

# 特集「品質をつくりこむ技術」

解説

品質をつくりこむ技術

Technologies to Build in Quality at the Production Process

小川晴果 Haruka Ogawa

久保田孝幸 Takayuki Kubota

## 1. はじめに

社会や経済，ならびに技術の変化に伴って，各分野の技術的標準もまた変化する。建物や構造物（以下，両者を指す場合には建造物と呼ぶ）においても，社会や顧客の事業への貢献，地球環境問題，高齢化社会，想定を超える自然災害などに対応するために，その品質に求められるものやレベルは変化し多様化している。

さらに，技術・サービスの革新，あるいは生活様式・活動様式の多様化・変革により，これまでには予想されなかった建造物の利用のしかたやニーズが生じている。また建設技術や資材の新規開発や多様化の進展，建設技能労働者の高齢化や減少などにより，建造物でも，従来では予想し得なかった品質問題が発生する可能性も増大している。

「品質」とは，ISO9000：2015「品質マネジメントシステム—基本及び用語」によれば，「対象（認識できるもの又は考えられるもの全て）に本来備わっている特性（特徴付けている性質）の集まりが，要求事項（明示されている，通常暗黙のうちに了解されている又は義務として要求されている，ニーズ又は期待）を満たす程度」と定義されている。その特性には，物質的，感覚的，機能的など種々あり，非常に広範な概念を含む語であり，一概に定義づけることは難しいが，おおよそ，提供される製品やサービスについて，買い手側である顧客（消費者）が求める特性に対する要求との合致度（顧客満足度）と考えられる。一般に，合致度が高ければ品質が高いと言われる。実際は，さまざまな要求項目が複雑に絡み合っており，直線的な関係ではないが，先の定義をイメージ的に表現すると，品質はFig.1のように捉えることができる。明示されたニーズを満たさなければ低い品質，期待を超えても過剰な品質として顧客の満足を得られない可能性がある。少なくとも明示されたニーズを満たし，さらに顧客の期待や潜在的なニーズを部分的にでも実現した場合に，顧客は高い品質と認識する。

一品生産品である建造物の建設において高い品質を実現するためには，一般に具備されるべき機能・性能や明示されたニーズだけでなく，潜在的な顧客のニーズや期待を捉え，合致させなければならない。そのためには，企画から設計，施工，運用，維持管理のすべての段階において注意や労力，工夫が必要であり，これらによって高い品質の建造物を実現することが「品質をつくりこむ」と言える。また，そこに建設技術は大きく貢献している。

今回の大林組技術研究所報（以下，所報）の特集では「品質をつくりこむ技術」と題し，大林組が保有する技術について，変化していく社会や顧客のニーズに対応して，建造物に高い品質をつくりこむという観点から論文と技術紹介を掲載している。この解説では，建設技術がどのように高い品質をつくりこむかを概観する。また，今回の論文・技術紹介以外も含めて大林組の保有技術について，技術分野で整理して簡単に紹介する。

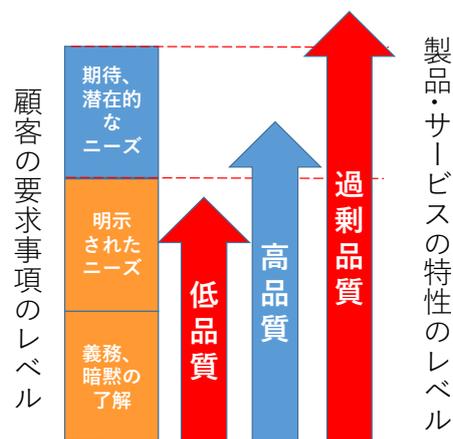


Fig.1 品質のイメージ  
Image of High Quality

## 2. 品質をつくりこむ建設技術の状況

本章では，建設技術が顧客ニーズに合致した建造物の高い品質を，どのようにつくりこんでいるのかについて，建造物を取りまく社会や顧客（所有者，利用者）の視点で考える。そこで，建造物に対して顧客が要求する品質の構成要素をTable 1に示す5つの顧客ニーズに分類して，各分類別に技術について概観する。なお，この分類は，品質関連での分類にならったもので，必ずしも広く一般的に定義されたものではない。これらの5つのカテゴリーは相互に関連する場合が多く，明確な線引きは出来ない。また個々の技術についても，いずれか1つのカテゴリーに絶対的に属するものではない。

い。

建設技術が品質をつくりこむ方法については、技術が建造物自体や提供するサービスの品質を高めるもの（設計・評価、材料・設備、構工法）と、技術が建造物の品質を確認・担保するもの（計測、管理）、がある。

Table 1 建設技術がつくりこむ品質の顧客ニーズからみた分類  
Classification of Customer's Required Quality and Contribution of Construction Technology

顧客ニーズの分類	つくりこむ技術の概要
安心・安全性の確保	地震や津波、大雨、台風などの自然災害や火災、テロなどの人的災害を防災・減災することで、災害に強く、強靱で、安心で安全な生活や環境を利用者へ提供する技術
快適・健康・利便性の確保	人間の生存にかかわる健康への配慮がなされ、快適で利便性に優れ、バリアフリーな生活や環境を提供する技術
経済性の確保	イニシャルとランニングを含めて、ライフサイクルでコストの低減に配慮した建造物を提供する技術（生産性の向上による短工期化は、早期に建造物を提供できることで利用者の経済性に貢献すると捉え、短工期化の技術をこの分類に含む）
耐久・耐用・保全性の確保	長期にわたり存在し、利用されるために、部材レベルの耐久性や、メンテナビリティ、フレキシビリティに配慮して、建造物の長寿命化を実現する技術
地域や地球環境への負荷の低減	地域の環境と調和して、「低炭素社会」「循環社会」「自然共生社会」の構築に貢献する技術

## 2.1 安心・安全性の確保

我が国は、近年だけでも 2011 年の東日本大震災による地震災害と津波、2014 年の各地における豪雪、2015 年に熊本や九州北部を襲った台風 15 号、2015 年 9 月に発生した北関東・東北の豪雨や、2017 年 7 月の九州北部豪雨による広域洪水被害など、大規模な自然災害により甚大な被害を受けている。さらに、近い将来の発生が危惧されている南海トラフ巨大地震や首都圏などの大都市直下地震、地球温暖化の影響による超大型台風（スーパー台風）、火山噴火などの自然災害により、建造物や地域は大きな危険にさらされている。

建設業は、古くから社会インフラを支え、人々の暮らしを守る企業として自然災害対策に力を注ぎ、安心・安全の確保に貢献している。安心・安全性を確保する技術としては、さまざまな災害の予測、災害の抑止・軽減などの対策、災害の把握・復旧の技術がある。

災害の予測技術では、「地震」、「津波」、「大雨」、「強風」などのシミュレーション技術により、災害による被害や対策技術の効果をより高度・詳細に予測してきた。災害の抑止・軽減などの対策技術では、例えば「地震」の対策技術として、各種構造物の耐震・制振・免震技術や地盤の液状化対策技術による被害軽減があり、その低コスト化により技術が普及展開されてきた。災害の把握・復旧技術では、「地震」や「土砂崩れ」などの災害発生後に建造物の被災状況や度合いをモニタリングやセンシングにより即座に把握し、二次被害を回避するための技術や、「津波」により塩害を受けた農地を、雨水を活用して簡易に除塩する技術などがある。

一方で、安心・安全の確保の考え方やレベルは災害とともに変化しており、所報でも、数度にわたり特集してきた。2007 年の新潟県中越沖地震を契機に BCP (Business Continuity Plan：事業継続計画)の観点から、民間企業はさまざまなリスクに対して事業を継続、または早期復旧させるべく、リスクを予測し事前対策や行動計画を構築することが求められ始めた。2007 年に発刊された所報 No.71 では「自然災害にそなえる」を特集し、企業の BCP を評価する技術などを紹介した<sup>1)</sup>。

これ以降も自然災害による被害は継続的に発生したが、災害に対する根本的な考え方を覆されたのが 2011 年の東日本大震災である。1995 年の阪神・淡路大震災以降から高まった災害から完全に防御する「防災」意識から、災害を可能な限り減らす「減災」意識へと思考の変化が決定的なものとなった。事前対策を行うためには、事前にリスクを完全に認知する必要がある「防災」に対して、災害の事前予測には限界があり、経済合理性の観点から、それを超える「想定外」の事象による被害を許容したうえで被害の最小化を目指す「減災」という、より現実的な考え方が一般社会に浸透し始めた<sup>2)</sup>。

東日本大震災では基幹的な道路やインフラが大きな被害を受け、人々の生活のみならず、経済活動へ大きな影響を及ぼした。このため、国は防災・減災に資する「国土強靱化」を掲げ、自然災害のみならずあらゆる災害を減らし、つよくしなやかな社会を築くことを謳っている<sup>3)</sup>。これを受けて、2015 年の所報 No.79 特集「防災・減災」では、「地震・津波」、「風害（竜巻、台風）」、「水害」、「土砂災害」、「火災」、「雪害」、「雷害」、「火山」の災害の影響を予測・評価するシミュレーション技術や、被害低減技術及び早期復旧技術として、天井材の落下防止技術、壁式橋脚の補強技術、鉄道や道路の盛土の耐震補強対策技術などを取り上げている<sup>4)</sup>。

## 2.2 快適・健康・利便性の確保

Fig. 2 は、建物の利用者・居住者・所有者の健康や利便性・快適性を害するおそれのある主な外的要因と、建物が提供するサービスとして、それらの制御手段を表している<sup>5)</sup>。例えば、「温熱」には空調設備と建物側の断熱・気密・遮熱・通

風性などが暑さ・寒さを制御し、「空気」には空調換気設備と建物側の気密・通風・汚染放散・吸着脱着などが空気汚染状況を制御するというイメージを示している。つまり建物における快適・健康・利便性を確保する技術とは、主に環境要素の制御技術であった。しかし、設計や運用の基準自体が時代とともに変化するとともに、取り扱う対象がバリアフリーや生活支援などに広がり、取り扱う範囲も建物から都市へと拡大してきた。

地球温暖化問題が1980年代末より認識されるようになってから、居住環境では省エネ化と快適性への対応に力点が置かれてきた。国土交通省の知的生産性研究会（2007～2012年度）では、居住空間の知的生産性の評価方法や設計指針（ガイドライン）の策定を行った。さらに、2013年度からはバリアフリーや健康といった視点を取り入れて「スマートウェルネス住宅・シティ」の実現に取り組んでいる。

省エネと言えば、設定温度を緩和するなど、快適性を犠牲にするイメージが根強いが、断熱、遮熱、気密の向上といった住宅性能の改善が大切であり、その優れた外皮性能は居住者の快適性だけでなく、脳卒中や心疾患といった病気を抑え、健康増進に寄与すると言われている。

最近の建物の省エネ化技術では、スマートメーターや BEMS（Building Energy Management System）などにおいて、ICT（Information Communication Technology）が活用されている。今後は、IoT（Internet of Things）や AI（Artificial Intelligence）技術を駆使した最適制御技術の高度化が期待される。

大林組は、IoT 技術を用いて建物内外の多様な情報や建物利用者一人ひとりの快適さに関する情報をクラウドシステムに集約し、AI 技術を活用することで、建物利用者の快適性・利便性を高めつつ、最適な建物管理を実現するビルマネジメントシステムの開発を進めている。このシステムではウェルネスの観点から建物利用者に対して情報発信を行い、健康増進活動などを促すとともに、その行動も加味したうえで最適な管理を行う。快適、健康、安全・安心、利便をキーワードとする、建物利用者にとっても、管理者にとっても付加価値の高いサービスを提供するシステムである<sup>9)</sup>。Fig. 3 にシステムの概念図を示す。

建物利用者の健康を向上させる空間の評価に関して、米国において2014年よりウェルネスに配慮した建物・室内環境評価基準「WELL Building Standard (WELL 認証)」という新しい取り組みが開始されている。我が国でも CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency: 建築環境総合性能評価システム) に健康チェックリストが2011年に公開され、2014年には労働安全衛生法の一部が改正され執務者のストレスチェック制度が創設された。

一方、都市が人間の健康な生活を営む空間を提供することは基本的な条件であり概ね達成されている。しかし、都市空間や技術が高度化・複雑化するに伴い、思いもよらぬ問題が発生することもあり、注意が必要である。人の健康に配慮した環境づくりの観点から、例えば防音、防振、ビル風対策、ヒートアイランド対策などの技術や、汚染土壌や水域に対する緑や土の自然作用や化学作用を活かした浄化技術などが実現している。また、弱者対応、健康福祉、バリアフリーの考え方や技術も、健康で快適な都市づくりにおいて重要である。

### 2.3 経済性の確保

民需の拡大や2020年の東京オリンピック・パラリンピックに向けて建設業の仕事量は増えてきているが、技能者・技術者不足により、コストや工期・工程へも影響が現れることが危惧される。早急に業界として、技能者・技術者の確保・育成に取り組むとともに、技術者不足を補うために現場施工における生産性向上等に取り組む必要がある。建設現場の生産性向上は、工期の短縮となり、顧客の経済性の確保へとつながる。

建設業における生産性向上等の経済性を確保する技術のカギとなるのが、進化が著しいセンサやIoT、ロボット、AIな

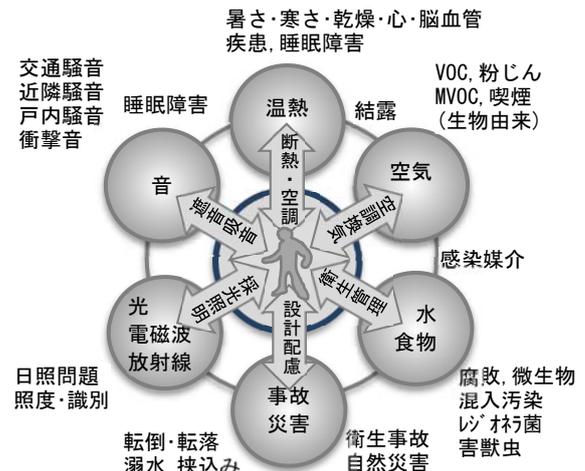


Fig. 2 環境要素と健康影響要因  
(注：文献<sup>5)</sup>の図を編集・加筆)

Elements of Environment and Healthy Effect Factor

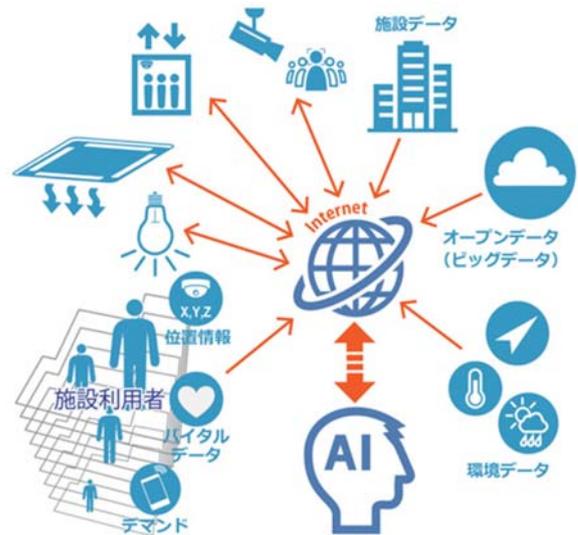


Fig. 3 システムの概念図<sup>6)</sup>  
Concept of the System

どを活用した技術、3次元の設計モデルである BIM/CIM (Building Information Modeling / Construction Information Modeling | Managements) を活用した技術とプレキャスト化・ユニット化などの効率化工法である。

建設産業は、発注者の注文を受けて、一つひとつ個性のある建造物を生産する個別受注生産型産業のため、同一製品を大量生産する製造業と比較して、機械化や自動化のメリットを受けにくい。また、細分化された様々な業務に対応して、多くの中小専門工事業者が存在する重層下請構造なども、生産性を向上させにくい一因として挙げることができる。しかし、最近のセンサ、IoT、ロボット、AIなどの技術の劇的な進展は、それらを活用した自動化・自律化技術、省力化・省人化施工技術、遠隔操作技術なども進化させており、建設産業は一層の生産性向上を図る絶好の機会を迎えている。

BIM/CIM は、単なる3次元の設計モデルではなく、BIM/CIM を用いて建設現場と工場、そして物流をネットワーク化することにより、生産性の向上に大きく寄与するばかりでなく、設計から施工、維持管理までの建造物に係るライフサイクル全般にわたるデータ共有が可能となる。建設時はもちろんのこと、改修・リニューアル時における施工面での生産性向上に加え、適切な予防保全が実施されることにより、その効果は建造物の所有者や利用者にも享受されるものとなる。

建設工事に係る全工数のうち約半数を現場の接合作業が占めていることから、工場でのプレキャスト化・ユニット化・モジュール化や現場での自動化施工、これに適した高効率な接合技術など、新たな効率化工法が開発されれば、現場の負担が低減し、生産性向上に大きく寄与することとなる。

これらを取り入れた取組みの一つが、国土交通省が進める「i-Construction」(アイ・コンストラクション)である。2016年を建設現場の生産性革命元年と位置づけ、建設現場の生産性向上に向けた新しい取組みとして「ICT技術の全面的な活用」、「規格の標準化」、「施工時期の平準化」などの施策を建設現場に導入することによって、建設現場のプロセス全体の最適化を進めている。i-Constructionとは、調査・測量から設計、施工、検査、維持管理・更新までのすべての建設生産プロセスで抜本的に生産性を向上させる取組みである。施策の概念を、Fig. 4に示す<sup>7)</sup>。

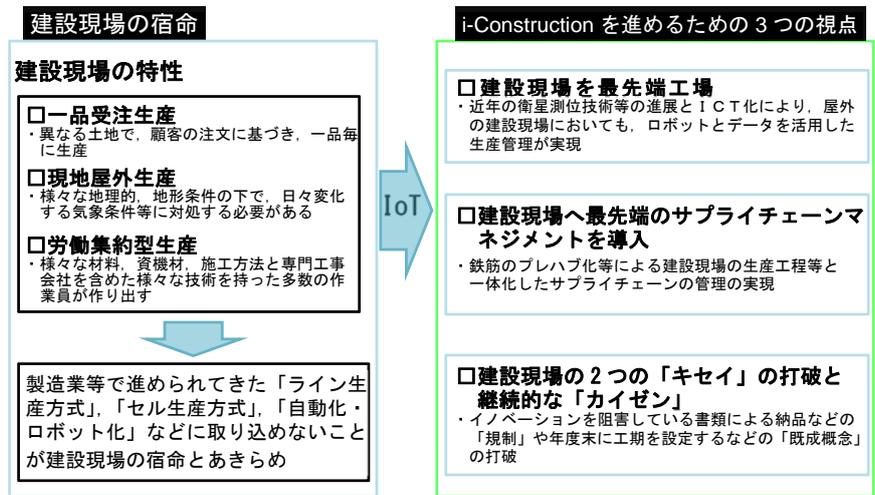


Fig. 4 i-Construction の概念  
(注：文献<sup>7)</sup>の図を編集・加筆)  
Concept of “i-Construction”

#### 2.4 耐久・耐用・保全性の確保

建造物の建替えは大量の建設廃棄物を発生する。さらに、施工時・解体時のエネルギー消費や温室効果ガスの発生、建設資材に用いられている貴重な資源の消費など、地球環境問題に直結する。このため、「スクラップ&ビルド」のフロー型社会から、省資源なストック型社会への脱却が求められており、建造物の長寿命化に対して高い関心が寄せられている。「いいものをつくって、きちんと手入れして、長く大切に使う」ことが、建造物の長寿命化の基本である。建造物において「いいものをつくる」とは、例えば住宅では、強度や耐久性とともに、家族構成や利用目的の変化などに対応できる改修可能性や設備更新などの耐用性、維持管理の容易性に優れた保全性のあるものを建築することを指す。さらに、各構造部位や各種設備などの劣化診断を適宜行いながら、必要に応じて修繕等を行い、建物の性能を回復する「きちんと手入れする」ことで、できるだけ長持ちさせることができる<sup>8)</sup> (Fig. 5)。

つまり、耐久性、耐用性、保全性を確保する技術が、建造物を長寿命化する。また、これらの点を、計画から施工、運用、維持管理まで全体をとおして考える必要がある。

建造物の耐久性の確保では、使用する建設材料 (コンクリ

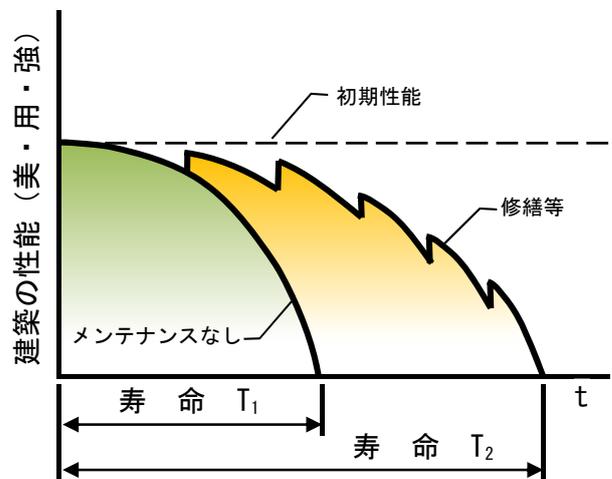


Fig. 5 建築の性能とメンテナンスの効果  
(注：文献<sup>8)</sup>の図を編集・加筆)  
Performance of Construction and Effect of Maintenance

ートや木質建材など)の耐久性向上が挙げられる。例えば、鉄筋コンクリート造の建造物では、コンクリートが空気中の二酸化炭素などと反応してアルカリ性から中性に変化(中性化)すると、内部の鉄筋の錆び(酸化)が進行し、劣化の原因になる。そのため、コンクリートの材料面や施工面からの高耐久化技術や鉄筋の防蝕技術などの開発が行われてきた。

建物の耐用性の確保では、世代を超えて長く住むことができる住宅形態の一つとして、「スケルトン・インフィル住宅(SI住宅)」が挙げられる。SI住宅とは、長期間にわたる耐久性を持つ建物の骨格(スケルトン)部分と、住まい方の変化に応じて自由に更改ができる間取りや内装(インフィル)部分とに分離した住宅のことである(Fig. 6)。これまでの多くの集合住宅では、各住戸内に共用設備(配管・配線)が入り込むなど、専用と共用の部分が物理的・空間的に絡み合っていて、耐用年数の異なる内装材や設備の更新に対する配慮がされていない。そのため、建物全体のメンテナンスが効率的でなく、各住戸のレイアウト変更なども困難であった。SI住宅では、配管などの修理・交換が容易にできるように、二重床や二重天井などの空間を確保するとともに、老朽化や住まい方の変化にあわせて、スケルトンを変えずにインフィルのみを改修・修繕できる。耐用性とともにも保全性も高いため、結果として建物全体の長寿命化を可能にする。

建造物の保全性の確保では、できるだけ長く建造物の性能を維持するために、運用段階における的確な劣化診断や履歴情報の管理・共有などが重要となる。劣化診断に活用できる技術として、経済産業省では、鋼構造物及びコンクリート構造物に対するセンシング技術(対象物に対する破壊・接触をせずに内部の状態を検出する技術)を開発した<sup>10)</sup>。また、独立行政法人 科学技術振興機構は、各種の社会インフラに対して、経年劣化の計測、診断によって余寿命を評価し、保守・補強・改修計画に反映させるとともに、損傷・破壊の兆候を早期に検知する取組みを行っている<sup>11)</sup>。さらに、国土交通省でも、住宅を多世代に渡り超長期に活用するために、既存建物の劣化診断技術の評価及び耐久性性能の評価手法の開発などに取り組んでいる<sup>12)</sup>。

しかし、2012年の笹子トンネルの天井板崩落事故などが発生し、建設後50~60年経過した社会インフラの老朽化が社会問題化するに至っている。このような背景を受け、国土交通省では、2013年を「社会資本メンテナンス元年」と位置付け、3か年にわたる工程表として「社会資本の維持管理・更新に関し当面講ずべき措置」をとりまとめた。これに基づいて、国土交通省では、現場の維持管理の効率化を重視して、①非破壊検査などの点検・診断技術の開発・導入、②損傷状態のモニタリングシステムの開発、③維持管理情報を統一的に扱うプラットフォームの構築、の3つを柱とした取組みを進めている。

## 2.5 地域や地球環境への負荷の低減

世界的に地球温暖化への対応が求められ、資源の枯渇、稀少生物の保護などの問題が顕在化し、環境に関する法規制が年々強化されている。このような中で建設業は「低炭素社会」、「循環社会」、「自然共生社会」の統合的な実現に向け、建造物のライフサイクルを通じて環境関連法規制の遵守、環境負荷の低減、環境の保全、社会貢献活動などを今以上に実践し、持続可能な社会の構築に貢献する必要がある。

建造物における地域や地球環境への負荷を低減する技術についても、上記の低炭素、資源循環、自然共生に寄与する技術である。

低炭素への寄与について、一般社団法人 日本建築学会は、地球環境・建築憲章の公表(2000年)を踏まえて、地球温暖化対策の長期的課題の中で建築界として果たすべき役割を共有するため、提言「建築関連分野の地球温暖化対策ビジョン2050~建築のカーボン・ニュートラル化を目指して~(2009年12月)」を、建築関連17団体とともにまとめた<sup>13)</sup>。この提言では、地球温暖化による様々なリスクを未然に防ぐために、新築、既築を問わず、二酸化炭素を極力排出しない建物の「カーボン・ニュートラル化(以下、CN化)」に取り組み、今後10~20年の間にまず新築のCN化を推進するとともに、2050年までに、既存ストックも含めた建築分野全体としてCN化を実現することを目標として、具体的な方策の概要を示している。即ち、①エネルギー消費が最小となるように設計、運用、②自ら再生可能エネルギーによって必要なエネルギーを賄えるように設計、③長寿命化できるように設計、運用、④二酸化炭素排出の少ないエコマテリアル利用

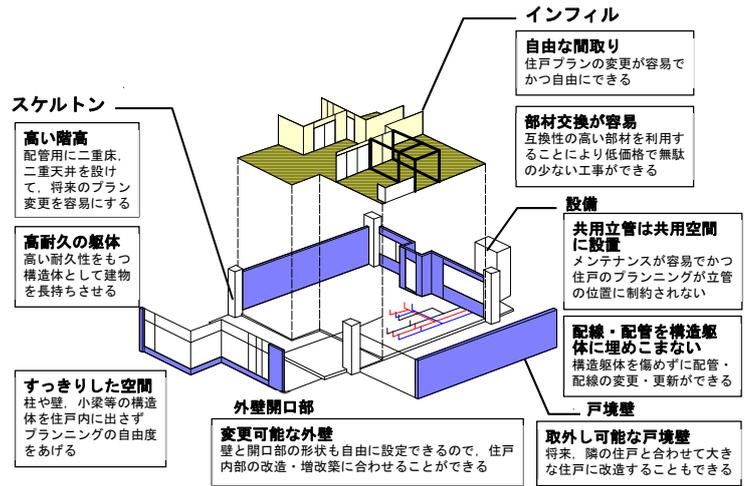


Fig. 6 SI住宅のイメージ  
(注：文献<sup>9)</sup>の図を編集・加筆)  
Image of SI Housing

を推進、などである。日本建築学会では、前述の提言を実現するために、取り組むべき行動計画「地球温暖化対策アクションプラン 2050—カーボン・ニュートラル化への道筋—」を2015年4月に発表した<sup>14)</sup>。大林組では2010年に建設した技術研究所本館「テクノステーション」が省エネ技術等によりCN化を達成するとともに、2014年度には再生可能エネルギーの導入によりZEB（Zero Energy Building）を達成した。

建設業は、国内全産業の約4割の資源を利用し、約2割の廃棄物を排出している。これらを削減して、資源循環に寄与するために、資源の有効利用、建設廃棄物3R（リデュース、リユース、リサイクル）を長年にわたり推進している。その結果、最終処分量が大幅に減少するなど、一定の成果を上げている。一方、廃棄物の不法投棄は、排出事業者責任の強化や監視体制の強化などにより、投棄量・投棄件数とも減少傾向にはあるものの、依然としてなくなる状況にある。国土交通省の実態調査結果に基づき策定された「建設リサイクル推進計画2014」において、現在の建設リサイクル水準を維持するための主要課題とその対応が示されている<sup>15)</sup>。天然資源が極めて少ない我が国が持続可能な発展を続けていくためには、3Rの取組みを充実させ、廃棄物などの循環資源を有効に利用するリサイクル建設資材や、産業副産物を活用する技術の開発が引き続き必要である。

2010年10月に愛知県名古屋市中で開催された生物多様性条約第10回締約国会議（COP10）では、生物多様性に関する世界目標となる愛知目標が採択され、各国はその達成に向けた国別目標を設定し、生物多様性を国家戦略に反映することが求められた。政府はこれを受けて、基本的な計画である「生物多様性国家戦略2012—2020」を2012年9月に閣議決定した<sup>16)</sup>。このような国の動きを受けて、建設分野における自然共生への寄与では、街づくりの中に生物多様性の考えを取り入れようとする動きが全国の自治体で広がり、2012年7月時点で22の自治体が「生物多様性地域戦略」を策定し、鳥や昆虫などと共存できる環境づくりに向けた活動を開始している。また、2005年には緑地に関するSEGES（Social and Environmental Green Evaluation System）、2014年には生態系配慮に関するABINC（Association for Business Innovation in Harmony with Nature and Community）などの評価・認証システムが開始された。

建設事業においても様々な動植物の保全措置が考慮されている。実際、国内の公共事業等において「生態系への配慮に係る要求事項」などとして技術提案を求める事業が数多くある。オオタカなどの鳥類を対象としたものが比較的多いが、その他、魚類、昆虫、植物など配慮の対象は多岐に及んでいる。都市再開発や土地利用・改変などによる周辺を含む生態系への影響低減や影響に対する補償・代替する技術開発・施策により、自然共生に貢献している。

また大林組では、今後の事業活動でめざす方向性について、持続可能な社会づくりへの貢献という観点で、中長期環境ビジョン「Obayashi Green Vision 2050」をまとめており、「低炭素社会」「循環社会」「自然共生社会」に「安全・安心な社会」を加えた3+1社会から成る「2050年のあるべき社会像」を描き、持続可能な社会の実現をめざしている。

### 3. 大林組の保有技術

本章では、大林組が保有する「品質をつくりこむ技術」を紹介する。ここでは、建設技術の分類として、次の8分野（コンクリート、仕上げ、施工、構造、地盤・基礎、土壌、緑化・自然再生、居住環境）に分けて、2章で紹介した顧客ニーズ分類の観点から、その要求が生じた出来事や時代背景とともに述べることとする。

#### 3.1 コンクリート分野

コンクリート分野での品質をつくりこむ技術として、耐久性を高めることで顧客に安心・安全を提供する技術と、環境負荷を低減する技術を紹介する。主な技術の概要をTable 2に示す。

コンクリートは主要な建設材料であり、人々に安心・安全を提供する上で欠かせない材料である。コンクリート構造物が、長期的な耐久性を確保するには、①材料自体の耐久性を高める、②施工時の未充填やひび割れの発生を防止する、ことが必要になる。

1960年代の高度成長期以降に建設された大量のコンクリート構造物が更新の時期を迎えており、今後はこれらのコンクリート構造物を効率よく改修・更新していく必要がある。新設構造物においてもライフサイクルコストの観点から優れた耐久性が求められる。このため、長期的な耐久性を有するコンクリート材料が必要である。場所打ちが可能な超高強度繊維補強コンクリート（UFC：Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete）「スリムクリート®」は、圧縮強度180N/mm<sup>2</sup>以上、引張強度8.8N/mm<sup>2</sup>以上で、100年以上の耐久性を有している。特に劣化の生じやすい沿岸部や長期的な耐久性が求められる主要な土木構造物を中心に適用されている（Fig. 7）。今回の特集論文ではスリムクリートの構造性能に関する研究成果を紹介している。

土木構造物では、1995年の阪神淡路大震災を契機として、鉄筋を高密度に配置した部材が増加している。また、建物では更なる高層化に伴いCFT（Concrete Filled Steel Tube）構造の柱が増加している。これらの部材に均質にコンクリートを充填させるには、従来のコンクリートに比べて高い流動性が必要となる。対応する技術として、補助的な締め固めで充填できる中流動コンクリート「スムーズクリート®」や、高性能な流動化コンクリート「フローアップクリート®」がある。

今回、特集論文で紹介するタイマー制御により散水パターンを自動制御できる養生システム「自動散水養生システム」や、設置が容易で小さい断面欠損率で温度ひび割れを特定の箇所に集中・誘発できる「マスコンクリート用ひび割れ誘発目地工法」は、主に建築分野での高強度コンクリートやマスコンクリートにおけるひび割れ対策技術である。

直近の全国の生コン出荷量は約 0.9 億 m<sup>3</sup> でピーク時（1990 年度、約 1.9 億 m<sup>3</sup>）に対し半減している。これに伴い全国の生コン工場数も年々減少しており、2014 年度の工場数は 3,406 工場でピーク時の約 70%程度となっている。特に地方では生コンの運搬距離・時間が長くなり、運搬に伴うスランブロスやコールドジョイントの発生が問題となっている。「フレッシュキープ®工法」は、練上がり時の流動性を最大 3 時間保持できるコンクリートである。

一方、昨今では地球温暖化が社会問題となっている。京都議定書において我が国は 2008～2012 年の 5 年間における温室効果ガスの排出量を 1990 年度比で 6%削減する目標を掲げ、建設業界を問わず二酸化炭素の排出量の低減にむけて積極的な取組みがなされてきた。コンクリートは原料のセメント製造時に多量の二酸化炭素が排出される。「クリーンクリート®」は、普通ポルトランドセメントの使用量を極限まで減らした低炭素型のコンクリートである（Fig. 8）。また、地産地消や資源の再利用の観点から、練混ぜ水に海水を用い、かつ骨材に海砂を用いる「海水練り・海砂コンクリート」や、建物の解体時に発生するコンクリート塊や施工時に発生する残コン・戻りコンを再生骨材として再利用する「高品質再生骨材コンクリート」がある。



Fig. 7 スリムクリート（橋脚基礎の洗掘防止）  
Slim-Crete



Fig. 8 クリーンクリート（外壁への適用例）  
Clean-Crete

Table 2 コンクリート関連技術の一覧  
Technologies on Concrete Engineering

技術の名称	技術・工法の概要	顧客ニーズ分類*				
		安全	快適	経済	耐久	環境
スリムクリート	圧縮強度 180N/mm <sup>2</sup> 以上、引張強度 8.8N/mm <sup>2</sup> 以上の常温硬化型の超高強度繊維補強コンクリート（UFC）。場所打ちが可能で 100 年の耐久性を有する。	◎			◎	
スムースクリート	補助的な締固めにより充填できる流動性の高いコンクリート（中流動コンクリート）。山岳トンネルの覆工や、高密度配筋部材での適用事例が多い。	○			◎	
フローアップクリート	従来の普通コンクリートに特殊な流動化剤を使用してスランブを 10cm 以上増加する高性能な流動化コンクリート。配合変更が難しい建築工事（CFT 柱等）や長距離圧送での適用事例が多い。	○			◎	
自動散水養生システム	タイマー制御により散水パターンを自動制御できる養生システム。高強度な床スラブ等の材齢初期の表面ひび割れの抑制に効果的。				◎	
マスコンクリート用ひび割れ誘発目地工法	設置が容易で、従来に比べ小さい断面欠損率で温度ひび割れを誘発できる目地工法。断面厚さの厚い壁部材（地下擁壁等）で効果的。				◎	
フレッシュキープ工法	流動性を最大 3 時間保持できるコンクリート。コールドジョイントの発生を防止。長距離・長時間運搬や暑中時の急激なスランブロス対策として効果的。				◎	
海水練り・海砂コンクリート	天然の海水及び未洗浄の海砂を使用した高耐久性コンクリート。圧縮強度、遮水性の向上により、長寿命な建造物の建設が可能。真水が入手できない離島、災害時などでは、二酸化炭素排出量、建設コストの削減が可能。				○	◎
クリーンクリート	結合材に対するセメントの混合割合を 30%以下とし、70%以上を高炉スラグ微粉末などの副産物を使用した低炭素型のコンクリート。一般的なコンクリートに比べて、60～80%の二酸化炭素排出量を低減する。				○	◎
高品質再生骨材コンクリート	大林組一再生資源化施設一生コン工場のネットワークを構築し、コンクリート塊、残コン・戻りコンの排出から再生骨材コンクリートの製造・打設に至るまで一貫した品質管理を行う。					◎

\* 安全：安心・安全性の確保，快適：快適・健康・利便性の確保，経済：経済性の確保，耐久：耐久・耐用・保全性の確保，環境：地域や地球環境への負荷の低減，◎○：貢献の度合の強さを示す

### 3.2 仕上げ分野

仕上げ分野では、品質をつくりこむべく、法規制や社会問題の移変わりに、安心・安全や環境に配慮しつつ、耐久性向上やコスト削減に寄与する技術を開発している。主な技術の概要を Table 3 に示す。

1997年京都議定書の採択を経て、2001年のフロン回収・破壊法の制定とともに、地球温暖化の原因物質となるフロンが規制されることとなった。大林組では、同年、ノンフロンの不燃材料として、大臣認定を取得した現場吹付け型断熱材「セラミライトエコ®G」を開発した。原料に発泡スチロールの廃材を利用したリサイクル建材で、2004年には第一回エコプロダクツ大賞を受賞した。

ヒートアイランド現象対策では、2005年に東京都でクールルーフ推進協議会が結成され、各自治体や国が屋上緑化や遮熱塗装を対象とした助成金制度を開始した。2008年には環境省によるヒートアイランド対策技術分野（建築外皮による空調負荷低減等技術）において環境技術実証が始まり、夏場の表面温度上昇の抑制を目的として、屋根に高日射反射率塗料が採用されるようになった。既存の高日射反射率塗料は耐久性が低く、汚れて効果が消失することが問題となった。大林組は、その課題を解決した「サーマルシェード®工法」を2008年に開発した。適用条件により省エネにも貢献するとともに、一般に反射顔料として多用されていた重金属元素のクロムを含まない点でも環境に配慮している。

室内空気質改善では、シックハウス症候群対策に対応した2003年の建築基準法の改正など、人々の健康安全を目的とした法的な規制とともに、臭いに関する関心も高まってきた。そこで、タイルカーペット仕上げの会議室などで臭気の原因となる2-エチルヘキサノールの発生を抑制した「ヘキサガード®工法」を2014年に開発した。

2000年初頭のITバブルに伴って半導体産業が急速に発展した。特殊清浄空間である半導体製造工場のクリーンルーム建設のため、有害となる粒子やガスを放散・発生しないシーリング材や塗床材及び塗装材などの各種仕上げ材料を適用する「クリーンルーム汚染制御技術」を確立した。

外壁タイル張り仕上げの剥落事故の影響から、2008年4月に建築基準法施行規則が改正され、建築基準法第12条に基づく特殊建築物の定

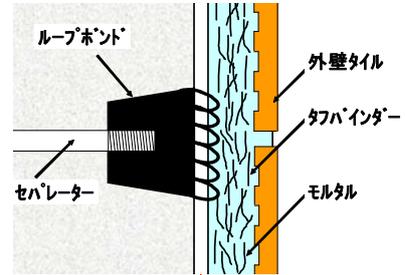


Fig. 9 ループボンド・タフバインダー工法  
Tiling Method with Loopbond and Tough-Binder

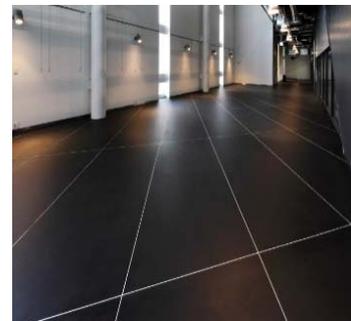


Fig. 10 リニアートフロア  
Lineart Floor

Table 3 仕上げ関連技術の一覧  
Technologies on Interior and Exterior Finishing

技術の名称	技術・工法の概要	顧客ニーズ分類*				
		安全	快適	経済	耐久	環境
セラミライトエコ G	不燃材料として大臣認定を取得した現場吹付け型断熱材。ノンフロンで、原料に発泡スチロールの廃材を利用した環境にやさしいリサイクル建材。	◎	○		○	○
サーマルシェード工法	太陽光に由来する赤外線を選択的に反射するクロムフリーな次世代型省エネ塗装工法。防汚性に優れるため、効果が継続的に発揮される。	○		○	○	◎
ヘキサガード工法	含水率の高いセメント系下地にタイルカーペットを施工する際に発生する臭いの元の2-エチルヘキサノールの発生をプライマー塗布により抑制した工法。	○	◎			
浸透一体型塗り床工法	コンクリート床に浸透するプライマーを用いることにより、塗床材を基材コンクリートと一体化し、浮きやふくれを抑制する工法。			◎		○
クリーンルーム汚染制御技術	建築仕上げ材料から発生するアンモニアやVOC（揮発性有機化合物）などのアウトガスを極力抑え、清浄度の高いクリーンルームを製造する技術。				◎	○
ループボンド・タフバインダー工法	コーン状係止部材と短繊維混入モルタルを用いて外壁タイルの剥落を防止する工法。大林組の標準工法。	○		◎	○	
リニアートパネル・リニアートフロア	タイルや石を使わず、塗料や塗床などでタイル調・石調を模擬した外壁や床を施工するデザイン仕上げ工法。	○		◎		
エココート工法	微細なひび割れや塗膜の膨れが発生しやすい軽量プレキャストコンクリート板に対して、環境配慮型でメタル調の平滑な意匠性の高い塗装仕上げを可能とする工法。	○		○	◎	○
ウッドエフロバリア	難燃剤を浸透させた不燃木材の白華を抑制し、防火性能と美観を長期にわたり維持する内装木材用保護塗料。			○	◎	
ミクストグラウト	乾湿状態を問わず、コンクリートひび割れ部からの漏水を遮断する2液反応硬化型ウレタン樹脂注入止水工法。			○	◎	

\* 安全：安心・安全性の確保，快適：快適・健康・利便性の確保，経済：経済性の確保，耐久：耐久・耐用・保全性の確保，環境：地域や地球環境への負荷の低減，◎○：貢献の度合の強さを示す

期報告制度において、湿式工法で施工されたタイル張り外壁は、建築後 10 年毎に異常の有無を全面打診等により確認することが義務化された。加えて、意匠上、大型のタイルが好まれるようになってきた当時の背景から、剥離・剥落の危険度の低い、安全な外壁仕上げ工法が求められるようになった。大林組では、コーン状係止部材と短繊維混入モルタルを用いた「ループボンド・タフバインダー工法<sup>®</sup>」が外壁タイル剥落防止の標準工法となっている (Fig. 9)。さらに施工性、剥離・剥落安全性向上の観点から、タイルを後張りするかわりに、セメント系材料の素地面に目地を切り、塗料や塗床により、デザイン性のある石調やタイル調に模擬した外壁「リニアートパネル<sup>®</sup>」を 2012 年に、床「リニアートフロア<sup>®</sup>」(Fig. 10) を 2014 年にそれぞれ開発した。

2000 年代に入ると、バブル崩壊により不良債権化した土地の流動化を図るために、建物高層化を促す各種規制緩和が実施され超高層建物が増加した。こうした背景から、超高層建物へのコストダウン要求に対応するため、メタルカーテンウォールを軽量コンクリート製プレキャストカーテンウォールの鏡面塗装仕上げで模擬する外壁の採用が増加した。そこで、軽量プレキャストコンクリート板に塗装しても膨れやひび割れの発生を防ぎ、かつ鏡面仕上げを可能としたメタル調高耐候性塗装仕上げ技術「エココート工法<sup>®</sup>」を 2014 年に開発した。環境に配慮した水系の塗装仕様にも対応できる。エココート工法やリニアートパネル、リニアートフロアは、施工方法の工夫や工程削減により建設コスト削減にも寄与する工法である。

特集論文または特集技術紹介で紹介した技術のうち、「ウッドエフロバリア<sup>®</sup>」は、2010 年公共建築物等木材利用促進法の施行をふまえ、2017 年に開発した不燃木材用の白華抑制塗料である。「ミクストグラウト<sup>®</sup>」は、近年の大規模地下構造物の新設工事の増加や、都市部の再開発工事などにおいて地下構造物を再利用するニーズが高まったことをふまえ、地下構造物の漏水を防止する止水工法として 2015 年に開発した。

### 3.3 施工分野

施工分野で品質をつくりこむ技術として、自動化・ロボット化技術、情報化技術などを利用して、生産性向上、工期短縮を図り経済性を確保する技術を開発している。主な技術の概要を Table 4 に示す。

2005 年の構造計算書偽造問題の発生後、建築工事における管理・検査が強化されるようになり、鉄筋工事においては、全箇所・全数検査が必須となった。大林組は、配筋写真を含む膨大な検査データを一括管理する「配筋検査支援システム」を 2008 年に、撮影した配筋写真から画像処理によって鉄筋本数、径、ピッチを自動計測し、人為的な検査ミス

Table 4 施工関連技術の一覧  
Technologies on Construction

技術の名称	技術・工法の概要	顧客ニーズ分類*				
		安全	快適	経済	耐久	環境
3次元計測システム	鉄骨や PCa 部材の建入精度や計測結果をパソコン上で 3 次元表示し、管理する技術。	○		◎		
配筋検査支援システム	配筋写真を含む膨大な検査データを常に確認できるよう一括管理し、確実な検査記録を実現する技術。	○		◎		
配筋自動判定システム	配筋写真を撮影するだけで、画像処理技術を応用して、鉄筋本数、径、ピッチを自動計測し、配筋状態を自動で判定する技術。	○		◎		
ウォールチェッカー	ロボットにより、ビル外壁タイルの浮きやひび割れを自動で、高効率に打診検査・診断する技術。	○		◎		
自動搬送システム (低床式 AGV)	潜込み式の AGV 台車が建設現場で使用する資機材を自動で積み込み、目的位置に搬送する技術。	○		◎		
現場ロボット溶接工法	下向き、横向き、立向き、上向きのすべての溶接姿勢に対応するロボットが自動溶接することで、現場溶接における作業の省力化と品質の安定化を図った技術。	◎		○	○	
次世代無人化施工システム	最新のデジタル無線システムを活用し、3D 画像と体感型操縦席を組み合わせ、通常の施工のほか、災害復旧工事などで建設機械を遠隔操作する技術。	○		◎		
リニューアル工事支援システム	表層コンクリートを低騒音、低振動、無粉じん、はつる先端拡張型はつり装置「ミリドカ」や粉じんを出さずに躯体を目荒しする「小型ウォータージェット装置」、埋設探査機能により鉄筋・鉄骨を損傷せずにアンカー削孔する装置「ピタドマリ」を用いたリニューアル工事を支援するシステム。	○	○	◎		○
排水管通水検査システム	オフィスビル、ホテル、集合住宅などにおける排水管の、排水時間と配管の健全性を IC タグにより検査する IT 施工管理技術。	○		◎		
BIM を活用した工事管理システム	BIM を施工段階で活用する「ビジュアル工事管理システム」や「コンクリート打込み計画システム」がある。	○		◎		

\* 安全：安心・安全性の確保，快適：快適・健康・利便性の確保，経済：経済性の確保，耐久：耐久・耐用・保全性の確保，環境：地域や地球環境への負荷の低減，◎○：貢献の度合の強さを示す

を防止する「配筋自動判定システム」を2012年にそれぞれ開発した。外壁タイル張り仕上げにおいては、3.2項のとおり、定期報告制度が義務づけられたことから、検査の効率化、省力化及び検査費用の削減に寄与する自動外壁検査システム「ウォールチェッカー®」を2016年に開発した (Fig. 11)。

また、2010年の国勢調査から技能労働者の人数把握が可能となり、建設業就業者が1995年をピークに年々減少していること、技能労働者の高齢化・減少が進んでいることが明らかとなった。そこで、自動化、無人化による建設システムの開発を手がけ、全ての工種に共通する資機材の搬送作業の自動化を実現した「自動搬送システム」(低床式AGV: Automated Guided Vehicle)を2013年に開発した (Fig. 12)。とりわけ鉄骨造建物では現場溶接技能者が不足していた。その対策として、2013年よりロボットを用いた自動溶接により現場溶接作業を省力化・省人化でき、さらには熟練した技能者を確保できなくても高品質の溶接が可能な「現場ロボット溶接工法」(今回の特集論文で紹介)を開発した。土木分野では、3D画像と体感型操縦席を組み合わせた「次世代無人化施工システム」を2016年に開発した。

2001年にCASBEEが確立され、スクラップ&ビルドからサステナブル建築への移行に伴い、リニューアル工事や耐震補強工事が増加してきた。これに伴って、建物を運用しながら低騒音、低振動、無粉じんで行える技術が求められるようになり、コンクリートを効率良くはつる先端拡張型はつり装置「ミリドカ®」、エレベーターで運搬可能な「目荒し用小型ウォータージェット装置」を2009年に開発した。床スラブなどに削孔する場合などでは、既設鉄筋や配管などを傷付ける危険性があることから、特殊な切削ビットを用いて押付け力を制御し、コンクリート以外の埋設物を接触検知して損傷を防ぐ「ピタドマリ®」を2016年に開発した。

### 3.4 構造分野

構造分野では、品質をつくりこむ技術として、時代とともに変化する安心・安全や耐久・耐用・保全性の要求性能を満足し、かつ経済性や施工性に配慮した技術開発に取り組んできた。主な技術の概要をTable 5に示す。

構造分野における開発対象は、重大災害から得られた知見に基づく指針改訂や法整備、顧客のリスク認識の変化などに大きく影響される。1995年の阪神・淡路大震災における鉄骨被害を受けて、梁端を拡幅して溶接部の安全性を高めるため、「ウイングビーム®工法」を1999年に開発した。その後、2011年の東日本大震災以降には長周期・長時間地震対策の要求性能が高まったことを踏まえ、地震時の揺れの繰返しに対する変形能力を最大4倍以上に高めた「新型ウイングビーム工法」を2015年に開発した。一方、東日本大震災における甚大な天井脱落被害を受け、2013年に天井脱落対策に係る新たな政省令・告示が公布された。この公布により、人命に係る既存天井の安全対策を早急に実施したいという建物所有者ニーズが急増したことから、天井落下防止構法「フェイルセーフシーリング®」を開発した (Fig. 13)。

耐震補強やリニューアルの分野では、既存構造物の安全性や耐久性を向上させるだけでなく、経済性や施工性に配慮して顧客の満足を得ることも重要視される。阪神・淡路大震災以降、新耐震設計以前に建設された建物に対する耐震補強の社会的な要請が高まる一方で、補強工事の費用や、それに伴う移転や休業による経済的な負担から、その進捗は十分とは言えなかった。そこで建物を使いながらに補強でき、またさまざまな使用状況に柔軟に対応できるように、RC建物を対象とした耐震壁をはじめとする各種耐震補強工法「3Q工法®シリーズ」を開発した。特集技術紹介の「床振動の予測解析と対策技術」では、2004年の居住性能評価



Fig. 11 ウォールチェッカー  
High-Efficient Outer Wall Inspection System



Fig. 12 自動搬送システム (低床式AGV)  
Low-Flatbed Automated Guided Vehicles

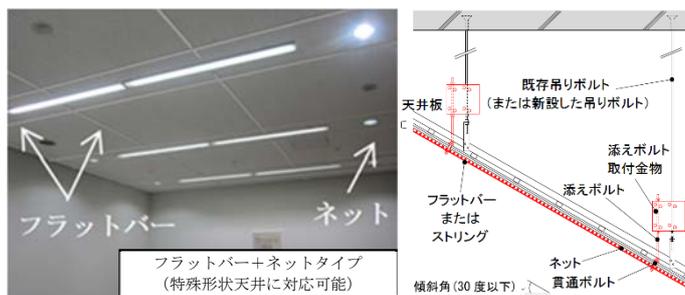


Fig. 13 天井落下防止構法「フェイルセーフシーリング」  
Ceiling Fall Prevention System "Fail-Safe Ceiling"

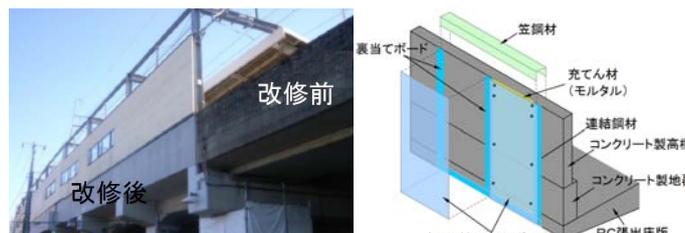


Fig. 14 スムースボードによる高欄リニューアル  
Renewing Concrete Parapet Wall by using "Smooth-Board"

指針改定により、振動波形の 1/3 オクターブバンド分析による居住性能評価が推奨されるようになり、予測解析精度を高めるため、解析条件の検討や各種加振力の策定を進めてきた。また、2010 年頃より顕著な増加傾向にある古い事務所ビルからの振動クレームへの簡易な対策手法として、低コスト型 TMD (Tuned Mass Damper : 制震装置) を開発した。

2006 年に発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針が改定された。ここで、策定された地震動を上回る地震動の影響が施設に及んだ場合のリスクを可能な限り小さくする配慮が義務付けられ、電力各社において既存施設の耐震補強ニーズが高まった。そのような背景の中、取水路や海水ポンプ室など補強が難しい地下構造物を安価かつ簡易に補強したいというニーズに応じて、地下構造物をターゲットとした耐震補強技術「マルチプルナットバー®」を開発した。

2005 年頃より列車の高速化に伴う騒音対策として高欄嵩上げと、併せて経年劣化したコンクリート製高欄の補修・補強が求められた。改修にあたっては列車運行への影響が少ない工法が求められたことから、既存高欄を撤去する必要がなく、人力で施工することができる「スムーズボード®による高欄リニューアル工法」を開発した (Fig. 14)。

Table 5 構造関連技術の一覧  
Technologies on Structural Engineering

技術の名称	技術・工法の概要	顧客ニーズ分類*				
		安 全	快 適	経 済	耐 久	環 境
FINAL-GEO	構造物と地盤が、地震力などさまざまな外力を受けて、破壊に至るまでの挙動を詳細に予測・再現できる大林組独自の 3 次元 FEM 解析ソフト。解析の信頼性は、数多くの実験との比較により検証されている。複雑な構造物と地盤の連成挙動のシミュレーションなど、豊富な適用実績を有す。	◎		○		
3Q 工法シリーズ	低騒音・低振動、省スペース施工、無溶接化を実現し、建物の使いながらの施工に適した耐震補強工法。「3Q-Wall」、「3Q-Brace」、「3Q-Column」、「3Q-Joint」からなる。2017 年には、採光・通風とともに意匠性にも優れた鋳鉄製ブロック「3Q ダイアキャスト」を補強壁のメニューに加えた。	◎		◎		○
フェイルセーフシーリング	既存吊り天井の天井板下面にネット状の部材を設置することによって、既存吊り天井の落下を防止する技術。地震時における当該施設利用者が避難する時間と空間を確保。他社に先駆けて第三者機関による技術評価を取得。	◎		○		○
ラピュタ 2D	免震建物にアクチュエータ (加力装置) を設置し、地震の揺れを打ち消すように制御する究極の制震システム。建物全体への適用のほか、建物内の一部の部屋にアクティブ制震床として適用することもできる。	◎				
ペアマスダンパー	超高層ビルの頂部に設置した大質量の振子の周期を建物周期に同調させ、地震や風揺れに対して振子が建物と逆に動いて建物の揺れを低減する TMD 制振技術。振子と倒立振子を組み合わせ、コンパクトで周期調整が容易な装置を実現。	◎		◎		
床振動の予測解析と対策技術	高精度な予測解析と適切な振動対策により不快な床振動を防止する。開発中の簡易 TMD は市販品の 1/10 程度のコストで OA 床下スペースに設置することが可能なため、特に既存建物への対策に有効。		◎	◎		
マルチプルナットバー	既存の地下構造物の外壁を内側から削孔し、その中にせん断補強筋を挿入してモルタルで固定し、耐震性を高める補強技術。せん断補強筋は PC 鋼棒を使用し、鉄筋を用いた場合よりも削孔本数を少なくでき、経済性に優れている。	◎		○		○
ブレーキダンパー	自動車等のブレーキの技術を応用し、摩擦力で地震時の建物や構造物の揺れを低減する制震装置。長周期地震動に対する耐久性を備え、大地震後も交換が不要。建築・土木の両分野で適用実績があり、バリエーションも豊富。	◎				
新型ウイングビーム工法	大林組独自の現場溶接型柱梁接合法。柱と梁を現場溶接することで製作面・施工面での経済性を保持しつつ、独自形状の水平ハンチを梁端に設置することで、南海トラフ地震などの巨大地震に対して最高レベルの安全性を確保。	◎				
WF ガード	建物の屋上階における鉄骨架構など、屋外環境に曝される鉄骨専用の耐火被覆工法。耐火被覆材には耐火塗料を用い、これと高耐久な防錆技術及び仕上げ技術を一体化し、1 時間耐火構造 (柱・梁) の国土交通大臣認定を取得。	○		○		◎
スムーズボードによる高欄リニューアル工法	経年劣化したコンクリート製高欄を撤去せず、既設高欄の両面にスムーズボードを配置して一体化し、高欄を補強、長寿命化する工法。人力施工が可能で列車運行への影響を最小限とすることができる。			○		◎

\* 安全：安心・安全性の確保、快適：快適・健康・利便性の確保、経済：経済性の確保、耐久：耐久・耐用・保全性の確保、環境：地域や地球環境への負荷の低減、◎○：貢献の度合の強さを示す

### 3.5 地盤・基礎分野

地盤・基礎分野で品質をつくりこむ技術は、安心・安全性の確保、耐久・耐用・保全性の確保、地域や地球環境への負荷の低減などに寄与する。主な技術の概要を Table 6 に示す。

地盤・基礎分野の安心・安全性の確保に寄与する技術は、自重や地震などの外力に対して構造物を安全に支持することに関連している。

1978 年の宮城沖地震を契機に、杭の地震時の性能の重要性が取り上げられるようになり、1995 年の兵庫県南部地震を端緒に、大地震時の性能確保の重要性を認識させられることとなった。また、これらを受け、2001 年に日本建築学会の

建築基礎構造設計指針の見直しが行われた。その後、杭の大口径化や高強度化の流れが生じるとともに、杭の品質確保がますます重要な課題となった。これらの背景より、特集論文で紹介した場所打ちコンクリート杭の施工時にコンクリートの充填を確認する「基礎構造の施工時モニタリング技術」を初め、「杭施工時の支持層到達管理技術」や「新型ボアホールレーダによる杭の出来形確認技術」などの開発に取り組んでいる。さらに、2012年を境に、東京23区内の新築建物に占める建替え案件の割合が、50%を超える状況に至った。これにより、多くの新築案件において、既存杭が存在することになり、合理的な既存杭活用法の検討が、経済的にも環境負荷低減の観点からも注目されることとなった。このような背景から、非破壊検査の1つであるIT試験 (Fig. 15) の結果から既存杭の健全性 (ひび割れの有無) を定量的に判断する「既存杭の健全性評価法」を開発した。この評価法を用いれば、従来は困難であった健全性の程度 (ひび割れの大きさ) も簡単・迅速かつ合理的に定量評価することができる。

耐久・耐用・保全性の確保に寄与する技術には、トンネルの調査・設計段階から施工段階の情報を3次元モデルに組み込み、維持管理を容易にする「山岳トンネルCIM」、既存構造物の基礎を耐震補強して長寿命化を図る「ハイスpekマイクロパイル工法<sup>®</sup>」などがある。国土交通省は建設業の生産性向上を目的として2012年からCIMの試行を開始している。これを受けて開発した山岳トンネルCIMは、設計時の地形地質データ・当初支保パターンを取り込んだ3次元モデルに、施工時の各種データを組み込み、情報を一元管理する技術である。地山やトンネル状況を3次的に可視化でき、情報の共有化や供用時の維持管理に利用できる (Fig. 16)。また、近年、老朽化した橋梁や土構造物の数が急増しており、その維持管理、補強、更新のニーズが高まってきている。ハイスpekマイクロパイル工法は、既設構造物の基礎を耐震補強する小口径合成鋼管杭工法である。経済性に優れた工法で、狭隘地でも施工でき、構造物が近接するような厳しい条件下の新設工事にも適用可能である (Fig. 17)。

地域や地球環境への負荷の低減に寄与する技術には、放射性廃棄物に関わるものとして、「高レベル放射性廃棄物処分定置・回収技術」、「除去土壌の土質判別システム」などがある。2011年の福島第一原子力発電所の事故以降、高

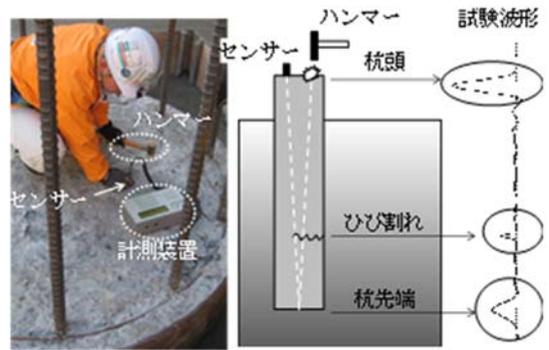


Fig. 15 非破壊検査 IT 試験の概要  
Pile Integrity Test

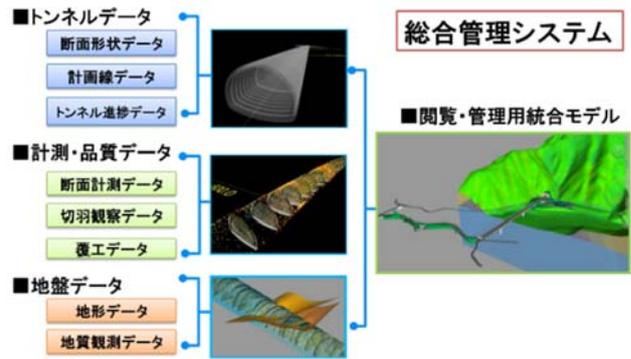


Fig. 16 山岳トンネル CIM の概要  
Tunnel of CIM

Table 6 地盤・基礎関連技術の一覧  
Technologies on Geotechnical Engineering

技術の名称	技術・工法の概要	顧客ニーズ分類*				
		安 全	快 適	経 済	耐 久	環 境
基礎構造の施工時モニタリング技術	杭の鉄筋かぶり部分に配した光ファイバを用いた高密度温度計測により、施工時にコンクリートが充填されたことを確認する技術。	◎			○	
新型ボアホールレーダによる杭の出来形確認技術	レーダにより、地中にある場所打ちコンクリート杭側面の出来形 (凹凸) を掘り出すことなく確認する技術。	◎			○	
杭施工時の支持層到達管理技術	杭施工機械の振動計測により、施工中の杭が支持層に到達したことを確認する技術。	◎			○	
既存杭の健全性評価法	IT試験の効果的な実施法と独自の試験結果評価法により、地中にある既存杭の健全性 (ひび割れの有無等) を掘り出すことなく確認する技術。	◎		○	○	○
山岳トンネル CIM	設計時の地形地質データ・当初支保パターンを取り込んだ3次元モデルに、施工時の各種データを組み込み、情報を一元管理する技術。				◎	
ハイスpekマイクロパイル工法	既設構造物の基礎を耐震補強する小口径合成鋼管杭工法。狭隘地でも施工でき、経済性にも優れた工法のため、構造物が近接するような厳しい条件下の新設工事にも適用可能。			○	◎	
高レベル放射性廃棄物処分定置・回収技術	高レベル放射性廃棄物の廃棄体と処分坑道との隙間をベントナイトペレットで充填する技術及び廃棄物の回収性を担保するため隙間充填材を除去する技術。					◎
除去土壌の土質判別システム	判別指標 (堆積形状 (断面積), 含水比, 乾燥密度) の計測によって、ベルトコンベア上の土質を連続的に判別する技術。			○		◎

\* 安全：安心・安全性の確保，快適：快適・健康・利便性の確保，経済：経済性の確保，耐久：耐久・耐用・保全性の確保，環境：地域や地球環境への負荷の低減，◎○：貢献の度合の強さを示す

レベル放射性廃棄物処分場建設の気運が高まってきている。高レベル放射性廃棄物処分定置・回収技術は、高レベル放射性廃棄物を固化した容器と処分坑道の間にできる隙間をベントナイトペレットで充填する技術と、廃棄物の回収性を担保するためにその隙間充填材を除去する技術からなる。狭隘部で高品質な充填が行え、回収時に余剰廃棄物を出さない技術となっている。また、同事故によって放射性物質で汚染された土壌は、除染事業により除去が進められている。土壌中の植物の根などの異物を取り除く分級装置に通すため、除去土壌に粘性土が含まれる場合は改質剤を添加する。除去土壌の土質判別システムは、判別指標（堆積形状（断面積）や含水比、乾燥密度）の計測によって、ベルトコンベア上の除去土壌を粘性土と改質剤が不要な砂質土に、連続的に区分することができる。改質剤の使用量を減らせるため、経済性にも寄与する技術である。

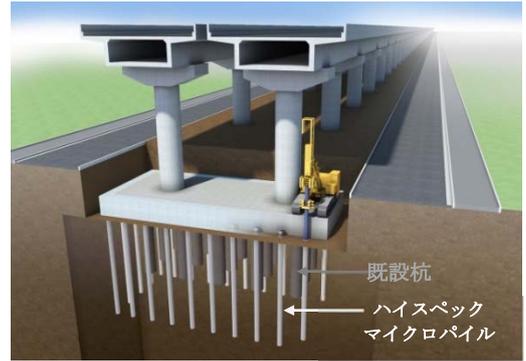


Fig. 17 ハイスペックマイクロパイル工法  
(道路橋基礎の耐震補強への適用例)  
High Standard Micro-pile Method

### 3.6 土壌分野

土壌分野の品質をつくりこむ技術は、地域や地球環境への負荷の低減に寄与する技術が主体となり、環境影響を少なくする材料開発や汚染土壌の浄化技術、廃棄物の有効利用などがある。主な技術の概要を Table 7 に示す。

材料開発では、1991年に、「地球環境に調和し持続可能な人間社会を達成するための物質・材料」であるエコマテリアルという環境調和型の材料の概念が一般社団法人 未踏科学技術協会に設けられたレアメタル研究会により発表された。また、1999年に化学物質排出把握管理促進法 (PRTR 法) が公布され、環境中の化学物質の環境リスクへの関心が高まり、

Table 7 土壌関連技術の一覧  
Technologies on Soil Engineering

技術の名称	技術・工法の概要	顧客ニーズ分類*				
		安全	快適	経済	耐久	環境
レオフォーム	気泡シールド工法に使用する起泡材「レオフォーム」は、従来品に比べて低濃度で高発泡・高粘性の気泡を安定的に生成でき、環境影響も少なくできる。					◎
安定液の比重低減材	掘削中に安定液に混入した土粒子と反応して凝集物を作り、土砂分離機等で除去を促進する材料。安定液の性状を維持して、繰返し使用回数を増やす。					◎
廃安定液の凝集分離技術	廃安定液に特化した凝集剤と現場のスクリューデカンタを組み合わせ、地中連続壁や杭工事で発生する廃安定液を泥と水に分離する技術。分離した水を下水に放流することで廃安定液の処分費を削減する。			◎		○
サラサクリーン	粘性の高い土壌を短時間でさらさらの砂状に改質できる土質改良材である。また、強度改善もでき、中性系なので環境負荷が小さい。中間貯蔵施設の除去土壌の改質や、災害廃棄物の分別作業に適用でき、分別作業を迅速化できる。			○		◎
遮水層併用型吸着層工法	遮水機能を付与した「遮水層併用型吸着層工法」は重金属を含む浸出水の流れを制御することで地山への汚染拡散をシャットアウトし、地山・地下水への汚染拡散リスクを低減できる。					◎
メタガード工法	重金属汚染地盤に浸透性の高い特殊不溶化剤「メタガード」液を浸透させ、地下水中に溶解した重金属を安定化(沈殿)させて、地下水中の汚染濃度を低下させる工法。大型の重機による攪拌混合の必要がなく、低コストである。			○		◎
バイオメタガード工法	井戸から微生物栄養剤「クロロクリン」を注入し、地盤中に生息する嫌気微生物の働きを利用して、重金属類の不溶化や還元作用により無害化する。掘削を伴わない工法であるため、低コスト、かつ環境負荷が小さい。			○		◎
ソイルメタガード工法	廉価な重金属不溶化材。仕様に応じて、鉛、砒素、フッ素、ホウ素、セレン、カドミウムを不溶化できる複合汚染対応型と中性領域で砒素等の不溶化、土質改良ができる中性固化剤型がある。					◎
クロロクリン工法	VOC 汚染地盤に栄養剤「クロロクリン」を注入することにより、地盤中の微生物を活性化し、VOC を分解浄化する工法。従来技術よりも、安価に VOC を迅速に分解することを可能とした。			○		◎
クロロクリン S 工法	粘性土 VOC 汚染地盤に小径の穴を削孔し、ここに粘性土への浸透性が高く、長期持続性のある特殊栄養剤「クロロクリン S」を充填することで、大型の重機を使用せず、低コストでの浄化を可能とした。			○		◎
オイルクリン工法	掘削した油汚染土壌にオイルクリンを散布することで、油汚染土壌の油臭を低減するとともに、油汚染土の微生物分解を促進することができる。周辺環境への悪臭問題を解決し、油浄化の短工期化を可能とした。		○	○		◎
石炭灰改良材	石炭灰に微量に含まれる重金属類をセメント等で不溶化し、これを天然土砂の代替材として、防潮堤や防災緑地などの盛土材に活用できる。			○		◎

\* 安全：安心・安全性の確保，快適：快適・健康・利便性の確保，経済：経済性の確保，耐久：耐久・耐用・保全性の確保，環境：地域や地球環境への負荷の低減，◎○：貢献の度合の強さを示す

以来継続的に環境負荷低減に係る材料開発を進めてきた。特集論文「気泡シールド工事で発生する気泡混合土の環境影響評価」では、気泡シールド工事で使用する起泡材として開発した「レオフォーム®」について、気泡混合土の環境影響評価を行い、環境影響が少ないことを論じている。また、地中連続壁や杭工事などに使用される安定液の性状を維持できる「安定液の比重低減材」は、掘削中に安定液に混入した土粒子と反応して凝集物を作り、土砂分離機等で除去を促進する材料である。繰返し使用回数を増やすことで、廃安定液量を減らし、環境負荷を少なくできる。また、「廃安定液の凝集分離技術」は、廃安定液に特化した凝集剤と現場のスクリュエデカンを組み合わせて、地中連続壁や杭工事で発生する廃安定液を泥と水に分離することができる。分離した水を下水に放流することで廃安定液の処分費の削減にも貢献できる。「サラサクリーン®」は、粘性の高い土壌を短時間でさらさらの砂状に改質できる土質改良材で、強度改善や中性系という特長がある。中間貯蔵施設における除去土壌の改質や、土砂災害などに伴う災害廃棄物の分別作業などに適用でき、分別作業を迅速化できる。

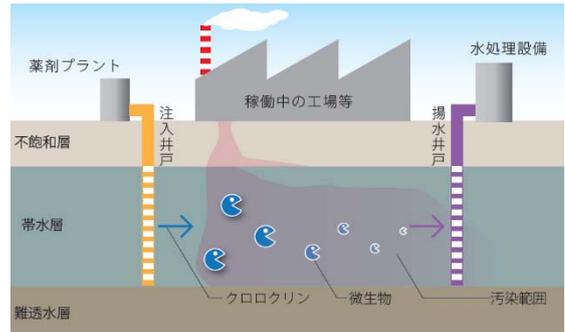


Fig. 18 クロロクリン工法の概要  
Chloro-clean Method

汚染土壌の浄化関連では、2003年に土壌汚染対策法が施行され、指定区域や認定浄化施設、指定調査機関などが整備された。2010年には改正が行われ、対策が必要な措置区域の見直しなどが行われ、土壌汚染対策法に則った対策や法の対象外であるが自主的に対策を行う契機となった。また、大規模な建設工事では調査が必要となり、自然由来の重金属等を含む土壌などが基準値を超過する場合には、対策が求められる時がある。浄化技術の対象となる主な汚染物質には、砒素や鉛などの重金属類、トリクロロエチレンやテトラクロロエチレンならびにベンゼンなどのVOC（揮発性有機塩素化合物）、油類などがある。汚染物質の種類や施工規模、土質、施工時期などの現場施工条件に応じた対策技術を開発しており、対象汚染物質ごとに対策技術がある。例えば、VOCに対しては、地盤中に栄養剤「クロロクリン®」を注入することにより、微生物を活性化させて原位置で分解浄化する「クロロクリン工法」(Fig. 18)がある。クロロクリンは、主成分が食品添加物であり、極めて安全な資材である。また、「クロロクリンS工法」は、従来難しかった粘性土地盤への適用を可能とした工法である。粘性土への浸透性が高く、長期持続性のある特殊栄養剤「クロロクリンS」を使用することで粘性土のVOCの浄化を可能とした技術である。

廃棄物の有効利用では、石炭火力発電所から排出される石炭灰に含まれる重金属等をセメントなどで安定化させて、天然土砂の代替材として、防潮堤などの盛土材に利用できる「石炭灰改良材」がある。

### 3.7 緑化・自然分野

緑化・自然分野で品質をつくりこむ技術は、地域や地球環境への負荷の低減に貢献する技術が主体である。緑化、生態系保全などの生物多様性及び自然共生に関する技術開発に取り組んできた。主な技術の概要をTable 8に示す。

1992年のブラジルリオデジャネイロで開かれた国連環境開発会議（UNCED、地球サミット）において、「気候変動に関する国際連合枠組条約」と「生物の多様性に関する条約」が採択されたのを契機に、生物多様性や環境緑化への顧客ニーズが高まり、それらに応えるための技術を開発した。

緑化に関して、2000年頃、第二東名高速道路など全国に高速道路を延伸する事業が進められたが、それに伴い、大面積の斜面が露出し、景観対策としての緑化が必要とされた。一方で、2000年5月に建設リサイクル法が制定され、廃棄物のない社会「ゼロエミッション」への対応が望まれた。「チップクリート®緑化工法」(Fig. 19)は、木くずを再利用した木片コンクリートを緑化基盤とし、低管理型の植物を組み合わせたのり面保護技術であり、一般的な植生基材による緑化工法に比べて浸食耐性が高く、維持管理費用を大幅に削減できる緑化技術である。

生物の多様性に関する条約国会議（COP10）が2010年に名古屋で開催されたことを機に、全国各地の工事現場における貴重種の調査や保全計画の立案、生物多様性に配慮する技術開発へのニーズが増加した。

特集論文「地域生態系の保全に配慮したのり面緑化の植生工」では、地



Fig. 19 チップクリート緑化工法の例  
Chip-Crete Greening Method

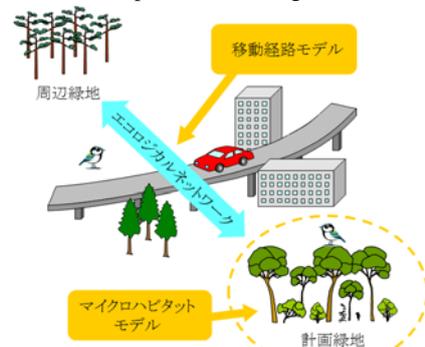


Fig. 20 生息地評価モデルの概要  
The Habitat Estimation Model

域生態系の保全に配慮したのり面緑化技術について、在来緑化植物を使用した植生設計の考え方を中心に、現場調査や試験を踏まえて述べている。都市部の生物多様性に配慮した技術として、建設計画地の生物多様性を確保または回復することを目標とした、生物誘致環境評価システム「いきものナビ<sup>®</sup>」がある。GIS（Geographic Information Systems：地理情報システム）を活用して計画地のエコポテンシャルを評価し、生物情報のデータベースと照合することにより、計画地に相応しい生物誘致環境を創出することに貢献する。鳥を誘致するための緑地設計支援ツール「生息地評価モデル」(Fig. 20)は、鳥が好んで出現する場所や移動環境を詳細に調査した結果をもとに作成しており、マイクロハビタットモデルと移動経路モデルで構成されている。本モデルを使って緑地を設計することで、都市部の小規模な緑地でも、定量的な評価に基づき、鳥が好んで訪れる環境創出が可能となる。当初は、東京都心部及び臨海部の緑地を対象としていたが、名古屋と大阪においても詳細な生物調査を行い、適用できるように改良した。

「みどりの評価技術」は、これまで培ってきた自然共生に関する技術を総合的に使い、ヒートアイランド対策といった熱環境改善、生物多様性、植物の持つ炭酸ガス吸収能力など、建物緑化や都市緑化の効果を多面的に評価することができる。建物価値の向上や環境CSRを高める方向性を導き出すことが可能となる。

また特殊な緑化技術では、スタジアムの芝の設計と管理を支援する「ターフシミュレータ<sup>®</sup>」がある。2002年日韓開催のサッカーワールドカップ以降、観客が天候に左右されない快適な観戦のため、スタンドに屋根を設けるサッカースタジアムが増え、スタジアムを新設する際には、スタンド全体に屋根を設けることが要求されるようになった。そのため、天然芝の生育に十分な光がピッチに届かないことが懸念され、スタジアム形状の設計時には、屋根構造の工夫や、その条件における芝の選定とメンテナンス方法の検討が必要となった。この対応技術がターフシミュレータである。建設地の気候条件などから芝の生長を予測できるため、事前に芝種の選定や光強度の設計が可能となった。

Table 8 緑化・自然再生関連技術の一覧  
Technologies on Environmental Engineering

技術の名称	技術・工法の概要	顧客ニーズ分類*				
		安全	快適	経済	耐久	環境
チップクリート緑化工法	木片チップとセメントを混ぜ合わせたチップクリートと低管理型の植物を組み合わせて配置することにより、河川堤防等の緑地の維持管理費用を大幅に削減し、長期にわたり健全な状態を維持する。			◎	○	○
タイヒシャトル工法	ダム現場などで発生する建設副産物（脱水ケーキ・伐採材）を有効利用し、発酵処理を施すことで短期間に良質な緑化用土を製造し、のり面を緑化することが可能な新工法。			○		◎
地域生態系の保全に配慮したのり面緑化の植生工	地域生態系の保全に配慮した法面緑化の設計技術。在来種を用いることで、早期に植生回復が期待できる。					◎
いきものナビ	計画地の生物多様性を確保または回復し、エコポテンシャルをアップさせることを目標とするシステム。計画地のエコポテンシャルを評価して生物データベースと照合し、計画地に相応しい生物誘致環境創出に貢献する。					◎
生息地評価モデル	鳥を誘致するための緑地設計支援ツール。鳥が好んで出現する場所や移動環境を詳細に調査した結果をもとに、生息地評価モデルを作成。本モデルにより鳥が好んで訪れる環境創出が可能。					◎
ビオトープ	動植物の生育生息する空間づくりを行う技術。周辺の自然環境を踏まえて、誘致する生き物や目標とする風景を設定し、自然と共生する空間づくりを行う。		○			◎
建設業における生物多様性の取り組み方法	生物多様性保全に関わる諸制度が制定された背景やレッドデータブックに掲載される絶滅危惧種の分類などを整理し、建設業で取り組む重要な生物種などを示した。					◎
みどりの評価技術	建物緑化、都市緑化の様々な効果を多面的に評価する技術。シミュレーション等の事前評価だけでなく、実測データなどを組み合わせることにより、根拠ある設計提案が可能。		○			◎
ターフシミュレータ	スタジアム建設地の気象条件、スタジアム形状から芝の生長を予測するプログラム。芝の生長・衰退をシミュレーションすることでスタジアムの設計を支援する。			◎		○

\* 安全：安心・安全性の確保，快適：快適・健康・利便性の確保，経済：経済性の確保，耐久：耐久・耐用・保全性の確保，環境：地域や地球環境への負荷の低減，◎○：貢献の度合の強さを示す

### 3.8 居住環境分野

居住環境分野で品質をつくりこむ技術は、シミュレーションを利用した技術が主体となっており、音響・電磁、風・屋外環境、室内環境、火災・安全安心、及び感染防止対策や室内空気の各分野において開発されてきた。主な技術の概要をTable 9に示す。

音響・電磁分野における品質をつくりこむ技術として、立体音場シミュレーションシステム「AUVIS<sup>®</sup>」，及び「ICTシェード<sup>®</sup>」が挙げられる。AUVISは音場を見て聴いて体験する技術である。コンサートホールなどのパフォーマンス空間

の建設が一巡し、より良い音場の質を求めようになってきた社会的要求に対応して 1993 年に開発した。数値シミュレーションから得られる様々な数値情報に基づく「音」の視覚化技術に、立体音場を提示する可聴化技術を統合することで、主観的な評価や判断も考慮したより良い音響設計を実現している。体験者はあたかも竣工後にホールにいる人と同じように立体的に広がる響きを感じることができる。ICT シェードは一般の居室と同じような明るく開放的な空間を実現する電磁シールド工法である(Fig. 21)。さまざまな建物において無線利用が一般化し、混信による通信速度の低下が顕在化し、さらに傍受による情報セキュリティ上の課題も指摘されていたことから 2006 年に開発した。これまでの電磁シールド室は、大きな窓や開口の設置が困難であり閉鎖的な空間となっていた。ICT シェードは無線 LAN をはじめとする情報通信機器の混信を防ぎ、情報セキュリティレベルを向上させ、電子機器の誤作動を防止する効果も有している。電磁波を遮蔽できる一般建材を利用し、かつ一般的な内装工事に近い工法を採用することにより、従来にない低価格化を実現している。

風・屋外環境分野の品質をつくりこむ技術として、「耐風設計支援システム」、及び「建物外壁への着雪予測シミュレーション技術」が挙げられる。大規模開発による建物の高層化に伴い、耐風設計の要求が高まり、1992年に大林組技術研究所に大型風洞実験装置が導入された。それ以降、風洞実験による耐風問題の評価が多く行われてきている。耐風設計支援システムは、2000年頃から構築してきている風洞実験結果のデータベースを活用し、類似形状の実験データを用いて、対象建物の形状に合わせた風荷重や風応答を算出するシステムである。また、風による応答加速度の算定結果に基づき、居住性評価と設計クライテリアを満たすための減衰定数の算定が可能である。特集論文「セットバックした建築物の風荷重」の結果も、耐風設計支援システムのデータベースの一部として加えられている。2014年2月の関東地方豪雪による被害が多数発生したことから、屋根雪荷重の予測・対策を支援する技術が、一層求められるようになってきている。「建物外壁への着雪予測シミュレーション」は、数値シミュレーションにより建物外壁への着雪箇所や着雪量を予測する技術である。予測された結果をもとに対策手法の選別、対策箇所の絞込みなどを行うことで、効果的かつ経済的な雪対策の提案に利用されている。

室内環境分野の品質をつくりこむ技術として、高性能熱負荷シミュレーションシステム「エコシミュレ™」、光跡線可視化シミュレーションツール「Ray Designer™」(Fig. 22)、及び「地中熱利用技術」が挙げられる。2014年4月に閣議決定された「エネルギー基本計画」では、「建築物については、2020年までに新築公共建築物等で、2030年までに新築建築物での平均で ZEB を目指す」とする政策目標が設定された。エコシミュレでは、この ZEB を達成するためのダブルスキン・自然換気・昼光利用などの省エネルギー手法の効果を精密かつ詳細にシミュレーションすることができるモデルと NewHASP (空気調和・衛生工学会が 2004 年に開発した動的熱負荷計算プログラムで、2012 年にソースが公開された。)を連携させる。これにより建物の年間を通じた時刻別熱負荷を高精度で予測できる。建物を計画する際に省エネ技術の効果を精度よく事前に把握するニーズは常にある。光跡線可視化技術に関しては、2009 年以降、BIM の普及によりファサードデザインが複雑化し、曲面ファサードからの予期せぬ反射光害・反射熱害が顕在化し始めたことから、予測・対策を支援する技術が求められるようになった。Ray Designer は、室内光環境の他、建物外皮による直射日光の反射が近隣に及ぼす影響(反射光害・反射熱害)も予測可能で、予め視覚的に確認することで対策や当事者間の合意形成に役立つ。地中熱利用に関しては、我が国の緊急課題の一つとして、抜本的な電力需給対策と新たな代替エネルギー確保が、21 世紀に入りクローズアップされており、地中熱などの再生可能エネルギーを利用することで建物のエネルギー消費を抑えつつ最適な居住環境実現を後押しする。経済的に地中熱利用システムの回収年数減が求められる中で効率化を試み、2008~2009 年に開発、2010 年に実建物に適用した。主に地中熱交換器に着目し、採放熱効率を高める高熱伝導性材料の採用や、適正な配管離隔距離を確保する分岐管方式など、工期・コスト・地盤条件などに合わせてバリエーションを取り揃えている。

火災・安全安心分野の品質をつくりこむ技術として、「マルチエージェントシミュレーション(以下、MAS)」及び「避難安全検証に関わる評価技術」が挙げられる。MAS は在館者一人ひとりの動きをシミュレーションする技術であり、防災計画指針や建築基準法の告示における避難計算法と比較して計算結果をビジュアルに表示可能であり、素人にもわかりやすいことが特長である。このため、建築設計の分野でも 2000 年代に入ってから活用され始めている。MAS では火災時の避難安全性能の確認、大人数利用施設における在館者の退出時間、滞留性状の確認、にぎわいの評価などが可能で、



Fig. 21 ICT シェード (採用した居室)  
ICT Shade

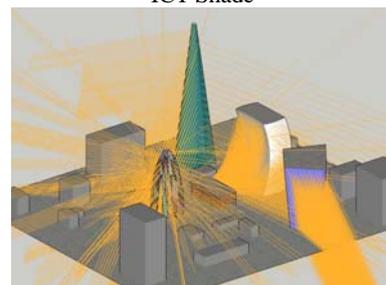


Fig. 22 Ray Designer による光跡線可視化シミュレーション  
Simulation example by Ray Designer

建物利用者の安全性・利便性の確保に貢献する。一方、2000年の法改正により防火関連規定に性能規定が導入され、建物毎に高度な検証手法を用いて避難安全性能に関する国土交通大臣認定（以下、大臣認定）を取得することで、防火区画や排煙設備などの適用除外を行うことができるようになった（このような建築確認の道筋をルートCと呼ぶ）。避難安全検証に関わる評価技術は、大林組が独自に開発した高度な検証手法を用いて大臣認定を取得することで、防火関連設備の合理化（防火シャッター等の防火設備及び排煙設備の削減、将来レイアウト変更に伴う再認定手続きの回避）を図ることが可能となる。大林組では2009年頃より大規模な複合用途建築物をターゲットに適用実績を重ねている。この評価技術により新築時のイニシャルコスト及び保守費用等のランニングコストを削減できるとともに、意匠性、利便性が向上する。例えば廊下に面した居室の防火扉を「10分間の遮炎性能を有する不燃扉」に代替することにより、扉が軽量となり、使い勝手が格段に向上する。特集論文ではこの評価技術の一部「『あらかじめの検討』に基づく避難安全検証の店舗等への適用」を紹介する。

2009年の新型インフルエンザのパンデミックを契機に、空気清浄機など除菌対策への需要が高まった。その後も、O157やノロウイルスによる食中毒やインフルエンザによる集団感染の発生により、感染防止対策や安心・安全な室内空気質へのニーズはますます高まっている。免疫力の弱い患者や高齢者、乳幼児が安心して過ごせる高品質な空間とサービスを提

Table 9 居住環境関連技術の一覧  
Technologies on Residential Environmental Engineering

技術の名称	技術・工法の概要	顧客ニーズ分類*				
		安全	快適	経済	耐久	環境
立体音場シミュレーションシステム「AUVIS (Audible & Visible Sound Scene)」	数値シミュレーションから得られる様々な数値情報に基づく「音」の視覚化技術に、立体音場を提示する可聴化技術を統合することで、主観的な評価や判断も考慮したより良い音響設計を実現する技術。		◎			
ICT シェード	これまでの電磁シールド室（大きな窓や開口の設置が困難であるなど閉鎖的な空間）とは異なり、一般の室と同じような明るく開放的な空間を実現することができる電磁シールド工法。		◎	○		
耐風設計支援システム	風洞実験結果のデータベースを活用し、類似形状の実験データを用いて、対象建物の形状に合わせた風荷重や風応答を算出するシステム。居住性評価と設計クライテリアを満たす為の減衰定数を算定するシステム。	◎	○			
建物外壁への着雪予測シミュレーション	建物外壁への着雪箇所や着雪量を予測するための数値シミュレーション技術。予測された結果をもとに対策手法の選別、対策箇所の絞り込みなどを行うことで、効果的かつ経済的な雪対策を提案。	◎		○		
エコシミュレ	ダブルスキン・自然換気・昼光利用などの省エネルギー手法の効果を精密かつ詳細にシミュレーションすることができるモデルと NewHASP とを連係させることで、建物の年間を通じた時刻別熱負荷を高精度で予測する。			◎	○	
Ray Designer	光の反射軌跡を線として可視化するシミュレーションツール。室内光環境の他、建物外皮による直射日光の反射が近隣に及ぼす影響（光害）も予測可能である。3Dモデリングツール「Sketch Up」上で入出力が可能。		◎			○
地中熱利用技術	夏冷たく冬暖かい地熱エネルギーを、ヒートポンプを介して冷暖房などに利用する技術。高効率タイプの地中熱交換器（高熱伝導性 U 字管方式、分岐管方式他）を用いた新しい地中熱利用法を実用化している。			○		◎
スマートエネルギーシステム	電力デマンドと太陽光発電の予測を基に大型分散電源（太陽光発電、マイクロコンバインド発電システム、大型蓄電池）を EMS（エネルギーマネジメントシステム）によって制御する技術。太陽光発電による再生可能エネルギーを最大限利用すると共に、受電ピーク電力の低減・平準化、BCP 機能強化に寄与する。	○		○		◎
マルチエージェントシミュレーション	在館者一人ひとりの動きをシミュレーションする技術。火災時の避難安全性能の確認、大人数利用施設における在館者の退出時間、滞留性状の確認、にぎわいの評価などを行うことで、建物利用者の安全性・利便性の確保に貢献する。	○	○			
避難安全検証に関わる評価技術	避難安全性能に関わる大臣認定（ルートC）を取得することで、防火関連設備の合理化（防火シャッター等の防火設備及び排煙設備の削減、将来レイアウト変更に伴う再認定手続きの回避）を図り、新築時のイニシャルコスト及び保守費用等のランニングコストを削減する技術。	○		◎		
10分間の遮炎性能を有する不燃扉	ルートCの避難安全性能評価を適用した建物において、廊下に面した居室の防火扉の代替として、10分間の遮炎性能を有する不燃扉に置き換えることで、建物使用時の利便性の向上、及びコストの低減を図る。		○	○		
マルチミスト	二流体細霧冷房システム「さらっとミスト」を応用した薬剤ミスト噴霧による除菌技術。薬剤を圧縮空気により微粒化噴霧することで、少量の薬剤で、壁や什器・建材の表面だけでなく、その背面まで除菌できる。		◎			
病院改修・解体工事におけるアスペルギルス症対策	可搬型マルチミストを用いたアスペルギルス症対策技術。内装解体前に、アスペルギルス菌が多く存在する天井裏を除カビすることで、病院の改修・解体工事により生じるアスペルギルス飛散リスクを低減する。		◎			

\* 安全：安心・安全性の確保，快適：快適・健康・利便性の確保，経済：経済性の確保，耐久：耐久・耐用・保全本性の確保，環境：地域や地球環境への負荷の低減，◎○：貢献の度合の強さを示す

供したいという顧客ニーズに対応する技術として、薬剤ミスト噴霧による除菌技術「マルチミスト®」を開発した。二流体細霧冷房システム「さらっとミスト®」の応用技術であり、水のかわりに薬剤を圧縮空気により微粒化噴霧することで、壁や什器・建材の表面だけでなく、その背面まで除菌可能な技術である。特集論文では、病院の改修・解体工事におけるアスペルギルス症対策として、可搬型マルチミストを活用した工事由来のアスペルギルス飛散リスク低減技術について適用事例を中心に紹介する。

#### 4. おわりに

今回の所報では「品質をつくりこむ技術」を特集のテーマとして、顧客やユーザーの目線から見た要求品質を実現するための建設業の貢献や大林組の技術開発の取組みについて紹介した。

法令を遵守し、設計図書、仕様書通りにきちんと建造物をつくり欠陥や不具合がないことは、顧客にとって当たり前の品質である。しかし、敷地条件や求められる機能・性能が千差万別で全てが一品生産の建設業においてこれを達成することは決して容易ではない。建設技能労働者の高齢化や減少が叫ばれるなか、生産性を向上し、高品質な建造物を構築していく上で、今後、ICT、IoT、AI、ロボット化などの先端技術の活用は避けて通れないと考えられる。

一方、社会や顧客の要求も変化し、建造物に求められる品質も変化していく中で、顧客のニーズがどこへ向かって行くかを見据え、絶えずそれを満たす技術開発を継続し、更に、顧客の期待に応えるような魅力的な品質を提供できるよう技術を磨き挑戦し続けていくことが、これからの建設業に課せられた使命であると言える。

本所報では、「品質をつくりこむ技術」に関する大林組の最新の技術開発の成果の一部を12編の特集論文と2編の特集技術紹介で紹介している。是非ご一読頂ければ幸いである。

本解説文は、特集WGメンバー（井出一貴、奥澤康一、奥田章子、小関由明、小野佳之、桜井邦昭、澁市克彦、田中浩一、西山高士、四本瑞世）の協力により作成したものである。

#### 参考文献

- 1) 大林組技術研究所：特集「自然災害にそなえる」, 大林組技術研究所報, No. 71, 2007
- 2) 大林組技術研究所：特集「巨大地震にそなえる」, 大林組技術研究所報, No. 76, 2012
- 3) 内閣官房：国土強靱化：[http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo\\_kyoujinka/](http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/), 2015.9.1
- 4) 大林組技術研究所：特集「防災・減災」, 大林組技術研究所報, No. 79, 2015
- 5) 大澤元毅：健康建築の構図, 空衛, pp. 34-37, 2011.6
- 6) 大林組プレスリリース記事：最適な建物管理を実現するビルマネジメントシステムを開発,  
[http://www.obayashi.co.jp/press/news2017628\\_01](http://www.obayashi.co.jp/press/news2017628_01), 2017.6.28
- 7) 国土交通省：i-Construction 委員会 報告書 概要資料  
<http://www.mlit.go.jp/common/001137123.pdf>, 2016.4
- 8) 国立環境研究所：環境展望台 環境技術解説 建築物の長寿命化技術,  
<http://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=69>, 2009.2
- 9) 濱崎 仁, 藤本秀一：集合住宅の長期耐用化のための設計・改修技術, BRI-H17 講習会テキスト,  
<http://www.kenken.go.jp/japanese/research/lecture/h17/txt/09.pdf>, 2005.9
- 10) 経済産業省 産業構造審議会産業技術分科会 評価小委員会：構造物長寿命化高度メンテナンス技術開発プロジェクト評価（事後）報告書, <http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g71225b36j.pdf>, 2007.12
- 11) 独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター：戦略プログラム 社会インフラの劣化診断・寿命管理技術, <https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2007/SP/CRDS-FY2007-SP-02.pdf>, 2007.4
- 12) 国土交通省：総合技術開発プロジェクト「多世代利用型超長期住宅及び宅地の形成・管理技術の開発（多世代利用総プロ）」, <http://www.nilim.go.jp/lab/ieg/tasedai/seika/finalsummery.pdf>, 2008.10
- 13) 一般社団法人 日本建築学会：提言 建築関連分野の地球温暖化対策ビジョン 2050 カーボン・ニュートラル化を目指して <https://www.aij.or.jp/scripts/request/document/20091222-1.pdf>, 2009.12
- 14) 一般社団法人 日本建築学会：提言 地球温暖化対策アクションプラン 2050 ― 建築関連分野のカーボン・ニュートラル化への道筋 ―, <https://www.aij.or.jp/scripts/request/document/20150413.pdf>, 2015.3
- 15) 国土交通省：建設リサイクル推進計画 2014, <https://www.mlit.go.jp/common/001052952.pdf>, 2014.9
- 16) 環境省：生物多様性国家戦略 2012-2020 ～豊かな自然共生社会の実現に向けたロードマップ～,  
<http://www.env.go.jp/press/files/jp/20763.pdf>, 2012.9