

都市の次世代縦移動インフラを築く 世界一の研究塔とエレベーター新技術

New Elevator Research Tower and Newly-developed Technologies
Building Next-generation Vertical Mobility Infrastructure of City

大宮 昭弘
Omiya Akihiro

田島 泰彦
Tashima Yasuhiko

世界の各市場で建設される大規模ビルにおいては、ビル内人員の大量輸送が不可欠であることと、ビル空間の有効利用の面から、超高速・大容量エレベーターへの要求が高い。

日立グループは、これに応えるべく、エレベーター開発の実証実験を行うため、世界一の地上高213.5 m[※]となる新研究塔「G1TOWER」を建設し、2010年4月に竣工した。

G1TOWERは、風による揺れを軽減する風孔や制御装置を設置するなど、建築設計にもさまざまな工夫が凝らされている。今後はこの研究塔を用いて、世界最高速のエレベーターや世界最大級の高速・大容量エレベーターを開発していく。

1. はじめに

日立グループの超高速・大容量エレベーター開発の歴史は、「霞が関ビルディング」に代表される1960年代後半から始まった国内の超高層ビル建設に同期している。当時の乗用エレベーターの国内最高定格速度毎分150 mに対し、超高層ビルにはその2倍の毎分300 mという定格速度が求められた。このため、日立製作所は水戸工場（現 水戸事業所）に当時世界一の高さとなる90 mのエレベーター研究塔を建設し、正確な速度制御技術、振動騒音抑制技術、高速用安全装置などの開発・検証を行い、定格速度毎分300 mの超高速エレベーターを完成させた¹⁾。この成功により、その後も次々に、より高速なエレベーターを開発し、1993年には当時世界最速となる定格速度毎分810 mのエレベーターを開発した²⁾。この間、日立グループは国内において有数のエレベーターメーカーの地位を維持してきた。

一方、世界では、2000年代に入ってアジア市場、特に中国市場が急速に拡大し、かつてないほど膨大な市場を形成するようになった³⁾。ここには、世界中のエレベーターメーカーが参入しているため、日立グループも厳しい競争

にさらされている。また、中東を含め、世界的にビルの超高層化・大容量化の傾向があり、このようなビルには超高速エレベーターや大容量エレベーターが求められている。

このような背景の中、日立グループはこれまで培ってきた超高速・大容量エレベーターの技術を基に、製品の安全性、効率性、快適性のさらなる向上のための技術開発を行い、世界市場における製品競争力の強化を目的として、新しいエレベーター研究塔「G1TOWER（ジーワンタワー）」を建設した⁴⁾。建設場所は、昇降機の研究や開発、製造の拠点である水戸事業所の敷地内であり、塔の高さはエレベーター研究施設としては世界一となる地上高213.5 mである（図1参照）。

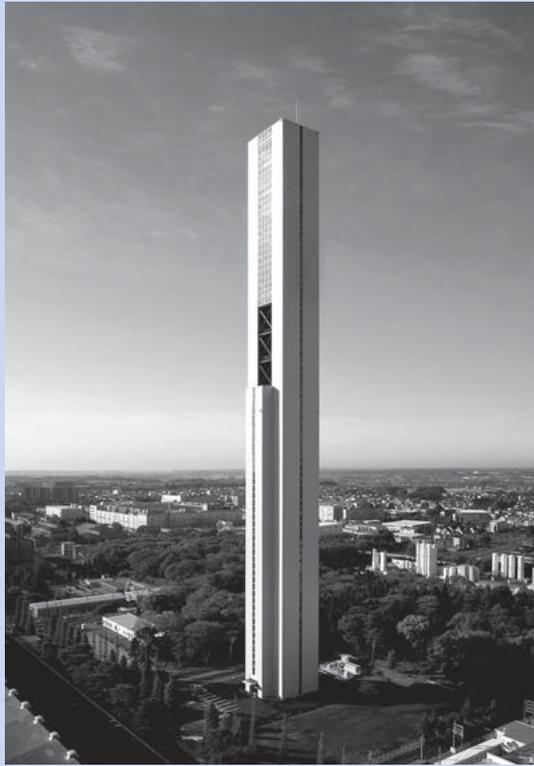
ここでは、G1TOWERの建築物としての特徴や工夫と、この研究塔で進行中のエレベーターの開発について述べる。

2. 建築計画概要

G1TOWERの建築計画の概要⁵⁾は次のとおりである。

- (1) 建物平面は高層部は矩（く）形、低層部は十字形状とした。
- (2) 軀（く）体の高さは203 mとし、アスペクト比10のきわめてスレンダーな塔とした。
- (3) 地上110～140 mの建物中間部に設けた風孔によって風外力の低減を図った。
- (4) 強風時の居住性を改善するため、塔の上層部に制振装置を設置した。
- (5) エレベーターの試験用および荷揚げ用のため、大容量・高揚程の揚重装置を設置した。

※) 2010年6月時点（日立製作所調べ）



(a) 外観



(b) 試験用昇降路(シャフト)



(c) 展示スペース

図1 | 「G1TOWER」の外観と内部

2008年3月に着工し、2010年4月に竣(しゅん)工した「G1TOWER(ジーワンタワー)」の外観と内部を示す。建築面積388 m²、地上213.5 m、地下15 m、地上9階、地下1階であり、エレベーターの研究施設としては世界一の高さを誇る。G1TOWERでG1(グローバルナンバーワン)のエレベーター技術および製品を生み出していく。

3. 構造計画

構造は、地上203 mまでの矩形平面のメインコアウォールを中心に、地上110 mまでの低層部分の両側に配置させたエレベーター試験用シャフトに構造的なアウトリガー(安定脚)としての機能を持たせ、十字形状に配置した。メインコアウォールは、四つのL型コアウォールを境界ブレースおよび境界梁(ばり)によって連結する構造とした。これらの構造(ハイブリッド構造)などにより、強風時の共振現象を低減するとともに、地震荷重が過大にならない建物の固有周期を実現した。

G1TOWERは、エレベーター試験用シャフトとしての機能を最大限に持たせるため、空力的に不利である隅切りのない平面形状とし、別の手段で風外力の低減を試みた。それが、地上110~140 mに設けた風孔であり、効果としては、強風時(レベル2風荷重:きわめてまれに発生する暴風。再現期間500年)の風荷重を、レベル2地震荷重(耐用年数から考えて、遭遇する可能性の低い、きわめてまれに発生する地震動)以下に収めることができた(図2参照)。

また、基礎は円筒状のコンクリートの塊とし、地下の堅固な岩盤に直接乗せ、その外周には壁厚1 mの地中連続壁を岩盤に入れ、地震時や強風時の転倒防止策としている(図3参照)。

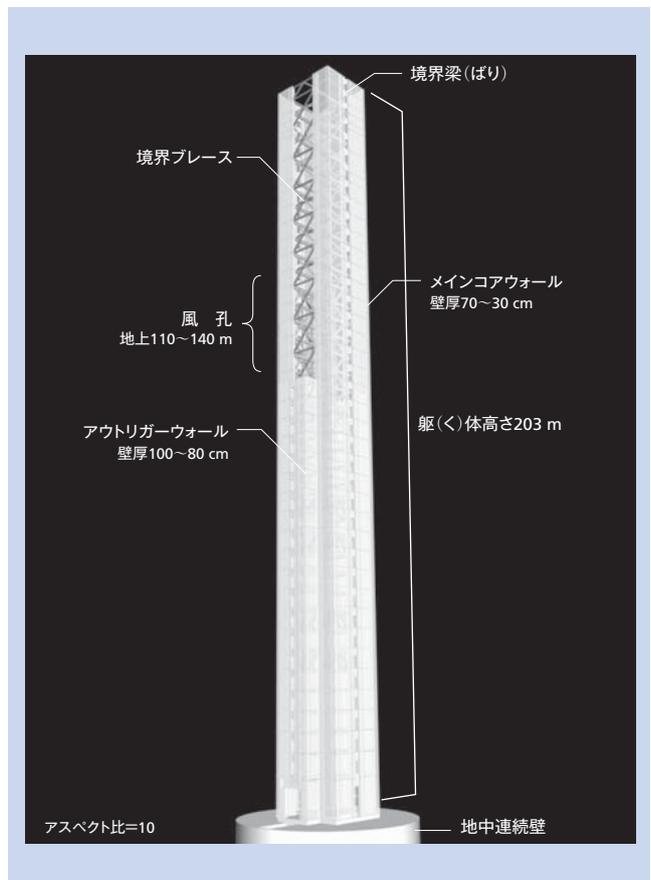
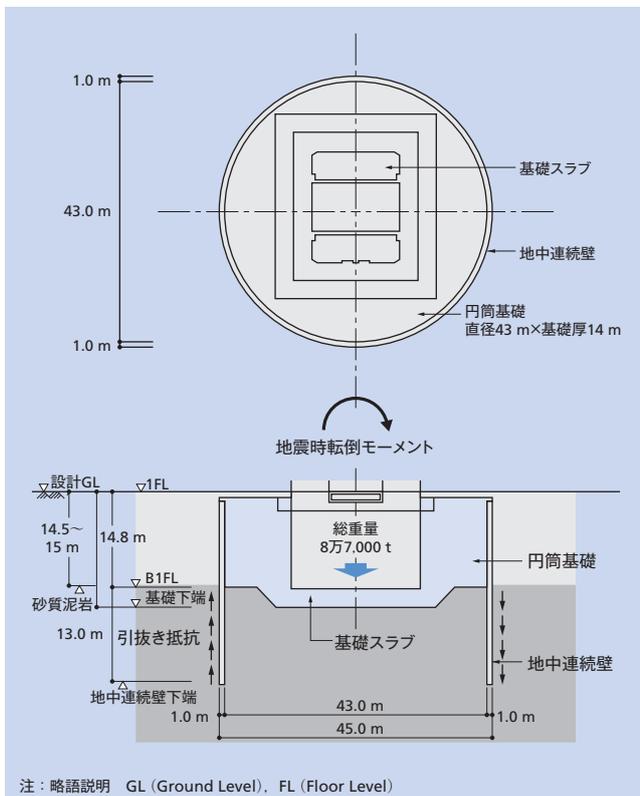


図2 | 構造バース図

躯(く)体の高さは203 m、建物の最高高さは213.5 mである。



注：略語説明 GL (Ground Level), FL (Floor Level)

図3 | 基礎計画図

地震や強風に耐えることができる基礎となっている。

4. 耐震・耐風設計

G1TOWERは超高層ビルであり、アスペクト比10のきわめて細長い塔であることから、耐震設計や耐風設計では特に慎重な評価を行った。

まず、耐震性能は、レベル1地震動（耐用年数中に一度以上遭遇する可能性の高い、まれに発生する地震動）とレベル2地震荷重の2段階での評価を行い、例えば、レベル2での主要構造部材は弾性限耐力以下に収まることなど、問題のない結果を得ている。これは、前述の構造計画で述べたハイブリッド構造の効果であり、高い耐震安全性を有していると言える（図4参照）。

次に、耐風性能については、まず予備風洞実験において、風孔ありモデルと風孔なしモデルによって風孔の有効性を評価し、構造設計に反映させた（図5参照）。続いて、風孔が反映された構造のモデルを用いて風洞実験を行い、レベル1風荷重（まれに遭遇する暴風。再現期間100年）と、レベル2風荷重の2段階で風荷重を評価した。その結果、例えば、レベル2風荷重での地盤の支持力は極限支持力（レベル2地震荷重）以下に収まることなど、問題がない確証を得ている。さらに、風洞実験では、想定した最大風速（レベル2風荷重）を超えた範囲まで評価し、再現期間1,000年の風速レベルでも建物に致命的な現象が生じないことを確認した。これらにより、G1TOWERは高い耐風安全性を有していることがわかる。

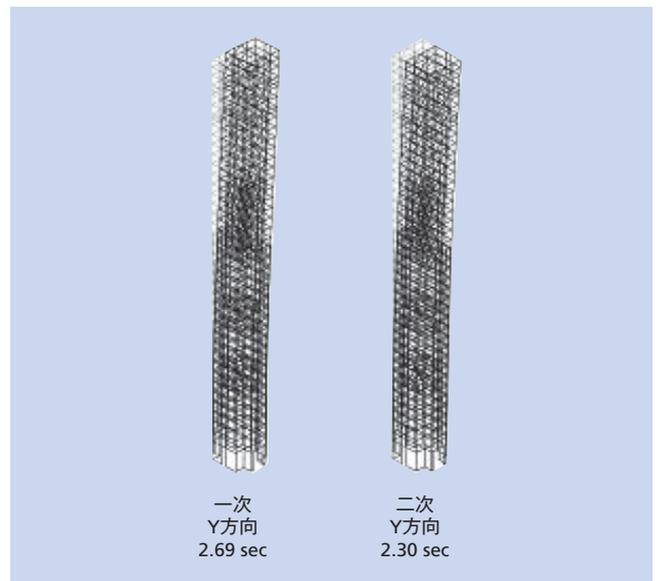


図4 | 固有モード図

塔の地震応答解析に用いた振動解析モデルの固有値解析結果である。

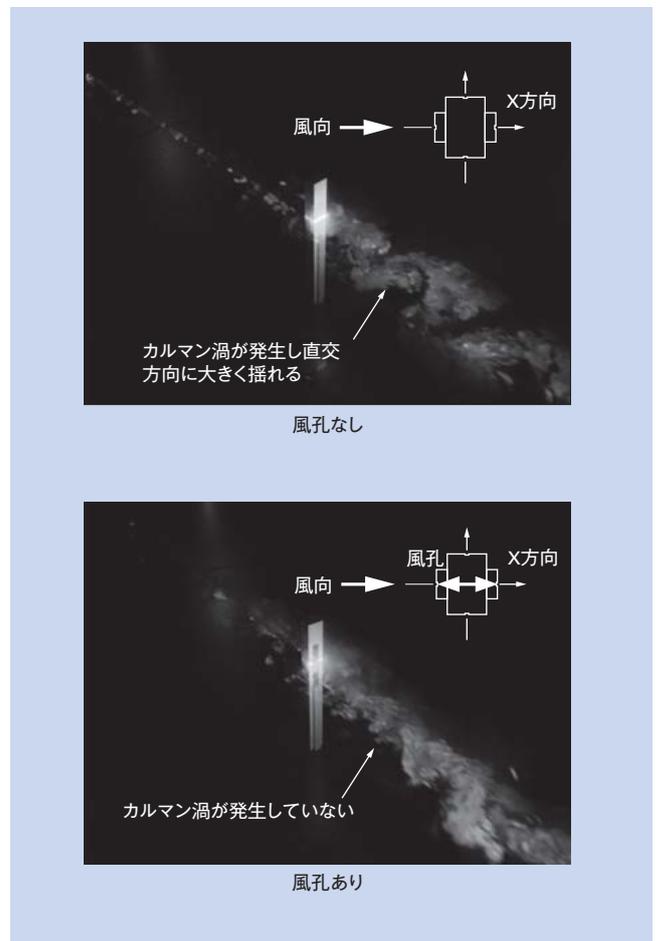


図5 | 風洞実験

流れの中に障害物（建物）を置いたとき、その後方に交互にできる渦の列を「カルマン渦」と呼ぶ。これが生じると、建物に振動が加わる。

5. 設備

G1TOWERには、塔内にさまざまな部材や機器を持ち上げるため、大容量の揚重装置を最上部に設置している（図6参照）。荷揚げのほか、エレベーターの非常止め試験に用いる荷重枠を支える役目も果たす。

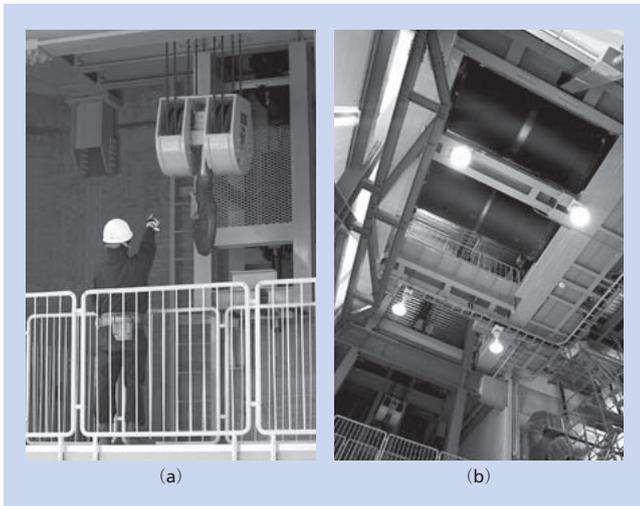


図6 | 大容量揚重装置

最大揚程は210 mである。正面から見たフックを(a)に、巻上機を下から見上げた様子を(b)に示す。

また、前述した耐風設計により、暴風時にも建物の耐風安全性を確保しているが、図4に示す塔の固有周期(2~3秒の長周期)で建物がゆっくり揺れ、塔内の居住性悪化が懸念された。それを抑制するために、制振装置を塔上部に設置した(図7参照)。

この装置はアクティブマスダンパ(AMD)であり、地上部、塔中間部、塔上部の3個所に設置した加速度センサーで地震時や強風時の建物の揺れを感知し、最適制御理論に基づく制御則により、建物の揺れが収まるように錘(おもり)をモーターで動かす。これにより、地震および強風時の居住性が改善され、エレベーター据付け作業や実験時の作業性向上が図れた。

なお、この制振装置の機能を応用し、加振装置として塔の固有周期に同調させて塔を強制加振することにより、地震や強風時の建物の揺れを再現できる。この状態で他装置の試験、例えば、エレベーターの耐震性に関する実験などを行うことが可能である。

6. エレベーター開発

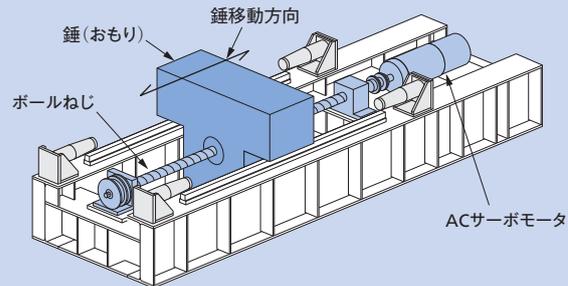
次に、G1TOWERを用いて行うエレベーターの開発について述べる。

前述のように、G1TOWERには、超高速・大容量機種対応やそれ以外の機種にも使えるエレベーター用の昇降路を複数準備した。これらのうち、超高速・大容量エレベーター用の昇降路[図1(b)参照]において、主に次の2種類の開発を進める。第一に、定格速度毎分1,000 m以上の超高速機種の開発、第二に、積載質量5 t以上、かつ、定格速度毎分600 m以上の大容量機種の開発である。

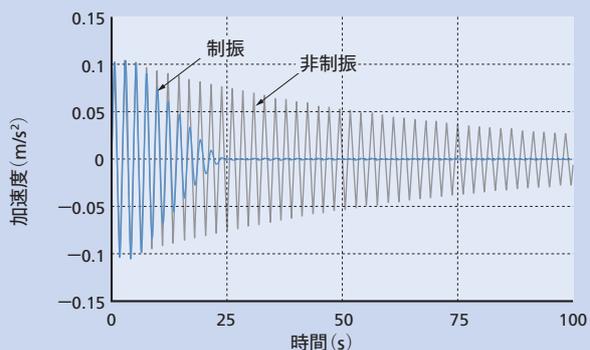
超高速機種の開発については、開発済みの大型巻上機と大容量駆動制御装置の技術を応用し、実際に超高速での実



(a) 設置状況



(b) 制振装置(1台分)



(c) 制振時と非制振時の減衰比較例

注：略語説明 AC (Alternating Current)

図7 | 制振装置

制御装置はX、Y方向に各2台、計4台を設置している。制振装置は、錘をモーターで動かし、制振する。

証試験を行う。ほかにも安全装置である非常止め、调速機(ガバナ)、バッファなどの実証試験も行う。また、このような超高速エレベーターの行程は長いため、乗りかごをガイドしているガイドレールの曲がりなどを主な要因とする乗りかごの振動増加による乗り心地低下や、乗客の耳づまりによる快適性低下が懸念される。これらを解決するため、乗りかごの振動を低減するアクティブガイド装置⁶⁾(図8参照)や、乗りかご内の気圧を調整する気圧調整装置などの技術も開発していく。

一方、大容量機種の開発については、大容量化に必須とされているダブルデッキエレベーターのさらなる大型化・高速化に向けた開発を進める。G1TOWERにこの試験用エレベーターを設置し、実証試験を行う。例えば、同エレ

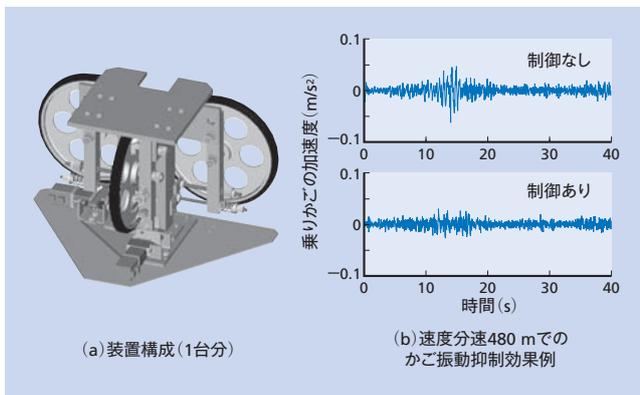


図8 | アクティブガイド装置の構成および効果

乗りかご内の加速度をフィードバックして、ガイド装置のローラ押し付け力を制御するアクティブガイド装置を(a)に、かご振動抑制効果例を(b)に示す。

ベーターの上かごと下かごとの間の距離を調整する階高調整装置の試験などである。これは、建物によっては階床間の高さが異なっている場合があり、このような建物にダブルデッキエレベーターを適用させるために必要な装置である。

G1TOWERでは、以上に代表されるような最先端技術・製品の研究開発を進めていく。そのほか、地震後でもすぐにエレベーターを使えるようにするための耐震技術など、将来技術の研究開発にも取り組んでいく。

7. おわりに

ここでは、G1TOWERの建築物としての特徴や工夫と、この研究塔で進行中のエレベーターの開発について述べた。

G1TOWER、および地上高90 mの旧研究塔も引き続き活用していくことにより、エレベーターの安心、快適、便利を追求するだけでなく、地域のシンボルタワーとして社会へ貢献していく所存である(図9参照)。

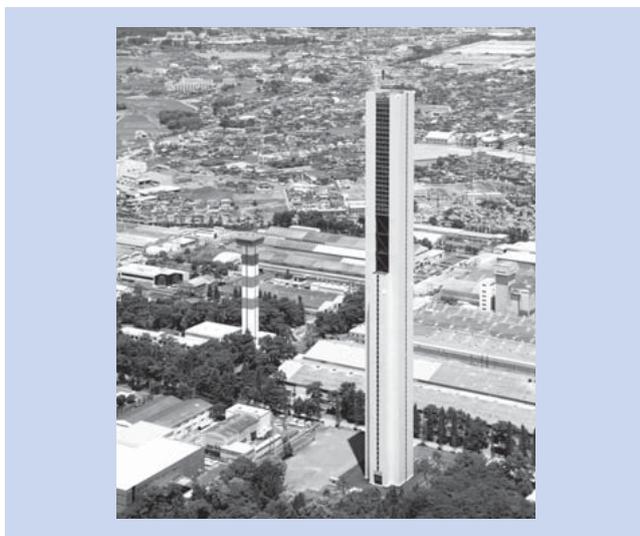


図9 | G1TOWERと旧研究塔の外観

写真左側の塔が地上高90 mの旧エレベーター研究塔である。

最後に、建築設計を担当した清水建設株式会社設計本部の広瀬景一氏、揚重装置を担当した株式会社日立産機システムソリューション・サービス統括本部の永野孝幸氏、制振装置設計を担当した日立オートモティブシステムズ株式会社走行制御事業部の小松宏康氏をはじめ、関係各位に深く感謝する次第である。

参考文献

- 1) 超高層ビル用エレベーター特集：日立評論, 50, 9 (1968.9)
- 2) 重田, 外：速度810m/min超高速エレベーターの開発, 日立評論, 75, 7, 437~442 (1993.7)
- 3) 三井, 外：ロープ式エレベーター技術発展の系統化調査, 技術の系統化調査報告, Vol.9, 国立科学博物館 (2007.3)
- 4) 新エレベーター研究塔の建設：日立評論, 92, 1, 63 (2010.1)
- 5) 広瀬：BCJが審査した技術の紹介 (株)日立製作所新エレベーター研究塔G1TOWER, ビルディングレター, 技術レポート, 第537号, 財団法人日本建築センター(2010.9)
- 6) 松岡, 外：大容量・超高速エレベーターの開発, 日立評論, 88, 12, 944~947 (2006.12)

執筆者紹介



大宮 昭弘

1991年日立製作所入社, 都市開発システム社 水戸事業所 設計開発本部 開発設計センター 所属
現在, 主にエレベーター製品の開発企画業務に従事



田島 泰彦

1993年日立製作所入社, 都市開発システム社 水戸事業所 生産本部 生産技術部 所属
現在, 主に水戸事業所内の設備投資管理, および施設・インフラ管理業務に従事