

戦略的創造研究推進事業
(社会技術研究開発)
令和元年度研究開発実施報告書

「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」

上道 茜
(早稲田大学 准教授)

目次

1. 研究開発プロジェクト名	2
2. 研究開発実施の具体的内容	2
2－1. 研究開発目標	2
2－2. 実施内容・結果	3
2－3. 会議等の活動	30
3. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況	31
4. 研究開発実施体制	31
5. 研究開発実施者	33
6. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など	34
6－1. シンポジウム等	34
6－2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など	34
6－3. 論文発表	34
6－4. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）	34
6－5. 新聞／TV報道・投稿、受賞等	35
6－6. 知財出願	35
参考文献リスト	36

1. 研究開発プロジェクト名

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

2. 研究開発実施の具体的内容

2-1. 研究開発目標

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¹⁾」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²⁾（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³⁾（システムシミュレータ）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。

- 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。
- 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。
- 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。

¹⁾ 名称を「エネルギーBCP 策定サポートツール」から変更。

²⁾ 名称を「分散型エネルギー機器導入計画策定支援ツール」から変更。

³⁾ 名称を「エネルギーシステム詳細シミュレータ」から変更。

2-2. 実施内容・結果

(1) スケジュール

実施項目	17FY	18FY	19FY	20FY
	10～12月 1～3月	4～6月 7～9月 10～12月 1～3月	4～6月 7～9月 10～12月 1～3月	4～6月 7～9月 10～12月 1～3月
定期研究会の実施	●	●	●	●
(1) 従来の補助金制度に関する調査				
(1)-1 過去の補助金制度に関する網羅的調査	■	延長		
(1)-2 補助金に関わる実務者への聞き取り調査	■	延長		
(2) 災害拠点病院へのエネルギー需要調査				
(2)-1 アンケート調査票作成	計画変更に伴う未実施			
(2)-2 アンケート調査実施		■		
(2)-3 災害拠点病院を対象とした聞き取り調査	■	■		
(3) 最適化ツールの精緻化				
(3)-1 新しい「災害リスクモデル」の構築	■			
(3)-2 多目的最適化への変更	■			
(3)-3 機器故障確率の調査		■		
(3)-4 ガス・配管故障確率の調査		■		
(3)-5 既存ツールとカップリング		■	■	
(4) 詳細シミュレータの構築				
(4)-1 エネルギー機器データ収集	■			
(4)-2 各エネルギー機器モデル化		■		
(4)-3 集中型電源・分散型機器のカップリング		■	■	
(5) ケーススタディの実施				
(5)-1 熱電需要データの作成			延長	
(5)-2 ケーススタディ計算			■	
(6) 補助金制度の提案				
(6)-1 本開発ツールを活用した補助金制度の検討			延長	
(6)-2 ケーススタディに対する補助金施策提案			■	
(7) 評価と分析				
(7)-1 便益計測				
(7)-2 災害拠点病院を対象とした聞き取り調査			■	
(7)-3 補助金に関わる実務者への聞き取り調査			■	
(8) まとめ				■

(2) 各実施内容

今年度の到達点①

構築した2つのツールを用いて災害拠点病院において災害時系統電力途絶時の需給バランスが充足しているかどうかの検証を行うこと。

実施項目①-1：最適化ツールの精緻化

① これまでに構築した2つのツールの課題と提案手法の概要

本研究プロジェクトでは、これまでに「自家発電機導入計画立案サポートツール」として、「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）¹⁾」および「病院建物電力システムシミュレータ（システムシミュレータ）^{2),3)}」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つのツールは個別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需要に対して電力供給ができるかは検討できていない。

一方、システム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、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、システム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 1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。最適化ツールは建物データを入力として内部で最適化シミュレーションを行い、最適な分散型電源機器構成を出力する。システムシミュレータは機器容量を入力として内部で周波数変動シミュレーションを行い、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を出力する。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システム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。

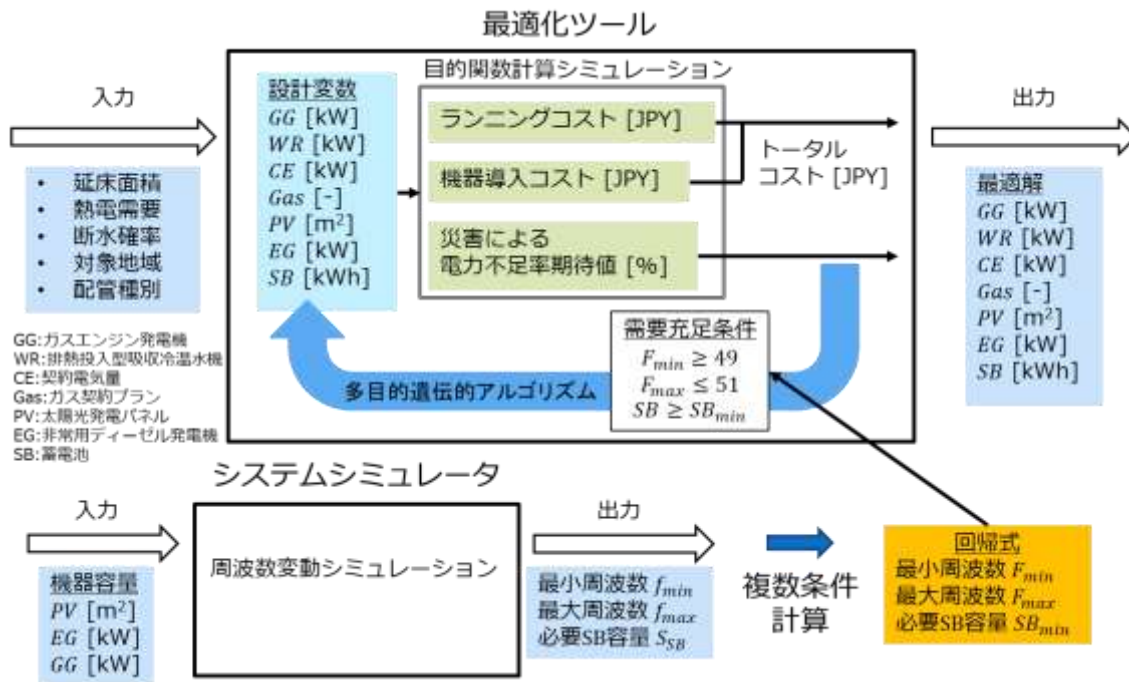


図 1 提案する分散型電源機器導入量決定手法

なお、最適化ツールに需要充足条件を追加するためにシステム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 2)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⁴⁾。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。

改良後のシステムシミュレータの概要を図 3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。システム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。

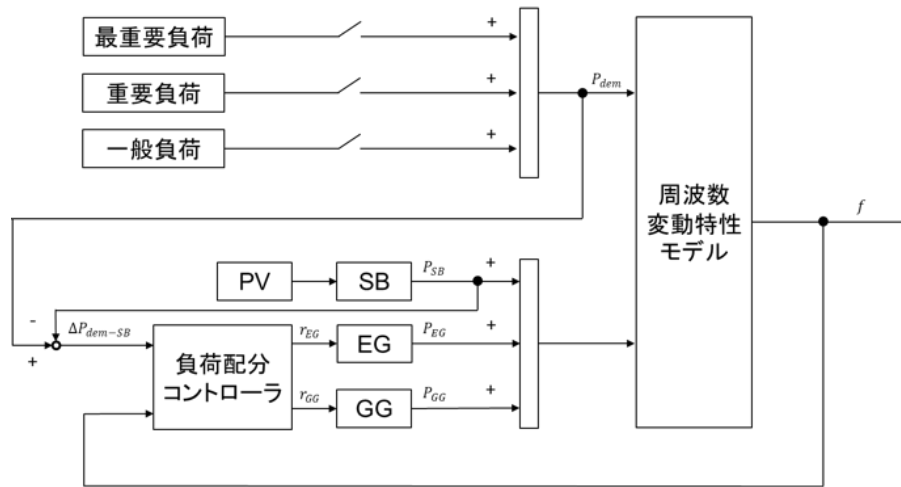


図 2 改良前のシステムシミュレータ概要図

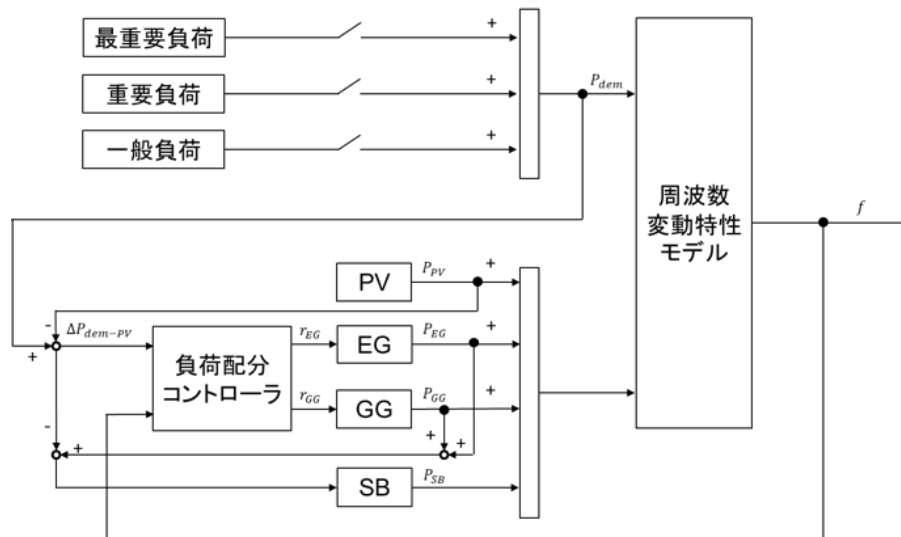


図 3 改良後のエネルギーシステムシミュレータ概要図

② 需要充足条件の検討

a) 病院の医療機器の周波数変動許容値

本研究では「需要充足性」という言葉を、「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」と定義する。災害時に系統電力からの電力供給が途絶した際には、周波数変動が発生する。周波数変動が大きくなると、最悪の場合、接続されている機器が解列するなどの恐れがある。そのため、周波数変動シミュレーションにあたって、本研究の対象である病院に設置されている機器の周波数変動許容値について考慮する必要がある。ここでは、病院内の機器の周波数変動許容値についての調査をまとめる。

病院には様々な機器があり、それぞれ周波数変動の許容値が異なる。このうち、需要充足

条件の基準として用いる周波数変動の許容値は、病院に設置されている機器の中で最も周波数変動許容値が小さい機器の許容値とすることにした。とりわけ、医療機器 (ME) は精密機械なども多く、周波数変動についてもJISでも定められている。医用電気機器の要求事項について説明されているJIS T 0601-1:2017⁹⁾によると、「4.10.2 ME機器及びMEシステムのための電源 (商用)」に「周波数の変動は、100 Hz以下では、公称周波数から1 Hzを超えない。100 Hzを超え1 kHzまでは公称周波数の1 %を超えない」と記載されている。そこで本研究ではJISに記載されている「公称周波数 ± 1 Hz」という規定を用いることとする。

b) 最適化ツールに制約条件を追加するための方針

これまでに構築した最適化ツールには、需要充足性を評価する仕組みは組み込まれていなかった。一方、システムシミュレータでは、負荷と各機器の容量を設定することで周波数変動をシミュレーションすることができる。需要充足性を判断する際に重要となるのは、交流周波数が最小 (もしくは最大) となる瞬間の周波数の値である。この値が病院の機器の周波数変動許容値以内であれば、需要充足性があるといえる。

そこで、周波数変動が許容値以内となるような機器容量の関係式を導出することができれば、多目的GAで随時出力される最適解に対して需要充足性を評価することができると考えた。ここでは、様々な条件で周波数変動シミュレーションを行い、周波数変動が許容値以内となるような機器容量の関係式を導出した。それを基に制約条件を最適化ツールに追加した。以下では、その過程について説明する。

なお、最適化ツールでは、低圧配管と中圧配管の都市ガス供給配管種別を設定できるが、中圧配管は災害時にも途絶しないと想定しているため、災害時にもGGを使用することが可能である。一方、低圧配管は災害時に途絶した際にGGによる電力供給が行えないことになる。

c) 対象とする病院のケース

本研究では、2018年9月に発生した北海道胆振東部地震を念頭において、中間期における災害時需要モデルを基に周波数変動シミュレーションを行う。対象は、延床面積20000 m²、病床数200床の仮想病院で、最重要負荷と重要負荷のデータをシステムシミュレータの需要データとして用いる。本モデルは夏季に発生する災害と比較して空調需要が小さいが、本モデルが北海道胆振東部地震の実被害を基にしているため、災害発生時と同じ中間期のモデルを用いることにした。

d) 需要充足性を検討するために想定するケース

最適化ツールでは、仮想病院のガス配管種別として、低圧配管と中圧配管の2種類を想定してケーススタディを行うことができる。先述の通り、中圧配管は災害時にも途絶しないものとする。中圧配管でガス供給が行われている病院は災害時にもGGによる発電を行うことができるが、低圧配管でガス供給が行われている病院では、災害時にGGによる発電が行えない可能性がある。

本研究で導出する需要充足条件は、災害の発生により電力供給が最も難しいケースを想定したものとする。中圧配管によってガス供給がなされている病院において想定される電力供給が最も難しいケースは、系統電力が途絶した場合である。その際にはPV、EG、GGおよびSBで需要を賄い、かつ周波数変動を抑制する。一方、低圧配管によってガス供給がな

されている病院において想定される電力供給が最も難しいケースは、系統電力およびガスが途絶した場合である。このとき、GGは使用できないため、PV、EGおよびSBで需要を賄い、かつ周波数変動を抑制する。

e) 最適化ツールの設計変数の探索緒元の上下限值

本研究で用いた整数変数を扱う多目的GAでは、各設計変数の探索範囲を整数で予め設定しておく必要がある。先行研究¹⁾で用いた探索範囲の決定手法を本研究でも用いることとする。

最適化ツールで使用する病院の熱電需要データには、「天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル⁶⁾」に掲載されていた延床面積10,000 m²の事業所の熱電需要データを基にした。病院の熱電需要データは、その規模や種別によらず延床面積に比例するという研究結果が報告されている⁷⁾ことから、延床面積を変化させた結果を用いる。

表 1に設計変数探索緒元の上限值を示す。延床面積20,000 m²の仮想病院の場合、電力需要のピーク値は692 kW程度である。多目的遺伝的アルゴリズムでは、上限値に近い値は探索しにくいいため、需要のピーク値付近の値まで設計変数を十分に探索できるように、GG、WR、CD、EGの上限値は余裕を持たせて800 kWとした。下限値はすべての設計変数については0とした。計算ステップは、SBは1刻み、GG、WR、PV、CDは10刻みとした。ガสปランについては、0から4までの1刻みの離散値で設定されているため、1刻みで探索する。

表 1 設計変数探索緒元の上限值

設計変数	上限値
DV_{GG} [kW]	800
DV_{WR} [kW]	800
DV_{PV} [m ²]	600
DV_{SB} [kWh]	600
DV_{CE} [kW]	800
DV_{gas} [-]	4
DV_{EG} [kW]	800

本研究ではシステムシミュレータを用いて、GGおよびEGの容量から、導入可能なPVの最大容量を見積もることができる。もしGGおよびEGの探索範囲内で導入可能なPVの最大容量が、PVの探索範囲外であれば、最適化において十分な探索ができないため、PVの探索範囲を拡張する必要がある。そのため、システムシミュレータを用いてPVの探索範囲の検討を行った。

f) システムシミュレータの短周期変動成分の設定

及川の研究では、蓄電池制御パラメータである移動平均時間とフィードバックゲインの値を変えることで、周波数変動の抑制効果と必要な蓄電池容量も変化し、この2つがトレードオフ関係にあることを示すにとどめていた。しかしながら、移動平均時間とフィードバックゲインの値によって周波数変動シミュレーション結果は異なるため、パラメータを適切な値に設定することが本研究においては重要である。

これまでに需要の短周期変動成分を考慮して周波数解析を行った研究はいくつか存在する。井上らは、電力系統の需要変動を、20数分以上の長周期の需要変動成分であるサステンド成分、数分から20分程度の短周期の需要変動成分であるフリンジ成分、数分以下の小幅な需要変動成分であるサイクリック成分に分けて考えた⁸⁾。高らは、サステンド成分とフリンジ成分からなる需要を考え、周波数解析を行った⁹⁾。サステンド成分の推定誤差±5%をフリンジ成分の大きさとした。及川の研究では長周期変動成分であるサステンド成分しか考慮されていなかったが、本研究ではフリンジ成分も考慮することとする。

時刻 t [s]における需要モデル $E_{total}(t)$ は、サステンド成分 $E_{sus}(t)$ とフリンジ成分 $E_{fri}(t)$ の和として以下のように表される。

$$E_{total}(t) = E_{sus}(t) + E_{fri}(t) \quad (1)$$

フリンジ成分は高らの研究⁹⁾を参考にして、以下のように設定した。ただし、変動周期は5分とした。

$$E_{fri}(t) = 0.05 \times E_{sus}(t) \times \sin\left(\frac{2\pi t}{300}\right) \quad (2)$$

g) 蓄電池制御パラメータの決定

及川の研究²⁾では、蓄電池制御パラメータである移動平均時間とフィードバックゲインを変えることで、周波数変動の抑制効果と必要な蓄電池容量も変化し、この2つがトレードオフ関係にあることを示すにとどめていた。移動平均時間とフィードバックゲインの値によって周波数変動シミュレーション結果は異なるため、パラメータを適切な値に設定することが本研究において重要である。

奥田らは、移動平均法を用いた蓄電池の制御により、蓄電池によるPV出力変動抑制効果を検証した¹⁰⁾。PV出力の実測値に対して、移動平均時間を変えて蓄電池による移動平均処理をした結果、移動平均時間が5分以上でPV出力の平滑化が可能であることを示した。また、移動平均時間を短くすると、移動平均値はPVの出力変動に近くなるため、抑制効果が得られにくいことが示唆された。そのため移動平均時間は変動成分の周期に対して十分大きな値に設定する必要がある。

他方、小熊らは、メガソーラーの系統供給電力を平滑化するため、移動平均法とフィードバックゲインを用いた蓄電池制御技術を開発し、同制御技術を用いて平滑化に必要な蓄電池容量を評価する手法を構築した¹¹⁾。この研究では、蓄電池制御パラメータである移動平均時間とフィードバックゲインはそれぞれ $T_m = 20 \text{ min}$ 、 $K = 1 \text{ kW/kWh}$ であった。

本研究で用いる蓄電池制御パラメータは、同様の研究で用いられている値を参考にして決定するものとする。小熊ら¹¹⁾が用いたパラメータ値が本研究において適切かどうかを調べるため、移動平均時間を変えて移動平均値を求めた。ただし日射データには、昨年計測した2018年9月8日東京都文京区における晴れの日の日射データを用いた。移動平均値を求めるシミュレーションの条件を表2に示す。

表 2 移動平均値の計算条件

Case	T_m [min]	K [kW/kWh]
(A)	1	1
(B)	5	1
(C)	10	1
(D)	15	1
(E)	20	1

PVの出力および各ケースの移動平均値を図 4に示す．横軸は時刻であり，ここでは周波数変動が大きい日中の時間帯のみを表示している．図(a)は，2018年9月8日に計測した晴れの日の日射データである．PV出力変動は，晴れの日が最も大きくなるため，このデータを用いて移動平均値推移からパラメータを検討する．

ケース(A)から(E)の移動平均値を同図(b)から(f)に示す．図より，設定する移動平均時間が小さいほど，移動平均値はPVの出力に近くなるという，奥田らの研究結果¹⁰⁾と同じ傾向がみられた．移動平均時間を20分より大きくすることでPV出力のさらなる平滑効果が得られるが，20分以上の変動周期をもつ需要のサステンド成分はEGおよびGGで十分抑制可能であると考え，本研究ではf)節で述べた数分程度の変動周期をもつフリンジ成分を平滑化できるように小熊らの研究と同じ， $T_m=20$ min， $K=1$ kW/kWhとした．

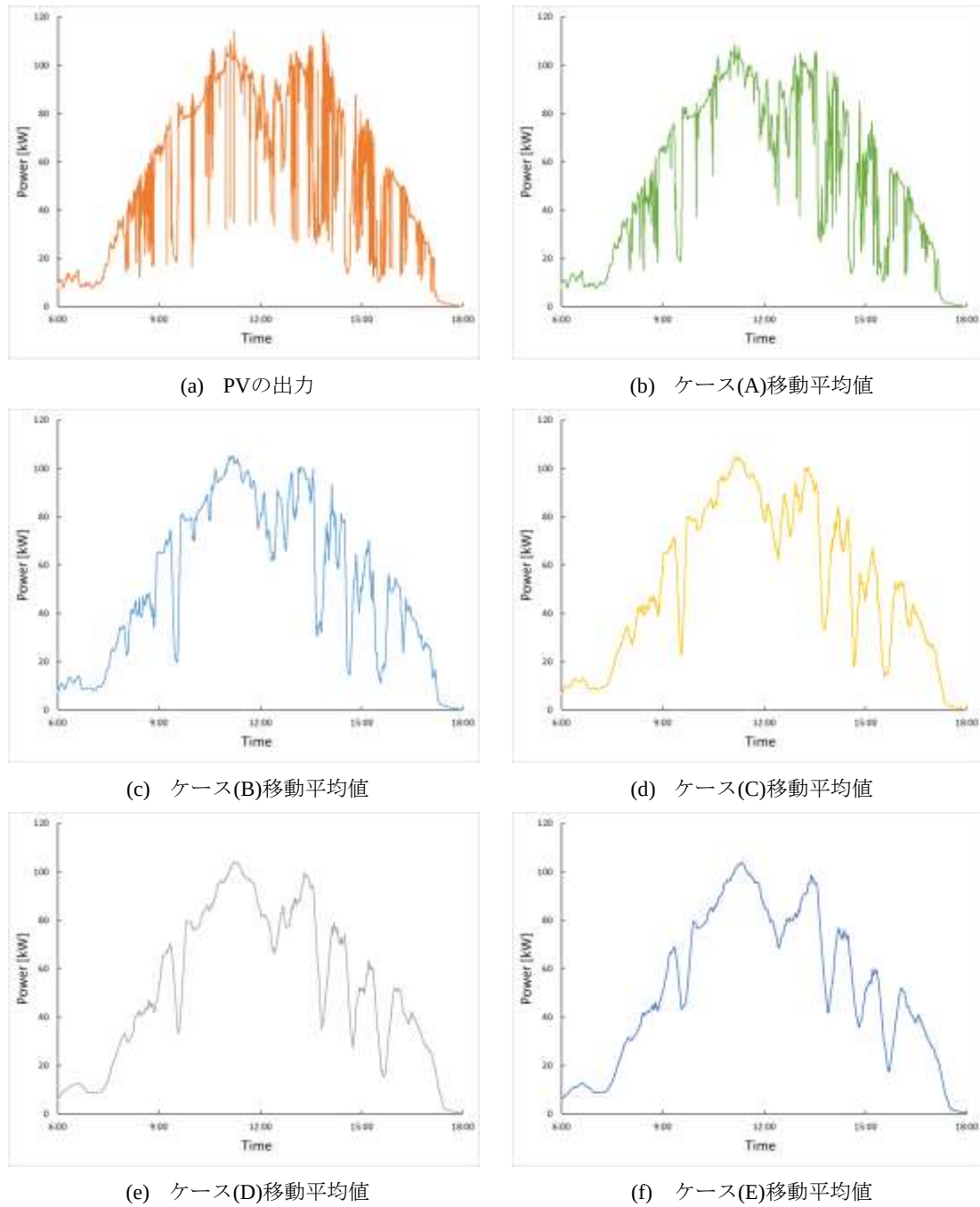


図 4 PV の出力と各ケースの移動平均値

③ 需要充足性導出のためのシステムシミュレータによるケーススタディ

ここでは、PV、EG、GG容量をそれぞれ変化させて周波数変動シミュレーションを行い、以降の議論に向けて、PV、EG、GG容量がそれぞれ周波数変動と蓄電池導入量に与える影響について調べる。

a) 需要充足性の考え方

先述の通り，本研究では「需要充足性」という言葉を，「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」と定義する．このとき，周波数変動の許容値は「公称周波数 ± 1 Hz」とする．なお，東日本における公称周波数は50 Hzであるため，周波数上昇限度は51 Hz，周波数低下限度は49 Hzである．

最適化ツールから得られるパレート解の需要充足性を評価するためには，以下の5つの条件を調べればよい．

- ① EG の出力がすべての時刻において定格値を超えないこと
- ② GG の出力がすべての時刻において定格値を超えないこと
- ③ 周波数の最大値が 51 Hz 以下であること
- ④ 周波数の最小値が 49 Hz 以上であること
- ⑤ SB の導入量がシステムシミュレータから得られる SB の必要容量を上回ること

これらの条件のうち，①および②は，分散型電源機器の容量に関する制約，③，④および⑤は周波数変動の抑制に関する制約ととらえることができる．

ここでは，延床面積20,000 m²，病床数200床の仮想病院に対して周波数変動シミュレーションを行った．周波数変動シミュレーションの条件を表 3に示す．蓄電池制御パラメータである移動平均時間 T_m とフィードバックゲイン K は，②g)節で決定した値を用いた．需要データには北海道胆振東部地震を想定した最重要負荷と重要負荷の24時間分のデータを用いた．日射データには，周波数変動が大きい晴れの日の実測データを用いた．

表 3 周波数変動シミュレーションの条件設定

分散型電源機器の容量			蓄電池制御パラメータ	
PV [m ²]	EG [kW]	GG [kW]	T_m [min]	K [kW/kWh]
300	400	800	20	1

b) 周波数変動の履歴

表 3の条件における周波数変動の履歴を図 5に示す．横軸は時刻であり，災害時に病院建物内のエネルギーシステムを自立させた3時から16時までを表示している．周波数変動の許容限界を赤い実線で示した．表 3に示した機器構成では，11時過ぎに最小値 f_{min} が49 Hzを下回るため，この機器構成では需要充足性がない．

本研究では需要充足性を判断するために周波数の最小値 f_{min} と最大値 f_{max} を調べることとする．PV，EG，GGの容量から最小周波数 f_{min} および最大周波数 f_{max} を簡易的に求める手法を考案することを目指す．

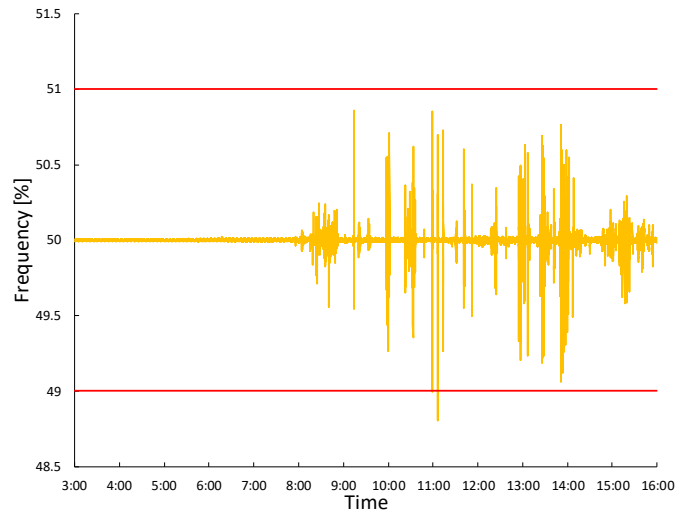
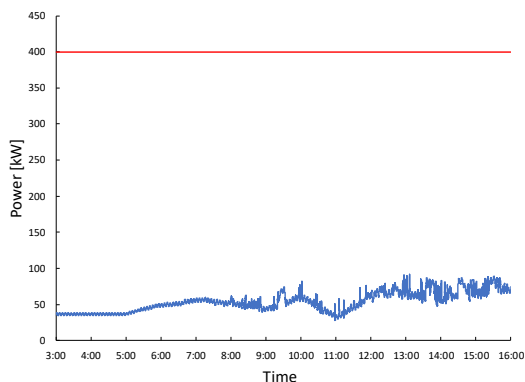


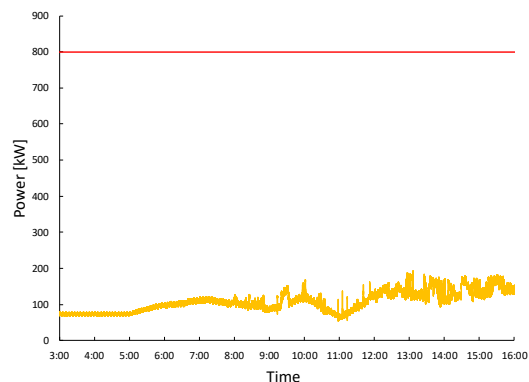
図 5 周波数変動の履歴

c) EG, GGの出力の履歴

北海道胆振東部地震を想定した需要モデルに対して晴れの日の日射データを用いた場合における、EGの出力を図 6(a)に、GGの出力を図 6(b)に示す。横軸は時刻であり、災害時にエネルギーシステムを自立させた3時から16時までを表示している。それぞれの定格値を赤色の実線で示した。両図より、EG,GGともに、すべての時刻に対して出力が定格値以内であることがわかる。負荷配分コントローラへの入力である、負荷とPV出力の差分 ΔP_{dem-PV} の最大値が274kW程度であるため、EGとGGの合計容量がこれを上回る場合には、出力を定格値以内に保ちながら電力供給ができる。需要データとPV容量が一定であれば、 ΔP_{dem-PV} の最大値も一定である。EGとGGの合計容量が ΔP_{dem-PV} の最大値を下回る条件では、EGとGGの出力が定格値を超えてしまうため、以後はEGとGGの合計容量が274 kW以上の条件で周波数変動シミュレーションを行うこととする。



(a) EG出力



(b) GG出力

図 6 EG および GG 出力（晴れ、北海道胆振東部地震を想定した需要モデル使用）

d) 蓄電池の充電量の履歴

表 3の条件における蓄電池の充電履歴を図 7に示す。システムシミュレータでは、SBは容量の上限は設定せずに計算を行い、最低限必要な蓄電池の容量を求めるために充電量の最大値と最小値の差を得るものとする。したがって、必要SB容量は図中の最大充電量と最小充電量の差から0.083 kWhと求めた。最適化ツールによって求めたSB導入量が、システムシミュレータによって求めた必要SB容量を下回る場合には、需要充足性がないと判断する。

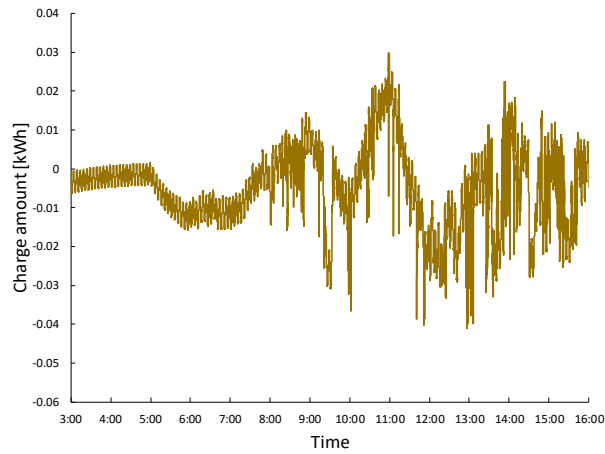


図 7 蓄電池の充電量の履歴

以上より、「最小周波数が49 Hz以上であること」、「最大周波数が51 Hz以下であること」、および「蓄電池の導入量が必要容量を上回ることをすべて満たすことを需要充足条件とする。

e) 自家発電機容量に対する周波数変動シミュレーション

EG, GG, PVの3種類の自家発電機容量と周波数変動について調べるため、他の2種類の容量は固定し、1種類の容量を変化させて周波数変動シミュレーションを行った。シミュレーションの結果から最小周波数 f_{min} と最大周波数 f_{max} を調べた。なお、いずれのシミュレーションにおいても蓄電池制御パラメータは $T_m = 20 \text{ min}$ 、 $K = 1 \text{ kW/kWh}$ に設定した。

表 4 シミュレーションの条件。SYNC は同期運転，ASYNC は非同期運転を表す。

Simulation case	PV [m ²]	EG [kW]	GG [kW]	Operation of GG and EG
i)	300	0-800 (100)	800	SYNC
ii)	100	200-800 (100)	0	ASYNC
iii)	300	800	0-800 (100)	SYNC
iv)	300	0	100-800 (100)	ASYNC
v)	100-400 (100)	0	800	ASYNC

以下にそれぞれの結果についてまとめる。

i. EGを変化させた場合、EGとGGは同期運転：

EGとGGが同期運転している場合には、EG容量が大きいほど周波数変動が大きくなる。また、EGの容量が300 kWを境に、周波数変動の傾向が異なる。これはEGの慣性モーメントを300 kW前後の容量で不連続的に変化するモデルを用いているためである。したがって、機器容量から f_{min} と f_{max} を求める際には、EG容量300 kWの前後で場合分けが必要である。

ii. EGを変化させた場合、EG単独運転

EGが単独運転している場合には、EG容量が大きいほど周波数変動が小さくなる。また、同期運転している場合と同様に、EGの容量が300 kWを境に、周波数変動の傾向が異なるという結果が得られた。なお、このシミュレーション条件では、いずれも周波数が許容値を大きく逸脱しているため、需要充足性がない。

iii. GG容量を変化させた場合、EGとGGは同期運転

GG容量が増加するほど f_{min} は大きくなり、 f_{max} は小さくなる。つまり、EGとGGが同期運転している場合には、GG容量が大きいほど周波数変動が小さくなる。

iv. GG容量を変化させた場合、GGが単独運転している場合

GG容量が増加するほど f_{min} は大きくなり、 f_{max} は小さくなる。しかし、GG容量が大きいほど周波数変動が小さくなる。

v. PV容量を変化させた場合の周波数変動シミュレーション

PV容量が増加するほど f_{min} は小さくなり、 f_{max} は大きくなるという傾向が確認できた。つまり、PV容量が大きいほど周波数変動が大きくなるといえる。

f) PVの探索緒元の上限値の検討

システムシミュレータを用いてPVの探索範囲の検討を行った。GG容量が大きいほど、またEG容量が小さいほど周波数変動が小さくなるため、PVをより多く導入可能であることがわかる。シミュレーション結果から、PVの容量を大きくしたとき、 f_{min} が49 Hzを初めて下回るのはPVの容量が300 m²から400 m²の間であると予想される。そこで、このシミュレーションを行った条件のうち、PVの容量を300から400 m²の間で10 m²ずつ細かく変化させ、導入可能なPV容量の上限値を求めることにした。

設計変数の探索範囲内で最も周波数変動が小さいEG容量が0 kW、GG容量が800 kWとし、PVの容量を変えて複数の条件で周波数変動シミュレーションを行い、導入可能なPV容量の上限値を調べた。その結果、PV容量が360 m²以上で f_{min} が49 Hzを下回ることから、導入可能なPV容量の上限値は350 m²と求まった。最適化の際の設計変数の上限値は600 m²であるので、十分余裕がある。

g) 蓄電池必要容量に関する需要充足条件の導出

低圧ガス配管を想定した場合：EG単独運転

低圧ガス配管によってガスが供給されている病院において想定される電力供給が最も困難なケースは、系統電力およびガスが途絶した場合であり、その際にはEGが単独運転をすることになる。

そこで、PVおよびEGの容量が蓄電池導入量に与える影響を調べるため、PVおよびEGの容量を変えて複数条件でシミュレーションを行い、蓄電池必要容量を調べた。PVの容量は

100～300 m²の範囲を100 m²刻み、EG容量は200～800 m²の範囲を100 kW刻みで変化させてシミュレーションを行った。その結果、すべての条件において周波数が許容値を超えているため、これらの条件では需要充足性がないことがわかった。

そこで、周波数変動が小さくなるよう、EG容量を600, 700, 800 kWとし、PVを10～70 m²の範囲で10 m²刻みに変化させてシミュレーションを行い、許容周波数の範囲をとる蓄電池必要容量があるかどうか確認した。その結果、許容周波数の範囲内をとるすべての蓄電池必要容量が1 kWh未満と十分小さい値になった。これはシステムシミュレータにおいてエンジンを優先的に使用しているため、必要最低限で計算されるSB容量が小さくなった。最適化ツールの設計変数においてSB容量の最小単位は1 kWhなので、低圧配管が導入されている延床面積20,000 m²の病院において最低限必要な蓄電池の容量は1 kWhとする。

中圧ガス配管想定の場合：EGとGGが同期運転

中圧ガス配管によってガス供給が行われている病院において想定される電力供給が最も困難なケースは、系統電力が途絶した場合であり、その際にはEGとGGが同期運転をする。そこで、PV、EG、およびGGの容量が蓄電池導入量に与える影響を調べるため、PV、EG、およびGGの容量を変えて複数条件でシミュレーションを行い、蓄電池導入量を調べた。PVは100～400 m²の範囲で100 m²刻み、EGの容量は0～800 kWの範囲で100 kW刻み、GGは100～800 kWの範囲を100 kW刻みで変化させてシミュレーションを行った。

需要充足条件を満たすケースについては、蓄電池導入量が1 kWh未満と十分小さい値になった。したがって、中圧配管が導入されている延床面積20,000 m²の病院において最低限必要な蓄電池の容量は1 kWhとする。

h) 周波数に関する需要充足条件の導出

ここでは、PV、EG、およびGGの容量から需要充足条件を導出する過程について説明する。本研究では、表 5 に示す(A)から(D)の4つのケースを用いて、周波数に関する需要充足条件を導出する。ただし、 DV_{EG} はEGの容量、 DV_{GG} はGGの容量を表す。

表 5 システムシミュレータで計算する4つのケース

	$0 \leq DV_{EG} \leq 300 \text{ kW}$	$310 \leq DV_{EG} \leq 800 \text{ kW}$
$DV_{GG} = 0 \text{ kW}$	(A) 低圧ガス配管	(B) 低圧ガス配管
$0 < DV_{GG} \leq 800 \text{ kW}$	(C) 中圧ガス配管	(D) 中圧ガス配管

先述したとおり、EGの慣性モーメントの特性がEG容量300 kW前後で変化するため、EG容量の範囲は2つに分けた。また、GGの容量についても、EGが単独運転している場合とEGとGGが同期運転している場合の2つに分けた。ケース(A)および(B)は、低圧配管が導入されている病院における電力供給が最も難しいケースを想定したものである。ケース(C)および(D)は、中圧配管が導入されている病院における電力供給が最も難しいケースを想定したものである。なお、GGが単独運転している場合はケース(A)および(C)に含む。

ケース(A)：低圧ガス配管の場合、 f_{min} と f_{max} に影響を与えるパラメータはPV容量および

EG容量の2つである。シミュレーションの結果から、低圧の条件では、EG容量が大きいほどより多くPVを導入可能であることがわかる。ケース(A)におけるPV導入最大量を調べるために、 $DV_{EG} = 300 \text{ kW}$ で固定して、PV容量を変化させて周波数変動シミュレーションを行った。その結果、許容数波数の範囲に収まらなかった。したがって、ケース(A)において、PVは導入できず需要充足条件は $DV_{PV} = 0 \text{ m}^2$ である。

ケース(B)：PVが最も多く導入可能な条件は、 $DV_{EG} = 800 \text{ kW}$ のときである。そこで、PV導入量の上限を調べるため、 DV_{EG} を800 kWで固定し、 DV_{PV} を変えて複数条件でシミュレーションを行った。

EGおよびGGの容量は固定し、PVの容量を10～100 m^2 の間で、10 m^2 ずつ変化させた。その結果、ケース(B)におけるPV導入量の上限は60 m^2 であることがわかる。同様にして、EG容量の下限值である $DV_{EG} = 310 \text{ kW}$ におけるPV導入量の上限を調べたところ、PV導入量の上限は30 m^2 であることがわかった。続いてPV容量が40, 50, 60 m^2 の条件で最低限必要なEG容量を求めたところ、それぞれ390, 520, 660 kWとなった。

以上から、ケース(B)における周波数に関する需要充足条件は以下のようになる。

$$0 \leq DV_{PV} \leq 30 \text{ m}^2 \text{ のとき, } 310 \text{ kW} \leq DV_{EG} \leq 800 \text{ kW} \quad (3)$$

$$DV_{PV} = 40 \text{ m}^2 \text{ のとき, } 390 \text{ kW} \leq DV_{EG} \leq 800 \text{ kW} \quad (4)$$

$$DV_{PV} = 50 \text{ m}^2 \text{ のとき, } 520 \text{ kW} \leq DV_{EG} \leq 800 \text{ kW} \quad (5)$$

$$DV_{PV} = 60 \text{ m}^2 \text{ のとき, } 660 \text{ kW} \leq DV_{EG} \leq 800 \text{ kW} \quad (6)$$

$$70 \leq DV_{PV} \text{ のとき, 需要充足性なし} \quad (7)$$

ケース(C)：中圧ガス配管のケースでは、低圧のケースと異なり、 f_{min} と f_{max} にはPV, EG, およびGGの容量の3変数が影響するため、需要充足可能な条件をすべて求めるには膨大な時間を要する。そこで本研究では f_{min} と f_{max} を目的変数、PV, EG, およびGGの容量を説明変数として、 f_{min} の回帰式 $F_{min}(DV_{PV}, DV_{EG}, DV_{GG})$ と f_{max} の回帰式 $F_{max}(DV_{PV}, DV_{EG}, DV_{GG})$ を以下のように近似することにした。

$$F_{min} = b_1 + b_2 DV_{PV} + b_3 DV_{EG} + b_4 DV_{GG} \quad (8)$$

$$F_{max} = c_1 + c_2 DV_{PV} + c_3 DV_{EG} + c_4 DV_{GG} \quad (9)$$

ただし、 DV_{PV} , DV_{EG} , DV_{GG} はそれぞれPV, EG, GGの容量であり、 $b_1, b_2, b_3, b_4, c_1, c_2, c_3, c_4$ は定数である。本研究ではシステムシミュレータの結果から、重回帰分析を用いて各定数を求める。

重回帰分析に用いるシミュレーション条件を表 6に示す。なお、重回帰分析によって設計変数の探索範囲内の全域で f_{min} と f_{max} を近似しようとする、 f_{min} と f_{max} が許容値に近い条件において近似精度が低くなる可能性があり、これは好ましくない。なぜなら、許容値付近

の近似精度は需要充足条件の妥当性に大きく影響するからである．そこで本研究では、 f_{min} と f_{max} が許容値に近い条件における近似精度が重要と考え、重回帰分析によって f_{min} と f_{max} を近似する際には、得られたシミュレーションデータのうち、 f_{min} と f_{max} が許容値 ± 0.5 Hz以内にあるデータのみを用いた．

表 6 ケース(C)における重回帰分析に用いるシミュレーションデータの条件設定

PV [m ²]	ΔPV [m ²]	EG [kW]	ΔEG [kW]	GG [kW]	ΔGG [kW]
50-400	50	0-300	100	100-800	100

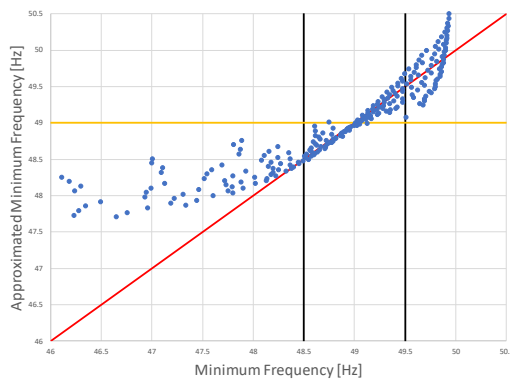
重回帰分析により $F_{min}(DV_{PV}, DV_{EG}, DV_{GG})$ と $F_{max}(DV_{PV}, DV_{EG}, DV_{GG})$ の近似式は以下のよう
に求まった．

$$F_{min} = 49.41642 - 0.00505DV_{PV} - 0.00064DV_{EG} + 0.00167DV_{GG} \quad (10)$$

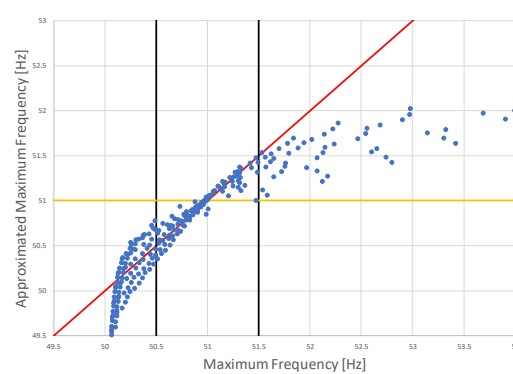
$$F_{max} = 50.46332 + 0.00425DV_{PV} + 0.00060DV_{EG} - 0.00161DV_{GG} \quad (11)$$

重回帰分析から得られた回帰式の近似精度を図 8に示す．横軸はシステムシミュレータから得られる最小周波数 f_{min} ，縦軸はその近似値 $F_{min}(DV_{PV}, DV_{EG}, DV_{GG})$ （左図）または $F_{max}(DV_{PV}, DV_{EG}, DV_{GG})$ （右図）である．青色のプロットはシミュレーションから得られたデータである．また、黄色の直線は周波数変動の許容値である． f_{min} または f_{max} が許容値 ± 0.5 Hz以内にあるデータは、2本の黒色の直線に挟まれた領域にある青色のプロットであり、これらのデータを重回帰分析に用いた．

左図において赤色の直線は $F_{min}(DV_{PV}, DV_{EG}, DV_{GG}) = f_{min}$ を示す．プロットがこの直線に近いほど近似精度が高いことを意味する． $48.5 \text{ Hz} \leq f_{min} \leq 49.5 \text{ Hz}$ となる区間における決定係数 R^2 は0.8963であり、高い精度で近似できているといえる．右図において、赤色の直線は $F_{max}(DV_{PV}, DV_{EG}, DV_{GG}) = f_{max}$ である．決定係数 R^2 は0.8866であり、 $50.5 \text{ Hz} \leq f_{max} \leq 51.5 \text{ Hz}$ となる区間において高い精度で近似できているといえる．



式(11)の近似精度



式(12)の近似精度

図 8 ケース(C)の需要充足性を表す回帰式の近似精度

以上より，需要充足条件は，以下のように表せる．

$$\begin{aligned} &0 < DV_{GG} \leq 800 \text{ kW}, \quad 0 \leq DV_{EG} \leq 300 \text{ kW} \text{ のとき,} \\ &49.41642 - 0.00505DV_{PV} - 0.00064DV_{EG} + 0.00167DV_{GG} \geq 49 \text{ Hz} \quad \text{かつ} \quad (12) \\ &50.46332 + 0.00425DV_{PV} + 0.00060DV_{EG} - 0.00161DV_{GG} \leq 51 \text{ Hz} \end{aligned}$$

ケース(D)：ケース(D)についても，ケース(C)と同様の手法により，最小周波数と最大周波数の回帰式を求める．重回帰分析に用いるシミュレーションデータの条件設定を表 7 に示す．PV容量は50 m²ずつ，EG容量およびGG容量は100 kWずつ変化させてシミュレーションを行った．

表 7 ケース(D)における重回帰分析に用いるシミュレーション条件

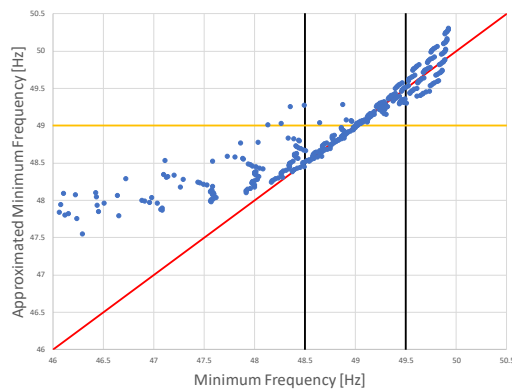
PV [m ²]	ΔPV [m ²]	EG [kW]	ΔEG [kW]	GG [kW]	ΔGG [kW]
50-400	50	400-800	100	0-800	100

重回帰分析により $F_{min}(DV_{PV}, DV_{EG}, DV_{GG})$ と $F_{max}(DV_{PV}, DV_{EG}, DV_{GG})$ の近似式は以下のよう
に求まる．

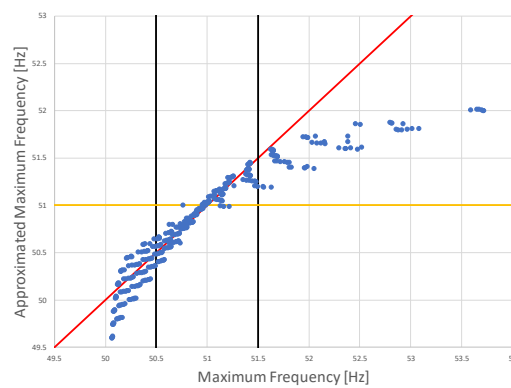
$$F_{min} = 49.47226 - 0.00489DV_{PV} - 0.00014DV_{EG} + 0.00140DV_{GG} \quad (13)$$

$$F_{max} = 50.51182 + 0.00404DV_{PV} + 0.00004DV_{EG} - 0.00141DV_{GG} \quad (14)$$

図 9に求めた回帰式の近似精度を示す．左図において決定係数 R^2 は0.9301であり， $48.5 \text{ Hz} \leq f_{min} \leq 49.5 \text{ Hz}$ となる区間において高い精度で近似できた．また，右図における決定係数 R^2 は0.9264であり， $50.5 \text{ Hz} \leq f_{max} \leq 51.5 \text{ Hz}$ となる区間において高い精度で近似できた．



式(13)の近似精度



式(14)の近似精度

図 9 ケース(D)の需要充足性を表す回帰式の近似精度

したがって、需要充足条件は、以下のように表せる．

$$\begin{aligned} &0 < DV_{GG} \leq 800 \text{ kW}, \quad 300 < DV_{EG} \leq 800 \text{ kW} \text{ のとき,} \\ &49.47226 - 0.00489DV_{PV} - 0.00014DV_{EG} + 0.00140DV_{GG} \geq 49 \text{ Hz} \quad \text{かつ} \\ &50.51182 + 0.00404DV_{PV} + 0.00004DV_{EG} - 0.00141DV_{GG} \leq 51 \text{ Hz} \end{aligned} \quad (15)$$

実施項目①-2：災害拠点病院のBCPおよび関連設備に関する調査

災害拠点病院におけるBCPの策定状況やそれを実現するための設備に関連した調査を実施した。表 8に実施リストを示す。また、半構造インタビュー調査を行ったNo. 3およびNo. 7の調査において事前に送付した質問票（質問部分のみの抜粋）の内容を表 8および表 9にそれぞれ示す（非公開）。

表 8 災害拠点病院のBCPおよび関連設備に関するインタビュー調査リスト

番号	実施日	目的	調査対象	応対者（個人情報のため非公開）	形式
1	2019/6/5, 2019/6/17	災害拠点病院設備見学	民間災害拠点病院		見学および資料提供
2	2019/7/20	災害医療情報伝達訓練見学	公立災害拠点病院		見学
3	2019/10/18	UPSに関するディスカッション	UPS製造メーカー		半構造インタビュー調査
4	2019/10/21	レジリエンス機能に注目して設計された施設の見学	クリーンセンター		非構造インタビュー調査, 見学
5	2019/11/6	レジリエンス機能に注目して設計された施設の見学	クリーンセンター		見学
6	2019/12/9	災害医療関係者勉強会見学	DMAT		勉強会参加
7	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		半構造インタビュー調査

表 9 質問票内容（非公開）

表 10 質問票内容（非公開）

実施項目①-3：首都直下地震被害想定に基づく災害拠点病院のエネルギー需要推定

首都直下地震を想定して東京都内災害拠点病院に適用することができる災害時エネルギー需要モデルを構築するため、昨年度実施した、北海道胆振東部地震によるブラックアウトを経験した災害拠点病院へのインタビュー調査等から構築した災害時電力需要モデルを改良する方法について検討した。具体的には、東京都より発表されている首都直下地震被害想定に基づき、以下の点について表形式で整理した。

- 地域別の医療施設（災害拠点病院、三次救急、二次救急）
- 地域別の負傷者人数（重傷者、軽傷者）
- 地域別の停電、ガス途絶、水道途絶の確率

今年度の到達点②災害医療政策および実務に関する調査

実施項目②-1：災害医療に携わる政策実務者や専門家を対象とした聞き取り調査

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11に実施した調査のリストを示す。

表 11 PJ間連携インタビュー調査実施リスト

番号	実施日	目的	調査対象	応対者（個人情報のため非公開）	形式
1	2019/9/20	災害医療政策に関する調査	政策実務者（中央官庁）		半構造インタビュー調査
2	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		非構造インタビュー調査
3	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		非構造インタビュー調査

半構造インタビュー形式をとったインタビュー調査No.1では、事前に質問票を送付した。表12に質問票内容を掲載する（内容については非公開）。

表 12 質問票内容（非公開）

(3) 成果

実施項目①-1：最適化ツールの精緻化

① 最適化ツールを用いたケーススタディ

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う。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。

② 条件の設定

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㎡、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 13に示す4つである。

表 13 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 14 に設計変数の探索範囲と計算ステップを示す。

表 14 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

③ 需要充足条件

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。

④ 結果と考察

ケース(a)から(d)のパレート解集合を図 10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．

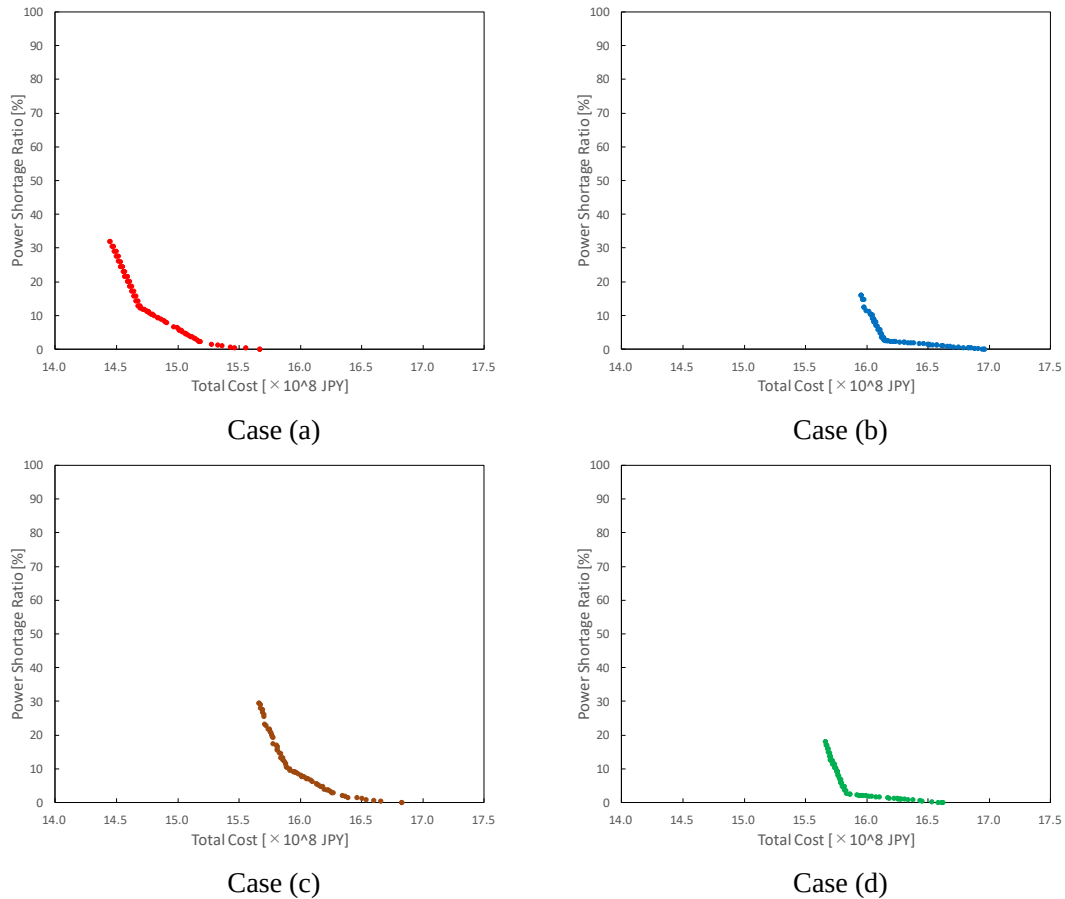


図 10 各ケースのパレート解集合

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．各ケースのパレート解集合の設計変数の平均値を図 11に示す．

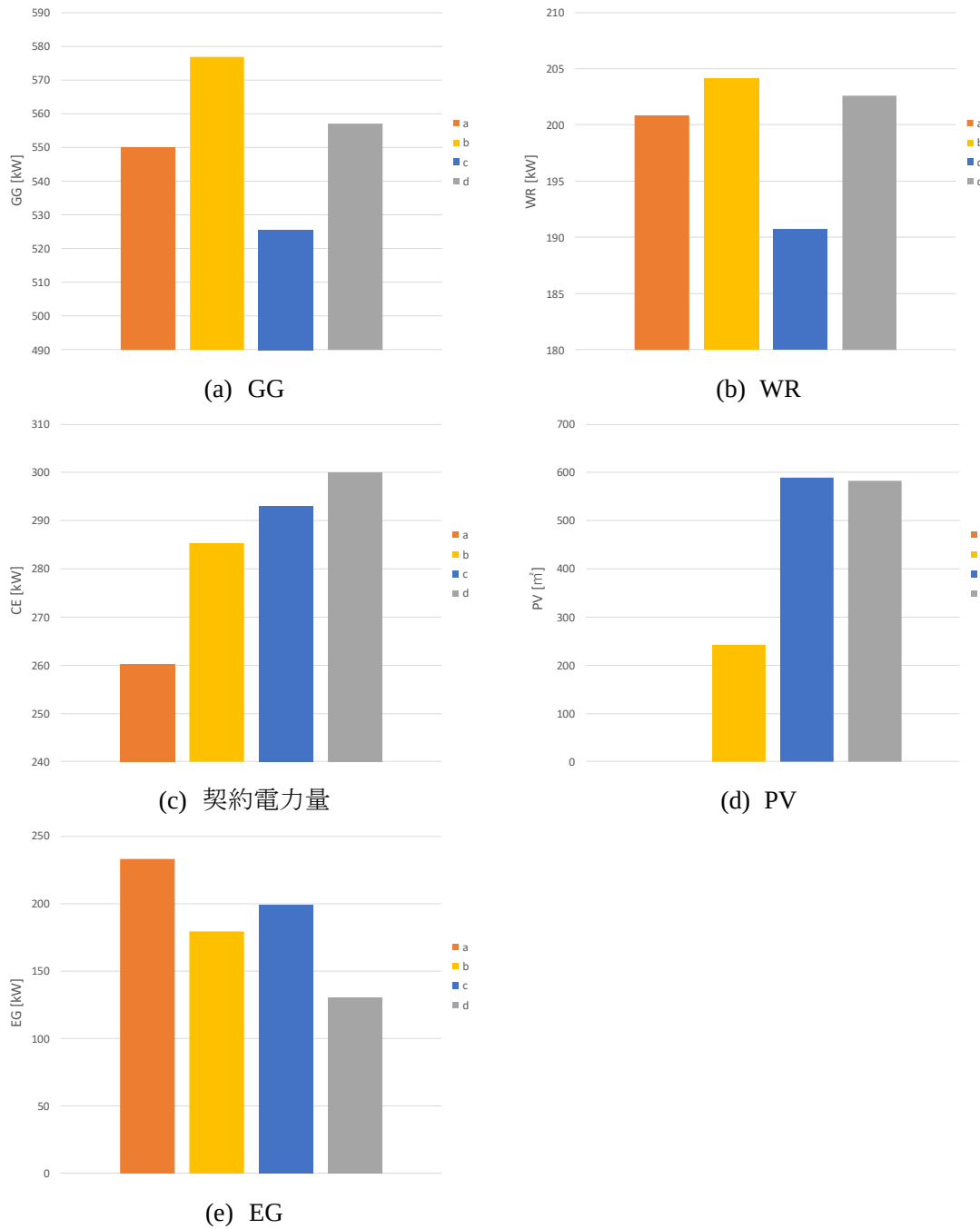


図 11 各ケースの分散型電源等の最適導入量の平均値

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、契約電氣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0m²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。h)節で述べたように、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。

実施項目①-2：災害拠点病院のBCPおよび関連設備に関する調査

調査から得られた知見を調査対象別にまとめる。ただし、本研究で行った調査は十分な数の調査ではなく、以下は一般的な調査結果ではないことに注意されたい。

●災害拠点病院および災害医療従事者

- ・ 新築あるいは災害医療の重要性が認識された後に設立された病院では、種々の災害想定等を盛り込んで設計および設備選択を行うことができている。
- ・ 一方、計画・設計時に想定が盛り込めていない場合、十分な自家発電機容量の確保に頭を悩ませることがある。こういった病院では、設備担当者の努力によって担保されているが、ハード設計あるいは選択の段階で十分な考慮がなされていない場合には、実際の災害下ではトラブルが生じることがある。
- ・ 厚生労働省による「通常時の6割程度の自家発電設備を保有」することという指定要件については、経営状態によって判断基準が異なってくる。
- ・ 災害拠点病院の経営母体が民間である場合、他事業者との連携がスムーズに行えない

ことがあり、行政に広域災害医療体制について旗振りを担ってほしいというニーズがある。

●レジリエンス機能に注目して設計された施設（クリーンセンター）の見学

- ・ クリーンセンター自体あるいはその近隣にある公共施設を災害時の地域住民の避難場所とする計画で建設された。建設にあたっては、計画段階から市民から意見を募る「市民参加型」をとることもある。
- ・ クリーンセンターの建設にあたっては、建設地選択の段階から市民の合意形成を得ることが重要である。また、運用を開始したあとも、ゴミ焼却等に際して煤塵や排ガスに関する情報を市民に分かりやすく伝達する必要がある。
- ・ 非常用あるいは常用防災兼用の発電設備を有し、災害時に避難所として利用される際の電力を供給することを計画している。今回の調査では、ディーゼル非常用ディーゼル発電機あるいはコージェネレーション対応ガスタービン発電機が導入されていた。
- ・ 売電にあたっては、FIT制度の利用または地域電力会社に売電する。
- ・ 熱電併給あるいは電力供給を行い、地域エネルギー供給施設としての役割も担う。電力供給を行っているクリーンセンターは、過去に上記の供給も行っていたが配管のメンテナンス費用が大きいことと年に数日行われる点検日には供給先が他の熱源を利用しなければならないことから、現在は電力のみとした。

●UPSに関するメーカーとのディスカッション

- ・ 医療機器の瞬間停電耐性に関して、96年のデータでは医療用ベッドサイドモニタは100msの瞬間停電までは対応できていたという記録があるが、これはアナログでモニタリングしていた時代のもので、現在ではもっと短いはず。近年、ICが小型化、シンプル化したことによって、コンデンサに期待する設計ではなくなっており、デジタル機器は一般的に瞬間停電に弱くなっている。
- ・ 非常用発電機とUPSの組みあわせについては、自社で非常用発電機も製造しているので一緒に試験を行うことができる。
- ・ UPSおよび非常用発電機と系統電力との連携について、電力会社からは系統側の回路定数は教えてもらえないので、見積もった値でシミュレーションを行っている。
- ・ エネルギーの地域供給、融通については、プレイヤー、オーナーがはっきりしない。技術としては完成しているものの、つなげるためにはコミュニティがカギを握るため国はあてにならないというコメントもあり。

実施項目②-1：災害医療に携わる政策実務者や専門家を対象とした聞き取り調査

●No.1：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。
- ・ 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。基本的に医療細作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。

●No.2：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の観点で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でも使用するため、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。

●No.3：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。

（４）当該年度の成果の総括・次年度に向けた課題

●成果の総括

最適化ツールの精緻化については予定通り、完了した。しかしながら、災害拠点病院の災害時エネルギー需要データの作成およびケーススタディーの実施については十分になされていない。この点については、当初の計画から遅れている。この理由は、インタビュー調査では非常に質のよいデータが得られるが、ひとつひとつの調査に膨大な時間がかかり、調査を完遂できる事例に限られること、加えて、得られたデータは地域、季節、災害の種類によ

って大きく異なり、そのまま利用するには汎用性が低いため、一般性を持たせるために検討が必要であるためである。

伊藤PJとの合同調査については、順調に実施することができた。特に、異なる研究分野の研究者とインタビュー調査をすることで、視野の広いディスカッションを展開することができた。

●次年度に向けた課題

- ・災害医療ニーズをベースにした災害拠点病院の災害時エネルギー需要データの作成とケーススタディの実施（前年度からの期間延長）

前年度の計画にも挙げた項目であるが、目指す完成度をさらに高めるため期間を延長して取り組むものとする。そこで、本年度は前年度までの成果を受けて、詳細シミュレータへの入力データとなる災害時電力需要そのものに加え、需要データの作成手法の完成を目指す。

- ・構築したシミュレーションの結果をベースにした政策提案の指針を得ること

これまでに行ってきた研究開発の成果をまとめる上で以下の事項を実施する。自家発電機の導入による災害拠点病院のエネルギーレジリエンス性向上に対する便益計測を行い、本ツールを活用した災害医療事業継続のためのエネルギー機器導入に関する政策提案を行う。

2020年10月～2021年3月にかけては、研究成果について論文などにまとめ発表する期間とする。また、研究成果を外部発信するためのホームページを開設し、これまでに行ったヒアリング調査報告、各種データで公開可能なもの、公表論文等を公開する。

2-3. 会議等の活動

年月日	名称	場所	概要
2019/4/5	病院BCP調査打ち合わせ	早稲田大学西 早稲田キャンパス	病院BCP調査に関する打ち合わせ
2019/5/9	病院BCP調査打ち合わせ	早稲田大学西 早稲田キャンパス	病院BCP調査に関する打ち合わせ
2019/5/14	PJ間連携打ち合わせ	津田塾大学千駄ヶ谷キャンパス	PJ間連携事業に関する打ち合わせ
2019/5/16	自家発電機導入計画立案サポートツール打ち合わせ	東京大学本郷キャンパス	自家発電機導入計画立案サポートツールの構築方針に関する打ち合わせ
2019/5/20	病院BCP調査打ち合わせ	早稲田大学西 早稲田キャンパス	病院BCP調査に関する打ち合わせ
2019/6/13	自家発電機導入計画立案サポートツール打ち合わせ	早稲田大学西 早稲田キャンパス	自家発電機導入計画立案サポートツールの構築方針に関する打ち合わせ
2019/7/3	自家発電機導入計画立案サポートツール打ち合わせ	東京大学本郷キャンパス	自家発電機導入計画立案サポートツールの構築方針に関する打ち合わせ
2019/7/31	自家発電機導入計画立案サポートツール打ち合わせ	早稲田大学西 早稲田キャンパス	自家発電機導入計画立案サポートツールの構築方針に関する打ち合わせ
2019/8/6	自家発電機導入計画立案サポートツール相談	東京大学本郷キャンパス	自家発電機導入計画立案サポートツールの構築方針に関する相談
2019/8/8	PJ間連携打ち合わせ	東京農工大学 小金井キャンパス	PJ間連携事業に関する打ち合わせ
2019/10/31	自家発電機導入計画立案サポートツール打ち合わせ	東京大学本郷キャンパス	自家発電機導入計画立案サポートツールの構築方針に関する打ち合わせ

2019/11/15	自家発電機導入計画立案サポートツール打ち合わせ	早稲田大学西早稲田キャンパス	自家発電機導入計画立案サポートツールの構築方針に関する打ち合わせ
2019/11/22	自家発電機導入計画立案サポートツール打ち合わせ	東京大学本郷キャンパス	自家発電機導入計画立案サポートツールの構築方針に関する打ち合わせ
2019/12/5	自家発電機導入計画立案サポートツール打ち合わせ	東京大学本郷キャンパス	自家発電機導入計画立案サポートツールの構築方針に関する打ち合わせ
2020/2/20	自家発電機導入計画立案サポートツール打ち合わせ	東京大学本郷キャンパス	自家発電機導入計画立案サポートツールの構築方針に関する打ち合わせ
2020/3/24	PJ間連携打ち合わせ	津田塾大学千駄ヶ谷キャンパス	PJ間連携事業に関する打ち合わせ

3. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況

特になし。

4. 研究開発実施体制

(1) 東京農工大学グループ（上道茜）

東京農工大学大学院工学研究院

実施項目①：ケーススタディの実施

グループの役割の説明：これまでに構築してきた最適化ツールおよびエネルギーシステム詳細シミュレータを用いたケーススタディの実施にあたって、全体をととして基本となる研究方針を決め、統括を行う。

実施項目②：補助金制度の提案

グループの役割の説明：構築したシミュレーションツールから得られた結果をベースとした政策提案の指針を得るための結果の分析，制度設計案の作成，提案する制度案に対応する便益計測方針の検討に対して，方針を決定し，統括を行う。

(2) 東京大学グループ（山崎由大）

東京大学大学院工学系

実施項目①：ケーススタディの実施

グループの役割の説明：ヒアリング調査の内容を反映させ、エネルギー需要データの精緻化を行い、これまでに構築したツールを用いて種々のケーススタディを行う。また、各種ツールに不具合があった場合には修正や改良を行う。

実施項目②：補助金制度の提案

グループの役割の説明：構築したシミュレーションツールから得られた結果をベースとした政策提案の指針を得るための結果の分析、制度設計案の作成、提案する制度案に対応する便益計測方針の検討を行う。

(3) 早稲田大学グループ（金子成彦）

早稲田大学理工学術院国際理工学センター

実施項目①：ケーススタディの実施

グループの役割の説明：エネルギー需要データ作成に際してのヒアリング調査にあたって各種調整や必要な有識者の紹介、全体をとおしてのアドバイスをを行う。

実施項目②：補助金制度の提案

グループの役割の説明：研究に関連したヒアリング調査を行う際の各種調査委員や適当な有識者の紹介、全体をとおしてのアドバイスをを行う。

5. 研究開発実施者

東京農工大学グループ

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	東京農工大学	工学府	特任助教
秋澤淳	アキサワアツシ	東京農工大学	生物システム 応用科学府	教授
(研究者ではないため非公開)		パーソルテン プスタッフ		学術支援職員

東京大学グループ

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	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	大学院生

早稲田大学グループ

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職 (身分)
金子成彦	カネコシゲヒコ	早稲田大学	理工学術院国 際理工学セン ター	教授

6. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など

6-1. シンポジウム等

なし.

6-2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など

(1) 書籍・冊子等出版物、DVD等
なし.

(2) ウェブメディアの開設・運営
なし.

(3) 学会（6-4. 口頭発表）以外のシンポジウム等への招聘講演実施等
なし.

6-3. 論文発表

(1) 査読付き（ 1 件）

●国内誌（ 1 件）

- ・ 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電源導入量の最適化」，オペレーションズ・リサーチ，2020年1月，pp.42-48.

●国際誌（ 0 件）

(2) 査読なし（ 0 件）

6-4. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）

(1) 招待講演（国内会議 0 件、国際会議 0 件）

(2) 口頭発表（国内会議 1 件、国際会議 1 件）

- ・ Akane Uemichi (Tokyo University of Agriculture and Technology), 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), Wrocław, Poland, June 2019.
- ・ 上道茜（東京農工大学），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，東京，2019年8月．

(3) ポスター発表 (国内会議 0 件、国際会議 0 件)

6-5. 新聞／TV報道・投稿、受賞等

(1) 新聞報道・投稿 (0 件)

(2) 受賞 (0 件)

(3) その他 (0 件)

6-6. 知財出願

(1) 国内出願 (0 件)

(2) 海外出願 (0 件)

参考文献リスト

- 1) 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, doi: 10.24778/jjser.39.6_6
- 2) 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.
- 3) 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, 東京, 2019年8月.
- 4) 廣政勝利, 高林芳樹, 汐田耕治, 田能村顕一, 大崎聡志, 尾上幸浩, 下村公彦, 再生可能エネルギーを考慮した周波数解析用ダイナミック系統モデルの検討, 電気学会論文誌B (電力・エネルギー部門誌) 137巻2号 (2017) pp.93-101
- 5) 一般社団法人 電子情報技術産業協会, JIS T 0601-1:2017医用電気機器—第1部: 基礎安全及び基本性能に関する一般要求事項, <https://search.e-gov.go.jp/servlet/PcmFileDownload?seqNo=0000155743> (最終アクセス日: 2020.11.24)
- 6) (社) 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.
- 7) 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, 81巻725号 (2016) pp. 625-632.
- 8) 井上俊雄, 電力系統の周波数制御から見た火力機の出力行動特性, 電気学会論文誌B, Vol. 124, No.3 (2004) pp. 343-346.
- 9) 高放, 劉康志, 齊藤潤一, 太陽光発電の大量導入に向けた系統運用法, 自動制御連合講演会講演論文集 (2011)
- 10) 奥田靖男, 木村操, 太陽光発電システムの出力変動抑制技術, 東芝レビュー, Vol. 65, No. 4 (2010) pp. 10-14.
- 11) 小熊祐司, 前田宗彦, 今久保知史, 平尾俊幸, 大規模太陽光発電所向け蓄電池制御技術の開発, IHI 技報Vol.55 No.4 (2015)
- 12) 厚生労働省医政局長, 災害拠点病院指定要件の一部改正について, 医政発0331第33号, 平成29年3月31日.

- 13) 第12回救急・災害医療提供体制等の在り方に関する検討会，資料4「災害拠点病院等の燃料及び水の確保について」，平成31年3月29日．
- 14) 医政局地域医療計画課，病院の非常電源の確保及び点検状況調査の結果，令和元年7月31日．
- 15) 国土交通省，災害時拠点強靱化緊急促進事業，
http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku_house_tk5_000045.html（最終アクセス日：2020.11.24）