材料の特性を生かした材料加工および曲面造形システム
—WoodWeaver の開発—

1. 背景

現在デジタルファブリケーションとよばれる、物質をコンピュータ制御で加工・出力する工作機械が高性能化、低価格化している。本プロジェクトはデジタルファブリケーション環境下で、曲げ木を製作するための、設計および製作支援システムの開発を行った。通常の曲げ加工は、型を用いて型に材をプレスすることによって特定の曲げ形状を製作するものである。この手法は、ある特定の曲げを大量生産するのに適した製造方法である。一方、本システムは少量多品種の製作に特化した製作手法である。本システムは材料に切り込みをいれることのみで材を曲げるため、システムによって自動生成されるパターンを刻むだけで、多様な形状を比較的低コストで製作することができる。本システムはある個人にカスタマイズされた家具や、周辺環境に溶け込むような形状の建築物の製作に利用することができる。

2. 目的

本プロジェクトでは型を必要としない曲げ形状の製作を可能にするシステム、WoodWeaver を開発した。具体的には材に特定の切削パターンを刻むことで材の弾性を変化させる加工法である Dukta を用いて、製作を行う。WoodWeaver はコンピュータ上で曲面を設計し、その形状を Dukta による材の曲げで構成するための、Dukta の最適パターンを自動生成する。さらに、設計時に材の変形による破壊の無い範囲で形状を設計するための対話的モデリング手法を開発した。このシステムを用いることで型なしで自由な曲げの製作が可能となる。これによって、曲げをもった家具の製作や、小規模な建築のファサード等に応用されることを想定している。

図 1 Dukta

3. 開発の内容

WoodWeaver は 3 つのプロセスから構成される。1 つ目は材料パラメータの入力で、これによって材料の変形特製をコンピュータに入力する。2 つ目は対話的モデリングで、これに

よって入力された材の変形特製の範囲内で、自由な形状を対話的に設計する。3 つ目は図面の出力で、これは設計した形状を CNC（Computer Numerical Control）切削機で加工するための部材の図面を出力することである。その後、ユーザが切削された部材を組み合わせることで最終形状を得ることができる。以下これら 3 つのプロセスを順に解説する。

3. 1. 材料パラメータの入力

図 9 に示す作成例で手順を説明する。図 9 の例では必要な部材は 2 つ（A、B とする）で、部材 A は側面を、部材 B は座面を構成する。部材 A、部材 B に対応するパターンをパターン A、パターン B と呼ぶ。ユーザはこれらのパターンを構成する最適なパラメータをシステムに入力する（図 2、図 3）。最適なパラメータの決定は、ユーザが CNC マシンで小さく部材を切り出し、弾性変形範囲の変形を実物を曲げることで実験して設定する必要がある。

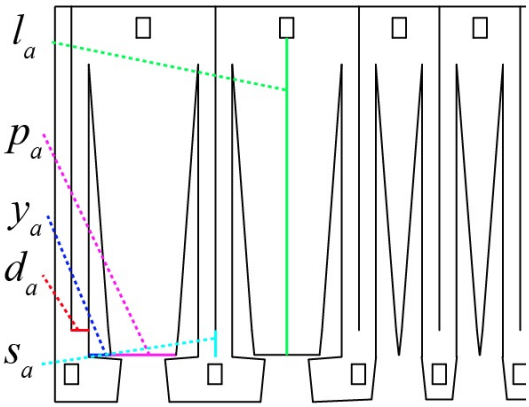

図 2 パターン A

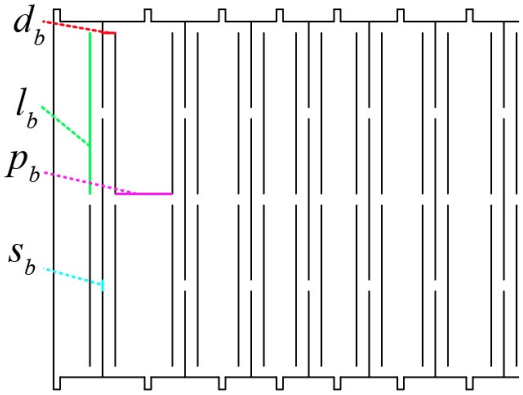

図 3 パターン B

3. 2. 対話的モデリング

図 4 にあるように本システムでは、曲面をモデリングするためにパラメトリック曲線を用いる。Dukta の変形をシミュレーションするために設計する曲線を、設計時と同時に円弧近似する（図 5）。その後、定義された制約（実行可能領域）にこれらの近似された円弧があるかどうかで、堅牢な（壊れない）形状であるか、そうではないかの判定を行う。堅牢でない形状が設計された際には、システムが自動で堅牢な形状を提案する。

3. 3. 図面の生成およびファブリケーション

ユーザの求める形状でかつ堅牢なものが得られれば、システムは CNC カットのための図面を生成する。以下図 6 から図 9 は製作の行程である。部材の凹凸をお互いにははめ込むことで、最終的な目的形状が得られる。

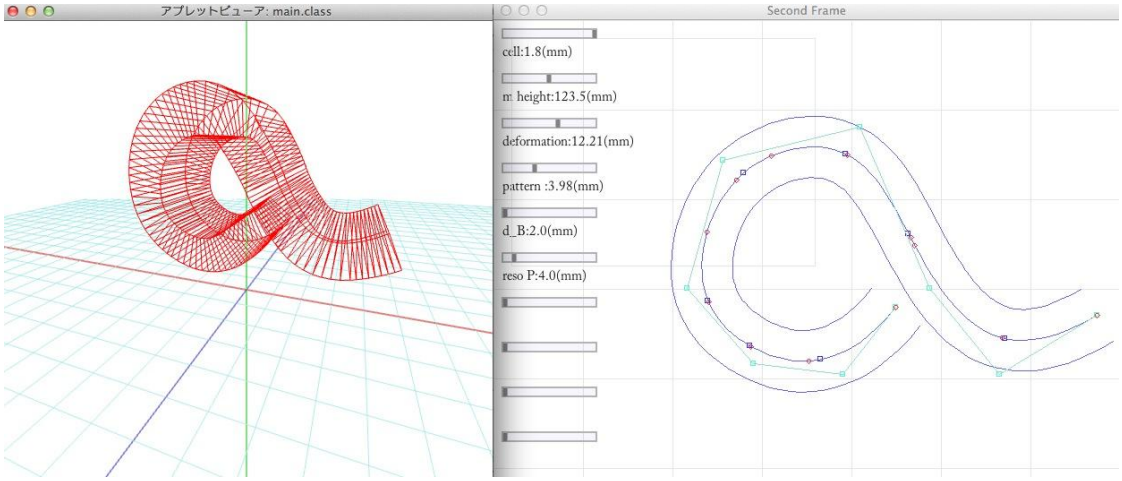

図 4 対話的モデリング

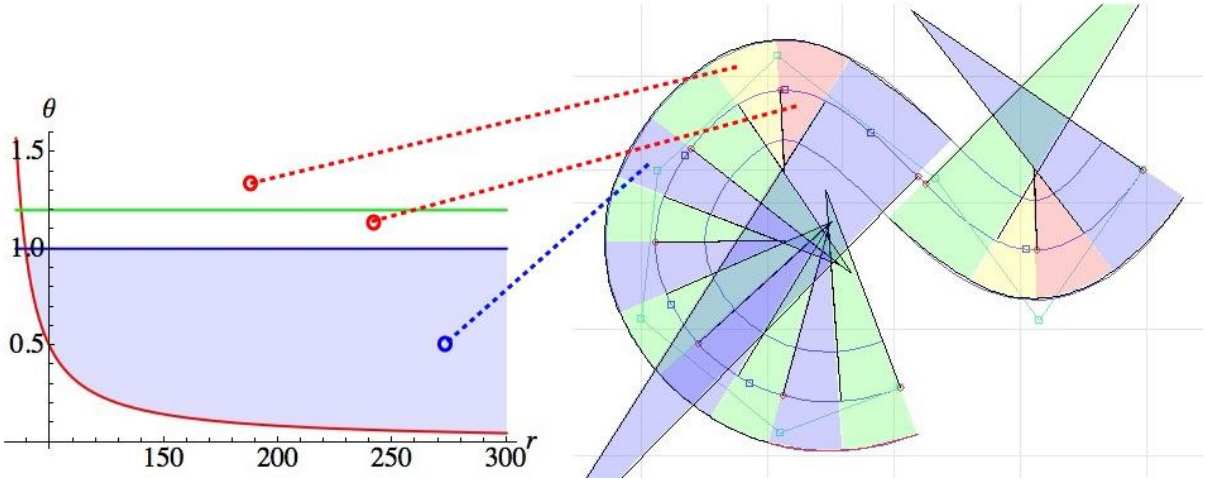

図 5 堅牢でない形状の例

実行可能領域外にある円弧が存在する場合は堅牢でない形状である

4. 従来の技術（または機能）との相違

デジタルファブリケーション前提とした自由な曲げ形状の設計システムは本プロジェクト以外に zipShape がある。しかし zipShape では 5 軸の CNC 切削機や、特殊な接着機械が必要となり、世界的な共通の機材をもとにしたものではなく、製作の行程も非常に手間のかかるものである。さらにシステムとしても図面を自動生成するのみで、材料の制約を加味した設計システムではない。WoodWeaver は通常の 2 軸の CNC 切削機さえあれば自由な曲げを製作でき、さらに接着剤がなくても最終形状得ることができる。本システムではスケッチ間隔で設計した曲面を、CNC カットと切り出された部材の組み合わせのみで手軽に製作できるという点で優れている。さらにシステムとしても、材料の制約を加味した、壊れない形状を直感的に設計・製作することができる。

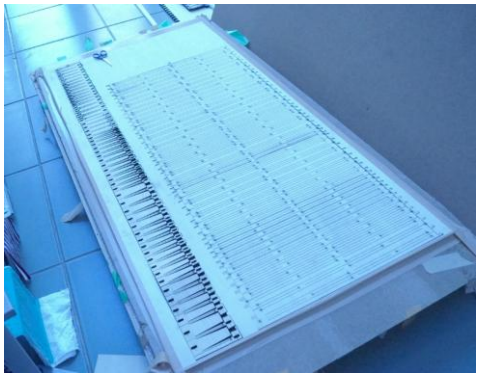

図 6 レーザーカットされた合板

図 7 部材を組み合わせる

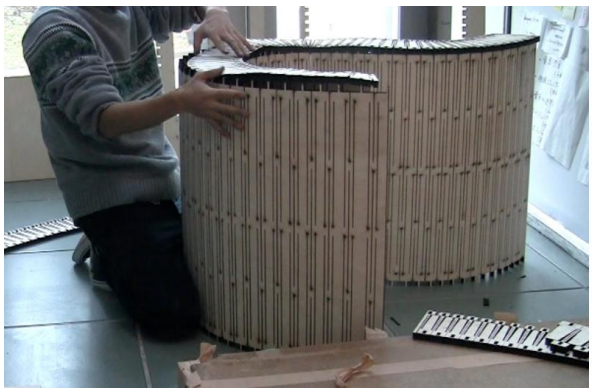

図 8 部材を組み合わせる

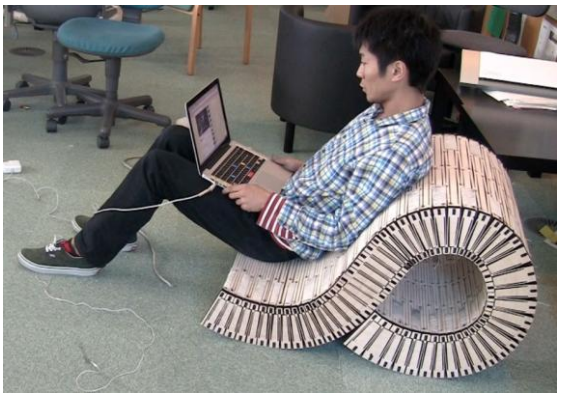

図 9 最終形状

5. 期待される効果

これまで、単品あるいは少量で特定の曲げを製造することは非常に難しかった。本システムを用いることで、少量多品種の用途に対して低コストで比較的簡単に曲げを持つ家具や建築物を製作できる。したがって、このような用途で実際のプロダクト製作に使用されることを期待される。

6. 普及(または活用)の見通し

本システムを Java の Web アプレットとして実装し、Web 上で形状を設計して図面データをダウンロードするといったステップで利用できるシステムへ発展させる。最終的に世界中の人々がこのシステムを用いて、曲げをもつプロダクトを製作できる状況が見込まれる。

7. クリエータ名(所属)

大嶋泰介(慶應義塾大学 政策・メディア研究科 修士課程 1 年)

(参考)関連 URL

http://web.sfc.keio.ac.jp/~taisuke/WoodWeaver.html