

電力系統を  
絶え間なく  
保護せよ。

Silent sentinel

## 電力系統の安定供給を支える保護リレーシステム

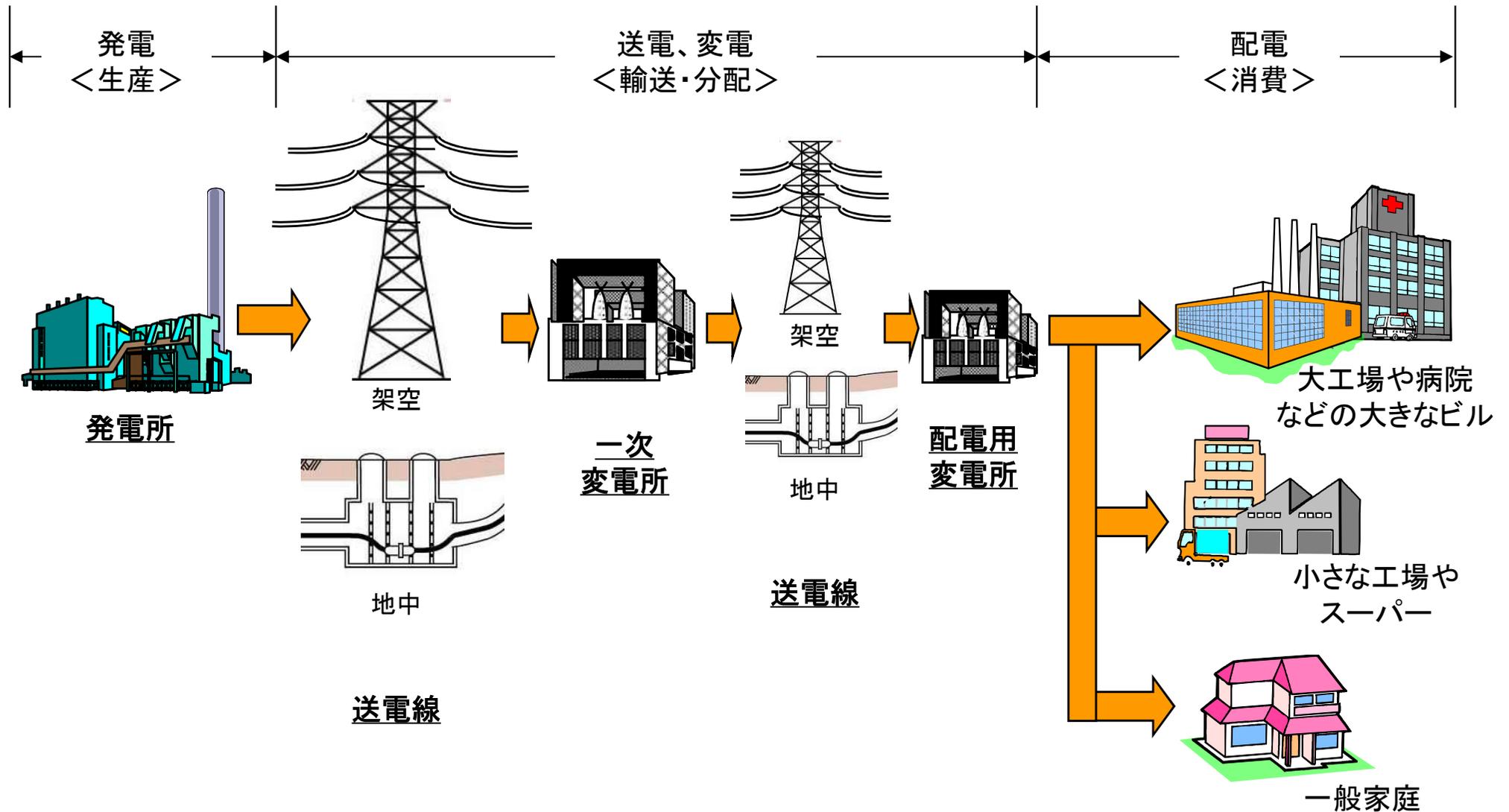
保護リレーは電力系統の運用に不可欠なものであり、電力系統の神経にもたとえられ、  
"Silent sentinel" (静かなる歩哨) と表現される。

電気学会  
保護リレーシステム  
技術委員会

資料にはセキュリティに関する情報が含まれる場合がありますので、  
目的以外の使用、再配布はご遠慮ください。  
引用・転載の使用をご希望の場合は、HP記載の  
保護リレーシステム技術委員会 幹事までお問い合わせ願います。

# お客さまに電気が届くまでの道筋

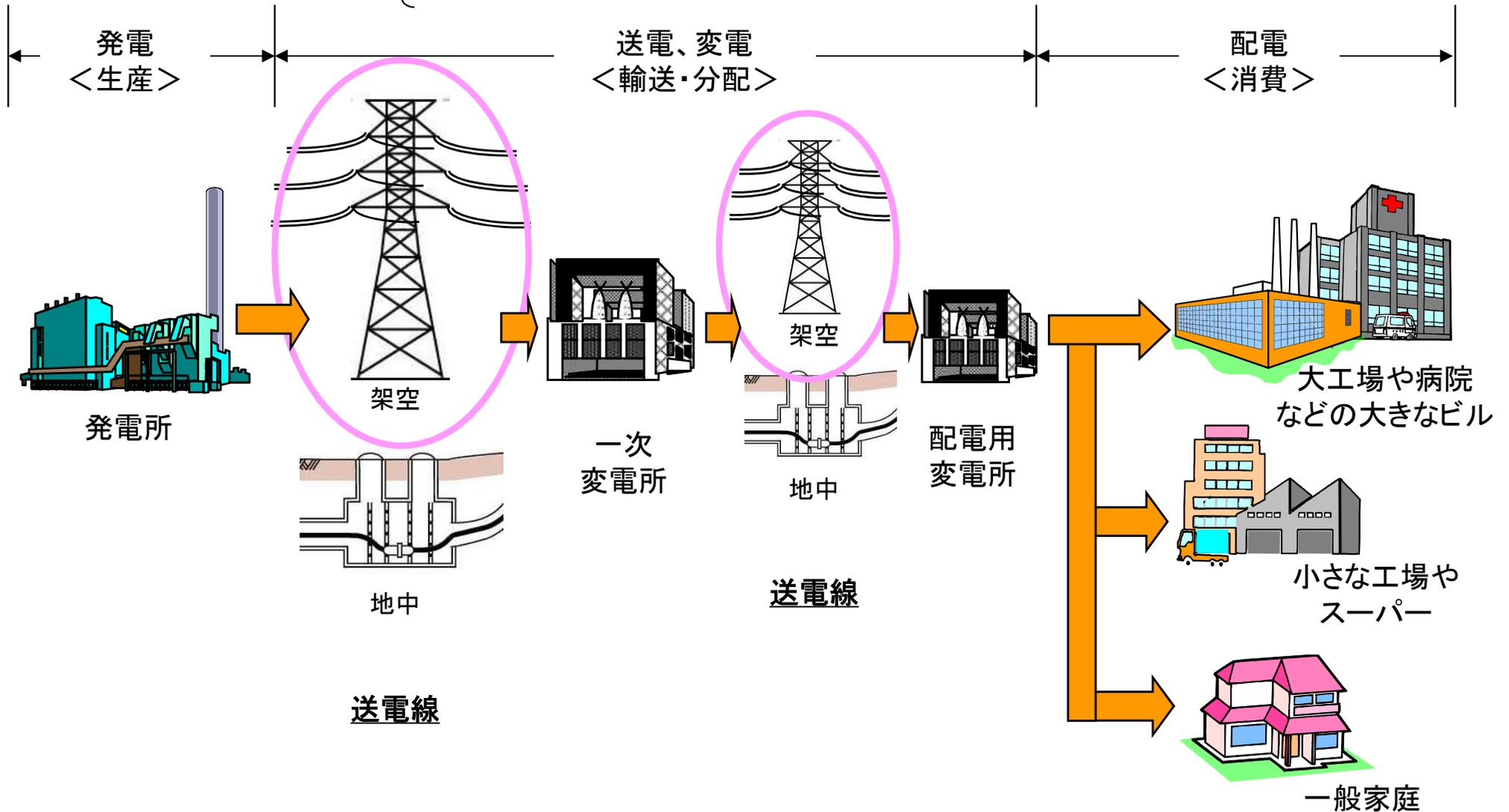
電力系統は、原子力・火力・水力発電所、変電所とこれらをつなぐ送電線で構成されています。



# 架空送電設備

送電線は、発電所と変電所または変電所間を結んで、電気を送る役目をしています

- 送電線の種別
- 架空送電線 ・・鉄塔等で電線を支持し、上空に電線路を設置するもの
  - 地中送電線 ・・道路等の地下にケーブルを埋設し電線路を設置するもの



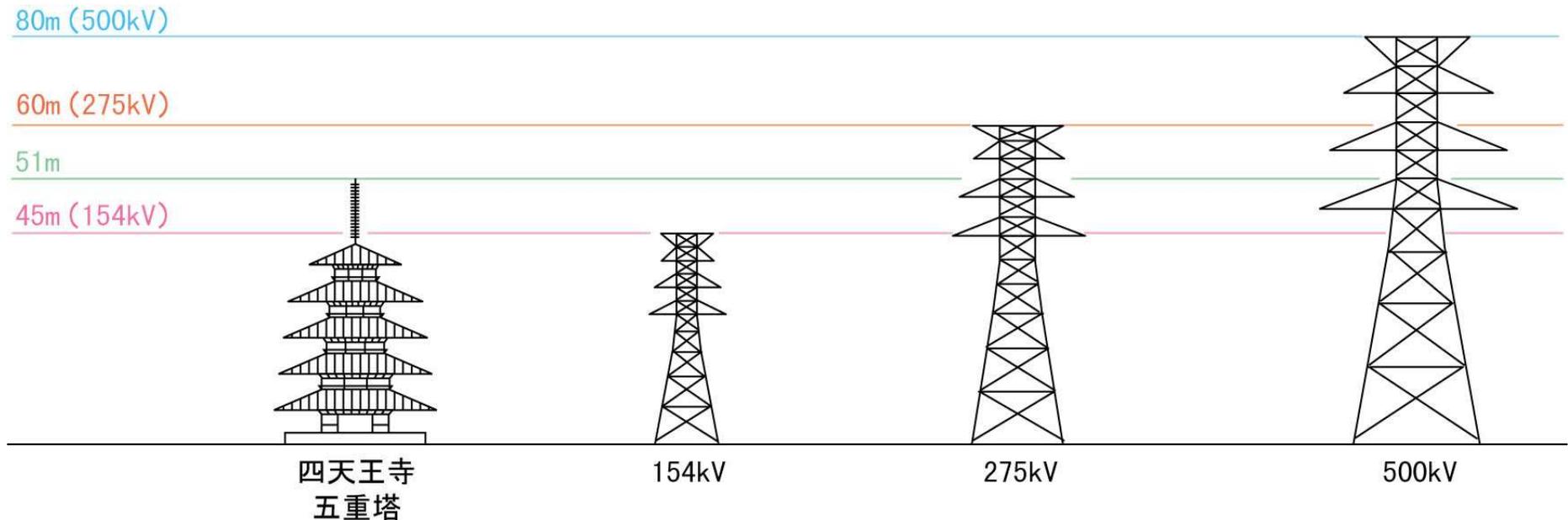
# 架空送電設備の構成

## 架空送電設備の概要

送電線は、発電所と変電所、変電所間を結んで、電気を送る役目をしています。電圧を高くして送るほど電流は少なくなり、電力の損失が少なくて済みます。

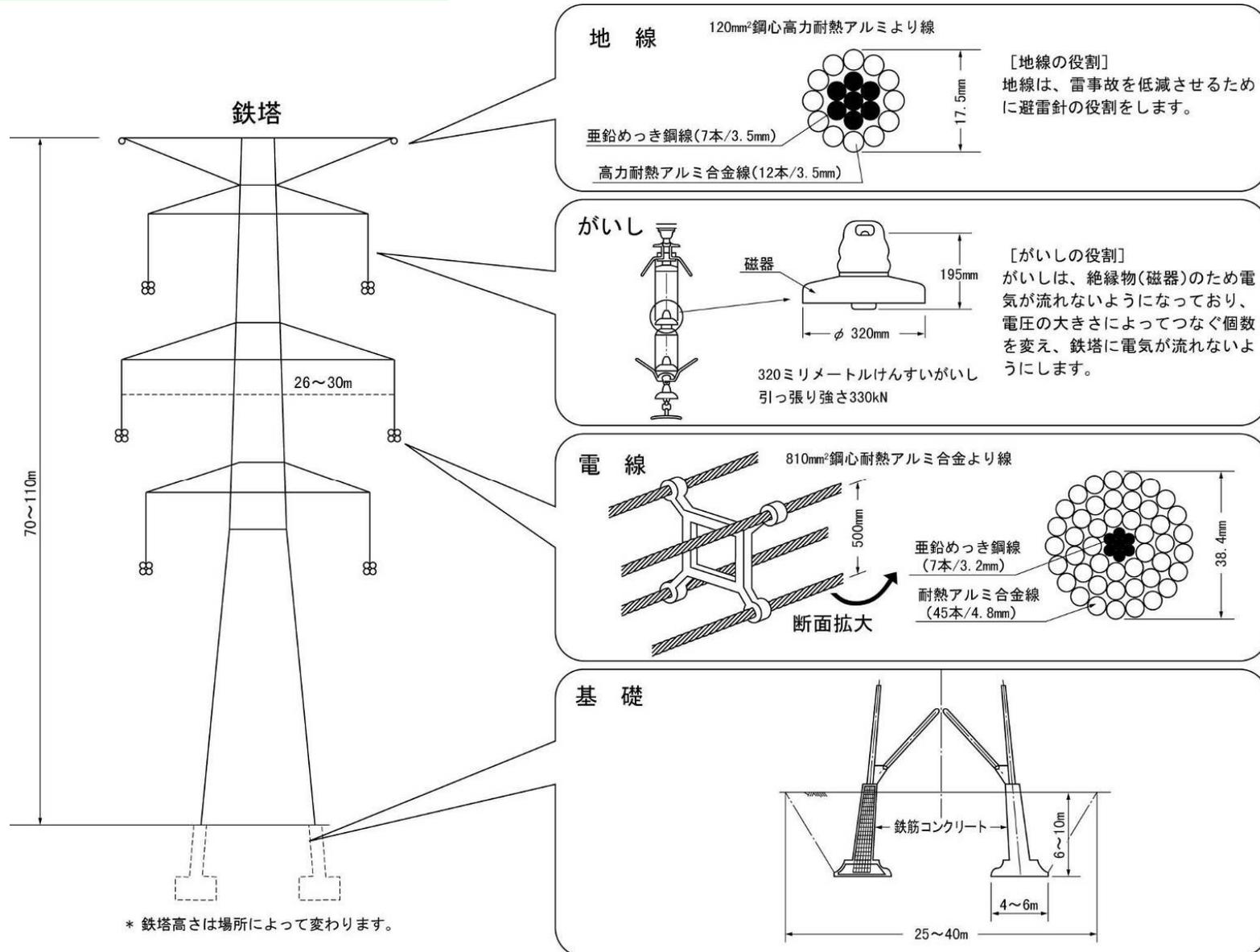
なお突発的な事故等による大停電を防ぐため、大都市圏の外郭を環状に走っている500kV送電線については、二重化を図るなど、様々な工夫をしています。

## 送電鉄塔の高さ



# 架空送電設備の構成

## 送電線の設備構造(例:500kV)



# 架空送電設備の構成

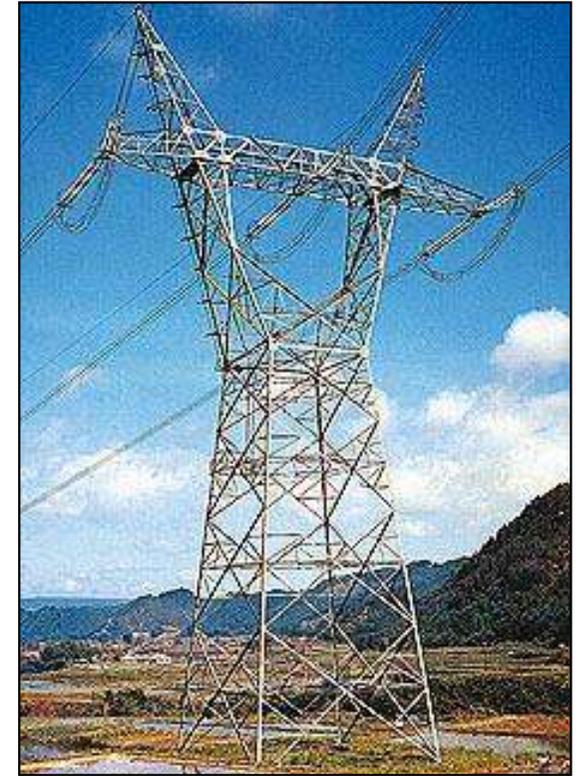
MC鉄塔



門形鉄塔

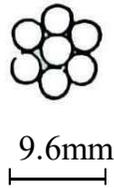


えぼし鉄塔



# 電線の種類と構造

## 硬銅より線

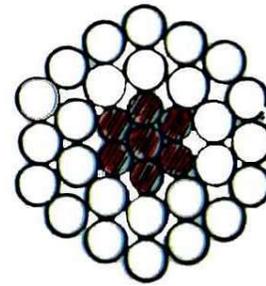


HDCC 55mm<sup>2</sup>  
銅 7本/3.2

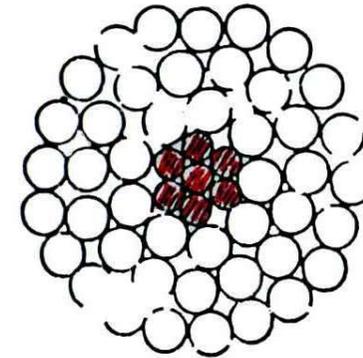


HDCC 200mm<sup>2</sup>  
銅 19本/3.7

## 鋼心アルミより線 鋼心耐熱アルミ合金より線

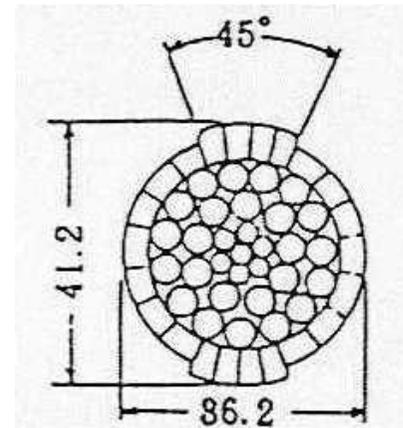


ACSR 410mm<sup>2</sup>  
アルミ 26本/4.5  
鋼 7本/3.5

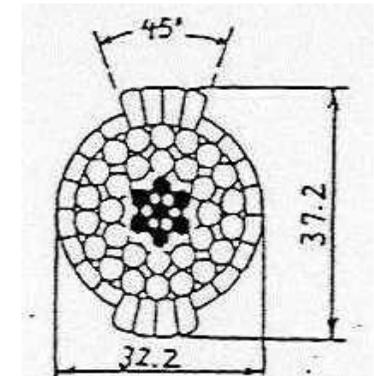


TACSR 810mm<sup>2</sup>  
アルミ 45本/4.8  
鋼 7本/3.2

電線に強風が当たるとピューあるいはゴオーといった風音が発生しますが、この音の発生を抑える工夫をした低風音電線(NS線)も採用されています。



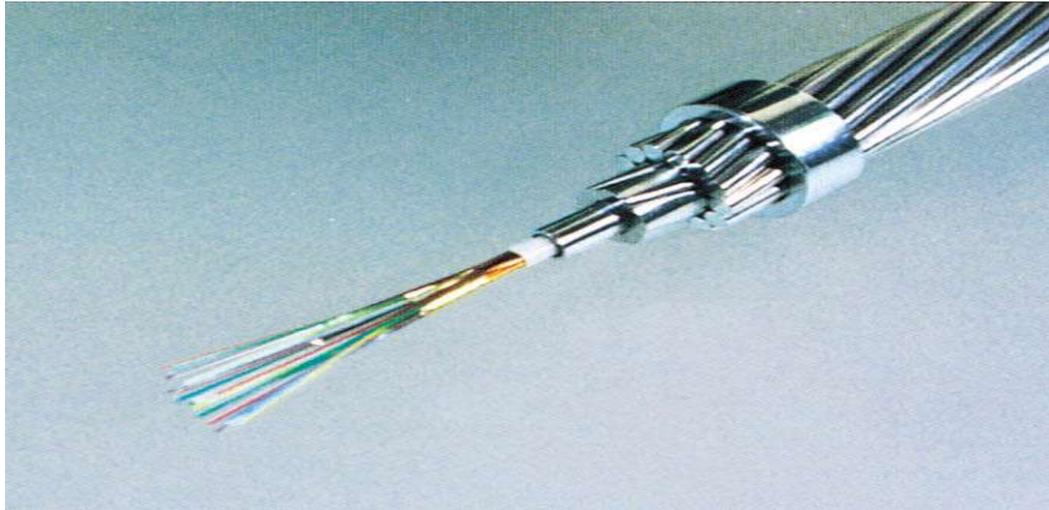
NS-TACSR/AC 810mm<sup>2</sup>



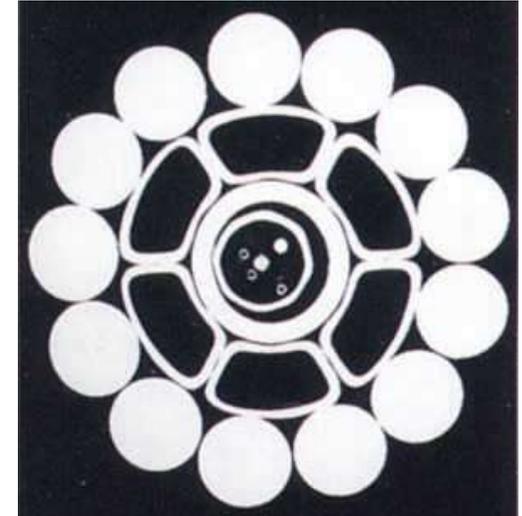
NS-TACSR 810mm<sup>2</sup>

# OPGWと従来の架空地線

OPGW

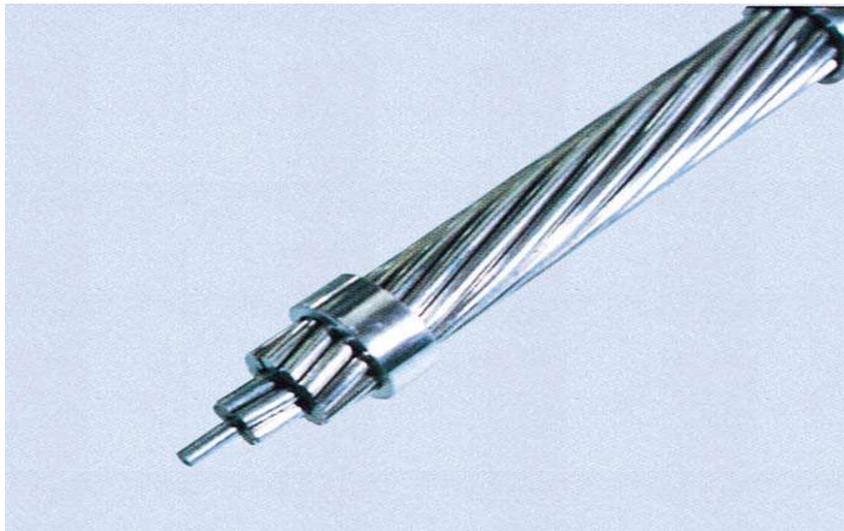


M-OPGW 中心部が光ファイバーケーブル

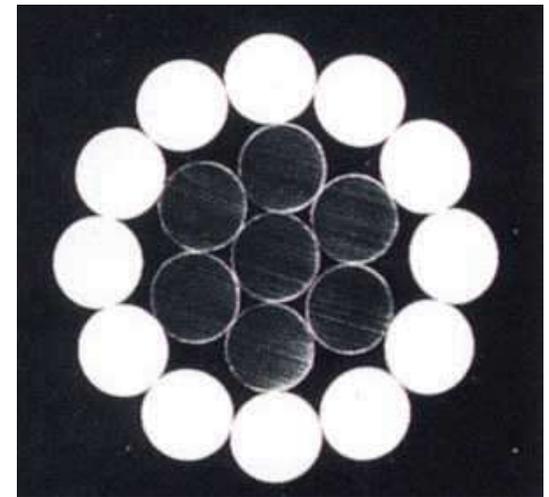


M-OPGW 120mm<sup>2</sup>の断面

架空地線



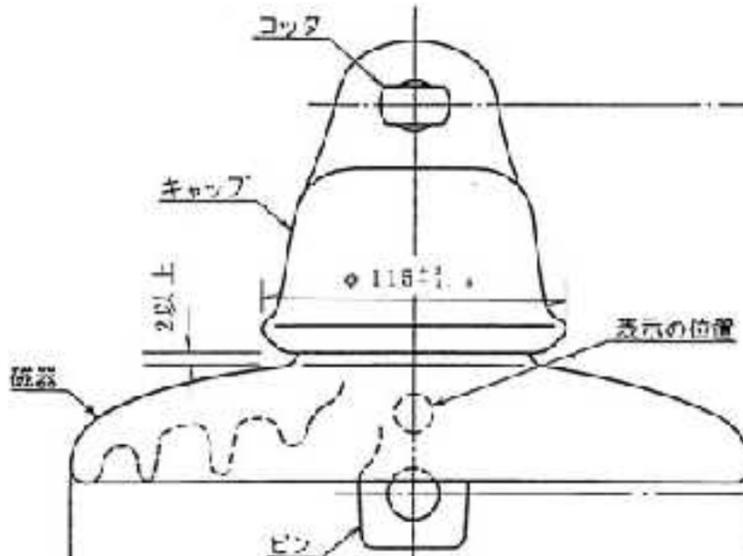
架空地線 KTACSR



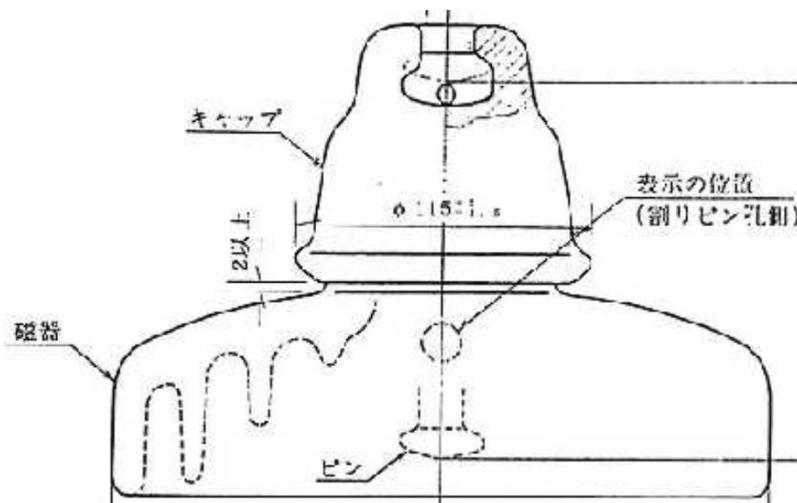
KTACSR 120mm<sup>2</sup>の断面

# 架空送電設備の構成

## クレビス形懸垂がいし

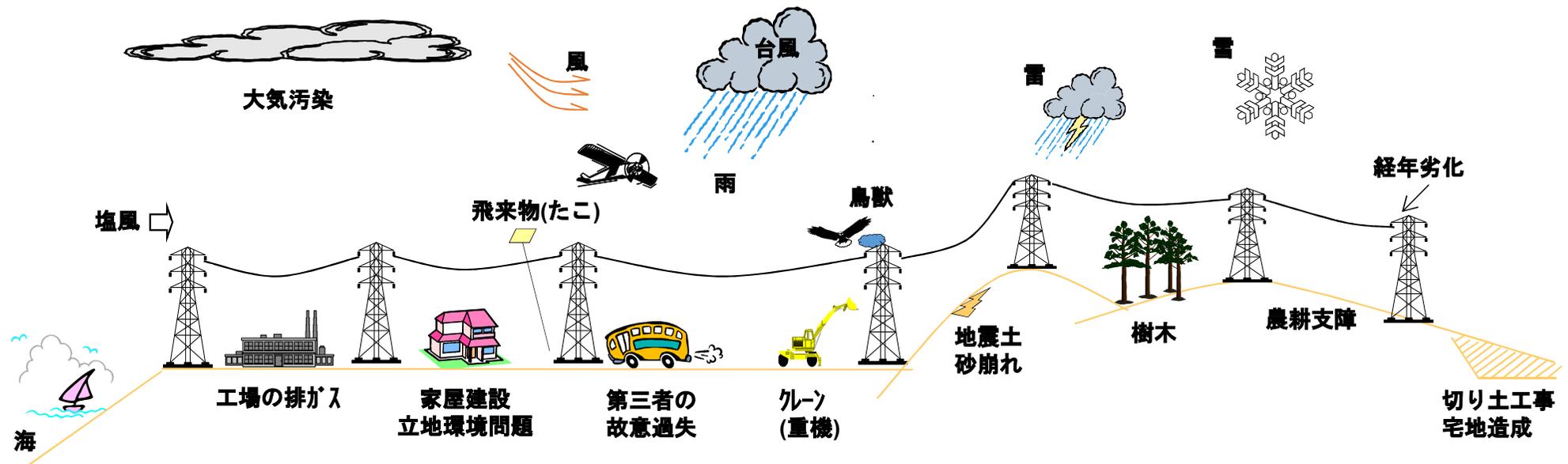


## ポールソケット形耐塩用懸垂がいし



# 送電線を取巻く周辺環境

送電設備は日本全国でこう長約9万kmに達しますが、  
いろいろな脅威にさらされています。



# 電力系統事故の原因ー落雷ー



<写真提供:音羽電機>

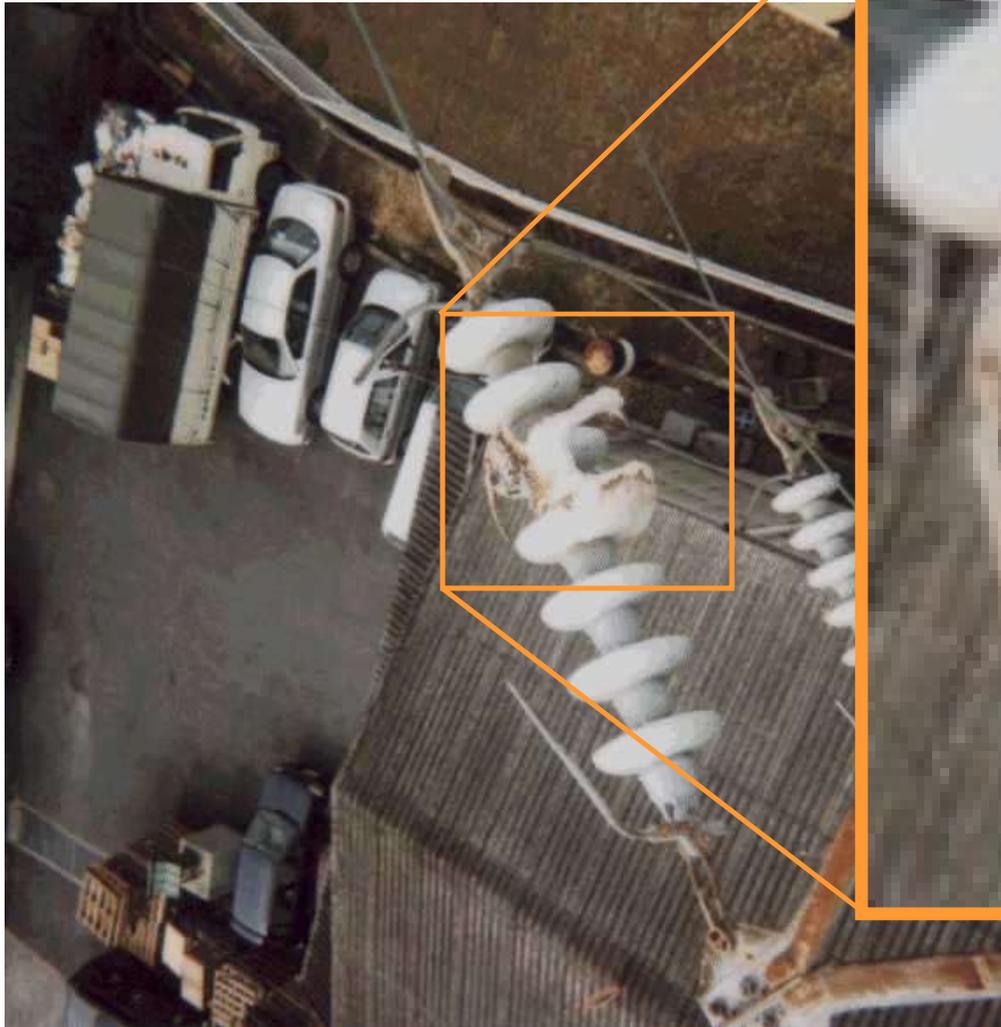
# 電力系統事故の原因ー落雷ー



<写真提供:音羽電機>

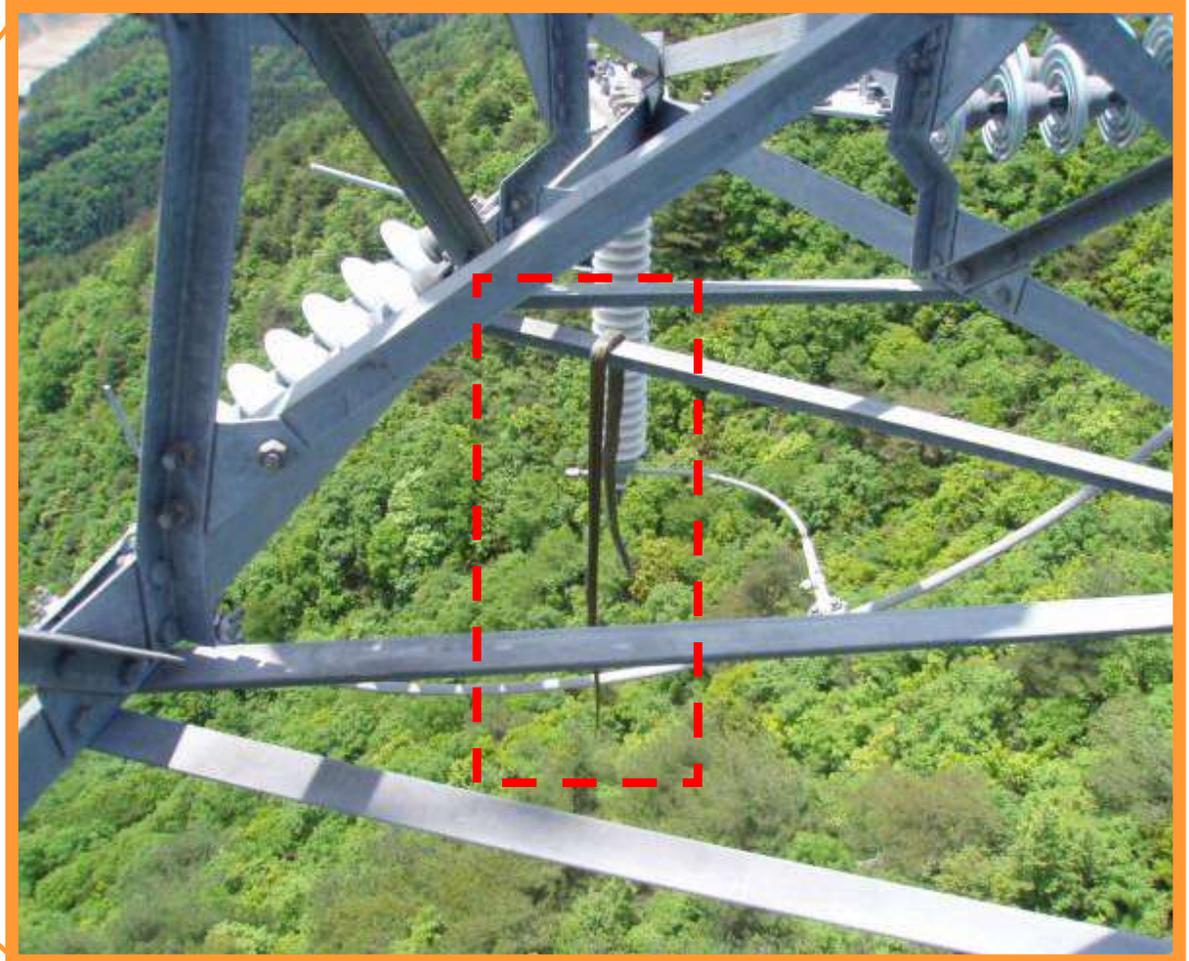
# 電力系統事故の原因－鳥獣接触－

## ▶ 白サギ接触



# 電力系統事故の原因－鳥獣接触－

## ▶ヘビ接触



# 電力系統事故の原因ー鳥獣接触ー

## ▶ 営巣材接触



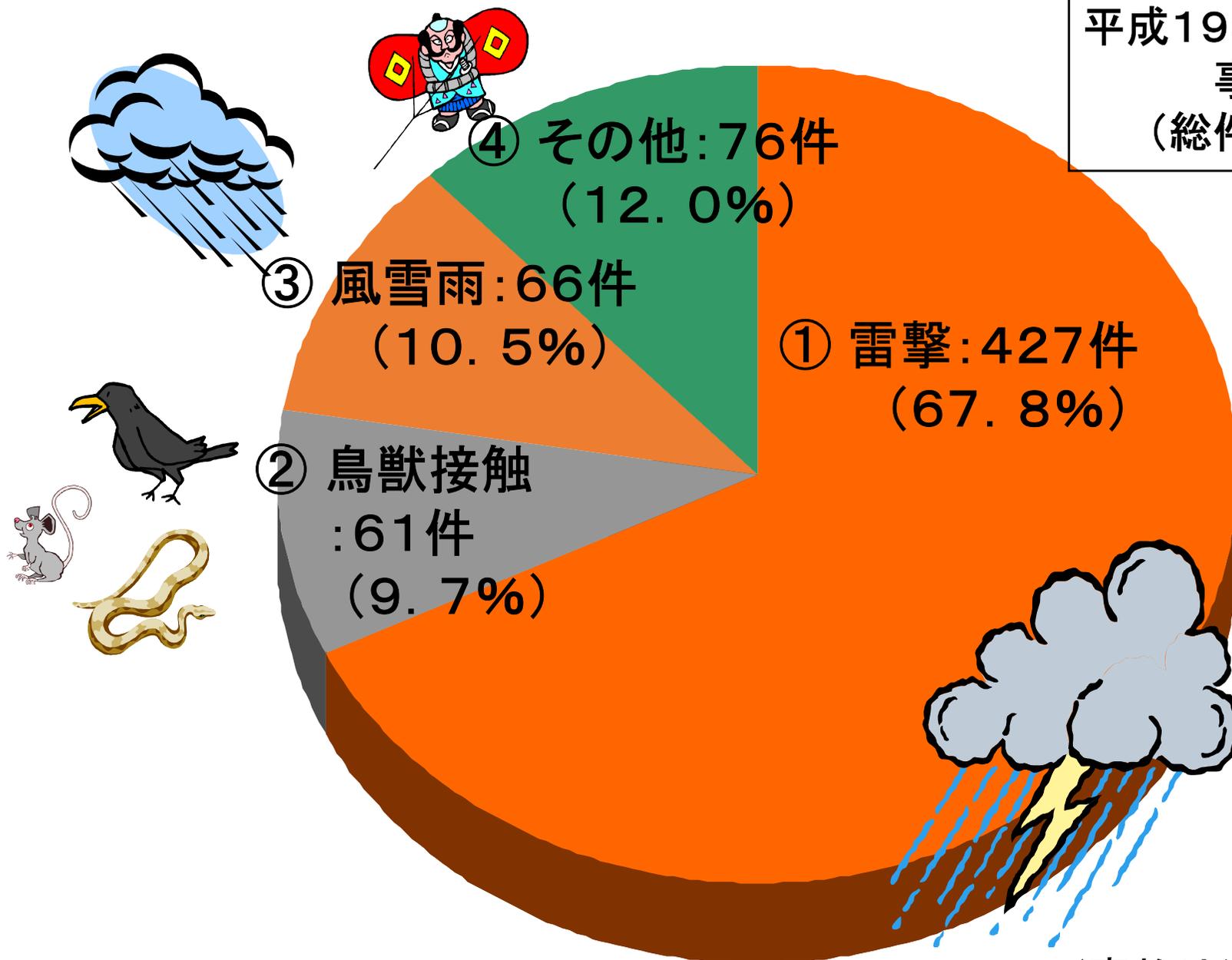
カラス等鳥類の営巣に伴い  
営巣材(木の枝など)が  
電力線に接触し事故に至る。



都市部では営巣材に  
金属性のハンガー等が  
使用されることもある。

# 電力系統事故の原因

平成19年度F電力管内  
事故実績  
(総件数630件)



(事故は送変電事故)

# 事故が発生した時に電力系統・設備を守るために 保護リレーシステムが設置されている

## 保護リレーシステムの役割

**第一は、事故遮断**

**(事故箇所の系統からの切り離し)**

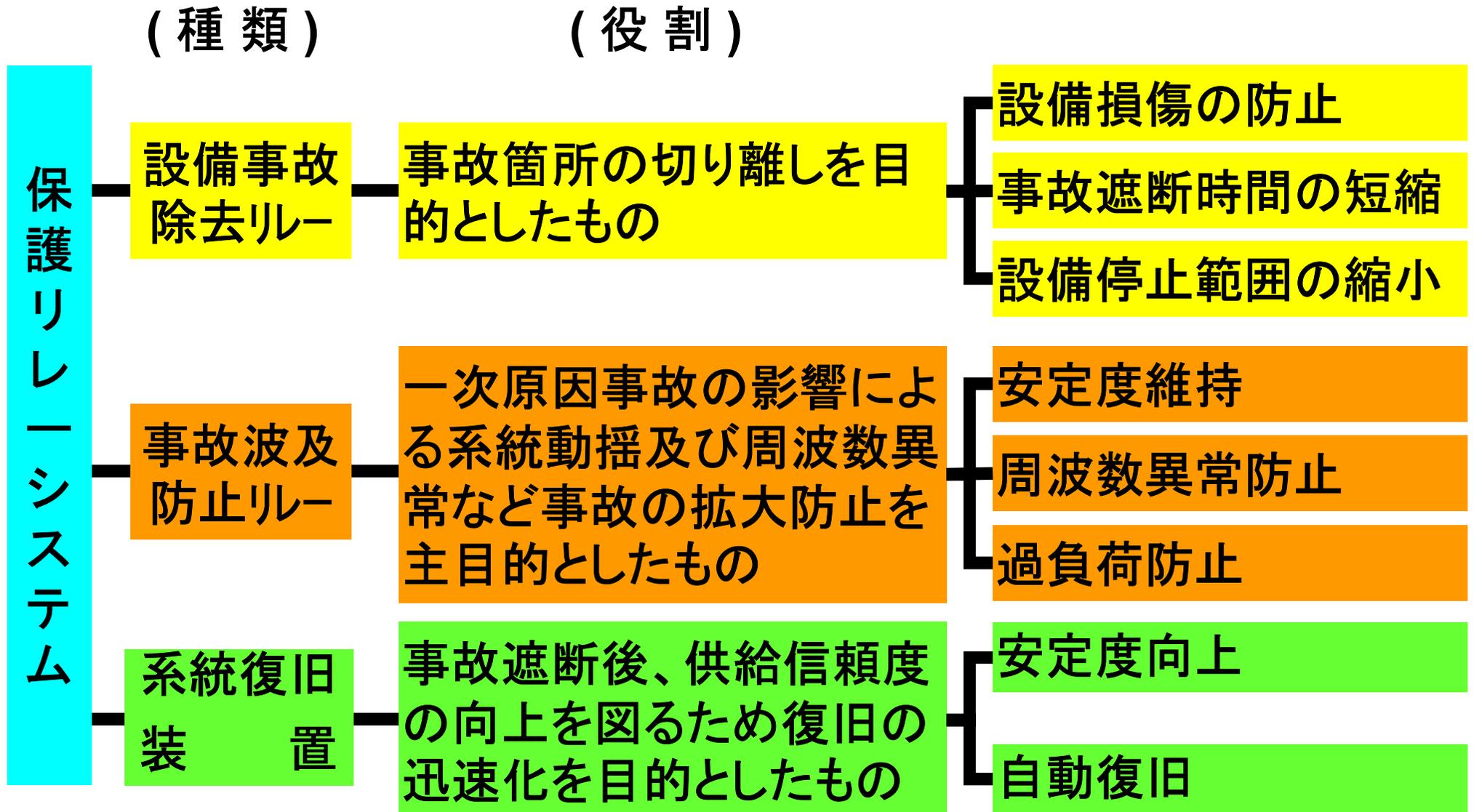
**第二は、事故波及の局限化**

**(系統動揺の拡大防止)**

**第三は、復旧の迅速化**

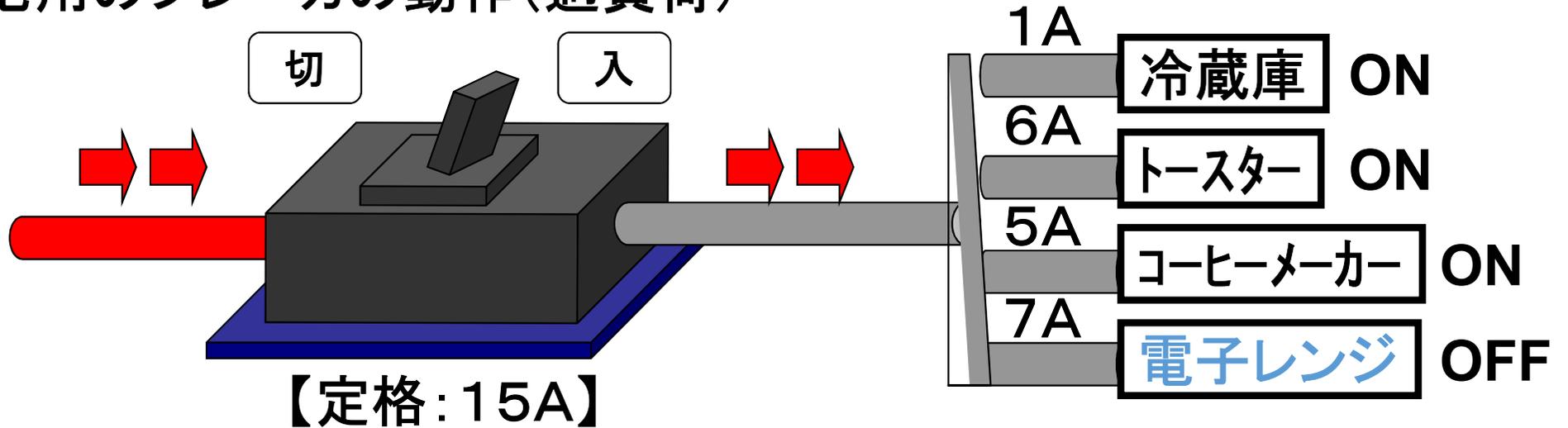
**(事故遮断後の供給信頼度向上)**

# 保護リレーシステムの体系

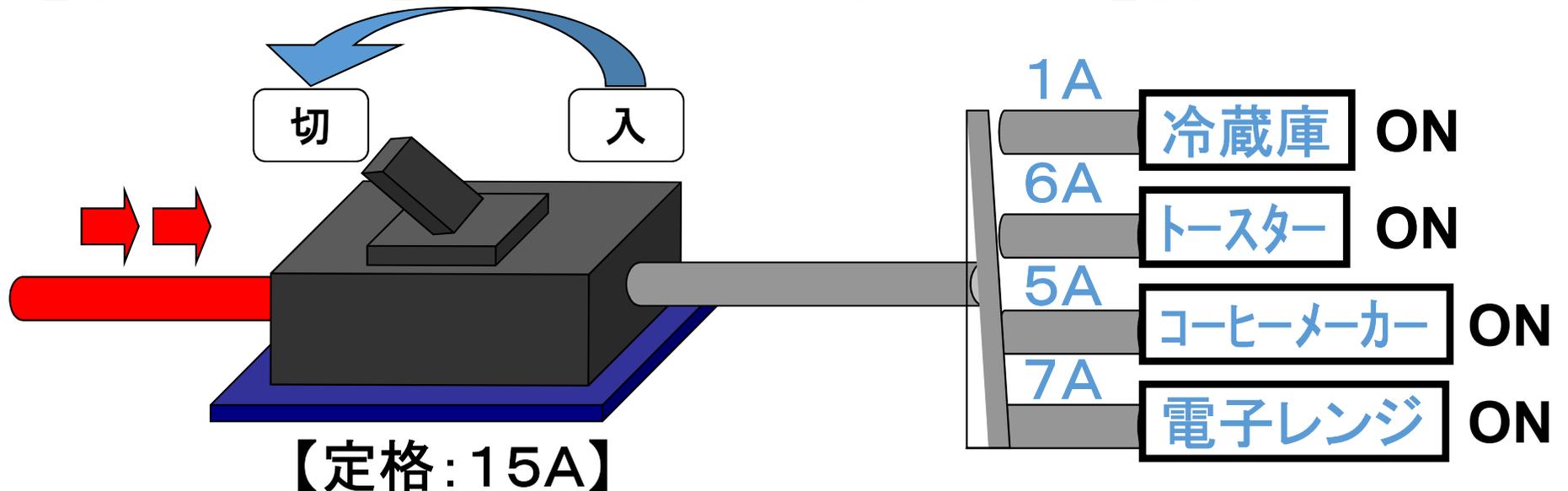


# 保護リレーシステムのもっとも単純なものは ⇒屋内配線を守るブレーカー

## 住宅用のブレーカの動作(過負荷)

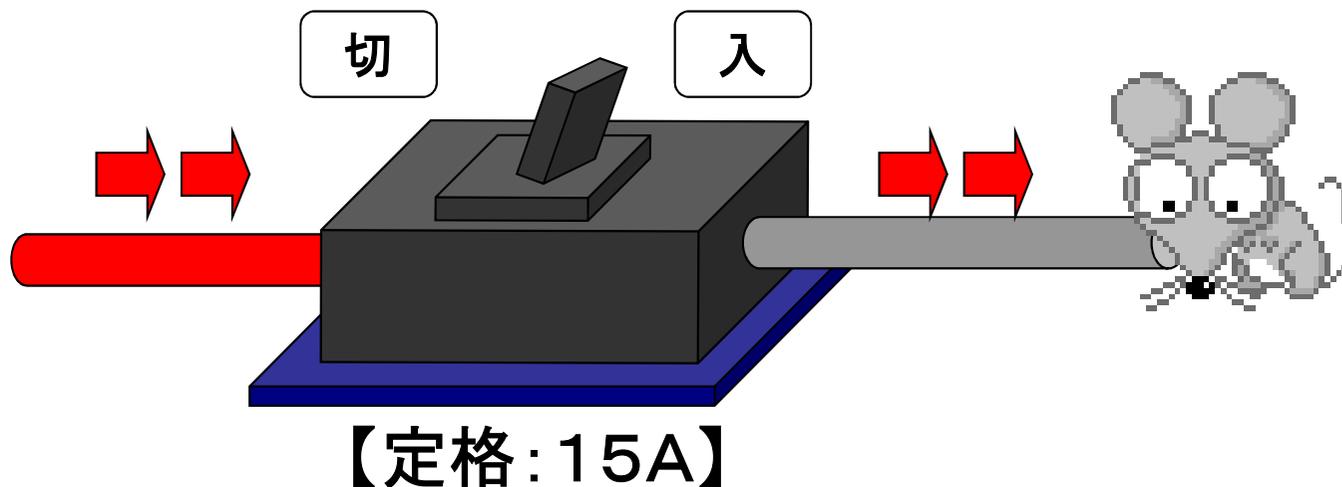


パンを焼いてコーヒーを作っているときに電子レンジを使用すると...

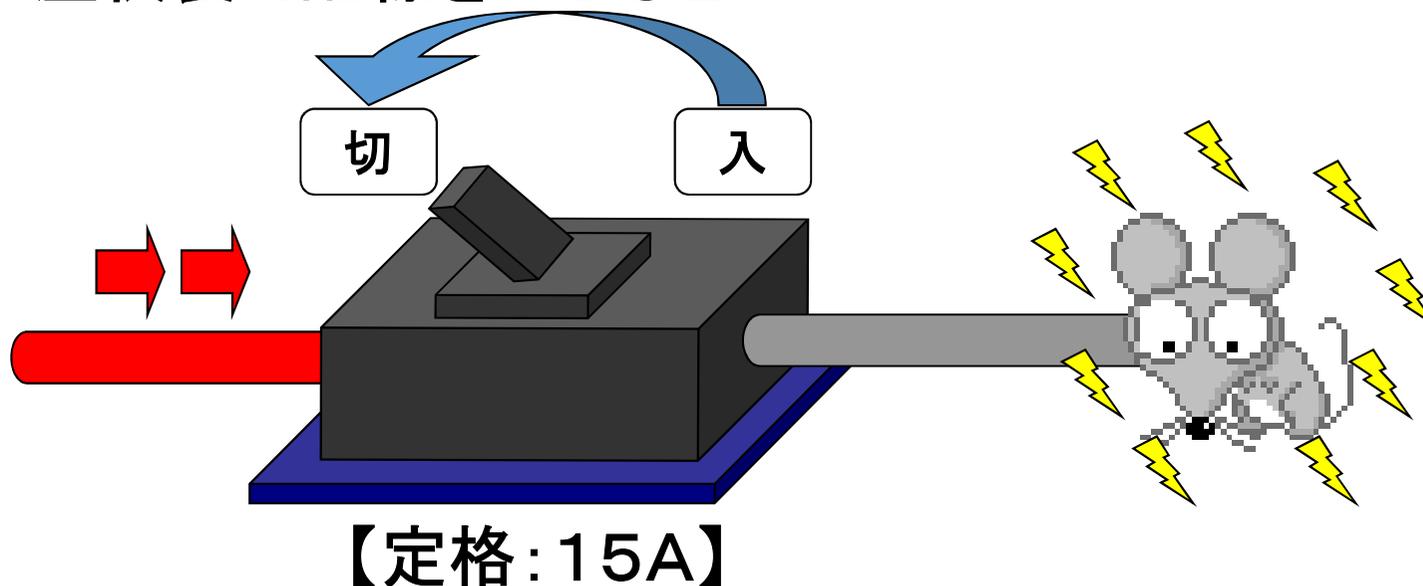


# 保護リレーシステムのもっとも単純なものは ⇒屋内配線を守るブレーカー

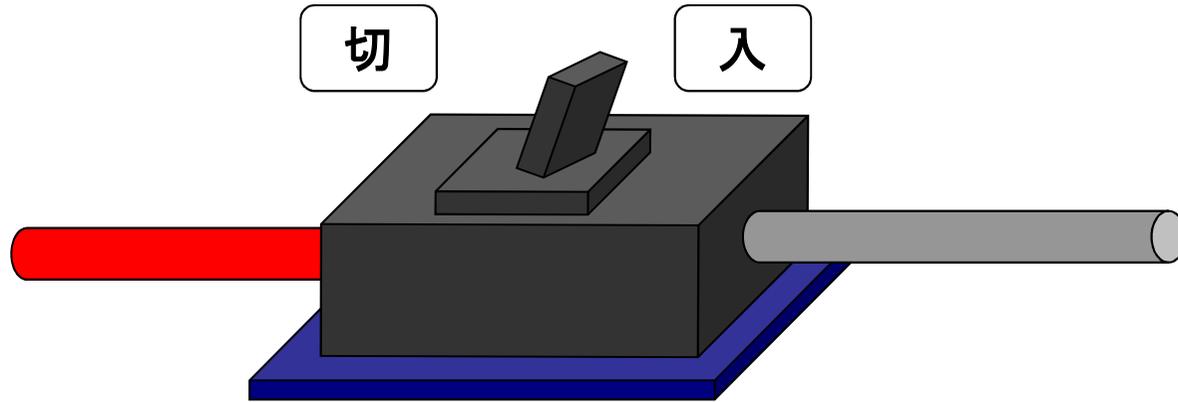
## 住宅用のブレーカの動作(事故)



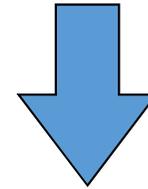
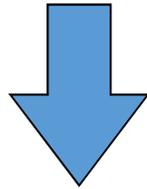
ねずみが屋根裏で配線をかじると...



# 家庭用のブレーカーを電力系統に置き換えると



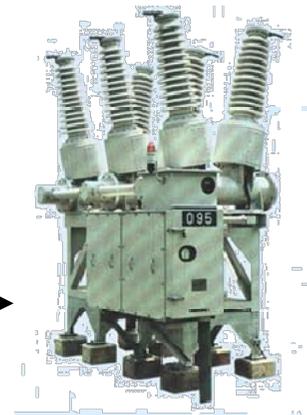
家庭用のブレーカでは、電流を検出してスイッチが動作する。



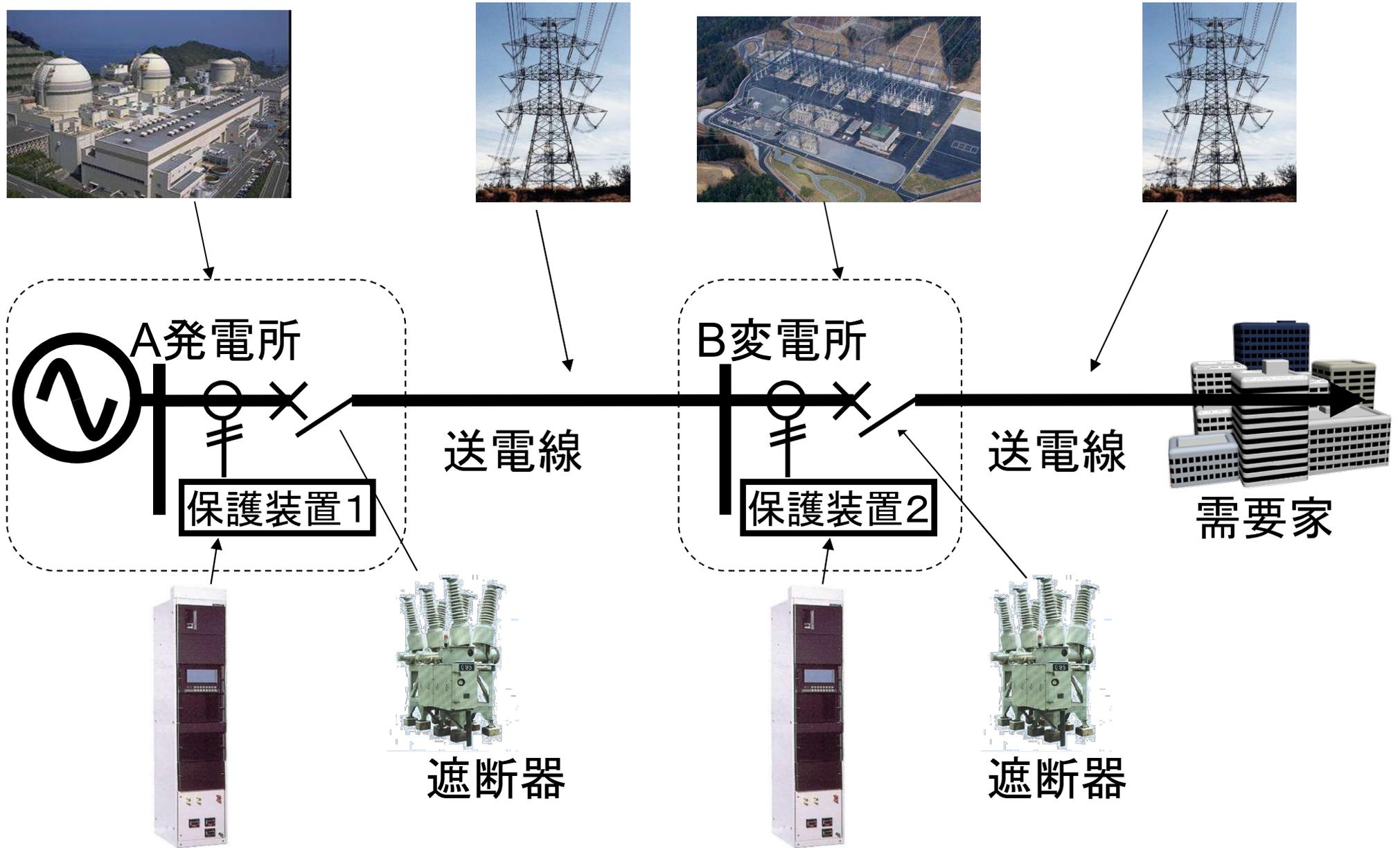
電力系統では、保護装置で事故を検出して遮断器が動作する。



遮断指令



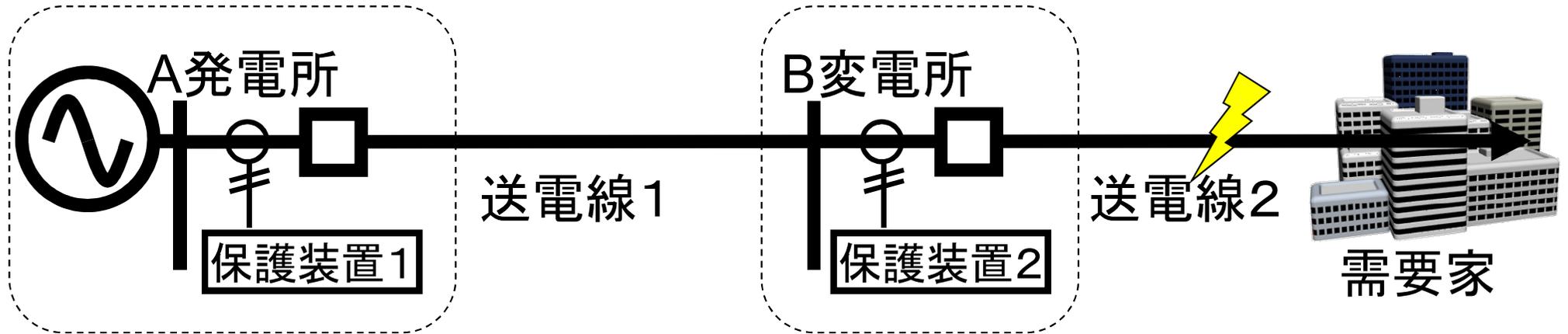
# 保護リレーシステムの構成



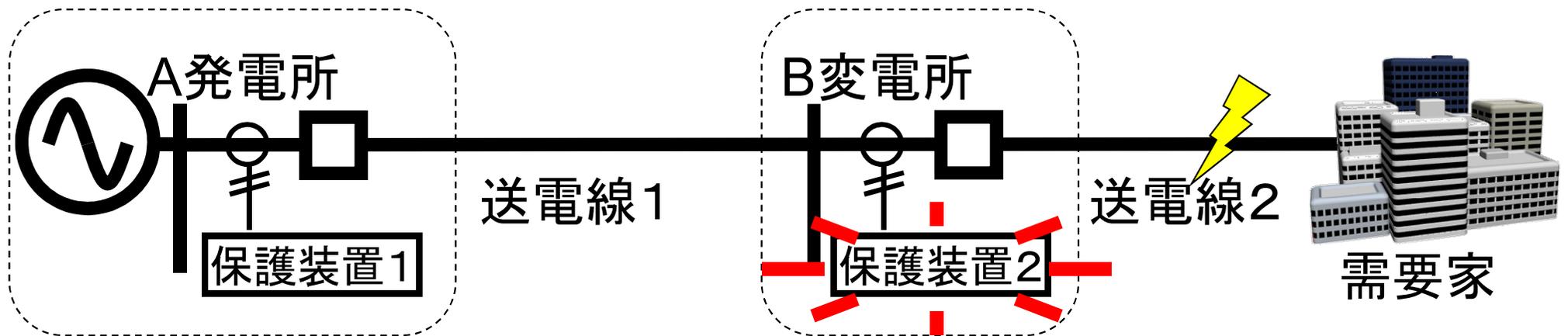
# 保護リレーシステムの役割

## 送電線2に落雷等の事故があると...

### 1. 事故発生



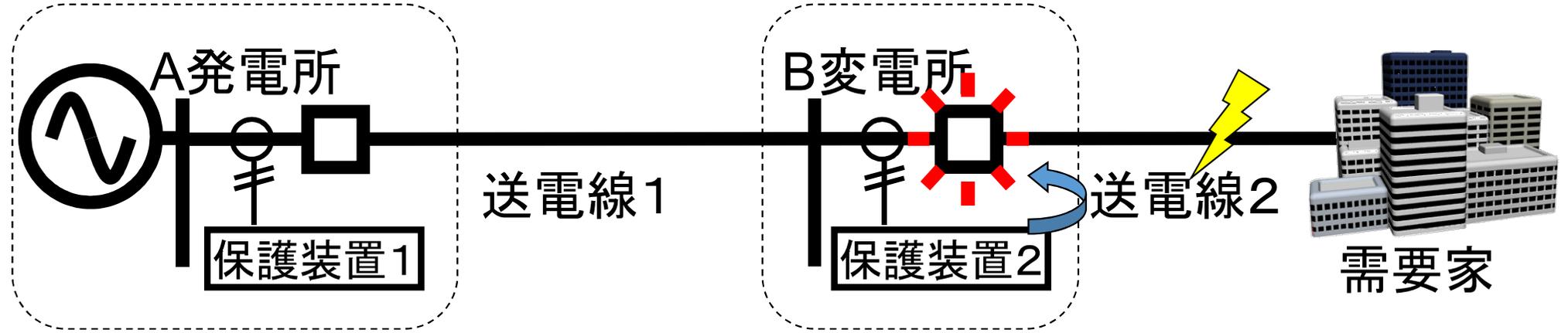
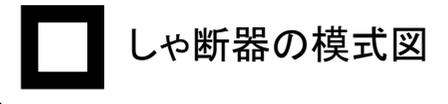
### 2. 保护装置が事故を検出



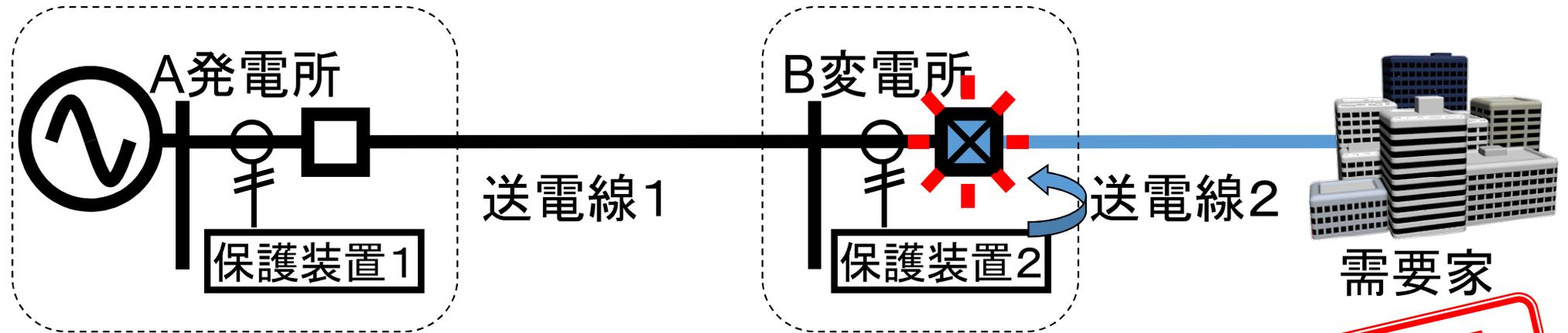
# 保護リレーシステムの役割

## 送電線2に落雷等の事故があると...

### 3. 保護装置からの遮断指令により遮断器動作



### 4. 送電線停止とともに事故除去

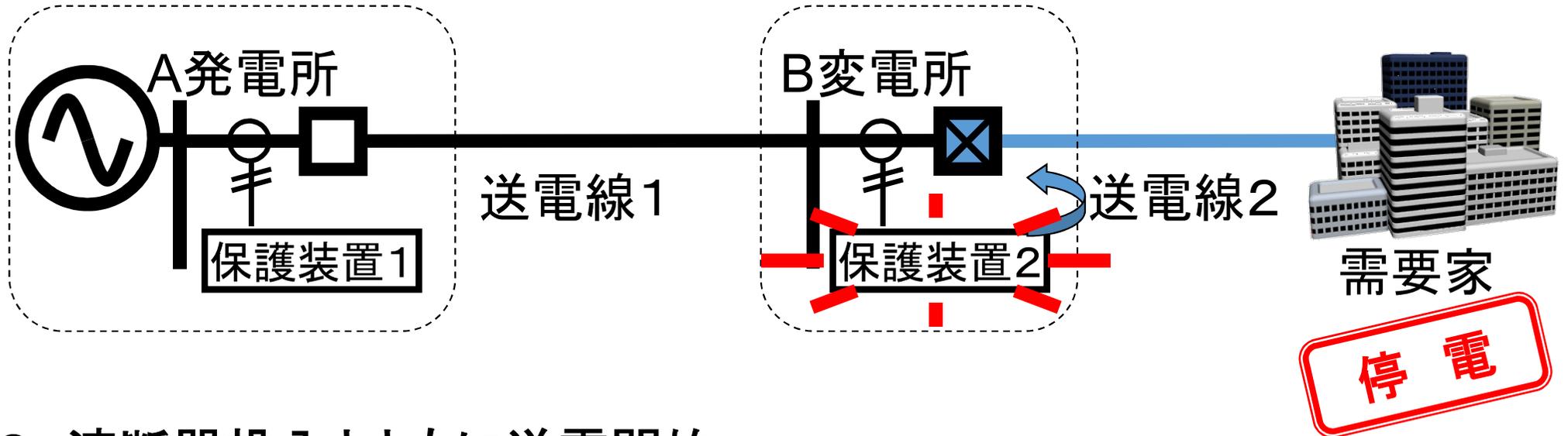


⇒このままだとお客さまが停電したまま

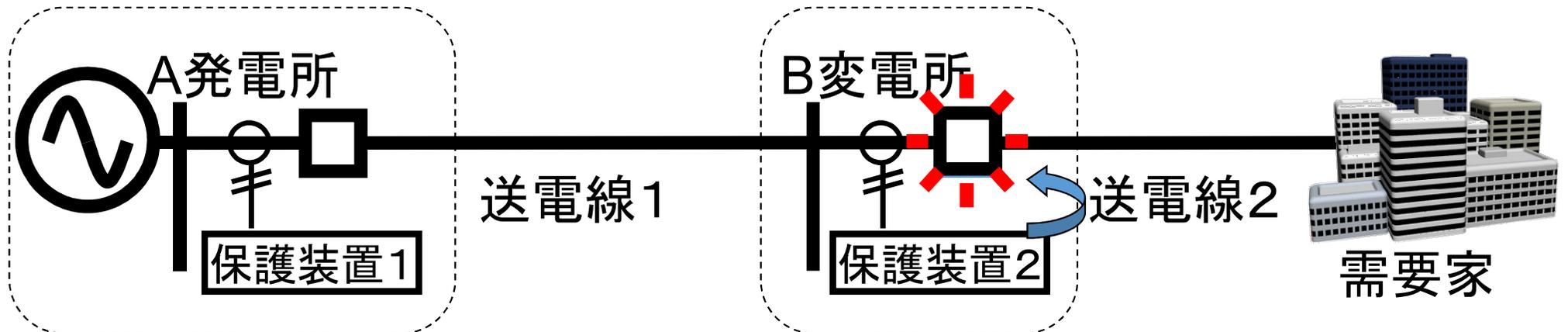
**停電**

# 保護リレーシステムの役割 送電線2に落雷等の事故があると...

5. 一定時間後に保護装置から遮断器へ投入指令



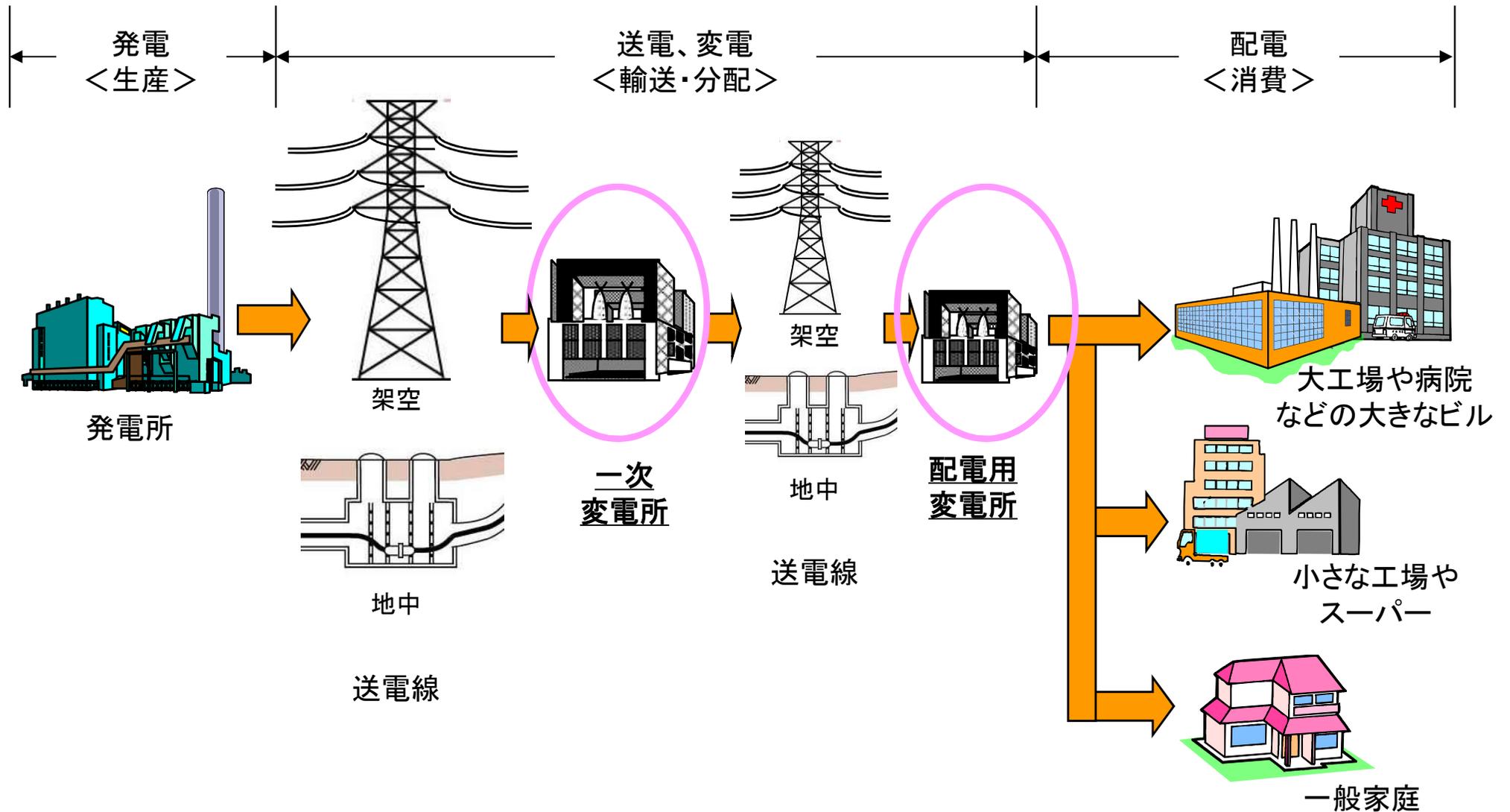
6. 遮断器投入とともに送電開始



⇒お客さまの停電が復旧

# 変電設備

火力・原子力発電所や水力発電所で作られた電気は、275kVや500kVなどの高い電圧にして消費地の近くまで送電し、そこでお客様が使いやすい低い電圧に変えて、工場やご家庭にお届けしています。このように電圧を高くしたり低くしたりするところが変電所です。



# 変電設備の概要と役割－1



## 変圧器

最初に発電所で作られた電気は6.6kV～22kVの低い電圧なので遠い消費地まで効率よく送る為に高い電圧にします。又、そこから消費地まで送る間に適切な電圧に順番に低くしていきます。この電圧を高くしたり低くしたりする設備をいう。



## 遮断器

変電所に入ってきた電気は別の変電所やお客さまにそれぞれ分けて送られます。この電気の流れ(電流)を開閉する設備をいう。

遮断器は送電線に落雷事故等が起こると素早く切り、異常な現象が起きないようにする働きをします。



## 断路器

電気を開閉するスイッチの一種ですが、上記の遮断器のように電気が流れる(電流)状態では開閉が出来ません。電流が流れていない状態で開閉します。

遮断器等の点検・工事などにおいて停止範囲を広く取るなど区分する場合に用いる。

# 変電設備の概要と役割－2



## 避雷器

送電線に落雷があると、送電線を通して変電所に入り、機器が大きな被害を受けることがあります。このような場合、変電所に入ってくる雷を大地に流し、機器への被害を防止します。通常は大地に電気を流すことはありませんが、落雷のときだけ動作し、変電所の機器被害を防止します。



## 計器用変成器

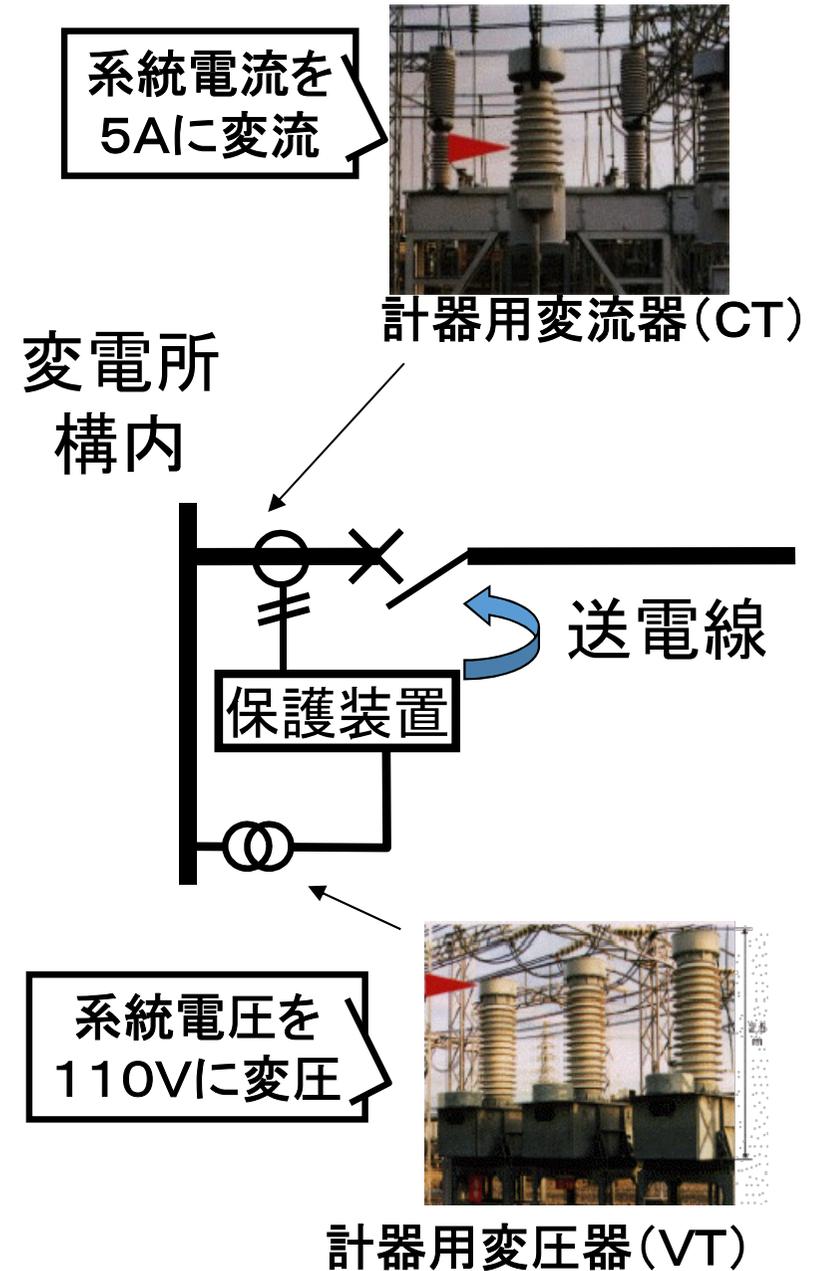
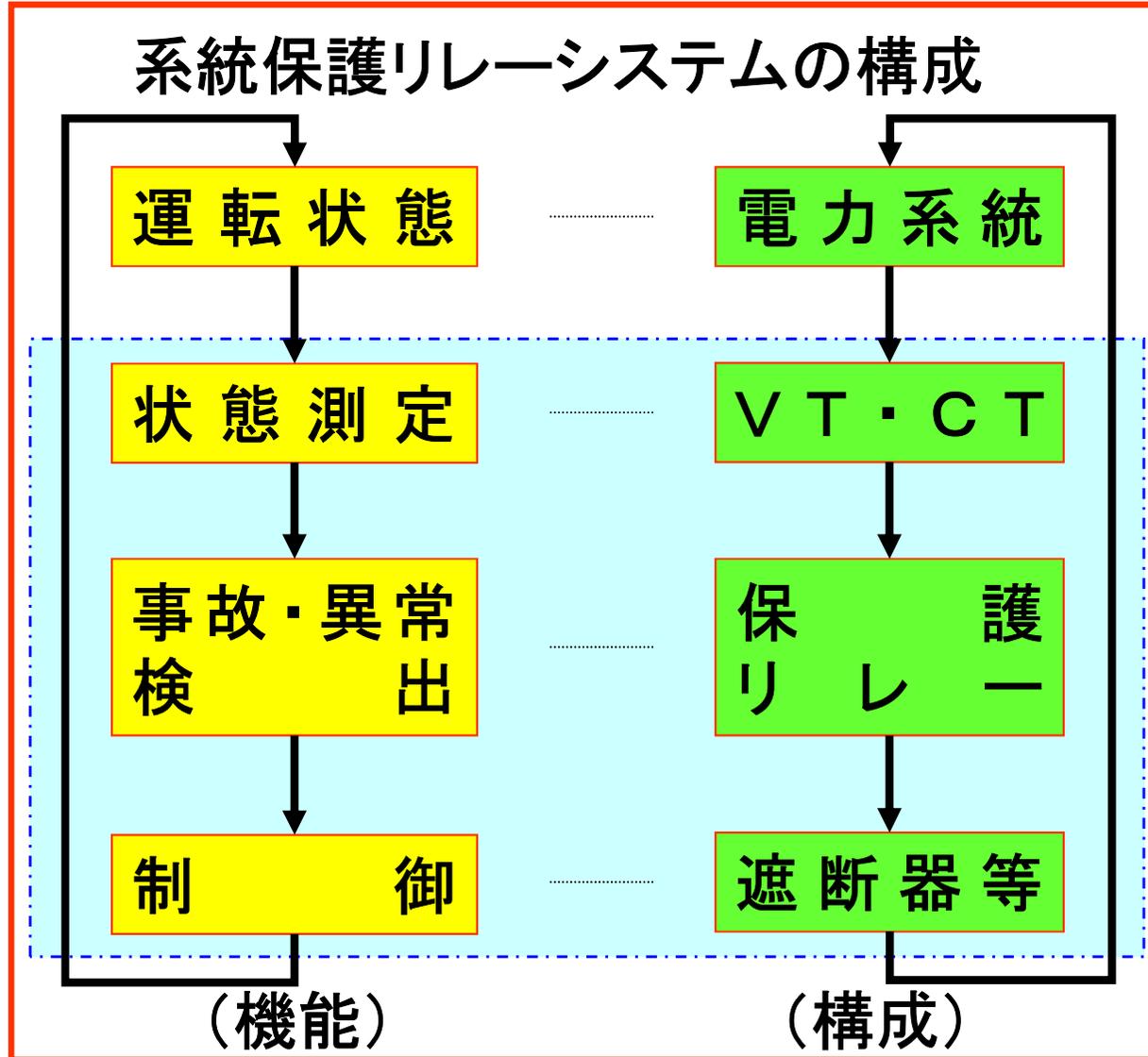
電気の計測、電力系統や機器の保護、制御等に必要な情報入手するためのもので、通常、大きな電流や電圧を適切な大きさの電流、電圧にするために用いるものです。大きな電圧を適切な大きさの電圧にするものを計器用変圧器といい、大きな電流を適切な大きさの電流にするものを計器用変流器といいます。



## キュービクル

キュービクルは、閉鎖形配電盤とも呼ばれるもので、通常、金属製の外箱があり、その中に主回路機器などが入っています。主回路機器には、しゃ断器、断路器、計器用変圧器、計器用変流器などがコンパクトに入っています。

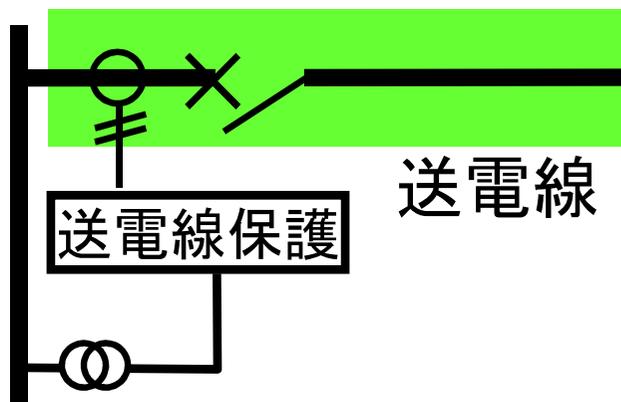
# 系統保護リレーシステムの構成



# 保護範囲は遮断器と変流器の位置により決まってくる

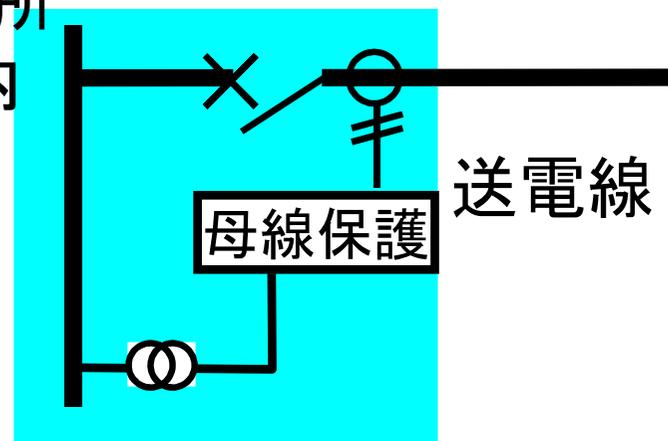
## ○送電線の保護範囲

変電所  
構内



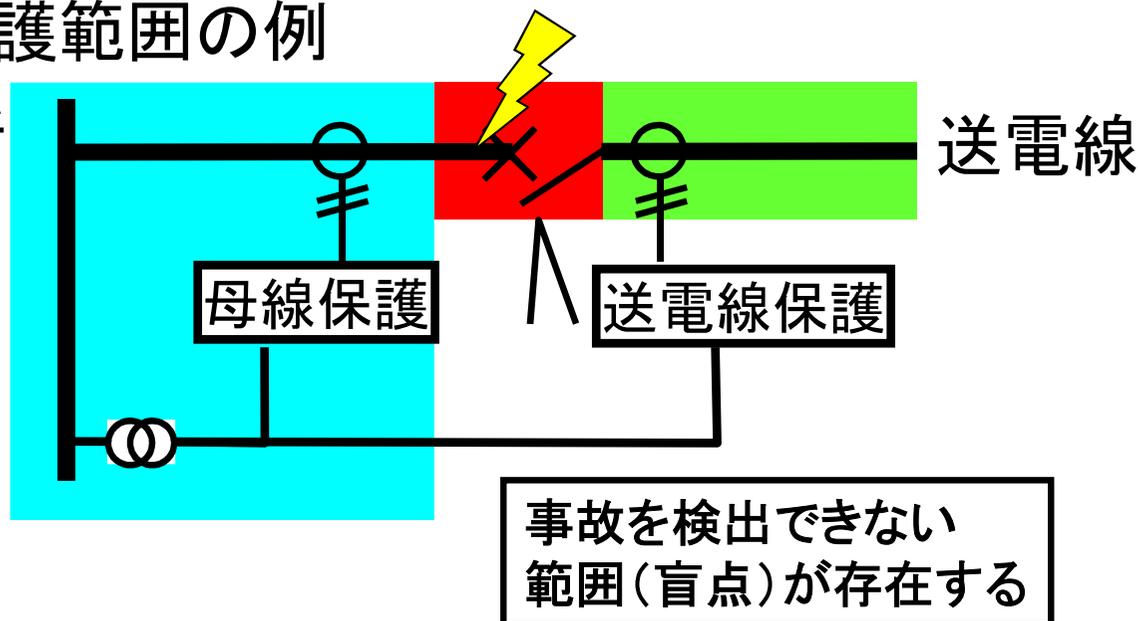
## ○変電所構内の保護範囲

変電所  
構内

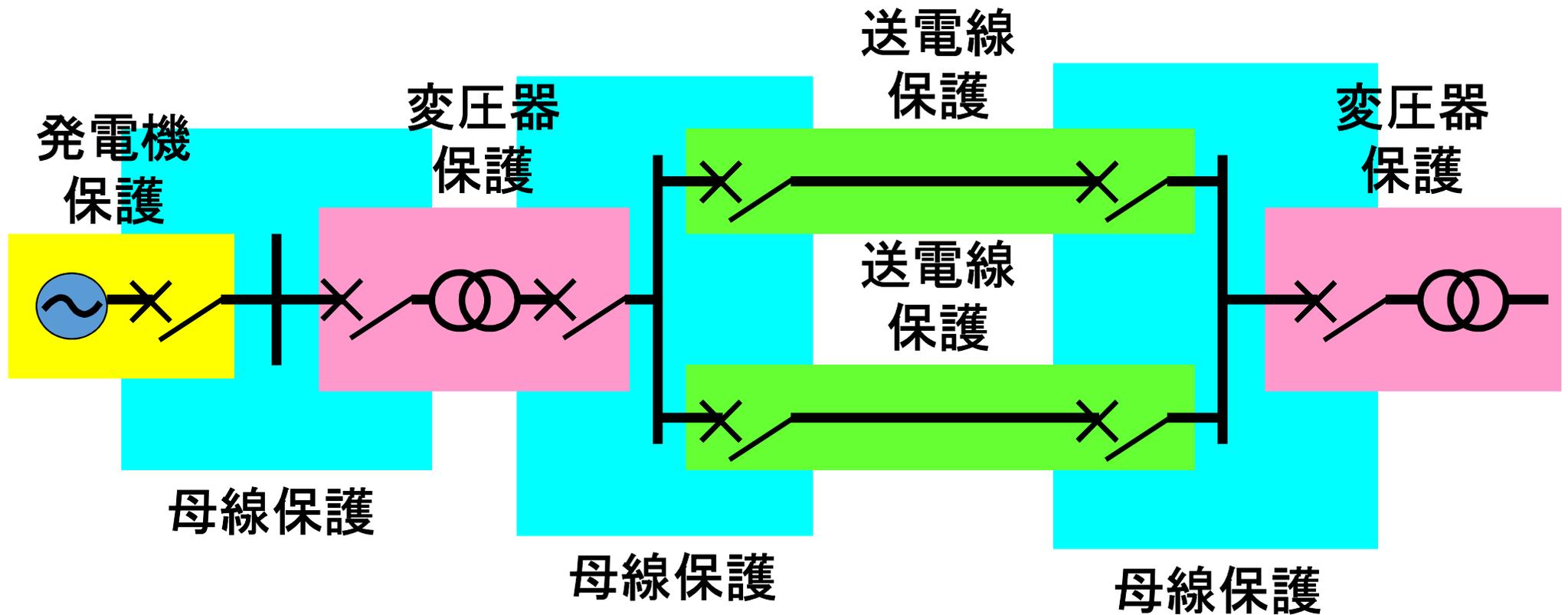


## ○不適切な保護範囲の例

変電所  
構内



# 保護リレーシステムの設置箇所と保護範囲



保護リレーシステムの保護範囲を重複させることにより無保護区間をなくす

# 送電線保護リレーの適用例

電圧階級	対象系統	リレー方式	系列数	動作時間	
				短絡	地絡
500kV	全系統	電流差動	2系列	4サイクル (CB2サイクル含む)	
275kV	全系統	電流差動	1系列	6サイクル (CB3サイクル含む)	
154kV	全系統	電流差動	1系列	6サイクル	8サイクル
				(CB3サイクル含む)	
22~77kV	2回線 並行系統	回線選択	1系列	8サイクル	10サイクル
	1回線 末端系統	距離または 過電流		(CB5サイクル含む)	
	上記適用が 困難な系統	電流差動		//	//
				//	//

サイクル: 交流の1つの波を1サイクルと呼ぶ

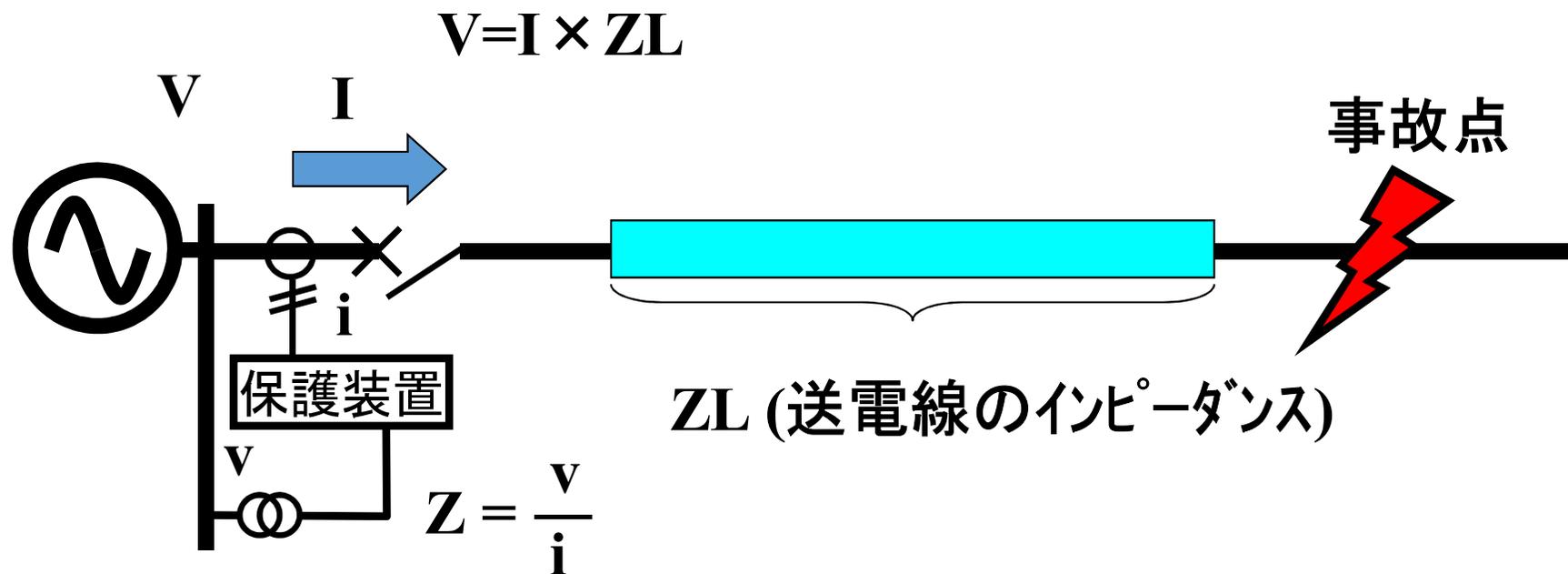
50Hzでは 1サイクルは  $1[s] / 50[波] = 20.0[ms]$

60Hzでは 1サイクルは  $1[s] / 60[波] = 16.6[ms]$

# 方向距離リレーの原理

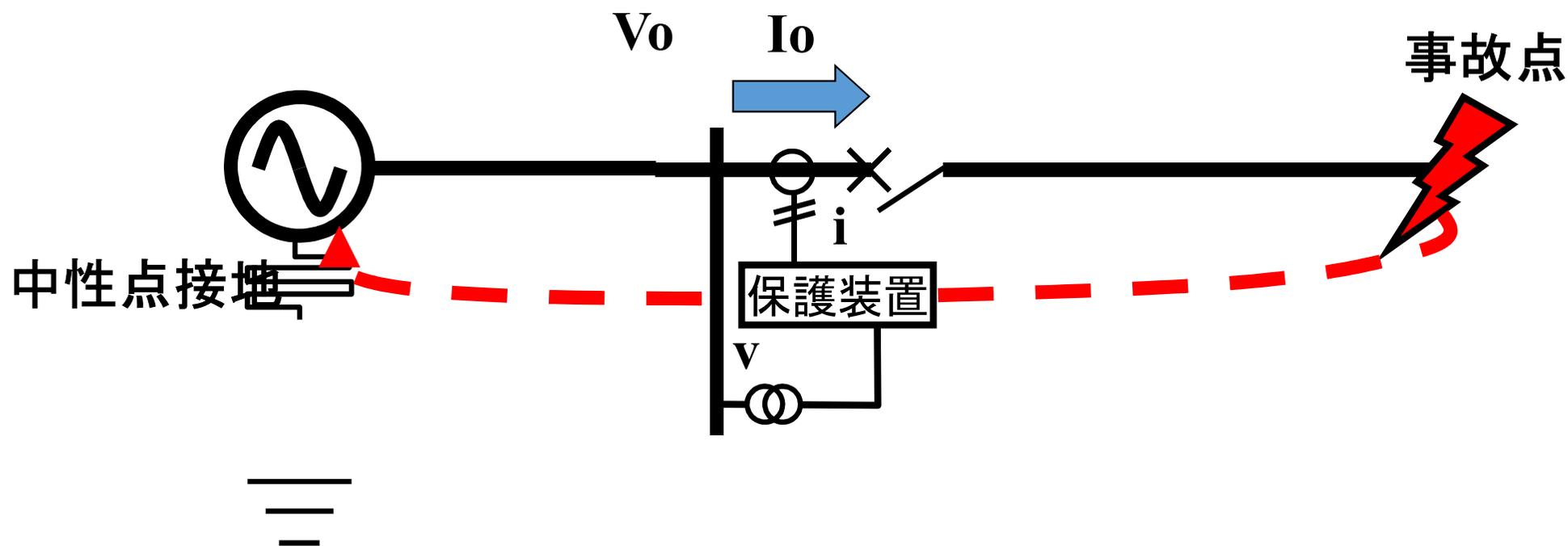
リレーの設置点から事故点までの電氣的距離(線路インピーダンス)により、動作判定を行う。

リレー設置点の電圧(V)、電流(I)と事故点迄の距離(線路インピーダンス) $Z_L$ との関係は次の通り



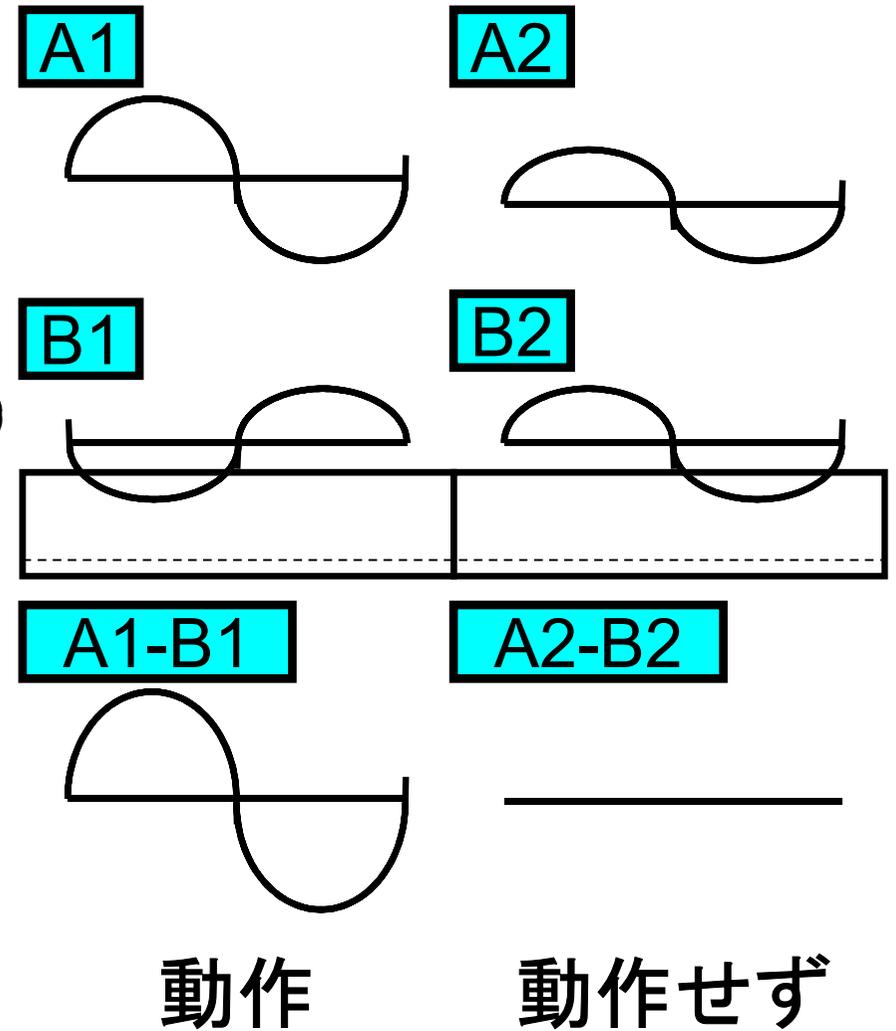
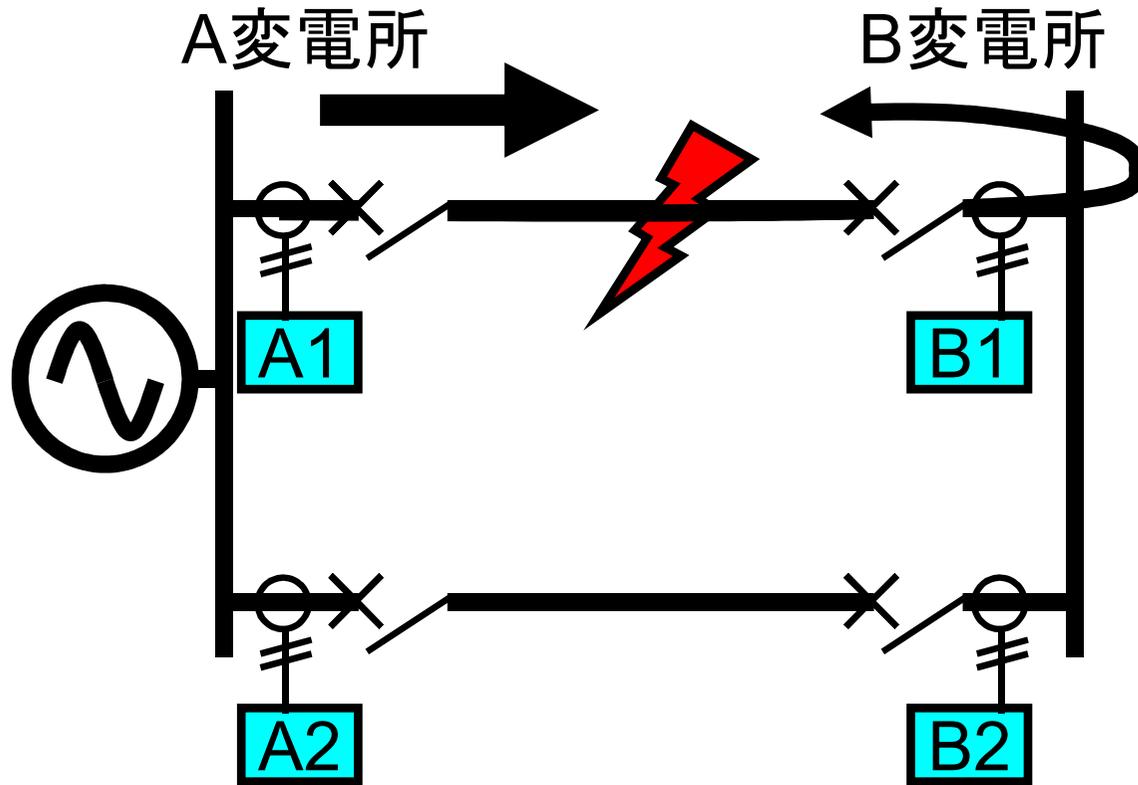
# 地絡方向リレーの原理

リレーに入力される電流の大きさと方向により、動作判定を行う。



# 電流差動リレーの原理

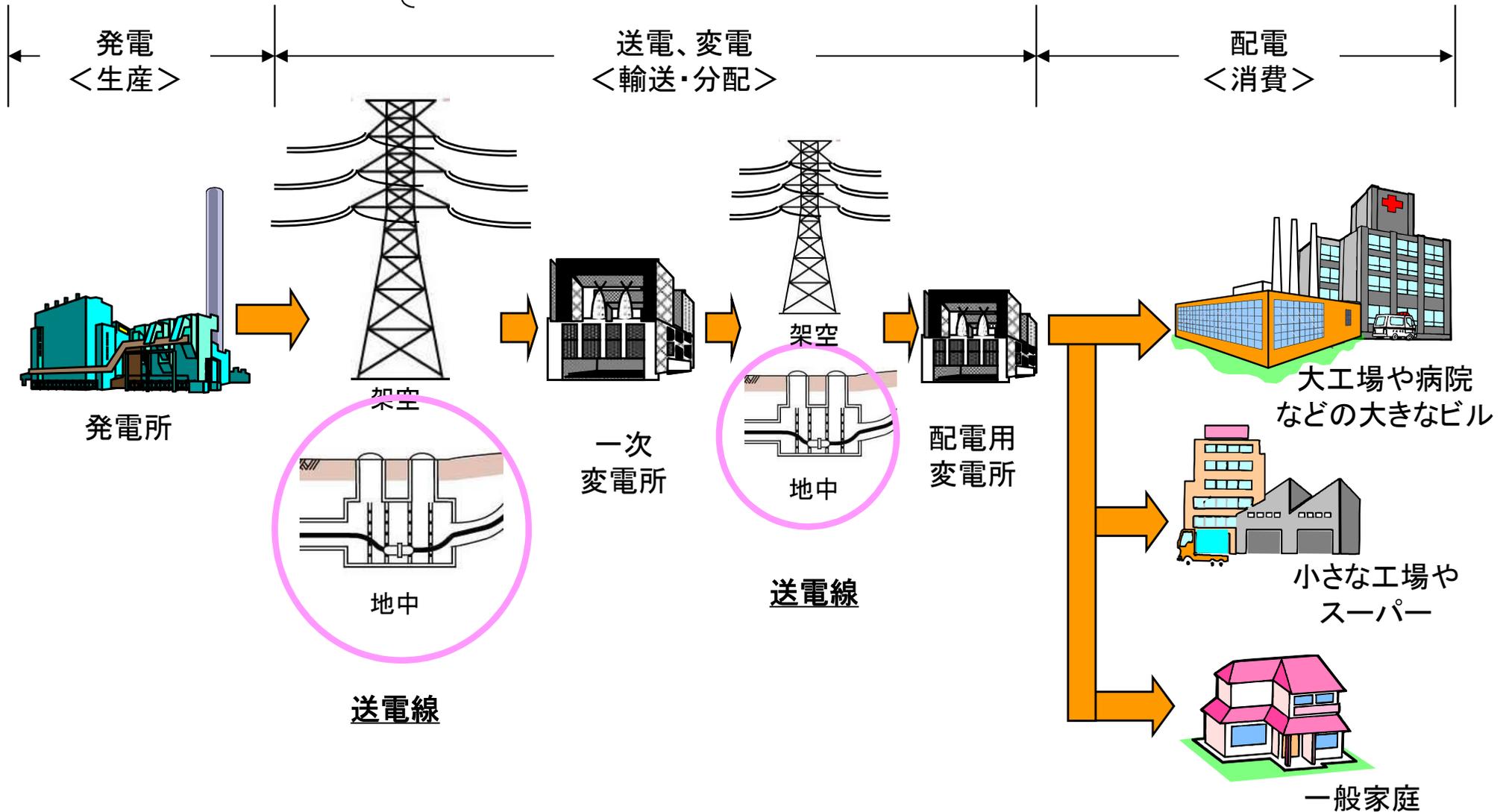
各端子の電流値の合成により動作判定を行う



# 地中送電設備

送電線は、発電所と変電所または変電所間を結んで、電気を送る役目をしています

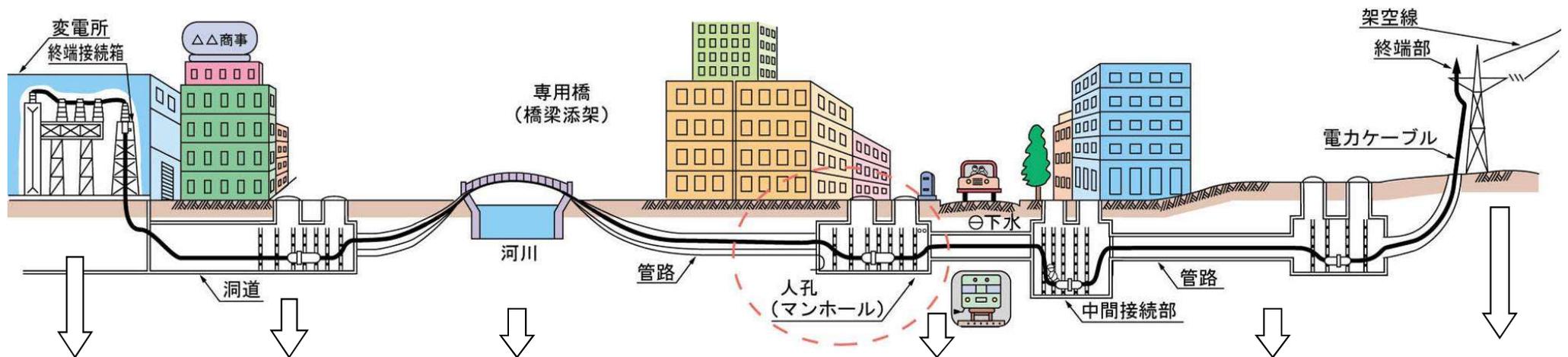
- 送電線の種別
- 架空送電線 ・・鉄塔等で電線を支持し、上空に電線路を設置するもの
  - 地中送電線 ・・道路等の地下にケーブルを埋設し電線路を設置するもの



# 地中送電設備の構成

## 地中送電設備の概要

地中送電線は、地下に收容されており、都市生活を支えています。



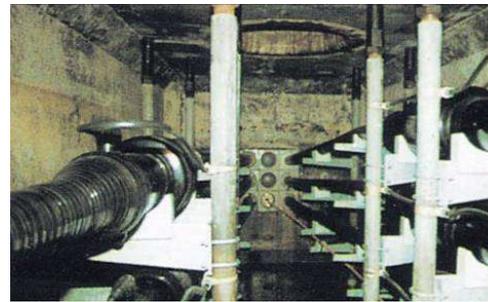
変電所内  
ケーブル  
終端部



洞道内  
ケーブル  
布設状態



専用橋



マンホール内部

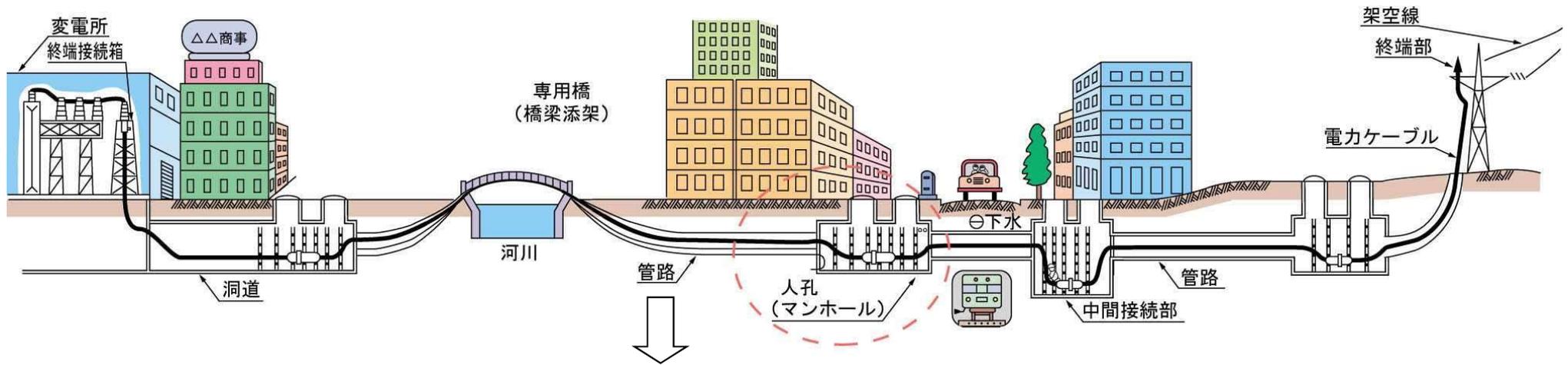


管路



ケーブル  
立ち上げ  
鉄塔

# 地中送電設備の概要(管路部)



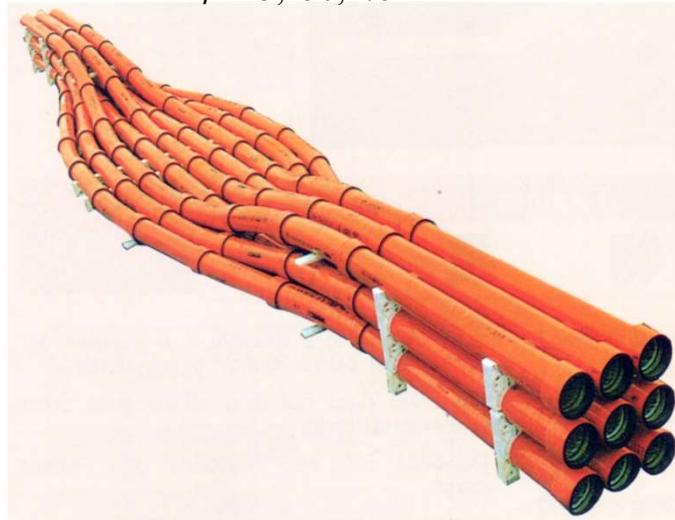
地中送電用管路はケーブルが多条数となるため、多孔管路を採用しています。  
主にAP管路、PFP管路があります。

**PFP管路**

- ・ポリコンFRP管  
(管路を土中に直に設置)
- ・昭和45年～現在
- ・ $\phi$  125,150,175mm

**AP管路**

- ・コンクリート巻き管路  
(管周囲にコンクリートを打設して埋設)
- ・昭和20年代～62年
- ・ $\phi$  100,125,150mm



# 電力ケーブルの種類

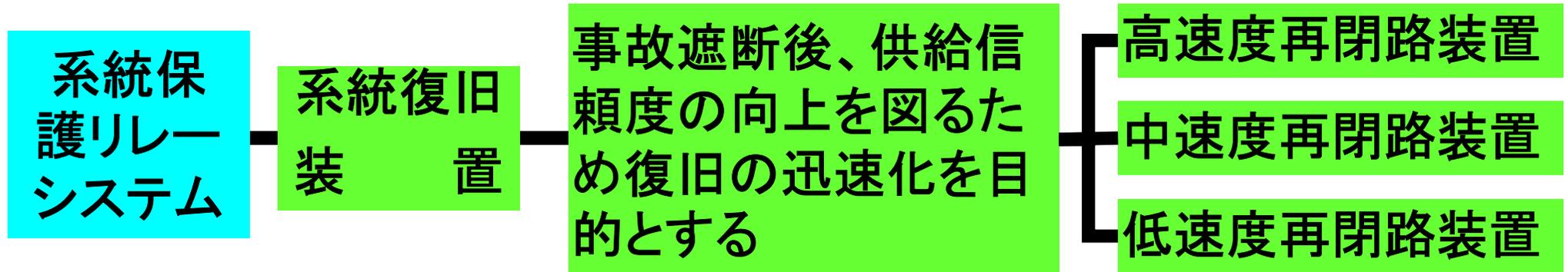
電力ケーブルは導体（軟銅より線）の周囲を絶縁体で被覆したもので、種別としては、CVケーブルとOFケーブルがあり、最近ではCVケーブルを主に採用しています。



CVケーブルは、絶縁体に架橋ポリエチレンを使用したプラスチックケーブルで、絶縁油等が不要なため保守が容易です。

OFケーブルは、絶縁体に絶縁紙と絶縁油を使用したケーブルであり、外部に設置した油槽により絶縁油を加圧している。

# 再閉路の目的



## 高速度再閉路装置

系統連系維持を目的として1秒程度で系統復旧を行う

## 中速度再閉路装置

早期系統復旧および停電時間短縮を目的として数秒程度で系統復旧を行う

## 低速度再閉路装置

系統復旧操作の自動化を目的として1分程度で系統復旧を行う

# 再閉路方式

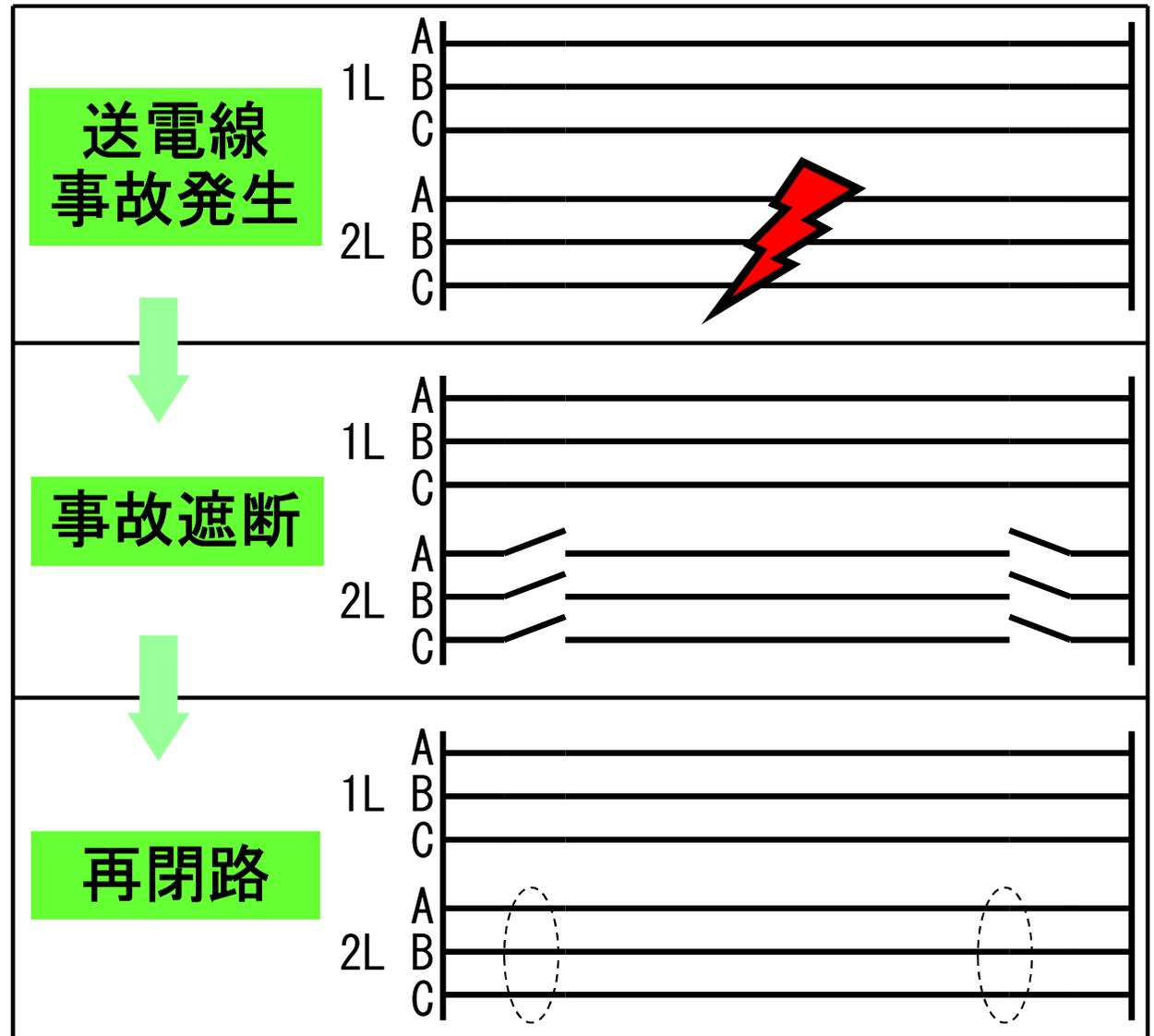
<p>送電線事故</p> <p>↓</p> <p>保護リレー動作</p>	<p>送電線事故発生により保護リレー動作</p>
<p>↓</p> <p>事故遮断</p>	<p>事故様相や再閉路方式に基づき、事故相、事故回線を遮断する</p>
<p>↓</p> <p>事故・アーク消滅</p> <p>↓</p> <p>再閉路</p>	<p>事故電流、アーク電流消滅に要する無電圧時間後に遮断した相、回線を再閉路する(隣回線の連系状態や、位相角の確認を行う)</p>

# 再閉路方式

# — 三相再閉路 —

▶ 事故の種類に関係なく  
3相とも事故遮断し、  
再閉路を行う

＜特徴＞  
再閉路の条件として  
「隣回線の連系確認」  
もしくは「位相角確  
認」が必要



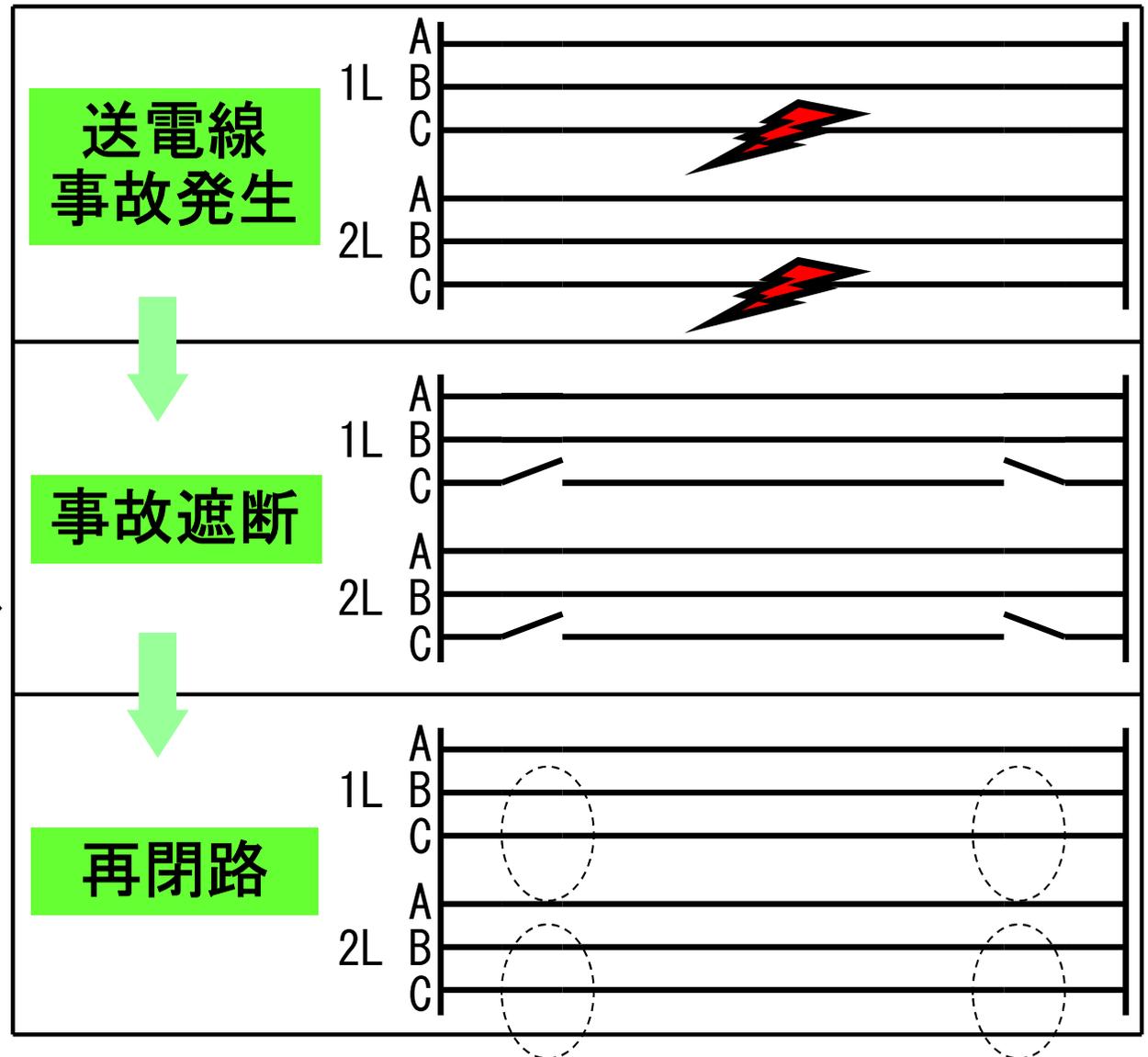
# 再閉路方式

# — 単相再閉路 —

▶ 1線地絡事故の場合、  
地絡相を単相遮断し、  
再閉路を行う

<特徴>

2回線事故の場合でも、  
健全である2相で送電  
を継続可能



# 海外における大規模停電の事例（イタリア）

（UCTE発行の中間報告書，2003.10.28）

## 発生日時

2003年9月28日（日）午前3時28分

## 停電状況

＜停電地域＞ ほぼイタリア全土（サルディニア地方を除く）

＜供給支障＞ 約2,400万kW

＜停電の影響＞ 5,700万人（推定）に影響

## 復旧状況

同日23時00分に停電解消（約20時間）

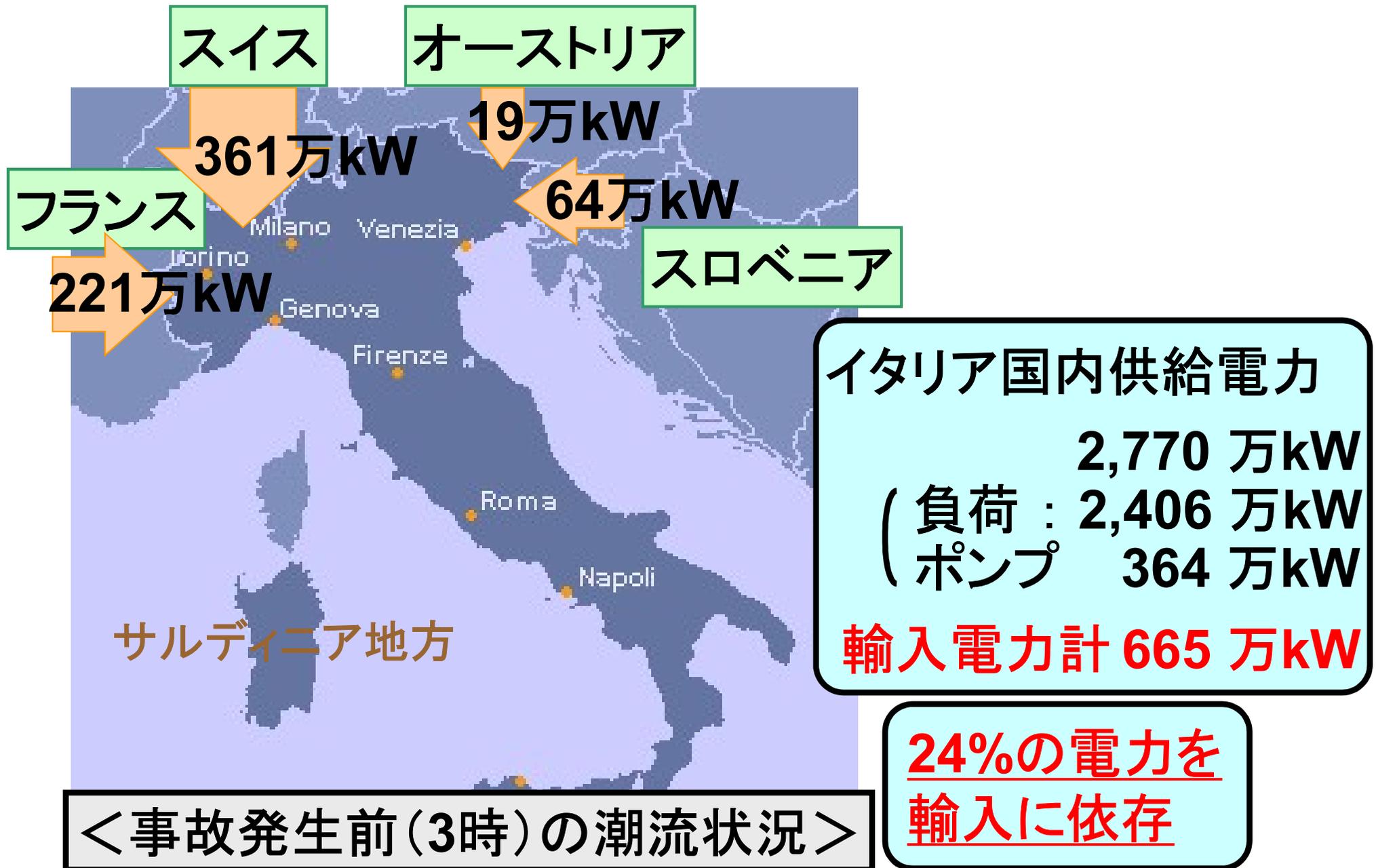
## 原因

送電線の連鎖しゃ断によるイタリア国内の供給力不足

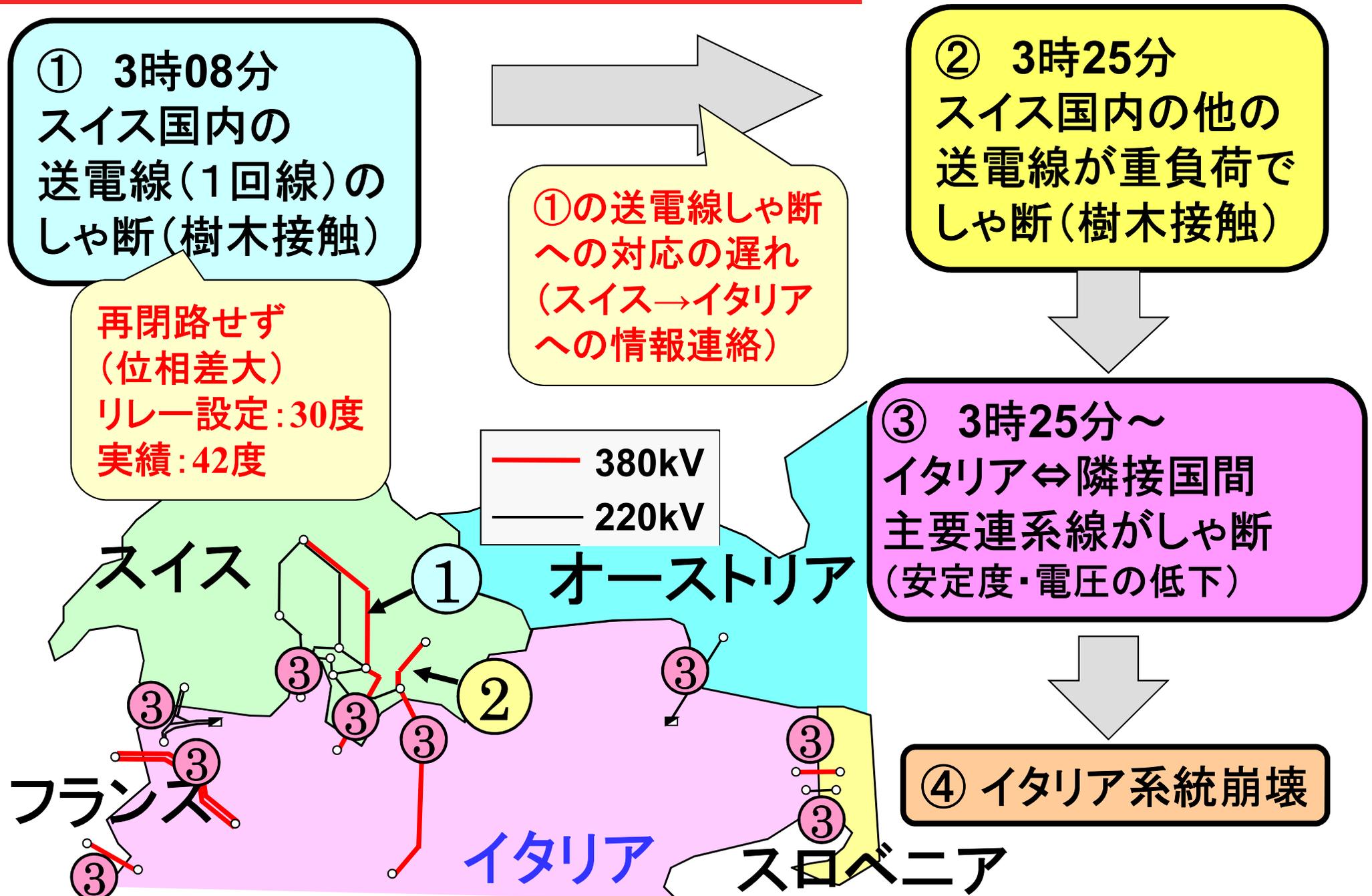
※UCTE(Union for the Coordination of Electricity Transmission)：系統運用者協会

# 事故発生前の潮流状況

## 24%の電力を隣接国から輸入



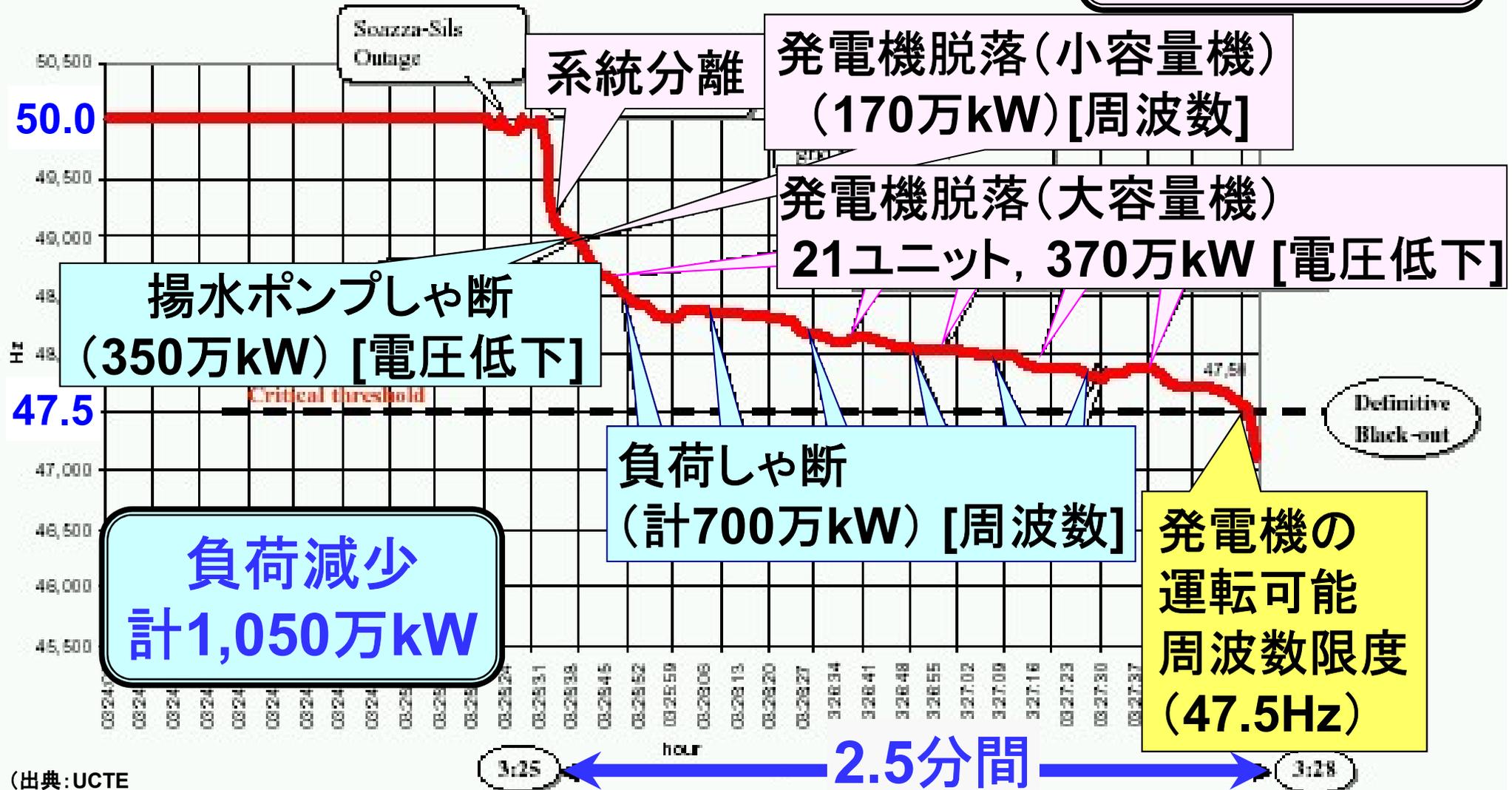
# スイス国内の送電線しゃ断をきっかけに、 イタリア⇔隣接国間の主要な連系線がしゃ断した



# 負荷しゃ断後も発電機の脱落により 周波数が低下し、全停に至った

## イタリア系統の周波数低下状況

供給力減少  
計1,200万kW



(出典: UCTE  
FINAL REPORT of the Investigation Committee on the 28 September 2003 Blackout in Italy)

電力系統を  
絶え間なく  
保護せよ。

Silent sentinel

## 電力系統の安定供給を支える保護リレーシステム

保護リレーは電力系統の運用に不可欠なものであり、電力系統の神経にもたとえられ、  
"Silent sentinel" (静かなる歩哨) と表現される。

*end.*