

APPLYING THE LESSONS OF LEAN TO CLIMATE CHANGE:

# Japan's Gift to the G7 And Our Planet

リーン生産方式の教訓を気候変動問題に活用

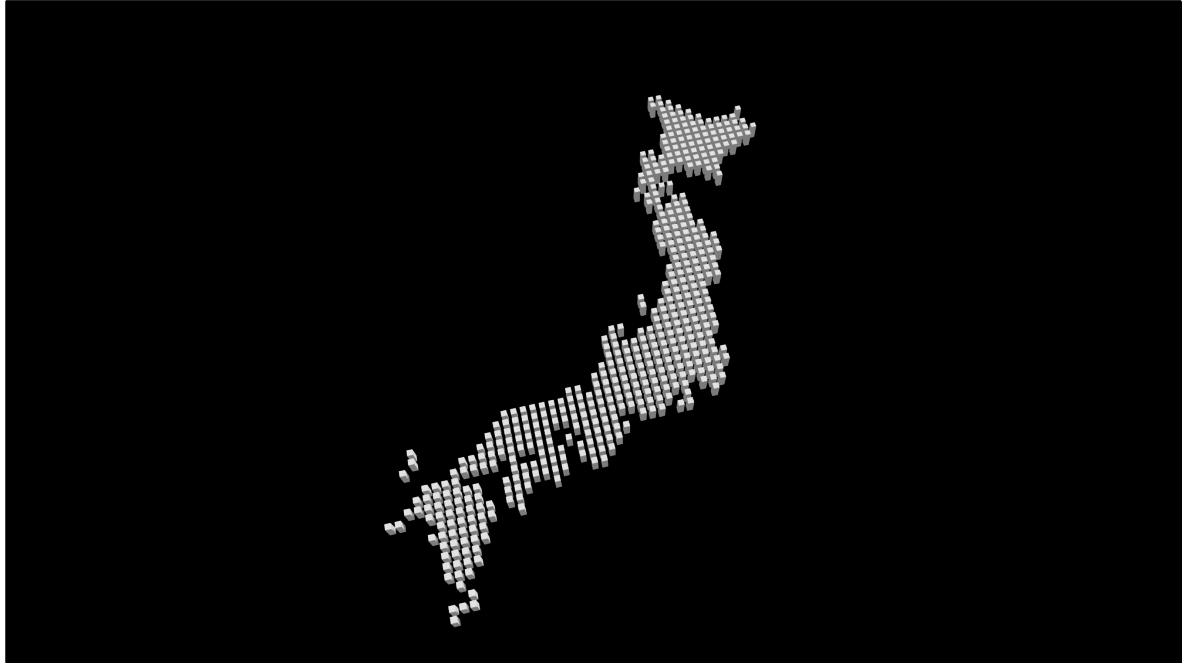
## 日本からG7と世界への贈り物

**Gill Pratt, Ph.D.**

Chief Scientist, Toyota Motor Corporation  
CEO, Toyota Research Institute

皆様、こんにちは。本日は貴重な機会をいただき、ありがとうございます。

本日は「苦難や困難こそが革新をもたらす」ということについてお話したいと思います。  
そして、資源不足の時代に気候変動問題に取り組むにあたり、私たちは過去の教訓を  
どのようにいかしていけば良いかについてお伝えします。



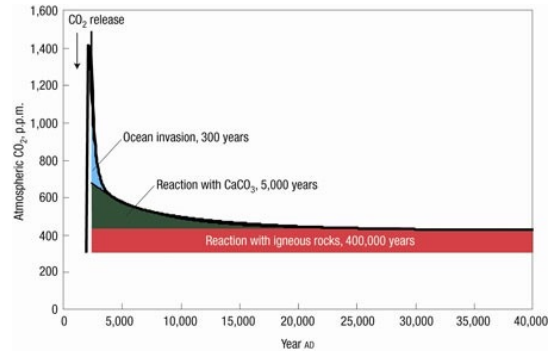
まずは日本の地理と歴史を振り返りたいと思います。

島国である日本は、これまで多くの自然災害や人災に見舞われ、限られた資源中で多くの困難な課題に取り組んできた歴史を持ちます。

リーン生産方式といった効率的な生産方法が、この地日本で誕生したのは決して偶然ではありません。なぜなら、資源制約の中では「無駄」を最小限にすることが非常に重要だからです。

この「無駄を最小限にする」という学びは、バッテリーの原材料や再生可能エネルギーの充電網などの供

給に短期的な制約がある今日においても、CO<sub>2</sub>の排出量をより多く、より早く削減するために適用できると考えています。



Inman, M. Carbon is forever.  
Nature Clim Change 1, 156–158 (2008).

**Model simulation of atmospheric CO<sub>2</sub> concentration for 40,000 years following after a large CO<sub>2</sub> release from combustion of fossil fuels. Reproduced from The Long Thaw**  
化石燃料の燃焼によるCO<sub>2</sub>の大量放出後、4万年間の大気中のCO<sub>2</sub>濃度のモデルシミュレーション。The Long Thawより転載

科学界は、2050年までにCO<sub>2</sub>の純排出量をゼロにしなければならぬと明言しています。

しかし、2050年までにどれだけ早くCO<sub>2</sub>を減らせるか、も重要な問題ではないでしょうか。

私は大変重要だと考えています。なぜなら、過度に排出されたCO<sub>2</sub>は、何百年何千年にわたって大気中に滞留し続けるからです。

例えるなら、大気は非常に小さな排水口しかない浴槽のようなものなのです。



あと27年後にはCO2排出の蛇口をしめなければなりません、重要なことは、できるだけ早く、可能な限り強く、蛇口をしめ切らなければならないのです。

バッテリーの原材料や再生可能エネルギーを利用した充電網が不足する中、何からどのように取り組めば良いのでしょうか。

Photo: Gill Pratt, March 2, 2014



その答えは、苦い戦争の経験の中にあります。



先の大戦の最後の年から戦後2年間にかけて、日本は、輸入の減少や不作により深刻な食糧難に見舞われました。

その時代を生きた両親や祖父母を持つ方々ならきっと、どれだけのご苦労があったかを伝え聞いていらっしやると思います。

最終的には、食糧難が社会的な混乱を招く恐れがあるとして、米国など各国が日本へ大量の、しかし決して十分ではない量の小麦を輸出しました。

この小麦の輸入と、限られた小麦を最大限活用した

「食のイノベーション」によって飢餓を回避することが  
できました。



食のイノベーションの1つの例がお好み焼きです。伝統的な仏教食から、この広島県を代表に、日本各地で独自の進化を遂げていきました。



もう1つはラーメンです。元々は中国由来の食べ物ですが、こちらでも日本で独自の進化を遂げました。

ではこれらの食べ物と、資源制約の中で気候変動問題を解決することに何の関係があるのでしょうか。

戦後、こうした食べ物が普及したのは、もちろん美味しかったことに加え、限られた食糧を効率的に利用したためです。

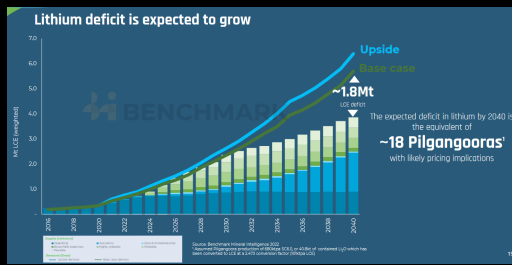
例えば、ラーメンには通常チャーシュー肉が入っています。しかし、ラーメンを食べることで、小麦粉から直接作られた「麺」からも栄養を得ることができるの

です。

これらの麺は、穀物を動物に与え育成した後にその肉を食べるより、約10倍効率よく栄養を摂れることがわかっています。

日本で小麦粉の量が限られていた時代、肉はさらに希少だったため、限られた食糧を効率的に利用することが極めて重要だったのです。

# Projected Materials Shortages 原材料不足の見通し



Source: Benchmark Minerals Intelligence

THE WALL STREET JOURNAL  
 Home World U.S. Politics Economy Business Tech Markets Opinion Books & Arts Real Estate Life & Work Style Sports

## Shift to Mined vs. Man-Made Graphite Raises Shortage Risk for EVs

Natural graphite is greener than synthetic, leading auto makers to turn to mines for the mineral

January 25, 2023, Wall Street Journal



Figure 11: 2030 market balance projections

Deficit Emerges	Size of Deficit in 2030e	Deficit as a % of Market	
Cobalt	2023	173kt	42%
Copper	2024	10.9Mt	31%
Lithium	2024	2.1Mt	30%
Natural Graphite	2024	3.7Mt	37%
Nickel	2021	2.2Mt	37%
Rare Earths	2022	48kt	87%

Source: UBS

Source: UBS

今日の気候変動との戦いにおいて、バッテリーの原材料は、私たちが効率的に活用すべき希少な資源の2つのうちの1つと言えます。



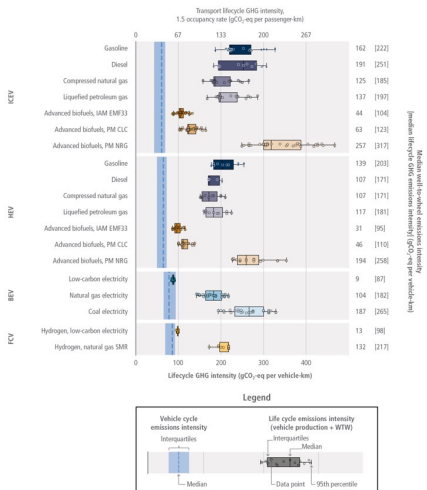
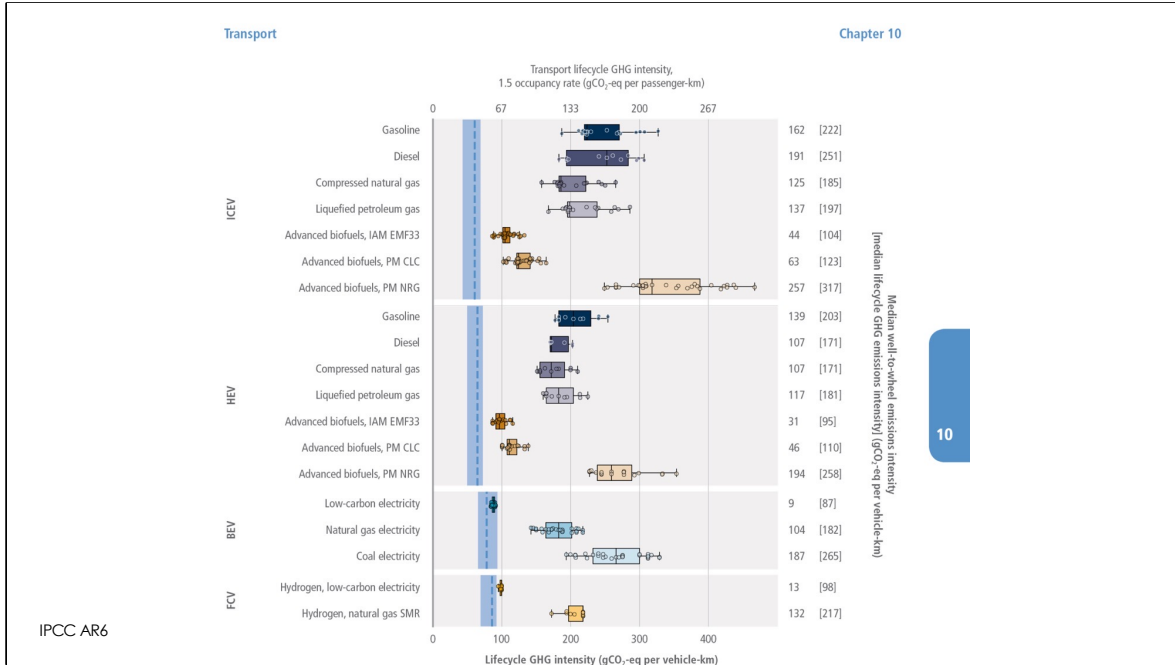


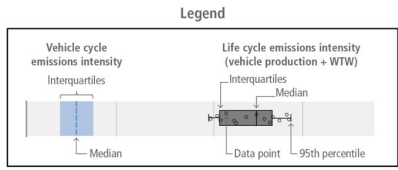
Figure 10.4 Life cycle greenhouse gas emissions intensities for mid-sized light-duty vehicle and fuel technologies from the literature. The primary x-axis reports units in gCO<sub>2</sub>-eq km<sup>-1</sup> assuming a vehicle life of 180,000 km. The secondary x-axis uses units of gCO<sub>2</sub>-eq km<sup>-1</sup> assuming a 1.5 occupancy rate. The values in the figure rely on the 105-year GWP value embedded in the source data, which may differ slightly from the updated 105-year GWP values from WGI. The shaded area represents the interquartile range for combined vehicle manufacturing and end-of-life phases. The length of the box and whiskers represent the interquartile range of the operation phase for different fuel chains, while their placement on the x-axis represents the absolute lifecycle GHG intensity, that is, includes manufacturing and end-of-life phases. Each individual marker indicates a data point. 'Advanced biofuels' refers to the use of second-generation biofuels and their respective conversion and collection emission factors. 'IAM EMF33' refers to emissions factors for advanced biofuels derived from simulation results from the integrated assessment models EMF33 scenarios. 'PM' refers to partial methanol, where 'C.C.' is with constant land cover and 'WGI' is with natural regrowth. 'Hydrogen, low-carbon electricity' is produced via electrolysis using low-carbon electricity. 'Hydrogen, natural gas SMR' refers to fuels produced via steam methane reforming of natural gas.

もうひとつは、再生可能エネルギー由来の電力を利用した充電インフラ網です。



IPCC AR6

10



国連の「最新報告書」によると、エネルギー由来から電気自動車に転換することで、

CO<sub>2</sub>排出量を削減できる。さらに、再生可能エネルギーを

Figure 10.4 | Life cycle greenhouse gas emissions intensities for mid-sized light-duty vehicle and fuel technologies from the literature. The primary x-axis reports units in gCO<sub>2</sub>-eq km<sup>-1</sup>, assuming a vehicle life of 180,000 km. The secondary x-axis uses units of gCO<sub>2</sub>-eq km<sup>-1</sup>, assuming a 1.5 occupancy rate. The values in the figure rely on the 100-year GWP value embedded in the source data, which may differ slightly from the updated 100-year GWP values from WGI. The shaded area represents the interquartile range for combined vehicle manufacturing and end-of-life phases. The length of the box and whiskers represent the interquartile range of the operation phase for different fuel chains, while their placement on the x-axis represents the absolute lifecycle climate intensity, that is, includes manufacturing and end-of-life phases. Each individual marker indicates a data point. 'Advanced biofuels' refers to the use of second-generation biofuels and their respective conversion and cultivation emission factors. 'IAM EMF33' refers to emissions factors for advanced biofuels derived from simulation results from the integrated assessment models EMF33 scenarios. 'PM' refers to partial models, where 'CLC' is with constant land cover and 'NRG' is with natural regrowth. 'Hydrogen, low-carbon electricity' is produced via electrolysis using low-carbon electricity. 'Hydrogen, natural gas SMR' refers to fuels produced via steam methane reforming of natural gas.

1075

さらにIPCCによると、電気自動車が石炭火力発電所由来の電力で充電される場合、ガソリンを燃料とするハイブリッド車よりも気候変動に悪影響を与えるといわれています。

また、天然ガスを用いた火力発電所の電力で充電した電気自動車のCO<sub>2</sub>排出量は、圧縮天然ガスを燃料とする

ハイブリッド車のCO2排出量とほぼ同じです。

電気自動車は、今日多くのお客様にとって優れたソリューションであり、日本でも多く生産されていくでしょう。

しかし時と場合によっては、異なる車両タイプの方が優れていることもあるのです。



もちろん、戦後の日本の食糧事情のように、いずれバッテリーの原材料や再エネ由来の充電網も、十分に普及する時がくるでしょう。

しかし、十分な原材料を確保するための鉱山開発や、再生可能エネルギーを利用した発電設備、送電線、また長期的、安定的に十分な電力を供給するためのエネルギー貯蔵施設等の拡充には何十年もかかります。

それまでの間、資源に制約のある中でもCO2排出量を削減するために、日本の過去の教訓をどのようにいかしていければ良いのでしょうか。

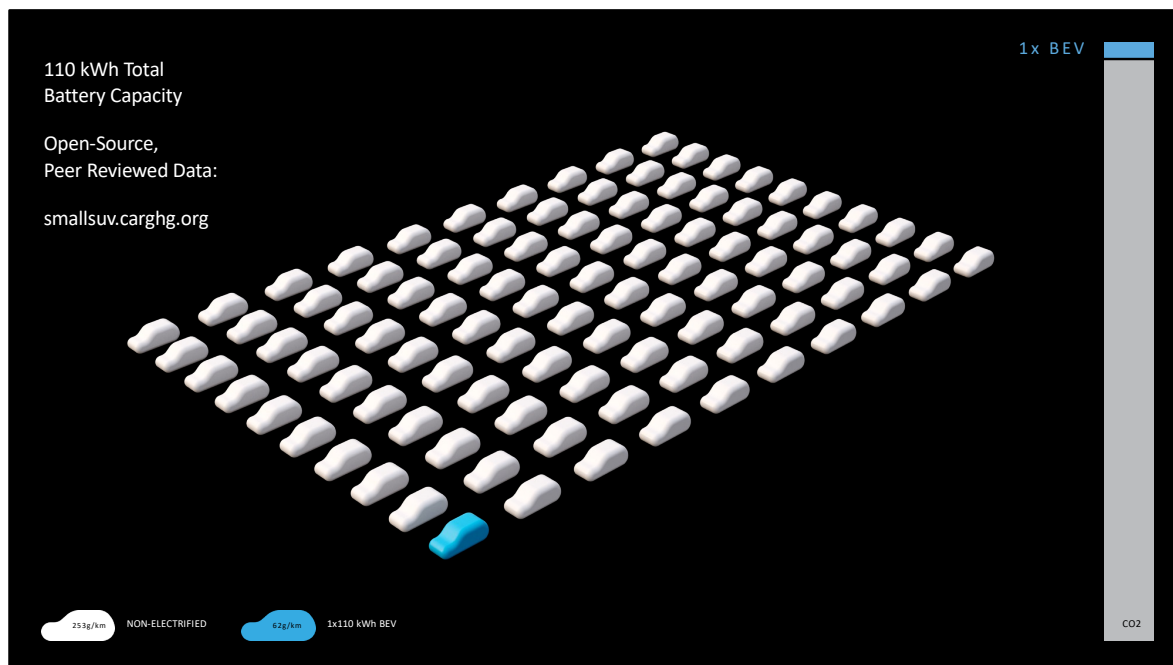




バッテリーの原材料不足に関する答えは、こちらの査読済みのオープンソースデータを使って見つけることができます。

まず、白色で表示された小型SUVのガソリン車が100台あると仮定します。

そして、私たちは110kWhのバッテリーを利用可能と仮定しましょう。

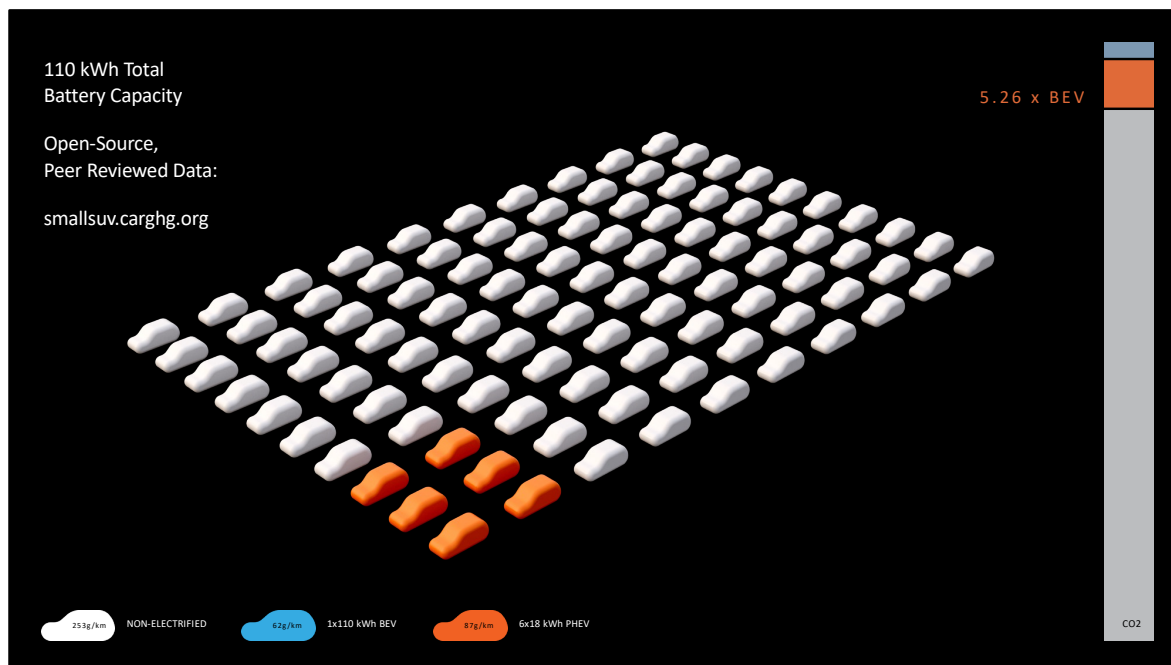


このバッテリーすべてを、青色の1台の長距離走行可能な電気自動車に搭載することも可能です。

1人のお客さんに立派な肉料理を提供するのと同じ考え方です。

この電気自動車の生涯の平均CO2排出量は大きく削減されるでしょう。

ところが残念ながら、残りの99台はガソリン車のままですので、図にあるように実際のCO2削減効果は非常に小さくなります。



別の方法として、同じバッテリー容量を18kWhずつ、6台のプラグイン・ハイブリッド車に分配することも可能です。

1つの塊肉を6人分のラーメンのチャーシューに切り分けるようなものです。

それぞれのプラグイン・ハイブリッド車のCO2削減量は電気自動車より少ないものの、1台ではなく6台のガソリン車を切り替えるため、合計のCO2削減量は電気自動車1台の時の約5.5倍になります。

もう一度言います。ラーメンの麺にスープがよく染み

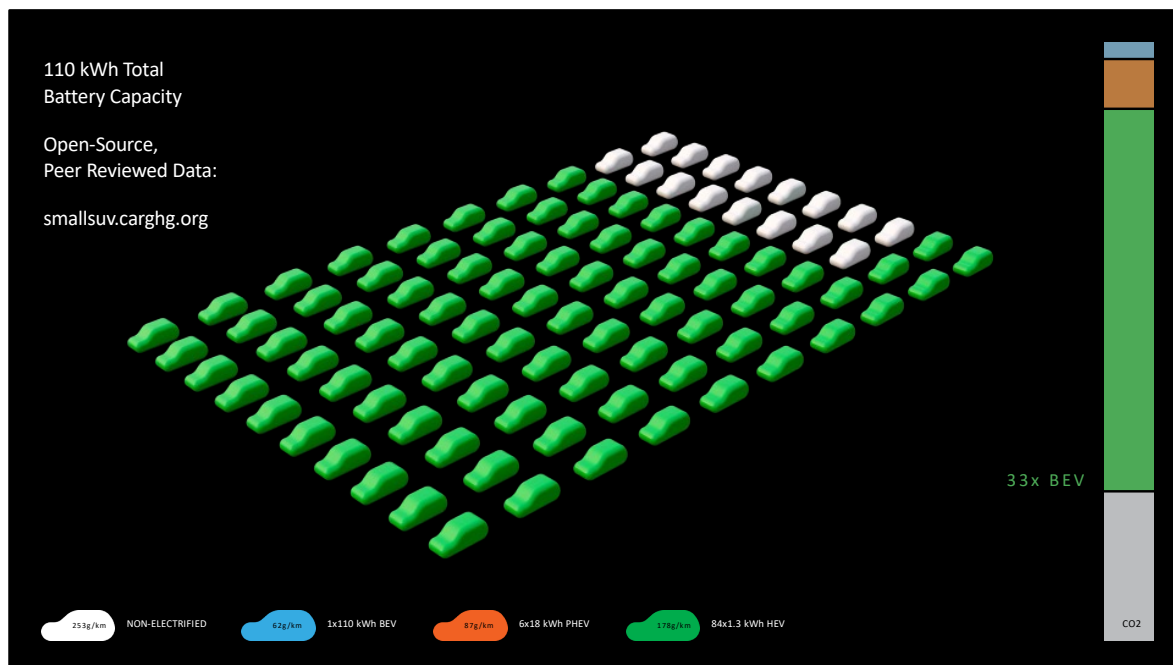


込むように。

同じ量のバッテリーを1台の電気自動車ではなく6台のプラグイン・ハイブリッド車に分配することで約5.5倍実際のCO2を削減することができるのです。

また、ラーメンと同じように、プラグイン・ハイブリッド車は電気自動車よりも手頃な価格で購入できるため、消費者が購入する可能性は高まるでしょう。

なぜこれが重要なのかについて後ほどご説明します。



同じバッテリー資源を、さらにお手頃な1.3kWhのバッテリーを搭載したハイブリッド車84台に分配することも可能です。

これは例えるなら、ほんの少しのお肉の入ったインスタントラーメンを84杯作るようなものです。

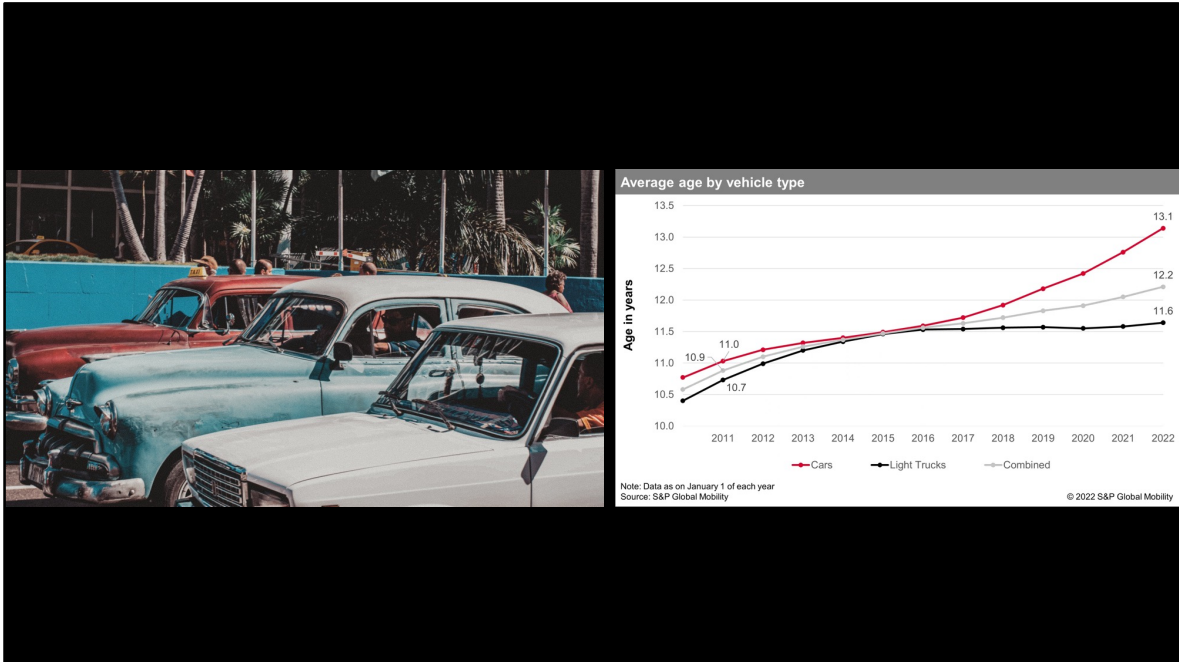
ハイブリッド車1台あたりのCO2削減量は少なくても、トータルで見ると電気自動車1台に切り替えた時と比較し約33倍ものCO2を削減することができます。

これは、ハイブリッド車だけをつくれれば良いということではありませんし、ハイブリッド車を永久に作り続

ければ良いということでもありません。

世界には、短期的に見ても、ハイブリッド車だけの解決策を支えるだけのバッテリーや再生可能な充電網があり、いずれは資源の制約はなくなるでしょう。

しかし、電気自動車のみにしたソリューションでは、何年もの間、十分なバッテリー原材料と再生エネルギー由来の充電網を確保することができない状況が生じます。



最後に、私たちは、自身が良かれと思ってとった行動が、意図しない、あるいは逆説的な結果をもたらすことについても留意しなければなりません。

経済学者の間では、新車の価格が高い、入手できない、あるいはその他望まれない理由がある場合、消費者は古い車を買換えずに修理して使い続ける選択をされると考えられています。自動車が増産されると、一般的に1.2%から1.5%ほど需要が落ちることがわかっています。

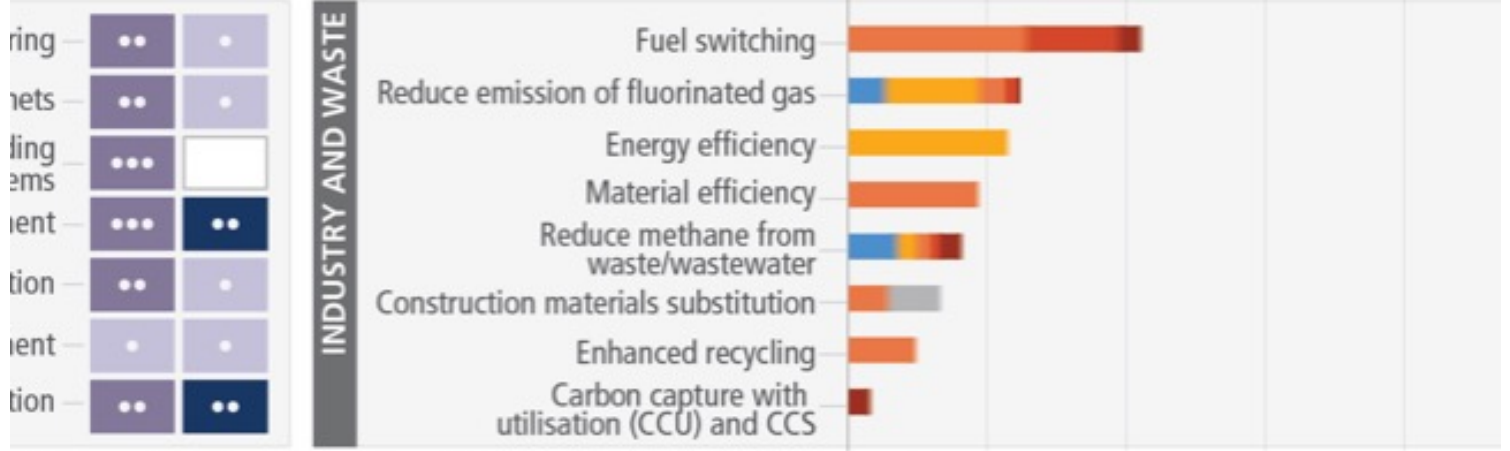
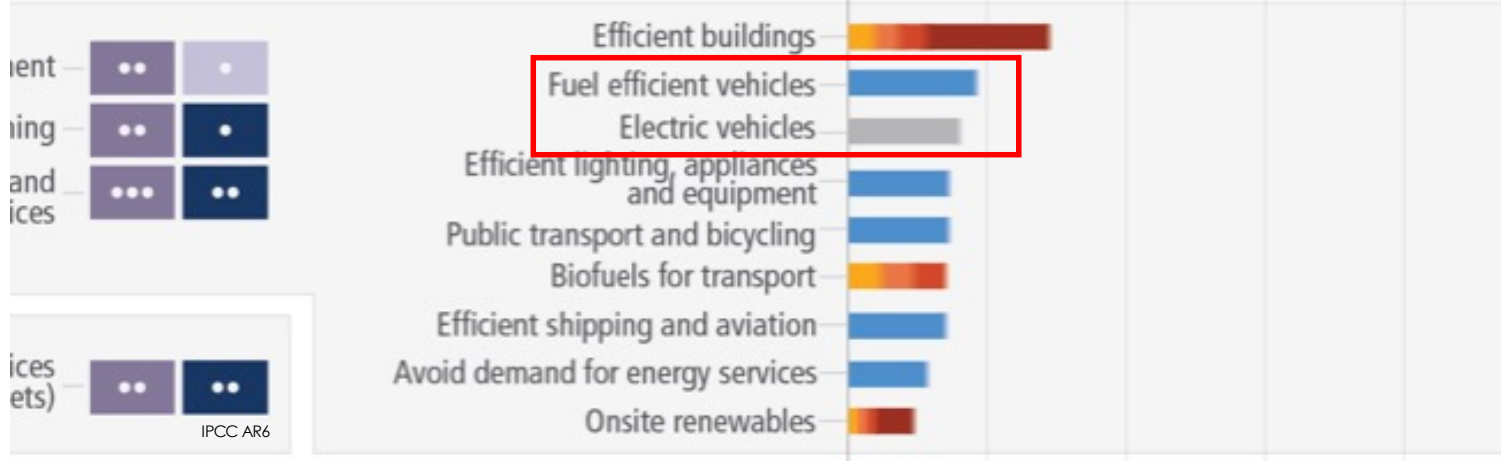
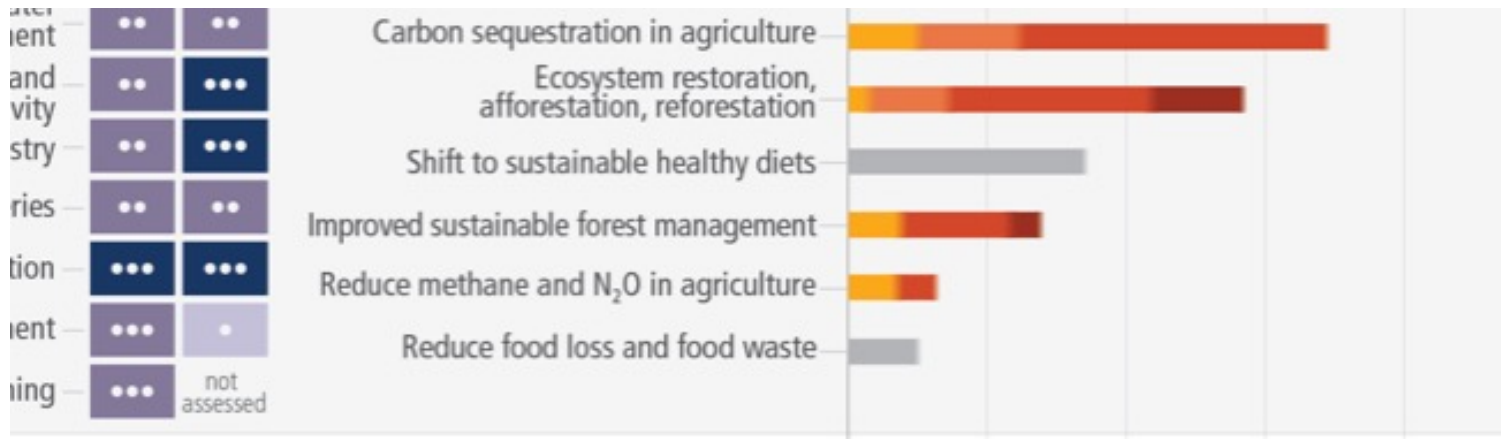
この現象はキューバで最も顕著ですが、コロナ禍や半導体の供給不足下の米国でもこの傾向は見られ、自動

車の平均車齢が12年以上に上昇しました。

もし政策立案者が、消費者が購入できるパワートレインの種類を過剰に制限し、バッテリーコストや充電インフラの整備の遅れによって、新車購入が魅力的な選択肢でなくなれば、所有者は中古車やCO2排出量の多い車を、買い換えずに保有することになります。その結果、さらなるCO2が排出され、大気という浴槽にそれらのCO2が長い間残存することになります。



そのため、IPCCの最新の報告書にこのような記載があります。



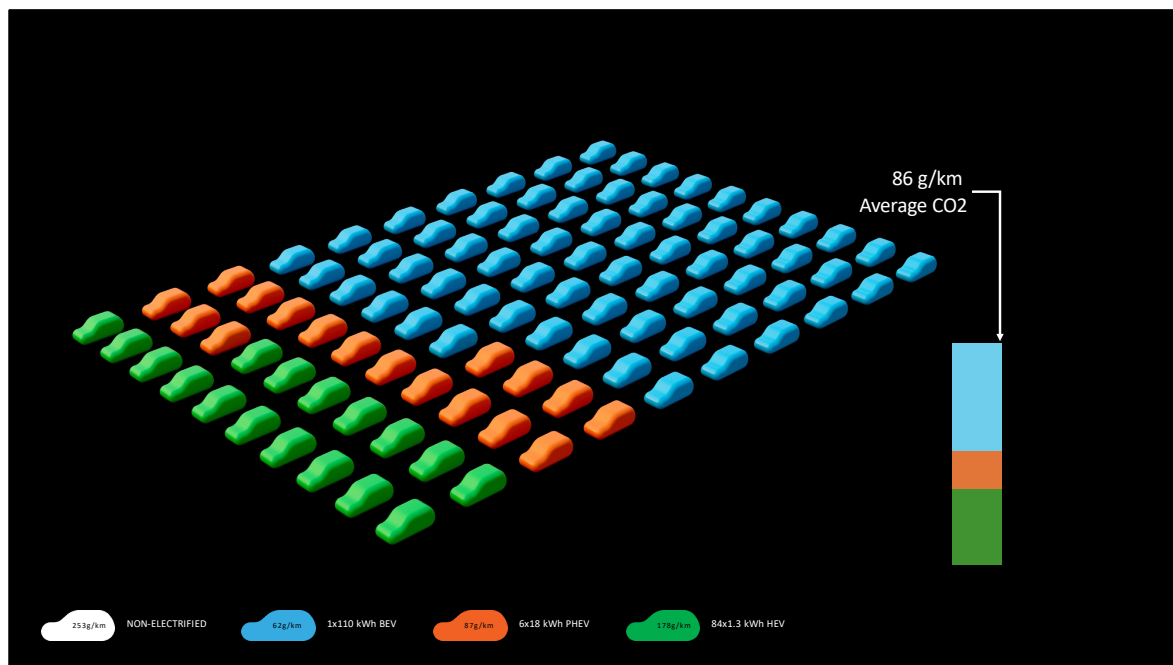
**Confidence level in potential feasibility in synergies with mitigation**

High    Medium    Low

**Net lifetime cost of options:**

- Costs are lower than the reference
- 0-20 (USD per tCO<sub>2</sub>-eq)
- 20-50 (USD per tCO<sub>2</sub>-eq)
- 50-100 (USD per tCO<sub>2</sub>-eq)
- 100-200 (USD per tCO<sub>2</sub>-eq)
- Cost not allocated due to high variability or lack of data



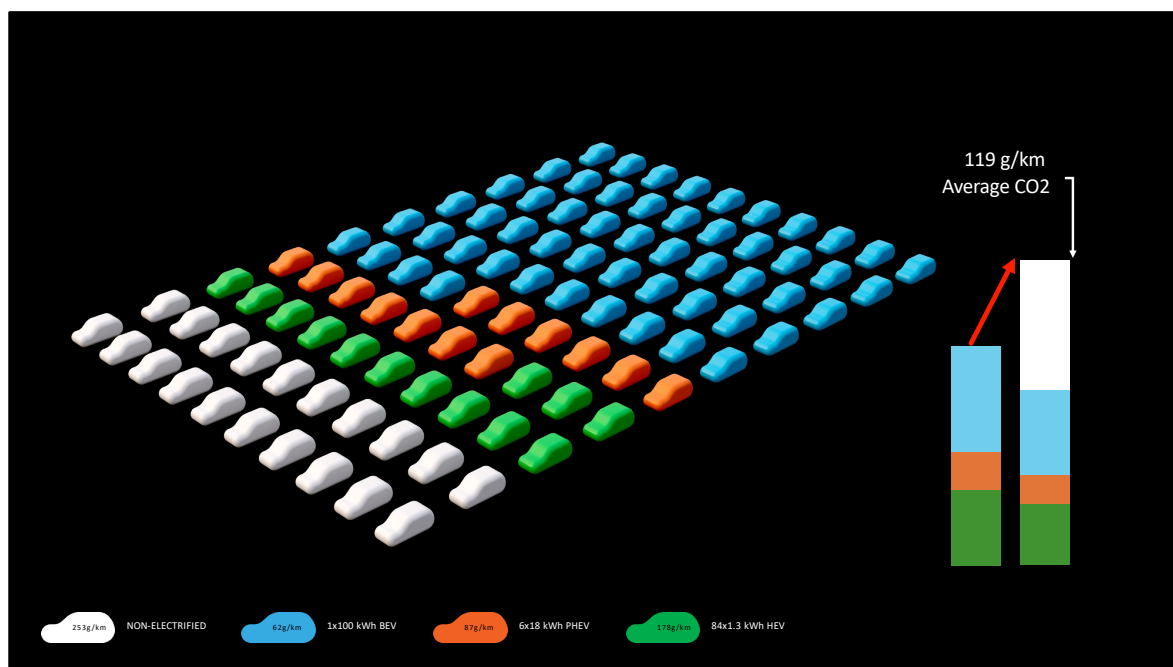


どれほどの違いがあるか、少し調べてみましょう。

例えば、古い車が多い地域で、新車販売の3分の2を電気自動車とし、残りの3分の1をプラグイン・ハイブリッド車とハイブリッド車で均等に分けるという政策が提案されたとします。

この新車の平均CO2排出量は、前回の例と同様のオープンソースデータを使用すると、86g/kmになります。



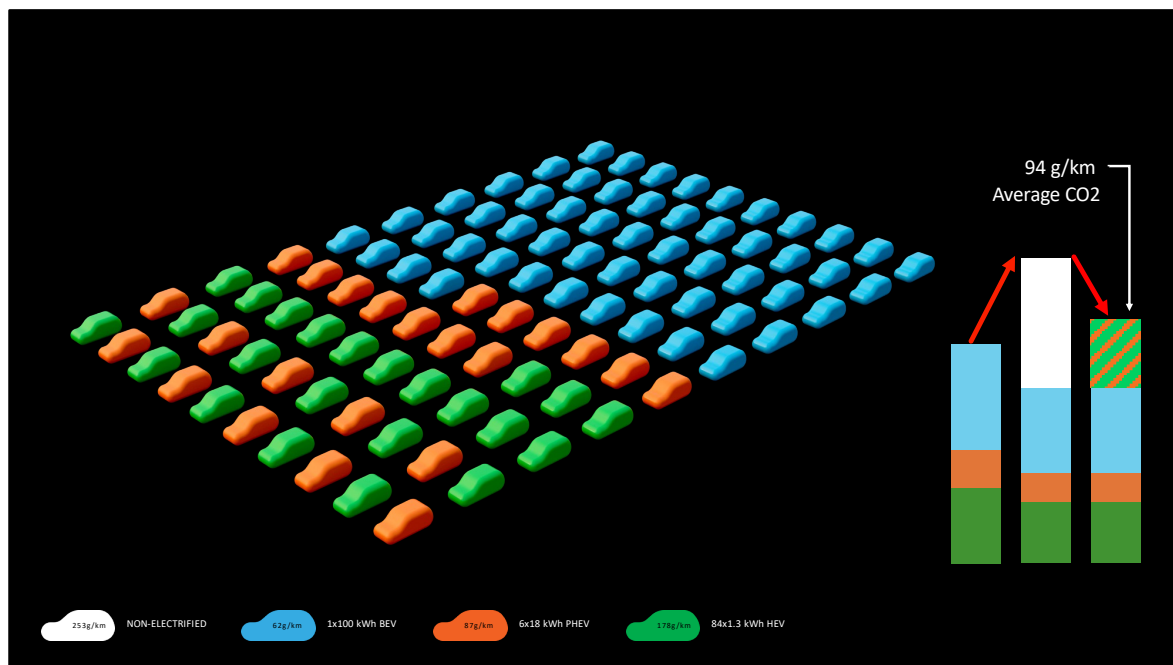


世界の多くの地域で、電気自動車は同クラスのガソリン車より20%から30%ほど割高で、充電インフラの不足により、多くのお客様にとって不便な状況となっています。

このような状況下では、弾力性によって、控えめに見ても20%の潜在的な電気自動車購入者が古いガソリン車を保有し続ける可能性があります。

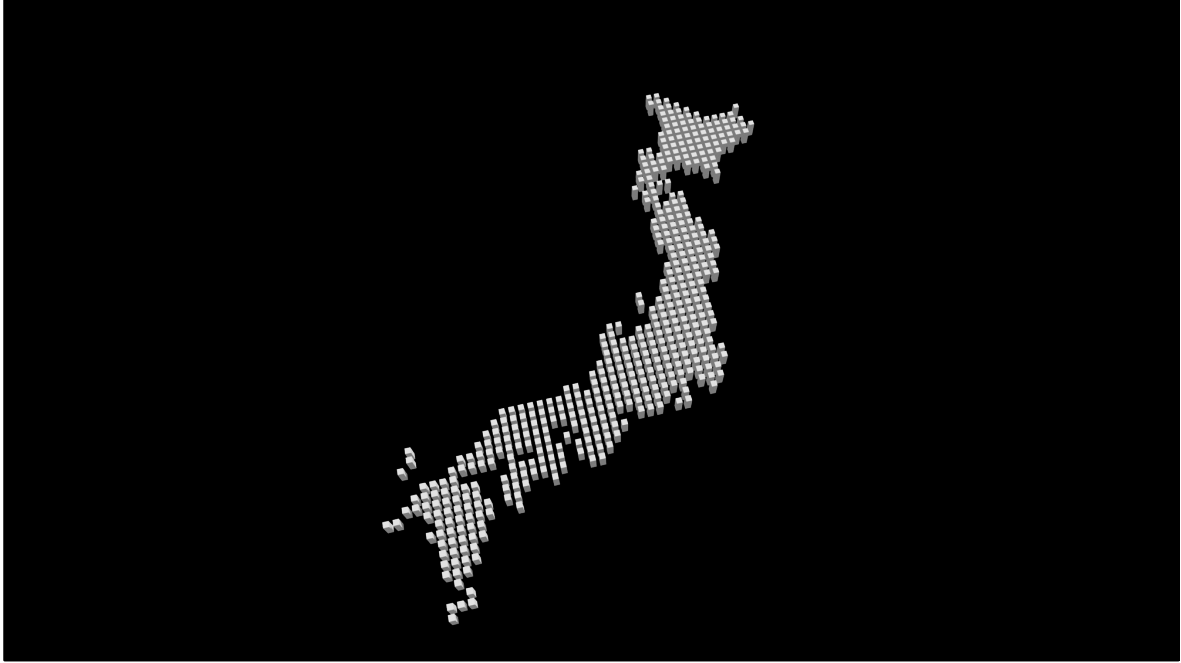
その場合、車を買替えたのなかったことで、CO2の排出量は40%近く増加し、119g/kmになります。これは、何世紀にもわたって残存し続ける余分なCO2です。

しかも、これでもなお問題を甘く見ているのです。というのは、買い替えずに現在道路を走っているガソリン車は、このデータ上で想定しているような最近の燃費の改良されたガソリン車ではなく、さらに多くのCO<sub>2</sub>を排出する古いガソリン車である傾向が高いためです。



もし、この政策の代わりに、電気自動車の購入を希望しないお客様が、古いガソリン車を新しいハイブリッド車やプラグイン・ハイブリッド車に買い替えることが許されるとしたら、どうなるでしょうか。

その場合、平均CO2排出量は94g/kmとなり、本来の望ましい数値である86g/kmより10%増加するだけで、逆に政策の制約がもたらす逆説的な数値の119g/kmと比べると、4分の1程度に抑えることができます。



ここでもまた、日本の歴史が教訓になります。



Photo of US and Japanese government officials promoting bread in schools.  
From U.S. Wheat Associates archive.

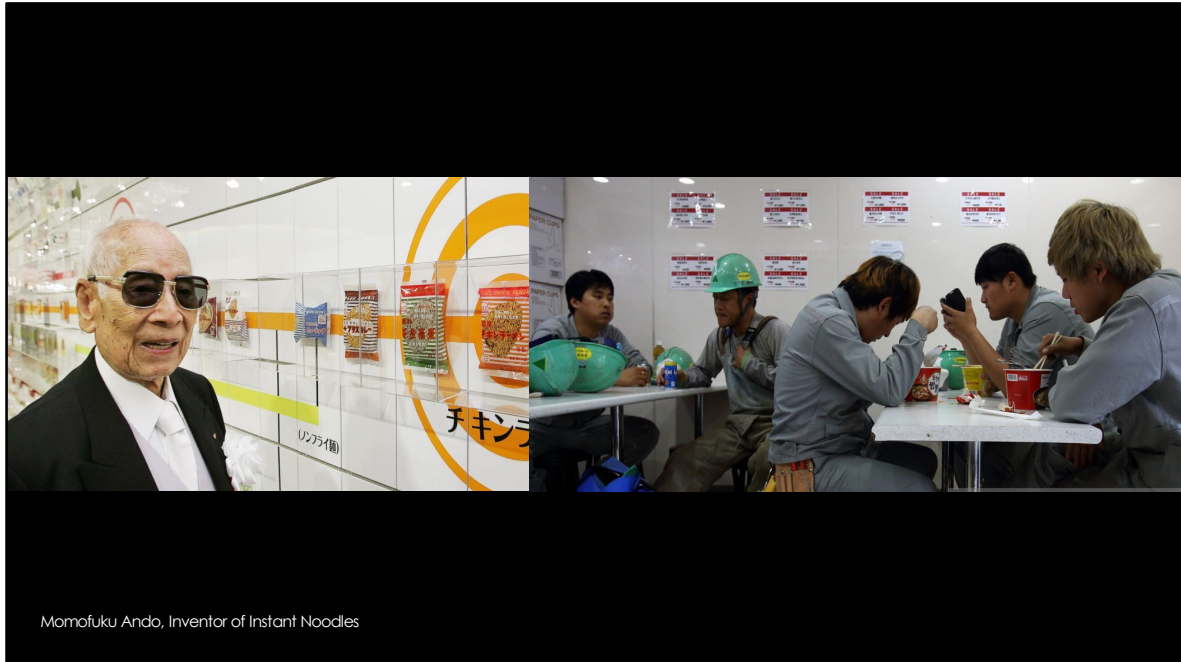
戦後、日本への小麦の輸入が始まったとき、米国と日本の政策立案者は、パンや牛乳、牛肉といった米国様式の食事の消費を強力に推し進めました。

米よりパンを食べさせた方が頭が良くなる、と子供に吹聴までしました。

子どもたちは、その表情からわかるように、納得がいかなかったようです。

幸いなことに、日本のイノベーターたちには、多様な状況には多様な解決策が必要であり、世界のある場所では優れた解決策であっても、全世界にとっての最適

解ではないということを理解していました。

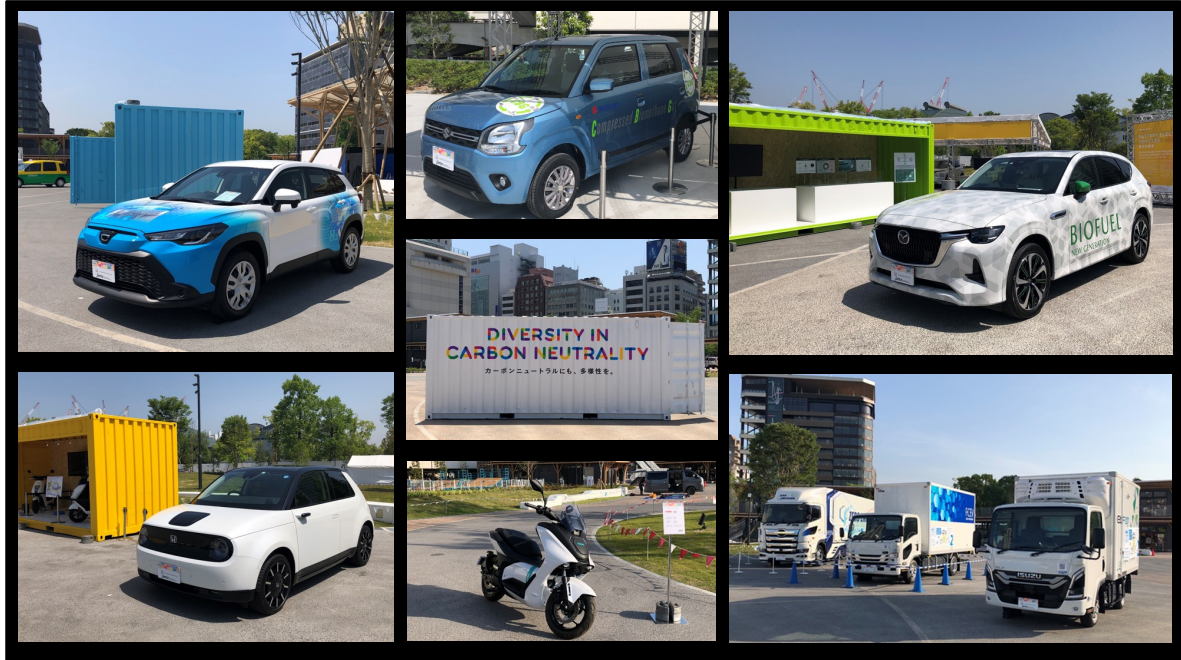


Momofuku Ando, Inventor of Instant Noodles

彼らは各地のニーズに注目し、輸入した小麦を、パンだけでなくお好み焼きやラーメンに転用していきました。

消費者の選択肢を狭めるのではなく、真の目的である飢餓の回避に焦点を当て、消費者に好まれる多様な商品を提供し、限られた食糧をより効率的に活用しました。

さらにその何年後かには、安藤百福氏がインスタントラーメンを開発し、簡易で安価な食事を世界中の人々に提供したのです。



本日、私がお伝えしたかったことは、ただひとつ「日本の過去の教訓から学ぼう」ということです。

あの当時の「敵」は食糧難であり、何か特定の食べ物ではありませんでした。今日の「敵」は炭素であり、特定のパワートレインではありません。

お客様が購入できるパワートレインの種類を制限するのではなく、排出されるCO2の総量を規制し、排出量を最小限に抑えるために、それぞれのお客様がそれぞれの環境で、自分のできる最大限の貢献をできるように、柔軟的な選択肢を維持することが重要です。



## Major Japanese OEMs' Electrification Targets 日本の主要OEMの電動化目標

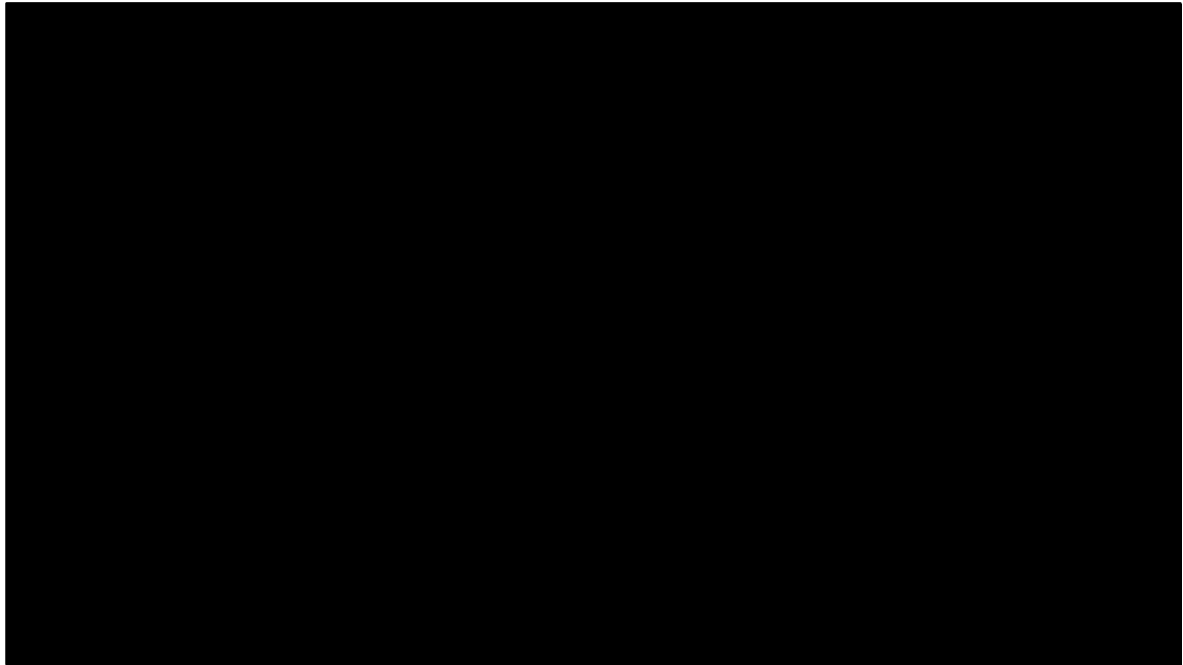
OEM	Target Area	Target year	Contents
Toyota	global	2026	10 new BEV models to be launched. To sell 1.5 million units per year.
		2030	30 BEV models, 3.5 million units sales (Lexus 1 million units, BEV100% in Europe and US and China)
		2035	100% BEV sales at Lexus
Honda	global	2030	BEV 2 million units produced
		2040	100% BEV and FCEV sales
	advanced nations	2030	BEV/FCEV 40% sales
		2035	BEV/FCEV 80% sales
Nissan	global	2030	Electric vehicles: 27 models (including 19 BEV), 55% sales
	Japan, Europe and China	2026	Electric vehicles: Europe: 98%, Japan: 58%, China: 35% sales
	US	2030	BEV 40% sales
Suzuki	Japan, Europe and India	2030	BEV Europe: 80%, Japan: 20%, India: 15% sales
Yamaha	global	2035	BEV 20% sales
		2050	BEV 90% sales
Isuzu	global	2050	Zero greenhouse gas emissions for all LCA for Group products
Subaru	global	2030	Electric vehicles 40% sales
Mazda	global	2030	BEV 25-40% sales (100% electric vehicles)
Mitsubishi Motors Corp.	global	2030	Electric vehicles 50% sales
		2035	Electric vehicles 100% sales

あるお客様にとっては、ゼロエミッション車が最良の選択となり、今後日本の自動車メーカーは何百万台ものゼロエミッション車を製造することになるでしょう。

また私たちは、その他のお客様に対しても、過去の教訓を生かし、できるだけ早く、できるだけ多くのCO2排出量を削減するための最善の方法を提供します。

すべてのお客様がそれぞれ環境に貢献できるツールを提供することは、「誰一人取り残さない」という想いの実現に加え、結果として最も効果的なCO2排出削減につながるのです。





戦争と気候変動、これらは人類の文明にとって最大の脅威と言えるでしょう。



過去の教訓から学ぶことで、資源の制約があったとしても、私たちは大変明るい将来を実現できると信じています。

この日本流の考え方が、世界のより多くの方々に理解頂けるよう、皆様と一緒に取り組んでいければと思います。ありがとうございました。