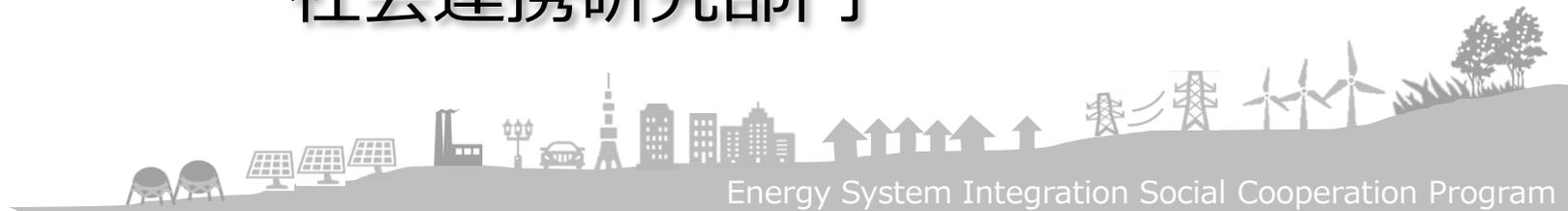


# エネルギー戦略

2020年9月

東京大学 生産技術研究所  
エネルギーシステムインテグレーション(ESI)  
社会連携研究部門



# 目次

1. 目指す姿・・・・・・・・・・ 1
2. これまでの活動と戦略領域・ 2
3. 戦略領域マップ・・・・・・・・ 3
4. 7つの戦略領域・・・・・・・・ 7
5. ロードマップ・・・・・・・・ 14

(ESIでは、これからの活動の重点化領域としての「エネルギー戦略」の検討を進めてきました。本資料は、その中間とりまとめです。)

# 1. 目指す姿

上位概念

## 目指す姿：3E+S

Energy security, Economical efficiency, Environment + Safety



## コンセプト = エネルギーシステムインテグレーションの実現

- 1) 設備形成と運用の最適化
- 2) 技術不偏（ニュートラル）⇒結果としての役割分担

## 戦略領域: 目指す姿を実現するESIの活動としての重点化領域

- 例: 1. 高効率化と機能維持, 2. 分散型資源活用, 3. 電源の高付加価値化,  
4. システム構築・運用高度化, 5. 次世代蓄エネ、畜熱、蓄材とと利用,  
6. 合成燃料製造・輸送・貯蔵, 7. 変化への対応



## 各領域の具体的要素と技術開発・導入のロードマップ

### 例（分散型資源活用）

価値評価：市場価格想定、システム全体/部分での価格反応、送電/配電レベルの調整力提供

各分散型資源：必須機能の要件定義、Smart化、Connected化、インバータの合成同期機特性

アグリゲーション：モニタリング、管理・制御エンジン、ICT Platform

高付加価値xEMS：市場価格予測、価格反応・診断、調整力、効用の維持・向上、コベネフィット

インフラ：Connected化対応、配電網協調、合成燃料配送

実施施策

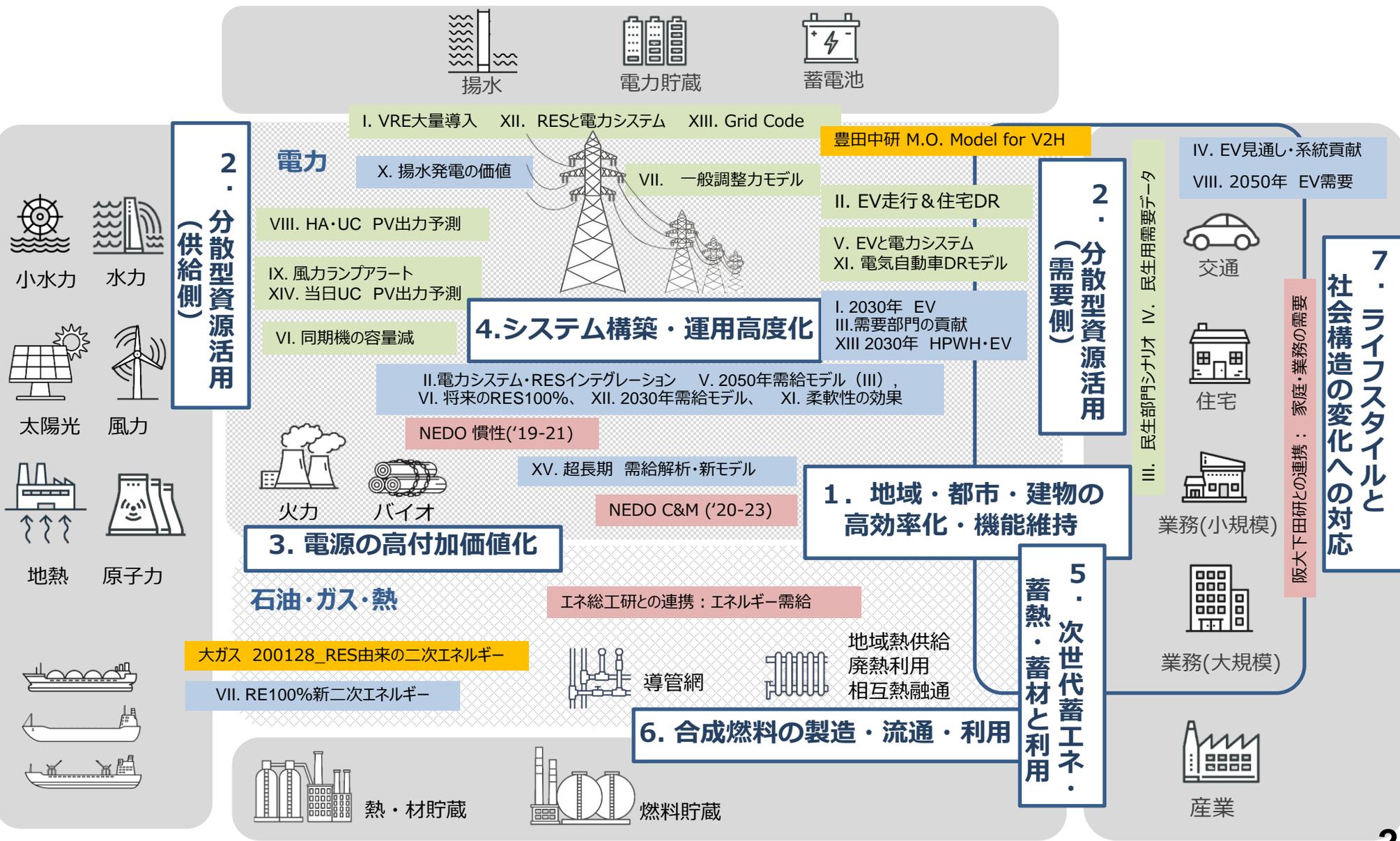
# 2. これまでの活動と戦略領域

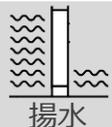
大学 (2018)

大学 (2019)

参加各社

外部連携・プロ





揚水



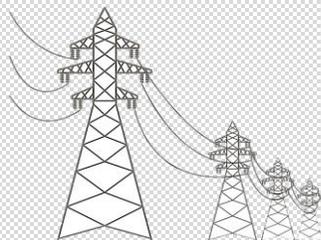
電力貯蔵



蓄電池

2. 分散型資源活用  
(供給側)

電力



4. システム構築・運用高度化

2. 分散型資源活用  
(需要側)

7. ライフスタイルと  
社会構造の変化への対応

1. 地域・都市・建物の  
高効率化・機能維持

3. 電源の高付加価値化

5. 次世代蓄エネ・  
蓄熱・蓄材と利用

石油・ガス・熱

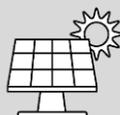
6. 合成燃料の製造・流通・利用



小水力



水力



太陽光



風力



地熱



原子力



火力



バイオ



導管網



地域熱供給  
廃熱利用  
相互熱融通



熱・材貯蔵



燃料貯蔵



交通



住宅



業務(小規模)

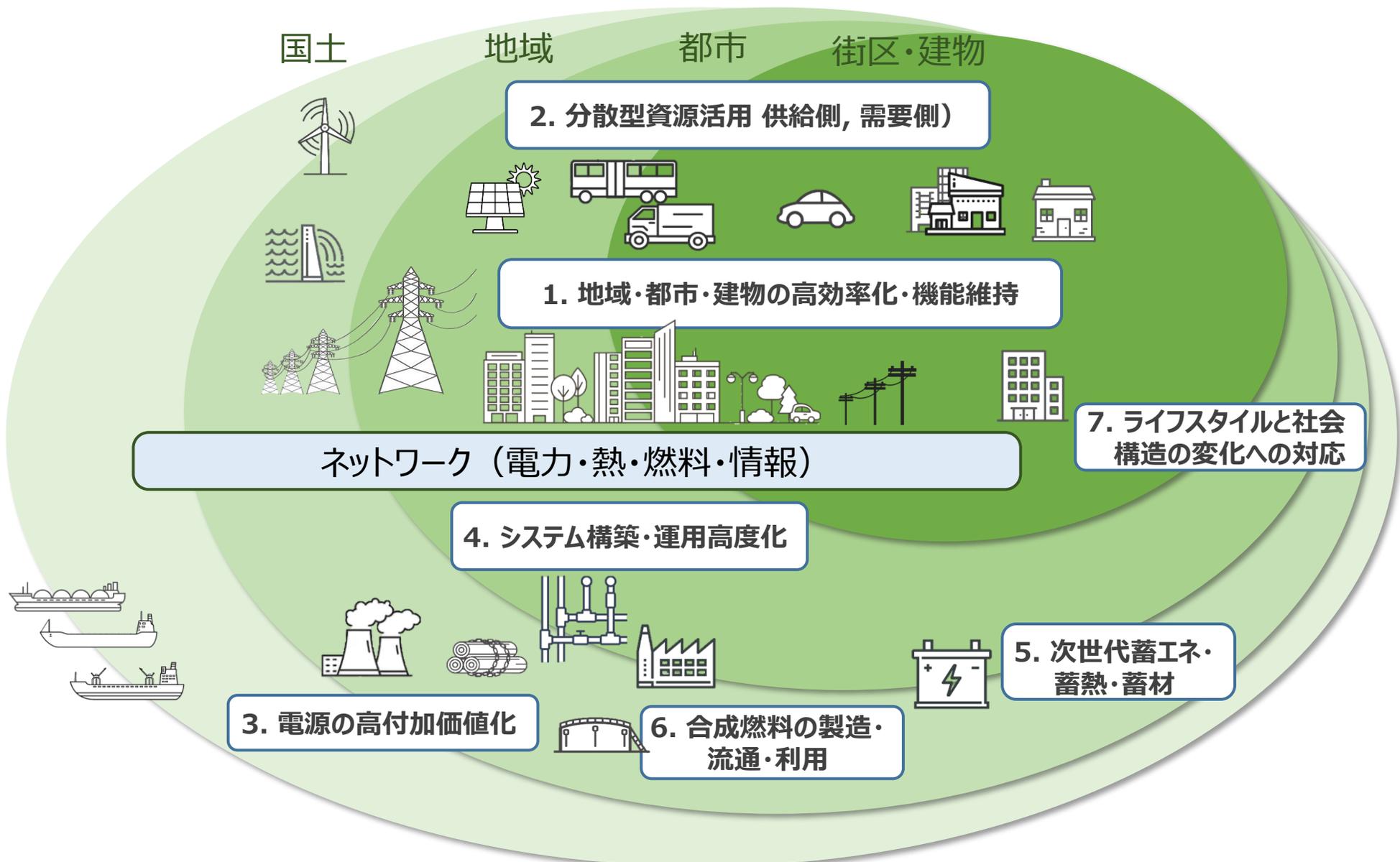


業務(大規模)



産業

### 3. 戦略領域マップ



## 4. (1) 地域・都市・建物のエネルギー効率向上と機能維持

### <必要性>

- 社会・経済活動は、建物、街区、都市、産業集積、工業地帯、地域などの地理的まとまりを核として営まれ、交通、上下水道などの社会システムもそれらと連携して形成・運営される。
- エネルギー技術の開発と普及は、これらの地理的まとまりにおいて、他のシステムと連携して、効率性向上、機能維持、効用の維持・向上を牽引することが必要である。



住宅



業務(小規模)



業務(大規模)



産業



交通

### <技術開発ロードマップ>

- 建材・建物：高断熱化、機能建材、空気質改善、快適性向上、エネルギー自立建築
- 空調・給湯：COP向上、全熱交、蓄熱・太陽熱・地中熱・廃熱利用、分散型ヒートポンプ、輻射冷暖房、タスクアンビエント、HFC代替、真空断熱貯湯、熱の相互融通
- 高付加価値xEMS(HEMS/BEMS/CEMS)：市場価格予測、価格反応・診断、調整力、効用の維持・向上、コベネフィット
- 産業熱需要：熱再生、電化、蓄熱、合成燃料
- アグリゲーション：モニタリング、管理・制御エンジン、ICT Platform

### <技術の導入普及>

- 離島、山間地・過疎地等：マイクログリッドによる自律運用
- 街区・都市・地域インフラ連携：上下水道、人流・物流、熱融通、交通管理との相互高効率化と機能維持
- コベネフィット：健康、防災・BCP/LCP, SDGs等の訴求

### <制度の取り組み>

- デジタル化によるエネルギー・環境データ取得、消費者行動の把握
- データ共有の制度の整備（データ活用と個人情報保護を両立させる制度設計）
- 情報提供（市場連動価格、デマンドレスポンス、電化）

## 4. (2) 需要側・供給側の分散型資源の最大活用

### <必要性>

- PV・風力などの再生可能エネルギーの増加により、従来型の火力発電を始めとする集中電源の運転容量の減少による調整力の低下も予想される
- PV・風力、CHP(エンジン→燃料電池)、蓄エネルギー技術、能動化需要（ヒートポンプ給湯機、EV充電器、他）などの分散型エネルギー資源（以下、分散型資源）が増加する。
- 電力システムの効率的な運用、無数の分散型資源の管理（接続、運用、廃棄）、需要側機器のサービス維持のために、分散型資源を最大活用できる技術の開発、導入が必要である。

### <技術開発ロードマップ>

- 価値評価：市場価格想定、システム全体/部分での価格反応、送電/配電レベルの調整力提供
- 各分散型資源：必須機能の要件定義、Smart化、Connected化、インバータの合成同期機特性
- アグリゲーション(再掲)：モニタリング、管理・制御エンジン、ICT Platform
- 高付加価値xEMS(再掲)：市場価格予測、価格反応・診断、調整力、効用の維持・向上、コベネフィット
- インフラ：Connected化対応、配電網協調、合成燃料配送

### <技術の導入普及>

- 必要インフラを含めた費用便益による段階導入
- 需要側での事故・災害対応機能などの付加価値のもとでの導入

### <制度の取り組み>

- 将来を見通した必須機能の確保のための、需要側を含む系統連系グリッドコード
- 分散資源の活用を阻害しない技術不偏（ニュートラル）な市場やシステムの運用制度
- デジタル化、データ共有の制度の整備と整合



住宅



業務(小規模)



業務(大規模)



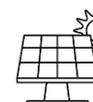
産業



交通



蓄電池



太陽光



風力

## 4. (3) 電源の高付加価値化

### <必要性>

- ▶ システム運用の変化に伴う新たなニーズと各種電源の新たな価値にもとづき、大きな既存設備資産である従来の集中型電源を始めとする電源の最大活用を目指す。
- ▶ 不確実性と変動性の増加によるシステム運用の困難化の中で、揚水・水力・火力・コジェネ・PV・風力などの各種電源はシステムサービスの提供など新たな役割を果たす。

### <技術開発ロードマップ>

- ▶ 価値評価：火力・揚水・水力・PV・風力・バイオ・コジェネなどの容量と調整力の価値
- ▶ 従来電源の柔軟性向上：火力の短時間起動・出力変化速度向上・最低出力低減、部分負荷効率向上  
揚水の可変速化、可変速揚水の合成同期機特性、コジェネの新最適運用
- ▶ 分散電源の機能向上：遠隔・自律制御、遠隔設定変更、
- ▶ インバータの特性向上：同期機減少を補う合成慣性、電圧形成、事故電流供給

### <技術の導入普及>

- ▶ 価値評価：機器特性に応じ新たなニーズに対応したシステムサービス（調整力）の評価
- ▶ 高度運用への対応：火力柔軟運用、発電/揚水の同時運転、安定供給への容量価値、同期運転容量維持
- ▶ 先進機能の活用：高速周波数応答、合成慣性、潮流・電圧管理⇒システム運用の高度化

### <制度の取り組み>

- ▶ 将来を見通した必須機能の確保のための、需要側を含む系統連系グリッドコード
- ▶ 分散資源の活用を阻害しない技術不偏（ニュートラル）な市場やシステムの運用制度
- ▶ デジタル化、データ共有の制度の整備と整合



火力



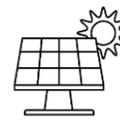
原子力



揚水



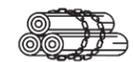
水力



太陽光



風力



バイオ

## 4. (4) システム構築・運用の高度化

### <必要性>

- PV・風力の出力の不確実な変動の増加、従来型の火力発電など集中の運転量の低下、多様な分散型エネルギー資源の能動化の中で、3E+Sを満たす市場運営を含めた電力・エネルギーシステムの構築と運用の高度化が必要である。
- 経済・社会構造の変化、電化、新燃料利用など新しいニーズへの計画的対応が必要で

### <技術開発ロードマップ>

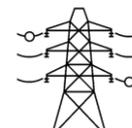
- 課題と価値の評価：価格反応など分散資源能動化、調整力や貯蔵の必要性と供給
- 集中型高度運用：SCUC (Security Constrained Unit Commitment)、調整力融通、高度市場価格形成、分散資源アグリゲーション統合、同期機運転量減少対応、確率的最適化
- 分散型高度運用：自律/自立管理・制御・保護の統合、IoT/配電インフラ構築・整備
- 大容量貯蔵：合成燃料の製造・貯蔵・利用の電力運用との統合

### <技術の導入普及>

- エリア高度化：コネクト&マネージ、電源・需要・貯蔵アグリゲーション統合
- サブエリア高度化：配電網整備と高度運用、コミュニティ・離島のRE90%・需要側
- 市場運営・システム運用の高度化：予測技術統合、新調整力プロダクツ、合成燃料製造・貯蔵
- 価値評価に基づく段階的なシステム構築と運用高度化

### <制度の取り組み>

- 市場およびシステムの運用制度の継続的改善：分散型資源、新調整力プロダクツの受け入れ
- 需給構造の変容に対応した市場制度/システム運用制度の抜本改革
- 運用環境の変化のもとでの制度と設備形成・運用の相互協調（オーケストレーション）
- デジタル化、データ共有の制度の整備と整合



送電網



配電網



システム運用



導管網



蓄エネ・熱・材



燃料貯蔵

## 4. (5) 次世代蓄エネ・蓄熱・蓄材と利用

### <必要性>

- PV・風力の出力の不確実性と変動性の増加によるシステム運用の変化の中で、最終用途に近い形態である蓄エネ・蓄熱・蓄材（マテリアル）が有望である。
- 製造業では多様な需要の変化に対応する多品種少量生産、立地点の多様化が求められる。
- 建物の熱利用、産業プロセスに対応する新たな貯蔵媒体とそれを利用したシステムによる需要側あるいはプロセス全体での貯蔵により、エネルギー利用全体の効率的な3E+S実現をを目指す



業務(小規模)



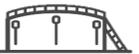
業務(大規模)



産業



蓄エネ・熱・材



燃料貯蔵

### <技術開発ロードマップ>

- 蓄エネ材料：潜熱，顕熱，吸収，吸着，収着，化学
- 温度帯に応じた蓄熱：大出力化(低熱伝導率材料の場合)，耐久性，断熱
- 需給調整：電気加熱、燃焼、HP等の熱源とのハイブリッド化
- 熱回収：排熱利用と余剰電力加熱のハイブリッド・熱回収化（例：燃焼+HP）
- 蓄材（中間生産物）：例 クリンカ（セメント）、
- 蓄材（最終生産物）：例 淡水（淡水化）、アルミ・鉄の新製造技術と循環利用

### <技術の導入普及>

- 投資メリットの明確化：回収に見合う余剰電力価格の低下，イニシャルコスト削減
- 既存設備へ追設できるコンパクト筐体
- 高付加価値の多品種少量生産、オンサイト生産、モジュール化生産
- 熱融通、蓄熱材輸送（<10km）システム

### <制度の取り組み>

- 物質の安全管理の諸制度の改善：例 消防法、危険物

## 4. (6) 新二次エネルギー（合成燃料）

### <必要性>

- 低炭素排出エネルギーシステムの実現には、電化困難な化石資源代替と出力変動や天気の偏りなどによる週間、月間、年間の需給調整のため大規模なエネルギー貯蔵が必要。
- そのためには、揚水やバッテリーでは難しい、長期貯蔵の経済性と安定性に優れた新二次エネルギー（合成燃料）の製造、長期の貯蔵、流通、利用の体系が必要となる。



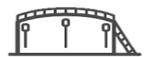
導管網



産業



火力発電



燃料貯蔵

### <技術開発ロードマップ>

- システムの検討を含めた媒体選択：水素その他化学物質の製造、貯蔵・流通方式
- 合成燃料利用技術：移動体燃料、産業熱供給・原料、合成燃料発電
- 拠点製造・貯蔵、大規模多地点製造・貯蔵
- 再エネの導入拡大の中での製造・貯蔵・払い出しの運用

### <技術の導入普及>

- モビリティ：長距離トラック・バス・架線なし鉄道・船舶・航空機
- 利用：低中温熱、産業用高温熱、原料、還元剤
- 既存インフラ活用、貯蔵・流通インフラの整備
- 電力の安定供給対策（含レジリエンス）および環境対策としての発電利用

### <制度の取り組み>

- 物質の安全管理の諸制度の改善：例 消防法、危険物

## 4. (7) ライフスタイル/社会構造の変化への対応

### <必要性>

- 需要側分散型資源の活用には、需要家による技術への認知を高め、積極的な導入促進を図る必要がある。また、電化の推進など時間のかかる需要側の構造変容を加速するためには、消費者の関与（エンゲージメント）を高めることが重要である。
- 長期的には少子高齢化、短期的には、災害被害の増加・コロナ禍への対応など、様々速度の変化に柔軟に対応してQoLの維持・向上を目指す。

### <技術開発ロードマップ>

- 安価で柔軟な構成：需要機器制御・センサの開発・遠隔モニタリング・管理・制御
- 個人情報保護のためのデータ暗号化技術
- 分散型エネマネxEMS(再掲)：市場価格予測、価格反応、診断技術、データ解析応用
- 次世代アグリゲーション：自律性/自立性・付加価値の向上

### <技術の導入普及>

- 離島、山間地・過疎地等：マイクログリッドによる自律運用
- 分散型資源活用：システムサービスと組み合わせた需要サービスへの適用拡大
- コベネフィット：健康、防災・BCP/LCP, SDGs等の訴求

### <制度の取り組み>

- デジタル化によるエネルギー・環境データ取得、消費者行動の把握
- データ共有の制度の整備（データ活用と個人情報保護を両立させる制度設計）
- 情報提供（市場連動価格、デマンドレスポンス、電化）



住宅



業務(小規模)



業務(大規模)



産業



交通

# 5. ロードマップ

2020

2030

2050

## 需要

街区・都市・地域

地域熱供給、BEMSアグリゲータ、AEMS

住宅・ビル

建材・建物

BCP/LCP、マイクログリッド、VPP

インフラ連携、構造変化対応

高断熱化、室内空気質改善、快適性向上、地域ZEB、エネルギー自立建築、BCP

能動調整機能付き建材

空調システム

COP向上、蓄熱空調、太陽熱・地中熱・未活用熱源利用、分散型ポンプ・ヒートポンプ

未利用熱による予熱

HFC代替 輻射冷暖房

高効率給湯

高効率ヒートポンプ給湯

真空断熱貯湯 熱の相互融通

効用の維持・向上

モニタリング、データ活用 AI/smartエネルギー診断・制御

QoL、健康、防災、BCP/LCP

産業

蓄エネ・熱・材/

新生産方式

HP/CHP、低・中温蓄熱

熱再生・電化

高温熱・合成燃料供給・貯蔵 合成燃料利用

多品種少量生産、オンサイト生産、モジュール化生産

交通

移動体

蓄電池・燃料電池特性向上

高耐久電池・燃料電池

蓄電池劣化管理 ICT Platform, 機器, Connected化

勤務地充電/急速充電・価格反応

合成燃料供給ポイント

合成燃料供給網

インフラ

充電Platform・Connected・Sインバータ

高付加価値充電Platform 合成燃料Platform

## 供給

分散資源 (需要/供給)

価値評価・価格反応・スマートインバータ 同期機特性合成型インバータ・高効率PV・風力

超高効率PV・風力

機能向上・高付加価値提供

新規システムサービス・合成同期機特性

分散電源 : 燃料利用

SOFC 効率>55%

効率>65%

合成燃料利用 効率>75%,

最小~最大/定格出力(0.3~1)

最小~最大/定格出力 (0~2)

最小~最大/定格出力 (0~4)

従来電源

火力の価値評価・柔軟性・部分負荷効率向上

CCS アデカシー確保運用 合成燃料利用

揚水の価値評価・高付加価値提供

新規システムサービス・合成同期機特性

## システム、ネットワーク

需要側エネマネ

HEMS/BEMS/CEMS

システム運用

価格反応 システムサービス・RE90%・自律運用CEMS

高度自律/自立管理・制御

ICT Platform, 機器, Connected化

配電網協調・次世代アグリゲーション・コネフィットの訴求

高度運用 確率的・分散型資源統合

大容量貯蔵統合

合成燃料製造・貯蔵統合

コネクト&マネージ・SCUC、高度市場価格形成

配電網レベルの自律管理・制御

合成燃料

長距離モビリティ

拠点製造・貯蔵

大規模製造・貯蔵

媒体とシステムの検討

既存インフラ活用

製造・貯蔵流通計画