



京都大学
KYOTO UNIVERSITY

欧州のDER（分散型資源） 取引を巡る動向

PVJapan2018 スペシャルセミナー

2018年6月20日（水）

於：パシフィコ横浜

中山琢夫

（京都大学大学院経済学研究科）

目次

1. sonnenのビジネスモデル

- 屋根上太陽光発電向け蓄電池の製造・販売
- 蓄電池購入者向けのsonnenCommunityサービス

2. NextKraftwerkeのビジネスモデル

- ある程度まとまった規模の分散型発電所と需要家をアグリゲート
- 調整電源市場とスポット市場で直接市場取引

1. sonnenのビジネスモデル

ドイツにおけるsonnen社

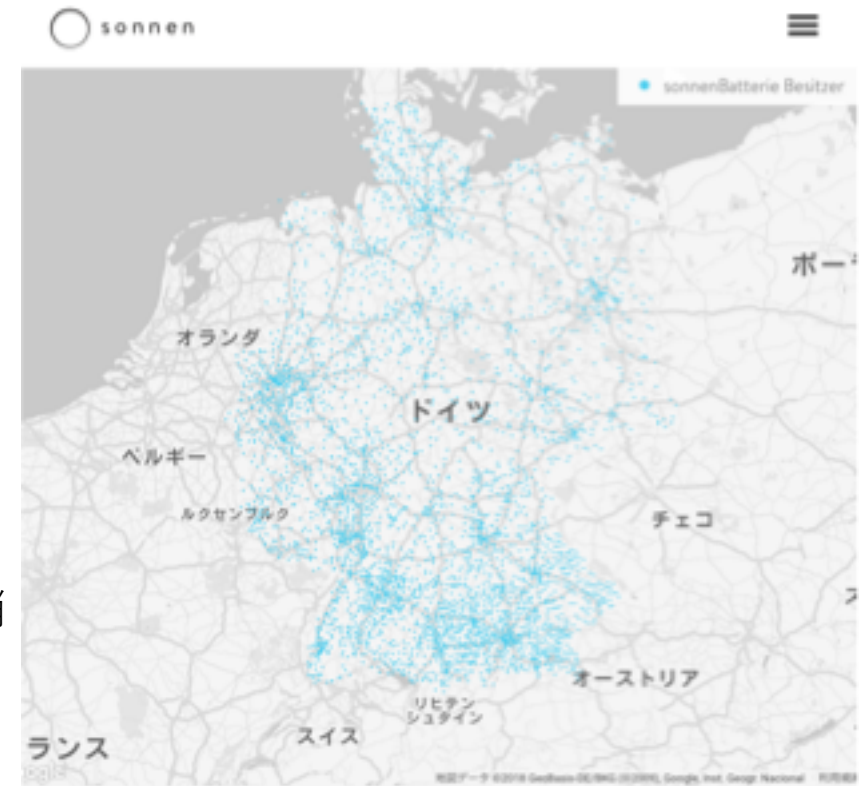
- sonnen社
 - 2009年設立されたベンチャー企業
 - 蓄電池のプロバイダー
 - 太陽光発電による自家消費比率を最大化する遠隔制御システムを内蔵
 - ドイツだけでなく、アメリカ・イタリア・オーストリア市場で事業展開
 - すでに約17,000台システムを販売、月間1,000台のペースで販売台数を拡大(2017年4月)



Source : sonnen-batterie.com

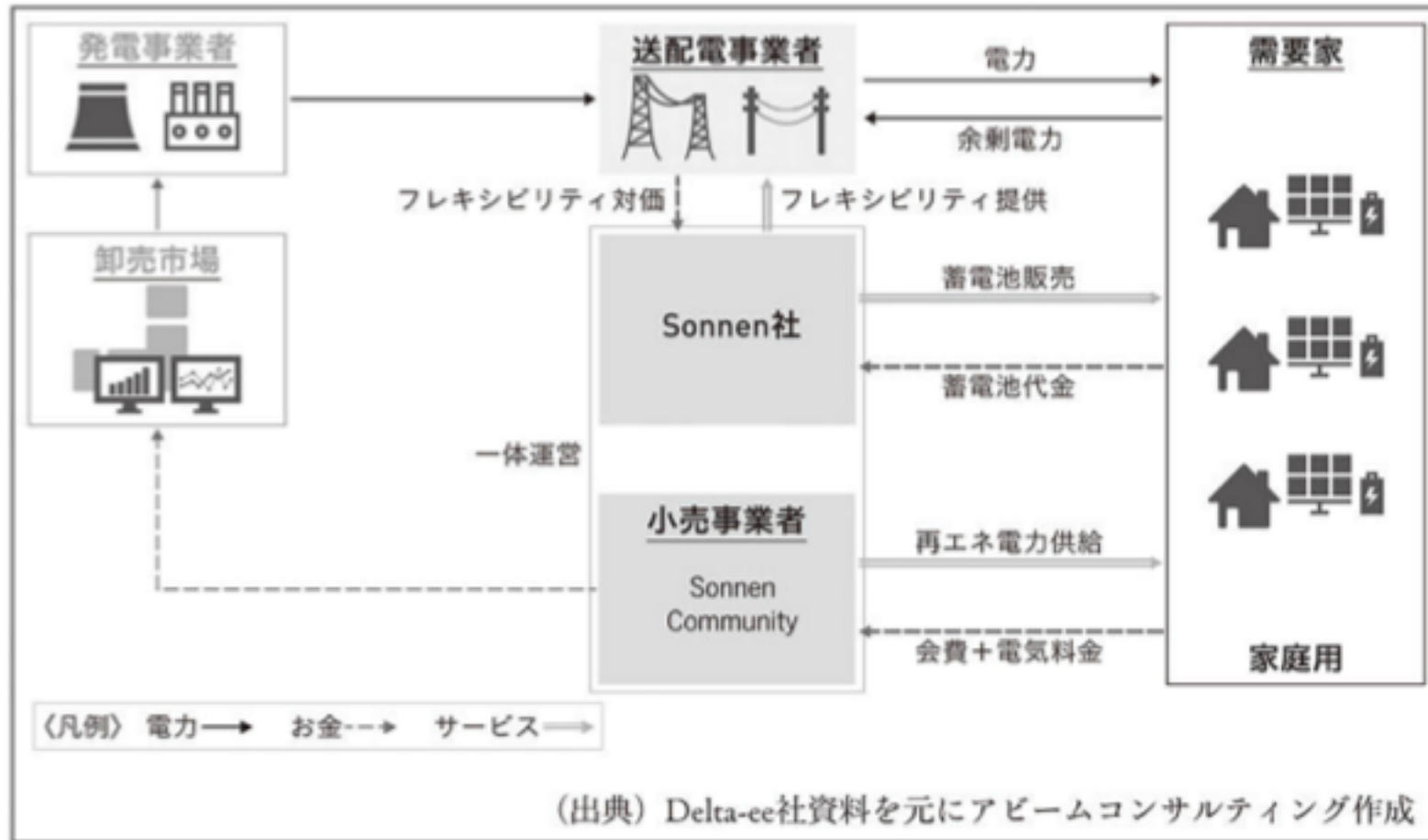
sonnenCommunity

- sonnen社のビジネスモデル
 - 太陽光発電設備を保有する家庭用顧客に対して、蓄電池を販売
 - 同社の蓄電池を購入した顧客は、sonnenCommunityに参加できる
- sonnenCommunity
 - 太陽光発電・蓄電余剰電力をバーチャルにシェアするコミュニティ
 - 顧客
 - 自宅の太陽光発電と連動することによって、自家消費率を最大化できる同社製蓄電池を購入
 - sonnenCommunityに会員登録（19.99€/月）
 - 余剰電力取引が可能に
 - 100%REを使用できる



Source : sonnen-batterie.com

sonnen社のビジネスモデル



世界最大の電力シェアリングプラットフォーム： sonnenCommunity

- カーシェアリングと同様に、電力シェアリングを導入
 - 未来のエネルギーモデル
- クリーンかつ手頃な価格ですべての人が入手可能
 - 高品質の太陽光蓄電池システムを提供しない
 - 新しいデジタル技術によって、太陽光エネルギーを蓄えることができる、高度に知的化されたエネルギー貯蔵装置を開発
- 蓄電池の市場リーダーではない
 - 世界最大の電力シェアリングプラットフォームを構築しているものの
- 150年間続いた大規模集中型発電からのパラダイムシフト
 - 太陽光や風力からの電力は、200万以上の小規模かつクリーンな、市民の手による分散型発電所から
 - 分散型発電所は、環境に便益をもたらし、インパクトを最小化

sonnenCommunity の目標

- 分散化によって、太陽光発電システムを知的に連携させる手法を発見
 - カーシェアリング：多くの人々が共に自動車を共有
 - 電力シェアリング：同様に、全てのメンバー間で自家発電を共有
 - 大手電力会社の助けを借りずに
- 何千人もの人たちの知的なネットワークによって、クリーンな分散型のコミュニティエネルギー供給が可能になることを、sonnenCommunityを通じて知ることができる
- よりスマートに、かつ持続可能で透明性を高める今日のエネルギー供給のあり方

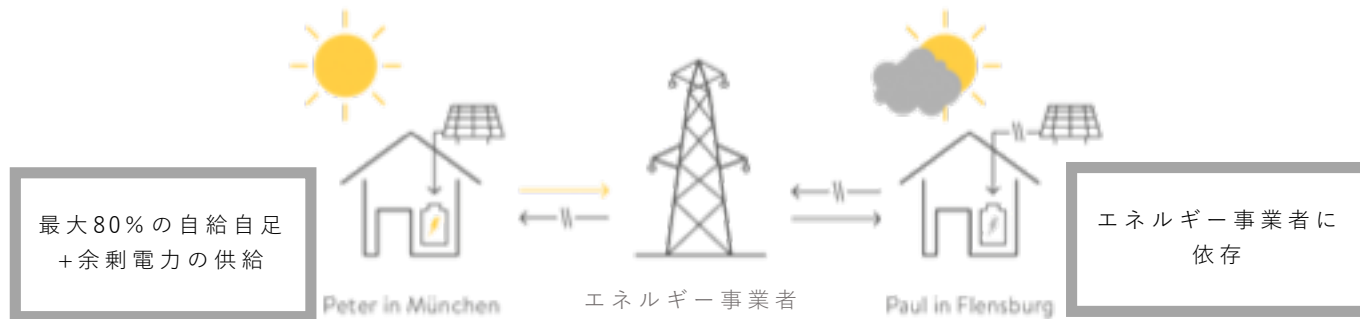
sonnenCommunityのネットワーク

- sonnenCommunityは、発電をする人々を、独立した大きなネットワークでつなぐ
 - 蓄電池の所有者は、すべてこのコミュニティにおいて、実際的に知的に接続されている
 - 天候やニーズの状況に応じて、余剰電力をフィードインしたり、必要な電力を引き出すことができる

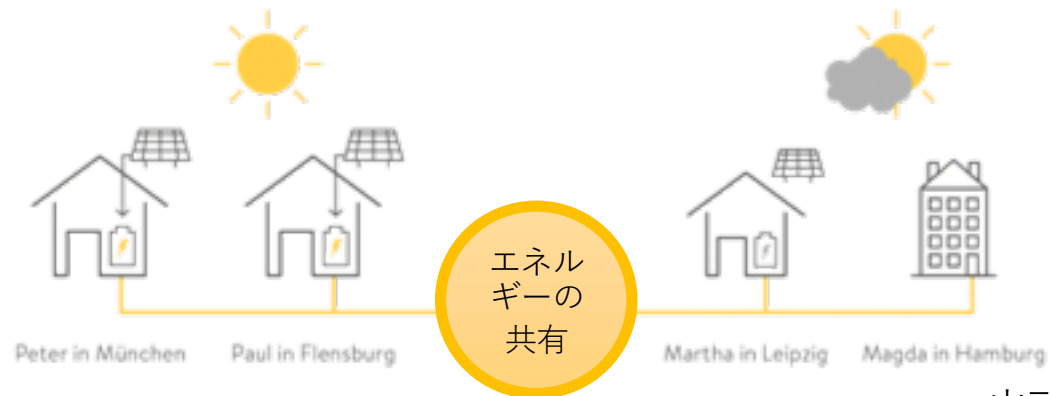
(例)

- 雨の日のハンブルグ：エネルギー需要が太陽光発電能力を上回る場合
→コミュニティによって、晴れたミュンヘンから自動的に余剰分を調達
- 蓄電池に蓄えられない余剰分のみを使用

コミュニティなし



コミュニティあり



出所) sonnenCommunity HP

コミュニティの特徴

- コミュニティの会員は、オンラインで単純に、必要のないエネルギーを共有するだけ
 - かつての電力事業者から独立
- 結果として、電力余剰をコミュニティの他の会員に渡すことで、大手電力会社に売電するよりも、よい価格を得ることができる
- コミュニティから電力を受け取るメンバーは、電力の平均価格を引き下げることになる
 - エネルギー会社の利益マージンを削除できるため
- バックグラウンドで、ソフトウェアの中心部は、発電量と消費量を認識している
 - 需給バランスをとり、常に十分な電力があることを保証
 - このコミュニティは、以前の発電源を完全に置き換える
 - コミュニティメンバーを100%独立化させる

技術的背景

- 基本的に、sonnenCommunityのソフトウェアは、極めてシンプル
- すべての家計は、いわゆるスマートメーターがまず設置される
 - 正確な測定だけでなく、制御も可能
 1. 売電する余剰電力
 2. 蓄電池や太陽光発電システムだけでは瞬間的にカバーできない電力
- 同社のコントロールセンターでは、コミュニティ内の情報を集約し、自動的に需給バランス
 - 数百万のプリペイド携帯電話が使用するソフトウェアと同様

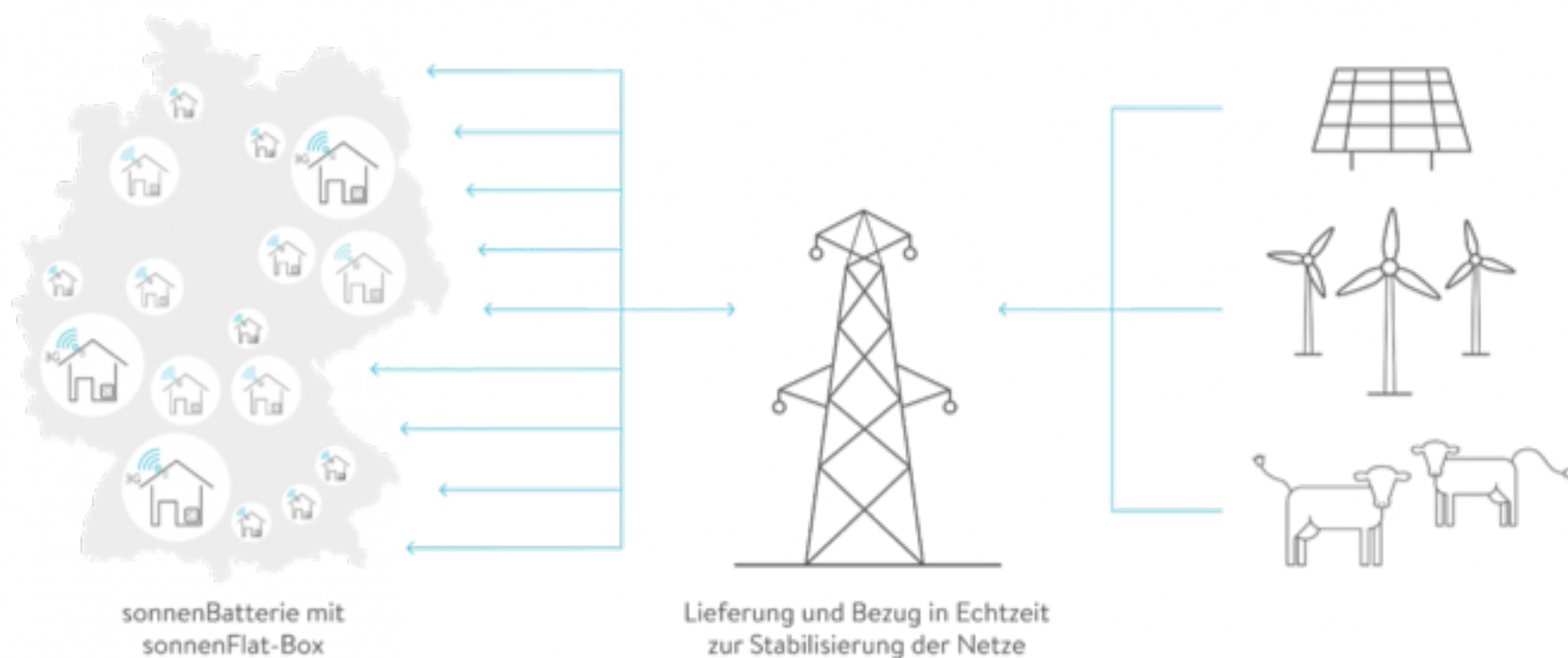
スマートメーターによるアドバンテージ

- 太陽光発電システムが、大きな原子力発電と同様に計算されるようになる
 - ライプチヒの証券取引所を通じた電力取引に参加できるようになる
 - sonnenFlatプランによって、コミュニティ内での余剰電力を、追加料金無料で入手することができる
- sonnenCommunityによって何が変わるのか？
 - すべてのプロシューマー（発電者と同時に需要家）は、自分の意思によって発電でき、電力会社から買うよりも安く電力を入手できる
- すべての人に、クリーンで手ごろな価格の電力を入手可能にする、エネルギー改革

系統安定化に貢献する太陽光蓄電池

- すべてのコミュニティメンバーは、それぞれのニーズに応じた電力を、追加料金無料で永久的に入手できる
 - メンバー：太陽光蓄電池を、公共電力系統に接続し、短期的・一時的なストレージとして使用できるようにしたメンバー
 - sonnenFlatプランにおけるeco8プログラム
 - 太陽光蓄電池を、短期的なバッファとして、電力系統に供給することを意味する
- sonnenCommunityは、さまざまな蓄電池の用途を提供
 - 基本的に、すべての人々に対してオープン
 - 家やアパートの持ち主は、電力コストを削減することができる
- sonnenCommunityは、フェアな価格でクリーンなエネルギーを提供するだけでなく、同時に、電力系統の負担の減少にも貢献する

システムの安定化にリアルタイムで貢献する sonnenFlat-BoxとsonnenBatterie



出所) sonnenCommunity HP

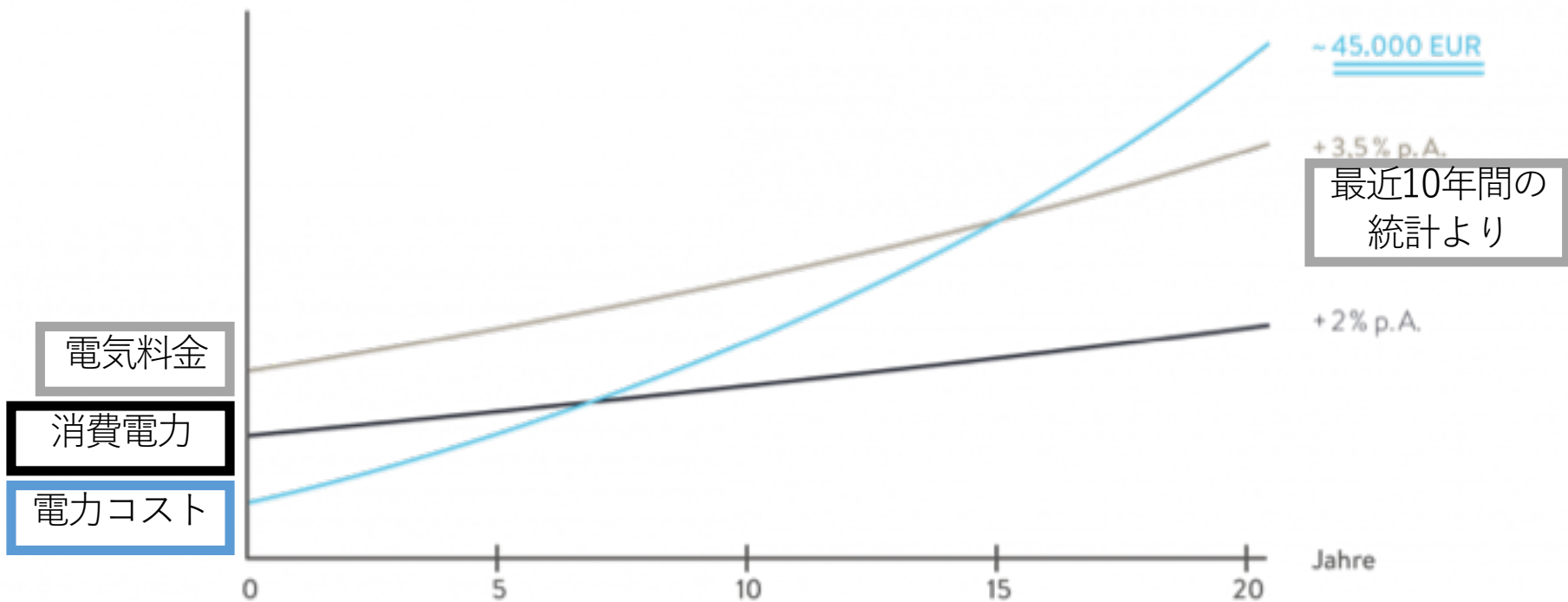
再給電指令に使用される太陽光蓄電池

- ドイツ最大の送電事業者（TSO）であるTenneTと協力しながら、太陽光蓄電池は、再給電指令（Redispatch）の対象として使用されている
- 分散型の蓄電池は、ブロックチェーン技術によってネットワーク化され、系統安定化に寄与している
 - 再給電指令は、従来型発電や再生可能エネルギー発電にとって、不可欠な介入
 - 系統運用者は、翌日の予報によって、その計画を立てる
 - 風力が中心
 - ドイツ北部で多くが発電される風力由来のエネルギーを、南部の需要地に送れるのかどうか？

再給電指令（Redispatch）とは-太陽光蓄電池の貢献

- 既存の送電線で、ドイツ北部の風力発電を、南部の需要地に輸送できない場合、発電に介入するために、南部で再給電指令を発令する必要性
 - 北部の風力発電を出力抑制するか、スイッチオフすることで、送電線の崩壊は免れる
- 同社の蓄電池プールは、再生可能エネルギーからの貴重なエネルギーを貯蔵するようなソリューションを提供する
 - 電力系統によってエネルギーを輸送できない状況が発生した場合
→電力は太陽光蓄電池に貯蔵される
- sonnenCommunityメンバーは、エネルギーミックスへの再生可能エネルギーの統合に貢献
 - さらに、系統増強をはじめとする社会的コストの削減に貢献

今後20年の電気代はどうか？



出所) sonnenCommunity HP

オプション (1) (2)

1. 取引せずに、従来型電力事業者との契約にとどまる
 - おおよそ45,000ユーロを、電力会社グループに支払う
 - クリーンで、透明性の高い電力購入を控える
2. 太陽光発電システムに投資する
 - 将来的に、自身の発電量から、需要量の25%を受け取れる
 - しかしながら、誰も家にいない昼間に太陽光の最大発電量に達するので、自家消費のためには太陽光発電を効率的には使えない
 - したがって、足りない電力を購入するために、電力会社に総額約34,000ユーロ支払うことになる

オプション (3) (4)

3. 太陽光発電と蓄電池システムに投資する

- 自宅での発電のうち、平均65%の電力を使用
- 残りの電力については、電力会社に総額約15,750ユーロ支払う

4. 太陽光発電と蓄電池システムに投資し、コミュニティに参画

- 太陽光発電中心のコミュニティと電力を共有、購入する。sonnenFlatプランを利用する
- 通常の消費量に相当する電気代は、タリフのみ（基本料金19.9ユーロ/月）
- コミュニティメンバーとなり、電力会社から購入する電力量は0。従来型電力会社とは独立した状態に

sonnenCommunityの代替的な発電源

- sonnenCommunityには、家庭用太陽光蓄電池のオーナーだけでなく、その他の分散型発電所の運営者も含まれている
 - たとえば、風力・バイオガス・大規模PV発電所
 - 悪天候でもまとまった規模の発電ができる
- こうしたシステムオペレーターは、sonnenCommunityのメンバーになることができる
 - 発電された電気に、追加のボーナスを得ることができる
- このようなエネルギーミックスは、長期間の悪天候、予期しない冬の高需要の時でも、コミュニティのメンバーが十分なエネルギーを利用できるようにする

2. NextKraftwerkeのビジネスモデル

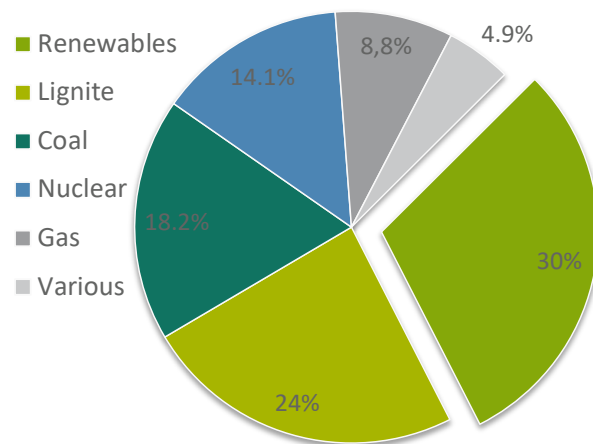
Next Kraftwerke 社 (VPP : Virtual Power Plant)



- 2009年設立
 - ケルン大学エネルギー経済研究所で研究員をしていた2人の博士課程の院生
 - 再生可能エネルギーがSPOT市場における電力取引に与える影響について、情報工学の視点から研究
- SPOT（短期）の取引市場におけるバーチャル発電所（VPP : Virtual Power Plant）
 - 発想はシンプル
 - 再生可能エネルギーの導入によって分散化されていく発電所を、再度集中させる
 - アグリゲートする

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) NXK
(2016)

EEG改正

- 2004年、2009年、2012年、2014年、2017年
- オークション（入札）制度
 - EEG2014：平地の太陽光発電施設からスタート
 - EEG2017：本格導入
- 市場プレミアム制度（FIP：Feed in Premium）
 - 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りしなければならない

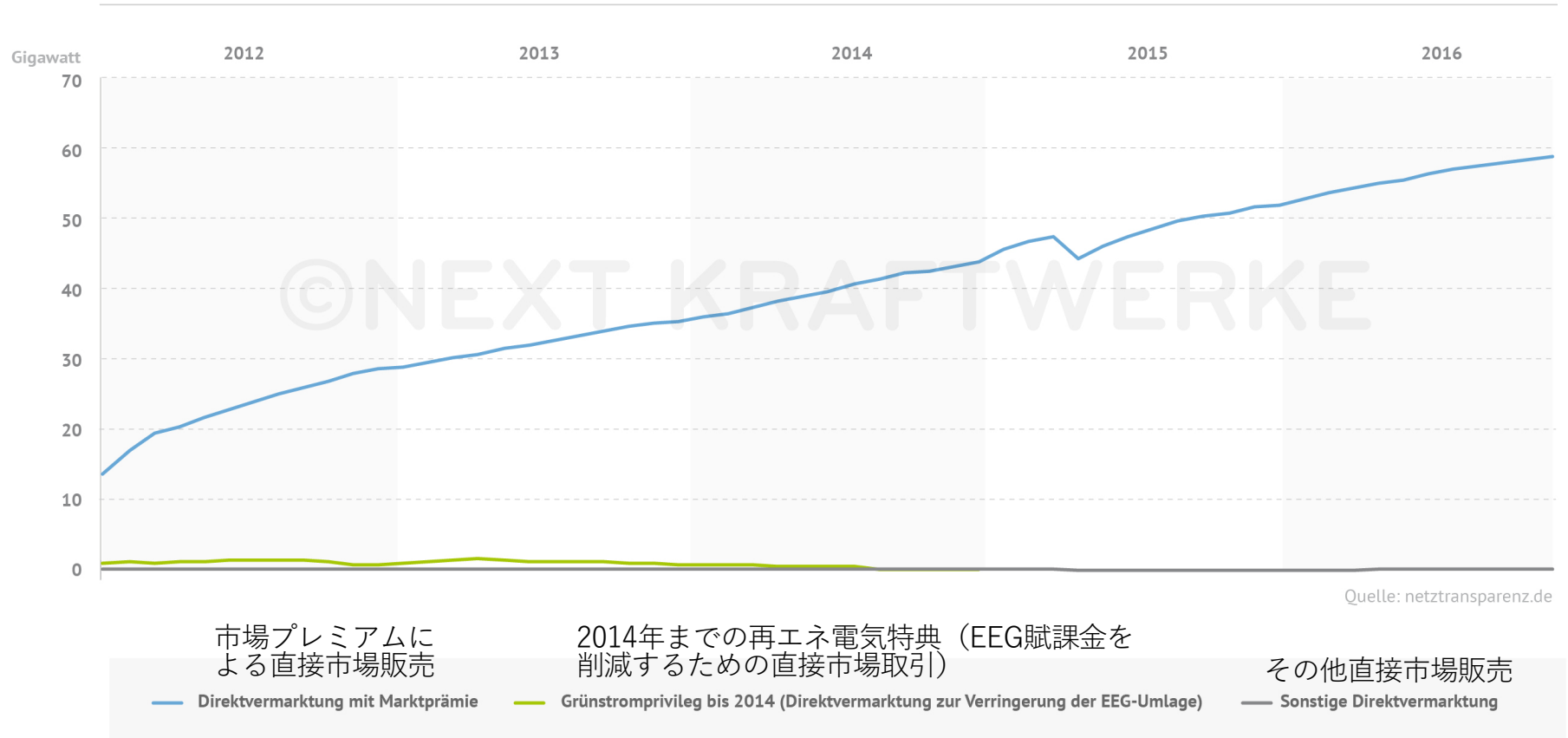
再エネ取引形態の変化

- 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（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、再エネ電気を集める（アグリゲートする）必要性
 - 直接市場家（Direktvermarkter）の登場

（屋根上のPVは、未だTSOによるFIT買い取りが多い）

直接市場卸売の成長

Entwicklung der verschiedenen Arten der Direktvermarktung seit 2012



VPP (Next Kraftwerke社) の立ち位置

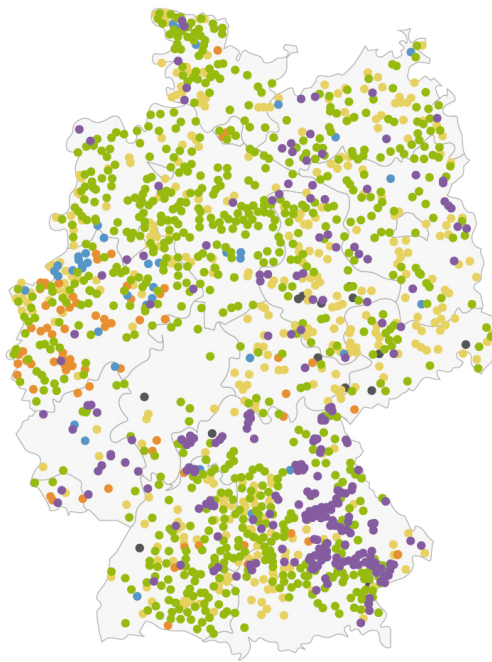


Asset-light like airbnb, uber, facebook. As a **digital utility** we operate a power plant without owning any power plants! We are a platform for connecting independent producers & consumers to grid operators & markets.

Source: NXK(2017)

VPPのアセット（電源構成） - Next Kraftwerke社の例

Assets in Germany



● Biogas ● PV ● Wind ● Hydropower ● Emergency Power Generators ● Power Consumers

Total portfolio



■ Flexible Renewables ■ DSM
■ Solar power ■ Wind power

Source: NXK(2017)

電力取引市場の時系列

Dealing deadlines at the various power exchanges

	Time					Delivery Time (t0)
POWER EXCHANGE	Future Trading EEX Until midnight of the last day of previous month (for the product das „Base of the month“) Mo.-Fr., not on weekends & holidays	Day-Ahead-Auction EXAA Until 10:12am of the previous day Products: hours & quarters of an hour Mo.-Fr., not on weekends & holidays	Day-Ahead-Auction EPEX Spot Until noon of the previous the day auction Products: hours & blocks	Intraday-Auction EPEX Spot until 3pm of the previous day Bidding for quarters of an hour	Intraday-Trading EPEX Spot Hour products: From 3pm of the previous day until 30 minutes before t0 Quarter of an hour products: from 4pm of the previous day until 30 min before t0	
OVER-THE-COUNTER (OTC)	Until 15 min before t0 All products are negotiated bilaterally					Day-After-Trading Ex post exchange of the balancing Until 4pm of the following day
CONTROL RESERVE MARKET	Primary Control Reserve Until Tuesday 3pm For Monday starting at midnight Time slice: One week	Secondary Control Reserve Until Wednesday 3pm For Monday starting at midnight Time slice: Peak: Mo.-Fr. 8am-8pm Off peak: Mo.-Fr. 8pm-8am, Sa., So. & holidays		Tertiary Control Reserve Daily from 10am for the following day starting at midnight Exception: Friday until 10am for Sa. So. & Mo. starting at midnight Time slice: Six 4-hour blocks per day		

On holidays all control reserve products are not auctioned. Bidding is carried out on the day before.

Source: NXK(2017)

変動性電源の管理

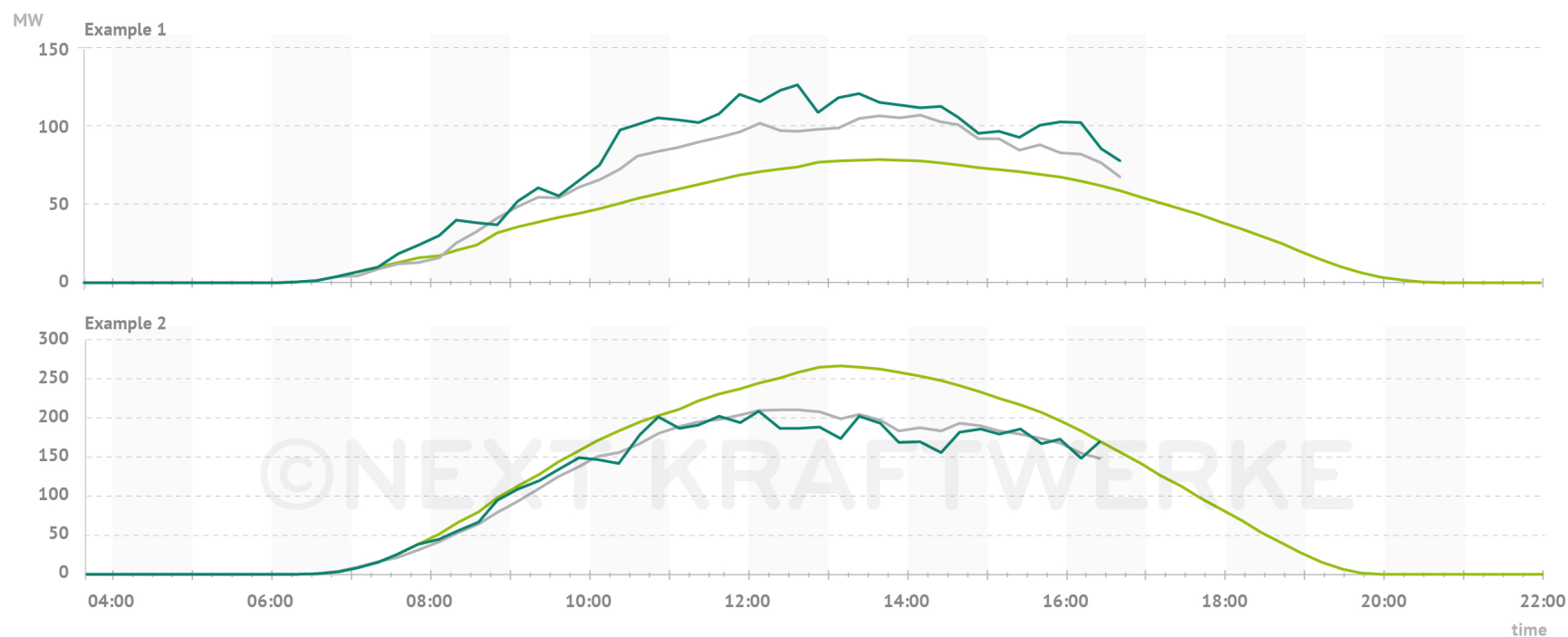
- スポット市場に、できるだけ正確に卸売り
 - インバランスが生じないように
 - インバランス料金（罰則）の強化
 - バランシンググループの信頼性が厳格に管理されるようになった（FIP導入後）
 - トレーダーは、バランシング口座にやりとりを記録
 - 15分毎の需給バランスを取らなければならない
 - 外した場合には、厳格に罰金（インバランス料金）を支払わなければならない
- 直前の当日市場で、できる限り短期で、できる限り正確に、余剰電力や付属する電力を取引したい
 - 独自の発電量予測
 - 当日2時間前の天気予報まで活用
 - 前日市場だけでなく、当日市場も積極活用

天気予報と取引方法の変化

- 2010年
 - TSOとその中にいるアナリストが、翌日の発電量を、15分毎のメッシュで予測
 - 前日市場で、前日12時までに全量取引
- 2015年
 - VPP内で、さらに2時間前まで予測
 - 独自の気象予報士による判断
 - 前日に予測したよりも、わずかな余剰分まで、当日スポット市場で販売
 - 柔軟性としての役割を果たすようになってきた

PVの天気予報精度(直前予報の優位性)

PV Forecast



— Forecast PV Intraday — Forecast PV Live — PV feed-in

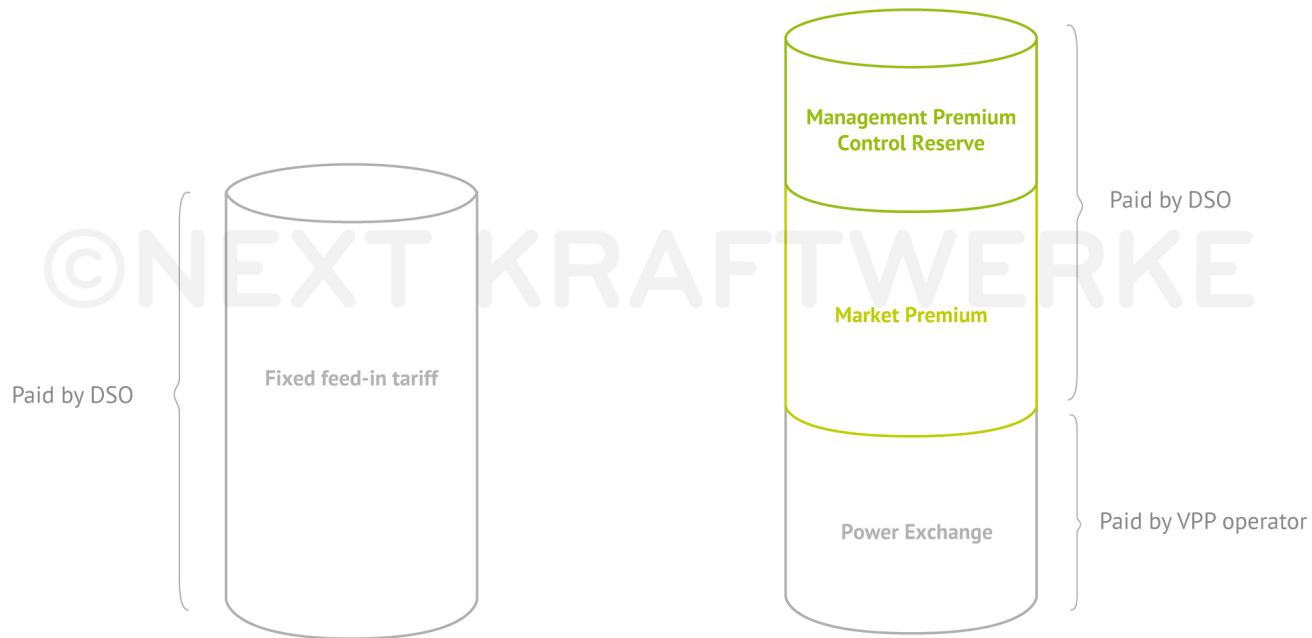
出所) NXK(2017)

柔軟性電源（バイオガス発電）による調整力供給

- ドイツで多く普及しているバイオガス（CHP）500kW
 - 通常、400kWで運転している
 - 上げ100kW、下げ200kW、合計300kWの調整力（柔軟性）を、TSO（DSO）に供給できる
 - 投資は、コントロールボックスユニットをつけて、インターネットにつなぐだけ
 - 新しい発電所を作るよりもはるかに安い
 - 現在約800MWの容量
 - 調整電源として十分取引できる部分
 - 調整電源（コントロールリザーブ）のセカンダリーリザーブに販売

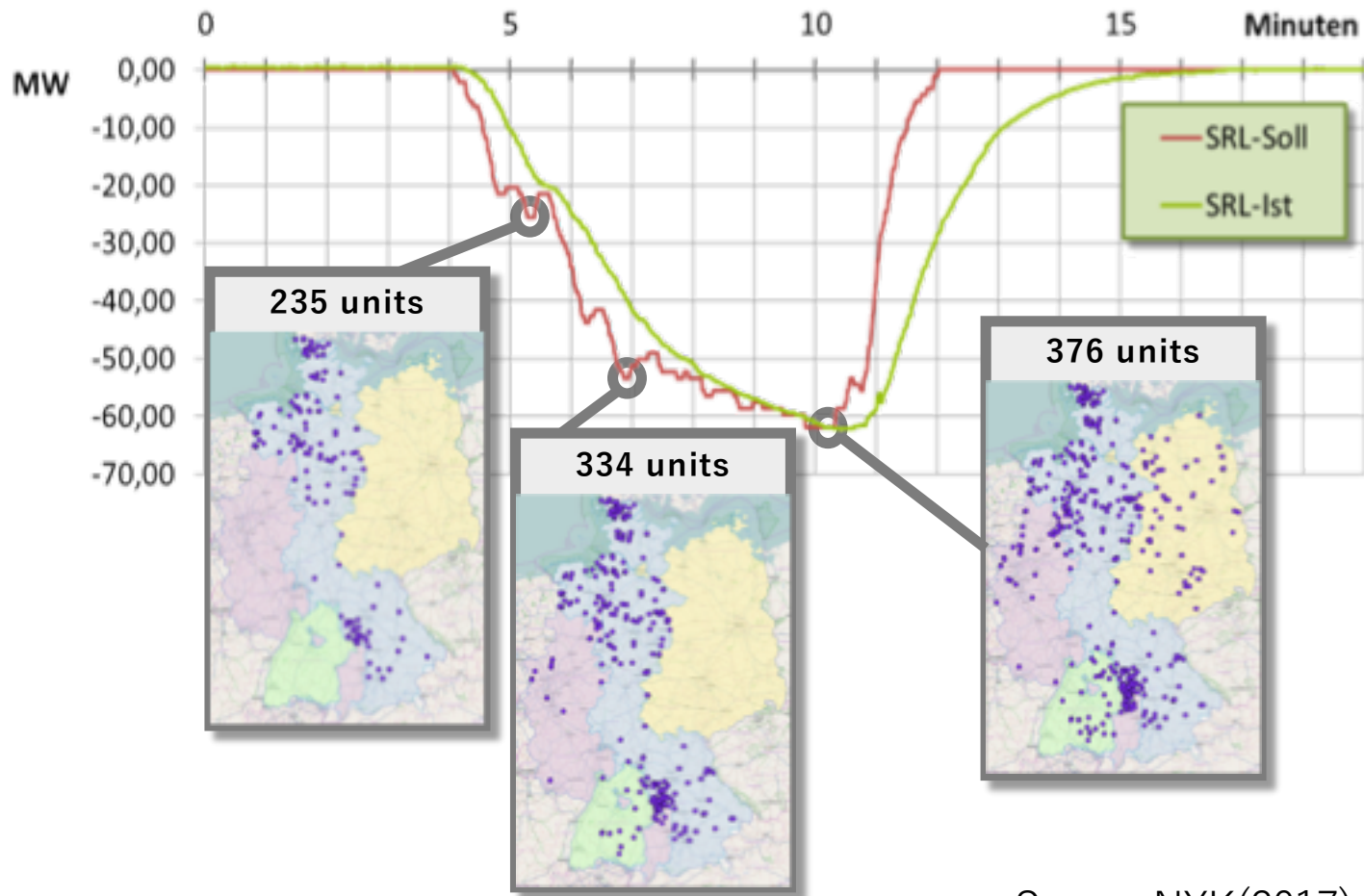
FITとFIPの比較（発電事業者の売上）

Market premium model compared to the fixed feed-in tariff



Source: NXK(2017)

CONTROL RESERVE の運用形態



Source: NXK(2017)

Technical requirements

Interfacing power plants is not a matter of simple plug & play



The Next Box is individually configured for the type of unit: district heating, gas or water storage, and any timetable restrictions are programmed, so the unit can always operate under optimal conditions, technically and economically.

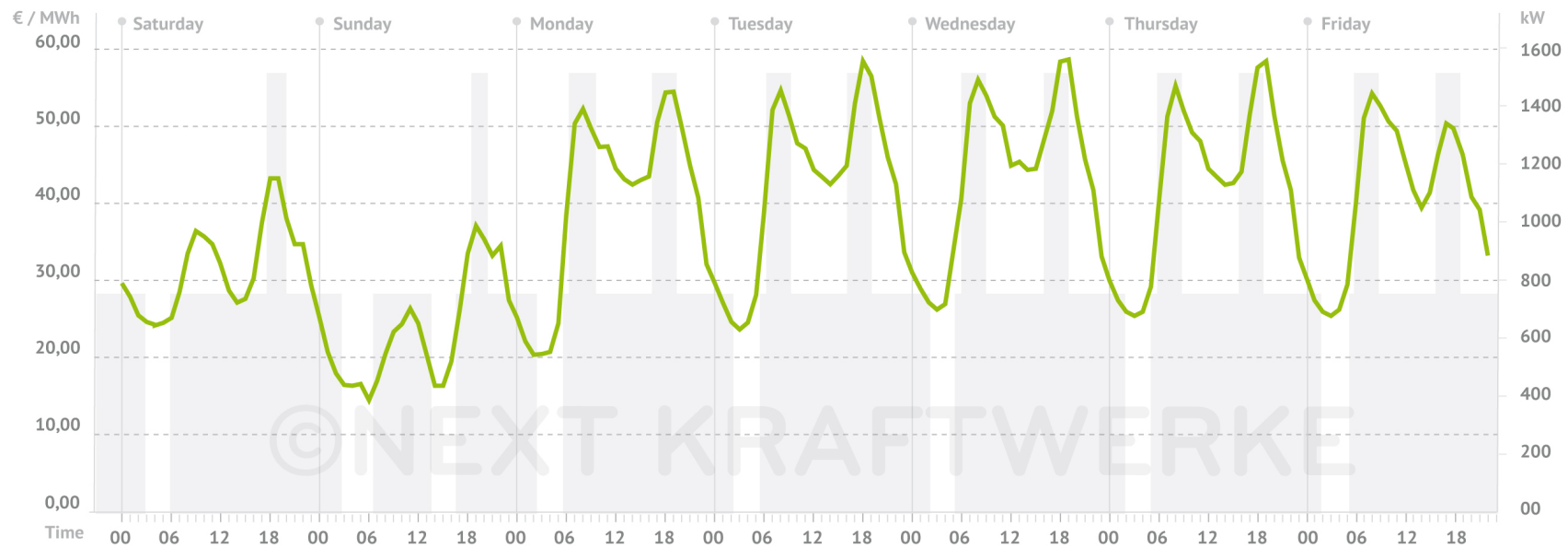
Next Box

- Bidirectional connection between the units and NXK control system.
- Data communication takes place over a GPRS connection, established via a SIM card.
- The data is encrypted directly in the Next box.
- At the access point, the SIM cards must be authenticated so that they can join the closed user group.
- The SIM cards do not have any access to the Internet, which makes data transmission even more secure.
- Once it is in our control system, the data is decrypted.

Source: NXK(2017)

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

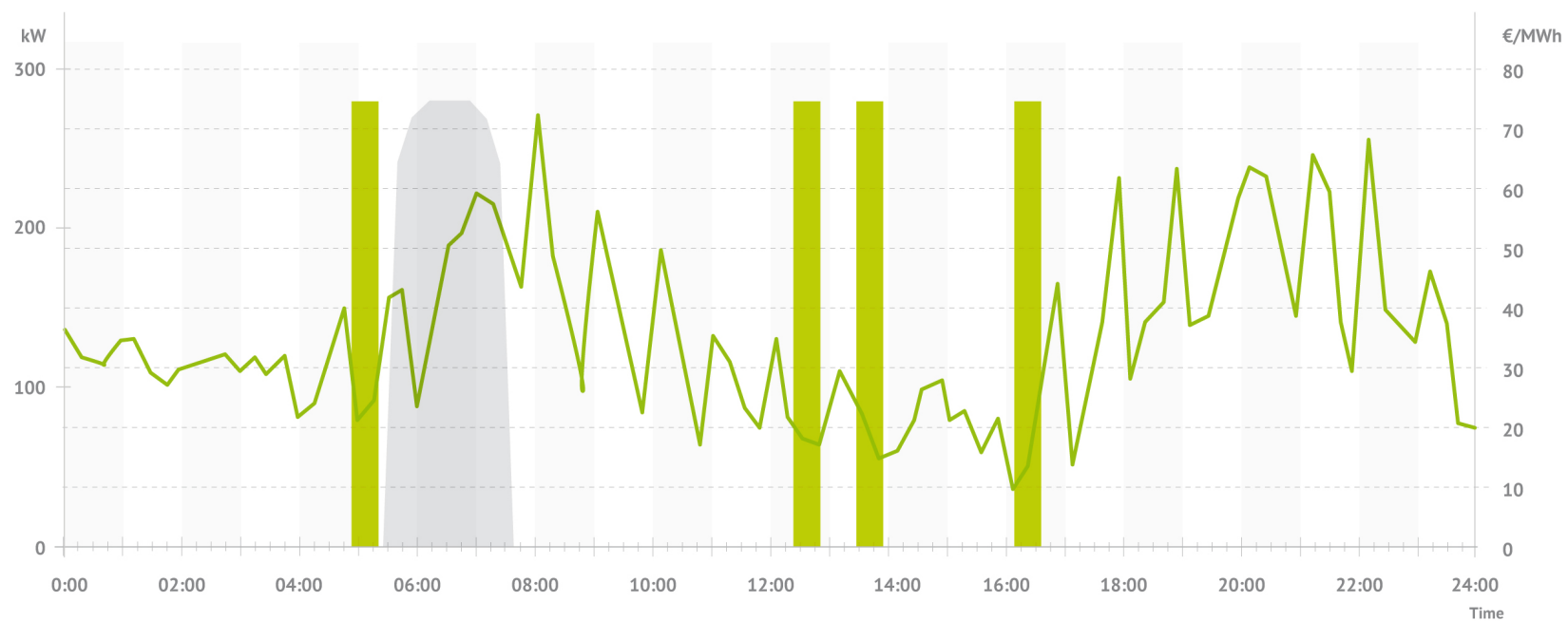
Source: NXK(2017)

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)

調整力（コントロールリザーブ）の供給先

- Next Kraftwerke社では、TSO向けに、

- ドイツ

- セカンダリー・コントロールリザーブ、
- ターシャリー・コントロールリザーブ

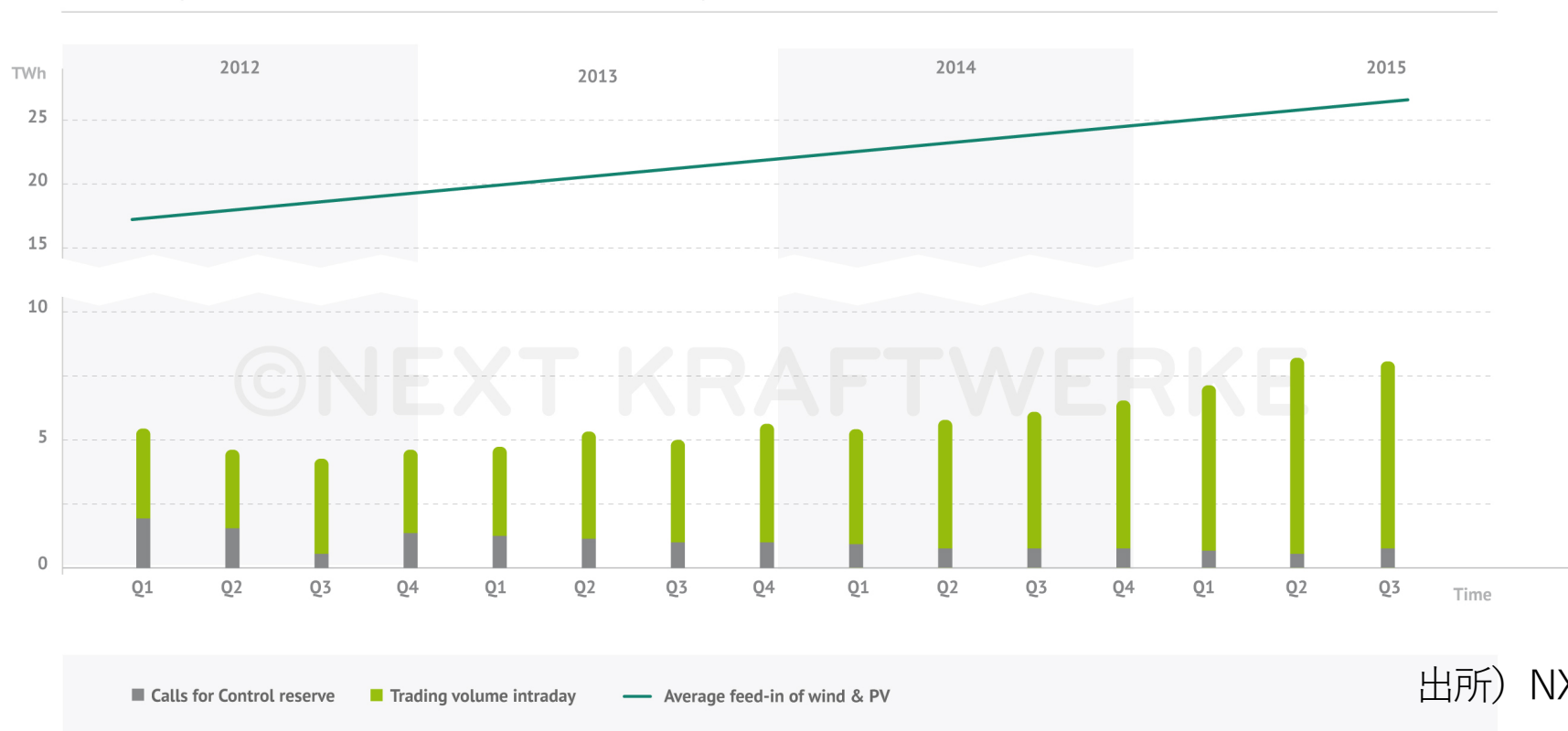
- ベルギー

- プライマリー・コントロールリザーブ

を、調整力を供給している

柔軟性要求量の増加：コントロールリザーブ市場の減少と当日スポット市場取引の増加

Development of demand for flexibility



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、EXAA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やスポット市場向けに最適化する
- 系統の安定化に貢献

3. まとめ

様々な形のVPP

- プロシューマーを対象にするVPP
 - sonnen社の例
- まとまった規模の分散型電源を対象とするVPP
 - NextKraftwerke社の例
- 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
 - 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）