

若手研究員による 2050 年の技術研究所構想

大林組技術研究所創設 60 年企画

Emerging Researchers' Vision for the Obayashi Corporation Technology Research Institute in 2050

2050 年の技術研究所を考える WG

Working Group on the 2050 Vision for the Obayashi Corporation Technology Research Institute

1. はじめに

大林組の技術研究所は、1965 年 12 月に開設され、2025 年は創設 60 年の節目の年になる。大林組はこれまで、高度経済成長期からバブル経済期における建設需要の拡大、1981 年の耐震設計法導入、1995 年の兵庫県南部地震発生による建造物の耐震性への関心の高まり、さらには 1997 年の京都議定書採択による CO₂削減の義務化など、社会的な課題やニーズに対応しながら、技術開発と研究施設の整備を継続的に進めてきた。

また、技術開発により、東京スカイツリーをはじめとする、前例のない建造物の設計・施工を実現してきた。これらの取組みは、人々の暮らしを豊かで持続可能なものにする基盤として、重要な役割を果たしている。これまで大林組が直面してきた社会的な課題やニーズと関連が深い技術開発の事例を Table 1 に示す。

Table 1 社会的な課題やニーズと大林組の技術開発の事例¹⁾
Addressing Social Challenges and Needs through Obayashi Corporation's Technological Innovations

年代	技術開発の契機となった社会的な課題やニーズ	大林組の技術開発例	研究施設
1960 年 ～ 1969 年	<ul style="list-style-type: none"> ・1964 年開催の東京オリンピックに向けて、競技場・宿泊施設・交通インフラ・海浜埋立などの社会資本の整備が進む ・1970 年の万国博覧会の開催が決定し、大屋根をジャッキアップしたお祭り広場や、空気調和施設の屋根によるアメリカ館などを施工 	<ul style="list-style-type: none"> 海浜部などの起動弱地盤処理工法（例：ファゴット工法） 万国博覧会のお祭り広場を実現するための技術（例：リフトアップ・ジャッキダウン工法） 	<ul style="list-style-type: none"> ・1965 年に現在の東京都青瀬市に技術研究所を開設
1970 年 ～ 1979 年	<ul style="list-style-type: none"> ・1972 年に日本列島改造論により公共投資による社会資本整備が進み、躍進するハイテク産業の施設工事も増加 ・第一次オイルショックを機にエネルギー問題が顕在化 	<ul style="list-style-type: none"> コンピュータ装置類の転倒を防ぐ免震床「ダイナミック・フロア・システム」を開発 世界一の省エネビルに向けた「省エネルギー建築計画技術」を検討 	
1980 年 ～ 1989 年	<ul style="list-style-type: none"> ・エネルギー資源の安定確保と原子力発電所の需要拡大、省エネルギー技術への関心が高まる ・環境問題の国際的な課題化 ・バブル景気による建設ブームにより、東京湾横断道路の建設や東京臨海副都心構想の具体化など首都圏の大プロジェクトがスタート ・建築基準法施行令改正による耐震設計法の導入 ・コンピュータ性能の飛躍的進歩 	<ul style="list-style-type: none"> 原子力施設の建設に関わる技術開発（例：プレストレスコンクリート構法） 省エネルギーに対応する技術開発（例：BILCON-Σ） 東京湾横断道路、東京臨海副都心構想を実現するための技術開発（例：気泡シールド工法） 制振システム、耐震補強工法の開発（例：CRS 工法） 	<ul style="list-style-type: none"> ・1982 年に、世界一の省エネルギービルとして、技術研究所本館（旧）が完成
1990 年 ～ 1999 年	<ul style="list-style-type: none"> ・ビルの建設ラッシュが本格化。施工の効率化を図るため、自動化・機械化による建設生産方式が検討される ・超高層ビルの普及に伴い、建物の揺れを抑える技術が高度化 ・1995 年に兵庫県南部地震の発生 ・1997 年に京都議定書が採択され、CO₂削減などが義務付けられる ・IT 技術を活用して調査から納品までを一括管理する CALS（生産・調達・運用支援統合システム）が注目される 	<ul style="list-style-type: none"> 施工の効率化を図るため、自動化・機械化による建設生産システムの開発、工期短縮を実現する技術の開発（例：プレカラム） 耐震技術の開発が顕著に進む（例：ブレイキダンパー） 地味耐震化防止をはじめ、環境保全技術の開発が本格化する（例：バイオレメディエーション技術） 	<ul style="list-style-type: none"> ・1992 年に、多目的風洞実験施設や音響実験施設を備える環境研究センターが完成 ・1999 年に、国内最大級の三次元運動台と遠心模型実験装置を備えるダイナミックス研究センターが完成
2000 年 ～ 2009 年	<ul style="list-style-type: none"> ・公共工事の品質確保・環境保護・コスト削減を目的に、総合評価方式のガイドラインが策定 ・大型地震の頻発により、耐震・制振技術の開発が進む ・環境問題への対応が本格化し、省エネ・低環境負荷の建物への需要が増加 ・廃棄物処理問題を背景に、2002 年に建設リサイクル法が施行され、資材の再資源化が進む ・2008 年に東京スカイツリーの建設が始まる 	<ul style="list-style-type: none"> 人や建物を災害から守る耐震・制振技術の開発がさらに進む（例：ラビュタ 2D） 環境負荷の低い建物を実現する技術開発が進む（例：クリーンクリート[®]） 未知の高さである東京スカイツリーの建設に関わる技術の開発が進む（例：ナックル・パイル、ナックル・ウォール） 	<ul style="list-style-type: none"> ・2000 年に、ビオトープの自然環境保全機能を解明するトンゴ池を技術研究所の敷地内に造成
2010 年 ～ 2025 年	<ul style="list-style-type: none"> ・2011 年に東日本大震災が発生 ・2012 年に再生可能エネルギー特別措置法の施行 ・2015 年に COP21 でパリ協定が採択され、各国は CO₂ 排出量ゼロを見据えた削減目標（NDC）を順次設定・表明 ・2016 年に国土交通省は「国土交通省生産性革命本部」を設置し、i-Construction を推進 ・土砂災害、火山噴火、堤防決壊などの自然災害による大きな被害が各地で発生 ・ウェルネスをサポートし、環境に配慮した建築物への需要が高まる 	<ul style="list-style-type: none"> 免震・制振・耐震技術、津波対策の開発が進む（例：ベアマスダンパー） 洋上風力などの再生可能エネルギー発電事業に関連する建設技術の開発（例：スカートサクシオン[®]） 低炭素型の建設材料などに関連する技術開発（例：クリーンクリート N[®]） ICT、ロボット技術、AI、IoT の活用した新たなものづくりシステムへの開発が進む（例：サロゲート[®]） 	<ul style="list-style-type: none"> ・2010 年に、技術研究所本館テクナレーションが完成。2011 年度に国内初の本格的「エミッション ZEB」を達成 ・2014 年に、技術研究所にオープンラボ 2 が完成。気象の再現・地震の揺れ、制振の効果の体験できる施設が誕生 ・2019 年に、技術研究所の環境工学実験棟「多目的風洞実験装置」と「音響実験施設」を更新

この創設 60 年を機に、2050 年の大林組の技術研究所の将来像を構想する取組みとして、ワーキンググループ（WG）が設けられた。本 WG のメンバーは、今後の技術研究所を主体的に担っていく 20 代から 30 代の若手研究員で構成され、研究所の研究部門である「生産」、「構造」、「都市環境」、「自然環境」、「地盤」の 5 部門から 2 名ずつ、計 10 名が WG メンバーに選出された。メンバーの一覧を Table 2 に示す。

Table 2 WGメンバー
Working Group Member List

期間	2025 年 4 月～2026 年 3 月	
メンバー	所属	氏名
	生産技術研究部	田中寛人 主任, 藤井美夕紀 職員
	構造技術研究部	石原弘登 職員, 保坂瑞希 職員
	自然環境技術研究部	高森万貴 主任, 宮本航雅 職員
	都市環境技術研究部	西本 隆 職員, 青木快大 職員
	地盤技術研究部	◎廣瀬榛名 主任, 川北章悟 職員

◎：リーダー

大林組はこれまでも、技術を通じて、人々の暮らしを豊かで持続可能なものにする基盤づくりに貢献してきた。私たちは、2050 年においても、この役割を果たすべきであると考えた。WG では、2050 年の理想的な社会像として、「その年に生まれてくる子どもたちが未来に希望を持てる社会」を掲げた。まず、現在想定されている 2050 年の未来社会像を整理し、それを理想に近づけるために、技術研究所が取り組むべき重点テーマを設定した。さらに、各テーマにおいて実施すべき具体的な構想を提案した。

また、「25 年後という私たち自身が拓いていく将来像を構想することは、現在の自分たちが果たすべき役割を明確にすることにつながる」という認識のもと、本課題に取り組んだ。

2. 未来社会像および技術研究所の役割

1 章に示したように、社会的な課題やニーズに対応することにより、大林組は技術開発を進めてきた。そこで、大林組の技術研究所の将来像を構想するにあたり、現状が改善されない場合に予想される未来像を把握しておくことは不可欠と考えた。

また、将来リスクを把握するにあたり、日本の建設会社である大林組は、国内の人々の暮らしを豊かで持続可能なものにする基盤づくりを果たしたうえで、国際社会においてもその役割を果たしていきたいと考えた。このような考えのもと、まずは日本の将来リスクを把握することとした。

2023 年に、国土交通省は 2050 年、さらにその先の長期を見据えたうえで、今後概ね 10 年間を計画期間とした国土形成計画を策定した²⁾。このなかで、日本が直面している主な将来リスクは以下の 5 点である。

- ・未曾有の人口減少、少子高齢化がもたらす労働人口の減少、地方の危機
- ・巨大災害リスクの切迫
- ・気候変動の深刻化、生物多様性の損失
- ・デジタルトランスフォーメーション（以下、DX）、グリーントランスフォーメーション（以下、GX）など激化する国際競争の中での競争力の低下
- ・エネルギー・食料など資源の海外依存リスク

これらの課題は相互に関連し合っており、将来に対する不確実性は一層の高まりが懸念される。

一方で、DX・ロボット・宇宙産業については、市場規模の拡大が見込まれており、技術革新への期待も高まっている^{3) 4)}。

このように社会経済状況が大きく変化していく中で、大林組がリーディングカンパニーとして果たすべき社会的責任の重要性はますます高まっており、その役割も時代の変化に応じて進化していくと考えられた。

このような背景をうけて、WG では技術研究所の役割を、これまで培ってきたノウハウを活かし、技術開発を通して将来リスクに対する解決策・緩和策を提示することと位置づけた。さらに、現在の研究領域にとらわれることなく、社会の変化に柔軟に対応しながら研究領域を拡張し、大林組の持続的な成長に貢献することも重要であると考えた。

3. 2050 年の技術研究所の概要

2 章で示した技術研究所の役割を果たし、「2050 年に生まれてくる子どもたちが未来に希望を持てる社会」の基盤をつくるため、WG では以下の 3 つの重点テーマを設定した。

(1) レジリエント・マネジメント

南海トラフ巨大地震をはじめとする巨大地震・津波の切迫や、気候変動に伴う水災害の激甚化・頻発化などの巨大リスクが高まっている。加えて、日本における人口減少や少子高齢化の加速など、社会経済状況の変化により、災害に対する社会経済の脆弱性も懸念される。これらの課題に対応するため、持続可能なまちづくり・地域づくりを支えるレジリエント・マネジメントの確立に取り組む。

(2) サークュラー・コンストラクション

気候変動の深刻化を回避するためには、CO₂などの温室効果ガスの排出量削減が不可欠となる。パリ協定をうけ、2050年までにカーボンニュートラル、すなわち脱炭素社会の実現が目標とされている。また、資源の多くを海外に依存する日本においては、資源の再利用および循環利用も重要な課題になる。建設事業を継続しながら、持続可能な社会を実現するために、サーキュラー・コンストラクションの推進に取り組む。

(3) イノベーション・エクスプロレーション

日本の人口の減少に伴い、将来的には国内建設事業が全事業に占める比率は低くなり、人口が増加する海外地域での事業展開が拡大すると予測される。また、宇宙ビジネスの市場規模も拡大しており、月面での建造物の建設も現実味を帯びてきている。こうした施工実績のない環境下での設計・施工技術の確立は、大林組の持続可能な成長に必要であり、技術研究所としては、これまでの経験や蓄積した技術をベースにして、新たな領域への挑戦を通じた技術革新、すなわちイノベーション・エクスプロレーションに取り組む。

各取組みについては、4章～6章で詳細を述べる。

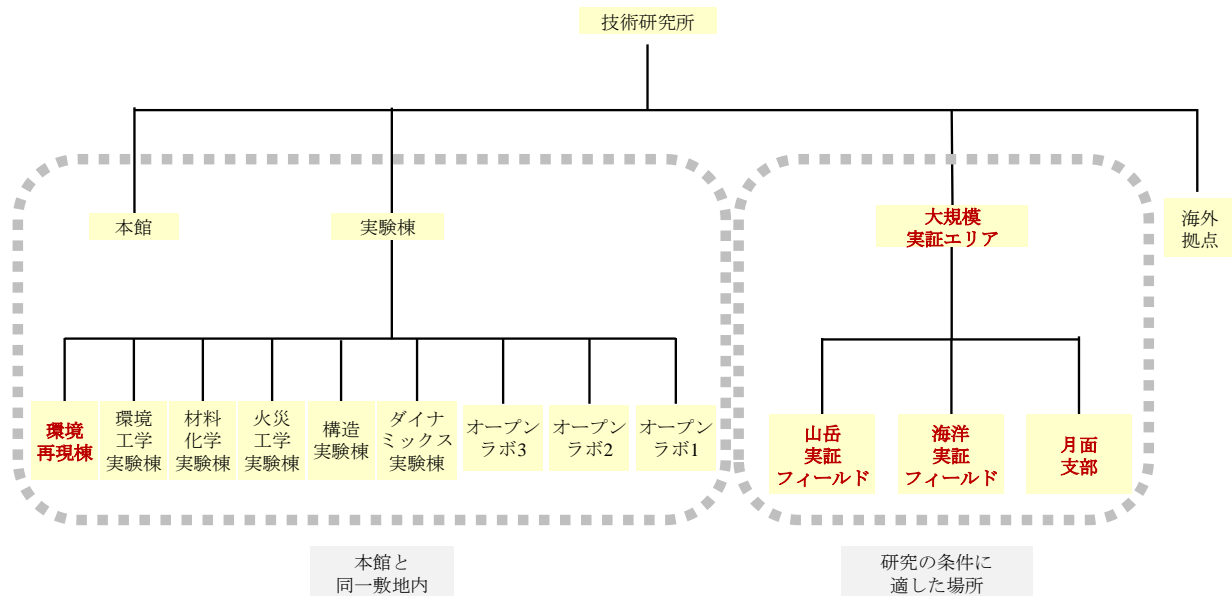


Fig. 1 2050年の技術研究所の体制構想
Proposed Organizational Structure of the 2050 Research Institute (Emerging Researchers' Vision)

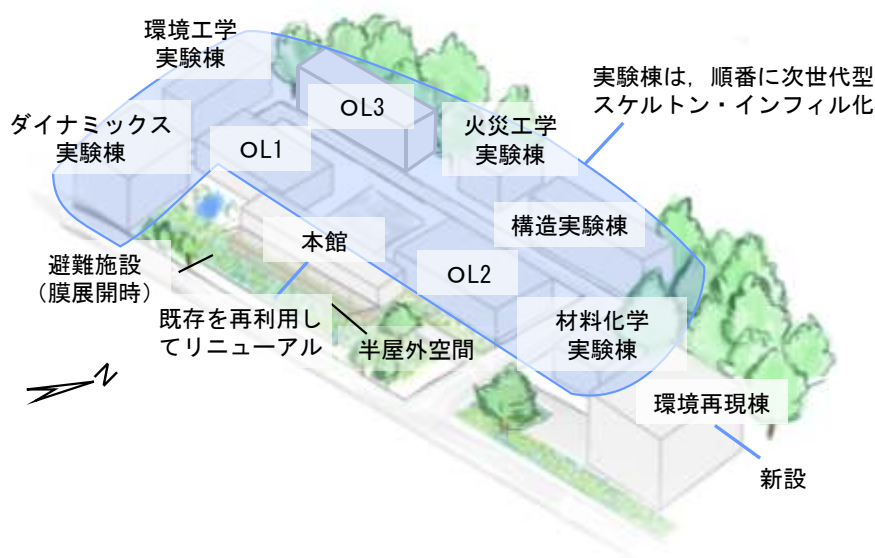


Fig. 2 2050年の技術研究所の施設配置の構想
Vision for the Facility Layout of the Technology Research Institute in 2050



Fig. 3 2050 年の技術研究所における拠点間連携
Cross-Location Connectivity in the 2050



Fig. 4 半屋外空間の構想*
Concept of a Semi-Outdoor Space

* : 画像は AI 生成によるイメージ図 (生成ツール : AiCorb®)

WG では、これらの重点テーマに取り組むための 2050 年時点での技術研究所の体制（案）を構想した。研究部門は、現在の 5 部門（生産、構造、都市環境、自然環境、地盤）に加え、「宇宙技術研究部」を新設し、宇宙環境下を対象とした技術開発を担う。

施設面では、研究所のコアとなる本館に隣接する実験棟に加えて、研究開発の条件に適した大規模な実証エリアを新設する（Fig. 1）。ボリュームスタディを踏まえた、本館および隣接する実験棟の施設配置を Fig. 2 に示す。実証エリアは、実験棟では対応が不可能な大規模な実証を行う場も必要だと考え、山岳実証フィールド、海洋実証フィールドを設けることとした。土砂災害対策・復旧工法、森林開発・管理技術の実証などには、現地条件に即した検証が必要と考えて、山岳実証フィールドを提案する。同様に、洋上風力発電施設の維持管理技術や、大林組が提案する「おさかな牧場[®]」⁹の試行においては、海洋環境下での検証が求められると考えて、海洋実証フィールドも提案する。月面支部については、6.2 節で詳細を述べる。

海外拠点については、すでに設置されているシンガポールに加えて、技術取得や事業展開の方向性に応じて、新たな地域への設置も視野に入れる。

本館は、分野を超えた交流によるイノベーションを生む場としてとらえて、研究員の多くは本館に在籍する。物理的に距離がある本社、国内・海外建設現場、実証エリアなどとは、7G 通信の普及により活用が可能になる 8K ホログラム、リアルハプティクスを用いて、対面に劣らないコミュニケーションを実現している（Fig. 3）。

本館の南側には半屋外空間を設け、広大な芝生地と本館を緩やかに繋げることとした。快適な温熱環境を保った半屋外空間の中で、緑を眺めながら業務や休憩を行うことにより働く人の生産性向上や健康の維持・向上を目指している。外気の気温や湿度に合わせて、木製ルーバーが自動制御されることで、空間内には、自然採光や自然換気が効果的に取り入れられる。また、ルーバーの制御に必要な電力は、半屋外空間の側面に設置されている透過型ソーラーパネルで生産したエネルギーを利用している（Fig. 4）。

4. 2050 年の技術研究所：レジリエント・マネジメント

3 章で示した 3 つの重点テーマのうち、本章では、建設会社である大林組の根幹ともいえる「レジリエンス向上」に着目し、2050 年における新たな役割としての「レジリエント・マネジメント」について述べる。

大林組はこれまで、持続可能なまちづくり・地域づくりに貢献する技術開発を進めてきた。2050 年以降の社会を展望すると、従来の技術開発に加え、気候変動によって頻発・激甚化する水災害への対応、人口減少・少子高齢化に伴う社会経済の災害脆弱性への対策が、より一層重要になると考えた。

こうした背景を踏まえ、現在、技術研究所が所在する清瀬市をモデルケースに、地域のレジリエンスを高める新たなマネジメント手法の構築を提案する。

2050 年には、インフラの老朽化が進み、行政の人的、財政的リソースに制約を抱える自治体が増加する可能性がある。そうした状況の下で、地域のレジリエントを維持・向上させるためには、民間の資金・技術・ノウハウを活用する PFI（Private Finance Initiative）の導入が有効であると考えられる。しかし、現在、防災分野における PFI の活用事例は多くない⁹ため、今後は ESG 投資の観点も踏まえた新たなスキームの構築が必要になると考えられる。これらを念頭に、WG では、技術研究所に地域防災拠点の機能を加える構想を検討した。

具体的には、本館地下に豪雨対策用の雨水貯留施設を整備し、清瀬市の浸水対策に貢献する。現在、備えている高い耐震性に加え、外部のインフラ（電力、上下水）からの自立性を高めることで、災害時における地域支援と同時に、事業継続性（BCP）も強化される。

このような防災拠点の整備は、ESG 投資の評価対象としても注目されることが考えられ、企業にとっては社会的責任（CSR）の履行と同時に資金調達や企業価値向上のメリットが期待できる。ゆえに、同様の課題を抱える他の自治体においても、企業による導入が検討可能であり、提案する価値があると考えた。

4.1 地下空間の防災機能強化に向けた雨水貯留構想

今回、モデルとした清瀬市は、一級河川である柳瀬川流域に位置している。昭和 30 年代ごろからの大規模な宅地開発により、これまでは地中に浸透していた雨水が、河川へ直接流入するようになり、浸水被害が増加している。さらに、気候変動の影響により、豪雨の頻発化・激甚化がすすみ、今後の浸水リスクの増加が懸念される状況である。

このような状況を踏まえて、清瀬市は「清瀬市雨水管理総合計画」を策定し、長期的な視点で水害対策に取り組んでいる⁷⁾。大林組としても、技術研究所がこの計画に貢献できる可能性があると考え、本構想を提案するに至った。この構想の中では、技術研究所の周辺（約 1,000m×750m）の範囲において、市の排水機能を越えた量の雨水を貯留できるように、技術研究所本館の地下に約 32,000m³の雨水貯留施設を設けることを計画した（Fig. 5）。

豪雨対策を目的とした雨水貯留施設は、既存の技術研究所本館の地下に構築することとした。そして、雨水貯留施設の増設は、既存の柱・梁を保持したまま、地下空間を増築する新たな施工手法の実証の場と位置づけた。本手法は、敷地条件が制約される環境下において、地下階の増設を可能とする先進的な技術として、展開が期待される。現在、既存建物の地下より、新築建物の方が深い場合は、重機支持地盤を造成するために、一度、流動化処理土などセメント系固化材や解体ガラで埋め戻した後に、既存地下躯体を解体し、新築工事に移行することが一般的である。この工程を省略できれば、CO₂削減、生産性向上に寄与する。

この構想では、逆打ち工法の応用を想定した（Fig. 6）。逆打ち工法とは、先に 1 階床を構築し、それによって山留め壁を支えながら、掘削し、順次地下階の床を構築して、下部へ掘り進め、最後に基礎躯体を施工する工法である。

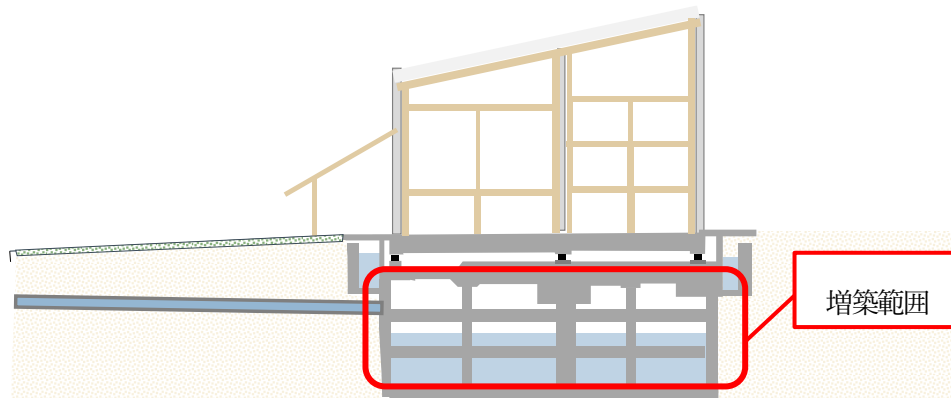


Fig. 5 技術研究所本館地下の雨水貯留施設のイメージ
Conceptual Image of the Underground Rainwater Storage Facility beneath the Main Building of the Research Institute

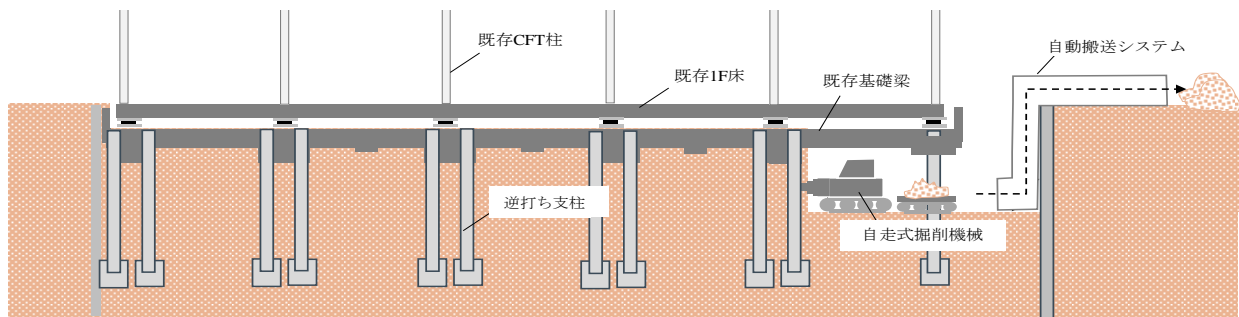


Fig. 6 技術研究所本館地下の雨水貯留施設の施工法の構想
Conceptual Construction Method for the Underground Rainwater Storage Facility beneath the Main Building of the Research Institute

既存のCFT柱・梁を保持した状態で、地下階を増築する場合、既存建物の最下階を逆打ちの初層として位置づけ、その床を支えるための逆打ち支柱が必要となる。こうした条件下では、施工空間に限られるため、通常の杭打ち機での施工は困難であると判断される。そこで、限られたスペースでも施工可能な耐震補強用の杭を逆打ち支柱として活用する手法を想定した。

逆打ち工法や基礎耐震補強用の杭は、既存技術として確立されているが、本提案が現時点で実施されない要因としては、既存の柱・梁がある限られた空間を掘削する技術が未確立であることが挙げられる。これを実現するためには、小型で自走式の掘削機械と、掘削土を地上に搬出するための自動搬送システムが必要になる。

2050年には、建設機械の小型化、自動化技術は進歩していることが見込まれており、掘削に関わる建設機械の大林組の技術開発も進むことで、本提案の施工方法は十分に実現可能であると期待できる。

4.2 インフラ自立型建築物の構想

2050年の技術研究所では、地域防災拠点としての機能強化およびBCPの向上を目的に、電力、上下水道といった外部のインフラからの自立性の確立を目指す。

脱炭素社会の実現に向けて、建物の年間一次エネルギー収支をゼロにするZero Energy Building（ZEB）の普及が進み、電力の自立性を備えた建築物は増加している。2050年を見据えると、インフラの老朽化、行政のリソース不足が進むことが予測されることから、電力に加えて上下水道からの自立性の確立も重要な課題となる。

上下水道からの自立性を確立し、建物単体で水の生成・循環を完結させる建造物は、Zero Water Building（ZWB）と呼ばれる。2050年の技術研究所は、ZEBとZWBの両方を同時に実証する場として構想した。

この技術は、都市のインフラの維持管理からの解放を可能にし、都市のレジリエンスの向上、インフラに依存しない都市開発の実現に資するものと期待できる。

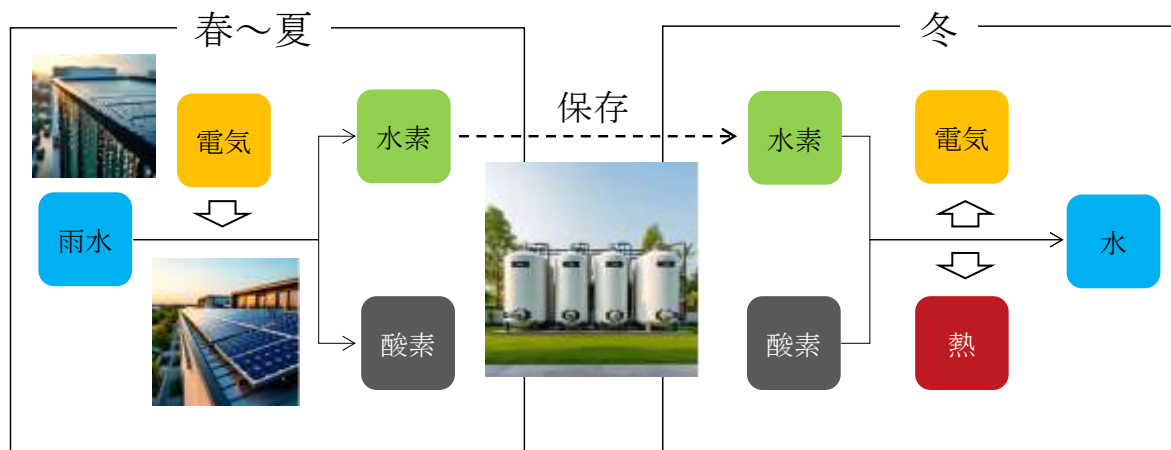


Fig. 7 水素を活用した季節間エネルギー・水の平準化システム
Seasonal Energy and Water Equalization System Utilizing Hydrogen

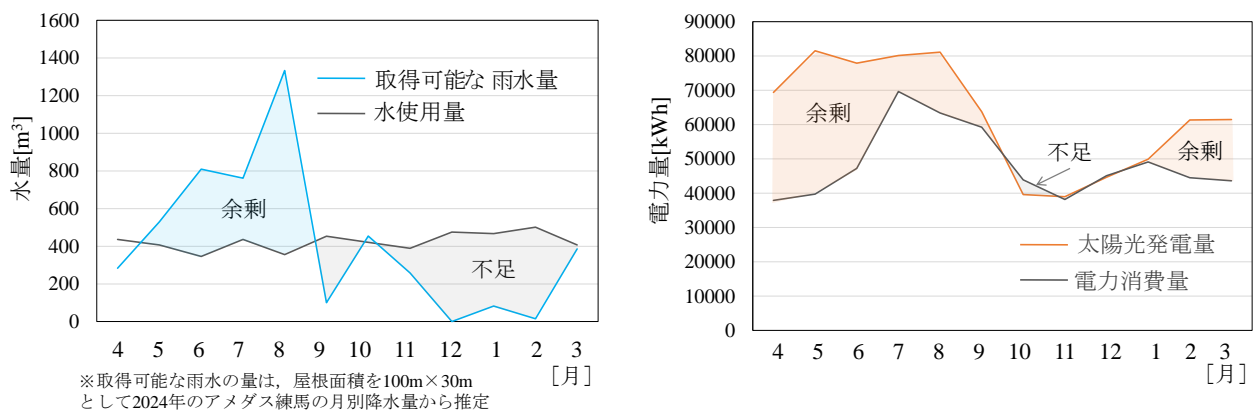


Fig. 8 水・電力の過不足状況
Water and Electricity Supply-Demand Balance

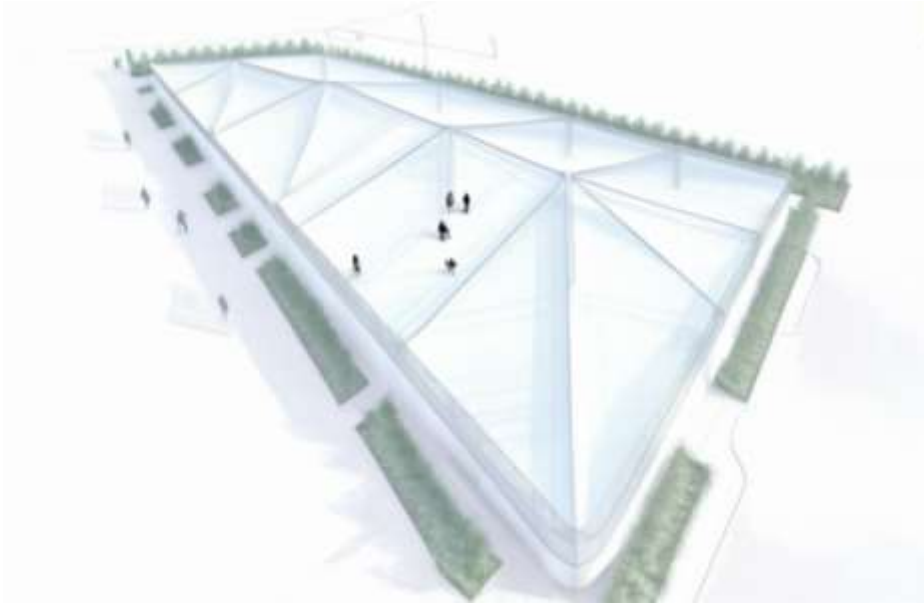


Fig. 9 膜構造を利用した避難施設の構想*
 Concept of a Temporary Evacuation Facility Utilizing Membrane Structures
 *：画像は AI 生成によるイメージ図（生成ツール：AiCorb®）

「水の自立」のためには、上水道に頼らない水の確保が不可欠である。そこで、4.1 節に示した雨水貯留施設を活用し、雨水利用を中心とした水循環システムを構成する。

雨水利用には、(1) 降雨に依存し供給が不安定であること、(2) 未処理の場合には数日で水質が悪化し長期貯留が困難であること、の 2 点が課題として挙げられる。

これらの課題を解決するとともに、エネルギーの自立も同時に満たすため、技術研究所では「水素を活用した季節間エネルギー・水の平準化システム」の導入を構想した (Fig. 7)。具体的には、春から夏にかけての余剰な雨水を回収し、太陽光発電の余剰電力を用いて雨水を電気分解し、水素として貯留する。冬季には、貯蔵していた水素を燃料電池で酸素と化学反応させて、電気・熱・水を生成する。

このシステムの成立には、水の電気分解に必要な電力を太陽光発電で賄うことが条件となる。

そこで、現在の技術研究所本館と同程度の水を消費するオフィスビルをモデルにし、試算を行った。エネルギー消費量や水使用量は現状の技術研究所本館の BEMS (Building Energy Management System) データを参照した (Fig. 8)。

BEMS データより、水使用量の月平均は 400m³ である。冬季 (12 月～2 月) の降雨量はゼロになる月もあり、ZWB の実現のためには、必要供給分を水素由来の水による供給が不可欠である。現時点の技術では、この量の水を水素から生成するために必要な電力が、夏季における余剰発電量を上回るため、実現は困難であると試算された。

一方、2050 年に排水再利用技術 (例：アクアポリン膜) や高効率な電気分解技術 (例：SOEC) が実用化すると、現在よりも少ない電力で十分な量の水素由来の水を生成できると見込まれた。さらに、次世代太陽電池 (例：ペロブスカイト型) が実用化すると、余剰電力は現在の数倍に達し、水素由来の水の生成に必要な電力が供給可能となる。

このように、排水再利用技術と太陽光発電技術が向上すると、2050 年において「水素を活用した季節間エネルギー・水の平準化システム」は実現の可能性があると思われた。

4.3 平常時にも活用可能な避難施設の構想

2050 年には、行政のリソースが不足し、避難所の老朽化や管理者の確保が困難になることが予測される。このような背景を踏まえると、民間の避難施設が求められると考えた。そこで、民間の敷地を活用し、地域に根付いた避難施設のモデルケースとして、技術研究所に併設した避難施設を提案する。避難施設は膜を利用した構造物であり、2050 年時点における風圧力を推定し、それに耐えうる設計とした (Fig. 9)。膜は、開閉可能な構造にし、耐久性に優れ、透明性が高く自然光を取り入れることが可能なフッ素樹脂 ETFE フィルムを用いる。平常時には夏の暑さを回避できる公園として活用し、人が集まる空間とする。災害時には雨水や火山灰の浸入を防ぐために、空間の密閉性を高めることができ、約 3,000m² の敷地に最大 700 名の住民が避難できる計画とした。

5. 2050 年の技術研究所：サーキュラー・コンストラクション

社会全体の持続可能性を実現するためには、地域のレジリエンス向上に加えて、資源の再利用および循環利用の促進が不可欠である。本章では、建設事業を継続しながら、持続可能な社会の構築を目指す「サーキュラー・コンストラクション構想」について述べる。

現在、大林組は 2050 年のカーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指し、「Obayashi Sustainability Vision 2050」を策定し、技術開発および施策を推進している⁸⁾。

2050 年、そしてその先を見据えると、日本においては、脱炭素社会への対応が急務となる一方で、資源の制約の深刻化が進行することが予測されている。こうした状況下で、建設事業を持続可能な産業として継続するためには、従来のスクラップ・アンド・ビルド型のサイクルから脱却し、資源の循環利用を前提とした建設モデルへの転換が求められる。

このような転換期において、大林組はすでに、技術研究所の実験棟「オープンラボ 3」で、既存建物の鉄骨・コンクリート製部材を、新築構造体としてリユースする国内初の取組みを実現した。また、循環型社会「木と共に、巡る未来」を実現する取組みとして「OBAYASHI WOOD VISION」⁹⁾のもと、日本初の高層純木造耐火建築物「Port Plus」[®]の設計・施工を行うとともに、循環型社会の理想形“「LOOP50」[®]建設構想”の展開にも取り組んでいる (Fig. 10)。

WG では、これらの技術開発、施策の蓄積を踏まえて、2050 年における新たな建設事業の在り方の提案を目指した。その一環として「既存建物の木質・木造化」、「次世代型のスケルトン・インフィル構造」を 2050 年の技術研究所に導入する構想を検討した。

5.1 既存建物の木質・木造化構想

森林保全資源の持続的な活用と脱炭素社会の実現にむけて、2010 年に国土交通省は「木材利用促進基本方針」を策定した¹⁰⁾。この方針では、国は原則として低層の公共建築物について積極的に木造化を促進し、すべての木造化を図ることとしている。

「木造化」とは、構造耐力上主要な部分に木材を使用することを指す。これは、建築物の新築のみならず、増築または改築も含まれる。この方針の制定以降、庁舎の新築時に木造化を図った事例は一定数見られるが、既存庁舎の改築においては内装の木質化に留まるケースが多く、構造部材としての木材利用は限定的である。このように、木材利用の拡充は依然として不十分である。

このような背景を踏まえて、大林組は、木造・木質化建築における循環型ビジネスモデルの構築を進め、木材の利用推進と森林資源の持続的な循環利用に取り組んでいる。



Fig. 10 OBAYASHI WOOD VISION の概要
Overview of OBAYASHI WOOD VISION



Fig. 11 技術研究所本館の木質・木造化の構想*
Conceptual Plan for Timber and Wooden Construction of the Main Building of the Research Institute
*: 画像は AI 生成によるイメージ図 (生成ツール: AiCorb[®])

2050 年には、日本がもつ豊かな森林資源を最大限に活用して、持続生産可能である木材が安定的に供給できる枠組みが構築されていると想定した。木材は脱炭素社会への対応、資源制約の深刻化の解決に資する建設材料となっていることが見込まれる。

また、サーキュラー・コンストラクションを実現するためには、既存建築物の活用も有効であり、建替えが必要な場合でもより多くの部材を再利用することが望ましい。

WG では、用途の変更や利用者数の変動などにより建替えが必要になった場合にも木造化が有効であると考えた。

鉛直方向に建物を増築する場合、重量が増加するため基礎や下部躯体をそのまま利用することは難しいが、木材は鋼材やコンクリートと比較して比強度（強度／比重）が高く、建築物の軽量化が可能である。

そこで、増築部分を木造で計画することに加え、既存躯体の一部を木造に置き換えることで更なる軽量化を図り、既存の基礎や躯体を再利用しながら増築することが可能となる。

新技術の実証の場、また来館者への技術アピールの場として、2050 年に築約 40 年を迎える技術研究所の本館を対象に、大規模な改築・修繕工事を行うことを想定して木造化を検討した。既存躯体のうち、超高強度 CFT 柱は寿命が長いことから、再利用する計画とした（Fig. 11）。木造化する範囲としては、執務者の視界の多くの面積を占める天井および屋根を選択した。木材を多用した空間では、執務者の疲労感が軽減されたという報告もあり、執務者の視覚に入りやすい場所に木材を使用することは、生産性の向上につながる可能性がある。

5.2 次世代型スケルトン・インフィル実験棟の構想

技術革新のスピードが加速する現代において、実験棟には時代に即した柔軟性と先進性が求められている。加えて、脱炭素社会の実現に向けては、限られた資源を有効活用する観点から、研究そのものだけでなく、研究を行う「場」も循環型であることが重要だと考えた。こうした背景を踏まえ、WG では「常に最先端の技術開発に取り組む循環型の実験棟」の構築を提案する。本実験棟は、研究員が実験業務で使用することを想定した。技術の進歩に伴い、内部空間の再構築が可能な設計とするため、スケルトン・インフィル構造（建物の骨格と内部空間を分離し、用途に応じて柔軟に変更できる構造）を採用する（Fig. 12）。これにより、技術の進化や研究内容の変化に応じて、内部空間を自在に再構成できる。

また、内部空間を構成する間仕切り壁などは最大寸法 3m のモジュール型構造とし、レイアウト変更や部分改修を容易にすることで、施設全体の柔軟性と拡張性を高める。一般的に、構造体（スケルトン）の寿命は約 60 年、建築設備や内装（インフィル）の寿命は約 15 年とされており、両者には大きな差がある。そこで本施設では、15 年周期で内部設備を、60 年周期で外部構造を改修することで、常に最新の技術環境に対応可能な施設運用を想定している。この更新のタイミングでは、技術研究所で開発された技術の初適用の場としても活用できる。

さらに、本実験棟は解体を前提とした設計思想に基づいており、施設の寿命を迎えた際にも建材の再利用が可能となる。例えば、構造部材（柱や壁など）の 1 スパンを 2 分割以上で構成し、柱梁接合部や部材間で部分的に取り外し可能な設計とすることで、解体時の作業が容易となり、再利用性を高めることができる。また、乾式工法を全面的に採用することで、主要構造部を除いた部分は経

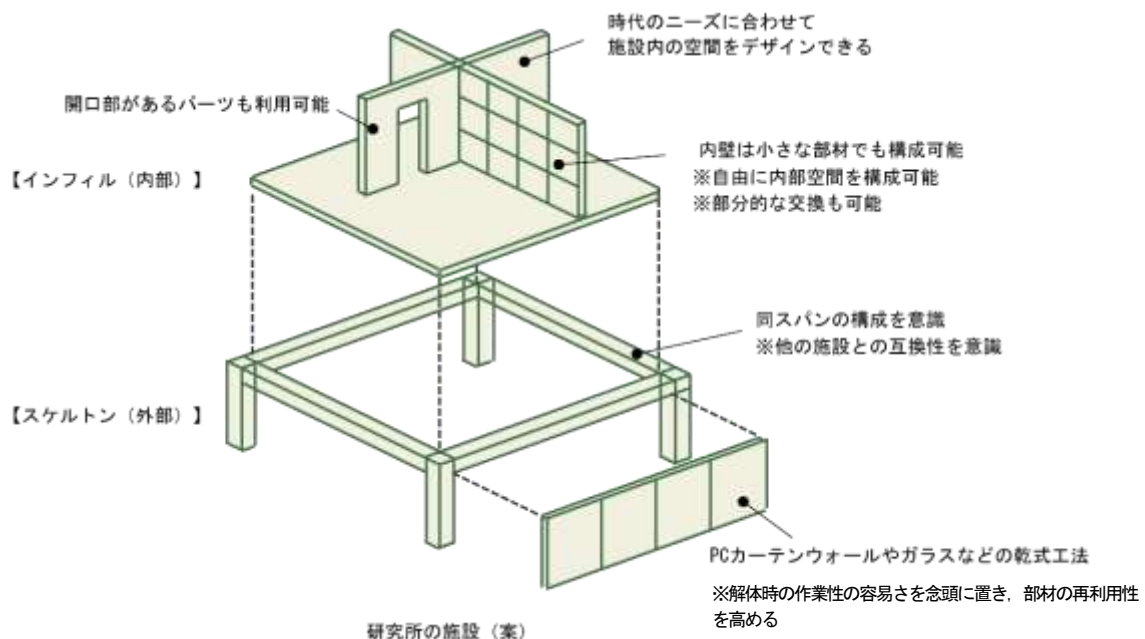


Fig. 12 次世代型スケルトン・インフィル実験棟の構想
Concept for an Advanced Skeleton-Infill Experimental Building
*：文献 11)を参考に図を作成

年劣化に対して部分的な交換が可能となり、維持管理コストを抑えつつ持続可能な運用を実現する。加えて、複数の研究施設を同一モジュールで構成することで、研究所内の施設間で相互に代替可能な柔軟性も確保される。今後、建材のリサイクル技術の研究が一層進展することが予想される中、本実験棟はメーカーとの共同研究の場としても機能することを想定している。施設内には、実験業務の場とは別にショールームを併設し、内部構造の更新時期に合わせて、適用した製品や技術を表示・PRすることが可能となる。これにより、技術営業の支援や未来像の具体的なイメージ共有が可能となり、社会への技術浸透を加速させる。

6. 2050 年の技術研究所：イノベーション・エクスプロレーション

資源循環型建築によって持続可能性を支える一方、今後は実績のない環境下での設計・施工技術の確立も求められる。6 章では、技術研究所が挑戦すべき新領域として、環境再現棟および月面支部構想について述べる。

日本の人口の減少に伴い、将来的には国内建設事業が全事業に占める比率は低くなり、人口が増加する海外地域での事業展開が拡大すると予測される。また、宇宙ビジネスの市場規模も拡大しており、月面での建造物の建設も現実味を帯びてきている。こうした実績のない環境下での設計・施工技術の確立は、大林組の持続可能な成長に必要であり、技術研究所としては、今までの経験や蓄積した技術をベースにして、新たな領域への挑戦を通じた技術革新、すなわちイノベーション・エクスプロレーションに取り組む。

WG では、時代に関わらずこれが、技術研究所が果たすべき大きな役割だと位置づけた。そして、拡大する市場に対する競争力を維持・強化するための施策として、環境再現棟、月面支部の設立が 2050 年には実現していると想定した。

これらの施設を活用した実証実験により、国内外の建設事業における技術的信頼性が向上するとともに、大林組の技術力を世界に発信する拠点としての役割を果たすことが期待される。

これまでにない環境への挑戦を「自分たちの世代が切り拓く未来」と捉え、技術研究所がその先端を担うべきであるとの認識のもと、本構想を策定した。

6.1 環境再現棟構想

6.1.1 市場変化に対応した技術力の必要性 2050 年には、海外建設や宇宙建設の市場が拡大すると予想される。こうした新たな領域において、大林組が存在感を示すには、設計・施工技術のさらなる向上が求められると考えた。特に、施工実績のない地域や宇宙での工事のニーズが生じると考えた。これらの環境は気候変動などにより変化しており、現在よりも設計・施工の難易度が高くなることも予測される。さらに、海外建設事業では、現地に近い企業がその地域に即した設計・施工実績を持つため、信頼性が高く、迅速な対応が可能であるという優位性がある。一方で、宇宙市場では施工事例などがなく、再現環境下の実証実績が、信頼性の確保において大きな役割を果たすと考えられた。そのため、新たな領域への事業展開のために、さまざまな環境で、設計・施工が可能であることを実証する場として環境再現棟の整備が必要だと考えた。

6.1.2 環境再現棟の機能 環境再現棟は、地球環境再現室と宇宙環境再現室に大別される。地上に地球環境再現室があり、地下には宇宙環境再現室がある

(Fig. 13)。5.2 節で示した次世代型のスケルトン・インフィル構造となっており、設備のみ定期的に更新できることで、最新設備を維持することができる。また、各部屋はモジュール型の構造を取り入れていて、ニーズに合わせて増築も可能と想定した。

地球環境再現室は、複数の部屋で構成されており、高温や低温環境を再現する部屋などを個別に設けることで利用者の利便性を高めている。また、大型重機を用いた施工試験などにも対応可能な大規模な環境再現室も併設し、実験自由度を向上させる。再現する環境



Fig. 13 環境再現棟
Environmental Test and Simulation Facility

としては、温度、湿度、紫外線（日光）、気象（雨、雪）、風、微粒子などで、砂漠、北極圏、赤道付近、欧州、北米、南米など地球上のあらゆる環境を再現可能である。複数の部屋でこれらの調整が可能であり、ハードルの高い海外での、ばく露実験や促進試験により時間のかかる劣化試験なども可能となる。隣接する部屋どうしを接続することが可能で、壁部材の環境差も検証できる。地球環境再現室を利用した研究には、構造物や材料の耐久性試験や、ロボットによる施工実験、施工時や供用時の快適性検証を位置づけた。

宇宙環境再現室は、複数のスペースチャンバーで構成する。大規模なものとしては大型衛星や居住モジュール、月面で自動施工するロボットなどを設置して実験が可能である。人類の宇宙開発は火星移住などが目的となっており、その過程である宇宙空間、月面、火星などを再現できるように、温度、太陽光、真空、微粒子、大気組成、放射線を調整できる。宇宙環境再現室と月面支部で実施する研究領域の分化については、6.2.1 項で詳述する。

これらの環境再現室は空調等の稼働によりかなりのエネルギーを使用するため、非常にランニングコストがかかる。この解決策として、低温の部屋の廃熱を高温の部屋に使うなど、エネルギーをリサイクルする。また、AI を活用し、試験スケジュールや電気料金、太陽光発電量などから、エネルギー消費が低い時間帯に予備冷却や加熱を行うなどの空調の稼働を最適化する。空調の稼働によって生じた結露は回収して、部屋の加湿に使用するなどの水循環も行う。

6.2 月面支部構想

6.2.1 宇宙開発の進展と大林組の宇宙建設戦略 近年、米国や中国など主要国による宇宙開発が急速に進展し、日本もそのなかで積極的な取り組みを進めている。日本政府は、内閣府が策定した「宇宙基本計画」¹²⁾において、宇宙開発を通じた経済・社会の変革（スペース・トランスフォーメーション）および安全保障の強化を重要な柱として掲げており国家戦略として宇宙政策の強化に取り組んでいる。特に、月面インフラ構築に資する要素技術など、建設分野との連携が求められるテーマも含まれており、宇宙開発が特定の産業領域にとどまらず、広範な産業構造に影響を与えることが示唆されている。

ビジネスの観点からも宇宙産業は急成長が見込まれており⁴⁾、民間企業を中心とした市場の活性化が期待されている。

このような宇宙開発の進展は、宇宙関連企業のみならず、建設分野にも密接に関係している。宇宙開発における主要な目標の一つである月面や火星での住環境形成には、住宅、道路、インフラなどの建設技術が不可欠である。

これらの動向は、宇宙開発が進むにつれて、建設分野が果たすべき役割が地球上と同様に、あるいはそれ以上に重要となることを示している。2050 年を見据えると、建設業界は宇宙空間における活動を視野に入れた技術開発と事業戦略の再構築が必要だと考えた。

大林組は、1987 年に「宇宙開発プロジェクト部」を設立し、「月面都市 2050」や「宇宙エレベーター建設構想」など、先進的な宇宙建設ビジョンを打ち出してきた¹³⁾。2019 年には「未来技術創造部」が発足し、JAXA や国土交通省のプログラムに参画している。月資源を用いた建材製造、インフレーターブル構造（ガスなどの内圧で膜面を膨らませて形状を保つ構造）による基地建設、宇宙農業など、月面居住に直結する技術開発を進めている。

2050 年において大林組は、6.1.2 項で示した宇宙環境再現室と、月面支部の 2 つの実験ゾーンを活用し、月面構造物の大規模化および火星居住をテーマとした広範な研究を推進する。宇宙環境再現室では、宇宙へ輸送する装置などの検証を行う。月面支部では、地球上では再現不可能な環境下での実証の場と位置づける。

月面支部の設立の戦略的意義は、技術の実証・応用拠点として機能し、国際競争力の強化、地球上への技術還元、そして持続可能な建設技術を用いた開発による ESG・SDGs への貢献と位置づけた。

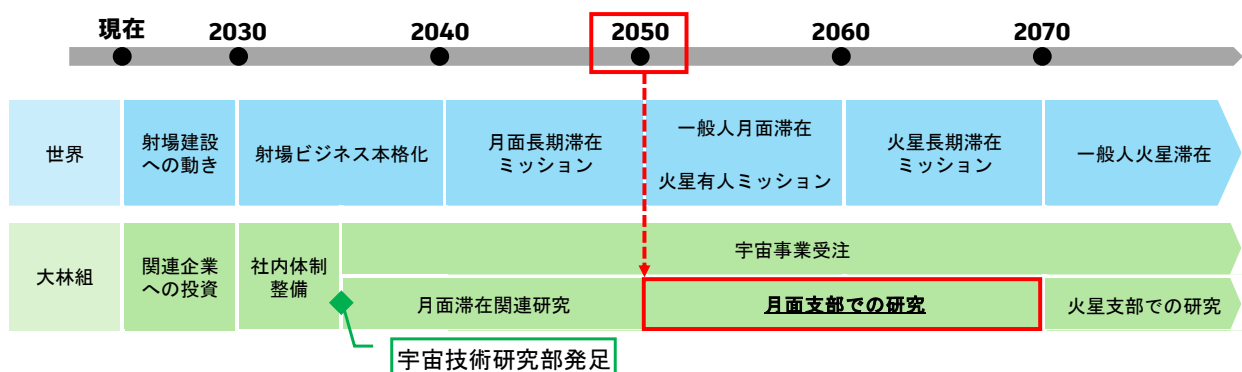


Fig. 14 宇宙開発ロードマップ
Space Development Roadmap



Fig. 15 月面支部イメージ
Conceptual Image of the Lunar Branch

6.2.2 月面支部計画とその機能・技術的意義 2050 年頃には、月面での一般人の滞在や火星有人ミッションの開始の段階にあると想定して計画を進める (Fig. 14)。

敷地は月面南極点付近のシャクルトンクレーターの付近としている¹⁴⁾。月面南極の平均気温は約-175℃と過酷な環境であるが、月の極域には日照の長い地域も存在するため、人の長期滞在や大規模な長期観測に適した場所と判断した。この敷地に、居住区、発電・通信区、燃料製造区、燃料利用・離着陸区、採掘区等を計画する。

本報では、月面支部が存在すると想定される居住区に焦点を当てた。月面支部のイメージを Fig. 15 に示す。月面支部では、各国の民間企業が居住区を共有し、ローテーションで滞在し研究を行う。実験機械等は基本的には共同出資で整備し、各社の負担を軽減する。2050 年には、火星居住を見据えた国際的な共同研究が進められ、滞在は 1~2 年交代を想定している (Fig. 16)。

居住区の「居住ゾーン」は、月面という過酷な環境で、研究員のウェルビーイングが最大限維持できるように設計されている。居住区には、「居住ゾーン」のほかに「外部・内部実験ゾーン」を有する。外部実験ゾーンではローバー（探査車）の走行実験等、大空間が必要な実験を行うことを想定している。内部実験ゾーンでは、環境実験など人を対象とした実験等を主に行うことを想定している。

月面支部の外部・内部実験ゾーンでは、地球上では再現不可能な環境下での実証の場と位置づける。具体的には、外部実験ゾーンでは放射線遮蔽材の開発や、その他施工技術に関する実証実験を行い、一方、内部実験ゾーンでは基地内の居住快適性向上に関する実験や、閉鎖生態系における食料生産実験などを行う想定である。研究テーマの一例を Table 3 に示す。これらのテーマのなかから、「大規模 ISRU 建設」について具体的な研究内容について述べる。

「大規模 ISRU 建設」とは、地球からの物資輸送に依存しない現地資源利用 (ISRU: In-situ Resource Utilization) によって内部の与圧空間まで併せて建設することで、ロケットの輸送能力に依存していた与圧空間の大規模化を図る建設技術のことである。月面開発初期段階では、地球で製造されたモジュールを輸送し、現地で展開する方式が主流となると想定される。しかし、輸送可能なモジュールの質量に大きな制約があり、大規模構造物の構築には適さない。

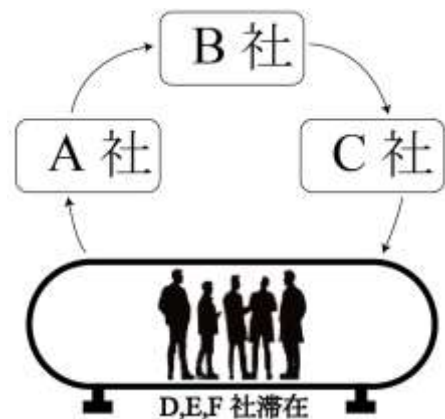


Fig. 16 月面支部の研究体制のイメージ
Conceptual Image of the Research Framework at the Lunar Branch

Table 3 月面支部で実施する研究テーマの一例
Examples of Research Themes Conducted at the Lunar Branch

	研究テーマの一例	概要
外部 実験 ゾーン	大規模 ISRU 建設技術の開発	現地材料のみで居住空間を作ることで、施設の大規模化を目指す
	地盤調査	新たに開発する場所の地盤調査
	居住空間の火災性状把握	月面重力における、燃え広がり方の把握
	放射線遮蔽材の開発	月面での長期滞在を可能にする、より高度な放射線遮蔽技術の開発
	ランドスケープデザイン	月面都市を豊かにするデザイン（ストリートファニチャ、歩道のデザインなど）
	最適なエネルギー供給方法の検討	フェーズと場所に応じた発電施設の検討（太陽光、核分裂、核融合、原子力、温度差発電等）
内部 実験 ゾーン	避難方法の研究	月面重力、また月面固有の因子（隕石、太陽フレア等）による避難性状の把握
	快適性調査	閉鎖環境、また月面という特異な環境における心理的な影響の調査
	室内環境調査	最適な温熱・光・音・風環境の構築
	生活廃棄物処理の検討	月面都市内で完結する廃棄物処理システムの構築

そのため、現地で完結する ISRU 建設技術の確立は、月面構造物の大規模化と火星での構造物構築の実現に不可欠であると考ええる。

大林組は、月面を覆うレゴリス（地表面に緩く積もった岩石由来の粒子やかかけら、隕石の衝突によって生成したガラス片、粉末等の総称）の建材利用を探索している。特にレゴリスを加熱焼成したブロック（レゴリス焼成体）に着目し、その物理特性と建設への適用性の調査を進めている¹⁹。また、3D プリンターとロボットアームを組み合わせた指向性エネルギー堆積法（DED 法）によるレゴリス構造物の構築を想定した検討を行っている。DED 法とは材料をレーザーで溶融しながら積層することで構造物を構築するものであり、高精度かつ複雑な形状の造成が可能である。月環境下での DED 法の適用性を評価するため、真空・低重力下におけるレゴリスの機械搬送シミュレーションを実施した結果、レゴリスの安定的な 3D プリンターへの供給が可能であることが明らかになった。

2050 年までには、これらの基礎研究を経て ISRU 建設技術は飛躍的に進化し、月面における小型モジュールを微小隕石や宇宙放射線から保護するための外殻構造は、建設可能となることが予測される。そこで次の段階として、内部の与圧空間を含む大規模構造物全体を現地材料のみで構築することを目標とした新たな研究を行っていると考えた。大規模構造物の現地建設を実現するための研究内容は以下の通りである。

(1) 新しい基礎工法

月面は重力が地球の約 1/6 と小さく、掘削作業において十分な反力を得ることが困難である。このため、深い掘削を伴う基礎工法ではない新工法の研究を行う。

(2) 複合材料の一体的構築技術

月面構造物の壁面には様々な性能が要求される。具体的な要求性能として内側から与圧、断熱、微小隕石・放射線遮蔽、仕上げなどが想定される。各要求性能に最適な現地材料または現地生産可能な複合材料を選定し、異なる材料を一体的に構築する技術进行研究する。

(3) 大規模構造物の施工技術

月面は大規模構造物の施工に必要な作業員の確保が難しく、環境も地球とは大きく異なるため、従来とは異なる施工方法が必要となる。重機の自動運転や、DED 法を含む 3D プリント技術等を応用した、宇宙空間での大規模構造物構築が可能な施工技術の研究を行う。

(4) 内部空間のモジュール化と多様性

建設される大規模構造物の内部空間は、基本的にドーム形状を基盤としつつ、内部に壁やスラブを柔軟に配置することで、多様な空間単位を構成する。これにより、集合住宅、オフィスビル、研究施設など、利用目的に応じた小さな空間を効率的に創出し、地球上の都市空間のように多機能な宇宙基地を実現する。

7. まとめ

以上より、3つの重点テーマを通じて、2050 年の社会課題に技術研究所が応えることで「その年に生まれてくる子どもたちが未来に希望を持てる社会」という理想像に貢献するビジョンを描いた。未来には、私たちの想定を超える事態が生じる可能性が十分にある。しかし、そのような場面でも、私たちは、自らの役割を振り返りながら、このビジョンの実現のために、いまの自分たちが果たすべきことを積み重ねていきたい。

さいごに、各メンバーが主に担当した検討項目を Table 4 に示す。紙幅の制約により本報で、触れられなかった項目も含まれているが、いずれも真摯な議論と検討を重ねた成果である。

Table 4 各メンバーの検討項目
Topics Examined by Each Member

チーム	主担当者	検討項目
技術研究所 本館チーム	藤井美夕紀 職員	DX, XR, ロボット技術を導入したオフィス空間
	保坂瑞希 職員	建築物への木材利用の高度化・多様化
	高森万貴 主任	半屋外空間
	川北章悟 職員	AI 搭載型自然環境調査ロボット
	廣瀬榛名 主任	膜構造を活用した常時利用可能な避難施設
		防災機能強化に向けた雨水貯留施設
		地下躯体の再利用条件の拡大
実験棟チーム	田中寛人 主任	自然エネルギーを活用した地震対策
	宮本航雅 職員	次世代型スケルトン・インフィル実験棟
	西本 隆 職員	環境再現棟
	月面支部 チーム	インフラ自立型建築物
月面支部 チーム	石原弘登 職員	月面支部 個別技術
	青木快大 職員	月面支部 全体構想

参考文献

- 1) 株式会社大林組, “研究開発の歴史”, 株式会社 大林組 オフィシャルサイト
https://www.obayashi.co.jp/solution_technology/research/history.html, (参照 2025-08-04)
- 2) 国土交通省, “第三次国土形成計画(全国計画)(令和5年7月28日閣議決定)”, 国土交通省, 2023-07-28
https://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/kokudokeikaku_fr3_000003.html, (参照 2025-08-04)
- 3) 総務省, “令和6年版情報通信白書”, 総務省
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r06/html/nd132200.html>, (参照 2025-08-04)
- 4) 経済産業省, “国内外の宇宙産業の動向を踏まえた 経済産業省の取組と今後について”, 経済産業省, 2025-03-25
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/space_industry/001.html, (参照 2025-08-04)
- 5) 大林プロジェクトチーム, “「大阪湾おさかな牧場」構想—きれいな海から豊かな海へ—”, 季刊大林, 2024
https://www.obayashi.co.jp/kikan_obayashi/detail/kikan_63_project.html, (参照 2025-07-06)
- 6) 鎌谷崇史: 防災インフラ投資における成果連動型民間委託契約(PFS)に関する研究, 実践政策学, 第7巻1号 2021.
- 7) 清瀬市, “清瀬市雨水管理総合計画”, 清瀬市公式ホームページ, 2022-07-08.
<https://www.city.kiyose.lg.jp/siseijouhou/keikakusisaku/suidougesuidoukeikaku/1010915.html>, (参照 2025-08-04)
- 8) 株式会社大林組, “Obayashi Sustainability Vision 2050”, 株式会社 大林組 オフィシャルサイト, 2019-06.
<https://www.obayashi.co.jp/sustainability/vision.html>, (参照 2025-08-04)
- 9) 株式会社大林組, “OBAYASHI WOOD VISION”, 株式会社 大林組 オフィシャルサイト
https://www.obayashi.co.jp/solution_technology/environment/index024.html, (参照 2025-08-04)
- 10) 公共建築物における木材の利用の促進に関する基本方針, 国土交通省・農林水産省, 告示第3号, 2010-10-04.
- 11) 藤本秀一: 建築物の長期耐用化を考える ①長期耐用型集合住宅(SI住宅)の建設・供給技術, 独立行政法人建築研究所講演会, pp.1-8, 2002
- 12) 内閣府, “宇宙基本計画(令和5年6月13日閣議決定)”, 内閣府, 2023-06-13.
<https://www8.cao.go.jp/space/plan/keikaku.html>, (参照 2025-08-20)
- 13) 株式会社大林組, “宇宙開発 OBAYASHI Thinking”, 株式会社 大林組 オフィシャルサイト
<https://www.obayashi.co.jp/thinking/detail/case01.html>, (参照 2025-08-20)
- 14) Ernie Wright, “Visualizing Shackleton Crater”, NASA Scientific Visualization Studio, 2023-06-13.
<https://svs.gsfc.nasa.gov/4716>, (参照 2025-08-20)
- 15) 田島孝敏, 他: 月資源を用いた拠点基地建設材料の製造に関する研究, 大林組技術研究所報, No.87, 2023