

平成22年度

修士論文

建築設計における幾何学的秩序の造形的利用とその新技法の発展に関する研究

曲面屋根をもった2000年以降の日本人建築家の作品を対象として

指導教員 富岡 義人 教授

三重大学大学院工学研究科建築学専攻

岡田 響子

On the Techniques and their Recent Developments of Geometric Orders Employed to
Organize the Building Form in Architectural Design

Through the Analysis on the Examples Featuring Curved Roof Designed by Japanese
Architects after 2000

Prof., Div. of Archi., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.

TOMIOKA, Yoshito

Graduate Student, Div. of Archi., Graduate School of Eng., Mie Univ., B. Eng.

OKADA, Kyoko

2010

第1章 序論	・・・p2
1.1 研究の目的	
1.2 研究の背景	
1.3 研究の方法	
第2章 幾何学的秩序の整理	・・・p8
2.1 幾何学的秩序の利用とは	
2.2 幾何学的秩序の種類	
第3章 作品分析	・・・p13
3.1 作品分析表による整理	
3.1.1 アイランドシティ中央公園 中核施設 ぐりんぐりんの分析	
3.1.2 北方町生涯学習センターきらりの分析	
3.1.3 瞑想の森市営斎場の分析	
3.1.4 豊島美術館の分析	
3.1.5 山口県立きららスポーツ公園多目的ドームの分析	
3.1.6 ローザンヌ連邦工科大学 (PEFL) ロレックス・ラーニングセンターの分析	
3.1.7 ポンピドー・センター・メスの分析	
3.2 作品分析のまとめ	
第4章 考察	・・・p43
4.1 作品分析表の分析	
4.1.1 幾何学的秩序の利用方法の整理	
4.1.2 幾何学的秩序の利用方法の総覧	
4.1.3 幾何学的秩序の構造別比較	
4.1.4 幾何学的秩序の竣工年別比較	
4.2 考察まとめ	
第5章 結論	・・・p70
5.1 まとめ	
5.2 今後の展開	

第 1 章 序論

1. 1 研究の目的

1. 2 研究の背景

1. 3 研究の方法

1. 1 研究の目的

本研究の目的は、

- ・ 建築物の設計から建設に至る幾何学的秩序の利用方法を整理すること。
- ・ 幾何学的秩序の利用方法にみられる新しい技法の発展を観察すること。

である。

数ある幾何学的秩序の利用方法が、造形される段階から建設される段階にいたるまでに選択され利用される過程を整理する。

1. 2 研究の背景

本研究の背景にあるのは、近年自由曲面と言われるような曲面形態をもった建築物の登場である。一般に”自由曲面”と言われているが、実際に建設する過程では、幾何学的に正確に記述されていなければならない。曲面の形態は、鉄筋コンクリート造なら型枠・配筋の形態が設計図において高さ・曲率などが記述されて初めて建設することができる。鉄骨造においても、一次部材・二次部材の形状が正確に数値として決定されなければ建設できない。幾何学的秩序によって形態を記述する際、建築家と構造家の綿密なやりとりがあり、一番適切であると思われる記述方法が選択される。経済性、安全性、合理性、造形性、などという与条件に対して、どのような方法で解決し建てられたかということが重要となってくるのである。加えて、解析技術の開発は顕著であり、最適化手法から感度解析法まで用途によって種類も様々であるが、解析で使用される幾何学的秩序は不透明なものも多い。実際に、コンピューターによる図形操作や構造解析に伴って、伝統的な三次元グリッドを超える幾何学的記述方法が頻繁に用いられるようになってきている。

本研究は、こうした新しい技法に用いられる幾何学的秩序の選択と適用にどのような発展があったのか整理しようとするものである。

そこで、作品分析を通じて、幾何学的秩序の選択と適用方法を導き出し、最近の新技法の発展を観察する。

1つの形態は、様々な幾何学的秩序で記述することができる。例えば、部材配置の検討のために一定方向に切断せれた断面線として記述し、水勾配の検討のために等高線で記述する、というように、3次元で示すことができる。実際の設計過程で秩序を用いて記述する際には、CADを使用することが多く、CADの中で設定された秩序が形態の記述方法を左右することも考えられる。本研究をCAD研究の前段として位置づけたい。

1. 3 研究の方法

研究は5章からなる。

まず、第1章は序論として、目的・背景・方法を述べる。

第2章では、建築物の形態的記述に用いられる幾何学的秩序を整理し、それぞれの特徴を述べる。

第3章では、対象とする作品を分析する。幾何学的秩序は、設計から建設に至る各段階で異なるものが採用されることが考えられる。そのため、各作品を掲載雑誌などの文献をもとに、概要・造形段階・解析段階・建設段階の4つの作品分析表に分析する。（例：表1.3.-1、表1.3.-2、表1.3.-3、表1.3.-4）作品分析表例を、伊東豊雄設計のアイランドシティ中央公園 中核施設 ぐりんぐりん（2005）を事例に以下に示す。

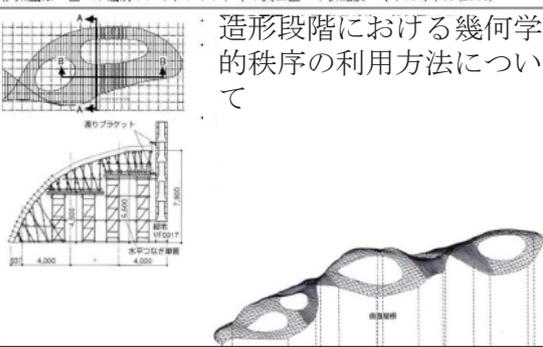
まず、基本的な建物概要を把握する。

表1.3.-1

1	伊東豊雄 佐々木睦朗：アイランドシティ中央公園 中核施設 ぐりんぐりん(2005)
建物概要	 <ul style="list-style-type: none">・構造・階数・高さ・屋根面積・スパン など

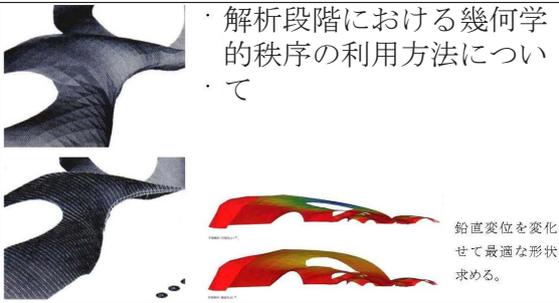
次に、造形段階において、水平投影面の幾何学・高さの基準点・曲面形態など検討課題に応じて選択された幾何学的秩序を、設計図や設計者の言説などを基に明らかにする。幾何学的秩序の選択理由を文献を基に分析し整理する。

表1.3.-2

1	伊東豊雄 佐々木聡明：アイランドシティ中央公園 中核施設 ぐりんぐりん(2005)	 <p>造形段階における幾何学的秩序の利用方法について</p>			
		<p>造形段階に利用された幾何学的秩序の詳細</p> <table border="1"> <tr> <td>推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由</td> <td>幾何学的秩序の決定の理由に関する言説</td> </tr> <tr> <td>幾何学的秩序を選択した推定理由</td> <td>幾何学的秩序の選択に関する言説</td> </tr> </table>		推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の 選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する 言説
推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の 選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する 言説				
幾何学的秩序を選択した推定理由	幾何学的秩序の選択に関する言説				

同様に、解析段階において解析方法や解析を通じた曲面形態の記述方法などの検討課題に応じて選択された幾何学的秩序を、設計図や設計者の言説などを基に明らかにする。幾何学的秩序の選択理由を文献を基に分析し整理する。

表1.3.-3

1	伊東豊雄 佐々木聡明：アイランドシティ中央公園 中核施設 ぐりんぐりん(2005)	 <p>解析段階における幾何学的秩序の利用方法について</p> <p>鉛直変位を変化させて最適な形状を求める。</p>			
		<p>使用された幾何学的秩序</p> <p>解析段階に利用された幾何学的秩序の詳細</p> <table border="1"> <tr> <td>推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由</td> <td>幾何学的秩序の決定の理由に関する言説</td> </tr> <tr> <td>幾何学的秩序を選択した推定理由</td> <td>幾何学的秩序の選択に関する言説</td> </tr> </table>		推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の 選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する 言説
推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の 選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する 言説				
幾何学的秩序を選択した推定理由	幾何学的秩序の選択に関する言説				

同様に、建設段階においても、施工時の部材配置などの検討課題に応じて選択された幾何学的秩序を、設計図や設計者の言説などを基に明らかにする。幾何学的秩序の選択理由を文献を基に分析し整理する。

表1.3.-4

1	伊東豊雄 佐々木聡朗：アイランドシティ中央公園 中核施設 ぐりんぐりん(2005)	
基本情報		建設段階における幾何学的秩序の利用方法について
	使用された幾何学的秩序	
建設におけるオーダリング・システム	建設段階に利用された幾何学的秩序の詳細	
	<small>推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由</small>	<small>幾何学的秩序の決定の理由に関する言説</small>
分析	幾何学的秩序を選択した推定理由	幾何学的秩序の選択に関する言説

第4章では、第3章の各作品分析を総覧する。選択された幾何学的秩序の利用方法を整理し、検討課題に応じてどの幾何学的秩序が選択されるのか、各事例を観察する。

第5章で結論をまとめる。

第2章 幾何学的秩序の整理

2.1 幾何学的秩序の利用とは

2.2 幾何学的秩序の種類

2. 1 幾何学的秩序の利用とは

幾何学的秩序とは、形態を記述する際に基となっている幾何学の秩序のことである。

建物を建てるにあたっては、幾何学的に秩序づけられて部材を組んでいく。その過程で、設計図書の図面や形態解析データなど、幾何学で秩序だって記述された設計図が必要となるため、幾何学的秩序の選択とその利用方法は極めて重要である。

しかし、単純な柱梁構造であれば水平投影面が柱の位置と柱間の間隔で秩序づけられ、高さの基準や形態自体も3次元グリッドで記述できるが、複雑な曲面形態では同様に秩序づけることが難しい。曲面に沿って部材を配置する必要があり、柱や梁の位置に関係なく曲面の凹凸をつくることが可能であるためである。最近の曲面屋根の作品をみると、柱や梁の位置に規定されないかわりに、水平投影面で直交したグリッドや三角形のパターンで表記された例がある。曲面の記述方法は、作品ごとの様々な要因に伴った判断から、幾何学的秩序を選択し記述されているのである。

そこで、対象とした作品などから考えられる、建築物の形態的記述に用いられる幾何学的秩序の種類を導き出し、2. 2でまとめて整理した。

2. 2 幾何学的秩序の種類

フォーマル・オーダリング・システムで記述される幾何学的秩序の種類を考察したところ、aから順にhまで整理することができた。それぞれの幾何学的秩序について、名称と特徴と事例をまとめた。

a 水平直交グリッド

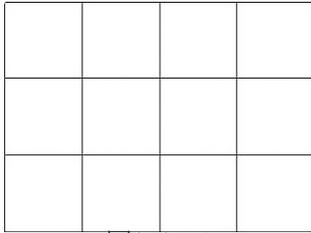


図2.2.-1

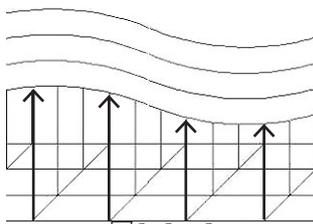


図2.2.-2

- ・ 水平投影面が直交グリッドで記述される。(例：図2.2.-1)
- ・ グリッドに沿って部材を配置できるため、線状の部材に有用である。
- ・ 交点を高さの基準点として、グリッドを断面線の基準として建設時に利用しやすい。(図2.2.-2)
- ・ 幾何学的秩序や断面形状が複雑化しない比較的緩い勾配の場合に適用しやすいと思われる。

aの事例

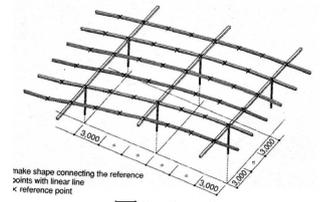


図2.2.-3

ローザンヌ連邦工科大学 (PEFL) ロレックス・ラーニングセンター(2009)

b 均質な三角形パターン

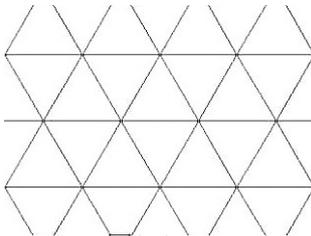


図2.2.-4

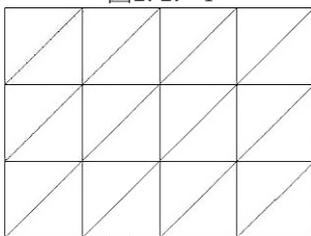


図2.2.-5

- ・ 水平投影面が均質な三角形のパターンで記述される。(例：図2.2.-4、2.2.-5)
- ・ 水平直交グリッドより勾配の角度や方向に沿って細かく表記しやすいため、勾配の急な面要素も滑らかに記述しやすい。

bの事例



図2.2.-6

瞑想の森市営斎場(2006)

c 不均質な三角形パターン

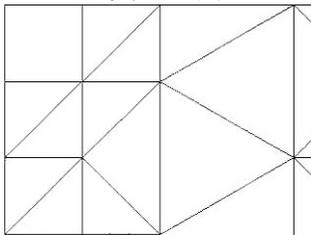


図2.2.-7

- ・ 水平投影面が不均質な三角形パターンで記述される。(例：図2.2.-8)
- ・ 均質な三角形パターンより複雑なパターンとなるため、より急な勾配や複雑な面要素にも対応して記述しやすい。

cの事例



図2.2.-8

瞑想の森市営斎場(2006)

d 曲面に沿う三角形メッシュ

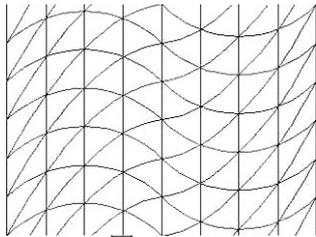


図2.2.-9

- ・ 水平投影面での規則性はなく、三角形メッシュで曲面に沿うように記述する。
(例：図2.2.-9)
- ・ ネット状の型枠や配筋を曲面に沿って配置する際に有用である。
- ・ 水平投影面の秩序に制御されないため、曲面をより正確に記述しやすい。

dの事例

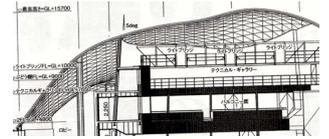


図2.2.-10

北方町生涯学習センター
きらり(2005)

e 等高線

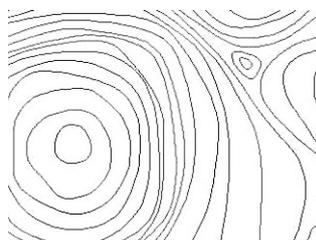


図2.2.-11

- ・ 等高線で曲面の膨らみを記述する。
(例：図2.2.-11)
- ・ 水の流れが等高線と直交するため、水勾配の検討に有用である。
- ・ 図面上で曲面形状の膨らみが目視しやすい。

eの事例

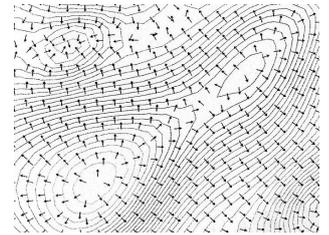


図2.2.-12

瞑想の森市営斎場(2006)

f 曲面を鉛直面で切断した断面線

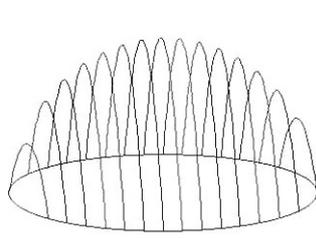


図2.2.-13

- ・ 一定方向の断面形状で記述する。(例：図2.2.-13)
- ・ 断面に沿って線状の部材を使用するとき
に有用である。

fの事例

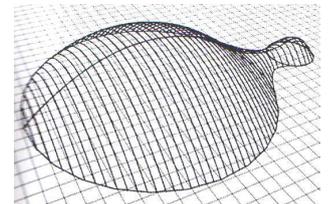


図2.2.-14

山口県立きららスポーツ
公園多目的ドーム(2001)

g 極座標系

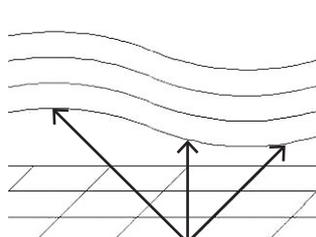


図2.2.-15

- ・ ある点からの距離と方向(ベクトル)によ
って記述する。(例：図2.2.-15)
- ・ 放射状に部材を配置するなど特殊な構造
に有用である。

h その他

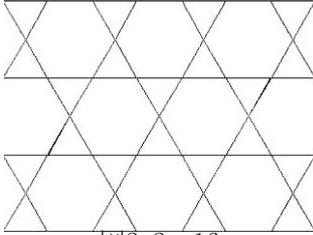


図2.2.-16

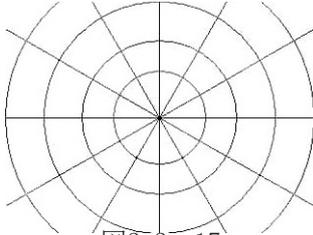


図2.2.-17

- ・ a～e以外の幾何学的秩序。例えば、六角形と三角形によるパターンからなる記述方法（例：図2.2.-16）や、放射線状（例：図2.2.-17）などがある。
- ・ 六角形と三角形によるパターンは、面剛性が得られるため線材を編む構造に有用である。
- ・ 放射線状は、放射線状に線材を配置する際に有用である。

hの事例



図2.2.-18
ポンピドー・センター・メス(2010)

※ただし、a～dは同じことを示している場合があるが、検討内容に応じて記述方法の捉え方が変わるため分けた。

2.2 引用写真と図版の出典

図2.2.-3 建築技術2009年2月号, P130

図2.2.-6 日経アーキテクチャ2006年7月号, P52

図2.2.-8 建築技術2009年2月号, P174

図2.2.-10 日経アーキテクチャ2006年10月号, P69

図2.2.-12 伊東豊雄展実行委員会: 伊東豊雄 建築|新しいリアル, 天山舎, P59, 2006

図2.2.-14 建築技術2005年12月号, P123

図2.2.-18 日経アーキテクチャ2010年6月号, P22

表記のない写真および図版は筆者撮影、作図

第3章 作品分析

3.1 作品分析表による整理

3.1.1 アイランドシティ中央公園 中核施設 ぐりんぐりんの分析

3.1.2 北方町生涯学習センターきらりの分析

3.1.3 瞑想の森市営斎場の分析

3.1.4 豊島美術館の分析

3.1.5 山口県立きららスポーツ公園多目的ドームの分析

3.1.6 ローザンヌ連邦工科大学 (PEFL) ロレックス・ラーニングセンターの分析

3.1.7 ポンピドー・センター・メスの分析

3.2 作品分析のまとめ

第3章 作品分析

3.1 作品分析表による整理

分析の対象とした作品は7作品である。(アイランドシティ中央公園
中核施設 ぐりんぐりん、北方町生涯学習センターきらり、瞑想の
森市営斎場、豊島美術館、山口県立きららスポーツ公園多目的ドーム
の分析、ローザンヌ連邦工科大学 (PEFL) ロレックス・ラーニングセ
ンター、ポンピドー・センター・メス)

作品分析表により、設計から建設に至る各段階で選択された幾何学
的秩序の利用方法を整理する。(3.1.1～3.1.7) 構造種別に分析
作品の概要を示したのち、各作品を造形段階、解析段階、建設段階の
3段階に分けて基本情報と分析項目に分けて分析する。ただし、分析
に分類する幾何学的秩序は、第2章で示したものに準じ、表記は短縮
した表現とする。

まず、分析作品の概要をまとめる。(表 3.1.-1、表 3.1.-2、表 3.1.-3)

RC 造の曲面屋根を持つ分析作品の概要は表 3. 1. -1 の通りである。

表 3. 1. -1

1	伊東豊雄 佐々木睦朗(構造):アイランドシティ中央公園 中核施設 ぐりんぐりん(2005)
建物概要	 <ul style="list-style-type: none"> ・ RC 造、一部 S 造、地上 1 階 ・ 建築面積 5,162.07 m²<曲面屋根面積 ・ 軒高 8.95m、最高高 9.35m ・ 建物全長約 190m、最大スパン約 45m ・ エキスパンションなしで連続する4点支持 RC スラブが基本となっている。(スラブ厚 400 mm)
2	磯崎新、他 佐々木睦朗(構造):北方町生涯学習センターきらり(2005)
建物概要	 <ul style="list-style-type: none"> ・ RC 造、一部 S 造、SRC 造。地下 1 階 地上 2 階 ・ 屋根面積約 2000 m² ・ 軒高 9.0m、最高高 15.7m ・ シェル厚 150 mm(独立柱付近は 180~300 mm)亜鉛合板板菱葺き仕上げ
3	伊東豊雄 佐々木睦朗(構造):瞑想の森市営斎場(2006)
建物概要	 <ul style="list-style-type: none"> ・ RC 造、一部 S 造、地上 2 階 ・ 屋根面積約 2,500 m² ・ 最高高 11.5m ・ RC シェル厚 200 mm、柱スパン約 20m
4	西沢立衛 佐々木睦朗(構造):豊島美術館(2010)
建物概要	 <ul style="list-style-type: none"> ・ RC 造、地上 1 階 ・ 屋根面積約 2,400 m²(約 40m × 60m) ・ 最高高 4.670m ・ RC シェル厚 250mm(入口先端部は 150mm)

S 造の曲面屋根を持つ分析作品の概要表 3. 1. -2 の通りである。

表 3. 1. -2

5	日本設計 齋藤公男(構造):山口県立きららスポーツ公園多目的ドーム(2001)	
建物概要		<ul style="list-style-type: none"> ・ S 造、RC 造 ・ 建築面積 27,667 m²<屋根面積 ・ 軒高約 17m、最高高約 53m ・ 直径 150m と 30m の 2 つのドームがつながるツインドーム
6	SANAA 佐々木睦朗(構造):ローザンヌ連邦工科大学(PEFL) ロレックス・ラーニングセンター(2009)	
建物概要		<ul style="list-style-type: none"> ・ S 造、一部木造(小梁のみ) ・ 屋根面積約 20000 m² ・ 最高高 10.40m

木造の曲面屋根を持つ分析作品の概要表 3. 1. -3 の通りである。

表 3. 1. -3

7	坂茂 Ove Arup & Partnres(構造):ポンピドー・センター・メス(2010)	
建物概要		<ul style="list-style-type: none"> ・ 木造(屋根)、S 造、RC 造、地下 3 階 地上 6 階 ・ 屋根面積約 8000 m² ・ 屋根部最高高約 37m

次に、各作品を分析表に従って分析する。

3. 1. 1 アイランドシティ中央公園 中核施設 ぐりんぐりんの分析

表 3. 1. 1. -1

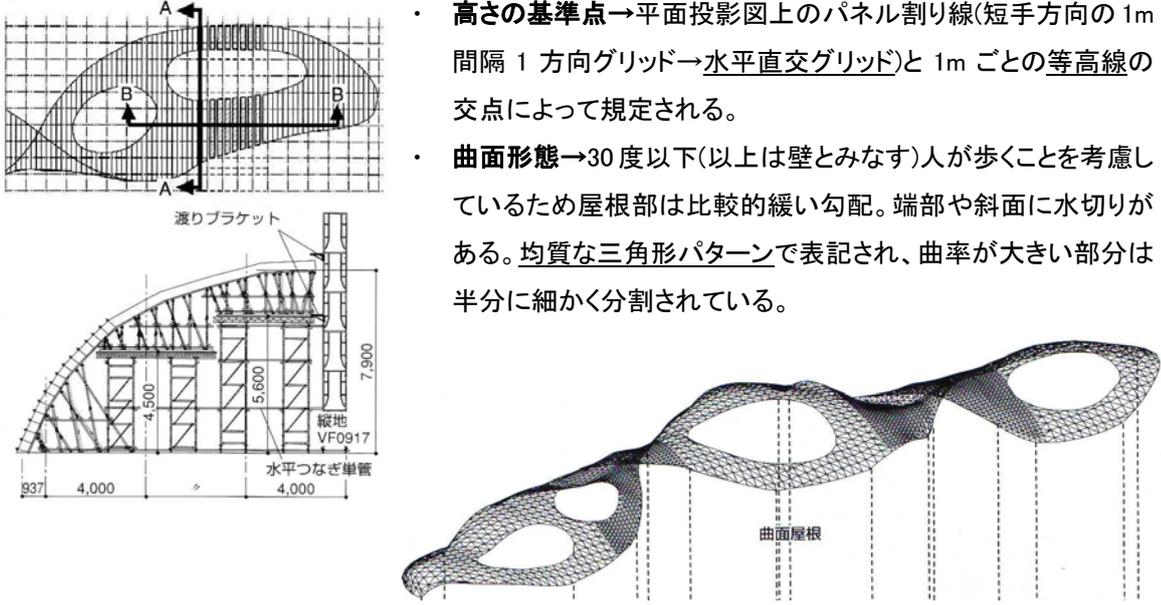
1	伊東豊雄 佐々木睦朗:アイランドシティ中央公園 中核施設 ぐりんぐりん(2005)								
造形段階	基本情報	 <ul style="list-style-type: none"> ・ 高さの基準点→平面投影図上のパネル割り線(短手方向の1m 間隔 1 方向グリッド→水平直交グリッド)と 1m ごとの等高線の 交点によって規定される。 ・ 曲面形態→30度以下(以上は壁とみなす)人が歩くことを考慮し ているため屋根部は比較的緩い勾配。端部や斜面に水切りが ある。均質な三角形パターンで表記され、曲率が大きい部分は 半分に細かく分割されている。 							
	分析	<p style="text-align: center;">使用された幾何学的秩序</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">高さの基準点の検討</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">曲面形態の検討</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">a グリッド e 等高線</td> <td style="text-align: center;">b 均質三角形</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">幾何学的秩序の決定の理由に関する言説</td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・ 一枚のスラブの旋回として滑らかに記述するという意匠側の要求に沿うために、等高線と短手方向 1m 間隔/パネル割線の交点で高さを規定することで、極力曲面の凹凸をなくすためだと思われる </td> <td> <p>一枚の紙やステンレスメッシュを曲げていくという非常にシンプルなスタディでありながら、それ自体が構造であり仕上げであった。</p> <p>(篠崎弘之:建築技術, P.70, 2005.12)</p> </td> </tr> </table>	高さの基準点の検討	曲面形態の検討	a グリッド e 等高線	b 均質三角形	推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する言説	<ul style="list-style-type: none"> ・ 一枚のスラブの旋回として滑らかに記述するという意匠側の要求に沿うために、等高線と短手方向 1m 間隔/パネル割線の交点で高さを規定することで、極力曲面の凹凸をなくすためだと思われる
高さの基準点の検討	曲面形態の検討								
a グリッド e 等高線	b 均質三角形								
推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する言説								
<ul style="list-style-type: none"> ・ 一枚のスラブの旋回として滑らかに記述するという意匠側の要求に沿うために、等高線と短手方向 1m 間隔/パネル割線の交点で高さを規定することで、極力曲面の凹凸をなくすためだと思われる 	<p>一枚の紙やステンレスメッシュを曲げていくという非常にシンプルなスタディでありながら、それ自体が構造であり仕上げであった。</p> <p>(篠崎弘之:建築技術, P.70, 2005.12)</p>								

表 3.1.1.-2

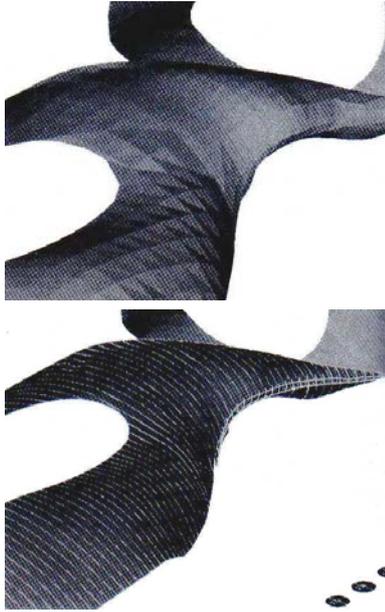
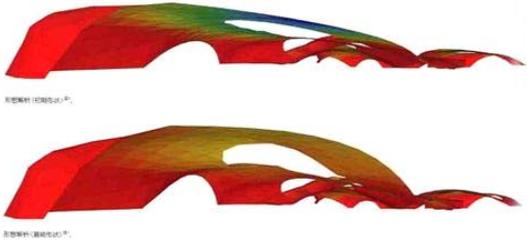
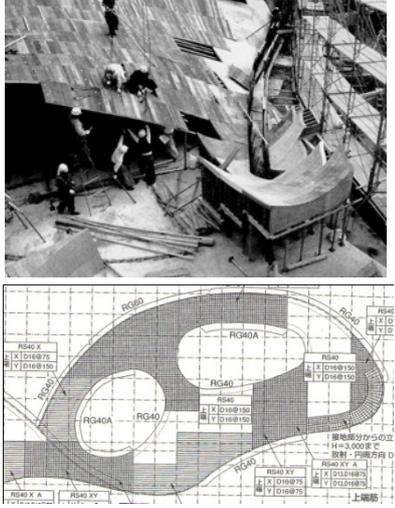
1	伊東豊雄 佐々木睦朗:アイランドシティ中央公園 中核施設 ぐりんぐりん(2005)	
基本情報		<ul style="list-style-type: none"> 解析方法→<u>三角形の板モデル</u>であると思われる。 形態解析:感度解析法(最適化して大よその形を検討) 構造解析:三次元有限要素法 (力学性能の確認) 曲面形態→一辺 1~2m からなる均質な三角形パターンによるポリゴン(多角形)で、断面線の基準ともなっている。隣り合う断面線の誤差を補正し、滑らかな曲面を記述している。  <p>鉛直変位を変化させて最適な形状を求める。</p>
	解析段階	使用された幾何学的秩序
曲面形態の検討		
b 均質三角形 f 断面線		
推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由		幾何学的秩序の決定の理由に関する言説
分析	<ul style="list-style-type: none"> ポリゴンの頂点から断面線を得ることで、三角形の板モデルとしてひねりのある形状を合理的に解析するためであると思われる 	<p>スタディの結果、形態解析手法を用いる方法が、より効果的であることが確認され、意匠側が求める初期形状のイメージを損なわずに、構造的にも合理性をもった、バランスのよい形態を求めることが可能となった。 (佐々木睦朗、寺戸竜美:建築技術 P.72 2005.12)</p> <p><u>建物形状を示す厚みのない多面体のポリゴンデータ</u>から、いかに滑らかな曲面にするかが課題となる。まず、解析モデルの平面要素を中心に両側へ厚みを与えて厚さ400mmの多面体を作成し、厚みを与えることによって生じた交点のずれは1店1店平均値を算出し、すべての点(約4,800点)を作画した。その点が型枠面の基準となり、<u>点を直線で繋ぐことで型枠面の基準となる曲面</u>を作画した。</p> <p>(村中孝司/竹中工務店:建築技術, PP.78-79, 2005.12)</p>

表 3.1.1.-3

1	伊東豊雄 佐々木睦朗:アイランドシティ中央公園 中核施設 ぐりんぐりん(2005)								
建設段階	基本情報	 <ul style="list-style-type: none"> ・ 型枠(パネル割)→短手方向 1m 間隔の断面線に沿って曲げ加工された浅木を並べ、その上に 200 mm × 1000 mm のベニヤ板を張る。曲率が大きい箇所は工場製作型枠。 ・ 配筋→水平直交グリッド(複雑な曲線部は曲面に対して放射円周方向に配置)。主筋 D13、D16、配筋間隔 150 mm(部分的に 75 mm) ・ 工法→屋根部分(勾配 30 度以下)はなじませ工法(室外側型枠なし)、壁部分(勾配 30 度以上)はメッシュ型枠。 ・ 生産技術(性能)→27N-18-20、高性能 AE 減水剤、ひび割れ収縮低減剤、塗布型新養生剤使用。 							
	分析	<p style="text-align: center;">使用された幾何学的秩序</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">型枠の検討</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">配筋の検討</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">f 断面線</td> <td style="text-align: center;">a グリッド</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由</td> <td style="text-align: center;">幾何学的秩序の決定の理由に関する言説</td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・ 断面線に沿って基準となる曲げ加工した線状部材(浅木)を配置するためと思われる ・ グリッドに沿って線状部材(配筋)を組みやすいため </td> <td> <p>曲がりの緩やかなシェル部分の配筋は、D16@150 (@75)であったため、直筋を曲面になじませて配筋した。</p> <p style="text-align: center;">(村中孝司/竹中工務店:建築技術 P.80 2005.12)</p> <p style="text-align: center;">⇒e</p> <p>曲面形状が複雑な部分を除いては、全体座標軸を基準とした方向に配筋を行うようにして、作業性・施工性に対する配慮も行っている。</p> <p style="text-align: center;">(寺戸竜美:近代建築, P.58, 2005.10)</p> <p style="text-align: center;">⇒a</p> </td> </tr> </tbody> </table>	型枠の検討	配筋の検討	f 断面線	a グリッド	推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する言説	<ul style="list-style-type: none"> ・ 断面線に沿って基準となる曲げ加工した線状部材(浅木)を配置するためと思われる ・ グリッドに沿って線状部材(配筋)を組みやすいため
型枠の検討	配筋の検討								
f 断面線	a グリッド								
推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する言説								
<ul style="list-style-type: none"> ・ 断面線に沿って基準となる曲げ加工した線状部材(浅木)を配置するためと思われる ・ グリッドに沿って線状部材(配筋)を組みやすいため 	<p>曲がりの緩やかなシェル部分の配筋は、D16@150 (@75)であったため、直筋を曲面になじませて配筋した。</p> <p style="text-align: center;">(村中孝司/竹中工務店:建築技術 P.80 2005.12)</p> <p style="text-align: center;">⇒e</p> <p>曲面形状が複雑な部分を除いては、全体座標軸を基準とした方向に配筋を行うようにして、作業性・施工性に対する配慮も行っている。</p> <p style="text-align: center;">(寺戸竜美:近代建築, P.58, 2005.10)</p> <p style="text-align: center;">⇒a</p>								

3. 1. 2 北方町生涯学習センターきらりの分析

表 3. 1. 2. -1

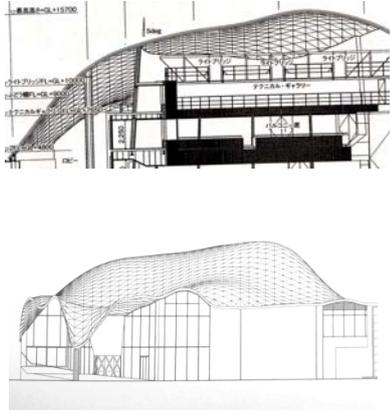
2	磯崎新、他 佐々木睦朗：北方町生涯学習センターきらり(2005)	
基本情報		<ul style="list-style-type: none"> ・ 高さの基準点→1m 間隔(部分的には 50cm)の<u>水平直交グリッド</u>の交点で高さを規定。 ・ 曲面形態→屋根にあいた穴部分に流れるように勾配が付けられており、内部の 3 本の独立柱と光庭の鉄骨チューブと RC の外壁によって支えられている。内包する階高の高い大空間に合わせて曲率はかなり大きく、<u>曲面に沿う三角形メッシュ</u>によって記述される。
	使用された幾何学的秩序	
造形段階	高さの基準点の検討	曲面形態の検討
	a グリッド	d 三角形メッシュ
分析	推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の 選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する 言説
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水平直交グリッドの交点を高さの基準として記述することで、曲率の大きな曲面を制御するためだと思われる 	<p>内部空間の機能に必要なボリュームを満足させるように、建物の外周に配置した鉄筋コンクリート壁、3本の独立柱とチューブ状に立ち上がる鉄骨の組柱、それぞれのポイントごとにレベルの設定を行い、これを条件に幾度となく演算が繰り返された。</p> <p>(川久保智康／磯崎新アトリエ：新建築, P.99 , 2006.05)</p>

表 3.1.2.-2

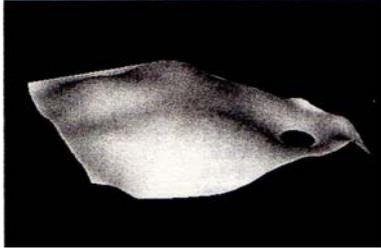
2		磯崎新、他 佐々木睦朗：北方町生涯学習センターきらり(2005)	
解析段階	基本情報	 <ul style="list-style-type: none"> ・ 解析方法→<u>曲面に沿う三角形メッシュ</u> <p>形態解析：感度解析法で形態を決定 構造解析：三次元有限要素法によって解析 (NASTRAN による FEM 解析)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 曲面形態→<u>曲面に沿う三角形メッシュ</u> 	
		使用された幾何学的秩序	
		曲面形態	
		d 三角形メッシュ	
		推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の 選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する 言説
分析	<ul style="list-style-type: none"> ・ 複雑な曲面を正確に記述し、最適解を求めるためであると思われる 	内部空間の機能に必要なボリュームを満足させるように、建物の外周に配置した鉄筋コンクリート壁、3本の独立柱とチューブ状に立ち上がる鉄骨の組柱、それぞれのポイントごとにレベルの設定を行い、これを条件に幾度となく演算が繰り返された。 (川久保智康／磯崎新アトリエ：新建築, P.99 , 2006.05)	

表 3.1.2.-3

2		磯崎新、他 佐々木睦朗：北方町生涯学習センターきらり(2005)		
建設段階	基本情報		<ul style="list-style-type: none"> ・ 型枠(パネル割)→曲面加工された大引きトラスを 2m 間隔の断面線に並べて基準とし、曲面加工された三角形メッシュのトラス鉄筋を 240 mm間隔で並べ、目の異なる 3 種類のメッシュ筋を重ね型枠とする。 ・ 配筋→<u>水平直交グリッド</u>。主筋 D10、D13。配筋間隔 120 mm(部分的に 60 mm) ・ 工法→成形トラス鉄筋によるトラスウォール工法。 ・ 生産技術(性能)→鉄骨リブや鉄板を組み込んだハイブリット断面を用いている。 	
	使用された 幾何学的秩序			
	分析	型枠の検討	配筋の検討	
		d 三角形メッシュ f 断面線	a グリッド	
		推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の 選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する 言説	
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 断面線に沿って基準となる曲げ加工した線状部材(大引きトラス)を配置するため ・ メッシュ筋および曲面加工されたトラス鉄筋を曲面に沿わせるため 	<p>型枠施工は、成形トラスを用いたトラスウォール工法を採用している。屋根の断面形状に合わせて加工されたトラス鉄筋を、240mm 間隔で並べて曲面形状をつくり、目が重なる3種類のメッシュ筋を重ねたものを、型枠用ネットとして使用している。 (佐々木睦朗、寺戸竜美／佐々木睦朗構造計画研究所：新建, P.133, 2006.05)</p>		

3. 1. 3 瞑想の森市営斎場の分析

表 3. 1. 3. -1

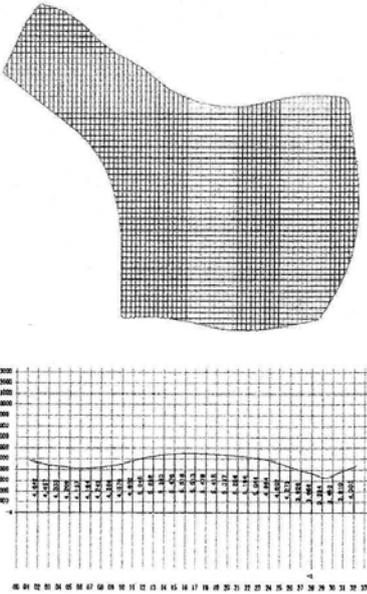
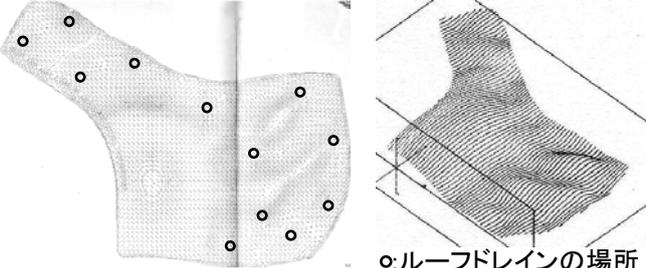
3	伊東豊雄 佐々木睦朗:瞑想の森市営斎場(2006)	
基本情報		<ul style="list-style-type: none"> ・ 水平面の幾何学→水平直交グリッド ・ 高さの基準点→3次元曲面データと等高線図から、左図縦方向に1m間隔で断面線を切断し、1mグリッドの交点(3690点)で高さを規定 ・ 曲面形態→等高線図と断面線。水勾配以上。シェルの端部に雨樋や水切りはなく、屋根の凹みにある排水口から柱の中を伝って排水されるため、排水口の位置が凹凸の形状を決める要因の1つとなっている。  <p>○ルーフドレインの場所</p>
	使用された幾何学的秩序	
造形段階	水平面の幾何学の検討	高さの基準点・曲面形態の検討
	a グリッド	e 等高線 f 断面線
分析	推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の 選択理由	
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水平直交グリッドの交点と等高線図を高さの基準として記述することで、屋根形状の決定要因となっている水勾配と複雑な曲率の曲面を合わせて検討するためだと思われる 	<p style="text-align: center;">幾何学的秩序の決定の理由に関する言説</p> <p>屋根の形状は1mピッチに配された計3690個の点で定義されており、施工時には光波測定を繰り返す、すべての点でレベル誤差±10mm以内となるよう精度監理を行った。仕上げ面のなめらかさ追求するためにも、それを決定づける屋根型枠をいかに美しく組み上げるかが重要であった。庇先端の納まりについては、特に雨樋や水切りを設けていないため、確実に屋根凹部のドレインに集水できるよう庇先端の角度を若干上向きに微調整し、散水実験なども行いながら水勾配チェックを重ねた。</p> <p>(横田歴男／伊東豊雄建築設計事務所:日経アーキテクチュアスペシャル, P.35, 2006)</p> <p style="text-align: right;">⇒a、e、f</p>

表 3.1.3.-2

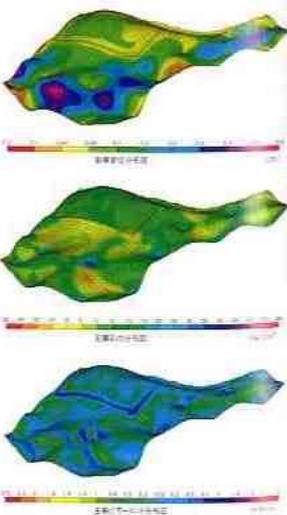
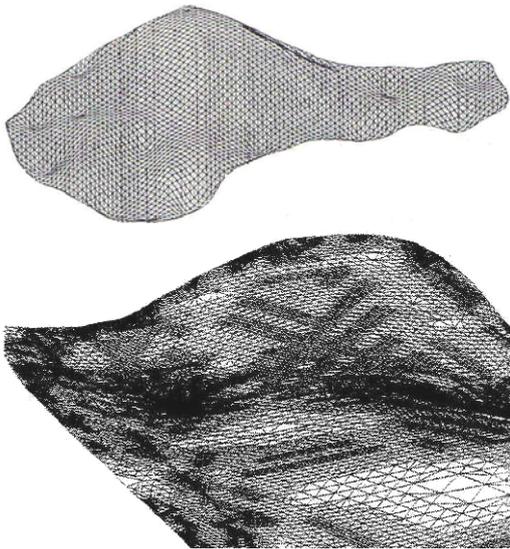
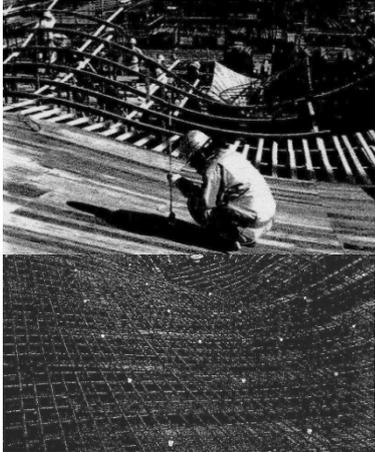
3	伊東豊雄 佐々木睦朗:瞑想の森市営斎場(2006)							
解析段階	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  <p>上から順に 鉛直変位分布図 主膜応力分布図 主曲げモーメント分布図</p> </div> <div style="width: 50%;"> <ul style="list-style-type: none"> 解析方法→最適化手法による。 曲面形態→均質な三角形パターンと、凹部は密、凸部は粗な不均質な三角形パターンで分割(3 角形一辺 300 mm~1m)  <p>均質な三角形パターン 不均質な三角形パターン</p> </div> </div>							
	<p style="text-align: center;">使用された幾何学的秩序</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">解析方法の検討</th> <th style="width: 50%;">曲面形態の検討</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">a グリッド</td> <td style="text-align: center;">b 均質三角形 c 不均質三角形</td> </tr> <tr> <td>推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由</td> <td>幾何学的秩序の決定の理由に関する言説</td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> 曲率によって幾何学的秩序を変えることで、曲率の大きな部分も詳細な解析を行うためだと思われる </td> <td> <p>「炉などの設備を収めている部屋を仕切る壁以外は、空間の大らかさを保つために屋根と直結させないことになった」と、構造設計を担当した佐々木睦朗氏は振り返る。</p> <p>しかし、このままでは耐震性能を確保することが難しい。そこで佐々木氏は、屋根から延びる柱と壁を一体化にするアイデアを提案。(中略)さらに、外周部には屋根を支える支柱を 15~20m ごとに配置。鉛直方向の荷重を支持した。(：日経アーキテクチャー一, P.52, 2006.07)</p> </td> </tr> </table>	解析方法の検討	曲面形態の検討	a グリッド	b 均質三角形 c 不均質三角形	推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する言説	<ul style="list-style-type: none"> 曲率によって幾何学的秩序を変えることで、曲率の大きな部分も詳細な解析を行うためだと思われる
解析方法の検討	曲面形態の検討							
a グリッド	b 均質三角形 c 不均質三角形							
推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する言説							
<ul style="list-style-type: none"> 曲率によって幾何学的秩序を変えることで、曲率の大きな部分も詳細な解析を行うためだと思われる 	<p>「炉などの設備を収めている部屋を仕切る壁以外は、空間の大らかさを保つために屋根と直結させないことになった」と、構造設計を担当した佐々木睦朗氏は振り返る。</p> <p>しかし、このままでは耐震性能を確保することが難しい。そこで佐々木氏は、屋根から延びる柱と壁を一体化にするアイデアを提案。(中略)さらに、外周部には屋根を支える支柱を 15~20m ごとに配置。鉛直方向の荷重を支持した。(：日経アーキテクチャー一, P.52, 2006.07)</p>							
分析								

表 3.1.3.-3

3	伊東豊雄 佐々木睦朗:瞑想の森市営斎場(2006)		
基本情報		<ul style="list-style-type: none"> ・ 型枠(パネル割)→曲面加工された大引を不均質な三角形パターンのメッシュデータを切断して求めた 1m 間隔の断面線に沿って並べ、その上に厚さ 12 mm幅 75 mmの根太を 5 枚重ねて 250 mm間隔で並べ、最後に厚さ 12 mm幅 150 mmのせき板を貼り付ける。 ・ 配筋→水平直交グリッド。主筋 D13。配筋間隔 200 mm(部分的に 100 mm) ・ 工法→在来工法を応用した特殊型枠工法。 ・ 生産技術(性能)→スランプ 8~10 のコンクリートを打設。 	
	使用された幾何学的秩序		
建設段階	型枠の検討	配筋の検討	
	f 断面線	a グリッド	
	推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する言説	
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 基準となる曲げ加工した線状部材(大引と配筋)の配置の管理のため、断面線に沿って大引の形状、高さを決定するため 	<p>当初は、三角形を組み合わせて曲面屋根を表現した解析と同様に、多角形状の型枠を組み合わせて屋根を施工する考えだった。ぐりんぐりんもその方法で建設した。しかし、その方法では、どうしても継ぎ目に凹凸が生じてしまう。(中略)</p> <p>検討の末、曲面形状に切り出した型枠材によってこの問題を解決した。解析時に利用した格子点データを基に、屋根を南北方向に 1m 間隔で区切った断面形状を曲線の関数として表現。(：日経アーキテクチャー P.51 2006.07)</p> <p style="text-align: center;">⇒a</p> <p>大引の曲面 NC 加工により、この複雑な 3 次元自由曲面屋根の 1m グリッドごとの高さを測定・決定し、5 枚の又きを重ねることによる木のしなりと、幅 200mm のせき板をしならせて張ることによる 3 段構えで「滑らかさ」を出す型枠の組立工法で曲面屋根を実現させた。</p> <p>(伊藤智／戸田建設: 建築技, P.175, 2009.02)</p> <p style="text-align: center;">⇒f</p>	

3. 1. 4 豊島美術館の分析

表 3. 1. 4. -1

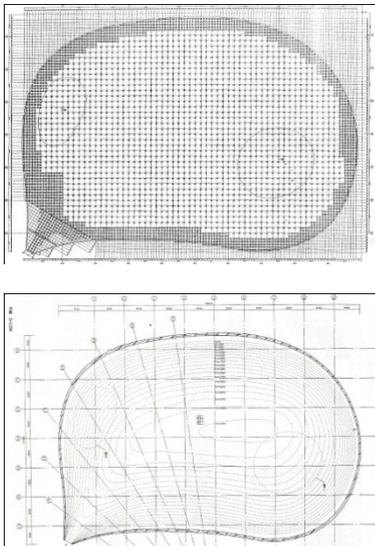
4		西沢立衛 佐々木睦朗:豊島美術館(2010)	
造形段階	基本情報		<ul style="list-style-type: none"> ・ 平面の幾何学→水平直交グリッドを用いている。 ・ 高さの基準点→1m グリッドの交点(傾斜のきつい所は 500mm グリッド、計 3500 点)で高さを規定。 ・ 曲面形態→等高線図。水勾配以上。開口部先端室内側に水切りあり。天井高 0~4.320m。
	使用された幾何学的秩序		
	平面の幾何学・高さの基準点		曲面形態の検討
	a グリッド		e 等高線
	分析	推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の 選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する 言説
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 等高線図と水平直交グリッドの交点で曲面を記述することで、土型枠によってより正確な曲面の管理をしやすいため 	<p>僕が提案したのは、水滴のようなかたちの、自由曲線による建築である。 (西沢立衛:新建築, P60, 2011.01)</p>	

表 3.1.4.-2

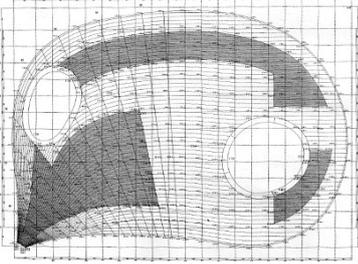
4		西沢立衛 佐々木睦朗:豊島美術館(2010)	
解析段階	基本情報	 <ul style="list-style-type: none"> ・ 解析方法→水平直交グリッドを使用したコンピューター解析であると思われる ・ 曲面形態→水平直交グリッド 	
		使用された幾何学的秩序	
		解析方法・曲面形態の検討	
		a グリッド	
	分析	推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の 選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する 言説
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 比較的緩い勾配の曲面なので、一枚の板をグリッド上で緩やかに膨らませた形状として解析されたのではないと思われる 	<p>この土盛り型枠工法は、一見鑄物をつくるような、大昔からありそうな工法であるが、今のコンピューター技術、測量技術、施工技術があって初めて実現できる、まったく新しい工法となった。</p> <p>(大井裕介／西沢立衛建築設計事務所:新建築, P63, 2011年1月号)</p>	

表 3.1.4.-3

4		西沢立衛 佐々木睦朗:豊島美術館(2010)	
基本情報	建設段階		<ul style="list-style-type: none"> ・ 型枠(パネル割)→土型枠。総容積約 6000 m³。30cmごとの土盛り りに転圧を繰り返し(層ごとの強度 D=7 以上)、その上に約 50mm 厚のバツサ(砂が大めのモルタル)を塗って仕上げる。 ・ 配筋→水平直交グリッド。主筋方向のみユニット化し 1.8×6.0m のパネルを曲面状に放射線状に配置。その他の部分は従来 工法。主筋 D13・D16。 ・ 工法→土型枠の上に直接配筋し、コンクリート硬化後重機で 6 週間かけて土を掻きだす。 ・ 生産技術(性能)→設計強度 30・スランプ 18 の膨張剤入りホワ イトセメントを下方から 1m 幅で打ち上げて打設。フッ素樹脂塗 装仕上。
		使用された幾何学的秩序	
分析	型枠の検討	配筋の検討	
	a グリッド	a グリッド h その他(放射線状)	
	推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する言説	
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 配筋を緩い勾配の曲面に追従して施工しやすいため 	<p>ベニア型枠による施工では、いくら工場でスキャナなどをつくって三次元的につくったとしても、現場での微調整が必要になってきます。現場組み立てを考えると、あるポイントでは収まっていたとしても、特にパネル端部では五ミリ、一〇ミリの誤差はどうしても出てくると思う。加えて、どうしても型枠パネルの目地が出てきます。(中略)</p> <p>豊田 土は一度成形してから、ミリ単位での微調整が出来るのが大きなメリットです。</p> <p>(豊田郁美/鹿島建設:GA105 P.109. 2010.07)</p> <p>曲面がぐねぐねしていたら難しいでしょうが、今回は平べったくて緩い傾斜のドーム状の形状なので、ユニット化したカーブのないパネルでも対応できるんじゃないかと。</p> <p>(大上光春/鹿島建設:GA105 , P.111, 2010.07)</p>	

3. 1. 5 山口県立きららスポーツ公園多目的ドームの分析

表 3. 1. 5. -1

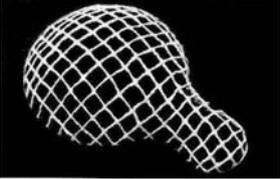
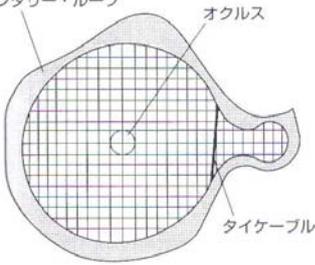
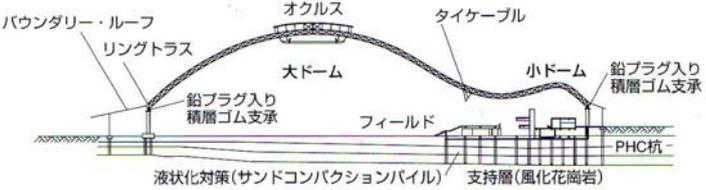
5	日本設計 斎藤公男:山口県立きららスポーツ公園多目的ドーム(2001)	
基本情報	 <p>パウンダリー・ルーフ</p> <p>オクルス</p>  <p>タイケープル</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水平面の幾何学→規則的な 4m 間隔水平直交グリッド ・ 高さの基準点→大小ドームの頂点を通る軸に直交した懸垂線を近似したパラボラ曲線を断面線として決定。 ・ 曲面形態→断面線。  <p>パウンダリー・ルーフ</p> <p>リングトラス</p> <p>オクルス</p> <p>タイケープル</p> <p>大ドーム</p> <p>小ドーム</p> <p>鉛プラグ入り積層ゴム支承</p> <p>フィールド</p> <p>PHC杭</p> <p>液状化対策(サンドコンパクションパイル)</p> <p>支持層(風化花崗岩)</p>
	使用された 幾何学的秩序	
造形段階	水平面の幾何学	高さの基準点・曲面形態の検討
	a グリッド	f 断面線
分析	推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の 選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する 言説
	<ul style="list-style-type: none"> ・ パラボラ曲線で断面線を決定し、合理的な安定した形状を得るため 	<p>ツインドームの連続曲面は、A.ガウディやH.イスラーらが実践してきた実験的な「釣合形状」がまずイメージされた。大スパン構造にとって最も支配的な荷重である自重に対して合理的な形状が得られるはずである。</p> <p>(斎藤公男/日本大学理工学部教授:近代建築, P.122, 2005.12)</p> <p style="text-align: right;">⇒f</p>

表 3.1.5.-2

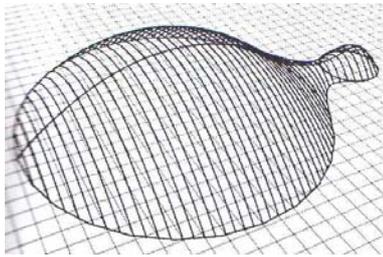
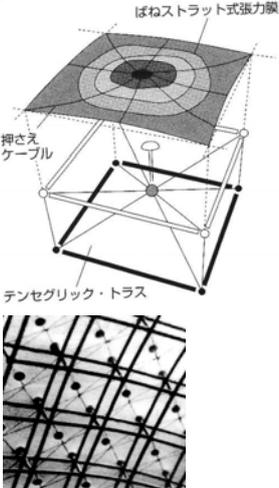
5		日本設計 斎藤公男:山口県立きららスポーツ公園多目的ドーム(2001)	
解析段階	基本情報		<ul style="list-style-type: none"> 解析方法→水平直交グリッドを逆吊した釣合形状(懸垂線)を近似し解析。(ジョイント接合部が複雑になるため三角形パターンは選択されなかった)
	使用された幾何学的秩序		
	解析方法の検討		
	a グリッド		
	分析	推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の 選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する 言説
	<ul style="list-style-type: none"> 水平直交グリッドを逆さ吊りにした、単純明快で合理的な釣合形状をもとにしたため 	<p>前例のないドーム形態の曲面構成には、「集積」の手法が駆使された。ツイン・ドームはシステム・トランスによる推動曲面(EP)、大庇はH形鋼による線織面。平行な曲線群と単純な直線群から一見複雑な有機的形態が無理なく実現された。</p> <p>(斎藤公男:空間 構造 物語 ストラクチャル・デザインのゆくえ, P.239, 2006)</p> <p style="text-align: right;">⇒a</p>	

表 3.1.5.-3

5	日本設計 斎藤公男:山口県立きららスポーツ公園多目的ドーム(2001)	
基本情報		<ul style="list-style-type: none"> ・ 部材配置→膜が滑らかに見える 4m 間隔の水平直交グリッド。 ・ 工法→テンセグリック・トラス(スリット・ジョイント方式)とばねストラット式張力膜によるトラス膜構造。
	<p style="text-align: center;">使用された幾何学的秩序</p> <p style="text-align: center;">部材配置の検討</p> <p style="text-align: center;">a グリッド</p>	
建設段階	<p style="text-align: center;">推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由</p>	<p style="text-align: center;">幾何学的秩序の決定の理由に関する言説</p>
	<p>・ジョイントを複雑にしないため(正方形のテンセグリック・トラスを使用するため)</p>	<p>B.フラーのジオデシック・ドームに代表される「三方向格子分割」ではなく、「二方向格子」を意図したのは、第一にドームの内観を支配する“力の流れの美しさ”にほかならない。(中略)</p> <p>外観にとって重要な B.R.の構成法も大きな課題であった。ここでは、大庇の波打つ曲面は直線材からなる線織面とした。アモルファスな造形は直線梁(H型鋼)とブレースにより構成されるから、三角形格子によるジョイント接合の困難さは回避される。</p> <p>(中略)</p> <p>また、4m のグリッドの間隔の採用は、膜面の溶着ラインを消すことが目的でもある。</p> <p>(斎藤公男/日本大学理工学部教授:近代建築, PP.123-124, 2005.12)</p>
	分析	

3. 1. 6 ローザンヌ連邦工科大学(PEFL) ロレックス・ラーニングセンターの分析

表 3. 1. 6. -1

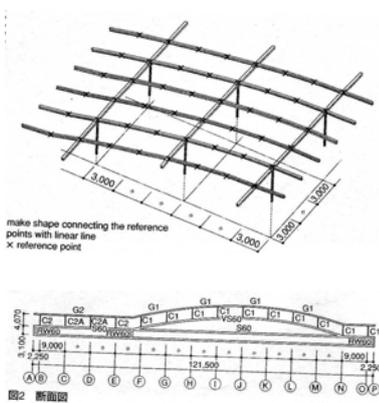
6	SANAA 佐々木睦朗:ローザンヌ連邦工科大学(PEFL) ロレックス・ラーニングセンター(2009)	
基本情報	 <ul style="list-style-type: none"> ・ 高さの基準点→9m×9m の規則的な水平直交グリッドの交点で高さを規定 ・ 曲面形態→床面の曲率と同じであり、人が歩ける範囲の緩い勾配(2%以上の勾配には車いす対応の機械設備が設置されている)、断面線で記述 	
	使用された幾何学的秩序	
造形段階	水平面の幾何学・高さの基準点	曲面形態の検討
	a グリッド	f 断面線
	推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の 選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する 言説
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水平直交グリッドの交点を高さの基準にすることで、比較的緩い勾配を滑らかに記述するためであると思われる ・ オーダリング・システムの幾何学自体が構造部材となるため、単純なグリッドで合理的で経済的に実現するためであると思われる 	<p>建築計画の意図により、緩やかに大地が持ち上がったような RC 自由曲面シェルの床の上に、シェル曲面と平行に、軽い鉄骨造の曲面状の平屋が載るという構成をもつ建物を設計した。</p> <p>(磯崎あゆみ/佐々木睦朗構造計画研究所元所員:建築技術 P.130. 2009.02)</p> <p>床スラブの扱いは、この建物では床と屋根を同形にしていることも関係しているんでしょうね。床と屋根の間はガラスで、二つのレイヤーが同じ間隔、平行な関係で変形している。</p> <p>(西沢立衛:GA JAPAN 106, P32, 2010年9月号, ADA)</p> <p>カーブといっても、「ラーニングセンター」はフリーハンド的な曲線を実現しようとしていて、懸垂曲線や円、双曲線といった、言葉で置き換えられる形と違う。</p> <p>(西沢立衛:GA JAPAN 106, P38, 2010年9月号, ADA)</p>
分析		

表 3.1.6.-2

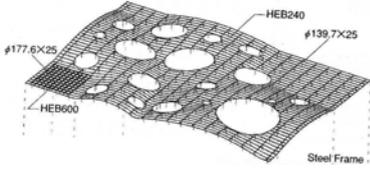
6	SANAA 佐々木睦朗:ローザンヌ連邦工科大学(PEFL) ロレックス・ラーニングセンター(2009)	
基本情報	 <ul style="list-style-type: none"> ・ 解析方法→感度解析法で解析 ・ 曲面形態→水平投影すると規則的な水平直交グリッド 	
	<p style="text-align: center;">使用された幾何学的秩序</p> <p style="text-align: center;">解析方法・曲面形態の検討</p> <p style="text-align: center;">a グリッド</p>	
解析段階	<p style="text-align: center;">推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由</p>	<p style="text-align: center;">幾何学的秩序の決定の理由に関する言説</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 比較的緩い勾配の曲面なので、一枚の板をグリッド上で緩やかに膨らませた形状として解析されたのではないと思われる 	<p>これらの構造的にきわめて厳しい条件を実現すべく、感度解析を用いた形態デザイン手法によって、可能な限り曲面の曲げ応力が小さくなるように形態生成を行い、繰り返しシミュレーションを行った。</p> <p>まず、開口のない状態で形状を検討し、意匠設計者の意図に近い位置で、実現可能と思われるスパンと支持ライン形状を決定した。次に、シェル内応力の流れを邪魔しない位置、重量が少ない方が有利な位置を基準にして、意匠上要求された開口の位置と大きさ・形状の検討を行った。</p> <p>(磯崎あゆみ／佐々木睦朗構造計画研究所元所員: 建築技, P.131, 2009.02)</p>

表 3.1.6.-3

6	SANAA 佐々木睦朗:ローザンヌ連邦工科大学(PEFL) ロレックス・ラーニングセンター(2009)				
建設段階	基本情報	 <ul style="list-style-type: none"> ・ 部材配置→9m×9m の水平直交グリッド。 ・ 工法→両方向ラーメン構造(ブレース有り)。グリッドの交点にφ139.7×25 の柱、2 方向に大梁 H-240×240×10×17、長手方向は 3m 間隔で木材の小梁。 ・ 生産技術(性能)→塩化ビニル防水仕上 			
	分析	<p style="text-align: center;">使用された幾何学的秩序</p> <p style="text-align: center;">部材配置の検討</p> <p style="text-align: center;">a グリッド</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">幾何学的秩序の決定の理由に関する言説</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> ・ 線状部材(H 鋼・木材)を緩い曲面に追従して施工しやすい </td> <td style="vertical-align: top;"> <p>シェルの形状と平行に緩やかにうねる屋根は、3.0m ごとに架けた小梁によって追従させるものとした。</p> <p>(磯崎あゆみ／佐々木睦朗構造計画研究所元所員: 建築技術 P.131. 2009.02)</p> <p>厚さ 40cm のスラブで、高さ 3.7 m でスパン約 40m という緩やかなカーブを描く床をつくることができた。その上に 9m グリッドの鉄骨造のフレームを組み、曲面屋根のところの小梁には、3 次元カーブに加工された木の集成梁を用いている。</p> <p>(山本力矢／SANAA: 新建築, 2010.09)</p> <p style="text-align: right;">⇒a</p> </td> </tr> </tbody> </table>	推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の 選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する 言説	<ul style="list-style-type: none"> ・ 線状部材(H 鋼・木材)を緩い曲面に追従して施工しやすい
推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の 選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する 言説				
<ul style="list-style-type: none"> ・ 線状部材(H 鋼・木材)を緩い曲面に追従して施工しやすい 	<p>シェルの形状と平行に緩やかにうねる屋根は、3.0m ごとに架けた小梁によって追従させるものとした。</p> <p>(磯崎あゆみ／佐々木睦朗構造計画研究所元所員: 建築技術 P.131. 2009.02)</p> <p>厚さ 40cm のスラブで、高さ 3.7 m でスパン約 40m という緩やかなカーブを描く床をつくることができた。その上に 9m グリッドの鉄骨造のフレームを組み、曲面屋根のところの小梁には、3 次元カーブに加工された木の集成梁を用いている。</p> <p>(山本力矢／SANAA: 新建築, 2010.09)</p> <p style="text-align: right;">⇒a</p>				

3. 1. 7 ポンピドー・センター・メスの分析

表 3. 1. 7. -1

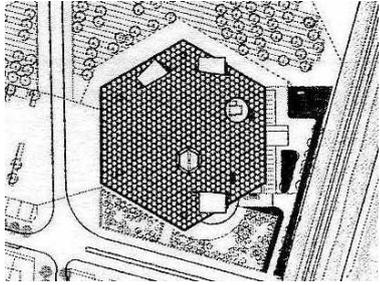
7	<p>坂茂:ポンピドー・センター・メス(2010)</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・ 水平面の幾何学→構造解析で得られた形状を元に二次元で表記。水平投影すると規則的な六角形と三角形によるパターンからなる。 ・ 高さの基準→規則的な六角形と三角形によるパターン ・ 屋根の膨らみ(曲率)→S造のコアの37m地点で屋根を吊るしている。 	
<p style="writing-mode: vertical-rl;">造形段階</p> <p style="writing-mode: vertical-rl;">分析</p>	<p>使用された幾何学的秩序</p>	
	<p>水平面の幾何学・高さの基準点の検討</p>	
	<p>h その他 (六角形と三角形のパターン)</p>	
	<p>推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由</p>	<p>幾何学的秩序の決定の理由に関する言説</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 曲面を水平投影面が規則的な六角形と三角形のパターンによって木集成材の編構造を記述するため 	<p>「美術館の展示は機能的に見せるにはボックスが一番良い。そのため 15m×90m のチューブ状のボックスを 45 度ずつ振って重ねた。それを膜で覆うようにしたら、非対称の帽子のような屋根形状になった。機能を優先した結果、自然とこうしたフォルムにまとまった。</p> <p>(:日経アーキテクチャーP.21 2010.06)</p> <p>そして六角形の屋根は、アジアの伝統的帽子や籠を竹で編む六角形と三角形のパターンで構成されている。面剛性を持たせるため三角形はつくりたいが、面すべてを三角形で分割すると一点の頂点に 6 本の線材がぶつかり、ジョイントが複雑になる。この六角形と三角形のパターンにすると、頂点には 4 本の線材しか交差しない。</p> <p>(坂茂:新建築, P.53, 2010.07)</p> <p style="text-align: right;">⇒h</p>

表 3.1.7.-2

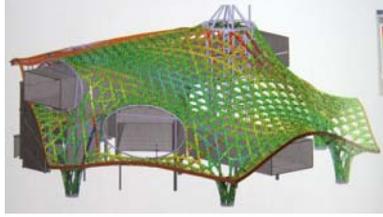
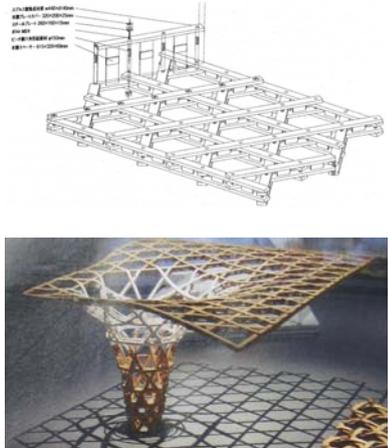
7		伊東豊雄 佐々木睦朗:アイランドシティ中央公園 中核施設 ぐりんぐりん(2005)	
解析段階	基本情報	 <ul style="list-style-type: none"> ・ 解析方法→構造解析によって合理的な形状を導き出す ・ 曲面形態→<u>規則的な六角形と三角形によるパターン。</u> 	
		使用された幾何学的秩序	
		解析方法・曲面形態の検討	
		h その他 (水平投影面が規則的な六角形と三角形のパターン)	
	分析	推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する言説
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 六角形と三角形によるパターンで編みこまれた1枚の膜として解析されたのではないかと思われる 	<p>それを見た時, このワイヤーメッシュがなくても, 2次元的に曲がりやすい木(集成材)でグリッドの構造をつくれれば, その上に直接屋根を葺くこともできる上に, 木は引張材にも圧縮材にもなるので, 吊ワイヤーメッシュ的にも, 圧縮系のシェル構造としても成立するのではないかと考えたのである.</p> <p>(坂茂:新建築, P.53, 2010.07)</p>	

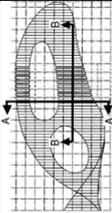
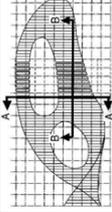
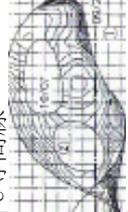
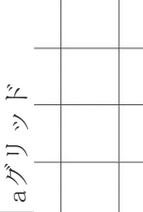
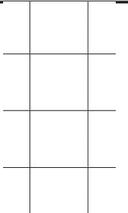
表 3.1.7.-3

7	伊東豊雄 佐々木睦朗:アイランドシティ中央公園 中核施設 ぐりんぐりん(2005)				
建設段階	基本情報	 <ul style="list-style-type: none"> ・ 部材配置→規則的な六角形と三角形によるパターン ・ 工法→木集成材の編構造。木集成材の線材を4層に重ね、六角形と三角形の頂点をボルトで固定(構造解析で得られた形状にコンピューター制御で木片を切断) ・ 生産技術(性能)→トウヒ集成材による3次曲面とテフロンコートをしたガラスファイバー製膜材を使用。 			
	分析	<p style="text-align: center;">使用された幾何学的秩序</p> <p style="text-align: center;">部材配置の検討</p> <p style="text-align: center;">h その他 (水平投影面が規則的な六角形と三角形のパターン)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">幾何学的秩序の決定の理由に関する言説</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> ・ 線状の板材が重なる結合部を複雑にしないため ・ 編構造だけで引張材と圧縮材両方の耐力を保持するため </td> <td style="vertical-align: top;"> <p>そして六角形の屋根は、アジアの伝統的帽子や籠を竹で編む六角形と三角形のパターンで構成されている。面剛性を持たせるため三角形はつくりたいが、面すべてを三角形で分割すると一点の頂点に6本の線材がぶつかり、ジョイントが複雑になる。この六角形と三角形のパターンにすると、頂点には4本の線材しか交差しない。</p> <p>(坂茂:新建築, P.53, 2010.07)</p> <p style="text-align: right;">⇒h</p> </td> </tr> </tbody> </table>	推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する言説	<ul style="list-style-type: none"> ・ 線状の板材が重なる結合部を複雑にしないため ・ 編構造だけで引張材と圧縮材両方の耐力を保持するため
推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する言説				
<ul style="list-style-type: none"> ・ 線状の板材が重なる結合部を複雑にしないため ・ 編構造だけで引張材と圧縮材両方の耐力を保持するため 	<p>そして六角形の屋根は、アジアの伝統的帽子や籠を竹で編む六角形と三角形のパターンで構成されている。面剛性を持たせるため三角形はつくりたいが、面すべてを三角形で分割すると一点の頂点に6本の線材がぶつかり、ジョイントが複雑になる。この六角形と三角形のパターンにすると、頂点には4本の線材しか交差しない。</p> <p>(坂茂:新建築, P.53, 2010.07)</p> <p style="text-align: right;">⇒h</p>				

3.2 作品分析のまとめ

作品分析をまとめると、次頁以降の表（表 3.2.-1、表 3.2.-2、表 3.2.-3）のようにまとめることができる。

表 3.2.2-1

造形段階で用いられた幾何学的秩序		解析段階で用いられた幾何学的秩序		建設段階で用いられた幾何学的秩序				
構造	作品名	水平面の幾何学	高さの基準点	曲面形態	解析方法	曲面形態	型枠	配筋
RC	1.ぐりんぐりん (2005) 	a グリッド 	a グリッド  e 等高線 	b 均質三角形 		b 均質三角形  f 断面線 	f 断面線 	a グリッド 
	2.北方町生涯学習センターさきらり (2005) 	a グリッド 	a グリッド 	d 三角メッシュ 		d 三角メッシュ 	d 三角メッシュ 	a グリッド 

(注) 表中の記号は以下の項目を示す。

幾何学的秩序の種類

a 水平直交グリッド

b 均質な三角形パターン

c 不均質な三角形パターン

d 曲面に沿う三角形メッシュ

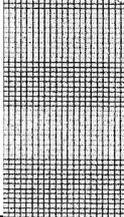
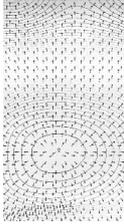
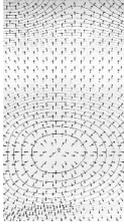
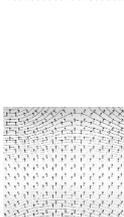
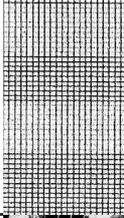
e 等高線

f 断面線

g 極座標

h その他

表 3.2.2 -2

構造	作品名	造形段階で用いられた幾何学的秩序				解析段階で用いられた幾何学的秩序			建設段階で用いられた幾何学的秩序	
		水平面の幾何学	高さの基準点	曲面形態	解析方法	曲面形態	型枠	配筋		
RC	3. 瞑想の森(2006) 	a グリッド 	e 等高線 	e 等高線 	a グリッド 	b 均質三角形 	f 断面線 	a グリッド 		
	4. 豊島美術館 (2010) 	a グリッド 	f 断面線 	e 等高線 	a グリッド 	c 不均質三角形 	a グリッド 	a グリッド 		h その他 (放射状) 

(注) 表中の記号は以下の項目を示す。

幾何学的秩序の種類

a 水平直交グリッド

b 均質な三角形パターン

c 不均質な三角形パターン

d 曲面に沿う三角形メッシュ

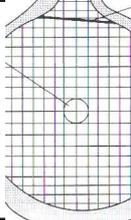
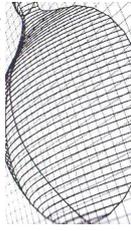
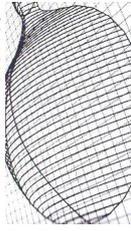
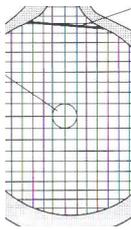
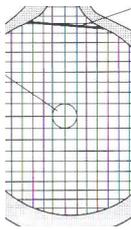
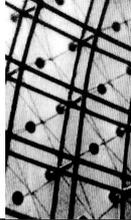
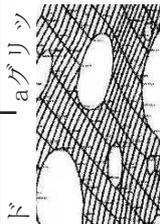
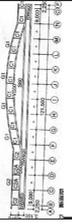
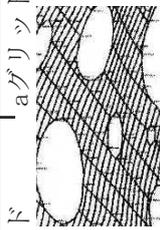
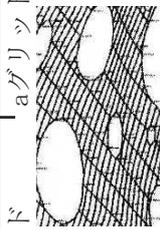
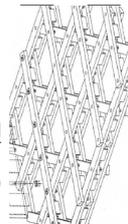
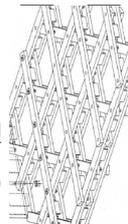
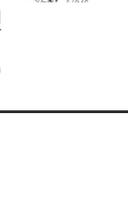
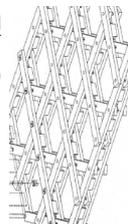
e 等高線

f 断面線

g 極座標

h その他

表 3.2. -3

		造形段階で用いられた幾何学的秩序				解析段階で用いられた幾何学的秩序		建設段階で用いられた幾何学的秩序	
構造	作品名	水平面の幾何学	高さの基準点	曲面形態	解析方法	曲面形態	部材配置		
S	5.山口県立さくららスポーツ公園多目的ドーム(2001) 	a グリッド 	f 断面線 	f 断面線 	a グリッド 	a グリッド 	a グリッド 		
	6. ロレックス・ラーニングセンター(2009) 	a グリッド 	a グリッド 	f 断面線 	a グリッド 	a グリッド 	a グリッド 		
木	7. ポンピドー・センター・メス(2010) 	h その他 (六角形と三角形によるパターン)	h その他 	h その他 	h その他 	h その他 	h その他 		

(注) 表中の記号は以下の項目を示す。

幾何学的秩序の種類

a 水平直交グリッド

b 均質な三角形パターン

c 不均質な三角形パターン

d 曲面に沿う三角形メッシュ

e 等高線

f 断面線

g 極座標

h その他

1 アイランドシティ中央公園 中核施設 ぐりんぐりん

建築技術No.671 2005年12月号, 株式会社建築技術

伊東豊雄展実行委員会: 伊東豊雄 建築 | 新しいリアル, 天山舎, 2006

近代建築 2005年10月号, 株式会社 近代建築社

新建築 2005年9月号, 株式会社 新建築社

2 北方町生涯学習センターきらり

日経アーキテクチュア 2006年10月号, 日経BP社

新建築 2006年5月号, 株式会社 新建築社

3 瞑想の森市営斎場

伊東豊雄展実行委員会: 伊東豊雄 建築 | 新しいリアル, 天山舎, 2006

建築技術No.709, 2009年2月号, 株式会社建築技術

日経アーキテクチュア 2006年7月号, 日経BP社

新建築 2006年7号, 株式会社 新建築社

4 豊島美術館

GA JAPAN 105, 2010年7月号, ADA

GA JAPAN 107, 2010年11月号, ADA

GA JAPAN 108, 2011年1月号, ADA

新建築 2011年1月号, 株式会社 新建築社

5 山口県立きららスポーツ公園多目的ドーム

建築技術No.671, 2005年12月号, 株式会社建築技術

斉藤公男: 空間 構造 物語 ストラクチュラル・デザインのゆくえ, 株式会社彰国社, 2006(初版2003)

6 ローザンヌ連邦工科大学 (EPFL) ロレックス・ラーニングセンター

建築技術No.709, 2009年2月号, 株式会社建築技術

GA JAPAN 106, 2010年9月号, ADA

写真引用: ローザンヌ連邦工科大学 (EPFL)HP

http://mediatheque.epfl.ch/modules.php?include=view_album.php&file=index&name=gallery&op=modload&set

7 ポンピドー・センター・メス

日経アーキテクチュア 2010年6月28日号, 日経BP社

新建築 2010年07月号, 株式会社 新建築社

第4章 考察

- 4.1 作品分析表の分析
 - 4.1.1 幾何学的秩序の利用方法の分析
 - 4.1.2 幾何学的秩序の利用方法の総覧
 - 4.1.3 幾何学的秩序の構造別比較
 - 4.1.4 幾何学的秩序の竣工年別比較
- 4.2 考察まとめ

第4章 考察

第3章の各作品の分析で得られた作品分析をもとに、段階的に幾何学的秩序の利用方法をみるため、各作品ごとに3段階で用いられた幾何学的秩序をまとめて総覧する。

4.1 作品分析表の分析

分析した全作品を俯瞰し、造形・解析・建設の各段階で使用された幾何学的秩序と幾何学的秩序を選択した理由・要因を言説を加えて整理する。

4.1.1 幾何学的秩序の利用方法の整理

3.2で得られた作品分析表において、様々な検討課題に応じた幾何学的秩序の利用方法がみられた。幾何学的秩序の利用を考察し、整理する。

4.1.2 幾何学的秩序の利用方法の総覧

3.2で得られた作品分析表において、幾何学的秩序の利用方法を総覧し、まとめる。

4.1.3 幾何学的秩序の構造別比較

3.2で得られた作品分析表において、作品の構造別に幾何学的秩序を比較し考察する。

4.1.4 幾何学的秩序の竣工年別比較

新技法の発展を観察するため、最近の作品と昔の作品を比較して分析する。また、分析した2000年以降の作品を時系列順に比較して考察する。

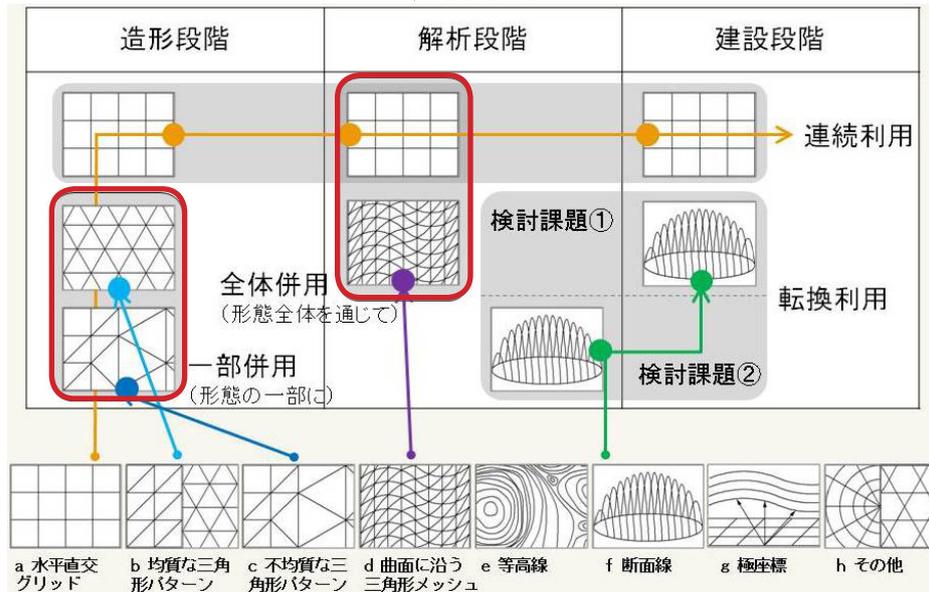
4.2 考察まとめ

4.1 作品分析表の分析

4.1.1 幾何学的秩序の利用方法の整理

3.2の作品分析表を分析する。造形・解析・建設の各段階において、使用された幾何学的秩序を分類したが、鉄骨コンクリート造の事例に、1つの検討課題に応じて複数の幾何学的秩序を組み合わせて併用する方法があり、大きく分けて4方法考えられた。(表4.1.1.-1)

表 4.1.1.-1



連続利用は、2つ以上の段階で、同じ幾何学的秩序を連続して利用する方法である。例えば、水平直交グリッドが造形段階から建設段階まで水平投影面の検討として段階的に用いられた利用方法が当てはまる。

転換利用は、同じ秩序を異なる検討課題に転換して用いる方法である。例えば、ぐりんぐりんにおける断面線の秩序は、解析段階で、曲面形態の記述に応じるための方法として用いられているが、建設段階では型枠の検討に応じるための方法として転換して用いられている。

全体併用利用は、ある段階における曲面形態の記述方法として、複数の秩序を形態全体を通じて併用して利用する方法である。

一部併用利用は、ある段階における曲面形態の一部の記述方法に、複数の秩序を併用して利用するものである。

併用方法を詳しく分析すると、全体併用は3つの方法に、一部併用利用は1つの方法に分けて整理することができた。(表4.1.1.-2)

表 4.1.1.-2

構造	作品名	造形段階で用いられた幾何学的秩序			解析段階で用いられた幾何学的秩序		建設段階で用いられた幾何学的秩序	
		水平面の幾何学	高さの基準点	曲面形態	解析方法	曲面形態	型枠	配筋
RC	1. ぐりんぐりん (2005)	aグリッド	aグリッド e等高線 (2)	b均質三角形		b均質三角形 f断面線 (3)	f断面線	aグリッド
	2. 北方町生涯学習センターきらり (2005)		aグリッド	d三角メッシュ		d三角メッシュ f断面線 (3)	d三角メッシュ	aグリッド
RC	3. 瞑想の森 (2006)	aグリッド	e等高線 f断面線	e等高線 f断面線 (1)	aグリッド	b均質三角形 c不均質三角形 (4)	f断面線	aグリッド
	4. 豊島美術館 (2010)	aグリッド	aグリッド	e等高線	aグリッド	aグリッド	aグリッド	aグリッド hその他 (放射状) (4)
S	5. 山口県立きららスポーツ公園多目的ドーム (2001)	aグリッド	f断面線	f断面線	aグリッド	aグリッド	aグリッド	aグリッド
	6. ロレックス・ラーニングセンター (2009)	aグリッド	aグリッド	f断面線	aグリッド	aグリッド	aグリッド	aグリッド
木	7. ポンピドー・センター・メス (2010)	hその他 (六角形と三角形によるパターン)	hその他	hその他	hその他	hその他	hその他	hその他

凡例

表中の数値は以下の利用方法を示す。

- (1) : 検討課題の違いに応じた記述方法の相違
 - (2) : 検討課題に応じた記述方法の創出
 - (3) : 複数の記述方法が成立する秩序
 - (4) : 曲面の一部とその他の部分での記述方法の切替
- } 全体併用
} 一部併用

全体併用の中で分類された3方法それぞれについて名称と例を示す。

(1) 検討課題の違いに応じた記述方法の相違

例えば、瞑想の森の造形段階では、曲面形態の記述のため、e 等高線と、f 断面線を併用している。これは、水勾配や曲面の検討に等高線を使用し、高さの基準を検討するため断面線で記述し、複数の課題から秩序を組み合わせて記述することで解決している。

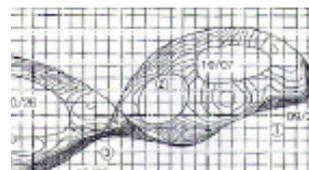


図4.1.1.1-1

水平直交グリッドと等高線の交点を高さの基準としている。

(2) 検討課題に応じた記述方法の創出

例えば、ぐりんぐりんの造形段階では、高さの基準点を記述するために a 水平直交グリッドと e 等高線を組み合わせて、新たな秩序を創出して解決している。(図 4.1.1.1-2) これは、正確な高さの管理を行うため、水平直交グリッドと等高線の交点を高さの基準として記述するためである。この場合は、高さの基準点という検討課題を、水平直交グリッドと等高線を組み合わせて求めている。

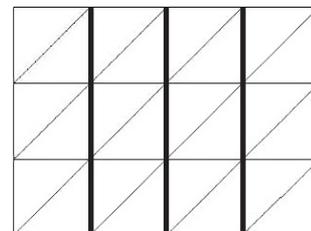


図4.1.1.1-2

水平投影された均質な三角形パターンの一部(太線部)が断面線となっている。

(3) 複数の記述方法が成立する秩序

例えば、ぐりんぐりんの解析段階では、均質な正三角形からできた多角形の交点を繋いだ曲線が断面線となり、両方の記述方法が成立する秩序となっている。(図 4.1.1.1-2) これは、解析を行ったポリゴンデータの多角形(均質な三角形パターン)の交点と交点を繋いで曲線(断面線)とすることで、滑らかな曲面を記述するためである。つまり、均質な三角形パターンと断面線のどちらの秩序も成り立つ方法で記述されている。

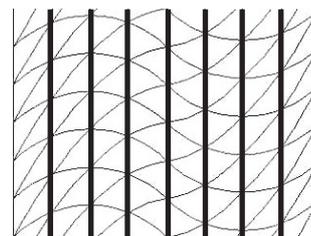


図4.1.1.1-3

曲面に沿った三角形メッシュの一部(太線部)が断面線となっている。

また、作品番号2の北方町生涯学習センターきらり(2005年竣工)の建設段階における型枠の検討でも、曲面に沿った三角形メッシュの一部が断面線となっており、この併用方法が用いられている。(図 4.1.1.1-3) これは、断面線に沿って基準となる曲げ加工した線状部材とメッシュ筋および曲面加工されたトラス鉄筋を型枠として曲面に沿わせるためであると思われる。

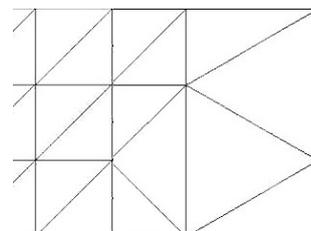


図4.1.1.1-4

曲率の大小に合わせて不均質な三角形パターンを適用させている。

また、一部併用利用では、曲面の一部とその他の部分での記述方法を切替えるものがみられた。

(4) 曲面の一部とその他の部分での記述方法の切替

例えば、瞑想の森の解析段階では、曲率の急な個所のみを不均質な三角形パターンで記述している。(図 4.1.1.1-4) つまり、曲面屋根の曲率によって幾何学的秩序を変化させ、記述方法を変えているのであ

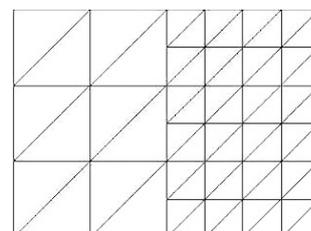


図4.1.1.1-5

曲率が大きい個所を細かく分割した均質な三角形パターン。

る。なお、ぐりんぐりんでは曲率の変化に対応するため、曲率の大きい個所を均質な三角形パターンをさらに細かく分割した均質な三角形パターンで記述している（図 4.1.1.-5）が、この場合は均質な三角形パターンとして分類した。

また、作品番号 4 の豊島美術館（2010 年竣工）では、配筋の基準を形態に沿って配置するため、全体は水平直交グリッドで記述しているが、入口に向かってカーブする個所のみ放射線を併用している。

以上の考察から、幾何学的秩序は記述方法の中で自覚的に転換されながら、様々な問題の解決に役立っていることが分かった。

4.1.2 幾何学的秩序の利用方法の総覧

4.1.1の結果をもとに作品分析表を総覧する。(表4.1.2.-1)

表4.1.2.-1

1.ぐりんぐりん(2005)

2.北方町生涯学習センター
一きらり(2005)

3.瞑想の森(2006)

4.豊島美術館(2010)

造形	解析	建設									
	1			1			1			1	

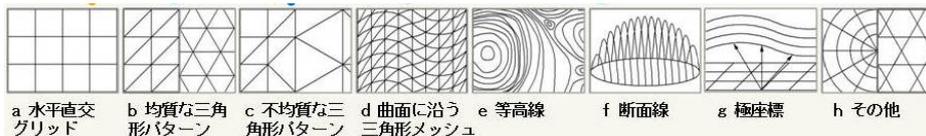
5.山口県立きららスポーツドーム(2001)

6.ロレックス・ラーニングセンター(2009)

7.ポンピドー・センター・メス(2010)

造形	解析	建設	造形	解析	建設	造形	解析	建設
	1			1			1	

凡例



表中の数値は以下の利用方法を示す。

1：連続利用

2：転換利用

全体併用利用

(1)：検討課題の違いに応じた記述方法の相違

(2)：検討課題に応じた記述方法の創出

(3)：複数の記述方法が成立する秩序

一部利用利用

(4)：曲面の一部とその他の部分での記述方法の切替

表4.1.2.-1を総覧する。

3段階全体について

- すべての対象作品で、水平投影面の秩序は、造形段階から建設段階に至るまで連続的に用いられている。このことから、造形段階の形態を記述する際に建設段階の秩序を想定していることが考えられる。
- また、造形段階と建設段階の高さの基準点の検討の際には、水平直交グリッドの交点とする記述方法などがみられ、曲面形態の幾何学的記述には、RC造では三角形のパターンで記述する例がみ

られた。このことから RC 造では、伝統的な三次元グリッドを基本としながら、三角形などの複雑なパターンと組み合わせて記述していることが分かる。

段階別について

・ 造形段階について

表 4.1.2.-1 をみると、造形段階の水平面の幾何学と高さの基準点に a 水平直交グリッドの幾何学を使用した記述方法が 3 事例みられた。作品番号 1 のぐりんぐりん（2005 年竣工）、作品番号 4 の豊島美術館（2010 年竣工）と作品番号 6 のロレックス・ラーニングセンター（2009 年竣工）である。これは、平面の秩序であるグリッドと交点を高さの基準点として使用したためであると思われる。

また、作品番号 3 の瞑想の森（2006 年竣工）と作品番号 5 のきららドーム（2001 年竣工）では、高さの基準点と曲面形態の同一幾何学的秩序を使用している。これは、瞑想の森を例としてあげると、e 等高線と f 断面線が高さも曲面形態も示す幾何学的秩序であるためである。

・ 解析段階について

解析段階では、解析方法と曲面形態の検討に、a 水平直交グリッドを用いた例と、d 曲面に沿う三角形メッシュや h その他の幾何学的秩序を用いた例がみられた。複雑な曲面になるとともに、解析に使用される幾何学的秩序も複雑化していると思われる。

特殊な事例として、作品番号 7 のポンピドー・センター・メス（2010 年竣工）があげられ、すべての検討課題が h その他の六角形と三角形によるパターンで記述されている。これは、特殊な秩序で他の水平直交グリッドなどのパターンとの組み合わせが難しく、最終形態の施工方法もこの六角形と三角形のパターンであるため、他の記述方法で表記する必要性がなかったためであると思われる。

・ 建設段階について

建設段階で複数の検討課題に同一の秩序を連続利用しているのは、作品番号 4 の豊島美術館（2010 年竣工）のみであった。これは、施工方法の相違に要因があると思われる。他の鉄筋コンクリート造の型枠が木製の型枠やメッシュ筋の型枠であるのに対し、豊島美術館は土型枠である。土型枠を土の層を固めながら作る際、水平直交グリッドの交点を高さの基準点とし、杭を打ちながら施工したためである。

4.1.3 幾何学的秩序の構造別比較

3.2の作品分析表において、構造別に幾何学的秩序の選択に相違があるか考察する。(表4.1.3.-1)

表 4.1.3.-1

構造	作品名	造形段階で用いられた幾何学的秩序			解析段階で用いられた幾何学的秩序		建設段階で用いられた幾何学的秩序	
		水平面の幾何学	高さの基準点	曲面形態	解析方法	曲面形態	型枠	配筋
RC	1. ぐりんぐりん (2005)	aグリッド	aグリッド e等高線	b均質三角形		b均質三角形 f断面線	f断面線	aグリッド
	2. 北方町生涯学習センターきらり (2005)		aグリッド	d三角メッシュ		d三角メッシュ	d三角メッシュ f断面線	aグリッド
RC	3. 瞑想の森 (2006)	aグリッド	e等高線 f断面線	e等高線 f断面線	aグリッド	b均質三角形 c不均質三角形	f断面線	aグリッド
	4. 豊島美術館 (2010)	aグリッド	aグリッド	e等高線	aグリッド	aグリッド	aグリッド	aグリッド hその他 (放射状)
S	5. 山口県立きららスポーツ公園多目的ドーム (2001)	aグリッド	f断面線	f断面線	aグリッド	aグリッド	aグリッド	aグリッド
	6. ロレックス・ラーニングセンター (2009)	aグリッド	aグリッド	f断面線	aグリッド	aグリッド	aグリッド	aグリッド
木	7. ポンピドー・センター・メス (2010)	hその他 (六角形と三角形によるパターン)	hその他	hその他	hその他	hその他	hその他	hその他

凡例 ○: 幾何学的秩序の併用 ●: a 水平直交グリッド

表 4.1.3.-1 から分かることは、鉄骨造と木造の曲面屋根には幾何学的秩序の併用が見られないということである。分析事例が少ないため確信は得られないが、鉄筋コンクリート造に比べると鉄骨造と木造の方が主要部材の種類が少ない分幾何学の捉え方が簡潔であると思われる。

解析段階では、鉄骨造は解析方法の検討も、曲面形態の検討も a 水平直交グリッドを使用しているが、鉄筋コンクリート造では a 水平直交グリッドのほかに、b 均質な三角形のパターンなど、三角形の秩序で示す例がみられる。建設段階でも同様に、鉄骨造は a 水平直交グリッドを使用しているが、鉄筋コンクリート造では a 水平直交グリッドのほかに三角形パターンも使用されている。つまり、水平直交グリッドとそうでない幾何学的秩序の利用には理由があると考えられる。

その理由として、下記の建設段階の言説にみられるように、比較的緩い勾配の曲面には、直筋などの平坦な部材を選択することができる。このことから、施工方法に伴う幾何学的秩序の決定には曲面や勾配の大きが大きく影響していると思われるため、曲率と勾配に着目した。

建設段階での各建築家の言説

- ・ 作品番号 1 ぐりんぐりん 出典

「曲がりの緩やかなシェル部分の配筋は、D16@150 (@75) であったため、直筋を曲面になじませて配筋した。」 *4.1.3.-1 村中孝司／竹中工務店：建築技術，P.80，2005.12)
- ・ 作品番号 4 豊島美術館 *4.1.3.-2

「曲面がぐねぐねしていたら難しいでしょうが、今回は平べったくて緩い傾斜のドーム状の形状なので、ユニット化したカーブのないパネルでも対応できるんじゃないかと。」 *4.1.3.-2 大上光春／鹿島建設：GA105，P.111，2010.07
- ・ 作品番号 6 ロレックス・ラーニングセンター *4.1.3.-3

「シェルの形状と平行に緩やかにうねる屋根は、3.0m ごとに架けた小梁によって追従させるものとした。」 *4.1.3.-3 磯崎あゆみ／佐々木睦朗構造計画研究所元所員：建築技術，P.131，2009.02
- また、作品番号 3 瞑想の森の造形段階の言説に、
 「庇先端の納まりについては、特に雨樋や水切りを設けていないため、確実に屋根凹部のドレインに集水できるように庇先端の角度を若干上向きに微調整し、散水実験なども行いながら水勾配チェックを重ねた。」 *4.1.3.-4 横田歴男／伊東豊雄建築設計事務所：日経アーキテクチュアスペシャル，P.35，2006

ことが考えられる。

そこで、文献から最大曲率と最大勾配を含むと思われる断面図から、推定最大曲率と推定最大勾配を算定し、集水方法と施工方法の地祇から曲面を記述する幾何学的秩序の相違を考察することを試みた。

推定最大曲率の算定は、断面図をCADに取り込み、曲面に沿って円弧を描いて最大曲率半径を算定し、曲率半径（m）分の1として推定最大曲率を求めた。算定に使用した図を各作品ごとに以下に記す。

1. ぐりんぐりん

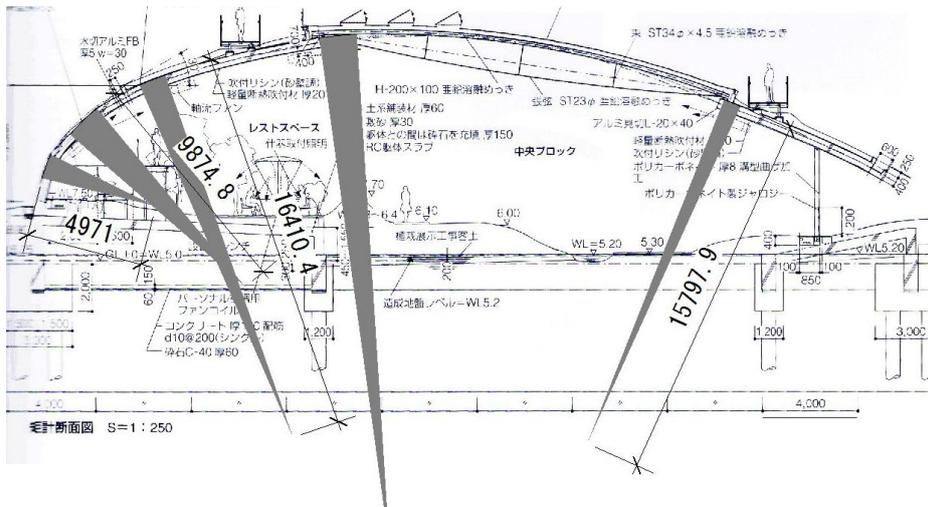


図4.1.3.-1 引用文献
建築技術 2005年12月号,
P69

図4.1.3.-1

壁面部： $1 / 4.97 \text{ m} = 0.20$

屋根部： $1 / 15.80 \text{ m} = 0.06$

※ぐりんぐりんは勾配30度で施工方法が変わるため、屋根部分と壁面部に分けて算定した。

2. 北方町生涯学習センターきらり

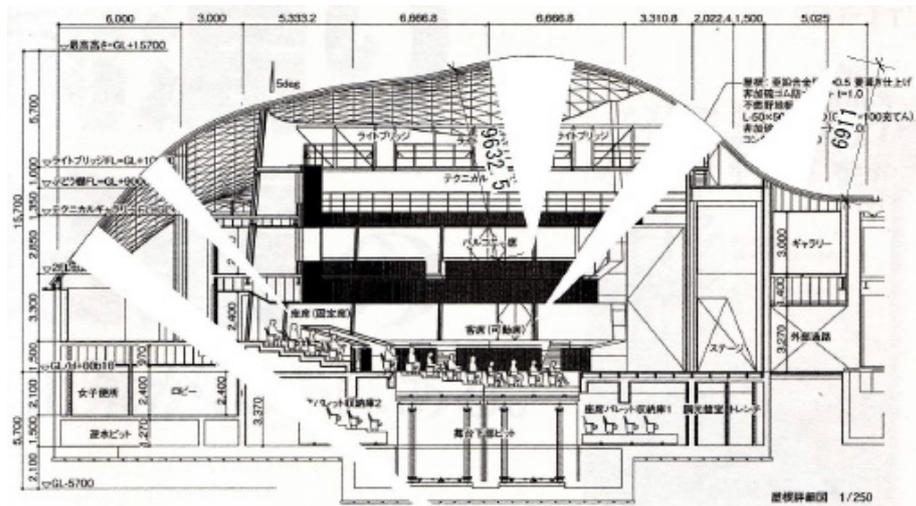


図4.1.3.-2 引用文献
日経アーキテクチャ2006
年10月号2005年12月号, P69

図4.1.3.-2

$1 / 6.91 \text{ m} = 0.14$

3. 瞑想の森市営斎場

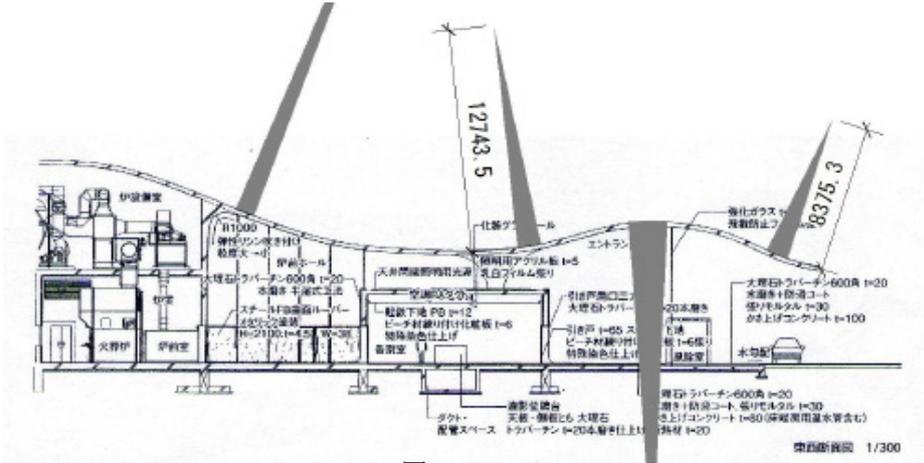


図4.1.3.-3

$1 / 8.38 \text{ m} = 0.12$

4. 豊島美術館

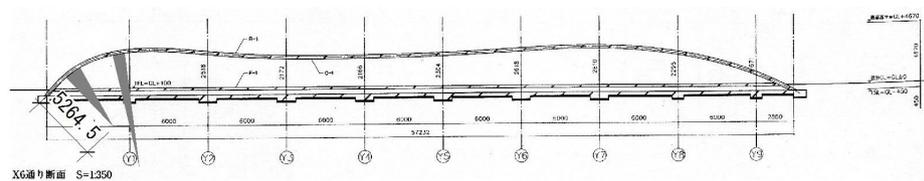


図4.1.3.-4

$1 / 5.27 \text{ m} = 0.19$

5. 山口県立きららスポーツ公園多目的ドーム

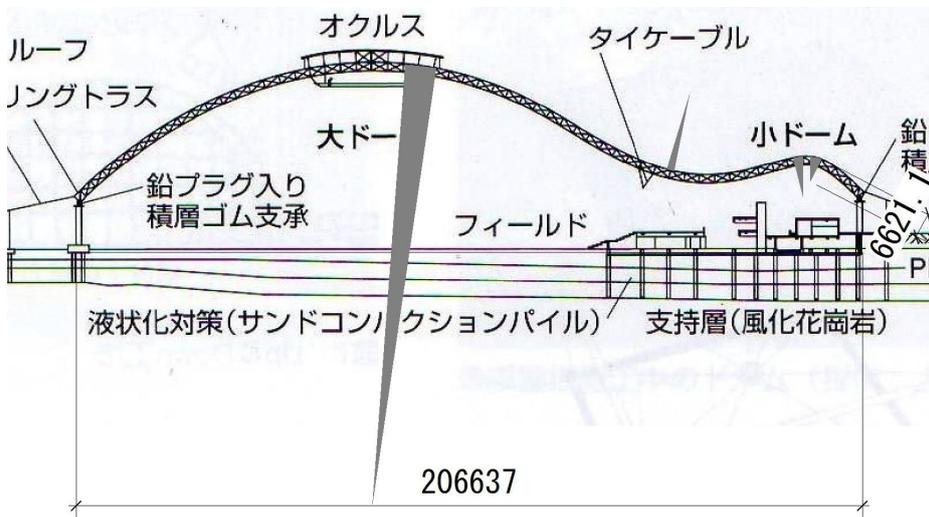


図4.1.3.-5

$1 / 6.62 \text{ m} = 0.15$

図4.1.3.-3 引用文献

日経アーキテクチャ 2006
年7月号, P55

図4.1.3.-4 引用文献

GA JAPAN 108 2011年1月
号, P11

図4.1.3.-5 引用文献

建築技術 2005年12月号,
P123

6. ロレックス・ラーニングセンター

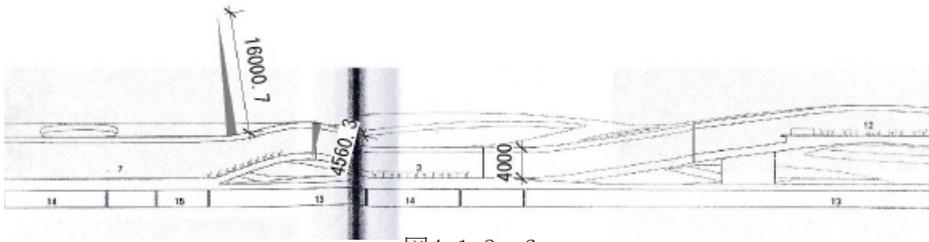


図4.1.3.-6

$1 / 4.56 \text{ m} = 0.22$

7. ポンピドー・センター・メス

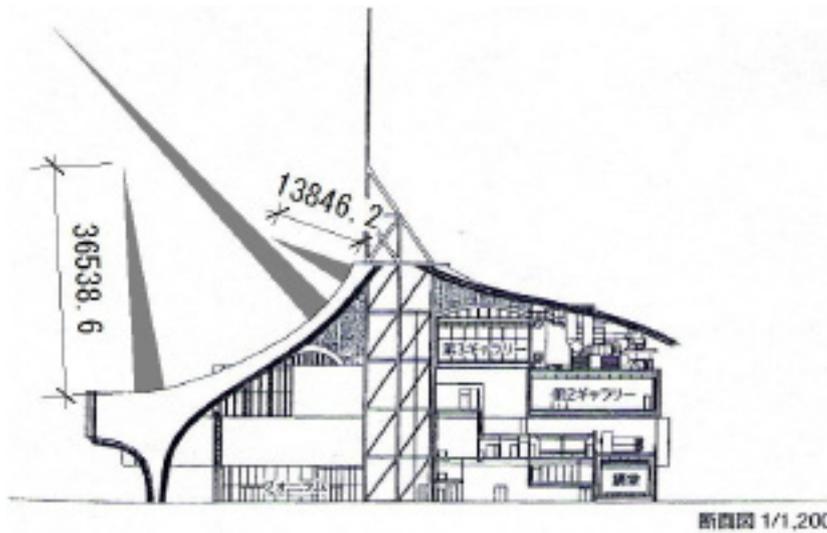


図4.1.3.-7

$1 / 13.85 \text{ m} = 0.07$

以上の算定より、推定最大曲率の大きい順に、

6. ロレックス・ラーニングセンター (推定最大曲率0.22)

1. ぐりんぐりん (壁面部: 0.20)

4. 豊島美術館 (0.19)

5. 山口県立きららスポーツ公園多目的ドーム (0.15)

2. 北方町生涯学習センターきらり (0.15)

3. 瞑想の森市営斎場 (0.12)

7. ポンピドー・センター・メス (0.07)

1. ぐりんぐりん (屋根部: 0.06)

となる。

推定最大勾配は、推定最大曲率を求めた同じ断面図から勾配の大きい個所を探し、図中に曲面に沿った三角形を記述し、三角形の垂直な辺を1000mmまで拡大して1mで三角形の水平な辺を割って算定した。推定最大勾配は次頁の図4.1.3.-8～図4.1.3.-14に示す。

図4.1.3.-6 引用文献

GA JAPAN 106 2010年9月号, P14

図4.1.3.-7 引用文献

日経アーキテクチャ2010年6月号, P23

1. ぐりんぐりん

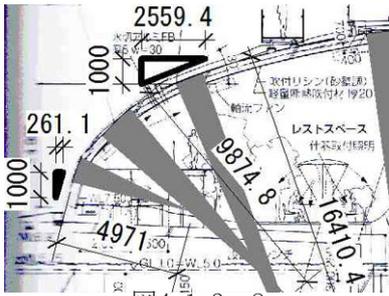


図4.1.3.-8

4. 北方町生涯学習センターきらり

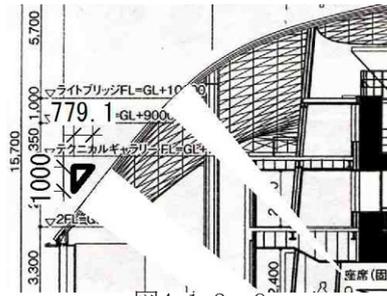


図4.1.3.-9

3. 瞑想の森市営斎場

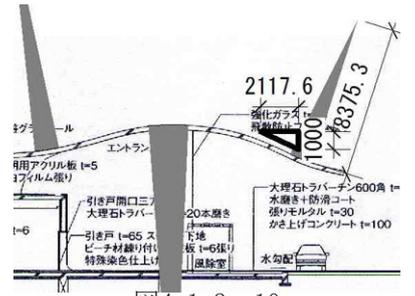


図4.1.3.-10

4. 豊島美術館

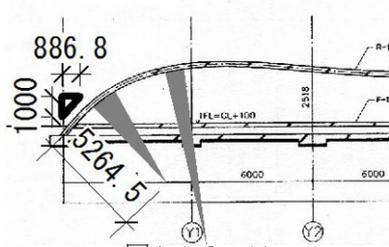


図4.1.3.-11

5. きららスポーツ公園多目的ドーム

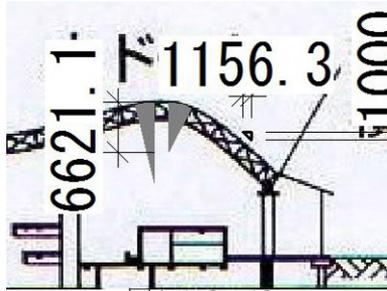


図4.1.3.-12

6. ロレックス・ラーニングセンター

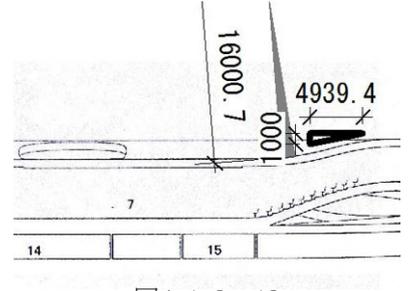


図4.1.3.-13

7. ポンピドー・センター・メス

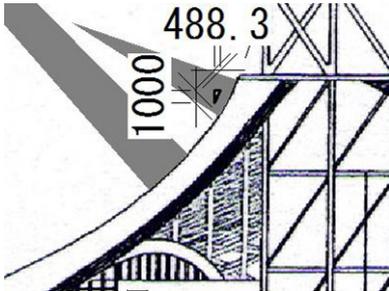


図4.1.3.-14

以上の図より、推定最大勾配を $1\text{m}/\text{m}$ として求める。推定最大勾配の大きい順に、以下のとおりとなる。()内は推定最大勾配を示す。

- 1. ぐりんぐりん (壁面部: $1/0.26$)
- 7. ポンピドー・センター・メス ($1/0.49$)
- 2. 北方町生涯学習センターきらり ($1/0.78$)
- 4. 豊島美術館 ($1/0.89$)
- 5. 山口県立きららスポーツ公園多目的ドーム ($1/1.16$)
- 3. 瞑想の森市営斎場 ($1/2.12$)
- 1. ぐりんぐりん (屋根部: $1/2.56$)
- 6. ロレックス・ラーニングセンター ($1/4.94$)

求めた推定最大曲率と推定最大勾配を基に、集水方法の違いから曲面を記述する幾何学的秩序の相違を考察する。(表 4.1.3-2、表 4.1.3-3、表 4.1.3-4)

表 4. 1. 3. -2

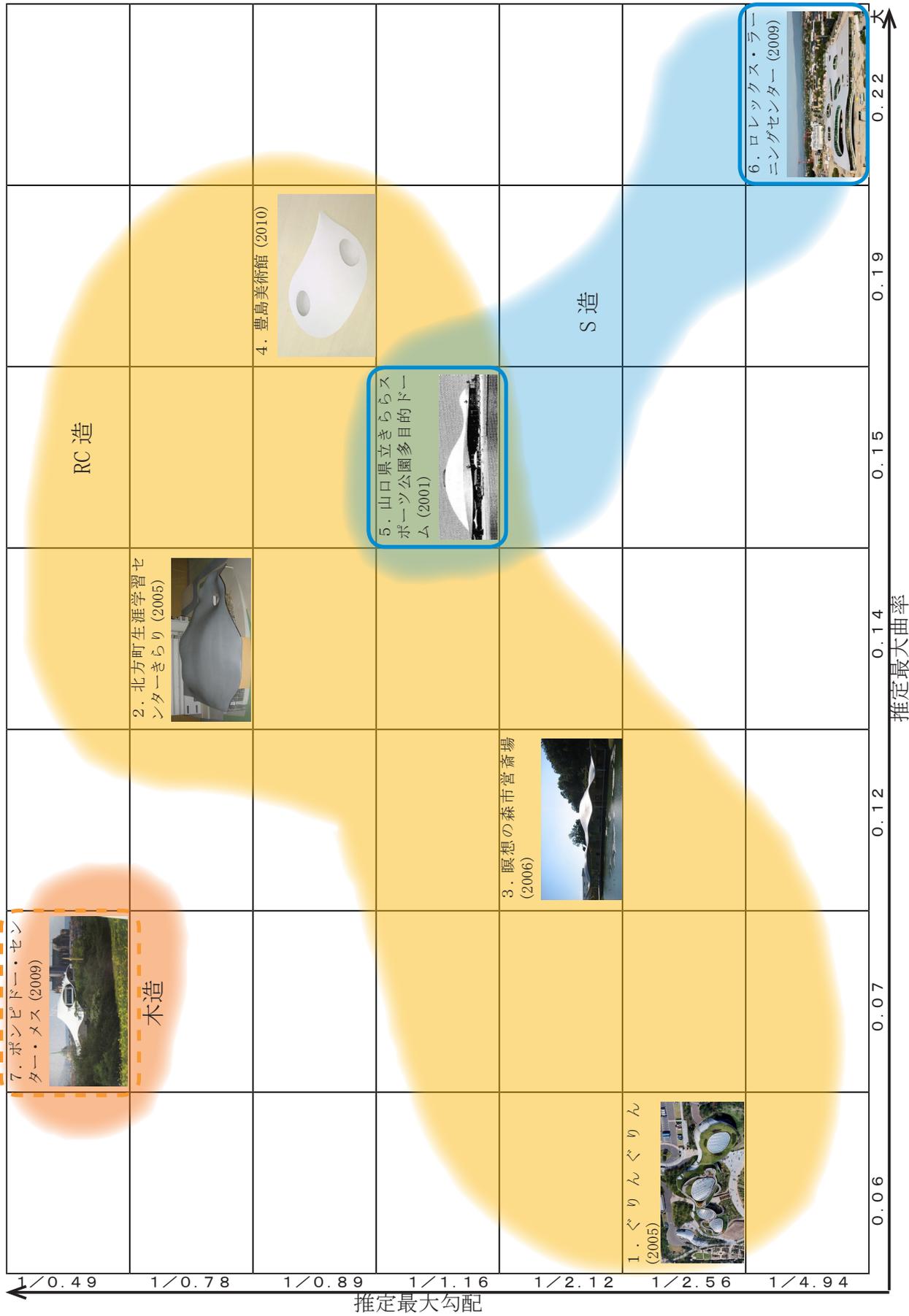


表 4.1.3.-3

推定最大 曲率 (1/m)	1. ぐりんぐりん (2005)	7. ポンピドー・セン ター・メス (2009)	3. 瞑想の森市営斎場 (2006)	2. 北方町生涯学習セ ンターさきらり (2005)	5. 山口県立さきららス ポーツ公園多目的ドー ム (2001)	4. 豊島美術館 (2010)	6. ロレックス・ラー ニングセンター (2009)
排水方法	曲面途中の屋根部と壁 面部の境界部で水切り 0.06	端部水切りと中空柱内 へ集中排水 0.07	柱内ドレイン 0.12	端部樋とライトウエル (中空柱)内へ集中排水 0.14	端部水切り 0.15	端部水切り 0.19	端部水切り 0.22
曲面形態 を記述す る幾何学 的秩序	均質三角形パターンと 等高線 0.06	規則的な六角形と三角 形のパターン 0.07	均質な三角形パターン と不均質な三角形パ ターンの組み合わせ 0.12	曲面に沿う三角形メッ シュ 0.14	水平直交グリッドと 断面線に沿うパラボラ 曲線 0.15	水平直交グリッドと 等高線 0.19	水平直交グリッドと 断面線 0.22
部材配置 の幾何学 的秩序	断面線 0.06	規則的な六角形と三角 形のパターン 0.07	断面線 0.12	曲面に沿う三角形メッ シュのトラス筋とメッ シュ筋の型枠 0.14	水平直交グリッド 0.15	水平直交グリッド 0.19	水平直交グリッド 0.22
配筋の幾 何学的秩 序	水平直交グリッド 0.06	水平直交グリッド 0.07	水平直交グリッド 0.12	水平直交グリッド 0.14	鉄骨造は、曲率 が大きい箇所も部 材を断面に沿って 曲げて対応 0.15	水平直交グリッドと放 射状のメッシュ筋 RC 0.19	水平直交グリッド S 0.22
構造	RC	木	RC	RC	S	RC	S

端部水切りのみでそのまま地面へ流す

曲率が大きい曲面を三角形を含まない幾何学的秩序で記述

屋根面の中に柱を設け、柱内に水を流す

曲面内の柱に排水することでできた複雑な曲面の凹凸を三角形を含む幾何学的秩序で記述

鉄骨造は、曲率が大きい箇所も部材を断面に沿って曲げて対応

表 4.1.3.-4

推定最大 勾配 (1m/m)	排水方法	曲面形態 を記述す る幾何学 的秩序	部材配置 の幾何学 的秩序	配筋の幾 何学的秩 序	構造
1 / 4.94	端部水切り	水平直交グリッドと 断面線	水平直交グリッド	勾配の緩やかな曲面は水平直交グリッドを基準とする	S
1 / 2.56	曲面途中の屋根部と壁 面部の境界部で水切り	均質三角形パターンと 等高線	断面線	水平直交グリッド	RC
1 / 2.12	柱内ドレイン	均質な三角形パターン と不均質な三角形パ ターンの組み合わせ	断面線	水平直交グリッド	RC
1 / 1.16	端部水切り	水平直交グリッドと 断面線に沿うパラボラ 曲線	水平直交グリッド	水平直交グリッドと放 射状のメッシュ筋	S
1 / 0.89	端部水切り	水平直交グリッドと 等高線	水平直交グリッド	水平直交グリッド	RC
1 / 0.78	端部樋とライトウエル (中空柱)内へ集中排水	曲面に沿う三角形メッ シュ	断面線と曲面に沿った 三角形メッシュのトラ ス筋とメッシュ筋	部材単位をメッ シュ筋の小さい ピースに分割し、 曲面に沿わせる	RC
1 / 0.49	端部水切りと中空柱内 へ集中排水	規則的な六角形と三角 形のパターン	規則的な六角形と三角 形のパターン		木
7. ポンピドー・セン ター・メス (2009)					
2. 北方町生涯学習セ ンターきらり (2005)					
4. 豊島美術館 (2010)					
5. 山口県立きららス ポーツ公園多目的ドー ム (2001)					
3. 瞑想の森市営斎場 (2006)					
1. ぐりんぐりん (2005) 屋根部					
6. ロレックス・ラー ニングセンター (2009)					

ただし、考察においてぐりんぐりんについては、壁部分より屋根部分の方が文献や写真で幾何学的秩序の適応が明快に示され、その幾何学的秩序が建物全体の基準となっているため、屋根部の幾何学的秩序を採用した。

まず、曲率と勾配に相関関係があるかをみるため、推定最大曲率を横軸、推定最大勾配を縦軸とした表に、本論の対象作品を分布し比較した。(表 4.1.3-2) この表から分かることは以下の3点である。

- ・ 曲面状を歩くことを目的とした1. ぐりんぐりと6. ロレックス・ラーニングセンターは勾配が小さいが、6. ロレックス・ラーニングセンターの曲率が大きいため勾配が小さければ曲率が大きいとは言えない。
- ・ 7. ポンピドー・センター・メスにより、木造は急な勾配でも部材を薄い板を組み合わせるなどの工夫次第で建てることできると分かる。
- ・ 鉄筋コンクリート造の勾配が木造より小さい作品が多いのは、性質上の問題である。コンクリートは、打設時に流動体であり、品質を保つためにも施工軟度に限界があるため、施工できる勾配に限界があると思われる。対象作品の中でも、3. 瞑想の森市営斎場では、コンクリートが流れ出したりして不均一にならないように、スランプ8～10のコンクリートで打設している。

よって、曲率と勾配の相関関係は認められなかったが、構造上の性質が曲率や勾配に影響していることが分かった。

つぎに、曲率と勾配それぞれを指標として、構造別の比較を行った。(表 4.1.3-3、表 4.1.3-4)

ただし、同一幾何学的秩序の比較考察で、造形段階の幾何学的秩序は建設段階の幾何学的秩序を見据えて決定されていることが指摘されたため、曲面形態を施工するために数値として決定付ける幾何学的秩序に着目して分類する。従って、断面線が水平直交グリッドの一方向のグリッドを示し、曲面形態を決定付ける記述方法と判断できない場合は、断面線の幾何学的秩序を省いている。

表 4.1.3-3 から分かることを以下に記す。

- ・ 屋根面内で排水する7. ポンピドー・センター・メス、3. 瞑想の森市営斎場、2. 北方町生涯学習センターきらりの3作品は、

屋根端部で排水する 5. 山口県立きららスポーツ公園多目的ドームより推定最大曲率が小さかった。これは、屋根端部で排水する 3 作品の方が曲率が大きくて水が流れやすいためではないかと思われる。しかし、デザイン上の問題で、端部から水が落ちないようにするためなどの理由も考えられるので一概にはいえない。

- ・ 配筋は、推定最大曲率が小さいほど水平直交グリッドに沿って直近を組んでいる例がみられた。曲率が大きい場合は、鉄骨や鉄筋を断面線に合わせて曲げ加工することで対処している。

表 4.1.3-4 から分かることを以下に記す。

- ・ 比較的勾配の緩やかな 6. ロレックス・ラーニングセンターは、曲面形態を記述する幾何学も部材を配置するための幾何学も、水平直交グリッドを用いている。これは、勾配が緩いので、線状部材の H 形鋼を曲面に沿わせて施工できるためだと思われる。
- ・ 配筋は、表 4.1.3-3 の曲率の表と同様、推定最大勾配が小さいほど水平直交グリッドに沿って直筋を組んでいる。また、鉄筋コンクリート造の推定最大勾配の大きな場合は、4. 豊島美術館と 2. 北方町生涯学習センターきらりの 2 作品にみられるように、鉄筋の長さを短くし、水平直交グリッドのメッシュ筋としてトラスウォールのピースに分割し、曲面に沿わせて型枠とする工夫がされている。ぐりんぐりんの言説にも、「コンクリートの打設範囲は、屋根勾配 30 度を境として壁部分と屋根部分に分けて打設した。

壁打設時には、メッシュ型枠側に投入口を設けて、高さ約 1.5m ごとに充填状況を確認しながら流し込んだ。」*4.1.3.-5

とあるように、ぐりんぐりんの壁部分でも、勾配の急な壁部分はメッシュ型枠のトラスウォールのピースを配置することによって施工していることが分かる。

表 4.1.3-3 と表 4.1.3-4 の両方に共通していえることを以下に記す。

- ・ 構造に関係なく水切りの方法は大きく分けて 2 つに分類でき、1 つ目は、屋根の端部で水切りをする方法で、2 つ目は、屋根面内
- 出典 *4.1.3.-5
- ・ 屋根端部で水切りする場合は、水平直交グリッドで示される例が
- 村中孝司／竹中工務店：建築技術 2005 年 12 月号，P. 80

- ・ 屋根内で排水する場合は、柱内やライトウェル内に水が流れ込むように勾配をつけるため、必然的に曲面に凹凸ができる。そのため、曲面がより複雑となり、曲面を細かく分割して滑らかに記述したり解析の整合性をあげたり施工上のずれを抑えるにあたり、三角形を含む秩序で記述される。曲面が複雑化するため、凹凸の変化に合わせてやすい鉄筋コンクリート造が適し、線状部材である鉄骨では施工しにくいと思われる。

推定最大曲率と推定最大勾配を比較した結果、水勾配の決定などでも曲率より勾配が重要であり曲率と勾配の相関関係がみとめられないことから、比較する基準としては曲率よりも勾配の方が確からしいと思われる。

4.1.4 幾何学的秩序の年代別比較

3.2の作品分析表を竣工年別に並べかえて考察する。(表4.1.4-1)

また、新技法の発展を俯瞰するため、過去の代表作品と比較する。

表 4.1.4-1

構造	作品名	造形段階で用いられた幾何学的秩序			解析段階で用いられた幾何学的秩序		建設段階で用いられた幾何学的秩序		年	
		水平面の幾何学	高さの基準点	曲面形態	解析方法	曲面形態	部材配置	型枠		配筋
S	5. 山口県立きららスポーツ公園多目的ドーム(2001)	aグリッド 	f断面線 	f断面線 	aグリッド 	aグリッド 	aグリッド 		2001	
RC	1. ぐりんぐりん(2005)	aグリッド 	aグリッド 	b均質三角形 		b均質三角形 	f断面線 	f断面線 	aグリッド 	2005
	2. 北方町生涯学習センターきらり(2005)		e等高線 	d三角メッシュ 		d三角メッシュ 	d三角メッシュ 	aグリッド 		
RC	3. 瞑想の森(2006)	aグリッド 	e等高線 	e等高線 	aグリッド 	b均質三角形 	f断面線 	f断面線 	aグリッド 	2006
			f断面線 	f断面線 		c不均質三角形 				
	6. ロレックス・ラーニングセンター(2009)	aグリッド 	aグリッド 	f断面線 	aグリッド 	aグリッド 	aグリッド 	aグリッド 		2009
木	7. ポンピドー・センター・メス(2010)	hその他 (六角形と三角形によるパターン) 	hその他 	hその他 	hその他 	hその他 	hその他 	hその他 		2010
	4. 豊島美術館(2010)	aグリッド 	aグリッド 	e等高線 	aグリッド 	aグリッド 	aグリッド 	aグリッド 	hその他 (放射状) 	

凡例 : RC造の解析段階の幾何学的秩序の変遷

本論の分析対象作品の内、ぐりぐりん、きらり、瞑想の森、豊島美術館、ロレックス・ラーニング・センター、の5作品を構造設計した佐々木睦郎は、北方町生涯学習センターきらりの言説の中に、

「先に構造的に最適な形状をコンピューターで算出し、得られた座標の応力解析を行って、確かに最適であることを検証する。「これまでとは逆のプロセスをたどる逆解析の手法」(佐々木氏)だ。

形態デザインの手法を建築に用いる基礎研究は90年ごろから行われていたが、まだ応用レベルまでは展開されていなかった。佐々木氏は99年ごとから名古屋大学で研究を始め、02年に北方町生涯学習センターの設計に適用した。」*4.1.4.-1

と述べており、2000年以降の構造解析技術の発展が形態の幾何学的秩序に影響を与えていると思われる。実際に鉄筋コンクリート造の作品を比較してみると、

・ 2005年4月竣工の1. ぐりぐりん：均質な三角形パターンの多角形によって解析され、三角形パターンから得られた断面線に沿って型枠の大引きが曲げ加工されている。

↓

・ 2005年10月竣工の2. 北方町生涯学習センターきらり：水平投影面ではなく曲面に沿った三角形メッシュが基準の秩序となり、型枠も分割されたメッシュ筋を曲面に沿わせてつくっている。

↓

・ 2006年竣工の瞑想の森市営斎場：より曲面の凹凸に追従させるように、均質な三角形パターンと不均質な三角形パターンを組み合わせさせて記述されている。

↓

・ 2010年竣工の4. 豊島美術館：施工性と曲面の滑らかさを追求した結果、土型枠を使用した水平直交グリッドを基準とした幾何学的秩序が採用されている。

というように、解析方法・施工方法の違いに伴って、曲面の幾何学的秩序の選択も変化していることが分かる。

出典

また、新技法の発展をみるため、過去の代表的な作品をととりあげて考察する。

*4.1.4.-1

日経アーキテクチュア,

鉄筋コンクリート造では、日本の建築家による作品ではないが、合

2006年10月号, P.68

理的で美しい構造を追求した作品番号8. エドゥアルド・トロハ設計
マドリード競馬場(1935年竣工)を取り上げた。(P67:表4.1.4.-3) 設
計段階では、連続ヴォールトやコノイド形も考えられていたが、最終
的には双曲面の一部を競技場の曲面屋根としている。双曲面は合理的
な形状で、ヴォールト全体が片持ち梁としての機能を持つ。主応力線
図では、引張状態の弧と引張状態の弧に直交した圧縮状態の弧が釣り
合う状態であり、解析を行わなくても優れた構造特性を持つことが分
かる。型枠は線状の板を長手方向に並べているが、配筋は屋根部長手
方向に平行して配筋し、その上にはほぼ応力線図に従い菱形に沿って
重ねる。

鉄骨造の例としては、日本の建築で構造を追求した、丹下健三設
計、坪井善勝構造設計の東京オリンピック・国立代々木競技場 主体育
館(1964)を取り上げた。(P68:表4.1.4.-2) 平面の原理は、メインケ
ーブルから鉄骨部材が一定間隔の一定間隔の一方向な水平グリッドで
吊られているサスペンション構造である。両側にバックスティとして
全長70mのケーブルを2本とたるませて束ねたメインケーブル2組を回転
サドルでつないだのち、メインケーブルの中央部を広げ、それぞれの
ケーブルに越屋根トラスや吊り鉄骨などを吊り下げ荷重がかかること
で自ずと完成する合理的な力学形状から幾何学的秩序を得ている。曲
面の形状は、両端や中間に負荷のかかった懸垂線といえる。

2000年以降の対象作品の曲面の中では、5. 山口県立きららスポー
ツ公園多目的ドーム(2001)が合理的な形状を幾何学的秩序の基準と
して採用している。しかし、その他の作品には放物線や半円などとい
う言葉では言い表すことのできない複雑な曲線で曲面を構成してい
る。5. 山口県立きららスポーツ公園多目的ドームでも、使用してい
るのは、懸垂線を近似したパラボラ曲線であり、2円の間を繋いだ
箇所は、2次曲線を採用している。

以上の考察から、合理的で安定したシンプルな力学形状から形態解
析を通じた複雑な曲面への発展にともなった、適用される幾何学的秩
序の工夫がみられる。ただし、佐々木睦朗は最近の構造解析の現状に
ついて、

「ただし、この理論的デザイン手法はあくまでも力学的に合理的な構
造形態を創生するだけであり、構造デザインのプロセスのうち、個性

的で創造的な着想の一部に力学的な普遍性（根拠）を与えるものであって、広範囲にわたる構造デザインのプロセスのごく一部を代替し、支援するものにすぎないことに注意を要する。」*4.1.4.-2

と述べているが、解析段階の原理には水平直交グリッドや三角形という単純明快な幾何学が適用されており、幾何学的秩序を組み合わせることで複雑な曲面を記述している。

4.1.4 参考文献

8 マドリード競馬場

出典

エドゥアルド・トロハ：エドゥアルド・トロハの構造デザイン，相模書房，2002 *4.1.4.-2

年9月

佐々木睦朗：建築技術 2005

斉藤公男：空間 構造 物語 ストラクチャル・デザインのゆくえ，株式会社彰 年12月号，P.89

国社，2006（初版2003）

9 東京オリンピック・国立代々木競技場 主体育館

斉藤公男：空間 構造 物語 ストラクチャル・デザインのゆくえ，株式会社彰

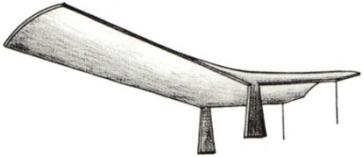
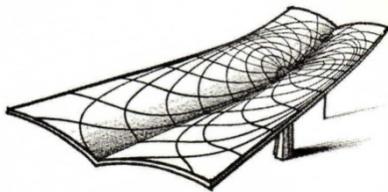
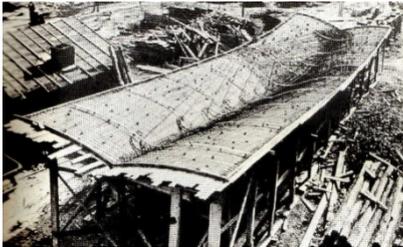
国社，2006（初版2003）

建築構造設計シリーズ編集委員会：建築構造設計シリーズ5 大スパン建築，丸

善株式会社，1974

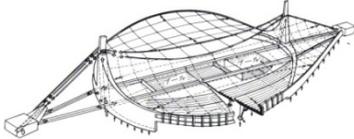
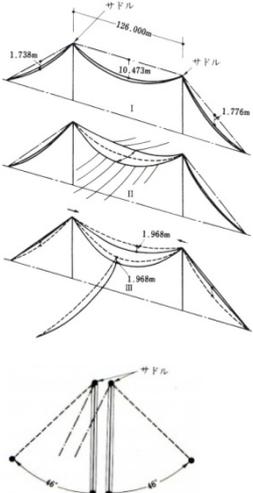
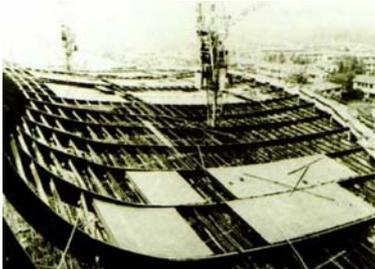
マドリード競馬場の作品分析は以下のとおりである。

表 4. 1. 4. -2

8	エドゥアルド・トロハ: マドリード競馬場 (1935)	
建物概要		<ul style="list-style-type: none"> RC 造、地上2階
造形段階		<ul style="list-style-type: none"> 水平面の幾何学→柱スパン 5m、張り出し梁(屋根)短手方向長さ 12.8m、厚さ 14cm 高さの基準点→柱部でのライズ 137.2cm、先端の自由端部のアーチはライズ 48.3cm 曲面形態→柱部での曲率半径 2.7m、先端の自由端部のアーチでの曲率半径 6.7m、厚さ 5.1cm
解析段階		<ul style="list-style-type: none"> 解析方法→<u>双曲面の一部</u>を用いた張り出し梁(設計段階では、連続ヴォールトやコノイド形も考えられていた) 曲面形態→合理的な形状であることから、ヴォールト全体が片持ち梁としての機能を持つ。主応力線図では、引張状態の弧と引張状態の弧に直交した圧縮状態の弧が釣り合う状態。(解析を行わなくても優れた構造特性を持つことが分かる)
建設段階		<ul style="list-style-type: none"> 型枠(パネル割)→線状の板を長手方向に並べる。 配筋→屋根部長手方向に平行して配筋し、その上にはほぼ<u>応力線図に従い菱形に配筋を重ねる</u>。(曲率の大きい柱付近のヴォールト頂部は太い鉄筋)

東京オリンピック・国立代々木競技場 主体育館の作品分析は以下のとおりである。

表 4.1.4.-3

9	丹下健三 坪井善勝:東京オリンピック・国立代々木競技場 主体育館(1964)	
建物概要		<ul style="list-style-type: none"> ・ S 造、地下 2 階 地上 1 階 ・ 直径 120m の円形を巴形にしたプラン ・ 屋根の最高高 22m ・ サイドスパン(短手方向)最高 44m、メインケーブル施工スパン(長手方向)最高 126m
造形段階		<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>水平面の幾何学</u>→メインケーブルには、一定間隔の<u>一方向の水平グリッド</u>で部材を吊り下げる ・ <u>高さの基準点</u>→メインケーブル最高点(サドル位置)地上 27,523m、中央点垂れ下がり 9,653m(載荷後→約 2m)、メインケーブルの開き横開き 46° (載荷後→最大間隔 16.8m)
解析段階		<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>解析方法</u>→両側にバックスティとして全長 70m のケーブルを 2 本とたるませて束ねたメインケーブル 2 組を回転サドルでつないだのち、メインケーブルの中央部を拵げ、それぞれのケーブルに越屋根トラスや吊り鉄骨などを吊り下げ荷重がかかることで自ずと完成する形状(<u>両端や中間に負荷のかかった懸垂線</u>)
建設段階	 	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>工法</u>→サスペンション構造、吊屋根。吊鉄骨は 4.5m 間隔で短手方向に吊り下げられる。I 形フランジ 22×190、ウェブ厚 12mm せい 500~1000mm の変断面。吊鉄骨同士を 1.5~3.0m 間隔で押えロープ φ44mm がつなぐ(各ロープに張力 20t をかける)。 ・ <u>メインケーブル</u>: φ34.5mm (φ52mm のロープ 31 本) を 6 本合わせたもの。外径 330mm。 ・ <u>屋根板</u>: 4.5mm 厚鋼板

4.2 考察まとめ

4.1で作品分析表の考察から、幾何学的秩序の検討課題に応じた利用方法の相違や、構造別年代別の比較を考察した。考察の結果から、対象作品の中で、年代を遡るごとに構造解析の発展や他の要因にともなって、曲面に使用する幾何学的秩序の変化がみられた。横軸に竣工年を示し、4.1.4で比較した国立代々木競技場やマドリード競技場などの合理的な釣合形状で記述されていた曲面が、21世紀に入り、水平直交グリッドや三角形パターンなどの幾何学的秩序を時に組み合わせ使用しながら曲面を制御していくことが俯瞰できた。

第5章 結論

5.1 まとめ

5.2 今後の展開

5.1 まとめ

まとめとして、下記のことを示すことができた。

- ・ 建築物の形態的記述に用いられる8種類の幾何学的秩序を整理し、それぞれの特徴や用いられる用途を示した。

8種類の幾何学的秩序

- a 水平直交グリッド
 - b 均質な三角形パターン
 - c 不均質な三角形パターン
 - d 曲面に沿う三角形メッシュ
 - e 等高線
 - f 断面線
 - g 極座標
 - h その他
- ・ 幾何学的秩序の利用方法を検討課題に応じて4種類に整理し、秩序の選択に影響する排水方法の検討や配や部材の配置方法などの検討課題と、選択された幾何学的秩序の関わりを観察した。

幾何学的秩序の利用方法

1. 連続利用
2. 転換利用
3. 全体併用利用
 - (1) 検討課題の違いに応じた記述方法の相違
 - (2) 検討課題に応じた記述方法の創出
 - (3) 複数の記述方法が成立する秩序
4. 一部併用利用
 - (4) 曲面の一部とその他の部分での記述方法の切替

また、すべての対象作品例において造形段階の平面の原理と建設段階の部材配置の原理が同じ幾何学的秩序で記述されていることから、段階相互に幾何学的秩序の選択要因になっていると思われることが指摘できた。

さらに、構造別に幾何学的秩序の選択にみられる相違を考察し、曲面形態決定の要因として重要であると思われる曲率や勾配を指標として分析した。(表 4.1.3-3、表 4.1.3-4) その中で、水勾配の決定と施

工方法に関わる幾何学的秩序の決定には、構造上の適用できる曲率や勾配の範囲などという特性が要因となっていることを指摘した。

年代別の比較では、構造解析技術の発展と形態の幾何学的秩序の変遷みて（表 4.1.4.-1）、過去の作品との違いを指摘した。

このことから、幾何学的秩序は記述方法の中で自覚的に転換されながら、様々な課題の解決に役立っていることが分かった。

5.2 今後の展開

本論では、比較的大きな規模の公共建築作品を取り上げたが、住宅規模、またはより大きな規模の建築作品を比較することで、曲率の相違や曲面の凹凸に適用する幾何学的秩序の違いがみられる可能性がある。例えば図 5.2.-1 のように、ある直線や曲線を基準として放射状に直線と曲線が入り混じったグリッドや、従来使われてきた合理的力学形状の幾何学と新たな幾何学との組み合わせなど、直線・曲線・図形を組み合わせる複雑な曲面形態を記述する秩序が考えられる。

今後は、作品例を増やし、他の構造とも比較することで、曲面形状とその与条件に有用である様々な幾何学的秩序と幾何学的秩序を適用して記述する方法を示せるだろう。さらに、CAD システムのアルゴリズムとして様々な秩序を組み込むことで、検討課題に応じて形態の記述方法を変換することができようになる。今後本論が、より秩序の選択や形態創生の幅の広がりにも貢献することを期待したい。

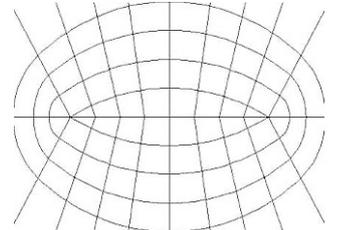


図5.2.-1

- ・ エドゥアルド・トロハ：エドゥアルド・トロハの構造デザイン，相模書房，2002年9月
- ・ 建築構造設計シリーズ編集委員会：建築構造設計シリーズ5 大スパン建築，丸善株式会社，1974
- ・ 斉藤公男：空間 構造 物語 ストラクチュラル・デザインのゆくえ，株式会社彰国社，2006(初版2003)
- ・ 伊東豊雄展実行委員会：伊東豊雄 建築 | 新しいリアル，天山舎，2006
- ・ 新建築 2005年9月号，株式会社 新建築社
- ・ 新建築 2006年5月号，株式会社 新建築社
- ・ 新建築 2006年7号，株式会社 新建築社
- ・ 新建築 2010年7月号，株式会社 新建築社
- ・ 新建築 2010年9月号，株式会社 新建築社
- ・ 近代建築 2005年10月号，株式会社 近代建築社
- ・ 建築技術No. 671，2005年12月号，株式会社建築技術
- ・ 建築技術No. 709，2009年2月号，株式会社建築技術
- ・ 日経アーキテクチュア 2010年6月号，経BP社
- ・ 日経アーキテクチュア 2006年7月号，日経BP社
- ・ 日経アーキテクチュア 2006年10月号，日経BP社
- ・ GA JAPAN 105，2010年7月号，ADA
- ・ GA JAPAN 106，2010年9月号，ADA
- ・ GA JAPAN 107，2010年11月号，ADA
- ・ GA JAPAN 108，2011年1月号，ADA

建築設計における幾何学的秩序の造形的利用とその新技法の発展に関する研究

曲面屋根をもった2000年以降の日本人建築家の作品を対象として

On the Techniques and their Recent Developments of Geometric Orders Employed to Organize the Building Form in Architectural Design Through the Analysis on the Examples Featuring Curved Roof Designed by Japanese Architects after 2000

三重大学工学研究科建築学専攻 岡田 響子

409M403@m.mie.u-ac.jp、(指導教員：富岡義人) tomioka@arch.mie-u.ac.jp

第 1 章 序論

1. 1 研究の目的

本研究の目的は、

- ・ 建築物の設計から建設に至る幾何学的秩序の利用方法を整理すること。
- ・ 幾何学的秩序の利用方法にみられる新しい技法の発展を観察すること。

1. 2 研究の背景

本研究の背景にあるのは、近年自由曲面と言われるような曲面形態をもった建築物の登場である。一般に”自由曲面”と言われているが、実際に建設する過程では、幾何学的に正確に記述されていなければならない。実際に、コンピューターによる図形操作や構造解析に伴って、伝統的な三次元グリッドを超える幾何学的記述方法が頻繁に用いられるようになっていく。

本研究は、こうした新しい技法に用いられる幾何学的秩序の選択と適用にどのような発展があったのか整理しようとするものである。

1. 3 研究の方法

まず、研究は5章からなる。(図1.3.-1)

第1章は序論として、目的・背景・方法を述べる。

第2章では、建築物の形態的記述に用いられる幾何学的秩序を整理し、それぞれの特徴を述べる。

第3章では、対象とする作品を分析する。幾何学的秩序は、設計から建設に至る各段階で異なるもの

が採用されることが考えられる。そのため、各作品を掲載雑誌などの文献をもとに、概要・造形段階・解析段階・建設段階の4つの作品分析表に分析する。(分析表例：表1.3-1、表1.3-2)

第4章では、第3章の各作品分析を総覧する。選択された幾何学的秩序の利用方法を整理し、どういった場合にどの幾何学的秩序が選択されるのか、各事例を観察する。

第5章で結論をまとめる。



図1.3.-1

表1.3.-1
建物概要

表1.3.-2
造形・解析・建設段階

伊東豊雄 住+事務所 アイトワンシティ中津公園 中津編 2006年12月完成	伊東豊雄 住+事務所 アイトワンシティ中津公園 中津編 2006年12月完成
基本的な建物概要 ①	造形・解析・建設段階 幾何学的秩序の利用方法の分析
	使用された幾何学的秩序の詳細
	幾何学的秩序の推定選定理由と根拠となる言説 ②~④

第 2 章 幾何学的秩序の整理

伝統的な三次元グリッドを超える幾何学的秩序を

8種類に分けて分析に利用することとした。以下にそれぞれの名称と特徴を示す。

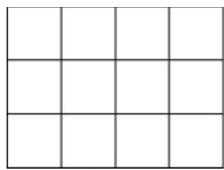


図2.-1

a 水平直交グリッド

- ・ グリッドに沿って部材を配置できる

→線状の部材に有用

- ・ 交点→高さの基準点
 - ・ グリッド→断面線の基準
- } 建設時に利用

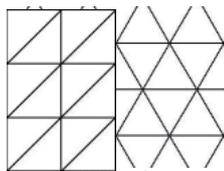


図2.-2

b 均質な三角形パターン

- ・ 水平直交グリッドより勾配の角度や方向に沿って表記しやすい

→勾配の急な面要素への対応

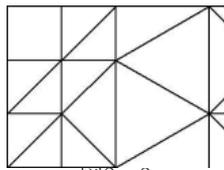


図2.-3

c 不均質な三角形パターン

- ・ 均質な三角形パターンより複雑なパターンとなる

→より急な勾配や複雑な面要素にも対応

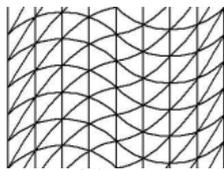


図2.-4

d 曲面に沿う三角形メッシュ

- ・ 水平投影面での規則性はなく、曲面に沿う三角形で記述

→曲面に沿ってネット状の型枠や配筋を配置する際に有用

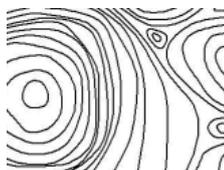


図2.-5

e 等高線

- ・ 図面上で曲面形状の膨らみが目視しやすい

- ・ 水の流れが等高線と直交する

→水勾配の検討に有用

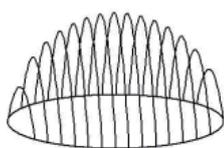


図2.-6

f 断面線

- ・ 一定方向の断面形状で記述

→断面に沿って線状の部材を配置できる

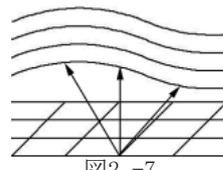


図2.-7

g 極座標

- ・ ある点からの距離と方向（ベクトル）によって記述

→放射状に部材を配置するなど特殊な構造に有用

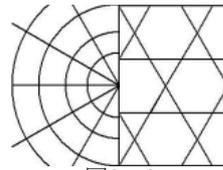


図2.-8

h その他

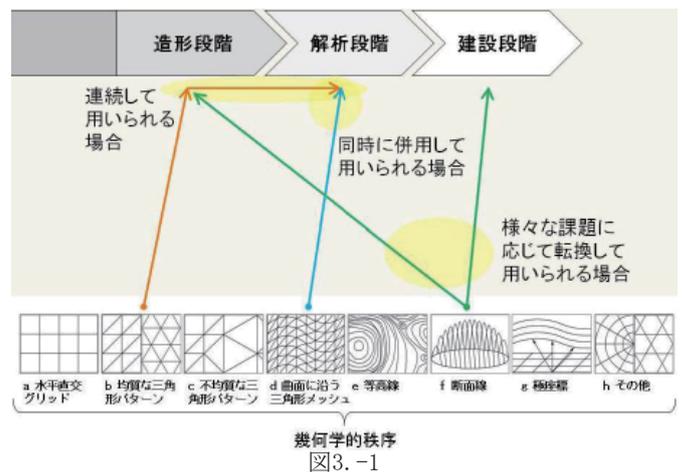
- ・ a ~ g 以外の幾何学的秩序

→例:六角形と三角形によるパターン、放射線状

※ただし、a ~ d は同じ秩序を示している場合があるが、検討内容に応じて記述方法の捉え方が変わるため分けた。

第3章

作品分析では幾何学的秩序は段階的に違うものを選択されることが考えられるので、建築物の設計から建設に至る段階を造形段階、解析段階、建設段階の3段階に分けて分析を行う。幾何学的秩序を利用する方法として、例えば、段階的に連続して用いられる場合や複数の秩序を併用する場合などが考えられる。(図3.-1)



分析にあたって、対象作品一覧を記す。

1. 伊東豊雄 佐々木睦朗：アイランドシティ中央公園 中核施設 ぐりんぐりん (2005)
2. 磯崎新, 他 佐々木睦朗：北方町生涯学習セン

ターきりり (2005)

3. 伊東豊雄 佐々木睦朗: 瞑想の森市営斎場 (2006)
4. 西沢立衛 佐々木睦朗: 豊島美術館 (2010)
5. 日本設計 斎藤公男: 山口県立きららスポーツ公園多目的ドーム (2001)
6. SANAA 佐々木睦朗: ローザンヌ連邦工科大学 (PEFL) ロレックス・ラーニングセンター (2009)
7. 坂茂 Ove Arup & Partners: ポンピドー・センター・メス (2010)

尚、()内の数字は竣工年、構造種別はRC造:(1. 2. 3. 4.) S造:(5. 6.) 木造:(7.)である。

3.1 作品分析

まず、作品ごとに3段階においてそれぞれどんな幾何学的秩序が用いられたのか、図面の観察や設計者の言説から読み取り表にまとめる。作品分析例をぐりんぐりん (2005) で示す。

建物概要の分析表(表3.1.-1)より。RC造、最高高9.35m、全長約190m、最大スパン約45mなどの曲面屋根面に関わる概要を記述している。

表3.1.-1 建物概要

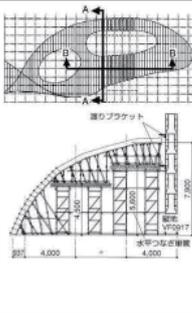
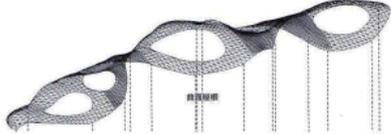
1	伊東豊雄 佐々木睦朗(構造): アイランドシティ中央公園 中核施設 ぐりんぐりん(2005)
建物概要	 <ul style="list-style-type: none"> ・ RC造、一部S造、地上1階 ・ 建築面積5,162.07㎡<曲面屋根面積 ・ 軒高8.95m、最高高9.35m ・ 建物全長約190m、最大スパン約45m ・ エキスパンションなしで連続する4点支持RCスラブが基本となっている。(スラブ厚400mm)

○造形段階の分析表(表3.1.-2)より。

文献から得られた基本情報→幾何学的秩序の抽出

- ・ 高さの基準点の検討:
水平直交グリッド・等高線
→グリッドと等高線の交点を高さの基準点としている。
- ・ 曲面形態の検討: 均質な三角形パターン
推定される幾何学的秩序の選定理由と言説
一枚のスラブとして構造を成り立たせたい
というように、課題に応じた秩序の選択が分かる。

表3.1.-2 造形段階

1	伊東豊雄 佐々木睦朗: アイランドシティ中央公園 中核施設 ぐりんぐりん(2005)	
基本情報	 <ul style="list-style-type: none"> ・ 高さの基準点→平面投影図上のパネル割り線(短手方向の1m間隔1方向グリッド→水平直交グリッド)と1mごとの等高線の交点によって規定される。 ・ 曲面形態→30度以下(以上は壁とみなす)人が歩くことを考慮しているため屋根部は比較的緩い勾配。端部や斜面に水切りがある。均質な三角形パターンで表記され、曲率が大きい部分は半分に分割されている。 	
		
造形段階	使用された幾何学的秩序	
	高さの基準点の検討	曲面形態の検討
	a グリッド e 等高線	b 均質三角形
	推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選定理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する言説
分析	<ul style="list-style-type: none"> ・ 一枚のスラブの旋回として滑らかに記述するという意匠側の要求に沿うために、等高線と短手方向1m間隔パネル割線の交点を高さの規定することで、極力曲面の凹凸をなくすためだと思われる 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 一枚の紙やステンレスメッシュを曲げていくという非常にシンプルなスタディでありながら、それ自体が構造であり仕上げであった。(篠崎弘之: 建築技術, P.70, 2005.12)

○解析段階の分析表(表3.1.-3)より。

文献から得られた基本情報→幾何学的秩序の抽出

- ・ 曲面形態の検討:
均質な三角形パターン・断面線
→三角形の交点を繋いで断面線とし、隣り合う断面線の莫藪を小さくしていくことで滑らかな曲面の記述を試みている。

推定される幾何学的秩序の選定理由と言説

ポリゴンの頂点から断面線を得る→三角形の板モデルとしてひねりのある形状を合理的に解析したい

○建設段階の分析表(表3.1.-4)より。

文献から得られた基本情報→幾何学的秩序の抽出

- ・ 型枠の検討: 断面線→パネル割
- ・ 配筋の原検討: 水平直径グリッド
推定される幾何学的秩序の選定理由と言説
幾何学的秩序に沿って部材を滑らかに配置したい
断面線→型枠栈木(ただし、勾配30度以上は壁として扱い、トラスウォール工法のメッシュ型枠である。)
水平直交グリッド→配筋(全体座標軸に沿って)

表3.1.-3 解析段階

基本情報	1 伊東豊雄 佐々木睦朗：アイランドシティ中央公園 中核施設 ぐりんぐりん(2005)	
	 <ul style="list-style-type: none"> 解析方法→三角形の板モデルであると思われる。形態解析：感度解析法(最適化して大よその形を検討) 構造解析：三次元有限要素法(力学性能の確認) 曲面形態→一辺1~2mからなる均質な三角形パターンによるポリゴン(多角形)で、断面線の基準ともなっている。隣り合う断面線の誤差を修正し、滑らかな曲面を記述している。 <p>鉛直変位を変化させて最適な形状を求める。</p>	
解析段階	使用された幾何学的秩序	
	曲面形態の検討 b 均質三角形 f 断面線	
分析	推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する書説
	<p>ポリゴンの頂点から断面線を得ることで、三角形の板モデルとしてひねりのある形状を合理的に解析するためであると思われる</p> <p>スタディの結果、形態解析手法を用いる方法が、より効果的であることが確認され、意匠側が求める初期形状のイメージを損なわずに、構造的にも合理性をもった、バランスのよい形態を求めることが可能となった。</p> <p>(佐々木睦朗、寺戸竜美：建築技術 P.72 2005.12)</p> <p>建物形状を示す厚みのない多面体のポリゴンデータから、いかに滑らかな曲面にするかが課題となる。まず、解析モデルの平面要素を中心に真側へ厚みを与えて厚さ400mmの多面体を作成し、厚みを与えることによって生じた交点のずれは1店1店平均値を算出し、すべての点(約4,800点)を作図した。その点が型枠面の基準となり、面を重ねて置くことで型枠面の基準となる曲面を作図した。</p> <p>(村中孝司/竹中工務店：建築技術, PP.78-79, 2005.12)</p>	

表3.1.-4 建設段階

基本情報	1 伊東豊雄 佐々木睦朗：アイランドシティ中央公園 中核施設 ぐりんぐりん(2005)	
	 <ul style="list-style-type: none"> 型枠(パネル割)→短手方向 1m 間隔の断面線に沿って曲げ加工された法木を並べ、その上に 200mm x 1000mm のベニヤ板を張る。曲率が大きい箇所は工場製作型枠。 配筋→水平直交グリッド(複雑な曲線部は曲面に対して放射円周方向に配置)。主筋 D13、D16、配筋間隔 150mm (部分的に 75mm) 工法→屋根部分(勾配 30 度以下)はなじませ工法(室外側型枠なし)、壁部分(勾配 30 度以上)はメッシュ型枠。 生産技術(性能)→27N-18-20、高性能 AE 減水剤、ひび割れ収縮低減剤、塗布型新養生剤使用。 	
建設段階	使用された幾何学的秩序	
	型枠の検討 f 断面線	配筋の検討 a グリッド
分析	推定される曲面形状の決定過程に使用された幾何学的秩序の選択理由	幾何学的秩序の決定の理由に関する書説
	<p>断面線に沿って基準となる曲げ加工した線状部材(法木)を配置するためだと思われる</p> <p>グリッドに沿って線状部材(配筋)を組みやすいため</p> <p>曲がりの緩やかなシェル部分の配筋は、D16@150(Ø75)であったため、直筋を曲面になじませて配筋した。</p> <p>(村中孝司/竹中工務店：建築技術 P.80 2005.12)</p> <p>⇒e</p> <p>曲面形状が複雑な部分を除いては、全体座標軸を基準とした方向に配筋を行うようにして、作業性・施工性に対する配慮も行っている。</p> <p>(寺戸竜美：近代建築, P.58, 2005.10)</p> <p>⇒a</p>	

第4章 作品分析

作品分析をもとに、段階的に幾何学的秩序の利用方法をみるため、各作品ごとに3段階で用いられた幾何学的秩序をまとめる。(表4.-1、表4.-2)

表4.-1 ぐりんぐりんの作品分析表

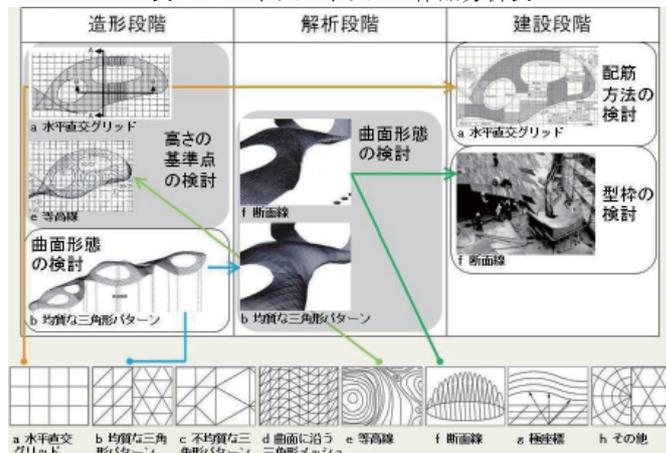
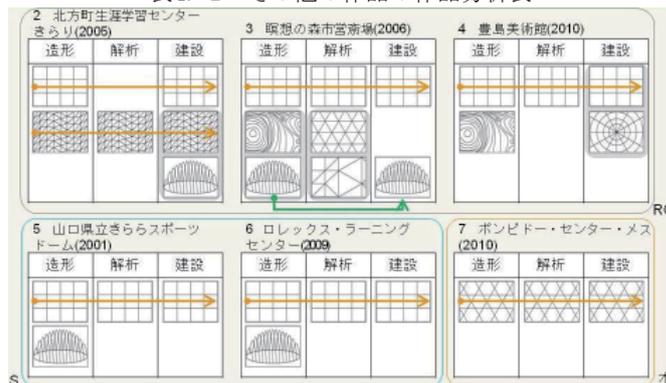


表4.-2 その他の作品の作品分析表



作品分析表を総覧すると、すべての対象作品で、水平投影面の秩序は、造形段階から建設段階に至るまで連続的に用いられている。このことから、造形段階の形態を記述する際に建設段階の秩序を想定していることが考えられる。

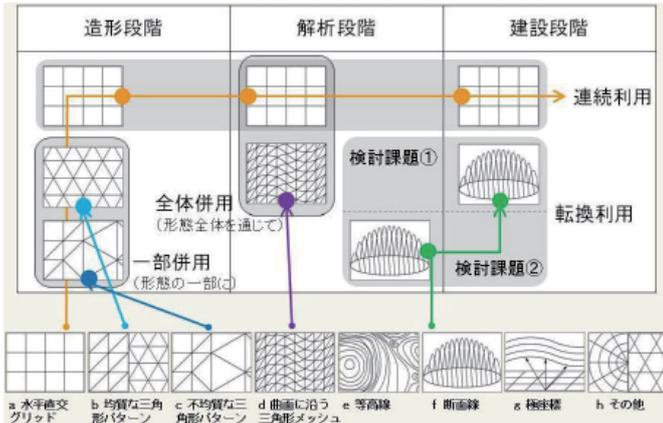
また、造形段階と建設段階の高さの基準点の検討の際には、水平直交グリッドの交点とする記述方法などがみられ、曲面形態の幾何学的記述には、RC造では三角形のパターンで記述する例がみられた。このことからRC造では、伝統的な三次元グリッドを基本としながら、三角形などの複雑なパターンと組み合わせて記述していることが分かる。

そこで、RC造の作品分析にみられた幾何学的秩序を併用する方法など、秩序の利用方法を整理する。

4.1 幾何学的秩序の併用方法

秩序の併用方法は、4方法考えられた。表4.1.-1に例を示す。

表4.1.-1 幾何学的秩序の併用方法例



連続利用は、2つ以上の段階で、同じ幾何学的秩序を連続して利用する方法である。

例えば、水平直交グリッドが造形段階から建設段階まで水平投影面の検討として段階的に用いられた利用方法が当てはまる。

転換利用は、同じ秩序を異なる検討課題に転換して用いる方法である。

例えば、ぐりんぐりんにおける断面線の秩序は、解析段階で、曲面形態の記述に応じるための方法として用いられているが、建設段階では型枠の検討に応じるための方法として転換して用いられている。

全体併用利用は、ある段階における曲面形態の記述方法として、複数の秩序を形態全体を通じて併用して利用する方法である。

一部併用利用は、ある段階における曲面形態の一部の記述方法に、複数の秩序を併用して利用するものである。

併用方法を詳しく分析すると、全体併用は3つの方法に分けて整理することができた。それぞれの方

法について名称と例を示す。

(1) 検討課題の違いに応じた記述方法の相違

例：瞑想の森の造形段階

e 等高線→水勾配の検討

f 断面線→高さの基準点の検討

曲面形態の記述のため、複数の課題から秩序を組み合わせて記述することで解決している。

(2) 検討課題に応じた記述方法の創出

例：ぐりんぐりんの造形段階

図4.1.-1 a 水平直交グリッドと e 等高線の交点 →高さの基準点の検討

高さの基準点を記述するために a 水平直交グリッドと e 等高線を組み合わせ、新たな秩序を創出して解決している。

(3) 複数の記述方法が成立する秩序

例：ぐりんぐりんの解析段階

図4.1.-3 b 均質な三角形パターンの多角形の交点を繋いだ曲線 = f 断面線

均質な正三角形からできた多角形の交点を繋いだ曲線が断面線となり、両方の記述方法が成立する秩序となっている。

また、一部併用利用では、曲面の一部とその他の部分での記述方法の切替がみられた。

(4) 曲面の一部とその他の部分での記述方法の切替

例：瞑想の森の解析段階

図4.1.-2 b 均質な三角形パターン→曲率緩い c 不均質な三角形パターン→曲率急

曲率の急な個所のみを不均質な三角形パターンで記述している。

対象とする作品の中の他の事例も含め、幾何学的秩序の併用方法がみられた作品についてどの併用方法が適用されたかを検証し、一覧として示す。(表4.1.-2)

表4.1.-2 幾何学的秩序の併用方法を用いた作品一覧

1 アイランドシティ中央公園 中核施設 ぐりんぐりん(2005)			2 北方町生涯学習センター きらり(2005)		
造形	解析	建設	造形	解析	建設
3 瞑想の森市営斎場(2006)			4 豊島美術館(2010)		
造形	解析	建設	造形	解析	建設

北方町生涯学習センターきらりの建設段階における型枠の検討では、断面線に沿って基準となる曲げ加工した線状部材とメッシュ筋および曲面加工されたトラス鉄筋を型枠としている。豊島美術館の建設段階における配筋の検討は、土型枠の基準となっている水平直交グリッドの交点に打たれた杭の位置を基とし、曲面形態が湾曲した個所は放射線状にユニット化されたメッシュ筋を配置している。

4.2 幾何学的秩序の選択

曲面形態の記述に関する幾何学的秩序の選択には、排水のための勾配や施工方法の検討課題が関与していると思われた。言説の中にも、

- ・ ぐりんぐりんの解析段階の言説

「曲がりの緩やかなシェル部分の配筋は、D16@150 (@75)であったため、直筋を曲面になじませて配筋した。」*4.2.-1

- ・ 豊島美術館解析段階の言説

「曲面がぐねぐねしていたら難しいでしょうが、今回は平べったくて緩い傾斜のドーム状の形状なの

で、ユニット化したカーブのないパネルでも対応できるんじゃないかと。」*4.2.-2

- ・ 作品番号6 ロレックス・ラーニングセンター
「シェルの形状と平行に緩やかにうねる屋根は、3.0mごとに架けた小梁によって追従させるものとした。」*4.2.-3

- ・ 作品番号3 瞑想の森の造形段階

「庇先端の納まりについては、特に雨樋や水切りを設けていないため、確実に屋根凹部のドレインに集水できるように庇先端の角度を若干上向きに微調整し、散水実験なども行いながら水勾配チェックを重ねた。」*4.2.-4

とあるように、曲面形態の決定には集水方法と水勾配が影響を与えることが考えられる。

そこで、断面図から算定した推定最大勾配を指標とし、排水方法や、部材配置などの施工方法で選択した幾何学的秩序の違いを比較した。(表4.2.-1) 推定最大勾配は、推定最大勾配を含むと考えられる断面図から勾配の大きい個所を探し、図中に曲面に沿った三角形を記述し、三角形の垂直な辺を1000mmまで拡大して1mで三角形の水平な辺を割って算定した。(ぐりんぐりんでの算定例：図4.2.-1)



図4.2.-1

表4.2.-1から分かることを記す。

- ・ 勾配の緩やかな左の4事例は、曲面形態の記述と部材の配置に水平直交グリッドを用いている。配筋に用いる鉄筋や、H形鋼をグリッドに合わせて曲面に沿わせながら施工できるためだと思われる。
- ・ 推定最大勾配が大きい事例の配筋は、鉄筋の長さを短くし、水平直交グリッドのメッシュ筋としてトラスウォールのピースに分割する工夫がされて

いる。

- ・ ぐりんぐりん、瞑想の森では、三角形パターンを用いられているが、短冊状のベニヤ板を曲面に沿って複雑に傾斜させながら型枠が組まれるため、曲面を細かく分割した面要素としての検討が必要であったと思われる。
- ・ 北方町のきりりは三角形メッシュのトラス筋による型枠の秩序が段階的に連続して用いられている。同様に、木造のポンピドー・センター・メスは集成材の薄板を重ねて編んだ編構造の秩序が段階的に連続して用いられている。ただし、ポンピドー・センター・メスでは、カゴメ格子と呼ばれる正三角形パターンを正六角形と正三角形のパターンに変形した秩序が用いられた特殊な例である。

- ・ 排水方法の違いでは、屋根端部で水切りする場合は、水平直交グリッドが基準となっている、
- ・ 屋根内で柱の中などに排水する場合は、曲面に凹凸が多く、三角形パターンなどの複雑な幾何学的秩序が選択されている。凹凸の変化に可変性のある鉄筋コンクリート造と、線状部材である鉄骨での性能と施工方法の違いが秩序の選択に影響していると思われる。

以上の考察から、新しい技法のなかで、幾何学的秩序は記述方法の中で自覚的に転換されながら、様々な検討の解決に役立っていることが観察された。

表4.2-1

	6. ロレックス・ラベリングセンター (2009)	1. ぐりんぐりん (2005) 屋根部	3. 瞑想の森市営斎場 (2006)	5. 山口県立きららスポーツ公園多目的ドーム (2001)	4. 豊島美術館 (2010)	2. 北方町生涯学習センターきりり (2005)	7. ポンピドー・センター・メス (2009)
推定最大勾配 (1/m)	1/4.94	1/2.56	1/2.12	1/1.16	1/0.89	1/0.78	1/0.49
排水方法	端部水切り	曲面途中の屋根部と壁面部の境界部で水切り	柱内ドレイン	端部水切り	端部水切り	端部樋とライトウェル(中空柱)内へ集中排水	端部水切りと中空柱内へ集中排水 屋根面内の中空内に水を流す
曲面形態を記述する幾何学的秩序	水平直交グリッドと断面線	均質な三角形パターンと等高線 三角形を含む幾何学的秩序で記述	均質な三角形パターンと不均質な三角形パターンの組み合わせ	水平直交グリッドと断面線に沿うパラボラ曲線	水平直交グリッドと等高線	曲面に沿う三角形メッシュ	規則的な六角形と三角形のパターン 三角形を含む幾何学的秩序で記述
部材配置の幾何学的秩序	水平直交グリッド	断面線	断面線	水平直交グリッド	水平直交グリッド	断面線と曲面に沿った三角形メッシュのトラス筋とメッシュ筋	規則的な六角形と三角形のパターン
配筋の幾何学的秩序		水平直交グリッド	水平直交グリッド	水平直交グリッドと放射状のメッシュ筋	水平直交グリッド	水平直交グリッド	部材単位をメッシュ筋の小さいピースに分割し、曲面に沿わせる
構造	S	RC	RC	S	RC	RC	木

第5章 結論

5.1 結論

- ・ 建築物の形態的記述に用いられる8種類の幾何学的秩序を整理し、それぞれの特徴や用いられる用途を示した。

8種類の幾何学的秩序

- a 水平直交グリッド
 - b 均質な三角形パターン
 - c 不均質な三角形パターン
 - d 曲面に沿う三角形メッシュ
 - e 等高線
 - f 断面線
 - g 極座標
 - h その他
- ・ 幾何学的秩序の利用方法を検討課題に応じて4種類に整理し、秩序の選択に影響する排水方法の検討や配や部材の配置方法などの検討課題と、選択された幾何学的秩序の関わりを観察した。

幾何学的秩序の利用方法

1. 連続利用
2. 転換利用
3. 全体併用利用
 - (1) 検討課題の違いに応じた記述方法の相違
 - (2) 検討課題に応じた記述方法の創出
 - (3) 複数の記述方法が成立する秩序
4. 一部併用利用
 - (4) 曲面の一部とその他の部分での記述方法の切替

5.2 今後の展開

本論で取り扱った幾何学的秩序以外に、直線・曲線・図形を組み合わせや、従来使われてきた合理的力学形状の幾何学との組み合わせが考えられる。本論を新たな秩序の創出に活かせることができればと思う。

参考文献

- ・ エドゥアルド・トロハ：エドゥアルド・トロハの構造デザイン，相模書房，2002年9月
- ・ 建築構造設計シリーズ編集委員会：建築構造設計シリーズ5 大スパン建築，丸善株式会社，1974
- ・ 斉藤公男：空間 構造 物語 ストラクチャル・デザインのゆくえ，株式会社彰国社，2006(初版2003)
- ・ 伊東豊雄展実行委員会：伊東豊雄 建築 | 新しいリアル，天山舎，2006
- ・ 新建築2005年9月号，株式会社 新建築社
- ・ 新建築2006年5月号，株式会社 新建築社
- ・ 新建築2006年7月号，株式会社 新建築社
- ・ 新建築2010年7月号，株式会社 新建築社
- ・ 新建築2010年9月号，株式会社 新建築社
- ・ 近代建築2005年10月号，株式会社 近代建築社
- ・ 建築技術No.671，2005年12月号，株式会社建築技術
- ・ 建築技術No.709，2009年2月号，株式会社建築技術
- ・ 日経アーキテクチュア2010年6月号，経BP社
- ・ 日経アーキテクチュア2006年7月号，日経BP社
- ・ 日経アーキテクチュア2006年10月号，日経BP社
- ・ GA JAPAN 105，2010年7月号，ADA
- ・ GA JAPAN 106，2010年9月号，ADA
- ・ GA JAPAN 107，2010年11月号，ADA
- ・ GA JAPAN 108，2011年1月号，ADA

注

*4.2.-1

村中孝司／竹中工務店：建築技術，P.80，2005.12

*4.2.-2

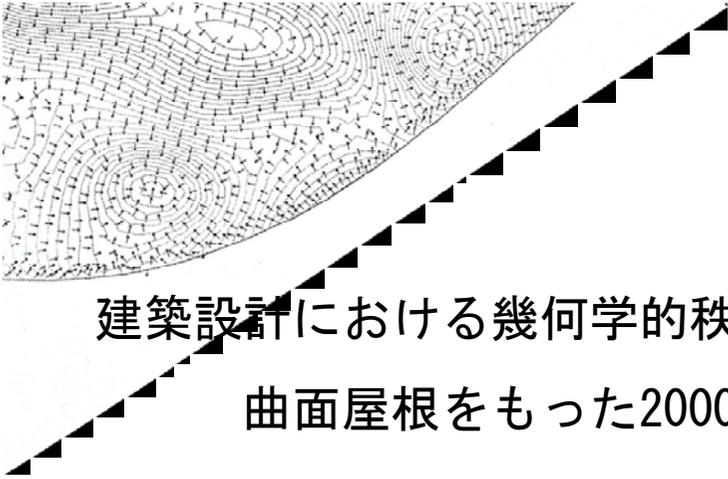
大上光春／鹿島建設：GA105，P.111，2010.07

*4.2.-3

磯崎あゆみ／佐々木睦朗構造計画研究所元所員：建築技術，P.131，2009.02

*4.2.-4

横田歴男／伊東豊雄建築設計事務所：日経アーキテクチュアスペシャル，P.35，2006



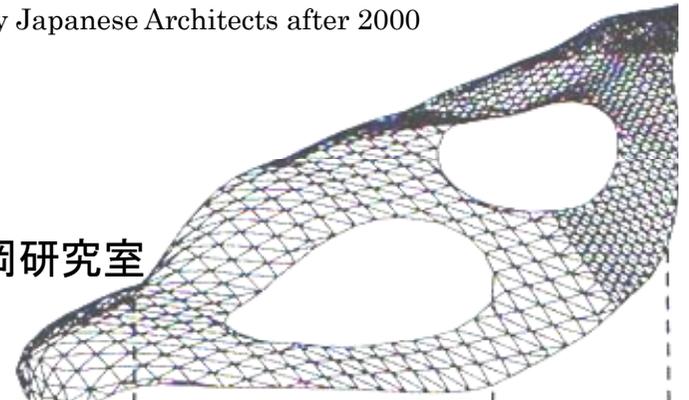
平成22年度修士論文

建築設計における幾何学的秩序の造形的利用とその新技法の発展に関する研究
曲面屋根をもった2000年以降の日本人建築家の作品を対象として

On the Techniques and their Recent Developments of Geometric Orders Employed to Organize the Building Form in Architectural Design
Through the Analysis on the Examples Featuring Curved Roof Designed by Japanese Architects after 2000

三重大学工学研究科建築学専攻 富岡研究室

岡田 響子



目的

- ・ 建築物の設計から建設に至る幾何学的秩序の利用方法を整理すること
- ・ 幾何学的秩序の利用方法にみられる新しい技法の発展を観察すること

研究の流れ

第1章
目的・背景・方法

序論

第2章
建築物の形態的記述に用い
られる
幾何学的秩序の整理

第3章
各作品の分析

分析

第4章
作品分析の総覧・考察

考察

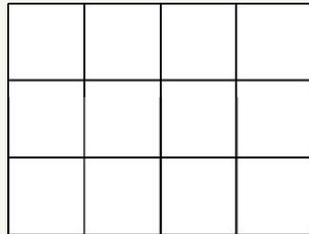
第5章
結論・今後の展開

まとめ

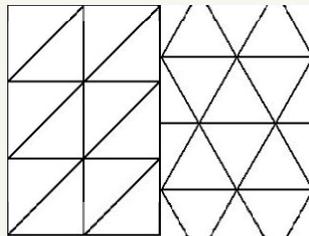
建築物の形態的記述に用いられる幾何学的秩序の整理

幾何学的秩序例

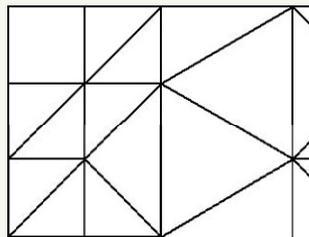
幾何学的秩序の名称と特徴

**a水平直交グリッド**

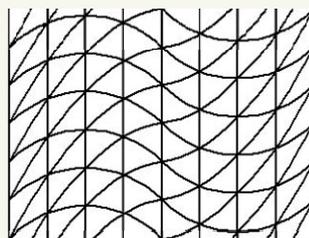
- ・グリッドに沿って部材を配置できる→線状の部材に有用
- ・交点 →高さの基準点
- グリッド→断面線の基準 } 建設時に利用

**b均質な三角形パターン**

- ・水平直交グリッドより勾配の角度や方向に沿って表記しやすい
- 勾配の急な面要素への対応

**c不均質な三角形パターン**

- ・均質な三角形パターンより複雑なパターンとなる
- より急な勾配や複雑な面要素にも対応

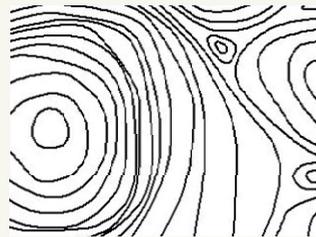
**d曲面に沿う三角形メッシュ**

- ・水平投影面での規則性はなく、曲面に沿う三角形で記述
- 曲面に沿ってネット状の型枠や配筋を配置する際に有用

※ただし、a~dは同じ秩序を示している場合があるが、検討内容に応じて記述方法の捉え方が変わるため分けた。

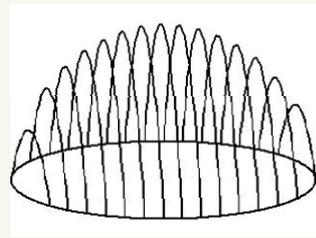
幾何学的秩序例

幾何学的秩序の名称と特徴



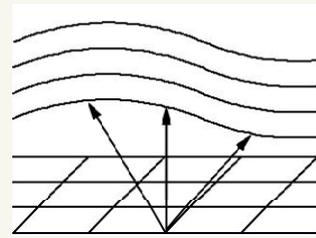
e等高線

- ・ 図面上で曲面形状の膨らみが目視しやすい
- ・ 水の流れが等高線と直交する→水勾配の検討に有用



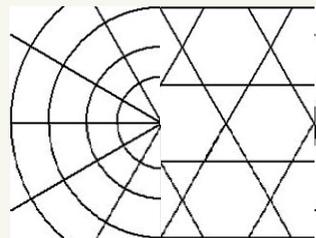
f断面線

- ・ 一定方向の断面形状で記述
→断面に沿って線状の部材を配置できる



g極座標

- ・ ある点からの距離と方向(ベクトル)によって記述
→放射状に部材を配置するなど特殊な構造に有用



hその他

- ・ a~g以外の幾何学的秩序
→例：六角形と三角形によるパターン、放射線状

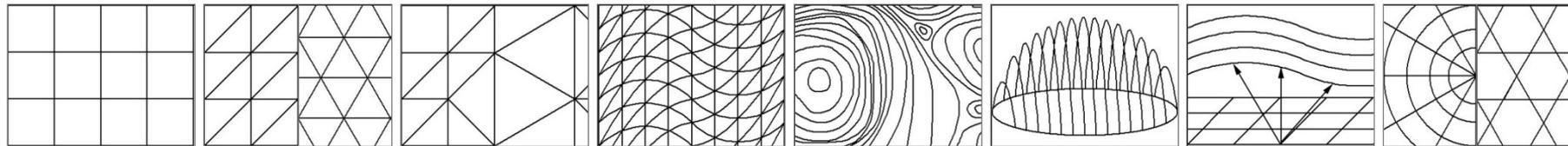
設計から建設に至る段階



連続して
用いられる
場合

同時に併用して
用いられる場合

様々な課題に
応じて転換して
用いられる場合



a 水平直交
グリッド

b 均質な三角
形パターン

c 不均質な三
角形パターン

d 曲面に沿う
三角形メッシュ

e 等高線

f 断面線

g 極座標

h その他

幾何学的秩序

1



伊東豊雄 佐々木睦朗
アイランドシティ中央公園 中核施設
ぐりんぐりん(2005)

2



磯崎新,他 佐々木睦朗
北方町生涯学習センター
きらり(2005)

3



伊東豊雄 佐々木睦朗
瞑想の森市宮齋場
(2006)

4



西沢立衛 佐々木睦朗
豊島美術館(2010)

RC造

5



日本設計 斎藤公男
山口県立きららスポーツ公園多目的ドーム(2001)

6



SANAA 佐々木睦朗
ローザンヌ連邦工科大学(PEFL) ロレックス・ラーニングセンター(2009)

S造

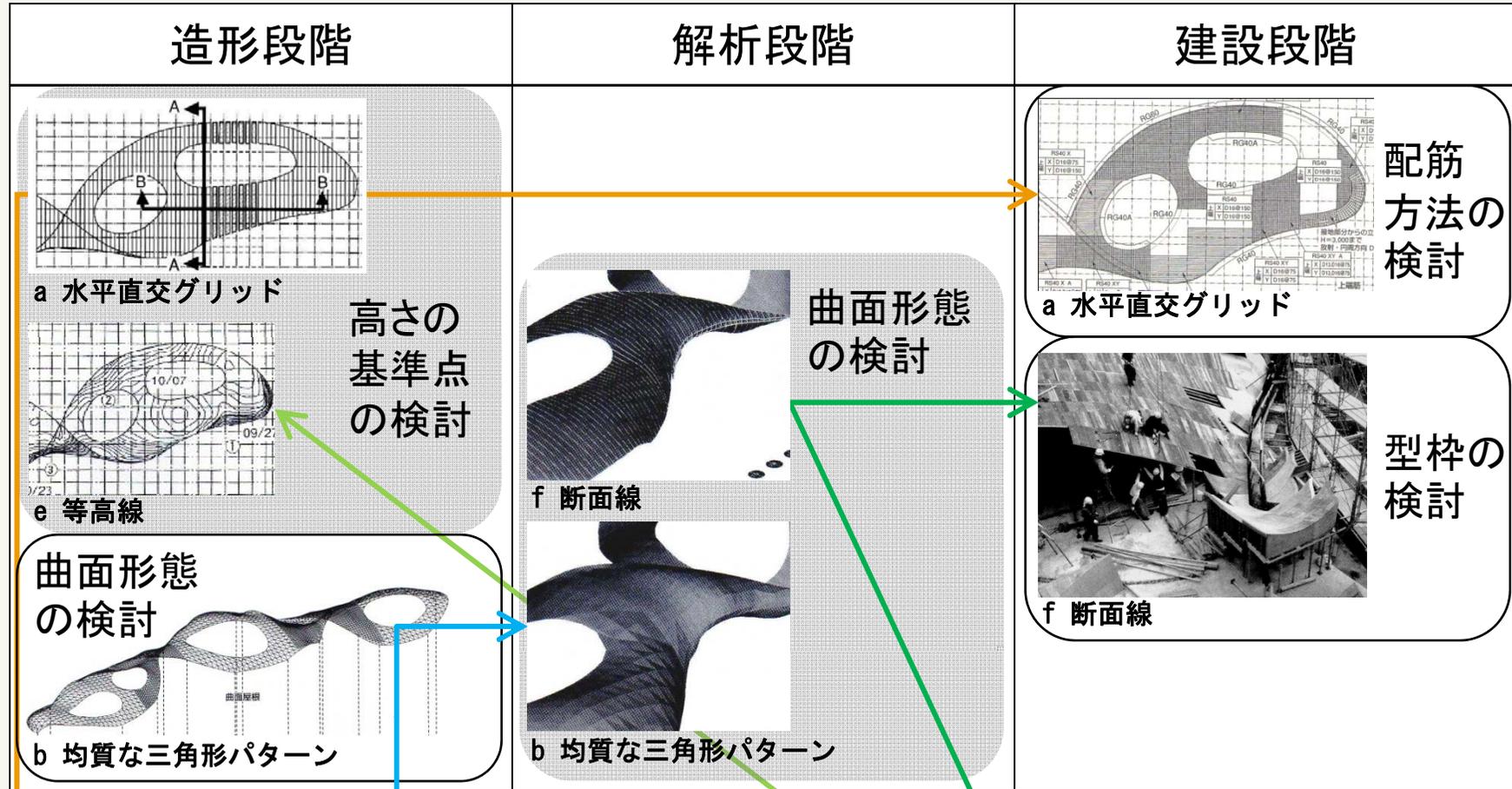
7



坂茂 Ove Arup & Partners
ポンピドー・センター・メス(2010)

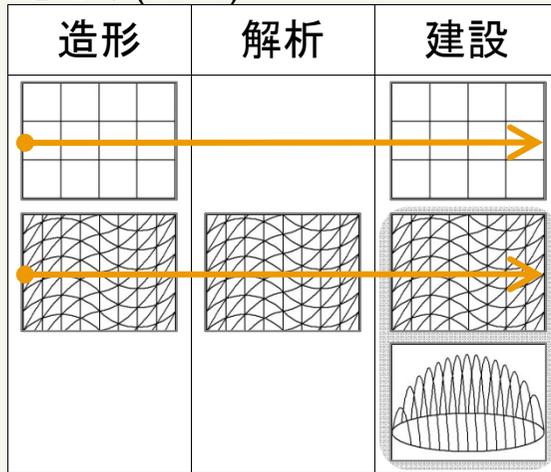
木造

伊東豊雄：ぐりんぐりん(2005)を例として

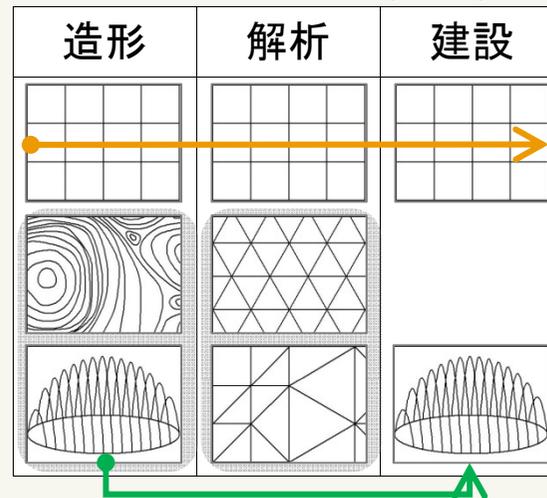


- | | | | | | | | |
|------------|--------------|---------------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | | | | |
| a 水平直交グリッド | b 均質な三角形パターン | c 不均質な三角形パターン | d 曲面に沿う三角形メッシュ | e 等高線 | f 断面線 | g 極座標 | h その他 |

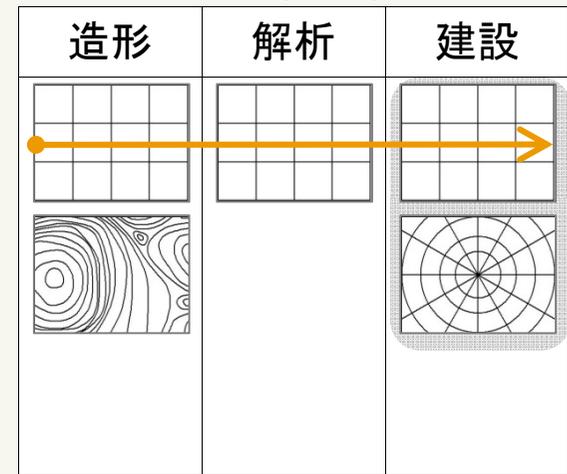
2 北方町生涯学習センター
きらり(2005)



3 瞑想の森市営斎場(2006)

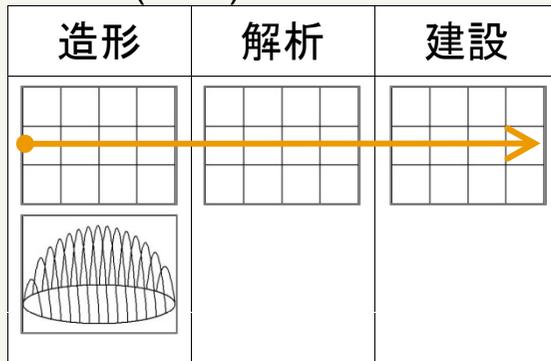


4 豊島美術館(2010)

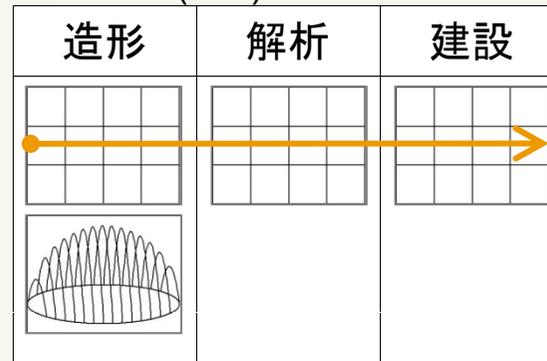


RC

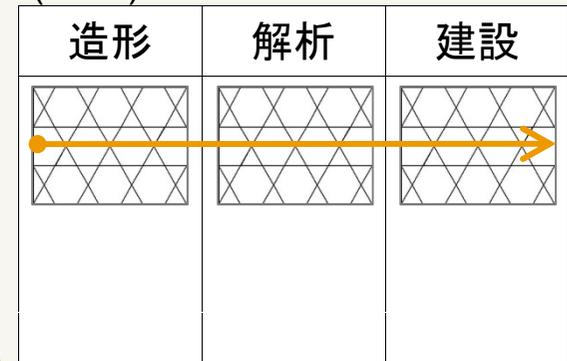
5 山口県立きららスポーツ
ドーム(2001)



6 ロレックス・ラーニング
センター(2009)

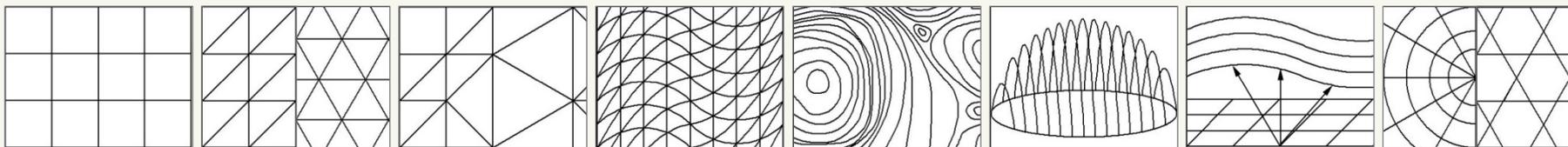


7 ポンピドー・センター・メス
(2010)



木

S



a 水平直交
グリッド

b 均質な三角
形パターン

c 不均質な三
角形パターン

d 曲面に沿う
三角形メッシュ

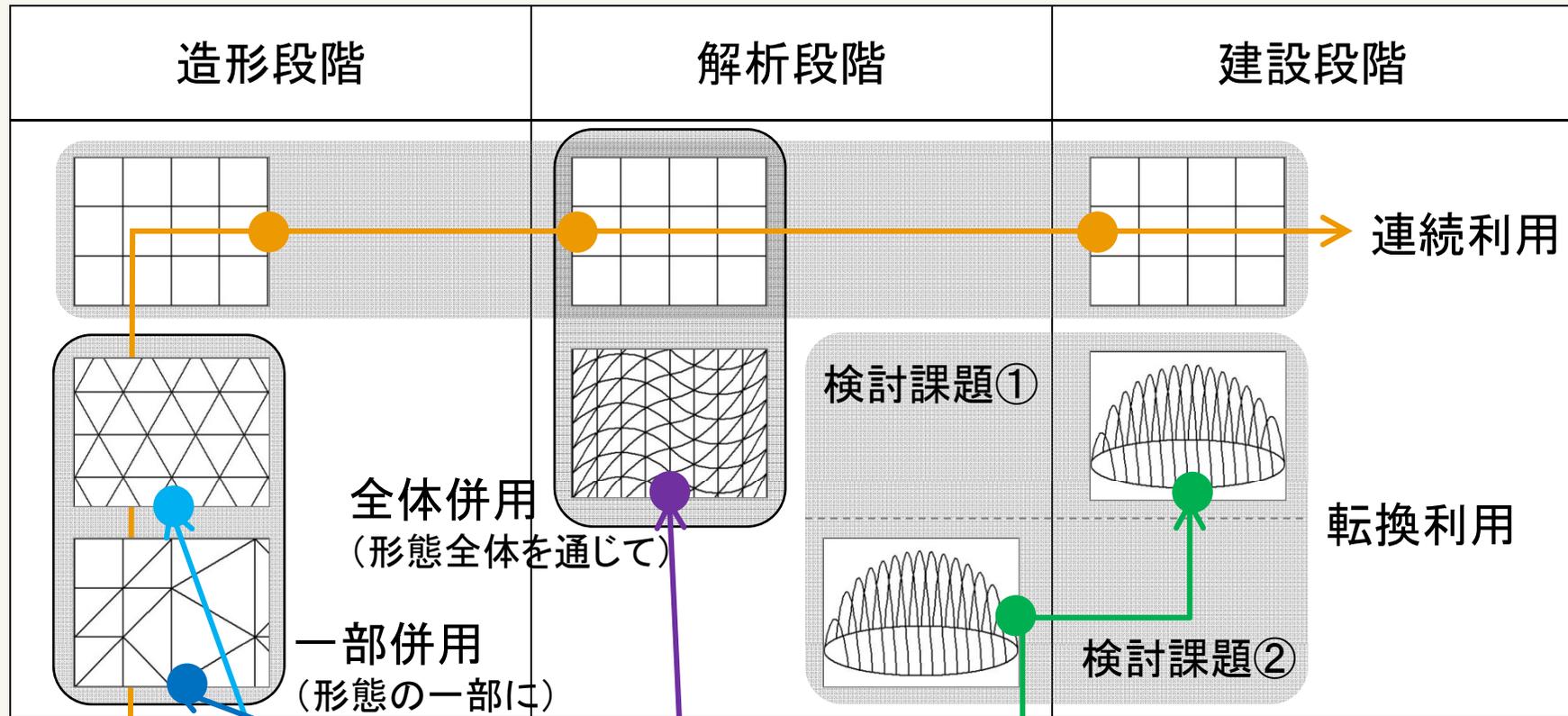
e 等高線

f 断面線

g 極座標

h その他

幾何学的秩序の利用方法の例



- | | | | | | | | |
|------------|--------------|---------------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | | | | |
| a 水平直交グリッド | b 均質な三角形パターン | c 不均質な三角形パターン | d 曲面に沿う三角形メッシュ | e 等高線 | f 断面線 | g 極座標 | h その他 |

幾何学的秩序の併用方法

全体併用利用

(1) 検討課題の違いに応じた記述方法の相違

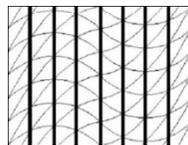
e 等高線→水勾配の検討
f 断面線→高さの基準の検討 } 曲面形態の記述

(2) 検討課題に応じた記述方法の創出

a 水平直交グリッドとe等高線の交点
→高さの基準の検討

(3) 複数の記述方法が成立する秩序

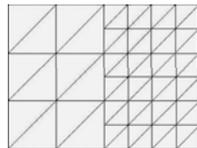
b 均質な三角形の多角形の交点を繋いだ曲線=f 断面線



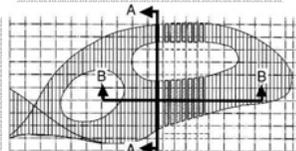
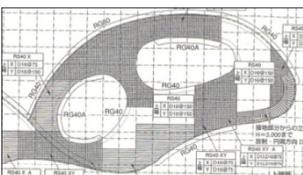
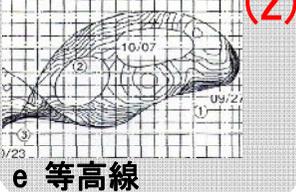
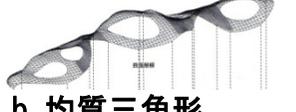
一部併用利用

(4) 曲面の一部とその他の部分での記述方法の切替

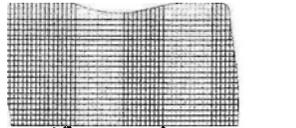
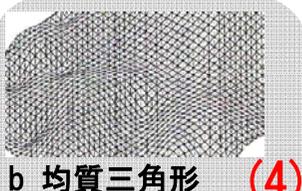
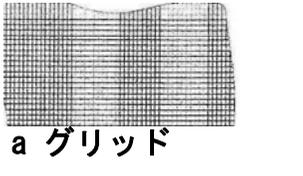
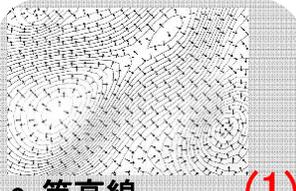
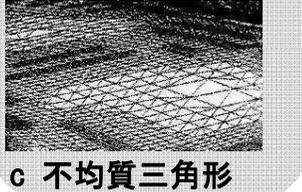
b 均質な三角形→曲率緩い
c 不均質な三角形→曲率急

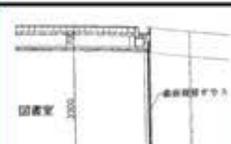
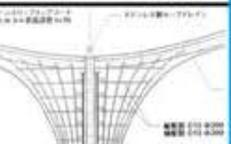
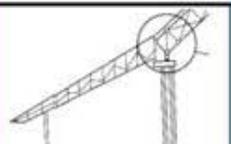
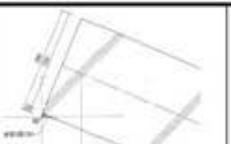
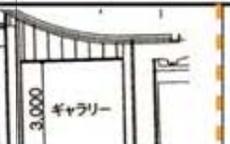
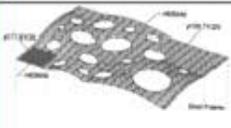
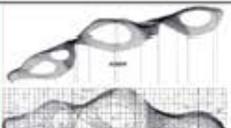
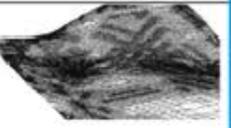
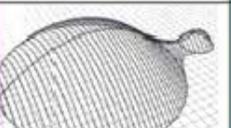
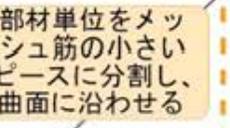


1 ぐりんぐりん(2005)

造形段階	解析段階	建設段階
 <p>a グリッド</p>	 <p>f 断面線</p>	 <p>a グリッド</p>
 <p>e 等高線</p>		
 <p>b 均質三角形</p>	 <p>b 均質三角形</p>	 <p>f 断面線</p>

2 北方町生涯学習センターきらり(2005)

造形段階	解析段階	建設段階
 <p>a グリッド</p>	 <p>b 均質三角形</p>	 <p>a グリッド</p>
 <p>e 等高線</p>		
 <p>f 断面線</p>	 <p>c 不均質三角形</p>	 <p>f 断面線</p>

	6. ロレックス・ラーニングセンター (2009)	1. ぐりんぐりん (2005) 屋根部	3. 瞑想の森市営斎場 (2006)	5. 山口県立きららスポーツ公園多目的ドーム (2001)	4. 豊島美術館 (2010)	2. 北方町生涯学習センターきらり (2005)	7. ボンビドー・センター・メス (2009)
推定最大勾配 (1m/m)	 1 / 4.94	 1 / 2.56	 1 / 2.12	 1 / 1.16	 1 / 0.89	 1 / 0.78	 1 / 0.49
排水方法	 端部水切り	 曲面途中の屋根部と壁面部の境界部で水切り	 柱内ドレイン	 端部水切り	 端部水切り	 端部樋とライトウェル	 端部水切りと中空柱内へ集中排水
曲面形態を記述する幾何学的秩序	 水平直交グリッドと断面線	 均質三角形パターンと等高線 三角形を含む幾何学的秩序で記述	 均質な三角形パターンと不均質な三角形パターンの組み合わせ	 水平直交グリッドと断面線に沿うパラボラ曲線	 水平直交グリッドと等高線	 曲面に沿う三角形メッシュ	 規則的な六角形と三角形のパターン 三角形を含む幾何学的秩序で記述
部材配置の幾何学的秩序	 水平直交グリッド	 断面線	 断面線	 水平直交グリッド	 水平直交グリッド	 断面線と曲面に沿った三角形メッシュのトラス筋とメッシュ筋	 規則的な六角形と三角形のパターン
配筋の幾何学的秩序		 水平直交グリッド	 水平直交グリッド		 水平直交グリッドと放射状のメッシュ筋	 水平直交グリッド	 部材単位をメッシュ筋の小さいピースに分割し、曲面に沿わせる
構造	S	RC	RC	S	RC	RC	木

勾配の緩やかな曲面は水平直交グリッドを基準とする

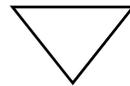
屋根面内の中空内に水を流す

三角形を含む幾何学的秩序で記述

部材単位をメッシュ筋の小さいピースに分割し、曲面に沿わせる

結論

- ・ 建築物の形態的記述に用いられる8種類の幾何学的秩序を整理
- ・ 幾何学的秩序の利用方法は、検討課題に応じて4種類に整理
→それぞれの特徴と、用いられる用途や事例を示す

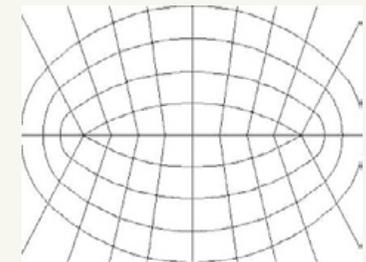


秩序の選択に影響する排水方法の検討や配や部材の配置方法などの
検討課題と、選択された幾何学的秩序の関わりを観察

今後の展開

本論で取り扱った幾何学的秩序の他に、ある直線や曲線を基準として放射状に直線と曲線が入り混じったグリッドや、従来使われてきた合理的力学形状の幾何学と新たな幾何学との組み合わせなど、直線・曲線・図形を組み合わせる複雑な曲面形態を記述する秩序が考えられる。

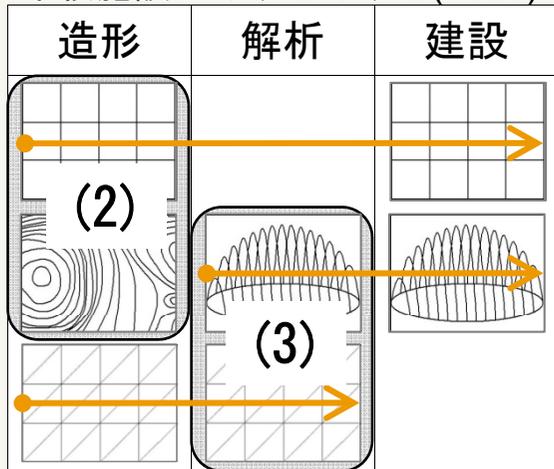
新たな秩序の創出に活かさればと思う。



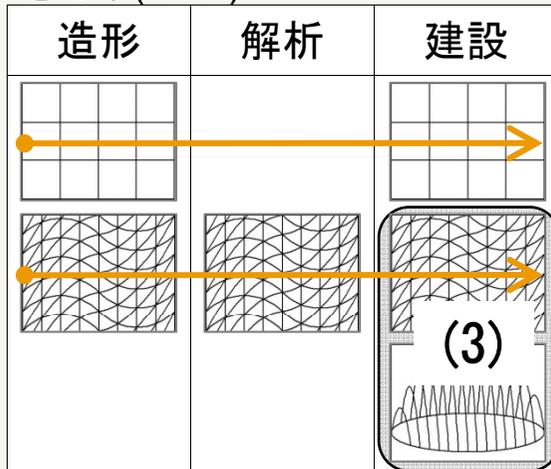
参考文献

- エドゥアルド・トロハ: エドゥアルド・トロハの構造デザイン, 相模書房, 2002年9月
- 建築構造設計シリーズ編集委員会: 建築構造設計シリーズ5 大スパン建築, 丸善株式会社, 1974
- 齊藤公男: 空間 構造 物語 ストラクチュラル・デザインのゆくえ, 株式会社彰国社, 2006(初版2003)
- 伊東豊雄展実行委員会: 伊東豊雄 建築| 新しいリアル, 天山舎, 2006
- 新建築2005年9月号, 株式会社 新建築社
- 新建築2006年5月号, 株式会社 新建築社
- 新建築2006年7月号, 株式会社 新建築社
- 新建築2010年7月号, 株式会社 新建築社
- 新建築2010年9月号, 株式会社 新建築社
- 近代建築2005年10月号, 株式会社 近代建築社
- 建築技術№ 671, 2005年12月号, 株式会社建築技術
- 建築技術№ 709, 2009年2月号, 株式会社建築技術
- 日経アーキテクチュア2010年6月号, 経BP社
- 日経アーキテクチュア2006年7月号, 日経BP社
- 日経アーキテクチュア2006年10月号, 日経BP社
- GA JAPAN 105, 2010年7月号, ADA
- GA JAPAN 106, 2010年9月号, ADA
- GA JAPAN 107, 2010年11月号, ADA
- GA JAPAN 108, 2011年1月号, ADA

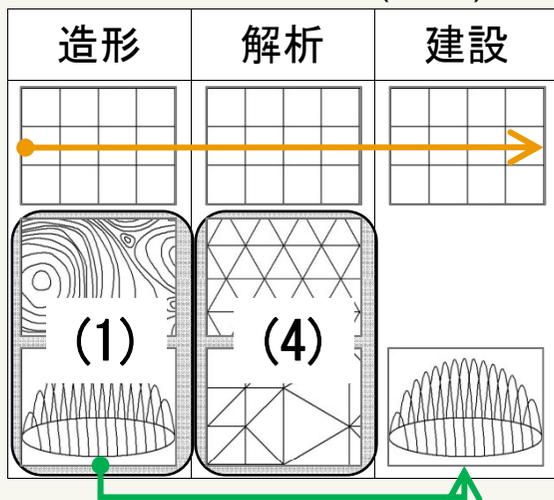
1 アイランドシティ中央公園
中核施設 ぐりんぐりん(2005)



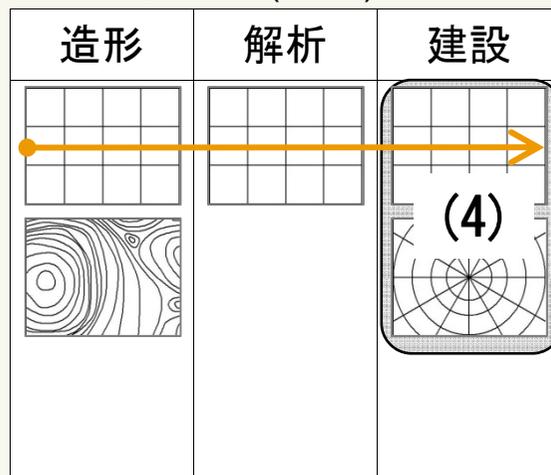
2 北方町生涯学習センター
きらり(2005)



3 瞑想の森市営斎場(2006)



4 豊島美術館(2010)



幾何学的秩序の併用方法を用いた作品例

全体併用

- (1) 検討課題の違いに応じた
- (2) 検討課題に応じた
- (3) 複数の記述方法が成立する秩序

一部併用

- (4) 曲面の一部とその他の部分での記述方法の切替