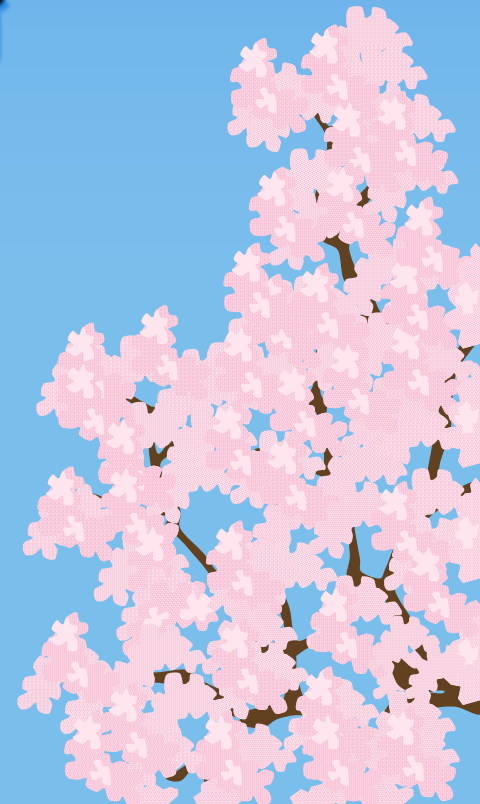
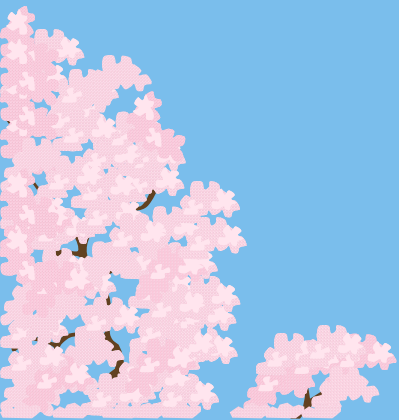


先端電力工学(東北電力)寄
付講座 第4期終了報告会
平成21年3月13日

最近の電力系統技術課題と 高専・大学の電力教育

福島工業高等専門学校
奈良 宏 一

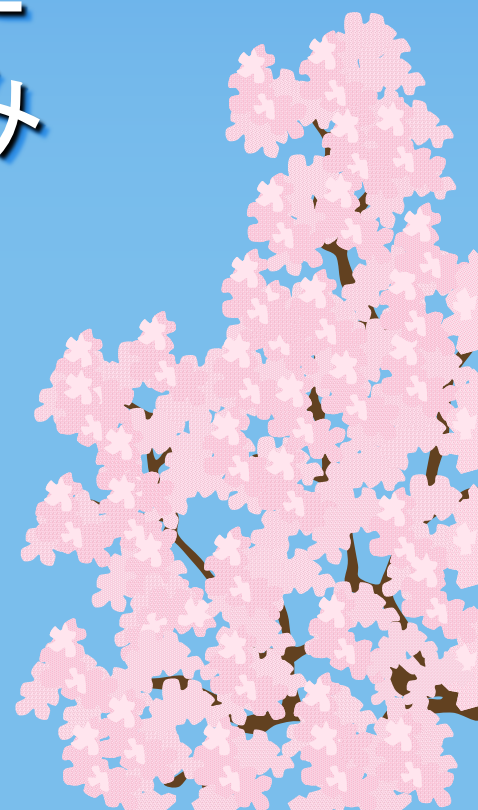
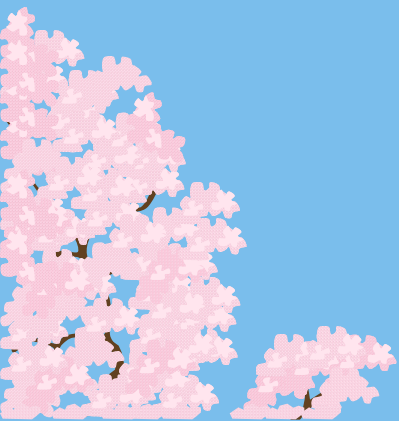


講演概要

- ❖ 自分の研究から見た電力系統工学の歩み
- ❖ 電力自由化により発生する新しい問題
- ❖ 分散型電源とその系統連系に関する問題
- ❖ 高専・大学の電力教育の現状
- ❖ まとめ



自分の研究から見た 電力系統工学の歩み



昭和30年代(1955-1965) 電力系統工学の黎明期

(電力系統の構築)

送電電圧の超高压化、ネットワーク化

高効率大容量火力発電所の建設

周波数変換所

(系統運用)

周波数制御

経済負荷配分

発電機起動停止計画

電圧無効電力制御

系統信頼度制御

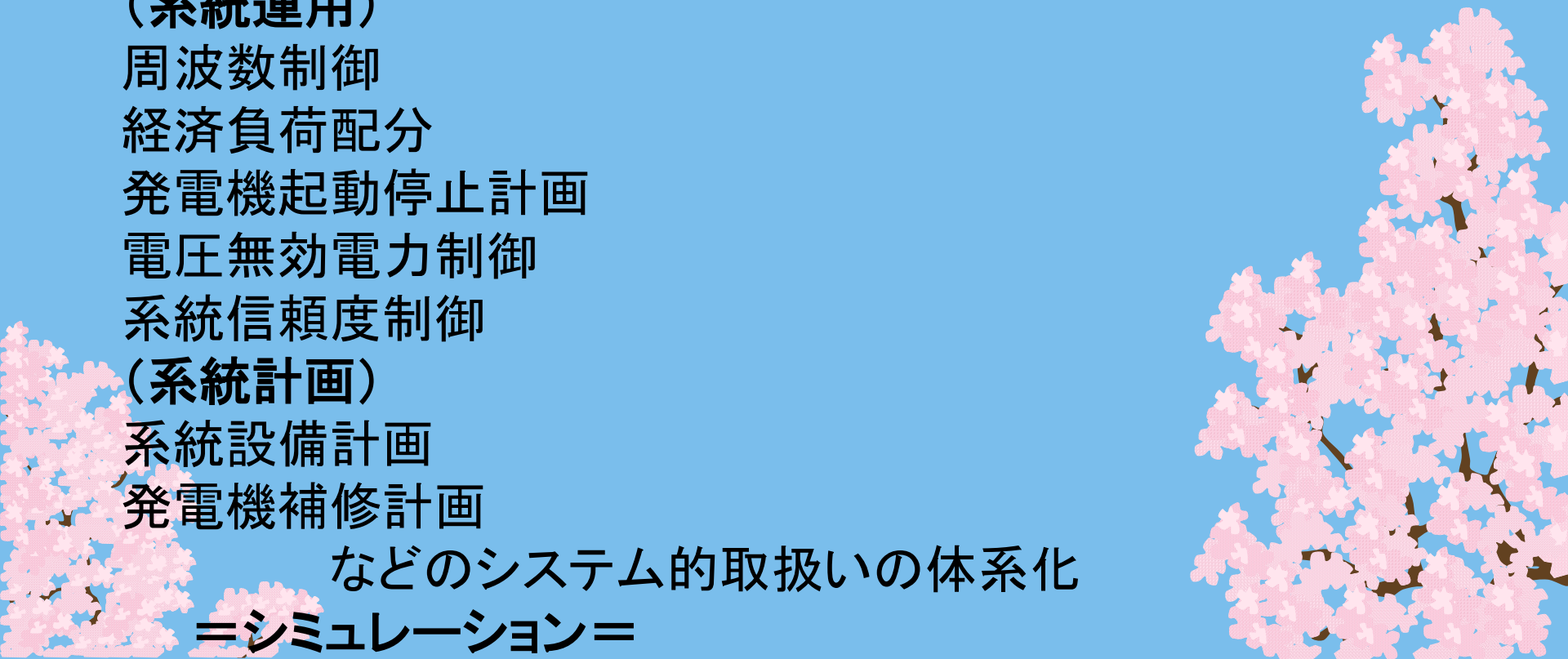
(系統計画)

系統設備計画

発電機補修計画

などのシステムの取扱いの体系化

=シミュレーション=



昭和40年代(1965-1975) 給電運用自動化の黎明期

(電力系統の構築)

佐久間周波数変換所(昭和43年、水銀バルブ)

北ー本直流連系(昭和50年、サイリスタバルブ)

停電時間・回数減少

(給電自動化)

中央給電指令所への計算機の導入(周波数制御、経済負荷配分、発電機起動停止計画)

遠方監視制御装置の普及

変電所への回線自動復旧装置(シーケンサ)の導入

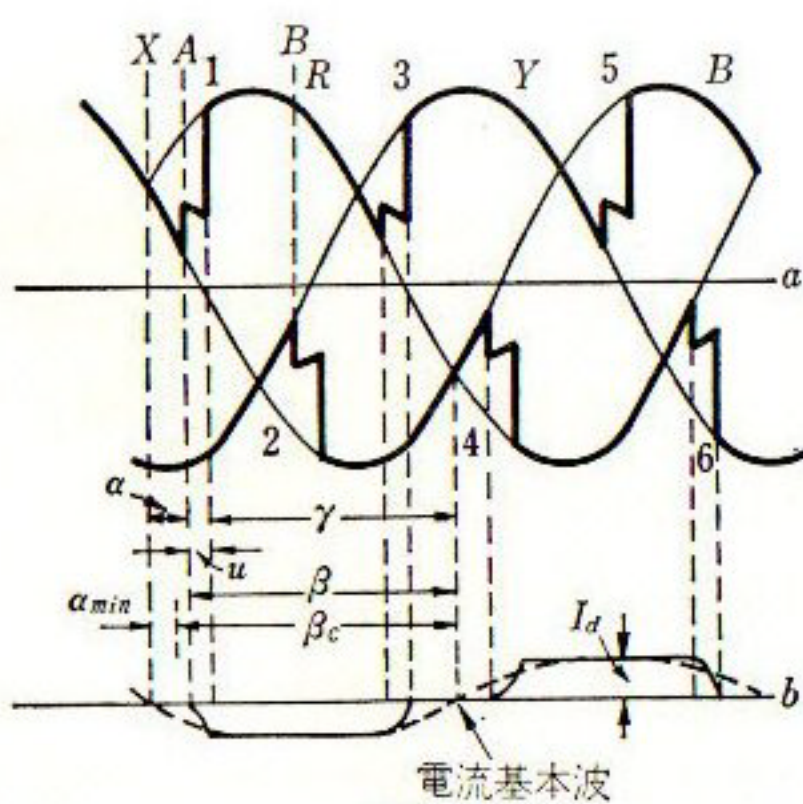
下位給電指令所への計算機の導入

制御所への計算機の導入

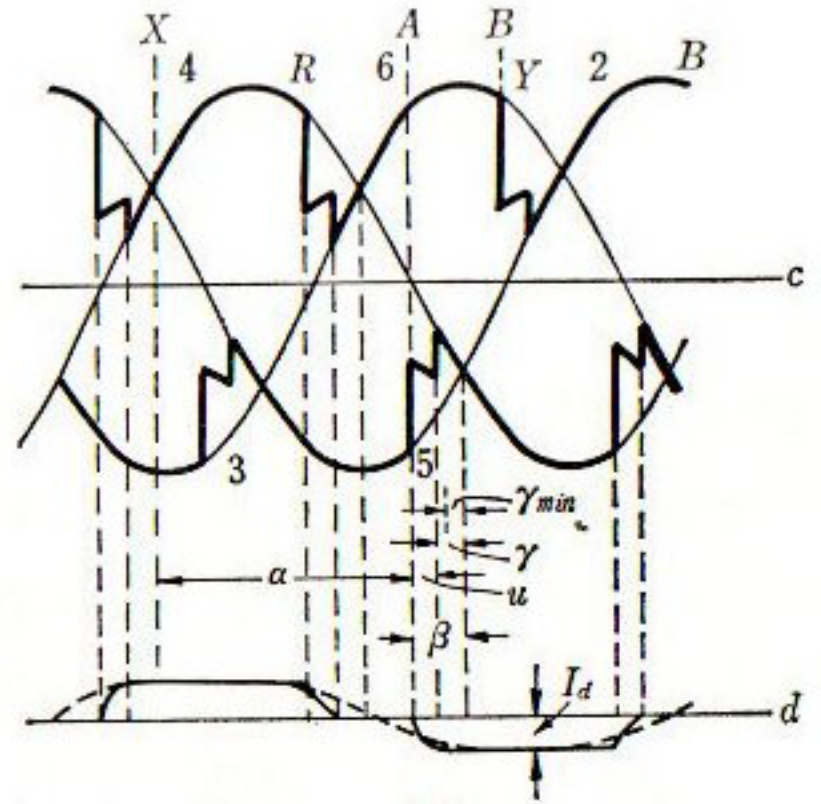
計算機間、計算機ー遠制装置間の情報伝送の発展

＝構造化プログラミング、要求仕様技術＝

交流·直流变换

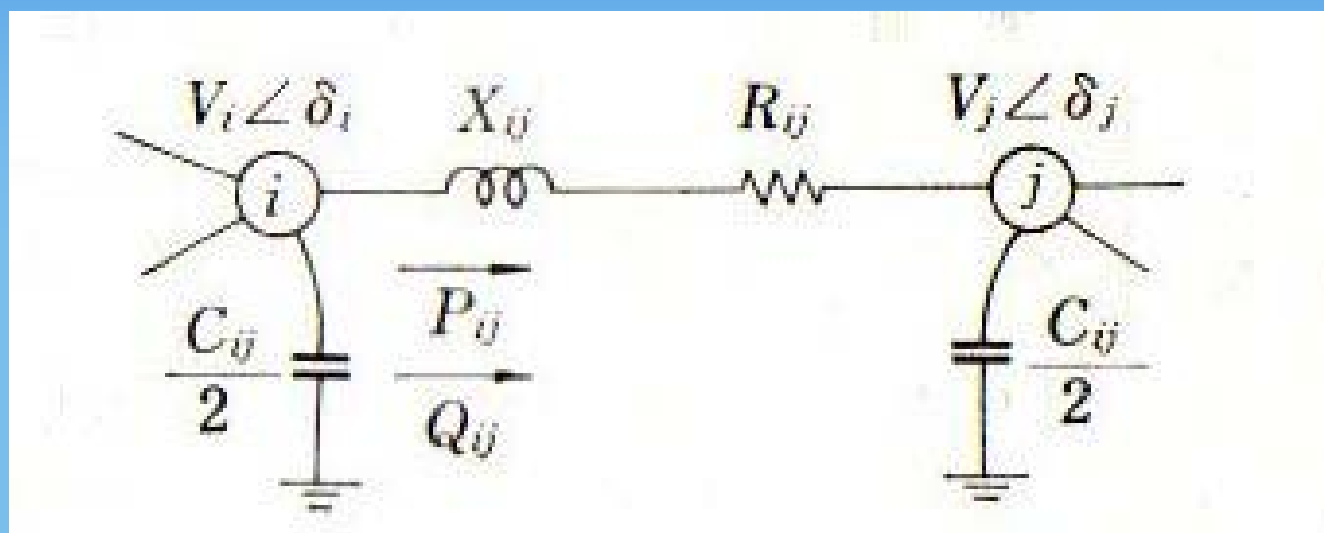


(a)



(b)

電圧と無効電力の関係



$$P_{ij} = \frac{V_i V_j \sin(\delta_i - \delta_j)}{Z_{ij}^2 / X_{ij}} + \frac{V_i^2 - V_i V_j \cos(\delta_i - \delta_j)}{Z_{ij}^2 / R_{ij}}$$

$$Q_{ij} = \frac{-V_i V_j \sin(\delta_i - \delta_j)}{Z_{ij}^2 / R_{ij}} + \frac{V_i^2 - V_i V_j \cos(\delta_i - \delta_j)}{Z_{ij}^2 / X_{ij}}$$

昭和50年代(1975-1985) 運用操作・事故復旧操作自動化の黎明期

(電力系統構築)

通信装置の高度化

原子力発電比率増加

第2世代の給電自動化システム

(操作自動化)

集中的運用操作自動化

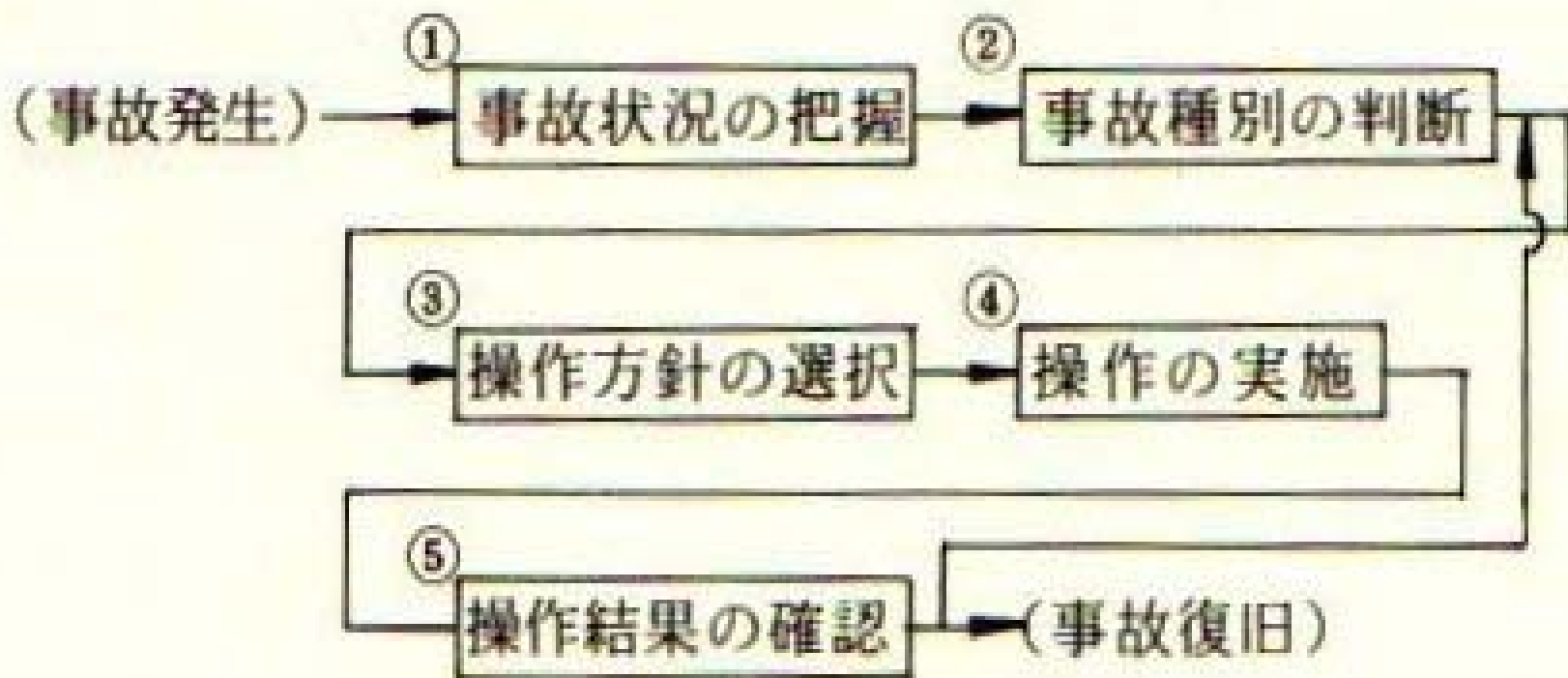
事故点探索自動化

事故復旧操作一部自動化

関東西部大停電(電圧安定性の問題)1987年

=エキスパートシステム=

事故復旧操作決定手順



単位操作

単位 操作名	系	統	説 明
充 電			補修作業、送電損失軽減または、電圧調整などの目的で停止していた送電線、変圧器および電力用コンデンサなどの系統機器を再使用するに当たって、送電端となる電気所がこれらを営業運転電圧で直接加圧する操作をいう。試加圧ともいう。
受 電			充電操作同様、これまで停止していた送電線、変圧器および電力用コンデンサなどの電力系統機器を再使用するに当たって、受電端となる電気所がこれらを営業運転電圧で直接加圧する操作をいう。
併 用			同一電気所に変圧器、送電線などの同種電力系統機器が複数台（回線）あり、それらのうち一部はすでに使用中のところを、さらに追加して残りの機器（回線）を使用する操作をいう。
並 列			一つの電力系統に他の電力系統または同期機を接続して運転しようとするとき、両者の周波数と電圧の位相を同期させたうえで連系する操作をいう。
解 列			一部の電力系統または同期機を、これまで接続していた系統から切り放し、並列運転を解く操作をいう。
ループ 投 入			送電損失軽減、系統安定などの目的で系統をループ運転しようとするとき、または系統切替時に無停電切替をするために一時的に系統をループにしようとするとき、ループ形成点でループ回路を閉路する操作をいう。

昭和60年代、平成初期(1985-1995) 配電自動化の黎明期

(配電自動化)

負荷切替スイッチ遠制

配電線事故復旧操作自動化

配電線損失最小化制御

(組合せ計画問題的な系統計画・運用の高度化)

配電系統計画の自動化

発電機起動停止計画

発電機定期補修計画

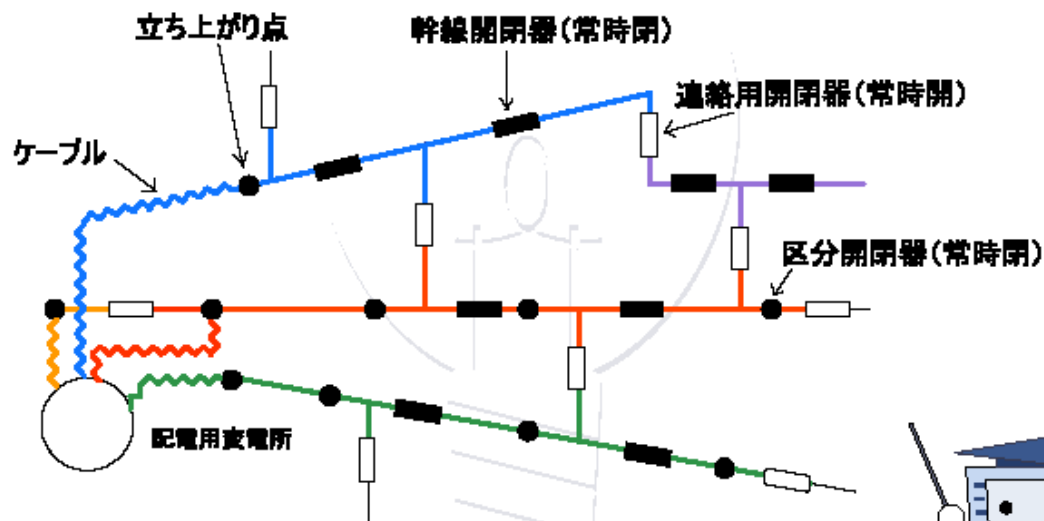
=メタヒューリスティクス=

負荷切替え開閉器



配電線の構成

(東京電力HPより)



技開くん



配電線は配電用変電所から樹枝状にのびており、各々の配電線は開閉器で区分し、それぞれの区間に他の配電線を連系する多分割多連系方式となっています。

◀ BACK

▶ NEXT

配電線の事故復旧

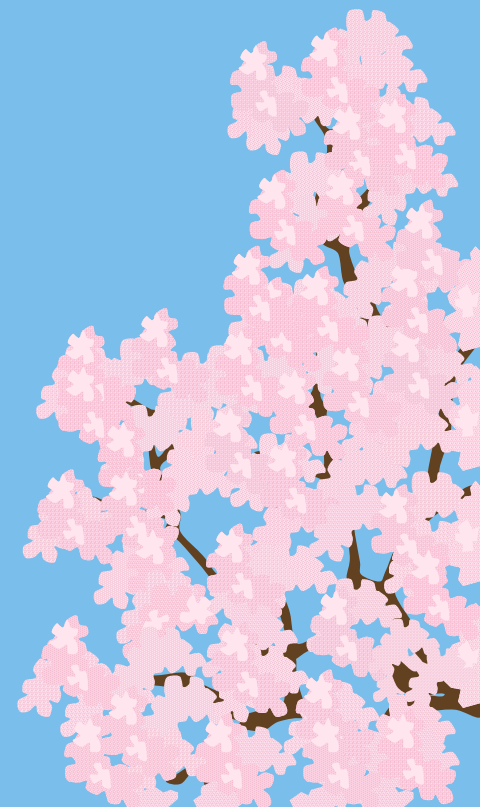
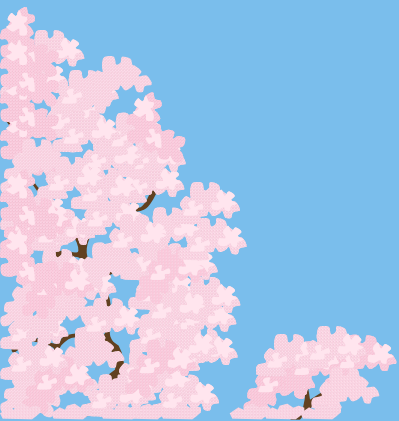
配電自動化システムの仕組み

配電線搬送方式

自動化による効果

平成10年代(1995-2005) 電力自由化と分散型電源の系統連系

電力自由化に関わる問題
分散型電源の系統連系技術
＝最適潮流計算手法＝



平成20年代(2005-) 新しい電力流通ネットワークの黎明期

需要地系統

Micro Grid

FRIENDS

Smart Grid

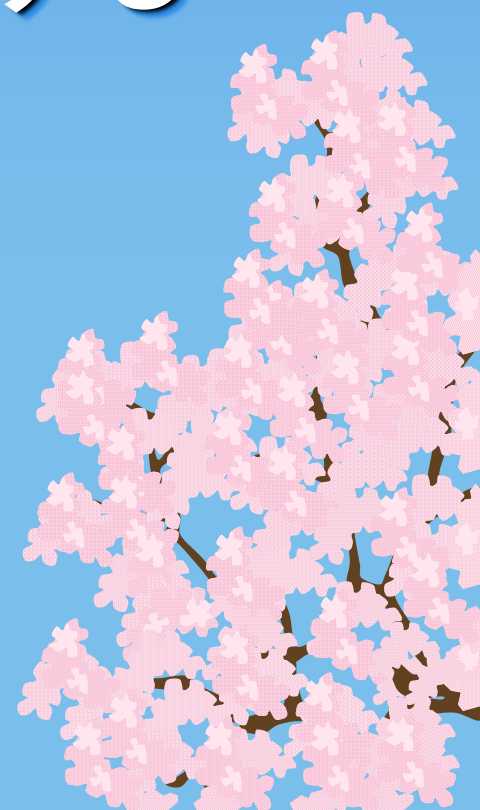
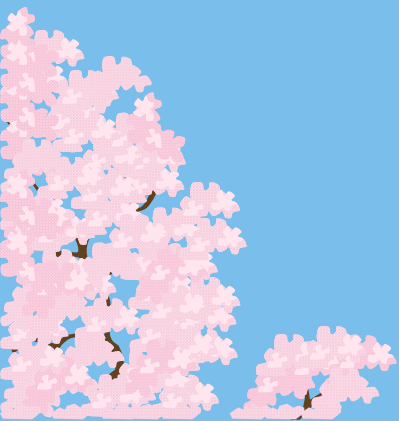
大規模電源、送電系統と分散型電源、配電系統のコラボレーション

環境に優しい発電方式(太陽光、風力、コジェネ等)の普及

＝新電力供給システム＝

＝地球温暖化ガス削減(自然エネルギー利用発電)＝

電力自由化により発生する 新しい問題



電力自由化により発生する新しい問題 1

(1) 公平な電力系統利用

電力系統利用の公平性と供給信頼性のトレードオフ
(広域融通と連系線利用)

系統設備計画(設備増設・新設基準、供給信頼性と
のトレードオフ)

設備費負担

設備使用量、託送料金

公開情報の種類

系統混雑管理手法

電力自由化により発生する新しい問題 2

(2) アンシラリーサービス

PPSを含めた周波数制御方式

同時同量制御と自然エネルギー発電普及
のトレードオフ

PPSを含めた電圧無効電力制御方式

無効電力の価値・価格

高調波抑制制御方式と制御の価値

電力自由化により発生する新しい問題 3

(3)新ビジネスと再規制

新規電力発生事業者の成功確率

分散型電源の系統連系方式

分散型電源ネットワーク(新電力供給システム)

原子力発電のあり方

自然エネルギー発電の大量系統導入手段

エネルギーセキュリティ

需要家からみた信頼度(分散型電源の効果)

地球温暖化防止

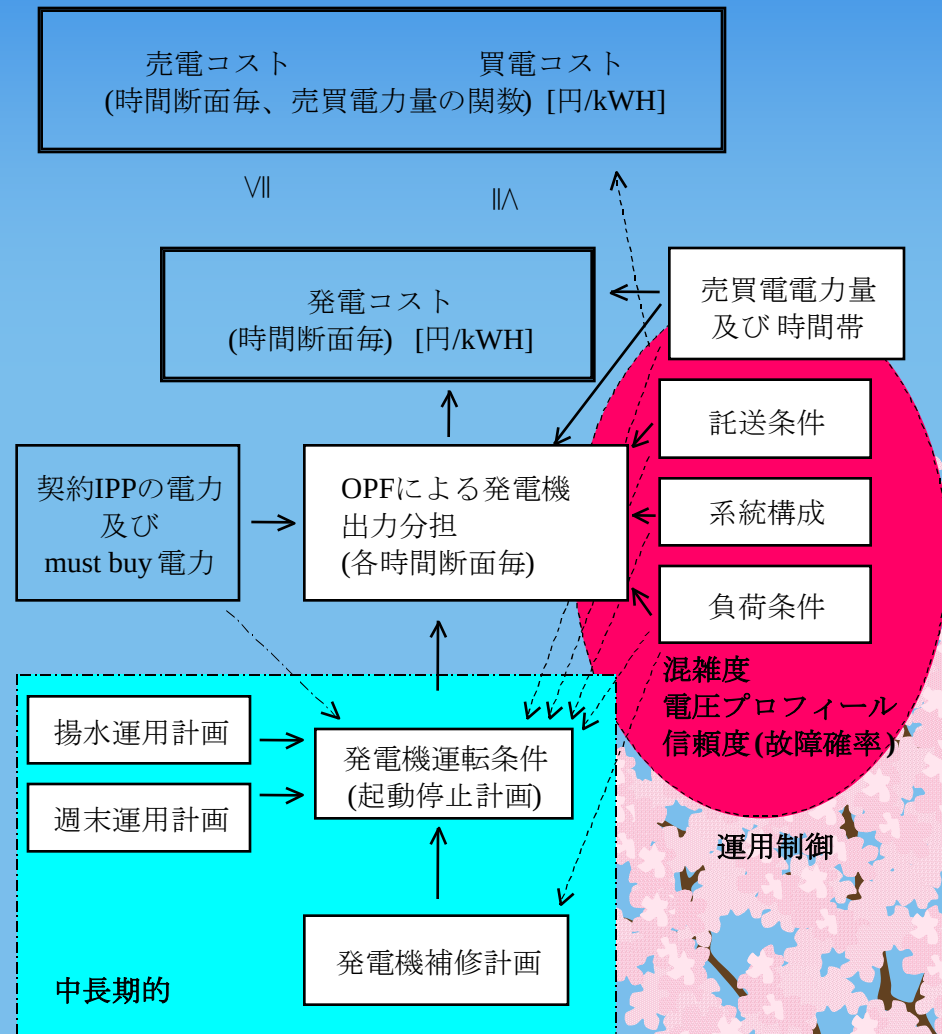
その他

競争環境下での発電機運用問題

① ある**時間断面**における**潮流**と発電機出力から決まる時間断面毎の総発電コストと、発電機の起動停止を含む**中長期的観点**から決まる最も経済的な発電機運転の決定といった、**異なった長さの「時間」**を同時に取扱う側面

② 選択する発電機運転と潮流混雑、託送の受入れ、売買電の意志決定といった、「**系統運用制約と利益のトレードオフ**」の側面

③ 「**系統運用制約と利益のトレードオフ**」と「**時間**」の**相互依存**



問題の定式化

[目的関数]

$$\begin{aligned} \text{Min } F = & \sum_t \sum_i \left[U_{it} f_i(P_{it}) + C_i(U_{i,t-1}, U_{it}) \right] \\ & + \sum_t \sum_j \left[g_j P_{jt}^0 + U u_{jt} e u_j(P u_{jt}) + U d_{jt} e d_j(P d_{jt}) \right] + \sum_t \sum_k \alpha P_{kt}^{\text{virtual}} \end{aligned}$$

自社発電機の燃料費 自社発電機の起動停止コスト

自社外電源の契約価格 自社外電源の増加分契約出力変更コスト 自社外電源の減少分契約出力変更コスト 停電コスト

[制約条件]

(発電機出力上下限制約)

(線路容量制約)

(母線電圧上下限制約)

(需給バランス制約)

(発電機最小起動停止時間制約)

問題の解法

自社発電機及び自社外電源の出力を協調変数としてラグランジュ分解を適用する。

部分問題Ⅰ

発電機起動停止計画を決定する問題

[目的関数]
$$\text{Min } F_1 = \sum_t \sum_i \left[U_{it} f_i(P_{it}) + C_i(U_{i,t-1}, U_{it}) - \gamma_{it} P_{it} \right]$$
$$+ \sum_t \sum_j \left[g_j p_{jt}^0 + U u_{jt} e u_j(P u_{jt}) + U d_{jt} e d_j(P d_{jt}) - \gamma u_{jt} P u_{jt} - \gamma d_{jt} P d_{jt} \right]$$

[制約条件] (発電機最小起動停止時間制約)

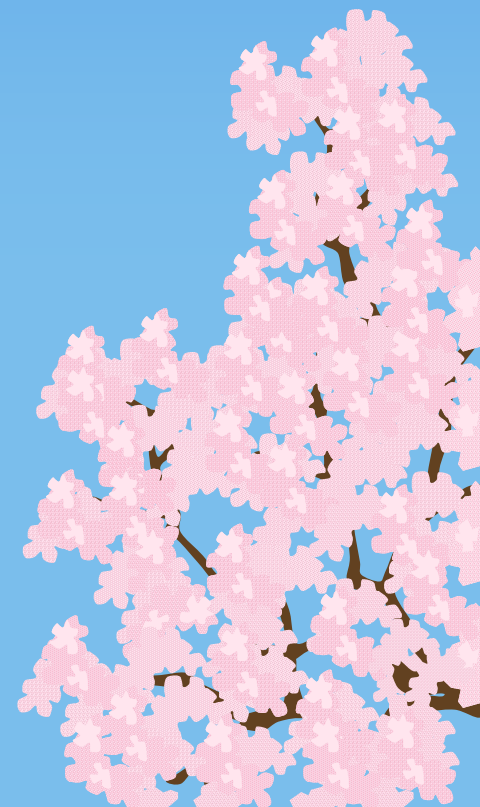
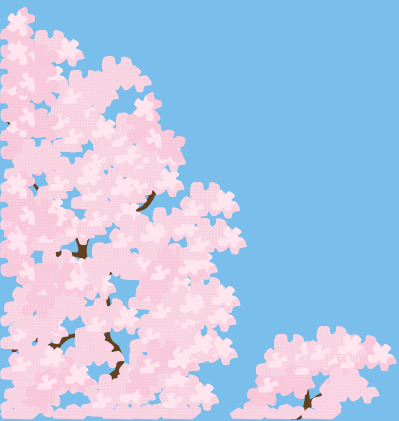
部分問題Ⅱ

自社及び自社外電源の最適運用を決定する問題

[目的関数]
$$\text{Min } F_2 = \sum_t \sum_i \gamma_{it} P'_{it} + \sum_t \sum_j \left[\gamma u_{jt} P u'_{jt} + \gamma d_{jt} P d'_{jt} \right] + \sum_t \sum_k \alpha P_{kt}^{\text{virtual}}$$

[制約条件] (発電機出力上下限制約)
(線路容量制約)
(母線電圧上下限制約)
(需給バランス制約)

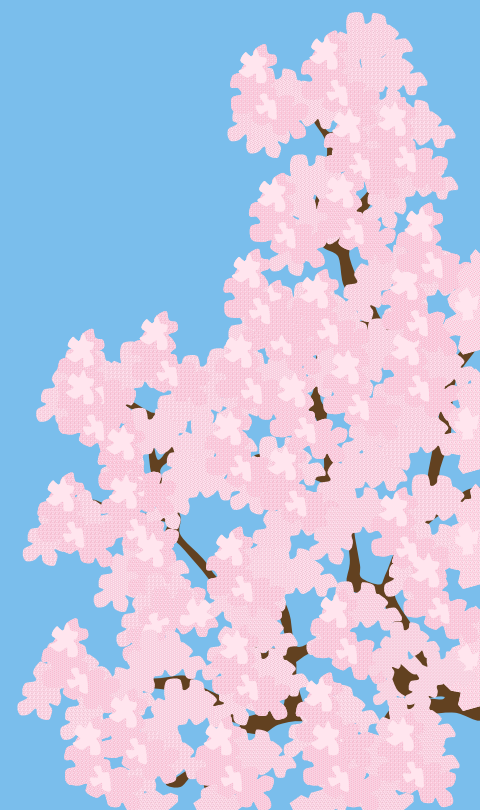
分散型電源とその系統連系 に関する問題



電力システムへの分散型電源の影響

どのような種類の影響が予想されるか？

- (1) 保護協調
(逆潮流)
- (2) 電圧制約違反
(分散型電源の同時脱落)
- (3) 周波数変動
(風力および太陽光の影響)



分散型電源のための系統連系要件

(1)「安全」のための指針

(電気設備技術基準解釈)

単独系統の禁止, 等

(2)「電力品質」のための指針

(電力品質確保に係る系統連系要件ガイドライン)

電圧変動, 高調波, 等の指針



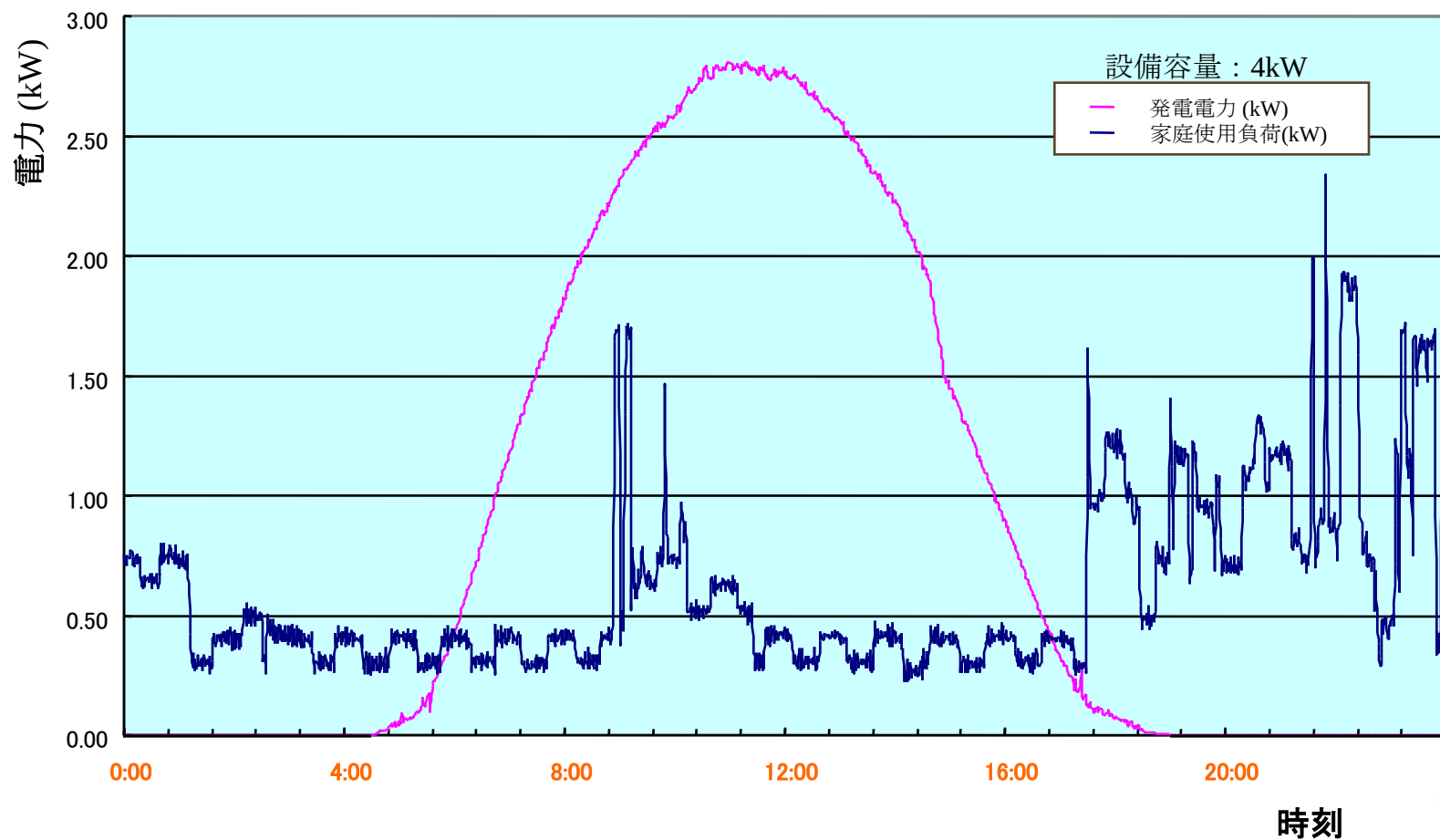
分散型電源の系統連系要件

電力品質のためのガイドライン

規 則	配電ネットワーク	超高電圧
力率	≥ 0.85 (進み)	システムの電圧を維持することが可能なこと
電圧変動	$101 \pm 6\text{V}$ または $202 \pm 20\text{V}$	公称電圧の 1～2%
瞬時電圧低下	10%より少ない (10%の電圧変動によって解別しないこと)	$\pm 2\%$ より少ない (事故のショックで解別しないこと)
逆潮流	配電用変圧器を逆潮しないこと	—

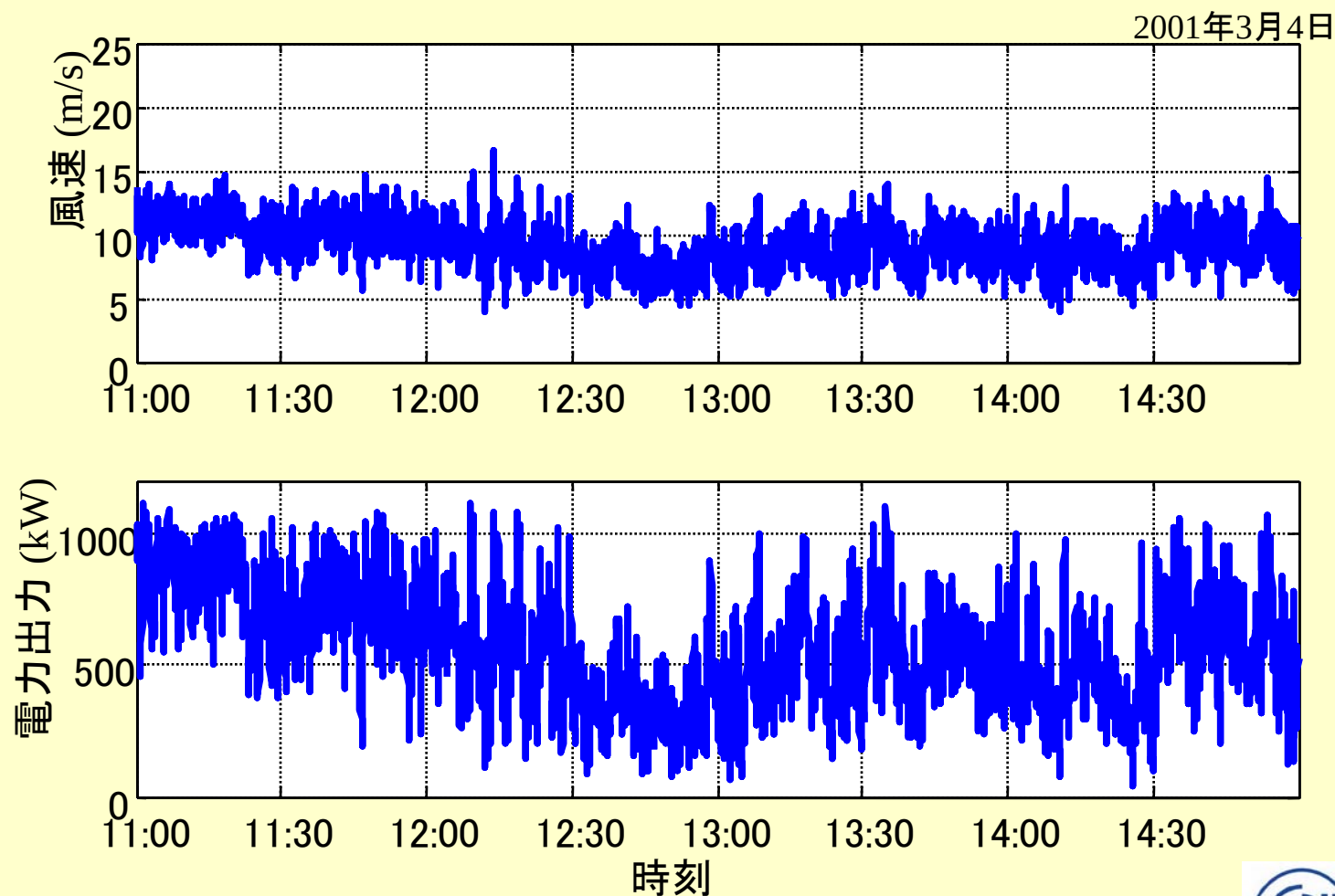
電力システムへの分散型電源の影響

太陽光発電システムによる発電（晴天時）



電力システムへの分散型電源の影響

風力発電の例



電力システムへの分散型電源の影響

問題への対策

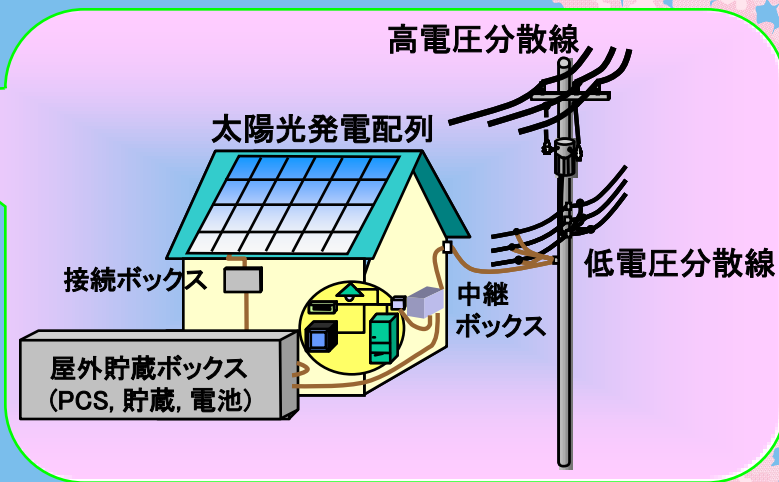
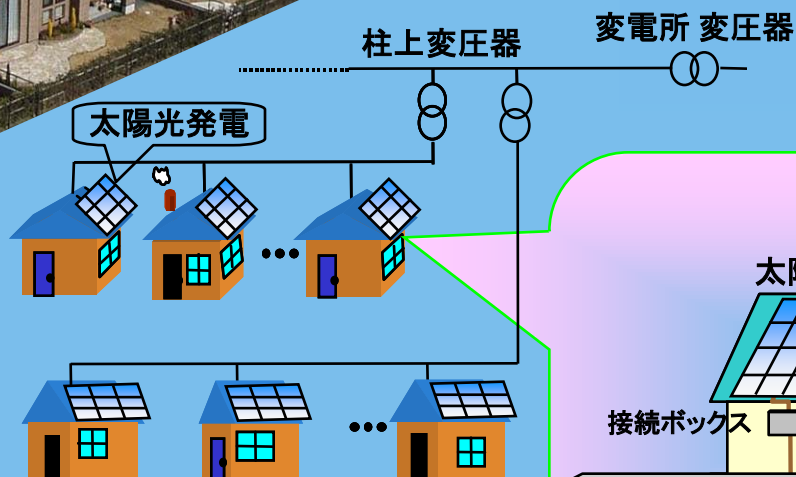
(1) 集中連系太陽光発電実証試験システム

- (a) 電圧制約違反を防ぐための発電抑制を避ける手法とその有効性について立証すること,
- (b) 太陽光発電システムを電力システムに影響無しにどの程度設置可能かを検証すること,
- (c) 誤動作防止技術の検証,
- (d) 多数の分散型電源の系統連系の効果的なシミュレーション技術を開発すること

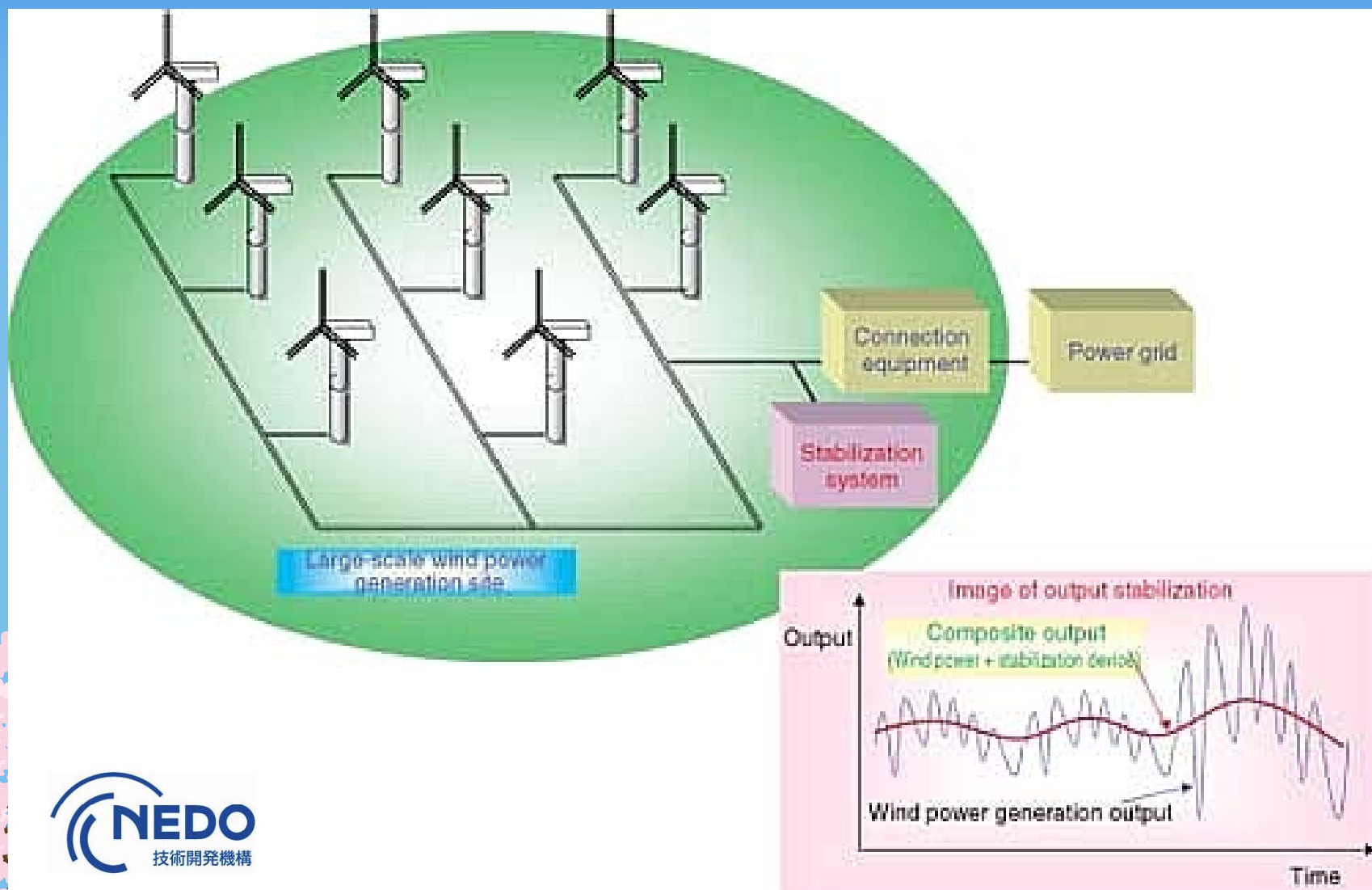
(2) 風力発電電力システムの安定化等技術開発

充電レベルを考慮して風力発電出力の変動を安定させる
電力貯蔵システムの有効性の調査研究

集中連系太陽光発電実証試験システム

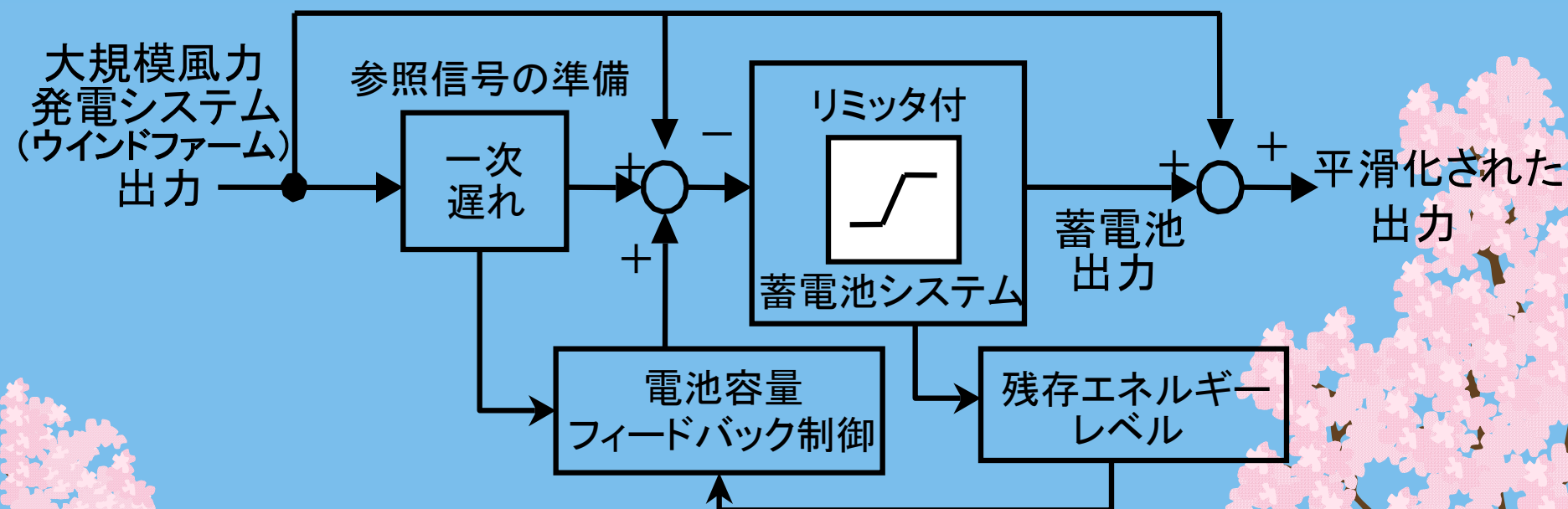


風力発電電力系統安定化技術等開発



風力発電電力系統安定化技術等開発

(蓄電池システム制御計画のブロック線図)

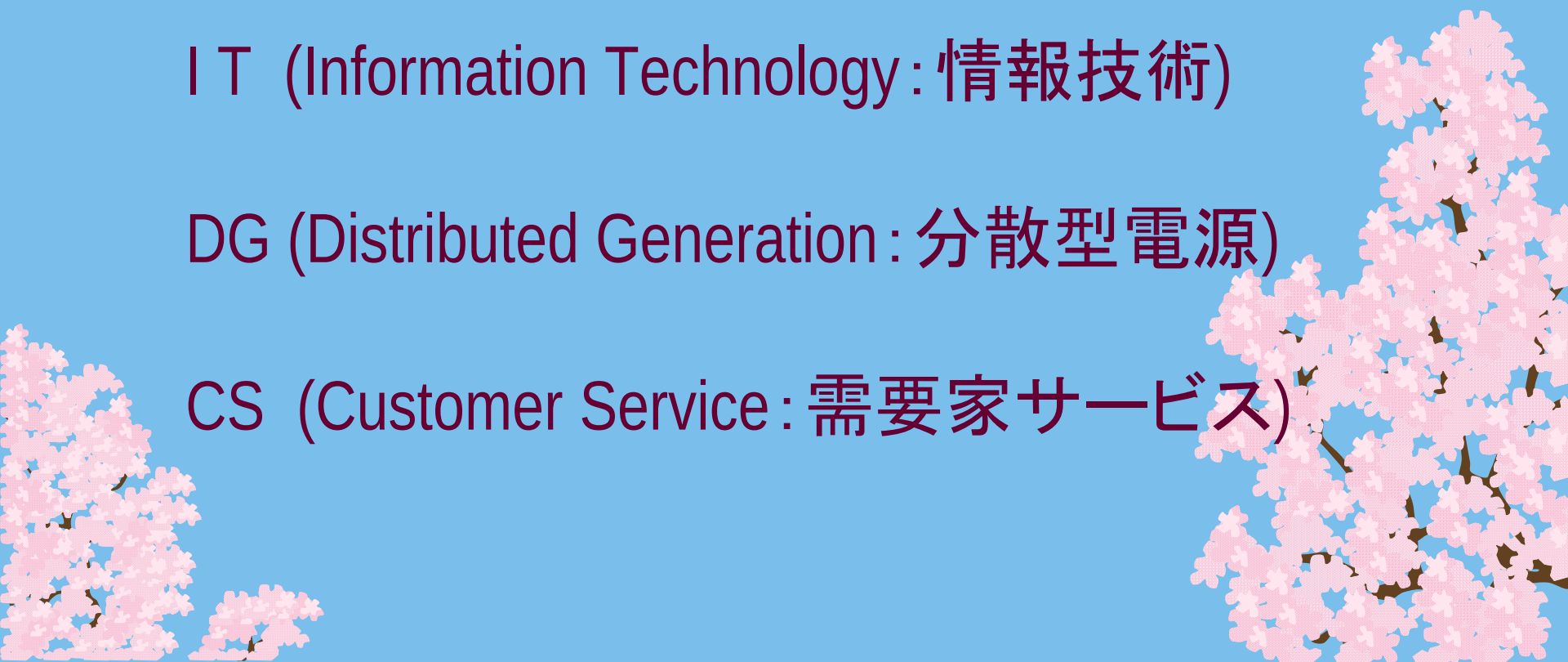


将来の電力流通システムのキーワード

IT (Information Technology : 情報技術)

DG (Distributed Generation : 分散型電源)

CS (Customer Service : 需要家サービス)



新しい電力流通システム

—分散型電源の多数台接続の実現方法—

世界の傾向

マイクログリッド,
Virtual Utility,
Virtual Power Plant,
Power Park,
Smart grid

日本からの提案

需要地系統,
FRIENDS (Flexible, Reliable and Intelligent Energy Delivery System)
(高柔軟・高信頼電気エネルギー流通システム),
Super Node Network, 等

日本における実証プロジェクト

新しい電力流通システム

－分散型電源の多数台接続 実証研究－

日本における実証研究プロジェクト

＊ 新エネルギー等地域集中実証研究

＊ 2005年日本国際博覧会・中部臨空都市における
新エネルギー等地域集中実証研究

＊ 新電力ネットワークシステム実証研究

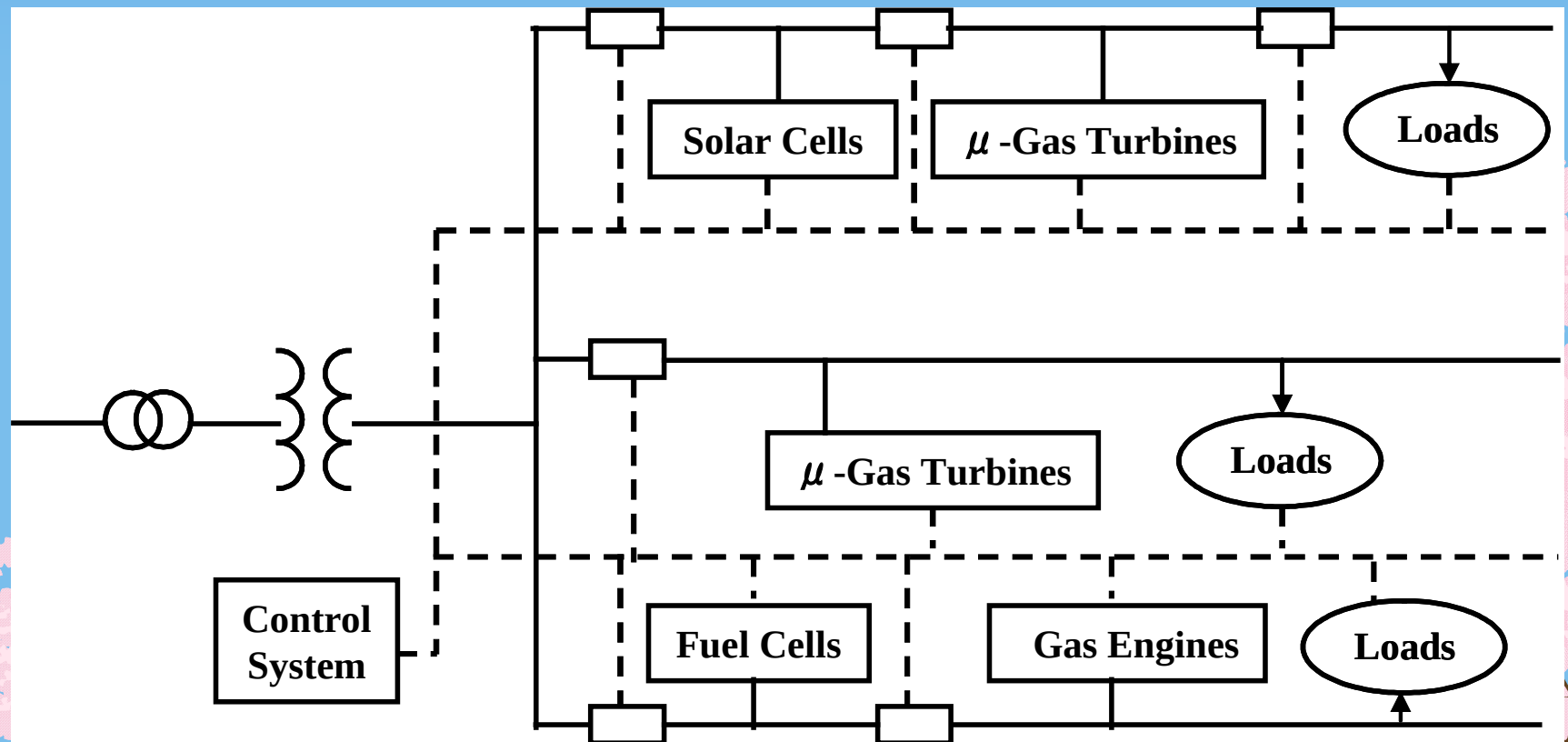
= 需要地系統

= 多品質電力供給

＊ 大規模電力供給用太陽光発電系統安定化実証研究

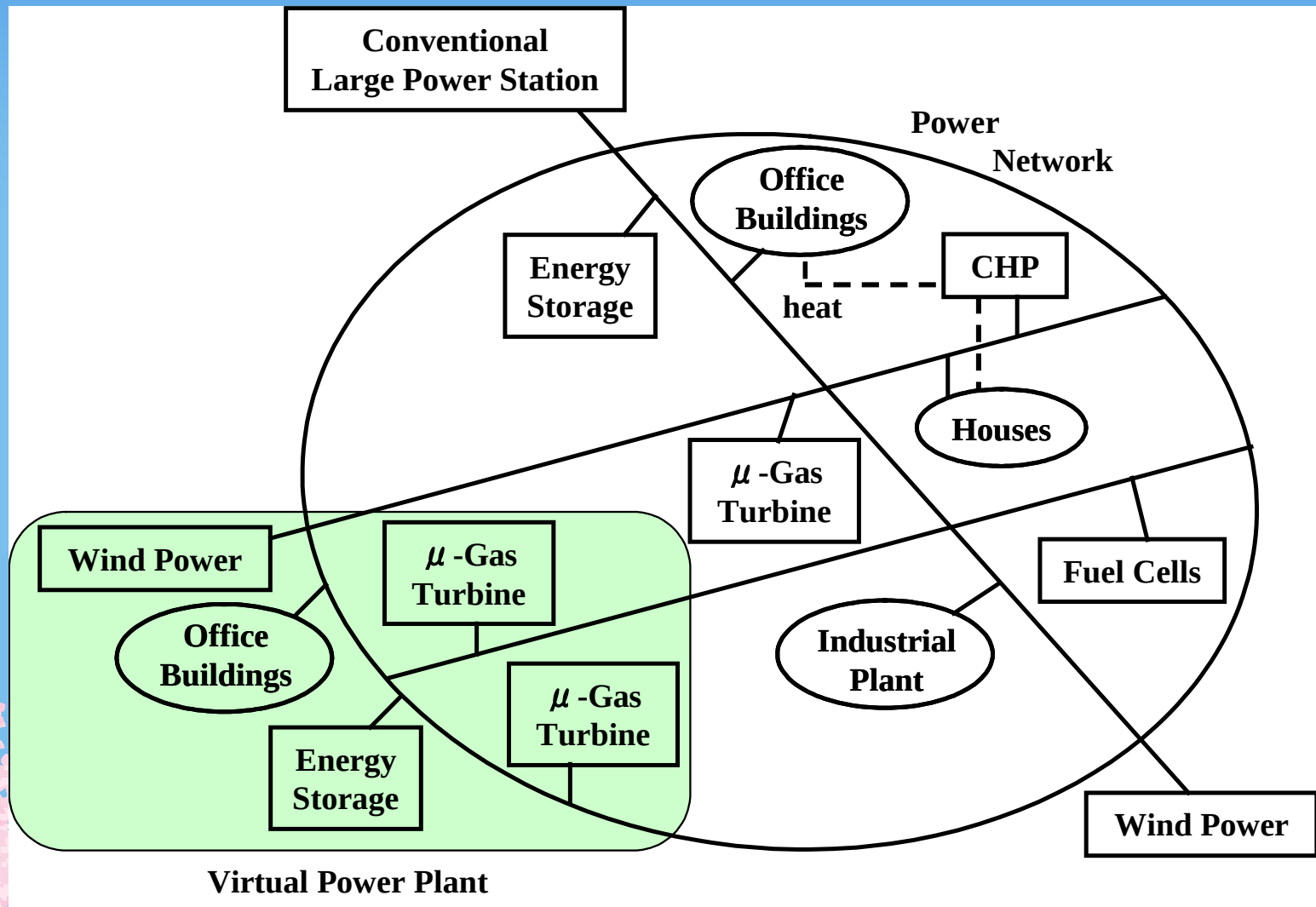
新しい電力流通システム

— Micro-Grid —



新しい電力流通システム

– Smart Grid –



新しい電力流通システム

– FRIENDS –

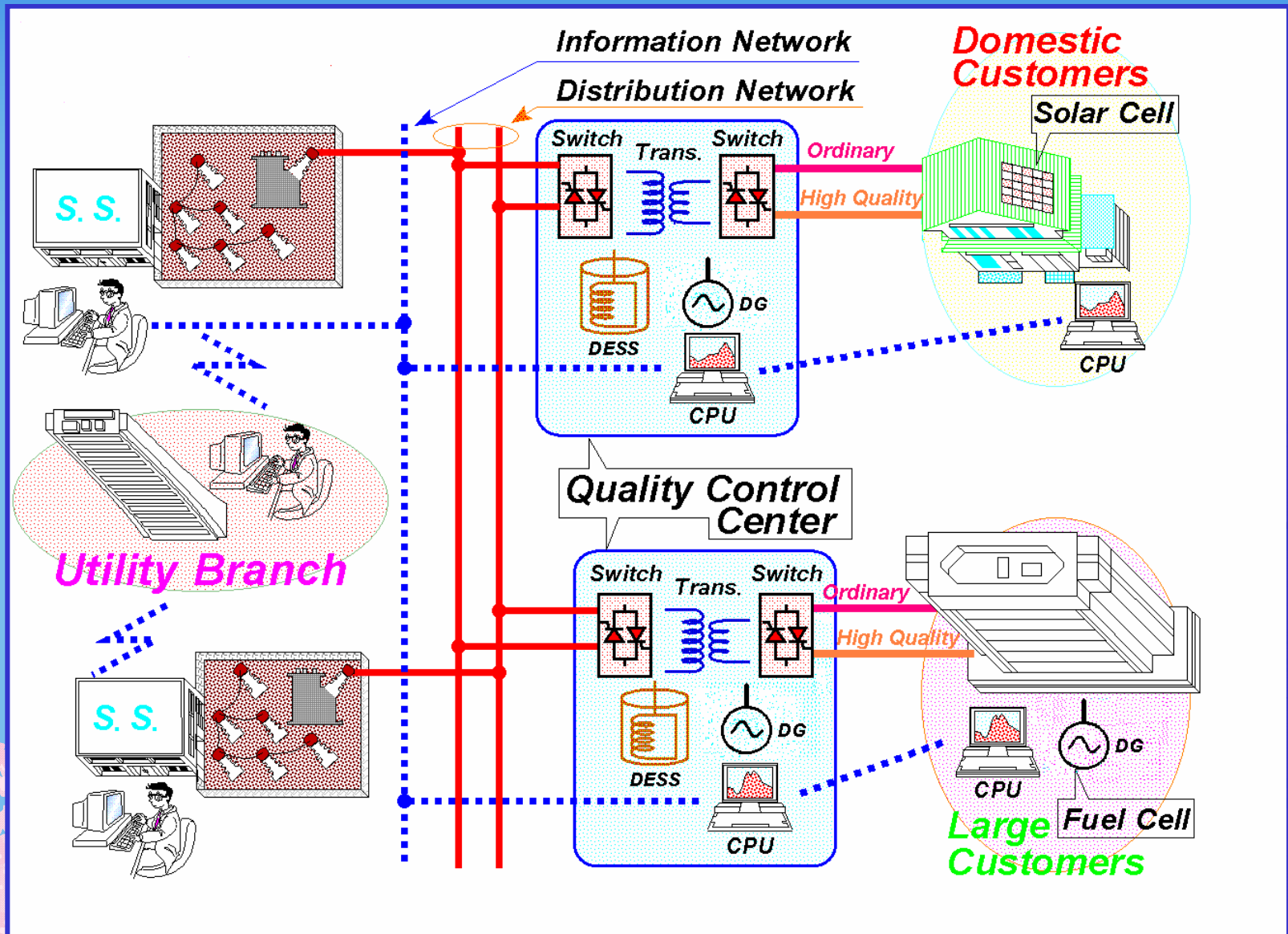
FRIENDS

“FRIENDS”とは何か？

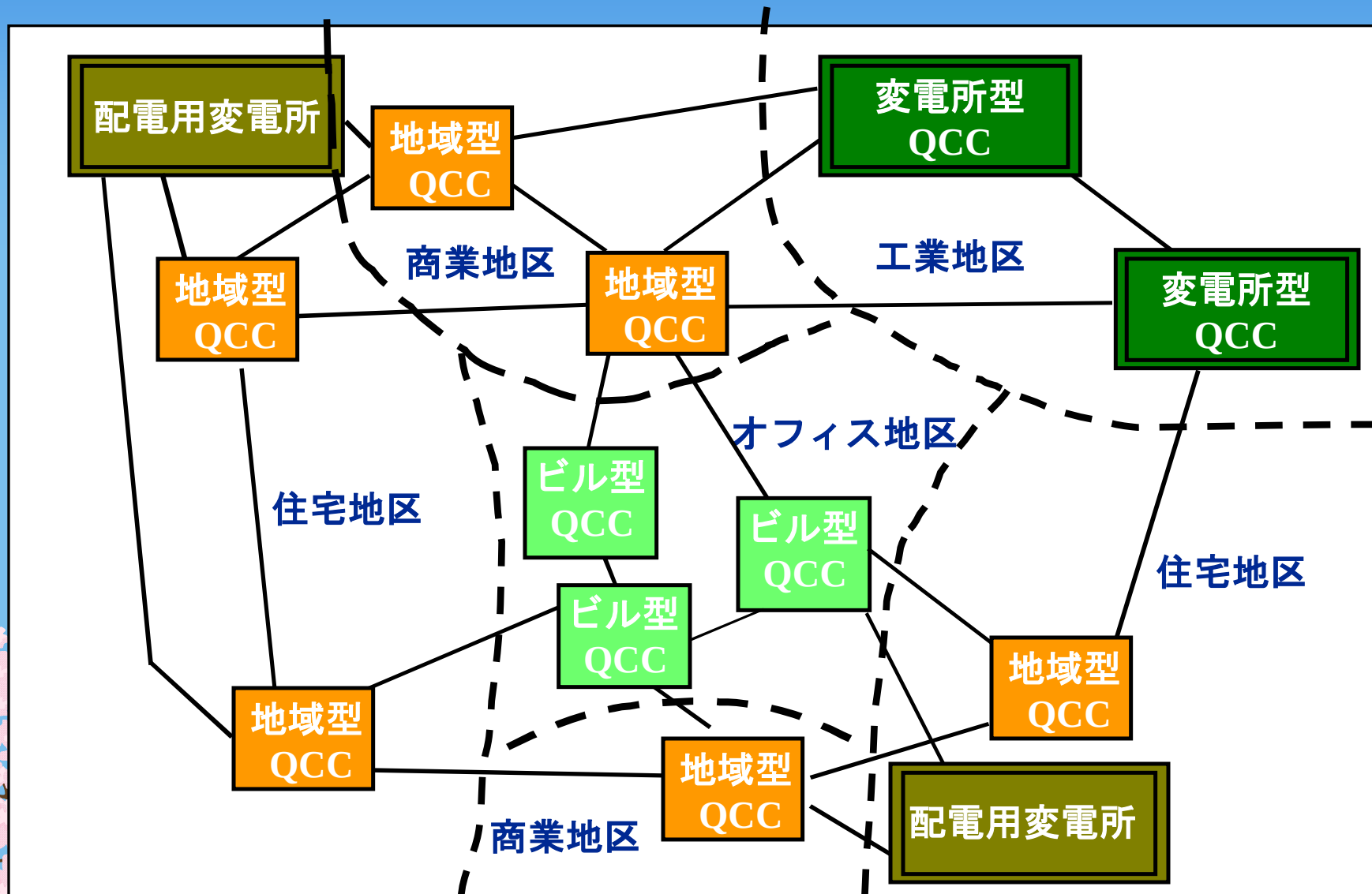
Flexible, Reliable and Intelligent
ENergy Delivery System

（高柔軟・高信頼電気エネルギー流通システム）

FRIENDSの概念

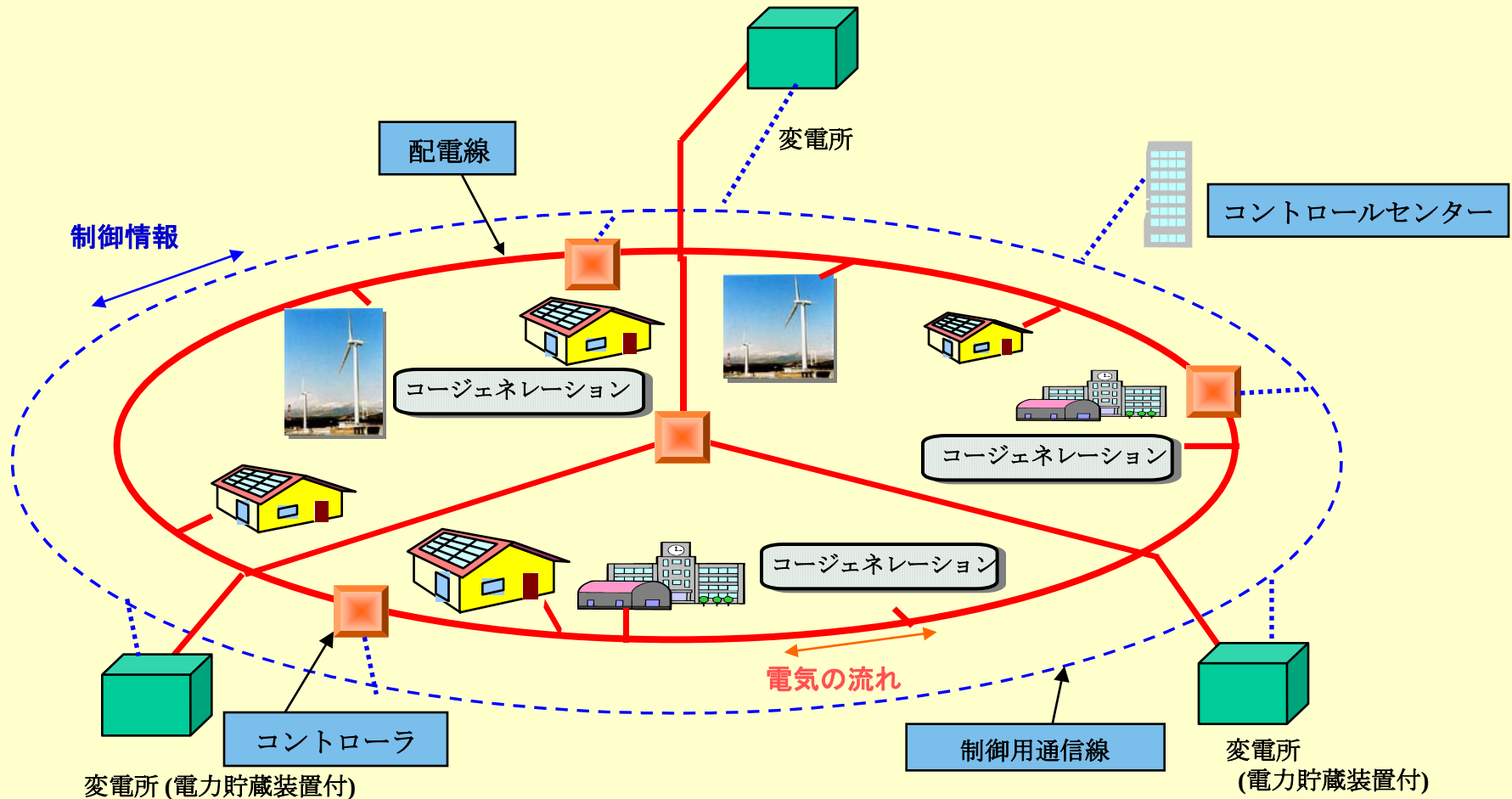


FRIENDSにおける QCC(電力改質センター)ネットワーク



新電力ネットワークシステム

— 経済産業省の将来像 —



新電力ネットワークシステム

- 需要地系統実証試験 -



LPC



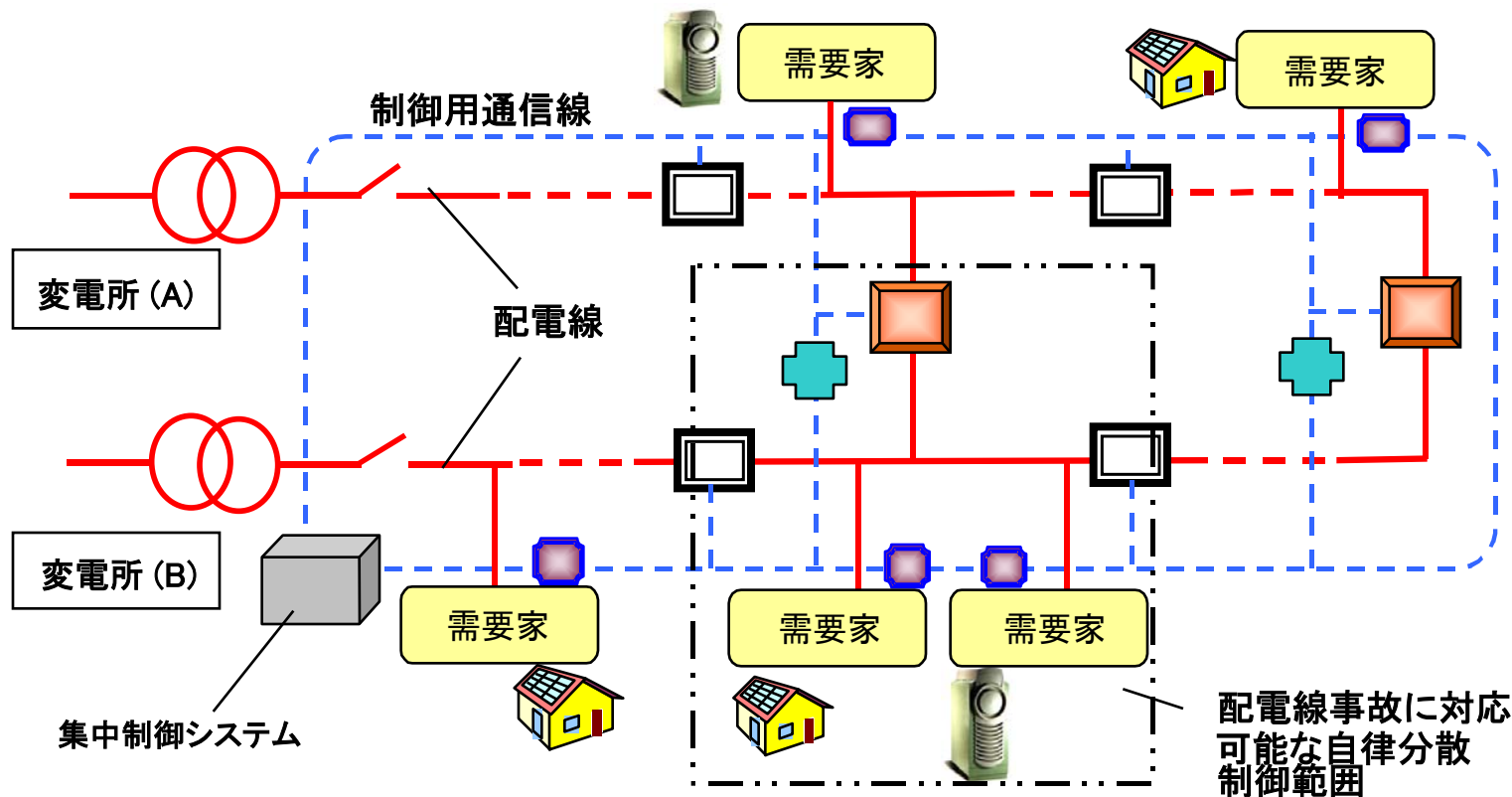
需給インターフェース



運転制御サブシステム

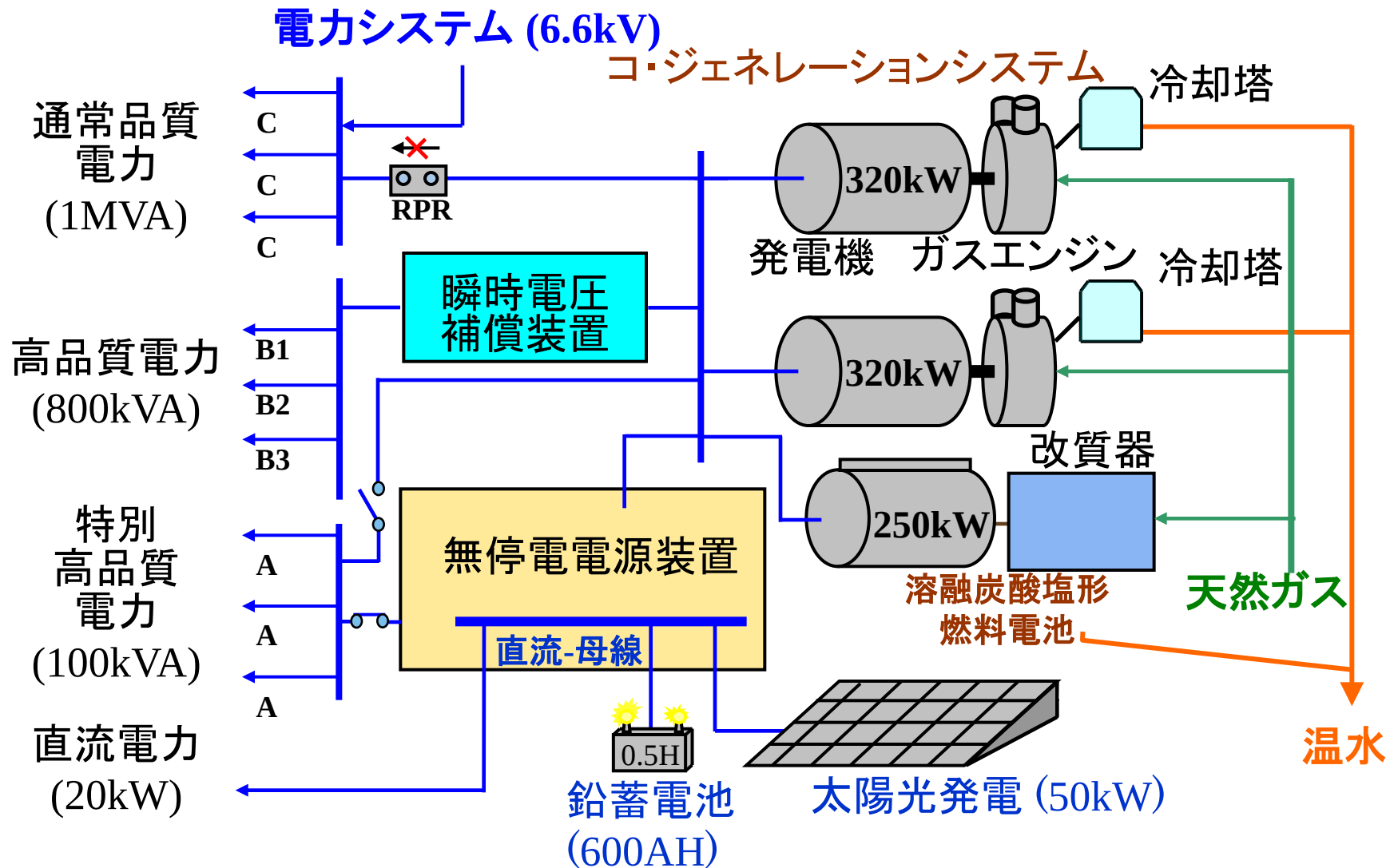


保護継電器付区間スイッチ



新電力ネットワークシステム

- 多品質電力供給実証試験 -



分散型電源系統連系の将来予測

❖ 分散型電源の個別連系



❖ Micro-Grid



❖ FRIENDS



❖ Smart Grid



Combined Grid

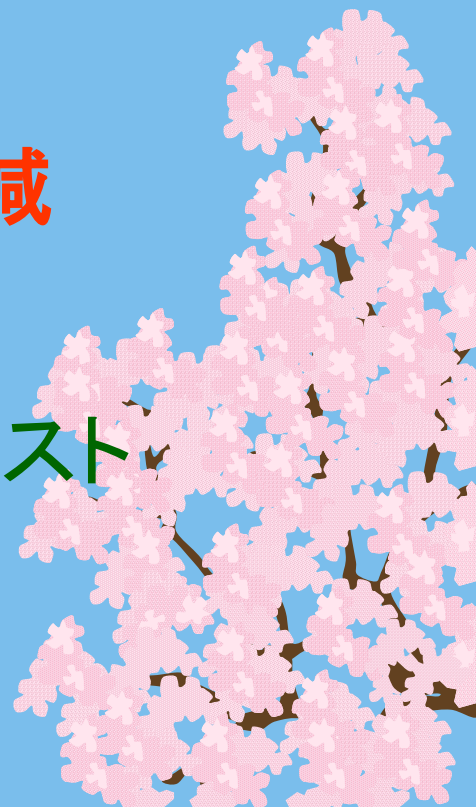
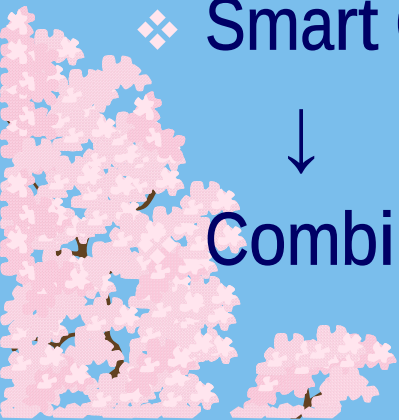
(追い風)

Green New Deal

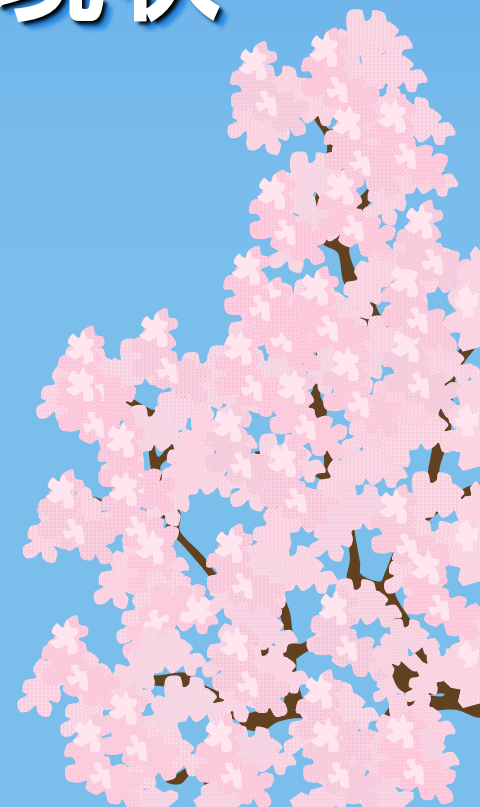
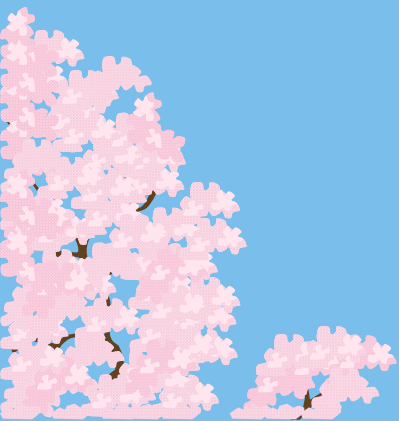
温室効果ガス削減

(向い風)

設備コスト



高専・大学の電力教育の現状



平成21年度電気学会 電力エネルギー部門大会 対象技術分野

- ❖ 電力系統の計画・運用・解析・制御
- ❖ 電力自由化
- ❖ 分散型電源
- ❖ 電力用機器
- ❖ 高電圧・絶縁現象・絶縁材料
- ❖ 省エネルギー・環境・代替エネルギー
エネルギー利用技術・エネルギー品質
国際競争力向上のための技術開発

電力工学Ⅱシラバス(福島高専)

前期		後期	
週	内容	週	内容
1	送配電技術の歴史と概要	16～17	中性点接地方式
2～3	線路定数	18～19	異常電圧、誘導障害、保護方式
4～6	送電特性	20	遮断器、避雷器
7	中間テスト	21	安定度
8～9	四端子回路、電力の計算	22	中間テスト
10～11	電力円線図	23	直流送電
12～14	故障計算	24～30	配電方式、電圧/損失計算、工事/保守

電力工学シラバス(茨城大学)

前期		後期	
週	内容	週	内容
1	電力システムの概要	ナシ	
2～3	送電線路の電气的特性		
4～5	送電線路の機械的特性		
6～7	架空送電線路		
8～9	地中送電線路		
10～11	配電線路		
12～14	故障計算,中性点設置,保護		

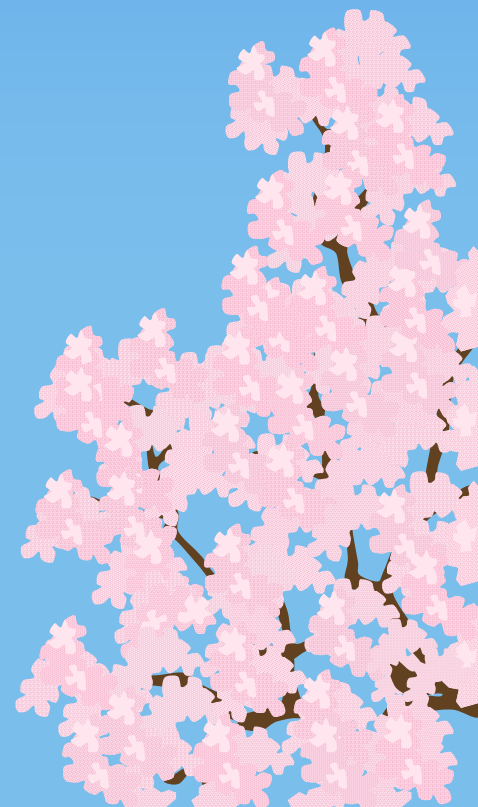
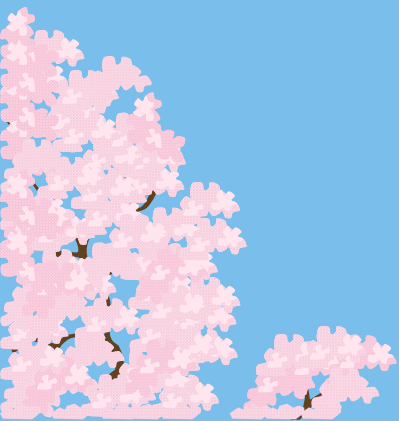
電力系統工学シラバス (東北大学工学部)

- 1 電力系統の基本構成概要と特徴, 役割
- 2 電力エネルギー輸送システム設備
- 3 送電線、変圧器、発電機の等価回路モデル
- 4 電力エネルギー輸送特性
- 5 有効・無効電力の関係と電力潮流の解析
- 6 需給バランスと周波数制御, 経済的運用
- 7 故障計算
- 8 中性点接地と誘導障害
- 9 保護継電システム
- 10 電力システムの安定度
- 11 系統故障と保護システム
- 12 異常電圧とその対策
- 13 直流送電特性
- 14 将来展望

平成21年度電気学会 電力エネルギー部門大会 対象技術分野

- ❖ 電力系統の計画・運用・解析・制御
- ❖ 電力自由化
- ❖ 分散型電源
- ❖ 電力用機器
- ❖ 高電圧・絶縁現象・絶縁材料
- ❖ 省エネルギー・環境・代替エネルギー
エネルギー利用技術・エネルギー品質
国際競争力向上のための技術開発

まとめ



END

ご静聴ありがとうございました

