

戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）
「科学技術イノベーション政策のための科学
研究開発プログラム」
「レジリエンス強化のための
省エネルギー機器導入制度設計」

研究開発実施終了報告書

研究開発期間 平成 29 年 10 月～令和 4 年 3 月

上道 茜

（早稲田大学 准教授）

目次

| | |
|---|-----------|
| 0. 研究開発の概要 | 2 |
| 1. プロジェクトの達成目標 | 3 |
| 2. 研究開発の実施内容 | 3 |
| 2-1. 研究開発実施体制の構成図 | 3 |
| 2-2. 実施項目・研究開発期間中の研究開発の流れ | 4 |
| 2-3. 実施内容 | 5 |
| 3. 研究開発結果・成果 | 19 |
| 3-1. プロジェクト全体としての成果 | 19 |
| 3-2. 実施項目ごとの結果・成果の詳細 | 19 |
| 3-3. 今後の成果の活用・展開に向けた状況 | 33 |
| 4. 研究開発の実施体制 | 35 |
| 4-1. 研究開発実施者 | 35 |
| 4-2. 研究開発の協力者・関与者 | 35 |
| 5. 研究開発成果の発表・発信状況，アウトリーチ活動など | 36 |
| 5-1. 社会に向けた情報発信状況，アウトリーチ活動など | 36 |
| 5-2. 論文発表 | 37 |
| 5-3. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表） | 38 |
| 5-4. 新聞報道・投稿，受賞など | 39 |
| 5-5. 特許出願 | 39 |
| 6. その他（任意） | 39 |

0. 研究開発の概要

1. 対象とした政策や政策形成プロセス、およびその課題

2011年東日本大震災を契機として、あらゆる業種の業務継続性を高めることは喫緊の課題である。なかでも、医療機関におけるエネルギーの確保は最重要課題であり、2017年3月に厚生労働省から交付された災害拠点病院指定要件では、通常時の60%の発電容量を有する自家発電機を保有することが付加された。一方、病院建物は熱電需要が大きく、平常時に総合エネルギー効率を高めるコージェネレーション（熱電併給）システム等のエネルギー機器の導入効果は経済性および環境性の観点から高い。また、こうした自家発電機は災害時にも活用可能である場合もある。そこで、本研究の目的は、災害拠点病院に平常時も非常時にも利用可能な自家発電機を導入した場合の経済性・省エネ性および業務継続性の向上という異なる目的を達成する自家発電機構成を提案する枠組みを提案する。

2. 「科学技術イノベーション政策のための科学」としてのResearch・Question

「経済性、環境性、業務継続性を客観的・定量的に評価するツールを活用することによって、分散型エネルギー機器（自家発電機）への設備投資が積極的に行われるようになるか？」であった。しかし、政策実務者や災害拠点病院の担当者の方々へのインタビュー調査を通じて、自家発電機を設備投資の問題として捉える以前の問題として、災害下での医療活動の継続可否というシビアな状況を解決する必要があることがわかってきた。したがって、研究期間の途中から「災害拠点病院の指定要件である、通常時の60%の発電容量を有する自家発電機という条件で災害時の需要を充足することはできるのか？」というResearch・Questionへと変遷した。

3. 創出した成果により、「誰に、何を」与えたのか

病院建物の自家発電機構成を対象として「経済性」、「環境性」、「業務継続性の強化」といった複数の目的を定量的に評価することのできる、自家発電機導入計画立案サポートツールを構築した。これは、病院自体に対しては、災害下でも業務継続ができる可能性がどの程度あるかという情報を提供することができるものである。また、関連する地域の行政が災害医療の地域連携を図るための具体的なアクションを検討するためのエビデンスを提供する。

4. 研究開発の達成状況と限界

1. 最適化計算によるエネルギー機器導入量の多目的最適化ツール（最適化ツール）を開発することができた。
2. 上記によって得られた最適機器構成の有効性検証のための病院建物電力システムシミュレータ（電力シミュレータ）を開発することができた。
3. 本研究プロジェクトで開発する自家発電機導入計画立案サポートツールをベースに新しい補助金施策を提案することは、部分的に達成することができた。

また、上記に付随して次の成果を得た。

- ・ 災害時の病院建物需要時系列データ推定手法を提案し、北海道胆振東部地震によるブラックアウト下での電力需要データを推定することができた。
- ・ 構築した電力シミュレータを活用し、実用的な自家発電機器構成を最適化ツールで求めるための手法を構築した。

ただし、構築したツールには汎用性がないことは限界である。今後は、個別の病院に対応してカスタマイズしながらシミュレーションを行い、災害時の使用機器の優先順位を検討する等を目的としたコミュニケーションを促すツールとしての利用を進める。

1. プロジェクトの達成目標

本研究プロジェクトでは、「経済性と環境性の両立」、「地域レジリエンス強化」の異なる目的を達成することのできる「自家発電機導入計画立案サポートツール」の完成を目指して、2種類のシミュレーションツールを構築し、これらのツールを活用したきめ細やかなエネルギー機器導入補助金制度設計を目指す。

本研究プロジェクトの最終的な成果物として期待される事柄を以下に示す。

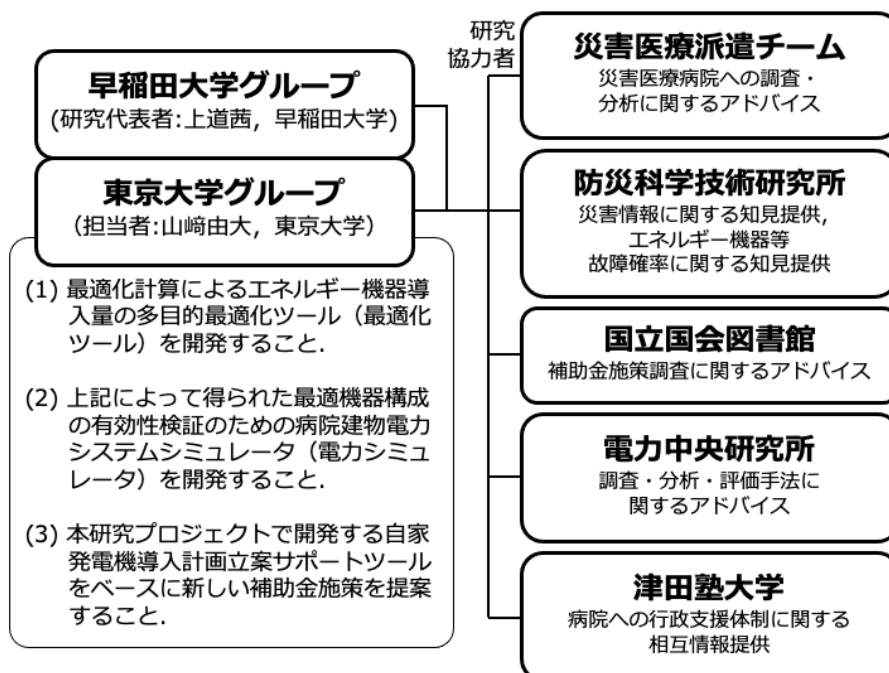
- (1) 最適化計算によるエネルギー機器導入量の多目的最適化ツール（最適化ツール）を開発すること。
- (2) 上記によって得られた最適機器構成の有効性検証のための病院建物電力システムシミュレータ（電力シミュレータ）を開発すること。
- (3) 本研究プロジェクトで開発する自家発電機導入計画立案サポートツールをベースに新しい補助金施策を提案すること。

また、本プロジェクトの完成によってもたらされる社会への影響・効果を以下に挙げる。

- i. 災害拠点病院をはじめとする公共性の高い事業所への自家発電機の導入の有効性が認知されること。
- ii. 自家発電機の導入による災害時のレジリエンス強化に関する定量的な議論が可能となること。
- iii. 医療機関向け補助金施策についての現状を整理し、将来の補助金施策構想についての議論のベースを創出すること。

2. 研究開発の実施内容

2-1. 研究開発実施体制の構成図



〈研究開発実施体制〉

2-2. 実施項目・研究開発期間中の研究開発の流れ

本研究プロジェクトでは、災害時の事業継続を可能とするエネルギー源を確保するという視点より、自家発電機の最適導入量算出ツールと病院建物の電力システムシミュレータの2つのツールから構成される「自家発電機導入計画立案サポートツール」を構築した。図1にツールの概略を示す。

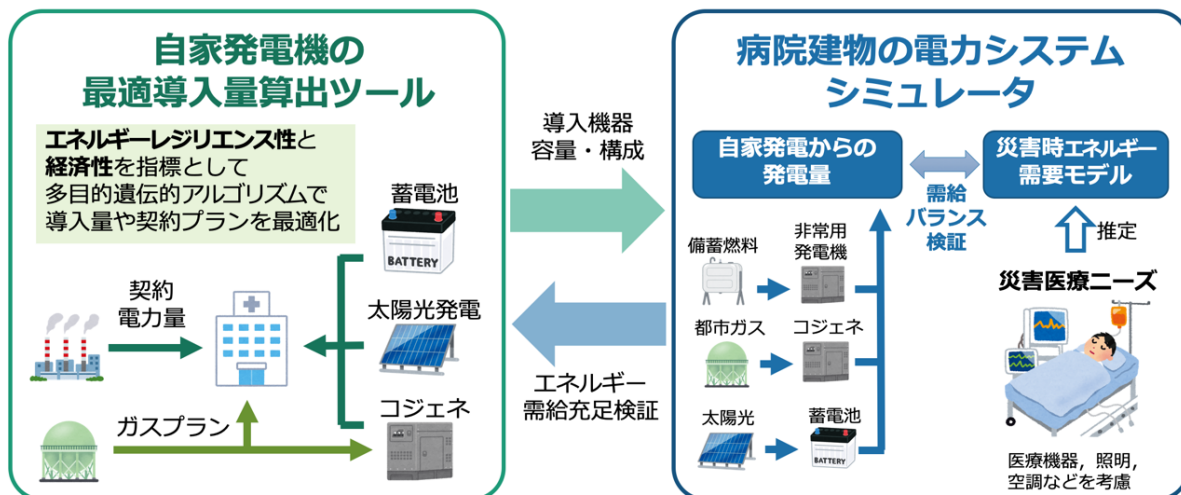


図1 自家発電機導入計画策定サポートツールの概要。

サポートツールを構成する要素のひとつは、「自家発電機の最適導入量算出ツール（最適化ツール、実施項目1）」である。この最適化ツールでは、後に述べるように平常時の熱電需要データに基づいてトータルコストおよびエネルギーレジリエンス性指標を評価し、最適な自家発電機器構成を検討することができる。最適化の対象とした自家発電機器の種類は、コージェネレーションシステム（ガスエンジンおよび排熱投入型冷温水機）に加え、太陽光発電パネル、蓄電池とした。

しかしながら、最適化ツールでは、平常時の熱電需要データを用いているため、災害時の需要を充足できるかどうか十分に示すことができない。そこで、2つめのツールとして「電力システムシミュレータ（電力シミュレータ、実施項目3）」を構築した。これは、病院建物の電力システムを数理モデルで表したもので、設定した災害時需要（実施項目2）に対して、秒刻みのエネルギー需給バランスを検証することができるものである。

このサポートツールの使用手順は以下を想定している。

- (1) 最適化ツールで平常時の熱電需要データを元に自家発電機構成の最適解を算出する。
- (2) 選択した自家発電機構成を電力シミュレータに反映させ、病院建物について秒刻みの電力シミュレーションを実施し、災害時の負荷に対して自家発電機のみで電力供給が充足するかを検証する。なお、シミュレーションに用いる災害時の負荷には、利用が想定される医療機器や病院のフロア計画をもとに見積もったデータを用いる。
- (3) このシミュレーションによって、自家発電機だけでは、想定した災害時医療活動に対して十分に電力がまかなえないと判明した場合、需要家は自家発電機の構成を変更し、電力シミュレータにこれを反映させて、再度シミュレーションを行う。あるいは、災害時の病院フロア計画等のBCP策定そのものを見直す場合もあると考えられる。

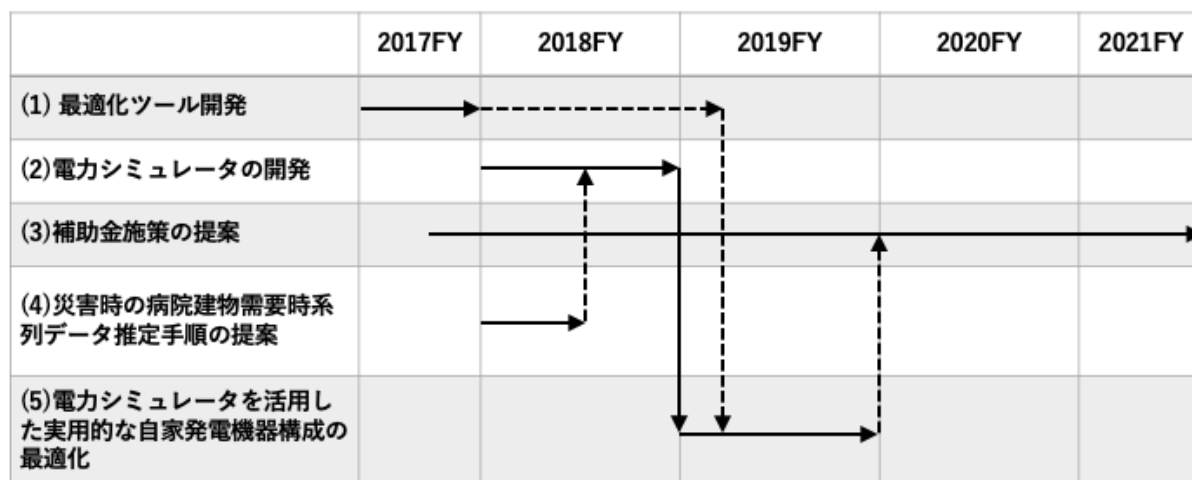
このように、最適化計算と災害時需給バランスシミュレーションを組み合わせ、需要家のBCP策定をより実効性の高いものとする事ができるような自家発電構成を選択することを目指した。

実施項目 1. 病院建物への自家発電機器導入量決定のための多目的最適化ツール（最適化ツール）の構築とケーススタディ

実施項目 2. 災害時の病院建物電力需要時系列データの作成

実施項目 3. 自家発電機の有効性検証のための病院建物電力システムシミュレータ（電力シミュレータ）の構築とケーススタディ

実施項目 4. 災害時の医療機関の業務継続のための政策提言



〈研究開発実施項目〉

2-3. 実施内容

2-3-1. 病院建物への自家発電機器導入量決定のための多目的最適化ツール（最適化ツール）の構築

ここでは、既に構築されていた長尾らによる単一目的の分散型電源導入量最適化ツール^{1,2}をベースに、これを多目的最適化ツールへと拡張した。背景にあるものは、長尾による単一目的最適化ツールでは経済指標が関心事であり、目的関数はトータルコストのみであった。そこで、災害時の病院を対象とした場合には災害リスクも目的関数に加える必要があった。第二に、災害拠点病院のような公共性の高い施設では、損失金額という経済的指標のみで事業継続性を評価することは不適當ではないかと考えたからである。

図 2 に、構築した多目的最適化ツールの概略を示す。

¹ H. Nagao, A. Uemichi, Y. Yamasaki, S. Kaneko; Proposal of a decision scheme for installing a cogeneration system considering disaster risks, Applied Thermal Engineering, 114, (2017) 1414-1423, DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.09.061.

² 長尾浩志, 上道茜, 八木正彰, 山崎由大, 金子成彦, 坂東茂; 災害時の事業継続性を考慮したコージェネレーション機器導入計画最適化手法の提案, エネルギー・資源学会論文誌, Vol. 38, No. 4, 10-23.

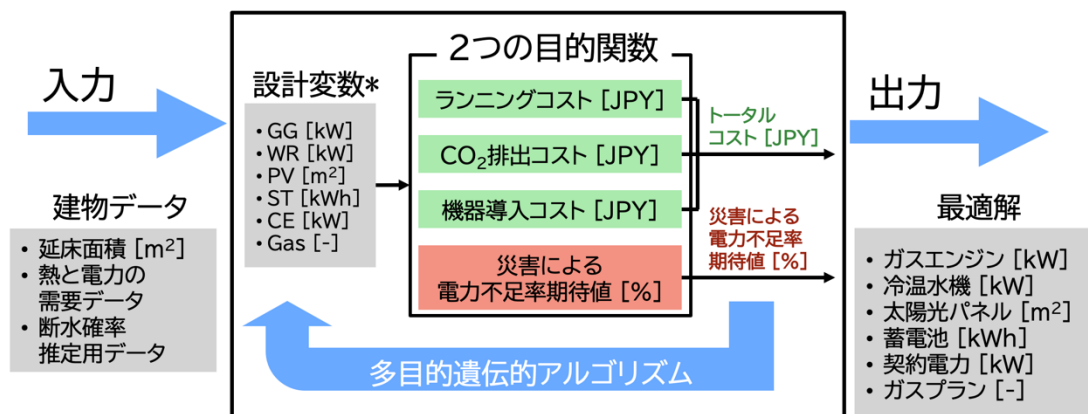


図 2 多目的最適化ツールの概略. 機器運用シミュレーションはランニングコストの算出で用いられるが図では省略.

ひとつの目的関数はトータルコストで、これは、ランニングコスト、機器導入コスト、二酸化炭素排出コストの和からなる。もうひとつの目的関数は、災害リスクに関するものとして「災害による電力不足率の期待値」とした。

災害による電力不足率の期待値を計算するにあたって、災害および被害パターンとしては、それぞれ以下の 3 パターンを考える。

○災害パターン*i*

- ・ $i = 1$: 震度6弱以上の震災
- ・ $i = 2$: 震度5弱～5強の震災
- ・ $i = 3$: 震災以外の災害（人災，台風など）

○被害パターン*j*

- ・ $j = 1$: 停電のみ発生
- ・ $j = 2$: ガス供給遮断のみ発生
- ・ $j = 3$: 停電およびガス供給遮断が同時に発生

また、ガス供給配管については低圧配管と中圧配管の場合を考える。中圧配管は一部の都市部の大規模事業所へのガス供給を担い、低圧配管よりもガス供給途絶確率が低いとされる。

災害発生確率は、NIED の「J-SHIS 地震ハザードステーション」³および地震情報サイト JIS⁴ から調査し、算出した。なお、これらを利用するにあたり場所を指定する必要があるため、東京大学周辺を例にとり、東京都文京区を指定した。また、集中型エネルギー供給は、電力およびガスの 2 種類とし、エネルギー供給途絶確率は東京電力が提供するデータベース⁵および東京ガスからの聞き取りをもとに定めた。

被害パターンによる供給可能な電力量は、以下のように考えた。停電のみが発生した場合、ガス供給は可能であるので、後述する断水確率を考慮したガスエンジン発電量と太陽光発電および蓄電池からのエネルギー供給が可能である。ガス供給途絶が発止した場合、集中型電源から供給される電力に加え、太陽光発電および蓄電池からのエネルギー供給がある。停電とガス途絶の両方が発生した場合、ガスエンジン発電機からも集中型電源からのエネルギー供給は不可能となるため、太陽光発電および蓄電池のみからエネルギー供給が行われると

³ J-SHIS 地震ハザードステーション; <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>

⁴ 地震情報サイト JIS; <http://j-jis.com/>

⁵ 東京電力ホールディングス; 数表でみる東京電力, http://www.tepco.co.jp/about/fact_database/index-j.html

した。

式(1)に示す、災害による電力不足率の期待値 P_s は、災害時に必要な電力需要に対して不足すると推定される電力割合であり、 P_s が0%に近いほど災害時にも需要が充足できる可能性が高く、逆に100%に近いほど災害時に需要が充足できない可能性が高いと解釈できる。 P_s の導入により、人命を扱う施設において災害リスクを金額に換算することなく、エネルギーレジリエンス性の形で定量的に評価することができるようになった。

$$P_s = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 P_{out,gas,i,j} (1 - r_{ind,i,j}) \quad (1)$$

ここで、 $P_{out,gas,i,j}$ はガス配管種別 gas の災害パターン*i*、エネルギー供給途絶被害パターン*j*におけるエネルギー供給途絶確率、 $r_{ind,i,j}$ は被害パターン*j*におけるエネルギー自立度（エネルギー供給可能率）である。 $r_{ind,i,j}$ は、年間を通しての最大電力需要（ピーク値）[kWh/h]に対する供給可能な電力量を割合で表したものであり、 $(1 - r_{ind,i,j})$ はエネルギー非自立度を示す。

目的関数が2つの場合の多目的最適化では、最適解は唯一ではなく優劣のない複数の解、すなわち、パレート最適解集合が得られる。本研究の場合、トータルコストは平常時の経済性と環境性を合わせた指標、災害による電力不足率期待値は災害時のエネルギーレジリエンス性を表す指標としてとらえることができる。

この場合、トータルコストのみを最小化しようとするれば分散型電源機器導入量は少なくなり、災害による電力不足率期待値 P_s は大きくなる。一方、災害による電力不足率の期待値 P_s のみを最小化しようとするれば、分散型電源機器導入量が多くなり、トータルコストが増える。このように、多目的最適化の結果として、トレードオフ関係が得られると考えられる。

なお、最適化計算にあたってはMATLABのglobal optimization toolboxの多目的遺伝的アルゴリズム(MOGA)を用いた。

2-3-2. 災害時の病院建物電力需要時系列データの作成

災害拠点病院における災害時のエネルギー需給シミュレーションを行うためには、災害時の需要データが必要となる。しかしながら、災害時の事業所別の電力需要データとしてまとまったものは公表されていない。さらに、災害時に特定の事業所における電力需要データが取得できていたとしても、その事業所が有する自家発電機の容量を超えないように節電を行った結果であると考えられることから、そのデータには事業者が本来望ましいと考える災害時の電力需要が反映されているとは考えにくい。

そこで、本研究では病院の災害医療ニーズにもとづいてボトムアップ式に電力需要モデルを構築することにした。以下では、まず、基本となる病院の電力需要モデルの構築手法を示した後に、平常時の需要モデルを構築し、実測データと比較して、平常時の需要モデルの妥当性を検証する。その後、平常時の需要モデルをもとに災害時の需要モデルを構築する。

関連研究として、病院における自家発電機の適切な容量推定のために、医療機器の消費電力を調査した研究が挙げられるが⁶、照明や空調を含めた病院全体の災害時の電力需要モデルを構築した研究は存在しない。そこで負荷を照明や医療機器などの用途別に分け、これらの需要を足し合わせることで、病院全体の需要モデルを構築する。

平均的な医療機関における用途別消費電力割合によれば、照明と空調を合わせると75%以

⁶ 堀英祐, 井上友理, 関野正人, 長谷見雄二, “災害時医療に係る医療機器負荷特性に関する調査研究”, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 81, No. 725, pp. 625-632(2016).

上を占めており、OA 機器とエレベータは 4%ずつを占めている。その他の項目には様々な用途が考えられるが、本研究ではその他の用途としては医療機器のみを考慮する。

以上より、ある時刻 t における需要モデル $E(t)$ [kW] は、①照明、②空調、③医療機器、④エレベータ、⑤OA 機器の 5 つの用途で構成されるものと考え、次式で表す。

$$E(t) = \sum_{k=1}^5 E_k(t) \quad (2)$$

ただし、添字の k は各用途を表し、 $k = 1$ は照明、 $k = 2$ は空調、 $k = 3$ は医療機器、 $k = 4$ はエレベータ、 $k = 5$ は OA 機器を表す。

例として、医療機器の需要モデル $E_3(t)$ [kW] について述べる。これは、リストアップした機器 1 台あたりの消費電力と稼働している機器数の積であると考え、次式で表す。

$$E_3(t) = \sum_{m=1}^{m_{med}} \alpha_{3,m}(t) W_{3,m} n_{med,m} \quad (3)$$

ただし、添字の m は医療機器の種類を表し、 $\alpha_{3,m}(t)$ [-] は機器 m の負荷率、 $W_{3,m}$ [kW] は機器 m の 1 台あたりの消費電力、 $n_{med,m}$ [-] は病院が保有している機器 m の台数を表す。例えば、病院内に機器 m が 100 台あり、時刻 t において 30 台が稼働している場合、 $\alpha_{3,m}(t) = (30/100) \times 100 = 30\%$ となる。

ここでは、堀らの行ったアンケート調査および後述するインタビュー調査を参考に、考慮する医療機器を設定した。1 台あたりの消費電力、100 床あたりの機器保有台数については、消費電力と台数は各機器のカタログ値⁷とアンケート調査をもとに決定した。なお、機器の負荷率は、個別に設定せずに、用途ごとにまとめて設定する。用途はモニタリング、治療、検査の 3 種類である。

延床面積が 20,000 m²、病床数 200 床の仮想病院を想定し、各負荷率を設定した。例として医療機器の負荷率の設定を図 3 に示す。

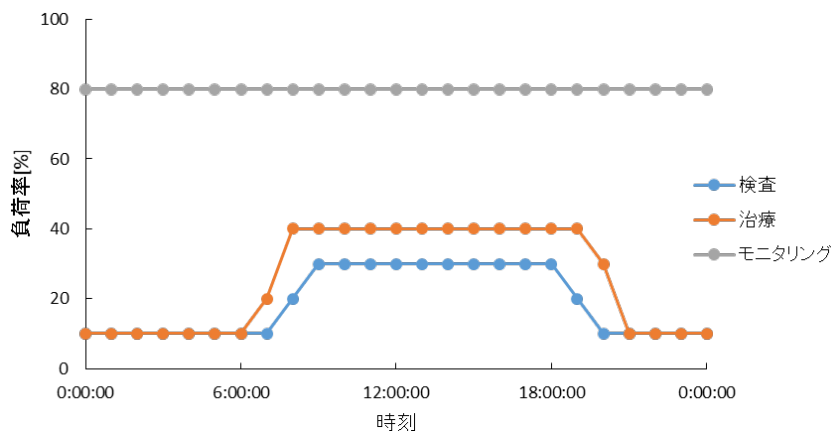


図 3 平常時の医療機器負荷率の設定。

⁷ 独立行政法人医薬品医療機器総合機構，医療機器情報検索
<http://www.pmda.go.jp/PmdaSearch/kikiSearch/>（最終アクセス日：2018 年 12 月 25 日）

次に、平常時の需要モデル⁸を基準として、北海道胆振東部地震を想定して災害時の電力需要モデルを構築した例について説明する。なお、時系列データの構築にあたっては、著者らが行った北海道内災害拠点病院でのインタビュー調査を参考にした。

インタビュー調査では、2018年9月8日における救急救命センターでの発災、停電から復電までのタイムラインをご提供いただき、搬送患者への医療行為に対応する医療機器の使用状況について聞き取りを行った。これに基づき、同日午前3時の地震発生から当該病院が復電した同日午後4時までをモデル化の対象とした。

なお、対象とした災害拠点病院の所在地では震度4と大きな震度ではなかったため、今回のインタビュー調査で得られた災害医療の情報は、地震による直接の影響で受けた外傷によって搬送された患者は発生しておらず、停電による間接的な外傷および他病院から移送されてきた患者の治療に止まっており、平常時とほぼ同様の救急医療であったことに注意が必要である。しかしながら、貴重な情報であり、タイムラインに沿った災害時需要モデルの構築に参考になるものである。

以下に、災害時需要モデルの構築手順をまとめる。

- ・ 病院内の機器の台数を想定し、負荷の種類分け（最重要負荷、重要負荷、一般負荷）を行う。
- ・ 想定する災害による被害を見積もり、来院患者数と疾患・外傷の種類を見積もる。
- ・ 負荷率を時間ごとに設定する。
- ・ 負荷率から各用途の消費電力を求め、病院全体の電力需要を計算する。

2-3-3. 自家発電機の有効性検証のための病院建物電力システムシミュレータ（電力シミュレータ）の構築とケーススタディ

図4に示す、病院の電力システムを想定して電力システムシミュレータを構築した。なお、図中のEGは非常用ディーゼル発電機、GGはガスエンジン（コージェネレーションシステムの一部）、SBは蓄電池、PVは太陽光発電システムを示す。また、C/D Controllerは充放電コントローラであり、SBの充放電とPVの出力の制御を行う。なお、通常、病院では手術室等の最重要負荷に対しては、EGが始動するまでの電力を供給するためのUPSが設置されているが、本研究では省略した。以降では、「災害時」は「災害によって系統電力が途絶した時」を、「負荷」は「電力需要」を意味するものとする。

⁸ 一般社団法人日本医療福祉設備協会，“医療福祉施設におけるエネルギー使用調査3年間の総括報告書”（2015）。

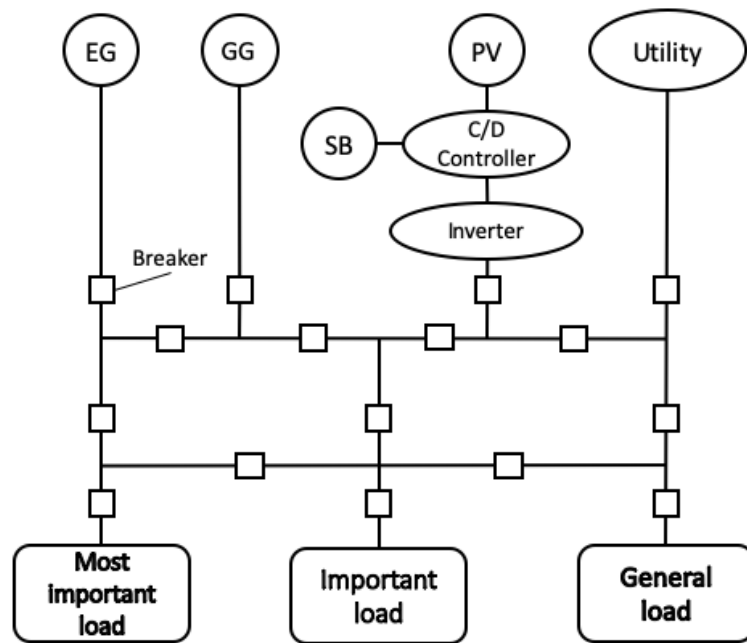


図 4 想定する病院の電力システム.

なお、著者らのグループが開発した最適化ツールにおいて、蓄電池を最近主流になりつつあるリチウムイオン電池に変更して計算したところ、機器構成に含まれる SB の容量がほぼゼロとなった。これは容量あたりの価格が非常に高価であることが理由である。しかしながら、災害時の系統電力途絶時に PV の出力変動を抑制するためには SB は不可欠である。そこで、SB の容量については後述する方法でシミュレーションによって求められる周波数変動量の結果から必要な量を算定することにする。

以下に、平常時と災害時の電力需給について説明する。平常時には、系統電力、GG、PV、SB で需要をまかなっているが、災害時には EG が稼働する。負荷は、最重要負荷、重要負荷、一般負荷の 3 種類に分類することにして、平常時にはすべての負荷が系統電源へと接続されているが、災害時には必要に応じて遮断器を作動させ、重要度の高い負荷へ優先的に電力供給が行われる。平常時には EG は解列されており、全ての負荷に GG、PV、系統電力から電力が供給されるが、このときの交流周波数は系統の周波数と一致している。また、PV の出力変動も系統電力により抑制することができるため、SB を介すことなくインバータへ送られる。一方、災害時には系統電力からの電力供給が途絶した信号を受けて、EG が運転を開始する。EG は単独運転時をする場合と GG との並列運転をする場合が考えられる。並列運転の場合は、EG と GG の 2 台以上のエンジン発電機を同期させる必要がある。

図 5 に構築した電力システムシミュレータの概要図を示す。この電力シミュレータによって系統電力途絶時の運用シミュレーションが可能で、運用時の周波数変動を再現することができる。

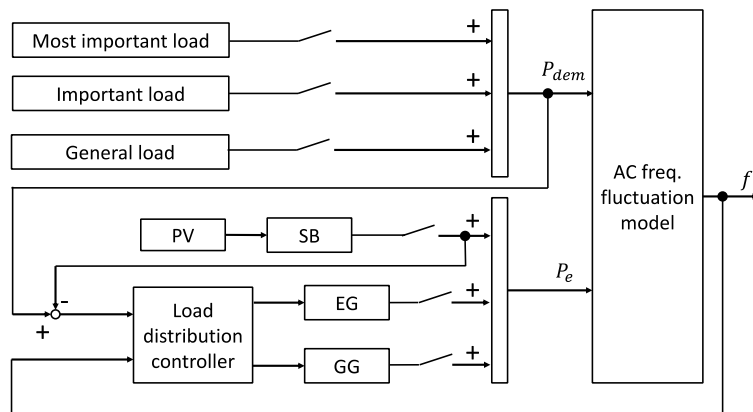


図 5 電力システムシミュレータの概略図.

2-3-4. 電力シミュレータを活用した実用的な最適化の検討

本研究プロジェクトでは、ここまで「最適化ツール」および「電力シミュレータ」の2つのツールを構築してきた。しかしながら、これらの2つのツールは別々に構築したものであり、以下のような課題が残されていた。

まず、最適化ツールは、平常時に想定される電力需要に対して、分散型電源機器の導入によりどの程度の電力供給が得られるかを、電力不足率期待値という指標を用いて表現していた。しかしながら、最適化ツールによって得られた機器構成で、時々刻々と変化する災害時の電力需要に対して電力供給ができるかどうかは検討できていない。

一方、電力シミュレータは周波数変動を考慮して、最適化ツールに基づく機器構成によって災害時の電力需要に対して電力供給ができるかを検討するためのシミュレーションツールである。既存の最適化ツールだけでは災害時に電力供給ができる最適解を求めることはできない。そのため、発電量だけではなく、瞬間的な需給のアンバランスによって生じる周波数変動も考慮して、災害時に電力供給ができる最適な分散型電源機器構成を提供できるツールへと改良する必要がある。

そこで、エネルギーレジリエンスの指標を「すべての時刻において周波数変動を許容値以内に抑えつつ発電機の出力が定格値以下で需要を満たすこと」と定義し、これを新たに「需要充足性」と呼ぶことにする。災害時の需要充足性を満たす最適な分散型電源機器導入量を決定することができる多目的最適化ツールを構築することを本研究の目的とする。そのために、電力シミュレータを用いて最適化ツールで得られた解の需要充足性を評価し、その結果を最適化ツールに反映させることで、需要充足性を満たす最適解を出力できるように最適化ツールを改良する。

提案する分散型電源機器導入量決定手法を図 6 に示す。本研究の対象となるシステムは PV による出力変動をガスエンジン (GG)、非常用ディーゼル発電機 (EG)、蓄電池 (SB) で抑制し、かつ災害時の電力需要を満たすことを想定したエネルギーシステムである。なお、多目的最適化で毎世代得られるすべての解に対して需要充足性を評価すると、膨大な計算時間を要するため、あらかじめ複数の条件で行った電力シミュレータによる結果から、最小周波数、最大周波数および最低限必要な蓄電池の容量に関する回帰式を求め、需要充足条件として最適化ツールに追加する。

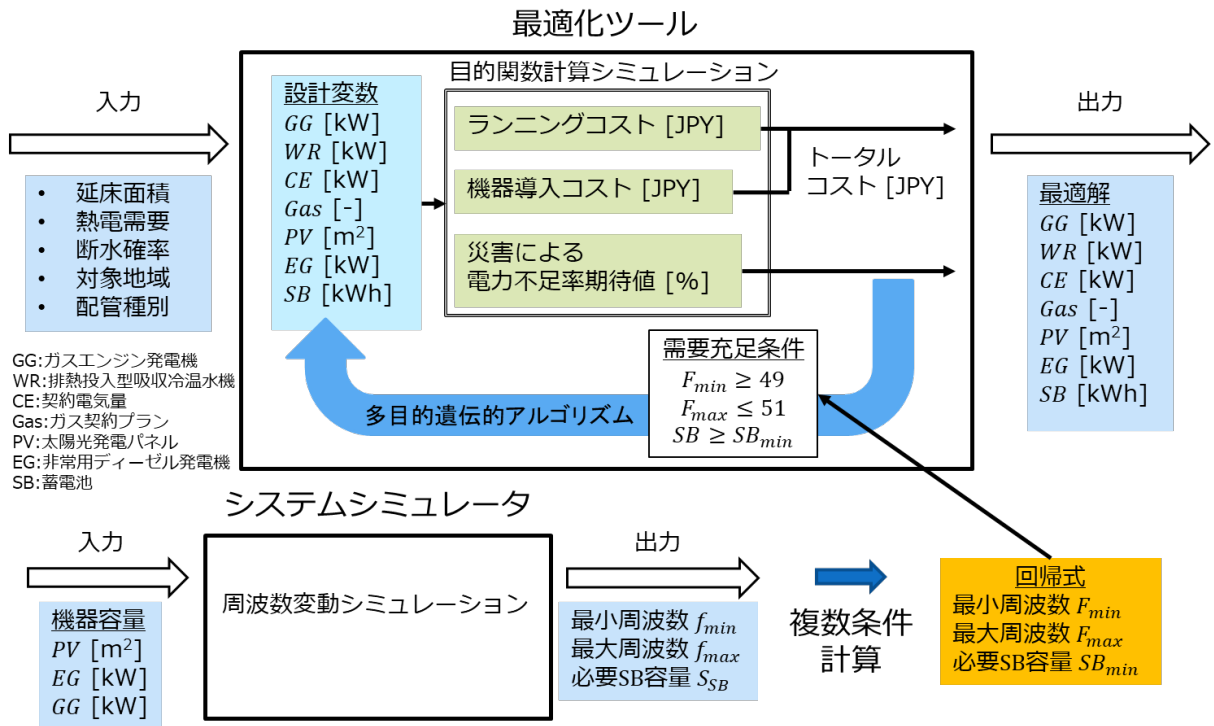


図 6 シミュレータを活用した実用的な最適化の制約条件（需要充足条件）の付加

なお、最適化ツールに需要充足条件を追加するために電力シミュレータの改良を行った。これまでに構築したシミュレータでは、PV の出力変動をまず蓄電池で抑制し、その後エンジンで抑制する制御手法がとられていた（図 5）が、エンジンは蓄電池と比較して出力応答性が悪いため、激しい短周期の変動に対して十分に変動を抑制できない可能性があった。従来のシミュレータでは、変動抑制に必要な蓄電池の容量は、エンジンの容量に関係なく、PV の容量と移動平均時間 T_m 、フィードバックゲイン K により決定される。しかし、改めて調査したところ、実際の太陽光発電システムと蓄電池を導入しているエネルギーシステムでは、蓄電池とエンジンは独立しておらず、蓄電池とエンジンからなる連系システムで変動抑制を行っていることが多い。そのため需要を PV、エンジンの順で優先的に賄い、不足分を蓄電池で賄うという制御方法に変更した。この変更により蓄電池コストの低減効果が期待できる。

改良後の電力シミュレータの概要を図 7 に示す。まず需要を PV で賄い、その後不足分をエンジンで賄う。さらにエンジンでは追従できない短周期の変動については蓄電池で抑制する。電力シミュレータの改良により、エンジンおよび蓄電池で周波数変動を抑制することが可能となった。

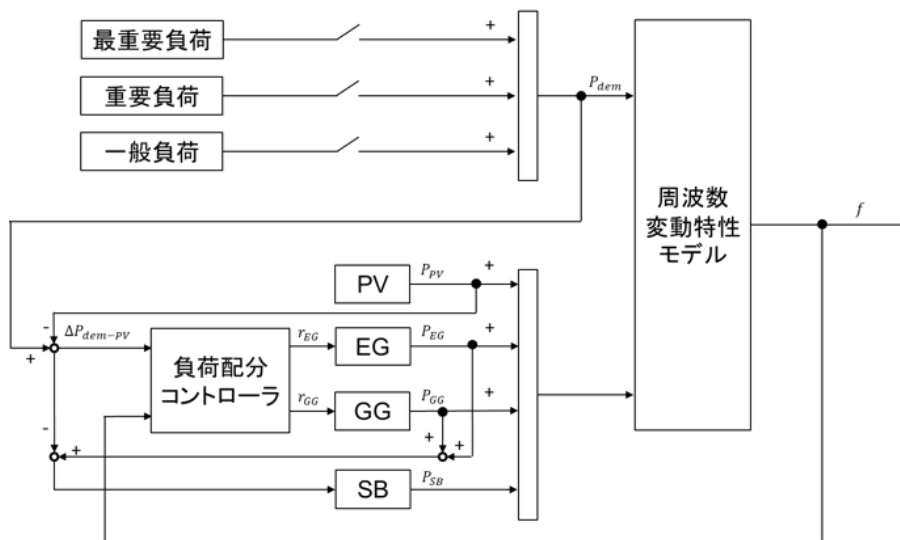


図 7 改良後の病院建物の電力システムシミュレータ概要図

2-3-5. 災害時の医療機関の業務継続のための政策提言

2-3-5-1. 既存の省エネ機器導入補助金制度に関する調査

本研究の目的と照らし合わせ、対象事業者を医療機関に限定せず、分散型電源機器導入に関する補助金事業に焦点を当てた調査を行った。調査対象は、直接補助金（ある活動に要する費用の全額ないし一部を財政から直接提供するもの）のみとし、なかでも、分散型電源機器（コージェネまたは再生可能エネルギー）導入に関する事業者向けの補助金事業とした。

調査方法は、インターネット上の公開資料に基づき、メタデータを抽出し、まとめた。集計期間は平成 10 年以降の補助金事業とした。なお、本調査で対象とする省庁は、経済産業省を中心に、国土交通省、環境省である。調査項目を表 1 にまとめる。

表 1 省エネルギー機器導入に関する補助金制度調査項目。

| |
|--|
| 予算元省庁, 事業主体, 名称, 対象事業者, 事業概要, 期間, 予算規模, 事業概要, 補助の内容, 補助金で購入出来るエネルギー機器の種類, その他参考情報 |
|--|

2-3-5-2. 実務者インタビュー調査

災害医療政策および自家発電機に関して実務者へのインタビュー調査を行った。表 2 にインタビュー調査実施リストを示す。

表 2 災害医療や自家発電機に関するインタビュー調査実施リスト

| 日時 | 目的 | 調査対象 |
|------------|-----------------------------|-------------|
| 2018/5/18 | 災害医療政策に関する調査 | 政策実務者（地方行政） |
| 2018/8/16 | 災害医療政策に関する調査 | 政策実務者（中央官庁） |
| 2018/8/20 | コージェネレーションシステム，非常用発電機に関する調査 | 自家発電機メーカー |
| 2018/9/12 | コージェネレーションシステム，非常用発電機に関する調査 | 自家発電機メーカー |
| 2018/9/13 | コージェネレーションシステム，非常用発電機に関する調査 | 自家発電機メーカー |
| 2018/10/11 | 病院の設備設計計画手法に関する調査 | 設計会社 |
| 2019/10/18 | UPS に関する聞き取り調査 | UPS 製造メーカー |
| 2019/10/21 | レジリエンス機能に注目して設計された施設調査 | クリーンセンター |
| 2019/11/6 | レジリエンス機能に注目して設計された施設調査 | クリーンセンター |
| 2020/1/20 | 災害拠点病院へのインタビュー調査 | 民間災害拠点病院 |

厚生労働省において災害医療を担当されている方を対象に聞き取り調査を行った。本調査は、同プログラム平成30年度採択「病床の減少と都市空間の再編による健康イノベーション」（研究代表者：津田塾大学・伊藤由希子教授）と合同で実施したものである。表 3に実施した調査のリストを示す。

表 3 PJ 間連携インタビュー調査実施リスト

| 実施日 | 目的 | 調査対象 |
|-----------|-------------------------|------------------------|
| 2019/9/20 | 災害医療政策に関する調査 | 政策実務者（中央官庁） |
| 2019/9/24 | 病院建築・設備と BCP に関する調査 | 病院建築・設備と BCP を専門とする研究者 |
| 2019/12/3 | 病院 BCP 策定コンサルティングに関する調査 | 病院 BCP コンサルティング事業者 |
| 2021/4/16 | 病院の事業継続の考え方に関する意見交換 | 災害拠点病院の減災担当者 |
| 2021/10/3 | 病院の事業継続の考え方に関する意見交換 | 災害拠点病院の減災担当者 |

2-3-5-3. 病院の非常用発電機の便益計測に関する検討

CVM は、公共事業による市場価格以外の効果（非市場財の効果）を計測するために用い

られる手法のひとつである^{9,10,11}。非市場財的効果は、例えば、自然環境の改善、快適性、安心感の向上などである。これは、アンケート調査によって人々に支払意思額（WTP）等を尋ね、非市場財的効果の価値を計測するものである。

(1) 対象の絞り込み

本研究プロジェクトでは、平常時にも活用できる省エネルギー機器であるコージェネレーションシステムや太陽光発電システム等も取り扱っているが、複雑化を避けるために便益計測の対象から外すことにして、便益を計測する対象を、非常用発電機のみとした。

(2) WTPの提示方法

WTPの提示方法は、いくつか選択肢があるが、回答にあたって複雑化を避けるため、支払カード方式¹²とした。これは、複数の支払意思額の選択肢が調査表に示され、この中から回答者がひとつを選択する方式である。

本調査では、以下の5つの選択肢を用意した。

- ① 基準額の-20%未満
- ② 基準額の-10%
- ③ 基準額
- ④ 基準額の+10%
- ⑤ 基準額の+20%以上

(3) WTP基準額の設定

一般的に災害拠点病院は、地域の比較的規模の大きな三次救急医療機関等が担うことが多い。しかし、東京都における災害拠点病院の指定状況は、他の都道府県と異なる。東京都では、病院の規模によらず高密度な人口をカバーできるように各地域にある中規模程度の病院も災害拠点病院に指定されている。さらに、災害拠点病院を援助する目的で災害拠点連携病院という独自制度もあり、特異である。

また、病院の特色、経営方針や所在地等によっても、医療活動に必要な電力量や、災害時にこれをカバーするために必要な非常用発電機の容量は異なる。すなわち、病院に既に導入されている非常用発電機、自家発電機の容量は異なる。

以上のことから、WTPを一定の値とした場合、それぞれの病院の実情と大きく異なることからばらつきが生じる、あるいは回答が極めて困難になると考えた。

そこで、本研究では各病院の電力使用量の実績値からWTPの基準額を求める式を考案した。調査の際、入力されたデータからWTP基準値の計算をすることができるWebアンケートシステムを用いることによって各病院の実態に即した選択肢を提示することができる。

表4にWTP基準額計算に用いたパラメータを、表5にWTP基準額の計算式を示す。

⁹ アンソニー・E・ボードマン、デヴィット・H・グリーンバーグ、アイダン・R・ヴァイニング、デヴィット・L・ワイマー、「費用・便益分析 公共プロジェクトの評価手法の理論と実践」、2004年、ピアソンエデュケーション、pp.35-66

¹⁰ 国土交通省、「仮想的市場評価法（CVM）適用の指針」、平成21年7月

¹¹ 池内淳、公共図書館における費用便益分析、日本図書館情報学会誌、45巻、3号、1999年

¹² Robert Cameron Mitchell, Richard T. Carson, 「CVMによる環境質の経済評価 非市場財の価値計測」、2001年、山海堂、pp.65-76

表 4 WTP 基準額計算に用いるパラメータ

| パラメータ | 記号 | 単位 | 値 |
|-----------------------------|----------------------|--------|-----------------------|
| 平日日数 | N_d | 日 | 25 ^(注) |
| 休日日数 | N_e | 日 | 6 |
| 夏季平日 1 日のうちピーク使用電力が占める割合 | $r_{d,peak}$ | % | 5.67 ¹³ |
| 最も電気代が高い月の使用電力量 | E_{mon} | kWh | アンケート回答より取得 |
| 非常用ディーゼル発電機容量あたり導入コスト | $c_{EG,initial}$ | JPY/kW | 165,750 ¹⁴ |
| 非常用ディーゼル発電機容量あたり年間メンテナンスコスト | $c_{EG,maintenance}$ | JPY/kW | 829 ¹¹ |
| 非常用ディーゼル発電機 15 年間トータルコスト | $c_{EG,15yr}$ | JPY/kW | 178,185 |
| 最重要負荷割合 | r_1 | % | 50 ¹⁵ |
| 重要負荷割合 | r_2 | % | 10 ¹⁵ |
| 一般負荷割合 | r_3 | % | 40 ¹⁵ |

(注) 正確には月によってひと月の日数は異なるが、ここではひと月 31 日と仮定して計算を行った。

¹³ 一般社団法人日本医療福祉設備協会，医療福祉施設におけるエネルギー使用調査 3 年間の総括報告書，2015 年

¹⁴ 上道茜，八木正彰，山崎由大，金子成彦，経済性・環境性・レジリエンス性を考慮した分散型電源機器導入量決定のための多目的最適化ツールの開発，エネルギー・資源，39 巻，6 号，2018 年

¹⁵ 上道茜，及川亮，山崎由大，金子成彦，災害拠点病院を対象とした災害時事業継続性検討のためのエネルギー需給シミュレーション，第 38 回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集，2019 年

表 5 WTP 基準額の計算式

| 項目 | 記号 | 単位 | 数式 |
|--------------------------------|-------------------|---------------------|---|
| 平日 1 日の使用電力量 | E_d | kWh | $\frac{E_{mon}}{N_d + 0.5N_e}$ |
| 1 日のピーク使用電力 | $P_{d,peak}$ | kW | $\frac{E_d r_{peak}}{100}$ |
| 最重要負荷ベースの非常用発電機容量 | $DV_{EG,1}$ | kW | $\frac{P_{d,peak} r_1}{100}$ |
| 最重要負荷ベースの非常用発電機 15 年間コスト | $C_{EG,15yr,1}$ | 10 ⁴ JPY | $DV_{EG,1} C_{EG,15yr}$ |
| 重要負荷ベースの非常用発電機容量 | $DV_{EG,2}$ | kW | $\frac{P_{d,peak} r_2}{100}$ |
| 重要負荷ベースの非常用発電機 15 年間コスト | $C_{EG,15yr,2}$ | 10 ⁴ JPY | $DV_{EG,2} C_{EG,15yr}$ |
| 一般負荷ベースの非常用発電機容量 | $DV_{EG,3}$ | kW | $\frac{P_{d,peak} r_3}{100}$ |
| 一般負荷ベースの非常用発電機 15 年間コスト | $C_{EG,15yr,3}$ | 10 ⁴ JPY | $DV_{EG,3} C_{EG,15yr}$ |
| 全負荷（最重要負荷＋重要負荷＋一般負荷）の 15 年間コスト | $C_{EG,15yr,all}$ | 10 ⁴ JPY | $C_{EG,15yr,1} + C_{EG,15yr,2} + C_{EG,15yr,3}$ |
| 全負荷（重要負荷＋重要負荷＋一般負荷）の 1 年間コスト | $C_{EG,1yr,all}$ | 10 ⁴ JPY | $\frac{C_{EG,15yr,all}}{15}$ |
| 最重要負荷＋重要負荷の 15 年間コスト | $C_{EG,15yr,1+2}$ | 10 ⁴ JPY | $C_{EG,15yr,1} + C_{EG,15yr,2}$ |
| 最重要負荷＋重要負荷の 1 年間コスト | $C_{EG,1yr,1+2}$ | 10 ⁴ JPY | $\frac{C_{EG,15yr,1+2}}{15}$ |
| 最重要負荷の 1 年間コスト | $C_{EG,1yr,1}$ | 10 ⁴ JPY | $\frac{C_{EG,15yr,1}}{15}$ |

表 5 に示すように、非常用発電機の耐用年数である 15 年間の導入コストおよびランニングコストを均等割し、1 年あたりの値を基準額とした。これは、非常用発電機の使用頻度が年間でもたかだか数回程度にしかならないことと、WTP の金額が大きすぎると回答が難しくなることを避けるためである。

災害には様々な種類があり、地域性もあることから、各病院の防災計画が異なることが予想される。そこで、WTP を尋ねる際に災害シチュエーションと非常用発電機からの電力供給のパターンを提示することで、回答者が仮定の状況について検討し易くなるようにシナリオを検討した。なお、非常用発電機からの電力供給のパターンは、これまでに本研究プロジェクトで構築した災害時の病院電力需要モデルから設定した。

表 6 に提示した支払意思額に関する質問の一例を示す。

表 6 非常用発電機への支払意思額に関する質問

【想定シナリオ】

災害によって停電が発生し、電力会社からの電力が供給されなくなりました。貴院に設置されている非常用発電機によって電力をある割合で供給することができます。このとき、供給できる電力は以下の3種類に分類できるものとします。

- a. 最重要負荷（全ての医療機器が使える。ただし、救急外来および入院患者の生活エリアのみ空調稼働。外来部門は受付停止。OA機器の利用は救急外来に限定される。照明は1/3に間引かれている）
- b. 重要負荷（外来部門を一部再開。それに応じてOA機器が一部利用できる。ただし、救急外来および入院患者の生活エリアのみ空調稼働。）
- c. 一般負荷（上記の最重要負荷および重要負荷以外の負荷）

非常用発電機の耐用年数15年間として、1年間に支払うものとしてお考えください。金額には導入コスト、メンテナンスコストを含み、15年間で均等割としているものとします。

Q1: 最重要負荷（下図にイメージを示す）に電力供給することができる非常用発電機を整備するために支払う金額として、あなたの支払意思額に近いものはどれですか？

最重要負荷のみに電力供給がある場合の病院の稼働イメージ



| | ICU、救急外来 | 入院病室 | 一般外来 | その他(廊下等) |
|-------|---------------|---------------|-------|------------|
| 稼働状況 | 100%稼働、一部利用制限 | 100%稼働、一部利用制限 | 停止 | 照明1/3で利用 |
| 医療機器 | 100%利用可 | 100%利用可 | 利用しない | — |
| 照明 | 100%利用可 | 100%利用可 | 利用しない | 1/3に間引いて利用 |
| 空調 | 100%利用可 | 100%利用可 | 利用しない | 利用しない |
| OA機器 | 50%利用可能 | 50%利用可能 | 利用しない | 利用しない |
| エレベータ | 全病棟のうち20%が利用可 | | | |

選択肢は最重要負荷の1年間コストを基準値として以下の5つを表示した。

1. 基準値80%以下
2. 基準値90%
3. 基準値100%
4. 基準値110%
5. 基準値120%以上

3. 研究開発結果・成果

3-1. プロジェクト全体としての成果

本研究プロジェクトの最終的な成果を以下にまとめる。

- (1) 最適化計算によるエネルギー機器導入量の多目的最適化ツール（最適化ツール）を開発することができた。
- (2) 上記によって得られた最適機器構成の有効性検証のための病院建物電力システムシミュレータ（電力シミュレータ）を開発することができた。
- (3) 本研究プロジェクトで開発する自家発電機導入計画立案サポートツールをベースに新しい補助金施策を提案することは、部分的に達成することができた。

また、上記に付随して次の成果を挙げることができた。

- (4) 災害時の病院建物需要時系列データ推定手法を提案し、北海道胆振東部地震によるブラックアウト下での電力需要データを推定した。
- (5) 構築した電力シミュレータを活用し、実用的な自家発電機器構成を最適化ツールで求めるための手法を構築した。

3-2. 実施項目ごとの結果・成果の詳細

3-2-1. 病院建物への自家発電機器導入量決定のための多目的最適化ツール（最適化ツール）の構築とケーススタディ

ガス供給配管種別および延床面積を変化させたケーススタディを行った。図 8 に延床面積 10,000 m²、ガス配管種別を低圧配管とした場合の結果を示す。横軸はトータルコスト、縦軸は災害による電力不足率期待値である。双曲線のような形状をした **Optimal sol.** は最適解集合であり、理想的なパレトフロンティアを形成することが確認できた。

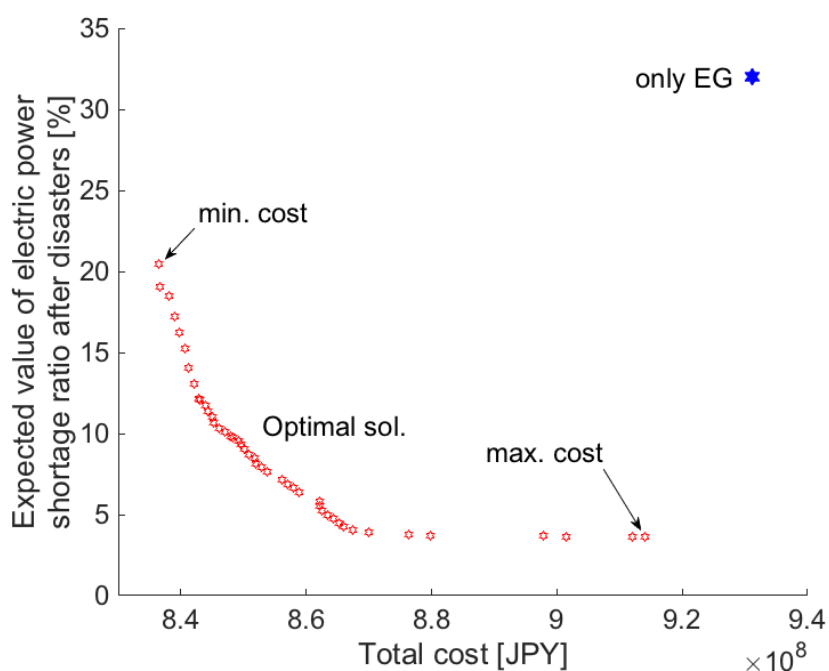


図 8 延床面積 10,000 m²、低圧配管の場合に得られた解。Only EG は非常用発電機のみ

比較のために、非常用発電機のみ導入した場合についての結果を★で示す。非常用発電機の容量は、厚生労働省の通達を参考に電力需要のピーク値の60%とした。具体的には、「天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル2008」¹⁶に掲載された夏季の病院における電力需要データのピークより207.6kWとした。このとき P_g は32.0%と求められる。この非常用発電機は、広く用いられているディーゼル発電機として機器導入コストおよびメンテナンスコストを算出すると評価期間でのトータルコストは 9.31×10^8 JPYとなる。

これに対して、本ツールより求められた最適解群は P_g がほぼ全て20%を下回り、さらにトータルコストも非常用発電機のみ導入した場合よりも低減できている。つまり、得られた最適解群は、平常時にも利用できる分散型電源機器を導入することで、トータルコストを低減しながらも災害によるエネルギー供給途絶によって不足する電力が補われる見込があることを示している。

また、図8に示した非常用発電機のみ導入した場合と、得られた最適解のうちトータルコスト最小となる解および最大となる解のトータルコストの内訳を図9に示す。非常用発電機のみを導入した解では、機器導入コストは分散型電源機器を対象とした最適解の結果を下回るが、ランニングコストが他の2つの最適化の結果を上回っているために、トータルコストの値が大きくなる。

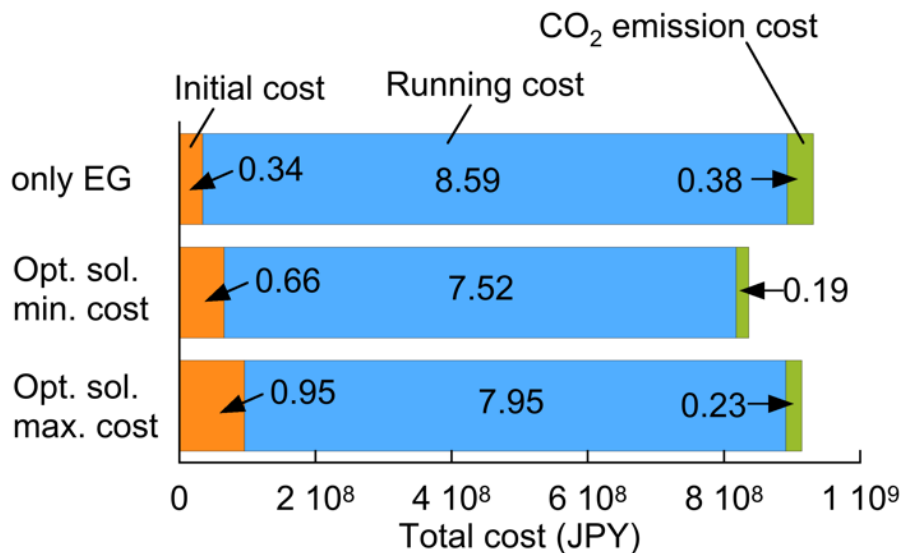


図9 トータルコストの内訳. 非常用発電機のみ結果と延床面積10,000 m², 低圧配管の場合を比較

最適化計算の結果、分散型電源機器の導入量の特徴として太陽光発電パネルの導入量が大きく、設計変数（太陽光パネル面積）探索範囲の上限値付近になることがわかった。この上限値は病院の延床面積から屋上面積を推定した値を用いているため、太陽光発電パネルを設置できる余剰土地のある病院ではさらに最適導入量は大きくなる可能性がある。

このように、多目的最適化を活用して分散型電源機器導入量を検討するためのフレームワークを示すことができた。

¹⁶ 日本エネルギー学会編，“天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル2008”，日本工業出版(2008)。

3-2-2. 災害時の病院建物電力需要時系列データの作成

図 10 に本研究で対象とした災害拠点病院所在地での北海道胆振東部地震下で想定される電力需要モデルを示す。なお、ここでは延床面積 10,000 m² あたりの値で示す。

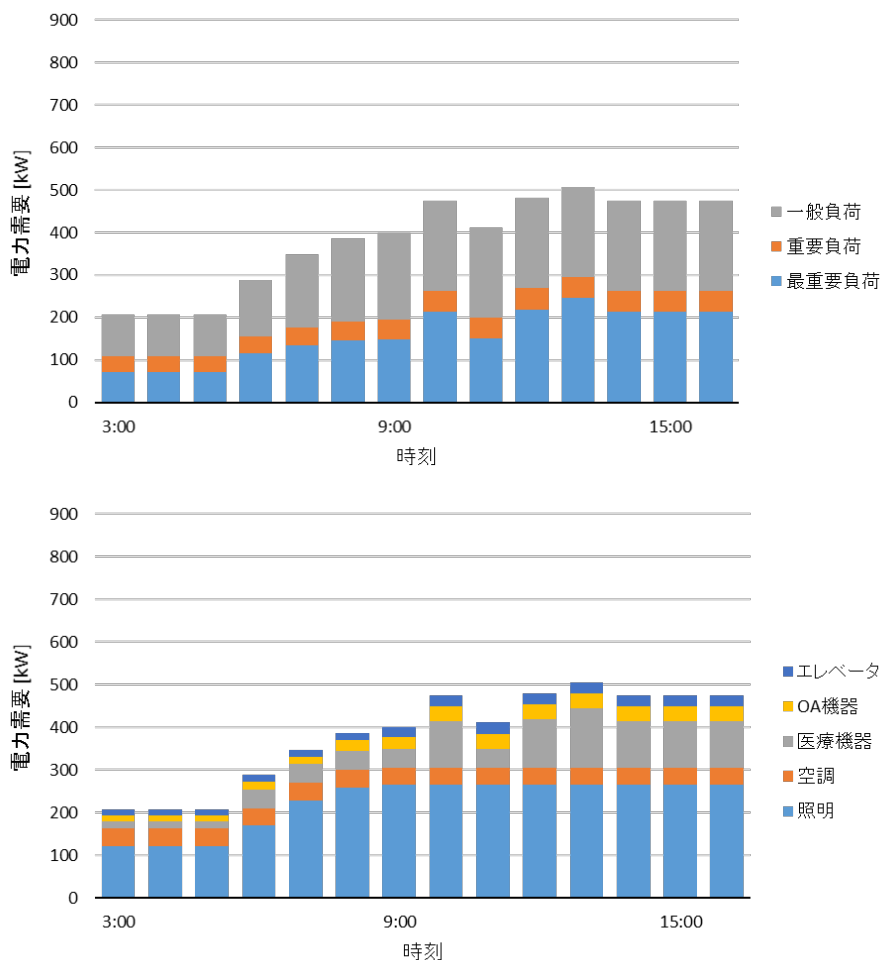


図 10 北海道胆振東部地震下で想定される災害時の電力需要モデル。
上図: 負荷別, 下図: 用途別.

上図より、電力需要に占める割合で、重要負荷が最重要負荷・一般負荷と比較すると少ないことがわかる。これは、重要負荷は空調がメインであり、中間季であったため少なかったと考えられる。また、重要負荷には外来部門の照明が割り当てられているが、今回は外来を停止していると仮定しているため、外来部門の照明負荷がなかったことも理由として挙げられる。

次に、下図より、昼間は照明が最も大きな割合を占めており、その次に医療機器が大きいことがわかる。また、病院全体の需要モデルは 10 時、12 時と比較して 11 時に 70 kW 程度小さくなるが、これは医療機器が影響したものである。

3-2-3. 自家発電機の有効性検証のための病院建物電力システムシミュレータの構築とケーススタディ

延床面積が 20,000 m²、病床数 200 床の仮想病院を対象として周波数変動に関するケース

スタディを行った。機器容量と変動抑制パラメータを表 7 に示す、ケース(A)から(F)までの 6 通りの条件でケーススタディを行う。ケース(A), (C), (E), (F)はガス供給が途絶した場合を想定しており、GG は考慮していない。また、PV の容量は太陽光パネルの面積で表している。なお、SB の容量はシミュレーション結果から必要な容量を求める。また、日射データは 2018 年の 9 月 8 日に東京で測定したデータを用いる。

表 7 ケーススタディの各条件.

| Case | 分散型電源機器の容量 | | | 変動抑制パラメータ | |
|------|------------|---------|----------------------|-----------|--------------|
| | EG [kW] | GG [kW] | PV [m ²] | T_m [s] | K [kW/kWh] |
| (A) | 280 | 0 | 300 | 60 | 5 |
| (B) | 280 | 350 | 300 | 60 | 5 |
| (C) | 500 | 0 | 300 | 60 | 5 |
| (D) | 500 | 350 | 300 | 60 | 5 |
| (E) | 280 | 0 | 300 | 300 | 5 |
| (F) | 280 | 0 | 300 | 300 | 50 |

機器容量が周波数変動に及ぼす影響

分散型電源機器の容量が周波数変動に及ぼす影響を調査するため、ケース(A)からケース(D)について周波数変動のシミュレーションを行った。その結果から、GG がある場合（ケース(B)とケース(D)）は周波数の目標値からの偏差が小さく、GG がいない場合（ケース(A)とケース(C)）は目標値からの偏差が大きい。これは GG の慣性モーメントが EG と比較して大きいからであると考えられる。容量が 350 kW の GG の慣性モーメントは、容量 280 kW および容量 500 kW の EG の慣性モーメントより大きい。これは、EG は起動時間を短くするため慣性モーメントが小さく設計されているためと考えられる。また、ケース(A)は他の場合と比較して周波数の目標値の変化量が大きいことがわかる。その理由は、ケース(A)は他の場合と比較して発電機の容量が小さいため負荷率が変動しやすく、そのため、ドロップ特性から決定される目標周波数の変動量が大きくなったと考えられる。

変動量が大きかった 12 時～15 時までの範囲について図 11 に示す。周波数の目標値は発電機の出力が定格値に近いほど 100%に近くなり、出力が 0 に近ければ 103%付近になる。

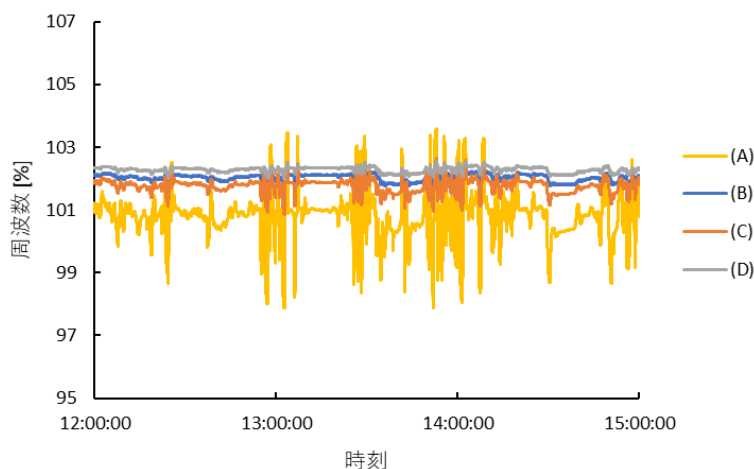


図 11 ケース(A)からケース(D)の 12 時から 15 時までの周波数変動シミュレーション結果.

蓄電池の必要最低限容量の推定

本研究では、SBの充電量の初期値に対する変化量から、必要最低限の蓄電池容量を見積もる。すなわち、初期値に対するシミュレーション時系列データにおける充電量の最大値と最小値の差を蓄電池容量とする。

移動平均時間 T_m とフィードバックゲイン K が必要蓄電池量へ及ぼす影響を調査するため、ケース(A)、ケース(E)、ケース(F)それぞれの充電量の変化を図12に示す。なお、図の縦軸は充電量の初期値に対する変化量であり、12時から15時までの結果を重ねて示したものである。なお、充電量の変化はEGとGGの容量に関係なく、PVの容量が一定であれば T_m と K により決定されるため、ケース(B)からケース(D)までの充電量の変化もケース(A)と同様の結果となる。必要な蓄電池容量を見積もると、ケース(A)では1.6 kWh、ケース(E)は5.5 kWh、ケース(F)では4.1 kWhとなった。

このことから、ケース(A)とケース(E)の結果を比較すると、移動平均時間 T_m を大きく設定したケース(E)の方が充電量の変化が大きく、必要な蓄電池の容量が大きいことがわかる。また、ケース(E)とケース(F)の結果を比較すると、フィードバックゲイン K を大きく設定したケース(F)の方が充電量の変化が小さく、必要な蓄電池の容量が小さいことがわかる。

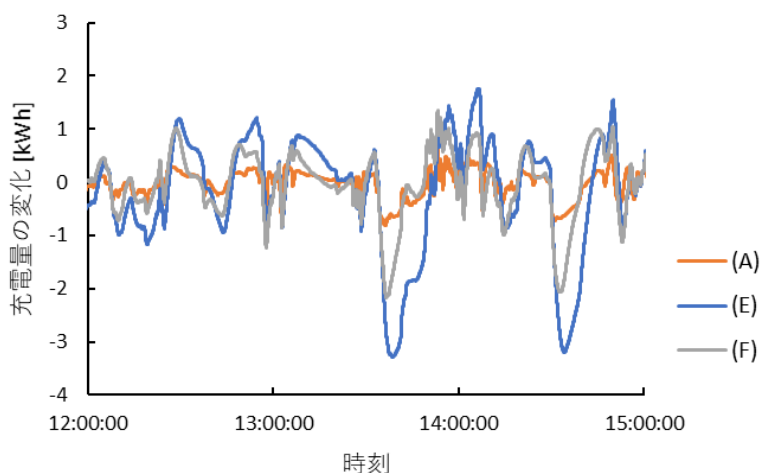


図12 ケース(A)、ケース(E)、ケース(F)の12時から15時までの充電量の変化。

このように、SBに与えるPV変動抑制を目的としたパラメータに依存して、本シミュレータを用いた結果から算出される周波数変動量および最低限の蓄電池容量が変化する。予想された周波数の変動量と必要な蓄電池容量の間にあるトレードオフ関係を本シミュレータは表現することに成功している。

構築した電力シミュレータを用いたエネルギーレジリエンス性の評価

構築した電力システムシミュレータによる算定結果から、ここでは、災害時の電力需要に対する「需要充足性」をレジリエンス性の評価指標として提案する。「需要充足性」とは、設定した機器の容量の範囲内、災害時の電力需要を充足することができるかどうかを評価する指標である。すなわち、発電機の時系列出力のシミュレーション結果を用いて、いずれの時刻においても発電機の出力が許容値の範囲内であれば「需要充足性がある」、少しの間でも許容値を超えてしまった場合は「需要充足性がない」と評価する。

災害時需要モデルと電力シミュレータを用いて発電機の出力をシミュレーションし、この指標を用いることで、災害時の電力需要に対して電力を供給できるかできないかという判断をすることができる。さらに、複数の天候パターンでのシミュレーションを行うことで、天候ごとの電力供給の可否の評価も可能となる。以下では、構築した北海道胆振東部地震を想

定した需要モデルを用いてシミュレーションを行い、発電機の出力を算定する。

まず、晴れの日の日射データを用いた場合の EG の出力を図 13 に示す。グラフの縦軸は、EG の定格値に対する出力の割合を示している。また、図中の赤い点線は許容値（定格値）のラインである。なお、ケース(B)とケース(D)の GG の定格値に対する出力は負荷配分コントローラによって EG と等しくなるように制御され、EG とほぼ同じ出力になるため示していない。

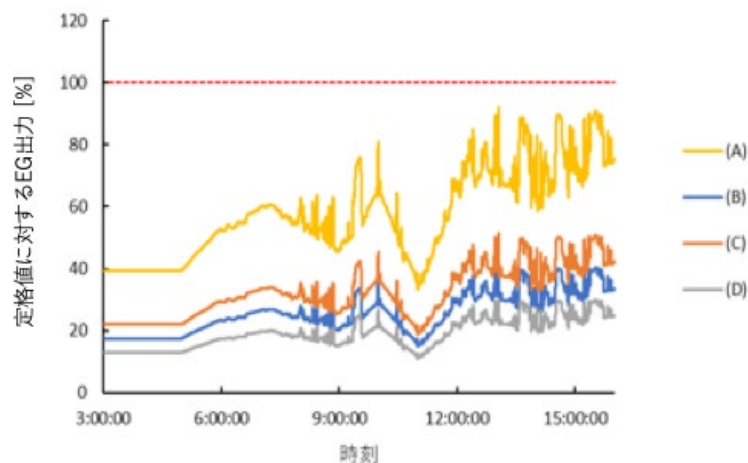


図 13 災害時需要モデルに対する晴れの日の EG 出力。

次に、雨の日の日射データを用いた場合の EG の出力を図 14 に示す。図より、EG の出力は定格値の範囲内である。したがって、ケース(A)から(D)までのいずれの機器容量でも需要充足性があると評価する。しかしながら、ケース(A)の EG 出力は定格値をオーバーしていないものの、最大値が 99.7%と定格値にかなり近い値である。もし雨の日にケース(A)の容量の発電機で電力を供給した場合、需要モデルで考慮していない負荷の変動などの影響で定格値をオーバーしてしまう恐れがある。したがって、機器導入量を検討する際には、ケース(B)よりも若干大きな容量の機器を導入することが望ましいといえる。

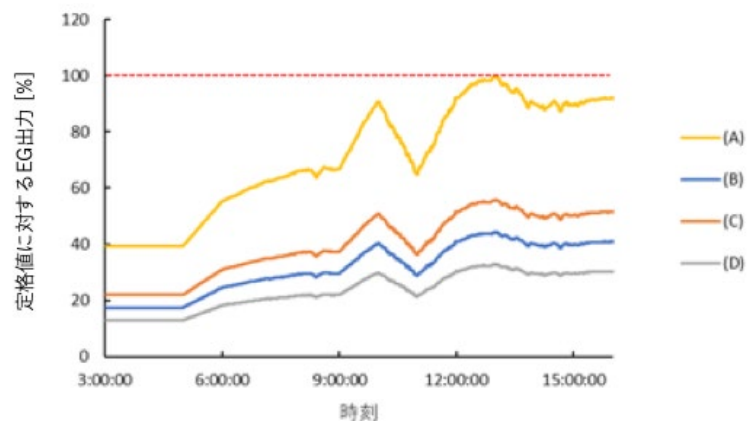


図 14 災害時需要モデルに対する雨の日の EG 出力。

3-2-4. 電力シミュレータを活用した実用的な最適化の検討

導出した需要充足条件を最適化ツールに追加し、仮想病院に対してケーススタディを行った。さらに本研究で追加した需要充足条件が最適解に与える影響を調べるため、需要充足条件がない従来の最適化ツールの最適化結果との比較を行い、一般的な知見を得る。

最適化ツールを用いてケーススタディを行うには、想定する病院の延床面積、所在地、ガス配管種別を設定する必要がある。本研究で想定する病院は、延床面積 20,000 m²、病床数 200 床、所在地は東京都文京区とする。ガス配管種別は、低圧ガス配管および中圧ガス配管の 2 種類とした。また、需要充足条件がない従来の最適化ツールと結果の比較を行う。したがって、本研究で扱うケースは表 8 に示す 4 つである。

表 8 最適化ツールで計算する 4 つのケース

| ケース | ガス配管種別 | 需要充足条件 |
|-----|--------|--------|
| (a) | 低圧配管 | あり |
| (b) | 中圧配管 | あり |
| (c) | 低圧配管 | なし |
| (d) | 中圧配管 | なし |

最適化ツールにおける設計変数の探索範囲は、先述の検討した探索範囲とする。表 9 に設計変数の探索範囲と計算ステップを示す。

表 9 設計変数探索緒元の上下限值と計算ステップ

| 設計変数 | 上限値 | 下限値 | 計算ステップ |
|-----------------------------|-----|-----|--------|
| DV_{GG} [kW] | 800 | 0 | 10 |
| DV_{WR} [kW] | 800 | 0 | 10 |
| DV_{PV} [m ²] | 600 | 0 | 10 |
| DV_{SB} [kWh] | 600 | 0 | 1 |
| DV_{CE} [kW] | 800 | 0 | 10 |
| DV_{gas} [-] | 4 | 0 | 1 |
| DV_{EG} [kW] | 800 | 0 | 10 |

続いて、先に求めた需要充足条件を最適化ツールに追加する。導出した周波数と蓄電池容量に関する需要充足条件を最適化ツールに追加した。最適化ツールでは、多目的遺伝的アルゴリズムによって得られるパレート解のうち、需要充足条件を満たさない解をはじくようにすることで需要充足条件を満たすパレート解のみが残るようにした。

次に結果を示す。ケース(a)から(d)のパレート解集合を図 15 に示す。横軸がトータルコスト、縦軸が電力不足率期待値である。2 つの目的関数のうち、どちらか一方を大きくしようとすると他方が小さくなるという、トレードオフ関係がすべてのケースにおいて見られた。

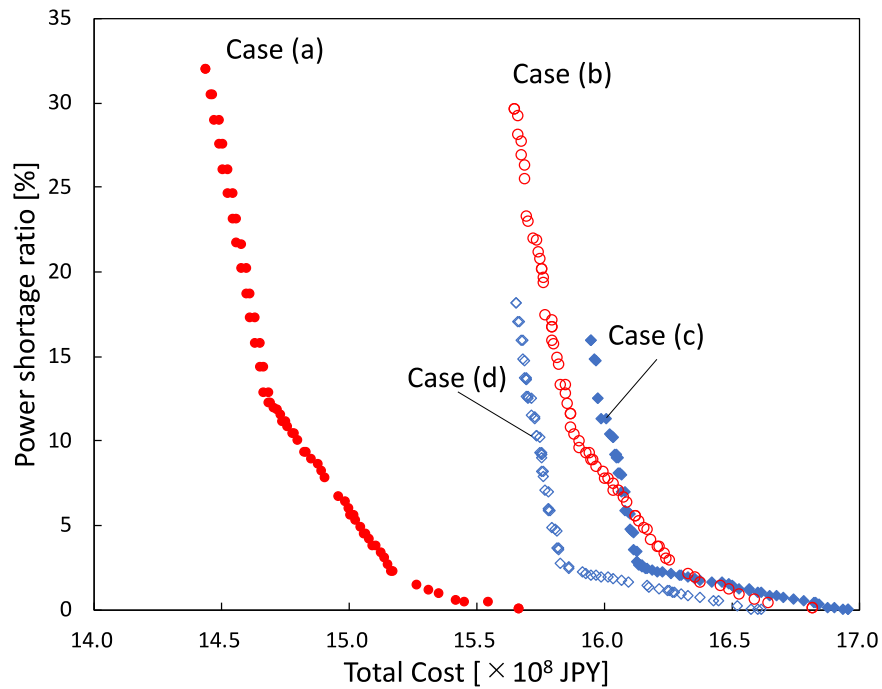


図 15 各ケースのパレート解集合

低圧配管のケースと中圧配管のケースを比較すると、低圧配管のケースのパレート解は電力不足率期待値が大きい値に集中しているのに対して、中圧配管のケースのパレート解は電力不足率期待値が小さい値に集中している。これはガス途絶確率に起因する。中圧配管は災害時にも途絶しないと想定されているため、GG が導入されていれば、低圧配管のケースよりも中圧配管のケースの方が、電力不足率期待値が小さくなる。

次に、各ケースにおける設計変数の傾向を調べるため、各ケースのパレート解集合の設計変数の平均値を求め比較を行う。図 15 では複数個のパレート解群が横軸および縦軸を 2 つの目的関数とした図を示したが、これらのパレート解を形成する設計変数の値には一定の傾向があるという考え方のもと、平均値で議論をすることにした。

各ケースのパレート解集合の設計変数の平均値を図 16 に示す。

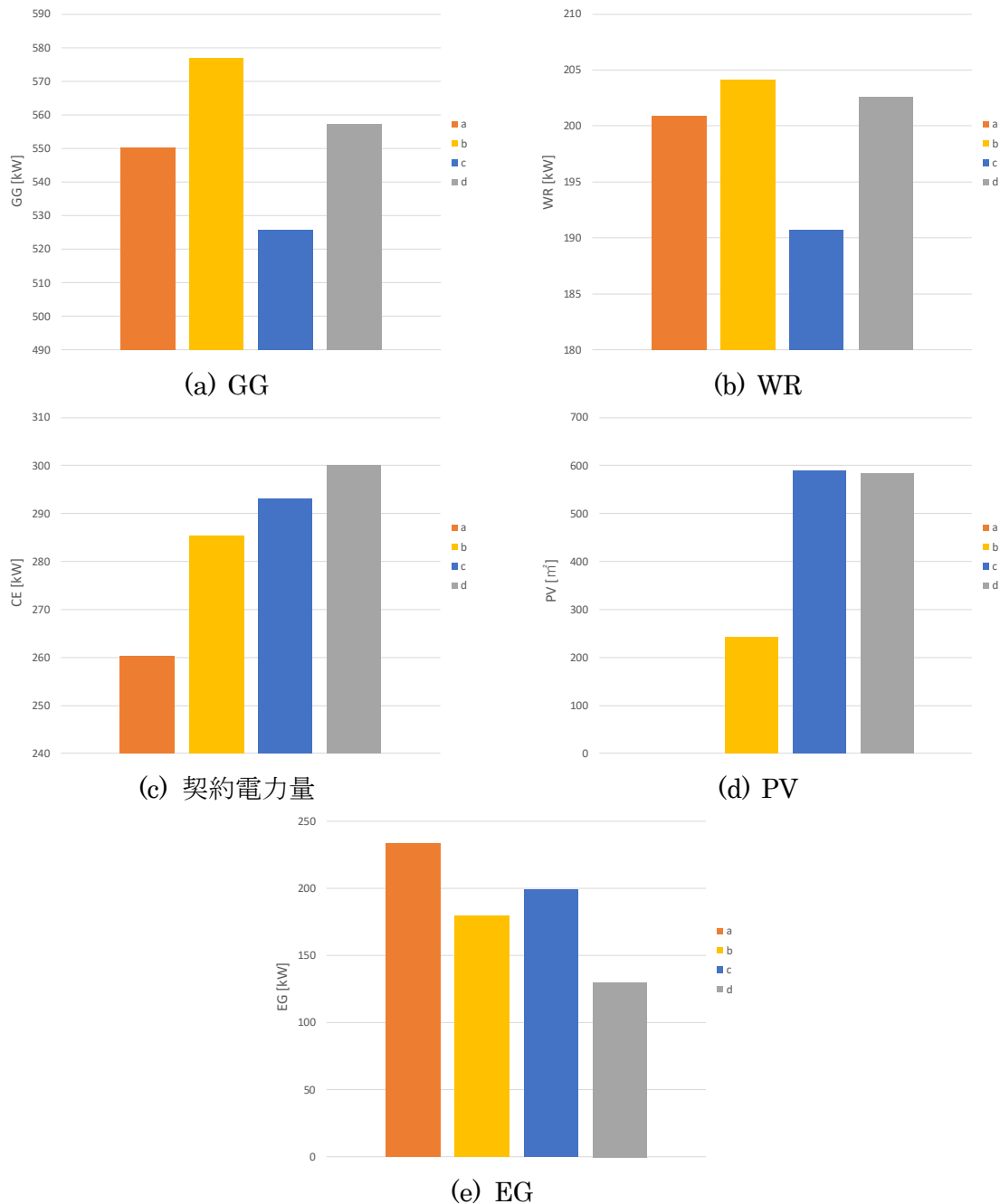


図 16 各ケースの分散型電源等の最適導入量の平均値

GGについては、ケース(a)よりもケース(b)、ケース(c)よりもケース(d)の方が、平均導入量が多くなるという結果が得られた。これは先述の通り中圧配管の方が低圧配管と比較してガス途絶確率が小さいことに起因する。中圧配管のケースでは、災害時にもGGにより電力供給が可能なので、電力不足率期待値低減効果が高いGGが積極的に導入されることになる。

WRはGGとともにコージェネレーションシステムを構成しているため、GGと同様に中圧配管のケースの方が低圧配管のケースと比較して導入量が多くなる傾向が得られる。WRはGGの排熱を利用して冷暖房及び給湯を生成するため、GGの導入量が増えるほどWRの導入量も増える。

低圧配管のケースよりも中圧配管のケースの方が、契約電力量が小さくなるという結果が

得られた。これは中圧配管のケースの方が低圧配管のケースよりも GG の導入量が多く、それに伴い CGS によるピークカットの効果も大きくなったためである。また、需要充足条件を追加したケース(a)および(b)の方が、需要充足条件がないケース(c)および(d)と比較して契約電氣量が小さい。これは本研究において新しく追加した需要充足条件による影響である。契約電氣量が小さいということは、平常時における系統電力への依存度が低いと言い換えることもできる。需要充足条件は、最も電力供給が難しいケースを想定しているため、需要充足条件を追加することによって、契約電氣量が小さい、すなわち平常時においても系統電力への依存度が低い解が得られる。

PV の導入量は、需要充足条件を追加したケース(a)および(b)と、需要充足性を考慮していない従来の最適化ツールを用いた結果であるケース(c)および(d)で導入量に大きな差がみられた。需要充足条件がないケース(c)および(d)では、PV 平均導入量は設計変数の上限である 600 m²に近いのに対して、需要充足性を考慮したケース(a)および(b)では、PV 平均導入量が少なく、ケース(a)に至っては平均導入量が 0 m²という結果が得られた。これは本研究において新しく追加した需要充足条件による影響であると考えられる。先に述べたように、低圧配管のケースでは、設計変数の探索範囲内で導入可能な PV の最大容量は 60 m²と少ないことから、この結果は妥当である。

PV は災害時にも発電が可能であるというメリットがある一方で、出力が不安定であるというデメリットがある。従来の最適化ツールは、PV のコストと発電量しか考慮しておらず、このデメリットを十分に評価できていない。したがって PV を導入する際には、周波数変動を抑制するための機器制約を考慮する必要があるといえる。

低圧配管のケースの方が、高圧配管のケースと比較して EG 導入量が多いという結果が得られた。これは GG と同様に、中圧配管の方が低圧配管と比較してガス途絶確率が小さいことに起因する。低圧配管のケースではガス途絶時にも電力供給可能な EG が積極的に導入される。

3-2-5. 災害時の医療機関の業務継続のための政策提言

3-2-5-1. 既存のエネルギー機器導入補助金制度に関する調査

本研究グループによって収集することができた既存エネルギー機器導入補助金制度について、対応省庁別の事業数を表 10 にまとめる。対応省庁が複数にまたがるものについては、窓口となる省庁を対応省庁とみなした。

表 10 調査を行ったエネルギー機器導入補助金事業(件数)

| 対応省庁 | 件数 | うち、省エネ・CO2 排出量削減を目的としたもの | うち、レジリエンス強化・防災を目的としたもの | うち、両方を目的としたもの |
|-------|----|--------------------------|------------------------|---------------|
| 経済産業省 | 59 | 52 | 14 | 7 |
| 環境省 | 30 | 29 | 6 | 5 |
| 国土交通省 | 7 | 7 | 2 | 2 |

エネルギー機器導入補助金事業の件数は、今回収集できたものは 96 件であった。対応する省庁は、経済産業省、環境省、国土交通省の件数順であった。省エネ・二酸化炭素排出削減を目的とした制度のほうがレジリエンス強化・防災を目的としたものよりも件数は多い。また、これら両方を目的に挙げた制度もあった。

これらの補助金制度では、共通して申請時に設備導入後の二酸化炭素排出量削減効果（年

間あたりの削減量もしくは削減率)の試算結果を記載することが必要とされ、審査項目にもなっている。また、決められた期間、実際の削減効果についても報告するように義務づけられているものもある。

このうち、省エネ性能向上に加えて、レジリエンス強化や防災の向上を目指した補助金制度もみられた。これらの補助金制度においては、機器導入によるレジリエンス強化や防災の向上を平常時のエネルギー需要の何割を自家発電機でまかなうことができるかという試算を付すようにした制度もあったが、ほとんど定量的な試算を申請時に付すことなく応募ができるものも一部存在した。また、これらのレジリエンス強化・防災の向上のエビデンスとなる試算の内容については、使用機器と消費電力の詳細なリストを要求する場合もあれば、平常時の消費エネルギーに対する災害時の必要なエネルギーを単純な割合のみで求める場合もあり、制度によって温度差が大きい。

3-2-5-2. 実務者インタビュー調査

複数のインタビューを行ったなかで、なかでも興味深いコメントを以下にまとめる。

●災害医療政策実務者（中央官庁）

- これまでに指定要件、ガイドラインに基づいた災害拠点病院の数を増やすことを行ってきたが、今後は災害拠点病院の要件のレベル分けを行う等、質を高める災害医療政策を行う方向である。とりわけ、地域によって提供される医療が異なっているため、実情に即したやり方を行わなければならない。
- 災害医療は、診療報酬がつかないため、ステークホルダーが少ない。基本的に医療政策に関しては各関係学会等から提言が多くあるが、災害医療関連ではほとんど提言がなされていない。
- 災害医療政策に関する政策評価方法について、現状、統一的な政策指標が存在していない。KPI (Key Performance Indicator : 重要業績評価指標) として病院建物の耐震化率はストラクチャー指標として挙げられるがそれだけでは不十分。また、訓練の回数といったプロセス指標がうまくいくかどうか分からない。提案もなされていない難しい問題である。

●病院建築・設備およびBCPを専門とする研究者

- 介護保険制度（1997年）の成立後、在宅医療を受けている患者数も増えており、BCPの観点は病院に留まらない。今後、BCP策定や非常用発電機といった備えが必要なものは、病院に限ったものではないのでは？
- 現状のBCP、防災に関しては、阪神淡路大震災を契機として建物自体の耐震（予算に余裕があれば免震）の技術は向上している。（震災を受けての建築法改定）以前の基準で施工された病院建物では耐えられていない災害も多いだろう。これに加えて、病院では、人工呼吸器等の医療機器を停電時も使用するため、電気の漏電対策や非常用発電機の導入も講じている。これらを踏まえてBCP策定が進んできている印象を有している。
- 病院BCPの問題点は、それを専門としている人がいないこと、全体を俯瞰してBCP策定をできる人がいないこと、実際に起きてしまったときに病院の医療パフォーマンスをどうやって抑えるかという視点を持たなければならないという点にある。医療パフォーマンスを抑えるかという点では、既に入院している患者さんへの医療をどうやって維持するか（籠城）という点や職員の安全をどうやって確保するかという点も含まれる。

●病院BCP策定コンサルティングに関する調査

- ・ 病院BCP策定コンサルティング業務に関して、もともとは企業向けにBCP導入支援を行っていた。対象は大企業、病院、最近では大学についてもBCP導入支援をしている。
- ・ これまでの災害医療は救急医療に携わる医師などが中心となって行ってきたが、今後は救急医療以外の専門医による検討が必要。慢性疾患については、透析、投薬、精神科患者の対応といった問題もある。慢性疾患ではないが周産期NICU（新生児集中治療室）の事業継続性の向上が必須である。透析については学会でデータベースを構築して、患者や医院のリスト化などを急いでいる。精神科についてもBCP策定を急いでいる。
- ・ 病院BCPについて、そもそも病院の方がBCPの基礎を理解していないので、その説明からすることが多い。
- ・ 災害時に対策をする際に、忘れがちな医療設備はオートクレーブ。滅菌処理ができなければ、救急医療でメインになる外傷治療は行えない。また、滅菌処理について大病院は外部委託していることが多く、いざというときに病院に業務ができる人がいないということがある。大病院ほどこの傾向が強い。

3-2-5-3. 病院の非常用発電機の便益計測に関する検討

まず、アンケートの回収結果について述べる。送付病院数は 894 件（全国災害拠点病院は 757、東京都災害拠点連携病院は 137）に対し、回答数は 87 件（全国災害拠点病院は 80、東京都災害拠点連携病院は 7）であり、全体の回収率は約 9.7%（全国災害拠点病院では 10.6%、東京都災害拠点連携病院では 5.1%）であった。

図 17 にアンケート送付先（左図）およびアンケート回答元（右図）の災害拠点病院の開設主体内訳に示す。サンプルとなるデータ数は前述のとおり、全数に対して小さいものであるが病院の性格を表す開設主体の割合が、送付先（全数）と回答元（サンプル）とで大きく変わらないことがわかる。

なお、最終的な回答送信まで至らなかったものの、アンケートを途中まで回答していただいた病院は多数あったことを調査会社の保有するログから確認している。この原因は、非常用発電機の WTP を問うというアンケートそのものが難しいものであったと考えている。実際に、送付先病院から「このような問いには答えることが難しい」というご連絡をいただいたり、回答をいただいた病院の方からも「非常用発電機はどのような目的の建物にも法令で義務づけられた必要な設備であり、WTP を問うこと自体誤りではないか（自由記述欄へのコメント）」といった意見が寄せられたりした。

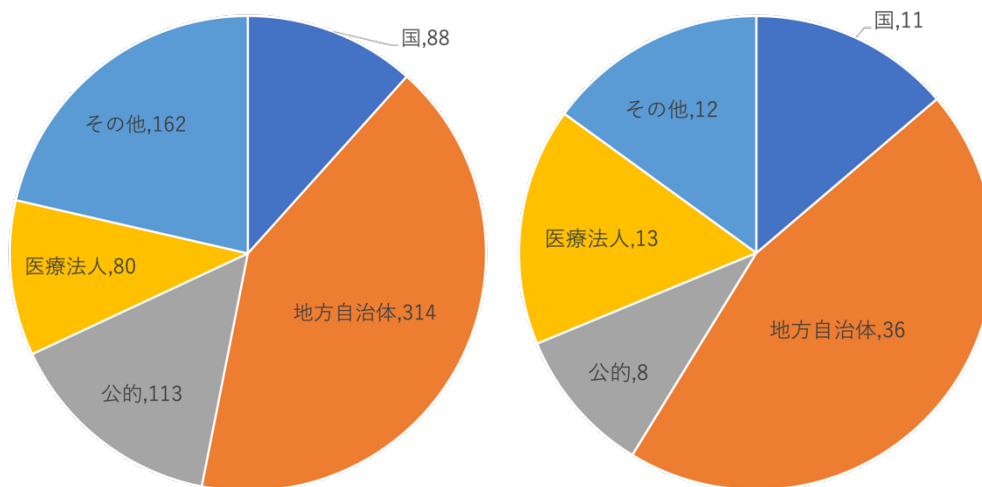


図 17 災害拠点病院の開設主体内訳. アンケート送付先(左), アンケート回答元(右)

本アンケートでは、2019年度における最大の月あたり電力使用量から、その病院の平常時のピーク電力を推定し、ここから非常用発電機の容量とそれにかかるメンテナンスコストを算定し、年間あたりの非常用発電機にかかるコストを基準値としてWTPの選択肢を5つ用意した。1：80%以下，2：90%，3：100%，4：110%，5：120%以上がWeb上で計算され、設問の選択肢として表示されるようにした。1から5までの選択肢の回答数を図18にまとめる。これらの図の横軸は、最重要負荷カバー相当の年間WTPの選択であり、縦軸は、上図では最重要および重要負荷カバー，下図は全負荷カバーに相当する年間WTPである。

図より、選択肢1の80%以下を選択した回答者が最も多く、選択肢5の120%以上を選択した回答者が次に多いことがわかる。さらには、これらの選択にあたって回答者は非常用発電機によってどのような負荷がカバーできるかという点にはよらず、一貫して選択肢1の基準値の80%以下もしくは選択肢5の基準値の120%以上を回答している。これは、回答者のなかには、これらの推算した値では小さすぎるため答えることができないと自由記述欄に記載があったものもあり、推算方法の精度が十分ではなかったと考えられる。

このような回答傾向となった理由について、本来ならばいくつかの病院に対して、追加で理由を問う調査を追加で行うことが必要であるが、現状、調査を行っていない。そのため、この理由について、自由記述欄へのコメントをもとに推測を述べる。非常用発電機は、法令上によって定められた必須設備であり、災害拠点病院の指定要件にもなっていることから、一定以上の容量を整備し、毎年のメンテナンスも必要である。しかしながら、最近、点検方法の改正が行われたことも加わり、病院経営上の課題になるほど、非常用発電機の導入・メンテナンスに費用がかかっている。それにもかかわらず、非常用発電機は、災害が起きるまで設備を稼働することがないため、WTPを評価することが難しい状況にあると思われる。

これらの状況を勘案し、回答者には、既に支出額が明らかである非常用発電機にかかる費用の額がアンカリングされるため、WTPとしてアンケートで問うこと自体が適切ではなかったと総括する。したがって、本調査結果より非常用発電機のWTPの算出は行わない。

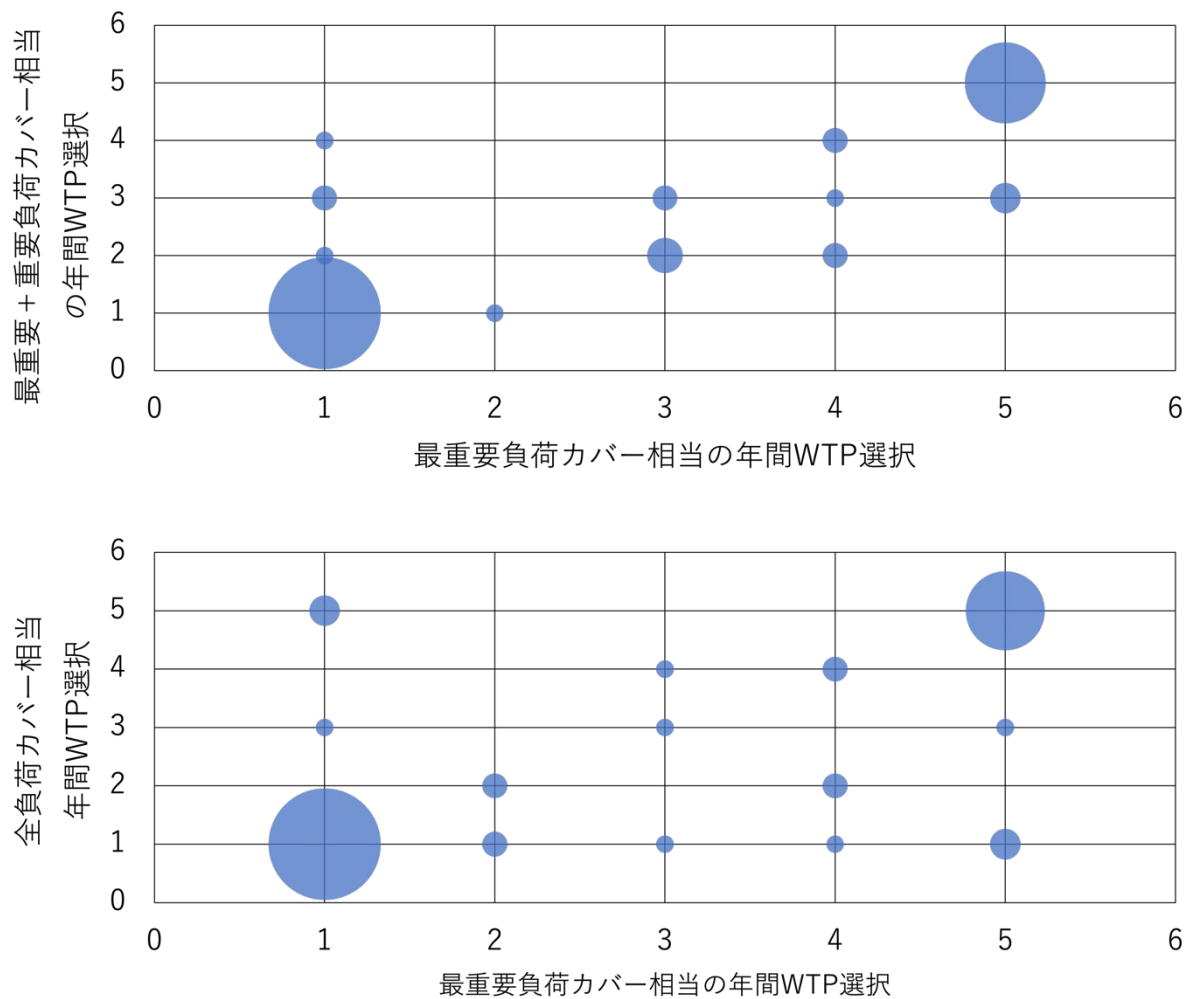


図 18 災害拠点病院を対象にした非常用発電機の年間 WTP アンケート結果. 丸の大きさが回答数を示す. 選択肢は, 基準額の 1:80%以下, 2:90%, 3:100%, 4:110%, 5:120%以上. 横軸:最重要負荷カバー相当の年間WTP, 縦軸:最重要負荷および重要負荷カバー相当の年間WTP (上), 全負荷カバー相当の年間WTP(下)

参考までに, 選択肢 1 の基準額の 80%以下および選択肢 5 の基準値の 120%を WTP とした回答者の開設主体内訳を図 19 に示す. 図より, 開設主体が地方自治体とその他の場合, 選択肢 5 の基準値の 120%を WTP とした回答者が多いことがわかる. なお, 開設主体でその他というのは, 国・地方自治体・公的・医療法人のどれにも当てはまらない, 医療法人, 公益法人, 学校法人等をまとめたものである.

このうち, 地方自治体を開設主体とする回答者が選択肢 5・基準値の 120%を WTP とする割合が高かったのは, 地域の医療を行政とともに推進するという立場であり, そのため, 非常用発電機にかけることができる費用を行政に対して予算として請求しやすい(他のインタビュー調査のコメントからも同様の意見が寄せられた)ことが理由だと考えられる.

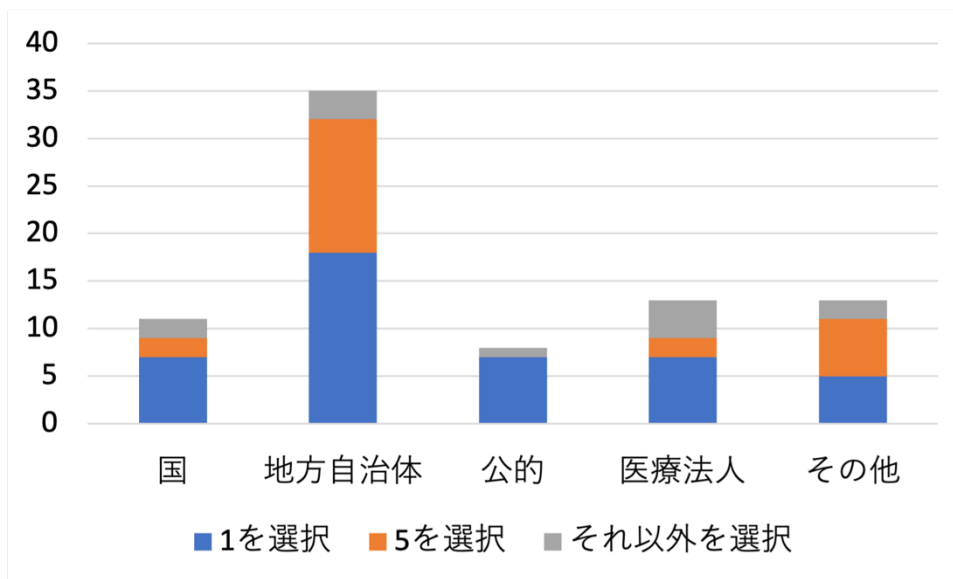


図 19 基準額の 80%以下(選択肢 1), 120%以上(選択肢 5), それ以外を選択した回答者の開設主体内訳

【政策に関するインプリケーション】

災害時に業務継続性を向上させるという目的自体は、国・都道府県といった行政区の違いや、政策実務者であるか医療従事者であるかというステークホルダーによらず、同じ方向を向いていることを一連の調査を通じて確認をすることができた。厚生労働省からは、既に認定されている災害拠点病院のとりこぼしがないようにという配慮から「平常時の 6 割程度以上の容量の自家発電機を保有すること」という通達が行われ、この通達を根拠として、設備の初期導入コストについては補助金施策が講じられた。一方で、過去の災害下での非常用発電機不稼働の事例を根拠として、非常用発電機の点検要領が厳格化し、そのコストが高くなった。しかしながら、この負担増を低減するような施策は講じられておらず、アンケートの自由記述欄ではそのことへの不満ともとれるコメントが複数みられた。

それぞれのステークホルダーが抱える課題は、医療機関の開設主体や経営状態によって異なる。補助金制度では、初期導入コストについてはケアされるが、導入した設備のメンテナンスコストに関する誘引政策が講じられている様子がない。したがって、医療機関によらず、一律な負担増に対応する必要があるため、場合によっては設備維持が経営上の問題として捉えられることもある。ここに述べたメンテナンスコスト増に対応する政策として、非常用発電機に限って固定資産として計上しないといった誘引政策の導入が考えられる。また、法定耐用年数を過ぎた非常用発電機設備については、点検・メンテナンスの実施と交換にコスト相当の減税なども考えられる。

3-3. 今後の成果の活用・展開に向けた状況

本研究では、最適化ツールと電力シミュレータの 2 つのツールを構築してきたが、最適化ツールは多くの場合、病院建物の新築時に活用が期待される。しかしながら、新設病院は多くはなく、ほとんどの災害拠点病院では既存自家発電設備をどのように活用していくか頭を悩ませているのが現状である。したがって、将来の中期計画として、後者の電力シミュレータを用い、コミュニケーションを図ることを計画している。

現在、都内病院からの病院建物、保有設備、および平常時の医療業務に関するデータ提供を受け、実病院のエネルギー需要をシミュレーションする計画を進めている。病院の配電盤

と既設自家発電機構成を調査し、電力シミュレータの設定をカスタマイズする。同時に、導入されている冷暖房や照明器具、エレベータ、主な医療機器をリストアップし、最重要・重要・一般の負荷に分類してシミュレーションを行い、需給バランスを可視化する。この結果をいくつかのパターンで実施し、病院側に提示することで、改めて最重要・重要・一般の負荷の分類を検討してもらおうということを想定している。なお、病院側のリクエストより、平常時から入院している患者らの生命・健康維持を最優先するため、災害時に大きくなることが予想される外来患者を含めずにシミュレーションする。

このことについて、本研究グループでは「望ましい状態が存在する」という仮説に基づいて災害時の病院電力需要の推定を行うなどの検討をしてきたが、現場の医療従事者らにとっては「なんとかしなければならぬ」という状態があるだけということ、複数のインタビュー調査から理解した。したがって、以降の研究では、平常時の最重要・重要負荷に基づいて持続できる稼働時間と供給電力の余裕量に基づいて知りたいというニーズが異なる点を盛り込む。

継続研究計画については、PJ 間連携を実施してきた津田塾大学・教授・伊藤由希子氏と引き続き連携し、研究を進めていく。

4. 研究開発の実施体制

4-1. 研究開発実施者

(1) 早稲田大学グループ（リーダー氏名：上道茜）

| 氏名 | フリガナ | 所属機関 | 所属部署 | 役職 (身分) |
|-------|-------------|-------|----------------------------|------------|
| 上道 茜 | ウエミチア カネ | 早稲田大学 | 理工学術院 創造理工学部 総合機械工学科 | 准教授 |
| 金子 成彦 | カネコシゲ ヒコ | 早稲田大学 | 理工学術院 国際理工センタ ー | 教授 |

(2) 東京大学グループ（リーダー氏名：山崎由大）

| 氏名 | フリガナ | 所属機関 | 所属部署 | 役職 (身分) |
|-------|--------------|------|-------------------------|------------|
| 山崎 由大 | ヤマサキユ ウダイ | 東京大学 | 大学院 工学系研究科 機械工学専攻 | 准教授 |
| 海藤 直記 | カイトウナ オキ | 東京大学 | 大学院 工学系研究科 機械工学専攻 | 大学院生 |
| 及川 亮 | オイカワリ ョウ | 東京大学 | 大学院 工学系研究科 機械工学専攻 | 大学院生 |
| 八木 正彰 | ヤギマサア キ | 東京大学 | 大学院 工学系研究科 機械工学専攻 | 大学院生 |

4-2. 研究開発の協力者・関与者

| 氏名 | フリガナ | 所属 | 役職 | 協力内容 |
|--------|-------------|-------------|-------|----------------------------|
| 坂東 茂 | バンドウシゲ ル | 電力中央研究 所 | 上席研究員 | 調査・分析・評価手法に関する アドバイス |
| 秋澤 淳 | アキサワアツ シ | 東京農工大学 | 教授 | エネルギーシステム研究全般 に関するアドバイス |
| 伊藤 由希子 | イトウユキコ | 津田塾大学 | 教授 | (PJ 間連携) |

5. 研究開発成果の発表・発信状況，アウトリーチ活動など

5-1. 社会に向けた情報発信状況，アウトリーチ活動など

5-1-1. 情報発信・アウトリーチを目的として主催したイベント（シンポジウムなど）

| 年月日 | 名 称 | 場 所 | 概要・反響など | 参加人数 |
|----------|--|-----------------|---|--------|
| 2021/3/6 | 公開シンポジウム 「病院のレジリエ ンスを考える」 | オンライン (Zoom) | 地震・自然災害・感 染症など，さまざま な避けられないショ ックから「如何に回 復・復元するのか」， また過去の反省を踏 まえて「見直さなけ ればならない平時の システムは何か」を 緊急時のライフライ ンのひとつである病 院を軸として，医療 情報，病院経営，医 療法の各専門家から の話題提供とパネル ディスカッションを 行った. | 約 70 名 |
| 2021/3/6 | 公開シンポジウム 「病院のレジリエ ンスを考える」ア フタートーク | オンライン (Zoom) | 公開シンポジウム 後，主催者，研究プ ロジェクトメンバ ー，研究協力者，JST 関係者による非公開 アフタートークを実 施した. | 約 10 名 |

5-1-2. 研究開発の一環として実施したイベント（ワークショップなど）

| 年月日 | 名 称 | 場 所 | 概要・反響など | 参加人数 |
|----------|------------------|-----------------|--|------|
| 2019/3/1 | 2018 年度定期研究 会 | 東京大学本郷キ ャンパス | 研究開発プロジェク トに関連した話題提 供および当該年度の 成果報告. | 12 名 |
| 2018/3/4 | 2017 年度定期研究 会 | 東京大学本郷キ ャンパス | 研究開発プロジェク トに関連した話題提 供および当該年度の 成果報告. | 8 名 |

5-1-3. 書籍，DVD など論文以外に発行したもの
なし.

5-1-4. ウェブメディア開設・運営

- (1) 上道PJ・伊藤PJ共催 公開シンポジウム「病院のレジリエンスを考える」, <https://sites.google.com/view/hospitalresilience/>, 2021年2月
- (2) レジリエンス強化のための省エネルギー機器導入制度設計(成果発信ホームページ), <https://www.uemichi.mmech.waseda.ac.jp/ristex/>, 2021年3月

5-1-5. 学会以外 (5-3. 参照) のシンポジウムなどでの招へい講演 など

- (1) 上道茜, 「エネルギーレジリエンス性を考慮した省エネルギー機器導入量の検討」, NPO法人日本シミュレーション&ゲーミング学会エネルギー・環境ゲーミング研究部門会第3回研究会, 2018年7月26日
- (2) 上道茜, 「エネルギーレジリエンス性を考慮した災害拠点病院への省エネルギー機器導入量決定手法の検討」, エネルギー研究部会, OR学会, 2018年6月15日

5-2. 論文発表

5-2-1. 査読付き (7 件)

- (1) Akane Uemichi, Naoki Kaito, Yudai Yamasaki, and Shigehiko Kaneko, "Practical Method for Optimizing Capacities of Private Generators Installed in Hospital Buildings During Power Outages." ASME. J. Energy Resour. Technol. 2023; 145(2): 022105. <https://doi.org/10.1115/1.4054887>
- (2) Akane Uemichi, Ryo Oikawa, Yudai Yamasaki, and Shigehiko Kaneko, "A Power Balance Simulator to Examine Business Continuity in Hospital Facilities Due to Power Outages in a Disaster." ASME. J. Energy Resour. Technol. 2022; 144(3): 032107. <https://doi.org/10.1115/1.4053296>
- (3) Akane Uemichi, Naoki Kaito, Yudai Yamasaki, Shigehiko Kaneko, Optimization of the Capacities of Private Generators Installed in a Hospital Building Under the Constraint of Demand Sufficiency During Power Outages, Proceedings of ASME POWER 2021 Conference, 2021, pp. V001T01A001, DOI: <https://doi.org/10.1115/POWER2021-62341>
- (4) Akane Uemichi, Masaaki Yagi, Ryo Oikawa, Yudai Yamasaki, Shigehiko Kaneko, Multi-objective optimization to determine installation capacity of distributed power generation equipment considering energy-resilience against disasters, Energy Procedia, Vol. 158, pp.6538-6543, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.104>
- (5) 上道茜, 八木正彰, 山崎由大, 金子成彦, 経済性・環境性・レジリエンス性を考慮した分散型電源機器導入量決定のための多目的最適化ツールの開発, エネルギー・資源, Vol. 39 (2018) pp.6-18, doi: https://doi.org/10.24778/jjser.39.6_6
- (6) Akane Uemichi, Masaaki Yagi, Ryo Oikawa, Yudai Yamasaki, and Shigehiko Kaneko, System design to reduce disaster risks by installing distributed power resources, Journal of Multiscale and Multidisciplinary Modeling, Experiments and Design, Vol. 1 (2018) pp.49-56, doi: <https://doi.org/10.1007/s41939-017-0005-5>
- (7) Hiroshi Nagao, Akane Uemichi, Yudai Yamasaki, Shigehiko Kaneko, Proposal of a decision scheme for installing a cogeneration system considering disaster risks, Applied Thermal Engineering, Vol. 114 (2017) pp.1414-1423, doi:

5-2-2. 査読なし (1 件)

- (1) 上道茜, 山崎由大, 金子成彦, 「災害拠点病院を対象とした災害時事業継続性向上のための分散型エネルギー機器導入量の最適化」, オペレーションズ・リサーチ学会誌, Vol. 1, No. 1, (2020) pp.41-48

5-3. 口頭発表 (国際学会発表及び主要な国内学会発表)

5-3-1. 招待講演 (国内会議 0 件, 国際会議 0 件
なし.

5-3-2. 口頭発表 (国内会議 6 件, 国際会議 4 件)

- (1) Akane Uemichi, Naoki Kaito, Yudai Yamasaki, Shigehiko Kaneko, Optimization of the Capacities of Private Generators Installed in a Hospital Building Under the Constraint of Demand Sufficiency During Power Outages, ASME POWER 2021 Conference, July 20-22, 2021, Virtual, Online, pp.V001T01A001
- (2) 上道茜, 海藤直記, 山崎由大, 金子成彦, 停電時の需要充足性を制約条件とした病院建物の自家発電機導入量の最適化, エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集 39, 429-434, 2020-07-28 (オンライン)
- (3) Akane Uemichi, Ryo Oikawa, Naoki Kaito, Yudai Yamasaki, Shigehiko Kaneko, Planning of installation of distributed energy equipment in a disaster-base hospital to enhance energy resilience and its verification using simulations, The 32nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS 2019), Wroclaw, Poland, 25th June 2019, pp.887-898.
- (4) 及川亮, 上道茜, 山崎由大, 金子成彦, 病院を対象とした災害時事業継続性検討のためのエネルギー需給シミュレーション: 分散型電源機器のモデル化とシステムシミュレータの構築, 日本機械学会関東支部講演会, 千葉工業大学, 2019年3月19日.
- (5) Akane Uemichi, Masaaki Yagi, Ryo Oikawa, Yudai Yamasaki, Shigehiko Kaneko, Multi-objective optimization to determine installation capacity of distributed power generation equipment considering energy-resilience against disasters, 10th International Conference on Applied Energy, Hong Kong, 24th August 2018, No.867
- (6) 海藤直記, 及川亮, 上道茜, 山崎由大, 金子成彦, 災害拠点病院における分散型電源システム最適導入量の検討, 地震工学シンポジウム, 宮城県仙台市, 2018年12月.
- (7) Akane Uemichi, Masaaki Yagi, Ryo Oikawa, Yudai Yamasaki, and Shigehiko Kaneko, Multi-objective Optimization to Install Private Power Generation System, 14th International Conference on Motion and Vibration Control, Daejeon, South Korea, 8th August 2018, No.OR_S10_042.
- (8) 上道茜, 八木正彰, 及川亮, 山崎由大, 金子成彦, 災害時の事業継続性を考慮した省エネルギー機器導入量最適化, 安全工学シンポジウム2018, 東京都港区 (日本学術会議), 2018年7月4-6日
- (9) 八木正彰, 上道茜, 山崎由大, 金子成彦, 災害拠点病院を対象とした分散型電源導入量の決定手法, OR学会春季大会, 東京都港区 (東海大学高輪キャンパス), 2018年3月15日

- (10) 八木正彰, 上道茜, 山崎由大, 金子成彦, 坂東茂, 災害リスクを考慮したCGS・PV・蓄電池から構成される分散型電源導入計画, 第36回エネルギー・資源学会, 東京都千代田区(砂防会館) 2017年6月7-8日,

5-3-3. ポスター発表 (国内会議 0 件, 国際会議 0 件)

なし.

5-4. 新聞報道・投稿, 受賞など

5-4-1. 新聞報道・投稿

なし.

5-4-2. 受賞

- (1) 2020年11月27日, 一般財団法人エヌエフ基金 研究開発奨励賞 「緊急時の自立エネルギー供給を可能にするシステム実用設計法」 (上道茜)
- (2) 2019年8月5日, エネルギー・資源学会第15回論文賞 (対象論文: 上道茜, 八木正彰, 山崎由大, 金子成彦, 経済性・環境性・レジリエンス性を考慮した分散型電源機器導入量決定のための多目的最適化ツールの開発, エネルギー・資源, Vol. 39, No. 6 (2018) pp.6-18)

5-4-3. その他

- (1) 2018年5月17日, 「災害時の事業継続性を考慮した分散エネルギー機器最適導入計画」に関する論文がSpringer Natureの“Change the World, One Article at a Time” に選出. (対象論文: Akane Uemichi, Masaaki Yagi, Ryo Oikawa, Yudai Yamasaki, and Shigehiko Kaneko, System design to reduce disaster risks by installing distributed power resources, Journal of Multiscale and Multidisciplinary Modeling, Experiments and Design, Vol. 1 (1) (2018) pp.49-56, doi: 10.1007/s41939-017-0005-5,
参考: <https://www.springernature.com/gp/researchers/campaigns/change-the-world/chemistry-physics-astronomy-engineering-materials>) .

5-5. 特許出願

5-5-1. 国内出願 (0 件)

なし.

5-5-2. 海外出願 (0 件)

なし.

6. その他 (任意)

- ・ 本研究プロジェクトにおいて構築した電力シミュレータを用いて, 実際の病院建物に即した検討を実施予定である. 都内病院, 早稲田大学, 津田塾大学でデータ提供に関する協定を締結し, 2021年11月より調査を開始する.