

ビルのゼロエミッション化を目指す スマートファシリティ

Smart Facility Solutions Aiming for Zero-Emission Buildings

西村 信孝 飯野 穰 安達 俊朗

■ NISHIMURA Nobutaka

■ IINO Yutaka

■ ADACHI Toshiro

事業所のビルや一般家庭の住宅など民生部門のエネルギー消費は、わが国の総エネルギー消費の30%を超えており、かつ、年々増加する傾向にある。これは先進国や新興国においても同様であり、二酸化炭素(CO₂)排出に伴う地球温暖化を防止し、持続可能な社会を形成していくためには、エネルギーの有効利用は喫緊の課題になっている。

東芝は、ビルのエネルギーシステム全体でCO₂のゼロエミッション化を目指して、設備機器の高効率化、再生可能エネルギーの利用、制御や管理技術の研究開発や製品化など、スマートファシリティ実現のためのソリューションを提供している。

Energy consumption in the consumer sector, which includes business offices and residential buildings, is more than 30% of the total energy consumption in Japan, and it has been increasing year after year, as it has in other developed and developing countries as well. In response to the worldwide demand for the reduction of carbon dioxide (CO₂) emissions and the building of a sustainable society, there is a strong need for effective usage of energy.

With the aim of realizing smart facilities, Toshiba has been engaged in the research and development of highly effective equipment, technologies using renewable energy, and control and management systems for buildings.

経済の発展と生活環境

その昔、原始時代と呼ばれるころ、人類が使えるエネルギーは自身の筋肉だけで0.2馬力程度であった。その後、馬や牛などの家畜を利用するようになり1~2馬力のエネルギーを手に入れた。約300年前に蒸気による内燃機関が発明され、利用できるエネルギーは数十馬力まで高まった。そして、現在、われわれが利用できるそれは数百馬力までに至っている⁽¹⁾。つまり、人類は多くのエネルギーを投入することで安全・安心、及び快適な生活環境を築き上げてきた。その結果、原始時代には20歳にも至らなかった人間の平均寿命は、現在では70歳を超えるようになった。

一方、現代社会でエネルギー起源によるCO₂の排出が地球温暖化問題を引き起こしていると考えられている。経済活動とエネルギーの消費は強い相関があり、その結果排出されるCO₂量は米国、欧州、及びわが国で37%、中国、ロシア、及びインドで30%を占めており、昨年12月にコペンハーゲンで開催

された第15回気候変動枠組条約締約国会議(COP15)でもCO₂排出量の削減が共通議題となった。

経済発展のために更なるエネルギーの投入が必要になるが、持続可能な社会を築くには、よりいっそうの省エネ化を進め、大幅な再生可能エネルギーの利用などでCO₂の排出量を減らすこと(以下、ゼロエミッション化と呼ぶ)が不可欠である。

ここでは、ビルのゼロエミッション化を実現するとともに安全・安心、及び快適な生活環境の実現を両立させる東芝のスマートファシリティに対する取組みを述べるとともに、いっそうの発展のための技術的な課題について述べる。

ビルに対するゼロエミッション技術

ゼロエミッション化の基本は、省エネ技術と再生可能エネルギーの利用技術を用いてCO₂の排出量を削減することである。例えば使用量の少ない夜間に蓄積したエネルギーを、使用量の多い日中に利用し、エネルギー需要を平準化

(ピークシフト)することである。これによりCO₂の排出量が少なく、安定出力である原子力発電を有効に利用できるようになる。

また、天候や自然条件により出力が間欠的に変動する太陽光発電や風力発電を電力システム全体に影響なく取り入れたり、需給エネルギーバランスを調整するスマートグリッド(囲み記事参照)への取組みも盛んになってきている。

省エネ技術

ビルに対する省エネ技術は、以下のよう

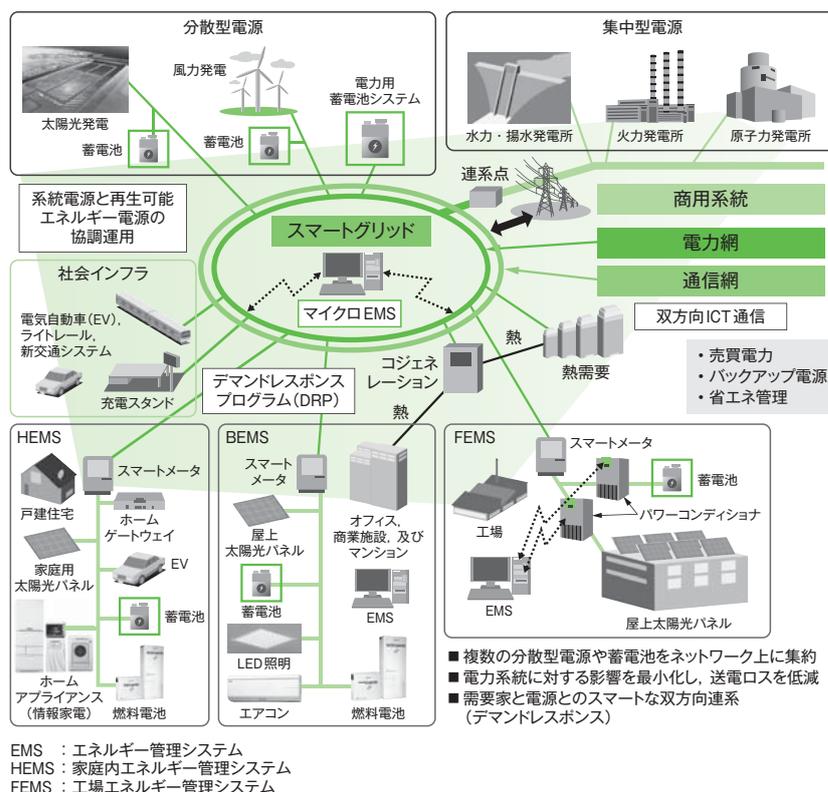
- に分類できる。
- (1) 建築的手法 断熱性や気密性の向上など
 - (2) システムの改良 コジェネレーションや蓄熱システムの採用など
 - (3) 機器の高効率化 照明の発光ダイオード(LED)化、ポンプやファンのインバータ化、高効率ヒートポンプ(HP)の採用など
 - (4) 管理技術 ビルエネルギー管理システム(BEMS: Building Energy Management System)の採用に

スマートグリッドとは

スマートグリッドは、集中型と分散型の電源、需要家の情報をICT（情報通信技術）により統合管理する新しいエネルギー利用社会を目指している。

様々な定義があるが、一般的には「従来からの集中型電源と送電系統との一体運用に加え、双方向のICTの活用により、太陽光発電などの分散型電源や需要家の情報を統合、活用して、高効率、高品質、高信頼性の電力供給システムの実現を目指すもの⁽²⁾」である。そのため、需給双方でエネルギー情報を通信するスマートメータ、エネルギーを貯める蓄電装置などが新たな構成要素として加わる。

更に、コミュニティや都市全体の低炭素化を目指し、米国や欧州、そしてわが国で各種のパイロット的な実証試験が行われている。様々な機器がスマートグリッドに接続されるため、その相互接続性の確保とサイバーセキュリティ対策として国際標準化も盛んに進められている。



よる最適制御の実施や運用の改善など

再生可能エネルギーの利用技術

再生可能エネルギーとは、自然環境の中で繰り返し起こる現象から取り出すエネルギーの総称であり、以下のように分類される。

- (1) 自然エネルギー 太陽光発電、風力発電、太陽熱利用、融雪熱利用など
- (2) 自然エネルギーかつリサイクルエネルギー バイオマス^(注1)発電及びその熱利用など
- (3) リサイクルエネルギー 廃棄物発電及びその熱利用、温度差発電など

(注1) バイオマス
エネルギー源として利用できる、石油などの化石資源を除いた動植物由来の有機性資源。

負荷平準化技術

エネルギーを蓄積する装置と、いつでもだけ蓄え使用するかという利用技術の組合せで、負荷を平準化できる。ビルの場合、主に電力と熱のエネルギーが蓄積の対象になる。

ゼロエミッション化に向けた技術開発

ビルで使用される機器やシステムをゼロエミッション化するため、当社が開発している技術は次のとおりである。

空調^{(3),(4)}

経済産業省の総合資源エネルギー調査会によれば、わが国の再生可能エネルギー導入目標は、2020年に20%となっており、このうち30%をHP利用で賄う計画である。

ここ数年、空調設備でのHP技術は目覚しく発展してきている。当社が開発した最新機種⁽¹⁾の家庭用エアコンで成績係数(COP: Coefficient Of Performance) 5.44、ビル用マルチエアコン(8馬力クラス)でCOP 4.11を達成している。オゾン層を破壊しないHFC(ハイドロフルオロカーボン)冷媒R410Aへの早期切替え対応や、ツインロータリコンプレッサ及び低損失インバータの技術開発で、高効率性能を実現している。

また、セントラル方式のビル空調向け熱源機器として、スーパーフレックスモジュールチラーTM(図1)を開発し、モジュール化による施工性の改善とともに、空冷式では水噴霧方式の空気熱交換により冷却時COP 4.8、冷暖の平均でCOP 4.3の高効率化を達成している。

更に、水冷式空調や氷蓄熱システムへの適用などラインアップの拡大を図っている。

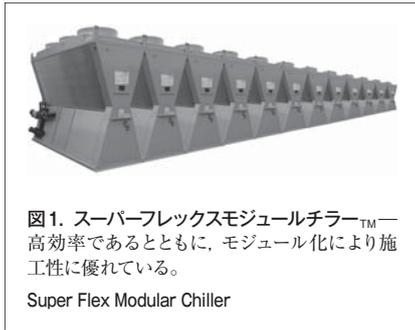


図1. スーパーフレックスモジュールチラー™ — 高効率であるとともに、モジュール化により施工性に優れている。

Super Flex Modular Chiller

■照明^{(5), (6)}

低消費電力化で期待される次世代照明のLEDランプは、従来の白熱電球に比べて優れた特性を持っており、応用範囲が広がりつつある。

現時点でLED素子の発光効率は100lm/Wと蛍光灯と比べても遜色(そんしょく)のないレベルに達しており、2015年には150lm/Wになると予想されている(図2)。

当社は、家庭用のLED照明の早期商品化に続き、高輝度化、有色化、低コスト化、省電力化などの性能改善を進めている。ビルのあらゆるシーンにLED照明が適用できるよう製品ラインアップを拡充している。

■太陽光発電⁽⁷⁾

将来的に大量導入が見込まれている太陽光発電は、ゼロエミッション化の有力な手段の一つである。

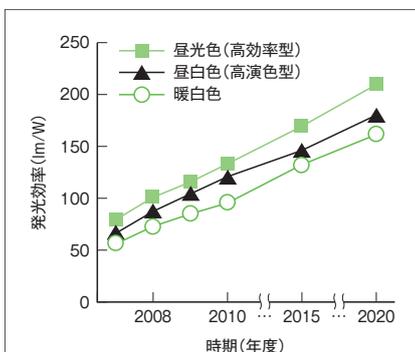


図2. 白色LEDの発光効率ロードマップ — LED照明は、今後も効率向上が期待されている。

Luminance efficiency roadmap for white light-emitting diode (LED)

当社は、メガソーラー発電システムをはじめ、住宅用まで含めた幅広い太陽光発電設備のソリューション提供を目指し、太陽光発電のシステム効率に影響を与えるインバータ技術の開発に注力している。

太陽光発電インバータは、太陽電池のDC(直流)電力をAC(交流)電力に変換すると同時に、系統連系保護、自動起動・停止、最大電力追従運転などの機能を備えている。当社は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)と共同で、出力20~100%の広帯域にわたり、電力変換効率97%を実現する太陽光インバータを開発している。

■蓄電池⁽⁸⁾

太陽光発電などの変動性再生可能エネルギーを有効に利用する手段として、エネルギー蓄積技術が重要である。既存の蓄電池製品として鉛蓄電池やNAS電池^(注2)などが挙げられるが、今後の電気自動車の普及によりリチウムイオン電池(LIB)の急速な性能向上と低コスト化が期待されている。

当社は、従来のLIBにおける熱暴走や寿命などの課題を克服した二次電池SCiB™を開発している(図3)。3,000回以上の充放電における性能劣化がわずかであり、万一の内部短絡でも熱暴走を



図3. 二次電池SCiB™ — 急速充放電性能、耐久性、及び長寿命を特長とし、各種エネルギー運用に適した電池として期待されている。

SCiB™ rechargeable batteries

(注2) NAS電池
電極に、ナトリウム(Na)と硫黄(S)を材料とした大型電池。

起こさない安全設計や、5分間充電を可能とする急速充放電性能などを特長とし、現在、車載用に開発を進めている。

■燃料電池⁽⁹⁾

コジェネレーション技術として新エネルギーに位置づけられている燃料電池も、環境負荷低減に役だつ技術として期待されている。

当社は、1970年代から定置用燃料電池の開発を行っており、幅広い技術を蓄積してきた。特に、固体高分子形(PEFC)家庭用燃料電池について、2005~2008年度の経済産業省主催の大規模実証事業に複数のエネルギー事業者と共同で参画し、累計748台の実証運転試験と改良を進めてきた。都市ガスの場合、総合効率86%LHV以上の性能を実現した。また、ユーザーのエネルギー需要履歴に基づき、最適な運転を行う学習制御を採用している。

■ビルのエネルギー管理⁽¹⁰⁾

ビルでは空調、照明、オフィス機器などの多くの負荷が稼働し、年々、エネルギー消費量が増加している。特に、全エネルギー消費の約40%を占める空調設備の省エネ化が重要である。

快適性を損なわずに空調の最適省エネ運転を実現するニューロPMV™制御を開発し、(財)省エネルギーセンターの平成15年度省エネルギー優秀事例として経済産業大臣賞を受賞するなど、高い評価を得ている。これは、快適性指標の予測平均申告(PMV: Predicted Mean Vote)をセンサ情報からリアルタイムで推定し、快適性を損なわない範囲でもっとも省エネとなる温度設定条件を算出する省エネ制御方式で、当社のBEMSであるBUILDAC™シリーズに搭載している。これまでの導入事例では、ビル全体で6.2%の省エネ化が実現できた。

■その他の省エネとゼロエミッション化⁽¹¹⁾

そのほか、特徴のあるゼロエミッショ

ン化技術として熱電発電技術について述べる。

再生可能エネルギーのうち、未利用エネルギーの有効活用は重要な技術である。産業分野及び社会インフラでは、150℃以下の排熱が多量にあるにもかかわらず、有効に活用されていない。

当社は、排熱から直接電気エネルギーに変換できるビスマス-テルル (Bi-Te) 系の熱電変換モジュールを開発し、130℃において変換効率3.6%の性能を実現している。また、群馬県草津町と共同で、温泉熱を熱源とした発電システムの開発や、20,000hの長時間運転による評価などを進め、信頼性の高い熱電変換モジュールを開発した。今後、社会インフラや産業の各分野で、排熱利用への応用展開を図る。

モデルビルの仮想設計と環境負荷評価例

ここでは、ゼロエミッションビル (ZEB) を具体化するために、モデルケースでの仮想設計を試みる。

ZEBに関する最近の研究報告として、経済産業省の「ZEBの実現と展開に関する研究会」報告書¹²⁾がある。ネットゼロエネルギービルの実現及びビル単体のオンサイトの性能の高度化を目指しているが、“エネルギー”よりも“エミッション”に注目するとともに、ビル単体にとどまらずオフサイトの評価、すなわち社会インフラ全体を含めた環境評価を基準にしている。

例えば、ビルの電力負荷を完全にフラット化することで、原子力発電の負荷率が向上し、CO₂排出量を等価的にゼロにするなどの解釈を試みる。対象とするモデルビルは、地上39階、地下3階の大規模ビル (東芝ビルに相当) とした。

ゼロエミッション化のための設備は、太陽光発電 (発電効率25%)、電力貯蔵設備 (二次電池)、氷蓄熱設備、高効率HP (COP 4.8相当)、LED照明 (効率32%相当)などを想定した。また、ビル

の断熱性能と気密性の向上のため、年間を通した冷房を前提とした。

現状とゼロエミッション化後の受電電力量及び太陽光発電量のシミュレーション結果を図4に示す。なお、現状値は東芝ビルの実績値をベースとし、太陽光発電量は実測データを参考として推定計算した。また、前述のシミュレーションで得られたエネルギーの年間シミュレーションのエネルギーマップを図5に示す。

これらは、いくつかの技術発展のシナリオを仮定した下での予測であり、現状では太陽光パネルや蓄電・蓄熱設備の設置スペースが確保できないなどの問題があるものの、ゼロエミッション化への

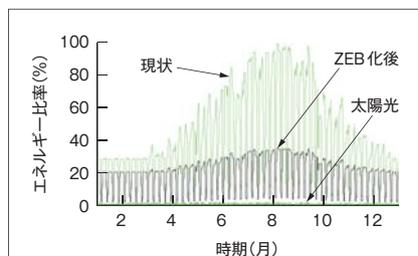


図4. ZEBモデルでの年間電力負荷シミュレーション結果 — 実在ビルをモデルとした詳細な熱負荷シミュレーションにより、年間電力負荷を評価している。

Results of annual electric power load simulation by zero-energy building (ZEB) model

表1. 各種規模のビルに対するゼロエミッション化のシミュレーション結果

Results of zero-emission simulation depending on size of building

モデルビル (階数)	太陽光発電カバー率 (%)	総合効率	省エネ率 (%)
大規模ビル(39階)	5.1	1.85	49.2
中規模ビル(10階)	21.4	2.21	58.3
小規模ビル(3階)	72.9	6.15	85.9

の技術的な指針になるとらえている。

10階建ての中規模ビルと3階建ての小規模ビルに対して同様のシミュレーションを実施した結果を表1に示す。“総合効率”とは投入エネルギーに対する消費エネルギーの比率を表す。また、“省エネ率”は、再生可能エネルギー分を除いたCO₂を発生するエネルギー消費の従来比を示したもので、ゼロエミッション化の指標となる。

中小規模の場合、大規模ビルと比較してエネルギー使用量に対する再生可能エネルギーのための太陽光パネルの設置スペース比率を高くできるので、ゼロエミッション化のハードルは低くなる。

東芝の取組み

この特集号では、ビルの省エネ技術を中心に当社の取組みについて述べる。

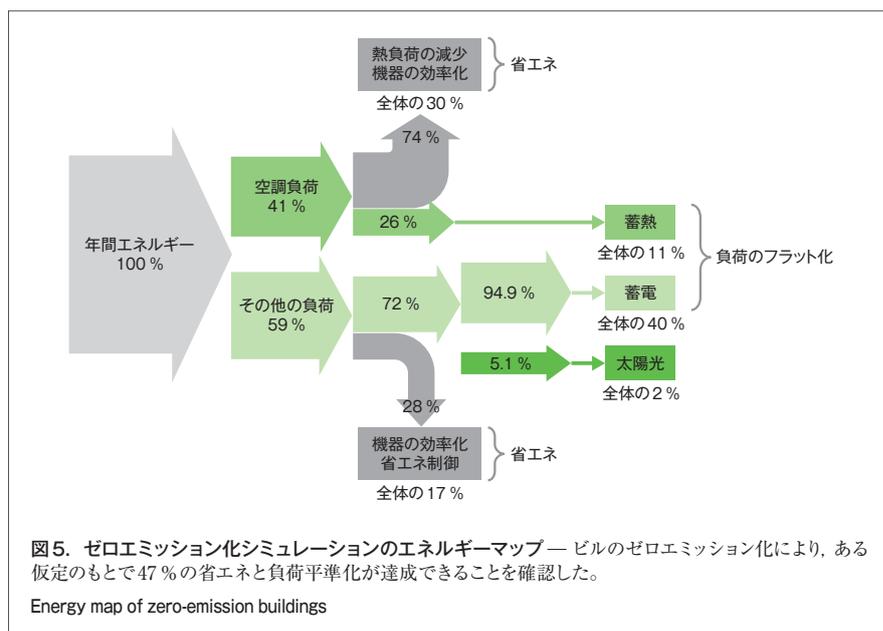


図5. ゼロエミッション化シミュレーションのエネルギーマップ — ビルのゼロエミッション化により、ある仮定のもとで47%の省エネと負荷平準化が達成できることを確認した。

Energy map of zero-emission buildings

■トータル省エネソリューション

省エネ化を目的とした空調設備のリニューアル工事を対象に、省エネ効果の事前評価、省エネ性能を最大限に引き出すための制御技術、経年劣化に伴う性能低下を最低限にとどめるための保守技術など、設備のライフサイクル全期間で適用できる（この特集のp.7-10参照）。

■電源システムのライフサイクルを通じた供給品質管理技術

ビルでは、無停電電源装置（UPS）が高品質かつ高信頼の電源供給の機能を担っており、設計、運用、及び保守の各ステージにおける電源品質評価のためのソリューションである。これらの技術は、スマートグリッドで必要になる多価値の電源品質の評価につながる（同、p.11-14参照）。

■ビルの安全・安心、省エネに貢献する画像認識応用ソリューション

カメラ画像をセキュリティ向けといった従来の用途だけではなく、エネルギー使用の中心である人の動態管理に役だてるための画像認識技術である（同、p.15-18参照）。

■遠隔空調省エネサービス

当社の保有している省エネ化の技術を広くユーザーに提供するための、インターネットを利用したサービスである。場所の制約から開放するというインターネットの特性からグローバル展開を図っている（同、p.19-22参照）。

■ファシリティソリューションを支える基盤技術

今まで述べた高い品質のソリューションやサービスを低コストで提供するためのプラットフォーム化技術である（同、p.23-26参照）。

■オフィスビル空調の省エネ化リニューアル技術

空調を中心とした設備に関する計画立案の考え方や導入効果の実例である。建設後25年以上を経過した東芝ビルの設備リニューアルに適用した（同、p.27-30参照）。

今後の展望

ここでは、ビルのゼロエミッション化技術に対する当社の取組み、ゼロエミッションビルのモデルケース試算などについて述べた。

ゼロエミッション化のためには、主要なエネルギー消費設備である空調設備のいっそうの高効率化、待機電力削減などによる一般負荷の低消費電力化、太陽光発電やLED照明の高効率化、及び蓄電や蓄熱などのエネルギー蓄積設備の効率化が必要である。

また、その普及のためには低コスト化、小型化、及び高信頼化なども共通した課題である。これら設備の性能を十分に発揮させるBEMSの新機能にも取り組んでいく。

文 献

- (1) ミチオ・カク、サイエンス・インポッシブル、NHK出版、2008、417p.
- (2) 横山明彦、日本型スマートグリッドに向けて、電気設備学会誌、30、2、2010、p.101.
- (3) 本郷一郎、ほか、空調技術の最新動向、東芝レビュー、64、11、2009、p.2-7.
- (4) 政本 努、ほか、低炭素社会の実現に貢献する高効率ヒートポンプモジュールチャラー、東芝レビュー、64、11、2009、p.13-16.
- (5) LED照明推進協議会編、“白色LEDの技術ロードマップ”、LED照明推進協議会ホームページ、<http://www.led.or.jp/data/docs/JLEDS_Technical%20Report%20Vol2.pdf>、（参照2010-04-20）.
- (6) 本館淳哉、車載への適用が進む高輝度LEDランプ、東芝レビュー、65、1、2010、p.35-38.
- (7) 篠原裕文、ほか、住宅用高効率太陽光発電インバータの開発、東芝レビュー、62、8、2007、p.49-52.
- (8) 小杉伸一郎、ほか、安全性に優れた新型二次電池 SciB™、東芝レビュー、63、2、2008、p.54-57.

- (9) 中島 良、ほか、地球温暖化防止に貢献する家庭用燃料電池 エネファーム、東芝レビュー、64、10、2009、p.46-49.
- (10) 花田雄一、ほか、生活者の行動を優先した快適空調制御システム“ニューロPMV™制御”、東芝レビュー、62、6、2007、p.24-27.
- (11) 新藤尊彦、ほか、未利用エネルギーを有効に活用する熱発電システム、東芝レビュー、63、2、2008、p.7-10.
- (12) ZEBの実現と展開に関する研究会、“ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）の実現と展開について”、経済産業省ホームページ、<<http://www.meti.go.jp/press/20091124002/20091124002.html>>、（参照2010-01-31）.



西村 信孝
NISHIMURA Nobutaka

社会システム社 社会システム事業部 施設システム技術第二部主査。ビル向けファシリティ関連システムの開発・企画に従事。計測自動制御学会、電気設備学会会員。技術士（電気電子部門）。Infrastructure Systems Div.



飯野 穰
IINO Yutaka

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター制御システム開発部主幹。エネルギー管理システムの開発に従事。計測自動制御学会、電気学会、IEEE会員。Power and Industrial Systems Research and Development Center



安達 俊朗
ADACHI Toshio

スマートファシリティ事業統括部 ソリューション技術担当主幹。ファシリティ関連システムの開発・企画に従事。電気設備学会会員。技術士（電気電子部門）。Smart Facilities Div.