



趣旨説明・問題提起

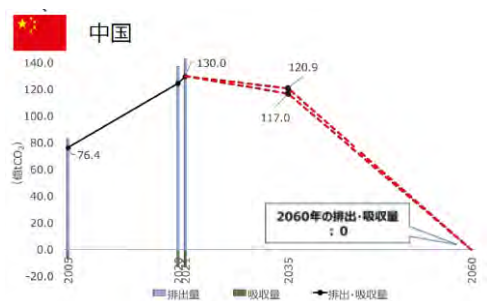
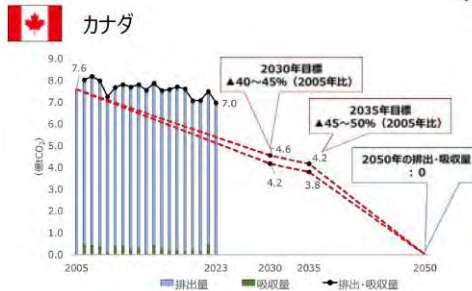
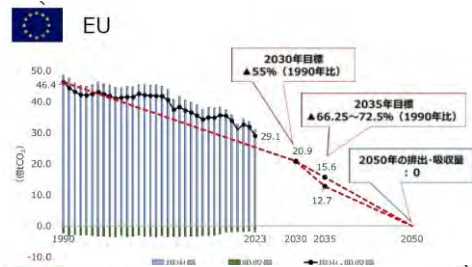
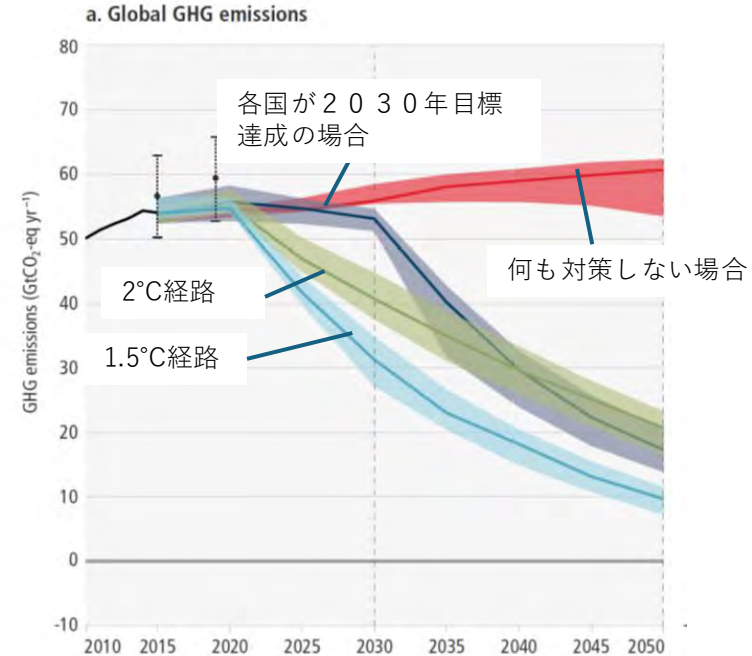
2026.7.15

大阪大学 大学院工学研究科
環境エネルギー工学専攻

下田 吉之

世界の温室効果ガス排出量は計画したようには減っていない。

日本の排出量推移



Modelled pathways:

- Trend from implemented policies
- Limit warming to 2°C (>67%) or return warming to 1.5°C (>50%) after a high overshoot, NDCs until 2030
- Limit warming to 2°C (>67%)
- Limit warming to 1.5°C (>50%) with no or limited overshoot
- Past GHG emissions and uncertainty for 2015 and 2019 (dot indicates the median)

以上、環境省資料

出典：IPCC AR6 WG3 SPM

気候変動を食い止めるためにはエネルギーシステムの新しいイノベーションが不可欠

本学術フォーラム企画の背景

- これまで、エネルギーシステムの供給側と需要側は、
「エネルギーを環境に影響を与えず、安全、安価、安定的に供給する」こと
と
「必要なサービスをできるだけ少ないエネルギー需要で実現する」
ことで明確に分担され、またそれぞれの背景となる学術分野が異なること
もあり、別々に研究開発が進められてきた。
- しかし、これからカーボンニュートラルを目指してエネルギーシステムが大きく変革していく中では、両者の研究開発が連携しなければならない場面も多いのではないかと？
- 視点を数十年後において、供給と需要の姿、両者の連携の必要性を探る。
- このフォーラムを企画した主たる分科会
 - 総合工学委員会 エネルギーと科学技術に関する分科会
 - 土木工学・建築学委員会・環境学委員会合同 カーボンニュートラル都市分科会
- 日本学術会議でカーボンニュートラルを横断的に扱う課題別委員会
 - ・ 循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行に関する検討委員会



エネルギーシステムのカーボンニュートラルの条件

- 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

- 供給増加と需要削減のどちらが安価で信頼性高く、安全で環境影響が少ないか？

- 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

- 電力は容易に貯めることができない。



第1の式

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

太陽光・風力・地熱

原子力（核融合）

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）

CCSつき化石燃料利用

バイオマスエネルギー

エネルギー需要の分解（民生・運輸）

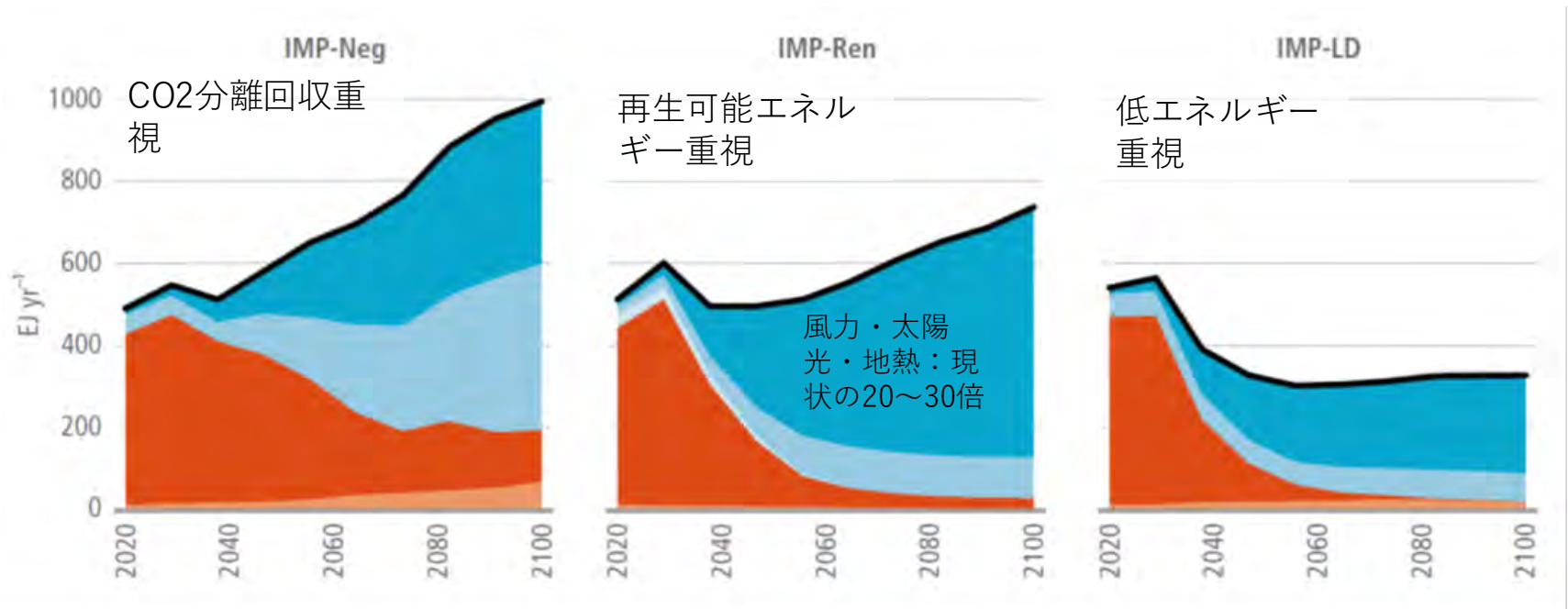
右辺第1項：エネルギー効率の逆数

右辺第2項：ライフスタイル効率の逆数

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)：資源・環境の制約を考慮した上で、人々が満足な生活を営むためのサービスレベル

IPCCによる主要な1.5°C経路



実際には全ての技術を総動員することが必須。

IPCCのシナリオでは原子力は意外と少ない。

現在開発中の新技術はあまり考慮されない。

低エネルギー需要社会の創成

- IIASAのLED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。
 - エネルギーサービス(エネルギーを使って何を求めるのか?) 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。
- Avoid-Shift-Improveフレームワーク(IPCC 第6次報告書)

		交通の例	照明の例
Avoid	不要なサービスを排除する	コンパクトシティ テレワーク	過剰な照度の抑制
Shift	サービスの提供手段を変える	公共交通 自転車	自然光の利用
Improve	技術の革新	電気自動車 水素自動車	LED照明



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（核融合）

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つき化石燃料利用（火力）

蓄電

水素

蓄熱

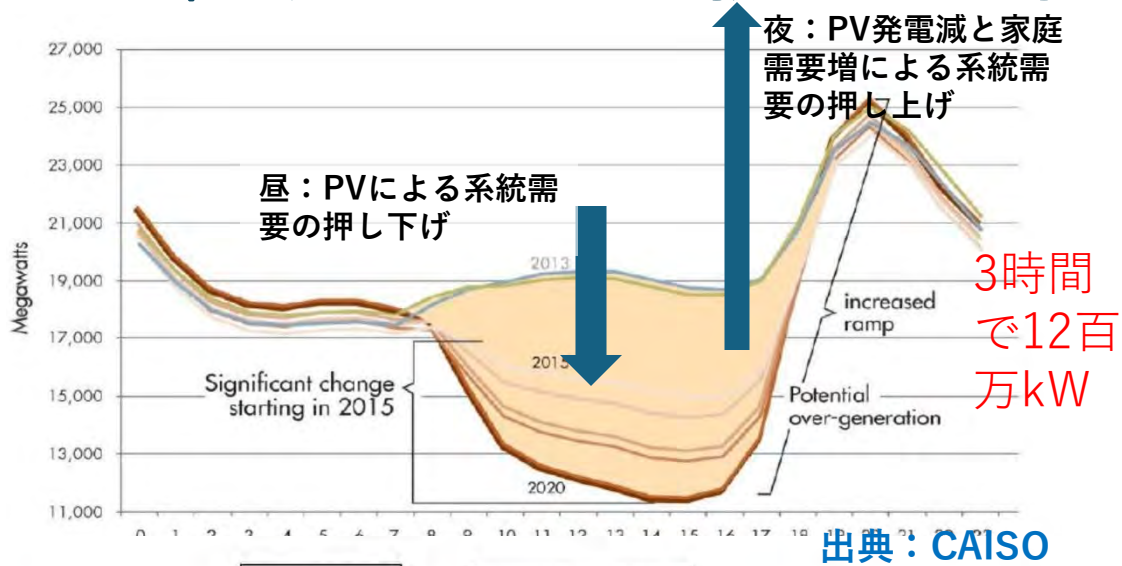
デマ
ンド
レス
ポンス

時間・季節変動の大きな需要（建築・住宅）

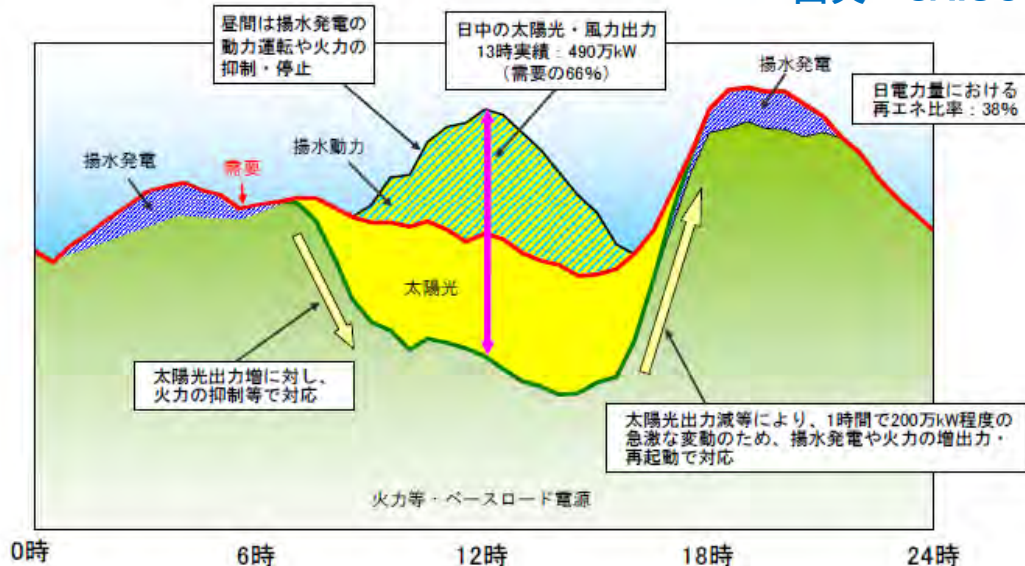
時間変動の小さい一定の需要（多くの工場・データセンター）

短時間間欠的に発生する需要（電気自動車の充電）

太陽光発電急拡大の影響



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の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。**



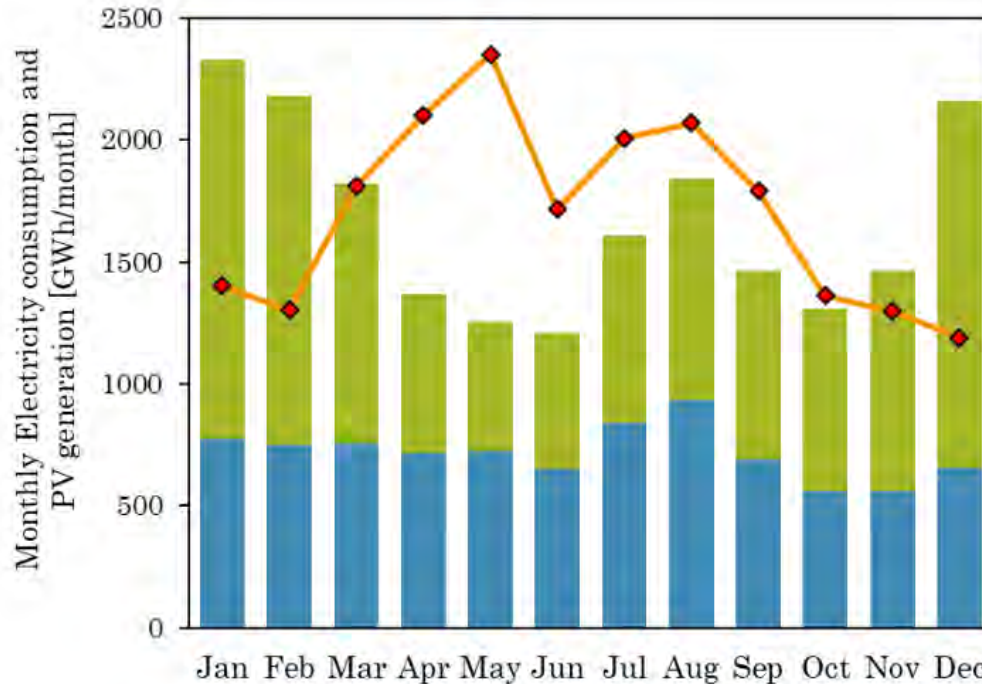
九州電力管内の電力需給 (2016年5月4日)

出典: 九州電力資料 (2016年7月)

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。

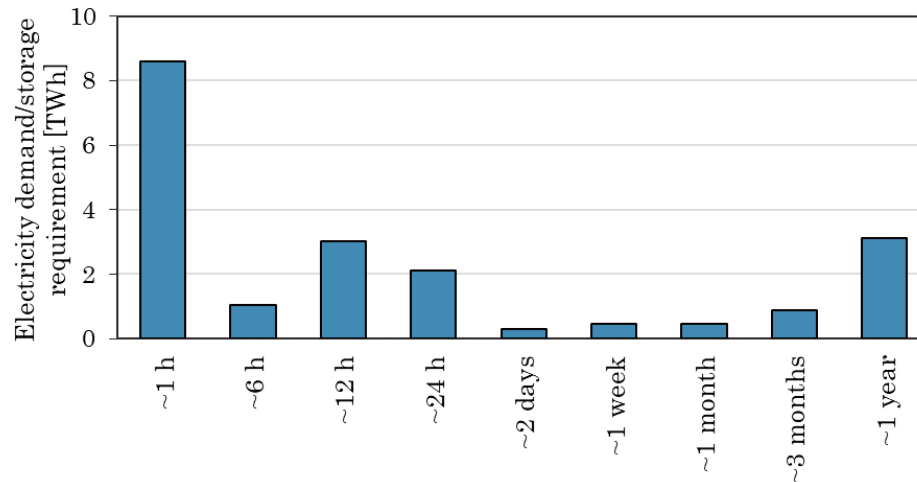


季節間需給のアンバランス



日本の民生家庭部門で電化・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

エネルギーシステムにおける需要側の役割

- エネルギー需要の削減（前掲）
- 二次エネルギーの選択：電力と燃料の比率を決める
- 電力の需給調整への協力：電源として、太陽光や風力のような変動性再生可能エネルギーが大規模に普及した場合、需要側で蓄電池や需要調整（デマンドレスポンス）の能力を備える。



エネルギー需要の将来

○民生部門：

- ZEB,ZEHにより徹底したゼロエネルギーへの動きも時間変動は残る。
- 冷暖房・給湯などデマンドレスポンスの能力は比較的高い。

○運輸部門：

- 陸上交通は電化（短距離・軽量交通）か水素化（長距離・ヘビーロード）電化部分は民生部門と分離できなくなる。
- 電気自動車の充電は電力需給を悪化・緩和（V2G）の両方の可能性
- 長距離海上・航空輸送は？

○産業部門：

- 脱物質化や循環型社会が進行。
- 鉄鋼は電炉化と水素による製鉄
- 石油化学産業はバイオものづくりと脱プラスチック？

需要側（都市）から見た供給側への問い

- 都市・建築の寿命の長さ：都市・建築は50年以上、また設備も20年程度の寿命があり、都市計画・インフラレベルの改造には100年単位の期間を要するため、将来予想されるエネルギー供給側の変化を先取りして都市・建築・設備を計画していく必要がある。
- エネルギー設備を柔軟にするためにはスペースや配置を工夫する必要がある。
 - 蓄熱槽のスペース（ヒートポンプ給湯器、燃料電池、ビルの蓄熱システム）
 - 太陽光発電のスペース（屋根のデザイン、周辺の日影規制）
 - 電気自動車の充電設備

供給側の変容に対する需要側の対応

- カーボンフリーの電力、燃料の状況で設備が変わる。
 - 過去には原子力普及による深夜電力利用(蓄熱、蓄電)、夏期ピーク電力抑制（左記+ガス・石油冷房）
 - 太陽光発電の普及→昼間の余剰電力の利用(蓄熱、蓄電、デマンドレスポンス)
- 電力源の将来
 - 再生可能エネルギー
 - 太陽光・風力 ペロブスカイトや洋上風力（発電特性は現状と同じ）
 - 地熱（前週に別の学術フォーラム）
 - 次世代原子力
 - 核融合
- 燃料の将来（水素[アンモニア、合成燃料]・バイオマス）
 - 燃料でなければならない用途が存在する。
 - 高温のサービス
 - 高密度のエネルギー貯蔵を要する用途（長距離トラック、航空機）
 - 災害・事故に対するレジリエンス(孤立してもエネルギーを供給できる用途)

需要側の変容に対する供給側の対応



- データセンターが増加するとどうして原子力が必要になるのか？
- 電気自動車の充電が増えるとどのような電源が求められるようになるのか。
- 途上国を中心とした冷房需要の伸びをどのような電源で賄っていくのか？



供給側から見たときの課題

- 将来の需要の大きさや季節・時間変動の大きさ、地理的分布は供給システムの規模や種類等に影響を与える。
- 従って、将来の需要の地理的・時間的に対して各供給技術がどの程度の規模、配置で普及していくのかが決まる。
- また、需要と供給の両者があいまって温室効果ガスの削減、エネルギー自給率の向上やエネルギー安全保障、災害時のレジリエンスを実現していくことも大きな課題。



ご清聴有り難うございました。