

2020年9月14日

---

# 正味ゼロ排出実現に向けたエネルギー 展望：デジタル化のインパクト

---

(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)

システム研究グループ グループリーダー

秋元 圭吾



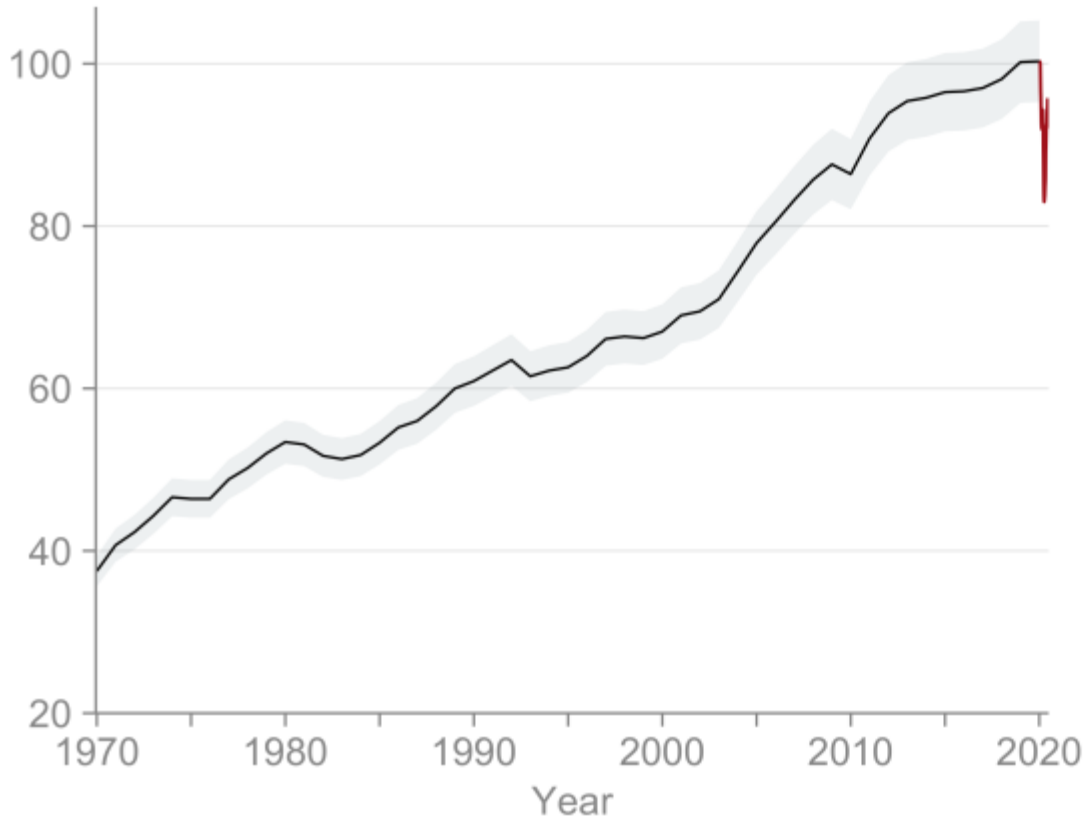


# 1. 地球温暖化対応の状況と方向性

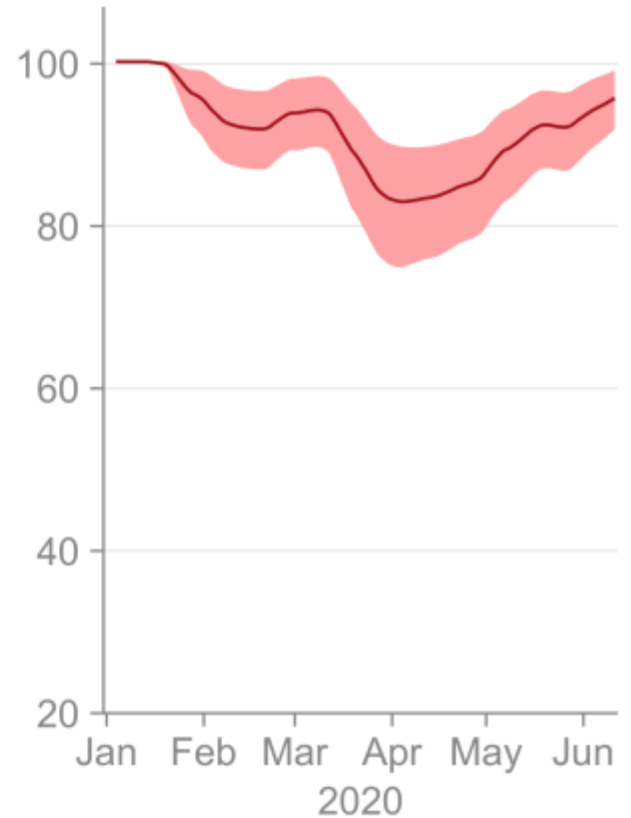


# 世界のCO<sub>2</sub>排出量の推移

Global daily fossil CO<sub>2</sub> emissions  
MtCO<sub>2</sub> day<sup>-1</sup>



MtCO<sub>2</sub> day<sup>-1</sup>



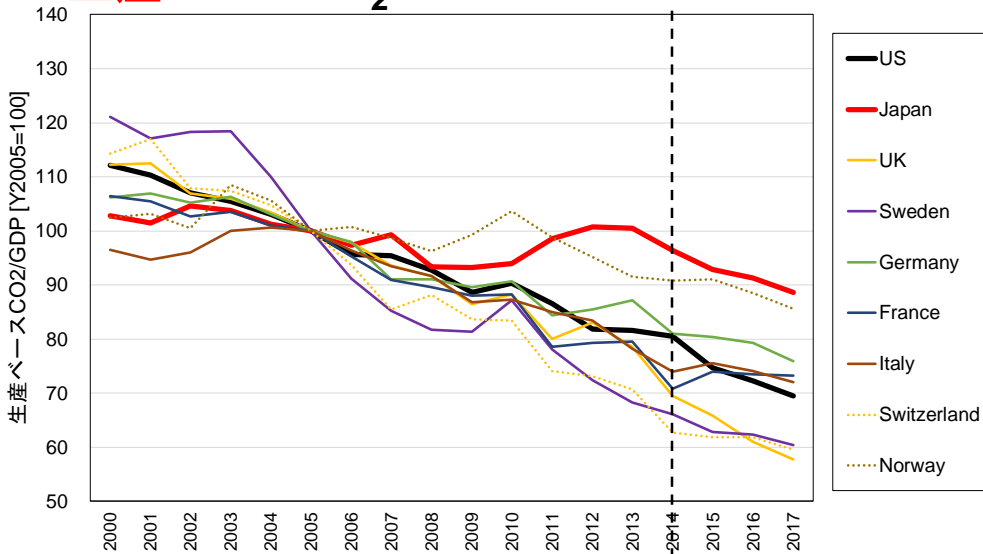
© Source: Le Quéré et al. Nature Climate Change (2020); Global Carbon Project

出典) Global Carbon Project

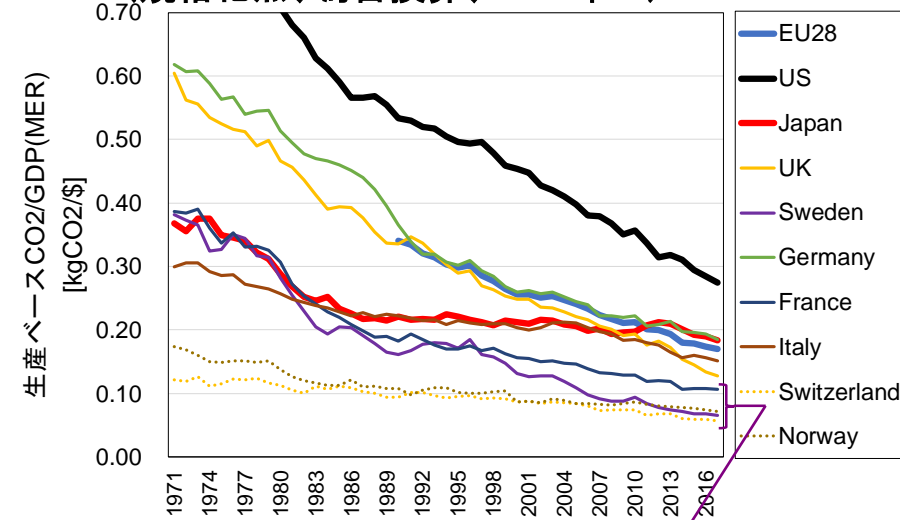
■ 経済とCO<sub>2</sub>排出量のカップリングは続いている。

# 日、米、欧州主要国の GDP当たりCO<sub>2</sub>排出量(原単位)の比較:

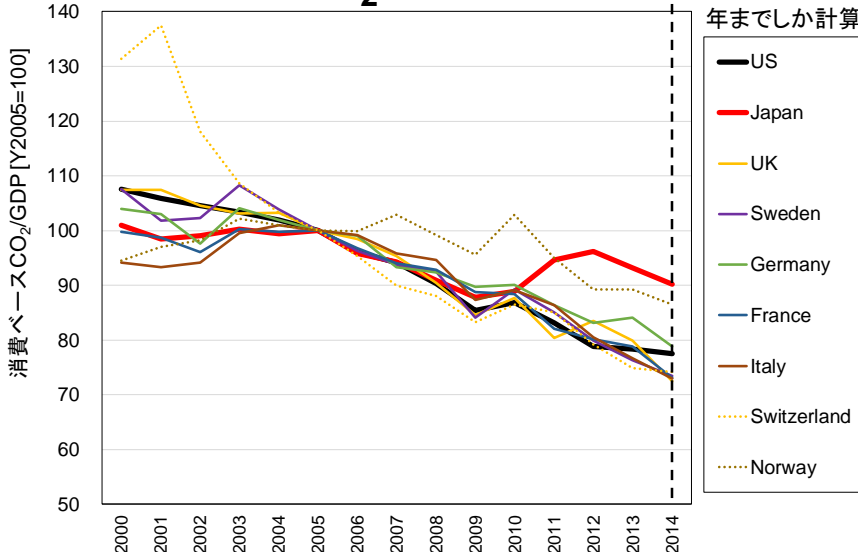
## 生産ベースCO<sub>2</sub>/GDP



## 【参考】生産ベースCO<sub>2</sub>/GDP (規格化無、為替換算、1971年～)



## 消費ベースCO<sub>2</sub>/GDP



消費ベースCO<sub>2</sub>は国際産業連関表のデータ年により現時点では2014年までしか計算できない。

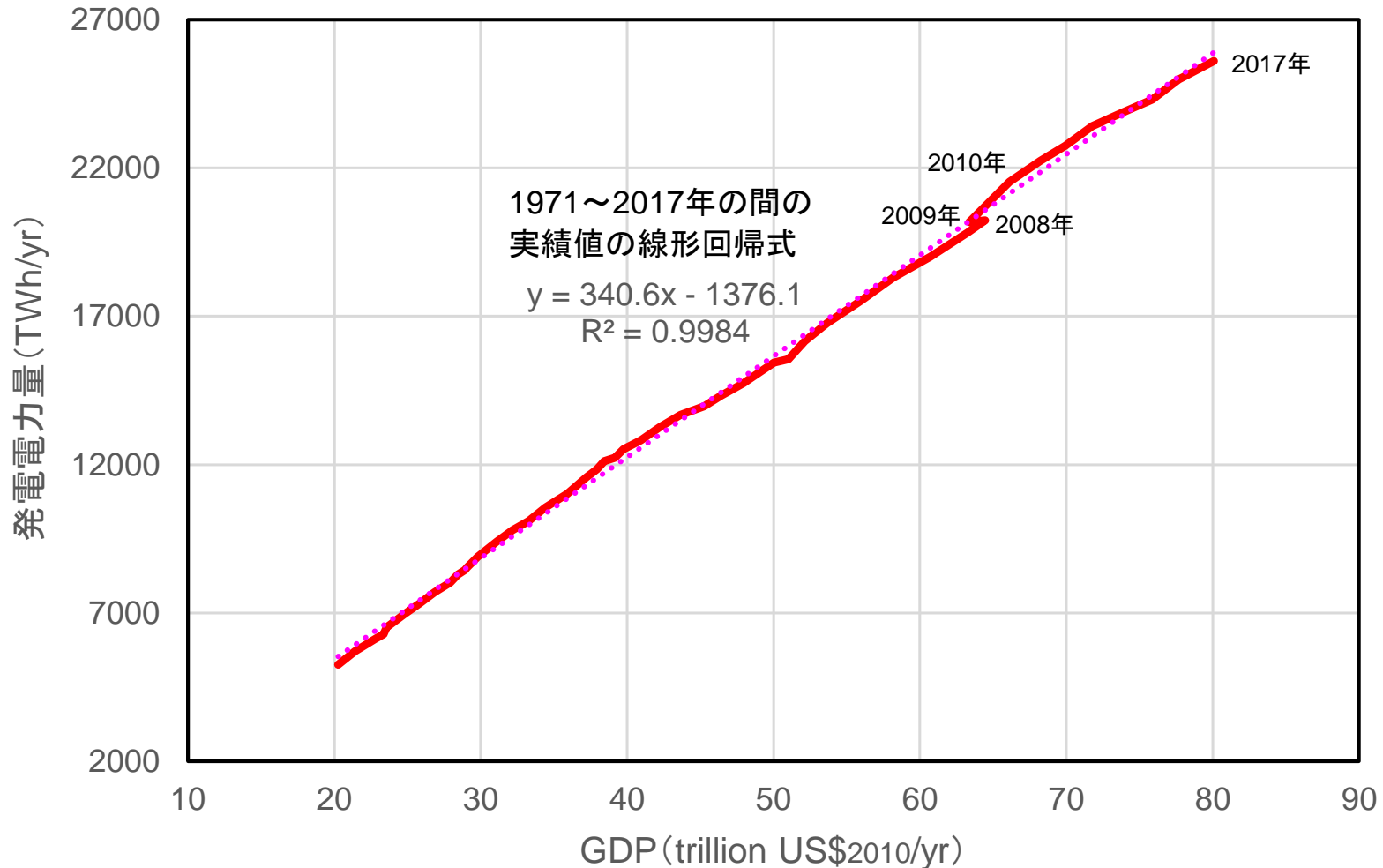
水力、原子力比率が極めて高い国

- 生産ベースで見ると、日本の推移は、他地域よりも原単位の改善が低位の傾向がみられる。
- 一方、消費ベースCO<sub>2</sub>原単位で見ると、震災後の原発停止に伴うCO<sub>2</sub>排出量の増大を除けば、日本の推移は他地域と差異はほとんどない。
- 水力、原子力比率が極めて高い国を除けば、生産ベースCO<sub>2</sub>原単位で見ても、EUは日本にようやく追いついた状況

※ 2010年の自国通貨ベースで2005年=100で規格化

出典) RITEによる推計、[http://www.rite.or.jp/system/global-warming-ouyou/download-data/Analysis\\_Consumption-Based-CO2.pdf](http://www.rite.or.jp/system/global-warming-ouyou/download-data/Analysis_Consumption-Based-CO2.pdf)  
本間他、エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、2019

# 世界の経済成長と電力消費量の関係



出典) 国際エネルギー機関 (IEA) 統計、2019

**世界GDP(経済成長)と電力消費量の関係は、強い正の相関関係が見られる。経済成長と電力消費量は密接な関係。**

- ◆ 最終エネルギーは、原則、電気か、水素（+バイオエネルギーおよび太陽熱等の直接熱利用）の利用とする必要あり。なお、水素も燃料電池で利用するケースは多く、この場合、最終的な利用形態は電気とも言える。
- ◆ ただし、CO<sub>2</sub>フリー水素と回収CO<sub>2</sub>による合成燃料（メタンや石油）での利用（CCU）は可（この場合、エネルギー源はあくまで水素であり、水素のエネルギー源はあくまで再エネ等。水素よりも貯蔵しやすく、都市ガスやガソリン等の既存の供給インフラ、また、既存の機器を活用できる利点あり）
- ◆ 電気、水素製造においては、脱炭素化が必要（再生可能エネルギー、原子力、CCS）。すなわち、一次エネルギーは原則、再エネ、原子力、化石燃料+CCSだけで供給が必要（再エネの大幅拡大は不可欠。一方、再エネのみでエネルギー供給できる世界は、少なくとも現時点では想像しがたい）。
- ◆ なお、完全に化石燃料を使わないことは現実的ではないので、正味ゼロ排出においても、ある程度の排出は許容し、植林、バイオエネルギーCCS（BECCS）、DACCS（直接大気回収・貯留）等の負の排出技術（NETs）活用はあり得る。
- ◆ 一方、NETsに過度に依存するシナリオは、実現可能性が低くなる可能性や生物多様性への悪影響の可能性もある。よって、脱炭素社会実現のためには、（経済自律的な）低エネルギー需要社会の実現も重要
- ◆ 脱炭素化に向けた移行過程も重要。気候変動影響被害、技術発展動向に伴う緩和費用を総合的に考え、実効ある低炭素化を進めることが必要

- ◆ とりわけ先進国では、人口の低下と、サービス産業化の進展によって、総エネルギー需要の潜在的な増加は止まってきている。
- ◆ そのような中、右肩上がりの需要増大局面と異なり、将来需要の見通しは不確実性が大きくなってきており、長期の大規模な投資リスクを取りにくくなってきている。
- ◆ また、エネルギーシステム改革は、短期的な効率性の追求には良いが、長期の大規模な投資は過小になりやすい。
- ◆ 一方、デジタル化技術は着実に進展。分散リソースをより安価に活用できる可能性が高まってきている。
- ◆ 大規模なエネルギー供給技術は引き続き重要であるが(政府の適切な政策、支援が必要)、分散化とそれをつなぐデジタル化技術の役割が増している。
- ◆ COVID-19によって、デジタル化の進展は一層加速する可能性あり。ただし、シェアリングエコノミーの進展は停滞もしくは加速両方の可能性あり。

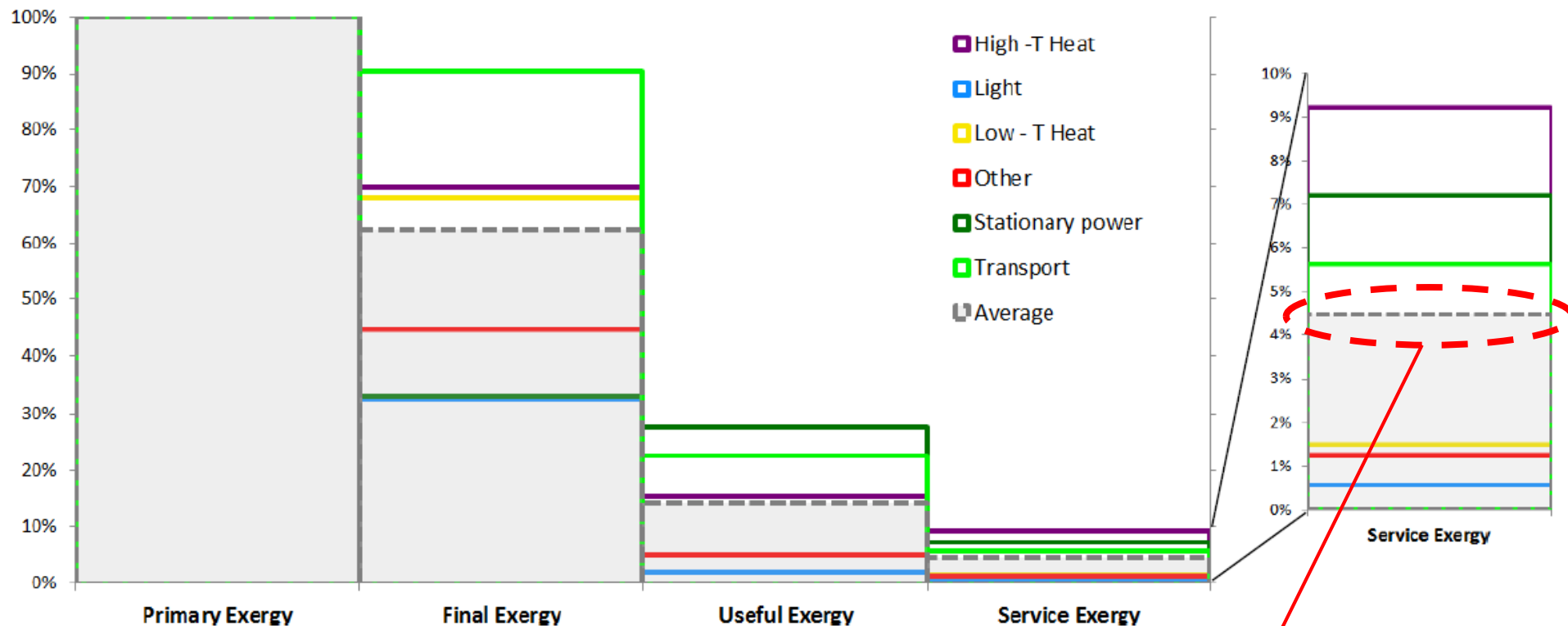
## 2. デジタル技術の進展による 社会構造変化の可能性





# 利用段階別の世界のエネルギー利用量

## 一次エネルギーのエクセルギーに対する比率

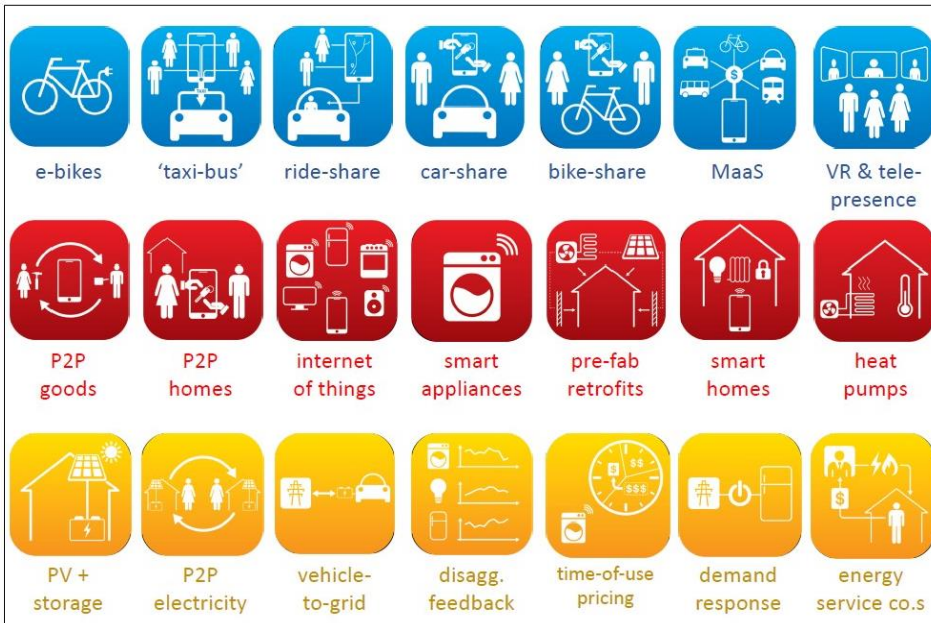


出典) A. Grubler, ALPSシンポジウム(2016)

最終的なサービスとしては、一次エネルギーの4~5%程度しか活用できていない。

エネルギー需要サイドに特に効率化の改善余地が大きい。従来は隠れたコストのような障壁があってその効率化は難しかったが、情報技術の発達によって、その改善の可能性が高まってきている。

# エンドユース技術の破壊的イノベーション

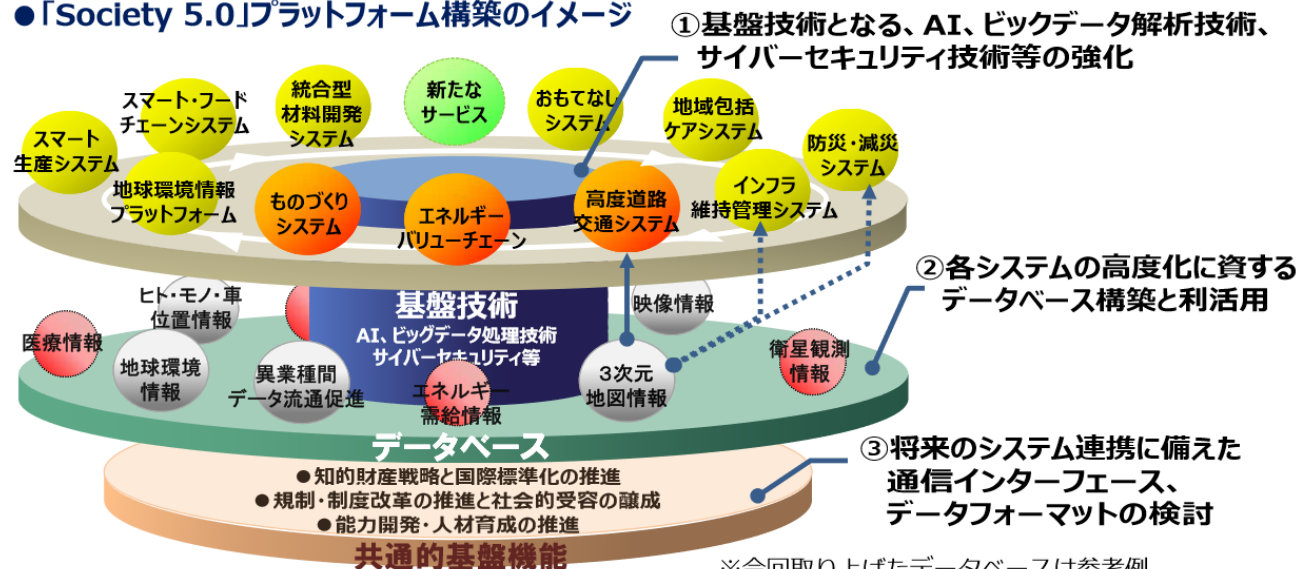


Source: C. Wilson (IIASA)

IoT, AI等の技術進展は、最終エネルギー需要側の社会イノベーションを誘発するポテンシャルあり

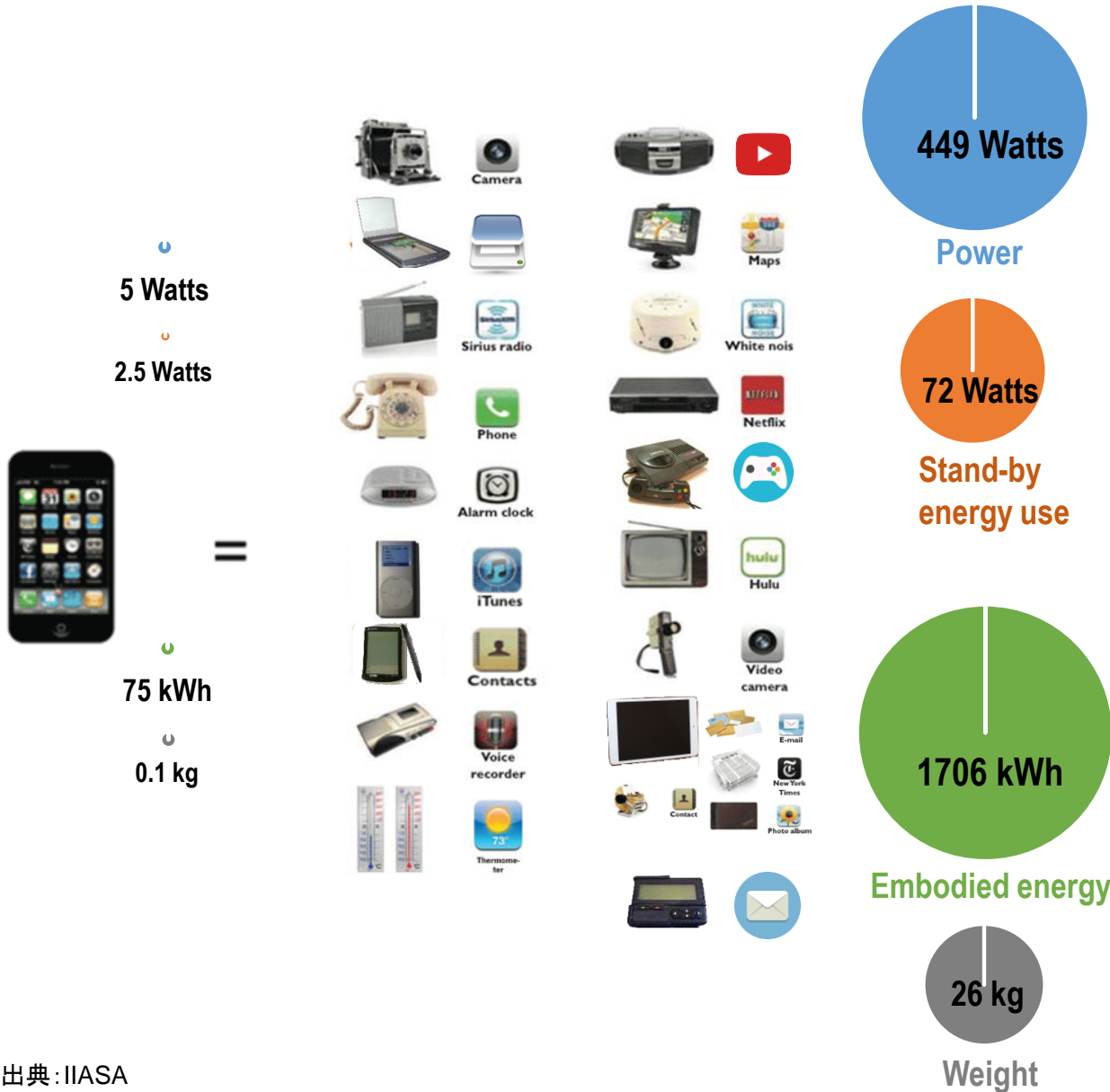
- 1) 独立した技術から、接続へ
- 2) 所有から、利用へ
- 3) シェアリングエコノミー、サーキュラーエコノミーの誘発

## ●「Society 5.0」プラットフォーム構築のイメージ



サイバー空間(仮想空間)とフィジカル空間(現実空間)を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会

# IT, AI等のデジタル技術による社会変化と 低エネルギー需要・低炭素排出社会の可能性



- 社会はエネルギー消費を目的にエネルギーを消費しているわけではない。製品・サービスが効用増をもたらすため、それに体化されたエネルギーを消費しているに過ぎない。
- 効用増をもたらす製品・サービスの展開は急速な場合が多く、それに付随したエネルギー・CO2排出低減は急速になる可能性あり。

# 運輸部門: CASE



## Connected; Service & Shared



## Autonomous; Electric



自家用車の稼働率は5%前後。  
完全自動運転でシェアリングで稼働率上昇の余地大

## Autono-MaaS専用EV「e-Palette」

出所: ナカニシ自動車産業リサーチ

出典)トヨタ



車の形が変わる

自動車と近距離航空の融合の可能性も

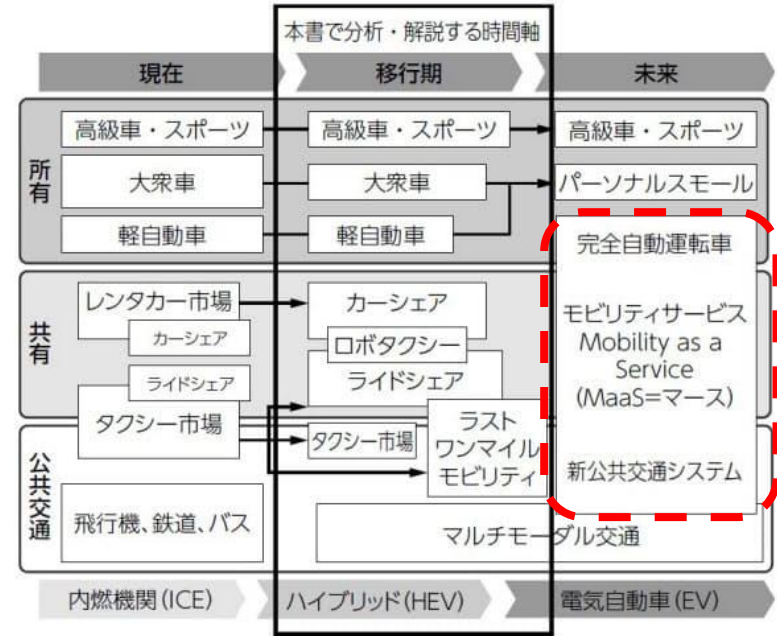
シェア化に伴い、車両台数低減が、素材生産量を低減し、また都市の形を変える可能性も



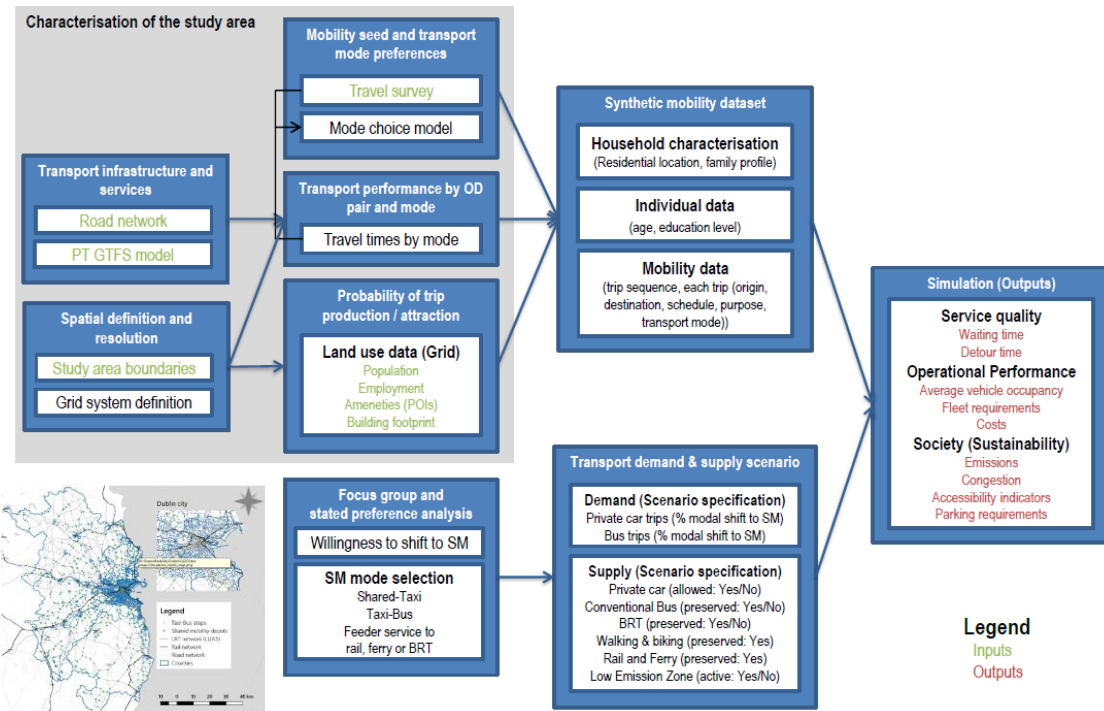
Airbus, Audi



出典) Jari Kauppila, ALPSシンポジウム(2019)



# シェアカーによる必要車両台数等の推計例：ダブリンの例



- 実際のデータ(人口分布、道路・公共交通ネットワーク、平日のトリップ需要(時間帯、OD)、トリップ選好等)に基づいてモデルを構築
- アイルランド ダブリンの場合、全ての自家用車をシェアカーに置き換えた場合はその2%弱の車両台数で現在のモビリティを供給できる。
- 自家用車の20%を置換した場合は(EV無しでも)CO<sub>2</sub>排出量が▲22%に。

[出典] OECD/ITF, Shared Mobility Simulations for Dublin (2018)

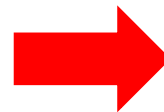
シナリオ設定			シミュレーション結果：Baseline比の変化率 [%]					
#	Bus	Car	Passenger-km	Vehicle-km	CO <sub>2</sub> emissions	Congestion	Travel time	Equivalent private car vehicles
1	100% Replacement	100% of trips replaced	+51	▲38	▲31	▲37	+72	▲98
2	Keep		+32	▲42	▲31	▲43	+134	▲99
4	100% Replacement	20% of trips replaced	+16	▲23	▲22	▲7	+6	▲18
6	Keep trips where Bus with headway < 5min		+13	▲25	▲23	▲9	+6	▲18

# アパレル関連

- 服の50%は使われずに廃棄されているとも言われている。
- 若年層を中心とした嗜好の変化(スーツをあまり着なくなった等)、Eコマースの進展(百貨店以上になんでも手に入る。移動の不便を解消 等)
- AI、ICTを使った、必要なだけ生産できるような技術変化(需要を的確に把握可能に。大量生産で価格を下げる必要性の低下)
- 百貨店などでは、「見せる」ために多くのスペースを用意、そしてその建設に体化されるエネルギー、設備利用率が低いにも関わらず暖冷房、といったエネルギーの削減に。
- また、百貨店や大型ショッピングセンターが求められなくなると、そこへの移動のマイカーも求められなくなり、一層、シェアカーを促すようになり得る。



**Eコマース**  
(中古品の売買(事実上のアパレル製品のシェア化)を含む)



**百貨店、大型  
ショッピングセ  
ンターの変化**



温暖化対策とはほぼ無関係の技術変化、社会変化。COVID-19で加速される可能性も。

# 食品関連

- 食料システムで排出されるGHGは30%前後（バウンダリーによっては更に大きい）とされる。一方、食品廃棄・ロスの世界全体では1/3にも上るとされる（ただし日本の食品廃棄・ロスは世界平均よりもずっと小さいとの評価有）。
- AI、ICTで食料需要をより正確に予測できるなどできれば、食品廃棄・ロスが減り、エネルギー消費・GHG排出の低減につながる可能性あり。
- プラスチック容器の低減、スーパーのスペース低減、冷蔵・冷凍エネルギー、輸送エネルギーの低減 などに波及し得る。



**SDGsの同時達成にも大きな寄与となり得る。**

# 3. まとめ





# より高位の大目的である持続可能発展と 調和した気候変動対応

## SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

世界を変えるための17の目標



- ✓ 社会には多くの解決すべき課題を有している。長期の大幅排出削減は、SDGsとの調和の中で達成されなければならない。逆にSDGsと調和しない排出削減策は、現実社会での実現は大変困難でもある。
- ✓ 安価なコストで大きな排出削減可能な技術開発、特に低エネルギー需要を経済自律的もしくは安価なコストで実現し得るIoT, AI等に誘導された技術および社会のイノベーションは、SDGsの同時達成のために重要。
- ✓ 太陽光発電を中心に再エネコストは大幅に低下した。しかし、システムコストとしては、まだ、化石燃料よりも高価な場合が多い。電力料金の上昇は、産業競争力の低下、ひいてはSDGsの同時達成の妨げにもなる。再エネ拡大は必須で重要だが、コスト低下と歩調を合わせた拡大が重要。また系統対策を含めたシステムコスト全体の低下を志向する必要あり。それにおいても、デジタル化技術の役割は大きい。

- ◆ パリ協定では、2°C目標や21世紀後半に実質ゼロ排出目標等而言及。世界的に、脱炭素化(正味ゼロ排出)の流れが強まっている。正味ゼロ排出のためには、電力化率の向上と、脱炭素電源化(再エネ、原子力、CCS)は、対策の重要な方向性。
- ◆ 最終的には電気利用の大幅拡大が重要だが、どのエネルギーキャリアをどの段階で利用すべきかは(水素、合成燃料等)、全体システムで評価することが重要であり、また、各技術の進展動向に依って経済性は異なってくる。
- ◆ 特に、蓄電池、水素は、エネルギー、電力の脱炭素において重要なオプション。一方、コストの大幅な低減が不可欠。ただし需要が拡大しなければ、コスト低減は容易ではなく、コストを見極めながら、適切な需要拡大を志向することは重要。
- ◆ 現在のシステムでは、エネルギー需要サイドに大きなエネルギーの無駄が生じている。エネルギー供給サイドは無論のこと、デジタル技術等を利用したエネルギー需要サイドの技術イノベーションとそれに誘発されるシェアリングエコノミーなどの社会イノベーションは極めて重要。この芽は、気候変動対策とは離れてビジネスベースで(経済自律的に)、既に育ちつつあり、それを加速させることが重要。
- ◆ 製品やサービスに体化されたエネルギーを削減していくことが重要(LCA的な思考が重要)。デジタル技術の進展はその実現を促し得る。そして、その実現は、グローバルでの温室効果ガス排出削減に資するとともに、SDGsの同時達成の可能性を高めると期待される。