

# 保護リレーシステム技術入門



電 気 学 会  
電力・エネルギー部門  
保護リレーシステム  
技 術 委 員 会

保護リレーシステムとは電力系統の事故・異常を検出し、事故点や異常の原因となる設備を系統から素早く切り離す指令を出力するものである。

保護リレーシステムは、

- 24時間365日「絶え間なく」電力系統を監視し続け、
- 事故・異常がなければそのままじっと見守り、
- 事故・異常が発生したときは、まばたきする間もないほど「素早く」、「正確」に動く。

保護リレー：保護リレーに関する技術全般を指す場合と、単体要素を指す場合がある

保護リレー装置：単体要素を組み合わせて1つの配電盤等を構成したもの

保護リレーシステム：周辺設備と組合せ、電力系統の事故を検出、除去を行うよう

構成されたもの



落雷などにより電力系統に事故が発生する。

↓

保護リレー装置が事故を検出する。

↓ (電力系統の電圧、電流の状態により事故を検出する)

保護リレー装置が遮断器に遮断指令を出す。

↓ (速く事故を除去しなければ設備の損壊などにつながる)

遮断器が開く。

↓ (大電流を遮断器で切り離す)

事故が除去される。

# 第1章 はじめに

⊗ 電気学会 実務に則した保護リレーシステム技術の基礎の学び方 調査専門委員会

## 目次

- 第 1章 はじめに
- 第 2章 電気というエネルギー
- 第 3章 電気を「送る」
- 第 4章 自然災害と事故
- 第 5章 保護リレーシステムの役割
- 第 6章 保護リレーの種類と機能
- 第 7章 保護リレーの構成と周辺設備
- 第 8章 保護リレーにかかわる業務
- 第 9章 保護リレー技術者が目指す姿
- 第10章 本書の取扱い
- 付 録 参考文献  
事例別索引  
参考となる知識  
頻出用語集

## 1.1 本書の目的

本書は保護リレーシステム技術の入門書である。

保護リレー業務に携わって間もない初級技術者が、最初に知っておいてほしい実務的な基礎技術を網羅しつつ、保護リレー技術者へのアンケート結果に基づき、初級技術者が陥り易いつまづきとその解決事例を示し、理論と実際の結びつきに配慮して解説している。

本書は、電力システムに興味のある学生の方々や、保護リレー業務に携わって間もない技術者に適したものとしている。

## 1.2 本書の使い方

(1) 読者は、以下を参考に使い分けていただきたい。(■ は閲覧推奨箇所)

対 象	2章	3章	4章	5章	6章	7章	8章	9章
■ 電力工学を学ぶ学生 ■ 初めて保護リレー技術者となった方 ■ 保護リレー技術者以外の電力系統や設備関係の技術者	■						■	
■ 保護リレー技術者を教育する方 ■ 保護リレー業務経験者	■							

(2) 巻末に事例別索引を準備しているので、問題に直面した方は巻末から該当箇所を参照していただきたい。

(3) ★印について

タイトル末尾に★印が付しているスライドは「StepUp」の位置づけであり、他のスライドと比較して難易度がやや高い内容が記載されている。

今後、保護リレー業務を遂行するにあたり、今その技術が必要になった時や、さらに知識の幅を広げたいと感じた時に読み返し、習得して頂きたい。

## 目次

- 2. 1 電気の必要性について
- 2. 2 電気を作る, 送る, 使う
- 2. 3 電気の品質について

## 概要

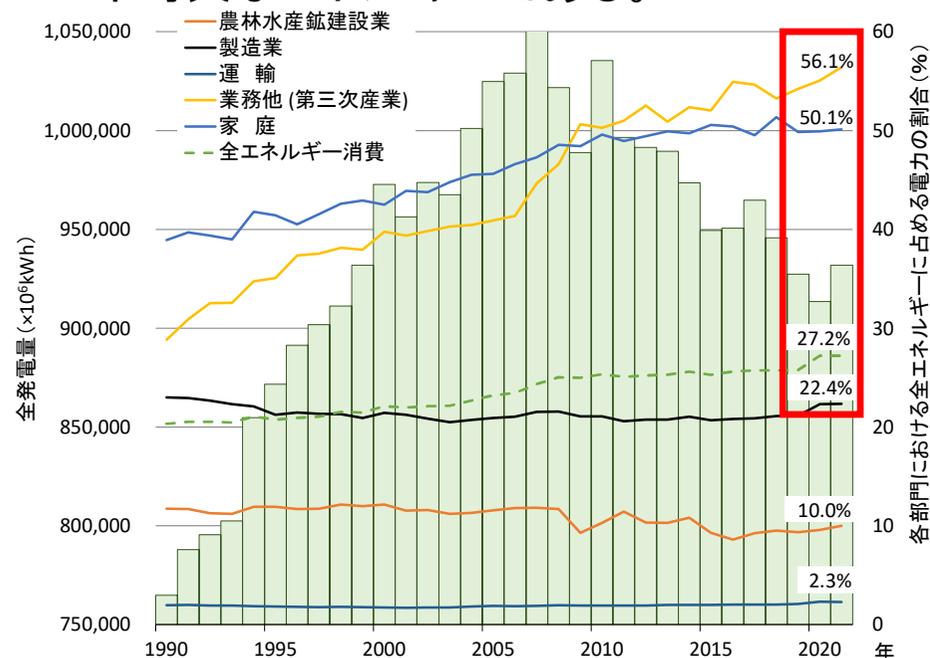
電気は発電所で作られ, 送電線や変電所などの設備を通して, 工場や家庭まで届けられる。電気の利用者はコンセントに挿せば品質の良い電気を使いたいときに安全に利用できる。

本章では, 電気を作るための発電設備や送るための送電設備について説明するとともに, 電気の品質を保つ必要性について説明する。

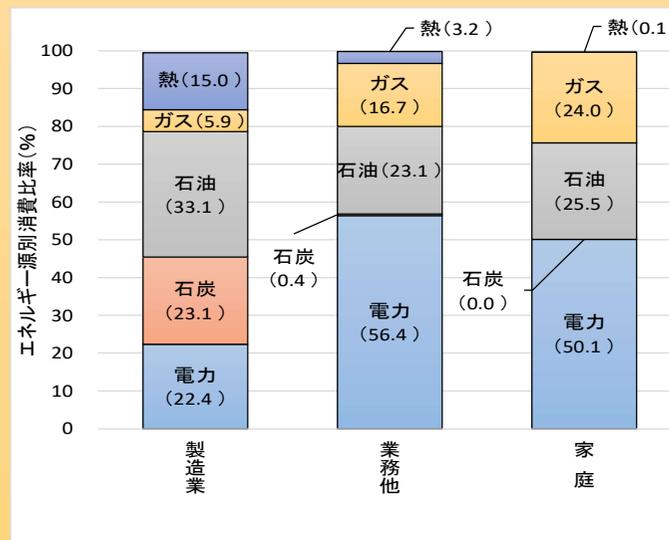
## 2.1 電気の必要性について

### ○全エネルギーに対する電気の占める割合

- 家庭、業務他※で用いられるエネルギーのうち半分以上が電気であり、現代社会において、必要不可欠なエネルギーである。



### 内訳



各部門におけるエネルギー源別消費比率 (2021年度)

参照: 電力エネルギー統計 (2021年度) 資源エネルギー庁

### ○電気が使われる理由

- 電気は安全でクリーンなエネルギーであるため、利用しやすい。
- 電気は動力、熱、光など他のエネルギーへ変換が容易で、変換効率(90%以上)が高いため、用途が広い。
- 電気は送電線があれば瞬時にエネルギー輸送ができるため、使いたいときに自由に利用できる。
- 電気は情報の記憶や処理にも必要不可欠である。

※業務他(第三次産業)とは、事務所・ビル、デパート、ホテルなどの業種を指す。

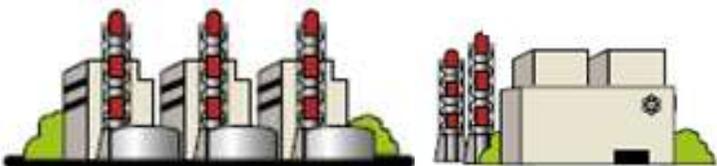
## 2.2 電気を作る, 送る, 使う

作る

多様な方式で発電している。



水力発電所 ※1



火力発電所 ※1

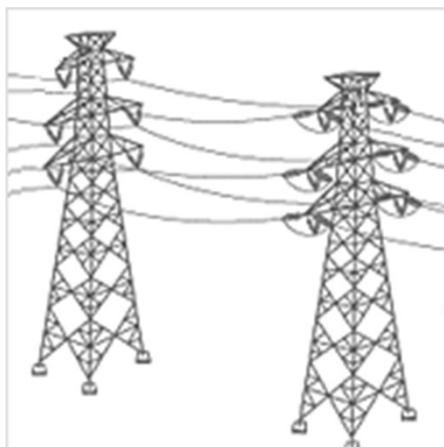
原子力発電所 ※1



太陽光発電所



風力発電所

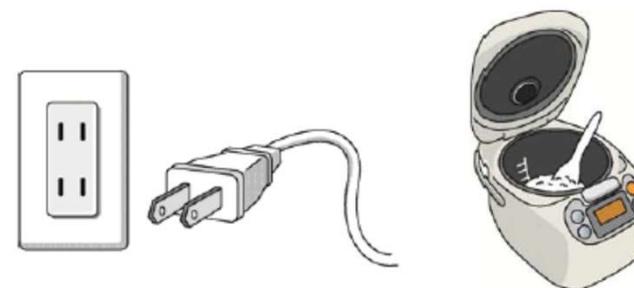


適正な電圧, 周波数の電気を送る。  
(2.3節, 3.3節参照)

送る

使う

使いたい時に安全に使える。



【熱エネルギー】



【動力】



【光エネルギー】

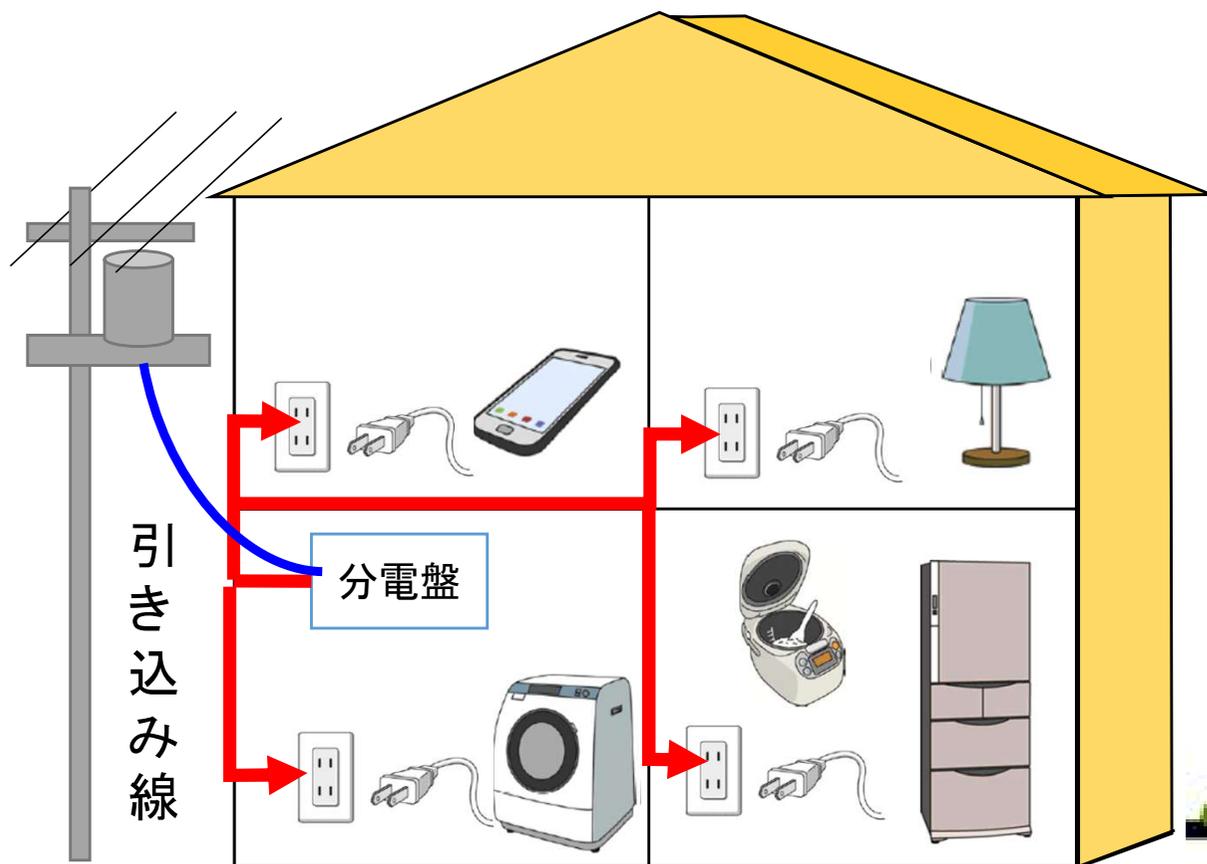
※1 出典: 電気事業連合会 FEPC INFOBASE2016「発電所からお客さまへ」

## 2.2 電気を作る, 送る, 使う

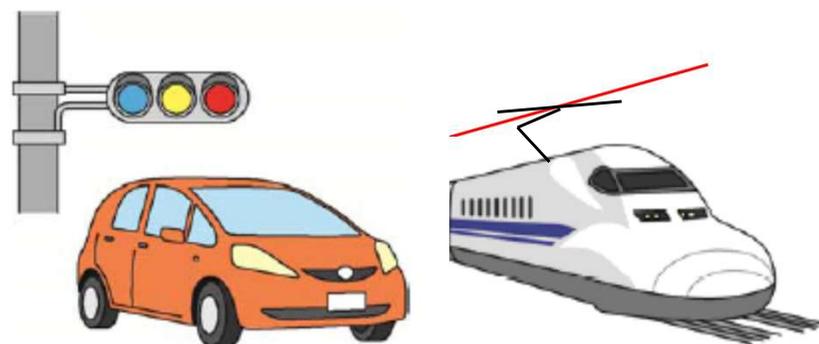
○使われる場所や使う人(需要家※)

- ・電気は家庭や企業, 工場, 公共交通機関などあらゆるところで利用されている。

家庭



交通機関



企業・工場



※需要家とは電気の供給を受けて利用している全ての者を指す。

## 2.2 電気を作る, 送る, 使う

### ○発電方式

発電方式	メリット	デメリット
火力発電 (石炭, LNGなど)	・電力需要に合わせた発電量の調整ができる。	・エネルギー資源の大きな価格変動が懸念される資源もある。 ・資源枯渇, CO <sub>2</sub> 排出の問題がある。
水力発電	・再生可能な国産エネルギーである。	・新規開発のためには, ダムを造る必要があり, 大規模な環境の改変が必要となる。
原子力発電	・燃料が安価で, CO <sub>2</sub> 排出が少ない。	・厳重な放射線管理が必要である。 ・放射性廃棄物の適切な処理, 処分が必要である。
太陽光発電/ 風力発電	・資源が枯渇することがなく, CO <sub>2</sub> 排出が少ない。	・自然条件に左右され, 安定出力が困難であることから, その変動分を補完する火力発電等による発電コストが高くなる可能性がある。

火力発電所

写真:姉崎火力発電所



水力発電所

写真:信濃川発電所



原子力発電所

写真:川内原子力発電所



太陽光・風力発電所

写真:扇島太陽光発電所

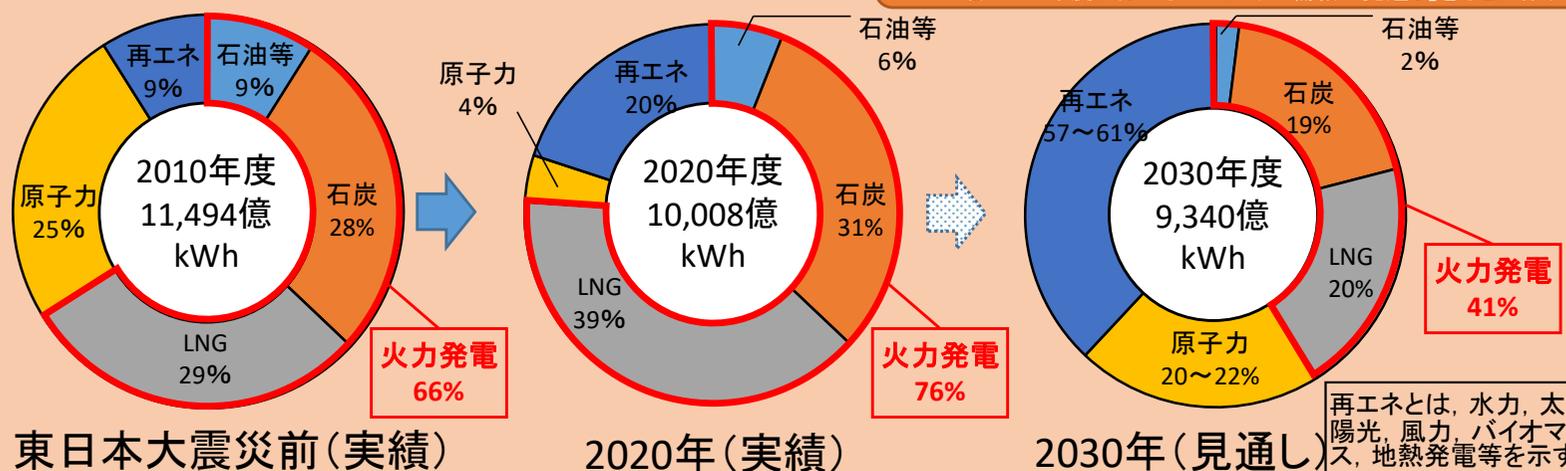


### ○電源構成

- 安全, 安定供給, 経済効率性, 環境への適合を考慮した**バランスの取れた電源構成**とする必要がある。

電源別発電電力量構成比

出典:電気事業連合会HP「電源別発電電力量の推移」, 経済産業省「2030年度におけるエネルギー需給の見通し」をもとに作成



東日本大震災前(実績)

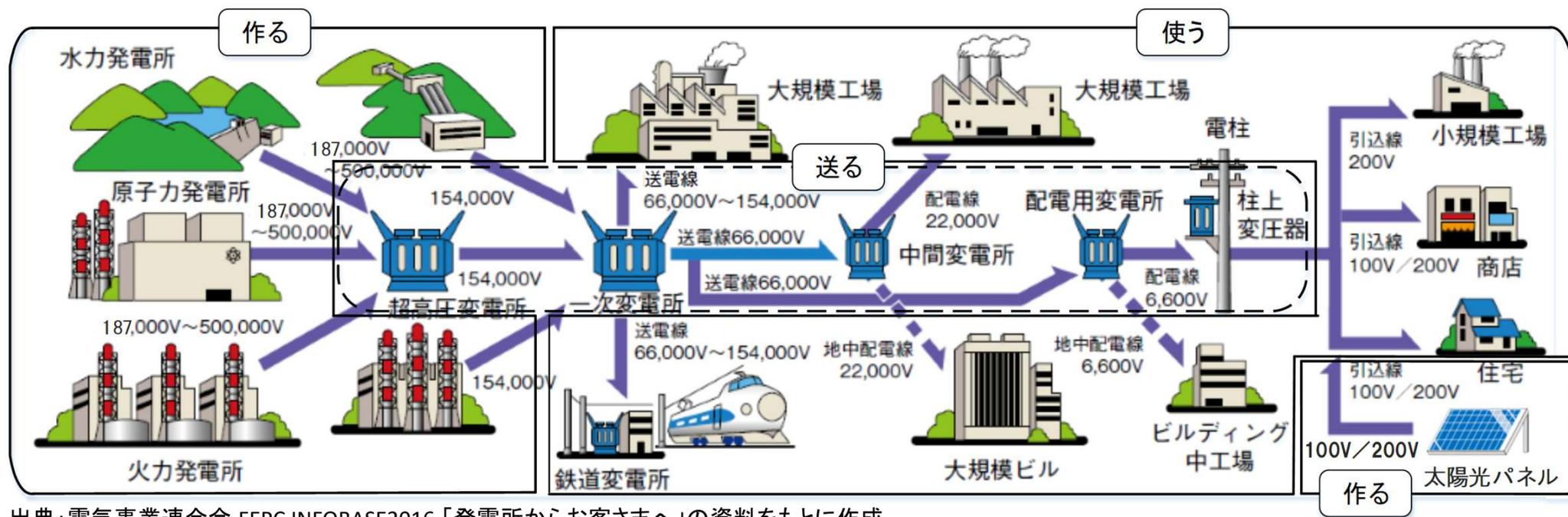
2020年(実績)

2030年(見通し)

## 2.2 電気を作る, 送る, 使う

### ○ 送る設備

- 大規模な発電所は建設スペースや燃料調達の問題から電気を多く使う場所から離れた場所にあることが多いため、【作る場所】と【使う場所】を【送る設備】でつなぐ必要がある。
- 送る設備は送電線や超高压変電所などがあり、送るときに生じる損失を小さくするため、発電所で作られた電気は高い電圧に変換して、電気を送っている(3.2, 3.3節参照)。なお、配電用変電所や柱上変圧器は需要家にとって使いやすい電圧(例:家庭の場合, 100V)に変換するための設備で、配電線は需要家に電気を送るための設備である(3.2節参照)。



## 2.3 電気の品質について

### ○ 電気の品質とは

- 良質な電気の要件: 「**停電しない**」, 「**電圧一定**」, 「**周波数一定**」

### ○ 電気の品質が低下すると・・・?

例えば、停電すると、

- 家電製品が使えない。
- 信号機や電車が止まり、公共交通機関が利用できない。

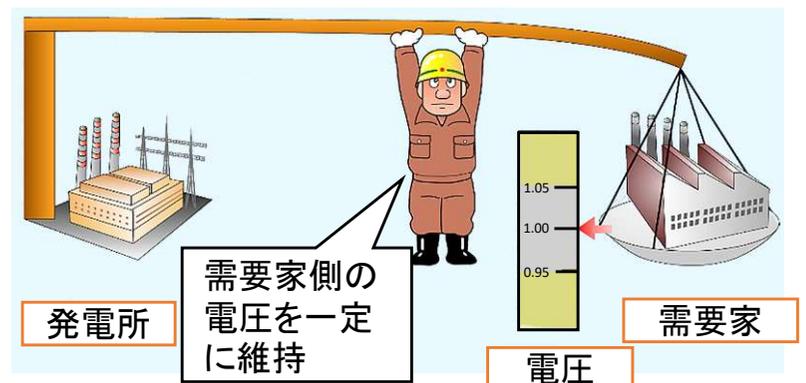
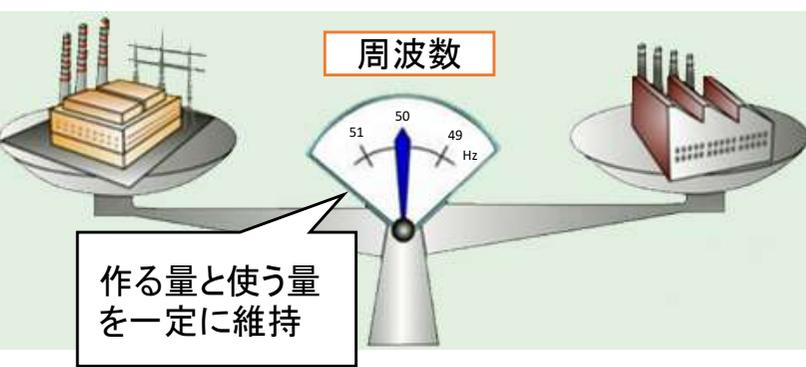
例えば、電圧や周波数が一定でないと、

- 家電製品が故障する。
- 工場のモータの回転速度が変わると、製品の品質に影響がある。

⇒上記の例のように、家庭・工場・企業など広範囲に影響がある。

### ○ 電気の品質を保つためには?

- 電力系統の設備を適正に形成する。
- 周波数、電圧を一定に保ち、停電させないよう運用する(3.3節参照)。

電圧	<ul style="list-style-type: none"> <li>101V±6V, 202V±20V (規則)<sup>※1</sup></li> </ul>	<p style="text-align: center;">電圧を一定にする</p> 
周波数	<ul style="list-style-type: none"> <li>電気の標準周波数に等しい値とする(規則)<sup>※1</sup></li> <li>基準周波数 50Hz: ±0.2 60Hz: ±0.3 (目標範囲)<sup>※2</sup></li> </ul>	<p style="text-align: center;">周波数を一定にする</p> 

※1 電気事業法第26条および同施行規則第44条で定められている。

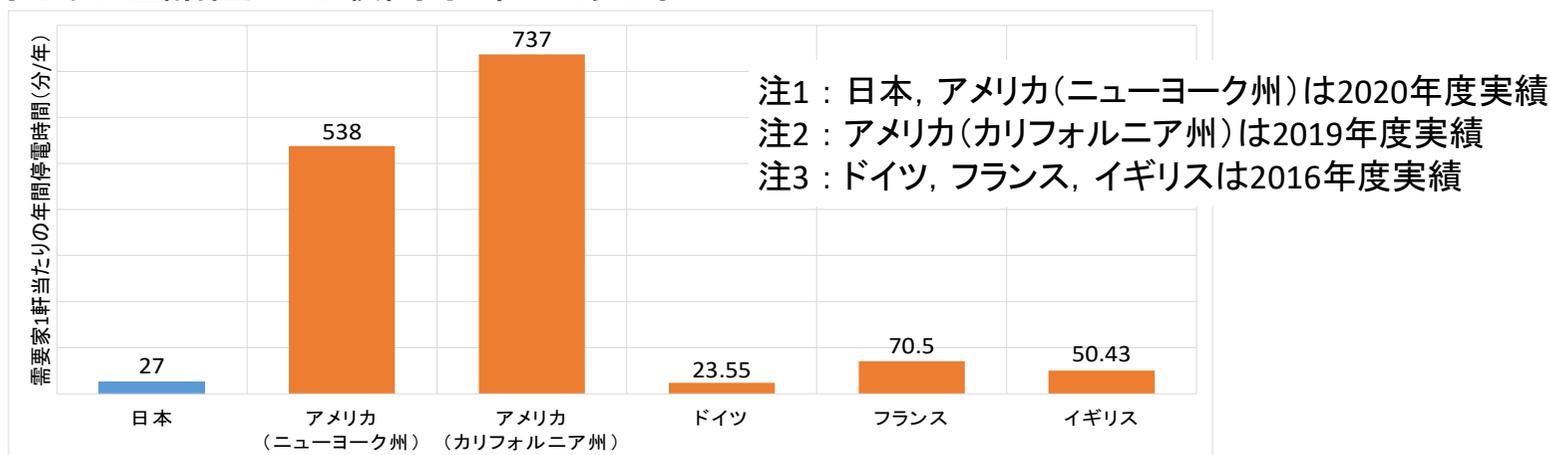
※2 電気学会技術報告:「電力系統における常時および緊急時の負荷周波数制御」で示された国内における周波数偏差の目標値である。

## コラム①

### 日本の停電時間が短い理由

#### ○日本の停電時間

- 日本の停電時間は先進諸国でも最高水準にある。



出典：東京電力ホールディングスHP「停電時間の国際比較」をもとに作成

#### ○停電時間が短い理由

##### (設備の対策)

- 事故が発生しても極力、需要家を**停電させない設備構成**としているため。

##### (系統事故時の対策)

- 落雷などで事故が発生しても、高速かつ確実に事故を除去し、送電を再開(再送電)しているため。

⇒**事故除去リレーおよび再閉路装置で実現**(5.4, 5.6節参照)

- 送電線ルート遮断事故などで事故が波及した場合、発電機・負荷・調相設備などを適切に制御することで、大規模停電を回避しているため。

⇒**事故波及防止リレーで実現**(3.3, 5.5節参照)

## 目次

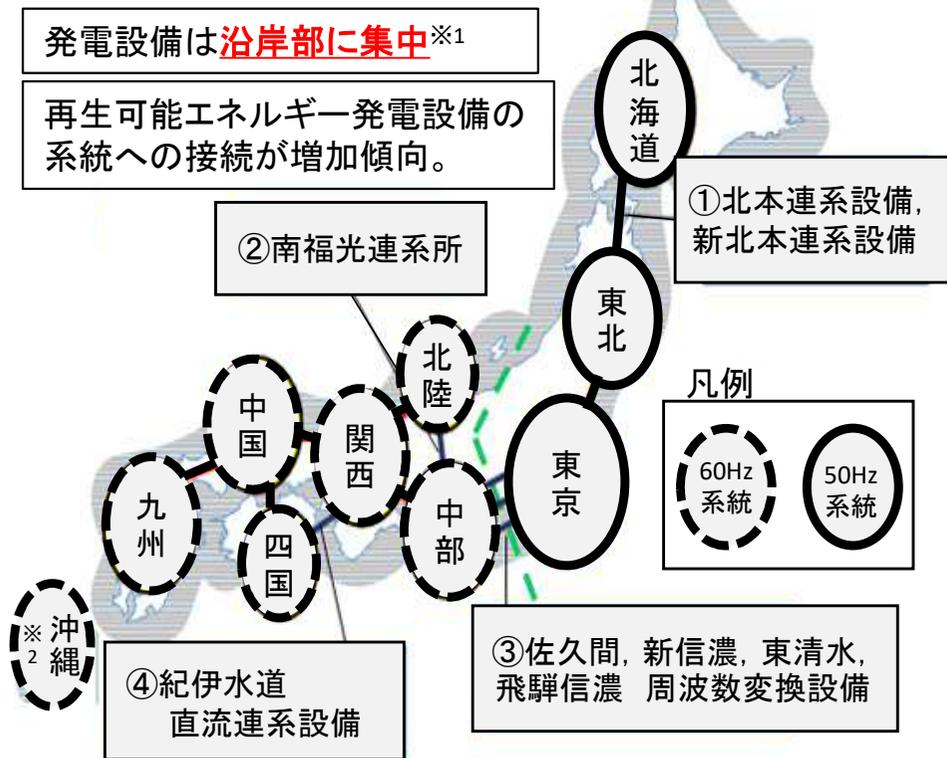
- 3. 1 電力系統とは
- 3. 2 電力系統の構成
- 3. 3 電力系統の安定状態維持

## 概要

私たちが日本全国どこでも電気を使用できるのは、全国に点在する発電所と需要家を結ぶ送配電網が全国に構築されているからである。本章では、発電所から需要家へ電気を送る電力系統の概要(電気の流れ)を解説し、高品質で停電の少ない電気を供給するための施策、電力系統の安定運用に必要な条件について説明する。

## 3.1 電力系統とは

### ○日本の電力系統



#### (1)電力系統とは?

発電所・変電所及び負荷とこれらをつなぐ送配電線からなり、発電した電力を需要家に送る電力設備網。近年では再生可能エネルギーの普及、カーボンニュートラル等の観点から発電所と需要家の距離が近い「**電力の地産地消**」による供給も推進されている。

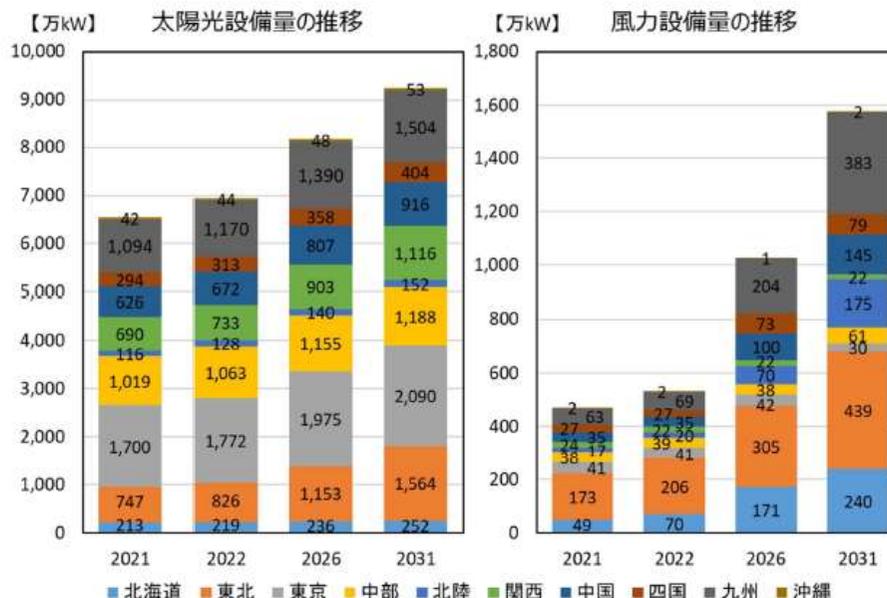
#### (2)なぜ電気を送るのか?

発電所で発電した電気を、距離が離れた**需要家まで安定供給**するため。

#### (3)日本の電力系統の特徴

国土が**南北に細長く、平野部が少ない**ため、電力会社が縦列する系統(くし形系統)。

#### ○エリア別太陽光・風力設備容量の導入見通し



出典:電力広域的運営推進機関「2022年度供給計画の取りまとめ(2022年5月25日一部訂正)」  
2022年3月

- ①, ④⇒本州と電気を融通するため、直流送電※3を行う。
- ②⇒電力会社間で電気を融通し、潮流※4を調整する。
- ③⇒周波数(50Hz/60Hz)を変換する。

※1 輸入発電燃料の輸送距離を短くするため。 ※4 系統内の発電設備の冷却水を確保するため。 電力の流れ。

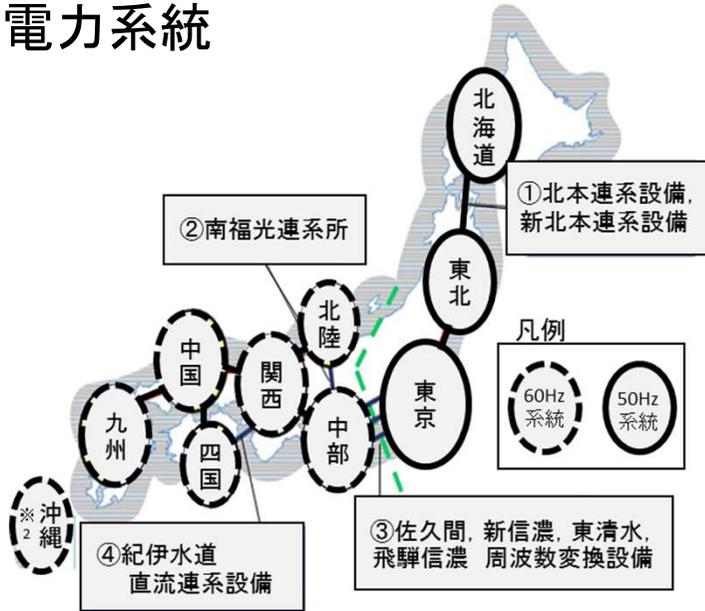
※2 沖縄電力は単独系統。

※3 長距離送電の場合(数十～数百km程度), 交流送電よりも送電損失が小さい。送電損失は3.2節を参照。

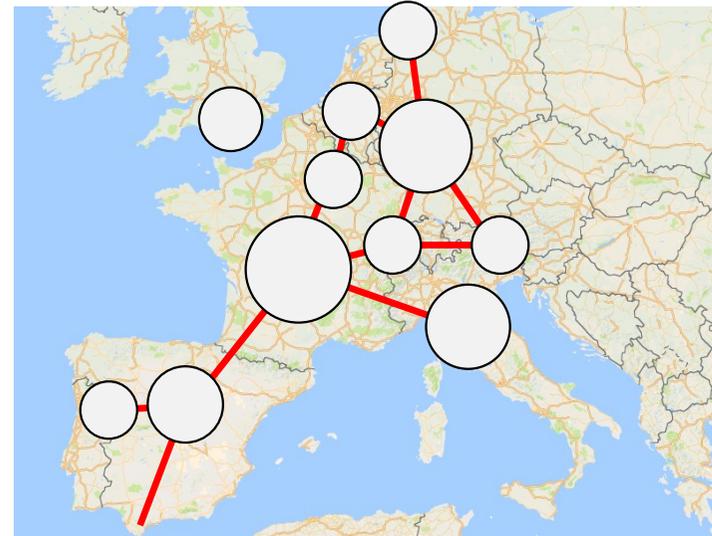
## 3.1 電力系統とは

### ○電力系統の比較(日本・欧州)

日本の電力系統



欧州の電力系統



地域	地勢	系統構成	系統連系	電源
日本	細長く狭い	放射状, ループ状※2	疎	沿岸に集中※1
欧州	広い	メッシュ状※2	密	内陸にも有

※1 沿岸部に集中した電源から細長い国土全体に供給するため、**送電距離が長い**。

⇒送電距離が長いと、系統じょう乱時※3に発電機が脱調※4しやすくなり、**安定した運転が難しくなる**。

※2 放射状, ループ状は3.2節を参照。メッシュ状はループが複数連系した系統。

※3 系統に発生した事故等の影響により、系統の電圧, 周波数(50/60Hz)が乱れる現象のこと。

※4 発電機の脱調については3.3節を参照。

## コラム①

### なぜ日本は50Hzと60Hzに分かれているのか

1896年 電気を使い始めた頃

大阪電燈

東京電燈

60Hzのアメリカ製  
発電機を輸入

50Hzのドイツ製  
発電機を輸入

○周波数が異なることで生じる問題

- ・発電機, モータ, 家電製品等は50/60Hzのどちらかに合わせて設計している機器もあり, **異なった周波数で使用すると過熱や故障のおそれ**がある。

周波数変換所で  
変換(50/60Hz)し連系

西日本  
60Hz

東日本  
50Hz



○50/60Hz周波数統一に伴い発生する課題

- ・費用面: 発電機・タービン交換, 変圧器交換のみで**約10兆円必要**。
- ・運用面: 長距離系統(北海道から鹿児島)が形成され, **同期安定性が低下しやすい**。

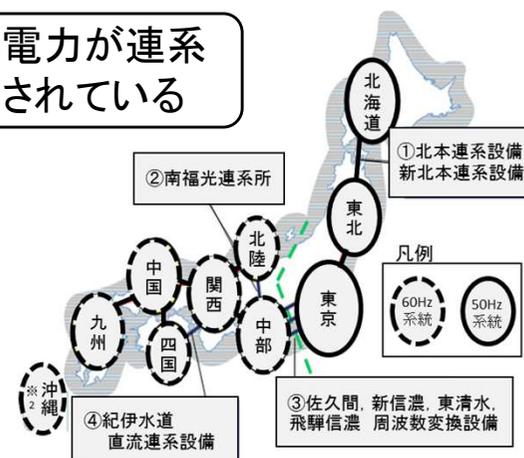


出典: 資源エネルギー庁「50Hzと60Hzの周波数の統一に係る費用について」平成24年3月7日

### なぜ電力系統間の連系が必要か

- ・非常時に電力融通するため。  
⇒自然災害, 事故等で突発的に発電機が停止した際の**周波数低下緩和のために緊急融通を実施(UFR※による停電の防止などに有効)**  
また, 発電機故障, 異常気象等による**電力需給がひっ迫したエリアへ, 電力融通を行う**など(電力自由化に伴い, 電力取引は活発化の傾向)
- ・環境、効率の良い**電源を有効活用**するため。 ※Under Frequency Relay 6. 8節を参照。  
⇒地球温暖化対策などで安定運転を確保しながら, 需要状況から各エリアで消費しきれない**再生可能エネルギーで発電した電力**, 効率の良い発電機の電力を**他エリアへ送電**する

9電力が連系  
されている



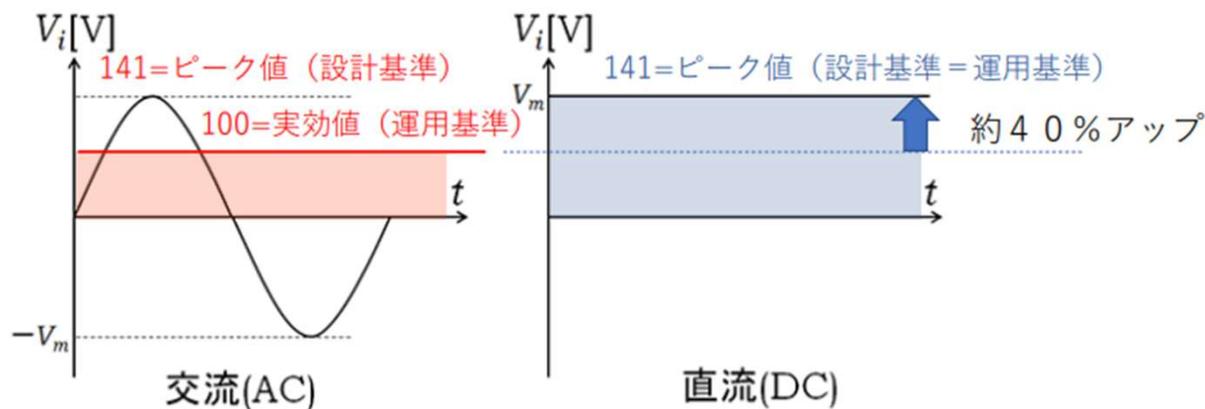
## コラム②

### 送電方法(交流送電、直流送電)について

「直流」および「交流」は1800年代後半に発明され、当時は電圧変換の容易な「交流」が世界標準として普及した。

#### ○直流と交流の違い

- 交流は正弦波であり、100に対し $\sqrt{2}$ 倍(141の値)で絶縁など、設備機器の設計・運用を行う必要がある。
- 直流は、交流のような交番がなく、基本的には、同一方向の値をとり、交流よりも有利な条件で、設備機器の設計・運用ができる。
- この特徴を活かし、再エネの直流連系時、接続量を約40%アップさせることが可能。



出典: 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 「直流送電の基本事項」2021年3月

#### ○直流と交流の特徴

- 長距離送電では直流の方がコストメリットが大きくなり、適用されている場合がある。主な特徴は以下である。

種類	流れ方	長所	短所
直流送電	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 流れる向きが一定である</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>特に長距離の送電</b>は、交流に比べ電力損失が小さく、経済性に優れる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>変圧が困難</b>である</li> <li>• 事故時の遮断が難しい</li> </ul>
交流送電	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 一定のサイクルで正負に変動する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 変圧が容易であるため、超高圧の大容量で送電しやすい</li> <li>• 事故時の遮断が容易である</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 電圧が高くなると電波障害が発生する可能性がある</li> <li>• 特に長距離の送電は、直流に比べ電力損失が大きく、経済性に劣る</li> </ul>

## 3.2 電力システムの構成

### ○電気を送るための設備について

- ・電線材料は主にアルミ合金
- ・鉄塔を介して地面に電気が流れないように、がいしにより**絶縁する**。
- ・鉄塔の高さは電圧階級により異なる。
- ・鉄塔は**2回線※1方式**が多い。  
⇒日本は国土が狭く、鉄塔の**設備面積を節約しつつ信頼度を確保**するため。

遮断器※2

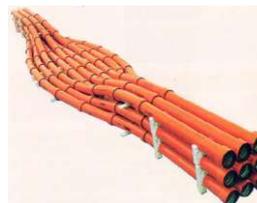


**電流を開閉する**  
事故設備の切り離しにも活用

変圧器



電力損失低減等を踏まえて**電圧を変換する**



地中送電線



母線

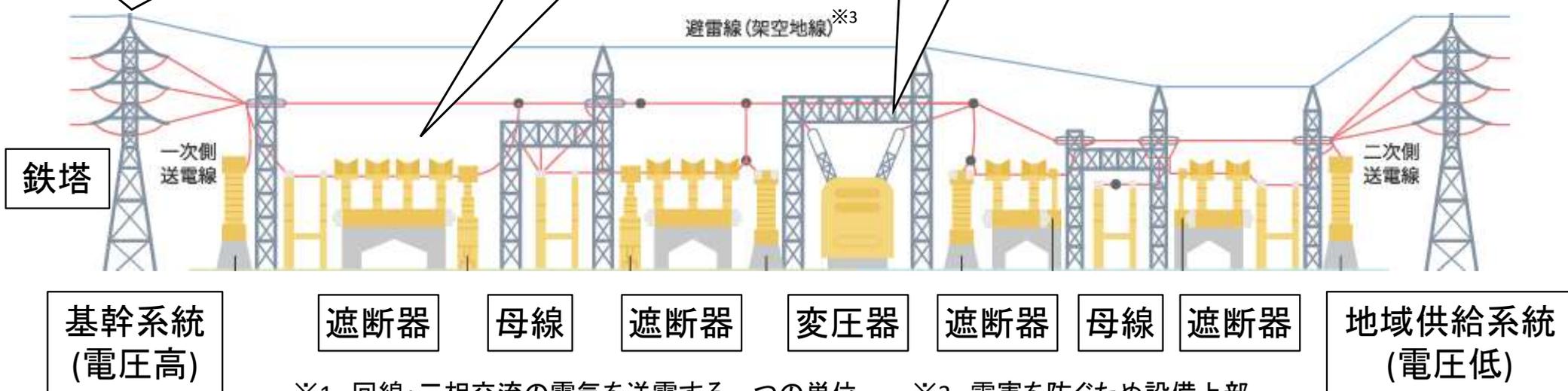


鉄塔



配電設備

変電所からの**電気を各需要等に送る**



※1 回線: 三相交流の電気を送電する一つの単位。

※2 7.7節を参照。

※3 雷害を防ぐため設備上部に敷設する接地線

## 3.2 電力系統の構成

### ○設備構成(母線構成、受電構成)について

母線構成、受電構成は費用や信頼度(事故時の停電の有無など)などを勘案して構築される。以下に主な構成例を示す。

#### ○母線構成

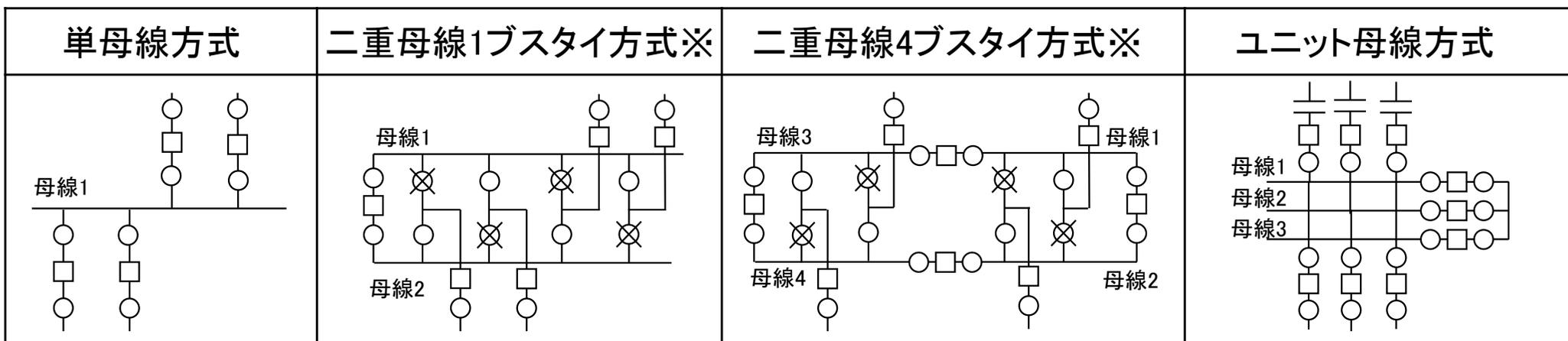
#### ○凡例

□ : 遮断機(CB)

○ : 断路器(LS)

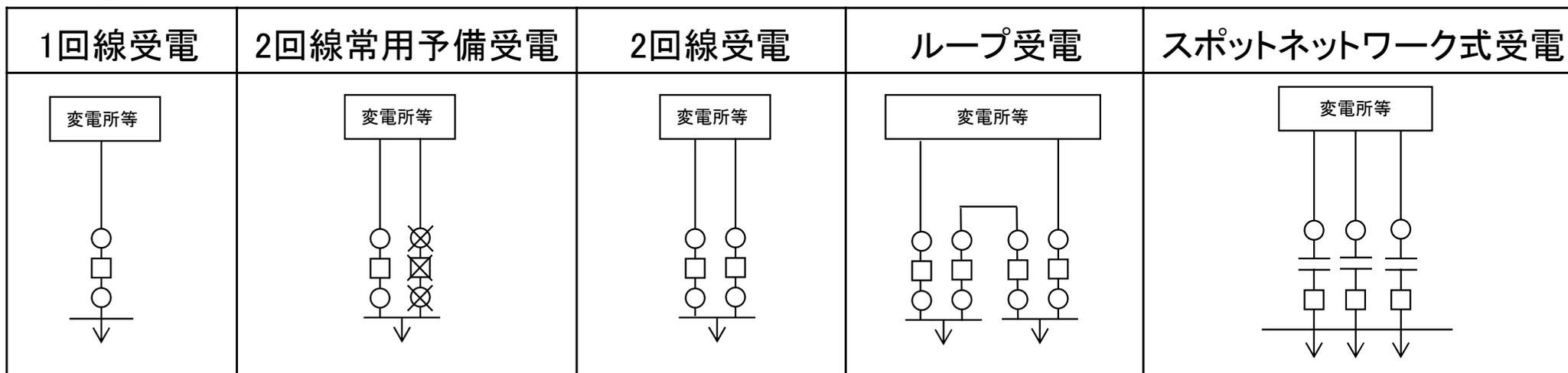
⊥ : 変圧器(Tr)

— : 電路(母線、送電線)



#### ○受電構成

※ブスタイ(bus tie)とは母線と母線を結ぶ意味合いで母線間の遮断機数により呼び名が変更



## 3.2 電力システムの構成

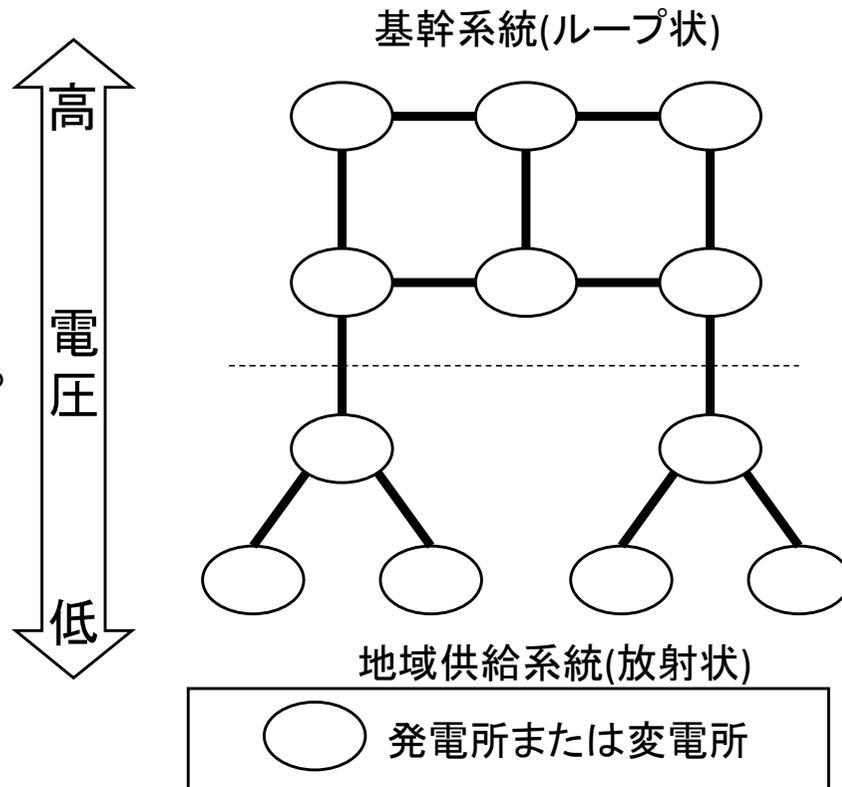
### ○系統構成の種類

#### (1) ループ状

発電所間または変電所相互間が  
**複数ルートの送配電線で環状**に連系した系統。

#### (2) 放射状

発電所間または変電所相互間が**1ルート※1**  
**の送配電線で直線的に接続**されている系統。



### ○放射状系統とループ状系統の比較

系統構成	供給信頼度	運用性	用途
ループ状	片ルートの送配電線が停止しても残りの系統で送電でき供給信頼度は高い。	事故時の潮流把握※2が困難。	主に基幹系統に用いる。
放射状	ループ状と比較すると供給信頼度は低くなる。	事故時の潮流把握※2が容易。	主に地域供給系統に用いる。

※1 電力設備間(発電所, 変電所等)を結ぶ送電経路のこと。  
1ルートを2回線で構築する場合が多い。

※2 系統内の電力の流れ。

## 3.2 電力システムの構成

### ○電力システムの設備構築における考え方

- ・基幹系統の事故は、停電が広範囲に波及しやすく、供給信頼度を向上させる必要あり。  
⇒ループで系統を複数ルート化

**基本的にN-1基準により設備構築**する。

事故により停電が広範囲に及ぶ設備※はN-2基準で構築する。

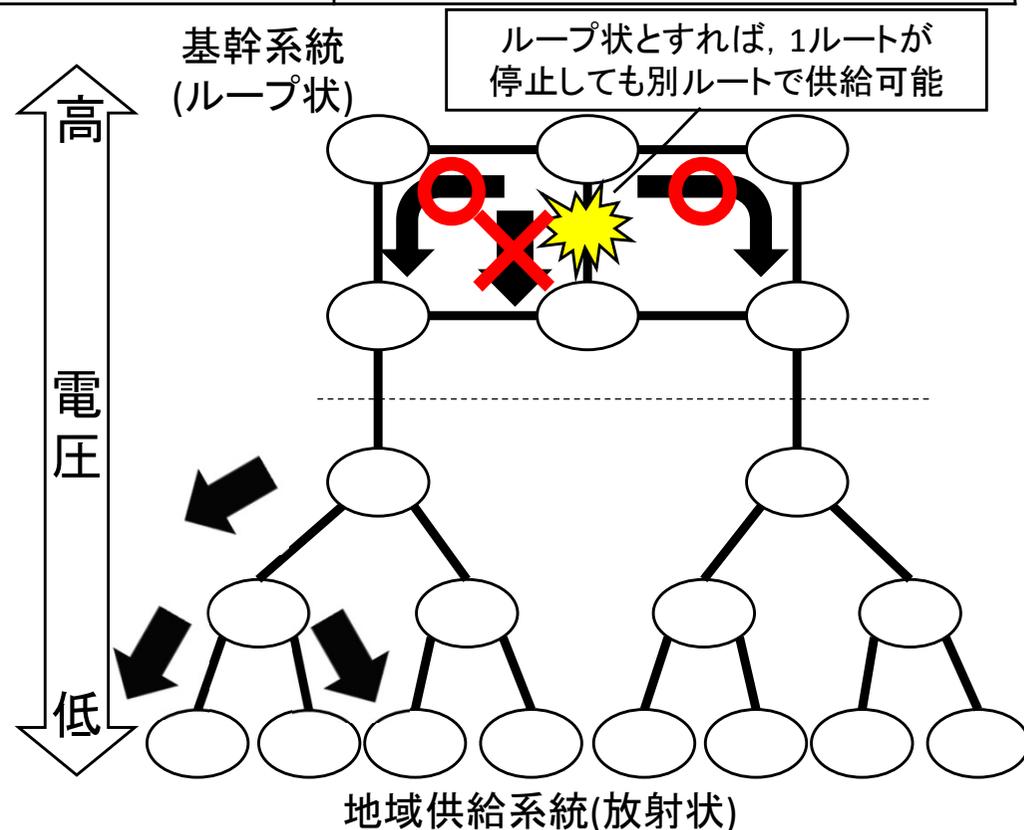
- ・地域供給系統については、N-1基準により設備構築を行い、供給信頼度を向上させる。

### ○N-1基準/N-2基準について

<b>N-1基準</b>	<b>設備1単位※の事故が発生しても系統運用が継続できる基準のこと。</b>
N-2基準	設備2単位※の事故が発生しても系統運用が継続できる基準のこと。 供給信頼度は高いがN-1基準に比べ設備構築コストが高い。

※設備1単位とは送電線1回線や変圧器1台等を表す  
 ※設備2単位とは送電線2回線や変圧器2台等を表す  
 ※事故により停電が広範囲に及ぶ設備とは当該事故設備以外に安定度や電圧等で影響が出る設備

基幹系統	大規模発電所を連系し地域供給系統に電気を送電する。
地域供給系統	基幹系統からの電気を低い電圧に変換して需要家へ供給する。



○ 発電所or変電所等  
 ↓ 電気の流れ  
 ☆ 系統事故

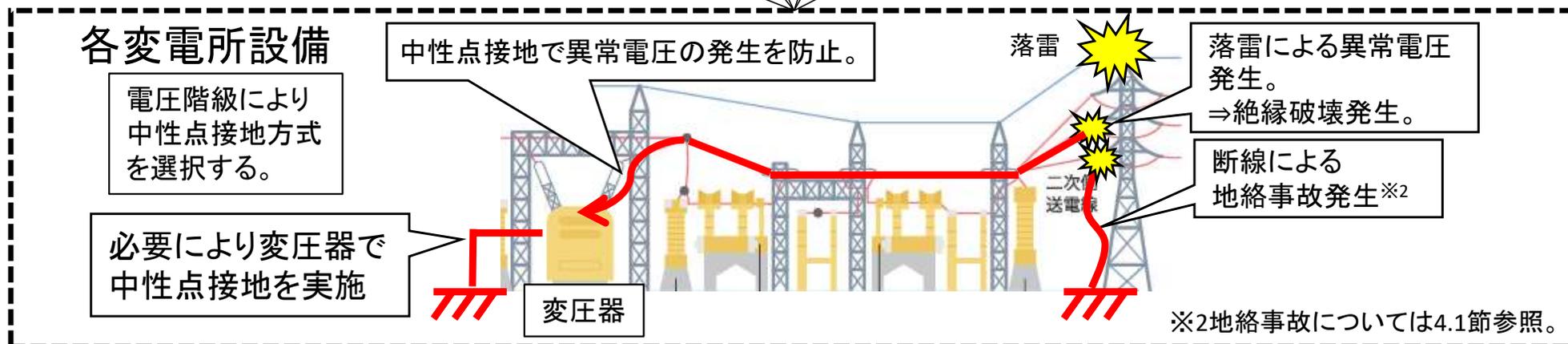
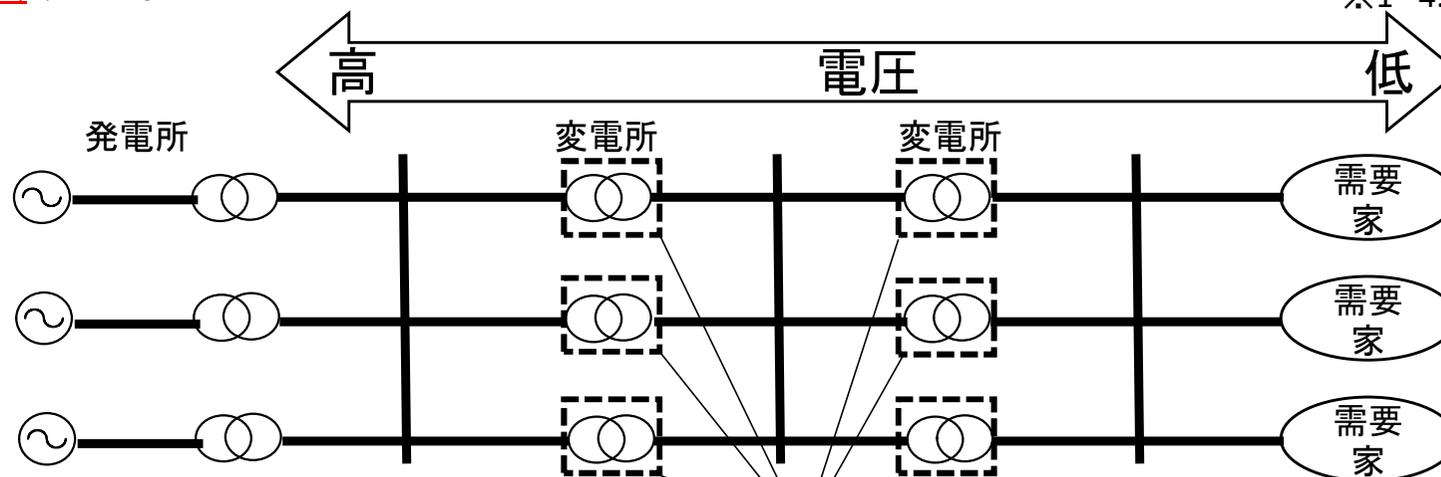
N-1基準満足ための施策例  
 変電所: **変圧器複数台構成**  
 送配電線: **複数ルート構成, 複数回線構成**

## 3.2 電力システムの構成

### ○中性点接地について

- ・変圧器の中性点を接地して、**異常電圧の発生を防止する。**
- ・様々な接地方式が存在し、電力システムの**電圧階級に応じて接地方式※1を選択**する。

※1 4.1節コラムを参照



## 3.2 電力システムの構成

### ○「送る」過程の電気的特性について

#### ・フェランチ現象

**受電端(需要側)電圧が送電端(供給側)電圧よりも大きくなる現象。**

フェランチ現象によって発生した**過電圧により**  
**機器の劣化や絶縁破壊のおそれあり。**

以下の場合に現象が発生する。

(1)受電端を開放した時

(受電端負荷が無くなった時)

(2)送配電線に通電を開始する時

(進相無効電力<sup>※1</sup>が発生し、受電側電圧が上昇)

※1 電流位相が電圧位相よりも進んでいる状態。

右図の交流波形を参照。

#### 【対策】

受電端の負荷が無くなった時、**電力用コンデンサ<sup>※2</sup>を開放**、  
または**分路リアクトル<sup>※3</sup>を投入**し、電圧上昇を抑制する。

※2 系統の電圧降下軽減を目的として設置する。

※3 進相無効電力を補償し、電圧上昇を抑制する。

#### ・送電損失

送配電線の抵抗により、**送電エネルギーの一部が熱として放出される**現象。

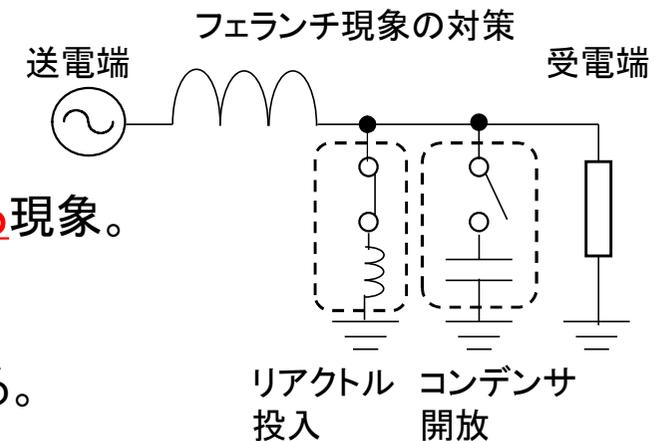
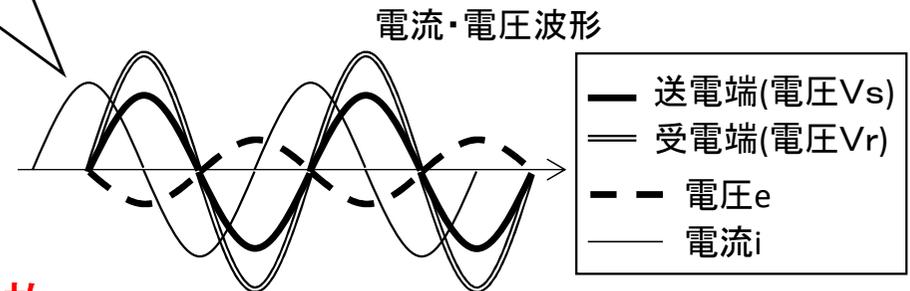
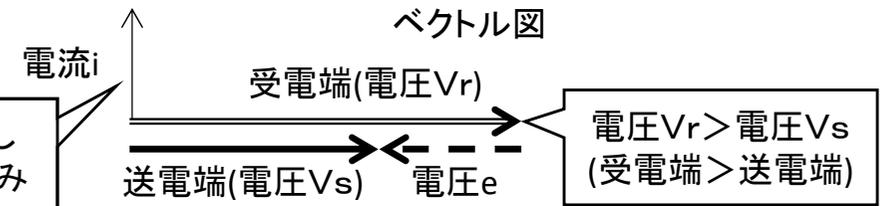
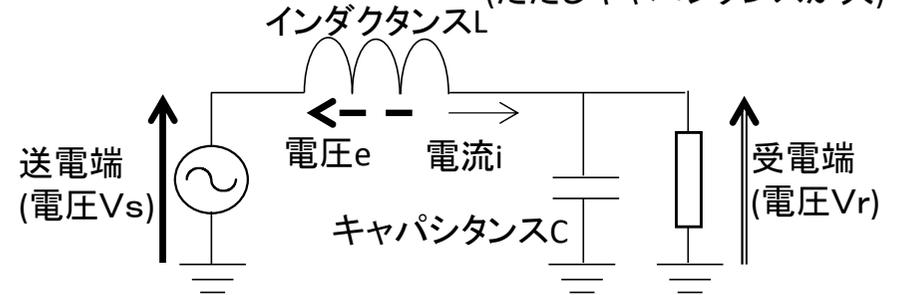
送電距離が長い程、また電流が大きい程、送電損失が大きくなる。

#### 【対策】

交流送電時、**送電電圧を高く**したり(500kV,275kV等)、**抵抗を小さく**する。

送電系統をインダクタンスL, キャパシタンスCで簡略化した場合の等価回路

(ただしキャパシタンスが大)



## 3.3 電力システムの安定状態維持

事故事例に関する参考文献

文献名称	出版元
電力系統安定化システム工学	電気学会

### ○電力システムの安定状態維持に必要な条件

電力系統運用のため、下表に示す安定状態維持条件を満たす必要がある。条件を満たせないことにより、大規模停電に発展する場合もある(事故事例は参考文献参照)。

No.	安定状態維持条件	安定状態維持条件の概要	安定状態維持条件が満たせないことによる影響
(1)	電圧維持	系統全体で <u>電圧を一定に保つ</u> 。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・需要家側で使用する機器の寿命が縮まる。</li> <li>・送電損失が大きい。(3.2節参照)</li> </ul>
(2)	周波数維持	系統全体で <u>周波数(50Hz/60Hz)を一定に保つ</u> 。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・需要家側で使用する精密機器が使用できなくなる可能性がある。</li> <li>・発電機への負担が大きくなり、故障のおそれがある。</li> </ul>
(3)	過負荷防止	送配電線に <u>定格容量以上の電流が流れることを防止</u> する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電線の寿命が低下し、線が切れるおそれがある。</li> <li>・電線が伸び、樹木接触の確率が高くなる。</li> </ul>
(4)	同期安定性維持	発電機間の <u>同期を保つ</u> 。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・脱調現象(3.3節(4)同期安定性参照)が発生することによって発電機の運転が連鎖的に不安定となる。</li> </ul>

## 3. 3 電力系統の安定状態維持

### ○電力系統の安定状態維持に必要な条件

#### (1)電圧維持

- ・消費量が増えると(負荷電流が増えると), 需要家側の電圧が低下。
- ・消費量が減ると(負荷電流が減ると), 需要家側の電圧が上昇。

#### 【対策】

- ・電圧を一定に保つために, 変電所で電力用コンデンサや分路リアクトルなどの 調相設備の投入・開放, または, 変圧器タップ調整などで電圧調整。

変圧比を『タップ』で切り換えて, 電圧調整。



#### 電圧関連の規定

標準電圧	維持すべき値
100V	101V±6Vを超えない値
200V	202V±20Vを超えない値

電気事業法施行規則第44条で電圧上下限值が規定されている。

## 3. 3 電力系統の安定状態維持

### ○電力系統の安定状態維持に必要な条件

#### (2)周波数維持

・供給(発電) > 需要(負荷)

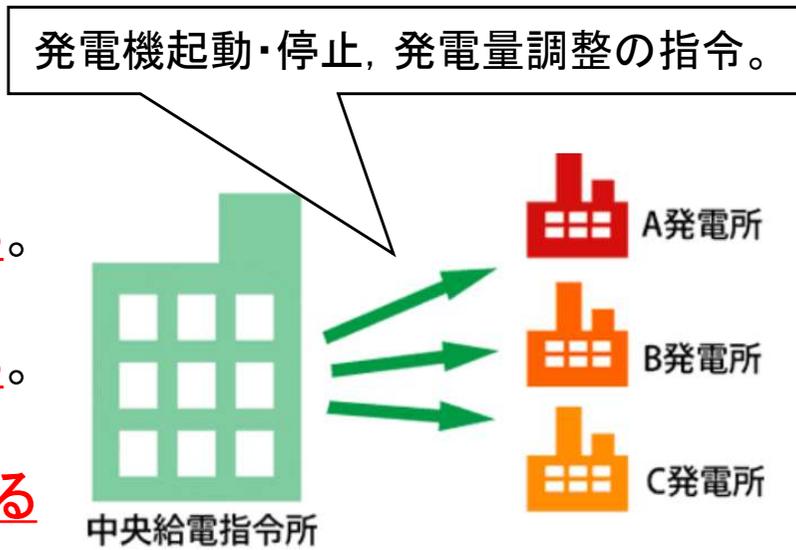
発電機の回転数が上がり、電気の周波数が上がる。

・供給(発電) < 需要(負荷)

発電機の回転数が下がり、電気の周波数が下がる。

#### 【対策】

・周波数50/60Hzに対して ±0.2/±0.3Hz以内に収まるよう、調整用発電所の発電量を調整する。



### 周波数とは

複数の発電機(AとB)が同じ回転速度で回転している。(同期)

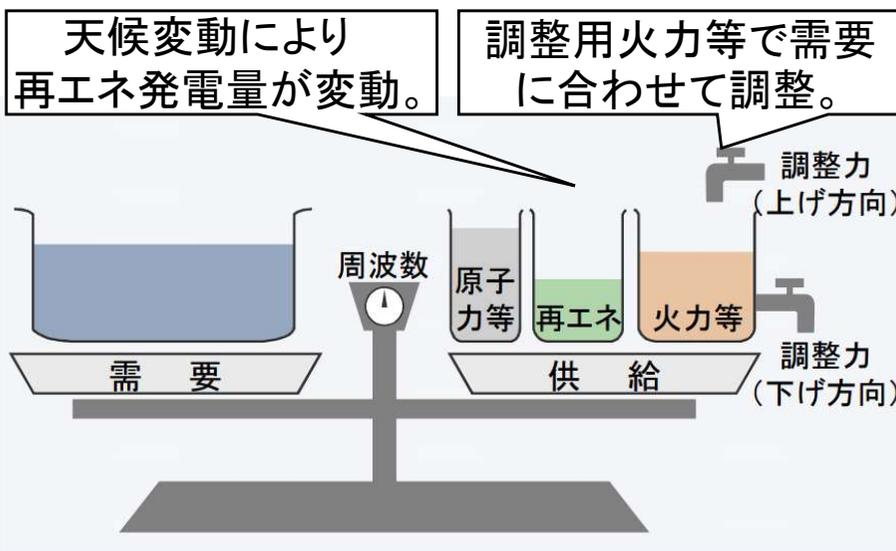
周波数とは回転数。(1秒間で何回転しているか)

〈自転車と発電機は同じ〉  
自転車で坂道にさしかかると、スピードが落ちる(回転数が落ちる)。  
発電機も同様に、負荷が増えると周波数(回転数)が下がる。

機械的エネルギー (蒸気でタービンを回す力)

電氣的エネルギー

クランクシャフト  
チェーンホイールA  
チェーンホイールB



## 3.3 電力系統の安定状態維持

### ○電力系統の安定状態維持に必要な条件

#### (3)過負荷の防止

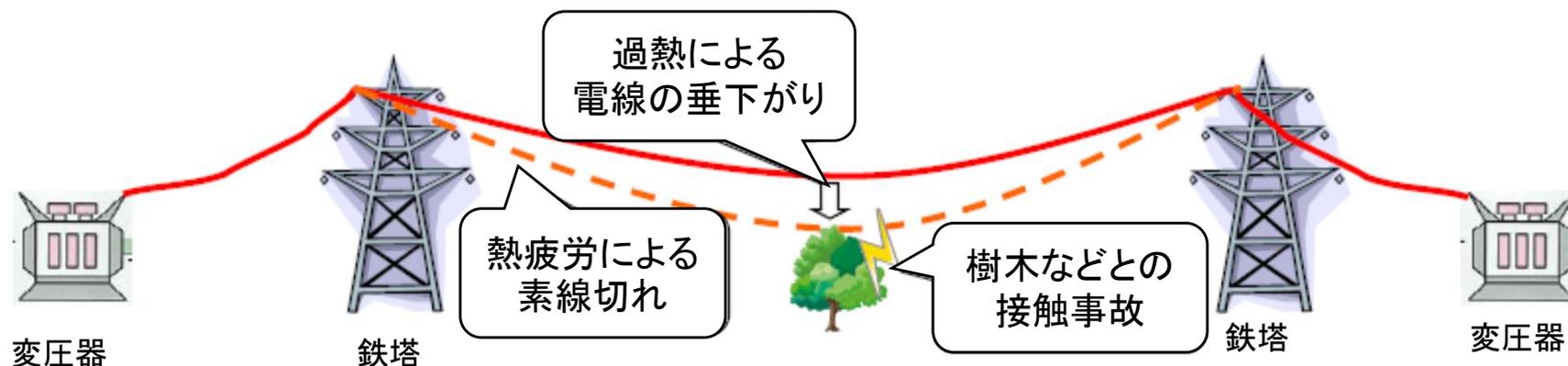
- ・送配電線に定格容量以上の電流が流れる(過負荷の状態)と熱の影響で、電線が伸びる。
- ・長時間過負荷が続くと、熱疲労により素線が切れたり、電線が垂下がり、公衆災害となる。

#### 【対策】

- ・過負荷とならないように電力潮流を調整する。  
常時過負荷となる場合、流通設備(変圧器, 送配電線)を増強する。
- ・過負荷状態を継続させないため、過負荷防止リレー等により、負荷を制限する。(5.5節参照)

なぜ、送配電線は過熱する？

電流 $I$ [A]が増えるとジュール熱 $RI^2t$ [J]が増大  
( $R$ :送配電線の抵抗[ $\Omega$ ],  $t$ :時間[s])



## 3.3 電力系統の安定状態維持

### ○電力系統の安定状態維持に必要な条件

#### (4)同期安定性

下記じょう乱に対して、各発電機が**同期運転を保ち、安定運転できる度合い**のこと。

- ・負荷の変動などの小じょう乱:小じょう乱同期安定性※1
- ・雷事故などの大規模なじょう乱:過渡安定性※1

【対策】リレーで事故点を検出し、より高速に事故点を切り離し、事故の影響を極小化する

#### 事故発生時の発電量制御

※2 6.7節参照(安定度の追加説明もあり)

脱調による影響低減のために脱調防止リレー※2による**電源遮断**。

※1 同期安定性に関する用語は3.3節 コラム②を参照  
安定度についての解説動画が電力中央研究所HPにあり  
「電力系統の安定運用のために」  
「電気を安定して送るために その6「系統安定度を維持する」」  
「電気を安定して届けるために～電力系統と安定供給～」等

加速し, 脱落  
=脱調(次頁で説明)

#### 同期安定性とは・・・



発電機

馬



負荷

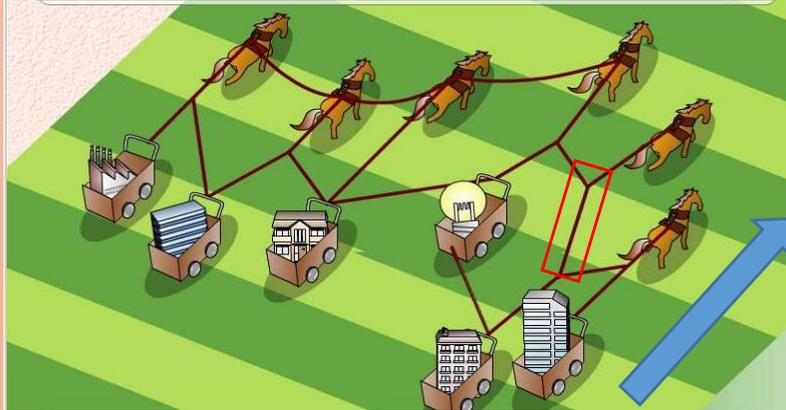
荷車



送配電線

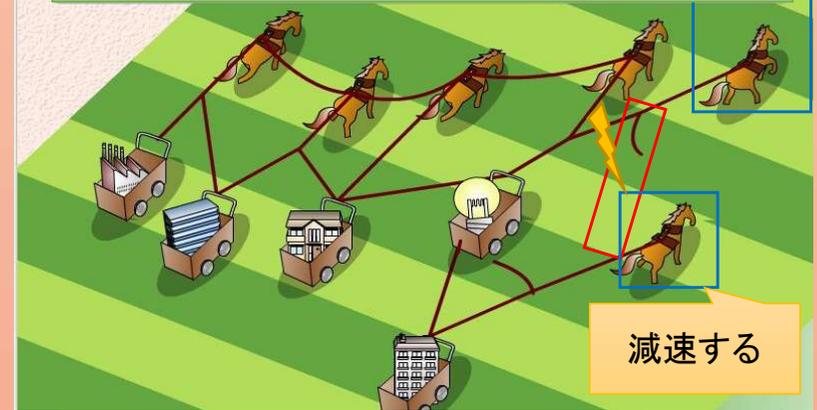
ロープ

～安定な状態～



坂道を一定速度でかけのぼっていく  
=電力が安定に送電されている状態

～不安定な状態～



減速する

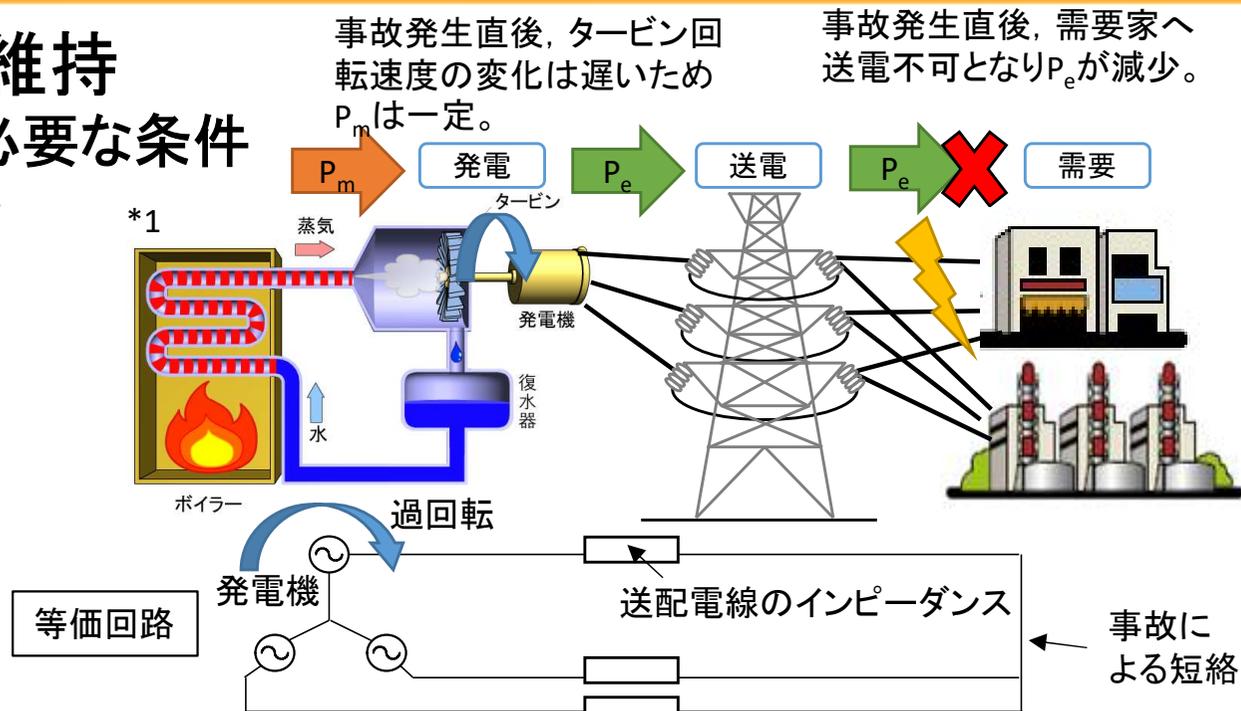
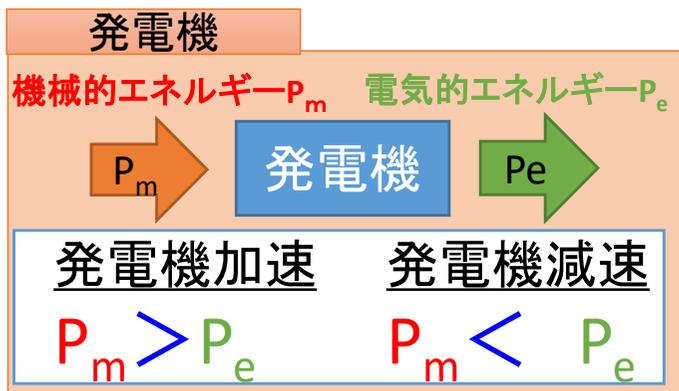
力のかかっているロープが切れると馬の一部が加速減速し、さらに、隣接する馬や荷車も加速減速  
=電力系統が不安定な状態

最悪の場合、次々とロープが切れて、馬と荷車が脱落し、全体が止まってしまう  
=同期安定性が維持できず、**大規模停電**が起きている状態

## 3.3 電力システムの安定状態維持

### ○電力システムの安定状態維持に必要な条件

#### (4)同期安定性 ～脱調の概念～



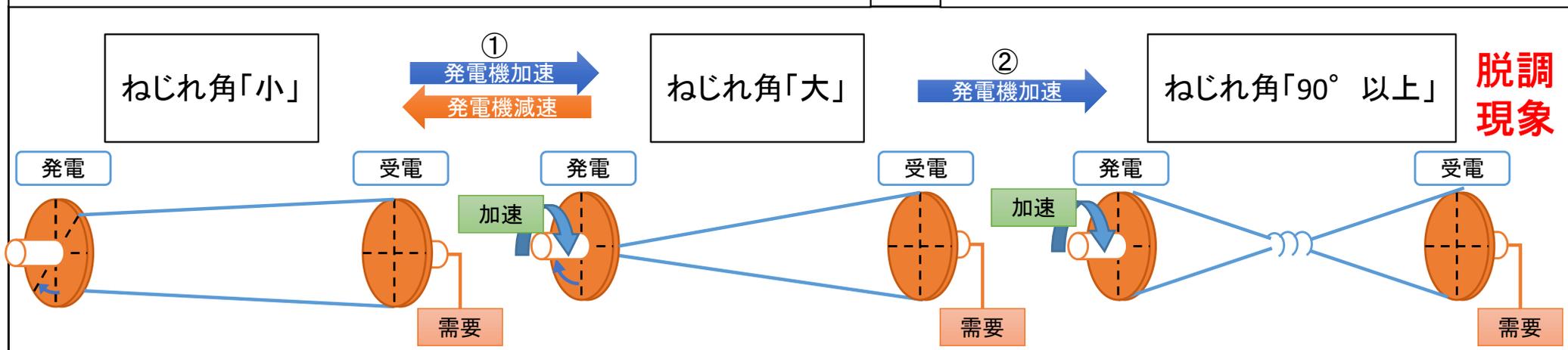
\*1 出典: 電気事業連合会HP「火力発電の基本構造」

#### 交流送電のメカニズムと事故時の振る舞いの概念

交流送電は、「発電側の円盤をまわすことで、ひも(送配電線)で繋がれた送電側の円盤に力(トルク)を伝え、重り(需要)を持ちあげる」ことに等しい。

#### 事故発生→脱調までの流れ

- ①  $P_m > P_e$  となるため、発電機加速、ねじれ角増大。
- ② 発電機が加速を続け、**ねじれ角 $90^\circ$  以上(脱調)**。



## コラム③

用語に関する参考文献

文献名称	出版元
電力系統安定化システム工学	電気学会

### 同期安定性に関する用語の統一

一般的にこれまで「同期安定性」を「安定度」と表現していた。また「安定度」を細分化して、「**過渡安定度**」、「**動態安定度**」、「**定態安定度**」、「**固有定態安定度**」などの用語が使用されてきたが、特に「過渡安定度」と「動態安定度」の区別が明確ではなく、地域や用語の使用者により、異なる使われ方をしていた。

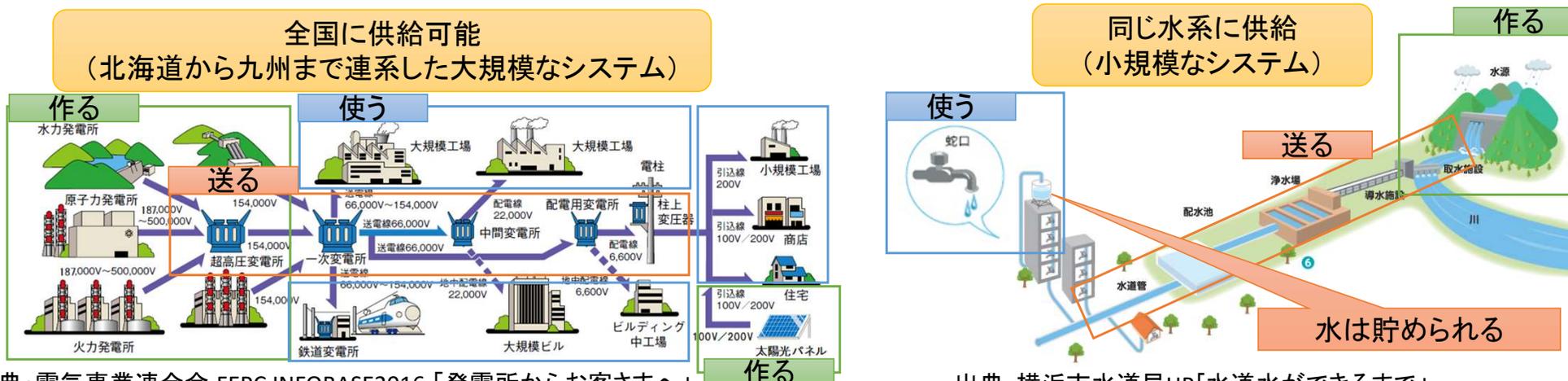
よって現在では、大規模なじょう乱後の現象を対象とした同期安定性を「**過渡安定性**」、小規模なじょう乱後の現象を対象とした同期安定性を「**小じょう乱同期安定性**」と称し、用語の定義の統一化を行った。

現在の分類	従来の分類	説明
過渡安定性	過渡安定度	大規模なじょう乱後の現象を対象とした同期安定性を意味する。
	動態安定度	動特性(励磁系の特性や同期機の制動特性など)を考慮した安定性で、じょう乱の大きさによる区分はない。
小じょう乱同期安定性	定態安定度	小規模なじょう乱後の現象を対象とした同期安定性のことで電力系統を線形化して表現してもその安定性が判断できる場合を指すことが多い。
	固有定態安定度	特に、動特性を無視した定態安定度のことを意味する。

## コラム④

### 電力システムと水道システムの比較

電力システムは水道システムと異なり、運用上の制約（**電圧一定，周波数一定，電気を大量に貯められない**）があり，制約を逸すると，大規模停電に至るおそれがある。



出典：電気事業連合会 FEPC INFOBASE2016「発電所からお客さまへ」

出典：横浜市水道局HP「水道水ができるまで」

	システム規模	作る	送る	使う
電力システム	全国規模 (送電ロスが少ないことから、全国連系が可能)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電気は他のエネルギーから作る必要がある。</li> <li>・発電所で作る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電圧一定</li> <li>・周波数一定 (電圧，周波数を一定に保てなければ，停電)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・使いたいときに自由かつ安全に利用できる。</li> <li>・電気を大量に貯めることが難しいため，発電機から送電されなければ，電気は使えない(停電)。</li> </ul>
水道システム	水系単位 or 市町村単位 (長距離輸送の場合，高い水圧が必要)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ダムで貯める。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水圧一定 (水圧が弱まっても水は使える)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・使いたいときに自由かつ安全に利用できる。</li> <li>・水はタンクに容易に貯められるため，ダムからの供給がなくなっても，すぐには止まらない。</li> </ul>