

第4期終了報告会

((N-1) 想定事故時の電圧安定性評価手法)

電圧不安定ケースを含む

(N-1)時負荷ノード電圧安定性

高速ランキング手法

先端電力工学(東北電力)寄附講座

博士3年 蘇 栗

発表流れ

- 研究背景 & 目的
- 提案手法フロー
- 提案手法－電源補償原理
 - 補償感度 α の算出及び検証
 - 補償による(N-1)想定故障時電圧推定
- 電圧不安定ケースを含む(N-1)ランキング手法
 - 電圧安定・不安定の判定
 - 不安定負荷ノードの負荷抑制による安定化
- 6ノードモデル系統とIEEE30系統による
提案手法の適用性の検証

研究背景 & 目的

安定限界近傍で運用するケースが発生する恐れ

将来の電力系統: 自由化や新エネ導入

- 電力品質維持の更なる要請
- コスト抑制(現有系統の有効利用)

重要

系統事故時の電圧安定性余裕の把握

課題

1. 全送電線(N-1)事故計算の労力が大きい
2. 電圧不安定時の原因地点の把握が困難

提案

全ての送電線の(N-1)想定事故に対する

1. 潮流感度に基づく電圧安定性余裕の高速推定
2. 電圧不安定時の安定化のための負荷抑制量の推定
3. 上記に基づく電圧安定性ランキング

提案手法の前提と特長

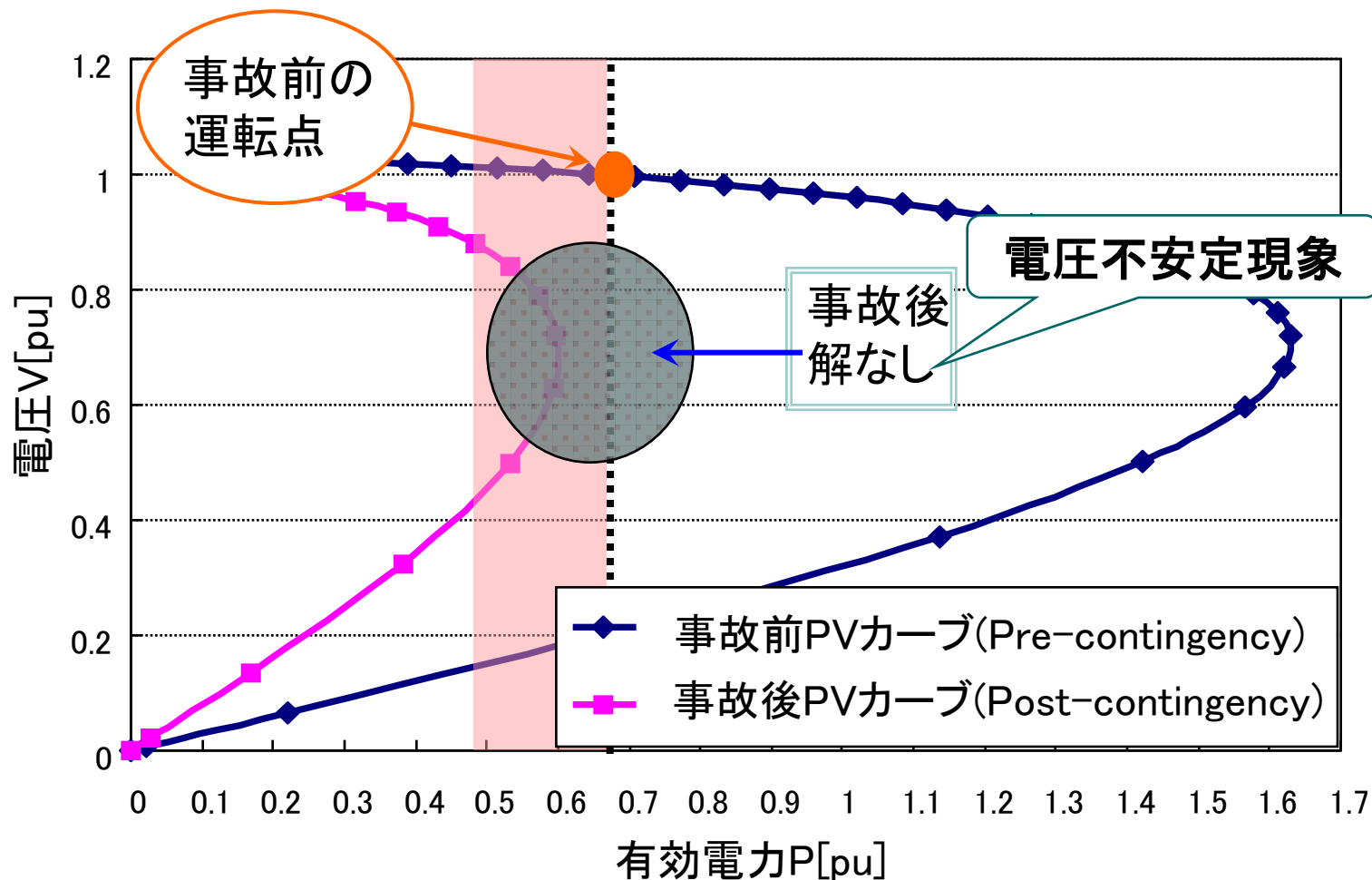
●前提: 静的な電圧安定性(=潮流計算)

●特長

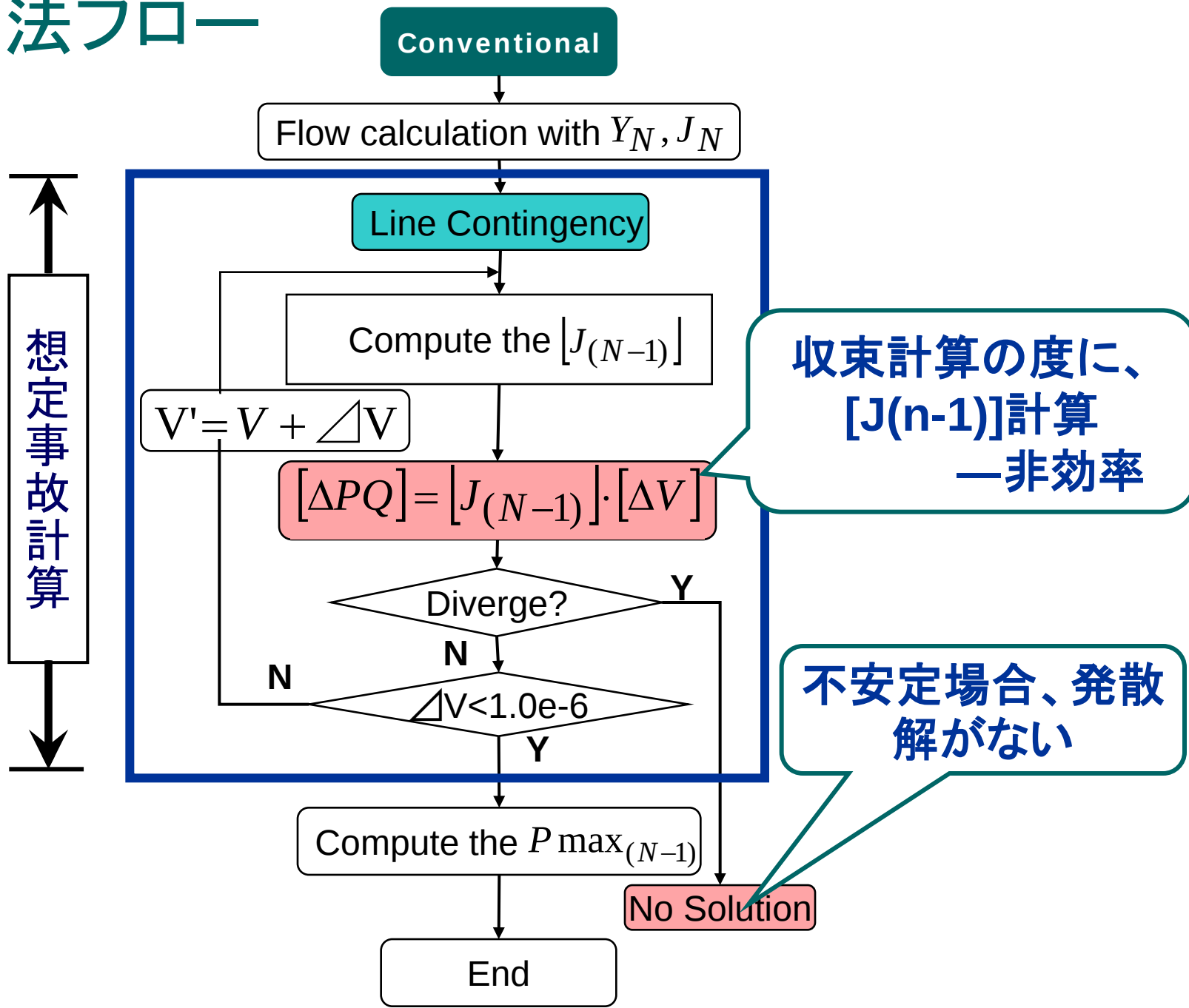
	一般的な方法	提案手法
(N-1)潮流計算	事故ごとに収束計算 -計算労力大	1回のみ計算、ヤコビ行列も変更しない (↑潮流補償)-効率
(N-1)電圧安定性余裕	別途多くの計算が必要(たとえばPVカーブ)	上の計算結果から全負荷に対して効率的に求める VPidx
(N-1)電圧不安定ケース	不安定地域が特定できない(←潮流解得られず)	安定化のための負荷抑制量を効率手順で算出 不安定 定量

不安定時の提案手法概念図

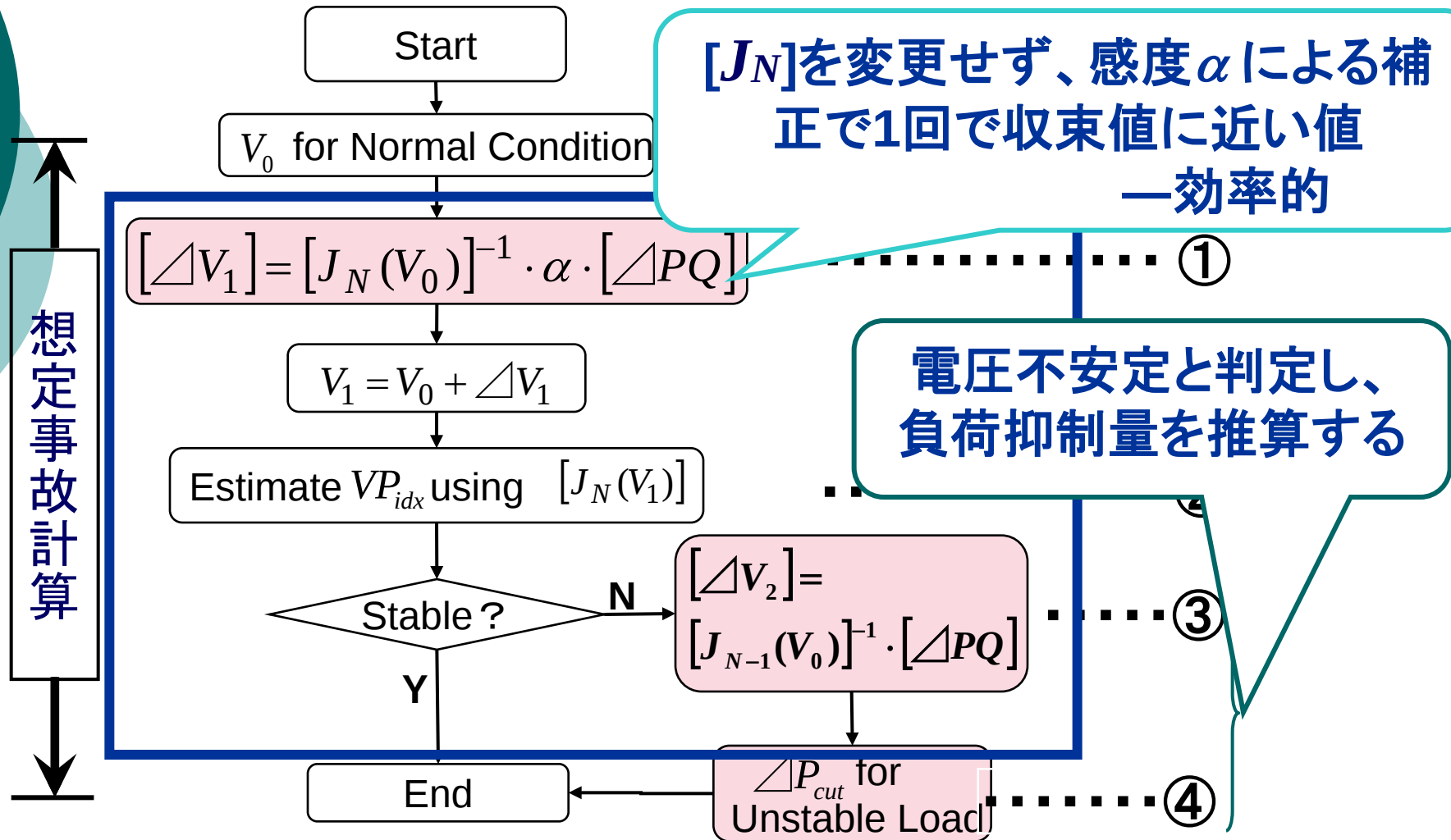
電圧安定性とPVカーブ



従来法フロー



(N-1)想定故障計算の流れ



VP_{idx} : 電圧安定性指標

α : 補償感度

ΔP_{cut} : 負荷抑制量

J_N : 健全時Jacobian

J_{N-1} : 想定事故時Jacobian

V_0 : 健全時電圧

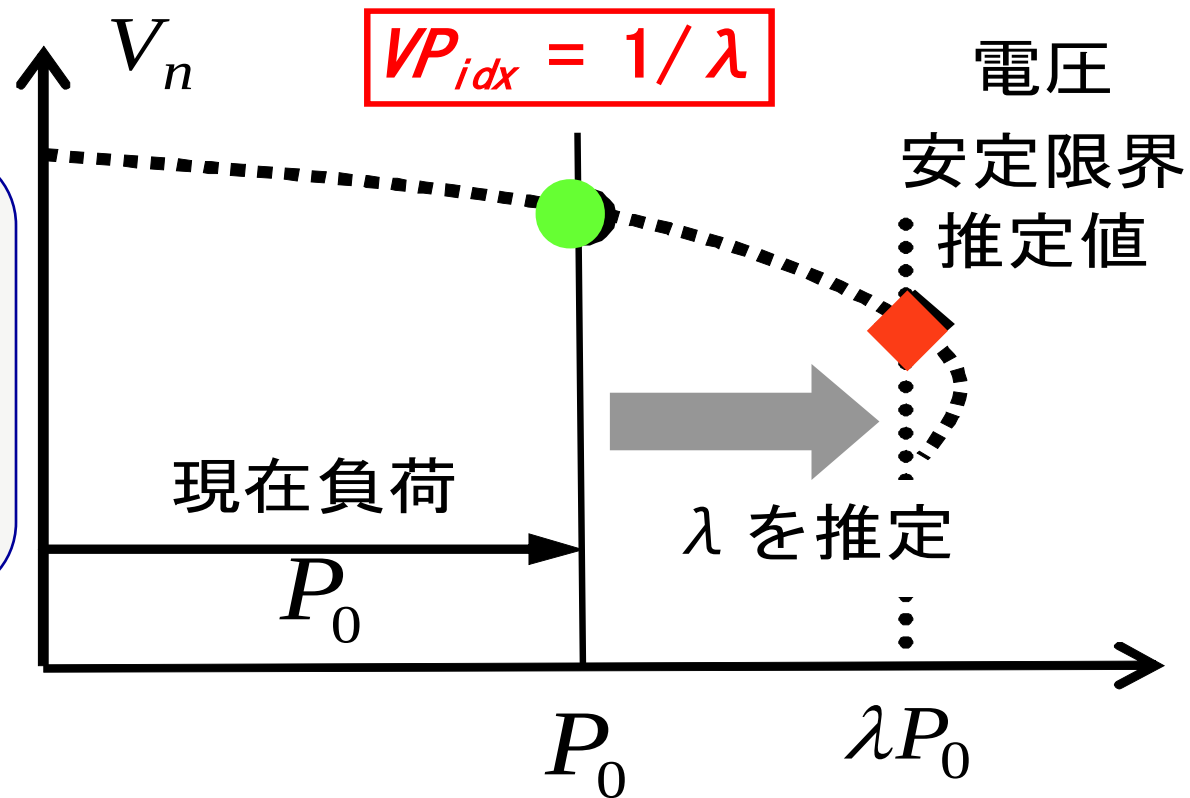
V_1 : 事故時電圧

V_2 : 抑制後の電圧

(N-1)故障時の電圧安定性指標 VP_{idx} :

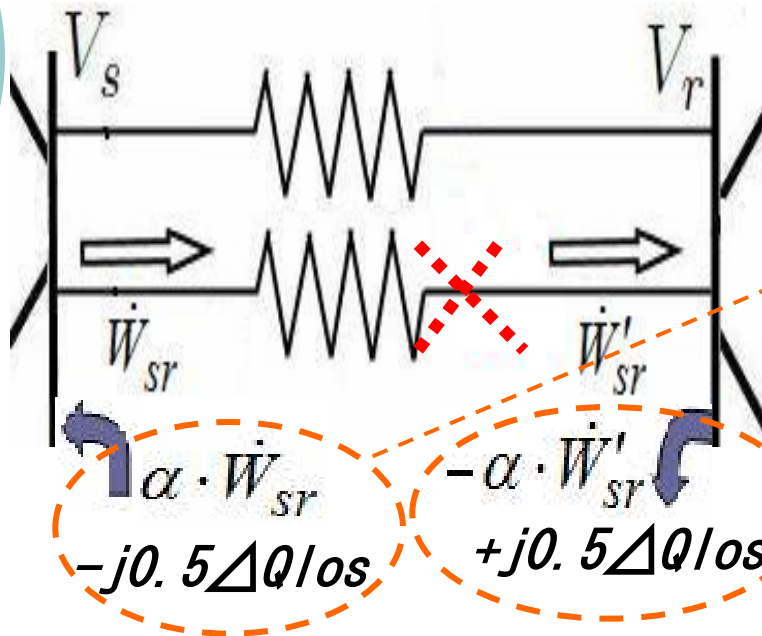
VP_{idx} : $\frac{\text{現在位置} \text{ (●)}}{\text{限界推定負荷} \text{ (◆)}} \times 100\%$

- 1) 潮流計算収束過程で簡単に計算できる
- 2) 各負荷ノードで得られる
- 3) 推定精度が優れる



補償感度 α と潮流補償

ヤコビアン潮流補償のイメージ図



α : DC法を用いてブランチごとの値を求めておく

$$\alpha \cdot [\Delta PQ] = [J_N] \cdot [\Delta V]$$

ΔQ_{loss} : 事故前1回線に発生する
Q送電損失
($\div$ 1回線事故により増えるQ損失補償)

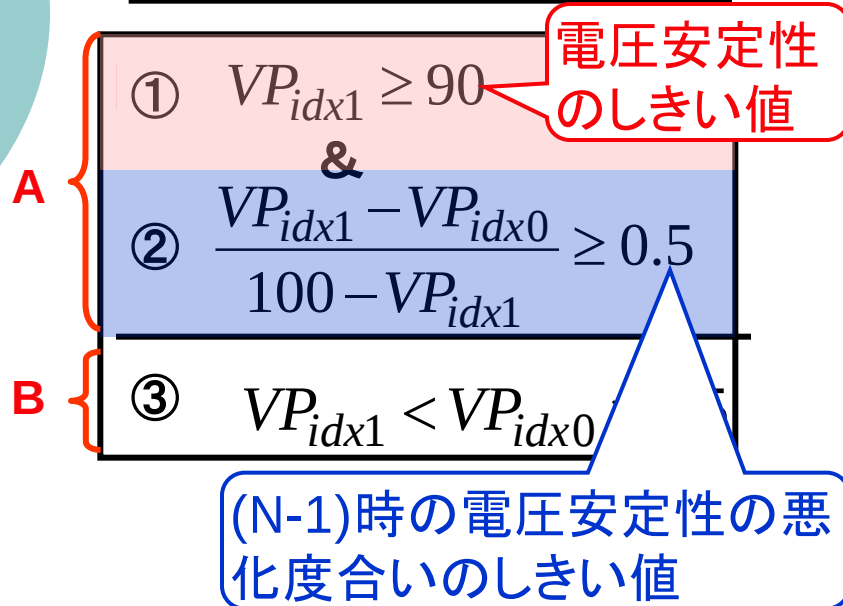
$$\alpha = yE / P = 1/[1 - y(Z_{ss} + Z_{rr} - 2Z_{sr})]$$

1回線開放後のQ損失の増加を
 ΔQ_{loss} により補償

負荷母線電圧安定性判定

電圧安定性判定式

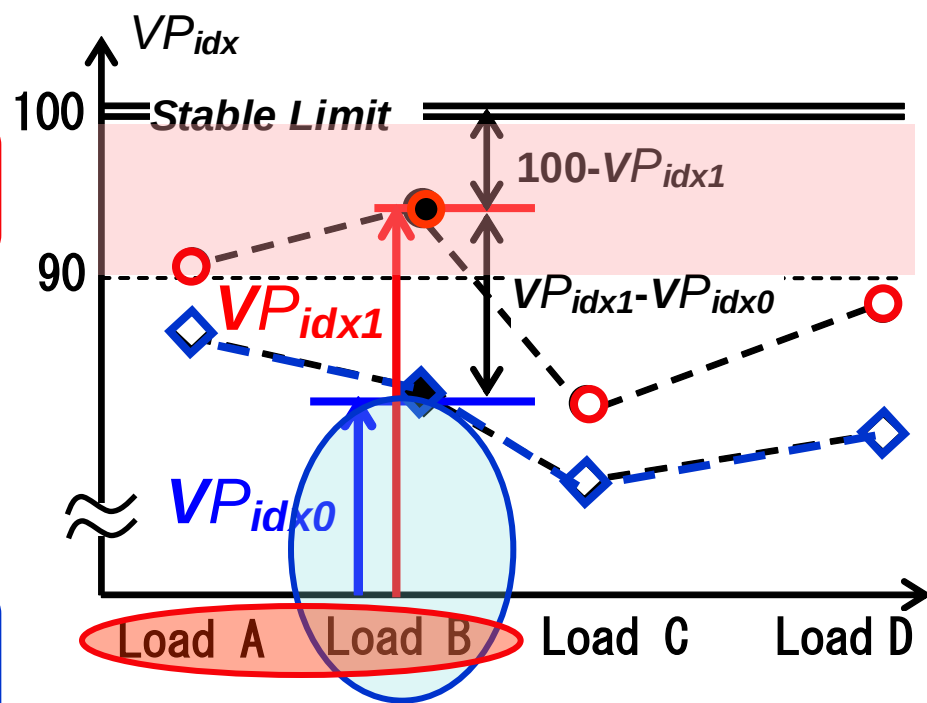
下記AとB条件の片方を満たせば、不安定と判定



A: 安定限界近傍等 VP_{idx} 値の信頼性が高い時

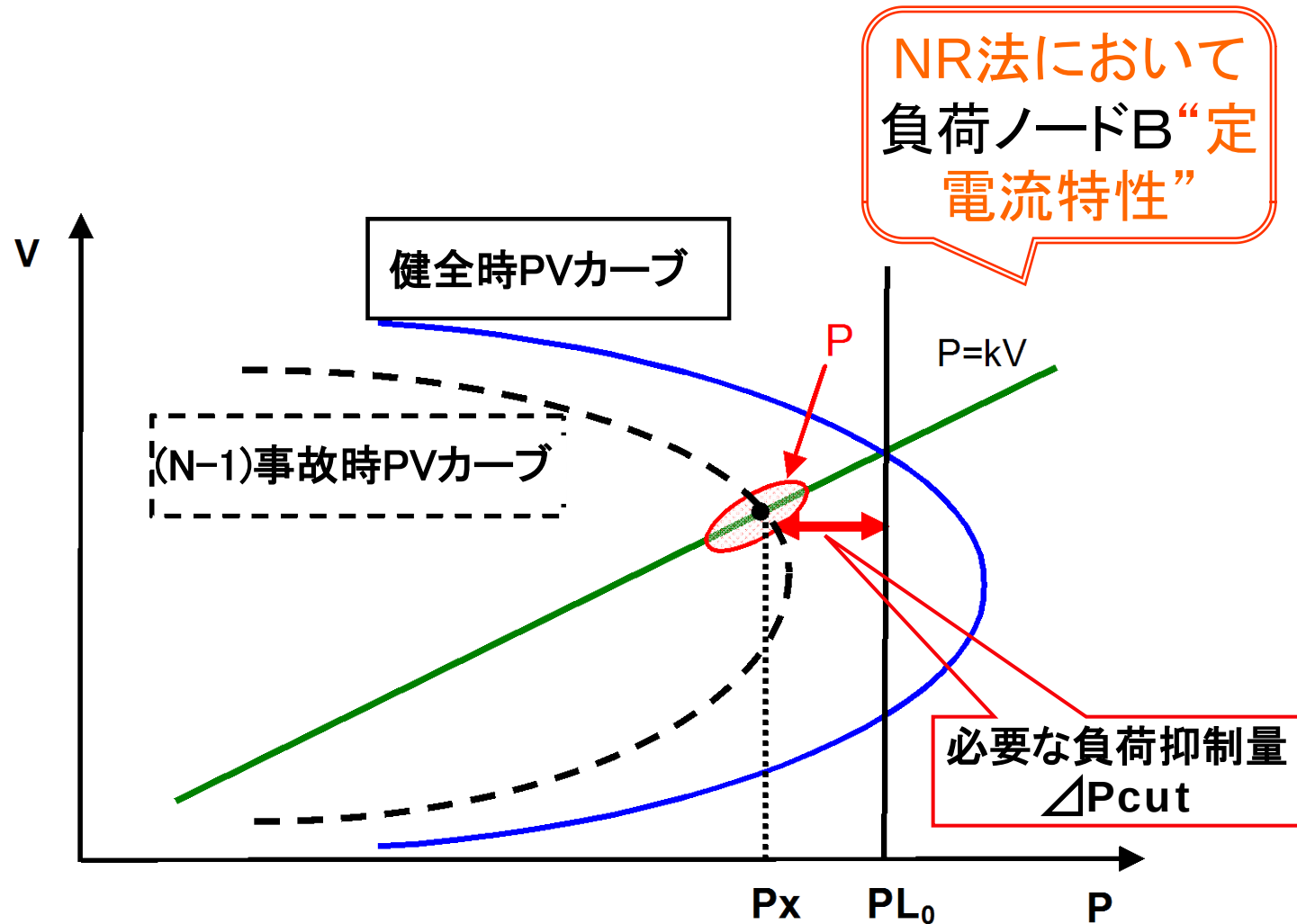
B: 明らかに電圧不安定な事故に対応する条件
(この場合は負値になるなど不規則に変化)

電圧安定性判定A概念図



- VP_{idx1} (N-1)事故時の電圧安定性指標
- ◇ VP_{idx0} 健全時電圧安定性指標

不安定負荷dに対する負荷抑制の概念図



補償感度 α の試算による検証(補償感度 α の特徴)

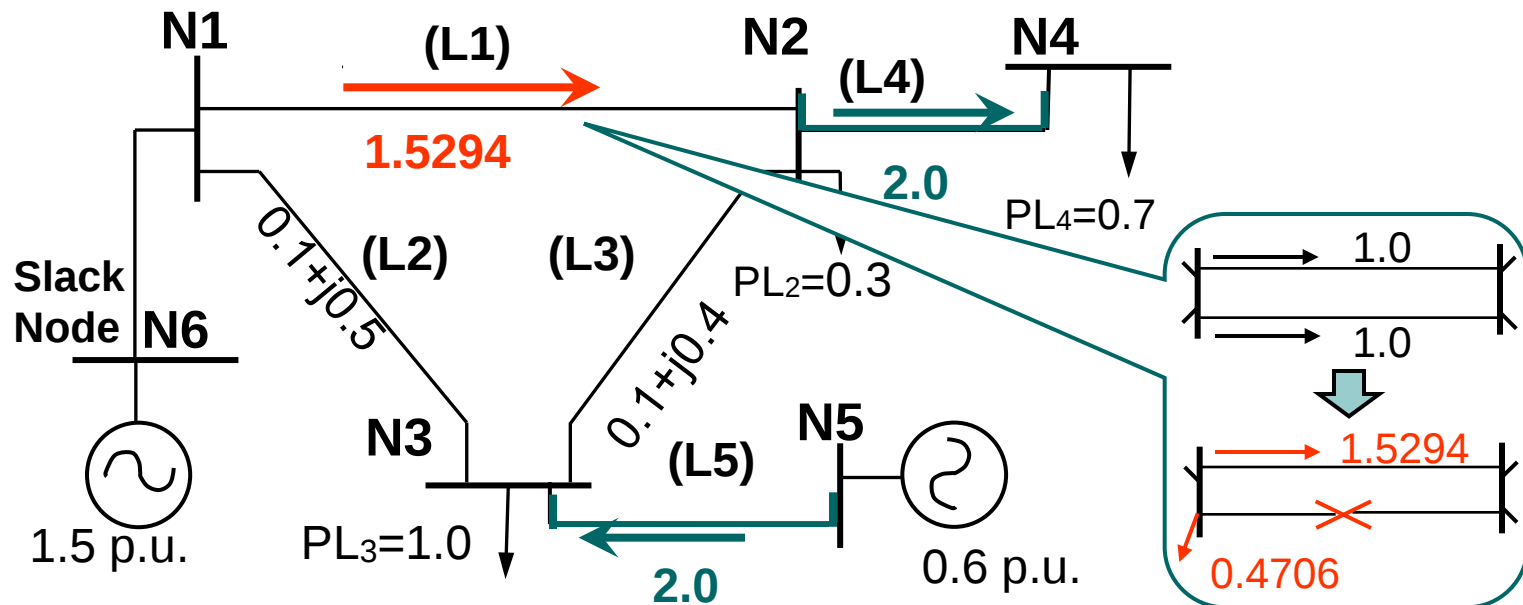


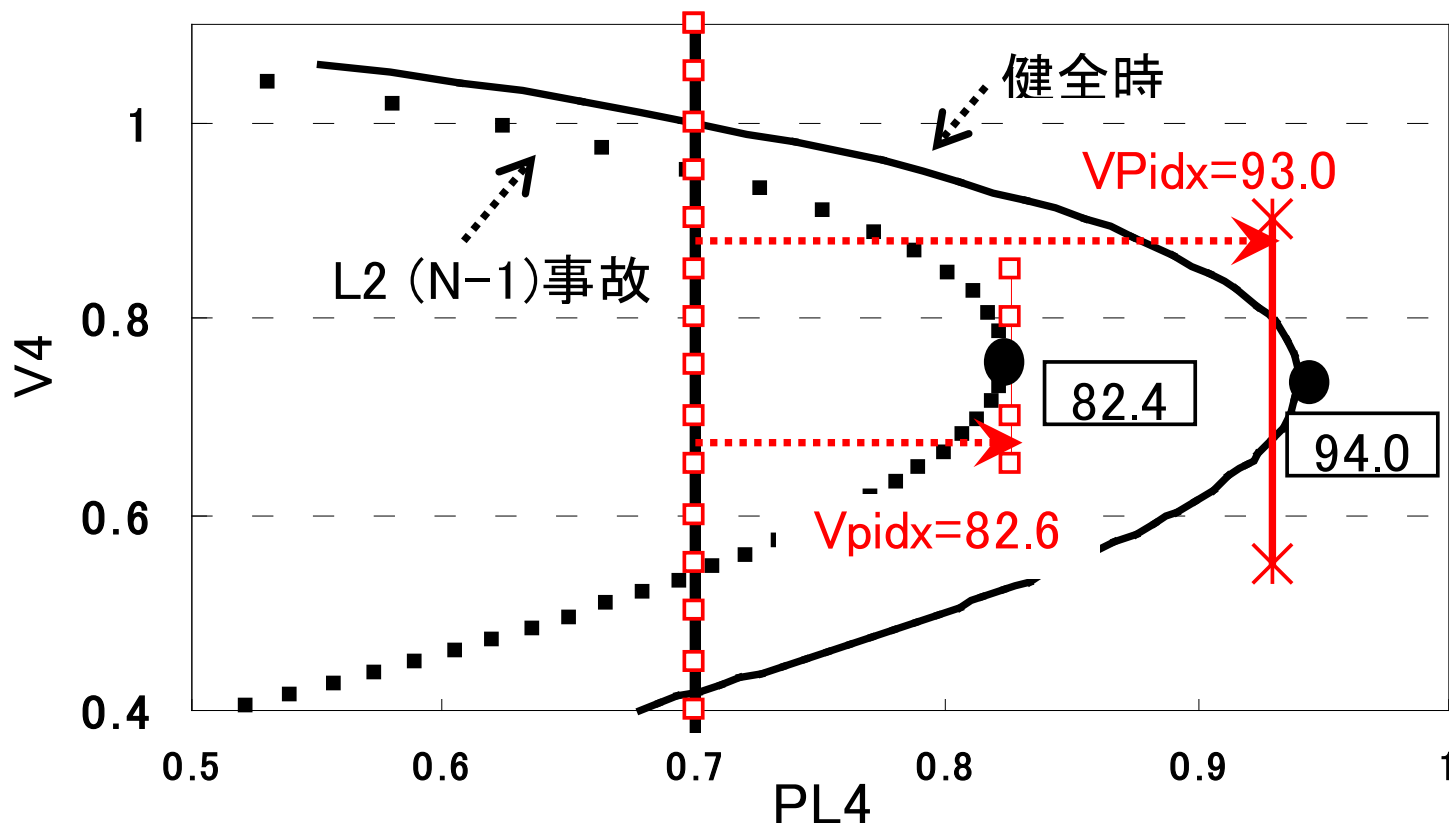
Fig. 6 nodes model system

Tab. Sensitivity values for the model system

Line No.	L1	L2	L3	L4	L5
Sensitivity α	1.5294	1.4440	1.5294	2.0	2.0

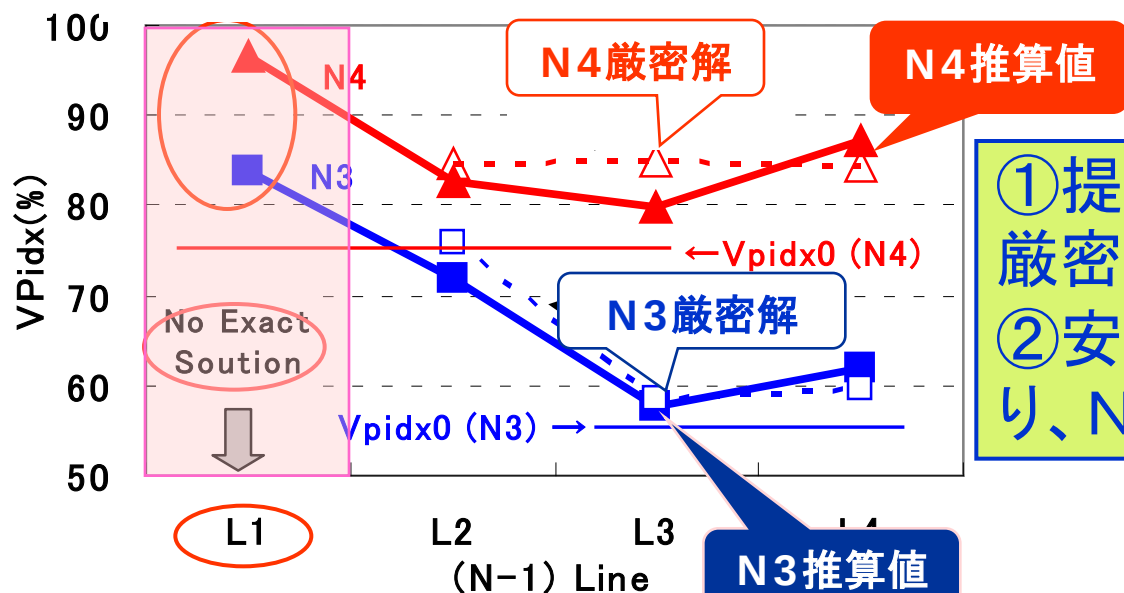
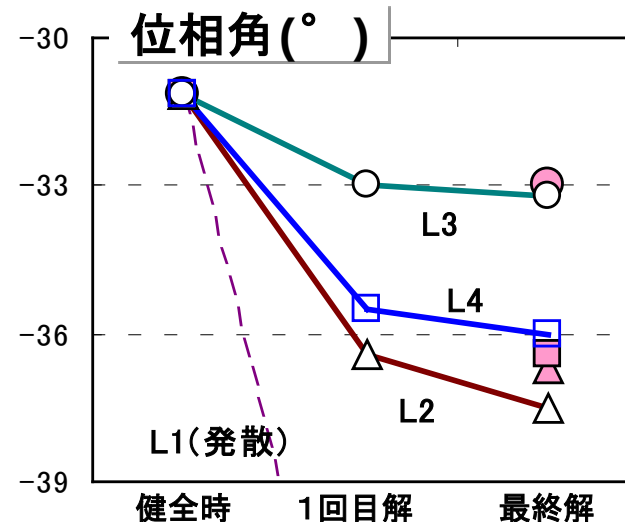
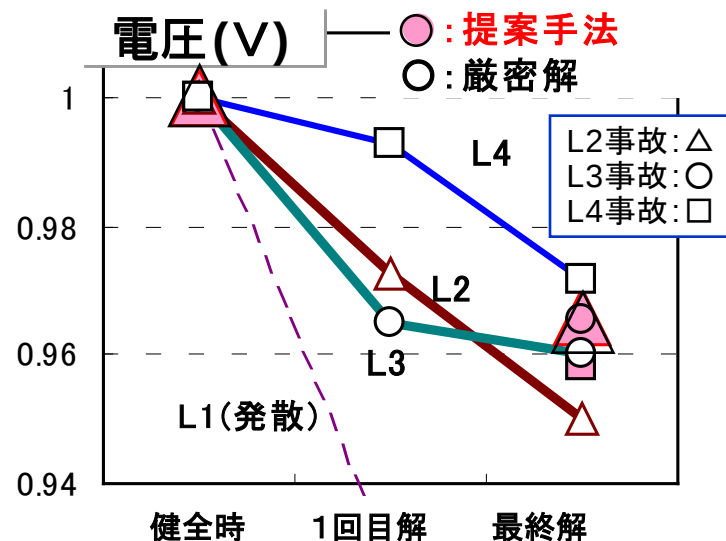
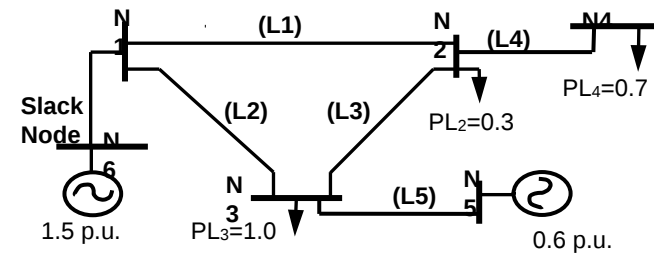
α が適切に算出されていることを確認

6ノード系統における電圧安定性指標 VP_{idx} の推定結果例



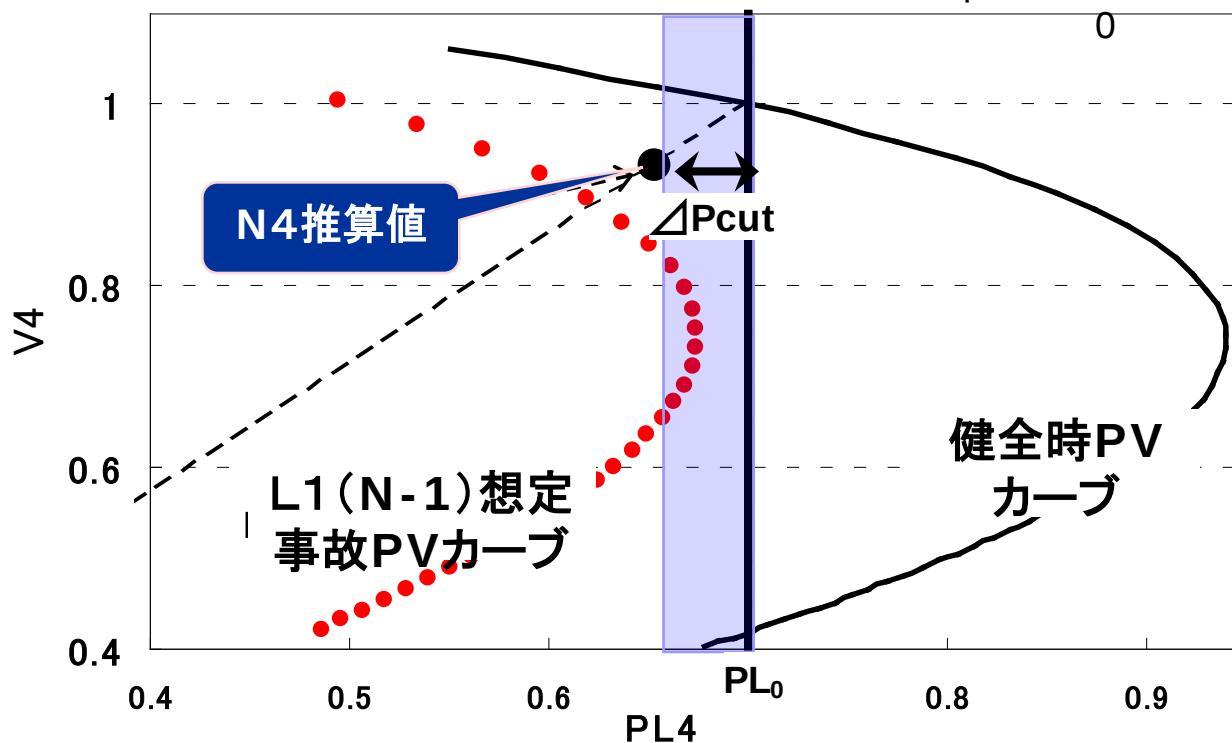
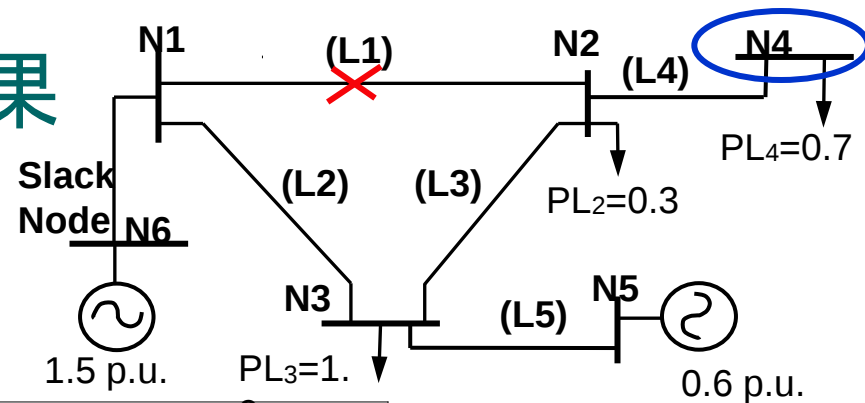
安定指標 VP_{idx} の精度確認

ヤコビアン行列に対する 電源補償原理の適用性



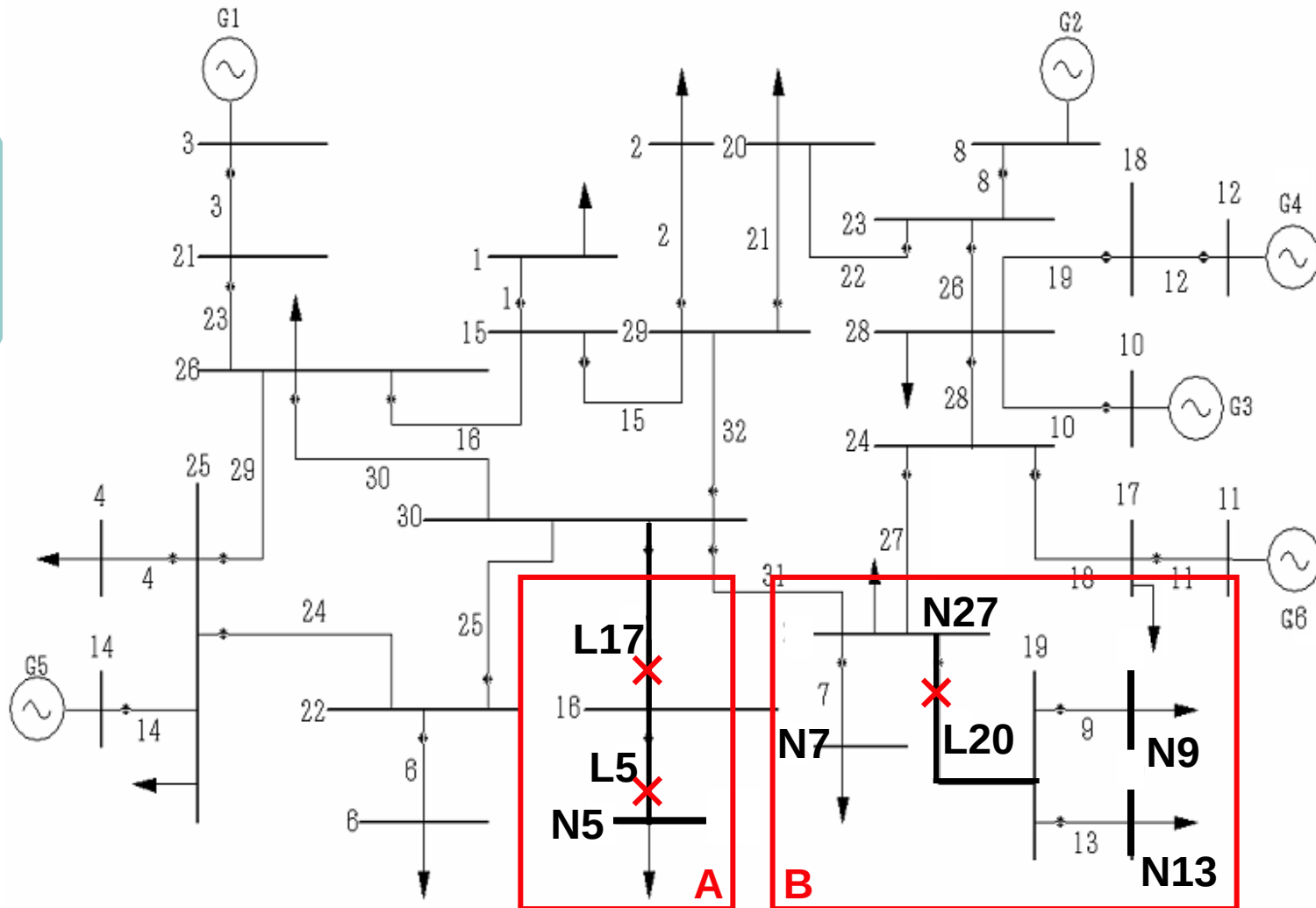
- ① 提案手法の推定解は、厳密解と良好に合致
- ② 安定・不安定判定式より、N4不安定、N3安定

6ノードシステムによる試算結果 (電圧不安定ケース)



電圧不安定ケースを正しく判別でき、
負荷抑制量 ΔP_{cut} 適切

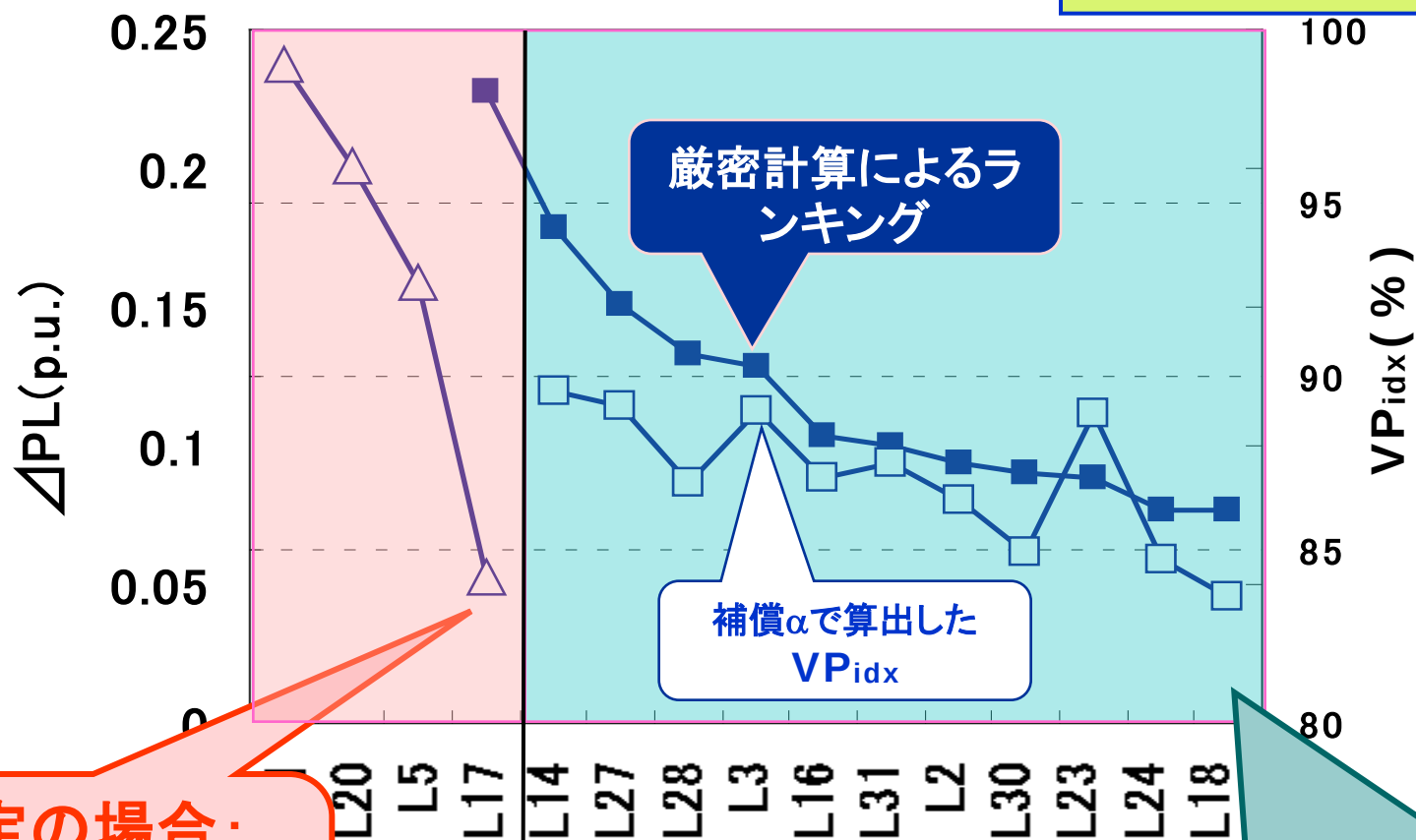
提案手法の検証に用いたIEEE 30 母線系統



上記の事故点で, (N-1) 想定故障を再現

全ての(N-1)事故に対する電圧安定性 ランキングの結果

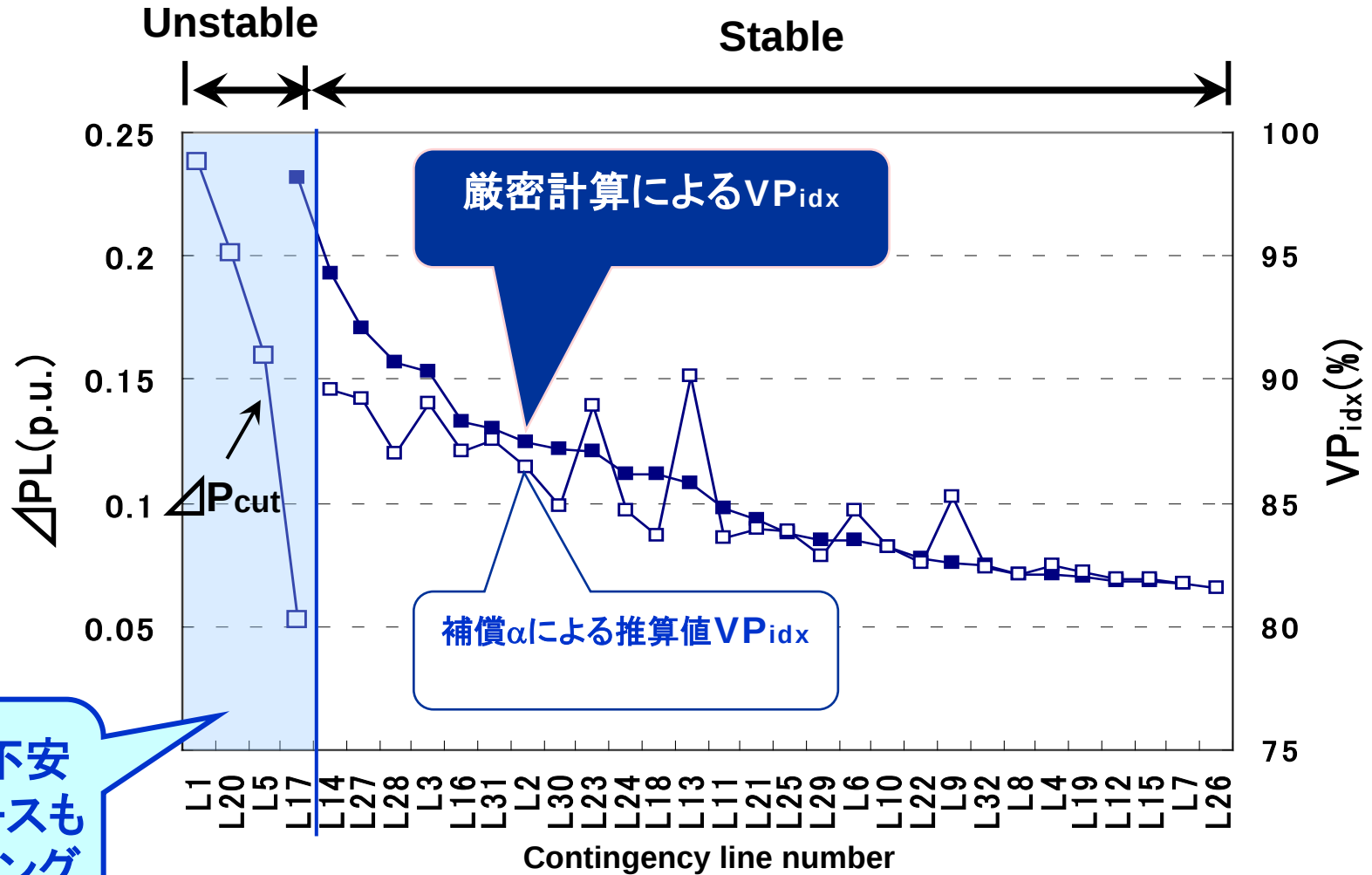
電圧不安定ケース
もランキング可能



不安定の場合：
負荷抑制量によるラ
ンキングを適用

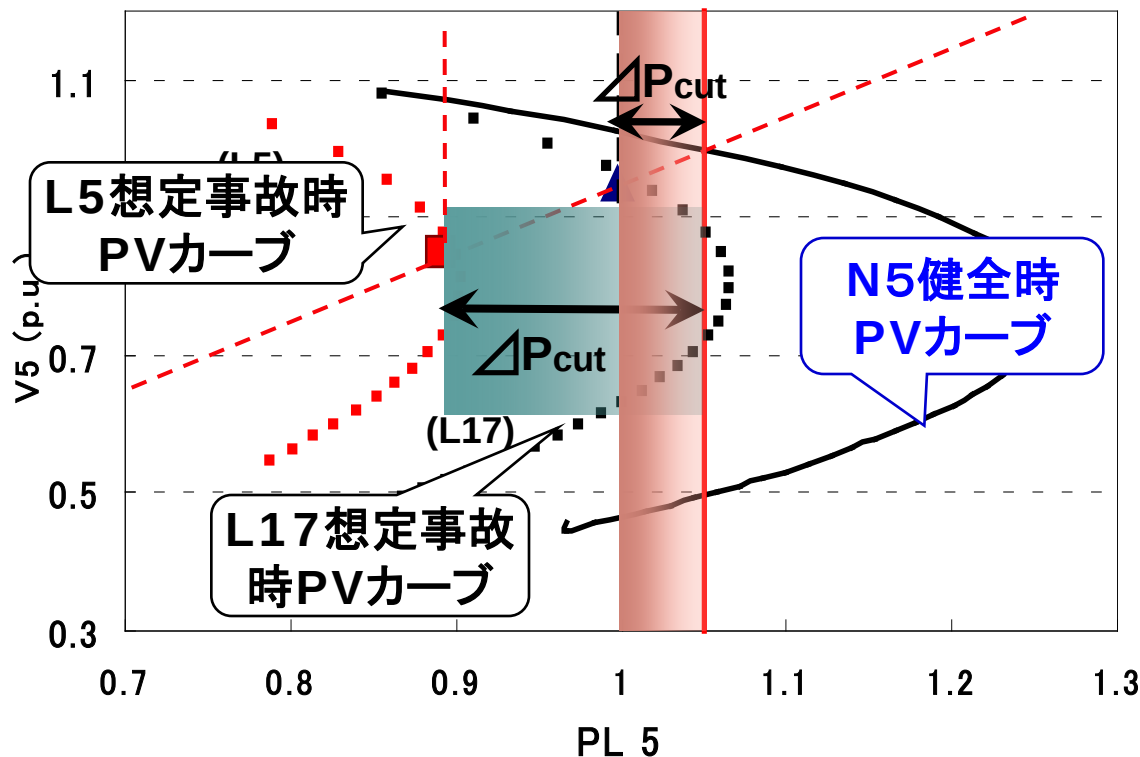
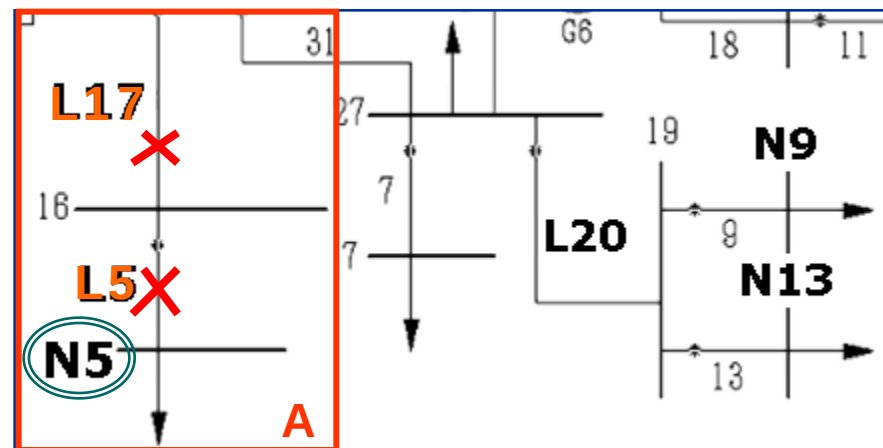
安定な場合：安定度指標VP_idx
によるランキングを適用

ピーク断面の150%需要断面における (N-1)事故時の電圧安定性のランキング



電圧不安定ケースを再現しやすくするため、ピーク断面の150%需要断面に調整

L17・L5における (N-1) 想定故障 (電圧不安定) ケース の負荷抑制推算結果



電圧不安定となる
母線が1つだけの
ケース

負荷抑制後の運転点は、厳密解のPVカーブ
近傍に位置⇒提案手法の推定精度は充分

L20 (N-1) 想定故障 (電圧不安定) ケース の負荷抑制推算結果

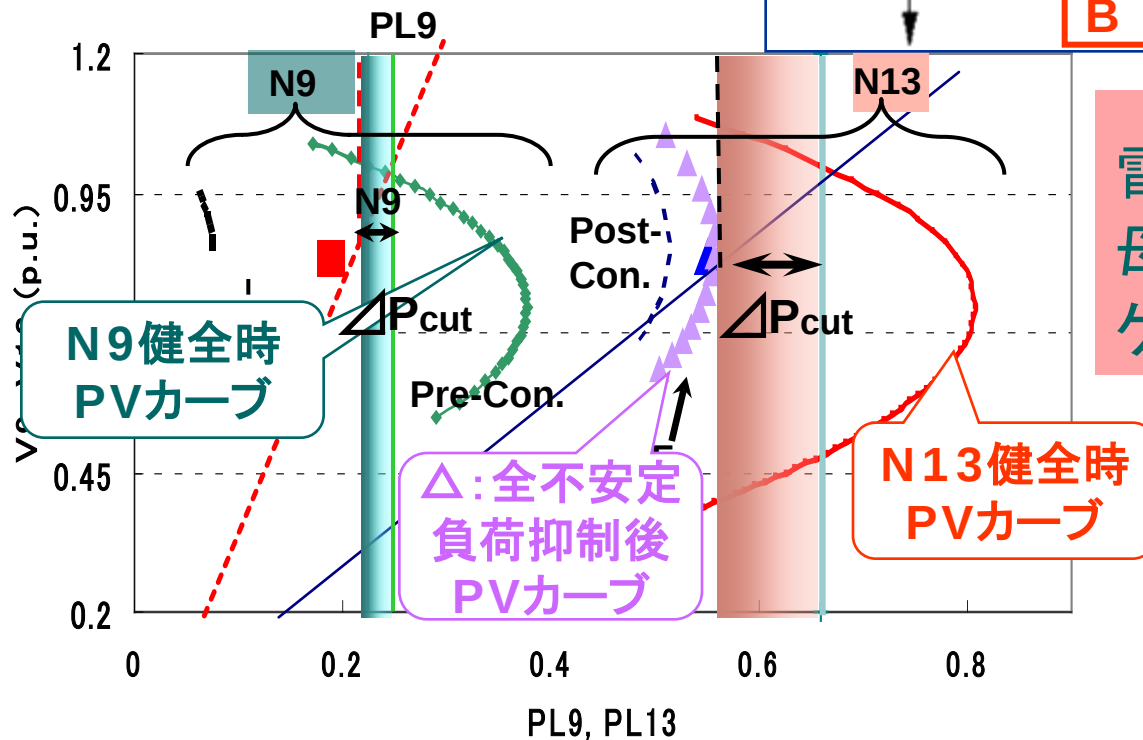
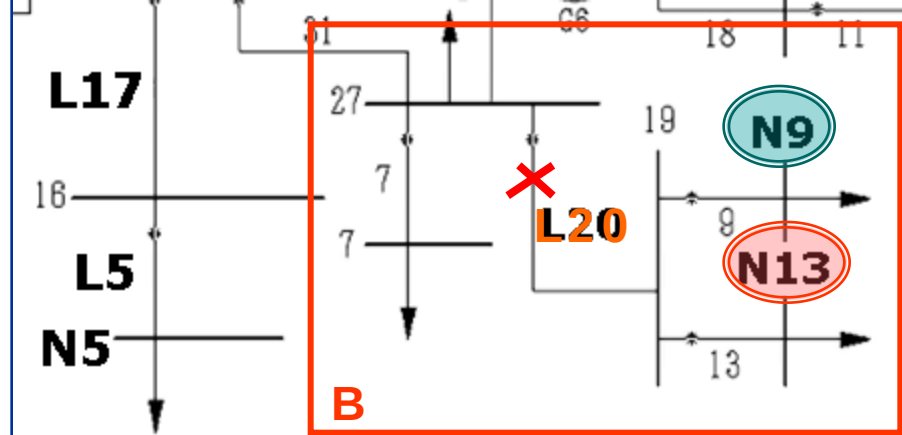
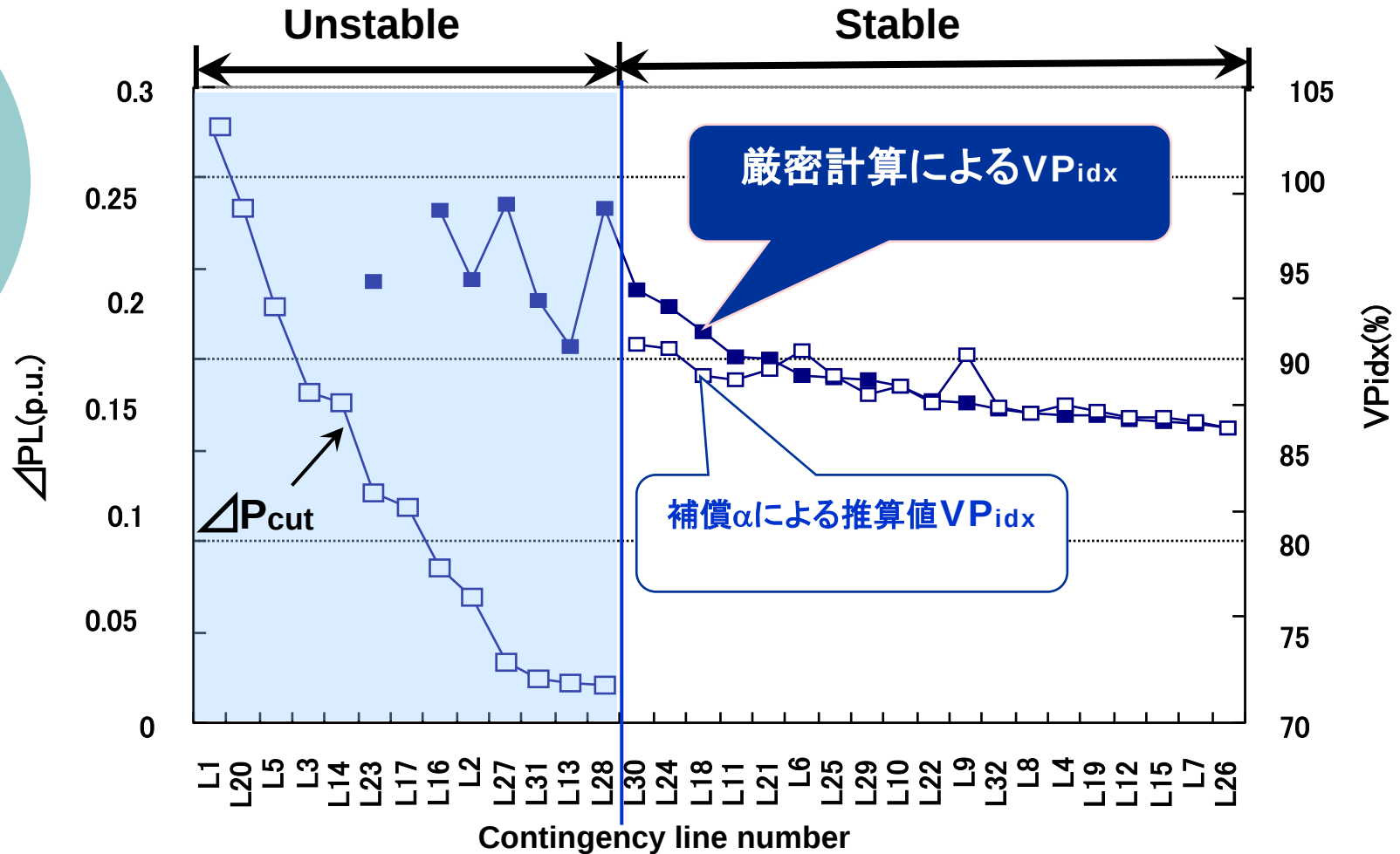


Fig.14 Load Shedding estimation in contingency at L20

電圧不安定となる
母線が2つ以上の
ケース

不安定負荷ノード抑制後の運転点は、
厳密解のPVカーブ近傍に位置⇒精度上問題なし

ピーク断面の160%需要断面における (N-1)事故時の電圧安定性のランキング



推定誤差が拡大するものの、電圧安定性の
厳しさのランキングとしては充分妥当

まとめ & 今後の計画

1. 補償感度 α を用いて、(N-1)事故時の電圧安定性を効率的(=J行列不変 & 1回の収束計算)に評価する手法を提案
2. (N-1)電圧不安定ケースに対して、安定化のための必要負荷抑制量の推定手法を提案
3. 上記に基づいた(N-1)電圧安定性ランキング手法を提案
4. IEEE30母線モデル系統で推定精度を検証
⇒ ランキングとして良好な結果を得た

今後は“(N-2)事故条件”への拡張を検討



研究手法の概説

従来

- 想定故障ごとに
ヤコビアン行列を変更
- 計算労力大
- 想定事故時
不安定の場合発散し
- 不安定の場合
別計算で再評価する

提案

- 想定事故前の
ヤコビアン行列を有効利用
- 計算労力削減
- 電圧安定・不安定基準を
設定し、判定
- 電圧不安定負荷ノードを
即座に適切な負荷抑制量を
算定