

1. コンピューショナルデザインについて

近年、建築デザインにおいて、3Dモデルによる高度なコンピューテーションが注目され、その創造とプロセスが進化している。ここで、コンピューテーションとは、コンピュータという新しい技術が、人の認知や行為に影響を及ぼしながら生まれてくる様々な物事を指す。特に建築、プロダクト、金属成形など様々なデザインを対象としたものをコンピューテーションデザインと呼ぶ。コンピュータがあるからこそ考えられるような新しい思想、構成方法、ネットワークの構築があり、コンピューショナル・ツールを使うことで昔ながらの手仕事や技術をアップデートし、手書きでスケッチを描くように、自分の手足や脳の延長線上で新しい可能性を見出すことができる。

建築設計に対するコンピューショナルデザインは、単に審美的な建築形態、空間を探索するツールに留めるのではなく、様々なエンジニアリングを統合することに大きな可能性を秘め、意匠、構造、環境などの様々なプロフェッショナルが共有する設計プロセスの中で、複数の変数を持った最適化モデルを構築することができる。コンピューショナルデザインにおけるモデルはパラメトリック・モデルと呼ばれ、個々のパラメータの領域設定により全体モデルが数式的、演繹的に構成され、ユーザーのイメージするデザインをインタラクティブに、かつリアルタイムに追求することができる。

コンピューショナルデザインを提供する環境として、3次元の自由曲面モデラー「Rhinceros(Robert McNeel&Associates 開発)」とそのプラグインである「Grasshopper」が代表的で、様々なエンジニアリングツールなどの技術環境が整備され、国外のザハ・ハディド等の建築家、AAスクール等の教育機関で積極的に利用され、国内においても隈研吾等の建築家、東京大学デジタルファブリケーションラボ等の大学機関で実務的に運用されつつある。

図1は自由曲面屋根の構造形態を生成するコンピューショナルデザインの一例であり、Grasshopper(図1.右)で生成・制御されたパラメトリック・モデルは、Rhinceros(図1.左)上に高精度かつ滑らかに、高速に表示され、複雑な建築デザイン、幾何学制御、構造解析、環境シミュレーションの統合化を可能とする。

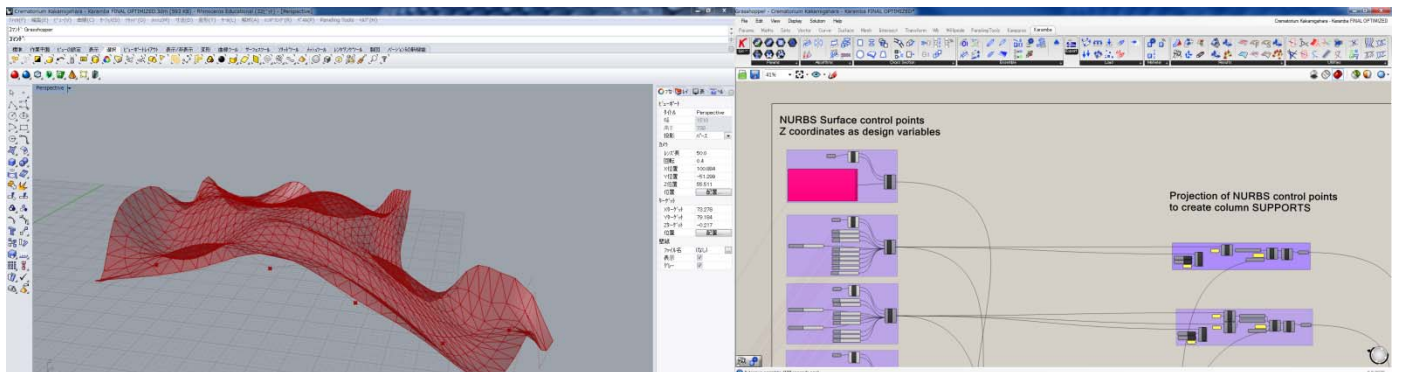


図1. Rhinceros(左), Grasshopper(右)

このような背景の中で、コンピューテーションによる構造デザインへの展開について考え、実務的な運用方法とディックスのコンピューショナルデザインへの取り組みについて述べる。

2. 構造形態創生について

コンピュータ技術の発展に伴い平板、曲面板の力学、振動解析理論やマトリックス解析理論、連立方程式の解法など高度で複雑な解析が手軽にできるようになった。構造設計者はこのような構造解析を駆使して、個々の建築に最適な構造形式を提案し、建築に安全を、そこに暮らす人々に安心を与えるように構造設計を行っている。このような構造設計プロセスを一つの最適化問題とみなし、単一あるいは複数の工学的な諸量の極小化を行い、フレーム、シェルなどのユークリッド座標における構造形態の最適化、すなわち構造形態創生についてはとりわけ様々な研究が行われて、実務設計に応用された事例も増えてきている。(写真1~3)



写真1、2 拡張 ESO 法による形態創生^[1]

左：カタール国立コンベンションセンター(構造設計：佐々木睦朗)

右：芥川プロジェクト(構造設計：名古屋大学大森研究室)



写真3 非線形計画法による自由曲面の形態創生

ROLEX ラーニングセンター(構造設計：佐々木睦朗)

構造形態創生は写真1~3のような極めて特殊な建物のみでなく、事務所ビルやマンションなどの一般的な建物をターゲットとし、耐震性や経済性に優れた構造物を導き出すことも可能であり、筆者ら^[2,3]の研究成果である構造創生支援ソフトウェア OPT がそれにあたる。OPT では鋼構造物を対象として、多目的最適化手法により、経済性と耐震性の関係をパレート解(それぞれのバランスを保つような解の集合)として導き、構造形式の相対関係や構造性能を明示化する。本研究成果は「多目的最適化法を用いた鋼構造物の構造計画における設計支援とその実用化に関する研究」として2012年博士論文(名古屋大学)にまとめられている。

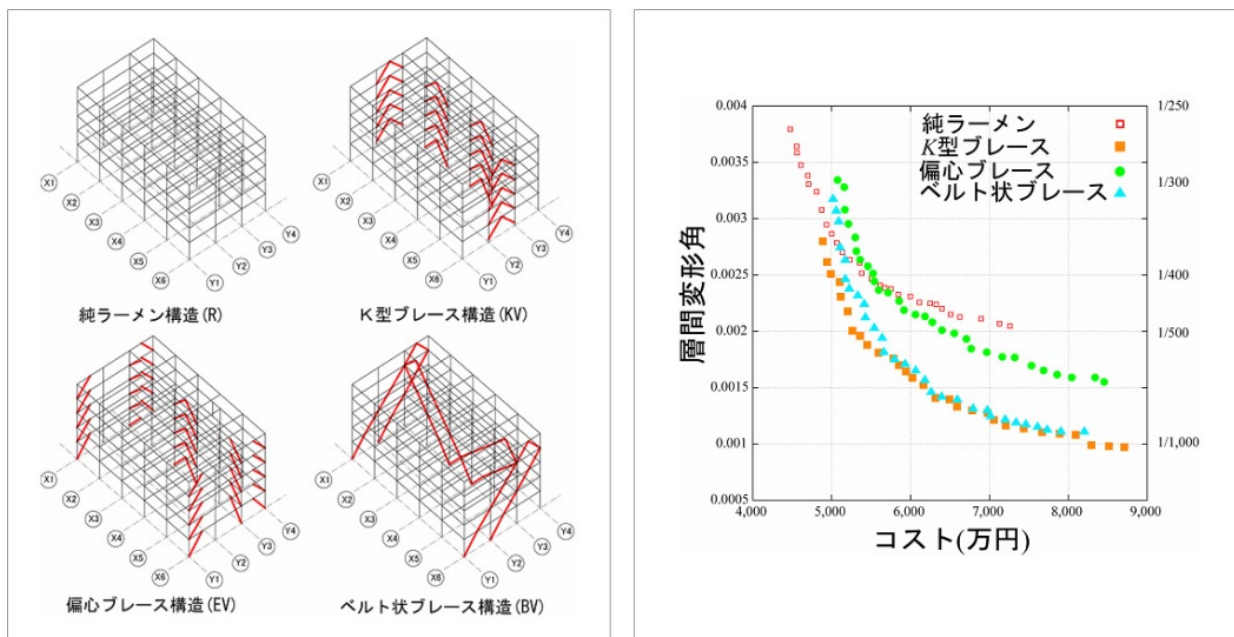


図 2. 構造創生支援ソフトウェア OPT

図 2 では、左側の 4 つの鋼構造物の構造形式に対し、多目的最適化を適用し、右のグラフで示すような建物の構造材料コスト(横軸)と、構造性能の一つで地震時の変形の度合いを示す層間変形角(縦軸)のパレート解を構造形式毎に表現し、限られたコストの中で、建築主や建築家に対して、最もふさわしい構造形式を選択するのに役立つ。本ソフトウェアは、一貫構造計算ソフト SS3 のデータを利用して使用することが可能である。

3. コンピューテーションによる構造デザインについて

前述の形態創生は、一種のコンピューショナルデザインといえるが、それぞれ構造設計者、研究者が独自に開発し、一般に利用することができない。冒頭で述べた「Rhinoceros」+「Grasshopper」はプラットフォームが整備され、形態創生などが比較的容易に、汎用的に利用することができ、様々なエンジニアリングを統合することができる。ここで、本章で述べるコンピューショナルデザインとは、「Rhinoceros」+「Grasshopper」を利用することに限定する。

さて、「Rhinoceros」+「Grasshopper」については冒頭で簡単に紹介したが、Grasshopper は、一つ一つ異なる機能を有するコンポーネント(入力、出力、関数で構成されるスクリプト)にネットワークを接続するように組み合わせることで、独自のアルゴリズムを構築することができる(図 3)これを利用し、複雑な形状、膨大なデータを効率的に処理し、様々なパラメトリック・スタディを行うことができる。

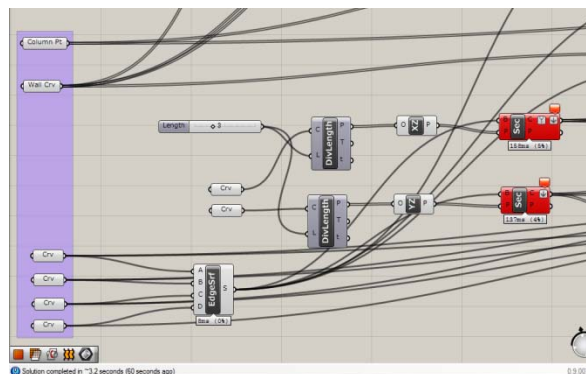

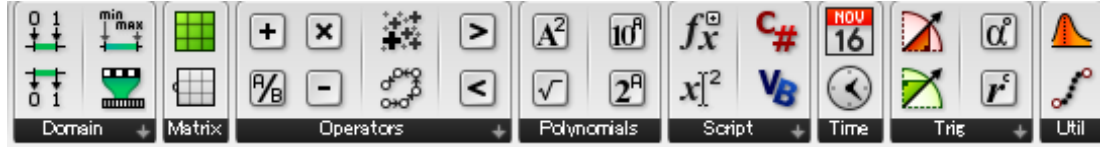

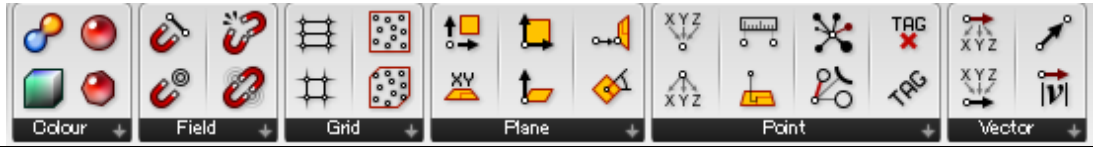







図 3. Grasshopper の画面

また、標準のコンポーネントでは、以下のような種類がある。

種類	内容
Params	<p>パラメータ(変数)を格納するコンポーネントが格納</p> 
Math	<p>四則演算や方程式などを用いた数値を数学的に変換するコンポーネントが格納</p> 
Sets	<p>データ構造を扱うコンポーネントが格納</p> 
Vector	<p>ベクトルを扱うコンポーネントが格納</p> 
Curve	<p>直線や曲線といったカーブを扱うコンポーネントが格納</p> 
Surface	<p>面や立体などを扱うコンポーネントが格納</p> 
Mesh	<p>メッシュデータを作成したり、入力できるコンポーネントが格納</p> 
Intersect	<p>複数のジオメトリデータ同士を交差させて様々な結果を得るコンポーネントが格納</p> 
Transform	<p>ジオメトリデータの変換を行うコンポーネントが格納</p> 

これらコンポーネント以外にも、様々な種類のコンポーネントが世界中で開発、公開されており、用途に応じてコンポーネントを使い分けると良い。

このようなツールをどのように構造設計に利用していくかについて、実際に利用した事例を通して紹介する。

1. 建築家がイメージする曲面形状への対応 —Mesh Generator—

Rhinoceros では、建築家がイメージする形状を高精度に、滑らかに表現してくれる。しかし、Rhinoceros で表現される形状は NURBS と呼ばれる数式による表現であり、このデータをそのまま構造計算モデルに用いることができない。そこで開発したのが Mesh Generator である。Surface で構成された壁、スラブや Curve で構成された梁や柱を任意間隔の Mesh に変換し、Midas などの構造解析ソフトで利用することができ、解析モデル作成にかかる労力と時間を劇的に減らすことができる。

(図 4, 図 5)

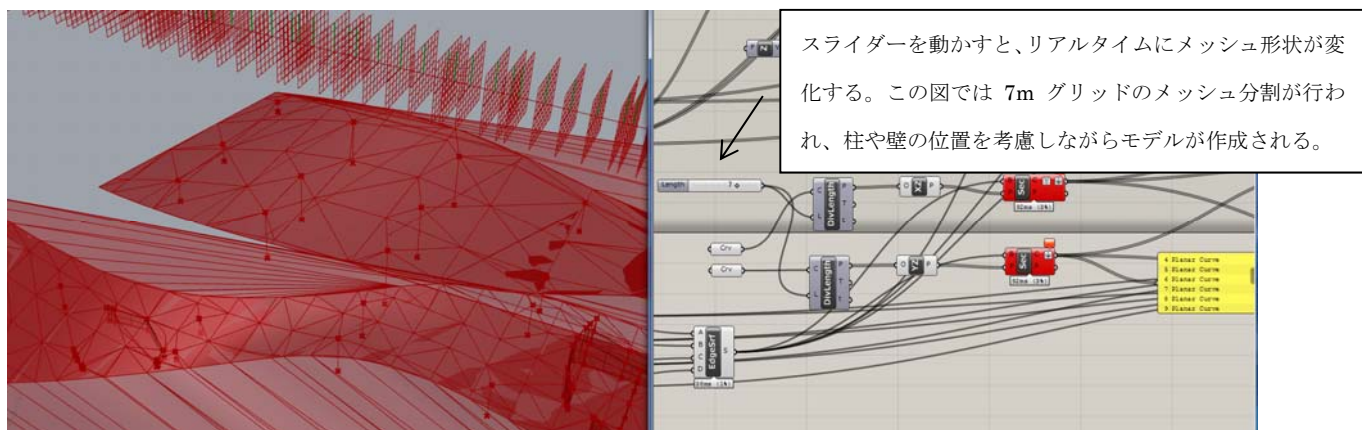


図 4. Mesh Generator

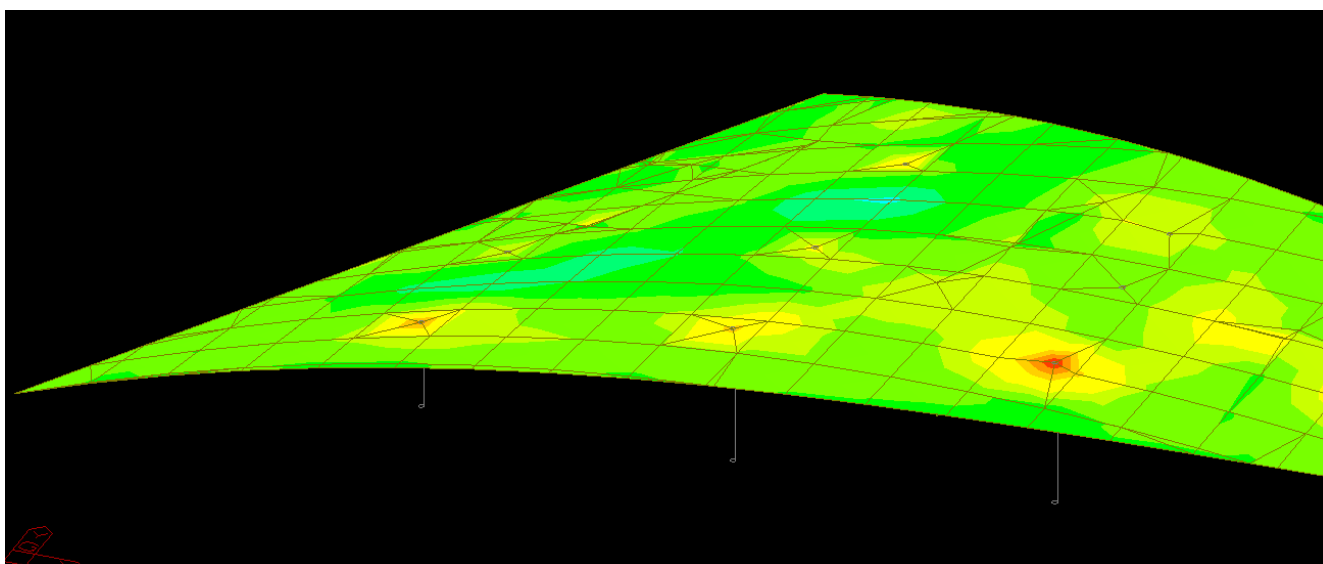


図 5. Mesh Generator で出力したデータを Midas(構造解析ソフト)で解析した事例

2. 斜め柱のパラメトリック・スタディー —Mapper—

Mapper は、任意の要素間に指定した数の部材を生成できるシステムであり、Grasshopper のコンポーネントを利用して、応力解析を行い、部材本数毎の最適配置を計算する。

水平変位、斜め柱の数を目的関数とし、斜め柱の数と位置関係を変数として、多目的最適化を行った。水平変位が小さくなるような柱配置が柱の本数に対して得られ、好ましい形状を選択すると、直ぐにデータが反映される。建築家との打ち合わせにおいても Mapper の応力変化や力学的性状を説明しながら、複数の形状からどれが意匠的に好ましいか協議し、建築家との意思疎通を行うコミュニケーションツールとしても有効利用できた。

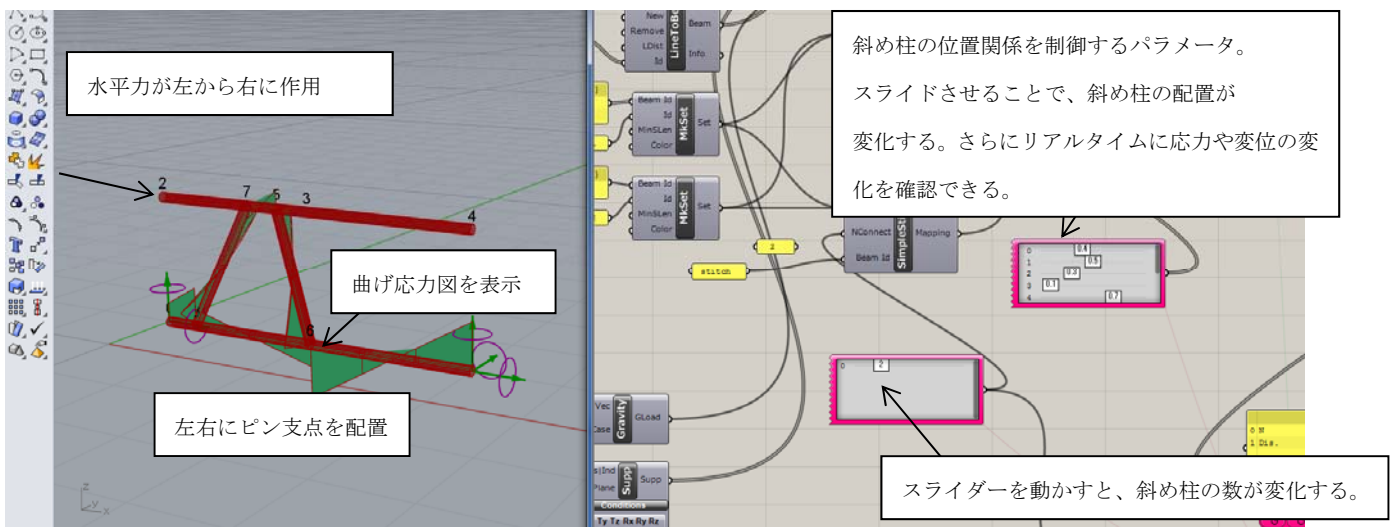


図 6. Mapper

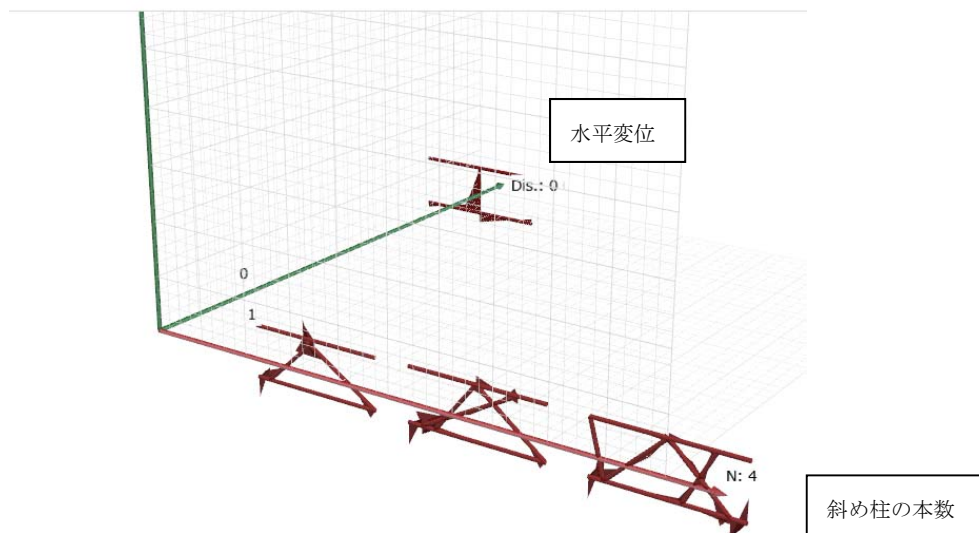


図 7. Mapper の多目的最適化

3. シェルの多目的最適化 —Shell OPT—

Shell OPT では、NURBS のコントロールポイントで制御された一枚の面に対し、コントロールポイントの Z 方向の座標を設計変数とし、重量と重力に対する鉛直変位の二つを目的関数とし、多目的最適化を行うシステムである。

アーチやドームのような形態抵抗構造になるほど、鉛直変位は小さくなるが、その分表面積が大きくなるため、自重が大きくなる。平板は重量が最も小さくなるが、鉛直変位が大きく、曲げ抵抗構造である。一つを改善すると、他方が改悪されるような事象をトレードオフと呼び、多目的最適化を用いると Pareto 解と呼ばれる複数の解が得られる。建築設計においては、必ずしも構造的合理性が優先されるわけではなく、審美、機能、環境、施工などさまざまな要求をバランスよく満足しなければならない。

Shell OPT では構造的合理性のみについての事例であるが、意匠、環境などの諸量の定式化、定量化を行い、目的関数とすれば、それぞれの分野を統合した多目的最適化が行われ、さまざまな要求事項に対してバランスの良い建築物を設計することができると考えられる。

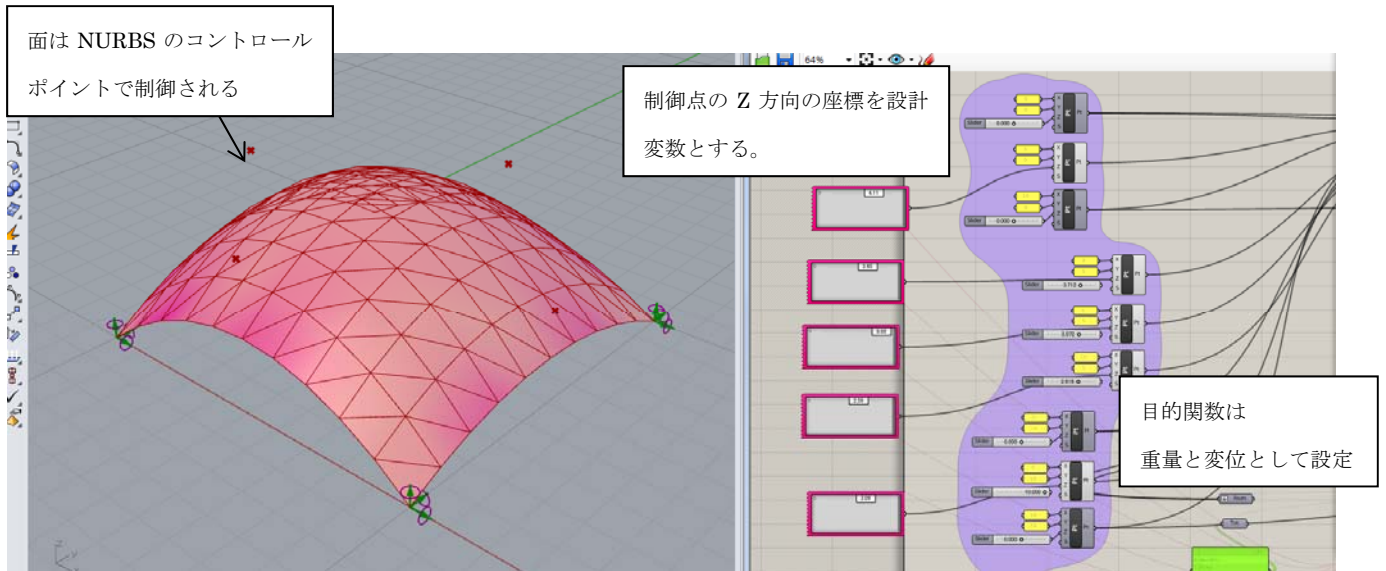


図 8.Shell OPT

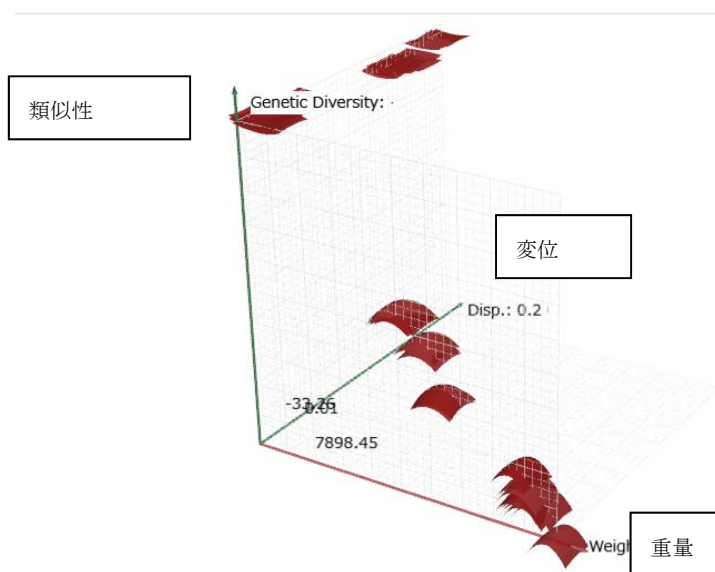


図 9.Pareto 解

4. まとめ

コンピューテーショナルデザインの背景や、それを用いた事例および構造設計への適用について述べた。情報技術が発達し、人間が処理できる情報量を超えるような膨大なデータを扱う時代にもなり、CAD から BIM への潮流があるように建築設計はますます最先端の情報技術をうまく利用していかなければならない。その中でも、プロフェッショナル同士の統合、コミュニケーションなど密実な連携が必要となり、「Rhinoceros」+「Grasshopper」は、その可能性を秘めていると考えている。さまざまなツールが整備され、汎用性が高く、応用できる事例が多いため、今後ますます利用されていくと思われる。また、骨組構造、シェル構造など形状に問わずコンペ、基本設計などいろいろなアイデアを短期間で出す際にも非常に有効であり、実施設計の詳細な検討を行う中でも十分に威力を発揮できる。

ディックス構造設計部では、建築家と協働し、鉄筋コンクリートや鉄骨、木造など様々な材料を用い、小規模住宅から中高層建築物まで建築構造について幅広く顧客の要望に適した一般建築物の構造設計や、既存建物、重要文化財の耐震診断・補強を行っていく。

その中で今回紹介したような最先端のコンピューテーショナルデザインについては、今後、特殊な事例だけでなく、積極的に一般建築物の構造設計にも適用・運用し、実績や技術を蓄積していこうと考え、コンペ・コンテストへの参加、講演、HP への事例紹介も行う計画である。ここで紹介されている技術の詳細は順を追って紹介していきたい

コンピューテーショナルデザインの構造設計への展開に関する事例はノートパソコン等でデモンストレーションが可能である。興味がある方は下記連絡先に問い合わせ下さい。

=====

田村尚土 Naoto TAMURA

構造設計部長

structure@dix.ne.jp

株式会社ディックス 構造設計部

<http://www.dix.ne.jp/>

東京事務所：

〒101-0031 東京都千代田区東神田 2-2-4 プレール東神田 902 号

名古屋事務所：

〒460-0011 愛知県名古屋市中区大須 1-8-34

TEL 052-204-1311

=====

参考文献：

[1]大森博司，崔昌禹，拡張 ESO 法による構造形態の創生 多目的適応型構造とシェル構造への適用，

日本建築学会構造系論文集，No. 552，pp. 109-116，2002. 2

[2] 田村尚土，大森博司，多目的最適化法による鋼構造物の構造設計支援手法の提案(その 1)

許容応力度等設計における最適設計法，日本建築学会構造系論文集，No. 628，pp. 891-897，2008. 6

[3] 田村尚土，大森博司，多目的最適化法による鋼構造物の構造設計支援手法の提案(その 2)

保有耐力設計に基づく最適設計法，日本建築学会構造系論文集，No. 643，pp. 1671-1676，2009. 9