

# カーボンニュートラルに向けたスマートシティへの取り組み

西都一浩\*  
Kazuhiro Saito

Efforts for Smart Cities toward Carbon Neutrality

## 要旨

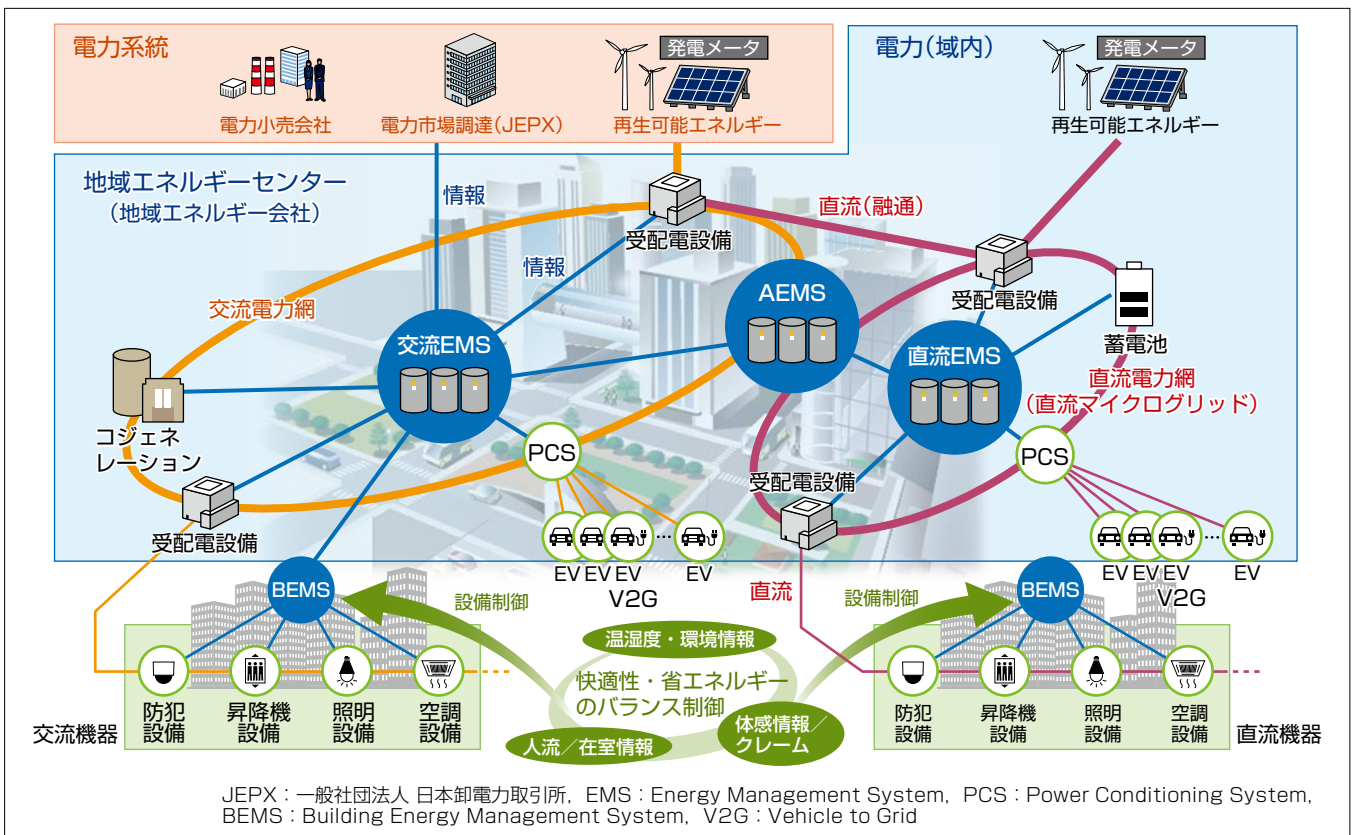
三菱電機は、都市開発でのソリューションで、政府目標である2050年カーボンニュートラルを見据えたスマートシティに向けた再生可能エネルギーの活用や、BCP(Business Continuity Plan)対応などに取り組んでいる。

スマートシティでは、地域エネルギーセンターでエリア全体のエネルギー(電力・熱)の需要と供給を最適化し、最も経済的に、又はCO<sub>2</sub>排出量が最小になるようなエネルギー供給計画をエリアエネルギーマネジメントシステム(AEMS: Area Energy Management System)で作成・運用し、同時同量制御を行う。また、ビル内設備の稼働実績に加えて、入退室情報、人流、温湿度や気象データなどを組み合わせることで、電力・熱の需要を予測し、より適切なエネルギー供給計画を立案可能にする。

ビルの屋上設置等、街区内の再生可能エネルギーだけでなく、オフサイトの再生可能エネルギーの自己託送による活用やグリーン証書、非化石価値取引などを組み合わせて、消費電力に対するCO<sub>2</sub>排出量を最小にする電源調達最適化を行う。さらに自家保有の蓄電池とEV(Electric Vehicle)を活用した充放電制御で需給を調整し、インバランスを回避して街区内の配電網の安定化を制御する。

さらには、系統事故時に、当社が持つコジェネレーション設備、蓄電池、太陽光発電設備などを活用し、あらかじめ設定された設備優先度に応じた電力供給と発電制御を行うことで、避難誘導とレジリエンスを適切に確保する。

交流網と直流網を適切に組み合わせることで、送配電ロスを最小化し、エネルギーの効率的な利用を促進する。



## AEMSの全体構成

AEMSは、街全体の電力と熱供給を一括して需給調整するシステムである。電力システムシステムとの連携に加えて、ビルごとのBEMSと連携し快適性と省エネルギー(CO<sub>2</sub>排出量削減)を適切なバランスに保ちつつ、エリア全体のエネルギー総コストを抑える。交流網と直流網を適切に組み合わせることで送配電時の電力ロスを低減する。また、域外の再生可能エネルギーやEVとの連携によって、再生可能エネルギーを最大限に活用することを可能にしている。

\*系統変電システム製作所

## 1. ま え が き

2050年までに温室効果ガスの排出を全体として実質ゼロにするとの政府目標が発表されるなど、脱炭素への取組みは世界的な趨勢(すうせい)になりつつある。また、2030年ごろの実現を目指し、スーパーシティ型国家戦略特別区の選定が始まるなど、利便性と経済性に加えて環境性に配慮した先進的な都市開発が志向されている。

図1にスマートシティ実現に向けて当社が取り組んでいる4大テーマを示す。

### (1) エネルギー

都市全体のエネルギー(電力・熱)を一体的に管理し、状況に応じた需要予測と経済性、環境性(再生可能エネルギーの有効活用等によるCO<sub>2</sub>排出量削減)とレジリエンスを考慮した最適な需給制御

### (2) ファシリティ

人流、温湿度等に応じた設備運用によって、快適性と省エネルギーを両立させた設備の運用管理と入退室管理等と組み合わせた設備の需要予測と最適運用

### (3) モビリティ

自動運転、回遊促進、パーソナルモビリティ等を支える管制システム等、先進的なソリューションの提供に加えて、EVの充放電、オンデマンド運転などエネルギー効率とモビリティの利便性を考慮した最適制御

### (4) セキュリティ

入退室管理、カメラ映像と連動した防犯システム、災害時の避難誘導など、安心安全な都市空間の提供

これら(1)~(4)はそれぞれが独立して局所最適化を狙うだけではなく、相互に連携しつつ全体最適を実現することを目標にしている。

本稿では、当社電力・産業システム事業本部が中心になって取り組んでいる、カーボンニュートラルを見据えたEMSについて述べる。

## 2. EMS

### 2.1 カーボンニュートラルへのアプローチ

カーボンニュートラルの実現には次の四つのアプローチがある。

#### (1) 電力使用量そのものを削減

電力使用量削減によって、発電でのCO<sub>2</sub>排出を削減する。

#### (2) CO<sub>2</sub>排出量の少ない電源を活用

よりCO<sub>2</sub>を排出しない電源で電力を調達する。典型例として太陽光発電などの再生可能エネルギーの導入や水素・アンモニア発電などが挙げられる。

#### (3) CO<sub>2</sub>排出権取引

非化石価値やグリーン証書の取引によって、環境負荷計算上で自社のCO<sub>2</sub>排出をネッティングする。ただし、直接CO<sub>2</sub>排出を削減しているわけではなく、本質的なCO<sub>2</sub>排出量削減にはつながらない。

#### (4) 排出したCO<sub>2</sub>を回収

発電時に発生するCO<sub>2</sub>を直接回収、又は使用電力に応じたCO<sub>2</sub>を空気中から吸収する。典型例としては植樹、カーボンキャプチャーなどが挙げられる。ただし、CO<sub>2</sub>回収にかかるエネルギー創出によって発生するCO<sub>2</sub>排出量と実際に回収できるCO<sub>2</sub>回収量とでネットネガティブが成立することが必要である。

次節以降では本質的にCO<sub>2</sub>排出量を削減する手段である、(1)と(2)のアプローチについて述べる。

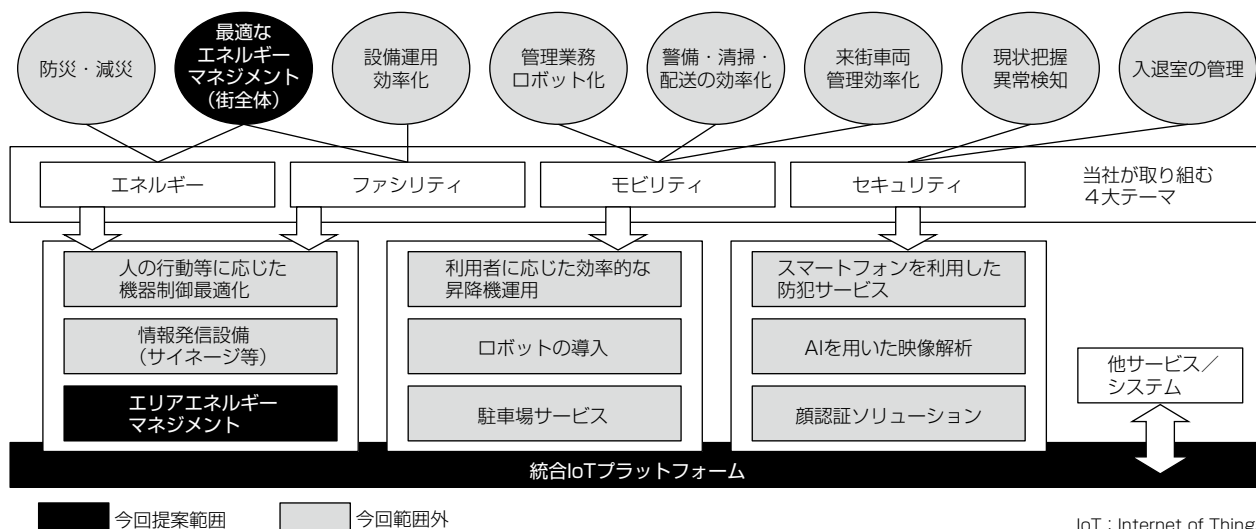


図1. スマートシティ実現に向けた当社の取組み<sup>(1)</sup>

## 2.2 エネルギーとファシリティの連携

エネルギー供給でのCO<sub>2</sub>排出量を削減するには、

- (1) 発電設備はなるべく効率の良いポイントで運転
- (2) 過不足がないように需要と供給力の最適化

を両立させることが必要である。そのためには、正確に需要を予測して最適な供給計画を事前に作成し、実績に合わせて適宜修正する必要がある。このため当社では図2に示すようにエネルギーとファシリティの連携を推進している。

ビル内需要の多くは空調や照明が占めているが、空調や照明のニーズはそこに滞在する人の快適性や人数に関連していることが想定される。そのため、ビル内の温湿度、入退場情報や人流等を基にビル内の需要変動を予測し、その予測データに基づいて、電源と熱源の効率と経済性を考慮した供給計画を作成するAEMSに取り組んでいる。

## 2.3 AEMS

AEMSは次に掲げる目標に対して、顧客ニーズに合わせた最適化を行うものである。

- (1) 経済性の確保
  - ①自家発電+自家消費/自己託送による電力料金の抑制
  - ②系統アクセス・受電設備設置費用の抑制
  - ③CGS(Co-Generation System)による地域内の電力と熱の併給
- (2) 環境性の向上
  - ①自己託送を活用した域内外での再生可能エネルギーの大規模導入によるCO<sub>2</sub>排出量の削減
  - ②EV向けチャージャーとの連携による流通・利便性の向上
  - ③直流配電による変換ロス削減
- (3) レジリエンスの向上
  - ①系統事故時の自立運転による地域内電力需給の維持
  - ②蓄電池充放電による再生可能エネルギー急変時の電力品質の維持

## 2.3.1 経済性の確保

AEMSでは、系統からの受電だけに頼ることなく、街区内の自家発電設備(CGS、太陽光発電等)を活用したエネルギーの需給最適化を行う。また、BEMSとの連携によって、ビル設備の需要予測と供給力を適切に需給調整することで、無駄のない電力供給によって、エネルギー総コストの低減を実現している。AEMSの全体構成を要旨の図に示す。

ビル内の各種設備(昇降機、空調、照明等)の稼働状況と入退出ゲート、居室の入退出情報や温湿度等をBEMS経由でデータ連携し、複数のビルと街区全体でのエネルギー消費を予測し、電源と熱源の運転計画を最適化する。

図3に街区内の電力需給調整のイメージを示す。

AEMSでは街区全体の需要を満たすために、電力取引市場又は電力小売事業者から調達した系統受電電力と自家保有のCGSや建屋屋上の太陽光発電設備などを組み合わせて適切な電源構成を計画する。域外に発電設備を持っている場合は自己託送を活用することも発電計画作成時には考慮する。また、計画策定時から需要又は電源調達(再生可能エネルギーの出力変動含む)が実績と乖離(かいり)した場合は、CGSの出力変更指示や系統受電電力の変更、

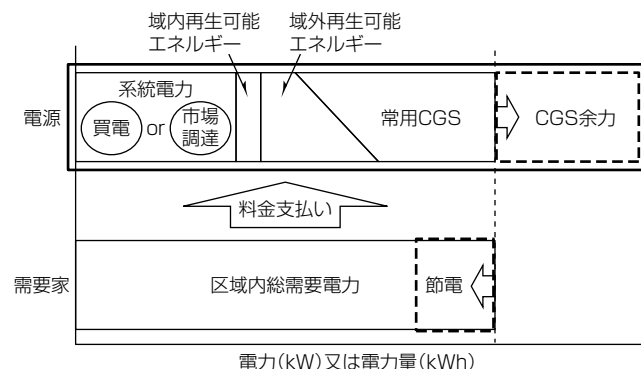


図3. 電力需給調整のイメージ

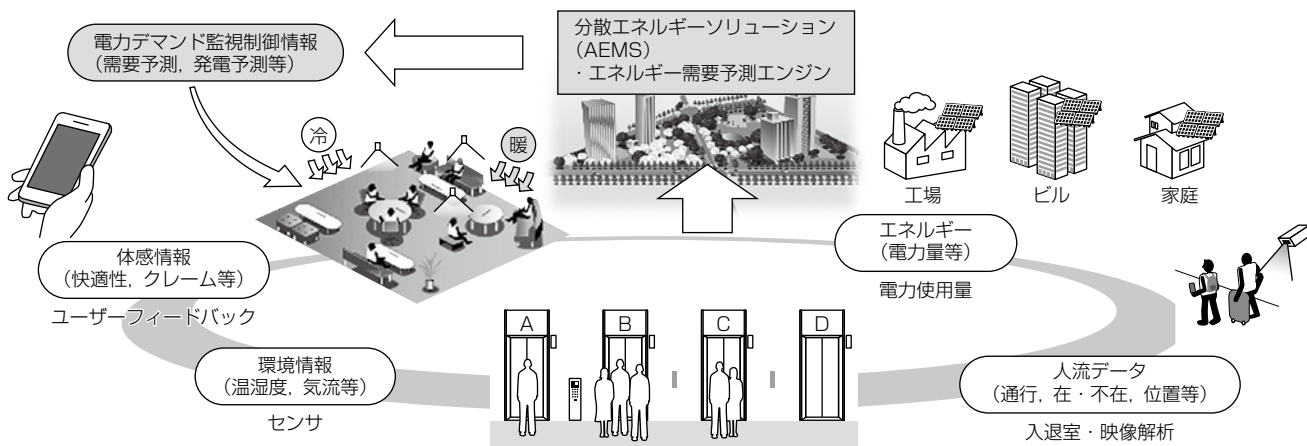


図2. エネルギーとファシリティの連携

自己託送の場合は通告変更等を行い、インバランスを最小にするため、同時同量制御を行う。合わせて、需要家に対しデマンドレスポンスを発動し、上げ/下げ指令を発出することでも需給調整を行うことが可能である。

AEMSでは電力調達(自家発含む)コストの最適化だけでなく、CO<sub>2</sub>排出量の低減を目的にした最適化も可能であり、オーナーのニーズに合わせてコスト最適とCO<sub>2</sub>最適(グリーン最適)を任意に選択可能にしている。将来的に環境会計上で炭素税相当を導入する際には、グリーン化にかかるコストと炭素税相当のペナルティとで経済合理性を最適化した電源調達計画を作成する。

### 2.3.2 環境性の向上

グリーン最適を選択した場合は、CO<sub>2</sub>排出量が少なく、かつコストが低い電源を優先的に調達する。定置型蓄電池だけでなくEVを活用した充放電制御や域外の太陽光発電の自己託送の活用によって、需要を満たしつつCO<sub>2</sub>排出量が少ない電源調達計画を策定することが可能になっている。グリーン最適では再生可能エネルギーを優先的に調達するだけでなく、非化石価値市場やグリーン証書の調達と託送料金、再生可能エネルギー賦課金にかかるコストをも考慮し、CO<sub>2</sub>排出量の削減とコストとのバランスを最適化することが可能である。さらに、CGSの排熱利用、チラー等、熱交換器の運転計画を電力と熱供給を消費電力の観点から最適化することで、エネルギーコストの低減とCO<sub>2</sub>排出量の削減を両立させている。

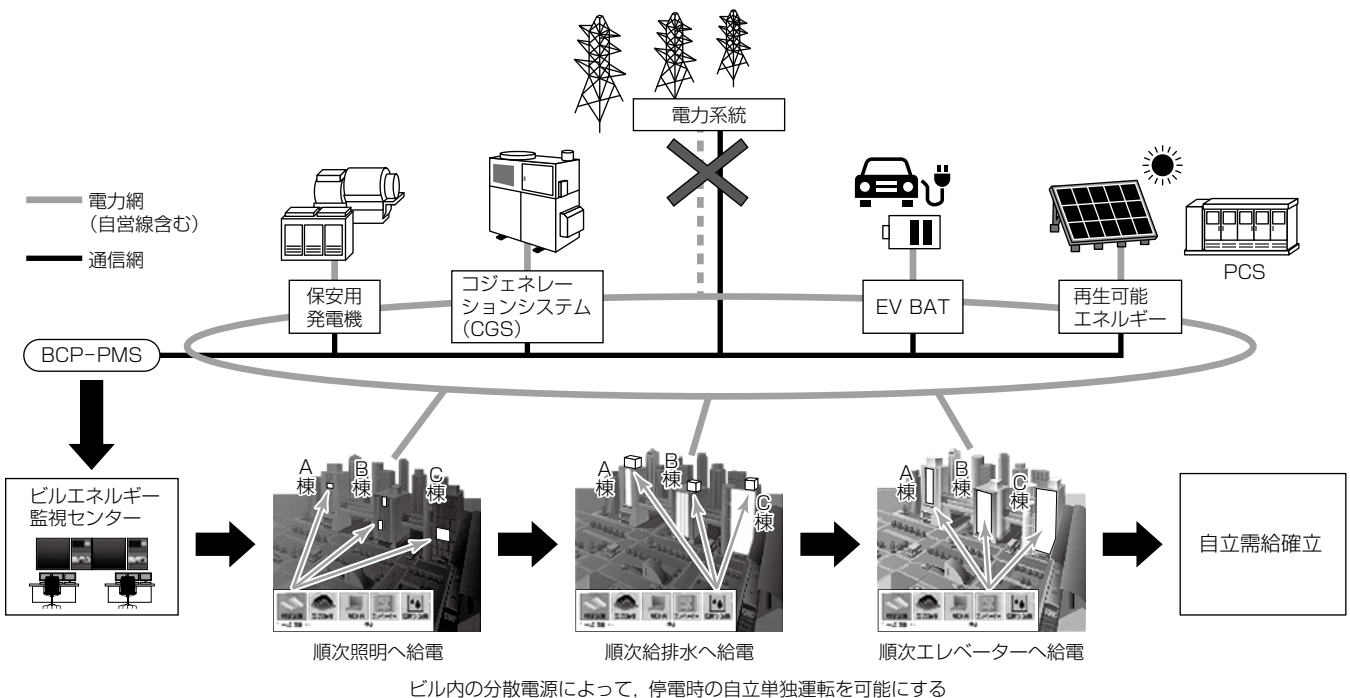
### 2.3.3 レジリエンスの向上

自家保有の電源設備を活用して、系統停電時に供給力と負荷との需給バランスを確保した上で、優先度の高い設備から順に復電していくBCP対応機能を持っており、都市全体のレジリエンス向上に役立っている。単に優先順位に従って復電するだけでなく、CGSや太陽光、EV、蓄電池など持っている供給力と負荷設備の特性を考慮した負荷投入順序制御を行い、必要な設備に必要なタイミングでエネルギーを供給可能にしている。

図4に系統停電時の電力供給イメージを示す。系統事故などによって停電を検知した場合は、無停電電源装置からの給電によって防消火設備への電力供給とともに速やかに非常用発電機を起動させ、非常用設備への電力供給が実施される。ついで、あらかじめ決められた優先順位に従って、照明→給排水設備→昇降機等への給電が実施される。

このとき、CGSや蓄電池、EV、太陽光発電設備などを持っている場合でも、負荷設備の電力需要と各種電力供給設備との需給バランスやタイミング(突入電流を含む)を総合的に調整できないため、通常はこれら電源設備は再起動されることなく、非常用発電機の定格出力範囲内で優先度の高い設備だけに電力供給が行われることになる。

そこで、当社AEMSでは電力会社向けに培ってきた発電設備のブラックスタート技術や系統周波数安定化技術、蓄電池制御技術を応用し、当社の持つ電源設備をフルに活用して、優先度に応じた負荷設備への給電を突入電流と配



BAT : BATtery, PMS : Power Management System

図4. 系統停電時の電力供給イメージ

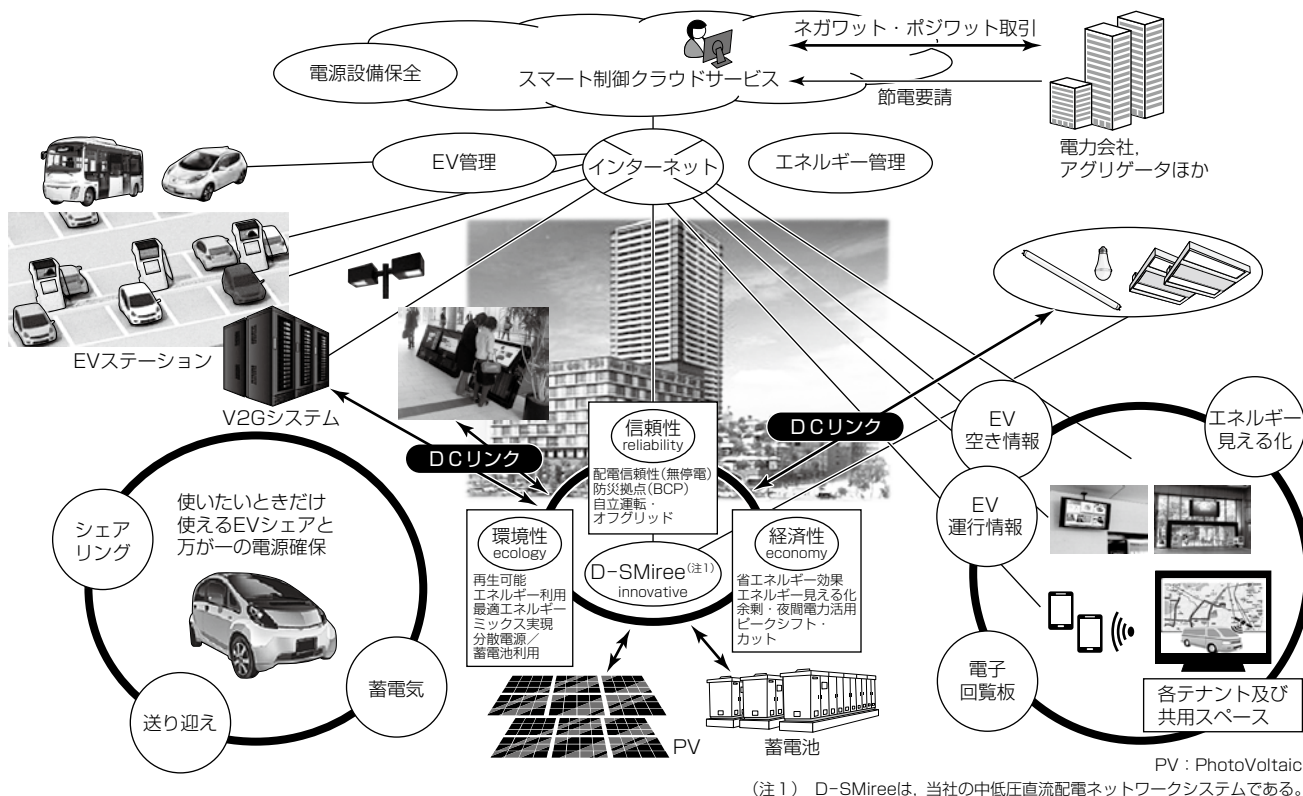


図5. 直流配電システムの将来イメージ

電網の周波数/電圧バランスを考慮した電源と負荷投入順序を制御することで、可能な限り復電範囲を拡大することを狙っている。また、人流や在室人員に応じて動的に復電設備の優先順位を調整することで、迅速な避難誘導、避難場所での生命維持活動への貢献を可能にしている。

### 3. 直流配電システム

最後に、カーボンニュートラルを実現するに当たっては、電源のCO<sub>2</sub>排出量を削減するだけでなく、送配電にかかるロス削減することで、発電したエネルギーを無駄なく利用することも重要である。そのような観点から、送配電システムの直流化を提案している。電力を効率よく運ぶには、送電ロス最小になるよう送電電力に応じた適切な電圧で送電する必要がある。従来は電圧変換の容易さと遮断時の安全面から交流が主流であったが、近年ではスイッチング技術等の電力変換技術の進展によって、送電電力や距離によっては送電ロスを検討した場合、直流での送配電の方が交流より経済性が優れる場面が増加している。

ビル間の配電網を直流化するだけでなく、ビル内の配電網でも、直流化によって送電ロス低減効果が見込まれる。また、現在は直流を直接給電して動作する設備は照明設備程度であるが、空調機、昇降機などインバータ電源を搭載している設備では、直流系統への連系が容易であり、将来的にはZEB(net Zero Energy Building)/ZEH(net Zero

Energy House)では直流配電が主流になると想定している。さらには、太陽光発電と蓄電池はそもそも直流であり、直流配電システムとの親和性は高い。また、EVでも同様である。図5に直流配電システムの将来イメージを示す。

このように、スマートシティやマイクログリッド内の直流化が進展し、さらに都市間の連携も交流網と直流網を適切に組み合わせることで、電力ネットワーク全体での送配電ロスを低減し、CO<sub>2</sub>排出量そのものの削減につながることを期待している。

### 4. むすび

カーボンニュートラルに向けたスマートシティへの取組みと将来展望について述べた。このほかにも、再生可能エネルギーを活用した水の電気分解による水素・アンモニア製造やオフサイトの再生可能エネルギーを託送することで偏在する再生可能エネルギー(グリーン価値)を適切な需要地に送配電することで、街全体としてカーボンニュートラルを実現する仕組みの検討など、様々な角度からカーボンニュートラルの実現への取組みを進めている。

今後も2050年カーボンニュートラルを見据えた様々なソリューションの提供と技術開発を推進する。

#### 参考文献

(1) 分散電源ソリューション, 三菱電機技報, 95, No.1, 56 (2021)