

【GX × DX × 金融】の融合による アンチ・フラジャイルなエネルギー基盤の構築

2023年5月24日公開

第9回 産業金融フォーラム

株式会社アジャイルエナジーX
代表取締役社長 立岩健二

技術士（原子力・放射線）

tateiwa.kenji@agileenergyx.co.jp

<https://agileenergyx.co.jp/>

© 2023 Agile Energy X, Inc.



- 略歴
- ブラックスワンとアンチ・フラジャイル
- 分散コンピューティングによる再エネ導入最大化と系統最適化
“MegaWatt To MegaHash”(MW2MH)プロジェクト
- アジャイルエナジーXの事業構想
- アンチ・フラジャイルなエネルギー基盤とバンカブルな原子力事業
- 参考

略歷



略歴 (1/2)

幼少期：ニューヨーク、ロサンゼルスに合計9年

'94年：京都大学工学部 原子核工学科卒業

'96年：京都大学大学院 エネルギー応用工学専攻修了

'96-'00年：東京電力入社 福島第二原子力発電所

'00-'02年：本社 原子力技術部

'02-'04年：スタンフォード大学MBA留学

'04-'05年：本社 原子力技術・品質安全部

'05-'11年：本社 国際部

'11年3-9月：福島原子力事故対応国際チーム

'11-'15年：ワシントンDC事務所

'15-'16年：福島第一廃炉推進カンパニー

'16-'19年：日本原子力発電（出向）

'19-'20年：東電ホールディングス 原子力設備管理部

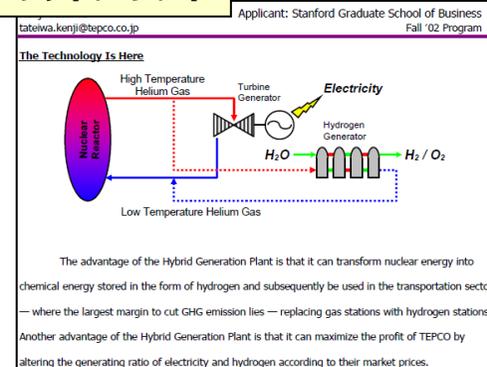
'20-'22年：東電パワーグリッド 経営企画室

'22年-：株式会社アジャイルエナジーX

次世代軽水炉
(ABWR-II)
の安全設計



黒船エンロン襲来がきっかけでMBAを目指す
→ 受験時の小論文テーマ：
原子力発電 x 水素製造ハイブリッドプラント



海外原子力事業をゼロから立ち上げ
→ 世界初の原子力プロファイ案件



略歴 (2/2)

幼少期：ニューヨーク、ロサンゼルスに合計9年

'94年：京都大学工学部 原子核工学科卒業

'96年：京都大学大学院 エネルギー応用工学専攻修了

'96-'00年：東京電力入社 福島第二原子力発電所

'00-'02年：本社 原子力技術部

'02-'04年：スタンフォード大学MBA留学

'04-'05年：本社 原子力技術・品質安全部

'05-'11年：本社 国際部

'11年3-9月：福島原子力事故対応国際チーム

'11-'15年：ワシントンDC事務所

'15-'16年：福島第一廃炉推進カンパニー

'16-'19年：日本原子力発電（出向）

'19-'20年：東電ホールディングス 原子力設備管理部

'20-'22年：東電パワーグリッド 経営企画室

'22年-：株式会社アジャイルエネルギーX



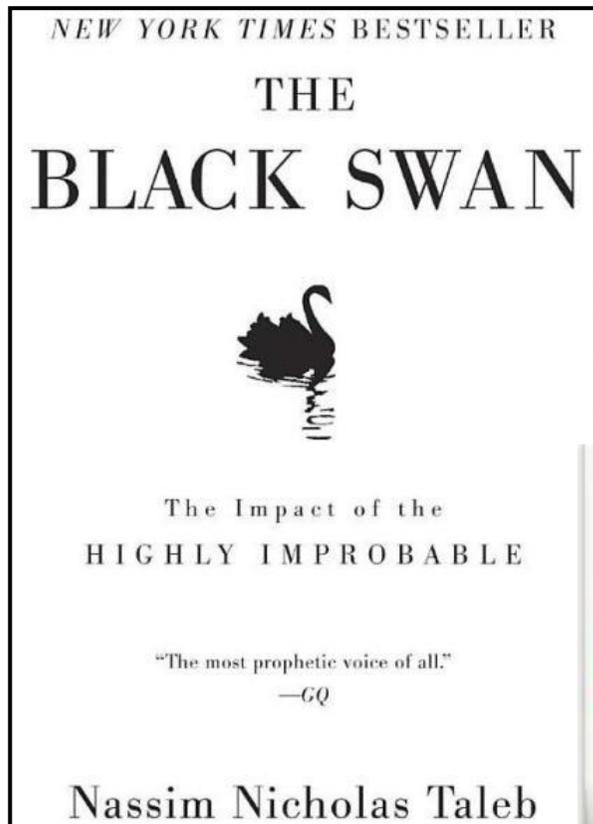
海外機関と連携して事故対応
→「アンチ・フラジャイル」に開眼
→ 福島の責任完遂のためにも、「稼ぎ」の創出が重要と痛感

『分散コンピューティングによる再エネ導入
最大化と系統最適化』事業を構想
→ 4年がかりで会社設立



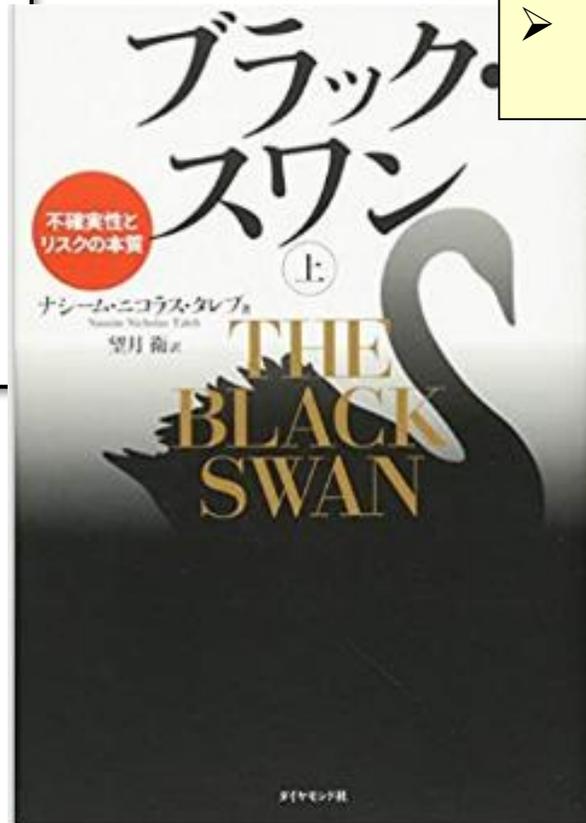
ブラックスワンと アンチ・フラジャイル





甚大な影響をもたらす、予測不能で突発的な事象のことで、次の3つの特徴を有する

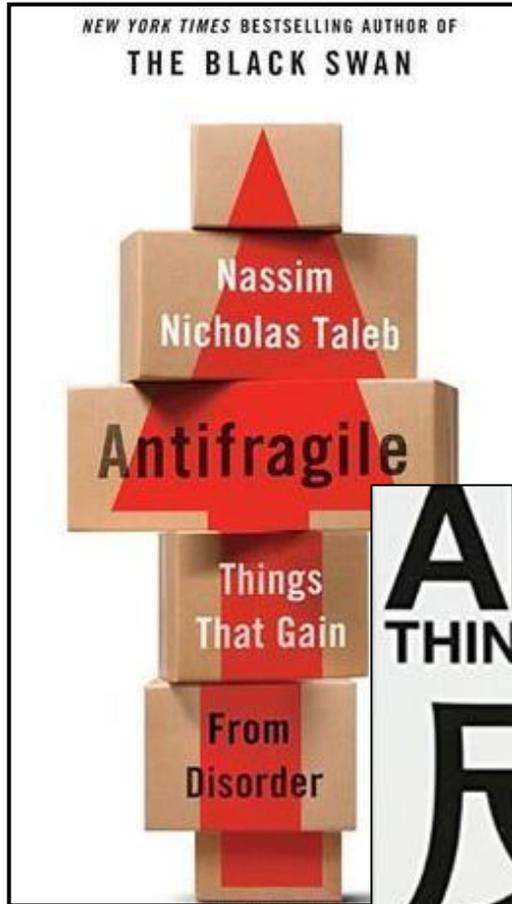
- 非常に稀にしか発生しない
- 極めて強い衝撃がある
- 後知恵から、事前に予測可能だったと勘違いしやすい



“...rarity, extreme impact, and retrospective (though not prospective) predictability.

(例)

- ✓ 9-11テロ
- ✓ リーマン・ショック



➤ フラジイル (脆弱)

: 衝撃で、壊れやすい

➤ レジリエント (強靱)

: 衝撃で、壊れにくい・回復する

➤ アンチ・フラジイル (反脆弱)

: 衝撃で、一層強くなる

"Some things **benefit from shocks**; they thrive and grow when exposed to volatility, randomness, disorder, and stressors and love adventure, risk, and **uncertainty**."

反脆弱 > 強靱 > 脆弱



1984年(初版) チャールズ・ペロー著

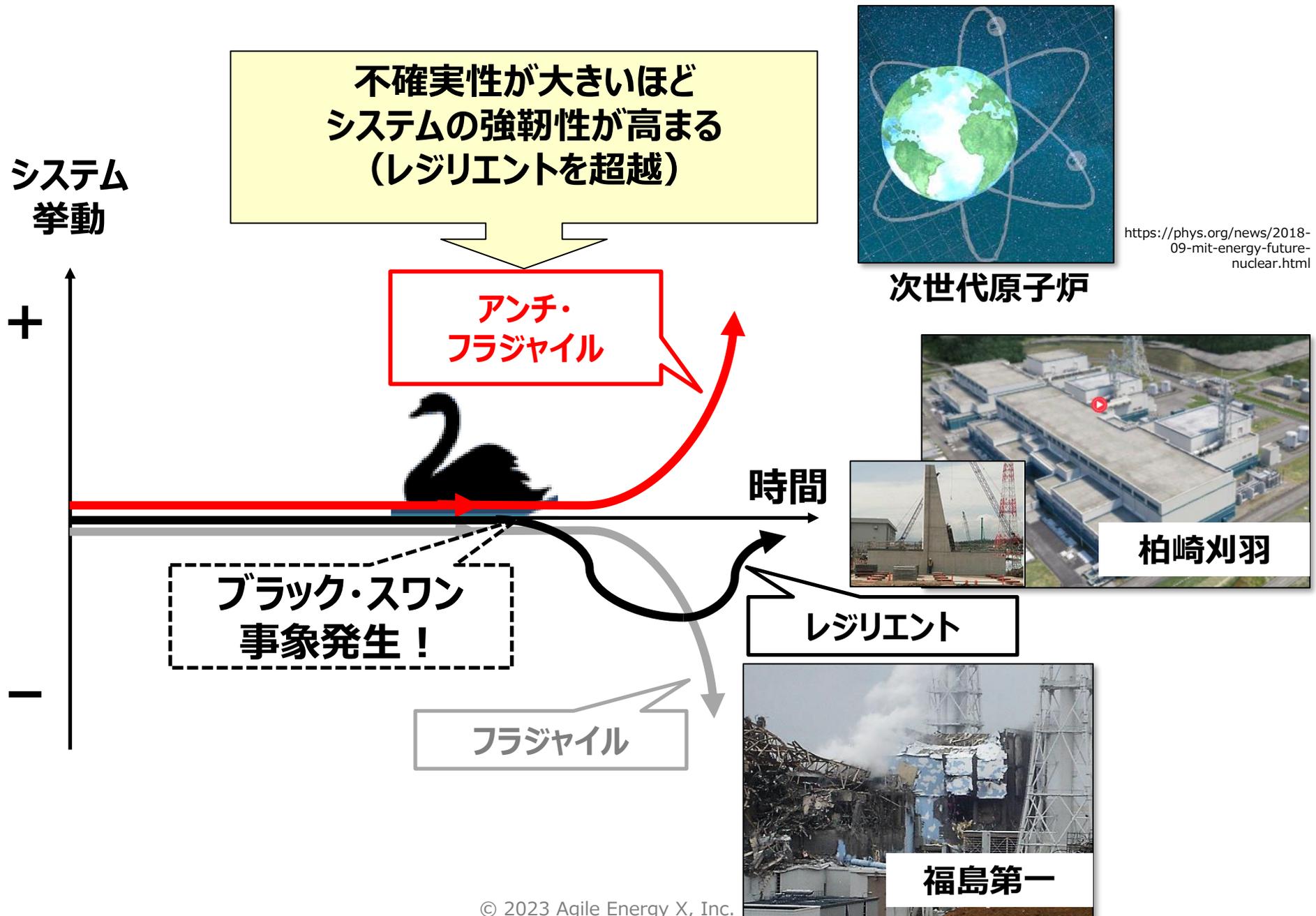
“Tightly-coupled
complex system”
複雑で強い相互作用を
有するシステム

⇒ ブラック・スワン事象に対して脆弱

(例)

- ✓ 化学プラント
(ボパール/1984年)
- ✓ スペースシャトル
(チャレンジャー号/1986年)
- ✓ 原子力発電所
(チェルノブイリ/1986年)

アンチ・フラジイルの概念



アンチ・フラジイルなシステムの例



【ヒドラ（ギリシャ神話）】
首を1つ切られると、2つ生える

【ハコベ（春の七草）】
踏みつけられると、種が運ばれ繁殖



【アルミ海水バッテリー】
水に浸かると、起電力を生じる



L3 Open Water Power has developed a novel aluminum-water platform for generating power and sensors. The founders at MIT, the electrochemical system is scalable.

【ヒト免疫系】
菌が侵入すると、抵抗力が向上



(出典)

<http://www.mythicalcreaturesguide.com/page/Hydra>

<https://ja.wikipedia.org/wiki/ハコベ>

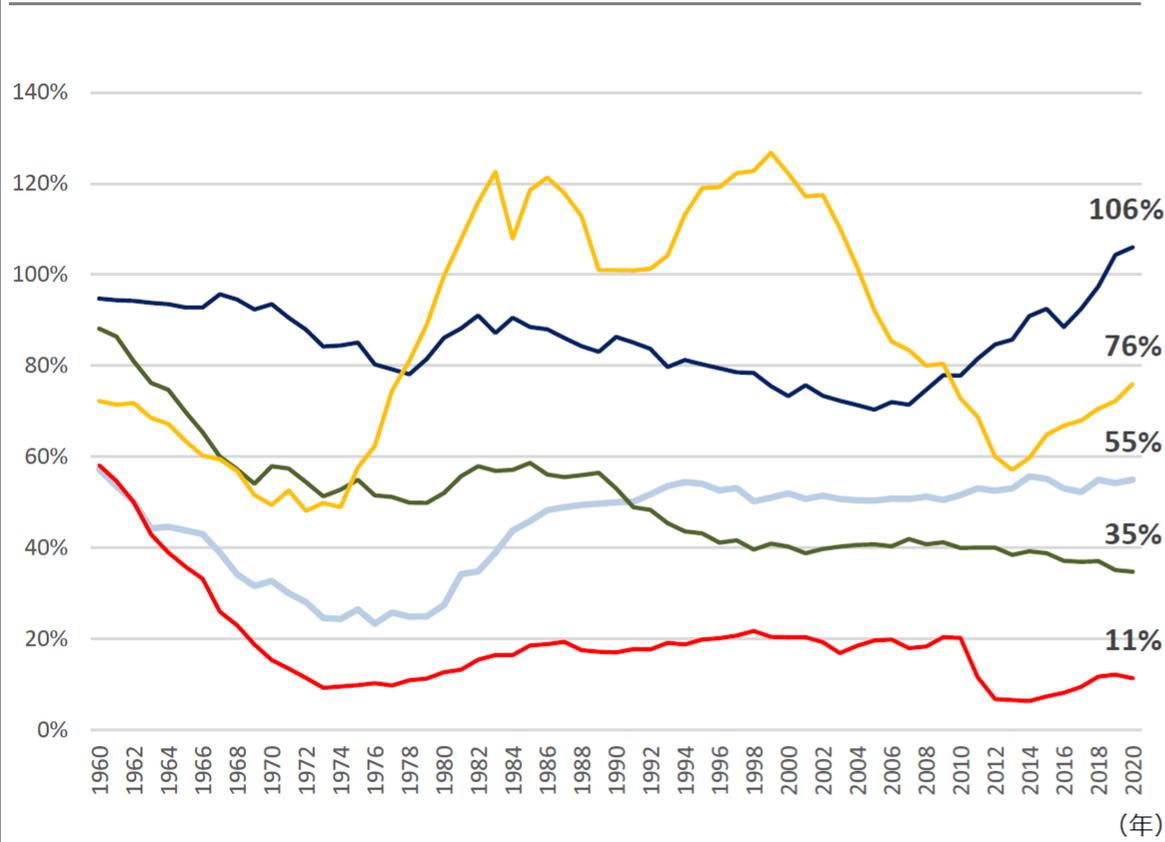
<http://www.openwaterpower.com/>

<https://www.sciencemag.org/custom-publishing/webinars/systems-biology-approach-unravelling-complexities-immune-system>

我が国のエネルギー基盤は・・・

日本の一次エネルギー自給率

各国のエネルギー自給率の推移



各国の特徴

アメリカ

- ✓ シェールガス、シェールオイル生産でほぼ全てのガス・石油需要を自給

イギリス

- ✓ 北海油田の石油や風力発電・原子力の拡大により高い自給率

フランス

- ✓ 電源構成に占める原子力発電の割合は高いものの、化石資源はほぼ輸入に依存

ドイツ

- ✓ 高い再エネ普及、石炭の国内生産、原子力発電の利用から一定の自給率
- ✓ 2022年末に最後の3基を停止予定（うち2基については、必要な場合には稼働できる状態を2023年4月中旬まで保つ）

日本

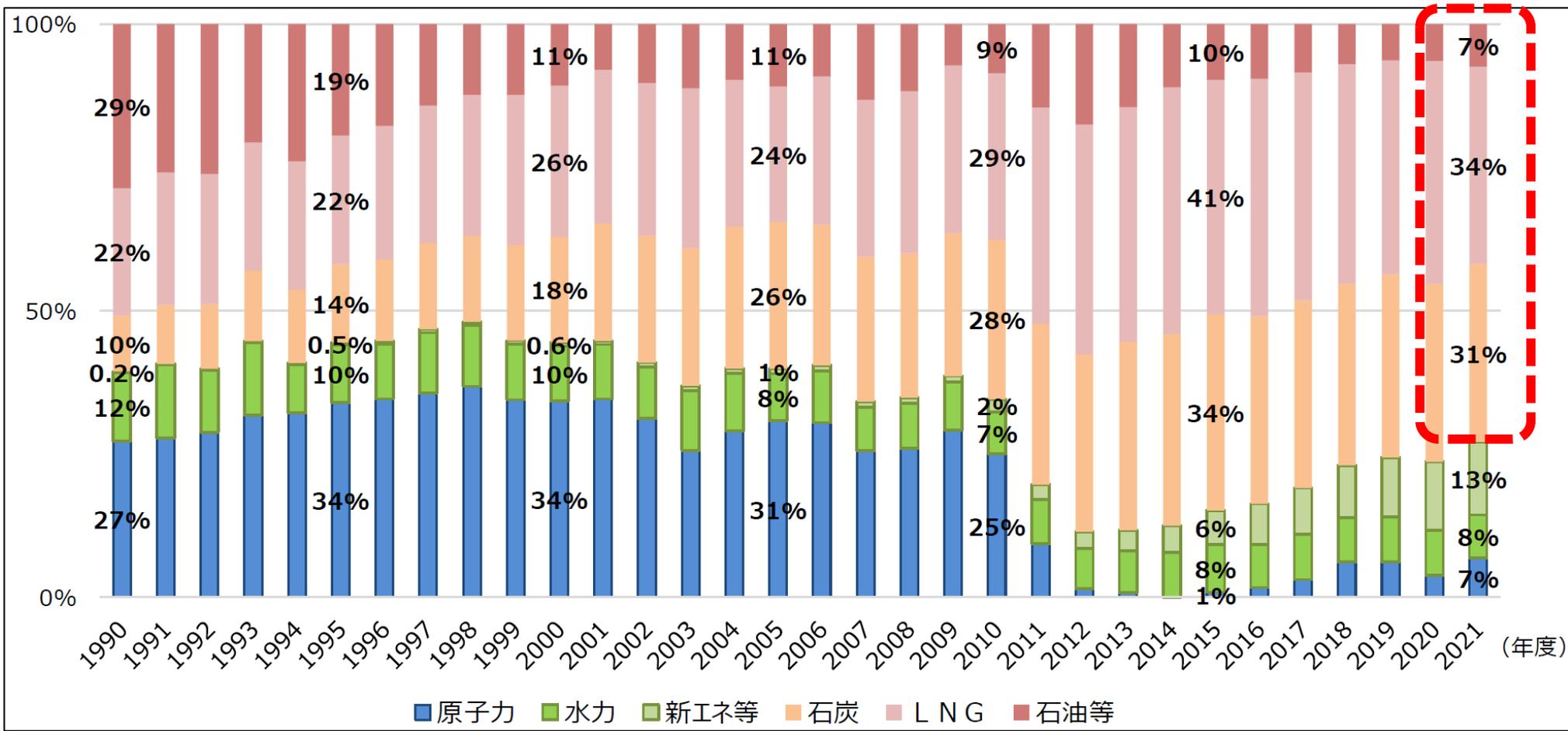
- ✓ 化石資源をほぼ全て海外に依存
- ✓ 再エネの利用は拡大も原子力発電の利用が進まず、極めて低い自給率

(出典) 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 (第52回会合) 「エネルギーの安定供給の確保」 2022.12.16

先進国の中でも際立って低い一次エネルギー自給率で、極めてフラジャイル



日本の電源構成

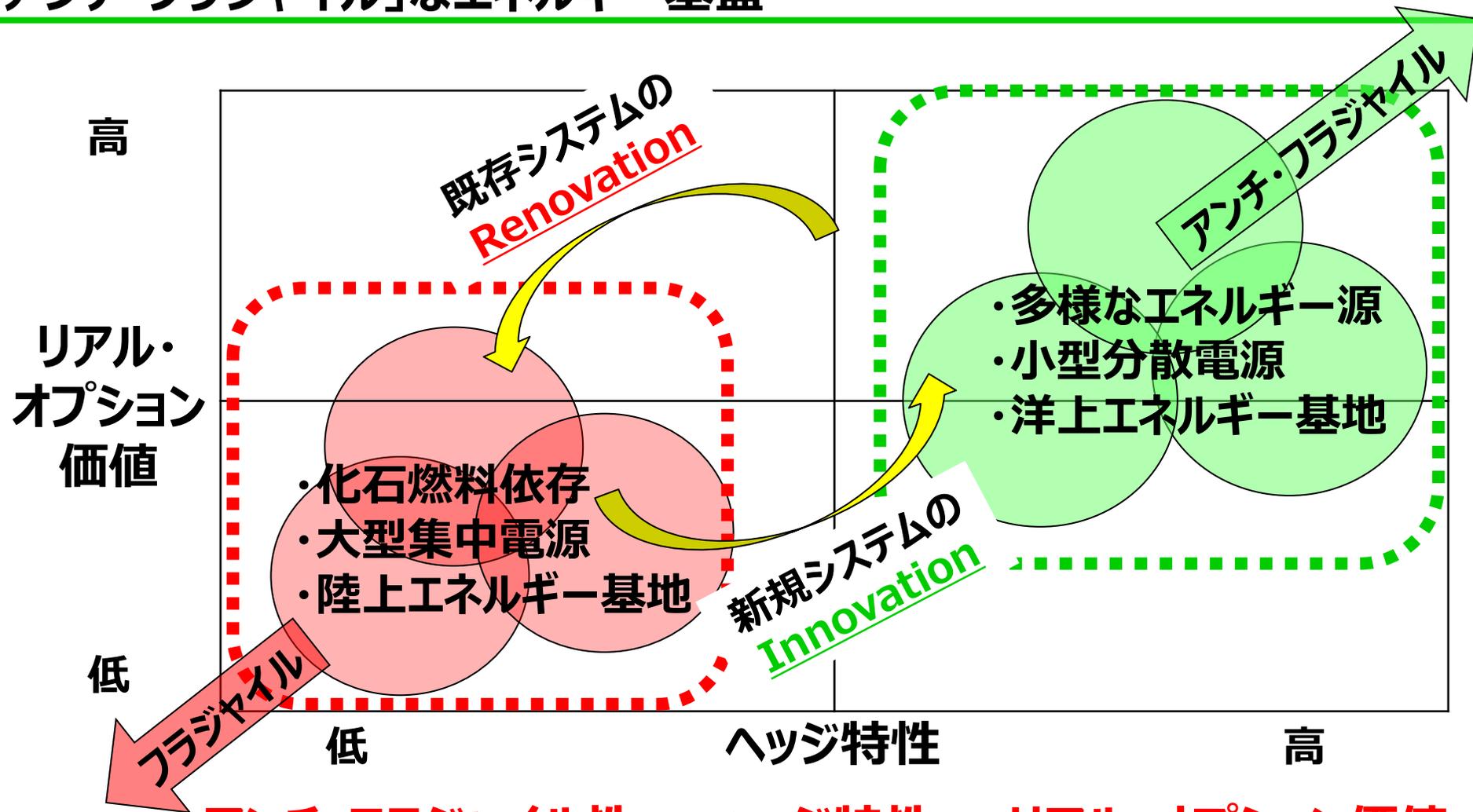


(出典) 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 (第52回会合) 「エネルギーの安定供給の確保」 2022.12.16

電源構成も、輸入化石燃料依存度が高く、極めてフラジャイル



「アンチ・フラジイル」なエネルギー基盤



アンチ・フラジイル性 = ヘッジ特性 × リアル・オプション価値

① **既存システムに対する、ヘッジ特性**

→ 不確実性に対する影響が、既存システムに対して逆相関・無相関

② **高いアップサイドが実現できる、リアル・オプション価値**

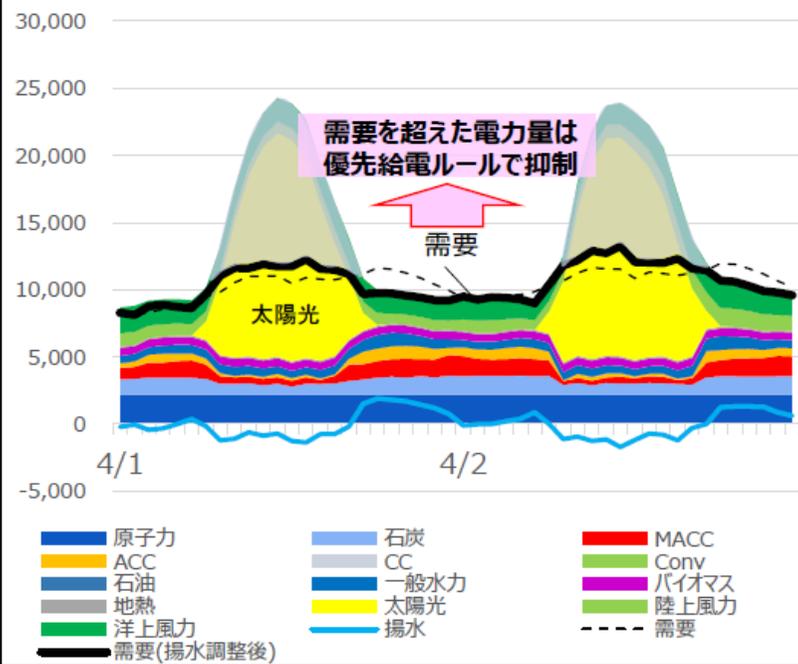
→ 変化に応じて、柔軟・段階的・タイムリーなオプション行使・延期判断が可能

分散コンピューティングによる
再エネ導入最大化と系統最適化
“MegaWatt To MegaHash”(MW2MH)プロジェクト

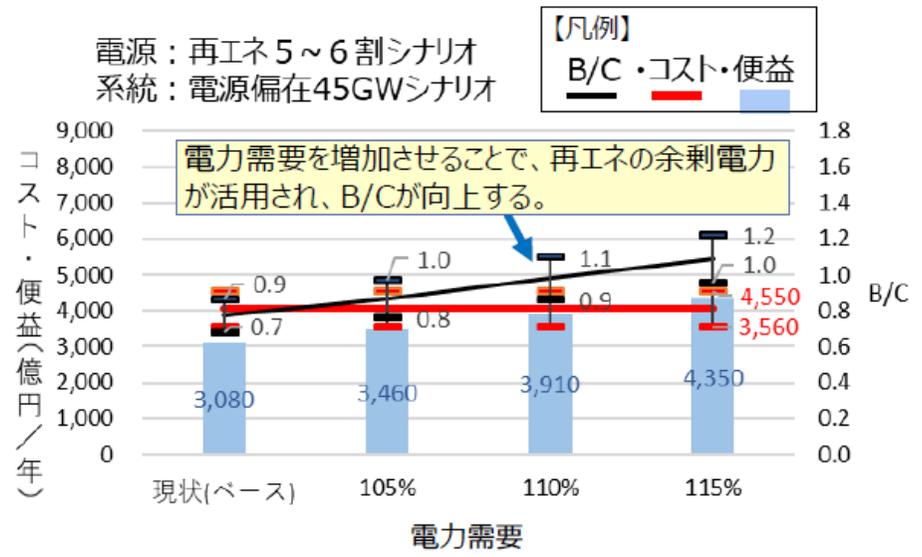
再エネ主力電源化に向けた系統面での課題①：需給バランスに伴う出力制御

- 2050年のカーボンニュートラルに向けたケーススタディとして、再エネ比率を高くするべく電源構成のみを変更した「再エネ5～6割シナリオ」では、**全国的に再エネ出力制御が発生（増強前42%⇒増強後39%）**しているため、**再エネの余剰電力を有効活用できるような需要側の対策が必要**と考えられる。
- また、電源偏在シナリオにおける電力需要をパラメータとした感度分析結果からも、**電力需要の増加によって再エネの余剰電力を有効活用され、B/Cが向上することが確認されたことから、水素転換や蓄電池を考慮したシナリオなどの検討も進めていくべき**と考える。

再エネ5～6割シナリオの4月全国需給[万kW]



電源偏在シナリオで増強後、再エネ5～6割導入されたケーススタディ
(電力需要をパラメータとした感度分析結果)



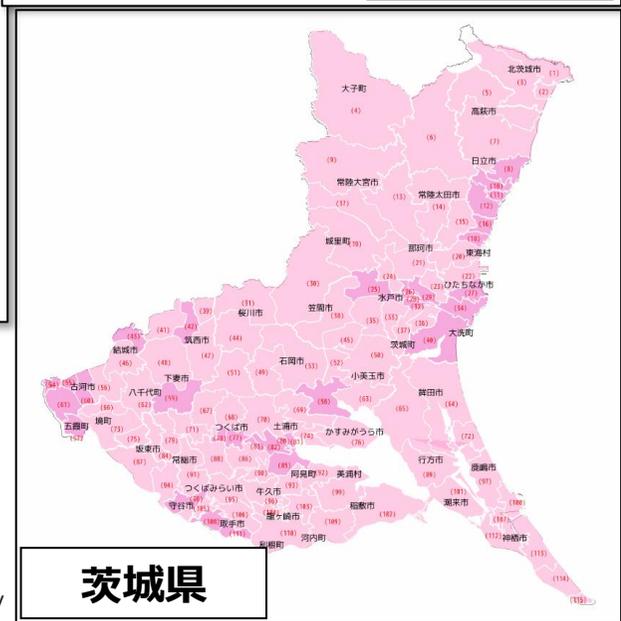
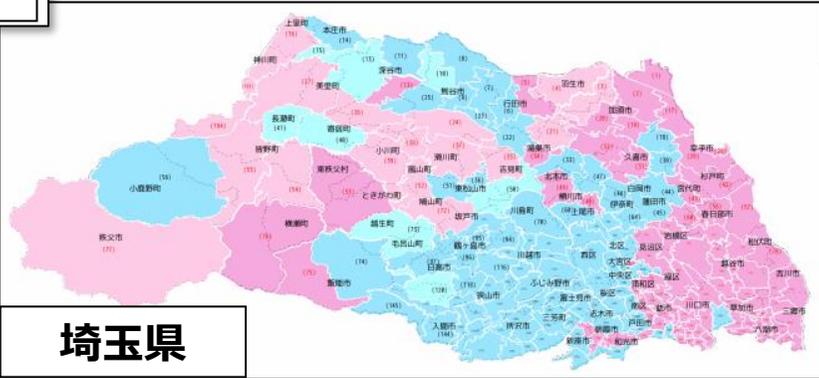
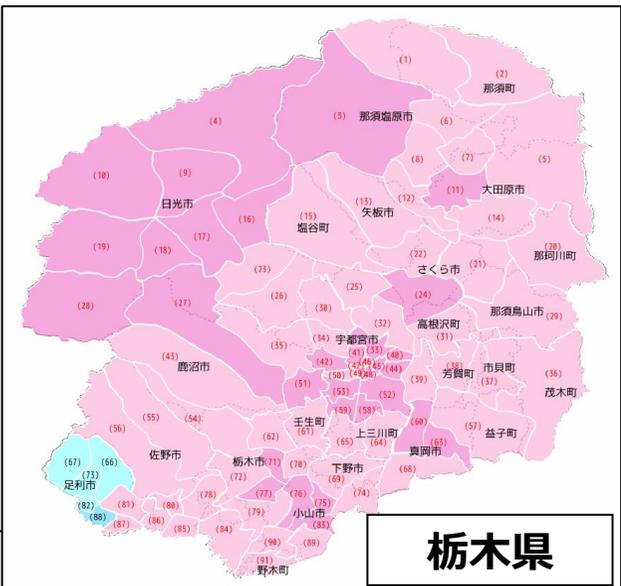
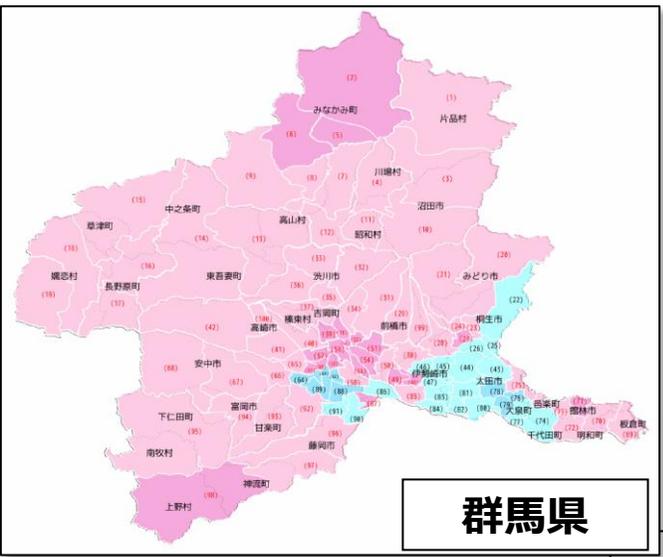
(出典) OCCTOマスタープラン中間とりまとめ 2021.5.20

北海道・東北・九州エリアで、出力制御（有効利用できない電気）が増大



再エネ主力電源化に向けた系統面での課題②：系統容量確保のための増強

系統連系空容量マッピング (配電用変電所エリア)



凡例	内容	連系までの見通し
	現在、特別高圧系統の空容量が不足し、連系のための対策が必要となる可能性が高いエリア、またはノンファーム適用エリア	上位系の対策が必要となる場合は早期連系は困難*
	現在、特別高圧系統の空容量が不足し、併せて、配電用変電所及びバンクの逆潮流等について連系のための対策が必要となる可能性が高いエリア、またはノンファーム適用エリア	上位系及び配電用変電所の逆潮流対策等が必要となる場合は早期連系は困難*
	現在、特別高圧系統の空容量があるエリア	上位系の対策なしで連系可能な見込み
	現在、特別高圧系統の空容量はあるが、配電用変電所及びバンクの逆潮流等について連系のための対策が必要となるエリア	逆潮流等の対策後連系可能

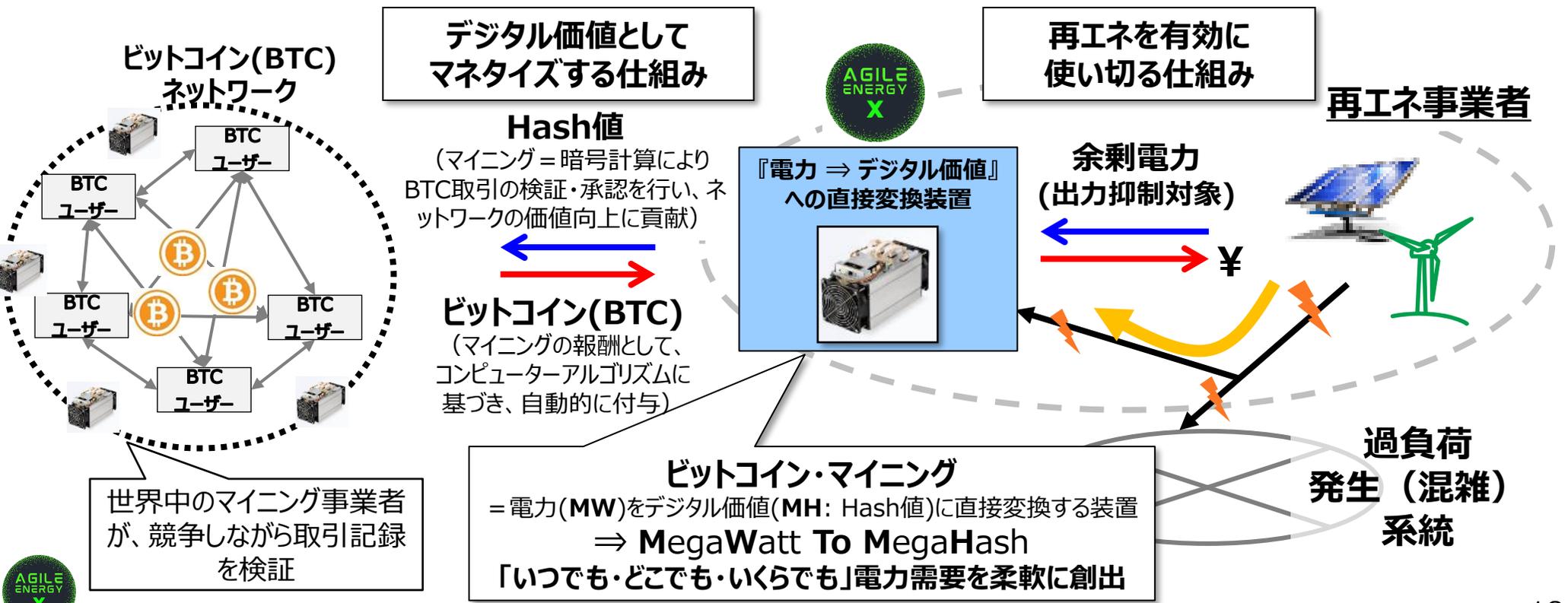
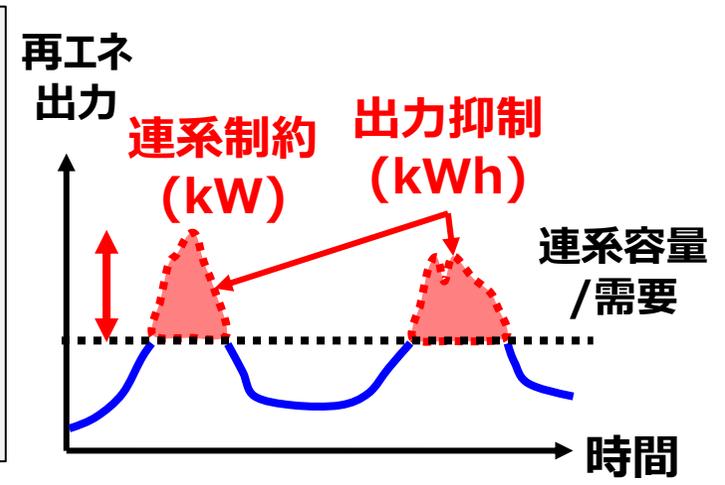
<https://www.tepco.co.jp/pg/consignment/system/>

電力システムの混雑により、再エネ接続量に制限が発生



分散コンピューティングを用いた柔軟な電力需要の創出

- 系統混雑・出力抑制に伴う未利用再エネを、柔軟に設置・運用可能な可搬型負荷設備（DER：分散エネルギーリソース）により有効活用
- マネタイズが容易かつ蓄電池等と異なる特性（需要を創出）を有するDERとして、分散コンピューティングに着目
- 分散コンピューティングの中でも、現存する技術で最も柔軟性に富む電力需要装置である、ビットコイン・マイニングが有望



MW2MHプロジェクト：概念実証（フェーズ1 PoC）

【期間】2021年8月～2022年3月

【場所】東京電力パワーグリッド 土浦支社 駐車場

【目的】コンテナ型モジュール単体の実証

【実施内容】

- 電源・通信回線・空調をパッケージ化したコンテナに、数十台のマイニング装置を配備し、約100kWの負荷としての動作特性・保守性等を確認

【電力品質測定結果】

- 高調波・フリッカ等の影響は少なく、負荷設備として扱うことが可能



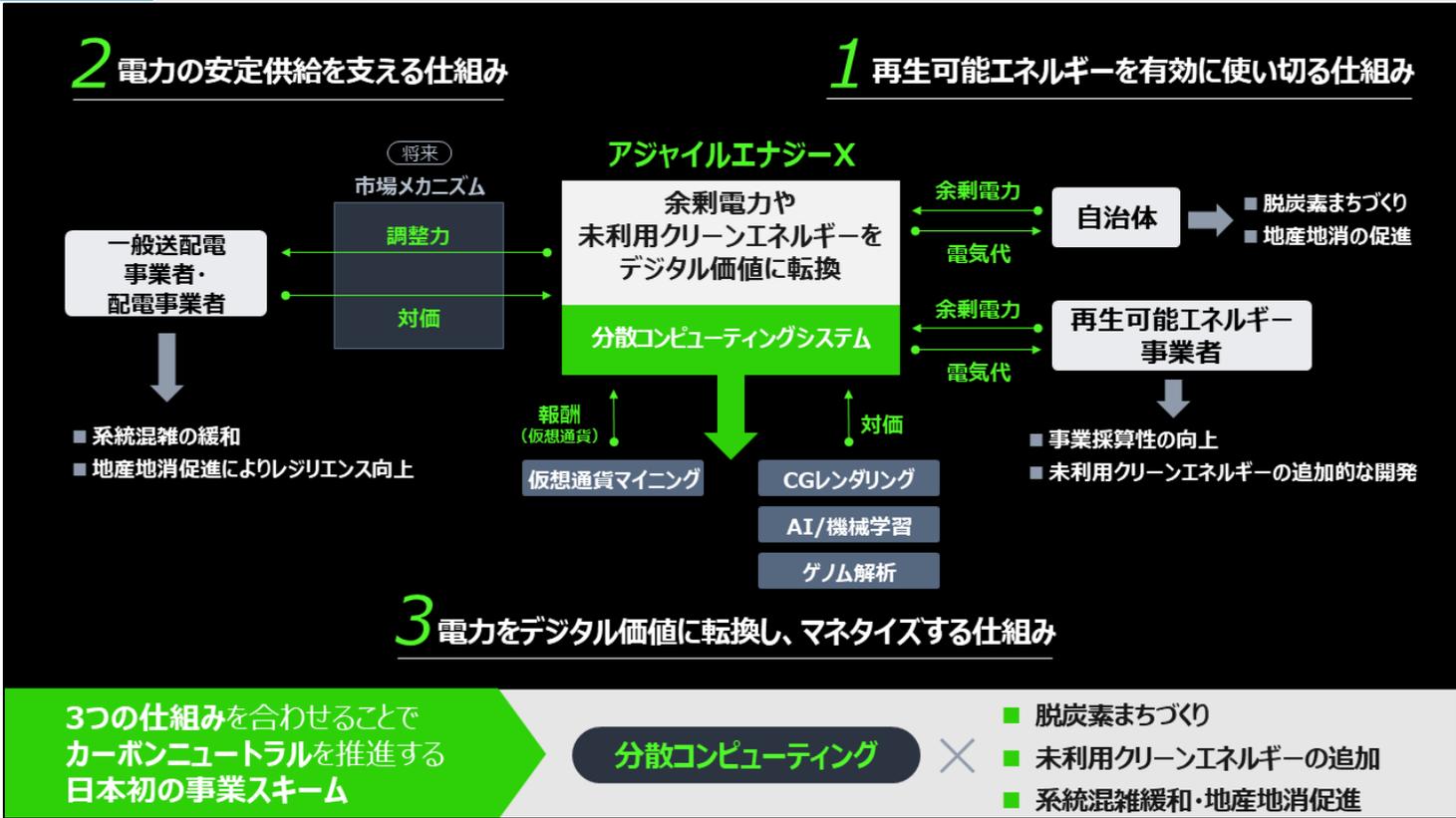
アジャイルエナジーXの事業構想



会社概要とビジネスモデル

社名	株式会社アジャイルエナジーX（エックス） / Agile Energy X, Inc.		
所在地	東京都港区港南二丁目16番5号		
資本金	3億5,000万円（資本準備金含む）		
出資比率	東電PG：100%		
代表者	代表取締役社長 立岩 健二		
設立日	2022年8月26日		
営業開始日	2022年10月1日		
事業内容	未利用再生可能エネルギーを含むクリーンエネルギー資源の有効活用および電力システムの最適化に資する、電力需給・系統混雑状況に応じて機敏かつ柔軟に設置・運用可能な分散エネルギーリソース設備（コンテナ型分散コンピューティング装置およびブロックチェーン技術に立脚した仮想通貨マイニング装置など）を用いた、電力のデジタル価値への転換、ならびに関連する先進的なソリューションの企画、調査、研究、開発、制作、運用、保守、販売、コンサルティングなど		

【社名に込めた想い】
エネルギー産業（Energy）の
変革（Transformation=X）を
俊敏・柔軟・果敢（Agile）に推進する



半導体ユニコーンベンチャー企業との戦略的パートナーシップ

『アジャイルエナジーX、TRIPLE-1、東京電力パワーグリッド 再生可能エネルギーと先端半導体をハイブリッドさせた 「分散コンピューティング」を実装へ』

共同プレスリリース (2022.12.14)

https://triple-1.com/news/release2022-12_2/

本事業の概要・各社の役割

TRIPLE-1

先端半導体



AI / Deep Learning・
仮想通貨マイニング用 他

省エネルギー型
演算用先端半導体を
独占的に導入

余剰電力



分散型データセンター



余剰電力を活用した
分散型データセンター
を整備・運用

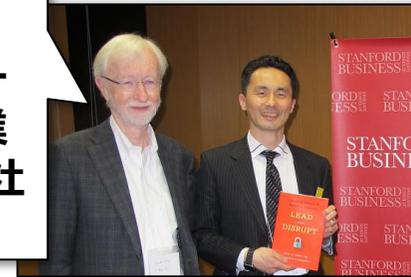
電力需要を柔軟に創出

送配電ネットワーク



系統混雑状況を踏まえた
最適な電力ネットワーク
を整備・運用

「両利きの経営」著者の
スタンフォード大学オライリー
教授も、保守的な日本企業
の社内ベンチャーとして、当社
に注目



KAMIKAZE

TRIPLE-1製「KAMIKAZE」搭載
コンピューティング・システム導入

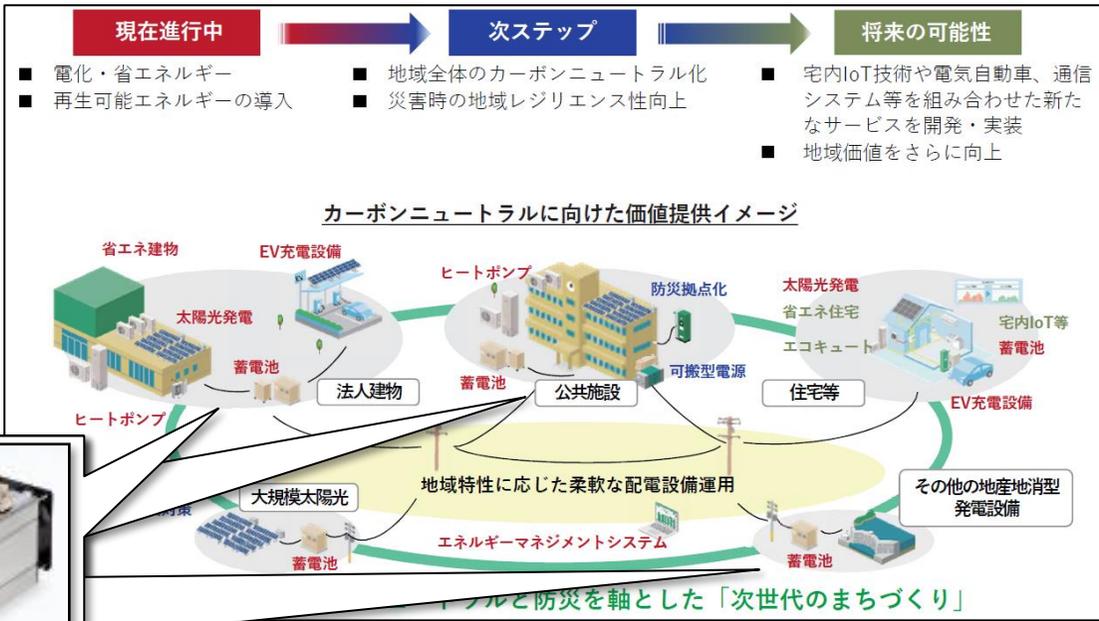


事例

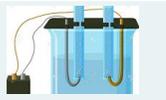
1,300台・1,500kW規模 分散型データセンター



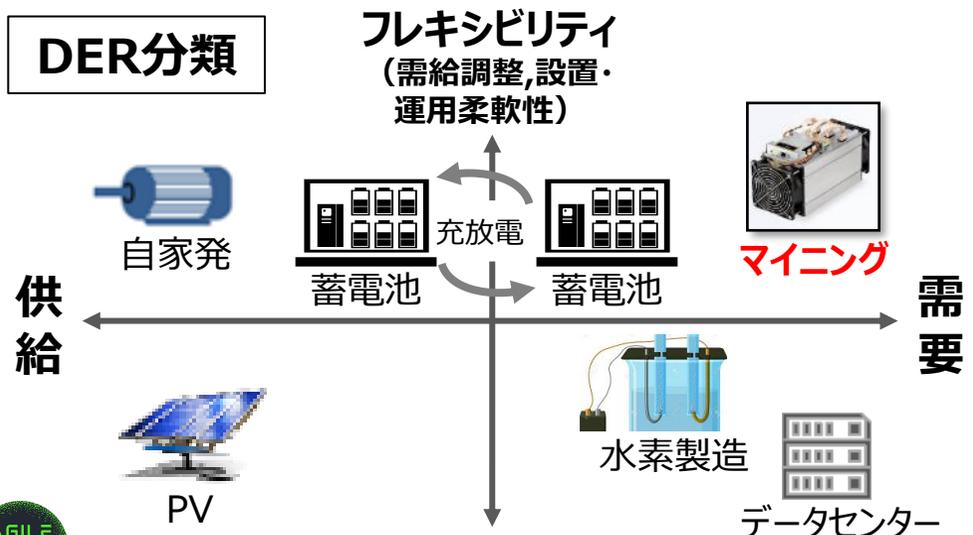
カーボンニュートラル実現に向けた有力な武器の1つ



(出典)「長期的な安定供給とカーボンニュートラルの両立に向けた事業構造変革について」

DER	特徴
	<ul style="list-style-type: none"> ○設置容易 ○運用柔軟性高 ○直接マネタイズ可能 ○相对契約不要 ◎リアル・オプション価値大 △上げDRのみ（海外では下げDR運用事例あり） ×イメージ悪い（?）
	<ul style="list-style-type: none"> ○上下DRに対応可能 ○レジリエンスに貢献 ×容量に上限あり
	<ul style="list-style-type: none"> ○消費電力大 ×立地点の制約大 ×設置コスト大 ×運用柔軟性低
	<ul style="list-style-type: none"> ○消費電力大 ×貯蔵・輸送コスト大 ×運用柔軟性低

DER分類



特徴に応じた
補完関係



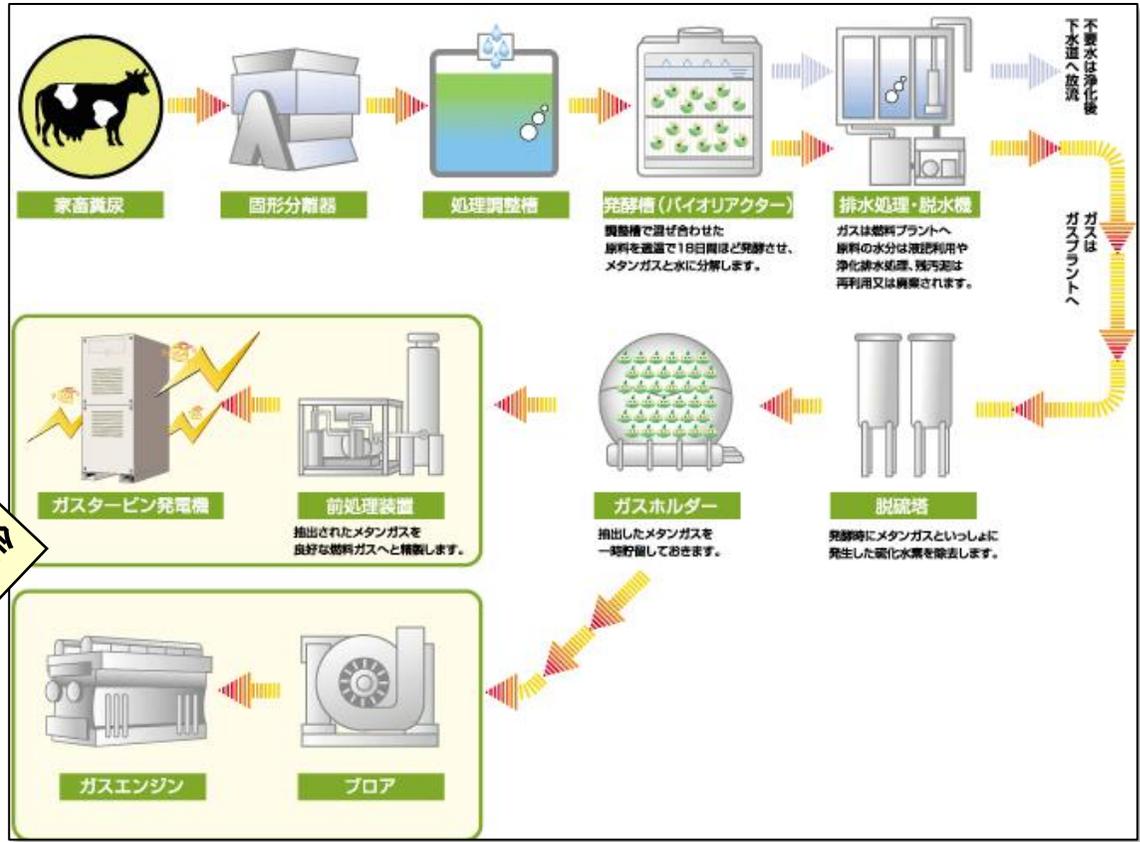
幅広い適用可能性：バイオガス発電×分散コンピューティング

酪農・畜産の盛んなエリアでは、「副産物」を燃料としたバイオガス発電がおこなわれているが、電力需要が小さい場合、有効活用しきれないことも
⇒ 余剰電力をマイニング装置で有効活用することにより、「廃棄物問題の解決×電力の地産地消×CN促進」を同時実現

酪農・畜産の「副産物」をデジタル価値へ転換し、地域経済に貢献



余剰電力



(出典) バイオガス発電推進協議会

幅広い適用可能性：再エネ×分散コンピューティング×DAC×溶融塩電解

■ DAC (直接空気回収)

- 大気中のCO₂を化学物質に吸収させる、ネガティブエミッション技術
- CO₂回収時に、加熱が必要

■ 溶融塩電解合成法

- 塩を高温で融解させたイオン性電解液中で、様々な物質を合成する手法
- 溶融塩にCO₂を溶かして電気分解すると、電極にカーボンが析出 (=炭素を固定)

⇒ DAC/溶融塩電解装置ともに、設置自由度が高い (電気と空気のみ必要)

⇒ ビットコインマイニング装置の排熱を、DACのCO₂回収時の熱源として有効活用し、回収したCO₂を溶融塩電解により、機能性カーボンとして固定

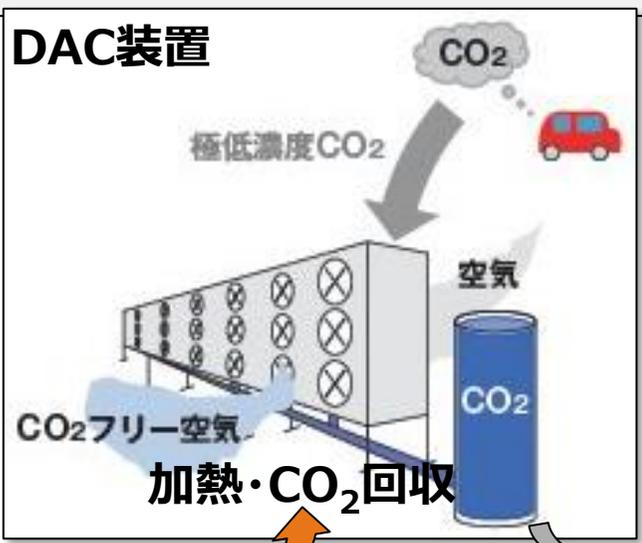
『再エネ×ビットコインマイニング×DAC×溶融塩電解』

=カーボンネガティブ + 系統混雑緩和 + ビットコイン + 機能性カーボン

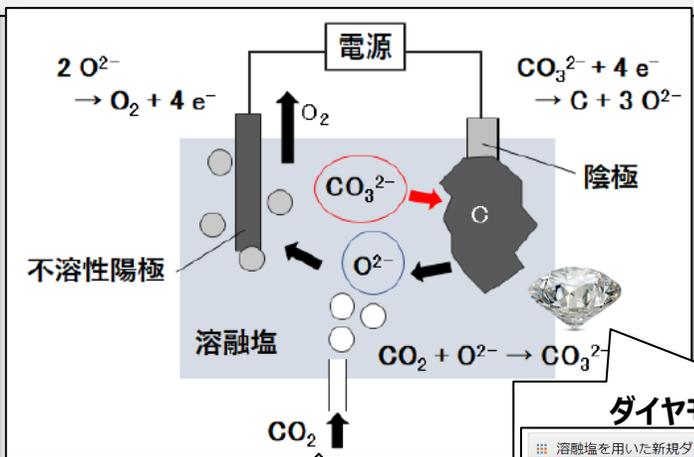
ビットコイン
マイニング
装置



排熱



(出典) NEDO Web Magazine



溶融塩
電解合成装置
(出典) アイエムセップ社

ダイヤモンド合成の可能性も

溶融塩を用いた新規ダイヤモンド合成法

ダイヤモンドは優れた物性を多く有しており、宝石としてだけでなく、切削工具や半導体といった工業材料として大きな注目を集めています。しかし、天然ダイヤモンドの産出量は極めて少なく、現在実用化されているダイヤモンド合成法はコストが高いという課題があります。この課題を解決すべく、当研究室では、新規なダイヤモンド合成法として、常圧常組成である溶融塩電解合成法について検討を行っております。

ラマンマッピング&スペクトル

SEM

Raman Mapping測定の結果、50 × 50 μmの領域のほぼ全面から、ダイヤモンドに特有なピークを検出

Raman Mapping測定の領域をSEM観察したところ、多数の角ばった析出物を確認



原子力に関する構想は、立岩個人の私見であり、アジャイルエナジーXの公式見解ではありません

アンチ・フラジャイルな エネルギー基盤と バンカブルな原子力事業

アンチ・フラジャイルなエネルギー基盤（立岩私案）



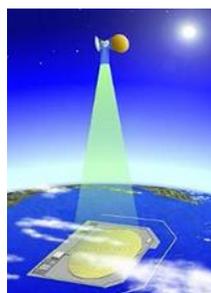
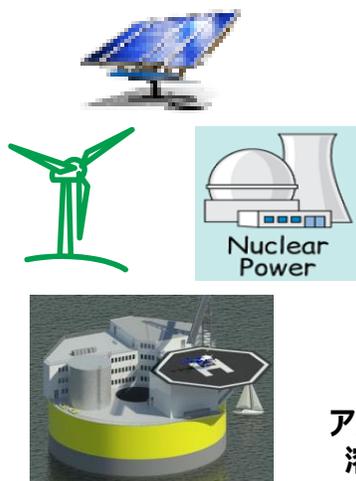
『国際海運によるCO₂排出量を2050年までに50%削減』
（世界海事機関）

- ① 水素社会実現の課題：輸送・貯蔵インフラの整備
 - ② 洋上発電基地の課題：需要地までの電源ケーブル敷設
- ⇒ 洋上・離島発電基地で水素/NH₃を製造し、燃料輸送手段である船舶そのものも需要家にすることで、①・②を同時解決

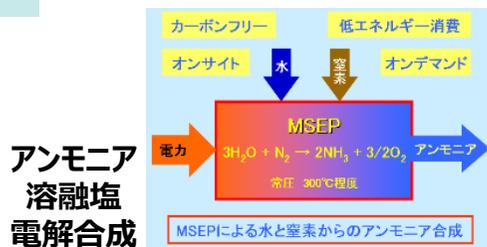
Power to Gas to Ship (P2G2S)

⇒ 本土での水素/NH₃利用により付加価値倍増

洋上・離島 P2G2Sステーション



（出典）JAXA



<http://www.imsep.co.jp/>



<https://www.maritime-executive.com/article/new-research-shows-benefits-of-ammonia-as-marine-fuel>

燃料電池船への 水素/NH₃補給・輸送 or （電池運搬船）



<https://power-x.jp/ja/>

本土での水素/NH₃利用



燃料電池車



「グリーン」火力発電

アンチ・フラジャイルな日の丸原子力「捲土重来」戦略（立岩私案）

- 発電による価値 + 「マイナスを低減する」価値
 - プルトニウム(Pu)燃焼 = 核不拡散推進
 - マイナーアクチノイド(MA)燃焼 = 高レベル廃棄物低減
 - 1Fデブリ処理 = 廃炉エンドステート
- 英国/米国/カナダと利害一致
- カーボンニュートラル×エネルギー安全保障の両立
- 社会情勢に応じて、増殖オプションも確保 ⇒ 「アンチ・フラジャイル」な戦略



- SSR/WATSS*実証PJ@カナダに参画
- 1Fデブリ乾式再処理技術を共同開発

*SSR/WATSS : 英国MOLTEX社の溶融塩炉および乾式再処理システム

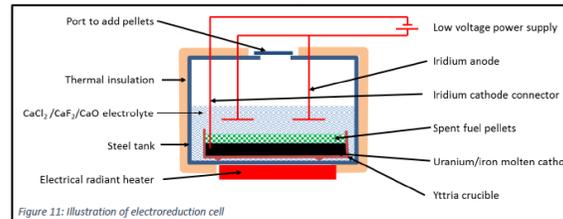
<https://www.moltenenergy.com/resources/>



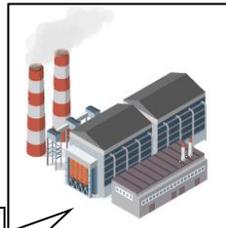
- SSR商用炉@英国に参画
- 英国保管Puを燃焼

- WATSS@日本にて、デブリからU/Pu/MA抽出
- 医療用RI(Ra224, etc.)抽出

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



<https://www.moltenenergy.com/resources/>

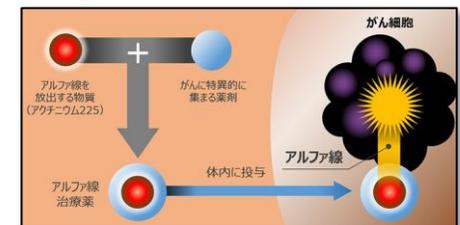


グリーン火力
発電@本土+
海外

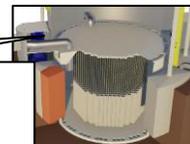


<https://www.maritime-executive.com/article/new-research-shows-benefits-of-ammonia-as-marine-fuel>

アルファ線内用療法@病院



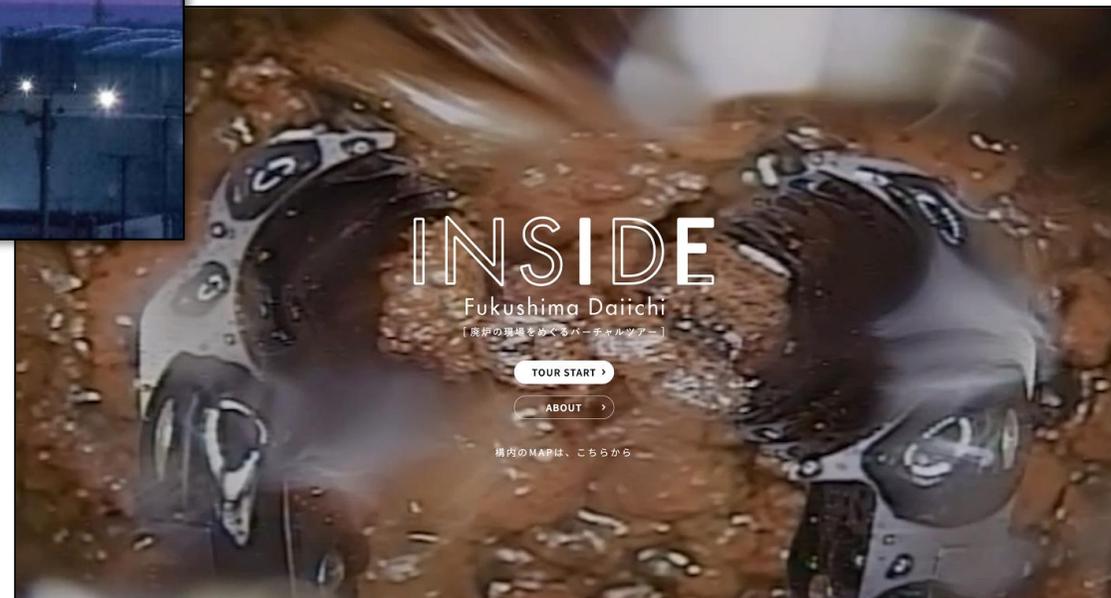
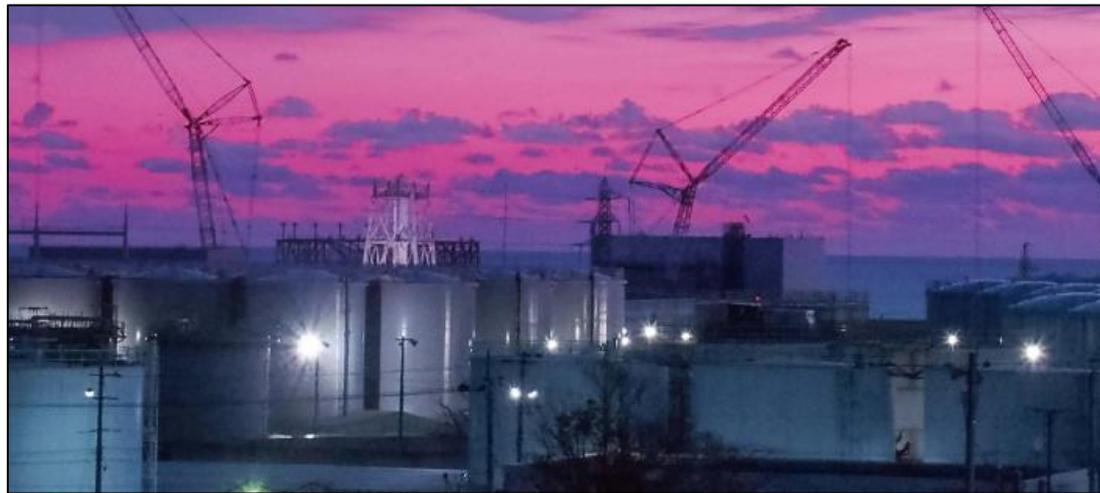
- SSR@離島・洋上プラットフォームにて、Pu/MA燃焼 (Burner as a Service : BaaS)
- 水素/NH₃生産 → 本土/海外にグリーン燃料供給 (P2G2S)
- ビットコインマイニングによる地産地消 (MW2MH)



<https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2021-10-19-0>

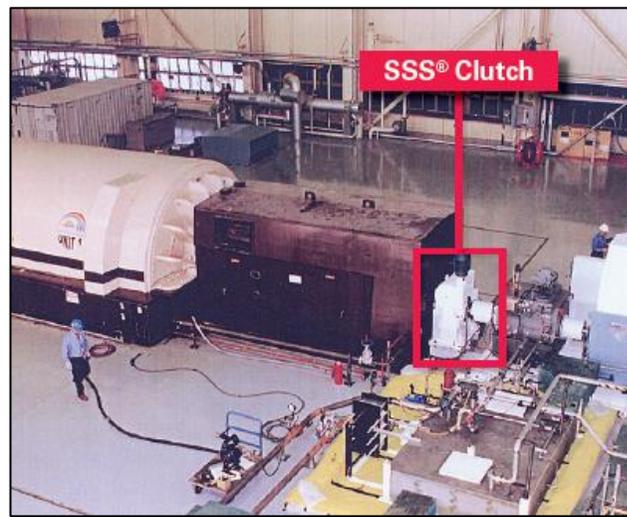
金融のオブジェクト：世界一過酷な放射線環境下の実証フィールド
（“Proven in 1F” ブランド）

⇒ 環境が過酷であればあるほど、フィールドの価値向上
（＝アンチ・フラジャイル）



福島第二原発（2F）プロフィットセンター化構想（立岩私案）

金融のオブジェクト：大容量送電系統、広大な管理された敷地、堅牢な建屋、港湾施設
 ⇒ 廃炉後の「原子力二毛作」

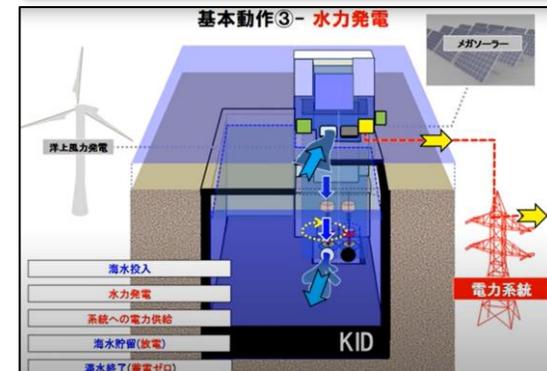
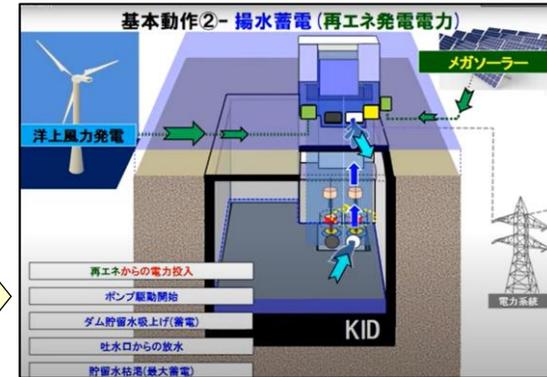


http://www.ccj-online.com/wp-content/uploads/2018/01/SSS-Clutch-Synchronous-Condensing-Tri-Fold-17.125x8.75_111617.pdf

① 送電系統＋タービン建屋：
同期調相機
 ⇒ 系統慣性力、クリアランス金属
 (タービンローター) の再利用

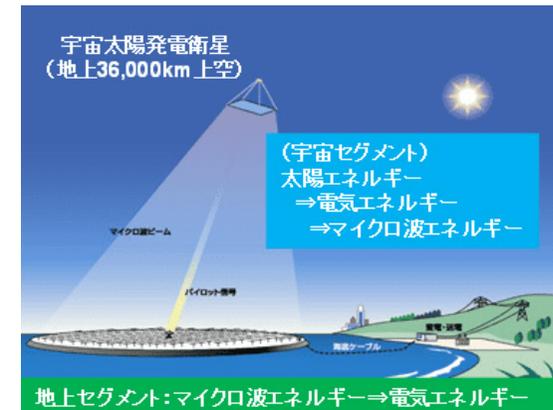


② 送電系統＋港湾：
インバースダム発電
 ⇒ 再エネ調整力



<https://kid-s.jp/marineinversedam/>

③ 送電系統＋敷地：
宇宙太陽光発電(SSPS)受電基地
 ⇒ ベースロード再エネ

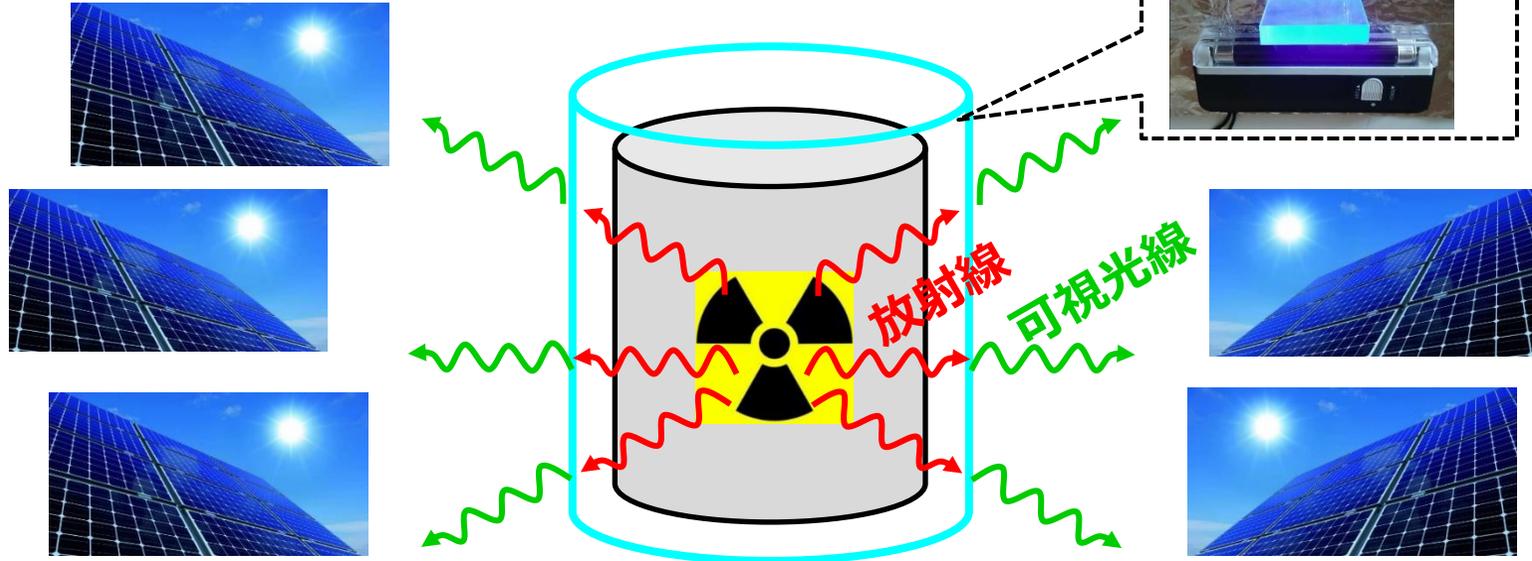


<https://www.jspacesystems.or.jp/project/observation/ssps/>



放射線アレルギーに対するパラダイムシフト策：Radiation to Power (R2P)

- 放射線源の周囲をシンチレーターで囲む
- シンチレーターの外側にPVパネルを設置
- 放射線を可視光線に変換し、24時間連続で「ソーラー」発電

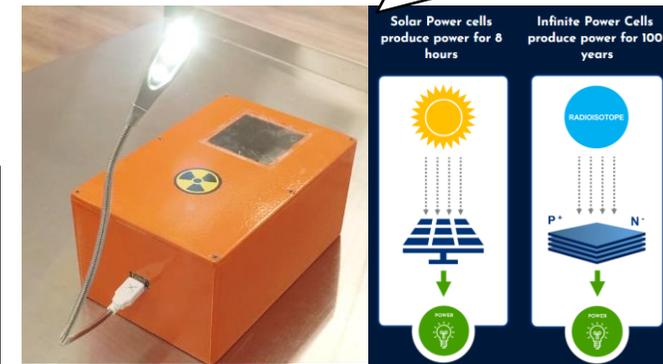


【ガラス固化体利用の場合の試算】

- キャニスター表面積：1.8 m²
- 「シンチレーターのガンマ線/可視光線変換」×「ソーラーパネル発電効率」：200W/m²
[Co-60線源+YI3シンチレーター+GaP半導体パネル]の変換効率を800W/m²と推定
<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/18811248.2011.9711836>
- 六ヶ所村貯蔵容量：2,880本
= 1.8m²*200W/m²*2880体 = **1 MW** (50年で表面線量率が約1/10に減衰)

放射性廃棄物 = 何万年も毒性がなくなる厄介者
⇒ **放射性廃棄物 = 何万年もなくなるエネルギー源**
Radiation to Power (R2P)

Infinite Power社
(放射線源による直接発電)



参考

仮想通貨マイニングについて

【仮想通貨（暗号資産）とは】

- ブロックチェーン技術により、インターネット上で取引される通貨
- 中央銀行などの公的な発行主体や管理者が存在せず、ネットワーク上で相互に管理
- 仮想通貨時価総額 > 300兆円（2021年ピーク時）

【仮想通貨の意義・価値】

- 国際送金・決済（銀行口座不要、安価な手数料、ユーザー同士直接取引可能）
- 代替資産価値（特定の政府・企業の信用に依存しない、ハイパーインフレ対策）
- 自動契約メカニズムを内包した新規ビジネス創出可能（スマートコントラクト）
- 偽造が事実上不可能（参加者全員が過去の取引記録を相互承認）

【仮想通貨マイニングとは】

- 仮想通貨の取引を行う上で、取引記録の正当性を検証する作業（Proof of Work: PoW）
- 暗号計算を実施し、最も早く取引記録を検証したマシンに対して、ビットコイン(BTC)が報酬として自動的に発行
- 顧客(BTCユーザー)への提供価値：BTC取引のセキュリティ担保

【一般的なマイニング事業の本質】

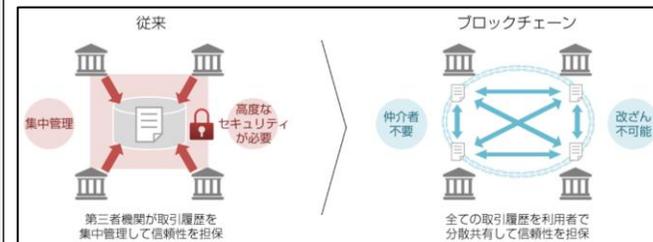
- 大量の電力を消費しながら暗号計算を実施することで、BTCを報酬として獲得
- マイニング競争が激しいほどセキュリティが向上し、BTC価値が上昇
- マイニングは、ブロックチェーン技術のユースケースを支えるインフラ産業

Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System

Satoshi Nakamoto
satoshin@gmx.com
www.bitcoin.org

Abstract. A purely peer-to-peer version of electronic cash would allow online payments to be sent directly from one party to another without going through a financial institution. Digital signatures provide part of the solution, but the main benefits are lost if a trusted third party is still required to prevent double-spending. We propose a solution to the double-spending problem using a peer-to-peer network. The network timestamps transactions by hashing them into an ongoing chain of hash-based proof-of-work, forming a record that cannot be changed without redoing the proof-of-work. The longest chain not only serves as proof of the sequence of events witnessed, but proof that it came from the largest pool of CPU power. As long as a majority of CPU power is controlled by nodes that are not cooperating to attack the network, they'll generate the longest chain and outpace attackers. The network itself requires minimal structure. Messages are broadcast on a best effort basis, and nodes can leave and rejoin the network at will, accepting the longest proof-of-work chain as proof of what happened while they were gone.

<https://bitcoin.org/ja/bitcoin-paper>



<https://www.hitachi.co.jp/rd/research/systems/blockchain/index.html>

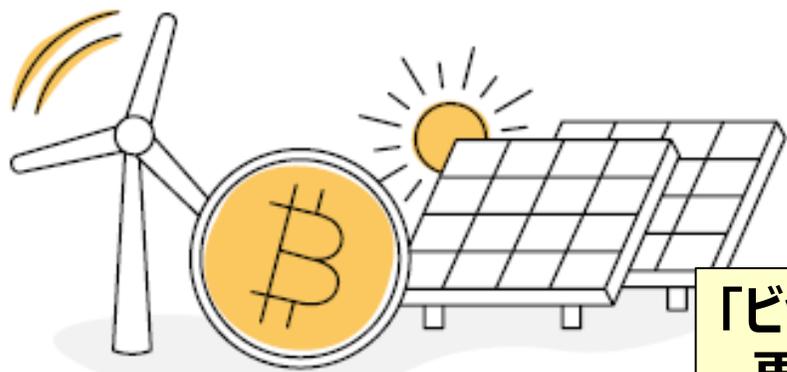
ブロックチェーンのレイヤー構造



Square

Bitcoin is Key to an Abundant, Clean Energy Future

In this memo, we aim to explain how the Bitcoin network functions as a unique energy buyer that could enable society to deploy substantially more solar and wind generation capacity. This deployment, along with energy storage, aims to facilitate the transition to a cleaner and more resilient electricity grid. We believe that the energy asset owners of today can become the essential bitcoin miners of tomorrow.



BITCOIN MINING IS AN IDEAL COMPLEMENT FOR GENERATION + STORAGE

「ビットコイン・マイニングは、再エネと蓄電池に対する理想的な補完機能」



Bitcoin mining presents an opportunity **to accelerate the global energy transition to renewables** by serving as a complementary technology for clean energy production and storage.



Solar and wind are now the least expensive energy sources in the world, but are hitting deployment bottlenecks primarily because of their intermittent power supply and grid congestion.



Bitcoin miners as a flexible load option could potentially help solve much of these intermittency and congestion problems, allowing grids to deploy substantially more renewable energy.



By deploying more solar and wind, **these generation technologies will likely fall even further down their respective cost curves**, bringing them closer to zero marginal cost energy production.

https://bitcoin.energy/files/BCEI_White_Paper.pdf

ツイッター創業者のジャック・ドーシー氏が2021年に提唱した構想を先取りし、東京電力パワーグリッドにて特許取得 (特開2020-202702)

世界の動向 (2/5)

- 多くの機関投資家が投資ポートフォリオに組み入れはじめたことで、ビットコイン (BTC) を**正当な金融資産としての位置づけ**を確立しつつある
- マイニング事業の中心地は、中国から北米へ移行
- **再エネが豊富なテキサス州の系統運用者は、マイニング事業を歓迎**

THE WALL STREET JOURNAL.

MARKETS

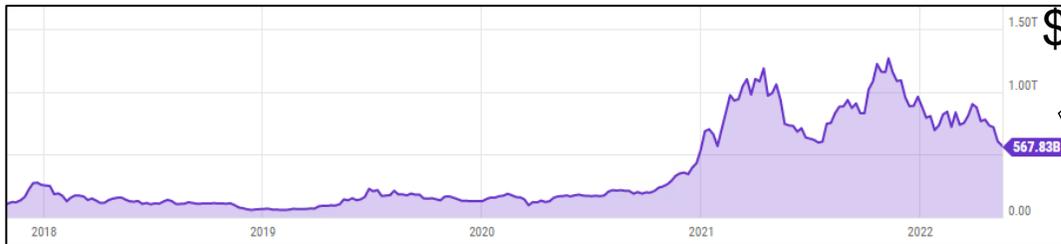
Wall Street Takes Lead in Crypto Investments

Hedge funds, registered investment advisers and some companies step up their stakes in cryptocurrencies as the market becomes more mainstream

“2021年、機関投資家は1.14兆ドル（約150兆円）の仮想通貨を取引。2020年比、10倍増。”
Wall Street Journal 紙 (2022.2.27)

- **ビットコイン(BTC)時価総額：約70兆円～150兆円**
(2021-2022年) https://ycharts.com/indicators/bitcoin_market_cap
- **マイニング報酬総額：1兆円～2兆円/年**
(6.25BTC/10分 = 328,500BTC/年)
- **マイニング設備容量：17GW**
- **マイニング消費電力：150TWh** <https://ccaf.io/cbeci/index>
- 米国大手マイニング事業者：Core Scientific社、Marathon Digital HD社、ほか

https://www.wsj.com/articles/wall-street-takes-lead-in-crypto-investments-11645927004?mod=article_inline



テキサス電力信頼性協議会 (ERCOT) Brad Jones CEOインタビュー (2022.3.18)

- マイニング装置は、柔軟に負荷を調整できるため余剰風力の活用にも有効であり、より多くの再エネ導入を可能にする
- マイニング装置は、発電機脱落等の周波数変動時に迅速に対応可能なことから、効率的な系統安定性維持に資する
- 今後2-3年で、5GWのマイニング装置がテキサスに導入される見通し



<https://www.cnbc.com/video/2022/03/18/crypto-mines-help-ercot-keep-renewable-energy-operational-says-interim-ceo.html>

世界の動向 (3/5)

米国Soluna社

- 再エネを活用した分散コンピューティング事業を展開 (NASDAQ上場)
- 稼働中(水力): 45MW, 運開間近(風力): 150MW, 計画中: 275MW

SOLUNA

SELL. EVERY. MEGAWATT

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

コンテナ型マイニング装置50MW
(テキサス州の風力発電所に隣接)



Purpose-built to efficiently convert curtailed renewable energy into batchable computing

『抑制される再エネを、バッチ処理可能なコンピューティングに活用』

Physical Dimensions: 70' x 12' x 14' pre-fabricated buildings	Power Load: 1,200 kW	Emergency Shutdown Time: 2s	Monitoring: Full Remote Monitoring for Operations and Security
Power Input: Configurable, Nominal 416/240 VAC 3-phase	Processing: GPU, FPGA, ASIC	Boot Time: 90s	Diagnostics and Maintenance: AI Driven Built-In-Test
Network Input: 10 Gig Ethernet, Wireless Backup	Graceful Shutdown Time: 15-90s (Depending on Processing Configuration)	Variable Consumption: 1% - 100%	Autonomous Operations: Designed for operation and maintenance by technician level personnel



Sophie Energized

コンテナ型マイニング装置25MW
(ケンタッキー州の水力発電所に隣接)



世界の動向 (4/5)

- **米国テラウルフ社**：ペンシルベニア州の**サスケハナ原子力発電所**（BWR 2基：計2,700MW）の隣地に、**300MWのビットコイン・マイニング施設**を建設中

⇒ 48MWの施設完成（2023.1）

<https://www.world-nuclear-news.org/Articles/First-nuclear-powered-data-centre-at-Susquehanna-c>

- **米国コンパス社**：米国オクロ社の**小型モジュール炉**（ヒートパイプ高速炉）から、150MWの電力を20年間、**ビットコイン・マイニング施設**に供給する契約を締結

<https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Oklo-to-power-Bitcoin-mining-machines>



100%

Zero Carbon
Nuclear Power



300

MW Nuclear
Gross Capacity

Gridless社

- アフリカの**未電化地域**で、**再エネによるマイクログリッド構築**を推進
- 電化初期は電力需要が少ないために**事業採算性が合わない問題**を、**ビットコインマイニング**により解決
- **ビットコインマイニング**を**主要な電力オフテーカー**とすることで、再エネ導入のための**資金調達を可能**に
- 地域の電力需要を充足した後、**余剰再エネ**を**ビットコインマイニング**により**マネタイズ**
- 電力需要が増加した後は、**ビットコインマイニング装置**を**次の開発地点に移動**

⇒ **電化促進、未利用再エネ導入、地域経済活性化を両立**



Expensive Electricity

It can be up to 4x more expensive to pay for electricity in a small village (cost per Kw) compared to a large city.



Expensive investment

Initial investment is expensive, and time required to wire up the community grid is long.



Impossible ROI

Lack of a sizable anchor customer creates an almost impossible ROI position for power projects.



Secure financing

Energy development companies find it hard to secure financing for new projects.



Crypto mining

Bitcoin mining is provided in a modular way, with small cabinets or containers.



Decreased mining

As the consumer demand grows in a community, the Bitcoin mining can be decreased or removed entirely.



(出典) <https://gridlesscompute.com/>

分散エネルギー取引市場の設立を通じたマネタイズ

分散コンピューティングによるソリューションが、有望なDERフレキシビリティであることを社会に認知してもらい、分散エネルギー取引市場の設立を推進
 ⇒ 柔軟に電力需要を創出できる価値をマネタイズし、社会実装を促進

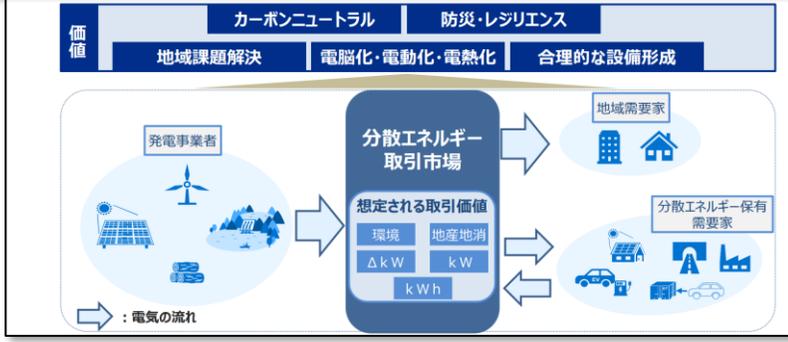
- 【参考】DERフレキシビリティとは
- 太陽光発電等の再エネは、電力系統のうち配電系統（配電用変電所以下の系統）やローカル系統に設置されることが多い。
 - しかし、再エネの発電が当該エリア内で消費しきれないような場合には、変電所から上位系統に電気が逆流することとなるが、**上位系統や配電用変電所内の設備の容量を超過するおそれがある場合**、系統増強が終了するまで再エネの系統接続が制限される等、**再エネのポテンシャルを十分に発揮できない可能性**がある。
 - このような場合に、**同地域内にあるEVや蓄電池等で需要を創出（上げDR）**し、上位系統に逆流する電気を減らすことで、**再エネ発電の有効活用が可能となる**。また、このような取り組みにより、電圧制御の安定化等も期待できる。こういった仕組みを、「**DERフレキシビリティ**」という。



分散エネルギー取引市場

■再エネ大量導入等に資する次世代NW実現に向け、**全国市場**※とお客さま設備(地域分散エネルギー)を**結ぶローカル階層に、需給と混雑を管理し、地域分散エネルギー活用を促すための分散エネルギー取引市場**が必要。
 ※：日本卸電力取引所・電力需給調整力取引所

■**地産地消**を誘引する取引マッチングを行い、**混雑状況を加味した価格シグナル等の情報**を発信し、**市場参加者**(発電事業者・小売電気事業者・アグリゲーター等)が**自律的に行動する仕組み**によって、**地域課題や系統課題の解決**に貢献。



ご参考：分散コンピューティングを利用した系統混雑緩和

■再エネのさらなる導入促進を目指し、再エネ電力で先端技術「分散コンピューティング」システムを稼働させ、**デジタル価値や環境価値を生成・提供等を行うアジールエナジーX(エックス)社**を2022年10月1日に設立。
https://www.tepco.co.jp/pq/company/press-information/press/2022/1663918_8617.html (2022年9月21日 当社プレスリリース)

再生可能エネルギー導入促進を目指す「株式会社アジールエナジーX(エックス)」の設立について
 ～電力需要を柔軟に創出しデジタル価値や環境価値を付加しながら系統混雑緩和も実現～

余剰電力が発生する時間および空間に合わせて**コンピューターを稼働**させることで、**需要を柔軟に創出・抑制**

データ的地産地消
 エネルギーの地産地消
 地域の再生可能エネルギー

東京・大阪
 海外

地域A
 地域B
 地域C

データのデータ主権
 地域データ経済圏

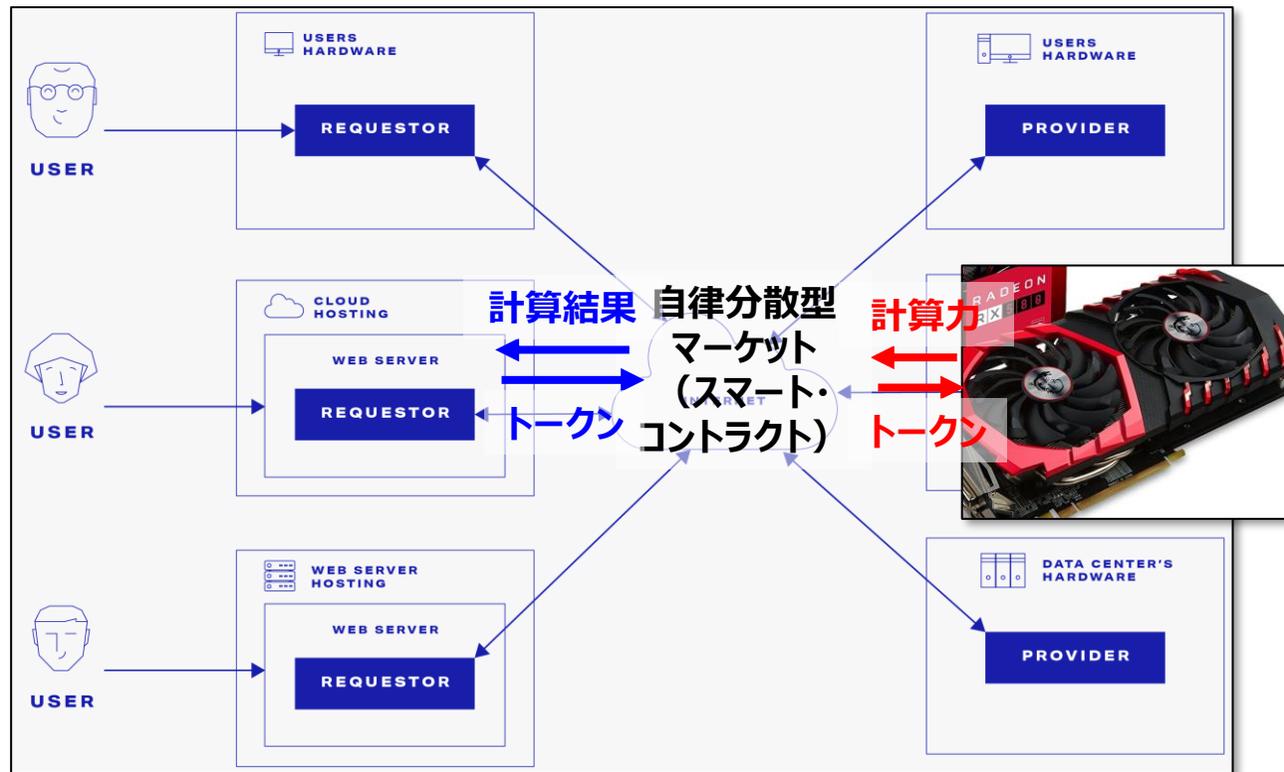
BCO Power

第1回 次世代の分散型電力システムに関する検討会(2022.11.7)



分散コンピューティングによるマネタイズ手法

- AI計算やCGレンダリング等を対象とした一般的な分散コンピューティング事業は、**顧客営業や契約交渉が必要**であり、かつ**計算機負荷を自由に変更することが困難**であることから、事業化のハードルが高い
- ブロックチェーン・プラットフォームを活用した自律分散型マーケットにより、**世界中の計算ニーズと余剰計算力を、スマートコントラクトで自動的にマッチングする仕組み**を利用することで、営業活動等不要で、**計算力を即マネタイズ可能**
- 報酬として得られるトークンの価格・流動性は課題



(Golem) <https://www.golem.network/>

iExec iExec Enterprise Products Build Company Documentation English

A global market for computing assets

The iExec decentralized marketplace is where offer meets demand for computing power, datasets and applications. The marketplace leverages state-of-the-art blockchain technologies, which offer a high level of trust and traceability. Welcome to the new era of decentralized economies.

BID Applications and users place "work orders" for their works to be executed based on pre-selected criteria

ASK Workers place a sell order defining the price at which they are willing to execute works. They receive RLC each time they fulfill a "work order".

(iExec) <https://iex.ec/marketplace/>

Suppliers

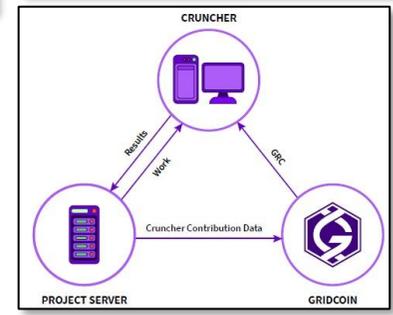
Instead of constructing data centers, let's distribute hardware between homes.

Turn your computer into a Sonm host node and earn money! All your resources will be utilized – not only GPU, but also CPU and RAM, as well as your disks and network. Let your equipment benefit you and others on real-world tasks.

Also, for miners might be interesting the following: It's a future way of mining where you don't have to decide what coin to mine, it will be the market that decides what application will pay more for your resources. It's not only mining that pays for using your hardware, but real business with its practical application.

PROVIDE HARDWARE **CONTACT SALES**

(Sonm) <https://sonm.com/>



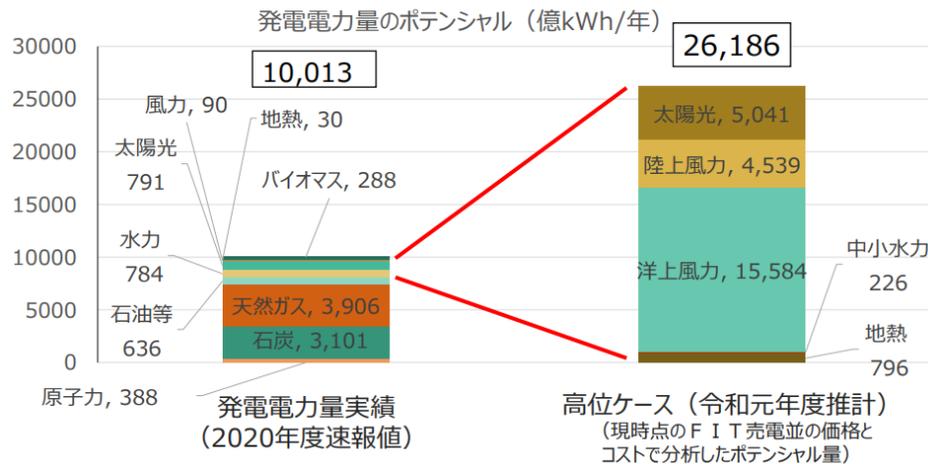
(GridCoin) <https://gridcoin-project.github.io/website/>



市場ポテンシャル

- 電力供給量の最大2倍の再エネポテンシャルが存在
- 全国の再エネ抑制電力をマイニングでマネタイズした場合の試算 (240,000GWh@マスタープラン再エネ比率5~6割シナリオ)
 - ⇒ ビットコイン収益：3,600億円/年@2050年 (240,000GWh x 10% x 15円/kWh)
- 2028年の世界の分散コンピューティング市場規模は560億米ドル (約7.8兆円) 以上 (出典：グローバルインフォメーション市場調査レポート)

- 環境省試算では、我が国には電力供給量の**最大2倍**の再エネポテンシャルが存在
- 再エネの最大限の導入に向け、課題をクリアしながら、着実な前進が必要



(出典) 環境省「我が国の再生可能エネルギー導入ポテンシャル」



(出典) TRIPLE-1/東京電力PG/アジャイルエナジーX共同プレス (2022/12/14)