

2022/11/14

4DHフォーラム第5回オンラインセミナー

「セクターカップリングによる地域の脱炭素化」



TOHOKU  
UNIVERSITY

# データに基づく地域エネルギーシステムデザイン

## - 地域の脱炭素化シミュレーション -

東北大学大学院 工学研究科 博士後期課程 小野寺 弘晃

# Outline

0. イントロダクション
1. 地域エネルギー需給データベースのご紹介
2. 地域エネルギーシステムのデザイン手法
3. 地域エネルギーシステムにおけるPtXの課題と展望

**"Cities are critical to the global energy transition."**

—— 国際再生可能エネルギー機関 IRENA  
IRENA, "Renewable Energy Policies for Cities" (2021)

**"Climate action in cities is essential for achieving ambitious net-zero emissions goals."**

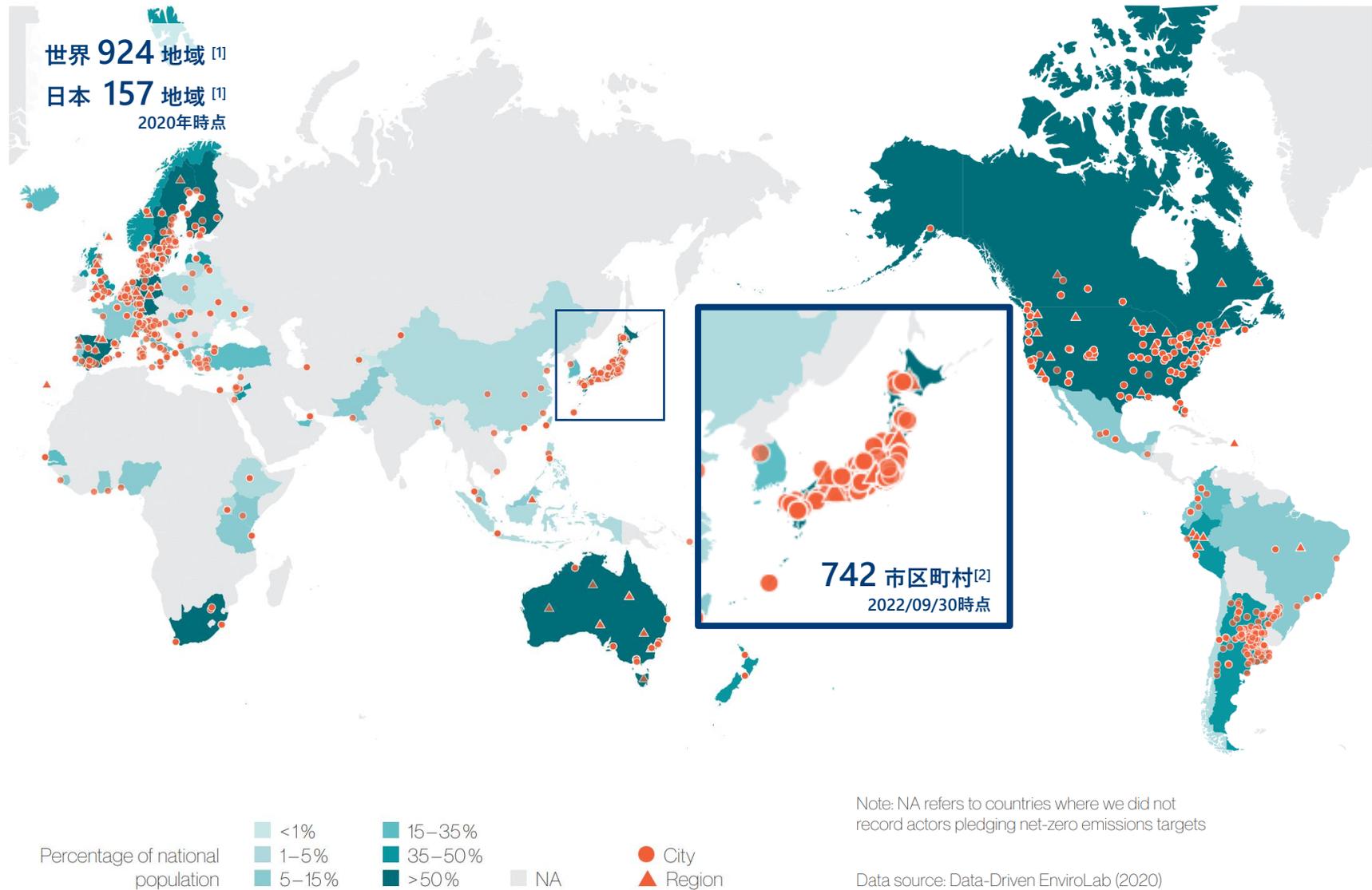
—— 国際エネルギー機関 IEA  
IEA, "Empowering Cities for a Net Zero Future" (2021)

**"The vast number and size of cost-effective, sustainable energy opportunities available in cities."**

—— 国際エネルギー機関 IEA  
IEA, "Energy Technology Perspectives 2016" (2016)



# ネットゼロ排出目標宣言地域マップ<sup>[1]</sup>



[1] Data-Driven EnviroLab & NewClimate Institute, Accelerating Net Zero: Exploring Cities, Regions, and Companies' Pledges to Decarbonise (2020)

[2] 環境省, 2050年二酸化炭素排出実質ゼロ表明自治体, <https://www.env.go.jp/content/000078043.pdf>

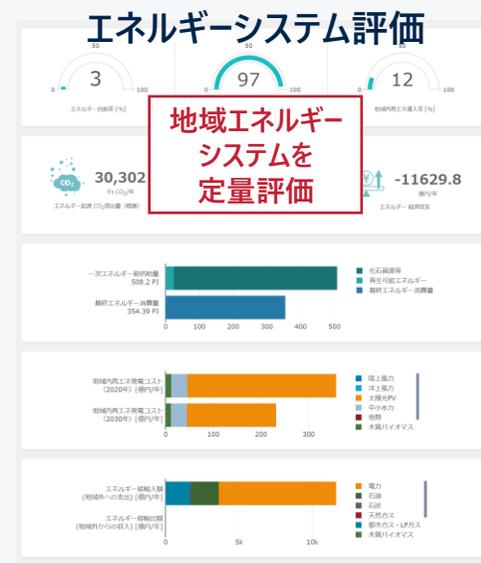
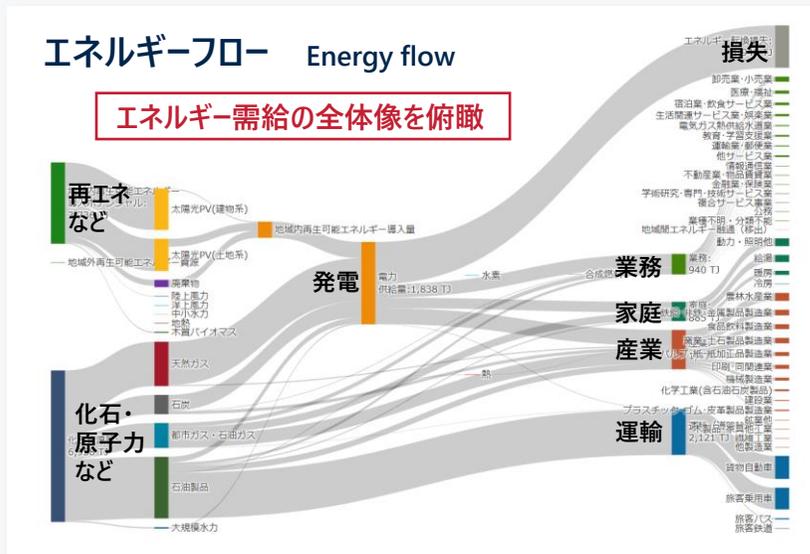
# 1. 地域エネルギー需給データベースのご紹介

# 地域エネルギー需給データベースの概要

- 47都道府県と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を掲載。
- 各地域のエネルギー需給構造を可視化し、多面的な指標を用いて定量評価。
- 将来の脱炭素化等を想定したエネルギーシステムのシミュレーションが可能。



統合・可視化



掲載URL

<https://energy-sustainability.jp>

掲載地域

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区分しない。）、47都道府県, 10 地方(TSO区分)

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



# 地域エネルギーシステムシミュレーション機能

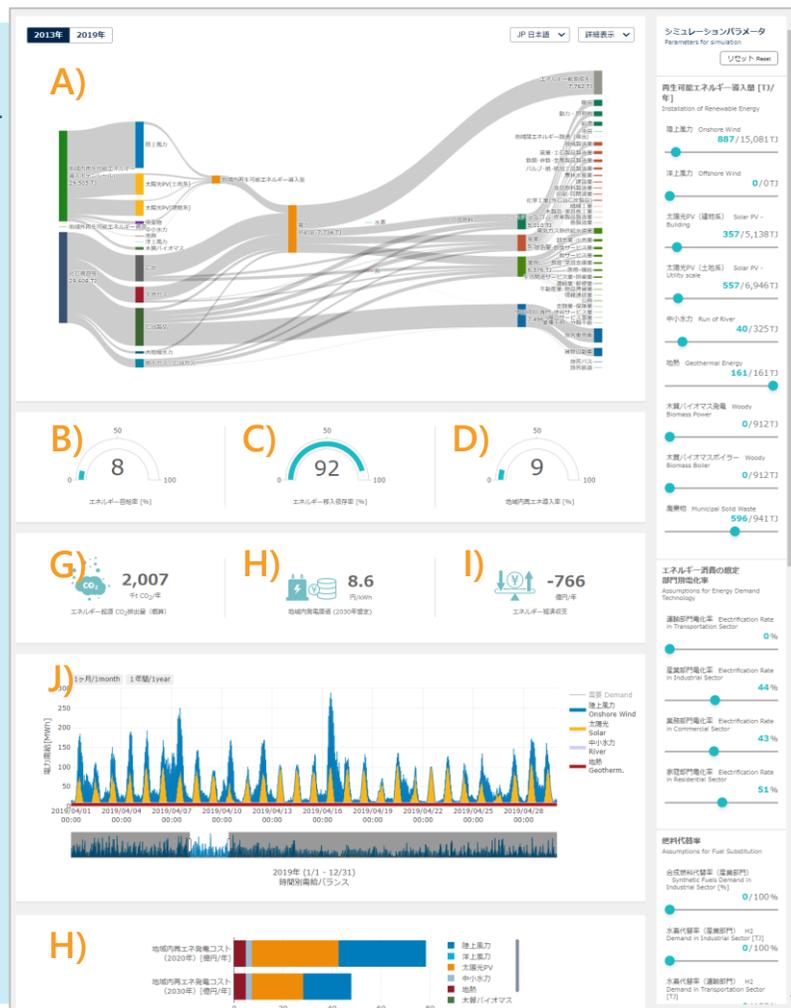
- 現状の地域エネルギー需給データに基づいて、将来像をシミュレーションするツールを公開。
- 再エネ導入や電化、水素・合成燃料利用などによるエネルギー需給全体の変化を定量的に観察可能。

## 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。

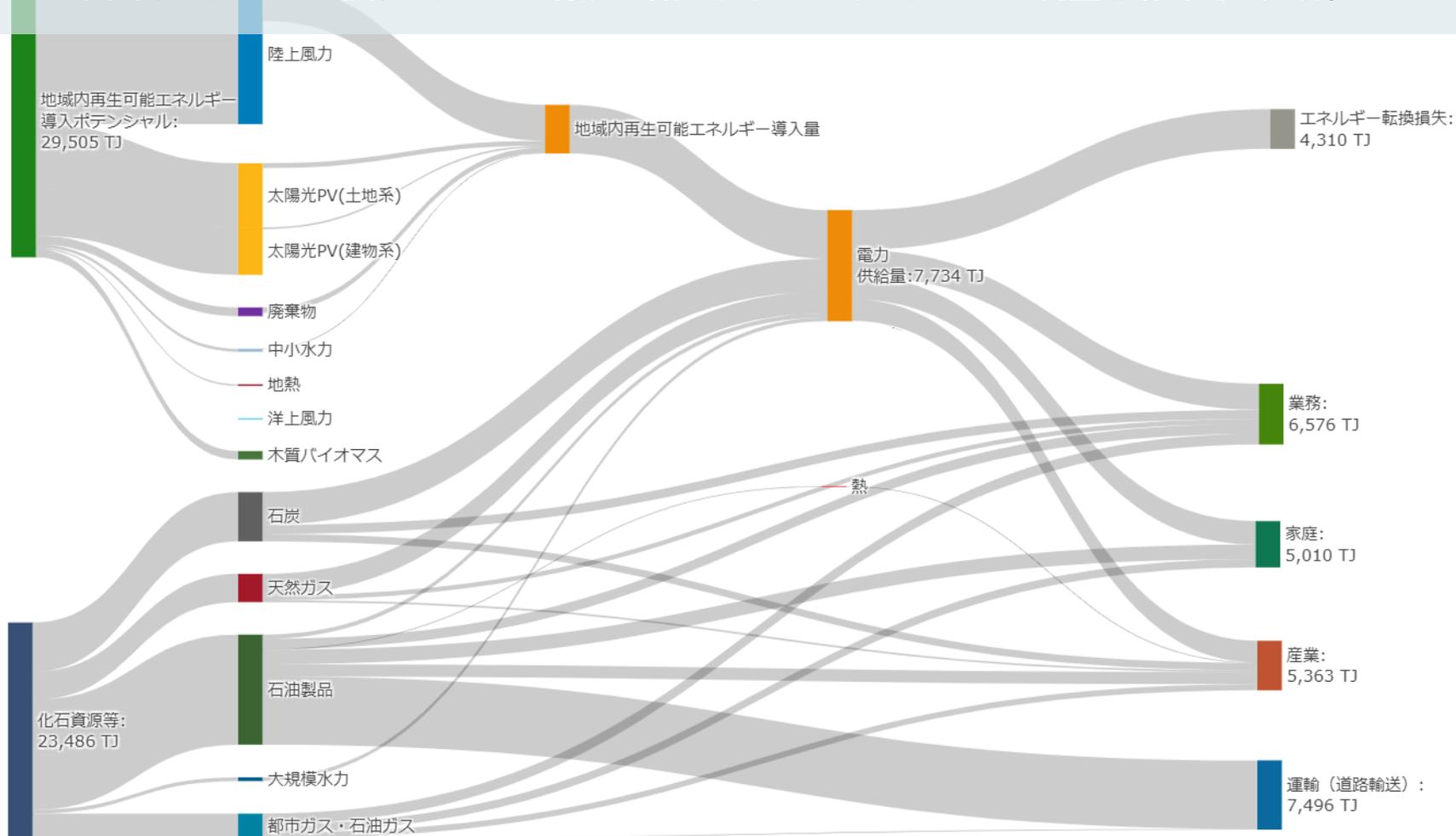
## 多面的評価指標

- A) **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。
- B) **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。
- C) **エネルギー移輸入依存率**  
エネルギー供給に占める移輸入エネルギーの割合。
- D) **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。
- E) **一次エネルギー総供給量**
- F) **最終エネルギー消費量**
- G) **エネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量**
- H) **地域内再生可能エネルギー発電コスト**
- I) **地域エネルギー経済収支**
- J) **時間別電力需給バランス**



# 地域エネルギーシステムを俯瞰するためのエネルギーフロー図

- エネルギーフロー図とは、地域内のエネルギー需給構造(エネルギーシステム)の全体像を可視化した図。
- エネルギー資源、エネルギー転換、エネルギー需要の各部門間におけるエネルギーの流量を相対的に表現。

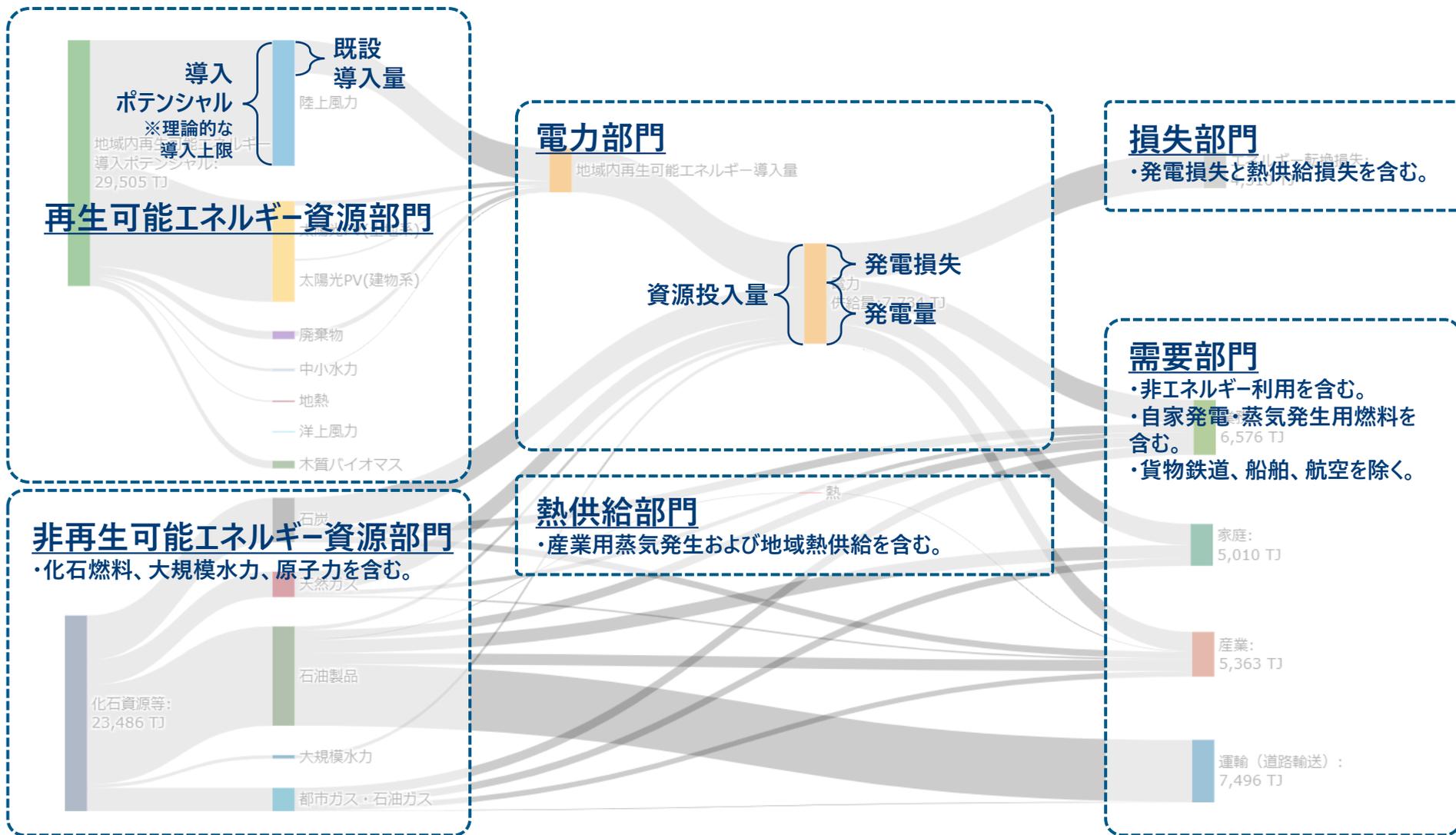


エネルギー資源

エネルギー転換

エネルギー需要

# エネルギーフロー図の構成



エネルギー資源

エネルギー転換

エネルギー需要

# エネルギーフロー図の作成に用いるデータ

項目	小項目	データソース	備考
再生可能エネルギー 導入ポテンシャル	太陽光	REPOS R3（環境省）	
	陸上風力	REPOS R3（環境省）	
	小水力	REPOS R3（環境省）	河川のみ。※農業用水路の発電量は2022年10月時点で非公開。
	地熱	REPOS R3（環境省）	蒸気フラッシュ、バイナリー、低温バイナリーの合計。
	木質バイオマス	森林資源現況調査（林野庁）および木材需給報告書（農林水産省）を基に推計 ※2022年時点では賦存量	年間蓄積増加量(丸太・枝条)と未利用資源発生量(丸太・枝条)の合計。
	洋上風力	REPOS R1（環境省）を基に推計	メッシュ別発電ポテンシャルを推計し、最近接海岸線を保有する市区町村に集計。
	廃棄物	一般廃棄物処理実態調査（環境省）を基に推計	可燃ごみ搬入量の全量を熱量に換算。 可燃・不燃の区別のない地域の可燃ごみ搬入量は混合ごみ搬入量と平均可燃ごみ比率から推計。
再生可能エネルギー 既設導入量	太陽光	固定価格買取制度 事業計画認定情報（資源エネルギー庁）を基に推計	新規認定分と以降認定分の合計。
	陸上風力	固定価格買取制度 事業計画認定情報（資源エネルギー庁）と日本における風力発電設備・導入実績（日本風力発電協会）を基に推計	FIT認定分に加え、自家発電用設備と事業用設備を含む。
	小水力	固定価格買取制度 事業計画認定情報（資源エネルギー庁）を基に推計	新規認定分と以降認定分の合計。
	地熱	固定価格買取制度 事業計画認定情報（資源エネルギー庁）を基に推計	新規認定分と以降認定分の合計。
	木質バイオマス	固定価格買取制度 事業計画認定情報（資源エネルギー庁）を基に推計	新規認定分と以降認定分の合計。 未利用木材、一般木材、農作物残差、建設廃材の合計。
	洋上風力	固定価格買取制度 事業計画認定情報（資源エネルギー庁）を基に推計	新規認定分と以降認定分の合計。
	廃棄物	一般廃棄物処理実態調査（環境省）を基に推計	石炭混焼の場合は、資源投入量比の想定値を用いて廃棄物投入量を推計。
地域外電源構成		旧一般電気事業者公表資料	一般送配電事業者の供給エリアごとに考慮。 旧一般電気事業者以外の発電事業者の電源は含まない。
設備利用率		基本政策分科会に発電コスト等の検証に関する対する報告（経済産業省 発電コスト検証ワーキンググループ）	
最終エネルギー消費量	産業部門	市区町村別エネルギー消費統計表（本データベース）	
	業務部門	市区町村別エネルギー消費統計表（本データベース）	
	家庭部門	市区町村別エネルギー消費統計表（本データベース） 家庭用エネルギー統計年報（住環境計画研究所）	暖房、冷房、給湯、照明・動力・その他の内訳は地方別に推計。
	運輸部門	市区町村別エネルギー消費統計表（本データベース）	

# 市区町村別エネルギー消費統計表

- エネルギー消費統計表は、エネルギー資源・キャリア別、需要部門別の年間エネルギー消費量を取りまとめた表。
- どのエネルギー資源またはキャリアが、どの需要部門でどれだけ消費されたかを把握可能。

## エネルギー資源・キャリアの内訳

Code	100	150	200	250	250A	250B	400	450	500	550	600	700	800	900
500000	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	140,470.2
610000	4,942.4	671.0	1.5	4,925.7	1,928.3	2,997.4	179.8	1,261.4	665.6	0.0	0.0	2,133.5	157.1	15,038.0
620000	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	11,729.5
630000	0.0	0.0	0.0	25.3	6.1	19.2	84.1	44.4	0.2	0.0	0.0	170.8	1.6	327.0
700000	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	15,794.4	220.0	49,757.8
800000	0.0	0.0	0.0	11,657.5	11,657.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11,657.5

需要部門の内訳

最終エネルギー消費量

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

※ エネルギー量の単位には、SI単位系のテラジュール(TJ)を採用しています。  
 1TJ = 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。

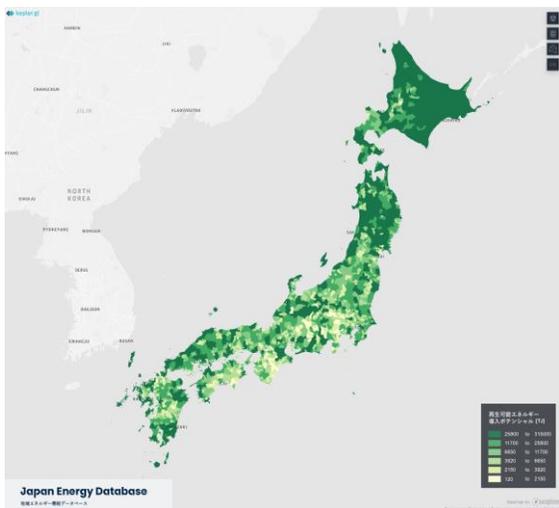
# 再生可能エネルギー移出ポテンシャル

## 再生可能エネルギー移出ポテンシャル = 再生可能エネルギー導入ポテンシャル - エネルギー需要

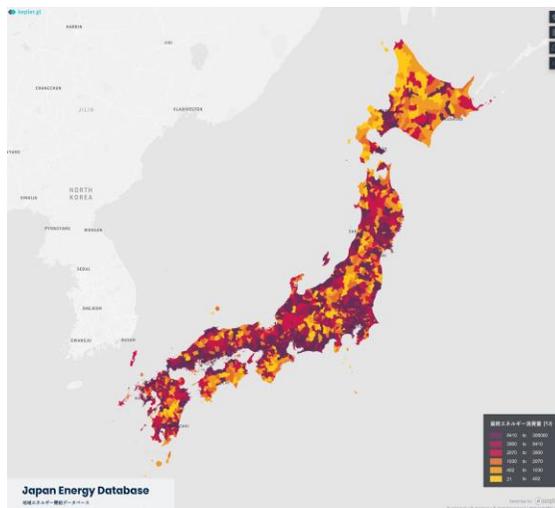
※より正確には、発電量・熱供給量ベースの導入ポテンシャルから電化・燃料代替・社会変容を考慮した需要を差し引いて求める。

環境省資料[1]より作成

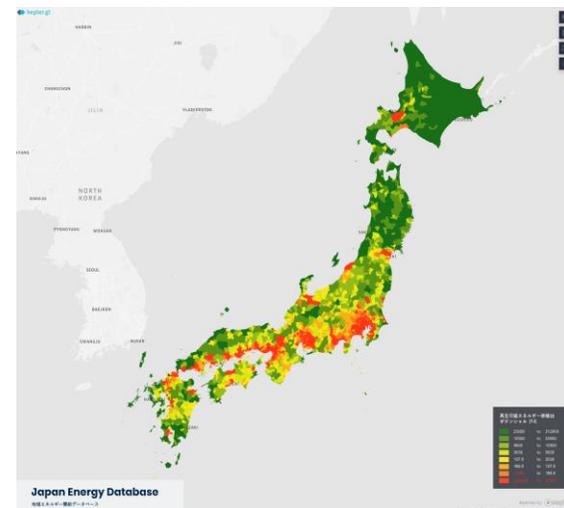
- 再エネ移出ポテンシャルが正 → 地域内資源でエネルギー需要を賅える。**
  - 理論的にはエネルギー自給率100%と地域単独での脱炭素化を目指す。
  - 他地域の脱炭素化に貢献しつつ、エネルギー代金の流入による地域経済効果が期待される。
  - 資源があっても脱炭素政策を立案・実施できない地域が多い。
- 再エネ移出ポテンシャルが負 → 地域内資源でエネルギー需要を賅えない。**
  - 自地域のみで脱炭素化することは困難。
  - 単独では実効的な“脱炭素”政策の立案が困難。



再生可能エネルギー導入ポテンシャル



エネルギー需要



再エネ移出ポテンシャル

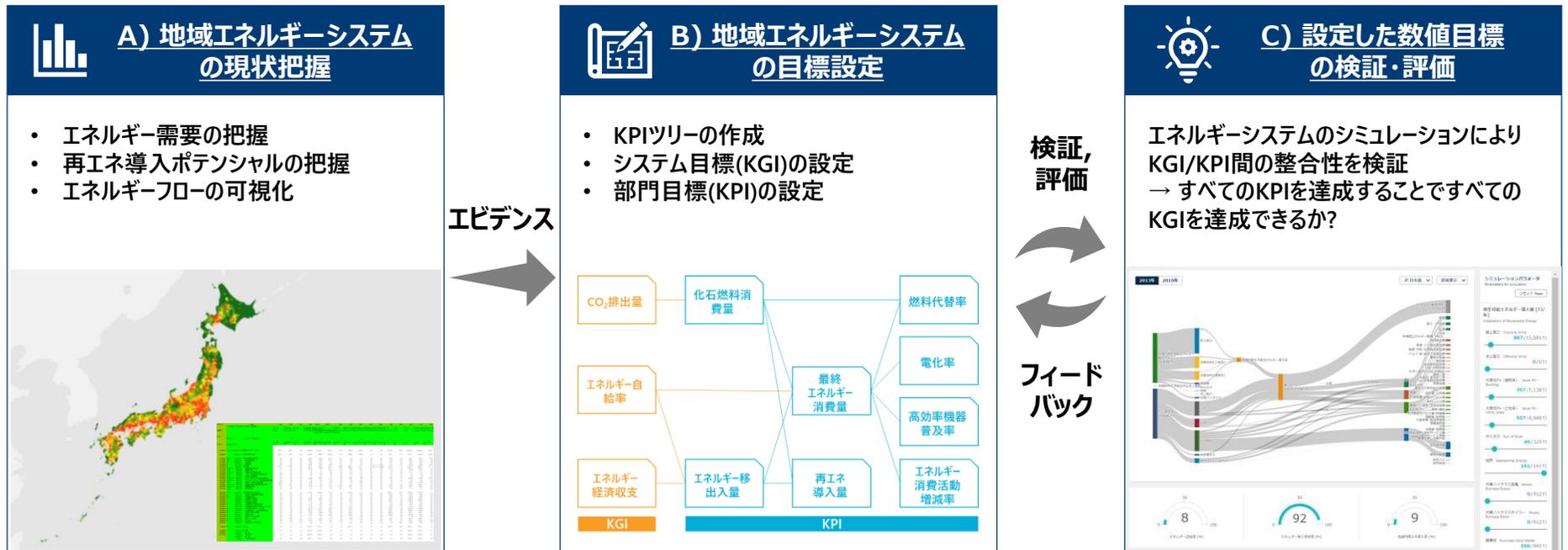
## ■ 2. 地域エネルギーシステムのデザイン手法

# 地域エネルギーシステムデザインのフレームワーク

- 地域エネルギーシステムデザインとは、地域エネルギーシステムの全体像を的確に捉えながら、将来に向けて具体的かつ定量的なビジョン(= **整合性のある数値目標群**)を策定する手続き。

## (実際にあった整合性がない目標の例)

現状の電力需要に基づいて再エネ導入目標と電力自給率目標を立てながら、電気自動車の導入目標も設定。  
→再エネ導入目標と電気自動車の導入目標が両方達成されると、電力自給率が達成されない。

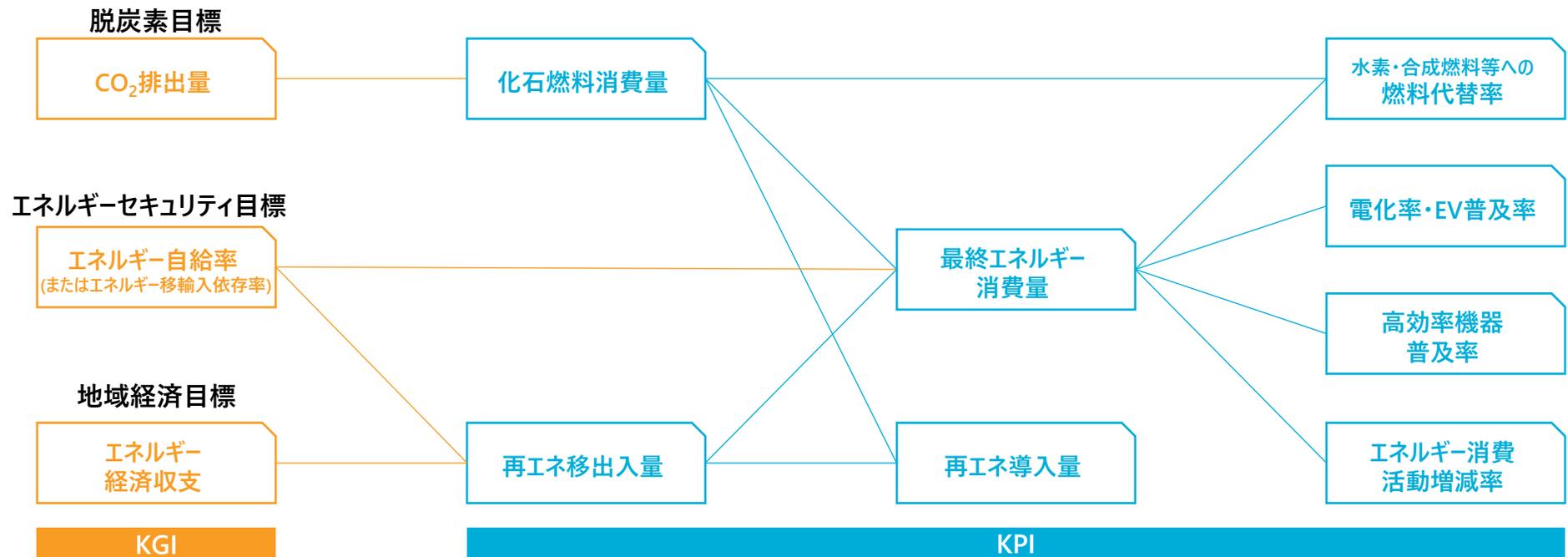


▶ 地域エネルギー需給データベースを活用

▶ 地域エネルギー需給データベースのシミュレーション機能を活用

# 地域エネルギーシステムの目標設定のポイント

- 数値目標をKGIとKPIに分けて考える。  
KGI：Key goal indicator, 重要目標達成指標  
KPI：Key performance indicator, 重要業績評価指標
- 地域エネルギーシステムデザインの目的は、脱炭素化や地域経済的価値の創出、レジリエンス・エネルギーセキュリティの向上など地域によって様々であり、複数のKGIが必要となり得る。(ただし、一般的にはKGIは1つに絞るべきとされる。)
- KGIを達成するために必要なKPIを洗い出す。KGIが複数ある場合、1つのKPIが複数のKGIの達成につながることもある。
- **KPIツリーを作成することでKGI/KPI間の関係を整理でき、目標間の整合性を考えやすくなる。**



地域エネルギーシステムのKPIツリーの例

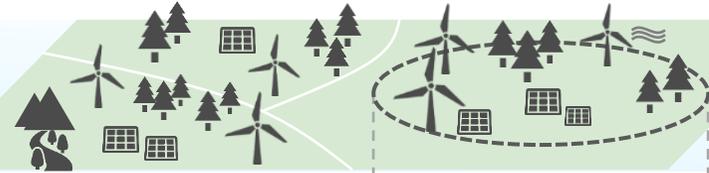
## ■ 3. 地域エネルギーシステムにおけるPtXの課題と展望

# カーボンニュートラルエネルギーシステムのコセプト

## Renewable energy

Wind, Solar, Hydro, Geotherm., Biomass, Waste,...

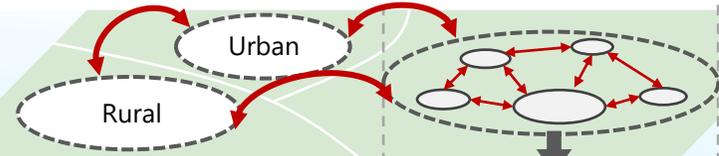
Resources



## Cross-border flexibility

Transmission, pipeline, shipping,...

Transport

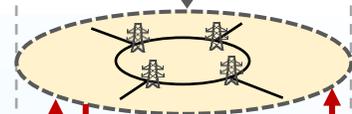


## Cross-sector flexibility

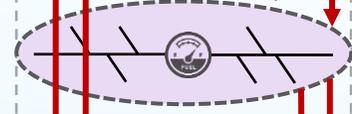
V2G, P2H, P2G, P2L,...

Conversion  
& Storage

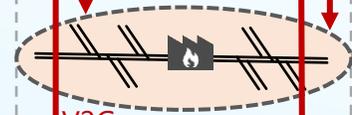
Electricity



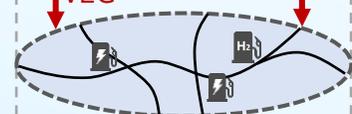
Electrofuels



Heat



Transportation



## CCU & Electrofuels

for Hard-to-abate sectors

CCU

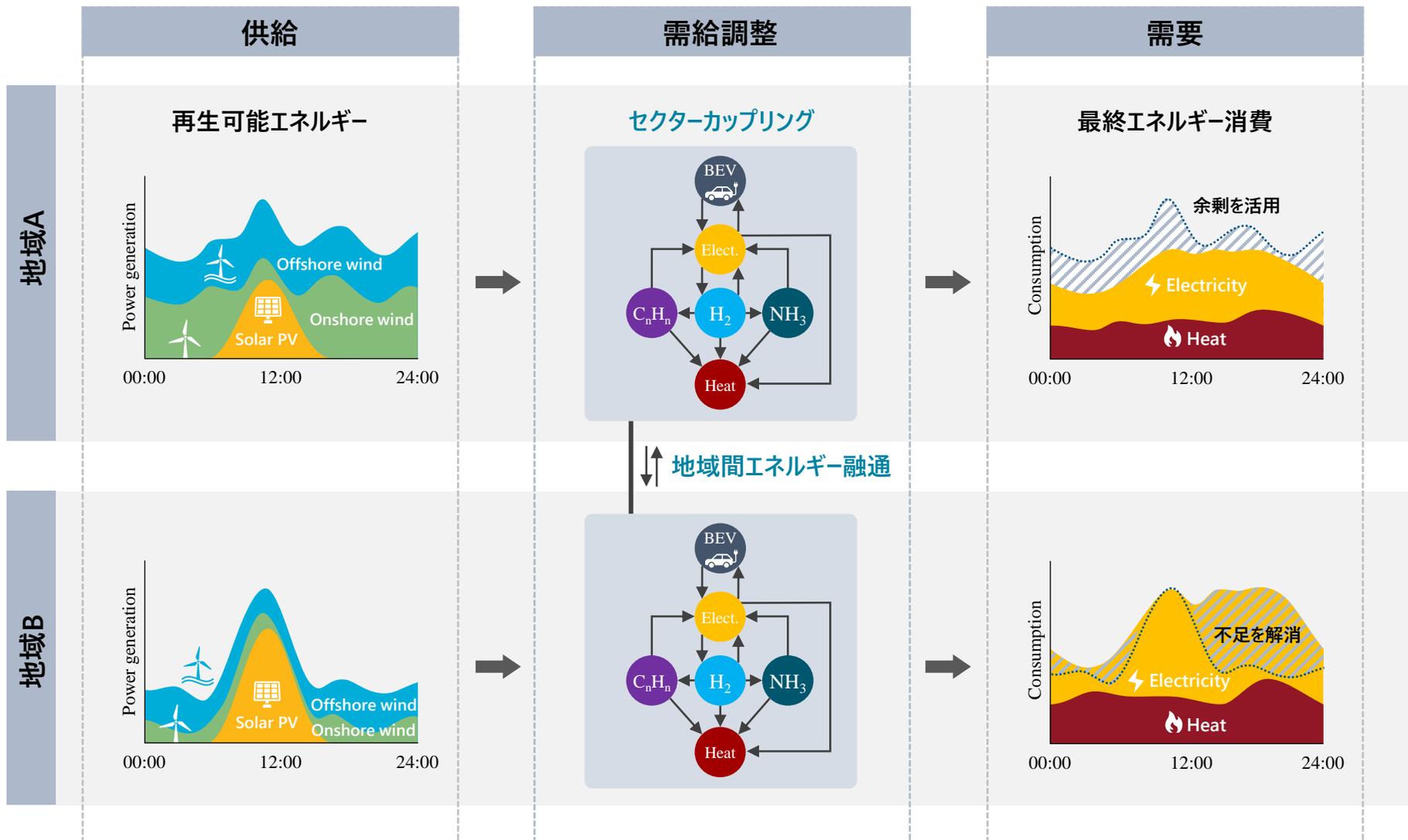
## Demand side flexibility

Electrification & Efficiency

Demand



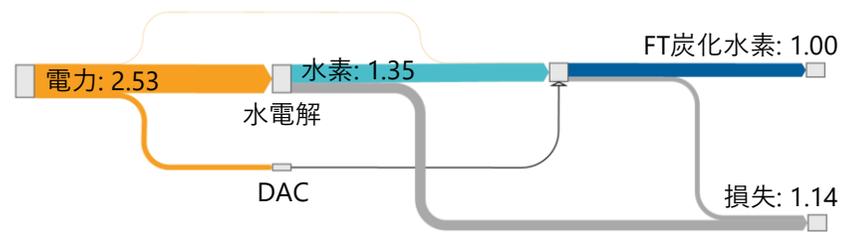
# セクターカップリングと地域間エネルギー融通



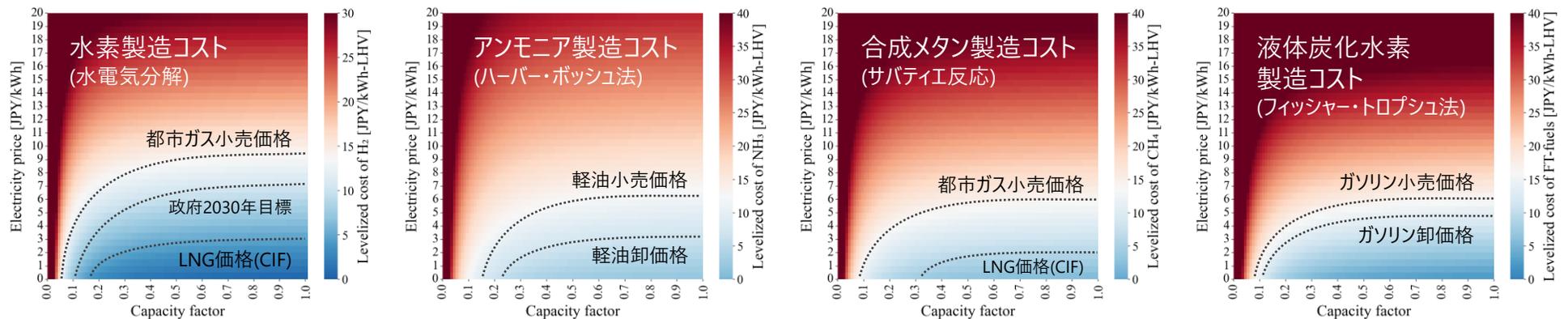
# PtXの課題と展望

- 脱炭素エネルギーシステムおよび地域社会におけるPtXの役割は、「脱炭素燃料の供給」と「需給調整」と「付加価値創出」。  
 視点① 脱炭素エネルギーキャリアとして、再エネ電力(電化による直接利用)やバイオ燃料と競合。→ コスト競争  
 視点② 需給調整力として、系統用蓄電池やV2G、P2Hと競合。→ 柔軟性(応答速度や調整容量)、調整以外の価値  
 視点③ 再エネ電力を移出するか、水素・合成燃料として付加価値を加えて移輸出するか。→ 需要との兼ね合い
- PtXの実現可能性のキーファクターは効率とコスト。  
 → 基本的に電化の方が効率が良い。とくに給湯・暖房などの低温熱需要は電化の方が物理的・経済的に合理性が高い<sup>[1]</sup>。  
 → 水素・合成燃料の製造コストを化石燃料と競合する水準まで低減させるためには、安価な電力と一定の設備利用率が必要。

PtXのエネルギーフローの例 (FT合成による液体炭化水素製造の場合)



## 水素・合成燃料の製造コスト (2030年想定)



※ 燃料1kWhあたりの現在価値換算コストLCOX (Levelized cost of X)により評価。設備利用率(Capacity factor)は、1年間に製造可能な燃料の最大量に対する実際の製造量の割合。

[1] J. Rosenow, Is heating homes with hydrogen all but a pipe dream? An evidence review, Joule, 2022