

パラメトリックモデリングによる光環境と構造の多目的形状最適化 —Prismatic Stool の事例—

○後藤 一真*¹ 天野 裕*¹

キーワード：構造解析 光環境解析 多目的最適化 マテリアライジング展

1. 諸言

我々が通常エンジニアリングを行う際のプロセスは、エンジニアの経験に従い”条件を満たすことの検証”を行い、その評価情報を基に、デザインにフィードバックさせる。条件を満足すれば検証をやめ、限定的かつ離散的な結果をフィードバックする。勿論、エンジニアは、よりよい方向となるように努力をするが、条件さえ満足していれば、どのタイミングで検証を終了するかはエンジニアの判断に基づいて決定されてしまう。

しかし、デザインで創出される情報が流動的・連続的である以上、エンジニアリングで取り扱う情報もインタラクティブに追従してもおかしくない。さらには、エンジニアリングで取り扱う分野が学際的事象は、エンジニアの過去の主観的な経験のみに頼るのは難しく、連続的に帰納・演繹する仕組みがあっても何ら不思議ではない。流動的にデザインが生成されるなかでインタラクティブにエンジニアリングが関与しモノづくりへと誘う”ジオメトリックエンジニアリング”の試みの一つである。簡単なルールで高度なジオメトリを生成すると同時に、目的に応じたエンジニアリングによって得られた”情報”を多目的最適化手法を用いて評価を行い、より目的に適した形態を実現する。

(図 1)

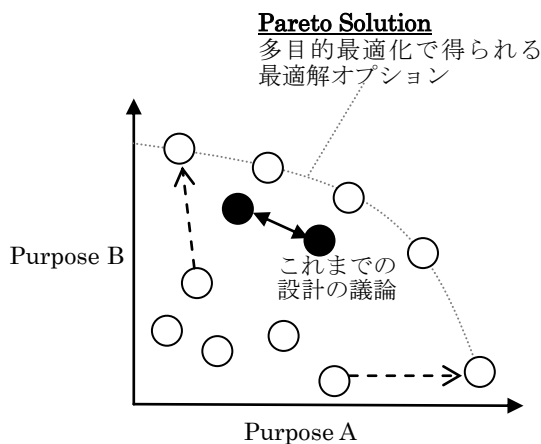


図 1 多目的最適化の考え方

2. Prismatic Stool

本報告では、事例としてマテリアライジング展（2013年6/8～6/23 東京芸術大学美術館陳列館）にて著者らが展示した Prismatic Stool の設計プロセスについて述べる。短辺長さ 1cm の、二等辺三角形断面の透明アクリル棒材を用い、透明アクリル製の、スツール兼床照明を試作した。アクリル棒材は、座る人の荷重を支える構造材と、光源を屈折・反射して床を照らすための照明材を兼ねている。一本一本のアクリル棒は構造材としては柔らかすぎ、照明材としては小さすぎるが、これらを簡単なルールで沢山組み合わせ合わせて構造的な強度と照明器具としての効果が高いものとするために、構造解析・光環境解析を行い多目的最適化の手法を取り入れて形状を決定した。

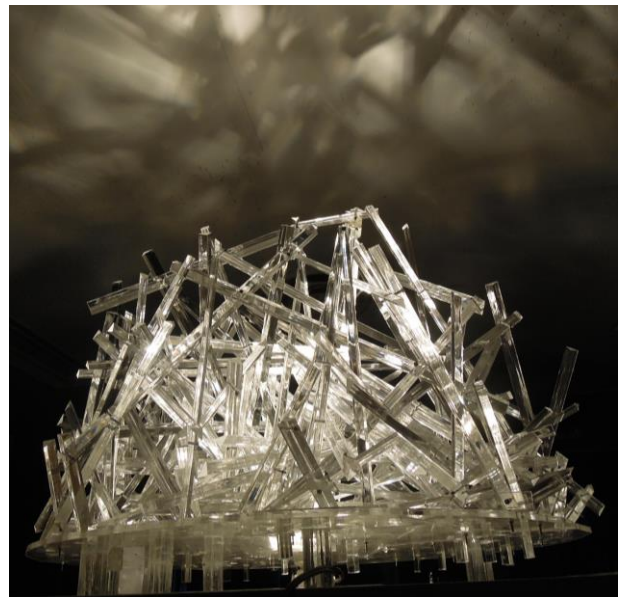


図 2.1 Prismatic Stool



図 2.2 今回使用した直角二等辺三角形アクリル棒

4.2 光環境解析

照明器具として見たときの **prismatic stool** は、床面中央に設置された LED 光源と、光源からの光を透過・反射・屈折を繰り返しながら周囲に配光するアクリル材から構成されている。このアクリル材は約 200 本が組み合わさった形状であり、かつ断面形状が三角形であるため、光源からの透過・反射・屈折効果は事前に想像することが困難であった。

こうした複雑な光環境を事前に評価するため、ローレンスパークレ研究所で開発された **Radiance** と、フ라운フォーファー研究所の **Jan Wienold** によって開発された **photon mapping extension** プログラム を用いて光環境解析を行っている。

光環境の評価指標としては、図 4.2 に示す **Radiance + photon mapping extension** による解析結果から、スツールの半径 1m の床面照度の平均値を算出している。この平均照度が高いほど、スツールの照明効果が高いという想定し、これを後述の多目的最適化における光環境の目的関数としている。

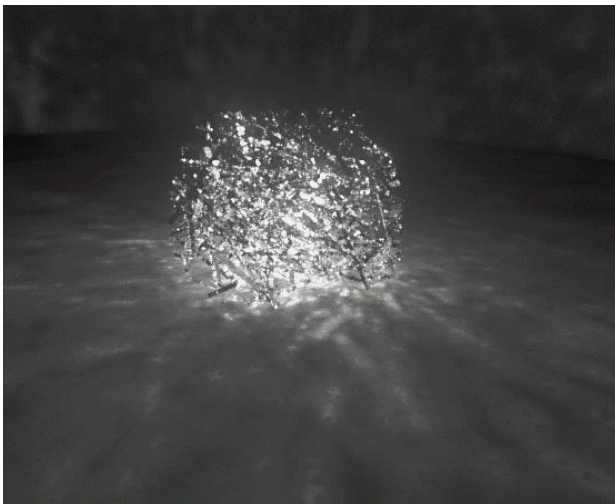


図 4.2 光環境解析結果

4.3 多目的最適化

多目的最適化を行うにあたり、ESTECO 社製の **modeFRONTIER4.2** を用いて上述の解析ルーチンを行った。**modeFRONTIER** は **cygwin**, **Excel VBA**, **python script** などの多彩なソフトウェアやプログラミング言語と連携し、単一目的最適化から多目的最適化に至る最適化を行うことが出来るソフトウェアである。今回は本ソフトウェアに搭載されている **MOGA2** を用いて、構造の座屈安全係数と床の平均照度を最大化する最適化を適用した。

以下の図および表に、**modeFRONTIER** の解析フローと各種解析ソフトウェアの連携について整理する。

表 4.3 **modeFRONTIER** と各種ソフトの連携

	modeFRONTIER 側	ソフトウェア側
形状定義	Python により、UDP 通信でジオメトリ生成用のパラメータを Rhino に伝達	Grasshopper のコンポーネントである GHowl を用いて modeFRONTIER 側からデータを受取りジオメトリを作成。
構造解析	Cygwin 経由で、解析モデルを解析し、解析結果を取り出す	Grasshopper から書き出された C 言語で開発した構造解析モデルに変換するプログラムを用いて解析モデルを作成
光環境	SSH 通信で他のマシンに解析モデルを転送	転送されたモデルに、各種条件を付加して解析実行

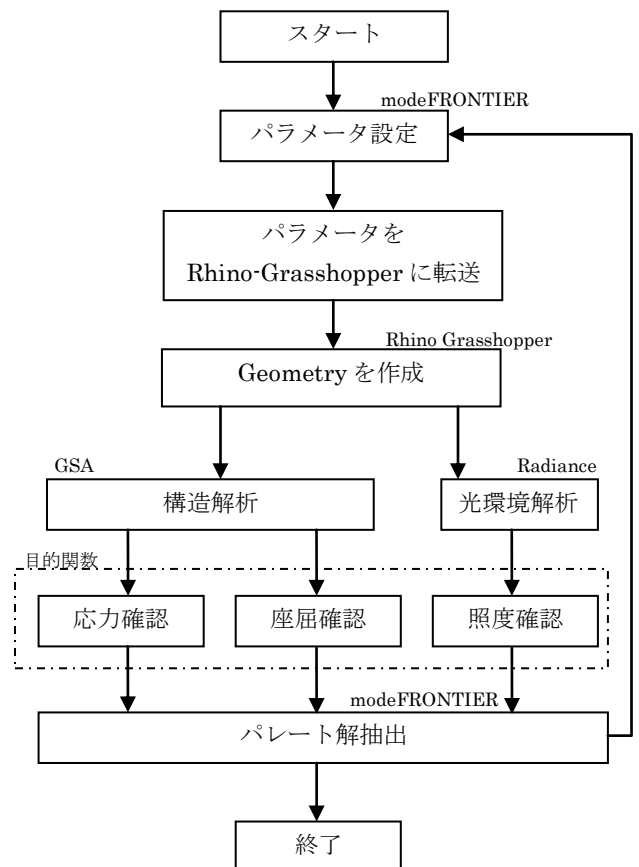
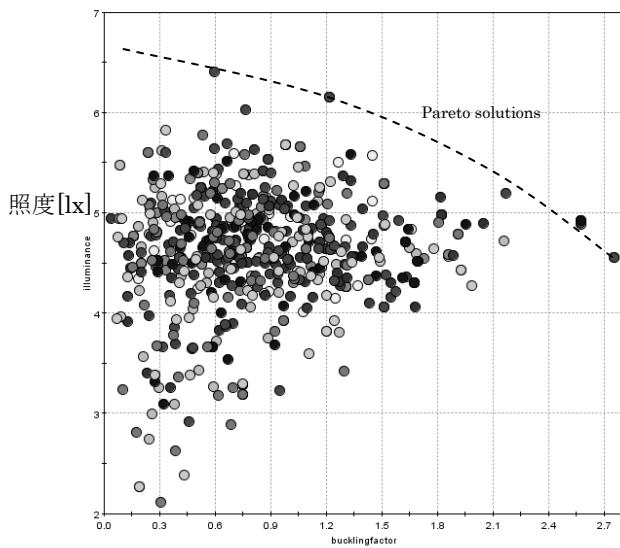


図 4.3 多目的最適化 最適化フロー

4.4 解析結果

約 1800 回の解析を行った。それぞれの座屈安全係数と照度を図 4.4 に示す。



座屈安全係数
図 4.4 解析結果

今回は、時間の都合上試行回数が少なかったため、座屈しにくく地面を照らすパレート解集合が少ない結果となった。しかし、定性的な視点からすると、椅子としての強度は、鉛直部材の数が多いほど座屈しにくくなる。一方で、上方向に照射されている光を地面に反射させるためには、水平方向に部材が配置される方が、地面に光を反射させることから、構造的要求と光環境の要求では形成されて欲しい形状が相反しており、上図のパレート解の傾向は定性的には一致しているといえよう。

5.製作

三角形の亚克力棒を組み合わせるのだが、接合部は、製作のしやすい直径 2mm のボルトを用いた。

ジオメトリを定義している時点において、製作に必要な情報が、1)部材の長さとして2)三角形のどの面が接合するかということがわかっているので、3DCAD 上で 3 次元のモデリングが為されると同時に、製作図もインタラクティブに生成されるようにしており、それらの情報を基にレーザーカッターで、部材の切断および部材の穴あけが施されるようにしている。レーザーカッターは鉛直方向にのみにしかレーザー光が照射されないため、穴をあける面とレーザー照射方向が垂直になるように、特別な治具を用意してレーザー加工を行った。(図 5.1)

一方で、穴あけが完了したものを前の節で明示した“樹形状”に配置すると、施工上空間座標を 1 か所ずつ測定しなければならず、また、部材が込み入ってくると手が入らず施工が出来なくなることが予想された。また、形状が複

雑なため、何番目の部材を配置しているか、位置関係がわかりにくくなるという問題が生じることが予想されたため、接地する部材を優先的に配置しながら現状何番目の部材の作業をしているかがわかるようにパソコンの画面上で表示をしながら製作した。(図 5.2)

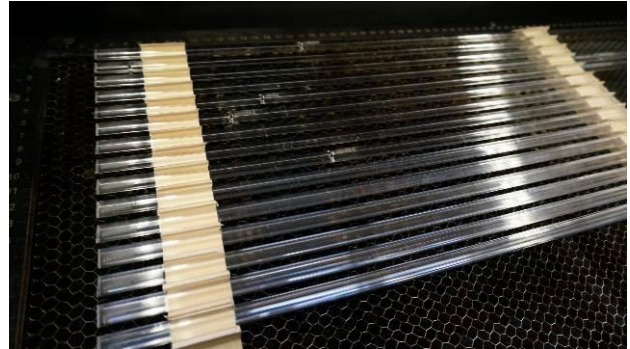


図 5.1 レーザーカッターによる製作の様子

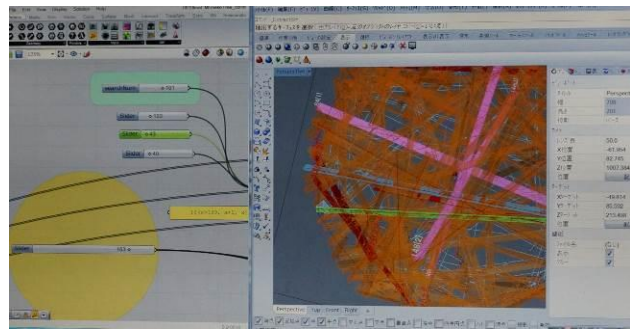


図 5.2 画面上に製作中の部材を表示する



図 5.3 すべての部材を組み上げた様子

6.結言

構造デザインと光環境デザインを同時に評価を行い、多目的最適化手法のケーススタディを行った。今後、このようなデザインアプローチは建築分野においても実現可能なポテンシャルを秘めている一方で、実際に製作するための配慮も忘れてはならない。

[参考文献]

- 1) マテリアライジング展 <http://materializing.org/>

*1 オーヴ・アラップ・アンド・パートナーズ・ジャパン・リミテッド