

「再生可能エネルギー主力電源化の時代へ」 —ものづくりのカーボンニュートラルの新潮流—



2021年10月7日

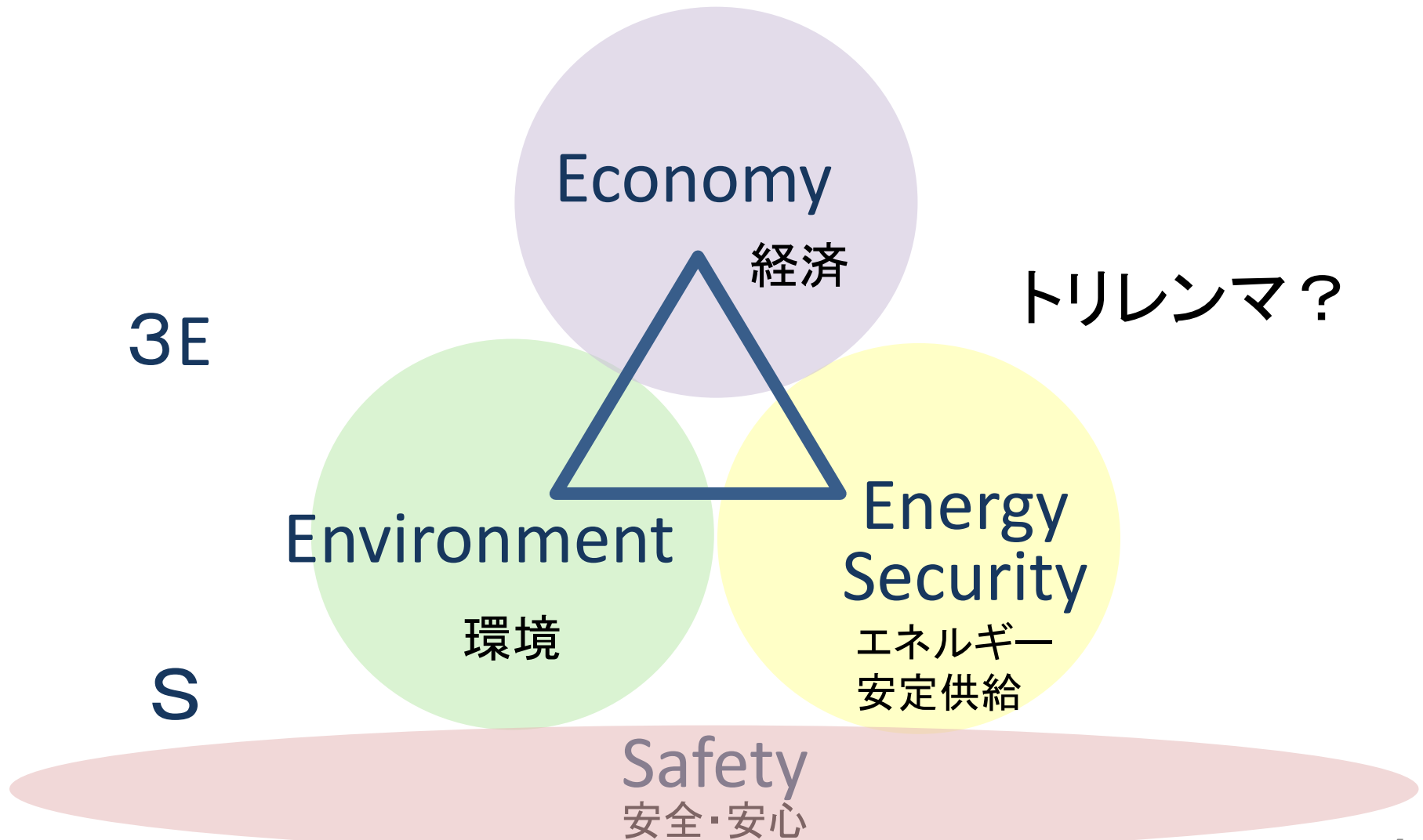
早稲田大学
スマート社会技術融合研究機構
石井 英雄



概要

- 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略
- 再生可能エネルギー政策と現状
- 需給一体化による再生可能エネルギー主力電源化
需要サイドの革新
 - フレキシブルな需要
 - デマンドリスポンス(DR)とバーチャル・パワー・プラント(VPP)
 - FITからFIPへ
 - 新たなビジネス形態
- まとめと所感

エネルギー政策の礎 = 3E + S



2050年カーボンニュートラルに伴う グリーン成長戦略

所信表明

2020年10月26日



地球温暖化対策に向けた国内の二酸化炭素(CO₂)など温室効果ガスの削減目標について、政府は2050年までに温室効果ガスの排出を「実質ゼロ」とする

資料2-3

2021年6月2日 経済産業大臣

2050年カーボンニュートラルに伴う
グリーン成長戦略（案）

令和3年6月

2050年カーボンニュートラルに伴う グリーン成長戦略

出典:内閣府第11回成長戦略会議経済産業大臣提出資料
<https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/seicho/seichosenryakukaigi/dai11/siryou2-3.pdf>

1 (1) . 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略

- 2020年10月、日本は、「2050年カーボンニュートラル」を宣言した。
- 温暖化への対応を、経済成長の制約やコストとする時代は終わり、国際的にも、成長の機会と捉える時代に突入。
 - 従来の発想を転換し、積極的に対策を行うことが、産業構造や社会経済の変革をもたらし、次なる大きな成長に繋がっていく。こうした「経済と環境の好循環」を作っていく産業政策 = グリーン成長戦略
- 「発想の転換」、「変革」といった言葉を並べるのは簡単だが、実行するのは、並大抵の努力ではできない。
 - 産業界には、これまでのビジネスモデルや戦略を根本的に変えていく必要がある企業が数多く存在。
 - 新しい時代をリードしていくチャンスの中、大胆な投資をし、イノベーションを起こすといった民間企業の前向きな挑戦を、全力で応援 = 政府の役割
- 国として、可能な限り具体的な見通しを示し、高い目標を掲げて、民間企業が挑戦しやすい環境を作る必要。
 - 産業政策の観点から、成長が期待される分野・産業を見いだすためにも、まずは、2050年カーボンニュートラルを実現するためのエネルギー政策及びエネルギー需給の絵姿を示すことが必要。
 - こうして導き出された成長が期待される産業（14分野）において、高い目標を設定し、あらゆる政策を総動員。

2050年カーボンニュートラルに伴う グリーン成長戦略

出典：内閣府第11回成長戦略会議経済産業大臣提出資料
<https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/seicho/seichosenryakukaigi/dai11/siryou2-3.pdf>

1 (2) . 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略

● 電力部門の脱炭素化は大前提

→ 現在の技術水準を前提とすれば、全ての電力需要を100%単一種類の電源で賅うことは一般的に困難

→ あらゆる選択肢を追求

再エネ … 最大限導入。コスト低減、地域と共生可能な適地の確保、蓄電池活用。

→ 洋上風力・太陽光・蓄電池・地熱産業を成長分野に

水素発電 … 選択肢として最大限追求。供給量・需要量の拡大、インフラ整備、コスト低減。

→ 水素産業・燃料アンモニア産業を創出

火力+CO₂回収 … 選択肢として最大限追求。技術確立、適地開発、コスト低減。

→ 火力は必要最小限、使わざるを得ない（特にアジア）

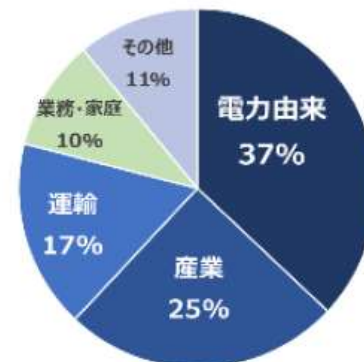
→ カーボンリサイクル産業の創出

原子力 … 安全性向上、再稼働、次世代炉。

→ 可能な限り依存度を低減しつつ、安全最優先での再稼働

→ 安全性等に優れた炉の追求

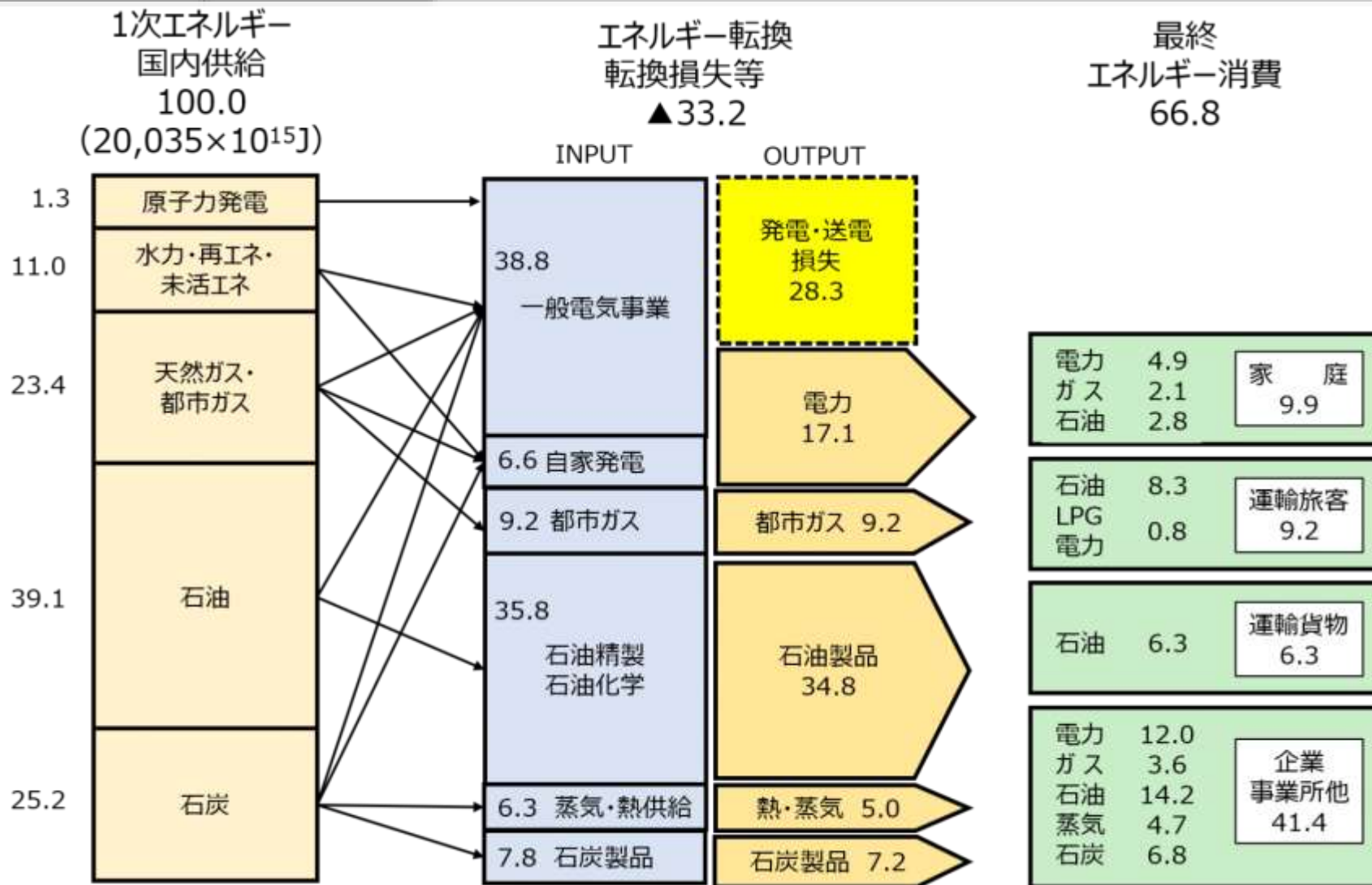
【CO₂の部門別排出割合】



エネルギーフローで見る

出典 : TriEN+ (2021年3月21日アクセス)

<https://trienplus.com/energy-energy-flow-and-energy-resources/>



2050年カーボンニュートラルに伴う グリーン成長戦略

出典:内閣府第11回成長戦略会議経済産業大臣提出資料
<https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/seicho/seichosenryakukaigi/dai11/siryou2-3.pdf>

1 (3) . 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略

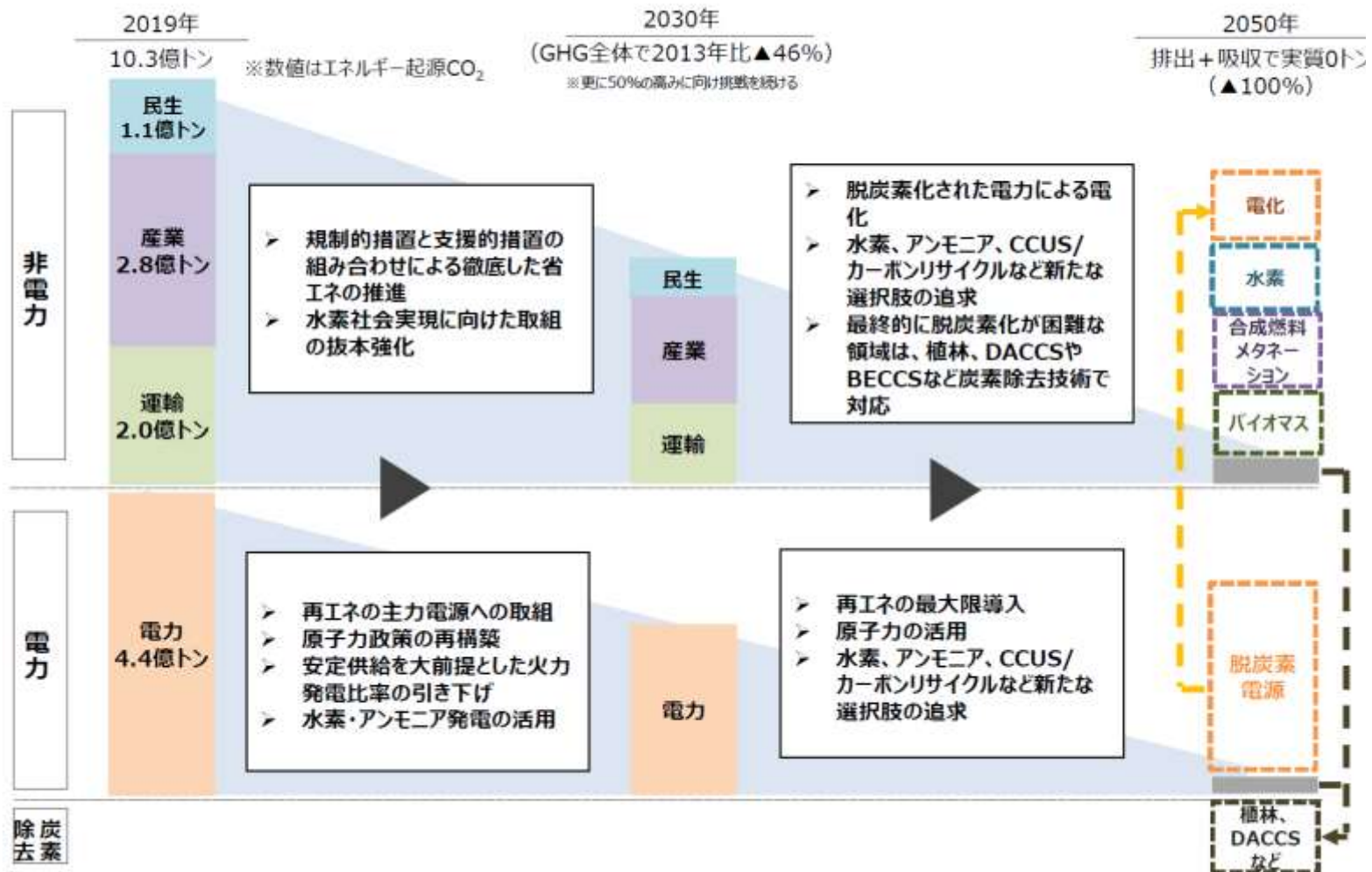
- 電力部門以外（産業・運輸・業務・家庭部門）は、「電化」が中心。熱需要には、「水素化」、「CO₂回収」で対応
 - 電力需要は増加 → 省エネ関連産業を成長分野に
 - 産業 … 水素還元製鉄など製造プロセスの変革
 - 運輸 … 電動化、バイオ燃料、水素燃料
 - 業務・家庭 … 電化、水素化、蓄電池活用
 - 水素産業、自動車・蓄電池産業、運輸関連産業、住宅・建築物関連産業を成長分野に
 - 蓄電 … カーボンニュートラルは電化社会
 - グリーン成長戦略を支えるのは、強靱なデジタルインフラ＝「車の両輪」
 - デジタルインフラの強化 → 半導体・情報通信産業を成長分野に
 - 電力 … スマートグリッド（系統運用）、太陽光・風力の変動調整、インフラの保守・点検等
 - 輸送 … 自動運行（車、ドローン、航空機、鉄道）
 - ✓ 工場 … 製造自動化（FA、ロボット等）
 - 業務・家庭 … スマートハウス（再エネ＋蓄電）、サービスロボット等
- 全ての分野において、技術開発から、社会実装 + 量産投資によるコスト低減へ
- 経済効果と雇用効果については精査中

2050年カーボンニュートラルに伴う グリーン成長戦略

出典:内閣府第11回成長戦略会議経済産業大臣提出資料

<https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/seicho/seichosenryakukaigi/dai11/siryou2-3.pdf>

2 (2) . 2050年カーボンニュートラルの実現



⑫住宅・建築物産業・次世代電力マネジメント産業（次世代電力マネジメント）

- ◆ 再エネ大量導入や系統混雑問題等への効果的な対応には、デジタル技術を活用した、高度な電力マネジメントの予測・運用・制御手法のビジネス活用・展開を後押しすることが重要。特に、データ利活用技術の高度化により、変動再エネ、蓄電や需要側リソース等の分散型エネルギーリソースの価値を集約し、デジタル制御と市場取引等で活用するアグリゲーションビジネスを推進。
- ◆ 併せて、その地産地消型の活用のある場であるマイクログリッドの導入を促進し、市場機能やデジタル技術を活用した系統運用の高度化と、必要な設備・システム投資を通じた次世代グリッドの構築を図る。

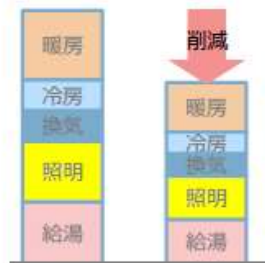
	現状と課題	今後の取組
分散型 エネルギー 関連産業	分散型エネルギーリソース(DER)のアグリゲーションビジネス <ul style="list-style-type: none"> 変動再エネは電力市場に未統合 アグリゲーターは法律上に位置づけ、ビジネス参入・拡大は、各種リソースの活用可能性と市場整備次第 太陽光発電は導入拡大も立地制約直面、コスト低下鈍化 定置用蓄電池は市場拡大もコスト高 需要側リソースは産業用需要の一部が調整力として活用も、本格活用はこれから 	分散型エネルギーリソース (DER) の活用最適化に向けた制度・市場整備：市場規模 約3千億円～ <ul style="list-style-type: none"> FITからFIP制度への移行による変動再エネの市場統合[2022年度～] DERの価値取引市場（卸電力、需給調整、環境価値等）の要件整備（大規模電源との公平取扱等） 混雑緩和にDERを活用するローカルレベルの混雑プライシング、市場取引の創設検討 多様なDER（蓄電池/EV、需要側リソース等）の活用容易化に向けた取組 ※太陽光発電は別項参照 <ul style="list-style-type: none"> 定置用蓄電池のコスト低減・普及拡大に向けた取組（コスト目標、導入・投資促進、JET認証運用改善等） ダイナミックプライシングの活用等による電動車充電シフト、車載用電池リユース等の技術実証 家庭・業務用需要の活用（次世代スマートメーター導入、計量方法拡大による小型リソースの取引活用） ビッグデータやAI/IoTの活用によるEV/蓄電池、電気機器等の最適制御(規格・基準の整備等)
	マイクログリッド <ul style="list-style-type: none"> 独立した系統運用の技術的困難性 需要家、小売事業者、系統運用者、自治体他間の調整 蓄電コスト、系統運用コストの高さ等に伴う事業性 	マイクログリッド：地産地消に適した地域における導入促進 <ul style="list-style-type: none"> 技術的困難性の克服：<u>構築モデル事業を通じて得られた知見・経験の共有</u>、離島等での技術実証 関係者間調整の容易化：<u>配電事業ライセンスの運用明確化</u>、ベストプラクティスの共有 多様なビジネスモデルの形成促進：<u>レジリエンス価値の明確化</u>、他の公共的サービスとの一体化/自治体関与
次世代 グリッド 関連産業	配電系統 <ul style="list-style-type: none"> 変動再エネ大量導入に伴う電力品質の維持 DERの制御、前提としてのデータ把握改善 	配電系統：DERの大量導入やデジタル技術活用を前提とした、配電系統運用の高度化 <ul style="list-style-type: none"> 次世代スマートメーターの導入・活用[2020年代半ば～]、想定潮流予測技術・データ分析技術の高度化 DERを含む各種電力機器からのリアルタイム情報把握、統合制御技術の開発・実証・確立
	送電系統 <ul style="list-style-type: none"> 再エネ大量導入に伴う系統接続・混雑対応の重要性増大 非同期電源の比率上昇に伴う慣性力の確保 運用高度化、前提としての各種データ把握改善 洋上風力等の導入拡大に伴う効果的な設備形成 	送電系統：市場機能を活用した制度整備、デジタル技術を活用した系統運用高度化、設備形成 <ul style="list-style-type: none"> 系統混雑対応：ノンファーム型接続拡大、再給電方式の導入、市場主導型への移行[2020年代後半～] 大規模需要の託送料金等による立地誘導インセンティブ検討 慣性力提供技術（次世代インバーター・系統制御方式）の開発、グリッドコード化/市場開設[2030年代] 送変電設備の監視・運用技術の高度化（ダイナミックレーティング等の実証） マスタープランの策定[2022年]、連系線等の増強、長距離直流送電の本格導入
	海外展開 <ul style="list-style-type: none"> エネルギー貯蔵・スマートグリッドは日米気候PSの協力項目 海底直流送電は世界市場拡大、主要設備に国際競争力 	海外展開を後押し：スマートグリッド関連機器・システム（日米協力、海外実証等） 海底直流送電関連機器（直流ケーブル、交直変換器等）

住宅のカーボンニュートラル

エネルギーを極力
必要としない
(夏は涼しく、冬は暖かい住宅)



エネルギーを上手に使う

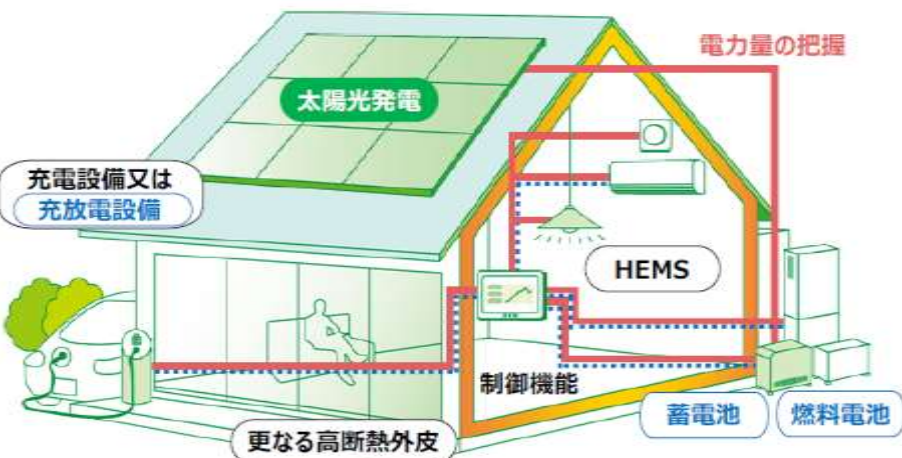
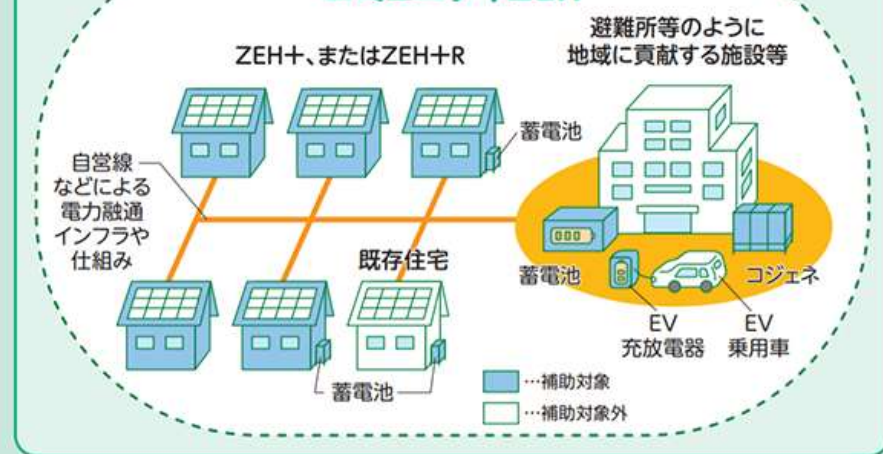


エネルギーを創る



事業の概要

コミュニティZEH



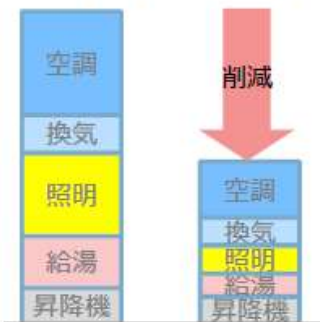
出典: 第18回再生可能エネルギー大量導入・次世代ネットワーク小委員会

出典: 環境ビジネスオンライン

<https://www.kankyo-business.jp/news/024585.php>

業務ビルのカーボンニュートラル

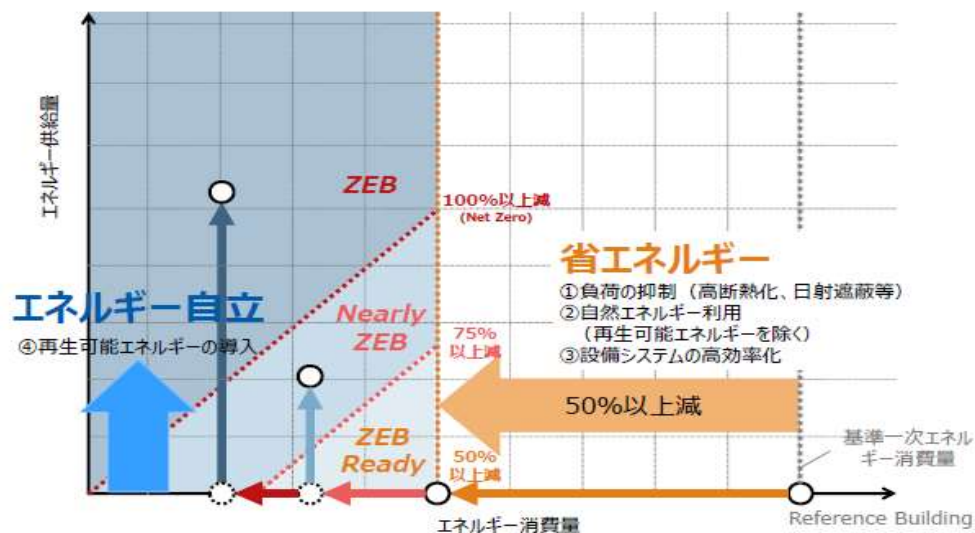
エネルギーを極力
必要とせず、上手に使う



エネルギーを創る

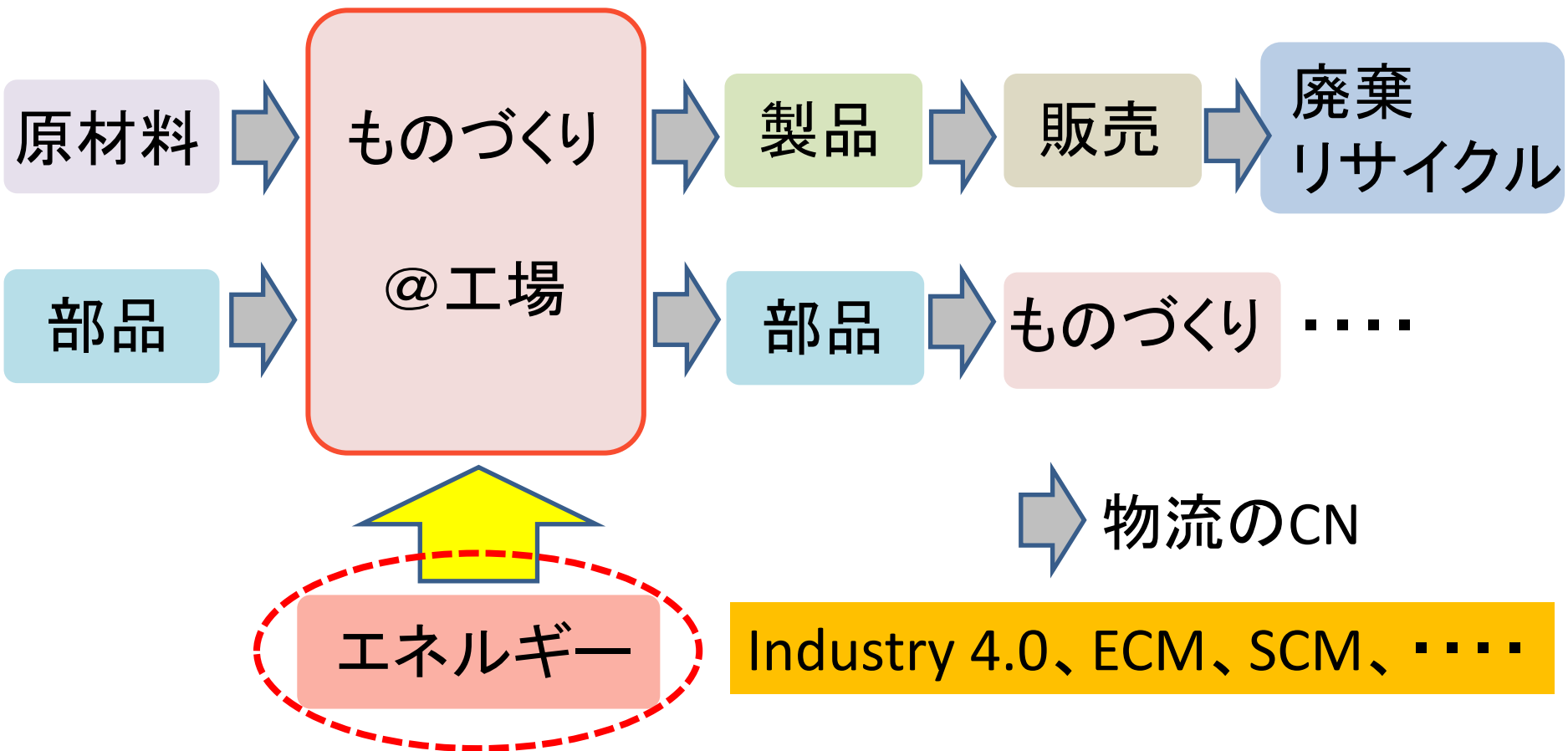


- 50%以上省エネ (ZEB READY) を満たした上で、太陽光発電等によりエネルギーを創ることで、正味でゼロ・エネルギーを目指す
- 正味75%以上省エネ達成 = Nearly ZEB
- 正味100%以上省エネ達成 = ZEB



ものづくりとサプライチェーン

サプライチェーン全体でのCN



需給一体のカーボンニュートラルへの道

□ 供給される電気(エネルギー)のCN

- 再生可能エネルギーの可能な限りの導入
- 火力発電のCarbon Free(CF)燃料への転換
- CCSと組み合わせた火力発電
- 安全を確保した原子力発電

□ 自己CN

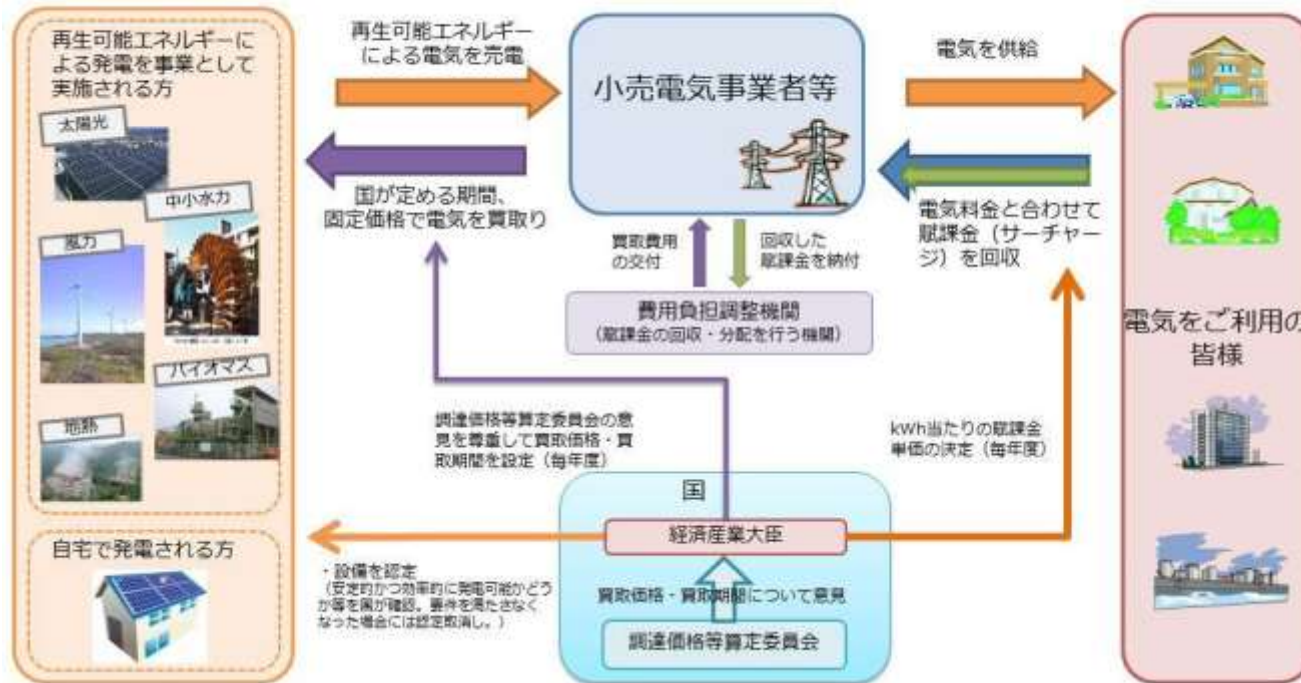
- 徹底的な省エネ
- エネルギー利用の電化
- CF燃料への転換
- CF電気の調達、CF電源へのアクセス

□ 需給一体のエネルギーシステム

- 再生可能エネルギーの弱点を補完

再生可能エネルギー普及促進策

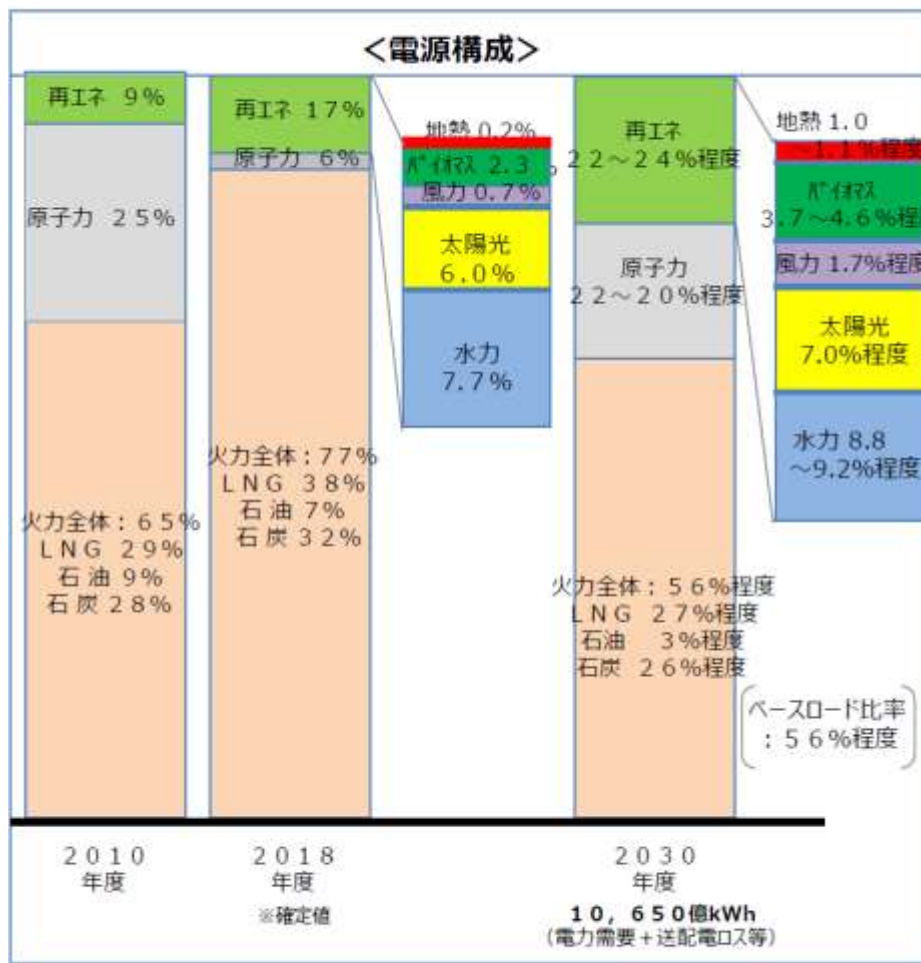
固定価格買取制度（FIT）の基本的な仕組み



電源 【調達期間】	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	価格目標
事業用太陽光 (10kW以上) 【20年】	40円	36円	32円	29円 ^{※1} 27円 ^{※1}	24円	入札制 (2,000kW以上)		入札制 (500kW以上)	入札制 (250kW以上)		7円 (2025年)
						21円 (10kW以上 2,000kW未満)	18円 (10kW以上 2,000kW未満)	14円 (10kW以上 500kW未満)			
住宅用太陽光 (10kW未満) 【10年】	42円	38円	37円	33円 35円 ^{※3}	31円 33円 ^{※3}	28円 30円 ^{※3}	26円 28円 ^{※3}	24円 26円 ^{※3}	21円		卸電力 市場価格 (2025年)

※1 出力変動対応機器設置義務あり(2020年度以降は設置義務の要件にかかわらず適用可)
※2 出力変動対応機器設置義務あり(2020年度以降は設置義務の要件にかかわらず適用可)
※3 出力変動対応機器設置義務あり(2020年度以降は設置義務の要件にかかわらず適用可)

2018年度電源構成と再エネ導入状況



(kW)	導入水準 (20年3月)	FIT前導入量 +FIT認定量 (20年3月)	ミックス (2030年度)	ミックスに 対する 導入進捗率
太陽光	5,580万	7,990万	6,400万	約87%
風力	420万	1,160万	1,000万	約42%
地熱	59万	62万	140~ 155万	約40%
中小 水力	980万	1,000万	1,090~ 1,170万	約86%
バイオ	450万	1,080万	602~ 728万	約68%

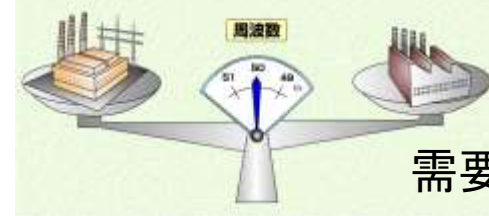
※バイオマスはバイオマス比率考慮後出力。
 ※改正FIT法による失効分(2020年3月時点で確認できているもの)を反映済。
 ※地熱・中小水力・バイオマスの「ミックスに対する進捗率」はミックスで示された値の中間値
 に対する導入量の進捗。

出典: 第18回再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/018_02_00.pdf

再生可能エネルギー主力電源化の課題

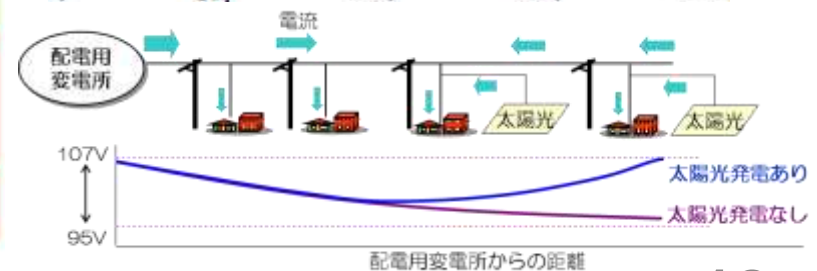
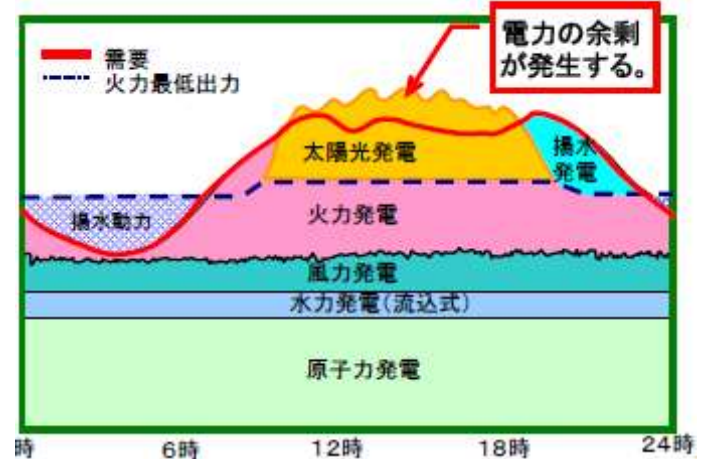


電力システム制約



需要=供給

再エネの時間・空間的に偏在

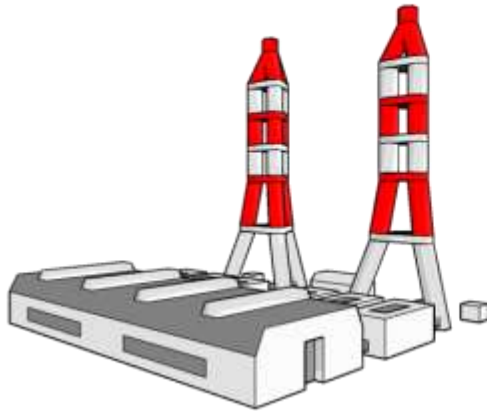


注)これですべてではない

スマートな需要 -ディマンドレスポンス(DR)-

火力発電

化石燃料



等価

デマンドレスポンス (DR)

全国全戸数 約7700万軒

エアコン0.5kW制御×2台×15万軒×1時間



+

次世代
HEMS

DR信号

HP給湯機1.5kW制御×10万軒×1時間



+



電動車3kW制御×5万軒×1時間

15万kW×3時間

発電
ポジワット

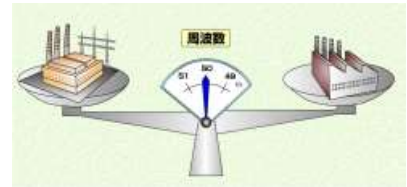
需給安定

想定
増分

現在
需要

15万kW×3時間

DR
ネガワット

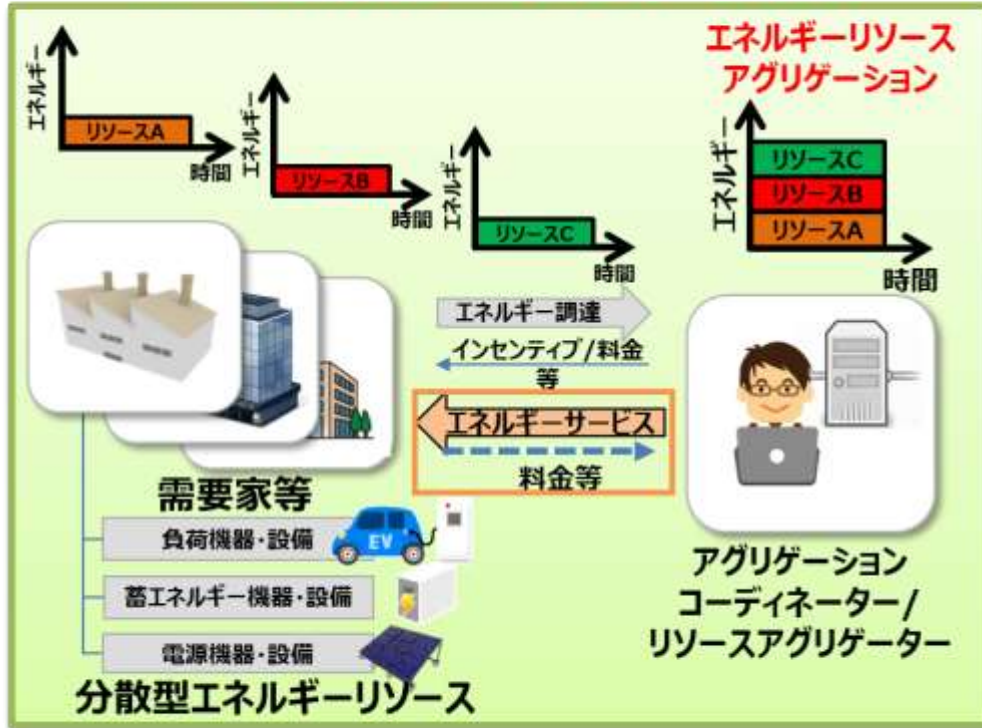


需給安定

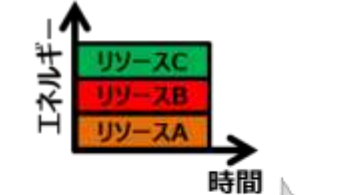
エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス (ERAB)

-バーチャル・パワー・プラント (VPP) -

バーチャルパワープラント (VPP)



分散型エネルギーリソースの電力をIOT・デジタル化で束ねて提供



エネルギー(kWh)
パワー (kW, ΔkW)

対価

【一般送配電事業者】



- ・調整力確保
- ・電力品質維持

【再エネ事業者】



- ・発電の継続

【需要家・コミュニティー】



- ・エネルギーコスト低減
- ・環境負荷低減
- ・再エネ有効活用

【小売事業者】



- ・顧客サービス
- ・電源調達
- ・インバランス回避

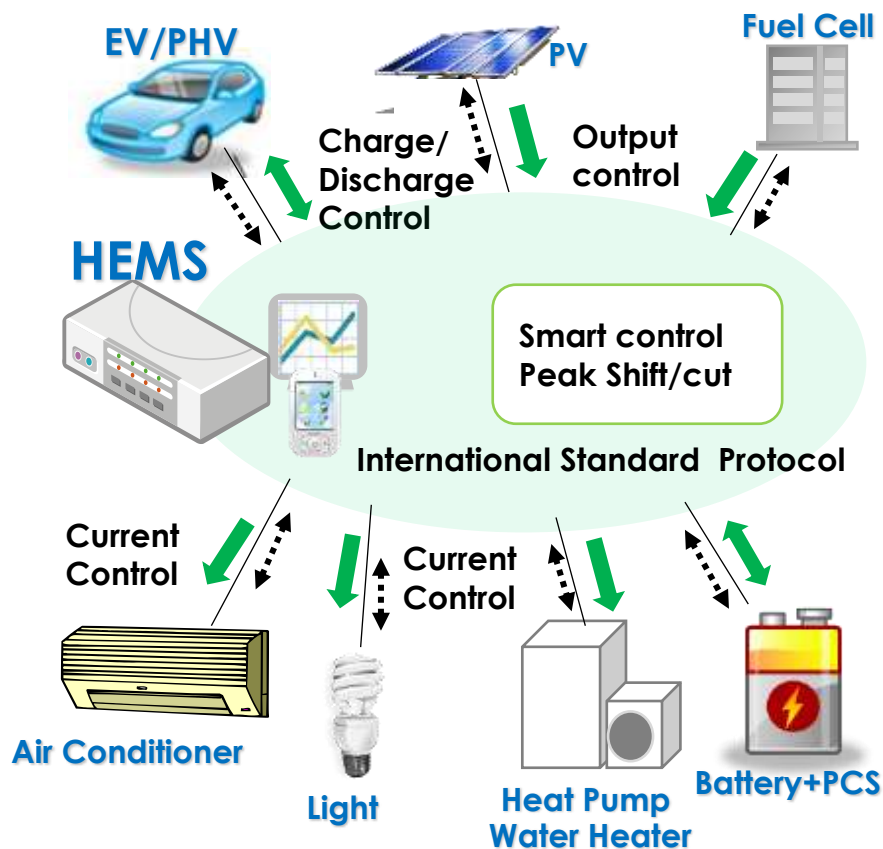
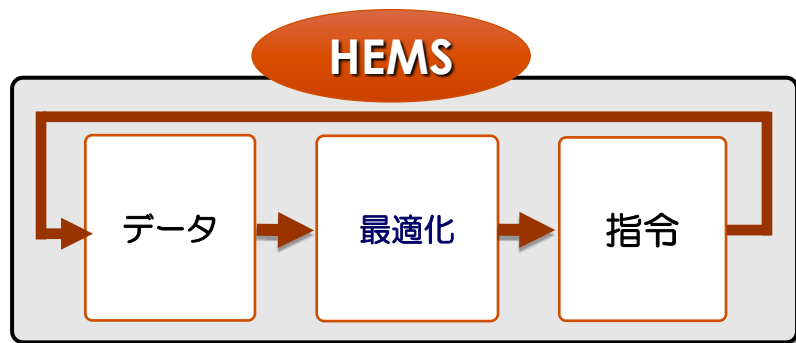
【各種電力取引市場】

エネルギーマネジメント

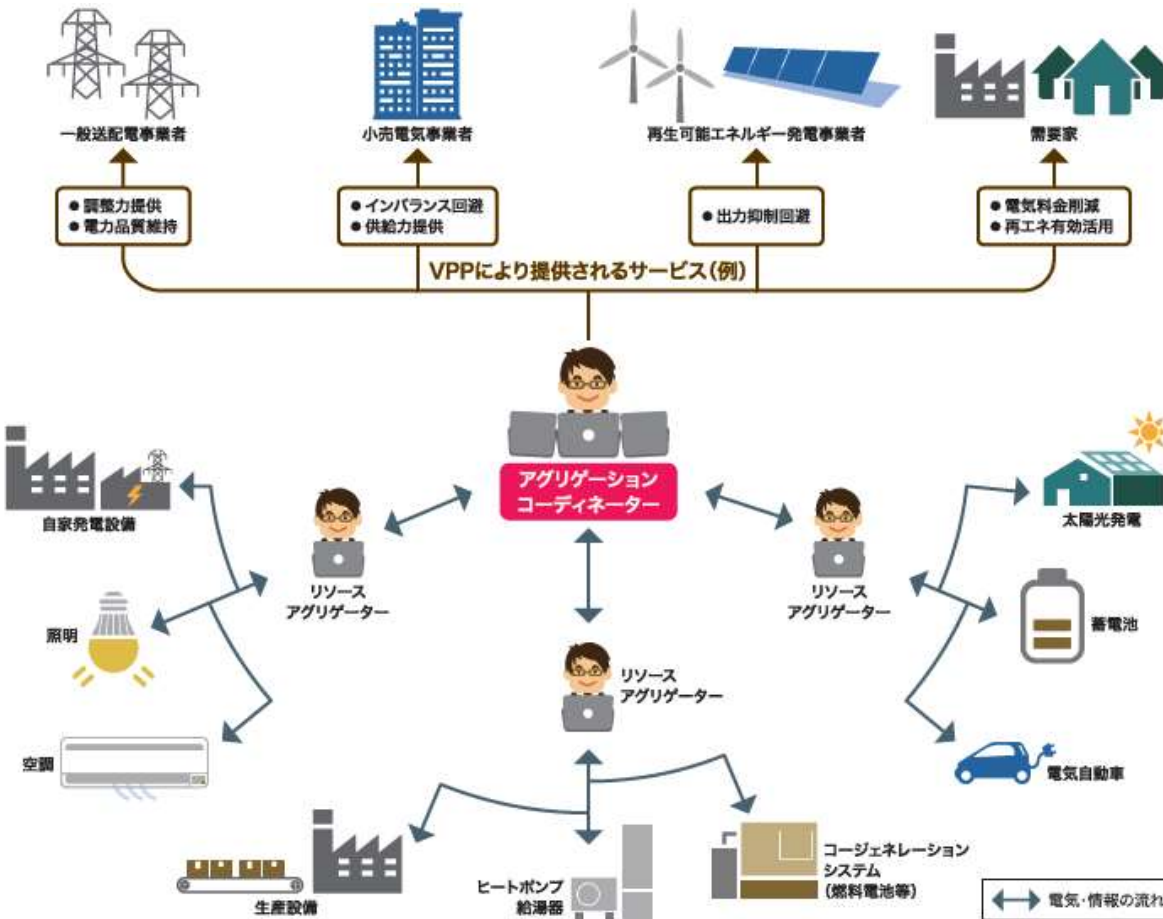
VDI-ガイドライン 4602

“エネルギーマネジメントとは、環境への配慮・経済性の目的を取り込んだ要請を満足する、主体的・組織的・体系的なエネルギーの調達・転換・配分・使用をいう”

最適化には自動化が必須



ERABの実証とプレイヤー



Aggregation Coordinator	Resource Aggregator
アズビル、東電エナジーパートナー他	アズビル
SB エナジー	Loop + 9 Ras
エナリス	KDDI + 2 Ras
関西電力	京セラ、パナソニック、シャープ + 10 Ras
グローバルエナジー、東電パワーグリッド、東電ホールディングス	東電パートナー、大崎、セキスイ化学 + 5 Ras
ローソン、慶應大学	ローソン

他にエナジープールジャパン、ENEL Xジャパンなどのアグリゲーターが事業を展開

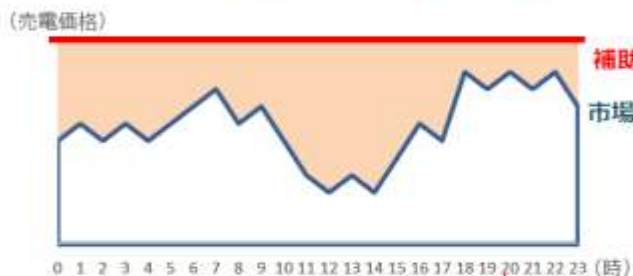
FITからFIPへの移行

論点1-1: FIT制度の導入とアグリゲータービジネスの活性化

(参考) 市場連動型の導入支援 (FIP制度)

- 大規模太陽光・風力等の競争力ある電源への成長が見込まれるものは、欧州等と同様、**電力市場と連動した支援制度へ移行**。

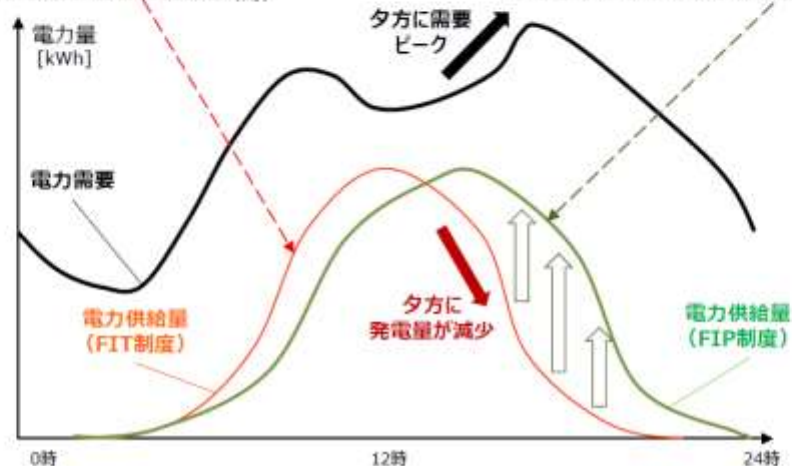
FIT制度 価格が一定で、収入はいつ発電しても同じ
→ 需要ピーク時 (市場価格が高い) に供給量を増やすインセンティブなし



FIP制度 補助額 (プレミアム) が一定で、収入は市場価格に連動
→ 需要ピーク時 (市場価格が高い) に蓄電池の活用などで供給量を増やすインセンティブあり
※補助額は、市場価格の水準にあわせて一定の頻度で更新



1日の電力需要と太陽光発電の供給量



出典: 第19回再生可能エネルギー大量導入・次世代ネットワーク小委員会

需給一体の例

出典：第16回再生可能エネルギー大量導入・次世代ネットワーク小委員会

(2) 需給一体型のモデルを促進する中核技術の普及

25

- 需給一体型モデルを促進する上で、再エネを効率的に活用する技術として、**蓄電機能とモビリティ機能を有する電気自動車や、蓄電池等の蓄エネ技術**の最大限の活用が考えられる。
- 例えば住宅用太陽光については、余剰電力を**蓄電池やEV・PHVに蓄電**、もしくは**エコキュート（ヒートポンプ給湯器）**により蓄熱し、これらをHEMS（Home Energy Management System）によって最適制御を行うことが有効。



蓄電池の活用例

- 昼間の余剰電力を蓄電し、太陽光の発電量が少ない時間帯に放電。
※高コスト、蓄電ロスが課題。

EV・PHVの活用例

- EV・PHVの充電に余剰電力を利用。
- さらに、蓄電を家庭に給電するV2H (Vehicle to Home) は活用の幅を拡大。

エコキュート（ヒートポンプ給湯器）の活用例

- 昼間の余剰電力で蓄熱し、夜間に家庭内で利用。

需給一体の例

出典：第16回再生可能エネルギー大量導入・次世代ネットワーク小委員会

④再エネを求める需要家とこれに応える動き

8

- 2016年に発効された、気候変動対策の新たな枠組みであるパリ協定を契機に、世界的にESG投資の動きが拡大。事業者の低炭素・脱炭素化へのニーズは非常に高まっており、これに対する「再生可能エネルギーとしての付加価値」への需要が高まっている。
- 国際的な環境イニシアチブである「RE100」は2019年7月現在、177社がコミットしており、日本企業も19社が加盟。
- また、RE100企業等の需要家が非FIT再エネ電源に投資して電力を購入するVirtual PPAの実現も視野に、ブロックチェーンを活用したP2Pの電力取引プラットフォームの開発に乗り出す事業者（プラットフォームとしてのビジネスモデル）も登場。

【RE100プロジェクト】



【需要家向け再エネ小売取引の事例】

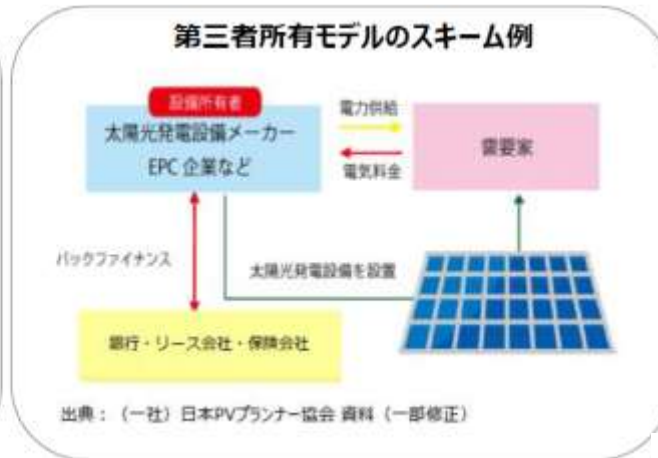
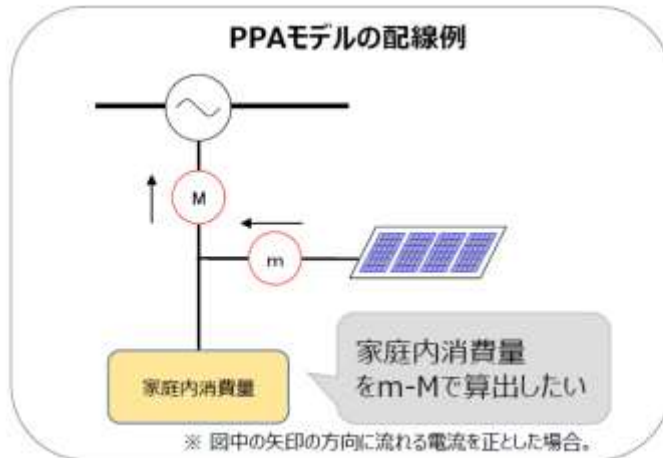


(出典) みんな電力株式会社より提供

太陽光発電活用サービスビジネス

● PPA (Power Purchase Agreement) モデル

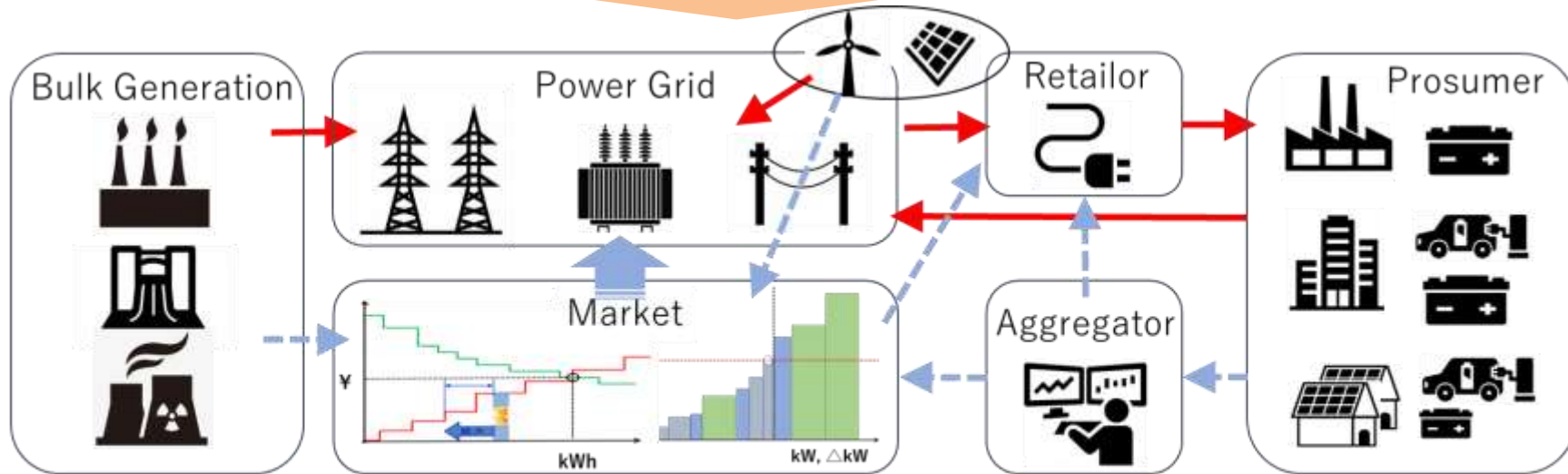
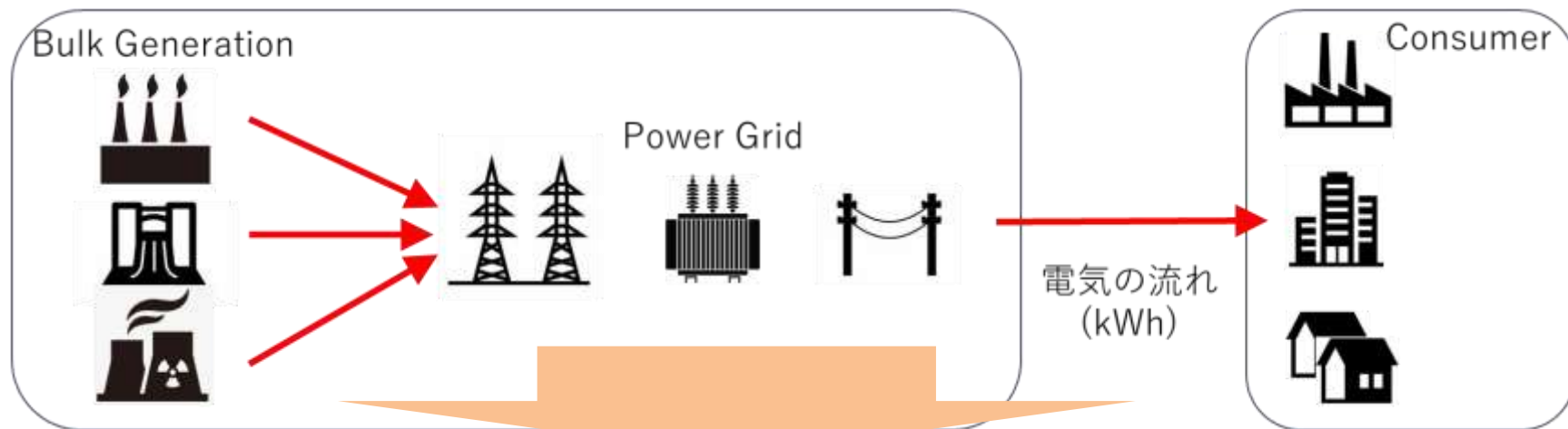
出典: 第35回電力・ガス基本政策小委員会



間接的	供給方法	直接的
場所の制限なし (遠隔地)	設置場所	設置場所に制限 (敷地内)
大規模～中規模	規模	中規模～小規模
柔軟に対応	需要家変更	移設工事等が必要

出典: 流通ニュース
<https://www.ryutsuu.biz/strategy/n033114.html>

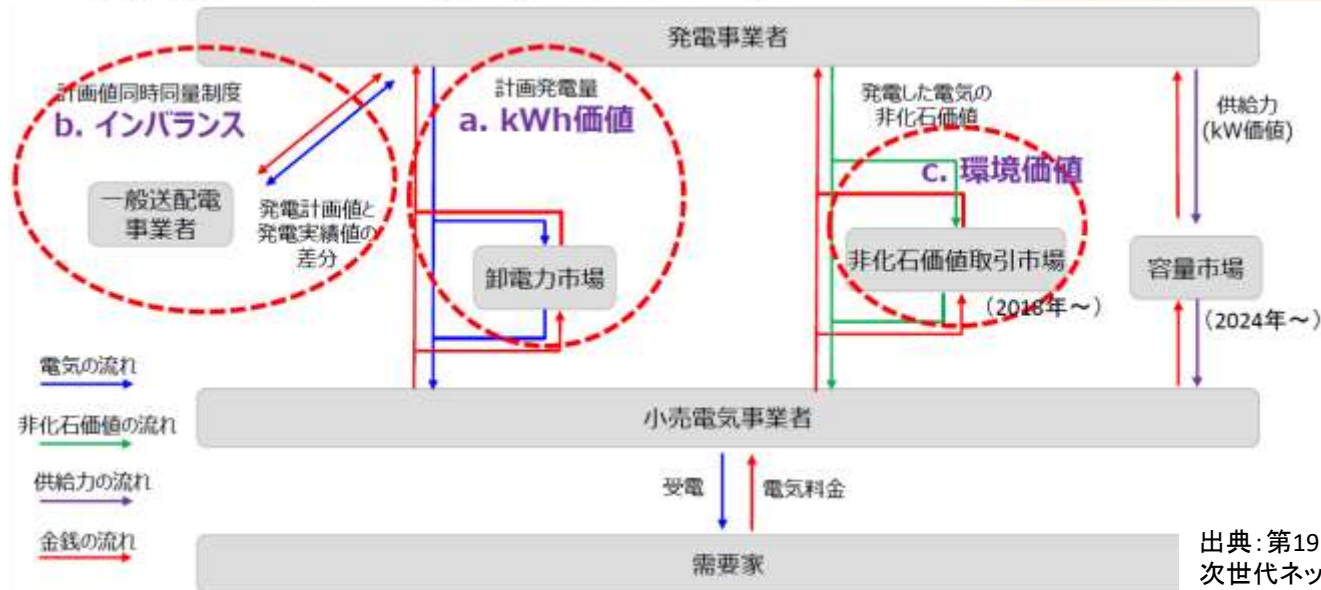
当面目指している体系 ~2025年



→ 電気の流れ
 --> 電気の価値 (kWh, kW, ΔkW) の流れ

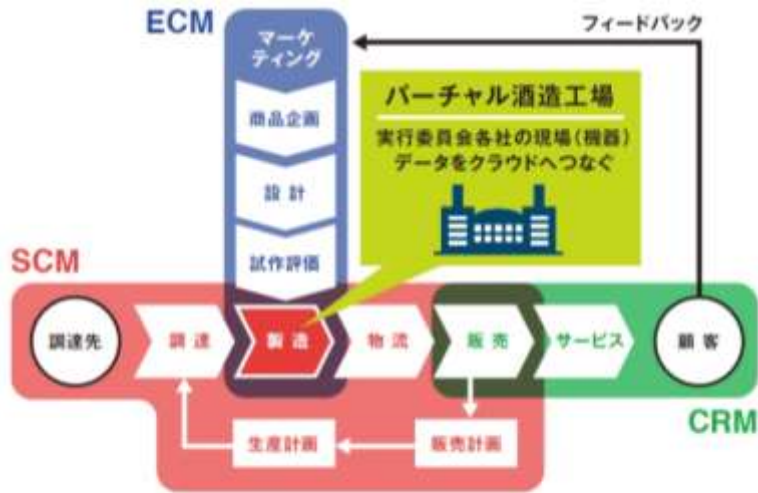
アグリゲーターの市場参入と価値の流れ

FIP制度導入で事業機会拡大が期待される分野 (kWh価値取引、インバランス管理)



出典: 第19回再生可能エネルギー大量導入・次世代ネットワーク小委員会

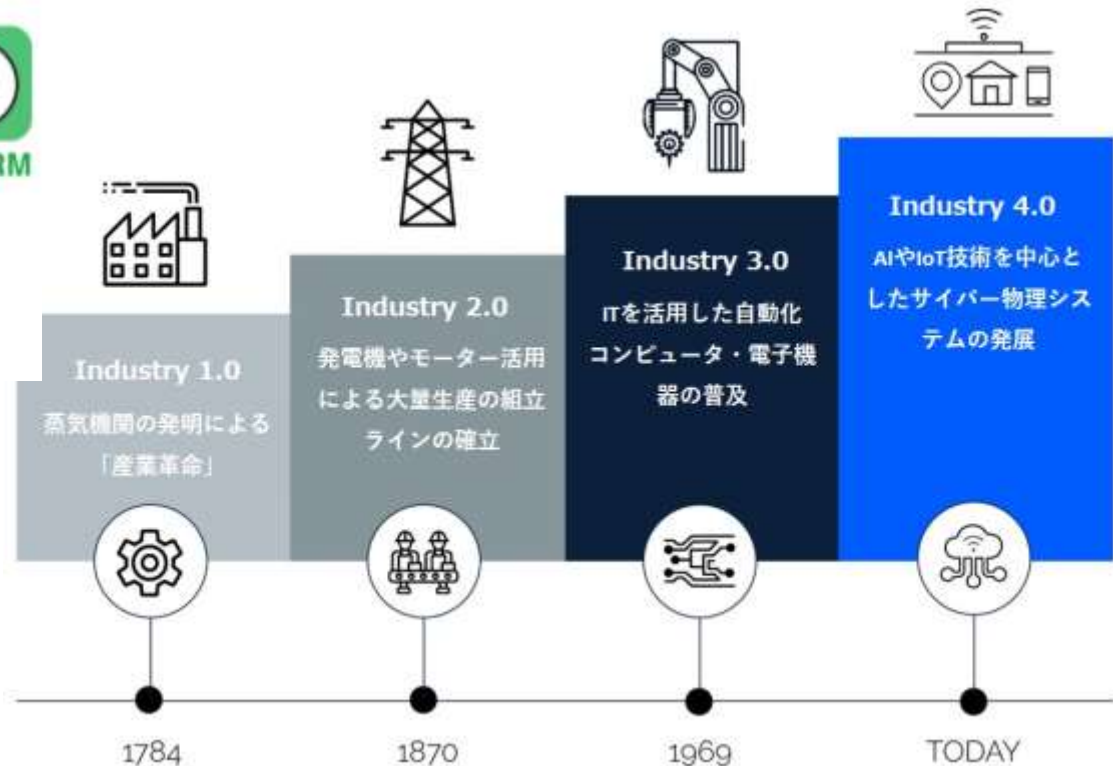
第4の産業革命 Industry 4.0



SCM: Supply Chain Management
 ECM: Engineering Chain Management
 CRM: Customer Relationship Management

出典: SCF 2017 計測展
<https://iifes.jp/2017/highlight/>

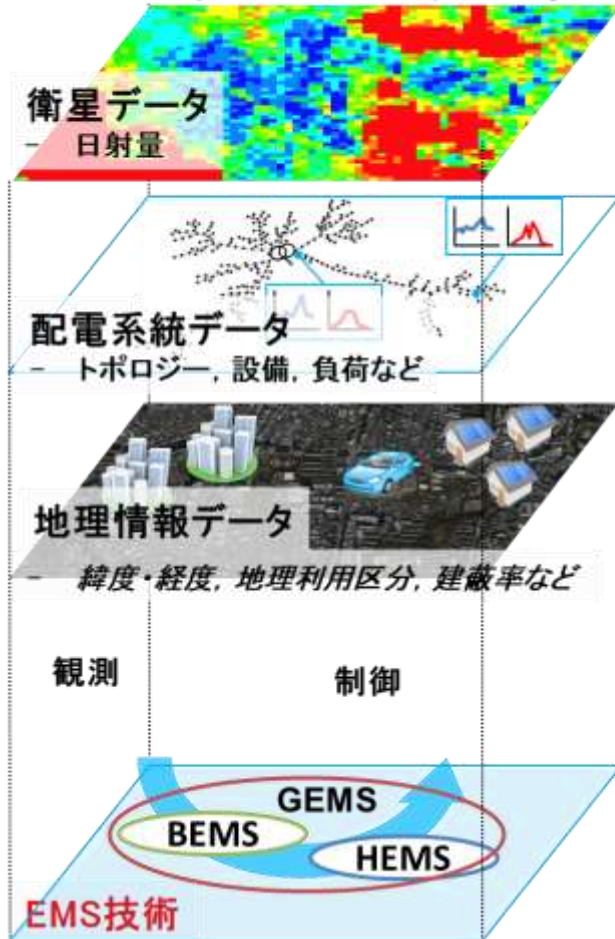
出典: iLand6
<https://mec.iland6.com/2020/10/a-nice-entry/>



デジタルシミュレーションによるスマートシティ研究

スマートシティの将来シナリオに対する、各種EMS技術の導入効果が多角的に評価可能に

スマートシティのデジタルプラットフォーム



将来シナリオ

- EMS技術
- PV・EVなどの普及,
- 給湯器の電化など...

入力

都市規模のEMSシミュレーションモデル



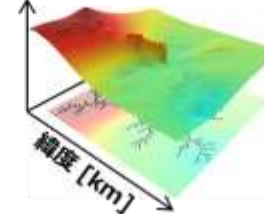
出力

EMSハードウェアテストベッド

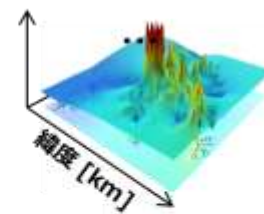


スマートシティの持続性評価指標

地点電圧 [V]



配電損失 [kWh]



早稲田大学E-MaaS構想

公共交通分担率**3**倍

E-MaaS
構想の実現

CO2削減**100**%

データ科学的根拠に基づいた様々な自治体での都市運営

革新的学術体系「**都市の知能化**」の確立

都市挙動の同時予測エンジン導入型
超スマートシティ・サービスマネジメント・プラットフォームの
都市実装と行動変容による効果実証



人流
データ

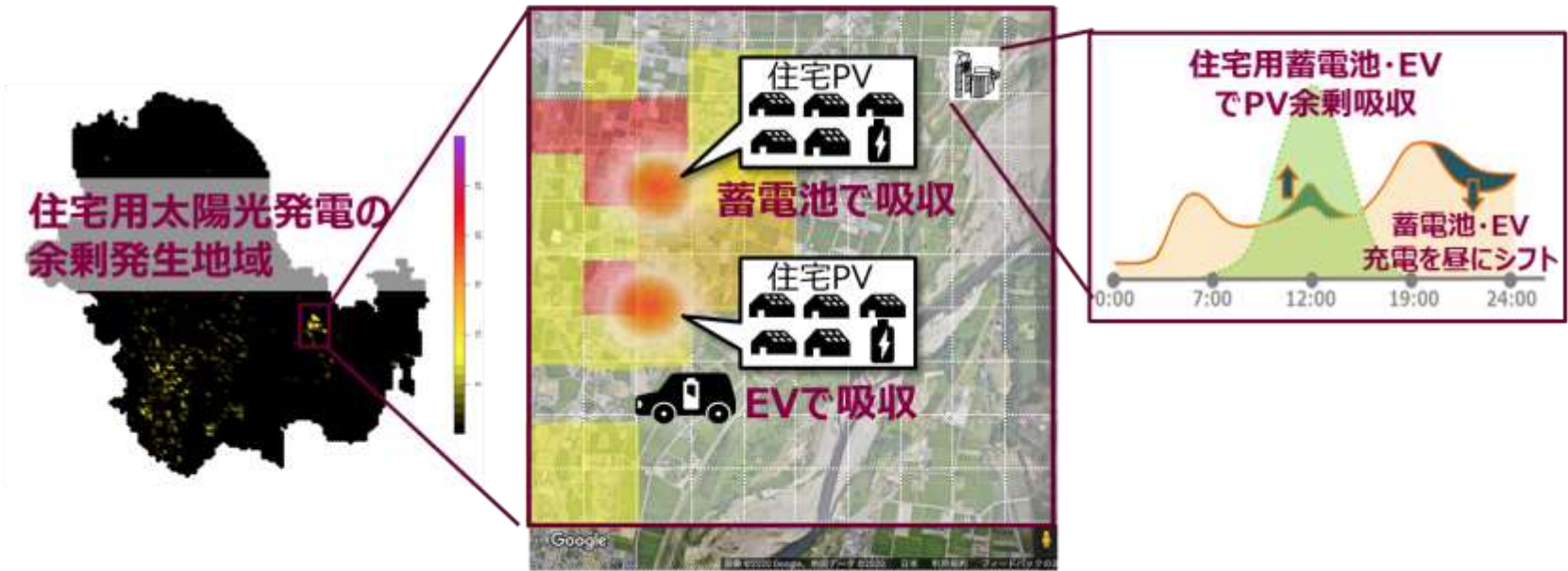
電力
データ

交通
データ

データ活用によるセクターカップリング



- ① 都市規模での住宅太陽光発電余剰量の高精度予測
- ② 太陽光余剰が多い地域に蓄電池やEVの最適配置と制御
- ③ 配電用変電所で効果測定



再エネ電力の地産地消によるCO2排出のない都市の実現

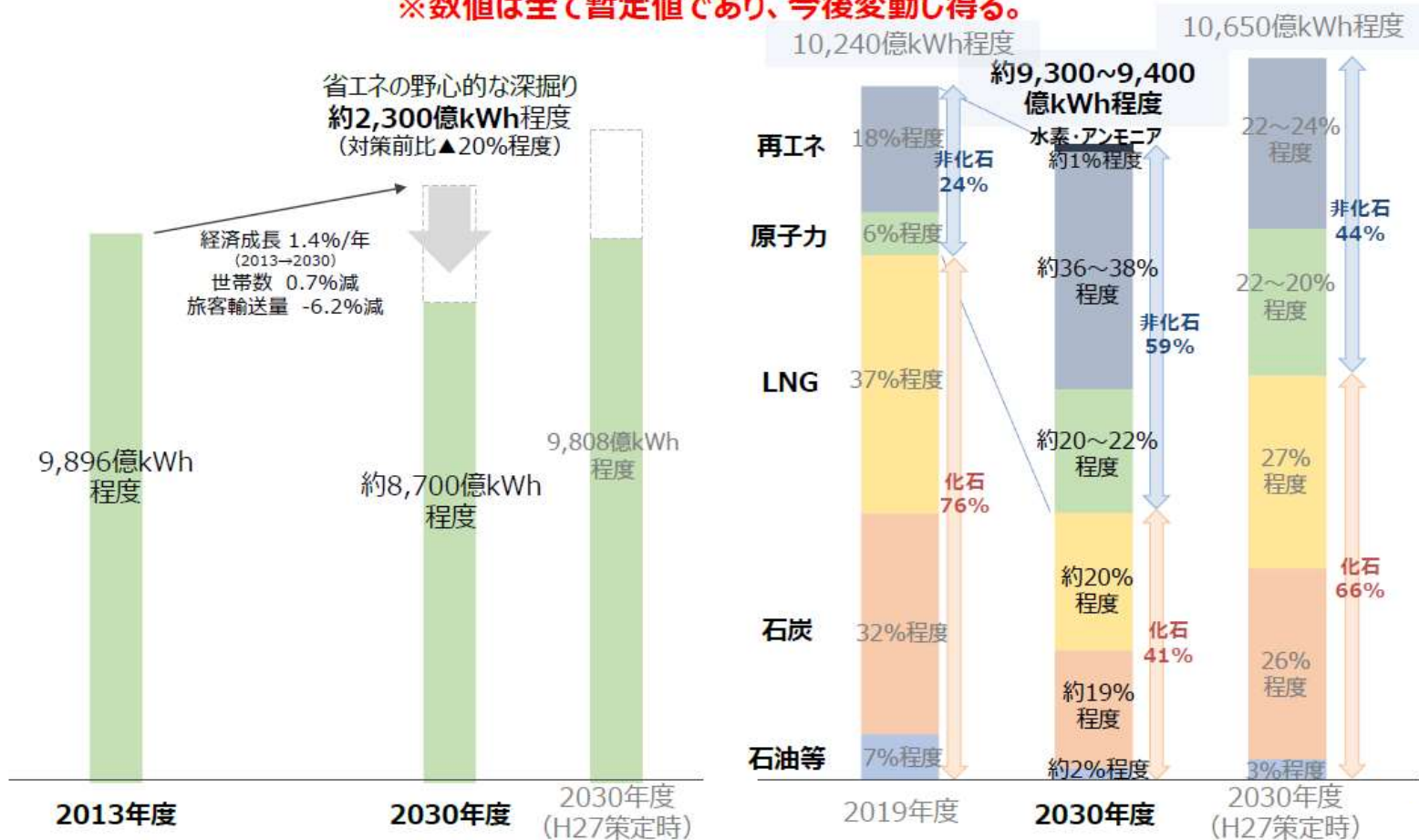
エネルギー基本計画の素案

電力需要・電源構成

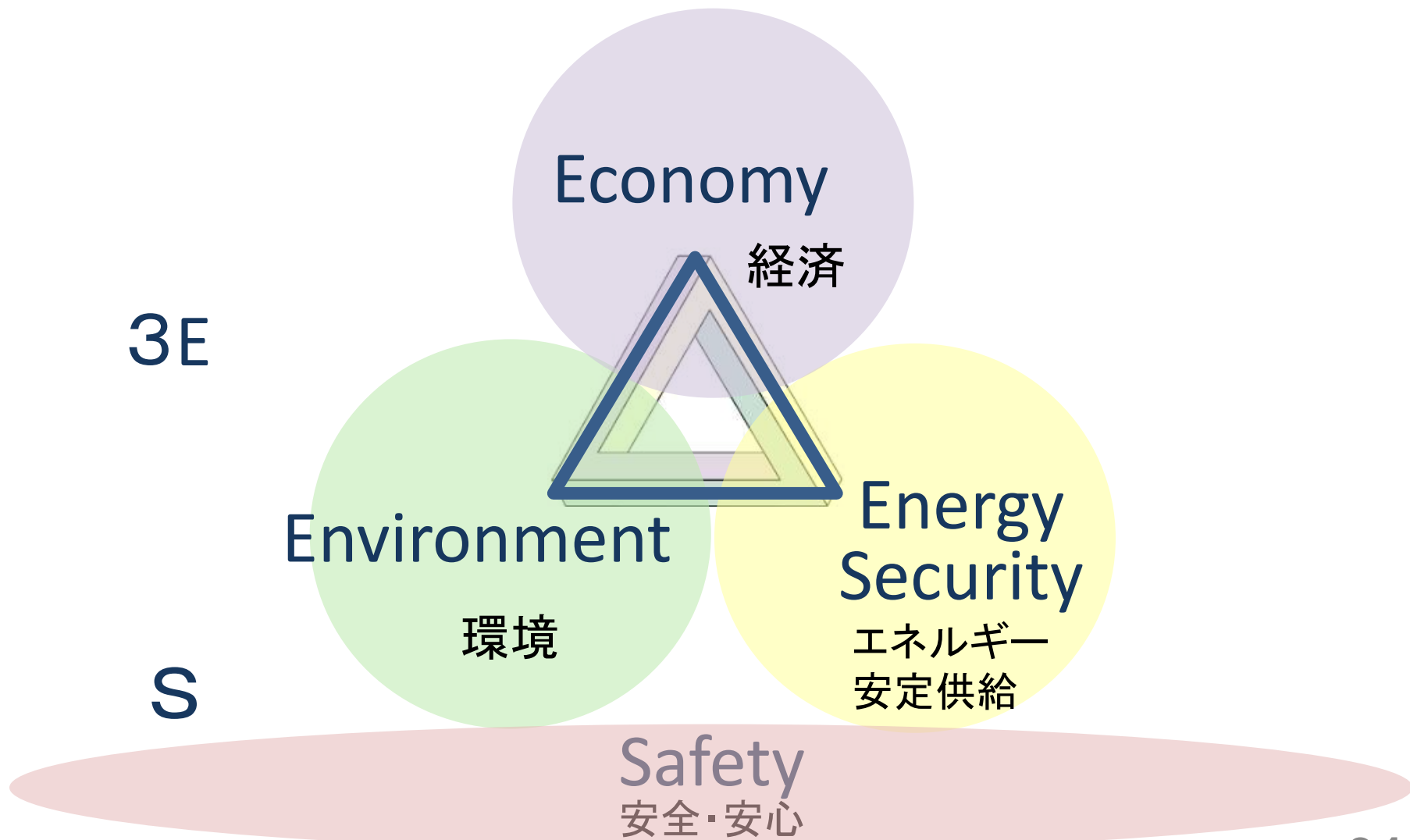
電力需要

電源構成

※数値は全て暫定値であり、今後変動し得る。



3E+S エネルギー政策の重心



まとめと所感

- カーボンニュートラルの宣言によって、エネルギー政策のギアが大きく上げられた。
- 再生可能エネルギー主力電源化に向けては、「需給一体」が一つの鍵。
(勿論これだけではすまない。)
- エネルギー関連のデータ活用、これを伴うセクターカップリング(シェアリングの拡大 & 新たな価値の創出)、技術的にはデータプラットフォームがactiveなエリアになるだろう。
- ものづくりの世界でも同様のことがいえるのではないか。
- 再エネのドライバーは何か？ それは間違いなく「環境価値」。
- エネルギーの問題は3E+Sの不断の点検とグレードアップが肝要。