



京都大学  
KYOTO UNIVERSITY

# 電力市場に分散型電力と柔軟性を 供給するVPP（バーチャル発電所）

第1回 再エネ講座シンポジウム2020

『入門 再生可能エネルギーと電力システム』に関するシンポジウム（再エネ講座【部門A】）

2020年12月15日（火）

於：オンライン

中山琢夫

（京都大学大学院経済学研究科）

# アジェンダ

1. はじめに
2. 変動性再生可能エネルギー発電と柔軟性
  1. 変動性再生可能エネルギーの問題
  2. 電力卸売市場の価格推移
3. VPPとアグリゲーターの役割
  1. 変動性電源の管理
  2. 変動性電源と柔軟性電源
  3. よりフレキシブルな柔軟性と価格対応
4. 変動性電力の将来
5. まとめ

# 1. はじめに

- 再生可能エネルギー（水力・揚水除く）は、これまで、ほとんどネットワークに接続されていなかった
- 再生可能エネルギー発電は、しばしば全発電量の半分を超えたり、時にはネットワーク全体の需要を超える
  - ドイツ、デンマーク、カリフォルニア、テキサス、南オーストラリア（2017）
- 再生可能エネルギー（変動性電源）が強い影響力を持つ電力市場
  - 太陽光、風力、流れ込み式水力は、基本的には制御できない
- 需要と供給を調整し、システムの信頼性を保つ、代替的なスキームを提示しなければならない

## 2. 変動性再生可能エネルギー発電と柔軟性

## 2.1. 変動性再生可能エネルギーの問題

- ドイツの発電量の1/3は、風力・太陽光を中心とした再生可能エネルギー（2016年）
  - CO<sub>2</sub>排出量を減少
- 変動性再エネ発電（風力・太陽光）の問題
  - コスト
    - 1) 火力発電のリ・ディスパッチ
    - 2) 再エネの出力抑制
      - 北部、東部の火力発電は、ネガティブプライスの時でも解列できない
      - TSOは、混雑エリアの火力や再エネ発電所に、追加的なお金を払って出力抑制
      - 南部の火力発電に追加的なお金を払って出力アップ

# 変動性再エネ電源がネットワークに接続させることによるインパクト

## 1. 電力市場全体の卸売り価格が下がる

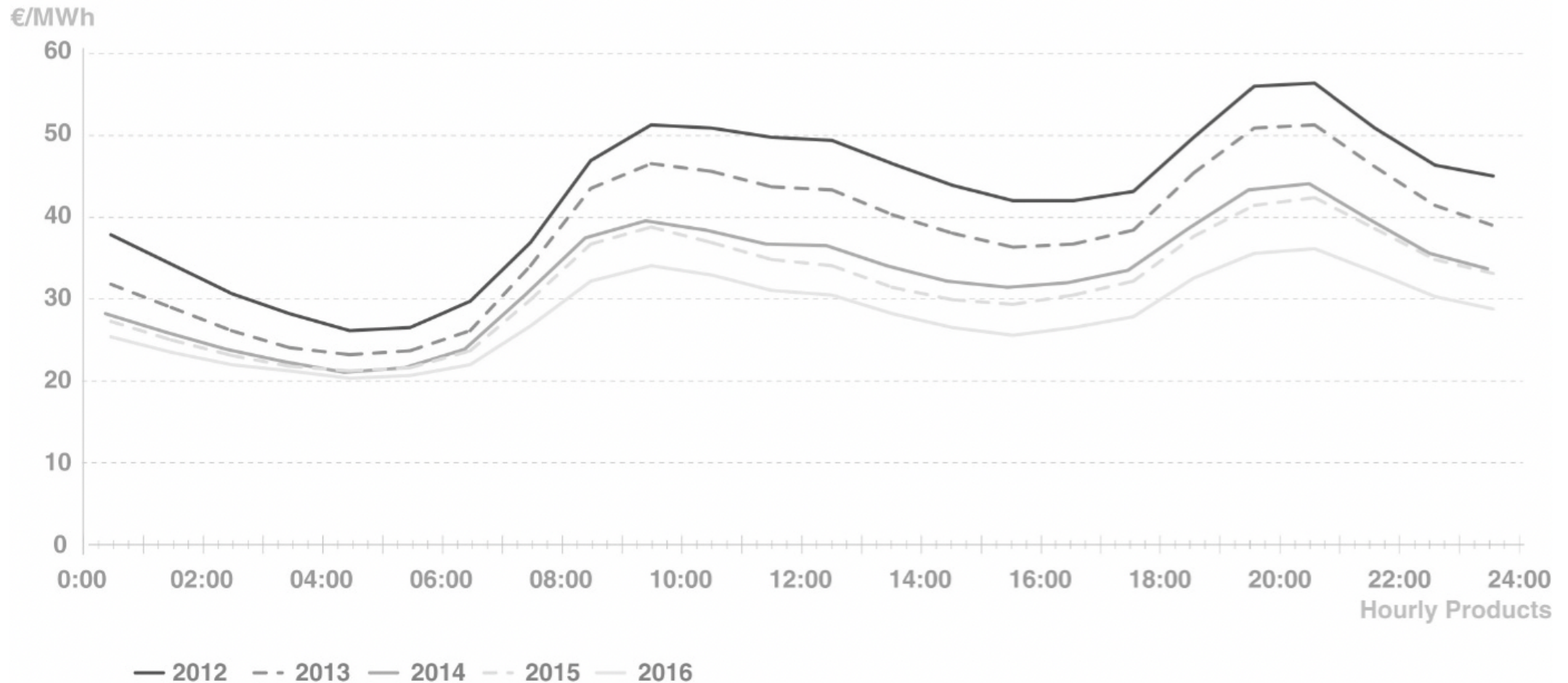
- 風力・太陽光・流れ込み式水力は、限界費用がゼロなので、火力発電を追い出す（メリットオーダー効果）
  - しかし、通常火力発電容量の減少量は、新たな再エネ発電容量が導入されるよりも低い。
  - 結果、電力市場に過剰な容量をもたらす

## 2. 再エネ発電の変動性は、電力卸売り価格を激しく動かす

- 風力・太陽光発電の大規模な変動は、全体の市場価格にインパクトをもたらす
- ただし、今日、少なくともドイツでは、風力や太陽光の変動を、電力スポット市場が効率よく対処している
- 変動性電源は、市場価格の激変を起こさなくなっている
- 二つの現象の結果として、
  - 火力発電所、とりわけフレキシブルでないタイプは、とくに利潤が減っている
  - 系統運用者の仕事は、よりチャレンジングになってきている
    - 常に供給と需要のバランスを保つ
    - より複雑かつ新しい発想、ツール、アプローチが要求される

# 前日スポット市場の平均価格(EPEX-SPOT)

Average Day-Ahead Prices on EPEX SPOT

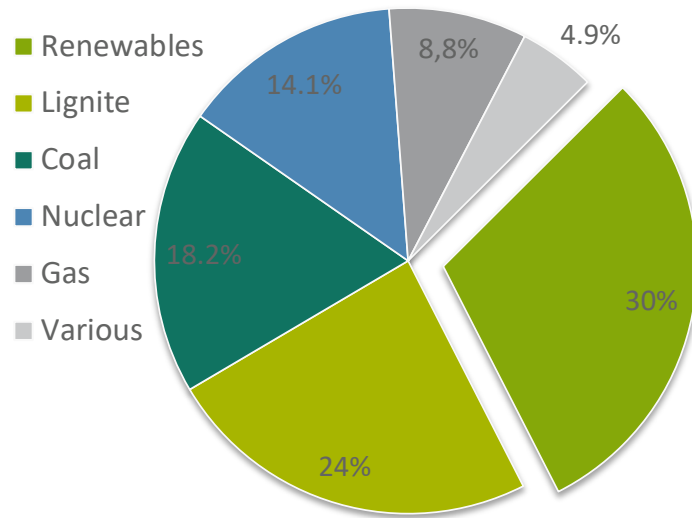


### 3. VPPとアグリゲーターの役割



# 分散型電源は、VPP（バーチャル発電所）を必要とする

## Decentralization means the world needs Virtual Power Plants



As the share of non-adjustable renewables grows, the need for players who can quickly and flexibly balance their fluctuation grows, too.

2000: 1,000 renewable energy power plants

2016: >1.5 million renewable energy power plants

Almost 50 % are owned by (groups of) individuals!



A VPP provides energy security most efficiently:

- ✓ It digitally aggregates the capacity of distributed units,
- ✓ controls them smartly
- ✓ and ensures that supply and demand are met at all times.

出所：NKK  
(2016)

# 「再生可能エネルギー法」改正

- 市場プレミアム制度（FIP：Feed in Premium）
    - 再生可能エネルギーの直接市場参入を推奨
    - 電力卸売市場価格にプレミアム
    - EEG2012で開始
      - このときは、FIT（Feed in Tariff）とFIP、どちらかを選ぶことができた
    - EEG2014で義務化（第2条および第37条）
      - 再生可能エネルギーの電力市場への統合
        - 2014年8月1日以降：500kW以上の新規発電設備
        - 2016年1月1日以降：200kW以上の新規発電設備
        - 2017年1月1日以降：100kW以上の新規発電設備
- 直接小売事業者を見つけるか、電力市場に直接卸売しなければならない

# 再エネ取引形態の変化

- 2012年以前（FIT時代）
  - TSOによる全量買取
  - 前日スポット市場（Day-Ahead-Market）で全量取引
- 2012年以降（FIP時代：市場プレミアム制度の導入）
  - 再エネ発電事業者は、直接卸売市場に販売
  - 小規模な再エネ発電事業者は、卸売市場に販売するために、再エネ電気をまとめる（アグリゲートする）必要性
  - 直接市場家（Direktvermarkter）の登場

# VPP (Next Kraftwerke社) の立ち位置



**Asset-light** like airbnb, uber, facebook. As a **digital utility** we operate a power plant without owning any power plants! We are a platform for connecting independent producers & consumers to grid operators & markets.

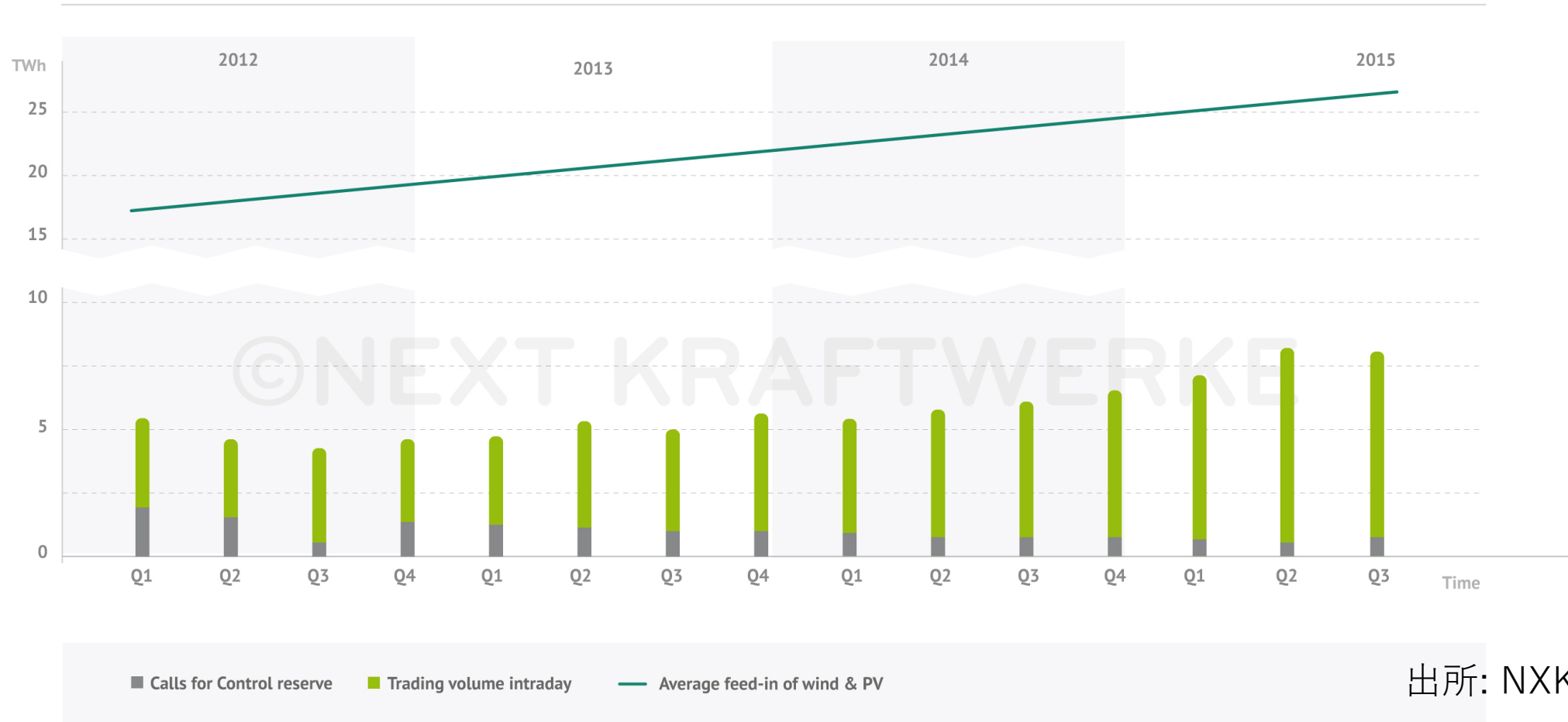
出所: NXK(2017)

# 3.1. 変動性電源の管理

- スポット市場に、できるだけ正確に卸売り
  - インバランスが生じないように
    - インバランス料金（罰則）の強化
      - バランシンググループの信頼性が厳格に管理されるようになった（FIP導入後）
      - トレーダーは、バランシング口座にやりとりを記録
        - 15分毎の需給バランスを取らなければならない
        - 外した場合には、厳格に罰金（インバランス料金）を支払わなければならない
- 直前の当日市場で、できる限り短期で、できる限り正確に、余剰電力や付属する電力を取引したい
  - 独自の発電量予測
    - 当日2時間前の天気予報まで活用
  - 前日市場だけでなく、当日市場も積極活用

# 柔軟性要求量の増加：コントロールリザーブの増加と当日スポット市場取引の増加

Development of demand for flexibility



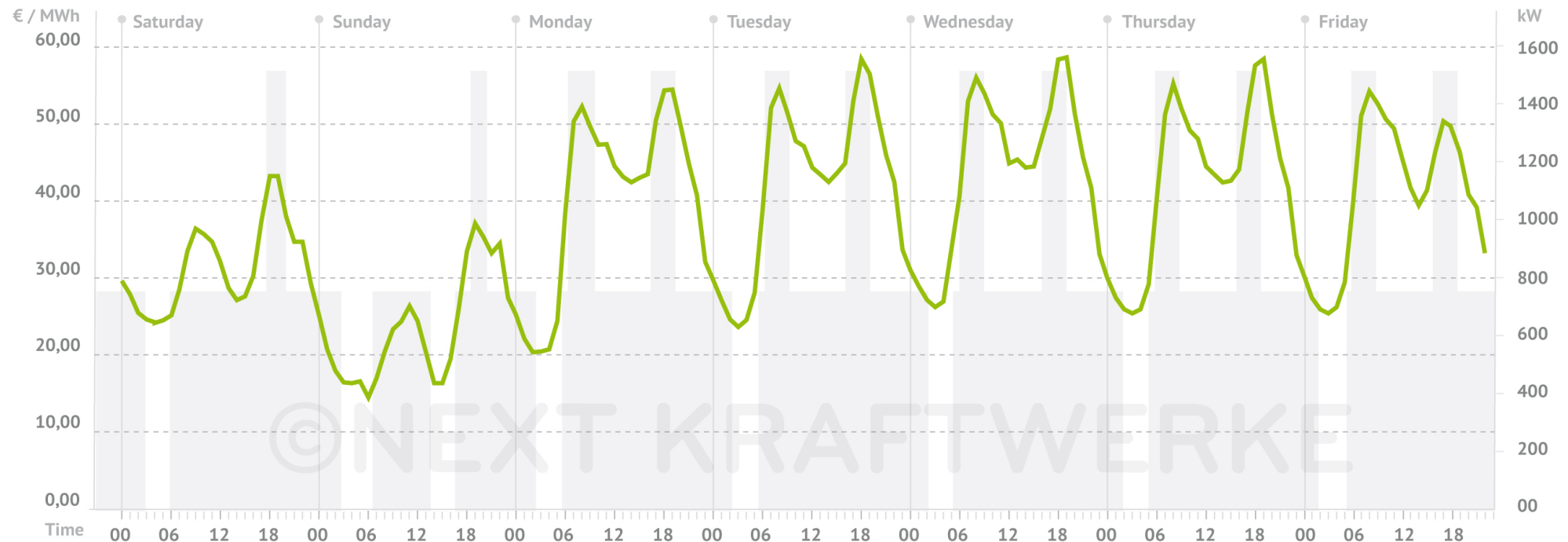
出所: NXK(2017)

### 3.3. よりフレキシブルな柔軟性と価格対応

- 前日スポット市場と、当日スポット市場の価格シグナルによって、柔軟な発電事業者と大口電力需要家は、発電と需要のインセンティブが与えられる
  - 15分毎
- 発電事業者にとって
  - 電力が逼迫している時（電力市場価格の高いとき）に発電
- 電力需要家にとって
  - 電力が余っている時（電力市場価格の安いとき）に消費

# スポット価格の高い時に発電-バイオガス 発電の例

Peak load operation of a biogas unit – example



Price at EPEX Spot

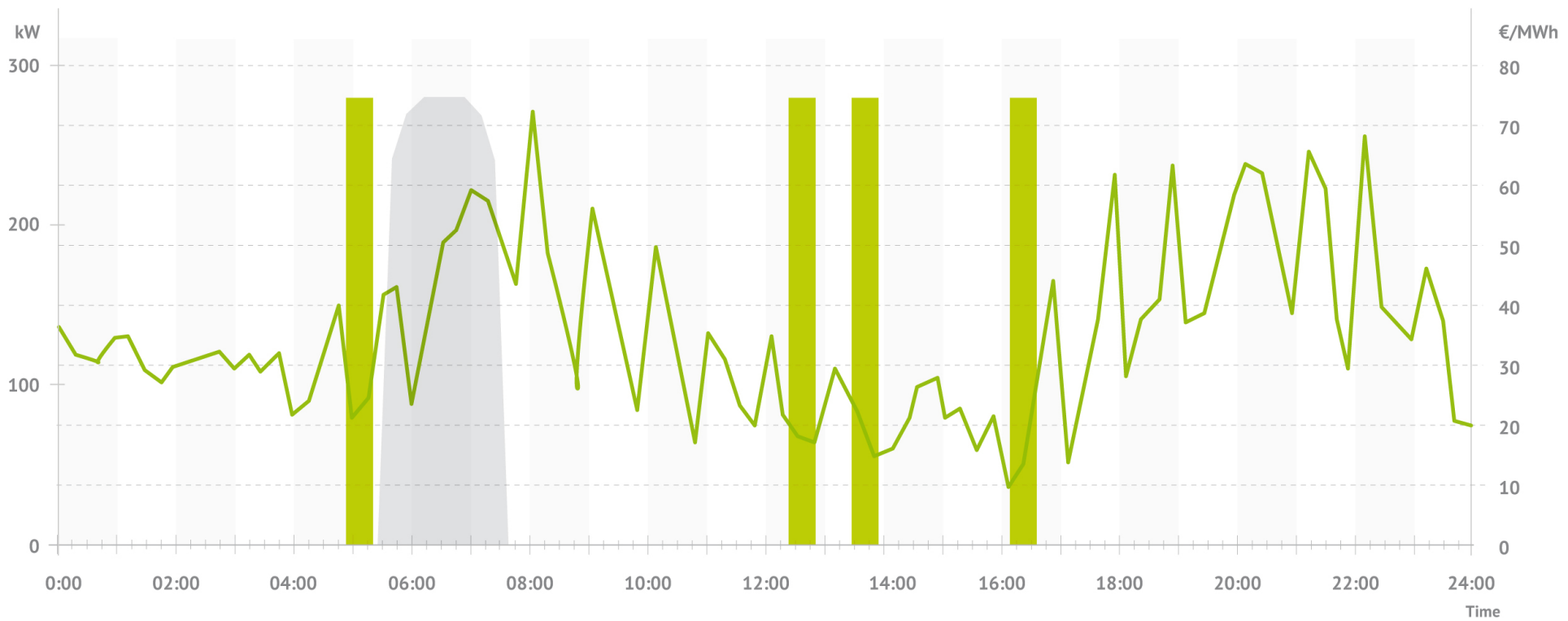
Feed-in

Source: NXK(2017)



# スポット価格の安い時に消費-大口電力需要家の例

Load management with variable power rate



load profile before optimization load profile after optimization DE-EPEX Intraday 1/4h

Source: NXK(2017)

## 4. 変動性電力の将来

- 将来の電力部門は、より分散型の再エネ発電にシフトしていく
  - 変動性電源（太陽光・風力）を中心に
  - 最も促進されるべき前提は、需要家のエネルギー管理（DSM）システム
- ドイツやデンマークのように、再エネの急速な成長は、系統運用者の仕事を、よりチャレンジングにしている
  - 発電事業者、需要家、系統運用者に新しいサービスを提供するVPP
  - 分散型発電容量と発電量をアグリゲートして無数の製品やサービスを提供（TSOに対するアンシラリーサービスを含む）
- Next Kraftwerke社の急速な商業的成功要因は、以下の2点
  - さまざまな卸売り市場（EPEX-SPOT等）に、アグリゲートした電力を販売
  - 需要家と発電事業者の柔軟な電力容量を、さまざまな調整電源市場（需給調整市場）やスポット市場向けに最適化する
- 系統の安定化に貢献

## 5. まとめ

- 分散型再生可能エネルギーの急速な増加は、さまざまな費用問題を生んでいる
  - 再生可能エネルギーだけでなく、従来型電源をどうするかという課題
- 発電事業者と需要家をデジタルにアグリゲートすることで、費用効率的に問題解決をはかる（VPPの役割）
  - 市場の価格シグナルと天気予報（発電量予測）、そしてアセットの情報をもとに、発電と電力消費を最適化
    - 変動性電源のインバランスを最小化するための当日スポット市場活用
    - 柔軟性電源は、市場の価格シグナルをもとに、スポット市場価格の高いときに発電。同時に調整力も供給。
    - 需要家側は、操業に問題が出ないように、市場価格の安い時間帯に電力を消費（DSM）