

省エネから，ゼロエネへ。 ZEB 実証棟の建設

梶山隆史・山口 亮・田中拓也

当社技術センター ZEB 実証棟（以降，ZEB 実証棟）は，今や世界的潮流となりつつある ZEB（net Zero Energy Building）の国内での実現・普及を目的とした「都市型 ZEB」（都市部のオフィスビルをターゲットとした ZEB）の第一号プロジェクトである。

本プロジェクトの役割は大きく分けて 2 つある。1 つめは本建物自体が年間の一次エネルギー収支で 0（ゼロ）を達成し，「都市型 ZEB」のプロトタイプを示すこと。2 つめは，今後急速に進歩するであろう超省エネルギー技術・創エネルギー技術を常に取入れその効果を検証し，さらにコストの低廉化や施工性向上等，汎用化の為の技術実証を行うことである。本報では，「省エネから，ゼロエネへ。」の第一歩として建設した ZEB 実証棟の概要を紹介する。

キーワード：ZEB，再生可能エネルギー，太陽光発電，省エネルギー，空調設備，照明設備

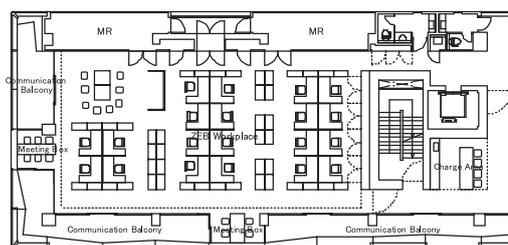
1. はじめに

近年，世界的に ZEB の実現に向けた取組みが活発化してきている。国内でも，2010 年に閣議決定された「エネルギー基本計画」において ZEB の具体的な目標が示されたことや再生可能エネルギー利用事業の拡がりなどを受け，ZEB が注目され始めている。

この状況をふまえ，日本国内での ZEB の実現・普及に向け，「都市型 ZEB」（都市部のオフィスビルをターゲットとした ZEB）を目標とし，その第一号プロジェクトである ZEB 実証棟を建設した（写真一1）。



写真一1 建物全景



図一1 基準階平面図

2. 建物概要

(1) 建築概要（図一1）

建物名称	ZEB 実証棟
所在地	神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1
敷地面積	34,821.92 m ²
建築面積	427.57 m ²
延床面積	1,277.32 m ²
構造	鉄筋コンクリート造（一部 PC 造）
階数	地上 3 階，塔屋 1 階
用途	事務所
工期	2013 年 8 月～2014 年 5 月

(2) 建築的特徴

本建物は研究施設敷地内のほぼ中央に位置し，研究員の事務所棟および新規開発技術の実用化に向けた実証実験棟の役割を持っている。1 階は会議室と展示スペース，2，3 階は研究員の事務室を備えている（図一2）。

一般的なオフィスと比較して，バルコニーを設けている点が大きな特徴であり，日射制御，自然換気，採

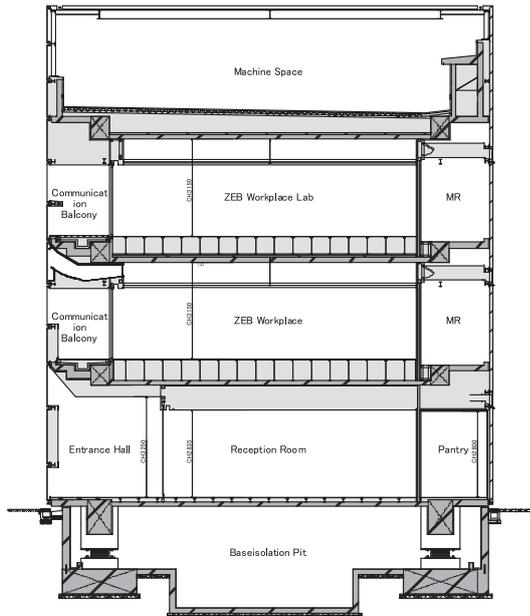


図-2 断面図

光装置など省エネルギーを目的とした装備のみならず、知的生産性を向上させる屋外のワークスペースとしての機能を有している。

また、建物自体のサステナブル性に配慮し、建築・構造分野の技術として以下の3つを採用した。

①都市型小変位免震

都市型小変位免震は、一般的な免震装置である積層ゴム支承に新開発のパッシブ切替型オイルダンパー(写真-2)を組合せ、免震層の変位を制御することで建物周囲のクリアランスを従来の半分以下(200~300mm)に抑える技術である。敷地の狭い都市部においても建築面積を最大限に活用することができる(図-3)。

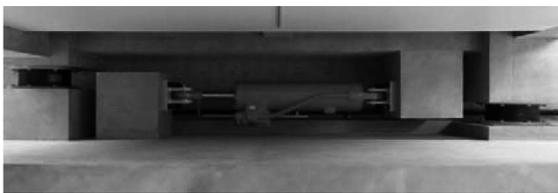


写真-2 切替型オイルダンパー

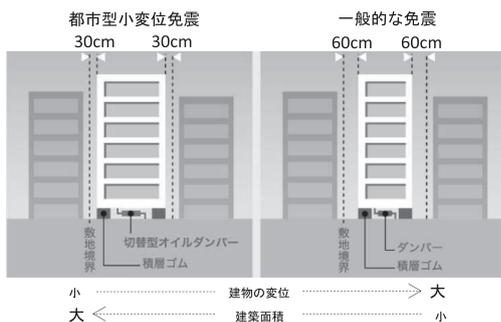


図-3 都市型小変位免震

②フラットで天井レスの執務空間

梁が天井面に出ない逆梁構造を採用したフラットな天井面により、天井高を確保するだけでなく、自然採光による光の拡散や放射空調の放射面としての機能を持ち、天井材の落下の心配も解消される(写真-3)。



写真-3 フラットで天井レスな執務空間

③環境配慮型コンクリート

建物の大部分を占めるコンクリートには、副産物混合セメントを使用することで建物製造時のCO₂排出量の削減に努めた。

3. 設備設計コンセプトとエネルギー予測

(1) 設備設計コンセプト

設備分野のテーマとして、①自動化・高効率化による徹底的な負荷削減と、個別調節機能(自己選択性)による満足感を組合せた「超省エネと知的生産性の両立」、および②敷地等の制約条件を考慮した「適切な創エネ設備の計画とその効果の最大化」の2つが、ZEB普及の鍵となると考えている。

(2) エネルギー予測

年間1次エネルギー収支で0(ゼロ)を実現するため、一般ビル比で▲75%の超省エネルギーを目標とし、残りの25%の消費エネルギーを屋根および壁面に設置した太陽光発電による創エネルギーで相殺する計画である(図-4)。

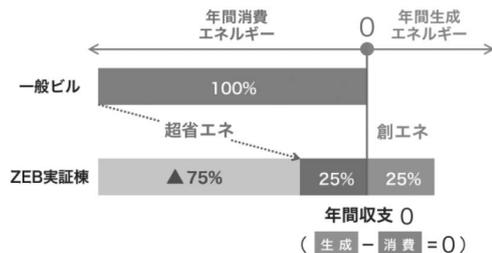


図-4 年間1次エネルギー収支

4. 設備計画概要

(1) 自然換気・空調設備

空調設備の計画は、タスク&アンビエントの思想(室内空間を作業空間(タスク域)と周辺空間(アンビエント域)に分け、全体を均一環境とするのではなく、タスク域のみを最適な環境に制御することで省エネと快適性の両立を図る考え)に基づいている。自然換気の積極的利用と内部発熱の減少により空調負荷を削減し、更にコージェネレーションシステムによりアンビエント空調の高効率化を図っている。また、パーソナル空調は、人検知センサーを利用した自動化をベースに個人に自己選択性(調整機能)を付加することで必要なところに適量のサービスを提供し、満足度の最大化を図る(図-5)。

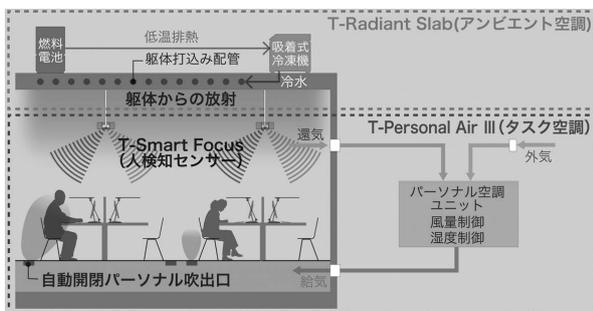


図-5 熱源・空調システム概念図

(a) 自然換気システム (T-Fresh Air)

屋外の気温が適切な時期には、風の力を利用して外気を室内に取り込み空気の流れを作ることにより、快適な空間を実現しながら空調に要するエネルギーを削減するシステムを開発・導入した。

従来、測定した屋外の気象条件に基づき、執務室のすべての自然換気口・窓の開閉の判断が一律に行われていた。このため、一部の自然換気口では適切な風を取り込める状況でもすべての自然換気口が閉鎖されたままになることがあった。また、手動の窓の場合は、窓をどの程度開放したら適切な外部風を室内に取り込めるのか在室者にはわからず、風が比較的強い状況では、窓をどの程度開けたらよいか在室者が試行錯誤する必要があった。

本システムは、風・気温・室温などの気象・環境条件、室内の人の在席情報に基づき、室内環境を快適にする自然換気口・窓の開閉を個別に判定する。その結果に基づき、自動開閉の自然換気口をコントロールし、窓などの手動の開口は、どの程度開けたらよいかを在室者にパソコン画面を利用して伝える。

(b) 排熱利用躯体放射冷暖房 (T-Radiant Slab)

本技術は、建物で使われずに捨てられてしまいがちな排熱を、事務所ビルで需要の多い冷房のエネルギー源として有効活用するために開発した熱源・空調システムである。

従来から、排熱エネルギーは暖房や給湯に使われてきたが、年間を通じて温熱を使う設備の少ない事務所ビルでは適用事例は少なく、排熱利用率が低いのが実情である。

今回開発したシステムは、60℃程度の低温排熱をエネルギー源として中温冷水(16℃程度)を製造するとともに、冷水をコンクリートスラブに埋め込まれた配管に通水することで、躯体そのものを冷却し、天井面からの放射効果により空間全体を安定的に冷房するTABS (Thermo Active Building System) である。なお、冬期には排熱温水を直接配管に通水することで暖房も可能である(写真-4)。



写真-4 床打込み配管敷設状況

ZEB 実証棟では、高効率燃料電池のコージェネ利用と低温排熱で冷水製造が可能な吸着式冷凍機を組み合わせ、システム効率の飛躍的な向上を図っている。

(c) パーソナル空調 (T-Personal Air III)

本技術は、空調の主な役割の一つである外気処理機能を主体として、風量の個別調整機能を兼ね備えたタスク空調システムである。

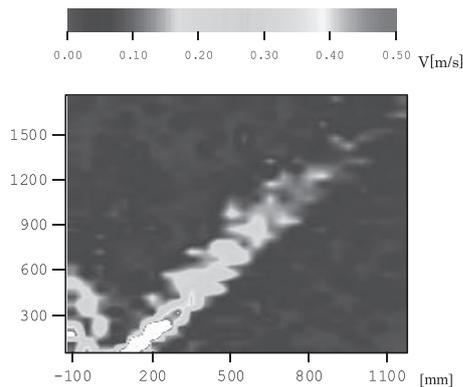
従来から、外気処理のための空調機や風量調整機構を備えたパーソナル空調システムは数多く存在するが、二つの機能を兼ね備えたシステムは機器の大型化や制御の複雑さ等の理由により採用事例は少ない。

今回開発したタスク空調システムは、汎用外気処理パッケージ空調機を利用した湿度調整が可能なパーソナル空調ユニットと自動で開閉するパーソナル吹出口により構成され、コンパクトながら確実な除湿機能と風量個別調整機構を併せ持つ。

省エネの観点では、次世代人検知センサーにより人がいる場所のパーソナル吹出口が自動的に開き、必要な外気導入量を適正に制御するシステムを組み込んでいる。また、暑いと感じる人は自席 PC からの操作で吹出風を強くすることができ、個人の好みに応じた空調ができるので、執務者の満足感が向上する（写真—5、図—6）。



写真—5 パーソナル吹出口の気流可視化



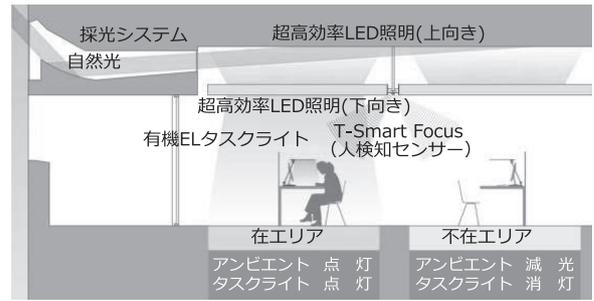
図—6 パーソナル吹出口気流性状 (60 m³/h, 等温)

(2) 自然採光・照明設備

照明設計のコンセプトは、4つの光の組み合わせによる低照度タスク & アンビエント照明システム（アンビエント照明で室全体の最低限の明るさを確保しつつ、作業に必要な机上面のみにタスク照明を用いる照明手法）である。新規開発の自然採光装置、上向き設置された天井面を照らすLED照明、下向き設置された床面を照らすLED照明、及び机上面に設置された手元を照らす有機ELタスク照明、の4つの光から構成されている。これらの光に加えて、高精度の人検知センサー・明るさセンサーを利用した最適照明制御を組合せることで、低照度でも十分な明るさ感を確保しつつ、照明エネルギーを最小化している（図—7）。

(a) 自然採光システム (T-Light Cube)

照明消費エネルギーは一般オフィスで消費されるエ



図—7 低照度タスク&アンビエント照明システム

ネルギーの約 20% を占めている。東日本大震災後の節電により、照明の低照度化が進み、照明エネルギーの削減効果だけでなく、照明の発熱低減による空調エネルギーの削減効果が確認された。また、昼光利用が可能である場合、消灯時にも継続的な執務作業が可能であることも確認されている。さらに、近年では調光制御や LED 照明などの照明設備の普及にとともに、昼光利用による照明エネルギー削減の重要性が見直されている。一方で、従来の主な昼光利用手法はブラインドを使用するものが多く、窓面で眩しさを生じること、室内へ昼光を導く効果が低いこと、眺望が確保されないことが課題であった。

本採光装置は、1) 都市型 ZEB を実現させる各階の窓面への採光装置の配置、2) メンテナンスが不要な固定式構造でのあらゆる太陽高度の直射日光の採光、3) 室内全体の明るさを向上させる室内の天井面への自然光の導入、をコンセプトとして開発した。

本建物ではバルコニーを採用しており、庇で直射日光を遮りつつ眺望を確保し、バルコニー上部に設置された採光装置で自然光を導入している。

採光装置の断面は放物線を組合せた特殊な曲面を用いることで、様々な季節・時間の太陽高度に対応して採光できるように工夫している。室内に導入される自然光は常に天井面を照らすことで室内空間の明るさ感をもたらし、眩しさのない拡散した柔らかい光を机上面に与えることで、昼光利用における室内の光環境の質と照明エネルギーの削減を両立させることができる（図—8）。



図—8 自然採光システム (T-Light Cube)

(b) 高効率 LED 照明の明るさ制御・人検知制御

採光装置により天井面の室奥まで導かれる自然光と上向きの超高効率 LED 照明により、アンビエント照明制御を行う。上向きの明るさセンサーで自然光の採光量を計測して調光制御され、十分に自然光が得られる日中には上向きの LED 照明は自動消灯される。下向きの超高効率 LED 照明は、人検知制御システムにより制御され、人がいる場所のみ在席に適した照度を提供する。これらによる机上面照度は 200 lx の低照度であるが、天井面の輝度を確保し、室内に十分な明るさが提供される。

(c) 有機 EL タスクライト

紙面作業や個人毎の好みに応じて、有機 EL タスクライトを使用する。タスク照明とアンビエント照明の組合せで机上面照度 700 lx を確保することができる。

従来の省エネを目指した多くの照明計画は、タスクライトを活用し天井照明の照度を抑制することでエネルギー削減を行ってきた。一方で、LED などのコンパクトで高輝度な光源を採用した場合、執務者に対して眩しさ感や手暗がりをもたらすなど、オフィス空間の光環境の快適性を損ねてしまう場合があった。また、有機 EL 照明パネルは、面発光における光のやさらかさと薄さの特徴を活かした演出照明を中心に普及しつつあるが、これまでにオフィスのタスクライトに必要な明るさ、演色性、寿命の条件を満たす有機 EL 照明パネルを用いたライトは実用化されていなかった。

今回共同開発した「有機 EL タスクライト」は、現時点でオフィス等での実使用に必要な明るさと寿命、演色性を兼ね備えた、世界最高水準の性能を持つ有機 EL 照明パネルを使用した最高出力 500 lx の器具で、個別に調光可能な仕様となっている。極薄の光源の特徴を活かし、机周りで邪魔にならないデザインとしたものである。

タスクライトにより眩しさ感を執務者に与えると、相対的にオフィス空間の明るさを損ねてしまう場合があり、従来はオフィス空間の低照度化に限界があった。有機 EL タスクライトは面発光光源で眩しさ感を排除したやさらか配光となっている。本タスクライトにより、室内空間の明るさ感を確保して光環境の質を維持しつつ、オフィス空間全体を低照度化してエネルギーを最小化する室内照明環境の実現が可能となる(図-9)。

(d) 無線調光制御 (T-Green Wireless)

最近のオフィス空間では「省エネ」と「光環境の快適性」を両立できるきめ細やかな調光制御による照明

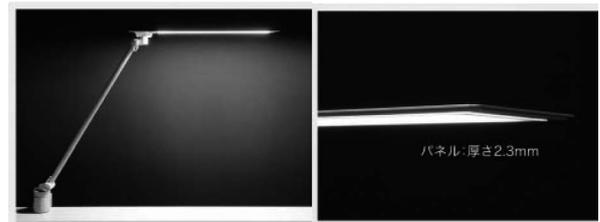


図-9 有機 EL タスクライト

計画の構築が重要である。これらを両立できる独自の照明最適化ソリューションとして、無線調光制御を開発し、1階会議室に採用した。

本システムは、照明電源の ON/OFF 制御と調光設定の2つの機能を備えた小型無線制御ユニット(子機)と統合管理を行う無線制御親機から構成されており、子機を照明器具1灯毎に設置することにより、従来、レイアウト変更時に必要であった配線工事を一切不要とすることができる。また、このシステムは照明メーカーを問わず、様々な照明器具への制御も可能となっている(図-10)。

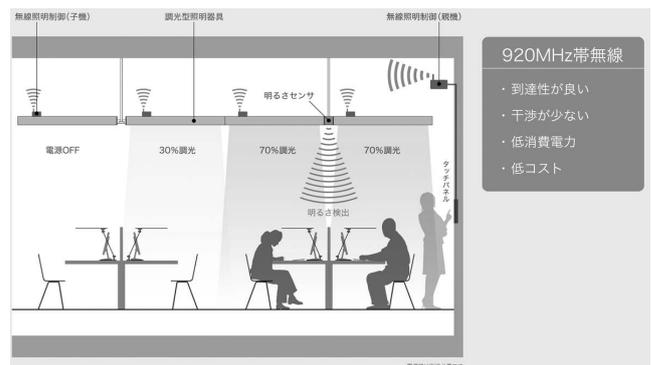


図-10 無線調光制御 (T-Green Wireless)

(3) 太陽光発電設備

建物の屋上だけでなく、壁面部分も有効に利用し、最大限の太陽光発電が得られる計画とした(図-11)。

(a) 単結晶型太陽電池パネル

屋上には発電量を重視し、単結晶型の太陽電池パネルを設置した。定格の発電効率が20%を超える高効率のパネルを採用し、設置角度を水平にすることで影を考慮しつつ発電量を最大化した。発電した電気は商用電力と系統連系して建物内で利用するだけでなく、敷地内他施設へ送電し利用することも可能である。

(b) 有機薄膜太陽電池外壁ユニット

都市部において建物単体を ZEB 化するためには、屋上での発電だけでは不十分で、壁面で発電する必要がある。そこで、将来の発電技術として有望な「有機

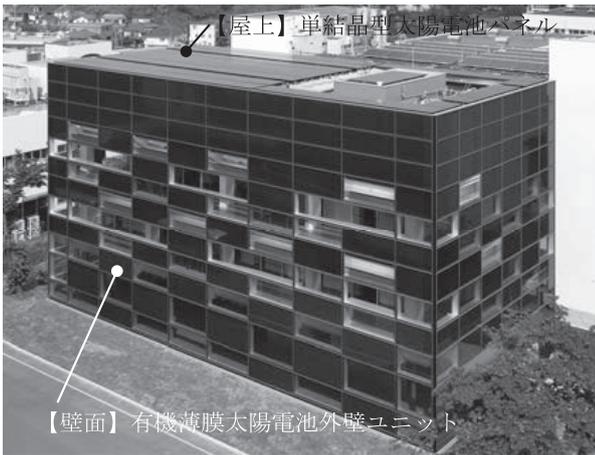


図-11 ZEB 実証棟外観と太陽電池の配置

薄膜太陽電池」に着目し、有機薄膜太陽電池を用いた発電する建物外壁ユニットを開発し、実証試験を兼ねて導入した。

特長は下記の3つである。

1つめは、有機材料のため色の選択・変更が可能である。現在、最も普及している結晶系太陽電池(以降、結晶系)の色は黒や濃紺であるが、有機薄膜太陽電池はその他の色に変えることが可能である。今回は緑を選択した。建築デザインの自由度が高まるというメリットがある。

2つめは、形・寸法の自由度が期待できる。結晶系パネルは形や寸法の制約がある。従って、任意の窓幅に合わせて結晶系パネルを設置しにくいという課題があった。一方、本パネルは形や寸法の制約が少なく、要求される建築モジュールに最大限近づけることが可能になり、設計の自由度が高まる。

3つめは、軽量で施工性が向上し、建材一体化が可能である。最も軽い結晶系パネルに比べても軽いので、室内側からの取付けと取り外しに柔軟に対応しやすくなった。一般的な太陽電池パネルを壁に取り付ける場合、屋外に足場組みする必要があったが、室内からの取付けであれば足場が不要になるので、施工コストの削減が期待できる。

日射量の低い曇天日でも発電を行えるなど、他にも優れた特徴を有する本ユニットについて、発電量をはじめとする各種データを計測しその特性を検証中である(図-12)。

(4) エネルギーマネジメント

エネルギーマネジメントには、データを一元的に管理し継続的にビル運用を支援することや省エネチューニングや省エネ改修提案を行う仕組みを提供すること、ユーザーにわかりやすくエネルギーの見える化を

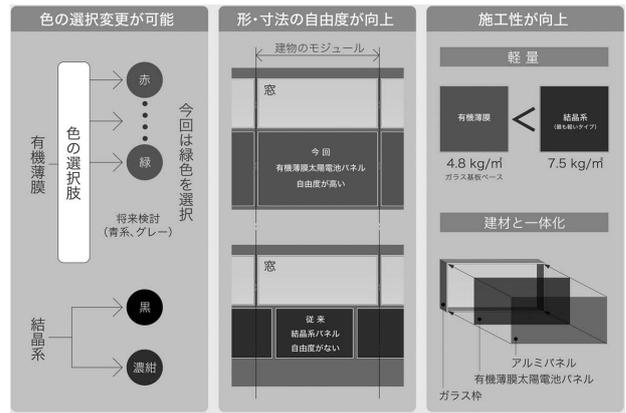


図-12 有機薄膜太陽電池外壁ユニットの特徴

することなどが求められる。そこで独自のエネルギーマネジメントシステム(EMS)としてT-Green BEMSの開発をすすめている。ZEB実証棟においても、エネルギー管理の中核システムとして、本システムを導入し、日々のエネルギーマネジメントに活用している。また、T-Green BEMSの見える化ツールとして、建物のエネルギー収支をわかりやすく表示し、ZEBの達成状況を表示する「ZEB navi」を開発し、ZEB化達成のプロセス改善に役立てている(図-13)。



図-13 ZEB navi

5. おわりに

本実証により得られたBEMSデータや環境実測結果は、今後詳細な分析・評価を行い、日本のZEB普及の一助となるような形で報告できればと考えている。

謝 辞

最後に、本プロジェクトでは企画・設計から施工・運用までの全般にわたって千葉大学の川瀬貴晴教授に、照明分野の評価は千葉工業大学の望月悦子教授にご指導・監修を頂きました。また、各メーカー様をはじめ、設計、施工にあたり、様々な方々のご協力を頂きました。この場を借りて、心より厚く御礼申し上げます。



[筆者紹介]

梶山 隆史 (かじやま たかふみ)
大成建設㈱
設計本部
室長



山口 亮 (やまぐち あきら)
大成建設㈱
設計本部
シニア・エンジニア



田中 拓也 (たなか たくや)
大成建設㈱
技術センター
主任

