

# 社会を駆動する新たな『OS』としての電気工学 ～ウェルビーイングな持続可能社会に向けた 『垂直×水平のイノベーション』～

はじめに. 社会は新たな“OS”を必要としている

1. 持続可能性の三大要件～CN,CE,NPの同時達成が必須
2. 垂直の進化～ナノからメガに至る（電気工学）垂直軸でのイノベーション
3. 水平の連携～電気が”ハブ”となるセクターカップリング
4. 垂直×水平の掛算（ベクトル演算：外積）によるイノベーション  
（1）両軸の役割 （2）垂直×水平の掛算が必要  
（3）ワット・ビット連携：垂直×水平の演算子、垂直×水平を駆動するエンジン
5. 新たな“社会OS”として電気工学の役割を拡張
6. 最終目的：ウェルビーイングの社会実装

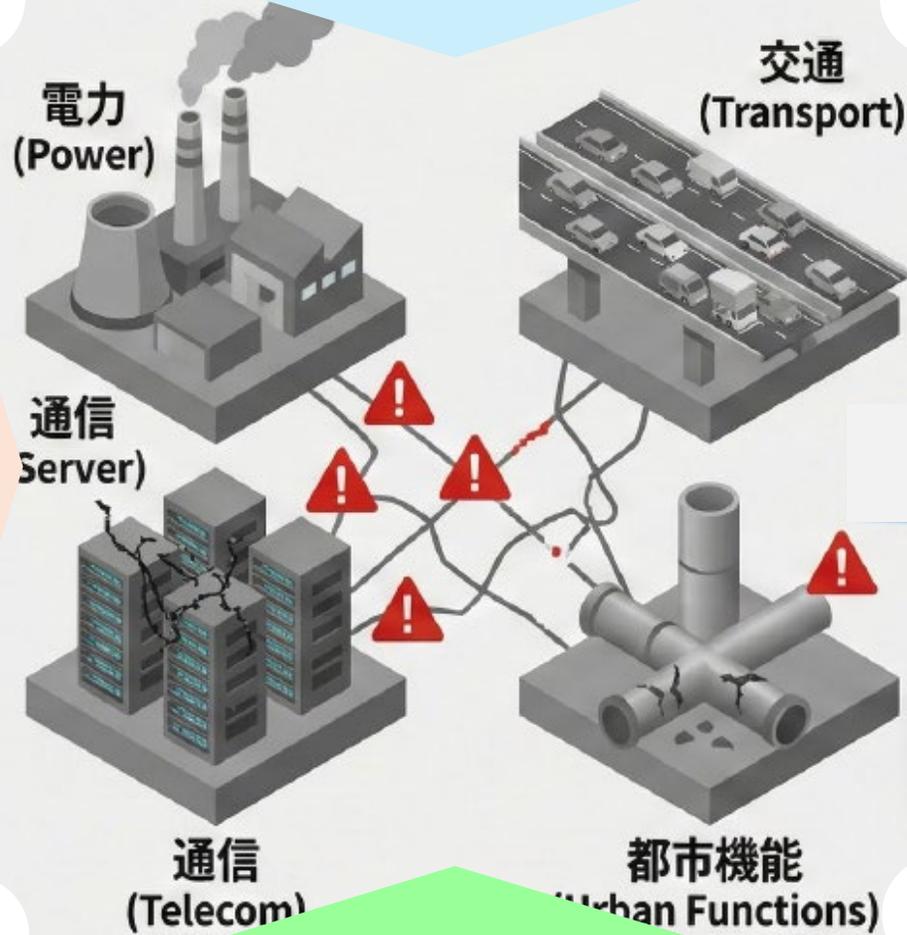
むすび. イノベーションは、「アイデアの交配」から生まれる

2026年3月13日

山 口 博

日本電気技術者協会会長  
東電記念財団理事長  
第105代電気学会会長

エネルギーの制約



資源の制約

生態系の危機  
生物多様性の損失

サイロ化したインフラ（セクター）  
限界の顕在化

個別最適・非効率・脆弱性

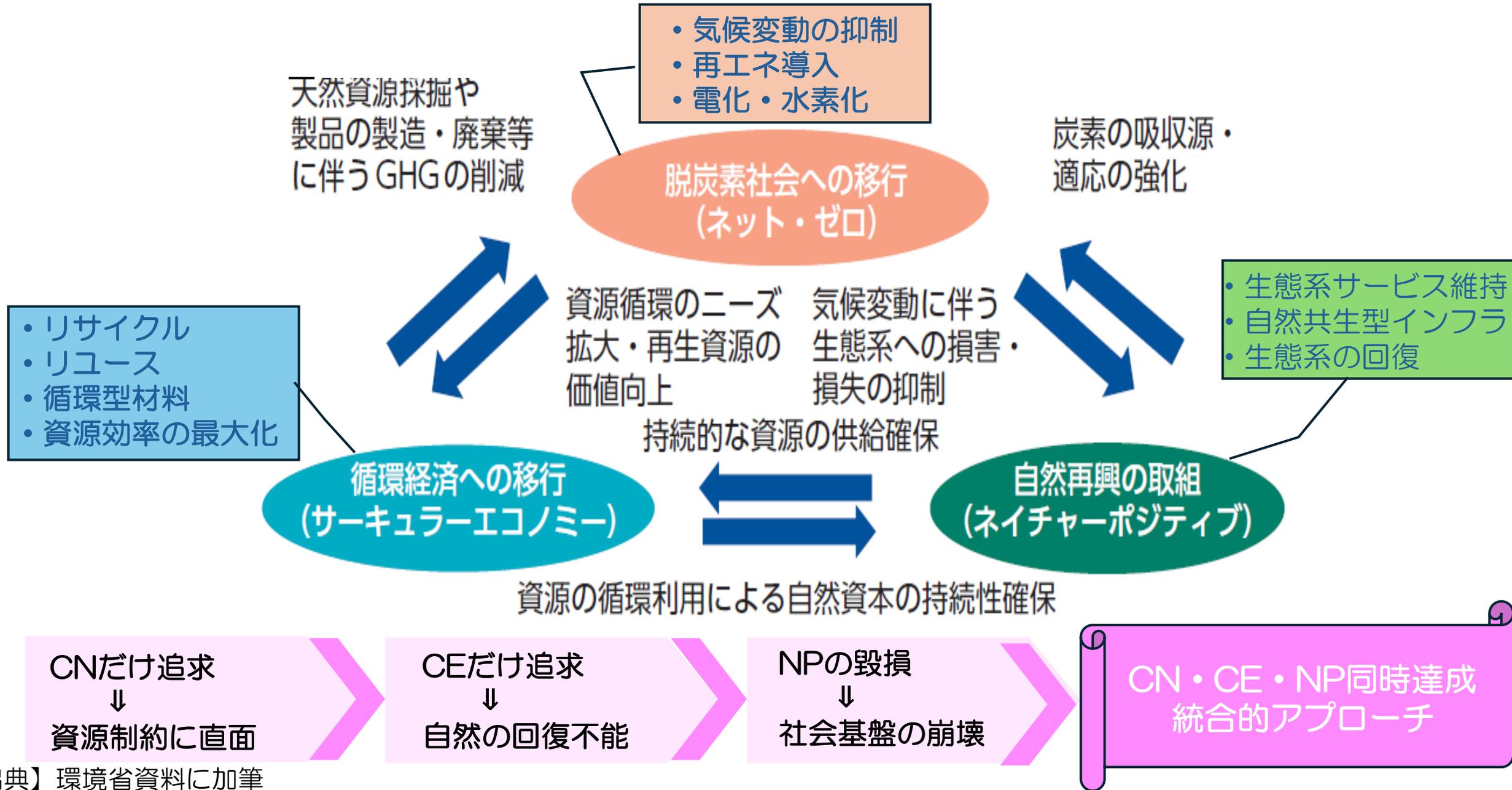
社会OSによる統合と進化



全体最適・レジリエンス・  
ウェルビーイング

社会のシステム全体を制御・駆動する  
新たなOS（実行基盤）が必要

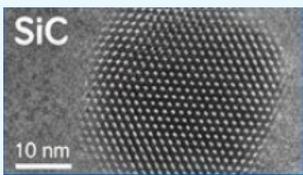
# 1. 持続可能性の三大要件:CN, CE, NPの同時達成が必須



【出典】環境省資料に加筆

## 圧倒的なスケール感のある垂直の階層構造

ナノ



材料・半導体  
物理的限界を突破する基盤

ミリ



デバイス  
高度な機能パッケージ

センチ



パワーエレ  
電力を自在に操る制御

メートル



電力系統

キロ

数百キロ



広域系統

～  
数千キロ

現代社会に不可欠な  
基盤中の基盤

## 垂直軸でのイノベーション（例）

\* 極限の省エネ・小型化の追求：CN/CE

✓ 次世代パワー半導体（GaN/Ga2O3）

\* バイオセンシングとエネルギーハーベスティングの融合：NP/CN

✓ 自然界でのバッテリー交換不要の観測網

\* 脱・希少金属の材料イノベーション：

CE/CN

✓ 磁気材料の微細構造制御などによる

「レアアースフリー化」

✓ 希少資源に依存しないエネルギー貯蔵技術

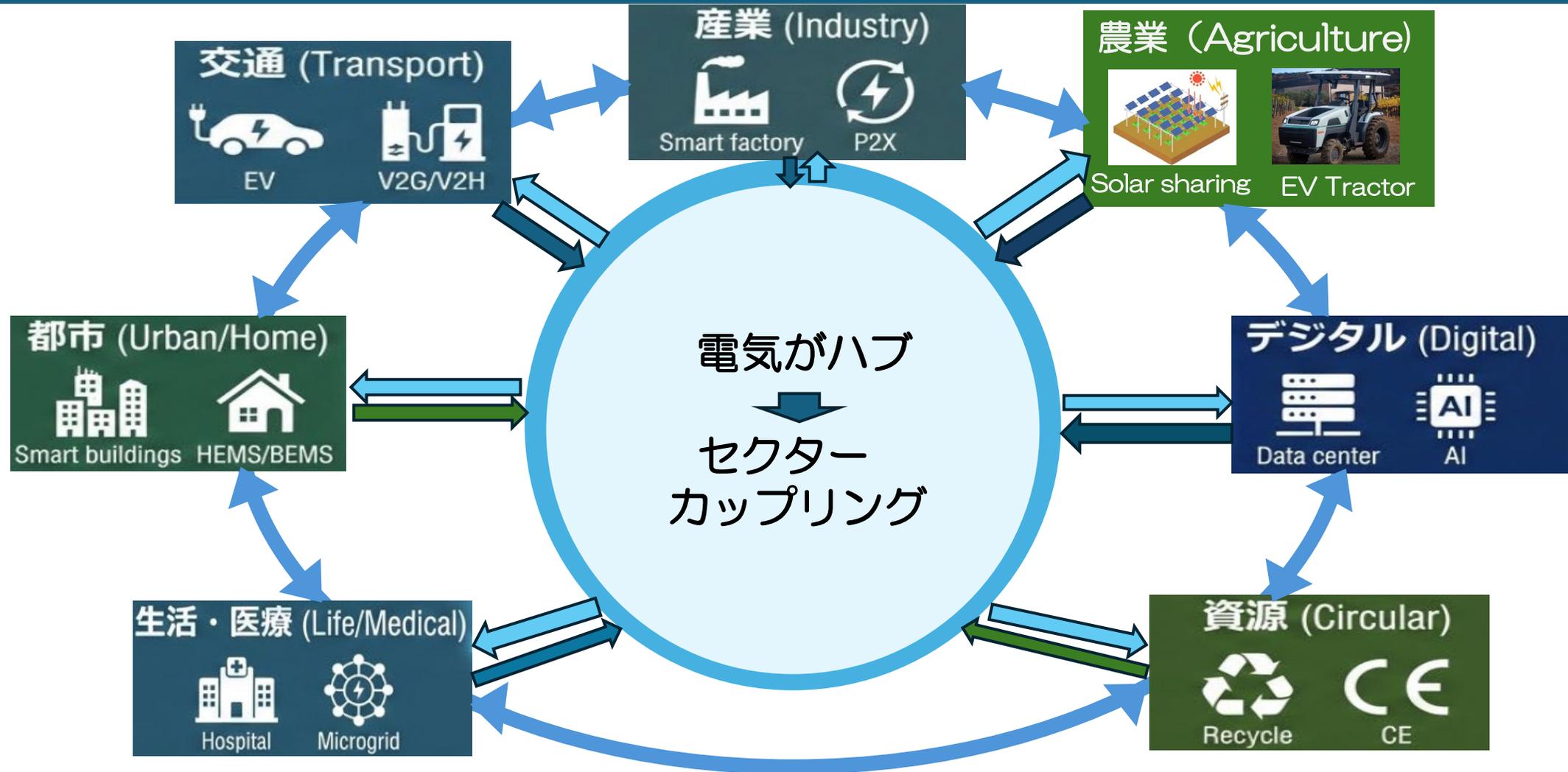
\* 分散共存型の次世代グリッドの構築

✓ 再エネ主力電源化に対応した

グリッド安定化技術

✓ 再エネ適地からの超高压直流送電・

超電導送電ネットワーク技術



電気は、社会のあらゆるセクターを同期させる「共通言語」に  
\* 「つながる」ことで、捨てられていたエネルギーが「価値」に変わる  
\* 個別最適を超えた全体最適が、究極の効率とレジリエンスを実現



\*一つのセクターの「足りない」を、別のセクターの「足りる」（価値）に変える

\*水平の連携がトレードオフを解消し、三位一体のウェルビーイングを実現

## 【事 例】

### 【農業 × 電力】ソーラーシェアリング

（営農型太陽光）

- \*CN：農地の再エネ生産拠点化、農業電化
- \*CE：食料＋エネルギーによる土地資源の多目的活用、地域内でのエネルギー収支完結
- \*NP：適切な遮光による土壌環境保護。耕作放棄地再活用による里山の生態系維持・再生。

### 【デジタル・産業 × 都市】

排熱のセクターカップリング

- \* CN：DCの排熱を地域暖房に再利用し、都市全体の化石燃料消費を削減。
- \*CE：「エネルギーの廃棄物」を再利用するサーキュラー・エネルギーの実現
- \*NP：温排水を熱として回収・活用し、水域の熱汚染を防ぎ、水生生物の多様性を守る

# 4. 垂直×水平の掛算(ベクトル演算：外積) によるイノベーション

(1) 両軸の役割	「垂直の進化」の役割	「水平の連携」の役割
<p><b>CN (脱炭素)</b></p> <p>(GHG排出実質ゼロにより、持続可能なエネルギー循環を実現)</p>	<p><b>「極限」の追求、「変換」の革新</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* SiC/GaNパワエレによる変換ロス極小化など高効率化・低損失化</li> <li>* 再エネ主力電源化に必要な系統安定化技術</li> <li>* CCUSなど新機軸の社会実装</li> </ul>	<p><b>「需要の直接・間接電化」、「需要の能動化」への転換</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* 需要サイドの柔軟性向上、柔軟性活用による需給一体の効率化・運用高度化</li> <li>* セクターカップリングによる社会全体の脱炭素化、インフラ全体の効率化</li> </ul>
<p><b>CE (資源循環)</b></p> <p>(資源を廃棄せず、価値を永続的に循環させる経済モデル)</p>	<p><b>「寿命」、「追跡可能性」の革新</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* デバイスのナノレベル状態監視による劣化抑制適応制御でハードの長寿命化</li> <li>* マテリアル・インフォマティクス、トレーサビリティ「情報」付きハードの創出</li> </ul>	<p><b>「共有」、「循環利用」への転換</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* 社会に遍在するEVや家庭用電池を水平に繋ぎ共有資産として活用 (V2G, VPP等)</li> <li>* 「廃棄エネルギー」を別のセクターの「資源」としてエネルギーを多段・循環利用</li> </ul>
<p><b>NP (自然再生)</b></p> <p>(生物多様性の損失を食い止め、回復軌道に乗せる)</p>	<p><b>「Minimal Impact」の革新</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* 小型化や超高効率化による電力設備ダウンサイジングにより、生態系維持</li> <li>* 毒性のない材料や、電磁波・騒音を抑制する技術で、周辺生態系への影響低減</li> </ul>	<p><b>「面的関係」「共生進化」への転換</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* 「電力×農業×水資源」の連携。電力センサー網を活かして、流域全体の水質や土壌を管理し海洋生態系を保護。</li> <li>* 分散型エネルギーによる地域共生</li> </ul>

## (2) 垂直×水平の掛算（ベクトル演算：外積）が必要

→ →  
◎垂直×水平：内積でなく外積

→ →  
垂直×水平

深さが広がりを支え、広がりが深さを活かす。  
この掛算が、CN・CE・NPを同時達成する。

垂直の進化  
技術の深さ

メガ キロメートル センチ ミリ ナノ

セクター毎の垂直の深堀 ⊗ セクター間の水平の連携

両軸が張る空間の価値を最大化

水平の連携  
社会の広がり



【ウェルビーイングな持続可能社会へ進化】



CN  
脱炭素

CE  
資源循環

NP  
自然再生

⊗ : この演算子に相当するのが、  
『ワットビット連携』

## 【国家戦略視点でのワットビット連携】

AI時代の国家インフラ戦略であり、経済政策であり、社会構造の再設計。

- \*技術面：電力・通信・DCを統合するインフラ最適化
- \*経済面：AI時代の産業競争力の基盤、地方経済の活性化
- \*社会面：災害リスク分散によるレジリエンス向上、地方創生と人口分散による新しい地域社会の形成

化  
体  
一  
せ

従来は独立した存在のワットとビット

## 【電力×通信×Data Centerの文脈】

◎再エネ主力電源化に伴う課題の克服

①地理的ギャップ：

ワットビット連携による配置の最適化

②時間的ギャップ：

ワットビット連携による運用の最適化

## 【垂直×水平の演算子、垂直×水平を駆動するエンジンの文脈】

◎ワットビット連携⇒サイバー・フィジカル連携

\*ビットがワットをリアルタイムで制御

\*エネルギーは「意志」を持ったように振る舞う

「意思なきエネルギー」

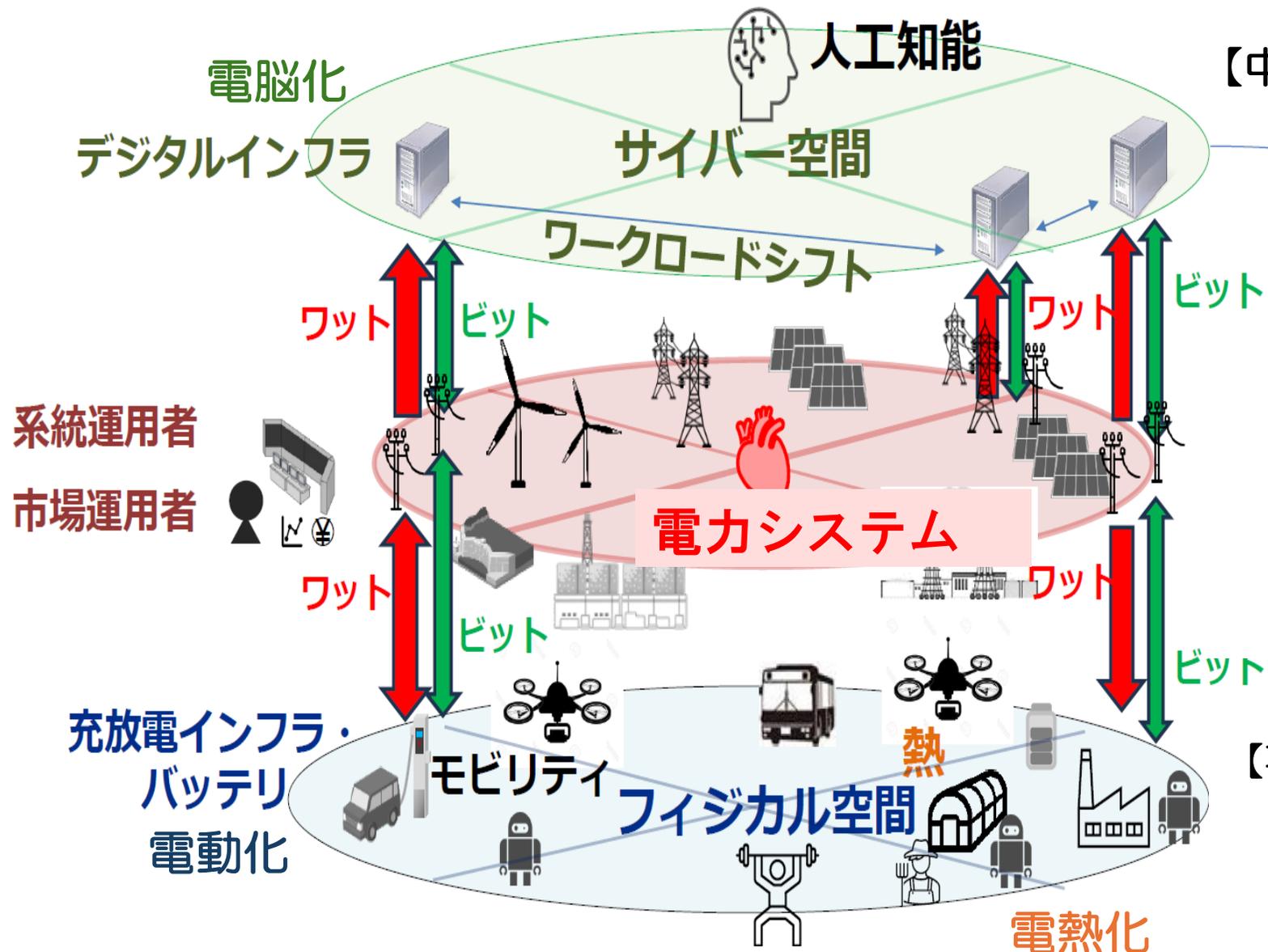
「意思のあるエネルギー」  
「エネルギーの知能化」

◎セクターカップリングとしての拡張  
(水平の連携)

\*電力だけでなく、熱・交通・産業プロセス等をデータで統合

\*社会全体のエネルギーが知能化される

CN・CE・NPの同時達成



【中核技術】 デジタルツインの役割 (例)

レベル	デジタルツインの役割	物理層(ワット)への効果
ナノ・ミリ	熱・電磁ノイズの極限追求シミュレーション	素材のポテンシャル解放
キロ・メガ	潮流・安定度・慣性の動的予測	再エネ主力電源化での系統安定化
社会セクター	需要の地理的・時間的シフトの最適化	送電網増強の抑制とCNの早期達成

- 【事例】
- \* 設備寿命最大化:
    - ✓ パワー半導体のデジタル・エッジ (シーメンス・エナジー)
  - \* 系統安定化:
    - ✓ 群制御デジタルツイン (欧州)
    - ✓ Virtual Energy System (英国)

(出典：東電PG発表資料に加筆)

◎余剰グリーン電力から熱、ガス、空気、燃料などを製造し、再び発電や都市ガス、輸送燃料等多様な部門で利用する

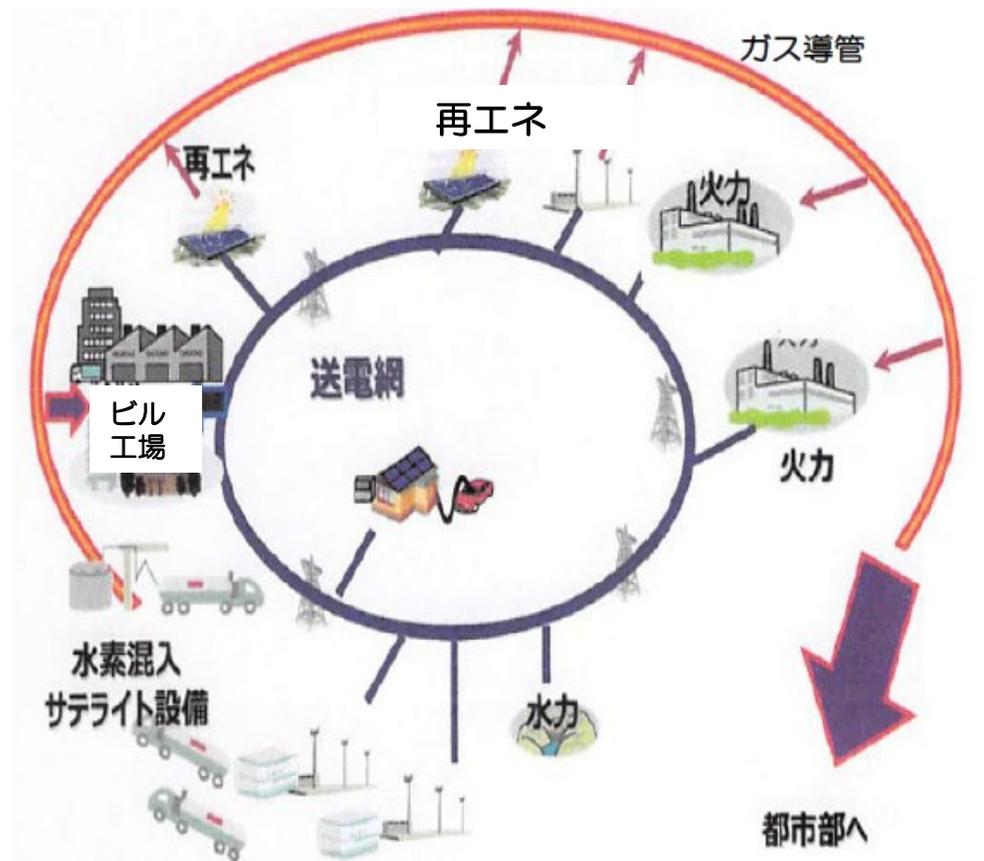
“エネルギー貯蔵・利用技術”：

～熱需要の脱炭素化に有効な手段

- 1) Power to Heat  
(エコキュートの蓄熱層に貯蔵)
- 2) Power to Charge  
(EVなどの蓄電池に蓄電し動力利用)
- 3) Power to Gas、Compressed Air  
(水素、圧縮空気へ転換し圧力ポンペに貯蔵)
- 4) Power to Fuel  
(輸送燃料や化成品原料として貯蔵)



運搬・貯蔵可能なリソースへ転換



【Power to X統合のエネルギーシステム概念（例）】

需要サイドのPower to Xは需給両サイドの便益を高める好循環を形成

(ex.) ベース電源を最効率の定格出力運転させ、Power to Xで需給変動分を調整するなど

## 従来の電気工学

### 文明の発展を支える技術体系

(社会基盤の構築と高度化)

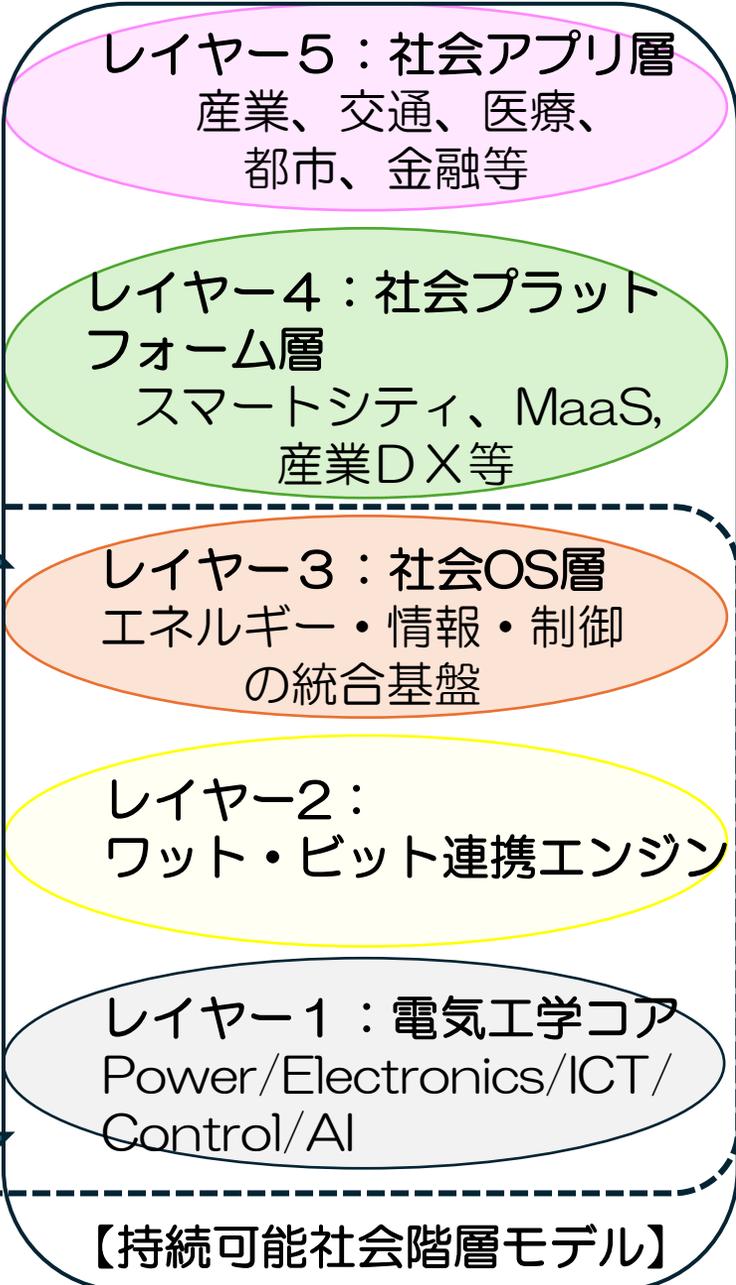
- \*大規模発電・送配電システムの確立
- \*半導体技術の発展による情報通信革新
- \*モータ技術、パワーエレクトロニクスの発展による家電・鉄道・医療の高度化促進

## 持続可能社会の電気工学

### 文明を持続させるための統合的基盤技術

(エネルギー、情報、制御、社会科学を統合し社会全体を最適化する基盤工学)

- \*社会OS：  
エネルギー、情報、制御など社会の基盤機能を統合し、医療や交通、教育、産業など社会活動の全体を安定的に動作させるための共通基盤



【CN/CE/NPの達成】

「垂直の進化」×「水平の連携」

【レジリエンス】

垂直の進化：レジリエンス強化  
水平の連携：レジリエンス拡大

- \* 集中と分散の最適化
- \* AI活用による自己診断、自動復旧など
- \* サイバーセキュリティの高度化
- \* インフラ連携による「地域レジリエンス」など

社会実装

必須要件

最終目的

【ウェルビーイング】

幸福、健康、公平、快適、自己実現

泥濘から  
ジャンプは  
できない

【電気工学の役割拡張のために】

### ① シラバスのアップデート

ワットビット同期論、社会科学・行動経済学とリンクしたウェルビーイングなどの定量化論など

### ② 産学官による社会実装プラットフォームの構築

電力・社会活動データ共有、社会OS特区の設置など

### ③ 新機軸の資格制度

デジタルツインの構築能力、異分野とのコーディネート能力を評価・認定

## ◎イノベーションはアイデアの交配

\*古代の道具は一人のアイデアと一つの方法から構成されている

\*現代の道具は多くの人々のアイデアと多くの方法を組み合わせることで構成されている

(「繁栄 明日を切り拓くための人類10万年史」マット・リドレー著)

## ◎集団脳がイノベーションを加速

\*南太平洋の島では、人口が多い島ほど多くの道具が用いられている

\*ホモ・サピエンスは大勢で活動する行動様式のお陰で多くの道具を発明・利用

(ハーバー大人類進化生物学者ジョセフ・ヘンリック)

## ◎民主化がイノベーションを誘発

\*技術を民主化しアイデアを交配することでイノベーションは生まれる (TSMC元会長Mark Liu)

イノベーションは「アイデアの交配」から生まれる。多様な知見が結びつく「集団脳」によって、電気工学を「文明を持続させるための統合的基盤技術」へと昇華させ、誰もが幸福を享受できる社会のための新たなOSを構築していくことが必要である。。

Thank You for Your Attention!!