



熱需要の時空間情報に基づく地域熱供給システムの 導入ポテンシャル分析

2025年3月21日

東北大学 中田俊彦、神戸大吾

目次

1. 背景
2. 目的
3. 研究手法
4. 結果
5. 今後の展望

1. 背景

- 1.1 日本における部門別CO₂排出量の推移
- 1.2 デンマークにおける部門別CO₂排出量の推移
- 1.3 日本における熱利用
- 1.4 デンマークにおける熱利用
- 1.5 日本における熱分野の脱炭素化の方針
- 1.6 デンマークにおける熱分野の脱炭素化の方針
- 1.7 両国における熱分野の脱炭素化への取り組みの比較

1.1 日本における部門別CO₂排出量の推移

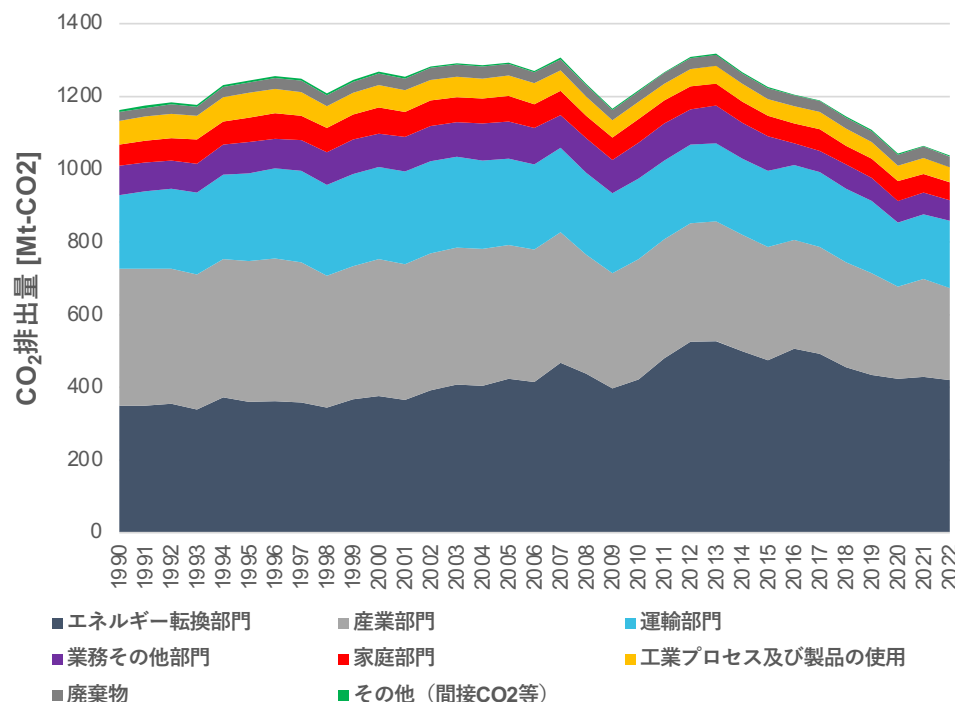


表. 日本の1990年から2022年までの部門別CO₂排出量の変化の割合^[1]

	1990年 (Mt-CO ₂)	2022 (Mt-CO ₂)	2022 to 1990 (% change)
エネルギー転換部門	348.4	420.2	21%
産業部門	378.2	252.6	-33%
運輸部門	201.6	184.9	-8%
業務その他部門	81.0	56.8	-30%
家庭部門	58.2	49.6	-15%
工業プロセス及び製品の使用	65.2	40.9	-37%
廃棄物	23.7	29.6	25%
その他（間接CO ₂ 等）	6.4	2.1	-66%
合計	1163	1037	-11%

- 日本では全部門で脱炭素化が進んでおり、国全体ではCO₂排出量が11%減少した。
- 特に、産業部門、業務部門でCO₂排出量が減少している傾向にある。
- エネルギー転換（発電）部門、運輸部門、家庭部門ではCO₂排出量の減少があまり見られないため、特に対策が必要となる。

[1] 国立研究開発法人 国立環境研究所, “日本の温室効果ガス排出量データ”, 出典：<https://www.nies.go.jp/gio/archive/ghgdata/index.html>

1.2 デンマークにおける部門別CO₂排出量の推移

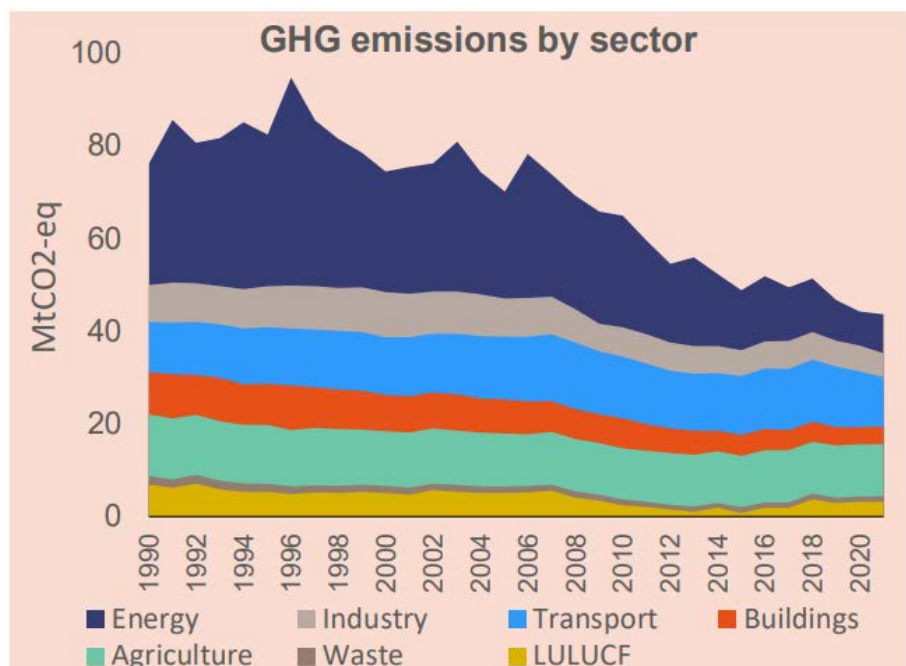


表. デンマークの1990年から2021年までの部門別CO₂排出量の変化の割合^[1]

	1990 (MtCO ₂ -eq)	2005 to 1990 (% change)	2019 to 2005 (% change)	2021 to 2019 (% change)	2021 to 1990 (% change)
Energy	26.3	-12%	-62%	-4%	-68%
Industry	7.9	3%	-32%	-7%	-35%
Transport	10.8	26%	-4%	-18%	-1%
Buildings	9.1	-19%	-45%	-8%	-59%
Agriculture	13.3	-14%	-2%	1%	-16%
Waste	1.9	-30%	-12%	4%	-36%
LULUCF	6.9	-26%	-43%	10%	-54%
International aviation	1.8	45%	22%	-60%	-30%

- ・ デンマークでは全部門で脱炭素化が進んでおり、国全体ではCO₂排出量が38%減少した。
 - ・ 特に、発電部門、家庭部門でCO₂排出量が減少している傾向にある。
- デンマークは再生可能エネルギーによる発電と熱生産を組み合わせている？

[1] European Commission, "Climate Action Progress Report - Country profile 2022", available: https://climate.ec.europa.eu/document/download/85838dff-8f5b-4ba6-8de3-d50979fba28e_en?filename=dk_2022_factsheet_en.pdf

1.3 日本における熱利用

➤ 日本の熱利用形態

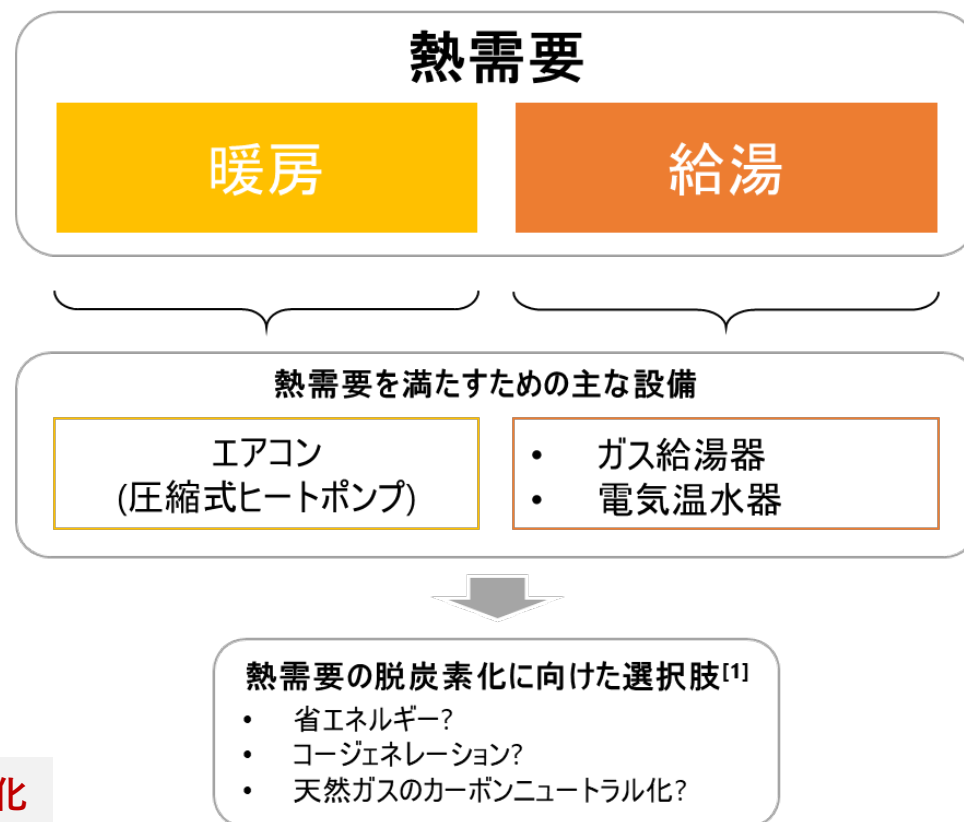
- 個別熱供給（個別熱源）が主流。
- 地域熱供給はほとんど導入されていない。

※ 都市部（丸の内、新宿など）の業務施設を対象として、小規模に導入されている。

➤ 日本における熱分野の脱炭素化に向けた方針^[1,2]

- ① 省エネルギーの推進。
- ② コージェネレーションの推進。
- ③ 都市ガスのカーボンニュートラル化；
 - 既存のインフラに対し、2030年までに合成メタンを1%、2050年までに90%注入することをめざす^[2]。

省エネルギーを通して熱需要を減少させ、都市ガスのカーボンニュートラル化を通して、脱炭素化を進める方針。



[1] 経済産業省 資源エネルギー庁, “令和5年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書2024）”, 出典；<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2024/html/>

[2] 経済産業省, “2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略”, 2021, 出典；<https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005.html>

1.4 デンマークにおける熱利用

➤ デンマークの熱利用形態

- **地域熱供給システム**が主流（65%）。
- 天然ガスのパイプライン供給（15%）。
- 個別熱供給（20%）。

➤ デンマークにおける熱分野の脱炭素化の方針^[1]

① 地域熱供給

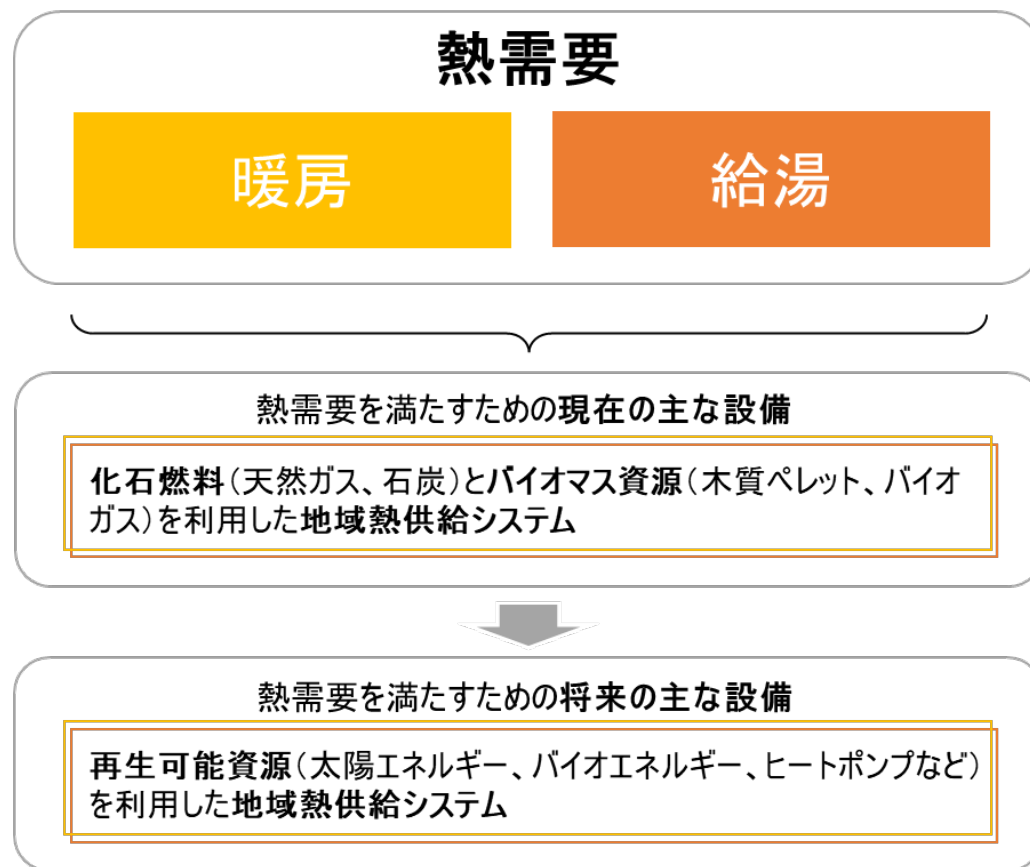
化石燃料を**再生可能エネルギー**に置換する。

② 個別熱供給

既存の熱源機器（石油ボイラー、ガスボイラー）をより**経済的な機器**（ヒートポンプ、バイオマスボイラー）へ置換する。

※ Danish oil boiler scrapping scheme ^[1]；

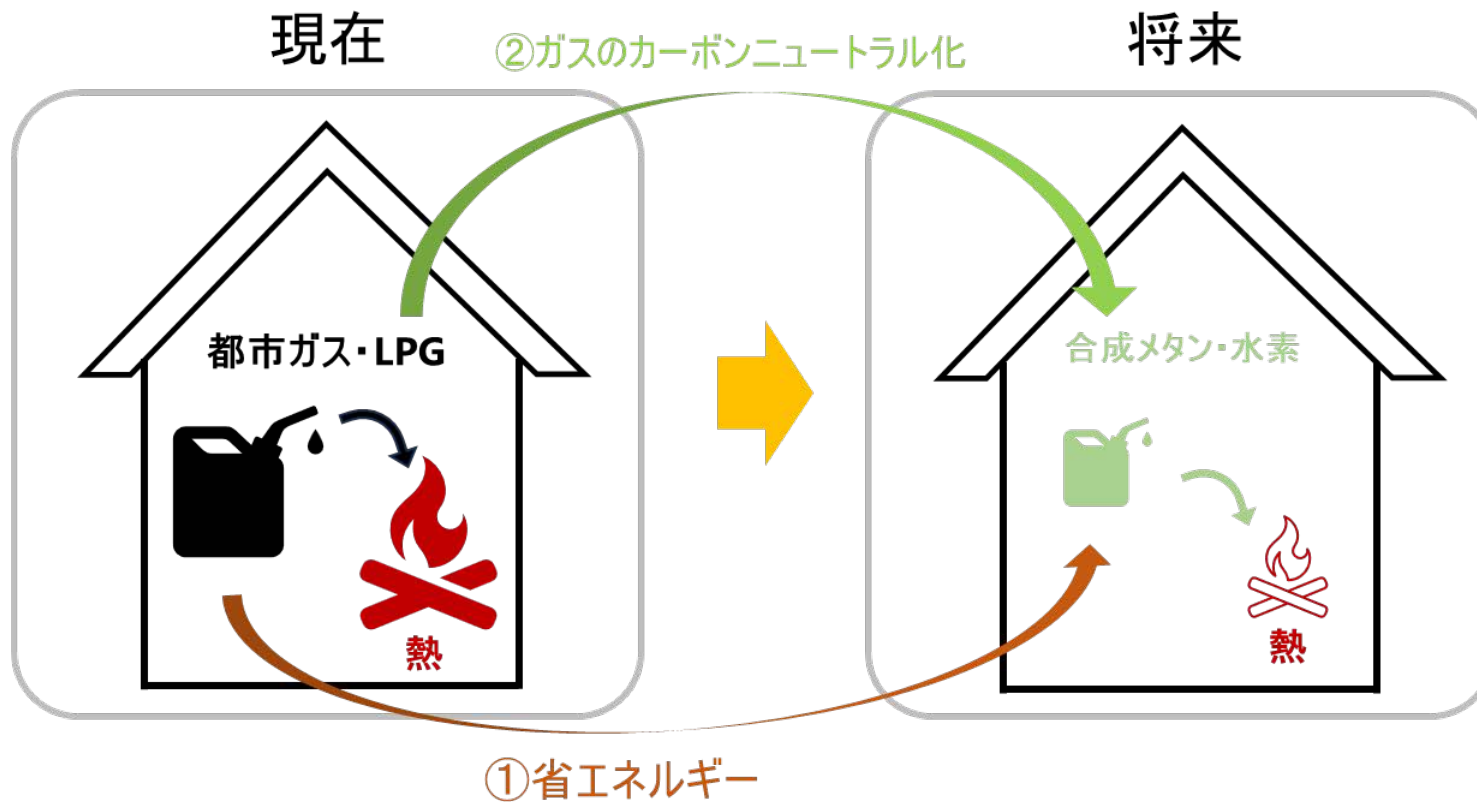
地域熱供給エリア外の住宅では、サブスクリプション方式でヒートポンプを設置することができる制度。



[1] Danish Energy Agency, "Danish Experiences on District Heating", Available : <https://ens.dk/en/supply-and-consumption/heat>

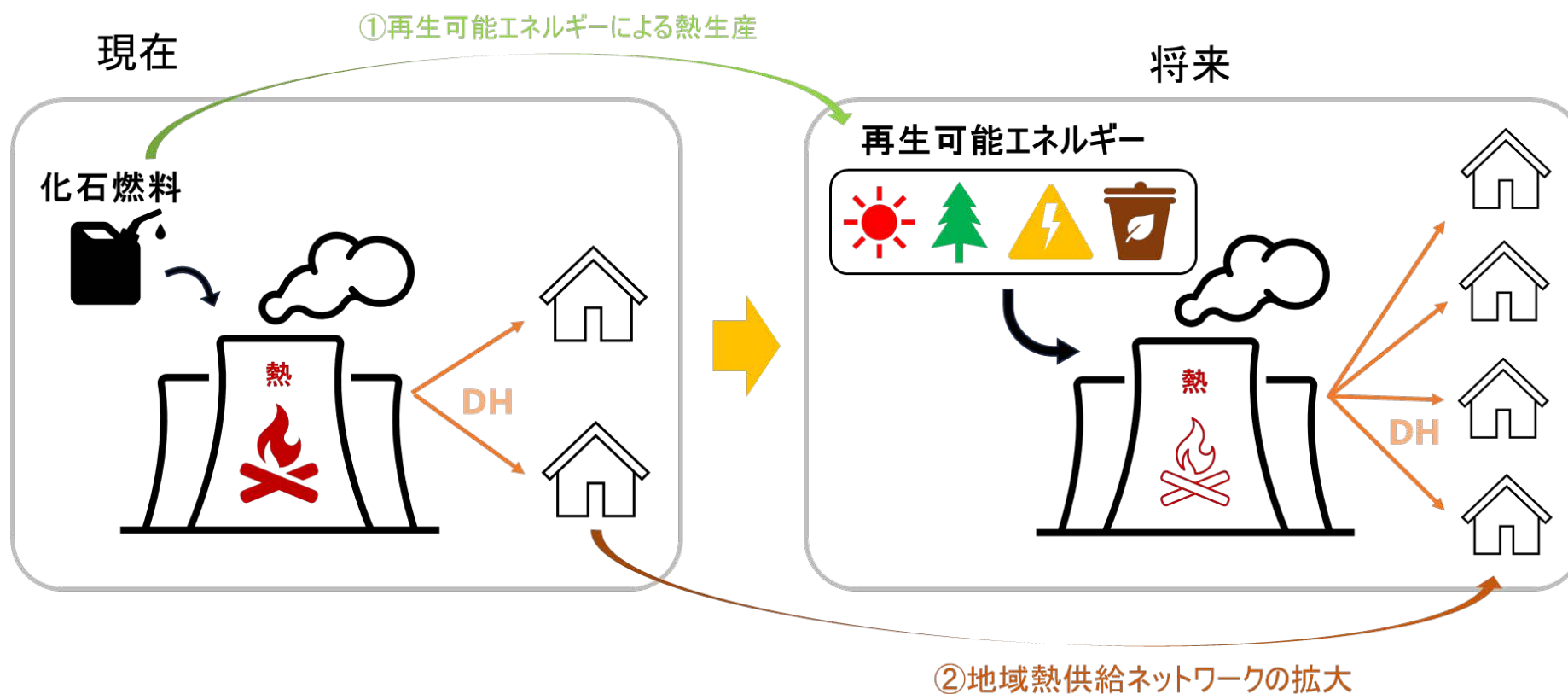
1.5 日本における熱分野の脱炭素化の方針

- ① 省エネルギーの推進。
- ② ガスのカーボンニュートラル化；既存のガスインフラを活用し、合成メタンを導入していく。



1.6 デンマークにおける熱分野の脱炭素化の方針

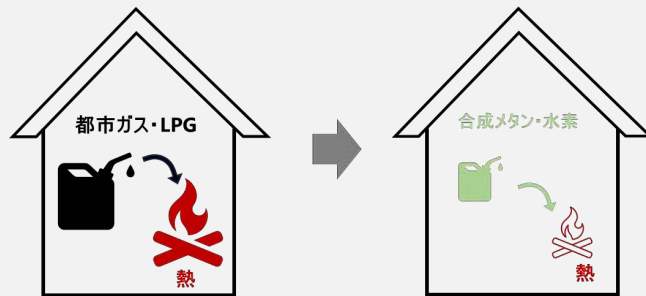
- ① 再生可能エネルギーによる発電と熱生産。
- ② 既存の地域熱供給ネットワークへの接続拡大。



1.7 両国における熱分野の脱炭素化への取り組みの比較

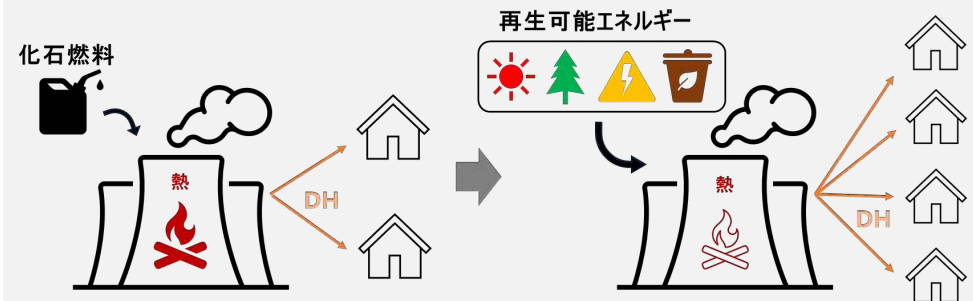
日本の方針

- 既存の熱設備を維持し、ガスのカーボンニュートラル化により脱炭素化を推進する



デンマークの方針

- 再生可能エネルギーによる発電と既存の熱設備の置き換えを組み合わせる



- 日本における熱分野の脱炭素化を大きく進める上で、デンマークのように、**再生可能エネルギーによる発電を取り入れつつ既存の熱設備を置換する**方針が効果的ではないか？
- 既存の熱設備を置き換えていく中で、選択肢の一つとして日本に地域熱供給が導入される可能性がある。

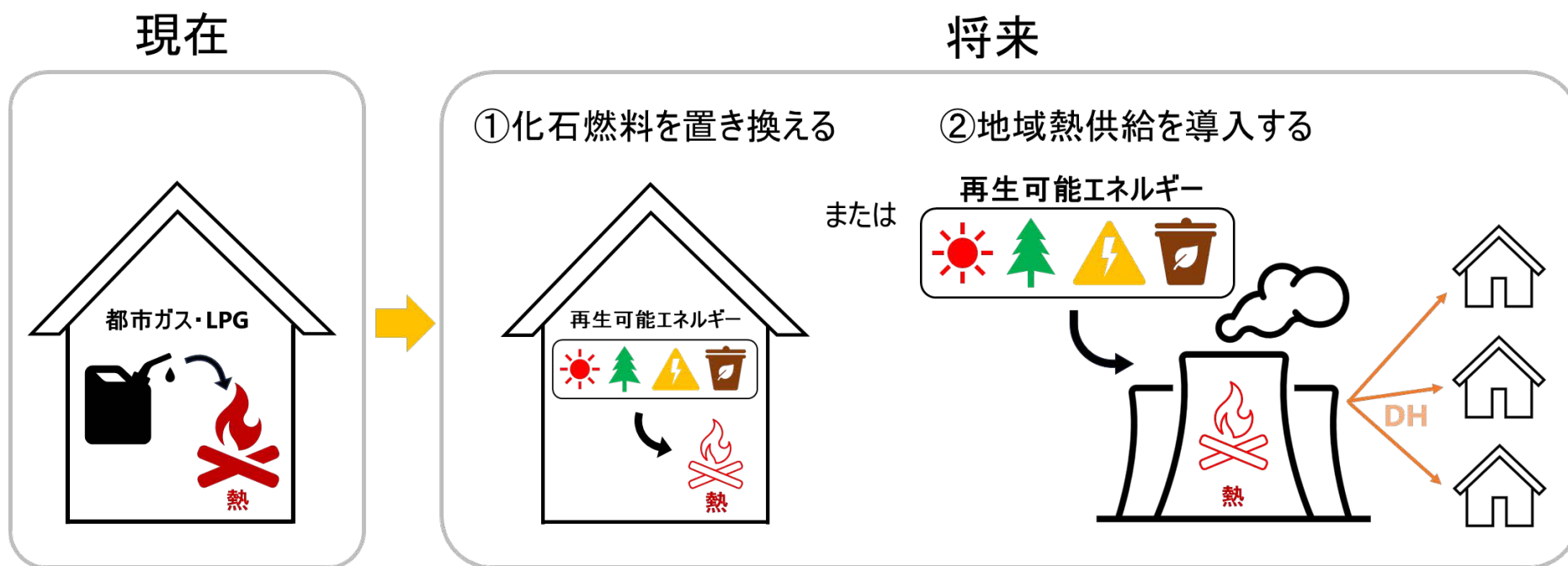
2. 研究の目的

2.1 本研究のコンセプト

2.2 研究の目的

2.1 本研究のコンセプト

- 数理最適化により、再生可能エネルギーによる発電を取り入れつつ既存の熱設備をどのように置換すべきかを明らかにする。

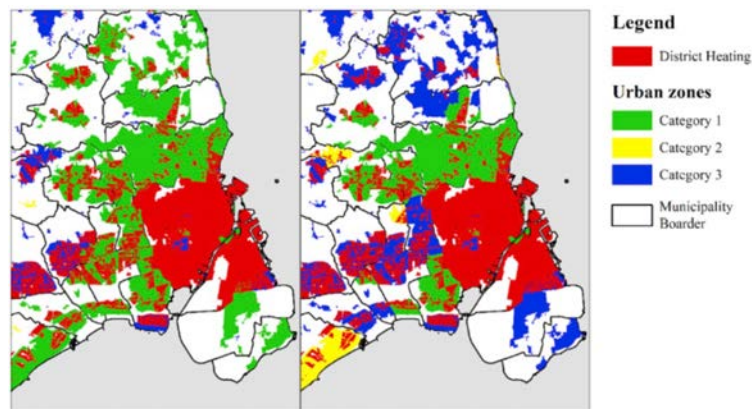


2.2 研究の目的

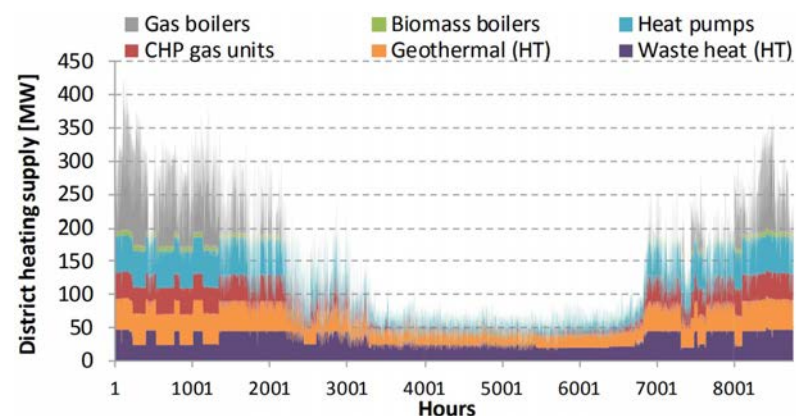
- 日本の複数の都市を対象とした数理最適化モデリングを行い、各都市の地域熱供給と個別熱源の最適な導入割合と熱源を求める。
- 地域比較によって、日本における地域熱供給の導入可能性を分析する。



2050年のカーボン・ニュートラルに向けて、日本の家庭および業務部門の取るべき方針を明らかにする。



地域熱供給と個別熱供給の導入すべきエリア [1]



地域熱供給の熱源構成 [2]

[1] Lars et al., "Comparison of district heating expansion potential based on consumer-economy or socio-economy", Energy, Volume 115, Part 3, 15 November 2016, Pages 1771-1778

[2] Loic et al., "The role of district heating in achieving sustainable cities: comparative analysis of different heat scenarios for Geneva", Energy Procedia, Volume 116, June 2017, Pages 78-90

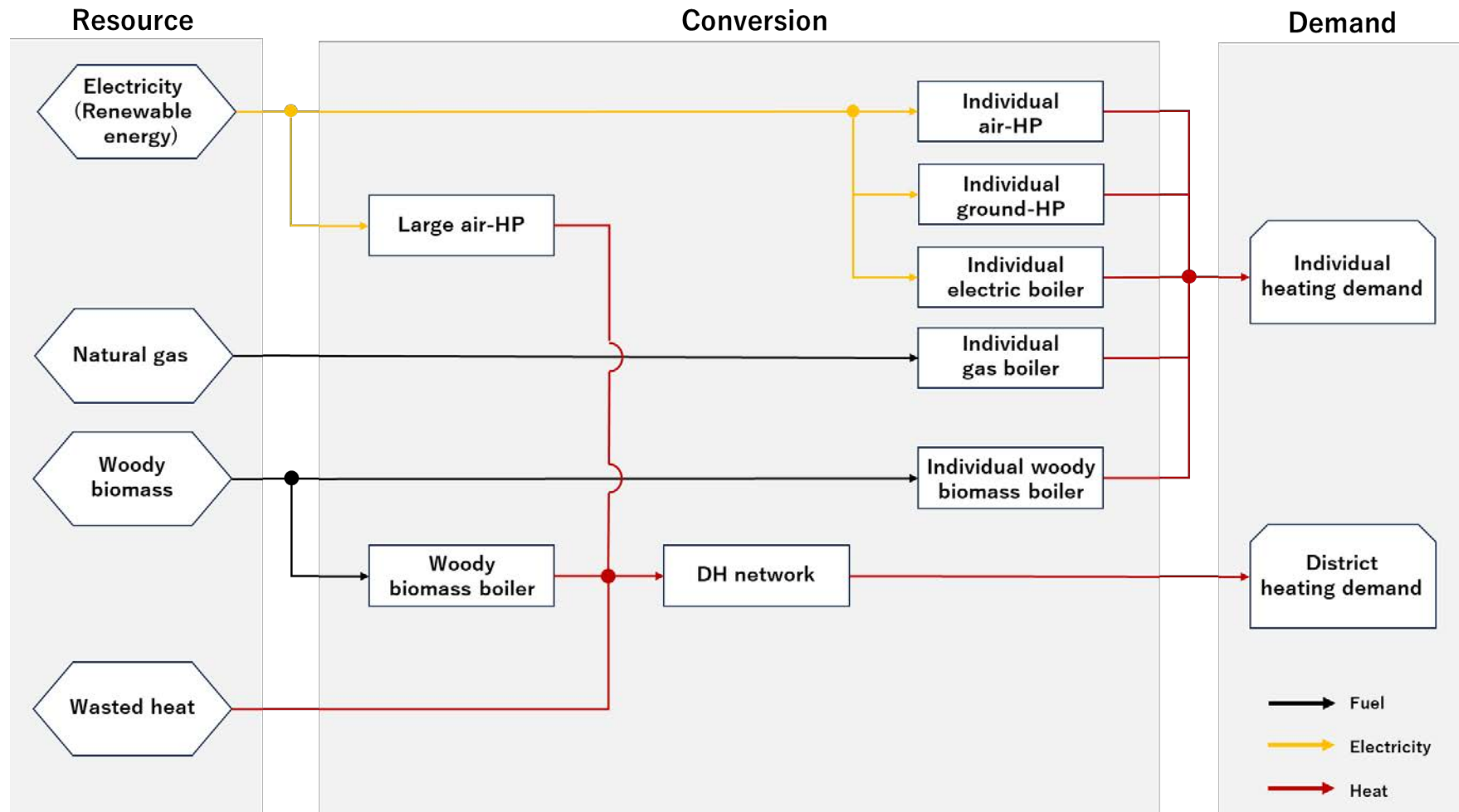
3. 研究手法

3.1 設計するエネルギーシステムの構成

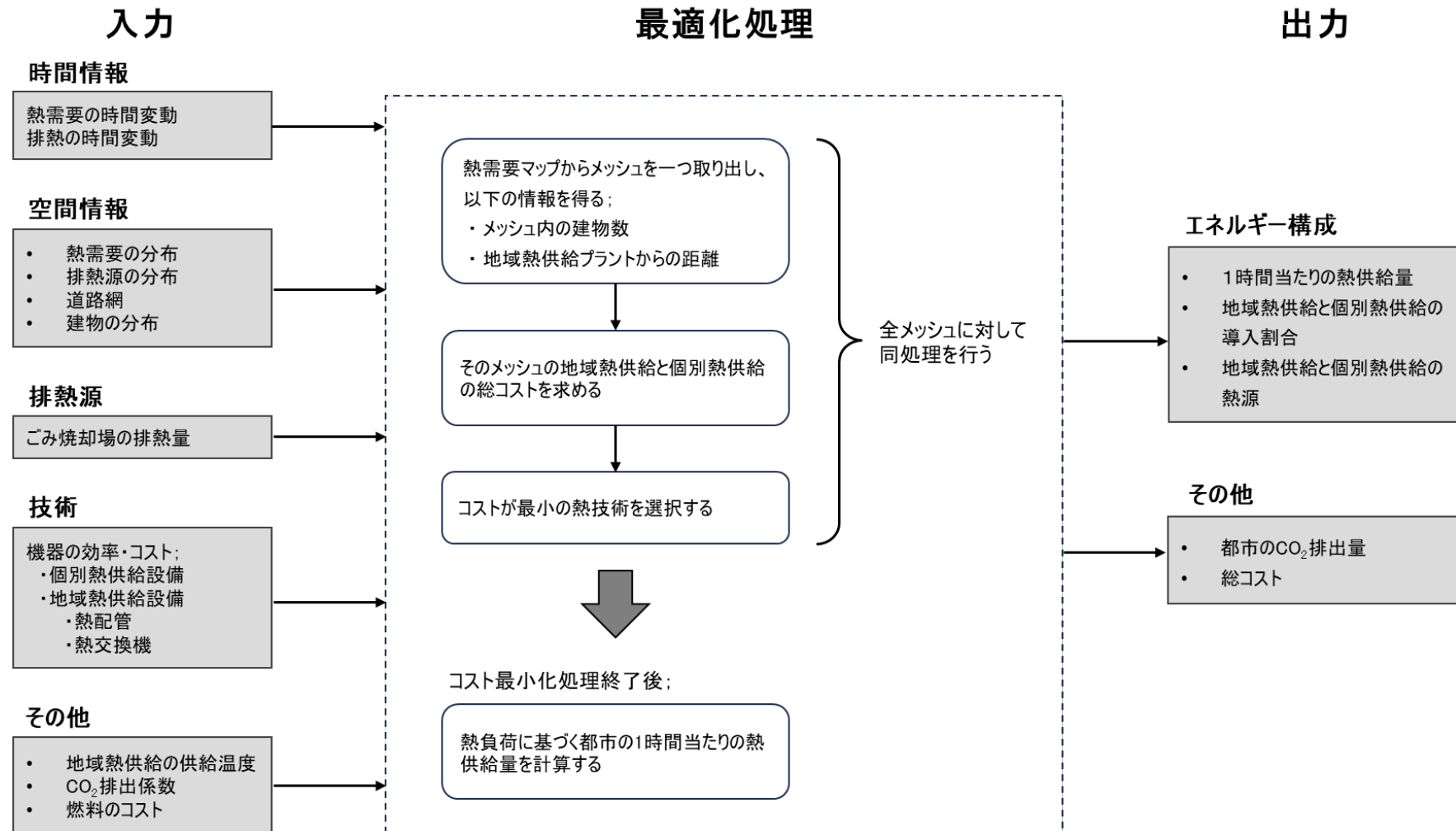
3.2 最適化モデルの概要

3.3 入力データの推計

3.1 設計するエネルギーシステムの構成



3.2 最適化モデルの概要



3.2 最適化モデルの概要

目的関数	総コストの最小化 ; $\text{minimize } \{\sum_i (C_{DH,i} + C_{IH,i})\}$
制約条件	①熱のバランス ; $Q_{supply} = Q_{dispatch,DH,i} - Q_{loss,DH} + Q_{dispatch,IH,i} = Q_{demand}$
	②熱機器の出力 ; $0 \leq Q_{dispatch,i} \leq Q_{capacity,i}$
	③CO ₂ 排出量の条件 ; $CO_{2,2050} = 0$
解像度	宮城県仙台市（複数の都市を対象とする） / 1年間かつ1時間
対象年	2050年
用いる熱技術	地域熱供給: 木質バイオマスボイラー、空気熱源ヒートポンプ
	個別熱供給: 木質バイオマスボイラー、空気熱源ヒートポンプ、地中熱源ヒートポンプ、電気ボイラー、ガスボイラー
変数	各熱源機器の生産熱量
入力データ	- 熱需要の1時間ごとの変動パターン: 500mメッシュ、日本、2021年 - 排熱量: ごみ処理場からの排熱 - 各設備のパラメータ（コスト: CAPEX・OPEX、熱効率など） - CO₂ 排出係数: 天然ガス

3.2 最適化モデルの定式化

・ 目的関数

年間のエネルギーシステムコストの最小化

$$\text{minimize } \left\{ \sum_i (C_{i,DH} + C_{i,IH}) \right\} = \sum_i \underbrace{(capex_i + opex_{fixed,i}) \times Q_{capacity,i}}_{\text{設備投資コスト}} + \underbrace{opex_{variable,i} \times Q_{dispatch,i}}_{\text{運転保守コスト}} + \underbrace{Cost_{fuel,i}}_{\text{燃料コスト}} \quad (1)$$

地域熱供給コスト
個別熱供給コスト

・ 制約条件

① 熱の需要と供給を一致させるエネルギー収支式

$$Q_{supply} = Q_{dispatch,DH,i} - Q_{loss,DH} + Q_{dispatch,IH,i} = Q_{demand} \quad (2)$$

熱供給量
地域熱供給の熱損失量
個別熱供給による熱生産量
熱需要

地域熱供給による熱生産量

② 熱機器による熱生産が最大出力を上回らない制約

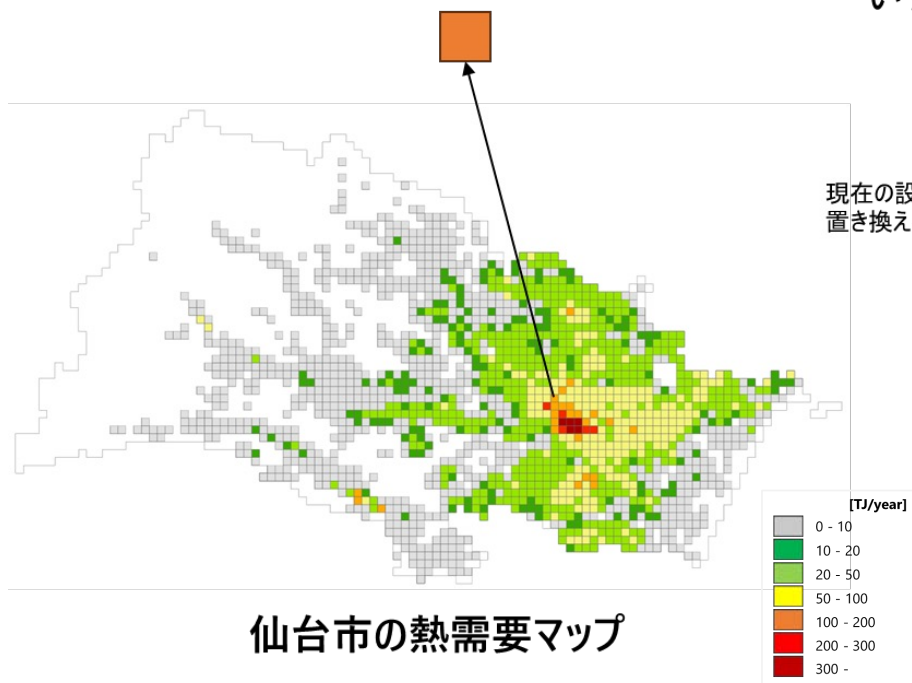
$$0 \leq Q_{dispatch,i} \leq \underbrace{Q_{capacity,i}}_{\text{熱機器の最大出力}} \quad (3)$$

③ 都市全体のCO₂ 排出量の制約

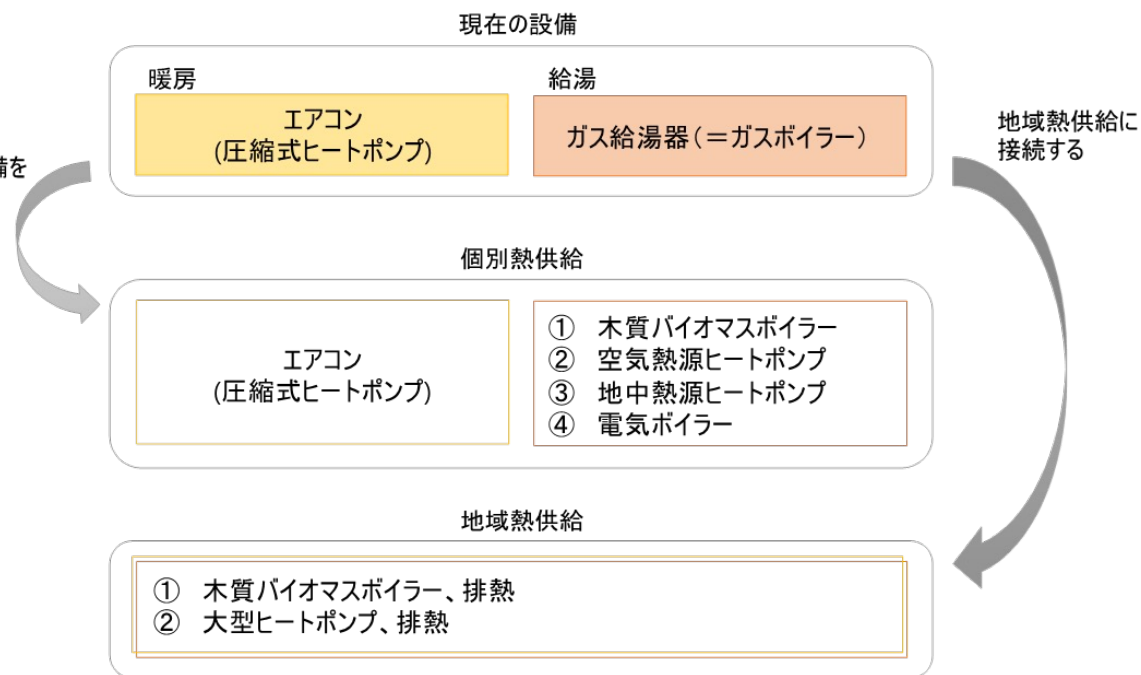
$$\underbrace{CO_{2,2050}}_{\text{2050年のCO}_2 \text{ 排出量}} = 0 \quad (4)$$

3.2 コスト最小化処理

①メッシュを1つずつ取り出す



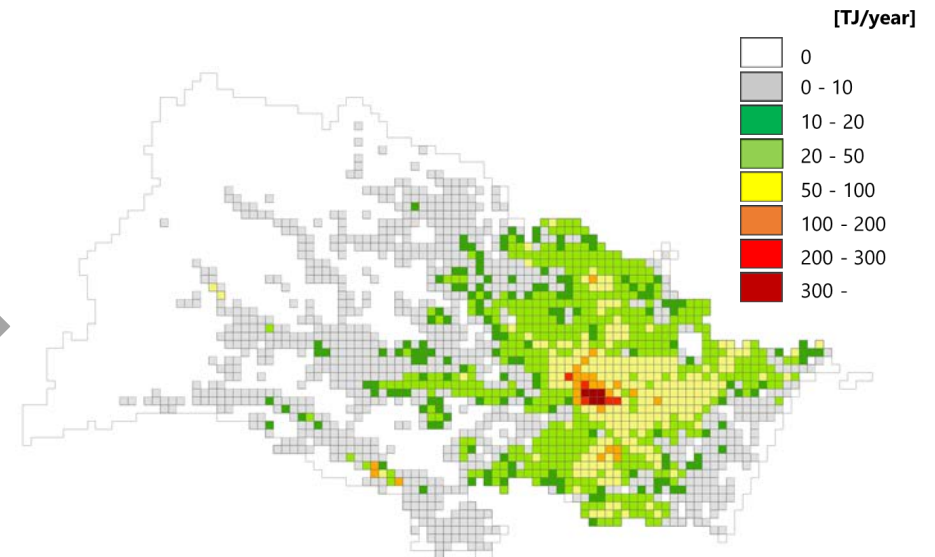
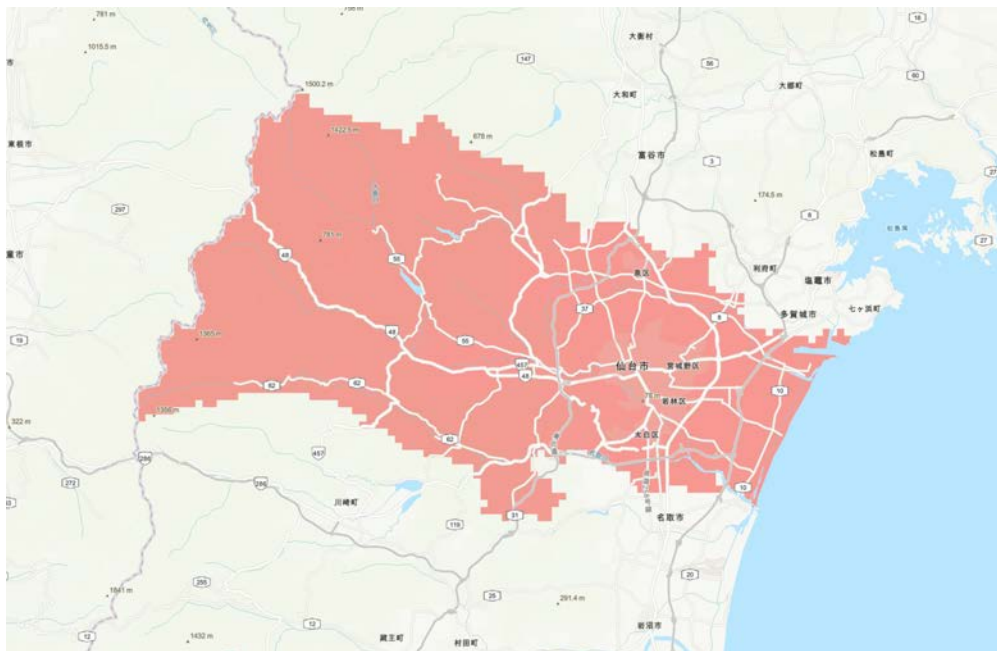
②1つのメッシュに対して、地域熱供給と個別熱供給のコストを比較し、いずれかの技術を選択する



- ・ 個別熱供給ではエアコンで暖房需要を、①～④で給湯需要をカバーする。
- ・ 地域熱供給では、暖房需要と給湯需要の両方をカバーする。

3.3 熱需要の推計方法

➤ 熱需要の空間分布は、環境省公開の熱需要マップ^[1]をGISを用いて可視化することで求めた。



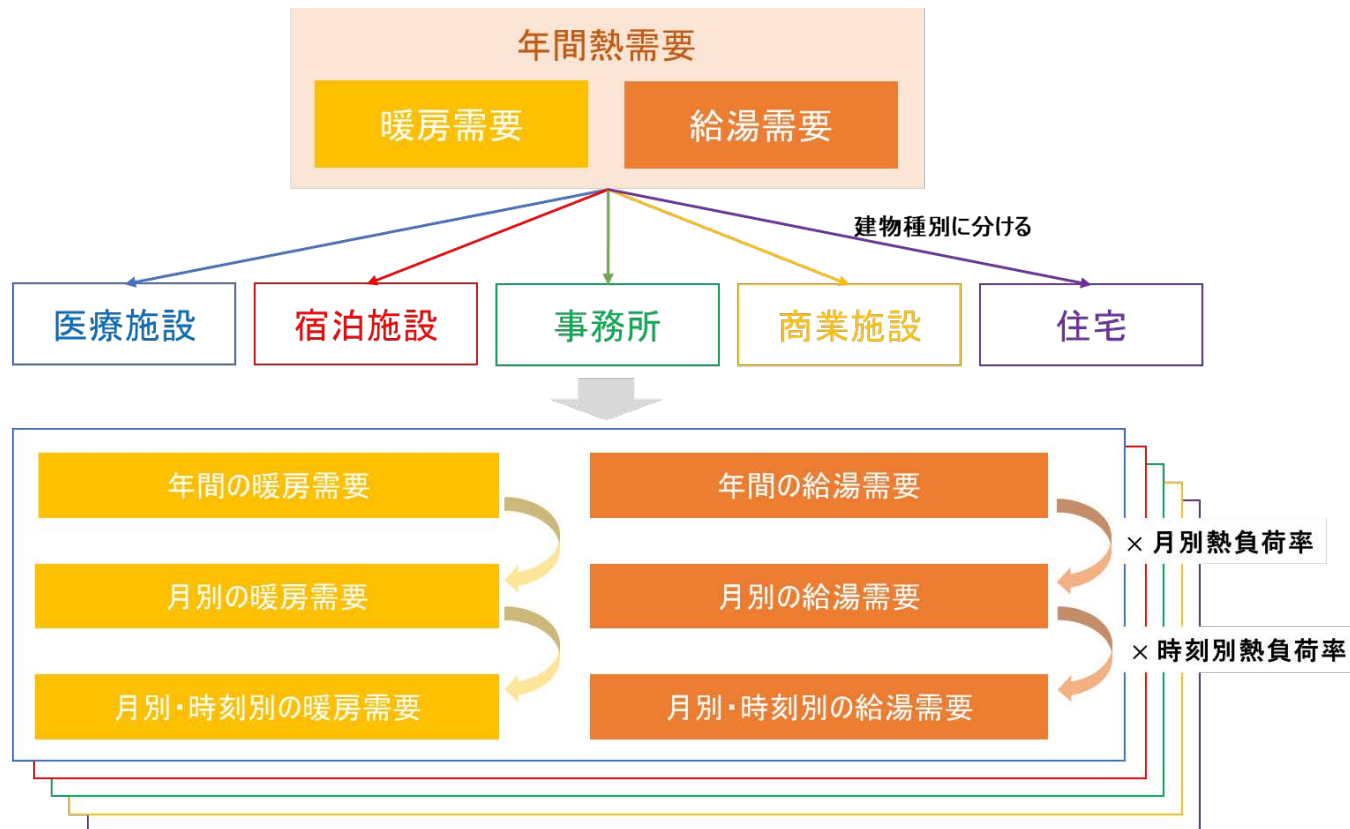
宮城県仙台市の熱需要マップ（500m×500m）

- 仙台市中心部に熱需要が高いメッシュが密集している。
- その周辺に熱需要の低いメッシュが広く分布している。

[1] 環境省 REPOS, 搭載データ及び出典情報一覧 “熱需要マップ（500mメッシュ）”, 出典：<https://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/RenewableEnergy/42.html>

3.3 熱需要の推計方法

- 1時間あたりの熱需要値は、年間の熱需要値^[1]を建物種別、月別、時刻別に按分^[2]して算出した。



[1] 環境省 REPOS, 搭載データ及び出典情報一覧 “熱需要マップ (500mメッシュ)”, 出典: <https://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/RenewableEnergy/42.html>

[2] (社) 日本エネルギー学会, 天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル 2008, 2008.

3.3 各技術のコスト及び効率

Technology	Unit	Capacity [kW]	Annualized capex [€]	Fixed opex [€]	Variable opex [€]	Efficiency or COP [-]
Residential gas boiler	kW	1	167.75	170	0	0.99
Residential biomass	kW	10	209.25	331	0	0.9
Residential HP – air source (water output)	kW	7	492.125	212	0	3.7
Residential HP – ground source (water output)	kW	7	587.5	188	0	3.85
Residential HP – air source (air output)	kW	6.5	121.75	93	0	5.6
Residential electric boiler	kW	3	77.2	21	0	1
Residential heat exchanger	kW	12	81.2	44	0	0.98
Gas boiler	MW	0.5~10	2126.76	1809	1.06	1.04
	MW	23	19140.8	40621	4	0.83
	MW	3	25095.6	31476	4.02	0.98
Biomass boiler	MW	10	32326.52	2127	1.8	3.9
	MW	3	36580.04	2127	2.84	3.7
Compression HP	MW	12	19566.04	2127	1.52	1.75
Absorption_HP	MW	12	19566.04	2127	1.52	1.75
Distribution pipe	m	-	19.24	0	1.6	0.95

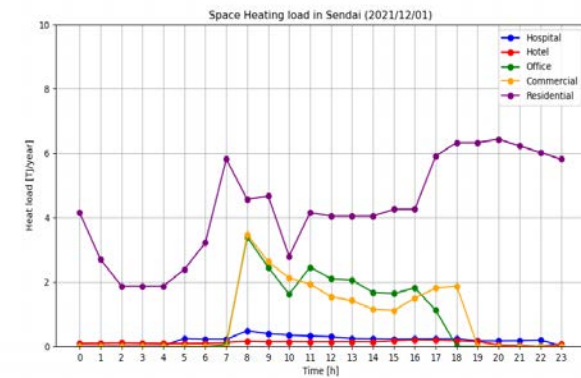
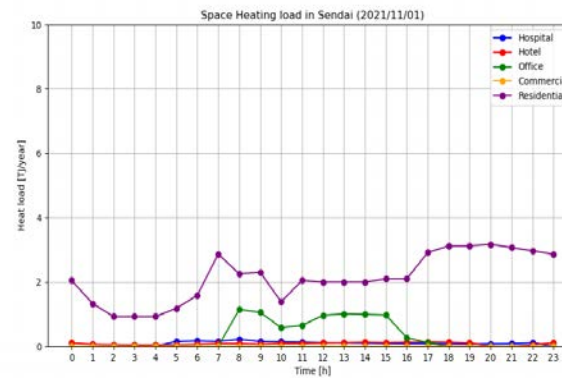
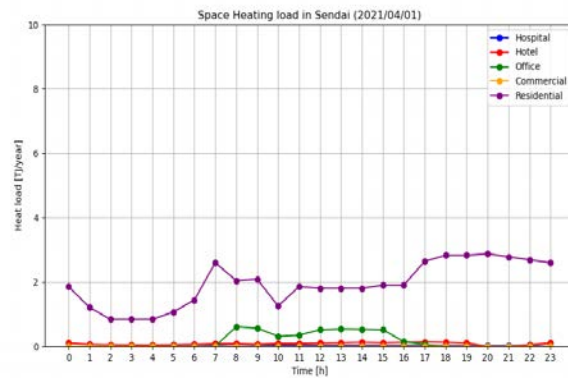
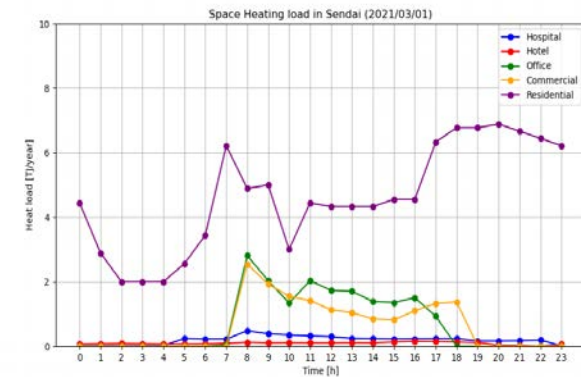
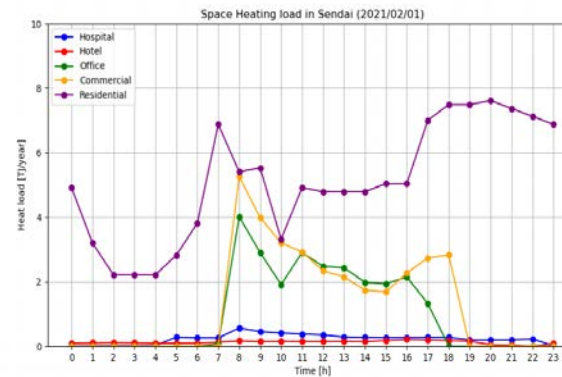
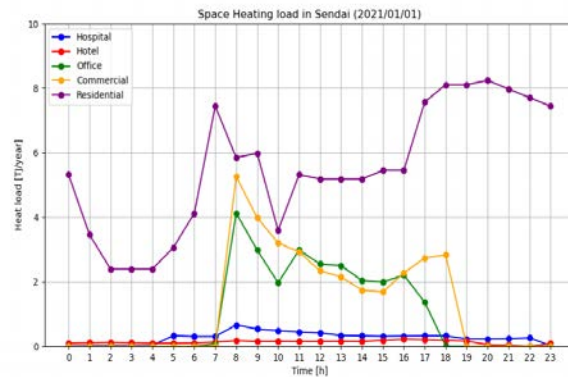
4. 結果

4.1 熱需要の時間変化

4.2 最適化モデルの実行結果

4.1 暖房需要の時間変化

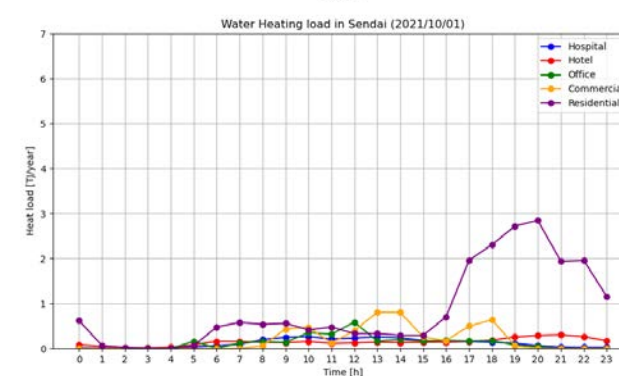
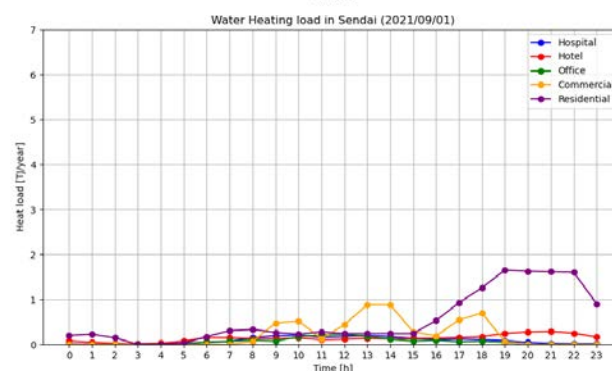
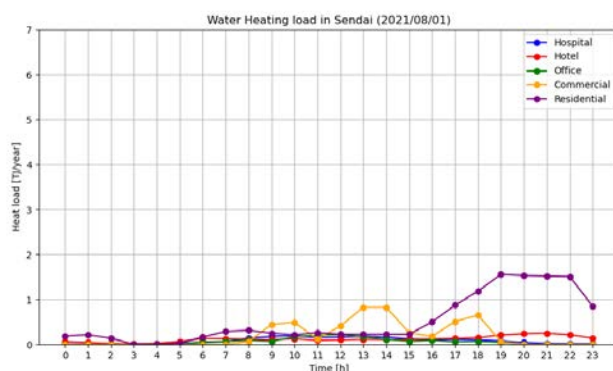
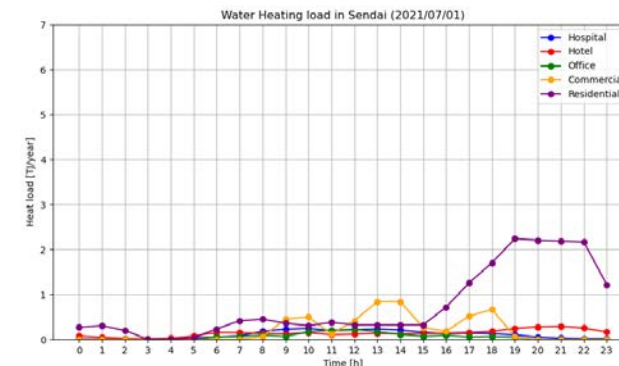
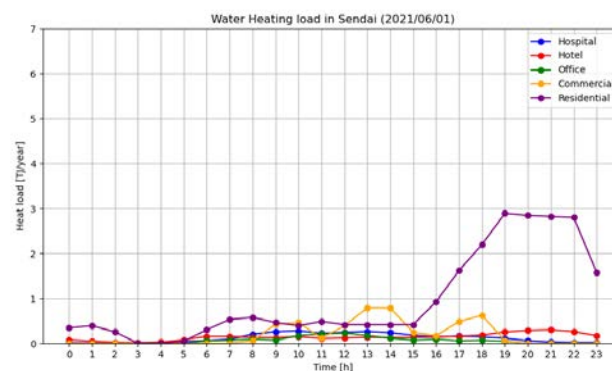
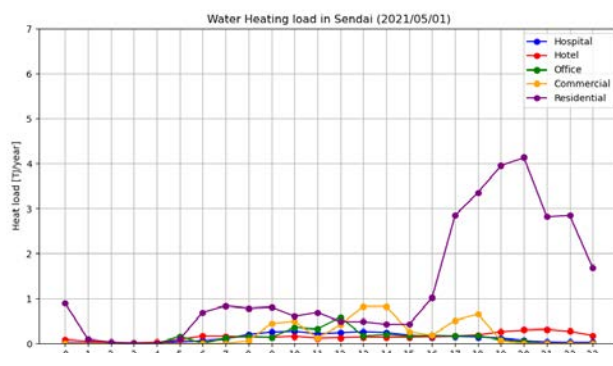
※5月～10月は暖房需要は存在しないと仮定



- 暖房需要は季節によって大きく変動する。
- 住宅は季節や時間帯に関係なく、一定の需要がある。
- 事務所と商業施設は営業時間に暖房需要が存在し、特に朝8時でピークに達する。

4.1 給湯需要（夏期）の時間変化

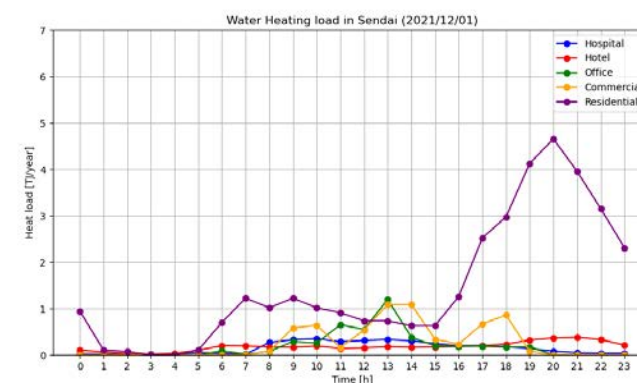
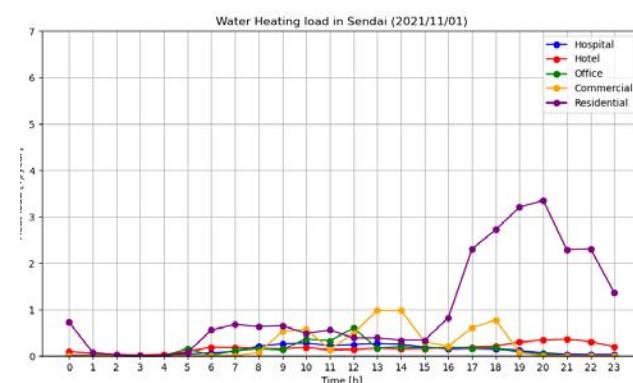
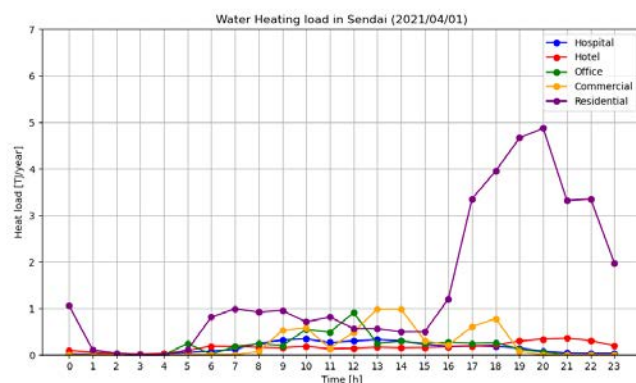
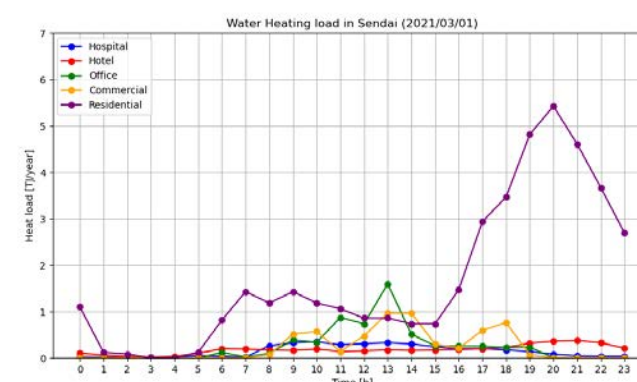
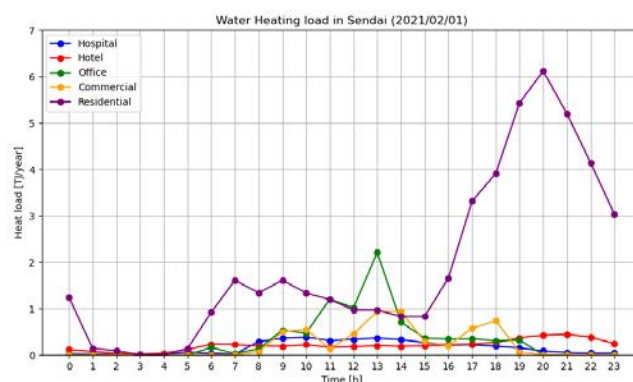
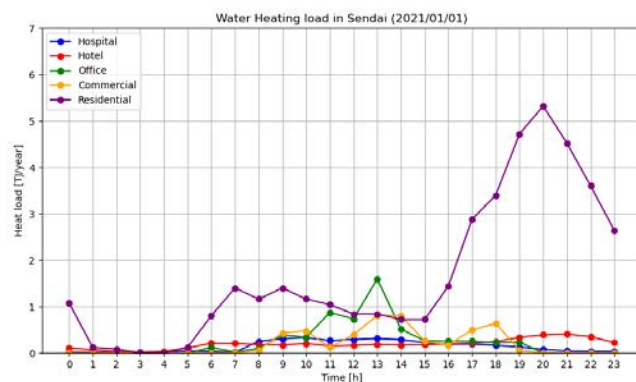
※5月～10月を夏期とする。



- 住宅では夕方から夜にかけて給湯需要が高くなり、夜20時にピークに達する。
- 病院・ホテル・商業施設は給湯需要の季節変動が少ない。

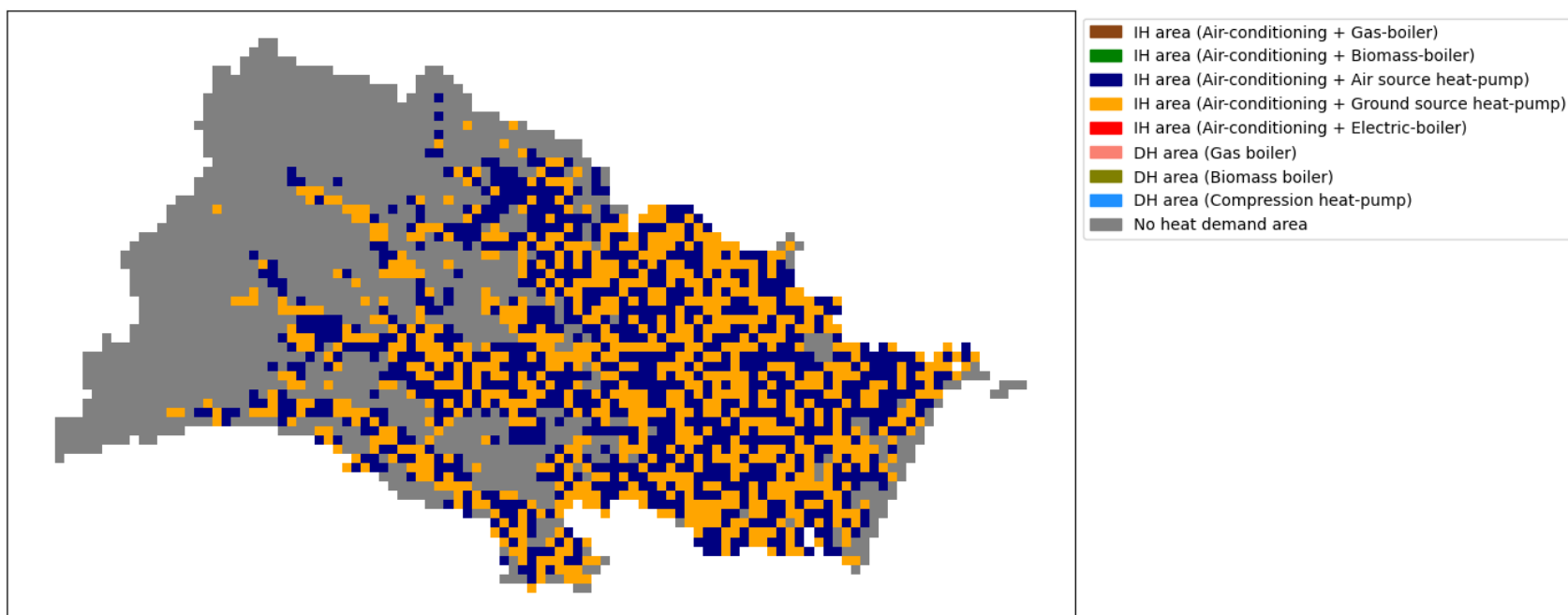
4.1 給湯需要（冬期）の時間変化

※1月～4月および11・12月を冬期とする。



- 住宅では夕方から夜にかけて給湯需要が高くなり、夜20時にピークに達する。
- 事務所は冬期の需要が夏期の2倍になる。
- 病院・ホテル・商業施設は給湯需要の季節変動が少ない。

4.2 最適化モデルの実行結果



宮城県仙台市に導入された熱技術の組み合わせ

- 全てのメッシュで個別熱供給が選択され、暖房用にエアコン、給湯用に空気及び地中熱源ヒートポンプのみが導入された。
→ 個別熱供給の中で、ヒートポンプは初期コストが高いものの、効率の高さから最も導入が進みやすい（スライド20を参照）。
- 現在のコスト最適化計算では、地域熱供給は初期コストの高さから導入されない。
→ 初期コストが高くて、多くの排熱を取り入れてエネルギー効率を高めることで、地域熱供給が導入される可能性がある。

5. 結論及び今後の展望

結論

本研究では、再生可能エネルギーと需要の時間・空間変動性を分析し、宮城県仙台市を対象とした数理最適化モデリングを行った。その結果、以下の知見を得た。

- 熱需要に関して、住宅の暖房・給湯需要値が特に高く、住宅の脱炭素化に向けた対策が必須。
- 既存の熱設備を置き換えていく上で、ヒートポンプによる個別熱供給が、導入コストの低さ、熱効率の高さから最も導入されやすい。
- 地域熱供給は導入コストの高さから導入が進みにくい。



今後の展望

- 現状のエネルギーシステムに対し、ヒートポンプによる個別熱供給を導入することで、どのような変化が生じるのか分析する。
 - 地域熱供給の導入コストの高さをカバーするため、多様な排熱を利用する地域熱供給を設計する。
- 既存の熱設備を置き換えていく上で、日本で地域熱供給が導入される条件を明らかにする。

日本の地域暖房システムにおけるバイオマス燃料熱電併給ボイラーの非線形最適化 (2024)

Clean Technologies and Environmental Policy
<https://doi.org/10.1007/s10098-024-02746-w>

ORIGINAL PAPER



Nonlinear optimization of biomass fueled combined heat and power boilers in district heating systems in Japan

Régis Delubac¹  · Rémi Delage¹ · Toshihiko Nakata¹

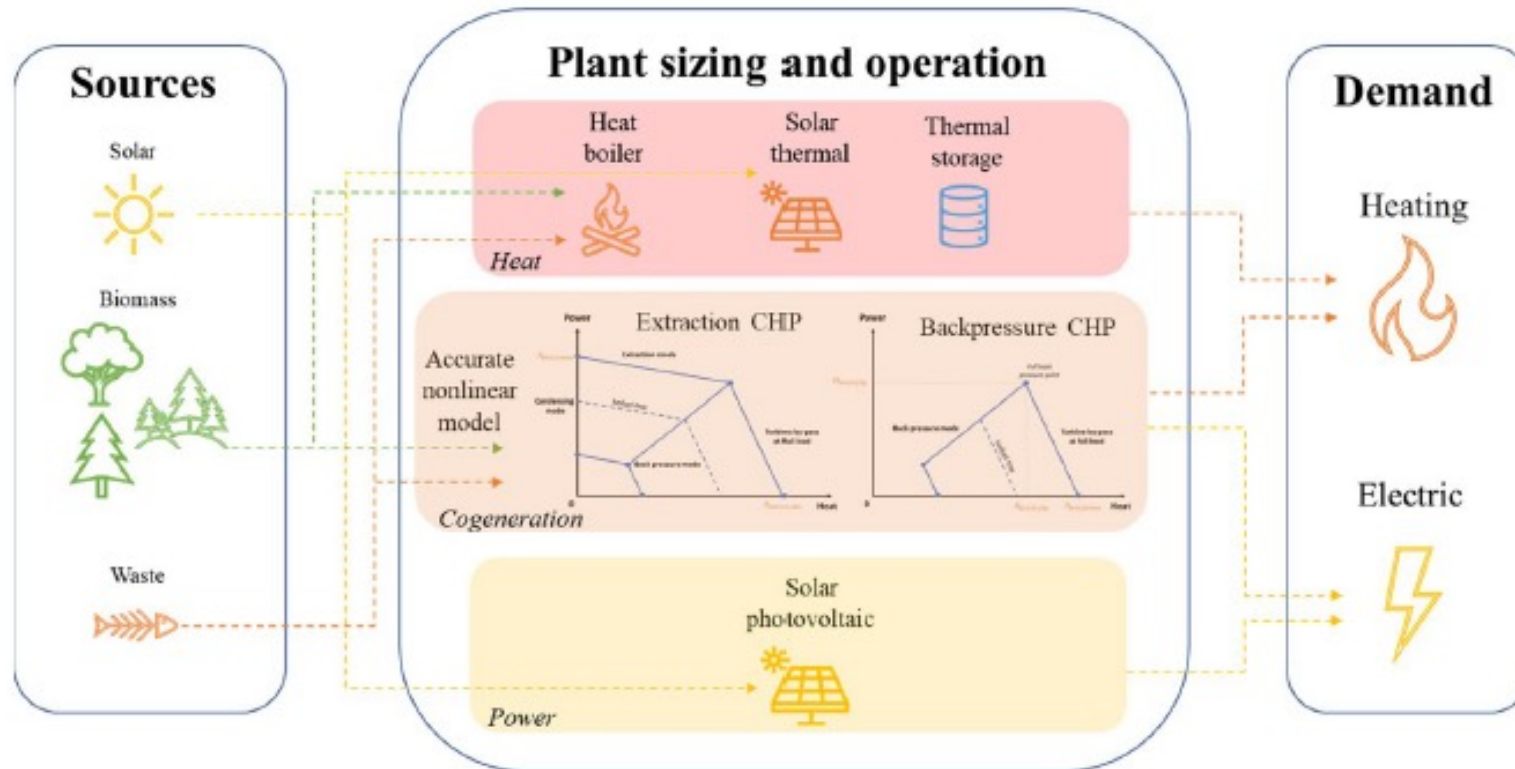
Received: 1 June 2023 / Accepted: 11 January 2024

© The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2024

Abstract

To accelerate the transition toward zero net carbon emissions, developing the technologies which are already mature enough to be integrated technologically and economically in existing systems is essential. Most of the recent studies are focusing on large scale energy systems which require lot of assumptions such as linear approximations. This paper presents the economical optimization of combined thermal and electrical supply of multiple cities in Japan through utilization of combined heat and power boilers. A nonlinear approach is used to consider phenomena including combustion efficiencies variations or effect of scale. Different technologies of combined heat and power are modeled with different properties and fuels such as household wastes and multiple biomass woods. The cost is used as the objective function to minimize considering current energy costs. With each boiler modeled and sized, optimization results show an optimal operation of 100% renewable resources, especially biomass power with accurate indicators on the operating mode of those technologies.

Graphical abstract



Keywords Renewable energy systems · District heating systems · Nonlinear optimization · Combined heat and power · Biomass energy

再生可能エネルギーシステムにおける柔軟なPower-to-X運用の統合効果 - 日本の事例 (2023)

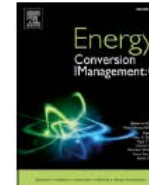
Energy Conversion and Management: X 20 (2023) 100416



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com/journal/energy-conversion-and-management-x)

Energy Conversion and Management: X

journal homepage: www.sciencedirect.com/journal/energy-conversion-and-management-x



Systematic effects of flexible power-to-X operation in a renewable energy system - A case study from Japan

Hiroaki Onodera^{*}, Rémi Delage, Toshihiko Nakata

Department of Management Science and Technology, Graduate School of Engineering, Tohoku University, 6-6-11-815 Aramaki Aza Aoba, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8579, Japan

ARTICLE INFO

Keywords:

Power-to-X
Electrofuel
Renewable energy system
Sector coupling
Flexibility
Optimization model

ABSTRACT

For achieving a carbon-neutral energy system, economical flexibility mechanisms are crucial to accommodate intermittent and decentralized renewable energy sources. Power-to-X (P2X) is a promising technology for this purpose. This study aims to elucidate the systematic effects and competition of dynamically operated power-to-X (P2X) technologies as a flexibility option in comprehensive renewable energy systems. We developed a linear programming model to optimize energy systems incorporating P2X technologies, including water electrolysis, methanation, Fischer-Tropsch synthesis, and Haber-Bosch synthesis, and investigated the impact of P2X flexibility on the system structure and energy costs, focusing on Japan as a case study. The results demonstrate that each P2X technology effectively shifts electricity loads and reduces curtailment by more than 80%. The contribution of each P2X technology varies, with water electrolysis playing a dominant role due to its relatively low fixed costs and large scale. Furthermore, the mechanism significantly reduces system costs by 35% and supply costs of electricity and hydrogen by 41% and 30%, respectively, by reducing the required capacities of electricity generators, stationary batteries, and transmission grids. Therefore, P2X has a cost advantage over these flexibility options. The results also highlight that the maximum effect is achieved when the capacity factor of P2X is 30%. However, synthetic hydrocarbons would require a carbon price of over 356 EUR/tCO₂ to compete with fossil fuels. Domestic electrofuels would face tough competition with global fuel costs. Nevertheless, the reduction in electricity costs through P2X, along with its contribution to energy security, may incentivize its adoption.

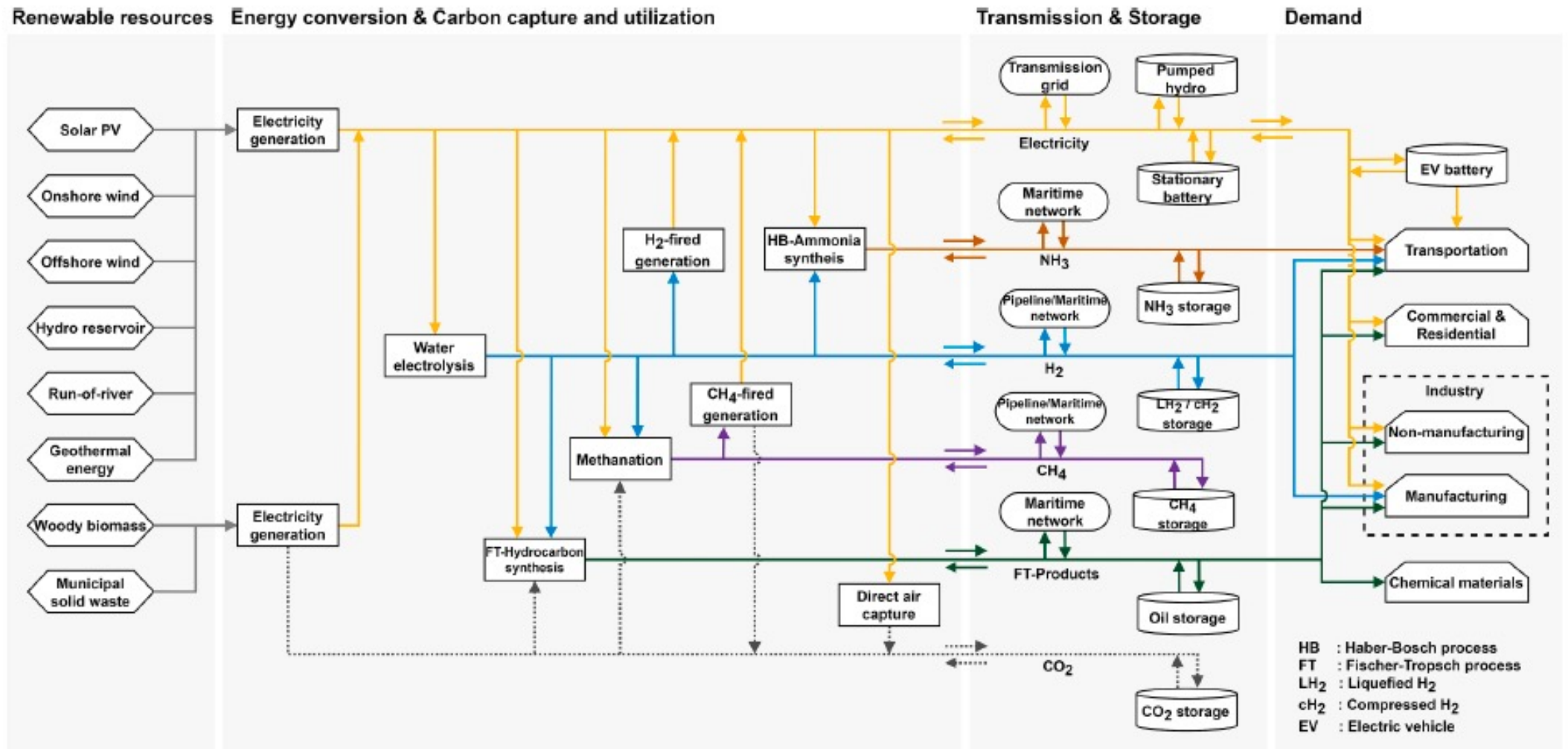


Fig. 1. System configuration covered by our model. Hydrogen has three states: low pressure, compressed, and liquefied. Methane has two states: low pressure and liquefied.

森林生長を考慮した木質バイオマスエネルギーポテンシャルのボトムアップ推計 (2024)

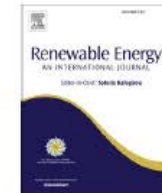
Renewable Energy 229 (2024) 120677



Contents lists available at ScienceDirect

Renewable Energy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/renene



A bottom-up estimation of woody biomass energy potential including forest growth in Japan

Ryoga Ono^{*}, Rémi Delage, Toshihiko Nakata

Department of Management Science and Technology, Graduate School of Engineering, Tohoku University, 6-6-11-815 Aramaki Aza Aoba, Aoba-ku, Sendai, Miyagi, 980-8579, Japan

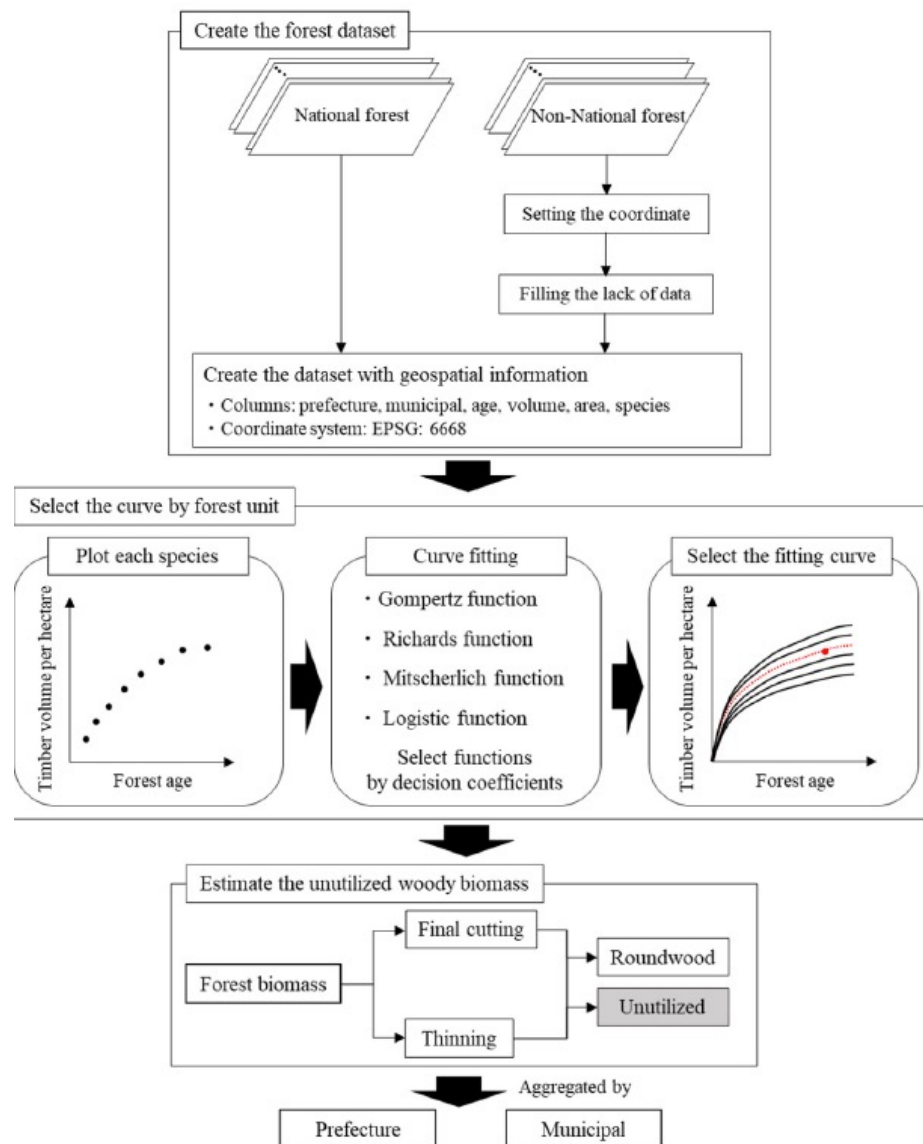
ARTICLE INFO

Keywords:

Woody biomass energy potential
Renewable energy systems
Forest growth
Bottom-up estimation
Spatial distribution
Hierarchical clustering

ABSTRACT

Until now, top-down estimation using the areal weighting interpolation method was applied to estimate the woody biomass energy potential for each of the 1741 municipalities in Japan. However, it was difficult to utilize the uncertain results in policy making. In contrast, bottom-up estimation can reflect the regional characteristics and provide novel benefits to policymakers. In this study, bottom-up estimation using the method of aggregation approach was carried out from the geospatial data for artificial forests, excluding protected forest, and considering forest growth. The data was collected from both national and each prefecture government. The forest growth of each forest division was adjusted by curve fitting and compared with statistical values to verify the estimation results. The woody biomass energy potential was defined as the amount of unused wood generated from harvesting to produce materials. In Japan, the total potential was 0.26–0.74 [EJ/year]. Comparing with the top-down estimation, these results were 34 % overestimated for the maximum value and 54 % underestimated for the minimum value. The detail results of geospatial distribution were statistically analyzed. Moran's I statistic was 0.68, and a hierarchical clustering with proportion resulted in the largest distribution with the majority of Japanese Cedar.



森林生長を考慮した木質バイオマスエネルギーポテンシャルのボトムアップ推計 (2024)

Fig. 1. Workflow of the woody biomass energy potential estimation methodology.

Background

1

Objectives

- To develop the geospatial dataset to forest biomass energy in Japan
- To suggest the estimation method for woody biomass energy potential

Approaches

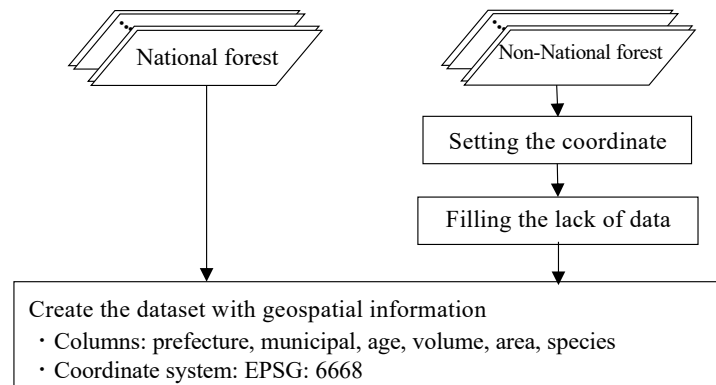
- Aggregation of “Forest Registration Data ” published by each prefecture
 - Comparison of the statistical data* to confirm the accuracy of the estimates
- Comparison of “Bottom up” and “Top down” estimation
 - Analysis the merits and demerits of each estimation method
- Develop the woody biomass estimation model
 - Machine learning: Fitting by nonlinear least-squares method

* Forest Agency, 森林資源の現況, <https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h29/index.html>

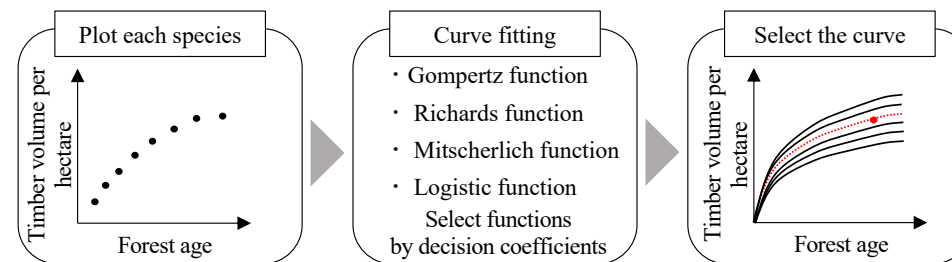
Methodology

2

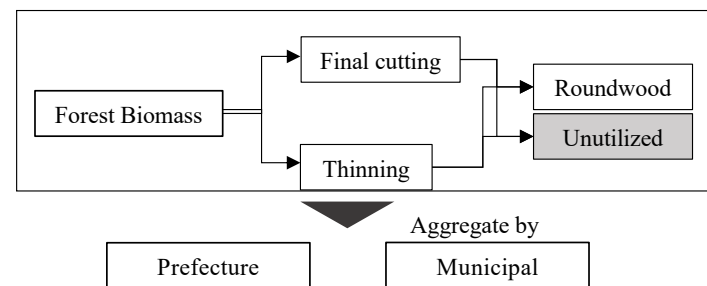
Create the forest dataset



Select the curve by forest unit



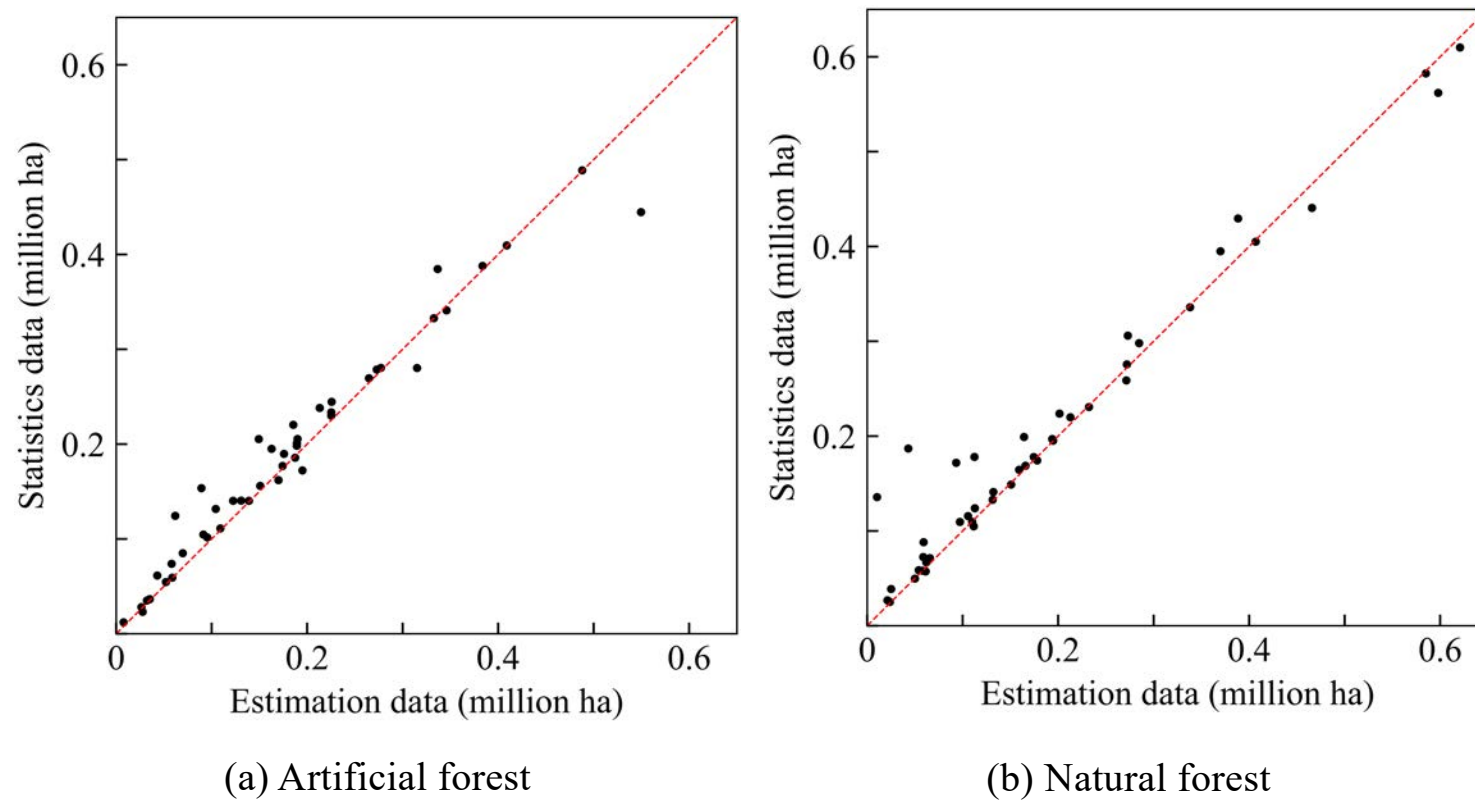
Estimate the unutilized woody biomass



Validation from forest area

3

Fig. Comparison between statistical and aggregated forest area by the prefecture

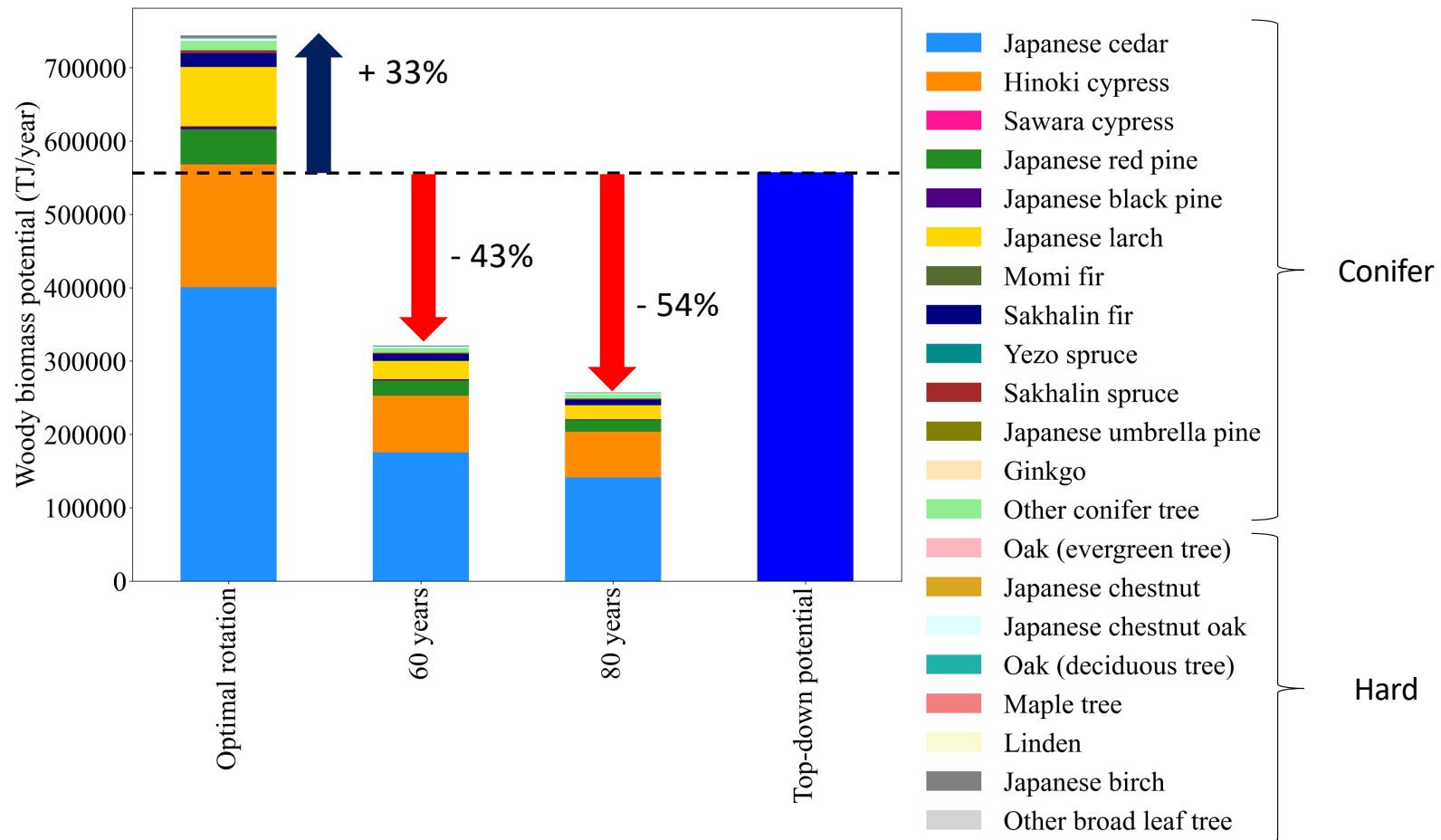


Literature review

4

$$E_{woody} = \frac{(h_1 + h_2 + E_s(T))}{T}$$

E_{woody} : Woody biomass energy potential (TJ/year)
 h_1, h_2 : Thinned woody biomass energy (TJ)
 $E_s(T)$: Cut-off woody biomass energy in T (TJ)
 T : Rotation year (year)



Result and Discussion

5

Literature review – Woody biomass energy potential in Japan

Author	Journal	Year	Energy potential (EJ/year)	Estimation Method
This Study	-	2023	0.26 (80-year)	Bottom-up with forest growth
	-	2023	0.32 (60-year)	Bottom-up with forest growth
	-	2023	0.74 (optimal rotation)	Bottom-up with forest growth
Wu et al.	Renewable Energy	2020	0.65 - 0.75	Bottom-up with forest growth
Yoshioka et al.	Biomass Bioenergy	2006	0.63	Top-down
REPOS			0.56	Top-down

- Underestimated compared to previous studies at 60 and 80-year rotation periods
- Optimal rotation period was close to previous studies

Wu *et al.*, Assessment of bioenergy potential and associated costs in Japan for the 21st century, J. Renewable Energy, 2020

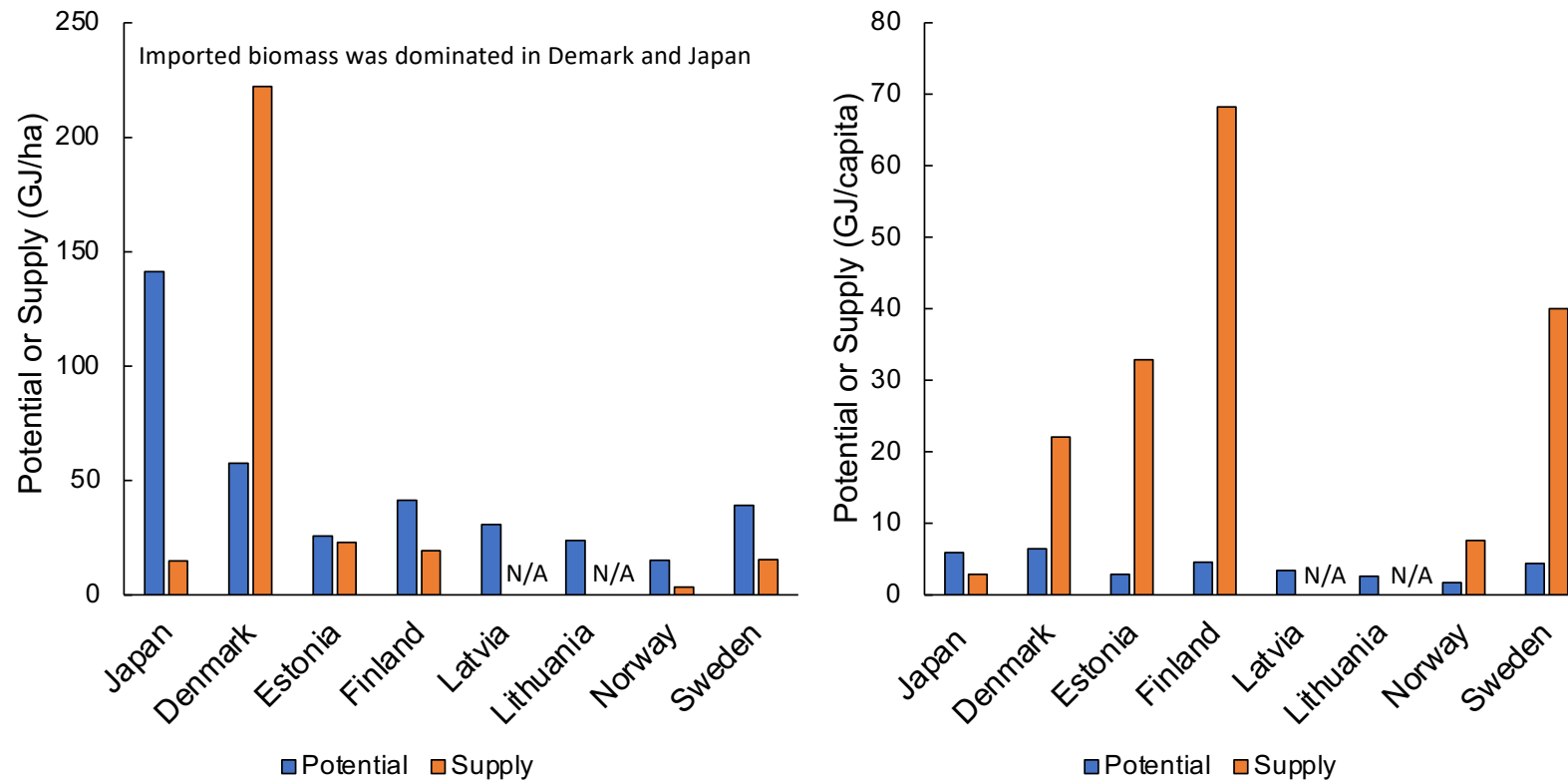
Yoshioka *et al.*, A case study on the costs and the fuel consumption of harvesting, transporting, and chipping chains for logging residues in Japan, Biomass Bioenergy, 2006

Ministry of the Environment, Renewable Energy Potential System (REPOS): <https://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/RenewableEnergy/>

Recent Progress: Forestry supply chain

6

- Comparison with Nordic and Baltic countries (Northern European)



- Japan has a large potential due to vigorous forest growth compared to Northern Europe.
- Similar potential per capita, but smaller supply.

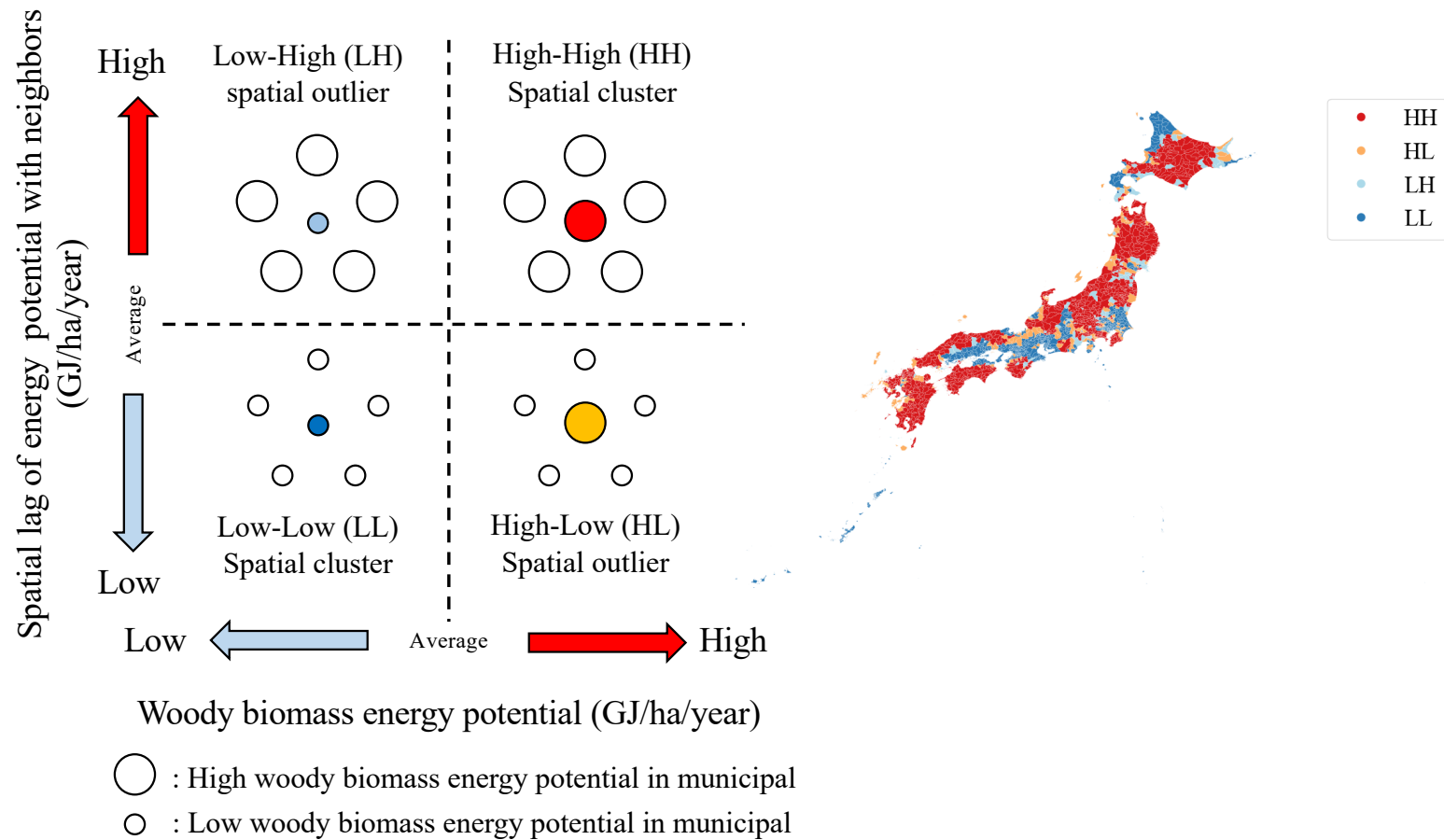
Potential in Nordic and Baltic: Röder *et al.* Sustainable Use of Forest Biomass for Energy, 2010

Supply: IEA Bioenergy, 2021 country report: <https://www.ieabioenergy.com/blog/publications/2021-country-reports/> (accessed 2024.01.18)

Recent Progress: Writing paper

7

Fig. Local Moran's I statistics based on woody biomass energy potential per unit area and year.



(a) A concept of Moran scatterplot

(b) Local Moran's I statistics in a map of Japan

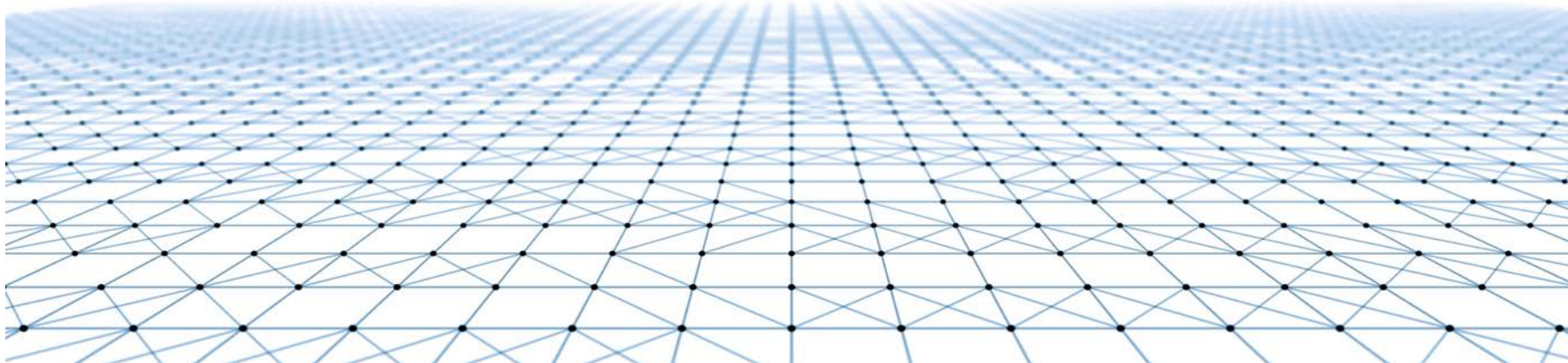
Conclusion

8

- The optimal harvesting period in terms of forest economics resulted in the highest woody biomass energy potential at 0.74 EJ/year, which is consistent with previous studies.
- The woody biomass potential per unit area ranged from 48.8 to 141.1 GJ/ha.
- The 0.74 EJ/year estimate was approximately 34% higher than the bottom-up estimate of 0.56 EJ/year.
- The top-down estimation assumed a uniform forest distribution, whereas the bottom-up estimation aggregated stand-level data to estimate the potential at the municipal level, resulting in variations in energy potential across municipalities.
- The Moran's I statistic indicated positive spatial autocorrelation, suggesting that regions with high woody biomass energy potential are likely to be clustered in Japan.

地域エネルギー需給データベース Japan Energy Database

47都道府県・1,741市区町村のオープンエネルギーデータと分析ツール



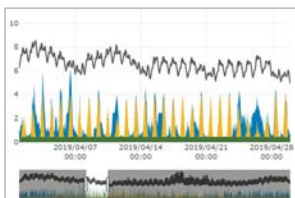
地域のカーボンニュートラル実現に貢献するエネルギーデータと分析ツール



市区町村別エネルギー消費統計表 Local Energy Consumption Data

公開中

1,741市区町村の業種別・エネルギー種別エネルギー消費量の推計データを整備



市区町村別再生可能エネルギー発電特性 Renewable Energy Characteristics

公開中

1,741市区町村の太陽光・風力発電の出力変動を時系列グラフにより可視化



エネルギー需給マップ Energy Supply/Demand Map

公開中

1,741市区町村のエネルギー消費量と再エネ資源量を地図上に可視化



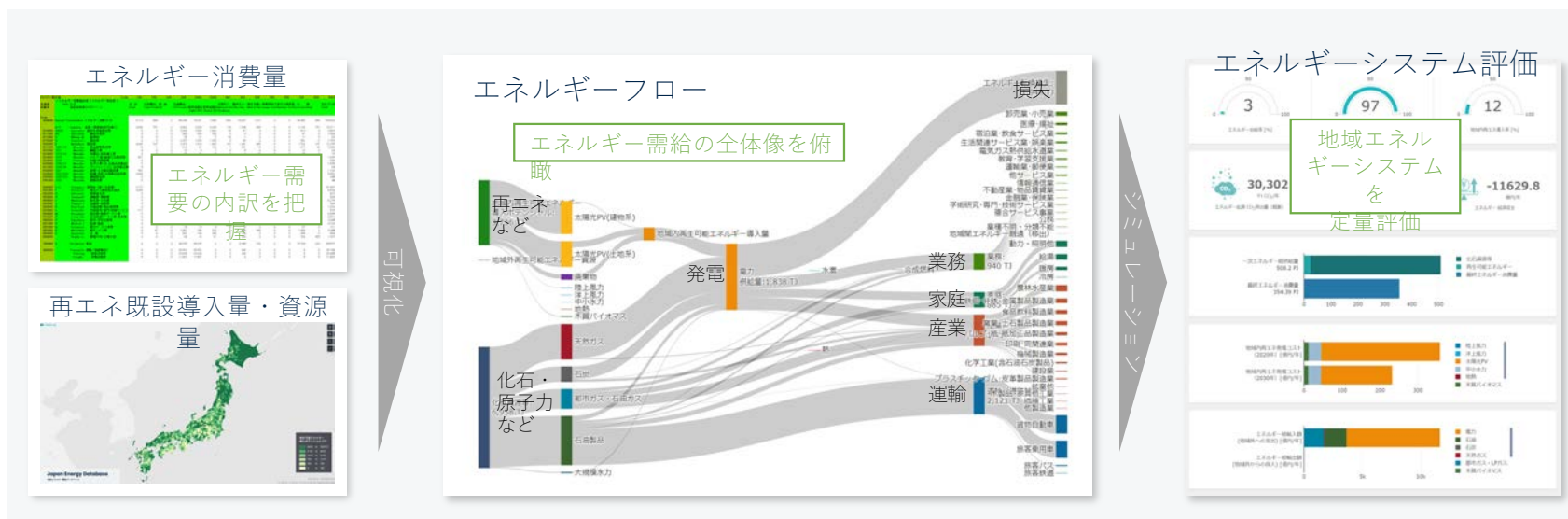
地域エネルギー需給シミュレーション Local Energy System Simulation

公開中

1,741市区町村や日本全体のエネルギー需給を誰でも簡単にシミュレーション

地域エネルギー需給データベース Japan Energy Database

- 1,741市区町村を対象に、エネルギー消費量と再生可能エネルギー資源量のデータ(地域エネルギー需給データ)を掲載。
- 各地域のエネルギー需給構造をエネルギーフロー図として可視化し、多面的な指標を用いて定量評価。
- 将来の脱炭素化を想定したエネルギー需給構造(エネルギーシステム)のシミュレーションが可能。



掲載コンテンツ	エネルギー消費量(統計表・市区町村マップ), 再生可能エネルギー導入ポテンシャル(マップ), 再生可能エネルギー移出ポテンシャル(マップ), エネルギーフロー図, 太陽光・風力発電出力変動特性, エネルギー起源CO ₂ 排出量(概算), エネルギー自給率, エネルギー経済収支, 再生エネ発電コスト 他
掲載URL	https://energy-sustainability.jp
掲載地域	47都道府県, 1,741市区町村 (特別区を含む。政令指定都市は行政区ごとには区分しない。)
ライセンス	クリエイティブ・コモンズ 表示-非営利 4.0 国際 パブリック・ライセンス 

エネルギー消費統計表の概要と読み方

- エネルギー消費統計表は、エネルギー種別、需要部門別の年間エネルギー消費量を取りまとめた表。
- どのエネルギー種が、どの需要部門でどれだけ消費されているかを把握し、将来の電化や燃料代替等といったエネルギー施策・脱炭素施策の効果を定量評価するための基礎データとして活用可能

エネルギー種の内訳

※札幌市の例

需要部門の内訳

2013FY 推計値	Code	100	150	200	250	250A	250B	400	450	500	550	600	700	800	900	
< エネルギー消費統計表 / エネルギー単位表 >		石炭 石炭製品 原油 石油製品 軽質油製品 重質油製品 天然ガス 都市ガス・再生可能エネルギー 事業用電力 原子力発電 電力 熱 合計														
Unit: [TJ]		低位発熱量(LHV)														
Code		Light Oil Heavy Oil Products														
500000	Final Energy Consumpt	最終エネルギー消費 [TJ]	8,114.5	707.3	1.5	75,046.3	68,539.5	6,506.8	1,818.5	15,372.5	1,226.4	0.0	0.0	37,285.4	897.8	
A-E	Industry	産業 (業務部門を除く)	4,942.4	671.0	1.5	4,925.7	1,928.3	2,997.4	179.8	1,361.4	665.6	0.0	0.0	2,139.5	157.1	
610000	ABCD	Agricultur	0.1	0.2	0.0	2,815.1	1,161.2	1,653.9	245.5	55.4	0.1	0.0	0.0	413.1	0.0	
611000	AB	Agricultur	0.0	0.0	0.0	820.5	326.4	494.1	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	40.9	0.0	
612000	C	Mining, G	0.1	0.2	0.0	20.2	16.1	4.1	245.0	0.4	0.0	0.0	0.0	10.6	0.0	
615000	D	Construct	0.0	0.0	0.0	1,974.4	818.7	1,155.7	0.0	54.7	0.0	0.0	0.0	361.6	0.0	
620000	E	Manufact	4,942.3	670.8	1.5	2,110.6	767.1	1,343.5	155.3	1,306.0	665.5	0.0	0.0	1,720.4	157.1	
621000	E09-10	Manufac	13.8	1.1	0.0	736.2	73.5	662.7	6.9	450.5	145.0	0.0	0.0	617.4	45.8	
622000	E11	Manufac	0.1	0.0	0.0	9.0	2.2	6.8	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	12.2	0.0	
623000	E12-13	Manufac	0.0	0.0	0.0	16.2	11.9	4.3	0.1	1.3	14.8	0.0	0.0	37.5	0.0	
624000	E14	Manufac	52.72	3.1	0.0	71.5	0.8	70.8	1.1	6.4	394.4	0.0	0.0	29.3	0.1	
625000	E15	Printin	0.0	0.0	0.0	29.7	8.7	21.0	14.8	121.1	0.0	0.0	0.0	244.0	0.0	
626000	E16-17	Manufac	0.2	0.2	1.5	763.3	619.4	143.8	3.9	582.0	0.6	0.0	0.0	23.6	6.7	
627000	E18-20	Manufac	0.0	0.6	0.0	18.9	1.8	17.1	0.4	10.2	0.0	0.0	0.0	46.6	2.4	
628000	E21	Manufac	862.1	2.4	0.0	93.8	17.1	76.7	0.1	5.0	86.1	0.0	0.0	64.1	0.3	
629000	E22-E24	Manufac	3,538.9	662.8	0.0	340.3	21.5	318.8	43.9	79.3	154.9	0.0	0.0	339.0	100.2	
630000	E25-E31	Manufac	0.0	0.6	0.0	25.3	6.1	19.2	84.1	44.4	0.2	0.0	0.0	170.8	1.6	
641000	E32	Miscella	0.0	0.0	0.0	6.4	4.1	2.3	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	43.9	
650000	F-S	Commerci	3,172.1	36.3	0.0	6,430.8	2,921.4	3,509.4	1,638.7	7,656.2	422.0	0.0	0.0	18,477.5	520.7	
651000	F	Electricit	3,055.2	1.8	0.0	188.5	13.9	174.6	1,635.1	666.1	77.3	0.0	0.0	76.1	0.8	
652000	G	Informati	0.0	0.0	0.0	16.2	9.1	7.1	0.0	208.3	0.0	0.0	0.0	582.2	0.6	
653000	H	Transport	0.0	0.0	0.0	235.3	177.1	58.2	0.0	54.3	0.1	0.0	0.0	588.2	1.4	
654000	I	Wholesale	0.0	0.1	0.0	490.0	398.3	91.7	0.2	482.1	0.2	0.0	0.0	5,079.4	5.6	
655000	J	Finance a	0.0	0.0	0.0	20.8	12.3	9.5	0.0	49.3	0.0	0.0	0.0	30.4	0.3	
656000	K	Real Esta	0.0	0.0	0.0	130.5	90.1	40.5	0.0	371.8	0.0	0.0	0.0	553.0	24.2	
657000	L	Scientific	116.8	0.0	0.0	212.7	155.6	57.0	0.0	90.2	0.0	0.0	0.0	372.0	0.1	
658000	M	Accommo	0.0	0.0	0.0	1,541.7	507.0	1,034.7	0.0	1,818.5	0.9	0.0	0.0	2,855.1	18.5	
659000	N	Living Rel	0.0	0.0	0.0	792.5	333.8	458.8	0.2	761.7	0.0	0.0	0.0	1,603.8	0.1	
660000	O	Education	0.0	0.0	0.0	371.7	169.8	201.9	0.0	1,043.0	0.0	0.0	0.0	1,275.2	2.1	
661000	P	Medical, H	0.0	0.0	0.0	1,028.6	380.8	647.8	0.0	1,271.7	0.0	0.0	0.0	1,918.3	12.5	
662000	Q	Compound	0.0	0.0	0.0	14.1	10.2	3.8	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0	36.7	0.0	
663000	R	Miscellane	0.1	26.8	0.0	856.4	567.9	288.5	2.9	355.5	343.3	0.0	0.0	1,466.4	1.7	
680000	S	Governme	0.0	5.6	0.0	444.1	81.7	382.4	0.0	82.1	0.0	0.0	0.0	35.0	0.0	
699999	Unable to	業種不明・分類不能	0.0	0.0	0.0	87.7	13.8	73.9	0.3	395.1	0.2	0.0	0.0	703.5	452.8	
700000	X	Residentia	家庭	0.0	0.0	0.0	28,091.2	28,091.2	0.0	0.0	5,513.4	138.8	0.0	0.0	15,744.4	2,200.0
800000	Transporte	運輸	0.0	0.0	0.0	35,598.6	35,598.6	0.0	0.0	841.5	0.0	0.0	0.0	890.0	0.0	
811000	Passeng	旅客乗用車	0.0	0.0	0.0	22,532.3	22,532.3	0.0	0.0	841.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
811500	Bus	旅客バス	0.0	0.0	0.0	1,008.8	1,008.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
813000	Railway	旅客鉄道	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	890.0	0.0	
851000	Freight	貨物自動車 / トラック	0.0	0.0	0.0	11,575.5	11,575.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11,575.5	

最終エネルギー消費量

※ エネルギー量の単位には、SI単位系のジュール(J)を採用しています。

1 TJ = 1,000,000 MJ = 277,778 kWh

※ 発熱量には、低位発熱量を採用しています。

家庭部門の
年間石油消費量

産業部門・機械製造業の
年間電力消費量

地域エネルギーシステムシミュレーションモデル

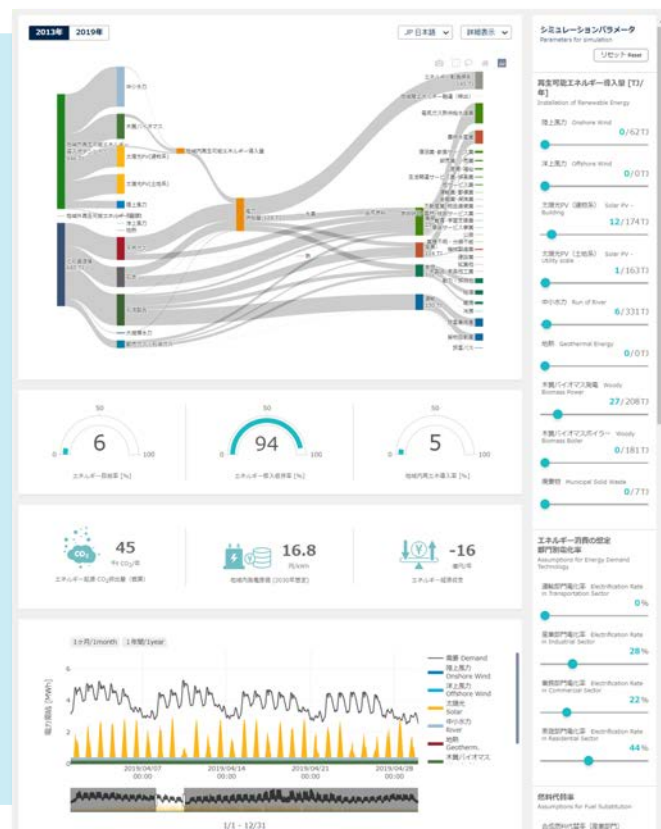
- 再エネの導入や需要家の電化、地域間連携によるエネルギーの移出入などの各種方策による地域エネルギー需給構造への影響を動的に計算するシミュレーションモデルを開発。
- エネルギーフロー図により計算結果を可視化しながら、エネルギー自給率やCO₂排出量、エネルギーコスト、エネルギー経済収支などの多面的指標を用いて地域エネルギーシステムを定量評価。

操作可能なパラメータ

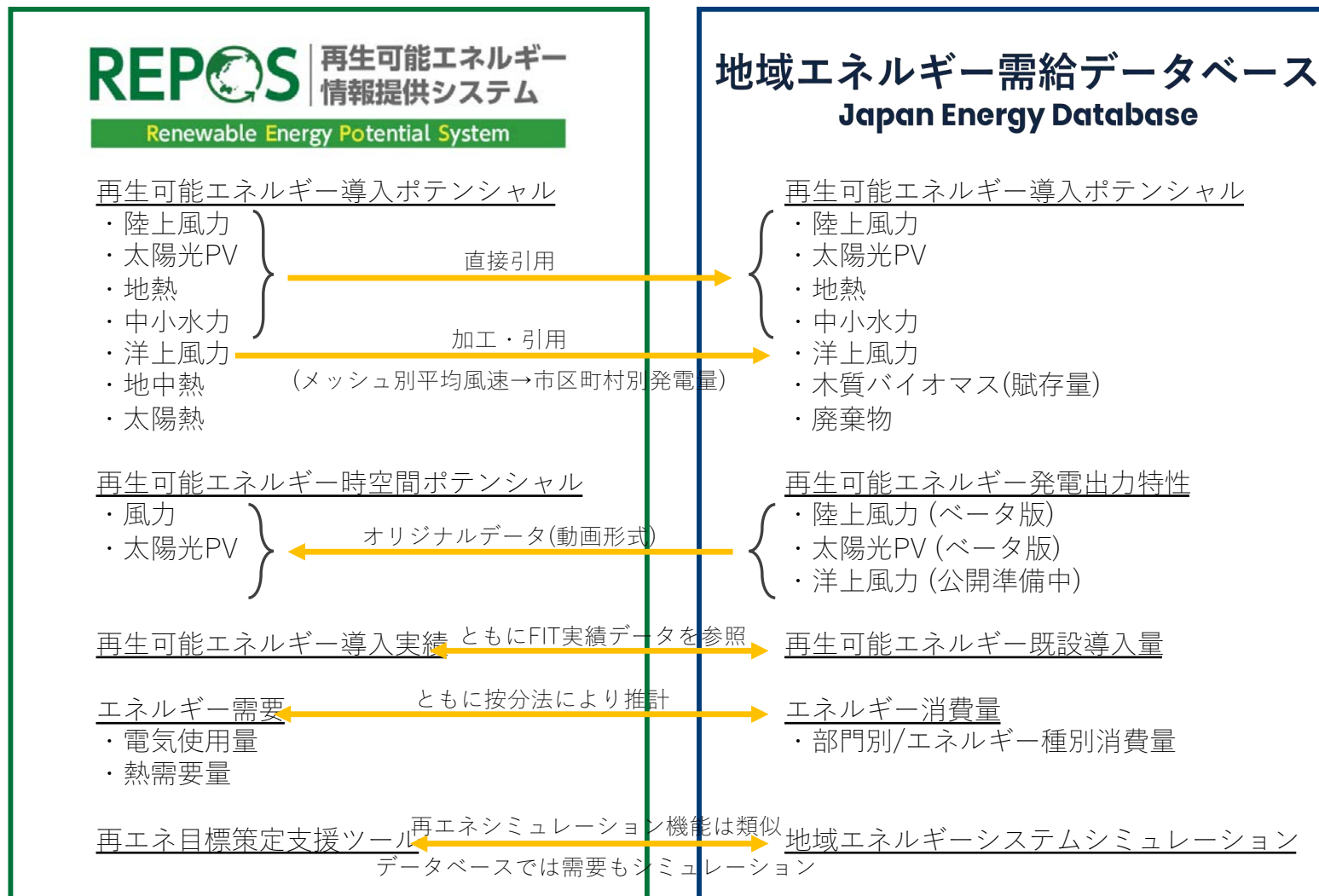
- 再生可能エネルギー導入量
 - 陸上風力、洋上風力、太陽光PV、中小水力、木質バイオマス、廃棄物を考慮。
- 部門別電化率
 - 産業部門、業務部門、家庭部門、運輸部門の電化率をそれぞれ考慮。
- 燃料代替率（水素・合成燃料の想定）
 - Hard-to-abateセクターの脱炭素化に向けた水素や合成燃料の製造を考慮。
- 社会経済指標増減率（マクロフレーム）
 - 産業部門、業務部門、家庭部門、運輸(道路輸送)部門にそれぞれに対応した社会経済指標を考慮。
- 地域間エネルギー融通量
 - 連携した他地域からの電力融通量を想定。

多面的評価指標

- エネルギーフロー図
地域のエネルギー需給の全体像を可視化。
- エネルギー自給率
エネルギー需要に対する地域内再エネ供給量。
- 地域外エネルギー依存率
エネルギー需要に占める地域外化石燃料等の割合。
- 地域内再エネ導入量
再エネ導入ポテンシャルに対する導入量。
- 一次エネルギー総供給量
- 最終エネルギー消費量
- エネルギー起源CO₂排出量
- 地域内再生可能エネルギー発電コスト
- 地域エネルギー経済収支



環境省REPOSと地域エネルギー需給データベースJEDの関係



性能の目安 断熱等級 7

Q1.0住宅	Lv3
UA値	0.26 W/m ² K
Q値	0.9 W/m ² K
ηAC値	0.6
C値	0.7 cm ² /m ²
暖房負荷	7.31 kWh/m ²
冷房負荷	13.9 kWh/m ²

品確法等級	西方設計 断熱レベル	断熱水準		地域区分 (W/m ² K)	
				5 地域	6 地域
断熱等級 4		H4 年基準	Q 値	2.70	2.70
			UA 値	0.87	0.87
断熱等級 5 ZEH 基準		HEAT20 G1	Q 値	1.90	1.90
			UA 値	0.60	0.60
等級 6	標準下限	Q1 住宅 L1 HEAT20 G2	Q 値	1.70	1.70
			UA 値	0.46	0.46
等級 6.5	標準	Q1 住宅 L2 HEAT20 G2.5	Q 値	1.20	1.20
			UA 値	0.30	0.30
等級 7	推奨	Q1 住宅 L3 HEAT20 G3	Q 値	1.05	1.05
			UA 値	0.26	0.26
		Q1 住宅 L4			
		パッシブハウス			

断熱等級 4 以外の Q 値：西方設計案

G2.5 の UA 値：西方設計案

性能計算結果（暖冷房エネルギー）（6地域 横浜）

Serial No.0053

各性能値,自然温度差等計算結果

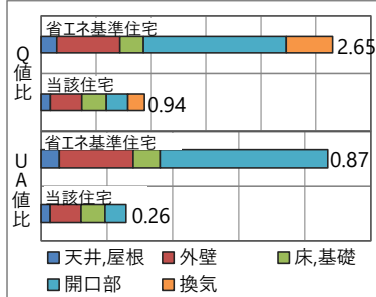
Q値	0.94 [W/m ² K]
UA値	0.26 [W/m ² K]
ηAC値	0.6 [-]

	暖房期	冷房期
デグリーデー	403	638
自然温度差	9.05	7.09
日射取得熱	423	220

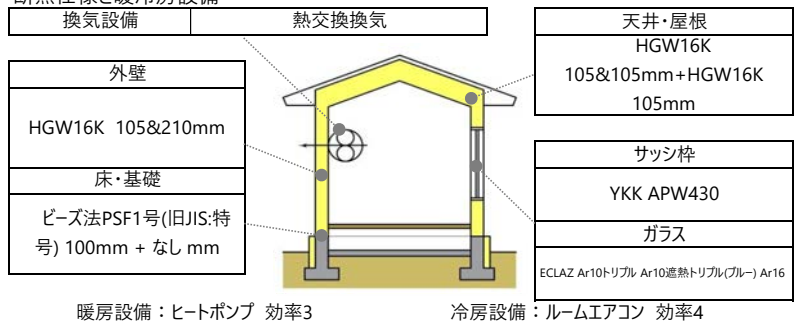
※横浜のデグリーデー

暖房DD D₁₈₋₁₈ : 1365
冷房DD D₂₇₋₂₇ : 554

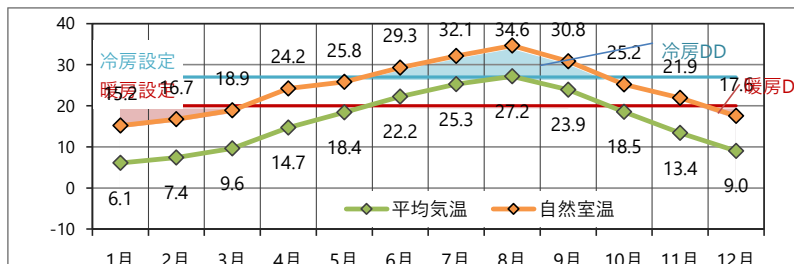
住宅の熱損失



断熱仕様と暖冷房設備



各月の平均外気温と平均室温

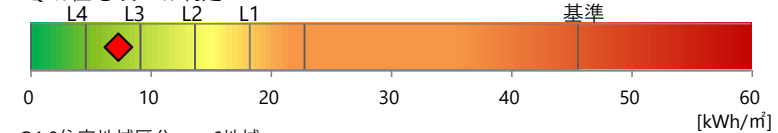


※自然室温: 空調なしでの、日射取得と室内発熱による月平均室温です。
暖冷房負荷は熱損失と上記暖房(冷房)DDより計算します。

暖冷房負荷計算結果 (冷房は冷房必須期間負荷を表示)

	住宅全体	1㎡あたり
暖房負荷	807 [kWh]	7.3 [kWh/㎡]
冷房負荷	1528 [kWh]	13.9 [kWh/㎡]

Q1.0住宅のレベル判定

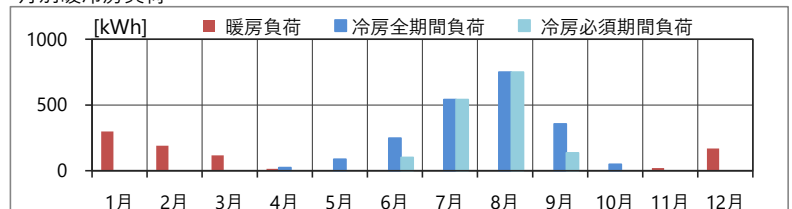


Q1.0住宅地域区分 6地域

Q1.0住宅レベル基準		熱負荷(kwh以下)	
		1㎡あたり	灯油(ℓ以下)
省エネ基準	100%	45.5	574
準 Q1.0	50%以下	22.8	287
Q1.0 L1	40%以下	18.2	230
Q1.0 L2	30%以下	13.7	172
Q1.0 L3	20%以下	9.1	115
Q1.0 L4	10%以下	4.6	57

省エネ基準住宅レベルに対して
16.1%
この住宅は
Q1.0住宅Level- 3

月別暖冷房負荷



暖冷房エネルギー,燃費計算結果

	省エネ基準 住宅[kWh]	当該住宅						
		熱負荷 [kWh]	使用熱源	消費量		効率	単価[円]	燃費[円]
暖房	5,022	807	電気	269	kWh	3.00	35	9,415
冷房	2,547	1,528	電気	382	kWh	4.00	35	13,371
合計	7,568	2,335	-					22,786

暖冷房設定:全館連続運転 暖房設定室温 20℃ 冷房設定室温 27℃ 湿度60%
気象データ : 拡張アメダス気象データ2010年版 標準年気象データを使用

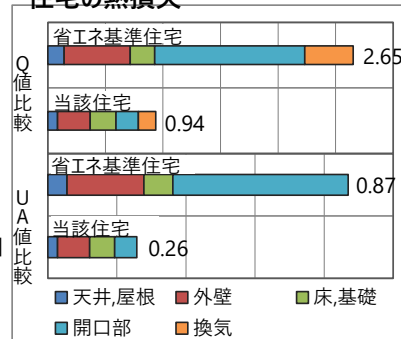
性能計算結果（全消費エネルギー）（横浜）

Serial No.0053

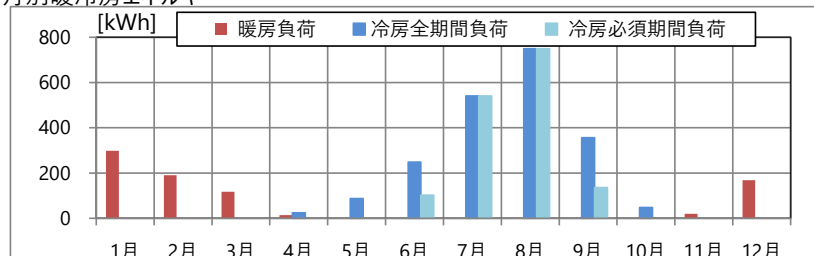
住宅性能計算結果

・Q1値	0.94 [W/㎡K]
・UA値	0.26 [W/㎡K]
・ηA値	0.6 [-]
・暖房負荷	807 [kWh]
・冷房負荷	1528 [kWh]
1㎡当たり	
・暖房エネルギー	7 [kWh/㎡K]
・一次エネルギー合計	502 [MJ/㎡K]

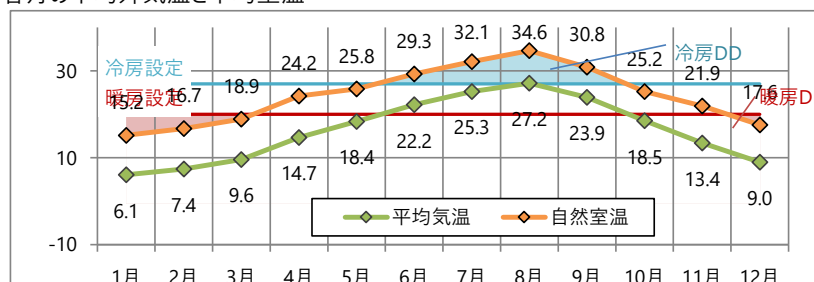
住宅の熱損失



月別暖冷房エネルギー



各月の平均外気温と平均室温



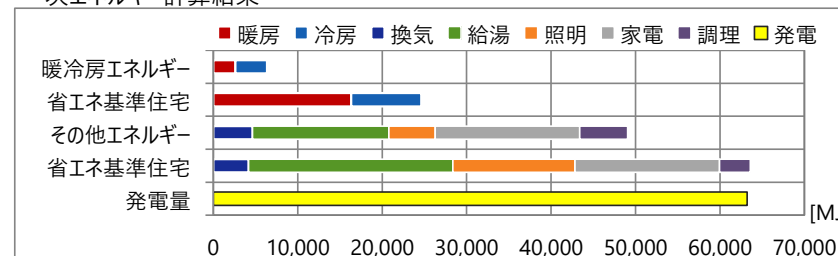
※自然室温：空調なしでの、日射取得と室内発熱による月平均室温です。

暖冷房負荷は熱損失と上記暖房(冷房)DDより計算します。

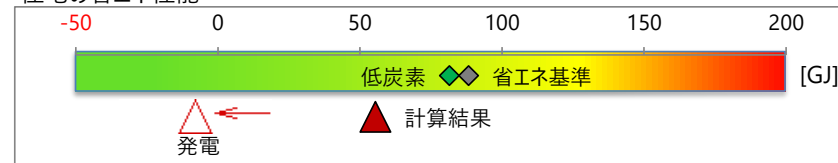
一次エネルギー計算結果

	当該住宅 [MJ]	省エネ基準 基準値[MJ]	低炭素住宅 基準値[MJ]	エネルギー価格[円]	
				当該住宅	基準住宅
暖房	2,626	16,336	14,702	9,415	58,573
冷房	3,729	8,285	7,457	13,371	29,711
換気	4,652	4,173	3,756	16,683	14,964
給湯	16,127	24,195	21,775	24,786	37,185
照明	5,504	14,454	13,008	19,738	51,832
家電	17,110			61,359	
調理	5,669	20,781	20,781	20,330	74,524
合計	55,418	88,224	81,479	165,682	266,788
発電	63,231	-	-	103,658	-

一次エネルギー計算結果



住宅の省エネ性能



仕様概要

屋根：HGW16K 105&105mm+HGW16K 105mm

外壁：HGW16K 105&210mm

基礎：ビーズ法PSF1号(旧JIS,特号) 100mm + なし mm

暖房設備：ヒートポンプ 効率3

換気設備：ダクト式第一種 熱交換あり

照明設備(主居室)：全てLED

サッシ：YKK APW430

ガラス：ECLAZ Ar10トリプル Ar10

※窓は南面1窓を表示

冷房設備：ルームエアコン 効率4

給湯設備：電気ヒートポンプ給湯機

太陽光発電：6.5kW 調理設備：電気

Q1住宅 横浜



西方設計、あすなろ建築工房