

災害時の電源確保と 電力安定供給への新しい流れ

2020年 12月15日

国土交通省基本政策懇談会

東京都市大学名誉教授

日本学術会議会員（電気電子工学委員会） 元運輸安全委員会常勤委員(鉄道部会) 第106代電気学会会長

中川 聡子

1. 電気エネルギーの安定供給



『エネルギー基本計画』 3E+S ; 4項目

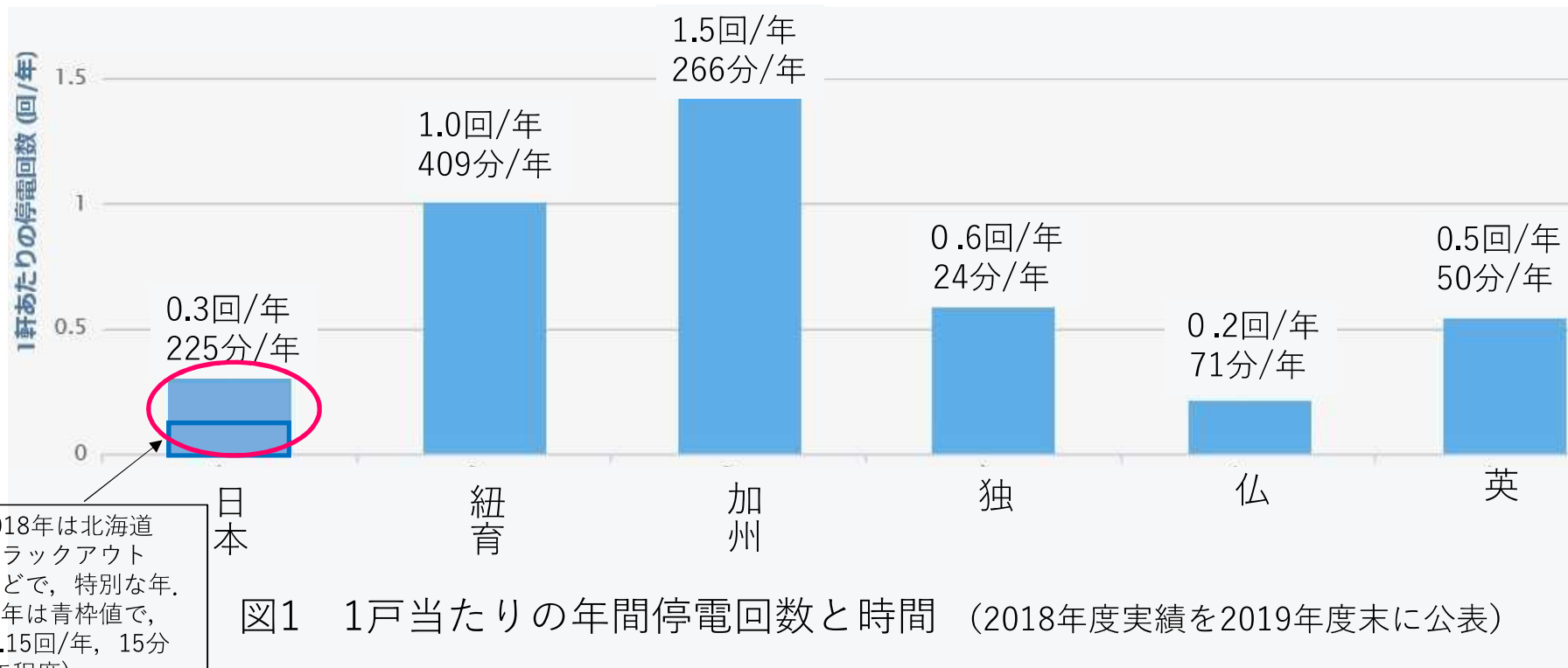
- ①Energy Security, ②Economic Efficiency,
- ③Environment, ④Safety

本日は、特に電気Energy特化した『①Energy Security（安定供給）』に焦点。

世界的に停電の少ない日本でも、災害（地震・台風）によって大停電は発生。

2. 停電の現状

(1) 主要国の停電発生状況



※ 他の発展途上国の停電回数や停電時間は、図に収まらない程、大きな値

東電HPより引用して加筆
<https://www4.tepco.co.jp/corporateinfo/illustrated/electricity-supply/index-j.html>

(2)国内1軒当たりの年間停電回数と停電時間の推移 (2018年度まで)

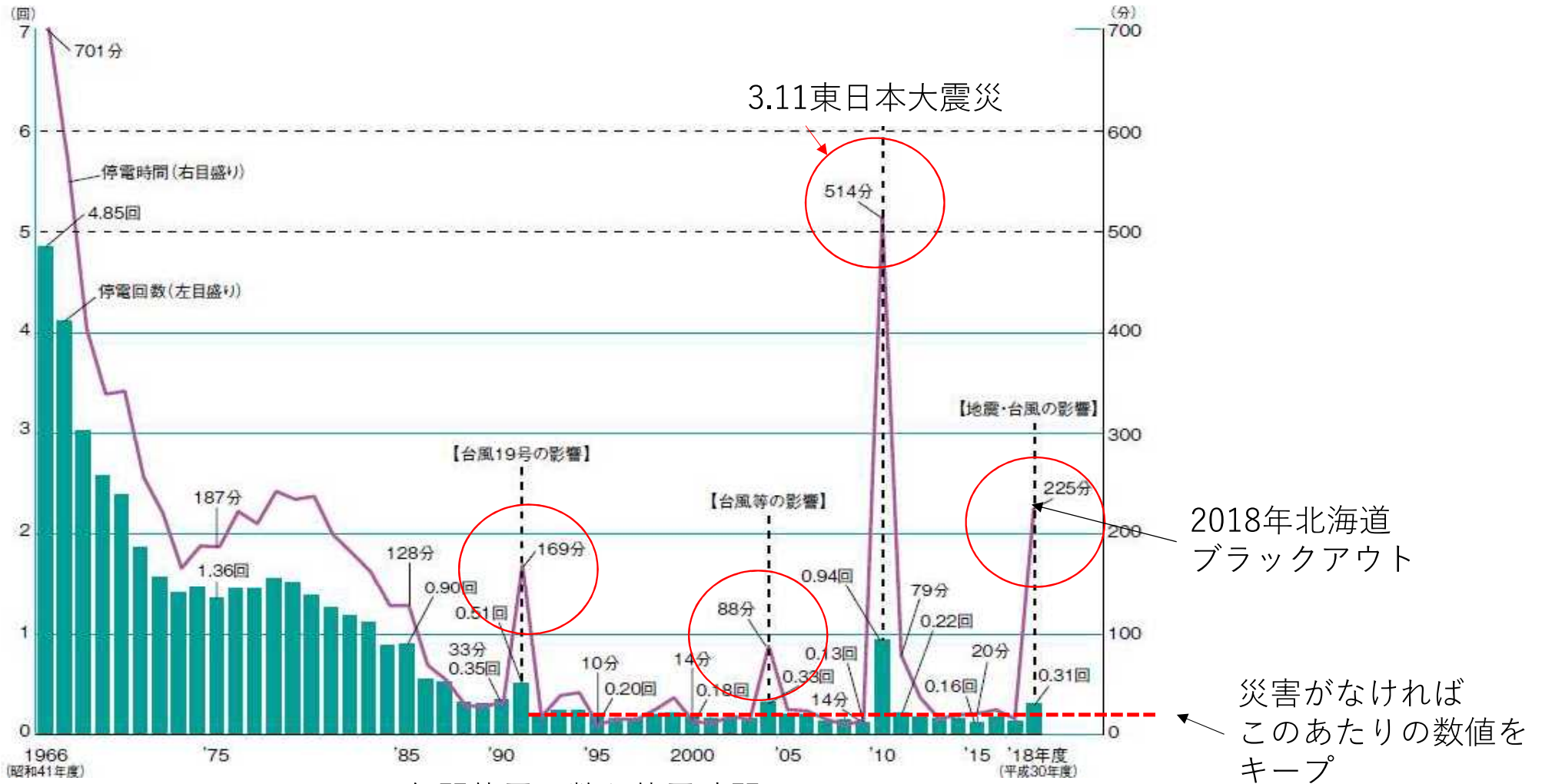


図2 年間停電回数と停電時間

(3) 停電が回復するまでの時間 (計画停電と異なり, 災害での停電復旧には時間がかかる)

資源エネルギー庁 <https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/shared/img/pqeb-2b72y95z.png> に, '19年台風15号のデータ概形を加筆

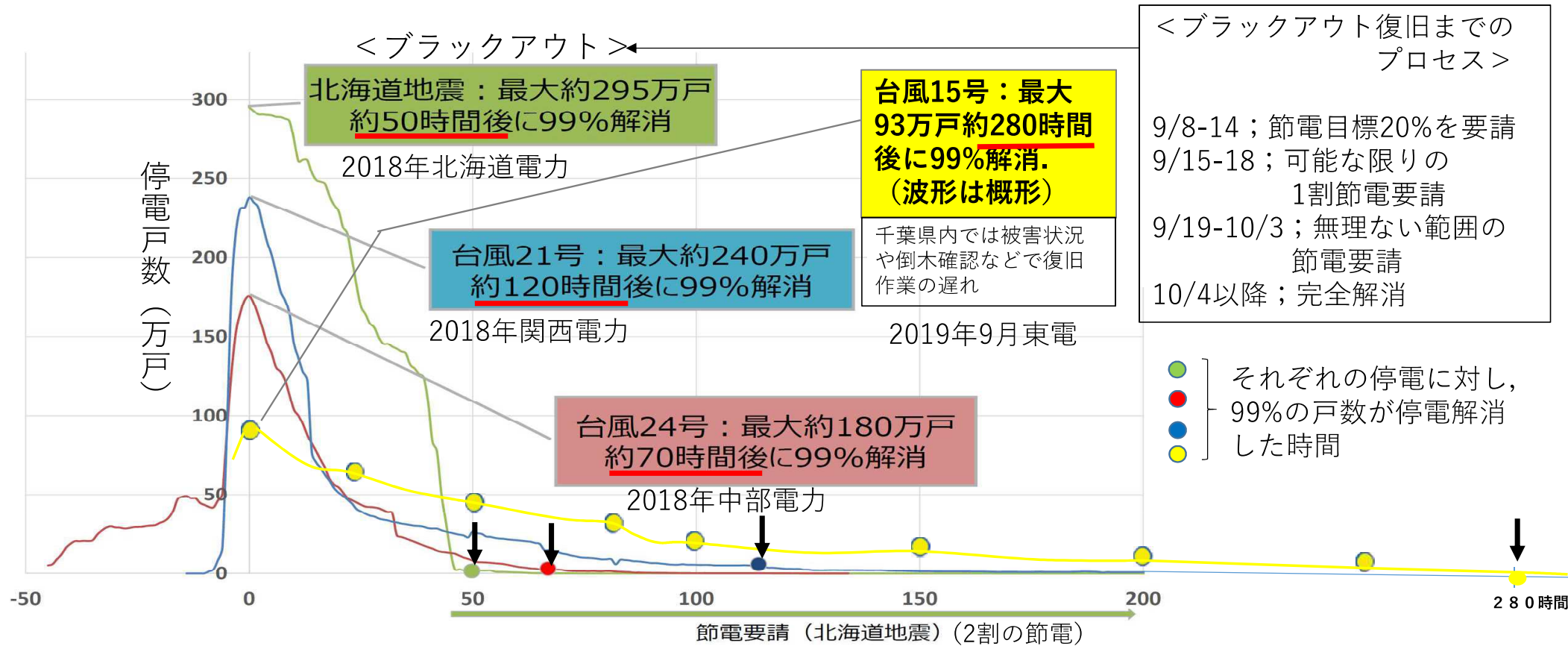


図3 最大停電戸数時点からの経過時間 (時間)

3. 災害事例・・・北海道ブラックアウト

電力系統におけるブラックアウトとは；発送電システムの**全系崩壊**！！！！

(1)電力安定供給のための「同時同量」 需要に合わせて速やかに発電所の出力を制御

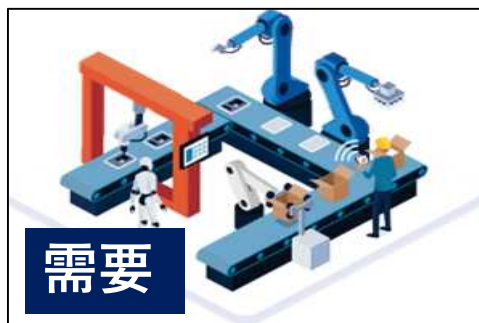
需要供給の同時同量が崩れると
電力系統不安定（周波数の変動）

アンバランス状態が高じると、
ドミノ倒しのようにブラック
アウトが発生する事が...

交流周波数

通常使用域；49.8~50.2Hz内で制御
リレーで切断；47~53Hzを逸脱するとき

需要 > 供給 → 車輪の回転遅い（周波数低）
需要 < 供給 → 車輪の回転早い（周波数高）



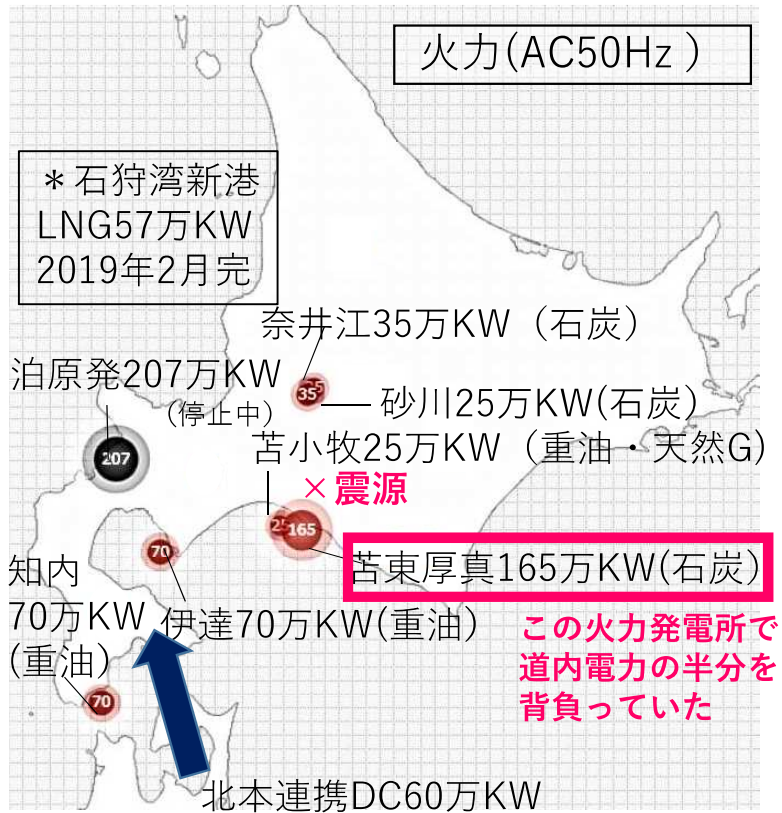
産業界，家庭，公共施設



発電所等

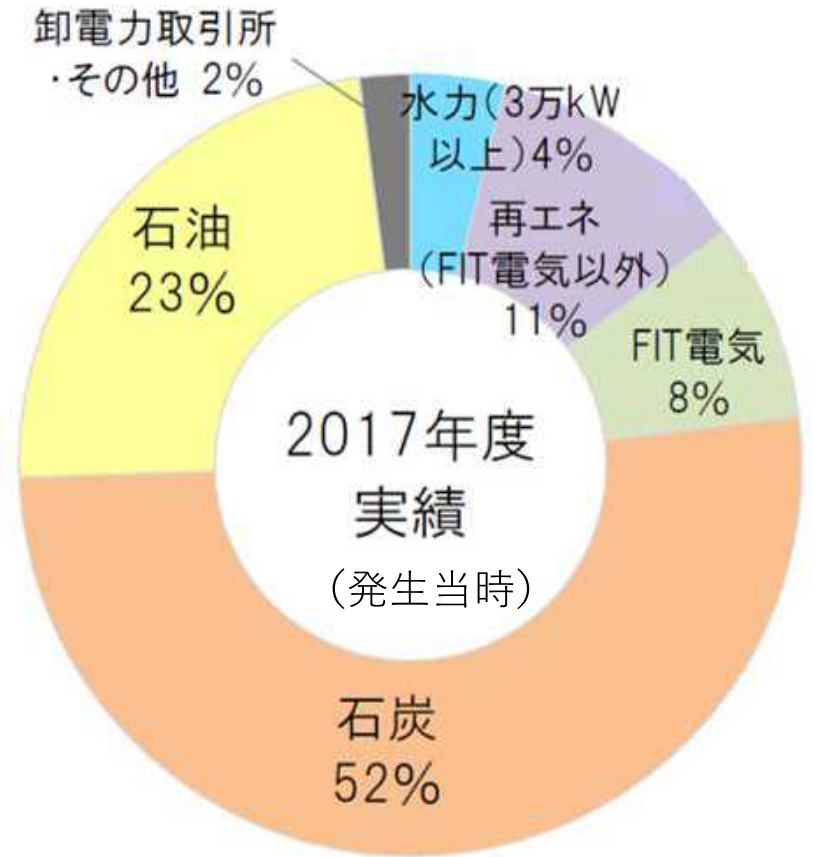
(2) 北海道電力（株）管内の発電所の状況（当時）

<地震の状況>
 発生：
 2018年9月6日
 午前3:07
 最大震度：7
 ブラックアウト：
 同日午前3:25頃
 295万戸全停電



電気事業連合会 日本の電力地図
<http://www.denryoku-map.com/hokkaido>をもとに加筆

図4 道内の主な発電所



「北海道電力株式会社2018年4月 北電グループ経営計画の概要」より
 図5 当時の管内電源（電力量）構成（原子力停止中）

(3)電気の安定供給を脅かした要因

- 原子力発電所が停止中で、新旧含め、火力発電所に責務が集中
- 再エネ
 - ・ 自然現象の気まぐれさ（お天気次第，風次第）
 - ・ 電気は貯められない（蓄電池技術の問題）
 - ・ ピーク電力が大きくとも需要供給バランスの維持が必要
 - ・ 太陽パネルのコスト・経年劣化（一般家庭への設備負担）
- 本州からの直流送電（北本連携）
 - ・ 長距離・海中経由での交流送電の問題
 - ・ 直流から交流への変換，インバータ（自励・他励）の問題
- 火力発電所で約75%を
(CO2排出の少ないLNG火力発電所の建設中)
 - ・ 輸送や備蓄の難しさ
 - ・ 国際情勢（天然ガスは豪・フィリピンなどから）

<新たな動き>

- ・ スマグリ
- ・ VPP（バーチャル発電所）
- ・ FIT,FIP
- ・ EMS（C-,B-,H-,・・・）

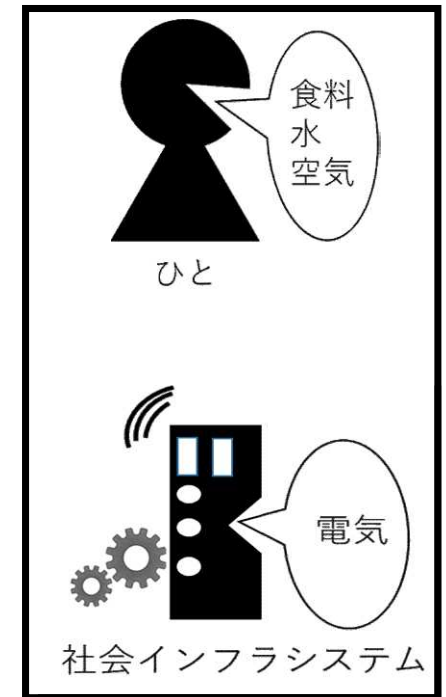
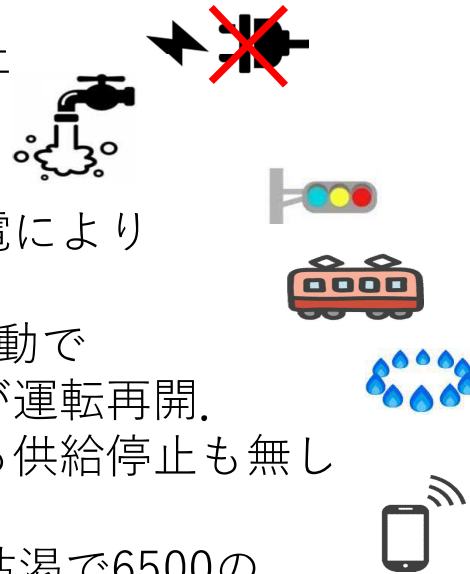
要は

- ・ 電力潮流の制御
 - ・ 機器の節電設計
 - ・ 蓄電池
 - ・ 燃料電池
- がポイント

4. 北海道ブラックアウトによる生活への影響

地震 → ブラックアウト発生 → インフラの機能停止

- 水道：約6万戸が断水（過半数が停電による断水）
- 道路：地震による損傷は小。しかし
高速道では安全点検のため通行停止。一般道は停電により
信号、照明、掲示などが滅灯し、完全復旧に4日間。
- 鉄道：非電化区が3/4あるが、安全設備などは電気駆動で
全て運休。翌日、新幹線、エアポート等ごく一部が運転再開。
- 都市ガス：設備損傷による供給停止なし（停電による供給停止も無し
とされているが、有りとする報道も）
- 通信：固定電話は約14万回線支障。携帯は予備電源枯渇で6500の
基地局が停波。（石狩データセンター；電源切替失敗で5 hサーバ停止）



インフラは直接・間接に電気が関与。現代は、強く**電気に依存する社会**

災害復旧に有力なSIP4D（災害時の組織間データ連携）やD24H（災害時の医療福祉などの支援情報）

なども、**電気があることが前提**

5. 本ブラックアウトへの対応例

(1) 災害時の生活支援を可能にしたコンビニS社の事例

停電で**キャッシュレス通信・レジ機能・物流の停止**を招く

- 全店の95% 1000店舗以上が通常営業継続
- 車のシガー端子から最低限の“レジ機能を確保”
(セットの事前配備)
- 電気ならぬガス釜にて塩結び販売
- 重油備蓄 (20日分) , 給油タンク自前 (物流用) ,
自社でミネラルウォーター製造



(道内175市町村1093店舗を展開する
S社での車からの受電風景)

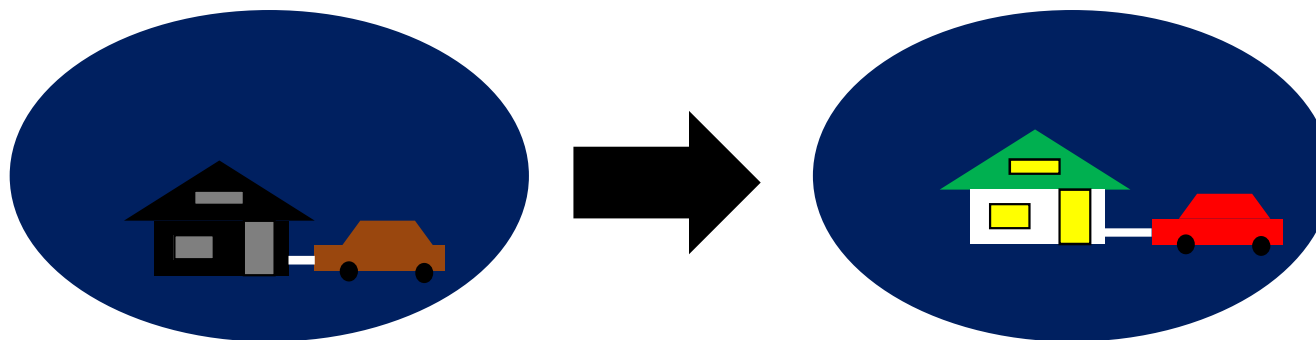
記載内容は、電気学会全国大会公開シンポジウム
(2019年3月開催)「電気エネルギーの未来を考える
～ブラックアウトの現象、影響と提言～」での講演内容、およ
びネットニュースなどをもとに纏めたもの。

(2)災害時の電源供給を可能にした自動車会社Nの事例

(自動車会社NをN社、電気自動車をEVと記載)

2019/02/27 (global.nissannews.comより抜粋)

- ①地震発生後の2日後、ガソリンの供給が不足している震源地付近の町に、N社EV2台を、
移動用自動車もしくは非常用電源として貸与。
- ②北海道内のN社販売会社は、店舗に配備している**急速充電器を稼働させて顧客のEVに電力供給。**
- ③「Vehicle to Home* (V2H)」を導入した家庭では、**EVからの給電で、停電時も電気使用可能。**
- ④地震発生直後の電力不足の中、札幌市が主催したイベントにおいて、N社**EVを電源として活用。**



*V2Hとは
電気自動車のバッテリーに
蓄えた電気を家で使う仕組み
のこと、もしくはその総称

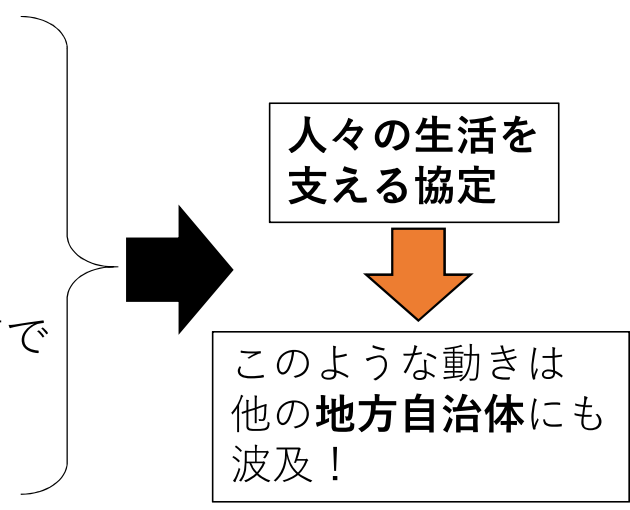
(3) コンビニS社と自動車メーカーN社とのEV提供に関する協定

2019/02/27 (global.nissannews.comより抜粋)

コンビニS社、自動車メーカーN社および道内N販売会社は、
2019年2月27日、「災害時における電気自動車
からの電力供給に関する協定」を締結

<本協定の内容>

- ①コンビニS社は、各店舗に配備した『Vehicle to Home』
(EVからの給電を行う機器)を活用し、購入したN社のEVや
貸与されたEVの電力を、災害による停電時の非常電源として
活用し、店舗営業を継続させることで被災者を支援する
- ②N社は、災害等により停電が発生した際に、N社販売会社店舗で
試乗車として配備しているEVをコンビニS社に無償で貸与し、
継続して電力が供給できる体制を整える



(4)ブラックアウト後の通信会社の動き

産経新聞 2019年11/11(月) 20:23配信

- ①全国に約7300か所ある電話局に設置した**蓄電池**や、グループ会社の**グリーン電力発電**などを束ね、**災害時のバックアップ電源**としてオフィスや工場、病院などに供給。
- ②電話局での余剰スペースに、リチウムイオン電池を配置。さらに1万台程度の社用車を全て**E V**に変える計画。
- ③電話局周辺に**太陽光発電**を設備し、風力、バイオマスなどの**グリーン発電**による電源も導入。
- ④蓄電池やE Vなど分散する電力の供給源を束ねて、**VPP化***。電力需給を最適制御するビジネスに着手。

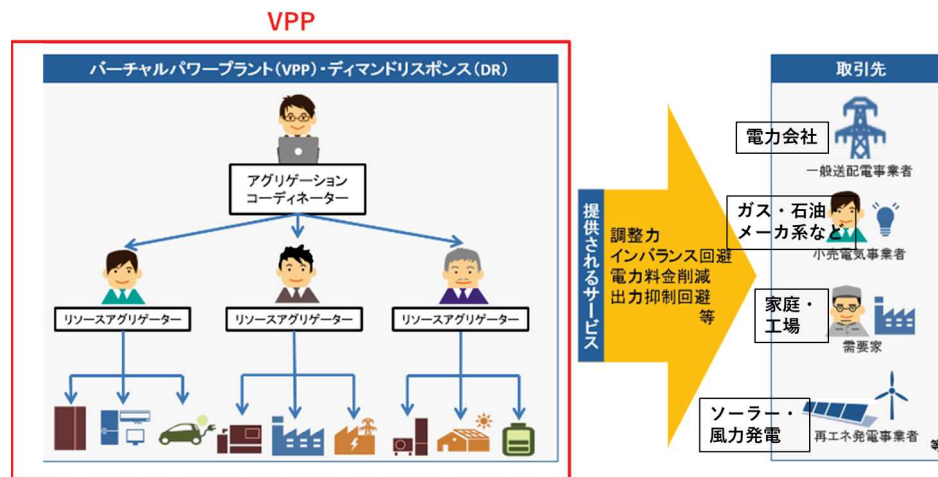


図:エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス

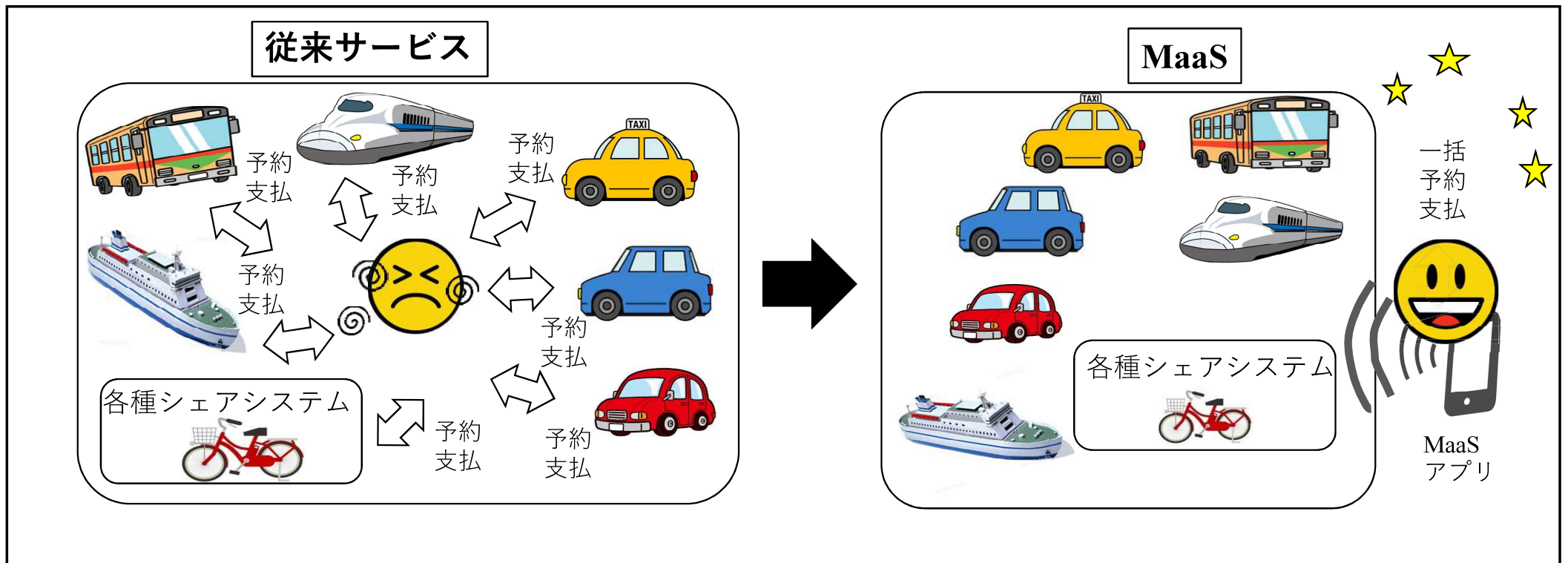
背景には電力自由化やスマートグリッド化が後押し

<VPPのイメージ>

経産省資源エネルギー庁HPより転写し、加筆。
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/advanced_systems/vpp_dr/about.html

6. 新たな可能性・・Energy × MaaS

(1) MaaSの基本コンセプト



そして今後,

MaaS ; Mobilityの最適化のサービス ▶▶ Big Data を使った新たな価値の創出 ; **Beyond-MaaS**へ

(2) MaaSからBeyond MaaSへ

Beyond-MaaS ; エネルギー, 保険, 不動産, 金融, 観光, 小売り, エンタメ, 医療, 介護, 保育
などとのMobilityの融合.

「エネルギー×MaaS」や「災害・防災×MaaS」など多様

例*) ①Urban Engines社 ; 「交通問題×MaaS」. ほぼリアルタイムで通勤者の
行動パターンを学習し, 混雑緩和へ. (IoT)
利用者へのポイント付与などで, 鉄道利用のオフピーク化に寄与

②Parkmerced社 ; 「不動産×MaaS」.

立地の不利を, Mobilityサービス付きマンションの販売で解消

* 電気新聞2019年8月19日 「MaaS × エネルギーが生み出す新たな世界」より



「Energy × MaaS」 (EaaS × MaaS)

<備考> エコカー； 1～4

1. **EV (Electric Vehicle)**；電気をエネルギーにして，100%モーターで走行．2次電池への充電は，公共用の充電スタンドか家庭用コンセント．
2. **HV (Hybrid Vehicle)**；エネルギー源のガソリンを燃焼させ，エンジンを動かすことで走行．電気で動くモーターも搭載するが，あくまで燃費をよくするための補助的役割．
3. **PHV (Plug-in Hybrid Vehicle)**；ガソリンエンジンを使うHVに，充電できる機能を搭載したもの．
4. **FCV (Fuel Cell Vehicle)**；燃料電池自動車．構造が特殊．専用の水素ステーションから補充した水素を使って発電して走行．燃料が水素だから排出されるのは水のみ．

2次電池を有するEVやPHVにおいて，

- 電力網側からの利点；**再エネの蓄電，電力調整弁**，さらに **災害時の電源**
- EV/PHV側からの利点；コンセントから充電して使用可．



CO₂削減にも有効？

発電方法	CO ₂ 排出量 g-CO ₂ /kWh
原子力	20
太陽光 (住宅用)	38
風力 (陸上)	25
水力	11
石油火力	738 (695)
石炭火力	943 (864)
LNG火力	599 (476)

<メモ> (ただし，電費 (km/kWh)は，走行条件，車重等で異なる)

現状の発電所電源構成では，以下，中川試算ではガソリン車をEVに全切替すると，1台当たり

日本；40%程度削減， (3.11以前の電源構成なら50%程度削減可)

原子力が主の仏の電源構成なら；95%近く削減

火力が主の中国の電源構成なら；25%程度削減

(中国の13年前の電源構成では石炭火力主流の電源構成だったので，15%程度の削減しか望めない)

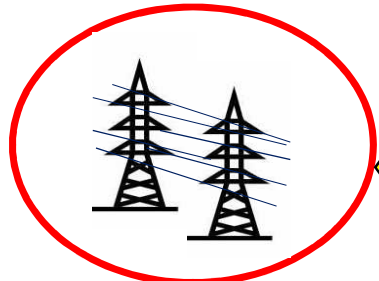
一方，電源構成の視点だけでなく，例えばモーターの設計を変えるだけで電費はアップし，

CO₂の排出量削減に寄与可．

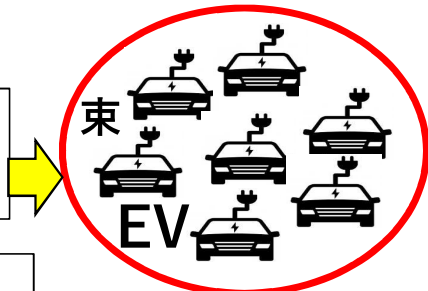
(なお，自動車を全てEVにすると，発電所は現状の10%増強して出力すれば賄える，との試算もあると聞く)

EVが、何処に？何台？どれだけ充電された状態で？・・・をリアルタイムで、かつEVを統合した形で、把握。

EVの束；移動可能なVPP（バーチャル発電所）すなわちM-VPP

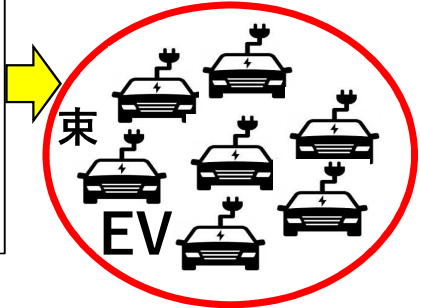
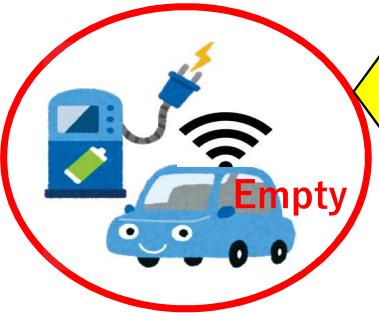


エネルギーインフラおよびVPPの構築等において、MaaSも利用したGrid-Management



バス・トラックなど電池車全般も含む

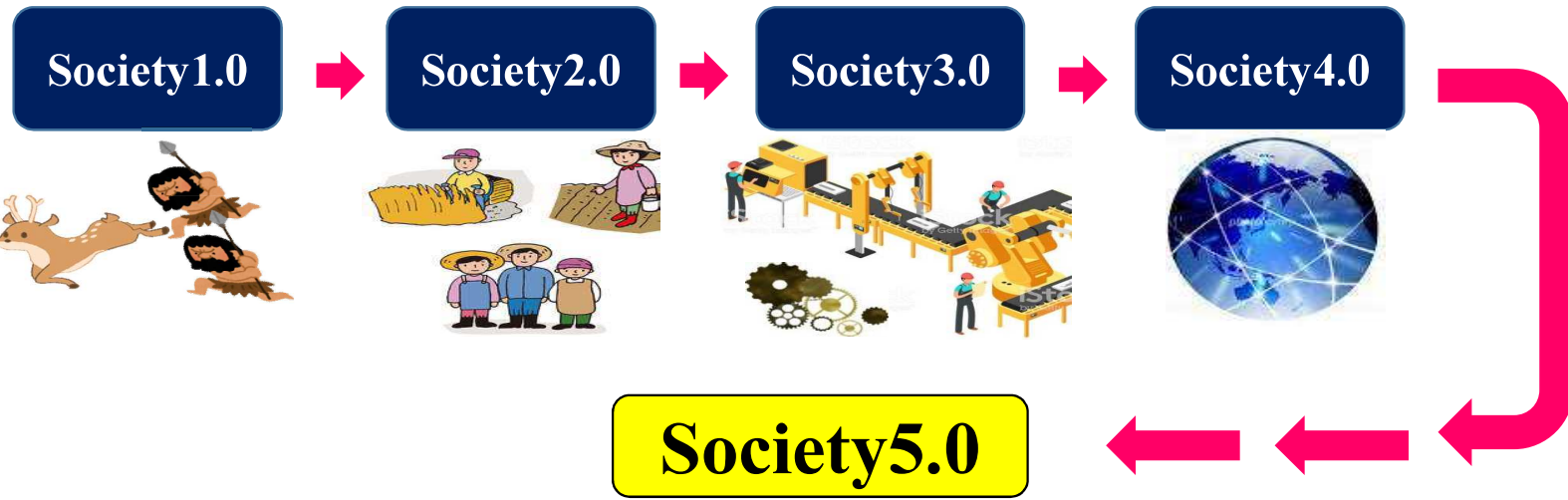
EV位置情報から人の移動状況把握。動的電力需要の把握。電池残量情報、および最適な充電場所の提示サービス。イベント時の充電集中によるGridへの負担軽減のためDemand-Responseへの展開。



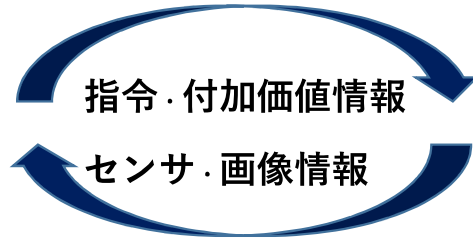
電力供給側とモビリティ側の間に、情報の循環があり、その中で電力供給最適化や設備設計・改修などが進んでいく世界が Society 5.0に適う「Energy×MaaS」の1つの形

7. おわりに

～災害や環境から考えるSociety5.0の社会と「電力×MaaS」への期待～



サイバー空間



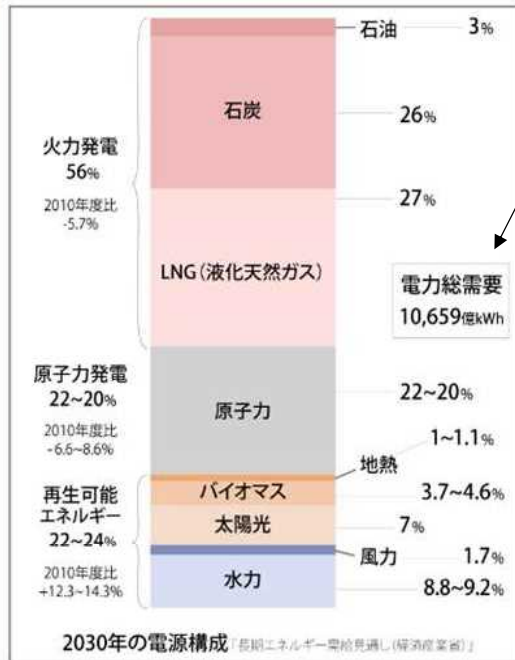
フィジカル空間

- ・ EV等の蓄電池を調整弁とする電力潮流制御
- ↓
- 電力系統の安定化
- ・ EVによる災害時の非常電源確保
- ・ EVによるCO2削減

以降のシートは資料集

各種発電方式の特徴

電源	電源比率	発電量 1,065TWh	必要設備容量 ※	現設備容量 (不足容量)	
石油火力	3%	32TWh	4.6GW	203GW	
石炭火力	26%	277TWh	39.5GW		
LNG火力	27%	288TWh	41.0GW		
原子力	22~20%	234TWh	38.2GW	42.5GW	
再エネ 電源比率 22~24%	地熱	1~1.1%	11TWh	1.6GW	0.5GW (1.1GW)
	バイオマス	3.7~4.6%	44TWh	6.3GW	1.4GW (4.9GW)
	太陽光	7%	75TWh	65.5GW	25.0GW (40.5GW)
	風力	1.7%	18TWh	10.3GW	2.9GW (7.5GW)
	水力	8.8~9.2%	96TWh	54.7GW	48.0GW (6.7GW)

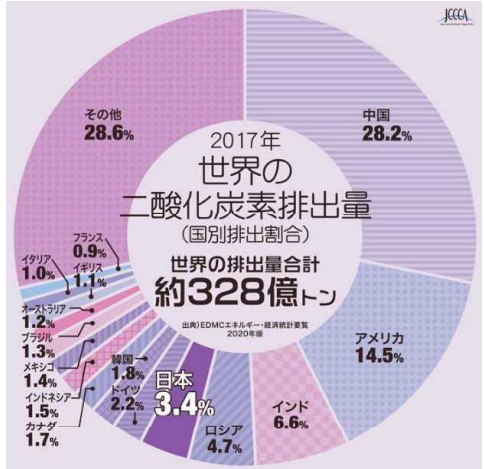


将来、1兆 kWh すべてを再エネで賄えるか・・・

発電方法	CO2排出量 g-CO2/kWh
原子力	20
太陽光 (住宅用)	38
風力 (陸上)	25
水力	11
石油火力	738 (695)
石炭火力	943 (864)
LNG火力	599 (476)

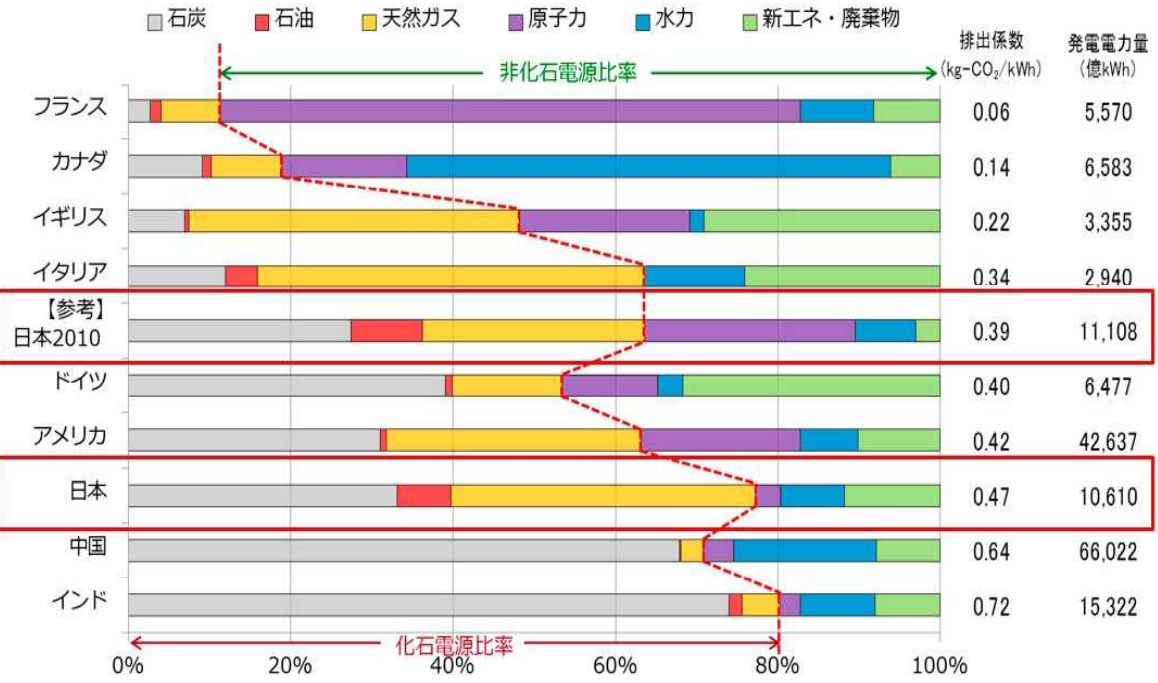
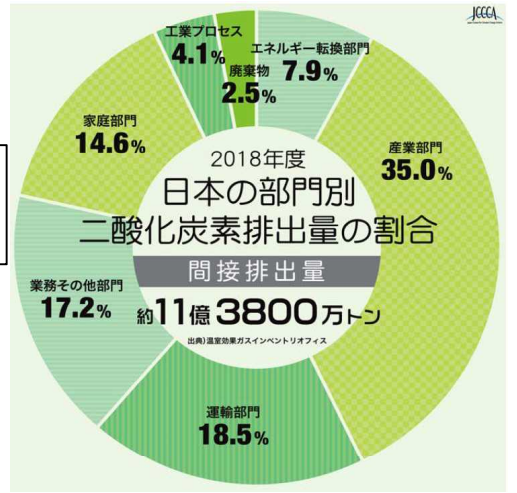
発電方法	コスト 円/kWh
原子力	10.1~
太陽光 (住宅用)	29.4
風力 (陸上)	21.6
水力	11
石油火力	30.6~43.4
石炭火力	12.3
LNG火力	13.7

画像の使用について 図2

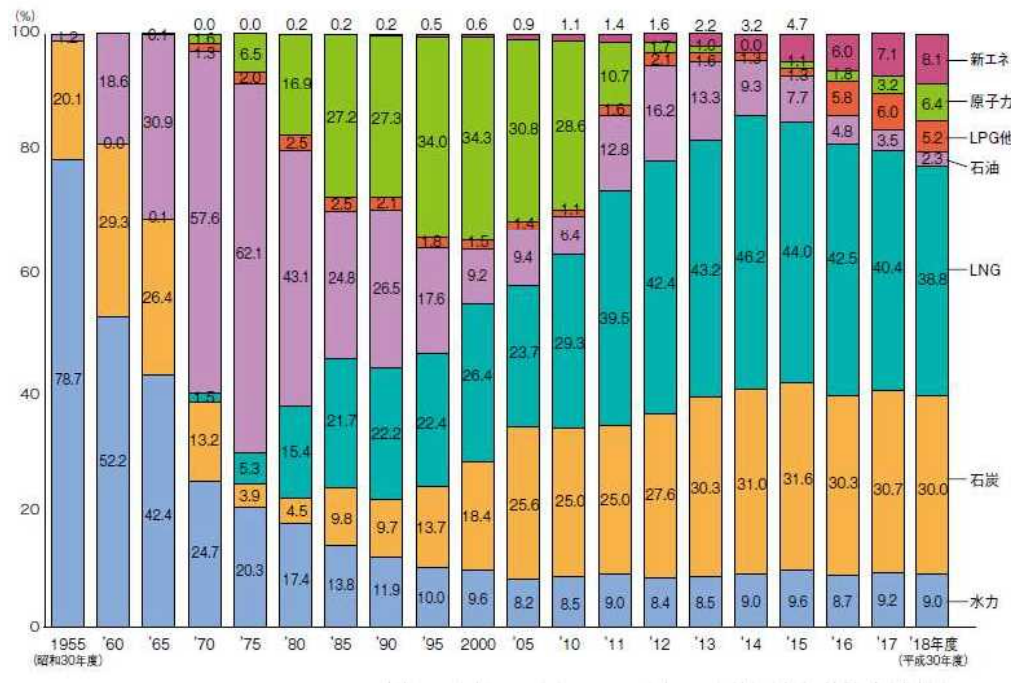


諸外国の発電所電源構成
およびCO2排出

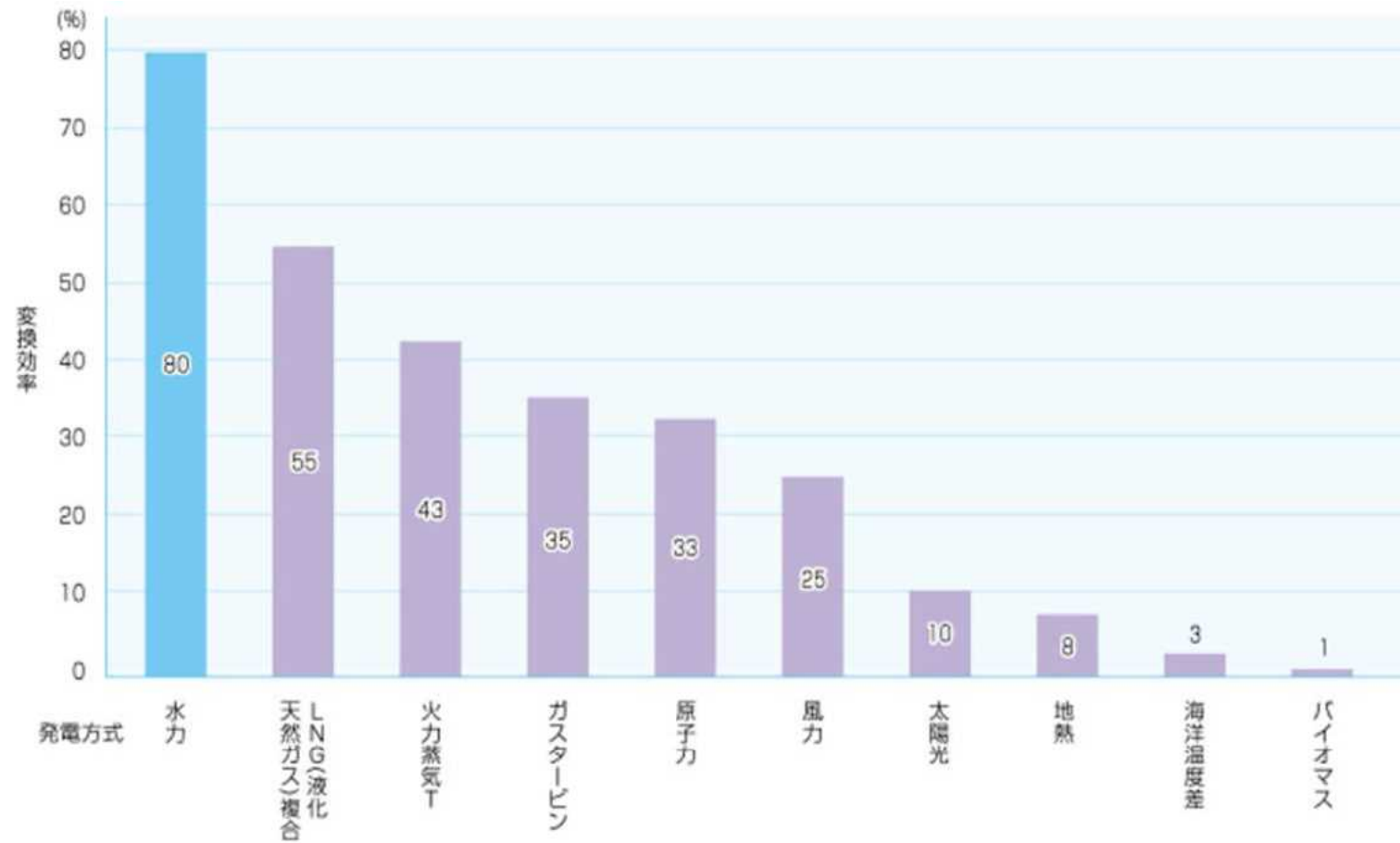
日本の発電所電源構成
およびCO2排出



●電源別発電電力量構成比




各種発電方式にみるエネルギー変換効率



出典：新エネルギー大辞典

ブラックアウトに至る過程

- ・ **地震発生**； 3:08 頃 
- ・ 苫東厚真発電所2号機(パイプ破損), 4号機(火災発生)が振動により緊急停止(▲116万KW)
- ・ 負荷遮断制御(1)(◎130万KW)するも・・・
- ・ 送電線事故により一部道内の系統が分離, 出力減(▲37万KW)
- ・ 周波数低下で風力発電停止(▲17万KW) → 北本からの増強◎で周波数回復
- ・ 地震3分後, 照明・TVなどの▲負荷増大 → 周波数低下で稼働中の火力が出力増強◎で対処
- ・ 苫東厚真発電所1号機出力低下(▲20万KW) で周波数低下 → 負荷遮断(2)(◎ 16万KW)で対処
- ・ 苫東厚真発電所1号機停止(▲10万KW) → 負荷遮断(3) (6万KW)で対処するも・・・
- ・ 強烈な周波数低下で火力・北本・水力が**連鎖的**に停止

周波数低下で北本出力補充(◎ 50万KW)で対処するも・・・

北本からの増強◎で周波数回復

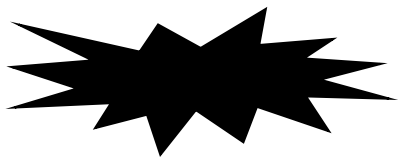
周波数低下で稼働中の火力が出力増強◎で対処

負荷遮断(2)(◎ 16万KW)で対処

負荷遮断(3) (6万KW)で対処するも・・・

(大きな周波数変化は発電所装置を破壊するため, 復旧不能になる前に停止)

ブラックアウト発生



ブラックアウト時の道内の営業状況

業種	社名	状況
流通・小売り	コンビニ A	道内300店以上が休業（道内670店舗）
	デパート B	札幌・函館の3店休業
	デパート C	札幌店を休業
	デパート D	札幌と千歳空港店を休業
外食	ファミレス E	24拠点を休業
	ファーストフード F	道内51店休業
	定食チェーン G	100店舗休業
食品	ビールメーカー	操業停止
運輸	宅配業 I	道内全域で宅配停止
石油元売り	ガソリン J	室蘭製造所で、海上陸上出荷見合わせ
	ガソリン K	苫小牧製油所停止、出荷ストップ
製造業	鋼材メーカー L	生産中止
	電気メーカー M	千歳・帯広の2工場ともに停止

北海道ブラックアウトの影響

北海道地震

北海道地震、業種別の被害状況まとめ

斉藤 壮司 = 日経 xTECH / 日経コンピュータ

日経 **xTECH**



北海道で観測史上初となる震度7を記録した北海道胆振東部地震。北海道庁によると2018年9月14日現在、死亡者数は41人に上った。最も多かったのは震度7を観測した厚真町で、大規模な土砂崩れなどにより36人が亡くなった。重傷や軽傷を含め、道内の負傷者は680人を超えた。

揺れによる人的被害や建物の損害に加え、北海道の全域で停電（ブラックアウト）が生じた。停電戸数は約295万戸に達した。

人々の生活や社会、企業活動のデジタル化が急速に進むなか、全域停電により電力がたらず恩恵と裏腹のもろさが浮き彫りになった。

全域停電が様々な産業に打撃

表 北海道胆振東部地震における業種別の主な被害状況 **赤字**：停電による影響 **黒字**：倒壊などによる影響

業種	被害状況
電力	●北海道内のほぼ全世帯に当たる295万戸で停電。11日時点でほぼ復旧したが計画停電回避へ北海道電力や政府が節電を要請
データセンター	●さくらインターネットが自家発電装置への切り替えに失敗し、一部サーバーが5時間停止
コールセンター	●全国の1割強の施設が集中する道内で、施設の大半が業務を停止
金融、公共	●札幌証券取引所の全銘柄の売買が停止 ●道内全域でATMの停止や銀行店舗の営業休止が相次ぐ ●旭川市役所のネットワークが9時間停止
製造、小売り、農畜産	●自動車部品の関連工場が操業を停止。他地域の完成車工場の操業にも影響 ●室蘭市の製鋼所で火災が発生し11日夜まで操業を停止 ●道内のスーパーや百貨店で休業や営業縮小が続出 ●道内の乳業工場の9割が操業を一時停止。冷蔵設備が止まり生乳の廃棄も相次ぐ

災害時の非常電源確保の事例

<事例>

- ブラックアウト後、北ガスのコジェネが奏功（BOS機能を有するコジェネシステムを導入している公共施設・病院・工場が避難生活に必要な電気エネルギーを供給）
- 台風15号では、自動車会社各社が合計140台程度の電動車を現地派遣。避難所での携帯充電や灯火確保、乳幼児・高齢者などがいる個人宅や老人ホームなどでの給電を実施。（FCV, EV, PHV）
- 台風15号による停電時の分散型エネルギー活用事例（コジェネ）；ガスコジェネで数時間から5日間、病院、保育園、商業施設、事業所、一般家庭に電力供給。（エネファーム；停電時も最大700W発電可能）
- 千葉；福祉施設などでEVメーカーからの支援。
- 千葉県；約1,000台以上の家庭用蓄電池が自立運転。普段通りの生活が維持。
- 千葉県むつざわスマートウェルネスタウン（SWT）；天然ガスコジェネと再エネ（太陽光と太陽熱）の組み合わせ。排熱は温浴施設で活用。自営線（地中化）で道の駅（防災拠点）と住宅へ供給。
- 山梨県；62の自治体がEVメーカーと協定。
- 練馬区；区の車にEV採用。非常時には給電可能な体制構築
- 鳥取県では、EV等を事前登録させ、災害による停電時に給電協力を依頼。（鳥取EV協力隊）
- 山梨県；EVメーカーと非常時の協定締結；地震などで大規模停電が発生した際、日産の県内販売店にある6台のEV「リーフ」を避難所などに派遣して非常用電源とする。1台でスマートフォンなら6千台分の充電、扇風機なら500時間以上給電可。
- 埼玉県市野川自主防災隊；通常は、所有者の太陽光パネルが売電。災害時に避難所に回すという提携（スマホ、扇風機等は使用可）

台風15号で考える 電線電柱損傷による停電予防は、電線地中化と分散電源化から？

<被害状況の比較：阪神淡路大震災の場合>

	架空線		地中線	
	支持物折損・ 焼損の数	架空線全体 に対する割合	ケーブル 供給事故数	地中線全体 に対する割合
震度7地域	2,724基	10.3%	153条	4.7%
震度6地域	1,801基	0.55%	43条	0.3%

(出所) 地震に強い電気設備のために 電気設備防災対策検討会報告 資源エネルギー庁

<地中設備と地上設備の建設コスト比較>

	架空配電設備	地中配電設備 (電線共同溝方式)
敷設コスト	0.15億円/km程度	1.6億円/km程度

※電気事業連合会調べ

台風による停電で注目された電線の地中化
地中化のデータ
(経産省資料より参照)

<現在の送電線の地中化率>

現状の達成率； 送電線；24%， 配電線；5.4%

*発電所から6600Vまでを「送電」，
6600Vから家庭の100, 200Vまでを「配電」