

第4期終了報告会

(エネルギー関数法を用いた過渡安定度解析手法)

詳細発電機モデルへの エネルギー関数法適用に関する研究

先端電力工学(東北電力)寄附講座
修士2年 阿部 祐希

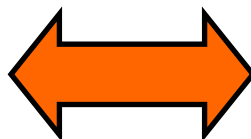
発表の流れ

- 1, 研究の背景
- 2, 過渡安定度計算と発電機モデル
- 3, 従来のエネルギー関数法
- 4, 提案手法
- 5, 試算結果
 - 5.1, 単機脱調の場合
 - 5.2, 複数機脱調の場合
- 6, まとめ

研究背景

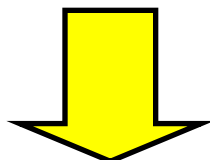
今日の電力系統は・・・

電力自由化という競争の中
設備投資を厳選している



電力の需要は今後も
着実に増加する傾向にある

両者は背反する課題

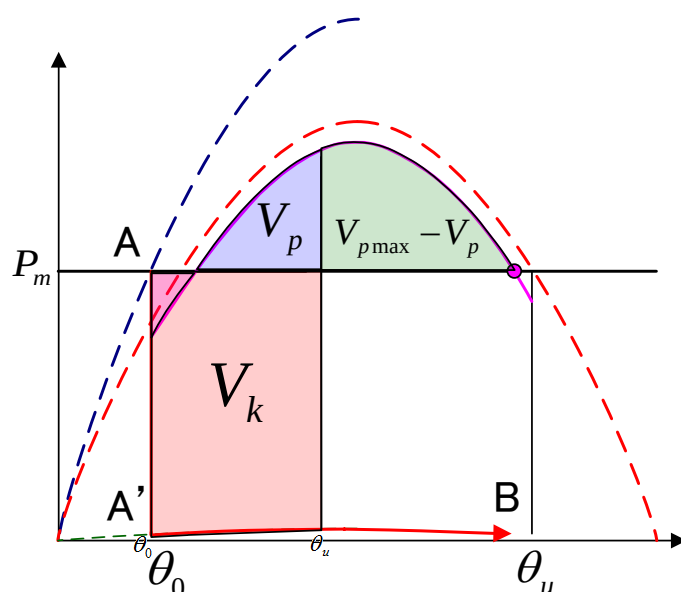


電力設備を一層効率的で安定的に利用することが求められる

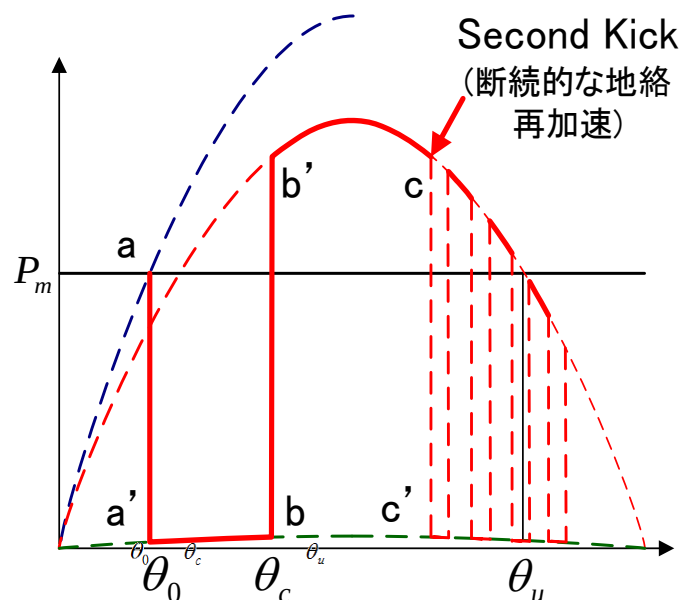
時々刻々の運用状態に対し、多数の想定故障下での
発電機の安定性(とくに過渡安定度)を解析し、
常に系統を安定に維持させる予防制御が重要視

研究の背景 : エネルギー関数法

過渡安定度の高速評価手法として
エネルギー関数法が注目されている



PEBS(Potential Energy
Boundary Surface)法



Hybrid法

精度の点で課題があり、実用には至っていない

2,過渡安定度解析手法の分類

過渡安定度の解析手法

時間領域手法

逐次的な計算により
系統の挙動を求める

- 解析精度が正確
- ✕ 計算負荷が大きい



オンライン監視など
高速解析への適応は不向き

エネルギー関数法

系統のもつ過渡エネルギー値
から安定判別を行う手法

- 高速に臨界故障除去時間 (CCT)を推定できる
- ✕ 計算精度に問題



高速解析ニーズの高まりから
エネルギー関数法が再評価

発電機過渡応答のモデル化

解析計算には系統を**モデル化**する必要がある

発電機のモデル化にはいくつかの種類

古典モデル

X_d' 背後電圧電圧を**一定**とした簡易モデル

○ 計算が簡単

✕ 計算精度に問題あり

詳細発電機モデル

Parkの式を基にモデル化
内部電圧は**時間変化**

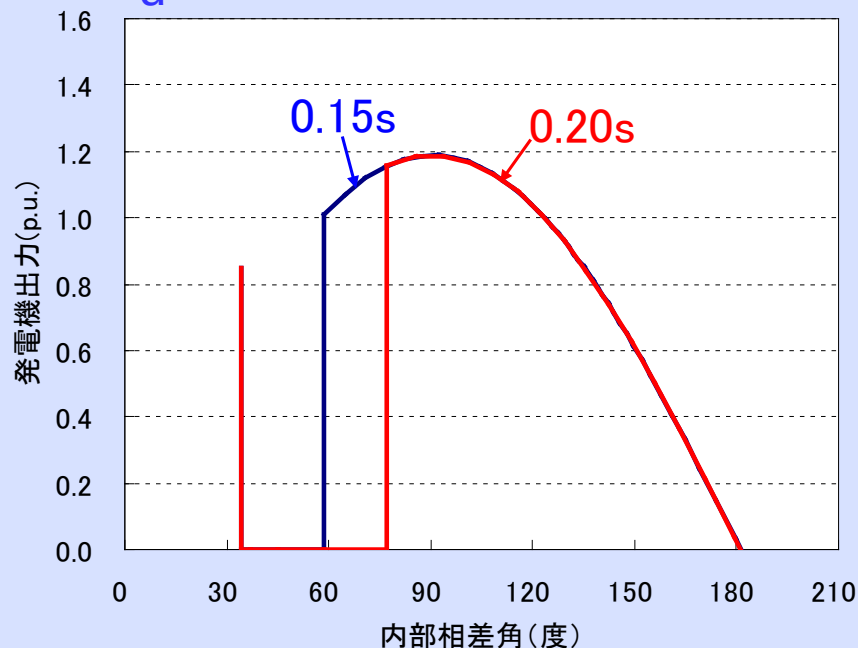
○ より実際の発電機に
近くモデル化

✕ 計算が複雑

現在では広く**詳細発電機**モデルが使用されている

発電機モデルによるP- δ 曲線の違い

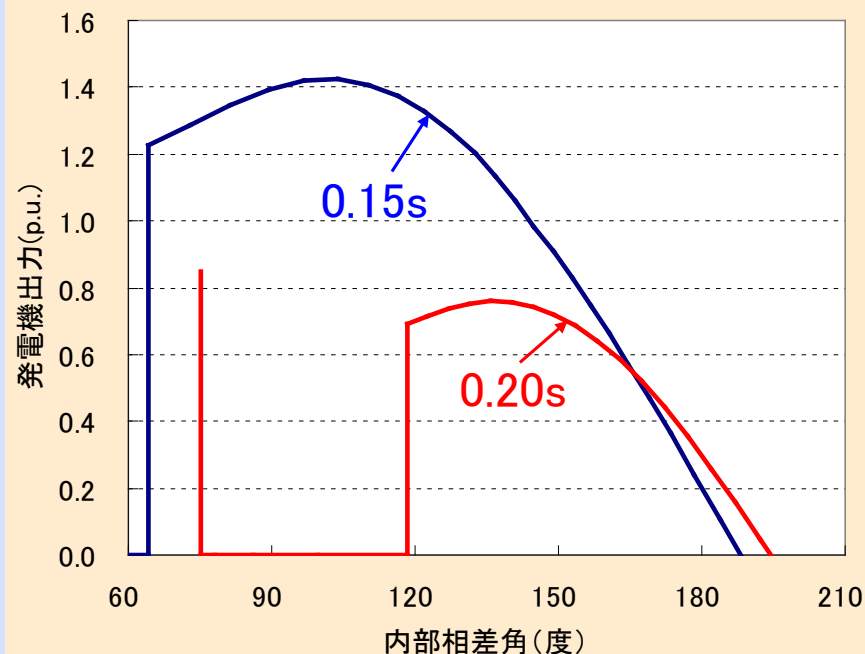
X_d' 背後電圧一定モデル



P- δ 曲線は遮断時間によらず一定

- ・P- δ 曲線の推定が容易
- ・CCTの算出も容易である

詳細発電機モデル

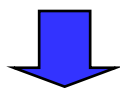


P- δ 曲線は遮断時間によって変化

- ・P- δ 曲線の推定が困難
- ・CCTの算出も困難

研究の目的

予防制御を行うには計算時間の早い
過渡安定度の評価手法が必要



計算時間の早い従来のエネルギー関数法
は、現在用いられている詳細発電機モデル
に対して精度の点で問題



PEBS法、Hybrid法の手法を組み合わせ
詳細発電機モデルに対して十分な精度を持つ
エネルギー関数法の提案を行う

3、エネルギー関数法(≡多機系等面積法)

θ_0 で故障を起こし
 θ_c で除去を行う

時間領域手法より
P- δ 曲線を算出

P- δ 曲線に囲まれた領域
 V_p, V_k の比較より安定判別

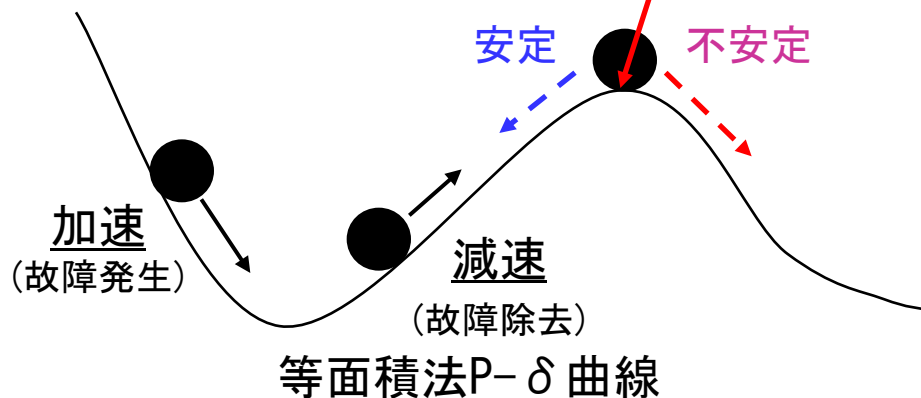
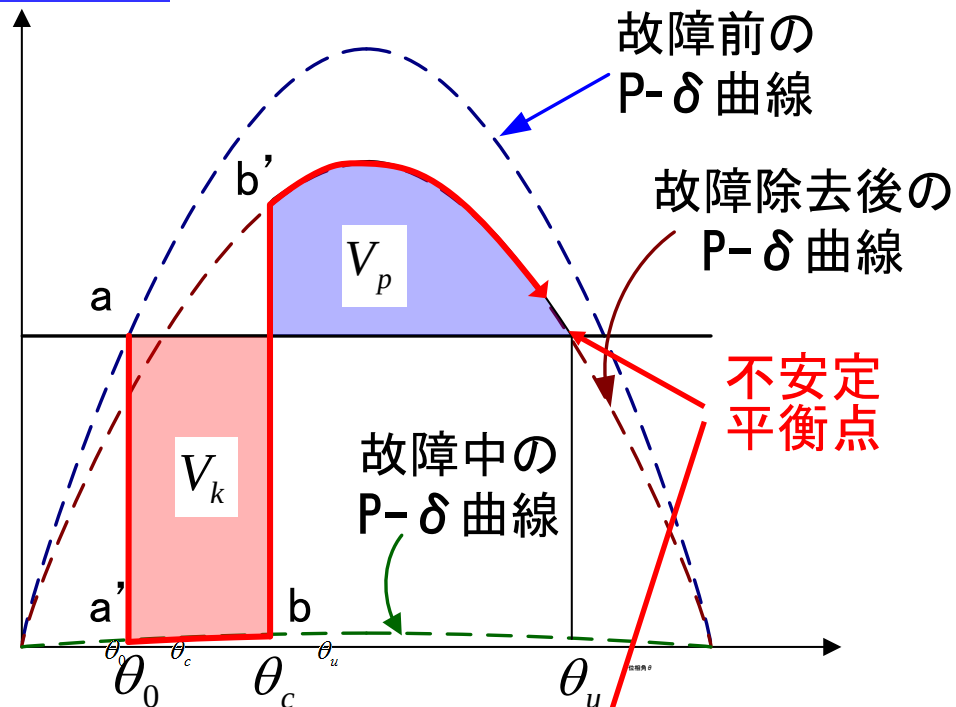
$V_p > V_k$ のとき**安定**

$V_p = V_k$ のとき**安定限界**

$V_p < V_k$ のとき**不安定**

電気の出力 P_e

機械的入力 P_m
(=初期出力 P_0)

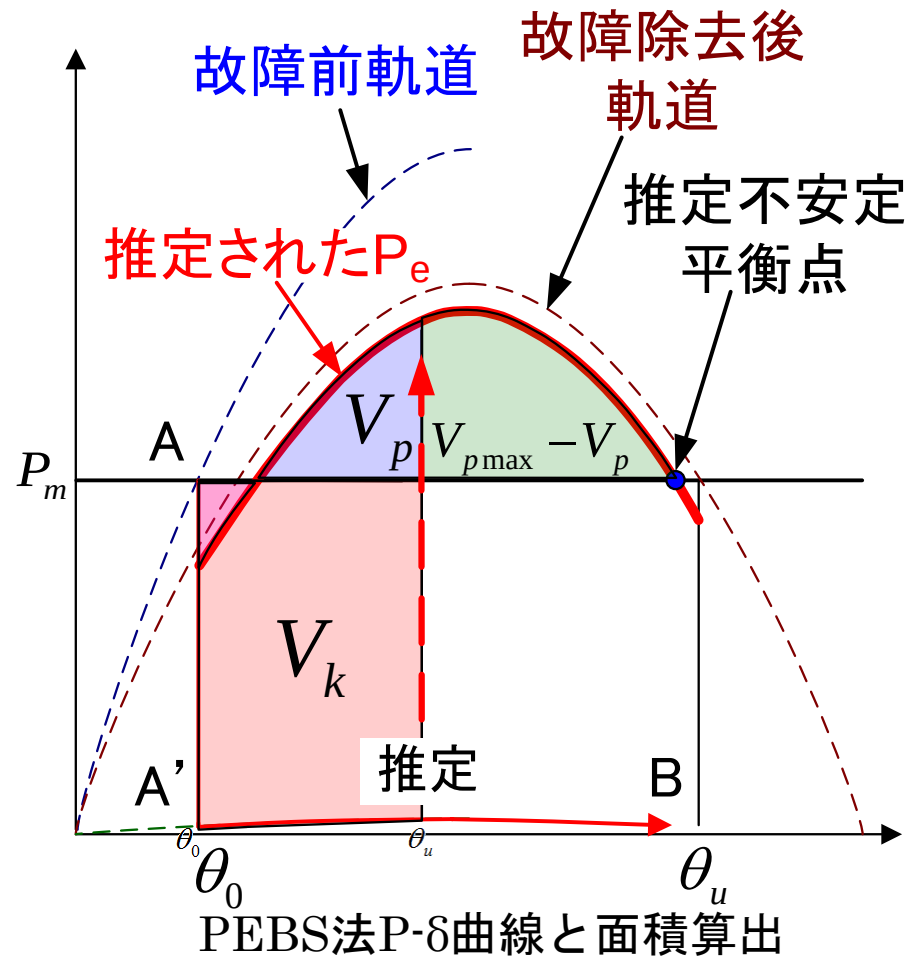


PEBS法 ①CCTの算出

θ_0 で故障を起こし、
除去せず継続させる

故障継続軌道上で
 Δt ごとに仮の故障除去計算
より V_p 、 V_k の面積計算を行う

$V_p(t) + V_k(t) = V_{p\max}$
が成り立つときの故障
除去時間 t がCCTとなる



PEBS法 ②故障継続に伴う問題点

X_d 背後電圧一定モデル
が前提条件となる

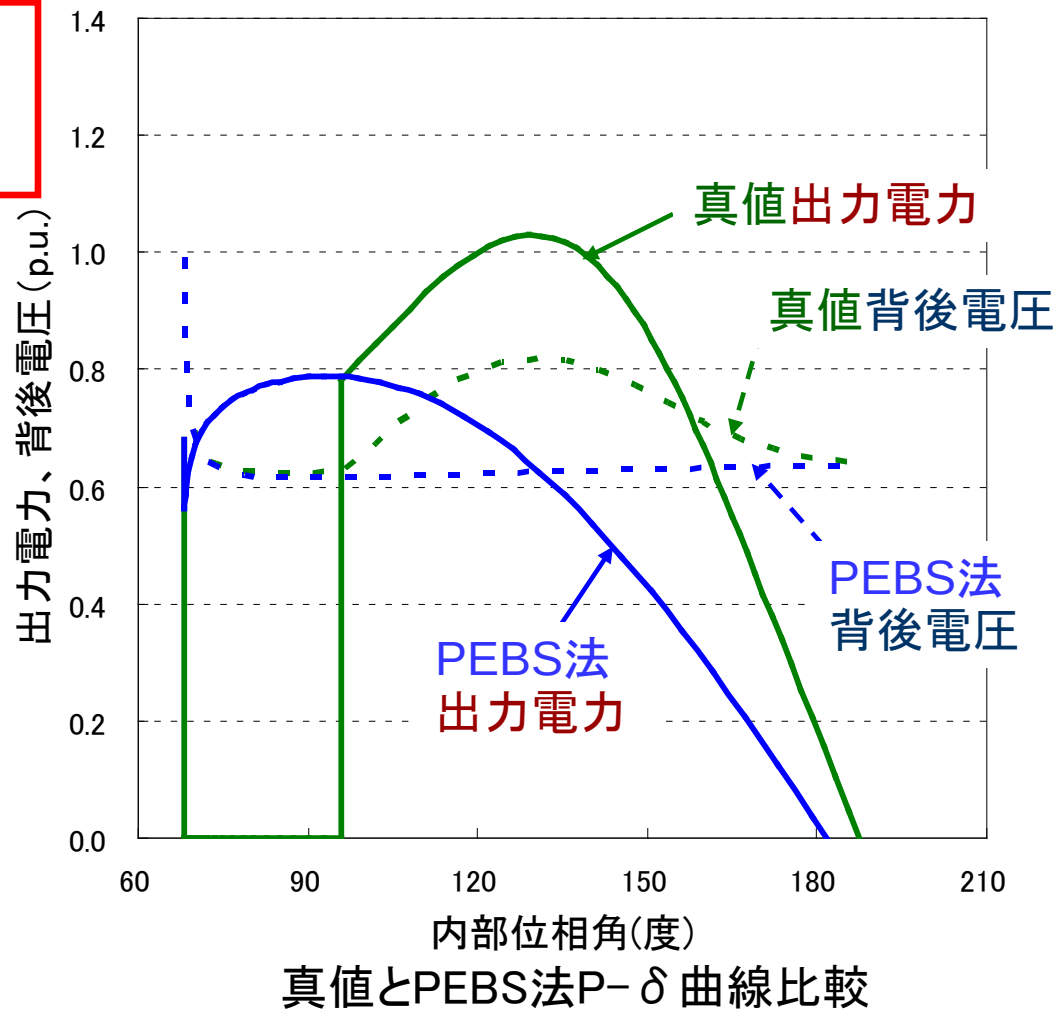
詳細モデル適用時

地絡故障を継続させる

背後電圧が
実際以上に低下

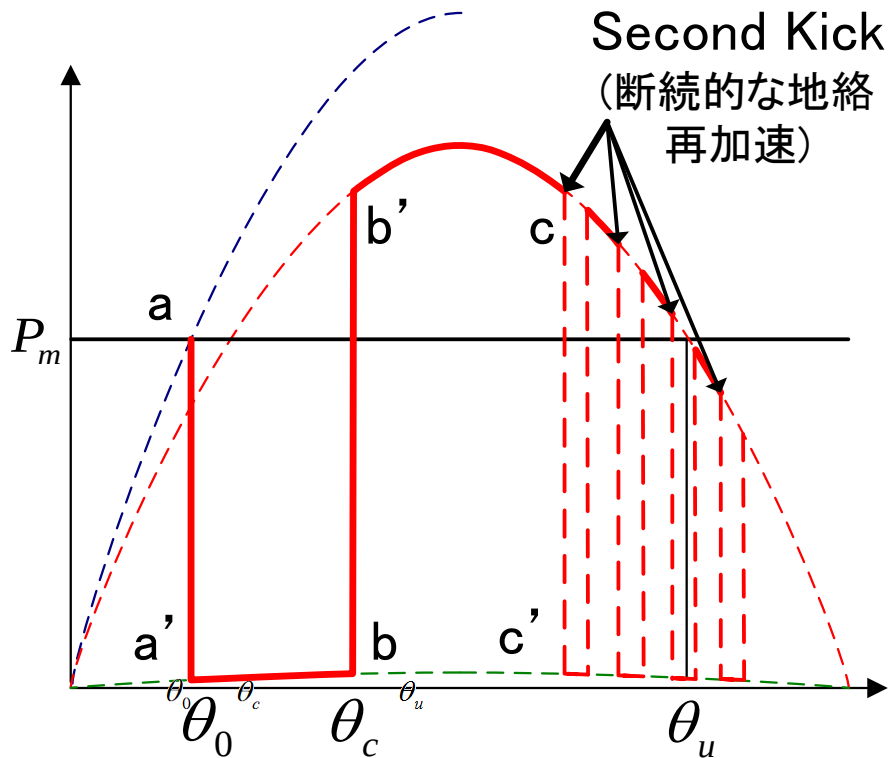
推定出力も低く計算
されてしまう

CCTが大きく悲観的に
推定されてしまう



エネルギー関数法 Hybrid法

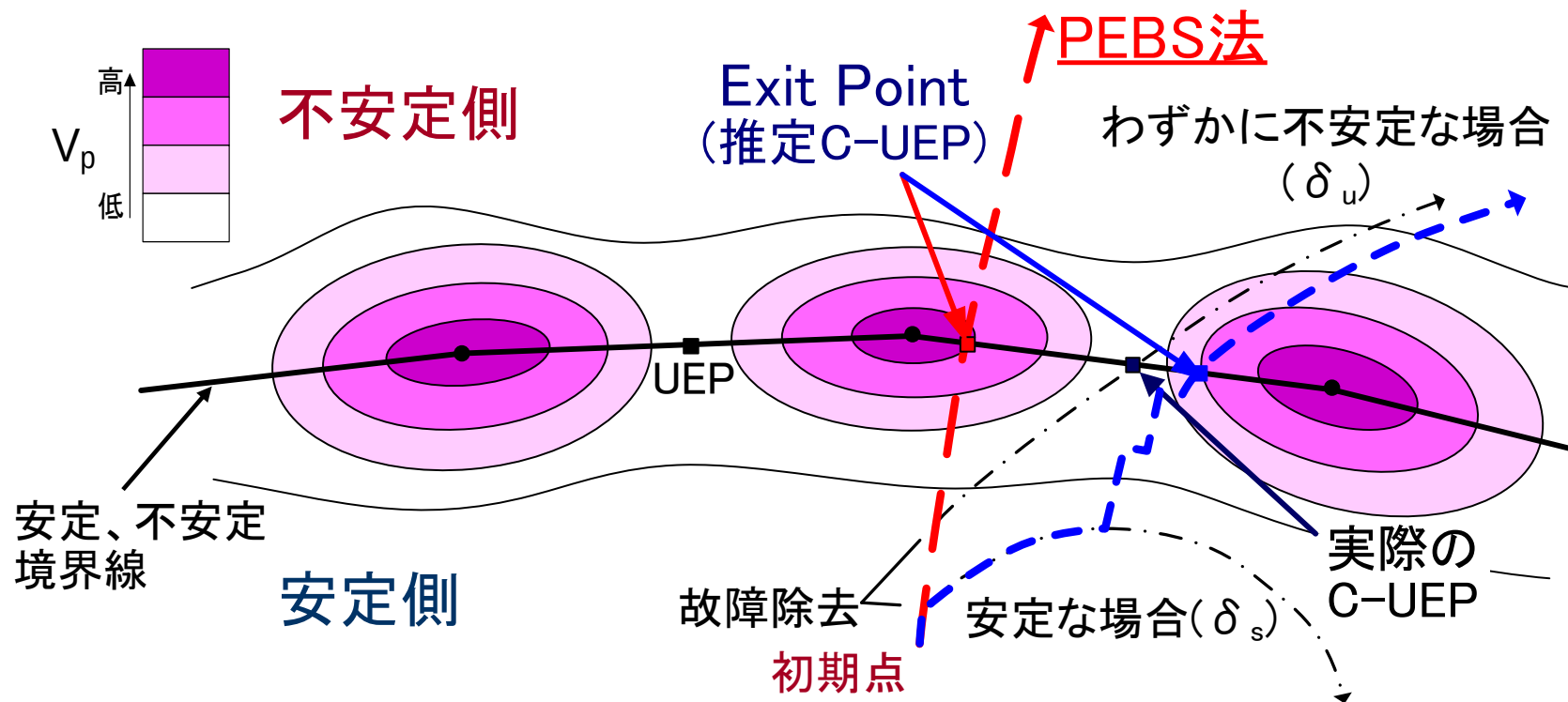
時間領域手法とエネルギー関数法を組み合わせたら？



Hybrid法概念図

運転点が戻り始める点で
断続的な再地絡を開始し脱調させる

エネルギー関数法 概念図



多機系統の場合の概念図

エネルギー関数法 まとめ

PEBS法

- 1秒程度のシミュレーションを一度行うだけで安定度判別とCCTを求めることができる
- ✕ 詳細モデル適用時、背後電圧が著しく低下する

Hybrid法

- 実際の故障シーケンスに沿っているため精度が高い
- ✕ 安定判別を目的としているためCCTの算出が出来ない



この2つの利点を組み合わせることは出来ないか？

4.提案手法 ①エネルギー関数法の組み合わせ

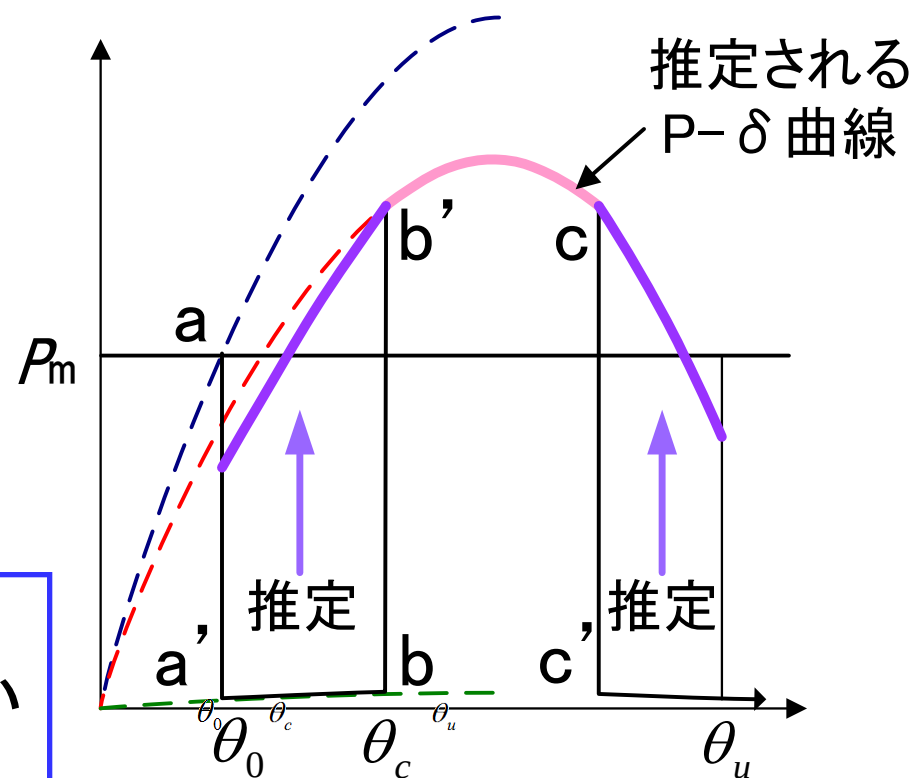
- ①PEBS法にHybrid法の手法を組み込むことは出来ないか？
- ②背後電圧の過剰な低下を防げないか？

①両手法の組み合わせ

地絡故障区間($a \rightarrow b'$), ($c' \rightarrow$)
をPEBS法で推定

故障を除去した($b' \rightarrow c$)は
時間領域手法より計算

- 実際のシーケンスが
組み込まれているため精度が高い
- CCTが一度の計算より算出可能



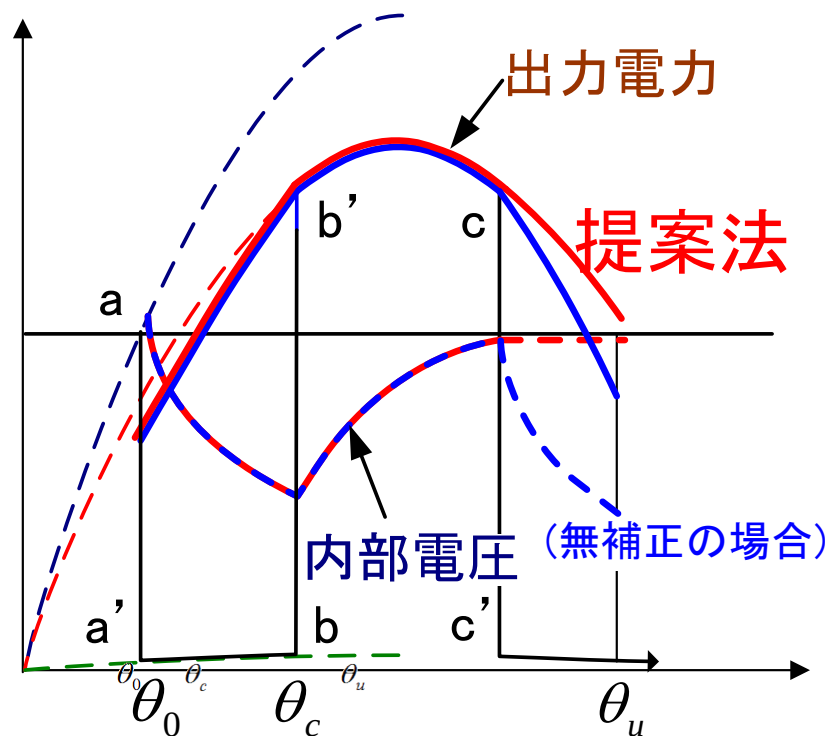
提案手法 ②背後電圧補正

PEBS法の問題であった
「**背後電圧の過剰な低下**」
を解決するため

再地絡後で背後電圧の
絶対値を**直前値で一定**

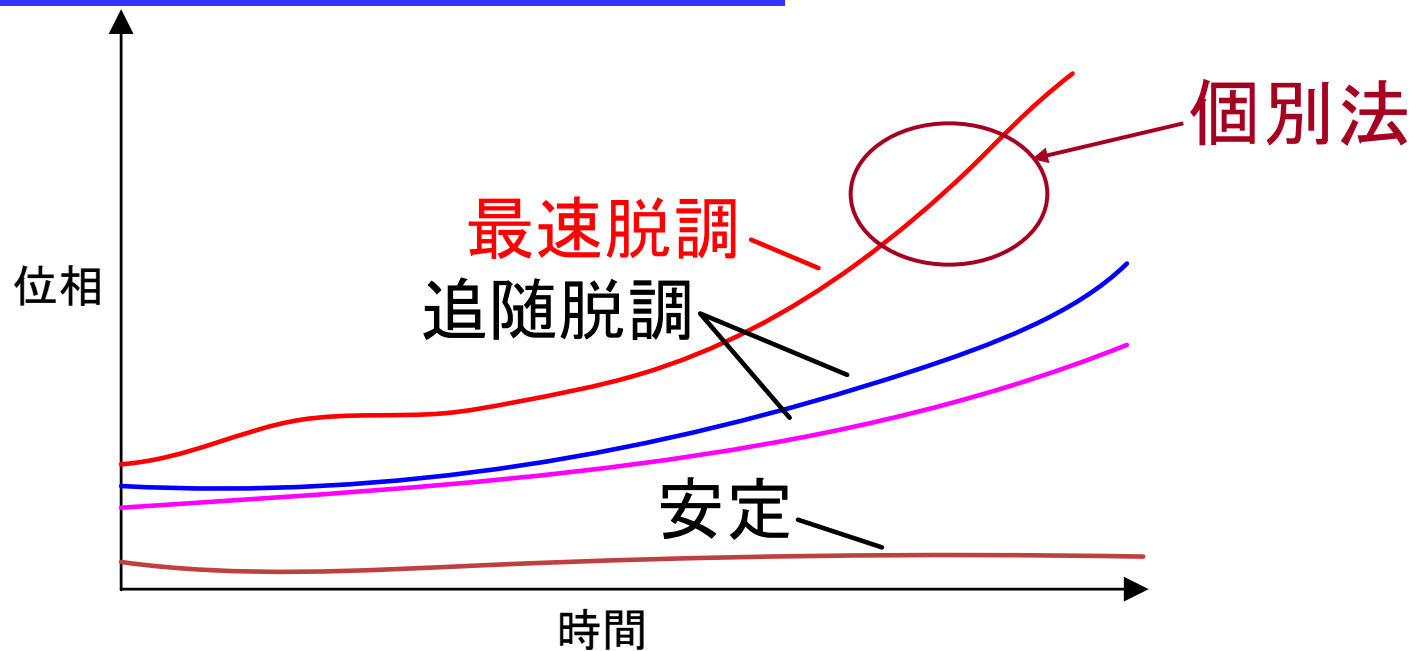
とする背後電圧の補正を行う

- ①エネルギー関数法の組み合わせ
- ②背後電圧補正
を行う手法を提案手法とする



提案法と無補正P- δ 曲線の比較

提案手法 ③個別エネルギー関数の採用

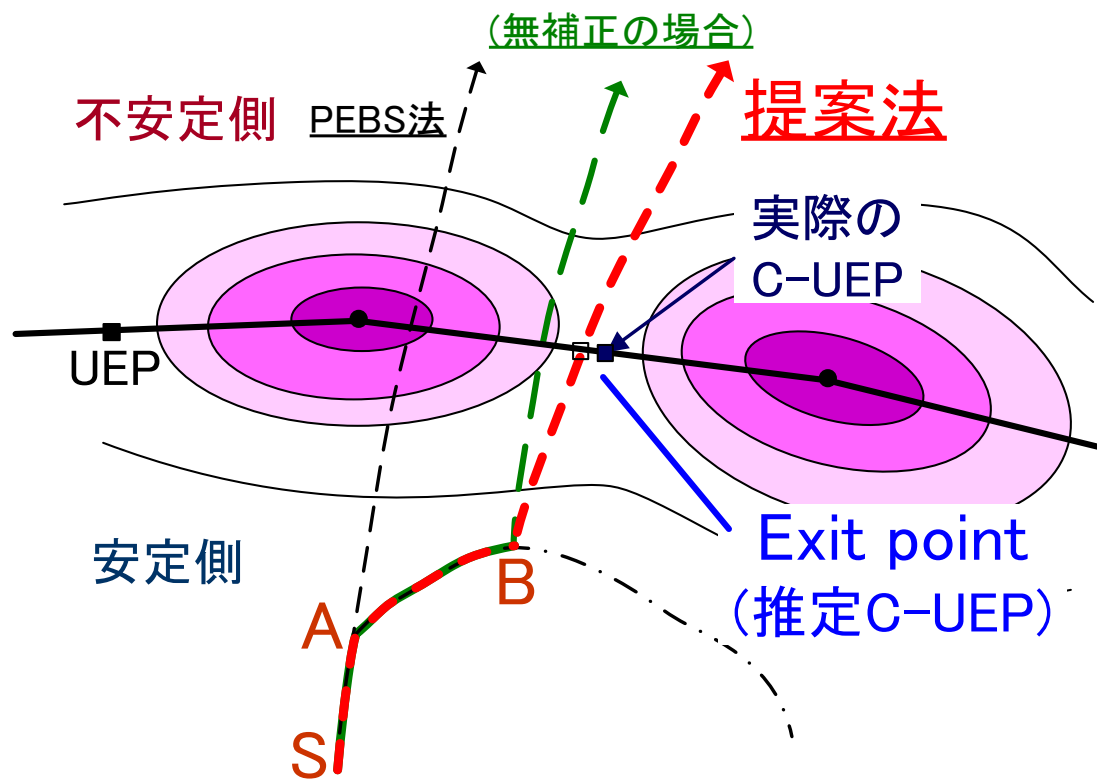
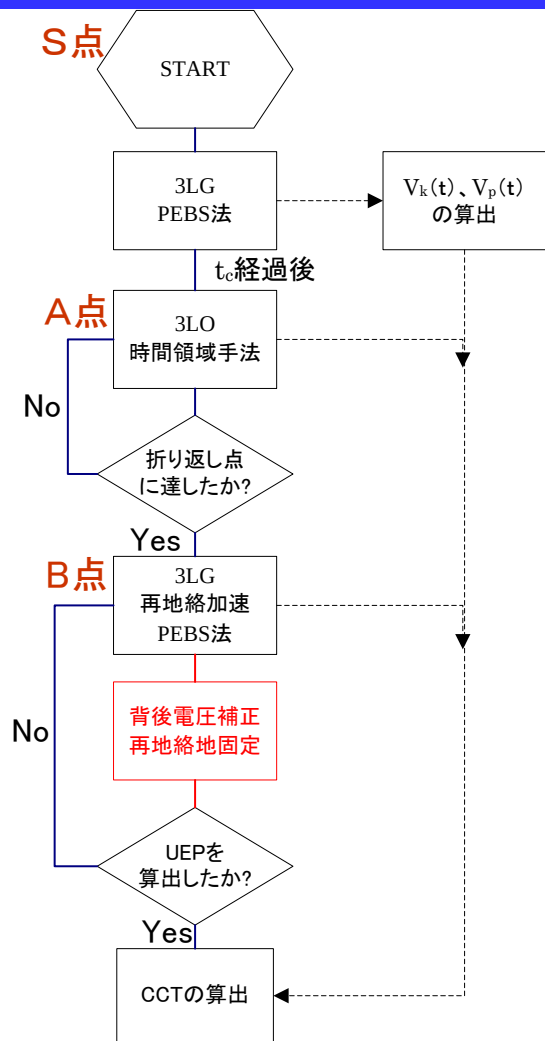


●個別エネルギー算出法

最も速く脱調する発電機に着目

→系統のCCTは全発電機のエネルギーではなく、
最も速く脱調する発電機のエネルギーが支配的

提案手法 ④全体の計算フロー



エネルギー平面図による提案法と無補正比較

5,試算結果

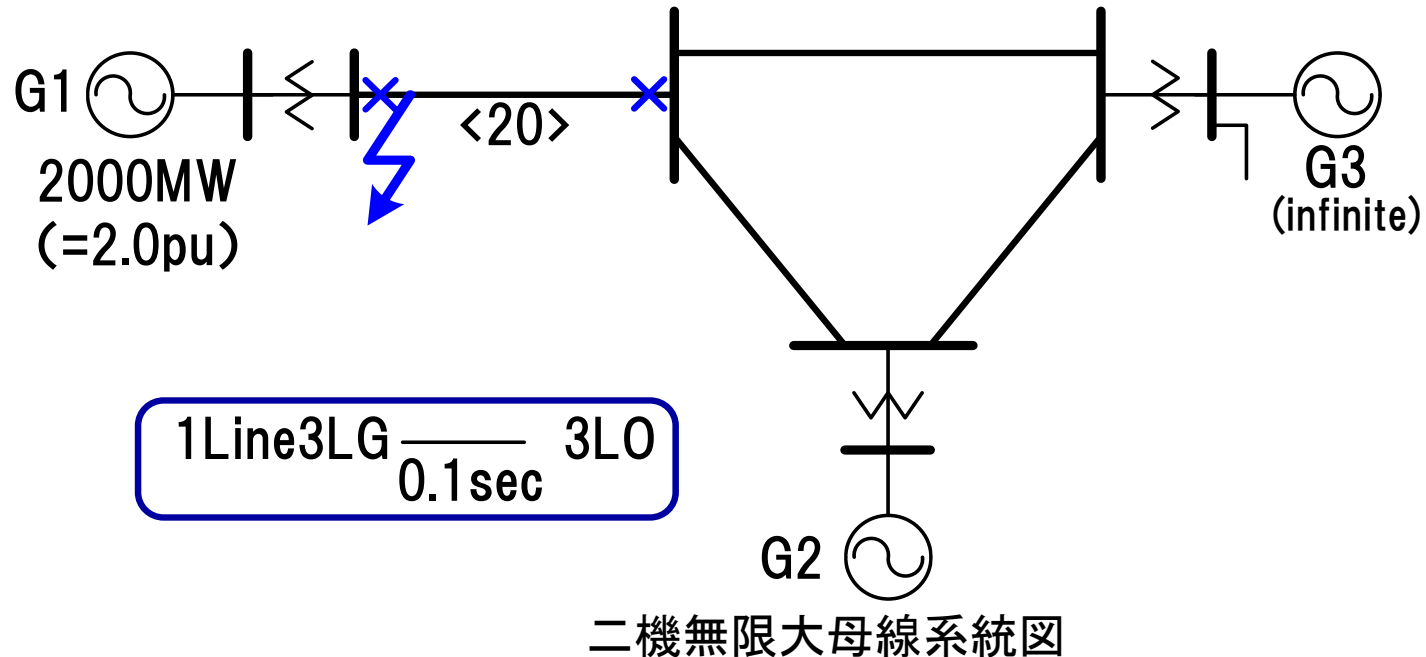
◆ 単機脱調の場合

- 二機無限大系統における検証
- East10モデル系統における検証

◆ 複数機脱調の場合

- 従来法(全体エネルギー関数法)との比較
- East10モデル系統における検証

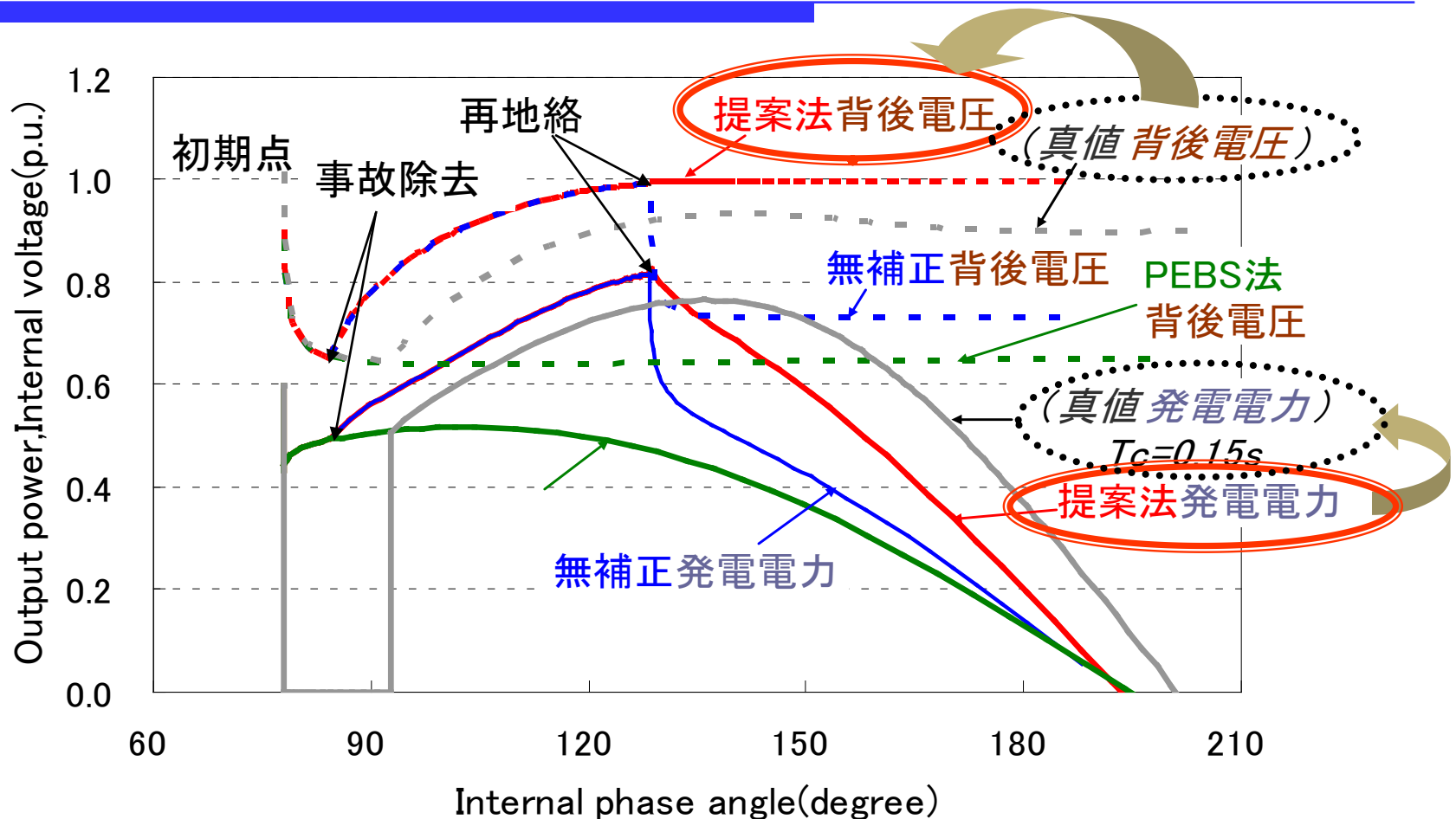
5,1 単機脱調の場合



発電機モデル

- 1) 4次のParkモデル
- 2) 制御系として標準AVR、ガバナを考慮

2機モデル試算結果 P- δ 曲線



20番送電線事故時の1番発電機P- δ 曲線 真値0.14s

2機モデル試算結果 CCTの算出

C C T (s)			
真値	PEBS法	無補正	提案法
0.11		0.10 (-0.01)	0.10 (-0.01)
0.14		0.10 (-0.04)	0.13 (-0.01)
0.20		0.12 (-0.08)	0.19 (-0.01)

- PEBS法

単なる一回線開放で不安定(≡定態不安定)と推定

- 無補正の場合

PEBS法よりも精度よく算出でき、

エネルギー関数法の組み合わせの効果を確認できた

- 提案手法

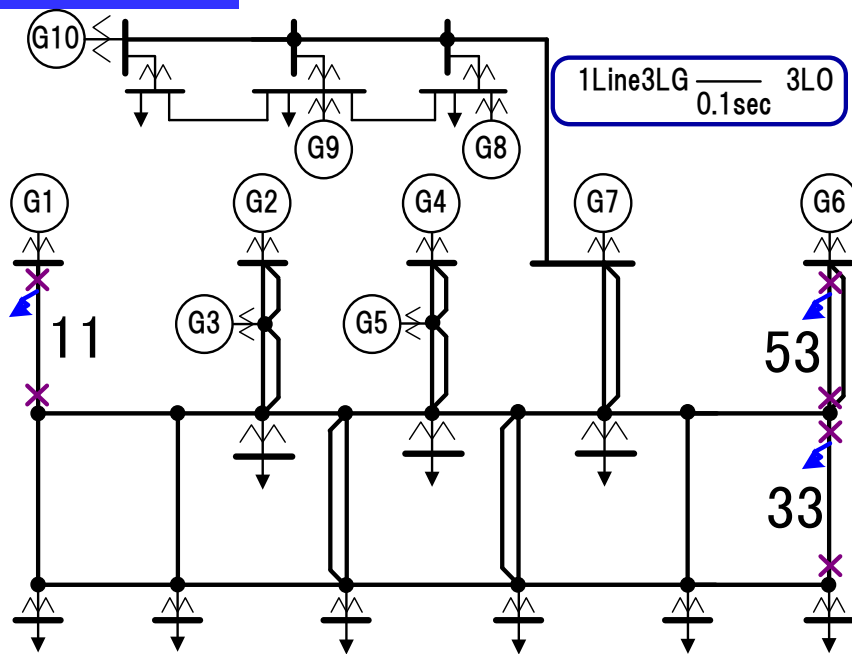
無補正の場合と比較すると $t_c=0.1s$ から離れたケースで推定精度が高く、**背後電圧補正の効果を確認**

単機脱調 East10モデルでの検証

提案手法をEast10
モデルに対して適用



大規模システムにおける、
提案手法妥当性の
検討を行う

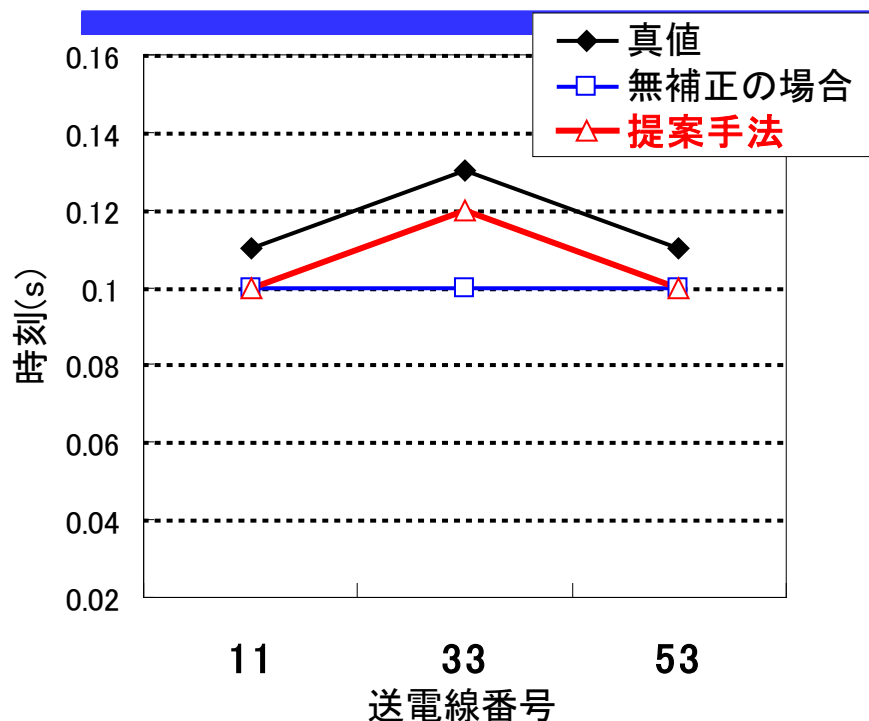


East10モデル系統図

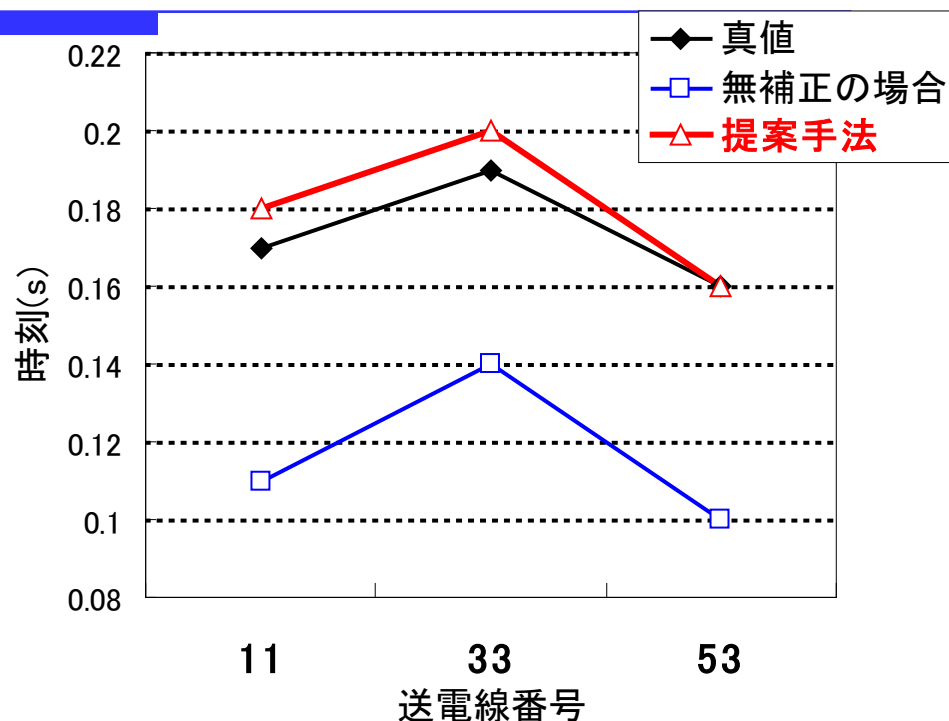
至近端の発電機出力を変化させることにより

- ① 真値が規定 $t_c=0.1s$ に近いもの(補正の影響が小さい)
 - ② 真値が規定 t_c から離れているもの(補正の影響が大きい)
- の2グループに分け、算出を行った

試算結果 手法によるCCTの差



①グループ(補正影響小)



②グループ(補正影響大)

◆ 単機脱調のまとめとして

- PEBS法では推定できなかった詳細発電機モデルでのCCT算出を行うことが出来た
- 背後電圧補正を行うことによりCCT算出精度が向上した

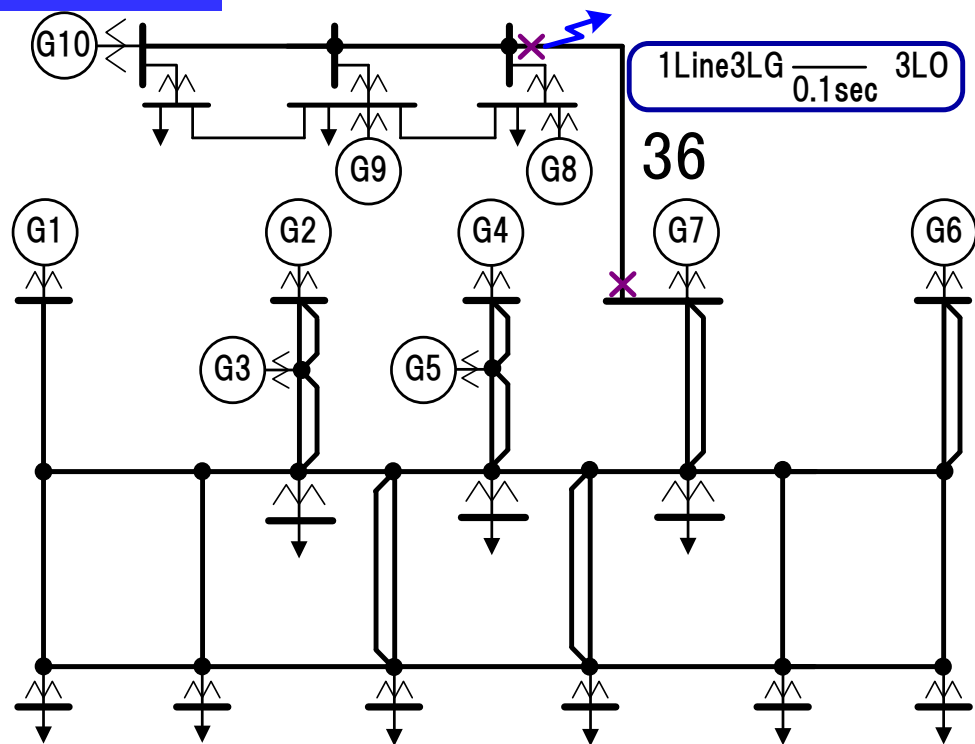
5,2複数機脱調の場合

36番送電線において
3LG(0.10s)を想定



このときG8,G9,G10が脱調
するので、

- 1) 個別エネルギー算出法
 - 2) 全体エネルギー算出法
- よりそれぞれCCTを算出し
比較する

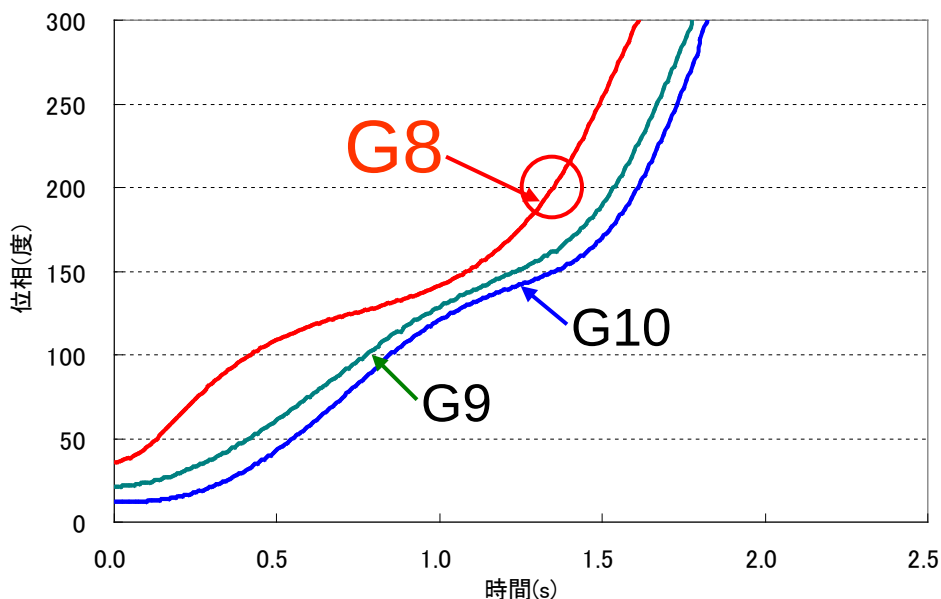


East10モデル系統図

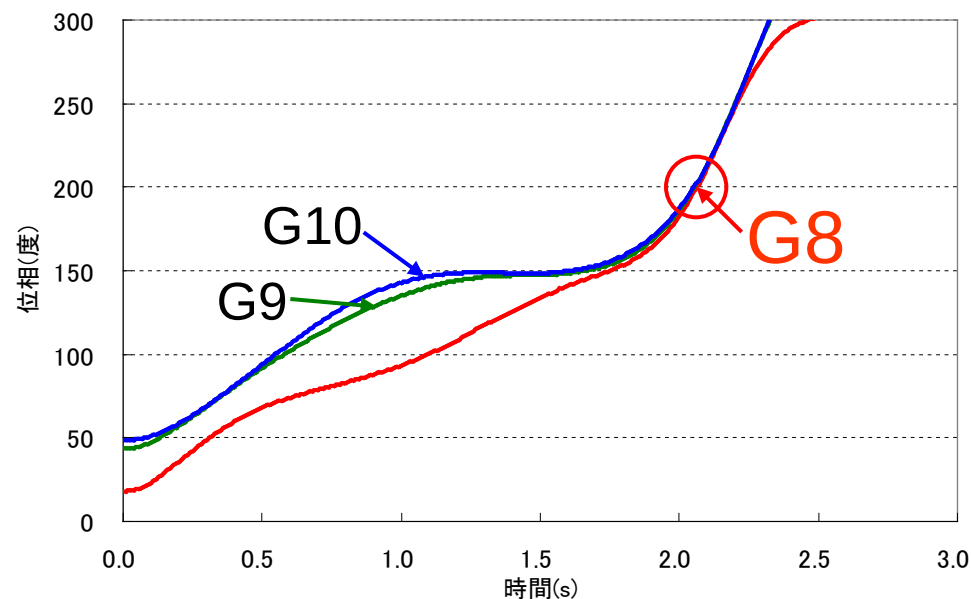
以下の試算にはエネルギー関数法として
単機脱調において精度が確認できた提案手法を用いた

複数機脱調の場合の脱調発電機の選定

個別エネルギー算出法は最速脱調発電機に着目するため脱調傾向による場合分けが必要



① 単独脱調の場合の位相推移



② 一様脱調の場合の位相推移

試算結果 算出されたCCT

	臨界故障除去時間 CCT(s)		
	真値	全体法	個別法
単独脱調	0.14	0.06 (-0.08)	0.11(G8) (-0.03)
一様脱調	0.13	0.11 (-0.02)	0.14(G8) (+0.01)

単独脱調、一様脱調それぞれ個別エネルギー算出法の精度が高かった



計算時間も考慮に入れると個別エネルギー算出法のほうに優位性がある

6,まとめ

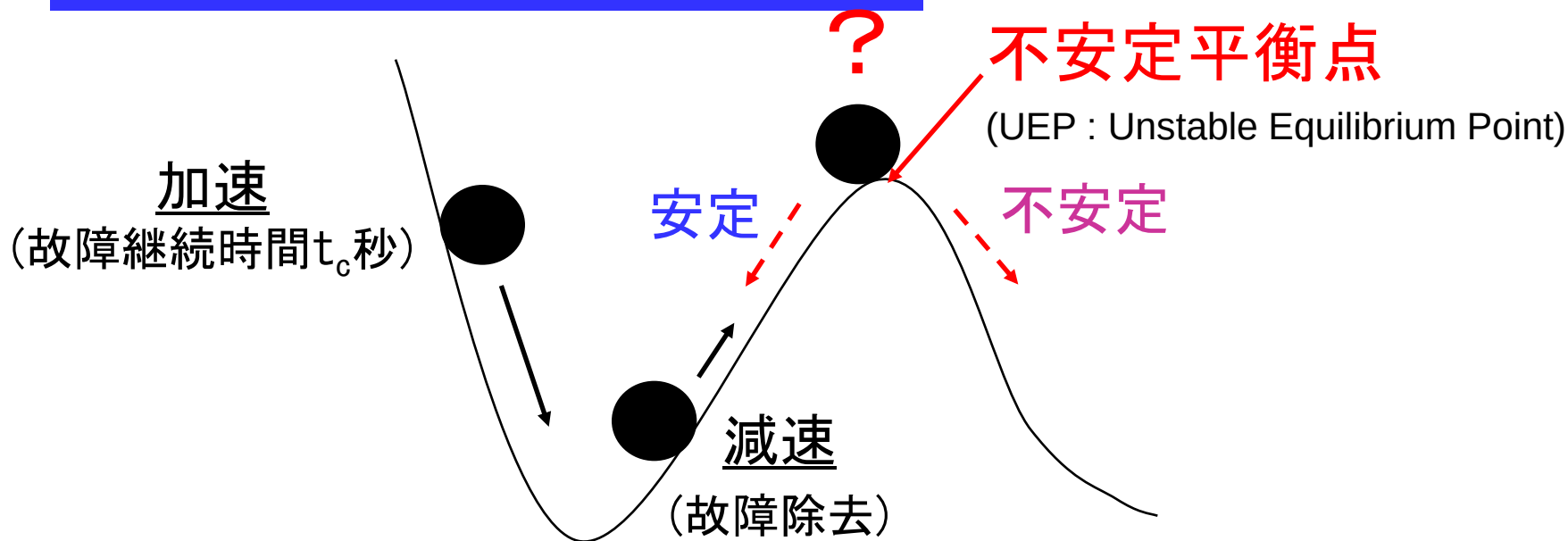
まとめ

詳細発電機モデルに対して適用可能なエネルギー関数法を提案

- 1) Hybrid法とPEBS法それぞれの**長所を組合せた手法**
- 2) **背後電圧の補正**により、詳細発電機モデルにおいて十分な精度を持ったCCT算出が可能
- 3) 個別エネルギーを用いることにより、複数機脱調の場合にも全体エネルギー法に比べ**CCTの高精度な推定が可能**

以下、予備

3、従来のエネルギー関数法



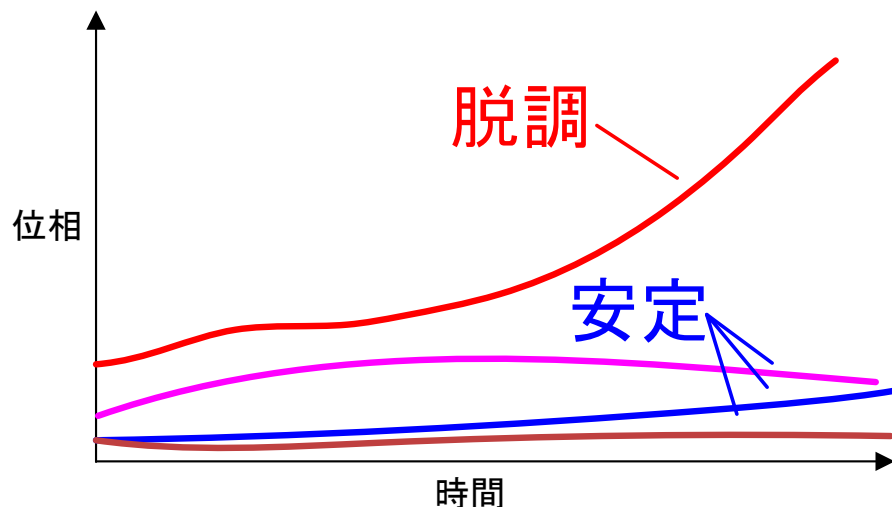
一機無限大母線系統の場合の概念図

t_c 秒時点の運動エネルギー V_k

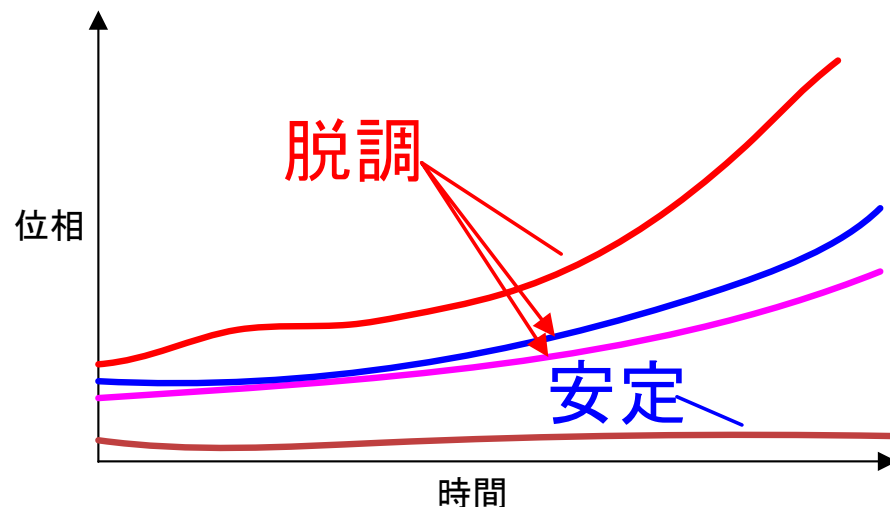
山の高さに相当する位置エネルギー V_p

この二つが解れば
ボールの動き(系統の安定度)を予想できる

5,2複数機脱調の場合



①単機脱調の場合

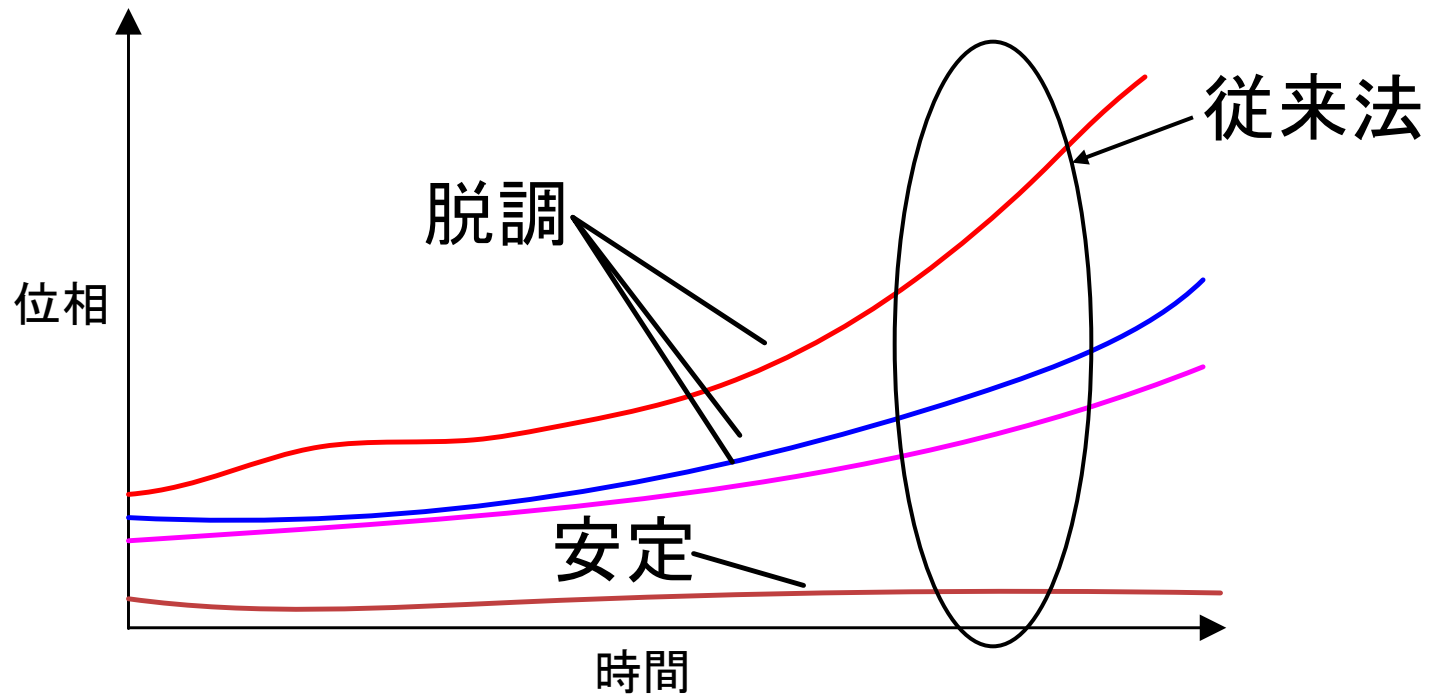


②複数機脱調の場合

一機だけ脱調する発電機
が系統の中で支配的
→CCTの算出は容易

脱調する発電機が複数
存在
→CCTの算出が複雑

5,2複数機脱調の場合



- 全体エネルギー算出法
すべての発電機のエネルギーを足し合わせる
→ 系統のCCTは全体のエネルギーを
足し合わせた結果より決まる