

ブロックチェーンと生成AIにおける 電力消費の現状

～利用1件あたりのワット数から考察する～

株式会社日本総合研究所
先端技術ラボ
2024年12月9日

はじめに・目次

はじめに

- 全世界の電力消費量は増加傾向であり、その一因として、暗号資産の運用(のインフラであるパブリックブロックチェーン)や生成AIの利用拡大が指摘されている。
- 電力消費量の削減の初手は、現在の消費量を把握することである。しかし、ユーザ企業の観点では、ITサービスの利用に伴う消費電力量を把握しにくい問題がある。ブロックチェーンや生成AIは基本的にクラウド型サービスであるため、自拠点外での電力消費量を把握しにくい。この点は、Scope3排出量の算出精緻化にあたっての障壁となる。
- 本レポートは、**ブロックチェーンやAIモデルの電力消費量について、システム全体と共に、利用1件あたりの量を試算した。**さらに、**規模感を把握しやすくするために、従来型サービスとの比較**を行った。併せて、**電力消費に関する動向や解決の方向性について、最近の事例**を示した。
- [注記] 本レポートでは、ブロックチェーンやAIといった各要素技術の技術詳細には深入りしていない。また、ブロックチェーンはパブリック型ブロックチェーン(暗号資産を伴う方式)を指す。

目次

1. 現状認識	電力消費の実態 / カーボンニュートラルに対する全世界的な取り組みの継続
2. 総論	ブロックチェーンと生成AIの電力消費量： 要因分析 / ブロックチェーンとAIモデルの比較 / 相対比較
3. ブロックチェーン	電力消費量の推移 / 金融商品の環境配慮の状況
4. AI	AIモデルの電力消費量の推移 / 欧米での法規制 / 電力消費量の抑制策

Key Takeaways

- ブロックチェーンや生成AIモデルの電力消費量を考えるにあたり、システム全体の消費量と、処理1件あたりの消費量を、それぞれ把握することが有効。ユーザ企業は、1件あたり電力消費量が省エネ企画の基礎データになるため。
- Proof-of-Work(PoW)型ブロックチェーンの電力消費量は莫大。
ビットコインの場合、2023年の推計値は、約1,200億kWh/年(世界全体の約0.5%)。取引1件あたり約1,000kWh/件(VISA決済の100万倍に相当)。
電力消費量を抑制するため、イーサリアムはProof-of-Stake(PoS)型に移行した結果、消費量が数千分の1に減少した。しかし、ブロックの複製保管のための電力消費量(約1000万kWh/年)は不変であり、冗長度が極めて高い構成。
- 米国で販売中のビットコインETFの目論見書には、購入自体に対する具体的な環境影響は示されていない。
一方、環境に配慮したビットコインETFの開発も進んでいる。
- AIモデルの電力消費は、開発時と利用時(推論時)に区分される。
開発時の電力消費量は、米国やEUでは事実上の上限規制があり、上限内で開発・提供を行う動きがみられる。
利用時の電力消費量は、1件あたり数Wh/件。これは従来のGoogle検索の約10倍であり、社会的に許容範囲といえる。
但し、今後の普及次第では、消費量がケタ違いに増える恐れがあり、従来型との使い分けが必要になる可能性がある。

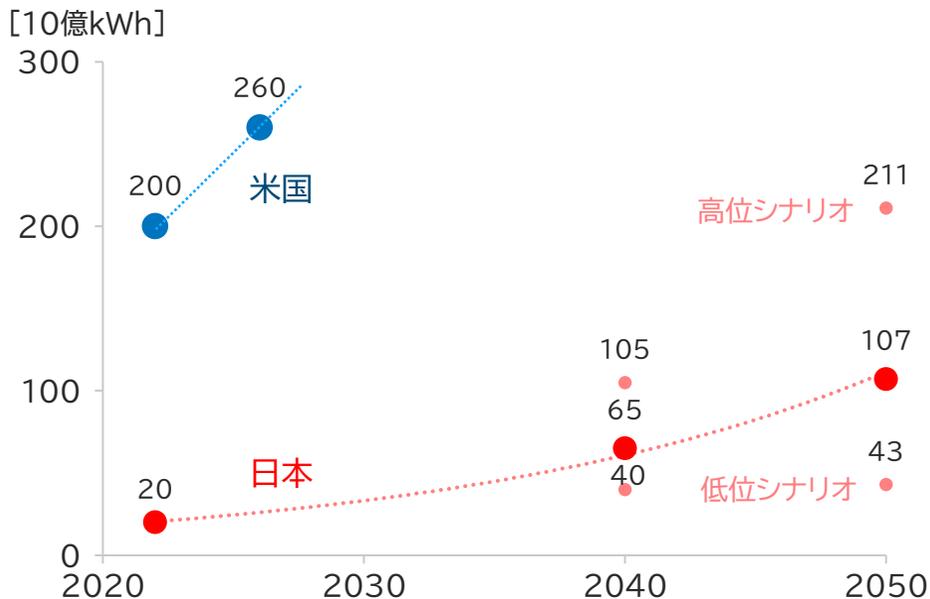
1. 現状認識

1.1 電力消費の実態

- 世界の電力需要は増加傾向。ICT分野では、生成AIの利活用拡大や、ビットコインに代表される暗号資産などによる影響が大きいと指摘されている。
- クラウドサービスの利用が主流となり、**自組織のICT端末以外の電力消費量については直接把握することが難しい。**

データセンターの電力消費量

- 日本は、米国の約10分の1
- 電力需要の長期予測は難しい。電力事業者の目線では、**高位シナリオ(ワーストシナリオ)を念頭に電力供給(発電所整備)を計画**



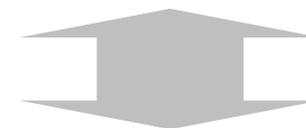
データ出所) IEC(国際電気標準会議)、電力中央研究所

日本の状況

- データセンター立地論は国内・国外の両論あり
- 電力需給面では、**需要の大幅増を短時間には解決できないため、中長期での方針策定が必要**

日本国内でAIモデルやクラウドサービスを動かすべき

- 情報保全や経済安全保障の観点で、**情報処理や通信を国内で完結させるニーズ**
- デジタル赤字(サービス利用料の国外支払超過)是正**



AIモデルを日本国外に置かざるをえない

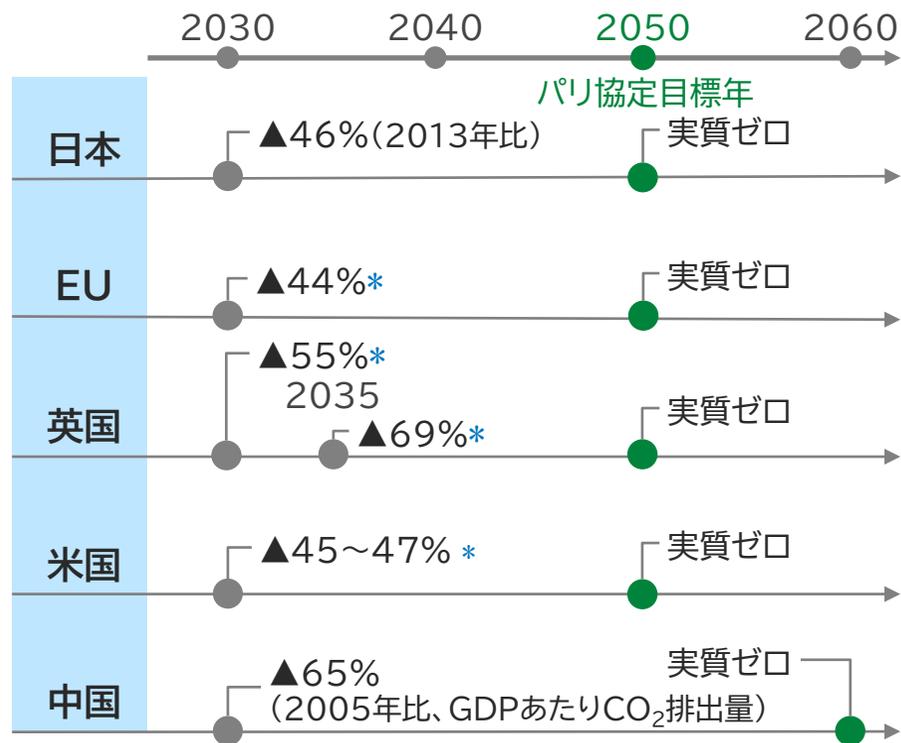
- 電力需要増を国内で供給しきれない(発電所不足)
- 電力需要増に伴う電気料金の上昇

1. 現状認識

1.2 カーボンニュートラルに対する全世界的な取り組みの継続

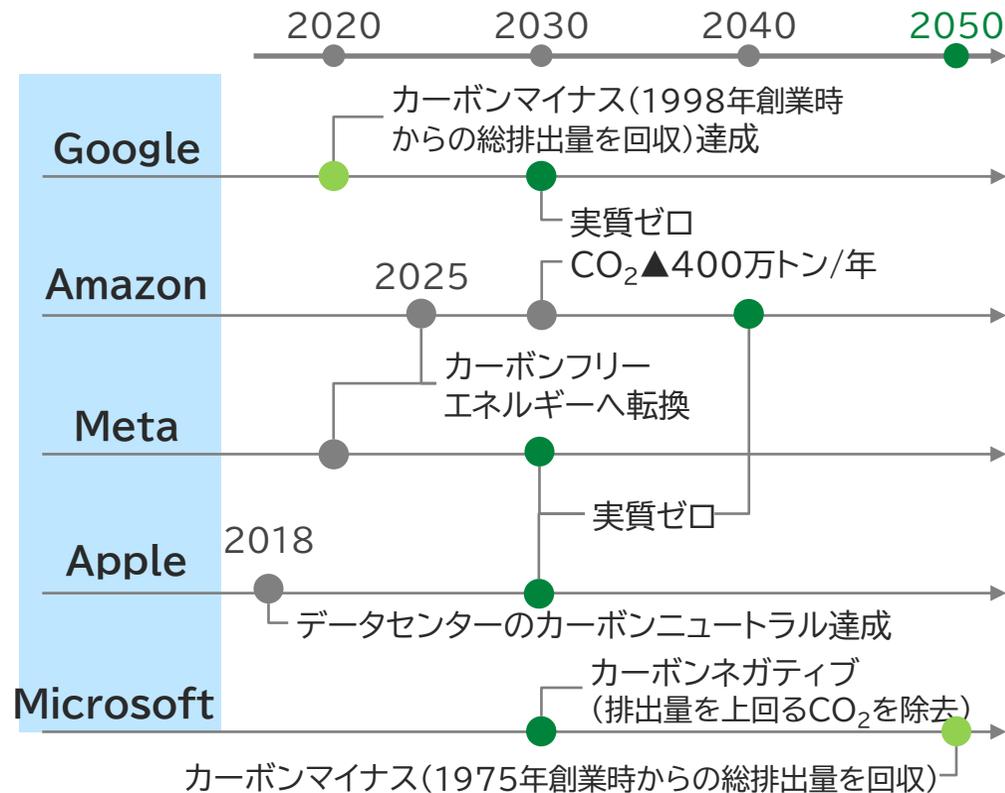
- パリ協定(2016年発効)で示した温暖化を2℃に抑える目標に向け、各国は取り組み中
- 次期目標(2035年目標)を2025年までに策定することが、COP28(気候変動枠組条約締結国会議. 2023年)で決定
- Googleは、「2030年までに温室効果ガス排出実質ゼロ」という同社目標の達成が、AIの急速な需要増のため「**重大な不確実性**」に直面している(環境報告書2024)と表明。当初目標の達成が困難に。

各国の温室効果ガス排出削減目標



* 2013年比の換算値。国によって基準年が異なることから、日本の目標値に換算した。

グローバルデジタル企業の取り組み



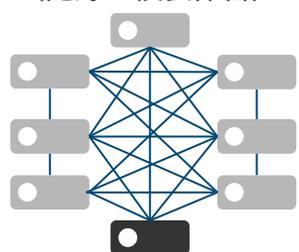
2. 総論

2.1 ブロックチェーンと生成AIの電力消費量と主要因

- ブロックチェーンの運用、生成AIの開発・運用に伴う電力消費量について、各プロセスの規模感(ケタ)を概観
- [ブロックチェーン] PoWによるブロック作成だけでなく、ブロックの複製保管時にも大量の電力を消費
- [生成AI] モデル開発、日々の利用(推論)。特に、推論回数に比例して、開発時以上の電力を消費

ブロックチェーン(PoW型)

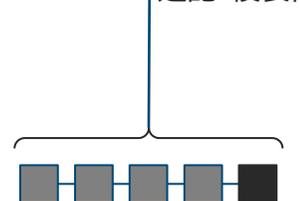
ブロックチェーン・ネットワーク
(記録の複製保管)



ブロックの複製保管に伴う
ノードの電力消費
 10^{10} Wh/年 = 1000万kWh/年

ノード数が数千~1万数千。
冗長度が極めて高い

ブロックチェーンへの
追記・複製保管



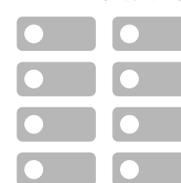
ブロック作成(PoW)の電力消費
 10^6 Wh/件 = 1000kWh/件
→ 10^{14} Wh/年 = 1000億kWh/年

従来型(VISA決済)の100万倍。
サービスに100万倍の差はない

<比較> VISA 1 Wh/件

生成AI

AIモデル開発環境



AIモデルの学習に伴う電力消費
 $10^8 \sim 10^9$ Wh/モデル
= 10~100万kWh/モデル

多種・高頻度で行われる場合は
影響大。一般に推論時の方が多

完成した
AIモデル
の提供

AIモデル

生成AIの推論による電力消費
1~10 Wh/件
→ 10^{11} Wh/年(1日1億件で概算)
= 1億kWh/年

プロンプト



従来型(Google検索)の10倍。
情報量・質も上回るため受容できる

<比較> Google検索 0.3 Wh/件

2. 総論

2.2 PoW型ブロックチェーンとAIモデルの比較

- パブリック型ブロックチェーンとAIモデルは、どちらも大量の電力を消費するが、その由来や社会需要は異なる。
- PoW型ブロックチェーン(Bitcoin)は、そのサービスから得られる便益と比べて電力消費量が過大。
- AIモデルは、電力消費の増分に見合った価値(情報処理)が得られていると考えられる。

ブロックチェーンとAIモデルの比較

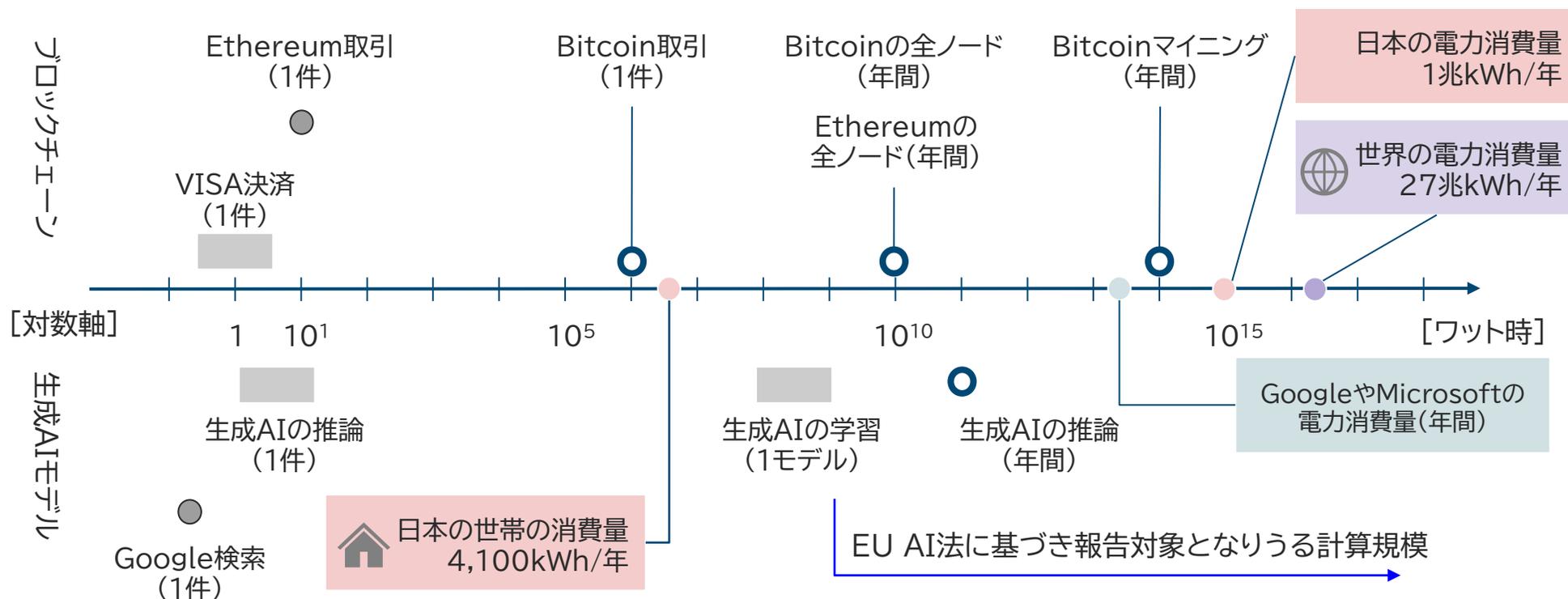
		PoW型ブロックチェーン	AIモデル
システム	システム構築	多数(1万台規模)のノードに複製保管 1000万kWh/年	モデル学習時に、GPU(Nvidia製など)を用いて処理 10~100万kWh/年
	システム運用	ブロック作成(専用機器を用いた計算競争)に莫大な計算資源を消費 1000kWh/件	利用の都度、従来のWeb検索エンジンの利用の10倍程度 1~10Wh/件
ユーザ	利用方法	従来の決済サービスとUI面は同じ	従来のWebアプリとUI面はほぼ同じ
	端末の消費電力	従来と大差なし(サーバ側で処理するため)	従来と大差なし(サーバ側で処理するため)
特徴	特徴	<ul style="list-style-type: none"> システム構築(ネットワーク・ノード)、運用(記録時のPoW)ともに、電力消費量が極めて多い 	<ul style="list-style-type: none"> モデル学習時の電力消費量が多い(ブロックチェーンのノードほどではない) 利用回数が莫大(1日数億件)なので、学習時よりも利用時の方が電力量が多い
需要	ユーザ数	まだ少ない	多い。普及に伴い、Web利用者の大多数が使う可能性
	代替サービス	有(既存の決済サービスなど)	無(これまで実現できなかった価値を提供)

2. 総論

2.3 ブロックチェーンと生成AIの電力消費量

- ブロックチェーンと生成AIモデルのそれぞれについて、システム全体と処理1件あたりの電力量の規模(ケタ)を把握するため、電力消費量に対数グラフにプロットした(1目盛右に移ると10倍になる)。
- GPT-4といった生成AIモデル1つあたりの電力消費量は、ブロックチェーンの100~1000分の1。
ただし、AIモデルの数・規模の増加、利用回数の増加によって、電力消費量が桁違いに増える可能性あり。

ブロックチェーンとAIモデルの比較



2. 総論

【資料】電力消費量 | 国全体/主要IT企業/ブロックチェーン

- 世界・日本全体、および主要なIT企業・ブロックチェーン・決済サービスの電力消費量を整理
 - 商用データセンターの電力消費量は、世界全体の約2%を占め、日本全体の約半分の量に相当
 - ビットコインの電力消費量は、GAFAMといった大手IT企業1社の電力消費量の4~5倍

電力消費量 [10 億 kWh/年]	2020	2021	2022	2023
世界全体	24,931.1	26,453.	27,080.	27,682.
日本全体	971.0	1,000.9	963.9	
データセンター全体			460.	
Google	15.1	18.2	21.7	25.3
Microsoft	10.7	13.6	18.1	23.5
Meta (旧 Facebook)	6.96	9.11	11.1	14.9
Bitcoin		89.	95.53	121.1
Ethereum		59.215	17.58	0.005 85
VISA	0.196	0.179	0.207	0.233
Mastercard		0.102	0.103	0.107

出所) 各社公開資料, IEA, ケンブリッジ大学オルタナティブ金融センター(CCAF)をもとに日本総研作成

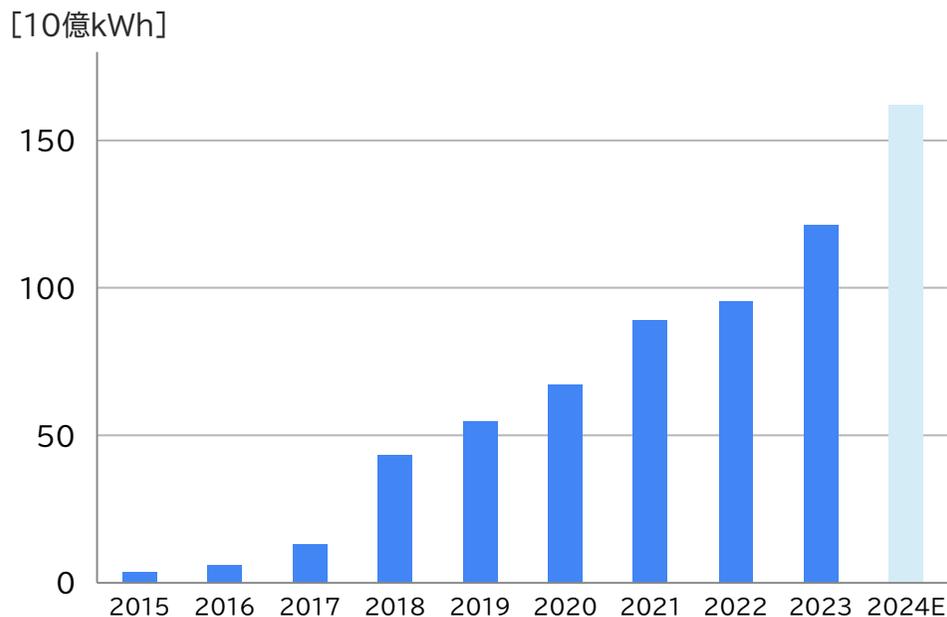
3. ブロックチェーン

3.1 電力消費量の推移

- パブリック型ブロックチェーンのうち、計算競争(マイニング、PoW)を行うビットコインは、莫大な電力を消費している。
- PoWの特性上、消費量自体を減らす抜本的解決策は無い。イーサリアムはPoWを廃止(2022年9月)後、消費電力量が数千分の1に減少。現在は、消費電力のほぼ全てを、台帳を保管するノード(約5,000ノード)が占める。

Bitcoinの年間電力消費量

- 年間1200億kWh(2023年)

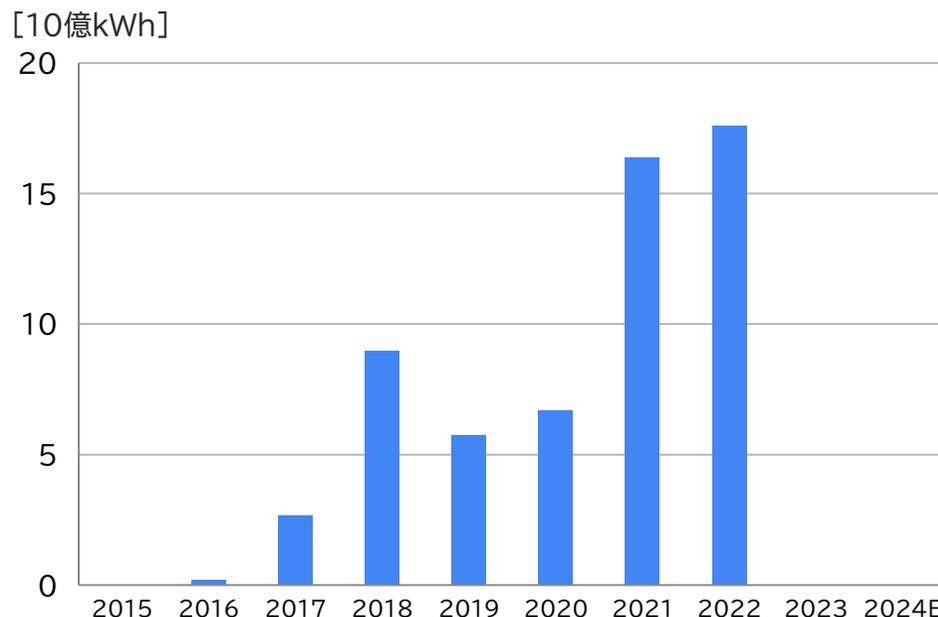


2024年は、1~8月のデータに基づく推計値

データ出所) [Cambridge Blockchain Network Sustainability Index: CBECI \(ccaf.io\)](https://www.ccf.io/cbnsi/)

Ethereumの年間電力消費量

- 年間600万kWh(2023年)
- 2022年9月にPoSに移行し、電力消費量が激減



データ出所) [Cambridge Blockchain Network Sustainability Index: Ethereum \(ccaf.io\)](https://www.ccf.io/cbnsi/)

3. ブロックチェーン

【資料】ブロックチェーンの電力消費量

- トランザクション1件あたりの電力消費量は、Bitcoin、Ethereumともに、年ごとに同傾向であり、ほぼ安定
- Ethereumは、コンセンサスアルゴリズムをPoS(Proof-of-Stake)に切替後、電力消費量は大幅に減り、1件あたりの電力消費量はVISAの10～15倍になった。これは、社会的に許容範囲内であるといえる。

		(c)	(d)	(d)/(c)
		トランザクション数	電力消費量	1件あたり電力消費量
		[百万件/年]	[百万 kWh/年]	[kWh/件]
Bitcoin	2021	97.796	89,000.	910.1
	2022	93.562	95,530.	1021.0
	2023	152.498	121,130.	794.3
Ethereum	2021	461.787	16,400.	35.5
	2022	292.314	17,580.	60.1
Ethereum PoS	2022	116.227	2.33	0.020 05
	2023	383.100	5.85	0.015 27
VISA	2021	164,700.	179.4	0.001 09
	2022	193,000.	207.5	0.001 08
	2023	213,000.	233.6	0.001 10
Mastercard	2021	112,100.	102.7	0.000 92
	2022	125,700.	103.0	0.000 82
	2023	143,200.	107.0	0.000 75

比較のため、VISAおよびMastercardのデータも併せて示した。

出所) Blockchain.com, Etherscan, ケンブリッジ大学オルタナティブ金融センター(CCAF), VISA, Mastercardをもとに日本総研作成

3. ブロックチェーン

3.2 暗号資産金融商品の環境への配慮 | ビットコインETFの目論見書の事例

- 米国で承認された**ビットコインETFの目論見書**には、ETFの購入自体に対する**具体的な環境影響**は示されていない。商品設計にあたり、環境について強く配慮しているとはいえない。
- 他方、環境への配慮を組み込んだETFの開発も進んでいる。(本執筆時点では未販売)

Hashdex Bitcoin ETF (DEFI)の目論見書(抜粋)

採掘による環境リスク

- BTC採掘が気候変動に及ぼす影響が広く知られることで、BTCの需要減や採掘量規制が起こる可能性が高まり、その結果、採掘が大幅に減り、Bitcoinネットワークのセキュリティが下がり、価値の保存・交換手段としてのBTCの存続可能性が損なわれる可能性がある。
- 電気代の高騰に伴い、BTC採掘者が、PoSといった他のコンセンサス・アルゴリズムを用いた他のブロックチェーンに移行する可能性がある。
- 政府・行政が、BTC採掘停止を命じる可能性がある。先例として、2022年11月にニューヨーク州は、州内の化石燃料工場での新たなPoWに対する許可を2年間停止した。2021年5月にはイランが、停電回避のためにBTC採掘を一時禁止した。
- 規制強化や規制対応のための追加コストが、BTC採掘の参入障壁を上げ、ハッシュレートが高まり、BTC価格に負の影響を与える可能性がある。

環境配慮を組み込んだビットコインETFの開発

7RCC Spot Bitcoin and Carbon Credit Futures ETF (開発元: 仮想通貨企業7RCC)

- 資産ポートフォリオ:
80% BTC
20% カーボンのクレジット先物契約関連の金融商品
→ カーボンのクレジットを組み込むことで、Bitcoinの環境負荷を一部相殺する狙い
- 想定購入者:
ESG(環境・社会・ガバナンス)基準を重視する機関投資家
- 米国証券取引委員会(SEC)承認待ちの段階
(2024年11月25日時点)

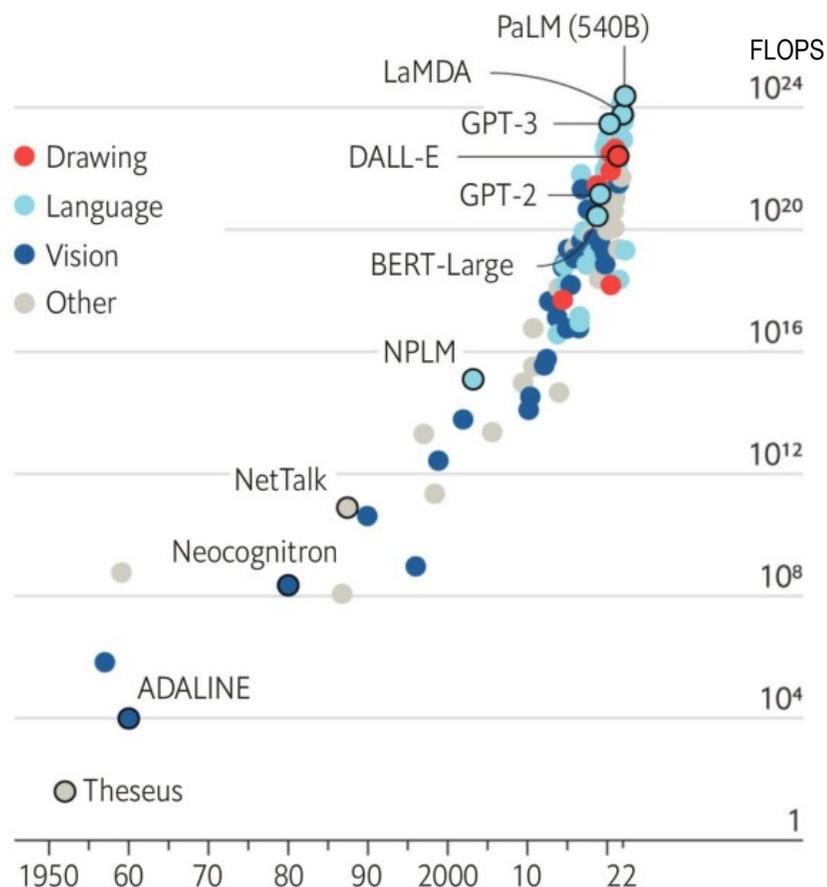
仮想通貨投資と環境配慮のバランスを取ろうとする動きの一例といえる

4. 生成AI

4.1 電力消費量の推移

- 2010年代の大規模言語モデル(LLM)の登場に伴い、AIモデルの学習における計算量が急増。
AIモデルの性能はパラメータ数に比例し、学習・推論の計算量はパラメータ数に比例する傾向をもつため。
- AIモデルの大規模化の速度が、半導体の集積化の速度を大幅に上回っているため、電力消費量が増加し続けている。

AIモデルの学習に要した計算量



主なAIモデルの学習に要した電力計算量

AIモデル	発表年	パラメータ数	電力量[万kWh]
GPT-3	2020	1,750億	128.7
GPT-4	23	18,000億	720.0
Llama 2	23	700億	40.0
Llama 3	24	800億	448.0
Gopher	21	2,800億	106.6
BLOOM	22	1,760億	43.3
Granite	23	130億	15.3

GPT-4のデータは推計値。

データ出所) Stanford Univ., 2024 AI Index Report など

4. 生成AI

4.2 欧米での法規制

- 米国・EUでは、 10^{25} FLOPS*1超のAIモデルに対し、法令で報告義務を課す動きがある。具体的には、モデルの評価や敵対的テストの実施、サイバーセキュリティの確保、重大インシデントやエネルギー効率の報告などである。
- 背景として、AIモデルが社会に与える影響が無視できなくなっていることが挙げられる。
- これらを契機に、学習時の消費電力量を抑えた小規模言語モデル(SLM)の開発につながっている。

米国「AIに関する大統領令」 (大統領令14110号(2023年10月30日))

連邦政府への報告義務

- 10^{26} FLOPS超の計算量*2で学習されたAIモデル
→「GPT-4の学習に用いられた計算量をわずかに上回る
こと」*3
- 1拠点のデータセンターに100Gbps超のネットワークで
接続された機器で構成され、AIのトレーニング用に
 10^{20} 回/秒(理論最大値)超の演算能力をもつコンピュー
タクラスター
→現時点で世界最速のスーパーコンピュータ「Frontier」
(1.2×10^{18} FLOPS)100台分の計算処理性能と概算

欧州(EU)「AI法」 (2024年5月21日成立、8月1日発効)

報告対象

- 10^{25} FLOPS超の計算量で学習されたAIモデル
→約100万kWh(日本の標準世帯の年間消費電力量の数
百世帯分)の電力量と概算*4

*1 FLOPS: Floating-point Operations Per Second. 計算機が1秒間に処理できる浮動小数点演算の回数を表す単位。

*2 DNA配列データを用いてトレーニングする場合は 10^{23} FLOPS超。

*3 米議会調査局報告書 [R47843 \(congress.gov\)](https://www.congress.gov/reports/118/1047111/1047111.pdf), page.6

*4 NVIDIA DGX B200HのTF32演算モード(処理性能 2.5×10^{15} FLOPS, 消費電力1kWh)を用いた場合で試算。

4. 生成AI

4.3 電力消費量の抑制策

- 生成AIの電力消費量を抑制するため、生成AIモデルの提供者側・ユーザ側の双方で対応が進みつつある。
 - [提供者側] 消費電力量の少ないAIモデル(小規模言語モデル: SLM、など)の開発が活発化
 - [ユーザ側] 提供者側が開示するグリーン関連情報に基づく調達時評価、および用途の厳選化
- そもそも、システムやアルゴリズムの省電力化を目指すことは、IT製品・サービス全般で求められる。

ユーザ企業が取り組み可能な、生成AIの電力消費量を抑える方策

製品選定	軽量モデルを採用する	<ul style="list-style-type: none"> 消費電力量の少ないAIモデルを採用する。
	省エネ型の演算方法による製品を採用する	<ul style="list-style-type: none"> GPUによらない、生成AIに特化したチップの開発も進んでいる。これを用いたAIモデルも中期的には増える見通し。
	自組織での学習処理を減らす	<ul style="list-style-type: none"> AIモデルは既製品を利用し、自組織特有の情報をRAGなどで追加学習させる。追加学習が少なく済むAIモデルを評価・採用する。
製品活用	用途・利用頻度を慎重に判断する	<ul style="list-style-type: none"> 生成AIは多くの計算機リソースを要するため、生成物の費用対効果を勘案して生成AIの要否を検討する。
その他	提供者やデータセンターのエネルギー源を評価する	<ul style="list-style-type: none"> サービス提供者は、ユーザが自社のCFP(カーボンフットプリント)の数値を算出できるように、グリーン関連情報を開示する。 ユーザ企業は、提供者が開示する情報に基づいて、調達時評価を行う(現在実施しているグリーン調達と同様の考え方)

参考資料

- 金子雄介, [パブリックブロックチェーンの電力消費と環境負荷低減策の考察](#), 電子情報通信学会技術研究報告, 121 (408) 83-88 (2022)
- Yusuke Kaneko, [Electricity Consumption and Environmental Impact Reduction Measures in Public Blockchain](#), in Proc. 2022 IEEE International Symposium on Technology and Society (ISTAS) (2022), DOI: 10.1109/istas55053.2022.10227105
- 金子雄介, [ブロックチェーンと生成AIの利用1件あたりの電力消費量](#), 電子情報通信学会技術研究報告, 124 (295) 9-16 (2024)

お問い合わせ

- 本資料は、作成日時点で弊社が信頼できると考えた資料に基づき作成したのですが、情報の正確性・完全性・有用性・安全性等を保証するものではありません。
また、将来に関する内容は、経済情勢等の変化により本資料の内容と異なる可能性があります。
- 本件に関するお問い合わせは、以下までお願いいたします。

株式会社日本総合研究所 先端技術ラボ

101360-advanced_tech@ml.jri.co.jp

金子 雄介 シニアエキスパート

kaneko.yusuke@jri.co.jp

株式会社
日本総合研究所

東京本社
〒141-0022
東京都品川区東五反田2丁目18番1号
大崎フォレストビルディング