

秋田県立大学が高校生に贈る「科学のフリーペーパー」

“

GRAPHIC SCIENCE MAGAZINE

”

# イスタ Science

【イスタサイエンス】

2012.11

Vol. 10

## 日本一高い建物 「東京スカイツリー®」

2012年5月22日に開業した東京スカイツリー。

今回のイスタサイエンスは、日本一高い建物を企画・設計・施工と各分野で携わった方々に、秋田県立大学システム科学技術学部 建築環境システム学科の教員が、普段聞くことができない東京スカイツリーのことについてインタビューしています。

「なぜ東京スカイツリーが建設されることになったのか？」「完成までにどの位の人が企画・設計・施工等に関わったのか？」など、高さ634mの東京スカイツリーについて、いろいろな切り口でお話をうかがっています。

### お話を聞かせていただいた方々

東武タワースカイツリー株式会社 広報宣伝部 **豊島 翔** さん

株式会社日建設計 構造設計部門 シニアエキスパート 技師長 **慶伊道夫** さん

株式会社大林組 技術本部企画推進室副部長 **田村達一** さん

# Interview 日本一高い建物「東京スカイツリー」



## 話し手

写真左から

**豊島 翔** (施主：東武タワースカイツリー株式会社)  
**田村 達一** (施工：株式会社大林組)  
**慶伊 道夫** (設計：株式会社日建設計)



## 聞き手

秋田県立大学システム科学技術学部建築環境システム学科

**苅谷 哲朗** 教授 (左)  
**菅野 秀人** 准教授 (中)  
**西田 哲也** 教授 (右)

### Q. なぜスカイツリーが建設され、押上地区という場所に建設することになったのでしょうか？

電波を発信するタワー等があったのですが、東京都内にも200mを超える高層ビルが増え、各家庭に電波が届きにくくなる懸念があり、電波を安定的に届けるには600m級のタワーが必要ということになり、在京キー局6社によるプロジェクトの中で、数ある候補の中から建設場所として墨田区が選ばれました。また、選ばれた理由としては次のことが挙げられたと聞いています。

1. 浅草という有名な観光地が近くにあり、観光収入が充分に見込めること。
2. 4路線の電車が交わる場所から、交通の便が良いこと。
3. プロジェクトに対し、墨田区からの要望・協力が得られたこと。

(豊島)

### Q. 設計者選定、施工者選定はどのように行われましたか？

設計を担当した株式会社日建設計さんは、東京タワーをはじめ、多くの高層建築物を設計している実績がたくさんあったこと。施工を請け負った大林組さんは、高層建築物の施工実績はもちろんのこと、発注者側の意向・要望を数多く取り入れた提案をしたことから、東京スカイツリーの設計・施工に2社が選ばれました。

この2社により秋田市土崎港にある秋田ポートタワーセリオンも設計・施工されたそうです。(豊島)

### Q. どの位の人数が企画・設計・施工に関わりましたか？

事業を行う東武タワースカイツリー株式会社は企画等に携わった者で約60人(豊島)、設計を担当した者は、一番多い時で約100人(慶伊)、施工に携わった者は、施工監理者が約100人、ゲイン塔の施工段階で1日500人、仕上げ段階で1日1000人、延べ58万人工<sup>\*</sup>が工事に携わりました。規模の割に、工事に携わった人数は少ない方なんですよ。

<sup>\*</sup>人工(にんく) …人が1日に働く(量)単位

(田村)

### Q. 設計計画が持ち上がったから、竣工までどれくらいの期間がかかりましたか？

2008年7月14日から2012年2月29日までかかりました。建設場所が決定したのは2006年3月に最終決定されました。建設地の決定からは、約6年かかって完成しています。(豊島)

とても長い年月と、たくさんの方々の関わりがあり、日本一高い東京スカイツリーが作られたことがうかがえました。次は、東京スカイツリーの建物的な視点からお話をうかがっています。



## 「世界にも例のないタワー形状が生まれました」

Q. 足元の平面形状は三角形で上部に向かうにつれて円形に近くなる特徴的なデザインをしています。そのようなデザインにいたった経緯を教えてください。また、どれくらいのデザイン案を考えられましたか？



設計時の模型「提供：日建設計」

詳しくは数えていないので確かな数は不明ですが、建設場所決定の2006年から施工開始となる2008年の期間の中で、数百近いデザイン案が考えられました。

敷地面積は約3.69ha。元は貨物列車ヤードの跡地で、設計をはじめた当時は、東武鉄道の用地や一般駐輪場として使われている場所でした。

敷地面積は広いものの、東西方向に細長い敷地で、敷地内には都営浅草線が地下に斜めに横切っており、また、工事スタート時には敷地西側にあった東武鉄道本社ビル（現在は移転済み）を残すことなど、様々な設計条件がありました。

タワーは、足元のスタンス幅が長いほど構造的に有利に働きます。そこでこの敷地においてスタンス幅を最大限確保できる平面形状を求めると、一辺の長さが約60mとなる正方形や同じく直径が60mとなる円形よりも、北に頂点をもつ正三角形だと一辺の長さが約68mとなることが分かりました。

また、展望台ロビーに上がった気分で、航空写真やヘリコプターでホバリングして撮影した映像を見ると、この敷地は、時代を超えて悠久の流れを育む隅田川と荒川、そして南側に東西に走る鉄道や幹線道路等の交通軸に囲まれた三角形の地勢の中心に位置し、その三辺に直交する様々な通りが「タワー」に向けてあつまる焦点に位置していました。

三角形の低層部平面計画は、これらの通りに正対する3つのゲートを生み出すことにもつながりました。

3点で地盤に降り立つ構造体は、中国の儀礼に用いられた<sup>かたえ</sup>鼎（3つの足でどのような場所でも自立する）を想起させます。また、周辺地域（特に北側住宅地など）への圧迫感を抑えるなど近隣への配慮も意図しました。



一方、展望ロビーに上がった人は必ず自分の家の位置を探したくなるであろうと考え、1周360度を見渡せることを重視し、展望ロビーの平面形状には円形がふさわしいと考えました。また、円形であれば、どの方向から吹いてくるか分からない強風に対しても構造材を均等に配置させることができます。

こうした結果、低層部の三角形から高層部の円形へとトランスフォーム（高さ315mで円〔正確には正24角形〕に変化）する世界にも例のないタワー形状が生まれました。

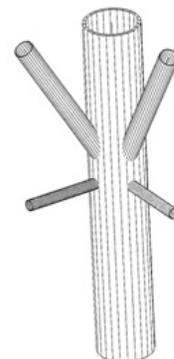
三角形から円形への変化は、タワーのデザインに日本の伝統文化に見られる「そり」や「むくり」という形状も生み出しました。底面の三角形の頂点から頂上へ向けて描くタワーの稜線は日本刀のもつ「そり」を、円形へ変化する部分からは奈良平安時代の寺院建築の列柱がもつ中央部がふくらんだ「むくり」というデザインを、併せ持つことになりました。

（慶伊）

（※文章の一部は、日建設計：東京スカイツリー®の設計より引用）

Q. 今回利用された特殊技術、形態的特徴と新技術について教えてください。

タワーを構成する架構は鋼管トラス構造を採用しました。タワーの架構形状は「そり」と「むくり」をもつ3次元的に各部材が連結される形状です。そのため、形状的な方向性がなく接合が容易な円形鋼管を使用するとともに、その接合部は「分岐継手」を採用しています。今回使用した鋼管は、強度、サイズともに大きく、高力ボルトによる接合が難しいため、溶接にせざるを得ないこと、ボルト



分岐継手概要図  
「提供：日建設計」

接合に必要な補助材が不要になることによる外観上の利点、防錆上の弱点が少ないことが特徴です。

水平構面を形成する部材は主に冷間成形角形鋼管で、接合部には耐候性高力ボルトを使用しています。地震力および風荷重に対しては主に鼎トラスと外周架構（外塔）で抵抗します。

また、固有値解析により、全体座屈の可能性を検討し、安全であることを確認しています。なお、各部材は強風による渦励振の影響も考慮して設計しています。

この鋼管トラス構造が採用された背景には3次元CADの存在もあります。実際にトラスを組み合わせることで、鋼材の断面が計算されたり、他の鋼材との接合のずれの把握等、3次元CADがなければ、東京スカイツリーは建設されなかったと言っても過言ではありません。

(慶伊/田村)

#### ●分岐継手の設計

鼎トラス、外塔等の柱材、ブレース材、水平材は各々が3次元的に連結されて接合部を形成することから、部材断面として力の流れがスムーズな継ぎ目にする事ができる鋼管を使用するとともに、接合部は分岐継手を採用しました。

今回使用しているような高強度鋼材を使用した大断面による分岐継手の安全確認は、日本建築学会の「鋼管トラス構造設計指針」では適用外となるケースも見られることから、API (American Petroleum Institute) 規準を基本に、日本建築学会指針およびFEM解析で補完しながら溶接部を含む強度確認を行いました。

この分岐継手の耐力検討に関しては、風荷重については設計用風荷重（静的荷重）による検討を行い、地震荷重については静的設計用地震荷重を定義していないことから時刻歴応答解析に基いて時刻歴で分岐継手の耐力検討を行いました。さらに、風、地震を考慮した疲労検討も全継手（約6000種類）に対して行うことで、安全性を検証しています。（日建設計：東京スカイツリー®の設計より引用）

#### ●使用鋼材

構造物が高いという理由だけでなく、幅・高さ比がかなり大きいため、地震時や台風時に個々の部材に作用する断面力が大きくなります。そのため、高強度で断面積の大きな部材が必要となりました。同様の理由で、その部材の接合方法も溶接が前提となっています。さらに、ひとつの部材の重量が大きいことから、運搬、揚重の条件に合わせて部材を短く分割して現場に納入し、現場溶接により部材をつなぎ合わせていく工法を選択しました。

そうした結果、高強度で靱性が高いだけでなく、予熱等の問題を含めて溶接性にも優れた鋼材を使用する必要がありました。

今回使用した、降伏強度が400N/mm<sup>2</sup>以上の鋼材は、これらの要求性能を満足するとともに、東京スカイツリー®建設のために国土交通大臣の認定を取得して採用された鋼材です。

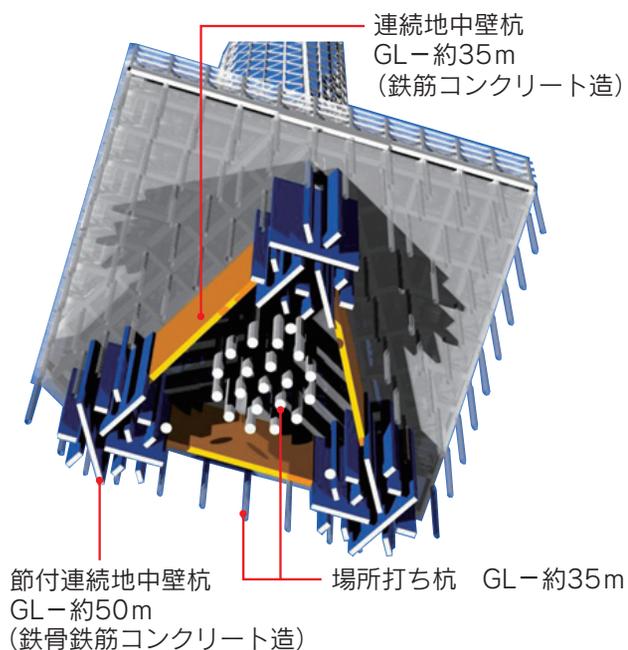
(日建設計：東京スカイツリー®の設計より引用)

また、基礎（地下）構造としては、世界一の高さのタワーを支える基礎杭には大林組が開発した「ナックル・ウォール」が設計に採用されています。これは壁状の杭に節のような突起を付けたものです。地震や風などによって引抜きや押し込みの強い力がかかりますが、節を付けることで杭が地盤に固定され、タワーを支える力が大幅に増大するものです。また、壁状のため剛性が高く、地震時の水平力にも高い抵抗力を持っています。（田村）

#### ●基礎構造の設計

タワーの基礎は、GL-35m以深の堅固な洪積砂礫層を支持層とし、高い耐力と剛性を有する鉄筋コンクリート連続地中壁杭と場所打ち杭からなります。特にタワー本体の足元部分には通常の鉄筋コンクリート連続地中壁杭と鼎トラス直下に配置した鉄骨鉄筋コンクリート（SRC）連続地中壁杭を配置しています。SRC連続地中壁杭は壁面に節を付けることで大きな引き抜き耐力をもたせ、先端位置もGL-50mとしています。さらに、壁杭内部にはH形鋼を配置して壁杭自体の引張耐力を大きくしています。節付連続地中壁杭については本敷地における実大実験を実施して引き抜き耐力を確認しています。

引き抜き力を地業に確実に伝えるSRC造基礎部は、上部鉄骨造であるタワーから大きな曲げとせん断力が作用することから、その平面形状に合わせて鋼板壁を内蔵した鉄骨鉄筋コンクリート壁を配置しています。鋼板壁の板厚は50mm、40mm、27mmとし、鉄筋コンクリートの壁厚は2,700mmおよび1,900mmとしています。



杭基礎概要図（見上げ図） 「提供：日建設計」

#### Q. このタワーの建設工事でのポイントを教えてください。

施工に関しては常に、安全と品質を満足しながら、決められた時間の中で形にするということを求められました。

## 「世界で前例のない、誰もやったことのないようなことを」

また、今回の施工上の特徴は、使用した鋼材が今までにない新しい鋼材であり、鋼材を開発する鋼材メーカー、それを加工していく製作者とのやり取りや、溶接のテスト、材料自体も開発途中なのでテストもできなかったこと。また、鉄骨むきだしとなって仕上がっているので、メンテナンス用部品、ライトアップ照明用金物など、設計段階では決まっていなかったものをどんどん施工していかないと、後から取り付けることができないので、決まった時間の中で工事を進行させながら作っていかねばいけなかったこと。工事全体の中の細部までマネジメントし、シュミレーション管理しながらの工事であったこと。世界で前例のない、誰もやったことのないようなことを、3年7ヶ月という非常に短いスケジュールの中で行ったこと。（田村）



### Q. このタワーで採用された世界初の制振システム「心柱制振」とはどのようなものですか？

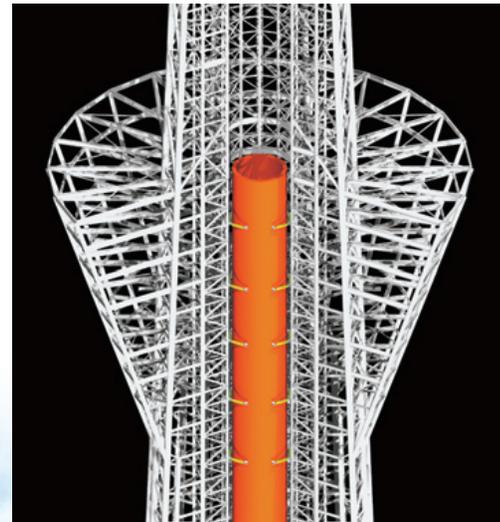
東京スカイツリーでは、制振システムを採用して特に地震時の応答低減を行っています。タワー中央部に配置した直径8mの鉄筋コンクリート造円筒<sup>しんぱしら</sup>=心柱とその外側の鉄骨造部分とを構造的に切り離し、別々の挙動をさせることで、各々の部分に作用する地震力を相殺させることを意図したものです。

原理的には心柱重量（質量）を利用した質量付加機構による制振システムといえますが、心柱は非常階段を内包するという明確な機能を有しており、単なる錘<sup>おもり</sup>ではないことから従来の質量付加機構とは異なります。

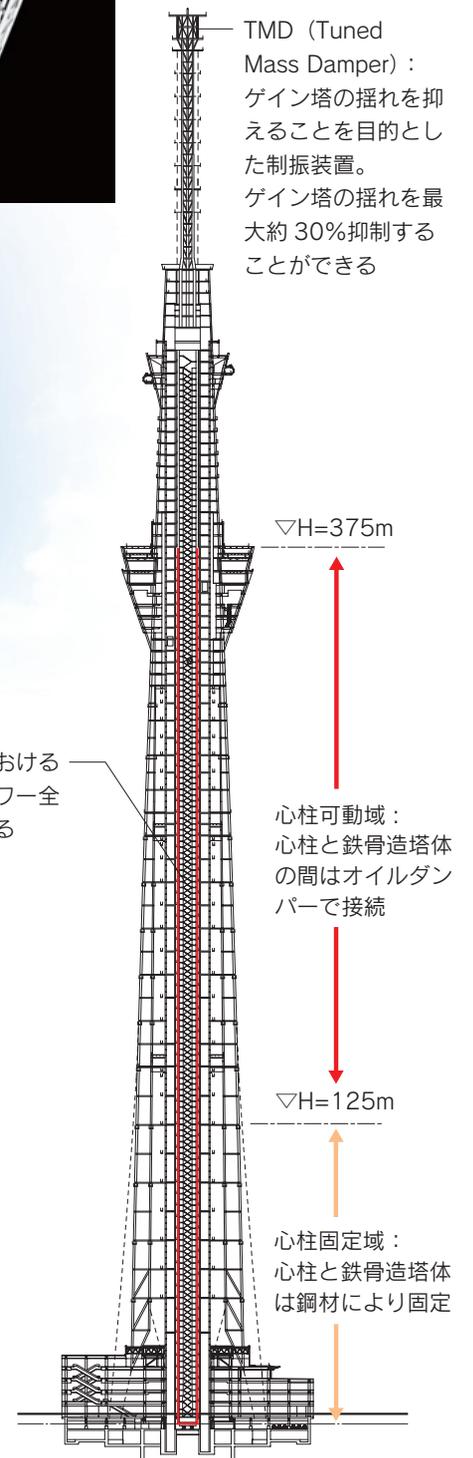
この世界初の制振システムを「心柱制振」と名付けています。心柱という名称は、日本の伝統建築であり地震による倒壊例がほとんどない五重塔から引用しており、五重塔にある心柱が、同じく周囲の屋根を支持する柱架梁構造から切り離されている、形態の類似に由来しています。

心柱と外周架構の間のクリアランスは約1m程度で、高さ125m以下は鋼材により心柱とその外側の部分を一体化し、高さ125m以上ではオイルダンパーを設けることにより心柱の変位を制御するとともに、タワー全体に減衰性能を付加しています。

心柱制振により、地震時のタワーの揺れを最大50%低減することができます。



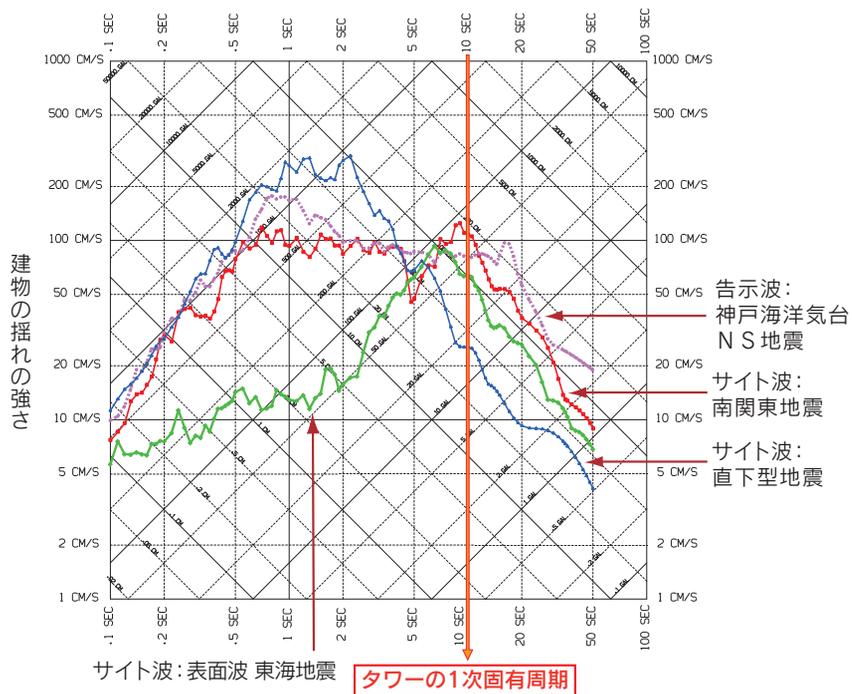
心柱回り架構図



### Q. 地震や台風によって倒れる（転倒する）ことは無いですか？倒れないことをどのようにして確かめたのかを教えてください。

（日建設計：東京スカイツリー<sup>®</sup>の設計より引用）

設計用地震動の選定に関しては、通常の超高層ビル<sup>®</sup>の設計で用いられる告示波、観測波以外に長周期地震動や内陸直下型地震が直近で起きた場合を想定した、いわゆるサイト波を作成して検討を行いました。



シミュレーションのレスポンススペクトル（採用地震波の一部）  
 「提供：日建設計」

タワーの構造設計に関しては、下表に示すようにレベル2の地震および風荷重に対しては接合部等を除いて部材応力は弾性域内に留まるように設計されています。電波塔という公共性の高い用途から、必要とされる構造性能が高く、通常の超高層ビルよりもワンランク高い安全性を確保しています。

入力レベル	損傷レベル
レベル1 地震（稀に発生する地震動）	無損傷
レベル1 暴風（再現期間100年）	
レベル2 地震（極めて稀に発生する地震動）	ほぼ無損傷 （部材は弾性）
レベル2 暴風（再現期間1300年）	
レベル3 地震（未知の断層を想定したもの）	倒壊・崩壊しない
レベル3 暴風（再現期間2000年）	

設計上想定する暴風は右表に示すものです。各レベルの暴風により建物に作用する風力は、レベル2暴風では設計上の手順により等価静的風荷重を導き、レベル1、3では基本風速の2乗に比例するものとして設定しています。



風力実験（全体）の様子  
 「提供：日建設計」

暴風の呼称	再現期間	基本風速相当の平均風速
レベル1暴風	100年	36.0m/s（地上10mの10分間平均値、以下同）
レベル2暴風	1300年	42.5m/s
レベル3暴風	2000年	44.7m/s

**Q. 施主、設計者、施工者として（隠れた）見所などはありますか？（自慢のポイント、工夫したところ、苦労したところ）**

今後の予定となりますが、350m・450m展望台上部に照明をつけて、これらにより雲のライトアップなどを考えています。展望台の中から雲の流れや動きなどを見ていただくこともできると考えています。また、LED照明の特徴を活かしたライティングにも注目してもらいたいです。（豊島）

施工者としては、工事の際、壁・床がない工事現場だったために、合理的かつ安全に小さなものを1つも落下させない工夫をしつつ、無事故で施工を終えた点が苦労した点でもあり、自負している点でもあります。（田村）

**Q. 読者の高校生、大学生に一言お願いします。**

「世界一という日本の技術に誇りを持って欲しいです。」（豊島）  
 「日本の技術力は捨てたものではない、ものすごい力を持っていて、発揮するとこのような建造物を作り上げることができる。」（慶伊）  
 「この時代、どことなく閉塞感を感じていると思うが、やるべきことをひたすらに、コツコツとやり遂げることで、結果は待っている。世界一の水準を目指して、夢と希望を持って進み、社会に出てきて欲しい。」（田村）

また、東武タワースカイツリー株式会社の豊島さんから「ぜひ、東京スカイツリーへお越しください！」と最後に一言いただきました。



## 今回の取材に ご協力いただいた 方々のご紹介



東武タワー スカイツリー株式会社  
広報宣伝部

豊島 翔さん

<http://www.tokyo-skytree.jp>



株式会社日建設計  
構造設計部門  
シニアエキスパート 技師長

慶伊 道夫さん

<http://www.nikken.co.jp>



株式会社大林組  
技術本部企画推進室 副部長  
建築本部BIM推進室 副部長

田村 達一さん

<http://www.obayashi.co.jp>

## システム科学技術学部 建築環境システム学科



教授 荻谷 哲朗

学 位/博士(工学)  
専門分野/建築意匠、建築計画、都市デザイン、都市計画  
出身大学/東京大学大学院工学系研究科建築学専攻  
職 歴/丹下健三・都市・建築設計研究所取締役設計担当  
空間・計画研究所 所長

### 高校生へのメッセージ

新しいものを開発するとき、それはまだ完成した技術  
になっていなかった。若者たちは、できないはずのもの  
を恐れてはいけない。やりたい、創りたいという気  
持ちと勇気が重なり合った時に、未来へと続く技術に  
つながって行くのであろう。



准教授 菅野 秀人

学 位/博士(工学)  
専門分野/耐震構造学  
出身大学/東北大学大学院工学研究科都市・建築学専攻  
職 歴/西松建設(株)

### 高校生へのメッセージ

「日本一の建築を造る。」のような夢のある仕事を成し  
遂げるためには、それだけの知識と努力、社会経験が  
必要です。大学での勉学はその骨格を作るためのもの  
です。ぜひ将来の大きな夢をモチベーションとして、  
これからの勉学に励んでほしいと思います。



教授 西田 哲也

学 位/博士(工学)  
専門分野/建築構造学  
出身大学/東京大学大学院工学系研究科建築学専攻  
職 歴/大成建設(株)

### 高校生へのメッセージ

「建築」というとまず最初に家(住宅)を思い浮かべる  
かもしれませんが、今回取り上げた東京スカイツリー  
も建築の一つです。この特集をきっかけとして多くの  
皆さんが広い視野で様々な建物を捉え、より一層建築  
分野に興味をもって頂ければ幸いです

## システム科学技術学部 建築環境システム学科 の紹介

### 住宅から都市環境まで 「人間生活の場」の総合デザインの追求

「建築学」は、多方面の知識・経験・感性などを総動員して「あらゆる分  
野を統合する工学芸術」である点が際立った特徴となっています。ひとつ  
の住宅設計でも、統合すべき対象は、地域・都市としての空間・環境、あ  
るいは地球環境のスケールまで及ぶ場合もあります。優れた建築空間を現  
現するためには、建築をシステムとして捉え、幅広い視点で総合的に学び、  
研究しなければなりません。本学科では、「寒地建築の環境設計」、「木質  
構造」などの地域特性に富んだカリキュラムや、即戦力が求められる社会  
のニーズに応えるためのCAD設計システムなどを加え、新しい時代に対  
応した総合的な建築教育と研究開発に取り組んでいます。

### カリキュラムの特徴

- \* 総合的かつ実践的な学科目構成
- \* 地域特性を反映した学科目の設置
- \* 設計教育の重視 >> 充実したCADシステムによる教育  
>> 卒業制作と卒業論文の選択制  
>> 系統的、実践的な設計科目
- \* 研究者、デザイナー、エンジニアとして、実践的に活躍している教員陣  
による指導

### 建築学の特徴

- \* あらゆる分野を統合する工学芸術
- \* モノづくりの対象は「人間生活の場(空間)」  
>> 工学系のみならず、人文系の学問も大切  
(レオナルド・ダ・ヴィンチ的な博識さ)  
>> モノづくりの対象がミクロからマクロに及ぶ(衣服から地球環境まで)
- \* 分野間の強い連携と幅広い知識の総合化

#### 取得可能資格

- 高等学校教諭一種免許状(工業)

#### 取得可能受験資格

- 一級建築士受験資格(実務2年後)\*
- 二級建築士受験資格\* ● 木造建築士受験資格
- 一級技術検定(指導監督の実務1年または実務3年後)
- 二級技術検定(実務1年後)

\*一級及び、二級建築士受験資格については指定科目の単位取得が受験  
資格を得る前提となります。

#### 活躍が期待される分野

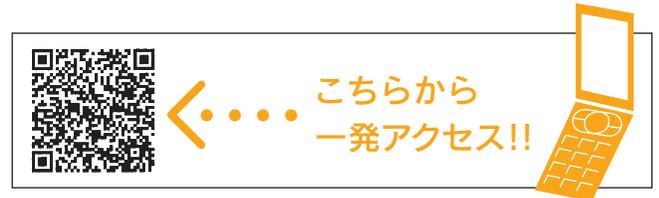
建築設計 建築施工管理 積算 調査/測定  
セールスエンジニア

# アンケートに答えて、秋田県立大学のオリジナルグッズをもらおう!!

この度はアンケートに参加していただきありがとうございます。該当するすべての項目にチェック、もしくはご記入をお願いいたします。アンケートにお答えいただいた方全員に秋田県立大学オリジナルグッズをプレゼントいたします。

パソコンや携帯からもアンケートにお答えできます。

- PC用→<http://www.akita-pu.ac.jp/isuna-s>
- 携帯用→<http://www.akita-pu.ac.jp/isuna-s/mobile.html>



## 秋田県立大学イスナサイエンスアンケート

Q1. どこからイスナサイエンスをもらいましたか？

- 学校の先生 送られてきた 友達 その他 ( )

Q2. 定期無料配布でイスナサイエンスを読みたいですか？

- はい いいえ

Q3. 今回の特集は面白かったですか？

- はい いいえ

Q4. この冊子の内容は十分にわかりましたか？

- はい いいえ

Q5. この冊子で別の内容のものを読みたいと思いますか？

- はい いいえ ※「はい」の方へ、後日バックナンバーを送付します。

Q6. この冊子で科学についてさらに興味を持ちましたか？

- はい いいえ

Q7. 科学を勉強する上で参考になる内容でしたか？

- はい いいえ

Q8. 最近気になっていることは何ですか？

Q9. この冊子の感想をお書きください。

### 氏名・住所等をご記入ください

住所 〒		
氏名	年齢	歳
メールアドレス		
高校名	学年	年生

※個人情報の取扱いについて:今回取得した個人情報は本学からの情報提供以外には使用いたしません。

**FAXの方はこちらへ!!→018-872-1670**

### 編集後記

今回の東京スカイツリー特集いかがでしたか。巷では「ナンバーワンよりオンリーワン」などとも言われますが、世界一高い自立式電波塔に携わった人たちには、ナンバーワンの自信や誇りが感じられ、インタビューに立ち会った私も大いに刺激されました。やっぱりナンバーワンっていいなと思いました。オンリーワンと言っても、その道を極めるという点ではナンバーワンに通じるものがあるのではないのでしょうか。今回のこの特集を見て、皆さんも何かのナンバーワンを目指して努力していただければ、きっと明るい未来が訪れるのではないかと確信しました。東京に行った折には、是非ナンバーワンである東京スカイツリーを間近で見て、肌で感じていただければと思います。

編集委員長/山本好和 編集委員/小林正之、鈴木英治、星崎和彦、杉本尚哉、笹森崇行、西田哲也、嶋崎真仁



〈秋田キャンパス〉●本部・生物資源科学部 ●大学院 生物資源科学研究科  
〒010-0195 秋田市下新城野字街道端西241-438 TEL.018-872-1500/FAX.018-872-1670

〈本荘キャンパス〉●システム科学技術学部 ●大学院 システム科学技術研究科  
〒015-0055 秋田県由利本荘市土谷字海老ノ口84-4 TEL.0184-27-2000 FAX.0184-27-2180

〈大潟キャンパス〉●生物資源科学部(アグリビジネス学科3・4年次)  
〒010-0444 秋田県南秋田郡大潟村南2-2 TEL.0185-45-2026 FAX.0185-45-2377

〈木材高度加工研究所〉  
〒016-0876 秋田県能代市字海詠坂11-1 TEL.0185-52-6900 FAX.0185-52-6924

<http://www.akita-pu.ac.jp> E-mail [koho\\_akita@akita-pu.ac.jp](mailto:koho_akita@akita-pu.ac.jp)