

地域間連系線の増強に向けた 広域交流ループの適用可能性

2021年3月25日

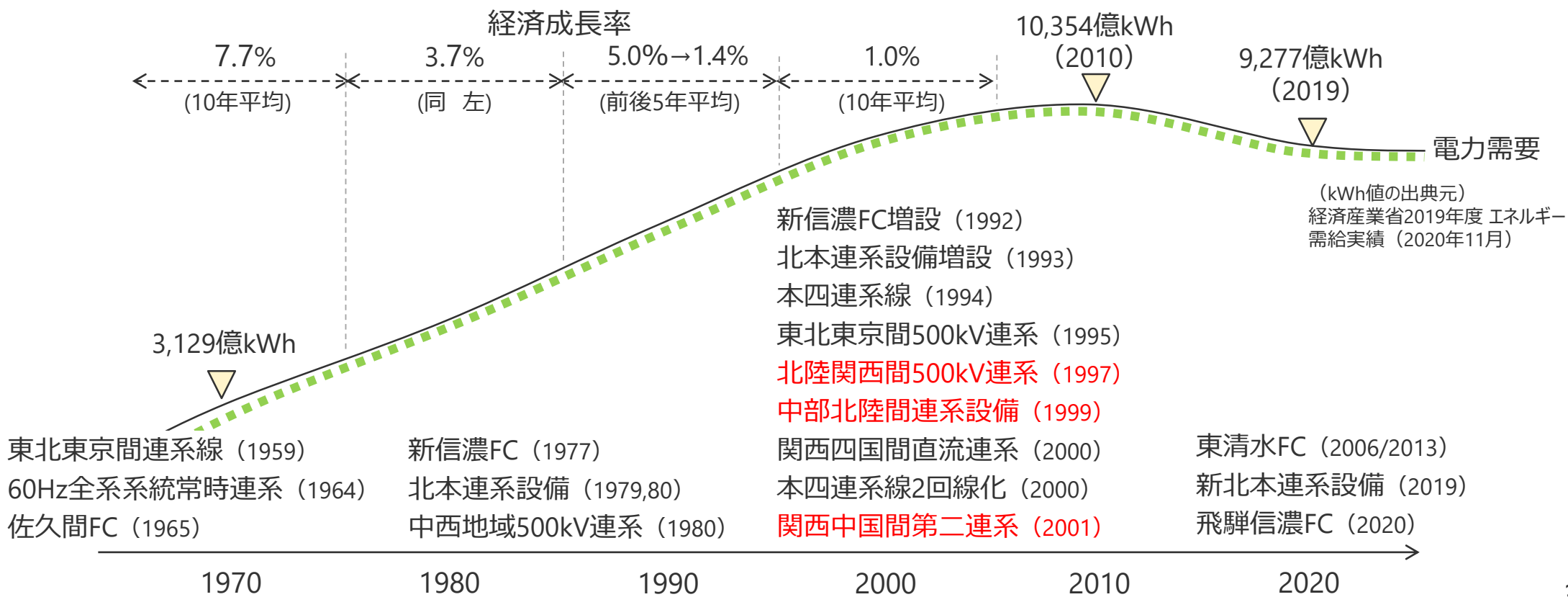
中部電力パワーグリッド株式会社
北陸電力送配電株式会社
関西電力送配電株式会社

00 | はじめに

- マスタープラン検討委員会では、将来の不確実性を踏まえた複数のシナリオを考慮しつつ、増強等の検討が早期に必要な基幹系統に関して1次案で整理することとしている。
- 1次案の策定に向けては、再エネ適地から大消費地まで、大容量の電力を長距離送電する観点から直流送電の検討も視野に入れており、地域間連系線の増強に向けて、最新の技術動向や経済性などを踏まえながら直流か交流かを選択していく方向性が示されている。
- 地域間連系線を交流で新たに増強していく場合、多点連系となるため、既存の連系線を含めた広域的なループ系統が構成される。
- 交流ループ運用は、これまで基幹系統の増強とともに段階的に拡大し、一部の地域間連系線にも適用してきたが、中部・北陸・関西間のように広域に跨る地域間連系線については、建設当時の技術的な経緯から、現状は交流ループとせずに直流設備を介した系統構成となっている。
- 今後、地域間連系線の増強を進めていく中では、広域的な交流ループの系統構成も選択肢に考えられるため、これまでの設備形成の変遷や運用実績を踏まえ、交流ループの特徴と広域ループ運用の実現可能性について、ご説明する。

01 | 地域間連系線の増強に係る変遷

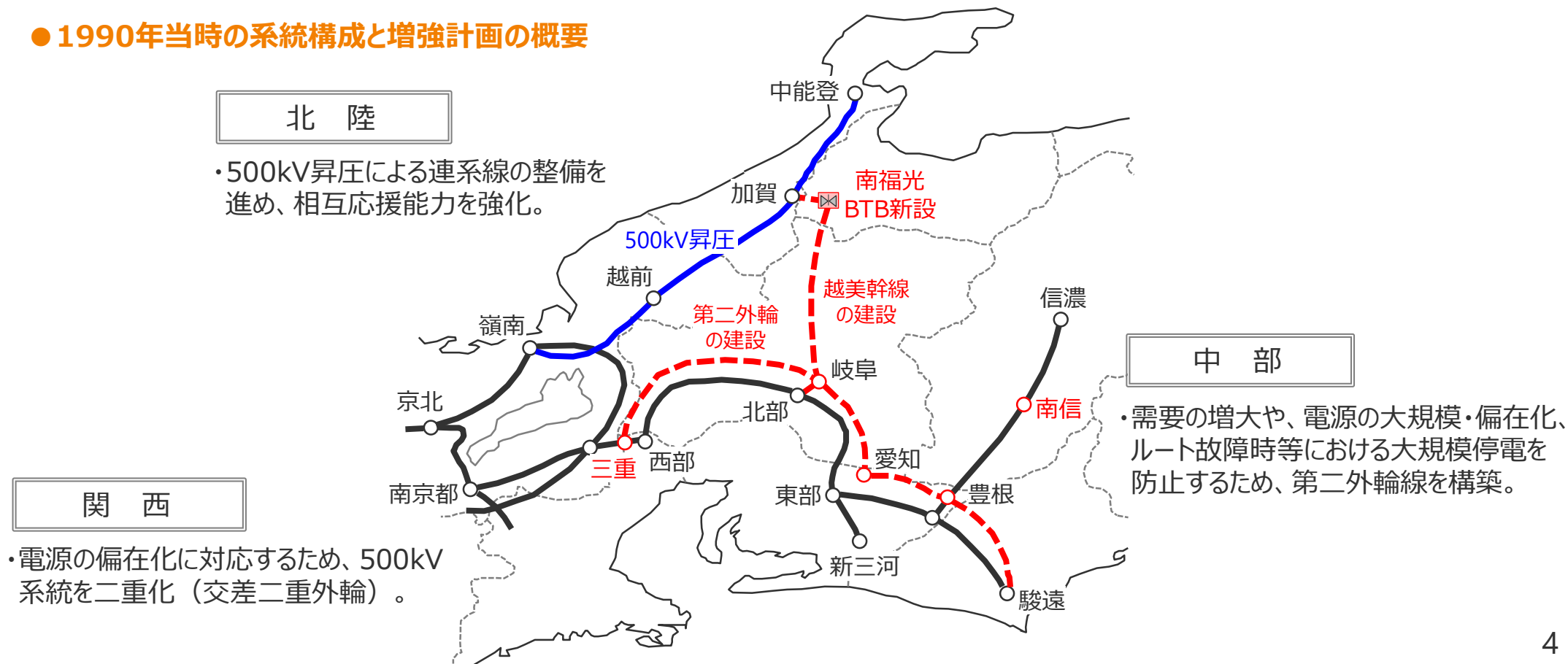
- わが国では、地理的な制約などを踏まえ、需要地近傍での電源開発を基本として地域単位に流通設備との最適化を図り、地域間連系線は広域的波及事故を防止する観点から、当初は補完的に整備してきた。
- その後、1970年から1990年代にかけては好調な経済成長に支えられ電力需要が増大していく中で、広域的かつ大規模な電源開発にも対応するため、順次、必要な地域間連系線を増強してきた。
- 特に1990年から2000年にかけて、現在の形態に至る連系線増強が多く行われ、中西地域（60Hz）では、直流設備を介して接続した広域連系系統や、関西中国間の交流ループ系統が形成されてきた。



01 | 中部北陸間連系設備（南福光BTB）の増強（1990年計画決定）

- 1990年当時、堅調な需要の伸びに加え、中部関西間連系線の潮流が運用限度に達する見通しであったため、中部・北陸間の系統を接続することで連系を強化し、早期に広域運営の拡大を図ることとした。
- また、基幹系統も並行して増強が進められており、例えば中部エリアでは、これまでの放射状系統から第二外輪線の建設により基幹送電線を多重化していく過渡期にあった。
- 当時、広域的な交流ループは、故障電流の増大や過酷故障時の全系波及等の懸念に加え、技術検討が難しく中西地域でループの実績も十分でないため、中部北陸間は直流連系を採用した。

● 1990年当時の系統構成と増強計画の概要

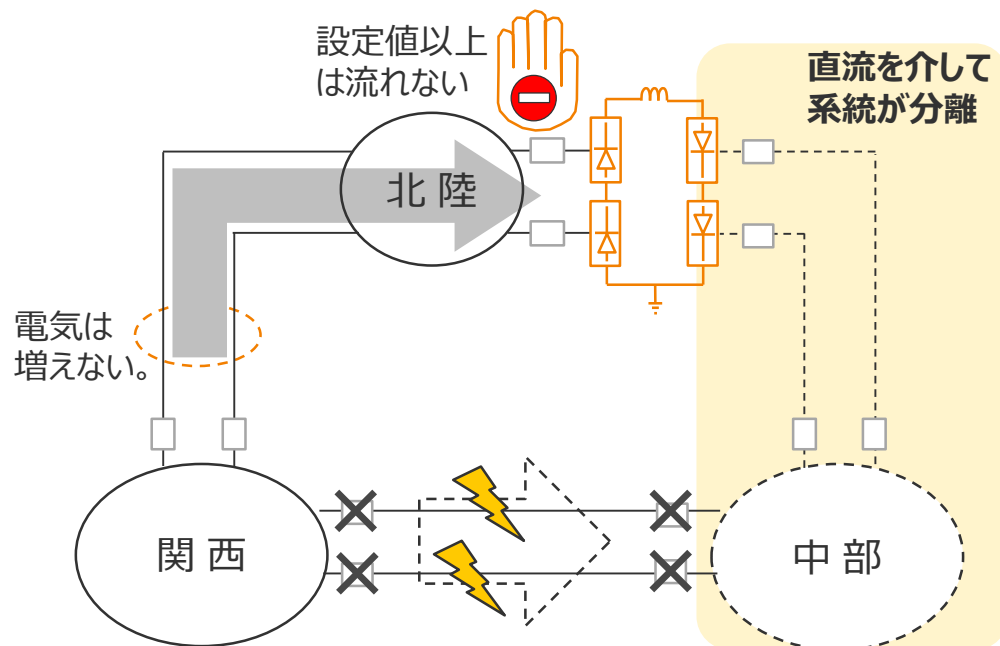


01 | 中部北陸間の連系に直流を採用した経緯

- 交流ループは、短絡容量増加に伴い故障電流が増大することや、故障時に残ルートを介して電気が流れるため、潮流限度を超過し発電機の同期安定性などに影響することが懸念される。他方で、**直流連系は設定した値の電気しか流れないため**、故障の影響を限定できる特徴がある。
- 当時は、諸外国での広域波及による大規模停電の事例もある中で、広域的なループ系統は技術検討が難しく十分な運用実績もなかったため、**ループ適用を段階的に検討するフェーズにあった**。
- 他方、堅調な需要の伸びに対応するため早期に広域運営を図る必要があり、過酷故障時においてもその影響を確実に限定できる、直流連系での増強を安定供給の観点から採用した。

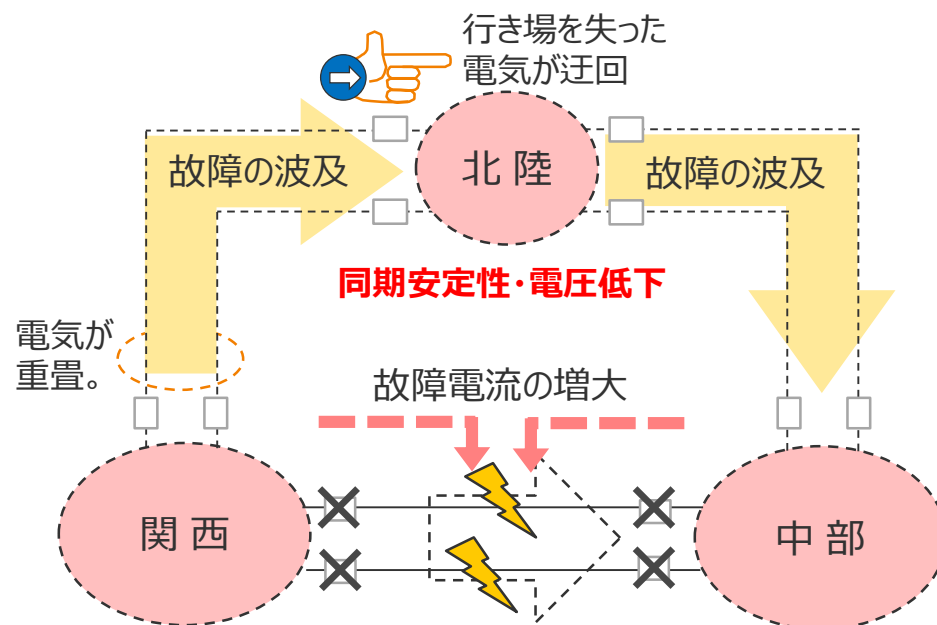
直流連系の特徴

- ・ルート故障等の過酷故障では、直流を介した単独系統が生じるため、周波数対策は必要（影響は限定できる）。



交流連系（ループ）の特徴

- ・系統が分離せずに、残ルートを介して電気が重畳していくため、広域的な同期安定性・電圧低下の確認が必要。



01 | 500kV基幹送電線の多重化に伴うループ運用 (1995年以降)

- 1990年代中頃から後半にかけては、基幹系統が多重化されていくことを踏まえ、ルート故障でも大規模電源が脱落しないよう、需要地近傍の基幹系統において交流ループ運用を順次開始した。
- ループ系統は、ルート故障時においても接続する電源等が脱落しないため、供給信頼度が向上する一方で、故障時に残ルートへ潮流が流れ込むため、周波数対策よりも同期安定性や過負荷対策が必要となる。
- また、重大故障や制御が失敗した場合においても、波及影響を限定するように、保護リレーの高機能化や、オンラインで情報を収集し、同期安定性を維持するため電源を制御する安定化装置を開発・導入するなど、ループ系統の対策を実施したうえで、段階的にループ運用に移行していった。

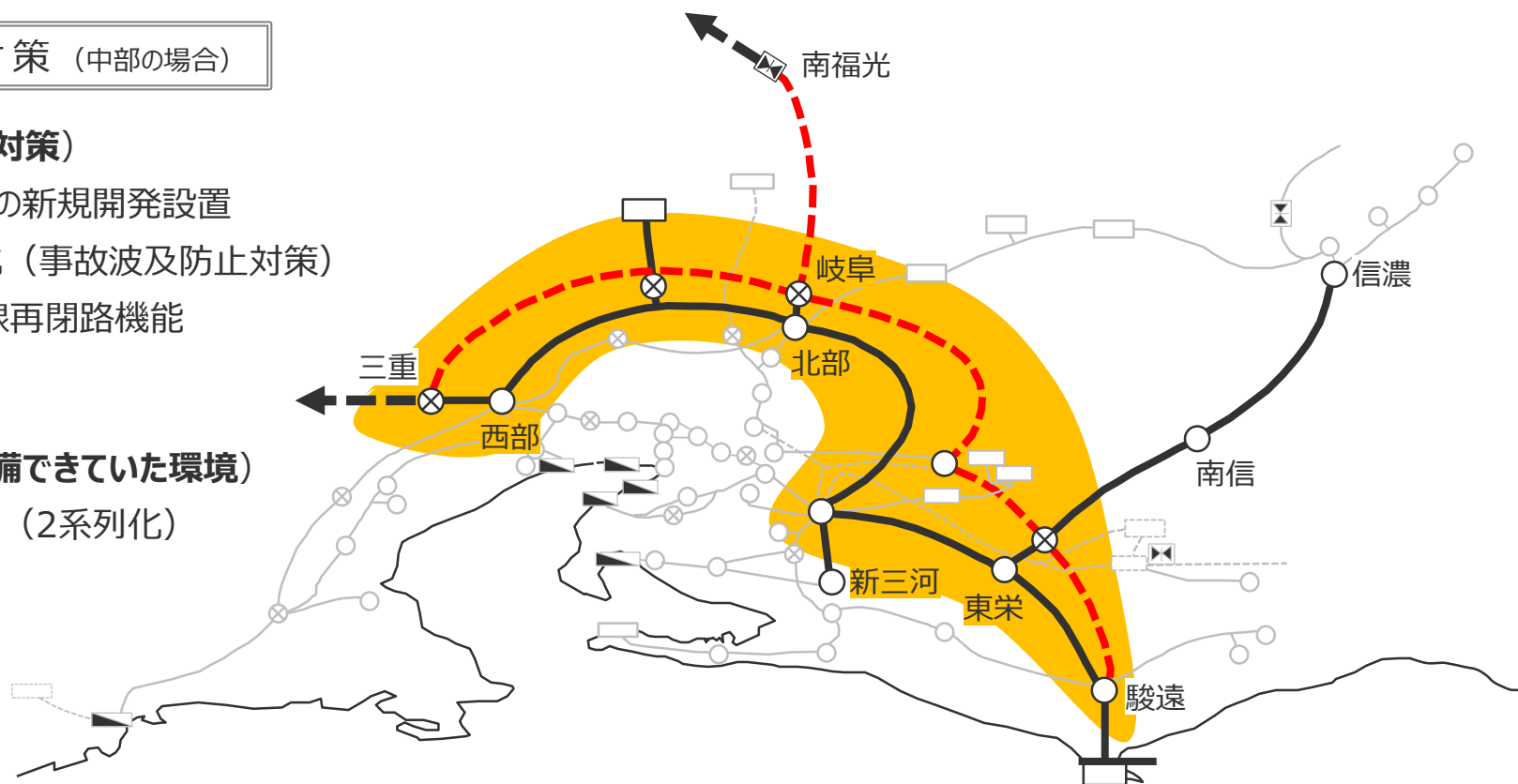
ループ系統への対策 (中部の場合)

(ループ運用に向けた対策)

- ・オンライン安定化装置の新規開発設置
- ・保護リレーの高機能化 (事故波及防止対策)
- ・ルート故障時の送電線再閉路機能

(ループ運用までに整備できていた環境)

- ・保護リレーの高機能化 (2系列化)



01 | 関西中国間連系線の交流ループ運用（2001年以降）

- 2000年頃には、西地域からの融通電力の増大に対応するため、地内基幹系統の増強とともに、**関西中国間連系線の第二ルートを構築した。**
- これを契機に、関西や中国の各基幹系統についても対策を講じた上で**ループ運用に移行**するとともに、関西中国間連系線においては、**地域間連系線で初めて交流ループでの運用を開始した。**
- 現在では、広域機関と一般送配電事業者（中国電力NW）が連携して関西中国間連系線のフェンス潮流を算出し、送電可否判定等を行うことで、広域的な交流ループを管理・運用している。

● 2001年当時の西日本における主要基幹系統図



02 | 広域的な交流ループの運用方法

- 交流ループは、関西中国間連系線に代表されるように、フェンス（潮流の合計値）で管理することが原則となり、ルート故障して残ルートに潮流が流れ込んでも安定的に運用できる値が運用容量となる。
- また、地域間連系線を含むループ系統であっても、管理する範囲が限定された関西中国間連系線の場合は、中国エリアが代表して監視できる一方、広域的なループ系統で分流が複雑に変化し広範囲の監視が必要な場合は、情報を連携して監視していくことが必要となる。

	関西中国間連系線の運用	広域的な交流ループの運用
運用容量	ループ系統内のルート故障を想定し、回り込み潮流が生じても安定運用できる範囲とする。	同 左。
潮流調整	中国エリアで全てのフェンス潮流を監視、各エリアは個別の送電線を監視しながら協調して調整。	情報を連携してフェンス潮流を監視しつつ、確実かつ効率的に潮流調整できる方法を検討。
フェンス管理（イメージ）		

※対称の斜めフェンスも含めて、4つのフェンスを中国エリアで監視

02 | 交流ループシステムにおける事故波及リスクの分析手法

- 交流ループでの系統故障に伴う波及の影響を分析する上では、系統解析（シミュレーション）による検討が必要となるが、ループ系統が広域的になるほど解析範囲が膨大となり、計算パターンが増大する。
- 1990年代までは、大型汎用計算機などによる系統解析が主流であり、システムの巨大化や計算時間・モデル化範囲の限界などから、広域的な系統の模擬や過酷故障の解析は難しい状況にあった。
- その後、計算機の性能向上や解析技術の進歩とともに、ステップ・バイ・ステップで解析対象を拡大してきた結果、近年では、中西地域の基幹系統全体を模擬した同期安定性の解析を十数秒程度で完了できるまでになり、広域的な系統でより精緻かつ多数のパターンの分析評価が可能となっている。

	1960年代	1970年代	1980年代	1990年代	2000年代	2010年代
計算機の発展						
解析手法	交流計算盤による解析 手計算		大型計算機によるデジタル解析 (FACOM)		PCによるデジタル解析 アナログシミュレータ (PSA)	
モデル化範囲	発電機 12 線路 80 ノード 18	発電機 100 線路 200 ノード 300	発電機 200 線路 1200 ノード 1000	発電機 400 線路 1800 ノード 1500	発電機 500 線路 3000 ノード 3500	発電機 1000 線路 9999 ノード 9500
計算時間	数日	1日	数時間	数十分	数分	十数秒

03 | 交流ループの課題に対する状況変化（技術進展）

- 広域的な交流ループは、これまでの技術進展に伴って、主な地域間連系線を建設してきた1990年代に 想定された技術課題や懸念された事項が解消されてきている。
- なお、広域的なループが構成可能な中地域各社は、南福光BTBの制御保護装置が更新時期を迎えつつあることも踏まえ、直流連系から交流ループに変更していくことの技術検討を進めており、その効果と実現性に一定の見通しが得られている。

	主な連系線の新設時における考え方（1990年代）	今後の連系設備増強における考え方（現在）
潮流調整	<ul style="list-style-type: none"> ○ 系統状況により分流の仕方が異なるため、複雑な潮流調整が想定された。 ○ 実需給に与える影響に鑑み、地内系統から段階的に交流ループの運用実績を重ね、ステップ・バイ・ステップでその範囲を拡大していく必要があった。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 地内系統や一部地域間連系線におけるループ系統での運用実績を踏まえ、基本的な考え方は確立されてきた。 ○ 基本的な考え方のもと、ループ系統の構成範囲に応じて、確実かつ効率的な潮流調整の仕組みを検討できる環境が整ってきた。
広範囲の監視制御	<ul style="list-style-type: none"> ○ 保護リレー、中給・基幹給システム、安定化装置などにおいて、交流ループに対応した設計変更が必要となり、膨大な検討が必要であった。 ○ 情報連携や監視制御のためにシステムが複雑化し、運用できないことが懸念された。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ ループ系統にも対応した保護リレーや安定化装置が開発されており、大規模な対策は不要となった。 ○ 調整力の広域調達・運用に伴い、エリアを超えた連携機会が増加しており、システムや実運用での懸念は解消されつつある。
事故波及への対応	<ul style="list-style-type: none"> ○ 遮断器の不動作や制御失敗など、リスクケースの解析を多数のパターンで検証できる環境がなく、定量的な評価が困難であった。 ○ 定量評価が困難な中、リスクケースを想定すると、広範囲に波及防止装置の設置が必要となり、対策が膨大となった。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 解析技術の発展や計算機の性能向上に伴い、多数のパターンを定量的に評価できるようになった。 ○ 定量評価により必要な対策箇所を選定できるため、現実的な安定化対策を計画できるようになった。

04 | まとめ

- 交流ループ運用は、ルート故障時においても系統が分断しないため供給信頼度が向上する一方、残ルートを介した事故波及が懸念されるため、必要な対策を講じながら段階的に拡大してきた※。

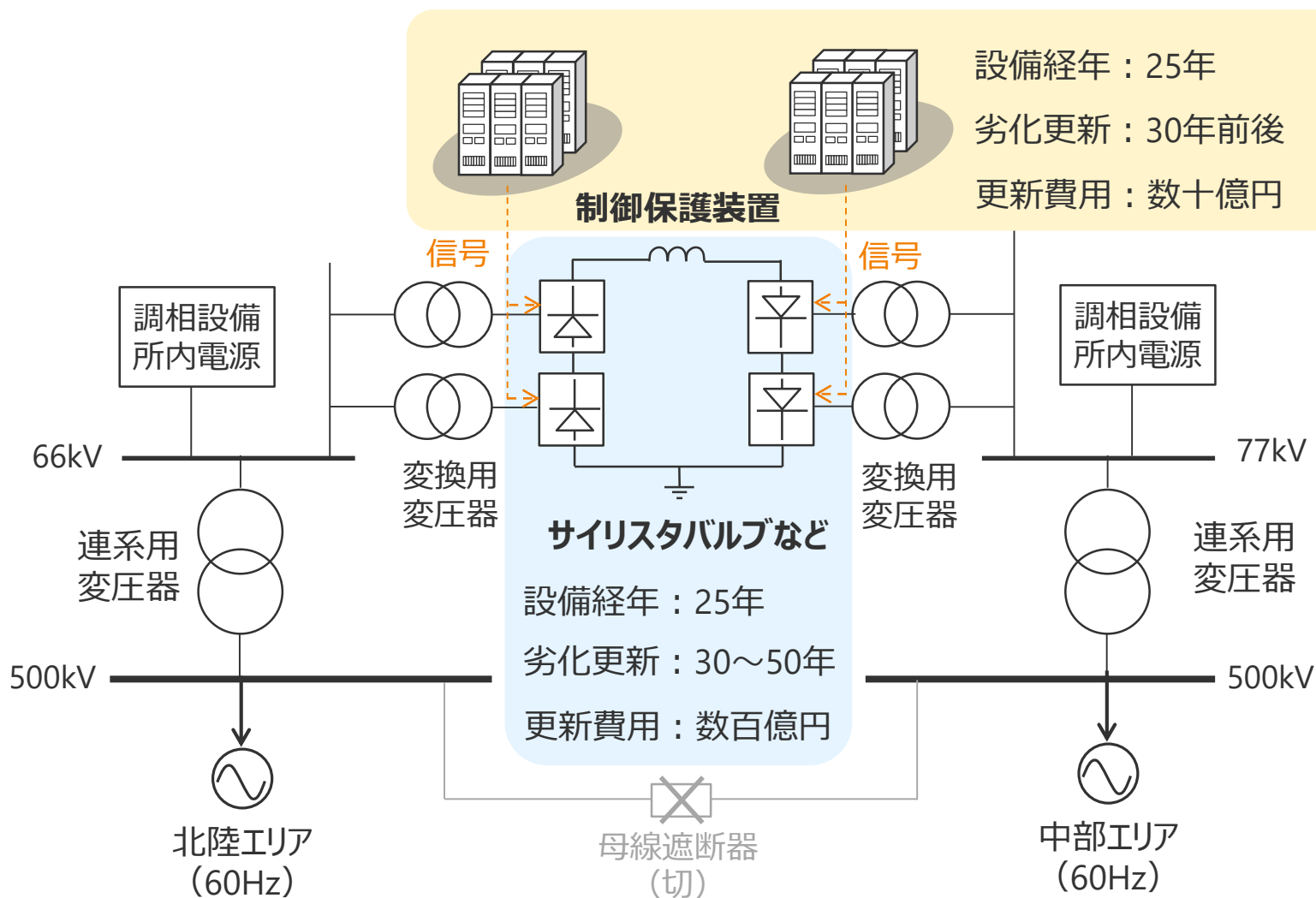
※ 中部における第二外輪線の構築や、関西中国間連系線の交流ループ運用

- 今日においては、計算機能力や系統解析技術の向上とともに、広域的な系統で精緻に多数のパターンを解析できる環境が整い、広域的な交流ループでも、様々なシナリオのもとに対策の検討が可能となっている。このため、必要な対策を講じることで、交流ループも現実的な運用方法の一つになり得ると考えている。
- 建設当時は技術的懸念から直流連系を採用したものについても、系統状況や費用を勘案し、交流連系に変更することでスリム化によるコスト低減を図れるケースもあるため、系統構成の選択肢としてマスタープラン策定に向けた検討を進めていただきたい。

余白

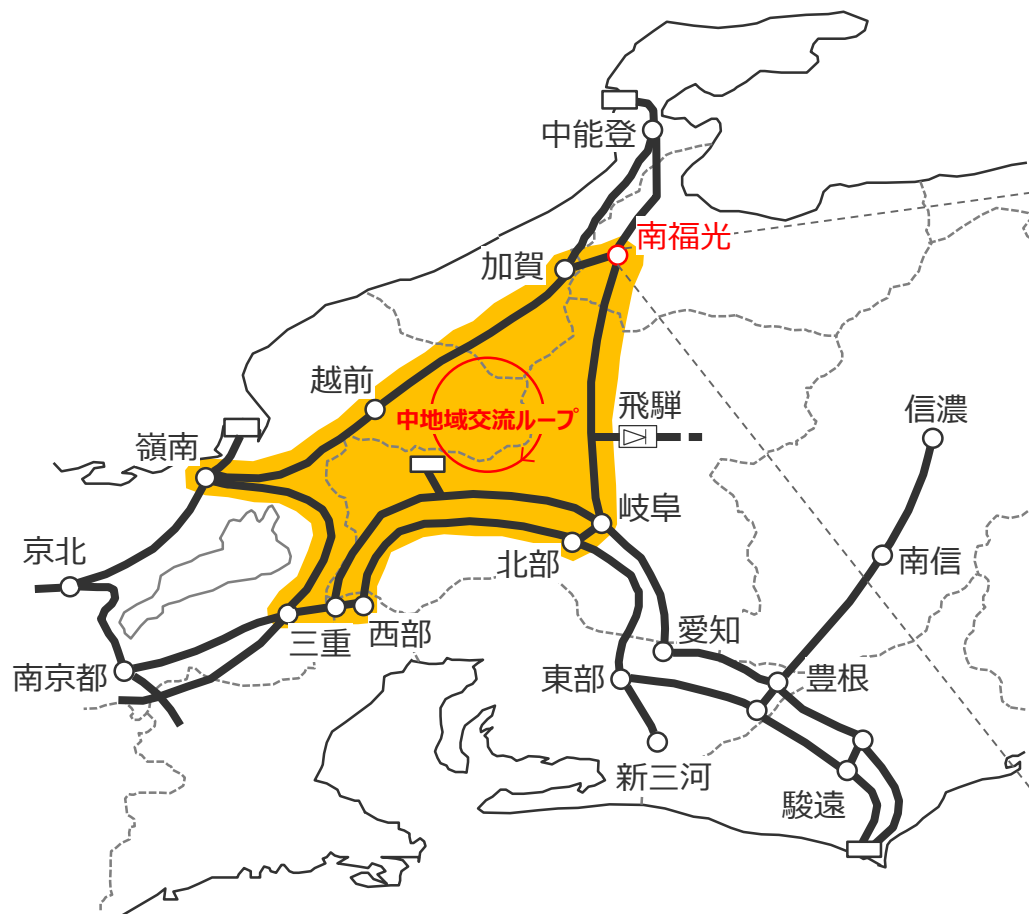
05 | <参考> 南福光BTBの経年設備と更新費用

- 南福光BTBの主な制御保護装置は、1996年製（経年25年）であり、他の直流連系設備と同様に経年更新時期を迎えつつある。これを更新する場合、**更新費用は数十億円程度**となる。
- 交流と直流を変換するサイリスタバルブなど、主要機器の更新時期は30～50年後を想定しており、**更新費用は数百億円規模**となる（至近では1993年に佐久間FC、2009年に新信濃1FCが経年30年前後で更新）。



05 | <参考> 中地域交流ループの概要

- 南福光連系所は、中部と北陸それぞれの500kV母線が母線遮断器を介して接続しており、現状は広域的な交流ループが形成されない作業時や系統故障時などに限り、同遮断器を投入して交流連系する。
- これを常時交流連系し、広域的な交流ループを形成する場合、電磁誘導対策や遮断器の遮断容量増加、システムの改修等が生じるものの、**対策費用は数十億円程度**となる。
- また、地域間連系線においてループ系統が構成されるため、**N-2故障時における供給信頼度の向上や運用容量の増加などの面でメリットがある**。



南福光連系所のスリム化イメージ

