



ZDD とフロンティア法を用いた 電力配電網の制約充足解列挙

井上 武 (JST ERATO)
高野 圭司 (東工大 / JST ERATO)
川原 純 (JST ERATO)
吉仲 亮 (京大)
岸本 章宏 (東工大)
津田 宏治 (産総研 / JST ERATO)
湊 真一 (北大 / JST ERATO)

林泰弘教授, 渡辺喬之さん(早大)より
電力網の観点からのご助言をいただいております



分散型電源の普及と配電網の高度化

- 電力網
 - 送電網(上流) + 配電網(下流)
- 従来
 - 配電網の電流は一方向
 - 複雑な設計手法は不要(経験則)
- 分散電源の普及(スマートグリッド)
 - 電流が複雑化
 - 高度な設計手法への要求
- 本研究
 - 分散型電源なしの配電網を対象
 - 数理的な設計手法の確立を目標

ERATO には社会貢献も求められるのだろうか?

発電所



送電網

数万～数十万V



配電網

数千V



分散型電源
(多数の
ミニ発電所)



太陽光

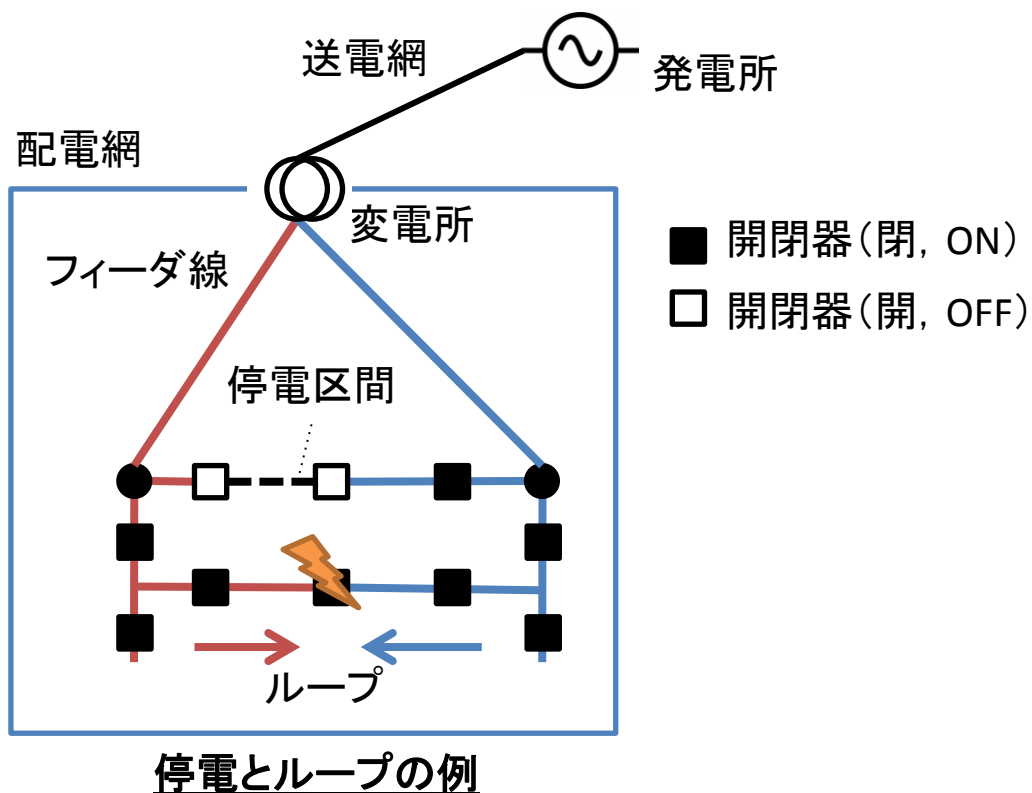


風力



配電網の制約とは?

- 停電・ループなし(トポロジ制約)

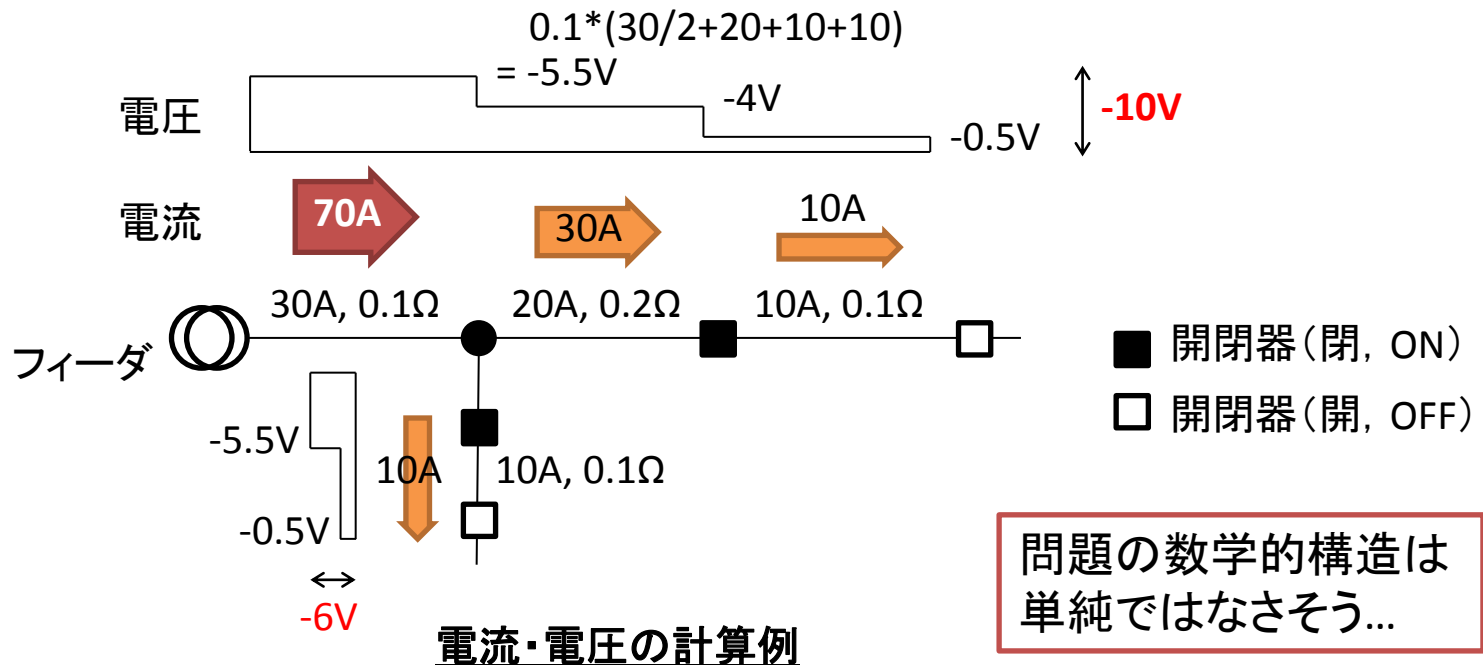


以降, フィーダ線以下のみを考える



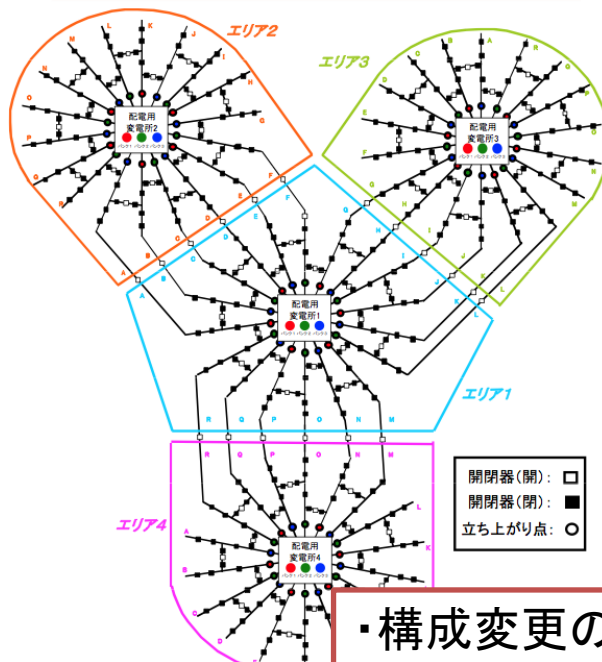
配電網の制約とは?

- 最大電流 300A, 最低電圧 6300V (フィーダ電圧に対し -300V)
 - フィーダ根元区間の電流 (図中, 赤矢印) が最大値 300A を超えない (他区間の電流は根元区間未満であるため, チェックしない)
 - 末端の配電線区間の電圧 (図中, 赤字) が, 最低値 6300V (フィーダ電圧に対し -300V) を下回らない



NEDO 配電網モデル

- 電力会社の実データに基づいて仮想的に構築した配電網
- フィーダ数: 72
- 開閉器数: 468 (組合せの数: $2^{468} \doteq 10^{156}$)
- 配電線区間数: 648 (消費電力・抵抗値が与えられている)
- 平均次数: 2.48, 平均距離: 13.0

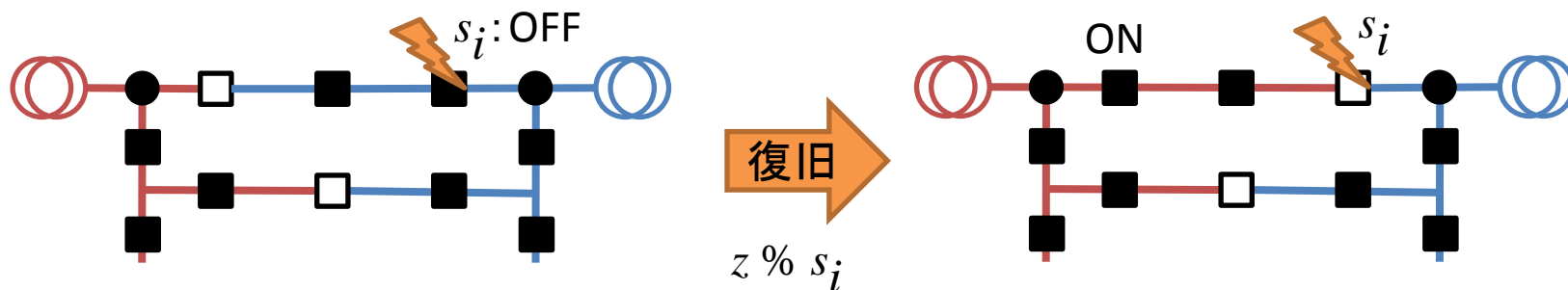


・構成変更の影響は局所的ではない(遠くまで伝搬しうる)
→ 分割統治法では解を求められない



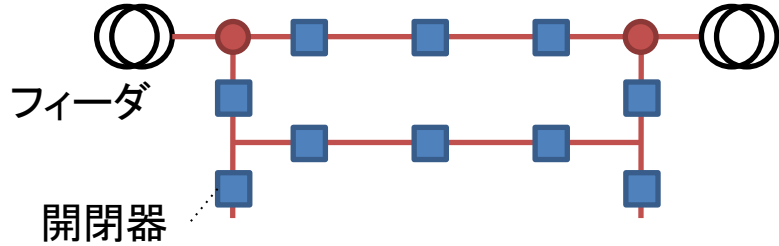
配電網の制約充足解「列挙」とは？

- ZDD とフロンティア法を用いて、電力配電網モデルデータを対象に、以下の制約を満たす解をすべて求めた
- → 解を ZDD として**索引化**
 - 制約を満たす解の数: 約 10^{61}
 - ZDD によるコンパクトな索引構造 (23 Mノード, 15 GB)
 - 特定の開閉器パターンを満たす解を**効率的に検索**できる
- 応用例: 開閉器**故障に伴う構成変更**
 - 「制約充足解 ZDD z 」から「故障開閉器」を含まない解を抽出することで、復旧に利用できる解を効率的に検索できる(下図)
 - さらに、故障前と異なる状態の異なる開閉器に「コスト」を与え、ON/OFF 操作の少ない変更方法を得られる

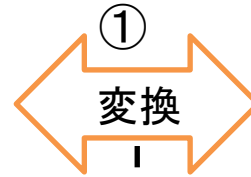
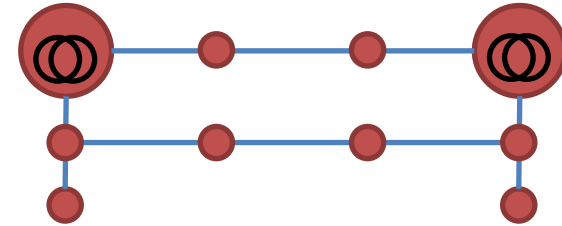


解法の概略

電力網としての表現



グラフとしての表現



開閉器

- ・給電エリア内: 閉 (ON)
- ・給電エリア境界: 開 (OFF)
- ・給電エリア外: Don't care

②

停電・ループのない給電エリアの列挙
(フロンティア法によるカット列挙)



ZDD z_0

③

フィーダ ($i = 1, 2, \dots$) ごとに,
最大電流・最低電圧を満たす
給電エリアを列挙 (分枝限定法)



ZDD z_i

④

最終制約充足解の列挙

$$z = z_0 \text{ AND } z_1 \text{ AND } z_2 \dots$$

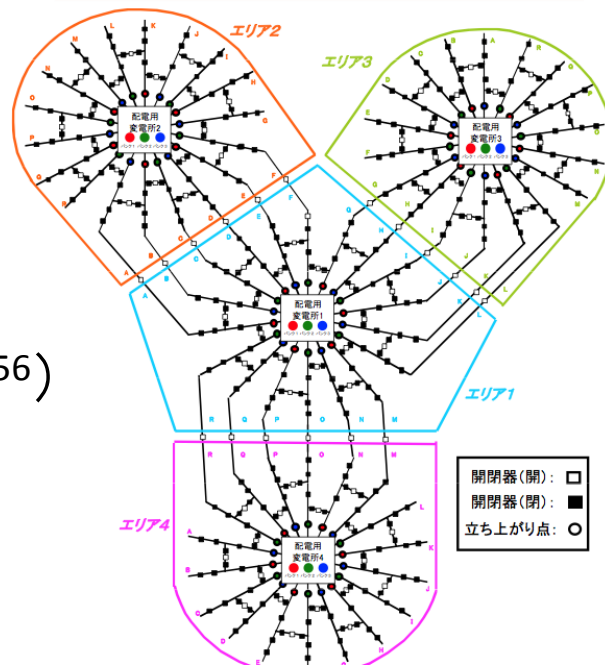
③のOR演算は④でまとめて実行

電流・電圧制約は、u相の実数部のみを用いて簡易計算



計算結果

- NEDO 配電網モデル
 - フィーダ数: 72
 - 開閉器数: 468 (組合せの数: $2^{468} \doteq 10^{156}$)
 - 配電線区間数: 648



計算結果

各フィーダの平均的な解の数 (Don't care の組合せを無視した数)

	計算時間 [秒]	メモリ消費 [バイト]	ZDDノード数	解の数	言語
①変換	13	5.5M			Perl
②停電・ループ制約	15	200M	211K	10^{71}	C++
③電流・電圧制約	14	210M		79.4	Perl
④最終制約充足解	1K (17分)	15G	23M	10^{61}	C++

79173472456197744957284741519439330848727441769498836779289600

