

事例研究(ミクロ経済政策・問題分析 III)

- 規制産業と料金・価格制度 -

(第4回 - 事例(2) 電力需給と系統問題)

2011年 5月12日

戒能一成

0. 本講の目的

(手法面)

- 典型的なネットワーク産業である電気事業の**地域別需給や送配電系統**の問題を理解する
→ 空間経済学のエネルギー分野への応用例
の1つ

(内容面)

- 電力需給の基礎と最適電源構成モデル、国内
連系送電網の形成過程を理解する

1. 電力需給の基礎

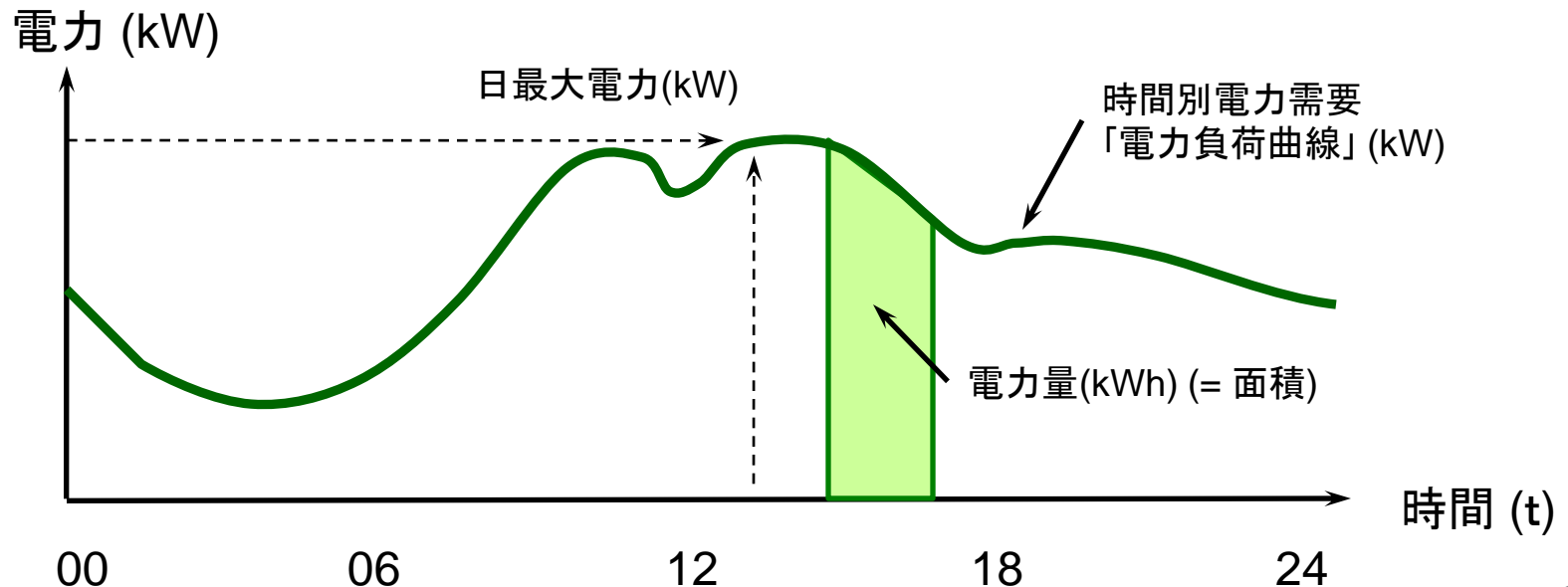
1-1. 電力と電力量

- 電力 (kW)

瞬間的な電気エネルギーの大きさの指標

- 電力量 (kWh)

一定時間内の電気エネルギーの累積量



1. 電力需給の基礎

1-2. 電力系統と同時同量

- 電力系統においては、各時点の電力 (kW) の需給が各時点・各地点毎に一致していないと正常に供給ができない (「**同時同量**」と呼称)
 - 需給が崩れた場合、一定時間内に再度一致させないと電圧が変動し**停電**を発生 (直流では瞬時、交流では数秒～数分)
 - 通常は需要側の変動に合わせて、変動幅を埋めるように水力・火力発電所の出力調整や起動・停止を行う

1. 電力需給の基礎

1-3. 電力と電力量の実際的な意味

- (最大)電力 (kW)

- 停電を生じさせない(= 安定供給を行う)ために、電力会社が用意しなければならない**発電設備容量**の指標
- 現実には更に送変配電損失・予備率(検査補修頻度)を考慮し発電設備容量を決定

- 電力量 (kWh)

- 年間を通じて電力を用意するために調達を要する**燃料**の量(水利・核燃料を含む)

1. 電力需給の基礎

1-4. 直流と交流

- 電力系統には、通常は**交流**が用いられている
交流を用いる理由は 3つ
 - 1) そもそも発電機は交流電力を発生
 - 2) 直流に比べ電圧制御(変圧)が遙かに容易
(⇔ 直流は電圧制御が極めて難しい)
 - 3) 大型電動機の殆どは交流電力を利用
(⇒ 小型～中型電動機の殆どは直流)
- 一方、直流は送電線の利用率が高く、周波数制御が不要な利点があり、海底送電、周波数変換設備などの補完的用途で利用

1. 電力需給の基礎

1-5. 交流系統の特徴 (1)

- 交流電力系統には独特の技術的制約あり

1) 電圧・周波数安定性

交流の送電線が送ることができる最大電力に関する制約

→ 定格容量(=直流の限界)より小さい

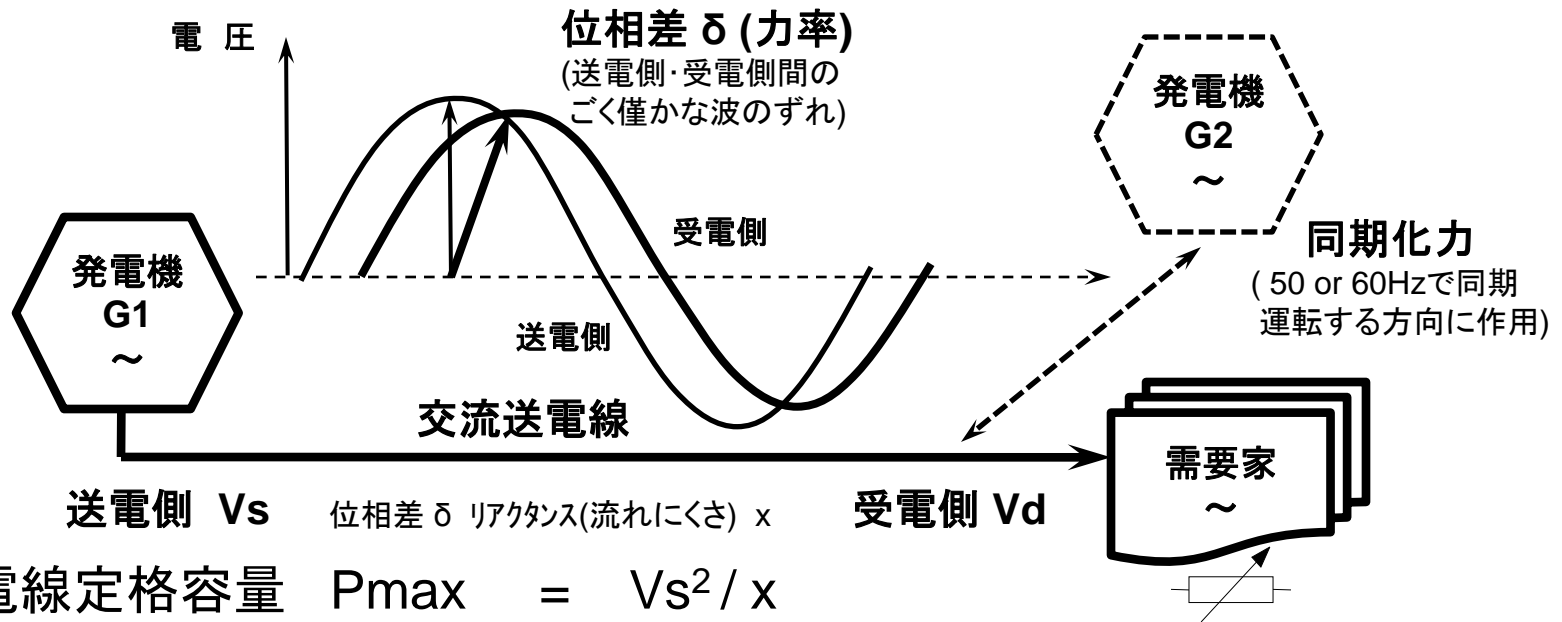
2) 同期安定性

複数の発電機間の問題に関する制約

- 定態安定性: 発電機間の同期上の制約
- 過度安定性: 事故時の遮断限界制約

1. 電力需給の基礎

1-6. 交流系統の特徴 (2)



送電側 V_s	位相差 δ	リアクタンス(流れにくさ) x	受電側 V_d
送電線定格容量	P_{max}	$= V_s^2 / x$	
送電有効電力	P_{real}	$= (V_s * V_d * \sin \delta) / x$	
送電無効電力	P_{imag}	$= (V_s * V_d * \cos \delta - V_d^2) / x$	
同期化力	F_{syncro}	$= (V_s * V_d * \cos \delta) / x$	$(V_s > V_d)$

→ 需要の急増により位相差(力率) δ が大きくなると、(無効)電力が送れず電圧・周波数が低下、同期化力が低下し波形維持も困難化

1. 電力需給の基礎

1-7. 交流系統の特徴 (3)

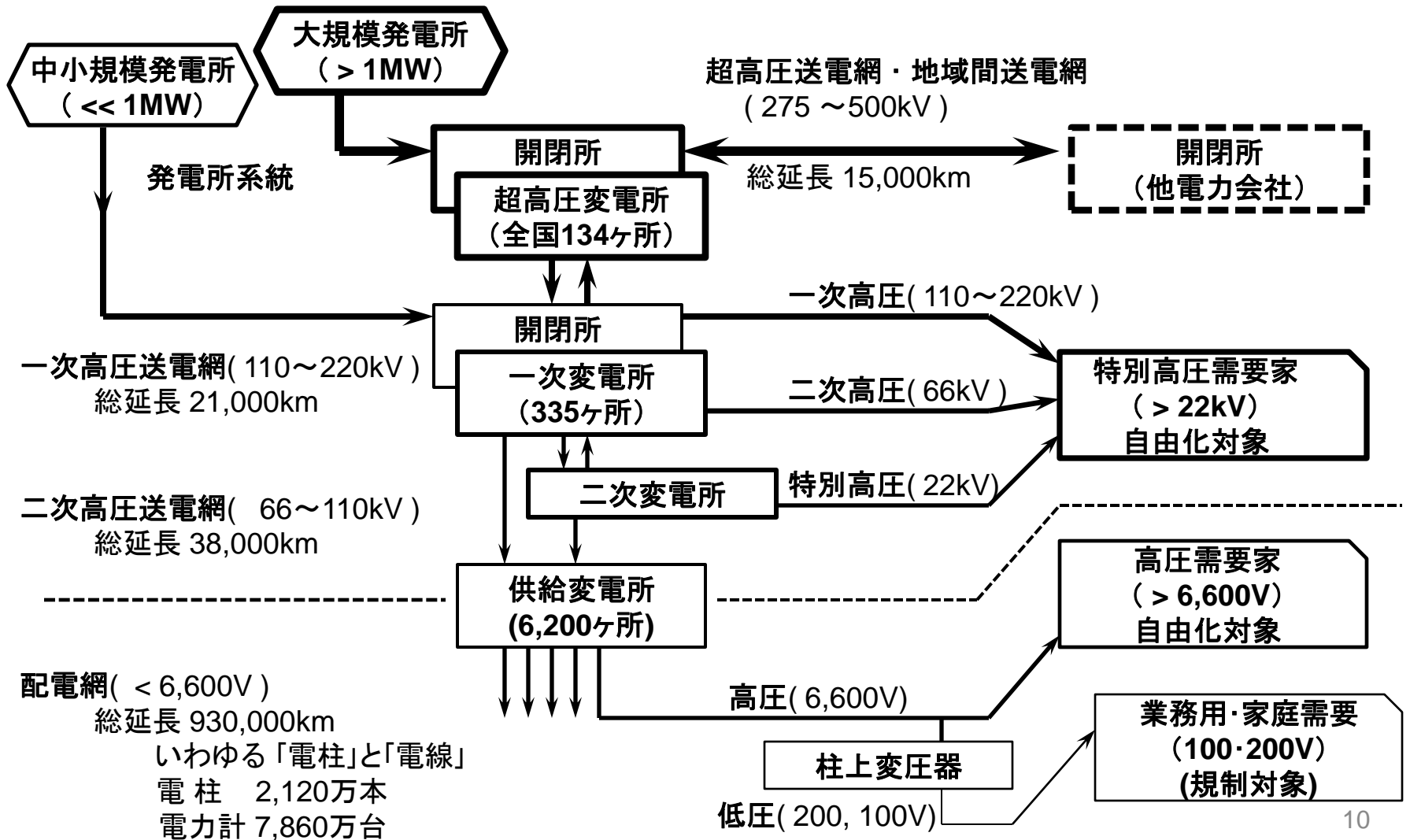
- **無効電力** とは

- 交流の虚数成分であり直接は消費されない
- しかし、変圧器などでの電圧の昇圧・調整など
交流系統の運用上必要不可欠な成分

- 無効電力が不足すると、有効電力に対する電源設備容量が足りていても停電してしまう('87)
- 無効電力は総変配電では変圧器、需要先では大型電動機、インバータなどでの位相差 δ 調整の際に消費される
出力状況により、風力・太陽光発電機が消費することも
- 有効電力から無効電力を作ることとは可能 (SVC・同期調相機など)だが、設備が特殊で高価

1. 電力需給の基礎

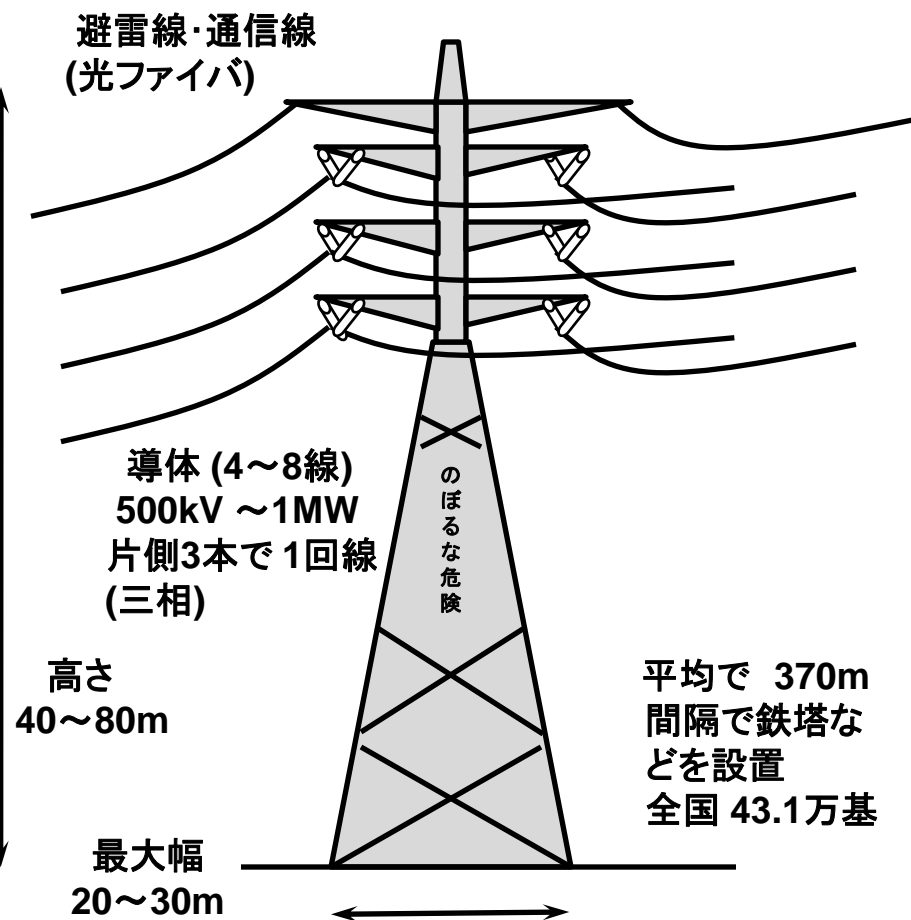
1-8. 現実の送変配電網 (1)



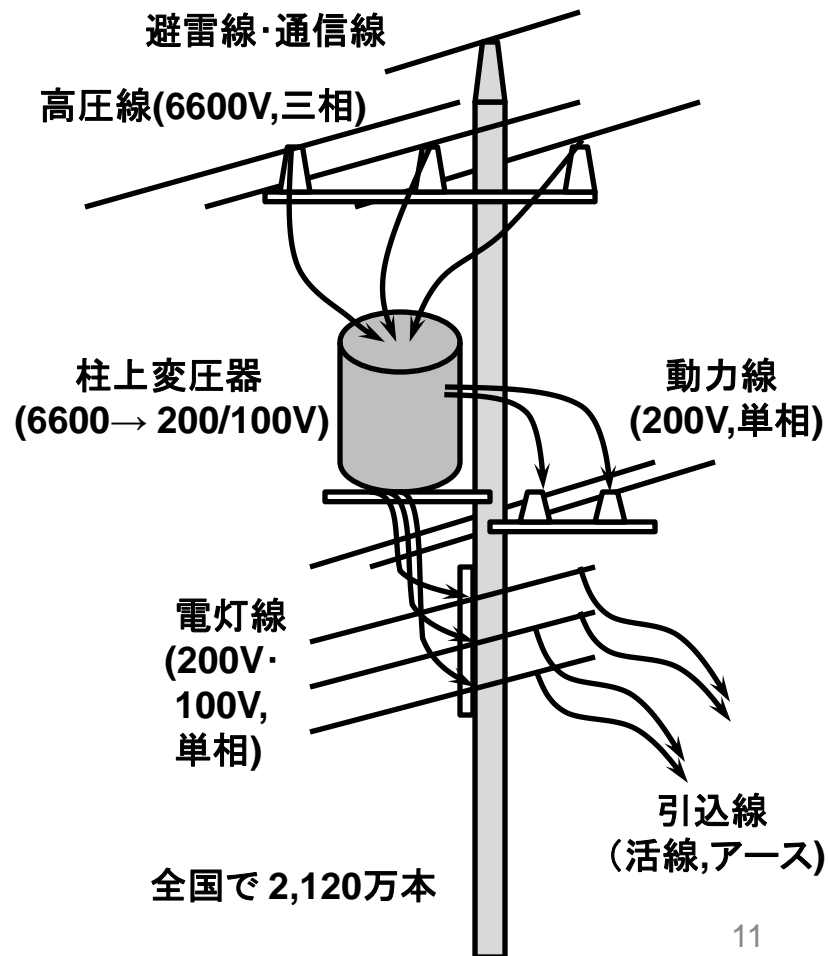
1. 電力需給の基礎

1-9. 現実の送変配電網 (2)

500kV 超高圧架空送電線



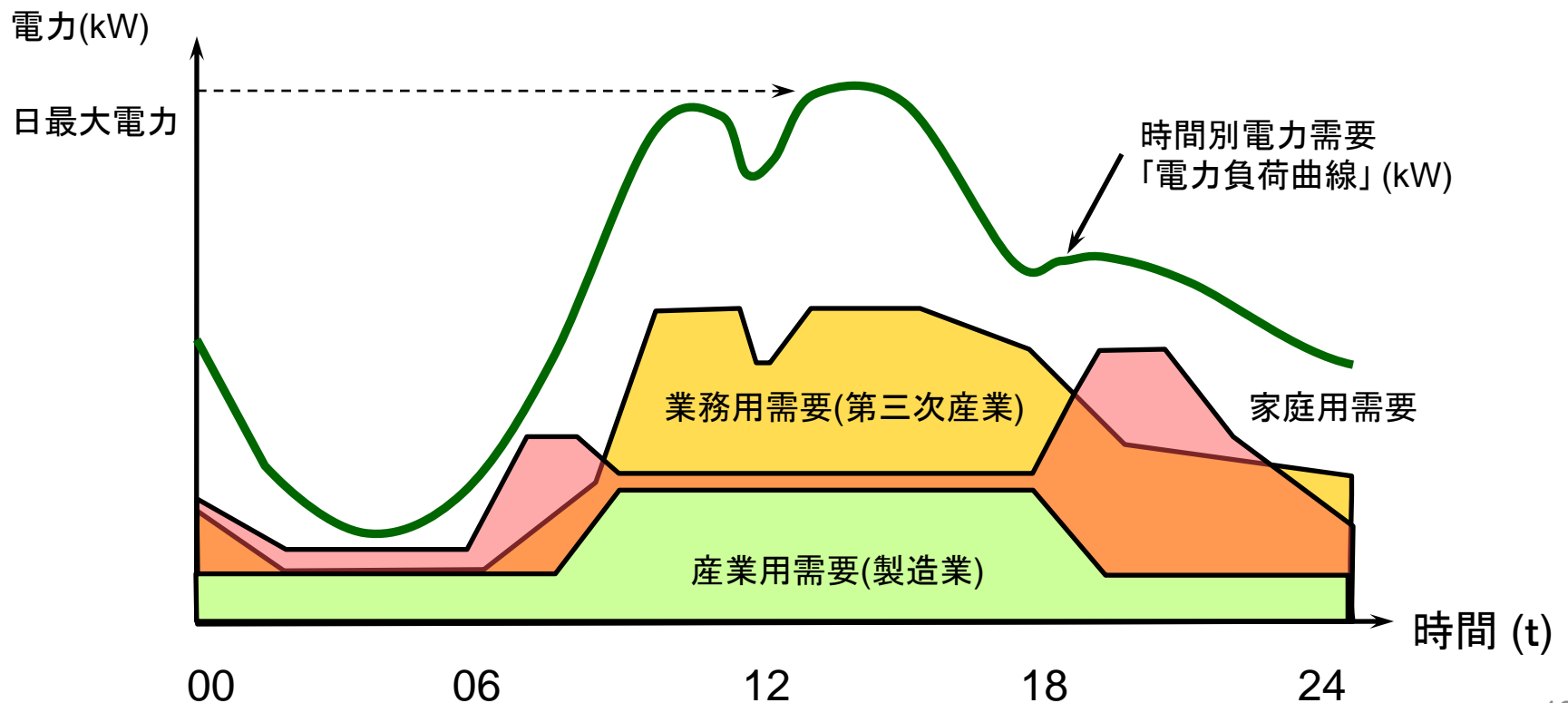
一般的な電柱(配電線)



2. 電力需給と電源選択

2-1. 電力負荷曲線と需要

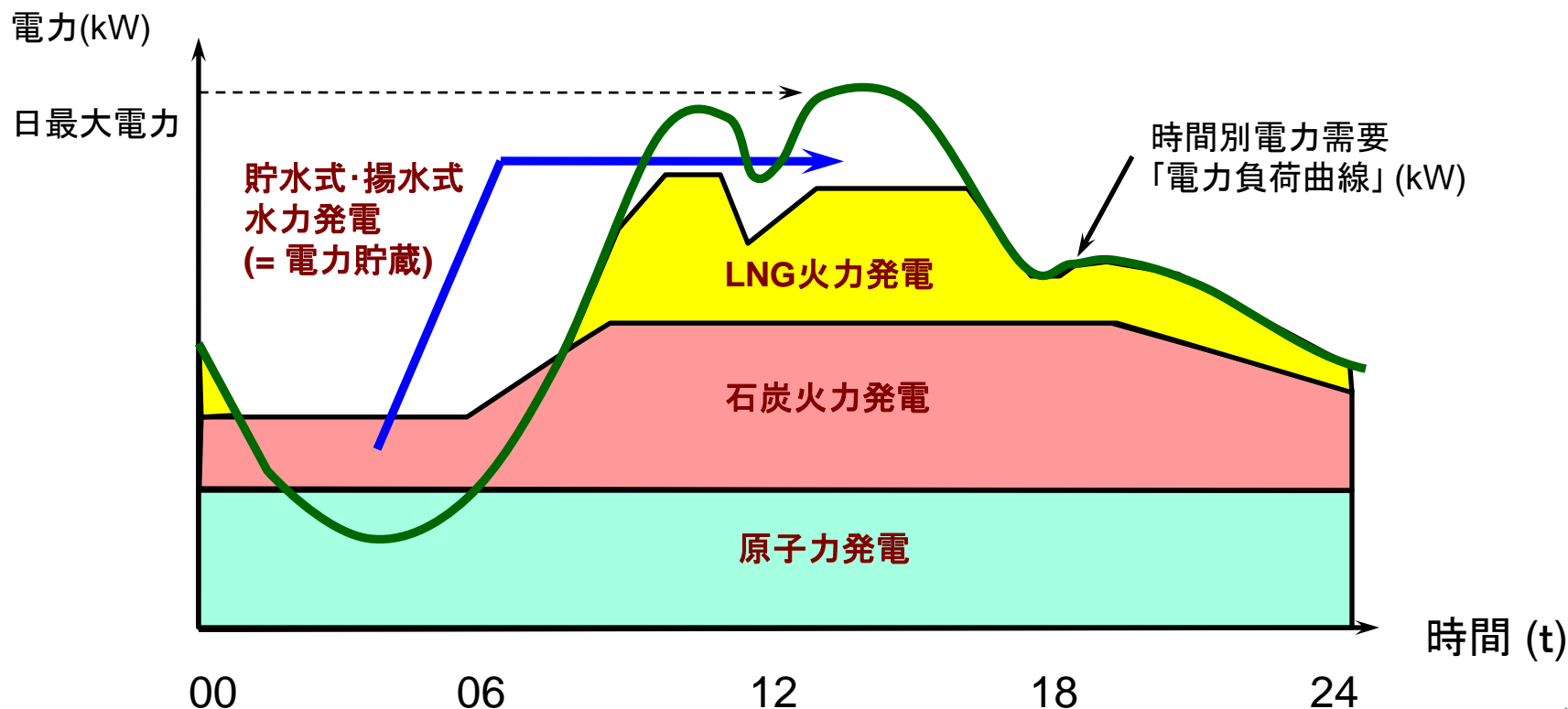
- 電力負荷曲線は、企業・家計の電力需要が合成されたもの：時間別内訳は非公開



2. 電力需給と電源選択

2-2. 電力負荷曲線と供給

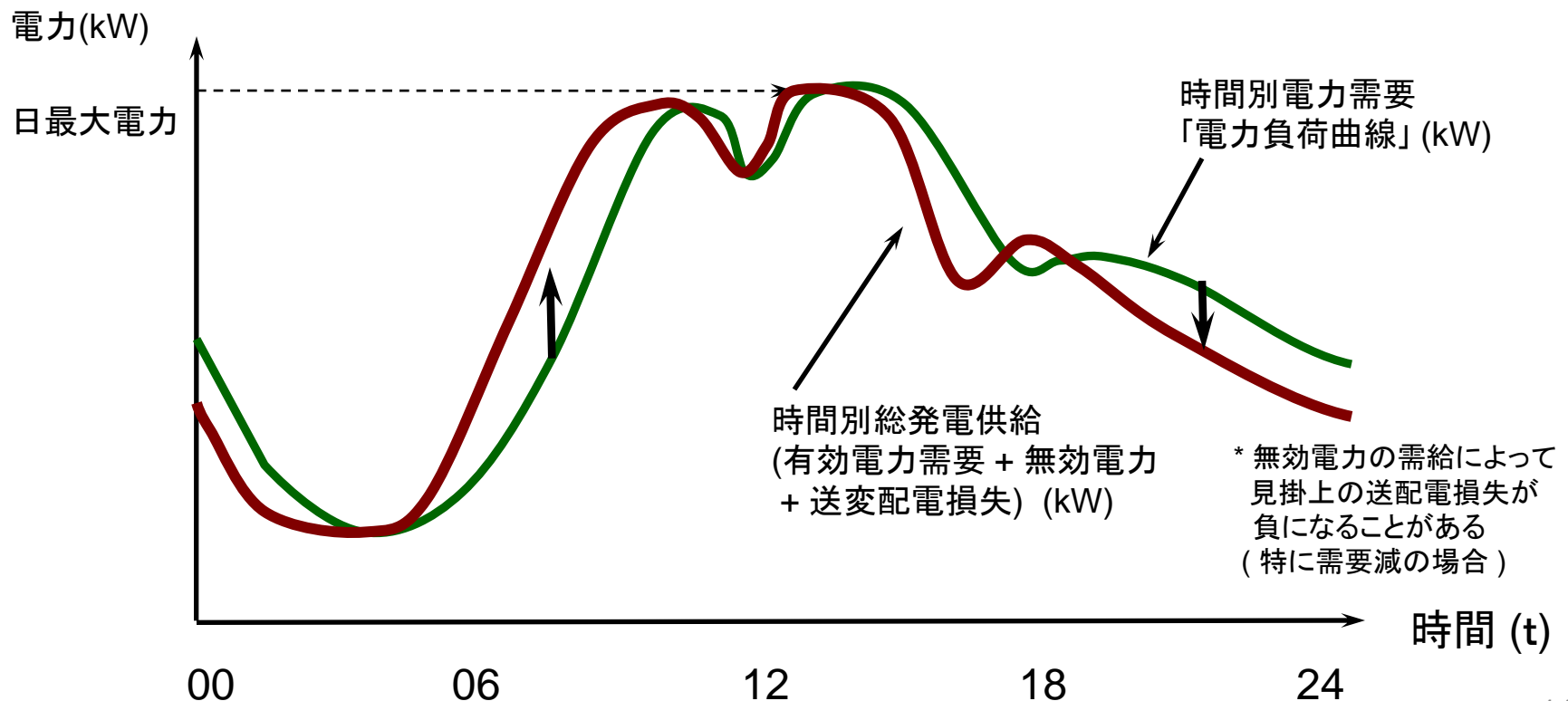
- 電力負荷曲線に対し、電力会社は各種発電所を稼働して供給対応：時間別内訳は非公開



2. 電力需給と電源選択

2-3. 電力負荷曲線と「現実の供給」

- 現実には、電力負荷曲線は予知できないため、無効電力や送変配電損失を考慮し**予測制御**



2. 電力需給と電源選択

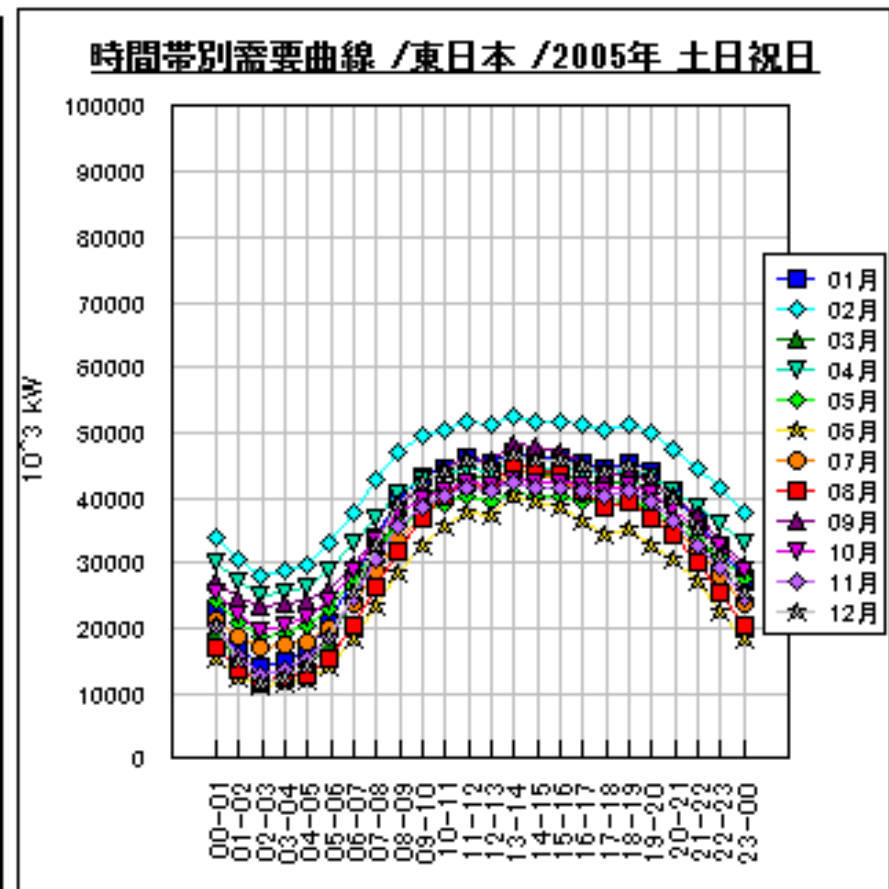
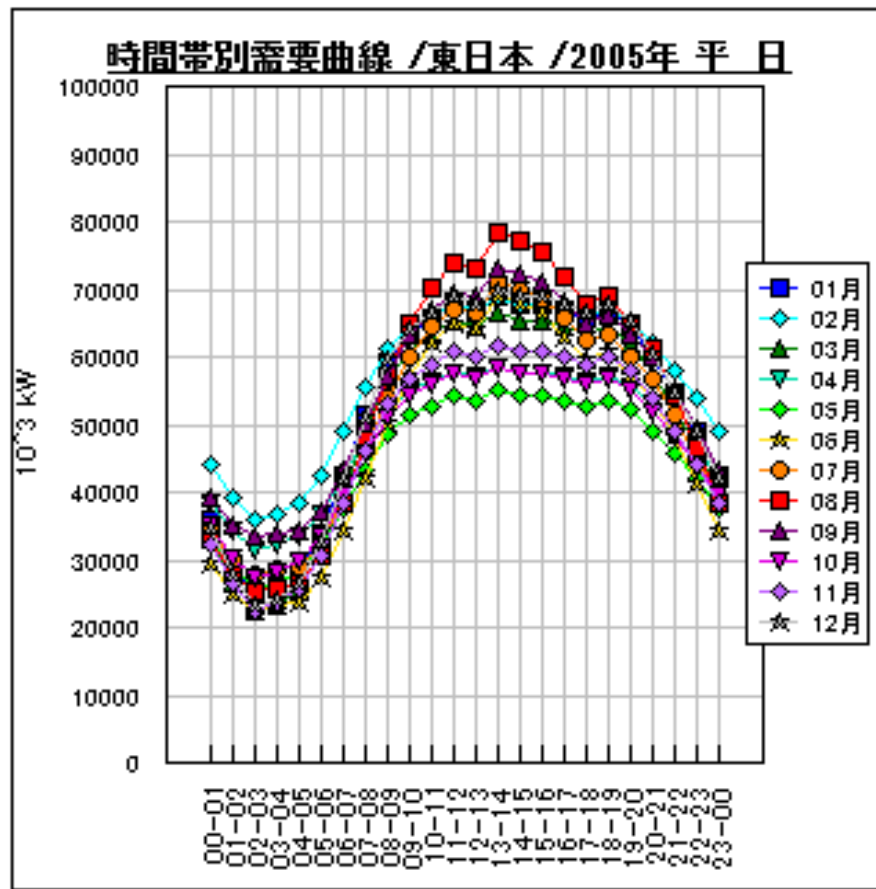
2-4. 電力側の対応モデル：**最適電源構成モデル**

- 少なくとも供給側の対応が不明では、電気料金・電源選択やCO₂問題などの分析は不可能
- このため、与えられた電力負荷曲線に対して、電力会社が各時間帯で**発電限界費用最小化**行動を執ると仮定して、電源構成モデルを構築し、シミュレーションで政策分析を実施
 - 燃料費・廃棄物処理費など発電限界費用が廉価な順番に、各設備を能力上限迄稼働させることが当該モデルの(短期)解

2. 電力需給と電源選択

2-5. 電力日負荷曲線の推計

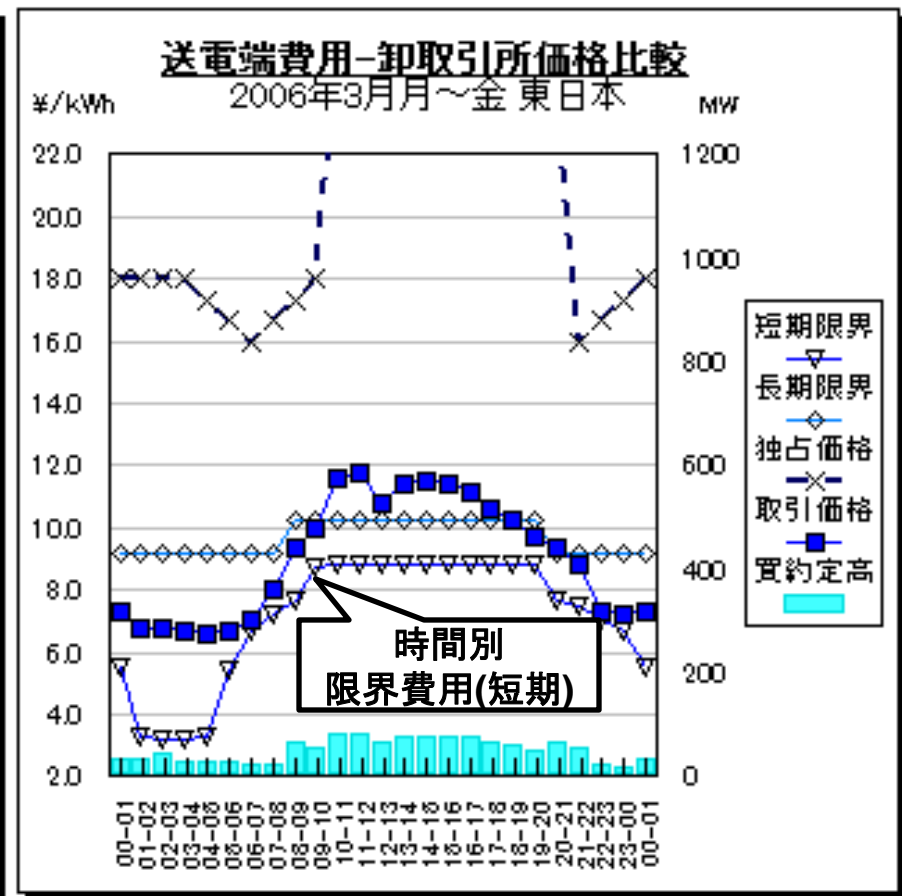
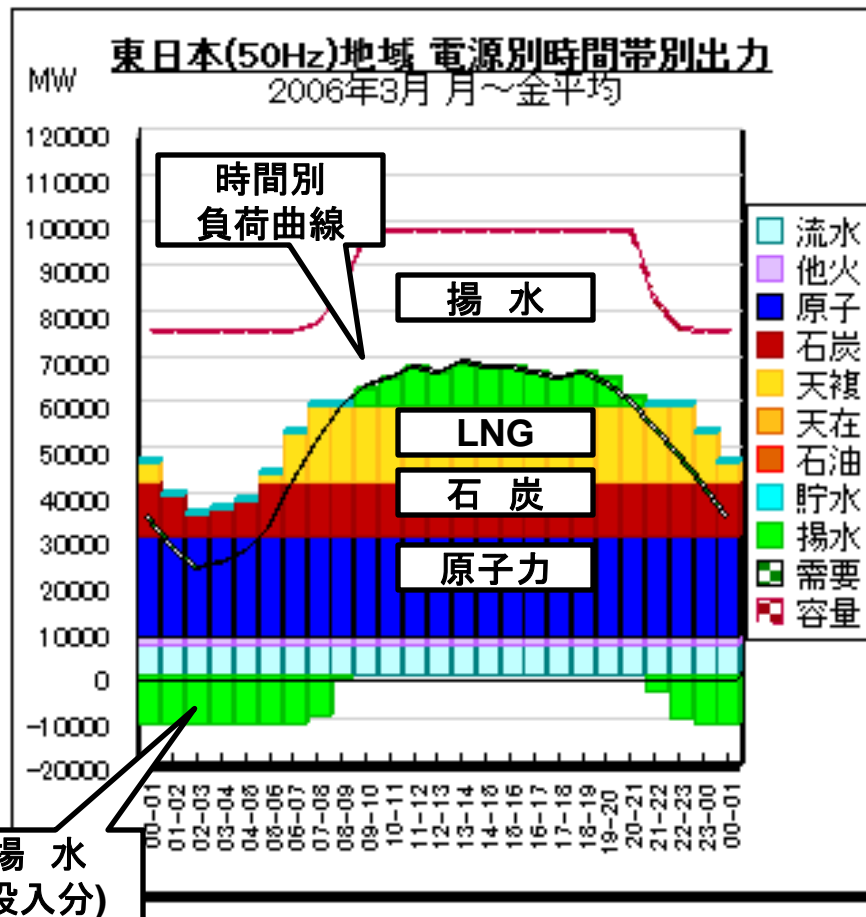
- 非公開のため、最大電力などから推計が必要



2. 電力需給と電源選択

2-6. 最適電源構成モデルの例：戒能モデル

- 卸電力取引所の価格監視への応用例('07)



2. 電力需給と電源選択

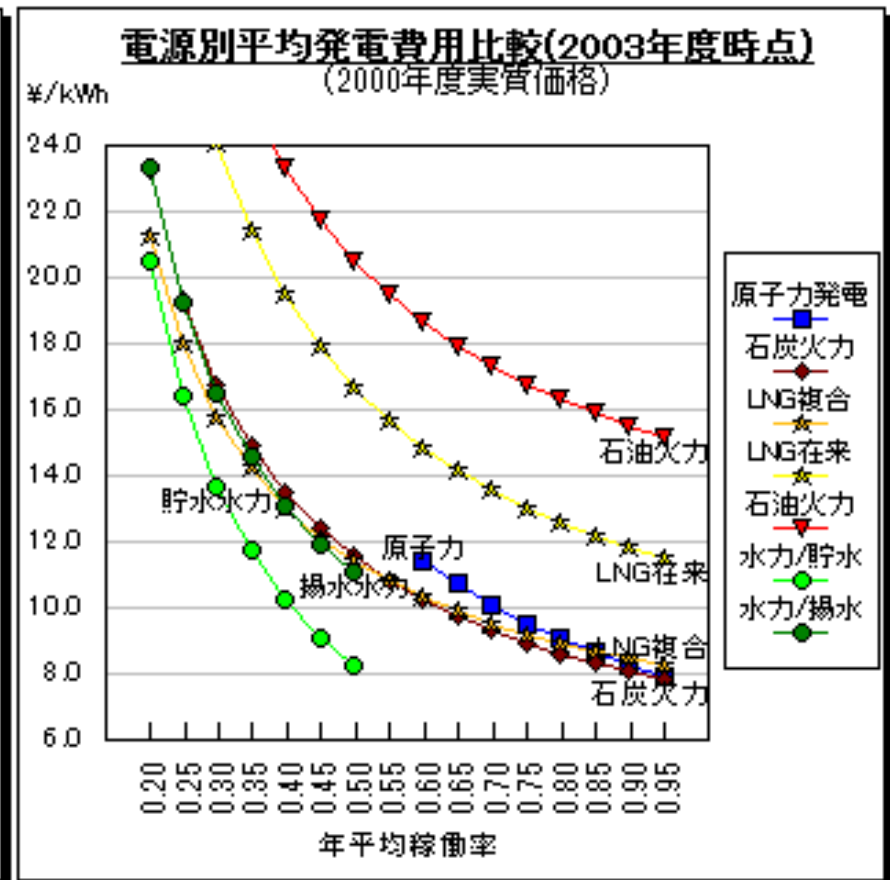
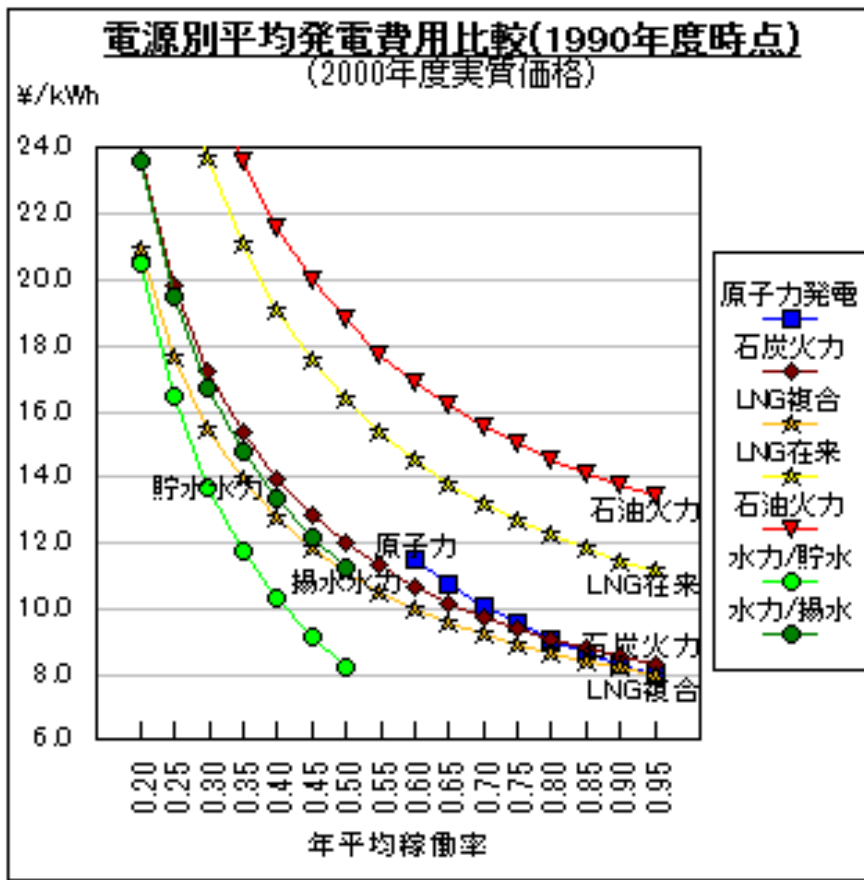
2-7. 電源整備問題 (1)

- 長期的な電源整備については、電力会社が電源種類毎の耐用年数間での固定費と可変費を総計した**耐用年総平均費用最小化**行動を執ると仮定したモデルを構築しシミュレーション
- 運用稼働率帯(通常40%~80%帯)毎に区分
- 但し耐用年総平均費用の計算は**不確実性大**
 - 将来燃料費・廃棄物処理費見通し
 - 稼働率帯別需要規模見通し
 - 長期割引率見通し

2. 電力需給と電源選択

2-8. 電源整備問題 (2)

- 耐用年総平均費用の試算例 ('90,'03)



2. 電力需給と電源選択

2-9. 最適電源構成モデル：戒能モデル

$$Ca(w) = (Cv(w) + Cf) / (E * H * w)$$

$$Cv(w) = \sum_t (E * H * w * ((F(t)*j/e) + L(t)) * \sum_i (1+r)^{-i})$$

$$Cf = E * P * \sum_i (1+r)^{-i}$$

Ca(w): 稼働率帯 w での現在価値換算平均発電費用 (¥/kWh)

Cv(w): 稼働率帯 w での総可変費(燃料費・廃棄物処理費他) (¥)

Cf : 総固定費 (¥) P : 設備容量当建設費 (¥)

E : 設備容量 (kW) H : 年間時間数 (= 8,760h)

r : 長期割引率 (~ 3%) e : 発電効率・燃料消費率

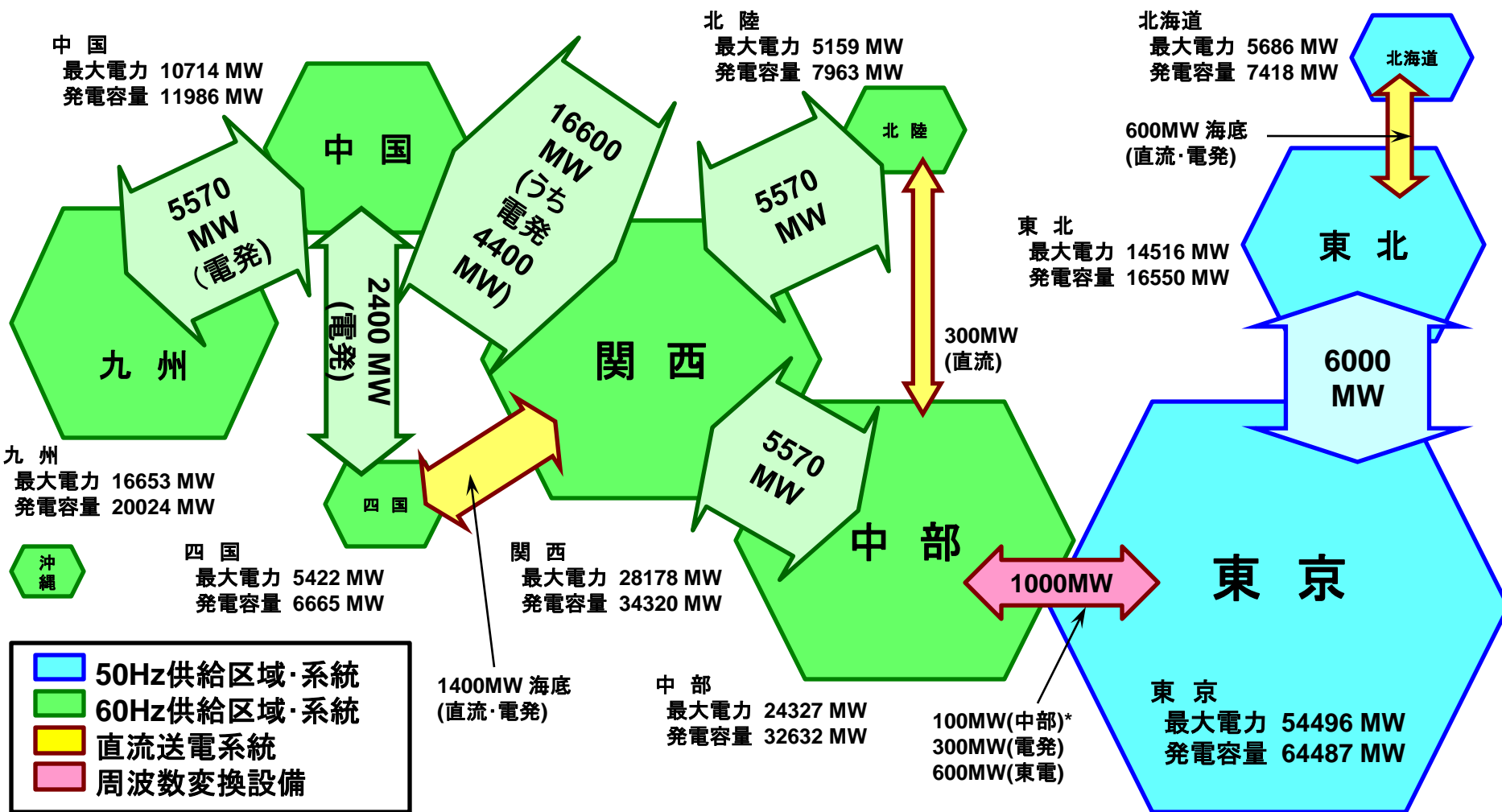
F(t) : 時点 t での燃料費 (¥/MJ) j : 電力換算係数(3.6MJ/kWh)

L(t) : 時点 t での廃棄物処理費他操業費 (¥/kWh)

→ 時間帯別想定需要と予備率などから稼働率帯別設備容量を求め、稼働率帯別に線形計画法を適用し電源構成を決定

3. 地域別電力需給と連系送電網

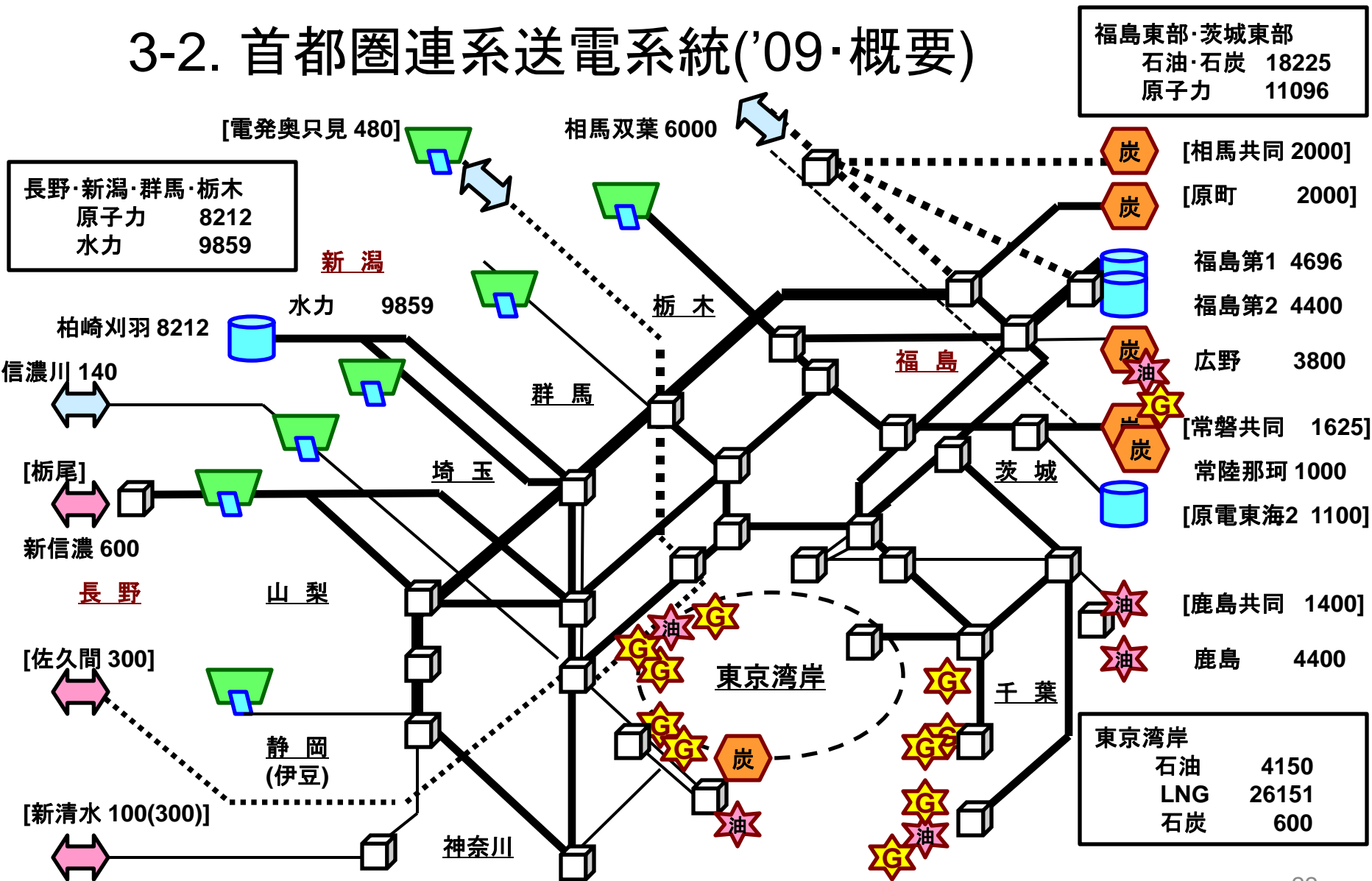
3-1. 国内連系送電系統 (2009年度末)



* 中部電力新清水周波数変換設備は300MWの設備容量が完成しているが、送電線の制約から100MWで部分運用中である

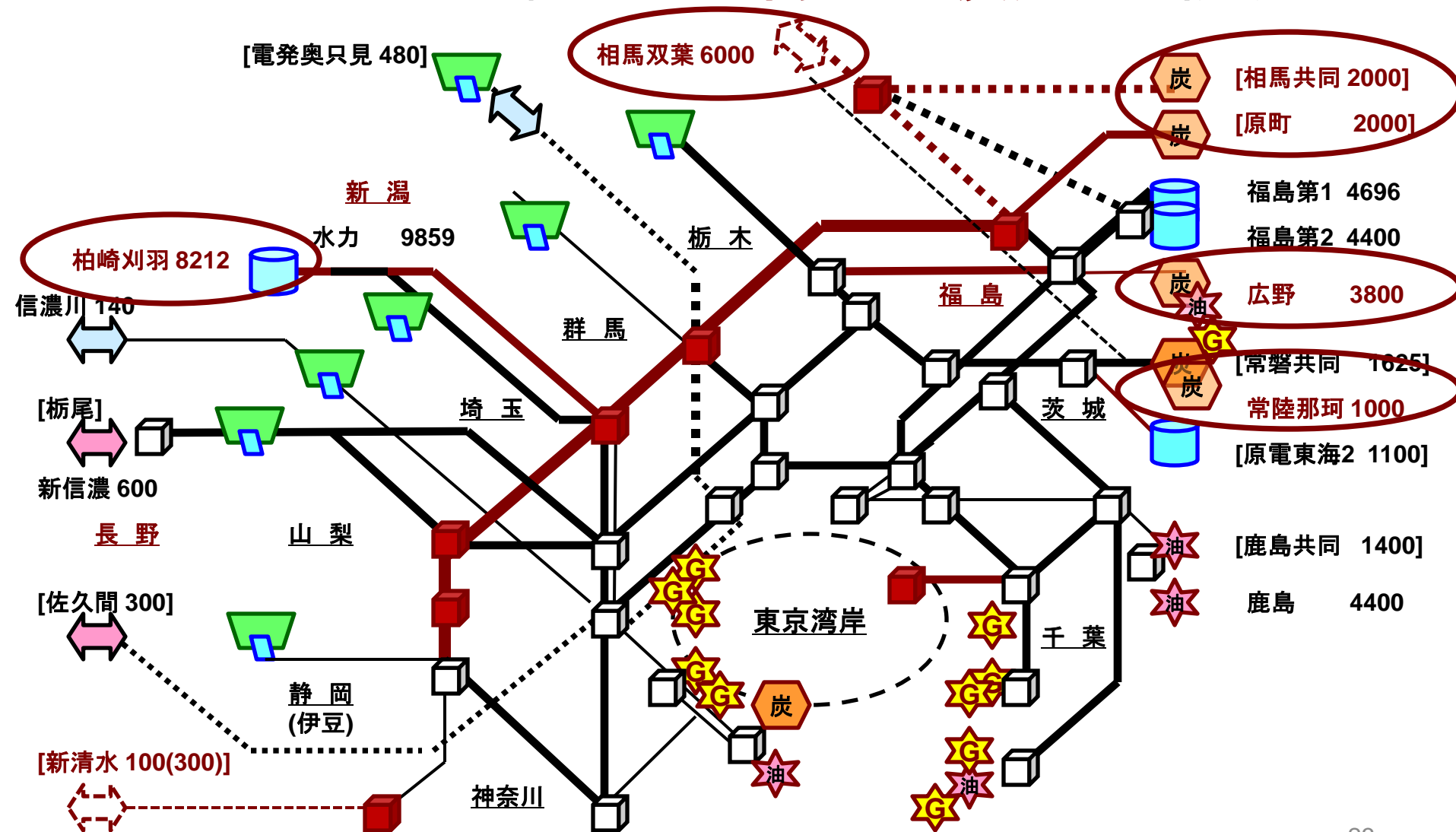
3. 地域別電力需給と連系送電網

3-2. 首都圏連系送電系統('09・概要)



3. 地域別電力需給と連系送電網

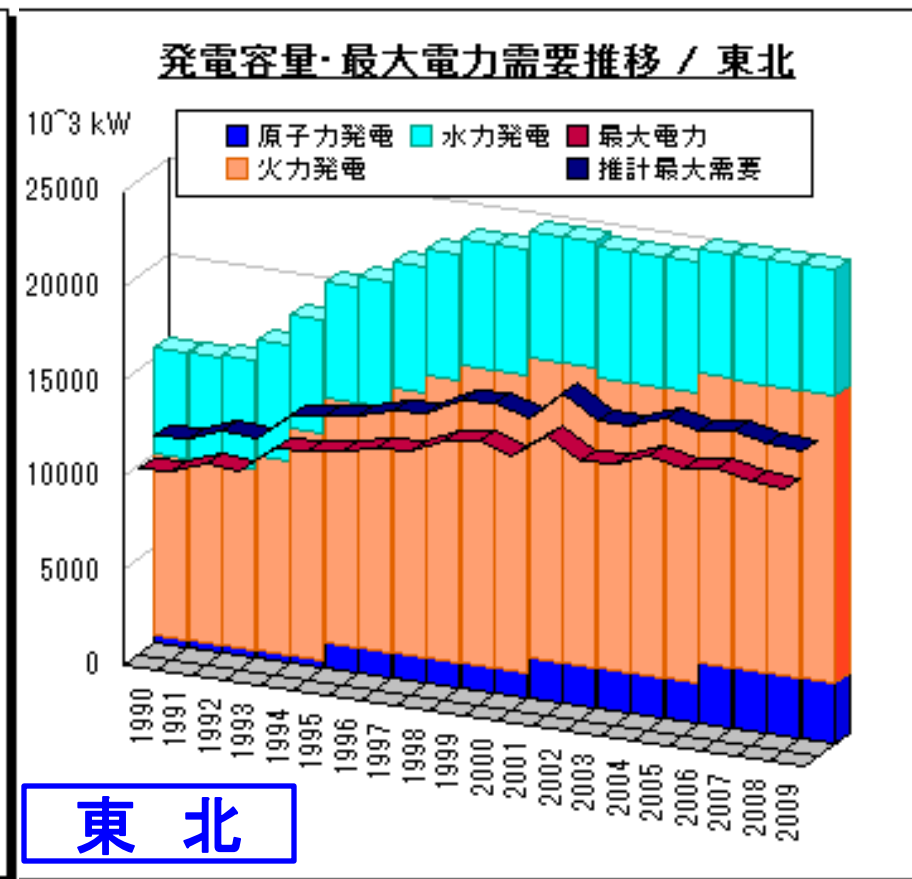
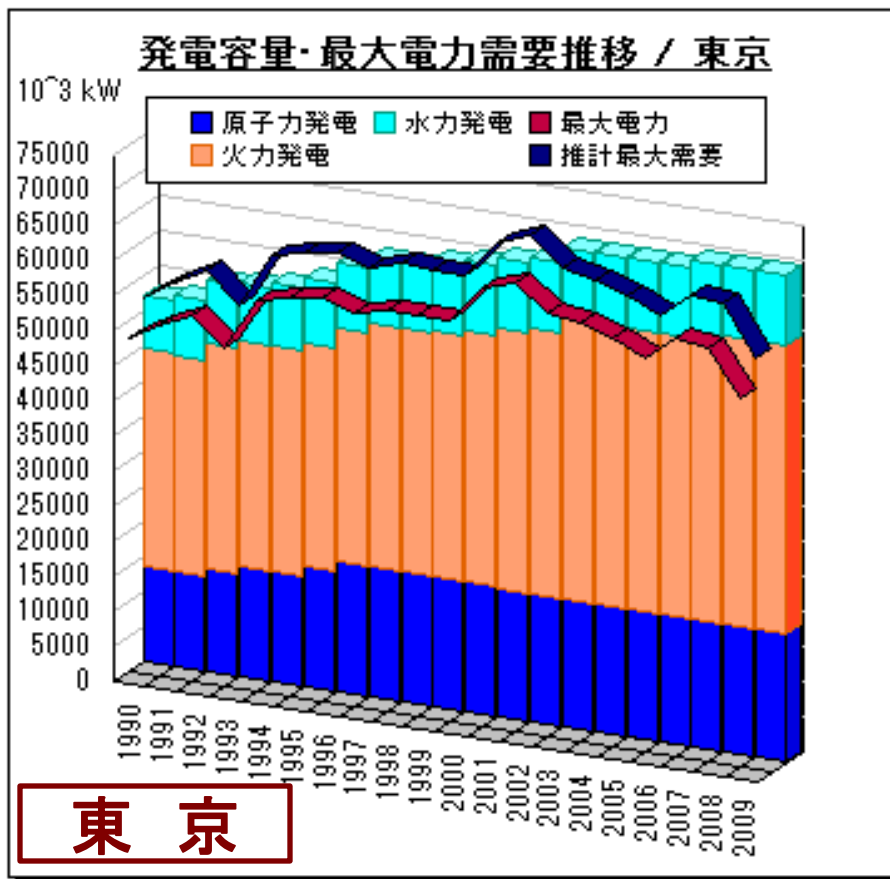
3-3. '90年以降増設分：原発と石炭火力に接続



3. 地域別電力需給と連系送電網

3-4. 地域別最大電力・発電容量推移: 東京 / 東北

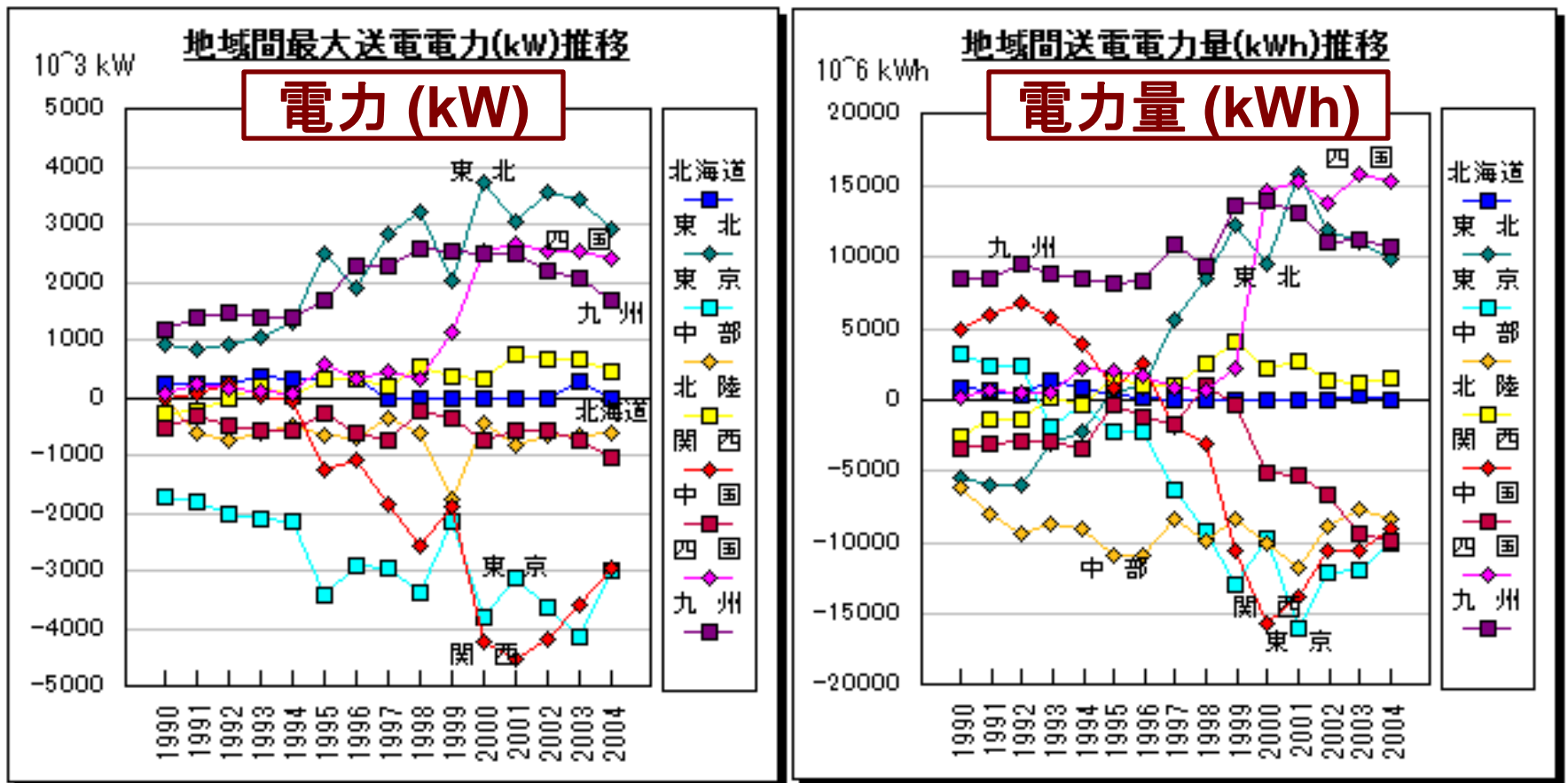
→ 東京は最大電力超過、東北はその逆



3. 地域別電力需給と連系送電網

3-5. 地域間送受電実績: ('05以降一部非公開)

→ 東京・関西は 90年代中盤から恒常的受電に



3. 地域別電力需給と連系送電網

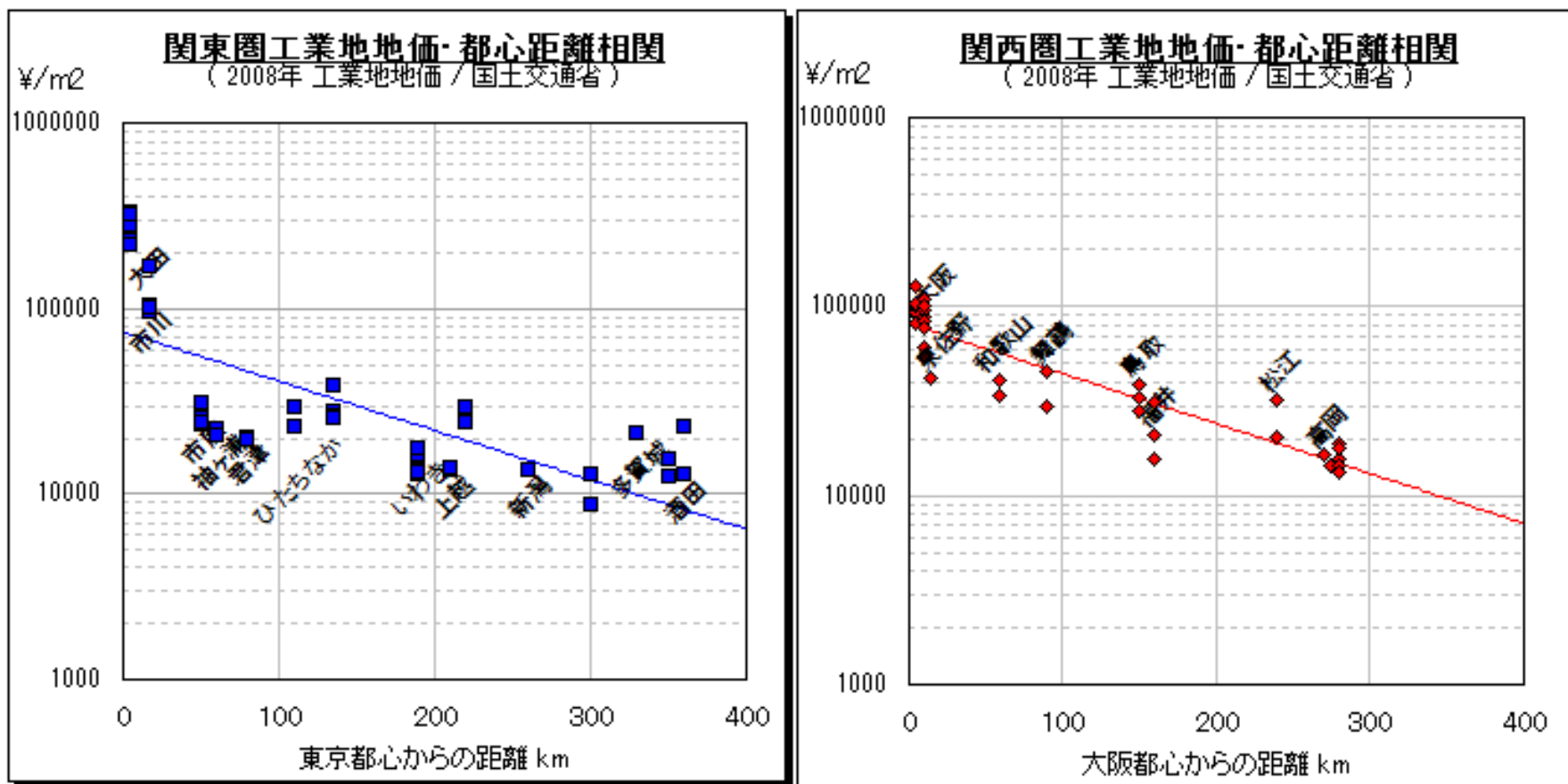
3-6. 電源立地(空間配置)問題 (1)

- 発電所・高圧送電線を新設するとした場合、
建設費用が最小化される電源立地条件如何
 - 設備機器・建設費用は立地と無関係で一定
 - 発電所用地費用・周辺対策費用などは、需要地から立地点迄の距離に応じ減少
(地価変化、人口密度変化など)
 - 送電線建設費用は、需要地から立地点迄の距離に応じ増加
(平均 370m間隔で鉄塔が必要)

3. 地域別電力需給と連系送電網

3-7. 電源立地(空間配置)問題 (2)

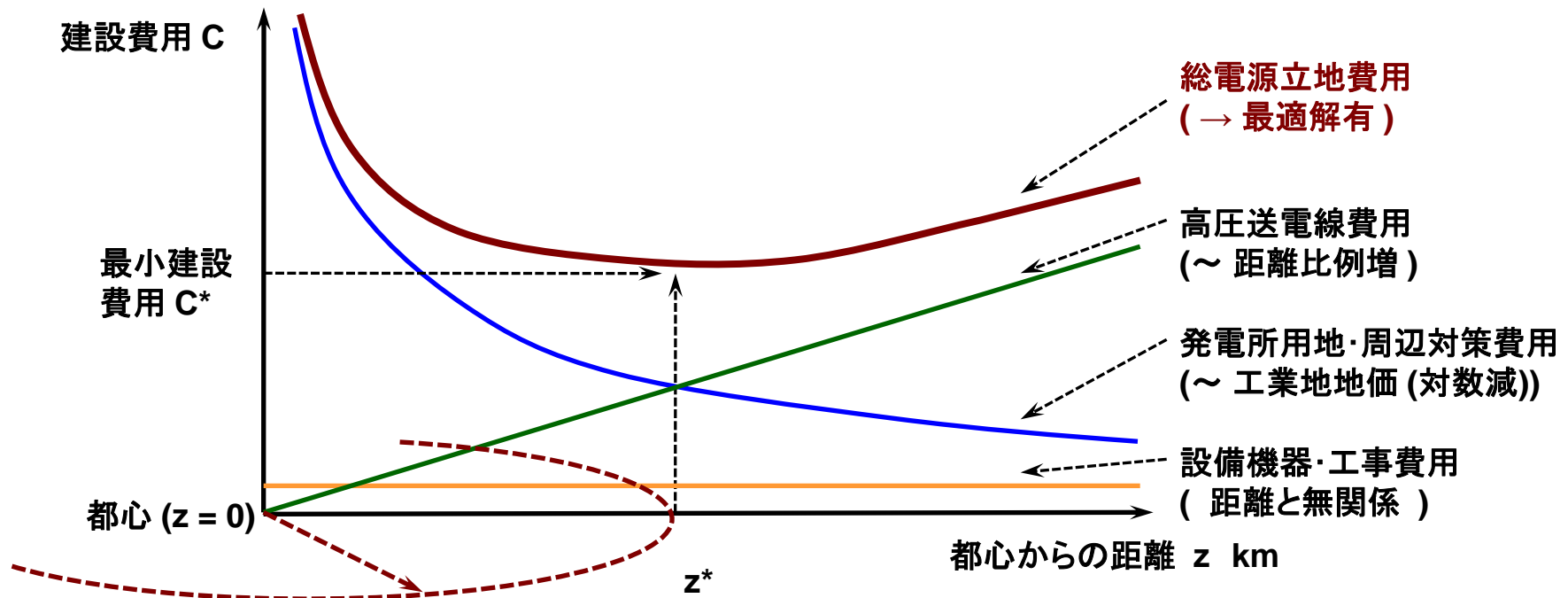
- 都心部からの距離と工業地地価(対数)の関係



3. 地域別電力需給と連系送電網

3-8. 電源立地(空間配置)問題 (3)

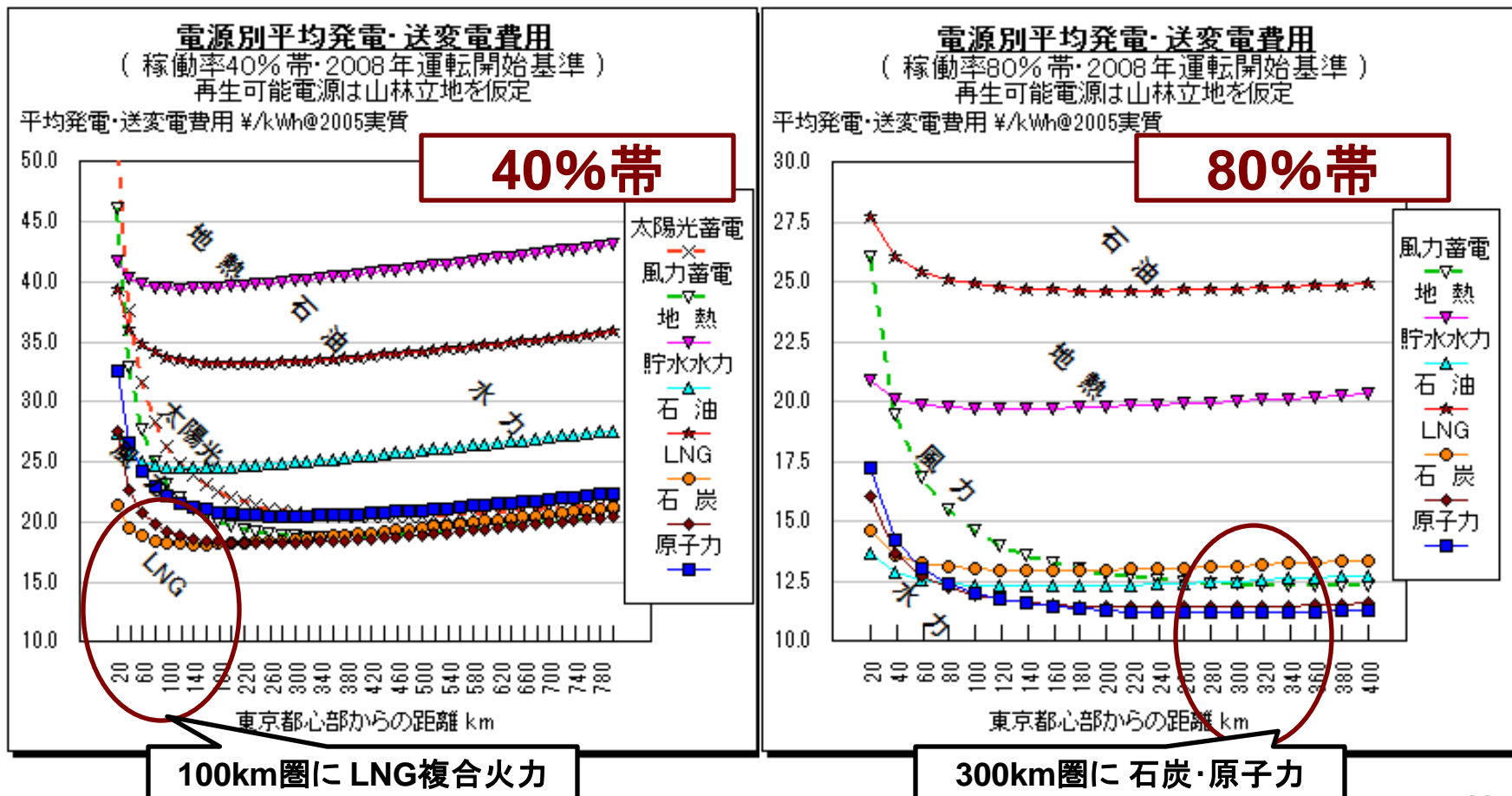
- 新規電源立地には**建設費用最小化**の最適解が存在



3. 地域別電力需給と連系送電網

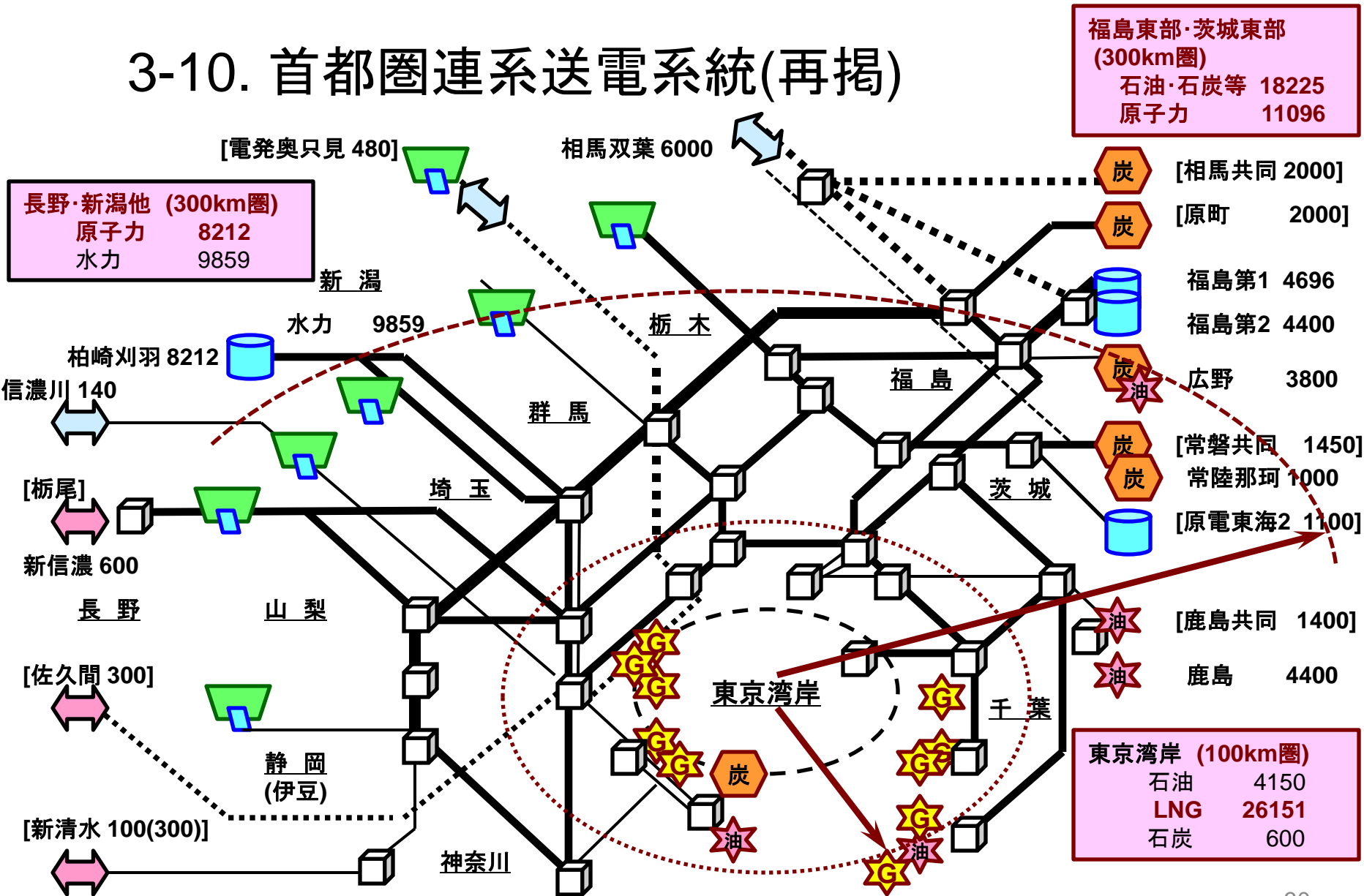
3-9. 電源立地(空間配置)問題 (4)

- 稼働率帯(40・80%)別最小費用距離計算結果



3. 地域別電力需給と連系送電網

3-10. 首都圏連系送電系統(再掲)



3. 地域別電力需給と連系送電網

3-11. 電源立地(空間配置)と連系送電網

- 国内の '90年代からの連系送電網の整備は
主に**発電所・高圧送電線の建設費用最小化**の
動機で進められてきた

→ 都心から 300km前後離れた距離に石炭
火力・原子力発電と送電線を整備するこ
とが新設時の建設費用の最適解

→ 東京・関西とも 300kmの距離は一般電
気事業者の**供給区域外**であるため、連系
送電網を整備することが必要に