

太陽光発電複数台連系時の発電 抑制回避に関する研究

先端電力工学(東北電力)寄付講座

修士2年 中西良太

研究の背景

環境問題への意識の高まりから

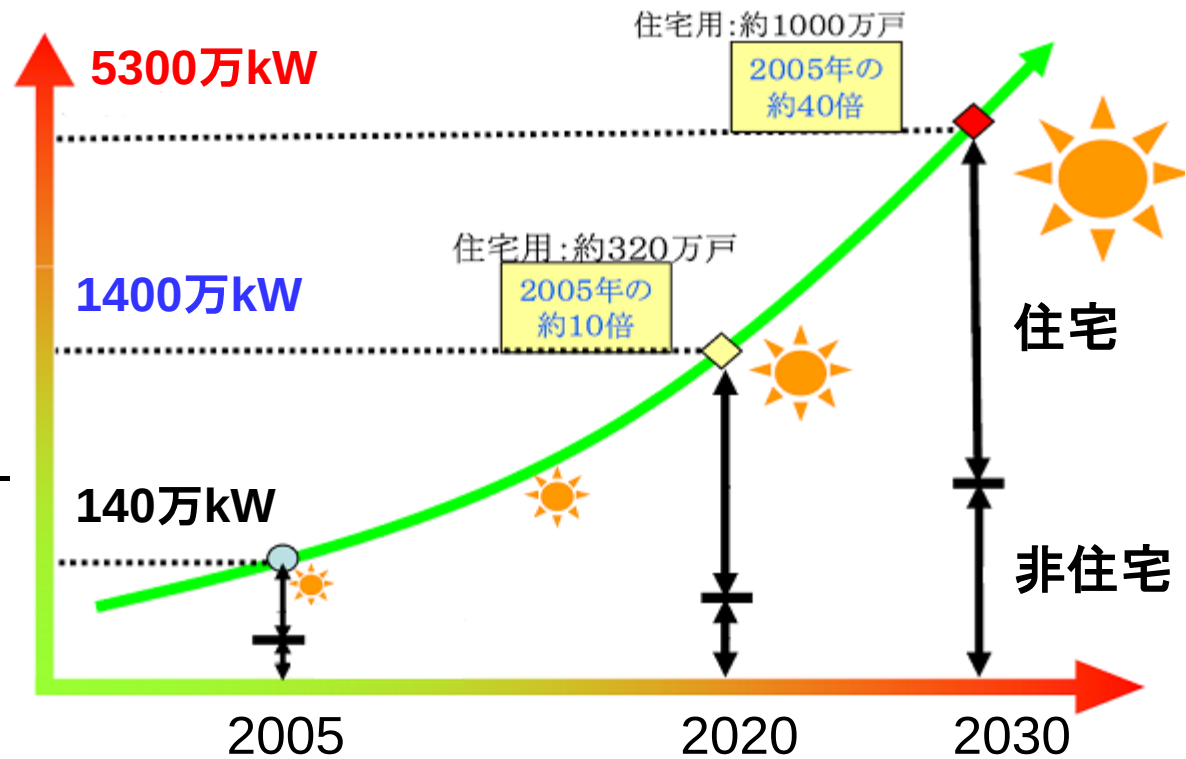
太陽光発電が注目されている

- 無公害
- 構造がシンプル
- 設置が容易
- その場で発電
- 無限のエネルギー

↓ 代替エネルギー

政府目標

- 2020年までに現状の10倍
- 2030年までに現状の40倍



出典:「長期エネルギー需給見通し」(平成20年5月)

住宅用太陽光発電

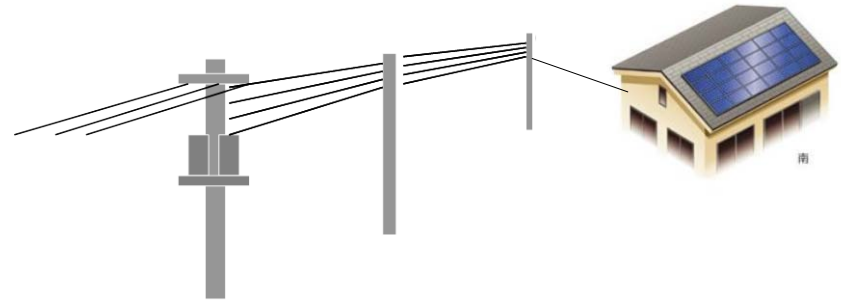
住宅地区を中心とした**分散型電源**として普及

2020年までに

- 新築住宅の**7割**に導入

太陽光発電は出力が不安定

朝、夜：電力不足 昼：電力余剰



蓄電池方式もあるがコストが高い

配電系統に連系

- 発電電力不足時には系統から電力供給
- 余剰電力は電力会社が買い取り

売電価格 約24円/kWh 買電料金 約20円～25円/kWh

分散型電源の導入に伴う影響

- 高調波電圧歪みの増大
- 短絡容量の増大
- 逆潮流による電圧変動

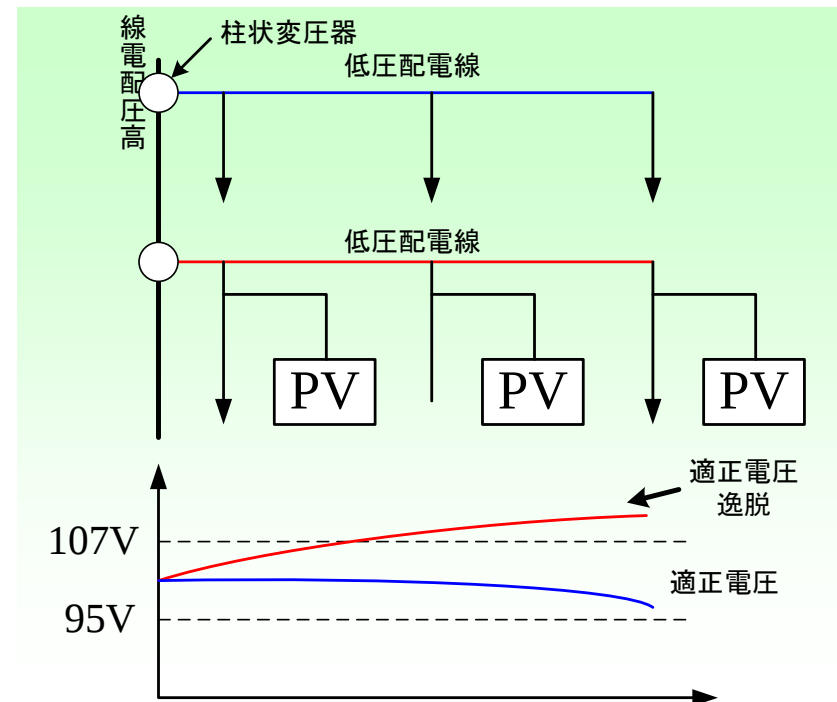
電圧が電事法第26条に基づく適正值
($101 \pm 6V$ $202 \pm 20V$)を逸脱

対策

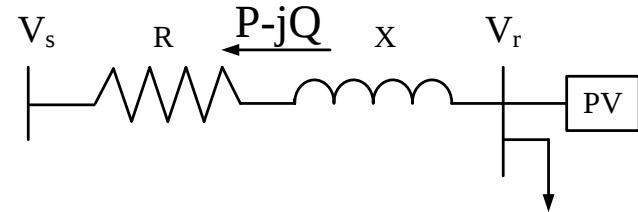
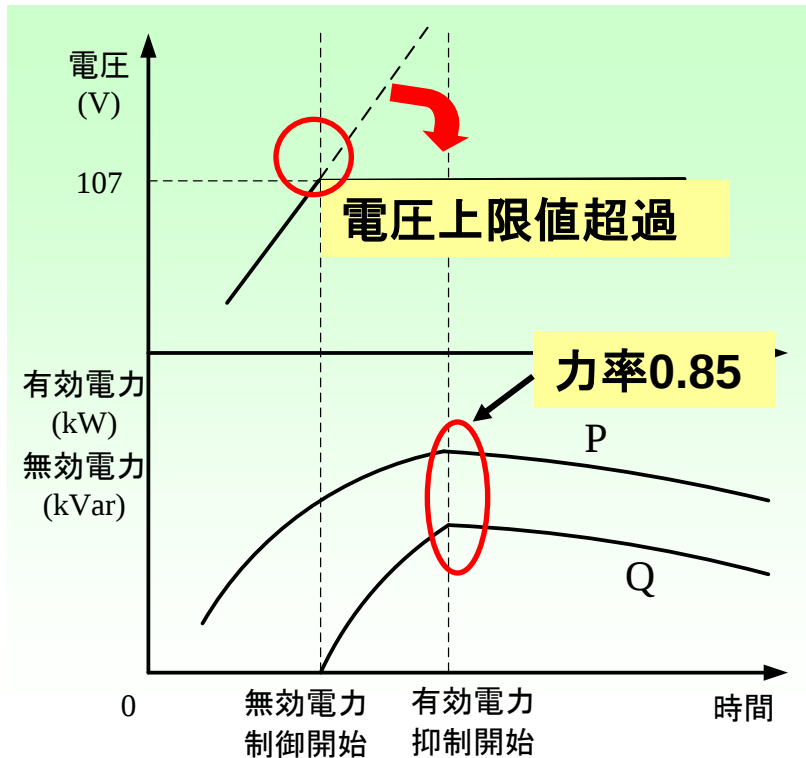
電圧上昇抑制機能

- 有効電力抑制方式
- 進相無効電力制御方式

特に太陽光発電システムが
集中連系された場合影響大



電圧上昇抑制機能(特にPV)



分散型電源からの逆潮流に起因する電圧変動は以下の式で近似

$$\Delta V_r = P \cdot R - Q \cdot X$$

V_r が電圧上限値(107V)を超過すると

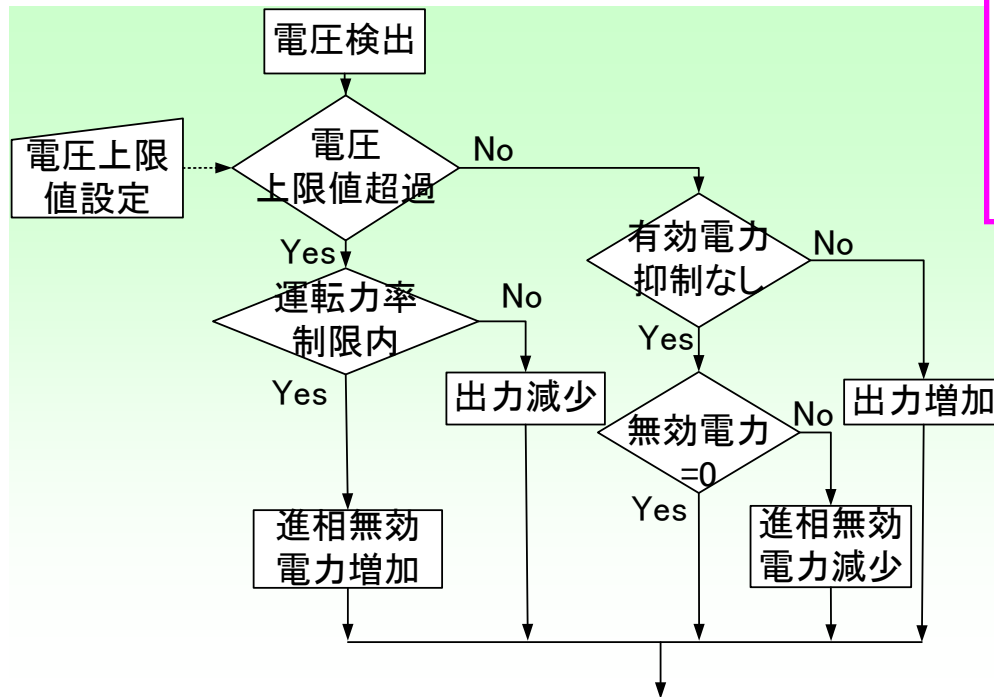
●Qを出力 進相無効電力制御

運転力率0.85まで

●Pの出力を減少 有効電力抑制

電圧上昇抑制制御ロジック

進相無効電力制御方式



有効電力、無効電力を算出

$$P = P_{\max} \cdot K_p \quad (0 \leq K_p \leq 1)$$

$$Q = P_{\max} \cdot K_q \cdot \frac{\sqrt{1 - PF^2}}{PF} \quad (0 \leq K_q \leq 1)$$

進相無効電力の調整

$$K_q = K_q \pm \Delta K_q \cdot \Delta t$$

出力の調整

$$K_p = K_p \pm \Delta K_p \cdot \Delta t$$

現行方式の問題点(特にPV)

進相無効電力制御方式の問題点

- 末端部の需要家ほど電圧上昇が顕著
- 一部地点の電圧のみ電圧上限値を逸脱
- その地点のみ電圧上昇抑制制御を行う

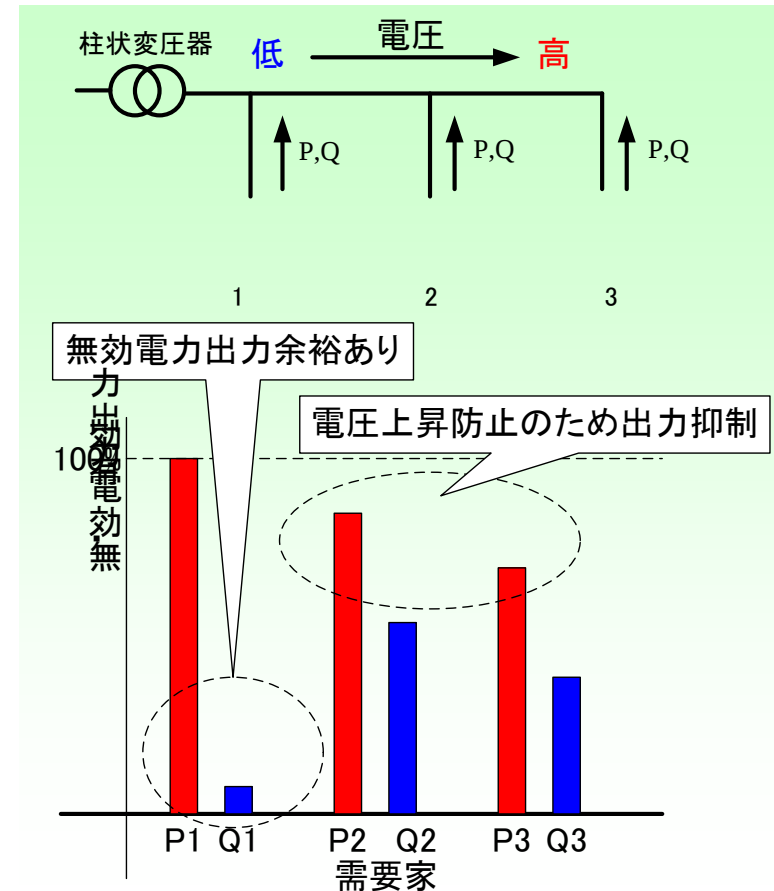
そのため

制御量に偏り

不公平

- 発電出力がばらつく
- 需要家により設備の利用効率や売電電力格差が出る

集中連系されているほど影響大



研究目的

現行の電圧上昇抑制機能では不公平



新たな電圧上昇抑制機能を2つ提案

目標

- 出力格差を改善
- 発電出力抑制改善

開発条件

- 太陽光発電システム以外の設備を必要としない

発表の流れ

1. 解析モデルの開発

2. 電圧抑制手法の提案

2.1 電圧上限値傾斜設定手法

2.2 力率無制限手法

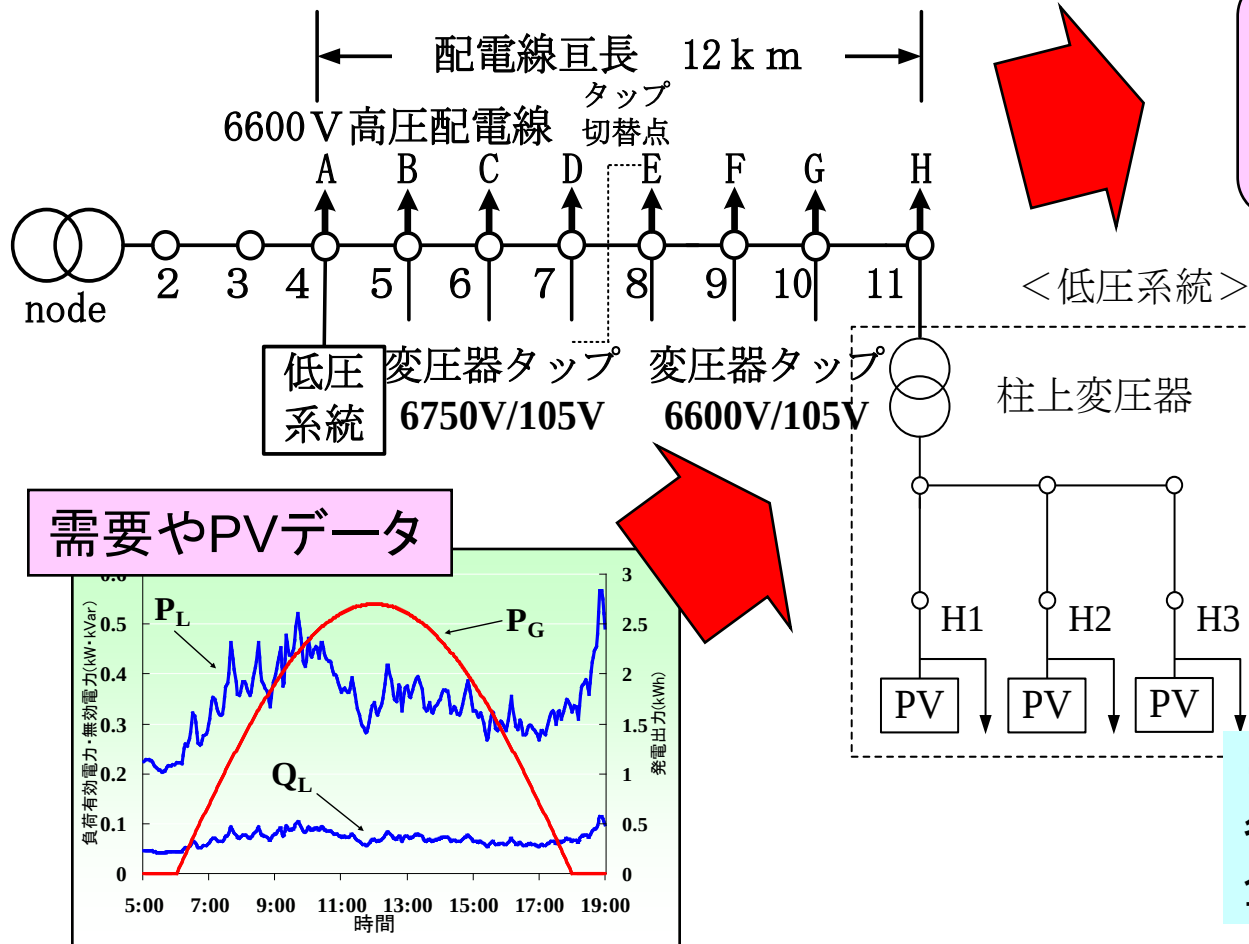
3. モデル系統への適用による検証

3.1 低圧配電モデル系統における検証

3.2 高低圧配電モデル系統における検証

4. まとめ

高圧・低圧配電系統電圧解析モデルを開発



系統各部の電圧分布を長時間に亘ってシミュレーション可能

電圧上昇抑制制御ロジック

・事例
各地域に180戸の需要家
全需要家1440戸

発表の流れ

1. 解析モデルの開発
2. 電圧抑制手法の提案
 - 2.1 電圧上限値傾斜設定手法
 - 2.2 力率無制限手法
3. モデル系統への適用による検証
 - 3.1 低圧配電モデル系統における検証
 - 3.2 高低圧配電モデル系統における検証
4. まとめ

関連する既提案

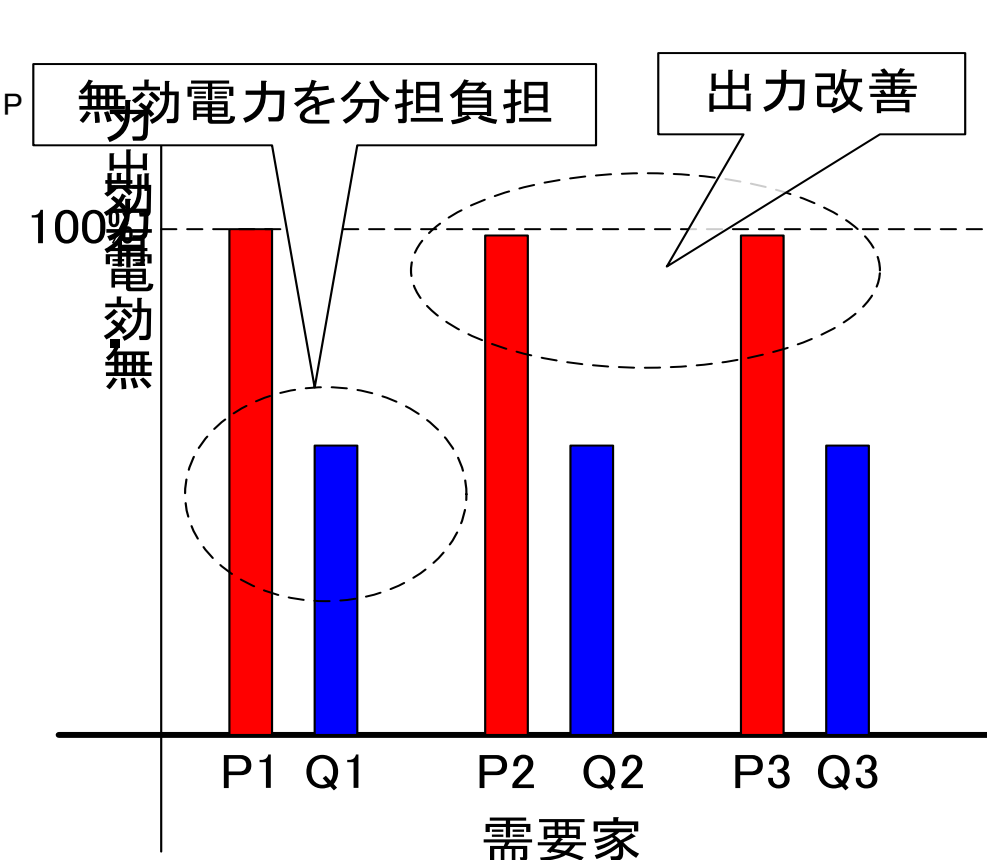
1) 平原他:

「太陽光発電システムにおける配電線電圧制御方式
の開発—電圧上昇抑制のための新しい無効電力制
御法—」
—電中研研究報告(2007)

2) 松田他:

「太陽光発電集中連系時における各需要家発電電力
量の減少のばらつきの解析とその対策に関する一考
察」
—電学論B(2001,東北電力)

無効電力制御開始しきい値設定方式(既案)



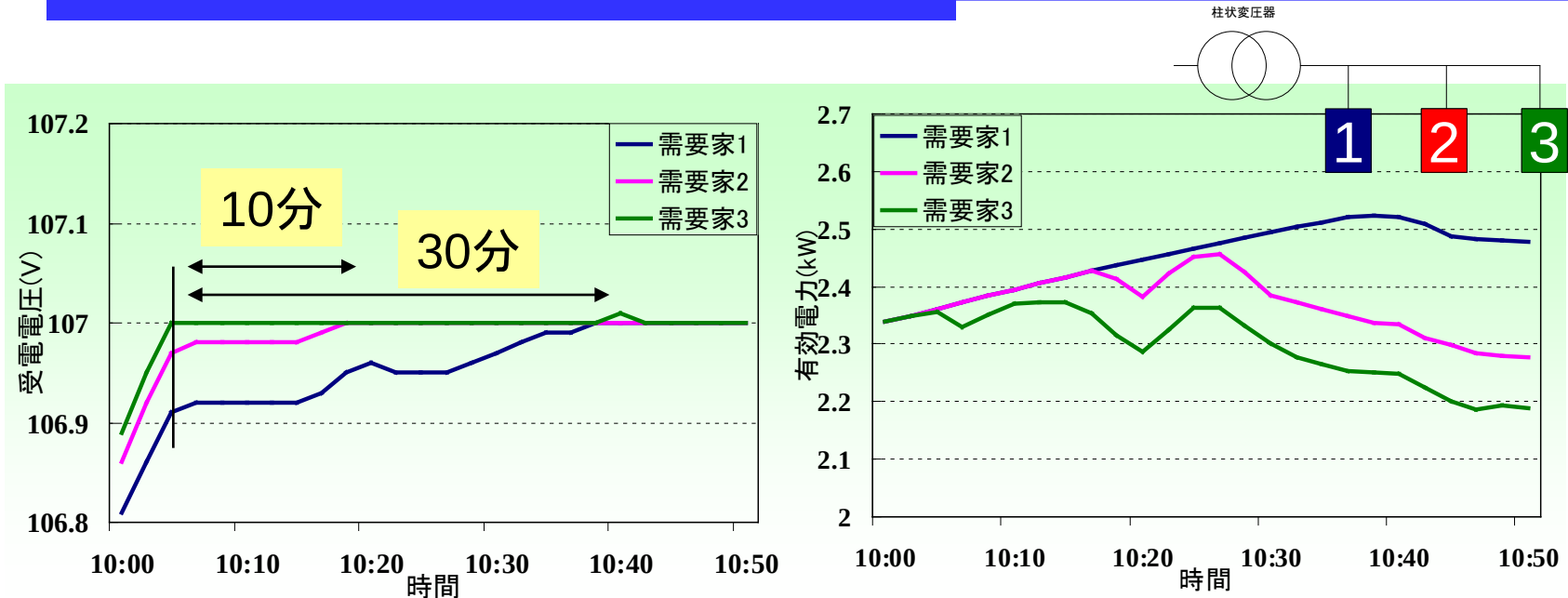
- 電圧上限値の他に無効電力制御開始しきい値を設定
- 動作していなかった電圧上昇抑制機能を動作させる

電圧条件が易しい場合効果あり
電圧条件が厳しい場合効果なし

依然として出力格差がある

平原他:「太陽光発電システムにおける配電線電圧制御方式の開発ー電圧上昇抑制のための新しい無効電力制御法ー」電中研報告書No.R06012,2007.3

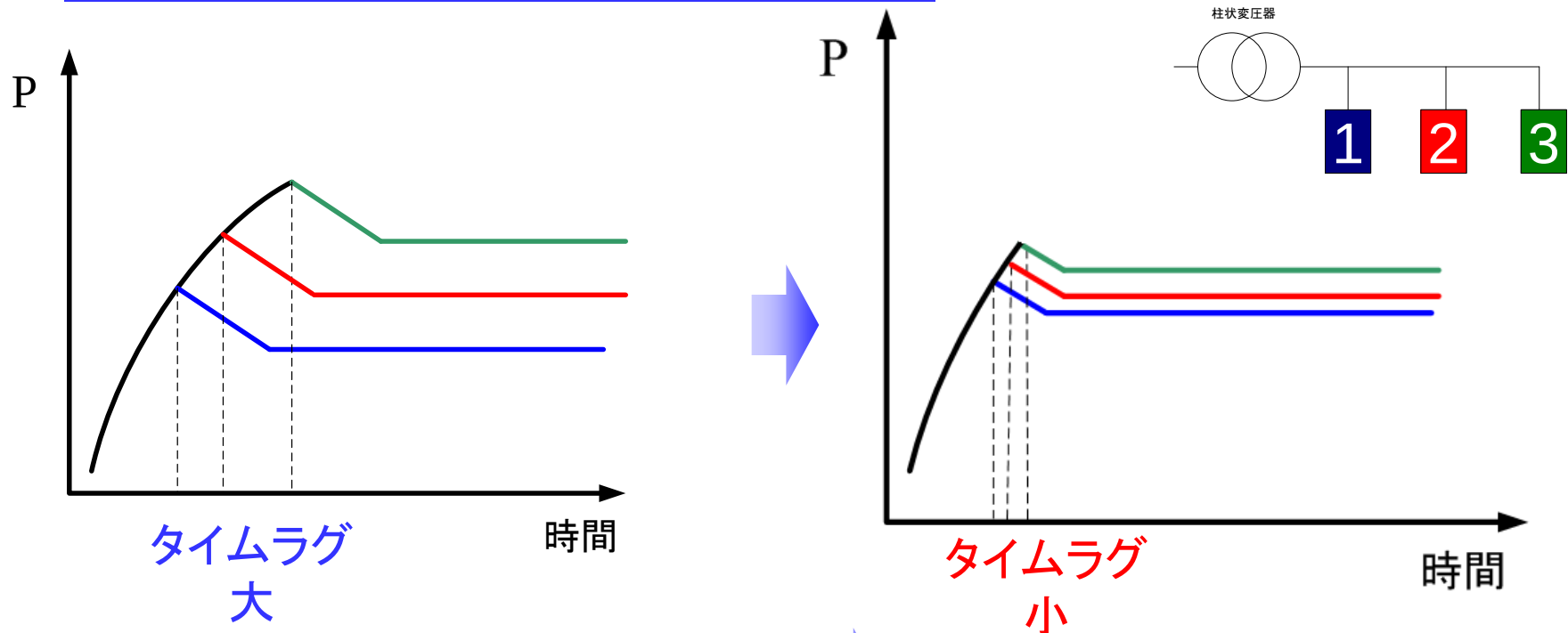
出力格差の原因



- 末端の需要家から電圧上限値に
- 出力抑制を開始する時間に**タイムラグ**

出力にばらつきが生じる

3.1 電圧上限値傾斜設定方式



需要家により抑制開始時間にタイムラグ
出力格差

制御開始時間のタイムラグを縮め
均等に出力抑制することによって
出力格差改善が可能ではないか？

電圧上限値傾斜設定方式

需要家により電圧上限値を傾斜設定

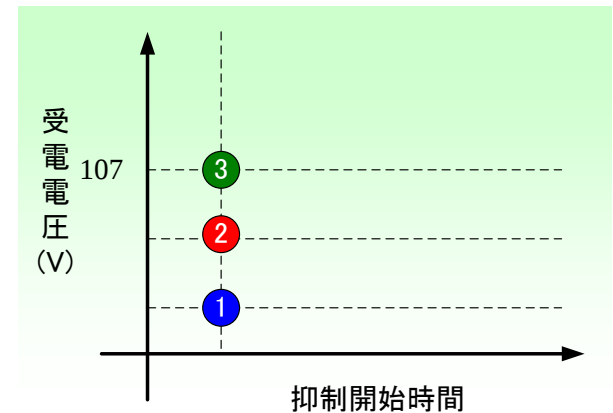
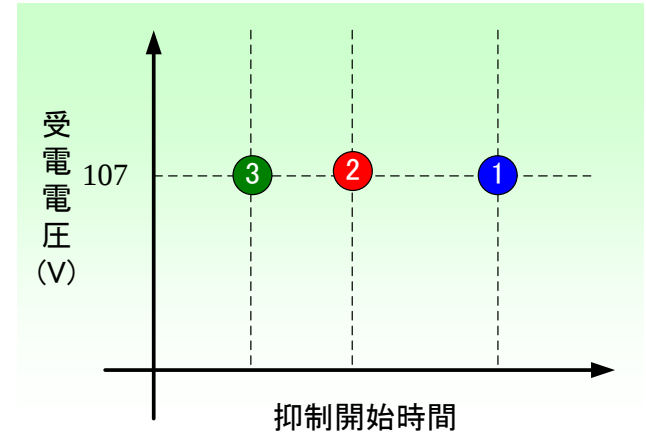
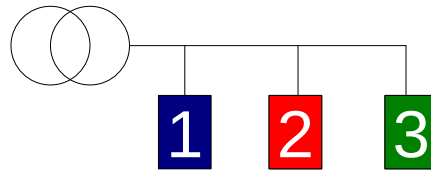
- 末端部の需要家の上限値を高く
- 始端部の需要家の上限値を低く



抑制開始時間のタイムラグを改善



出力格差を改善



3.2 力率無制限方式

$$\Delta V_r = P \cdot R - \underbrace{Q \cdot X}_{\text{もっと多く}}$$

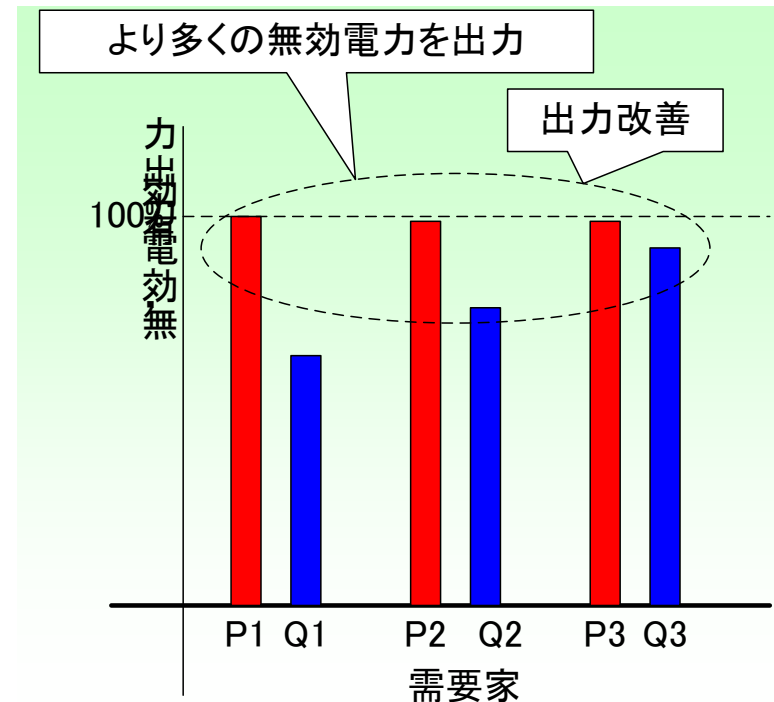
もっと多く

無効電力を多く出力できれば
出力抑制を抑えながら効率的に
電圧上昇抑制を行える



すると

- 抑制量の改善？
- 出力格差の改善？



力率無制限方式

系統連系ガイドラインにおいて
運転力率を0.85以上
規定されている

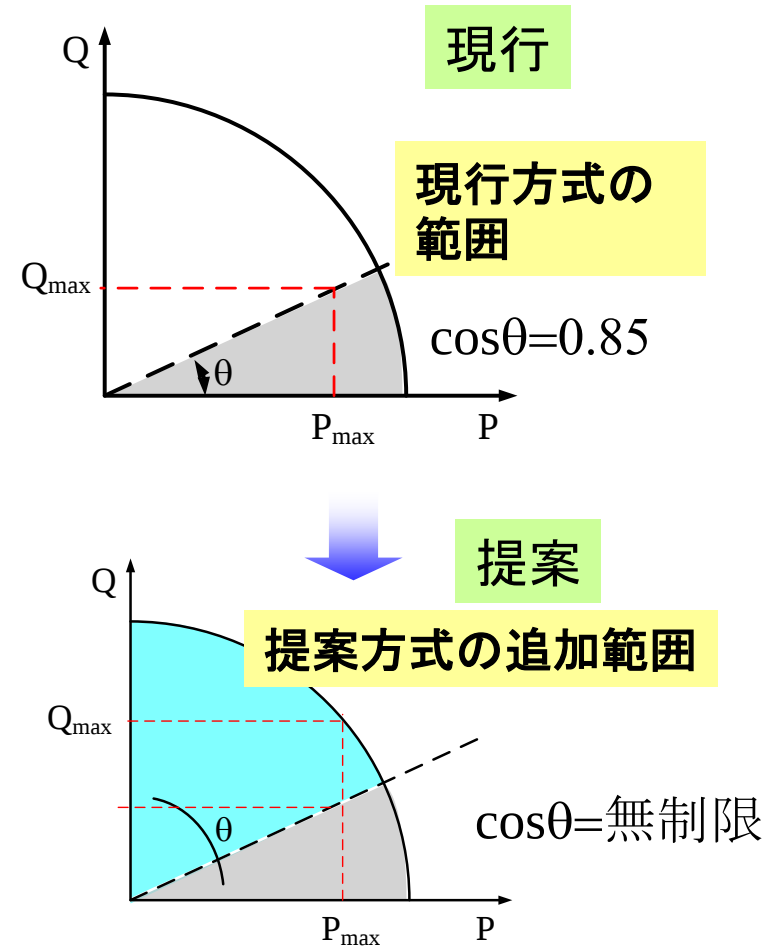


これを
力率を無制限

- 無効電力を定格容量限界まで出力
- 効率的に電圧上昇を抑制



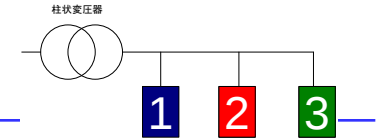
配電線損失量が増加するのでは？



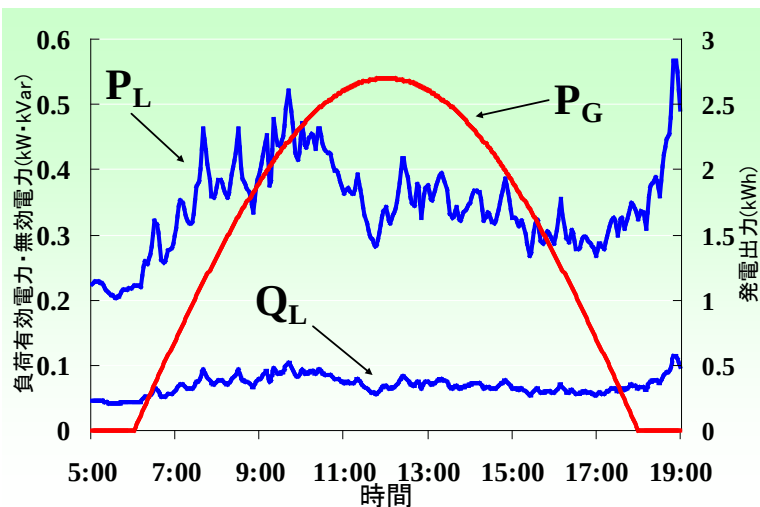
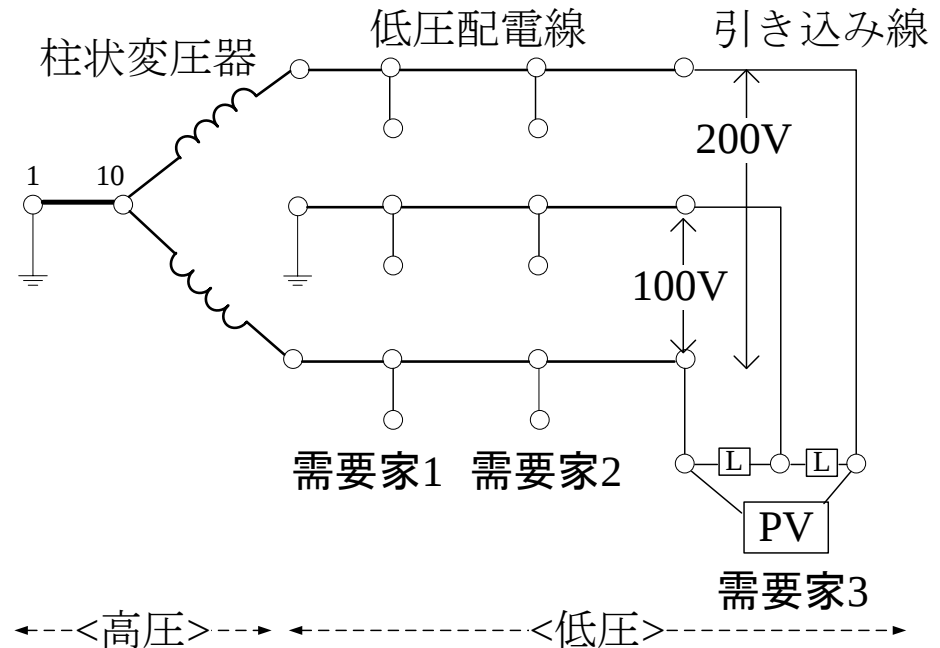
発表の流れ

1. 解析モデルの開発
2. 電圧抑制手法の提案
 - 2.1 電圧上限値傾斜設定手法
 - 2.2 力率無制限手法
3. モデル系統への適用による検証
 - 3.1 低圧配電モデル系統における検証
 - 3.2 高低圧配電モデル系統における検証
4. まとめ

低圧配電系統における検証



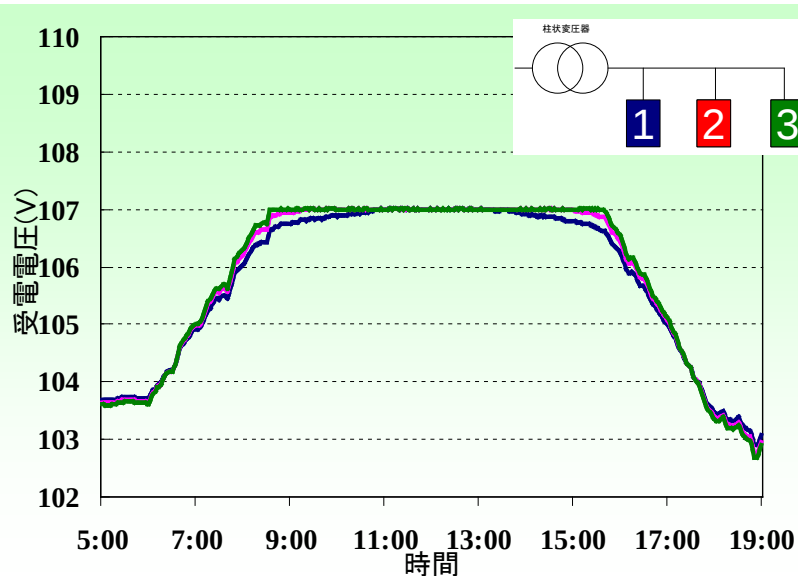
変圧器タップ	6600V/105V
柱状変圧器容量	20kVA
インバータ定格容量	4kVA
ΔK_p	1/500
ΔK_q	1/50
Δt	1s



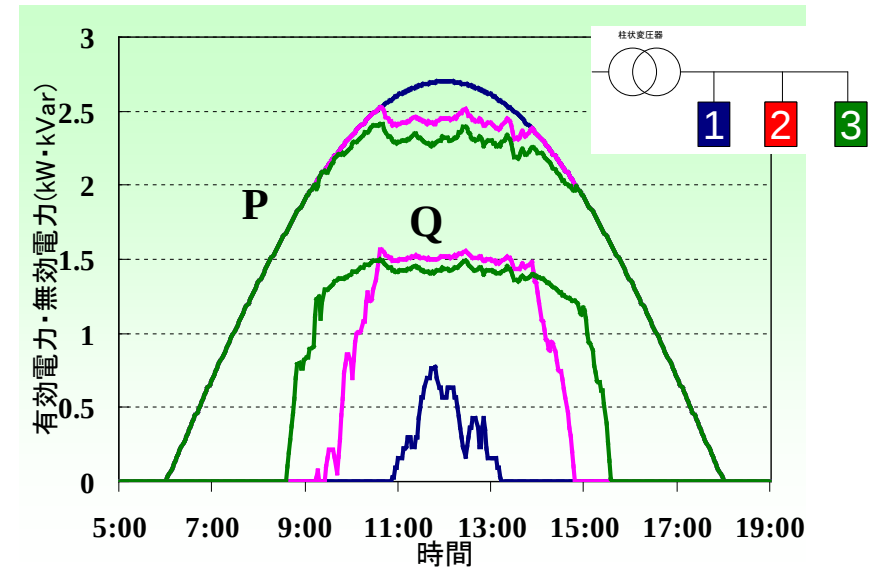
- 一般的な住宅の消費電力量を参考
- 電圧上昇が顕著となる快晴日を想定したモデル

解析結果の例(進相無効電力制御方式)

各需要家の受電点における電圧



各需要家のPVインバータの出力



各需要家の時々刻々の電圧や出力を解析する事が可能



その結果から

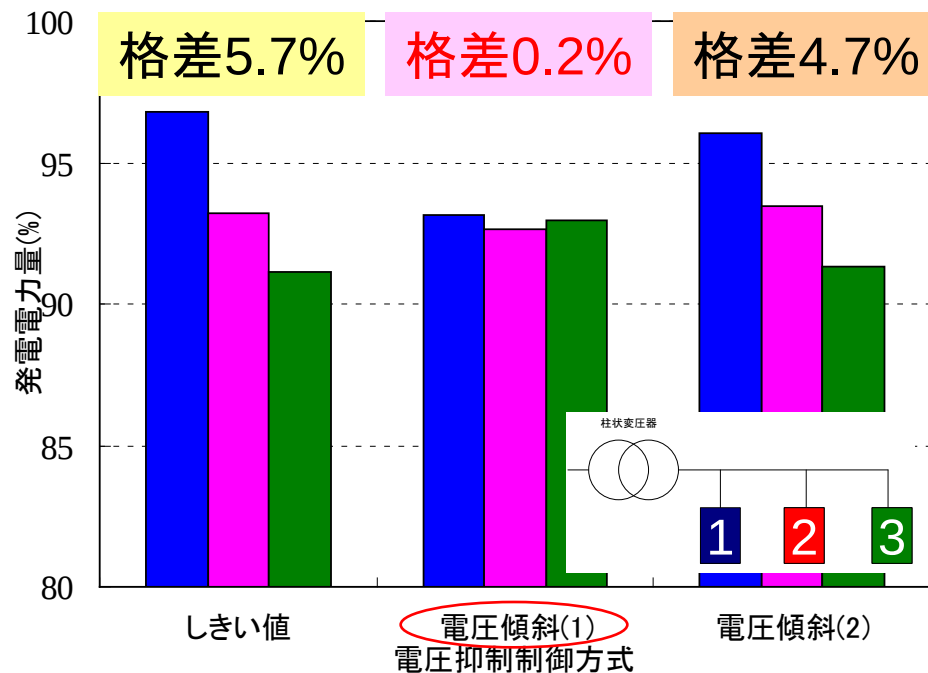
PVの発電電力量や配電線損失量が解析

電圧上限値傾斜設定方式

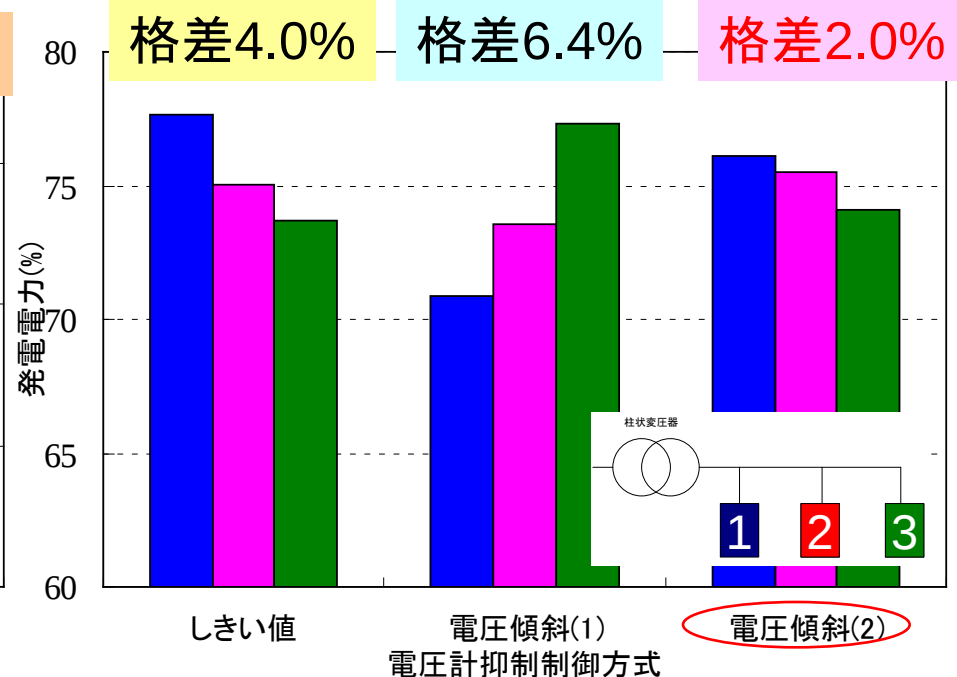
傾斜パターン	需要家1	需要家2	需要家3
電圧傾斜(1)	106.9V	106.96V	107V
電圧傾斜(2)	106.98V	107V	107V

高圧配電系統への連系点による電圧の違いを考慮するため、送り出し電圧を2パターン用意

送出し電圧 6600V



送出し電圧 6650V

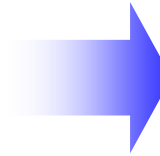


電圧上限値傾斜設定方式のまとめ

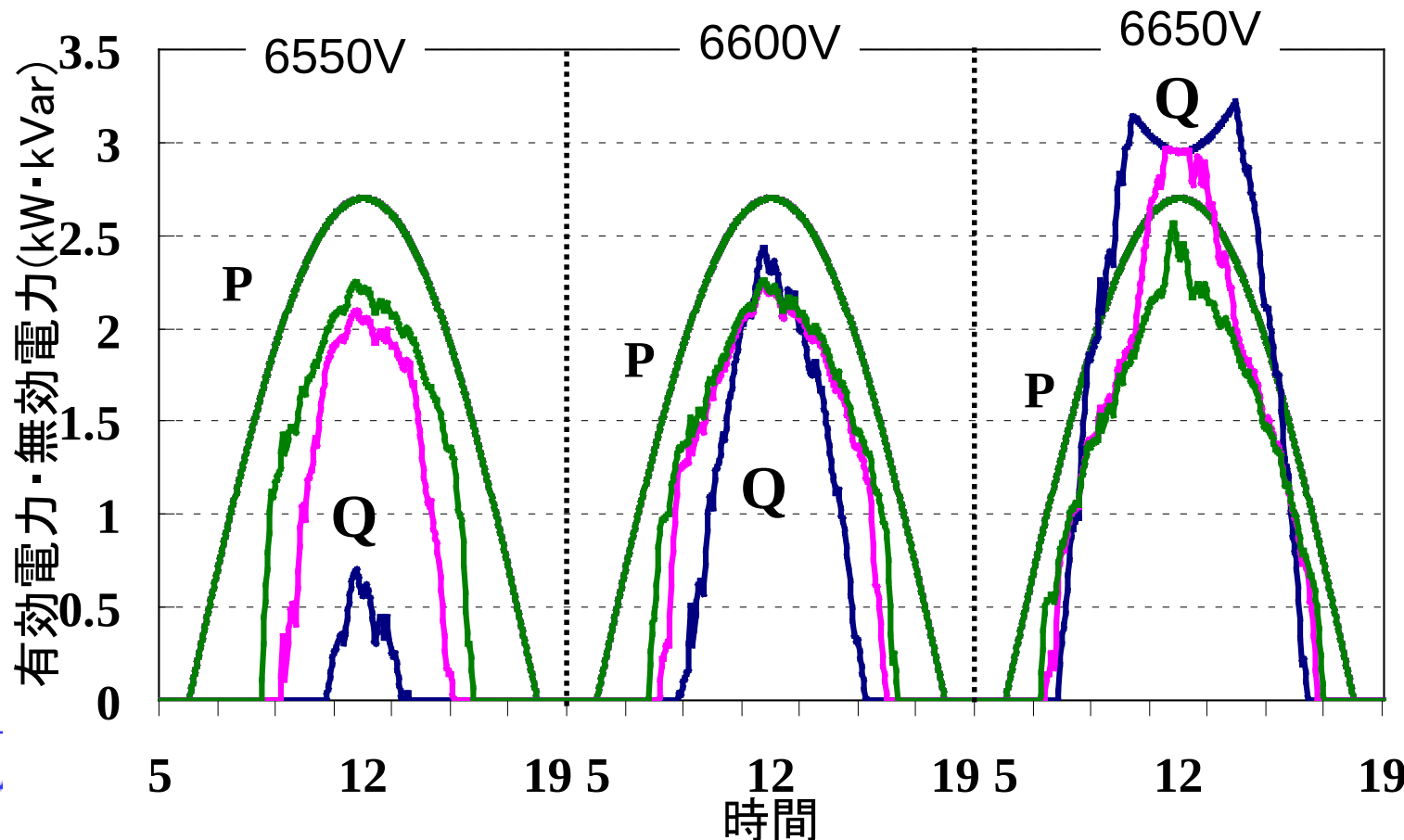
- 電圧上限値を傾斜設定することによって格差は改善する事ができるが、送出し電圧によって最適な電圧上限値が異なる
- 最適な電圧上限値が異なるため一律に設定する事は難しいため、現実的には困難

力率無制限方式

進相無効電力を多く出力
出力抑制なしで電圧上昇抑制



- 出力抑制を改善
- 出力格差も改善

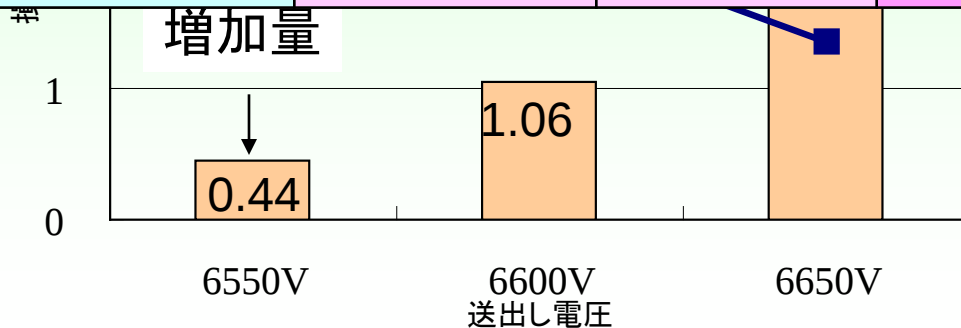


配電線損失量

配電線損失量(5:00~19:00)

発電電力量(3需要家合計)=62kWh

送出し電圧(V)	損失増加量(kWh)	発電改善量(kWh)	割合(%)
6550V	0.44	1.15	38.59
6600V	1.06	4.67	22.60
6650V	2.88	15.29	18.85



発電量が改善することにより

- 逆潮流が増加
- 進相無効電力が増加



配電線損失量が増加



しかし

損失増加量は小さい

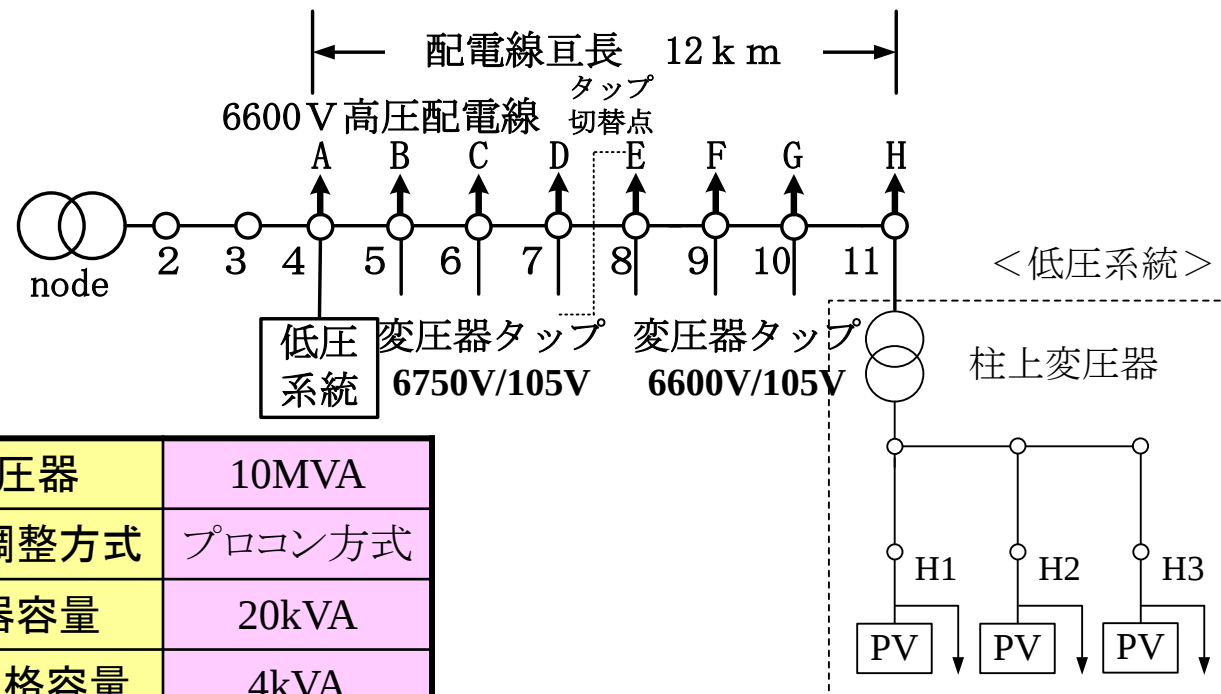
力率無制限方式のまとめ

- 有効電力出力を抑制する事なしに電圧上昇を抑制する事が可能である
- 出力抑制がないので需要間の出力格差もない
- 配電線損失量は増加するが、発電改善量よりも小さい



有効な方式である

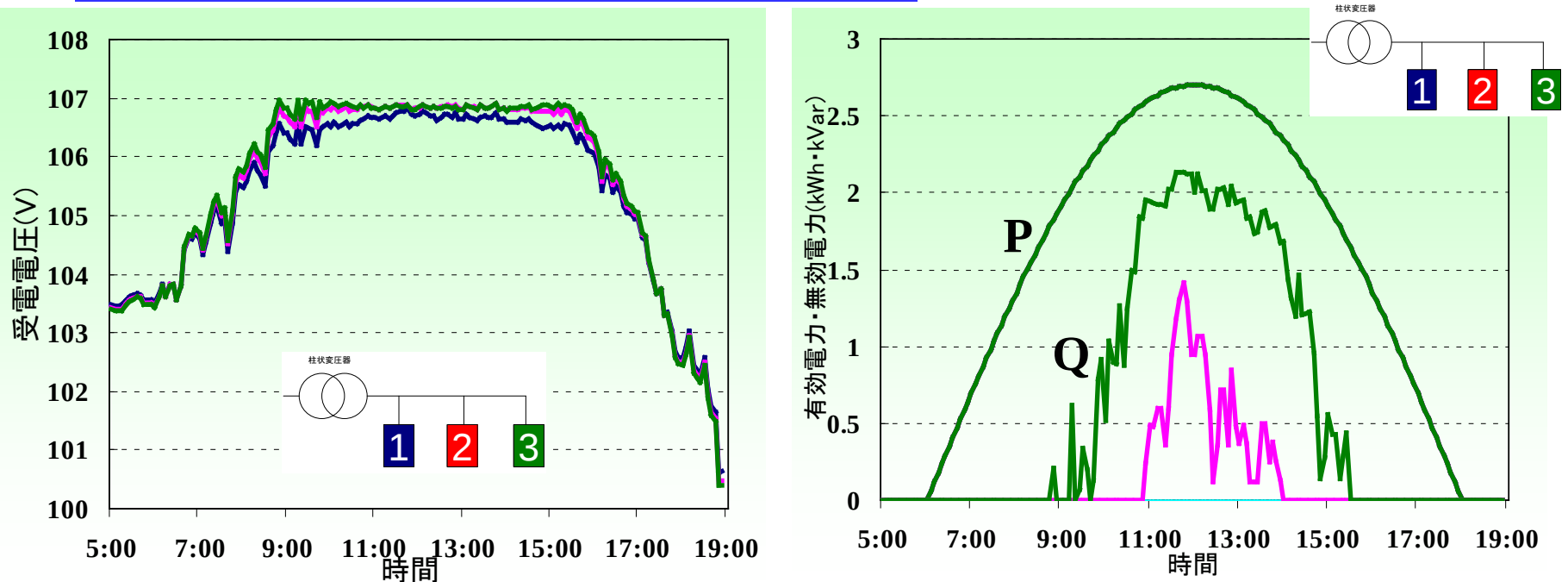
高圧配電系統を含めた検証



変電所変圧器	10MVA
変電所電圧調整方式	プロコン方式
柱状変圧器容量	20kVA
インバータ定格容量	4kVA
ΔK_p	1/500
ΔK_q	1/50
Δt	1s

各地域に180戸の需要家
全需要家1440戸中10%にPVが普及

解析結果の例(力率無制限方式)



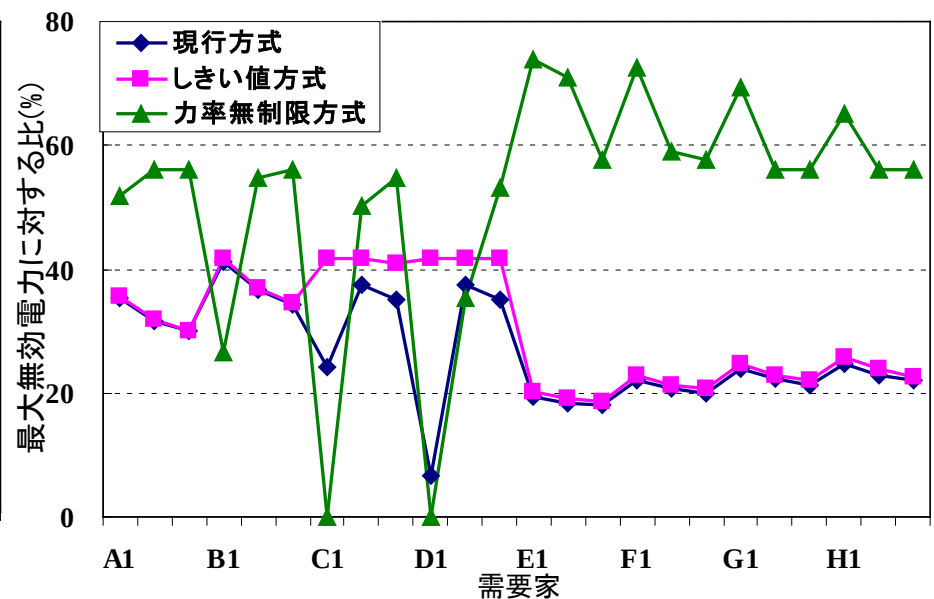
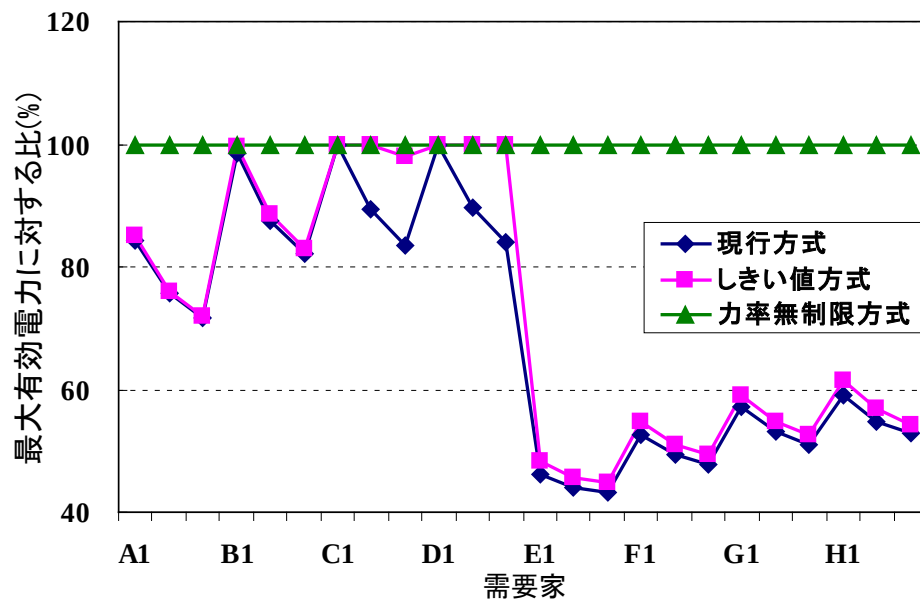
タップ変更直前のD地域における電圧および出力特性

最も無効電力出力が多くなる

時刻11時45分が電圧条件が最も厳しい時間である

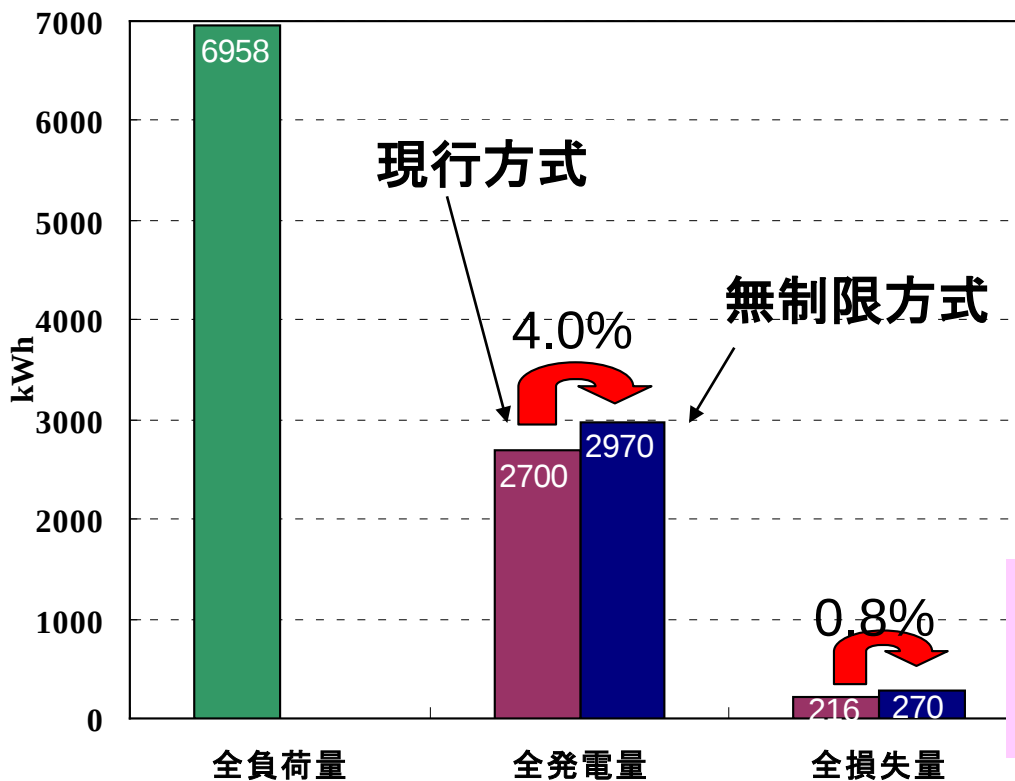
力率無制限方式(出力特性)

- 電圧条件が厳しい時間における有効電力および無効電力
- 力率無制限方式では出力はどの需要家も出力抑制を行っていない
- 無効電力出力は需要間で格差がある



発電改善量と損失増加量

現行方式と力率無制限方式の
発電電力量と損失量



力率無制限方式
発電電力量大幅に改善

さらに

損失増加量は微増

よって

高圧配電系統においても
有効

まとめ

- 配電高圧系＋低圧系の需給変動による系統各部の電圧変動を正確に時間シミュレーションできる解析モデルを開発
- 電圧上限値傾斜設定手法と力率無制限手法の提案を行い、力率無制限方式では有効性を確認
- 高圧配電系統で配電損失量の増加は負荷量に対して0.4%である

以下、予備

発表の流れ

1.研究の背景

2.解析モデルの開発

3.電圧抑制手法の提案

3.1電圧上限値傾斜設定手法

3.2力率無制限手法

3.モデル系統への適用による検証

4.まとめ

先行研究(H19)

配電系統における電圧上昇抑制機能を模擬したい

従来法の問題点

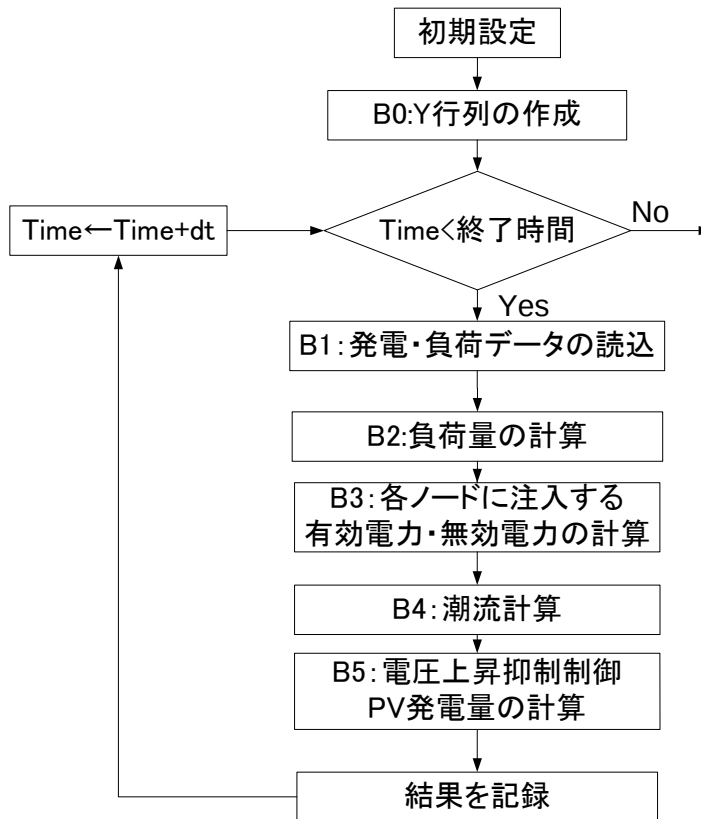
- 高低圧両系統を同時に計算できない
- 両系統の需給条件に起因する影響評価ができない



そこで

異なる基準容量をそのまま計算可能な
高低圧一括潮流計算手法を開発

解析プログラムフロー



B0: 開発した一括潮流計算手法に基づき
Y行列を作成

B1: 発電データおよび負荷データを読込

B2: B1より各需要家の負荷量の計算

B3: 高圧配電システムモデルの場合、
縮約したノードにおける有効電力・
無効電力を計算する

B4: Guss法に基づく潮流計算を行う

B5: 電圧上昇抑制制御を行いPVの
有効電力および無効電力出力を計算

例えば $dt=1$ 秒

終了時間=14時間 繰り返し回数=50,400回

3.モデル系統への適用による検証

- 進相無効電力制御方式(現行方式)
- 無効電力開始しきい値設定方式(既案方式)
- ◆電圧上限値傾斜設定方式(提案方式)
- ◆力率無制限方式(提案方式)



低圧配電システムモデルにおける検証



有効性が確認されたものは

高圧配電システムモデルにおける検証