



Title	再生可能エネルギー大量導入に対応した送配電損出最小となる送配電ネットワークの最適構成決定手法の開発への期待
Author(s)	林, 泰弘
Citation	2010年度科学技術振興機構ERATO湊離散構造処理系プロジェクト講究録. p.340-344.
Issue Date	2011-06
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/48379">http://hdl.handle.net/2115/48379</a>
Type	conference presentation
Note	ERATO 湊離散構造処理系プロジェクト春のワークショップ(キックオフシンポジウム). 2010年5月28日(金)~29日(土). ERATO湊プロジェクト研究室.
File Information	24.hayashi_06.pdf



[Instructions for use](#)

第1回 離散構造処理系シンポジウム (ERATO 湊プロジェクト キックオフシンポジウム)  
2010年5月29日

再生可能エネルギー大量導入に対応した  
送配電損出最小となる送配電ネットワークの最適構成決定手法の  
開発への期待

早稲田大学 林 泰弘

### 自己紹介

林 泰弘(はやし やすひろ) 出身: 福井県福井市  
1994年 早稲田大学大学院理工学研究科博士課程修了・博士(工学)  
1997年 茨城大学工学部システム工学科講師  
2000年 福井大学工学部電気・電子工学科助教授  
2009年 4月より、早稲田大学 電気・情報生命工学科教授  
2009年 12月より、早大 先進グリッド技術研究所長を兼任

**漢先生からBEM-IIの適用  
でご指導**

2010年 5月~ 経済産業省 スマートメーター制度検討会 座長  
経済産業省 次世代送配電システム制度検討会 委員

**【研究分野】:**  
電力ネットワークの最適化、スマートグリッドのシミュレーションと実験によるデザイン

- H17-19年 NEDO産業技術研究助成事業代表者 (5300万円)  
(東大、早大、福井大、徳島大、協力: 東京電力)  
事後評価: 極めて優れている (16件/204件中)
- H21-23年 電気事業連合会/パワーアカデミー特別推進研究 代表者 (2000万円)  
(東大、名古屋大、福井大)
- H22-26年 文科省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業 代表者 (2億円)
- H22-24年 経済産業省「次世代送配電系統最適制御技術実証事業」(全28法人)  
配電系統電圧変動抑制制御技術サブWG リーダー (東大、東工大、全電力会社参加)  
取り扱い注意: 目的外使用・開示・複製禁止 早稲田大学 林 泰弘

### 21世紀のエネルギー課題解決のための一つの着眼点

**Energy security** エネルギーの安定供給  
• 資源制約、品質制約  
• 多種エネルギー源のベストミックス(集中型電源、分散型電源)

**Environmental protection** 地球環境保全  
• 環境制約、省エネ  
• 地球温暖化対策 (2050年までに全世界で温室効果ガス半減目標)

**Economic growth** 経済成長  
• エネルギーを通じた経済・地域の活性化  
• 新しいエネルギー産業の創造

**3Eの達成**

**電力ネットワーク**  
電線、電力制御機器、通信機器

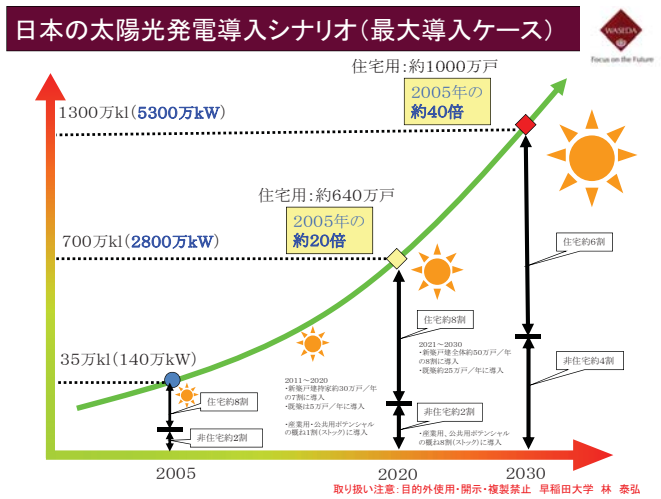
**分散型電源**  
太陽光発電、風力発電、燃料電池、電力貯蔵装置

**注目**

**次世代の電気エネルギー供給形態 (スマートグリッド)**

- エネルギー消費者に近接・面的に広く分布
- 電圧・電流を適正範囲内に制御
- 分散電源導入限界あり
- 導入量年々増大
- CO2排出なし
- 再生可能
- 自然エネルギーによる出力変動大

電気エネルギー供給形態 (スマートグリッド) の実現には、電力ネットワークと分散型電源の連携が不可欠である。スマートグリッドは、電力ネットワークと分散型電源を統合的に制御し、エネルギーの安定供給、地球環境保全、経済成長を実現するための重要な技術である。



### 「日本型スマートグリッド」とは

○再生可能エネルギーが大量に導入されても安定供給を実現する強靱な電力ネットワークと地産地消モデルの相互補完が「日本型スマートグリッド」。

○2020年に向けた系統対策を進めるとともに、電力ネットワーク全体と地産地消の相互補完関係の可能性を見据えて、技術的課題、社会コスト最小化の観点から検証を進めることが必要。

経済産業省次世代エネルギー-社会システム協議会資料

メガソーラー  
スマートハウス  
スマートビル  
スマートファクトリー

家庭・ビル  
地域  
日本

電力発電  
大規模電源と分散型電源の最適ネットワーク

地域エネルギーネットワーク

取り扱い注意: 目的外使用・開示・複製禁止 早稲田大学 林 泰弘

### 低炭素・高効率・高品質・高信頼度のスマートグリッド実現の核となる技術開発

- ① 再生可能電源(PV,WP)の活用・制御技術開発
- ② 蓄電池の活用・制御技術開発
- ③ 需要家余力(HP, EV)の活用技術開発
- ④ 電力品質確保(安全、安心)の技術開発
- ⑤ 高機能ネットワーク(電気、情報)の技術開発
- ⑥ エネルギーマネジメントシステムの技術開発

全体統合・協調技術  
部分最適化技術  
全体最適化技術

メガソーラー  
スマートハウス  
スマートビル  
スマートファクトリー  
蓄電池  
制御センター  
通信端末

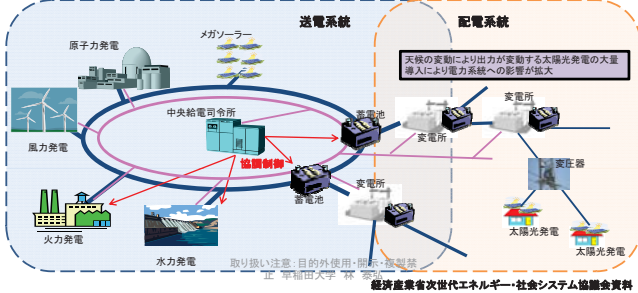
監視・制御用通信線(光ネットワーク)  
高機能制御  
メガソーラー  
スマートハウス  
スマートビル  
スマートファクトリー  
蓄電池  
制御センター  
通信端末

取り扱い注意: 目的外使用・開示・複製禁止 早稲田大学 林 泰弘

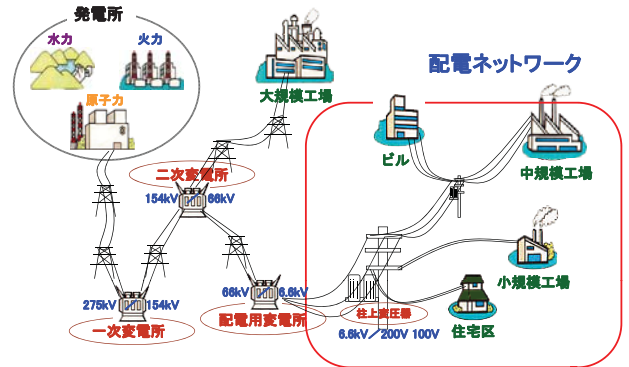
## 次世代送配電ネットワーク構築の必要性

○再生可能エネルギーを電力供給サイドが大量に受け入れるために、まずは、情報通信技術を活用した蓄電池の制御、出力抑制・解列等を最適に組み合わせて、安定供給の確保、低炭素化を図り、同時に社会的なコストを最小限にできるような、強靱かつ高効率な送配電ネットワークを構築していくことが必要。

### ◆次世代送配電ネットワークのイメージ

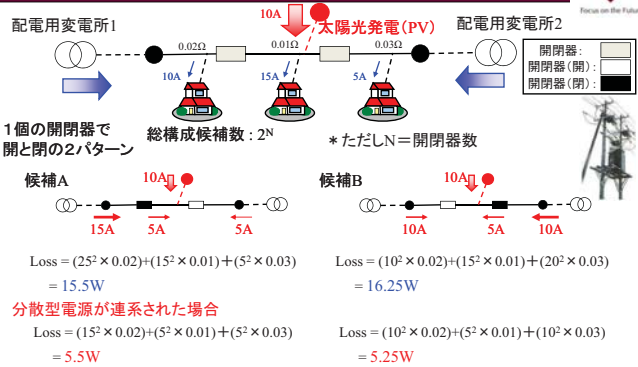


## 電力システム



取り扱い注意・目的外使用・開示・複製禁止 早稲田大学 林 泰弘

## 研究の背景



太陽光発電からの供給電力を有効利用して、開閉器のオンオフによる最適構成を決定することで、より一層の損失低減(CO2排出量削減)が期待

取り扱い注意・目的外使用・開示・複製禁止 早稲田大学 林 泰弘

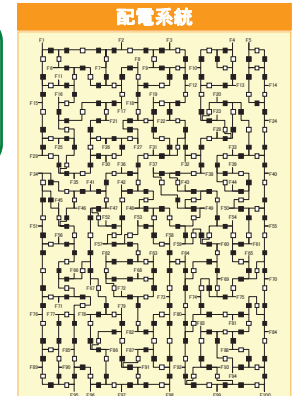
## 研究の背景

配電系統は面的に広がる需要家に電力を供給するために網目状に構成されている。供給信頼度確保のために開閉器が多数設置されている。

膨大な構成候補 (開閉器のオンオフの組合せ)

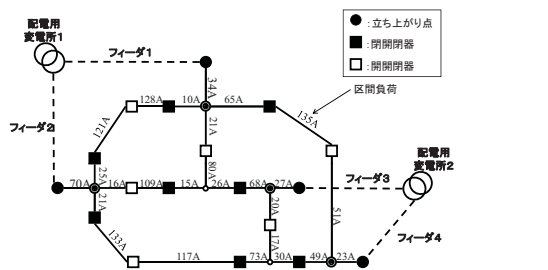
営業所単位では約1000個の開閉器が存在。系統構成候補は2<sup>1000</sup>個=約10<sup>301</sup>個

10<sup>301</sup>個の構成では、1つの構成を10<sup>-30</sup>秒で評価できたとしても約10<sup>292</sup>年を要する。



取り扱い注意・目的外使用・開示・複製禁止 早稲田大学 林 泰弘

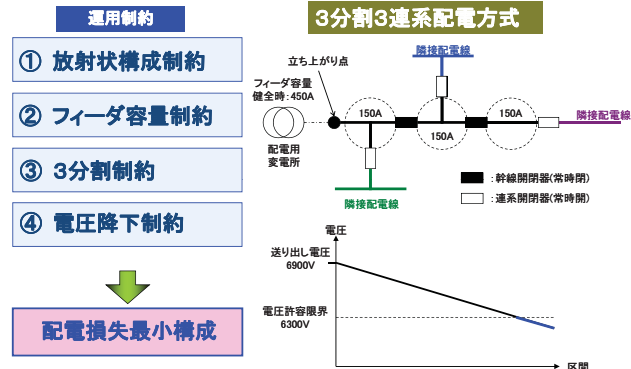
## 研究の目的



3分割3連系配電方式を採用した配電ネットワークにおいて、厳密解法ROBDDを用いて効率よく運用制約を満足する候補を絞りこむことで、厳密に配電損失最小構成を決定する。

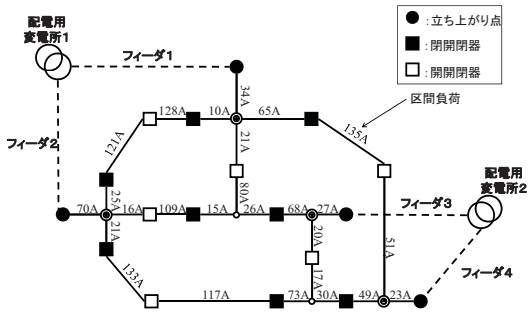
取り扱い注意・目的外使用・開示・複製禁止 早稲田大学 林 泰弘

## 問題の定義



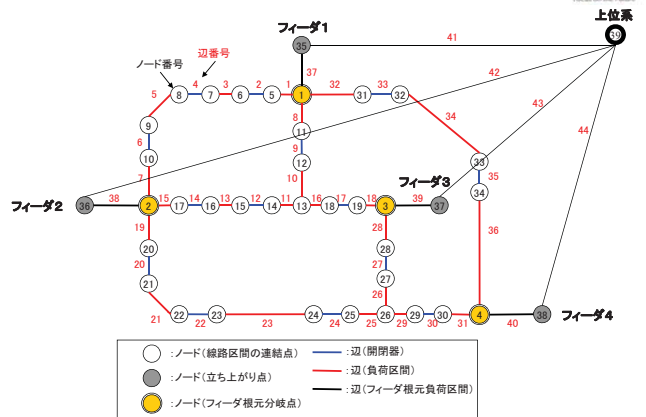
取り扱い注意・目的外使用・開示・複製禁止 早稲田大学 林 泰弘

# 配電ネットワークモデル例



取り扱い注意: 目的外使用・開示・複製禁止 早稲田大学 林 泰弘

# 配電ネットワークモデルのグラフモデル



取り扱い注意: 目的外使用・開示・複製禁止 早稲田大学 林 泰弘

# 解法の方針



## 問題全体を解く

### 部分問題1

モデル系統を部分フィーダに分割し、部分フィーダごとに  
①放射状構成制約、②フィーダ容量制約、③3分割制約  
④電圧降下制約 を満足する構成を全数探索によって抽出する。

### 部分問題2

②フィーダ容量制約、③3分割制約を満足する構成全てをROBDD  
を用いて獲得する。

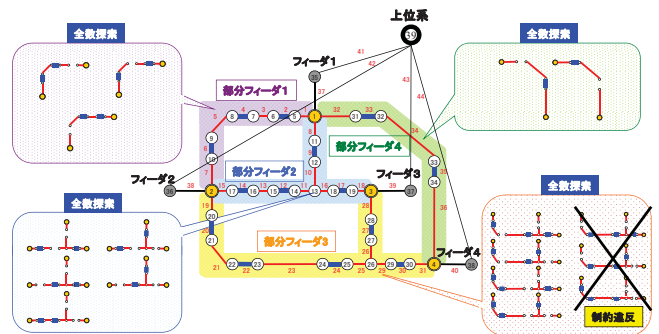
### 部分問題3

④電圧降下制約を満足する候補の中で、配電損失が最小となる  
構成を最適系統構成として決定する。

取り扱い注意: 目的外使用・開示・複製禁止 早稲田大学 林 泰弘

# 部分問題1

- 放射状構成制約
- フィーダ容量制約
- 3分割制約
- 電圧降下制約

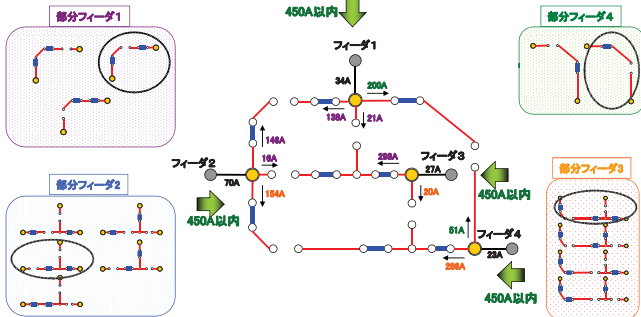


部分フィーダごとに、①放射状構成制約、②フィーダ容量制約、③3分割制約、④電圧降下制約、を満足する構成を全数探索

取り扱い注意: 目的外使用・開示・複製禁止 早稲田大学 林 泰弘

# 部分問題2

- 放射状構成制約
- フィーダ容量制約
- 3分割制約
- 電圧降下制約

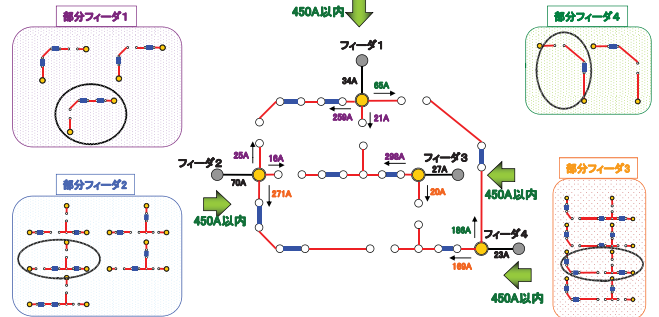


各部分フィーダから1つずつ解を選び、②フィーダ容量制約、③3分割制約を満足する解の組合せ全てを、ROBDDを用いて算出する。

取り扱い注意: 目的外使用・開示・複製禁止 早稲田大学 林 泰弘

# 部分問題2

- 放射状構成制約
- フィーダ容量制約
- 3分割制約
- 電圧降下制約

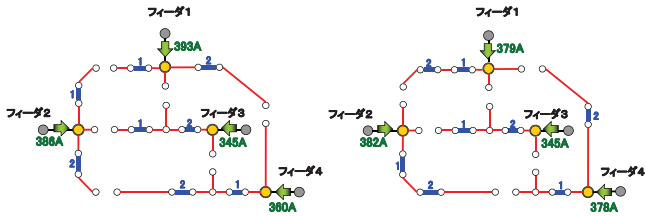


各部分フィーダから1つずつ解を選び、②フィーダ容量制約、③3分割制約を満足する解の組合せ全てを、ROBDDを用いて算出する。

取り扱い注意: 目的外使用・開示・複製禁止 早稲田大学 林 泰弘

## 部分問題2

放射状構成制約    フィーダ容量制約  
3分割制約    電圧降下制約



部分問題2の制約充足解1                      部分問題2の制約充足解2

各部分フィーダから1つずつ解を選び、②フィーダ容量制約、③3分割制約を満足する解の組合せ全てを、ROBDDを用いて算出する。

取り扱い注意: 目的外使用・開示・複製禁止 早稲田大学 林 泰弘

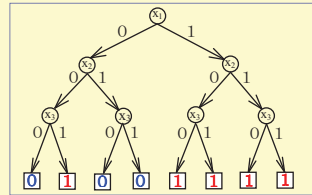
## ROBDD



### <Reduced Ordered Binary Decision Diagram>

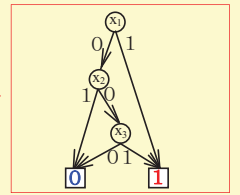
論理関数を表現した二分決定グラフ(BDD)をさらにコンパクトに効率良く表現したグラフ

論理関数  $f = x_1 + \bar{x}_2 x_3$



BDD

論理関数  $f = x_1 + \bar{x}_2 x_3$



ROBDD

## ROBDDによる部分問題2の解法



### 算術制約式

フィーダ容量制約  
 $S(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{ij}) \leq 450$

構成選択制約  
(各フィーダには1つの制約充足構成しか選択できない)  
 $R(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{ij}) = 1$

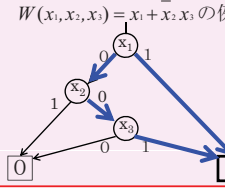
3分割制約  
(各フィーダには3つの開閉器を2つ含む)  
 $F(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{ij}) = 2$

等価

### <S,R,Fの論理式WのROBDD>

論理制約式  
 $W(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{ij}) = 1$

$W(x_1, x_2, x_3) = x_1 + x_2 x_3$  の例



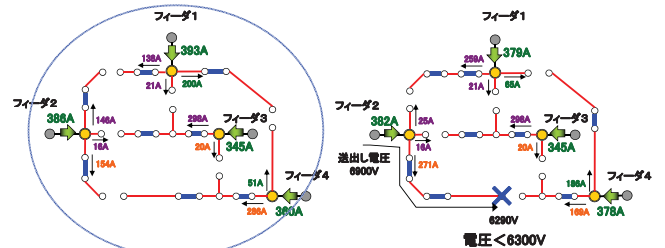
節点「1」に至る(W=1となる)経路を見つければ良い

ただし、 $x_{ij}$  : 0-1変数  
(各フィーダの制約充足解が選ばれるなら1それ以外は0)を解くこと

取り扱い注意: 目的外使用・開示・複製禁止 早稲田大学 林 泰弘

## 部分問題3

放射状構成制約    フィーダ容量制約  
3分割制約    電圧降下制約



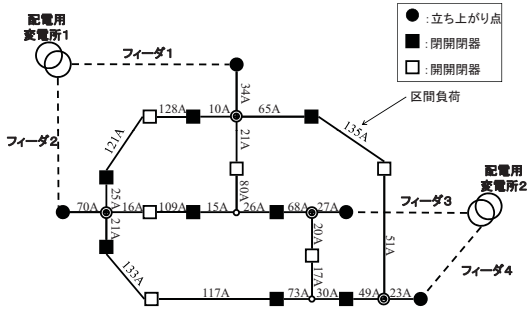
配電損失 = 各部分フィーダで計算した損失 + 各フィーダ根元区間の損失

各フィーダの潮流から電圧降下と配電損失を計算し、④電圧降下制約を満足する構成の中から配電損失が最小となる構成を決定する。

取り扱い注意: 目的外使用・開示・複製禁止 早稲田大学 林 泰弘

## 配電損失最小構成

放射状構成制約    フィーダ容量制約  
3分割制約    電圧降下制約



取り扱い注意: 目的外使用・開示・複製禁止 早稲田大学 林 泰弘

## 数値計算例



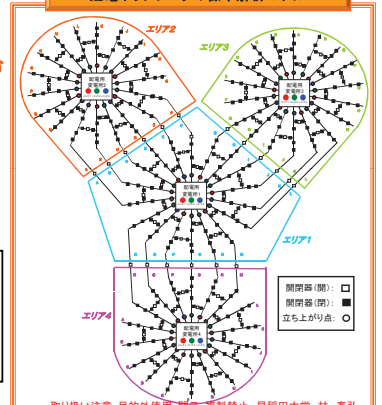
標準解析モデルにおいて

- 分散型電源が連系されていない場合
- 分散型電源が連系された場合

の配電損失最小構成を求め、配電損失がどの程度変化するかを算出する

フィーダ数: 72  
開閉器数: 234個  
系統総負荷: 172.8MW  
系統総容量: 246.9MW  
線路容量: 300A  
電圧許容範囲: 6.9kV~6.3kV

### 配電ネットワークの標準解析モデル



取り扱い注意: 目的外使用・開示・複製禁止 早稲田大学 林 泰弘



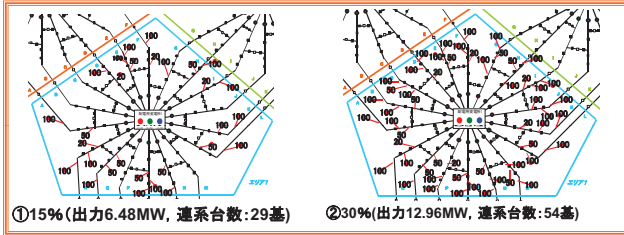
## 再生可能エネルギー電源(太陽光発電)の連系条件



出力はエリア1の  
総負荷43.2MWに対して

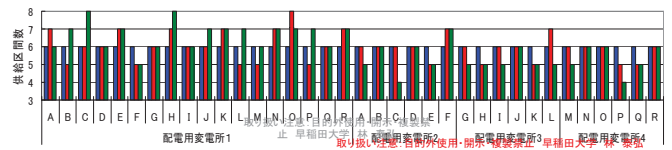
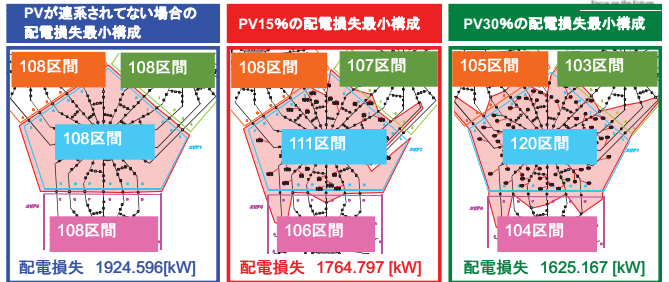
- ① 15%(出力6.48MW, 連系台数:29基)
  - ② 30%(出力12.96MW, 連系台数:54基)
- の2ケースを対象とした

### 太陽光発電が連系された場合

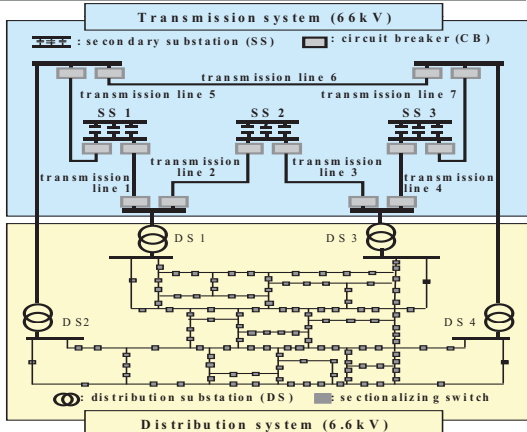


取り扱い注意: 目的外使用・開示・複製禁止 早稲田大学 林 泰弘

## 配電損失最小構成

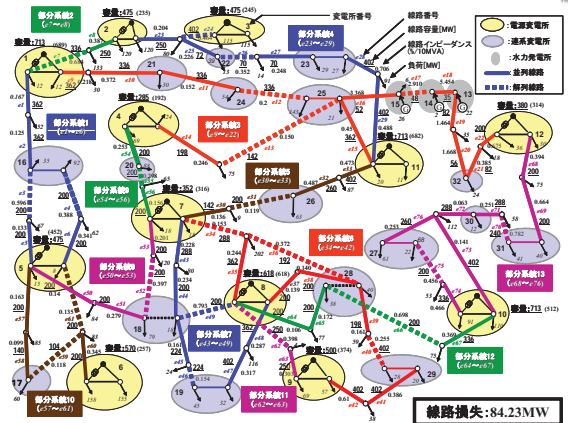


## 送配電ネットワークの送配電損失最小構成の決定



取り扱い注意: 目的外使用・開示・複製禁止 早稲田大学 林 泰弘

## 送電NW損失最小構成(電気学会標準モデル)



取り扱い注意: 目的外使用・開示・複製禁止 早稲田大学 林 泰弘

## 研究例



■ 世界最大の配電ネットワークを有する東京電力の再生可能電源連系配電ネットワーク(19000回線, 開閉器数57000個)の配電損失最小構成をBDD処理系で解きたい!

⇒ 実用上の限界は開閉器何個までなのか?

■ 配電ネットワークの上位の送電ネットワークも含めた再生可能電源連系送配電ネットワークの送配電損失最小構成(大規模組み合わせ問題)をBDD処理系で決定する手法の共同開発(スマートグリッド)

取り扱い注意: 目的外使用・開示・複製禁止 早稲田大学 林 泰弘