

分散電源の導入と 需要地系統の構築

(財) 電力中央研究所
需要家システム部
田中 和幸

配電系統 → 需要地系統！

1. 電気の流れ

発電所 (原子力・火力・水力) → 送電系統 (500kV / 275kV)

→ 配電系統 (6.6kV / 100V)

2. 従来の配電系統の特徴

→ 電気の流れが一方向 (需要家に向かう方向)

→ 電気の流れや電圧の監視・制御、容易

3. 今後の配電系統 ... 自由化・規制緩和

→ 配電系統内に様々な電源 (太陽光発電、風力発電、燃料電池発電など)

→ 電気の流れが複雑に、予測が困難、電圧も不規則変動の恐れ

4. 新しい配電系統の形態：“需要地系統”の概念

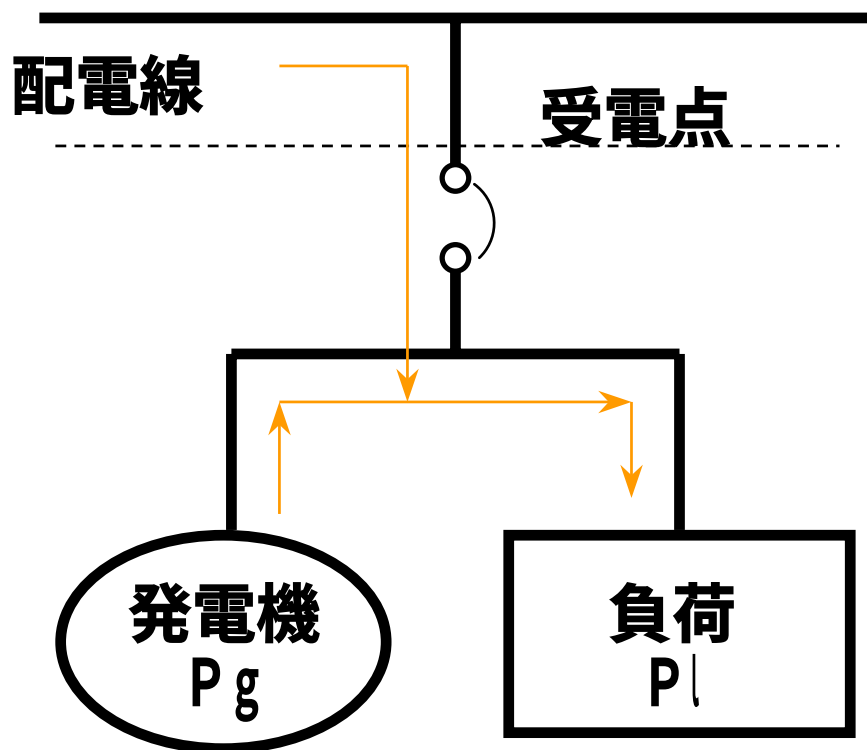
分散型電源の種類と系統連系形態

エネルギー源	発電電力形態		系統連系形態
自然 エネルギー	太陽光発電	直流	インバータ
	風力発電	商用周波数交流	交流発電機
		変動周波数交流	インバータ
	小水力発電	商用周波数交流	交流発電機
燃料投入型 (ガス、石油、 水素)	ディーゼルエンジン、ガスエンジン、ガスタービン	商用周波数交流	交流発電機
		商用周波数交流	交流発電機
	マイクロガスタービン (MGT)	高周波交流	インバータ
		直流	インバータ
未利用エネルギー	廃棄物発電	商用周波数交流	交流発電機

回転機とインバータの連系上の相違

	回転機	インバータ
力率調整能力	同期発電機：あり 誘導発電機：なし	自励式：あり 他励式：なし
高調波発生	なし	あり (対策必要)
起動時突入電流	同期発電機：同期投入 誘導発電機：要対策	自励式：同期投入 他励式：要対策 (ソフトスタート)
系統事故時過電流	定格電流の数倍 (要対策)	定格電流の2倍以下に抑制
保護機能	外部保護継電器必要	内蔵保護機能利用可

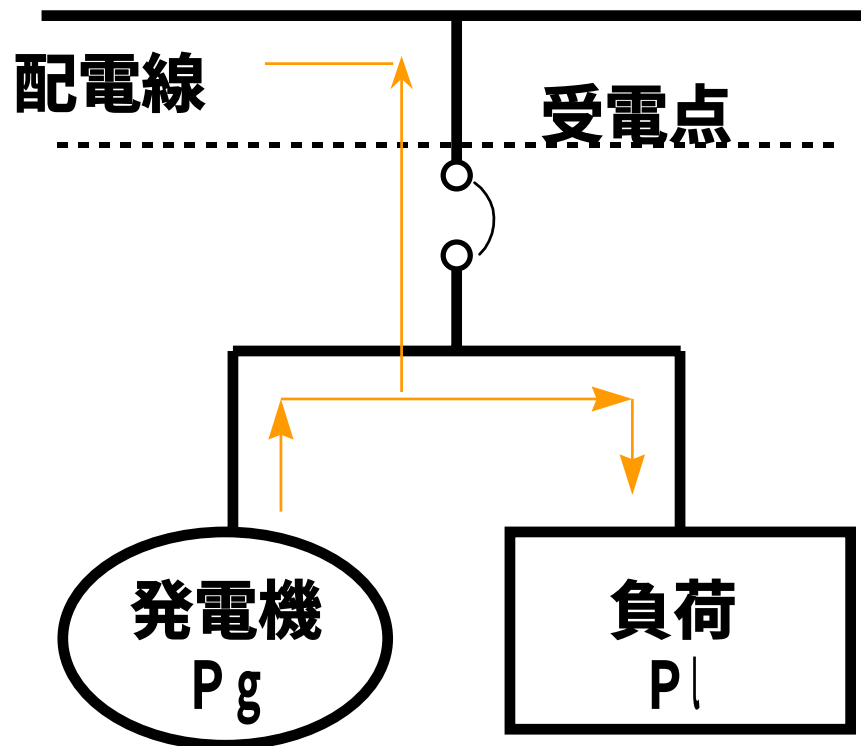
逆潮流なし



常に $P_g < P_l$

○逆電力継電器 (RPR) による保護可能

逆潮流あり



$P_g > P_l$ になり得る

- 逆電力継電器 (RPR) による保護できない
- 逆潮流による電圧上昇

分散型電源の系統連系に関する検討課題

電力系統側お よび分散型電 源を設けしな い家からの要 求	供給信頼度の確保 (保護協調)	・分散型電源の内部事故あるいは故障が電力系統に波及しないこと ・電力系統事故時に分散型電源が連系されていることにより事故の拡大や事故区間以外での電力供給に支障が生じないこと。(短絡容量の増大、配電線過電流継電器の誤動作等)
	電力品質の確保	・分散型電源の連系により生じる配電線の電圧変動を抑制すること。 ・分散型電源からの高調波電流の流出を抑制すること。
	安全の確保と設備保全	・配電系統停止時に分散型電源が単独運転あるいは逆充電することを防止する。
分散型電源側 からの要求	安定運転の確保	・他系統事故、系統切り替え、瞬時電圧低下、負荷急変などに対して運転を継続すること。

分散型電源側での対策

保護協調、安定運転:

- ・電圧、周波数、電流、地絡検出等の保護リレーの設置と整定値の適正化
- ・短絡容量対策 (限流リアクトル等)

電力品質:

- ・電圧変動対策...力率制御、負荷制御
- ・高調波対策...インバータ高調波抑制

安全確保・設備保全:

- ・単独運転防止機能の設置

系統連系技術要件ガイドライン

系統連系ガイドラインで適用される 発電設備

- (1) ディーゼルエンジン、ガスタービン等の回転機を用いた発電機
- (2) 燃料電池、太陽電池等の直流発電設備等を用いた発電設備であ
って、逆変換装置を用いたもの

ただし、回転機を用いていても一度直流等に変換し、最終的に逆変換装置で連系される場合は（２）に対応する。

自家用発電設備（コージェネレーション等）
卸供給事業者、特定電気事業者が所有する発電設備

ガイドラインの連系の区分

連 系 の 区 分	発電設備の種類	1 設置者あたりの電力容量*1	逆潮流有無
低 圧 配 電 線	・ 燃料電池，太陽電池等の直流発電設備で逆変換装置を用いたもの (・ 回転機)	原則として 50 kW未満	有り・無し (無し)
高 圧 配 電 線	・ ディーゼルエンジン，ガスタービン等の回転機を用いたもの	原則として 2,000 kW未満	有り・無し
スポットネットワーク配電線*2		原則として 10,000 kW未満	無 し
特別高圧電線路		規定無し（実質的個別協議） 35,000V以下で配電線扱いの電線路は、高圧配電線に準拠（原則として10,000kW未満）	有り・無し

(注)*1：受電電力容量または系統連系に係わる発電設備の出力容量のうち、いずれか大きい方
 発電設備の出力容量が契約電力に比べて極めて小さい場合には、契約電力における電
 圧の連系区分より下位の電圧の連系区分に準拠できる

*2：スポットネットワーク受電方式で連系する場合

- 1. 保護協調**
- 2. 単独運転の防止**
- 3. 適正電圧の維持**
- 4. 高調波歪の抑制**

保護協調

- 分散型電源内部事故の波及防止

過電流・地絡電流の検出による分散型電源の解列 (過電流・地絡電流リレー)

- 分散型電源故障・制御異常の波及防止

電圧異常 (過電圧、電圧低下) の検出による分散型電源の解列 (過電圧リレー、不足電圧リレーの設置)

- 系統短絡事故時の分散型電源の解列

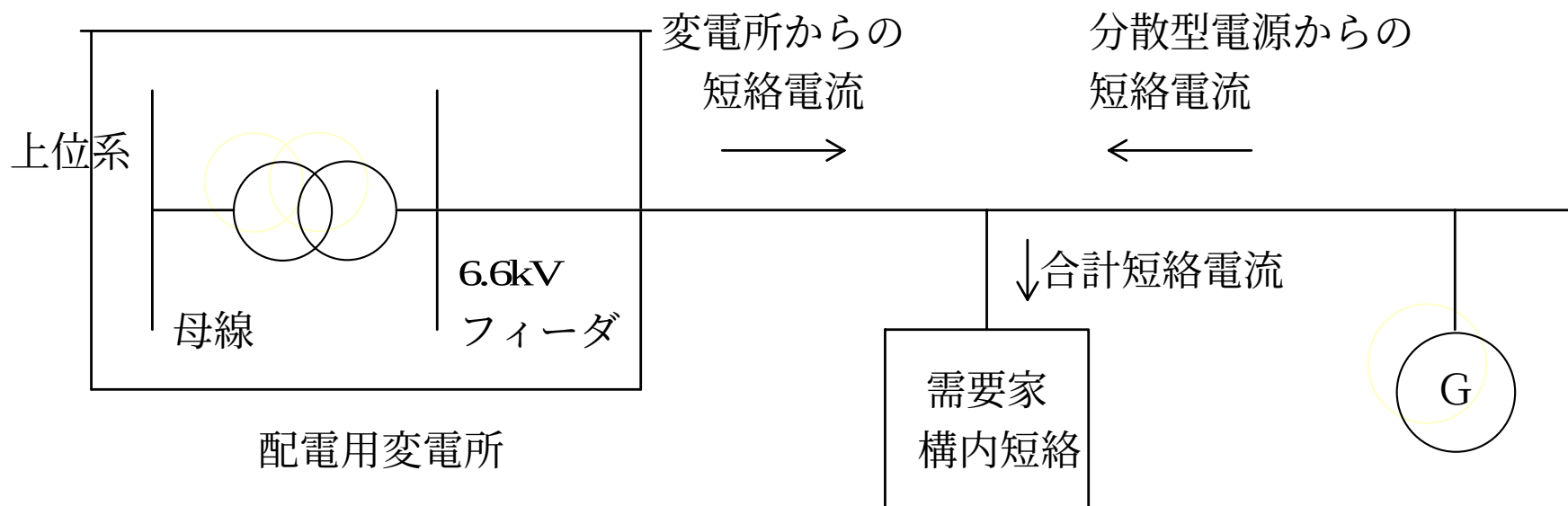
系統短絡事故時に生じる過電流、電圧低下等を検出して分散型電源を解列 (過電流リレー、不足電圧リレー、方向短絡リレー等の設置)

- 高圧配電線地絡事故時の分散型電源の解列

(地絡過電流リレー、地絡過電圧リレーの設置)

- その他：短絡容量抑制、配電線過電流リレーの感度低下・誤検出の防止

短絡容量の制限



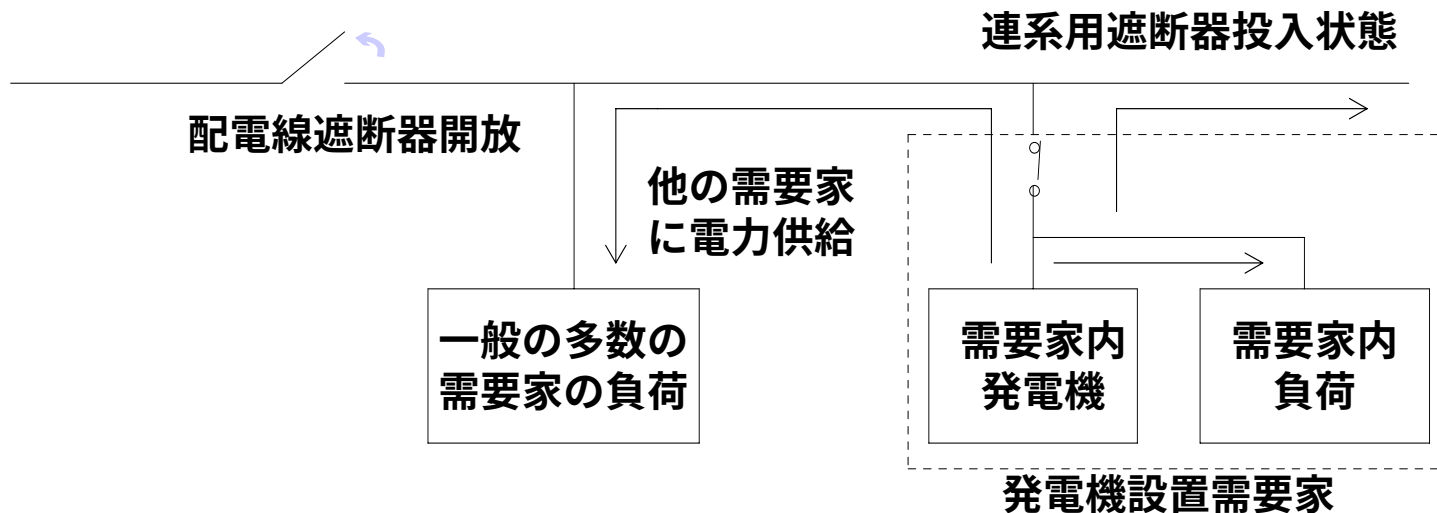
発電設備の連系により系統の短絡容量が他者の遮断器の遮断容量を上回るおそれがあるときは、発電設備の設置者において短絡電流を制限する装置（限流リアクトル等）を設置。これによっても対策できない場合には異なる配電用変電所バンク系統への連系または特別高圧電線路への連系その他の短絡容量対策を講じる。

単独運転現象

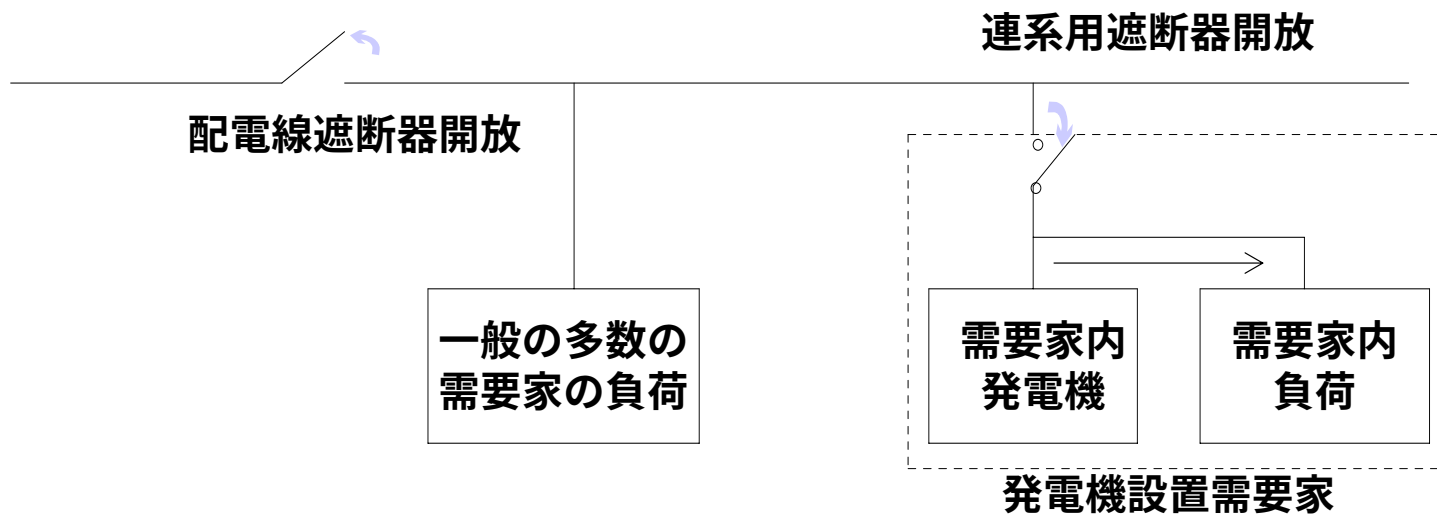
何らかの事故（配電線地絡や、緊急時等）により、配電線遮断器が開放されたとき、分散型電源の出力と配電線内の負荷の大きさがほぼつり合っている状態であると、分散型電源がそのまま運転を継続し、配電線が充電されたままとなる。

（問題点）

- 保安面**：事故の継続による被害拡大、機器損傷、公衆感電
作業者（消防等を含む）感電
- 供給信頼度面**：再閉路、他回線からの逆送電不能による健全区間への送電の遅れ
- その他**：単独運転系統内の電圧・周波数の変動による電力品質悪化、負荷機器の損傷



単独運転状態



自立運転状態

単独運転の防止対策

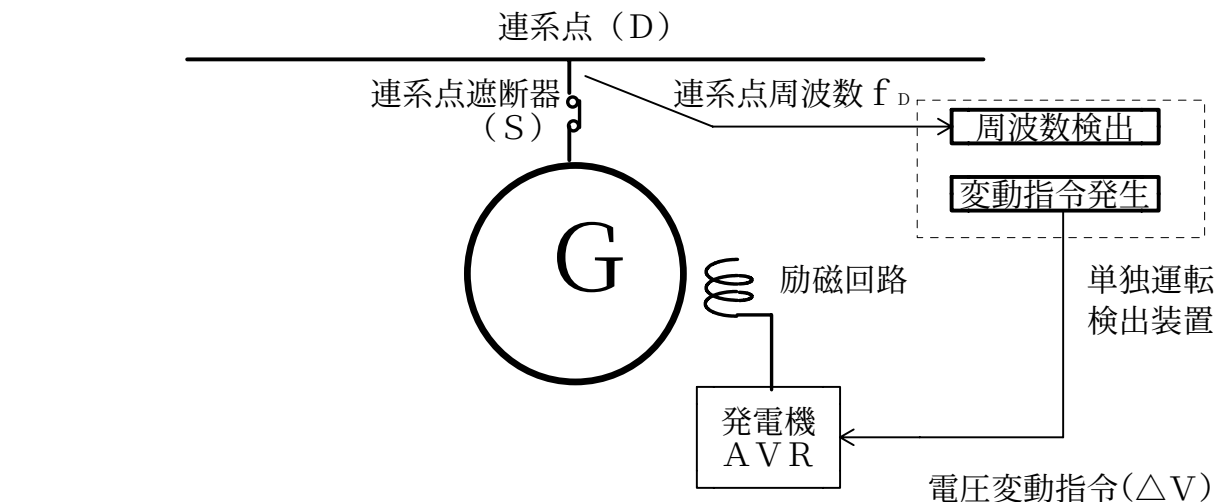
- **転送遮断装置の設置**

(設置費用の問題、 転送遮断先が固定される問題)

- **発電装置への単独運転検出装置の設置**

(逆潮流なし: 逆電力リレー、不足電力リレー
逆潮流あり: 単独運転検出機能)

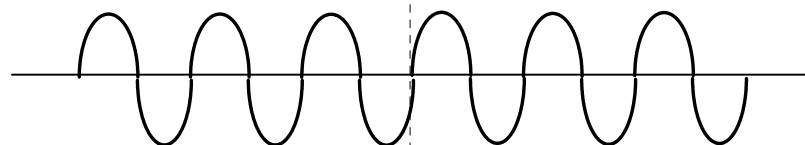
方 式		原 理	入力・検出項目	回転機	インバータ
受 動 方 式	電圧位相跳躍検出	発電出力と負荷の不平衡による電圧位相の急変を検出する	検出：連系点電圧位相変動	○	○
	周波数変化率検出	発電出力と負荷の不平衡による周波数の急変を検出する	検出：連系点周波数変動	○	○
	第三高調波電圧ひずみ検出	電流制御形インバータによる低圧連系の第三高調波電圧の増加を検出する	検出：三次高調波電圧増加	×	○ (低圧)
能 動 方 式	出力電力変動方式	発電出力に周期的な無効電力変動（有効電力変動）を発生させる。周波数変動による電圧変動を検出する。出力電力変動方式（QCモード）も有効。	入力：発電機Aの電圧、電流、電圧位相、電圧変動、周波数変動 検出：連系点電圧変動	○	○
	負荷変動方式	発電設備に並列にインピーダンスを接続し、電流変動を検出する。	入力：インピーダンス挿入 検出：電流分担	○	○
	周波数シフト方式	インバータの周波数を調整し、系統周波数を制御する。	入力：周波数バース 検出：連系点周波数異常	×	○



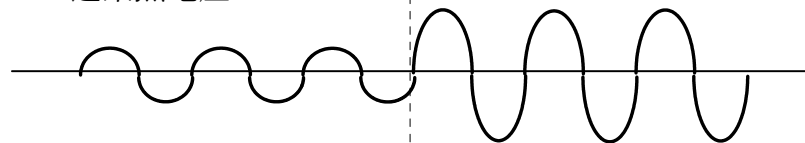
・常時電圧変動を抑制するため、電圧変動指令を、他段階に切り換える方式もある。

・また、系統電圧変動をフィードバックして常時電圧変動を抑制する方式もある。

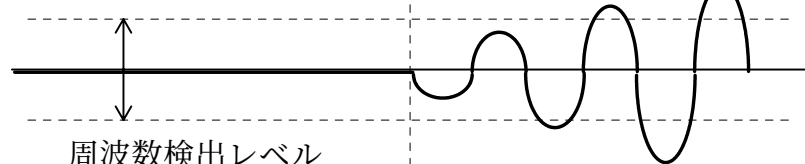
AVR電圧変動指令 (ΔV) (周期1~10秒)



連系点電圧 V_D



連系点周波数 f_D



連系運転 ← → 単独運転

単独運転発生

適用上の考慮点

- (1) 連系運転時の配電線電圧変動への影響が許容範囲内であること
- (2) 単独運転時の周波数変動が十分大きく、配電線再閉路時間以内に単独運転検出できること

無効電力変動方式の原理

電圧変動

- ・ 常時電圧変動

分散型電源の運転・停止に伴う配電線電圧の変動 (分散型電源解列による電圧低下、分散型電源からの逆潮流による配電線電圧上昇)

- ・ 瞬時電圧変動

分散型電源の連系並列時の突入電流等による電圧低下、発電機の乱調による電圧変動、出力変動によるフリッカ

常時電圧変動許容範囲

- **低圧配電系統**

電灯負荷 (100V) : 101 ± 6 V

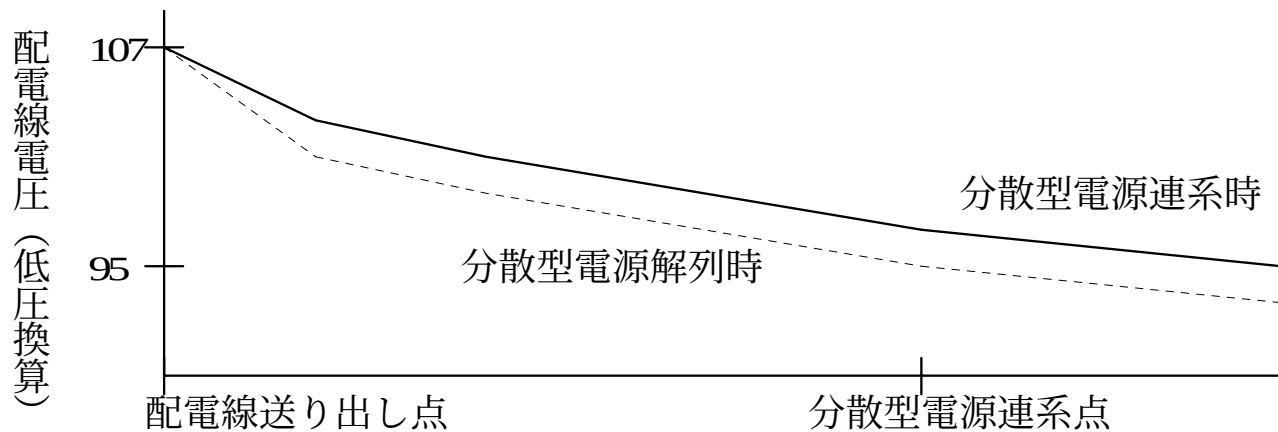
動力負荷 (200V) : 202 ± 20 V

- **高圧配電系統**

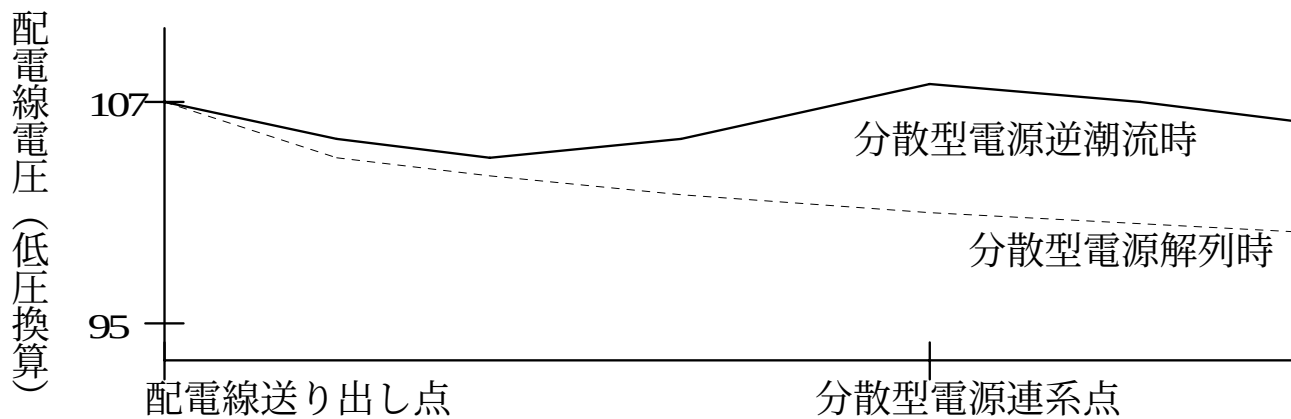
低圧配電系統の電圧を保つ範囲

- **特別高圧系統**

常時電圧を適正に保つ範囲 (1～2%)



逆潮流無しのときの分散型電源解列による配電線電圧低下



分散型電源からの逆潮流による配電線電圧上昇

常時電圧変動対策

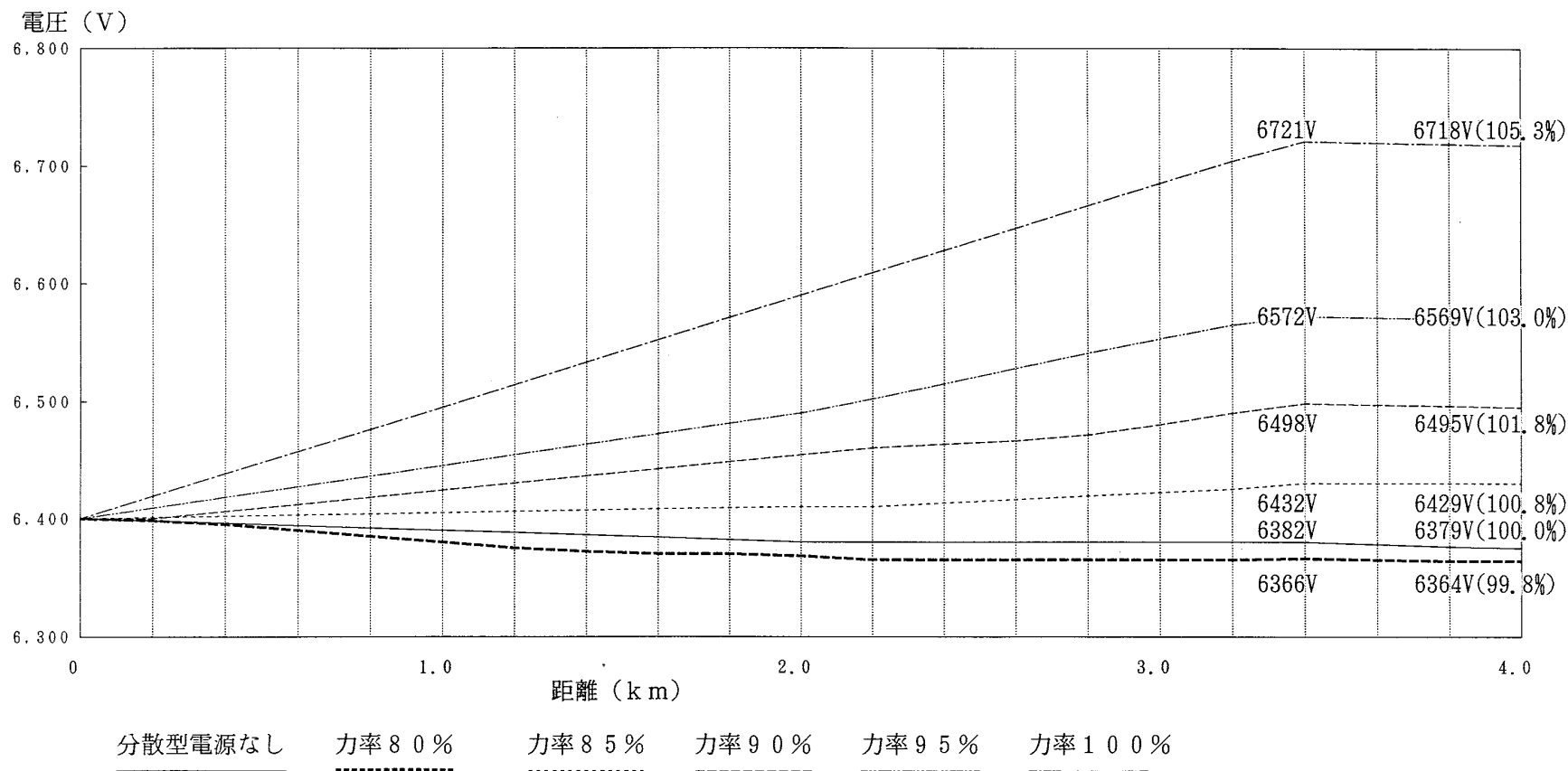
- ・ 発電機解列による電圧低下への対策

発電機出力分に見合った負荷の制限

- ・ 逆潮流による電圧上昇への対策

発電機、あるいは需要家力率改善コンデンサ制御等を用いた無効電力調整による電圧制御（無効電力潮流の増加による損失増加の問題は残る）、出力抑制

無効電力制御による逆潮流時電圧上昇の抑制



住宅系統、軽負荷時、発電設備フィード容量相当末端近傍設置

瞬時電圧変動許容範囲

- 低圧配電系統、高圧配電系統：
常時電圧の10%以内目安
- 特別高圧系統
常時電圧の2%以下目安

瞬時電圧変動対策

- 発電機の同期投入 (同期機・自励インバータ)
- 突入電流対策 (誘導機)
限流リアクトル、サイリスタ始動装置

今後の課題

- 回転機発電機の単独運転検出装置の評価**
(能動方式の系統に与える影響の評価、性能評価手法の確立)
→低圧系統への回転機逆潮流有り連系
- 多数の分散型電源の導入に対する対応**
 - ・配電線電圧管理・負荷管理等の運用面での問題点
 - ・保護装置の安全性・信頼性評価
 - ・多数台連系時の単独運転検出装置の有効性評価
 - ・風力発電も含めた発電機の単独運転防止
- 分散型電源の有効活用方策の検討**

電中研における 需要地系統の研究について

背 景

- 環境問題などの社会ニーズや、経済性などの消費者ニーズにより、21世紀中葉に向けて**分散型電源**が大量に普及することが予想。
- 配電系統を中心に、**電力品質、設備計画・運用、保護・保安面**に問題の発生する可能性あり。

目 的

1.配電系統を中心に、分散型電源導入により問題となる可能性のある**基本現象**と、問題回避のための**対策方法**について実験的に検証。

⇒ 将来、各電力会社で生じうるであろう類似課題の解決に資する**基本的指針**を提供。

2.上記に関連する電中開発意研究（=**需要地系統の研究**）を実施。

- ・ **ループコントローラ**（電力潮流制御による配電線の有効活用）
- ・ **需給インターフェイス**（需要家サービス＋電力品質維持）
- ・ **新しい配電系統制御**（分散電源を含む自律分散型運用・制御手法）

需要サイドの2010年度新エネルギー導入見通し

(出典：総合エネ調査会新エネ部会資料2001年2月27日)

種 類	導入量	内 訳
太陽光 発電	482万kW	住宅用80%、公共施設・オフィスビル・ その他20%
コージェネ	1000万kW	民生および産業用 (注)総合エネ調査会需給部会資料1998年)
燃料電池	220万kW	りん酸形3%、固体高分子形95%、 その他2%
廃棄物発電	417万kW	一般廃棄物50%、産業廃棄物50%
風力発電	300万kW	設置可能面積197平方kmに約80% の導入を想定

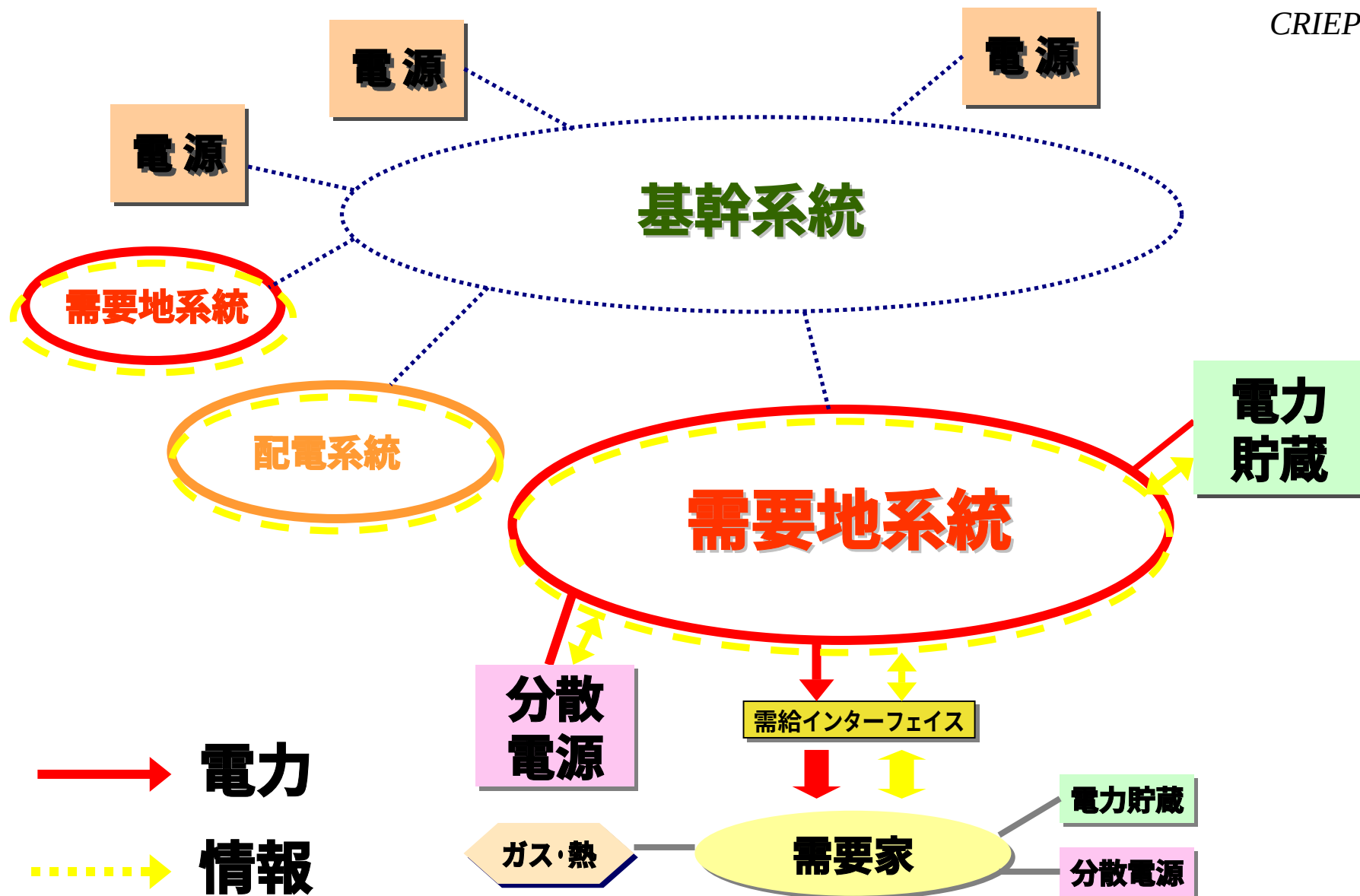


需要地系統への大量導入が予想されるもの。

分散型電源大量導入時において想定される問題点

想定される問題点		現状技術で問題発生の可能性のある導入量 (注) (配電線容量比)
電力品質に与える影響	○逆潮流により電圧変動が発生 ・変電所LDCなどの現状の電圧制御に限界が生じ、適正電圧 (=低圧107V以下) を逸脱	20%以上
	○太陽光・風力の出力変動により周波数変動が発生	検討中
保護・保安面に与える影響	○分散型電源 (特に回転機型電源) からの短絡電流の供給により、故障点における短絡容量 (=短絡電流) が増大。	検討中
	○分散型電源からの事故電流供給による変電所フィーダの事故電流が減少。保護リレーの不検出や検出の遅延が発生。	20%以上 (フィーダ事故電流の減少を10%以内とした場合)
	○配電線停止時に単独運転が発生。 ・作業時の安全性に影響 ・高低圧混触などの系統事故の除去に影響	20%～30%以上
設備計画に与える影響	○需要の想定が困難となり、適正な設備増強時期の判断が難しくなる。その結果、瞬低などに起因した分散型電源の一斉解列により、過負荷となる線路や周波数低下の発生する可能性がある。	検討中

(注) NEDO受託研究によるものを含めた当所での実験、およびシミュレーション結果



需要地系統の位置付け

目 標

分散型電源の フリーアクセス化

- ・電圧変動の抑制
- ・事故時や保守時の
安全性の維持
- ・電気の流れ道の確保

分散型電源を活用した エネルギーの有効利用

- ・省エネ、負荷平準化
- ・エネルギー利用コストの最小化
- ・電力品質、信頼性の向上

提案する新技術

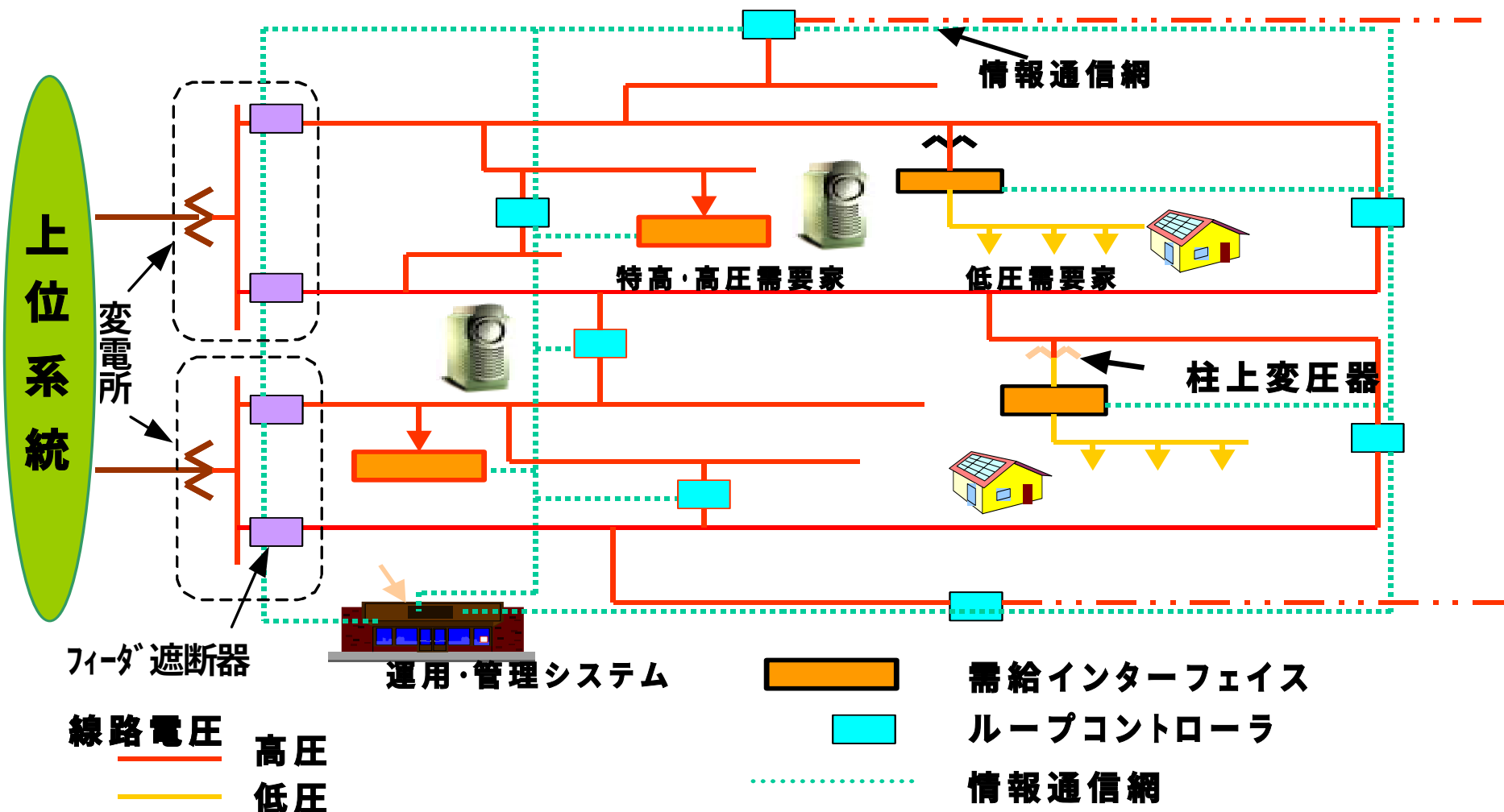
- ・**ループコントローラ**による
配電線の広域ネットワーク化

- ・**需給インターフェイス**
による分散型電源、
負荷の自律的な制御

高度情報通信インフラの活用
パワーエレクトロニクス活用

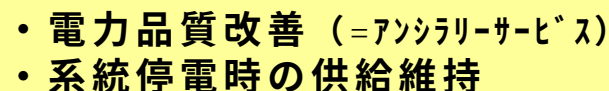
需要地システムの構成（概念図）

＊ 2 変電所からの配電線をループ化、ネットワーク化し、
運用管理システムの下で需要地システムを構成した例



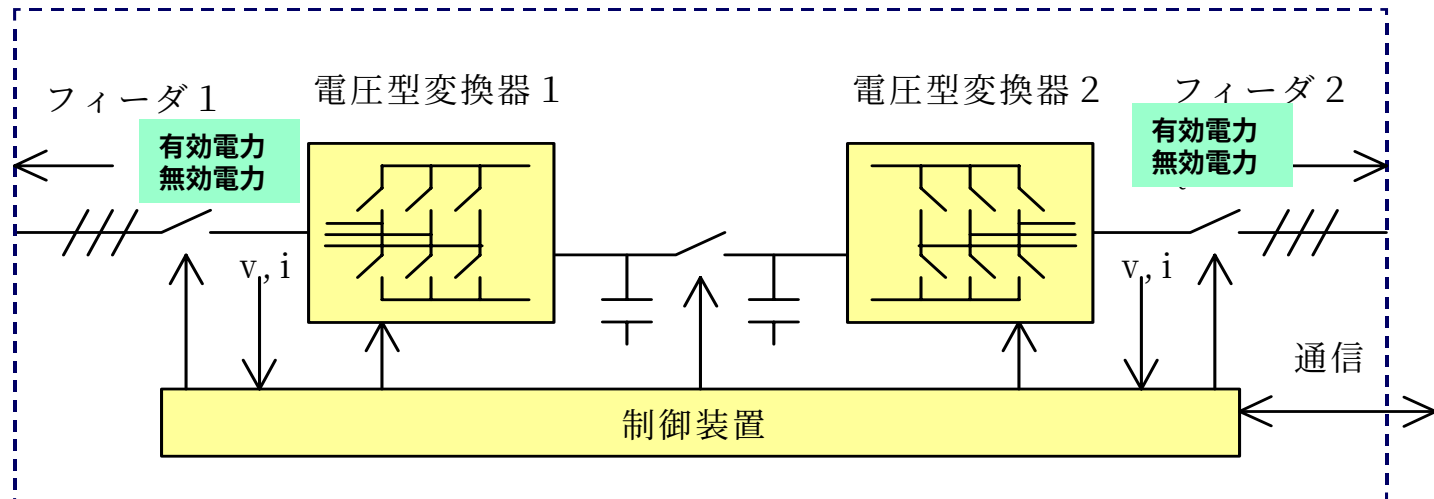
運用制御上の機器・システムの種類と役割

機器・システム	使用技術	主な役割
ループ コントローラ	パワーエレクトロニクス技術 (BTB)	・電圧制御、潮流制御 ・事故電流の遮断 ・事故時の融通制御
需給 インターフェイス	コンピュータソフト技術、センサー技術	・エネルギーマネージメント ・分散型電源自律制御 (アンシラリーサービス、系統事故時制御)
運用・管理システム	監視制御技術、システムソフト技術	・需要地系統全体の監視制御 ・上位系統との情報融通
情報通信網	光通信技術、高速低圧線搬送技術	・双方向情報伝達

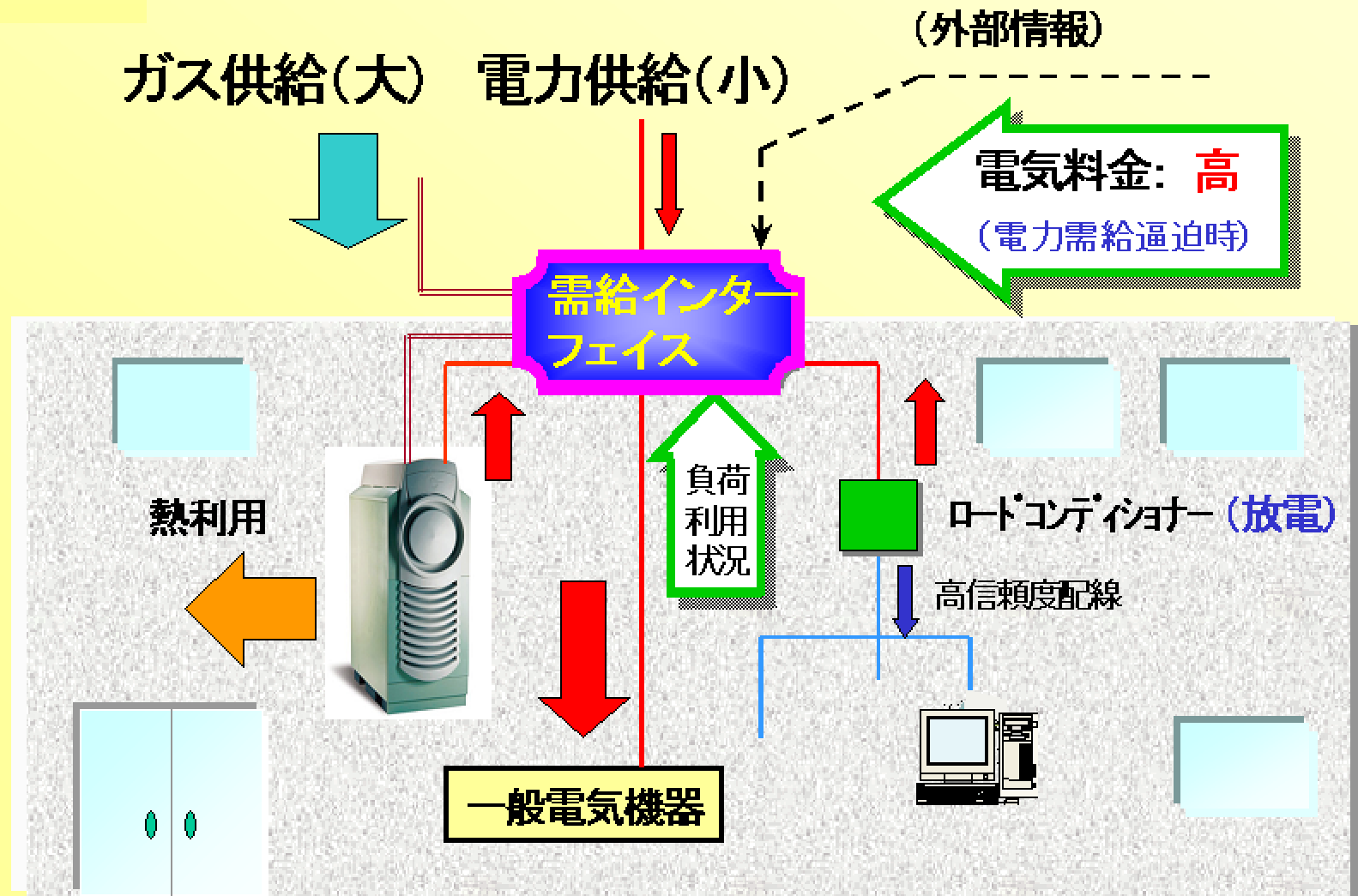


ループコントローラ (BTB方式) の特徴

適用範囲	電圧や位相の異なる線路間においてもループ化が可能
平常時	- ループ点における潮流制御 - 線路電圧の適正化 - 無効電力の補償
系統事故時	- ループ化に伴った短絡容量の増大を抑制 - ループ化に伴った系統側の新たな保護対策が不要

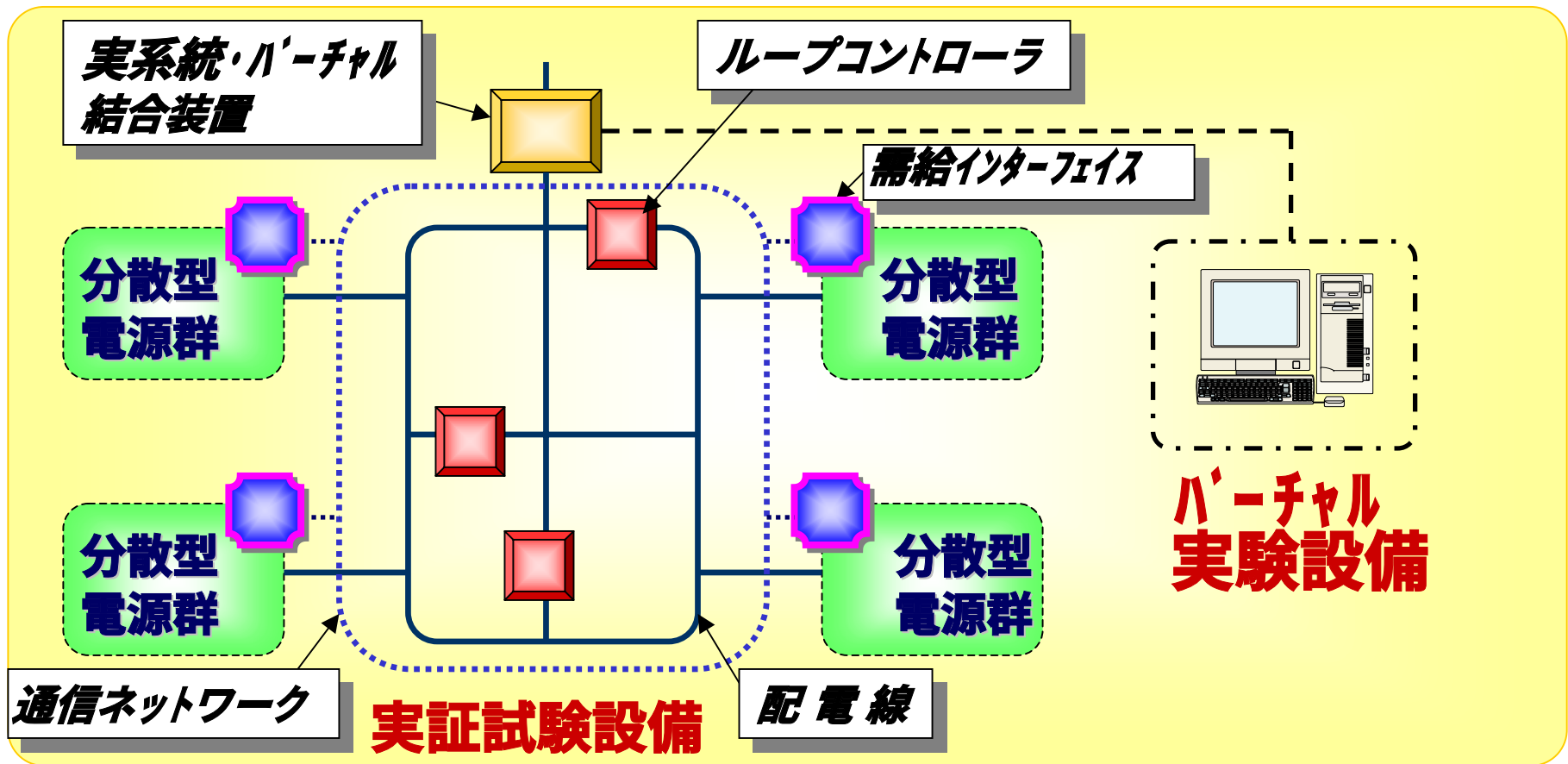


需給インターフェイスによるエネルギー・マネージメント



需要地系統ハイブリッド実験設備の構成

CRIEPI



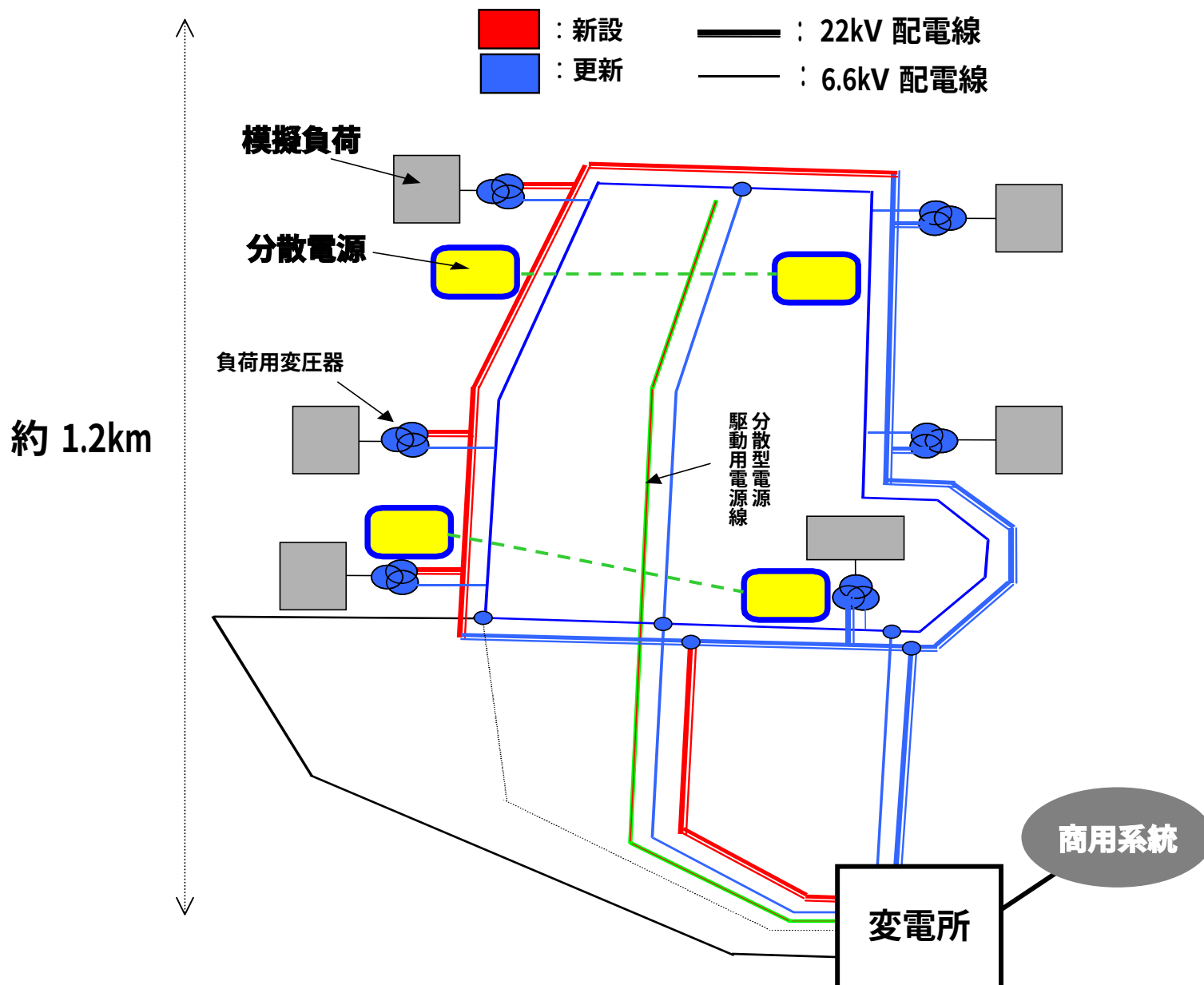
○実配電線による**実規模実証試験設備**と、リアルタイムシミュレータによる**バーチャル実験設備**により構成

⇒**上位システムを含めた、広範囲の系統特性を同時に実証解析**

○計**1200kW**の各種分散型電源を設置

赤城試験センター「需要地系統ハイブリッド実験設備」

CRIEPI



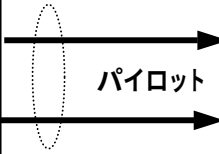
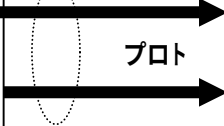
各種分散型電源を設置 (計画)

1. コージェネ、廃棄物発電 (同期発電機)
2. 風力、小水力 (誘導発電機)
3. マイクロガスタービン
4. 太陽光発電 (実機)
5. 燃料電池、太陽光、蓄電池 (模擬電源)
- 【6. 燃料電池 (PEFC)】

参考：国の計画との単純比較

種 類	国の2010年目標値		赤城設置計画	
	容 量	割 合	容 量	割 合
・太陽光発電	482万kW	20%	220kW	18%
・燃料電池発電	220万kW	9%	112kW	9%
・風力発電	300万kW	12%	200kW	16%
・コージェネ (含MGT)	1417 万 kW	59%	680kW	57%

全体の建設計画

設 備	13年度	14年度	15年度	16年度
1. 需要地系統実規模実証試験設備 ・配電設備 ・分散型電源・負荷設備 ・計測システム				
2. 需要地系統運用管理実証試験設備 ・ループコントローラ ・需給インタフェース ・情報通信ネットワーク				
3. 需要地系統バーチャル実験設備				
4. 実系統・バーチャル結合設備				