



# 協力復旧を考慮した送配電設備 復旧計画に関する研究

東京理科大学工学部経営工学科  
沼田研究室所属  
4407063 中黒亮介



# 目次

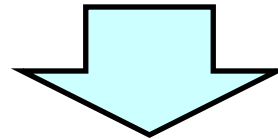
---

1. はじめに
2. 提起問題
3. 定式化
4. 解法
5. 数値実験
6. まとめ・課題

# 1. はじめに

## 1.1 背景

- 電気は我々の日常生活のみならず産業基盤としてもなくてはならないもの。  
⇒電力に対する依存度が高い。
- 電力を運ぶ送電網は広範囲の様々な条件の地域に展開されているので、地震や台風などの大規模な災害による停電を防ぐことはできない。

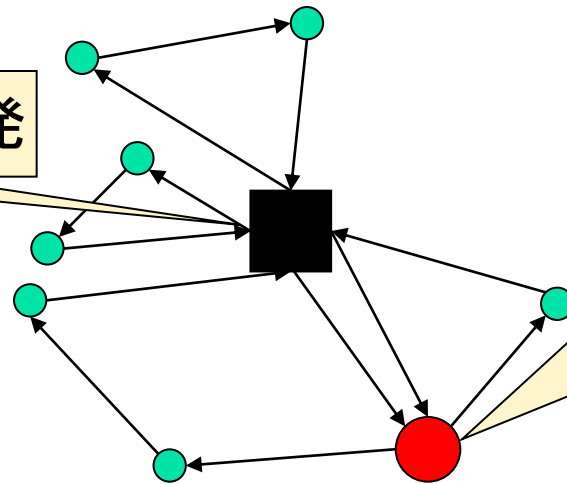


停電発生時に迅速な対応が求められる

# 1.1 背景(2)



複数班が営業所から出発

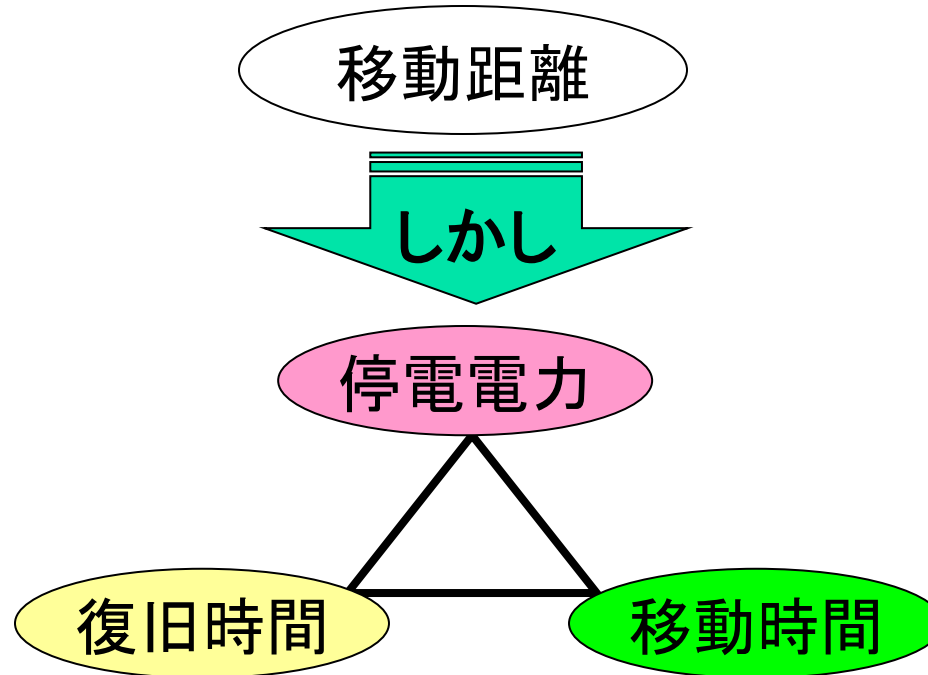


被害規模によっては2班が協力しなければならない箇所がある

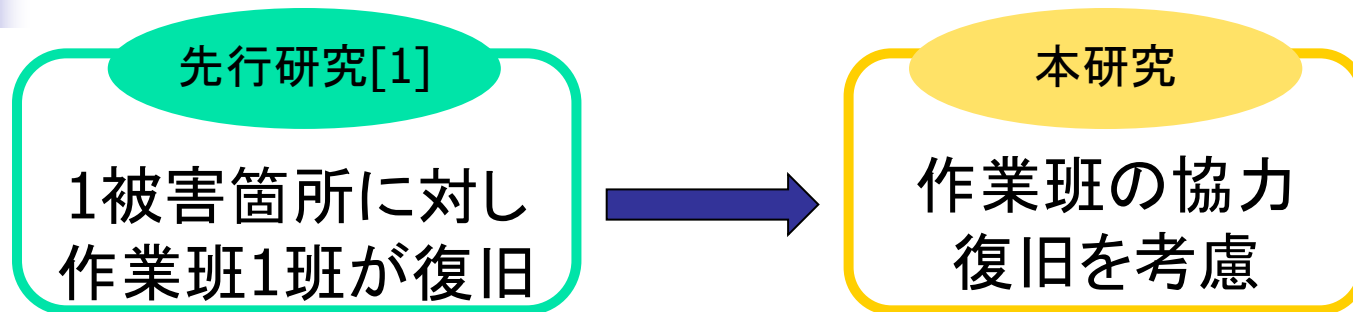
図1:復旧作業

## 1.2 復旧計画の特徴

営業所→デポ  
被害箇所→顧客  
とすればVRP(配送計画問題)と似ている



## 1.3 本研究の目的



供給エリア全体の停電電力量を最小化する  
復旧計画を求める解法を提案する.

**電力** ⇨ 単位時間あたりに電流がする仕事量. [W](ワット)で表される.

**電力量** ⇨ ある経過時間に電流がする仕事量. 電力と時間の積[Wh]  
(ワット時)で表される.

# 2. 提起問題

## 2.1 概要

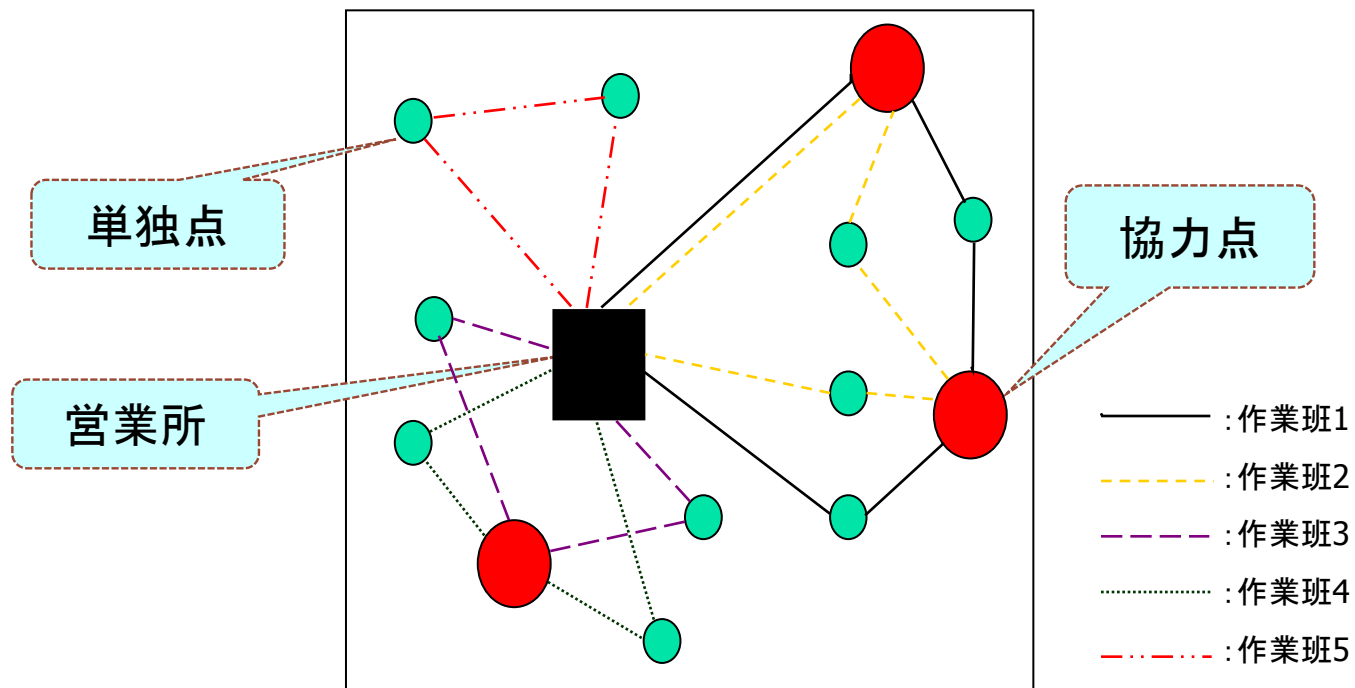


図2:提起問題

### 2.2 前提条件

- 被害箇所数, 被害地点(単独点, 協力点), 停電電力, 所要復旧作業時間は把握している.
- 作業班は作業制限時間内に営業所へ戻ってくる.
- 営業所を出発し, 各作業班は全ての割当てられた全被害箇所を復旧してから営業所に戻る.
- 復旧作業班の移動速度は等しく一定である.
- 協力点で待ち合わせをする.

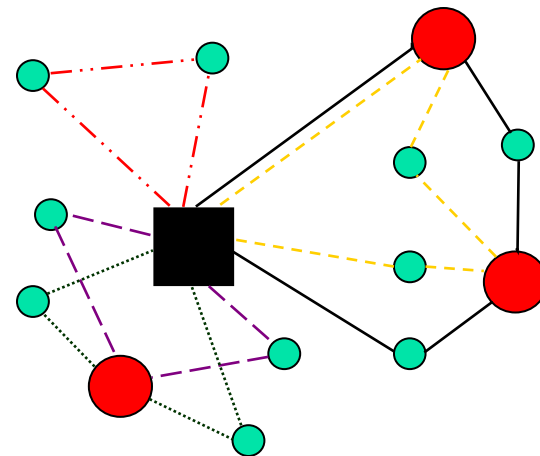


図3:提起問題



# 3. 定式化

## 3.1 記号の定義(1)

$N = \{1, \dots, n\}$	: 単独点集合
$M = \{n + 1, \dots, n + m\}$	: 協力点集合
$V = \{1, \dots, n + 1, \dots, n + m\}$	: 被害箇所集合 (0は営業所)
$\tau_{ij}$	: 点 $i, j$ の移動時間
$f_i$	: 点 $i$ の所要復旧時間
$e_i$	: 点 $i$ の停電電力
$K = \{1, \dots, l\}$	: 復旧作業班集合
$T$	: 作業制限時刻

### 3.2 記号の定義(2)

- 決定変数

$t_i$  : 被害箇所  $i$  への到着時刻

$x_{ijk} \in 0,1$  : 復旧作業班  $k$  が点  $i$  から  $j$  へ移動する(1)か否(0)

## 3.3 定式化(1)

$$\text{minimize } \sum_{i=1}^{n+m} e_i(t_i + f_i) \quad (1)$$

$$\text{subject to } \sum_{j=1}^{n+m} x_{0,jk} = \sum_{j=1}^{n+m} x_{j0k} = 1 \quad k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^{n+m} x_{ijk} = 1 \quad i \in N \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^{n+m} x_{ijk} = 1 \quad j \in N \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^{n+m} x_{ijk} = 2 \quad i \in M \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^{n+m} x_{ijk} = 2 \quad j \in V \quad (6)$$

$$t_0 = 0 \quad (7)$$

$$f_0 = 0 \quad (8)$$

$$t_j = \max_{i \in V, k \in K} (t_i + \tau_{ij} + f_i) x_{ijk} \quad j \in V \quad (9)$$

$$\max_{i \in V, j \in V \cup \{0\}} (t_i + \tau_{ij} + f_i) x_{ijk} \leq T \quad k \in K \quad (10)$$

### 3.4 定式化(2)

$$\blacksquare \min \sum_{i=1}^{n+m} e_i(t_i + f_i) \quad (1)$$

総停電電力量

$$\blacksquare \sum_{j=1}^{n+m} x_{0jk} = \sum_{j=1}^{n+m} x_{j0k} = 1 \quad k \in K \quad (2)$$

全ての復旧作業班は営業所から出発し、営業所に戻ってくる

$$\blacksquare \sum_{k=1}^l \sum_{j=0}^{n+m} x_{ijk} = 1 \quad i \in N \quad (3)$$

$$\blacksquare \sum_{k=1}^l \sum_{i=0}^{n+m} x_{ijk} = 1 \quad j \in N \quad (4)$$

単独点へは1班が復旧にあたる

## 3.5 定式化(3)

$$\blacksquare \sum_{k=1}^l \sum_{j=0}^{n+m} x_{ijk} = 2 \quad i \in M \quad (5)$$

$$\blacksquare \sum_{k=1}^l \sum_{i=0}^{n+m} x_{ijk} = 2 \quad j \in M \quad (6)$$

協力点へは2班が復旧にあたる

$$\blacksquare t_0 = 0 \quad (7)$$

時刻の初期化

$$\blacksquare f_0 = 0 \quad (8)$$

営業所の所要復旧時間は0

$$\blacksquare t_j = \max_{i \in V, k \in K} (t_i + \tau_{ij} + f_i) x_{ijk} \quad j \in V \quad (9)$$

復旧箇所への到着時刻

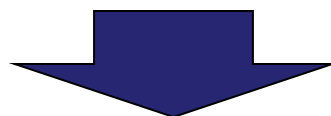
$$\blacksquare \max_{i \in V, j \in V \cup \{0\}} (t_i + \tau_{ij} + f_i) x_{ijk} \leq T \quad k \in K \quad (10)$$

作業制限時刻内に営業所へ戻ってくる

# 4. 解法

## 4.1 厳密解法と発見的解法

ソルバー等により、現実的な時間内に厳密解を求めることは困難



挿入法により初期巡回路を生成し、局所探索法を用いて解の改善を行う発見的解法を提案

## 4.2 挿入法

1. 復旧作業班数分の被害箇所を適当に選択する.
2. 営業所と選択した被害箇所を往復するようなルートを作る.
3. 残りの被害箇所  $k$  に対して, 適当な順番に以下の操作を行う.

挿入時に実行可能でかつ  $\Delta_{ij}^k$  が最小になる点  $i, j$  の間に,  $k$  を挿入する.

$\Delta_{ij}^k$  = 点  $k$  を点  $i, j$  の間に挿入した際の停電電力量の増加量

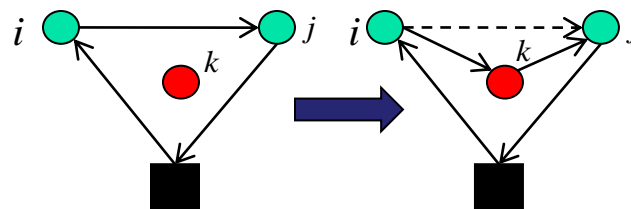
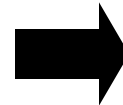


図4:挿入法

### 4.3 局所探索法

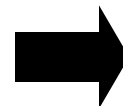
- 局所探索法: 現在の解に局所的な変化を加えることで解を改善すること
- 本研究で扱う局所探索法.

exchange近傍操作  
relocate近傍操作



巡回路間近傍操作

交換近傍操作  
挿入近傍操作

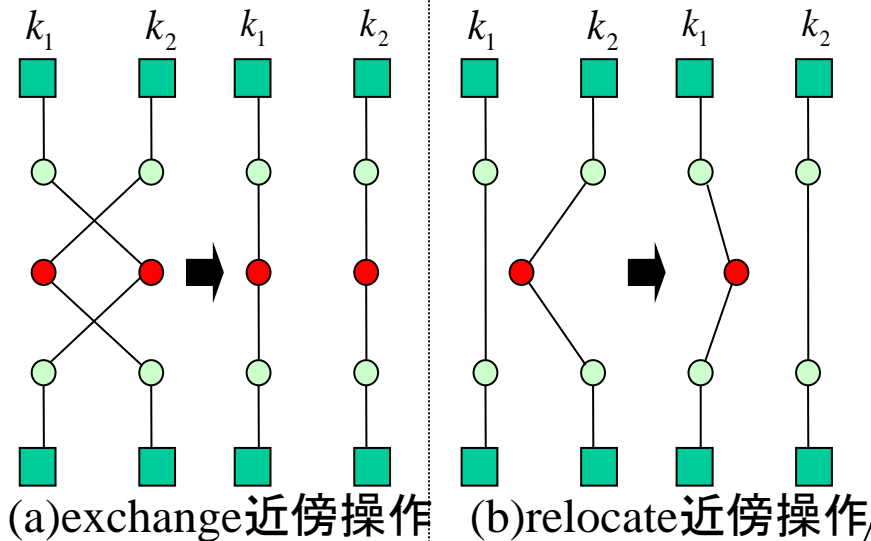


巡回路内近傍操作



## 4.4 近傍操作

### 巡回路間近傍操作



### 巡回路内近傍操作

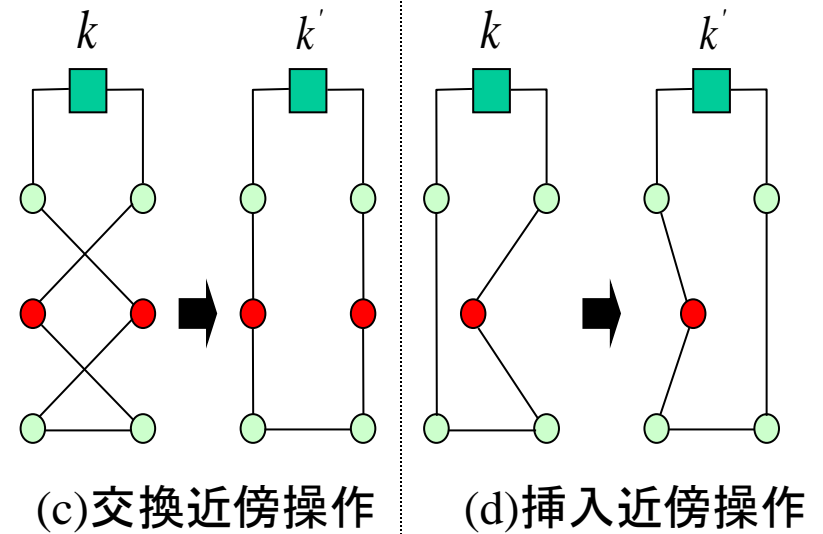
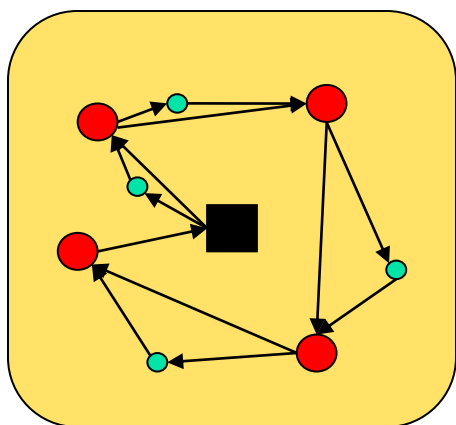
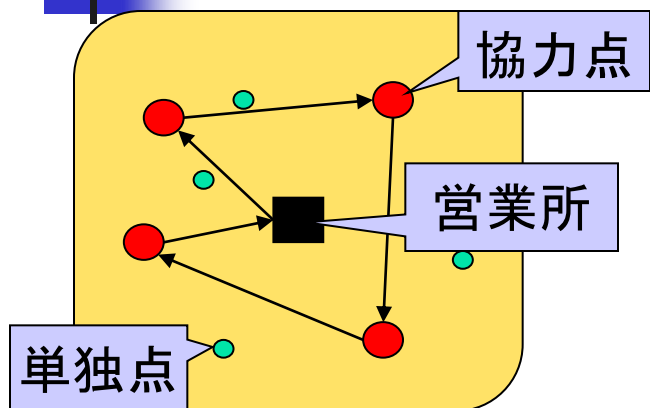


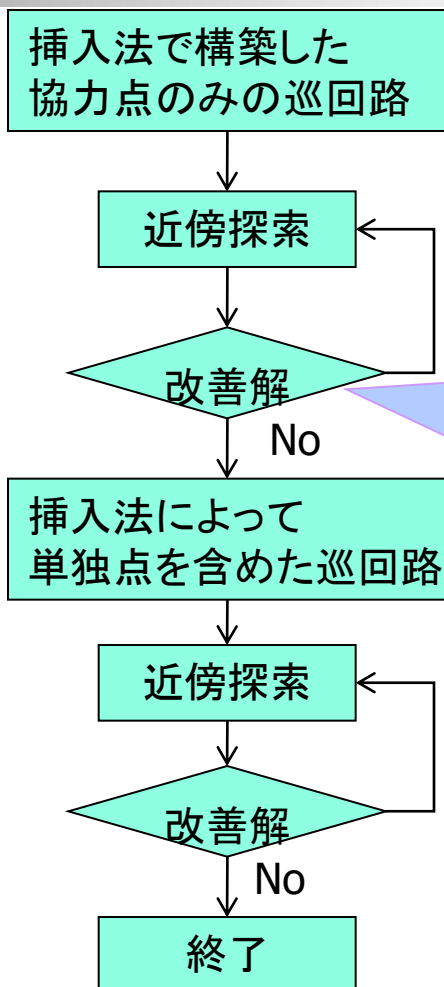
図5:近傍操作

## 4.5 求解手順



協力点のみ

単独点を含める



総停電電力量が減少  
しなくなるまで改善

# 5. 数値実験

## 5.1 概要

担当エリア ⇒  $400\text{km}^2$  (一辺20kmの正方形)

復旧箇所数 ⇒ 40箇所

協力点数 ⇒ 3~5箇所

停電電力 ⇒ 平均3MW標準偏差1の正規分布

復旧作業時間 ⇒ 平均60分標準偏差20の正規分布

復旧作業班数 ⇒ 5班

作業制限時間 ⇒ 12時間(720分)

復旧作業班移動速度 ⇒  $30\text{km/h}$

## 5.2 結果・考察

表 1: 復旧順序, 稼働時間(協力点数3)

復旧班		復旧ルート										稼働時間
1	1	18	22	37	41	5	28	11	23	38	1	574
2	1	2	7	30	13	31	6	27	14	34	1	676
3	1	18	29	36	20	32	39	35	38	1	574	
4	1	25	3	17	10	16	6	19	40	1	621	
5	1	8	15		3	4	24	12	9	21	1	602
総停電電力量											604.4	

表 2: 単位復旧時間あたりの停電電力

点	$e_i / f_i$	点	$e_i / f_i$
2	0.07	22	0.12
3	0.06	23	0.04
4	0.05	24	0.04
5	0.06	25	0.09
6	0.08	26	0.06
7	0.13	27	0.03
8	0.14	28	0.06
9	0.04	29	0.05
10	0.05	30	0.08
11	0.05	31	0.04
12	0.05	32	0.04
13	0.04	33	0.08
14	0.03	34	0.02
15	0.08	35	0.03
16	0.04	36	0.09
17	0.07	37	0.11
18	0.06	38	0.03
19	0.03	39	0.04
20	0.06	40	0.03
21	0.02	41	0.07

単位復旧時間あたりの停電電力が大きい点を早めに復旧している

協力点は待ち時間による影響が少ない最初と最後に復旧している。

計算時間は約25秒



## 6. まとめ・課題

### まとめ

- 本研究では、配電設備の復旧ルートを求める問題に対し、協力点を含むという新たな問題を提起し、その解法を与えた。
- 提案解法では現実的な時間で解を求める事が出来た。
- 単位復旧時間あたりの停電電力が大きい被害箇所から復旧にあたっている。
- 協力点は、復旧ルートの始め、または終わりに復旧している。

### 課題

- 複数の営業所を対象とし、応援復旧を考慮する。
- 実データを基に、シミュレーションする。
- 局所最適解を抜け出し、より良い解を求める解法が求められる。



# 参考文献

---

- [1] 「自然災害時における配電設備の最適復旧ルート計画策定手法」  
渡邊 勇・所 健一 電力中央研究所研究報告 2008年
- [2] 塚原 荘一(2007): ウイルス感染を用いた進化戦略による時間枠付き配送計画問題の解法, 筑波大学大学院博士課程 システム情報工学研究科修士論文「<http://www.cs.tsukuba.ac.jp/H18Syuron/200520981.pdf>」最終閲覧日(2010/5/25)
- [3] 小林 克也(2009): 合流巡回セールスマン問題に関する研究, 東京理科大学経営工学科学士論文
- [4] 久保 幹雄(2001): ロジスティクス工学, 朝倉書店
- [5] 野々部 宏司・柳浦睦憲: 局所探索法とその拡張  
「<http://hirata.nuee.nagoya-u.ac.jp/~yagiura/papers/tabu-kaisetsu-2008.pdf>」最終閲覧日(1/7)



# 抄録訂正

---

p154 9行目

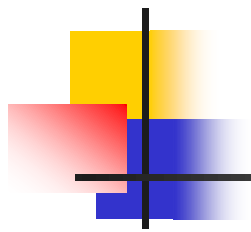
協力点へ先に到着した復旧作業班の待ち時間を  
 $W_i$ と表す. ⇒削除

p154 13行目

「miximize」⇒「minimize」

p154 19行目

「協力店」⇒「協力点」



ご静聴ありがとうございました