



エネルギー需要側対策を中心としたGX の展望

2023.3.6

地球環境産業技術研究機構（RITE）
研究所長

下田 吉之



1.

ここまでの講演のWrap-up



2.

エネルギーシステムのカーボンニュートラルの条件

エネルギーシステムのCNの条件

- 年間のエネルギーバランス
(年間合計において)

カーボンフリーエネルギー = エネルギー需要

- 電力システムの需給バランス
(瞬時において)

カーボンフリー電力の供給 = 電力需要



第1の方程式

$$\text{カーボンフリーエネルギー} = \frac{\text{エネルギー需要}}{\text{サービス}} \times \frac{\text{サービス}}{\text{充足度}} \times \frac{\text{充足度}}{\text{人口}} \times \text{人口}$$

再生可能エネルギー

右辺第1項：エネルギー効率の逆数

原子力

右辺第2項：ライフスタイル効率の逆数

ブルー／グリーン水素・アンモニア
(及びそれらからなる合成燃料)

サービス：エネルギー消費機器から産み出される熱・光・情報など

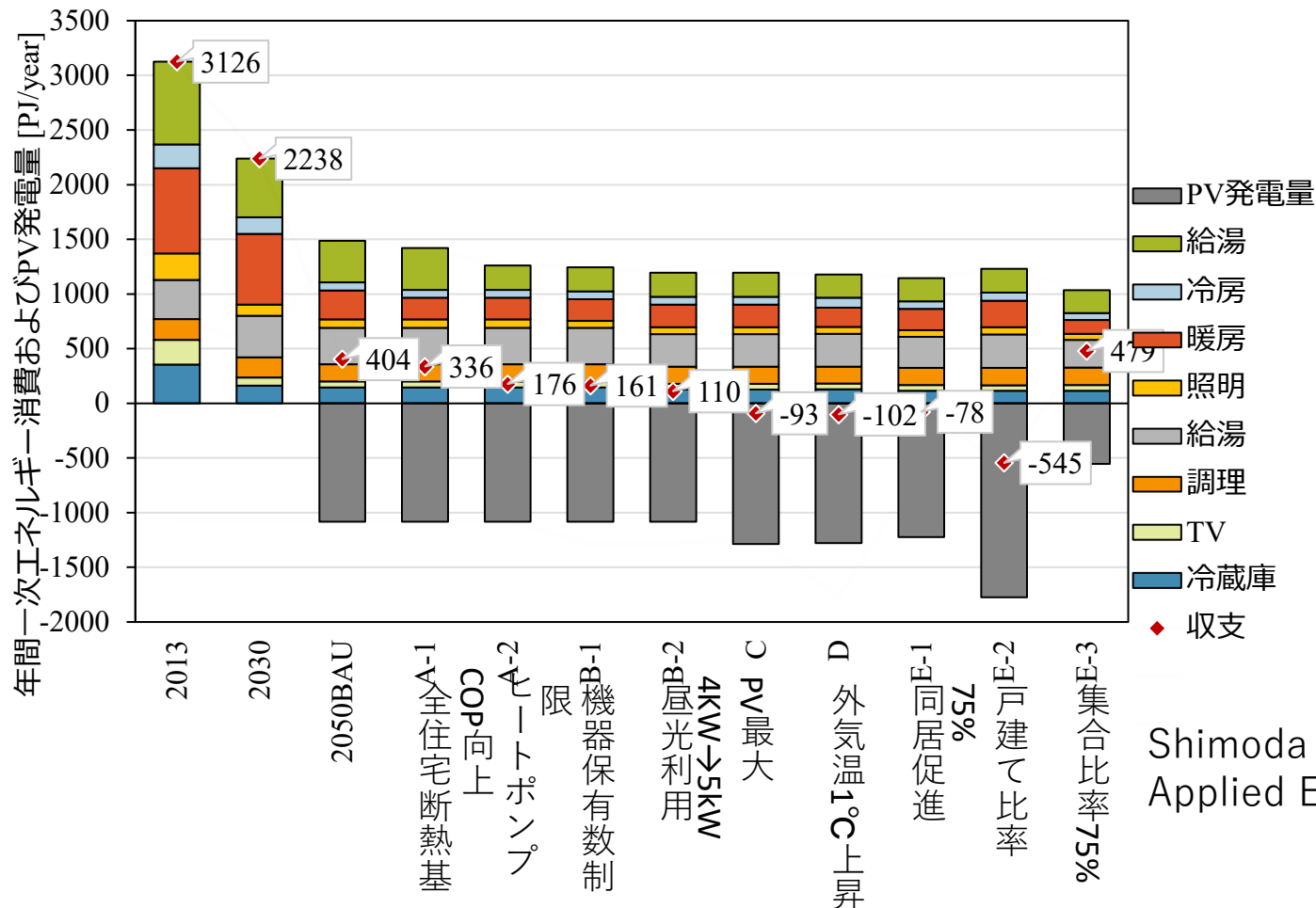
充足度(Sufficiency)

CCSつき化石燃料火力

- 現時点で再生可能エネルギー電力の比率20%程度。再生可能エネルギー比率を80%にするとすれば、これを4倍にするよりも、電力需要を50%にして再生可能エネルギー電力を2倍にする方が現実的

2050年エネルギー消費半減は可能？

- 2050年ゼロエミッションの評価。現在利用可能な技術で**50%程度の省エネが可能**。屋根置きPVでポジティブエネルギー化も可能。



Shimoda et al.
Applied Energy (2021)

第2の方程式

カーボンフリー電力の供給 = 電力需要

変動性再生可能電力（太陽光・風力）

原子力

調整可能再生可能電力
（水力・バイオマス）

ブルー／グリーン水素・アンモニア火力

CCSつき化石燃料火力

蓄電

水素

蓄熱

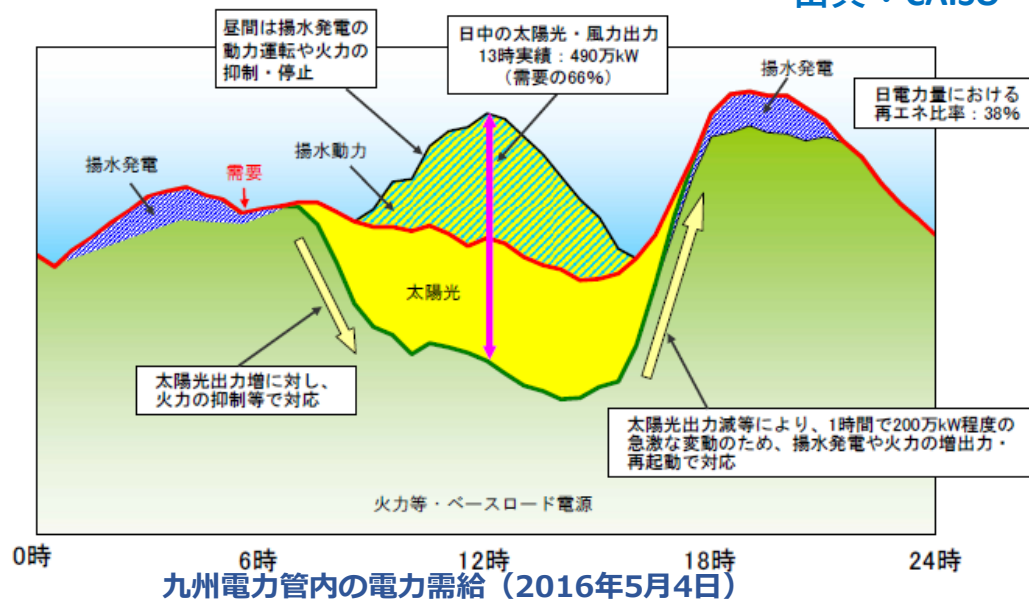
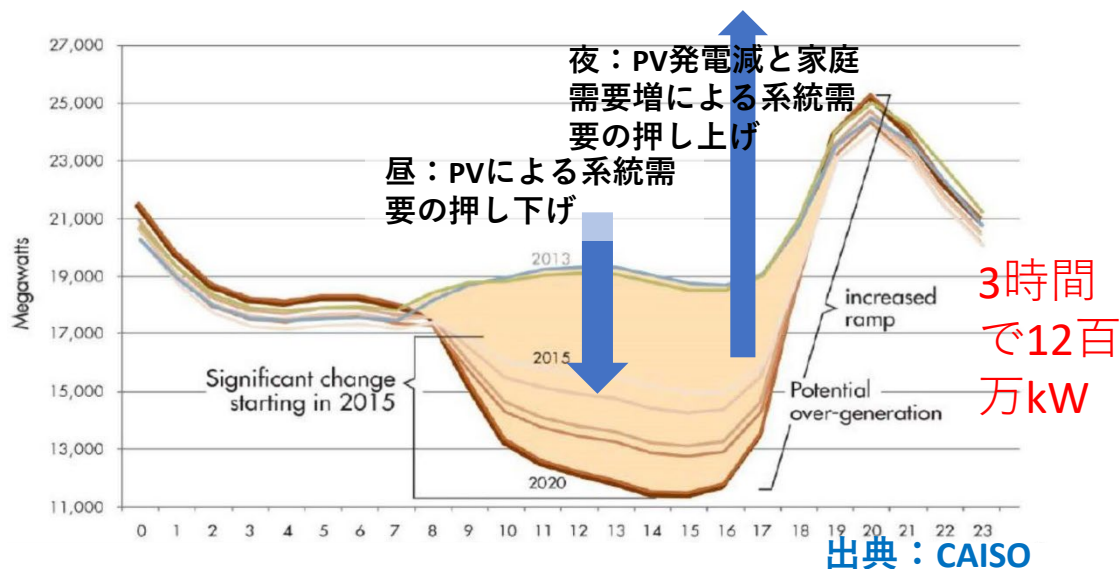
デマ
ンド
レス
ポンス

時間変動性の大きな需要（建築・住宅）

時間変動性の小さな需要（多くの工場・データセンター）

パルス状の需要（電気自動車の充電）

太陽光発電急拡大の影響

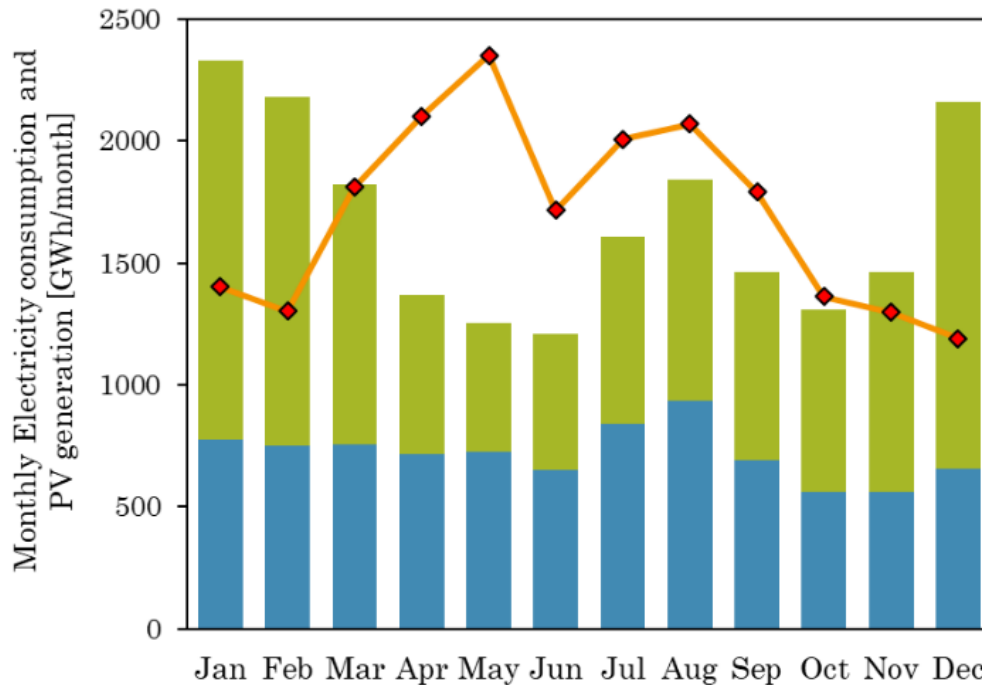


出典: 九州電力資料 (2016年7月)

カリフォルニアのダックカーブ(CA ISO) 夕方の急激な系統発電要求上昇に対応するため、火力発電を準備する必要。2020年8月にはこの時間帯に計画停電実施。EVの普及と、夕方の充電はこの変動を加速。

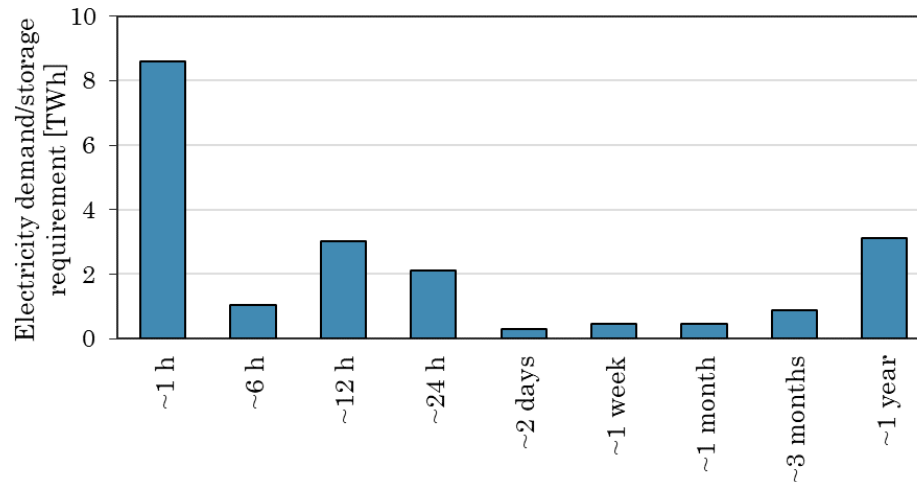
昼間の余剰の自己消費(ヒートポンプ給湯機など)
デマンドレスポンスによる夕方の需要急上昇の緩和
蓄電、蓄熱、EVのスマートチャージ、バイオマス・太陽熱の利用。

季節間需給のアンバランス



日本の民生家庭部門で省エネと太陽光により年間エネルギー収支が釣り合う状態の月別収支

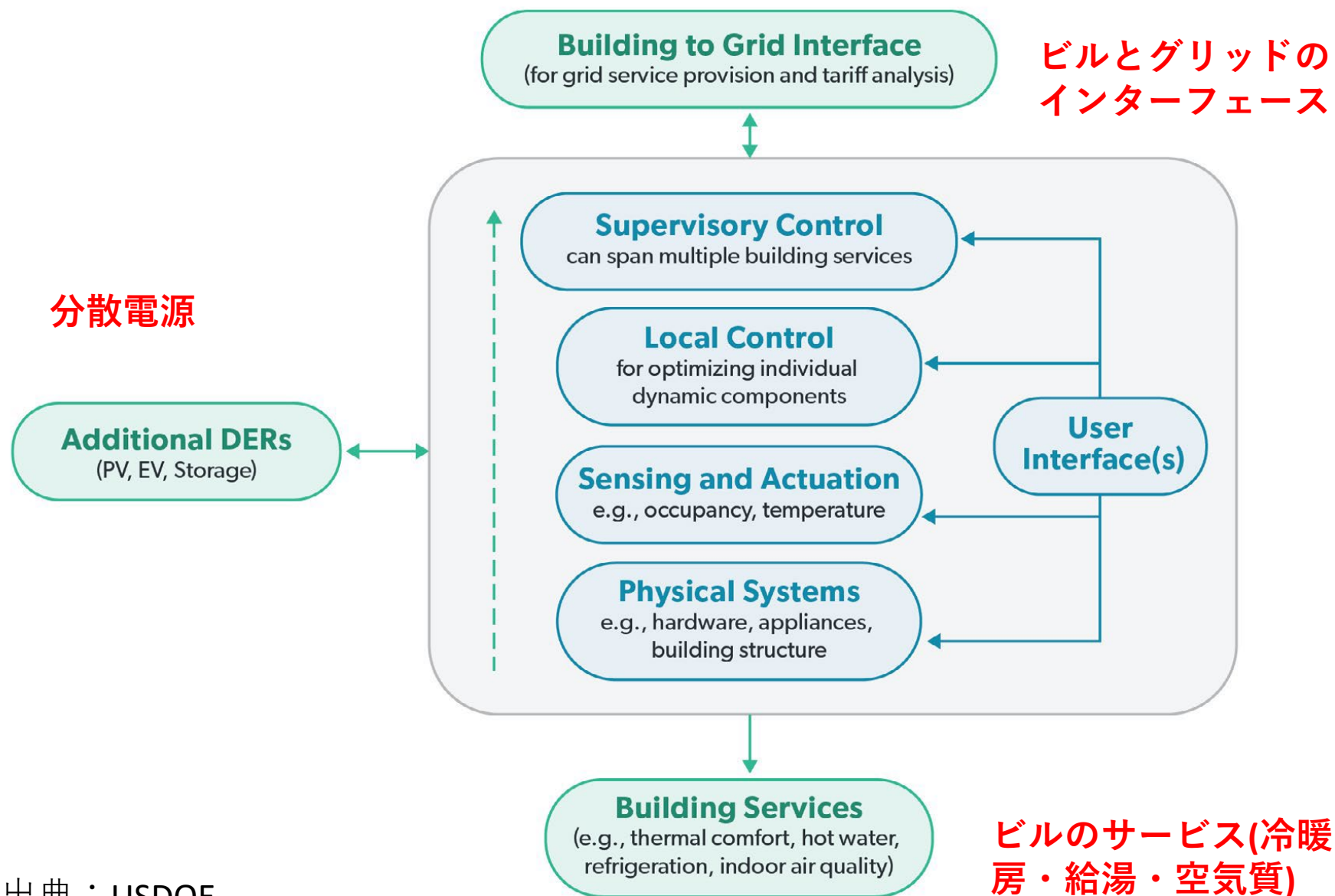
■ Supply from grid
■ Self consumption
◆ PV Generation



電力需要の22%は一週間以上の蓄電を要する。→ 長期蓄電媒体としての水素の必要性

Shimoda et al. Applied Energy (2021)

Grid-interactive efficient buildings



- 1. 誰が
 - 2. どのくらいの量の
 - 3. どのような種類のエネルギーを
 - 4. どのような目的のために
 - 5. どのくらいの期間
 - 必要とするようになるのか？
-
- 需要の一つ一つを特定し、分類することがエネルギーマネジメントの基礎



3.

エネルギー需要とサービス需要

- エネルギー需要は「派生需要」。
- われわれはエネルギーを直接消費しているわけではなく、消費しているのは「サービス」

$$\text{カーボンフリーエネルギー} = \frac{\text{エネルギー需要}}{\text{サービス}} \times \frac{\text{サービス}}{\text{充足度}} \times \frac{\text{充足度}}{\text{人口}} \times \text{人口}$$

- 充足度を高めるために必要なサービスの絞り込み(Avoid)、サービスを提供するシステムの変更(Shift)、サービスをできるだけ少ないエネルギーで供給する(Improve)によって大幅なエネルギー需要が削減できる(IPCC WG3 Chap5)

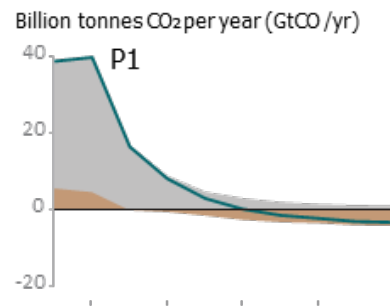


IPCC 1.5°C特別報告書

• 1.5°C目標を達成する4つのシナリオ類型

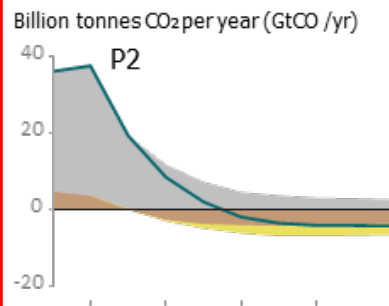
Breakdown of contributions to global net CO₂ emissions in four illustrative model pathways

● Fossil fuel and industry ● AFOLU ● BECCS

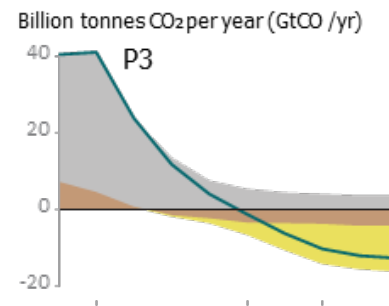


需要32%減、RE
77%BECCS無し

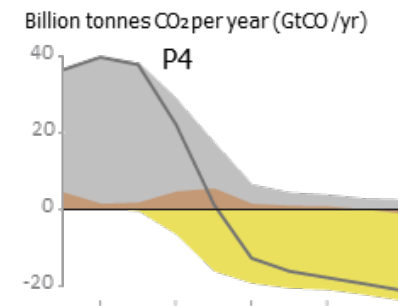
LEDシナリオ
(Low Energy
Demand)



需要2%増、RE 81%,
BECCS 151Gt



需要21%増、RE
63%, BECCS 414Gt



需要44%増、RE
70% BECCS 1191Gt

残りのシナリオではネガティブエミッション技術を利用

出典：IPCC 1.5°C特別報
告書政策決定者向け要約



LEDシナリオについて



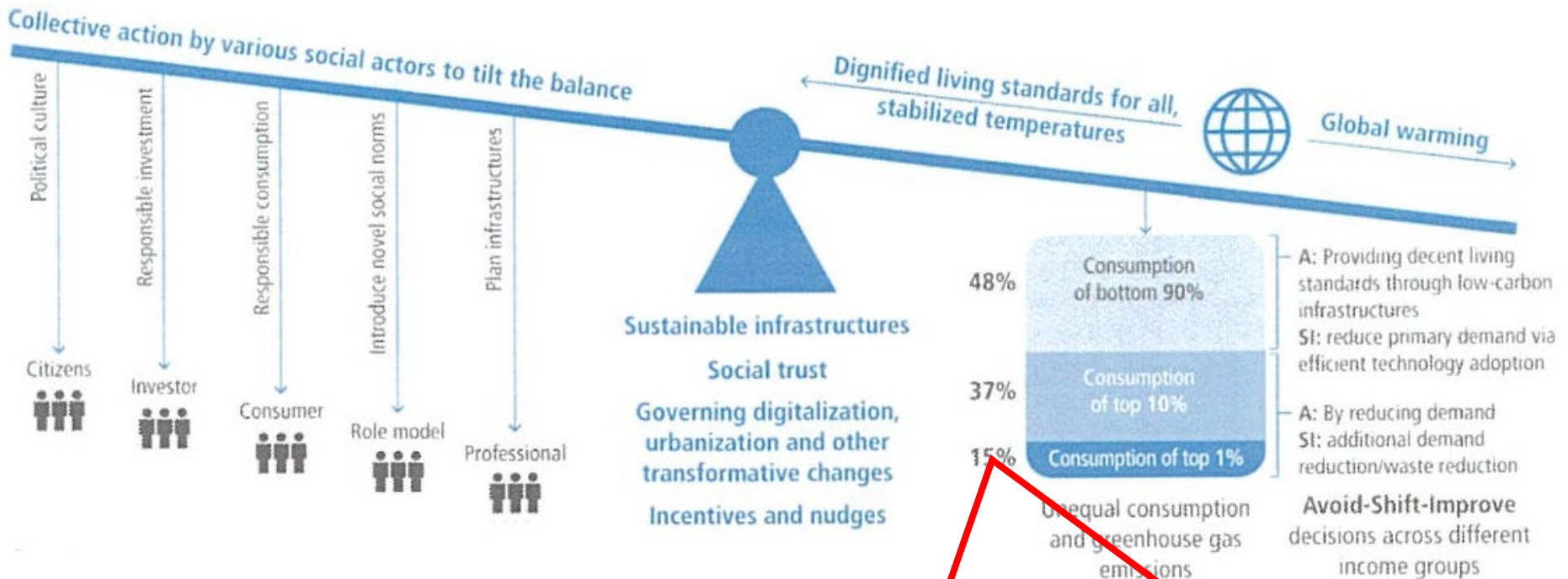
- IIASAのLED(Low Energy Demand)シナリオ
(Grubler et al. Nature energy, 2018)
- **Quality of Lifeの充実，都市化，革新的なエネルギーサービス，最終需要家の役割の変容，情報革新**の5つのドライバーにより変化がもたらされる。
- **最終需要とエネルギーサービス（エネルギーを使って何を求めているのか？）**に着目
- 徹底的な省エネルギーが**情報化**（デジタル化、テレワークなど）、**シェアリングエコノミー**、**電化**によりもたらされる。

LEDシナリオが設定する2050年のサービス

最終サービス需要	活動レベル (Global North)	エネルギー密度
熱的快適性 (冷暖房サービス)	ほぼ現在のGlobal Northと同様で全世界が30m ² /人に	75%削減されて160-170MJ/m ²
消費財	2倍に増加して42機器/人 (調理や農業で増加)	照明と機器の省エネで93→82kWh/機器へ
モビリティ	陸上交通の減少で20%減少 (鉄道・航空は増加)	主に陸上交通の電化、シェアリング、公共交通等で70%減少。
食品	栄養の転換に併せて70～100%増加(全世界)	未定量化
商業・公共建築	43%増加して23m ² /人	76%減少して139MJ/m ²
産業	脱物質化と物質効率改善で素材需要が15%減少し6.4Gt(全世界)	1/5減少して16.7GJ/t
貨物輸送	20%伸びて64×10 ¹² tkm	トラック10%減で0.5-0.7MJ/tkm、鉄道10%減で0.2MJ/tkm ⁻¹

エネルギー消費の不公平の解消

Tilting the balance towards less resource intensive service provisioning



世界のトップ1%の人口が15%のエネルギーを消費、上記以外のトップ10%が37%、下位90%が48%のエネルギーを消費している。上位層は需要の削減を、下位層は低炭素インフラによるdecent living standardsの確保と、効率的技術の適用を

Avoid-Shift-Improve フレームワーク

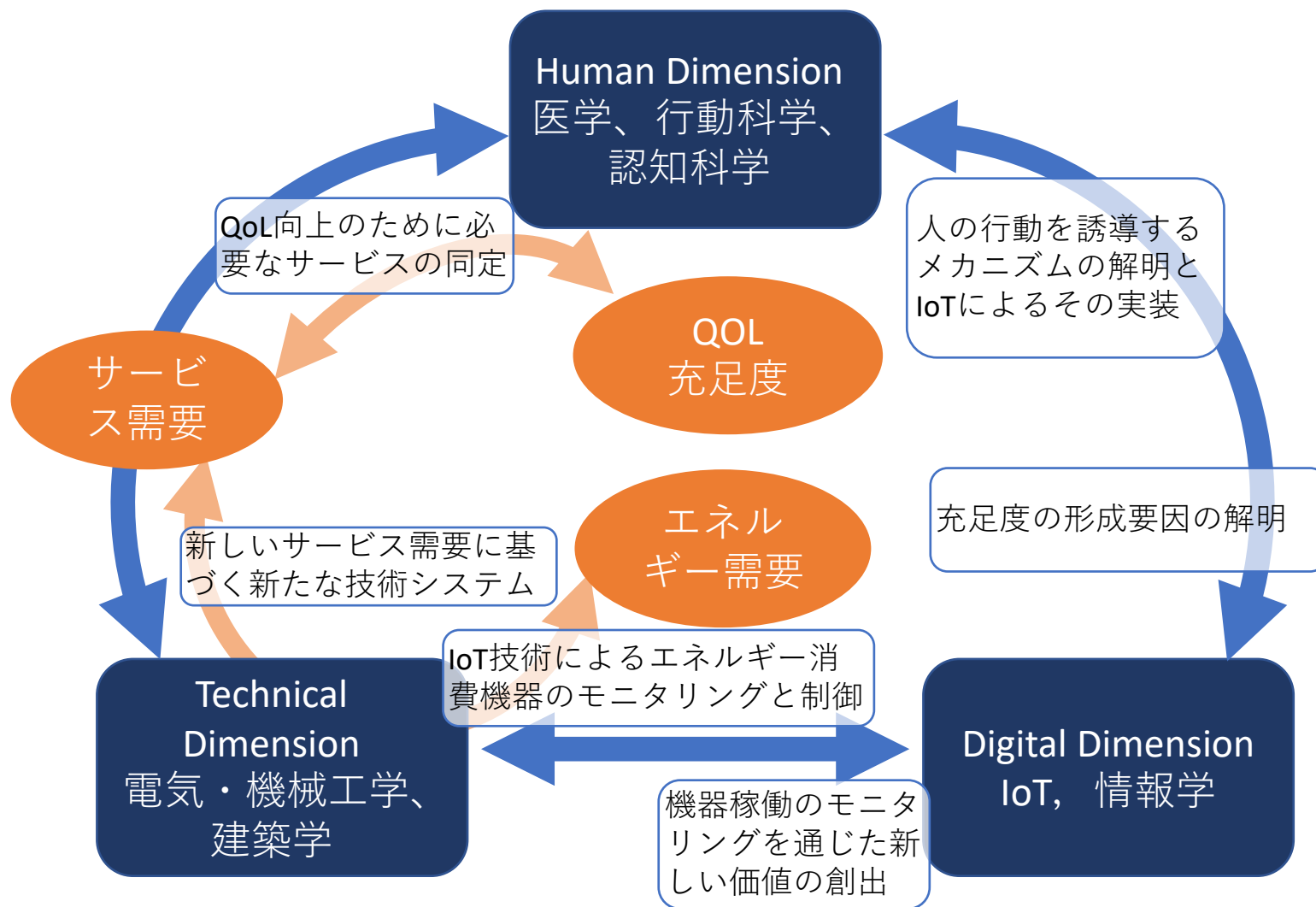
サービス	Avoid	Shift	Improve
モビリティ(人の移動)	人キロを減らすイノベティブなモビリティ(土地利用との統合、スマートロジスティクス、テレワーク、コンパクトシティ、長距離飛行の回避)	人キロあたりエネルギーを減らすオプションを増やす(モーダルシフト、自転車利用、歩行、公共交通、飛行機から高速鉄道へ)	機器のイノベーション(軽量自動車、水素自動車、電気自動車、エコドライブ)
シェルター(住宅駆体)	床面積をできるだけ削減するデザイン	物質効率のいい住宅(物質密度の低い住宅デザイン)	低排出住宅デザイン(木材など排出量の少ない材料の利用)
熱的快適性	健康な室内温度の選択(ドレスコードや労働時間の変化)	建築デザインによる熱負荷低減(パッシブデザイン)	熱負荷・CO2排出を低減する新技術(太陽熱・断熱・ヒートポンプ・地域暖房)
製品・機器	機器あたりサービスの増加(長寿命化、シェアリングエコノミー)	製品あたり重量を減らすイノベーション(物質効率の良い製品デザイン)	新しい素材の選択(低炭素材料、新しい製造プロセス)
栄養	カロリーの削減と最適化(必要と健康ガイドラインに従ったカロリー摂取、食品廃棄物削減)	カロリーあたりCO2を減らすようメニューを多様化(牛肉や牛乳以外の蛋白源)	カロリーあたりCO2を減らす(農作業の改善、エネルギー効率の良い食品加工プロセス)
照明	人工照明需要の削減(人感センサー・照明制御)	自然光を活用する建築デザイン(昼光照明の最大化)	イノベティブな照明(LED照明)

4.

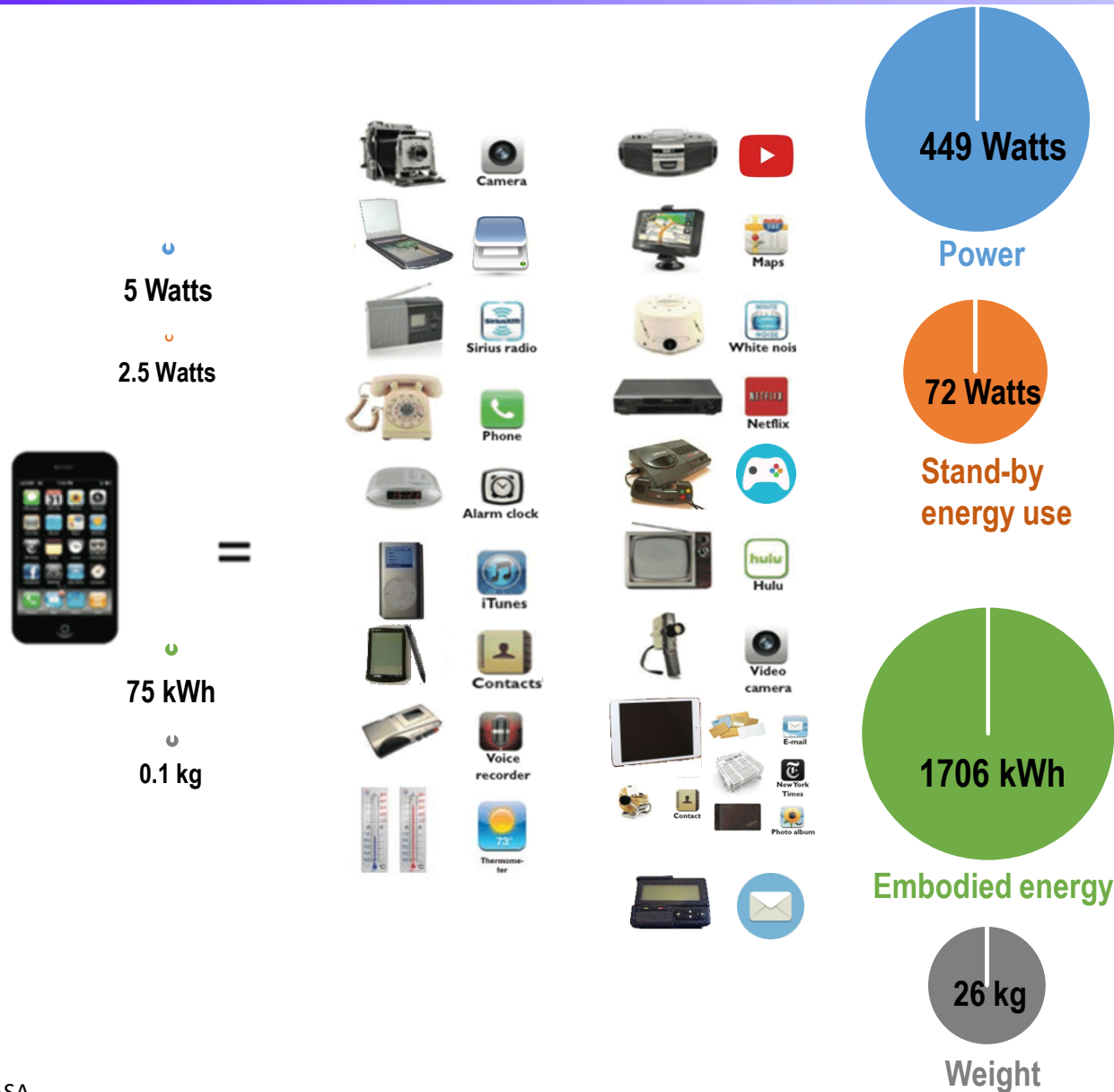
デジタル化によるエネルギー需要への影響



エネルギー需要科学の構造

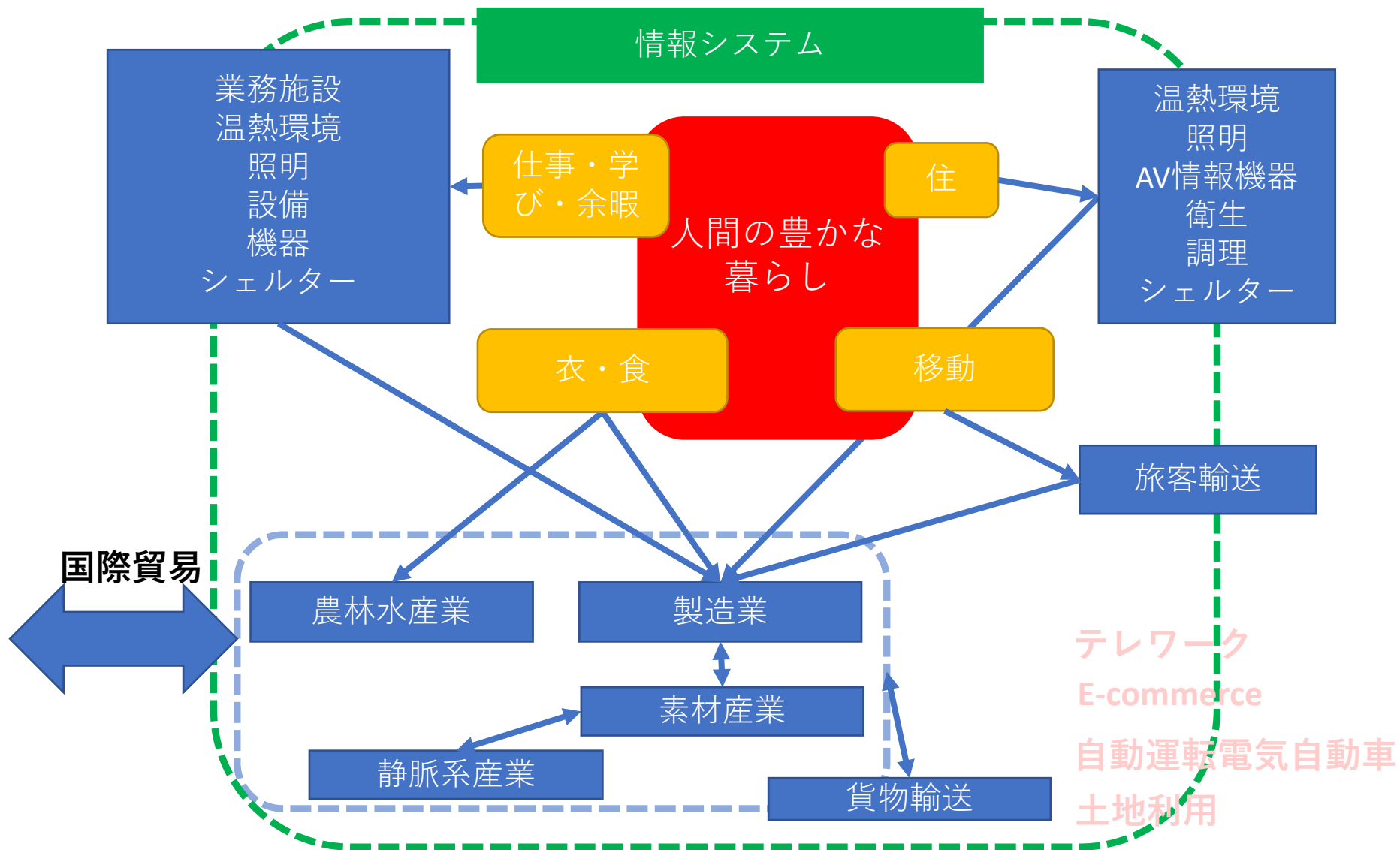


LEDシナリオ : Digital Convergence

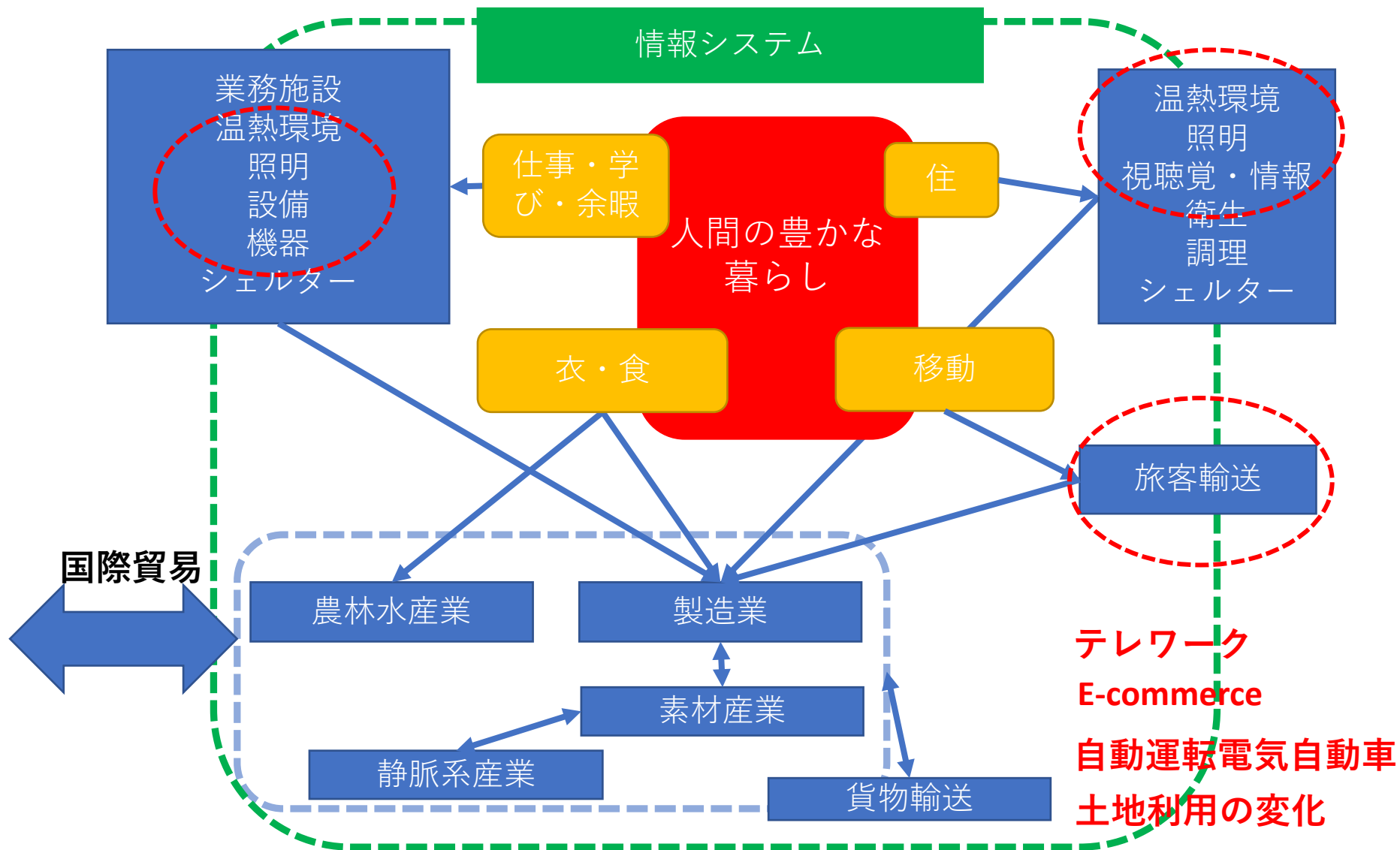


- スマートフォンは省エネのために機能を拡張したのではない。デジタル技術の進展を背景に、機器の持つサービスを拡張したことが、結果としてエネルギー消費を低減させる。
- 機器消費エネルギー削減の一方で以下の点が課題。
 - GPS, カーナビゲーション機能など多くのサービスは遠隔のデータセンターが情報を処理している。そのエネルギー消費を考慮したときに本当に省エネルギーになっているか？
 - 統合される以前の各機器はスマートフォンより寿命が長い。従って機能統合によって機器の寿命は短くなり、使用時消費エネルギーに対するEmbodied(機器に内包された)エネルギーの比率は高くなり、機器の環境設計やリサイクルが重要になる。

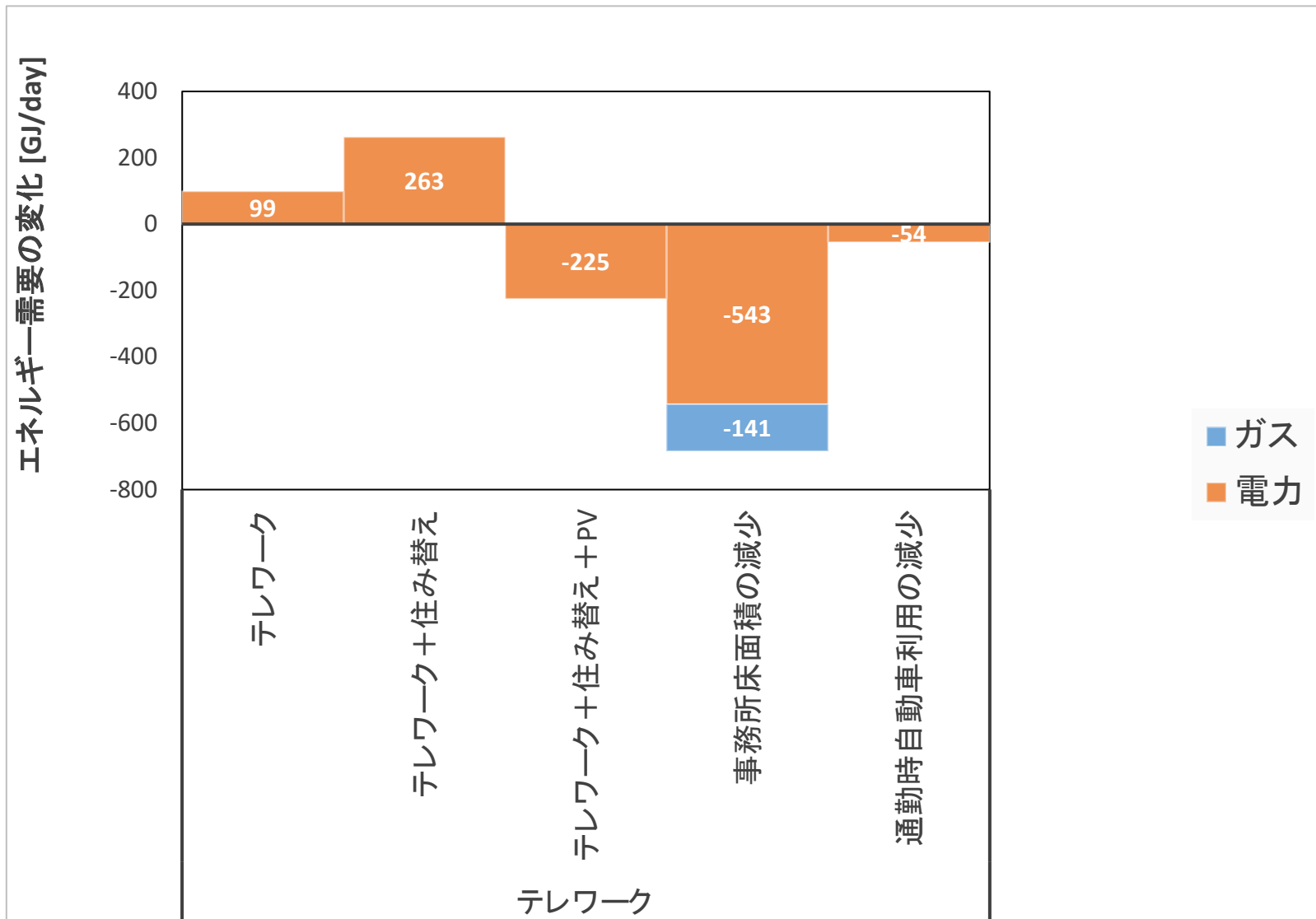
デジタル化は部門を超える変革を生む



デジタル化は部門を超える変革を生む



テレワークによる土地利用への影響



- 脱物質化・物質利用効率の向上
 - サービス化 [レンタル]
 - リユース・リサイクル、リマニュファクチャリング、シェアリングエコノミー
 - 長寿命化、メンテナンスの高度化
 - 軽量化、エコデザインによる材料の節約
- 生産の効率化・脱炭素化
 - エネルギー効率改善・脱化石燃料生産
 - オンデマンド生産
 - 3Dプリンティング
 - 高度な需要予測・サプライチェーン (Industry 4.0)

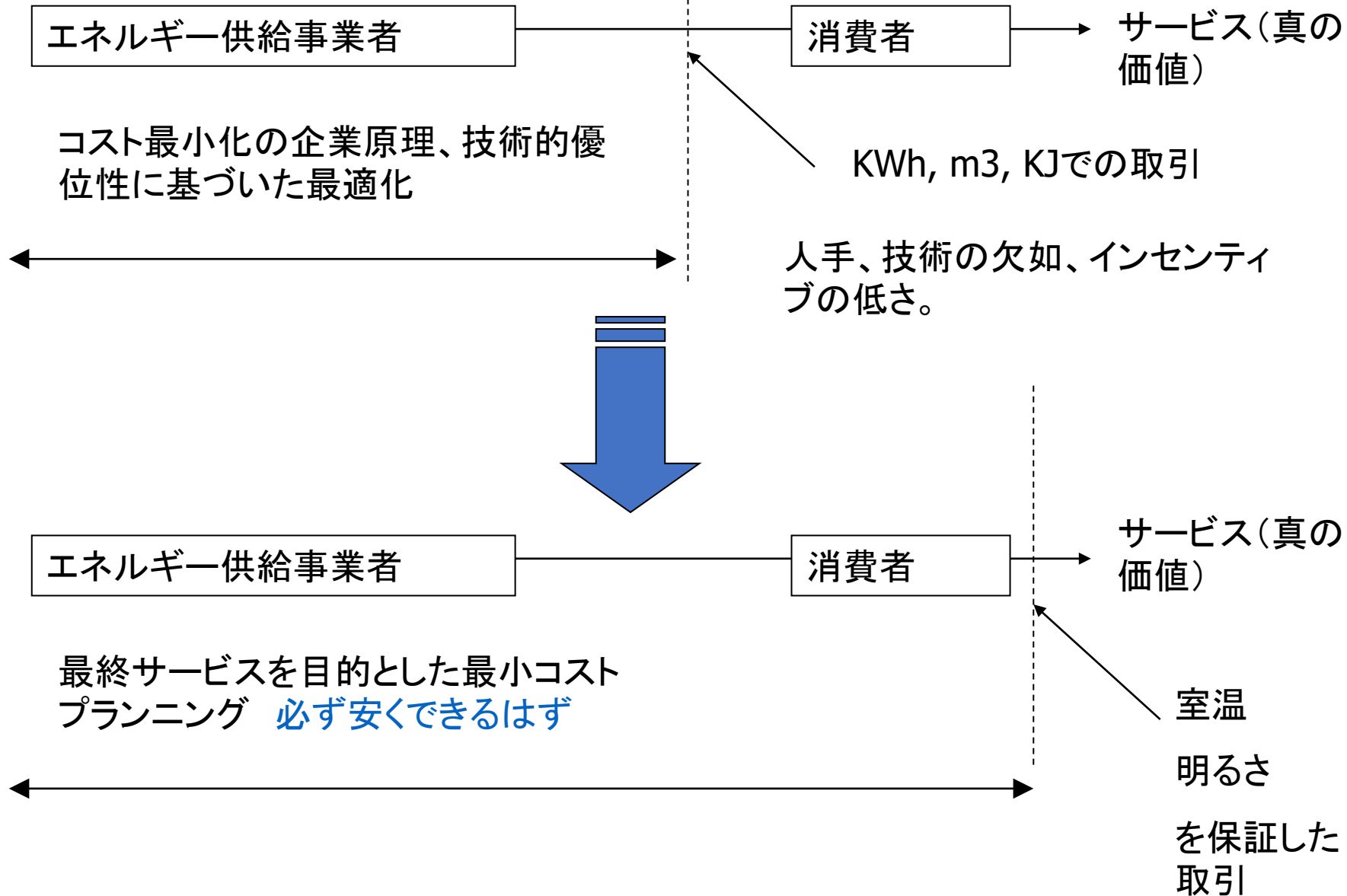


5.

需要の変化を如何に実現し、競争力ある産業の成長に結びつけるのか。

- 製品ではなくサービスを売るビジネス。
- 生産者は消費者のニーズに沿うように製品の機能を提供する仕組みを変える。
- 所有権が生産者の手元に残るので、廃棄時の環境負荷軽減努力が働きやすい。
- 最近、製品以外にも交通(Mobility as a Service)等に概念が拡大。
- エネルギーでは？

環境保証型エネルギーサービス





小さな技術と小さな主体

- 小さな技術
 - エネルギー供給の一部は太陽光・風力など「小さな技術」に。
 - エネルギー需要も機器単位に分割すると「小さな技術」。同じ機器でも使われ方に違い。
 - デジタル化が全体のマネジメントを可能にする。
- 小さな意思決定主体
 - 家庭や中小事業者に。
 - 経済的最適解だけでは判断しない。
 - 情報の不足
 - 大きな投資がおこないにくい。
- ある大きさにまとめることが必要。



まち（都市・コミュニティ）の重要性

- 民生・旅客運輸部門エネルギー需要の大部分を占める住宅・建築・家電・設備・乗用車・供給処理施設などは**わが国の技術水準が高く、世界の脱炭素化に対して貢献できる分野**
- これら分野で脱炭素技術への需要を高め、更なるイノベーションを生み出し、脱炭素化とグリーンリカバリーに貢献するためには、**継続的で意欲的な政策による性能向上の誘導と、普及のための国民の参画が必要**。特に脱炭素化達成のためには**全ての世帯に普及させていくことが重要**。
- **国民・家計の共感を得るためには、投資回収など経済的合理性を追求するだけでなく、これらの財から構成される人々に魅力のある脱炭素社会の姿を示すことが重要**。今後は乗用車が電化され、住宅・建築と繋がっていくなど「まち」としての取り組みが重要になる。

まちの重要性（日本の優れた技術）

- 住宅・建築の設計・施工技術
 - プレハブ住宅
 - シミュレーションを活用した環境共生建築デザイン
- 設備技術
 - パッケージエアコン
 - 大型冷凍機
 - ヒートポンプ給湯器
 - 照明技術 LED
 - 分散型発電技術 燃料電池など
 - 蓄電技術 リチウムイオン
 - 建物設置型太陽光 ペロブスカイト
- 各種家電機器
- 電気自動車、水素自動車 充電・充填インフラ
- 送配電・ガス供給、上下水道・廃棄物とエネルギー統合
- 機器や各種センシングデータをIoT技術でつないだマネジメントシステムによる統合管理（ハードと一体となったソフト開発）

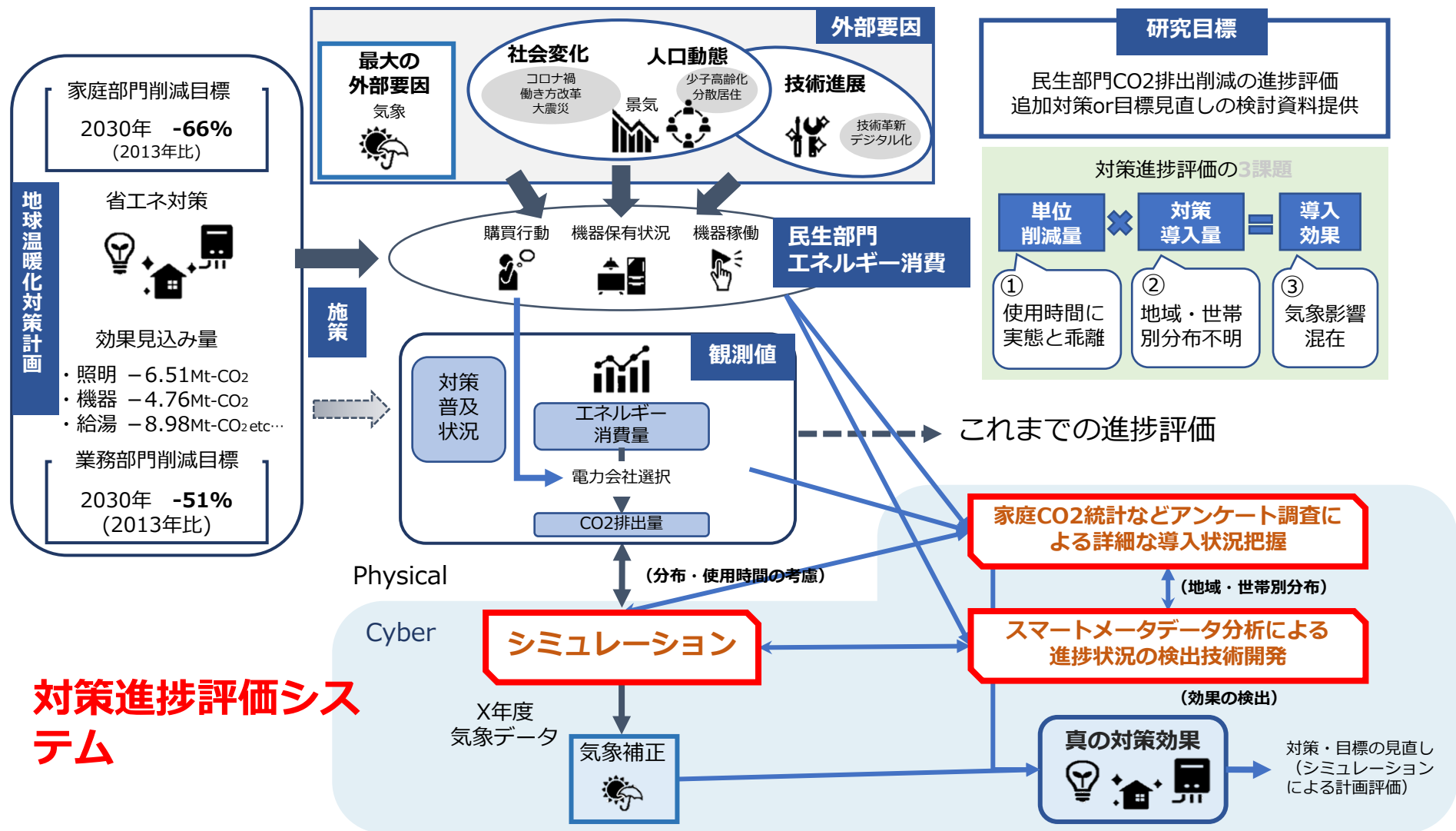
} アジア・アフリカの
冷房の拡大の中で特
に重要な技術。

- 我が国は機器の要素技術について優れる一方、
 - それぞれの要素を都市・コミュニティで統合・最適化する**システム化**
 - **脱炭素化のみならず SDGs 全体に配慮し、景観など魅力あるまち・ライフスタイルを創造するデザイン力**
- では遅れており、何らかの対策が必要。
- 脱炭素化技術が、GHG 削減性能のみで表現される「**レストランのメニューのカロリー表**」から、**コベネフィット**を含め、それ自身が国民を惹きつける「メニュー」自身にならないければ普及は望めない。

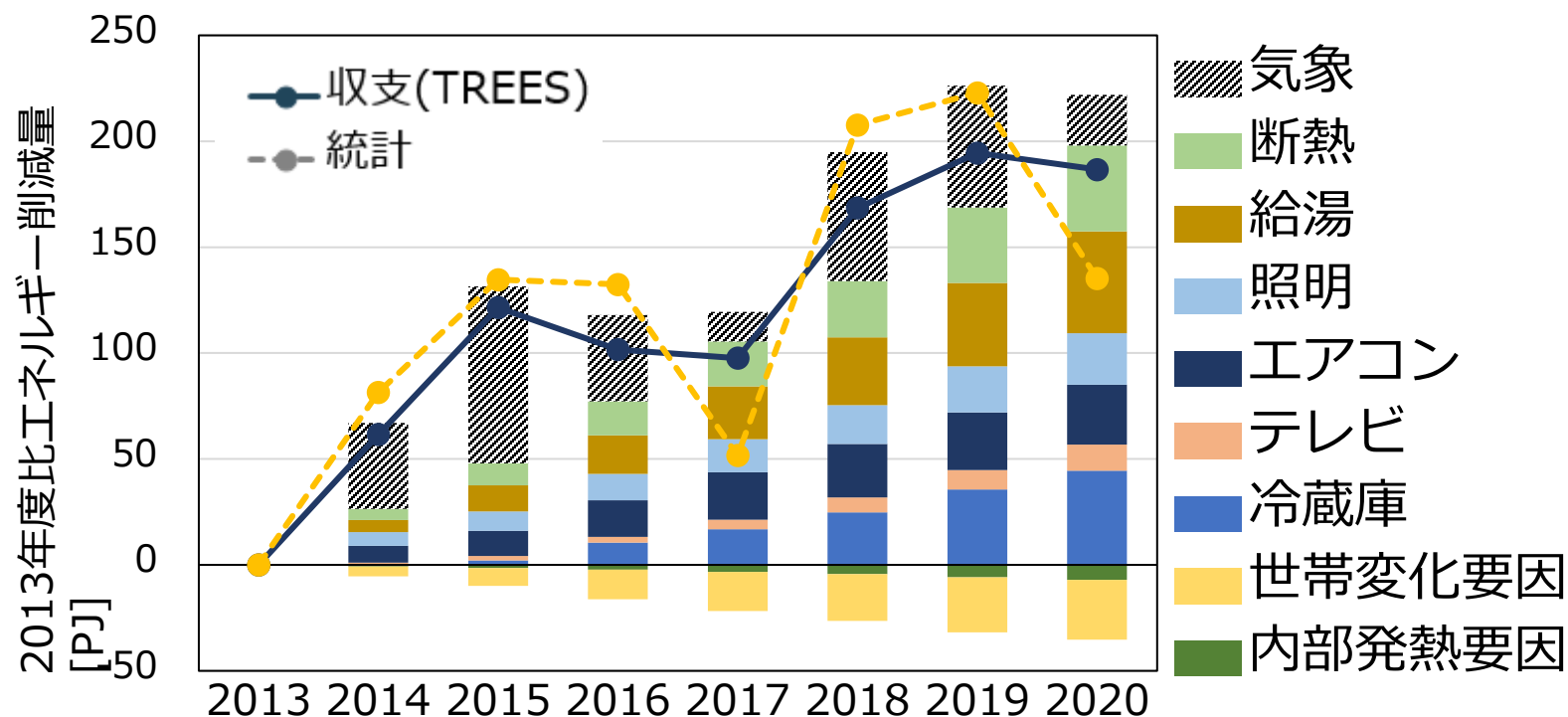
地球温暖化対策計画：対策のボトムアップ

対策		2013	2030	エネルギー需要削減量 [PJ]		
				合計	電力	燃料
新築住宅の省エネルギー基準遵守		6%	30%	121. 8	30. 5	91. 3
既存住宅の省エネルギー改修				16. 5	4. 3	12. 2
高効率給湯器 [台]	HP給湯器	4, 220, 000	14, 000, 000	104. 1	-10. 2	114. 3
	潜熱回収給湯器	4, 480, 000	27, 000, 000			
	燃料電池	55, 000	5, 300, 000			
高効率照明の導入		9%	およそ100%	77. 9	77. 9	0. 0
トップランナー基準による家電効率の向上		-	-	51. 7	40. 6	11. 1
HEMS・スマートメーターによるエネルギーマネジメント		0. 2%	およそ100%	69. 1	69. 1	0. 0
国民運動（クール/ウォームビズ、機器更新の促進、家庭エコ診断）		-	-	8. 7	4. 1	4. 5
合計				449. 8	216. 4	238. 5

対策進捗評価システム



家庭部門の対策評価結果



家庭部門の省エネで1割程度の遅れが生じている恐れ



ご清聴ありがとうございました。