

# パラメトリックモデリングとデジタル加工機器の連携による 設計生産一体システムの開発

○渡邊 圭\*1 池田 靖史\*2

キーワード：パラメトリックデザイン デザインプロセス デジタル加工機器 BIM

## 1. 研究背景

近年 BIM の技術の発展がある一方で、デザインの現場で一般的に使われている 3 次元デザインツールも、パラメトリックデザインツールやスクリプトによって制御できるようになったことでその利用の幅が大きくなっている。特に BIM が得意とする形態の属性化のように、3 次元座標の情報以外にも素材や ID などの情報をもった状態で形態を操作することができるようになった。

またレーザーカッターや 3D プリンターをはじめとするデジタル加工機器はラップトップ 1 台で操作できるほど手軽に利用することができるようになり、よりパーソナルな場面での利用が広まった。今まではコンピュータ上で設計したものを図面などの加工機器で使えるデータに変換し加工機に送るという過程を経ていたものが、コンピュータ 1 台の中で加工機器に送るまでを可能にした。

こうした 2 つの技術の発展により、ものづくりにおいて設計段階と生産段階の間にあった垣根を低くすることができる。3 次元デザインツールからデータ変換を経ずに直接加工機器を動かすことができたり、また材料を加工する段階で生まれる問題点を設計にフィードバックさせたりすることが可能になり、デザインプロセスを効率化させることができるようになる。またパーソナルな場面以外でも様々な人が関わる一連のデザインプロセスの中で各段階に関わる人とのコミュニケーションツールのひとつになり得る可能性も持っている。

## 2. 研究目的

本研究では、特に 3 次元モデリングソフトである Rhinoceros とそのプラグインでパラメトリックモデリングツールである grasshopper を用いて形態以外の情報を付加しながらデザインを進めていくことで BIM のように利用しながらレーザーカッターや 3D プリンターなどのデジタル加工機器との連携をすることで設計生産一体のシステムの開発をする。そのシステムを利用することで設計段階から加工段階への情報伝達の精度が向上したか、また加工段階から設計段階へのフィードバックがどのように起こったかを、実際の 2 つのデザイン事例を用いて検証し、その発展の可能性を考察する。

## 3. 研究成果

[事例 1] 慶應型共進化住宅 家具プロジェクト

### ①設計概要

慶應型共進化住宅 家具プロジェクトは、経済産業省主催のエネマネハウス 2014 において「2030 年の家」というテーマで建てられたネット・ゼロ・エミッション・ハウスである。住み手やライフスタイル、都市と共に進化していくというコンセプトのもと、徹底した自然素材の利用、高度なセンサーと連携した HEMS、多様な空間を実現する間取りによってサステナブルな住宅を目指している。(Fig-1)家具プロジェクトはこの住宅のコンセプトを踏襲し、1 つのシステムで住み手のライフスタイルに合わせて様々な形をつくることのできる家具を提案した。本研究では特にテーブルと椅子についてマスカスタマイゼーション性と部材効率、施工簡易性の向上のために設計生産一体システムがどのように利用されたかに注目する。

テーブルはガラスの天板を持つ 4 本脚のもの、椅子は特徴的なライフスタイルを想定した 4 種類のものでどちらも自由な曲線の形状に加工された木材をレイヤー状に積層したデザインが特徴である。(Fig-2)



Fig-1 慶應型共進化住宅



Fig-2 設計したテーブルと椅子

### ②加工に利用した機器

レイヤー状に積層されている木材の加工は木材家具メーカーに外注をし、その間を埋めるダボはレーザーカッターによって加工を行った。ダボはすべて同じ円形の形状をしているが、積層する木材はひとつひとつ形が違う上に木材家具メーカーで使用されている加工機器で読み込み可能なデータで出力する必要があった。

### ③システム開発

レイヤー状に積層された木材の加工時の部材効率を最適化するために、特に椅子では背もたれ、前足、後足の3部分に形状を分割することで部材が全て L 字になるように設計した。背もたれと背もたれの間に前足と後足を挟み込むような構造になっていたため、各部品同士の接着可能面積や部品同士の間にできる隙間を埋めるダボの配置や大きさなどを細かく調整する必要が発生した。(Fig-3)

木材の加工を発注している木材家具メーカーとの度重なる話し合いをしながらデザインを進めていく上で、加工段階からのフィードバックをすぐに反映できるようなデザインプロセスを実現するために、部品同士の接着可能面積やダボの配置や大きさなどの変数を常に制御しながらデザインしていくシステムの開発が求められた。

例えばダボの配置に関してはより少ない部材で安全に接着するためにダボ間の最低限の間隔と個数を調整する必要があった。そこで grasshopper で形態をつくるコードをつくる過程で、全ての部材に対して常に中心線の長さから配置されるべきダボの数とその間隔を部品形状と同じツリー構造で並列に並べて情報として引き継ぎながらデザインを行った。(Fig-4)

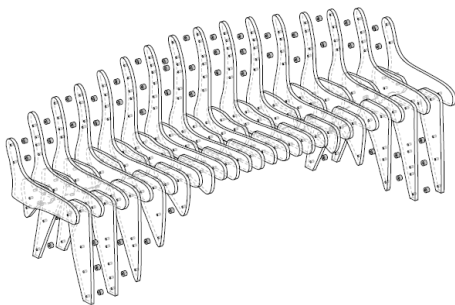


Fig-3 椅子の展開アクソメ図

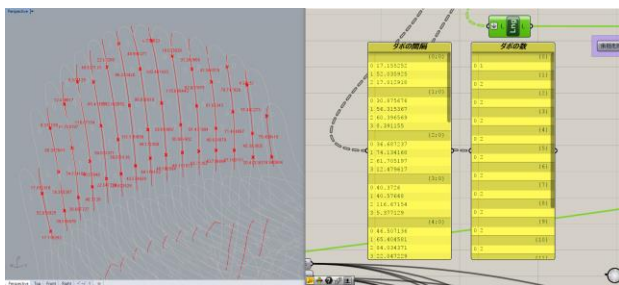


Fig-4 ダボ穴間の距離をモニタリングする

### ④デザインの過程

ダボの配置や大きさなどの情報を部材の形状と同じツリー構造で引き継いでいながら設計を進めていけることで、形態の生成がどの段階まで進んでいっても設計条件を変更することが出来た。実際にダボの間隔に関しては、当初180mmに対して1個という条件で設計を行っていたのに対し木材家具メーカーとの話し合いの結果150mmに変更になった際も、変更された条件でのダボ配置をパラメータの変更によって容易に確認できるだけでなく、どの部材で不具合が起きてしまうのかを形状、ダボ配置、間隔の3つを並行して確認できた。

またそういった設計の条件は、経験と予測によって臨機応変に変更することがある。実際の設計でもダボ間隔が150mmに1個という条件でダボの配置を最適化させたとしてもどうしても条件を満たせない場合があった。そういった場合に条件を満たすためにその他のパラメータを変更することもひとつの手段だが、どの部分がうまくいっていないのかを経験を持った木材家具メーカーの方に簡単に見せることが出来たため、条件を満たさない寸法でも構造的に持つということを判断していただきそのまま設計を進めることが出来た。

すべての部品の情報を部品に分解する前の形状に準じたツリー構造で最後まで引き継ぐことができることで、加工段階に送るデータに変換する際にネスティングしたとしてもどの部材がどこにくるかを見失わずに最適化することが出来た。

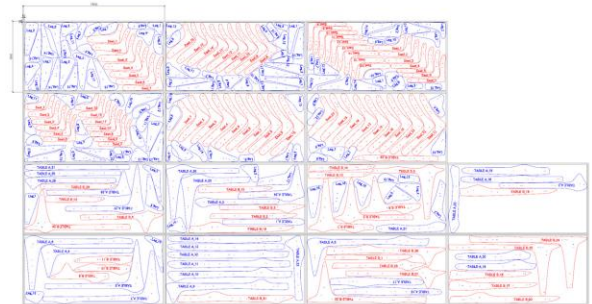


Fig-5 加工図面

### ⑤考察

家具の設計においては、ひとつひとつ違う形をした部品を持つ家具を加工を発注している木材家具メーカーの方にいかにわかりやすく説明し、加工できる状態をつくることができるかという目的を持っていた。部品の形態にそれに準ずるダボの位置や間隔などのデータを常に同じツリー構造で参照することができたため、加工や施工の際に問題が発生する個所の発見や検討を円滑にデザインに反映することが出来たり、加工によって実物になった部品もコンピュータ上で見ていたのと同じように組み立てることが出来た。

## [事例2] Voronoi Materializing

### ①設計概要

Voronoi Materializing は「デジタル技術による材の加工」と「情報技術を応用した設計手法」を用いて多面体空間を情報空間から実空間へ実態化するためのプロセスと構法の提案である。コンピュータ上での点群の操作から人間による組立の行程までを横断的に可能にする「型」によって、形状のコントロールと共に実空間へのマテリアライズが容易に行われる。

またこれまでボロノイ・セル群の実態化手法として一般的だった、線材を接合していく軸組みの工法や平面を積み重ねるコンタ積層造形法ではなく、面材とジョイントの2部材によって構成することで直交グリッドに変わる新しい建築構法への展開を視野に入れている。

この事例は作品とデザインプロセスの両方を提案するもので、作品自体は2014年度マテリアライズ展Ⅱにて展示した。(Fig-1)

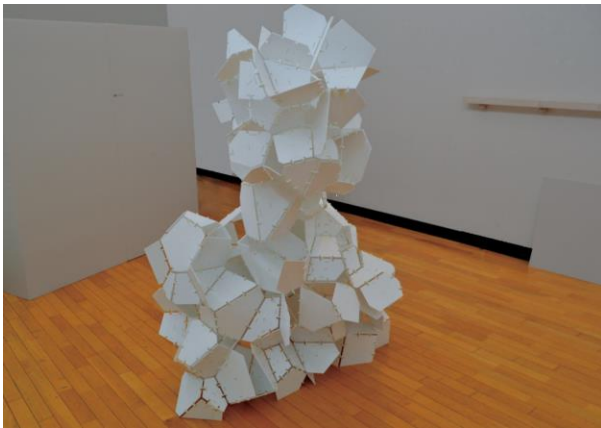


Fig-6 展示風景

### ②利用した機器

この作品は面材とジョイントの2種類の部材のみでできている。面材はホワイトアクリルをレーザーカッターで、ジョイントは3Dプリンターによって加工した。327枚のパネルと813個のジョイントからなる大量の部品を全て識別して設計図がなくても誰でも組み立てることができるプログラムが必要だった。また決められた期間の中で施工を行うために常に加工時間をモニタリングできる必要もあった。(Fig-7)

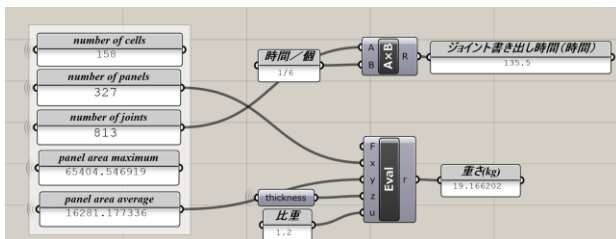


Fig-7 部材集計と施工予測

### ③システム開発

情報空間に存在しているボロノイ分割された多面体セルの面を実空間ではジョイントによって接合する必要がある。ボロノイ分割された面は全て異なる形をしているため、面と面が交差する角度も全て異なる。直交グリッドにも乗らず、ひとつとして同じ形のないジョイントをどのように識別するかというのがこのシステム開発の肝となった。私たちはセル同士の境界となる面は必ず2つのセルで共有していて、面を構成する線は必ず3つのセルで共有しているという法則を見つけた。また同じ2つのセルを共有する面、3つを共有する線は存在しないため、この法則にのっとりて面は2つのセルの組み合わせ、線は3つのセルの組み合わせで識別することが可能であることが分かった。ジョイントは線上に作られるのでこの識別方法によって部品は全て識別できる。

この識別方法を加工段階、さらには組立段階まで引き継いでデザインを進めるために常に面や線、ジョイントが持つIDを並行に並べながらプログラムを設計した。また識別方法も複数種類同時に持ちながらプログラムを進めていくことで、部品の並べ替えやグルーピングを自在に行うことが出来る。例えば、通常面はセル-セルのIDで識別するが、実際にそこにある面を参照したいときは、それとは別にあるセルの中の何番目の面かという情報が必要になる。セル-セルで1つになった面のIDのほかにセル-セル内番号×2で構成されたIDも同時に持っていることでどんな状況でもほしい部品を呼び出すことができる。(Fig-8)

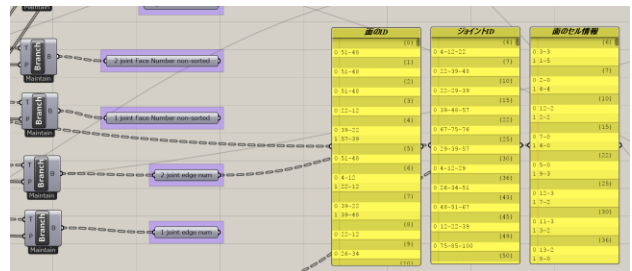


Fig-8 面とジョイントのID

### ④デザインの過程

部品を識別する問題の他にもこの作品にはいくつかの解決しなければならない問題があり、組み立て段階から設計段階へのフィードバックが複数起こった。例えば、初期値としてセルの大きさを決める際には人間が組み立てられる最低限の大きさによって増える部品の数に総合的にみて判断しなければならなかった。またセルもすべて閉じていると手が入らず手詰まりが起きてしまう箇所が出てくるため、1つのセル当たり2面以上は必ず開口になるようにアルゴリズムを組んだ。こういった条件も設計の段階で追加されたり変更されたりしたときに常に部品数や重さなど実空間に存在するときの情報までプログラム

内に持つことができた。(Fig-9)

また組立時にも ID を一目で認識できるように面には ID のくりぬきを、ジョイントには該当する位置に来るセルの番号を刻印するようにプログラムしレーザーカッターと 3D プリンターにデータを送信した。組み立てる人は、面の ID とジョイントの ID を見ながら組み立てることで設計図や完成予想図を見なくても間違えることなく組み立てることができた。(Fig-10)

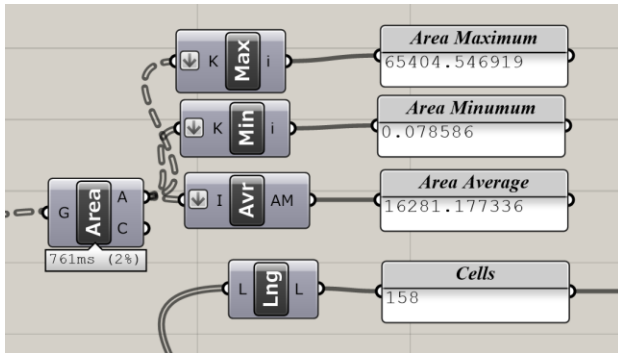


Fig-9 セルの大きさによって変わるパネル面積とセル数



Fig-10 実空間でも識別された面とジョイント

#### ⑤考察

ひとつの部品に対し複数種類の ID を持たせることで参照できる範囲が広がり、更に多様なデザインが可能になることが分かった。また識別方法のように組み立てる時に起こり得る問題とデジタル加工機器に送る際に必要な情報の間に共通する内容が多く、それを設計段階にフィードバックすることで意匠が決まっていくというデザインのプロセスだった。

#### 4. 今後の展望

部品に様々な情報を付加した状態でデザインを進めていくシステムを開発することで設計段階だけでなく加工や組み立てなどの生産段階も一体としてデザインを考えられる仕組みができる。

2つの事例はどちらも建築ではなかったが、建築のデザインにおいてこのシステムを使うとさらに様々な情報を設計に組み込むことができる。例えば建物内の温熱環境やエネルギー環境をセンシングによって数値化することができる HEMS と組み合わせると、得られたデータを読み込むことでその建物の空間がもつ問題を解決するようなもののデザインを自動で行うことができるようになる。これまで予測やシミュレーションによって行っていたデザインを設計や生産さらには利用時のことまで全て見渡しながらできるようになる可能性を持っている。

#### 【参考文献】

- 1) 居住空間内の滞留位置に関する実験的分析方法の研究 — 慶應型共進化住宅における居住実験を通して — 東慎也

- \*1 慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科 修士課程
- \*2 慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科 教授