

AI用データセンターを「知る」 ー DCの系統接続と需要側柔軟性資源 としての可能性 ー

グリッドイノベーション研究本部
上席研究員 山田 智之



DC
Open
Intelligence

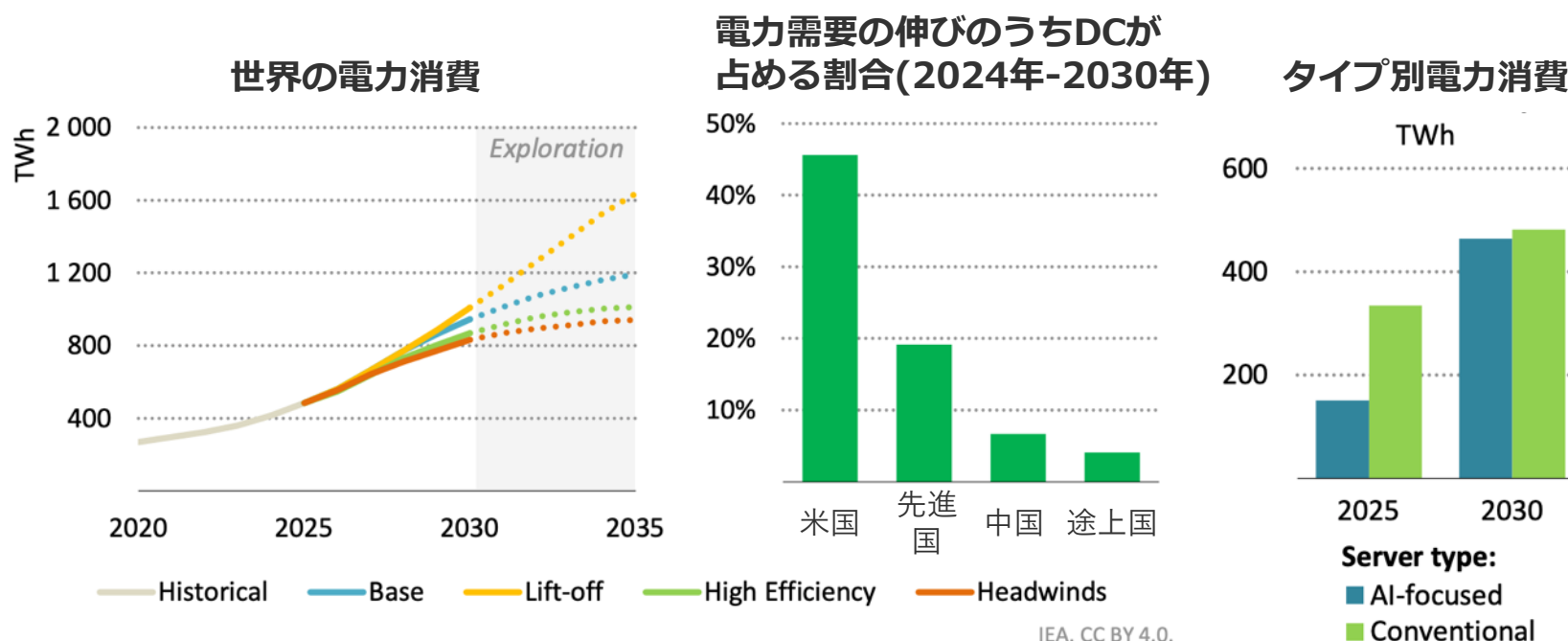
電力中央研究所
Central Research Institute of Electric Power Industry



データセンター(DC)の急増は単なる「電力需要の増加」に留まらず、供給・需要・運用・市場まで複合的に対策する必要がある

- 生成AIの急速な普及を背景に、世界各地で大規模DCの建設や計画が相次いでいる。
- 特に米国では、電力需要の急増、系統接続、電源確保、送配電設備の増強、地域社会との調和など、これまで十分に想定されていなかったさまざまな課題が顕在化している。

IEAによるデータセンターの電力消費見通し^[1]





01. DCの電力需要 拡大の特徴



02. 電力系統が 直面する課題



03. 国内外での DC系統接続の論点



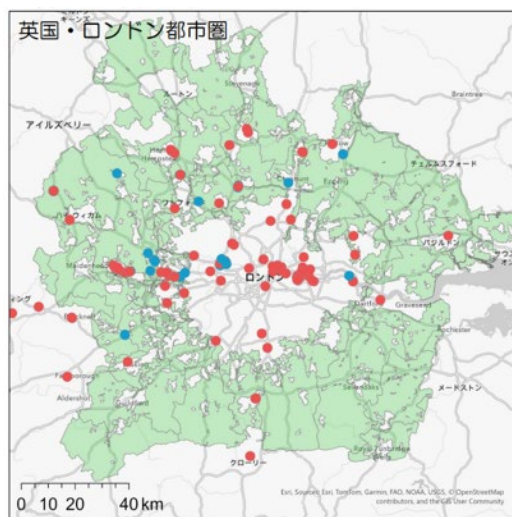
04. DCの電力利用と 情報通信連携

1. DCの電力需要拡大の特徴

DCは全国一様には建設されず、特定都市・地域にクラスター化。 電力系統では「どこに増えるか」が重要

- 従来型DCは、通信回線容量、通信遅延、人材、既存事業者の集積などを理由に、**特定都市・地域にクラスター化しやすかった。**
- 周辺の変電所・送電線の容量が不足し、**系統を増強するまで接続できない地域が生じる。**
- 近年の**AI向け大型DCは、電力系統に接続可能な場所を選ぶ傾向あり。**

英国ロンドンと関西のDC立地分布図^[1]



英国・ロンドン都市圏と日本・関西圏におけるデータセンター立地分布図

凡例
 ● 稼働中
 ● 建設・計画中
 ■ Green Belt (UK)

Data Source :
 ・ Data Center Map (最終閲覧日:2025.08.29), <https://www.datacentermap.com/>
 ・ 特定非営利活動法人日本データセンター協会 (最終閲覧日:2025.08.29), <https://www.jdcc.or.jp/>
 ・ Ministry of Housing, Communities and Local Government(2025), Green belt dataset.(最終閲覧日: 2025.08.29), <https://www.planning.data.gov.uk/dataset/green-belt>
 注) Data Sourceに基づいたデータセンターの位置情報を精査の上、一部修正して図を独自作成

日本各地にAI向けDCの計画^[2]



AI向けDCでは、一つの需要地点が「大型発電所1基」に匹敵する規模になり得る

- 従来の小規模DC：500 kW～2 MW程度
ハイパースケールDC：数十～**100MW級**が中心だった。
AI向けDC：**数百MW～GW級**の案件が登場（GPU等を高密度配置したキャンパス開発）
- 一案件でも、変電所・送電線だけでなく、上位系統まで影響が波及し得る。

秋田県秋田市^{[1][2]}

- ・ 最大**500MW級**のDC開発計画
- ・ 整備費2兆円規模、海外投資受入
- ・ 候補地：下新城地区工業団地（下画像）
または北部工業団地



富山県南砺市^[3]

- ・ DC集積地 **3.1GW**の計画
- ・ 第1フェーズで、消費電力300MW相当の土地を事業者が取得



米国：オハイオ州^[4]

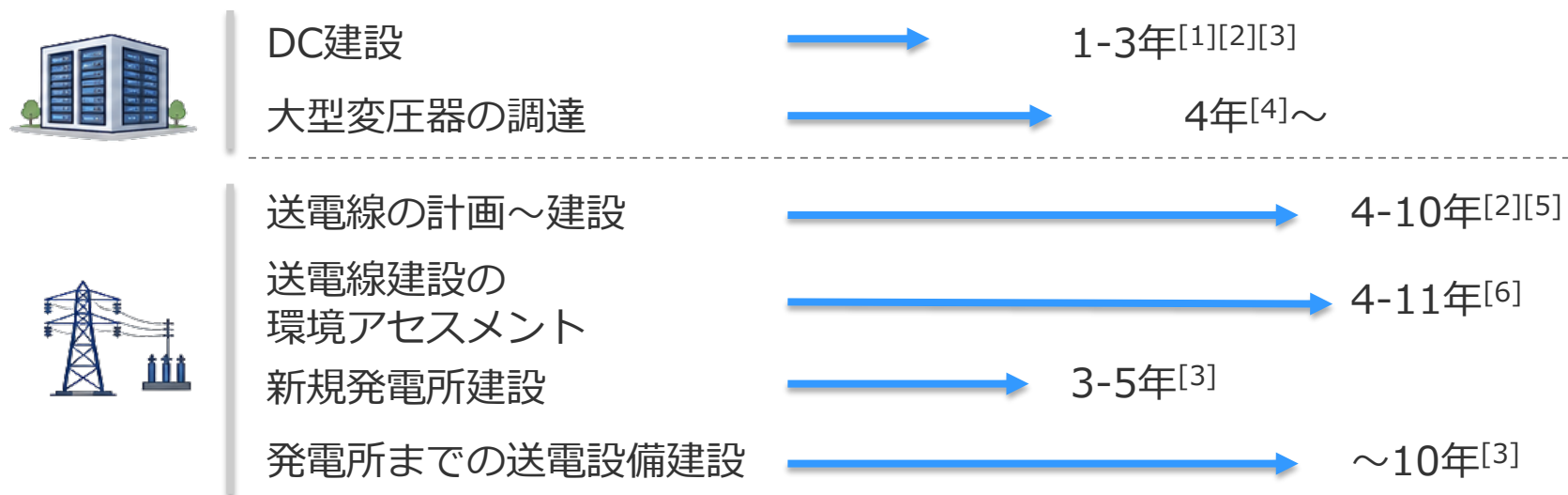
- ・ PORTS-Pikeテクノロジーギークキャンパスに**最大10GW (8GWのIT容量)**のAI計算DCキャンパス建設計画
- ・ 第1フェーズ 800 MW



DCは1～3年で建設しうるが、電力インフラは時間がかかるため、世界各地で系統接続待ちが長くなっている

- DCは標準化・モジュール化が進んでおり、建設期間は**最短1～3年程度**とされる。
- 一方、接続集中エリアでは、電力系統制約により、新設DCの接続待機期間は長期化。
(日本：電力供給まで**10年待ち**の事例あり、**欧州FLAP-D※**：平均**7～10年**、**最大13年**)
- 特にAI開発競争では「Time to Power」が事業競争力に直結。電力供給に時間がかかる場合、オンサイト電源や既存施設活用によって計算設備を稼働させる動きも見られる。

DCと送電線建設のリードタイム



※FLAP-D：Frankfurt, London, Amsterdam, Paris, Dublinの従来のDC集積ハブ

[1] CBRE. North America Data Center Trends H2 2024. 2025年2月. [2] EPRI. Powering Intelligence: Analyzing Artificial Intelligence and Data Center Energy Consumption.

2024年5月. [3] GridLab. Practical Guidance and Considerations for Large Load Interconnection Process Improvements. 2025年3月.

[4] IEA. Building the Future Transmission Grid. 2025年2月. [5] California Public Advocates Office. Transmission Project Development Timelines in California. 2023年6月. [6] Clean Air Task Force. Contextualizing Electric Transmission Permitting: Data from 2010 to 2020. 2024年3月.

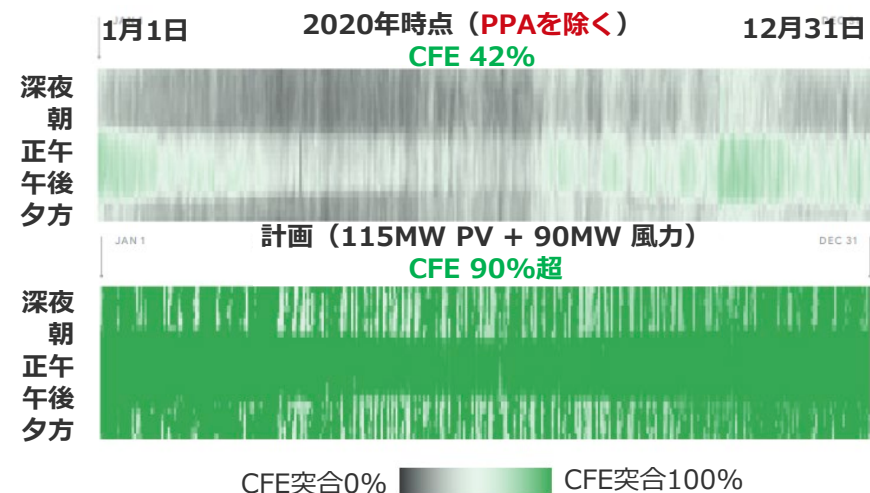
DC事業者は「いつ、どの電源から調達するか」も重視するようになりつつある

- 大手IT事業者では、DC需要の拡大と並行して、**非化石電源の大口調達**が進んでいる。
 - 2025年の世界のクリーン電力購入では、IT大手が上位を占める^[1]。
- 調達は「年間で非化石証書を合わせる」方式から「**時間・地域まで合わせる**」方向へ
 - Googleは、2030年までの24/7 Carbon-Free Energy (CFE)を掲げる^[2]。
 - Microsoftは、2030年までに「100/100/0」を掲げる^[3]。
- ドイツのエネルギー効率法(Energieeffizienzgesetz)は、300 kW以上のDCへ、2027年1月以降100%、**再エネ電力の利用要件**を設ける^[4]。

世界のクリーンエネルギー調達企業 ^[1]



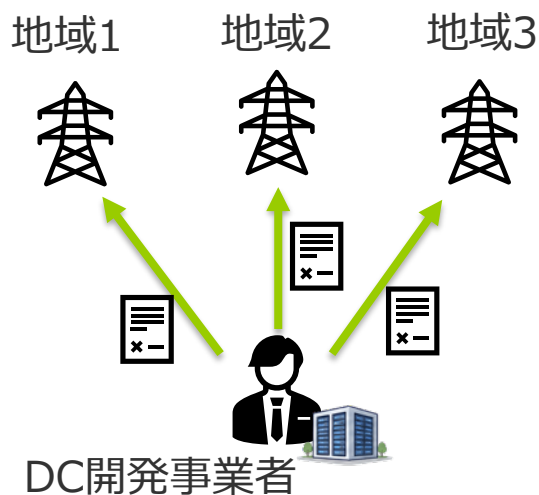
Googleの24/7 CFEの概念図 ^[2]



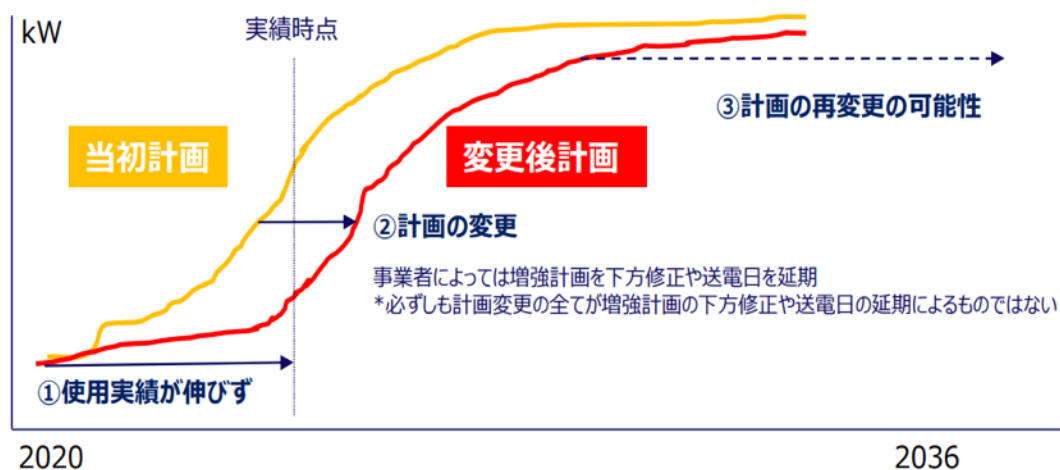
接続申請したDCが、申請通りに電力を消費するとは限らない

- 一部の事業者が最終立地決定前に複数地域へ接続申込する「ロケーション・ショッピング」等、**実需を伴わない系統接続申請**が生じている^[1]。
- また、DCは段階的に増設され、GPU調達、市場需要、資金調達等でも計画は変化する。そのため、**申請時の最終容量と実際の需要には大きな差**が生じ得る。
- 電力需要の「**時期・規模・実現確度**」が**不確実**な下で、電力系統投資の判断が必要。

系統接続前：ロケーション・ショッピング



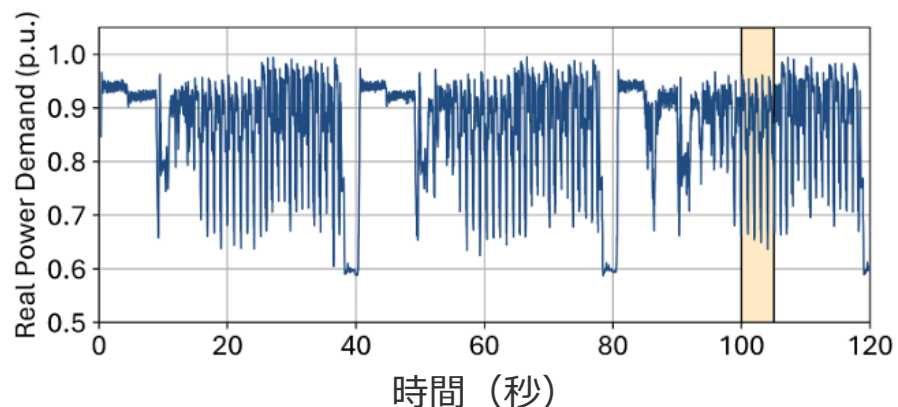
系統接続後：契約電力の下方修正^[2]



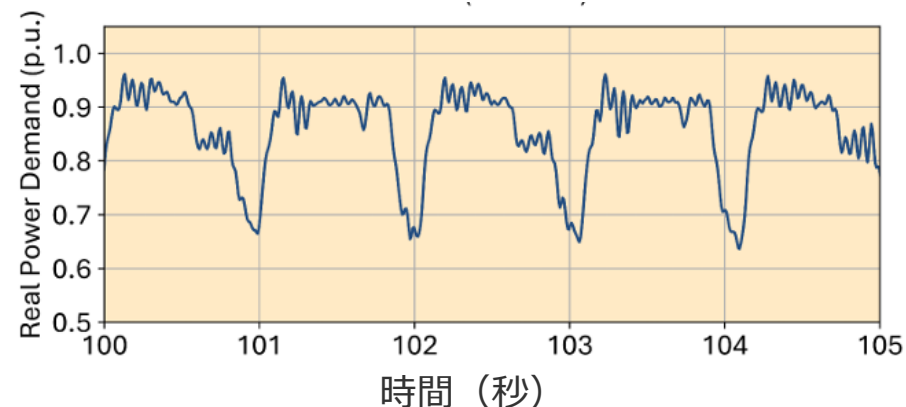
AI向けDCは「一定の電力負荷」ではない

- AIモデルの**学習（training）**と**推論（inference）**では、電力需要の特性が異なる。
 - AI計算では大規模なGPUクラスタで計算処理するため、学習処理の実行中に、途中状態を保存するチェックポイントの際に、**電力需要が急激に変動する**。
- また、DC内部にはUPS、蓄電池、冷却設備、電力変換装置、保護制御等が存在し、系統事故時の応答は複雑

AI DCの学習時の電力消費例[1]を元に著者が訳注



左図の黄色エリアの拡大図



DCの電力需要拡大の特徴まとめ



従来型DC



一案件は数～数十MW級が中心



通信インフラ、顧客近接性、人材・産業クラスター等により特定地域へ集中しやすい



従来は2～3年が目安。系統制約により接続が5年以上に長期化傾向



脱炭素電源の年間マッチングから、1時間ごとへ



予測可能性が(AI向けDCより)相対的に高い



比較的安定した負荷として扱われることが多かった



電力需要の規模



地理的分布



開発タイムライン



脱炭素電源



予見性



負荷特性



AI向け大型DC



一案件で数百MW～GW級に到達し得る



数百MW級の負荷を受け入れられる系統余力を求め、既存DC集積地の外へ分散する動きあり



100MW超では系統接続と電源確保が長期化し、5～10年と長期化しうる



原子力など脱炭素電源を求めるが、目先は迅速な電源確保を優先



資金調達、設備調達、AIサービス市場動向、運用設計等に左右される



短時間の負荷変動、電圧低下時の系統からの切断など、従来の負荷とは異なる挙動をすることがある



01. DC需要拡大の特徴



02. 電力系統が 直面する課題



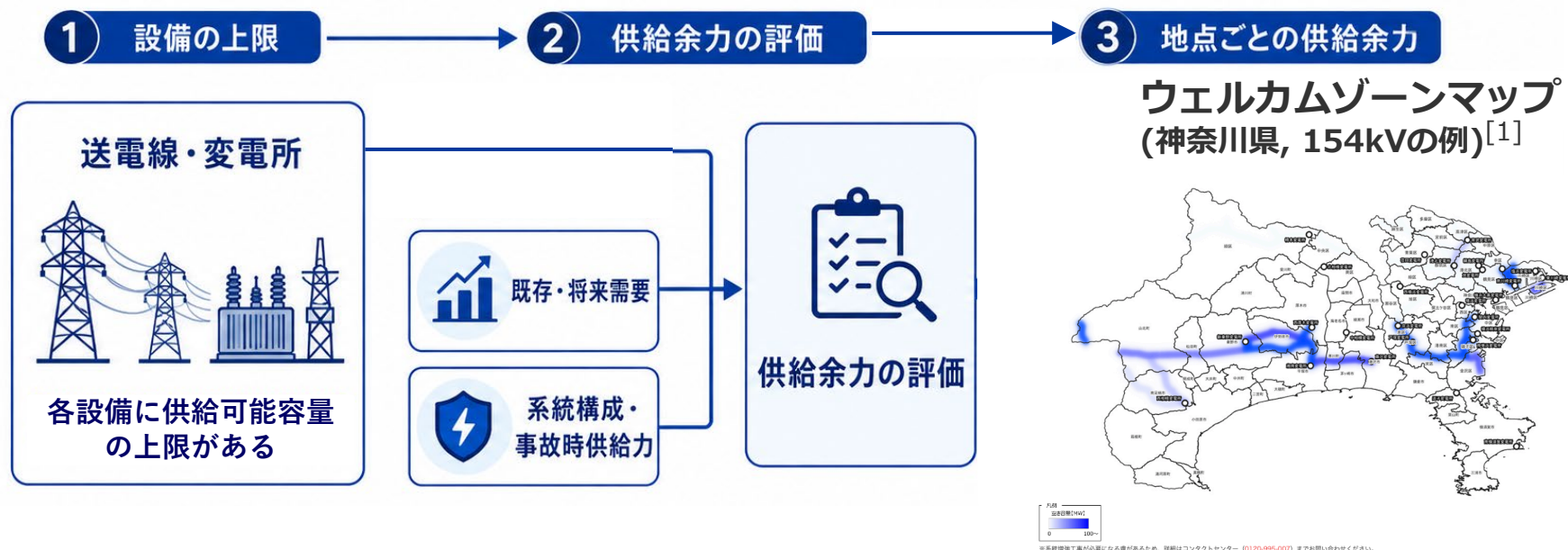
03. 国内外での DC系統接続の論点



04. DCの電力利用と 情報通信連携

前提：電力系統には供給可能な容量に制約がある

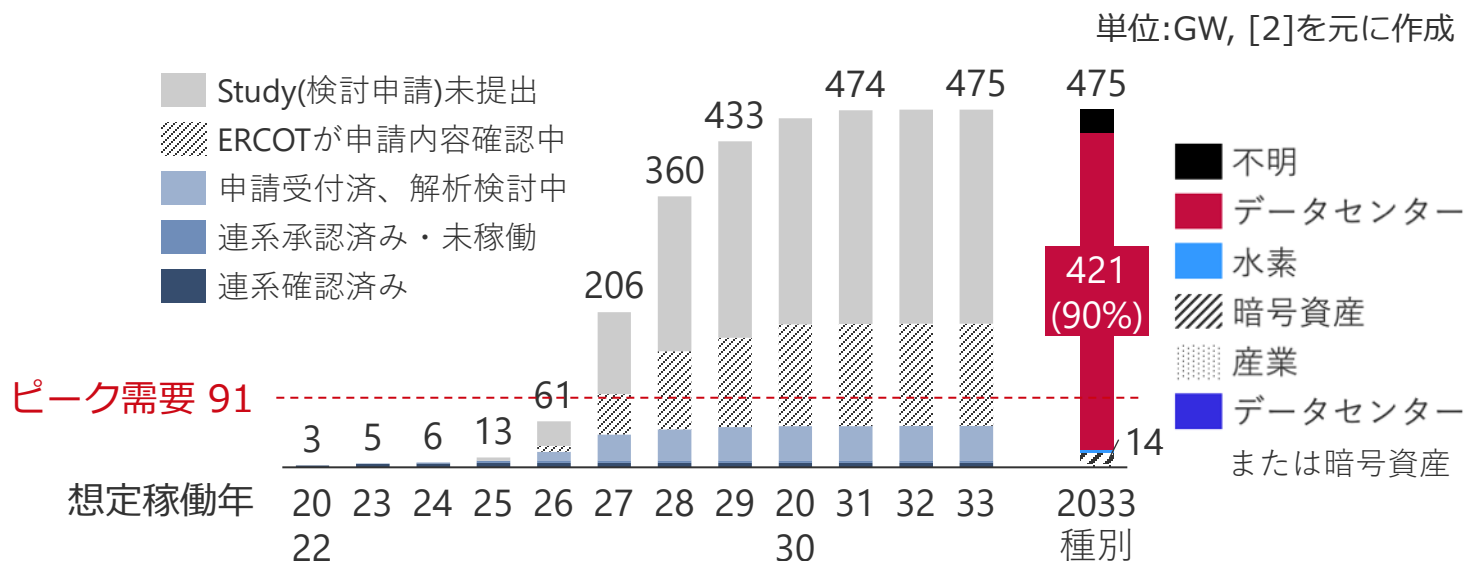
- 送電線・変電所などの電力設備には、供給できる電力に上限がある。
- 実際の供給可能容量は、設備容量だけでなく、既存・将来需要、系統構成、事故時の供給能力等を考慮して決まる。
- このため、新たな大口需要を受け入れられる余力は地域・地点によって異なる。



電力系統接続待ち行列が長く、接続までに時間がかかる

- 米国ERCOT管区は、米国で最も電力需要が増加 (2025-26年に年率11%増^[1])
 - ERCOTのピーク需要約**91 GW** (2026年7月) に対し、ERCOTの大規模負荷※接続**検討**容量は約**474.7 GW**、その約**90%がDC** (2026年6月時点、あくまで「検討」容量)
- 日本でも、**蓄電池およびDC**の事前協議、接続検討、接続申込が非常に多い

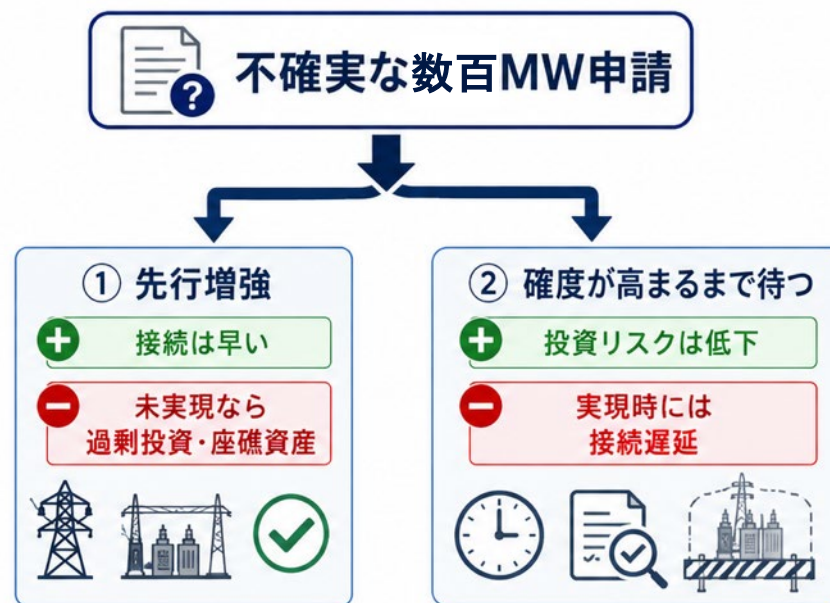
テキサス州ERCOTの大規模負荷の接続申請 (2026年6月時点)



※ 大規模負荷：ERCOTの大規模負荷 (Large Load) とは、単一の敷地内にある1つ以上の施設で、1つ以上の共通の接続点 (POI) またはサービス提供点を介して、合計ピーク需要が75 MW以上となるものと定義される。

電力系統投資は「先に造れば座礁リスク、待てば接続遅延」のジレンマを抱える

- 前述のように、DC建設は早ければ1～3年である一方、新規送配電線は4年以上、ケースによっては**7～10年を要する**。
 - 案件の実現確度が低いうちに設備投資すると、案件中止時に過剰設備・座礁資産となる。
 - 実現確度が高まるまで待てば、DC側の希望時期に電力供給できない**可能性がある**。



大規模DCの接続では送電線だけではなく、追加の供給力も必要

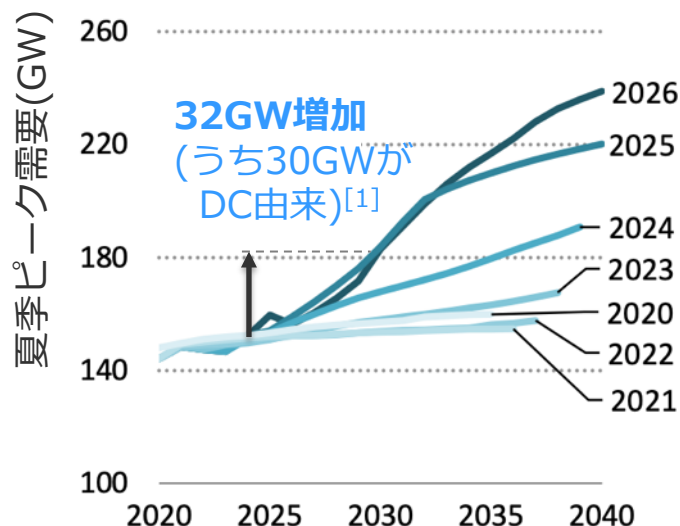
- 数百MW～GW級の電力需要には、
 - 送配電容量に加え、
 - 供給力・予備力・調整力の確保が必要になる。
- DCが発電所近傍で直接電力を調達したとしても、バックアップ供給、周波数・電圧維持などで系統に依存する場合がある。



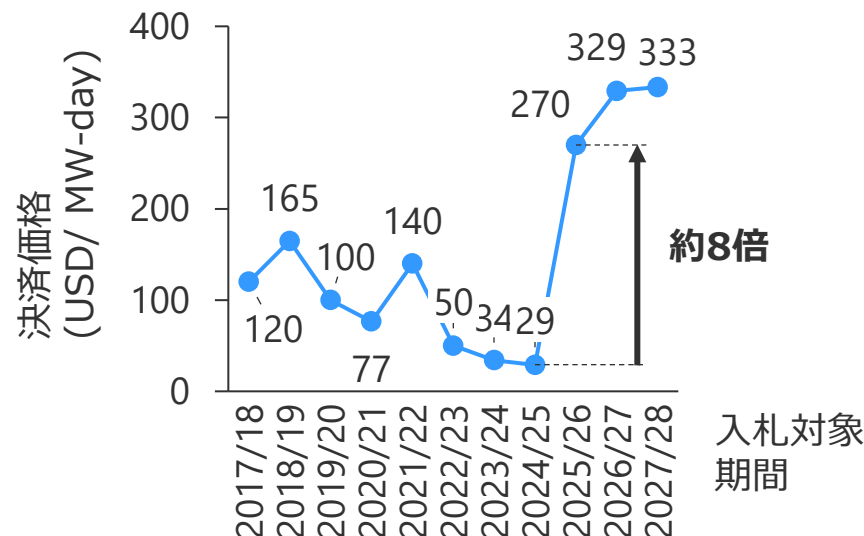
短期間の大規模な需要増は、送電設備だけでなく「将来の供給力確保」に波及する

- 米国PJMは2025年8月時点で、2030年までにピーク需要が**32 GW**増加し、そのうち**約30 GW**が**DC由来**と想定していた^[1]。
- 容量市場の決済価格は、2024/25年度の**28.92 \$/MW-day**から2025/26年度**269.92 \$/MW-day**へ**約8倍**となった^[3]。
- DCだけが価格上昇の唯一の原因ではないが、大規模需要増は追加供給力を必要とするため、容量市場の価格を高めうる。

PJMのピーク需要の見通し^[2]



PJMの容量市場各年度第1回目の決済価格^[3]



データセンターの電力需要予測は難しく、大きな負荷変動を起こすことがある

- 電力系統の運用では、需要を満たしつつ同時に十分な予備力が必要。このバランスを維持できない場合、**負荷遮断や大規模停電に繋がる恐れ**がある。
 - 特に、予備力が負荷変動に十分対応できない場合にも、そのリスクが高まる。
- 実際に、**DCが一斉に電力系統から切断し**、電力需要が急減した事例がある^{[1][2]}。
 - 米バージニア州にて、2024年7月 **1.5 GW**、2026年7月 **3.8 GW**。

北米のあるDCにおいて、約450 MWの負荷が36秒間で急減した例^[1]

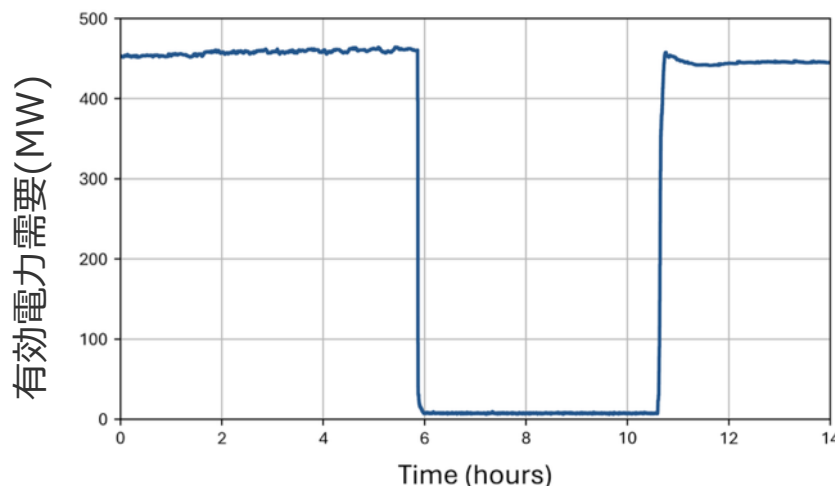
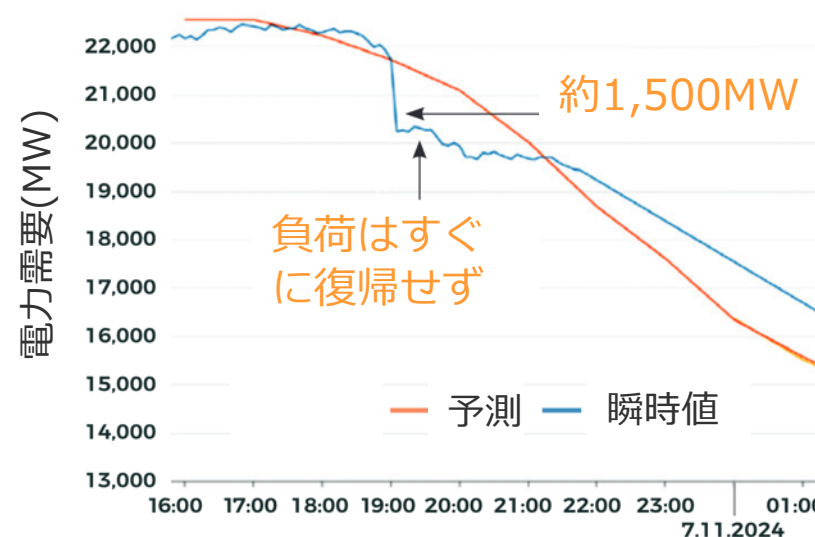
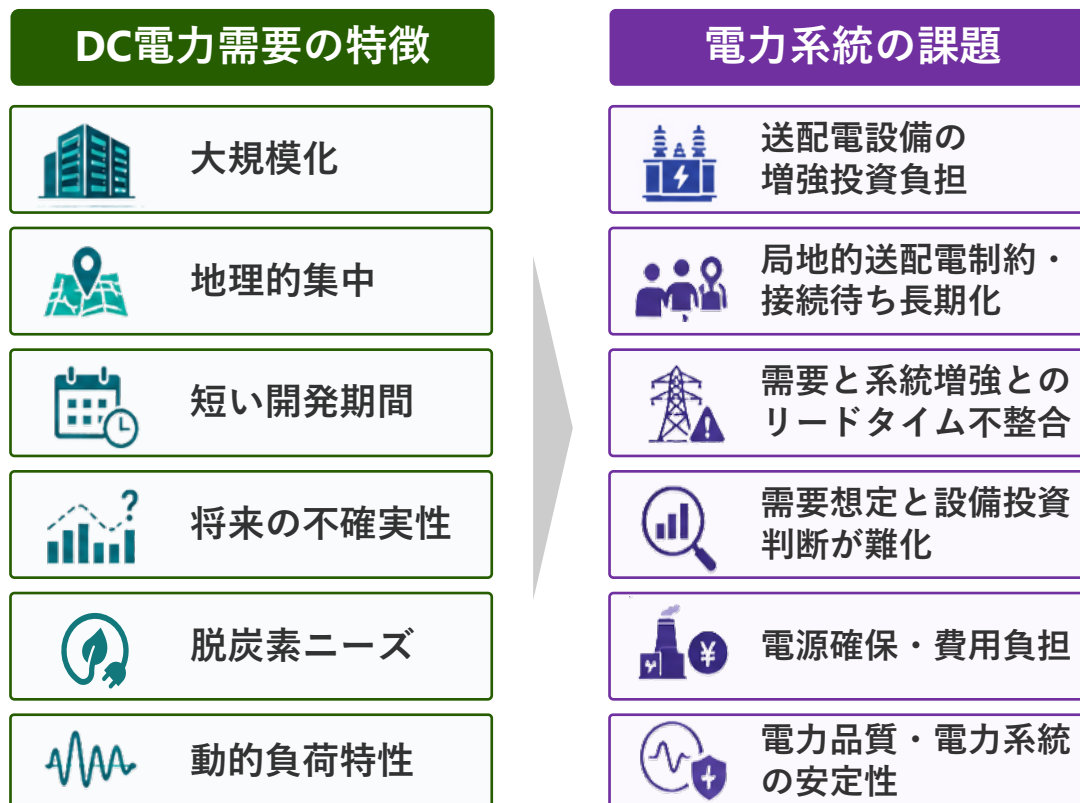


Figure 3.1: Data Center Load Ramp Down and Up

北バージニアのDC一斉切断事例 (2024年7月)^[2]を元に著者が訳注



今後のDCの系統接続は単なる電力量増加ではなく、従来とは異なる複合的な課題を電力系統にもたらしている





01. DC需要拡大の特徴



02. 電力系統が 直面する課題



03. 国内外での DC系統接続の論点



04. DCの電力利用と 情報通信連携

地点・時期・条件が組み合わさった大規模な需要の系統接続を考える必要がある

❓ どの案件を、いつ、何MW、どんな条件で系統接続すればいいのか？

▶ 接続制度の見直しや、データセンターの柔軟性の活用が求められる

DC電力需要の特徴



大規模化



地理的集中



短い開発期間



将来の不確実性



脱炭素ニーズ



動的負荷特性

電力系統の課題



送配電設備の
増強投資負担



局地的送配電制約・
接続待ち長期化



需要と系統増強との
リードタイム不整合



需要想定と設備投資
判断が難化



電源確保・費用負担



電力品質・電力系統
の安定性

❓ 接続面での論点

接続可能性の情報公開と接続手続の規律化

■ [立地・申込前] 接続可能性を見える化：

- ウェルカムゾーンマップを拡充し需要家が接続申込前に確認できる情報を増やす。
- データセンター集積型GX戦略地域を選定し、自治体がDC誘致計画を策定

■ [契約申込時] 技術検討に必要な情報を確定： 契約申込時点で、技術検討に必要な情報が一定程度確定していることを求める方向で制度を見直す。

■ [供給承諾後] 容量確保のまま長期間手続きを止めない：供給承諾後は、原則3か月以内に工事費負担金を入金。接続意思を具体的なコミットメントで確認する。

DC集積型 産業立地の例^[1]

「GX産業立地」の類型

② データセンターの集積

電力・通信インフラを踏まえてDC集積地を形成。DC需要に対応。



ブラジル：世界最大級のDC集積地を構想（約3GW）

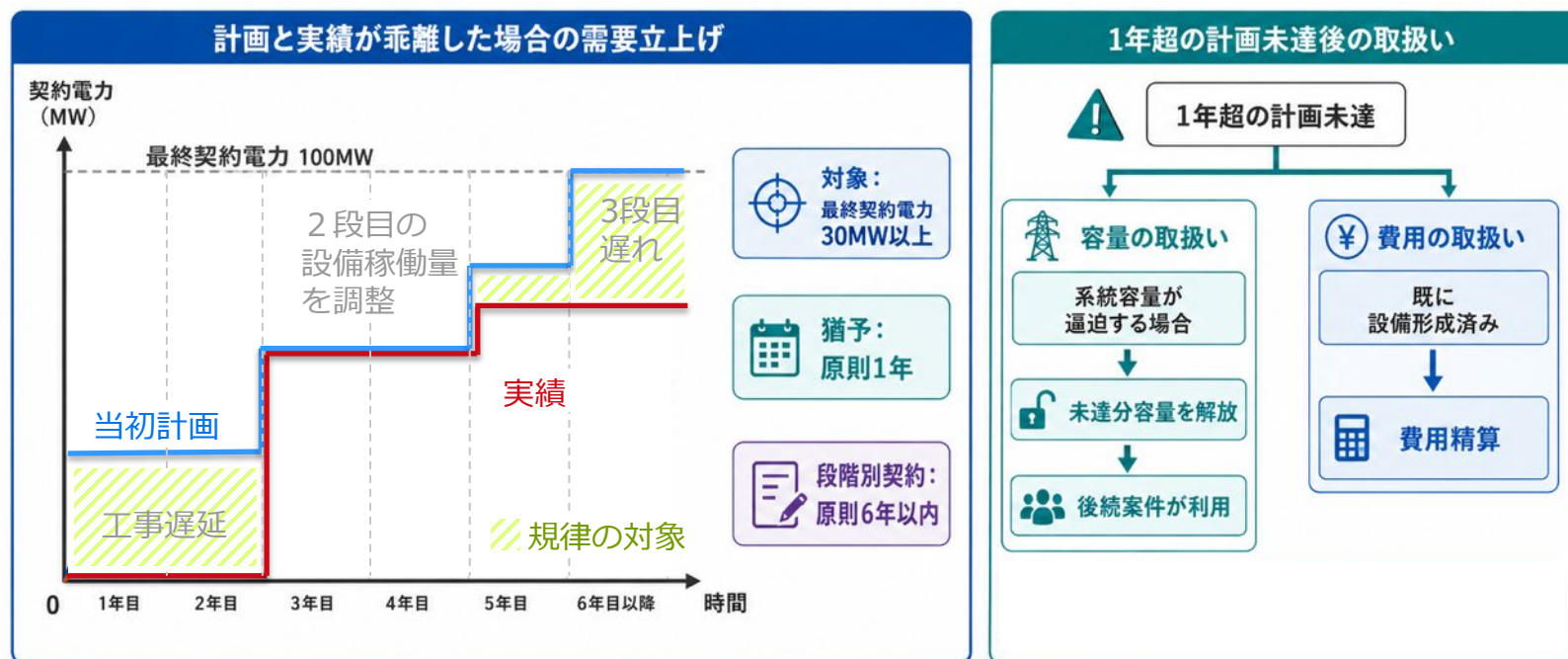
DCの接続手続きの変更の方向性（[1]に基づき作成）



「空押さえ」防止のため需要立上げ未達時の容量解放・費用精算の方向性

■ 2027年4月より、30MW以上の大規模需要には需要立上げの期限を設ける方向^[1]

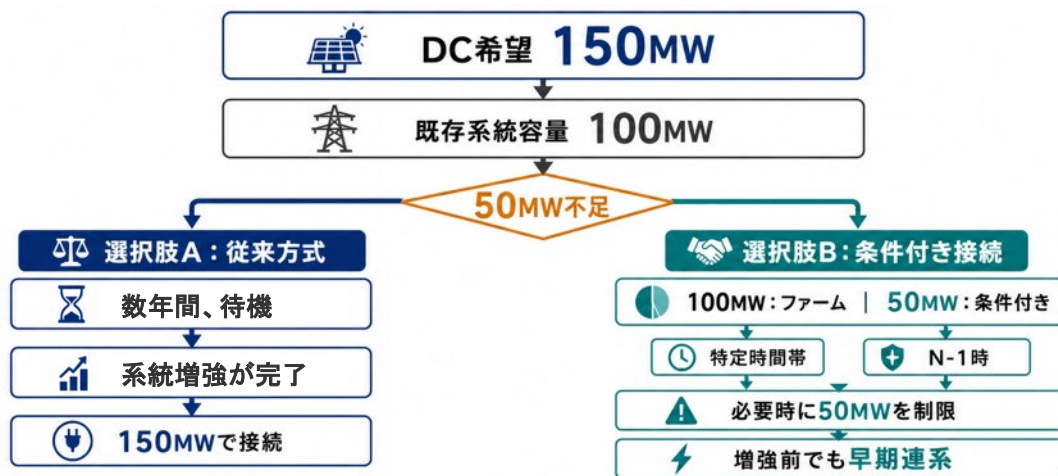
- 検討案では、段階別契約期間は**原則6年以内**とする。
- 電力需要が計画より下回る場合でも**原則1年間の猶予期間**を設け、猶予期間を超えて計画未達が続く場合、系統容量が逼迫する地域では、**計画未達分の確保容量を解放し、後続案件が利用できるようにする**。
- 一方、需要家の当初計画を前提として形成した設備の費用は、**需要家に一定の費用精算を求める**。



条件付き接続による早期連系が議論されている

- 系統増強完了まで待つのではなく、**DCの柔軟性を活かすことを条件に早期連系する選択肢**を設けることが議論されている^[1]。ただし、技術や制度の詳細化は今後の課題。
 - 従来は、需要家は契約容量を平常時から系統逼迫時まで利用できることを前提に、必要な系統増強が完了してから接続する考え方が基本だった。
 - 条件付き接続の案として「**特定時間帯に受電上限を設ける方式**」（空き容量②）と「**N-1時に受電を制限する方式**」（空き容量③）※が示されている。

条件付き接続による早期連系のイメージ



変電所の空き容量の模式図^[2]

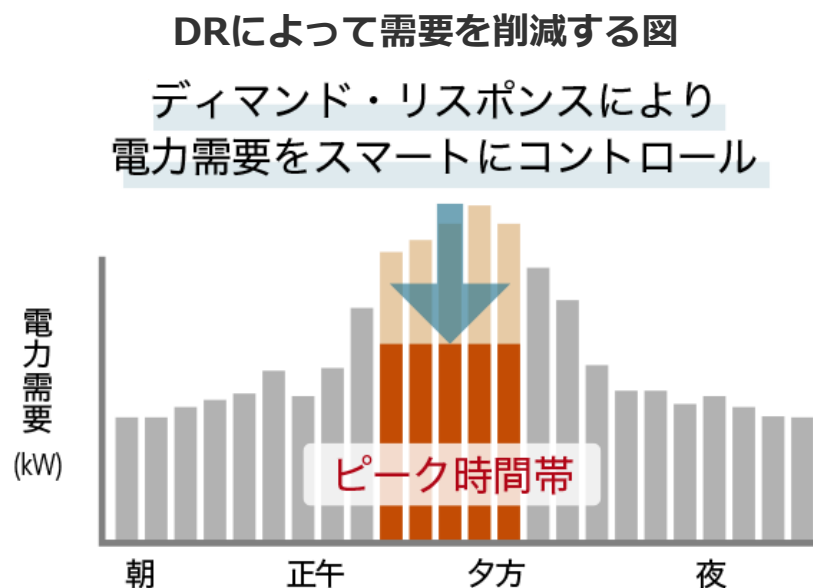
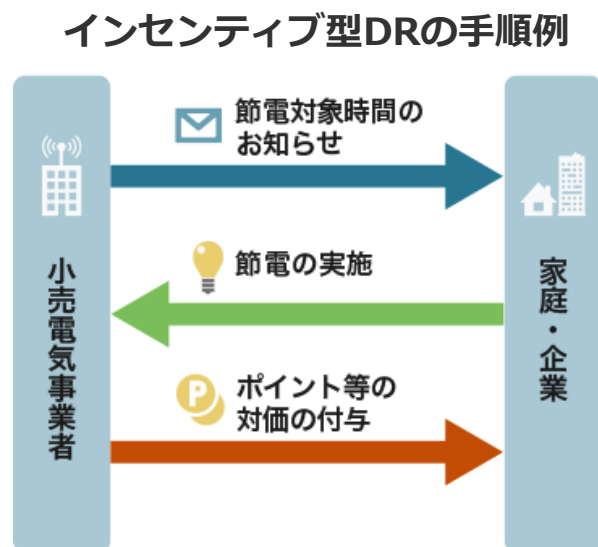


※N-1時に受電を制限する方式：通常、電力系統は系統信頼性を考慮して、単一設備故障（変圧器事故、送電線1回線事故等、N-1故障という）が継続した場合でも、安定的に電力供給継続できるように潮流の上限値設定しており、これを運用容量という。このため、仮に設備容量と運用容量との差を「空き容量③」と定義し、系統余力として活用を検討する場合、送電設備保護の観点から、系統事故発生時は速やかにお客さまの受電を制限する必要がある。

条件付き接続とディマンド・リスポンスの違い

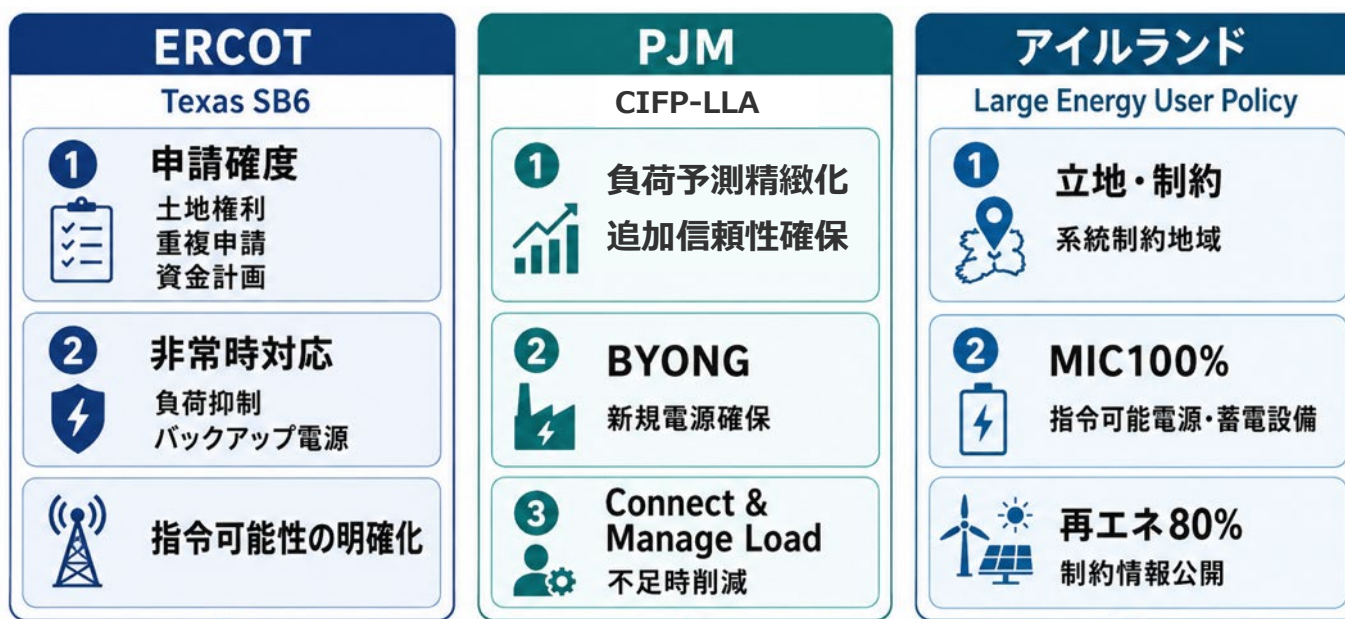
- 「負荷を上下させる」という物理動作は同じでも、条件付き接続とDRは異なる制度。
 - **条件付き接続**は、系統制約時の受電制限をあらかじめ受け入れることを条件として、系統増強完了前でも接続を可能にする考え方。
 - **ディマンド・リスポンス（DR）**は、すでに接続された需要家から、価格・市場・契約を通じて運用段階の柔軟性を調達する仕組み。

ディマンド・リスポンスの模式図^[1]



海外における大規模負荷への条件付き接続制度

- 海外では、**大規模負荷の柔軟性を活用することを前提とした条件付き接続**という中間的な接続形態を設計する方向性が見られる。
 - テキサス州Senate Bill 6 (ERCOT管区)(2025年)：大規模負荷の申請確認＋非常時負荷制御^[1]
 - PJM CIFP-LLA (2026年1月)：BYONG (自前発電設備) 等による追加供給力の確保＋逼迫時の負荷制御^[2]
 - アイルランドLEUP (2025年12月)：立地制約＋需要家側電源設置＋再エネ近接を接続条件化^[3]



BYONG：Bring Your Own New Generation、CIFP-LLA：Critical Issue Fast Path—Large Load Additions、LEUP：Large Energy User Policy、MIC：Maximum Import Capacity (大受電容量)

データセンター開発計画の確度や電力系統状態を踏まえて、柔軟性を活用することを前提に接続する方向へ

❓ どの案件を、いつ、何MW、どんな条件で系統接続すればいいのか？

▶ 接続制度の見直しや、データセンターの柔軟性の活用が求められる

DC電力需要の特徴



大規模化



地理的集中



短い開発期間



将来の不確実性



脱炭素ニーズ



動的負荷特性

電力系統の課題



送配電設備の
増強投資負担



局地的送配電制約・
接続待ち長期化



需要と系統増強との
リードタイム不整合



需要想定と設備投資
判断が難化



電源確保・費用負担



電力品質・電力系統
の安定性

接続面での論点



接続可能地点の情報
公開と立地誘導



申請成熟度確認・
未利用容量の解放



条件付き接続



接続審査・運用ルー
ルの変更



大口負荷の接続条件
と費用負担



01. DC需要拡大の特徴



02. 電力系統が 直面する課題



03. 国内外での DC系統接続の論点

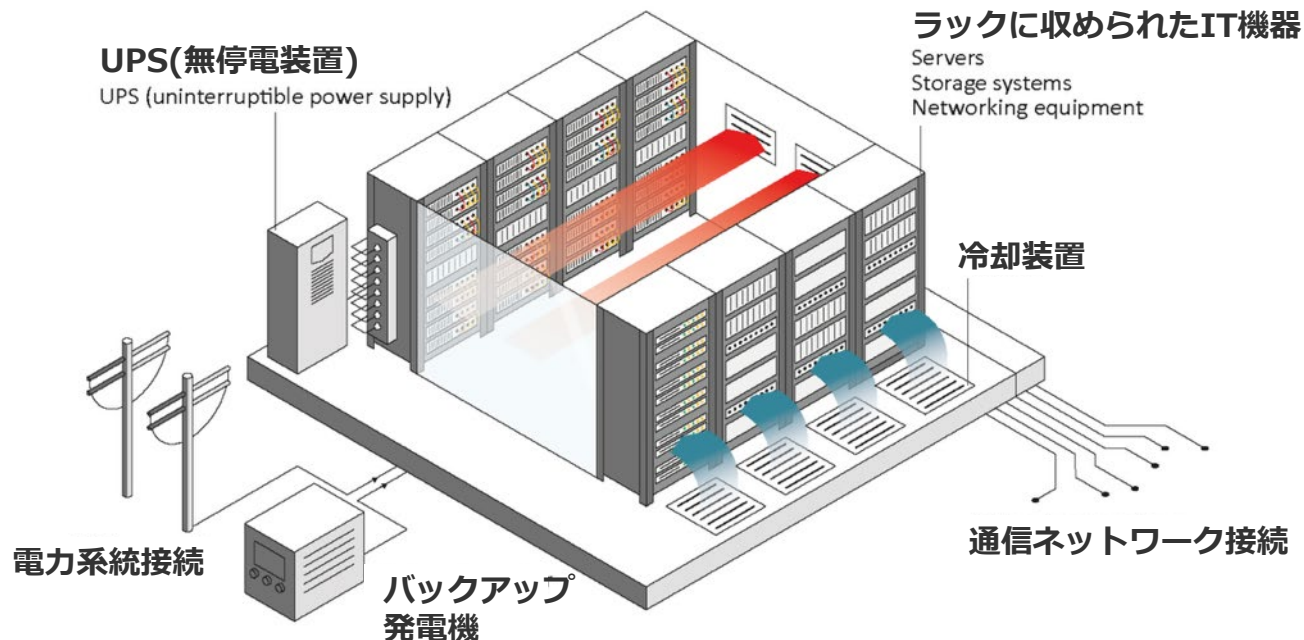


04. DCの電力利用と 情報通信連携

大規模DCは、系統接続に課題がある一方、内部設備を活用することで「動かさる需要」(電力系統から見た柔軟性)にもなり得る

- データセンターにはUPS、蓄電池、冷却設備、オンサイト電源、IT設備など、受電電力を変化させ得る設備が存在する。
- ただし設備ごとに、応答速度・継続時間・制御可能量・本来用途が異なるため、いつ・何MW・何分間・どの程度確実に動かせるかを評価する必要がある。

データセンターの構成要素の例^[1]

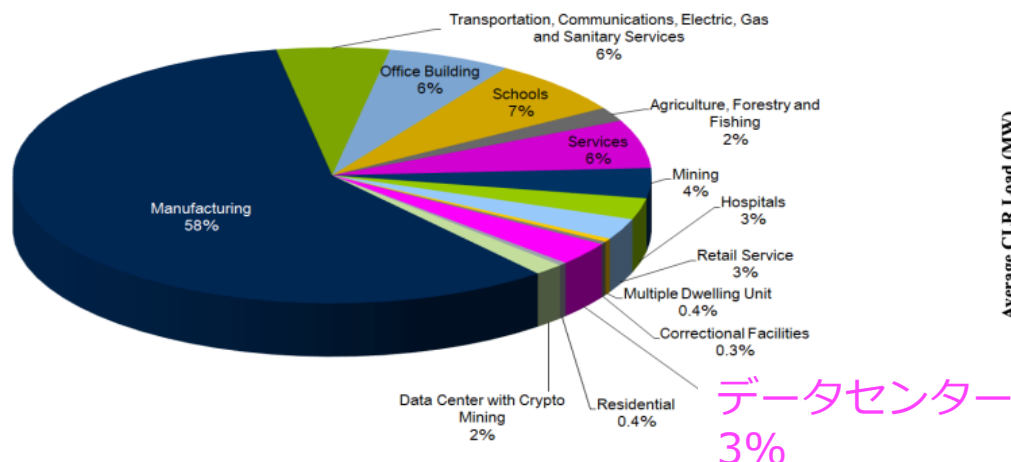


IEA. CC BY 4.0.

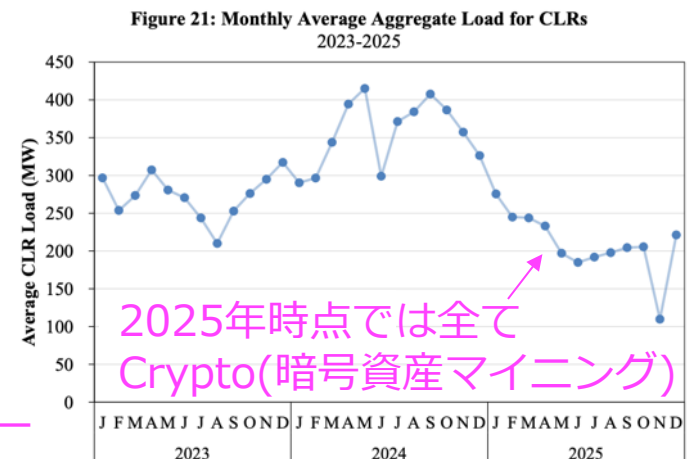
海外におけるDCのデマンドレスポンス参加実績

- DCのDRは技術的可能性だけではなく、実際のDR参加・負荷制御事例も現れつつある。
 - PJMではDCを対象とするEconomic DRの発動実績があり、Load Management DRにもデータセンターが登録容量として確認されている。
 - ERCOTでは、特に暗号資産マイニングが、SCEDに参加する可制御負荷の100%、緊急予備力サービス(ERS)の64%以上(2026年春時点)を占めている。

PJMの確認済み負荷管理DR登録(2025/26年)^[1]



ERCOTのSCEDに参加するCLR^[2]

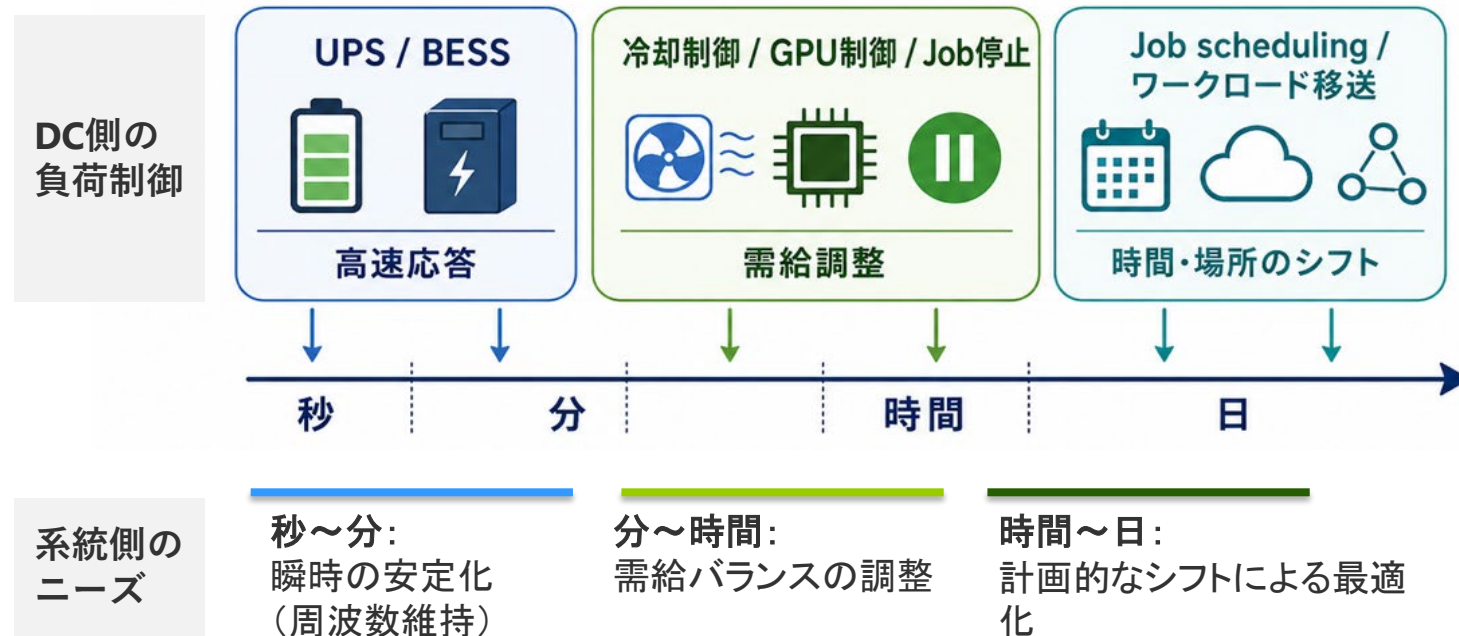


※ **SCED**: Security-Constrained Economic Dispatch, **CLR**: Controllable Load Resource, **ERS**: Emergency Reserve Service

DCの柔軟性を引き出すには、秒・分・時間・日の時間軸ごとに、様々な設備活用が考えられる

- 秒～分：UPS・蓄電池による高速応答や周波数調整。
- 分～時間：蓄電池、冷却制御、非重要負荷の停止、一部ITワークロード抑制。
- 時間～日：ジョブの実行時刻変更や、別地域DCへのワークロード移送。

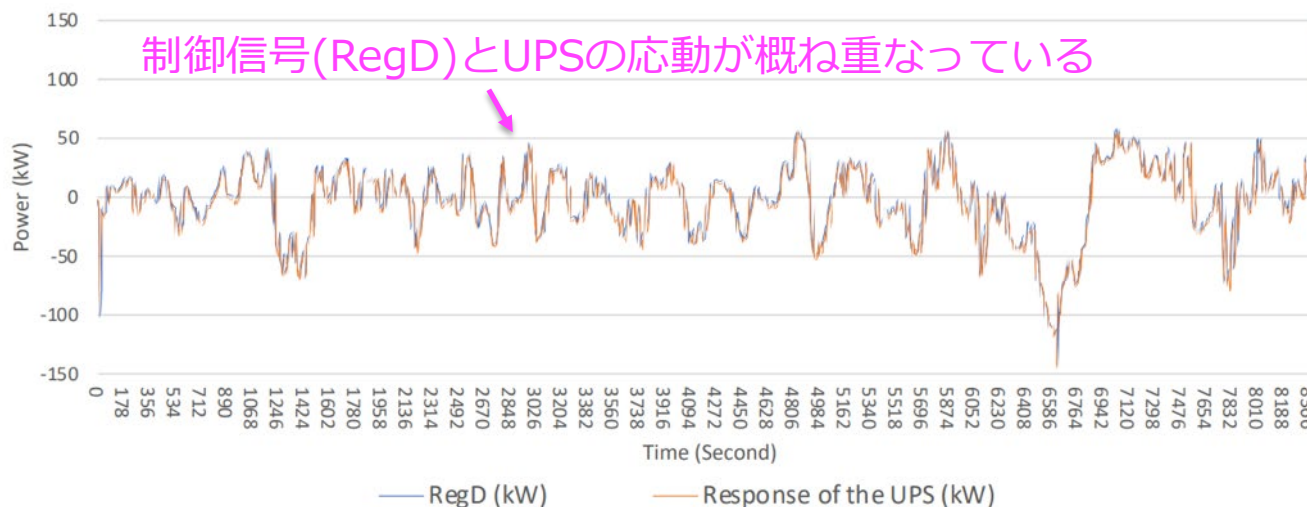
時間軸ごとの動かさうる負荷の種別



秒～分：UPS・蓄電池による高速応答

- EatonおよびMicrosoftは、DCの非常用UPSを用いて、系統周波数の安定化に活用
 - DCのUPSは本来、系統電力の停電時にサーバーへの電力供給を維持し、非常用発電機へ切り替わるまでを支える**バックアップ設備**である。
 - MicrosoftはEaton等と、UPSを機能拡張した**グリッドインタラクティブUPS (GUPS)**を開発し、平常時には系統とリアルタイムに電力をやり取りする仕組みを構築した^[1]。
 - MicrosoftのダブリンDCでは、GUPSをEirGridの系統サービスに接続し、系統周波数の変動に対して**1秒未満で短時間の電力を充放電する運用を実装した^[2]**。

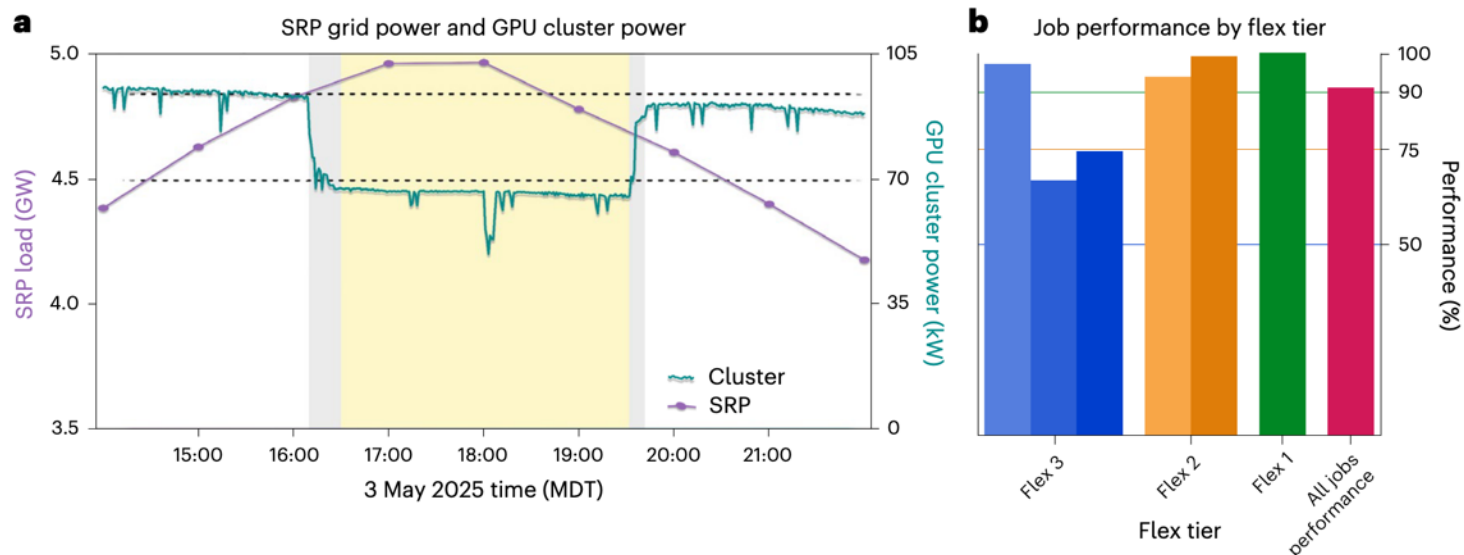
EatonによるPJMエリアでのGUPSの周波数応答実証^[1]



分～時間：非重要負荷の停止、一部ITワークロード制御

- DC全体を止めるのではなく、一部の計算ワークロードだけを選択的に抑制する。
 - IT負荷では、バッチ処理、バックアップ、動画処理、モデル評価、学習処理など、**即時処理を必要としないワークロード**が削減・延期の候補となる。
 - Emerald AIとSRPによる実証では、ジョブ停止、GPU割当数変更、GPU電力上限制御を組み合わせ、**3時間にわたり25%の消費電力削減**を行った^[1]。

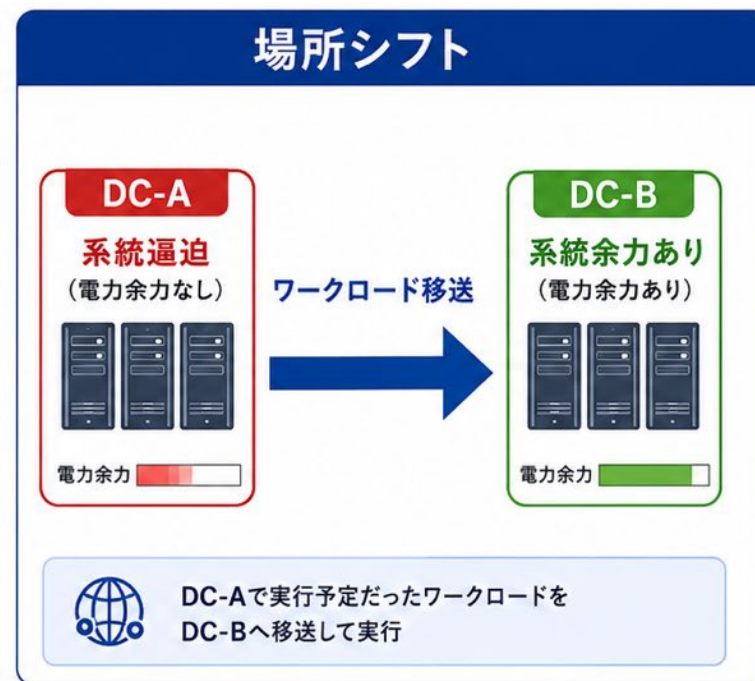
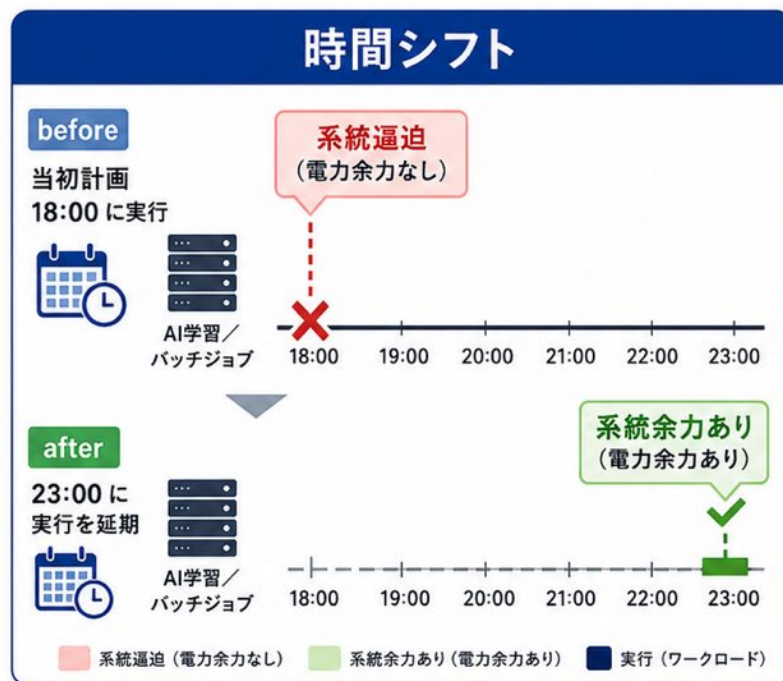
SRP※のピーク需要時間帯におけるAIクラスターの消費電力削減^[1]



※ SRP: Salt River Project (アリゾナ州フェニックス周辺のユーティリティ)

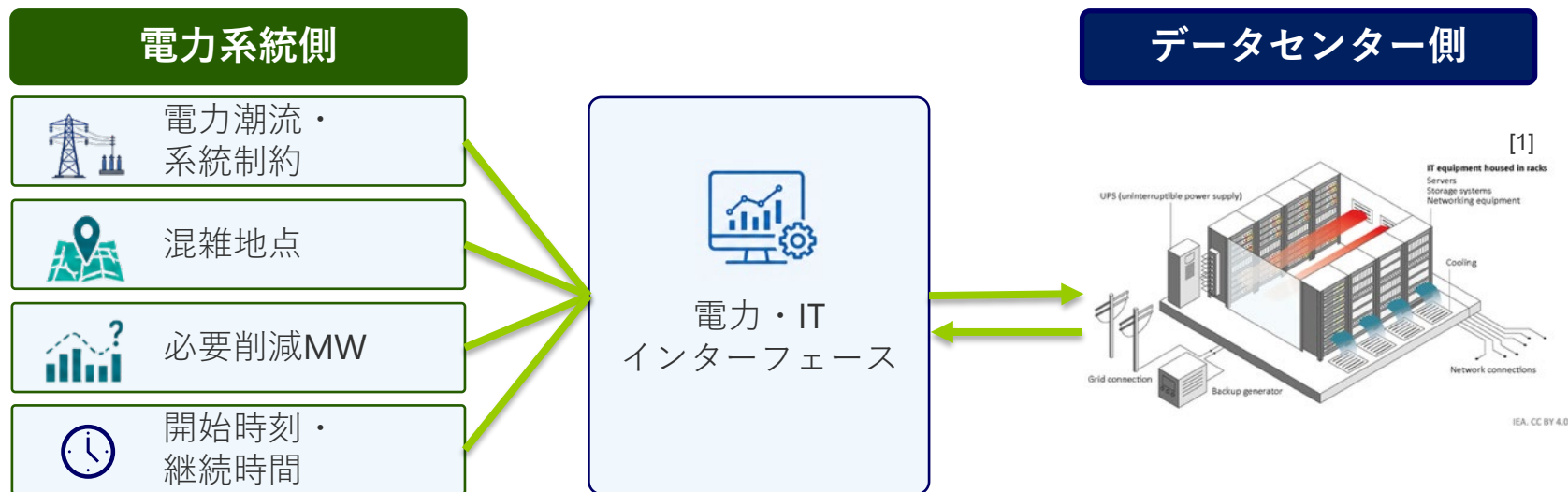
時間～日：計算負荷シフト：電力需要の時間と場所を変える

- 学習、バックアップ、バッチ処理など遅延許容可能な処理は、電力系統の状態に応じて**実行時刻を延期**しうる。
 - 複数地域にDCを持つ事業者は、系統逼迫地域から別地域へ計算処理を移し、特定地点の受電電力を減らせる可能性がある（例：Google^[1]、東電PG & 日立^[2]）。
 - ただし、通信遅延、回線容量、データ所在地規制、情報セキュリティ、移送先の計算容量・電力余力が制約となる。



系統側の制約と、DC側の計算・設備制御の間で、共通認識をもって対話することが求められる

- 電力 × 情報通信を連携するためには、**電力側とIT側をつなぐ仕組みが必要である。**
 - 系統側からDCへ、接続可能容量、混雑地点、必要削減量、発動時刻、継続時間などの電力系統側の制約を伝える必要がある。
 - DC側が提供するのは、接続点での受電量の情報であり、内部のUPS・冷却・IT制御方法はDC側が選択する。



EPRI DCFlex : 電力とITの業界横断プロジェクト

- EPRIは2024年に**Data Center Flexible Load Initiative (DCFlex)** ^[1]を開始。
 - Google、NVIDIA等のIT企業に加え、電力会社、ISO/TSO、設備メーカー等が参画。
 - 個別企業のDR実証ではなく、**DC事業者と電力系統側が共通して利用できる設計・運用方法の確立**を目指している。
- **5～10のFlexibility Hubs**を構築し、実環境でDCと系統の統合戦略を検証。
 - UPS・蓄電池、負荷制御、アンシラリーサービス、再エネとの統合等を評価する。
- 実証に基づき「制度・計画」を目指す
 - **技術**：系統が必要とする柔軟性からDCの設計仕様を定義
 - **運用・市場**：料金、DRプログラム、ディスパッチ方法を設計
 - **計画**：柔軟な大口需要を系統計画へ織り込む予測・ツールを構築

EPRI DCFlex 概要 (2026年4月時点)^[1]



ワット・ビット連携

- **ワット・ビット連携は、電力インフラと通信・計算インフラを一体で計画し、DC需要を系統余力のある場所・時間へ誘導する構想**
 - 総務省、経済産業省が2025年6月、ワット・ビット連携官民懇談会 取りまとめ1.0を発表^[1]
- **短期：既存系統余力を活用した立地誘導**
 - ウェルカムゾーンマップ等による系統余力情報の共有し、系統余力を踏まえてDC立地を誘導する考え方。
- **中長期：電力＋通信を踏まえたDC拠点形成**
 - 電力・通信インフラを一体的に整備し、**新たな大規模DC集積拠点**を形成。
 - 東京・大阪への過度な集中を緩和し、DCの地方分散・高度化を進める。
 - 計算需要の立地を、通信だけでなく**電源・系統制約も含めて最適化**する方向。
- **将来：計算処理そのものを動かす**
 - オール光ネットワーク等により複数DCを低遅延・大容量で接続できれば、**ワークロードを時間・地域間で移送**できる可能性がある。
 - 系統逼迫地域から余力地域へ、あるいは再エネ余剰地域・時間帯へ計算処理を移すことが考えられる。



DC電力需要を最大限受け入れるために、系統増強だけでなく、電力×情報通信連携によって需要側柔軟性を最大限引き出す

- ① 条件付き接続：電力系統制約の下では、一定の受電制限を条件として早期接続する中間的な接続形態を用いる
- ② 柔軟性を活用：DCを「制御可能な需要」へ
- ③ 電力系統と情報通信・IT業界をつなぐ対話・制度・情報インターフェースが必要

