

データセンターを系統に「繋ぐ」 ー DC負荷特性による系統影響 ー

主任研究員 佐藤 勇人



DC
Open
Intelligence

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



(参考) 目次とキーメッセージ

◆ 1. DCの急増に伴う系統課題

- DCを系統に「繋ぐ」には、供給力・電力系統の安定性の双方の確保が重要になる。
- DCを系統に「繋ぐ」には、電力系統の安定性全般への影響を考慮する必要がある。

◆ 2. 海外における系統影響と対応

- DCの構成に由来した負荷特性による系統影響が生じている。
- 電力の安定供給を維持しつつ、DCの円滑な系統接続を実現するため、必要な性能等を定める接続ルール（グリッドコード等）が整備されつつある。

◆ 3. 国内で懸念される系統影響とは

- 電気学会標準モデルを用いた実効値解析シミュレーションから、国内系統でも海外と同様に、DCの負荷特性により同期安定性・周波数安定性面で相応の影響が懸念される。

◆ 4. 国内で取るべき対応とは

- 海外と同様にDCの負荷特性による様々な系統影響が想定されるため、まずは、国内DCの負荷特性の実態把握が重要となるのではないかな。
- さらに、国内系統の特徴を踏まえて、効果や効率等を総合的に勘案した適切な対策が講じられるように接続ルールの検討を進める必要があるのではないかな。
- DCの系統接続を円滑に進めるため、引き続き、関係者間での情報共有・議論促進が重要となる。



01. DCの急増に伴う 系統課題



02. 海外における 系統影響と対応



03. 国内で懸念される 系統影響とは



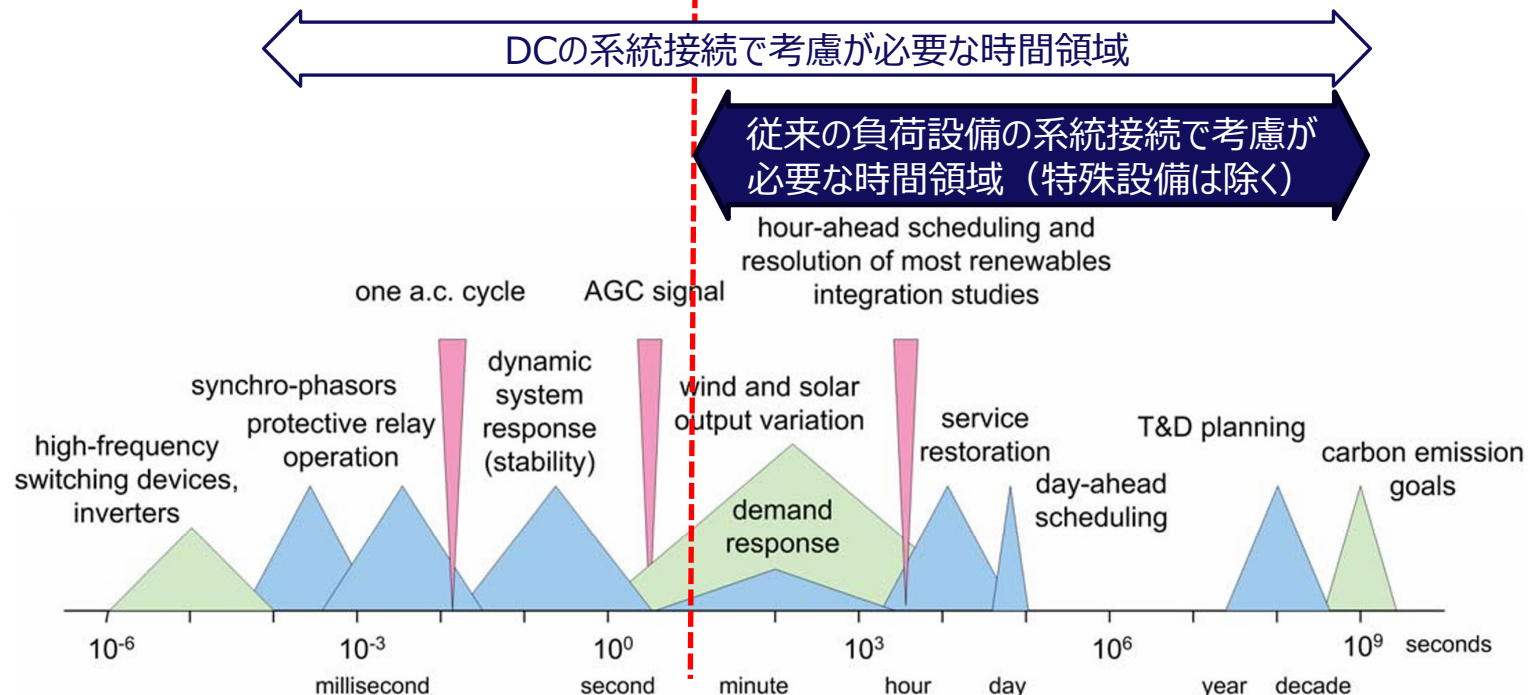
04. 国内で取るべき 対応とは

DCを系統に繋ぐには供給力・電力系統の安定性の双方の確保が重要

- ◆ DCを系統に「繋ぐ」とは、電力の安定供給を維持しつつ、DCを円滑に系統接続すること。
- ◆ 電力の安定供給には、計画・運用・制御・保護面で幅広い時間領域への対応が求められ、DCの系統接続においては、短い時間領域における電力系統の安定性への注視も必要となる。

系統運用等のタイムスケールと負荷設備の系統接続で考慮が必要な時間領域

講演 2 : 短い時間領域で見た系統安定性確保の観点 ← → 講演 1 : 長い時間領域で見た供給力確保・設備形成の観点



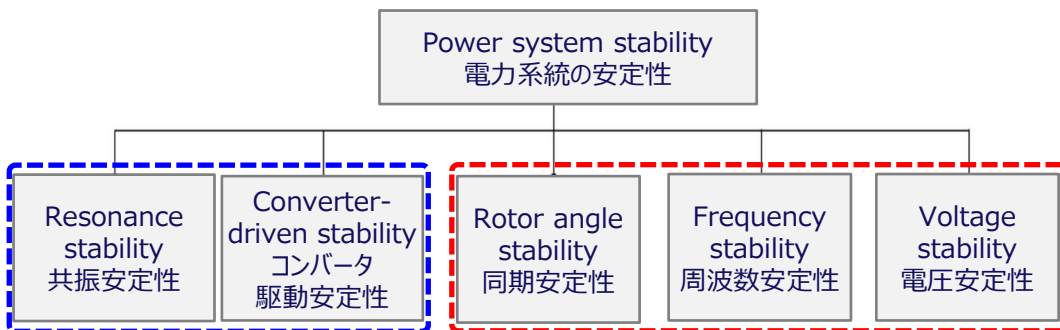
文献[1], Fig. 1を基に作成。

[1] A. von Meier, "Integration of renewable generation in California: Coordination challenges in time and space," in Proc. 2011 11th Int. Conf. Electrical Power Quality and Utilisation (EPQU), Lisbon, Portugal, Oct. 17-19, 2011, pp. 1-6

DCを系統に繋ぐには電力系統の安定性全般への影響を考慮する必要がある

- ◆ 電力系統の安定性として、5種類：従来の電圧・周波数・同期安定性（m秒～）に加え、より短い時間領域のコンバータ駆動・共振安定性（μ秒～）を確保する必要がある。
- ◆ これらの安定性の全てに、DCの負荷特性による影響が生じるため、幅広い系統現象の検討が必要となる。

電力系統の安定性の分類

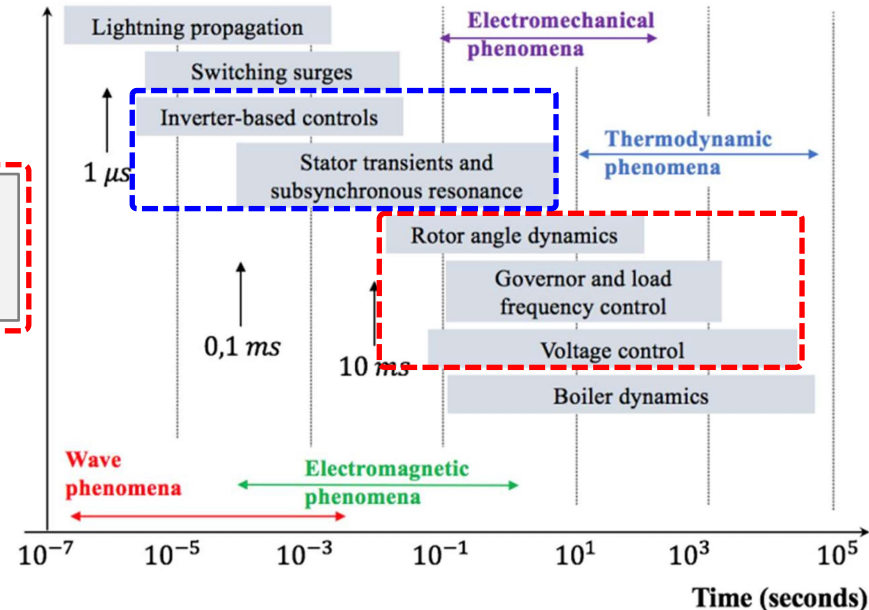


パワエレ機器等が関与する
2分類（2021年～追加）

従来は同期発電機主体の
3分類（～2020年まで）

文献[2], Fig. 2を基に作成。

電力系統の安定性・事象のタイムスケール

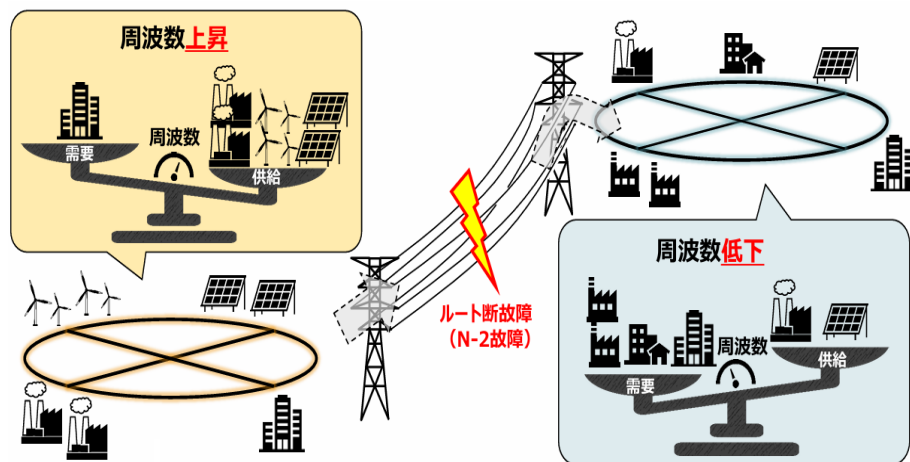


文献[2], Fig. 1を基に作成。

(補足) 周波数安定性の確保：需給不均衡時に周波数を維持回復させる
同期安定性の確保：系統の全同期発電機の同期運転を継続させる

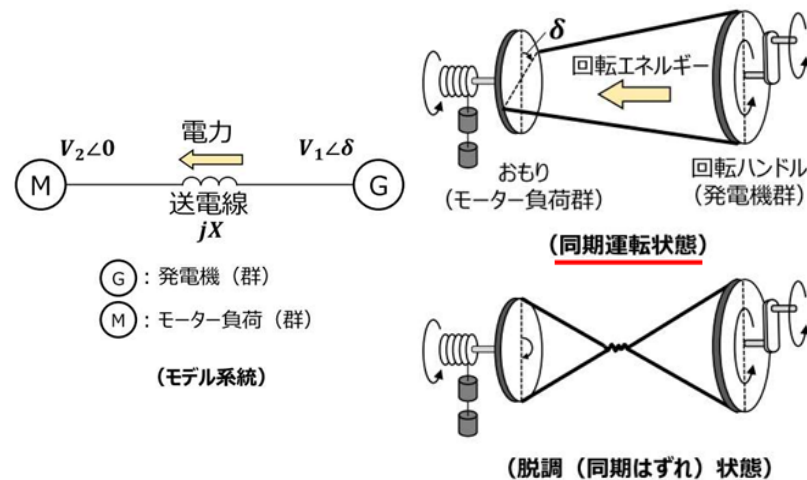
- ◆ 周波数安定性の確保とは、負荷・電源等の脱落によって需給のバランスが崩れても、**周波数の変動を許容範囲内に抑え、安定した値に回復させること。**
- ◆ 同期安定性の確保とは、平常時の負荷変動や系統操作・系統事故等によって電力の流れが変化しても、**系統の全ての同期発電機が同じ速度で運転継続できるようにすること。**

周波数安定性について



文献[3]を基に作成。

同期安定性について



文献[3]を基に作成。



01. DCの急増に伴う 系統課題



02. 海外における 系統影響と対応



03. 国内で懸念される 系統影響とは



04. 国内で取るべき 対応とは

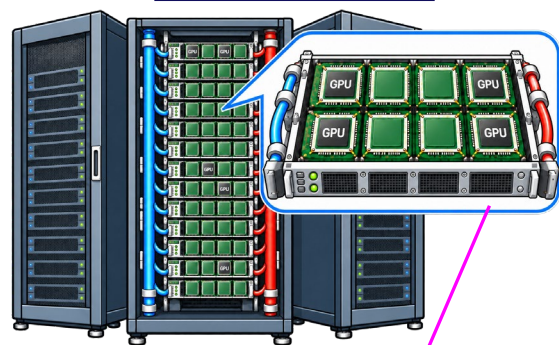
海外では、**DCの構成に由来した負荷特性による系統影響が生じており**
円滑な系統接続に向けてDCに所定の性能が求められている

- ◆ DCは、その構成・用途等に由来して平常時と事故時の双方で特異な負荷特性を有する。
- ◆ DCの大規模（1サイト数百MW）かつ系統増強よりも短いリードタイムでの系統接続により、系統影響が急速に顕在化した（総需要に対してDCの負荷需要が占める割合が急増しており、米：2024年時点で5%、アイルランド：2023年時点で21%に達している）。
- ◆ 電力の安定供給を維持しつつ、DCの円滑な系統接続を実現するため、必要な性能等を定める接続ルール（グリッドコード等）の整備が進みつつある。

構成・用途等の特徴に由来したDCの負荷特性

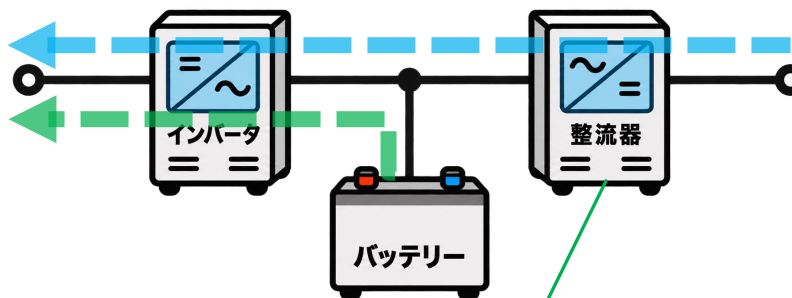
瞬低・停電から計算負荷とデータを保護したい
無瞬断でサービスを継続したい

AI学習向けDC



特徴①：GPUの高密度配置・同期演算
→【平常時】周期的な負荷変動

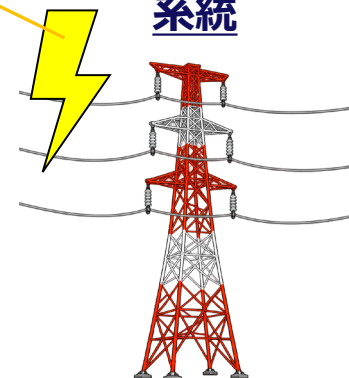
UPS



特徴②：UPSを介して系統接続（青）
→【平常時】パワーレ機器と系統との相互作用

特徴③：瞬低時UPSで給電切替（青→緑）
→【事故時】系統から見て負荷脱落

系統



DCの負荷特性による系統影響は電力品質・電力系統の安定性全般に及ぶ

- ◆ 注視すべきDCの負荷特性は、3種類：AI学習向けDC：【平常時】周期的な負荷変動、DC全般：【平常時】パワーレ機器の特性と【事故時】負荷脱落特性に大別される。
- ◆ これらの負荷特性は、電力品質および電力系統の安定性全般に影響する可能性がある。

DCの負荷特性に起因して顕在化または懸念される系統影響

DCの負荷特性

AI学習向けDC

特徴①：GPUの高密度配置・同期演算
【平常時】周期的な負荷変動

DC全般

特徴②：UPSを介して系統接続
【平常時】パワーレ機器と系統との相互作用

特徴③：瞬低時UPSDで給電切替
【事故時】系統から見て負荷脱落

系統影響

電力品質

従来の同期発電機主体の安定性（m秒～）

電圧安定性

周波数安定性

同期安定性（定態安定度/過渡安定度）

パワーレ機器等が関与する安定性（μ秒～）

コンバータ駆動安定性

共振安定性

太線：顕在化する影響 破線：懸念される影響

(参考) 海外では、**DCの構成に由来した負荷特性による系統影響が生じており**⁹
円滑な系統接続に向けて**DCに所定の性能が求められている**

- ◆ DCは、その構成・用途等に由来して特異な負荷特性：【平常時】周期的な負荷変動、【平常時】パワエレ機器の特性、【事故時】負荷脱落特性を有する。
- ◆ これらの特性は、電力品質および電力系統の安定性全般に影響する可能性がある。
- ◆ 電力の安定供給を維持しつつ、DCの円滑な系統接続を実現するため、必要な性能等を定める接続ルール（グリッドコード等）の整備が進みつつある。

DCの特徴・負荷特性・系統影響・対応の概要

DCの構成・用途による特徴		系統から見たDCの負荷特性	主な系統影響（太字は顕在化）	系統影響への対応
AI 学習 向け DC	（計算負荷）GPUの 高密度配置・同期演算	【平常時】 周期的な負荷変動	・電力品質の悪化（電圧・周波数） ・電力系統の安定性の低下（全般）	接続ルールで DCの負荷変動幅に 上限を設ける
DC 全般	UPSを介して 系統接続※	【平常時】 パワエレ機器の特性 （系統との相互作用）	・電力品質の悪化（電圧，高調波） ・電力系統の安定性の低下（短い時間 領域のコンバータ駆動・共振安定性）	実態把握に基づき適宜 （要因に応じてDCまたは は系統で）対応する
DC 全般	瞬低時UPSで給電切替 （系統給電→バッテリー 給電）※	【事故時】 瞬低時に 負荷が脱落しやすい	・電力品質の悪化（電圧・周波数） ・電力系統の安定性の低下（同期発電 機主体の電圧・周波数安定性）	接続ルールで DCにFRT等の 性能を求める

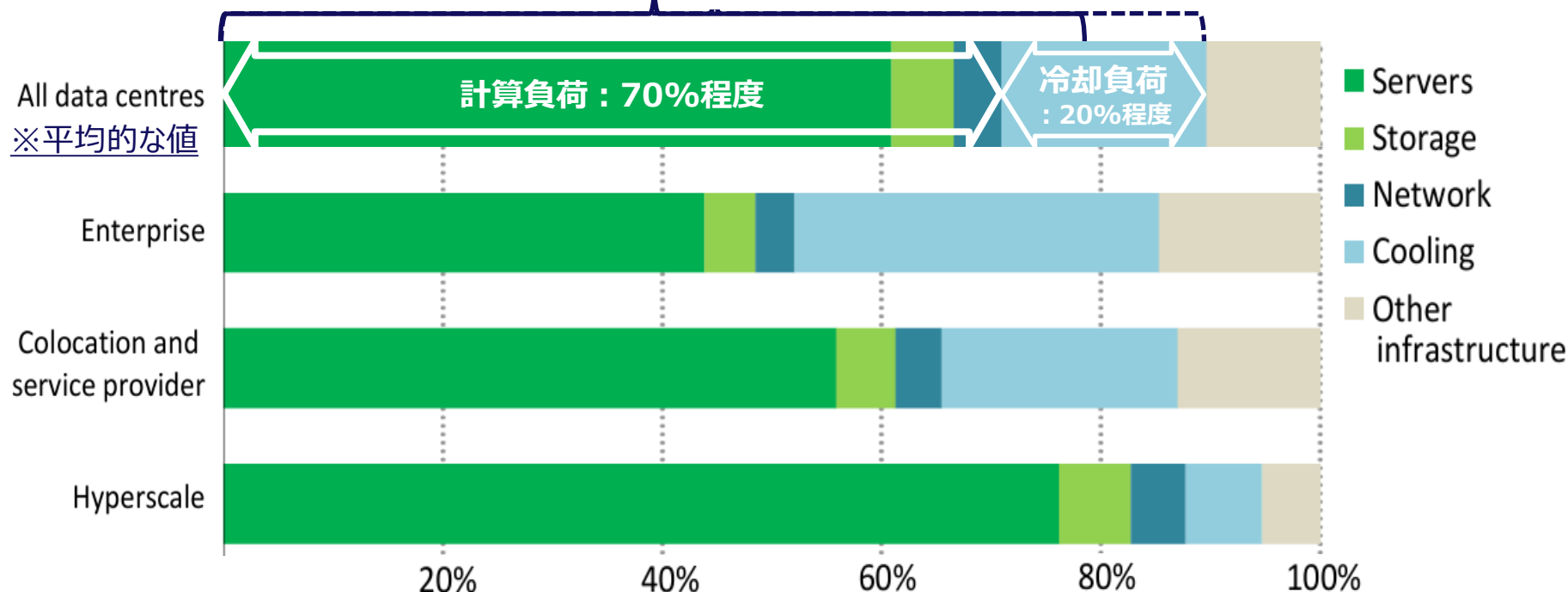
※UPSが、「瞬低・停電から計算負荷とデータを保護する」、「無瞬断でサービスを継続する」等の目的から設けられる。

(参考) 平常時は計算負荷、事故時はUPS保護対象負荷が系統影響に関与する

- ◆ DCは、計算負荷（サーバ等）、冷却負荷、補機負荷、電源設備から成る。
- ◆ 平均的な消費電力の内訳は、計算負荷が70%程度、冷却負荷が20%程度である。
- ◆ 平常時は計算負荷、事故時はUPS保護対象（計算＋冷却）負荷が系統影響に関与する。

DCの負荷構成と消費電力の割合等

UPS保護対象負荷：計算負荷＋冷却負荷



文献[4], Fig. 2.2を基に作成。

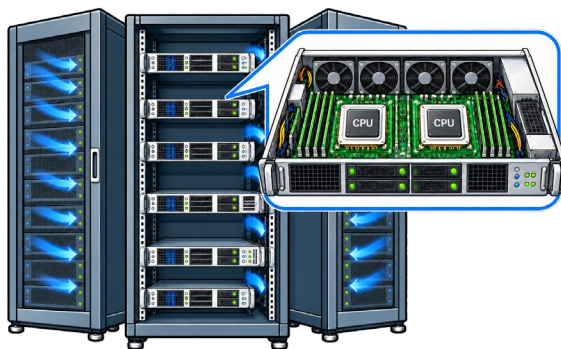
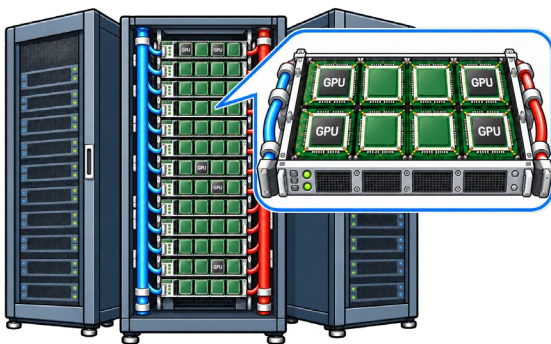
【特徴①】

サーバ構成・用途に由来して、特に**AI学習向けDC**で生じる**平常時の負荷変動**

- ◆ DCは、用途に応じたサーバ構成をとる（従来DC：CPU主、**AI向けDC：CPU + 多数のGPU**）。
- ◆ **AI学習向けDC**では、多数のGPUの同期演算通信処理に伴う**周期的な負荷変動**が生じる。
- ◆ この周期的な負荷変動が、平常時の周波数や電圧へ影響する可能性がある。

用途に応じたDCのサーバ構成と負荷変動の特徴

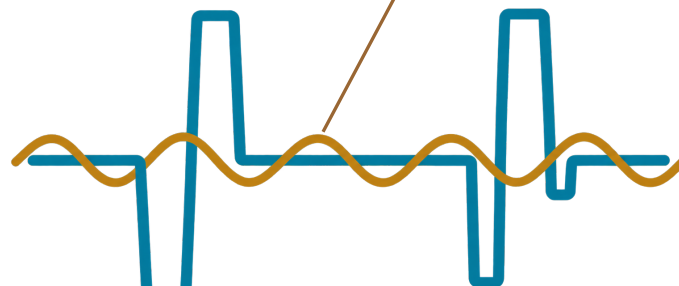
サーバ構成

【従来DC】
CPU主【AI向けDC】
GPU主

負荷変動の特徴

【従来DC】

多様な処理が集約され、負荷は平準化される傾向。



【AI学習向けDC】

GPUの同期演算処理で周期的な負荷変動が発生。

(参考) DCの分類とその特徴

- ◆ DCは、用途に応じたサーバ構成をとる（従来DC：CPU主、**AI向けDC：CPU＋多数のGPU**）。
- ◆ **AI学習向けDCでは、多数のGPUの同期演算通信処理に伴う周期的な負荷変動が生じる。**
- ◆ **この周期的な負荷変動が、平常時の周波数や電圧へ影響する可能性がある。**

DCの分類とその特徴

分類	用途	主な演算機器 (サーバ構成)	用途・演算機器による 負荷の特徴
(従来DC) 汎用・クラウド型 DC	業務システム、金融取引システム、 クラウド・Webサービス、 データ保存・配信等	CPU（汎用サーバ）	多様な処理が集約され、DC全体の 負荷は平準化される傾向。
AI推論向け DC	生成AIサービス、画像・音声認識、 検索・推薦等	CPUとGPU（推論用アクセラ レータ）	サービス需要や処理要求量に応じ て、短時間または段階的な負荷変 動が生じる。
AI学習向け DC	大規模AIモデルの学習・追加学習	CPUと多数のGPU（学習用 アクセラレータ） ※大規模並列計算システム	多数のGPUの同期した演算・通信 処理が長時間継続し、この間、 演算・通信の切替に伴う周期的・ 急峻な負荷変動が生じる。

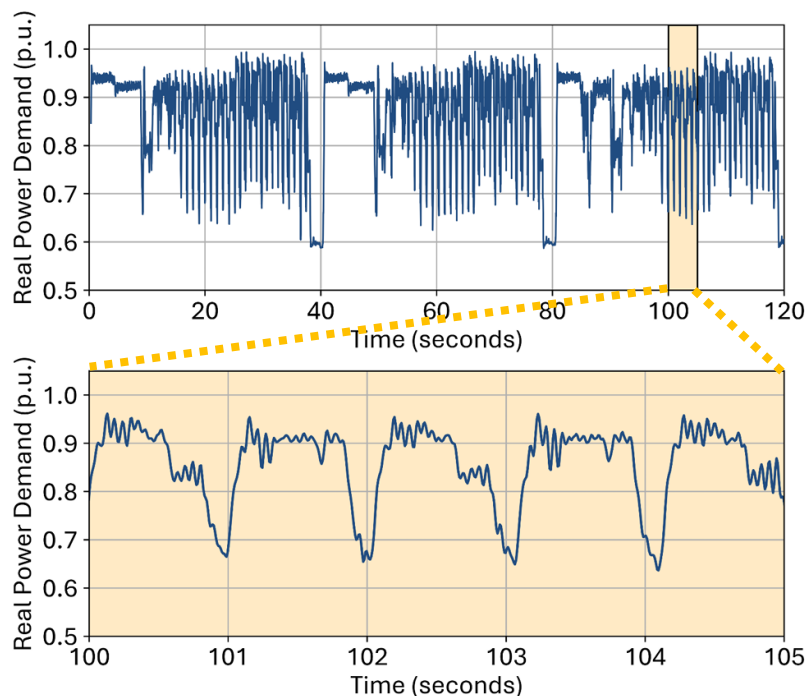
文献[5]，Table 2を基に作成。

[5] 佐藤，増田，天野，永田，「データセンター負荷の特性と系統影響に関する海外動向ならびに実効値解析に基づく国内系統への影響に関する一考察」，
電気学会 電力技術電力系統技術合同研究会，2026年9月

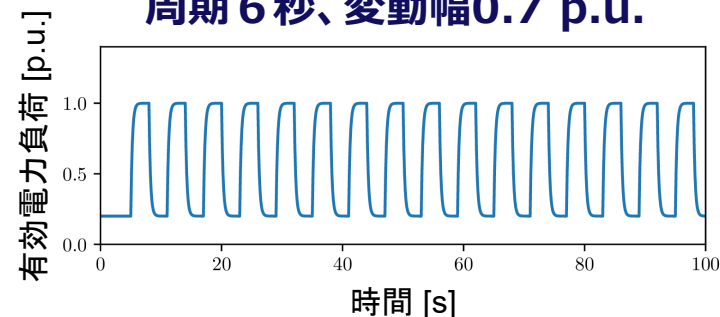
【特徴①による影響】平常時の周期的な負荷変動による電力品質への影響

- ◆ 電圧・周波数変動の拡大の事例が報告されている（周波数面はアイルランドで顕著）。
- ◆ 同期安定性への影響（電力動揺モード：～2Hz程度の励起）や共振安定性への影響（発電機軸ねじれモード：～100 Hz程度の励起）も懸念されている。

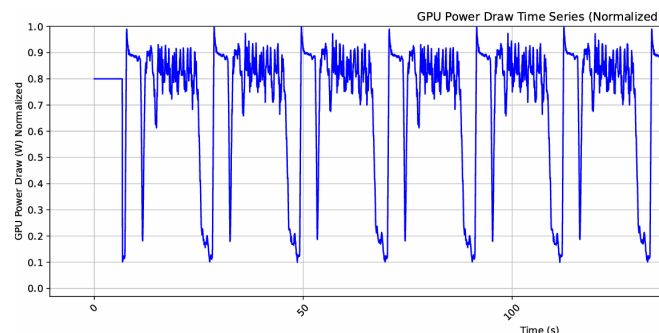
（米国）AI学習向けDCの負荷変動例 [6]
周期 1 秒、変動幅0.3 p.u.



（アイルランド）AI学習向けDCの負荷変動例 [7]
周期 6 秒、変動幅0.7 p.u.



AI学習向けDCの計算負荷の変動例 [8]
周期～10秒、変動幅～0.9 p.u.



[6] NERC, Characteristics and Risks of Emerging Large Loads, Large Loads Task Force White Paper, Atlanta, GA, USA, Jul. 2025.

[7] A. Jiménez-Ruiz and F. Milano, "Data centre model for transient stability analysis of power systems," IET Gener. Transm. Distrib., vol. 20, no. 1, Art. no. e70381, 2026

[8] E. Choukse et al., "Power stabilization for AI training datacenters," arXiv preprint arXiv:2508.14318, Aug. 2025.

【特徴①への対応】

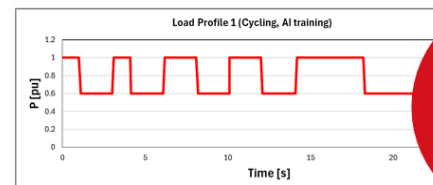
平常時の周期的な負荷変動に対して負荷変動幅の上限が設けられる

- ◆ 国・機関毎に、系統接続に必要な性能等を定める接続ルールの整備が進みつつある。
- ◆ 周期的な負荷変動の大きさに上限（MW値や定格負荷に対する%）が設けられる傾向。（周期別の上限や、変動発生時にDCを解列させるリレー装置の具備を求める場合もあり）

【適用済みのルール】 周期的な負荷変動の上限の例

国・機関毎の概要

国/機関	対象設備の条件		周期的な負荷変動の上限	その他求められる機能等
	電圧階級	容量		
フィンランド/ Fingrid	送電系統 連系 (110kV 以上)	30 MW 以上	細分化された 周波数帯毎に上限を 設定（右図）	・振動発生時解列用のリレー装置（必要に応じて） ・変動補償用E-STATCOM蓄電池等（上限超過時）
アメリカ/ Southern Company	送電系統 連系 (40kV超)	50 MW 以上	・周波数帯0.1–5Hz： 1 MW以下 ・周波数帯5–55 Hz： 0.5MW以下	振動発生時解列用のリレー装置（必要に応じて）



Energy storage needed to filter out oscillations?

Frequency range [Hz]	Peak magnitude of power oscillation In [%] of rated demand capacity ($P_{max,d}$)		Window length of spectral analysis [s]
	[%]	however must remain below [MW]	
0,01–0,025	20	40	300
0,025–0,05	20	40	160
0,05–0,1	20	40	80
0,1–0,2	10	20	40
0,2–0,5	3	6	20
0,5–2,0	6	12	10
2,0–6,0	3	6	2
6,0–18,0	3	6	1
18,0–45,0	3	6	0,5

Continuous cyclic power oscillations caused by the demand facility shall be limited within the thresholds specified in Table 11.1 (above).

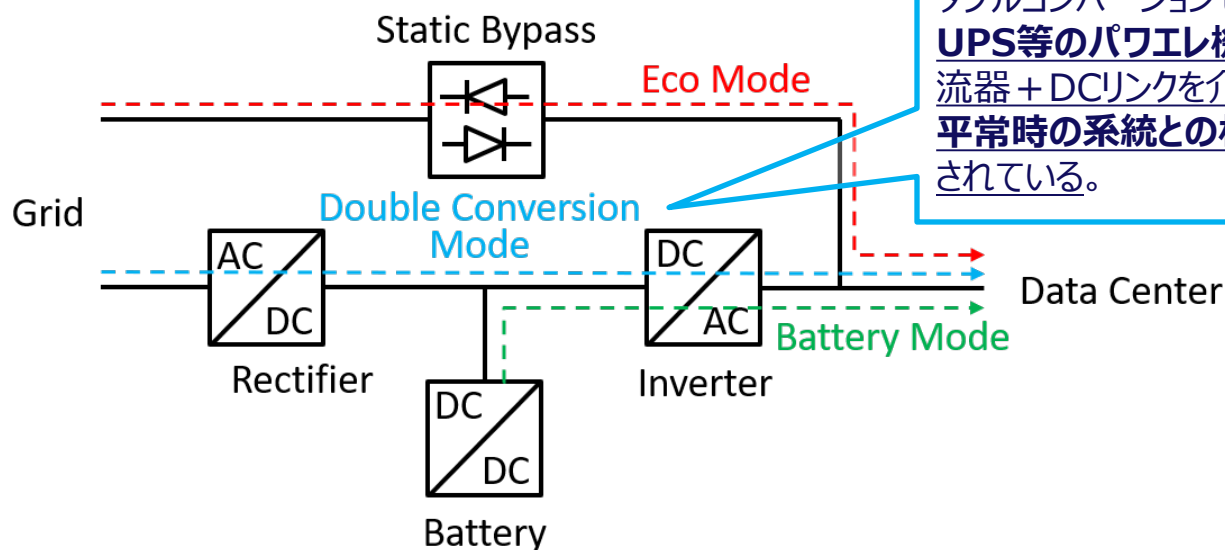
FINGRID

文献[9],[10]を基に作成。

【特徴②と特徴③】UPSを介した系統接続・瞬低時の給電切替により、平常時のパワエレ機器と系統との相互作用、事故時の負荷脱落が生じうる

- ◆ UPS保護対象負荷は、平常時は整流器・DCリンク・インバータを介して給電され（ダブルコンバージョンモード）、事故時はバッテリーからの給電に切替わる。
- ◆ この給電切替による負荷の脱落が、事故時の系統安定性に影響する可能性がある。

UPSの代表的な運転モード



ダブルコンバージョンモードでは、**UPS等のパワエレ機器の特性**（系統に直接接続される整流器 + DCリンクを介して接続されるインバータの特性）も、**平常時の系統との相互作用や共振現象のリスク**として認識されている。

文献[5], Fig. 1を基に作成。

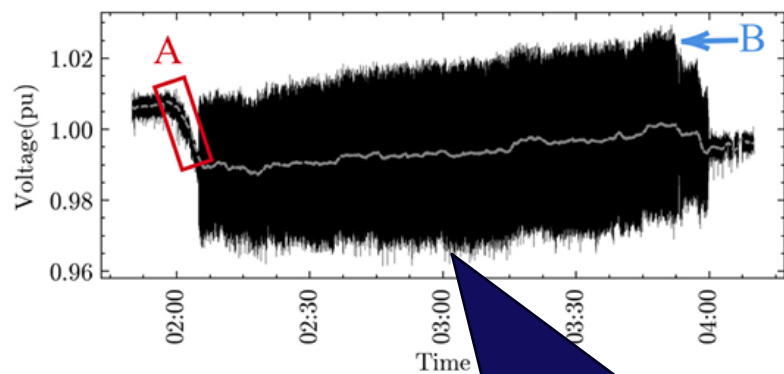
【特徴②による影響】

平常時のパワエレ機器の特性によるコンバータ駆動安定性・電力品質への影響

- ◆ SSO帯（5 Hz～）の振動が生じた事例が報告されている。米国の代表事例として、系統・DC間の14.7 Hz振動現象（電圧変動も拡大）、DC内部制御系の23 Hz振動現象等がある。

（米国）Dominion系統での14.7 Hz振動現象：
系統の短絡容量が低下した際に持続振動が発生（モードD→Fに変化）

DCが接続した変電所の電圧の時間波形

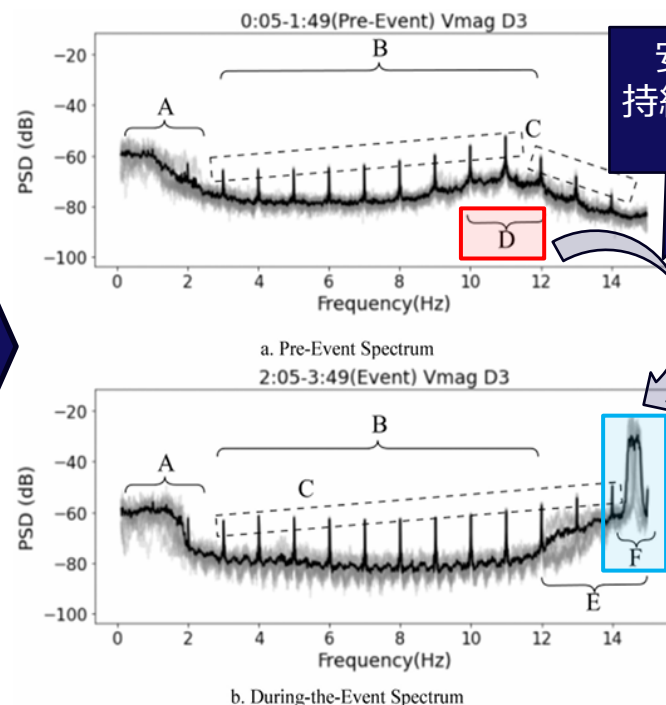


振動現象により、電圧も±3%弱変動

文献[11], Fig. 2を基に作成。

周波数スペクトル解析

左記の周波数成分（上：振動発生前、下：振動中）



安定なモードDが
持続振動するモードF
に変化

文献[11], Fig. 4を基に作成。

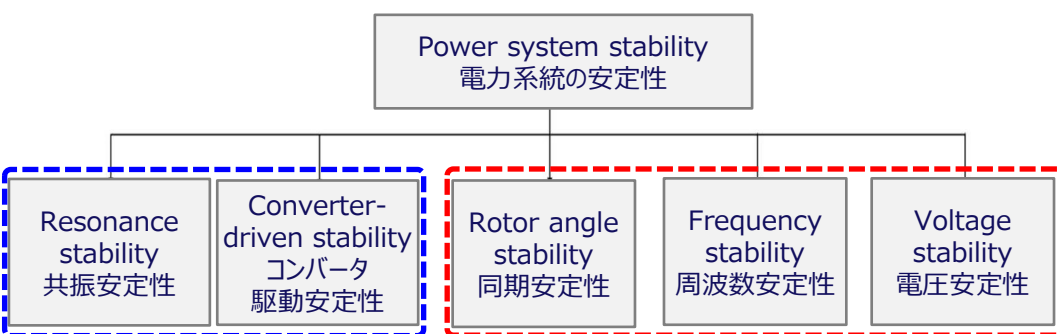
【特徴②への対応】DCの実態把握（実測・解析）に基づき、 平常時のパワエレ機器と系統との相互作用に対応している

◆ DCの負荷特性・系統影響は短い時間領域にも及ぶため、**実態把握には実効値に加えて瞬時値の同期計測が必要**となり、**計測環境等の整備（国・機関毎に、系統接続に必要な計測環境等を定める接続ルールの整備）**が進みつつある。

- 常時計測諸量の例：実効値PQVIF Θ 、RoCoF、電力品質、各種設備状態等
- イベント時計測諸量の例：瞬時値VI、UPS・保護・遮断器信号

※短い時間領域（5Hz超～）の特性・振動現象の把握には、瞬時値計測が推奨される。

電力系統の安定性の分類

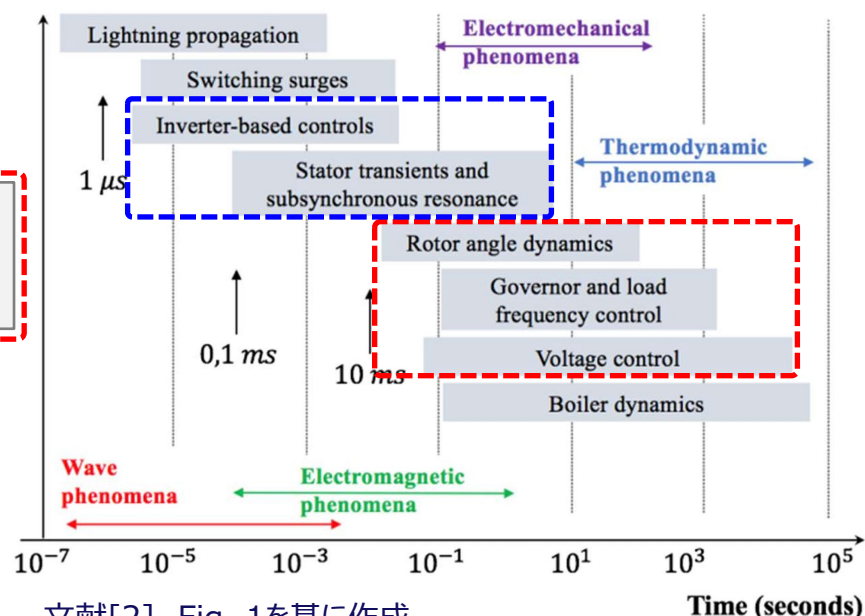


パワエレ機器等が関与する
2分類（2021年～追加）

従来は同期発電機主体の
3分類（～2020年まで）

文献[2], Fig. 2を基に作成。

電力系統の安定性・事象のタイムスケール



文献[2], Fig. 1を基に作成。

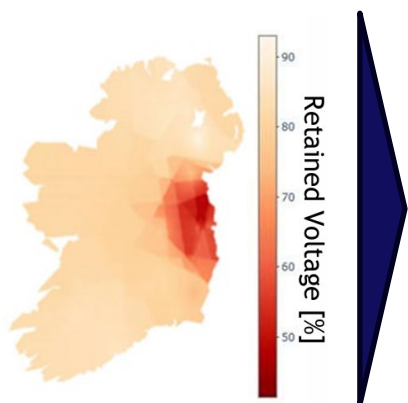
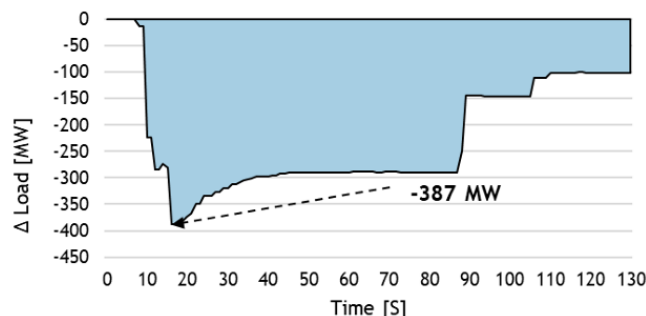
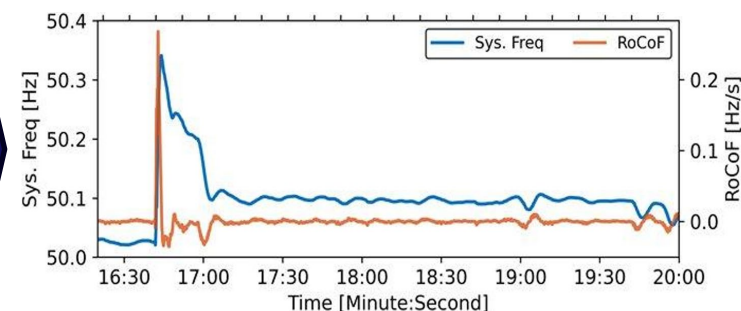
【特徴③による影響】

事故時の負荷脱落による電力品質・電圧安定性・周波数安定性への影響

- ◆ 系統影響として、**事故後の電圧上昇・過電圧、周波数上昇が生じている**（周波数面はアイルランドで顕著：2022年以降、DC負荷脱落による周波数上昇事象が計5回発生）。
- ◆ 2026年7月22日、米国 Virginiaでは、**電圧を介した連鎖的なDC負荷脱落による周波数上昇事象**が発生（事故時の電圧低下→瞬低によるDC負荷脱落→電圧上昇→過電圧によるDC負荷脱落→周波数上昇）。

(アイルランド) 220 kV系統事故時のDC負荷脱落による周波数上昇事象

事故による電圧低下

電圧低下によるDC負荷脱落
(DC負荷需要の50%程度が脱落)DC負荷脱落による周波数上昇
RoCoFの増大

文献[12], Fig. 11を基に作成。

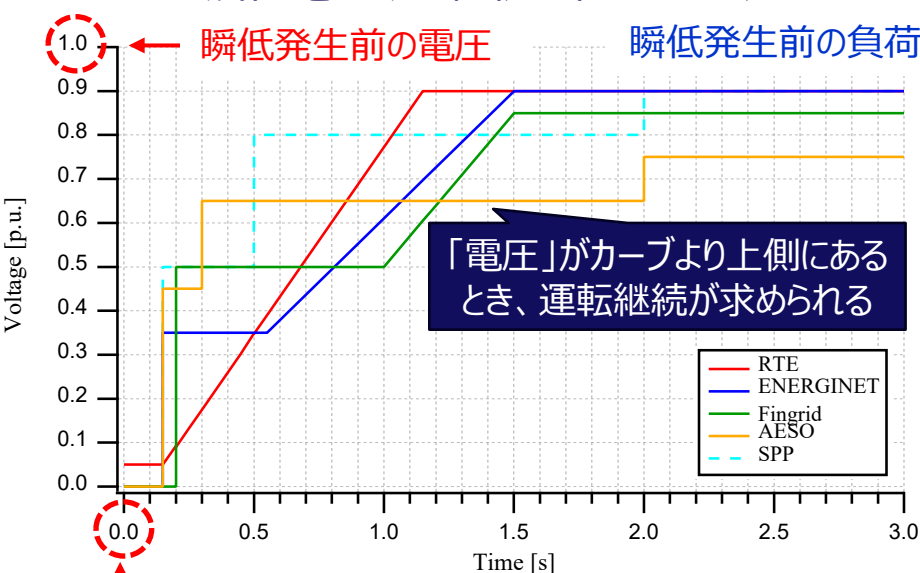
RoCoF (Rate of Change of Frequency):
単位時間あたりの周波数変化量（周波数変化の傾き）を表す指標。

【特徴③への対応】事故時の負荷脱落に対してFRT等の性能が求められる

- ◆ 国・機関毎に、系統接続に必要な性能等を定める接続ルールの整備が進みつつある。
 - ◆ **FRT（残存電圧 対 継続時間）や復帰（事故後X秒で負荷Y%等）の性能が求められる傾向。**
（FRT中の負荷維持や具体的な負荷特性、周波数面でRoCoF耐量を求める場合もあり）
- ※FRT (Fault Ride Through): 事故時の電圧変動等に対し、停止せずに運転継続する能力を指す。

【適用済みのルール】 FRT・復帰の性能の例

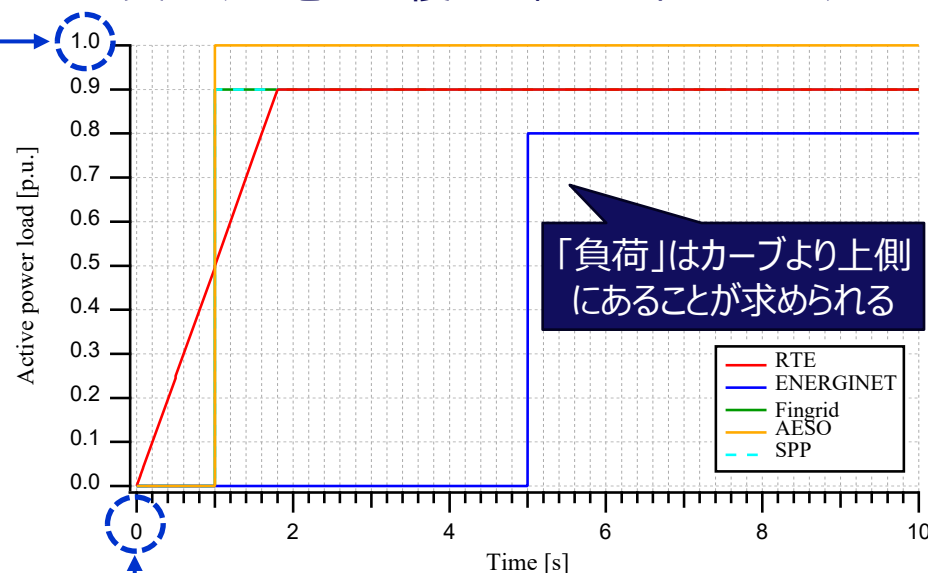
残存電圧 対 継続時間のプロファイル



瞬低発生タイミング

文献 [13] AEMC, "Technical Working Group #1," Improving the NEM Access Standards—Package 2, presentation slides, Oct. 31, 2025. を基に作成。

負荷 対 電圧回復後の経過時間のプロファイル



電圧回復（例：残存電圧90%以上になった）タイミング

文献[9],[14]～[17] を基に作成。

[14] RTE, "Documentation Technique de Référence: Article 8.3.5 – Cahier des Charges des capacités constructives d'une Installation de consommation," Version 1.0, Feb. 15, 2024

[15] Energinet, "Forklæringsvejledning for tilslutning af forbrugsanlæg til transmissionsnettet," Rev. 4, Oct. 2025

[16] AESO, Guide to AESO Connection Requirements for Transmission-Connected Data Centres, Calgary, AB, Canada: AESO, Jun. 12, 2026

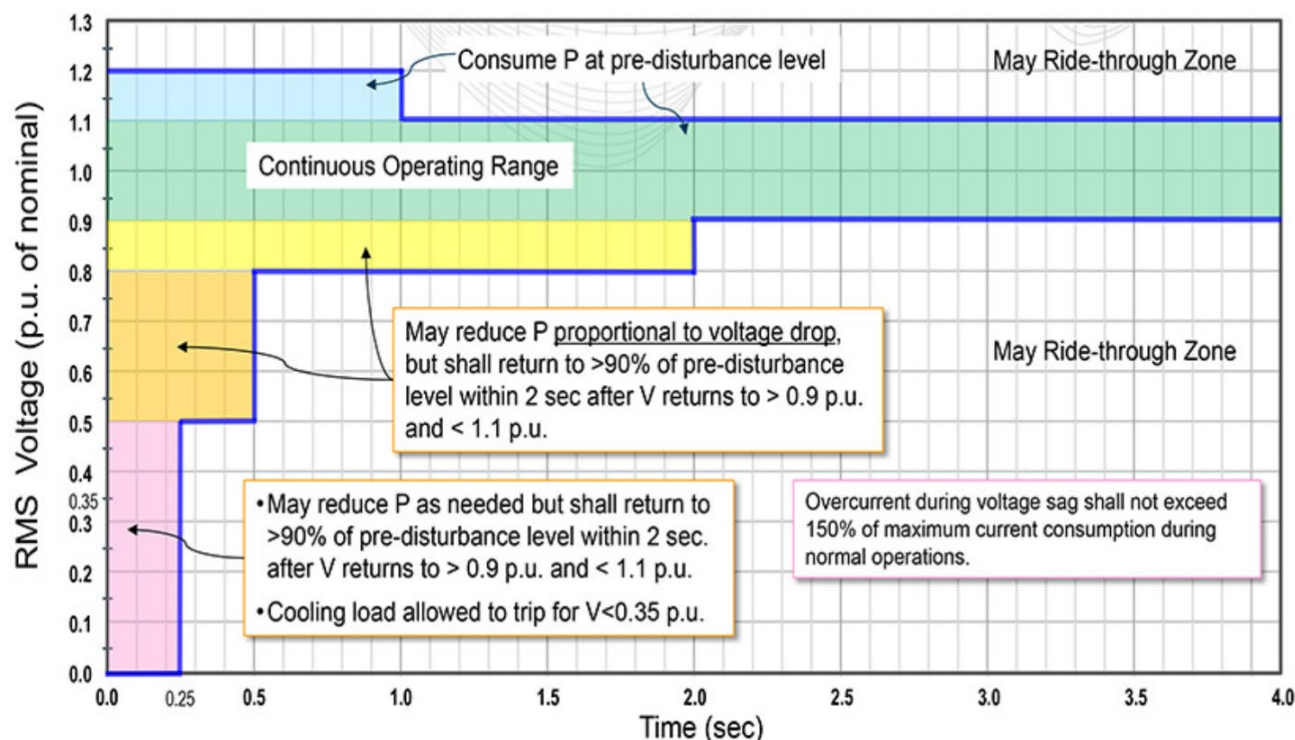
[17] SPP, Inc., "SPP HILL Fault Ride Through Requirements—V2.0—09-23-2025 (Updated Version)," ver. 2.0, Sep. 23, 2025

(参考) 【特徴③への対応】

事故時の負荷脱落に対してFRT等の性能が求められる (PJMで提案段階のルール)

- ◆ FRTの性能として、LVRTに加えてHVRTの性能も求められる。
 - LVRT中、残存電圧に応じて負荷維持または具体的な負荷特性に従うことが求められる。
 - LVRT中、電流制限（平常時の最大電流基準で150%以下とすること）が求められる。
- ◆ 復帰の性能として、電圧回復後2秒以内に初期負荷基準で90%まで復帰することが求められる。

【提案段階のルール】 FRT・復帰等の性能の例 [18]



[18] D. Egan and B. Choi, "PJM LCL ride-through requirements: PJM Interconnection proposal," presented at the PJM Planning Committee Meeting, Sep. 8, 2026.

【特徴③への対応】

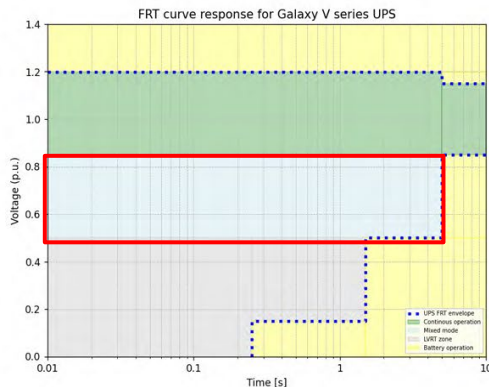
事故時のFRTや復帰の性能はUPS等の制御によって実現される方向

- ◆ FRT（中の負荷維持や負荷特性）や復帰（事故後X秒で負荷Y%まで復帰等）の性能は、UPS（特にバッテリー）の制御によって実現される方向。
- ◆ 事故時はバッテリー給電に切替わる方式から、系統・バッテリーの双方で給電する方式に移行。

将来UPSの応答例

Updated UPS Behavior with FW update

Mission: Protect the critical load and the grid



	Voltage limits	Behaviour
Green area Continuous operation	$1.15pu < V < 1.20pu$	UPS operates in normal operation for minimum 5 seconds, taking all power from grid. Note: GVX will support up to 1.25pu for 60 seconds
	$0.85pu < V < 1.15pu$	UPS operates in normal operation continuously, taking all power from grid
Light blue area Mixed mode	$0.5pu < V < 0.85$	UPS operates in a mixed mode where power is taken from both grid and battery. This mode is time limited to minimum 5 seconds. Note: This is UPS model specific, some may have longer durations 0.5pu can likely be lowered to 0.3 or 0.4, but there is a HW limitation on these products that limits this. 0.5 is guaranteed on all existing systems without further testing.
Grey area LVRT zone	$0.15pu < V < 0.5pu$	UPS operates in battery mode, taking all power from battery, but it does not switch the UPS mode to battery operation but will show normal operation, and will recover fast if the voltage exits this area within 1.5s
	$0pu < V < 0.15pu$	In this range the time limit is decreased to 250ms
Yellow area Battery operation		In this area the UPS transfers fully to battery operation and awaits a stable grid for 1 second, before transitioning back to grid operation, using the standard ramp-in function. (10 seconds as default). This is the same behavior as the current implementation.

PFAPR: Post Failure Active Power Recovery

- Recovery to 90% power within 0.3 seconds, when $V > 0.9pu$

Frequency

- Window: 40Hz ~ 70Hz

- ROCOF > 5Hz/s

Life Is On

Schneider
Electric

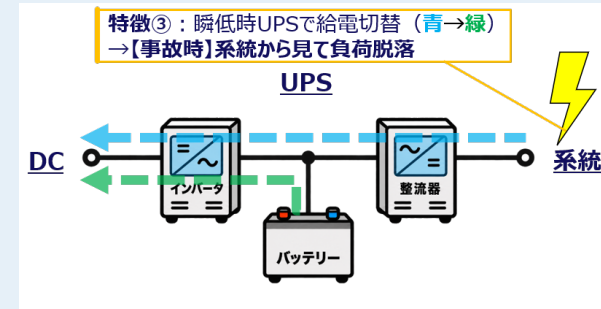
Behavior: Stay grid connected as much as possible.
Restore load quickly if grid interruption is short.
Long interruptions behave traditionally.

Property of Schneider Electric | Page 14

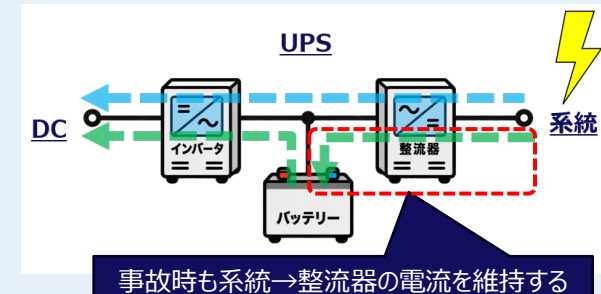
文献[19]を基に作成。

瞬低時のUPSによる給電切替（青→緑）

従来方式



新しい方式





01. DCの急増に伴う
系統課題



02. 海外における
系統影響と対応



03. 国内で懸念される
系統影響とは

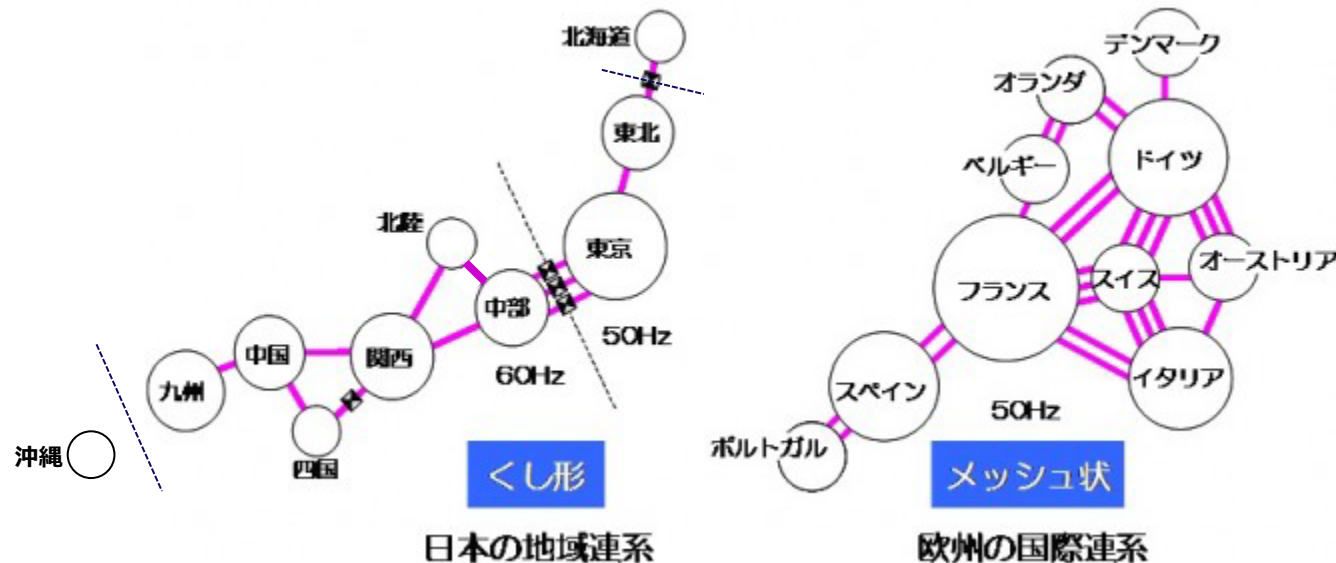


04. 国内で取るべき
対応とは

(はじめに) 日本の電力系統はメッシュ状ではなく串形
中西系統は東西方向に長く、同期安定性・周波数安定性の面で特徴的

- ◆ 交流系統としては4つの地域（北海道、東北・東京、中西、沖縄）に分類される。
- ◆ **東北・東京系統**は2つのエリアが南北に長く、**中西系統**は6つのエリアが東西に長く連系された**長距離串形系統**である。
- ◆ **系統構成**（メッシュ状と比べてエリア間の連系が疎であること等）に由来して以下の特徴がある。
 - **同期安定性**：エリア間の広域的な電力動揺が生じやすい。潮流状態の影響を受けやすい。
 - **周波数安定性**：事故後におけるエリア間の周波数偏差が大きくなりやすい。

日本と欧州の系統構成

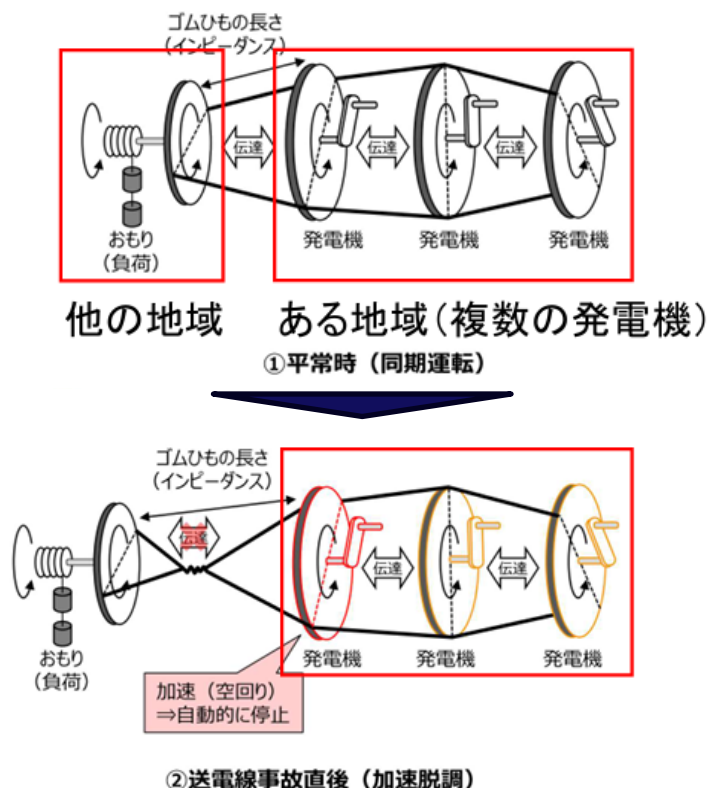


文献[20], Fig. 1を基に作成。

(補足) 中西系統にも実際に広域的な電力動揺が存在する

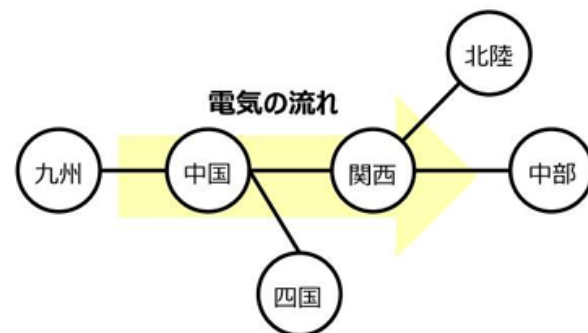
- ◆ 発電機が同期運転を維持できない状態を「脱調」といい、脱調はエリア間でも生じることがある。
- ◆ 実際に、**中西系統においてエリアをまたぐ広域的な数秒周期の電力動揺が存在する。**

広域的な電力動揺のメカニズム

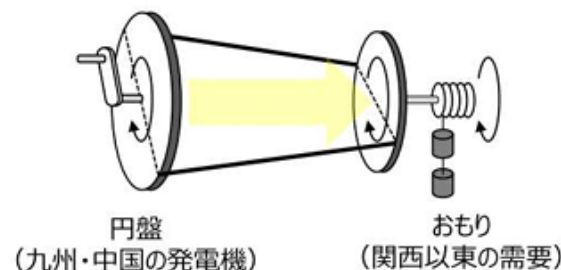


文献[3]を基に作成。

中西地域の広域的な電力動揺



西日本60Hz（交流）連系系統概略図



力学系モデルでのイメージ

文献[3]を基に作成。

【検討内容】中西系統のシミュレーションにより 国内系統でのDC接続で懸念される系統影響について考察する

- ◆ 中西系統を簡易的に模擬した電気学会標準（WEST30機系統）モデルを用いて、国内系統でのDC接続で懸念される系統影響の潜在的なリスクについて考察する。
- ◆ ここでは、「基幹系統において、DCの負荷特性：平常時の周期的な負荷変動と事故時の負荷脱落特性が、同期安定性と周波数安定性に与える影響」に着目する。

シミュレーションによる系統影響の検討内容

検討①：DC接続点での単一周波数の負荷変動による広域的な動揺動揺への影響

検討③：エリア間連系線2回線6相地絡ルート断事故（瞬低）時のDC負荷脱落による分離系統の周波数応動への影響

DCの負荷特性

【AI学習向けDC】
特徴①：GPUの高密度配置・同期演算
【平常時】周期的な負荷変動

【DC全般】
特徴③：瞬低時UPSで給電切替
【事故時】系統から見て負荷脱落

系統影響

周波数安定性

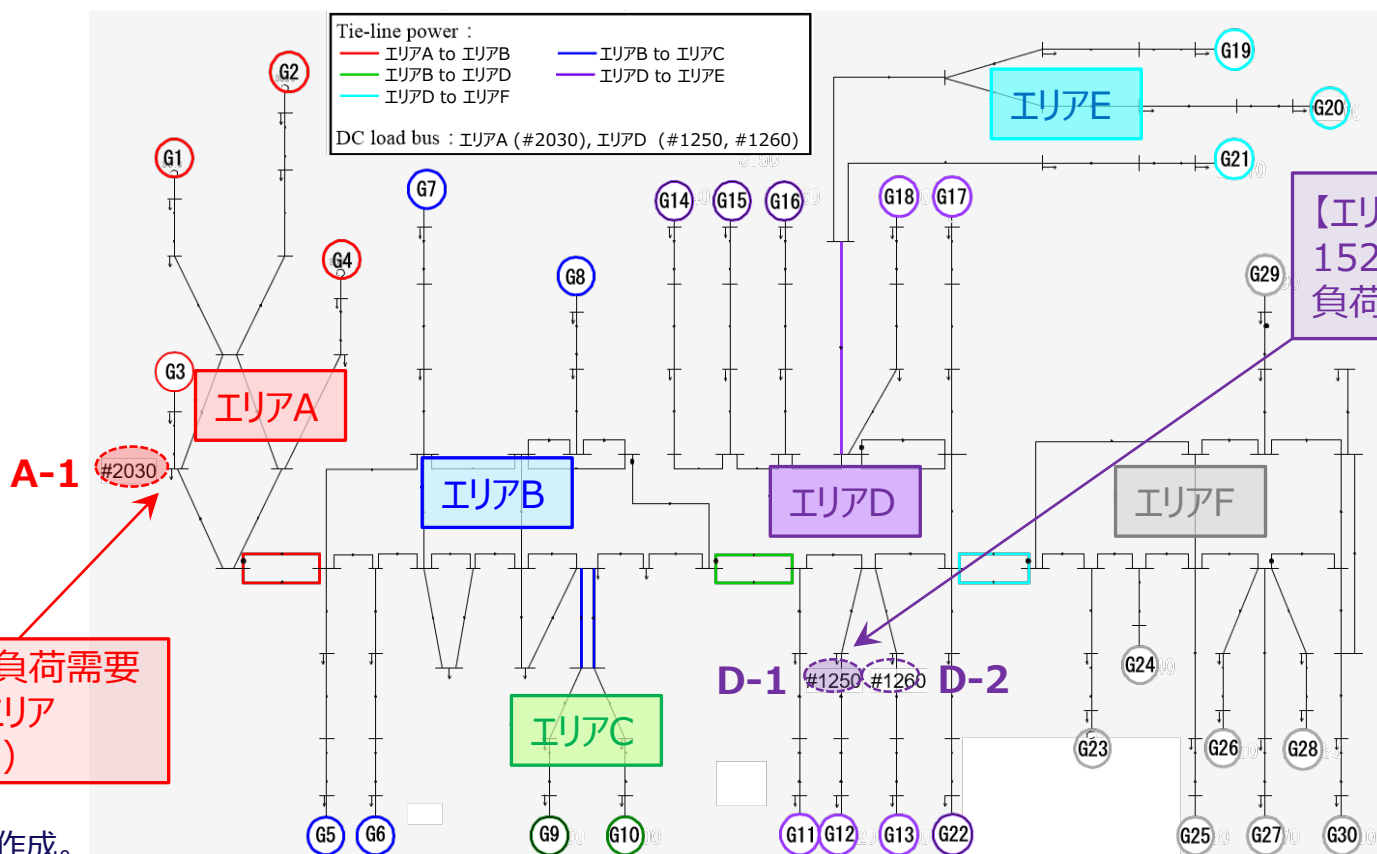
同期安定性
(定態安定度/過渡安定度)

検討②：エリア間連系線1回線3相地絡事故（瞬低）時のDC負荷脱落による広域的な電力動揺への影響

シミュレーションの前提（1/2）DCの負荷需要と接続エリア

- ◆ DCの負荷需要は、**2035年想定で中西合計235万kW**（広域機関の需要想定を参考）とした。
- ◆ DCが接続するエリアは、**偏在想定でエリアA・エリアD**（各DC事業者公開の計画を参考）とした。

WEST30機系統（DCの接続点と負荷需要）



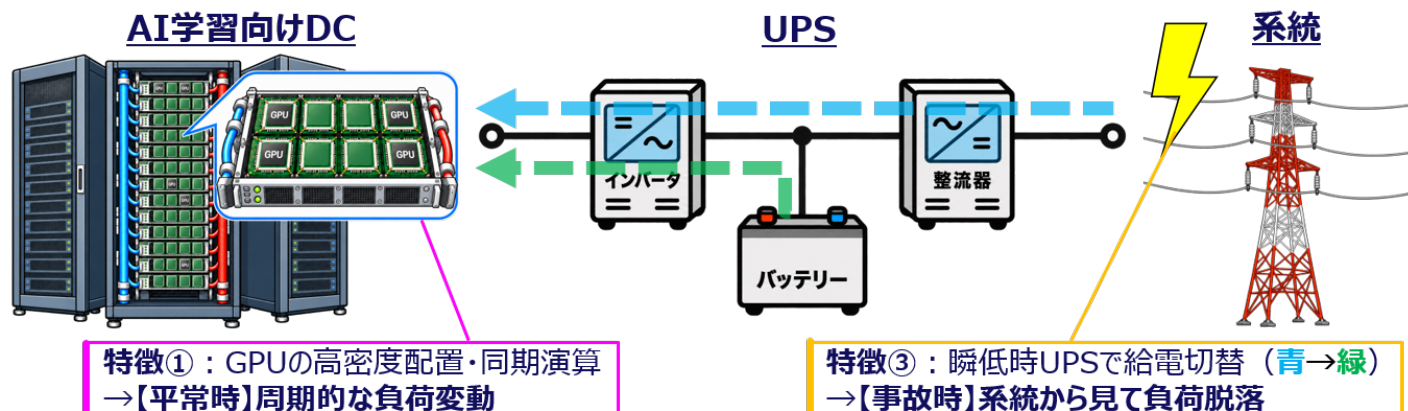
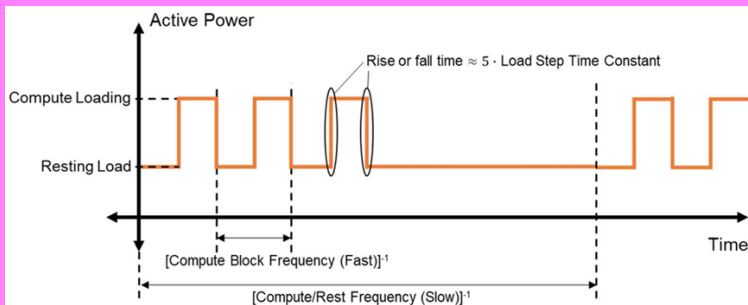
文献[21]を基に作成。

[21] 電力系統モデル標準化調査専門委員会編, “電力系統の標準モデル,” 電気学会技術報告, no. 754, Nov. 1999.

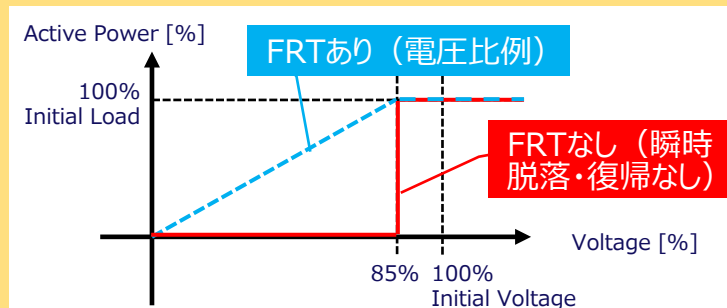
シミュレーションの前提 (2/2) DCの負荷特性のモデル

◆ DCの負荷特性のモデルは、**平常時・事故時の有効電力負荷の特性を簡易模擬したモデル**。

DCの負荷特性を簡易模擬したモデル

Simplified AI Training Load Model
(単一周波数の矩形波) で模擬

文献[22], Fig. 51を基に作成。

FRT性能あり・なしの2通り
(残存電圧 対 消費電力カーブ) で模擬

【検討結果】国内系統でのDC接続でも、平常時の周期的な負荷変動・事故時の負荷脱落特性が相応の系統影響を与える恐れがある

- ◆ 実効値領域シミュレーションから国内系統においても、同期安定性（定態安定度、過渡安定度の双方）への影響、周波数安定性への影響が懸念される。
- ◆ これらの系統影響は、DCが接続するエリア内に留まらず広域に及びうる。
（より短い時間領域の系統影響についても瞬時値解析シミュレーションによる検討が望まれる。）

国内系統で懸念される系統影響の検討結果

検討①：広域動揺が励起され、周波数・連系線潮流が持続振動（定態安定度が低下）する。

検討③：事故後の周波数上昇が助長され（周波数安定性が低下）する。

DCの負荷特性

【AI学習向けDC】

特徴①：GPUの高密度配置・同期演算
【平常時】周期的な負荷変動

【DC全般】

特徴③：瞬低時UPSで給電切替
【事故時】系統から見て負荷脱落

系統影響

周波数安定性

同期安定性
（定態安定度/過渡安定度）

検討②：一概に過渡安定度が低下する訳ではないが、中西系統での送電制約は厳しくなりうる。

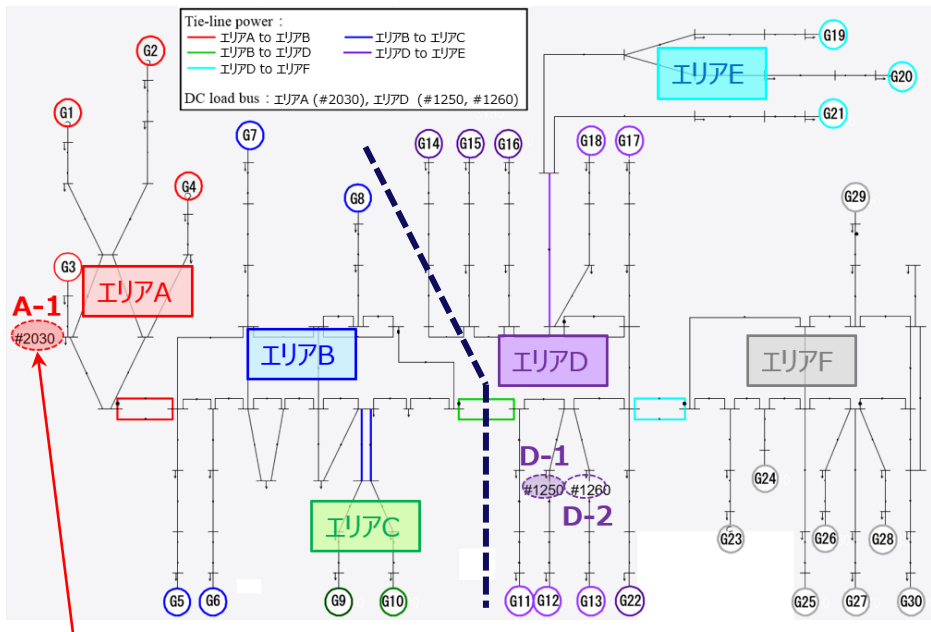
以降、29スラ～32スラで、検討例（①および③）を紹介

【特徴①の検討内容：平常時の周期的な負荷変動による同期安定性への影響】²⁹ 広域動揺に与える影響をDCの接続点・負荷変動の周波数との関係から見る

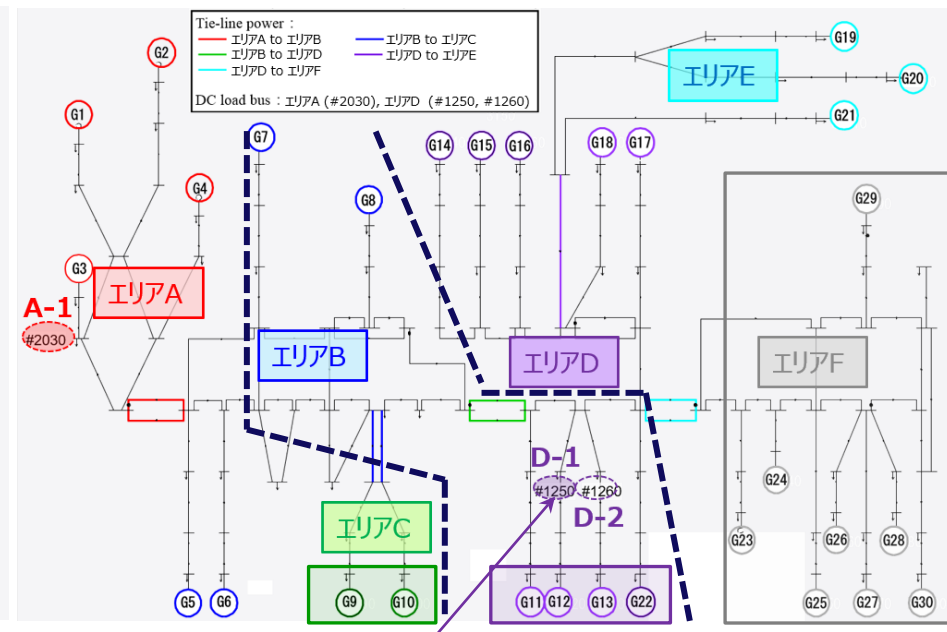
- ◆ **WEST30機系統の2つの代表的な広域動揺に着目し、各エリアのDCの負荷変動（幅は50万kW固定、周波数は0.1～2Hzまで変化）に対する周波数・連系線潮流の応答を分析する。**
（※原理的には、各エリアの負荷変動の周波数＝モード周波数で、広域動揺を励起する。）

広域動揺# 1（モード周波数:0.4 Hz） 西側エリアA・B・C vs 東側エリアD・E・F

広域動揺# 2（モード周波数:0.8 Hz） エリアC・エリアF vs エリアD



【エリアA】負荷変動の周波数が「0.4 Hz」近傍→広域動揺# 1 を励起

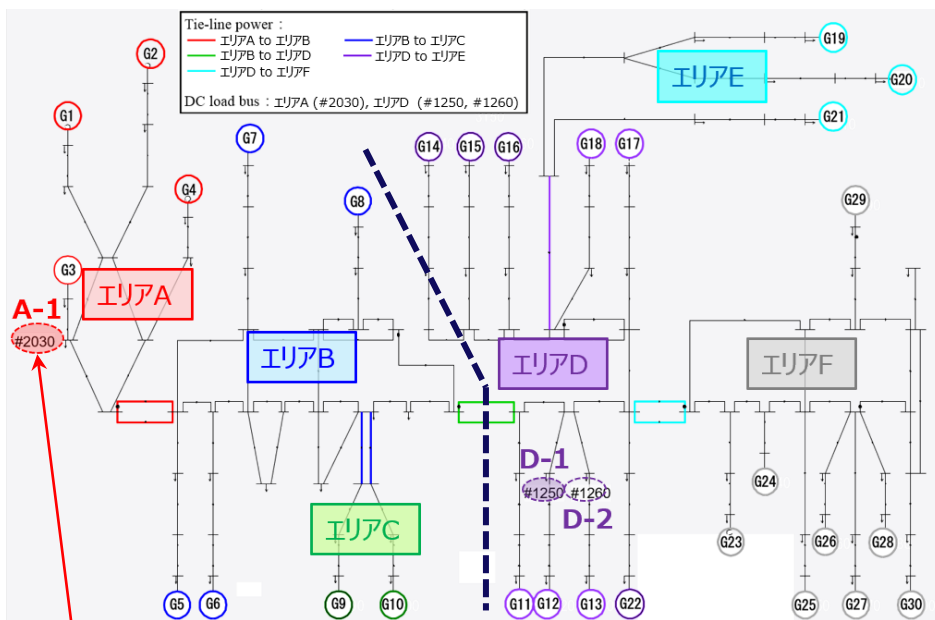


【エリアD】負荷変動の周波数が「0.8 Hz」近傍→広域動揺# 2 を励起

【特徴①の検討結果：平常時の周期的な負荷変動による同期安定性への影響】³⁰
 負荷変動の周波数≒DC接続エリアが関わるモード周波数で、定態安定度を悪化させる

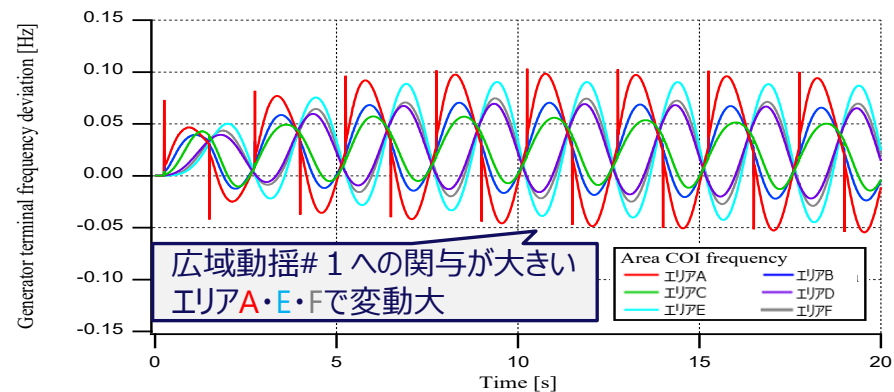
- ◆ エリアAのDCの負荷変動の周波数≒モード#1の周波数で全系の周波数・潮流変動が増大する。
 → 1エリアのDCの負荷変動が広域動揺を励起すると系統影響はローカルに留まらず広域に及ぶ。

広域動揺# 1 (モード周波数:0.4 Hz) 西側エリアA・B・C vs 東側エリアD・E・F

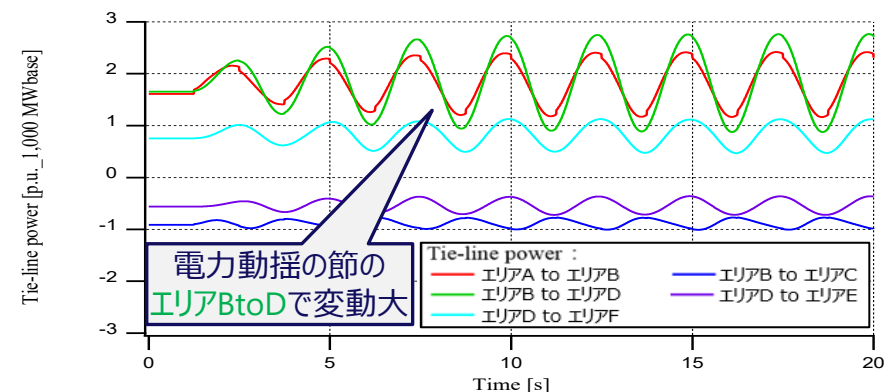


【エリアA】負荷変動の周波数が「0.4 Hz」近傍→広域動揺# 1 を励起

各エリアの周波数偏差 (DCの負荷変動:0.4Hz)



各連系線の潮流 (DCの負荷変動:0.4Hz)

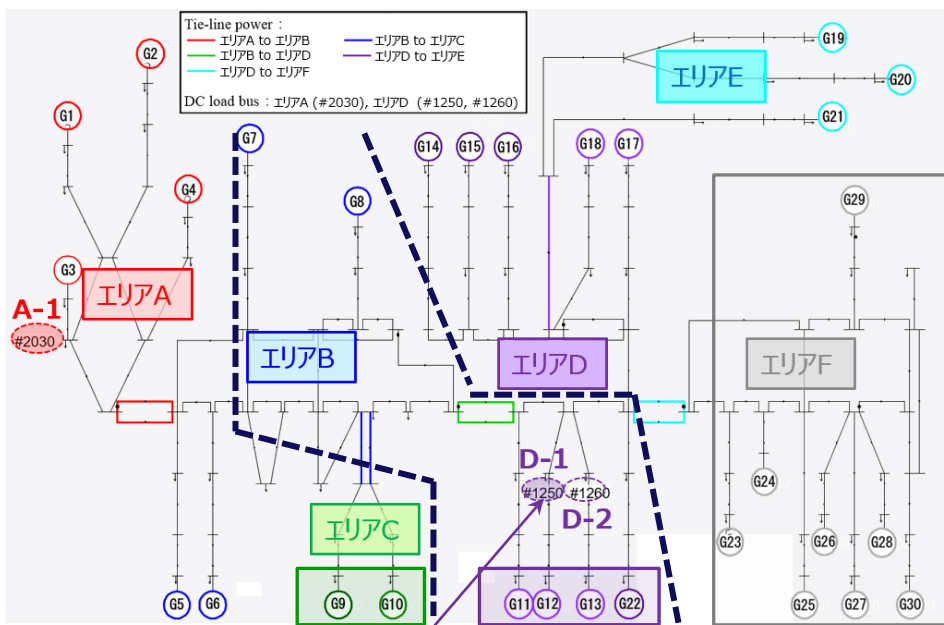


【特徴①の検討結果：平常時の周期的な負荷変動による同期安定性への影響】³¹
 負荷変動の周波数≒DC接続エリアが関わるモード周波数で、定態安定度を悪化させる

◆ エリアDのDCの負荷変動の周波数≒モード#2の周波数で複数エリアの周波数・潮流変動が増大する。

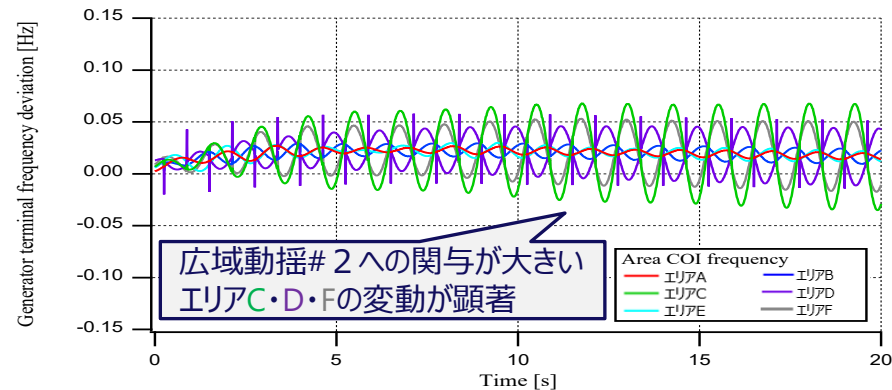
→ 1エリアのDCの負荷変動が広域動揺を励起すると系統影響はローカルに留まらず広域に及ぶ。

広域動揺# 2 (モード周波数:0.8 Hz) エリアC・エリアF vs エリアD

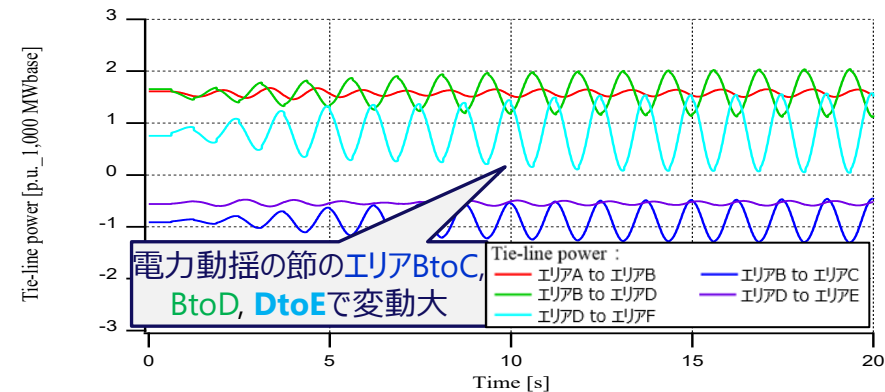


【エリアD】負荷変動の周波数が「0.8 Hz」近傍→広域動揺# 2 を励起

各エリアの周波数偏差 (DCの負荷変動:0.8Hz)



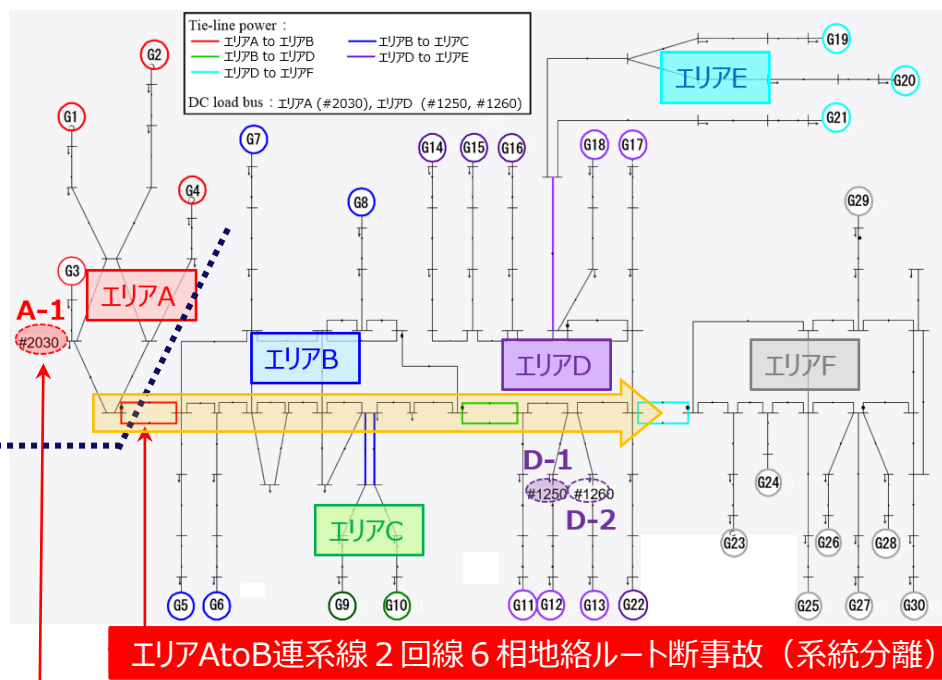
各連系線の潮流 (DCの負荷変動:0.8Hz)



(参考)【特徴③の検討内容・結果：事故時の負荷脱落による周波数安定性への影響】DC負荷脱落は周波数安定性を低下させる

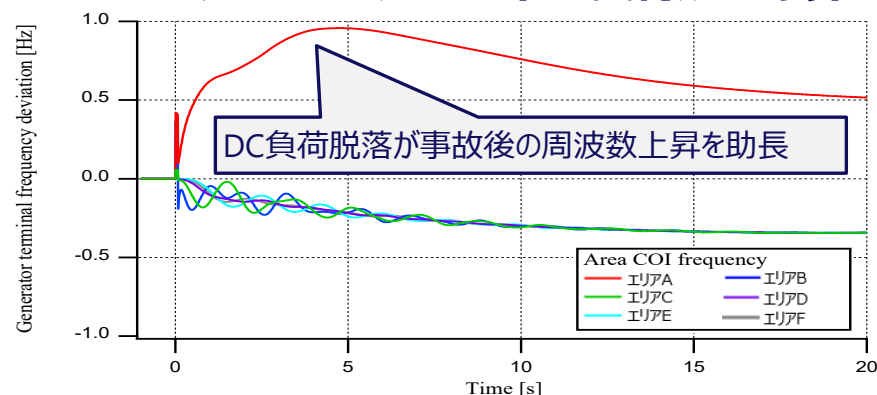
- ◆ **検討内容**：連系線ルート断事故時のDC負荷脱落に対する周波数の応答を分析する。
- ◆ **検討結果**：DC負荷脱落は、事故後の周波数上昇を助長する。
DC運転継続は、事故後の周波数上昇を抑制する（FRT性能の効果）。

エリアAtoB連系線 2 回線 6 相地絡・ルート断事故時の系統・DCの応答等

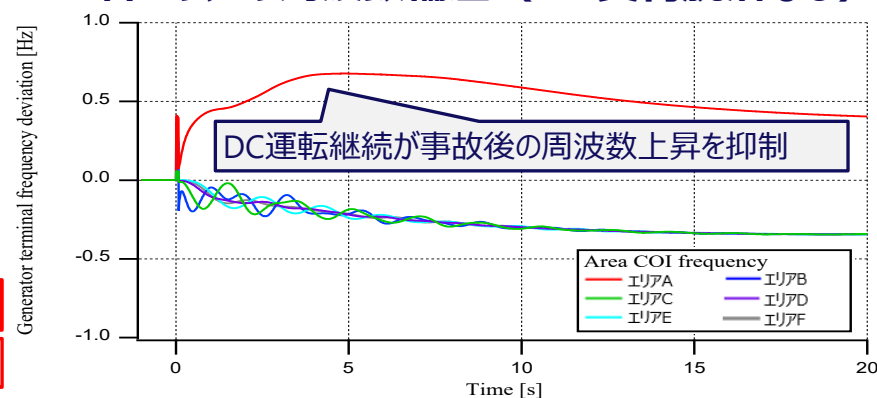


【分離系統】DC負荷脱落→供給過多を助長→周波数上昇を助長

各エリアの周波数偏差 (DC負荷脱落あり)



各エリアの周波数偏差 (DC負荷脱落なし)





01. DCの急増に伴う
系統課題



02. 海外における
系統影響と対応



03. 国内で懸念される
系統影響とは



04. 国内で取るべき
対応とは

(まとめ) 国内でDCを系統に繋ぐためには、**国内DCの負荷特性の実態把握**に基づき**国内系統に適した接続ルールの検討**が重要になるのではないかと

- ◆ **海外では**：DCの負荷特性による系統影響が生じている。そのため、電力の安定供給を維持しつつ、DCの円滑な系統接続を実現するために必要な性能等を定める接続ルールが整備されつつある。系統影響はローカルから広域に及びうるものまで様々であり、影響の発生源での対応が効果的かつ効率的と考えられるものについては、**DC側での対応**が求められつつある（ただし、国・機関の間で要件にはばらつきがある）。
- ◆ **国内でも**：海外と同様にDCの負荷特性による様々な系統影響が想定されるため、まずは、**国内DCの負荷特性の実態把握**が重要となる。さらに、国内系統の特徴を踏まえて、効果や効率等を総合的に勘案した適切な対策が講じられるように接続ルールの検討を進める必要がある。
- ◆ **DCの系統接続を円滑に進めるため、引き続き、関係者間での情報共有・議論促進が重要となる。**

系統影響の要因となるDCの負荷特性への対応

系統影響の要因となる DCの負荷特性	左記への海外における対応 (接続ルールの整備)	国内における対応案 (当所の見解)
【AI学習向けDC】 平常時の周期的な負荷変動	周期的な負荷変動幅に上限 を設ける	• まずは、国内DCの負荷特性の実態把握が重要となるのではないかと。 • さらに、国内系統の特徴を踏まえて、効果や効率等を総合的に勘案した適切な対策が講じられるように接続ルールの検討を進める必要があるのではないかと。
【DC全般】 事故時の負荷脱落特性	事故時の運転継続（機能の 具備）を求める	

(参考) 海外における標準化の動向

- ◆ 国・機関毎に、系統接続に必要な性能等を定める接続ルールの整備が進みつつあるが、国・機関の間で要件にはばらつきがあり、広域的な系統リスクになることが懸念されている。
- ◆ この低減を目的に、送電・配電系統に接続されるDCに求める最低限の技術要件を標準化するプロジェクト「IEEE SA - P4200」が進行中（2026年6月～）。

IEEE SA – P4200について

P4200

Type of Project: New IEEE Standard
Project Request Type: Initiation / New
PAR Request Date: 14 Apr 2026
PAR Approval Date: 04 Jun 2026
PAR Expiration Date: 31 Dec 2030
PAR Status: Active

1.1 Project Number: P4200
1.2 Type of Document: Standard
1.3 Life Cycle: Full Use

2.1 Project Title: Standard for Electric Transmission and Distribution System Interconnection Functional, Performance, and Interoperability Requirements for Data Centers

5.1 Approximate number of people expected to be actively involved in the development of this project: 50

5.2 Scope of proposed standard: The standard establishes uniform technical minimum requirements for interconnection of data centers and associated components with electric transmission and electric utility distribution systems. It specifies requirements for functional capabilities, performance capability, and lifetime conformity of data centers. It specifies reference point of applicability, applicable voltage and frequency, ride-through capabilities and performance, post fault active power recovery timing, protection coordination, oscillation and ramp rate management, power quality, and monitoring methods. It also defines the data, models, and documentation needed for accurate system studies, including steady-state, positive-sequence, and model representations, load composition, protection and reclosing behavior, and backup power system interactions during both commissioning and operations. The standard builds upon the interconnection requirement methodologies of IEEE 1547, IEEE 2800, and IEC 62786. Requirements for large load facilities other than data centers are not in the scope. Load components and supplemental equipment within a data center that may be used to achieve conformity with this standard are in scope.

• DCの機能・性能・適合性の要件を定める。

- 要求事項の適用基準点
- 適用対象となる電圧および周波数
- ライドスルー能力およびその性能
- 事故後の有効電力回復タイミング
- 保護協調
- 振動およびランプレートの管理
- 電力品質
- 監視方法

• 解析に必要なデータ・モデル等を定める。

- 定常・正相解析で用いるモデル
- 負荷構成
- 保護・再閉路時の挙動
- バックアップ電源システムとの相互作用

文献[23]を基に作成。