



脱炭素をドライブさせるエネルギーデザインの 理論と実践

地域エネルギー需給データベースと地域での取り組み

2023年10月20日

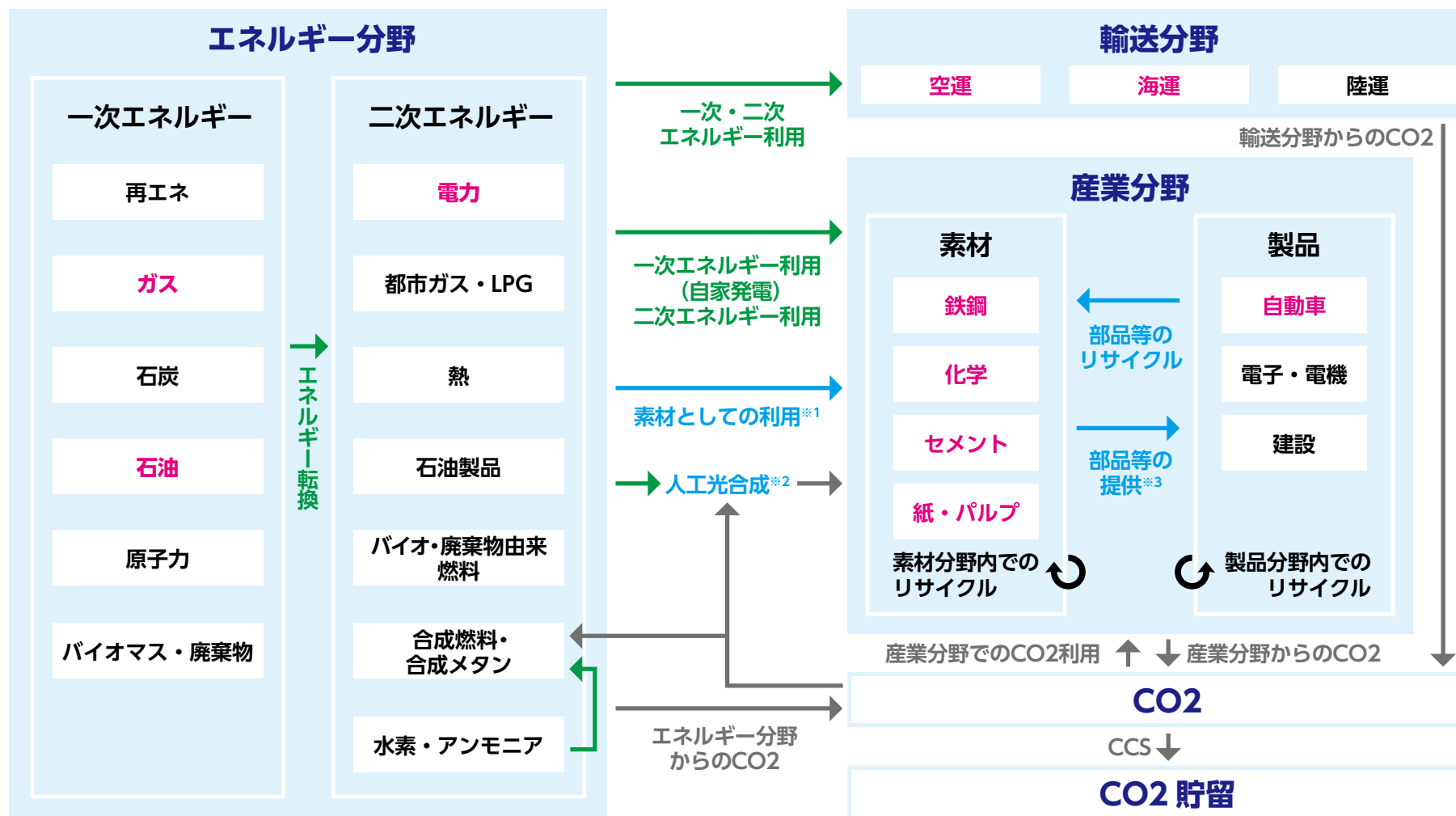
東北大学 中田 俊彦

地域エネルギー需給データベース：<https://energy-sustainability.jp>



TOHOKU
UNIVERSITY

ENERGY SUSTAINABILITY LABORATORY



→ 原料 → エネルギー → CO2 例 ロードマップ対象分野 (各分野へのURL付)

※1 現在石炭は鉄鋼やセメント製造に、石油製品は化学品の製造に原料として用いられている

※3 素材産業は脱炭素社会の実現に不可欠な素材を提供。(例:EV等に用いられる高級鋼等)

※2 人工光合成とは、太陽光によって水から水素を分離し、その水素とCO2から化学品を生み出す技術。

※4 関連図は原料やエネルギーの主な流れを示しており、一部単純化のために記載していないものもある

出典 トランジション・ファイナンスにかかるフォローアップガイダンス～資金調達者とのより良い対話に向けて～、金融庁・経済産業省・環境省 (2023)

Four approaches to the interrelationship between industrial society and the environment

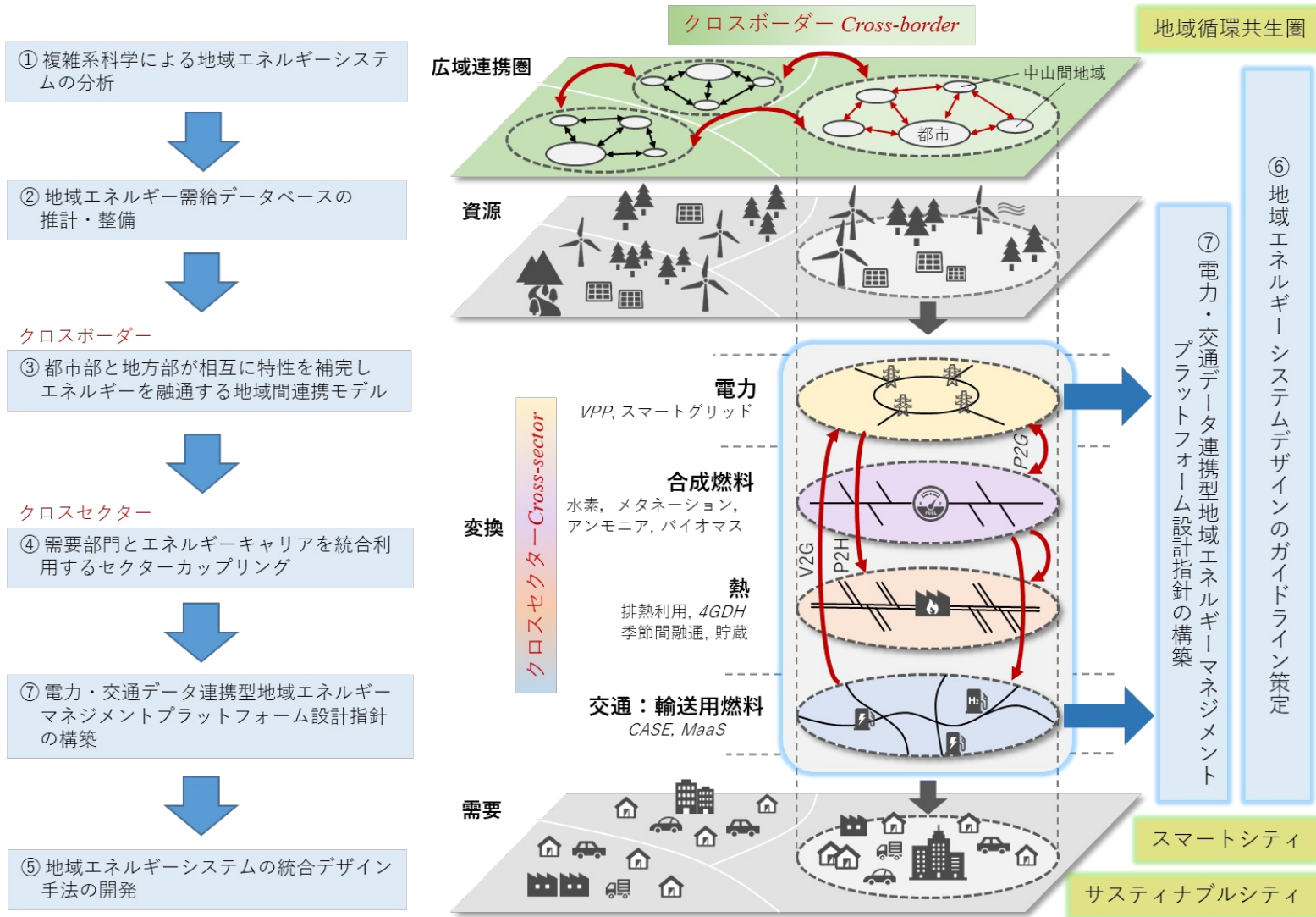
産業社会と環境の相互関係における四つのアプローチ

Direction to take とるべき方向	Views on technology 技術に対する考え方	Precondition 前提事項
Radical Ecology ラジカル・エコロジー	A retrospective on low technology. ローテクノロジーへの回顧。	Population ruin is inevitable. Economic, technological, and cultural collapse. 人口破滅は不可避。経済・技術・文化的破綻。
Deep Ecology ディープ・エコロジー	Appropriate technology. Low-tech where possible. 適正技術。可能な限りローテク。	Lower population levels than now. Significant modifications to the economic, technological and cultural status quo. 今より低い人口レベル。経済・技術・文化的現状をかなり修正。
Industrial Ecology 産業エコロジー	Depend on technological progress under environmental constraints, not low-tech. 環境制約の下での技術進展に依存、ローテクにこだわらない。	Somewhat larger population than now. Significantly modified economic, technological, and cultural status quo. 多少今よりも多い人口。経済・技術・文化的現状かなり修正。
Continuing Status 現状維持路線	Adopted individual regulations, etc. No effect on the overall trend. 個別規制などを採用。全体の傾向には影響なし。	Population ruin is inevitable; economic, technological, and cultural collapse. 人口破滅は不可避、経済・技術・文化的な破綻。

エコロジーの理念を産業社会に取り入れようとする際には、生態系をモデルにしたり、あるいは生態系と対比することで、その方向性を探る動きがある。人間社会の循環システムの方性性は、生態系の循環システムになぞらえて、Radical Ecology、Deep Ecology、Industrial Ecology、および現状維持路線に大きく分類される。

When trying to incorporate the philosophy of ecology into an industrial society, there is a movement to explore the direction of the system by using the ecosystem as a model or by contrasting it with the ecosystem. The direction of the circulation system of human society can be broadly categorized into Radical Ecology, Deep Ecology, Industrial Ecology, and the status quo, in analogy with the circulation system of ecosystems.

OUR COMMON FUTURE 1987 ➡ 2023 ⇨ 2050



イノベーションとは？

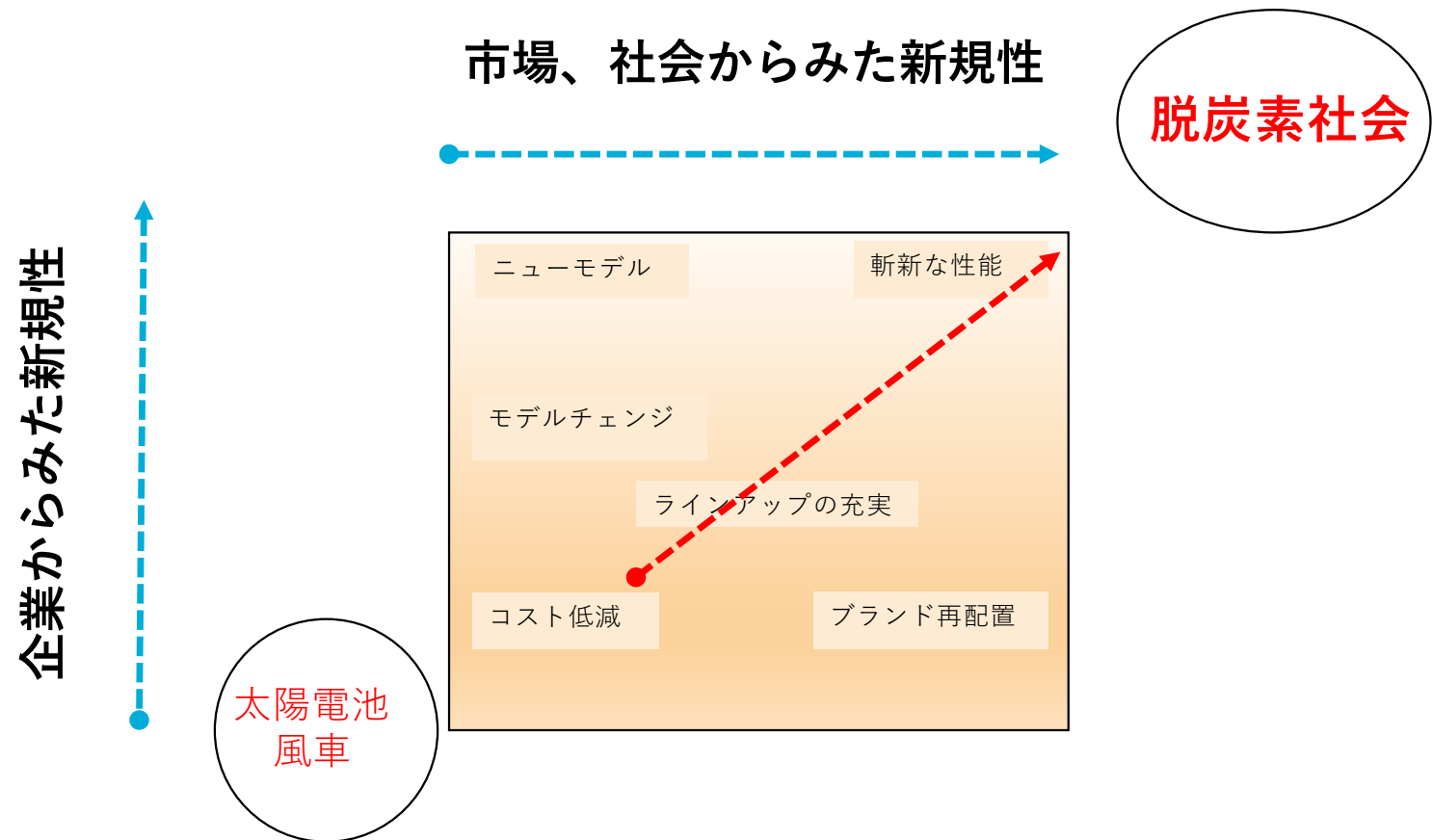




発明家の代表例

1.	自転車	<i>Pierre Lallement</i>	1866
2.	ラジオ	<i>Guglielmo Marconi</i>	1897
3.	コンピュータ	<i>Alan Turing</i>	1945
4.	ペニシリン	<i>Florey & Heatley</i>	1940
5.	エンジン	<i>Nicolaus Otto</i>	1876
6.	ウェブサイト	<i>Tim Berners-Lee</i>	1989
7.	電灯	<i>T. Edison/J. Swan</i>	1879
8.	反射式道路鋏	<i>Percy Shaw</i>	1936
9.	電話	<i>Alexander G. Bell</i>	1876
10.	テレビ	<i>John Logie Baird</i>	1923
11.	Kit Kat	<i>Rowntree</i>	1935

イノベーションの種類



Source: Adapted from R.G.Cooper 2001

David Smith, Exploring Innovation, McGraw-Hill Education 2010₆

社会からみたイノベーションの分類

イノベーション	要素/デバイス	社会システム
改善 <i>Incremental</i>	改良型	変わらない 20世紀型要素技術開発
部品 <i>Modular</i>	新しい	変わらない 20世紀型要素技術開発
アーキテクチャ <i>Architectural</i>	改良型	新しい仕組み/ 設計思想 21世紀型システムデザイン
ラジカル <i>Radical</i>	新しい	新しい仕組み/ 設計思想 21世紀型システムデザイン

希少性大



社会からみたラジカルイノベーションの具体例

ラジカルイノベーション	技 術	社会への影響
ジェットエンジン	ガスタービン	移動の拡大
カーボンファイバーF1シャーシ	カーボンファイバー	操縦性と安全性の向上
トランジスターラジオ	トランジスター	小型/汎用ラジオ
パーソナルコンピュータ	IC集積回路	計算能力向上
デジタルカメラ	デジタル画像	写真へのアクセス向上
MP3 プレーヤー	MP3 ファイル	音楽へのアクセス向上
電気自動車（電動化を含む）	モーター、バッテリー、通信、データ分析など	移動機能拡大、安全性向上、環境向上、サステナビリティ
脱炭素社会 Data-Driven innovation	再生可能エネルギー、データ解析、情報通信	データ駆動型社会が要素技術を包含

データ分析

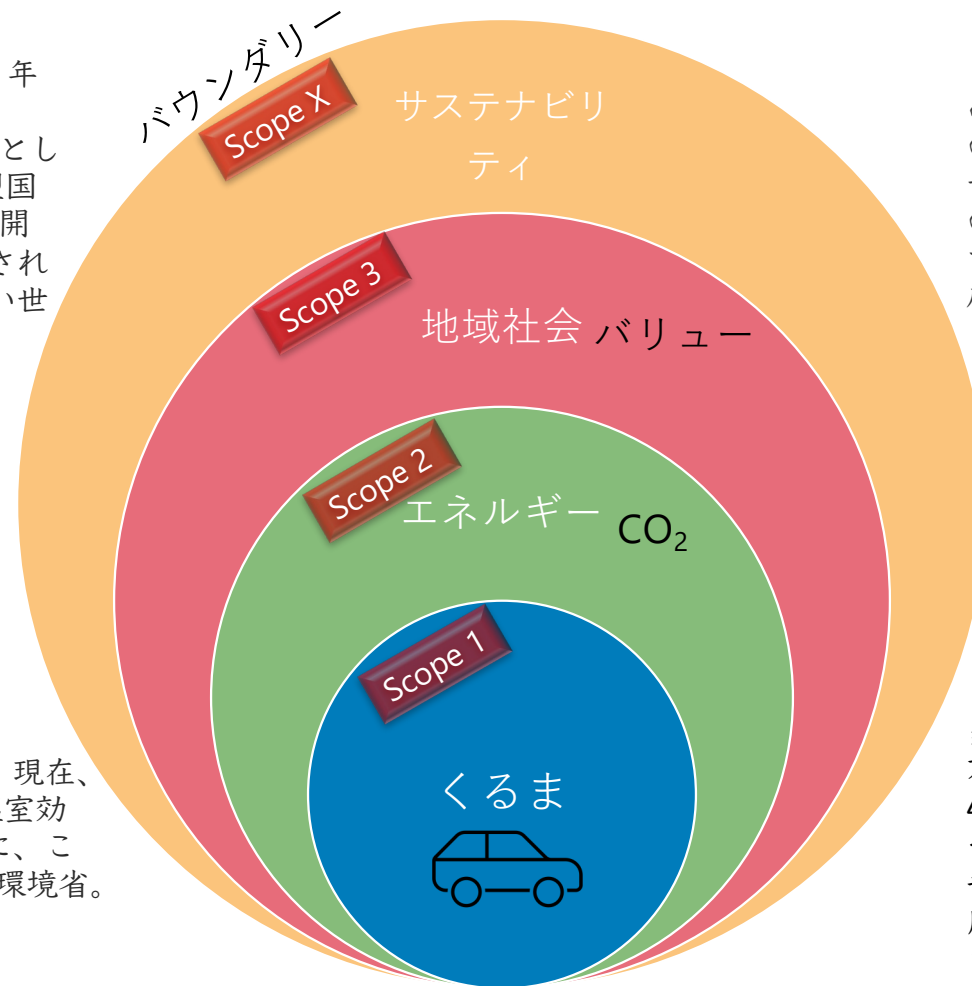


システムオブシステムズ

System of systems

持続可能な開発目標SDGsとは、2001年に策定されたミレニアム開発目標（MDGs）別ウィンドウで開くの後継として、2015年9月の国連サミットで加盟国の全会一致で採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」に記載された、2030年までに持続可能でよりよい世界を目指す国際目標です。外務省。

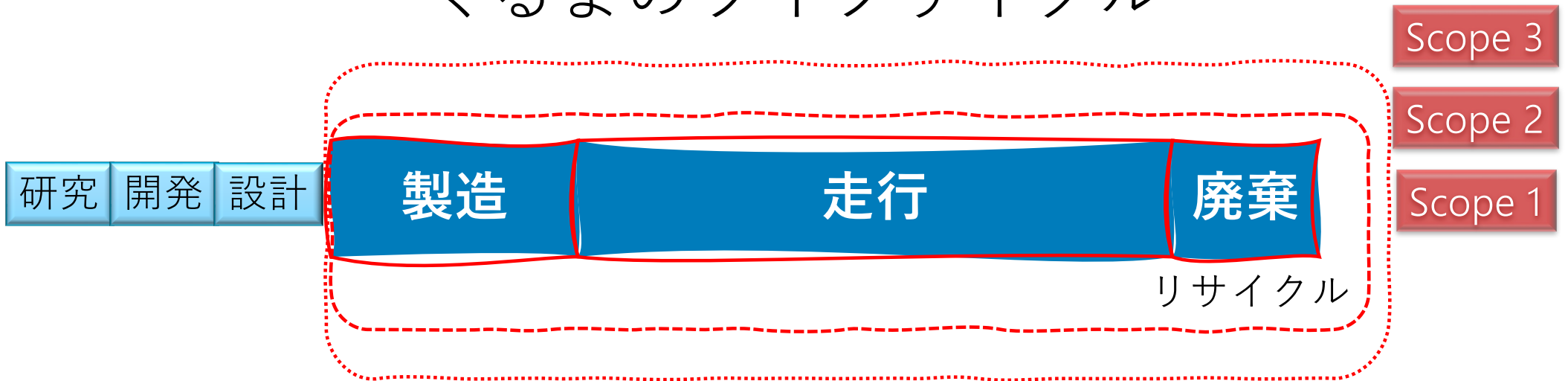
2050年カーボンニュートラルの実現、現在、わが国は、年間で12億トンを超える温室効果ガスを排出しており、2050年までに、これを実質ゼロにする必要があります。環境省。



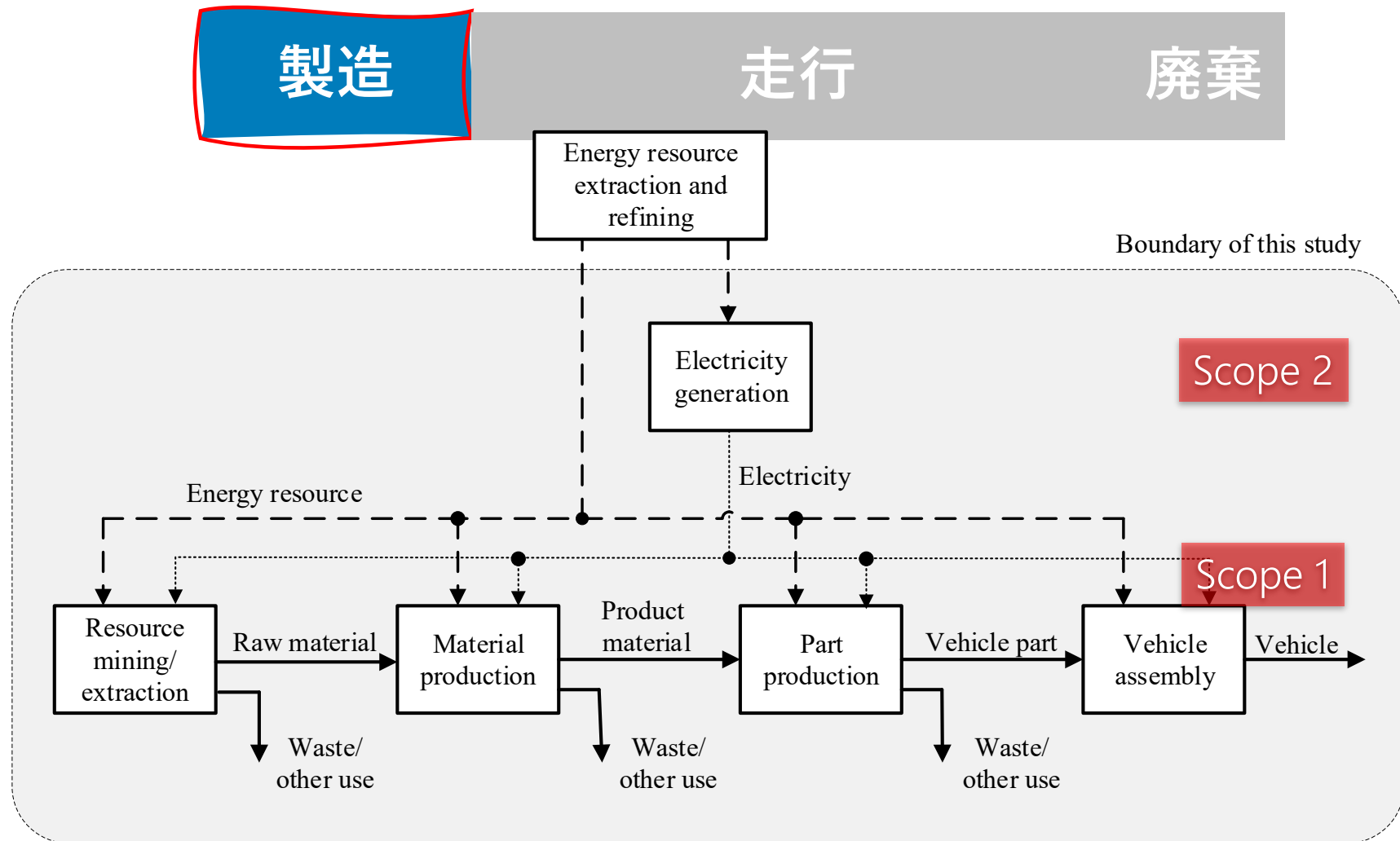
日本のエネルギー安全保障を確保するためには、いったいどのようなエネルギーのあり方が望ましいのか。再エネは、原子力発電は、どのように使われるべきなのか。私たち一人一人が考えていかなくてはならない課題です。資源エネルギー庁 長官官房総務課 戦略企画室。

当町の人口は前回の国勢調査において1万人を割り、2040年には半数の約4,500人となる推測が出されております。そのため、地域が立ち行かなくなる前に手を打たなければと、再エネを最大限活用し、持続可能な地域づくりを進めていきたいと考えているところです。青森県A町。

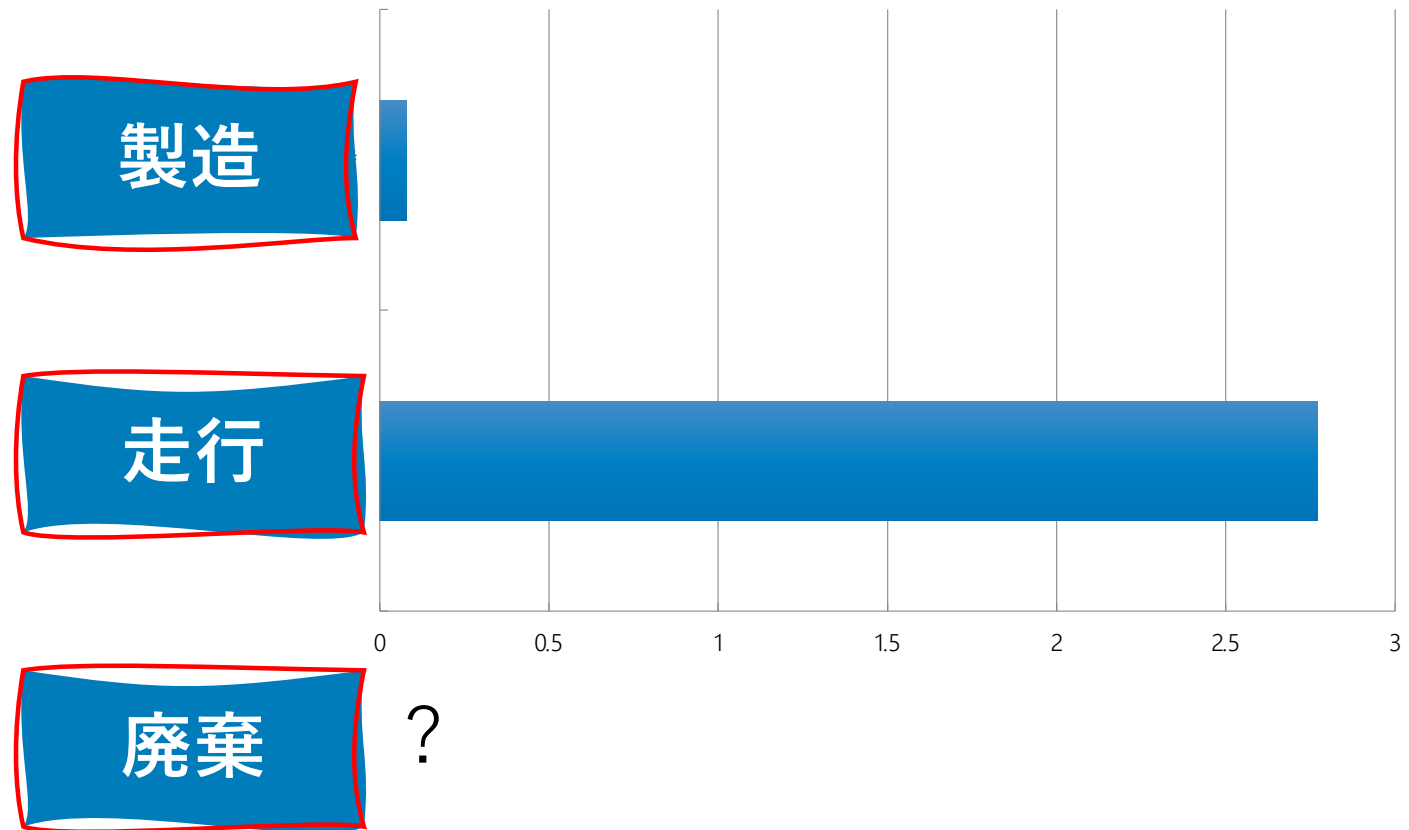
くるまのライフサイクル



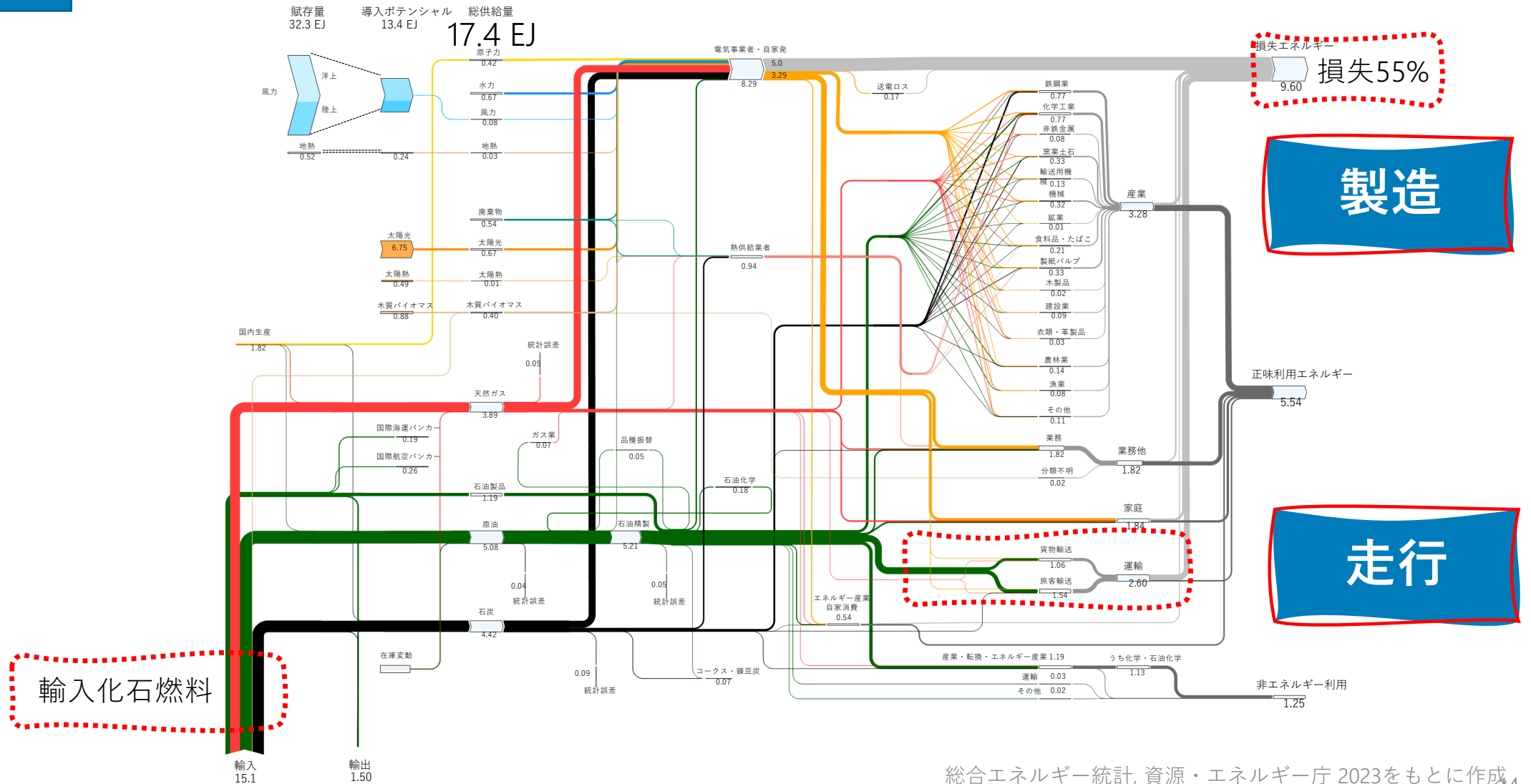
自動車製造時のエネルギーバランス



自動車の年間エネルギー消費量 [EJ]



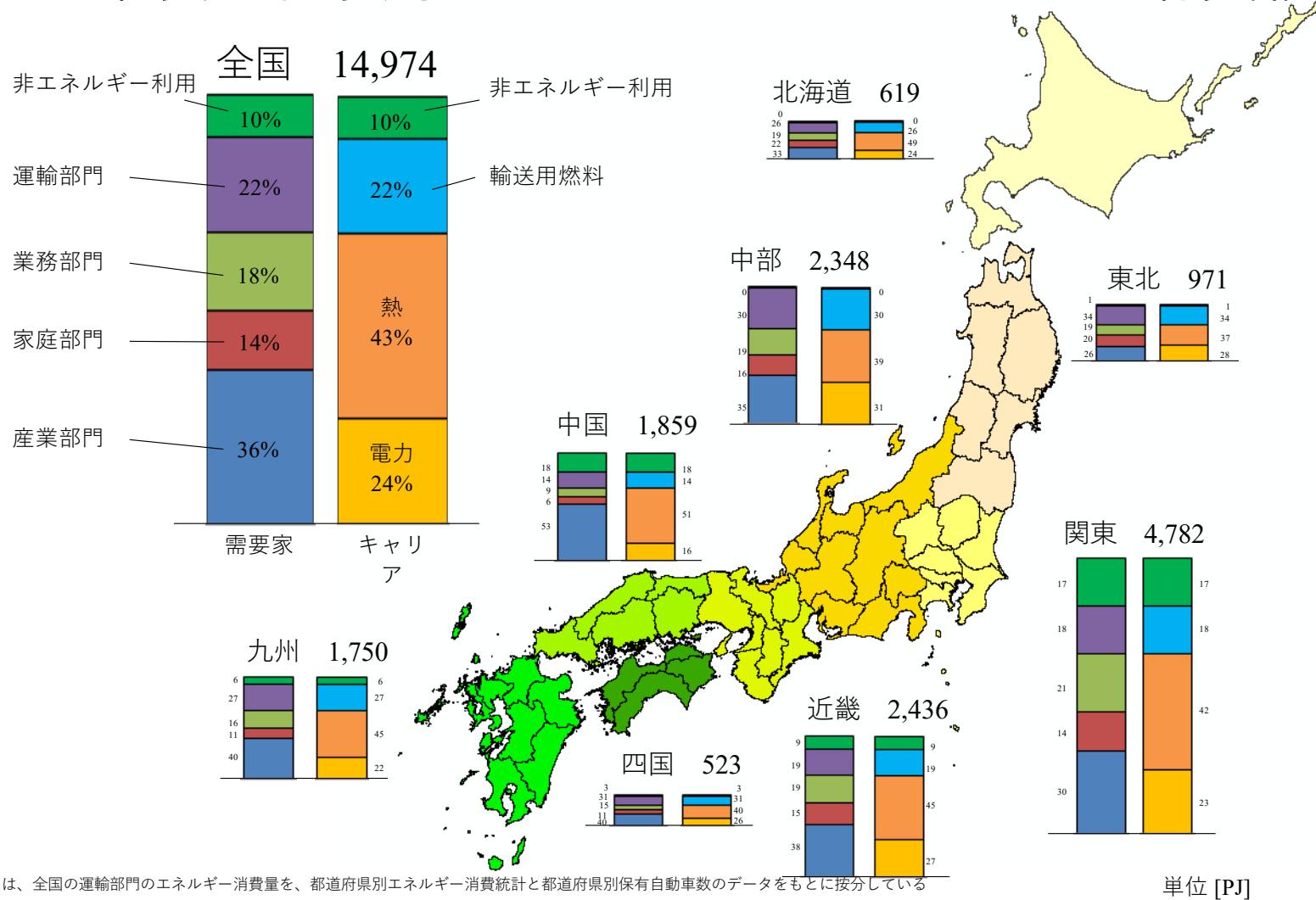
日本のエネルギーフロー 2020



総合エネルギー統計, 資源・エネルギー庁 2023をもとに作成
再生可能エネルギー導入ポテンシャルはREPOS (環境省)。

2010年度の需要家・キャリア別エネルギー消費構成

走行



※各地域の運輸部門については、全国の運輸部門のエネルギー消費量を、都道府県別エネルギー消費統計と都道府県別保有自動車数のデータをもとに按分している

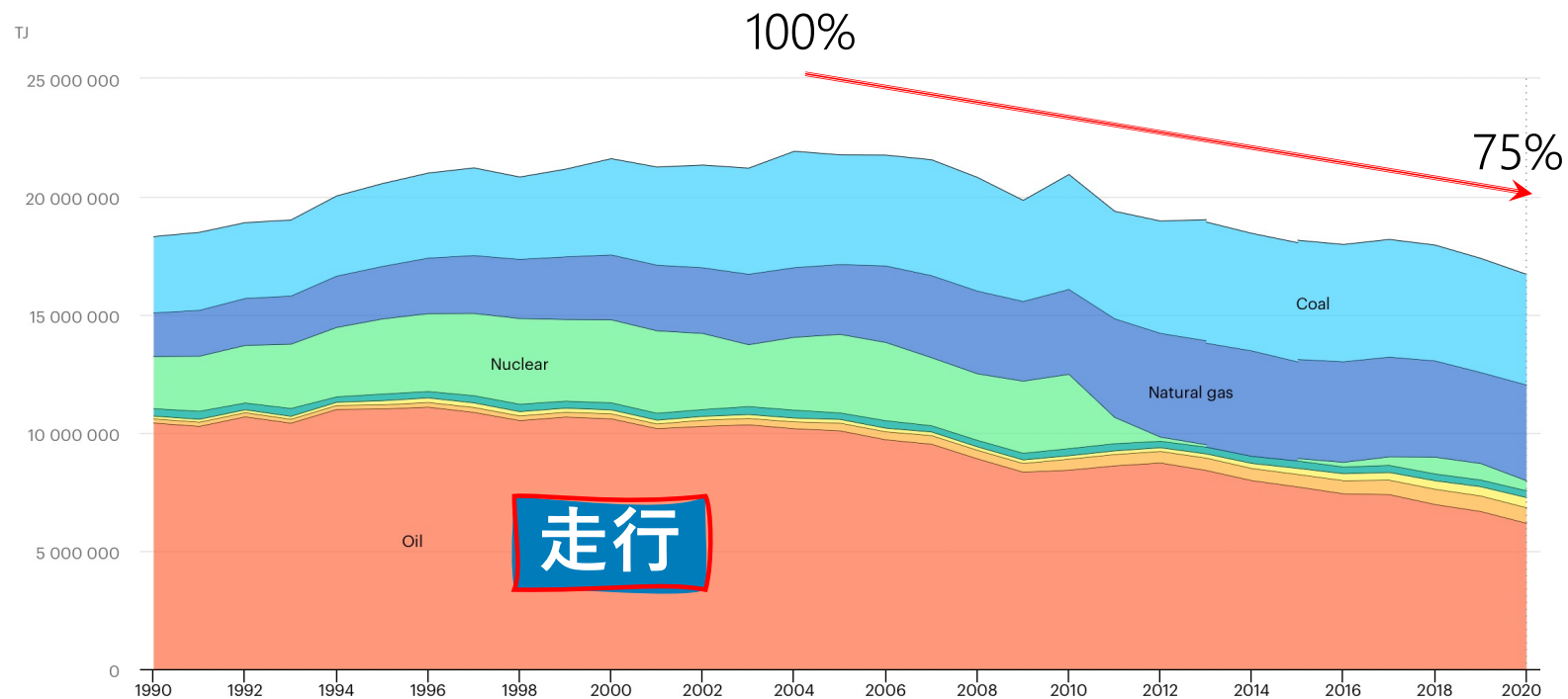
Reference

経済産業省資源エネルギー庁、総合エネルギー統計エネルギーバランス表2010年度
 経済産業省資源エネルギー庁、都道府県別エネルギー消費統計
 総務省統計局、日本の統計2012年版(2012)

14 November, 2014 R. Sai@Nakata lab.

エネルギー供給の推移

Total energy supply (TES) by source, Japan 1990-2020



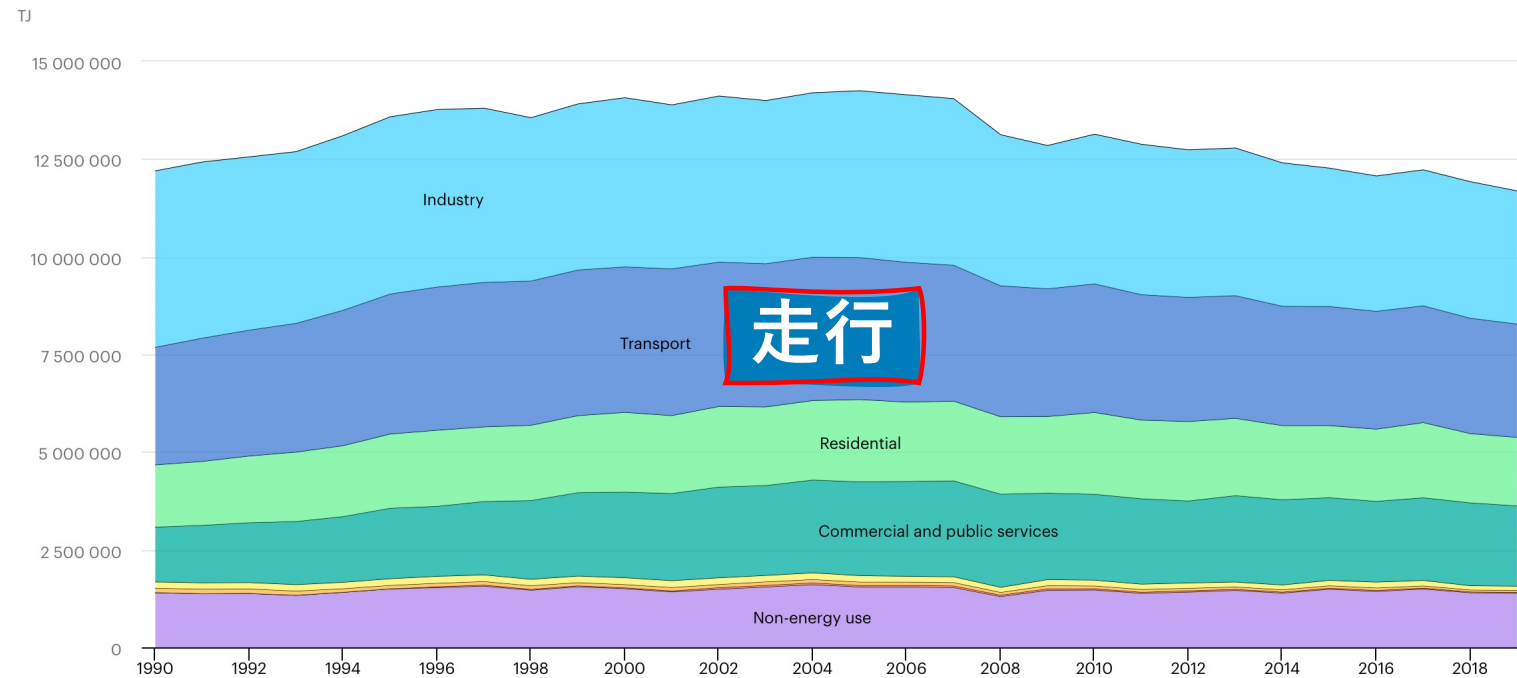
IEA. All rights reserved.

● Coal ● Natural gas ● Nuclear ● Hydro ● Wind, solar, etc. ● Biofuels and waste ● Oil

IEA Energy Balances, 2022

エネルギー需要の推移

Total final consumption (TFC) by sector, Japan 1990-2019

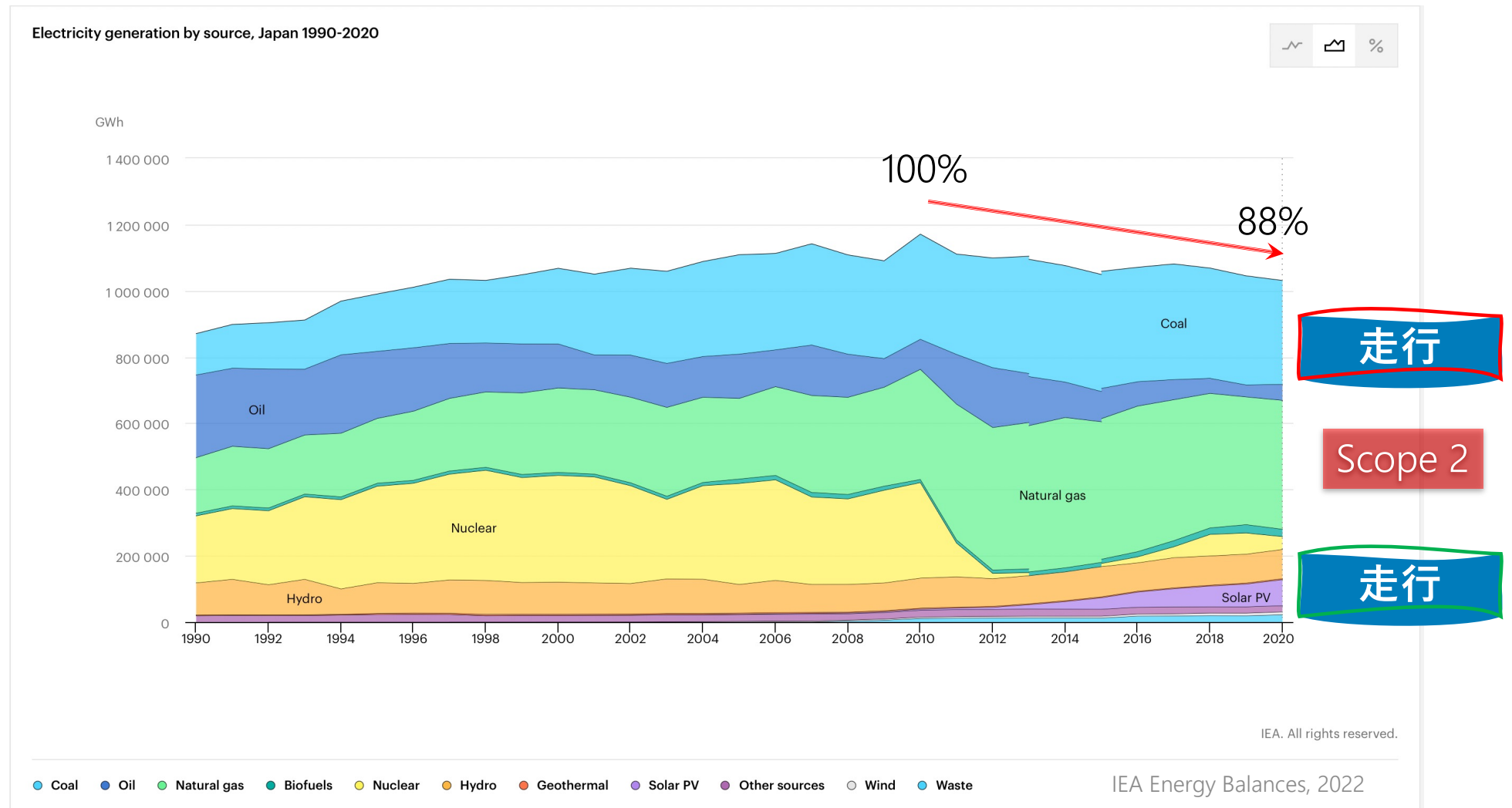


IEA. All rights reserved.

● Industry ● Transport ● Residential ● Commercial and public services ● Agriculture / forestry ● Fishing ● Non-specified ● Non-energy use

IEA Energy Balances, 2022

電力供給の推移



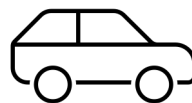
総合エネルギー効率 η

ICV



88-90%*

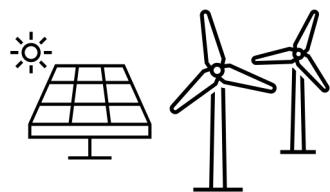
+



X 12-30%** = 10-27%



EV

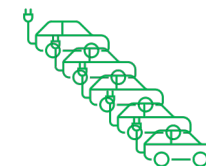


100%*

+



X 77%** = 77%



EV



45%

X

77%** = 35%

* M. Wang, CTR-US_ANL, 2008.

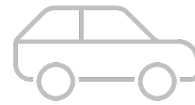
** US fuel economy information, EPA, 2022.

ラジカルイノベーション

ICV



+

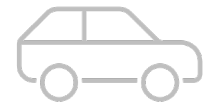


88-90%*

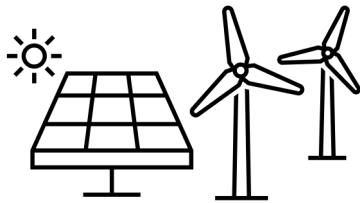
x

12-30%**

= 10-27%



EV



100%

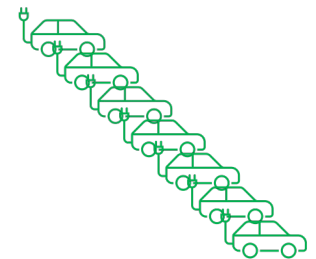
+



x

77%**

= 77%



* M. Wang, CTR-US_ANL, 2008.

** US fuel economy information, EPA, 2022.

計画づくり



SIP 地域エネルギーシステムデザインのガイドライン策定

エネルギーデータの整備は、カーボンニュートラルを進める地域デザインの基本。

2020-2023.

①複雑系科学に基づくエネルギーシステムの分析
(東北大)

②地域エネルギー需給データベースの推計・整備
(東北大・日本エネルギー経済研究所)

③都市部と地方部が相互に特性を補完しエネルギーを融通する地域間連携モデルの開発 (東北大)

④「需要部門とエネルギーキャリアを統合利用するセクターカップリング」(東北大)

⑥地域エネルギーシステムデザインのガイドラインの策定 (東北大・日本エネルギー経済研究所)

⑦「電力・交通データ連携型地域エネルギーマネジメントシステムプラットフォームの設計指針の構築」
(早稲田・宇都宮大)

① 複雑系科学による地域エネルギーシステムの分析

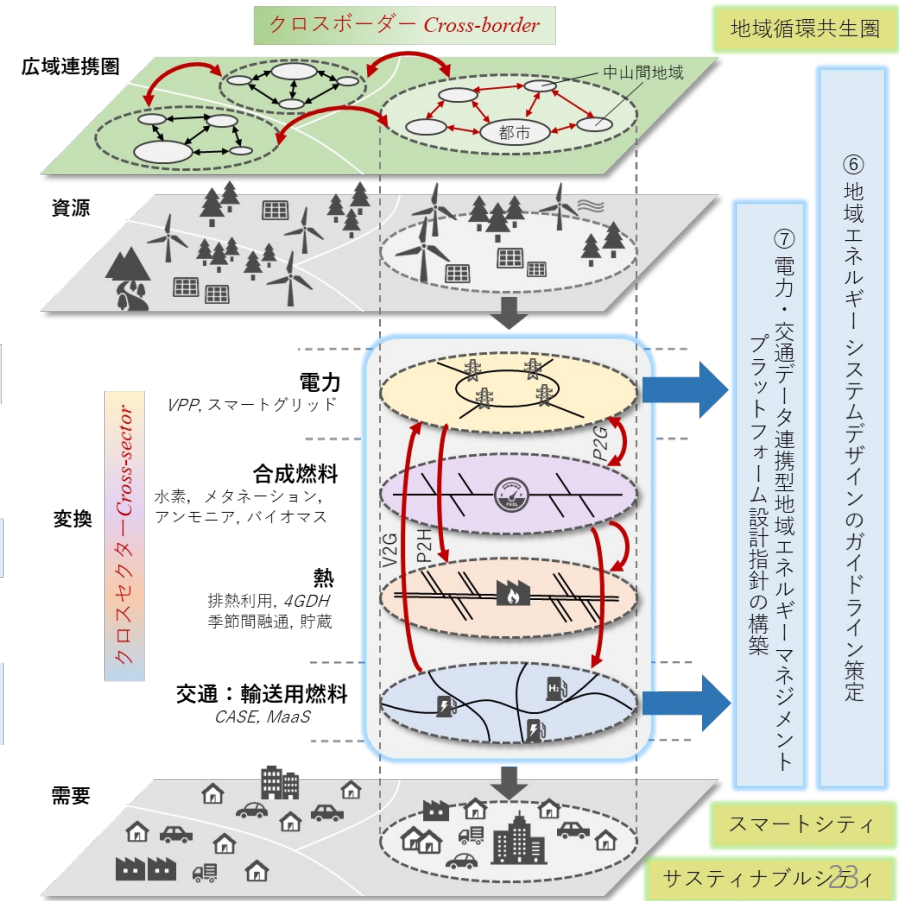
② 地域エネルギー需給データベースの推計・整備

クロスボーダー
③ 都市部と地方部が相互に特性を補完しエネルギーを融通する地域間連携モデル

クロスセクター
④ 需要部門とエネルギーキャリアを統合利用するセクターカップリング

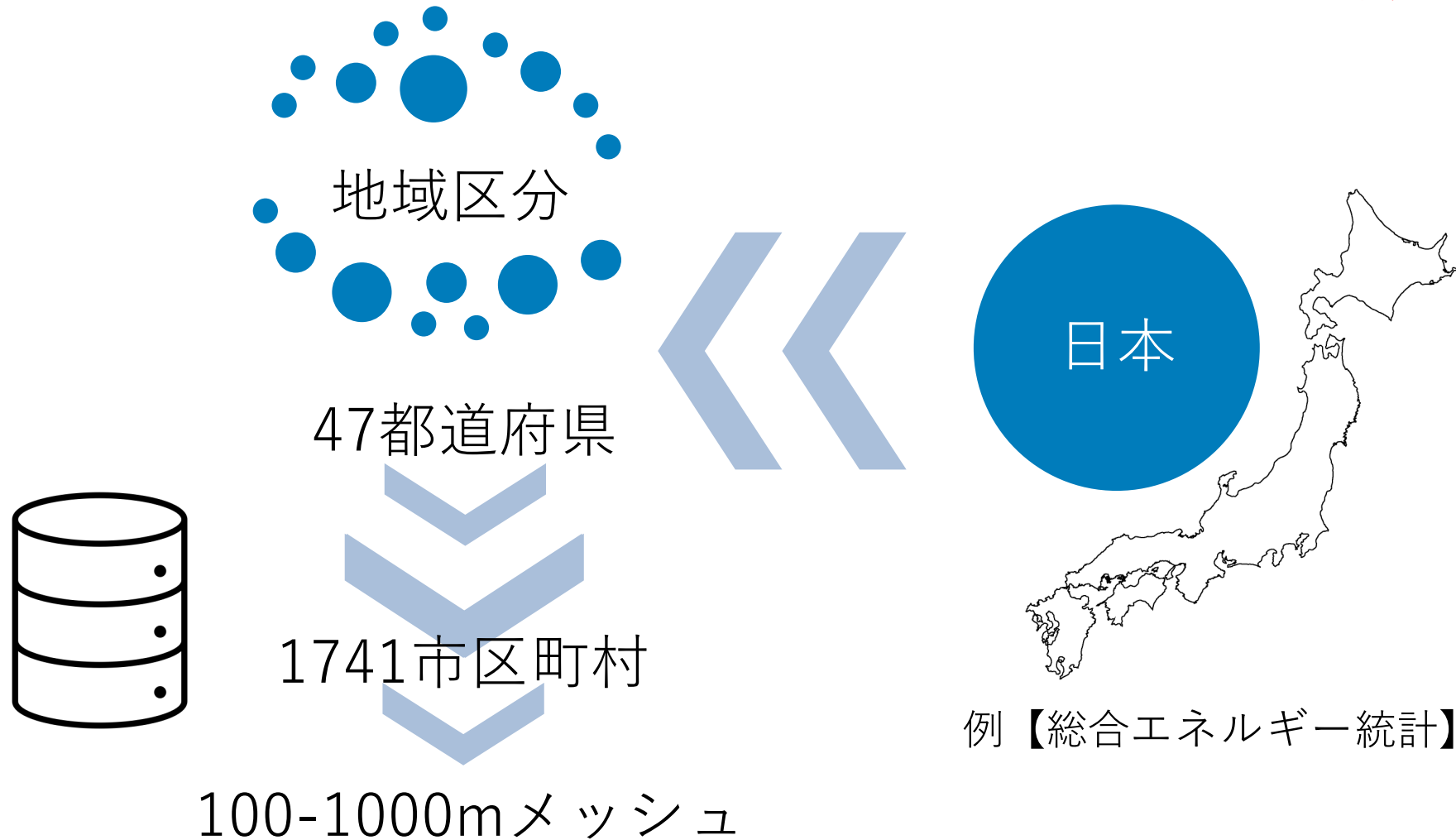
⑦ 電力・交通データ連携型地域エネルギーマネジメントプラットフォーム設計指針の構築

⑤ 地域エネルギーシステムの統合デザイン手法の開発



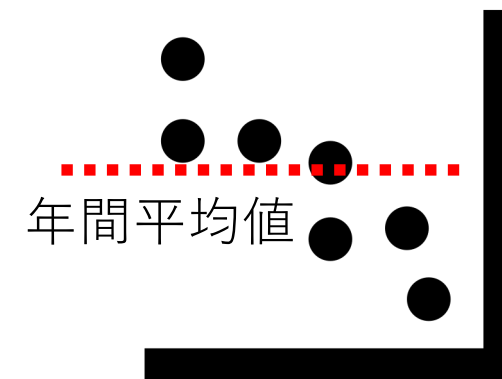
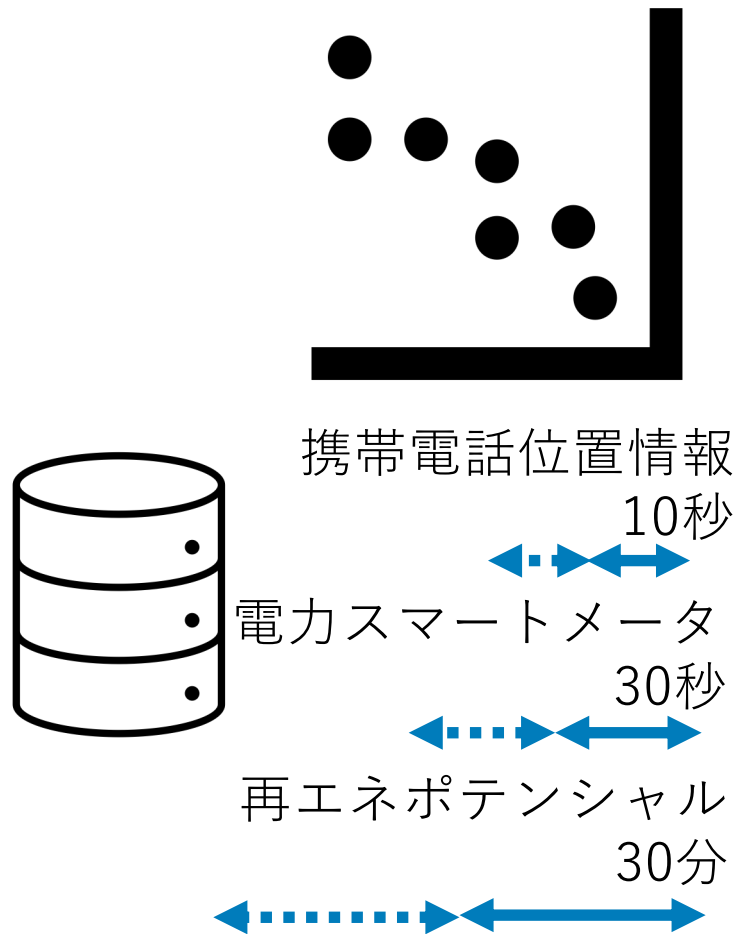
課題 1 データ空間解像度の向上

GIS地理情報システムと連動したデータ可視化とオープンアクセス環境の整備。



課題2 データ時間解像度の向上

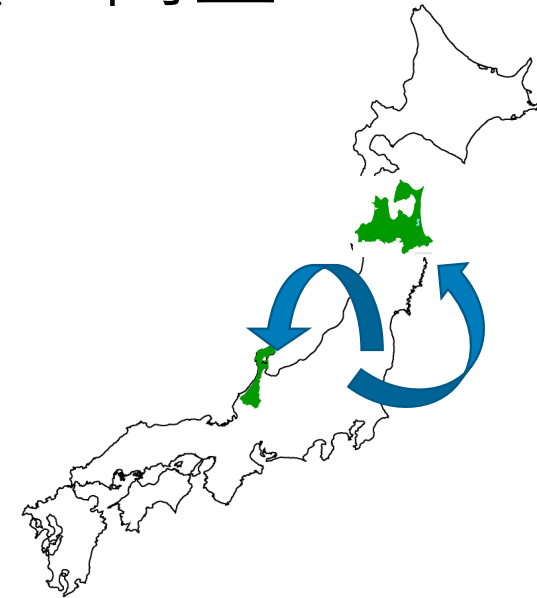
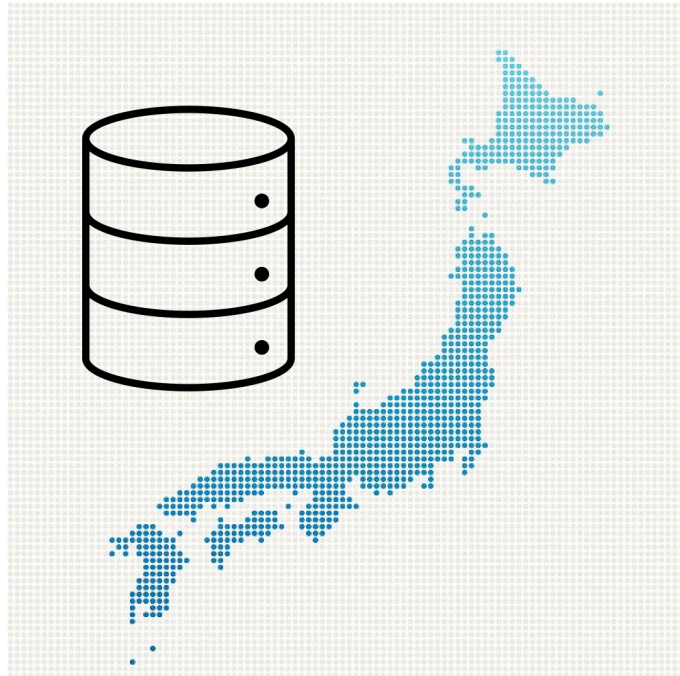
変動特性を表す個データ把握こそ、再エネ導入の基本。



現【REPOS再エネポテンシャル】

ビッグデータの整備とオープンアクセス環境が必須。

課題3 データ推定手法の向上

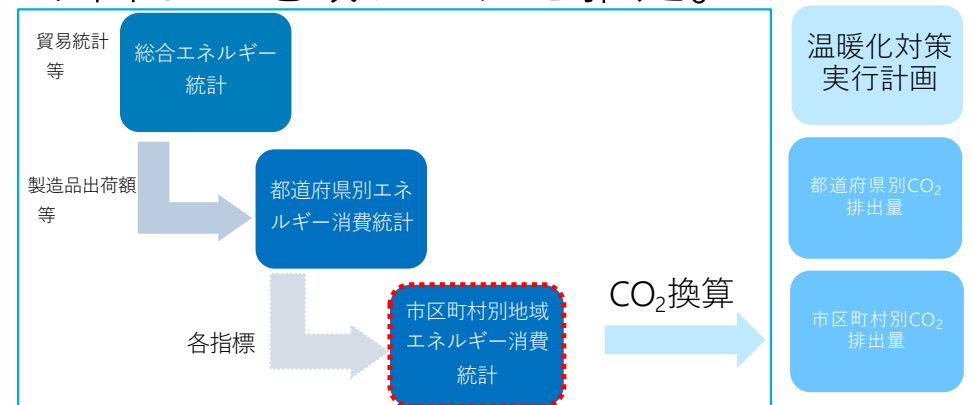


現【按分法】全国値を按分指標で割り出して地域データを推定。

【積み上げ法】

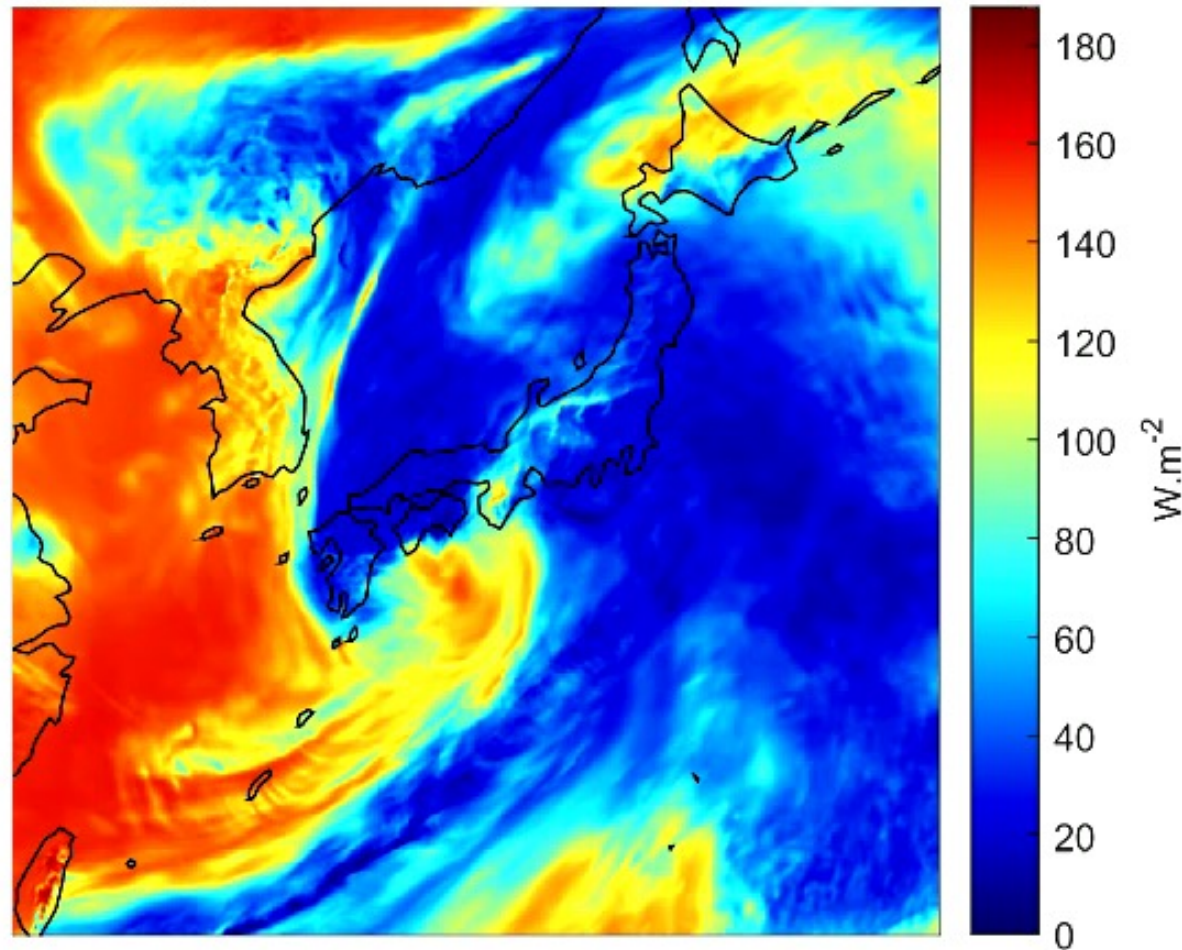
個データのエビデンス*を取得して、これを積算して各地域データを特定。

個データの収集、分析、推定、地域エネルギーデータベース構築に反映可能。



課題4 太陽光発電ポテンシャルの推定

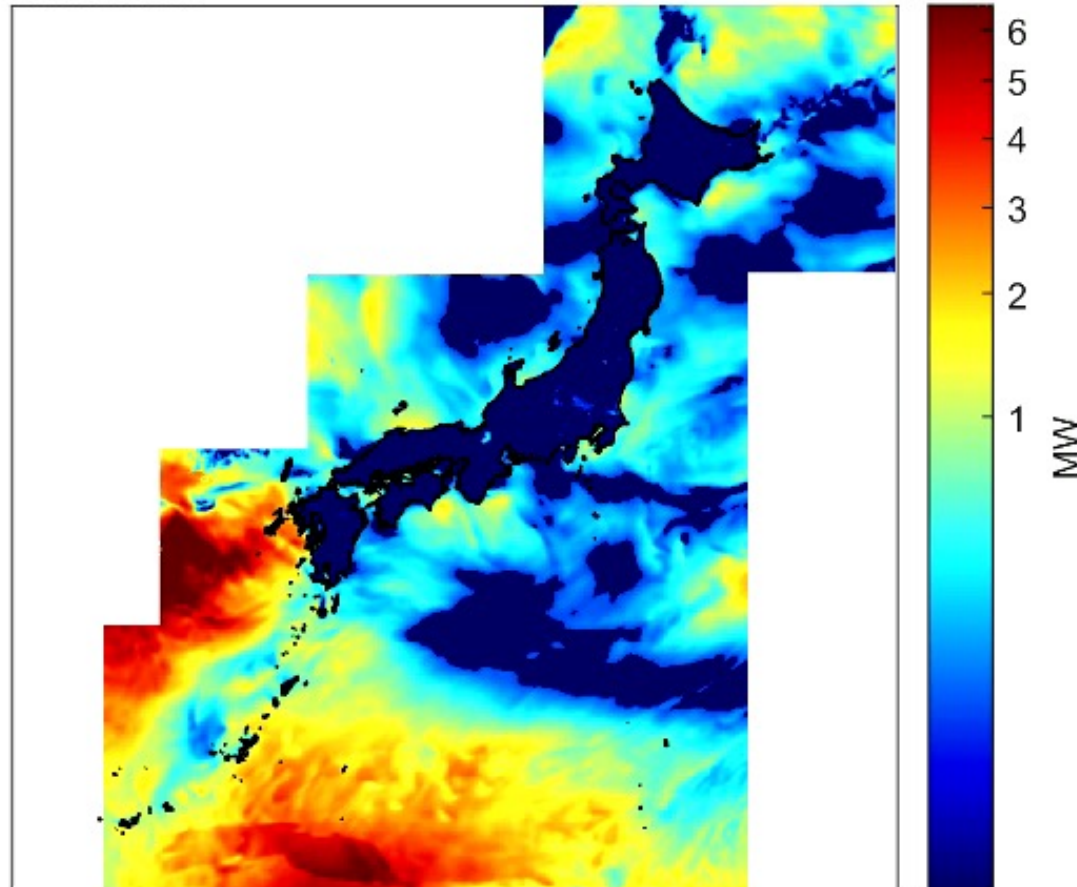
2019/06/15



時間解像度 : 30分
空間解像度 : 1 km
期間 : 1年間

課題5 風力発電ポテンシャルの推定

2019/08/26



時間解像度 : 30分
空間解像度 : 1 km
期間 : 1年間

市区町村別エネルギー消費量

北海道函館市のエネルギー消費統計表

エネルギー資源・キャリア

(例)
産業部門・機械製造業の
年間電力消費量

需要部門

(例)
家庭部門の
年間石油消費量

2015FY	Code		100	150	200	250	250A	250B	400	450	500	550	600	700	800	900	910	920
西館市	< エネルギーバランス表 / エネルギー単位表 >		石 炭	石炭製品	原 油	石油製品(石油ガスを除く)			天然ガス	都市ガス・石・再生可能・未事業用水力			原子力発電	電 力	熱	合 計	エネルギー	利用非エネルギー
			Coal	Coal Product	Oil	Oil Product(Excl. Natural Gas)			Natural Gas	Town Gas & New & Renewable Large-Scale			Nuclear Energy	Electricity	Heat	Total	Energy Total	Non-Energy
Code	Energy Unit	<< エネルギー単位表 >>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
2015FY	Display Unit		石 炭+	石炭製品+	原 油+	石油製品+	軽質油製品	重質油製	天然ガス+	都市ガス+	再生可能・未事業用水力	原子力発電	電 力+	熱+	合 計	エネルギー	非エネルギー	
			TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ
500000	Final Energy Cons. 最終エネルギー消費		626.7	130.9	0.5	13,089.4	11,551.1	1,538.3	177.0	3,169.9	182.5	0.0	0.0	5,432.9	133.5	22,943.2	22,573.5	369.7
600000	Industry 企業・事業所他		626.7	83.3	0.5	1,229.4	464.8	764.6	177.0	888.6	104.8	0.0	0.0	626.7	17.1	3,754.1	3,388.4	365.6
610000	ABCD Agricult. 農林水産建設業		0.0	0.0	0.0	303.4	136.0	167.3	32.7	3.6	0.1	0.0	0.0	50.0	0.0	389.7	341.8	48.0
611000	AB Agricult. 農林水産業		0.0	0.0	0.0	144.1	28.4	115.7	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	22.4	0.0	167.4	161.6	5.8
612000	C Mining, C 鉱業他		0.0	0.0	0.0	50.3	47.5	2.9	32.7	0.7	0.0	0.0	0.0	15.7	0.0	99.3	99.3	0.0
615000	D Construc. 建設業		0.0	0.0	0.0	108.9	60.2	48.7	0.0	2.1	0.1	0.0	0.0	11.9	0.0	123.0	80.8	42.2
620000	E Manufac. 製造業		626.7	83.3	0.5	926.1	328.8	597.2	144.4	885.0	104.7	0.0	0.0	576.7	17.1	3,364.4	3,046.7	317.7
621000	E09-10 Manufe. 食品飲料製造業		0.7	2.3	0.0	521.6	44.8	476.7	22.8	570.3	44.7	0.0	0.0	327.8	1.8	1,491.9	1,491.9	0.0
622000	E11 Manufe. 繊維工業		1.3	0.0	0.0	15.4	1.5	14.0	0.0	18.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.4	35.4	0.0
623000	E12-13 Manufe. 木製品・家具他工業		0.0	0.0	0.0	5.2	4.5	0.6	0.0	0.4	21.7	0.0	0.0	3.7	0.0	31.1	31.1	0.0
624000	E14 Manufe. パルプ・紙・紙加工品製造業		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
625000	E15 Printin. 印刷・同関連業		0.0	0.0	0.0	1.6	0.7	1.0	0.0	3.4	0.0	0.0	0.0	4.4	0.0	9.4	9.4	0.0
626000	E16-17 Manufe. 化学工業(含 石油石炭製品)		0.0	0.4	0.5	299.8	258.2	41.6	4.9	219.5	0.6	0.0	0.0	12.2	0.7	538.5	225.6	313.0
627000	E18-20 Manufe. プラスチック・ゴム・皮革製品製造業		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
628000	E21 Manufe. 窯業・土石製品製造業		168.5	1.3	0.0	22.8	4.4	18.4	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	7.8	1.1	223.9	223.9	0.0
629000	E22-E24 Manufe. 鉄鋼・非鉄・金属製品製造業		456.2	79.2	0.0	23.3	2.2	21.2	6.5	9.7	17.6	0.0	0.0	39.6	12.7	644.8	640.1	4.7
630000	E25-E31 Manufe. 機械製造業		0.0	0.0	0.0	31.6	10.7	21.0	110.2	60.5	0.0	0.0	0.0	175.0	0.8	378.1	378.1	0.0
641000	E32 Miscell. 他製造業		0.0	0.0	0.0	4.7	2.0	2.8	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	6.2	0.0	11.1	11.1	0.0
650000	F-S Commer. 業務他(第三次産業)		0.0	47.6	0.0	1,783.5	1,009.8	773.7	0.0	1,223.8	77.7	0.0	0.0	2,563.7	87.6	5,784.0	5,779.9	4.1
651000	F Electricity 電気ガス熱供給水道業		0.0	0.0	0.0	7.0	1.1	5.9	0.0	9.8	56.8	0.0	0.0	125.6	0.0	199.2	199.2	0.0
652000	G Informat. 情報通信業		0.0	0.0	0.0	3.0	2.8	0.3	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	116.8	0.2	132.6	132.6	0.0
653000	H Transport. 運輸業・郵便業		0.0	0.0	0.0	149.9	138.9	11.0	0.0	5.9	0.0	0.0	0.0	90.7	0.4	246.9	246.9	0.0
654000	I Wholesale. 卸売業・小売業		0.0	0.0	0.0	155.9	135.5	20.4	0.0	132.6	0.0	0.0	0.0	750.6	9.0	1,048.2	1,048.2	0.0
655000	J Finance. 金融業・保険業		0.0	0.0	0.0	7.2	3.9	3.3	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	21.3	0.4	33.2	33.2	0.0
656000	K Real Est. 不動産業・物品賃貸業		0.0	0.0	0.0	83.7	25.6	58.0	0.0	11.4	0.0	0.0	0.0	29.0	10.4	134.4	134.4	0.0
657000	L Scientific. 学術研究・専門・技術サービス業		0.0	0.0	0.0	13.5	12.0	1.5	0.0	12.9	0.0	0.0	0.0	25.5	2.2	54.1	54.1	0.0
658000	M Accommod. 宿泊業・飲食サービス業		0.0	0.0	0.0	452.4	272.5	180.0	0.0	337.8	0.1	0.0	0.0	558.3	5.8	1,354.5	1,354.5	0.0
659000	N Living Re. 生活関連サービス業・娯楽業		0.0	2.8	0.0	258.4	100.3	158.1	0.0	179.3	0.2	0.0	0.0	245.1	0.0	685.8	685.8	0.0
660000	O Educatic. 教育・学習支援業		0.0	0.0	0.0	66.2	43.8	22.4	0.0	156.4	6.4	0.0	0.0	165.6	0.5	395.1	395.1	0.0
661000	P Medical. 医療・福祉		0.0	0.0	0.0	274.7	135.9	138.8	0.0	287.6	0.3	0.0	0.0	268.8	6.3	837.8	837.8	0.0
662000	Q Compou. 複合サービス事業		0.0	0.0	0.0	3.7	3.6	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	5.7	0.0	10.2	10.2	0.0
663000	R Miscella. 他サービス業		0.0	44.6	0.0	157.7	80.7	77.1	0.0	40.8	13.8	0.0	0.0	103.2	3.2	363.2	359.1	4.1
680000	S Governm. 公 務		0.0	0.2	0.0	141.6	51.0	90.6	0.0	12.7	0.0	0.0	0.0	49.1	0.4	204.1	204.1	0.0
699999	Unabl e 業種不明・分類不能		0.0	0.0	0.0	8.6	2.2	6.3	0.0	19.1	0.0	0.0	0.0	8.3	48.7	84.6	84.6	0.0
700000	X Resident. 家 庭		0.0	0.0	0.0	4,133.5	4,133.5	0.0	0.0	1,057.4	0.0	0.0	0.0	2,242.4	28.8	7,462.2	7,462.2	0.0
800000	Transport. 運 輸		0.0	0.0	0.0	5,942.9	5,942.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5,942.9	5,942.9	0.0
810000	Passeng. 旅 客		0.0	0.0	0.0	3,963.8	3,963.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3,963.8	3,963.8	0.0
811000	Passer 乗用車		0.0	0.0	0.0	3,963.8	3,963.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3,963.8	3,963.8	0.0
	Freight T. 貨 物		0.0	0.0	0.0	1,979.1	1,979.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,979.1	1,979.1	0.0
	Freight 貨物自動車		0.0	0.0	0.0	1,979.1	1,979.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,979.1	1,979.1	0.0

需要部門別エネルギー消費構成による市区町村の類型化

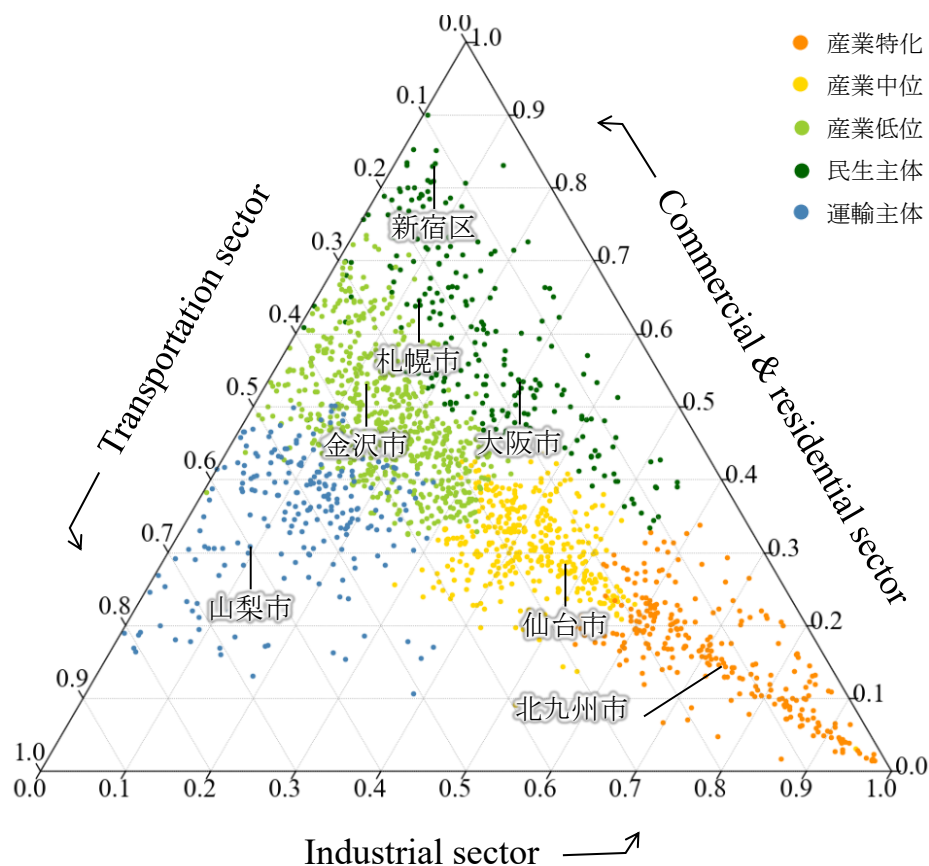


図 需要家部門の特性

類型化手法：階層的クラスター分析（Ward法）
 分類指標：TFECに占める産業，業務，家庭，運輸部門の割合

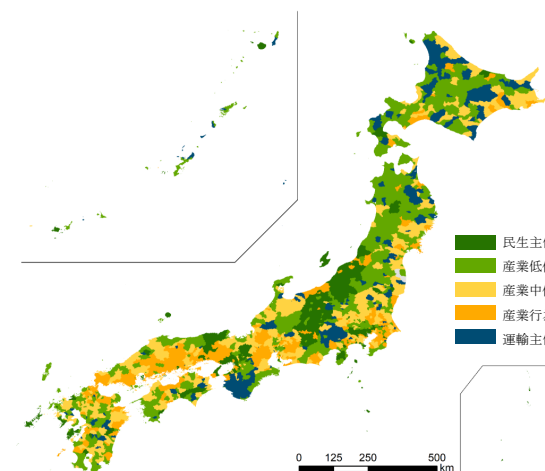
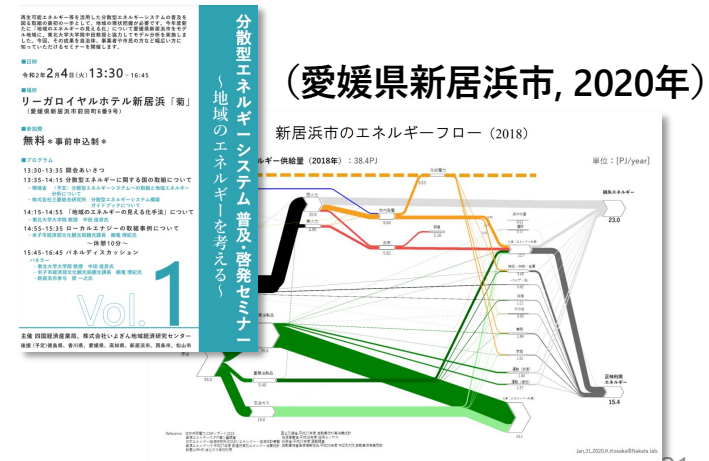


図 全国分布

TFEC [PJ]	産業特化 クラスター	産業中位 クラスター	民生主体 クラスター	産業低位 クラスター	運輸主体 クラスター	地域数 合計
5.0～	191 北九州市 (工業地域)	145 横浜市 (中核市)	89 東京特別区 (大都市)	109 札幌市 (県庁所在地)	12 南アルプス市	546
1.0～5.0	60 大衡村 (工場立地)	177 寒河江市	76 軽井沢町 (観光地)	270 小国町	52 六ヶ所村	635
0.5～1.0	5 奥多摩町	36 南三陸町	30 草津町 (観光地)	115 ニセコ町	52 平泉町	238
～0.5	5 渡名喜村	14 日野町	42 渡嘉敷村 (離島)	137 橋原市	118 西栗倉村	316
地域数合計	261	372	237	631	234	1,735



(例) 地域エネルギービジョン等

[illegible]

https://www.shikoku.meti.go.jp/01_releases/2020/02/202

脱炭素先行地域選定証

岩手県宮古市
国立大学法人東北大学
宮古市脱炭素先行地域づくり準備会議

貴団体の提案は2050年カーボンニュートラルに
向けて地域の魅力と質を向上させる地方創生に
資する脱炭素の実現の姿を2030年度までに示す
優れたモデルであることから脱炭素先行地域に
選定しこれを証します

令和4年12月20日

環境大臣

西村 州夫



Decarbonization Leading Area Certificate

Miyako City, Iwate Prefecture
Tohoku University
Preparatory conference for decarbonization
leading area in Miyako city

Your organization proposes an excellent model
which shows a path toward decarbonization by
FY2030 and regional revitalization. The proposal
will eventually contribute to attaining the
national target of carbon neutrality by 2050.

I hereby present your organization
with this certificate of recognition as a
Decarbonization Leading Area.

December 20th, 2022

NISHIMURA Akihiko
Minister of the Environment, JAPAN

イノベーションとは？



データに基づくサステナブルシステムのデザイン
Data driven innovation for sustainable system design

ゴール



現状のエネルギーシステム*

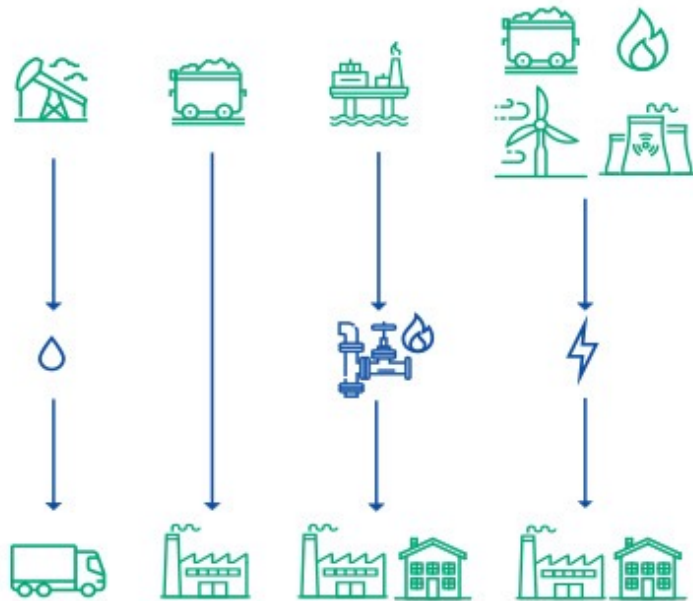


Energy system: a [group](#) of things that are used together to [produce energy](#) (Cambridge Dictionary)

エネルギーシステムの統合戦略

The energy system today :

linear and wasteful flows of energy,
in one direction only

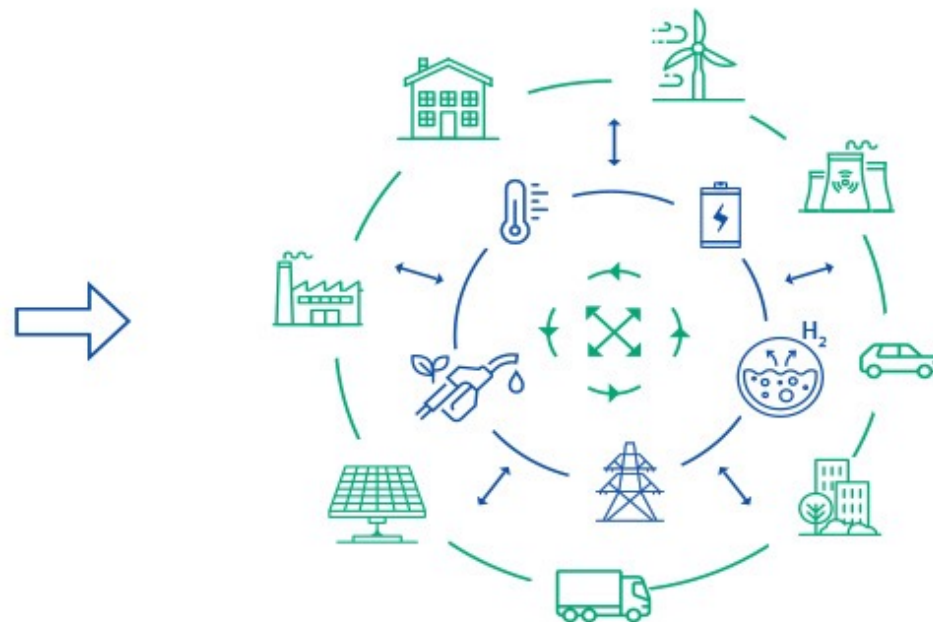


現状

燃料種毎の局所最適

Future EU integrated energy system :

energy flows between users and producers,
reducing wasted resources and money

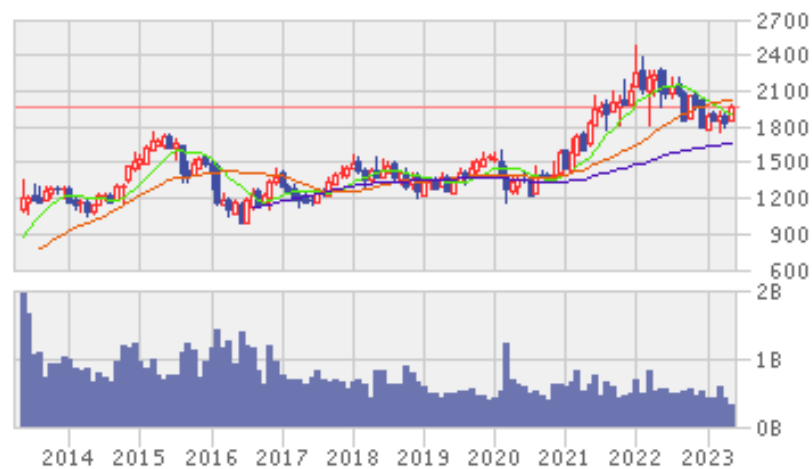


2050年

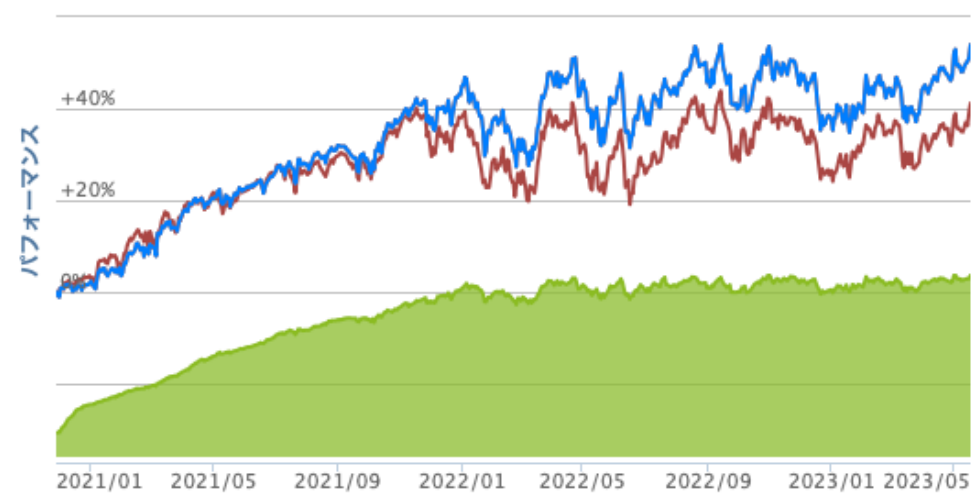
システム最適の解を実装する社会



TSLAテスラ



トヨタ自動車



HSBC ESG米国株式インデックスファンド



ICLN / iシェアーズ グローバル・クリーンエネルギー ETF

2022.09.09 Copenhagen

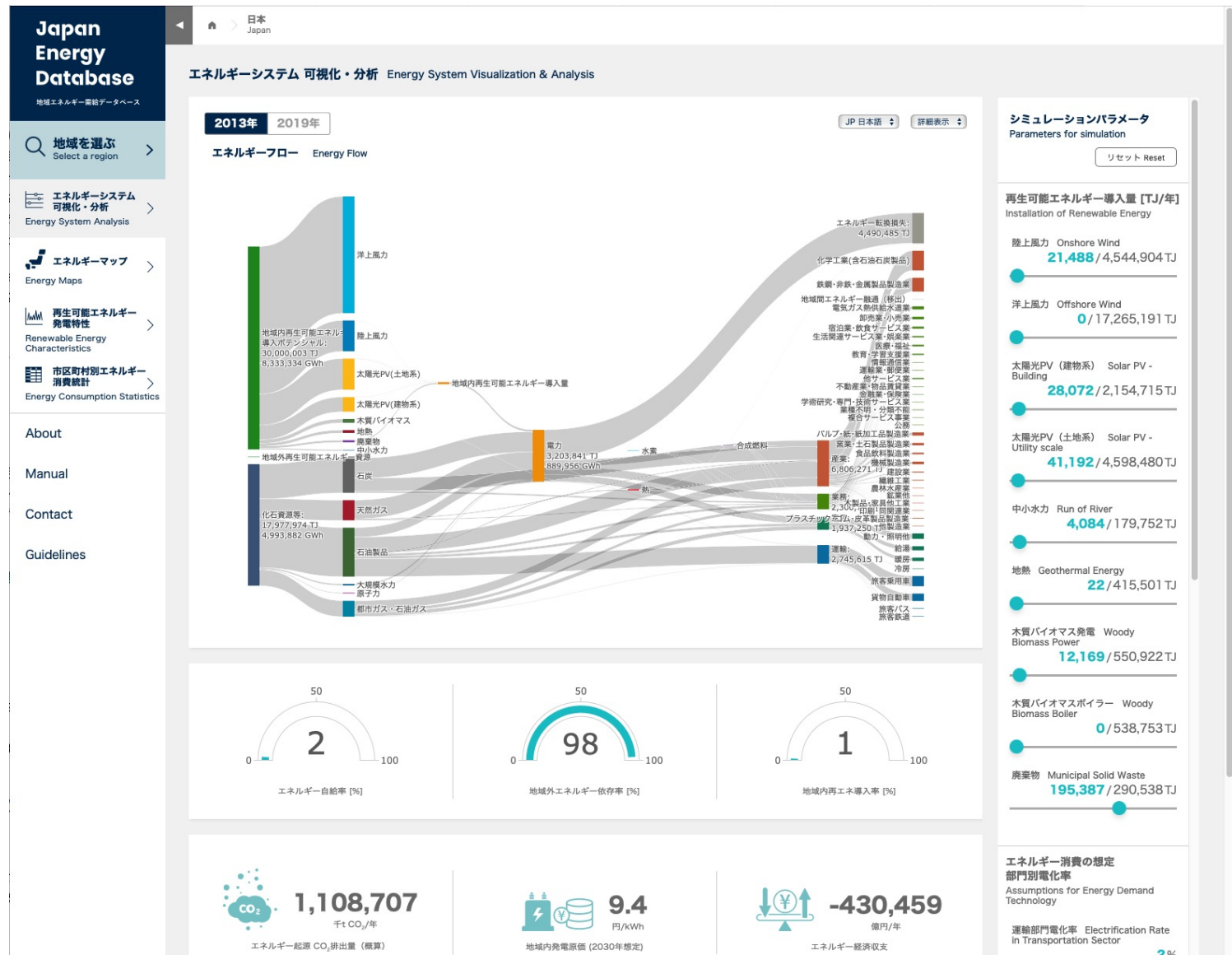


地域エネルギー需給データベース

Japan Energy Database

地域エネルギー需給データベース

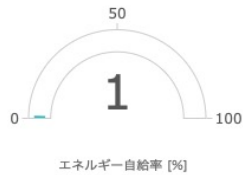
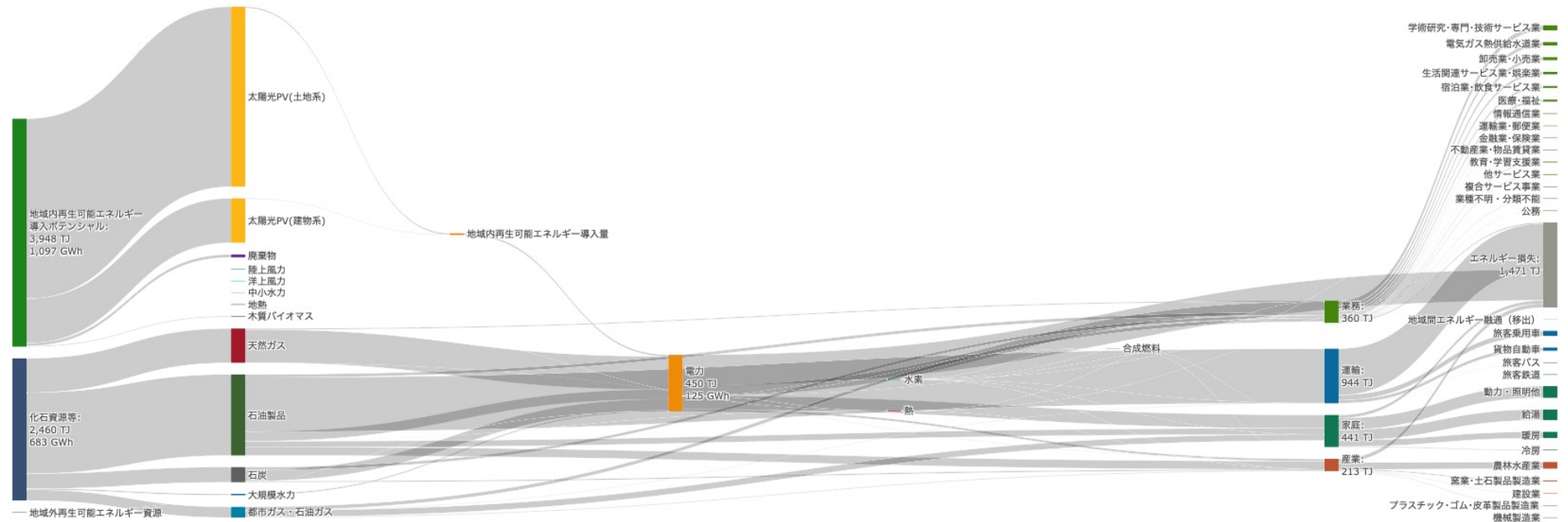
<https://energy-sustainability.jp>



2013年 2019年

JP 日本語 詳細表示

栃木県高根沢町 エネルギーフロー TOCHIGI TAKANEZAWA Energy Flow



システムデザインの ガイドライン

JED

SIP 戦略的イノベーション
創造プログラム
Cross-ministerial Strategic
Innovation Promotion Program

戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第2期
「IoT社会のエネルギーシステム」

地域エネルギー システムデザインの ガイドライン

