

## 技術研究所中期施設整備計画－研究施設3棟の建設を終えて－

技術研究所 桂 豊  
設計本部 伊藤 智樹  
東京支店 田代 浩平

### 1. はじめに

技術研究所は、「10年後を準備する」というキャッチフレーズの下、社会の変化を先取りした研究開発を推進する役割を担っている。今回の中期施設整備計画では、ecoBCPの基盤技術強化に向け、東北地方太平洋沖地震で得た教訓もいち早く研究開発活動に反映していくために、3棟の研究施設を建設した。また、施設建設と併せ、敷地全施設のエネルギーインフラの統合・整備も行ってきた。

2015年1月に最先端の二つの振動台を導入した「先端地震防災研究棟」が完成した。これをもって、2012年4月から着手した「多目的実験棟」、「材料実験棟」、「先端地震防災研究棟」の3棟の建設が終了した。今後はこれら施設を有効に活用して研究開発の推進を図るとともに、開発した技術の実証、技術情報の社会への発信の場としても活用する予定である。本報告では、中期施設整備計画の概要と完成した3棟の特徴・機能について紹介する。

### 2. 中期施設整備計画の概要

#### 2.1 研究開発拠点としての3棟のねらい

技術研究所は1990年代後半から「将来を見据えた研究開発拠点」、「開発技術実証の場」、「技術情報の社会への発信の場」として施設や機能を拡充してきた。中期施設整備計画は、2003年新本館建設、2005年風洞実験棟およびビオトープ建設、2006年多機能実験棟建設、2011年敷地内スマートグリッド化に引続き具体化された。

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震後は環境・エネルギー・防災・BCPに対する社会の要請が大きく変化し、地震をはじめとする安全安心への要求や、電力不足が避けられない現実の下での省エネ、エネルギーマネジメントに対する要求が震災前をはるかに上回る水準になっている。今回の中期施設整備計画は、こうした社会の要請を先取りした研究開発を推進することをねらいとしたものである。

建設した3棟「先端地震防災研究棟」、「多目的実験棟」、「材料実験棟」(写真-1)のねらいを以下に示す。

- ① 先端地震防災研究棟：「地震防災に関する先端技術の開発拠点」「ワンランク上のBCP」
- ② 多目的実験棟：「エネルギー制御とZEB技術の開発拠点」「時代のニーズに合わせて着替えるのできる実験棟」
- ③ 材料実験棟：「高機能・サステナブル材料の開発拠点」



写真-1 中期施設整備計画で建設した研究施設 (先端地震防災研究棟・多目的実験棟・材料実験棟)

## 2.2 エネルギー関連インフラの統合・整備（写真-2）

地震・洪水・台風などによる災害が頻発している。また、日常の省エネやZEBへの社会的要求は増している。中期施設整備計画では、ecoBCPの観点から防災と日常のエネルギーマネジメントを検討した。具体的には、首都直下地震と荒川決壊時の対応、敷地内への外部受電と敷地内電力系機器（蓄電池、ガスエンジン、太陽光、蓄熱槽など）のあり方、事務系施設群と研究施設群のエネルギーマネジメントのあり方を検討した。これらの検討結果を踏まえ、共同溝の整備、エネルギー関連設備機器などの自然災害対策も実施した。日常のエネルギーマネジメントについては、スマートBEMSによる多棟間エネルギーマネジメントを実証することにした。

## 2.3 建設工程

3棟の建設に先立ち、旧多目的実験棟で開館していた建設技術歴史展示室を本館に移設した（写真-3、写真-4）。「多目的実験棟」、「材料実験棟」は2012年4月に着工、2013年1月に完成した。「先端地震防災研究棟」は旧多目的実験棟の解体後、2013年6月に着工し、2015年1月に完成した。また、共同溝およびエネルギー関連のインフラ整備は3棟の構築に合わせ逐次実施した。



写真-2 エネルギー関係のインフラストラクチャー



写真-3 建設技術歴史展示室

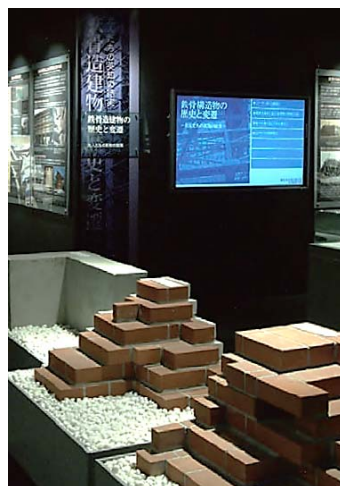


写真-4 The works  
(代表的な建物・構造物模型展示)

### 3. 先端地震防災研究棟

#### 3.1 ねらい

強烈な揺れを被った阪神・淡路大震災から20年が経過した。この間、地震動に対する理解は進んだが、東北地方太平洋沖地震の際に話題となった長周期・長時間地震動をはじめとして、未だ地震のたびに新しい揺れを経験している。先端地震防災研究棟は、東北地方太平洋沖地震で得た教訓もいち早く研究開発活動に反映していくために、「地震防災に関する先端技術の開発拠点」として活動し、「ワンランク上のBCP」を社会に提案することを目指す。

先端地震防災研究棟に設置した大型振動台(E-Beetle)は、過去に経験したさまざまな特徴の地震動を再現できる。また、大振幅振動台(E-Spider)は超高層ビル最上階の長周期地震動による地震の揺れも3次元で再現できる。これら二台の振動台を駆使することによって、種々の架構や装置類の耐震性を「その場所」での揺れで予測・確認することが可能となった。これらを活用して、「ワンランク上のBCP」を目指した秀でた研究成果を創出し、安全安心の向上に寄与する。

#### 3.2 建物概要

研究棟の建物概要を表-1に、建物の外観を写真-5に示す。

建物設計にあたり最大の課題は、大型振動台加振時の環境振動の軽減であった。大型振動台加振時の振動が先端地震防災研究棟および敷地内他研究施設にどの程度影響を与えるか、旧振動台稼働時の実測に基づき詳細なシミュレーションを行いその性状を把握した。振動対策として大型振動台基礎は建物基礎から切り離し、空気ばねとダンパーで支持することにした(写真-6)。

また、地震や洪水など自然災害への対応として、構造躯体・2次部材は挙動シミュレーションにより安全を検証した。電気設備関係は全てSクラスとし、クレーン、計測にかかわるインフラについても機能保全ができるよう配慮した。

なお、先端地震防災研究棟に付属するエネルギープラントは、経済産業省エネルギー庁の補助金を得ている。

表-1 先端地震防災研究棟概要

用途	研究施設
構造種別	鉄骨造
建築面積	1390.85 m <sup>2</sup>
延床面積	2245.31 m <sup>2</sup>
建物高さ	23.375m
階数	地上2階/地下2階

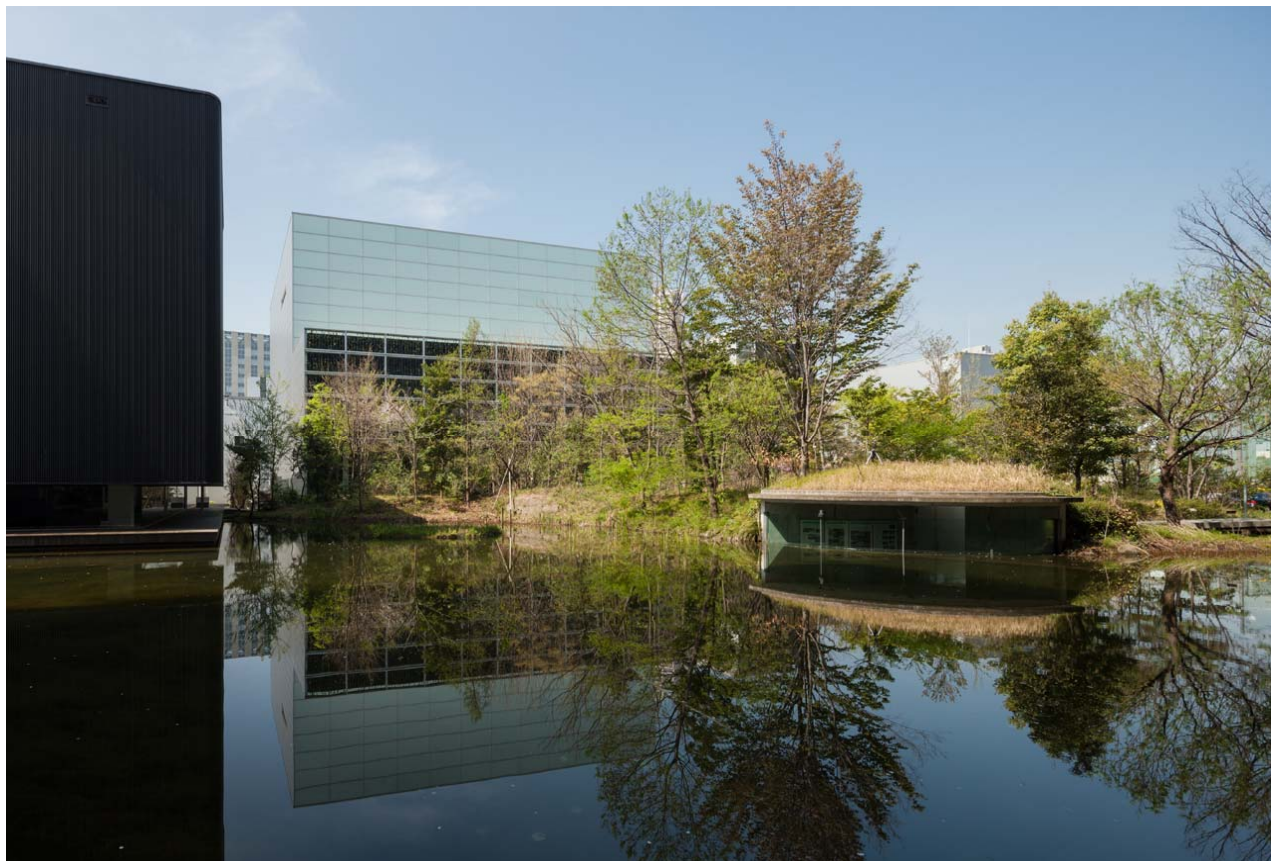


写真-5 先端地震防災研究棟外観



写真-6 空気ばねとダンパー

表-2 大型振動台(E-Beetle)と大振幅振動台(E-Spider)の性能

	大型振動台 (E-Beetle)	大振幅振動台 (E-Spider)
テーブル寸法	7m×7m	4m×4m
最大搭載重量	70 t	3 t
最大加速度	2.7G (水平) 2.2G (上下) 35t 搭載時	1.0G (水平) 0.9G (上下) 3t 搭載時
最大変位	±80cm (水平) ±40cm (上下)	±150cm (水平) +90cm/-70cm (上下)
メーカー	米国 MTS 社	オランダ MOOG 社

### 3.3 施設機能

大型振動台(E-Beetle)と大振幅振動台(E-Spider)の性能概要を表-2に示す。

2台の振動台は、以下の特長がある。

#### ① E-Beetle (写真-7)

- ・世界中の地震の揺れを再現：内陸直下型、海溝型など、過去に発生した世界中のあらゆる地震の揺れが再現できる。
- ・崩壊までの挙動を把握：大地震で構造物が崩壊するまでの挙動を把握することにより、想定外の事象にも備えることができる。
- ・建物全体の耐震性能を把握：主要構造体はもちろん内装材、外装材、設備まで含めた建物全体の耐震性能を把握し、設計に反映することができる。
- ・シミュレーション技術の高度化：モーションキャプチャー（赤外線カメラで撮影した試験体の挙動をコンピューターにデータとして取り込むシステム）を活用して実験することにより、試験体全体挙動を正確にシミュレーションすることが可能である。

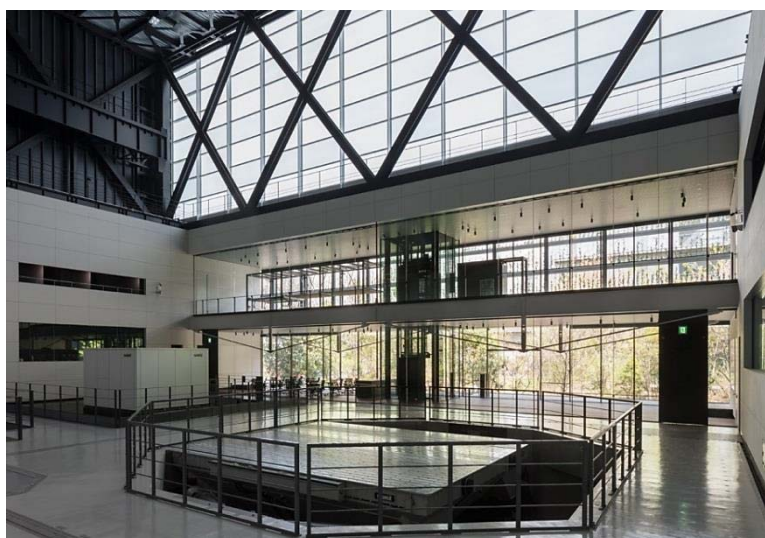


写真-7 大型振動台(E-Beetle)

#### ② E-Spider (写真-8)

- ・長周期地震動の完全な再現：地盤で観測された地震動の再現のみならず、超高層ビル最上階の長周期地震動による地震の揺れを3次元6自由度で再現できる世界初の振動台である。
- ・設備・什器・人への影響を把握：地震時の設備機器や室内什器の挙動を把握するとともに、揺れが人の心理・生理・行動に与える影響を把握することができる。
- ・地震をリアルに体験：地震による揺れや地震対策効果を体感できる地震体験プログラムを提供。
- ・体験キャビン内の壁面に居室を模したバーチャル・リアリティ映像を投射。地震の揺れに応じてリアルタイムに家具の挙動を解析・再現できる映像の同期により、非常に高い没入感を得ることができる (写真-9)。



写真-9 体験キャビン



写真-8 大振幅振動台  
(E-Spider)

## 4. 多目的実験棟

### 4.1 ねらい

多目的実験棟は、時代とともに変化する社会のニーズに即して様々な実験が可能な「着替えのできる実験棟」である。当面はスマート社会の実現に向けて、主にエネルギー制御やZEB関連技術などの環境・エネルギー分野を中心とした研究開発を行う拠点として整備した。

当面のねらいは以下の3つである。

- ・お客様に提案する「ecoBCP」に関連する技術革新とその実証
- ・実験環境の拡充による基盤技術力の強化
- ・最新の研究成果をお客様に体感していただく場の提供

### 4.2 建物概要

実験棟の建物概要を表-3に、建物の外観を写真-10に示す。「着替えのできる実験棟」実現のため、運河側外壁足場の本設化・メカニカルバルコニーなどにより、外装カーテンウォールの仕様変更や設備システムの変更を容易にしている。また、地震対応として、回転慣性質量ダンパー（ダイナミックスクリュー）によるハイブリッド集中制震システムを採用した。

表-3 多目的実験棟概要

用途	研究施設
構造種別	鉄骨造
建築面積	512.48 m <sup>2</sup>
延床面積	2336.36 m <sup>2</sup>
建物高さ	31.85m
階数	地上6階/地下0階

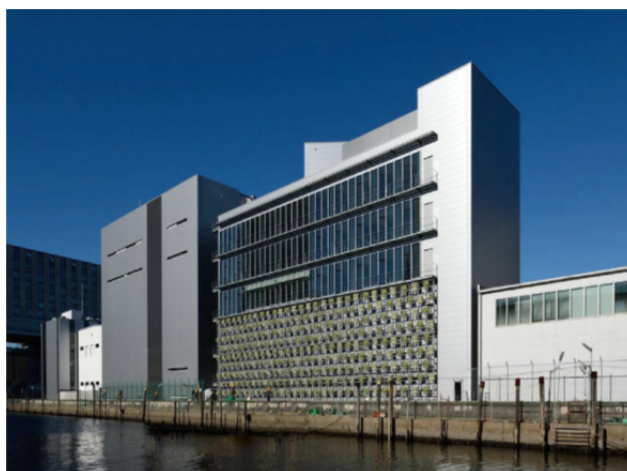


写真-10 多目的実験棟外観

### 4.3 施設機能

#### ① 多目的実験スペース

時代とともに変化する社会のニーズに即した多目的実験スペース。通常天井高の空間だけでなく、大型実験に対応可能な高天井の実験スペースも備えている。

#### ② 建築環境試験室

人工環境下で室内外の環境を再現できる試験室。屋外を模擬した外気室を設け、温度・湿度を自由に調整できるとともに、人工太陽灯により太陽による熱負荷を模擬する。空調設備の省エネ効果や室内の温熱環境、照明による光環境などについて、様々な条件で比較・検証することが可能である。

#### ③ 一対比較試験室（写真-11）

一対のファサード（外装）を任意の方位に回転させることができる試験室。ファサードの違いが省エネ性能や室内の温熱・光環境に与える影響を、屋外の実気象下で比較・検証が可能である。

#### ④ ZEBソリューションラボ（写真-12）

ZEB関連の最新技術を盛り込んだ模擬執務スペース。実際の運用や実験を通じて、空間としての省エネ性能や快適性の検証を行うとともに、空調設備等の開発技術の効果や使い勝手を利用者の視点で体感ができる。

#### ⑤ エネルギーマネジメントラボ

清水のエネルギーマネジメント技術を集約。技術研究所全体の運用データを集約するとともに、当社がこれまで他社に先駆けて取り組んできたマイクログリッド、デマンドレスポンスをさらに進めて、複数建物を統合制御する「多棟スマートBEMS」に関する研究開発と実証を行う。



写真-11 一対比較試験室外観外観

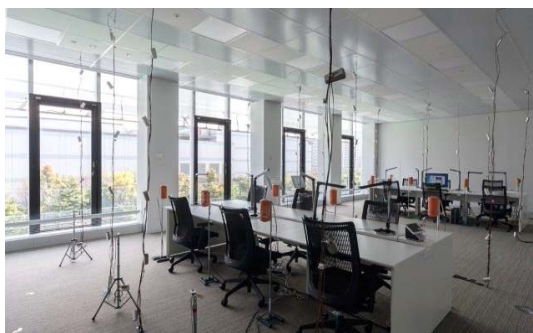


写真-12 ZEBソリューションラボ

## 5. 材料実験棟

### 5.1 ねらい

材料実験棟は、建設物の性能を向上させる「高機能・サステナブル材料の研究開発拠点」として整備した。具体的なねらいは以下の3つである。

- ・建設基盤材料の最適品質の具現化
- ・安心・快適社会に貢献する高機能材料の開発
- ・持続性社会を支える高度コンクリートの技術開発

### 5.2 建物概要

材料実験棟の建物概要を表-4に、建物の外観を写真-13に示す。

材料実験棟は大型構造実験棟と護岸に挟まれており、外部足場の設置が困難であった。狭隘敷地における施工を容易にするため、以下の工夫を行った。

#### ① ユニット工法（鉄骨・外壁アッセンブリー工法、 図-1、写真-14）

- ・鉄骨は組柱を耐震要素としたメガフレームにすることにより構成ピース数を最小化。
- ・外壁と組柱の一体ピース化。
- ・ジョイントディテール簡素化・単純化。

#### ② 建備一体施工

- ・縦シャフト、天井内設備工事の合理化  
上記の工夫により、通常施工に比べ約60日の工期短縮となった。

また、ダイナミックスクリューによるハイブリッド集中制震システムを採用するとともに、1階、4階の床には、新たに開発したゼロシュリンクコンクリート（乾燥収縮ネットゼロ）を採用した。

表-4 材料実験棟概要

用途	研究施設
構造種別	鉄骨造
建築面積	711.33 m <sup>2</sup>
延床面積	3144.41 m <sup>2</sup>
建物高さ	19.70m
階数	地上5階/地下0階

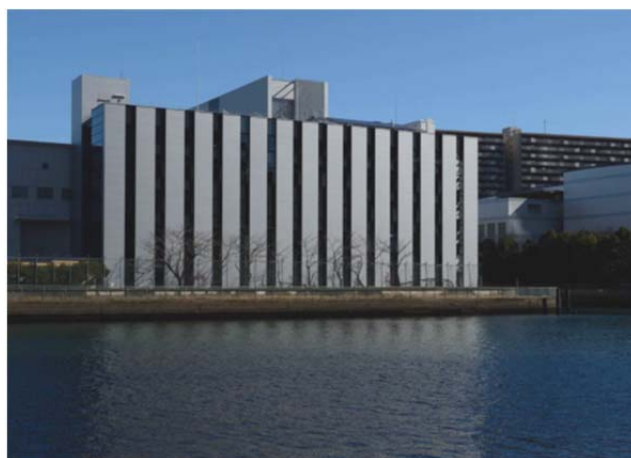


写真-13 材料実験棟外観

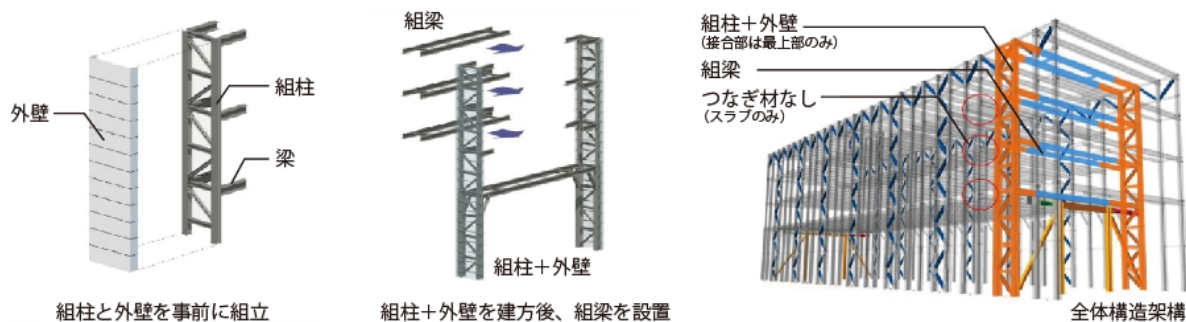


図-1 鉄骨・外壁アッセンブリー工法の概要



a.地組された組柱を仮置き場に設置



b.仮置き場で外壁取付



c.組柱・外壁の建方



d.建方全景

写真-14 鉄骨・外壁アッセンブリー工法の施工状況

### 5.3 施設機能

#### ① コンクリート実験エリア

ミキサー室、養生室、強度試験エリア、恒温恒湿室などで構成され、コンクリートの試験練りや強度試験、コンクリートの乾燥収縮試験、クリープ試験などを行う。また、環境可変室では、海外の様々な温湿度条件に合わせた試験練りなどが可能である。

#### ② 材料特性実験エリア

材料評価に必要な資材の加工や施工を模擬した試験や、オートグラフによる建材の強度試験、各種機器による耐久性試験などを行う。また、電子顕微鏡やX線回折装置などによるナノ・分子レベルの化学特性の評価や、建材から発生するガス成分の分析などが可能である。

#### ③ 暴露試験場 (写真-15)

屋上階の暴露試験場では、気象データの取得とともに、建設材料の劣化や汚れに関する長期性能試験を実施する。

#### ④ コンクリート・デザイン・ウォーク (写真-16)

材料実験棟エントランス部には、全長17mの擁壁(コンクリート・デザイン・ウォーク)を設け、これまで開発した高強度コンクリートなどを展示している。また、全長17mの側壁は、新たに開発したゼロシュリンクコンクリートを用いて目地なしで施工した。ゼロシュリンクコンクリートの効果を検証中である。



写真-15 暴露試験場

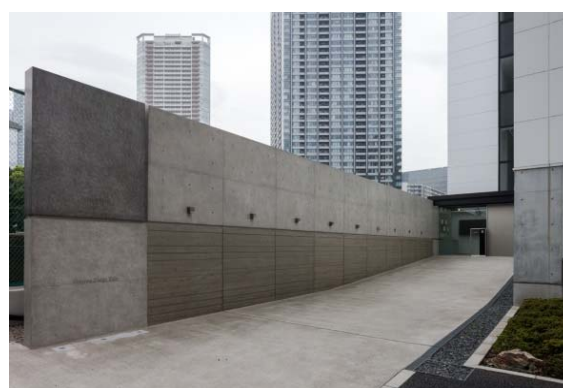


写真-16 コンクリート・デザイン・ウォーク

### 6. おわりに

「先端地震防災研究棟」、「多目的実験棟」、「材料実験棟」3棟の建設により、「将来を見据えた研究開発の場」として当初のねらい通りの充実した環境となった。この環境を生かし基盤技術のたゆまぬ研鑽と、時代とともに変化する社会のニーズを先取りした課題に挑戦していく。また、「開かれた研究開発拠点」として、開発した技術の実証と技術情報を社会に広く発信する場としても活用する予定である。

<付録> 設計の視点からの技術研究所施設の変遷

技術研究所施設の変遷

1972年旧研究所本館が竣工し、技術研究所は京橋の旧本社から現在の越中島に移転した。実験棟の整備は、移転直後から始まった。1973年着工の大型構造実験棟(1975年竣工)、音響実験棟(1975年)、凍土試験室(1977年)、耐火実験棟(1978年)、環境実験室(1978年)、風洞実験棟(1982年)、中央実験棟(1982年)、岩石実験棟(1985年)、振動実験棟(1986年)などである。このように建設基盤分野の研究開発施設や、時代の要請によるプロジェクト対応の施設が逐次拡充された。1990年代になると多様化したニーズに応えるため、技術研究所は、将来を見据えた研究開発拠点、開発技術実証の場、技術情報の社会への発信の場として役割を担うことになり、施設も再整備することになった。今回の3棟の建設も再整備の一環である。

1990年代から今回の実験棟建設まで、施設設計の中核を担った日置常任顧問と神作部長に、設計の視点からあらためて振り返っていただいた。

(桂 豊)

都市型技術研究所へのパラダイムシフト

1990年代後半、企業における“知”の積極的な活用と、“社会との接点”の顕在化を目指し、技術研究所を顧客に近接し、社会ニーズに呼応する都市型研究所として再構築することとした。これまでの旧本館を中心とした“ヒエラルキー構造”による配置から脱却し、複数の研究棟が環状に連携し、都度更新される持続可能な“リンクージ構造”への転換を図った。即ち、中庭を核として展開する実験棟群は、時代の要請によってスクラップ/ビルドされ、常に最先端の研究・実験を行い、前面道路に配置した新本館は、開発技術の実証と社会への情報発信の役割を担うこととした。

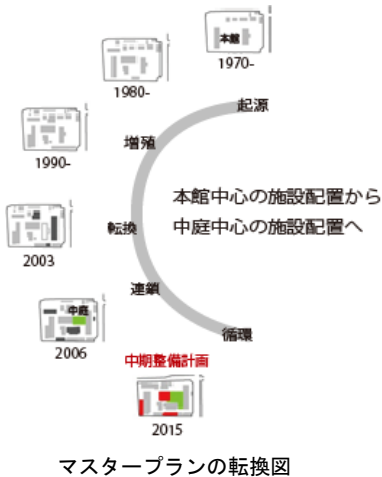
このパラダイムシフト以降、現在に至るまで建築を取巻く環境は、東日本大震災やそれに伴う電力逼迫等、かつてない大きな変革の波に曝された。当技術研究所は構想に則り、いち早く最先端の実験実証施設を計画・建設し顧客や社会との共創により、時代の要請に応える知見を提供してきた。特に平常時の環境配慮、省エネ(eco)

と、非常時の事業継続性(BCP)の両立を図る“ecoBCP”を重要課題と捉え、自立型環境・防災施設への取組を本格化させ、更には建物レベルから街区レベルに至るエネルギーマネジメント技術も当技術研究所内で実証し、既に実用化されている。今後予想される“時代の要請”についても、超高齢化社会に対応する施設アクセサビリティ技術、あるいは生産性向上の為の建築におけるICT活用など新たな技術開発が始まっており、今後も技術研究所の変革は続いていく。

緩やかなデザインコード

建築群としての構成は、一般的なマスタープランとは異なり、形態制限等のデザインコードは緩やかなものとし、壁面線の統一等に留め、形態は素直に機能に委ねることとした。その為、風洞実験棟、安全安震館等、ユニークな形態が表出しており、機能を最大限に発揮すると共に、技術研究所らしさを醸し出している。中心に据えた中庭ピオトープも10年の時を経て、何時立ち寄っても“心地よさ”があり、まさに“要の空間”となっている。

(日置 滋)



住宅性能表示制度に対応する実験室を持つ他、老朽化した劇場等の建替え、改修の為の音響計画を精緻に検証できる無響室を備えた。



既存市街地やインフラを跨ぐ都市再生手法の確立と全館耐火設計、ドレンチャー水幕型防火区画、火災フェイズ管理型防災システム等、日本初の性能設計を実現建築の可能性を広げた。



高層ビル群を街区単位で風洞実験し、最先端の測定装置で風の流れを視覚化できる実験棟。免震技術として世界初のパーシャルフロートを実証した。



都心に2000㎡程度のピオトープを設けた場合、どの程度の生態系が再現できるかを実証。結果として大型の鷺類が飛来。毎年鴨が雛を孵す等、研究員の憩いの場ともなっている。

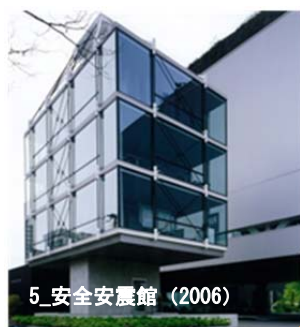


## 将来を見据えた創造・発信の場

時代の要請に応える為には、将来求められることを確かな知見をもって予測し、時代に先んじて技術を開発すると共に、その技術によって新しい価値を創造・発信していくことが求められる。1990年代後半アメリカから発したITの急速な発展を受け、電磁環境やITによる建物制御の研究開発を行うサイバー実験棟を皮切りに技術研究所のパラダイムシフトは始まった。2000年に入ると建築は仕様規定から性能設計の考え方が採り入れられるようになり、2003年竣工の本館では、全館耐火設計、ドレンチャー水幕型防火区画、火災フェイズ管理型防災システム等、日本初の性能設計を実現、建築の可能性を広げた。また、音響実験棟では住宅性能表示制度に対応する実験室を持つ他、老朽化した劇場等の建替え、改修の為の音響計画を精緻に検証できる無響室を備えた。日本では地震国ゆえの地震防災技術が研究の重要課題の1つであり、当研究所でも免震構の高性能化の研究・開発が進められてきた。

風洞実験棟では世界初のパーシャルフロートによる高性能免震を実現。パーシャルフロートとは建物重量を水による浮力と免震ゴムで支える構造であり、通常免震に比べ免震ゴムを小型化できるため長周期化できる。また、浮力の為の水を非常用水としても使うことが出来るので、災害用施設に適している。安全安震館では世界初の塔頂免震構造による高性能免震構造を実現。RC造のコアシャフト頂部に傾斜をつけた免震装置を上下2段に設置し、免震装置上部のトップビームから居室部を吊り下げる構造。これも従来の免震構造に比べ大幅に長周期化できる。また、エネルギー技術も重要課題であり、当研究所では2000年頃からマイクログリッド技術を開発してきた。2011年東日本大震災が発生し、電力供給が逼迫したことは記憶に新しいがこの年マイクログリッドとデマンドレスポンスと一体制御す ecoBCP 改修を行っている。

これにより本館の最大買電電力の前年比 ▲38%を達成した。その後、多棟間制御も実現し、愛知県の大学キャンパスでのスマートグリッド技術を活用した多棟間エネルギー管理や、東京での多数地にわたる事務所、集合住宅間でのエネルギー管理とBCP対策の実現という実案件に展開している。この技術は現在具体化されつつある、コンパクトシティ構想のエネルギー管理技術として活用が期待される。一昨年竣工した多目的実験棟では、今後新築公共建築物等で目標とされるZEBの実現に向けた技術や、高齢化社会に向けたアクセサビリティ向上技術が研究されている。今回竣工した先端地震防災研究棟建設は構造体の終局破壊も可能な振動台に加え、長周期地震動による超高層ビルの揺れを3次元で再現できる振動台を導入している。この実験棟によって更なる地震防災技術開発への挑戦が可能となった。(神作 和生)



5\_安全安震館 (2006)

世界初の塔頂免震構造による、高性能免震構造を実現。従来の免震構造に比べ大幅に長周期化可能。



6\_材料実験棟 (2013)

高機能・サステナブル材料の研究開発拠点。既存建屋と護岸に近接した都心の狭小敷地を想起させる敷地に対し、「鉄骨・外壁アセンブリ工法」を考案した。



7\_多目的実験棟 (2013)

ZEBや、アクセサビリティ向上の技術開発が行われている。耐震技術として高性能ダンパーを集中配置する技術実証も行った。



マイクログリッド (2011)

太陽光発電、各種蓄電装置(計600kW相当)天然ガスエンジンコージェネレーション、から構成されており、実験棟に約50%のエネルギーを供給。停電発生時には重要設備に対し無断での自立電力供給を継続することが可能である。



8\_先端地震防災研究棟 (2015)

構造体の終局破壊も可能な振動台に加え、長周期地震動による超高層ビルの揺れを3次元で再現できる振動台を導入している。この実験棟によって更なる地震防災技術開発への挑戦が可能となった。