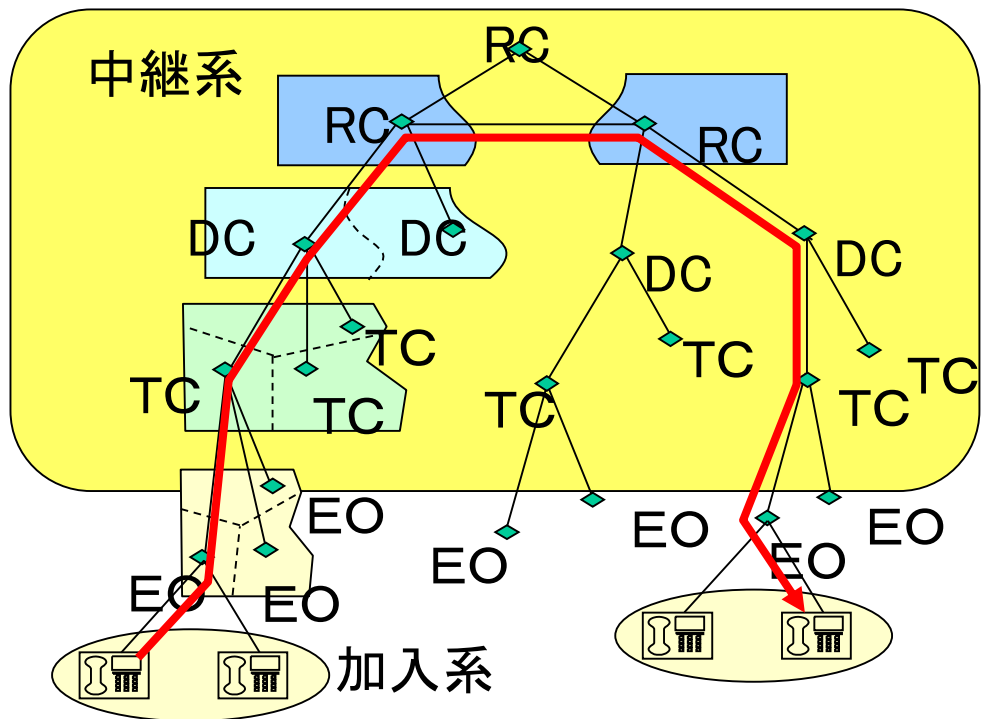
参考：  
グラハム・ベル  
電話の発明  
(1887年)



# 1対1の通信からネットワークへ(2)



## ネットワークの拡大 (Network Expansion)



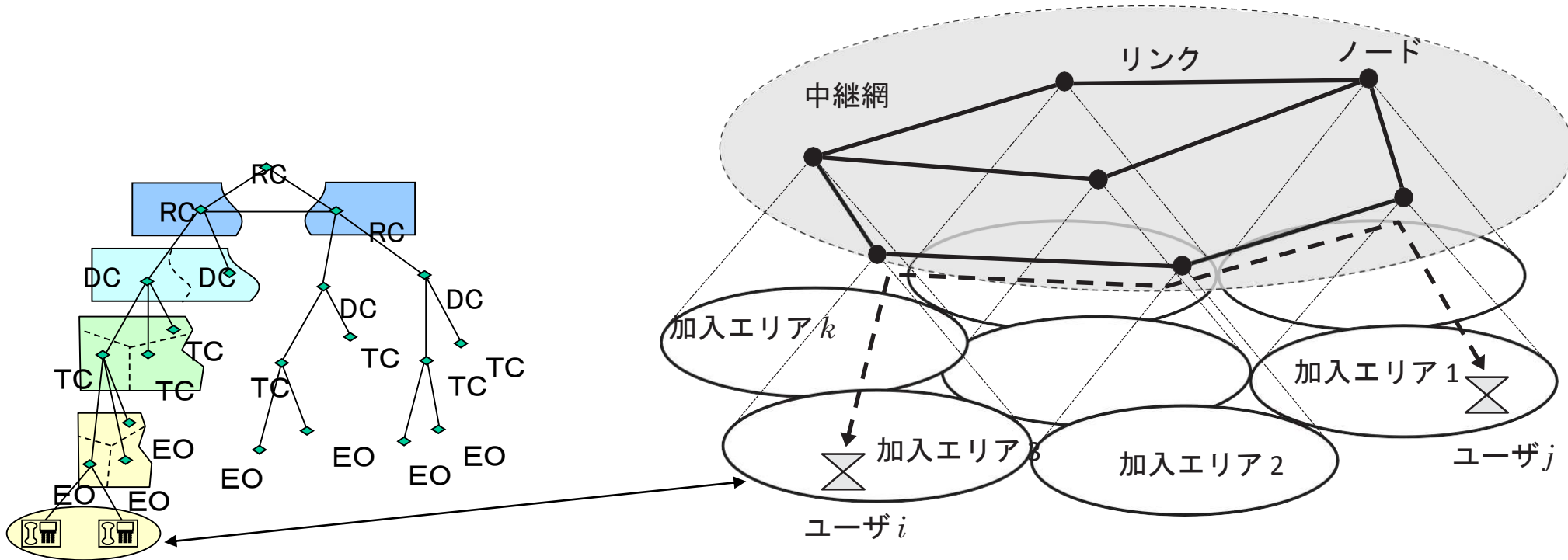
全国規模のネットワークへ  
階層構造  
処理の分散



# 電話ネットワークのモデル(機能の観点より)

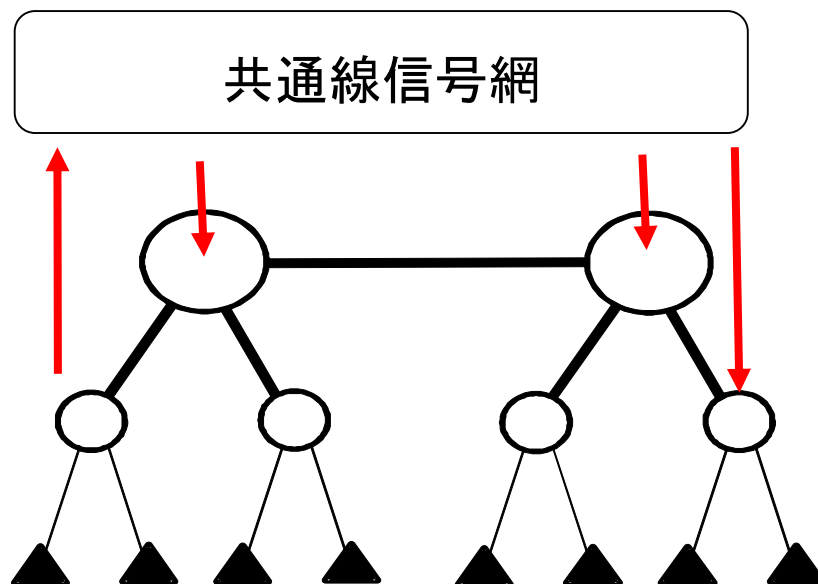
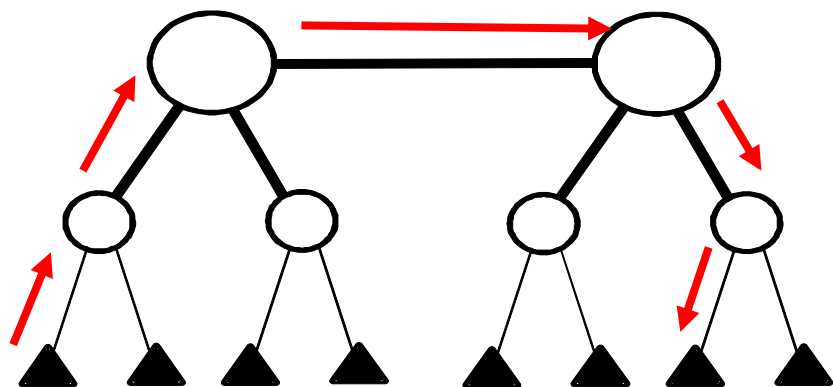
機能の観点からは、電話ネットワークは、アクセスエリアを中継網で結んだネットワークとみなせる。

注：物理網（土木設備等）とは別の観点



# 呼制御

ダイヤル情報に基づいて、回線を設定する機能が必要。  
このとき必要となる情報（呼制御情報）の伝達の仕方に2通りの方式がある（あった）。



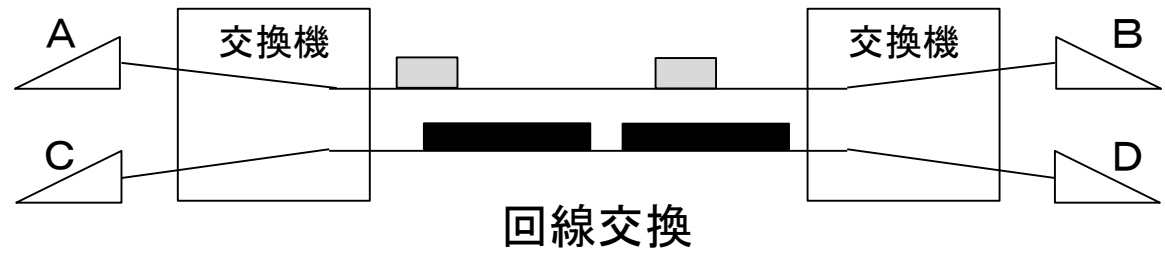
個別線信号方式と共通線信号方式



# 回線交換とパケット交換

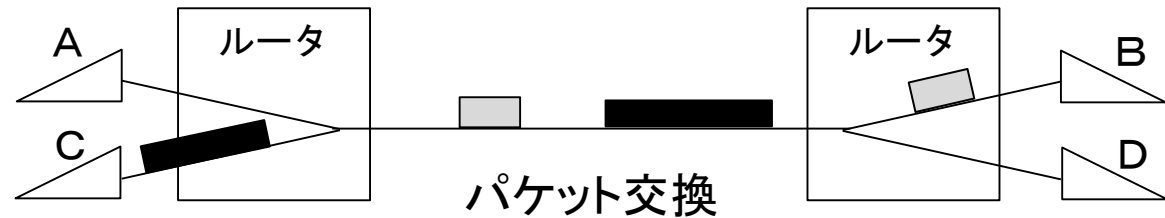
## 回線交換

- ・話していないときでも回線を占有
- ・多様な情報の伝達には不向き



## パケット交換

- ・情報のあるときだけ回線を占有
- ・様々な情報を伝達するのが容易



■ AからBへの情報  
■ CからDへの情報

# インターネット(世界中を結ぶために)

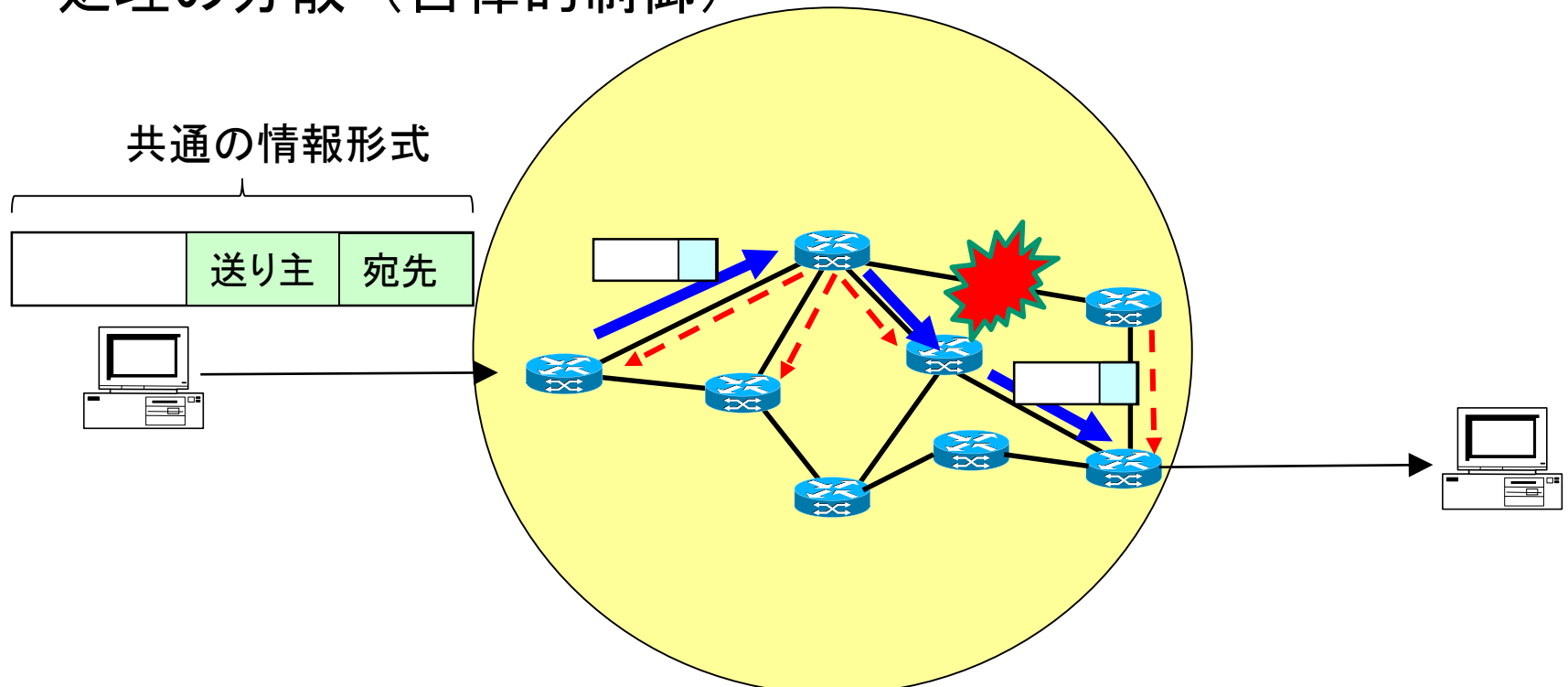
特徴：あて先は分かっているけど、道順は分からない相手まであらゆる情報を届けたい

実現方法：

データ形式の共通化

処理方式の共通化

処理の分散（自律的制御）



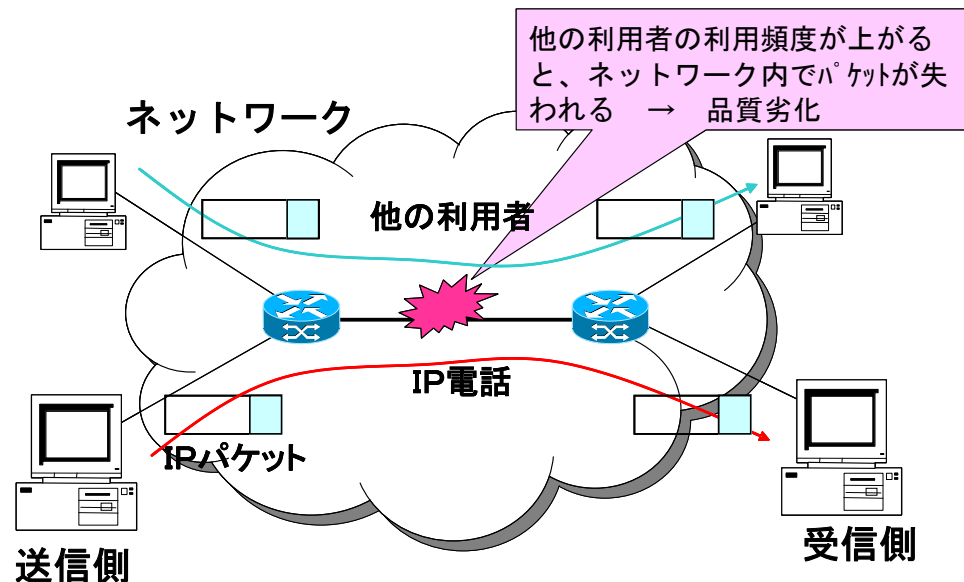
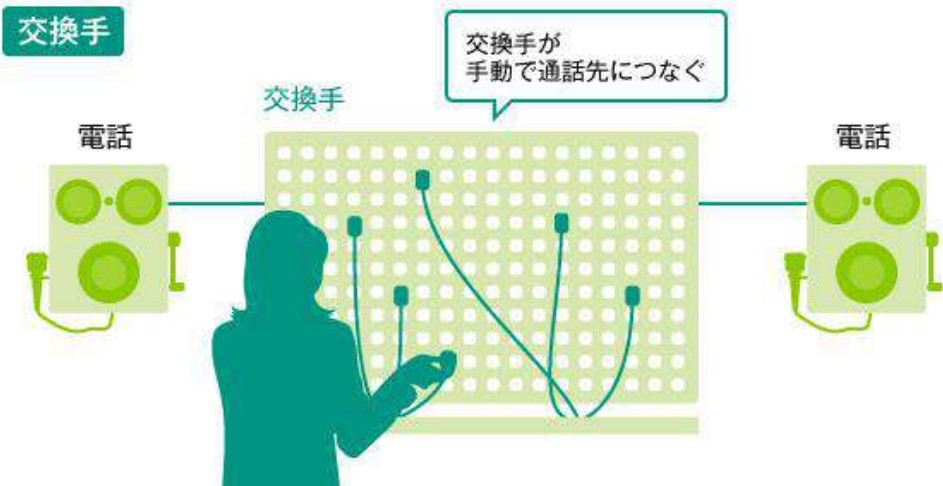
# 通信ネットワークの品質(性能)

「品質」というと・・・音質だけではない

設備を共用することによる「品質」がある

回線網：呼損、処理時間

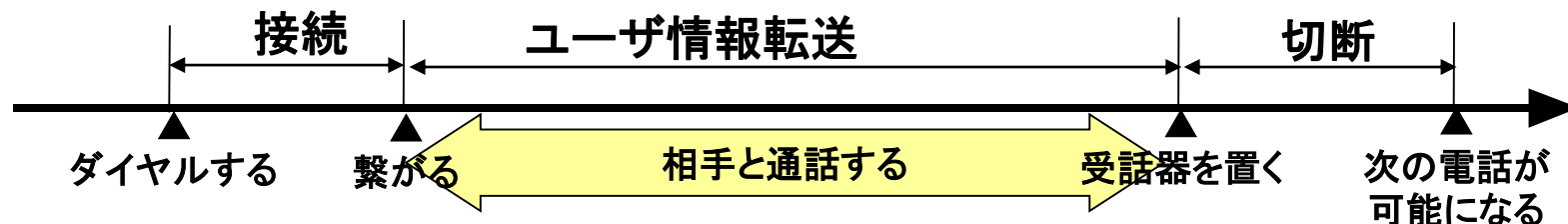
パケット網：遅延、損失



いずれも、通信量と設備量とで決まる

# 交換網の品質(一般化)

通信のプロセスは以下のように経過して終わる(電話の例)



それぞれの段階で、「速さ」, 「正確さ」, 「信頼性」で、品質を考えることができる(平常時の品質) ITU勧告I.350

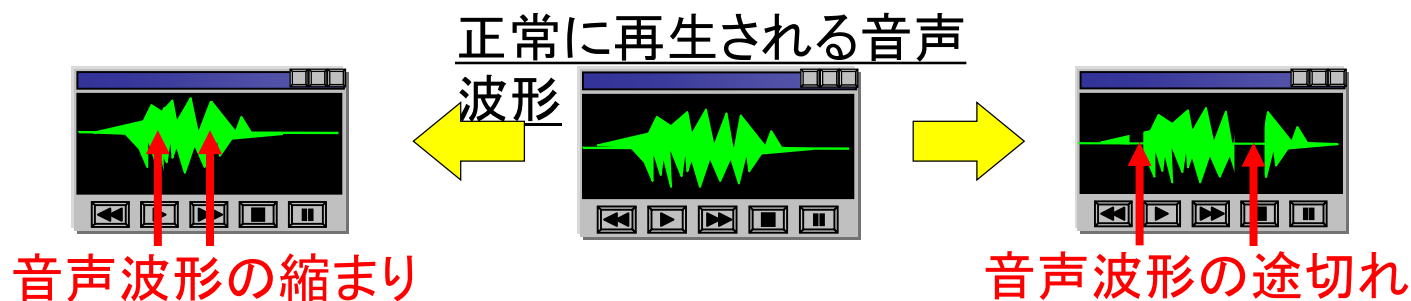
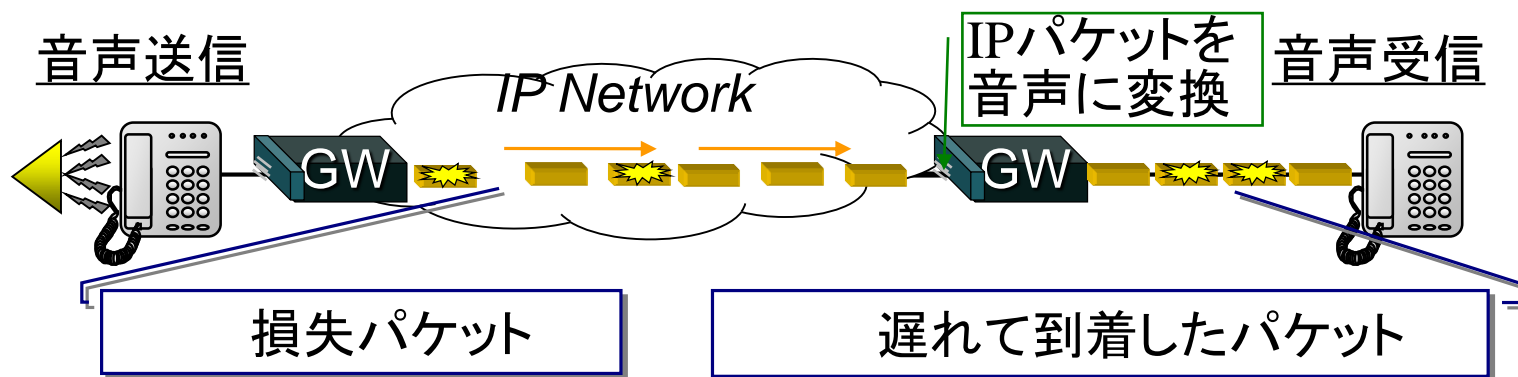
|             | 速さ    | 正確さ    | 信頼性   |
|-------------|-------|--------|-------|
| 接続          | 接続遅延  | 誤接続    | 接続損失  |
| ユーザ情報<br>転送 | 通話の遅延 | 音声の品質  | 通信中切断 |
| 切断          | 遅延    | 切断できない | ?     |

これらの値を決めておき、それを維持する。(維持できている間が「平常時」)

平常時の品質が維持できなくなることが「故障」.  
故障の発生もし易さも、また品質 → ネットワーク信頼性

# パット網の品質(遅延と損失)

通信ネットワークの性能(遅延、損失)は、アプリケーションの品質に大きく影響。



通信ネットワークの品質・性能とアプリケーション側の品質・性能との関係を解明し、向上させることが必要

# 通信ネットワークの品質設計

通信ネットワーク（広く言えば情報システム）は、次々に到着する通信の要求をドンドン処理していくシステム

処理時間は何で決まるか？

コンピュータの処理続度、処理装置の個数、  
その他処理方式 …

呼損の確率は何で決まるか

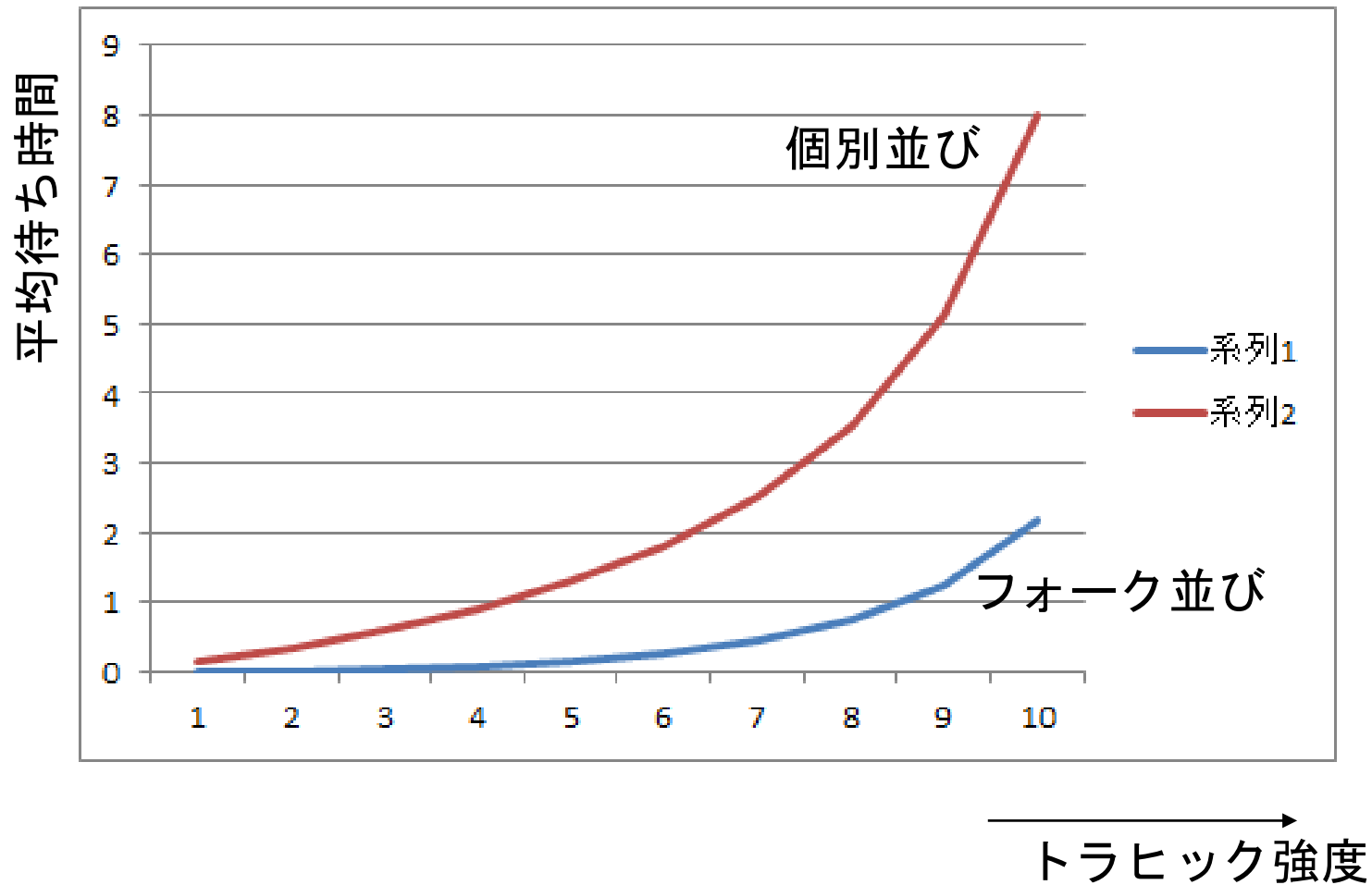
通話の発生頻度、通話時間、回線数

パケット遅延や損失は何で決まるか？

処理時間や話中率は、情報システムの性能の一つ。  
これらをどうやって設計するかは、情報システム設計の中心的技術

# 待ち行列から見た通信ネットワークの特徴

- 大群化効果 …… 個別並びとフォーク並び
- 待時系／即時系  
待時系は「危険なシステム」



# 通信ネットワークの本質

設備を共用

同じ規則で処理をする

(自律)・分散処理

そもそも相手がいるのが通信ネットワーク



# 通信網（電話網）の高信頼化対策 & 災害対策

# ネットワーク高信頼化施策の例（1）

交換機や伝送システム等、ネットワークの構成要素である個々のシステムの信頼性向上施策

- 高信頼性部品の使用
- システム構成の冗長化

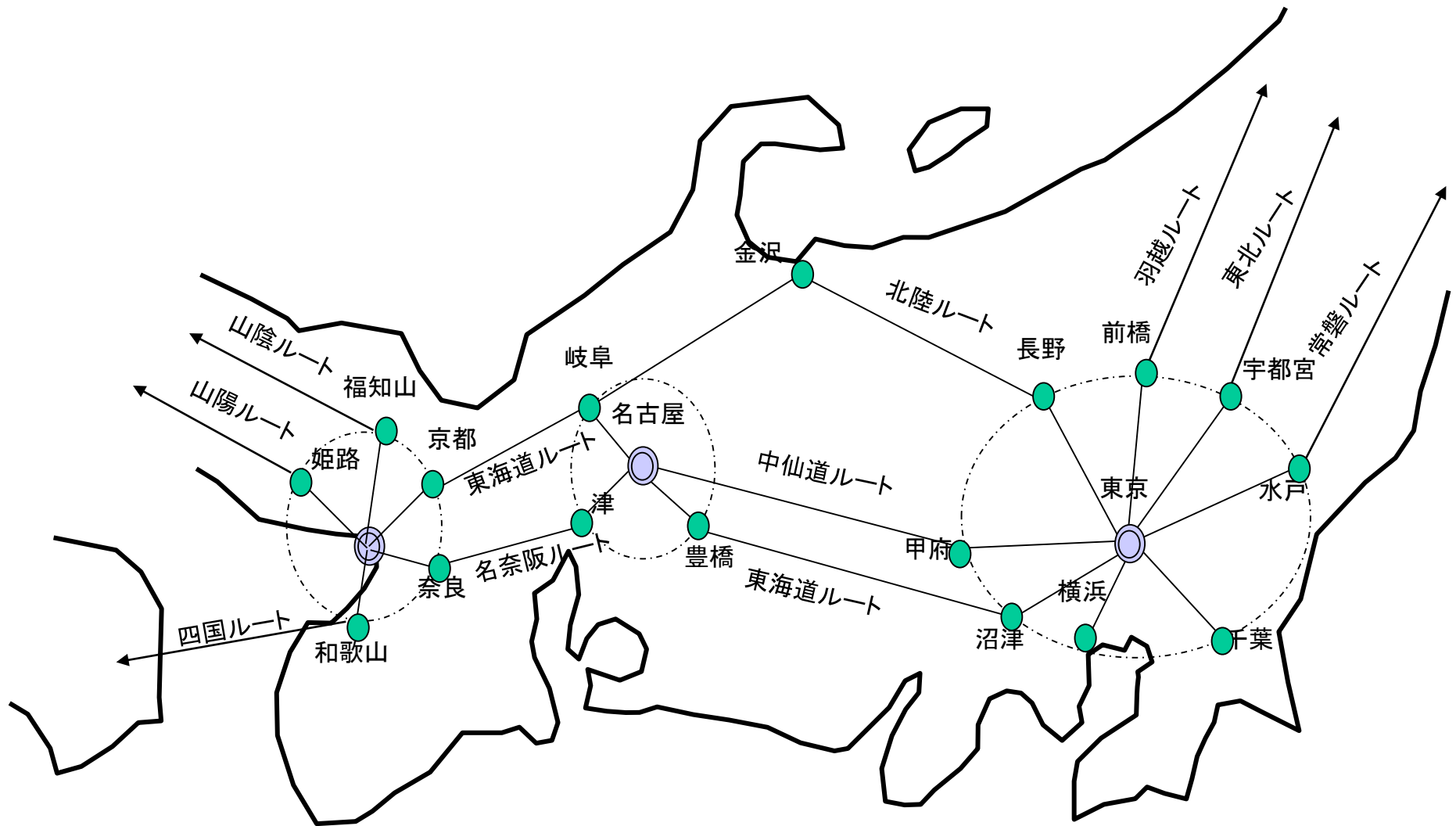
所要容量以上の冗長設備を用意して信頼性を確保

予備装置の設置の仕方に応じてバリエーションあり  
(処理能力の観点で)

完全な2重化構成

共通予備を設けるタイプ（例：n + 1 予備）

# ネットワーク高信頼化施策の例（2）

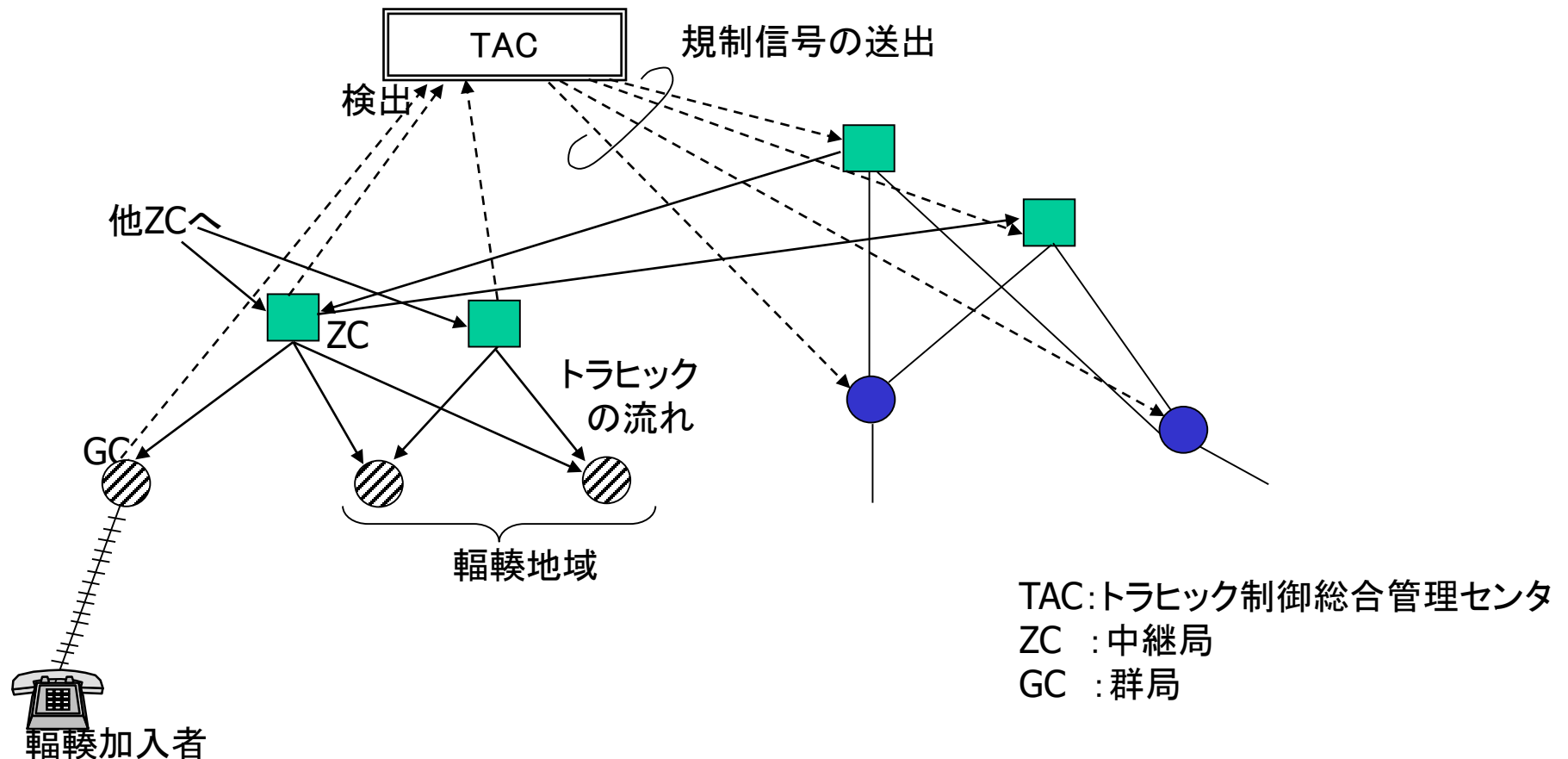


東京・名古屋・大阪環状ルートの概要

# ネットワーク高信頼化施策の例（3）

## トラヒック制御システム

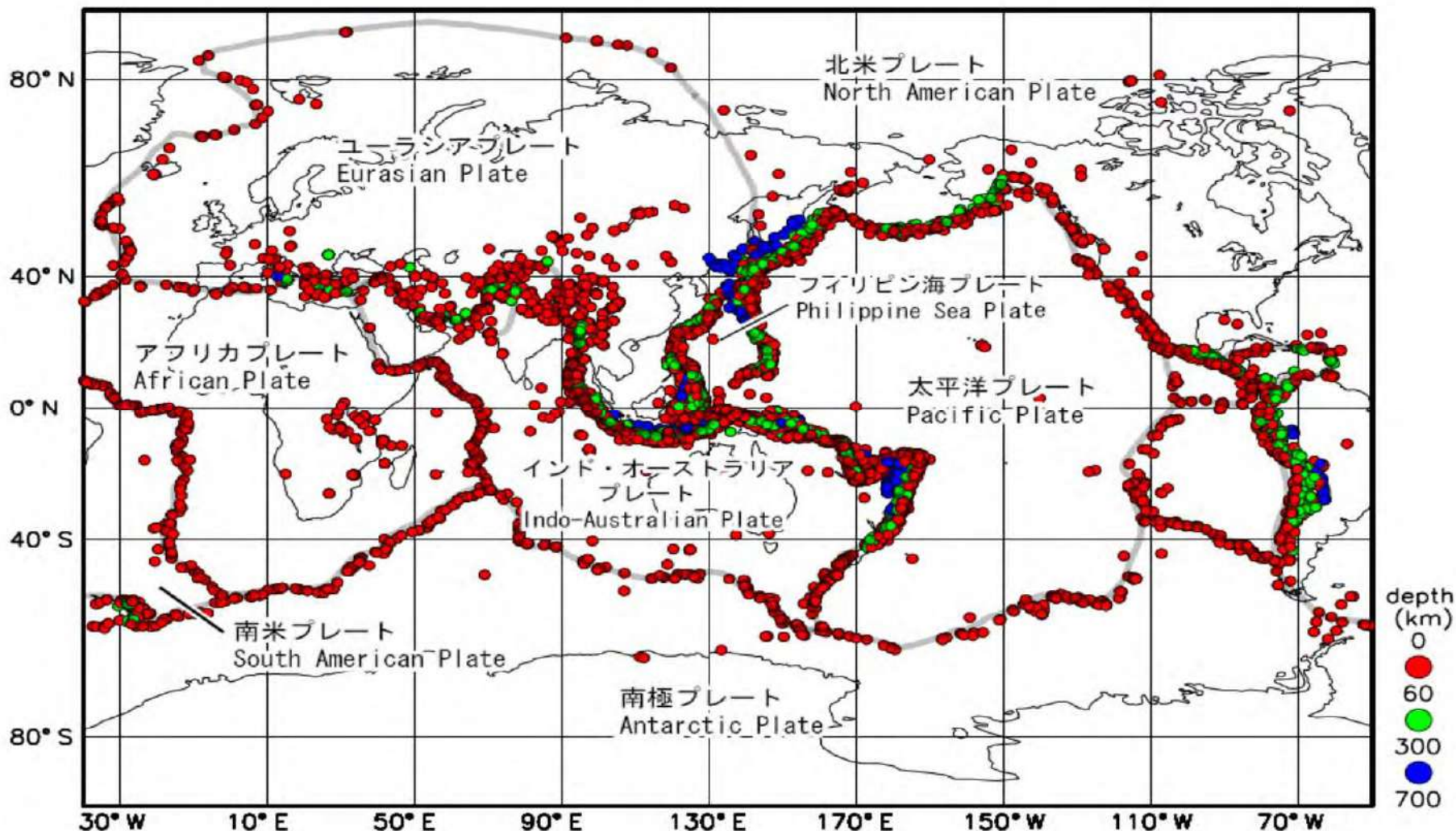
地域輻輳及び加入者輻輳を検出し，必要な規制措置を行い，ネットワーク全体のトラヒックの流れに悪影響を与えないようにする



# 高信頼化施策の体系

| 分類           | 具体的施策（例）   |
|--------------|--|
| 故障発生<br>の低減  | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 高信頼性部品の使用</li><li>・ システム構成の冗長化：完全2重化、共通冗長化</li><li>・ 共通装置への負荷分散</li></ul>                              |
| 故障時間<br>の短縮  | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 自動回復技術（交換機）<br/>系の自動構成技術、インシャルプログラムロード</li><li>・ 各種の保守性向上施策<br/>保守エリアの広さの適正化、<br/>予備パッケージの配置</li></ul> |
| 故障の影響<br>の軽減 | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 設備の多重化<br/>伝送路の多ルート化、中継交換機の分散設置</li><li>・ トラヒック制御<br/>規制的制御、拡大的制御（ダイヤミックスリング）</li></ul>                |
| その他災害<br>対策  | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 移動交換機、無線局、電源等の配置</li><li>・ 衛星を利用した臨時回線の設置</li></ul>  |

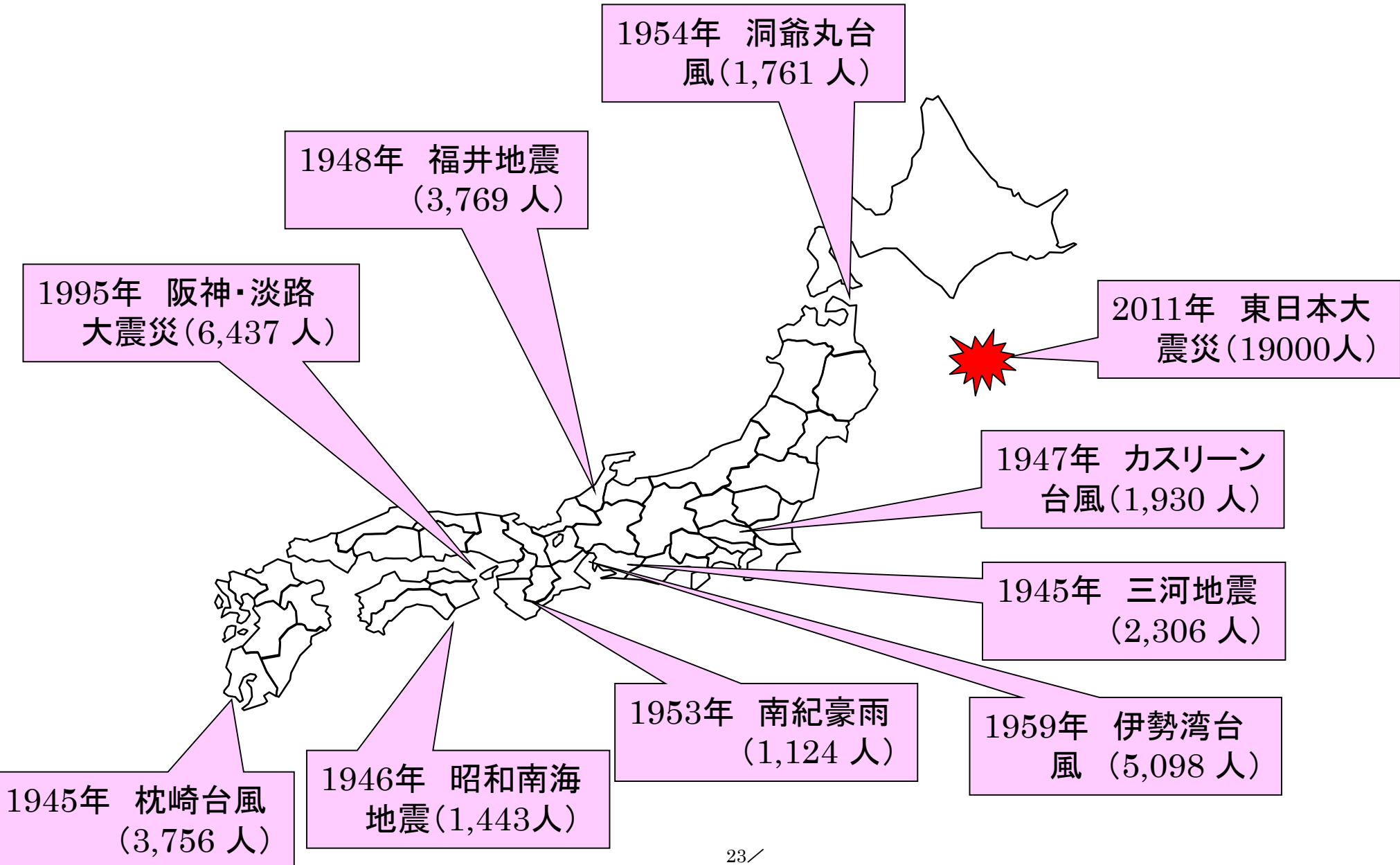
# 世界の自然災害



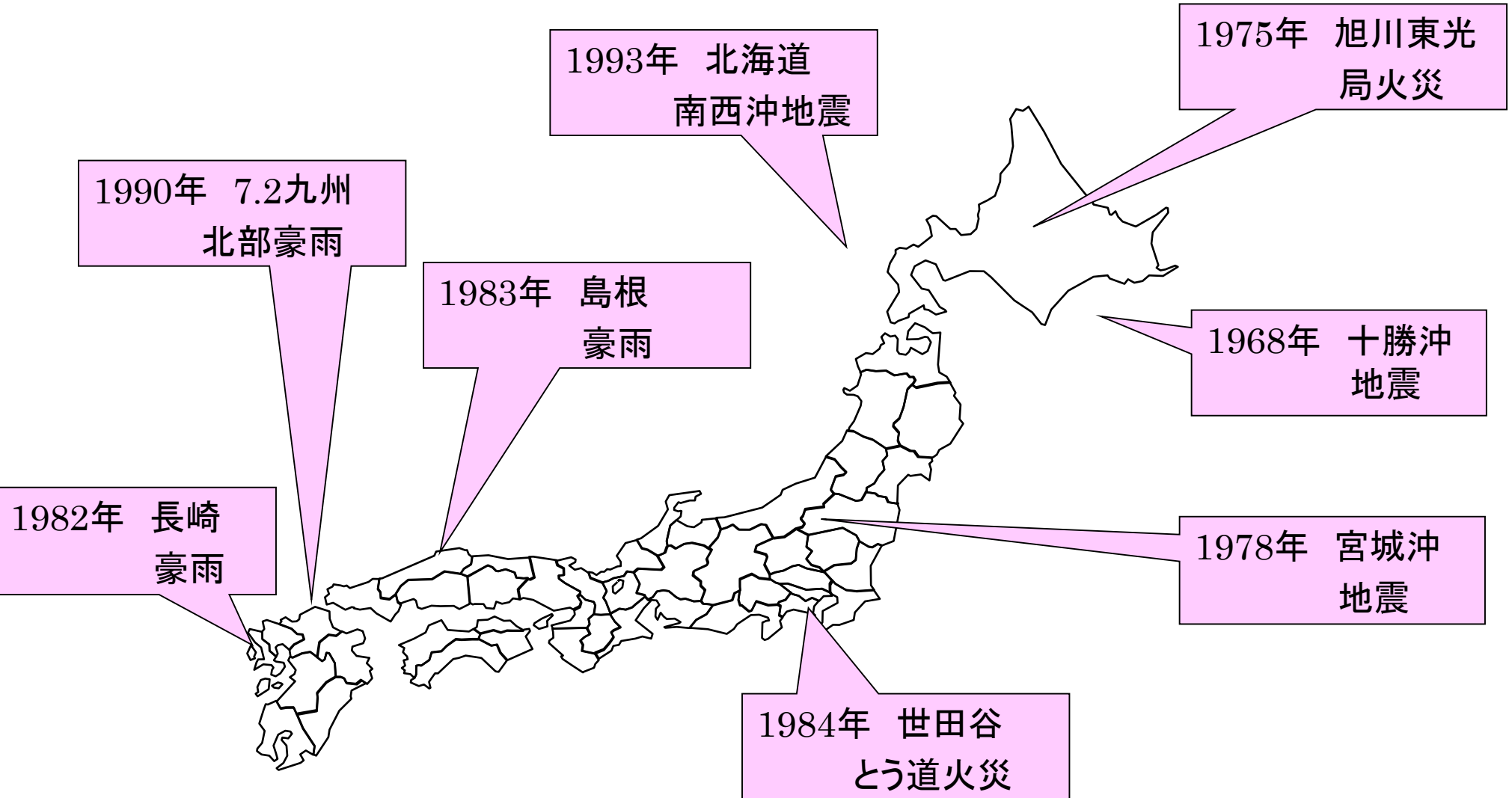
M5以上の地震の震源分布(2000~2009)

内閣府資料より <http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/resilience/dai1/siryou6-1.pdf>

# 主な災害の歴史



# 通信網に関連する主な災害





# 災害対策発展の歴史

| 年     | 災害名       | 被害等の状況                                | 教訓と実施した対策  |
|-------|-----------|---------------------------------------|--|
| 1968年 | 十勝沖地震     | 青森県を中心に4500加入<br>本土～北海道の通信が途絶         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 市外伝送路の2ルート化多ルート化</li> <li>・ TV中継伝送路のループ化</li> <li>・ 孤立防止用無線</li> </ul> 信頼性設計基準（第1版） |
| 1975年 | 旭川東光局火災   | 東光局収容の18900加入（13日間）<br>機械室から出火        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ハロン消火設備の導入</li> <li>・ 大容量可搬型電話局装置</li> <li>・ 大容量可搬型電源装置</li> </ul>                  |
| 1978年 | 宮城沖地震     | 仙台市を中心に400加入（7日間）                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 機械室の架、フリーアクセス床の補強</li> <li>・ 橋梁添架管路等の所外設備の強化</li> </ul>                             |
| 1982年 | 長崎豪雨      | 長崎市を中心に20000加入（8日間）                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 長時間停電対策・バッテリーの増容量</li> <li>・ 発電機の増配備</li> </ul>                                     |
| 1983年 | 島根豪雨      | 島根県を中心に12000加入<br>河川氾濫で1局が機能停止（20日間）  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 衛星利用の拡大</li> <li>・ 可搬型デジタル交換機（KS-1）</li> <li>・ 広域災害用光ケーブルの開発</li> </ul>             |
| 1990年 | 7.2九州北部豪雨 | 佐賀県、熊本県等で18300加入<br>河川氾濫で2局が機能停止（5日間） | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 可搬型加入者無線方式の開発</li> <li>・ 災害対策機器のデジタル化</li> </ul>                                    |
| 1993年 | 北海道南西沖地震  | 奥尻島を中心に1450加入(12日間)                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 災害対策機器の機動性向上</li> <li>・ 災害対策用ポータブル衛星の開発</li> </ul>                                  |

# 災害対策の体系

物理的な強度の向上

ネットワーク的な対応

ネットワークの残存能力の有効活用

臨時回線敷設

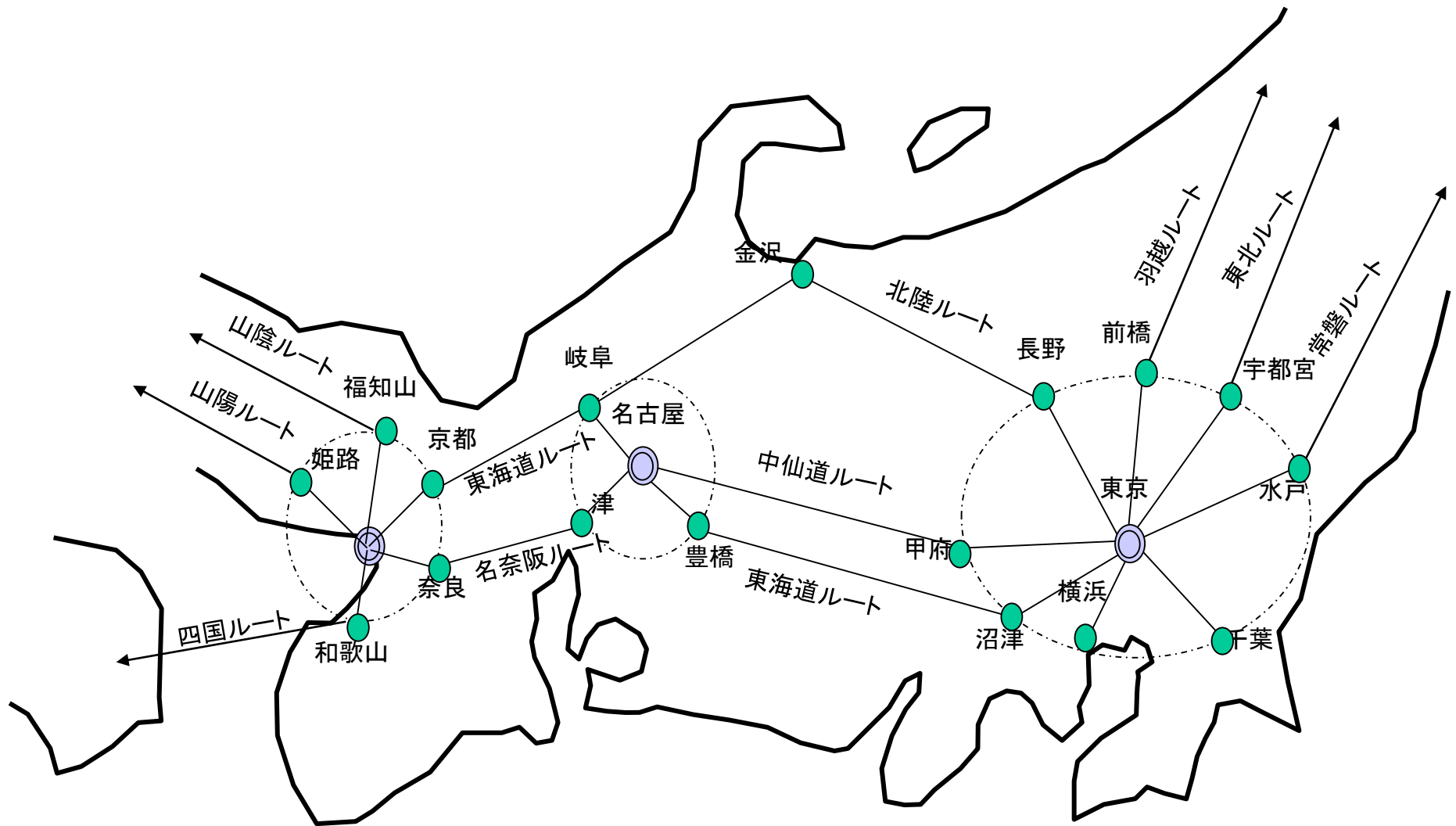
災害時には被災地が通信途絶するのを防ぐことが重要

- (1)非常用移動電話局装置備
- (2)移動電源車の配備
- (3)応急ケーブルの配備
- (4)復旧用資材の確保
- (5)復旧体制， 応援体制の確立
- (6)復旧（措置）計画， 手順の作成

# 物理的な強度の向上（指針）

| 災害  | 想定規模と耐力   |
|-----|---|
| 地震  | 震度 7（激震） 通信ネットワークの大幅な機能低下を防ぐ<br>震度 6（烈震） 通信の質の低下はあっても途絶しない<br>震度 5（強震） 運用上全く支障ない  |
| 風水害 | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 一部の局で浸水による被害を受ける</li><li>・ 局舎、鉄塔、アンテナについては風速 60 [m/s]<br/>（特殊地域は 90 [m/s]）の設計耐力があり被災しない</li><li>・ 架空設備が被害を受ける</li></ul> |
| 火災  | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 架空設備が被災を受ける</li><li>・ 局舎においては、1フロアのみ被災、他階に延焼させない</li></ul>  |

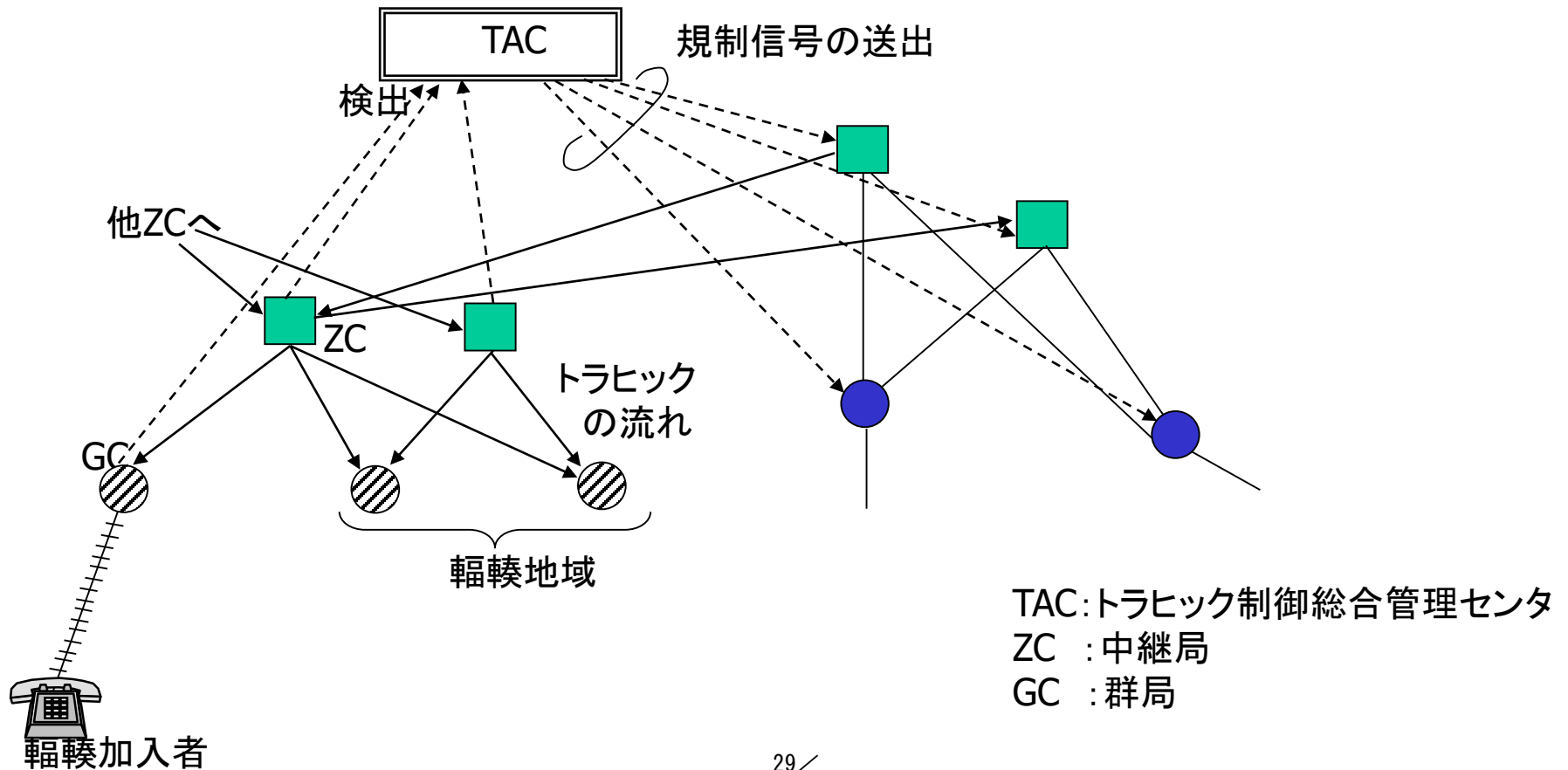
# ネットワーク的な対策



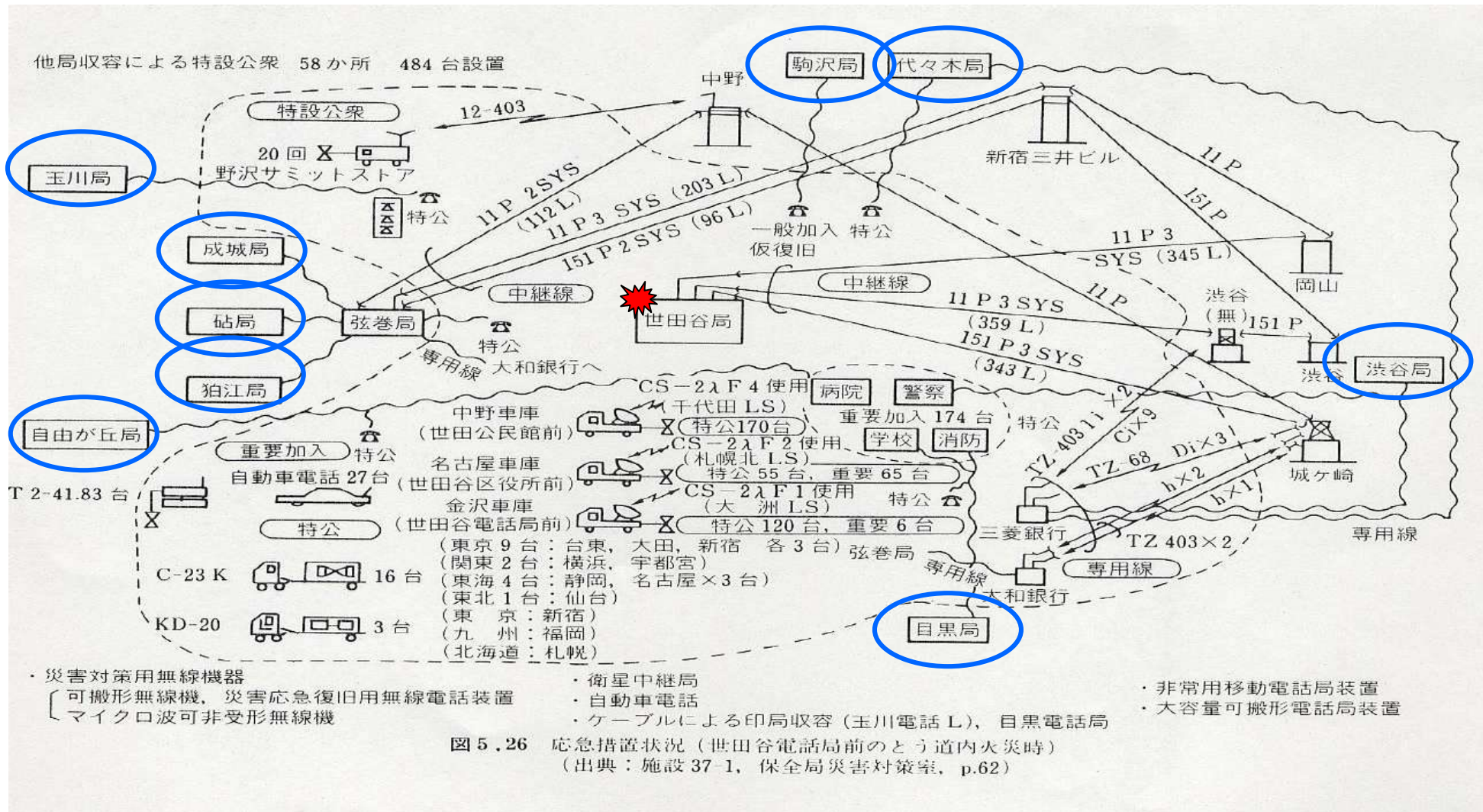
東京・名古屋・大阪環状ルート of 概要

# 災害時のネットワークの有効利用

## トラヒック制御システム



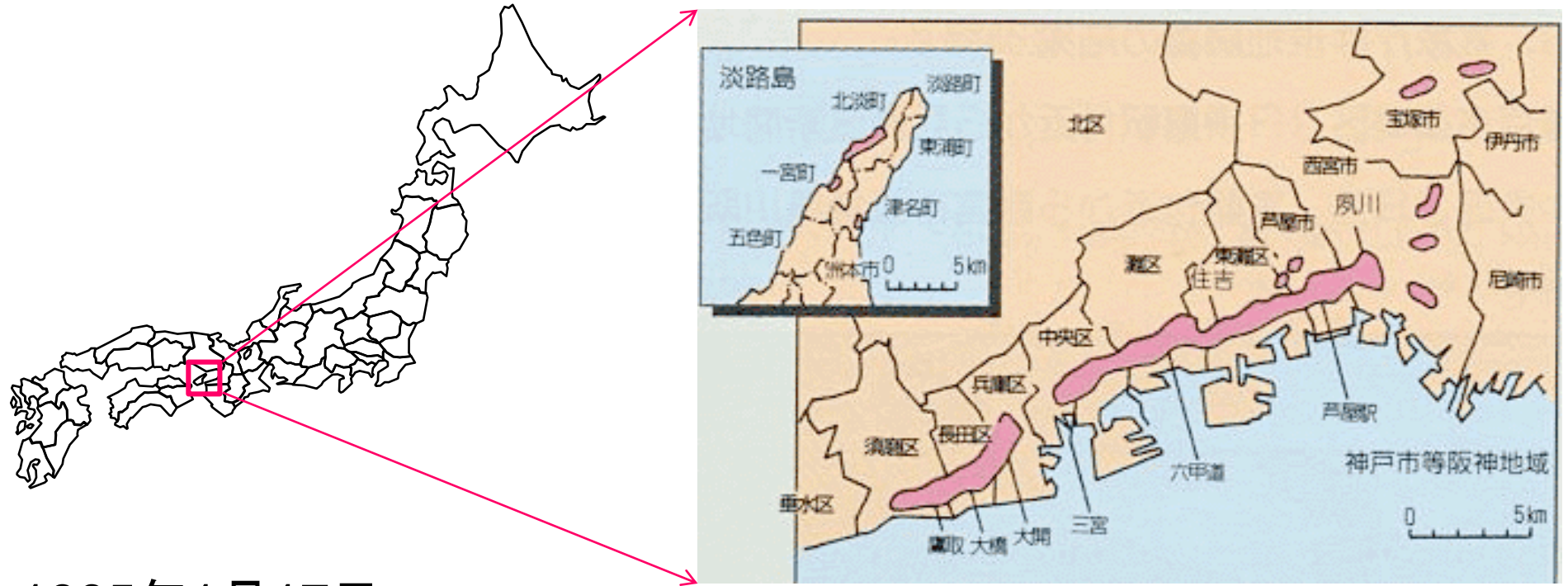
# 災害時の臨時回線の展開（世田谷火災の例）



浅谷他：通信ネットワークの品質設計（1993）より引用



# 阪神淡路大震災



1995年1月17日

M7.3

震度 7 (818 gal)

# 阪神大震災

| 設備の状況        |  | サービスの状況  |  |
|--------------|--|----------|--|
| 長距離ネットワーク系設備 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 主要交換機は影響回避</li> <li>・ 主要伝送路は予備伝送路へ切り替え</li> </ul>               | 電話サービス   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 30万を超える電話が不通</li> <li>・ 通常ピーク時の50倍のトラヒックで長期輻輳</li> </ul>  |
| 地域系ネットワーク設備  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ バックアップ電源破損(28.5万回線罹障)</li> <li>・ ノンヒューズブレーカ断(現地駆けつけ)</li> </ul> | 専用サービス   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 3500回線が故障(全体の14%)</li> <li>・ 110,119番への無効発呼が発生</li> </ul> |
| アクセス系設備の被災   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 架空ケーブルと引込線が大きな被災(19.9万回線罹障)</li> </ul>                          | 公衆電話サービス | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 商用電源停止のためカード不可</li> <li>・ 金庫充満による使用不能</li> </ul>          |
| 建物・鉄塔等設備の被災  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 建物は3ビルが被災の他はおおむね問題なし</li> <li>・ 鉄塔2基が被災</li> </ul>              | PNWサービス  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 大口法人ユーザへ、移転を含め優先対応</li> </ul>                             |

加入者輻輳により、緊急時の通話に支障。安否確認の手段の必要性認識。一方で、中継系伝送路は設備の強度も向上し分散も進んだので殆ど被害は無かった。強度的には過去の対策が奏効。



# 輻輳

- 平常時の50倍のピークトラヒック
- 被災地と直接関連のない通話も、1週間程度は平常の2倍に

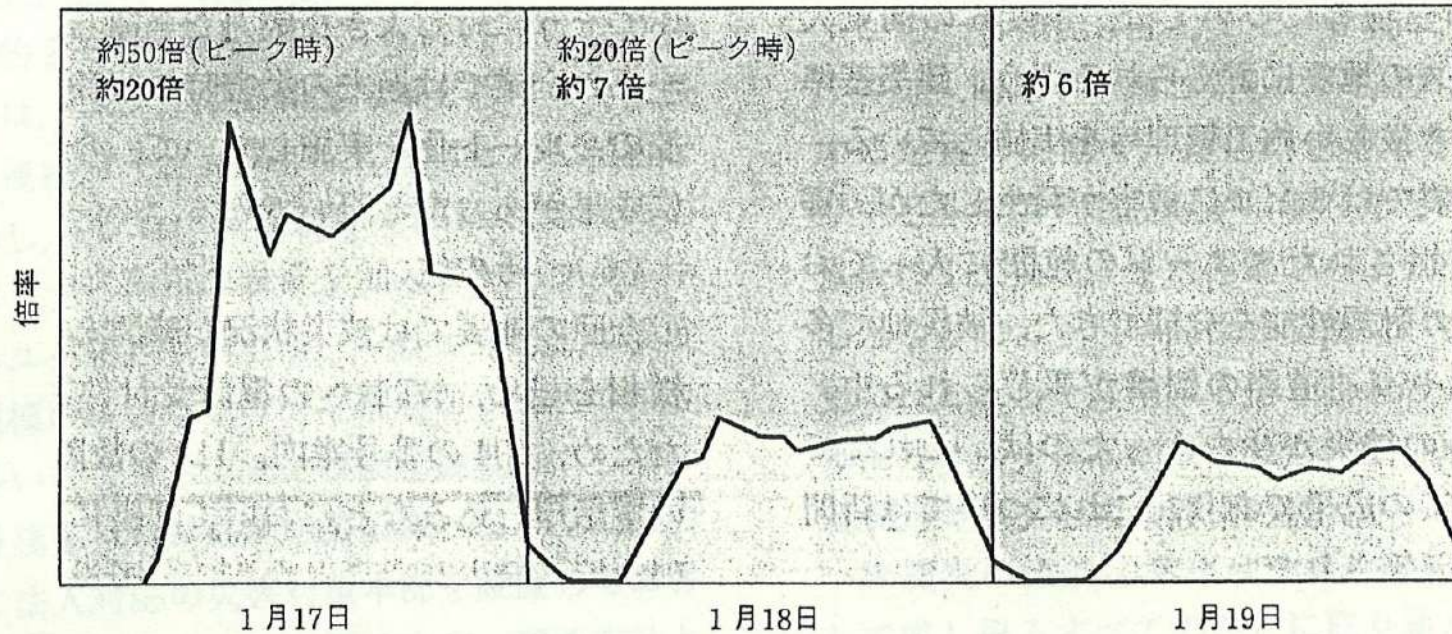


図3 全国→神戸 ZA トラヒック状況

# 阪神大震災より

基幹網の損害は軽微

交換システムは、発災後約 1 日経過してから本格的に停止

(燃料不足のため)

加入者系ネットワークは激しく被災

安否確認のための輻輳が発生

被災地と直接関係ない通話も平常よりも高いトラヒックが継続

携帯電話と電子メールは比較的良好な通信を維持

# 危機管理

あり得る事象を列挙して対策を取るのが「信頼性対策」、「安全対策」

想定外の事象に対するのが「危機管理」

危機管理のポイント

- ・意思決定の主体を事前に決めておく
- ・復旧等の原則

孤立防止、重要回線確保、公衆電話

# 設計管理の体系化

1. サービスに対する要求信頼性（信頼性目標）
2. ネットワーク構成と保守体制等の決定
3. ネットワークの建設
4. 故障データ等の収集と反映
5. 新規サービスへの反映

# 信頼性目標の設定

# 過不足のない信頼性対策のために

信頼性対策の実施有無は、経済性との兼ね合いで決まる  
→ 信頼性設計

信頼性設計のために  
信頼性の目標の決定  
信頼性評価法

信頼性目標については通信網特有の難しさ  
通信機能の失われる範囲や通信能力の低下度合いの考慮

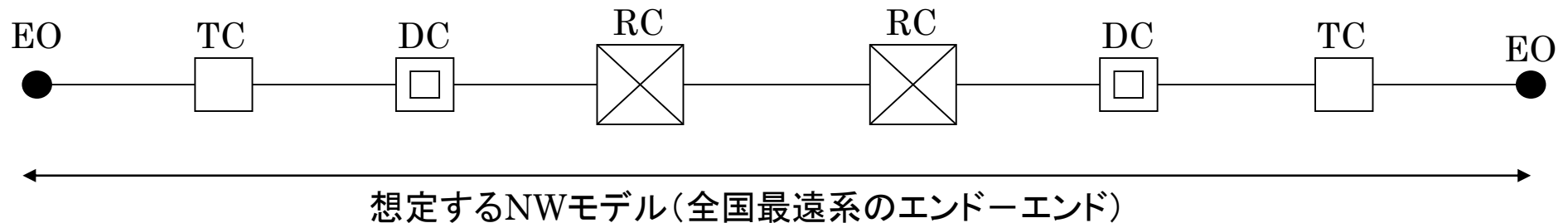
巨大なシステムである通信網の設計のために  
全網的な一つの目標値に基づく「一挙に最適設計」は困難  
適当な設計規則に基づいて局所的な設計を積み重ねる

# 信頼性目標（エンドーエンド信頼性）

1968年の十勝沖地震を契機に基準を制定（1970年）  
「通信網の信頼性」という考え方が取り入れられた。

要点：

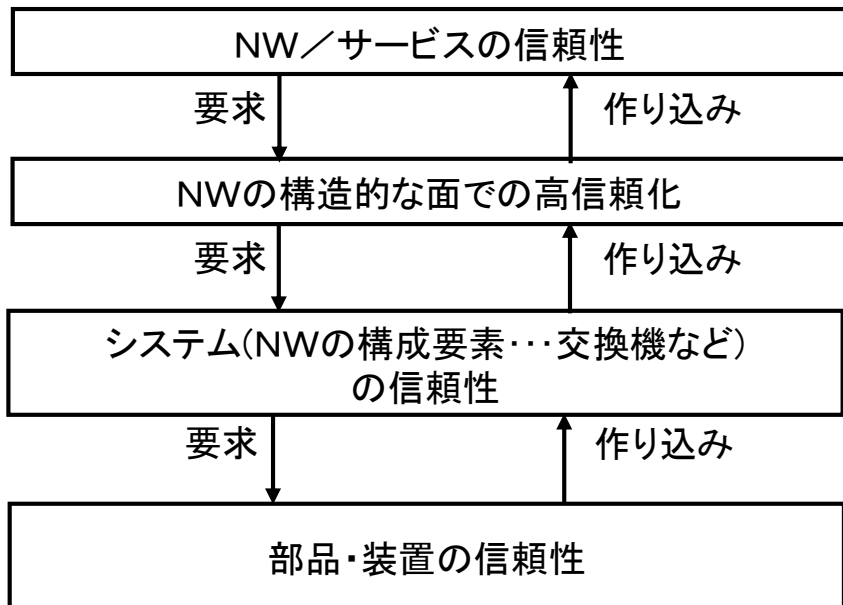
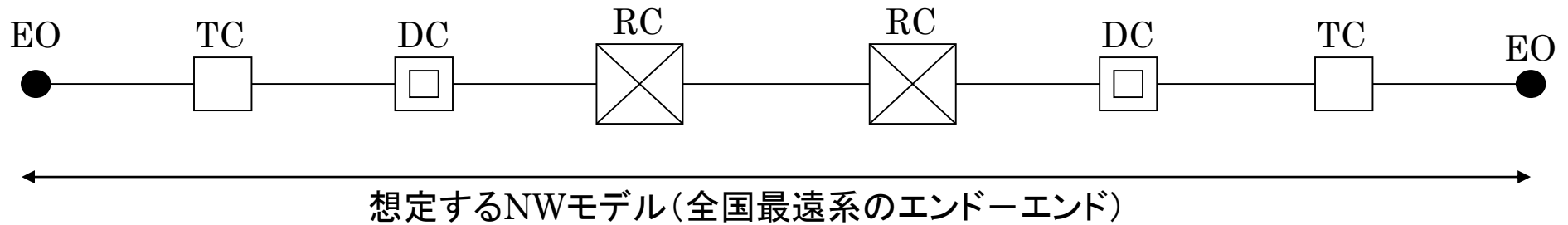
- ①満たすべきは「通信網の信頼性」であって、装置の信頼性ではない
- ②通信網信頼性の基準を定め、それを満たすような設計を行う  
具体的には、ネットワークの区間／要素に許容不稼働率等を配分



目標値：「全国最遠系において、通信が途絶する確率（不稼働率）」  
 $1 \times 10^{-3}$ （「NTT通信網を理解していただくために」より）

# 各階層における信頼性の作りこみ

ユーザに提供する品質 → E-E不稼働率  $1 \times 10^{-3}$



- ・ 使用装置の信頼性を決定  
→ 例えば購入条件にする
- ・ 装置の冗長構成を決定
- ・ 信頼性関連機能の開発要否を判断  
例：2重化システムや切換スイッチの故障を常時監視する機能は必要か？  
あるいは、どのような周期で点検？
- ・ 装置の取り替え周期を決定
- ・ 予備品の配備数を決定
- ・ NW構成を決定  
ルート冗長数、局舎分散有無
- ・ 信頼性に関する採用技術を決定



# 目標値の発展 (①規模に応じた信頼性目標)

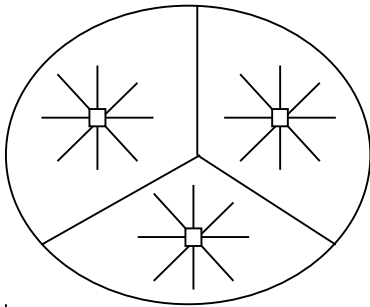
1980年頃、デジタル交換機の開発に際し、従来にない大きな規模のシステムの信頼性の目標を如何に考えるかという疑問が提出された . . .

☆安定基準には答えなし

故障時のユーザ迷惑量という概念を介して、信頼性目標を規模の関数として規定する考え方[\*] が提案された。

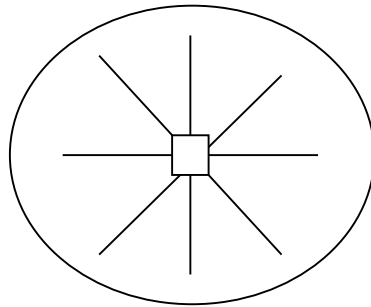
ケース1

あるエリアを規模の  
小さい交換機n台  
でサービス



ケース2

同一エリアを規模の  
大きい交換機1台  
でサービス



故障によって生じるユーザ迷惑量の  
期待値は等しくなければならない

$$nU(x)L(x) = U(nx)L(nx)$$

U(): 不稼働率目標値

L(): 迷惑量

これより

$$U(x) = kx / L(x)$$

→ 規模を考慮した目標値

注: 経験等から、Lはxの1.5乗  
に比例

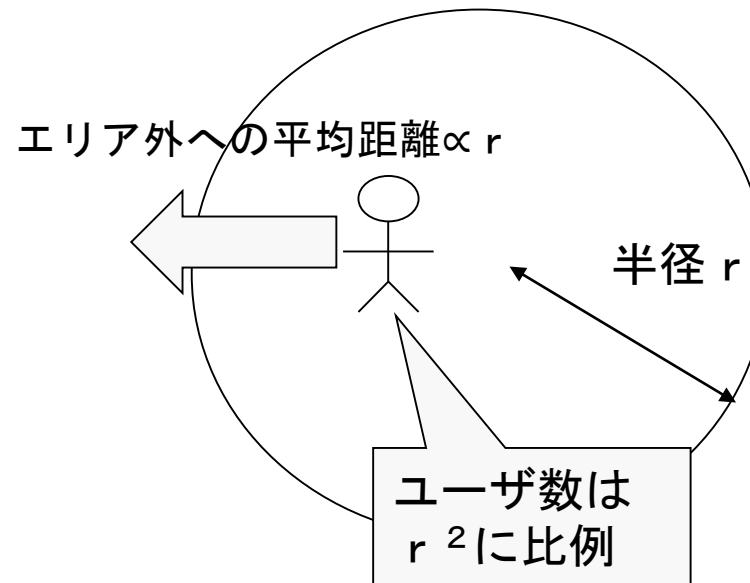
→ 信頼性目標は、規模の  
平方根に反比例

[\*] 能條哲「罹障規模を考慮した信頼度同等性の評価」, 信学論 (A),  
Vol. J-64 (A). No. 1, pp 9-14, 1981

# L(x)とは何か

## 根拠 1 : 思考実験

x人のユーザの存在するエリアが通信停止したとき、エリア外まで移動する距離の総和は  $x^{1.5}$  に比例



# L(x)とは何か (続)

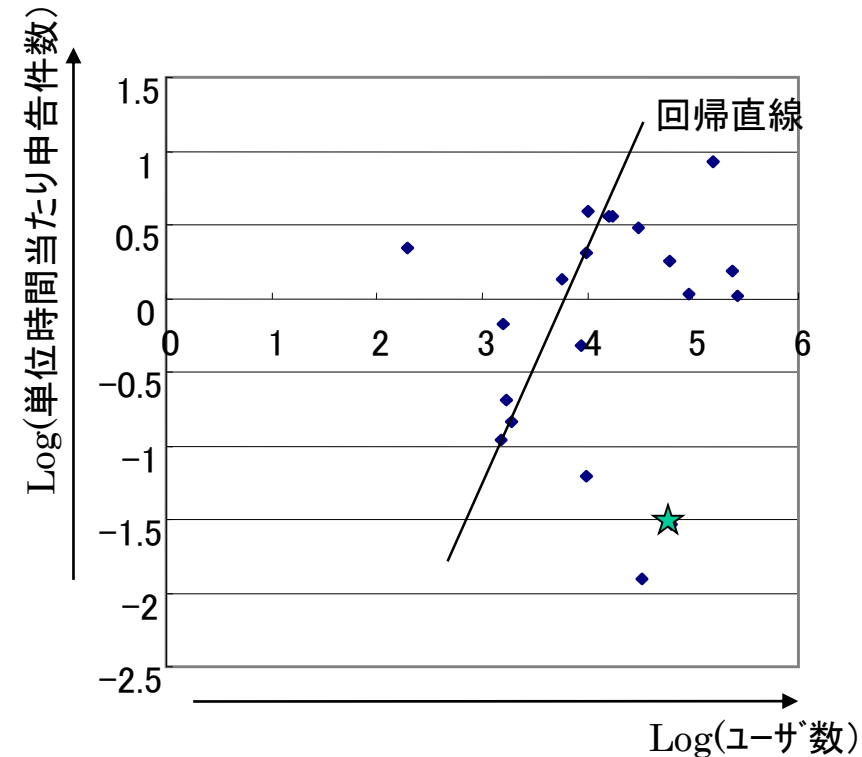
## 根拠 2 : 故障時の社会的反響

単位時間当たりクレーム数は  $x^{1.5}$  に比例  
その他、詳細な検討例あり [\*]

### その他の分析

- ・ 報道有無
- ・ 移動網と固定網の比較
- ・ IPサービスの故障

等々



通信停止時の申告件数(イメージ)

[\*] 船越他「通信ネットワーク故障における社会的影響度分析法」  
電子情報通信学会論文誌 (B) Vol.J90-B,No.4,pp.370-381(2007)

# L(x)とは何か (続々)

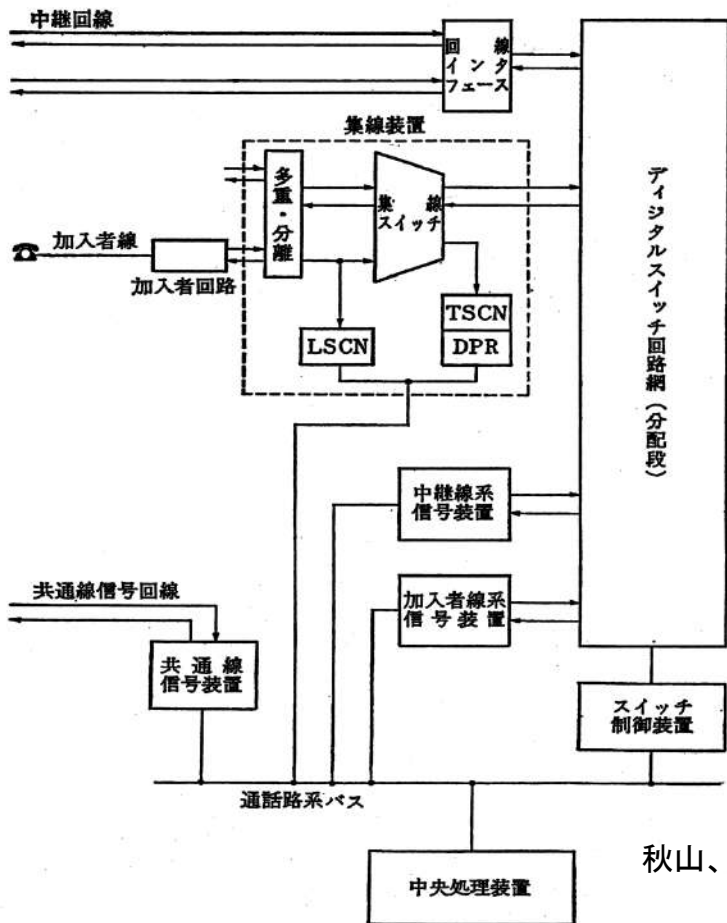
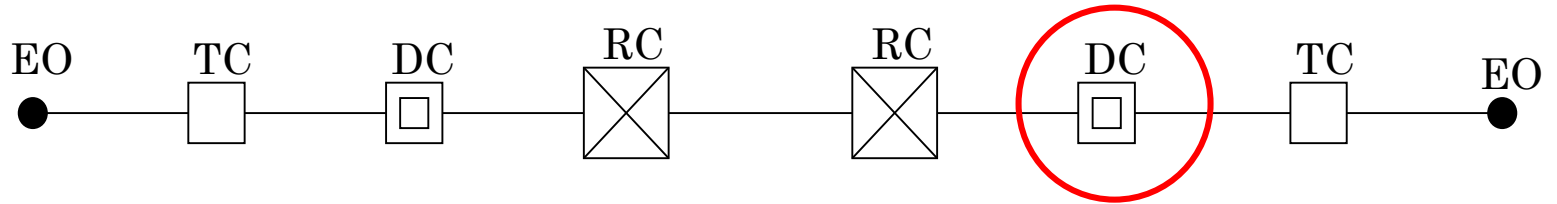
## 根拠 3 : 価値観の表明

- L(x)は設計者の価値観を表すものである
- その価値観が与えられたとき, ネットワーク全体を首尾一貫するように設計するための方法が14頁の式
- 現在の価値観
  - 規模の大きな故障の発生は、一層禁止的  
c f . 規模の大小に依らず故障の発生数の低減こそ重要との価値観に立てば、逆の設計法

- 実際の設計

$$L(x) = a x + b x^{1.5}$$

# 信頼性目標の発展 (続)

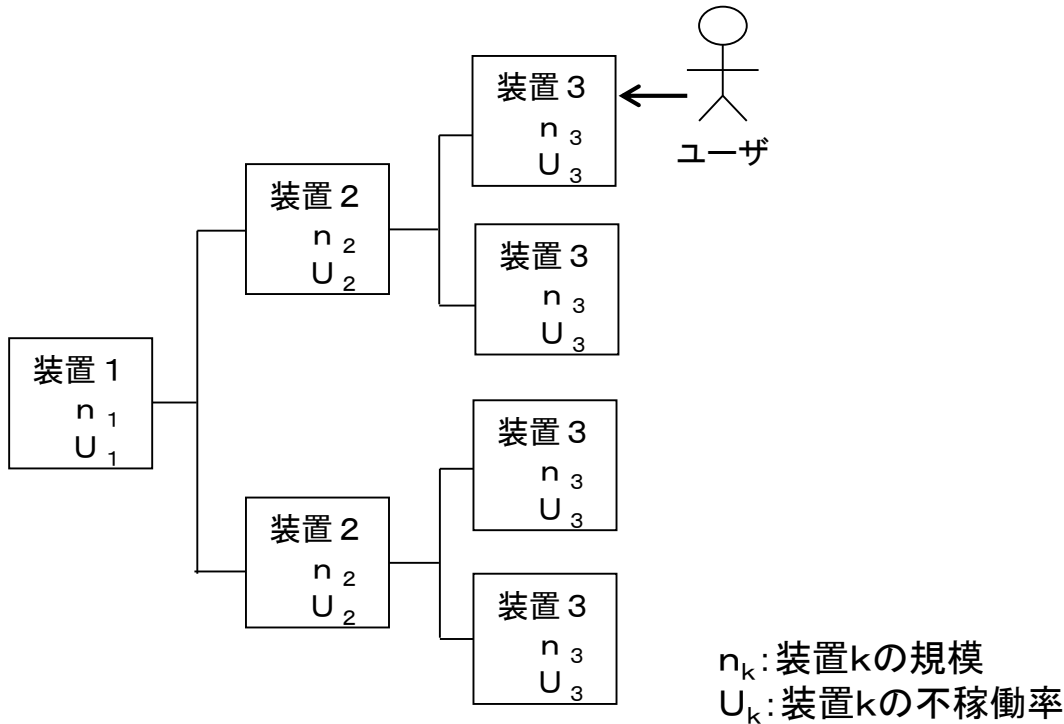


交換機の内部の設計を  
どうするか？

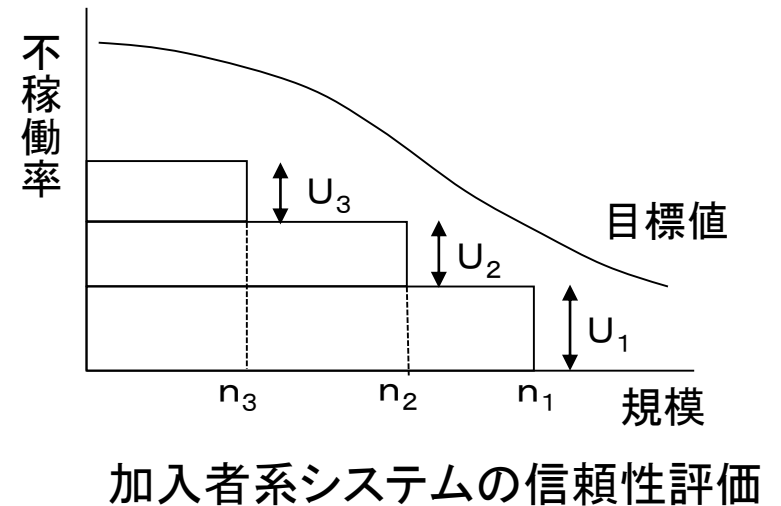
秋山、五嶋、島崎「デジタル電話交換」より引用

# 目標値の発展 (②枝分かれ構造のシステム)

14頁の考えは、単一の規模をもつシステムの信頼性目標に過ぎない。  
その考え方をシステムの内部における規模の異なる装置に対しても適用 [\*]。



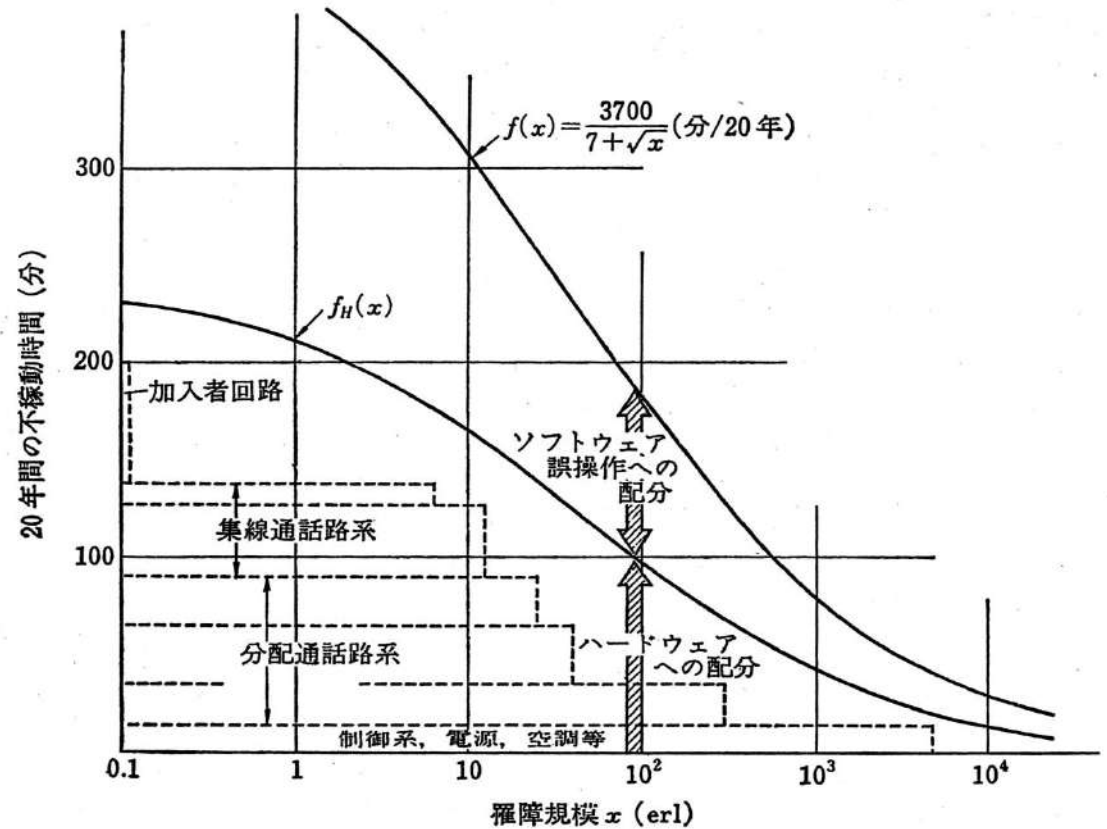
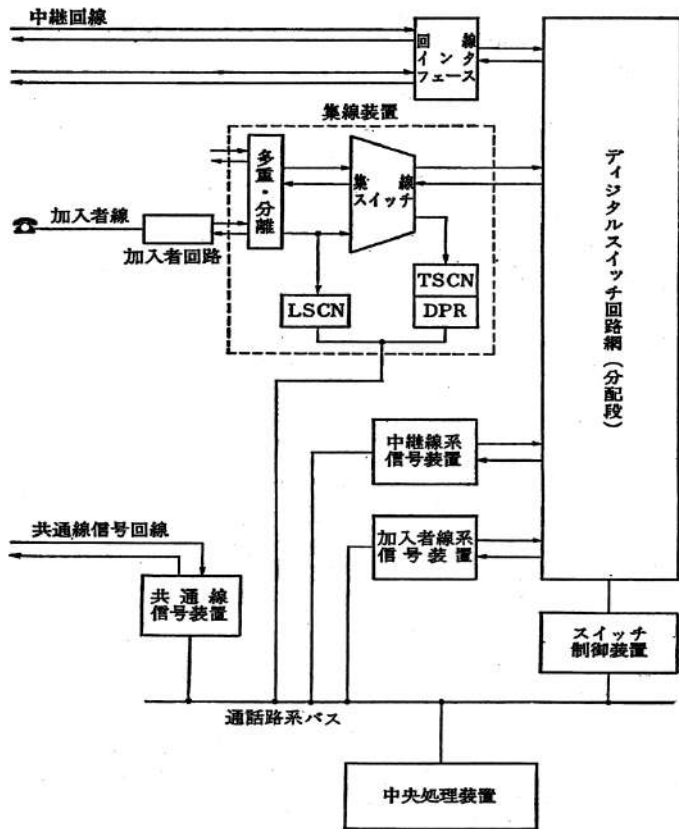
加入者系システムのモデル化



[\*] Reliability Specification for Communication Networks Based on the Failure-Influence, S.Nojo and H.Watanabe, IEEE Globecom'87, pp.1135-1139, Tokyo(1987)

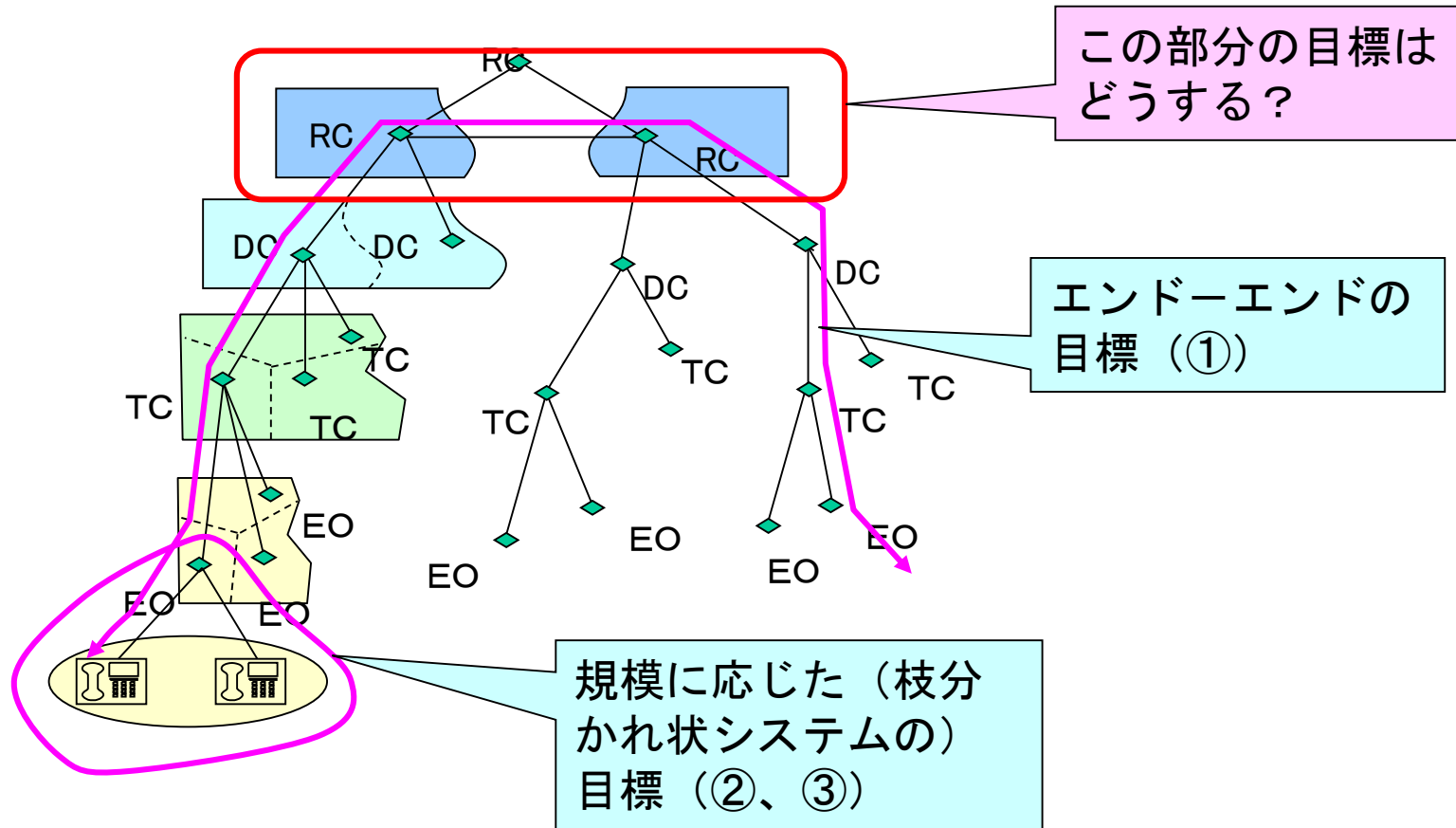
# 目標値の発展 (交換機の信頼性設計)

## デジタル交換機的设计例



秋山、五嶋、島崎「デジタル電話交換」より引用

# 中継系の目標はどうするか？



アクセス系と中継系で、ユーザに対する故障の影響が違う

アクセス系 → 故障装置に收容されるユーザは全面的にサービス停止

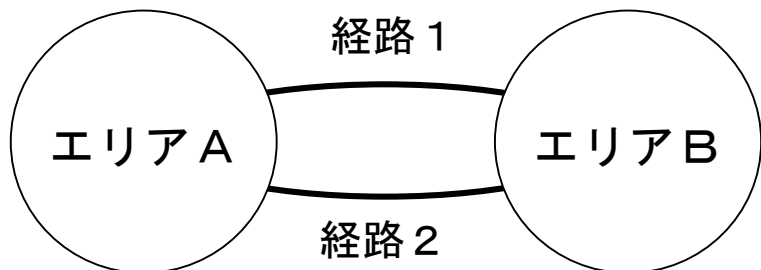
中継系 → 装置故障してもサービスは全面停止とは限らない

(ex.複数経路あるときに1経路のみ故障したら…)

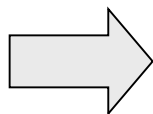


# 回線の部分的な故障の影響

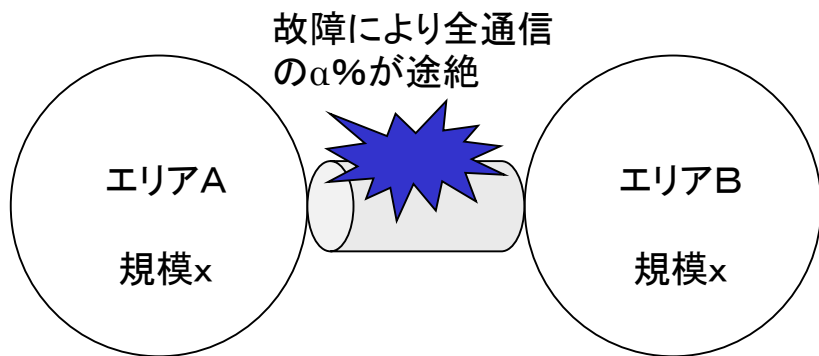
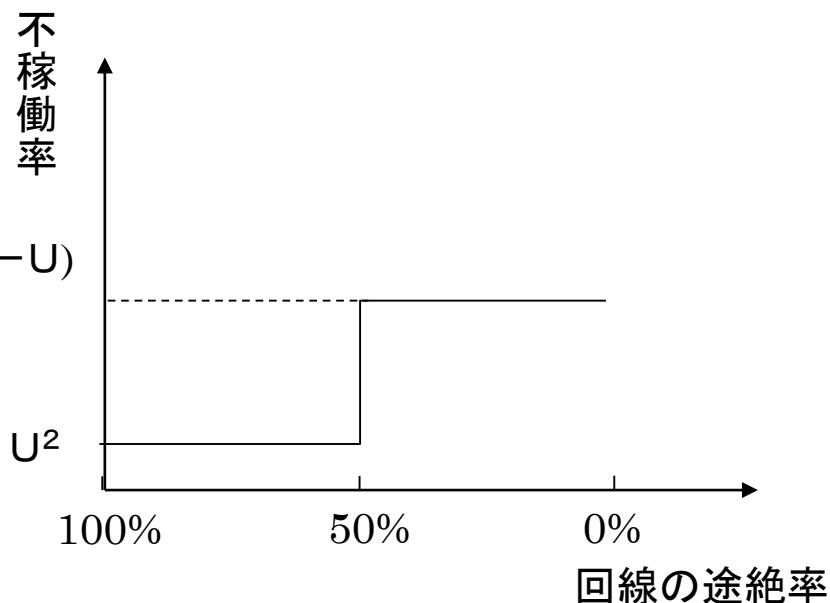
経路が冗長化された中継網の設計を行うため、「疎通率」の概念が導入され、疎通率別の目標が導入された。



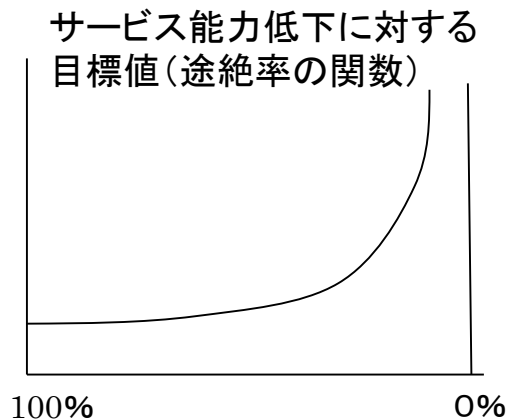
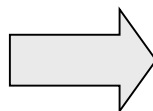
各経路の不稼働率はUとする



$$2U(1-U)$$



通信網の故障の形態

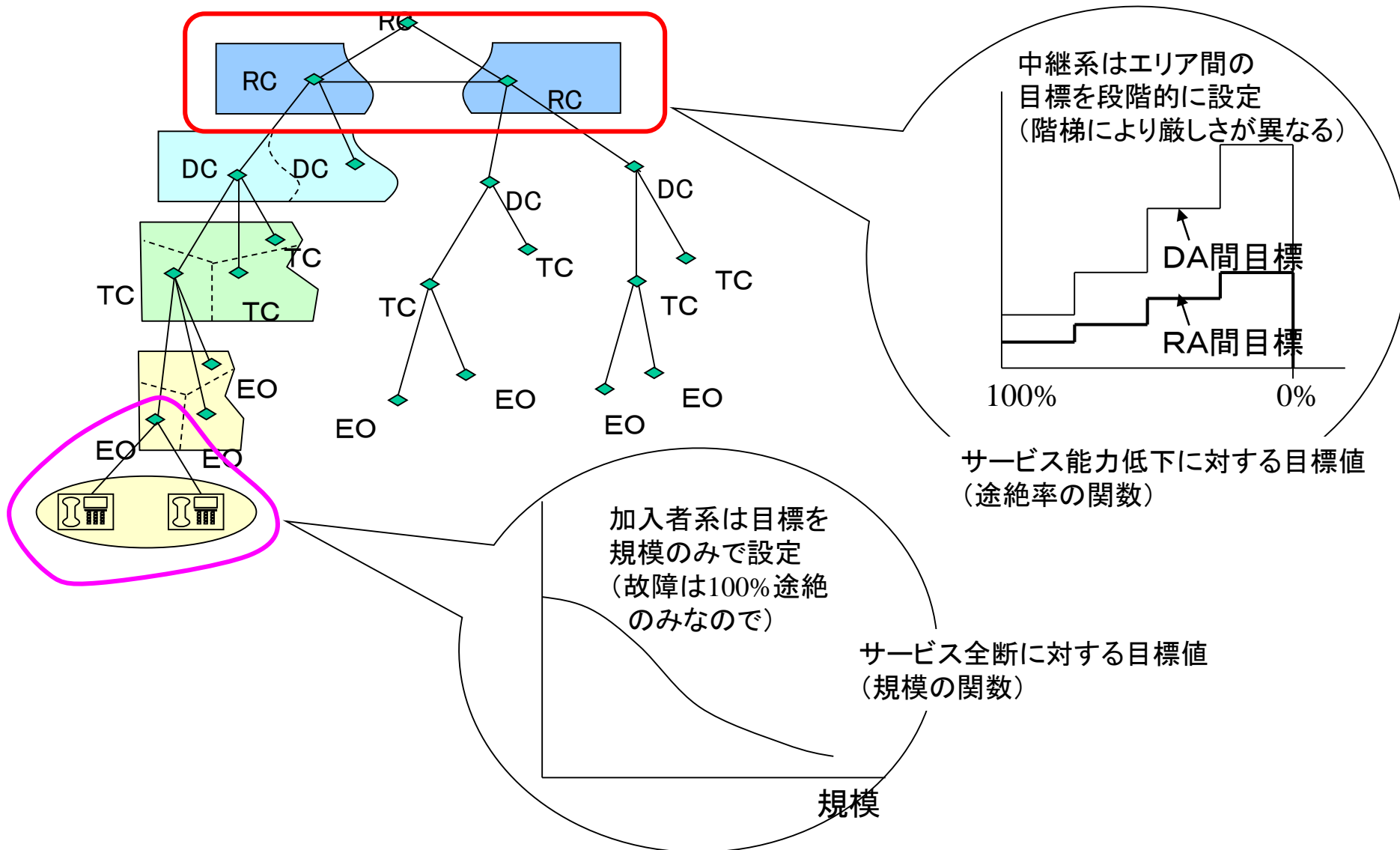


# 現実には連続関数ではなく段階的規定

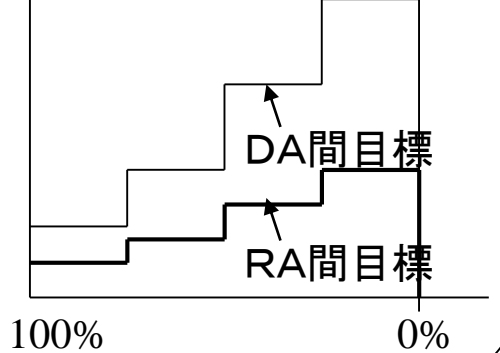
| クラス   | 社会に与える影響  | 疎通率          |
|-------|---|--------------|
| クラス 1 | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 最繁時に与える社会活動の効率が一部低下するが、社会的影響は殆どない。</li><li>・ トラヒック規制はかからない。</li></ul> | 80～90%       |
| クラス 2 | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 社会活動の効率が低下する。</li><li>・ トラヒック規制はかかる。</li></ul>                        | 60～80%<br>未満 |
| クラス 3 | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 社会的統制機能は維持できる。</li><li>・ 社会活動の効率が大幅に低下する。</li></ul>                   | 10～60%<br>未満 |
| クラス 4 | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 通信途絶またはそれと同等な状態になる。</li><li>・ 社会的統制機の維持が困難となり、社会的混乱が発生する。</li></ul>   | 0～10%<br>未満  |

# 目標値の全体像

実際には、網の構造を考慮した簡易な設計法に具体化される。



中継系はエリア間の  
目標を段階的に設定  
(階段により厳しさが異なる)



サービス能力低下に対する目標値  
(途絶率の関数)

加入者系は目標を  
規模のみで設定  
(故障は100%途絶  
のみなので)

サービス全断に対する目標値  
(規模の関数)

規模

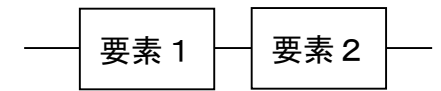
# 現実的要因を考慮した設計手法

# 設計の実際

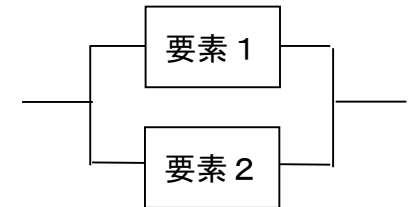
## 信頼性評価の基本 …… 信頼性ブロック図の手法

### 単純な手法だけでは不十分な場合も

潜在故障  
故障許容時間  
収容の階層構造  
…



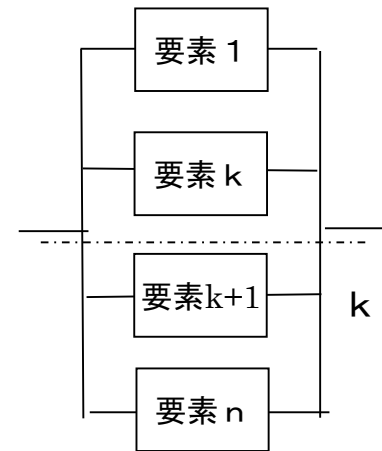
直列系



並列系(要素数 2 とは限らない)

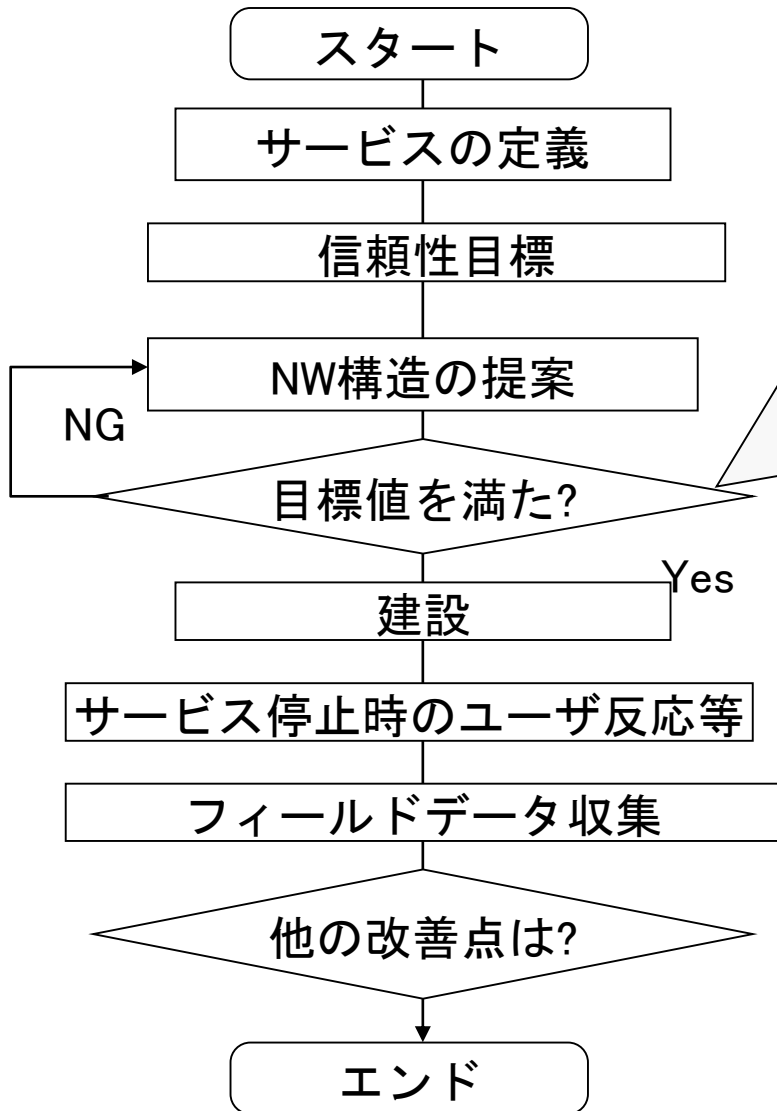
### 時間と数の壁

不確実な状況での意思決定



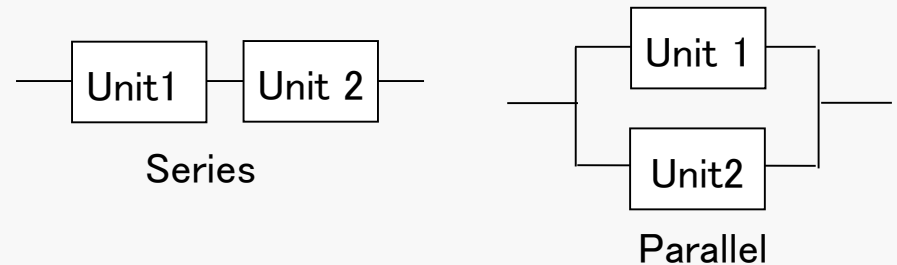
$k$  - out - of -  $n$  : G系  
 $k$  を  $n$  の過半数とすれば  
「多数決回路」

# 設計の実際(体系化)



## 信頼性評価

- 基本的には直並列の信頼性ブロックの手法で
- ただし、定型的な手法では間に合わない場合も
  - 潜在故障
  - 故障許容時間
  - NWの階層構造

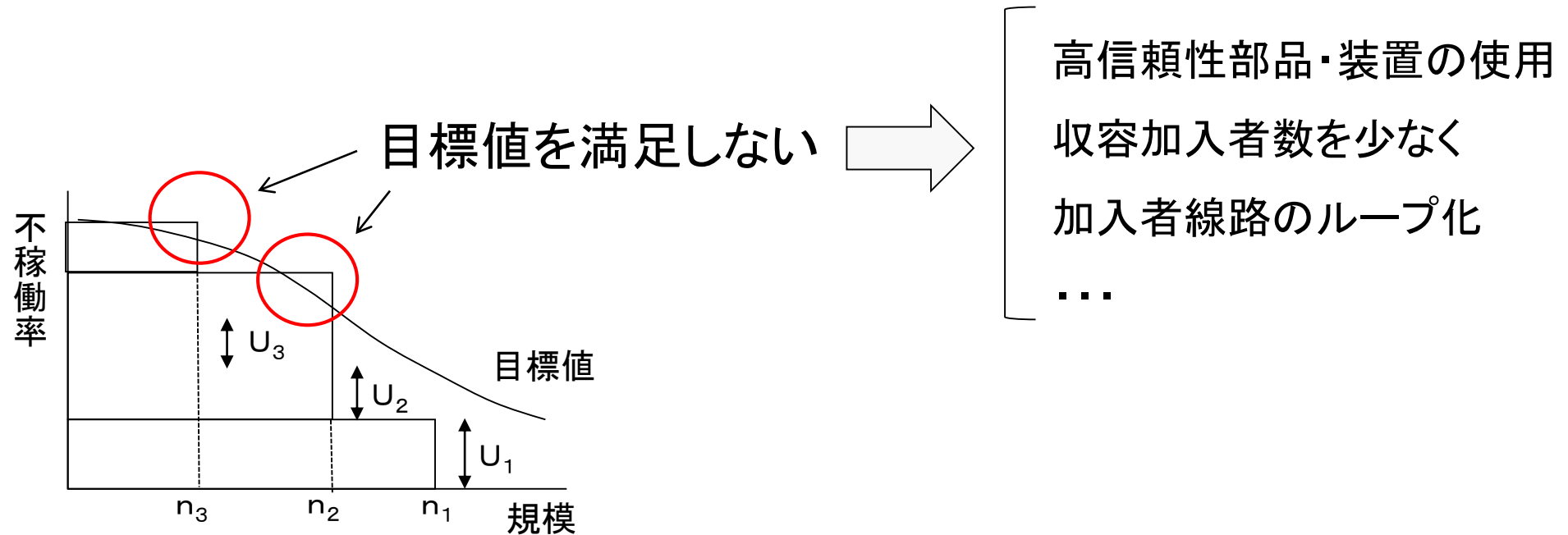


## 信頼性データの収集

故障率、修理時間、災害発生頻度

# 設計のイメージ（加入者系）

ネットワーク構成の候補を評価し、目標値を満たさない場合には、各種の代替案を検討

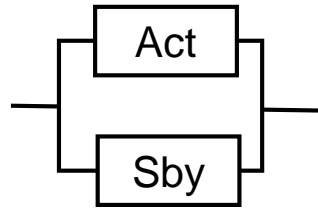


加入者系は全国に数千

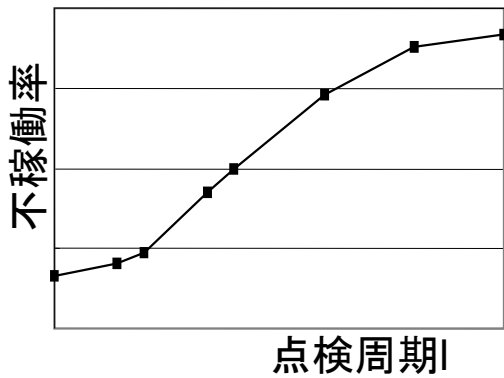
→ 業務の展開のためには、設計例の蓄積やソフトウェアツール\*が必須

\* システムの信頼性設計ツール：ARDES、能條 哲、阿部 威郎、渡邊 均、高橋 成美  
電気通信研究所研究実用化報告、第37巻第8号、pp.443-454(1988)

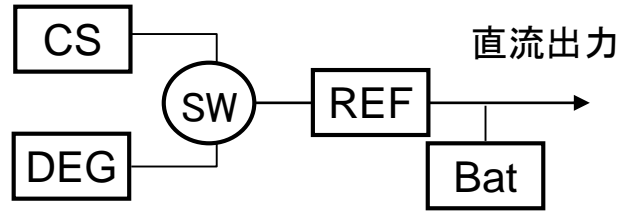
# 信頼性評価の現実的要因



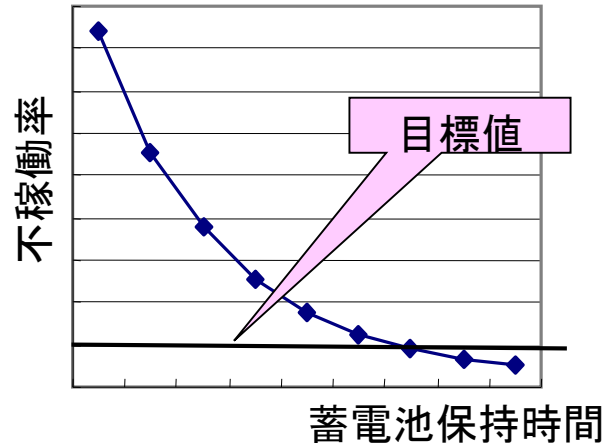
故障は点検のときに発見される



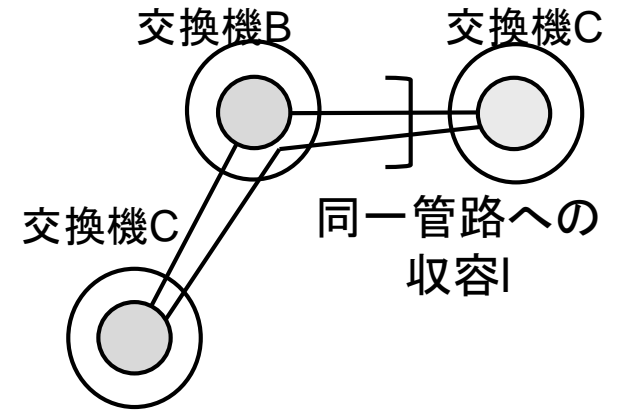
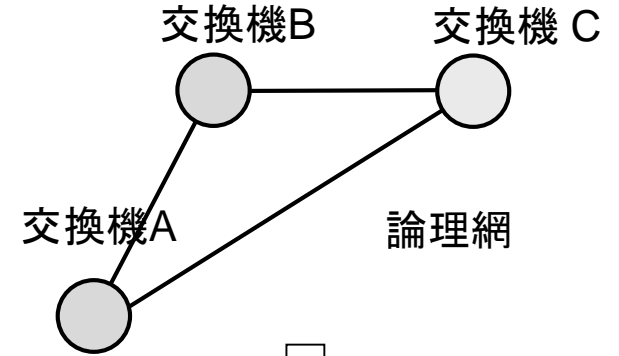
2重化システム評価例



CS: 商用電力  
 DEG: ディーゼルエンジン発電機  
 SW: 切換えスイッチ  
 Ref: 整流器  
 Bat: 蓄電池



直流供給系評価例

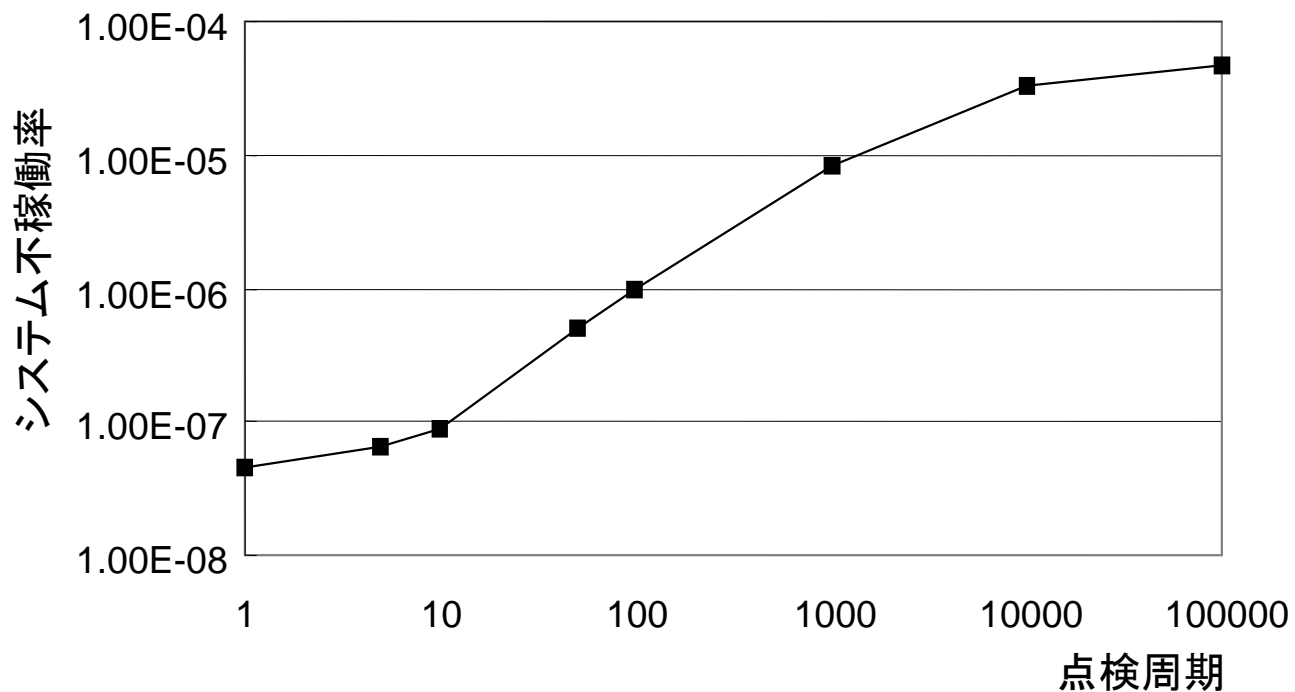
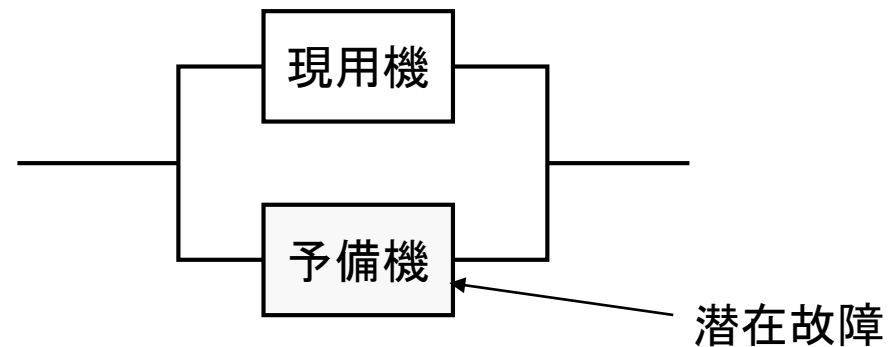


回線収容の実際



# 潜在故障（例）

例：予備機の故障が潜在化する  
2重化システム



# 潜在故障（評価の反映）

## 潜在故障するシステム

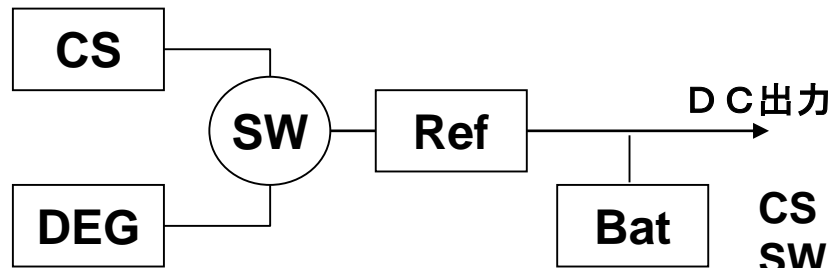
- 2重化されたプロセッサシステム
- 切り替えスイッチ
- 予備回線

## 解析結果の反映

- ・ 点検周期決定への反映
- ・ 潜在故障を検出する機能の重要性判断

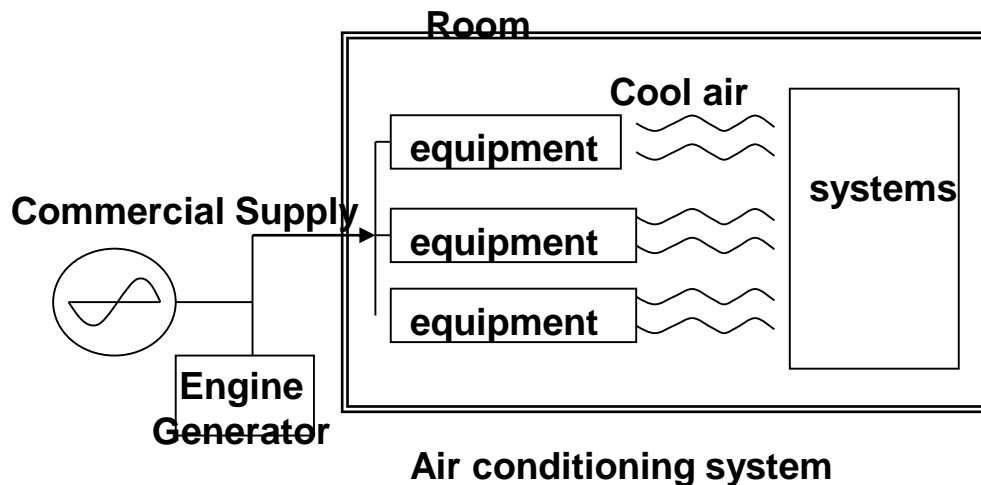
# 故障許容時間

電力システムや空調システムでは、蓄電池や建物の熱容量のため、装置故障後直ちには影響が出ず、一定の時間経過後故障の影響が出る（故障許容時間）。

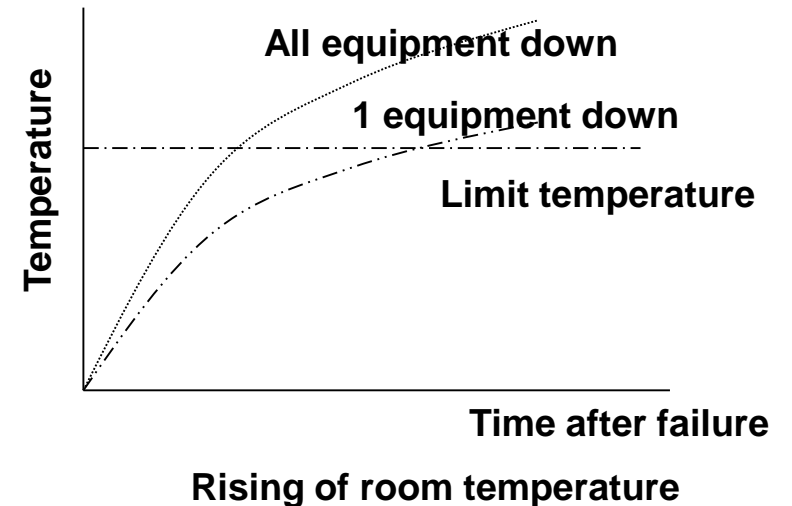


CS : 商用電力  
SW : 切替スイッチ  
Bat : 蓄電池  
DEG : 発電機  
Ref : 整流器

電力システム

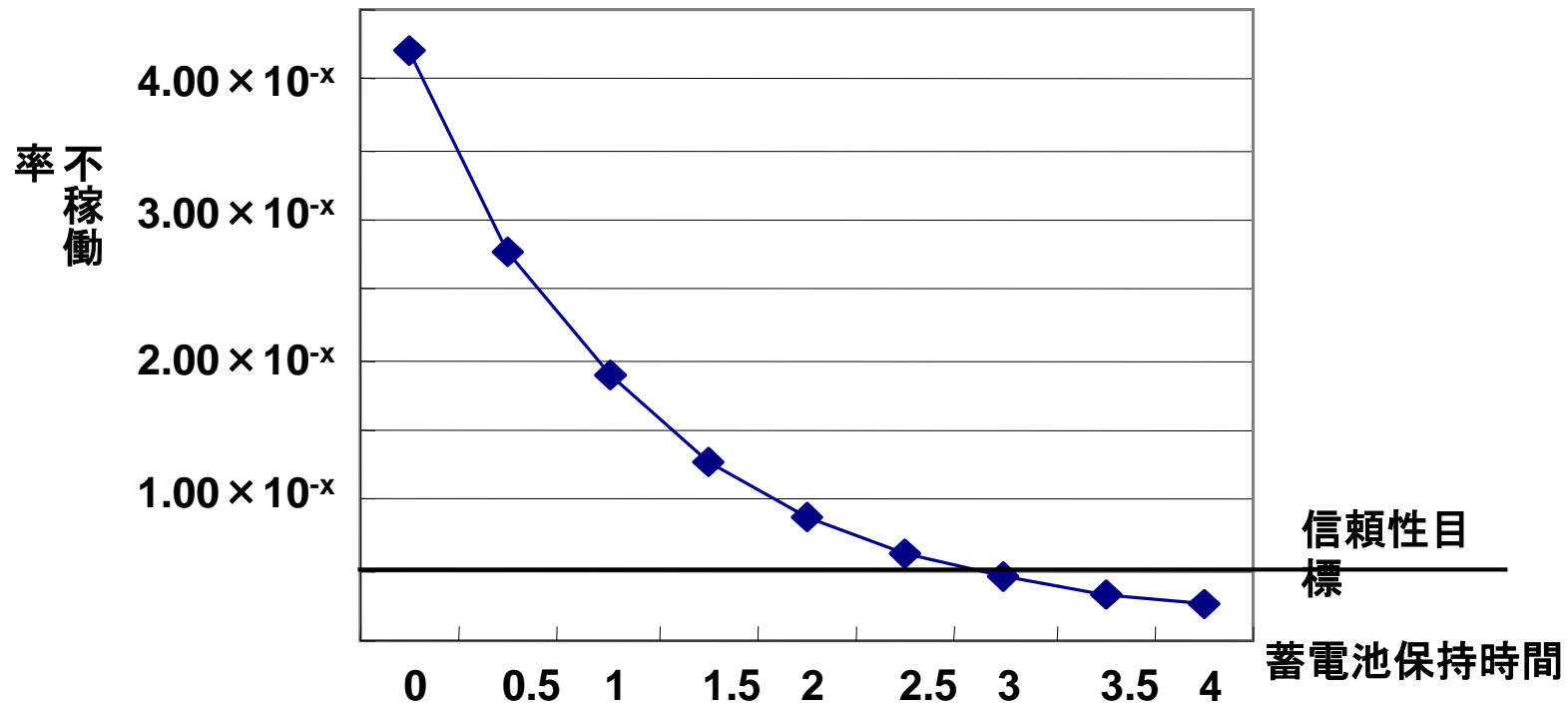


Air conditioning system



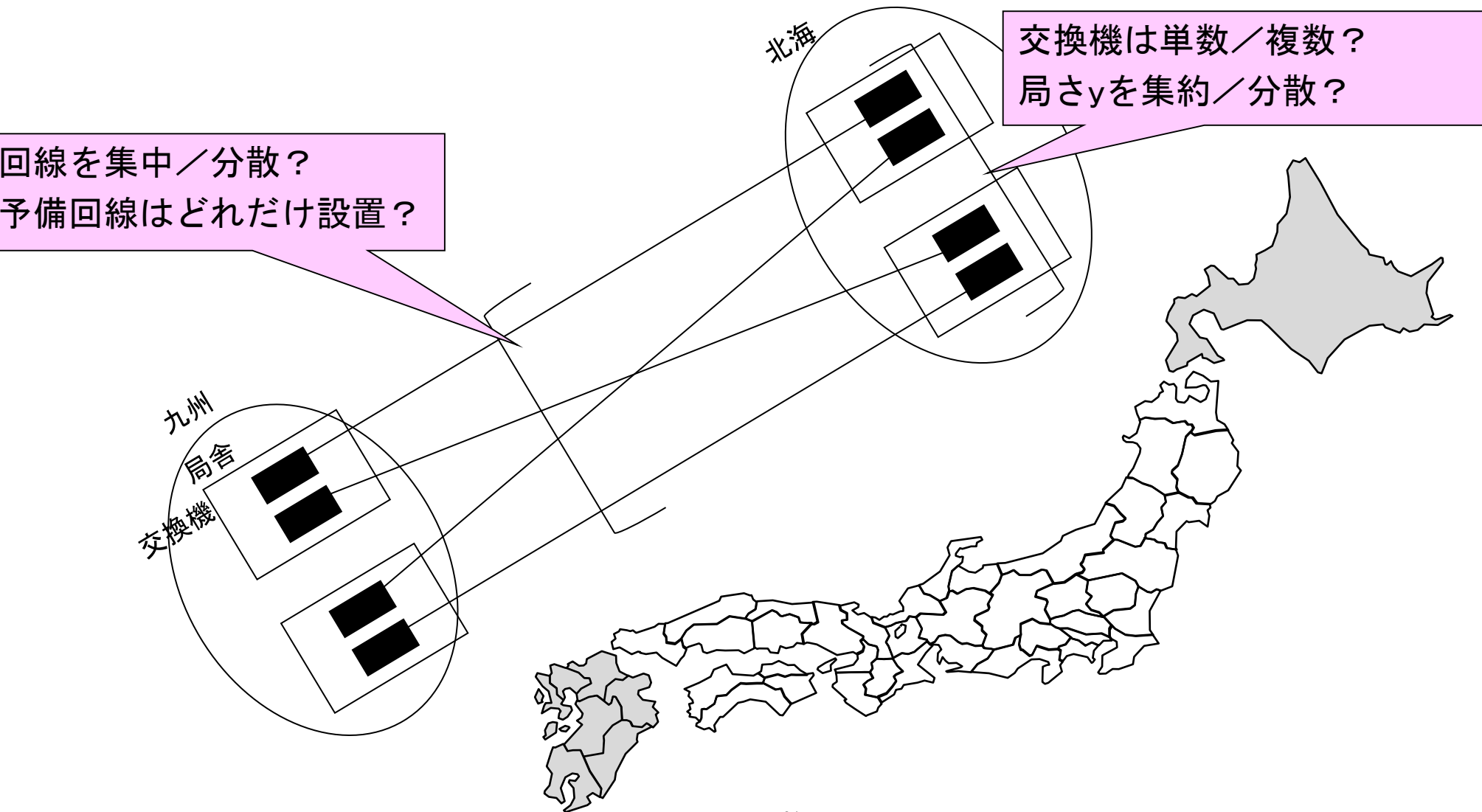
# 許容故障時間 (Bat容量の設計)

目標値を満足するように蓄電池保持時間を決める



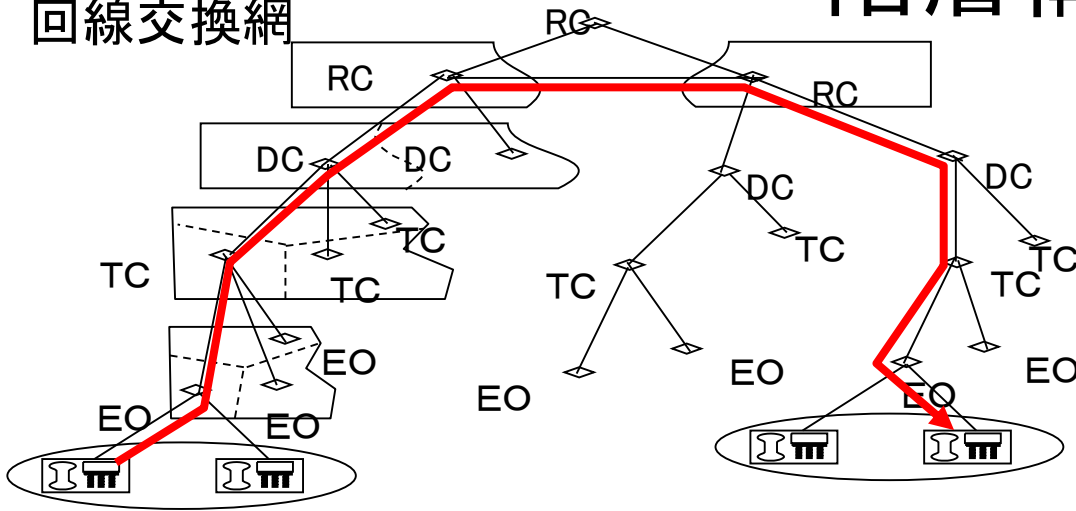
K.Yotsumoto et al , “Design Consideration of a Distributed Power Supply System for Telecommunications Networks Use Based on Reliability Analyses”,  
The Transactions of the IEICE, Vol.E73, No.3, pp.395－400(1990)

# ネットワークレベルの高信頼化 …… の評価



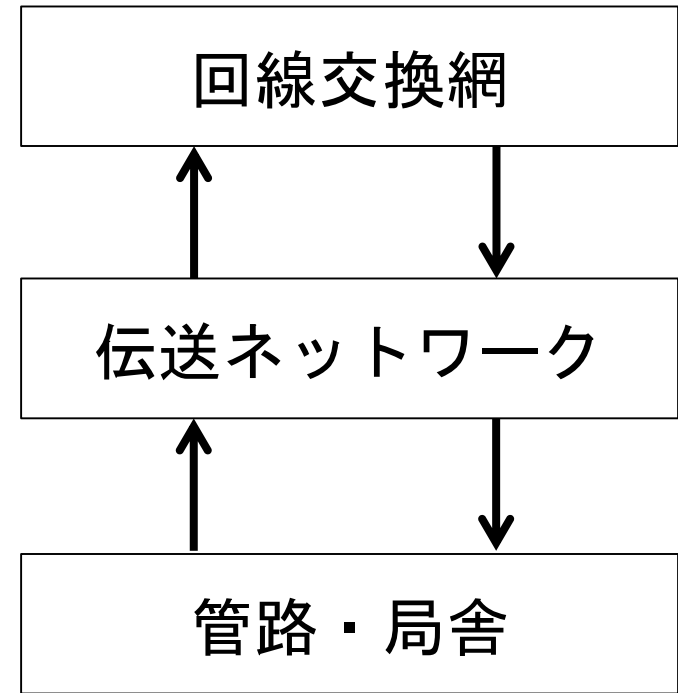
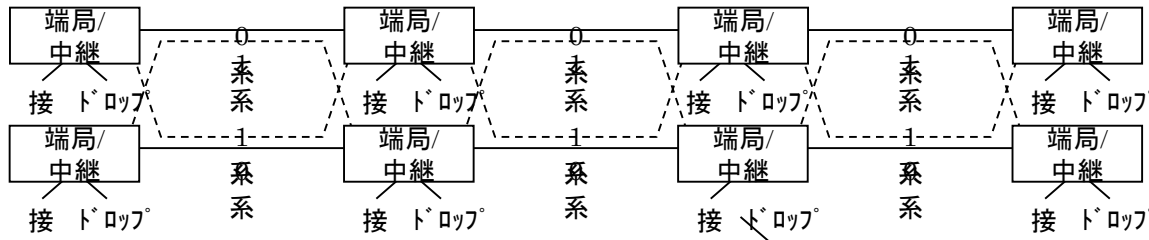
# 階層構造

回線交換網

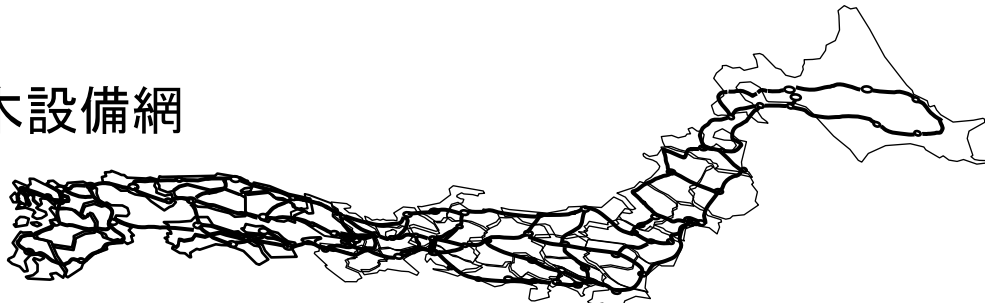


信頼性評価において階層構造の考慮は必須  
共通原因故障

伝送ネットワーク

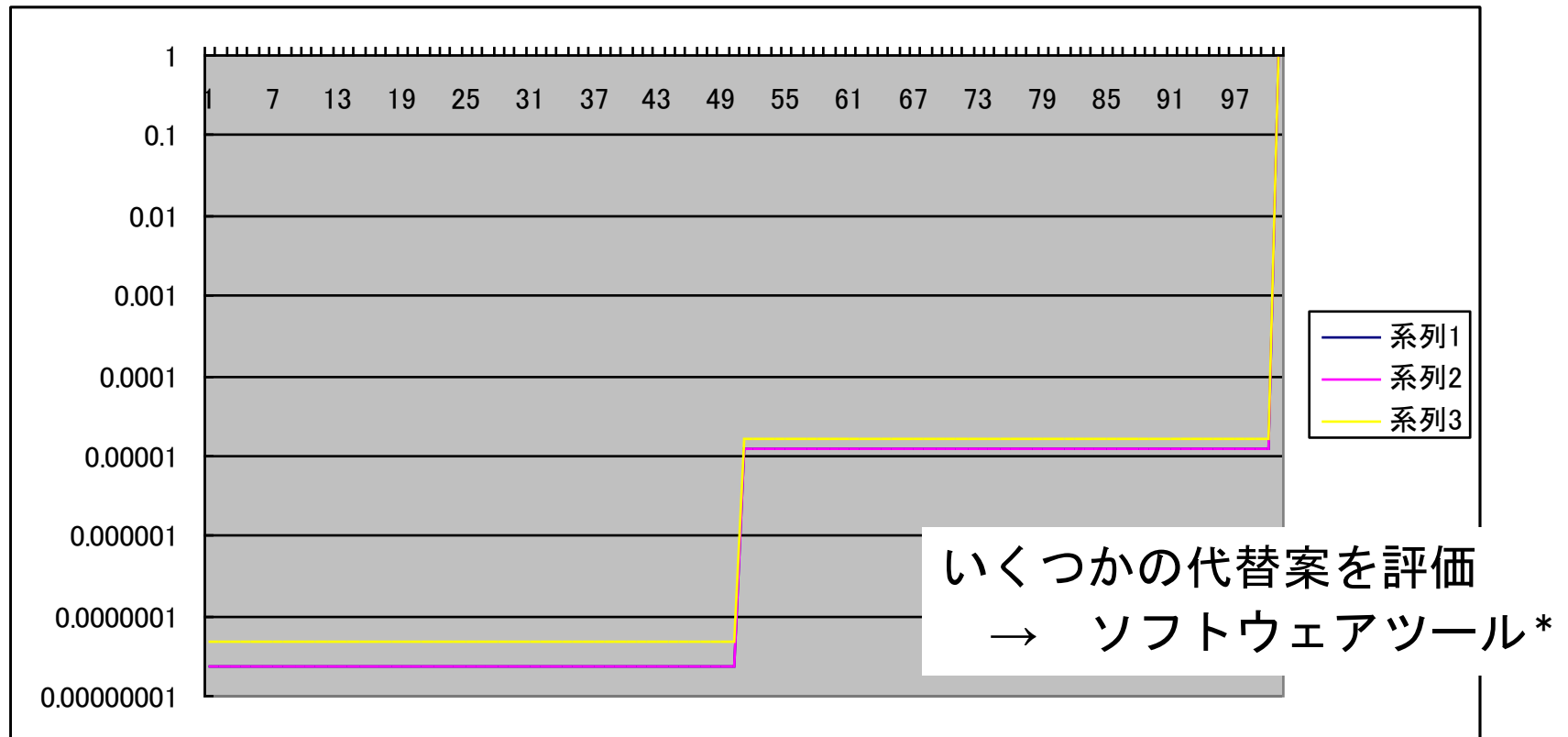


土木設備網



# 中継系(評価例①)

同じモデルにおいて、エリア2から見て、他の3つのエリアに至る疎通率別不稼働率を求めたものである。



\* A reliability design method for private networks, H.Watanabe, M.Kudo, K.Kawanishi and K.Yamasaki  
IEEE Annual Reliability and Maintainability Symposium, pp.237-243, Tampa(2003)

# さらに・・・

## 保全方式の設計

予備品交換の時間を適正化

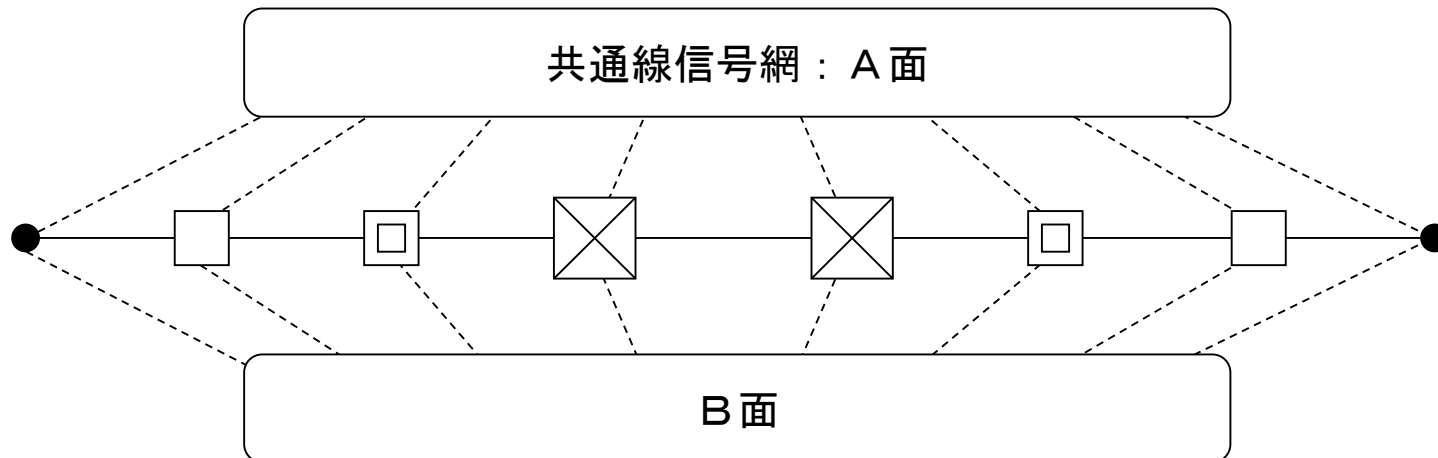
ハードウェアの冗長化で計画保全を可能に

## 時間と数の壁

十分な精度の信頼性基礎数値は得ることが難しい …… 加速試験

## 実務における意思決定

例：共通線信号網 2面構成 (::重要&コストが小さい)





# ここまでのまとめ

ネットワークの高信頼化 …… 対策は色々

信頼性設計 …… 経済的に高信頼化

まずは目標値 …… サービスに対する目標である

エンドーエンド信頼性 …… 全国最遠系

規模に応じた信頼性 …… 「同等の」信頼性提供

枝別れ構造のシステムの信頼性

…… アクセス系の信頼性

疎通率別の信頼性 …… 中継系の信頼性

# 信頼性実態の把握

# 実態値はどうやって確認するか？

通信網の信頼性実態の把握は容易ではない

- ・ 故障はめったに起こらない
  - ・ たまたま起こった故障実績というより、「実力が知りたい」
- 2重化された部分の片系故障のように、サービス停止に至らない故障も含めて、故障データから装置故障率と修理時間間を推定し、標準的な信頼性モデルで不稼働率等を算出

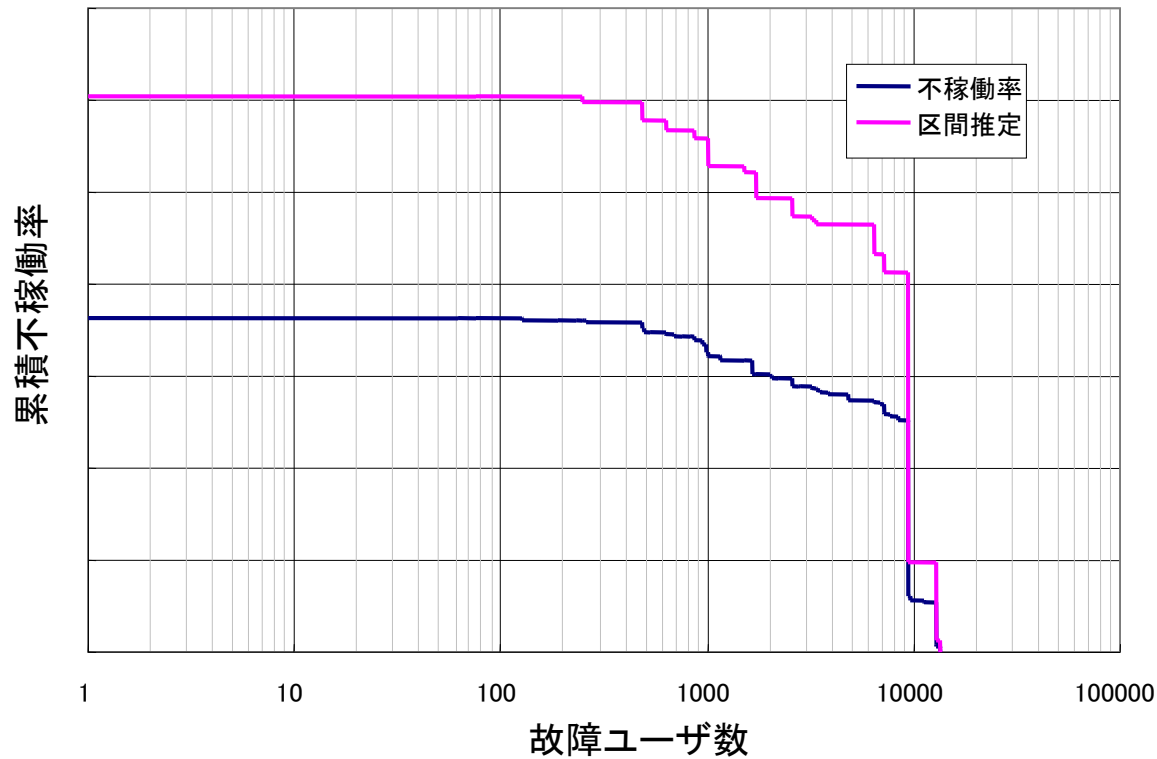
しかし上記の方法では膨大な稼働を要す

※難しいのは故障データの収集ではなく、設備データの収集  
そこで、故障データのみを用いた簡易な信頼性推定法\*を提案

\* 「故障規模を考慮したネットワーク不稼働率の簡易推定法」  
船越裕介、渡邊均、吉野秀明、電子情報通信学会論文誌 (B) Vol.J88-B,No.8,,  
pp.1444-1453(2005)

# 実態値はどうやって確認するか（例）

競争会社の実力の推定も . . .



# 所感

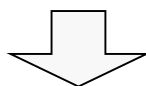
# 信頼性目標設定の方法論を振り返って

## 網の提供機能とその損なわれ方

提供する機能は、 $N \times N$ の通信

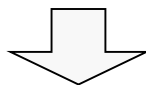
( $N \times N$ マトリクス)

機能が損なわれると、ユーザ（ユーザ全員）へ提供する価値が毀損  $\dots L(x) = x + k x^{1.5}$



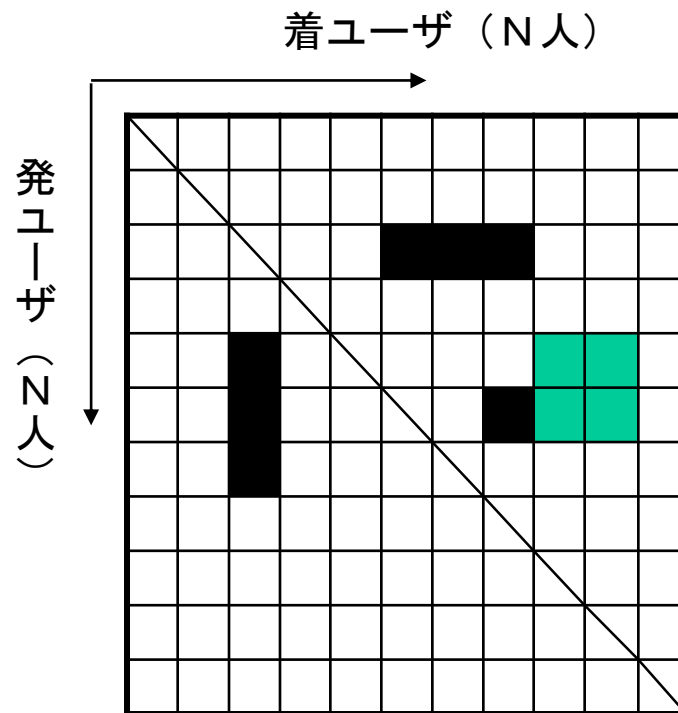
## 現実には起こりうるケースは...

- ・ 或るエリア(加入者系)に属するユーザの通信途絶
- ・ エリア相互の通信途絶又は疎通能力低下



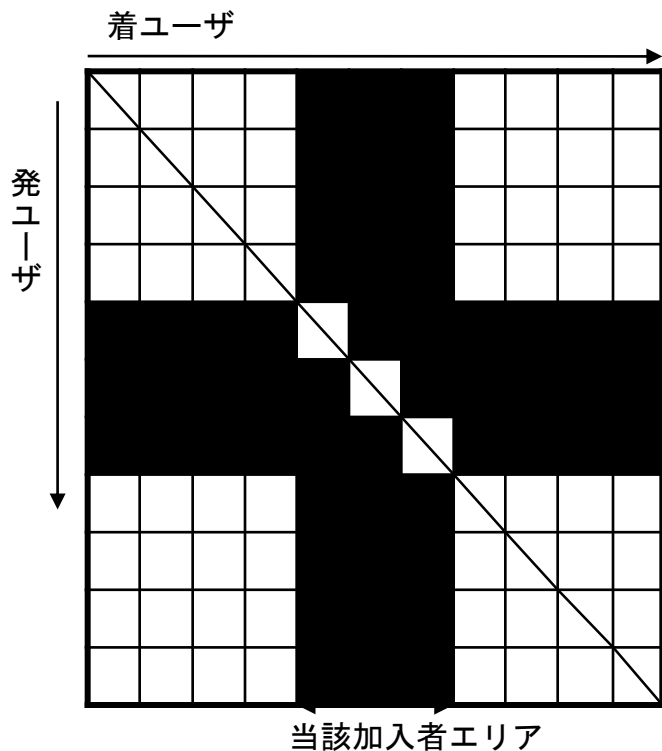
## 網全体の設計を首尾一貫させる

使用するシステムの規模によって、網から提供される価値の損なわれる量の期待値が変わらないこと

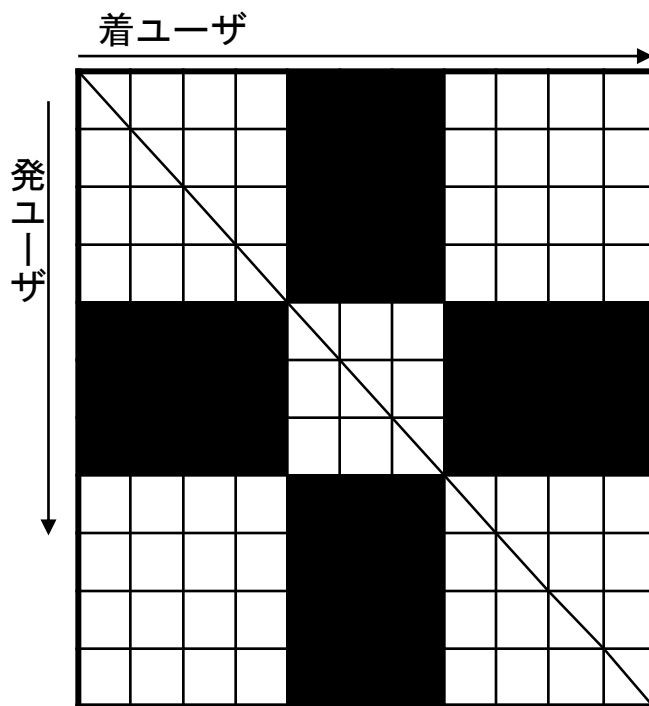


# 信頼性目標設定の方法論（続）

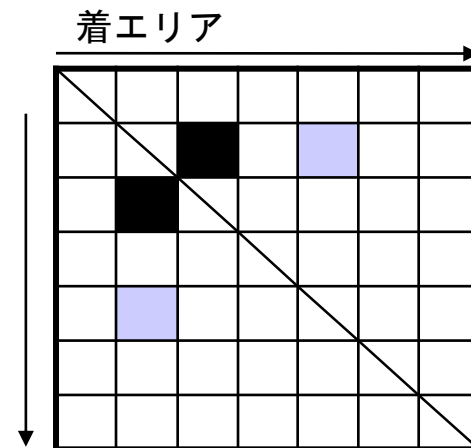
加入者系の故障  
（あるエリアの通信全断）



エリア外への発着信断



エリア相互の通信停止  
（または劣化）



# 従来の手法に対する所感

- 目標設定、設計対象のモデル化、評価法確立、評価例蓄積、実態推定…に至る体系化が重要
- 具体的に「計算」できることは必須
  - モデル化、評価法の整備（ソフトウェア化）
- 可視化は業務遂行に有用
  - どこをどう変えれば、最終目的はどのように変化するか
- サイクルを回す（PDCA）



# 参考：総務省の規定

情報通信ネットワーク安全・信頼性基準  
(昭和六十二年四月四日郵政省告示第七三号)

高信頼化等の具体的な対策は、NTT基準とそっくり

しかし・・・

違いがあった

仕様規定と性能規定

# 性能規定（またはモデル化）の意義

個々の信頼性技術の進展と信頼性モデルの改善が、通信網の信頼性を支え、その結果かなりの高信頼性を達成した

モデルとは何であり、どのような役割を演じてきか？

1. モデルは、定量化の道具である  
目標値の設定が可能に  
対策の効果の比較が可能に
2. モデルは認識の道具である  
アイテムが求められる機能とは何かを表現するもの
3. モデルは信頼性の相場観を醸成する  
cf. ソフトウェアの信頼性目標値

# 信頼性設計・管理の今後の課題

新たなネットワーク構成の下での信頼性設計法

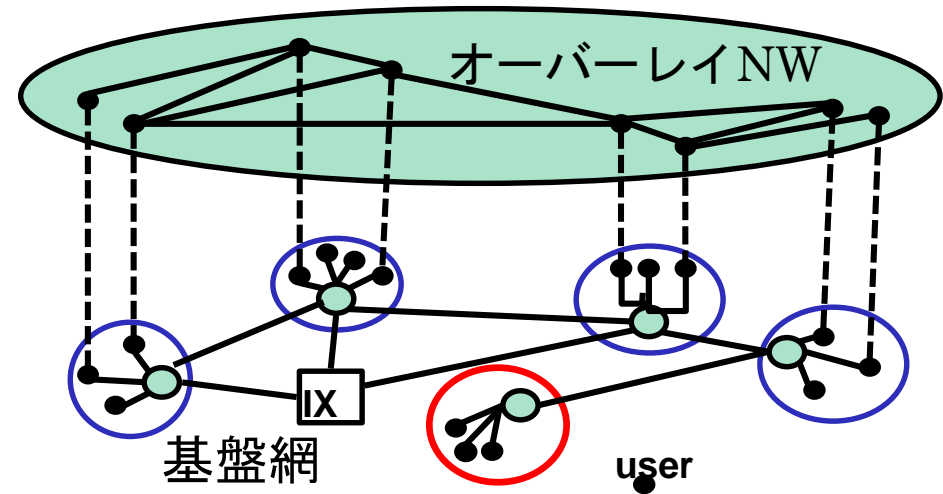
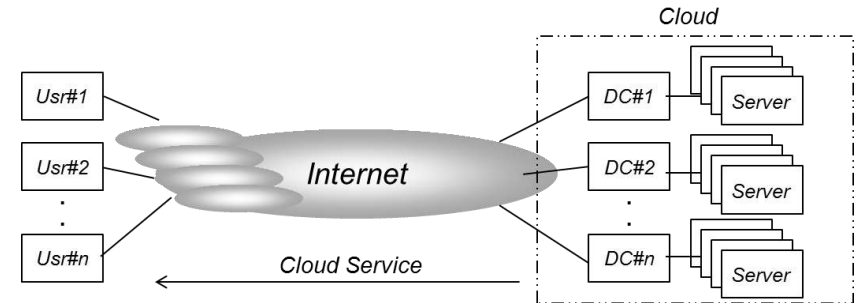
ネットワーク利用の変化（多様化）

減災への貢献

安心・安全のために

# ネットワーク利用

- ネットワークのお客様はネットワークである
- 基盤網の信頼性 + 上位網の信頼性 = サービスの信頼性
- 例えばクラウドの構築主体はどうやって信頼性を確保
- ある種の役割分担  
機能の面だけでなく  
設計においても  
※ 「下位網を気にしない設計」



# 減災への貢献

東日本大震災でも、阪神大震災時と同様の事象

- ・ 基幹系は被害軽微／アクセス系は大被害
- ・ 輻輳によって情報流通に支障
- ・ 補給要因によって災害後に通信サービスが本格的に停止

「発災(期)」、「応急対応期」、「復旧・復興期」(中央防災会議)の各段階で、通信ネットワークに求められる働きは変化

通信サービス停止の程度も、災害発生直後が最大ではなく時間の経過とともに推移 → 災害後に残存する通信能力のマネジメント

| 災害の段階         | 発災以前 | 応急対応<br>(1)                   | 応急対応<br>(2)                    | 復旧・復興<br>(1)                | 復旧・復興<br>(2)                        |
|---------------|------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| 必要とされる<br>行動等 |      | 被害状況把握<br>震度、規模<br>被災状況<br>等々 | 安否確認<br>親戚・縁者<br>組織(学校、<br>職場) | 避難生活<br>避難所確保<br>生活情報<br>入手 | 日常生活への<br>復帰<br>ビジネス情<br>報保存・<br>利用 |

# 信頼性、安全及び安心について

## 信頼性の定義

アイテムが与えられた条件下で、要求される機能を果たすことの出来る程度（JISZ8115）

## 安全とは

受け入れ不能なリスクが存在しないこと

※リスクは事象の影響度と発生頻度の積

絶対安全などはなく、安全は程度の問題

## 安心

技術的な定義はなく、人間の気持ちの持ち方

想定を超える事象が生じた場合の対応が、安心を論じる場合に重要 …… 危機管理

# むすび

## 通信網の信頼性設計の進展を振り返る

- ・ 通信網の信頼性の把握の仕方
- ・ 信頼性目標値決定方法
- ・ 信頼性評価方法
- ・ 全体を通じた方法論

## 今後の課題