

2024.10.24 第3回 気候市民会議まつもと

太陽光発電と電気自動車の手順な使い方

櫻井啓一郎

(産業技術総合研究所 安全科学研究部門
社会とLCA研究グループ 主任研究員)

k-sakurai@aist.go.jp

個人の見解です。

引用した著作物が含まれております。
配布の際は著作権にご留意願います。

PDFはこちら



略歴

2001.3 京大工学研究科電子物性工学専攻博士後期課程卒

博士論文: MBE growth and properties of ZnO and ZnCdO thin films

ZnCdOからの青色発光を初めて報告

2001.4 産総研入所

CIGS薄膜太陽電池の研究に従事

JAXAとも共同研究、手作りした素子が宇宙に

2005.5～2006.5 ドイツHahn-Meitner-Institut(現HZB)に一年滞在

CIGSの研究と並行して再エネの普及政策の勉強

2007頃 固定価格買取制度(FIT)の導入を勧めて回る。書籍も執筆。

→2009年、政策に採用される

2011.3～2011.12 米国国立再生可能エネルギー研究所(NREL)

太陽電池モジュールの国際標準試験規格作成等

→広く使われる試験規格群をより厳格に(IEC61215等)

その傍ら、普及政策やLCAでも多少の業績。

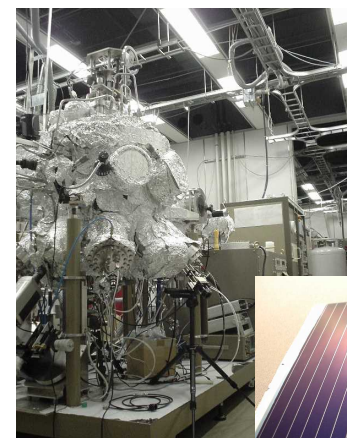
- ・原発事故後の太陽光暴走は止めきれず

- ・LCA学会誌のレビュー記事執筆

- ・Scienceに共著で投稿・掲載(3編)

- ・地方自治体における太陽光やEVの導入の支援

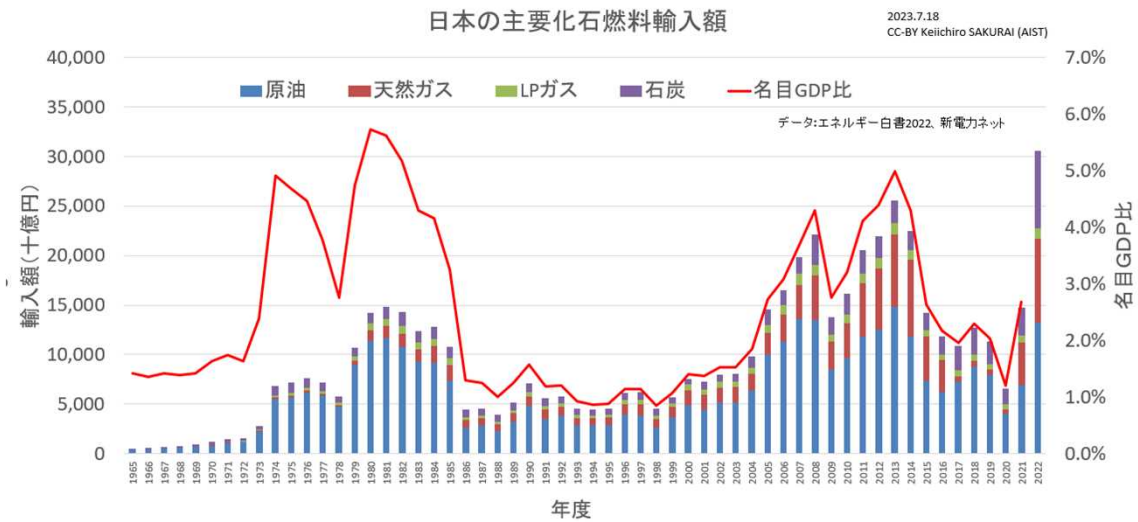
中古のリーフに9年乗っている。



主なポイント

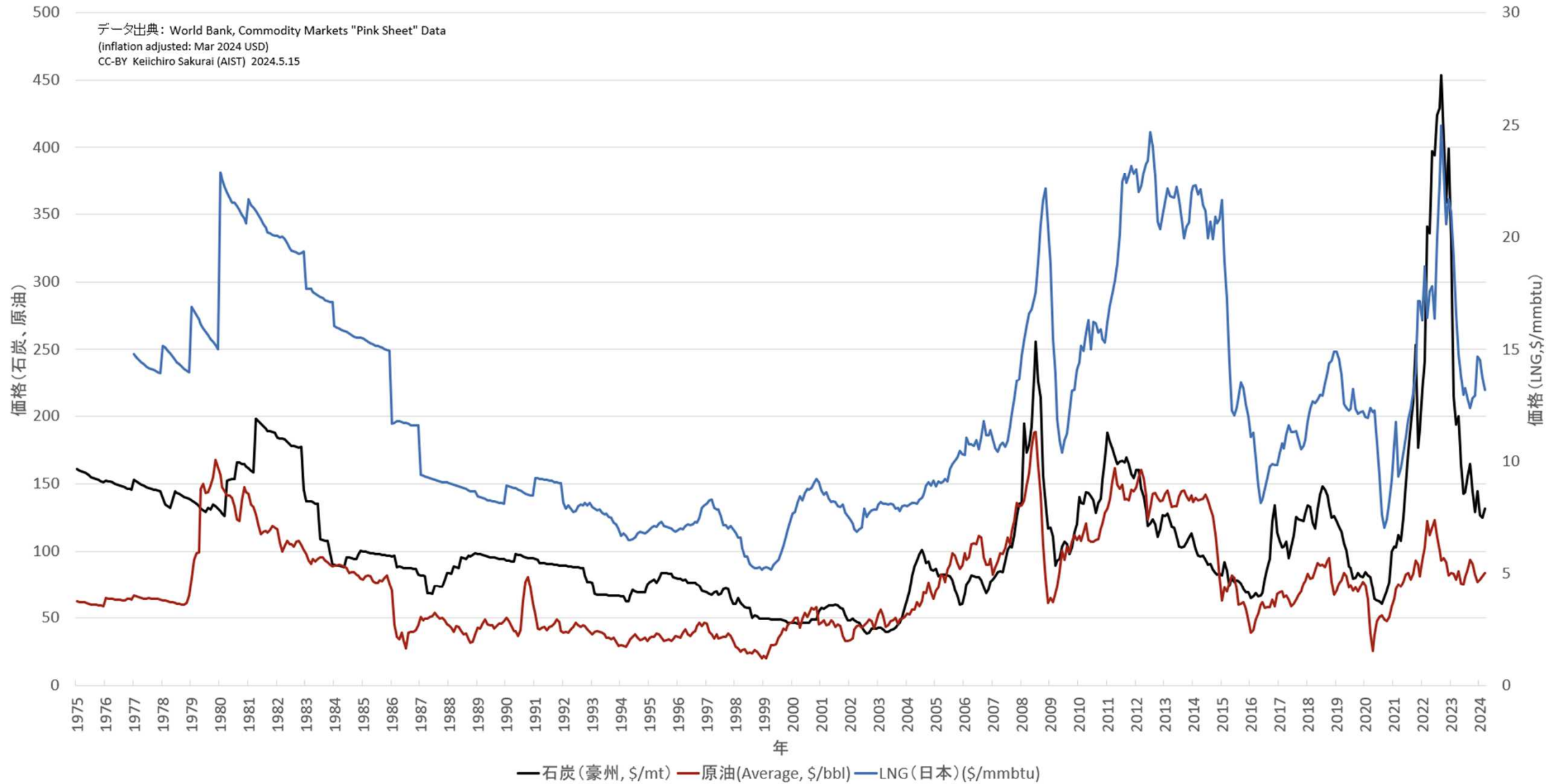
- 再エネ大量導入が既に世界的に進行中
- 気候変動を背景にした経済戦争
- EV普及の技術的障害はほぼ無くなりつつある
- 価格や充電環境が売れ行きを左右
- 蓄電池は太陽電池のように急激に価格低減中

背景(再エネ、気候変動)



不安定な化石燃料価格

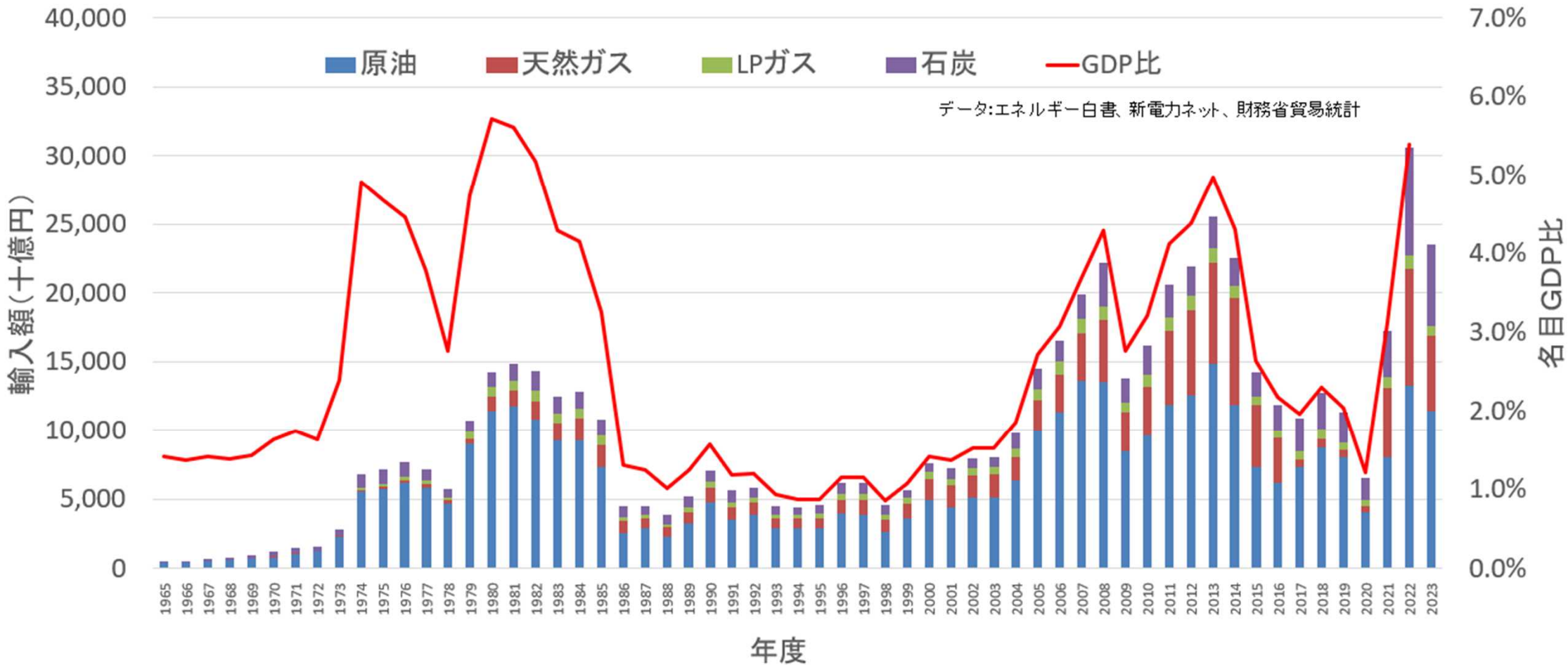
化石燃料の価格推移



日本の化石エネルギー輸入額

日本の主要化石燃料輸入額

2024.5.23
CC-BY Keiichiro SAKURAI (AIST)



昔に比べて年あたり何(十)兆円も増大
そもそも、不規則に変動すること自体がリスク

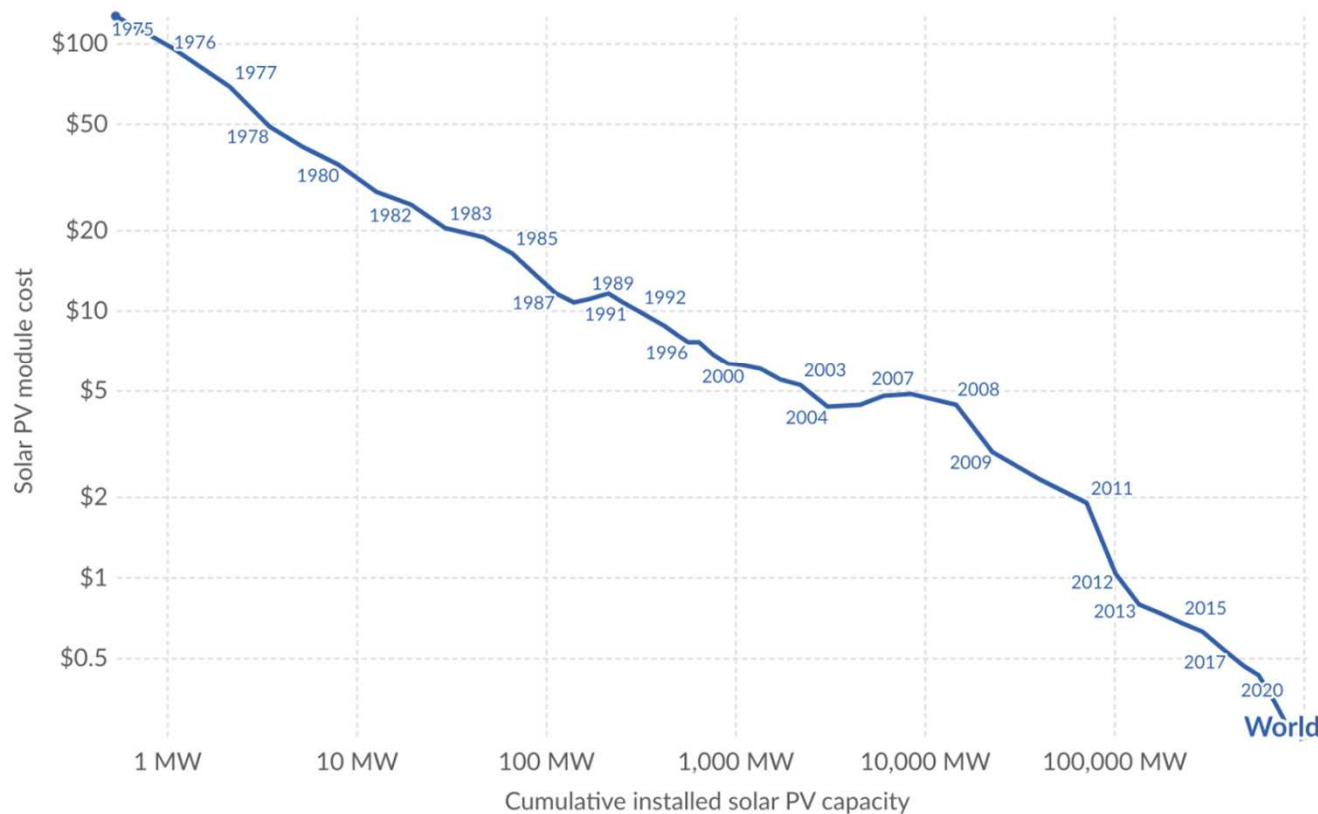
太陽電池：昔は家1軒分で数億円

太陽電池モジュールの出荷量と価格の関係

Solar panel costs have fallen by around 20% for every doubling of global cumulative capacity

Costs are measured in US dollars per Watt, adjusted for inflation.

Our World
in Data



1975 2022



<https://www.npr.org/2019/06/24/733795962/how-georgia-became-a-surprising-bright-spot-in-the-u-s-solar-industry>

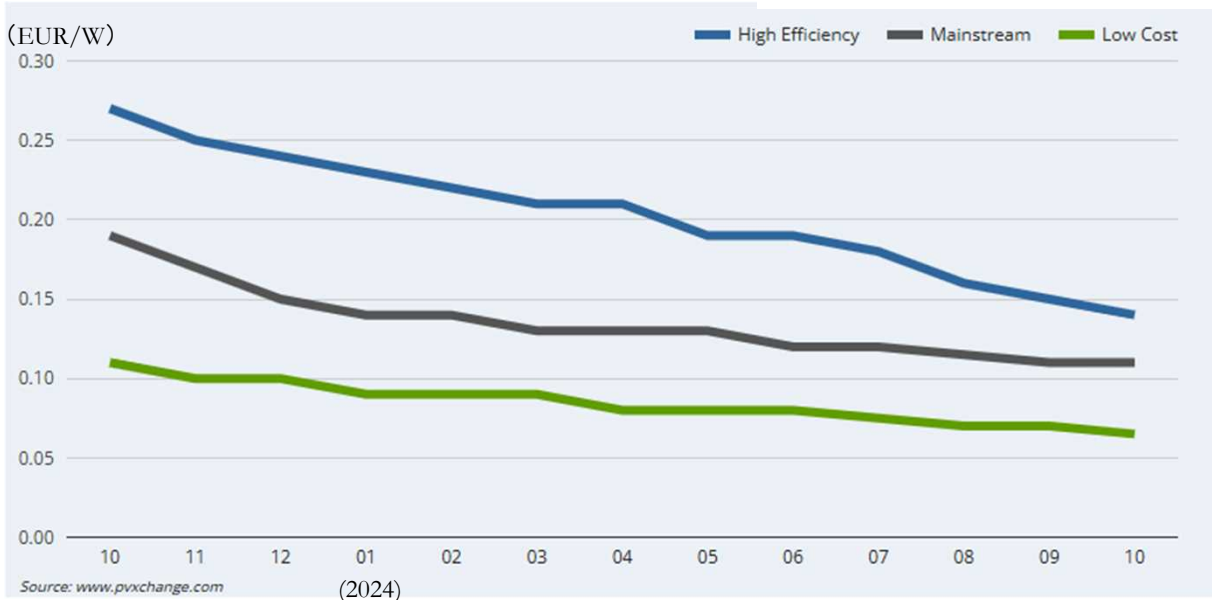
Data source: IRENA (2023); Nemet (2009); Farmer and Lafond (2016)

<https://ourworldindata.org/data-insights/solar-panel-prices-have-fallen-by-around-20-every-time-global-capacity-doubled>

CC BY

出荷量2倍ごとに2割以上価格低減
半世紀で1000分の1の価格に

布団より安い



太陽電池モジュール(パネル)の卸売価格:
主流品で約18円/W
＝マットレス(シングル)一枚分で7千円位
安価なものなら4千円位

<https://www.pvxchange.com/Price-Index>

爆撃しても、干した布団を攻撃するようなもの
誘導砲弾やミサイルの方が桁違いに高コスト
しかも、短期間で稼働再開



<https://www.solarquotes.com.au/blog/russia-ukraine-renewables-mb2687/>

太陽電池モジュールの価格の相場

世界の価格相場: 0.065～0.14ユーロ/Wp (2024年10月、pvXchange調べ)

= 11～23円/Wp (1ユーロ=163円換算)

= 1.1～2.3万円/kWp = 4～9万円/家一軒分(4kWp)

日本の条件では年間1000kWh/kWpぐらい発電、20～30年間で20000～30000kWh/kWp
つまり発電コストのうち、モジュールの分は

0.4～1.2円/kWh ぐらい。

モジュールを全て輸入しても、**今の日本にとって最も安いエネルギー源のひとつ。**
しかも

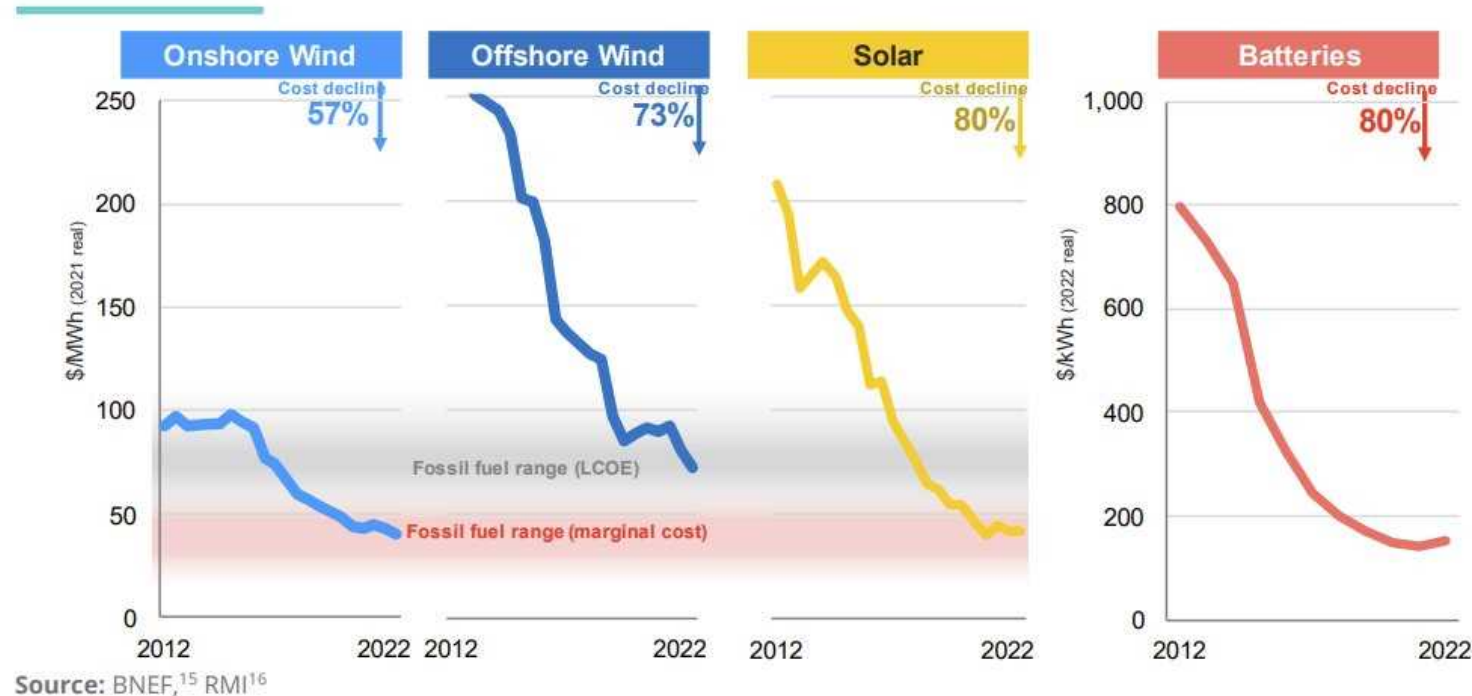
- ・今後もさらに安くなりそう
- ・一度輸入すれば、**リサイクルして繰り返し使える**

価格でも再生可能エネルギーが安価に

再生可能エネルギーの発電コスト

Figure 3: The collapsing cost of renewables

<https://rmi.org/insight/x-change-electricity/>



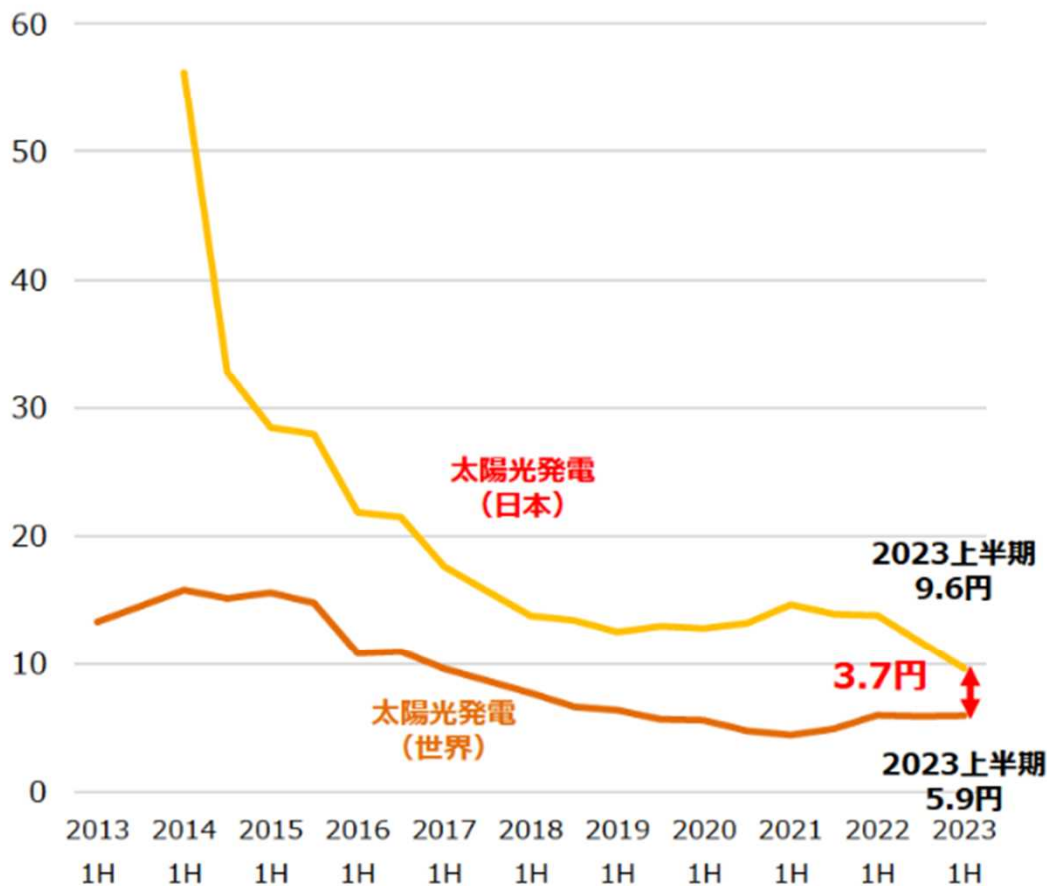
BNEF calculates that solar and wind are now the cheapest sources of new electricity in 82% of the world for new electricity and in 57% of the world for existing electricity (where new renewables can outcompete existing fossil fuel assets).¹⁷ Because renewable costs keep falling, the share of the world where the economics of renewables are superior will rise.¹⁸

新設の電源については世界の8割以上
既存電源の置き換えでも6割近くにおいて
化石燃料よりも、太陽光や風力の方が安価に

日本における太陽光と風力の価格

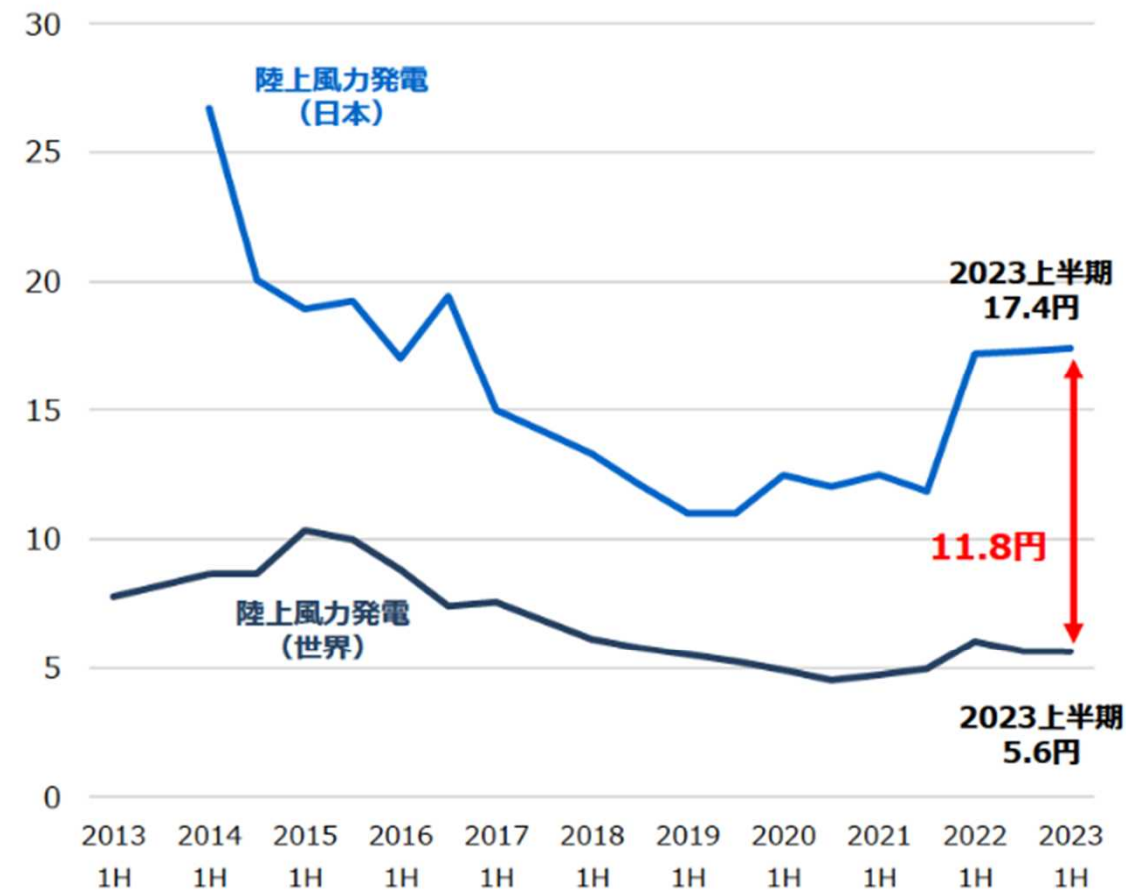
＜世界と日本の太陽光発電のコスト推移＞

(円/kWh)



＜世界と日本の陸上風力発電のコスト推移＞

(円/kWh)

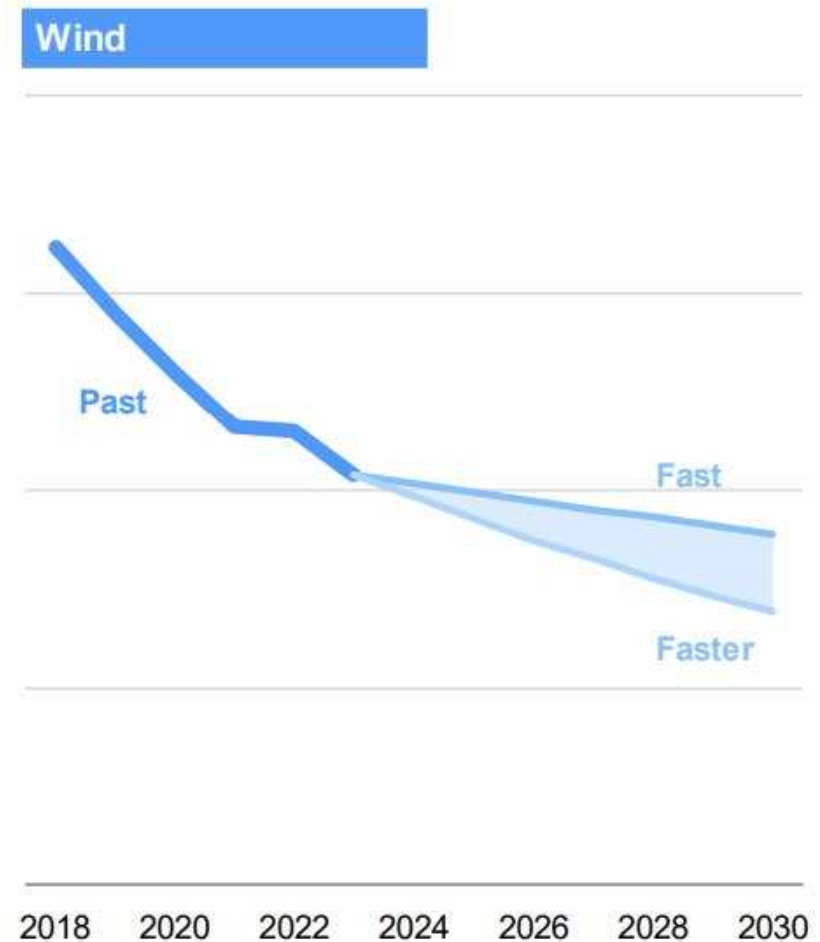
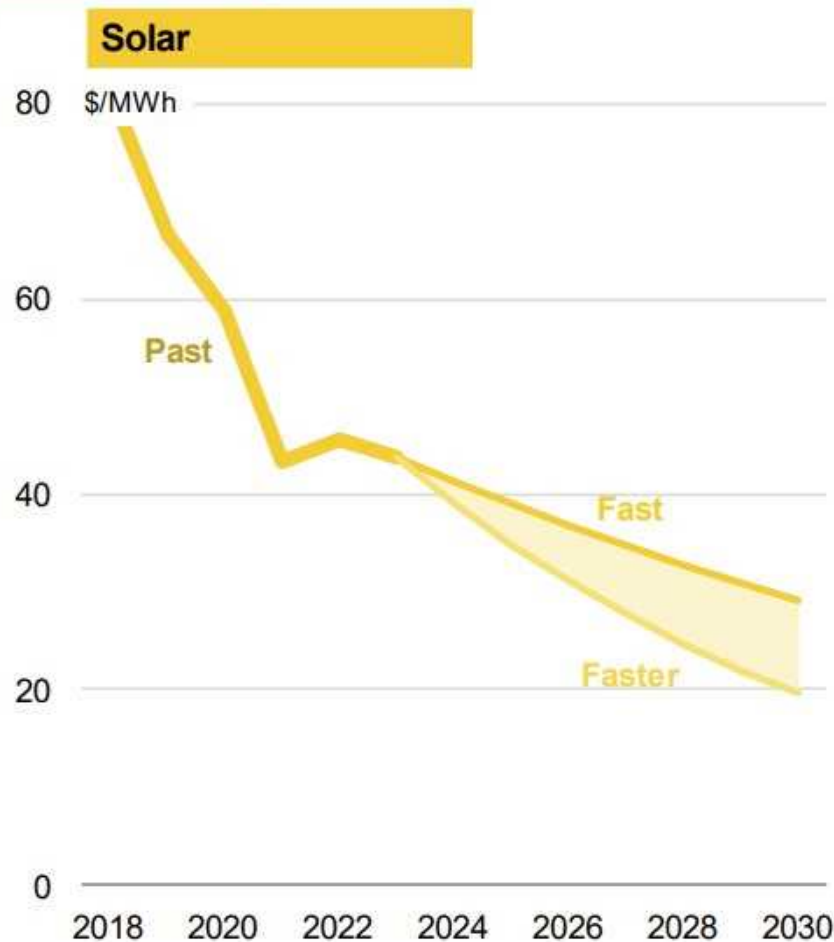


太陽光は着実にコスト低減(円安下でも)
風力は市場・政策的要因が障害？

(第87回 調達価格等算定委員会資料より)

今後もさらに安くなる見込み

Figure 9: Expected solar and wind costs at different learning rates, \$/MWh

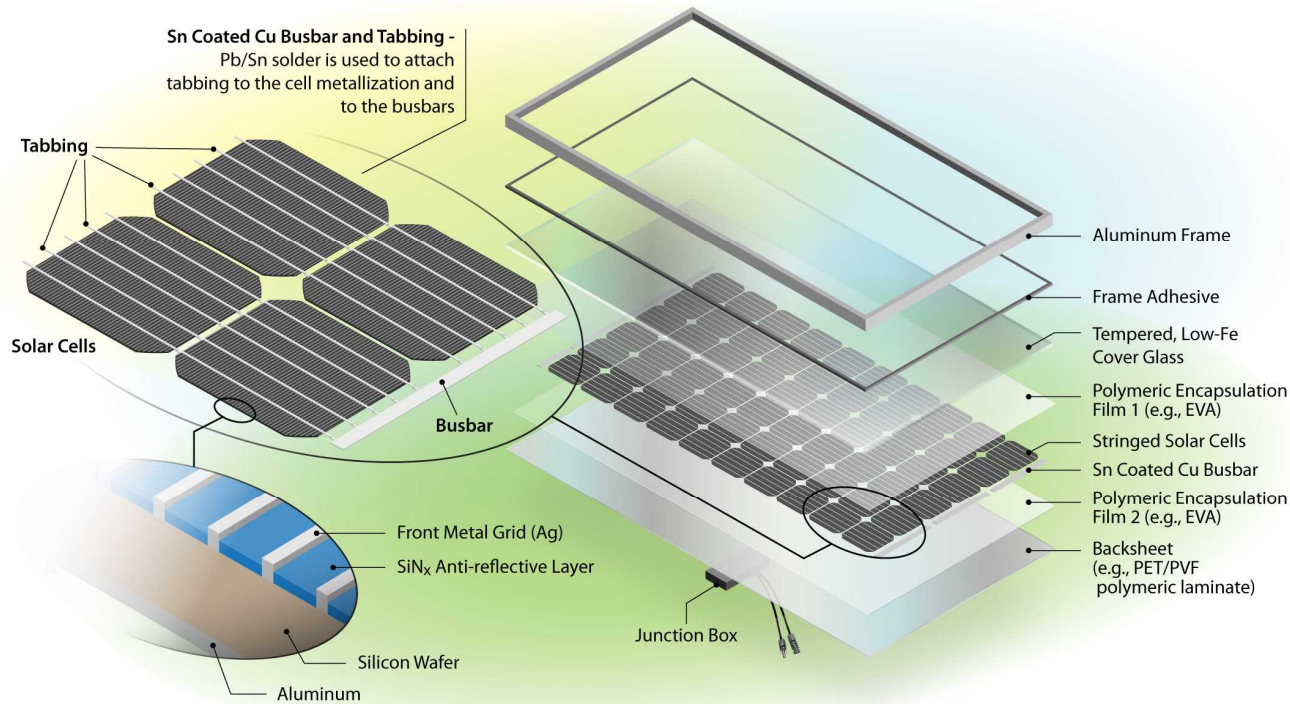


Source: BNEF,⁴⁴ RMI analysis

<https://rmi.org/insight/x-change-electricity/>

太陽電池モジュールの構造

(結晶シリコン型; 市場の殆どを占める)



<https://www.epa.gov/hw/solar-panel-recycling>

主な材料: ガラス、アルミ、シリコン、銅、銀、樹脂等

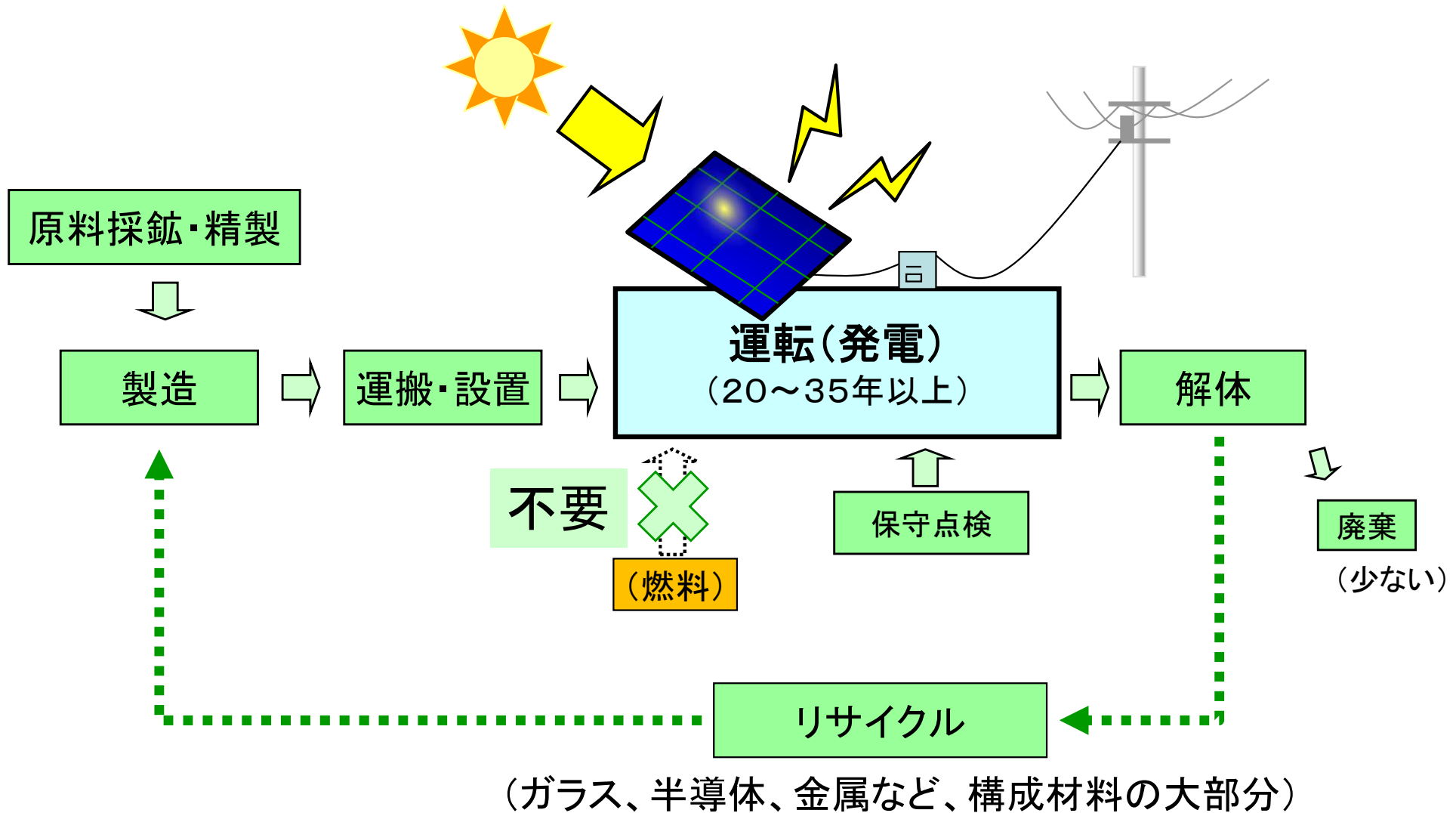
「重金属」: ハンダに鉛を使う場合があるぐらい

透明な接着剤(EVA樹脂)がめっちゃめっちゃ粘るので分解が難しい(何十年も経っても粘る!)

重量の95%以上をリサイクル可能(実証済み)

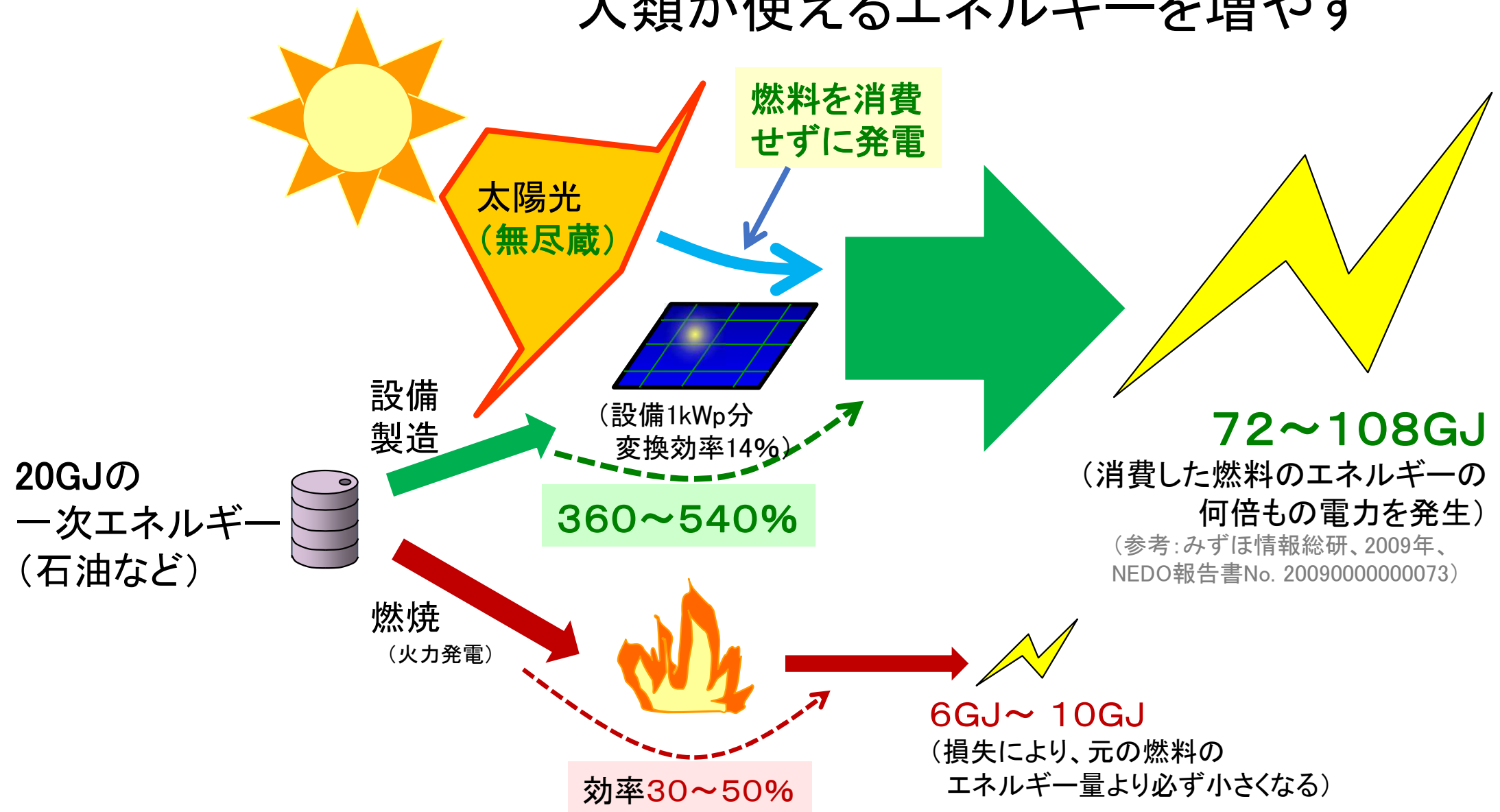
もちろん環境性能も向上する(例えばCO2がさらに2割減)

太陽光発電のライフサイクルはどんなものか



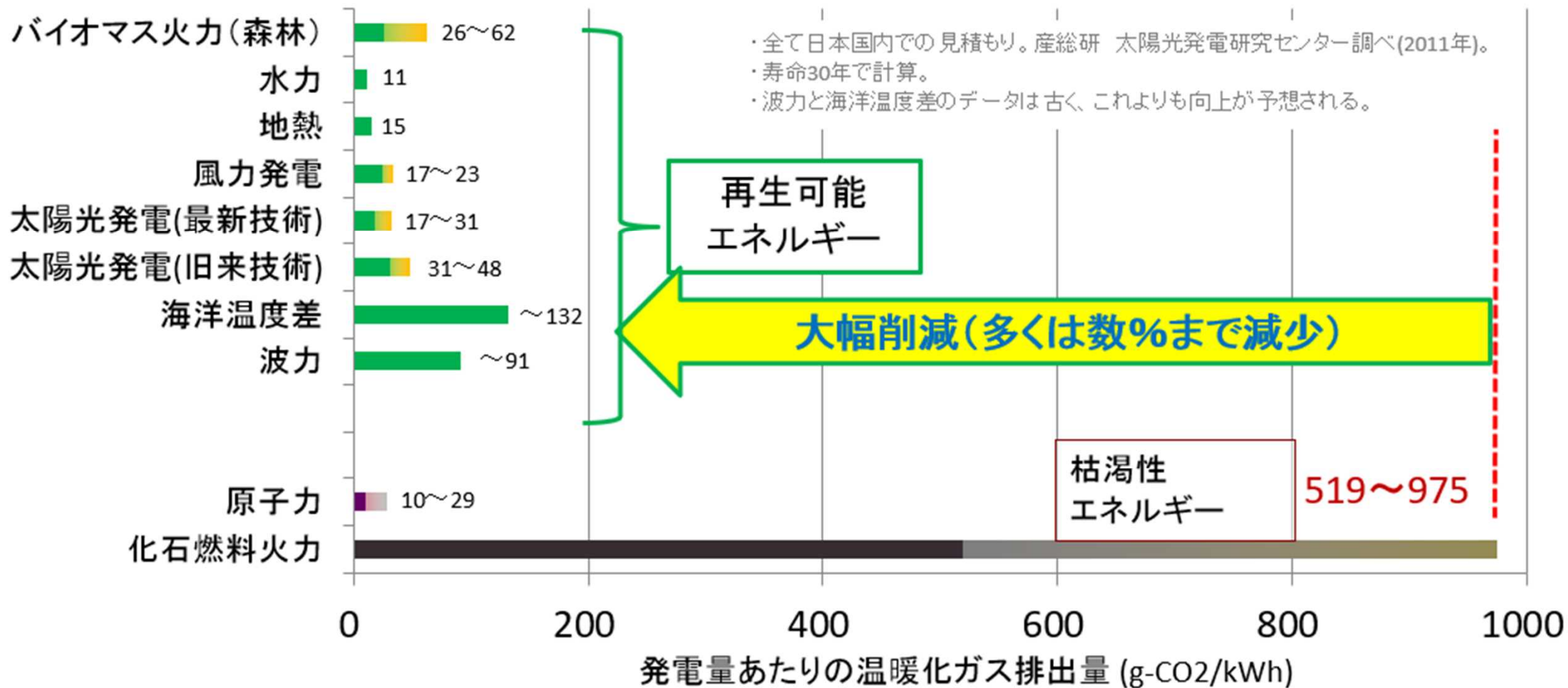
- ・運転に燃料がいらない、保守の手間も少ない
- ・ライフサイクル中のエネルギー消費や温暖化ガス排出は殆どが原料精製や製造による
- ・リサイクルするとさらに環境性能が上がる(殆どの構成材料がリサイクルできる)

人類が使えるエネルギーを増やす



製造等に消費したエネルギーの数倍の電力が得られる
(15年前の技術でも)

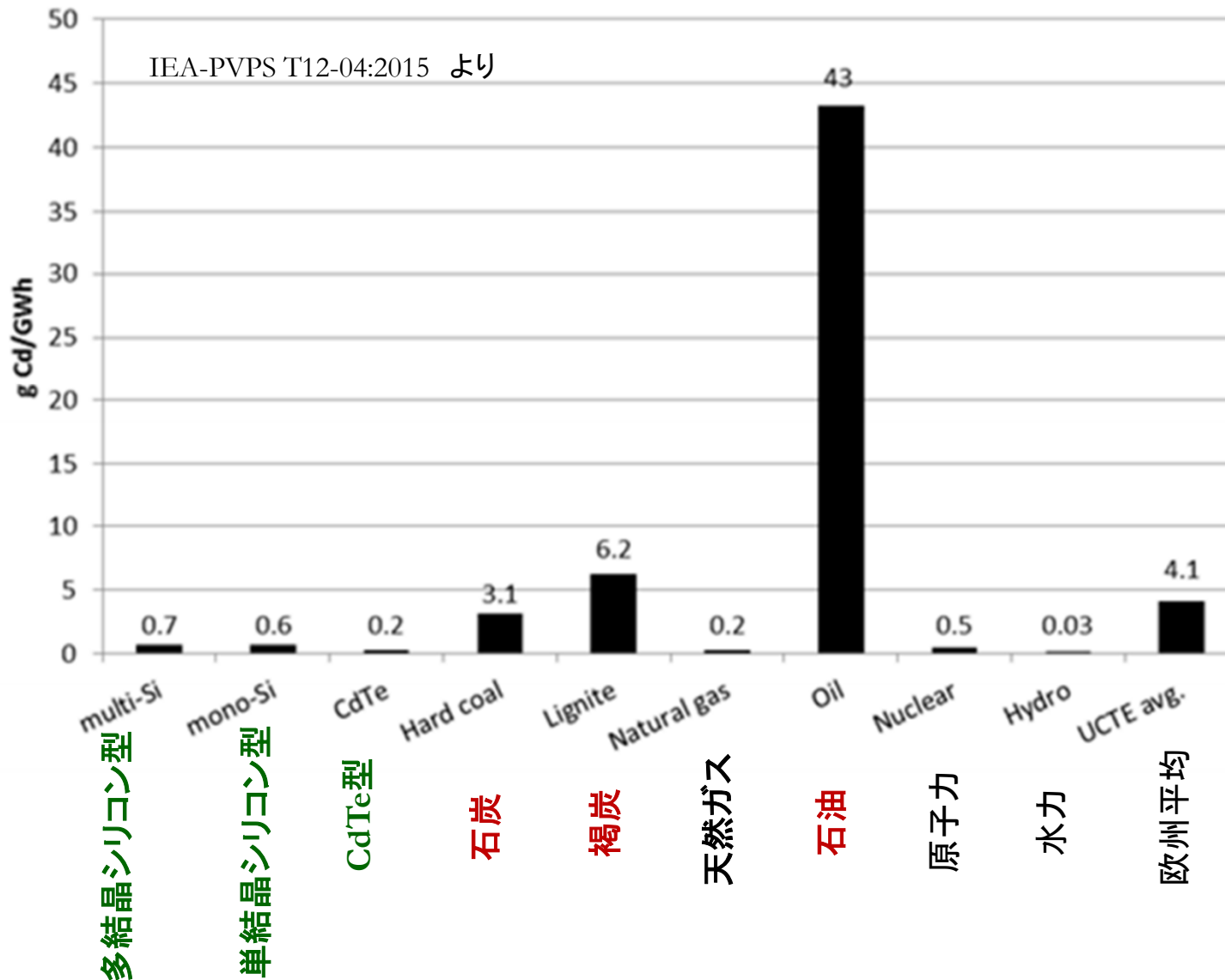
温暖化ガスの排出量



温暖化ガス(CO₂)の排出量を数%以下に削減できる

CO2削減だけじゃない

発電電力量あたりの環境中へのカドミウム排出量



- ・そもそも石油や石炭は大量の重金属を環境中に排出。
- ・太陽光はどれも桁違いに少ない。
排出は製造時の電力による間接的なものが主。
- ・CdTe型はガラスと樹脂で閉じ込めリサイクルもしやすい
製造時の電力も少ない
→シリコン型より排出が少ない
(だからこそ欧州ですら認可)
- ・石炭火力は水銀も排出
(海洋水銀汚染の2番目の原因)
深い海でメチル水銀に
→マグロ等で既に摂取制限国も
(米国等)

重金属、煤煙等の環境負荷も減らせる

リサイクル事例



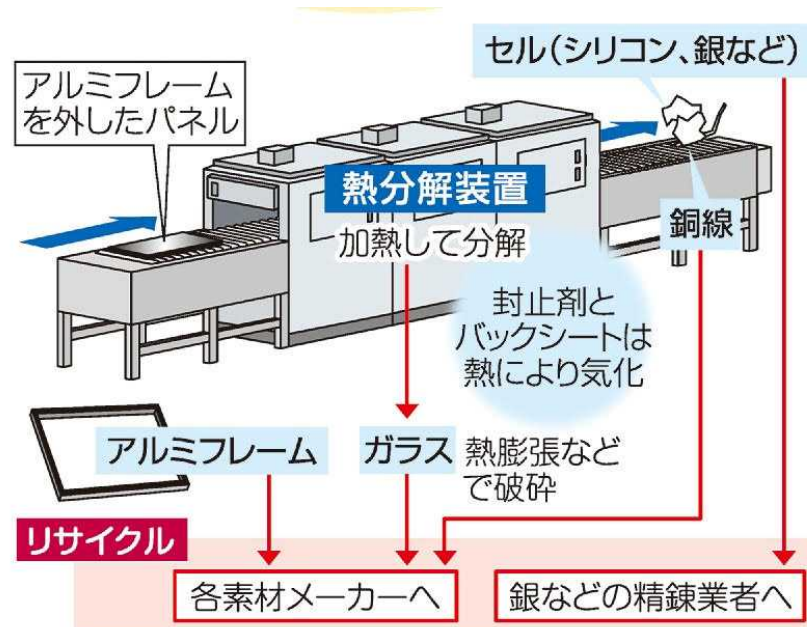
<https://www.youtube.com/watch?v=p7pK4fbGtLY>



欧州では10年以上前からリサイクルを実施
リサイクル率もWEEE指令で義務づけ

最初からガラスもセルも割る方法が多い

樹脂を燃やし飛ばしてから
ガラスもシリコンも内部配線も一緒くたに粉砕
してから仕分けるので手間がかかっている



ガラスやセルを割らずに解体する技術が
日本で各種開発されている

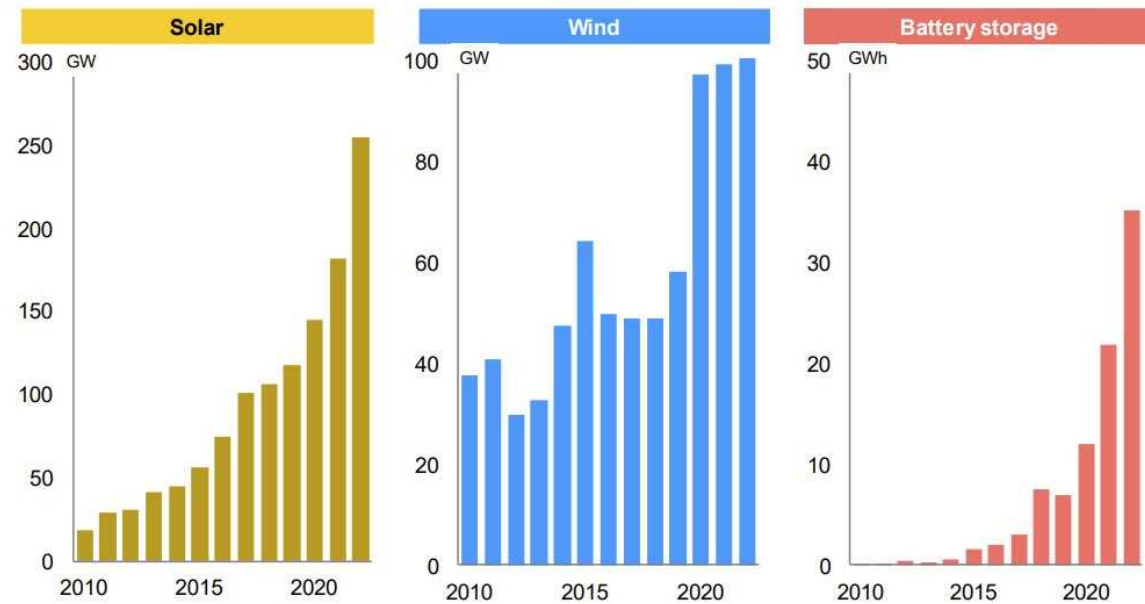
- ・仕分けの工程を省けるかも
- ・セルも表面だけの処理でウエハに再利用できるかも

既に実証試験や商業化も種々あり
残るはリサイクルの仕組み作り

<https://j4ce.env.go.jp/casestudy/153>

急速に伸びる再エネ

Figure 4: Annual additions of key renewable technologies



<https://rmi.org/insight/x-change-electricity/>

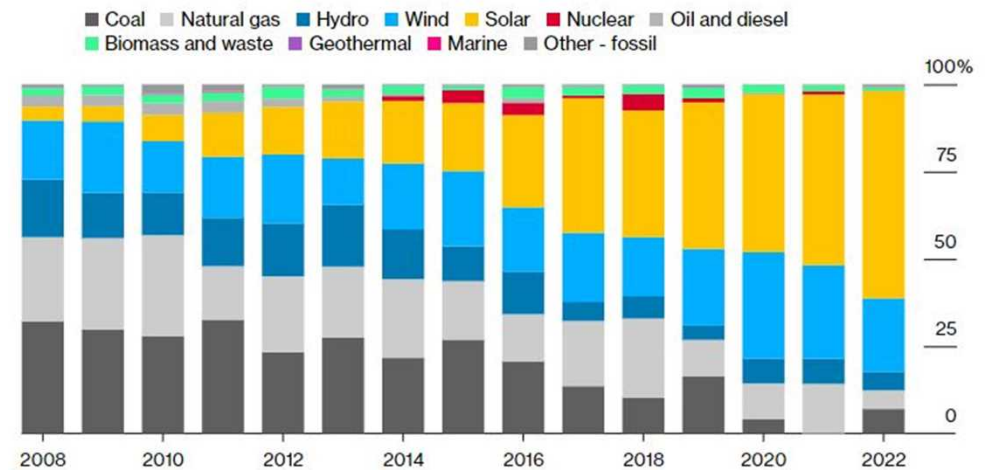
特に太陽光と蓄電池は指数関数的に増加
(風力もうちょっと頑張って)

BNEF, Power Transition Trends 2023

世界で新設される電源容量の8割以上が再エネに
太陽光と風力が主力に

(2024年は新設電源容量の7割ぐらいが太陽光に?)

Share of global electricity capacity additions by technology



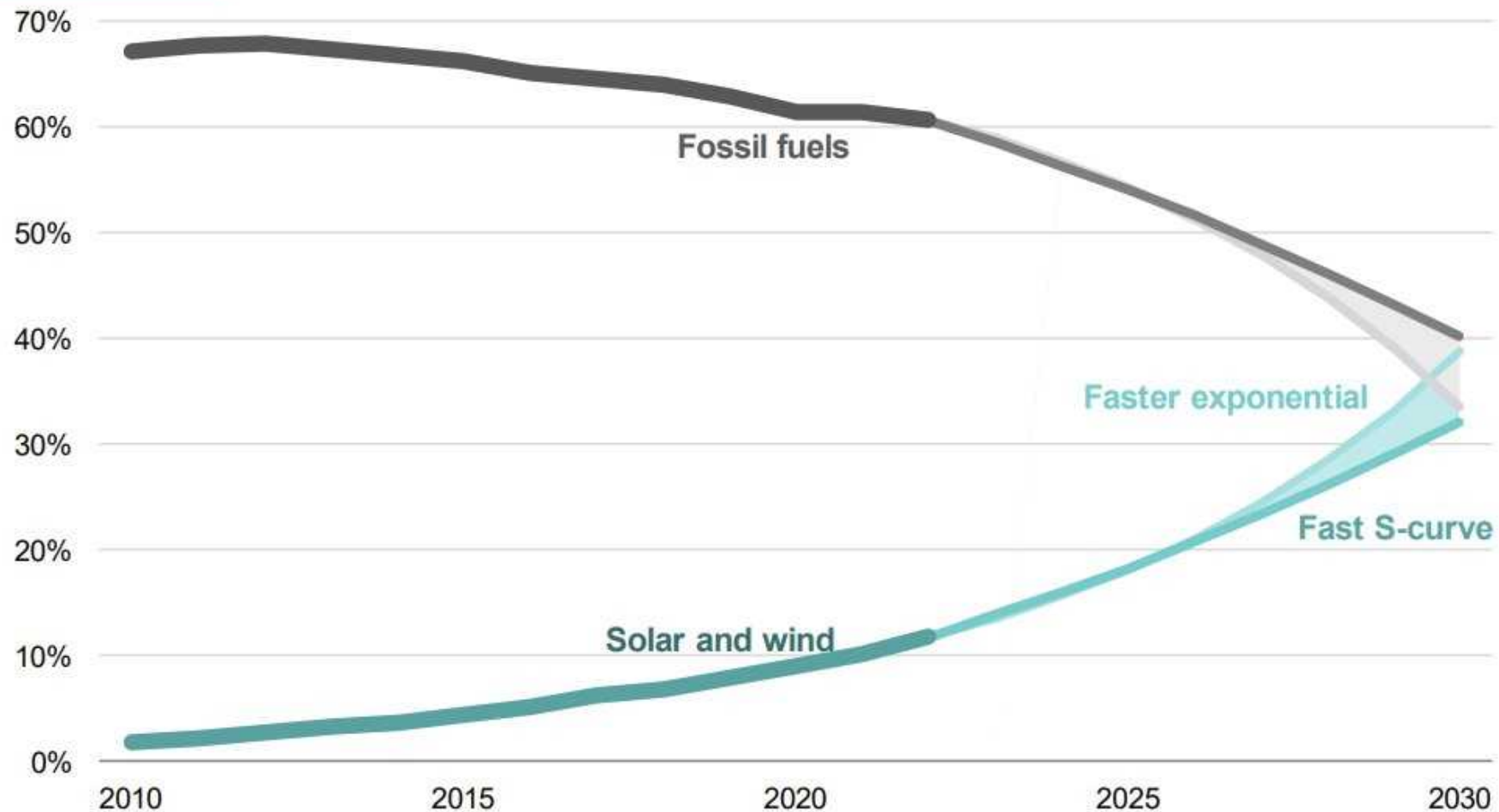
Source: BloombergNEF

Note: Excludes retirements. "Other - fossil" accounts for plants that use more than one fuel or fuels other than coal, oil, gas, hydro and nuclear.

BloombergNEF

もうちょっと普及を速めると…

Figure 15: Global share of electricity generation by source



Source: Energy Institute (past),⁷⁶ RMI forward

<https://rmi.org/insight/x-change-electricity/>

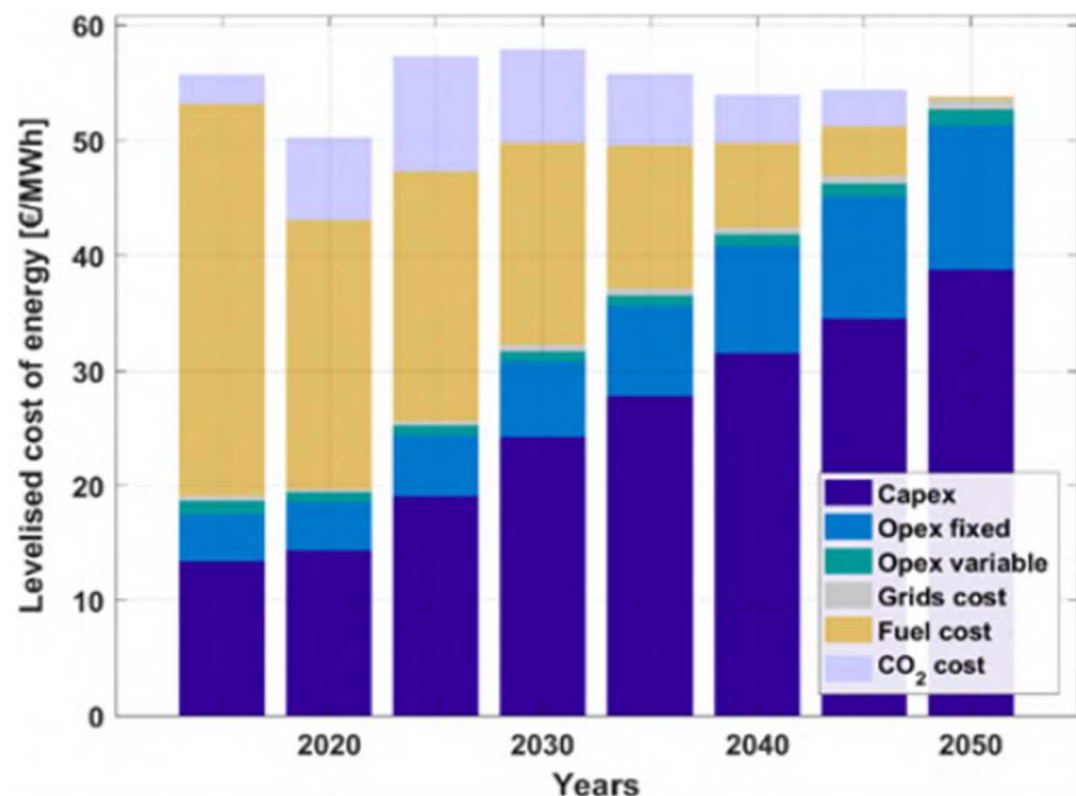
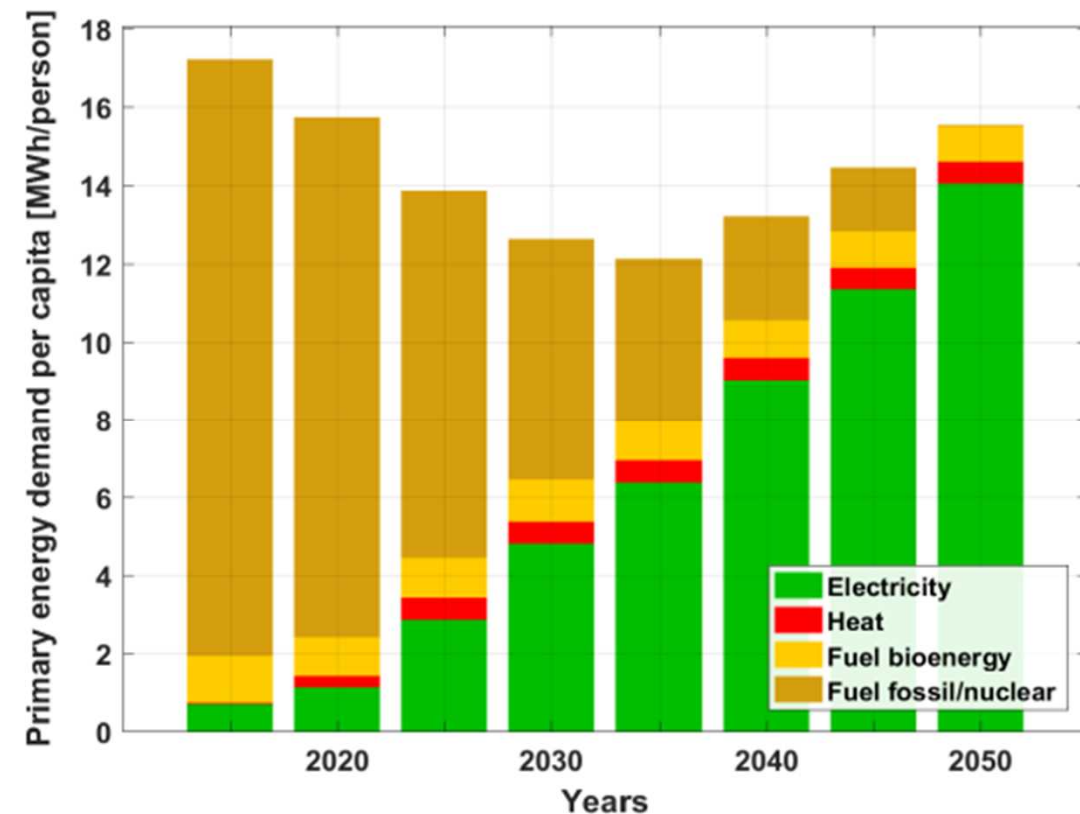
2030年頃までに太陽光と風力だけで、化石燃料の発電量を超えられそう
(化石燃料による発電はあと数年で主流でなくなる)

エネルギーコストもむしろ安価にできる

2050年までに世界の全エネルギーを再エネで賄う場合のシミュレーション例

一次エネルギー需要と内訳

エネルギーのコストと内訳



太陽光や風力の変動まで考慮しても
(いわゆる「系統安定化」を含めても)安い。

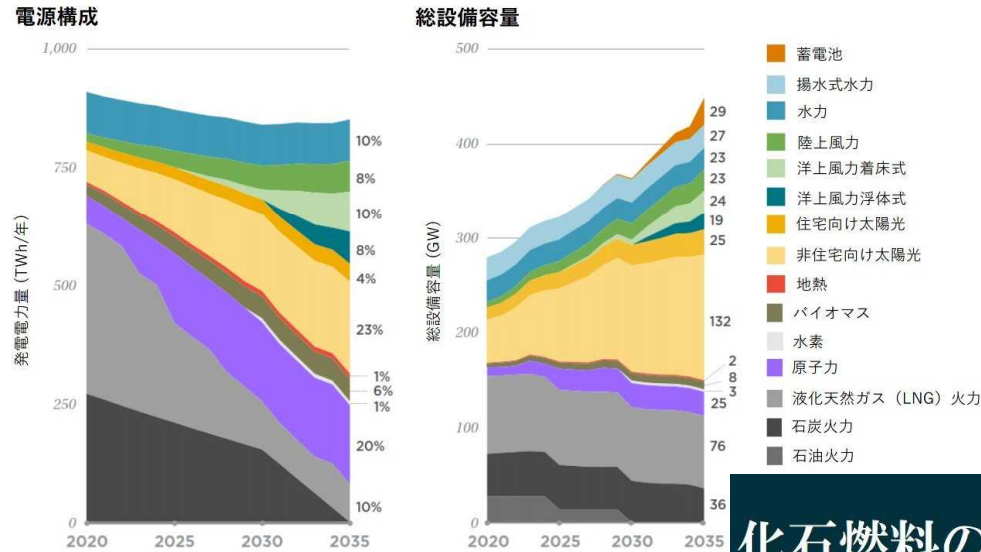
http://energywatchgroup.org/wp-content/uploads/EWG_LUT_100RE_All_Sectors_Global_Report_2019.pdf

日本語解説:

<https://energy-democracy.jp/2668>

日本の電力でもできる

石炭火力による発電やLNG火力の新設なくとも
日本で90%クリーンで信頼性のある電力システムが構築できる



2035年までに日本の電力の90%を
ゼロエミ化する試算例
(ローレンスバークレー研)

日本語解説資料

<https://climateintegrate.org/archives/2221>

大元の報告書

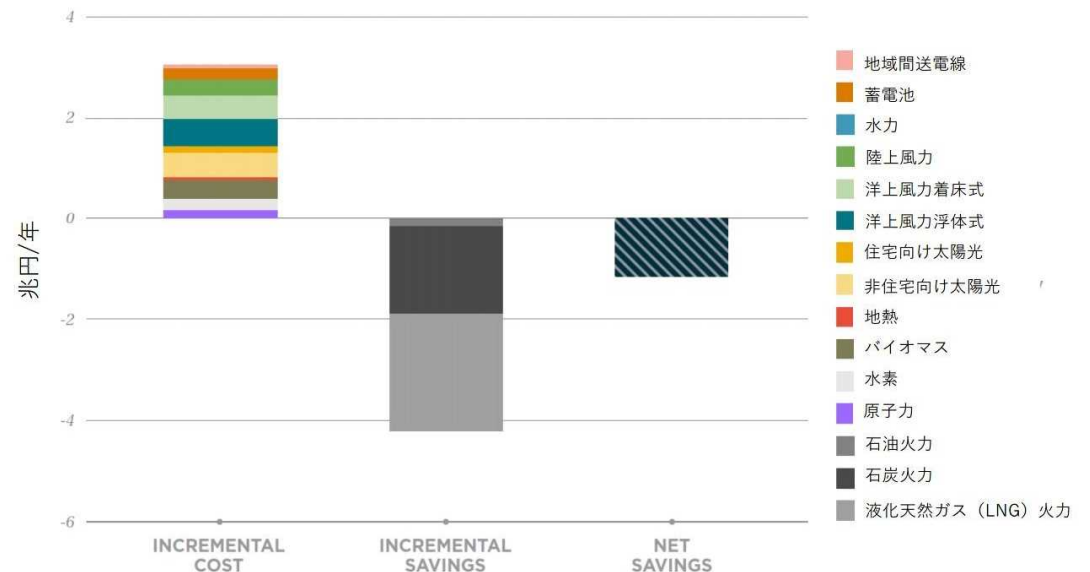
<https://emp.lbl.gov/publications/2035-japan-report-plummeting-costs>

化石燃料の燃料費の削減が再エネ等の固定費増を上回る

既存火力の設備を需給調整に用いれば
蓄電池も限定的な量で済む

それでもEVの活用は未考慮
(活用するともっとラクになるはず)

水素はこの検討の範囲ではコストで見合わない
(最後の1割の火力削減で活躍するか?)

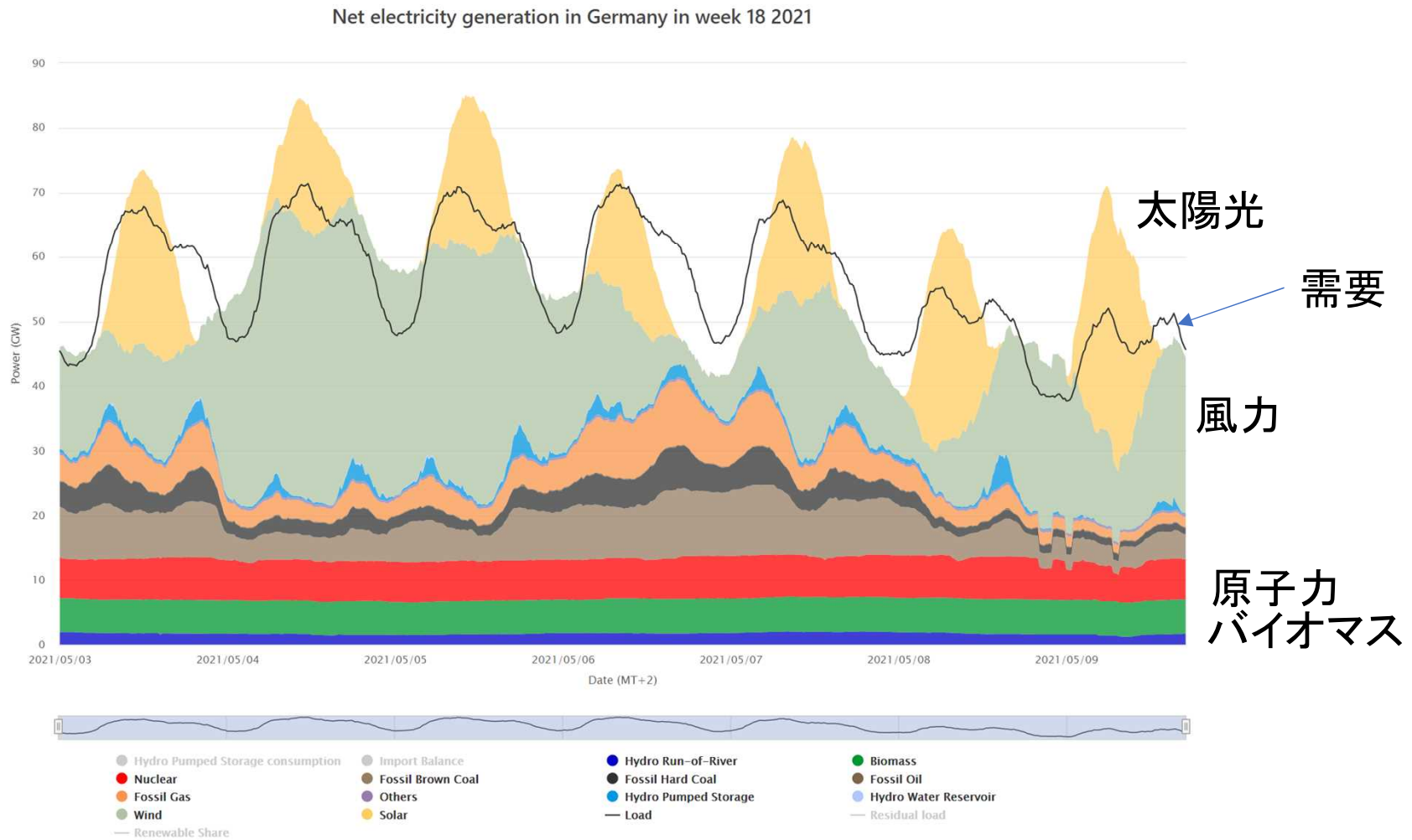


実例

ドイツの1週間の電力供給の内訳の例(2021.5)

Energy-Charts

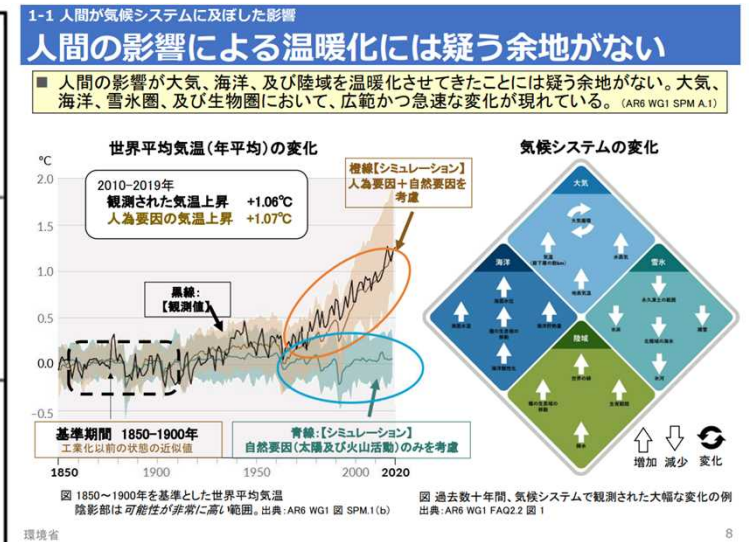
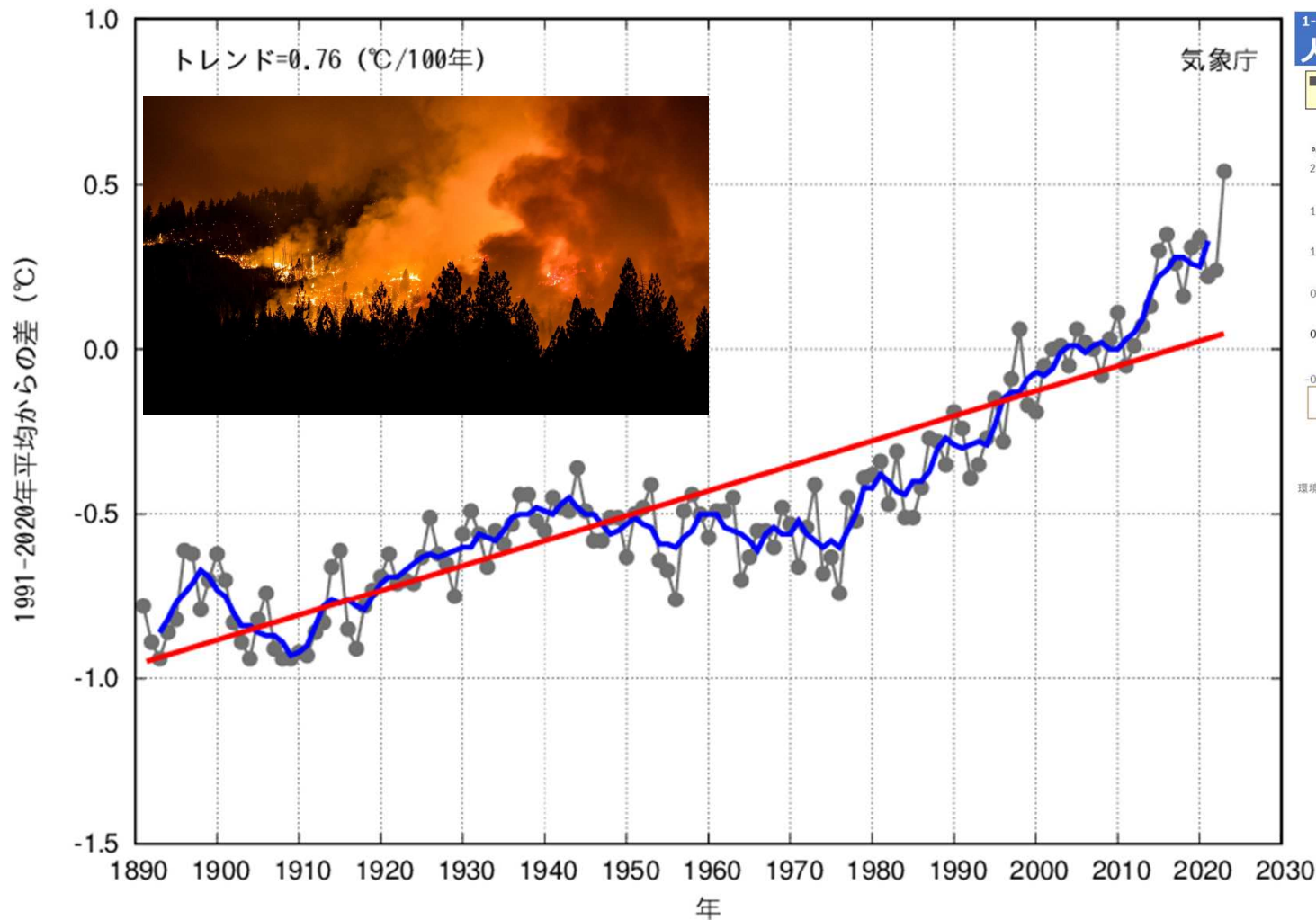
Power Energy Emissions Climate Prices Scenarios Map Infos



太陽光も風力も出力が変動するが、実用になる

地球温暖化(高温化)

世界の年平均気温偏差



上図: <https://www.env.go.jp/content/000116424.pdf>

左グラフ: 気象庁

左写真: <https://edition.cnn.com/2021/08/01/us/us-western-wildfires-sunday/index.html>

温暖化傾向は明らか。疑いようもなく人為的(IPCC AR6)。
対策は経済面でも合理的(国連、IEA、OECD等々)

(時々)ニセ科学に弱い日本

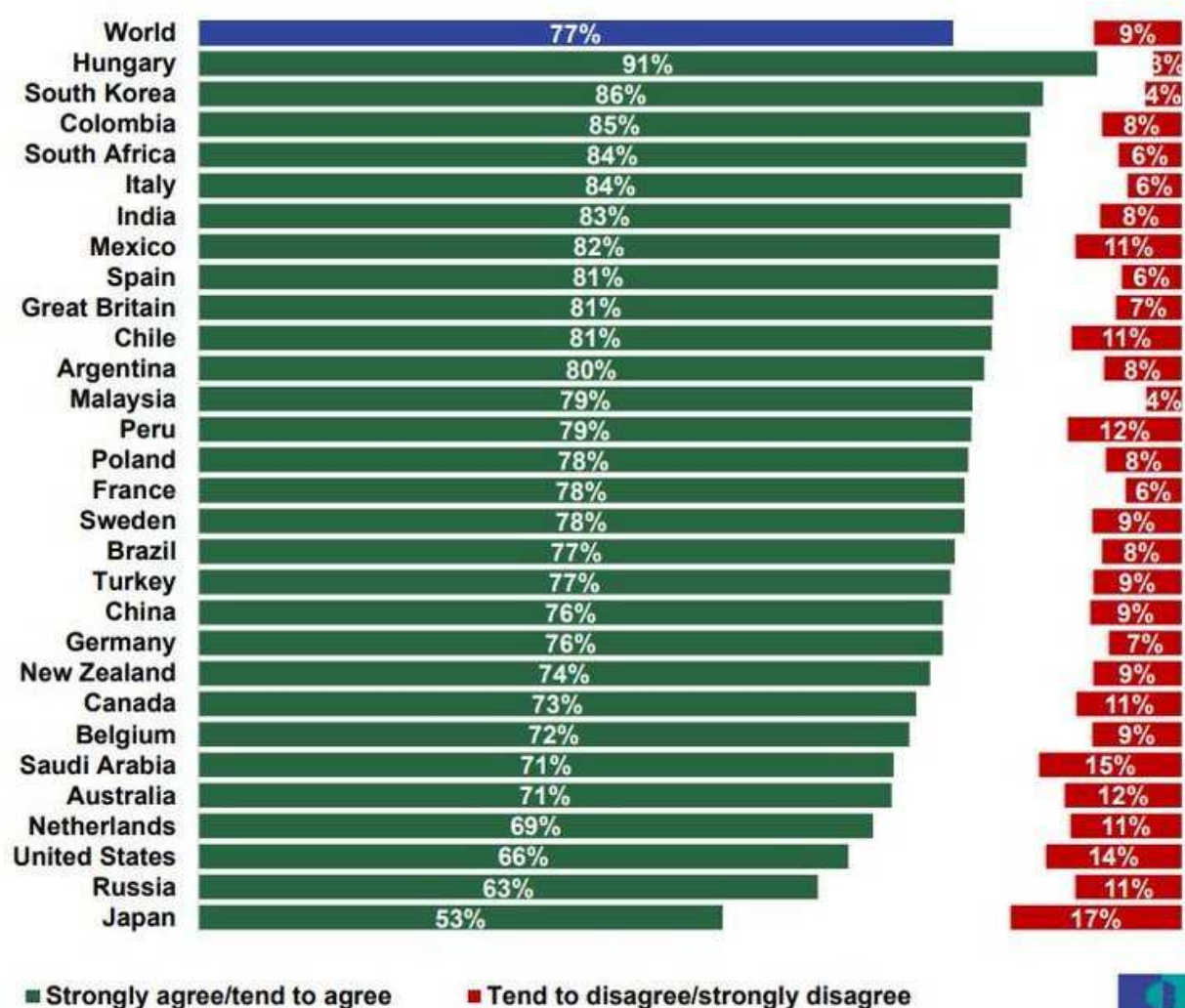
気候変動が人為的だと認識されてる割合が、主要国中でもブツちぎりに低い

Understanding of climate change

Country data

Q. To what extent do you agree or disagree with the following statement?

'Human activities contribute to climate change'



Base: 20,590 online adults aged 16-74:

Fieldwork dates: Friday, February 21 to Friday, March 6, 2020

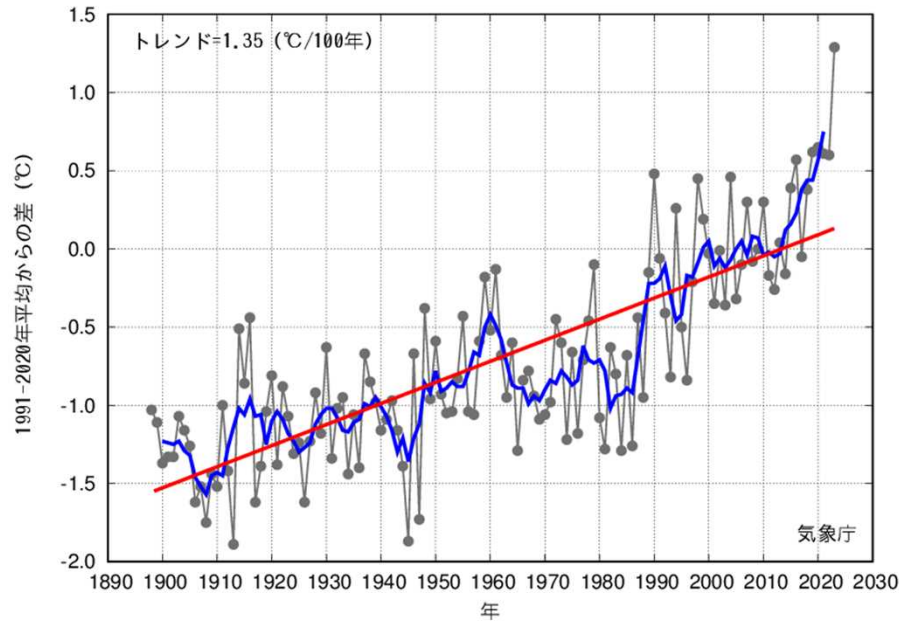
きっちり対処できることも多いが、たまに”やらかす”

気候変動以外でも、日本を標的に流布されていると考えても矛盾しない事例が見受けられる

日本で既に見られる影響の例

平均気温が上昇

日本の年平均気温偏差

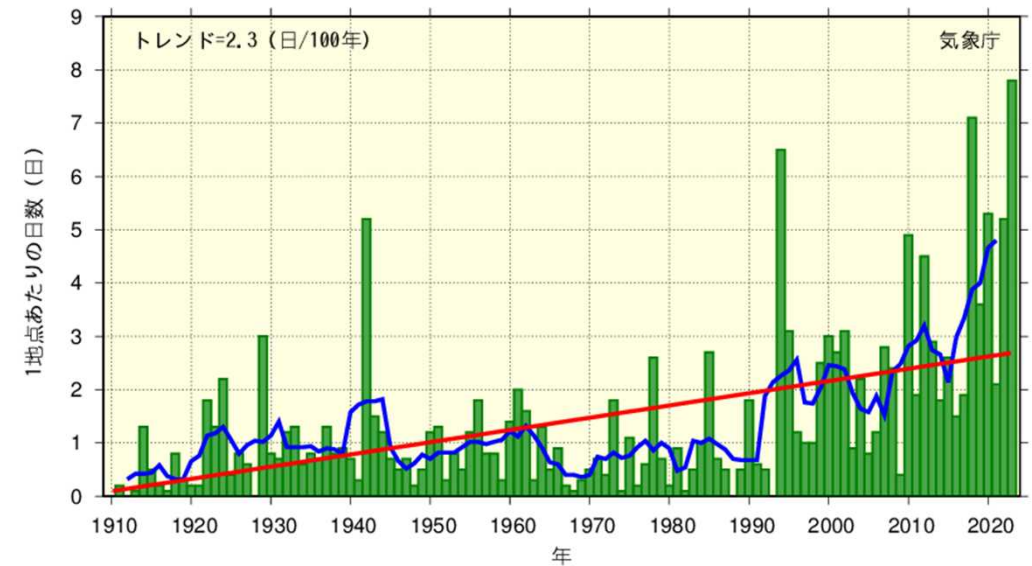


猛暑日が増加

出典: 気象庁

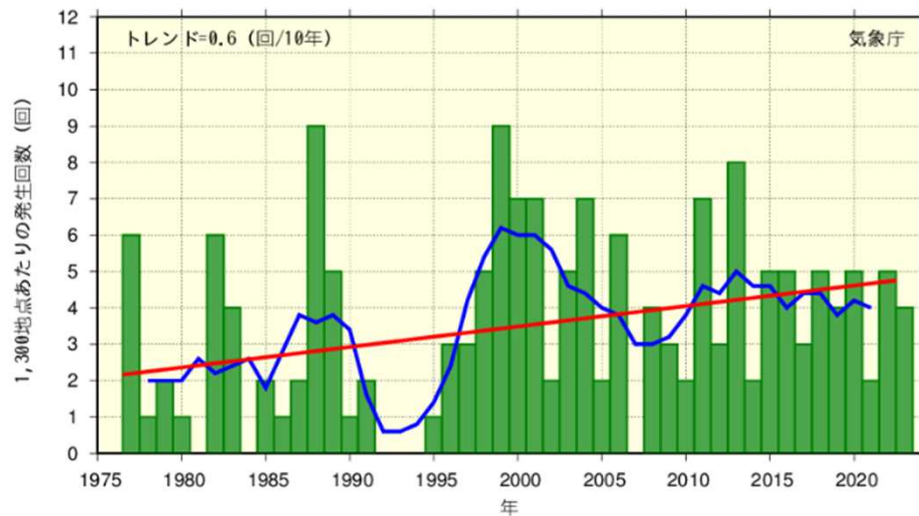
(都市化の影響が少ない地点でも)

【全国13地点平均】日最高気温35℃以上の年間日数(猛暑日)

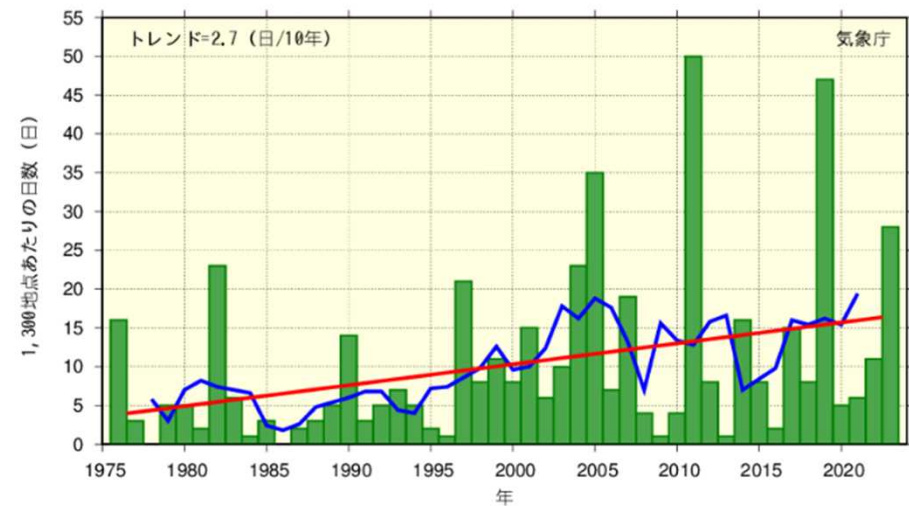


いわゆる「ゲリラ豪雨」や、極端な大雨が増加

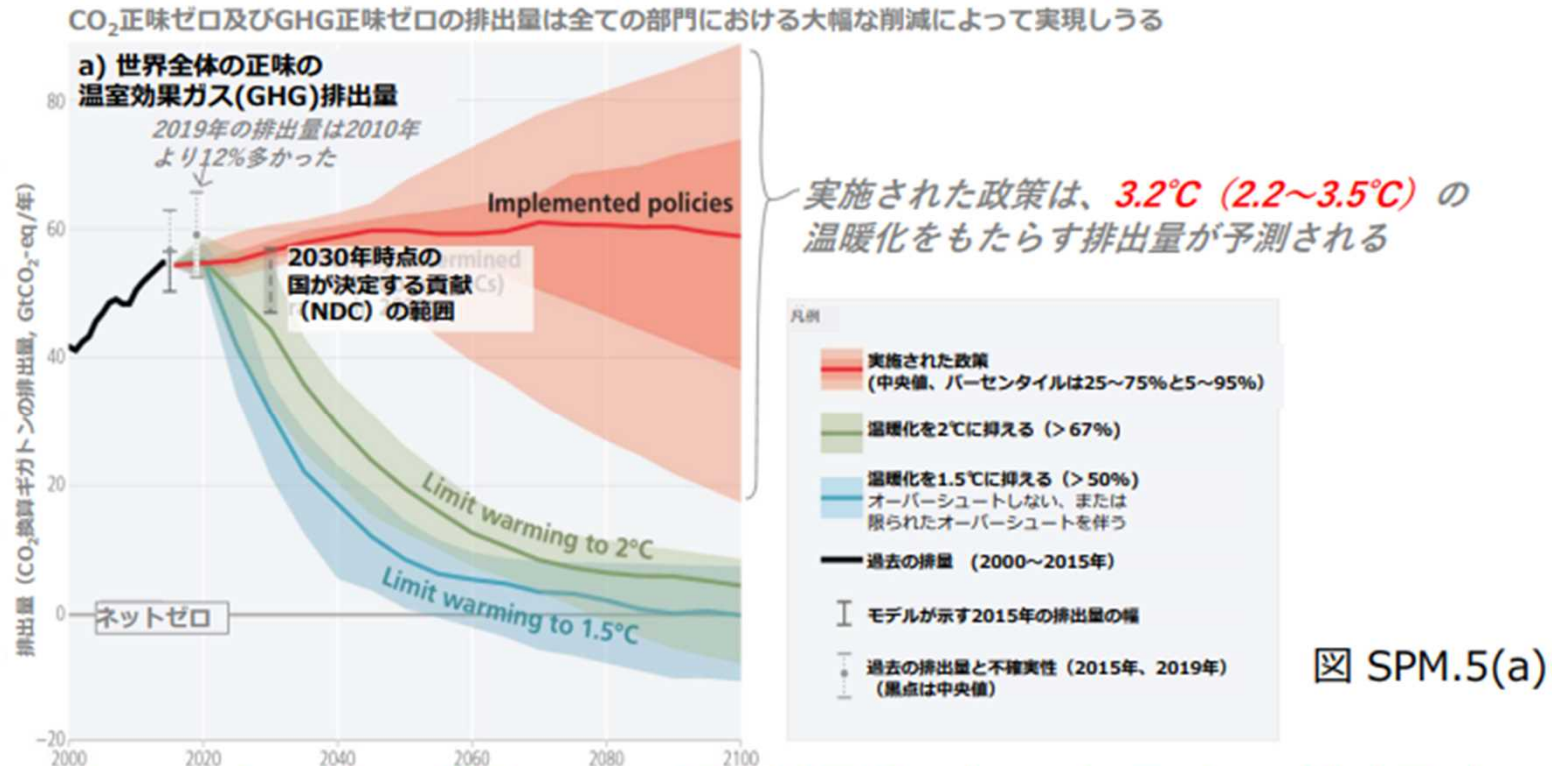
【全国アメダス】1時間降水量100mm以上の年間発生回数



【全国アメダス】日降水量400mm以上の年間日数



この10年の対策が決定的



温暖化を1.5℃又は2℃に抑える経路における温室効果ガス（GHG）及びCO₂削減量（2019年比）

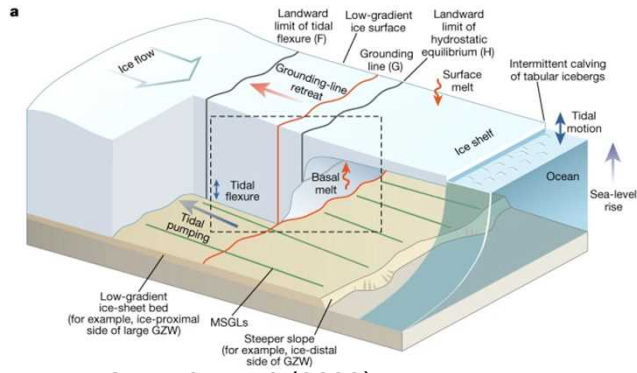
<https://www.env.go.jp/content/000126429.pdf>

- ・ 1.5℃や2℃に納められるかは、この10年の温室効果ガス排出削減で決まる。
この10年間に行う選択や実施する対策は、現在から数千年先まで影響を持つ (AR6)

参考：海面上昇ペース加速の危険性

海面上昇は一定のペースでゆっくり進むとは限らない。
過去に10年で約50cm上昇した痕跡も。

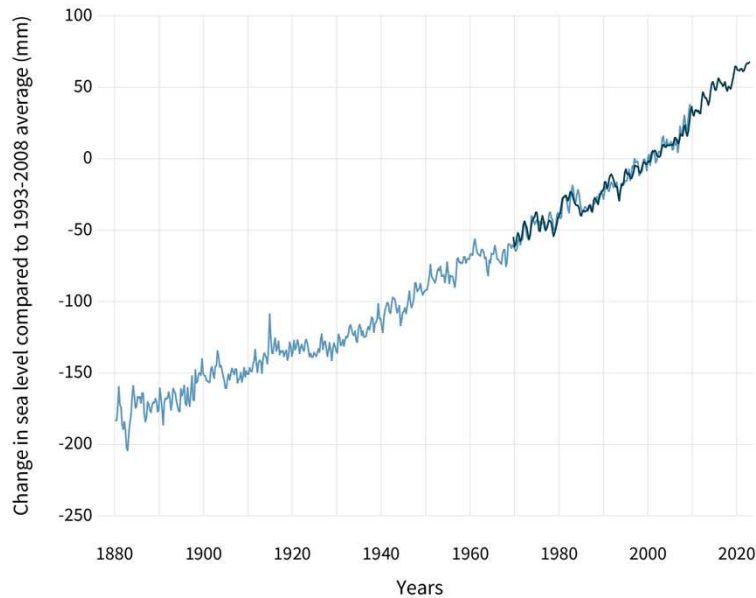
Fig. 3: Schematic model of corrugation ridge formation along the ice-sheet grounding line.



Nature **617**, 105–110 (2023).

<https://doi.org/10.1038/s41586-023-05876-1>

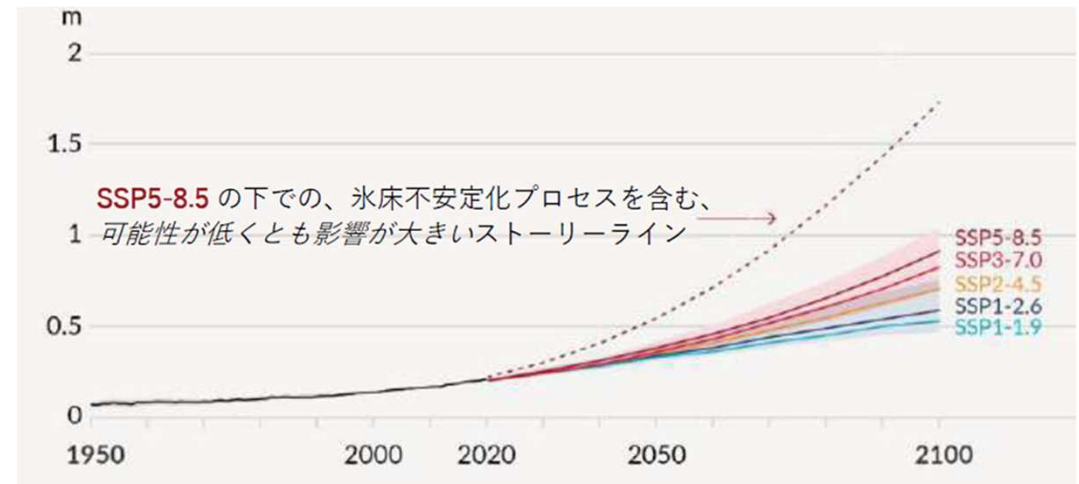
GLOBAL SEA LEVEL



今世紀中に海面が何メートルも上がる危険性が以前から指摘されている。

(例: *Nature Clim Change* **1**, 44–45 (2010))

IPCC AR6でようやく図示されるように
(AR5迄は分かりにくい形でしか言及されていない)



<https://www.eic.or.jp/library/pickup/282/>

南極やグリーンランドの氷床融解加速が観測されている
海面上昇も加速している

<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-sea-level>

気候変動を背景とした競争

気候変動のリスクが非常に大きく、かつ切羽詰まっている

(できることを全力全速でやっても、人類文明そのものが危うい危険性)

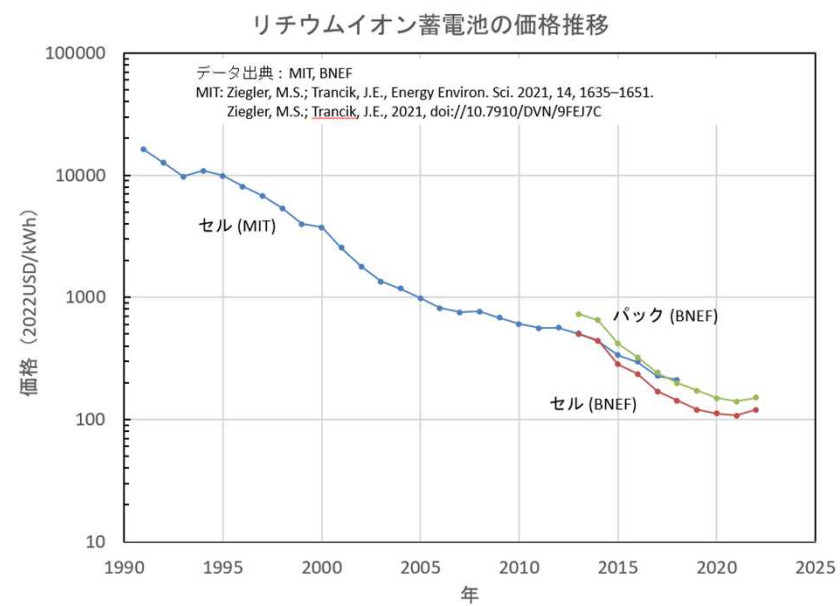
→どのみち対策することになる＝**新しい産業が生まれる**

特に力を入れているのが中国。**太陽電池では日米欧とも国産がほぼ全滅**
EVでも当初、欧米はエンジンで抵抗 → バッテリー国産支援へ転換
兵器を用いていないだけで、**実質的には力任せの戦争**

国・地域別のEVへの累計投資額



本題(EV)



EVってそんなにいいの？

2023.1.16 K.Sakurai (AIST)
引用著作物あり(配布注意)

- ・EV(電気自動車)は**運転しやすく、乗り心地が良い**。
 - ・静か、反応が良くて加速もスムーズ
 - ・冬期でもすぐに暖房が入る
 - ・走行コストやメンテナンスコストが概して安い
 - ・非常時の電源になる(外部への給電、太陽光発電でも充電)
 - ・排出量削減になる

一方で

- ・「お高いんでしょ？」
- ・「航続距離が短いんでしょ？」
- ・「充電で待たされるんでしょ？」
- ・「バッテリーがすぐダメになるんでしょ？」
- ・「寒さに弱いんでしょ？」
- ・「電力が足りなくなるんでしょ？」
- ・「排出削減にならないんでしょ？」

等々の主張も見られるが...



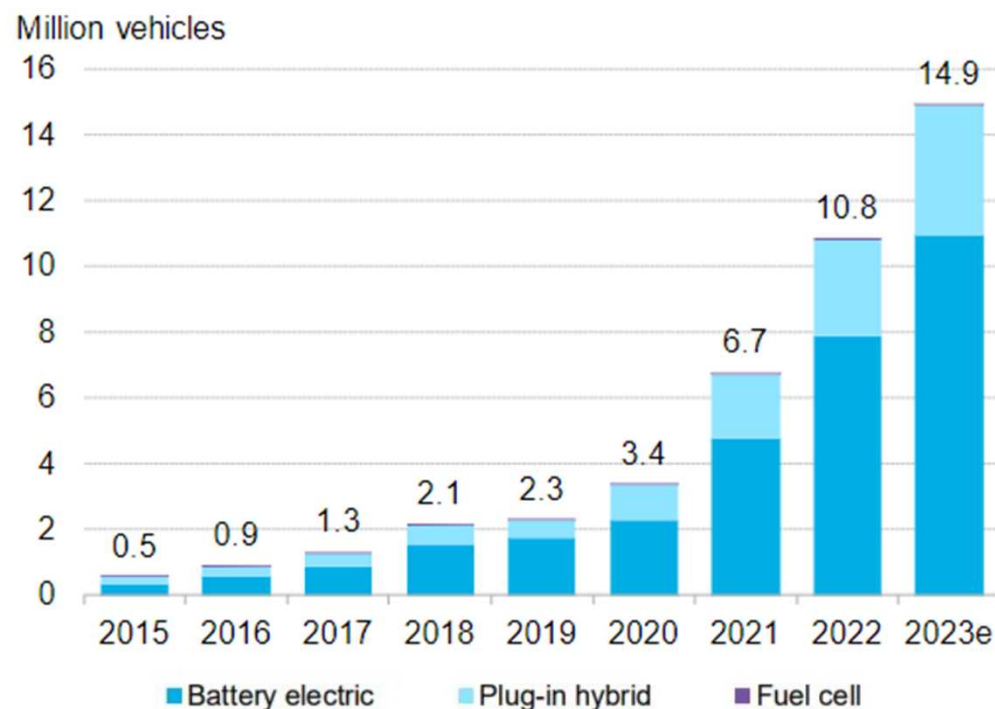
<https://www3.nissan.co.jp/vehicles/new/sakura/exterior.html>

普及が加速するEV

ZEVの主流として増加中

ノルウェーでは純エンジン車が絶滅寸前
(義務づけなくても)

Global EV and FCV four-wheeler sales

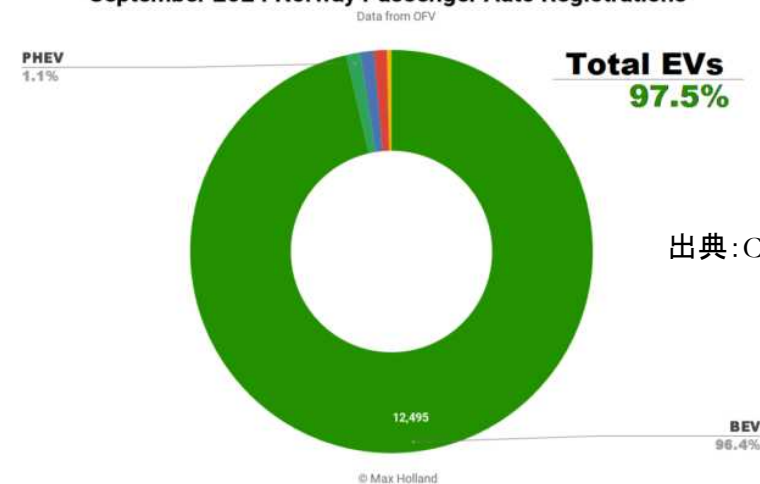


<https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/2023-COP28-ZEV-Factbook.pdf>

2023年の販売台数はBEVだけで1000万台を超えた

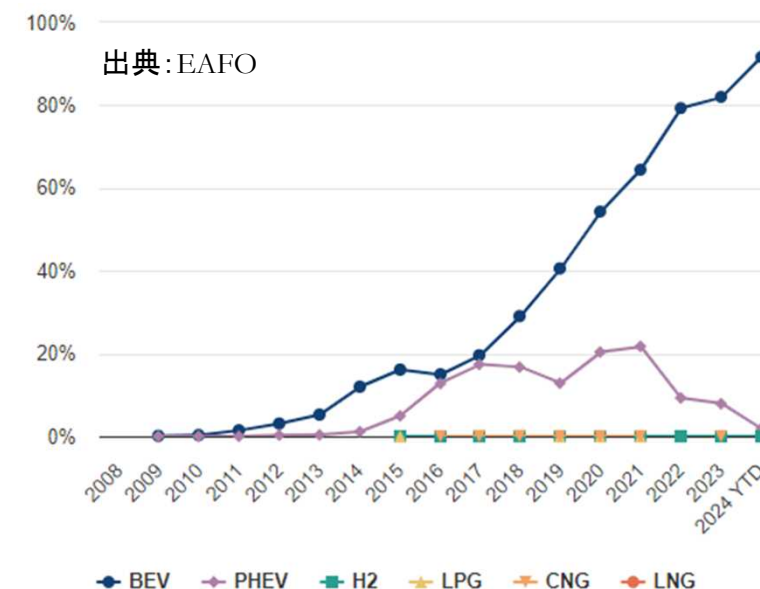
安くなり充電環境も整うと、現在の技術でも普及可能

September 2024 Norway Passenger Auto Registrations



出典: CleanTechnica

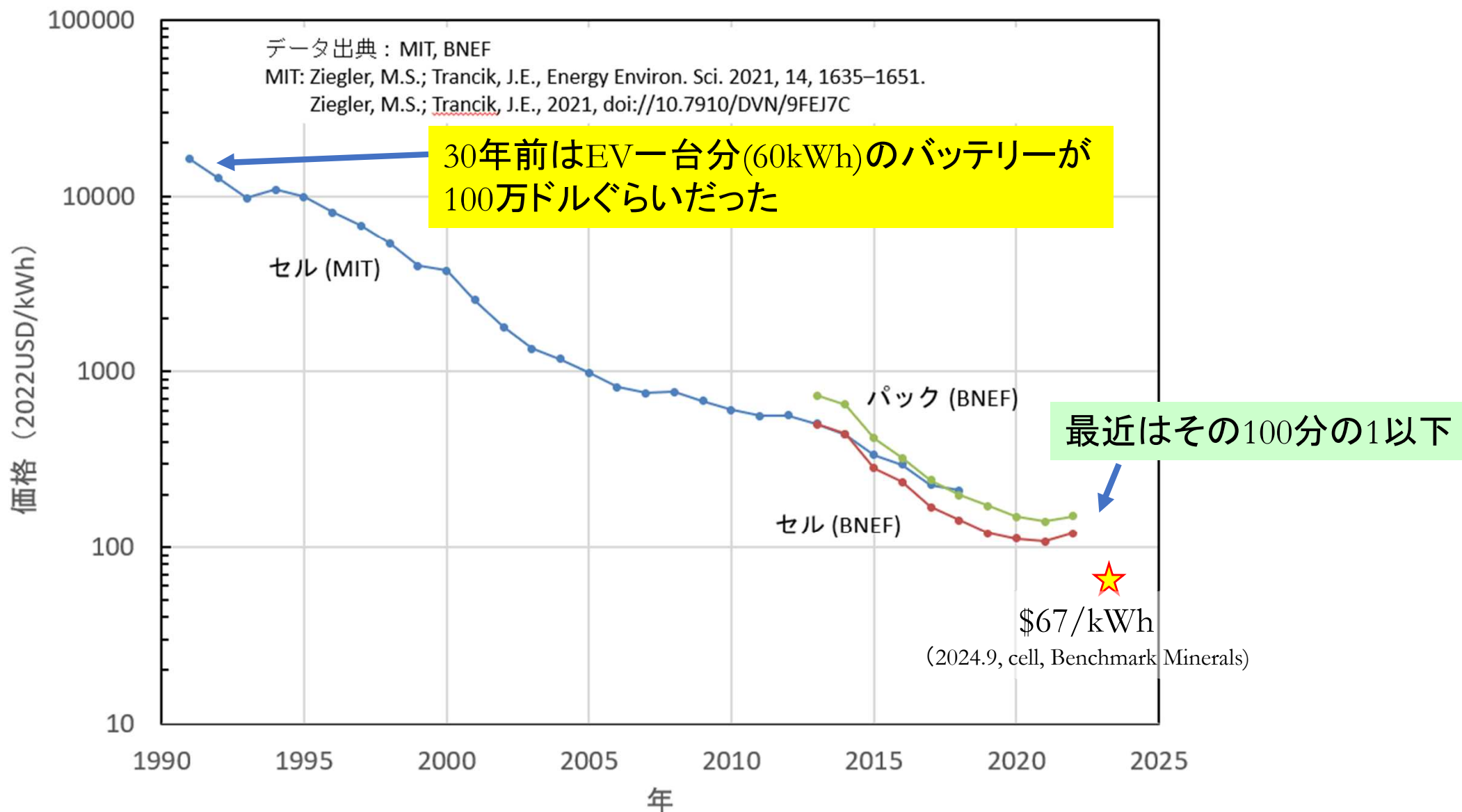
Newly registered alternative fuelled (BEV, PHEV, H2, LPG, CNG, LNG) passenger cars as a percentage of the total number of registrations.



バッテリー(セル)の価格低下状況(1)

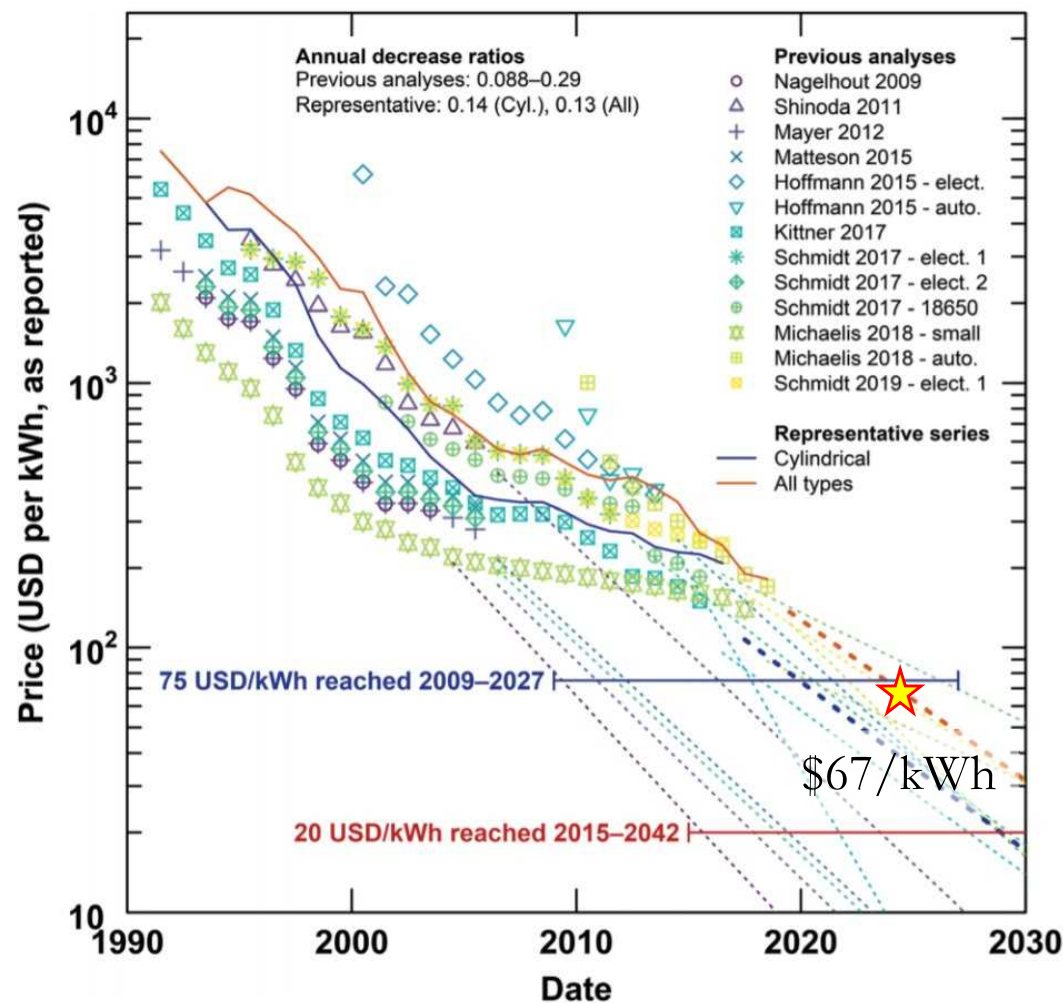
2022.5.20 K.Sakurai (AIST)
CC-BY 4.0 (配布可)

リチウムイオン蓄電池の価格推移



バッテリー(セル)の価格低下状況(2)

引用物あり
(配布時著作権注意)



長期的には2030年前後に\$20~30/kWhぐらいになりそうなトレンド

中でも安価なLFP型は一般にサイクル寿命も長い
(寿命1万回の製品も市販されている)

2024.9月時点で\$45/kWhの例も(Benchmark Mineralsによる)

寿命5千回なら充放電1回あたり1セント/kWh以下

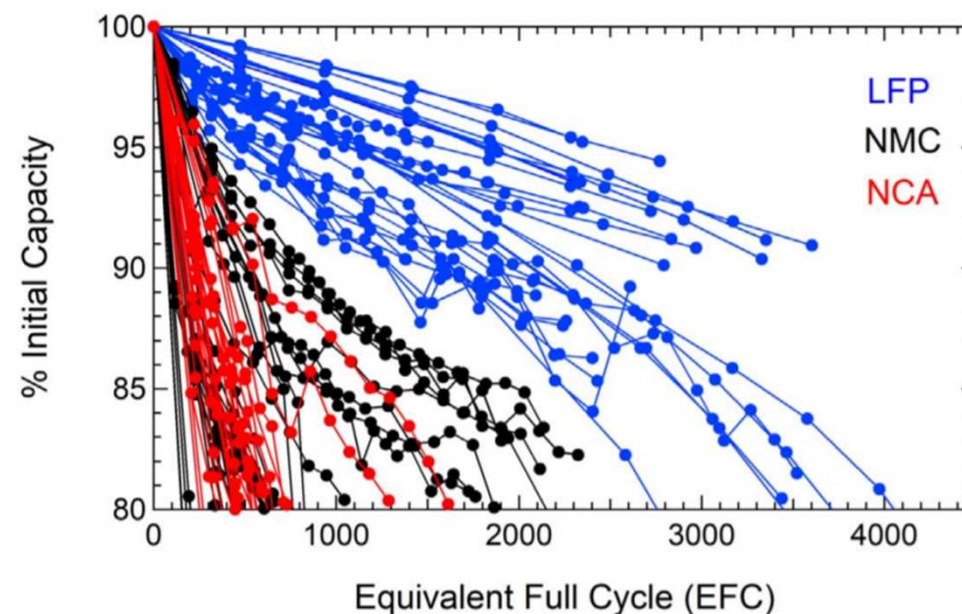


Fig. 2 Reported lithium-ion cell price series and projections based on simple extrapolation to demonstrate the consequences of data uncertainty. The lithium-ion cell price per energy capacity series included here were

Micah S. Ziegler and Jessika E. Trancik: Energy Environ. Sci., 2021, 14, 1635

Yuliya Preger et al 2020 J. Electrochem. Soc. **167** 120532

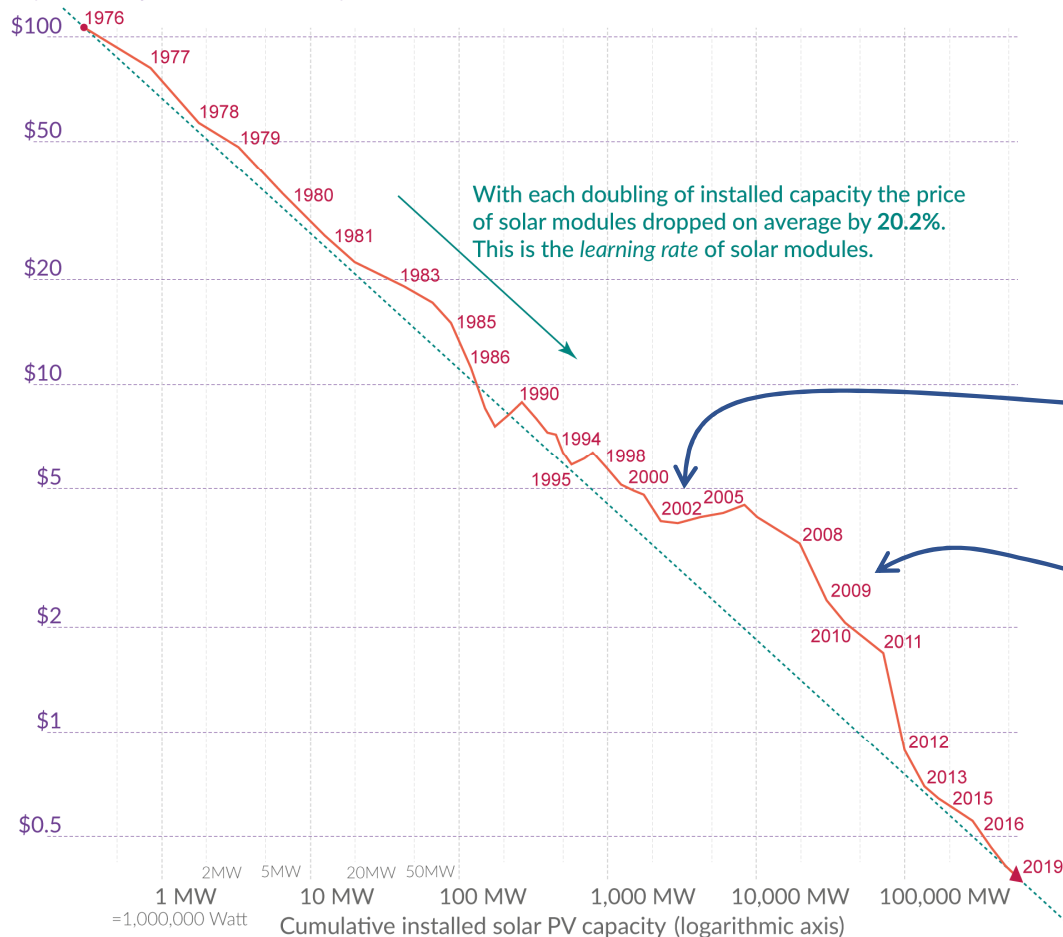
2024年9月のセル平均価格: Benchmark Mineralsによる

太陽電池：50年で1000分の1の値段に

太陽電池モジュールの出荷量と価格の関係

The price of solar modules declined by 99.6% since 1976 Our World in Data

Price per Watt of solar photovoltaics (PV) modules (logarithmic axis)
The prices are adjusted for inflation and presented in 2019 US-\$.



Data: Lafond et al. (2017) and IRENA Database; the reported learning rate is an average over several studies reported by de La Tour et al (2013) in Energy. The rate has remained very similar since then.
OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

Licensed under CC-BY
by the author Max Roser

需要急増
値上がり気味
規模拡大
新技術投入

生産追いつく
→ 価格急減

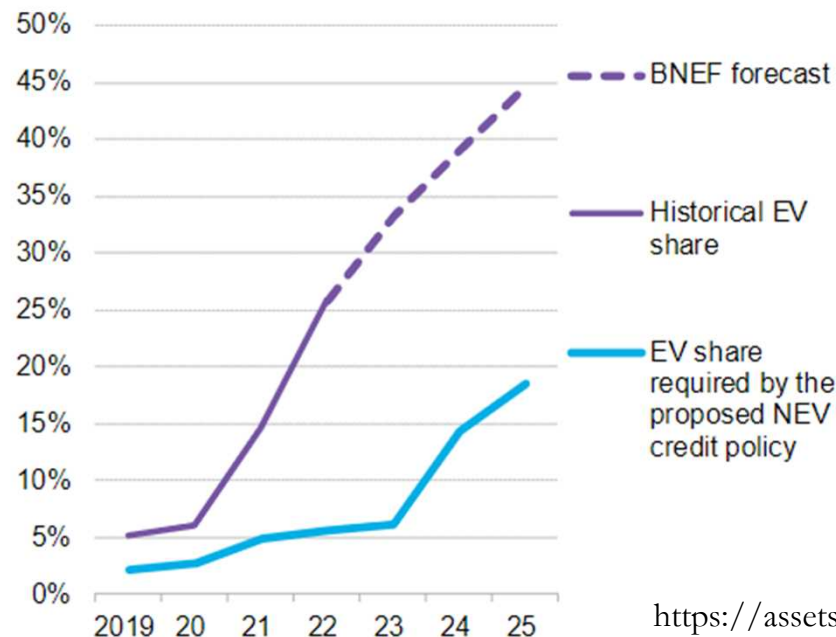
最終的に
日米欧ほぼ全滅

今の蓄電池は2008～2010年頃の太陽電池の状況に似ている

市場は予測を上回る速度で拡大

中国: BEV&PHVが計画を上回る勢いで普及
(大部分がBEVもしくは実質的なEREV)

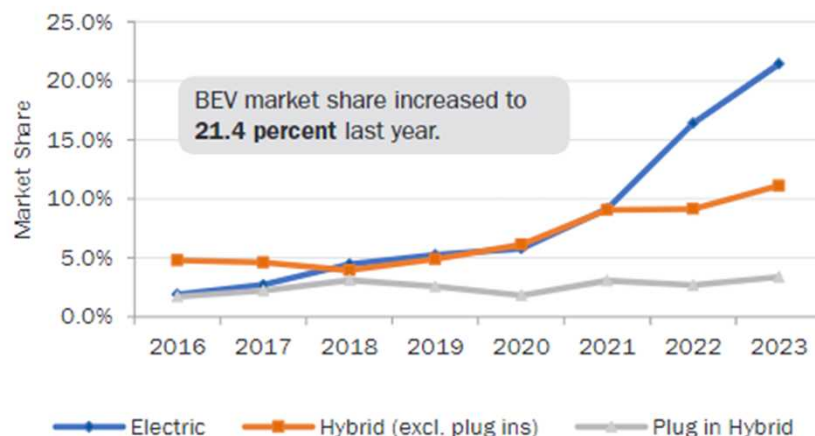
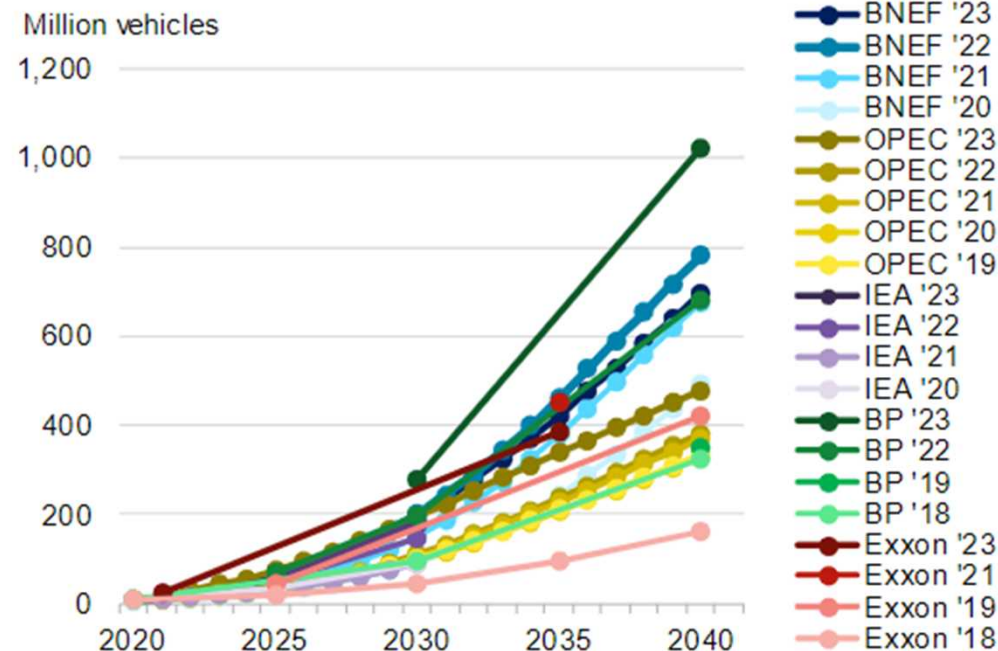
Historical EV share of new car sales and required share to meet NEV targets



<https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/2023-COP28-ZEV-Factbook.pdf>

予測も上方修正が相次いでいる

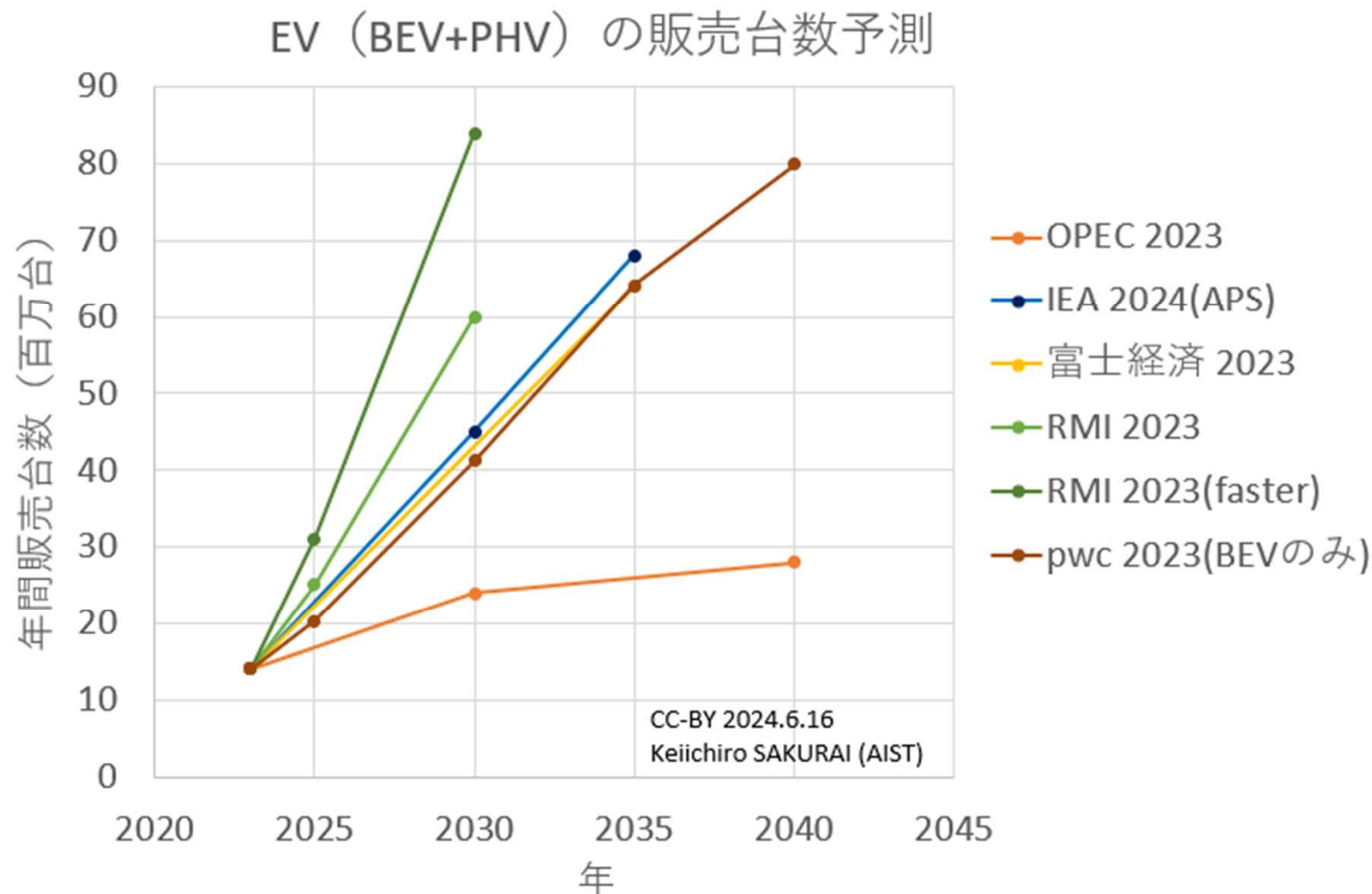
Global passenger and commercial ZEV fleet to 2040, various outlooks



カリフォルニア: 2023年はBEV21.4%
(HV11%、PHV3.4%)

https://www.cncda.org/wp-content/uploads/Cal-Covering-1Q-23_FINAL_051523.pdf

EV普及の予測例



出典

IEA

富士経済

Pwc

RMI

OPEC

<https://iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer>

<https://fuji-keizai.co.jp/report/detail.html?code=162301801&la=ja>

<https://strategyand.pwc.com/jp/ja/publications/report/powertrain-study.html>

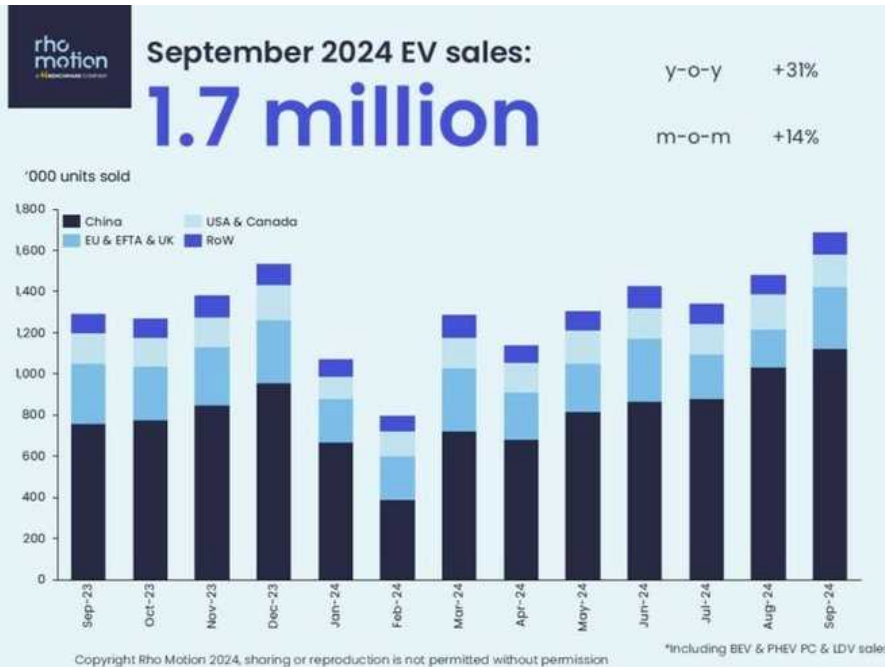
<https://rmi.org/insight/x-change-cars/>

<https://woo.opec.org/chapter.php?chapterNr=1768&tableID=3001>

「減速」？

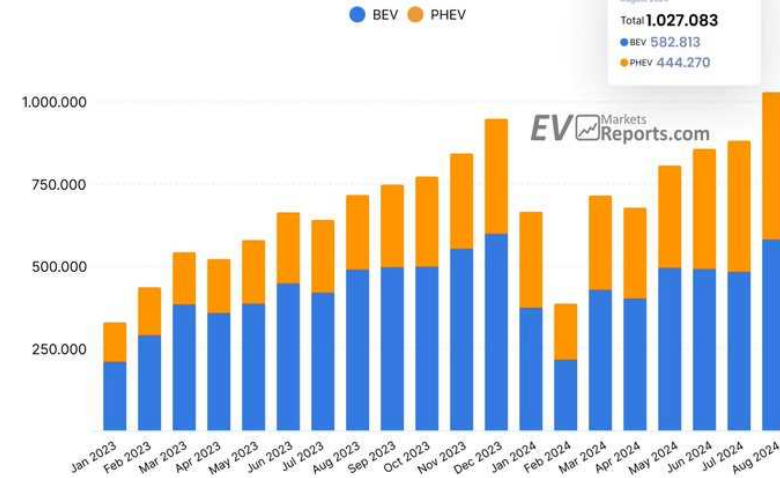
中国市場

世界市場



<https://insideevs.com/news/737401/ev-sales-record-september/>

August 2024

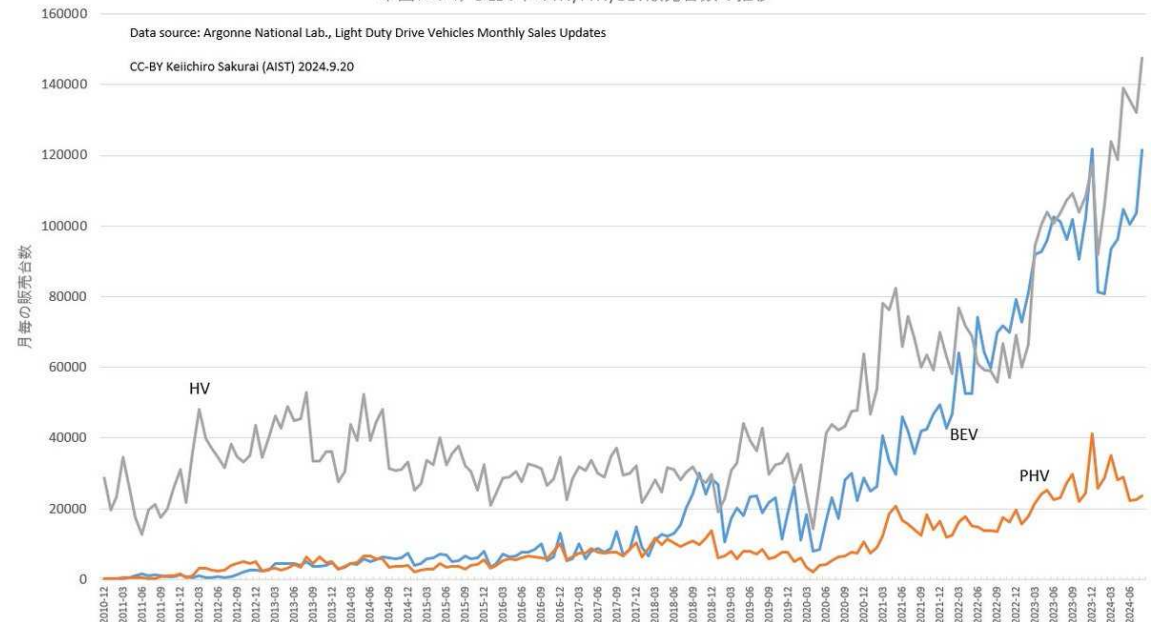


Source: The EV Sales Monitor

<https://evmarketsreports.com/china-exceeds-1-million-ev-sales-in-august-2024-setting-a-new-record/>

米国市場

米国におけるLDV中のHV/PHV/BEV販売台数の推移



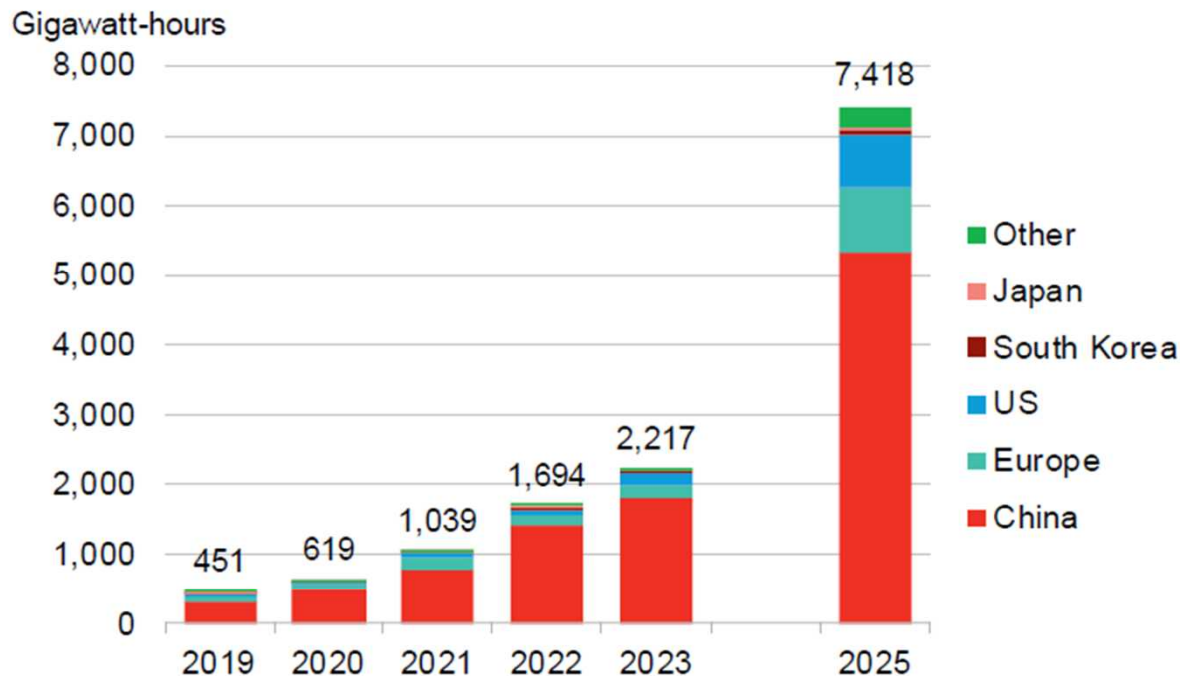
バッテリー生産能力の見通し

引用物あり
(配布時著作権注意)

Market drivers

Battery manufacturing capacity has increased 31% since 2022

Lithium-ion cell manufacturing capacity by plant location



Battery manufacturing capacity is growing steadily to meet demand from the EV market.

There is currently 2.2 terawatt-hours (TWh) per year of commissioned lithium-ion battery-manufacturing capacity globally. This is double the capacity that existed just two years ago, and nearly four times the capacity in 2020.

Although China still dominates globally, the US has more than doubled its battery production capacity in less than a year.

By 2025, total capacity would jump threefold, to 7.4TWh/year, if all projects planned and under construction were to be delivered.

China will continue to be the largest lithium-ion battery manufacturer over this time horizon, but the IRA has fueled new cell manufacturing announcements in the US. Some of this has been at Europe's expense.

The US is set to grow its share of global capacity from 4% in 2022 and 8% in 2023 to 10% in 2025, driven by many more recent announcements since IRA's passage.

Europe's share has dropped from 10% in 2022 to 8% in 2023.

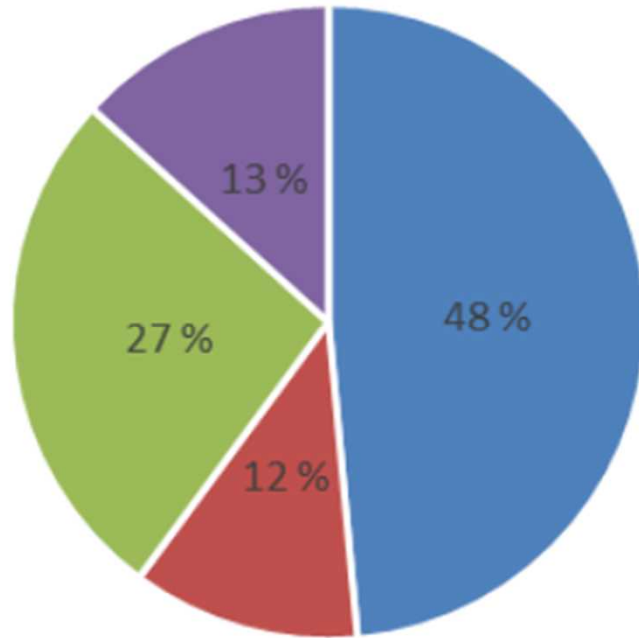
Source: BloombergNEF. Note: Data for 2023 includes facilities commissioned up to October 24, 2023; an additional 1,565GWh is under construction or announced with planned commissioning by end of 2023. "Other" includes capacity outside of the regions indicated. 2025 capacity based on current announcements without de-risking.

バッテリー生産能力: 2025年までに2023年の3倍以上に?
(注: 生産設備の容量であり、生産量の見通しではない)

購入の動機

引用物あり
(配布時著作権注意)

ノルウェーでのEV購入動機調査例
(2014年、EVシェア約12%の時点)



- 金銭の節約
- 時間の節約
- 環境保護
- 他

ノルウェー:

- EV充電インフラを整備
- 税控除や有料道路通行量等で金銭的に優遇
- 義務づけはなし

→多くのユーザーは、安上がりなことを理由に選択

米国・ドイツ・日本・中国・インド等でもコスト削減や
環境保護が購入動機の上位(↓)

電動車が消費者を惹きつける要因は概ね、低燃費および、気候変動への懸念と排出量削減への期待といえる

電動車の取得決定に影響を及ぼす要因

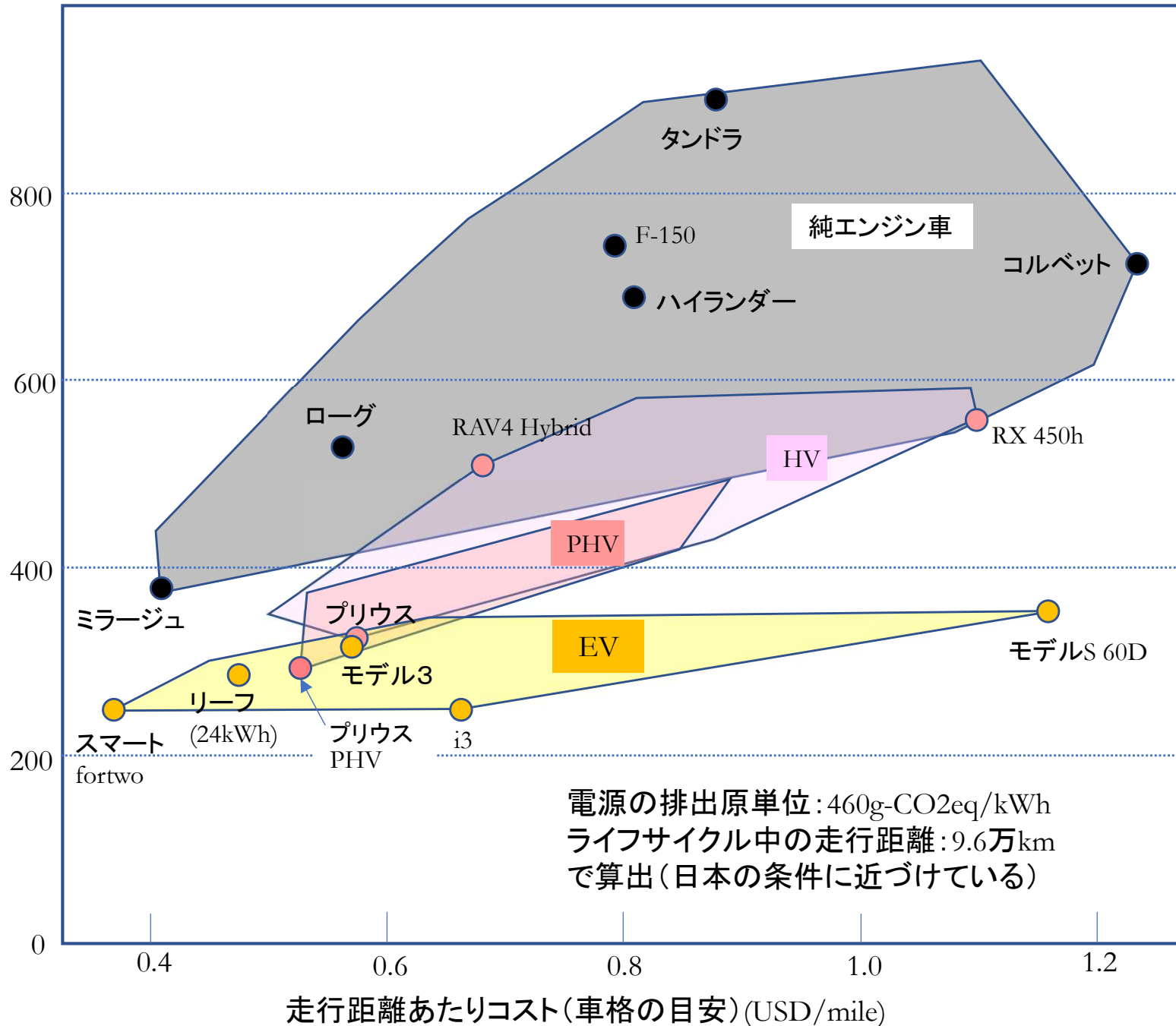
要因	米国	ドイツ	日本	韓国	中国	インド	東南アジア
気候変動への懸念/排出量の削減	2	1	2	2	1	1	2
個人の健康への懸念	6	4	5	7	3	4	5
燃料費の削減	1	2	1	1	4	2	1
車両整備の軽減	4	7	7	3	6	5	4
より良いドライビング体験	3	5	3	4	2	3	3
政府の購入支援プログラム	5	3	4	5	7	6	6
内燃機関車に適用される追加の課税/課徴金	7	6	6	6	5	7	7

Q26: 以下の要因を、電動車の取得決定に与える影響の観点からランク付けしてください(最高から最低)。
サンプル数: 中国= 360、インド= 331、ドイツ= 513、日本= 361、韓国= 482、東南アジア= 1,568、米国 = 250

EVは排出量削減になる

2021.1.16 K.Sakurai (AIST)
CC-BY 4.0

走行距離あたり排出量 (g-CO₂eq/mile)



出展: Carboncounter.com
(MIT Trancik Lab)のデータより

アルゴンヌ国研のGREET
モデルに基づく
(自動車全般の共通モデル)

- ・燃料や電力は
「井戸から車輪まで」
(Well to Wheel)
- ・車体、バッテリー等は
「ゆりかごから墓場まで」
- ・燃費・電費はEPA基準
(現実に比較的近い)

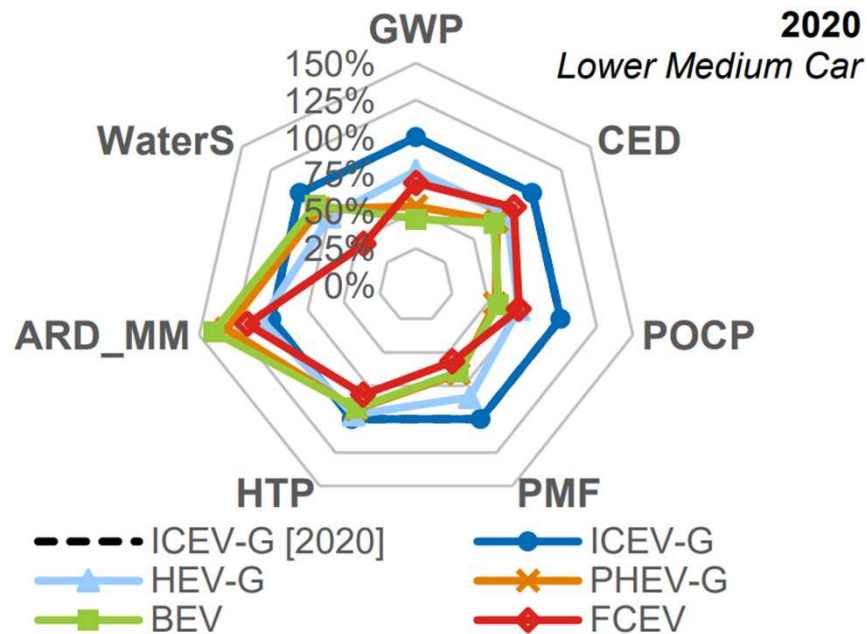
詳細は論文で公開
<https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00177>

電源の脱炭素化が進むと、
EVがさらに低排出になっていく
(化石燃料車では
追いつけなくなる)

環境性能

引用物あり
(配布時著作権注意)

CO2排出、大気・水圏汚染等の指標で環境負荷削減
ミネラル資源のみ多いが、リサイクル可能
(後述)



(Determining the environmental impacts of conventional and alternatively fuelled vehicles through LCA, 欧州委員会、2020年より)

世界の95%の地域で排出削減になる
日本や中国も含む(後述)

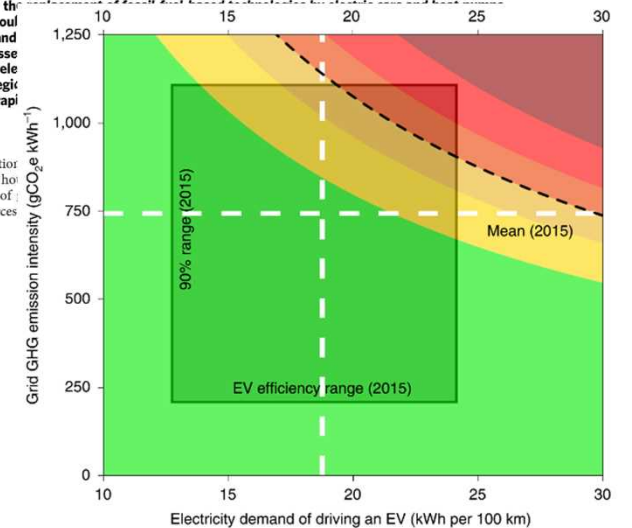


Net emission reductions from electric cars and heat pumps in 59 world regions over time

Florian Knobloch^{1,2}, Steef V. Hanssen¹, Aileen Lam^{2,3}, Hector Pollitt^{2,4}, Pablo Salas^{2,5}, Unnada Chewpreecha⁴, Mark A. J. Huijbregts¹ and Jean-Francois Mercure^{1,2,4,6}

The electrification of passenger road transport and household heating features prominently in current and planned policy frameworks to achieve greenhouse gas emissions reduction targets. However, since electricity generation involves using fossil fuels, it is not established where and when they can effectively reduce overall emissions. Could it be decarbonized? Here we analyse current and by combining forward-looking integrated assessments already under current carbon intensities of electricity generation with fossil-fuel-based alternatives in 53 world regions end-use electrification is not matched by rapid world regions.

Policymakers widely consider electrification for decarbonizing road transport and household heating. Combined, these sectors generate 24% of global combustion emissions and are the two major sources



Resulting life-cycle GHG emission i

Lower than 90% Lower than 75% Lower than 50%

- ・騒音被害も低減
- ・回生ブレーキ利用でブレーキシューの摩耗も少ない
- ・電力システム全体や住宅の脱炭素化にも寄与(後述)

「排出量削減にならない」主張と問題点の指摘例

「EVと、内燃機関車のCO2排出量はほぼ同じに」(マツダ)

引用物含めて配布可

- ・ 10年(以上)前のデータの利用
- ・ バッテリー製造の排出量(177kg-CO2/kWh)が現在の水準(52~65kg等)の数倍
- ・ 最新技術よりも短いバッテリー寿命の想定
(論文自体に断り書きあり(DOI:10.3390/su11092690))

「中国等ではEVの方がディーゼルより排出量が多い」(VW)

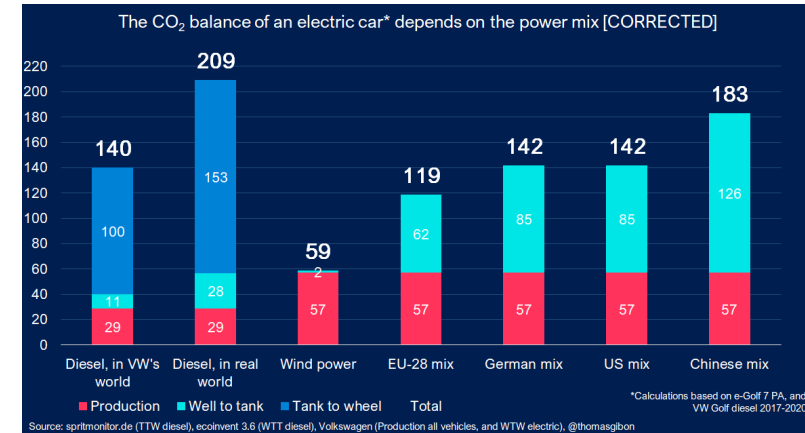
- ・ 内燃機関車の走行時排出量を3割以上少なく見積もり
- ・ 燃料製造・輸送の排出量を5割以上少なく見積もり
- ・ 車体製造等の見積もり条件も不明

<https://twitter.com/ThomasGibon/status/1335178227950686208>

「EVとディーゼルの排出量がほぼ同じ」(ADAC)

- ・ バッテリー製造時の排出量を実際より3倍多く見積もり
- ・ 電力の排出原単位を見込みより2倍ぐらい多く見積もり
- ・ 内燃機関車の排出量を現実より25-60%少なく見積もり
- ・ 古すぎたり、根拠が不明な数値を利用

<https://innovationorigins.com/tomorrow-is-why-german-automobile-club-study-is-the-anti-electric-lobby-at-its-finest/>



EV
ディーゼル(左記反映後)
ディーゼル(VW発表値)

「EVは約8万キロ走らないと排出量削減にならない」: Clarendon Communications (Aston Martinの重役の妻名義のペーパーカンパニー)

- ・ 内燃機関車の走行時排出量を実際より3割以上低く設定する一方、EV用の電力では5割以上高く設定
- ・ 同じメーカーの同様の車体のはずなのにEVだけ中国製の想定(?)

<https://together.com/li/1629297>

上記のような類型の主張の問題点を指摘した論文(デバンキング論文)の例:

A.Hoekstra, The Underestimated Potential of Battery Electric Vehicles to Reduce Emissions, Joule 3(6), 2019, pp.1412-1414.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435119302715>

VW, Volvo, AstonMartin, ADAC 等、欧州勢が中心にデマを流布しており、いずれも学術論文なし。(日本が標的?)

マツダさんは論文で正直に、データが古い事や最新のEVにそのまま適用できない趣旨も記述。

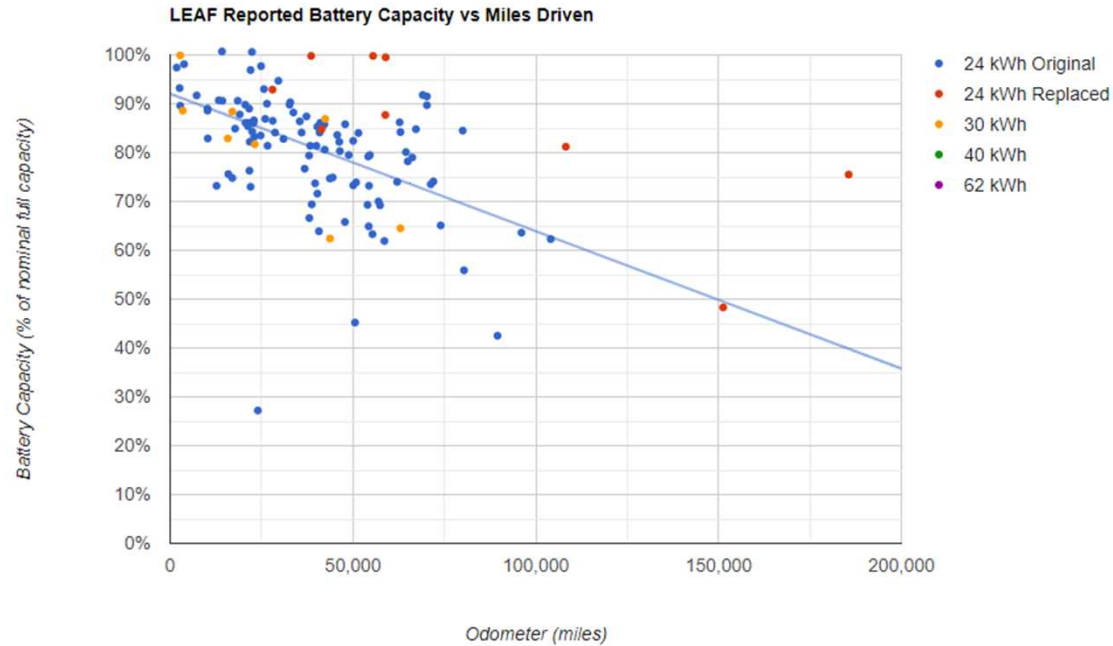
トヨタさんも可視化サイト(<https://app.carghg.org/>)や論文(<https://www.mdpi.com/2032-6653/12/4/161>)で分析結果を公表されており、MITのCarbonCounter等と同様の結果。

論文すら出してない欧州勢に騙されてはいけない。

バッテリーの耐久性も向上している

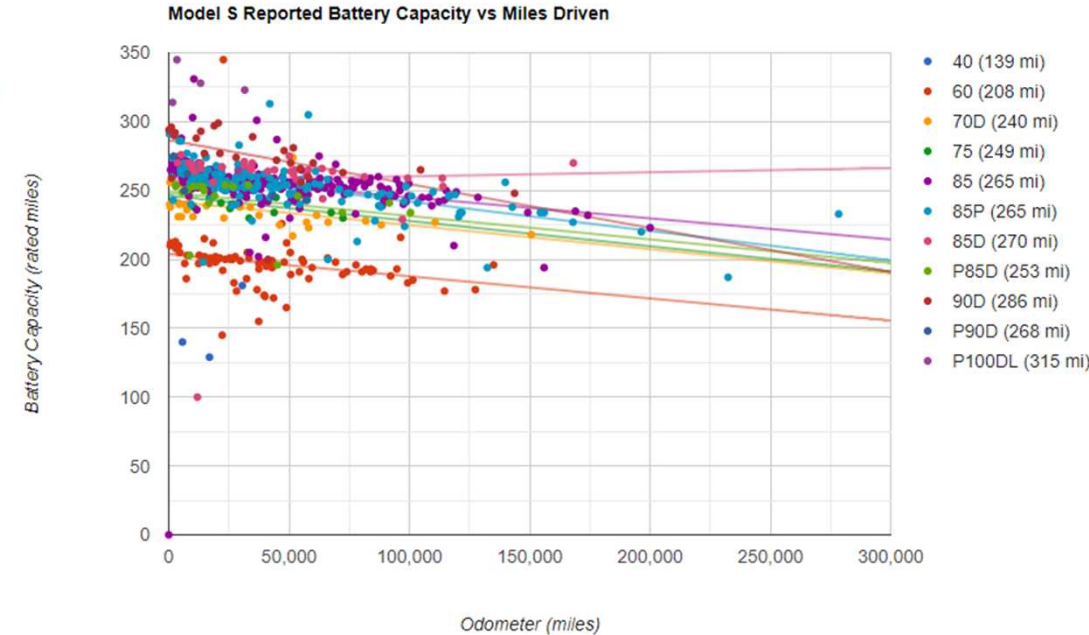
引用物あり
(配布時著作権注意)

バッテリーが**自然空冷のみ**(& 古い技術)



<https://survey.pluginamerica.org/leaf/charts.php>

バッテリー**加熱・冷却機構あり**



<https://survey.pluginamerica.org/model-s/charts.php>

バッテリーの材料や温度管理等の技術向上により、
平均的な車体寿命よりも長寿命に出来ている実例あり。

- ・同じ車種でも年と共に改良されている例も。
- ・中古車から取り外して定置型で再利用する例も。
- ・複数メーカーが「百万マイル持つ」バッテリーをアナウンス。

中国での生産も排出削減が進んでいる

引用物あり
(配布時著作権注意)



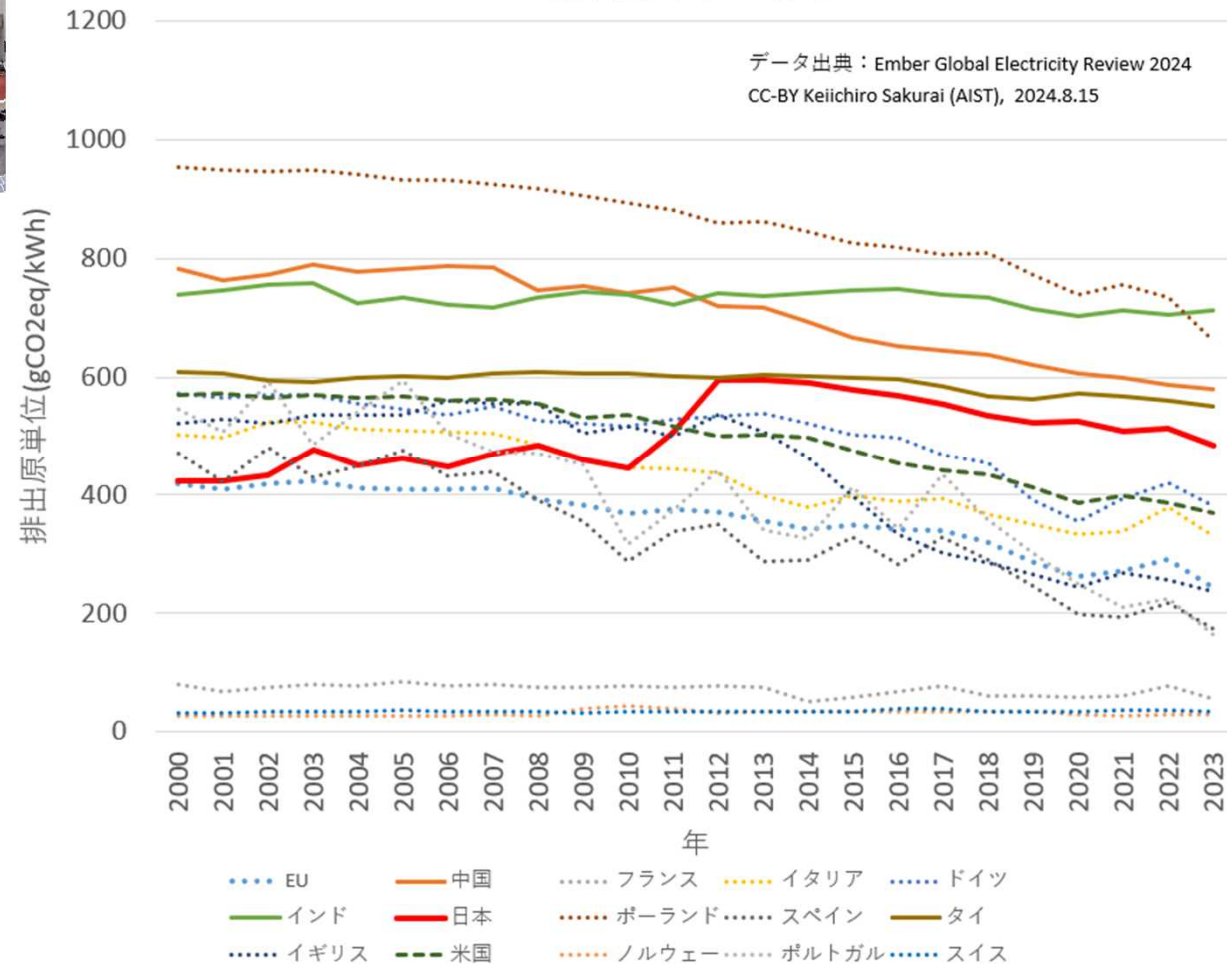
再エネが安くなっている
CATLの工場の屋根にも太陽電池が大量に

<https://www.nikkan.co.jp/articles/view/461807>

中国全体でも電力の低排出化が進んでいる

(地域によっては既に日本よりも低排出;
<https://www.mdpi.com/2071-1050/8/6/506>)

電力の排出原単位の推移



走行時のエネルギー効率

引用物あり
(配布時著作権注意)

元の電力
(再エネ等)

車両に補充
した時点

最終的に駆動
に使われる分

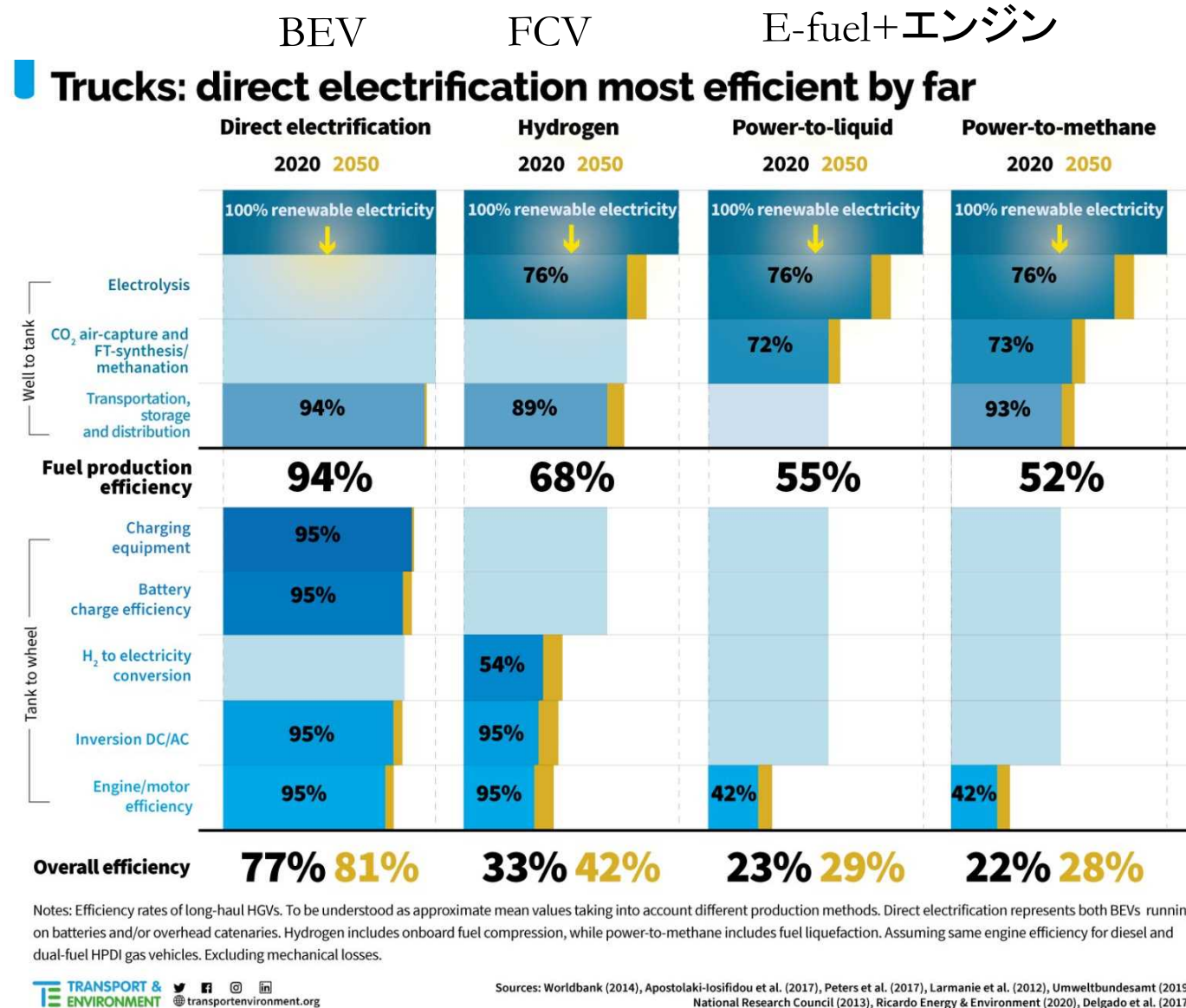


Figure 7: Conversion efficiencies of the different vehicle technologies

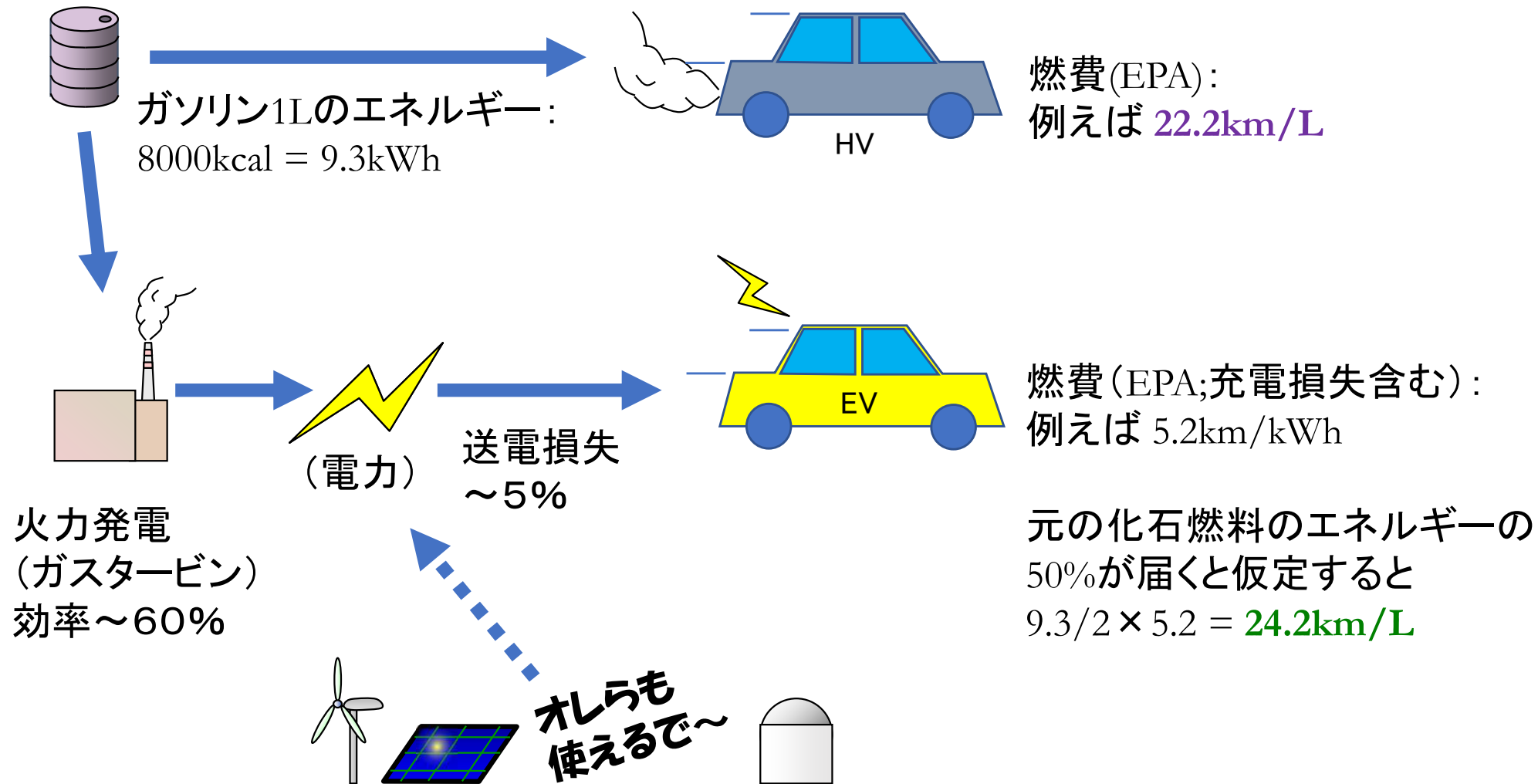
https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/2021_04_TE_how_to_decarbonise_long_haul_trucking_in_Germany_final.pdf

ゼロエミ電力由来の場合、他の形態にエネルギーを変換しない分、BEVは効率が良い

化石燃料100%で走行時のエネルギー効率（HVとの比較）

2022.6.1 K.Sakurai (AIST)
CC-BY 4.0

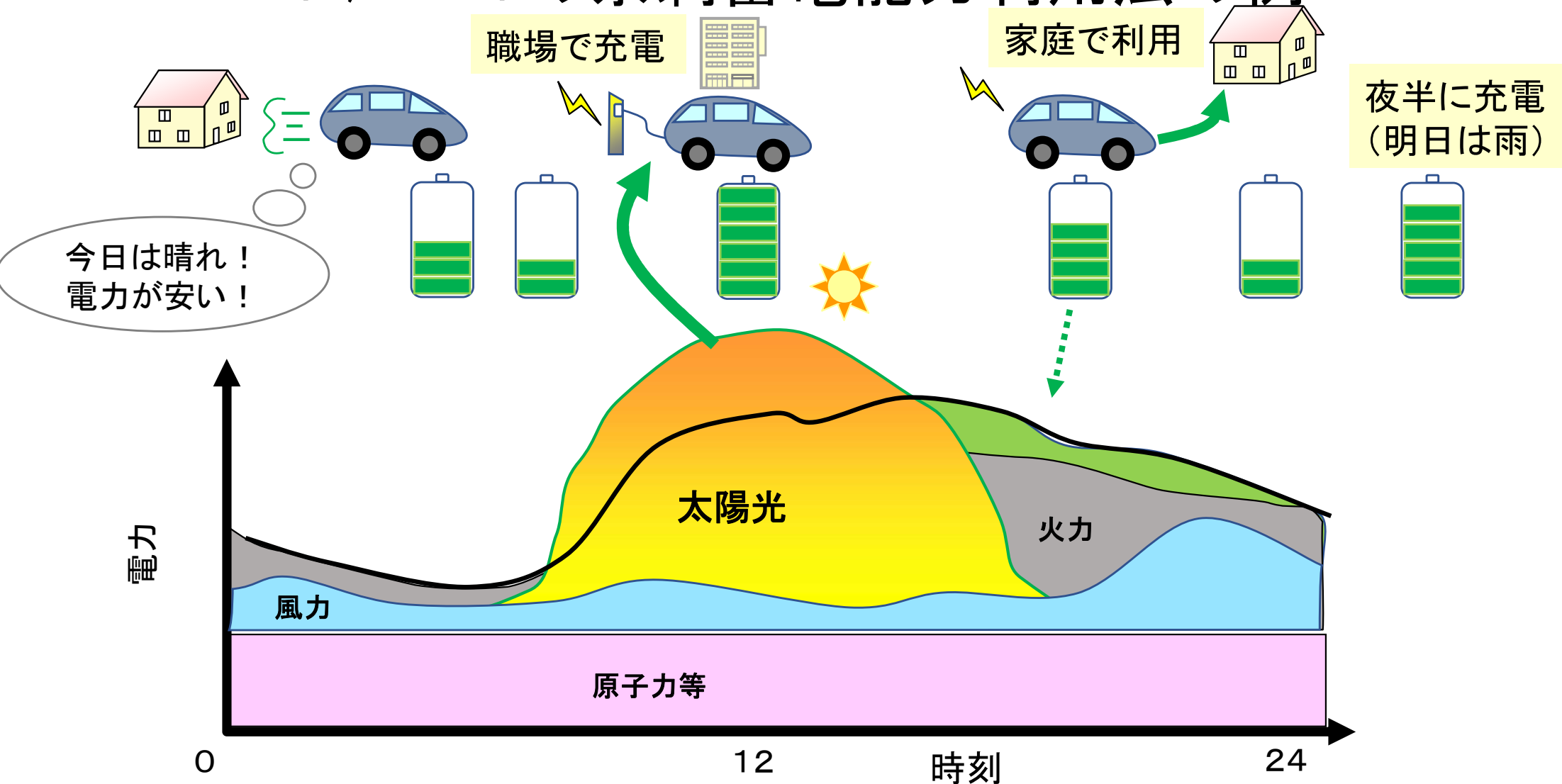
ガソリン等の揮発油



たとえ100%化石燃料で走らせたとしても、HVと同等以上の燃料節減が可能
(実際はさらに原発や再エネも利用できる)

EV / PHVの余剰蓄電能力利用法の例

2022.5.21 K.Sakurai (AIST)
CC-BY 4.0



- ・再エネ電力有効利用 → 電力全体の低排出化、再エネのコスト低減・普及促進
- ・日没後の電力需給緩和
- ・太陽光発電の電力が余りやすい場合、職場等での充電と家庭等でのV2Xで社会全体の電力にかかるコストを下げられる例も
(カリフォルニアの例: J. Coignard et al., *Environ. Res. Lett.* 13 (2018) 054031.)

自家用乗用車は大部分の時間は駐車されている

引用物あり
(配布時著作権注意)

平日の自家用乗用車の使われ方の例 (H22年度自動車起終点調査)

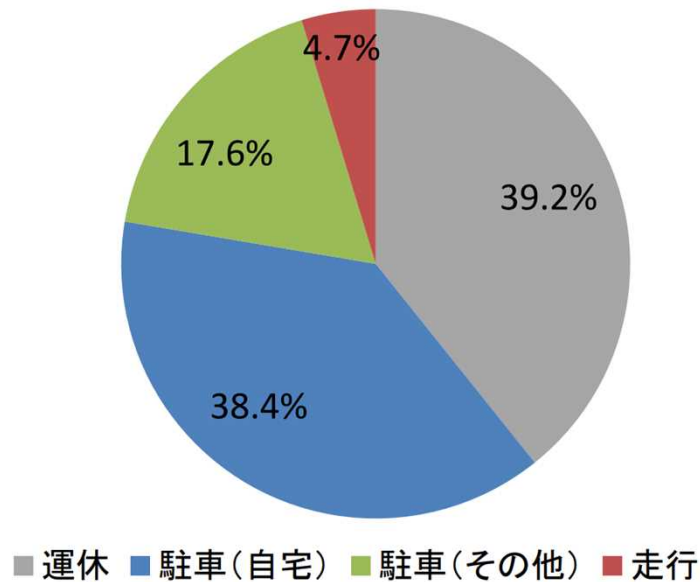


図-7 全国の走行台時・駐車台時・運行台時のシェア

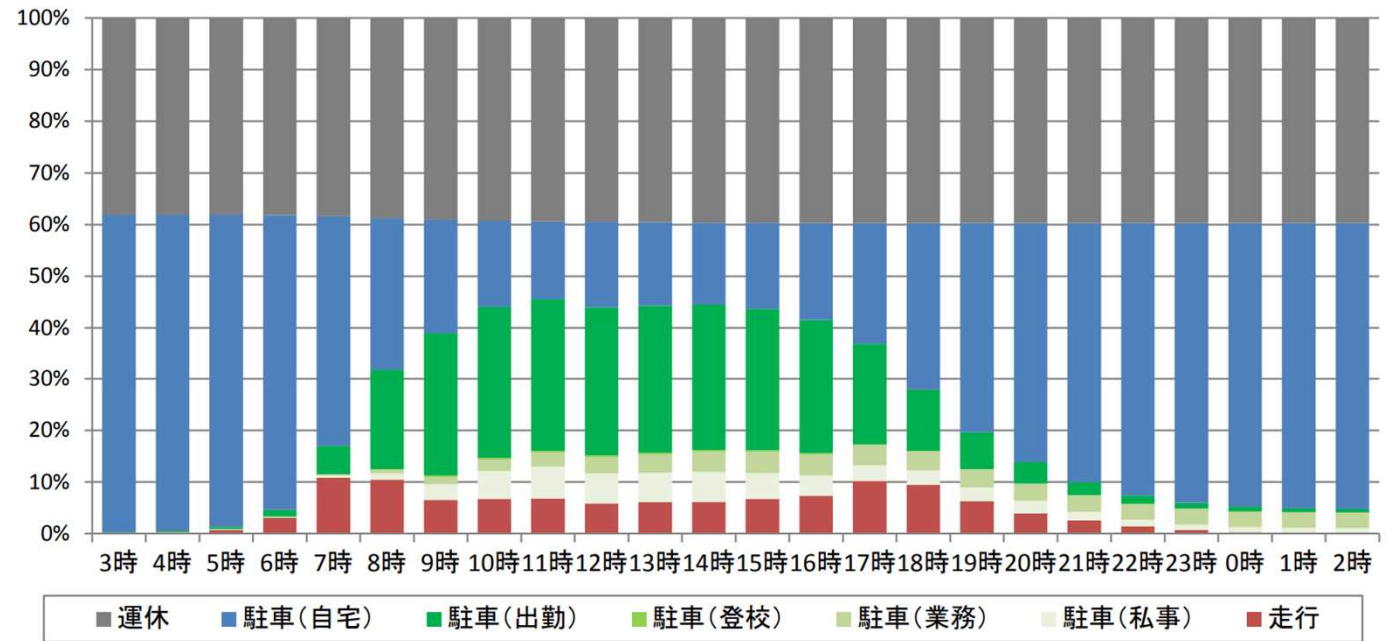


図-8 全国の時間帯別走行台時・駐車台時・運行台時

図出典: 毛利他、OD及びプローブデータを用いた自動車の 走行及び駐車特性に関する分析、第 55 回土木計画学研究発表会・講演集、46-11、2017年

どの時間帯でも、ほぼ9割以上の自家用乗用車が駐車されている
昼間は約3割が勤務先での駐車(コロナ前、2017年)

EUでの調査例でも似た結果 (Case studies on transport policy 6(4), pp.785-802, 2018.)

EVの蓄電資源量の目安

2021.1.22 K.Sakurai (AIST)
CC-BY 4.0

仮定:

- ・日本の全乗用車(6千万台)が平均50kWhのバッテリーを積んだEVになる
- ・系統に対して一台あたり3kW迄の入出力を提供

バッテリー容量: 3TWh

日本の丸一日分の電力需要に相当

入出力能力: 180GW

日本の過去最大の瞬間的な電力需要の記録に相当

このごく一部だけでも、巨大な柔軟性資源となる(加えて、商用車のバッテリーもある)
(また系統側から見れば、バッテリーのコストを考慮しなくていい。集めるコストのみ)

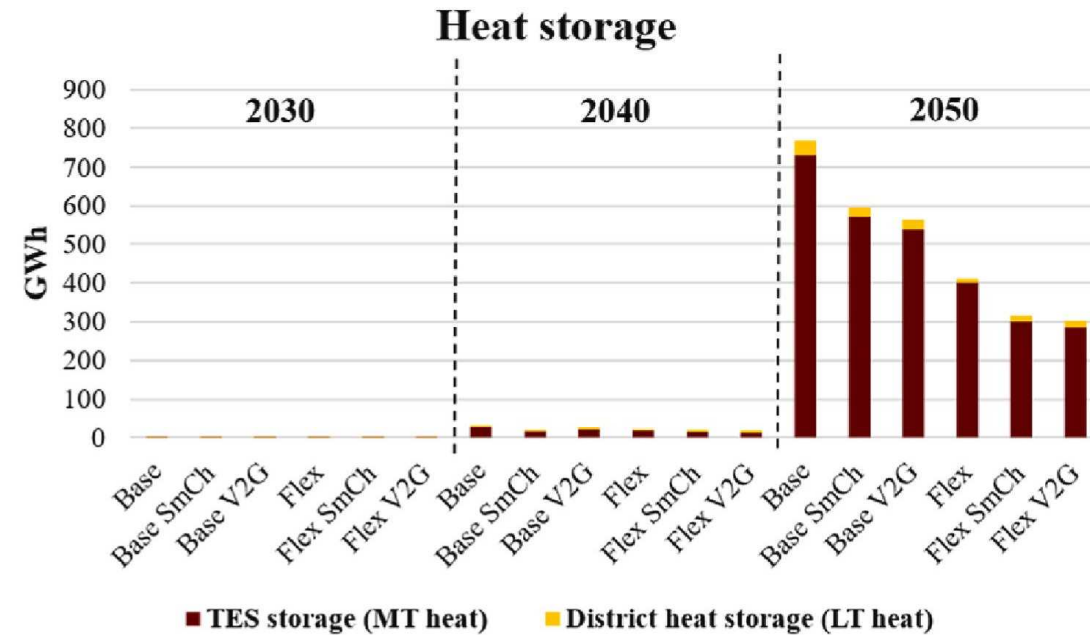
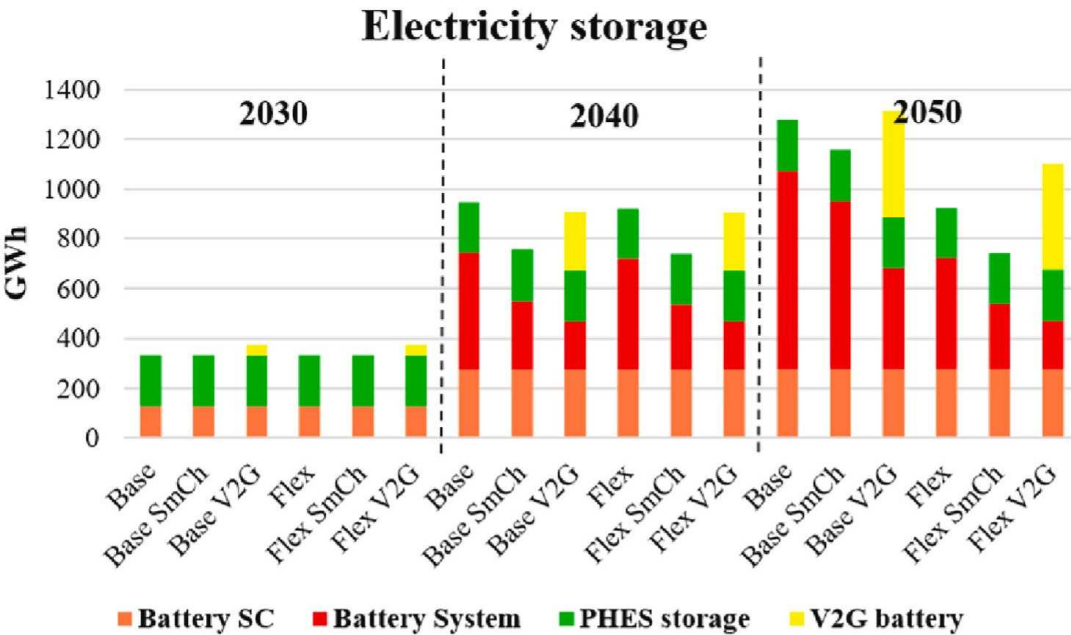
EVで使用した後のバッテリーは定置型蓄電池でリユース可能
→将来は安い中古バッテリーが大量に利用可能に？

限界: 長い周期(たとえば1週間以上)の需給調整には向かない
季節間変動のような長周期の需給調整にはフローバッテリーや
power-to-X(水素やe-fuel含む)のような技術が別途必要

不確実性: 将来は自動運転やシェアリングの普及で台数が減り、充電器に繋がっている割合も低下するかも

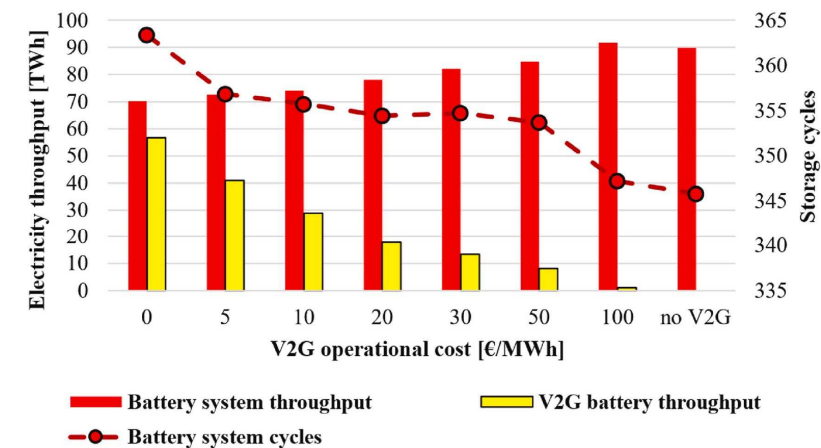
日本におけるV1G/V2Gの効果試算例

引用物あり
(配布時著作権注意)



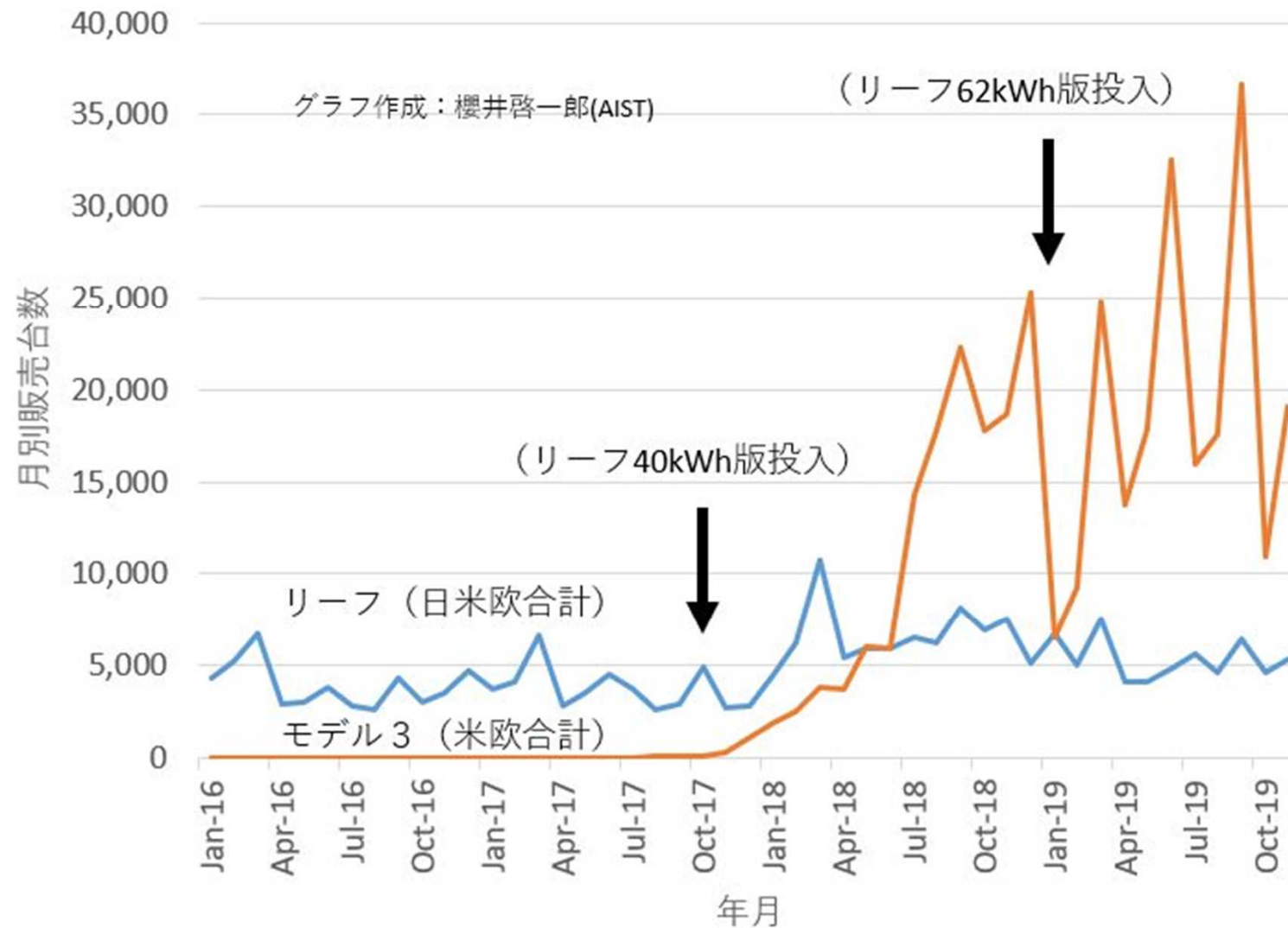
フィンランドの大学(LUT)による1時間毎 & 電力9管内毎のシミュレーション結果
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544224014087>

- ・必要な蓄電設備量を35%削減
- ・システム全体のコストはスマート充電(V1G)とV2Gで4%削減
さらにメタン等のe-fuel製造も合わせると8%削減
- ・効果の大きさはV2Gのコストに左右される
コストが0.8円/kWhの時と8円/kWhの時では、最適時の充電量が4倍ぐらい変わる



「航続距離」(バッテリー容量)だけでは売れない

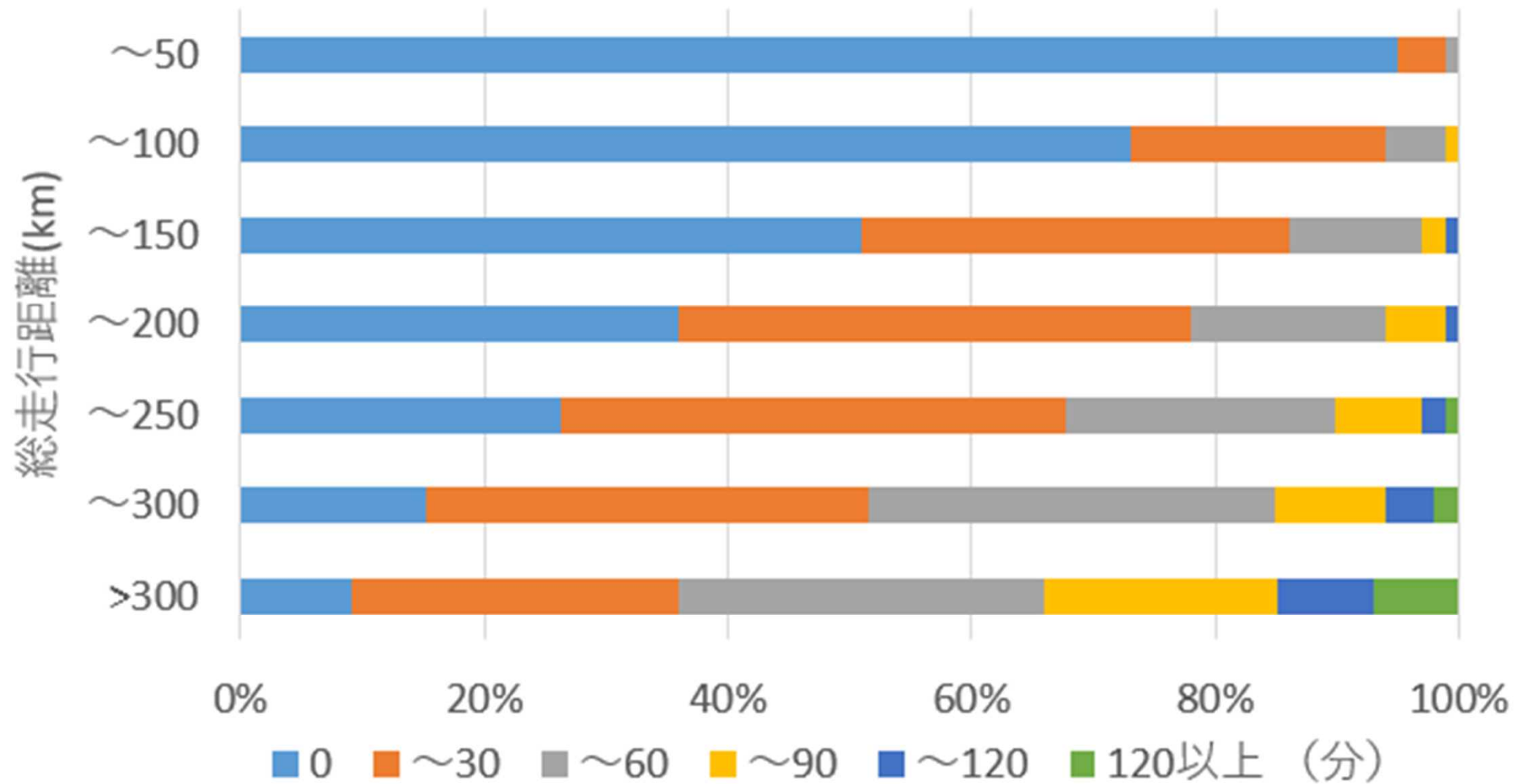
2020.12.7 K.Sakurai (AIST)
CC-BY 4.0



「航続距離」は購入をためらう理由の筆頭格だが、実は**単純にバッテリーだけを増やしても売れ行きは伸びない**。リーフが身を以て実証済み。

ETCデータによる休憩行動分析結果

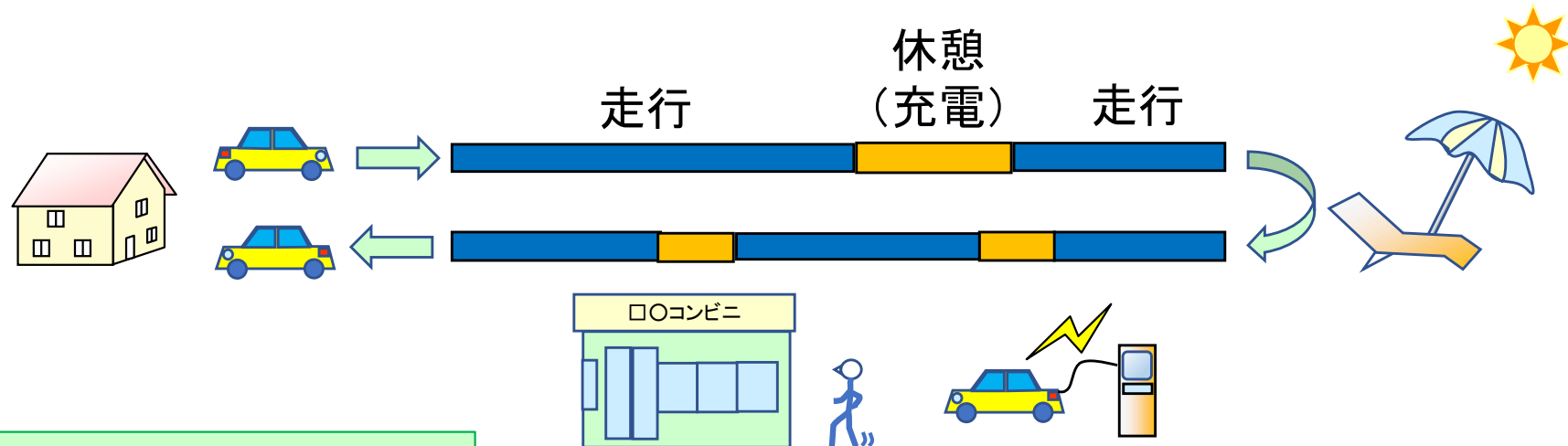
2020.12.7 K.Sakurai (AIST)
CC-BY 4.0



データ出典：平井他、ETC2.0プローブデータを活用した都市間高速道路における
休憩行動分析、第36回交通工学研究発表会論文集、2016年

EVで長距離移動時の充電速度の影響の見積もり例:

片道400kmを往復、目的地充電無し、電費6km/kWh、100km/hで走行、
バッテリー60kWh、満充電出発 & 空っぽで帰宅＝途中で73kWhを充電



途中で必要な充電時間:
250kW: 18分以上
100kW: 44分以上
50kW: 88 分以上

半分以上のドライバーが途中で合計60分以上休憩

(参考: 平井他、「ETC2.0プローブデータを活用した都市間高速道路における休憩行動分析」)

(※実際の充電時間はバッテリーの残量や温度等の条件で延びる)

- 100kWなら平均的な休憩中の充電で足りる。
- 250kWなら半分以上の時間で足りる(充電器のない駐車場も選びやすい)
- 50kWは休憩時間を延ばすことになりやすい。

And our findings showed that range anxiety is a barrier but rapid charging is one of several solutions

High level results of our analysis from the 45 sources we reviewed

Hypotheses	Results of our research	What consumers say
1 Hypothesis 1 The perceived inability to complete any journey in the UK as conveniently as in an ICE is a major barrier to EV uptake	Proven Hypothesis 1 was proven , with perceived range anxiety, whether a consumer myth or a real issue, a universally acknowledged barrier to EV uptake for non-EV drivers	EV owners¹...  - do not consider range anxiety an issue for themselves² cite environmental motivations as the main driver behind their adoption of BEVs² Non-EV owners...  cite a lack of geographical coverage of charging infrastructure (in relation to perceived range anxiety) as a major barrier³ - have a number of other concerns in purchasing an EV of equal, if not greater importance, including high EV sticker price, a lack of model choice and availability of vehicles⁴
2 Hypothesis 2 Rapid chargers are an effective method of improving perceptions that EVs can complete any journey in the UK as conveniently as an ICE	Proven The research indicates that the presence of rapid chargers would go some way to addressing the concerns of existing and potential EV owners.	EV owners¹...  - say that improved charging times would improve their EV charging experience the most² Non-EV owners...  - identified improved geographical coverage of charge points as the most effective solution to perceived range anxiety with 15 of 45 sources reviewed confirming this⁴ - suggest that rapid charging could also alleviate range anxiety, however fewer sources reviewed (7 of 45) identified this as the most or one of the most effective methods⁵

未購入の人では
「航続距離」への不安が
購入をためらう筆頭格

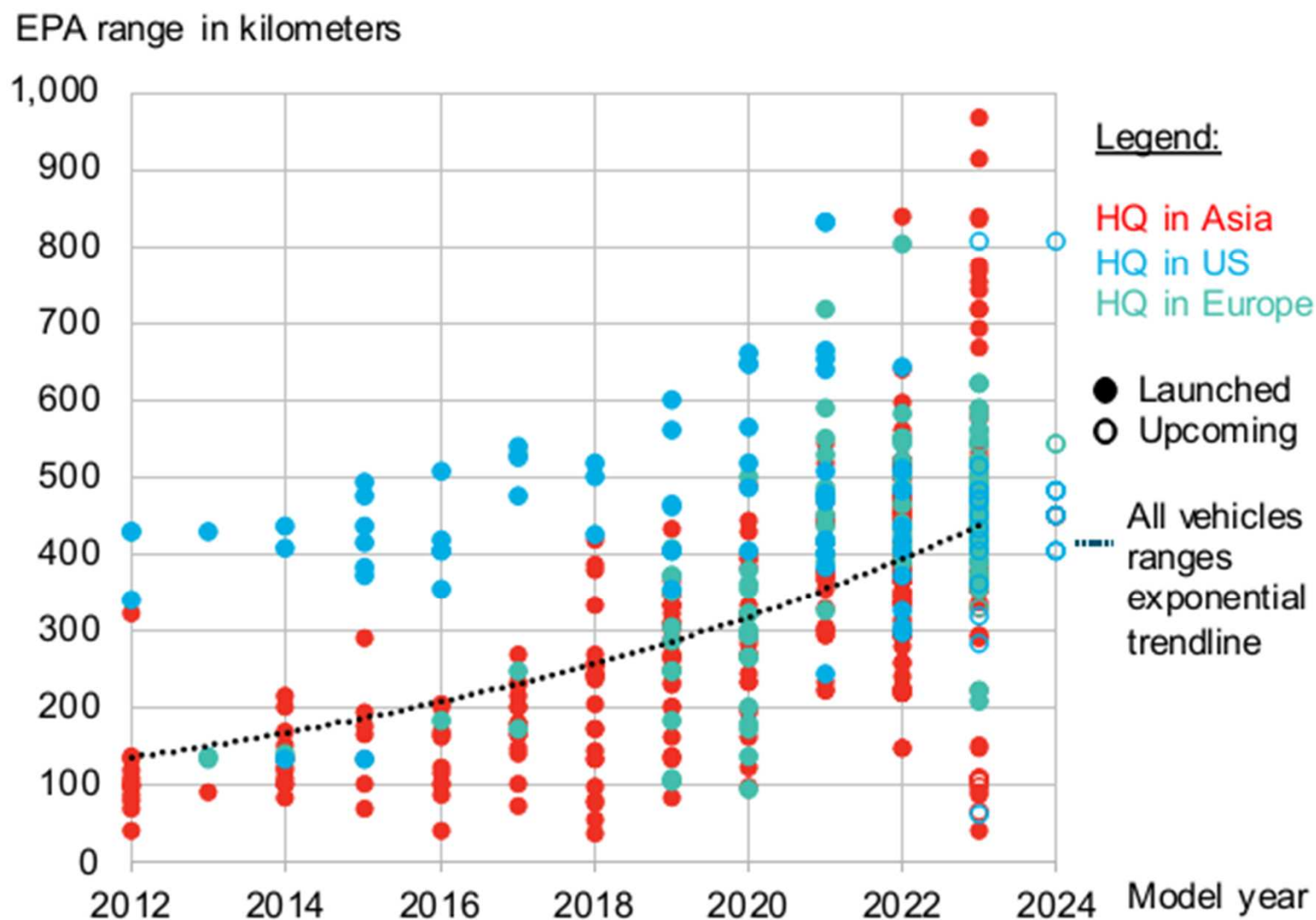
EV所有者では「充電速度」
が満足度を左右

出典: pwc, Consumer Research into Rapid Charging, May 2019

注: この調査の時期は50kW程度の充電速度のEVと、高速充電のテスラに2極化していた。
現在では100kW超に対応したEVや充電器が多く、状況が変わっている可能性。

航続距離が伸びている

Range of launched and upcoming BEV models, by launch year



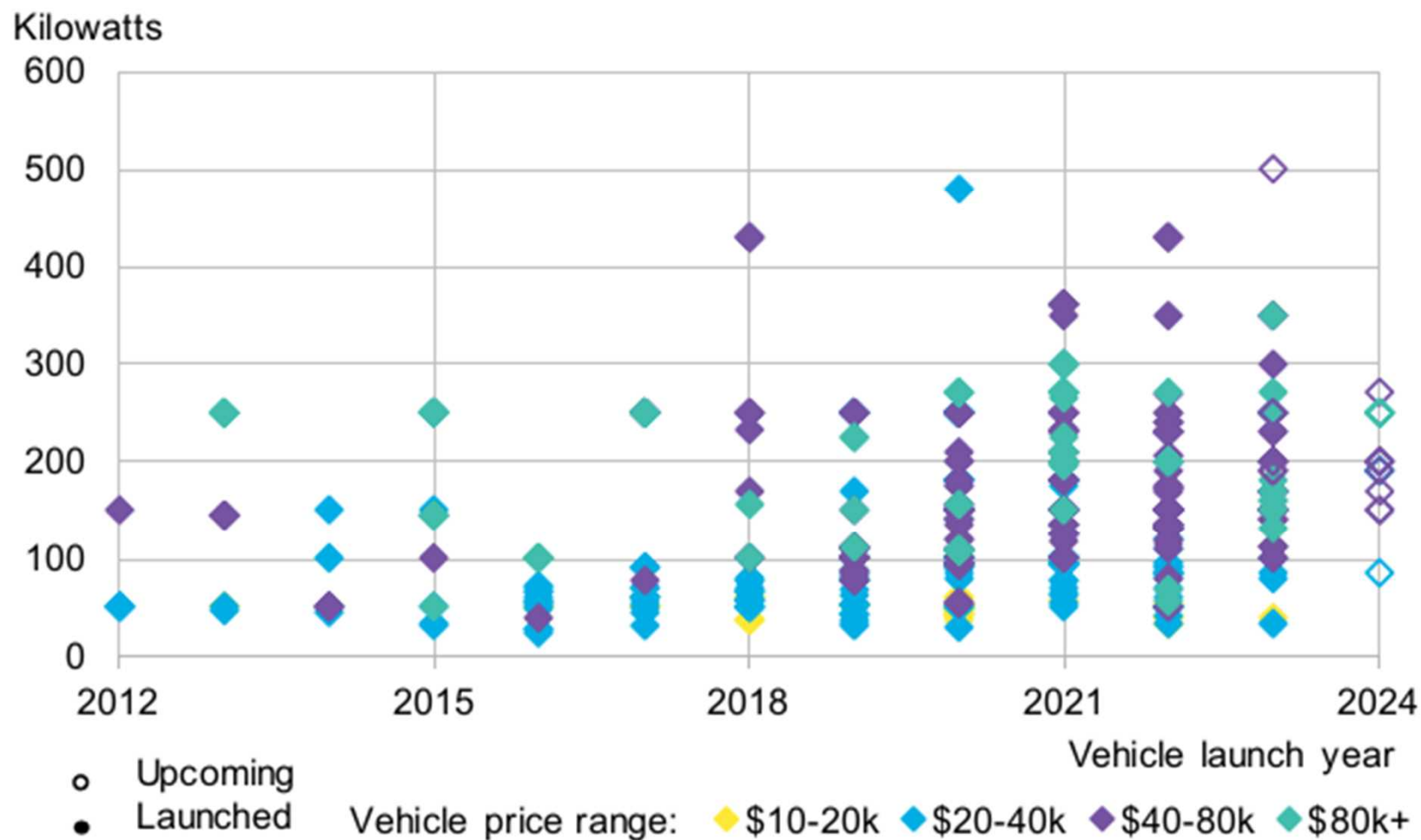
BNEF, Zero-Emission Vehicles Factbook, December 2023

航続距離は平均で400km超に(EPA換算)
1000km近いものも販売

充電速度も向上

引用物あり
(配布時著作権注意)

Maximum charging capability of selected BEV models, by year of launch



BNEF, Zero-Emission Vehicles Factbook, December 2023

発売当初は殆どが最大50kW程度(100～150km走行毎に30分充電)
最近は100～300kWぐらい(初代リーフの2～6倍の速さ)が売れ筋に
2023年発売モデルの平均の最大充電速度:186kW

ガソリンスタンド滞在程度の時間で充電出来る製品も

8分で8割充電なEV(GAC Aion V)

GAC Aion V Can Charge 0-80% In 8 Minutes At Almost 500 kW

If the numbers prove accurate, then that's almost as quick as filling up a gas car with fuel.



<https://insideevs.com/news/526536/gac-aionv-ultra-fast-charging/>

6分で9割充電できるセル(東芝)

日経XTECH

東芝など、6分で充電できる次世代電池を2023年度に商業化へ
2021.09.24



<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/news/18/11280/>

6Cで充電できるバッテリー(CATL, BYD)

引用物あり
(配布時著作権注意)



<https://www.electrive.com/2024/06/13/catl-and-byd-are-working-on-batteries-with-a-6c-charge-rate/>

10分程度で粗方充電が終わる計算
(しかも充電中は車を離れて買い物やトイレも可能)

- ・2輪、3輪、超小型車
- ・長距離トラック
- ・特殊車両(重機等)
等でも利点になる

充電器は高出力化

600kWのものも出現(5分で300km走行分相当の出力)

充電速度の選択例

2022.5.21 K.Sakurai (AIST)
CC-BY 4.0

経路充電
(幹線道路)

高速道路のSA/PA、道の駅、コンビニ等
停車時間:30分以下
数百km走行分/時以上のペースで充電(100kW~)

機会充電
(集客施設等)

ホテル、レストラン、ショッピングセンター、
ビジネスセンター等
停車時間:30分~数時間
10~100km走行分/時のペースで充電(数kW~100kW)

基礎充電
(自宅・職場等)

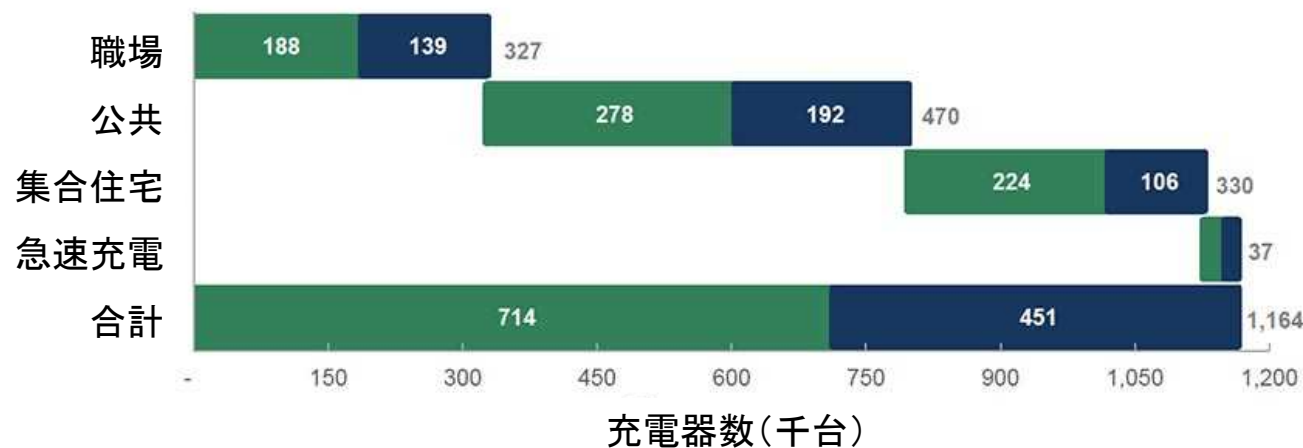
戸建てや集合住宅、貸し駐車場、
オフィスビル等
停車時間:6時間以上
~数十km走行分/時のペースで充電
(数kW~20kW)

(それぞれの比率や設置場所については例えばCEC-600-2021-001-CMRが参考になる)

- ・基本は自宅や職場での基礎充電
- ・様々な駐車場に併設
- ・停車時間に応じて充電速度を加減

必要になる充電器の数？

カリフォルニアでEVが500万台（緑）、800万台（紺）
普及した時に必要な充電器の数（戸建て住宅除く）



出典: CEC-600-2021-001-CMR

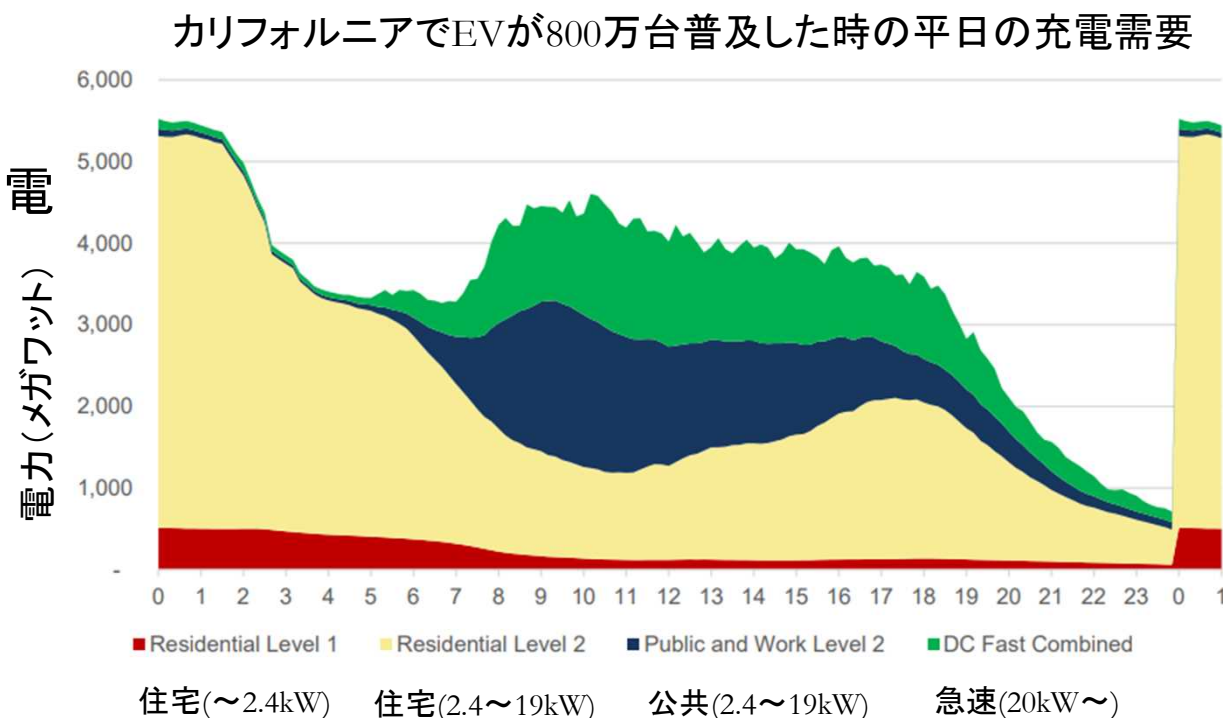
大部分が普通充電器

(Level1~2、数kW~20kW未満)

長時間駐車するところならどこにでも

急速充電器はEV200台あたり1台ぐらい

充電電力量としては例えば8~9割が普通充電
急速充電は補完的存在



出典: CEC-600-2021-001-CMR

集合住宅でも充電器は設置可能

引用物あり
(配布時著作権注意)

電源ケーブルを接続するだけ。夜間などの格納中に充電が可能です。



充電機能を搭載した新世代EV対応

地球にやさしいクリーンな新世代の電気自動車（EV）。その普及には充電システムのインフラ整備が不可欠といわれています。この課題にお応えするため、これまで機械式駐車設備では成し得なかった充電機能を搭載可能としました。利用者は電気自動車を従来通りパレットに乗入れた後、車とパレットの間を車付属の専用充電ケーブルでつなぐだけでOK。車が棚に格納されると自動的に充電がはじまります。

※積雪地域については対応できない場合がありますのでお問い合わせください。

※EV対応パレットに入庫する場合、収容車の制限が異なります。



充電器付きの機械式駐車場（左）
パレット上の専用コンセント（右）
（写真提供：ユアスタンド（株））

https://www.shinmaywa.co.jp/parking/products/products_er_7.html

管理組合での合意等が手間取りやすい。行政の支援が有効。導入支援専門企業もある。

事業所での導入例

引用物あり
(配布時著作権注意)

三菱自動車



<https://response.jp/article/2015/02/28/245381.html>

google本社



<https://www.pca.state.mn.us/sites/default/files/charging-while-you-work-guide.pdf>

- ・従業員用: 8時間～の停車で通勤分を充電できればいい
→例えば200Vのコンセント(3kW)や、普通充電器(6～11kW)が基本
- ・交通費や福利厚生の一環に
- ・従業員毎の認証・精算が出来る製品もある
- ・昼間の安い電力で充電→自宅にV2Hシステムがあれば、帰宅後に自宅で利用？
- ・来客用や営業車両等: 急速充電器(20kW～)が最適な場合も

普通充電が適する場所は多い

引用物あり
(配布時著作権注意)

専用車庫が無く、路駐が基本の住宅
→街路に充電器を設ける



Charge Points Full-Ser



<https://www.ubitricity.com/>

長時間滞在するショッピングモール
→普通充電器を多数設置



ホテルの駐車場



<https://www.chargedfuture.com/ev-charging-stations-at-hotels/>

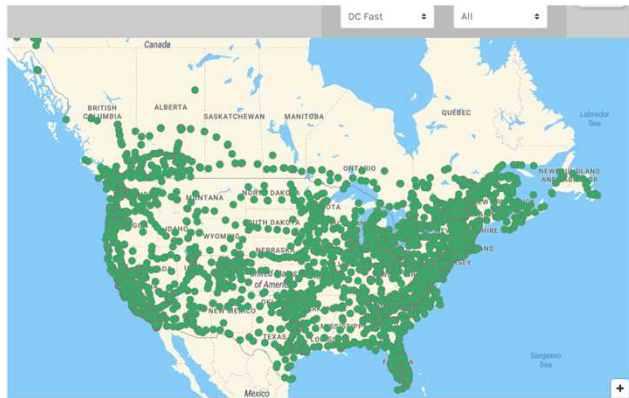
急速充電器の整備状況

引用物あり
(配布時著作権注意)

米国



<https://www.tesla.com/supercharger>



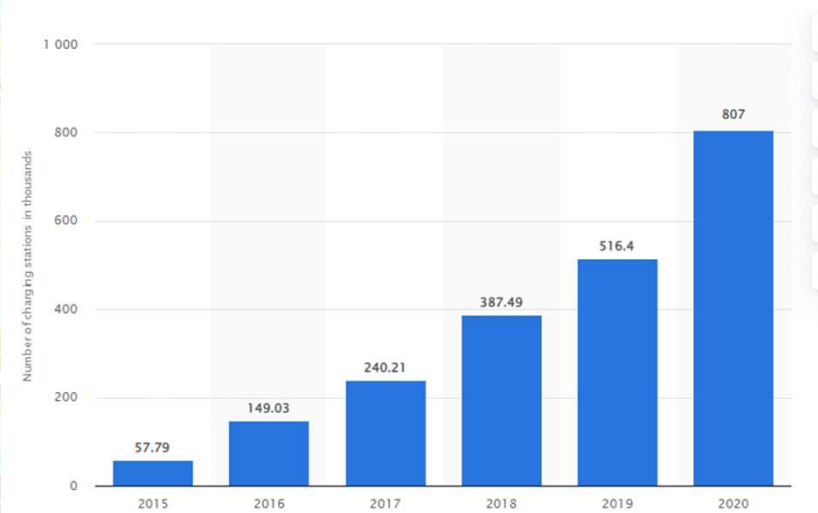
https://afdc.energy.gov/fuels/electricity_locations.html#/find/nearest?fuel=ELEC&ev_levels=dc_fast

欧州(100kW以上)



<https://chargemap.com/map>

中国



© Statista 2021

<https://www.statista.com/statistics/993121/china-public-electric-vehicle-charging-station-number/>

各国とも充電出力150～400kW級の超急速充電器網を整備中
日本は大多数が90kW以下(テスラ除く)

大型車もBEV化？

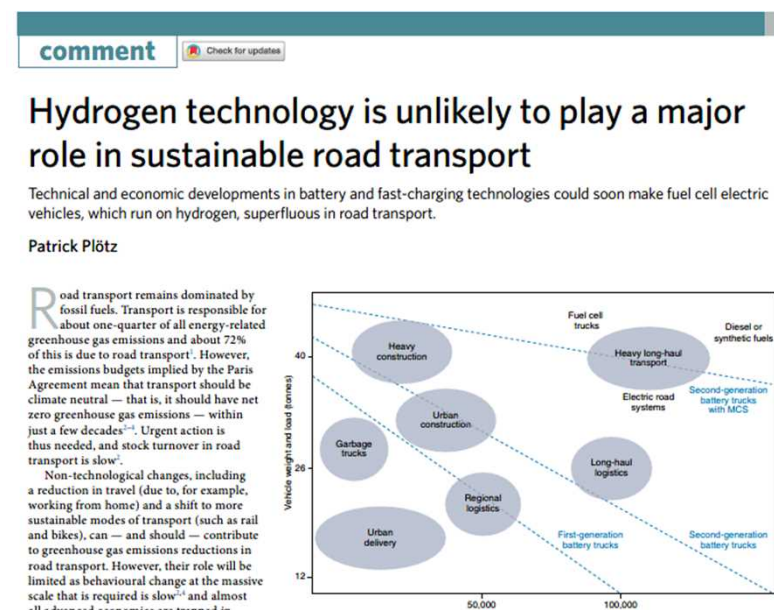
エネルギー補充時間の面から大型・長距離のバスやトラックは水素になると言われてきたが、現行技術でも、義務づけられた休憩時間中の充電で足りやすい。
加えて昨今は6～8分で8～9割充電できるバッテリーまで発売・発表されている(別スライド)。

BEVはバッテリーの重量増加が不利な点ではあるが、バッテリーのエネルギー密度も向上中。

比較的長距離のトラックではFCVが有利になる可能性も考えられるが[1]、短・中距離ではBEVが有利と見られているため[1][2]、BEV用インフラは必ず必要に。すると水素インフラを整備しても長距離トラック専用になってコストがかさみ、結局は長距離もBEVになる可能性[2-4]。

バイオ燃料やe-fuelは供給量が限られ、コスト面で現実的でないと指摘[2][4]。
(長距離航空機や船舶等に優先的に使われてしまう可能性？)

- [1] <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/82081.pdf>
- [2] <https://www.nature.com/articles/s41928-021-00706-6>
- [3] <https://www.nature.com/articles/s41467-021-27247-y>
- [4] https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2022/02/2022_02_battery_electric_trucks_HDV_factsheet.pdf.pdf



大型・長距離車用充電インフラ計画例

(欧州自動車工業会の要請内容)

引用物あり
(配布時著作権注意)

Three power categories for heavy-duty vehicle charging (eg below 350 kW, 350-500 kW and above 500 kW) should be established.

The table below shows a possible share of the required charging points in the different power categories to enable the operation of the expected vehicle fleet.

Public and destination charging points (EU27 + UK)			
	Currently available	Needed by 2025	Needed by 2030
DC <350 kW (CCS)	<10*	1,000 (4,000)**	5,000 (40,000)**
DC 350 kW (CCS)***	0	12,000	15,000
DC >500 kW (MCS)	0	2,000	30,000

* As of May 2021

** Required overnight chargers if charging points with 350/>500kW are not equipped to deliver lower-power at night or overnight parking is not possible

*** These should allow upgrades to megawatt charging (MCS, >500 kW) as soon as standard definition is available

In order to enable long-haul operations, high-power charging stations with at least 350 kW – but focussing on megawatt charging (MCS) above 500 kW – must be rolled-out. The technical specifications of MCS are currently being defined but it needs to be highlighted that the operation of long-haul battery electric trucks will require this level of high-power charging. The **revised AFID should require at least one high-power charging station with a minimum of four charging points every 100 km by 2025, and at least one site every 50 km by 2030 on the TEN-T core network. At least one charging point per station has to be accessible for coaches.**

https://www.acea.auto/files/ACEA_Position_Paper-Heavy-duty_vehicles-Charging_and_refuelling_infrastructure.pdf

大型車でも、長時間停車する時の充電が重要
→物流拠点等での充電器の整備

経路充電

→MW級の充電器を複数、100km以下の間隔で
(最低でも350kW以上)

経路宿泊用充電設備

→移動中の宿泊拠点に100kW級の充電器を
(ドライバー宿泊中に充電)

ご参考：日本の住宅政策とイノベーションに関する指摘例

(CC-BY 4.0 K.Sakurai
(AIST) 2022.1.28)

日本でイノベーション不足が叫ばれて久しい。

大きな原因の一つが、「**住宅の価値が下がっていく**」こと、との指摘あり。

(他国では住宅が長く使われ、価値もむしろ上がっていく)

(「なぜ日本は豊かになれないのか」、野村総研、2008年)。

- ・住宅だけでGDPの約4%に当たる20兆円を毎年捨てている(60年間で**他国と1200兆円の差?**)
- ・人々がリスクを取れない、転職や引っ越しもしにくい→**イノベーション阻害**

対策：住宅価値の維持・向上

- ・断熱性・耐震性・耐久性の向上
- ・新築偏重からリフォーム中心へ

住宅断熱自体もエネルギー面での対策だが、実は全ての産業のイノベーション促進にも重要?

まとめ

・再エネ大量導入が既に世界的に進行中

既に太陽光や風力が新規導入の大半を占めている

EVは「余力を集めるコスト」だけで利用できる、安価かつ大容量の蓄電資源になる

・気候変動を背景にした経済戦争

他国は過当競争も厭わずに攻めてくる

・EV普及の技術的障害はほぼ無くなりつつある

むしろ便利にできる

・価格や充電環境が売れ行きを左右

安く買えるようになると売れる

買わない理由のトップクラスも車両価格

・蓄電池は太陽電池のように急激に価格低減中

大規模投資による規模拡大と新技術投入

2030年を待たずしてBEVシェア50%超えの予測も

PDFはこちら

