

建築デザイン教育における ジオデシック型ダンボールドーム設計・製作の実践

Practice Report of Geodesic Cardboard Dome in Architectural Design Education

渡辺 宏二¹

Koji Watanabe²

要 旨

デザイン文化学科春学期開講の3年次生向け「ゼミナール1」筆者担当クラスにて建築・空間系学生向けのデザイン教育プログラムとして、ジオデシック型ダンボールドームの設計と製作を実践してきた。プログラムの内容や設計・製作の手順についてまた、過去4回に渡って製作したダンボールドームの変遷や特徴についてまとめた。小さいながら実空間を作る過程を体験することの意義は大きい。

キーワード： 建築デザイン, 体験型教育, ジオデシックドーム

Keywords: Architectural Design, Experience-based Education, Geodesic Dome

1. はじめに

国際文化学部デザイン文化学科の前身である旭川校舎にあった芸術工学部の建築系学科(またはコース)では、永年に渡って「建築総合実習」などの科目名で学生が自ら実際の建築空間を企画、設計、施工する一連の建設過程を体験する授業がおこなわれており、ログキャビン(丸太小屋)、木造トラスステージ、BBQコート、ログサウナ、遊歩道、バイオトイレ・水場、ログストアなどを建設し、利活用してきた。

また、2008年～2012年に掛けては、芸術工学部 建築・環境デザイン学科の学生が主体となった「Ice Pantheon Project」により、氷の神殿=アイス・パンテオンの建設実現に向けて実施する挑戦的なプロジェクトが実施された。学生と教員が協力し、数年間の継続的实施で施工技術を蓄積し徐々に規模を拡大しながら、最終目標としてローマの歴史的建造物パンテオンに匹敵するドーム直径40m規模を目指したが、2012年冬季に25mアイズドームの建設でプロジェクトを終了した。

どちらも、工房設備、作業実習フィールドや厳冬期外気温などの教育資源や環境を前提と

¹ 東海大学国際文化学部デザイン文化学科, 005-8601 札幌市南区南沢 5 条 1 丁目 1-1 ; E-mail: watanabe(a)tokai-u.jp

² Department of Design and Culture, School of International Cultural Relations, Sapporo Campus, Tokai University, 5-1-1-1 Minamisawa, Minami-ku, Sapporo 005-8601, Japan; E-mail: watanabe(a)tokai-u.jp

して、建築教育に不可欠な「建築行為の全体性」と「空間(モノ)を創るよろこび」を総合的に体験する機会を生み出すべく提案されたものであった。

2012年に新設された札幌校舎の国際文化学部デザイン文化学科では、建築士受験資格取得が可能なカリキュラムが組まれているが、授業単位的にも制限があり、また設備・環境的にも前述の「建築総合実習」や「Ice Pantheon Project」の様な実空間を建設するような教育は難しかった。しかしながら、筆者は建築教育における実空間創造の体験的授業の意義を継承すべきと考え、3年次生「ゼミナール1」の筆者担当ゼミナールにて、極めて規模が小さくかつ短期間の仮設的空間ながら、自ら作り上げた実空間を体験するプロジェクトとして「ダンボールドーム・プロジェクト」を実施した。

2. ダンボールドーム・プロジェクト

Web検索をおこなうと、ダンボールドームは国内外の子供向けの建築系ワークショップ企画で実施されていることがわかる。当プロジェクトでは、単に空間を自力で組み立てるワークショップではなく、建築構造としての理解、企画・設計から部材の生産や建て方までの一連の行為を体験することを重視している。

ダンボールドームは、軽い素材として厚さ5mmのダンボール板を採用し、安全を配慮し高さを2~2.5m程度に抑え、高さの関係からドームの底面直径も5m以下として、授業の履修者人数が極小数でも作業可能なように配慮した。

作業時間は授業時間の100分/回 x14回を基本として、作業の遅れを1~2回分の補修時間を設けて補った。授業14回分の授業スケジュール概略を表2-1に示すが、この他に学科共通としてポートフォリオ作成のための指導が含まれる。

2~3回目のレクチャーでは主にアーチ構造、ドーム構造、シェル構造~スペースフレーム構造の歴史や構造の特徴、構成の考え方を学ぶ。特にダンボールドームの形態の基本をなすジオデシック分割の考え方についても触れる。4~8回目では、先ずジオデシック分割によるドームの構成について理解を深めるために、基本形状となる正二十面体や切頂二十面体の紙模型を作成し、造形の応用としてコクヨ社の知育玩具「Wammy」(図2-1)を使って複数の大きさのジオデシック分割球形モデルを製作した。次に基本形状となる正二十面体が黄金分割比を使って頂点の空間座標計算できることを利用して数値的に把握した(図2-2)。

表2-1. 授業スケジュールの概略

回	内容
1	ガイダンス
2~3	ドーム空間を中心とした建築空間構造に関するレクチャー
4~8	模型製作とドームの設計検討
9~12	ダンボールによるパーツ製作
13~14	組み立て、展示、解体撤収

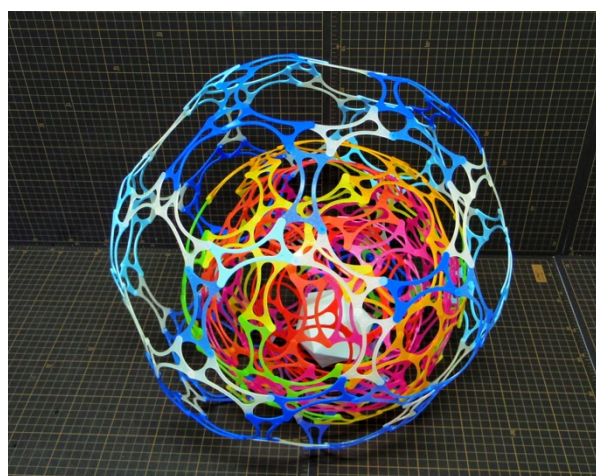


図2-1. 知育玩具「Wammy」による球形モデル

空間や材料の制約を考慮しつつ CAD ソフト「SketchUp」を利用しながらダンボールドームの設計をおこなった後に、紙で縮尺模型を製作して設計の妥当性を検討している。9～12 回目は、ジオデシック分割により求めた各種三角形分割パーツの切り出し図を作成し、分担して厚さ 5mm のダンボール板からパーツを切り出す。このパーツ切り出しが円滑に進行するか否かは、これまでのジオデシック分割の考え方やドームの頂点座標の数値的な理解の度合いに大きく左右される。13～14 回目で設置会場にパーツを運び込み組み立てて、3 日間～1 週間程の展示をおこなった後に、解体して終了である。

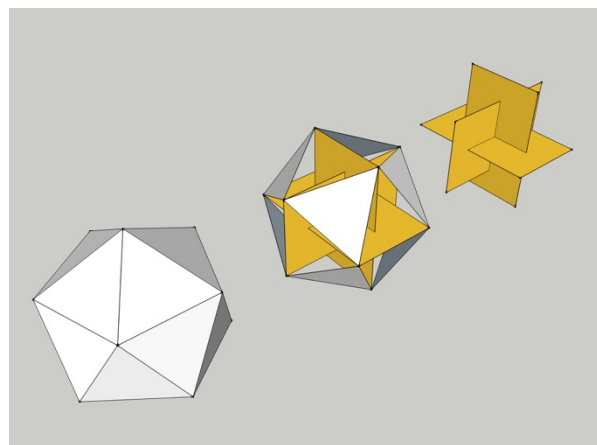


図 2-2. 黄金比と正二十面体

3. ダンボールドームの設計

ドームをパーツ化するにあたってのパーツ分割方法には B. フラーが提唱したジオデシック分割を用いている。ジオデシック分割は円に内接する最大の正多面体である正二十面体を基本形として、頂点を結ぶ各辺を分割し、辺上の分割点を球へ接するように調整して求めることができる。分割面は全て三角形の形状になる(図 3-1)。

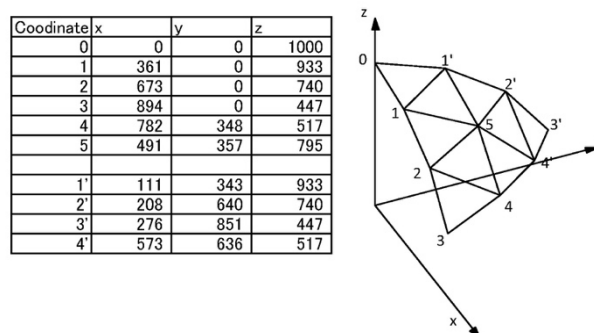


図 3-1. ジオデシック分割と座標計算例

ドーム全体の大きさは、作業場の安全を第一に考慮して組み立て作業時には踏み台に上る程度で高所作業にならないように、また、設置場所には校舎内の屋内ホールを想定したことから天井にぶつからない様、高さを 2～2.5m 程度に抑えて、高さの関係からドームの底面直径も 5m 以下になるようにしている。ドームの内部空間の確保するために周囲に壁要素を構成してドームを持ち上げた形状にした。

ドームの素材となるのは厚さ 5mm の両面クラフト紙のダンボール板(900mm×1, 800mm)を使用し、ジオデシック分割した三角形パーツの大きさがこのダンボール板に納まる必要がある。そのために、ジオデシック分割数を増やすことで一つの三角形パーツを小さくし、更には組み立て時の頂点部分に開口を付けることでパーツの形状の大きさ調整をおこなっている。ダンボール板の歩留まりも考え、一枚のダンボール板から可能な限り複数の三角形パーツを切り出せるように考えている。

ドーム組み立て時の三角形パーツの接合には、パーツ辺上に 50mm 程度の「羽根」と呼称している接合代を設けている。2014 年度の 1 回目の製作では、この接合代を皮革用パンチで穿孔して M5 の六角ボルト・ナットで接合、2 回目以降は国内外の既往例にみられた挟口 41～51mm のダブルクリップで接合し、解体後に再度組み立てが可能な設計とした(図 3-2)。

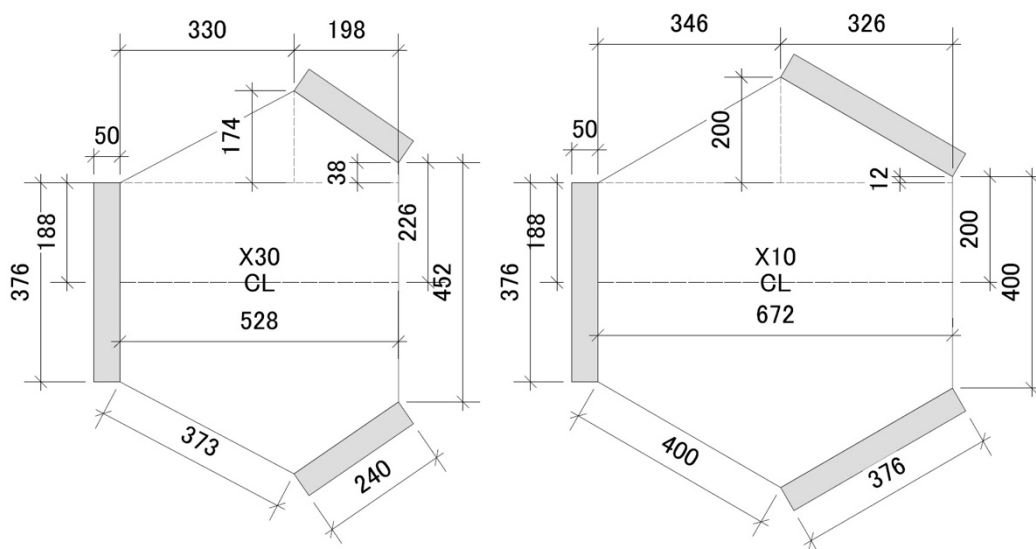


図 3-2. 三角形パーツ製作図例(灰色部が羽根と称す接合代)

この他、全体の大きさやジオデシック分割数などは、ゼミナールに所属する学生の人数でパーツの切り出し作業が可能かつ所属学生数+数名の協力者で組み立てが可能な規模となることを配慮した。

4. 各年度毎のダンボールドームの記録

4-1. 2014 年度「ゼミナール」

履修学生 2 名。底面直径 3m 強、高さ約 2m ジオデシックドーム(図 4-1)。球形の上部約 1/3 に相当する扁平型のドーム形状とした。高さを確保するためドームを持ち上げる壁体部は開放的で、どちらかという壁よりは柱的な要素となっている。扁平によるドーム周辺では外側に孕むスラスト(推力)が大きくなる傾向がある。このスラストに抵抗するため、柱は T 字型に補強した。当ダンボールドーム製作の初めての試みでもあり、運用・設計・組み立ての各段階で今後の基礎を構築できた。



図 4-1. 2014 年度ダンボールドームの CG と実物写真

4-2. 2015 年度「ゼミナール」

履修学生 1 名。底面直径 2m 強,高さ約 2m ジオデシックドーム(図 4-2)。半球よりも深いドーム形状が特徴で、閉鎖的な壁体部を設けた。出入口の開口部を補強している。

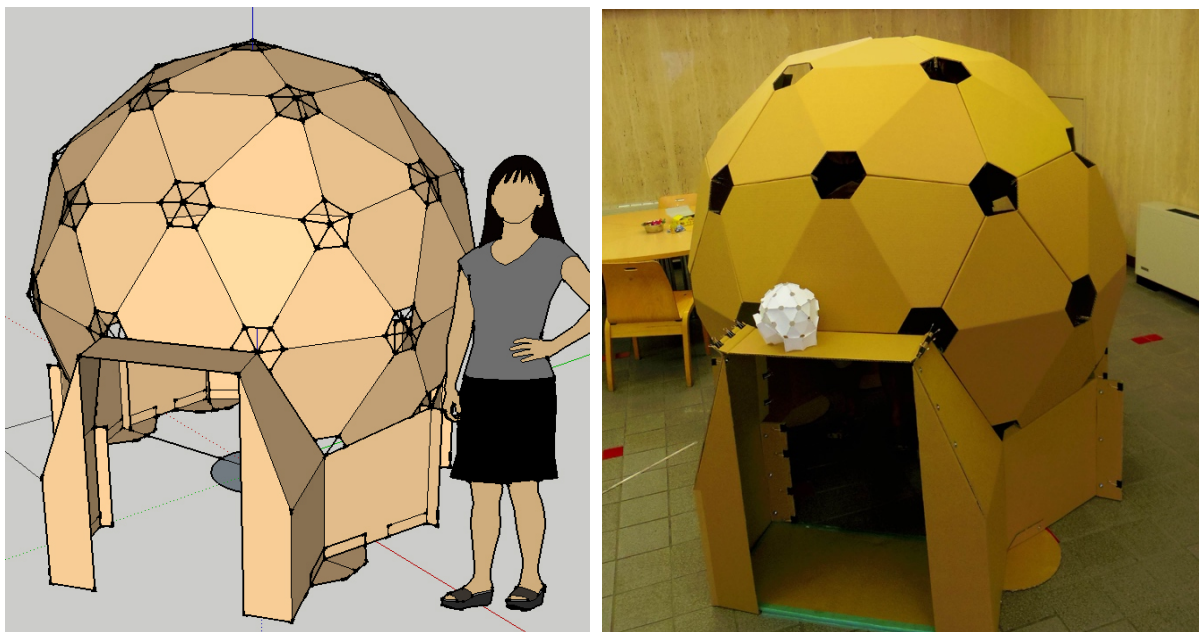


図 4-2. 2015 年度ダンボールドームの CG と実物写真

4-3. 2017 年度「ゼミナール」

履修学生 2 名。底面直径 3m 強,高さ 2.6m のジオデシックドーム(図 4-3)。半球ドームを壁体部で持ち上げた形状である。授業終了後、学内のイベントにて 2 回の組み立てワークショップをおこなった。

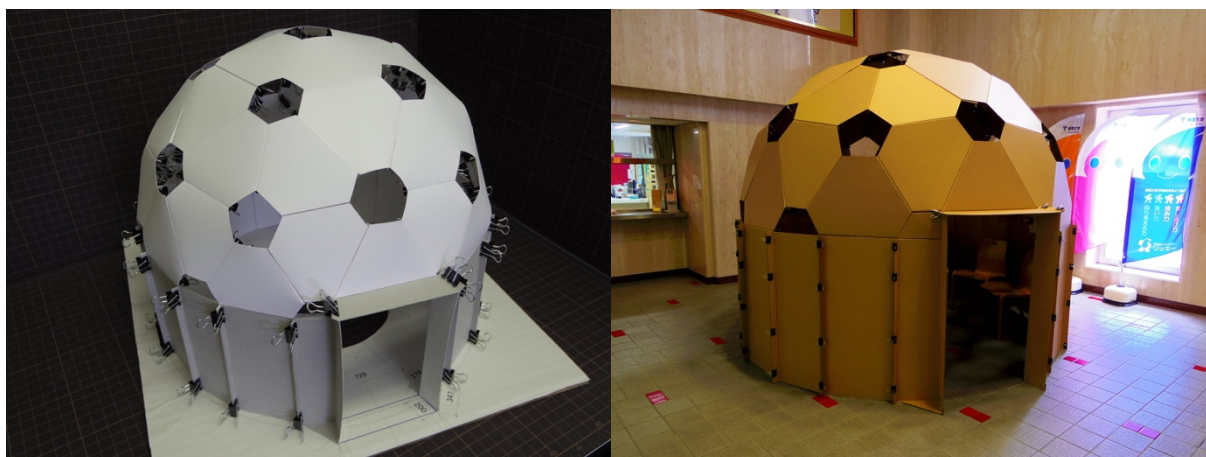


図 4-3. 2017 年度ダンボールドームの模型と実物写真

4-4. 2019 年度「ゼミナール」

履修学生 5 名。底面直径 4m 強,高さ 2.4m のジオデシックドーム(図 4-4)。半球ドームを壁体部で持ち上げた形状である。4つの分割三角形を 1 ユニット部品としてパーツ化した。作成, ユニット結合頂点の開口を大きくして、切り出しパーツがダンボール板に納まるよう調整した。

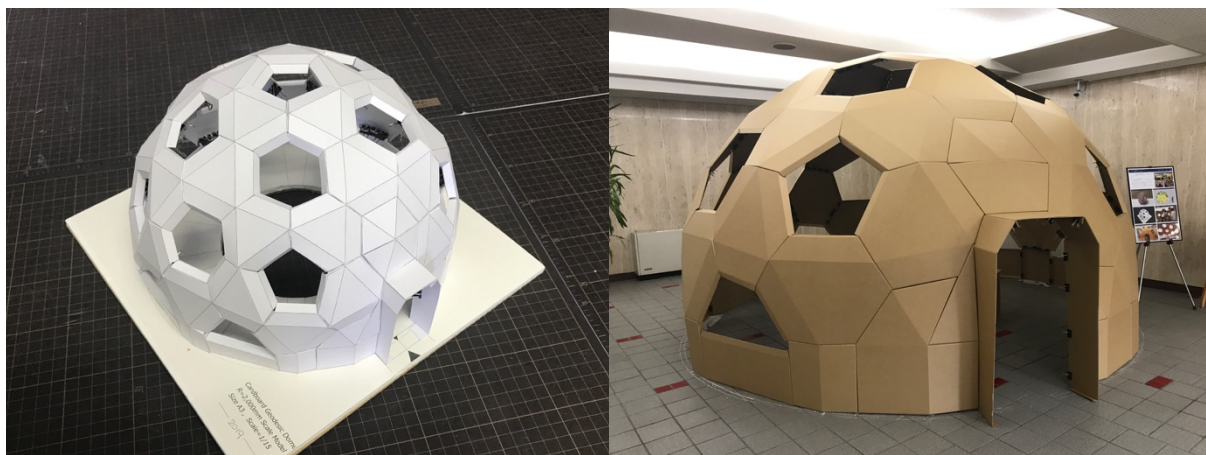


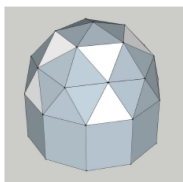
図 4-4. 2019 年度ダンボールドームの模型と実物写真

5. まとめ

当プロジェクトの授業効果を測ることは難しいが、小さいながら、建築設計演習授業では体験できない実空間を作る過程を体験することの意義は大きいと考える。中には、当プロジェクトと同時期に履修している建築設計演習授業「空間デザイン B」や 4 年次の卒業研究で、ドーム構造や曲面形態の建築設計に挑戦する学生もおり、少なからず影響を与えていると考える。

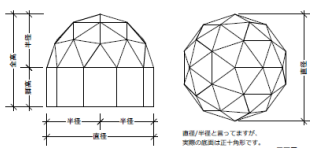
当プロジェクトの成果の一つとして「ダンボールドーム製作マニュアル」を公開している(図 5-1, 図 5-2)。底面直径 2~3m を想定した、半球状のダンボールドームの構成, 材料, パーツ製作方法, 組み立て手順などを示したほか, ダンボール板からのパーツの切り出し図面も用意している。北海道立深川西高等学校では美術と理科の共同授業で 2 基製作し, プラネタリウム・ドームとして活用した旨の報告があった(図 5-3)。

ダンボールドームを作ろう!! [東海大学(札幌) 国際文化学部 デザイン文化科 遊辺研究室] ダンボールで半球ドームを簡単に製作するためのマニュアルです。



上図の多面体で構成された半球ドームは全体が三角形の部材から成り、五角形のユニットとその他を繋ぐ三角形でできているのがわかります。このドームはジオアンテナドームとよばれるものの一つで、半面の複製であるバクテリオスタクサー(1895-1983)が発明しました。ジオアンテナドームの形状は円に内接する一番大きな正多面体である正二十面体をベースに、その表面の三角形を分割して作ります。

■ 全体像
製作するダンボールドームは、底面直径2~3m(半径1m~1.5m)程度を想定しています。半球を10個の正三角形と30個の二等辺三角形で構成して、二等辺三角形の部材で6個の五角形ユニットを作ります。また、10個の長方形の羽根部材により高さ調整をします。各部材の接合には事務用品のダブルクリップを用います。ダブルクリップが解るため、三角形・長方形の各部材の端部には糊めれとなる「羽根」が必要になります。

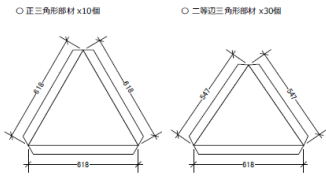


■ 材料
ダンボールは厚み5mmの3枚6尺材(約900mmx1800mm)程度のダンボール板を使用すると良いでしょう(厚さが小さければ厚みが3mmのダンボール板でも可能です)。糊の粘度は粘着量が低くなるように調整して下さい。
ダブルクリップは長さ15mm(特大・超特大と表記される商品、会社によって表記が異なります)のものを200~300個使用します。長さ15mmが手に入らない場合は、長さ41mmのものでも良いですが、数量が多めに必要になります。

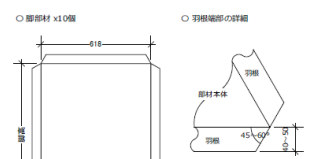
■ 部材の製作
下図の各部品の寸法は半球の半径寸法を1000mm(1m)としたときの値(mm)です。製作する半球の半径寸法に合わせて拡大縮小して下さい(半径1500mmの場合は寸法を1.5倍すると良いでしょう)。但し、「羽根」の出し寸法は変更する必要はありません。また、糊量は自由に設定可能ですが、あまり高くすると完成したドームが不安定になりやすいので注意してください。

ダンボール板の部材は、それぞれの種類を一つだけ正確にマスタを作り、あとはそれを複製して複製するという方法で行うと楽です。ダンボール板の端にはカッター、カッターマット(木製) 幅尺(60cm~1m)程度の長さが必要ですが、カッターは大きく厚刃のものを使用し、厚紙は刃はすに研いで安全に作業しましょう。くれくれもカガをしないように気を付けて下さい。

○ 正三角形部材 x10個 ○ 二等辺三角形部材 x30個



○ 部材材 x10個 ○ 羽根部材の寸法



部品の切断が終わったら、部材本体と羽根の境界線に型紙の状態で線を引きよく削り、軽く羽根を折り曲げておきます。

■ 組み立て

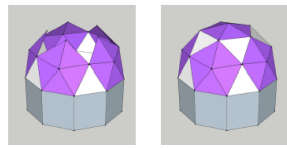
① 設置場所
設置する床面に中心点を決め、ドーム底面直径の円を描きます。

② 部材の組み立て
底面の円に内接するように部材を並べ側面の羽根を互いにダブルクリップで繋いで接合します。ダブルクリップの接合間隔は20~30cm位を目安にして下さい。底面にも羽根がありますが、糊量が高く不安定になりやすい時に底面の羽根と床面を糊でテープ等で繋ぐと安定します。

③ 五角形ユニットの組み立て
ドーム部の組み立ての前に、二等辺三角形の部材を使って、6つの五角形ユニットを作っておきます。やはり相互の接合には羽根をダブルクリップで繋ぎます。

④ ドームの組み立て(1)
部材の上5つの五角形ユニットを一つ残りに接合します。部材と五角形ユニットの接合部分は正三角形の部材で埋めていきます。内側から削れない様に押さえながら作業して下さい。

⑤ ドームの組み立て(2)
先に組み上げた5つの五角形ユニットの上層も正三角形の部材で埋めます。最後にドームの上10個の五角形が揃っている状態になりますので、ここで残りの五角形ユニットを接合して完成です。



このまま製作すると開口部(入り口)がありません。そこはアレンジしてください。開口部が大きな場合には全体が不安定になりがちなので、補強することも考えたいでしょう。




図 5-1. ダンボールドーム製作マニュアル

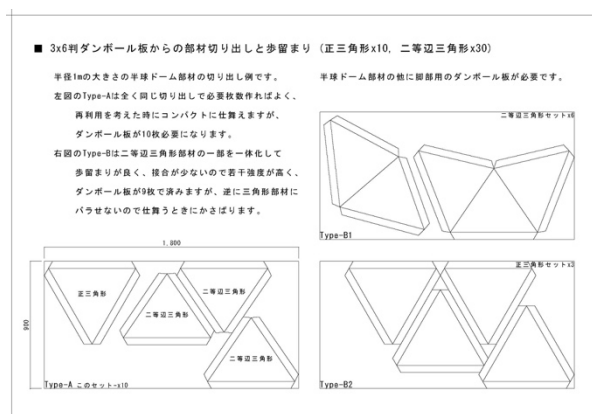


図 5-2. マニュアル(パーツ切り出し図)



図 5-3. 道立深川西高校によるプラネタリウムドーム(写真提供 野村幸伸氏)

カリキュラム改変により 2020 年度には「ゼミナール 1」の授業科目そのものは消滅するが、新設される同様な授業科目の中でプロジェクトを継続し、理論、設計、生産、組み立て(施工)の虚像と実像を繋げる教育の継承をしていきたい。

参考文献

- 大矢二郎 (1995), 「建築教育における体験的授業の方法と意義-10 年間の実践を通して」, 北海道東海大学芸術工学部紀要 第 15 号, p85~94
- 大矢二郎 (1992), 「ログサウナ計画」, 北海道東海大学北方生活研究所所報 No.17, p24~27
- 渡辺宏二 (1993), 「ログサウナ計画(II)」, 北海道東海大学北方生活研究所所報 No.18, p16~19
- 渡辺宏二 (1994), 「ログサウナ計画(III)」, 北海道東海大学北方生活研究所所報 No.19, p14~17
- 渡辺宏二, 中川晃 (1995), 「ログサウナ計画(IV)」, 北海道東海大学北方生活研究所所報 No.20, p22~25
- 渡辺宏二, 藤田賢治, 泉本俊, 粉川牧 (2009), 「Ice Pantheon Project 2009 の活動報告」, 東海大学紀要芸術工学部創刊号(No.1), p43~48
- 渡辺宏二, 鈴木貴也, 粉川牧 (2010), 「Ice Pantheon Project 2010 の活動報告」, 東海大学紀要芸術工学部 No.2, p19~24
- 渡辺宏二, 泉本俊, 粉川牧 (2011), 「Ice Pantheon Project 2011 の活動報告」, 東海大学紀要芸術工学部 No.3, p45~52
- 渡辺宏二, 石田渉, 泉本俊, 粉川牧 (2012), 「Ice Pantheon Project 2012 の活動報告」, 東海大学紀要芸術工学部 No.4, p30~36
- James Word (1985), 「The Artifacts of R.Buckminster Fuller Volume Three: The Geodesic Revolution Part 1, 1947-1959」, Garland Publishing, Inc.

(受付: 2020 年 2 月 5 日, 受理: 2020 年 3 月 9 日)