

DER活用の系譜と今後の展望 DERの“sein”と“sollen”

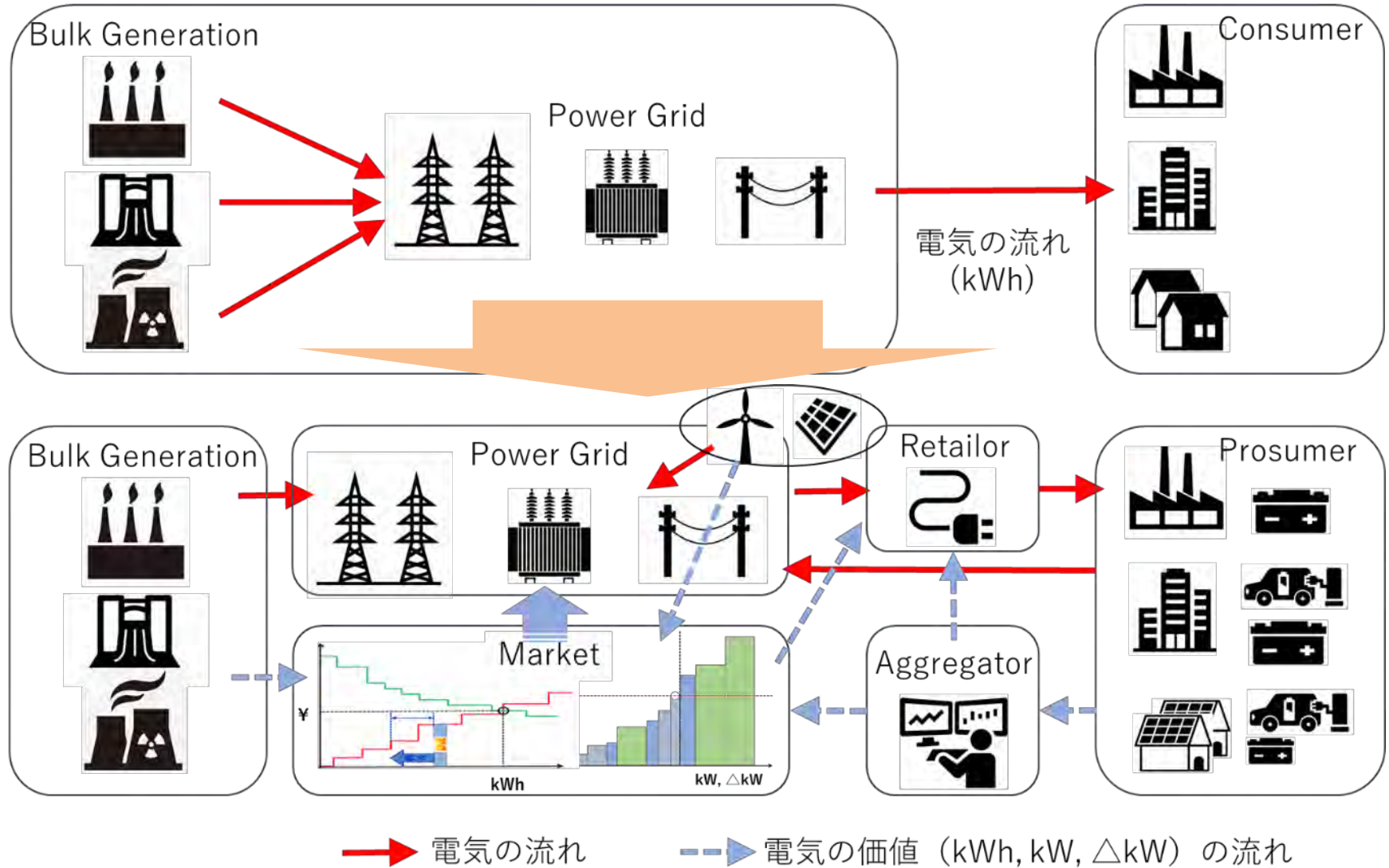


2024年2月8日

早稲田大学
スマート社会技術融合研究機構
(ACROSS) 事務局長
石井 英雄

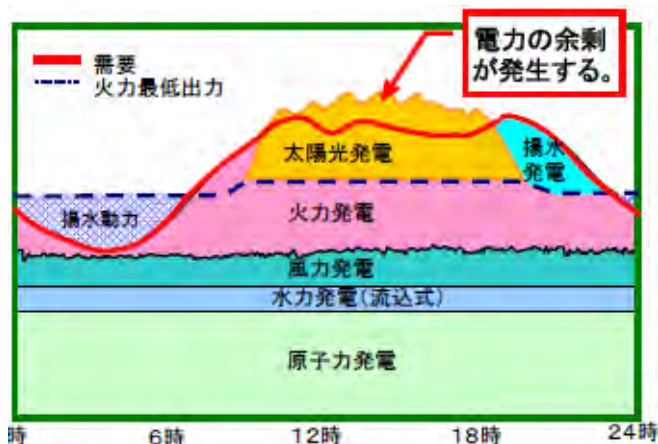
- 電力システムの変化とDER活用の必要性
- 日本ではどうやってきたか
- 通信規格の選択と標準化
- DER活用の到達点と課題・展望
- 何が必要か

当面目指している体系 ~2025年

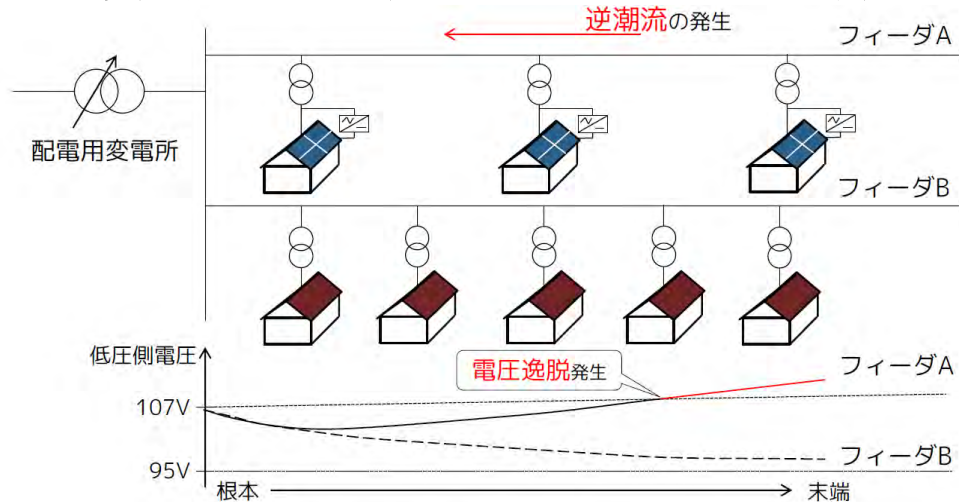


- 再エネ発電電力と需要の時間的・空間的ミスマッチ
- 配電線の電圧を適正範囲に維持することの困難化や設備の容量超過
- インバータ接続電源の増加・同期発電機の減少に伴う電力系統の慣性の低下

▶ 電力需要が小さい時の余剰発生



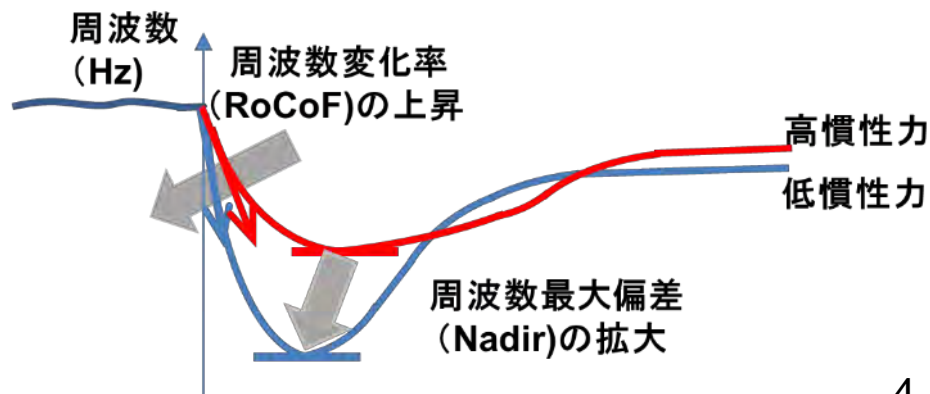
▶ 太陽光発電逆潮流による電圧上昇・上限逸脱



▶ 風力発電ポテンシャルの偏在



▶ 系統の慣性低下・安定性低下



□ 電源の脱炭素化

- ✓ 再エネ, 蓄電池, 洋上水力の最大限の導入
- ✓ 水素・アンモニアによる発電
- ✓ CCUS/カーボンリサイクルを付帯する火力発電
- ✓ 原子力発電, 安全性の更なる向上, 次世代炉のためのR%D

□ あらゆる分野での電化 & 水素利用、CCUS

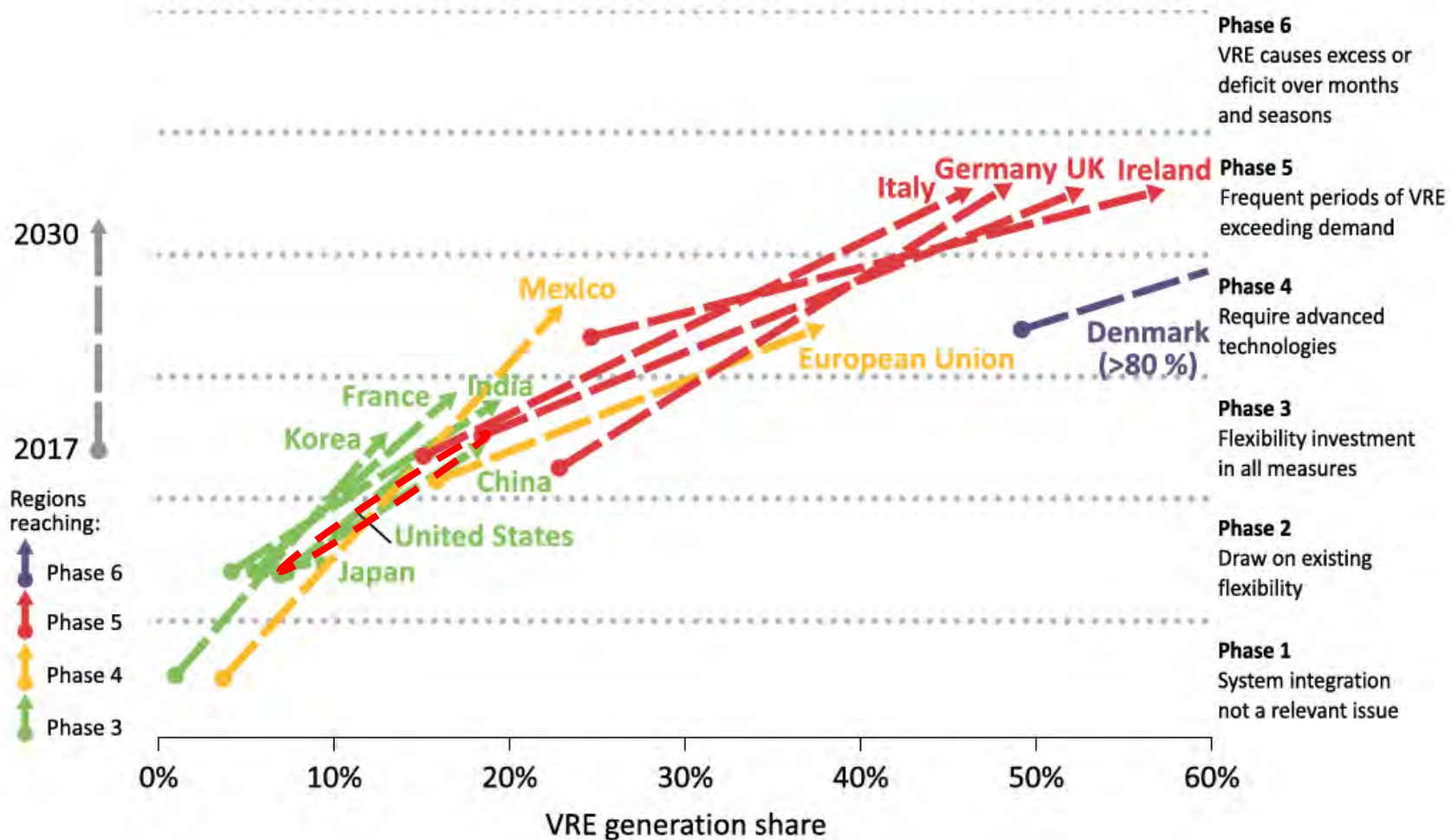
□ 新たな2030年のエネルギーミックス 野心的目標

(GW)

	As of 2019	Previous	New
再エネ	18%	22-24%	36-38%
水素・アンモニア	0%	0%	1%
原子力	6%	20-22%	20-22%
天然ガス	37%	27%	20%
石炭	32%	26%	19%
石油	7%	3%	2%
CO ₂ 削減	▲14%	▲26%	▲46%

	Previous	New
太陽光	64	103.5-117.6
風力	9.2	15.9
洋上風力	0.8	5.7
地熱	1.4-1.6	1.5
水力	48.5-49.3	50.7
バイオマス	6-7	8.0

第1次エネ基でどうなるか？



出典：“System Integration of Renewables”, IEA, 2018

電力システムのseinとsollenを書いた(つमりの)もの

□ IEC / MSB (Market Strategy Board) 白書



“Stable grid operations in a future of distributed electric power”



Change Drivers = 5 Ds

- Decarbonization 脱炭素化
- Decentralization 分散化
- Deregulation 自由化
- Democratization 民主化
- Digitalization デジタル化

+

Challenges = 4 Ls

- Limited Visibility 可視性
- Limited Control 制御性
- Limited Predictability 予測性
- Limited Coordination 協調性
(Regulation)

将来の電力システム運用

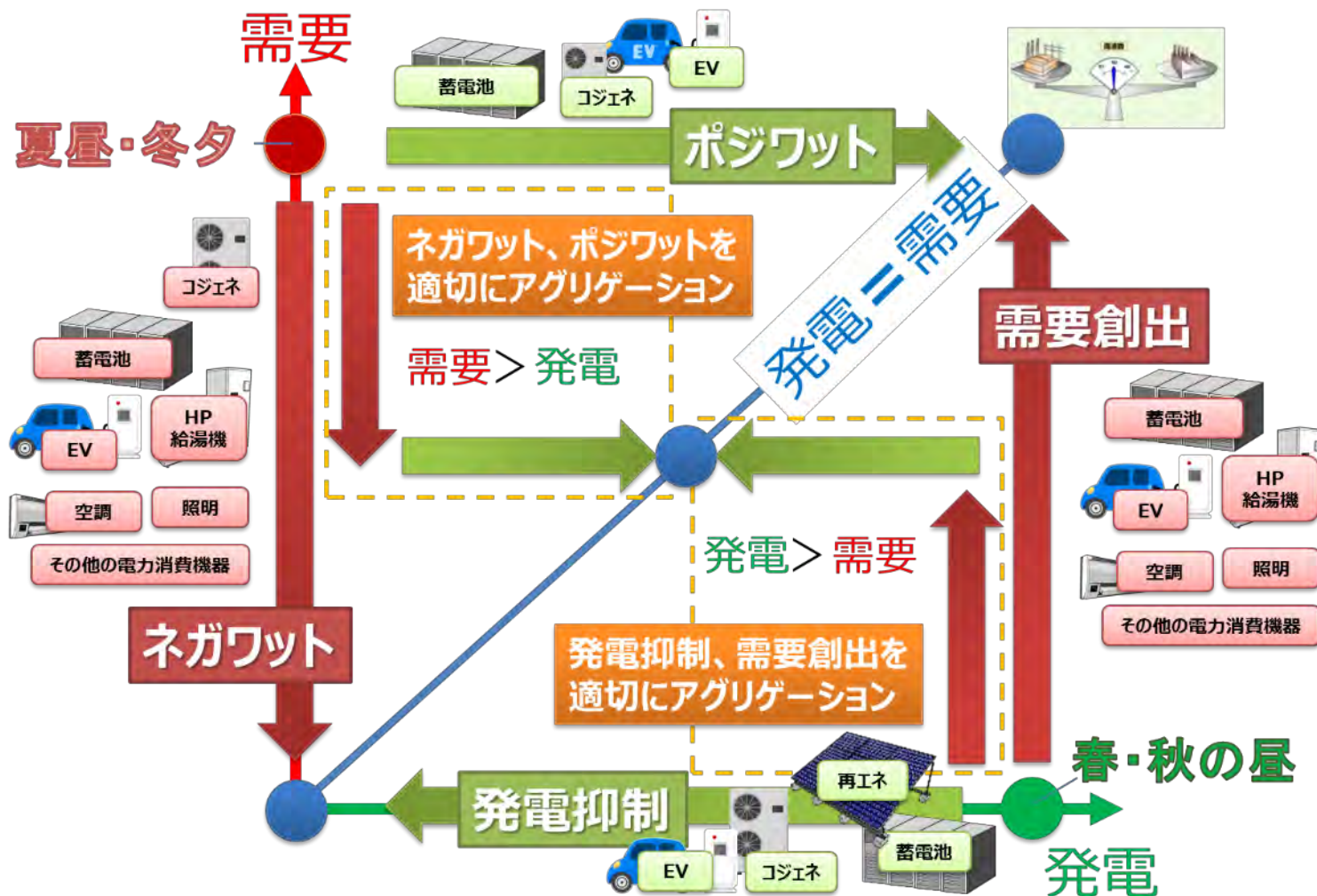
✓ 分散資源の統合 (Aggregation)

✓ 統合資源の市場での活用

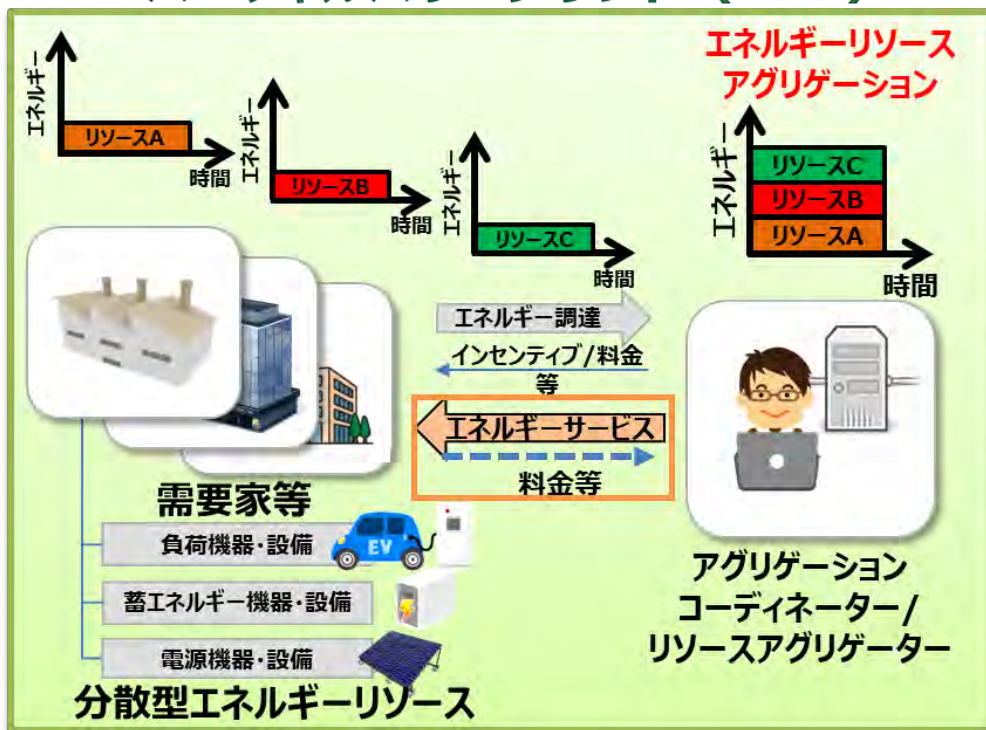
✓ 系統運用者との通信

新たなCoordinationの必要性

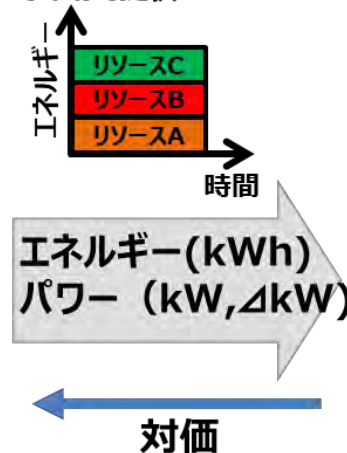
- 需要側資源を制御して柔軟性 (flexibility) を供出
⇒ VPP: バーチャルパワープラント



バーチャルパワープラント (VPP)



分散型エネルギーリソースの電力をIOT・デジタル化で束ねて提供



【一般送配電事業者】



- 調整力確保
- 電力品質維持

【再エネ事業者】



- 発電の継続

【需要家・コミュニティ】



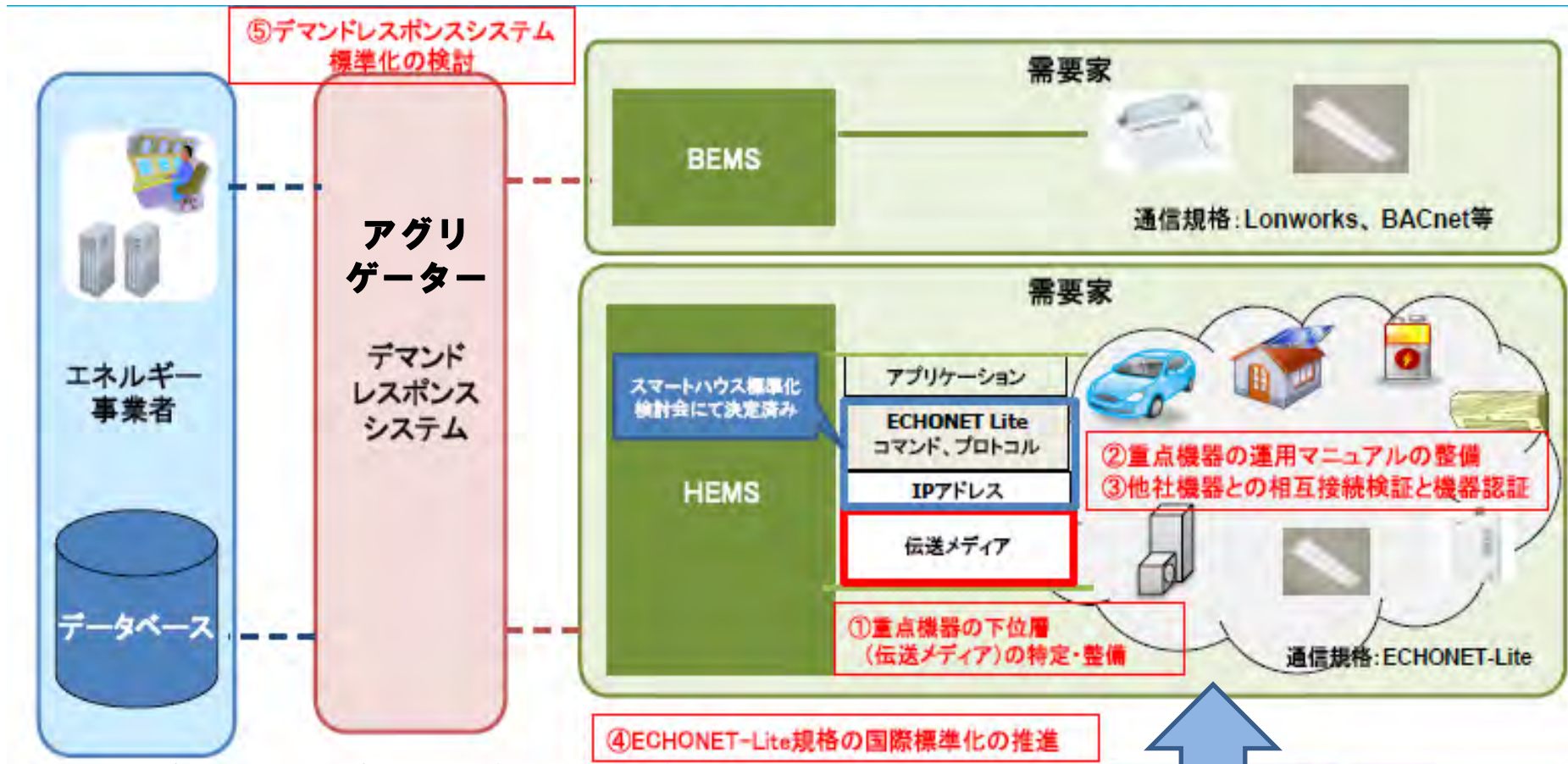
- エネルギーコスト低減
- 環境負荷低減
- 再エネ有効活用

【小売事業者】



- 顧客サービス
- 電源調達
- インバランス回避

【各種電力取引市場】



←→ 競争領域

一般送配電事業者と
アグリゲーター間の通信は
OpenADRを推奨

↑

住宅内の通信はECHONET-Liteを推奨
(スマートメーター～HEMS間を含む)

2012年11月開設

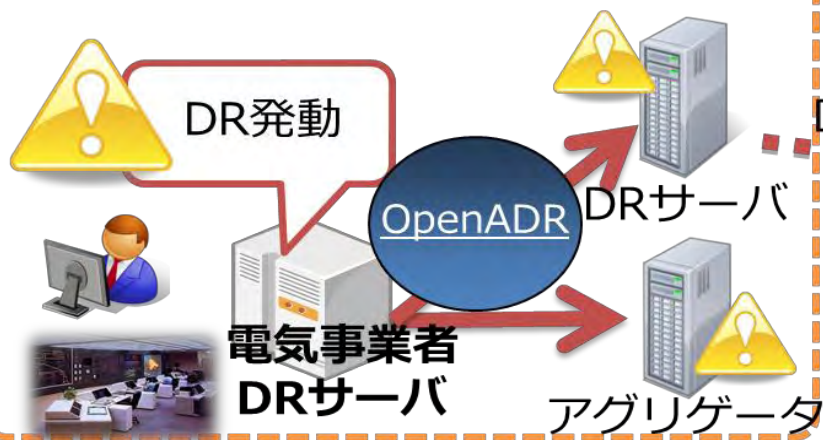


国際標準通信規格を用いて、
日本の目指すデマンドレスポンス技術の
整理・研究開発・実験実証・技術支援

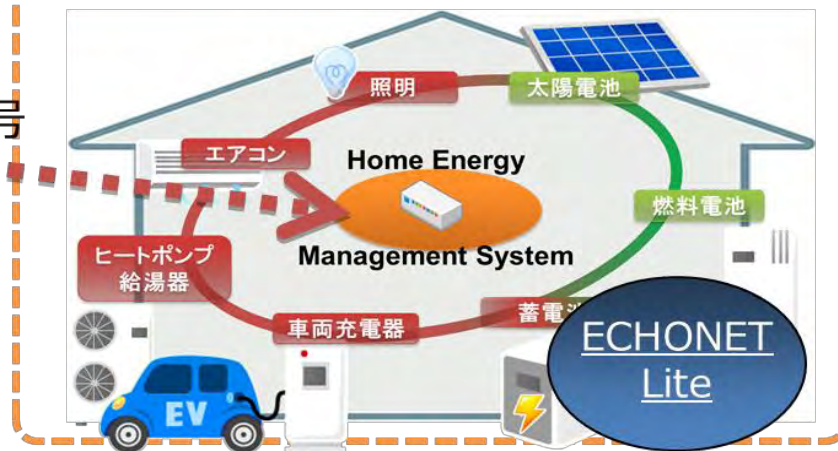
早稲田大学 EMS新宿実証センター



電気事業者を中心とするDR通信制御 (OpenADR2.0b)



HEMSを中心とするDR宅内通信制御 (ECHONET Lite)



ANSWER

NISTのPAP(Priority Action Plan)に載っていたから、
将来のデファクトになると想定した

- “スマートグリッド”＝ICT統合型グリッドの方向感（背景：震災、電力システム改革）
 - 大規模電源・バルクグリッド／一方向
 - ⇒ 自律分散システム(EMS)／分散資源統合(分散電源、蓄電池、EV)／双方向化
 - 需要のスマート化(DR)
 - 再生可能エネルギー、特にPVの大量導入
 - 電力システムを水平分割、送配電系統(事業者)の公平・透明化、発電・小売りにBGの導入

- 需給バランス確保のためアグリゲーションの役割が拡大
 - 需要、PV、蓄電池、EVなどは基本的に系統運用者のものではないが、需給バランスのために制御する方向 ⇒ 系統運用者にとって従来の概念にはないチャレンジ
 - これらの要素は一般に1つ1つの規模が小さく、数が莫大
 - ⇒ 系統運用者のセンスでは、個々を監視・制御することにはならない
 - 他の制御要素(発電機、遮断機、キャパシタ／リアクトル等)と同程度の容量を期待
 - これらの要素は今後は需要家のEMSの管理下にあることを想定すべき、かつ、需要家単位やコミュニティ単位などの何らかの最適化(大抵はエネルギーコスト)のロジックで制御され、これは系統運用者の要請と単純にはマッチしない
 - 極力単純で需要家サイドの様々な自由度を確保するためには、アグリゲーションがソリューション(下位のポートフォリオ構築により自由度を確保し、相応規模で上流の要請にも応える)

- (国際)標準化の観点からは、
 - 系統側、需要側、それぞれの領域では既存の標準があり、不足を補えばよさそう
 - 一方、系統と需要を結ぶところは新しい領域であり、関連するものを統一的に検討する必要

■ 次の3つの案件は相互に連携して推進すべき

- ネガワット取引(インセンティブ型DR)
- PV制御(遠隔出力制御機能)
- VPP

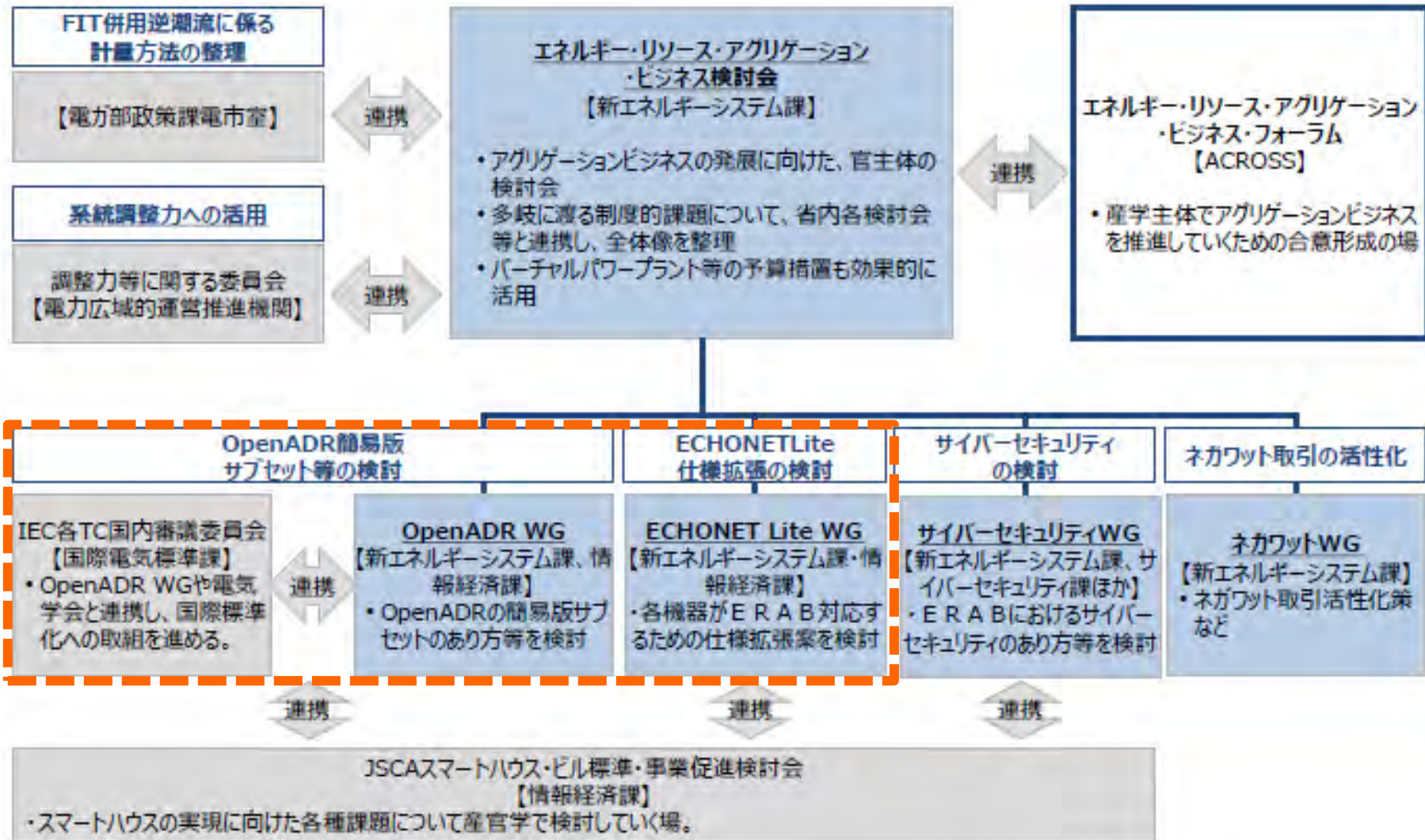
■ 現在のPV制御実証の状況と考えるべきこと

- 九州実証(単方向、至近)と東京・関西・北陸実証(双方向、中長期)の2つの事業を単一のフレームで実施中、後者でPVからとる情報は制御信号受信の確認と発電量
- 双方向事業ではDRとの類似性からOpenADRでシステム構築を指向
- PVは規模によって制御周期や双方向の必要性が異なると考えられる
 - ⇒ 九州実証でも大規模PVは専用線で双方向通信
 - 大規模PVではリアルタイム性の高い監視・制御ニーズがあり、イベント型のOpenADRがなじむか要検討
- 中小規模PVについてはアグリゲーションが前提(個々の管理は非現実的)
 - ⇒ この場合、電力会社からアグリゲータまではイベント型のOpenADRがなじむと思料
- 再エネ最大利活用の観点から、PV余剰分は有効活用を指向 ⇒ 需要シフト、負荷造成DR、蓄電等 ⇒ EMS、VPP等による統合制御 ⇒ PVとの通信は双方向化が必要
- 以上から、VPPとPV制御は相互連携して検討する必要
- 電力会社のニーズを明らかにし、ユースケースを設定し、システム構成を想定したうえで通信規格をどうするか検討する必要 ⇒ 国際標準化観点でのaction planをあわせて検討

極めて強い思い

石井としてのの Sein と Sollen だった

2016年1月発足



出典：第3回ERAB検討会資料

管轄省庁の見解

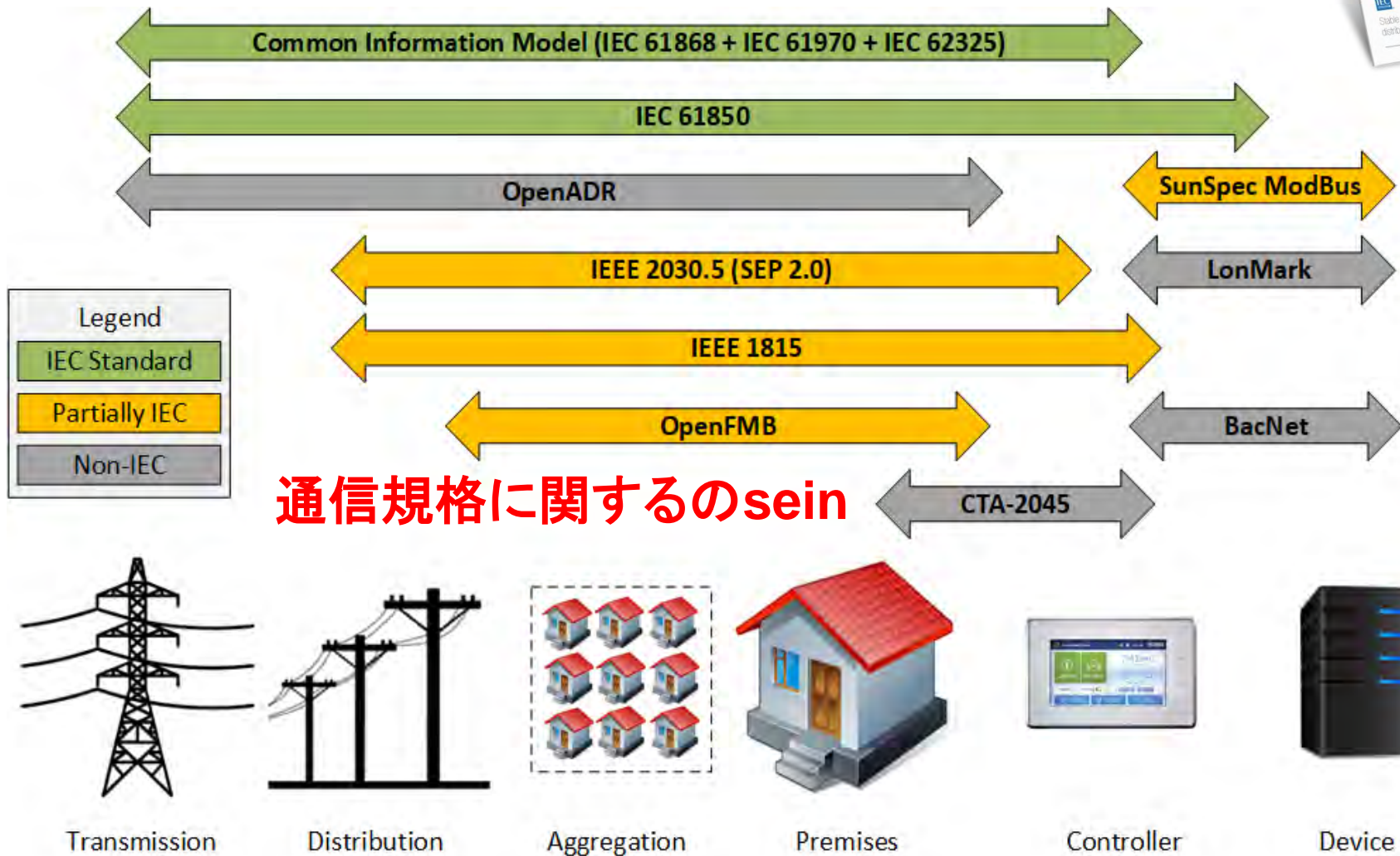
「国家推奨とするにはIECまたはISOの国際標準でないと**ダメ**です」
<へ>

- OpenADRのIEC標準化はon-goingだった(@PC 118)のだが、苦戦💧💧💧
- 理由は、欧州勢が標準化を進めるCIM、IEC 61850等(@TC 57)とデータ構造が根本的に異なること (~_~;))
- 某欧州メーカー主導による欧州勢の連合、ほか、TC 57議長とPC 118議長の関係、OpenADRの米国側代表の一人が欧州勢に不評とか。。。 (≧◇≦)

“Zoo” of Communication Standards

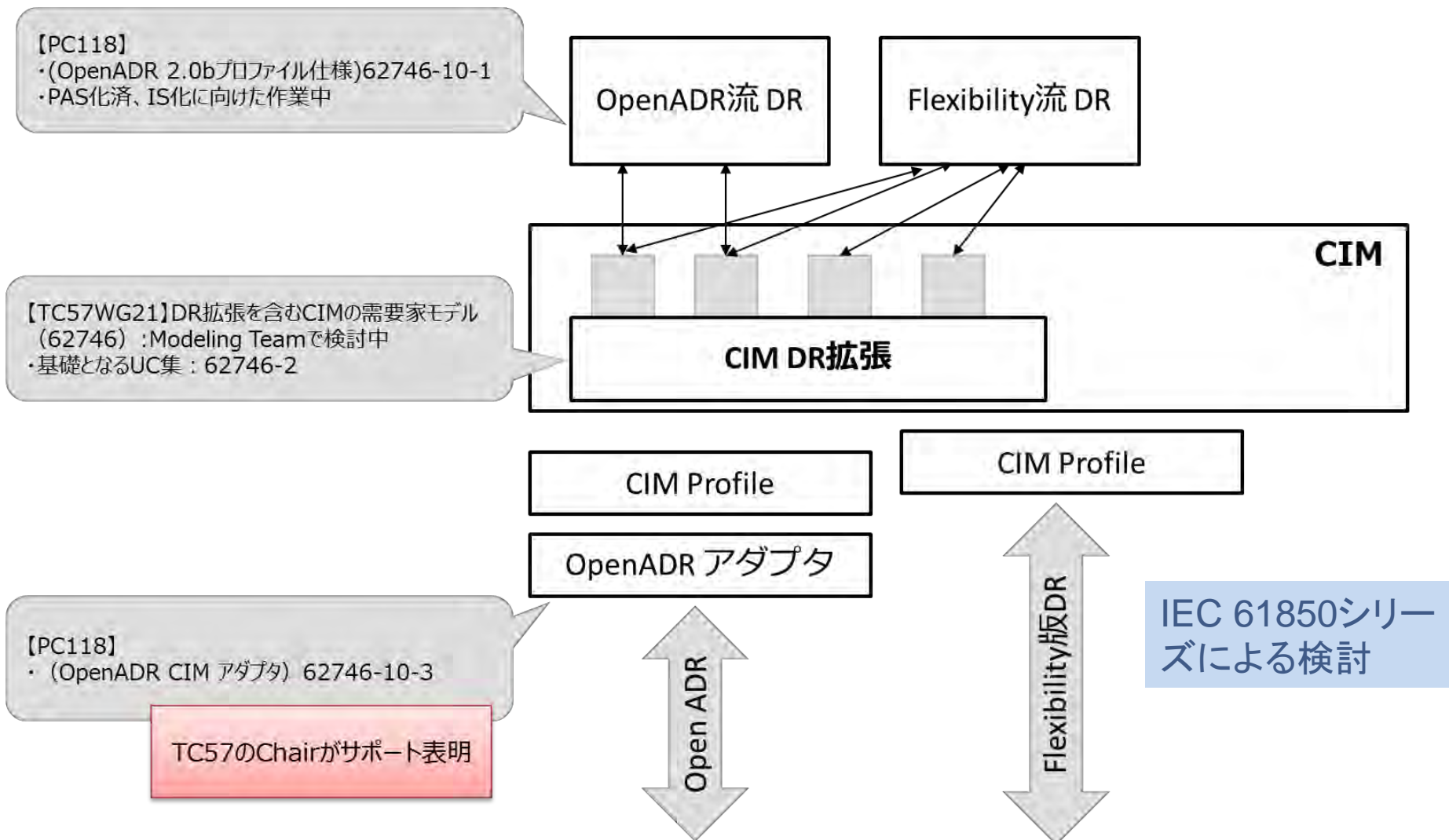
Various Communication Protocols by Grid “Layer”

Source: IEC, “Stable grid operations in a future of distributed electric power”



IEC SMBLレベルでの整理

第5回ERAB検討会資料より抜粋(一部加筆)



OpenADRの国際標準化の動向（関連の動向・取組）

- IEC/MSB（Market Strategy Board）では、専門WGを組織し、White Paper “Stable Grid Operations in a Future of Distributed Electric Power”を取り纏め、現在関係TC/PC等に意見照会中
 - リーダー 武部俊郎（東電HD・技監）、エディター Scott Coe（Grid Optimize）
 - メンバー 東電PG、東芝、Huawei、早大 他
 - 分散エネルギー資源の統合のために、通信規格・データモデルの標準化が重要であることを指摘、既に適用が進む標準が多く存在することを踏まえ、異なる規格間のharmonizationやbridgingが重要であることを記述（OpenADR2.0bをIECの規格に取り込みつつ、CIMとつないで使えるよう、PC118において“adapter”の標準化を推進中（IEC 62746-10-3, FDIS承認済み））

OADR排除派

- It is likely then that protocols will accommodate multiple standards, while simultaneously developing bridges to allow the different standards to interoperate. Since the progress of ICT is extraordinarily rapid, any framework should be flexible and allow for extensions.
- This approach makes sense from an architectural perspective, however, from a practical perspective compromises are often necessary when applications are not available with sufficient functions for emerging areas, such as DSRs. Therefore, a resilient framework must allow for extensions, especially when bodies outside the standards realm can move more rapidly to meet the needs of the industry. OpenADR, a communication protocol developed using non-IEC standards for demand response in the United States and maintained by the OpenADR Alliance, is a prime example of this phenomenon. Many prominent vendors have implemented OpenADR, and accordingly the standards have been integrated into the IEC portfolio.

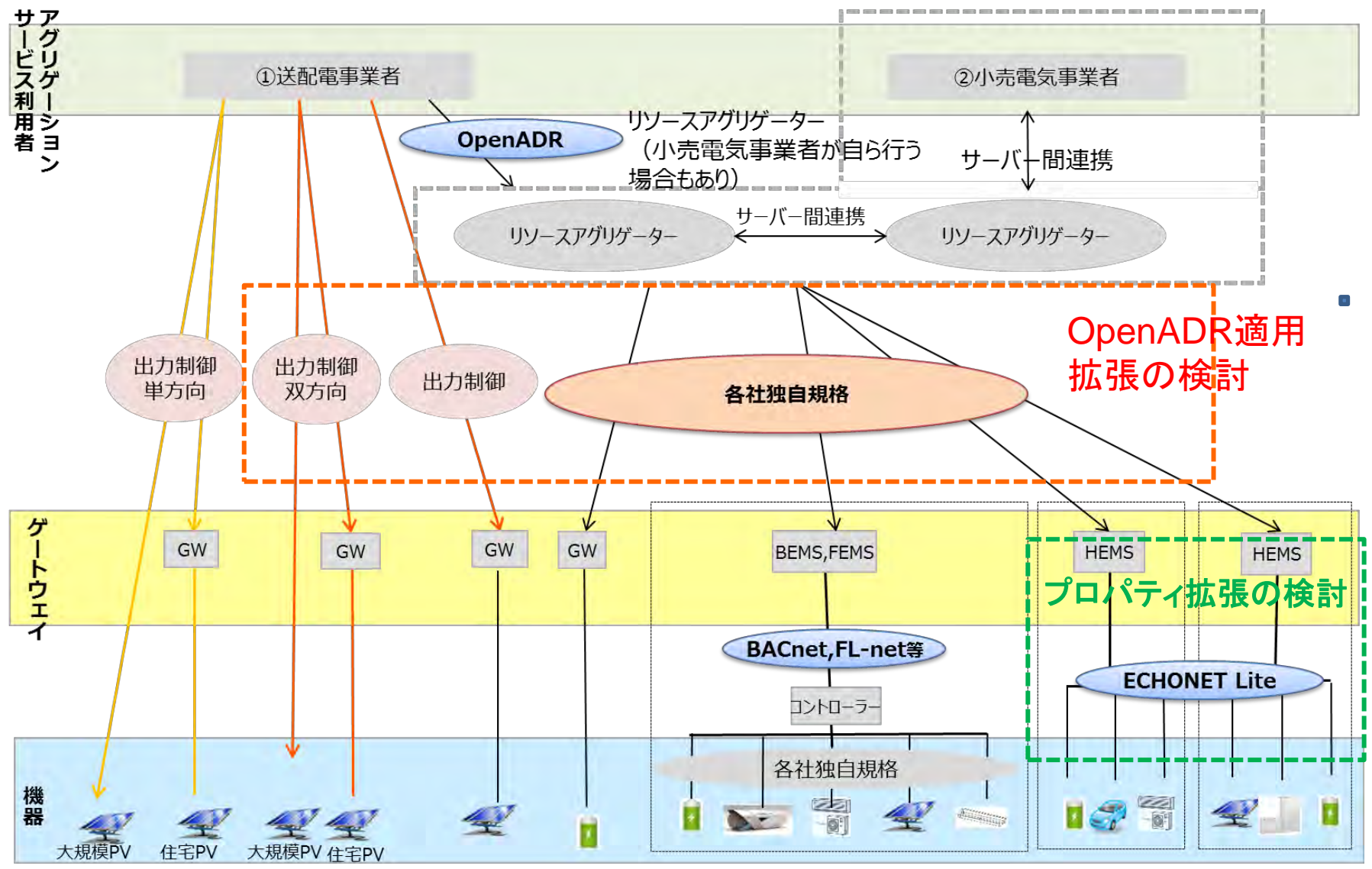
1つ目のseinに対するsollen

OpenADRの国際標準化の動向（現状）

第9回OpenADR WG資料より

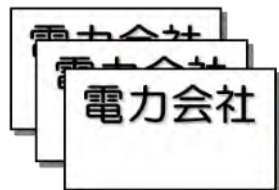
- OpenADR2.0bのIEC国際標準化（IS化：IEC 62746-10-1）については、PC118において過去2回CDV投票が否決されたが、2018年5月4日締め切りの3回目のCDV投票において、賛成多数で可決（賛成22、反対1、棄権10） **V(^o^)/**
- PC118WG（2018年5月30-31日@LA）を経て、FDISを省略し、2018年11月にISに認定、規格発行
- PC118 Plenary Meeting（2018年11月28日）において以下を確認
 - ✓ PC118は2011年よりIECにおいて初めてのPCとして活動し、すべてのミッションを完了
 - ✓ PC118の成果
 - IEC 62746-10-1:2018, *Systems interface between customer energy management system and the power management system Part 10-1: Open automated demand response*
 - IEC 62746-10-3 ED1: *Systems interface between customer energy management system and the power management system - Part 10-3: Open automated demand response – Adapting smart grid user interface to IEC common information model*
 - ✓ 今後、PC118のSecretaryである中国NCがメンテナンスの責任主体

通信規格検討のベースアーキテクチャと方向性



DR自動サーバーの研究開発

国のエネルギー政策と足並みを揃えたDR自動化に資するDRAS研究開発



ネガワット指令

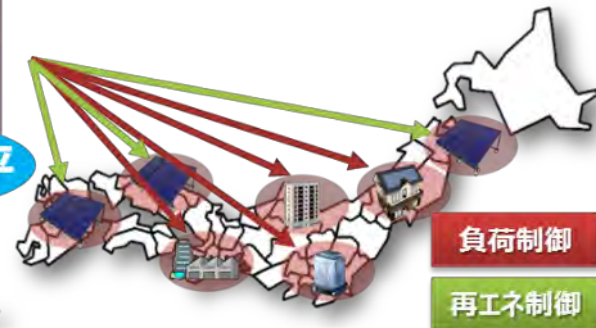
再エネ指令

早稲田大学EMS
新宿実証センター

標準化

中立・公平

研究開発成果の
事業者による社会実装



DR自動サーバーの社会実装

本年度VPP構築実証



DRAS構築

OpenADR



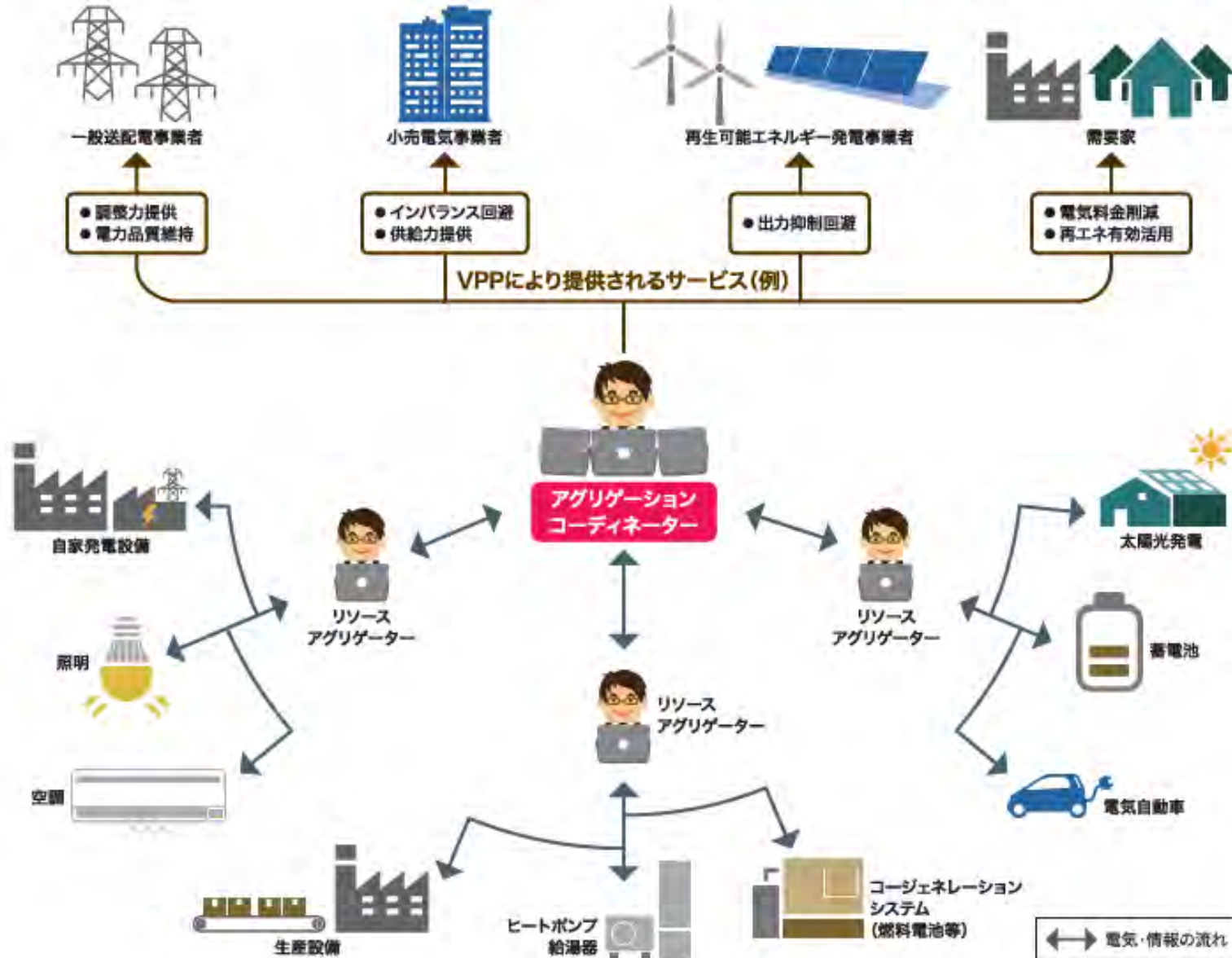
- 速い制御技術等の習得
- 機器別実装ガイドラインの有効性検証
- 計量方法及びベースライン設定方法検討



- 実運用に耐え得るシステム構築 (事業者視点加味)
- 自動化 (オンライン化) によるスケーラビリティ向上
- 電源I'・I-bのオペレーションへの対応
- 小売電気事業者向けインバランス抑制制御
- 需要創出DR制御 (上げDR制御)

一般送配電事業者の簡易指令システムに適用

出典: エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス・ハンドブック



● DR/VPP 実証事業

東電-BSP
(2012 - 2013)

- 5 Aggregators
- 顧客
工場、店舗
オフィス、ホテル
- 機器
自家用発電,
工場設備
エアコン, 照明

経産省-インテグ型 DR技術
(2014 - 2015)

- 21 Aggregators
- 36,700のリソース
- 2100の顧客
工場、店舗
オフィス、ホテル
- 機器
自家用発電,
工場設備
エアコン, 照明
蓄電池,
蓄熱

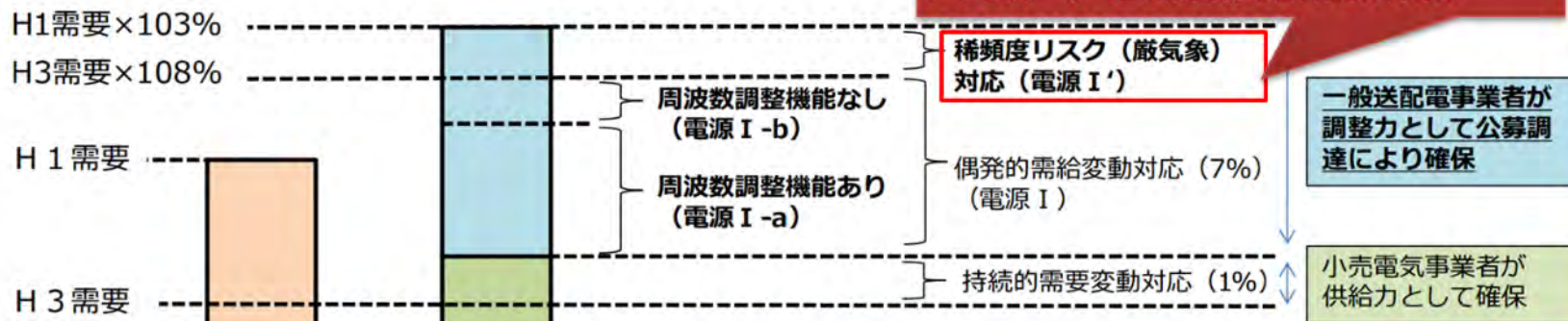
経産省-VPP構築
(2016- on going)

- 6AC + 35 RA
- 30MWのリソース
- 顧客
工場、店舗
オフィス、ホテル
- 機器
自家用発電,
工場設備
エアコン, 照明
蓄電池, ポンプ
蓄熱,
電気自動車, 冷蔵設備
ゾーレ-ソソ, 燃料電池

- 各一般送配電事業者は、周波数調整機能の有無等により電源等の区分を設定し、調整力の必要量を算定した上で公募調達を実施。

> デマンドレスポンス（DR）を活用した応札は、募集合計132.7万kWに対して合計111.2万kWあり、合計95.8万kW（総額約36億円）が落札
 > アグリゲーター落札は10件で合計21.7万kW

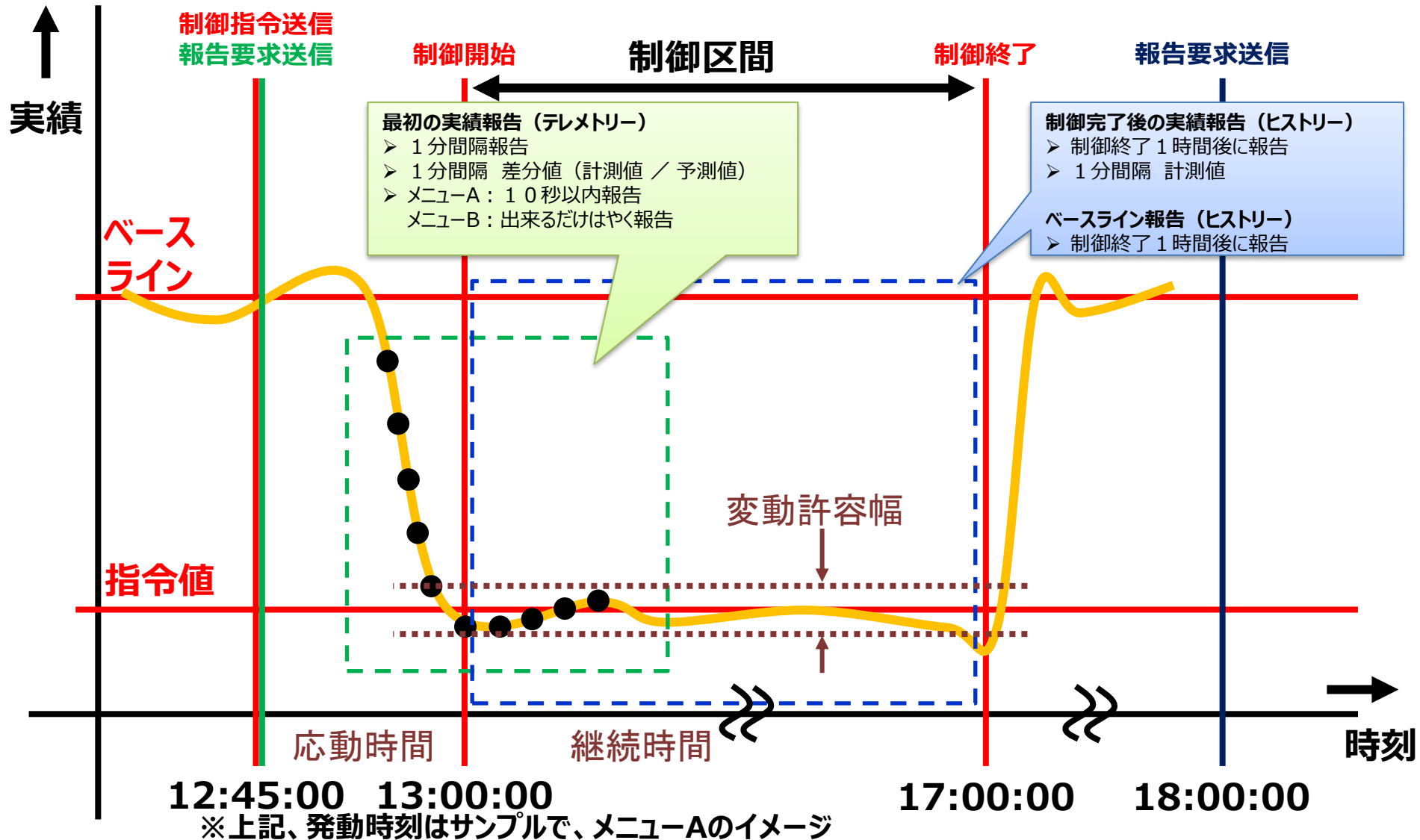
○本年度の調整力の区分及び必要量の概念図（沖縄電力を除く）



	電源 I -a	電源 I -b	電源 I'
オンライン指令対応	必要	必要	原則必要※1
周波数調整機能	必要	不要	不要
応動時間	5分以内	15分以内～ 30分以内	3時間以内
継続時間※2	7時間～ 11時間	7時間～ 16時間	2時間～ 4時間
最低容量※3	0.5万kW～ 1.5万kW	0.5万kW～ 2.9万kW	0.1万kW以上
提供期間※4	通年 (平成29年4月1日～ 平成30年3月31日)	同左	・通年 ・夏季(7月～9月)

第69回電力・ガス取引等監視委員会資料に追記

15分前発動の試験評価イメージ



令和2年度 基準値テスト（基準値テストの結果・考察）

6

■ 需給調整市場の制度設計を踏まえ、受電点における基準値設定精度向上に向けた下記テストを実施。

① 基準値予測テスト(リソース制御なし)

⇒ 三次②における30分単位および5分単位(事前審査相当)の基準値予測精度を検証する。

② 指令値0実制御テスト(リソース制御あり)

⇒ 三次②における0kW指令を想定し、基準値と実績値の乖離をリソースの供出可能量でカバーできるか検証する。

【総評】

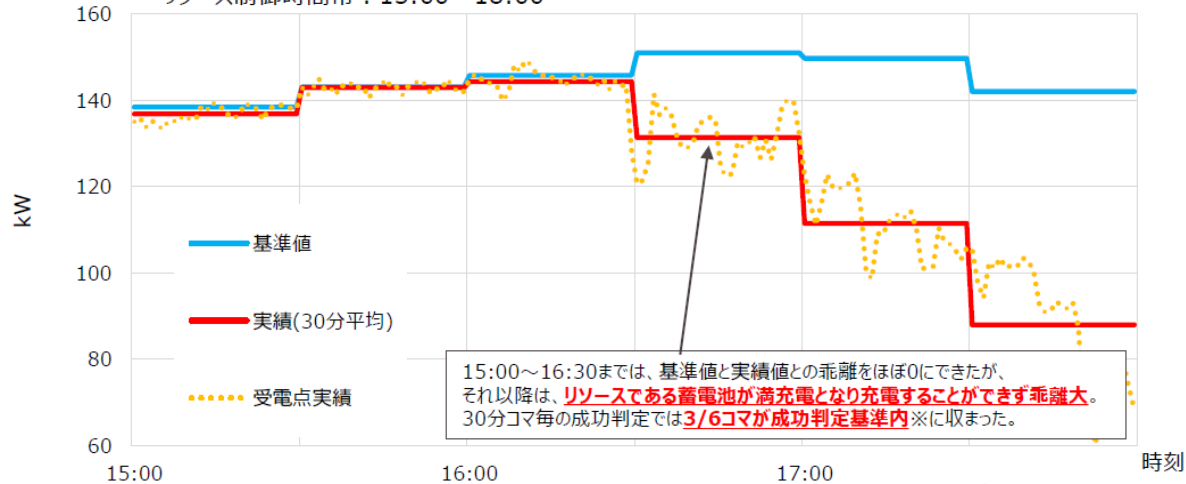
- 基準値設定精度の更なる向上に向け、RA各社と相互意見交換の場を設け、課題の共有や解決の糸口を議論し、基準値テストを行ったが、天候に左右されるPVや需要家の操業予定等を考慮し、精度良く基準値設定するのは困難であった。
- 基準値を精度良く予測できるのは、受電点電力の変動幅が小さく、かつ安定している需要家に限られる。
- 今後、VPPリソースを幅広く活用するためには、受電点ではなく、純粋なリソース応動を評価可能な機器個別計測が必要であると考えられる。 (機器個別計測の実証結果については P9~P10参照)

テスト結果代表

実証日：11/30 テスト項目：②指令値0実制御テスト(リソース制御あり)

供出可能量：50kW

リソース制御時間帯：15:00~18:00



※成功判定基準：実績が基準値±供出可能量×10%の範囲に収まった30分のコマ数

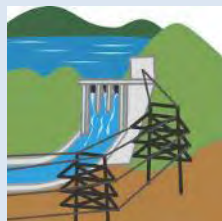
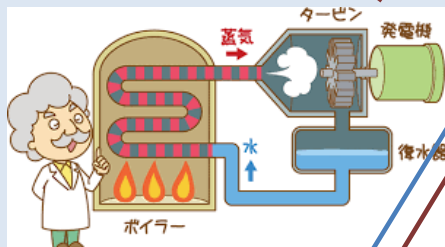
VPP≠PP問題 : DER/DSRのsein

VPPはどこまでPPになれるのだろうか



→ 制御信号 (Control Signal)
→ リソース状態 (Resource Status)
種類、粒度、タイミング、精度 (Type, Granularity, Timing, Accuracy)

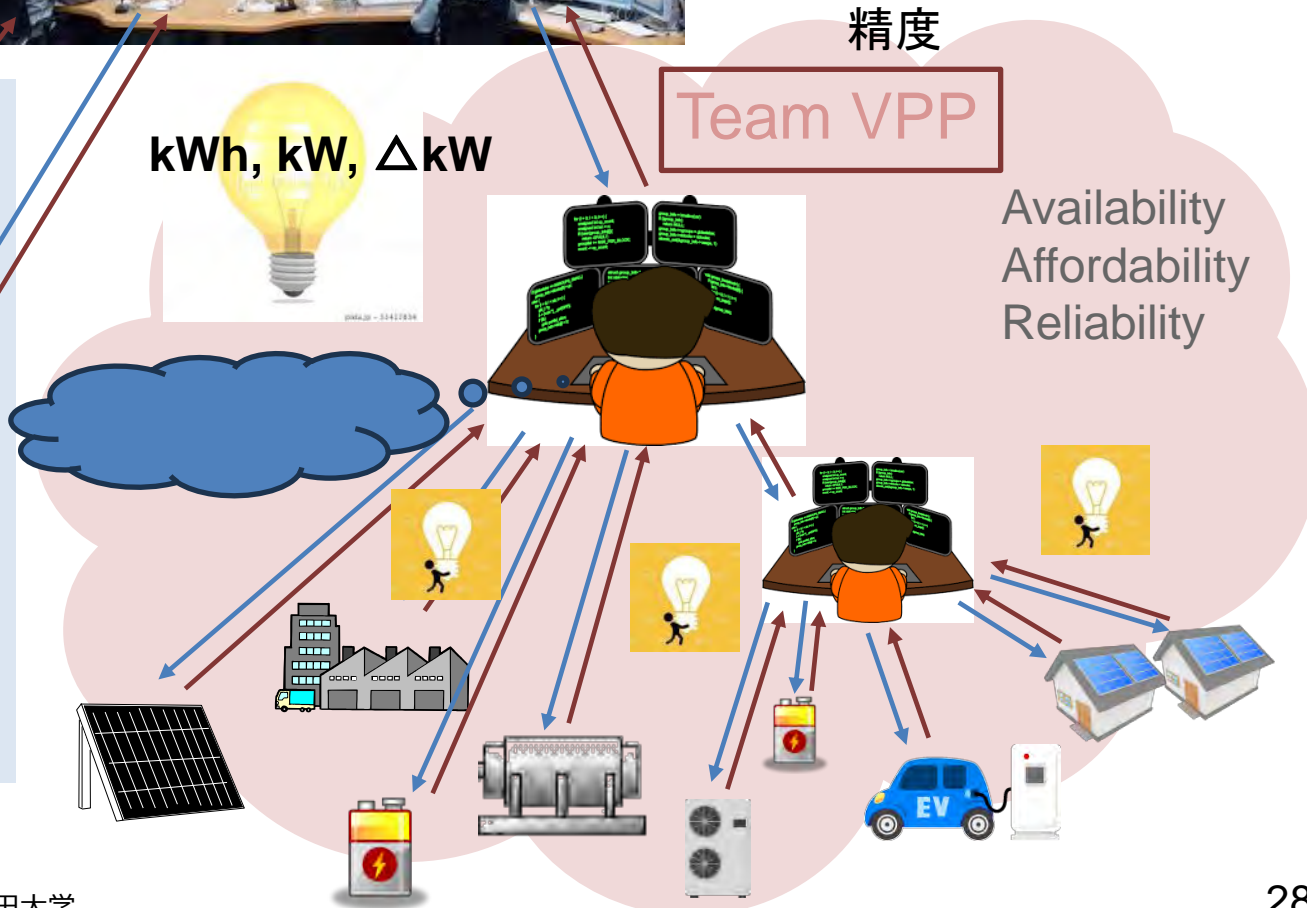
Team PP



kWh, kW, ΔkW

Team VPP

Availability
Affordability
Reliability

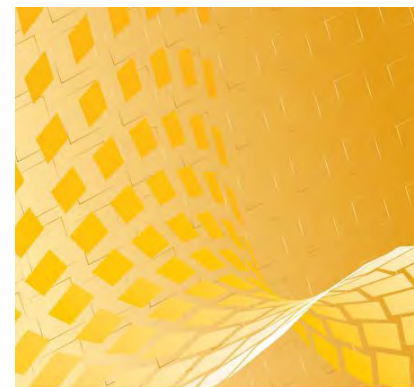




“Stable grid operations in a future of distributed electric power”

Section 5

Techniques to influence demand-side response



White Paper

Stable grid operations in a future of distributed electric power

The operation of electric power systems has been designed to support bulk power generators supplying electricity to customers through power grids. The market structure and requirements of such systems have been established based on the physical characteristics of the bulk power generators. Although aggregated DSRs are often called “virtual power plants (VPPs)”, these resources are not bulk power plants and are markedly different in their operations. To accommodate DSRs, every stakeholder needs to effect a change of perspective: the issue is not whether DSRs are applicable within the present framework, but rather how should the next generation power system be designed to best integrate them.

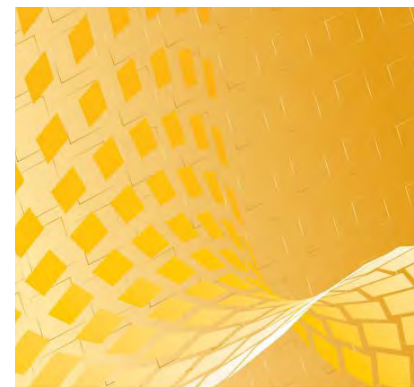
2つ目のsollen !!



“Stable grid operations in a future of distributed electric power”

Section 5

Techniques to influence demand-side response



White Paper

Stable grid operations in a future of distributed electric power

The next key stage involves revealing the quantitative characteristics of each individual DSR or DSR aggregation. From the grid's perspective, reliability, availability and affordability are central indices for evaluating to what extent the DSRs can function like bulk power generators. Based on the results, the market categories and requirements should be considered, in order to incorporate DSRs as well as to identify the technical specifications which DSRs must meet. This process should be done iteratively through a close cooperation among grid operators, DSR owner/operators, and DSR manufacturers.

2つ目のsollen !!

- のど元過ぎれば熱さ忘れる

Danger past and God forgotten.
Once on shore, we pay no more.

- 人の感覚はLog $D \gg P > I$

- ベースラインの変更

変えるのは滅茶苦茶エネルギーを要するが
いざ変えてしまえば驚くほどなれるのは速い

「使えるか」ではない。「どう使うか」だ。



“皇帝”ペンギンの親子

◆ 電源I'から発動指令電源(容量市場)へ

- I'での実績・信頼性+昨今の需給逼迫頻発
⇒ 調達量の拡大 : H3需要の3% → 4% → 5%
- 発動指令電源に対する調整係数の必要性・導入(安定電源とどの程度kW価値が同等か)
4%ならば100%(北海道の除く)、5%の場合20%程度の棄損の可能性
- 発動後は時間前市場で小売事業者が約定→未約定では一送が調整力として活用
kWh単価 : 時間前市場の最新5約定値平均
- 発動指令電源は需給調整市場に入札可能、同時に発動指令された場合は需給調整指令に対応、容量のペナルティは免除される
- 2024年実需給に向けた実効性テストで、約定発動指令電源415万kWのうち98万kW(24%)が退出

◆ 需給調整市場(BM)でのDER/DSR資源の扱い

- BM全体として、三次②、三次①ともに調達未達、検証しつつ改善
- 三次②、三次①に続き、二次②への参入も可(簡易指令システム)
- 二次②においては、指令間隔を5分(←数秒~数分)、監視間隔を5秒(←1~5秒)、最低入札容量を1MW(←5MW)に緩和
- 二次①(LFC)はオンラインでのニアリアルタイム制御であり、DER/DSRは想定しない
- 一次については、オフライン枠を設定、一次調整力必要量(調達量)の4%を上限
データ提出による事後的確認、抜き打ちテスト要件、データ改竄に対する措置、etc

◆ 低圧リソースの需給調整市場への参入

- 2026年度から“可”
- 群管理の導入
- 需要家リスト・パターン数大幅拡大、変更・更新
- 1発電地点1BGの緩和、これに沿った計画・精算

◆ 機器点個別計測(OCCTO需給小委2023.3.28)

- 2026年度から“可”
- 機器点のみのBGの別設定 発電BGと需要BG区分け
低圧リストでは受電点と機器点を分ける
- アセスメント・入札・約定・精算等市場ルール、インバランス算定・精算、損失の扱い

◆ システム改修・構築
◆ 実務

◆ EV等新たな分散型リソースの系統への貢献

- EVグリッドワーキング設置(非公開)
- 欧米海外事例を参照し、国内の方向性・課題・施策を検討

◆ 分散型リソース等を活用した高度な配電系統の運用や構築

- NEDO電力系統の混雑緩和のための分散型エネルギーリソース制御技術開発(FLEX DER)事業、DER管理プラットフォームの試作、フィールド実証
- ローカル市場等、DER活用のための将来像に関するコンセンサスをとっていくことが肝要

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。



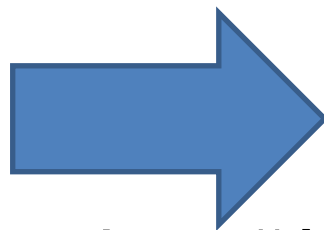
©TEPCO Power Grid Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載はご遠慮ください 東京電力パワーグリッド株式会社

Source: 第1回次世代の分散型電力システムに関する検討会 東電PG 岡本委員資料

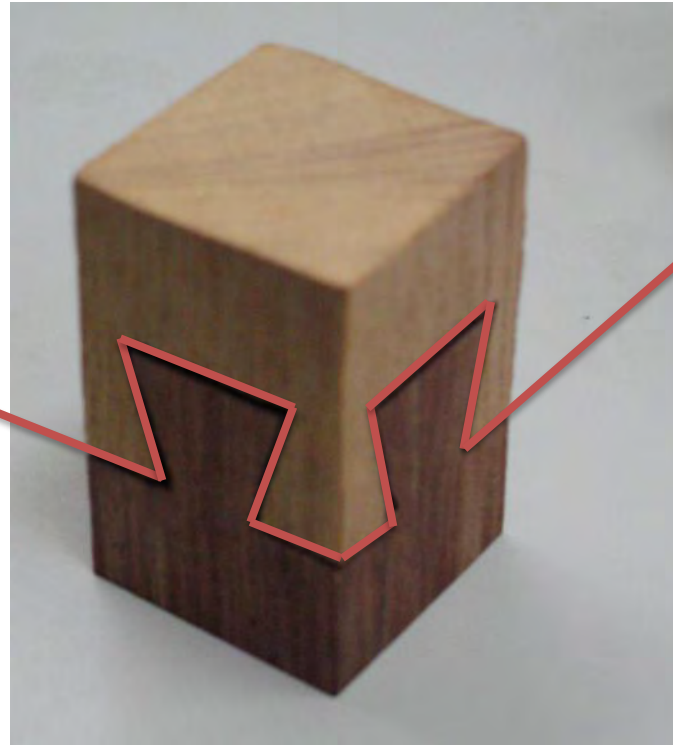


組み木



考え抜かれた“構造”が
強固な安定性の源

DSR World



Grid Code

- ✓ Interconnection
- ✓ Operation
- ✓ Market

Conventional Generator World

- DER/DSR活用は、紆余曲折ありながら、技術・制度の両面から関係者が着実に前に進めてきた
- DER/DSR活用に関する残された課題は難しいがゆえに残っている
環境価値の視点から大いなる進展を期待
社会認識、経済的インセンティブの浸透で事態はもう一段変わるだろう
- デンマークと日本の比較 早稲田大学商学部／川上教授
TSO/DSOのリーダーシップ
日本の底力 $D < P < < I$
- 再エネ、DER/DSRの増加を踏まえた電力システムとは？
このSeinとSollenに関する議論はまだまだ不十分であり、その進展を期待する
- 共有知と集団知
結びつけること・活かすこと