
脱炭素未来研究シンポジウム
～地域の脱炭素化と大学の役割～
2024年6月3日

再生可能エネルギー活用最大化の ためのエネルギーマネジメント

北九州市立大学
松本 亨

matsumoto-t@kitakyu-u.ac.jp
<https://matsumoto-fujiyama-lab.jp/>



北九州市立大学
THE UNIVERSITY OF KITAKYUSHU



地域自律エネルギーWG

脱炭素建設ストックWG（林材，林地残材，建設廃材）

エネルギー需要モデル

- ・ 電力、熱需要原単位
- ・ ロードカーブ（時間，日，季節変動）
- ・ 機械学習，深層学習による需要予測

エネルギー供給モデル

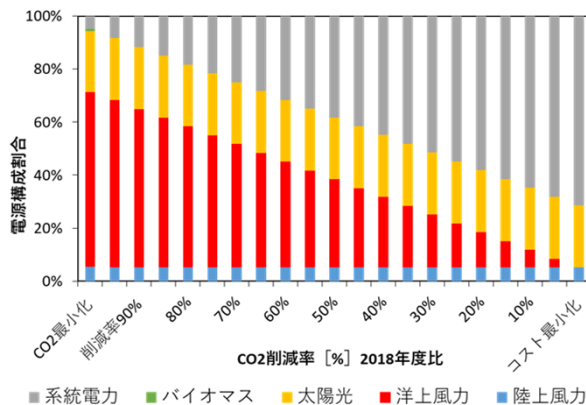
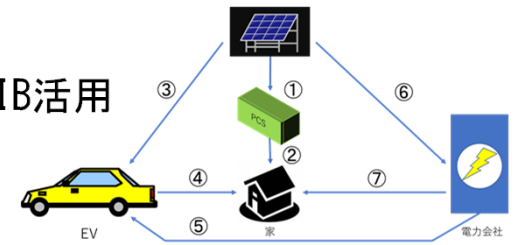
- ・ 再エネによる電力（太陽光，洋上風力，バイオマス等）
- ・ 分散型電源（家庭用燃料電池コージェネ）
- ・ 工場，廃棄物焼却炉の廃熱
- ・ カーボンフリー水素の供給

需要家行動の取り込み

- ・ 行動科学（ナッジ）による省エネ
- ・ ダイナミックプライシング
- ・ デマンドレスポンス

システム技術

- ・ 地域熱供給ネットワーク
- ・ 廃棄物発電のネットワーク化
- ・ EV-PV連携（V2H，V2B）
- ・ 水素システムによる蓄電
- ・ リース，リユースによるLIB活用

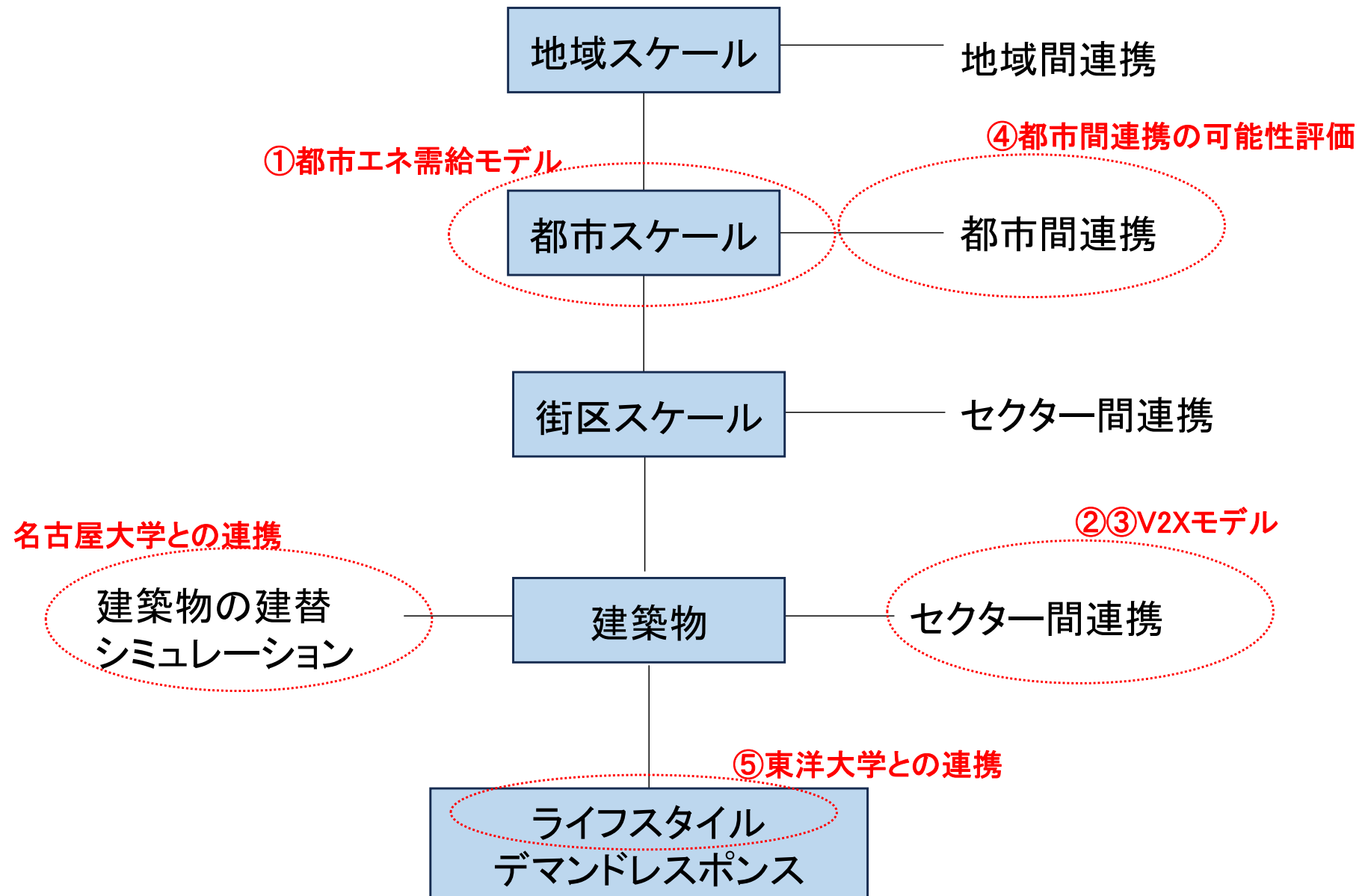


地域エネルギー自律マネジメントモデル

全体統合研究WG

（脱炭素エネルギーシステム吸収源の活用）

エネルギーマネジメントの階層構造と研究課題



①都市エネルギー需給モデルの開発

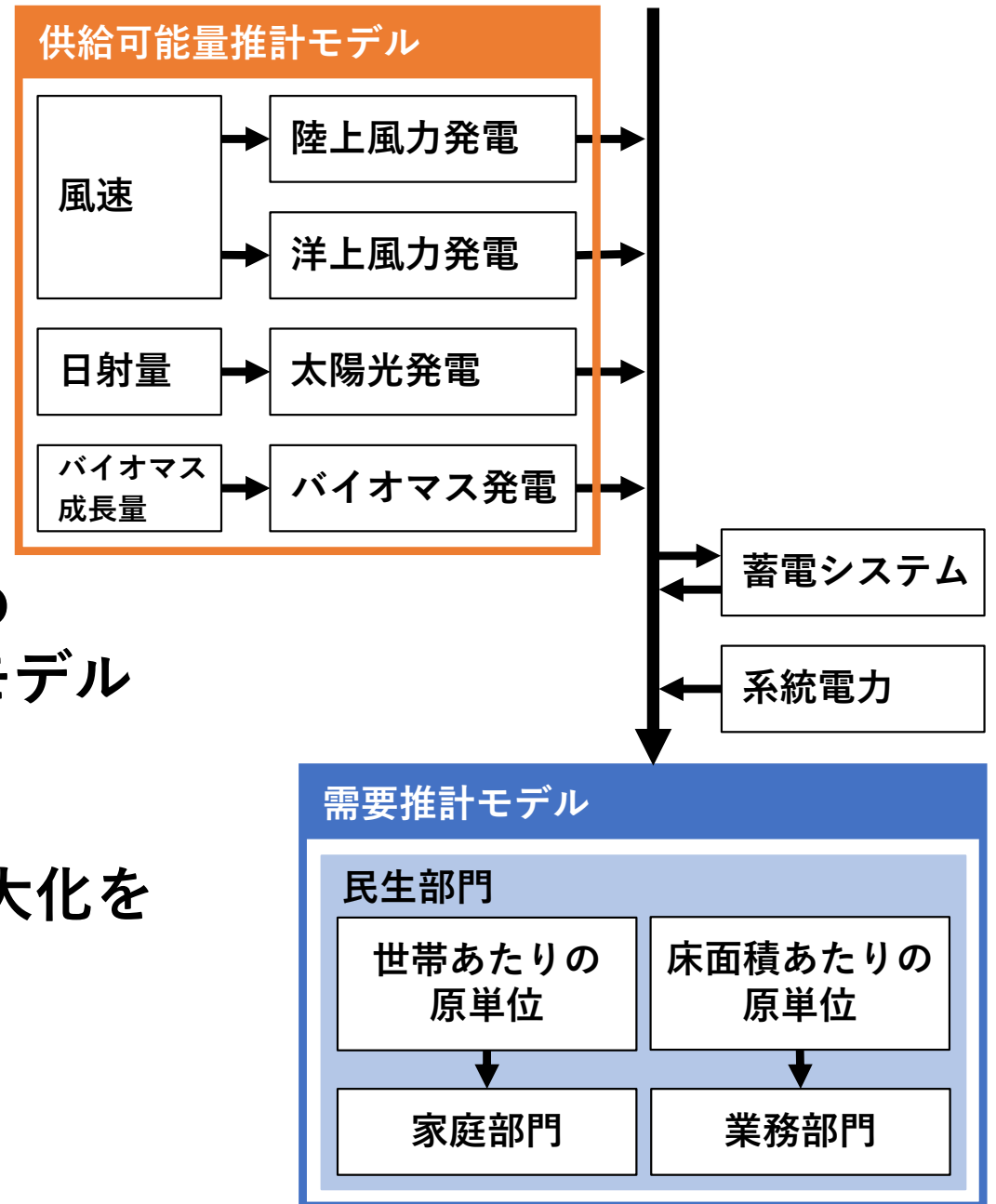
● モデルの概要

- CO₂排出量と総コストが最小となる場合の再生可能エネルギーの導入ポテンシャル量を推計できるモデル



- 電力需給調整機能としての蓄電システムを付加したモデル

- 北九州市の民生部門を対象に、再生可能エネルギーの導入最大化を検討



エネルギーシステムの最適化

CO₂排出量の最小化

Minimize

$$CO_2 emission = \sum_i \sum_t Input_{t,i} \cdot ef_i$$

Subject to

$$\sum_{t,i} Input_{t,i} = D_{t,i}$$

$$P_{t,i=1,2,3} \geq Input_{t,i=1,2,3}$$

$$P_{i=4} \geq \sum_t Input_{t,i=4}$$

$CO_2 emission$: CO₂排出量 [t-CO₂]

i : 資源としてのエネルギー種別

t : 時間

$Input$: エネルギー供給量 [GJ]

1: 洋上風力

2: 陸上風力

3: 太陽光発電

4: バイオマス

ef : CO₂排出係数 [t-CO₂/GJ]

D : エネルギー需要量 [GJ]

P : 供給可能量 [GJ]

蓄電システムの導入

再生可能エネルギー余剰電力量

$$A_t = P_{t=1,i=1,2,3,4} - D_{t-1}$$

蓄電システム導入時の制約条件

$$B_t \leq X - S_{t-1}$$

A : 再生可能エネルギー余剰電力量[PJ]

B : 蓄電量[PJ]

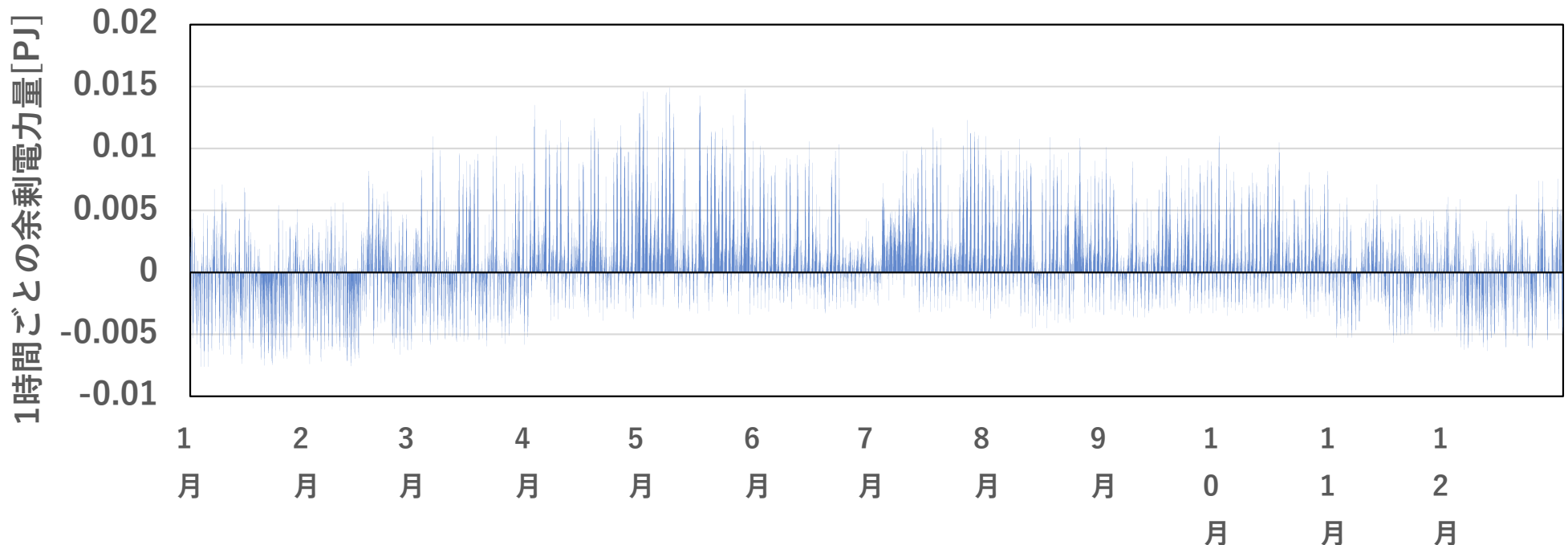
D : エネルギー需要量[PJ]

i : 資源としてのエネルギー種別

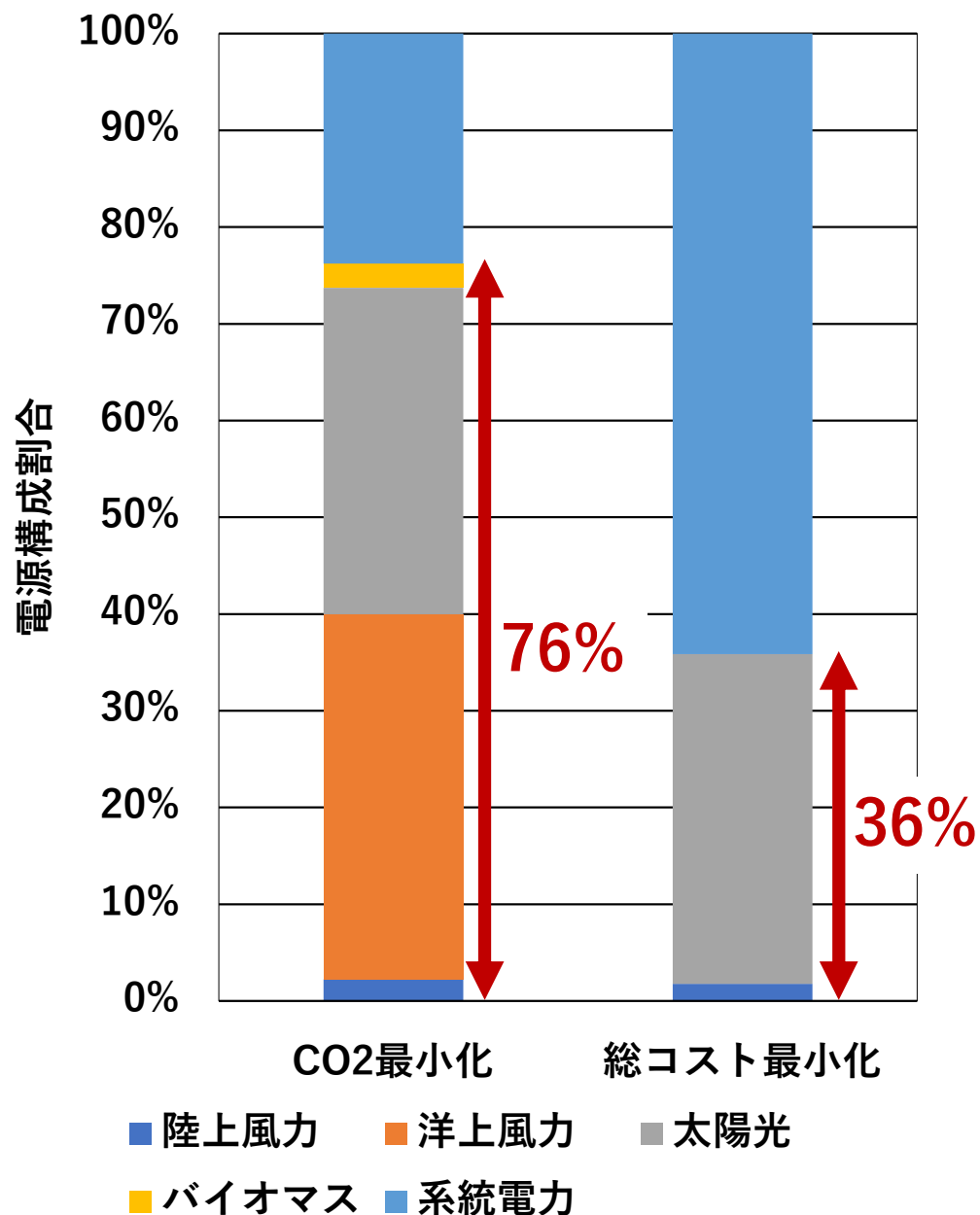
t : 時間

S : 蓄電池の蓄電量[PJ]

X : 蓄電容量[PJ]

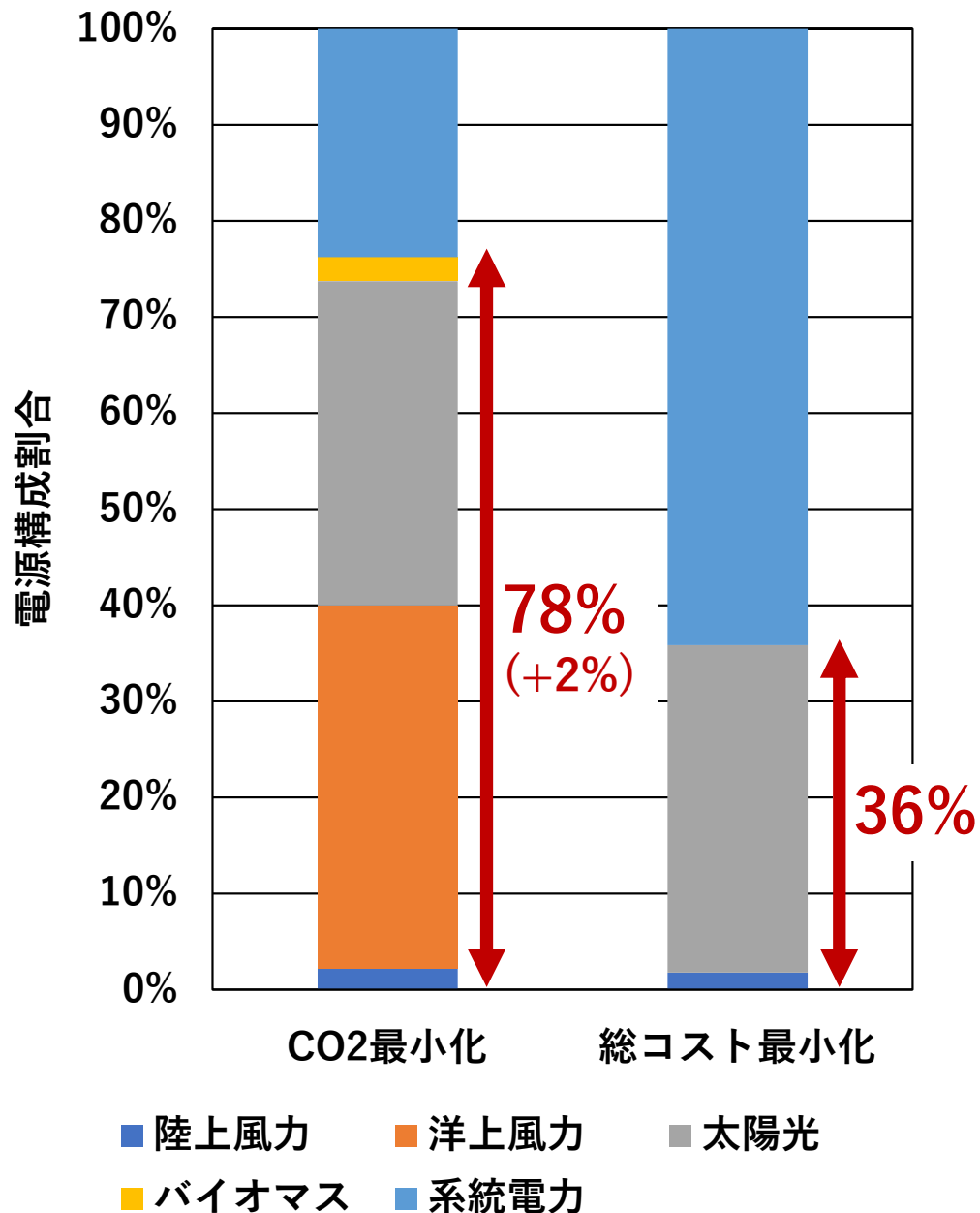


蓄電システム“導入前”の最適化結果



	CO ₂ 最小化	総コスト最小化
CO ₂ 排出量 [万t-CO ₂]	163.8	317.5
総コスト [億円]	91.9	75.4
陸上風力 [PJ]	0.67	0.53
洋上風力 [PJ]	11.3	0
太陽光 [PJ]	10.1	10.2
バイオマス [PJ]	0.75	0
系統電力 [PJ]	7.12	19.2

蓄電システム“導入後”の最適化結果



	CO ₂ 最小化	総コスト最小化
CO ₂ 排出量 [万t-CO ₂]	160.5	317.5
総コスト [億円]	96.8	75.4
陸上風力 [PJ]	0.67	0.53
洋上風力 [PJ]	11.9	0
太陽光 [PJ]	10.1	10.2
バイオマス [PJ]	0.82	0
系統電力 [PJ]	6.46	19.2
蓄電池 [PJ]	0.98	0
蓄電容量 [PJ]	0.00453	—

↓
再生可能エネルギー余剰電力量のうち、6.52%を蓄電

②戸建住宅におけるV2Hの効果推計

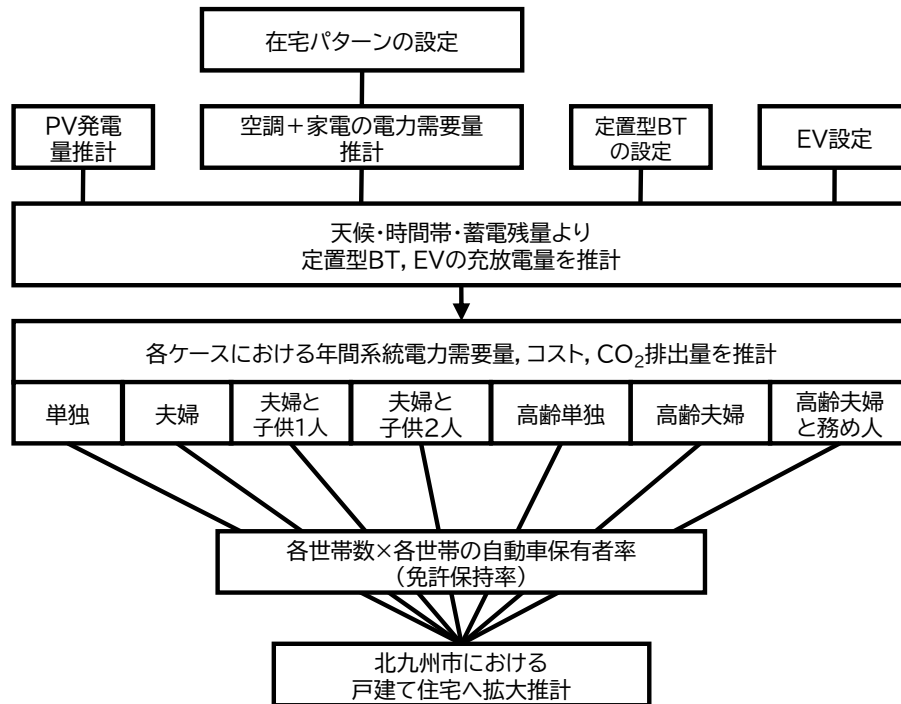
北九州市全体 **961,286人**

研究対象 **489,621人**
(戸建て持ち家の人口)

研究対象

北九州市内の戸建てかつ持ち家の住宅

都市への拡大推計の研究フロー



1. ケース設定

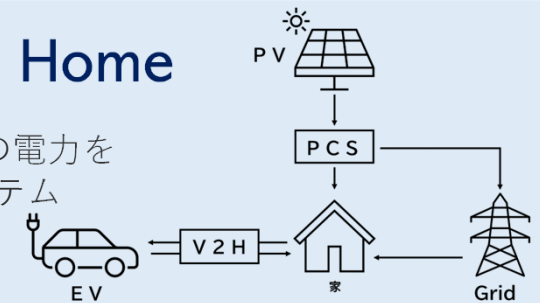
- ① PV, BT, EVなし
- ② PVのみ
- ③ PV, BT
- ④ PV, EV
- ⑤ V2H

EVの導入がないケースについてはガソリン車GVを導入すると仮定

ケース\導入機器	PV	PCS	BT	EV	V2H 充放電器	GV
PV,BT,EVなし						○
PVのみ	○	○				○
PV,BT	○	○	○			○
PV,EV	○	○		○		
V2H	○	○		○	○	

V2H / Vehicle to Home

EVに搭載された蓄電池の電力を家庭に供給するシステム



戸建住宅における脱炭素化シナリオとその効果

4. CO₂排出量と年間費用(初期・運用)

■ CO₂排出量

- ・系統電力のCO₂排出係数 0.319 kg-CO₂/kWh
- ・ガソリンのCO₂排出係数 2.322 kg-CO₂/L

■ 初期費用

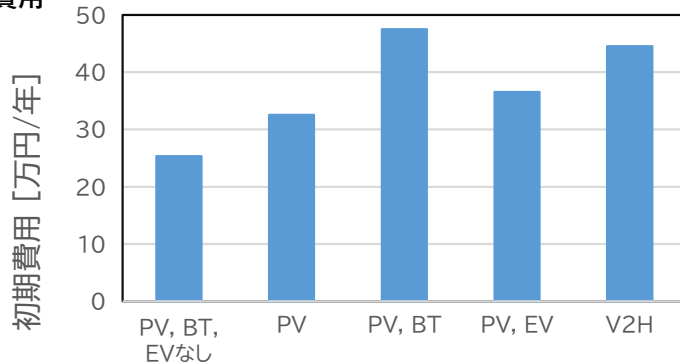
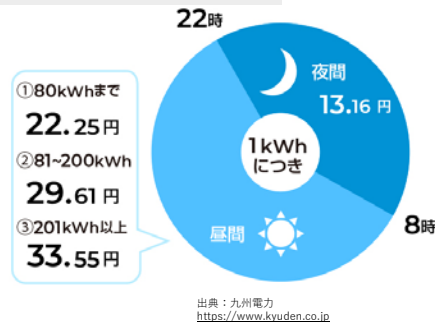


図1. 1世帯における年あたりの初期費用(例:夫婦と子供)

■ 運用費用

- ・電力料金
九州電力「時間帯別電灯料金」
- ・ガソリン車
燃費基準値 13km/L
ガソリン価格166.3 (円/L)



5. 北九州市への拡大推計

■ 国勢調査を用いた拡大推計の方法

平成27年国勢調査より、北九州市の戸建かつ持ち家世帯は市全体の半数を占める。世帯単位の評価結果に類型別世帯数を乗じることで市域全体の推計を行った。

世帯単位の推計と拡大推計における世帯類型の対応関係

世帯単位の推計

単独		夫婦のみ		夫婦と子供1人		夫婦と子供2人		単独(65歳以上)		夫婦のみ(65歳以上)		夫婦(65歳以上)と勤め人	
単独	夫婦のみ	夫婦と子供		単独(65歳以上)	夫婦のみ(65歳以上)	夫婦(65歳以上)と子供		単独	夫婦のみ	夫婦と子供	単独	夫婦のみ	夫婦と子供
免許有	免許無	免許有	免許無	免許有	免許無	免許有	免許無	免許有	免許無	免許有	免許無	免許有	免許無

市への拡大推計

免許取得率の低下・自動車を所有していないパターンを考慮するために各世帯構成で「免許有り」・「免許無し」を区分し加重平均値を算出。

表1. 北九州市の戸建かつ持ち家世帯の世帯主年齢別ごとの世帯数

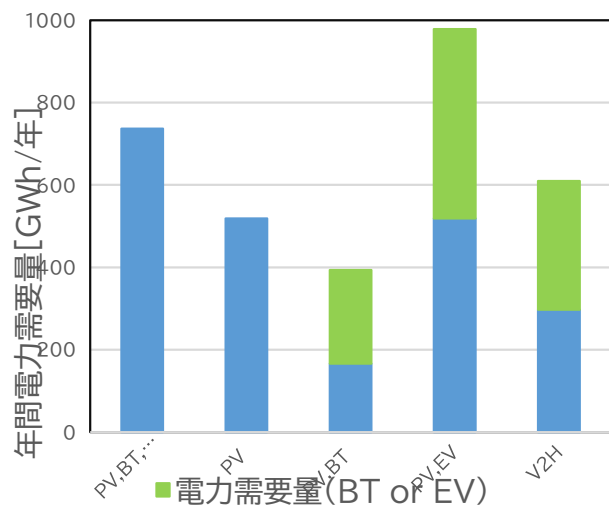
世帯主年齢	夫婦のみ[世帯]	夫婦と子供[世帯]	単独[世帯]	総世帯数[世帯]
15歳~64歳	19,959	65,093	14,531	99,583
65歳以上	44,200	29,197	33,896	107,293
合計[世帯]	64,159	94,290	48,427	206,876

表2. 北九州市の戸建かつ持ち家世帯の世帯主年齢別ごとの人口

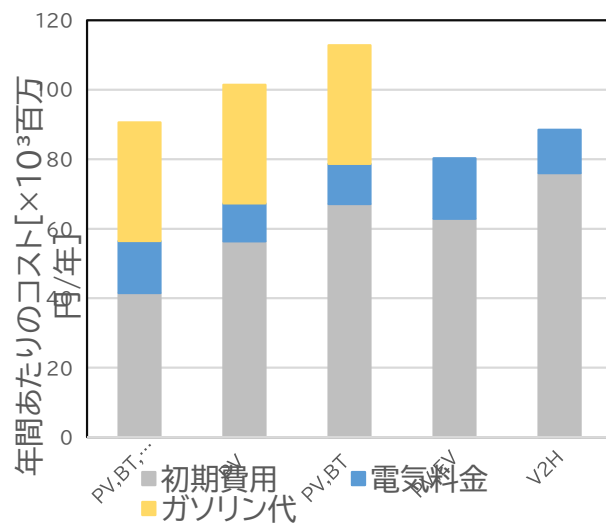
世帯主年齢	夫婦のみ[人]	夫婦と子供[人]	単独[人]	総人口[人]
15歳~64歳	39,918	232,506	14,531	286,955
65歳以上	88,400	80,370	33,896	202,666
合計[人]	128,318	312,876	48,427	489,621

戸建住宅における脱炭素化シナリオとその効果

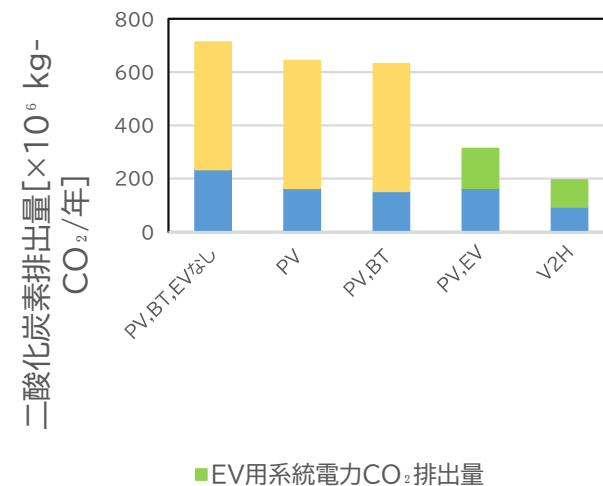
推計結果



年間系統電力需要量



年間費用



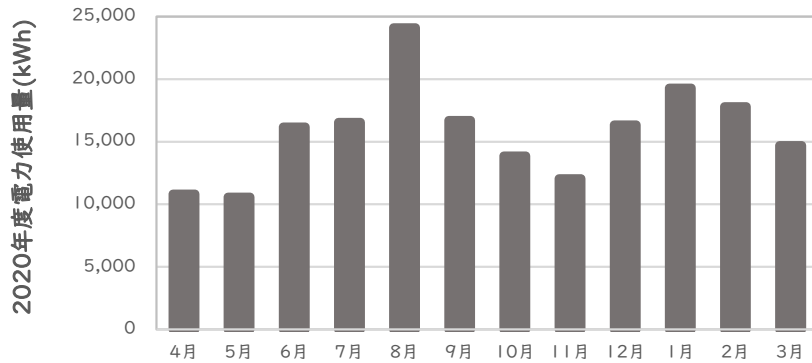
年間CO₂排出量

③事業所ビルにおけるV2Bの効果推計：推計手法



北九州市内に立地する民間企業の事業所

電力需要量は2020年度実測値を用いる。



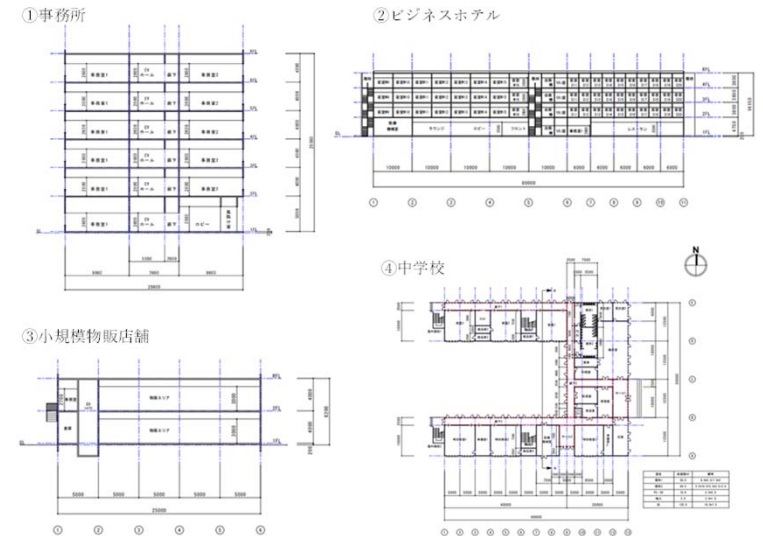
契約電力	九州電力
電力分類	高圧電力(6000V)
契約形態	負荷率別契約【業務用】
使用時間	平日営業時間9:00~17:30 ・昼休憩12:15~13:00 ・営業時間の前後1時間程度は電力を通常使用
休日	土日祝日・年末年始・お盆
常勤者数	約60名
社用車	18台



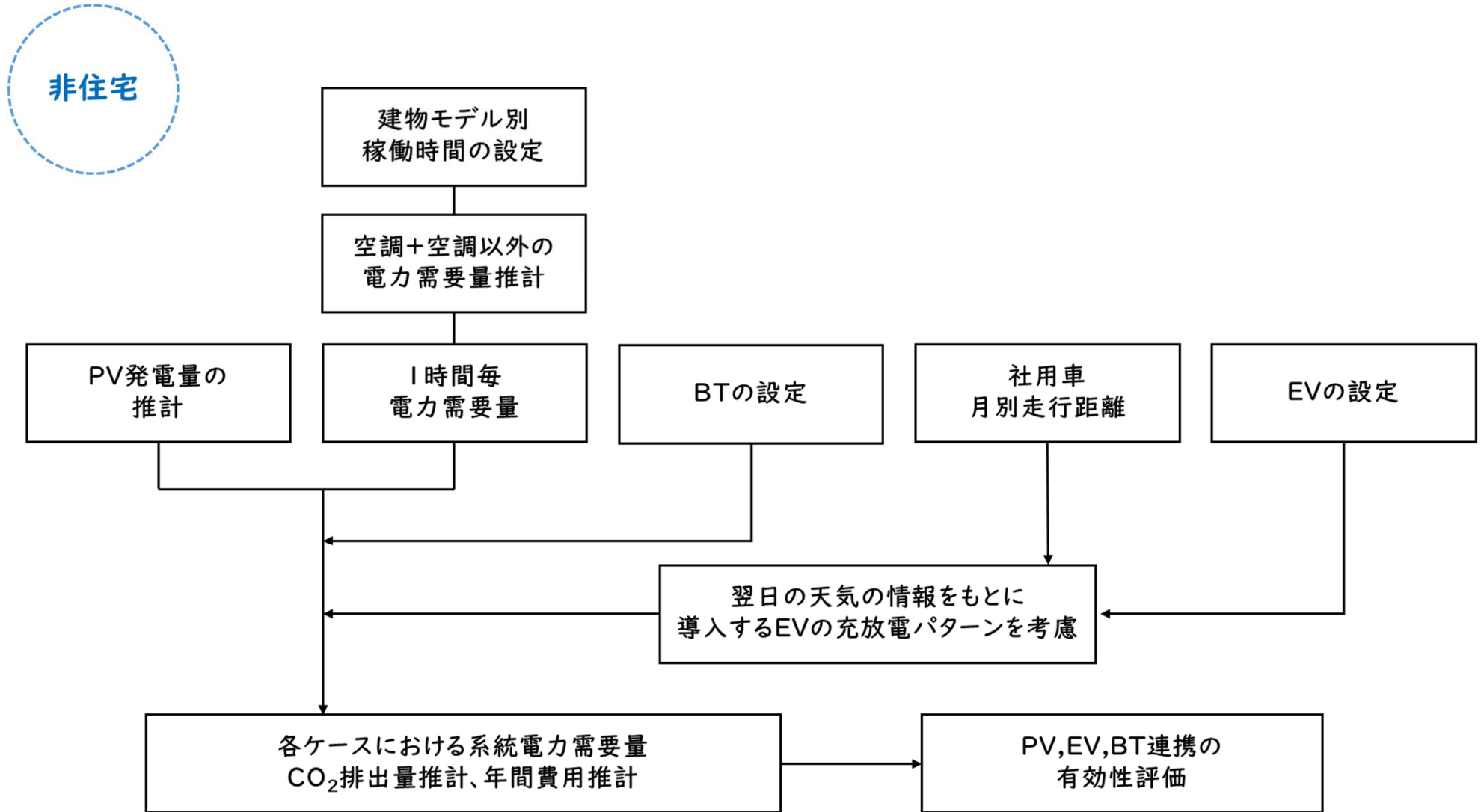
建物モデル

「非住宅建築物に関する省エネルギー基準に準拠したプログラム及び技術情報」建物モデルを参考に設定。

	①	②	③	④
建物種別	事務所	ビジネスホテル	小規模物販店舗	中学校
延床面積	4123m ²	4960m ²	386m ²	5000m ²
階数	6階	4階	2階	3階
稼働状況	休日：土日祝日 年末年始 勤務時間：8:00~17:00	年中無休	定休日：水木、年末年始 勤務時間：9:00~21:00	休日：土日祝日、学期末、夏季、冬季休業期間 授業時間：8:00~16:00
空調	・冷房期間：6/28~9/13 ・暖房期間：12/1~3/21 ・空調稼働時間：各稼働状況より 空調稼働スケジュールを設定			



研究フロー



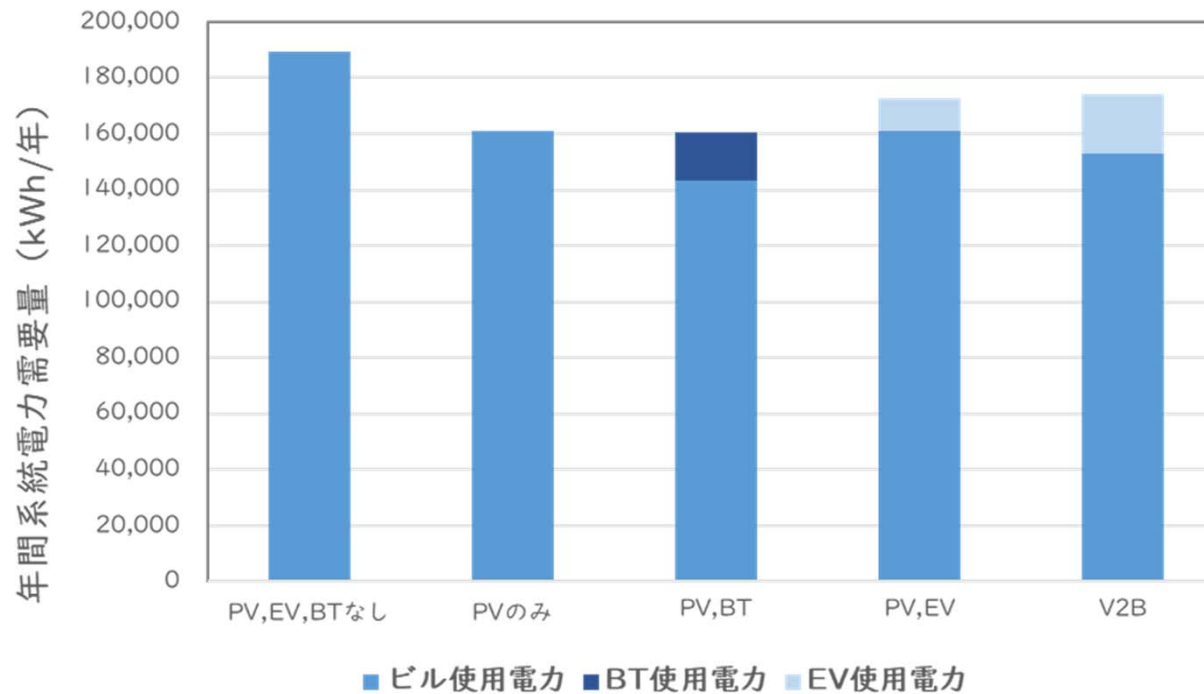
推計結果:実測値を用いた民間企業の事業所



年間系統電力需要量

PV容量 : 30kW
BT容量 : 42kWh
EV台数 : 3台

今回の設定では電力需給調整機能としては
「PV, EV, BT なし」と比較して
「PV, BT」が15.5%の削減と最も効果がある結果となった



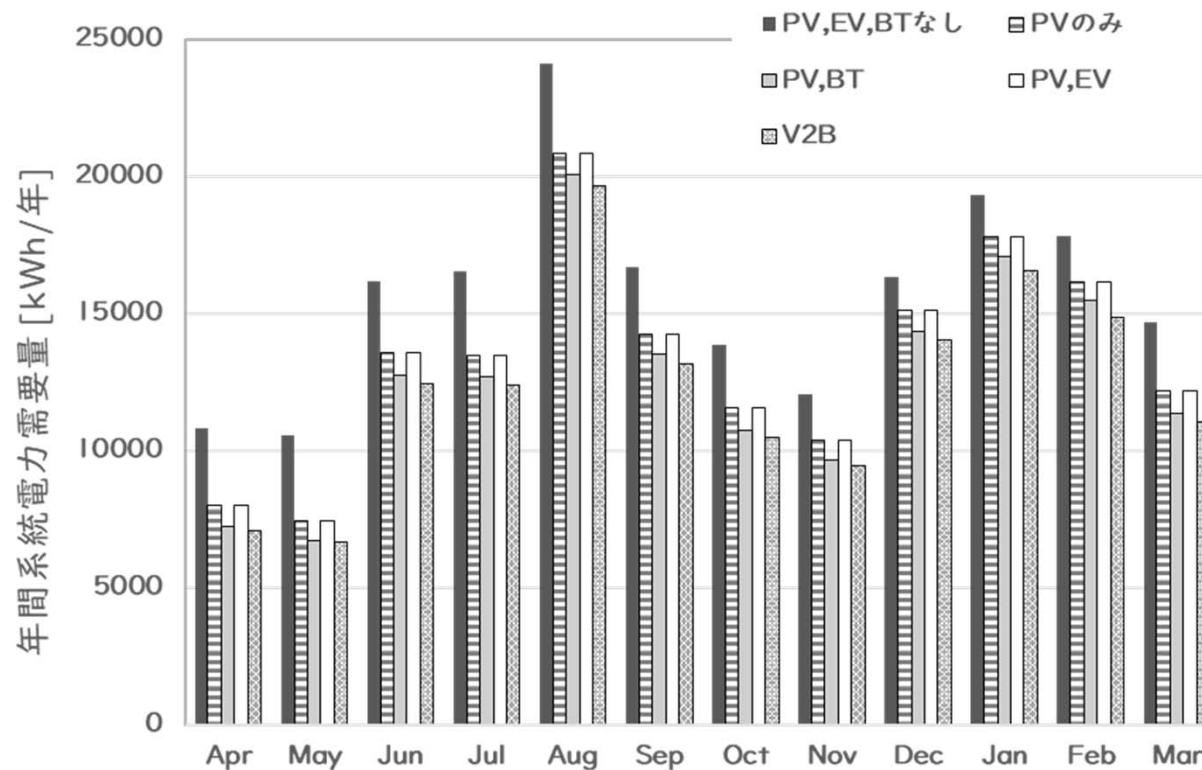
推計結果:実測値を用いた民間企業の事業所



年間系統電力需要量

月別年間系統電力需要量より

- ・使用電力が高い夏季にて大きな削減効果
- ・ピークカットに貢献⇒電気料金の削減

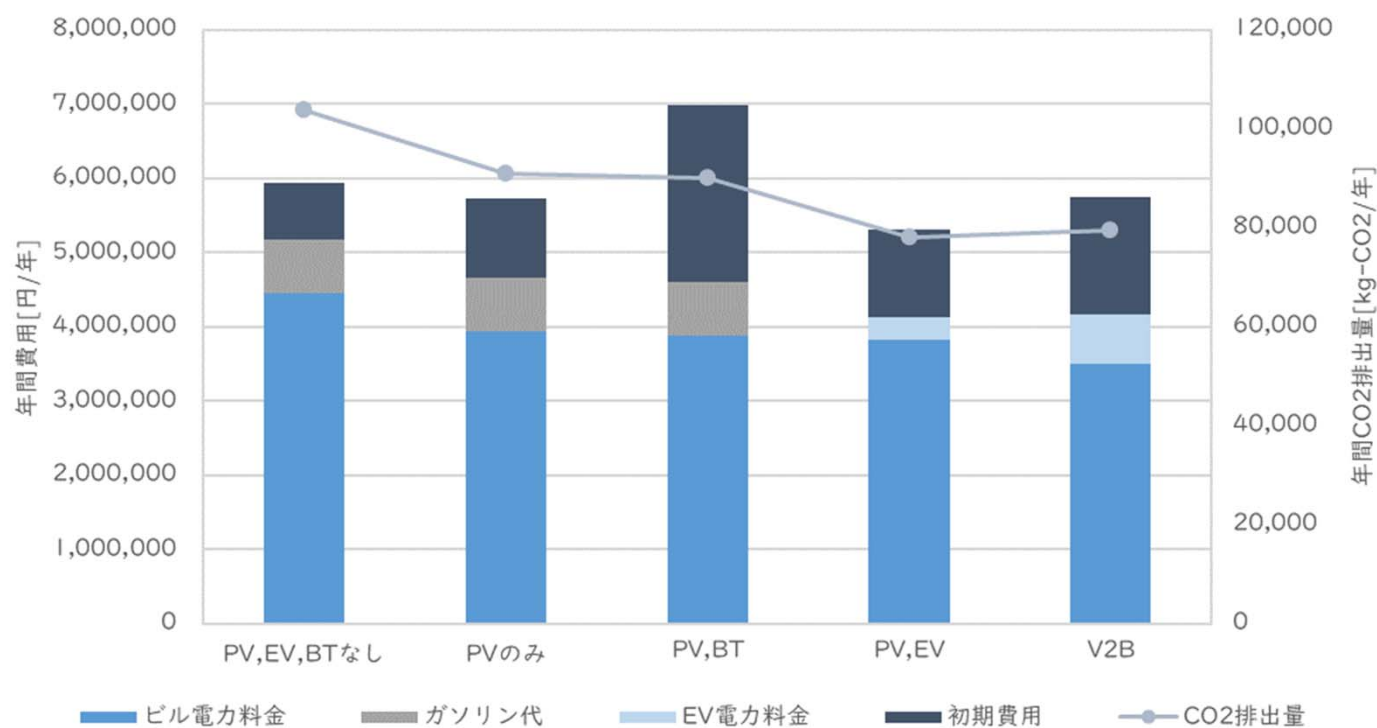


推計結果：実測値を用いた民間企業の事業所



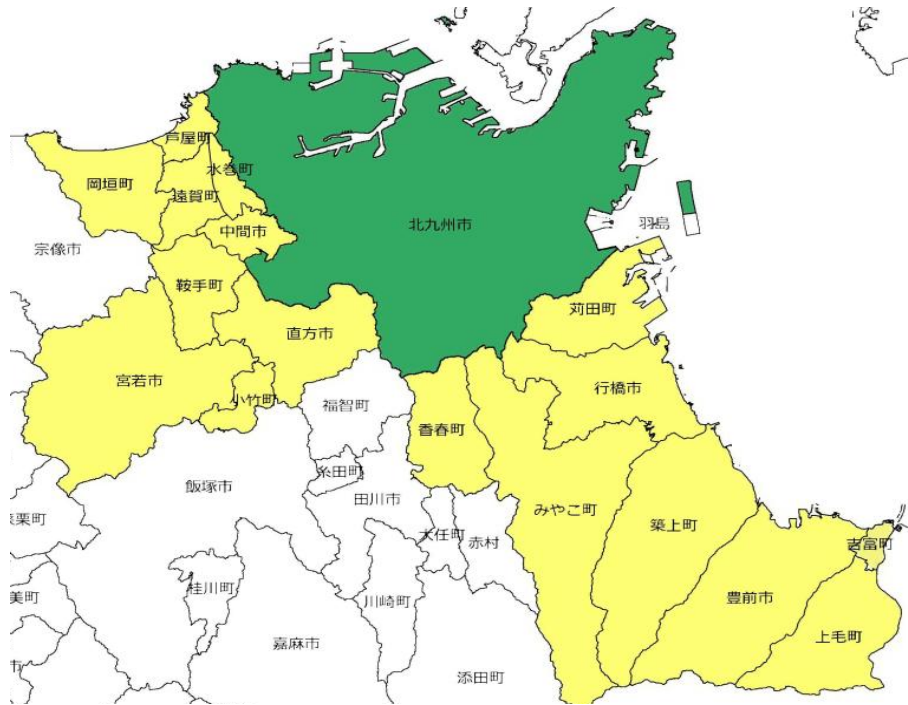
年間費用とCO₂排出量

最大のCO₂削減量は
「V2B」で年間 20,633kg の削減
EV使用ケースで大きな削減効果



④都市間連携

- 北九州都市圏域18市町を対象とした自治体連携を解析
- 送電線容量を考慮



連携中枢都市圏「北九州都市圏域」 - 岡垣町
<https://www.town.okagaki.lg.jp/s001/060/060/160/20151005214412.html>

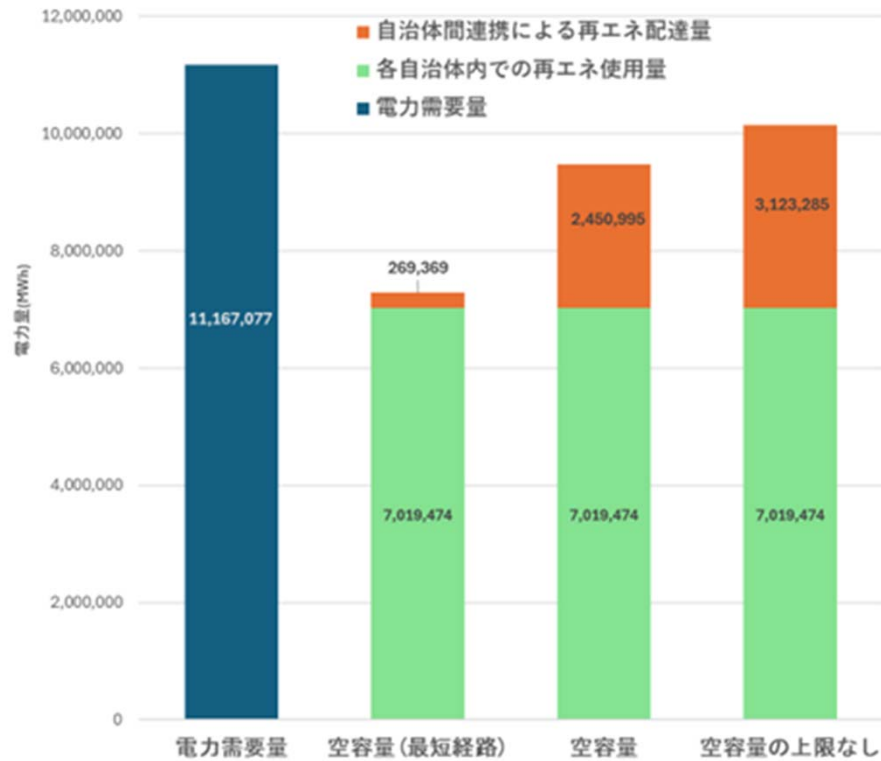
九州電力送配電の系統情報と送電系統図より

- 送電線の運用容量
- 送電線の通る場所

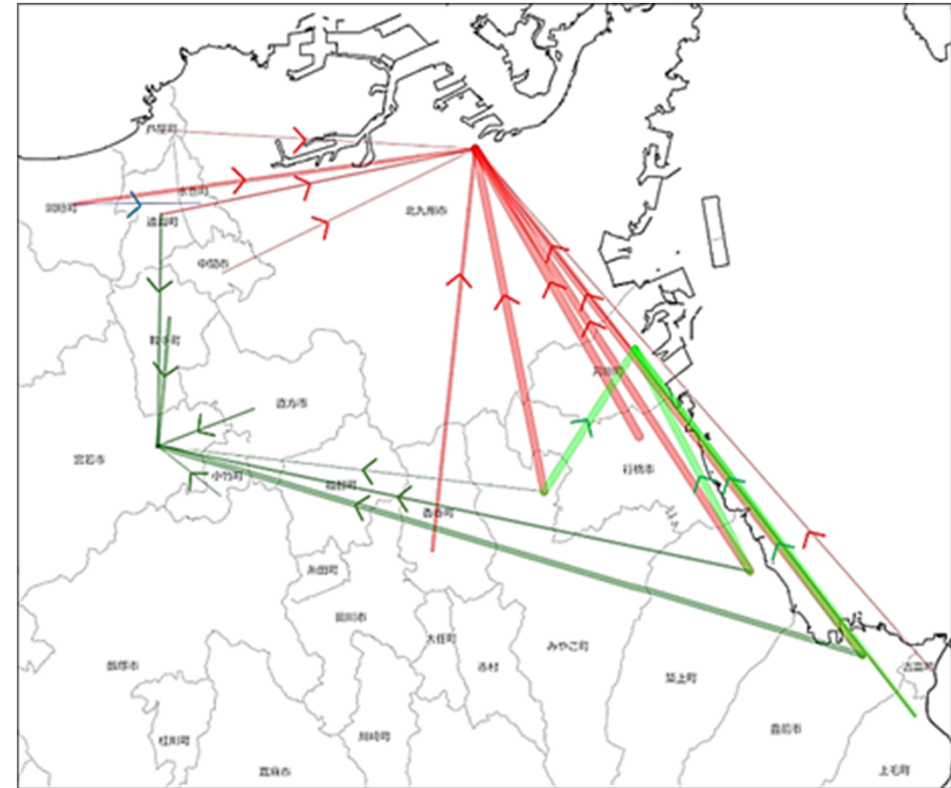


九州電力送配電送電系統図
<https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=178moQmYZbeUmPt-0WIWlz6OAuej36uDZ&ll=33.63014584957374%2C131.14070582116568&z=11>

再エネ供給量と送電容量の考慮



再エネ供給ポテンシャルの75%を
想定したときの電力需給量



注) 電力配達の始点と終点を直線で結んだものであり、線の太さは配達量を表している

需要量と供給量が等しくなるケースの配達量
(運用容量を上限値とした場合)

⑤ 市民意識・行動変容

戸建住宅における脱炭素化シナリオとその効果

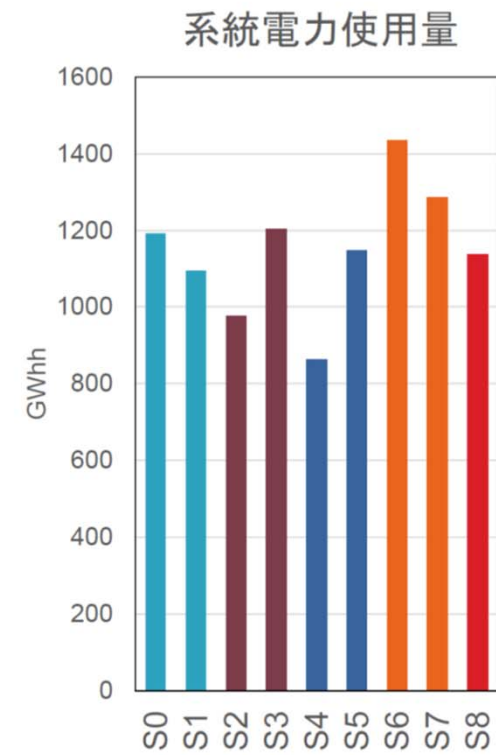
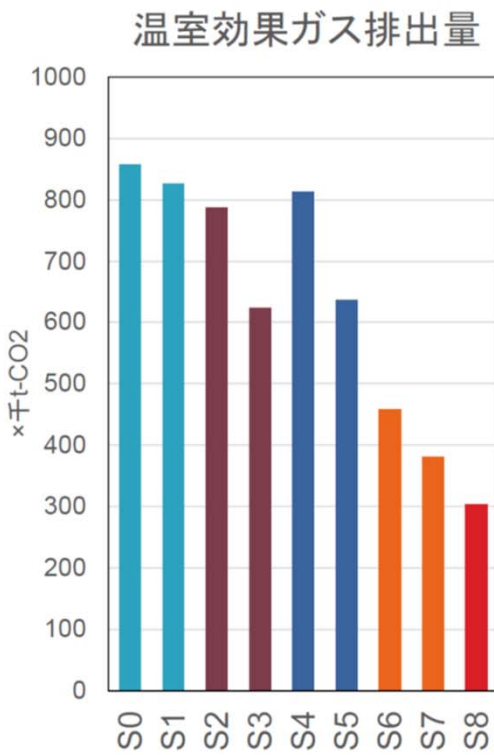
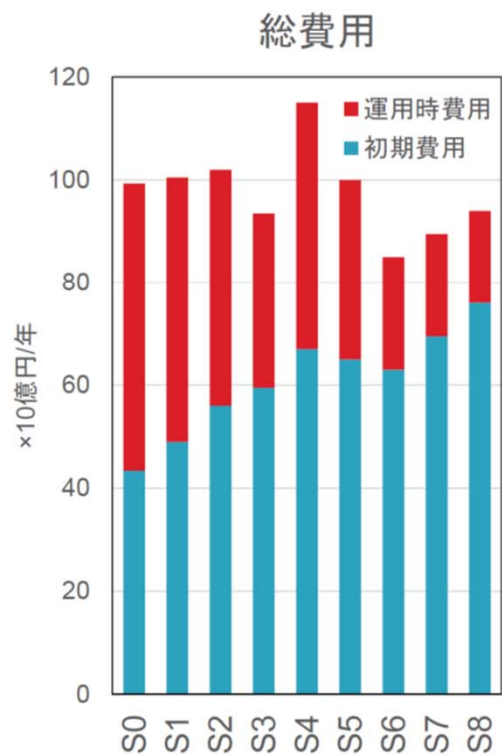
各評価シナリオにおけるシステム導入割合

	シナリオ 0	シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 3	シナリオ 4	シナリオ 5	シナリオ 6	シナリオ 7	シナリオ 8
システム1 (太陽光・電動車なし)	90%	50%							
システム2 (太陽光のみ)	10%	50%	100%	50%					
システム3 (太陽光+蓄電池)					100%	50%			
システム4 (太陽光+電動車)				50%		50%	100%	50%	
システム5 (V2H)								50%	100%

戸建住宅における脱炭素化シナリオとその効果

各シナリオの諸元

(年間あたり)



まとめ：開発した分析ツールと可能になること

① 都市エネ需給モデル

- インプット
 - エネ種別CO2排出・費用原単位
 - 再エネ供給ポテンシャル、部門別エネ需要
 - 蓄電池CO2排出・費用原単位、技術諸元
- アウトプット
 - CO2最小時、費用最小時のエネルギーミックス
- 応用
 - 個別対策を再エネ供給ポテンシャル、部門別エネ需要、蓄電等に反映させることでその影響を分析

② V2H

- インプット
 - 時間別、日別(季節別)電力消費量
 - 技術諸元(太陽光パネル、電気自動車、据置型蓄電池)
- アウトプット
 - V2H導入時の系統電力消費量、電力消費コスト、CO2排出量
- 応用
 - 街区モデルへの拡大

まとめ:開発した分析ツールと可能になること

③ V2B

- インプット
 - 時間別、日別(季節別)電力消費量
 - 技術諸元(太陽光パネル、電気自動車、据置型蓄電池)
- アウトプット
 - V2H導入時の系統電力消費量、電力消費コスト、CO2排出量
- 応用
 - 複数業種の混在による街区モデルへの拡大
 - 電動バスへの展開

④ 都市間連携

- インプット
 - 再エネ供給ポテンシャル、部門別エネ需要
 - 送電線の系統図、送電容量
- アウトプット
 - 送電容量の制約の有無の影響
- 応用
 - 将来的な送電容量の制約改善
 - 系統蓄電池の設置場所と効果

論文、学会発表

① 都市エネ需給モデル

- 松崎 耀, 藤山 淳史, 松本 亨: 産業都市のエネ需給管理のための最適電源構成モデルの構築, 土木学会論文集G(環境), 76巻, 6号, p. II_189-II_197, 2020
- Richao Cong, Tumurtogtokh Oyunchimeg, Atsushi Fujiyama, and Toru Matsumoto, How Should AI Technique Support Wastewater Treatment and Sludge Management? A Case Study from Mongolia, Technology and Science, E-book published by Springer: Art with EcoDesign, 2024, (in press)

② V2H

- 田中丸 善鴻, 松本 亨, 藤山 淳史: 翌日の天気を考慮したV2H の電力需給調整機能の可能性評価、環境共生、38巻, 1号, pp.36-45, 2022
- カオリルトフィア, 藤山淳史, 松本亨: 世帯における太陽光パネル・蓄電池・電気自動車連携の評価と都市レベルの拡大推計, 土木学会論文集G(環境), Vol.79, No.6, 23-26013, 2023

③ V2B

- カオリルトフィア, 松本亨, 藤山淳史: オフィスビルを対象としたPV・EV・BTの効果的な導入に関する検討, 環境科学会2023年会, 神戸大学, 口頭発表, 2023.9.7-8
- 松本亨, 藤山淳史: 戸建て住宅における脱炭素化シナリオとその効果, 環境科学会2023年会, 神戸大学, シンポジウム-7「地域脱炭素化の加速に向けた計画策定の支援システム」, 2023.9.7-8
- カオリルトフィア・藤山 淳史・松本 亨: セクターカップリングを考慮したオフィスビルにおける太陽光発電の導入に関する検討, 土木学会西部支部研究発表会, VII-53, 2024

④ 都市間連携

- Richao Cong, Atsushi Fujiyama, and Toru Matsumoto, “Green Energy Management System Built by AI Technique to Support the Regional Sustainable Development in Japan” Advances in Transdisciplinary Engineering, Vol.38: Green Energy, Environment and Sustainable Development, IOS Press, pp.3-10. <http://doi.org/10.3233/ATDE230266>
- Richao Cong, Atsushi Fujiyama, Toru Matsumoto: An optimal scheme assists the municipalities in Fukuoka, Japan in achieving their goal of 100% renewable energy supply and future decarbonization, Energy Nexus 13 (2024) 1000277
- 垣内真安太, 叢日超, 藤山淳史, 松本亨: 再生可能エネルギーの活用に向けた市町村連携における送電容量の考慮: 北九州都市圏域のケーススタディ, 第19回日本LCA学会研究発表会, 宇都宮大学, 口頭発表, 3-B2-04, 2024.3.6-8

⑤ 市民意識

- 環境科学会2023年会、企画シンポジウム、「地域脱炭素化の加速に向けた計画策定の支援システム」