

同期電源の減少に起因する 技術的課題

同期電源の減少に起因する技術的課題

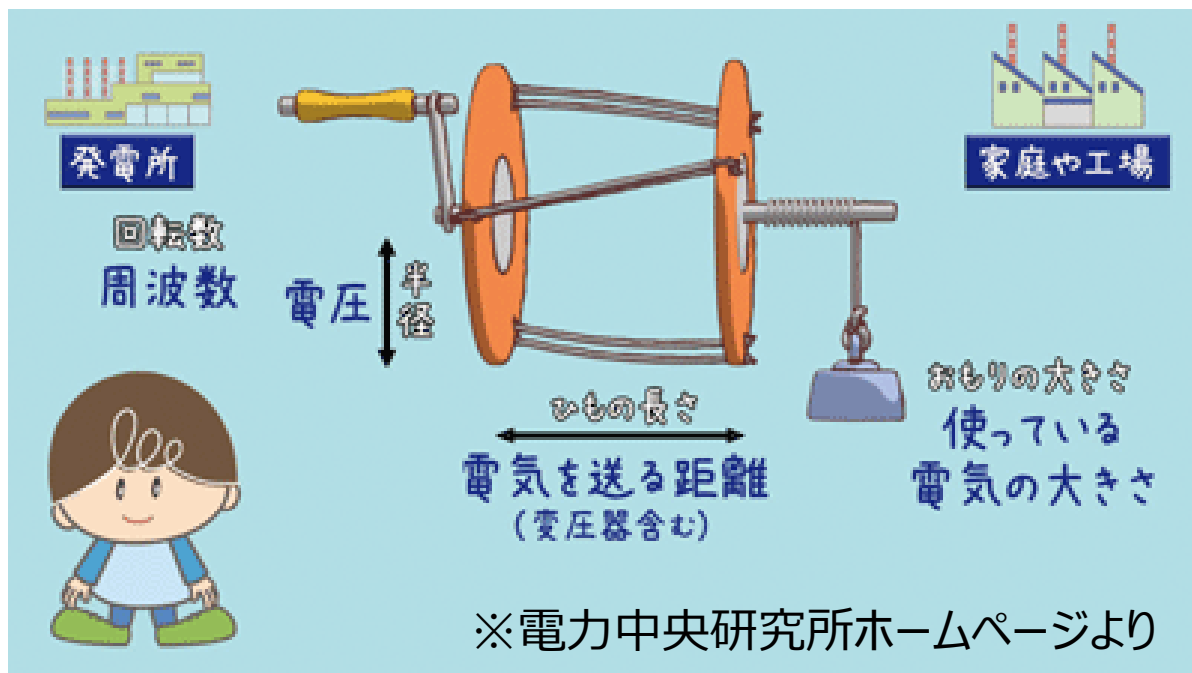
- 我が国では、再生可能エネルギー（**再エネ**）の**主力電源化**に向けた検討や、2050年のカーボンニュートラル実現に向け議論がなされていますが、その中で、**同期電源が持つ慣性力や同期化力が減少した場合の課題**が、従前にも増して注目されています。
- 再エネの導入量は一層の増加が見込まれますが、太陽光発電や風力発電などのインバータ電源（非同期電源）は、これまで電源の太宗を占めていた火力発電等の同期電源とは異なり、一般的に回転機が提供する慣性力や同期化力を保有しません。
- ゴールデンウィークの昼間のように、**需要が低く、再エネ出力が大きい時間帯**には、発電電力（kW）に占める再エネの割合が増え、火力発電等の同期電源の運転台数が減少します。このような状態で、**大規模な電源脱落が発生すると、周波数の低下により連鎖的に電源が脱落し、大規模な停電に至るリスクが高まります。**
- このような事態に至らないように、**一般送配電事業者は、電力系統における異常発生時のシミュレーションを実施し、安定供給に必要な慣性力や同期化力の確認をするとともに、それらを確保するための方策について、電力広域的運営推進機関と連携し検討を進めています。**

これらの課題と対応方策について、本資料にまとめました。



同期電源のイメージ

- 電力系統を流れる交流の電気は、円盤とそれを繋ぐひもによりハンドルを回す力が伝わるイメージに例えられ、安定して電力を送るために、それぞれの要素を適切な大きさに保つ必要があります。



右図において、

- ・ハンドル = 発電機
 - ・おもり = 需要
- とした場合、

安定して電力を送るための要素

➤ 周波数

ハンドルの回転数を一定に保つ必要があります。

➤ 電圧

円盤の半径を一定の大きさに保つ必要があります。

➤ 系統安定度

力を伝えるひもの数やおもりの大きさが突然変動した場合でも、ひもがねじれることがないように、ひもの長さや本数、力の大きさなどを決めておく必要があります。

電力中央研究所公式YouTubeでわかりやすく説明されていますので是非ご覧ください。

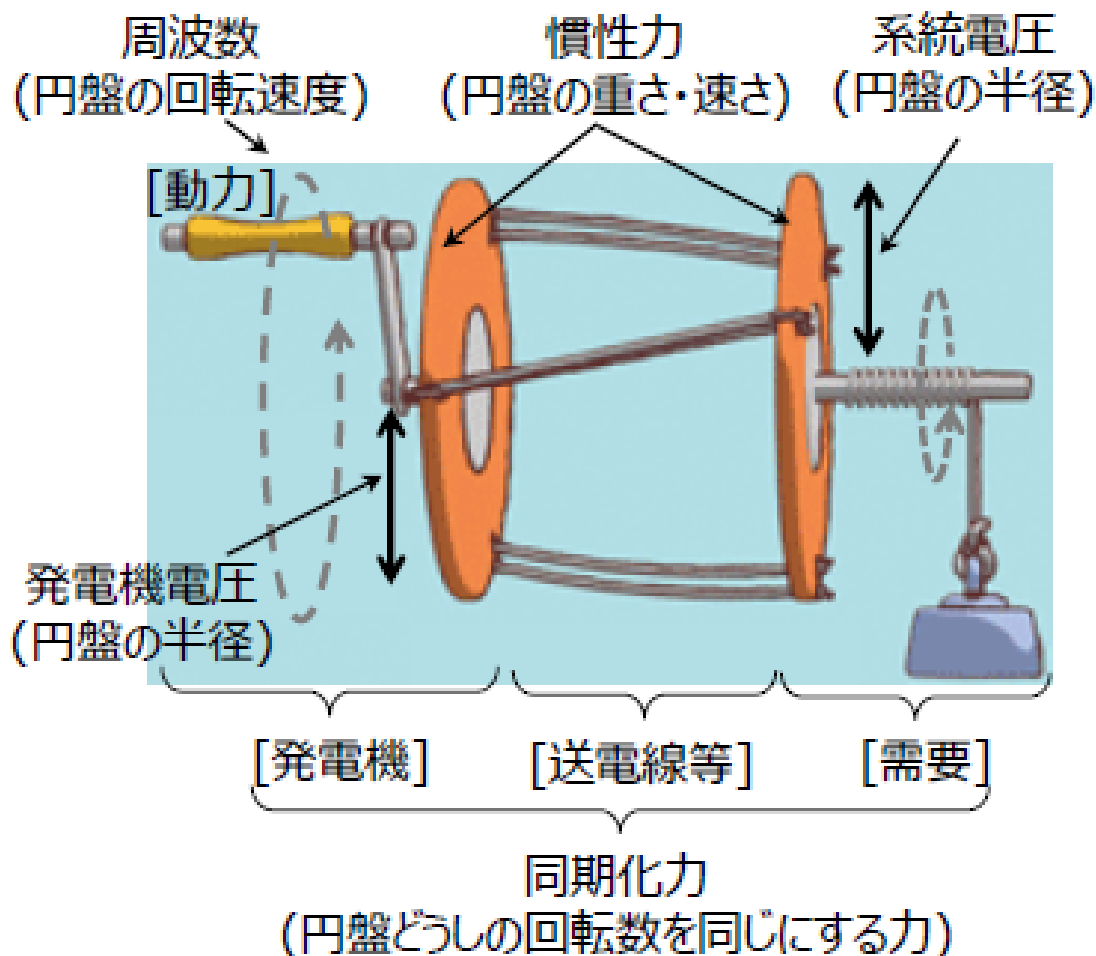
※電力中央研究所公式YouTubeチャンネル

<https://youtu.be/OqVyMDLKOLw>



電力系統における慣性力・同期化力のイメージ

- 同期電源が持つ回転エネルギーは、慣性力や同期化力を保有しており、これらは電源が脱落する事故等が発生した場合でも、安定に電気を送るための大切な要素です。



➤ 慣性力

円盤の重さに相当し、これが重いと、ハンドルを回す力やおもりの大きさが変わっても、一定の間は同じ速度で回り続けようとする力が生じます。

➤ 同期化力

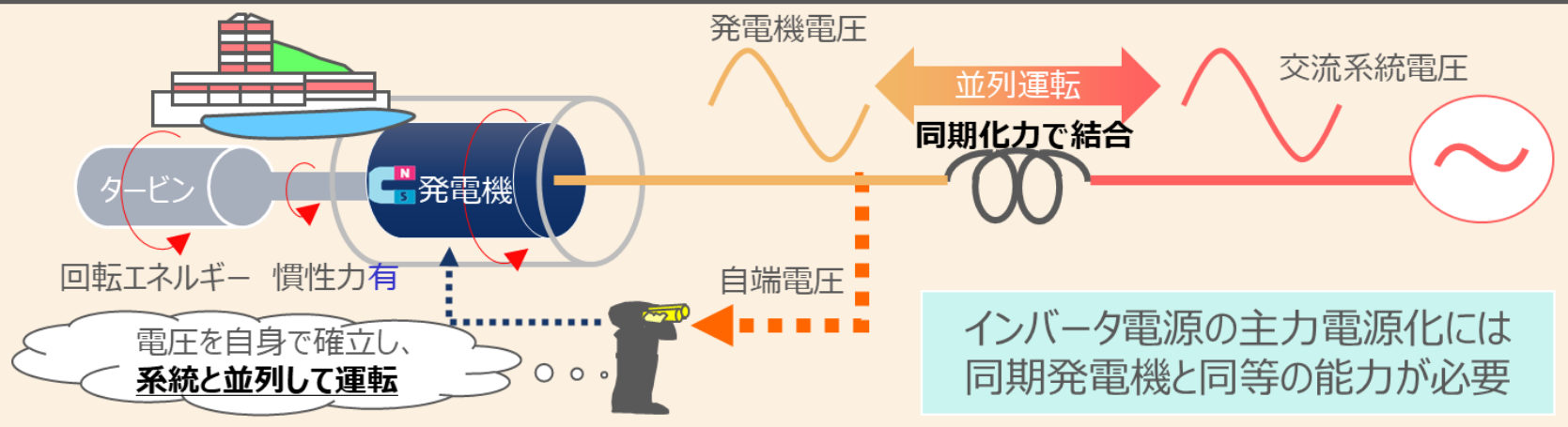
円盤どうしの回転数を同じにする力で、円盤どうしのつながりが強いほど、ハンドルを回す力やおもりの大きさが変わり、片方の円盤の回転数が変わっても同じ回転数に戻る力が働きます。

同期電源とインバータ電源の違い

- 同期電源は慣性力を保有し、同期化力により電力系統と繋がっていますが、**インバータ電源は回転エネルギーを保有しておらず、系統に追従して電気を流す仕組みとなっています。**

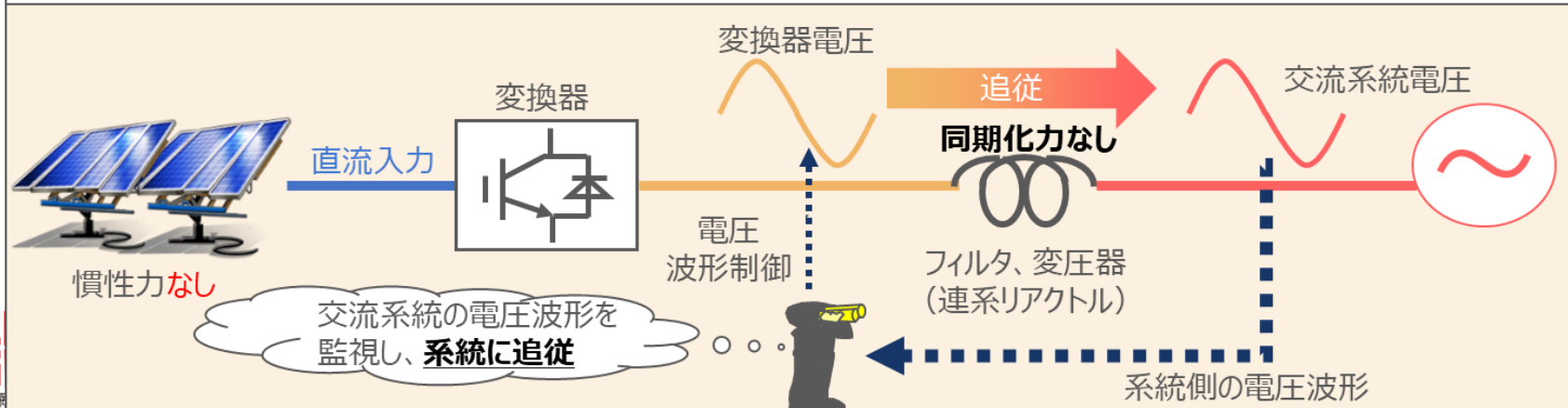
➤ 同期電源

同期電源が電圧・周波数を確立し、同期化力で系統と並列



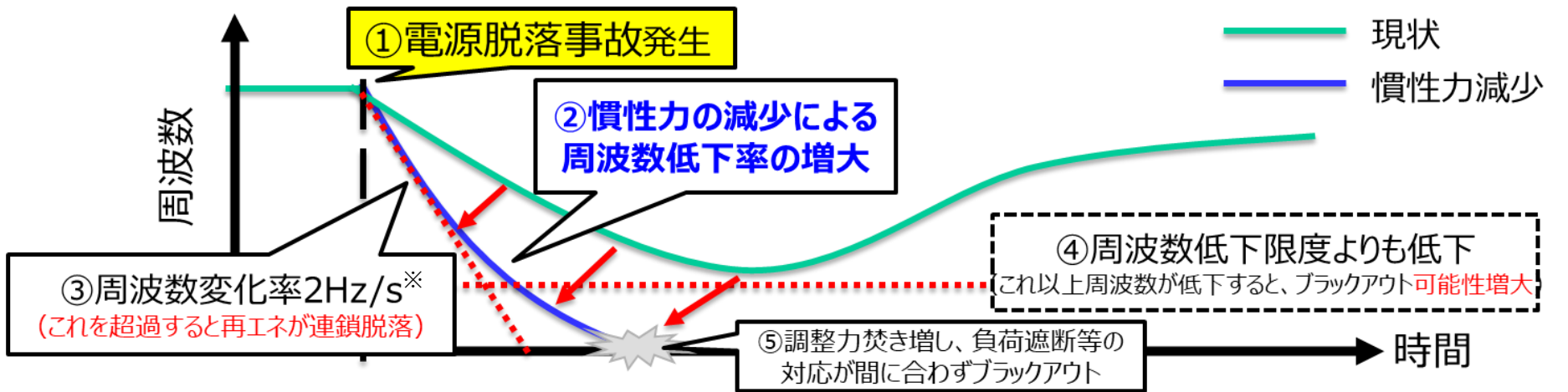
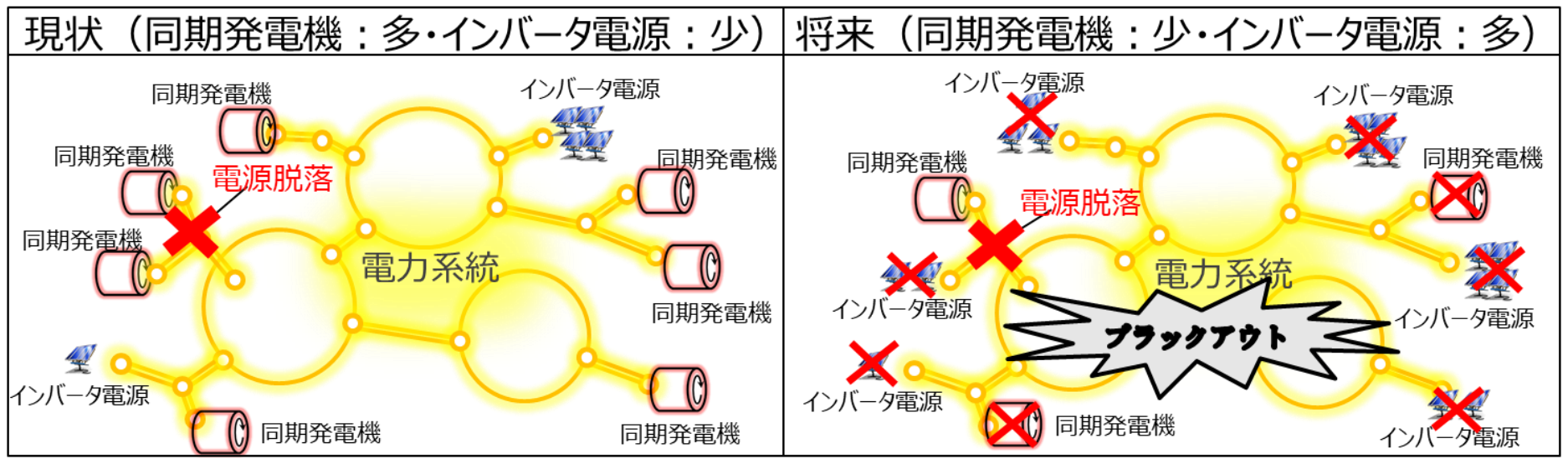
➤ インバータ電源

交流系統電圧波形を監視して系統に追従するように電圧波形制御し、同期化力はない



同期電源が減少した場合に顕在化するリスク

- 送電線の2回線故障時等に、大規模な電源が脱落することがあります。その際、インバータ電源（非同期電源）の比率が高いと、電源が連鎖的に脱落する可能性があります。

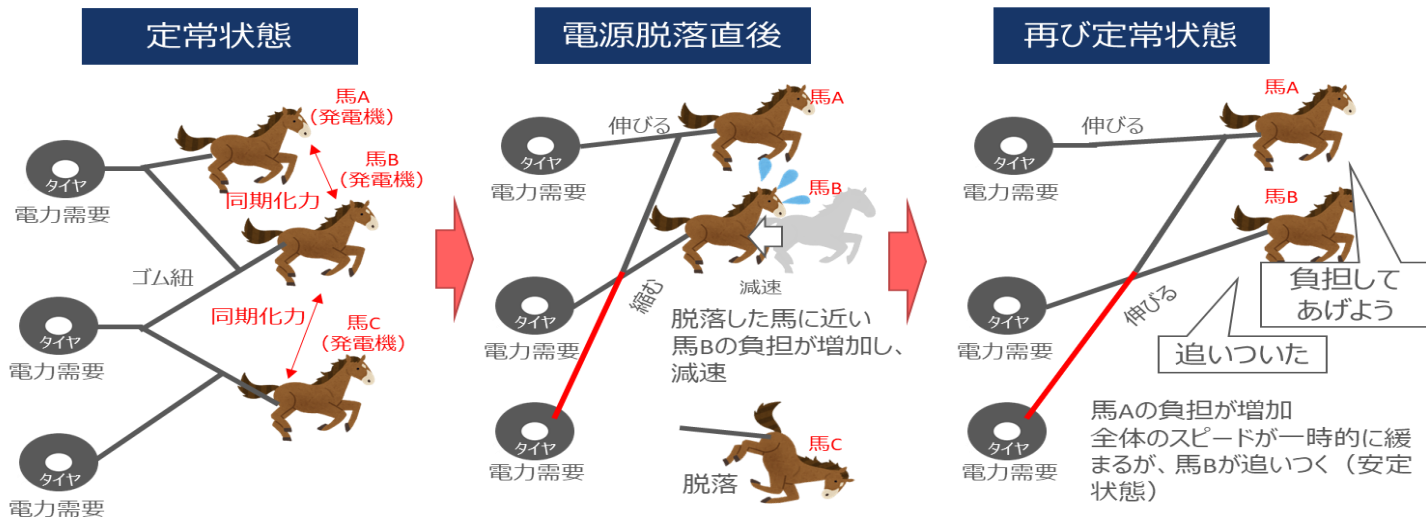


※分散型電源における事故時にも運転を継続するための要件（FRT要件）

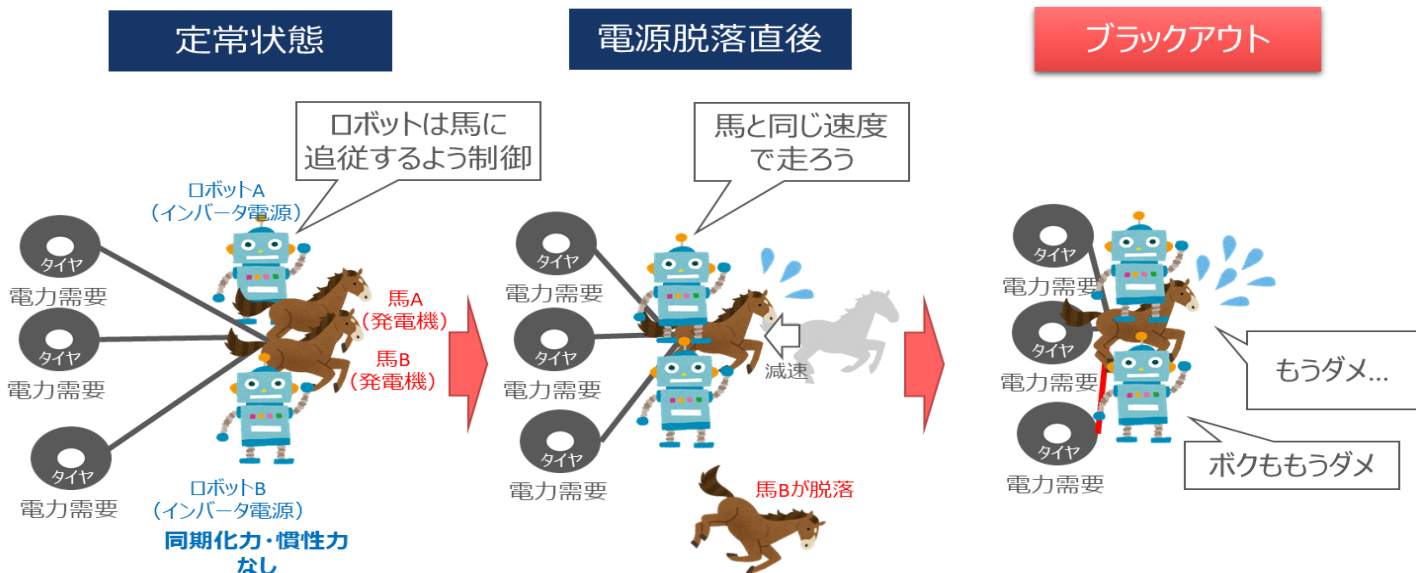
(参考) 別のモノで例えるとこんなイメージ! ?

- 複数の送電線が同時に停止するような場合等に、大規模な電源が脱落することがあります。
- その際、インバータ電源比率が高いと、電源が連鎖的に脱落する可能性があります。

同期電源
のみの
イメージ



インバータ電源
比率が高い
イメージ

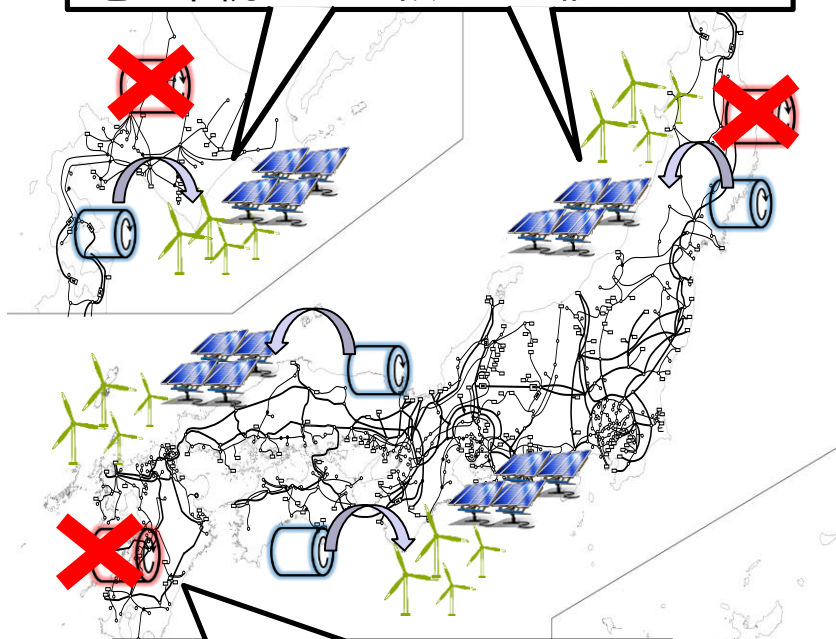


- 過酷な条件を想定してシミュレーションを実施した結果、**系統全体におけるインバータ電源比率が約50%を超えると、電源が連鎖的に脱落する可能性がある**という結果が出ています。

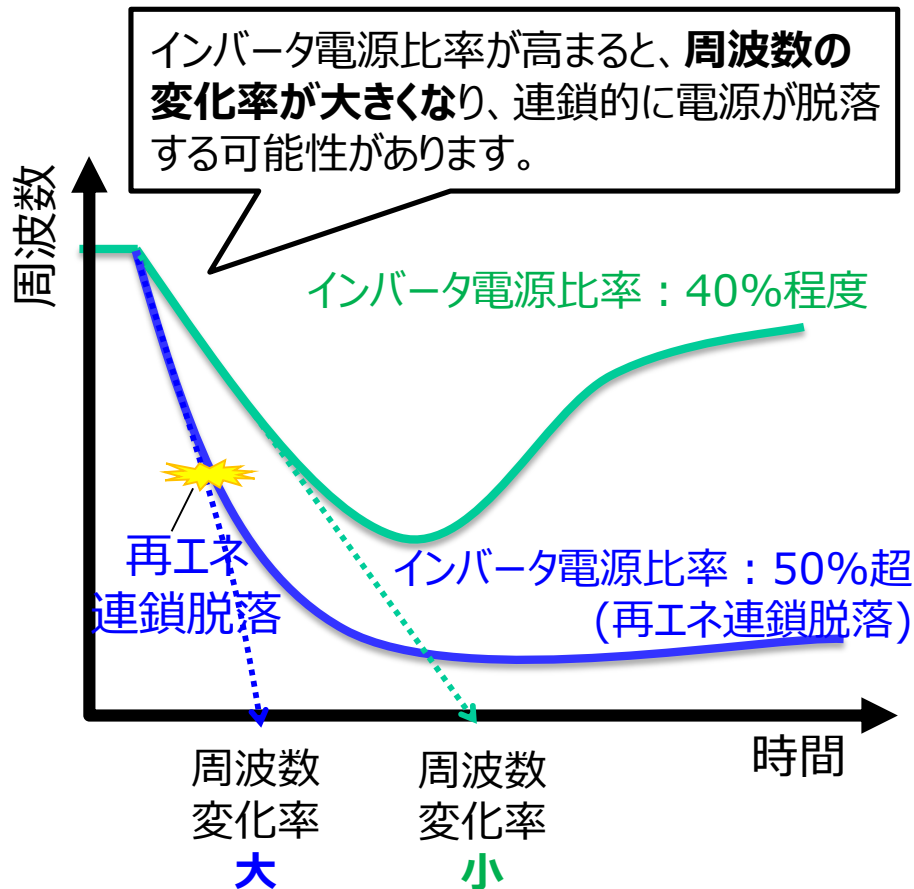
シミュレーションの実施内容

一般送配電事業者は、実際の電力系統でインバータ電源比率が高まった場合の応動について、確認を実施しています。

同期電源をインバータ電源に置き替えた電力系統モデルを仮想的に構築



電源脱落時の周波数の変化をシミュレーションにより確認



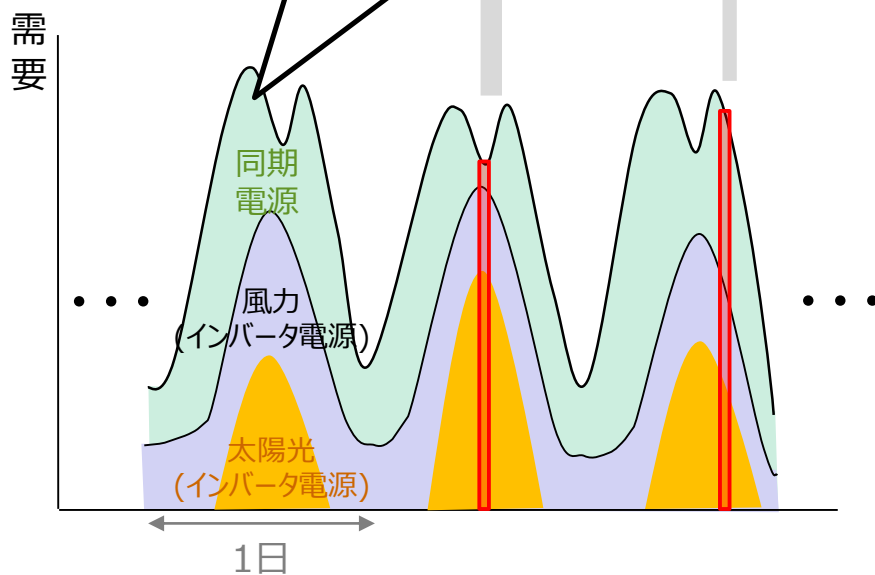
※一定条件下における目安であり、系統の状況により課題が顕在化する比率は変化します。

エネルギーミックスとインバータ電源比率の関係

- エネルギーミックスは年間の電力量の議論がされていますが、大規模な停電を回避するためには、**瞬間的な断面におけるインバータ電源比率にも留意する必要があります。**

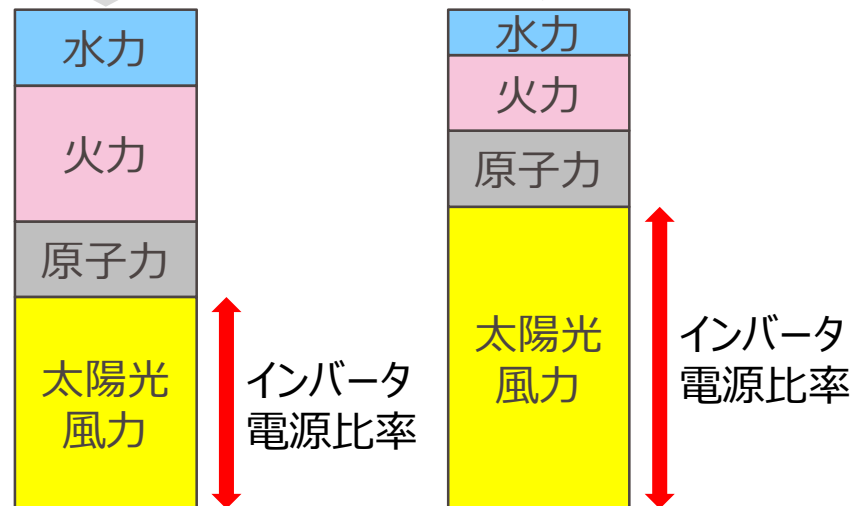
電源種別毎の出力状況

エネルギーミックスは年間の全体の面積(電力量)の議論がされています。



年間を通じた発電出力の変化

ゴールデンウィーク昼間のように、需要が低く再エネの出力が大きい時間帯には、インバータ電源比率が増加します。



瞬間的な断面における発電電力の割合



慣性力・同期化力を改善する対策メニュー例

- 慣性力や同期火力を確保するための具体的な対策について、費用対効果や技術開発面で、克服すべき課題はありますが、再エネの導入拡大に向けて、検討を進めています。

対策メニュー例	慣性力改善	同期化力改善	概要・特徴	課題
同期発電機台数の確保 (マストラン)	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 必要な慣性力に応じて、同期発電機等を優先的に系統並列 	<ul style="list-style-type: none"> 最経済運用とはならない 再エネ抑制につながる可能性
同期調相機	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 無負荷同期電動機であり、慣性力を有するほか、電圧維持も可能 既設発電機を改造して同期調相機として使用する事例もあり 	<ul style="list-style-type: none"> 設置場所の制約大 慣性力が小さく必要台数が増加 運転中のロス発生 回転機のため保守コストが大きい
MGセット	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 再エネ（+蓄電池）と同期電動機を組み合わせ、同期発電機より電力を出力する。 	<ul style="list-style-type: none"> 電動機や発電機、蓄電池など多くの設備が必要 設置および保守のコストが大きい
仮想同期発電機 (疑似慣性)	○	○	<ul style="list-style-type: none"> インバータに同期発電機の動きを再現する制御を組み込み、同期化力を持たせ、蓄電池等と使用することで慣性力相当の出力をさせる。 	<ul style="list-style-type: none"> 慣性力を出力するためにインバータの大容量化や蓄電池等によるエネルギー源の確保が必要。
系統増強	×	○	<ul style="list-style-type: none"> 系統インピーダンスを低減させ、同期化力を改善 	<ul style="list-style-type: none"> 慣性力には効果なし 送電線の増設等、大規模工事が必要でコスト大きい
STATCOM	×	○	<ul style="list-style-type: none"> 電圧を支える（維持）することで同期化力を改善 	<ul style="list-style-type: none"> 慣性力には効果がない

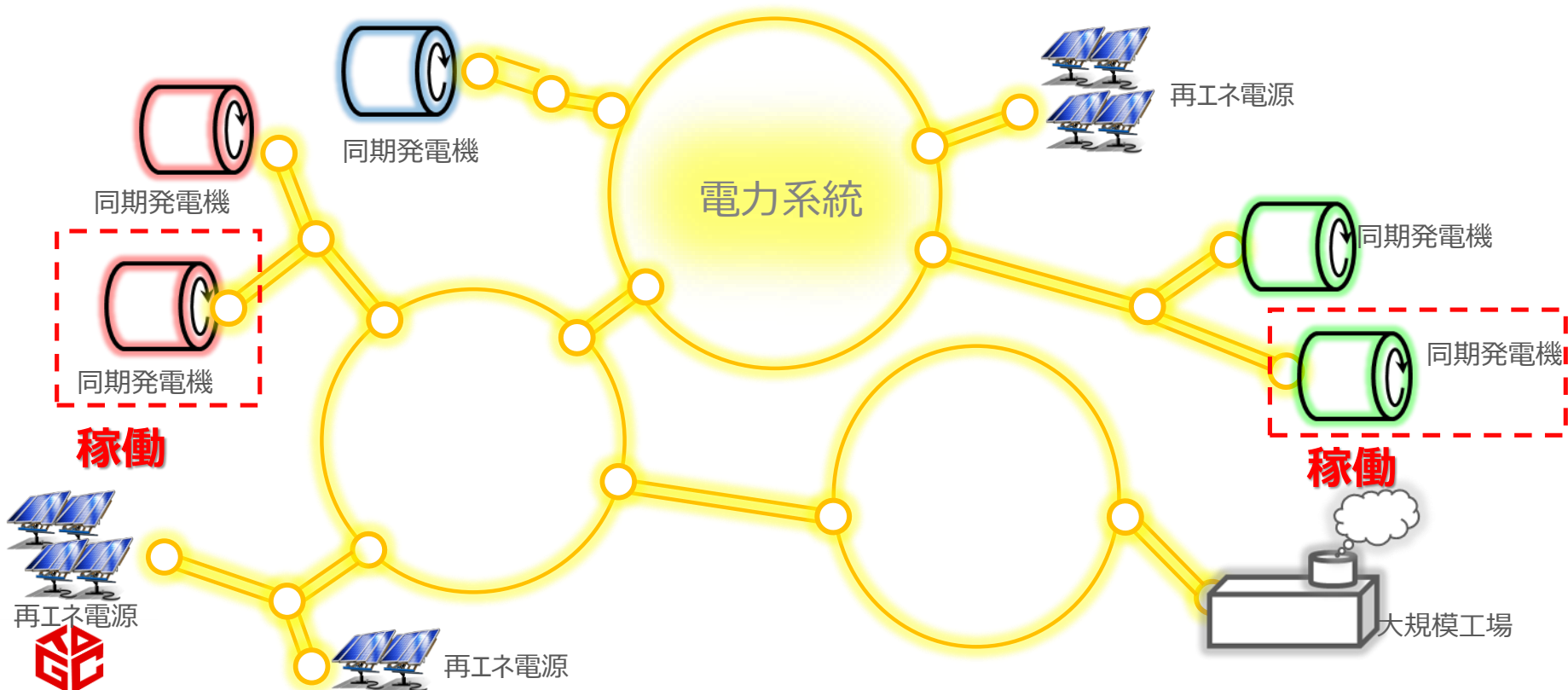
【参考】同期発電機の台数の確保

<特徴>

- 系統が保有すべき慣性力を確保するため、同期発電機を稼働
- 系統に同期発電機が一定数確保されるため、系統の安定性の維持が可能

<課題>

- 同期発電機が系統に並列される（発電出力が発生）ため、再エネ導入量は低下
- 発電機並列のため変動費の安い電源が抑制されると、経済性が低下

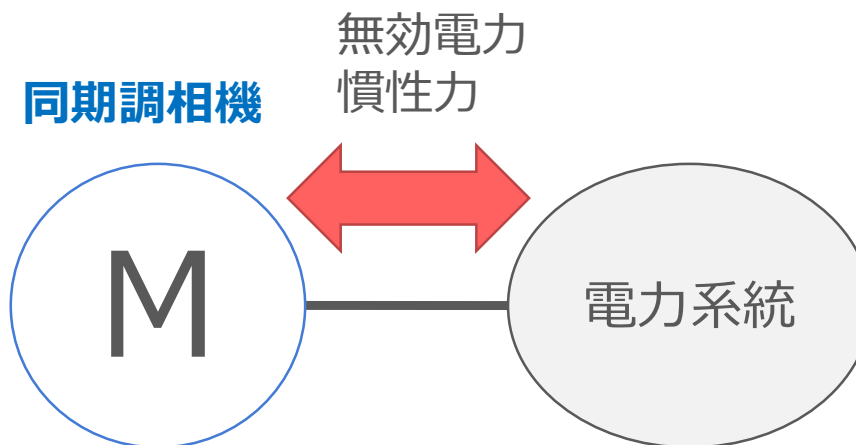


<特徴>

- 無負荷の同期電動機と同じであり、無効電力を調整することで電圧維持が可能
- 同期速度で回転しているため慣性力があり、周波数変化に応じて慣性力を出力
- 火力発電所のタービンを切り離せば同期調相機として使用可能

<課題>

- 回転機のため、保守コストが大きい

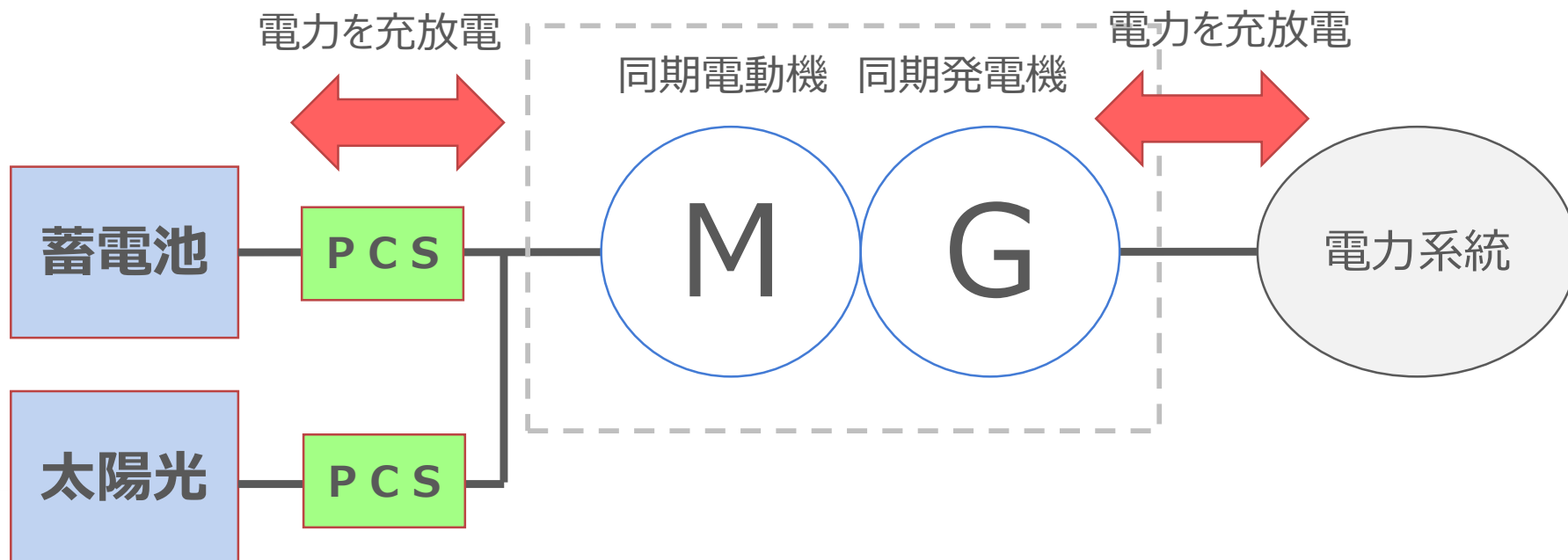


<特徴>

- 再エネ・蓄電池と同期電動機を組み合わせ、同期発電機より系統へ電力を出力する、逆に系統の電力を吸収し充電も可能
- 同期発電機と同様に慣性力を保有しているうえ、蓄電池容量に応じた瞬動予備力の出力も可能

<課題>

- 発電機、モーター蓄電池など多くの設備が必要であり、比較的高額



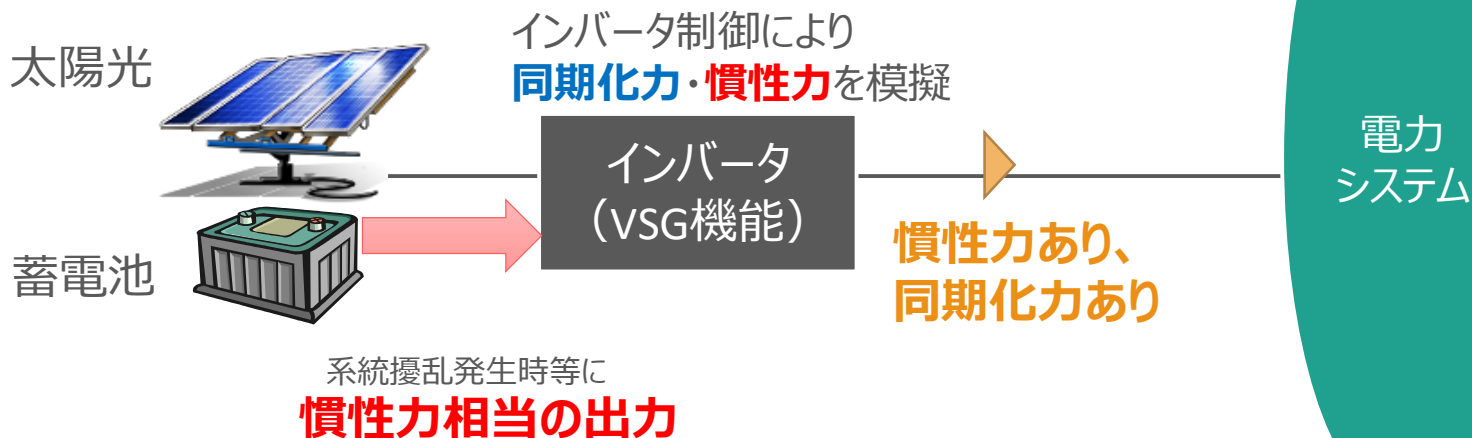
<特徴>

- 発電機の慣性力や同期化力をインバータ電源に持たせるように制御を実施（仮想同期発電機：VSG(Virtual Synchronous Generator)）
- 蓄電池とインバータ制御により同期発電機のように同期化力があり仮想的な慣性力を出力可能

<課題>

- 発電機と同等の特性を持たせるには、大容量のインバータ、蓄電池が必要
- 多量のVSGが系統に導入された際の、制御系の不安定性について懸念あり

VSG+蓄電池



<特徴>

- 系統を増強（多ルート化等）することで、インピーダンス低下
- インピーダンス低下により同期化力は増加する

<課題>

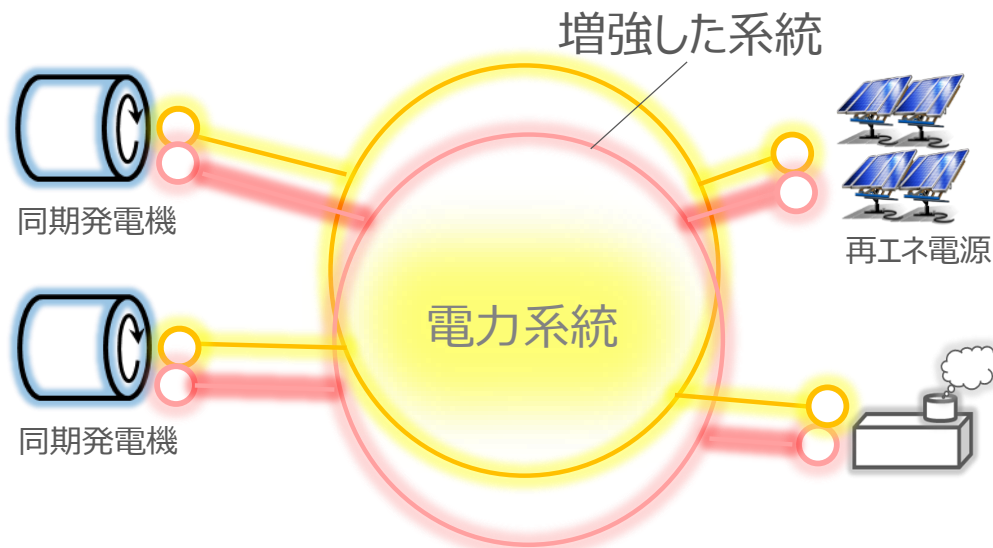
- 送電線工事を伴うため、コストがかかり、工期も長期化
- 慣性力改善効果はなし

$$\text{同期化力} = \frac{V_1 V_2}{X} \cos \delta$$

xが低下することで同期化力は増加

V_1 : 送電端電圧、 V_2 : 受電端電圧
 X : 系統のインピーダンス
 δ : 受電側までの電圧位相差

系統が新規に増設され
インピーダンスが低下
同期化力が増加



インバータ電源は同期化力を持たないため
系統増強による同期化力向上効果はない

<特徴>

- 半導体スイッチによる無効電力制御により電圧を調整
- 電圧を維持することにより、同期化力が向上

<課題>

- 慣性力改善効果はなし

$$\text{同期化力} = \frac{V_1 V_2}{X} \cos \delta$$

vを増加させることで同期化力は増加

V_1 : 送電端電圧、 V_2 : 受電端電圧
 X : 系統のインピーダンス
 δ : 受電側までの電圧位相差

系統の電圧が維持されることで
同期化力が増加

