

第2回 インフラマネジメントテクノロジーコンテスト 実行委員会特別賞(奨励賞)受賞

Generative × Transformation “ジェネトラ”

松江工業高等専門学校 環境・建設工学科 教授 おおや まこと
大屋 誠

1. はじめに

インフラマネジメントテクノロジーコンテスト2021に自由参加した松江工業高等専門学校（以下、「松江高専」という）のチーム「学んで創れるエンジニア」の学生たち（写真－1）が提案した「Generative × Transformation “ジェネトラ”」は、1次審査は通過できませんでしたが、実行委員会特別賞（奨励賞）を受賞しました。

卒業研究等で忙しい中、作品を完成させた学生たちの努力を高く評価したいと思います。また、応援いただいた皆さんや、2次応募に向けインフラテクコン事務局より紹介いただいた株式会社フソウさまとの意見交換は、応募作品を完成させる上で非常に参考になり、この場をお借りして感謝を申し上げます。

2. チーム「学んで創れるエンジニア」

チーム名「学んで創れるエンジニア」は、松江高専の教育目標に由来します。図－1は松江高専のホームページです。本校では、学生が将来、創造性と実践力を兼ね備えた国際的エンジニアとして活躍していけるよう、「(ま) 学んで (つ) 創れる (え) エンジニア」を合言葉として教育に取り組んでいます。



写真－1 「学んで創れるエンジニア」のメンバー
左から山崎君，飯塚さん，小瀧さん，三島さん



図－1 松江高専のホームページ

松江高専は、中国地区の山陰に位置する島根県の県庁所在地である松江にあります。島根県は、人口総数：全国46位、働き手の数：全国46位、財政力：全国47位、高齢化率：全国3位です。2017年より中学生人口が6,000人を切り、2028年には5,500人を下回るかという状況で、少子化による労働力不足と高齢化は、今後、日本が直面

する課題であり、島根県は『課題先進県』です。

また、山陰は全国の中で高速道路網の建設が最も遅れている地域ですが、山陰道の建設ではBIM/CIMやi-Constructionなどの最新のICTが積極的に活用されており、島根県内には建設における最新技術を学ぶ環境が整っています。

国土交通省では、建設分野の労働力不足に対する問題を解決する一つの取組として、デジタル技術の活用（建設デジタルトランスフォーメーション：DX）により、建設業界全体の生産性の向上に向けた取組を進めています。

具体的な取組として、i-Constructionの導入や対象となる地形や位置情報、構造物等の形状を3次元で表現した「3次元モデル」に「属性情報」、「参照資料」などを組み込んだBIM/CIM（Building/ Construction Information Modeling, Management）の導入が図られ、受発注者双方の業務効率化・高度化が推進されています。

2020年度に国土交通省は、「BIM/CIMを活用し、公共事業において、設計・施工から維持管理に至る一連のプロセスやストック活用をデジタルで処理する」と打ち出し、全直轄事業で2025年までにBIM/CIMを原則適用化の方針が決定されました。

しかしながら、世界規模でのコロナ禍を迎え、小規模工事を除く全ての公共事業でのBIM/CIM

の原則適用化を2023年施行に2年前倒しが決まり、現在、国土交通省をはじめ各行政や企業が建設分野のBIM/CIM活用に向けての取組や技術開発を加速的に実施しています。

3. 環境・建設工学科の特徴

松江高専の環境・建設工学科では、2018年度入学生より、建設系の全学生を対象にBIM/CIMに対応した建設技術者育成のためのカリキュラム構築（図-2）を行っています。コンテストに参加した学生たちは、環境・建設工学科のカリキュラムで学ぶ中でBIM/CIMに興味を持った学生たちです。

調査・計画・設計・維持管理においてBIM/CIMを活用する場合、複数の3次元のソフトウェアを利用し、データ連携をしなければなりません。松江高専環境・建設工学科でBIM/CIM教育に用いるモデルとソフトウェアを図-3に示します。

学生たちは、図-4に示すような土木分野で重要な地形（2次元の等高線から3次元のサーフェス地形モデルの作成や点群データの作成）を扱うスキルや図-5に示すようなBIM/CIMの各種ソフトウェアを連携し、橋梁構造物の3Dモデルと地盤モデルを作成するスキルなどを学びます。

また、建設分野のDXを実現するためには、

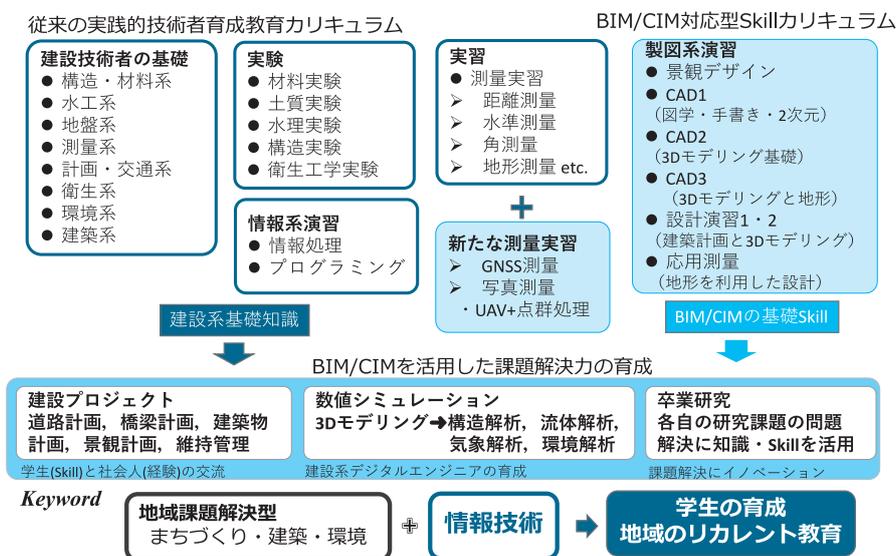


図-2 松江高専環境・建設工学科のカリキュラム

BIM/CIM モデルをつくる業務フローを既存の業務フローと併せて改良するスキルが必要となります。例えば、従来の業務フローでは、業務効率の向上には図面を描く人数の増員が必要ですが、

BIM/CIM モデルは一つのモデルを複数人が同時に触る必要があり、コーディネーションが複雑になるため、少人数でいかに効率を高めるかという課題解決が重要となります。

少人数で効率化を図るには、プログラムによる業務改善（カスタマイズ）が必要となります。松江高専では、図-3に示すBIM/CIMモデルを扱う3D-CADにおけるカスタマイズ（自動化技術）の基礎を、RhincerosのGrasshopperやAutodeskのDynamoを用いて学びます。このうちDynamoは、AutoCAD、Civil 3D、Revitで行う作業の自動化を進めるためのビジュアルプログラミングツールです。

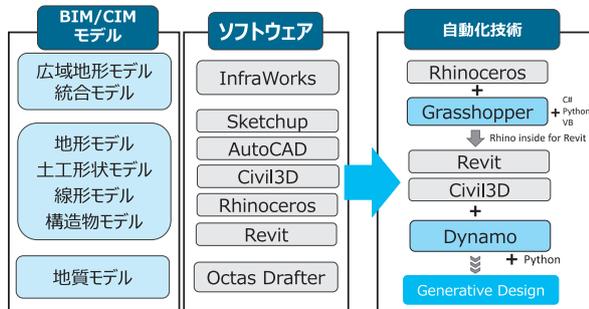
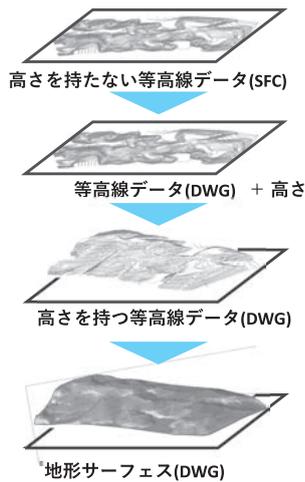


図-3 BIM/CIM教育に用いるモデルとソフトウェアおよび自動化に向けた技術

図-6は、構造物モデル作成用のRevitで

① Civil3Dを用いた等高線に高さを持たせサーフェスを作成する演習



② 松江高専の地形サーフェスとドローンによる写真測量の成果を比較する演習



図-4 3次元地形を扱う基礎スキル

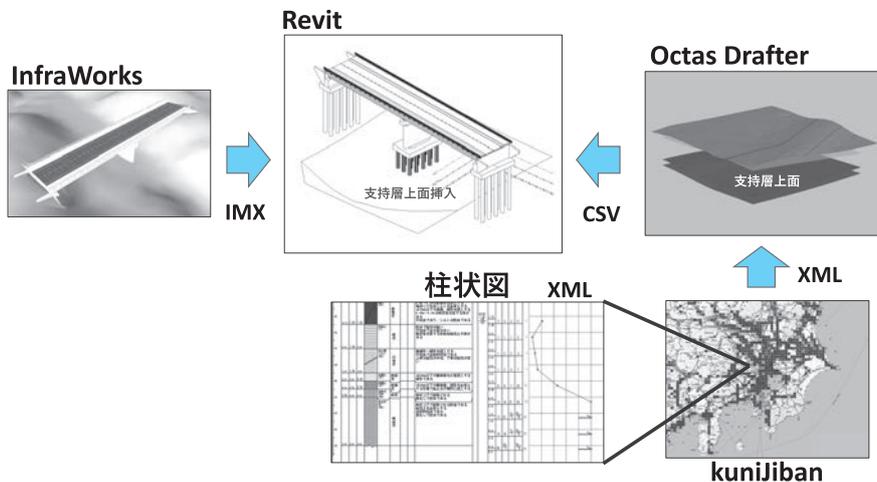


図-5 BIM/CIMによる橋梁と地盤データの3Dモデル連携

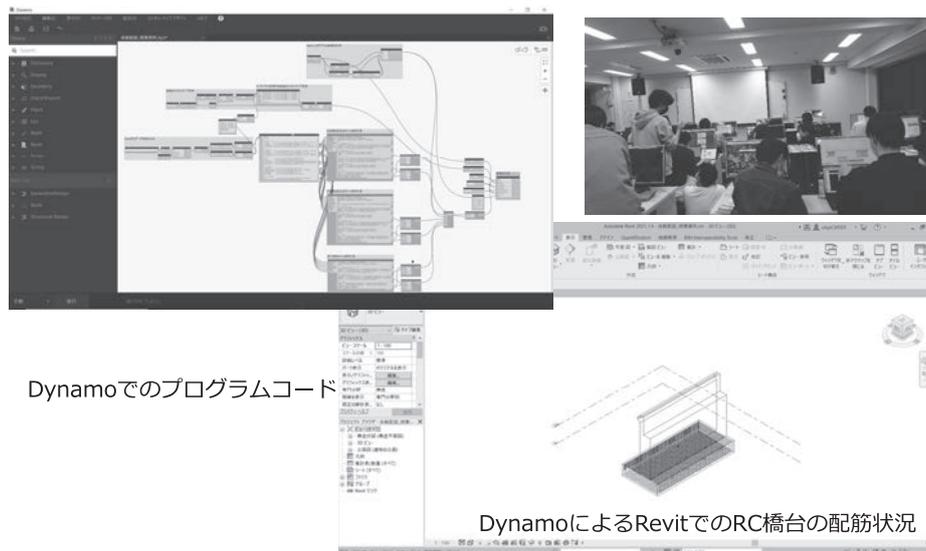


図-6 Dynamoを用いたRevitによるRC構造部の自動配筋

Dynamoを利用して鉄筋コンクリート橋台の配筋を自動配筋する演習の概要です。ここで紹介したBIM/CIM用の教材は、コンテストに参加したリーダーの山崎君を中心に学生たちが作成し、みんながスキルを身に付け、授業のティーチングアシスタント（TA）として後輩の学生たちに指導してくれています。

4. 建設DXに向けた“ジェネトラ”の可能性

自分たちが身に付けたBIM/CIMに必要なデジタル技術を活用して建設分野のDXを推進可能な技術を提案できないかということで、インフラマネジメントコンテストにチャレンジしました。

学生たちは、インフラ構造物の中で、最も身近な社会インフラである道路を題材としました。建設業は経験工学と言われていますが、DXを実現するためには、技術者の経験や知識、技術に頼っていた作業を、デジタル化により効率化できる可能性を検討することが重要です。

そこでコンテストでは、4年の応用測量学で学んだ道路線形計画を、デジタルの力を使い効率化することで、アナログの設計に戻れない、設計のプロセス改革に取り組みました。道路の線形計画は、対象地域の地形条件や制約条件を考慮し、道路構造令に基づいた道路線形の計画を行うもので

す。

ここでは、Civil 3DのDynamoを利用して設計条件を入力することにより、Generative Design（GD）で最適な設計を自立的に実施する可能性を検討しました。

今回のコンテストで用いたCivil 3Dのバージョンには、Generative Designのパッケージが用意されていなかったため、Generative Design in RevitのパッケージをCivil 3Dに移植することにより、利用できるようにカスタマイズしました。

Generative Designとは、従来、技術者が経験に基づき、時間をかけて作成していた提案をコンピュータに設計案の作成や評価を任せようという考え方で、遺伝的アルゴリズムを用いて、複数の条件を最適にするようにコンピュータが設計案をアップデートして提案するものです。図-7に従来の設計とGenerative Designによる設計の違いを示します。

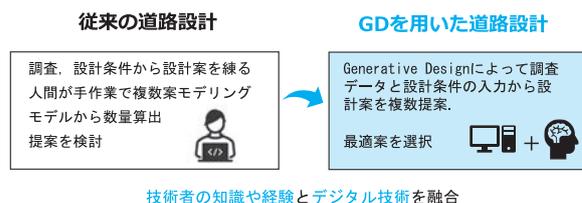
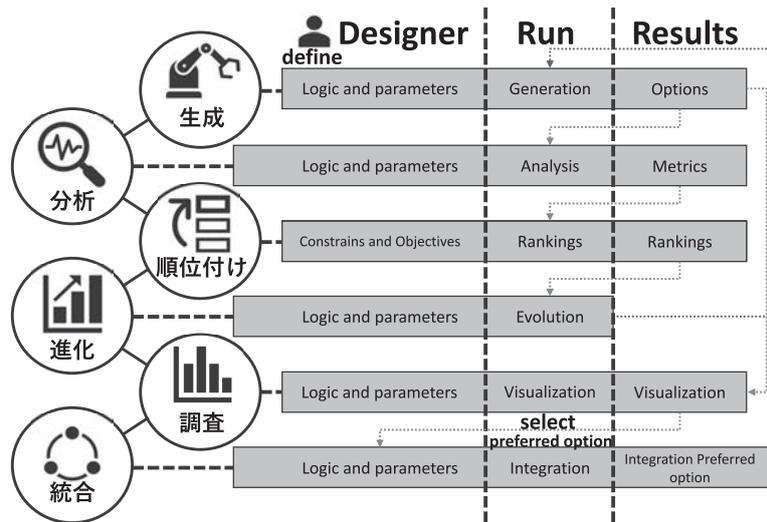


図-7 Generative Design（GD）を用いた道路設計のDX



図－8 Generative Design の流れ

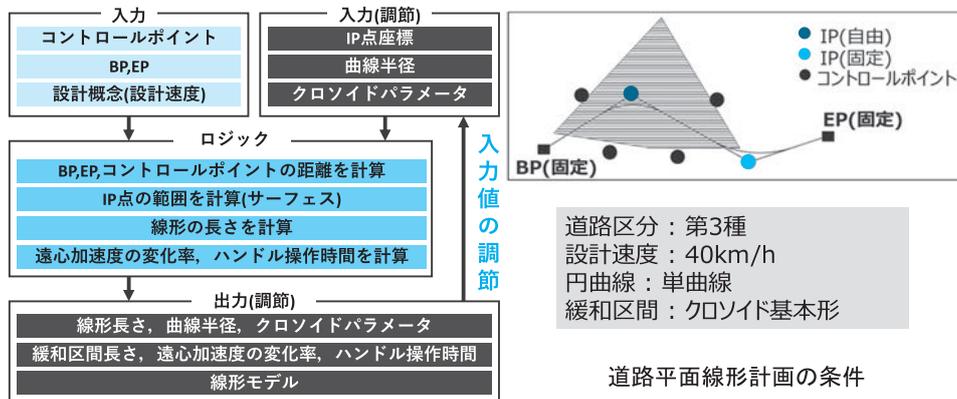
Generative Design では、人間（技術者）は何を行うのでしょうか。Generative Design では、図－8 に示すように、設計案を大量に生成した後、分析、順位付けと進化させ、設計案を一つに絞り込み（調査）、実際の設計に適用します（統合）。このプロセスを人間（設計者）とコンピュータが共同で行うのが Generative Design となります。

設計案を生成するためのパラメータ（入力値）の定義や設計案を生成するロジックの定義、設計案を分析し、順位付けを行うための評価に関する定量的な指標（出力値）の定義は、コンピュータが勝手に行うのではなく、人間（設計者）が行わなければなりません。また、コンピュータが提案する設計案の中から、最後に一つの設計案に絞り

込むのも人間の仕事です。指標には「短い vs. 切土・盛土の土量の差が多い」など、トレードオフの関係にあるものがあるからです。

道路線形計画は、平面線形の作成、縦断線形の作成、横断の作成を行い、3次元地形を考慮して土量等を計算します。“ジェネトラ”ではまず、道路線形計画の平面線形の作成を Civil 3D 上で、Generative Design を用いて複数の平面線形案を道路構造令に基づいて自律的に生成することを試みました。

図－9 に示す平面線形計画のパラメータ（条件）入力と設計案を提案するロジックの概要、設計案を評価するための指標の出力の流れを示します。道路平面線形の条件を入力し、IP（自由）点の設置可能範囲にランダムに IP 点を生成するこ



図－9 Generative Design による道路平面線形の提案

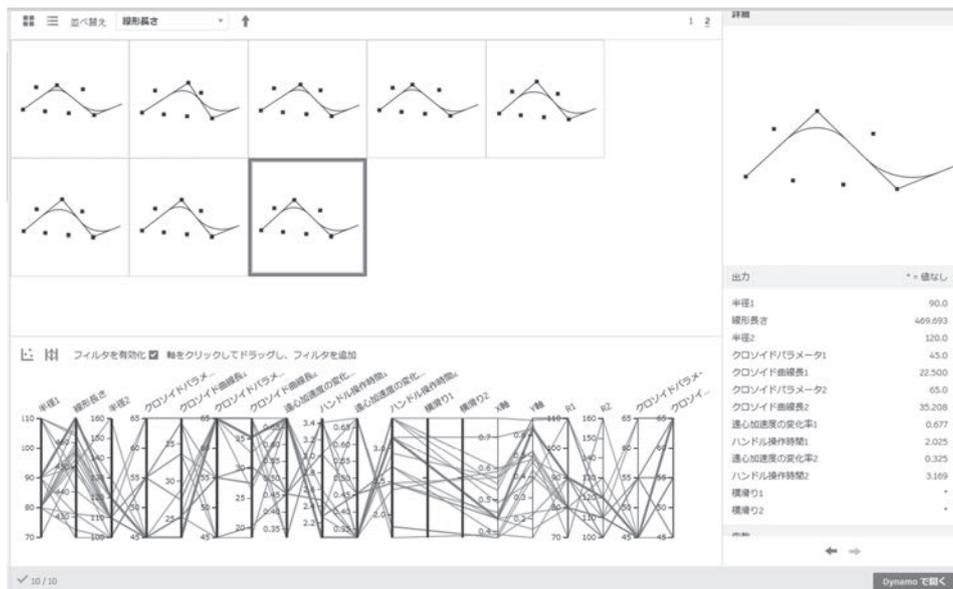


図-10 Generative Design による3次元道路線形計画の提案

とと曲線半径 R 、クロソイドパラメータ A を Generative Design により変化させ、道路区分を第3種、設計速度を 40 km/h、円曲線は単曲線のみ、緩和区間はクロソイド基本形の対称型のみとして、ロジックを構築しました。

図-10 に Generative Design で道路の平面線形を複数案生成した際の実行結果を示します。ここでは、緩和区間を考慮した線形の長さを最小化し、遠心加速度の変化率の範囲を指定しました。また、ハンドル操作時間の範囲を指定し、最大化させることを目的とし、Generative Design により平面線形を生成させました。

Generative Design を用いた平面線形の自動生成では、走行に必要なパラメータを追加することで、曲線半径、クロソイドパラメータの範囲が必然的に決定され、全体的に近似した結果となりました。

コントロールポイントの設置とパラメータの設定により、一定の形状に収束したと考えられ、線形計画は自由度が高く様々な形が考えられますが、条件を適切に設定することで、意味を持つ形状を決定することが可能であることが確認できました。

Generative Design を用いて設計条件を適切に与えることで、短時間に複数の設計案を自動的に

生成することが可能であることが確認でき、“ジェネトラ”により道路線形計画の設計プロセスの改革の可能性を示すことができました。

5. おわりに

本稿を執筆している現在、メンバーの学生たちは卒業し、リーダーの山崎君と小瀧さんが専攻科に進学しました。

山崎君は、“ジェネトラ”をさらに発展させ、図-11 に示すように3次元の地形モデル上で道路の平面線形と縦断線形、そして横断を同時に考慮し、道路構造令に従い、切土・盛土を計算しながら道路線形を計画するロジックを構築し、Generative Design により道路線形計画案を複数提案するシステムを完成させました。

図-12 は、道路構造令に従い、切土・盛土の土量の差までを考慮し、平面線形、縦断勾配、横断を含む道路線形を Generative Design により複数提案した際の結果の一部を示します。

「Generative × Transformation “ジェネトラ”」は、道路線形計画の設計プロセスの改革の可能性を示すことができました。コンテストに参加してくれた学生のように BIM/CIM に興味を持ち、土木に関する専門知識と3次元モデリングのスキル

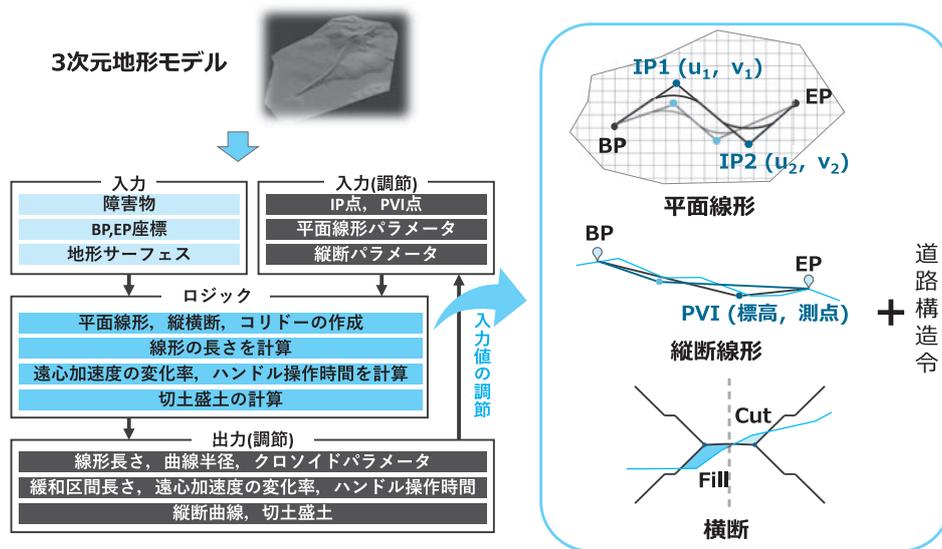


図-11 Generative Design を用いた 3次元道路設計計画の流れ

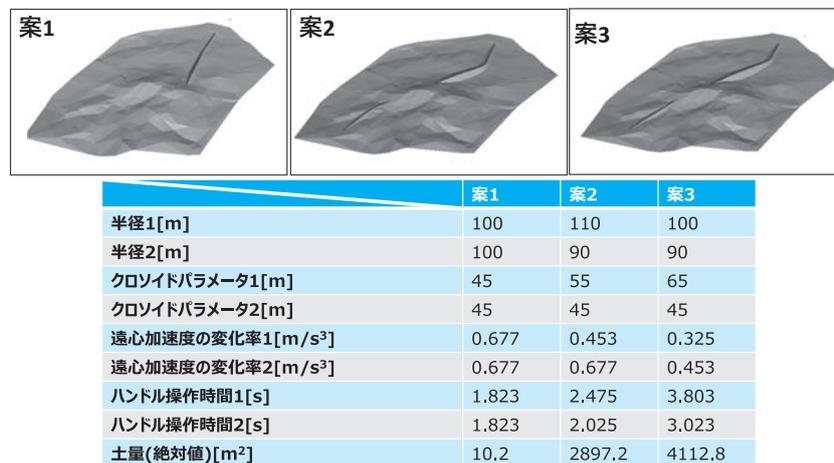


図-12 Generative Design を用いた 3次元道路設計計画の提案

を有し、さらに、Dynamo や Generative Design のようなカスタマイズに必要な技術を身に付けた若い技術者の力や発想力が、今後、建設業界の現状の課題を解決してくれるのではないかと期待しています。

本コンテストにより、学生たちの持っているポテンシャルを確認することができ、コンテストの開催に尽力いただいた皆さまに感謝申し上げたいと思います。

今回紹介しました「Generative × Transformation “ジェネトラ”」は、インフラテクコン Web サイトで視聴いただけます。

【参考文献】

- 1) Autodesk : Generative Design in Civil 3D の裏ワザ トレーニングテキスト (砂防堰堤の配置検討), 2021.6. https://bim-design.com/infra/training/file/dynamo/202107_Dynamo_Training_view.pdf