

# エネルギー供給システムの地震災害時におけるバックアップ形態 Design of Energy Supply Backup Systems in view of a Seismic Hazard

○高橋 大<sup>1</sup>, 庄司 学<sup>1</sup>  
Dai TAKAHASHI<sup>1</sup> and Gaku SHOJI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>筑波大学大学院 システム情報工学研究科  
Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

A design framework of energy supply backup systems installed in buildings and facilities in view of a seismic hazard is proposed. We select five backup systems alternatively used for electric power supply at the emergency process during a power failure after a seismic event. Total system reliability by installing the systems in buildings and facilities in a target seismic hazardous region is optimized to maximumly enhance the induced power supply with constraints on related total costs consisting of initial, running and maintenance ones and with constrains of upper and lower power limits planed by considering buildings and facilities power demands.

**Keywords :** energy supply backup system, seismic hazard, power failure, optimization

## 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震 ( $M_{JMA}=9.0$ )では、東北電力管轄内で最大で4,742,581戸<sup>1)</sup>、東京電力管轄内で最大3,944,650軒<sup>2)</sup>の停電被害が発生した。このような巨大地震に対しては電力供給施設の耐震化等の供給サイドの対策のみでは限界があることが明らかとなった。このため、今後起こり得る東海・東南海・南海地震等の巨大プレート間地震や首都直下地震等の内陸直下型地震に対して、需要家サイドも相補的な停電対策を講じる必要がある。例えば、元ら<sup>3), 4)</sup>は、区役所、病院等の施設を対象とし、建物用途毎の常時及び非常時の電力ニーズをアンケート調査により明らかにしている。庄司・松島<sup>5)</sup>は2003年の宮城県で発生した一連の地震時における医療機関の停電状況とバックアップ電源の稼働状況を調査している。それを踏まえ、需要家サイドが地震ハザードに応じて選択すべき電力バックアップシステムの最適化手法を提案している<sup>6)</sup>。稲垣・佐土原<sup>7)</sup>は首都圏内の8都府県と横浜市及び川崎市の区役所の庁舎建物を対象にエネルギー供給系と水供給系の設備の状況や非常時のニーズをアンケート及びヒアリング調査で明らかにしており、さらに、横浜市場を対象とし、災害時の自立性を確保する拠点区域選定のための地域分類を行っている<sup>8)</sup>。

以上を踏まえ、本研究ではエネルギー供給システムの中でも電力供給に着目し、地震ハザードを考慮した上で、対象施設の受電能力の相違やバックアップ形態の代替案のきめの細かさを反映した電力バックアップシステム (Electric Power Backup System, 以下、EBSと呼ぶ) の最適化手法の提案を行う。

## 2. 電力バックアップに関するシステム最適化手法

図1には、EBSのシステム最適化の流れを示す。EBSを導入する施設群は当該地域の地震ハザードに晒されているが、その高低に応じて導入すべきEBSを最適化する。今、ある一定期間 $T$ [年]を念頭においた場合の当該地域の地震ハザードが、地震動強さの指標を計測震度 $i$ として発生確率 $p_i$ であるとする。一定期間 $T$ [年]はEBSを導入する施設群の供用期間 $T_r$ [年]とする。対象とする施設群は用途

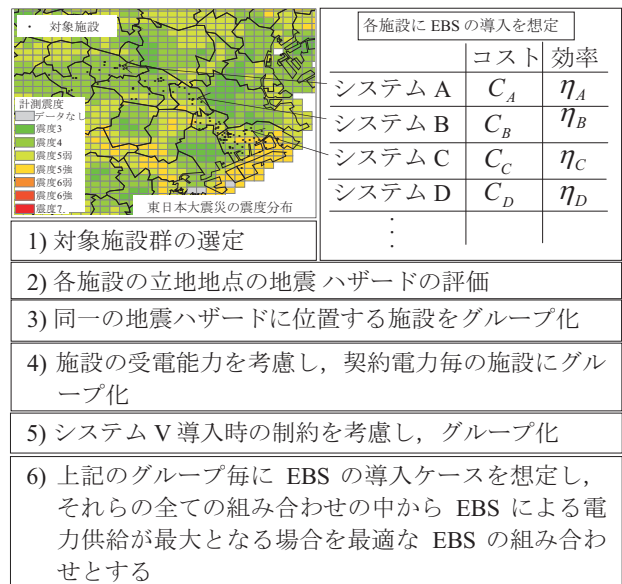


図1 システム最適化の流れ

や施設規模に応じてエネルギー消費原単位  $E^{uni}$ [kW/m<sup>2</sup>・年]が異なり<sup>9), 10)</sup>、それに合わせて施設の受電能力は設計されている。これを契約電力のタイプ  $k$  で分類する。さらに、施設毎に耐震性能は異なるため、それを表す指標として供用期間  $T_r$ [年]の間に、計測震度  $i$  相当の地震ハザードに晒された場合の故障確率  $P_i^r$  を用いる。

EBS  $j$  の導入によって必要となるライフサイクルコスト  $Lcc_{ij}$ [円/kW]は、EBS  $j$  の導入コスト  $C_j^I$  [円/kW]、ランニングコスト  $C_j^R$  [円/kWh]、メンテナンスコスト  $C_j^M$  [円/kW・年]、及び EBS  $j$  の発電効率  $\eta_j$  を用いて次式のように求められる。

$$\begin{cases} Lcc_{ij} = C_j^I + C_j^R \sum_i p_i E[T_i] + C_j^M T_r & (1a) \\ Lcc_{ij} = C_j^I + C_j^R / \eta_j \sum_i p_i E[T_i] + C_j^M T_r & (1b) \end{cases}$$

ここで、 $E[T_i]$ は計測震度 $i$ の地震が発生した際の停電時間

$T_i$ [h]の期待値である。EBS  $j$ は対象施設に停電が発生した場合に稼働するため、式(1)におけるランニングコストの総額は $C_j^R$ に地震の発生確率 $p_i$ と停電時間 $T_i$ の期待値 $E[T_i]$ を掛け合わせて求める。 $C_j^R$ は、燃料を用いず、直接電気が使用できる状態でEBS  $j$ を適用する場合（後述のシステム I 及びV）と機器を介した上で燃料を電気に変換してEBS  $j$ を適用する場合（後述のシステム II～IV）の2通りに応じて計算される。さらに、式(1)のメンテナンスコストの総額は、 $C_j^M$ に供用期間 $T_j$ [年]を掛け合わせて求める。これより施設の受電能力を契約電力のタイプ $k$ で分類した上で、これらの施設群がEBS  $j$ の導入により電力量 $x_{ij}^k$ を得る場合、施設群全体のライフサイクルコスト $Lcc^k$ [円]は $Lcc_{ij}^k$ に施設数 $n_i^k$ と $x_{ij}^k$ を掛け合わせて次式のように求められる。また、 $Lcc^k$ が施設群の管理主体の投資可能コスト $\bar{C}$ [円]以下となるように制約を課す。

$$\begin{cases} Lcc^k = \sum_i \sum_j n_i^k Lcc_{ij}^k x_{ij}^k \leq \bar{C} & (2a) \\ Lcc^k = \sum_i \sum_j (n_i^k Lcc_{ij}^k x_{ij}^k + \frac{x_{ij}^k}{\hat{\eta}_V} C_i^L) \leq \bar{C} & (2b) \end{cases}$$

ここで、 $C_i^L$ は文献11)に示された土地の用途区分 $l$ に対応した地価[円/m<sup>2</sup>]であり、 $\hat{\eta}_V$ は後述するシステムVの変換効率[W/m<sup>2</sup>]である。式(2)においては、対象施設群にシステムVを導入する十分な敷地面積 $A^L$ がある場合と、システムVの設置場所が必要でその土地購入が必要となる場合の2通りを考慮する。後者の場合には、 $x_{ij}^k$ をシステムVの変換効率 $\hat{\eta}_V$ で除すことでシステムVの導入に必要な面積 $A_V^R$ を導出し、 $C_i^L$ を掛け合わせることでシステムVの設置場所の土地購入費用を式(2b)のように加算する。

また、EBS  $j$ により供給される電力量 $x_{ij}^k$ に関しては次式を満足する必要がある。

$$Q_d^k \leq x_{ij}^k \leq Q_s^k \quad (3)$$

ここで、 $Q_d^k$ [kW]は契約電力のタイプ $k$ の施設群が地震災害時において最低限の機能保持に必要な電力量であり、 $Q_s^k$ [kW]は施設として受電可能な電力量の上限値である。式(2)、(3)の制約条件下で、計測震度 $i$ に晒される施設数 $n_i^k$ に対してEBS  $j$ の導入による電力供給量の信頼性 $\Pi_{ij}^k$ を最大化するように次式に基づき $x_{ij}^k$ を最適化する。

$$\Pi_{ij}^k = \sum_i \sum_j (1 - P_i^r) n_i^k x_{ij}^k \rightarrow \max \quad (4)$$

ここで、 $P_i^r$ は先述したEBS  $j$ の故障確率である。

式(4)を基に計測震度 $i$ に晒されている施設群に対して、契約電力のタイプ $k$ とシステムV導入時の設置場所の土地購入の可否を考慮した上で、施設群をグループ化し、それらにEBS  $j$ を導入した場合の全ての組み合わせに対して $\Pi_{ij}^k$ を求め、それらの最大値を示す場合の $x_{ij}^k$ を最適解 $x_{opt}$ とする。この時の $\Pi_{ij}^k$ を $\Pi_{opt}$ とし、それを達成するEBS  $j$ の組み合わせが最適な組み合わせとなる。この時のライフサイクルコスト $Lcc_{opt}$ は式(2)に $x_{opt}$ を代入して求められる。

### 3. EBSの代替案およびそれらのパラメータ

表1にはEBSの代替案を示す。また、表2にはEBSの発電効率 $\eta_j$ 及び各種コストを示す。システムIの場合には、燃料を必要とせず他系統から電気に変換された状態で使用するため、 $\eta_j$ を考慮する必要がない。システムII及びIIIの場合には、 $\eta_j$ としてディーゼルエンジンの発電効率

表1 EBSの代替案

システム	バックアップ形態
I	予備の引込線
II	非常用自家発電システム (ディーゼルエンジン)
III	電源供給車からの外部供給 (ディーゼルエンジン)
IV	燃料電池 (リン酸形)
V	太陽光発電システム (多結晶シリコン型)

表2 EBSに関わる各パラメータ

システム	発電効率 $\eta_j$	導入コスト $C_j^I$ [円/kW]	ランニングコスト $C_j^R$ [円/kWh]	メンテナンスコスト $C_j^M$ [円/kW・年]
I	—	200,000 <sup>*1</sup>	13	50,000
II	0.4 <sup>(12)</sup>	300,000 <sup>(15)</sup>	10	100,000
III	0.4 <sup>(12)</sup>	100,000	10	50,000
IV	0.4 <sup>(13)</sup>	800,000 <sup>(17)</sup>	8.6	44,000 <sup>(17)</sup>
V	—	500,000 <sup>*2</sup>	13	50,000

\*1 引込線 10m 当たりの価格[円/kW]

\*2 文献 18)に示すユニット費用。表 3 で対象施設の敷地面積 $A^L$ が小さくシステム V の導入に必要となる面積 $A_V^R$ が大きい場合には、ユニット費用に加えてユニットの設置場所の土地購入費用が必要となる。

を用い、文献 12)により設定した。システムIVの場合には、 $\eta_j$ としてリン酸形燃料電池の発電効率を用い、文献13)により設定した。システムVの場合には、単位面積当たりの最大出力[W/m<sup>2</sup>]として定義される変換効率 $\hat{\eta}_V$ は0.13[kW/m<sup>2</sup>]程度であるが<sup>14)</sup>、燃料を必要とせず太陽光を直接、直流に変換するため、 $\eta_j$ を考慮する必要がない。

システムIの導入コスト $C_I^I$ は引込線の工事費とした。以下の試算例においては50mの引込線を設置すると仮定した。ランニングコスト $C_I^R$ は高压電力体系の契約電力のタイプ $k$ に応じた電気料金とし、メンテナンスコスト $C_I^M$ は1年に1回点検する場合の人件費とした。システムIIの導入コスト $C_{II}^I$ は非常用自家発電機のメーカーのHP<sup>(15)</sup>を基に設定した。ランニングコスト $C_{II}^R$ は重油価格[円/l]と重油の燃料消費量[l/kWh]の積により算出し、メンテナンスコスト $C_{II}^M$ は1年に2回点検する場合の人件費とした。システムIIIの導入コスト $C_{III}^I$ は電源供給車のメーカーのHP<sup>(16)</sup>を参照し、500kWの電源供給車を想定して1車両当たり5000万円と仮定して算出した。ランニングコスト $C_{III}^R$ はシステムIIの数値と同一とした。メンテナンスコスト $C_{III}^M$ は1年に1回点検する場合の人件費とした。システムIVの導入コスト $C_{IV}^I$ は文献17)を基に設定し、ランニングコスト $C_{IV}^R$ は都市ガスの価格[円/m<sup>3</sup>]と都市ガスの燃料消費量[m<sup>3</sup>/kWh]との積により算出した。メンテナンスコスト $C_{IV}^M$ は文献17)よりセル交換費用とした。

システムVの導入コスト $C_V^I$ は多結晶シリコン型太陽光発電システムのユニット費用を文献18)を基に設定した。その際、システムVを導入できる敷地面積 $A^L$ がない場合にはユニットの導入コストに加え、ユニットの設置場所の土地購入費用を加算する。このため、表3に示すようにシステムVの導入に必要となる面積 $A_V^R$ を算出する。対象施設の延床面積 $A^{TF}$ を階数 $n^f$ で除して、対象施設の1階相当の面積 $A^{FF}$ を求める。また、敷地面積 $A^L$ から $A^{FF}$ を引いた面積 $A_V^R$ を求める。システムVの導入に必要となる面積 $A_V^R$ が $A^{FF}$ より小さい場合には対象施設の屋根や屋上全

表3 対象施設群と施設数  $n_i^k$ ，それに対応したエネルギー消費原単位  $E^{mit}$ ， $Q_s^k$ ， $Q_d^k$  の  $Q_s^k$  に対する割合  $\gamma^k$ ，システムV導入に必要となる面積  $A_V^R$  及び面積率  $\gamma_V^{PL}$

区分	名称	施設数 $n_i^k$	エネルギー消費原単位 $E^{mit}$ [MJ/m <sup>2</sup> ・年] (文献10)による建物用途区分)	$Q_s^k$ [kW] (500kW以上の場合にはその種別を括弧内に示す)	$Q_d^k$ の $Q_s^k$ に対する割合 $\gamma^k$ (文献4)の建物用途)	システムV導入に必要な面積 $A_V^R$ [m <sup>2</sup> ] (文献11)による用途区	面積率 $\gamma_V^{PL}$		
避難所指定	小学校	115	371 (小中学校)	180	15% (小中学校)	208 (住宅地)	×		
	中学校(地域防災拠点を兼ねる)	52	371 (小中学校)						
	高校	5	472 (高校)	230	265 (住宅地)				
	防災センター	1	861 (幼稚園 保育園)	420 (本社ビル)	1,422 (商業地)	2.73			
	豊学校	1	472 (高校)	230 (小中学校)	265 (住宅地)	×			
風水害時避難所補充施設	公立学校施設	14	472 (高校)	420	25% (公民館)	808 (住宅地)	0.52		
	公共施設	228	861 (幼稚園 保育園)					×	
	その他施設	341	861 (幼稚園 保育園)					×	
連絡窓口	市・区役所・消防機関	21	1,224 (官公庁)	590 (A種)	54% (区役所)	2,451 (商業地)	×		
	県・警察	9	1,224 (官公庁)					2,451 (商業地)	0.66
	指定地方行政機関	17	1,224 (官公庁)					2,451 (商業地)	×
	指定(地方)公共機関等	28	2,121 (事務所)	1,020 (C種)	44% (本社ビル)	3,452 (商業地)	×		
	公共的団体等	12						3,452 (商業地)	2.87
	コンビナート地区	6	1,348 (その他)	650 (B種)	2,200 (商業地)	1.27	○		
	災害情報収集協力先	20							
病院	救急病院	15	2,745 (病院)	1,320 (E種)	62% (病院)	6,295 (商業地)	×		
	災害拠点病院	9	2,745 (病院)						
応急給水資機材	上水道関係	7	2,121 (事務所)	1,020 (C種)	44% (本社ビル)	3,452 (商業地)	1.72		
	下水道関係	8	2,121 (事務所)					3,452 (商業地)	○
市内の米穀卸販売、政府保有米保管倉庫、主要パン製造工場	米穀卸販売業者	1	2,121 (事務所)	650 (B種)	44% (本社ビル)	3,452 (商業地)	1.72		
	政府保有米保管倉庫	4	1,348 (その他)					2,200 (工業地)	×
	主要パン製造工場	12	2,550 (郊外大型店舗)					1,229 (D種)	

\*1 施設群の敷地外にシステムVの設置場所の費用が必要となり、それ相当の地価を考慮する場合には○、必要がない場合には×とする。

体に設置するものとし、土地購入を行わないと仮定する。 $A_V^R$  が  $A^{FF}$  以上の場合には対象施設の屋根や屋上全体の面積で不足する分を残りの敷地面積  $A_V^{PL}$  で補うこととした。この場合においても  $A_V^R$  が  $A_V^{PL}$  以上となり、システムVの設置場所が確保できない可能性を考慮するため、システムVの設置場所の新たな土地購入の可否を判断することを目的として次式で表される面積率  $\gamma_V^{PL}$  を算出した。

$$\gamma_V^{PL} = (A_V^R - A^{FF}) / (A^L - A^{FF}) \quad (5)$$

ここでは、 $\gamma_V^{PL}$  が0.7未満の場合にはシステムVの設置場所の土地購入が必要ないとし、それ以外の場合には土地購入を想定した。土地購入の費用を算定する際の  $C_V^L$  とし

表4 地震ハザードに対応する対象施設の施設数  $n_i^k$

供用期間[年]	地震ハザード毎の施設数 $n_i^k$		
	震度5弱	震度5強	震度6弱
5	39	130	0
10	25	133	11
15	10	135	24
20	8	128	33
25	1	129	39
30	0	125	44

ては文献11)に示された東京圏の用途別地価を用いた。

システムVのランニングコスト  $C_V^R$  はシステムIの場合と同様に高圧電力体系での電気料金とし、メンテナンスコスト  $C_V^M$  は1年に1回点検する場合の人件費とした。

#### 4. 適用事例

##### (1) 対象施設の選定および地震ハザード

表3には、EBSを導入する対象施設と施設数  $n_i^k$ ，それに対応したエネルギー消費原単位  $E^{mit}$  [MJ/m<sup>2</sup>・年]，施設を受電可能な電力量の上限値  $Q_s^k$  [kW]，地震災害時において最低限の機能保持に必要な電力量  $Q_d^k$  [kW] の  $Q_s^k$  に対する割合  $\gamma^k$ ，システムVの導入に必要な面積  $A_V^R$  [m<sup>2</sup>]及び面積率  $\gamma_V^{PL}$  を示す。対象施設は、文献19)に基づき神奈川県川崎市を想定した上で、それらの地域の地震災害時の防災対応に関わる計926ヶ所とした。 $E^{mit}$  は文献10)を参考に関東地域のデータを基本として表3のように対応づけた。各施設群の  $Q_s^k$  は、文献20)より市・区役所・消防機関の  $Q_s^k$  を川崎市本庁舎の契約電力である590kWと仮定した上で、その数値を基に各施設の  $E^{mit}$  で比例配分して算出した。 $\gamma^k$  は、文献4)で示された建物用途毎の「求められる電力品質[%]」を参考として、その中の高品質に分類される電力品質[%]を足し合わせた数値を用いた。その際、文献4)に示された建物用途区分を表3のように対応づけた。各施設群の  $A_V^R$  は、 $Q_s^k$  に  $\gamma^k$  を掛け合わせた上で  $Q_d^k$  を求め、その数値をシステムVの変換効率  $\hat{\eta}_V = 0.13$  [kW/m<sup>2</sup>] で除すことで求めた。その際、文献11)に示された土地用途区分を表3のように対応づけた。面積率  $\gamma_V^{PL}$  は式(5)に基づき算出した。その際、表3に示された同等の施設群の建物情報を収集し、その値を参考として  $\gamma_V^{PL}$  の算出に必要な数値を求めた。

地震ハザードの算定に当たっては、対象施設群の立地地点の地震動強さとそれが一定期間内に超える確率との関係性を評価し、一定期間をEBSの供用期間  $T_i$  [年]として5年から30年間の5年毎の地震ハザードを求めた。

##### (2) 試算例

試算に当たっては、上記の計926ヶ所の施設から契約電力500kW以上の高圧電力体系で受電している計169ヶ所を絞り込んだ。表4には、想定される供用期間内に施設群が晒される地震ハザードに応じて、それらの施設数  $n_i^k$  を分類した結果を示す。また、システムVの設置場所が必要な施設群を  $\alpha$ ，必要がない施設群を  $\beta$  と分類した。

表5には対象施設群に対する最適なEBSの組み合わせを示す。また、図2にはEBSによる電力供給の信頼性  $\Pi_{opt}$  [MW]及び最適なEBSの組み合わせに対するライフサイクルコスト  $Lcc_{opt}$  [億円]の供用期間  $T_i$  [年]に対する変化を示す。

表5より、供用期間5年を想定すると導入コストが最も低いシステムIIIを全ての対象施設群に導入することが最

表 5 最適な EBS の組み合わせ

供用期間 [年]	震度5弱 $Q_s^k$ のタイプ							震度5強 $Q_s^k$ のタイプ					震度6弱 $Q_s^k$ のタイプ								
	A	B		C		D	E	A	B		C		D	E	A	B		C		D	E
		システムV のための 土地購入		システムV のための 土地購入					システムV のための 土地購入		システムV のための 土地購入										
		$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$				$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$									
5	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	—	—	—	—	—	—	—	—
10	III	III	III	III	III	III	III	III	V	III	V	III	III	V	III	V	III	V	V	V	V
15	V	I	V	I	V	V	V	V	I	V	I	V	V	V	I	V	I	V	V	V	V
20	V	I	V	I	V	V	V	V	I	V	I	V	V	V	I	V	I	V	V	V	V
25	—	—	—	—	—	V	—	V	I	V	I	V	V	V	I	V	I	V	V	V	V
30	—	—	—	—	—	—	—	V	I	V	I	V	V	V	I	V	I	V	V	V	V

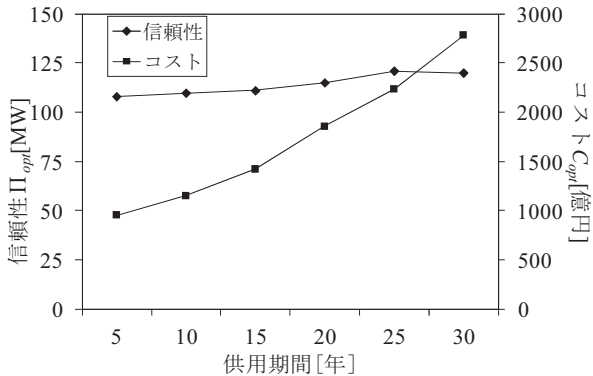


図 2 EBS による電力供給の信頼性  $\Pi_{opt}$  及びライフサイクルコスト  $Lcc_{opt}$  の供用期間  $T_r$  [年] に対する変化

適なEBSの組み合わせであると言える。供用期間10年を想定すると、相対的に地震ハザードが低い震度5弱の施設に対してはシステムIIIが選択されるが、相対的に地震ハザードが高い震度5強及び震度6弱の施設に対してはシステムVが選択されるようになる。供用期間が15年から30年と長くなると、システムVの設置場所の土地購入費用が必要な施設群aにはシステムIを導入し、それ以外の施設にはシステムVを導入することが最適な組み合わせであると言える。これより供用期間が5年及び10年の場合にはEBSの導入コストがEBSにより供給される電力供給の信頼性  $\Pi_{opt}$  に大きな影響を及ぼし、供用期間が15年を越えるとシステムVの設置場所の土地購入費用が  $\Pi_{opt}$  に大きな影響を与えると言える。

図2によれば、供用期間25年までは供用期間が長くなると  $\Pi_{opt}$  が増加しており、供用期間25年をピークに  $\Pi_{opt}$  は減少していることがわかる。これは供用期間が長くなると相対的に地震ハザードが高い震度5強及び震度6弱の施設が増加し、その施設群に対して供給される  $x_{opt}$  が大きくなることから  $\Pi_{opt}$  は増加したと考えられる。一方、供用期間が25年から30年にかけては震度5強に立地し  $Q_s^k$  が大きいD種及びE種の施設群の施設数が減少したことから、 $\Pi_{opt}$  は減少したと推察される。

## 5. まとめ

本研究では、地震災害時におけるエネルギー供給の途絶防止を目的とするための電力バックアップシステムの最適化手法の提案を行い、神奈川県川崎市の計 169 ヶ所の施設群を対象としてその適用事例を示した。

## 参考文献

1) 東北電力：緊急情報 <http://www.tohokuepc1o.co.jp/emergency/9/index.html>  
 2) 東京電力：プレスリリース | 2011年 | <http://www.tepco.co.jp/cc/press/index1103-j.htm>

3) 元アンナ, 吉田聡, 佐土原聡: マイクログリッドによる高品質・品質電力供給に対する建物からのニーズに関する調査研究, 地域安全学会梗概集, No.14, pp.27-30, 2004.5  
 4) 元アンナ, 吉田聡, 佐土原聡: 各種建築物のエネルギー設備の現状・ニーズに関する調査に基づく分析, 地域安全学会論文集, No.8, pp.235-242, 2006.11  
 5) 庄司学, 松島郁美: 地震災害時の公的施設に対する電力バックアップシステム, 土木学会地震工学論文集, CD-ROM, 2005  
 6) 庄司学, 松島郁美: 地震ハザードに対する電力バックアップシステムのシステム最適化手法の提案とその試算例, 相互連関を考慮したライフライン減災対策に関するシンポジウム論文集, 土木学会, pp.13-19, 2009.12  
 7) 稲垣景子, 佐土原聡: 首都圏における地域防災力向上のための自立分散型拠点構築に関する調査分析, 地域安全学会論文集, No.10, pp.11-19, 2008.11  
 8) 稲垣景子, 佐土原聡: 災害時の自立性を確保する拠点区域選定のための地域分類—横浜市の公共的施設を対象とした調査分析—, 地域安全学会論文集, No.12, pp.21-30, 2010.3  
 9) 亀谷茂樹, 高口洋人, 坊垣和明, 松縄堅, 坂本雄三, 伊香賀俊治, 村上周三: 非住宅建築物(民生業務部門)の環境関連データベース構築に関する研究その21 全体概要(平成20年調査), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1133-1134, 2009.8  
 10) 高口洋人, 亀谷茂樹, 坊垣和明, 松縄堅, 坂本雄三, 伊香賀俊治, 村上周三: 非住宅建築物(民生業務部門)の環境関連データベース構築に関する研究その22 全国解析結果(平成20年調査), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1135-1136, 2009.8  
 11) 国土交通省: 平成23年都道府県土地調査, <http://tochi.mlit.go.jp/chika/chousa/2011/index.html>  
 12) 三菱重工業: <http://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf401018.pdf>  
 13) 木村正: 分散型電源用小型燃料電池発電システムの開発動向第7回動力・エネルギー技術シンポジウム講演論文集, 日本機械学会, pp.130-133, 2000  
 14) 楊涌文, 高偉俊, 阮応君: 分散型エネルギーシステムの経済的な運転最適化モデルの構築と北九州学研都市におけるケーススタディ, 日本建築学会環境系論文集, No.621, pp.77-82, 2007.11  
 15) ヤンマー: エネルギーシステム <http://www.yanmar.co.jp/energy/products/emergencyGenerator/>  
 16) 明電舎: 製品情報 [http://www.meidensha.co.jp/pages/product/prod01/prod01\\_02/docs/](http://www.meidensha.co.jp/pages/product/prod01/prod01_02/docs/)  
 17) 飯野智紀, 小林伸一, 小林宏典: 地域共同利用燃料電池システムの研究—消費電力パターン依存性と経済性, 電子情報通信学会技術研究報告, 電気情報通信学会, pp.7-12, 2005  
 18) 有木和歌子, 浅野浩志, 幸田栄一, 坂東茂: 燃料価格・電力価格不確実性下での分散型エネルギーシステムの投資リスク評価, 電気学会論文集 B, Vol.129, No.12, pp.1486-1493, 2009  
 19) 川崎市: 川崎市地域防災計画(資料編), 川崎市防災会議, 2010.4  
 20) 川崎市: 川崎市地球環境推進室, 環境配慮電力入札 <http://www.city.kawasaki.jp/30/30titan/denryoku/result-22.pdf>