

電力系統利用に関する技術資料

有限責任中間法人
電力系統利用協議会

平成18年10月

目次

電力系統の特徴

電力系統とは(1)	1
電力系統とは(2)	2
電力系統とは(3)わが国の電力系統の特徴	3
電源から流通設備に至る信頼度の確保	4
設備形成・運用計画・実運用	5

供給信頼度

信頼度評価	6
短絡・地絡故障電流	7
系統安定度(1)～系統安定度のイメージ	8
系統安定度(2)～いろいろな現象1	9
系統安定度(3)～いろいろな現象2	10
系統安定度(4)～シミュレーションの概要	11
電圧維持(1)	12
電圧維持(2)～電圧・無効電力調整設備	13
電圧安定性の評価	14
周波数維持～供給力の確保	15
周波数調整～負荷変動	16
周波数調整～適正な調整力の確保	17
調整方法の詳細	18
周波数調整～同時同量と周波数調整	19

設備形成

地域間連系線の特徴	20
地域間連系線整備計画に係わる調整プロセス	21

連系線利用

容量登録の手続き概要	22
連系線利用に係わる契約認定	23
空容量(1)～空容量とは?	24
空容量(2)～空容量の例	25
全国融通	26
空おさえ防止～週間計画・翌日計画・受給日:変更賦課金	27

混雑処理

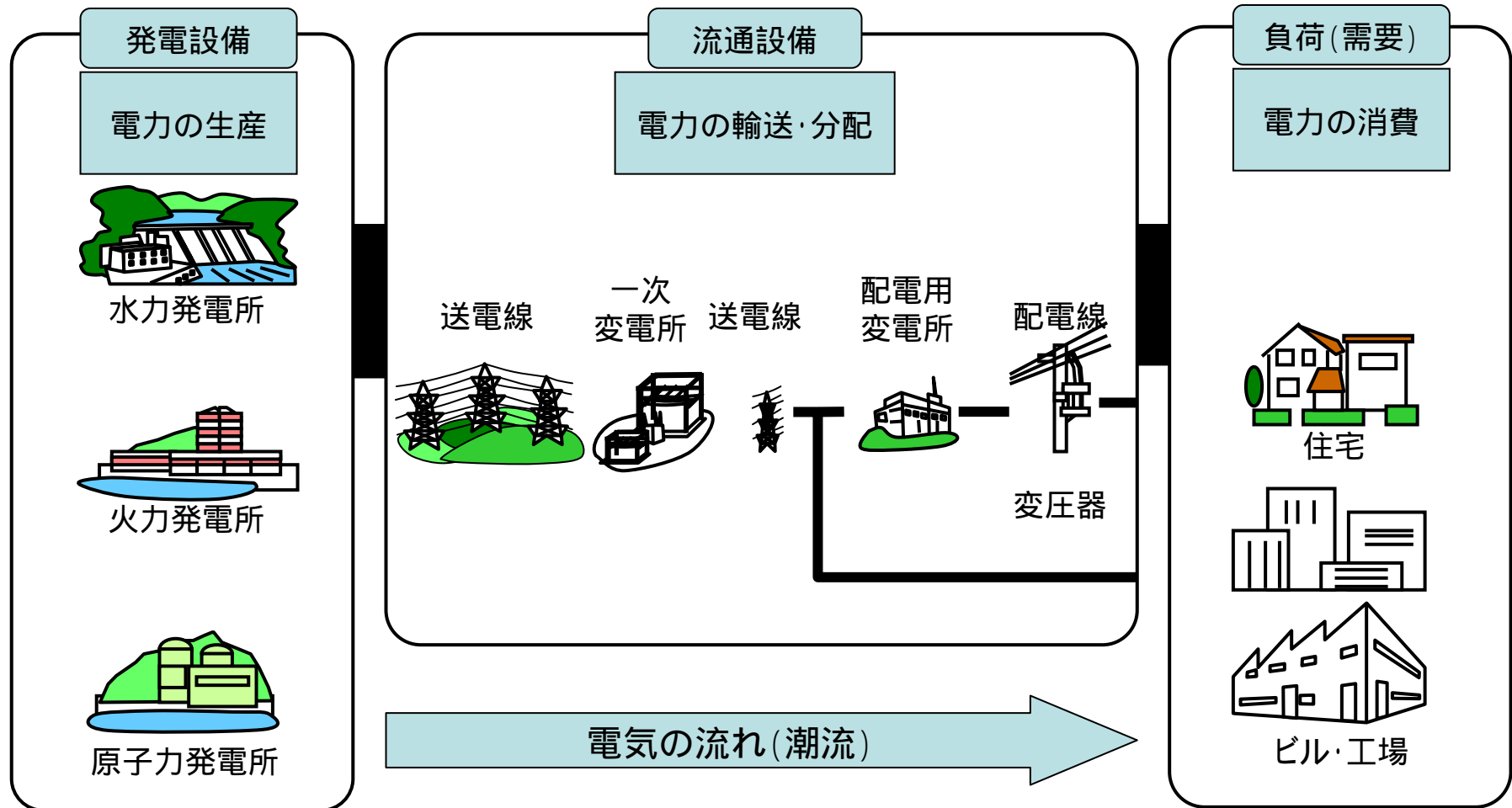
混雑処理の概要	28
計画段階および時間的に余裕のある場合	29
再給電とは?	30
複数の連系線を通る連系線利用計画の混雑処理の特徴	31

電力系統の特徴

電力系統とは(1)

技術解説 - 需給・系統

電力系統とは電力の生産から消費に至る発電所・変電所・送電線・配電線・負荷などの設備全体をいう。



電力系統の特徴

電力系統とは(2)

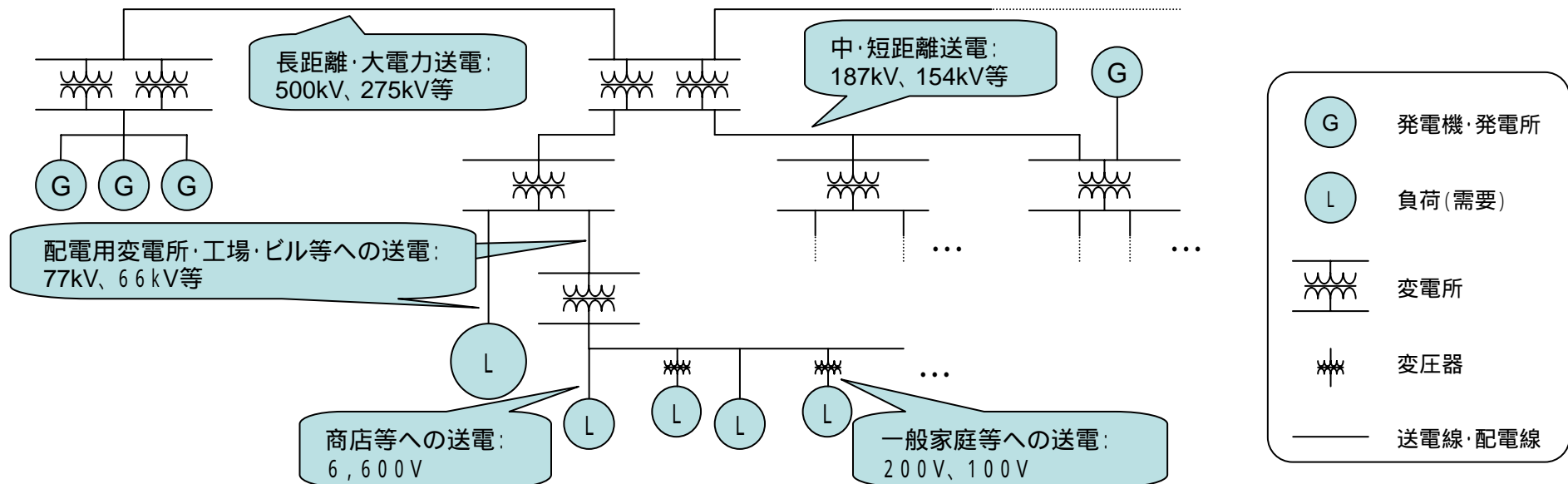
技術解説 - 需給・系統

電力系統は、長い期間を経て小規模系統から大規模系統へ発展してきており、規模の拡大に伴って、より高い電圧階級が導入されてきた。

電圧階級の特徴

電圧階級	送電損失	建設コスト	適用の考え方
高	小	高	長距離・大電力送電
低	大	低	短距離送電

電力系統のモデル

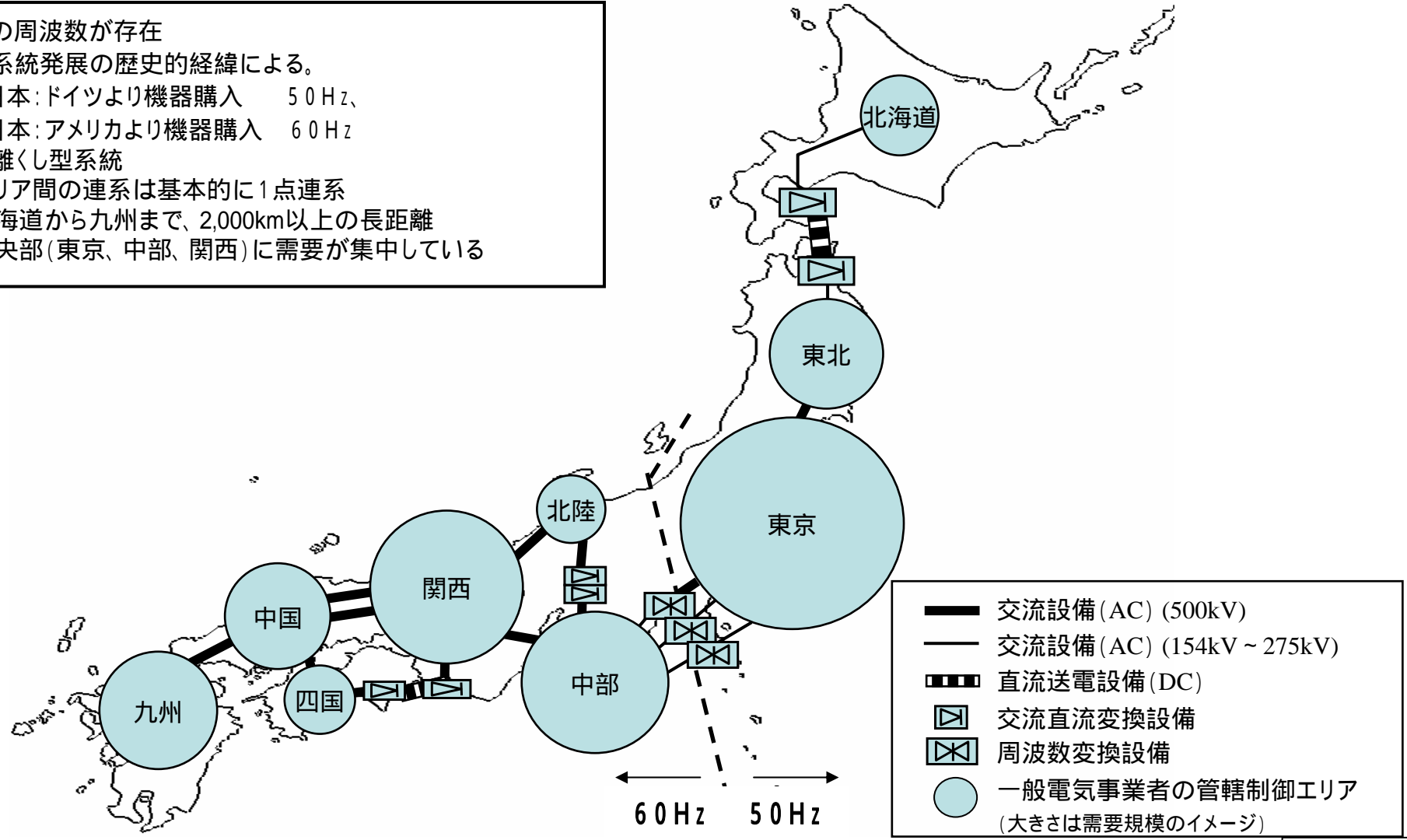


電力系統の特徴

電力系統とは(3) ~ わが国の電力系統の特徴

技術解説 - 系統

二つの周波数が存在
電力系統発展の歴史的経緯による。
東日本: ドイツより機器購入 50Hz、
西日本: アメリカより機器購入 60Hz
長距離くし型系統
・ エリア間の連系は基本的に1点連系
・ 北海道から九州まで、2,000km以上の長距離
・ 中央部(東京、中部、関西)に需要が集中している



- 交流設備(AC) (500kV)
- 交流設備(AC) (154kV ~ 275kV)
- 直流送電設備(DC)
- 交流直流変換設備
- 周波数変換設備
- 一般電気事業者の管轄制御エリア
(大きさは需要規模のイメージ)

電力系統の特徴

電源から流通設備に至る信頼度の確保

技術解説 - 需給・系統

電力の安定供給のためには、電源から流通設備に至る信頼度確保のために全体の協調が必須

需給

電力系統全体で 発電(供給) = 消費(需要) とすることが必要

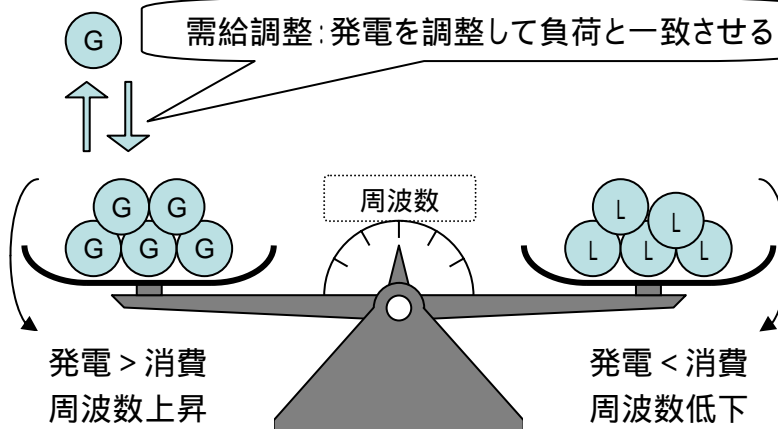
発電 > 消費 周波数上昇
 発電 < 消費 周波数低下

- 機器への悪影響
- 大規模停電の発生

時々刻々消費を予測し、発電を調整

電気を大量・効率的に貯蔵することは困難なため、消費の変化に対応できるように供給力を確保しなければならない

需給調整のイメージ



電気事業法により、電気事業者は供給する電気の周波数の値を標準周波数(東日本では50Hz、西日本では60Hz)に維持するよう努めなければならないとされている。周波数が上昇、低下すると電気機器が正常に動作しなくなる場合がある。

安定供給の確保

系統

電力を流通設備をとおりて消費地まで送電することが必要

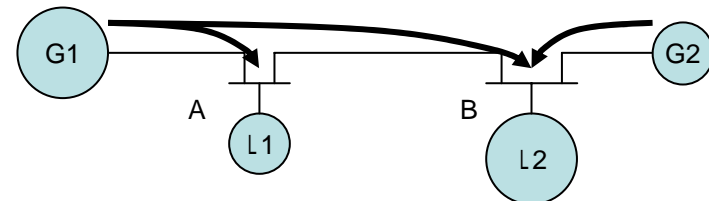
下図において、系統全体で発電 = 消費とすることができても、A ~ B間の送電が制限されると発電と消費を一致させることは不可能

電力の輸送経路を確保

電源の運用・負荷の状況と協調をとった流通設備形成・運用が必要

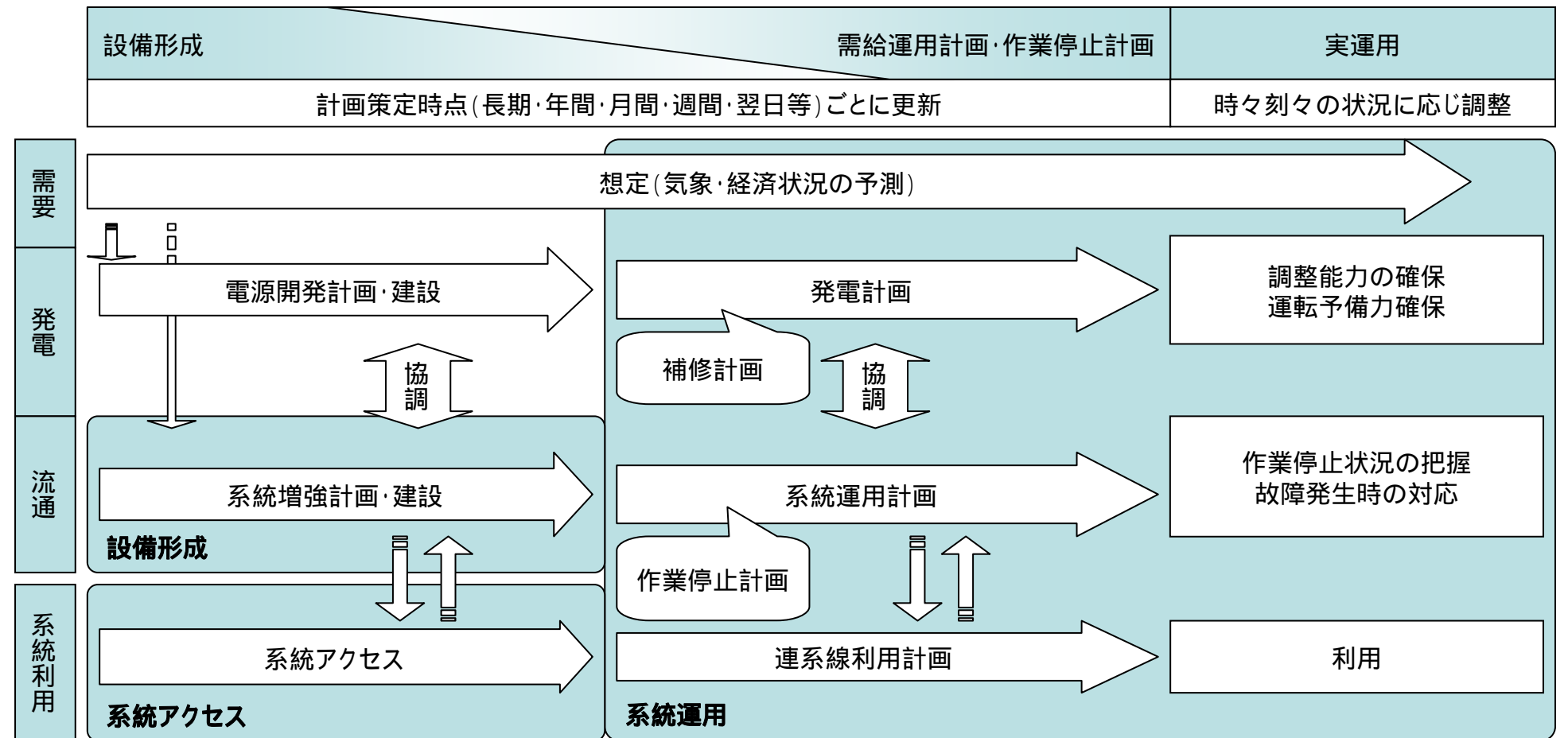
輸送確保のイメージ

負荷L2には発電機G1とG2が供給しており、A ~ B間の送電が制限されると、G2だけでは発電が不足し、L2に供給できない。



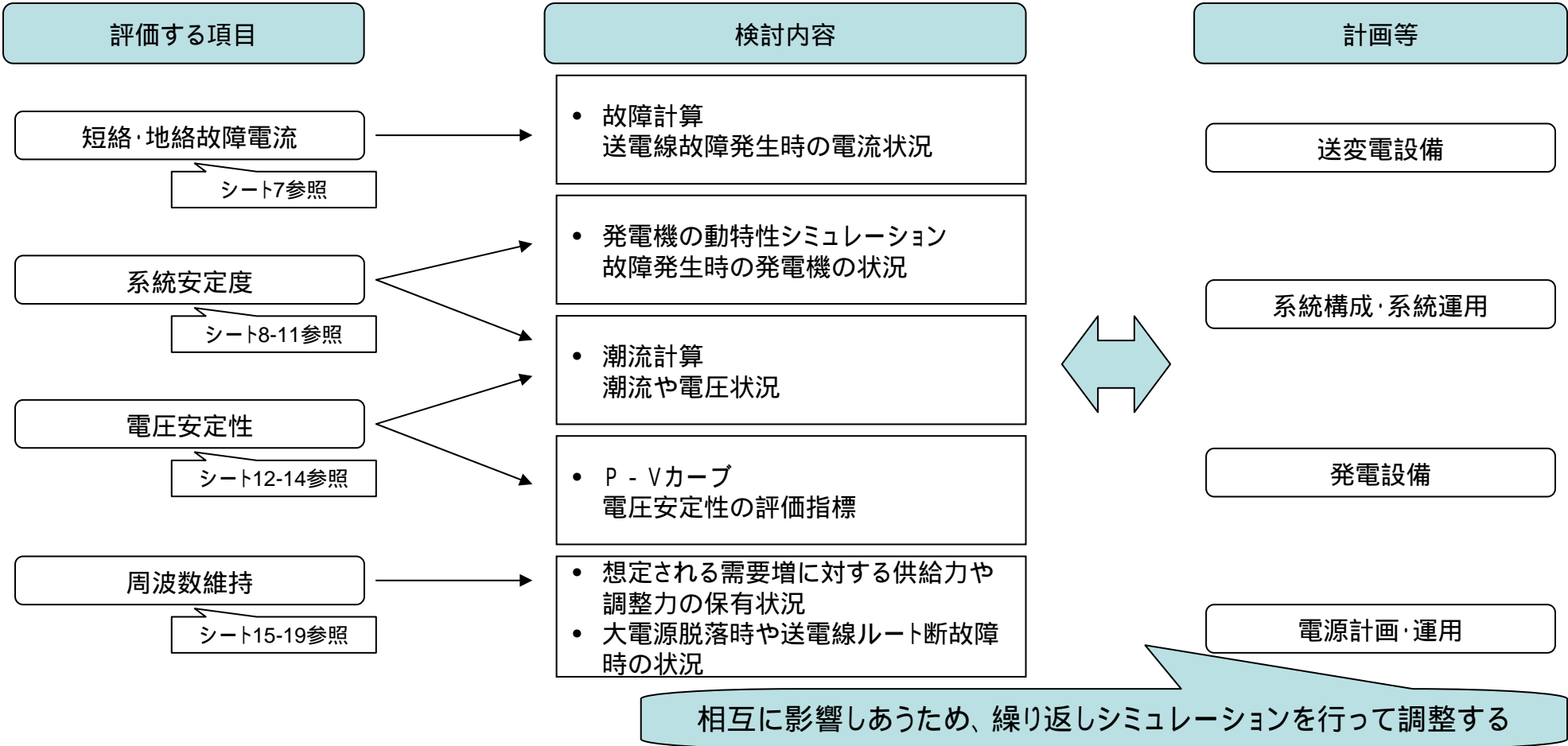
電力系統の特徴	設備形成・運用計画・実運用	技術解説 - 需給・系統
---------	---------------	--------------

発電所・送電線建設のリードタイムが長いため、長期の設備形成から直近の運用計画、実運用にかけて、電源から流通設備に至る信頼度確保のために全体の協調が必要である。このため、検討時点ごとに最新の想定に基づき信頼度を評価する。



供給信頼度	信頼度評価	技術解説 - 系統
-------	-------	-----------

供給信頼度を評価するために、シミュレーションによるケーススタディ等を行う。シミュレーションでは、検討時点の最新データに基づき、各計画断面の需要、電源、系統の状況を模擬する。



短絡・地絡故障電流が設備の能力を超えないよう、設備形成・運用を行わないと、設備損壊・停電範囲の拡大に至る。

短絡・地絡故障の影響

- 大電流が流れることにより、設備が破損する
- 電力系統の電圧が広範囲で低下する
- 発電機が不安定になる

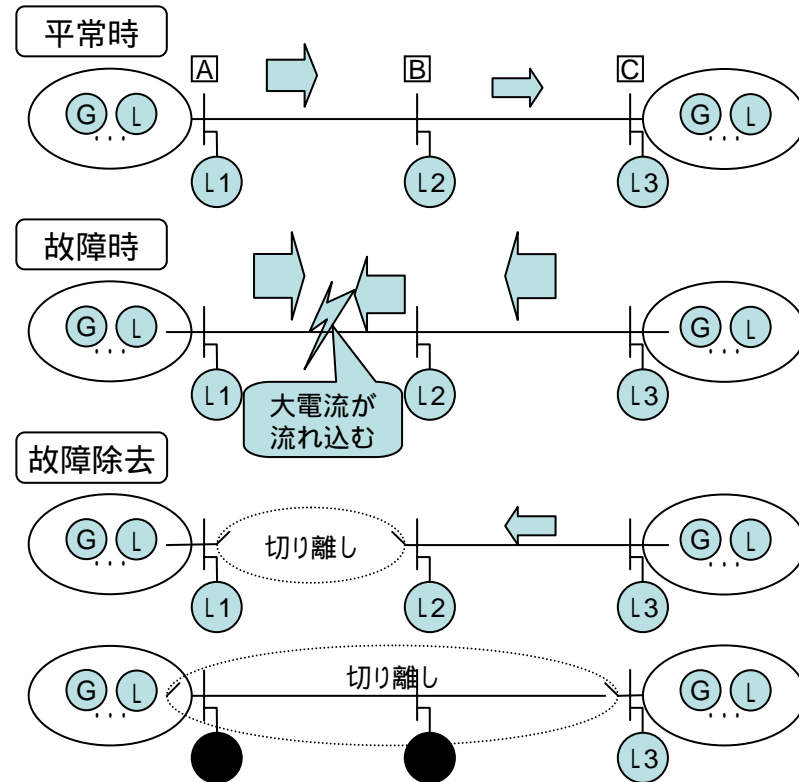
- 短絡・地絡故障が発生した部分をすみやかに系統から切り離す必要がある(故障除去)
- 設備破損により故障除去が失敗すると広範囲の停電に進展する可能性がある

設備形成時

短絡・地絡電流を想定し、適切な設備形成(短絡・地絡故障電流が遮断器などの定格値以内であることなど)に反映する

運用時

短絡・地絡電流が、設備の定格内になるよう系統を構成する



A ~ B間で故障除去できないと、停電範囲が拡大する

短絡故障電流

平常時は絶縁されている電気設備の2点以上が電気的につながる状態を短絡といい、大電流が流れる。この電流を短絡故障電流という。

地絡故障電流

電気設備の1点以上が大地と電気的につながる状態を地絡といい、大電流が流れる。この電流を地絡故障電流という。

系統安定度の考え方および安定運転の条件をモデルを使って表現する。

発電	把手を回す力(機械的入力)	A
	円盤が回転する力(電気的出力)	B
送電	ゴムを伝わる力	C
負荷	巻き上げる錘の重さ	D

エネルギーの流れ

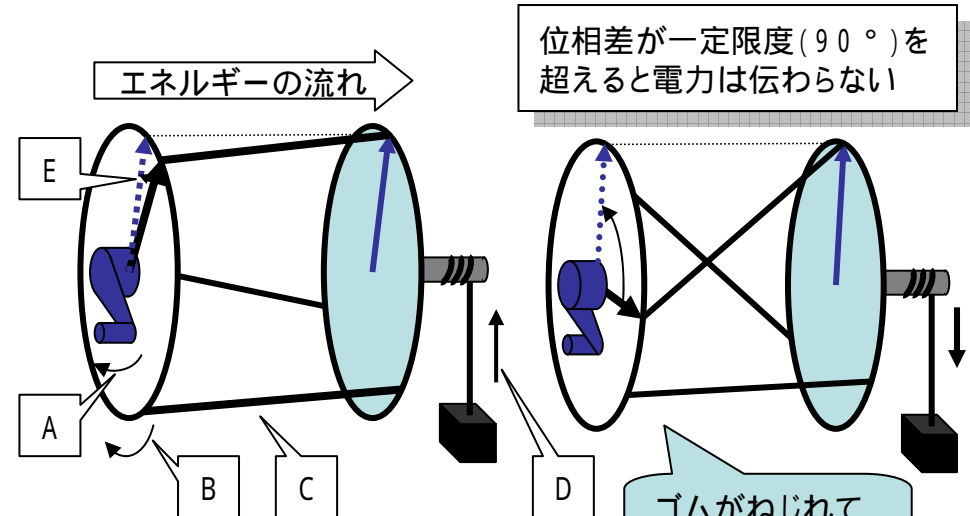
- 回転速度は周波数に相当
- 負荷の回転は発電機より一定の角度で遅れる(位相差[E])

安定運転の条件

- 回転速度がすべて等しい(同期運転)
- すべての力がA B C Dと、確実に伝わる必要がある
- 位相差[E] < 90°

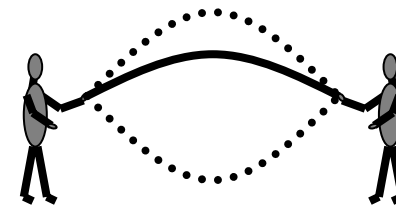
電力システムのイメージ

複数の発電機、負荷が複数の送電線で結ばれているもの



安定運転のイメージ

重いロープ(負荷)を安定に回すためには、回転速度が等しいことと、2人が回す角度のずれやロープの回転の遅れが一定範囲内であることが必要

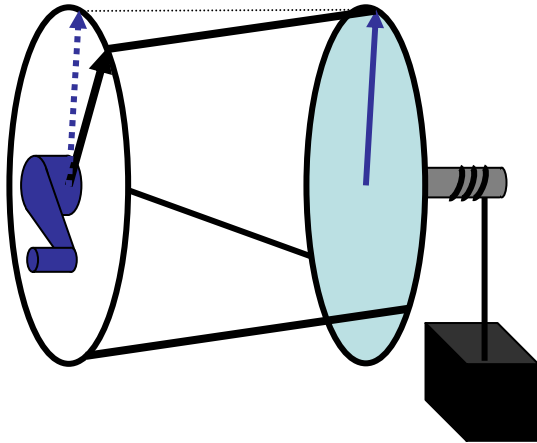


供給信頼度

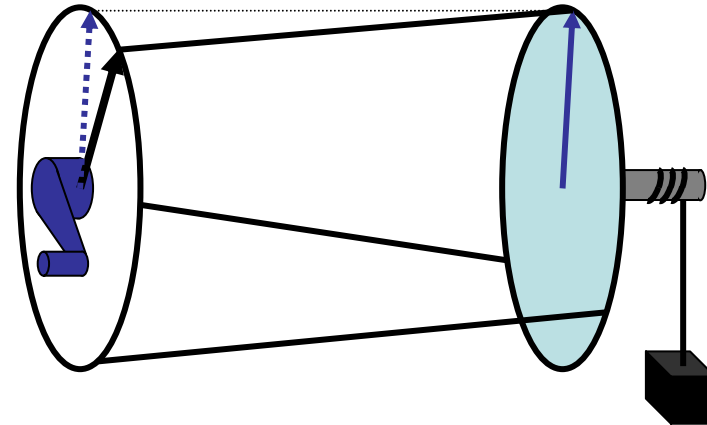
系統安定度(2) ~ いろいろな現象 1

技術解説 - 安定度

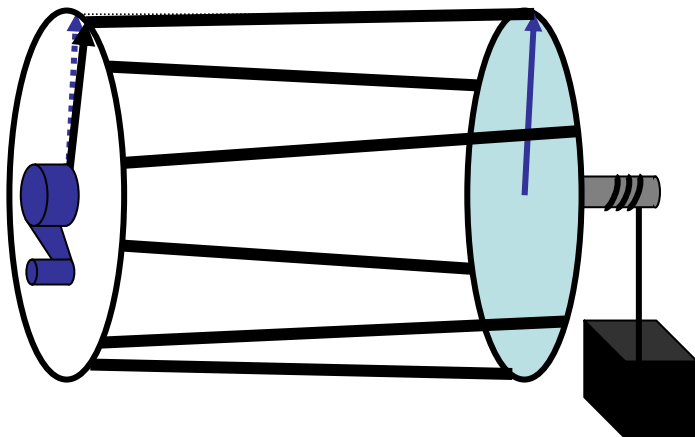
錘が重くなるほど位相差は大きくなる
大電力送電の限界



発電機と負荷の距離が長くなるほど位相差は大きくなる
長距離送電の限界



ゴムを強くする(太くする、数を増やす)とねじれにくくなり、距離を長くしても、錘を重くしても位相差の増加は少なくなる
系統増強の効果



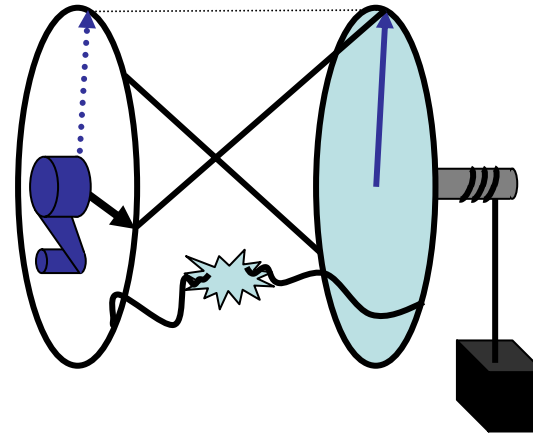
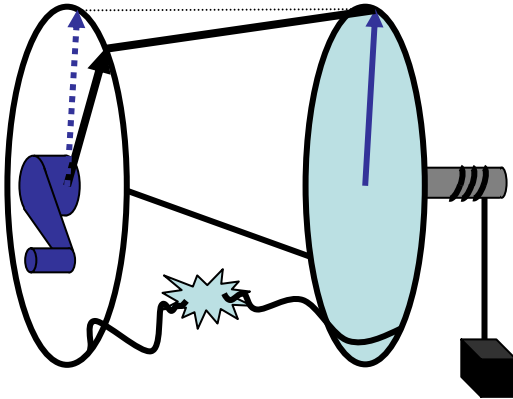
供給信頼度

系統安定度(3) ~いろいろな現象2

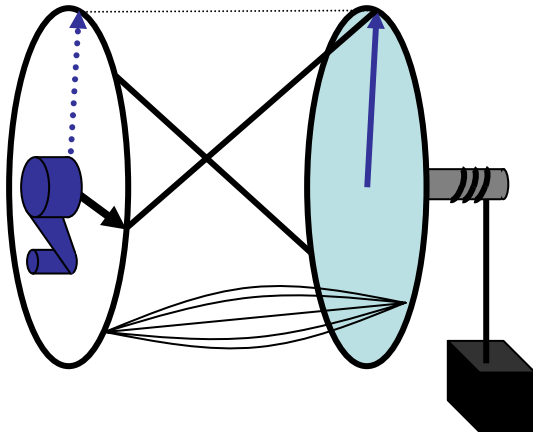
技術解説 - 安定度

ゴムが切れる(送電線事故に相当)と位相差は大きくなる

ゴムが切れたことにより位相差が 90° を超過
過渡安定度の問題



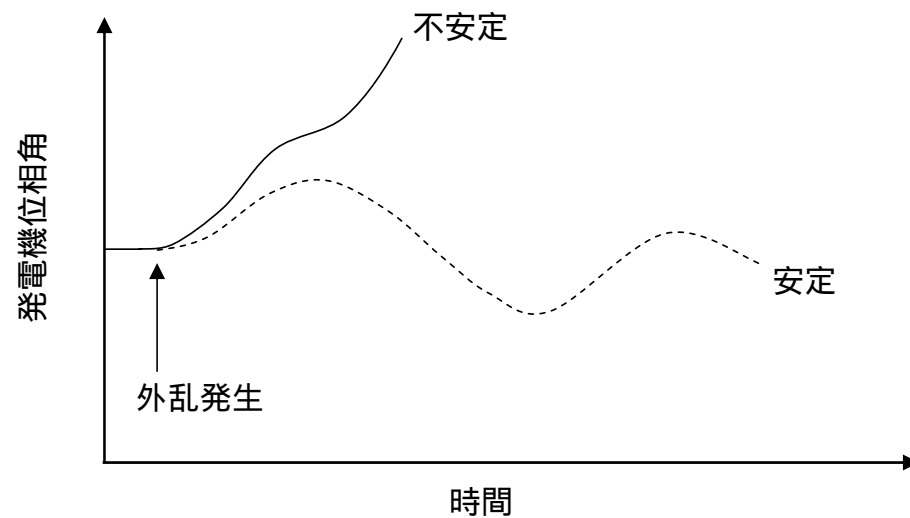
ゴムをはじいただけ(微小外乱)で位相差が 90° を超過
定態安定度の問題



電力系統(送変電設備、発電機、発電機の制御装置等)のモデルを作成し、シミュレーションにより故障発生時の発電機の位相角等を算出し、安定度の評価、安定化対策の検討を行う。

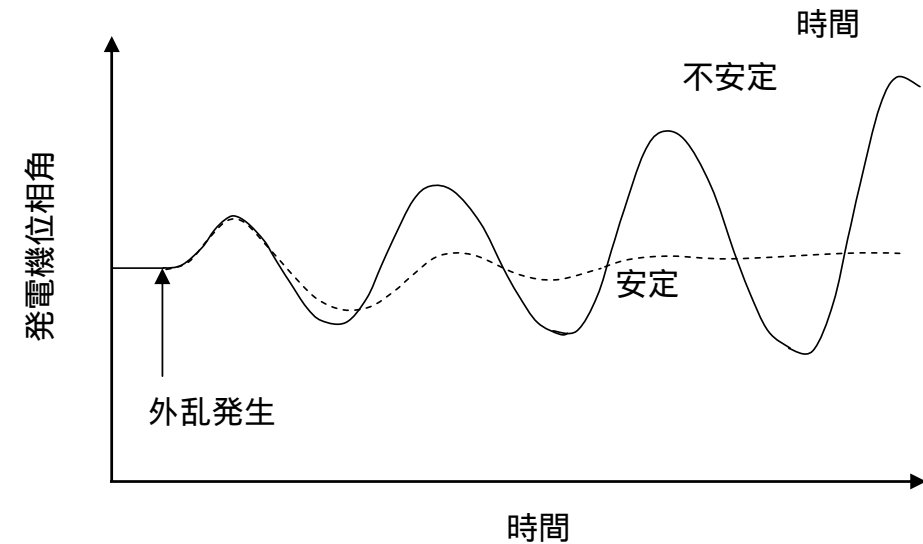
過渡安定度

過酷な送電線故障を模擬し、大きな外乱が発生した時の安定度を評価



定態安定度

負荷変動や送電線の投入・開放等を模擬し、小さな外乱発生時の安定度を評価



調整機器を系統各部に配置し、系統全体の電圧が適正になるよう調整する

電圧維持の目的

需要家への供給品質
設備の定格電圧
系統の安定性確保

電圧制御の特徴

比較的限られた範囲にしか
及ばない



系統各部に配置された電圧制御機器を効率的に活用して
適正電圧を維持

電圧と無効電力

無効電力の発生



電圧上昇

無効電力の消費

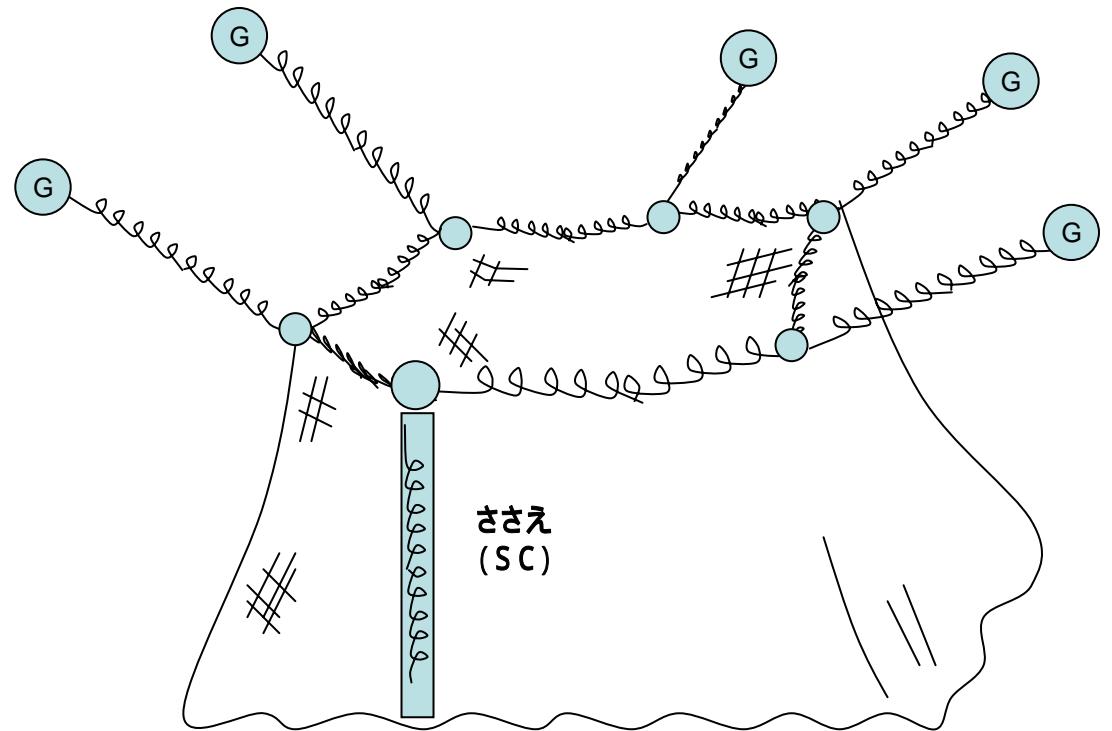


電圧低下



調相設備(無効電力を調整する設備)で電圧調整

電圧・無効電力調整イメージ

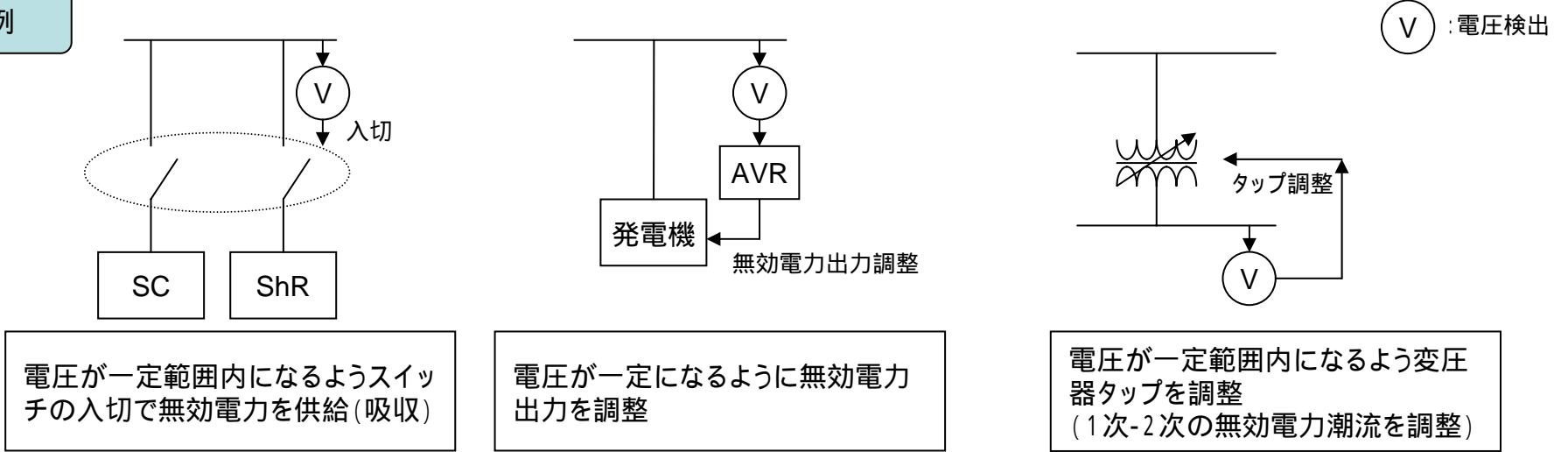


供給信頼度	電圧維持(2) ~ 電圧・無効電力調整設備	技術解説 - 電圧
-------	-----------------------	-----------

シミュレーション結果に基づき、調相設備の特徴(調整速度、コスト等)を考慮して設備形成・運用に反映

	設備	調整機器	
無効電力の発生供給	<ul style="list-style-type: none"> 送電線の充電容量 力率改善用コンデンサ 	<ul style="list-style-type: none"> 電力用コンデンサ(SC) 	<ul style="list-style-type: none"> 発電機(AVRにより調整) (AVR: Automatic Voltage Regulator 自動電圧調整装置)
無効電力の消費吸収	<ul style="list-style-type: none"> 負荷 (低力率のクーラー等による消費大) 	<ul style="list-style-type: none"> 分路リアクトル(ShR) 	<ul style="list-style-type: none"> 同期調相機 静止型無効電力補償装置 変圧器タップ (1次-2次の無効電力潮流を調整)

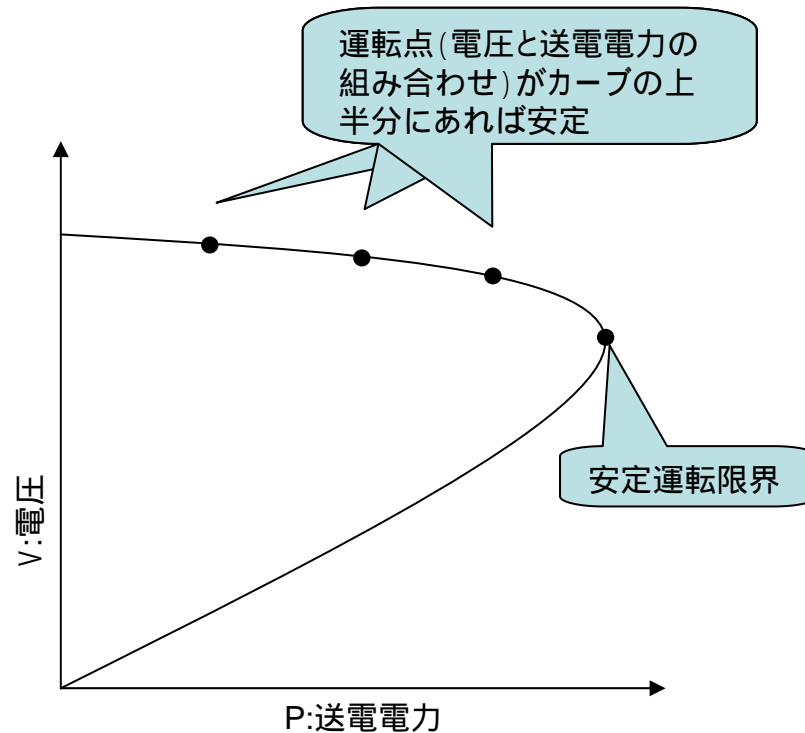
調整の例



電圧安定性はP - Vカーブを作成して評価する

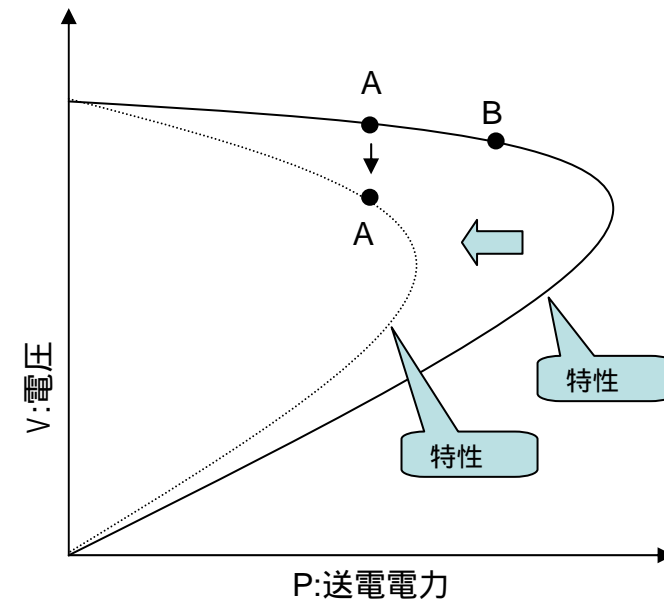
P-Vカーブ

送電電力Pと電圧Vの関係を示す特性



擾乱発生時の状況

平常時は の特性である系統が、擾乱発生(例:送電線故障)時に の特性になると、
Aの新たな運転点A は安定であるが、Bの送電電力に対応する新たな運転点がないことから送電不能となる。
故障時でも安定運転可能な範囲で運転する必要がある



電圧安定性

系統に何らかのじょう乱があった時に、電圧が新たな平衡点に落ち着く系統の能力、あるいはそれに関連した性質を、通常、系統の電圧安定性という。

供給信頼度

周波数維持～供給力の確保

技術解説 - 周波数

需要想定に基づき、供給力が常に需要を上回るように供給力を確保する
想定する需要変動に対応可能な調整力を確保する

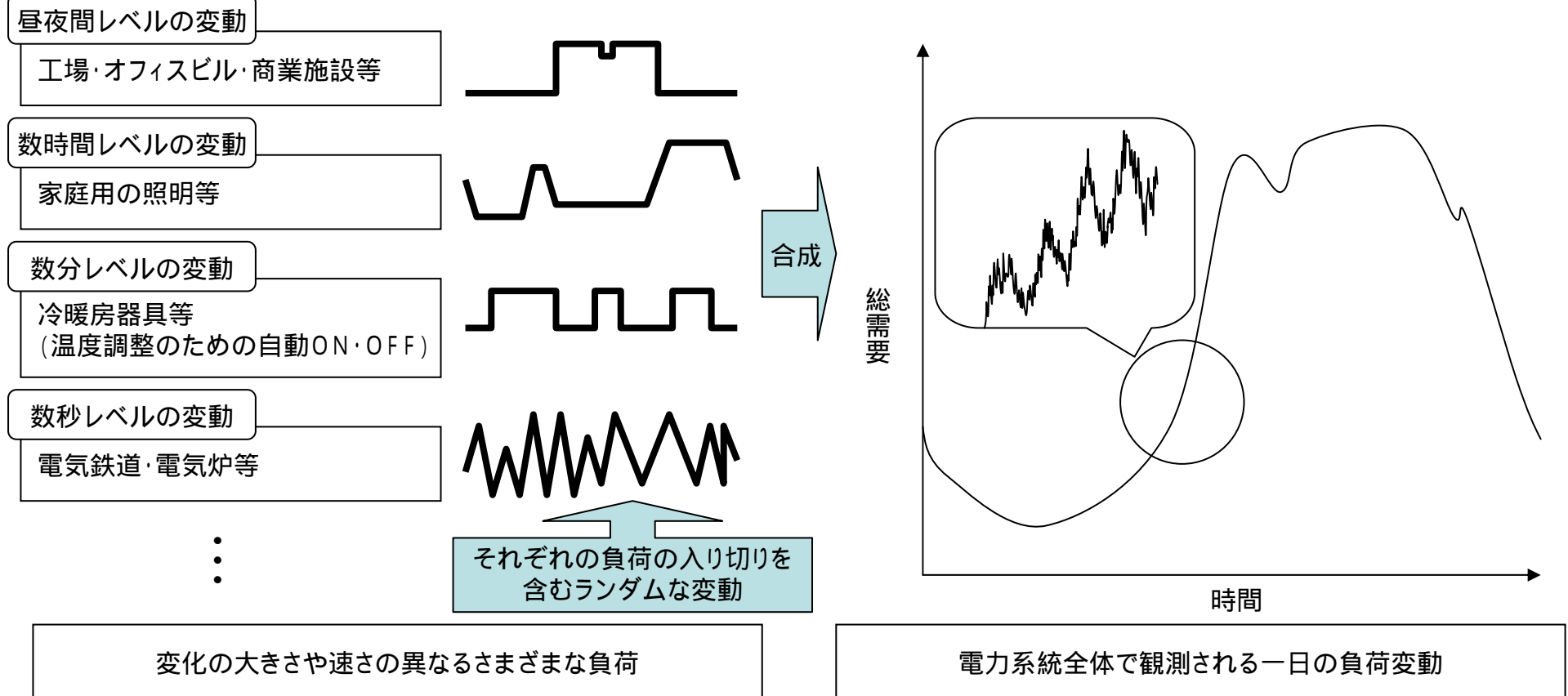
設備形成

電源の建設
長期の需要想定
供給予備力(需要を上回る供給力)の確保

運用計画・運用

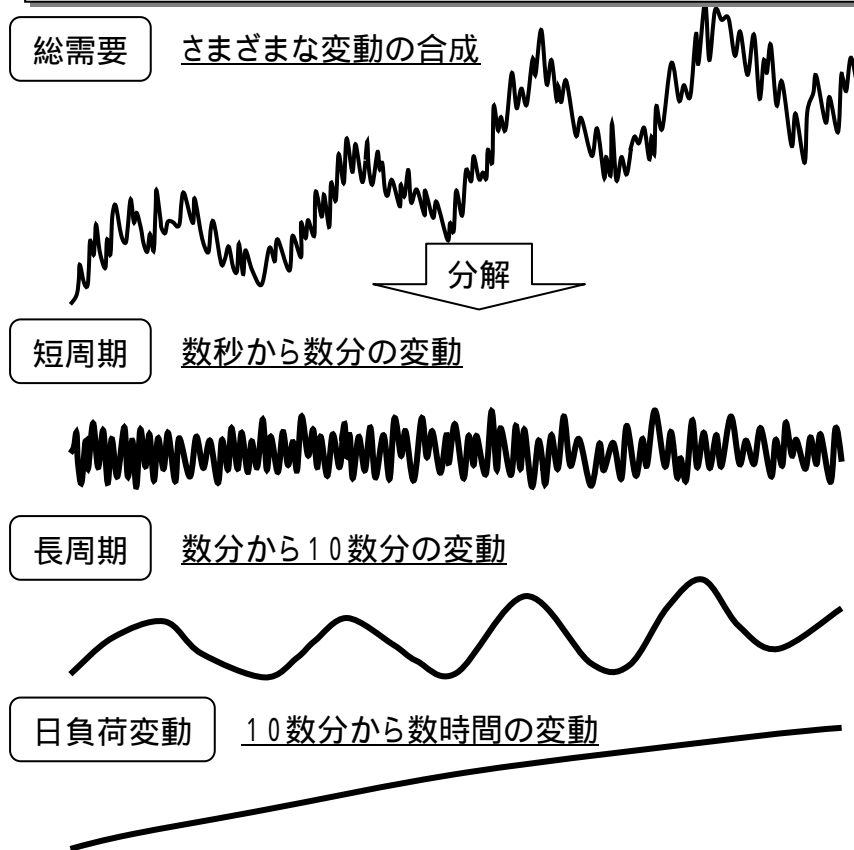
電源の運用
短期の需要想定
運転予備力(需要を上回る供給力)の確保
発電機の停止調整
適正な調整力の確保
発電機の特性に依じた停止調整・出力調整

電力系統の総需要は、さまざまな特徴をもった負荷の合成であり、数時間程度の大きな変動から数秒程度の小刻みな変動からなる。



発電を総需要に一致させるためには、変動の速さや大きさに応じた調整方法を選択する必要がある。

需要変動を短周期、長周期および日負荷変動に分解



変動周期に対応した発電の調整

短周期分の調整

発電機のカバナフリー
(調整速度:高、調整量:小)

長周期分の調整

負荷周波数制御(LFC: Load Frequency Control)
(調整速度:中、調整量:中)

日負荷変動の調整

経済負荷配分制御(EDC: Economic Load Dispatching Control)
(調整速度:低、調整量:大)

昼夜間など、さらに長周期の変動

発電機の並列・解列
(1日~数日レベルでの計画が必要、調整量:大)

これらの調整力を適切に確保できるよう発電の計画・運用を実施

供給信頼度

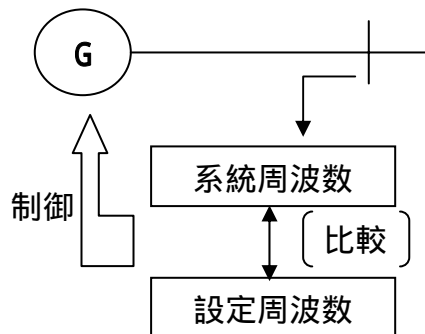
調整方法の詳細

技術解説 - 周波数

発電機のカバナー

発電所で検出した系統周波数と設定周波数と比較して**発電機自ら出力を制御**する。

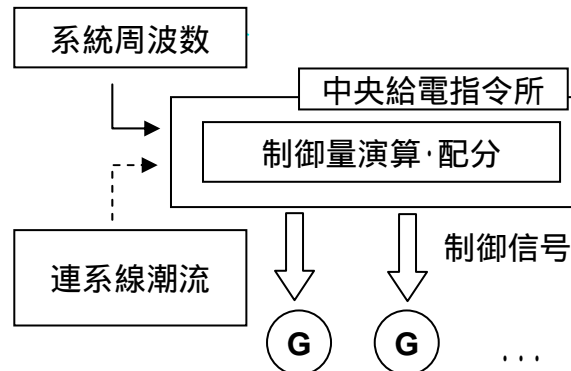
周波数変動 (= 負荷変動) に対し、迅速に出力制御



負荷周波数制御

中央給電指令所で必要な調整量および各発電機への配分を計算し、発電機に制御信号を送信する。

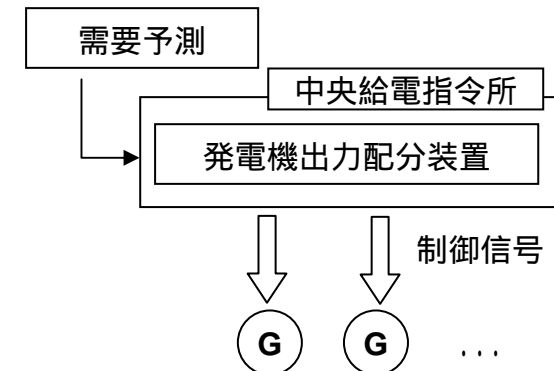
長周期変動を系統全体で調整



経済負荷配分制御

中央給電指令所で需要予測に基づき最適な出力配分を計算し、**発電機に制御信号を送信**する。

日負荷変動を予測し、系統全体で調整



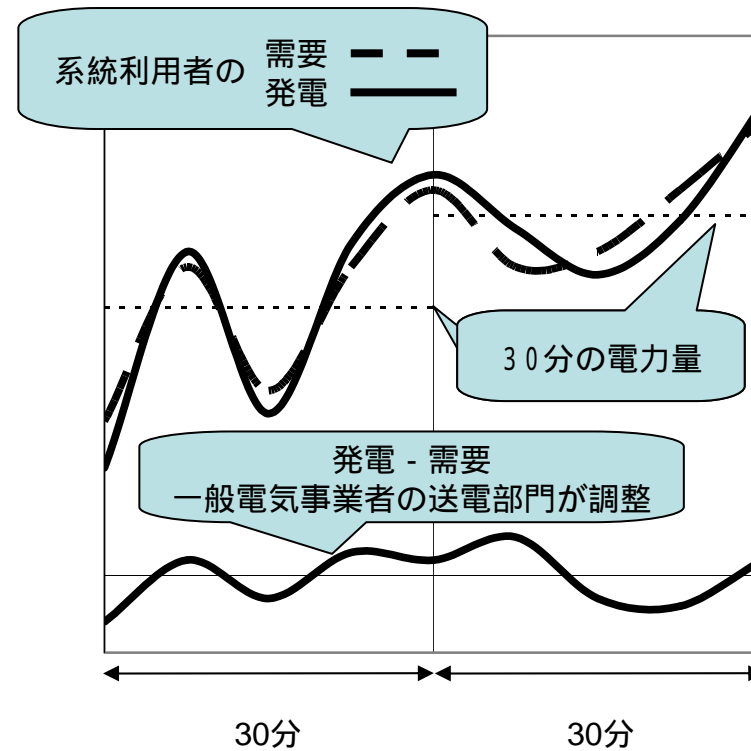
特定規模電気事業者は30分同時同量の達成、一般電気事業者の送電部門は時々刻々の需要と発電の差分を調整する役割分担としている。

系統利用者

- 発電と需要の差分が30分ごとにゼロとなるように発電を調整

一般電気事業者の送電部門

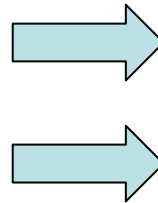
- 時々刻々の発電と需要が一致するように調整
(30分同時同量で発生する時々刻々の発電と需要の差分も含めて調整される)



設備形成	地域間連系線の特徴	ルールガイド - 設備形成
------	-----------	---------------

送変電設備の特徴

- 大規模な設備投資が必要
- 一旦建設すると長期間にわたって使用される
- 長期の建設リードタイム(10年以上)
- 地域間連系線の関係者は複数



以下の項目等について長期的な視点で検討することが重要

- 長期需要予想
- 電源開発計画

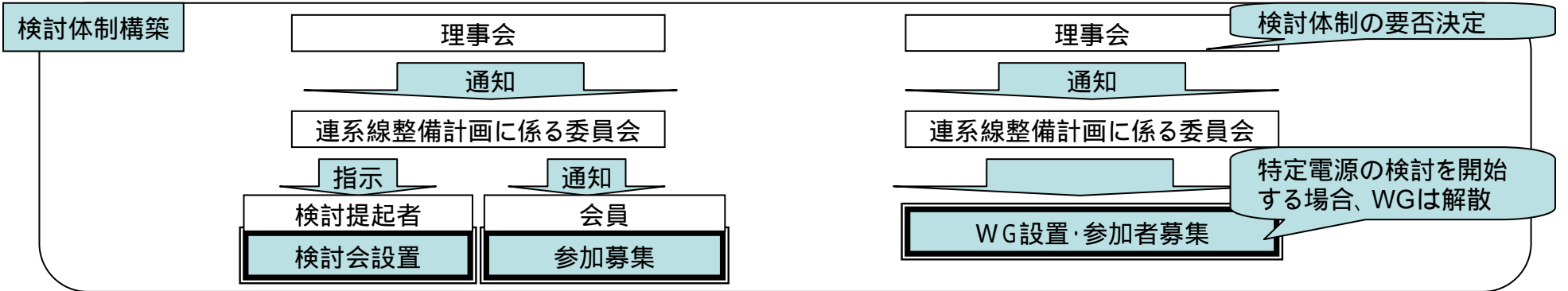
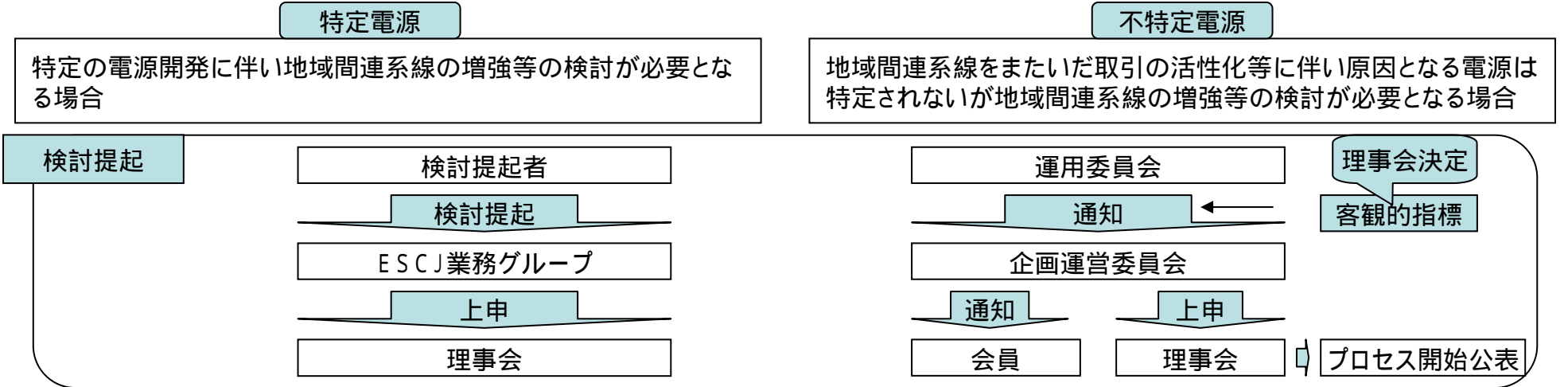
公平性・透明性が確保された調整プロセスが必要



地域間連系線整備計画に係わる調整プロセスを規定

設備形成	地域間連系線整備計画に係わる調整プロセス	ルールガイド - 設備形成
------	----------------------	---------------

費用負担等の考え方が異なることから、特定電源と不特定電源にわけて検討開始要件・検討体制を規定



- | | |
|-------------|---|
| 検討項目 | <ul style="list-style-type: none"> • 地域間連系線増強等の必要性の有無 • 必要量とその効果 • 地域間連系線増強等の方策(工事概要、概略コスト、概略工期等) • 地域間連系線増強等に関する費用負担に関する基本的な考え方
(特定電源の場合は特定負担と一般負担の割合の考え方) |
|-------------|---|

理事会へ

⇒ 提言

21

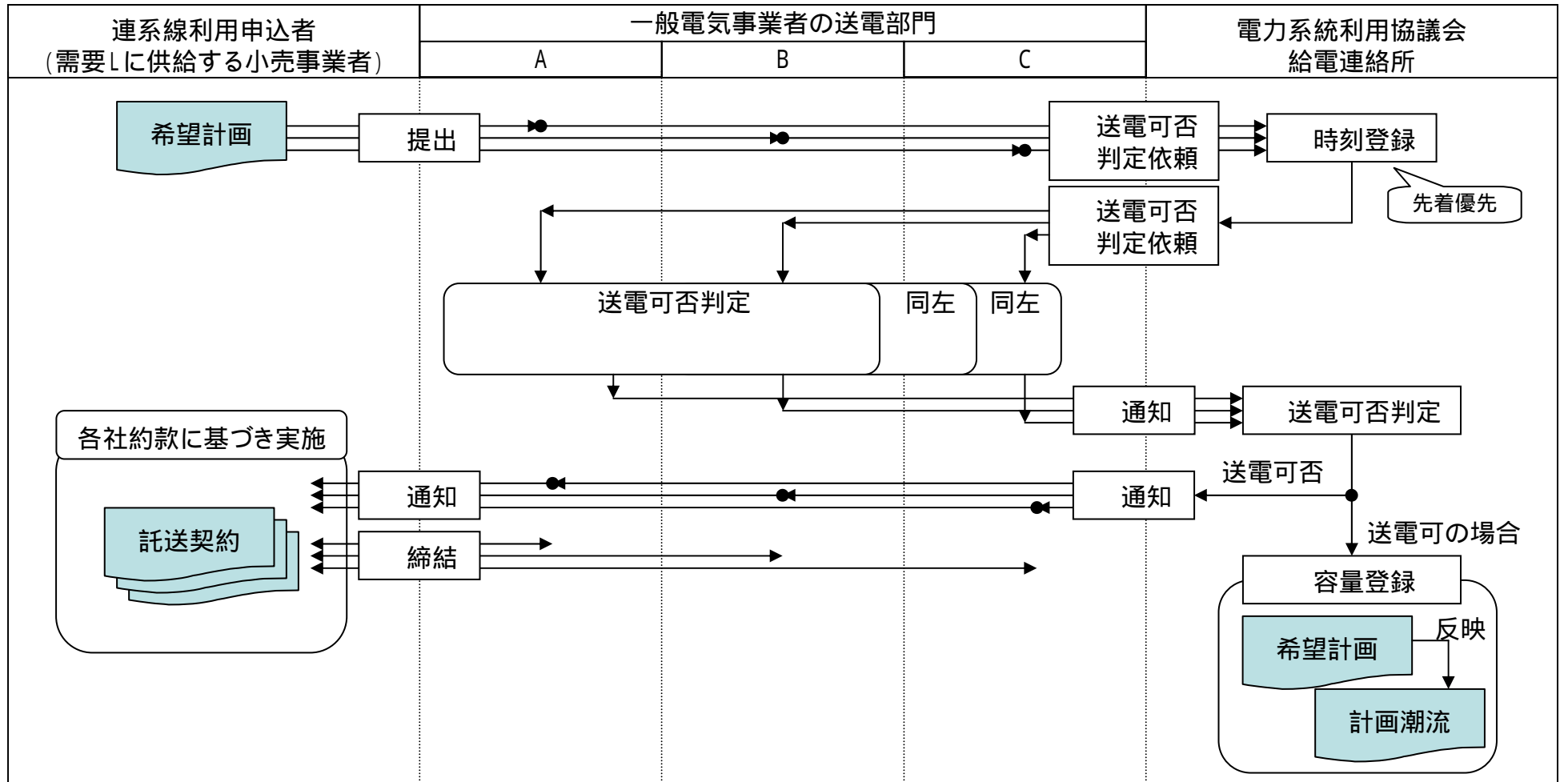
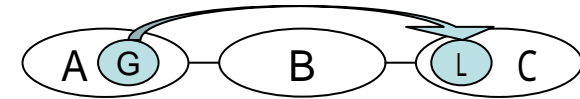
検討提起者
当該特定電源開発者および当該地域間連系線に係る系統の一般電気事業者

連系線利用

容量登録の手続き概要

ルールガイド - 連系線利用

Aエリアの電源GからCエリアの需要Lへの託送を行う場合の例



連系線利用

連系線利用に係わる契約認定

ルールガイド - 連系線利用

契約認定された既存契約等は、優先的に扱われる

長期固定電源への投資リスクや、自由化以前から既に契約されている取引等への一定の配慮として、送電容量の優先的確保を認める制度が整備された。

「今後の望ましい電気事業制度の詳細設計について」(総合エネルギー調査会電気事業分科会 平成16年5月)

長期固定電源

原子力、水力(揚水式を除く。)および地熱発電所から供給されている契約

政策・制度的電源

長期固定電源以外の電源のうち、旧電源開発促進法に基づいて開発された電源(政策・制度的位置づけがあり、かつ広域運営を目的とするもの)からの供給であって、その契約が同一相手先との間で継続されている契約

連系線同時建設電源

長期固定電源以外の電源のうち、発電設備の建設と同時に連系線等の新設・増強を行い、当該連系線等の応分の負担を行った電源からの供給であって、その契約が継続している契約

その他既存契約

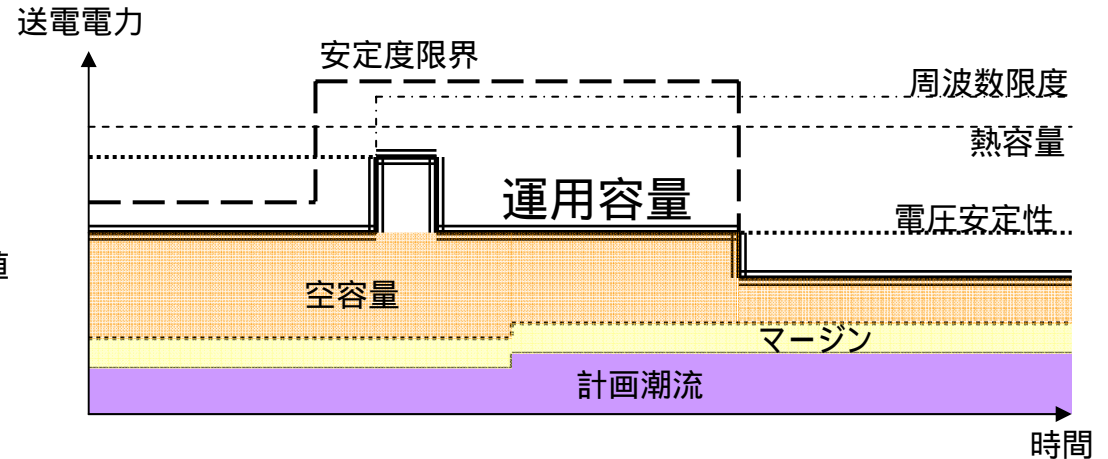
上記以外の契約のうち、電力系統利用協議会が平成17年1月31日までに認定連絡をした契約で、その契約が継続している契約。なお、系統運用電力(送変電設備の有効利用等を図るために一般電気事業者2社間で行っている融通)も含まれる

このうち、「長期固定電源」と「連系線同時建設電源」については、新規契約も認められるが、それ以外の契約は、電力系統利用協議会が平成17年1月31日までに認定連絡をしたものに限定される。

空容量 = 運用容量 - マージン - 計画潮流またはフェンス潮流

運用容量¹

熱容量限度(設備容量)
 系統安定度限度(過渡、定態)
 電圧安定性限度
 周波数維持限度
 の要因から定まる限界値のうち、制約(一番低い値)となる値



マージン¹

マージンとは、系統の異常時および特殊軽負荷時の対応として、地域間連系線を介して一般電気事業者の送電部門が他の管轄制御エリアと電気を受給するため、あるいは、系統を安定に保つために各地域間連系線に確保しておく容量とする。

計画潮流¹

計画潮流とは、容量登録または容量確保された連系線等の利用計画を潮流の向きを考慮して合算した値をいう。

フェンス潮流²

フェンス潮流: ループ系統内でのルート断故障において、健全ルートへの回り込み潮流を考慮して、複数送電線の潮流の合計値の組み合わせで最大となる潮流値をいう。

1 「電力系統利用協議会ルール 第4章 系統運用ルール(特別高圧) 第9節 連系線等の空容量の考え方」より抜粋

2 同上。「電力系統利用協議会ルール 解説 関西中国間連系線を含むループ系統のフェンス潮流について」参照。

連系線利用 空容量(2) ~ 空容量の例 ルールガイド - 連系線利用

系統情報公開システムの空容量開示イメージ

対象期間はデータによりつぎのようになる。
 年間データ：対象年・月
 月間データ：対象月・週(月第週)
 週間・翌々日計画・翌日データ：30分ごと

空容量 = 運用容量 - 計画潮流またはフェンス潮流 - マージン

対象期間	託送方向	休日 / 平日	昼間帯 / 夜間帯	平常時 / 作業時	対象連系線	区間	運用容量	計画潮流 / フェンス潮流	マージン	空容量	運用容量決定要因
例1 年 月	順方向	平日	昼間	平常時	A線	A B間	1,000	150	300	550	安定度
例2 年 月	順方向	平日	昼間	作業時	A線	A B間	900	150	300	450	安定度
年 月	逆方向	平日	昼間	平常時	A線	A B間	- 1,200	150	- 300	- 1,050	熱容量
年 月	逆方向	平日	昼間	作業時	A線	A B間	- 1,200	150	- 300	- 1,050	熱容量
年 月	順方向	平日	夜間	平常時	A線	A B間	1,200	0	300	900	周波数

平常時と作業時で運用容量が異なる場合は双方を開示

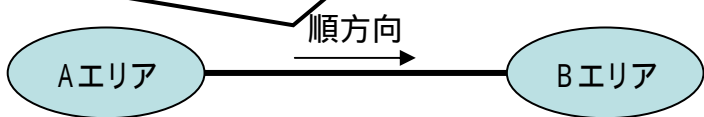
運用容量決定要因(熱容量、安定度、周波数または電圧)

空容量の算定例

例1 (順方向) $550 = 1,000 - 150 - 300$

例2 (逆方向) $- 1,050 = - 1,200 - 150 - (- 300)$

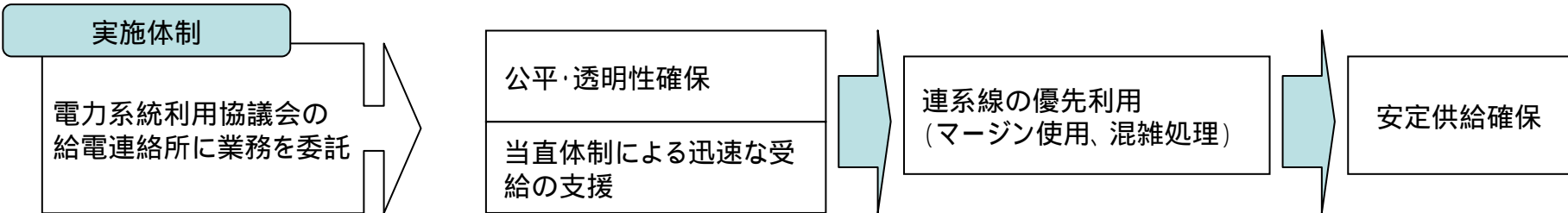
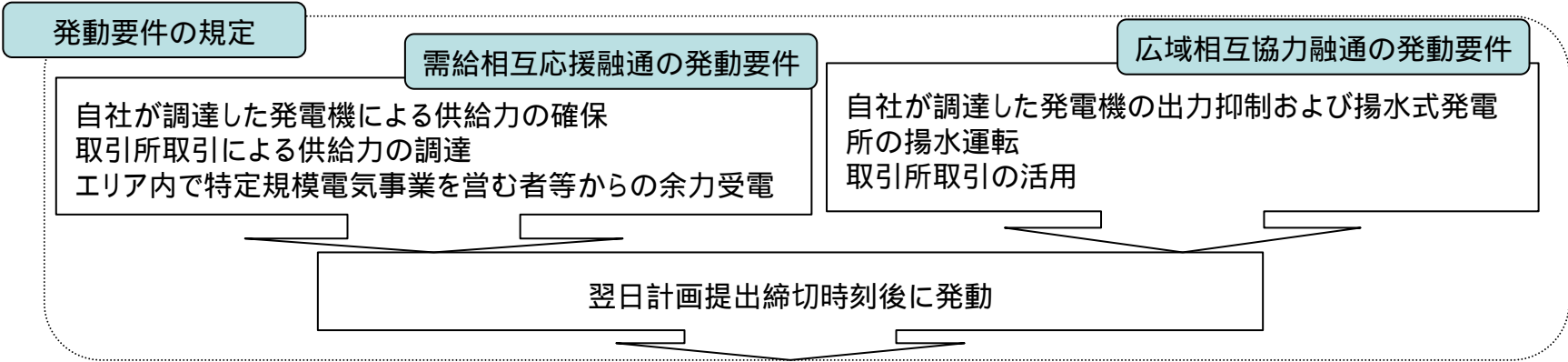
“順方向”がA Bなのか、B Aなのかは、連系線ごとに示されており、逆方向の潮流や空容量は“- (マイナス)”で表される



連系線利用	全国融通	ルールガイド - 連系線利用
-------	------	----------------

全国融通のための連系線利用は安定供給確保のため、優先的に扱われる
発動要件の規定、事後検証により公平性・透明性のある運用を確保

全国融通
電気事業法第28条の趣旨に基づく広域運営に係わる相互協調を目的として、管轄制御エリアの安定供給を維持するために、一般電気事業者9社の送電部門により受給される融通



需給相互応援融通: 緊急的な供給力の不足分を調達
広域相互協力融通: 緊急的な余剰分の融通
(電気事業者相互の協調)

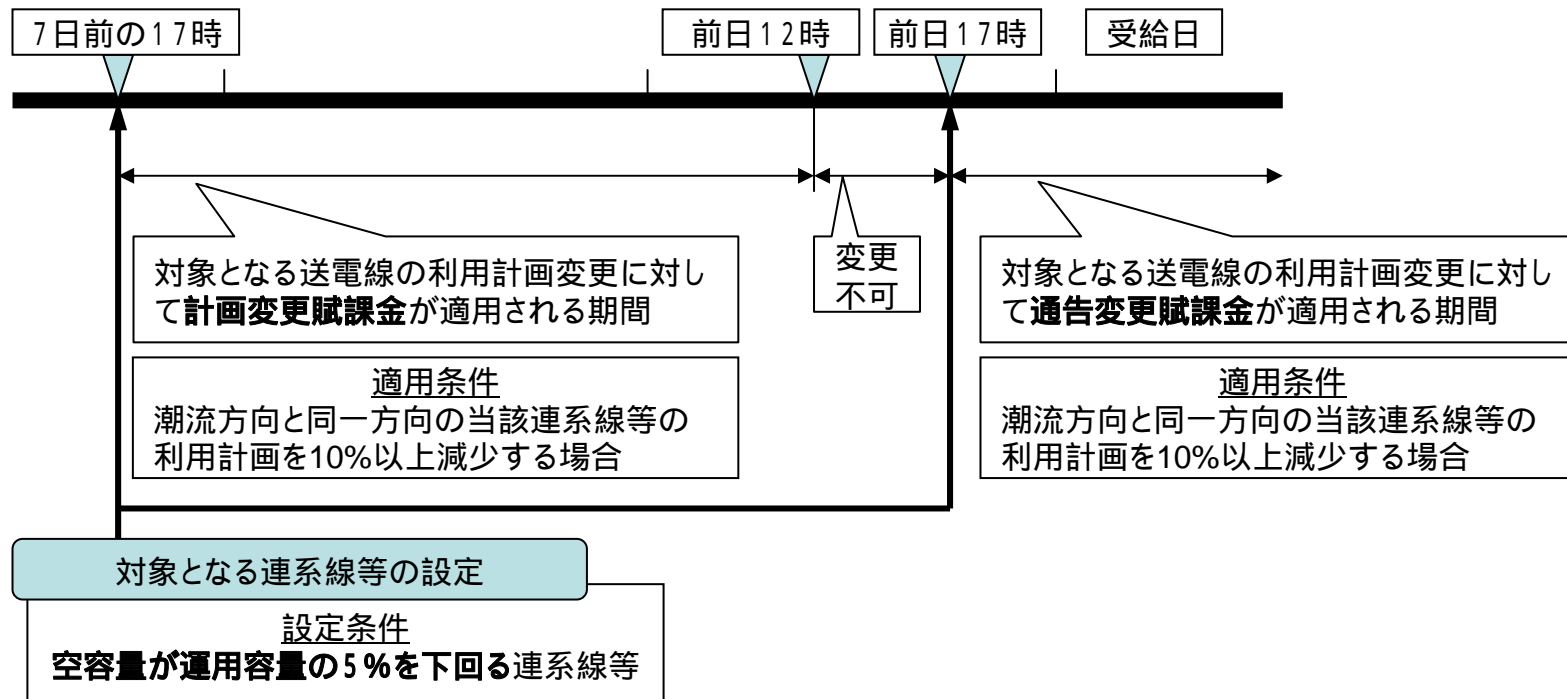
第二十八条 電気事業者は、電源開発の実施、電気の供給、電気工作物の運用等その事業の遂行に当たり、広域的運営による電気事業の総合的かつ合理的な発達に資するように、卸供給事業者の能力を適切に活用しつつ、相互に協調しなければならない。

連系線利用

空おさえ防止～週間計画・翌日計画・受給日:変更賦課金

ルールガイド - 連系線利用

対象送電線の利用計画変更に対して、利用計画変更の提出時期に応じ、計画変更賦課金または通告変更賦課金が適用される



空おさえ(用語解説)

容量登録や容量確保を行っている利用計画に関して、その後減少する変更の必要性が生じたが、適切に変更を申し込まず、そのままにしておくこと

混雑処理	混雑処理の概要	ルールガイド - 混雑管理
------	---------	---------------

実施のタイミング

当該連系線等の空容量が負になった時点(いずれの断面においても、ただちに実施)

混雑処理の実施方法

計画段階および時間的に余裕のある場合

当該連系線等の利用計画を次の順位で抑制または中止

新規利用潮流(から以外の利用計画)

既存契約等による利用潮流(長期固定電源の利用潮流を除く)【先着優先の原則から、 より利用を優先】

すべての利用を同順位として扱う『按分抑制』

前日スポット市場成約による利用潮流(当該利用潮流すべてを同順位とする)

全国融通による利用潮流【系統の安定運用確保】

長期固定電源を原資とする潮流

時間的に余裕がなく、緊急の対応が必要な場合

緊急抑制を基本

緊急抑制の対応が取れるまでは再給電を実施

おもな発生原因

- ・利用計画の変更(相殺潮流減少によるもの)
- ・連系線等の作業停止計画の変更等による運用容量の減少

混雑: 連系線の潮流が、計画段階または運用段階において、当該連系線等を利用できる量を超過した状態

混雑処理: 混雑を解消することを目的とした潮流抑制処理の総称

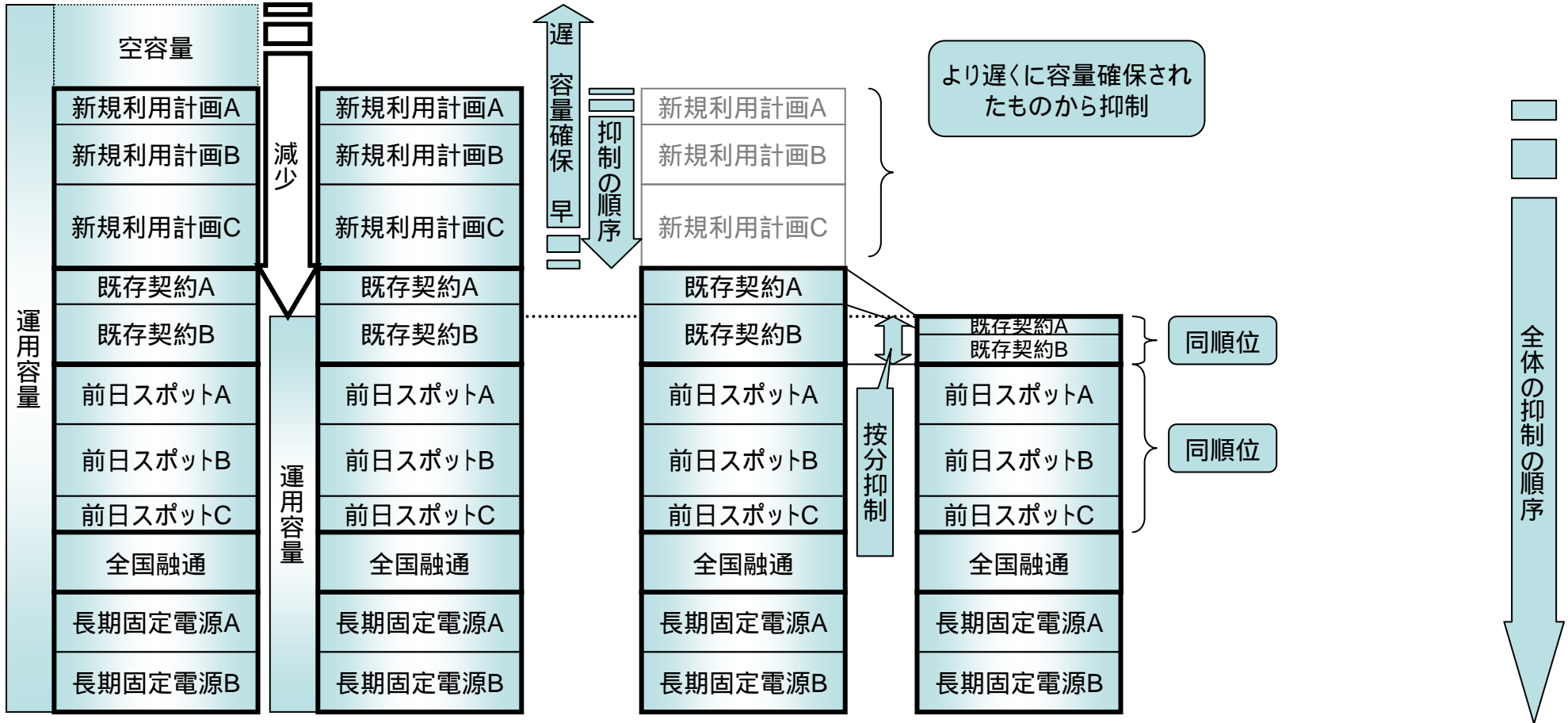
緊急抑制: 緊急時に系統安定を確保するために、給電指令に基づき抑制効果が大きい託送等の潮流を抑制する混雑処理の方法

混雑処理

計画段階および時間的に余裕のある場合

ルールガイド - 混雑管理

低順位抑制: 先着優先の原則により、順位の低いものから抑制



混雑 (用語解説)

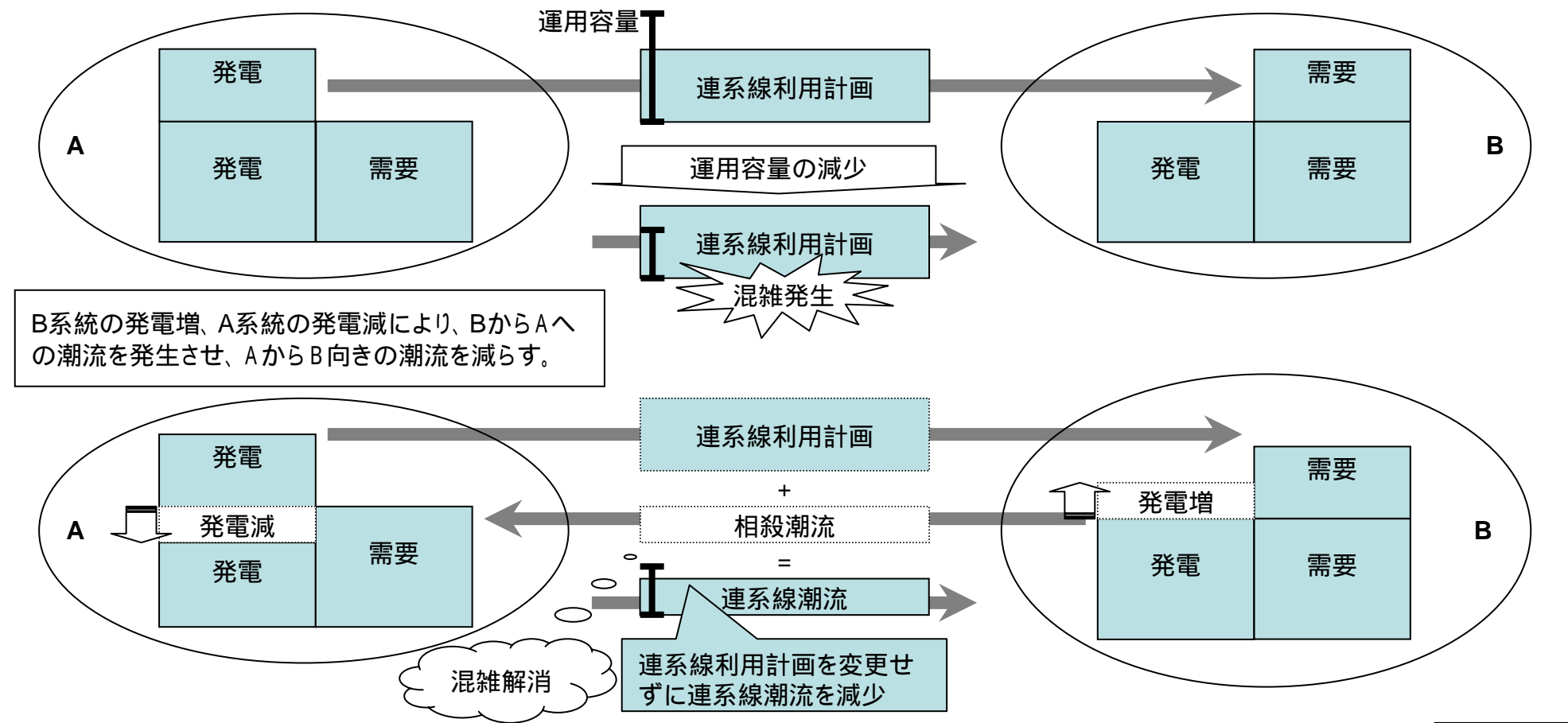
連系線の潮流が、計画段階または運用段階において、当該連系線等を利用できる量を超過した状態

混雑処理

混雑を解消することを目的とした潮流抑制処理の総称

混雑処理	再給電とは？	ルールガイド - 混雑管理
------	--------	---------------

時間的に余裕がなく、緊急の対応が必要な場合で、緊急抑制の対応が取れるまでの間、系統安定を確保するために、一般電気事業者の送電部門の給電指令に基づき、混雑区間の両端で電源持替を行い、相殺潮流を流すことにより混雑方向の潮流を抑制する混雑処理の方法。



混雑処理	複数の連系線を通る連系線利用計画の混雑処理の特徴	ルールガイド - 混雑管理
------	--------------------------	---------------

複数の連系線を通る連系線利用計画がある場合、ひとつの連系線の混雑処理により他の連系線に新たな混雑処理が発生する可能性がある。このため、混雑処理に時間がかかる場合がある。

