

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

災害による停電下で自家発電機が供給できる電力の量と質の定量化

上道 茜

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

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

災害による停電下で自家発電機が供給できる電力の量と質の定量化

上道 茜

Akane Uemichi

早稲田大学創造理工学部総合機械工学科・准教授

山崎 由大

Yudai Yamasaki

東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻・准教授

金子 成彦

Shigehiko Kaneko

早稲田大学国際理工学センター・教授

災害拠点病院における災害による停電時のエネルギー利用に注目し、「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た. シミュレーションの結果, 自家発電機容量が要件をクリアできていたとしても, 供給される電力は質的に十分ではない可能性が示唆された. また, 補助金施策の調査およびステークホルダーへのインタビュー調査を経て, メンテナンス費用がかさんでいる現状があるにもかかわらず, この費用に関してケアする施策がみられないことが明らかとなった.

1. はじめに

2011年の東日本大震災以降, 社会機能のレジリエンス強化は喫緊の課題となっている. なかでも, 医療機関は災害時にエネルギー供給が途絶した場合であっても業務を継続する必要がある. 2017年3月, 厚生労働省より, 災害拠点病院に対して業務継続計画(Business continuity plan, BCP)の策定が義務づけられ, さらに「平常時の60%程度の発電容量を有する自家発電機を保有すること」という要件が通達された.

この通達を受けて, 都道府県や民間団体がBCP策定ガイドラインを公表したが, 自家発電機の選定方法についての具体的な方法を提示したものはなかった. 平常時の負荷を基準として, これに対する割合で容量を決定するものであった. しかし, この方法には問題があると考えた. それは, 電力負荷は季節によって大きく変化することが知られており「平常時の60%程度」が具体的にどの季節のどのような平常時需要を基準として指すものか不明である. 例えば, 真夏あるいは真冬の冷暖房負荷の大きな季節を基準とする場合と, 中間季(春または秋)の空調負荷を要さない時期を基準にする場合や, 負荷の大きな昼間の

ピーク値と1日の平均値を基準にする場合などで準備する自家発電機容量が大きく異なる.

ここで, 平常時の病院の電力需要について述べておきたい. 病院は, 入院患者および外来患者に対する診療および治療が基本的な業務である. 診療時間である昼間は, 外来患者が多数滞在しており, 入院患者は一定期間病院に滞在しながら診療や治療を受ける. つまり, 病院は患者らに対して医療を提供するだけでなく, 入院患者には居住空間も提供しているといえる. 総じて, 病院のエネルギー消費原単位は高いことが知られる. 夏季ピーク日において電力消費は, 空調を約38%, 照明が約37%を占めるという推計もある[1].

停電時の自家発電機独立運転の場合には, 空調や照明需要をバッファとする対応が一般的であると考えられるが, 酷暑の日中に空調を全て停止させてしまうことは入院患者や医療従事者の健康を守るという観点では適切ではない可能性がある. 2019年9月, 千葉県に甚大な被害をもたらした台風15号による停電下では冷房が利用できなかったため熱中症とみられる症状の死者も複数報告されている. 災害関連死を最小化するには, 自家発電機から空調や照明の何割かにも電力供給をすることが望ましい.

2. プロジェクトの目標とリサーチ・クエスチョン

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した。

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、本研究のリサーチ・クエスチョンは、実施当初、「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減災・防災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？」というリサーチ・クエスチョンへと変遷した。

3. 研究の全体像

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の研究として、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。

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、図2）」である。この最適化ツールでは、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、図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に対して、秒刻みのエネルギー需給バランスを検討することができる[3]。電力の質は、常時、秒オーダーで需給バランスが保たれていることが条件であるためである。

このサポートツールの使用手順は以下を想定した。

- (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する。災害時の負荷に対して、停電時に自家発電機のみで電力供給が充足するかを検証する。ここでの災害時の負荷は、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で、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、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。

このように、最適化計算とシミュレーションを組み合わせ、需要家のBCP策定をより実効的なものとするような自家発電機構成を選択することを目指した。

また、電力シミュレータで計算した結果を用いて、最適化ツールで探索する設計変数（自家発電機器

容量) の範囲を狭め、実用的な最適解を見出す方法について検討した[4]。

4. 構築したツールから得られた結果の解説

4.1. 最適化ツール

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 4 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 P_s 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、理想的なパレートフロンティアを形成することが確認できた。

比較のために、非常用発電機のみ導入した場合について結果を示す。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、夏季の電力需要データのピークより 207.6 kW とした。このとき P_s 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_s がほぼすべて 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みがあることを示している。

また、図 4 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 5 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二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。

最適化計算の結果、分散型電源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、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。

4.2. 災害時の時系列需要推定と電力シミュレータ

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で公表されているものではなく、システムダウンしているために記録がそもそも残っていない。

そこで、本研究ではボトムアップ式に電力需要モデルを構築した。具体的な手順は、参考文献[5]を参照されたい。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。図 6 に電力需要を示す。なお、ここでは延床面積 10,000 m²あたりの値で示した。

次に、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 1 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、太陽光発電システム(PV)の容量は太陽光パネルの面積で表している。なお、蓄電池(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。

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、ガスエンジン(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とがわかった。これはGGの慣性モーメントが非常用ディーゼル発電機(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 は短時間での起動が求められることから、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たことがわかる。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、ドルー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 7 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。

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 8 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たことがわかる。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。

4.3. 電力シミュレータの結果を活用した最適化ツールの利用

ここまで述べてきた 2 つのツールは別々に構築したものであるが、これらを組みあわせて利用することで実用的な自家発電機構成を提案する。ここ

では、エネルギーレジリエンスの指標として「需要充足条件」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、電力シミュレータを用いて需要充足条件を満たす範囲を検討した。また、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 2 に示す 4 つである。

ケース(a)から(d)のパレート解集合を図 9 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。

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。各ケースのパレート解集合の設計変数の平均値を図 10 に示す。

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導入量が大き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。

5. 非常用発電機の支払意思額アンケート

本調査では、便益を計測する対象は、非常用発電機のみとした。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した。

回答にあたって複雑化を避けるため、本調査では支払いカード方式によってWTP (Willing To Pay, 支払意思額) を尋ねることとした。支払カード方式[5]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、この基準額に対して以下の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

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[10]から設定した。

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。

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。図11に最重要負荷をカバーする非常用発電機の利用イメージとして実際にアンケート画面に表示させたものを示す。1から5までの選択肢の回答数を図12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、調査を行えていない。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。

6. 政策的含意と提言

本研究プロジェクトにおいては、ここまでに述べたツールの構築やアンケートの実施以外にも、自家発電機を含むエネルギー機器を対象とした補助金政策についての調査および政策実務者（内閣府、厚生労働省、東京都、経験者も含む）、非常用発電機メーカ、災害拠点病院の減災・防災担当者等をはじめとするインタビュー調査を行った。これらの内容も踏まえて、提言を述べる。

・災害拠点病院に対する、自家発電機の容量的な備えを整えるフェーズから、質的な検討を行うために必要な情報等のサポートを行うことが求められる。

本研究では、自家発電機の構成・容量の最適化に続き、電力シミュレータを用いて時々刻々変化する需給バランスのシミュレーションを行った。この結果、機器容量や機器同士の接続方法、これらの運転にかかわる制御パラメータの設定が需給バランスに大きな影響を与えることがわかった。これはハードウェアの制約や制御パラメータの設定によって、需給がまかなえない場合があり、「平常時の 60% 程度の発電容量を有する自家発電機を保有すること」という要件をクリアするだけでなく、規定の周波数を満たしながら運転をする必要がある。しかしながら、病院の防災・減災担当者がこうした点まで踏み込んで決定することは現実的とはいえない。質的な検討を行うために必要な情報公開や周知をし、機器導入・維持・運転に関わる意思決定のサポート体制を構築する必要がある。

・省エネルギー機器の新規導入だけでなく既存設備と併せて利活用ができるよう補助金対象の要件緩和を行う必要がある。

複数の災害拠点病院に対してインタビュー調査を行い、その中には実際に災害による停電を経験されていた病院も含まれていた。こうした病院では定期

点検はもちろん、事前に災害が予測できる場合（台風など）には自家発電機メーカーに問い合わせる設備稼働準備が入念に行われていたが、配電盤に不具合があり停電時に稼働しなかった。電気設備は、建物新築時に導入されて更新される機会が少ないが、耐用年数は発電機等機械設備よりも短いため、老朽化により不具合が懸念される。調査を行った「省エネルギー」や「レジリエンス強化」を目的とした補助金制度では、「パワーコンディショナーは対象としない」などの電気設備の追加や更新といった事業を対象としていないものが多くあったが、これらの工事費用は高額となることが多いため、補助金施策における助成対象の要件緩和等の対応が望ましいと考える。

7. おわりに

現在、本研究で構築したツールを用いて実病院での災害時の自家発電機需給バランスのシミュレーションを予定している。このシミュレーションの結果をもとに、病院の防災・減災担当者に向けて、災害時の病院建物の電力需給の様子や付随する情報を提供し、防災・減災計画の見直しに役立てていただく。また、これを踏まえた資料をホームページに公開予定である。

参考文献

- [1] 資源エネルギー庁，“節電行動計画記入説明書”，
<https://www.jccci.or.jp/0606guide2.pdf>，最終アクセス日：2019. 2. 6.
- [2] 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
- [3] 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>

- [4] 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>

- [5] 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総会講演会講演論文集, 2019 年 3 月 19 日. Doi:

<https://doi.org/10.1299/jsmekanto.2019.25.19D18>

- [6] 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

キーワード

災害拠点病院, エネルギー, レジリエンス, 環境性, 経済性, 業務継続計画 (Business continuity plan, BCP), 多目的最適化, 電力システムシミュレーション
02

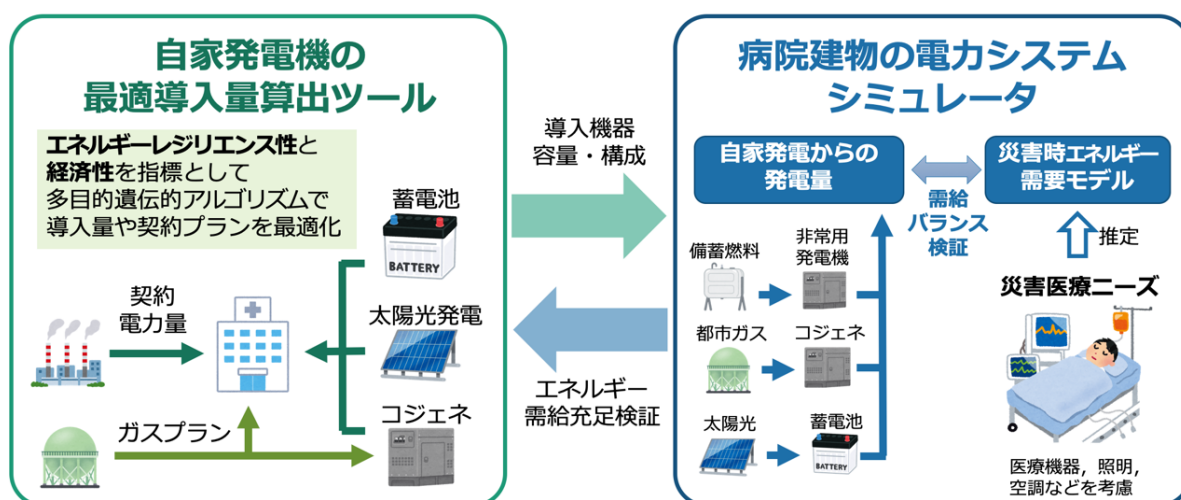


図 1 自家発電機導入計画策定サポートツールの概要.

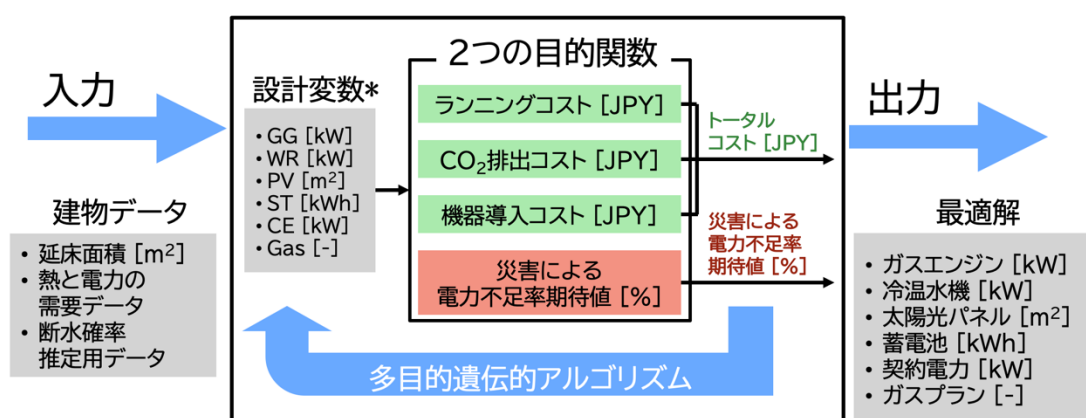


図 2 多目的最適化ツールの概略.

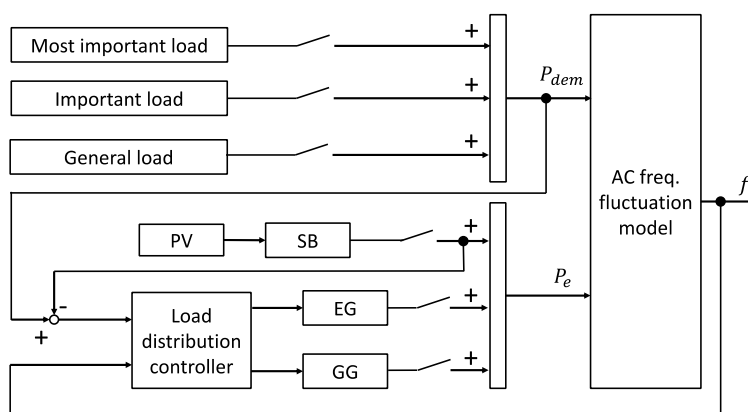


図 3 電力システムシミュレータの概略図.

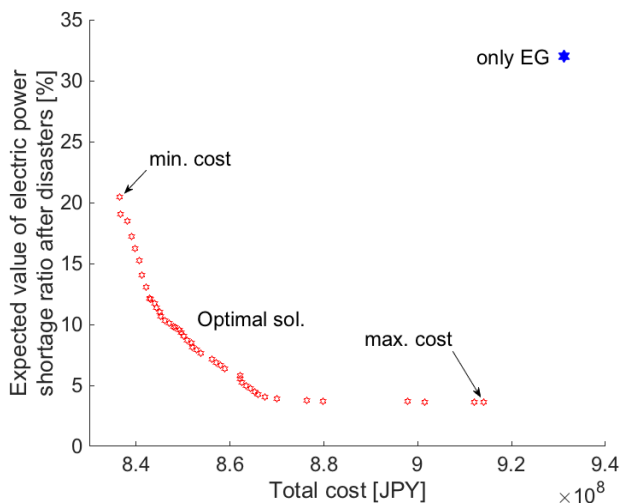


図 4 延床面積 10,000 m², 低圧配管の場合に得られた解. Only EG は非常用発電機のみ.

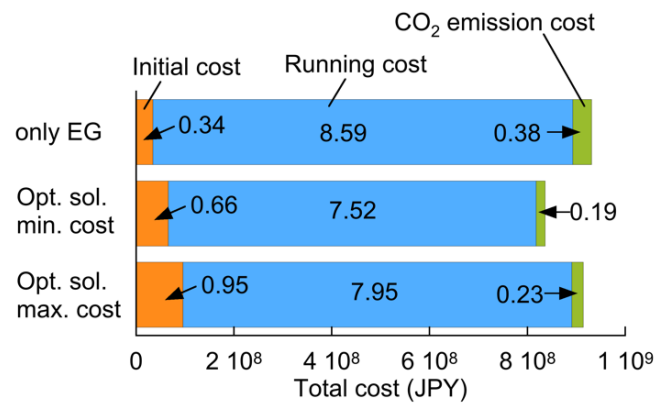


図 5 トータルコストの内訳. 非常用発電機のための結果と延床面積 10,000 m², 低圧配管の場合を比較.

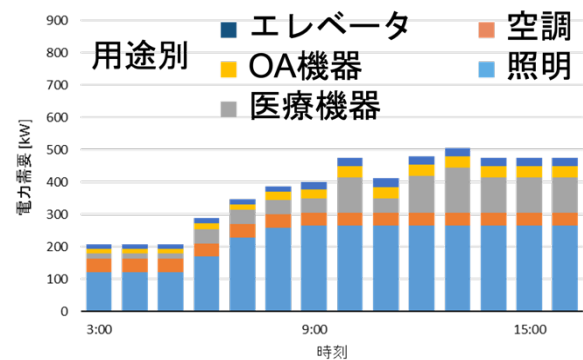
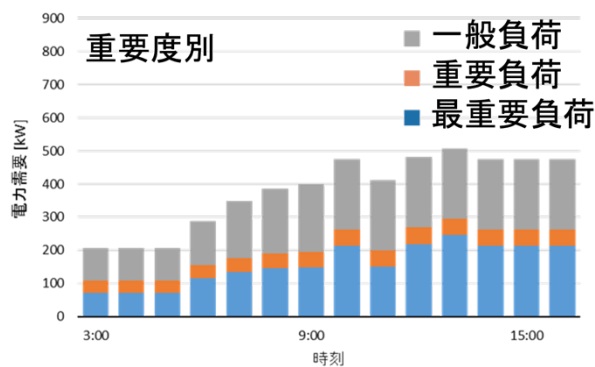


図 6 災害時の電力需要モデル. 左図: 重要度別, 右図: 用途別.

表 1 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

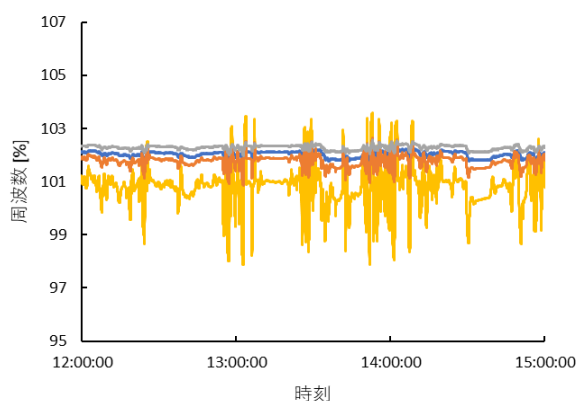


図 7 ケース(A)からケース(D)の12時から15時までの周波数変動シミュレーション結果.

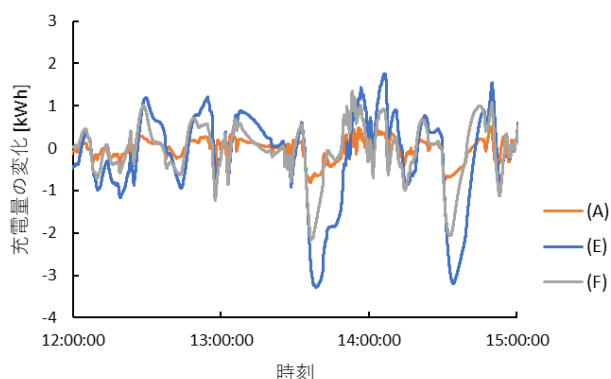


図 8 ケース(A), ケース(E), ケース(F)の12時から15時までの充電量の変化.

表 2 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

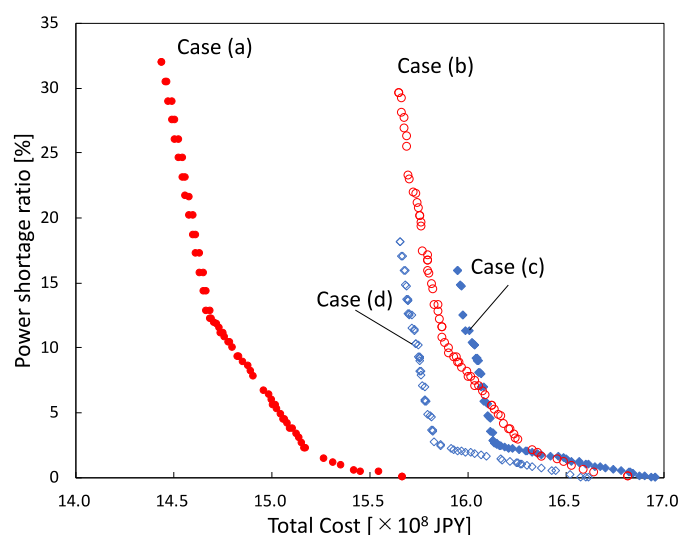


図 9 各ケースのパレート解集合

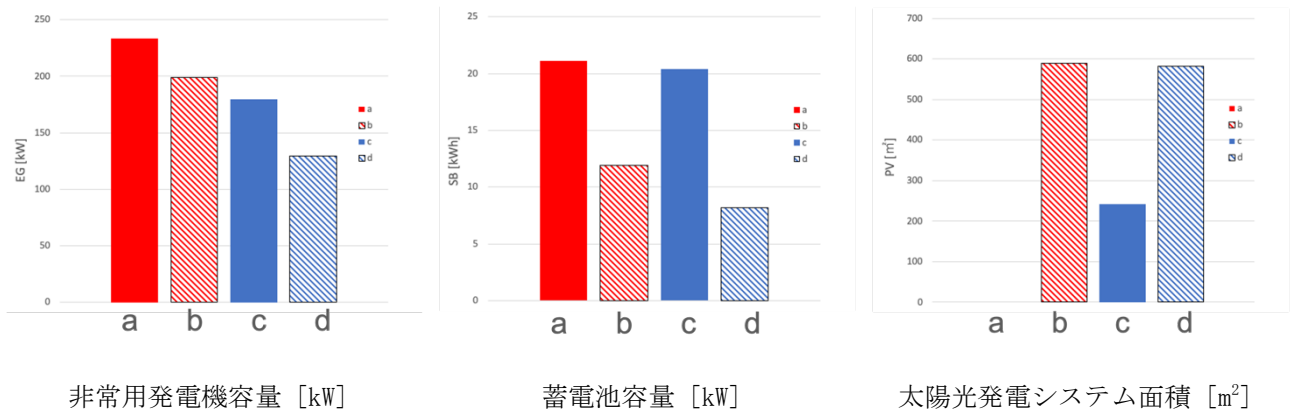


図 10 各ケースの分散型電源等の最適導入量の平均値

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			

図 11 最重要負荷をカバーする非常用発電機の利用イメージ

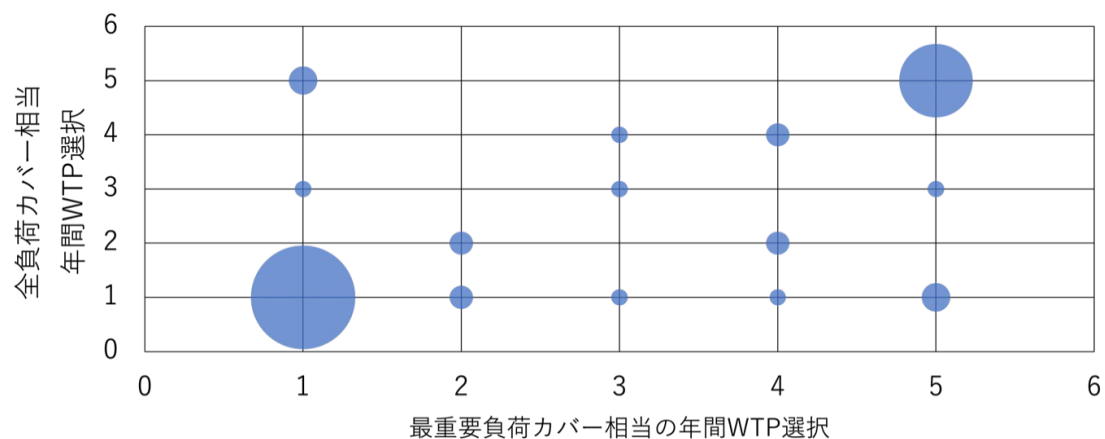


図 12 災害拠点病院を対象にした非常用発電機の年間 WTP アンケート結果.

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 : 全負荷カバー相当の年間WTP の選択肢