

第54巻2号
通巻164号
2020年（令和2年）
9月

日本図学会



図学研究 *Journal of Graphic Science of Japan*

竹之内 和樹	01	巻頭言
有馬 修	03	研究論文 2つの空間曲線間に可展面を生成し統一的に展開する方法について —微分幾何学による検討—
丸谷 和史, 大谷 智子	13	研究論文 カフェウォール錯視の三次元解釈における三次元構造と錯視量の関係の検討
河田 尚子, 竹之内 和樹	19	教育資料 初学者の3Dモデリングにおける難点と原因の分析
福田 幸一, 大月 彩香, 竹之内 和樹	25	教育資料 Monge「図法幾何学」出版より前に印刷本などで表現されていた複面投影図
高 三徳	33	教育資料 カーボディ模型の3DスキャナーデータからCADモデル作成における問題点とその解決方法
平野 重雄, 喜瀬 晋, 関口 相三, 奥坂 一也, 荒木 勉	39	教育資料 設計・製図教育に及ぼす改正JIS B 0001:2019を俯瞰する
杉原 厚吉	47	図学ノート 三方向変身立体の設計原理
	51	報告 日本図学会2020年度総会報告
	58	第15回日本図学会論文賞
	59	2020年度日本図学会新名誉会員
	61	日本図学会2019年度秋季大会優秀研究発表賞・研究奨励賞
辻合 秀一, 遠藤 潤一	62	2019年度中部支部冬季例会報告
辻井 麻衣子	67	リレーエッセイ 40歳の学生・実務者・教育者の自己紹介
前田 眞正	70	寄書 図学教育所感
阿部 浩和, 榊 愛, 鈴木 広隆, 橋寺 知子, 安福 健祐 安藤 直見, 石井 翔太, 浅古 陽介, 種田 元晴	72	新刊紹介 実用図学
	73	建築のカタチ —3Dモデリングで学ぶ建築の構成と図面表現
	74	総目次
	76	会告・事務局報告

集うことへの制限の中での、この1年の図学会の活動

竹之内 和樹 Kazuki TAKENOUCHI



COVID-19から新型コロナウイルスに呼称が定着したウィルスによって、人が集うことに大きな制約が生じています。会員の皆様には、公私にわたり「新しい日常」の中で多忙な毎日が続いていることと存じます。様々な新しいことに対応しなくてはならなかったこの1年の図学会の活動についてお知らせをします。

2020年度の総会は、資料送付と議決権行使書でご意見を伺い、オンラインでの報告とさせて頂きました。会員の皆様には、議案・資料に目を通して議決権行使書を提出して頂くという作業をお願いすることになりましたが、総会の定足数を満たす回答を頂き、今年度の活動を進めるための議決を行うことができました。この場を借りて御礼申し上げます。一方、総会には、論賞文や名誉会員証をお渡しする大切な行事が付帯していますが、これらに代わる企画を準備できず、報告のみとなりました。また、本部理事の迅速な判断により昨年度のうちに総会の開催方式の変更を決定していましたが、議決報告が5月30日の予定から7月25日となり、大幅に遅れました。これらについてお詫びを申し上げます。

今年度からの新しい活動である「分野協働の図学研究会」では、委員長の館知宏先生に、5月の総会と同日の講演会と見学会の開催を計画して頂きましたが、開催方法を調整して改めて企画することになりました。内容に加え、開催方法においても図学会の新しい活動の起点になることと、ご期待ください。

秋季大会した学術講演会は、福江良純先生を委員長とする実行委員会に、開催地の阿寒湖畔ならではの体験を含めたプログラムを提示して頂いていました。集えることを願っていましたが、オンラインに変更しての開催です。開催地に赴く非日常のワクワク感から始まる大会参加で得られる情報交換や経験とは異なる部分もありますが、時間・移動の制約が減少するオンライン参加の利点をご活用ください。例年以上の多くの皆様のご参加をお待ちします。

この大会では、研究発表に加えて、今年度の前半に、図が関係する遠隔授業をどのように計画し実施したかを中心とする多くの事例紹介を頂けるのではと予想しています。多忙を極めた春・夏学期の対応では、新しい経験やその労力に応じた成果をそれぞれがお持ちのことと存じます。ある方にはこれまでの取組の延長や小さな変更・調整と思えることでも、他の方の参考になることがある筈です。また使用する機器・用具の紹介も有用でしょう。それから評価、特に試験をどのように実施したかには、授業担当者の考えが反映され、経験に基づく工夫が含まれています。講義や演習のオンデマンド配信、遠隔対応は多くの会員が同じ時期に共通に取り組んだ課題であるとともに、この前期で終わる話題ではありません。会員の多くが「図学」と並べて持つ「もうひとつの専門」が多様多彩である図学会ならではの、豊富で有意義な情報・意見の交換ができることを期待しています。

研究発表・意見交換や会議の方法がすでに多様化している中で、今年度の行事については、選択の余地なく一択でオンラインを使用することになりましたが、この制限の多い時期の経験から、再び集うことが可能となったときに、より効果的な選択や構成をするための、今後活かされる知見が得られるものと考えます。開催方法や運営

への提案や参加しての感想など、遠慮なく事務局にお届けくだされば幸甚です。また、新型コロナウイルスの感染拡大については予断を許さず、さらなる計画変更があるかもしれません。今年度の活動が、例年と変わりなく皆様に有用であるように進めて参りますので、ご理解とご協力を宜しくお願い申し上げます。

8月にサンパウロで開催予定のICGG2020が、会期を2021年1月に変更し、非同期オンライン会議として開催されることも学会WEBページでお知らせしている通りです。海外の開催地を訪問する楽しみはまたの機会となりますが、国内大会に増して移動時間や費用負担への利点があります。国内の大会を年1回としたことには、活動を国際会議に広げて頂くことが関係していることを改めてお伝えします。会員の皆様、特に若い方々には、図学会が関係するICGGとAFGSのふたつの国際会議での講演への第一歩として、ICGG2020への参加をご検討頂ければと存じます。

集うことへの制限とは別ですが、図学研究が今年度から年2回の発行に移行します。第163号をお受け取りの後、この第164号までに間が開いたことで思い出された方もおられることと思います。第164号には、学術講演論文からの投稿もあり、6編の研究論文・研究資料と1編の図学ノートが掲載されています。図学研究の発行回数変更は、論文誌としての充実を図るために行ったものです。次号以降も継続して、この目的が達成できますよう、皆様からの活発な論文投稿をお待ち申し上げます。

以上のような状況の中、第27期の会長を仰せつかって1年と数か月が経ちました。会務の遂行にご協力とご支援とを頂いていることに加え、貴重な経験をさせて戴いていることに感謝申し上げます。

毎月の理事会では、前の期までの運営・実施方法をお尋ねして踏襲しながら進めることが多い中、事務局の若い理事の提案により、議事の記録にオンラインドキュメントを採用し、会議中に複数で入力する方法に変えていました。会議がオンラインとなる中でこの変更は有効で、事務局業務を縮小しなくてはならない現在の状況下でも、理事会と学会事務との情報共有が効率的に行えています。学会運営に限らないことですが、経験豊富なメンバーと新しいメンバーがほどよく混在する環境では緩やかで移行がスムーズなアップデートが行われます。継続する中で少しずつ交代が行われることの大切さを、今、実感しています。これに加えて、会員の活動分野が多様な本学会では、それぞれの活動を反映させて学会を発展させるために、多くの方に運営に参加して頂くのが望ましいことでしょう。また、役員・委員の交代が上手にできていることは、ボランティア運営がなされる団体の運営の健全さのひとつです。それぞれのキャリアにおいて学会運営に時間を割ける時期に、理事会に、研究会の委員に、支部の活動に、まずは周辺参加から始めることで携わって頂ければと考える理由です。

次号のお届けよりも少し早くに、第28期の役員候補の打診をさせて戴く時期がやってきます。新しい役割を引き受けたときには幾らかの忙しさや戸惑いを感じることはありますが、貴重な経験とそれを起点とする視野やスキルが得られることを思いながら、学会の運営にご協力を頂けますよう、宜しくお願い申し上げます。

たけのうち かずき

九州大学芸術工学研究院 コンテンツ・クリエティブデザイン部門 准教授（工学博士）

研究分野：クリエイティブデザイン、機能要素設計、設計手法

日本図学会、ISGG、日本設計工学会、日本機械学会、芸術科学会会員

takenouchi.kazuki.477@m.kyushu-u.ac.jp

2つの空間曲線間に可展面を生成し統一的に展開する方法について ——微分幾何学による検討——

The method of generating a developable surface between two space curves and unfolding it in unifying way.
—— study using differential geometry ——

有馬 修 Osamu ARIMA

概要

この報告は、2つの空間曲線の間に可展面を生成し、1つの展開式で統一的に展開図を作成する方法を記した。

線織面において接平面を持つことは、可展面であることと同値である。そこで、2つの空間曲線間に可展面になるように母線を決定出来れば、そのようにして生成された可展面を一般化された展開式を使って展開図を作成する。

本法では、曲面の種類を論じることなく統一的に展開図を得ることが出来る。特に主張しておくべきことは、この展開式が可展面以外の曲面を描くことがあったとしても、2つの空間曲線間に生成された曲面は可展面であることが保証されているため、可展面以外の線織面を描く可能性が理論上ないことである。

2つの空間曲線が可展面を生成できなければ、必然的に展開図は得られない。けれども、接平面が存在するかどうかは複雑な計算をしなくても感覚的にイメージできるため展開できるかどうかは容易に判断しうる。

キーワード: CAD・CADD / 平面幾何学 / 空間幾何学 / 応用幾何学 / 微分幾何学 / 反帰曲線

Abstract

This report describes the method for generating a developable surface between two space curves and obtaining a development of it.

On ruled surfaces, the existence of a tangent plane is equivalent to its being a developable surface. Therefore, the generators are determined so as to be a developable surface between two space curves, and a development is created using a generalized unfolding formula for the developable surface generated in this way.

In this method, it is possible to obtain a development uniformly without considering the types of developable surfaces. It is theoretically impossible to draw a development of a surface other than a developable surface, because the surface generated between two space curves is guaranteed to be a developable surface.

If two space curves cannot generate a developable surface, a development cannot be obtained. However, the existence of a tangent plane can be easily determined because it can be imaged without complicated calculations.

Keywords: CAD・CADD / Plane geometry / Space geometry / Applied geometry / Differential geometry / Edge of regression

1. はじめに

熟練工の高齢化と若手の後継者不足は、物造りで成り立つわが国において深刻な社会問題となっている。そのため、コンピューター制御による機械化と自動化は多くの生産現場で早急の課題となっている。

平面から立体を組み上げる展開図作成ソフトは、それに特化したものが国内外に多数存在するものの、そのほとんどが図式展開法^{[1][2]}を自動化したものを基礎にしている。各家庭に高性能なパソコンが普及している現代、その積極的な活用が望まれる。

そこで現代的な展開図作成システムを構築するため微分幾何学を用いた展開図作成法を検討した。なお、本報告では従来よりしばしば検討されてきたような非可展面を可展面で近似^[3]して展開する方法ではなく、まず最初に2つの空間曲線を設定しその間の母線をうまく動かして理論上完全な可展面を生成し、次にそれを平面に展開するという2段階の手法をとる。可展面が生成できなければ必然的に展開することはできない。

簡単な例を挙げるとすれば、xy平面上に大きさが等しい2つの円を重ねておき、一方をz軸方向に高さ $h > 0$ だけずらして配置する。そこに一本の直線を両曲線に接するように配置し、これを円に沿って動かして曲面を生成することを考える。もし、母線をz軸からわずかな角度だけずらしたまま動かせば、それが描く軌跡は可展面とはならず一葉双曲面のような非可展面となる。しかし、z軸と平行に動かせば柱面となり、極端な例ではあるが母線の一方を 180° ずらして動かせば、2つの円の中心を頂点とした錐面が得られる。このように母線をうまく動かして可展面を生成した後にそれを展開する。このような手法をとった理由は、多くの展開図作成の文献^{[2][4]}で取り扱っていることが、特定の曲面を作ることではなく、平面を曲げて加工して切り口が異形材料、例えば丸パイプと角パイプのようなもののどうしを接続することを扱っているからである。

2. 記号について

太文字のアルファベットはベクトルを表す。特に t, p, b はそれぞれ接ベクトル, 主法線ベクトルおよび従法線ベクトルを示す。また, 曲面を生成するのに必要な導線 $c(u)$ の弧長 (u) による微分は $\dot{c}(u)$ で示し, その他の弧長を含むパラメーターでの微分 $c'(s)$ と区別する。例えば, 導線以外の空間曲線 $c_L(u)$ がその空間曲線の弧長 (s_L) で表されれば, その微分は

$$\dot{c}_L(u) = \frac{dc_L(s_L)}{ds_L} \frac{ds_L}{du} = c'_L(s_L) \dot{s}_L = t_L(s_L) \dot{s}_L$$

と計算されるし, 空間曲線の弧長以外のパラメーター (t) で表されれば

$$\dot{c}_L(u) = \frac{dc_L(t)}{dt} \frac{dt}{du} = c'_L(t) \dot{t}$$

と記す。ここで t_L は曲線 $c_L(s_L)$ 上の主法線ベクトルである。

a, b, c を 3 次元のベクトルとし, その 3 行 3 列の行列式を $|a \ b \ c|$ 又はその縦書きで表す。曲面上の位置を表す変数は (u, v) で示す。下付き文字 T, B 及び i はそれぞれ上部, 下部の空間曲線および反帰曲線のものであることを示す。

ベクトル A と B の内積は $A \cdot B$ で示し, 外積は $A \times B$ で示す。ただし, 紙面のスペースの都合でスカラー積を $\times$ で記すことがある。ベクトルや変数上のバー記号 $(\bar{})$ は平面上のものであることを示す。

また 2 つの曲線に接する接平面を考える場合, 一方の曲線に主変数 u_1 を設定すると, それに対応する従属変数が他の曲線上に定まる u_2 , その位置ベクトルをそのまま記述すれば $c_2(u_2(u_1))$ となるが, 主変数をどちらでもとれるように接点 $c_1(u)$ 及び $c_2(u)$ と記載する。そうすることで数式の煩雑化を防いだ。したがって実際の計算では主変数をどちらにするかを明確にして適時読み替えなければならない (この報告では主変数を上部曲線にとることで統一した)。

なお, 接平面は反時計回りを正方向とし展開図は x 軸正方向から第一象限へ向かって作図されるものとする。

3. 可展面であるための条件

互いに交わらない 2 つの空間曲線間に母線と呼ぶ直線を渡して, それを曲線に沿って動かして得られる曲面は線織面であり, 一般にその曲面内に基準となる何らかの曲線を設定して以下の式のように表す。

$$\text{線織面: } s(u, v) = c(u) + v g_{ru}(u) \quad (1)$$

この基準となる空間曲線 $c(u)$ を導線と呼び, その弧

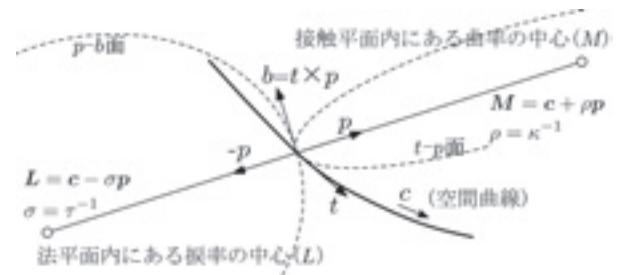


図1 曲率と捩率およびそれらの中心との関係

長パラメーターを (u) , 母線の単位方向ベクトルを $g_{ru}(u)$ として表す。

この線織面が可展面となるための必要十分条件は, 全曲率がゼロでなければならないことから (2) 式を満足しなければならない^{[5][6]}。

$$|\dot{c}(u) \ \dot{g}_{ru}(u) \ g_{ru}(u)| = 0 \quad (2)$$

ここで線織面を生成した元の 2 曲線を考える。導線を基準として表せば次式のように表せる。ただし, $c_B(u)$ は $c_T(u)$ から $g_{ru}(u)$ 方向にあるとする。すなわち $v_B > v_T \geq 0$, $v_{TB} = v_B - v_T$ とすると

その 2 つの空間曲線間には以下のような関係が成り立つ。

$$\begin{cases} c_T(u) = c(u) + v_T(u) g_{ru}(u) \\ c_B(u) = c(u) + v_B(u) g_{ru}(u) \end{cases} \quad (3)$$

$$c_B(u) - c_T(u) = v_{TB}(u) g_{ru}(u) \quad (4)$$

ここで, もしこの線織面が可展面であった場合は次式が成り立つ。

$$\left| \begin{matrix} c_B(u) - c_T(u) \\ \dot{c}_T(u) \\ \dot{c}_B(u) \end{matrix} \right| = v_{TB}^2(u) \left| \begin{matrix} \dot{c}(u) \\ \dot{g}_{ru}(u) \\ g_{ru}(u) \end{matrix} \right| = 0 \quad (5)$$

逆に, 2 つの空間曲線間に生成された線織面が上式を満足すれば, 生成された曲面は可展面であるといえる。

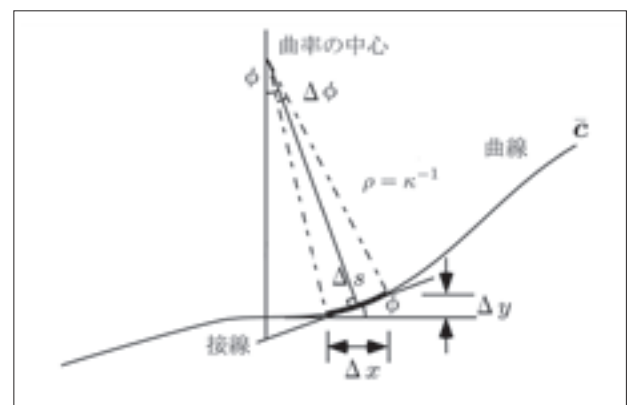


図2 平面の自然方程式とデカルト座標

4. 曲線と曲面の取り扱いについて

4.1. 自然方程式

空間曲線は曲率 (κ) と捩率 (τ) によって一意的に決められるというのは微分幾何学の基本定理の一つである。その曲率と捩率の概念図を図1に示す。

特に平面曲線の場合は捩率がゼロであるので曲率のみにより決められる。また、曲面や曲線の変数は一般に弧長パラメータや媒介変数などを使用する。

このような方程式を自然方程式と呼んでいる。しかしこの方程式は曲線や曲面の性質を論じるのには便利だが、座標を指定して作図するためには向いていないため別途デカルト座標と結び付ける必要がある。

平面曲線の場合その方法として図2に示すような方法がとられている。すなわち、曲率 (κ) が弧長 (s) の関数として与えられていれば、平面曲線は以下で与えられる^[7]。

$$\text{平面曲線の自然方程式} \quad \begin{cases} \kappa = \kappa(s) \\ d\phi = \kappa(s) ds \end{cases} \quad (6)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \phi(u) = \int_0^u \kappa(s) ds \\ dx = \cos \phi(s) ds \\ x(u) = \int_0^u \cos \phi(s) ds \\ dy = \sin \phi(s) ds \\ y(u) = \int_0^u \sin \phi(s) ds \end{cases} \quad (7)$$

したがって、平面曲線 ($\bar{c}$) は、次式で表される^[10]。

$$\begin{cases} \phi(u) = \int_0^u \kappa(s) ds \\ \bar{c}(u) = \left(\int_0^u \cos \phi(s) ds, \int_0^u \sin \phi(s) ds \right) \end{cases} \quad (8)$$

また、弧長で微分してその接ベクトルおよび主法線ベクトルを求めてみると $\bar{t}(u) = \dot{\bar{c}}(u)$ および $\dot{\bar{t}}(u) = \kappa(u) \bar{p}(u)$ となり、その直交性 $\bar{t}(u) \cdot \bar{p}(u) = 0$ も確認できる。

3次元の空間曲線では次の公式が重要である。一般に任意の空間曲線上の接ベクトル (t)、主法線ベクトル (p) ベクトルおよび従法線ベクトル ($b = t \times p$) には以下の関係が成り立ち、フルネの関係式と呼ばれている。

$$\begin{pmatrix} \dot{t} \\ \dot{p} \\ \dot{b} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \kappa & 0 \\ -\kappa & 0 & \tau \\ 0 & -\tau & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t \\ p \\ b \end{pmatrix} \quad (9)$$

4.2. 曲面から平面への展開について

4.2.1. 曲面の式

線織面については曲面の式を (1) 式に示した。可展

面はその1種であり以下の3種類しかないと知られている。同様に示すと、曲面上の任意の点の位置ベクトルはそれぞれ

$$\text{錐面:} \quad s(u, v) = c + v g(u) \quad (10)$$

c : 頂点の位置ベクトル, $g(u)$: 単位方向ベクトル

$$\text{柱面:} \quad s(u, v) = c(u) + v g \quad (11)$$

$c(u)$: 空間曲線 (導線) の位置ベクトル, g : 単位定

方向ベクトル

$$\text{接線曲面:} \quad s(u, v) = c(u) + v t(u) \quad (12)$$

$c(u)$: 反帰曲線 (導線) の位置ベクトル, $t = \dot{c}(u)$:

接ベクトル

と表せる。

4.2.2. 等長写像

微分幾何学において曲面の展開は曲面 $s(u, v)$ から平面 $\bar{s}(u, v)$ への一对一の写像と考える^{[8][9]}。

曲面および平面の任意の位置の弧長増分はその全微分で求められるとすると

$$ds(u, v) = \frac{\partial s(u, v)}{\partial u} du + \frac{\partial s(u, v)}{\partial v} dv \quad (13)$$

平面 ($\bar{u}, \bar{v}$) の位置を曲面 (u, v) の変数で表し、同様に

$$d\bar{s}(u, v) = \frac{\partial \bar{s}(u, v)}{\partial u} du + \frac{\partial \bar{s}(u, v)}{\partial v} dv \quad (14)$$

等長条件より、 $ds^2 = d\bar{s}^2$

$$E du^2 + 2F du dv + G dv^2 = \bar{E} du^2 + 2\bar{F} du dv + \bar{G} dv^2 \quad (15)$$

ここで、 $E = \frac{\partial s(u, v)}{\partial u} \cdot \frac{\partial s(u, v)}{\partial u}$, $F = \frac{\partial s(u, v)}{\partial u} \cdot \frac{\partial s(u, v)}{\partial v}$, $G = \frac{\partial s(u, v)}{\partial v} \cdot \frac{\partial s(u, v)}{\partial v}$ であり第一基本量という。 $\bar{s}(u, v)$ についても同様である。(15) 式の条件が恒等的に成り立つことを考慮すると $E = \bar{E}$ かつ $F = \bar{F}$ かつ $G = \bar{G}$ でなければならない。この結果より、よく知られた錐面及び柱面の展開条件が得られる。

$$\text{錐面} \quad \begin{cases} E = (v \dot{g}(u))^2 = \bar{E} = (v \dot{\bar{g}}(u))^2 \\ F = 0 = \bar{F} \\ G = g(u)^2 = 1 = \bar{G} \\ EG - F^2 = (v \dot{g}(u))^2 \\ \Rightarrow \dot{g}(u) = \dot{\bar{g}}(u) \Rightarrow \dot{\phi}(u) = \dot{\bar{\phi}}(u) \end{cases} \quad (16a)$$

$g(u)$ は単位方向ベクトルであるので、その弧長微分は角度の弧長微分に等しく向きは垂直方向となる。 $\bar{g}(u)$ も同様。したがって、曲面における方向ベクトルの移動角と平面における移動角が同一であればよい。

$$\text{柱面} \quad \begin{cases} E = 1 = \bar{E} \\ F = g \cdot t(u) = \bar{F} = \bar{g} \cdot \bar{t}(u) \\ G = g^2 = 1 = \bar{G} \\ EG - F^2 = 1 - (g \cdot t(u))^2 \end{cases} \quad (16b)$$

空間曲線の接ベクトル ($t(u)$) と方向ベクトル (g) の内積が同一であればよく、それらは単位ベクトルである

ため角度が保たればよいということになる。

$$\text{接線曲面} \quad \begin{cases} E = 1 + (v\kappa(u))^2 = 1 + (v\bar{\kappa}(u))^2 \\ F = \mathbf{g}(u) \cdot \dot{\mathbf{c}}(u) = 1 \\ G = 1 \\ EG - F^2 = (v\kappa(u))^2 \end{cases} \quad (16c)$$

よって、接線曲面では $\kappa(u) = \bar{\kappa}(u)$ すなわち曲率が同一であればよい^[10]。以上の条件があれば長さの同一性は担保されることになる。

また、面積要素は

$$\begin{aligned} dA &\equiv \sqrt{EG - F^2} du dv = \left| \frac{\partial \mathbf{s}(u, v)}{\partial u} du \times \frac{\partial \mathbf{s}(u, v)}{\partial v} dv \right| \\ &= \sqrt{\bar{E}\bar{G} - \bar{F}^2} du dv = \left| \frac{\partial \bar{\mathbf{s}}(u, v)}{\partial u} du \times \frac{\partial \bar{\mathbf{s}}(u, v)}{\partial v} dv \right| \end{aligned} \quad (17)$$

であるから、結果として面積も角度も変わらないことになる。したがって、特に接線曲面の場合は元になる反帰曲線の曲率が変わらないことからそれを基準にして平面に写すことが出来る。一方、反帰曲線以外の曲面上の位置はその反帰曲線からの方向と距離で表わすことができる。また、反帰曲線は等長条件から示されたように微分してもその長さと角度、もちろん接ベクトルと主法線ベクトルの直交性も変わらないので平面への写像は以下の通りとなる。

$$\bar{\mathbf{s}}(u, v) = \bar{\mathbf{c}}(u) + v\bar{\mathbf{t}}(u) \quad (18)$$

ただし

$$\begin{cases} \bar{\Phi}(u) = \int_0^u \kappa dx \\ \bar{\mathbf{c}}_i(u) = \begin{pmatrix} \int_0^u \cos \bar{\Phi}(x) dx & \int_0^u \sin \bar{\Phi}(x) dx \end{pmatrix} \\ \bar{\mathbf{t}}(u) = \dot{\bar{\mathbf{c}}}_i(u) = \begin{pmatrix} \cos \bar{\Phi}(u) & \sin \bar{\Phi}(u) \end{pmatrix} \\ \bar{\mathbf{s}}(u, v) = \begin{pmatrix} v \cos \bar{\Phi}(u) + \int_0^u \cos \bar{\Phi}(x) dx \\ v \sin \bar{\Phi}(u) + \int_0^u \sin \bar{\Phi}(x) dx \end{pmatrix} \end{cases} \quad (19)$$

5. ベクトル比と反帰曲線

さらに引き続き接線曲面について検討する。

接平面は上面の空間曲線と下面の空間曲線で接し、その接点を結ぶ線が母線となる。その関係から各空間曲線の接点の位置関係を決定する。

すなわち、接平面の条件 (5) を満足する直線が求める母線となる。ただし、反帰曲線を $\mathbf{c}_i$ 、そこから各空間曲線までの距離を v_{iT} および v_{iB} で表すと

上面の空間曲線: $\mathbf{c}_T(u) = \mathbf{c}_i(u) + v_{iT}(u)\mathbf{t}(u)$

下面の空間曲線: $\mathbf{c}_B(u) = \mathbf{c}_i(u) + v_{iB}(u)\mathbf{t}(u)$

接ベクトル: $v_{TB}(u)\mathbf{t}(u) = \mathbf{c}_B(u) - \mathbf{c}_T(u)$

となる。また $\mathbf{t}$, $\dot{\mathbf{c}}_T$ および $\dot{\mathbf{c}}_B$ は同一接平面にあるか

ら、そのベクトル比 (m) を以下のように定義する。

$$\mathbf{t}(u) \times \dot{\mathbf{c}}_T(u) m(u) = \mathbf{t}(u) \times \dot{\mathbf{c}}_B(u) \quad (20)$$

$$m(u) = \frac{|\dot{\mathbf{c}}_B(u)| \sin \alpha(u)}{|\dot{\mathbf{c}}_T(u)| \sin \beta(u)} = \frac{v_{iB}(u)}{v_{iT}(u)} \quad (21)$$

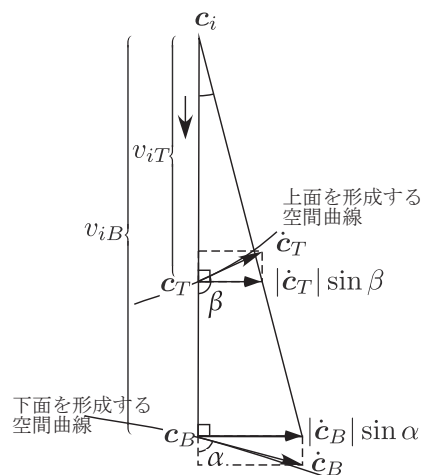


図3 回転の中心と接ベクトルとの関係

ここで $m \rightarrow 1$ の時、すなわち反帰曲線との接点間距離が無限大の時は母線は上下面の空間曲線に沿って平行移動するが、それ以外では回転運動を伴っていることを意味する。その回転の中心の位置は図3から (22) 式のように容易に求められ、またその性質を調べるため弧長で微分すると、回転の中心は反帰曲線そのものであることを確認できる。

$$\mathbf{c}_i(u) = \frac{m\mathbf{c}_T(u) - \mathbf{c}_B(u)}{m - 1} \quad (22)$$

次に、反帰曲線の曲率は空間曲線でも平面でも等しいということを等長写像という観点から導き出したが、接平面に着目して再検討してみる。反帰曲線の接ベクトルと主法線ベクトルとそれによって生成される接線曲面上のベクトルとの関係性を調べる。

接線曲面上の任意の点は

$$\mathbf{s}(u, v) = \mathbf{c}(u) + v\dot{\mathbf{c}}(u) \quad (23)$$

であらわされる。独立変数に対する接線曲面の位置ベクトルの変化を調べるため全微分を取ると

$$\begin{aligned} d\mathbf{s}(u, v) &= d\mathbf{c}(u) + d(v\dot{\mathbf{c}}(u)) \\ &= \left(\frac{\partial \mathbf{s}(u, v)}{\partial u} \right) du + \left(\frac{\partial \mathbf{s}(u, v)}{\partial v} \right) dv \\ &= \dot{\mathbf{c}}(u) du + v\ddot{\mathbf{c}}(u) du + \dot{\mathbf{c}}(u) dv \end{aligned} \quad (24)$$

よって任意の変数の増分に対しても成り立つためには

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{s}(u, v)}{\partial u} &= v\ddot{\mathbf{c}}(u) + \dot{\mathbf{c}}(u) \\ &= v\kappa(u)\mathbf{p}(u) + \mathbf{t}(u) \end{aligned} \quad (25)$$

$$\frac{\partial s(u, v)}{\partial v} = \dot{c}(u) = t(u) \quad (26)$$

でなければならない。

よって曲面上の法線ベクトル ($\mathbf{n}$) は

$$\frac{\partial s(u, v)}{\partial u} \times \frac{\partial s(u, v)}{\partial v} = -v\kappa(u)\mathbf{b}(u) = v\kappa(u)\mathbf{n}^{[8]} \quad (27)$$

となる。したがって、接線曲面の法線ベクトル ($\mathbf{n}$) と反帰曲線の従法線ベクトル ($\mathbf{b}$) は常に平行であり、反帰曲線の接ベクトル ($\mathbf{t}$) と主法線ベクトル ($\mathbf{p}$) は常に接平面に属しているので接平面から見れば反帰曲線の振率は見かけ上相対的にゼロとなる。このことから、この接平面上で反帰曲線の自然方程式を立てることによりデカルト座標と結び付けることができる (図2)。すなわち反帰曲線は接平面上で曲率 (κ) の平面曲線として扱えることを意味する。

一方、他の曲面の場合は接平面上に接ベクトル ($\mathbf{t}$) はあるが、主法線ベクトル ($\mathbf{p}$) は存在せず接線曲面と同様に取り扱うことはできない。

この件については、可展面上の曲線の曲率は接平面上への射影として表せる^[10] ことが知られているのでこれを利用することが出来る。すなわち、展開後の平面上の曲線の曲率は測地的曲率 (κ_g) で表される。ここで、 $\mathbf{k}$ は曲面上の曲線 $c(s)$ の曲率ベクトル ($c''(s) = \mathbf{k}(s)$) を表す。

$$\kappa_g = \mathbf{k}(s) \cdot (\mathbf{n}(s) \times c'(s)) \quad (28)$$

したがって、測地的曲率があらかじめ分かっているのならこれを使って展開図を書くことも可能である。次節でこの測地的曲率について触れる。

また、余談ではあるがこの接線曲面の接平面には母線と曲率の中心、回転の中心 (すなわち反帰曲線) が共存しているので同時に展開図上に図示できることも付け加えておきたい。

6. 展開式の導出

2つの空間曲線間に張られた可展面の母線から展開式の導出を行う。今、母線の単位方向ベクトル ($\mathbf{g}_{dev}(u)$) を考える。パラメーター (u) は導線の弧長とする。

一般に単位ベクトルの微分はそのベクトルの方向の角度変化であり、また元の単位ベクトルを互いに直交する方向になるのでその性質を使えば、母線の角度変化は接平面の単位法ベクトルを $\mathbf{n}(u)$ として

$$\dot{\Phi}(u) = \mathbf{g}_{dev}(u) \times \dot{\mathbf{g}}_{dev}(u) \cdot \mathbf{n}(u) \quad (29)$$

と表せる。なお、ここで単純に $\dot{\Phi}(u) = |\dot{\mathbf{g}}_{dev}(u)|$ としなかったのは $\mathbf{g}_{dev}(u)$ の動きは複雑であり、単純に正

方向 (反時計方向) にだけ動くとは限らないことを考慮したためである。例えば、下面の半径が上面よりも小さい錐台では時計回りに展開されるためマイナスになる。

さらに (29) 式を積分すれば正味の母線の移動した角度が求められる。

$$\Phi(u) = \int_0^u \mathbf{g}_{dev}(x) \times \dot{\mathbf{g}}_{dev}(x) \cdot \mathbf{n}(x) dx \quad (30)$$

この可展面上の移動した角度は等長写像の議論からも分かるように展開図上で母線が移動した角度に等しい。

ここでさらにベクトル比をすべての可展面で扱えるように (20) 式に (4) 式を適用して定義しなおすと

$$\mathbf{g}_{dev}(u) \times \dot{\mathbf{c}}_T(u) m(u) = \mathbf{g}_{dev}(u) \times \dot{\mathbf{c}}_B(u) \quad (31)$$

$$\begin{aligned} \text{となり } \Phi(u) &= \int_0^u \mathbf{g}_{dev}(x) \times \dot{\mathbf{g}}_{dev}(x) \cdot \mathbf{n}(x) dx \\ &= \int_0^u \frac{(m-1) \mathbf{g}_{dev}(x) \times \dot{\mathbf{c}}_T(x)}{v_{TB}(x)} \cdot \mathbf{n}(x) dx \\ &= \int_0^u \frac{\mathbf{g}_{dev}(x) \times \dot{\mathbf{c}}_B(x) - \mathbf{g}_{dev}(x) \times \dot{\mathbf{c}}_T(x)}{v_{TB}(x)} \cdot \mathbf{n}(x) dx \end{aligned} \quad (32)$$

$$\Phi(u) = \int_0^u \frac{|\dot{\mathbf{c}}_B(x)| \sin \alpha(x) - |\dot{\mathbf{c}}_T(x)| \sin \beta(x)}{v_{TB}(x)} dx \quad (33)$$

とも表せる。

ここで展開図の初期条件として $\mathbf{c}_T(0)$ を平面の原点に置いて、母線の単位方向ベクトルを x 軸上に設定すると、母線が立体上で角度 $\Phi(u)$ だけ進めば、展開図上でも $\Phi(u)$ だけ進む。さらに、 $\bar{\mathbf{c}}_T(u)$ および $\bar{\mathbf{c}}_B(u)$ を展開図上の空間曲線の軌跡とすれば、等長条件よりベクトルの大きさは展開図でも同じなので $|\dot{\mathbf{c}}_T(u)| = |\dot{\mathbf{c}}_T(u)|$ および $|\dot{\mathbf{c}}_B(u)| = |\dot{\mathbf{c}}_B(u)|$ が成り立ち、なおかつそれらの母線との成す角度は展開図上でも同様なので、それらを展開図上に表すと図4のようになる。その図から以下の展開式を導ける。

$$\bar{\mathbf{c}}_T(u) = \left(\int_0^u |\dot{\mathbf{c}}_T(x)| \cos(\beta(x) + \Phi(x)) dx, \int_0^u |\dot{\mathbf{c}}_T(x)| \sin(\beta(x) + \Phi(x)) dx \right) \quad (34)$$

$$\bar{\mathbf{c}}_B(u) = \left(\int_0^u |\dot{\mathbf{c}}_B(x)| \cos(\alpha(x) + \Phi(x)) dx, \int_0^u |\dot{\mathbf{c}}_B(x)| \sin(\alpha(x) + \Phi(x)) dx \right) \quad (35)$$

および

$$\bar{\mathbf{c}}_B(u) = \bar{\mathbf{c}}_T(u) + v_{TB}(u) (\cos \Phi(u), \sin \Phi(u)) \quad (36)$$

ここで、(34) 式についてその測地的曲率 (κ_{gT}) との関係調べてみる。空間曲線 $\mathbf{c}_T(u)$ の弧長 (s_T) で1回

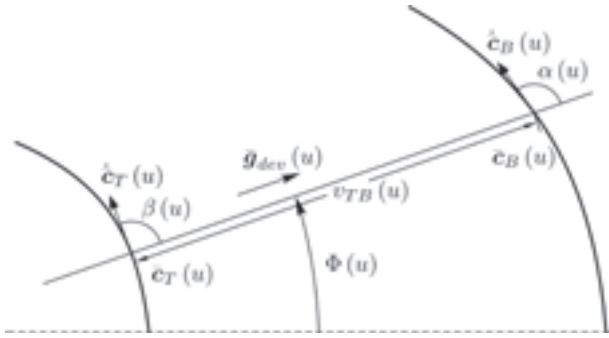


図4 展開図上の各曲線の接ベクトルと母線との関係

及び2回微分すると

$$\bar{c}'_T(s_T) = \bar{t}_T(s_T) \quad \bar{t}'_T(s_T) = \bar{\kappa}_T(s_T) \bar{p}_T(s_T)$$

ただし

$$\bar{\kappa}_T(s_T) = \beta'(s_T) + \Phi'(s_T)$$

一方、展開図における接ベクトルの角度変化は母線の角度変化も含むので次式のようにも表せる。

$$\bar{\kappa}_T(s_T) = (\bar{t}_T(s_T) \times \bar{t}'_T(s_T)) \cdot \bar{n}$$

ところで、この展開図上の $\bar{t}_T(s_T)$ と $\bar{t}'_T(s_T)$ に対応するベクトルは、接平面上ではそれぞれ $t_T(s_T)$ とそれに常に直交する単位ベクトル $n \times t_T(s_T)$ であるので後者のベクトルを利用して接ベクトルの角度変化を計算することが出来る。ここで曲線 $c_T(s_T)$ の曲率ベクトルを $k_T(s_T)$ とすると

$$\begin{aligned} \bar{\kappa}_T(s_T) &= (n \times t_T(s_T)) \times (n \times t_T(s_T))' \cdot n \\ &= k_T(s_T) \cdot (n \times t_T(s_T)) = \kappa_{gT}(s_T) \end{aligned} \quad (37)$$

となり、 $\bar{\kappa}_T(s_T)$ は測地的曲率 (κ_{gT}) に他ならないことが分かる。

7. テストモデルへの適用

最初の例1および2では改良された展開式の確認をし、例3で接平面の条件から展開図を得るまでを一通り実施した。また、以下の小節(7.1.~7.3.)にテストに使用したいくつかの計算方法を記した。なお、TB間の距離は、 v_{TB} とすると速度とまぎらわしいので r_{TB} と書き直している。

7.1. 数値積分

作図に当たって積分は以下のように単純な数値積分式を用いた。ただし、 $f(x)$ 、 $g(x)$ は連続関数、 n を変数域の分割数、その分割された部分を i または $j = 1, 2, 3 \dots n$ で表す。

$$\Delta x = \Delta t = \frac{b-a}{n}$$

$$\begin{aligned} \int_a^b f(x) dx &= \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n f(x_i) \Delta x \\ \int_a^b f(x) \sin \left(\int_a^x g(t) dt \right) dx &= \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{j=1}^n \left[f(x_j) \sin \left(\sum_{i=1}^j g(t_i) \Delta t \right) \right] \Delta x \end{aligned}$$

として、 n を十分大きくとれば、すなわち分割数を多くすれば積分の値に近づくことを想定している。

7.2. パラメーターの変化率

各曲線の接点間のパラメーターの変化の割合(例えば一方の曲線を θ 他方を ω とする)は一般的に接平面の関係から行列式の余因子展開を使って、各行列式中の異なるパラメーターの行、または列に沿って展開したのち導線の弧長パラメーター(u)で微分して計算することが出来る。

$$\begin{vmatrix} c_B \\ \dot{c}_T \\ \dot{c}_B \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} c_T \\ \dot{c}_T \\ \dot{c}_B \end{vmatrix} \Rightarrow \dot{\theta} \dot{\omega} \begin{vmatrix} c_B(\theta) \\ c'_T(\omega) \\ c_B(\theta) \end{vmatrix} = \dot{\theta} \dot{\omega} \begin{vmatrix} c_T(\omega) \\ c'_T(\omega) \\ c_B(\theta) \end{vmatrix} \quad (38)$$

ここで上式の等号の左右の行列式をそれぞれ A 、 B としその行列式の余因子展開をすると、 $A_{ij}(\theta)$ 、 $B_{ij}(\omega)$ ($i, j = 1, 2, 3$) を各行列式の余因子として

$$\begin{aligned} c'_{T1}(\omega) A_{21}(\theta) + c'_{T2}(\omega) A_{22}(\theta) + c'_{T3}(\omega) A_{23}(\theta) &= \\ c'_{B1}(\theta) B_{31}(\omega) + c'_{B2}(\theta) B_{32}(\omega) + c'_{B3}(\theta) B_{33}(\omega) \end{aligned} \quad (39)$$

導線の弧長 u で微分し $\dot{\theta}$ 及び $\dot{\omega}$ について整理すると

$$\begin{aligned} (c'_{B1}(\theta) B'_{31}(\omega) + c'_{B2}(\theta) B'_{32}(\omega) + c'_{B3}(\theta) B'_{33}(\omega) \\ - c''_{T1}(\omega) A_{21}(\theta) - c''_{T2}(\omega) A_{22}(\theta) - c''_{T3}(\omega) A_{23}(\theta)) \dot{\omega} \\ = (c'_{T1}(\omega) A'_{21}(\theta) + c'_{T2}(\omega) A'_{22}(\theta) + c'_{T3}(\omega) A'_{23}(\theta) \\ - c''_{B1}(\theta) B_{31}(\omega) - c''_{B2}(\theta) B_{32}(\omega) - c''_{B3}(\theta) B_{33}(\omega)) \dot{\theta} \end{aligned} \quad (40)$$

$$\frac{\dot{\theta}}{\dot{\omega}} = \frac{d\theta}{d\omega} \quad \text{の関係が得られる。}$$

7.3. 母線と直交する曲線と等高線

作図時に母線上と常に直交する曲線(c_P)と等高線を求めそれを記した。それらの計算は以下のように行った。

母線と曲線が直交する交点を $c_T(u)$ と $c_B(u)$ とが $cp(u) : (1 - cp(u))$ に内分される点として計算した。また、等高線(図7)も同様に内分点を求める方法で計算した。

$cp(0) r_{TB}(0)$ を初期値として

$$c_P(u) = (1 - cp(u)) c_T(u) + cp(u) c_B(u) \quad (41)$$

導線の弧長で微分し $g(u)$ と内積を取ると

$$\dot{c}_p(u) \cdot \mathbf{g}(u) = \dot{c}_T(u) \cdot \mathbf{g}(u) + (cp(u) \dot{r}_{TB}(u)) = 0 \quad (42)$$

積分して次式を得る.

$$cp(u) = \frac{cp(0)r_{TB}(0) - \int_0^u |\dot{c}_T(x)| \cos \beta(x) dx}{r_{TB}(u)} \quad (43)$$

さらに, この曲線は接線曲面上では伸開線となっていることを示す. 接線曲面上でこの曲線は

$$c_P(u) = c_i(u) + r_{iP}(u) \mathbf{t}(u)$$

と表せるので, 反帰曲線上の弧長 (u) で微分すると

$$\dot{c}_p(u) = (1 + \dot{r}_{iP}(u)) \mathbf{t}(u) + r_{iP}(u) \kappa(u) \mathbf{p}(u) \quad (44)$$

この $\dot{c}_p(u)$ が反帰曲線上の単位方向ベクトル $\mathbf{g}_{dev}(u) = \mathbf{t}(u)$ と直交するので $\dot{c}_p(u)$ との内積はゼロとなる.

その結果を積分すると

$$1 + \dot{r}_{iP} = 0 \Rightarrow r_{iP}(u) = -u + const.$$

このことから, 接線曲面では母線に垂直な曲線は反帰曲線に対する伸開線になっていることが分かる.

等高線の場合は, $c_T(u)$ の z 成分を $c_{Tz}(u)$, 等高線位置を h_t とすると

$$cp(u) = 1 - \frac{h_t}{c_{Tz}(u)} \quad (45)$$

7.4. テスト結果

a. 例1: 常らせん面

接線曲面の例として常らせん面 (図5) の例がよく取り上げられている^[11]ので適用してみる.

ただし, 接線は反帰曲線の接点より下側, 半径 b の円筒の内側のみを考える. $a < b$ とする.

$$c_T = c_i = (a \cos \theta, a \sin \theta, c\theta)$$

$$\mathbf{t} = -\mathbf{g}_{dev} = \frac{1}{\sqrt{a^2 + c^2}} (-a \sin \theta, a \cos \theta, c)$$

なお, $|c'_i| = \sqrt{a^2 + c^2} = \frac{1}{\theta}$ である. また半径 b の円筒

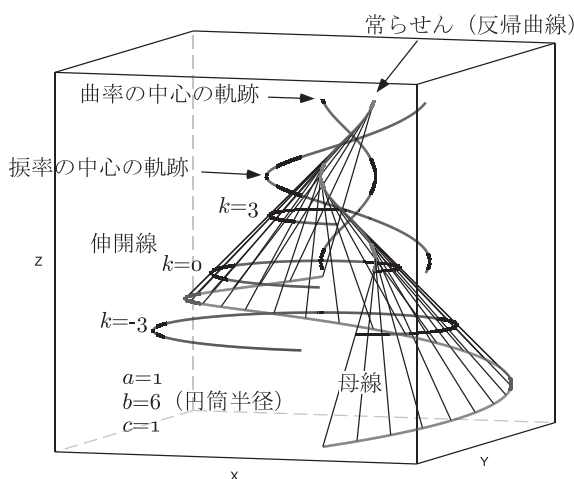


図5 常らせん面の外観

と接線との交点は

$$c_B = \begin{pmatrix} b \cos(\theta + \psi) \\ b \sin(\theta + \psi) \\ c \left(\theta - \frac{\sqrt{b^2 - a^2}}{a} \right) \end{pmatrix}$$

$$\text{ただし, } \cos \psi = \frac{a}{b} \text{ および } \sin \psi = -\frac{\sqrt{b^2 - a^2}}{b}$$

$$\dot{\mathbf{t}} = -\dot{\mathbf{g}}_{dev} = \kappa \mathbf{p} = \frac{a}{a^2 + c^2} (-\cos \theta, -\sin \theta, 0)$$

$$\kappa(\theta) = \frac{a}{a^2 + c^2} \quad (46)$$

よって, 展開図 (図6) は (47), (34) および (35) 式より次のように計算される.

$$\begin{aligned} \Phi(\theta) &= \int_0^{u(\theta)} \mathbf{g}_{dev}(s) \times \dot{\mathbf{g}}_{dev}(s) \cdot \mathbf{n}(s) ds \\ &= \int_0^\theta |\mathbf{g}'_{dev}(\vartheta)| \sqrt{a^2 + c^2} d\vartheta = \frac{a}{\sqrt{a^2 + c^2}} \theta \end{aligned} \quad (47)$$

接ベクトルは, 母線の方方向ベクトルなので $\beta = 0$,

$$\begin{aligned} \bar{c}_i \begin{pmatrix} X_i(\theta) & Y_i(\theta) \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \int_0^\theta \cos \Phi(\vartheta) d\vartheta, \int_0^\theta \sin \Phi(\vartheta) d\vartheta \end{pmatrix} \\ &= \frac{a^2 + c^2}{a} \begin{pmatrix} \sin \frac{a}{\sqrt{a^2 + c^2}} \theta \\ -\cos \frac{a}{\sqrt{a^2 + c^2}} \theta \end{pmatrix} \\ \bar{\kappa}(\theta) &= \frac{a}{a^2 + c^2} \end{aligned} \quad (48)$$

ここで, (46) および (48) 式より, 展開により反帰曲線の曲率は変わらないことが確認できた.

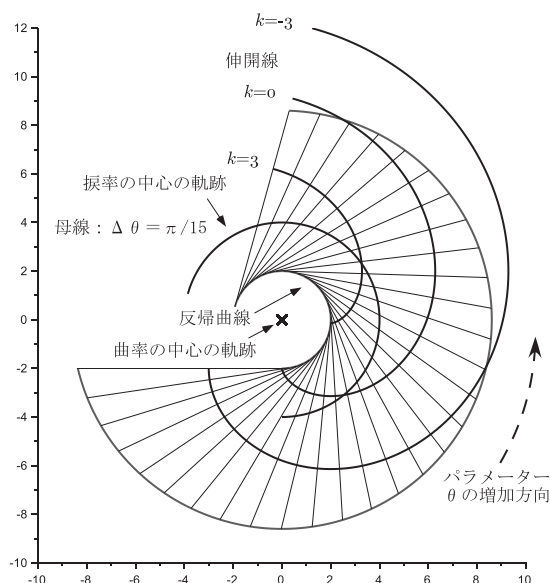


図6 常らせん面の展開図

$$\begin{aligned}\bar{\mathbf{c}}_B & \left(X_B(\theta) \quad Y_B(\theta) \right) \\ &= \bar{\mathbf{c}}_i \left(X_i(\theta) \quad Y_i(\theta) \right) + r_{iB} \left(\cos \Phi(\theta), \quad \sin \Phi(\theta) \right) \\ &= \frac{\sqrt{(b^2+c^2)(a^2+c^2)}}{a} \begin{pmatrix} -\cos \frac{a}{\sqrt{a^2+c^2}}(\theta+\varphi) \\ -\sin \frac{a}{\sqrt{a^2+c^2}}(\theta+\varphi) \end{pmatrix}\end{aligned}$$

ただし

$$\begin{cases} \cos \frac{a}{\sqrt{a^2+c^2}}\varphi = \sqrt{\frac{b^2-a^2}{b^2+c^2}} \\ \sin \frac{a}{\sqrt{a^2+c^2}}\varphi = \sqrt{\frac{a^2+c^2}{b^2+c^2}} \\ r_{iB} = -\frac{\sqrt{(a^2+c^2)(b^2-a^2)}}{a} \end{cases} \quad (49)$$

$$\bar{\kappa}_B(\theta) = \frac{a}{\sqrt{(b^2+c^2)(a^2+c^2)}} \quad (50)$$

このように、接線曲面上の反帰曲線以外の空間曲線の曲率は変化する。また、曲率の中心の軌跡および捩率の中心の軌跡を次のように定義すると（図1）

$$\begin{aligned}\bar{\mathbf{M}} &= \bar{\mathbf{c}}_i + \rho \bar{\mathbf{p}} = (0, \quad 0) \\ \bar{\mathbf{L}} &= \bar{\mathbf{c}}_i - \sigma \bar{\mathbf{p}} = \\ &= \frac{(a^2+c^2)(a+c)}{ac} \begin{pmatrix} \sin \frac{a}{\sqrt{a^2+c^2}}\theta, -\cos \frac{a}{\sqrt{a^2+c^2}}\theta \end{pmatrix}\end{aligned}$$

と求められる。次に、(17)式を使って面積を計算してみる。接線曲面上の任意の位置は

$$\mathbf{s}(u, v) = \begin{pmatrix} a \cos u - \frac{av}{\sqrt{a^2+c^2}} \sin u \\ a \sin u + \frac{av}{\sqrt{a^2+c^2}} \cos u \\ c \left(u + \frac{v}{\sqrt{a^2+c^2}} \right) \end{pmatrix}$$

ただし、変数域を $0 \leq u \leq 2\pi$ および

$-\frac{\sqrt{(b^2-a^2)(a^2+c^2)}}{a} \leq v \leq 0$ とする。よって、面積要素は

$$dA = \left| \frac{\partial \mathbf{s}(u, v)}{\partial u} du \times \frac{\partial \mathbf{s}(u, v)}{\partial v} dv \right| = \frac{av}{\sqrt{a^2+c^2}} dv du$$

となるので面積は

$$A = \iint \frac{av}{\sqrt{a^2+c^2}} dv du = \frac{\pi(b^2-a^2)\sqrt{a^2+c^2}}{a}$$

と求まる。

また、逆に展開図から展開面の面積を求めてみると

求める面積は、半径 $\frac{\sqrt{(b^2+a^2)(a^2+c^2)}}{a}$ の外円と半径 $\frac{a^2+c^2}{a}$ の内円に囲まれた部分の周期分であるので

$$\begin{aligned}A &= \pi \left[\left(\frac{\sqrt{(b^2+a^2)(a^2+c^2)}}{a} \right)^2 - \left(\frac{a^2+c^2}{a} \right)^2 \right] \\ &\quad \times \frac{2\pi}{2\pi \frac{\sqrt{a^2+c^2}}{a}}\end{aligned}$$

以上より同じ結果となる事が確認できた。

b. 例2：斜円錐

インターネット上に、斜円錐の展開式が公開^[12]されているので検証してみる。 $p, q, h > 0$ とする。

$$\mathbf{c}_T = (p, q, h)$$

$$\mathbf{c}_B = (a \cos \theta, b \sin \theta, 0)$$

計算すると

$$r_{TB}^2 = (a \cos \theta - p)^2 + (b \sin \theta - q)^2 + h^2$$

$$\dot{\mathbf{c}}_T = 0$$

$$\dot{\mathbf{c}}_B = (-a \sin \theta, b \cos \theta, 0) \dot{\theta}$$

$$\mathbf{g}_{dev} = \frac{1}{r_{TB}} \begin{pmatrix} a \cos \theta - p \\ b \sin \theta - q \\ -h \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{g}_{dev} \times \dot{\mathbf{c}}_B = \frac{\dot{\theta}}{r_{TB}} \begin{pmatrix} bh \cos \theta \\ ah \sin \theta \\ ab - bp \cos \theta - aq \sin \theta \end{pmatrix}$$

(32) 式の1番目の式に代入すると同一の結果を得る。

$$\Phi(\theta)$$

$$= \int_0^\theta \frac{\sqrt{h^2(b^2 \cos^2 \vartheta + a^2 \sin^2 \vartheta) + (ab - bp \cos \vartheta - aq \sin \vartheta)^2}}{r_{TB}^2} d\vartheta$$

積分は初等関数では表せない楕円関数となるので数値計算となる。

c. 例3：楕円と円からなる錐台

このケースの場合、曲面としては(51)式のようなものをイメージする。

$$\frac{x^2}{\left(a + \frac{c-a}{h}z\right)^2} + \frac{y^2}{\left(b + \frac{c-b}{h}z\right)^2} = 1 \quad (51)$$

$$a \neq b \quad a \neq c \quad b \neq c \quad 0 \leq z \leq h$$

しかし、この曲面は線織面ではあるが可展面ではないため展開できない。そこで、このように曲面を最初から具体的に指定することを放棄し接平面の条件を使って可展面になるように母線を決定して展開することを試みる。なお、微分は導線があるものとしてその弧長で微分して処理する。記号上のドットはその微分を意味する。

$$\mathbf{c}_B = (a \cos \theta, b \sin \theta, 0)$$

$$\mathbf{c}_T = (c \cos \omega, c \sin \omega, h)$$

$$\dot{\mathbf{c}}_B = \mathbf{c}'_B \dot{\theta} = (-a \sin \theta, b \cos \theta, 0) \dot{\theta}$$

$$\dot{\mathbf{c}}_T = \mathbf{c}'_T \dot{\omega} = (-c \sin \omega, c \cos \omega, 0) \dot{\omega}$$

$$\mathbf{g}_{dev} = \frac{1}{r_{TB}} (a \cos \theta - c \cos \omega, b \sin \theta - c \sin \omega, -h)$$

接平面の条件(5)式より

$$\tan \omega = \frac{a}{b} \tan \theta \quad (52)$$

なるシンプルな関係式を得る．この関係を満足すればその曲面は可展面となる．ここから先は展開式で作図するための計算となる．上の式をさらに微分して

$$\frac{1}{\cos^2 \omega} \dot{\omega} = \frac{a}{b} \frac{1}{\cos^2 \theta} \dot{\theta} \quad (53)$$

また，ベクトル比の各成分から比例定数を

$$k = \frac{cm\dot{\omega}}{\dot{\theta}} \geq 0 \quad ((53) \text{ 式より}) \text{ として}$$

$$\mathbf{g}_{dev} \times \dot{\mathbf{c}}_B = \frac{\dot{\theta}}{r_{TB}} \begin{pmatrix} bh \cos \theta \\ ah \sin \theta \\ ab - bc \cos \theta \cos \omega - ac \sin \theta \sin \omega \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{g}_{dev} \times \dot{\mathbf{c}}_T = \frac{\dot{\omega}}{r_{TB}} \begin{pmatrix} hc \cos \omega \\ hc \sin \omega \\ ac \cos \omega \cos \theta + bc \sin \omega \sin \theta - c^2 \end{pmatrix}$$

$$\begin{cases} k \cos \omega = b \cos \theta \\ k \sin \omega = a \sin \theta \\ k (a \cos \omega \cos \theta + b \sin \omega \sin \theta - c) \\ \quad = (ab - bc \cos \theta \cos \omega - ac \sin \theta \sin \omega) \end{cases} \quad (54)$$

故に

$$k = (abcm)^{\frac{1}{3}} = \frac{ab}{\sqrt{b^2 \sin^2 \omega + a^2 \cos^2 \omega}}$$

$$m = \frac{a^2 b^2}{c(b^2 \sin^2 \omega + a^2 \cos^2 \omega)^{\frac{3}{2}}} > 0$$

$$\cos^2 \omega = \frac{b^2}{a^2 - b^2} \left(\frac{a^2}{(abcm)^{\frac{2}{3}}} - 1 \right)$$

$$\sin^2 \omega = \frac{a^2}{b^2 - a^2} \left(\frac{b^2}{(abcm)^{\frac{2}{3}}} - 1 \right)$$

となる．上面 T の接点，底面 B の接点間の距離は

$$\begin{aligned} r_{TB}^2 &= (a \cos \theta - c \cos \omega)^2 + (b \sin \theta - c \sin \omega)^2 + h^2 \\ &= a^2 + b^2 + c^2 + h^2 - (abcm)^{\frac{2}{3}} - \frac{2abc}{(abcm)^{\frac{1}{3}}} \end{aligned} \quad (55)$$

さらに

$$\begin{aligned} \mathbf{g}_{dev} \times \dot{\mathbf{c}}_T &= |\dot{\mathbf{c}}_T| \sin \beta \mathbf{n} = c \dot{\omega} \sin \beta \mathbf{n} \\ &= \frac{c \dot{\omega}}{r_{TB}} \sqrt{h^2 + \left(\frac{ab}{(abcm)^{\frac{1}{3}}} - c \right)^2} \mathbf{n} \end{aligned} \quad (56)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{g}_{dev} \cdot \dot{\mathbf{c}}_T &= |\dot{\mathbf{c}}_T| \cos \beta = c \dot{\omega} \cos \beta \\ &= \frac{c \dot{\omega} (b^2 - a^2)}{abr_{TB}} (abcm)^{\frac{1}{3}} \sin \omega \cos \omega \end{aligned} \quad (57)$$

よって

$$\sin \beta(\omega) = \frac{1}{r_{TB}} \sqrt{h^2 + \left(\frac{ab}{(abcm)^{\frac{1}{3}}} - c \right)^2}$$

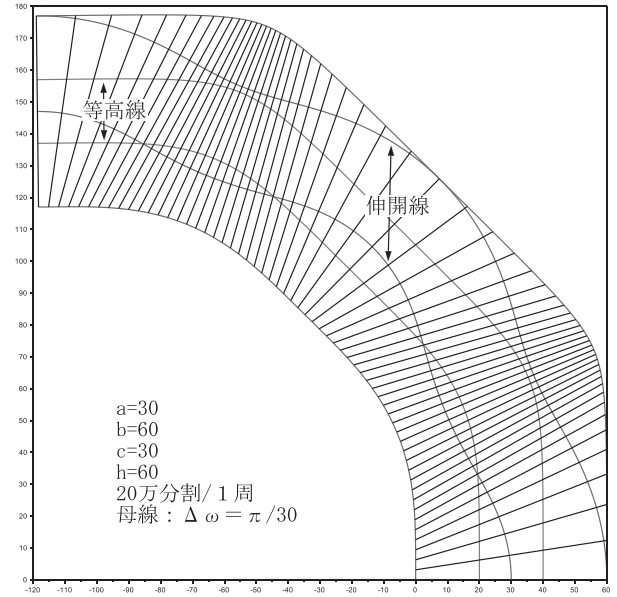


図7 楕円__円錐台の展開図

$$\cos \beta(\omega) = \frac{(b^2 - a^2)}{abr_{TB}} (abcm)^{\frac{1}{3}} \sin \omega \cos \omega$$

$\Phi(\omega)$

$$\begin{aligned} &= \int_0^\omega \frac{c(m-1) \sqrt{h^2 (abcm)^{\frac{2}{3}} + \left(ab - c(abcm)^{\frac{1}{3}} \right)^2}}{(a^2 + b^2 + c^2 + h^2) (abcm)^{\frac{1}{3}} - abc(m+2)} d\omega \\ &\quad (58) \end{aligned}$$

以上の結果を

$$\int \dot{c}_L(u) du = \int \frac{dc_L(\omega)}{d\omega} \frac{d\omega}{du} du = \int c'_L(\omega) d\omega$$

(記号の意味は第2節と同じ)

となることに注意して (34) および (36) 式に代入し数値計算した展開図を図7に示す．また，反帰曲線の曲率（これを求めるには $c'_i(\omega)$ を計算する必要がある）およびベクトル比の変化を図8示す． $m \rightarrow 1$ となっているところは柱面状になっているところであり4か所ある．変化が大きく図示できなかったが反帰曲線が存在し，接線曲面であることが分かる．

3Dプリンターで模型を作りその上に展開図をかぶせたものを図9に示す．全面にわたって両者間には隙間がほとんど認められず，ピッタリと展開図をかぶせることが出来た．また，四方から見て等高線も常に水平に保たれていた．

8. まとめ

接平面の条件により2つの空間曲線の間に生成される曲面は可展面になることが保証されている．その条件下で展開図を作る方法なので理論上は他の線織面を展開図として描く可能性はないと考えられる．

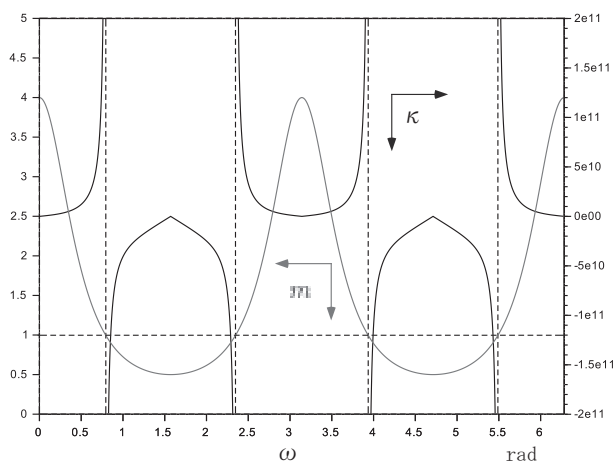


図8 主変数 (ω) に対するベクトル比と曲率の関係

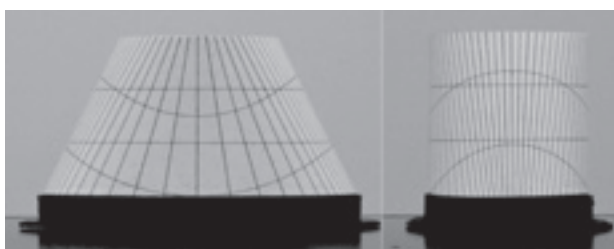


図9 展開図からの組立（上面が円，下面が楕円）

対象となる空間曲線は微分可能な連続な空間曲線であれば望ましいが、そうでない場合は多面化は避けられないと思われる。その場合は、部分部分を展開してつなぎ合わせることになる。あるいは、解が全域ではなく一部のみというケースもあると考えられる。

当然のことながら可展面が生成されなければ展開できない。例えば本報告で例示した常らせんとその中心にある z 軸との間に可展面を生成できないことは接平面の条件をイメージすれば容易に判断できる。

展開の例として簡単な空間曲線を使用したがる、それでも結構複雑な式となる。対象が変わるごとにいちいち複雑な計算を強いられるは現実的ではないだろう。おまけに最も重要な接平面の条件から導かれる接点間の関係式は一般的に非線形方程式である。しかし、幸い現代のコンピューターによる数値計算の技術を使えば、いくつかの解決すべき問題はああるものの楽に計算し作図ができる。その方法は接平面条件の解として一群の接点のデータを求めるという手法でなしえる。その値を展開式に入力し計算処理していけばよいのである。複雑な曲線では時間がかかるかもしれないが、接平面の条件を完全に満たさない、あるいは一部しか満たさないというケースを除けば分割展開して後で接合することもできるので技術的にはかなりの部分を展開対象にできると思われる。これらの詳細については3Dプリンターの活用と合わせ

て続報としたい。

最後に、微分幾何学的手法による展開図の作成法に関する文献は非常に少ないため、解説的な部分が多く含まれていることをご容赦願いたい。

参考文献

- [1] 小高司郎, "現代図学", 森北出版 (1979).
- [2] A. Dickason, "THE GEOMETRY OF SHEET METAL WORK", Facsimile Publisher (2015).
- [3] Meng Sun, Eugene Fiume, "A Technique for Constructing Developable Surfaces", <http://www.dgp.toronto.edu/elf/misc/GI96.pdf>. (1995). 2019.11.25 確認
- [4] Ratko Obradovic, et al., "Approximation of Transitional Developable Surfaces between Plane Curve and Polygon", *Acta Polytechnica Hungarica*, 11.9 (2014), 217-238.
- [5] Erwin Kreyszig, "DIFFERENTIAL GEOMETRY", Dover Publications (1991).
- [6] 安達忠治, "微分幾何学概説", 培風館 (1981).
- [7] 佐藤伊助, "いろいろな曲線と曲面", 裳華房 (1979).
- [8] Dirk J. Struik, "Lectures on Classical Differential Geometry Second Edition", Dover Publications (1988).
- [9] William C. Graustein, "DIFFERENTIAL GEOMETRY", Dover publications, inc (2012).
- [10] Helmut Pottmann and Johannes Wllner, "Computational Line Geometry", Springer (2001).
- [11] 沢田詮亮, "第3角法の図学", 三共出版 (1969).
- [12] 竹野茂治, "斜円錐の側面の展開図について", <http://takeno.iee.niit.ac.jp/shige/math/lecture/5misc/data/yokoyama2.pdf>. (2009). 2019.11.25 確認

●2019年12月22日受付

ありま おさむ
放送大学 大学院文化科学研究科 修了
E-mail: ariko123@gmail.com

カフェウォール錯視の三次元解釈における三次元構造と錯視量の関係の検討

Relationship between scenery structure and illusion strength on the basis of the three-dimensional interpretation of the Café wall illusion

丸谷 和史 Kazushi MARUYA 大谷 智子 Tomoko OHTANI

概要

階段状の立体表面に投影された直柱群の影を斜めから観察したとき、著名な幾何学的錯視であるカフェウォール錯視様の網膜像が生じる。本研究では、カフェウォール錯視の強度変化をもたらすモルタルの幅と明るさを三次元状況に当てはめて考えたときに、どのような制約条件としてとらえられるかを検討した。結果、錯視が生じるためには観察距離の約2%程度の奥行き差がある面に影が落ちている状況が望ましいことが明らかになった。これらの結果は、大きな観察距離に対して、比較的奥行き差が少ない物体表面の形状推定を行うときに物体に落ちる影の情報が有効な手がかりとなることを示している。

キーワード: 空間認識／錯覚／カフェウォール錯視／パースペクティブ

Abstract

When the shadows of a group of linear columns projected on a stepped three-dimensional (3D) plane are diagonally viewed, the retinal image shows a geometric pattern that is similar to the Café wall illusion, which is a popular geometric illusion. In this study, we investigated the relationship between the geometric structure of the scene, such as the 3D shape, viewing angle, and direction of the light source, and the strength of the Café wall illusion that was perceived from the retinal image of those 3D situations. Consequently, the difference in the depth at which the shadows fall should be approximately 1%–2% of the observation distance to result in a strong Café wall illusion. These results show that the information of the shadow that falls on the object is an effective clue for estimating the shape of the object surface with relatively small depth differences in the case of large viewing distances.

Keywords: Space recognition / Optical illusion / Café-wall illusion / Perspective

1. はじめに

1.1. カフェウォール錯視とは

幾何学的錯視は、幾何学図形によって構成されたパターンの知覚が、物理的に計測できる状態と食い違う現象のことである^{[1][2]}。カフェウォール錯視は著名な幾何学的錯視である(図1a)^{[3][4]}。その典型的な図形パターンは、白と黒の長方形が交互に並べられた「タイル列」と呼ばれる図形要素と、タイル列に挟まれる灰色の平行な線分群「モルタル」から構成される(図1b)。この時、物理的には平行なモルタル群が傾いて知覚され、タイル列の構成要素である長方形(タイル)がくさび形に知覚される(図1c)。

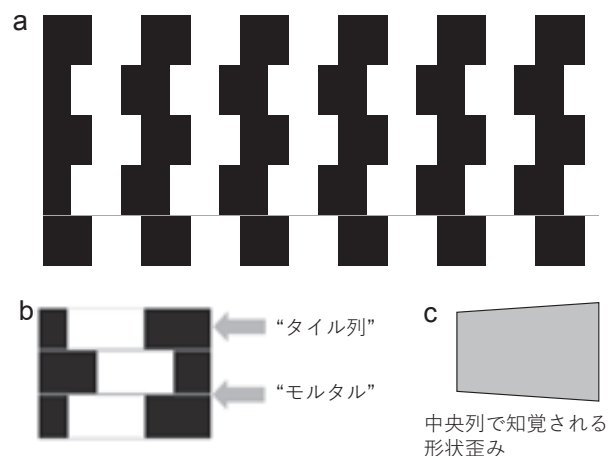


図1 カフェウォール錯視 a: 錯視図 b: 錯視の基本パターンと図形要素の名称 c: 中央列に対して知覚される錯視方向(わかりやすくするため、歪みの大きさは誇張されている)

この図形には様々なバリエーションが作成されており、それぞれ基本のパターンとは強度や傾きの方向が異なる錯視が起こる^[5]。以下では、これらのバリエーションを含め、カフェウォール錯視様の歪みの錯覚を生じさせるパターンを、カフェウォールパターンと呼ぶことにする。

1.2. 本研究の目的

カフェウォールパターンは階段状の三次元立体と、その正面方向に配置された直柱群から構成される三次元状況の網膜(投影)像として生じうる(図2)^{[6][7]}。直

柱群によって光線がさえぎられてできる影が、三次元立体の表面に落ちているとき、この影を斜め方向から観察すると、影は複数の長方形の影に分断され、かつそれぞれの影が水平方向にずれる。



図2 実風景で生じたカフェウォールパターン

この状況をより単純に理解するために、図3のような2段の階段に直柱の影が落ちている状況を考える。ここでは、光源は平行光源とし、階段の垂直面の法線方向にあるとする。このような状況で階段の垂直面を向かって右斜め前方から観察すると、図1に示したカフェウォールパターンに類似した網膜像が生じる。ここで、垂直面が奥にあるほど、影は水平軸にそって右方向（観察方向）にずれる。

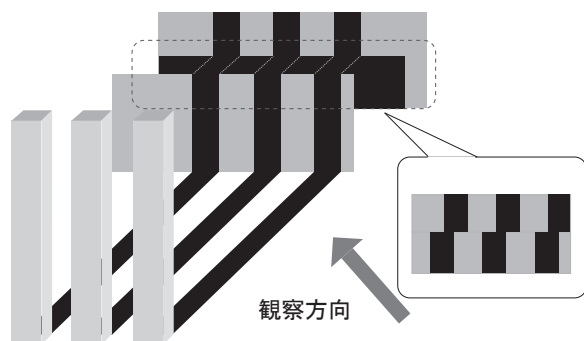


図3 二段の階段状立体に影が落ちる場合に網膜上に生じるカフェウォールパターンの概略図

丸谷と大谷（2020）は、このようなカフェウォール錯視の三次元的状況とカフェウォール錯視の方向を比較し、網膜上でのパースペクティブによる歪みを打ち消す方向に、錯視が生じる解釈の可能性を示した^[6]。さらに、図2に示したような実物体や、コンピュータグラフィックスによる三次元光景のシミュレーションを行い、実際に階段状の立体に落ちる影が、パースペクティブによる形状歪みを補正する方向へ錯視を起こすことを示した。これらの結果は、カフェウォール錯視に対して、他の幾何学的錯視と同様の三次元的解釈を与えられる可能性を示している^[8]。

本研究では、丸谷と大谷（2020）で示したカフェウォール錯視の三次元的解釈の上に立ち、カフェウォールパターンを生じる三次元光景の状況と錯視量の関係により詳しく検討した^[6]。カフェウォールパターンを生じる三次元状況を光源方向、視線方向を中心として詳しく解析し、錯視の強度変化を起こす図形条件を三次元状況に関連付けた説明を試みた。

1.3. カフェウォールパターンの図形条件と錯視強度

カフェウォール錯視はそのパターンの図形条件によって強度が大きく変化する^[4]。例えば、カフェウォール錯視の強度は、モルタルの幅と明るさによって大きく変化する（図4、5）。モルタルの幅が小さくなるほど、錯視の強度は大きくなる。モルタルの幅が視角にして約10arcminより大きいときには、錯視はほとんど消失する。モルタルの明るさがタイル列の中間輝度である場合に錯視は強くなる^[4]。

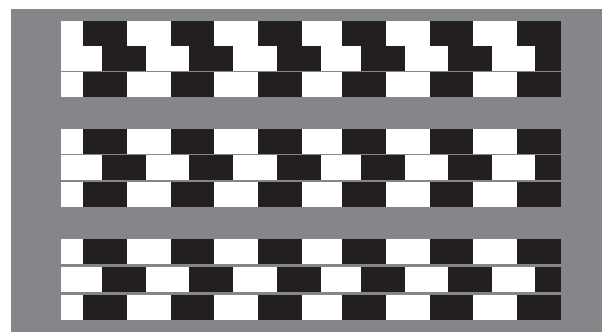


図4 モルタル幅が変化したときのカフェウォール錯視の変化：上段・中段・下段とモルタル幅が広くなるにつれて、錯視が弱くなる。

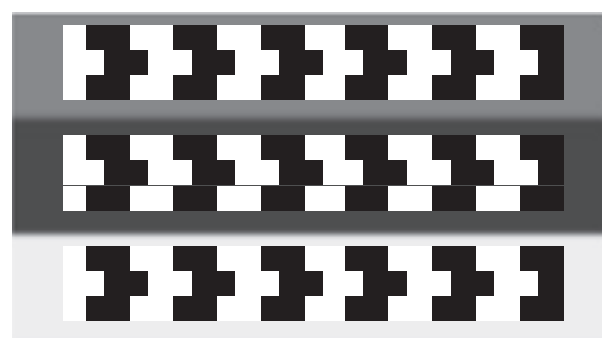


図5 モルタルの輝度に変化したときのカフェウォール錯視の強度変化：モルタルと図形背景の輝度が等しいように作図した。上段ではモルタルの輝度がタイル列の明るいタイルと暗いタイルの中間レベルであり、中段（モルタル輝度が暗いタイルに近い場合）、下段（モルタル輝度が明るいタイルに近い場合）と比べて錯視が強く感じられる。

2. 三次元状況の変化とモルタルの図形条件の関係

2.1. 実物体におけるモルタルの出現

カフェウォールパターンのモルタル群は錯視の生起要件である。図2に示したように、実際に階段状の立体を

撮影すると、奥行きが変化する部分で、モルタルの役割を果たす線状の領域が出現する（図6）^[6]。当該領域のモルタルの明るさは場所によって変化するが、上下のタイル列に相当する領域の明るい部分（グレースケール画像上でおよそ120/255）と暗い部分（およそ15/255）の、およそ中間の明るさ（およそ40/255）であり、上で述べたカフェウォール錯視の生起条件を満たしている。投影像中の奥行きが変化する部分には、手前にある面と接続している面が投影される。水平な接続面が視線と平行でかつ同じ高さの場合、モルタルはほとんど現れないはずであるが（図7a）、実物体の場合には接続面と垂直面が曲面で接続されていることも多くあり、この場合は特にモルタルがより明確に現れる（図7b）。以下では、光源方向と視線方向（ここでは前額平行面の法線ベクトルと定義する）が変化した時のモルタルの明るさと幅をより詳細に考える。



図6 実風景で生じるモルタル

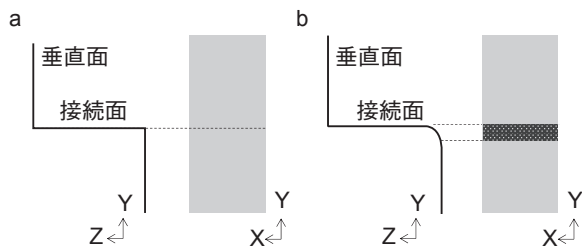


図7 モルタル領域と接続（水平）面の形状

2.2. 光源方向と視線方向の違いによるモルタル領域が生じる状況の分類

図7では視線方向が上下面とほぼ平行な場合を考えたが、実際には視線方向は上下にずれている場合も多い。この場合、物体の上部（水平、あるいは垂直面を接続する面の法線が光源と同じ方向）にあるモルタルに相当する領域（モルタル領域）を観察している場合と下部（接続面の法線が光源とは異なる方向）にあるモルタル領域より観察している場合で、モルタル領域が生まれる状況が異なる。なお、以下では、光源が物体上方にある^[9]と考えて議論する。

図8に光源方向と視線方向が変化したときの状況を接続面の法線を基準として分類した。光源方向、および視線方向がそれぞれ90度よりも大きいかどうかによって、状況が変化する。また、モルタルがタイル列上部にある場合と下部にある場合も示した。

この中で、モルタルがタイル列上部にあり、光源方向が接続面の法線方向から90度以上離れている場合（図8-③、⑦）、光源方向が接続面の法線方向から90度以内にあり、視線方向が90度以上離れている場合（図8-⑤、⑥）には、光源、あるいは接続面が視線方向に対して垂直面の裏側に存在するために、モルタル領域が生じない。

残りの状況のうち、光源方向、視線方向がともに接続面の法線方向から90度以内にある場合は、接続面そのものがモルタル領域として見える（図8-①、②）。一方、光源方向が接続面の法線方向よりも90度以上離れており、モルタルがタイル列下部にある場合（図8-④、⑧）には、手前にある垂直面が奥側にある垂直面に落とした影（陰影）がモルタル領域として見える。以下では、この2つの状況について、モルタルの輝度と幅について考える。

2.2.1. 接続面の投影像がモルタル領域を構成する場合

接続面の法線と光源方向、および視線方向のいずれが90度以内である場合には、接続面の網膜像がモルタル領域を構成する（図8-①、②、図9）。その見かけの幅（ w ）は、垂直面の奥行き差（ d ）、接続面の傾き、すなわち垂直面の法線（以下単に法線と表記する）と接続面がなす角（ θ_{step} ）、および視線方向（垂直面の法線を基準とした上下方向の偏位角、 θ_{vp} ）にしたがって式（1）のように変化する。

$$w = d \sin(\theta_{step} - \theta_{vp}) / \cos \theta_{step} \quad (1)$$

また、モルタル領域の明るさ I_{mortar} は、物体表面が一樣に粗い面（ランバート面）であると仮定すると、観察方向に見かけの明るさは依存しない。タイル列の明るい部分の輝度 I_{max} は光源方向（垂直面の法線に対する光源の上下方向の偏移角、 θ_{light} ）の余弦にしたがう。モルタル領域での直接反射成分については、光源方向、接続面の傾きと光源方向の角度差にしたがう。さらに、垂直面の反射光が接続面に入射されることによるモルタル領域の輝度上昇（ Δ_i ）があると考えられる。以上より、モルタル領域の明るさは、およそ式（2）のように変化する。

$$I_{mortar} \approx I_{max} \cos(\theta_{step} - \theta_{light}) / \cos(\theta_{light}) + \Delta_i \quad (2)$$

2.2.2. 陰影がモルタル領域を構成する場合

接続面の法線と光源方向が90度以上ずれており、かつ接続面の勾配が、光の入射角よりも大きい（水平に近い）場合（図8-④、⑧、図10）は、手前側の垂直面が奥側

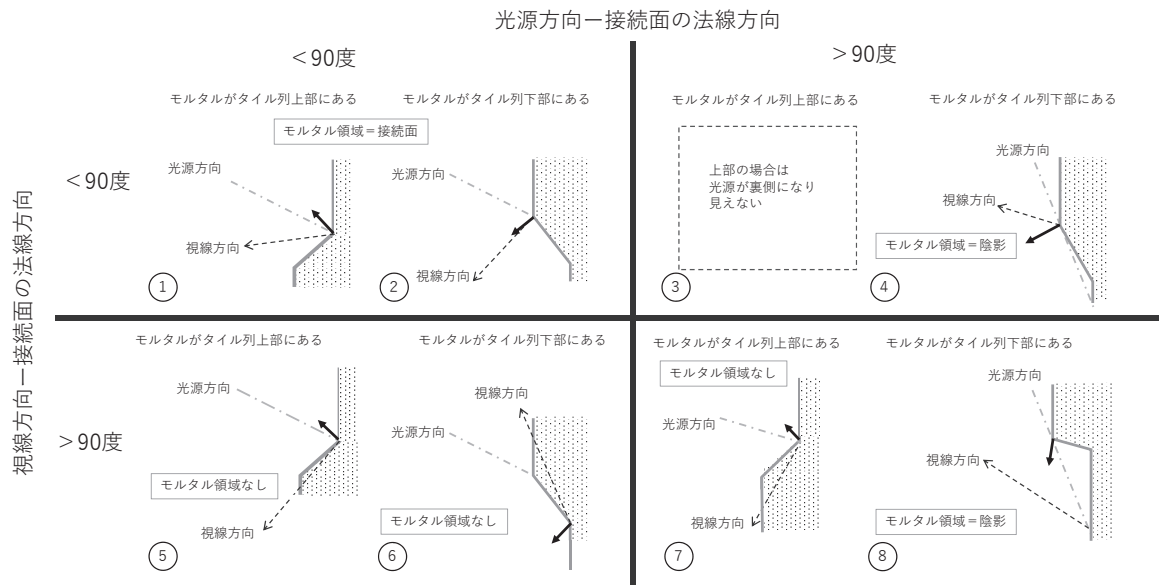


図8 光源・視線方向の違いによるモルタル領域が生じる状況の分類：図中黒い太矢印は接続面の法線方向，点線矢印は視線方向，灰色の一点鎖線は光源方向を示す。

の垂直面に落とす影により，モルタル領域が生じる。

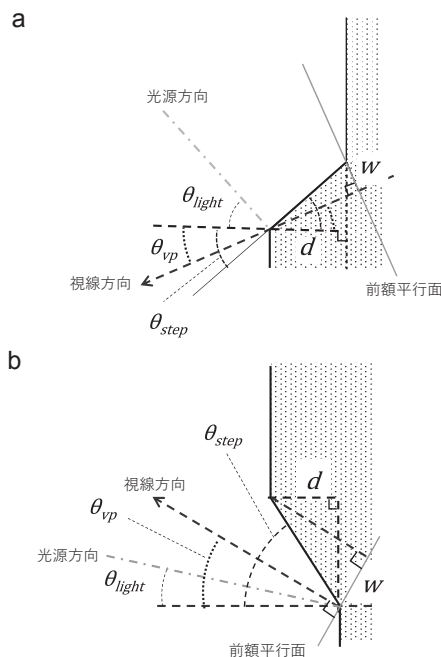


図9 接続面によって生じるモルタル領域：図aでは光源方向と視線方向，接続面の傾きの極性が異なる場合を作図している。

このときのモルタルの見かけの幅 (w) は，陰影部分のうち前面に遮蔽されない部分の前額平行面（視線方向を法線ベクトルとする面）への投影サイズとなる。この値は，垂直面の奥行き差 (d)，垂直面の法線ベクトルを基準とした視点位置の上下方向の偏位角 (θ_{vp})，光源方向 (θ_{light}) によって，式 (3) のように変化する。

$$w = d \sin(\theta_{light} - \theta_{vp}) / \cos \theta_{light} \quad (3)$$

次に，この時のモルタル領域の明るさ I_{mortar} を考える。この場合は陰影部分がモルタル領域を構成している。すなわちモルタル領域は，直接入射光がない領域である。入射光がないので，直接反射の成分に基づく表面輝度はほぼ0である。タイル列のうち影によって構成されている暗いタイルも同じく入射光がない部分であるので，立体自身による間接反射成分 (Δ_i) を無視した場合には，この両者の輝度はほぼ等しい。すなわちモルタル領域の明るさ I_{mortar} は，以下の式 (4) におよそしたがう。

$$I_{mortar} \approx I_{min} + \Delta_i \quad (4)$$

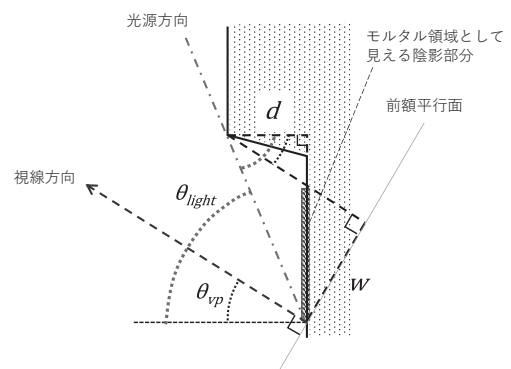


図10 陰影で構成されるモルタル領域

3. 三次元状況でカフェウォール錯視が強く生じる条件

1.3節で述べた通り，カフェウォール錯視が強く生じるためには，モルタルの幅はできるだけ狭く（見込み角にしておよそ10arcmin 以内^[4]），またその輝度はタイル列の中間が望ましい。以下では2章の分類をもとに，三次

元状況でカフェウォール錯視が強く生じる条件を論じる。

3.1. モルタル領域の幅について

2章において示した接続面そのもの、あるいは陰影によって生じたモルタル領域の幅がしたがう二式（式（1）、式（3））は、式（1）における視線方向（ θ_{vp} ）と式（3）における光源方向（ θ_{light} ）の変数が入れ替わっているだけで、同形である。これらの二式は、垂直面の奥行き差が小さく、また、接続面が水平に近いほど、あるいは、視線、または光源方向と接続面と平行に近いほど、モルタルの見かけ幅が小さく、カフェウォール錯視が強く生じることを示している。

視線方向、あるいは光源方向と接続面の傾きの差が45度以内及び接続面の傾きの絶対値が90度以内の場合のモルタルの幅の振る舞いを、図11に示した。この範囲では、接続面の傾きよりも視線方向、あるいは光源方向がモルタルの幅に大きく影響する。視線方向あるいは光源方向と接続面のずれがおよそ15度よりも小さければ、広い範囲の接続面の傾きに対してモルタルの幅は比較的安定しており（図11でグラフ背景が白い部分）、その時の値は奥行き差の約10～25%程度であることがわかる。

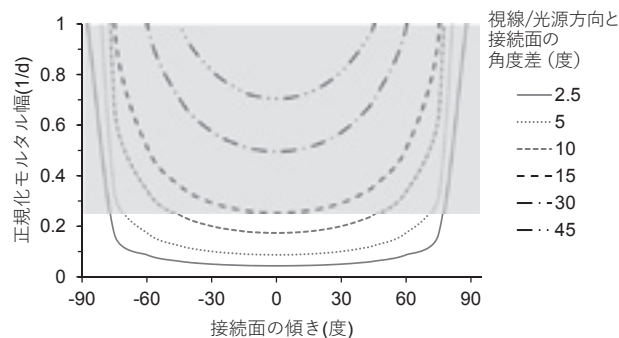


図11 三次元状況の変化によるモルタル領域幅の変化：それぞれの視線方向と接続面の角度差条件で、モルタル幅を垂直面の奥行き差（ d ）で正規化した値を接続面の傾きの関数としてプロットした。（定義より傾きが0の時に接続面は水平である。）

カフェウォール錯視はモルタルの幅がおよそ10arcminになると消失するので、奥行き差が約1 arcdeg前後であれば、カフェウォール錯視が生じることになる。これは観察距離の約1.75%の厚みに相当する。例えば、観察距離が1mであれば、約1.75cm以内の奥行き変化が適当な視点位置に対して錯視を起こす条件となる。

3.2. モルタル領域の輝度について

接続面によってモルタル領域が現れる場合の（2.2.1節参照）、光源方向と、接続面の傾きと光源方向の差に対するモルタル領域と明るいタイルの明るさ比を、図12に示した。光源方向がおよそ30度以内である場合は、広い

範囲の光源方向と接続面の傾きの差に対して、比の値が1以下であり、モルタル領域の明るさは、明るいタイルと暗いタイルの中間レベルとなり、カフェウォール錯視が頑健に生じる条件を満たす。

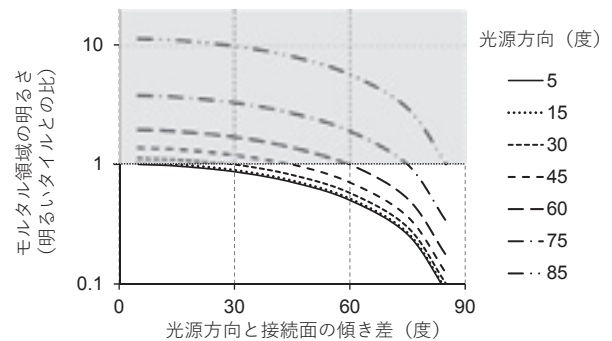


図12 三次元条件の変化によるモルタル領域の輝度変化：それぞれの光源方向の条件でモルタル領域と明るいタイルの明るさ比を光源方向と接続面の傾き差の関数としてプロットした。

陰影によってモルタル領域が現れるとき（2.2.2節参照）は、間接反射成分を考慮しない場合、モルタル領域の明るさがタイルの暗い部分とほぼ等しくなる。この場合強いカフェウォール錯視は生じにくい。ただし、モルタルの輝度がほぼ0である状況でも弱い傾きの錯視が生じる^[10]。また、下で述べるように間接反射成分によりモルタルの輝度が中間輝度となる場合も考えられる。

以上では、間接反射成分による若干の輝度上昇（式（2）、（4）における Δ_i ）については無視した議論を行った。物体が自然物に多くみられるような適度な荒さと正の光の吸収係数を持つ場合に、この反射成分による明るさの加算が、直接反射成分に比べて著しく大きいとは考えにくい。したがって、間接反射成分を考慮に入れた場合、陰影がモルタル領域を構成するときには、モルタルの領域輝度はタイル列の明るい部分と暗い部分の中間輝度となり、むしろ錯視が強まると考えられる。一方、接続面がモルタル領域を構成する場合には、間接反射成分が大きくなるほど、光源方向と接続面の傾き差がより大きく、接続面が水平により近くなる必要がある。

3.3. 議論のまとめ

以上の議論をまとめると、光源方向・接続面の傾きの双方が比較的レベルに近い条件で、錯視はより生じやすい。自然環境で光源方向が垂直上方にある時には、垂直面に対して直立する物体の影はほとんどできず、比較的低い高さから斜めに光が当たっているときには、影が投影されやすい。したがって、カフェウォールパターンが生じる三次元状況を成立させる条件と、ここで明らかにした光源、接続面の条件の間には整合性がある。

カフェウォール錯視が三次元的状況で生起することは、錯視が、パースペクティブの歪みを補正して正しい三次元形状を推定する機能の誤作動である可能性を示す^[7]。このことを考慮すると、3.1節での議論は、カフェウォール錯視が観察距離に対して比較的奥行き差が少ない物体表面の形状推定を行う視覚プロセスの誤作動であることを示している。また、遠い距離にある物体や、相対的に静止している物体であっても、上記の条件さえ満たせば錯視が生じうることは、観察距離が大きくなると働きにくくなる両眼視差や物体に対して大きな視点移動が必要となる運動視差に無い性質である。この錯視を引き起こしていると考えられる視覚機能が、これらの一般的な立体視機能を補完するような性質を持っていると考えられる。

3.4. タイル列を生じさせる影によるモルタルの輝度変調と錯視の相互作用について

以上では、モルタル輝度の局所的な変調は考慮していない。実際には、直柱による影が落ちる場所ではモルタル領域の明るさは0になり、それ以外の部分のみが、2章で示したような輝度となる。このことが錯視に影響を及ぼす可能性は否定できないが、実物体やCGで、本論文で扱っているような三次元状況を作成した場合には、カフェウォール錯視が生じ、また影のパターンがある程度複雑であっても、同様の方位の錯視が比較的頑健に生じた^[6]。したがって、モルタル領域での局所的な輝度変調の錯視への影響は、あったとしても限定的であろう。これには、(1) 平均輝度については、もともと平均輝度が低いモルタルが陰影の場合は、影響が限定的であり、モルタルが接続面の場合には、平均輝度を下げることにより、より広い条件でモルタルの平均輝度が中間輝度となること、(2) 方位成分の相互作用については、影によって生じるモルタルの輝度変調の主成分がタイル列と同様の波長帯域で生じ、錯視を生じさせる直接的な原因である“Fraser twisted cord”が生じる帯域よりも低いこと^[11]、などの理由が考えられる。

4. まとめ

本研究では、カフェウォールパターンを生じる三次元状況を光源と視点の位置を中心として詳しく解析した。結果、以下の2点が明らかになった。(1) 奥行き変化が起こる面、あるいはそれを含みその周囲に生じる陰影が、典型的なカフェウォールパターンにおけるモルタルの働きをする。(2) このモルタル領域が錯視を生じさせるためには観察距離の約1から2%程度の奥行き差が

ある面に影が落ちている状況が望ましい。これらの結果は、視覚系が比較的大きな観察距離下で、観察距離に対して比較的奥行き差が少ない物体表面の形状推定を行うときに、物体に落ちる影の情報が有効な手がかりとなることを示す。

謝辞

本論文の一部は、科研費挑戦的研究(萌芽)19K21607の支援を受けている。

参考文献

- [1] 北岡明佳, “北岡明佳の錯視のページ”[オンライン]. Available: <http://www.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/>. [アクセス日: 10. 10. 2019].
- [2] Shapiro, A.G., Dejan, T. (eds.), “The Oxford Compendium of Visual Illusions.”, New York, NY: Oxford University Press (2017).
- [3] Fraser, J., “A new visual illusion of direction.” *British J. of Psych.*, 2 (1908), 307-320.
- [4] Gregory, L.R., Heard, P., “Border locking and the Café Wall illusion.” *Perception*, 8 (1979), 365-380.
- [5] Kitaoka, A., “Tilt illusions after Oyama (1960): A review.” *Japanese Psych. Res.*, 49 (2007), 7-19.
- [6] 丸谷和史・大谷智子. “カフェウォール錯視の三次元的解釈と錯視パターンのバリエーション.” 図学研究, 54 (2020), 13-26.
- [7] Maruya, K. Ohtani, T., “Shadows Can Change the Shape Appearances of Real and Virtual Objects.” *Proc. of 2019 IEEE -VR*, (2019), 1076-1077.
- [8] Gregory, R.L., “Knowledge in perception and illusion.” *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.*, 352 (1997), 1121-1128.
- [9] Sun, J., Perona, P., “Where is the sun?” *Nat. Neurosci.*, 1 (1998), 183-184.
- [10] Münsterberg, H., “Die vershobene Schachbrettfigur.”, *Zeitschrift für Psychologie*, 15 (1897), 184-188.
- [11] Nematzadeh, N., Powers, D.M.W. “The Café Wall Illusion: Local and Global Perception from Multiple Scales to Multiscale.” *Applied Comp. Int. Soft Computing*, 8179579 (2017), 1-22.

●2020年2月25日受付

まるや かずし

NTT コミュニケーション科学基礎研究所
〒243-0198 神奈川県厚木市森の里若宮3-1
kazushi.maruya.zb@hco.ntt.co.jp

おおたに ともこ

東京藝術大学 芸術情報センター
〒110-8714 東京都台東区上野公園12-8
(2020年4月より 明治大学総合数理学部 所属)

初学者の3Dモデリングにおける難点と原因の分析

Analysis of Difficulties and Causes with Beginner's 3D Modeling

河田 尚子 Shoko KAWATA 竹之内 和樹 Kazuki TAKENOUCHI

概要

3Dモデリング演習での活用を目的とし、初学者の特徴を調べた。このために、自由課題の制作開始時に、モデルの完成予想図と3Dモデリング手順の計画を記入するレポートを課した。また、制作モデルを3Dプリンターで出力した後に、試行錯誤の有無とその理由、サイズ感と立体感、サイズのイメージ方法について尋ねるアンケート調査を行った。これらに対応させて分析し、初学者の3Dモデリングにおける難点と原因について考察した後、3Dモデリング演習の課題と改善の方策について考えた。

キーワード：CAD・CADD／3Dモデリング教育／立体認識／意匠デザイン／3Dプリント

1. はじめに

デジタル環境を利用したデザイン、設計、製造は現代のものづくりのプロセスを刻々と変化させている。様々なデジタルツールの中でも3Dモデリングは3Dプリンターの普及にともなってその必要性を増しており、アイデアの表現、プロトタイプ制作、デザインの評価に役立つので、デザイン・設計を学ぶ学生にとって、習得が望まれるスキルの1つになりつつある。

3Dモデリング時には、(1)最終形状を複数のフィーチャーに分解し、(2)個々のフィーチャーの立体化方法を選定し、(3)分解したフィーチャーを最終形状へ再構築するため、立体化方法の適切な順序を考え、(4)ソフトウェア上での操作を行う。3Dモデリングの習熟者は(1)～(3)を頭の中で素早く行ってしまうため、授業の演習や学習テキストでは、ソフトウェアの操作に関する説明が多く、(1)～(3)の説明・指導は少ない。そのため、手順を解説された演習課題以外ではモデリングに困難を感じる初学者が多いようであり、3Dモデリング学習における(1)～(3)の充実が望まれる。

本報では、3Dモデリング演習中にアイデア・3Dモデリング手順のまとめの補助として課したレポートと、演習後のアンケートをもとに、3Dモデリングにおける初学者の難点の原因を抽出・考察する。なお、3Dモデリングの授業成果^[1]や、3DCADを利用した立体認識

能力の向上^[2]は報告されているが、受講者が提出したレポートの特徴を、形状の把握と分解・再構築のレベルの指標として抽出を行い、分析することは新しい試みである。

2. モデリング演習および調査方法と内容

2.1. デジタルモデリング演習の構成

調査対象とした演習は、曲面を含む形状の3Dモデルを制作する基本手法を習得することを目的として、芸術工学部工業設計学科3年次前期に開講されている。90分×2コマ連続で、15回のうち10回を3Dモデリングにあてている。第1回～第4回は、基本モデリング手法の習得である。予め準備された課題について、立体化の方法と特徴を説明しながら全体の流れと操作をデモンストレーションして見せ、同じ操作を行わせて学習をさせている。内容の中心は3D曲面のモデリングで、課題はスプーンー曲面によるソリッドボディのカット、シャンプーハットー曲面の厚みづけによるソリッド化、ひよこ型まんじゅうーロフトサーフェスとスカルプト、である。使用ソフトウェアはSolidWorksとFusion 360である。上記の課題ごとに資料を作成し、配布している。第5回～第8回は、指定条件下でのマグネットマスコットの制作である。この期間は習熟者であるティーチングアシスタント(TA)がつねに質問に対応し、学生制作状況によっては目的形状により適した3Dモデリング方法の指導も行った。この後、第9回で3Dプリント出力の後処理、第10回で作品紹介プレゼンテーションを行い、アンケートを実施した。

2.2. 自由課題デザイン対象に対する制約(または規制)

自由課題のマグネットマスコットは、学生それぞれがデザインした本体に市販のマグネットを取り付けるものである。制作時の条件として、最外形寸法(1辺約25mmの立方体)、肉厚、マグネットの寸法と、取り付け穴のクリアランスを示した。これらの条件を設けることで、ソフトウェア上に立体形状が再現できるだけでな

く、実用的な3Dモデリングの演習になることを目指している。条件の数値は3Dプリントサービスのデザインガイド^[3]を参考に、石膏粉末式3Dプリンターでの出力を考慮して設定した。

2.3. 制作レポート

自由課題中、3Dモデリングに並行してアイデア・手順をまとめるためのレポートを課した。図1は受講者に配布したレポートの記入見本で、イラストでの説明が中心（左）と、言葉での説明が中心（右）の2種類を示した。レポートの内容は、完成予想図、3Dモデリングの手順、アピールポイント（コンセプト、制作背景、工夫点など）の3つで、それぞれに記載欄を設けた。また、完成予想図欄には条件である最外形寸法の枠（25mm）とそれより少し大きい枠（30mm）を実寸で描き、サイズ確認を行えるようにした。

このレポートは自由課題制作後に提出させ、[完成予想図]、[3Dモデリングの手順]での「イラストの合計枚数」と、[3Dモデリングの手順]での「言葉で説明された手順の数」を、レポートの特徴を示す数値として抽出した。

2.4. 課題後アンケート

自由課題で作成したモデルの3D出力後に、以下の質問項目からなる選択形式のアンケートをWEB上で実施した。

- ・使用ソフトウェア
- ・モデリング対象（作成するデザイン）の決め方
- ・レポート作成のタイミング
- ・3Dモデリングでの試行錯誤の有無とその理由
- ・3Dモデリング前、途中でのサイズのイメージ方法

- ・3Dモデリング中のイメージと比較したときの3Dプリントされた制作物のサイズ感、立体感
- ・制作に役立った、参考にした資料

2.5. モデリング演習および調査方法のまとめ

2018年度前期の受講者44名に対して、レポート提出者は42名、アンケート回答者は44名であった。分析は、まずアンケート結果から演習を通じた学習の様子の概略をとらえ、ついで質問同士のクロス集計、レポートの特徴を表した数値との重ね合わせにより、試行錯誤の有無とその理由の関係、3Dモデリング中のイメージと比較したときの3Dプリントされた制作物のサイズ感・立体感とサイズのイメージ方法の関係を探った。そして、3Dモデリング初學者の難点とその原因について、結果をふまえて考察を行った。

3. 試行錯誤の有無に関する結果

アンケートで、自由課題において[想定していた通りに3Dモデリングができ、モデリング開始後に方法や手順の変更がなかった]と回答したのが17名であるのに対して、[途中で方法や手順を変更した、モデリング方法の試行錯誤があった]と回答したのは27名で、学生の半数以上が試行錯誤を経験していた。この結果について、次のように、モデリング対象の決め方と、試行錯誤の有無の理由に対する回答のクロス集計を行った。

3.1. 試行錯誤の有無とモデリング対象の決め方

[試行錯誤の有無]と[モデリング対象（作成するデザイン）の決め方]に関する結果を表1に示す。(a)「作りたいもの」から「モデリング方法」を考えた、または(b)「作りたいもの」から自分のレベルで「モデリング

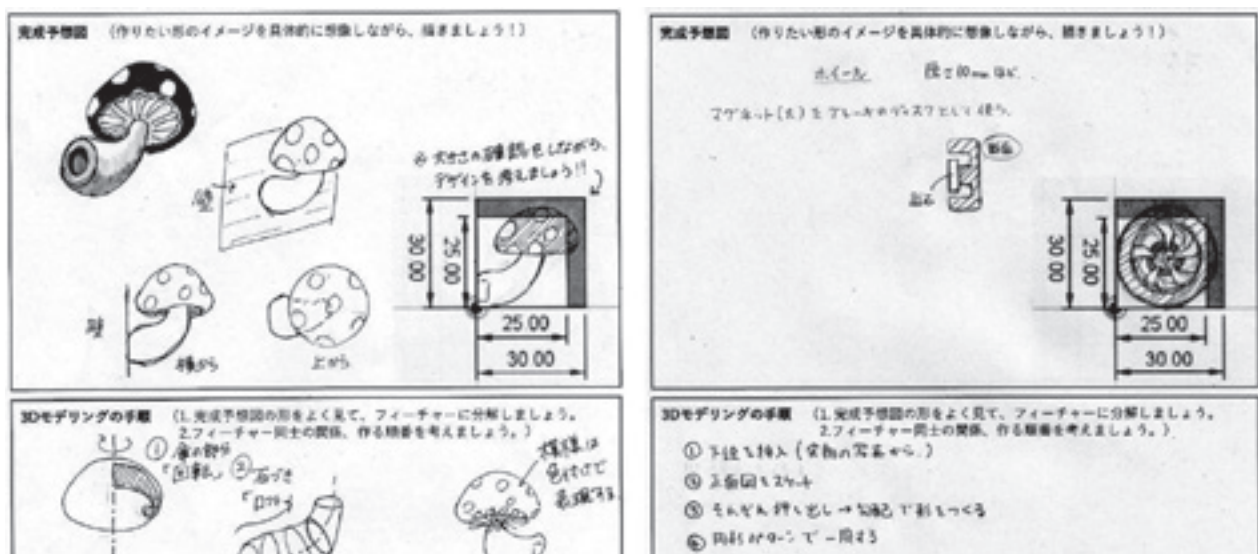


図1 レポートの見本（一部）

表 1 試行錯誤の有無とモデリング対象の決め方

選択肢	試行錯誤	
	なし	あり
(a) 「作りたいもの」から「モデリング方法」	9	13
(b) 「作りたいもの」から自分のレベルで「モデリングできる形」	5	12
(c) 「モデリングできる形」から「作るもの」	3	2

できる形」を考えた、と回答した人では過半数が試行錯誤をしている一方で、(c)「モデリングできる形」から「作るもの」を考えたと回答した人では、試行錯誤なしの割合が高かった。

この結果は当たり前のことのように思えるが、それでも 3D モデリングで自分が作れる形状を考慮して、対象を決定したであろう (b) と回答した17人中12人、(c) と回答した 5 人中 2 人が試行錯誤したと回答していることから、初学者にとっては、形状に合ったコマンドの理解、フィーチャーの組み合わせによる形状の表現は難点の 1 つのようである。アイデアの表現のために 3D モデリングを利用するには、(c) のような順番で形状のアイデアを考えるべきではないが、3D モデリングのスキルが不十分であるために、デザインが制限される可能性があることも示している。

3.2. 試行錯誤の有無とその理由

レポートから「イラストの合計枚数」、「言葉で説明された手順の数」を抽出し、その分布状態を、モデリングにおける試行錯誤の (a) なしと (b) ありに分けて図 2

に示す。アルファベット記号 (A) ～ (G) は、試行錯誤の有無により質問を分岐してその理由を尋ねたときの回答である。理由は複数選択できるようにした。また、項目末尾の括弧内はそれぞれの回答者数を示す。

図 2 (a) をみれば、試行錯誤なしの分布は左下に集中しており、レポートの特徴として「イラストの合計枚数」、「言葉で説明された手順の数」による説明ともに少なめであることが分かる。理由は多かった順に、(A) 事前に方法・手順をよく考えたから [12]、(B) TA の言う通りにしたから [4]、(C) 方法・手順は細かく計画していなかったがうまくいったから [3] であった。(D) イメージと違う形になったが妥協したからを選択した人はいなかった。

図 2 (b) の試行錯誤有の回答分布において、3/4 ほどは (a) 試行錯誤なしとほぼ同じの位置に分布するが、残り 1/4 の 7 名は (a) と比較して、描画による形状可視化・手順の記述が多い。試行錯誤を行った理由は、多い順に、(H) TA に違う方法をすすめられたから [10]、(E) 他にもっとよい方法が思い浮かんだから [9]、(G) 実際にモデリングしてみて、イメージと違う形になったから [6]、(F) 考えていた方法では不可能だと感じたから [6] である。これらのうち、理由 (H) には特に分布の集中が認められないが、理由 (E) と (G) はイラストの合計枚数に関係していて、イラストの合計枚数が 1 ～ 3 枚の人が (G)、3 ～ 9 枚の人が (E) と回答していた。

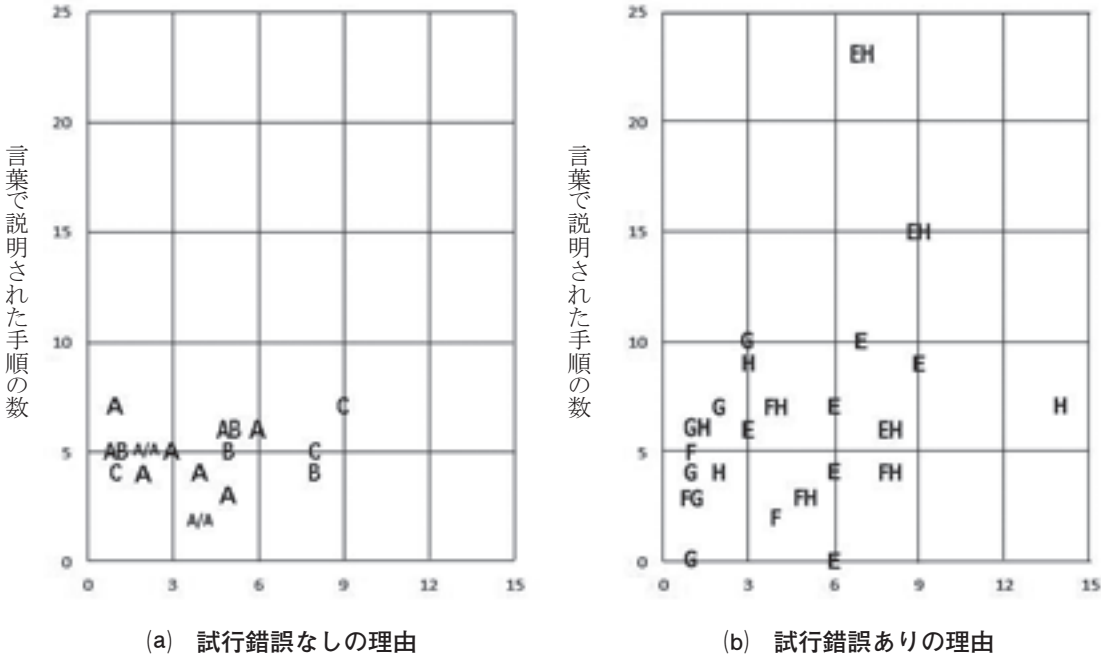


図 2 レポートの特徴と、試行錯誤の有無に対する理由の関係

以上の結果より、レポートの特徴、試行錯誤の有無、その理由の間に少なからず関係性があることがうかがわれる。図2において、「イラストの合計枚数」、「言葉で説明された手順の数」が多いほど、回答が右上に近づき、より手順が多く複雑な3Dモデリングを試みていると考えられる。試行錯誤がなかった人は理由に関して、(A)事前に方法・手順をよく考えたからが多く、左下に集中している。一方、試行錯誤があった人で、(E)他にもっとよい方法が思い浮かんだからと回答した人は、原点から離れた位置に多い。このことから、初学者は、手順が少なく単純な3Dモデリングであれば、形状の分解・再構築を頭の中で行い、3Dモデリングの方法と順序の見通しを立てることができるが、手順が多く複雑な3Dモデリングになるにつれてそれが難しくなり、試行錯誤につながると考えた。また、試行錯誤がなく、(C)方法・手順は細かく計画していなかったがうまくいったからと回答した3人中2人は比較的イラストの合計枚数が多かったので、描画による形状可視化の段階で自然と形状の分解・再構築をして頭の中を整理できていたのではないか、と推察する。

試行錯誤ありでもっとも回答が多かった理由 (H) TAに違う方法をすすめられたから、の分布からは、目的の形状の手順の数や複雑さに関わらず、知識と経験の差があることが予想される。習熟者であるTAは受講生よりも多くの立体化の方法を把握しており、それらを適切な順序で扱えるため、受講生が考える方法よりも簡単かつ短時間で完成させられる方法に気づく可能性が高いからだと推察する。

図2 (b) では、「イラストの合計枚数」が増えるに

たがって、その理由が (G) 実際にモデリングしてみて、イメージと違う形になったから、から (E) 他にもっとよい方法が思い浮かんだから、へシフトしているように見える。このことについて、(G) を選んだ人は、立体化の方法について正しく理解できていない可能性が考えられるが、それに加え、「イラストの合計枚数」が少ないことから、そもそも自分が作ろうとしている形状が曖昧で把握できていない可能性があると考えられる。それと比べて (E) を選んだ人は、目的の形状は把握できているが、立体化の方法について正しく理解できていない可能性が考えられる。また、(F) 考えていた方法では不可能だと感じたから、と回答した人についても理由 (E) を選んだ人と同じことが考えられる。このように考えると、3Dモデリングの習得のためには、目的の立体形状の具体的なイメージができること、ソフトウェアのそれぞれのコマンドで立体化できる形状について理解できることの2つが必要となる。

4. サイズ感・立体感に関する結果

4.1. サイズ感と立体感

[3Dモデリング中のイメージと比較したときの3Dプリントされた制作物のサイズ感、立体感]に関する質問に対する選択肢と、回答数を表2に示す。サイズ感・立体感の質問両方において (A) イメージと同じだったと回答した人は18人である。つまり、3Dプリントされた制作物が3Dモデリング中にイメージしていたサイズ感あるいは立体感と違っていると受講者の過半数が感じていることが分かった。

3Dモデリング中のイメージと比較したときの3Dプ

表2 サイズ感と立体感

サイズ感	立体感	(A) イメージと同じ	(B) 3Dプリントされた制作物をみて初めて立体感を感じた	厚み		細部の形状		計
				(C) 薄い	(D) 分厚い	(E) 小さい	(F) 大きい	
3Dプリントされた制作物は3Dモデリング中のイメージと比べて	(a) イメージと同じ	18	5	0	1	4	0	28
	(b) 大きい	1	1	1	0	2	0	5
	(c) 小さい	8	1	1	0	5	1	16
	計	27	7	2	1	11	1	49

表3 サイズ感とサイズのイメージ方法

サイズ感	イメージ方法	(A) イメージしなかった	レポートの実寸枠利用		3DCADの寸法機能の利用		計
			(B) 描画	(C) 眺めた	(D) 寸法設定	(E) 寸法計測	
3Dプリントされた制作物は3Dモデリング中のイメージと比べて	(a) イメージと同じ	0	14	0	9	2	25
	(b) 大きい	1	1	1	1	0	4
	(c) 小さい	0	3	4	6	0	13
	計	1	18	5	16	2	42

リントされた制作物のサイズ感については、(b) 大きいと回答したのが5名であるのに対し、(c) 小さいと回答したのは16名と多かった。立体感についても、細部の形状について (F) 大きいと回答したのが1人であるのに対し、(E) 小さいと回答したのは11人と多かった。

このように、3Dモデリング中のイメージと比較したときの3Dプリントされた制作物のサイズ感・立体感、は、小さいと感じやすい傾向があるようだった。3Dモデリングの際には、デザイン条件である最外形寸法（1辺約25mmの立方体）よりもかなり大きく拡大した3Dモデルを画面上で確認しながら作業を行うことになるため、細部の形状までしっかり作り込んでしまう傾向にある。このことが、サイズ感も立体感も3Dプリントされた制作物を小さいと感じる理由だと考えられる。

4.2. サイズ感とサイズのイメージ方法

[3Dモデリング中のイメージと比較したときの3Dプリントされた制作物のサイズ感]、[3Dモデリング前、途中でのサイズのイメージ方法] についてたずねる質問に対する選択肢と、回答数のクロス集計結果を表3に示す。ただし、この表ではイメージ方法について、自由記述の回答をした人を含まない。イメージ方法について、(B) レポートの実寸枠の中にイラストを描画した、と回答した18人のうち14人が、サイズ感がイメージ通りだったと回答した。しかし、(C) レポートの実寸枠を眺めた、と回答した5人ではサイズ感がイメージと同じだった人はいなかった。(D) 3DCAD上で寸法設定した、と回答した16人中9人が、サイズ感がイメージ通りだったと回答したがイメージ通りだった人の割合では、(B) よりも (D) の方が低いという結果だった。

これらの結果より、実寸の枠を眺めるだけでは、サイズのイメージが十分にできない可能性があることが分かった。また、3DCAD上では、ある形状を3Dプリンターで実際に制作できるかどうかに関わらず、寸法を数値で入力することができる。寸法の入力、は、大きさのイメージがなくても数値的にできるため、実際よりも拡大された画面上での見た目にだまされたと考えられる。

3DCADに慣れることによる設計者の感覚的な麻痺を懸念して、手書き図面やスケッチが奨められており^[4]、本研究の結果からも、手書きでイラストを描くことがサイズ感の確認に役立っていることが示唆された。

5. 制作に役立った、参考にしたものに関する結果

自由課題の制作において3Dモデリングをするときに役立った、参考にしたものについてたずねた。選択肢に

は、授業で配布した資料6つと、その他（記述形式）を用意し、複数選択可能とした。回答数は以下の通りだった。

- (A) スプーン制作サーフェスによるボディのカット [6]
- (B) シャンプーハット制作サーフェスの厚みづけ [13]
- (C) ひよこ型まんじゅうの作り方①ロフトサーフェス [5]
- (D) ひよこ型まんじゅうの作り方②スカルプト [15]
- (E) デザイン条件が記されたデザインガイド [19]
- (F) モデリングの基本ツールの説明 [22]
- (G) その他「TA, TA のアドバイス」 [2]
- (H) その他「参考書, Fusion360の解説本」 [2]
- (I) その他「Fusion 360の操作方法が紹介された web サイト」 [1]

(A) ～ (D) は課題ごとに適した様々な立体化の方法を学習するときに用いた配布資料である。この資料には、3DCADの操作画面のキャプチャ画像と操作の説明が示されており、演習の前に配布を行い、操作に合わせて説明を行いながら演習の進行に合わせて目を通してもらった。(E)、(F) は自由課題の制作の際に課したレポートの裏面に制作のヒントとして付けた資料である。(E) については、自由課題の制作を始める前に、演習で使用する3Dプリンターの特徴と合わせて説明を行った。(F) は細かい操作方法は記さずに基本的な立体化の方法をコマンド別にまとめたもので、立体化方法の名前（コマンド名）とその特徴が確認できるようになっている。この資料については、受講生全体に向けた説明は行っておらず、レポート作成・3Dモデリング時に自由に目を通してもらった。また、個別に質問対応するときに、説明のために利用することもあった。

回答数が最も多かった (F) モデリングの基本ツールの説明は、3Dモデリングを計画するときどのコマンドが使用できそうかの判断に広く役立ったのではないかと考える。題材ごとの作り方が説明された (A) ～ (D) は、回答数が分かれており、その中から自分が作りたい形状の立体化に応用できそうな資料を選んで参考にしていると考えられる。

(E) デザインガイドは、3Dモデリングする対象の形状を考えるために利用したと思われる。デザイン条件を満たす制作を行うためには、デザインガイドの確認は必須であると思われるが、受講生45人に対し、参考にしたと回答したのは19人である。最外形寸法が条件よりも大幅に大きかったり、厚みが足りずに3Dプリント後に破損したりする制作物があったのは、3Dプリントすることを考慮に入れた設計ができていないからだと思われる。

る。シミュレーションやプロトタイプ制作のための3Dモデリングには、デザイン条件をよく理解して設計する技能も必要であると分かった。

6. 授業の課題と改善の方策

本研究で調査を行った授業では、用意された課題の3Dモデリングを通して、複数の立体化の方法を理解し、オリジナルの形状へ応用できるようになることを演習の目標としている。しかし、3DCADの経験が少ない受講生は指導者が行う操作を追うことだけで手一杯であり、結果として3DCADの操作に重点をおいた演習になってしまっていると感じた。操作ではなく、3Dモデリングの考え方を身に付けてもらうためには、あるコマンドで立体化が可能なフィーチャーの特徴を説明し、1つずつの操作の根拠を示すことで、同じ立体化の方法で他にどのような形状に応用できるかを想像しやすくするべきだ。さらに、複数のフィーチャーが組み合わさった立体形状から、基本的なフィーチャーに分解して、3Dモデリングが行える順序で再構築する方法についての説明や練習を積極的に取り入れていくことが必要である。

3Dプリントまでを含めた自由課題の制作においては、3Dモデリングの技能以外に、矛盾のない立体形状を考える能力、実際のサイズを想像する能力、制作物の難易度を見極める能力などが、3Dモデリングの理解に影響を与えることがうかがえた。3Dモデリングはアイデア創出の手段ではないため、とりあえず始めればなにかできるだろう、という考えは通用しにくい。そのため、3Dモデリングの前段階となる上記のような能力が必要であり、他の授業や日常生活を通してこれらの能力を伸ばす努力をうながすべきだ。

レポートやアンケートの結果以外の気づきとして、TAに積極的に質問をした受講生ほどレベルの高い制作が行えていたと感じる。習熟者に目的の形状を伝え、3Dモデリングの方針をたずねることは、3Dモデリングの近道だと考えられる。しかし、一方で目的の形状に矛盾があり立体化が不可能である場合や、目的の形状の説明がおおまかで具体的でない場合は、習熟者でもアドバイスすることができない。3Dモデリングに取りかかる前に、自分のアイデアを具体的にし、それを他人に説明できるようにすることが、3Dモデリングの上達につながると感じた。アイデアを創出し、説明するためには、イラストや言葉を適切に使えることが重要であり、ここでも手書きスケッチの重要性を認識できた。

7. おわりに

3Dモデリング演習での自由課題の制作開始時に制作のためのレポートを課し、制作したモデルの3Dプリント後にアンケートを実施した。これらに対応させて分析・考察した結果、受講生は3DCADの操作ではなく、その前段階の立体形状の分解・再構築に課題があることがうかがえた。また、立体形状やサイズ感の把握にスケッチが有効であることが示唆された。レポートとアンケートの結果、授業での気づきをふまえて、3Dモデリング演習の進め方について課題と改善の方策を考察した。

参考文献

- [1] 日高潤, 亀井延明, 板谷慎一郎, “3D-CADの教育効果向上に向けての提案”, 明星大学理工学部研究紀要, 第50号 (2014), pp.61-64.
- [2] 八田潔, 河村浩輔, “実体模型と3D-CADにより立体感を身につける製図教育”, 石川工業高等専門学校紀要, 第45号 (2013), pp.1-5.
- [3] DMM. make, “Material Guideline”, https://img.make.dmm.com/images/materialPdf/1/dmm_material_guideline_plaster_180724_rev005.pdf, (参照2018-10-20).
- [4] 岩田亮, 平野重雄, “アイデアを具現化する際の手描きの重要性に関する一考察”, 図学研究, 43 (2009), pp.3-10.

●2019年7月4日受付

かわた しょうこ
九州大学大学院芸術工学府
〒815-0032 福岡県福岡市南区塩原4丁目9-1
kawata.shoko.432@s.kyushu-u.ac.jp
たけのうち かずき
九州大学芸術工学研究院
〒815-0032 福岡県福岡市南区塩原4丁目9-1

Monge「図法幾何学」出版より前に印刷本などで表現されていた複面投影図

Multiview projections represented in printed books before the publication of Monge's Descriptive Geometry

福田 幸一 Koichi FUKUDA 大月 彩香 Ayaka OHTSUKI 竹之内 和樹 Kazuki TAKENOUCHI

概要

Mongeの「図法幾何学」において描かれている複面投影図は、時代をさかのぼればMongeより前にもグーテンベルグの印刷術による書籍などでも表現されていた。これらの分野は美術・建築・土木・造船・要塞などである。これらの図の中には、「図法幾何学」の問題解法に匹敵するものも見受けられる。

海外においては、Mongeの業績などに関する研究が最近まで盛んに行われていて、学会や著書で報告されている。

ここでは、図学および製図に関する図例を先行研究と共に紹介し、Mongeが「図法幾何学」を創造するまでの過程もたどることによって、Mongeが果たした役割を再認識することとした。

キーワード: 図学史／複面投影／石切／Monge／図法幾何学／遮蔽平面

Abstract

The multiview projections drawn in Monge's Descriptive Geometry had been represented in Gutenberg's printing technique books before Monge as well. These fields include art, architecture, civil engineering, shipbuilding and fortification. Some of these figures are comparable to the problems and solutions in Descriptive Geometry.

Overseas, studies on Monge's works have been actively conducted until recently and have been reported in academic societies and books.

This paper provides an opportunity to re-recognize the role that Monge played by introducing examples of geometrical figure and technical drawing together with previous studies, and following the process that Monge invented Descriptive Geometry.

Keywords: History of graphic science / Multiview projection / Stone cutting / Monge / Descriptive geometry / Plane of defilement

1. はじめに

Monge (1746-1818) の「図法幾何学」^[1]は、三次元の幾何問題を、複面投影により二次元の図を用いて理論的に解決する幾何学とも言える。

ここでは、グーテンベルグの印刷術が普及し、著書の印刷出版が行われるようになった1500年代より、Mongeが図法幾何学を創造するまでの間に、書籍などにおいて複面投影図がどのように表現されていたのか、またMongeは、どのようにして図法幾何学を創造したのかを簡単に振り返りたい。

先行研究として、主として Sakarovitch, “Épures d'architecture”^[2](建築設計図)、Taton, “L'œuvre scientifique de Monge”^[3](モンジュの科学的業績)、ブッカー「製図の歴史」原正敏訳^[4]、ディアス「石による形と建設 - 中世石切術から19世紀截石(せつせき)術まで」入江由香訳^[5]などを参考にさせていただいた。

透視図については、作図過程では複面投影図と見ることができ、三次元の対象を二次元で表現することの歴史上の意義も大きく、多くの印刷出版と先行研究があるが、今回は省略する。

2. 先行研究

2.1. Taton, “L'œuvre scientifique de Monge” (1951年)

Taton は「フレジエは、合理的かつ科学的方法で建築と石切りの問題を判断した最初の著者であった。」と述べている。また、「Monge はメジエール工兵学校到着後、フレジエの技術の画期的石工作業場で2年間働き、技法を学ばなければならなかった。」としている。

2.2. Sakarovitch, “Épures d'architecture” (1998年)

2.2.1. ヴォールト石切図^{注1)}(図1a)

Sakarovitch がヴォールト要石の実形を Monge の図学解法でラバットメントを用いることにより求めたもので、理論的に明確に投影図の間の形状の関連が分かりやすく表現できている。

2.2.2. 要塞遮蔽平面^{注2)} (図1b))

Monge が工兵学校で研究した、従来の解法に替わる、新しい時間短縮となった方法と説明されている。遮蔽する点Aを頂点とする、母線が地形に接する錐面を考えて、Aを通らない任意の水平面 π との交線 Γ への接線T(接点B)より遮蔽平面を求めている。海外では、この分野の研究報告も最近までなされている^[6]。

この著書では、このほか複面投影の歴史についても古代より解説している。

2.3. ディアス「石による形と建設」(2009年)

ここで述べられているように、石切図に幾何学が持ち込まれたのはド・ロルムが最初で、フレジエで一定の完成をみた。ディアスは「Monge が現れた時、既に石切術の作図方法は周知の事実となっており、やり残されたことは、図における基準と完全に抽象化された作業手順を、独自の理論として統合することのみであった。」と述べている。

3. 図学に関する図例

3.1. デューラー

3.1.1. 「測定法教則」^[7] (1525年^{注3)} 図2)

a) は円錐の水平切断線から同心円にて交点を求め双曲線を作図している。

b) は石造りの柱の最上部にある柱頭で、図3も含めて第三角法表現となっている。

3.1.2. 「人体均衡論四書」^[8] (1528年 図3)

デューラーは人体の形状と寸法比例を追求し、a) は姿勢を変化させた際の、また、b) は頭部を直方体の形に置き換えて、首を屈折、転回して動かした際の、見え方を表現している^[9]。

各国を結ぶ投影対応線について、ブッカー「製図の歴史」では、「デューラーやその後の建築家たちが、投影的に関連づけられた多くの図という形で、正投影法の一般的原理を示した。」と述べられている。

3.2. ド・ロルム「建築第一巻」^[10] (1567年)

論証は不十分であったが、それまで類似のものは存在しなかったため永続的な影響力を持ったとされる^[3]。

建築(石切術)の分野では、ド・ロルムからフレジエまでの間にデザルグ(著書は弟子のボッセによる)、ドラン、ド・ラ・リュとそれぞれの目的をもった著書の刊行が続いた。

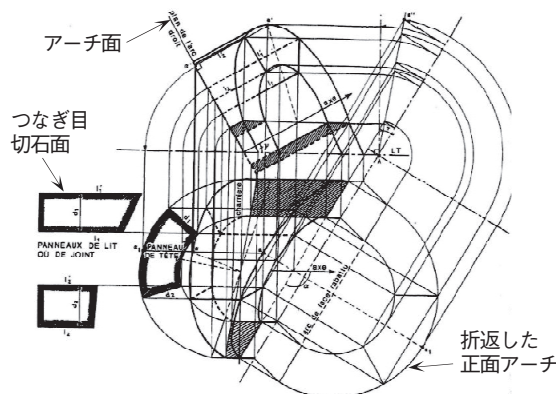
3.2.1. ヴォールト図(図4a))

立面図と平面図のほか側面図より傾斜壁の石の形状を

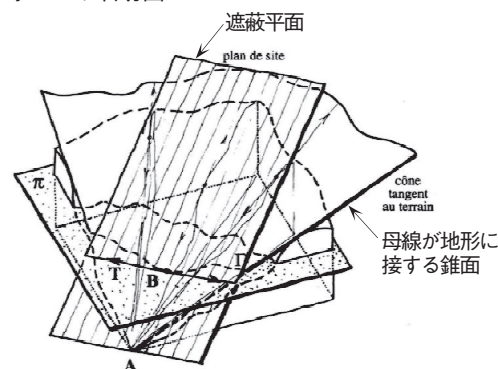
求めようとしているが図および説明も不足している。

3.2.2. 窓のアーチ裏、ヴォールト図(図4b) c))

立面図と平面(断面)図より石の形状を求めようとし

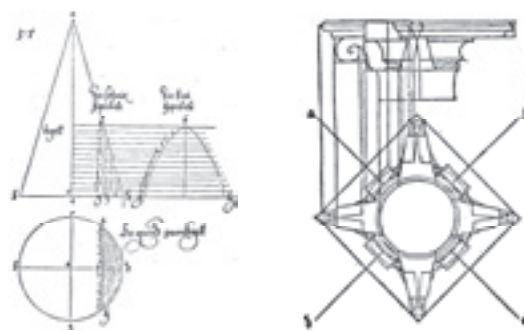


a) ヴォールト石切図



b) 要塞遮蔽平面

図1 Sakarovitch, "Épures d'architecture"



a) 円錐切断面

b) 柱頭図

図2 デューラー「測定法教則」



a) 人の見え方

b) 立体の見え方

図3 デューラー「人体均衡論四書」

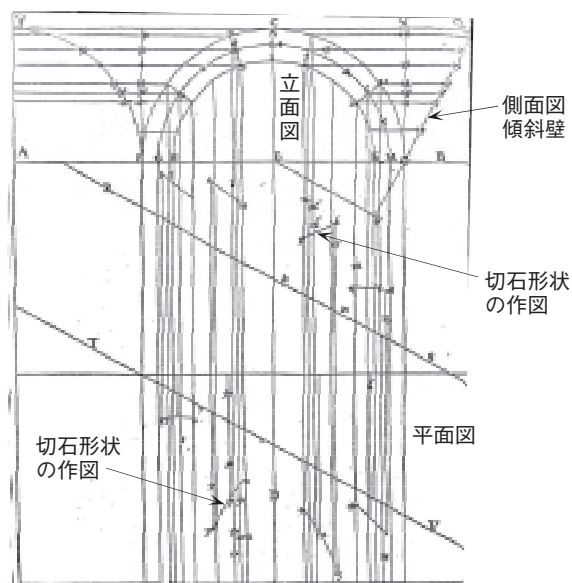
ている。

3.3. ブロンデル「建築講義」^[11] (1698年 図5)

Sakarovitch, “Épures d'architecture”にて取り上げられた図で、柱頭の平面図に対して立面図と共に斜め方向から見た副投影図が用いられている。

3.4. ド・ラ・リュ「石切術」^[12] (1728年 図6)

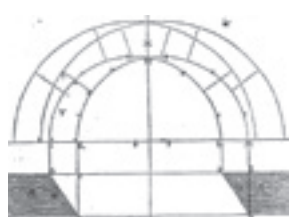
側面図にて傾斜壁まで円弧を使い奥行きと高さの実長を求め、平面図や鉛直断面図を作図するなど図学解法となっている。ただし、ド・ラ・リュの作図法は石切術の一技術に留まっていて一般化されるに至っておらず、この作図をもって科学としての「図法幾何学」の成立とい



a) ヴォールト図



b) 窓のアーチ裏



c) ヴォールト図

図4 ド・ローム「建築第一巻」

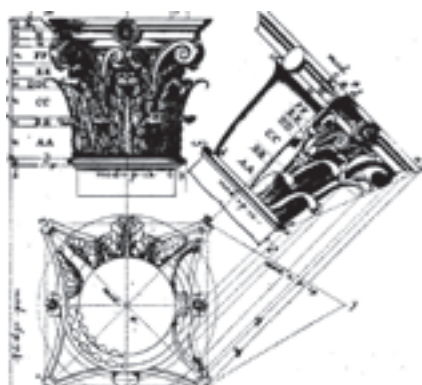


図5 ブロンデル「建築講義」

うことはできない。

エコール・ポリテクニクで数例がモデルとして使用されたとされる^[3]。

3.5. フレジェ「石と木材切断の理論と実践」

3.5.1. 第1巻^[13] (1754年)

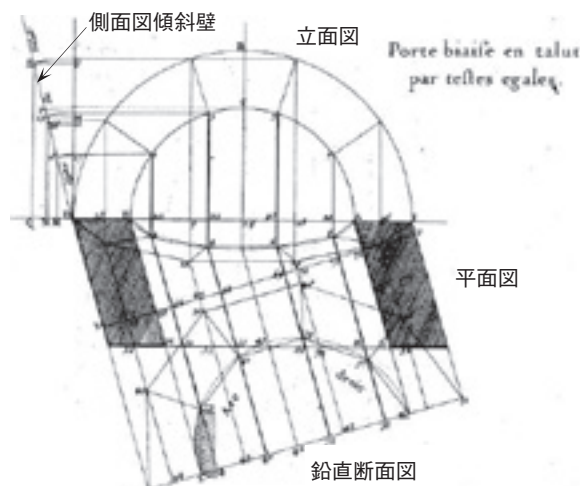
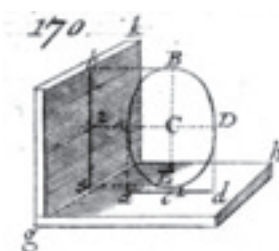
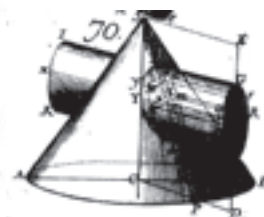


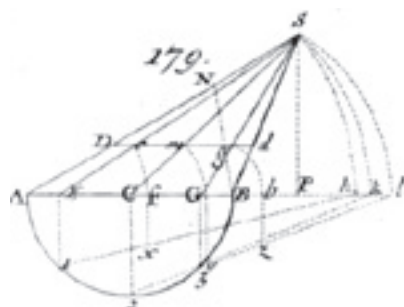
図6 ド・ラ・リュ「石切術」



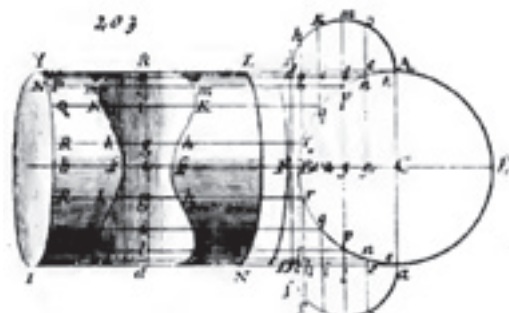
a) 複面投影説明図



b) 相貫体



c) 斜錐体の母線実長



d) 円柱相貫線

図7 フレジェ「石と木材切断の理論と実践第1巻」

a. 複面投影説明図 (図7 a))

Monge の投影原理に匹敵する図と考えられる。

b. 斜錐体の母線実長 (図7 c))

平面図と立面図を利用して母線の実長を求めている。

c. 円柱相貫線 (図7 d))

現在の解法と類似である。

これらの図のほかにも切断、展開など図学的作図の説明がなされている。

3.5.2. 第2巻^[14] (1738年)

化粧壁設計図を図8に示す。円錐面と斜平面および円柱面よりなる壁面の三面図で、円錐面と斜平面の交わりが放物線となっている例である。平面図における斜平面のなす角度により、交わりが放物線、双曲線、楕円と変化する円錐曲線となることについての記述がある。

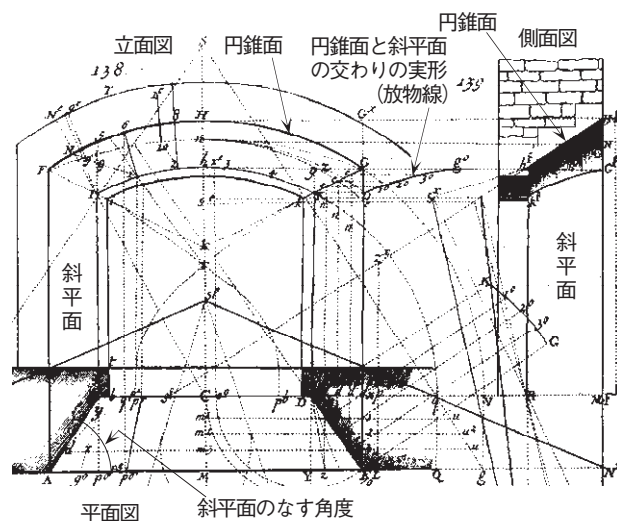


図8 フレジエ「石と木材切断の理論と実践第2巻」

4. 製図に関する図例

4.1. 建築

4.1.1. パラディオ「建築四書」^[15] (1570年 図9)

建築図面は対象が大きいこともあって立面図と平面図が独立している例が多いが、この著書では複面投影を意識して置かれている図が多い。この図は北イタリアで1606年に完成して、1994年にユネスコの世界遺産の一部となって公開されているヴィラ・ロトンダである。

4.1.2. 将校館図^[16] (Vauban 署名 1700年 図10)

将校館は要塞の中に建てられた。側面図は断面図となっている。Vauban (1633-1707) は、ルイ14世に仕えた軍人、要塞の理論的設計・建設技術者である。2008年にユネスコの世界遺産となったフランス全土にある14個所の要塞の1つのモン・ドーフィンにある。

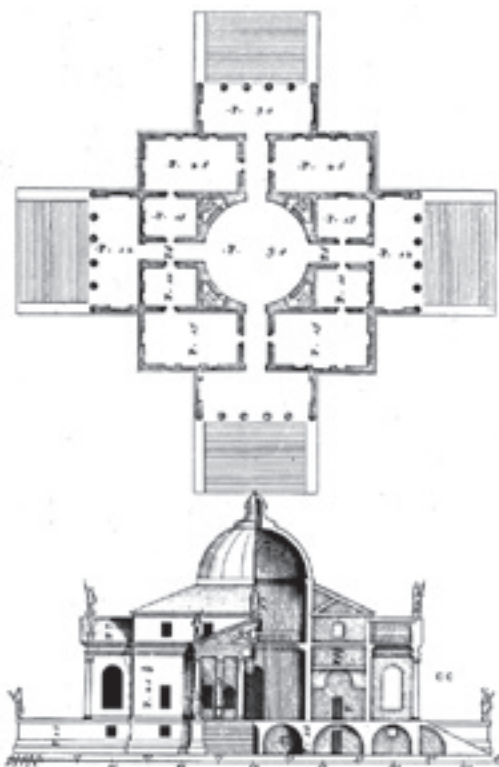


図9 パラディオ「建築四書第2巻」

4.2. 造船 (図11^[17])

1500年代からは大航海時代を経て、1800年代まで大砲を使用した海戦などで帆船が使用されたが、当時の設計基準や図面^[18]も残されている。図11に、カスターネータ「最も重要な寸法の割合」(1720年)の図を示す。船体側面図、平面図、船殻断面輪郭線などが表現されている。

スペインでは、1600年代始めから新たに船形の標準化が進められ、量産化につながった^[19]。

4.3. ベリドール「水理構築術」^[20] (1737年 図12)

ベリドールは砲兵学校の初代数学教師^[21]で「技師の科学」の著書もある。これらの著書は教科書でもあり、「水理構築術」は技師たちにとってバイブル的存在だったといわれる^[21]。Plan (平面図), Elevation (立面図), profil (側面図) の記載があり、各図が関連する位置に

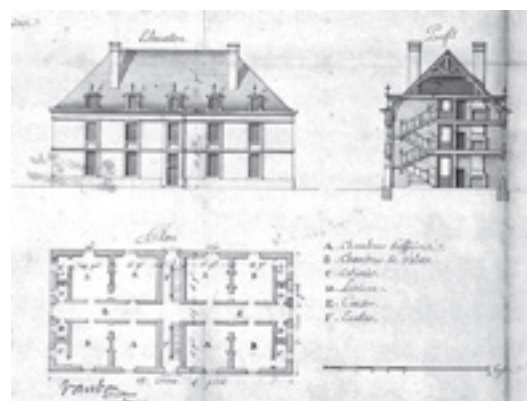


図10 将校館図

置かれている。各図の位置が、ずれた配置となっているものも見受けられるが、複面投影図で表現する意図が感じられる。これは工事用手動排水装置である。

4.4. 百科全書^[22] (図13)

1751年から1772年にかけて刊行されたディドロらによる百科全書の図版にも複面投影らしい表現を見ることができる。

このように、Monge の図法幾何学が創造される前までに、建築、土木、機械などの分野において、必要に迫られて複面投影図の理論化の近くまで科学技術の存在があったことが読み取れ、それらが Monge に伝わったことが考えられる。

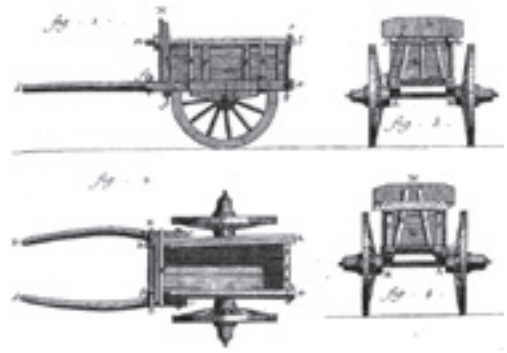


図13 百科全書

5. 「図法幾何学」に至るまでの関連する事項

活版印刷の実用化から Monge の図法幾何学に至るまでの関連する事項を表1の年表と共に取り上げてみる。

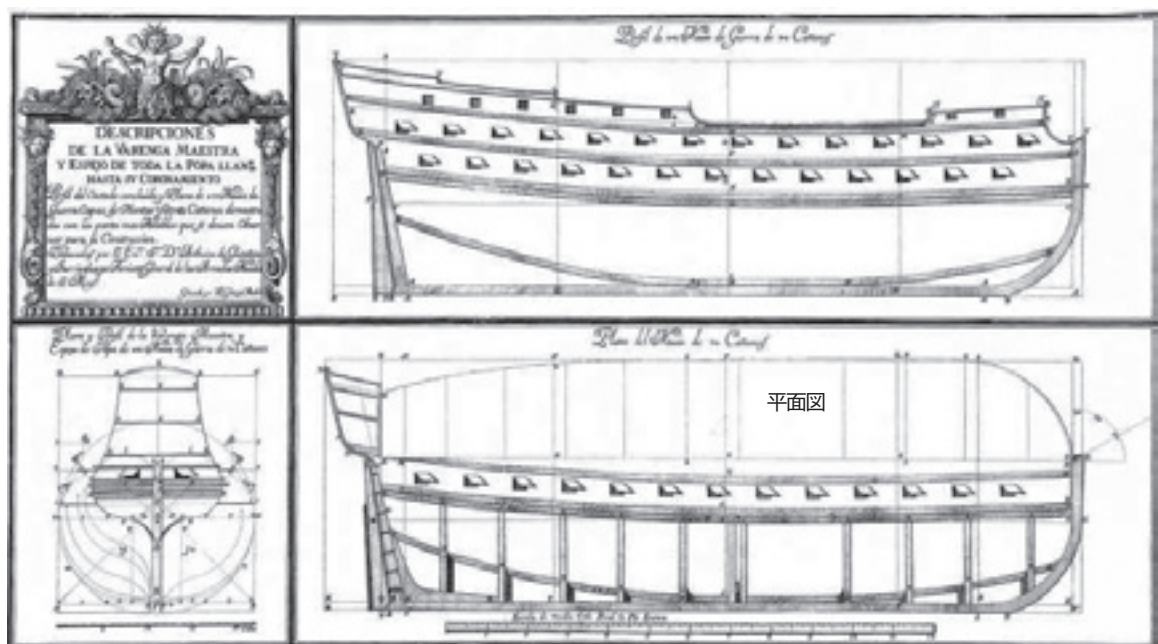


図11 カスタネータ「最も重要な寸法の割合」

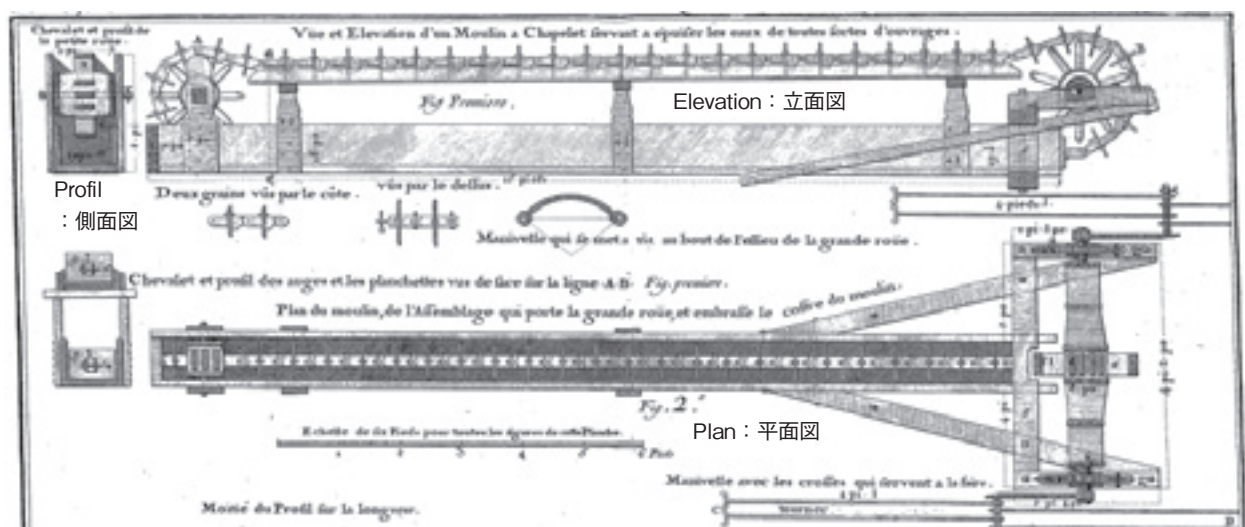


図12 ベリドール「水理構築術」

表1 年表 活版印刷の普及からMonge「図法幾何学」に至るまで

		「 」：出版，{ }：論文		出典*Wikipedia，**国立国会図書館(Web)：江戸の数学	
		Monge 図学関連出版他 国名なしはフランス	仏国王 他	フランス	産業革命（イギリス）他 国名なしはイギリス
1400年代		アルベルティ（伊）「絵画論」「建築論」	シャルル7世		フィレンツェにアカデミア グーテンベルグ（独）聖書200部印刷 ドイツ全国で印刷業
		ダ・ヴィンチ（伊）「透視図」 <u>ユークリッド原論印刷</u> 、 <u>デューラー（独）イタリア旅行</u>	ルイ11世		
		三角定規の記述 （シュムッテルマイア（独）著 ピクナルに関する小冊子） コペルニクス（ポーランド）「地動説」 <u>デューラー（独）「測定法教則」「人体均衡論」</u>	シャルル8世		
1500年代		コペルニクス「天体の回転」 アグリコラ（独）「デ・レ・メタリカ」	ルイ12世	イタリア戦争 大砲の使用	コロンブス（葡、西）アメリカ航路発見 ガマ（葡）インド航路発見、三角関数表** 星形要塞の築造（伊） <u>マゼラン（西）艦隊世界一周へ</u> ヴェラツァーノ（伊）北米東海岸探検 カルティエ（仏）カナダへ航海 フリシウス（蘭）三角測量記述 鋳鉄砲製作
		<u>ド・ロルム「建築書」</u> <u>パラディオ（伊）「建築四書」</u>	フランソワ1世	伊技術者星形要塞築造	
		モンテ（伊）「透視図」 マルティネス（西） 「構築物と石切術の作図法」手稿本 ガリレオ（伊）「星界の報告」 ケプラー（独）「酒樽の立体幾何学」，第3法則	アンリ2世		スペイン アメリカ開拓地 メルカトール（ベルギー出）世界地図 ドレーク 世界一周 イギリス アメリカに植民地 スペイン無敵艦隊の敗北 三角関数表の出版 ブラグレイブ「日時計の技術」 リッパルハイ（蘭）天体望遠鏡 スネリウス（蘭）オランダの三角測量 メイフラワー号アメリカ移民 榴弾の使用 （従来の星形要塞の利点なくなる） パーニア（仏）副尺発明
		マロロワ（蘭）「透視図」	シャルル9世	ユグノー（カルヴァン派）戦争 国内宗教戦争 カトリック対新教 星形要塞の築造 信仰の自由	
		デカルト「幾何学」 <u>ドラン「丸天井の建築」</u> <u>デザルグ「透視図」</u> パスカル「幾何学的精神」	アンリ3世	東インド会社	
1600年代		<u>造船（断面曲線・側面図・平面図）</u> バロウ（英）「幾何学講義」 <u>ブロンデル「建築講義」</u>	アンリ4世	30年戦争 対スペイン、スウェーデン	ギャセーニュ 照準望遠鏡に十字線 イギリス清教徒革命 ボイルの法則 ロンドン王立協会 ビカール（仏）十字線付三角測量 グリニッジ天文台設立 フックの法則
			ルイ13世		ニュートン「プリンキピア」 イギリス名誉革命
			ルイ14世	<u>Vauban要塞の築造</u> 王立科学アカデミー カッシーニ地図三角測量開始 砲兵隊、王立建築アカデミー マルリ給水場、工兵隊、砲術学校 <u>ヴェルサイユ宮殿</u> 航海学校・信仰の自由廃止 大同盟戦争 フランスの侵略戦争	
					ニューコメン 蒸気機関
		ルイ・ブルテ「建築の実用的透視図」		4国同盟戦争，土木局 砲兵学校	シソン セオドライト経緯儀 ハドリー 航海用六分儀 ゲッチングン大学（独） ベルヌーイの定理（スイス） ノレ（仏）「実験物理学のレッスン」
1700年代		<u>ド・ラ・リュ「石切術」</u> ベリドール「技師の科学」 <u>ベリドール「水理構築術」</u> <u>フレジェ「石と木材切断の理論と実践」</u> オイラー（スイス出）「無限解析序説」	ルイ15世	全土の三角測量	ハリソン クロノメーター（年差30秒） （経度測定の高精度化） アークライト 紡績機 <u>ワット 蒸気機関</u> ウィルキンソン 中ぐり盤 ワット 回転式蒸気機関 カートライト 力織機 <u>トリエル（仏）等高線表現</u> 図法幾何学イギリスへ伝わる モーズリ ねじ切り旋盤 トラファルガーの海戦「図法幾何学」西訳 フルトン蒸気船（米）「図法幾何学」英訳 ステューブソン 蒸気機関車 土木技術者協会
		誕生		土木学校・工兵学校 「百科全書」4000部販売* 対英7年戦争	
		工兵学校に入る、遮蔽問題を図法で解く 数学教授〔空間曲線の縮閉線〕 物理教授兼任〔偏微分方程式〕 〔切取りと盛り土〕 <u>図法幾何学を教授</u> 科学アカデミー準会員，船舶学校教授 度量衡制定委員 <u>海軍大臣</u> ボロテク校長，エジプト遠征「 <u>図法幾何学</u> 」 〔 <u>幾何学への代数学の応用</u> 〕 元老院議長，エコール・ポリテク退職		造船学校 王立製図学校 <u>グリボーバル砲（ドリル加工）</u> アメリカ独立戦争 鉦山学校 フランス革命 エコール・ポリテクニク設立 ガウス最小2乗法 子午線測量 メートル義務化 高等師範学校再開 ナポレオン流刑 地図王立委員会	
		死亡	ルイ16世	共和政	
			ナポレオン1世		
1800年代		Crozet（米）「Treatise on Descriptive Geometry」	ルイ18世	エコール・サントラル設立 （工業中央学校） 7月革命 フランス産業革命 2月革命	ロバーツ 自動紡績機 マンチェスター・リバプール間鉄道 プロペラ推進船 ウィットねじ シンガー ミシン（米）
			シャルル10世		
		三角定規	フィリップ1世		

5.1. 活版印刷の実用化

印刷業が興り、急速に発展していった。「ユークリッド原論」なども印刷され始め、科学技術の普及に貢献した。

5.2. フランスの歴史

領土拡張や宗教対立などによる戦争が多く、大砲や要塞など兵器や防御技術の改良が図られた。

ルイ14世によるヴェルサイユ宮殿の建設に代表されるように、石切技術や噴水のための給水場のような土木建築・設備工事が行われた。科学アカデミー（研究組織）と専門学校・軍事学校が設立された。

5.3. イギリスの産業革命

Monge「図法幾何学」の綱領にもあるようにフランスの産業技術の遅れが認識されていた。

5.4. ポルトガル、スペインなどによる世界航路の開拓

造船技術、航海技術の改良が図られたが、植民地を作ることにつながった。

5.5. 測量・地図作成の分野

天文学、地図投影法、測量器具の開発からフランス全土の三角測量が実施された。等高線表現も現れた。

5.6. Monge について

「図法幾何学」以外に数学などの論文発表がある。フランス革命・ナポレオン時代に政府の要職を務めた。

6. まとめ

Monge が図法幾何学を創造するまでの経緯と当時の科学技術などに関する状況に関心を持ち、原書を含めて改めて調査した。Web にて無料で閲覧できる範囲がほとんどという制約があり、原文の解読も不十分であるが、以下のことが改めて把握できた。

1) 先行研究について

Sakarovitch (1949-2014) などのように海外では、Monge の業績などに関する研究が最近まで盛んに行われていて、学会や著書などで報告されている。

2) 活版印刷本にみる図学的作図

1500年代よりみられ、複面投影的な図を用いた実長作図や、切断・相貫・展開等、現在に近い作図例もみられる。

3) 複面投影理論の説明図

Monge の基礎理論の説明に近い図（図7a）もみられる。

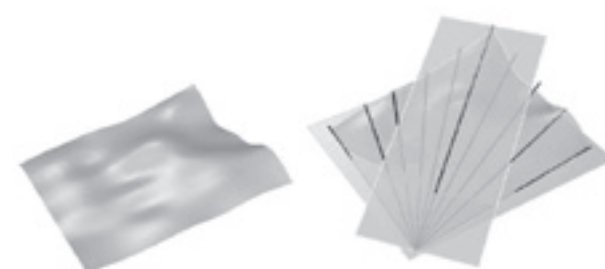
4) 製図例

建築、造船、機械器具等の三面図もあり、実用的な図面も残されている。

このように、複面投影図は永きにわたって用いられてきたが、これらを確固とした投影理論の上に複面投影図法として確立したのは Monge であり、その偉大さを再認識できた。

注

- 1) ヴォールトとはアーチに奥行きがある形状で様々な種類があるが、図1a)は図的表現として比較的難易度が高く、入り口が後に傾斜した壁で、通路が斜めのパイアス、さらに下り坂の例である。
- 2) 要塞遮蔽平面は敵の発砲から要塞内部を保護するための壁の位置と高さを決定するために必要で、保護される点を通る地形曲面への接平面となる。保護される点から見た地形の最高点を求めることでもある。3Dモデリングソフトによるモデリング例を図14に示す。



a) 地形のモデリング例

b) 円錐母線と遮蔽平面



c) 地形曲面への接平面である遮蔽平面と任意の水平面

図14 地形と遮蔽平面のモデリング例

- 3) 出版年はWebにて検索できた原書によるため初版の刊行年とは異なる。
- 4) 図版のページ指定は原書記載によらずPDF表示による。図版のページ/全体のページ数

図版出典

- 図1 参考文献 [2]: Fig.43 (p.154), Fig.22 (p.228).
図2 参考文献 [7]: booksgoogle,44,101/187^{註4)}.
図3 参考文献 [8]: booksgoogle,233,254/271.
図4 参考文献 [10]: Gallica,135,138,148/587.
図5 参考文献 [11]: booksgoogle,136/513.
図6 参考文献 [12]: booksgoogle,50/391.
図7 参考文献 [13]: booksgoogle,361,187,401/590.
図8 参考文献 [14]: Gallica,349/610.
図9 参考文献 [15]: booksgoogle,92/337.

図10 参考文献 [16] : <https://dossiersinventaire.maregionsud.fr/gertrude-diffusion/>

図11 参考文献 [17] : BIBLIOTECA DIGITAL HISPÁNICA, BIBLIOTECA NACIONAL DE ESPAÑA.

図12 参考文献 [20] : Gallica,463/496.

図13 参考文献 [22] : 木材技術, 車大工, 回転砂利車.

Edición:junio (1991), Malaga, インディアス船隊のナオ船とガレオン船の造船 (2015).

[20] Belidor, *Architecture hydraulique, Tome Premier* (1737).

[21] 中村征樹, “近代フランスにおける技術教育の展開—技師集団と職人層の技術知の創造と共有をめぐって—”, 博士論文, (2005).

[22] デジタル画像, フランス百科全書図版集, 大阪府立図書館, Web 資料案内.

参考文献

- [1] Monge, G., *Géométrie Descriptive* (1799).
日本語訳に山内一次, 図法幾何学, 自費出版, (1990).
がある.
- [2] Sakarovich, J., *Épures d'architecture:de la coupe des pierres à la géométrie descriptive xvi^e-xix^e siècles*, Birkhäuser (1998).
- [3] Taton, R., *L'œuvre Scientifique de Monge*, Presses Universitaires de France (1951).
- [4] P.J.ブッカー, 原正敏訳, 製図の歴史, みすず書房 (1967).
- [5] エンリケ・ラバサ・ディアス, 入江由香訳, 石による形と建設—中世石切術から19世紀截石術まで—, 中央公論美術出版 (2009).
- [6] Carlevaris, L., “Nicolas-François-Antoine de Chastillon: The Défilement of Fortifications at the Roots of Descriptive Geometry”, *Nexus Network Journal* (2014), 631-652.
- [7] Dürer, A., *Unterweisung der Messung* (1525).
- [8] Dürer, A., *Hierin sind begriffen vier bücher von menschlicher Proportion* (1528).
- [9] 前川誠郎, 下村耕史, デューラー「人体均衡論四書」注解, 中央公論美術出版 (1995).
- [10] De L'orme, *Le premier tome de l'architecture* (1567).
- [11] Blondel, F., *Cours D'architecture. Premiere Partie* (1698).
- [12] De La Ruë, *Traité de la coupe des pierres* (1728).
- [13] Frezier, M., *La Theorie et la Pratique de la Coupe des Pierres et des Bois, Tome Premier* (1754).
- [14] Frezier, M., *La Theorie et la Pratique de la Coupe des Pierres et des Bois, Tome Second* (1738).
- [15] Palladio, *I quattro libri dell'architettura* (1570).
- [16] Plan, profil et élévation d'un pavillon d'officiers pour Mont Dauphin, signé par Vauban (1700).
- [17] Gaztañeta, *Proporciones de las medidas mas Essempticiales* (1720).
- [18] Ship Plans, PICTURE LIBRARY, Highlights, National Maritime Museum, Greenwich, London.
- [19] Serrano, R. 山田義裕訳, *Arquitectura de las Naos y Galeones de las Flotas de Indias (1492-1590) Primera*

●2020年1月17日受付

ふくだ こういち

元久留米工業高等専門学校

おおつき あやか

元九州大学

たけのうち かずき

九州大学芸術工学研究院コンテンツ・クリエイティブデザイン部門

〒815-8540 福岡市南区塩原4-9-1

takenouchi.kazuki.477@m.kyushu-u.ac.jp

カーボディ模型の3DスキャナーデータからCADモデル作成における問題点とその解決方法

Solutions of Problems in Reverse Engineering from 3D Scanning Data to CAD Model of a Car Body

高 三徳 Sande GAO

概要

最近、単に製品の機能面だけではなく、デザイン面、とくに人間と人工物が向かい合ったとき、感覚的にも心理的にもリラックスできるような柔らかい感じが好まれる傾向性があり、滑らかな曲面で構成される工業製品が多くなってきている。リバースエンジニアリング手法を本学機械工学系学生向けの自由曲面CAD/CAM/CATの教育に活用するため、昨年、3Dスキャナーを購入した。それを用いて、著者が担当した3科目の中で、カーボディ模型の形状測定を行った。測定データはstl形式であり、小さい三角形の集合体で曲面を近似的に表現するので、カーボディの金型キャビ面CNC精密加工に使えない。このため、3D-CADソフトウェアCATIA V5を通してstlデータから自由曲面のCADモデルを作成した。その際、作業量、曲面の滑らかさ、モデルの精度等に問題が生じた。本稿では自由曲面のリバースエンジニアリングの教育内容、問題点とその解決方法について報告する。

キーワード：形状処理／カーボディ／CAD／CAM／CAT／リバースエンジニアリング

Abstract

Industrial products with free-form surfaces become more popular recently as people pursue not only the functions of a product, but also its design quality and elaboration which are essential for an enjoyable experience of using the product. An effective method to design this type of product is reverse engineering assisted with the tools used in computer aided design/manufacturing/testing (CAD/CAM/CAT). In our research, a 3D scanner was used to measure a model car body in three subjects. The measured data in the stl (stereolithography) format represented as an aggregate of small triangles cannot be used for computer aided numerical control (CNC) fine machining. To solve this problem, they were converted into a CAD model by using 3D-CAD software CATIA V5. This paper presents the issues such as the efficiency in modeling the surface and the smoothness and accuracy of CAD model created through reverse engineering.

Keywords: Shape processing / Car body / CAD / CAM/ CAT / Reverse engineering

1. 緒言

従来の工業製品は、球や円柱や直方体などを少し変形しただけの形状のものが多くであったが、最近、単に製品の機能面だけではなく、デザイン面、とくに人間と人工物が向かい合ったとき、感覚的にも心理的にもリラックスできるような柔らかい感じが好まれる傾向になってきた。このため、家電製品をはじめとして、自動車、電車、飛行機、通信機器、ビルディングなどの工業製品の形は、滑らかな曲面で構成されるようになってきている。これは自由曲線や自由曲面と呼ばれる表現方法が開発され、3D-CG、CADやCNC（コンピュータ数値制御）システムに組み込まれてきた結果によるものである^[1]。コンピュータ支援技術が発達するにつれ、工業製品の設計、製造、計測検査の工程にCAD/CAM/CAT（コンピュータ支援設計／製造／計測）が導入されつつある。一方、製品（とくにカーボディのような自由曲面を有する部品）に対しては、先行イメージとして作られたクレイモデルや、CADデータのない現物などの形状を測定し、CADデータを起こす手法、つまり、リバースエンジニアリングも企業^{[2]～[5]}や教育機関^[6]に活用されている。

本学機械工学系では、リバースエンジニアリング手法を自由曲面のCAD/CAM/CATの教育に活用するため、昨年、ドイツGOM社製の3DスキャナーATOS COREを購入した。それを用いて著者が担当した3科目の中で、カーボディ模型の形状測定を行った。測定データはstl（ステレオリソグラフィ）形式であり、小さい三角形の集合体で曲面を近似的に表現するので、カーボディの金型キャビ面のCNC精密加工に使えない。このため、3D-CADソフトウェアCATIA V5を通してstlデータから自由曲面のCADモデルを作成した。その際、作業量、曲面の滑らかさ、モデルの精度等に問題が生じた。本稿では、自由曲面のリバースエンジニアリングの教育内容、問題点とその解決方法について報告する。

2. リバースエンジニアリングの教育内容

教育の目標は、リバースエンジニアリングを通して自由曲線・曲面への理解を深め、CATとCADのハードウェアおよびソフトウェアを駆使する能力を向上し、ものづくり技術変化の激しい時代への対応力を身につけることである。教育内容、時間配分および配点（100点満点）は表1に示す。リバースエンジニアリングの導入初年度なので、著者が担当した科目「プロジェクトⅣ（2年生11名）」、「プロジェクトⅥ（3年生8名）」および「卒業研究（4年生4名）」を対象に、それぞれ同じ内容で15回に分けて実施した。

表1 授業の時間配分、内容および配点

回目	内 容	配点
1	リバースエンジニアリングと ATOS CORE の概要	-
2	ATOS CORE および測定物のセットアップ	5
3	ATOS CORE の基本操作	10
4-5	形状測定と stl データ出力	15
6-8	Stl データを CATIA V5 に転送と 3D 境界曲線作成	20
9-11	自由曲面の作成	25
12-14	自由曲面の修正	15
15	プレゼンテーション	10

3. カーボディ模型の形状測定と CAD モデルの作成

実施したリバースエンジニアリングのプロセスを図1に示す。測定物は教員が準備したラジコンボディがあれば、図2のような学生が用意したトミカもあった。形状測定には3Dスキャナー ATOS CORE を使用した。



図1 リバースエンジニアリングのプロセス

ATOS CORE は二つのカメラを持ち、人間の目の原理を応用した非接触光学式3次元デジタイザであり、温度補正や青いLED照明などが採用され、環境の影響が少なく、最高測定精度がマイクロ単位である。左右対称なカーボディに対して、測定は右側を中心に行った。測定した形状を拡大すると、たくさんの穴が開いて、境界がジグザクであった。例として図1(c)のA領域を拡大したら、図3のようになる。また、カーボディの実サイズに拡大すると、三角形で実際の曲面に近似する誤差が大きくなり、形状の滑らかさが落ちていく。このため、曲面作成と編集機能が強いCATIA V5を用いて高い精度のCADモデルを作成した。CATIA V5における操作手順はつぎのとおりである。

- (1) 「シェイプ」→「デジタイズ・シェイプ・エディタ」→「インポート」の機能で測定形状のstlデータをCATIA V5に読み込ませる。
- (2) 「シェイプ」→「クイック・サーフェス・リコンストラクション」→「挿入」→「曲線を作成」→「3D曲線」の機能を用いて、図1(d)のように曲面境界沿いの測定点をピックアップして、3D境界線（3次スプ



図2 測定物の例



図3 測定した形状の局部拡大図

ライン曲線)を描く。

(3) 境界線で囲んだ領域ごとに曲面を作成する。

曲面の作成については、初めに CATIA V5 のフィル機能で境界線だけで曲面を作成したが、作成した曲面と測定形状の誤差が大きかった。そして、図 4 のように複数セクション曲線や、図 5 のように曲線ネットワークから曲面を作成してみたところ、たくさんの曲線を描くに時間がかかり、曲面の滑らかさも欠けていた。また、一部の測定点しか使わなかったので作成した曲面の誤差も多かった。最後に、「シェイプ」→「クイック・サー

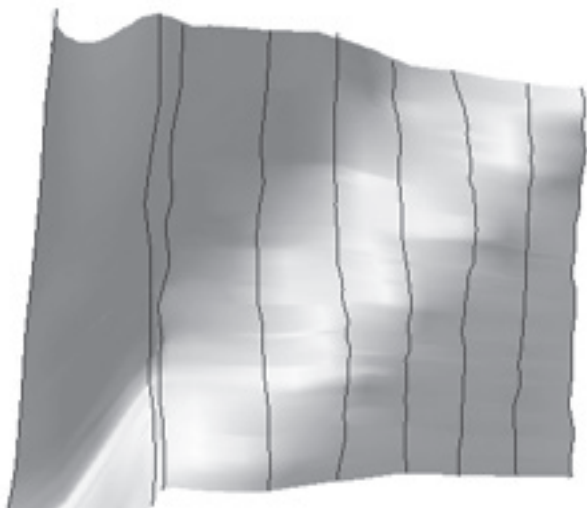


図 4 複数セクション曲線から作成した曲面の例

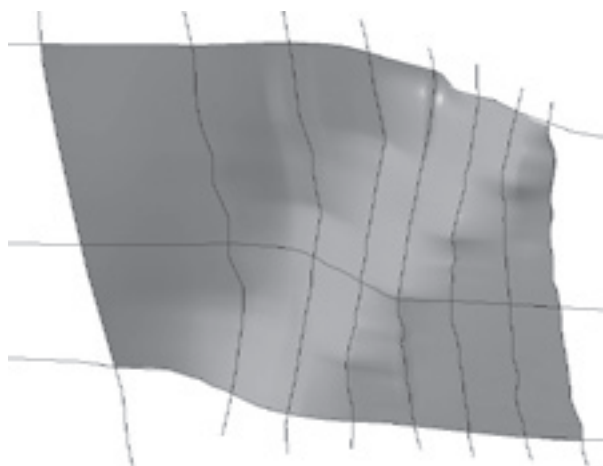


図 5 曲線ネットワークから作成した曲面の例



(a) 修正前

(b) 修正後

図 6 隣接曲面の間の隙間修正の例

フェス・リコンストラクション」→「挿入」→「サーフェスを作成」→「パワーフィット」機能を使って境界線で囲んだ領域のすべての計測データを用いて効率よく滑らかな曲面を作成することができた。しかし、パワーフィットは境界線内の測定データから曲面を計算するので、生成した曲面の境界線と描いた曲線は完全一致しないため、隣接曲面の間に隙間が現れた。これらの隙間は CATIA V5 の曲面ブレンド機能で滑らかに埋めることができた。例として図 6 に隙間修正前後の曲面を示す。作成したカーボディの半分モデルを反転コピーして、図 1 (e) のようなものを完成させた。その際、中央部に現れた隙間も曲面ブレンド機能で埋めた。しかし、学生の個人差や使用した測定物の形状の複雑さにより、図 7 のように CAD モデルから完成度のぶらつきがみられた。



図 7 作成したCADモデルの例（2年生）

4. カーボディCADモデルの評価

作成した CAD モデルの曲面の滑らかさおよび連続性に対する評価はとても難しい。授業時間の関係で、この内容は 4 年生の「卒業研究」に限って実施した。まず、図 8 のようにゼブラマップによる評価を行った。各曲面内の縞がほぼ等間隔であれば、曲面が滑らかになっている。曲面同士の連続性については、図 9 のように、(a) 曲面の継ぎ目で縞がずれている箇所は、位置連続（隙間がない）のみであるが、接線連続ではない。(b) 継ぎ目で縞が合っているが、急に方向が変わる箇所は、曲面同士の接線方向が合っていて、接線連続している。(c) 継ぎ目で縞が合っていて、スムーズに連続しているので、

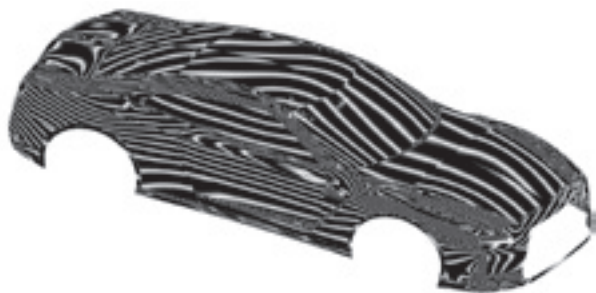


図8 ゼブラマップ

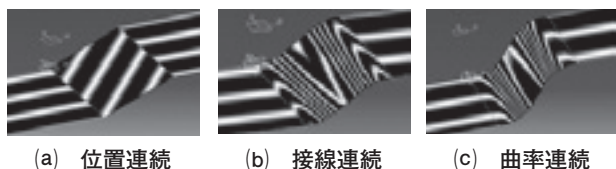


図9 曲面の接続性

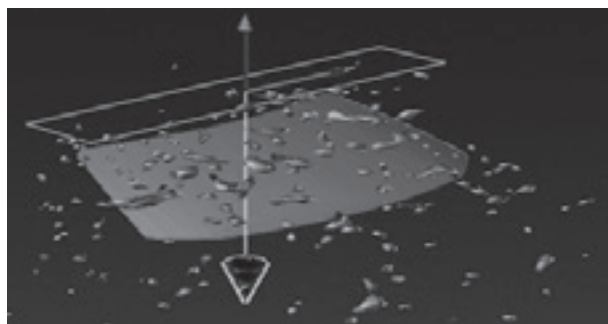


図10 粒子法シミュレーションの例

曲面同士の接線の方向も長さも同じであり、曲率連続に至っている。そして、粒子法解析^[7]ソフトウェア ParticleWorks を用いてカーボディの撥水性のシミュレーションを行い、曲面の滑らかさを確認した。一例として、図10に雨がフロントガラスの上を流れる様子を示す。

さらに、CAD モデルデータを 3D プリンターに転送し、図11 (a) のような模型を製作した。なお、曲面パーツの CNC 加工シミュレーションを CATIA V5 で行い、生成した加工プログラムをマシニングセンタに転送し、図11 (b) のようなフェンダー曲面を加工した。これらの試作でも曲面の滑らかさと接続性を確認した。

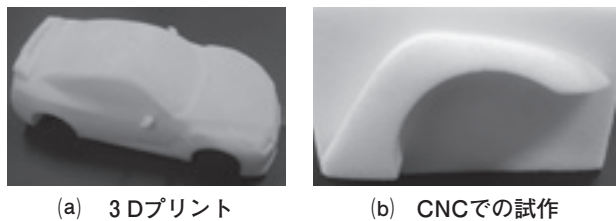


図11 3DプリンターおよびCNCでの試作例

5. 考察と今後の課題

表1に示す配点で採点した22名の受講学生の平均値は約82点であった。3D スキャナーと測定物のセットアップ、測定操作およびデータの出入力はほぼ全員が高いをとった。境界曲線作成および曲面作成と修正は、初めに殆どの学生が順調にできなかったが、問題解決後の平均到達度が75% 近くになった。最終回の学生習得プレゼンテーションからも、CAD/CAM/CAT への理解を深め、問題解決と応用の能力を向上したことが確認できた。とくに曲面の3D スキャナーデータからCAD モデルの作成において、たくさんの断面線から3D-CAD 化する一般方法ではなく、CATIA V5 のパワーフィット機能で効率よく滑らかな曲面モデルを作成することができた。CATIA V5 を用いることで、曲面のCNC加工シミュレーションおよび加工プログラムを出力することもできた。4年生の卒業研究では、ゼブラマップ、粒子法シミュレーション、3D プリンターおよびCNCでの試作を通して、曲面の滑らかさと連続性を評価することも試みた。

今後、計測した形状データ、作成した3D-CAD 曲面モデル、試作品を比較し、誤差を測定して精度を定量的に評価することを教育内容に取り組む必要がある。今年度以降、「プロジェクトⅣ」の内容は表1のままでよいが、「プロジェクトⅥ」では曲面の滑らかさおよび連続性の評価、「卒業研究」では自由曲面の定量的精度評価およびCNC 精密加工の内容を発展的に行う。

本研究に亀井延明氏、中島紀高氏、葛馬侑大郎氏、馬曉成氏、柴崎大雅氏、中島海流氏がご協力いただいた。

参考文献

- [1] 高三徳, “滑らかな形状を精密に加工するには”, 図学研究, 47.1 (2013), p.1-2.
- [2] 浦田昇尚, 伊達宏昭, 金井理, 後藤孝行, 安田星季, “鋳造品の迅速リバースエンジニアリングに関する研究—鋳肌面と機械加工面の分離に基づく面属性付きの整形ソリッドモデルの生成”, 精密工学会誌, 85.3 (2019), 267-273.
- [3] 野田訓広, 小林隆志, “リバースエンジニアリングによる実用的な設計情報復元に向けて”, ウィンターワークショップ2017イン飛騨高山, (2017), 63-64.
- [4] 廣瀬龍希, 村山智之, 倉橋直也, “3Dプリンターによるリバースエンジニアリング手法の検証”, 京都府織物・機械金属振興センター研究報告, 50 (2016), 32-37.

- [5] 山田崇恭, “偏微分方程式による幾何学的形状特徴量抽出とリバースエンジニアリングへの展開の検討”, 精密工学会学術講演会講演論文集, 2018A.0 (2018), 1-2.
- [6] Victor A., Inaki M. and Jose Javier S. M., “Application of Reverse Engineering for Development of Surfaces Outposts”, *Proc. 12th ICGG* (2006), CD-ROM.
- [7] 越塚誠一, 粒子法, 丸善出版 (2005).

●2020年2月25日受付

こう さんとく

明星大学理工学部機械工学系 1964年10月13日生まれ
CAD/CAM教育研究に従事
〒191-8506 東京都日野市程久保2-1-1
sande.gao@meisei-u.ac.jp

設計・製図教育に及ぼす改正JIS B 0001：2019を俯瞰する

Review of Revised JIS B 0001:2019 that affect Design and Drawing Education

平野 重雄 Shigeo HIRANO 喜瀬 晋 Susumu KISE
関口 相三 Sozo SEKIGUCHI 奥坂 一也 Kazuya OKUSAKA 荒木 勉 Tsutomu ARAKI

概要

機械製図が2019年5月20日に改正された。改正前の規格に関して多くの修正を施したにも拘わらず、用語の違い・製図ルールの誤用・解説を熟読しないと真意が不明であるなどが見られる。新たに機械製図を学ぶ学生・技術者は、日本産業規格には間違いはないと信頼し白紙から勉強する。本報は、学び方の基礎的な項目を明確にすることを目的に考察し、改正規格の一部であるが、ひとつの教育方法を提示した。
キーワード：設計・製図教育／機械製図規格／製図用語／理論的に正確な寸法／製図規格制定の原則

Abstract

Japanese Industrial Standards (JIS) B 0001 (Technical drawings for mechanical engineering) were revised on 20 May 2019. Although many revisions have been made on conventional standards, there still remain errors in terminology, misuse of drawing rules, and difficulty in understanding the standards without careful reading. Students and engineers who are novice at technical drawings start their study without any previous knowledge and assume that JIS contain no errors. This study is conducted to clarify the basic items required for studying technical drawings and a design and drawing education method is proposed as part of the revised standards.

Keywords: design and drawing education, standards for technical drawing, terminologies related to drawing, theoretically exact dimension, principle for establishing drawing standards

1. はじめに

JIS B 0001 機械製図は特殊な規格であり、その趣旨は、「Z 8310:2010 製図総則に基づき、機械工業の分野で使用する、主として部品図および組立図について規定する」である。言い換えれば、この規格は、機械製図に必要なJISを集大成した規格である。該当するISO規格はない。この趣旨から、JISにない規定とB 0001独自の規定、独自の解釈などは、B 0001の範疇にあってはならないと解釈するのが、最も実直な対処であろう。また、引用規格においても、イヌキや投影法が用いられているので、次の規格を追記する必要がある。

JIS B 0403 鋳造品－寸法公差方式及び削り代方式

JIS Z 8315-1 製図－投影法－第一部：通則

本報では、学び方の基礎的な項目を明確にすることを目的に考察し、改正規格の一部であるが、ひとつの教育方法を提示した。

2. サイズ公差は存在しない（寸法のこだわり）

最小二乗サイズ、サイズ公差など、寸法の意味でサイズを使っているが、これは、B 0401:2016から継がれた用語である。

例えば、国内線の機内（100席以上の場合）に持ち込めるスーツケース、キャリーケース、カバンなどのサイズは、高さの寸法（55cm以内）、幅の寸法（40cm以内）、奥行の寸法（25cm以内）、合計115cm以内と定められ、これは要素の集まり（集合：set）によって表される。サイズの要素である高さ・幅・奥行の大きさを寸法といい、サイズとはいわない。

ここで、改めて寸法を考えてみる。寸法は、空間の二点P、Qの寸法（距離）をいう。角度は、直角三角形において、 $\tan^{-1}$ 「対辺／底辺」を「°、′、″」単位表示したものである。単純に言えば、幾何学的な大きさの基本は、長さ寸法だけとなる。

幾何公差などを厳密に定義すると、寸法の目的などを区別するために、寸法の呼び名が多岐にわたり、熟練者

でも使い分けることは難しくなった。寸法に関する用語は、Z 8114製図用語に明確に定義されている。

例えば、穴のピッチは位置を表す寸法、あるいは、位置寸法であることが分かる。厳密であるに越したことはないが、議論の焦点が呼び名の意味や使い方に移り、枝葉末節にとらわれて大局を見失う、不毛の時間が費やされるので、こだわりはほどほどにすることである。

3. TED の正しい使い方（教育方法の一例）

TED (theoretically exact dimension) を理論的に正確な寸法といい、図 1 (a) に示すように寸法数値を長方形枠で囲んで表す。これは、図 1 (b) に示す寸法公差が 0 の寸法である（塗りつぶした矢印は追加規格である）。

次に TED について述べるが、本来、TED は幾何公差の範疇であり、B 0001で扱うものではない。



図 1 TED の指示と意味

3.1. TED は何のためにあるのか

例えば、穴の中心位置の公差域の与え方として、次のようなものが考えられる。

- ①普通公差：個々に公差の指示をしない方法。
- ②位置寸法の寸法公差：設計者が考えた機能に相応しい寸法公差。
- ③位置寸法の寸法公差と位置度公差：この組み合わせは、公差域が寸法公差と位置度公差によって二重に与えられるので、不条理になる。この組み合わせは、使ってはいけない。
- ④TED と位置度公差：位置寸法を TED にして位置度公差を指示すると、③の二重に公差を与えるという不条理は排除される。穴の中心の公差域は位置度公差だけになる。この組み合わせには、3.3で述べるメリットがある。

TED を必要とする幾何公差には、輪郭度公差、傾斜度公差がある。

3.2. なぜ、TED だけを独立に使えないのか

寸法公差が必要となった理由と同じで、TED だけを図面指示することはできない理由は、次の 2 項目である。

- ①どんなに高精度な加工機械を用いても、寸法にばらつきが生じ、寸法公差 0 は実現できない。

- ②測定における不確かさを 0 にすることはできないので、寸法の検証は不可能である。

3.3. TED の使い方は

図 2 は、対向しない平行平面間の段差寸法であり、二点測定か三次元座標測定か、など測定方法やデータ処理方法によって寸法が異なるという曖昧さが生じる例である。

図 3 のように位置度公差と TED を用いれば公差域はデータム A に対して 29.98mm から 30.02mm となる。これにより、図 2 の曖昧さは無くなる。

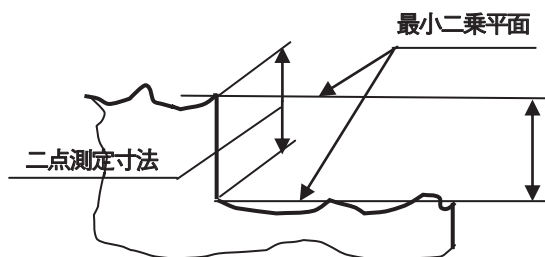


図 2 段差寸法の曖昧さ

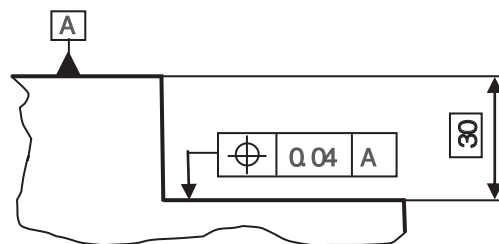


図 3 位置度公差を適用した段差寸法

4. 製図ルール違反・間違い

- 1) 図 4 の寸法は、TED を単独で使うことはできないという前述の条理にもとる間違いである。形体の実寸法でも、測定対象でもないため、理論的に正確な寸法 (TED) としたと解説にある。製図ルールに反する問題である。

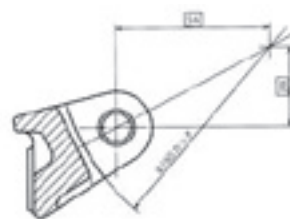


図 4 本文図 1 使用する工具サイズの指示例^[1]

- 2) CAD ではデフォルトであるとして、JIS にない図 5 が用いられた。B 0001では、JIS になっていない規定は使用できないのである。図 c) を削除する。

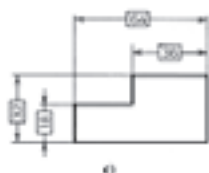


図5 本文図111 水平方向及び垂直方向の寸法数値の図示例^[1]

3) 寸法補助記号“□”を、正面から見たときでも使用できるとして、図6 b) を認めた。原典のZ 8317-1 がないがしるにし、解釈の一義性を失った。B 0001では、規定を変えることはできないのではとの疑問がある。これも違反・間違いである。図b) を削除する。

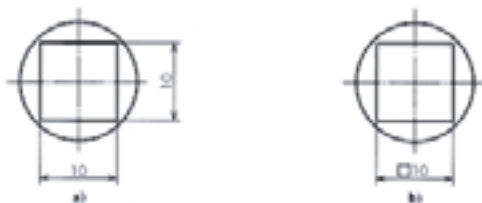


図6 本文図148 正方形の角柱の辺に対する図示例^[1]

4) 上側にしか描けないCADがあるからの理由で、図7の寸法補助記号“ $\frown$ ”の記入位置を変えてもよいとした。CADを換えるのが道理であろう。図b) を削除する。

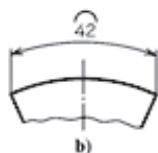


図7 本文図151 円弧の長さの図示例^[1]

5) 製図の能率向上とした図8 b), 図9 b), c) の引出線の位置変更は、加工手順を理解していない変更である。ものの道理を失念している。また、2段書きは認められないので削除する。さらに、図8の注記の穴とざぐり穴とを、直列 a) または並列 b) に記載することが可能であるとしているが、直列は断面図、並列は平面図である。用語は正しくなくてはならない。

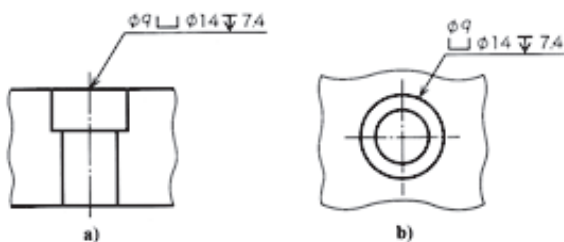


図8 本文図167 深ざぐりの図示例^[1]

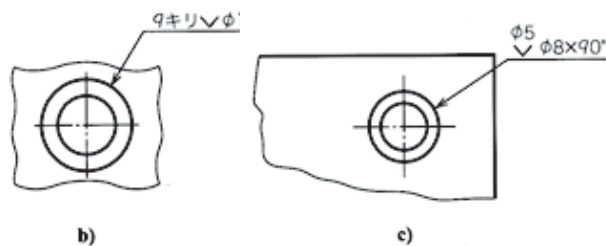


図9 本文図170 円形状に指示する皿穴の図示例^[1]

6) 国際性のために英語表記を認めるとしている。JISは日本産業規格であり、記号などを除いて英語表記はしてはならないのである。

5. 誤りを正して教育する

1) 図10の寸法(12), 図11の寸法(90)は、参考寸法ではない。寸法12と90は、穴のピッチである。(12), (90)の括弧を外す。直列寸法記入(=84), (=168)と(=1080), (1170)は、図の通り参考寸法である。そして、図10の 7×12 と 14×12 および図11の 45 と 90 の長方形枠はそれぞれ外さなければならない。

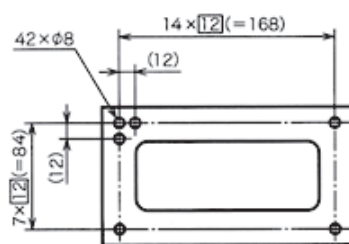


図10 本文図70 寸法記入によって交点の位置から明らかな繰返し図形の省略例^[1]

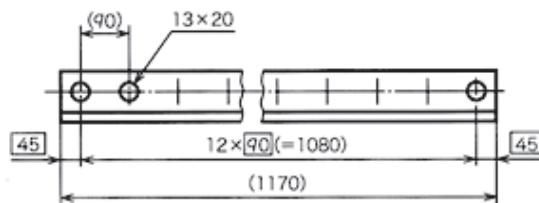


図11 本文図161 一群の図示寸法の図示例^[1]

2) 図12の寸法は直径である。中心線を基準として寸法を表しているので、直径と解釈する。寸法数値の前に寸法補助記号“φ”を付ける。

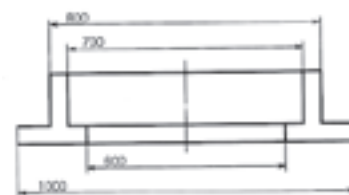


図12 本文図118 寸法線が長い場合の図示例^[1]

3) 図13は、球面と円筒の相貫部が表されていないが、相貫部は太い実線で描くことになっている。図13のように「丸みが大きい場合、相貫線を描かなくてもよい」旨を本文の図146に注記するとよい。



図13 本文図146 球の半径(SR)の図示例^[1]

4) 寸法補助記号“□”については、図6b)の寸法補助記号“□”は、本文に「対象とする部分の断面が正方形であるときに用いる」とある。多くの学生は、どの部分が対象なのか迷うことがある。

一方、図14(a)左図は、寸法補助記号“φ”があるので円柱(筒)であることが容易に分かる。同じルールに従えば、図14(a)右図は正方形断面の角柱である。言い換えれば、図14(b)左図のように、正方形が現れない角柱や角穴では、“□”を寸法数値の前に記入するとなる。

長方形や正方形が現れる図形では、図14(b)右図のように、縦と横の寸法が必要となる。すなわち、図14(a)右図や図6a)のように、正方形が現れている図形では二辺の寸法を記入することになる。

図14(a)右図の対角線が描かれた平面部分の形が、“□”が指示した対象であると誤解する学生が多い。教育現場での隠れた難題である。そのために、本文図147に図14(b)右図「意味」を加える。

本文図148b)と本文11.6.5b)の「又は正方形であることを示す記号“□”を一辺に記入」の文章を削除する。

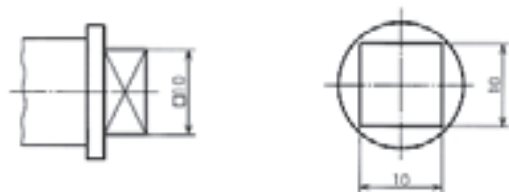


円柱

角柱

図示(横断面が正方形を表す)

(a) 円柱と角柱の横断面の寸法



図示(横断面が正方形を表す)

意味

(b) 本文図147 [右図を追加する]

図14 本文図147 正方形の角柱の一辺に対する図示例^[1]

5) 穴のキー溝の寸法指示は、図15(a)だけでは加工現場が困るので、切込み寸法を示す図15(b)を追加する。



図15 本文図177 穴のキー溝の幅及び深さの寸法図示例^[1]

6) 図16の識別記号Aは間違いである。識別記号Aは矢印の尾部に付けるか、明白な場合は省くことになっている。図16では、Aが矢印の尾部から外れている。Aを削除する。

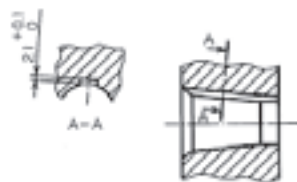
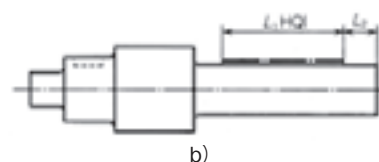


図16 本文図179 円すい穴のキー溝の寸法図示例^[1]

7) 図17b)の加工方法記号は、分かり難く推奨できない。太い一点鎖線の上側に、加工方法記号を記入することである。



注記“HOI”は“高周波焼入れ”を示す加工方法記号である(B 0122 参照)

図17 本文図190 加工・処理範囲の図示例^[1]

8) 図18の寸法補助線は間違いである。単独の穴、グループの穴などは、穴の目的・機能を満たすように設計する。図18のように全部の穴をまとめて、累進寸法で表すことは机上では考えられる。ただし、設計情報としては、目的・機能別にそれぞれの基点からの寸法で表すのが一般的である。そして、寸法補助線の間隔が狭い場合の規定は、本文11.3g)にある。

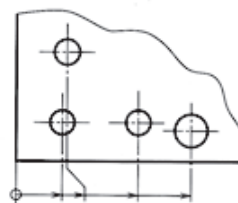


図18 本文図129 の寸法補助線の間隔が狭い場合の記入例^[1]

9) 図19の円すい(台)状の面取りは、本文図153～155に規定の面取りそのものである。同じものを別の記号で指示することは好ましくない。削除すべきである。

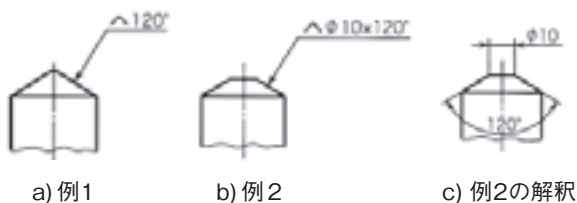


図19 本文図156 “ $\wedge$ ” (えんすい) の図示例^[1]

10) 図20、図21の同一形状の図示例は、「寸法を記入しない部分が同一寸法である」旨の注記が必要である。しかし、これらの図では、注記を見つけるのは難しい。本文の図 a) があれば主旨は伝わるので、重要と思えない余分な図は理解を損なうので、図20と図21を削除する。

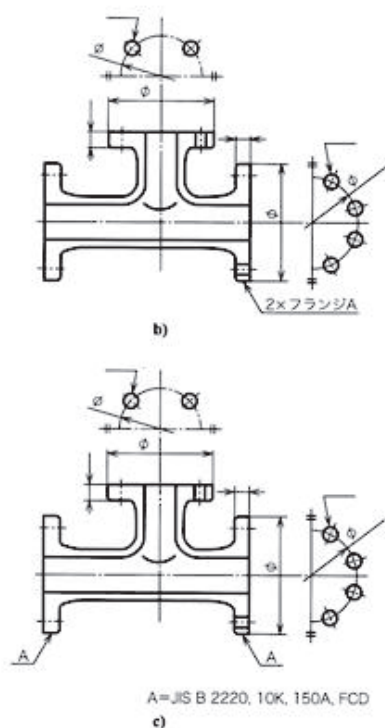


図20 本文図192 同一形状の図示例 1^[1]

6. 製図ルール違反・解説記事の間違いについて

製図ルールの間違いと解説記事に見られる間違いは、日本規格協会(JSA)が対応することを期待したい。しかし、近々のJSAの対応、特に規格の正誤表の発行に難色を示すことが顕著である。またそれがJSAの「お家芸」でもあるように思える。2019年4月から始動した「トータルソリューションの提供を掲げる日本規格協会グループ」に期待したい。

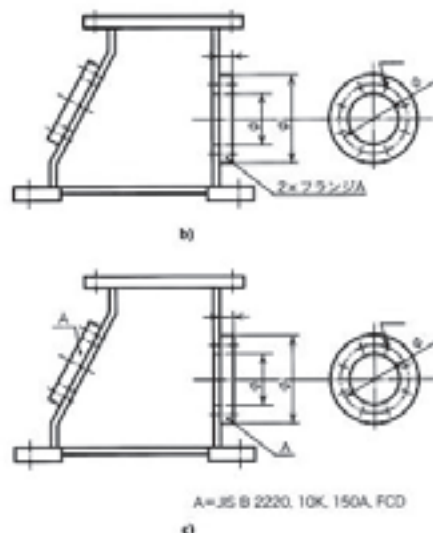


図21 本文図193 同一形状の図示例 2^[1]

そこで、次の図22～図26については、明確な指示事項を本文に追記しないのであれば、削除すべきであろう(3章参照)。

解説についても、「この解説は、日本規格協会が編集・発行するものであり、これに関する問い合わせ先は日本規格協会である」と明記されている。次の誤りの正誤表が必要である。

解説表1-改正方針にある、語法の一貫性は語法の一様性である。不適切な用語修正と部品形状の改善についての項目は、内容に該当するものがないので削除の対象である。また、追加された目的の項目「現状技術を考慮」を記載することなどである。

なお、解説表2-新旧規格の差異の内容及び説明(91～110頁)についても鋭意精査している。

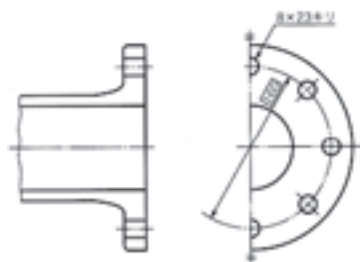


図22 本文図90 関連する寸法の図示例^[1]

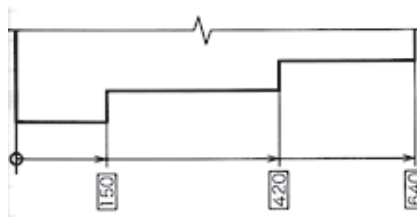


図23 本文図124 累進寸法記入法の例 1^[1]

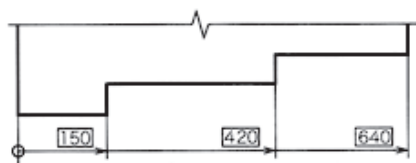


図24 本文図125 累進寸法記入法の例2^[1]

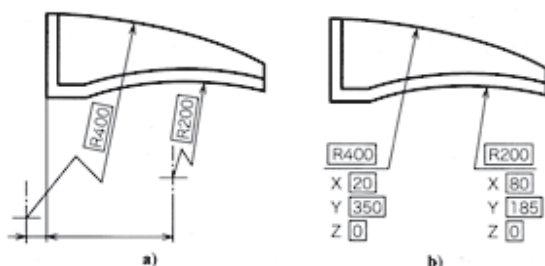


図25 本文図134 半径が大きい場合の図示例^[1]

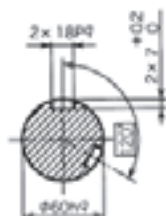


図26 本文図180 複数の同一寸法のキー溝の寸法図示例^[1]

7. 製図規格制定の原則について

図面は、情報の伝達が人によって解釈が同じでなければならない、共通性が求められる。つまり、文化や歴史・言語の異なる第三者が図面を見たとき、誰でも同じように解釈できることが求められる。その基幹が製図規格である。製図規格制定の詳細は次に記すが、要は、その時期のみに通用できればよいとする考え方やまねな事柄を規格化することはあってはならない。

よって、製図規格制定の原則を遵守しなければならないのである。

製図規格に汎用性、国際性を与え、体系化を進めることが製図通則（Z 8302:1973は1984年に廃止）の制定条件であった。同規格の審議過程で製図規格の体系が構成、制定されており、製図総則（Z 8310:1984）に反映されている^{[2]~[3]}。

製図が備えなければならない特質と製図規格の方向性を考えて、次の原則の基に規格が制定されている。

① 技術の国際化に対応する国際性。

国際性を保つために、ISOの製図規格と本質的に整合しなければならない。

② 技術の多岐化とその総合補完性に応じる各部門間の汎用性（整合性・普遍性）。

③ 技術の大衆化の時代に対応できる大衆性（平易性）を持たなければならない。

特に規格内容の表現・記述については、規格の大衆性を考慮して、基本原理、基本的事項、例外的事項の順序で示し、記述は平易に誤解のないようにしている。さらに、大衆性を保つために、だれが見ても分かりやすく、原則的、基本的なことに重点がおかれる必要がある。

製図規格は、例外的事項を規格化するためのものであってはならない。また、規格内で定めている規則も単純であることが必要である。

④ 製図の内容の解釈に曖昧さがないように、十分な一義性を備える必要がある。そして、高度技術社会において、設計者の意図を明確に一義的に示すために、内容に高度化が要求される。

⑤ 図面が様々な部門にわたって広く利用されることを考え、部門間の統一を諮って、汎用性を高める必要がある。種々な事情で統一が不可能な場合でも、相互理解に役立つように、規格制定する必要がある。

⑥ 作図の近代化である自動製図や管理面の近代化。例えば、マイクロフィルム化に対応できるように、近代化しなければならない。

⑦ 製図規格に要求される上記の各項目は、互いに相反する条件のものが多い。これらの矛盾する要素を最適化する努力が必要である。

8. おわりに

成熟した規格である JIS B 0001:2019 機械製図の用語・製図ルール解釈や使い方が不適切であっても、産業界では、社内規格として定着しているので、困ることはほとんどない。

一方、教育界では、学生は、日本産業規格を信奉して勉学する。特に、設計・製図の授業は、JISに準じたと称し、JIS B 0001に沿った教科書で進めることが多い。重大な間違いがある規格を基にしているが故に、教育者は学生の将来を心配する。そこで、誤りを正して教育を行うことが重要になる。

参考文献

[1] JIS B 0001:2019 機械製図, (JSA).

[2] 大西 清, JIS にもとづく標準製図法 (第14全訂版), オーム社 (2017).

- [3] 佐藤 毅, JIS 製図通則改正の動向とその考え方, 標準化と品質管理, 32,5 (1979), pp.30-37.

●2020年3月23日受付

ひらの しげお

東京都市大学名誉教授 博士(学術) 工学部機械システム工学科非常勤講師 株式会社アルトナー 技術顧問
〒261-0012 千葉県千葉市美浜区磯辺3-44-5
rs4775hirano@ybb.ne.jp

きせ すすむ

株式会社アルトナー HR事業本部能力開発部リーダー 東京都市大学工学部原子力安全工学科非常勤講師基礎設計製図を担当
〒530-0005 大阪府大阪市北区中之島3-2-18 住友中之島ビル2F

せきぐち そうぞう

株式会社アルトナー 代表取締役社長
〒530-0005 大阪府大阪市北区中之島3-2-18 住友中之島ビル2F

おくさか かずや

株式会社アルトナー 取締役エンジニア事業本部長
〒530-0005 大阪府大阪市北区中之島3-2-18 住友中之島ビル2F

あらき つとむ

筑波技術大学名誉教授
〒376-0011 群馬県桐生市相生町5丁目444-26

三方向変身立体の設計原理

Design Principle for Triply Ambiguous Objects

杉原 厚吉 Kokichi SUGIHARA

概要

三つの方向から見たとき異なる立体に見える錯視図形の設計法を示す。面と面が直角に接続されて作られる直角立体の垂直投影図には、3組の平行線群が含まれる。その図を水平に置き、一組の平行線が網膜上で垂直となる姿勢で斜めに見下ろすと、垂直方向へ圧縮された立体が知覚される。本当に垂直に立った旗などの小物を追加して重力方向を示すと、錯視は強化される。この立体の1例は、2018年ベスト錯覚コンテストで優勝を獲得している。

キーワード：空間認識／不可能立体／立体錯視／多義図形／直角立体

Abstract

This paper presents a design principle for triply ambiguous objects. An orthographically projected picture of a rectangular object has exactly three groups of parallel edges. When this picture is placed on a horizontal plane and is seen in a slanted direction such that one group of parallel lines becomes vertical on the retina, we perceive a vertically compressed 3D object. This process gives three different interpretations of the picture, and thus creates triple ambiguity. We can strengthen the illusion by inserting real 3D objects that show the direction of gravity. An example of this object won the first prize at the Best Illusion of the Year Contest 2018.

Keywords: Spatial cognition / Impossible object / 3D optical illusion / Ambiguous figure / Rectangular object

1. はじめに

複数の解釈を持つ多義図形は、視覚心理学の分野で古くからたくさん知られている^{[1][2]}。シュレーダーの階段などの純粋に幾何学的なものから、ウサギとアヒルのように主観に依存するものまでその幅は広いが、そのほとんどすべてが二つの解釈をもつものである。

3次元立体でも複数の解釈をもつものがある。その代表は複数のシルエットをもつ多シルエット立体^[3]で、三つの解釈をもつものも作られている^[4]。ただしこれらは、立体の別の部分を見るものである。立体の同じ部分を見ているにもかかわらず別の解釈が見えてくる立体^[5]もあるが、解釈の種類は二つのみである。

これに対して本稿では、同じ部分を見ているにもかかわらず三つの解釈ができる立体の一つのクラスを示す。これは、偶然の発見に頼ることなく、明確な設計法に基

づいて系統的に作ることができるものである。

2. 直角多面体の垂直投影図

全ての隣り合う面が直角に接続されてできる立体を直角多面体という。直角多面体は、稜線が3組の平行線群に分類でき、その垂直投影図も3組の平行線から構成される。図1に示すように、直角多面体の一つの面が水平な机に接触して安定な姿勢になるように置き、それを人が垂直に立った姿勢で斜めに見下ろしたときに対応する投影図では、図2に示すように、一組の平行線が（2次元平面上で）垂直になる。以下では簡単のために、3組の平行線が投影図の中で互いに120度となる投影方向を選ぶことにする。

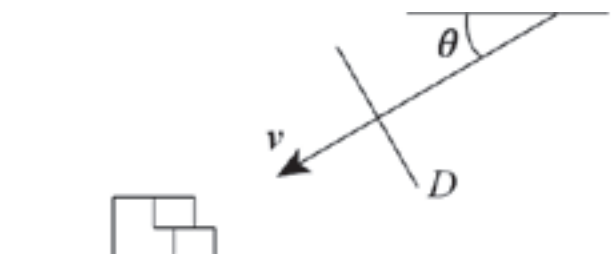


図1 直角多面体を斜めに見下ろしたところ

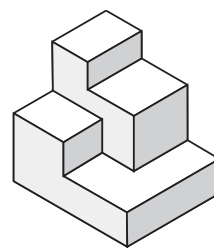


図2 直角多面体の垂直投影図；3組の平行線からなる

この投影図を120度および240度回転させると、残りの二つの安定な姿勢に対応する投影図が得られる。これらの絵を正面から見ながら比べたとき、私たちは同じ投影図を120度あるいは240度回転したものであることが容易に認識できる。

3. 斜めから見下ろす視線方向の選択

図1において立体の代りにその投影図を水平面上において斜めの方向から見下ろすと、状況は異なる。なぜなら、垂直投影図を斜めから見るときには、網膜上で垂直な方向を向いている稜線の方へ3次元空間で立体を圧縮したことに対応する変形が生じるからである。実際、図3に示すように、立体を垂直方向へ圧縮変形した別の立体の投影図に対応する図となる。

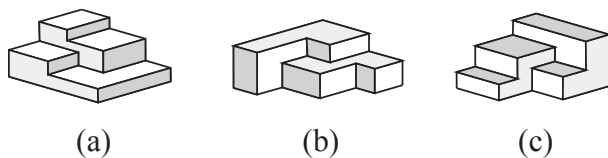


図3 同じ投影図を斜めの方向から見下ろした三つの姿

図3に示した三つの見え方は、同一の投影図を水平面上に置き、斜めに見下ろした姿であり、実際に投影図を垂直な軸のまわりに120度および240度回転するところを見ると、同じ絵を見ていることは認識できる。しかし、この操作を見ないで、最終的に置かれた三つの姿勢だけを見ると、脳は絵ではなくて立体を見下ろしているという意識が優先し^[6]、立体を変形しないで回転したときには生じない変化なので、同じものを見ているという感覚は消滅する。これによって三方向多義立体を作ることができる。

4. 立体設計法

以上の考察から、三方向変身立体を次の手続きで作ることができる。

第1に、直角多面体を一つ固定し、それを一般の方向へ投影した垂直投影図を作る。ただしこのとき、投影図上で立体の一部が他の部分を隠すオクルージョンが生じない立体と投影方向の組合せを選ぶ。(オクルージョンのある投影図を避けるのは、オクルージョンがあると、同じものを回転したという印象が生まれやすいためである。)

第2に、得られた投影図を水平な面に上向きに置き、その絵と矛盾しない3次元の小物を加える。たとえば、立体の凸な頂点の位置に、垂直に旗を立てる。(このような小物によって重力方向が強調され、錯視が強まることが期待できる。)

第3に、投影図の中の一組の平行線が網膜上で垂直になる方向から単眼で斜めに見下ろす状況を作る。

例えば、鏡を2枚立てて、3つの方向が同時に見える

状況を作り、それをカメラで撮影してその状況を作ることができる。鏡を使うのは、異なる方向から見た姿を一度に見せることによって不思議さが強調できるからである。単眼で見る状況を作るのは、両眼立体視によって立体ではなくて投影図だということがわかるのを避けるためである。

図4に、この方法で作った立体と、その後ろに2枚の鏡を立てたところを示す。この例では、投影図に3本の旗を垂直に立て、重力の方向を強調している。三つの姿は、異なる立体という印象をもたらすであろう。図5には、この立体を一般の方向から見たところを示す。

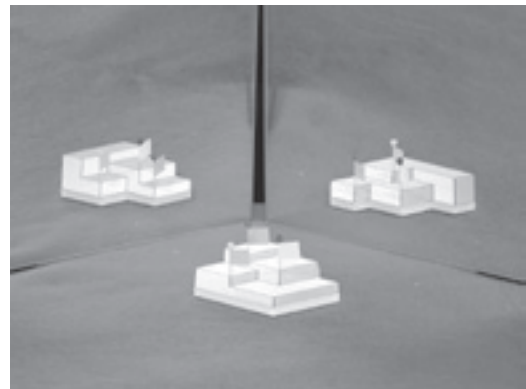


図4 三方向変身立体とその二つの鏡映像



図5 図4の立体を一般の方向から見たところ

5. おわりに

立体の投影図は、眺める視点を変更すると復元できる立体集合も変る。この状況で、投影図ではなくて立体を見ているという意識が働くと、異なる方向から見たとき、同じものを見ているという印象は消滅する。これらの性質を利用して、三方向変身立体が設計できることを示した。この方法で作った立体の一つは、2018年ベスト錯覚コンテストで優勝を獲得している^[7]。

本手法は拡張の余地がある。第1に、厳密な直角立体ではなくて、直角立体からいくつかの角を斜めに切り取った立体でも同じ視覚効果が得られる場合がある。第2に、投影図の代わりに、元の立体をアフィン変換して

得られる厚みの薄い立体でも同じ視覚効果が得られる。
これらの拡張についても今後考察していきたい。

本研究は、科研費挑戦的研究（萌芽）18K19827の支援を受けている。

参考文献

- [1] Gregory, R. L., *The Intelligent Eye*, Weidenfeld and Nicolson (1970).
- [2] Robinson, J. O., *The Psychology of Visual Illusion*, Dover Publications Inc. (1998).
- [3] 福田繁雄, “福田繁雄のトリックアート・トリップ”, 毎日新聞社 (2000).
- [4] Ohgami, T., and Sugihara, K., “Realizability of solids from three silhouettes.” *Collection of Abstracts of the 24th European Workshop on Computational Geometry* (Nancy, France, March 18-20, 2008), 233-236.
- [5] Sugihara, K., “Ambiguous cylinders: A new class of impossible objects.” *Computer Aided Drafting, Design and Manufacturing*, 25 (3) (2015), 19-25.
- [6] Mamassian, P., and Landy, M. S., “Observer biases in the 3D interpretation of line drawings.” *Vision Research*, 38 (1998), 2817-2832.
- [7] <http://illusionoftheyear.com/>

●2020年2月25日受付

すぎはら こうきち

明治大学先端数理科学インスティテュート

1948年6月29日生まれ

数理工学 計算幾何学 計算錯覚学などの研究教育に従事

〒164-8525 東京都中野区中野4-21-1

kokichis@meiji.ac.jp

総会報告

日本図学会 2020年度総会

日時：2020年7月25日（土）11:00～12:20

Zoom によるオンライン開催

1. 開会の辞（館理事）

2. 会長挨拶（竹之内会長）

3. 議長選出（館理事）

辻合秀一氏が選出された

4. 総会議事

総会定足数の確認（議決権行使書）

正会員280名、有効な議決権行使書70通

（提出71通のうち1通は署名押印なし）

（ZOOM出席者：延約35名は今回定足数とは無関係）

議案1～3について賛成70反対0.

事前のコメント、会議内での意見は無し.

2019年度会務報告（田中（一）副会長）

〔別掲1〕2019年度会務報告（2019.4～2020.3）の内容が報告された.

各種委員会等報告

- ・企画広報委員会（田中（一）副会長）
- ・ホームページ委員会（三谷委員長）
- ・分野協働のための図学研究委員会（館委員長）
- ・編集委員会（面出委員長）
- ・図学教育研究会（竹之内委員長）
- ・デジタルモデリング研究会（松田委員長）
- ・国際関係（安福副会長）

2019年度収支決算報告／別掲2（田中（一）副会長）

監査について（田中（龍）理事）

今回の監査はコロナ禍のため未実施

後日、別途、報告を行う

2020年度事業計画案報告／別掲3（田中（一）副会長）

議案1として議決権行使書により承認された.

2020年度予算案報告／別掲4（田中（一）副会長）

議案2として議決権行使書により承認された.

2019年度学会賞選考委員会報告（高委員長）

該当者なし.

2020年度学会賞選考委員の選出（竹之内会長）

高三徳氏、辻合秀一氏、村松俊夫氏、本年度の学会賞の該当者がいないため更新は無し.

名誉会員の推薦・報告（竹之内会長）

梶山喜一郎氏、早坂洋史氏、横澤肇氏が名誉会員として推薦され、議案3として議決権行使書により承認された.

論文賞報告（面出委員長）

賞の決定の過程も含めて論文賞についての報告が行われた.

佐久田博司氏、西原小百合氏、西原一嘉氏、堤江美子氏、鈴木賢次郎氏「空間認識力の年齢変化」

牟田淳氏「好みの長方形の縦横比に関する日本欧米比較研究」

5. 閉会の辞（館理事）

6. 名誉会員証授与式に代えて（竹之内会長）

会員証は8月に別送される事前報告された.

7. 論文賞（研究）授与式に代えて（竹之内会長）

〔受賞者から一言〕

鈴木賢次郎氏と堤江美子氏からの挨拶

8. 2019年度秋季大会 優秀研究発表賞および研究奨励賞報告（田中（一）委員長）

優秀研究発表賞：種田元晴氏「坂本鹿名夫の円形建築の形態構成に関する研究」

種田元晴氏からの挨拶

研究奨励賞：山本陽平氏「平織りによる単色幾何学模様の表現手法」

（共同研究者）三谷純氏からの挨拶

9. 秋季大会のご案内（福江実行委員長）

開催地：阿寒湖温泉

（阿寒湖まりも館、悠久の里 鶴雅）

日 程：11月21・22日（23日エクスカージョン）

10. 記念撮影

[別掲1]

2019年度会務報告(2019.4～2020.3)

1. 会員の状況(2020年3月末現在, [] 内は2019年3月末)

- a) 名誉会員 13名[14]
- b) 正会員 277名[276]
- c) 学生会員 30名[27]
- d) 賛助会員 10社11口[13社14口]

2. 会務の状況

a) 理事会の開催12回

582回2019.4.22 583回2019.5.11
 584回2019.6.21 585回2019.7.10
 586回2019.8.29 587回2019.9.27
 588回2019.10.25 589回2019.11.23
 590回2019.12.20 591回2020.1.24
 592回2020.2.21 593回2020.3.27

b) 「図学研究」の発行

第53巻2・3号(通巻第161号2019.9)
 第53巻4号(通巻第162号2019.12)
 第54巻1号(通巻第163号2020.3)

3. 2019年度総会の開催(詳細は会誌第53巻2・3号を参照)

a) 期日・場所

2019年5月11日

神戸大学六甲台第2キャンパス工学部LR棟

b) 総会議事

- ・2018年度会務報告
- ・各種委員会等報告
- ・2018年度収支決算報告
- ・2018年度会計監査報告
- ・2019年度事業計画案審議
- ・2019年度予算案審議
- ・2018年度学会賞選考結果報告
- ・2019年度学会賞選考委員選出
- ・名誉会員の推薦
- ・第14回論文賞「研究論文賞」報告

c) 名誉会員証授与式

d) 第14回論文賞「研究論文賞」授与式

4. 2019年度春季大会の開催(詳細は会誌第53巻2・3号を参照)

a) 期日・場所

2019年5月11日～12日

神戸大学六甲台第2キャンパス工学部LR棟

b) 実行委員会

[名誉実行委員長] 小高 直樹

[委員長] 鈴木 広隆

[委員] 栗山 尚子 榊 愛 富永 哲貴
 森 真幸 辻 雄介

c) プログラム委員会

[委員長] 山島 一浩

[委員] 秋廣 誠 田中 一郎 辻合 秀一
 野田 美波子

d) 学術講演33編

e) 懇親会

5. 2019年度秋季大会の開催(詳細は会誌第54巻1号を参照)

a) 期日・場所

2019年11月23日～24日

鹿児島大学郡元キャンパス工学部建築学科棟

b) 実行委員会

[委員長] 柴田 晃弘

[委員] 井原 徹 金子 哲大 河村 彰星
 竹之内 和樹 羽太 広海 森岡 陽介
 西井 美佐子

c) プログラム委員会

[委員長] 鶴田 直也

[委員] 高三徳 茂木 龍太 田中 一郎
 松田 浩一

d) 学術講演28編

e) 懇親会

6. 各種委員会(省略)

7. 研究会

a) 図学教育研究会

b) デジタルモデリング研究会

1) 第11回デジタルモデリングコンテスト

・募集期間: 2019年7月1日～10月7日

・応募作品: 6件(当日展示: 6件)

・審査の結果, 以下を選出

最優秀賞1件, 優秀賞2件, 審査委員特別賞1件

作品展示: 2019年11月23日, 24日(鹿児島大学)

8. 各支部活動

a) 北海道支部

1) 支部総会・講演会

2019年7月29日 北海道情報大学札幌サテライト

支部総会

講演: 石岡 美久(札幌大谷大学非常勤講師)

「服と造形」

2) 支部例会

2020年2月25日

b) 東北支部

1) 東北支部幹事会および東北支部講演会

- ・2019年6月22日岩手県立大学アイーナキャンパス
 - ・支部幹事会
 - ・講演：和田 智秀(東北大学)
 - 「手乗りホログラフィックディスプレイの開発と活用法について」
 - ・講演：松田 浩一(岩手県立大学)
 - 「Scratchによる学習の振り返りに対するテキストマイニング活用の試行」
 - 2) 東北支部総会および講演会
 - ・2020年1月25日岩手県立大学アイーナキャンパス
 - ・支部総会
 - ・講演：野村 芹果(東北芸術工科大学)
 - 「パターンの可能性—三角から繋げるストーリー—」
 - ・講演：安部 信行・宮腰 直幸(八戸工業大学)
 - 「日本のピクトグラムのわかりやすさ」
 - c) 中部支部
 - 1) 支部総会
 - ・2020年2月17日 金城学院大学
 - 2) 秋季例会
 - ・2019年12月15日 金沢工業大学, 研究発表9件, 懇親会
 - ・「第18回日本図学会中部支部奨励賞」2編表彰
 - 3) 冬季例会
 - ・2020年2月17日 金城学院大学
 - 研究発表8件, 懇親会
 - 「第19回日本図学会中部支部奨励賞」1編表彰
 - d) 関西支部
 - 1) 第105回支部例会
 - ・2019年9月20日産業技術短期大学ものづくり創造工学科
 - ・Fusion360講習会およびHPJetFusion 3 D4200見学会
 - ・講習会講師および見学会案内人：富永 哲貴(産業技術短期大学)
 - ・参加者9名
 - 2) 第106回支部例会
 - ・2020年2月1日産業技術短期大学ものづくり創造工学科
 - ・研究発表8件
 - ・参加者22名
 - 3) 支部総会
 - ・2020年2月1日産業技術短期大学ものづくり創造工学科
 - ・参加者22名
 - e) 九州支部
 - 1) 九州支部研究発表会(公益社団法人日本設計工学会と共催)
 - ・2019年6月8日 九州大学大橋キャンパス(福岡県福岡市)
 - ・研究発表：森岡 陽介(近畿大学)
 - 「賃貸共同住宅リノベーションの面構成における事例報告」
 - ・研究発表：竹之内 和樹(九州大学), 董 博(元九州大学大学院)
 - 「4次元基本図形を解説した動画コンテンツの調査」
 - 2) モンジュ研究会報告書
 - ・2020年2月17日 本部及び各支部に送付
9. 寄贈図書
- ・会誌『図学学報』第40巻第2期, 同第3期, “Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art” Vol.1, No.1-4, (中国図学学会)
 - ・紀要『DNP文化振興財団学術研究助成紀要』Vol.2(DNP文化振興財団)
 - ・著書『4次元図形百科』(宮崎興二著, 丸善出版)
 - ・報告書『Mongeの図法幾何学を読み解く』(九州支部)

[別掲2]

日本図学会2019年度収支決算書

自 2019年 4月 1日
至 2020年 3月31日

		科 目	予算額	決算額	差 異	備 考
収		個 人 会 員 入 会 金	5,000	0	5,000	
		個 人 会 員 会 費	2,200,000	2,060,000	140,000	
		賛 助 会 員 会 費	210,000	180,000	30,000	
		論 文 掲 載 料	600,000	880,000	▲ 280,000	
		出 版 収 入	100,000	104,024	▲ 4,024	注 1
		寄 付 金	0	86,992	▲ 86,992	注 2
		広 告 料	0	0	0	
		雑 収 入	1,170,000	1,020,564	149,436	
		春 季 大 会 関 係	560,000	521,000	39,000	注 3
		秋 季 大 会 関 係	560,000	450,000	110,000	注 4
		そ の 他	50,000	49,564	436	注 5
		繰 越 金	3,779,983	3,779,983	0	
	当期収入合計(A)	8,064,983	8,111,563	▲ 46,580		
支	事業費	会 誌 印 刷 発 送 費	2,000,000	2,072,395	▲ 72,395	注 6
		春 季 大 会 開 催 費	560,000	392,944	167,056	注 7
		秋 季 大 会 開 催 費	560,000	364,780	195,220	注 8
		委 員 会 費	0	0	0	
		事 業 支 出	80,000	86,456	▲ 6,456	注 9
		小 計	3,200,000	2,916,575	283,425	
	経常費	会 議 費	20,000	0	20,000	
		通 信 費	100,000	45,724	54,276	
		物 品 費	150,000	162,672	▲ 12,672	注10
		旅 費 及 び 交 通 費	350,000	161,140	188,860	注11
		広 報 費	523,200	523,200	0	注12
		事 務 経 費	610,000	569,388	40,612	
		支 部 補 助 費	155,000	155,000	0	
		雑 費	30,000	30,635	▲ 635	
		小 計	1,938,200	1,647,759	290,441	
		予 備 費	2,926,783	0	2,926,783	
		当 期 支 出 合 計 (B)	8,064,983	4,564,334	3,500,649	
	繰越収支差額(A)－(B)			3,547,229		次期繰越金

注 1 : 図学研究領布, バックナンバーなど

注 2 : 大会残金

注 3 : 春季大会参加費350,000円(会員6,000円/人, 非会員10,000円/人), 学術講演論文集著者印刷製本費165,000円(論文5,000円/編), 論文集売上6,000円(学生1,000円/部)

注 4 : 秋季大会参加費300,000円(会員6,000円/人, 非会員10,000円/人), 学術講演論文集著者印刷製本費152,000円(論文5,000円/編, デジコン2,000円/点), 論文集売上3,000円(学生1,000円/部)

注 5 : 利息, 学術著作権協会・出版者著作権協会からの分配金など

注 6 : 53巻1号～54巻1号, J-STAGE登録作業(52巻4号～53巻4号)

注 7 : 開催校へ200,000円, 論文集印刷費190,944円(当初予算300,000円), 賞状筆耕2,000円

注 8 : 開催校へ200,000円, 論文集印刷費164,700円(当初予算300,000円)

注 9 : デジタルモデリング研究会補助金40,000円, 大会発表表彰関係26,456円(当初予算20,000円), 学会賞副賞20,000円

注10 : 封筒・はがき印刷, コピー用紙, インクカートリッジなど

注11 : 春季・秋季大会への旅費(事務局)(会長理事会旅費補助)

注12 : ホームページ運用費(4～9月43,200円/月, 10～3月44,000円/月)

特別会計2019年度収支決算書

自 2019年 4月 1日
至 2020年 3月31日

収入	繰越金	10,242,463
	ZKKからの寄附	500,000
	利子	0
	収入計	10,742,463
支出	ICGG2020開催費用補助(2,000USD)	219,880
	上記送金手数料	7,000
	支出計	226,880
差引		10,515,583

[別掲3]

2020年度事業計画

1. 会誌の発行「図学研究」
 - ・ 2 回発行(第54巻 2 号～第55巻 1 号)
2. 2020年度総会および講演会の開催
 - ・ 2020年 5 月30日 東京大学駒場IキャンパスKOMCEEレクチャーホールを予定していたが、総会は、COVID-19の影響により、議決権行使書を用いたオンラインでの実施とした。
 - 日時：2020年 7 月25日 11:00～12:00
 - ・ 同日開催予定であった「分野協働のための図学研究」講演会は延期となった。
3. 2020年度大会の開催
 - ・ 2020年11月21日～22日阿寒湖
4. 理事会の開催
 - ・ 原則として毎月 1 回定例理事会を開催
5. 各種委員会の活動
 - a) 編集委員会
 - b) 企画広報委員会
 - c) ホームページ委員会
 - d) 分野協働のための図学研究委員会
 - ・ 講演会(3 件講演)(延期)
 - e) 学会賞選考委員会
6. 研究会活動
 - a) 図学教育研究会
 - ・ 休会
 - b) デジタルモデリング研究会
 - ・ 第12回 デジタルモデリングコンテスト展示と審査は 2020年度秋季大会期間中
7. 第19回国学国際会議(ICGG2020)

2020年 8 月 9 日～13日ブラジル・サンパウロ大学で予定されていたが、ビデオプレゼンテーションによる非同期オンライン会議となった。日時：2021年 1 月18日(月)～22日(金)
8. 各支部活動(総会、例会、見学会等の予定 2020年 5 月30日現在)
 - a) 北海道支部
 - ・ 支部総会・講演会(2020年 6 月予定)
 - ・ 支部例会・講演会(2020年12月予定)
 - b) 東北支部
 - ・ 支部幹事会および講演会(2020年 6 月山形)
 - ・ 支部総会および講演会(2020年12月盛岡)
 - c) 中部支部
 - ・ 支部総会2021年 2 月または 3 月東海地区
 - ・ 支部例会
 - イ) 秋季例会2020年11月または12月北陸地区
 - ロ) 冬季例会2021年 2 月または 3 月東海地区
 - d) 関西支部

・ 第107回支部例会(講演見学会) 2020年 8 ～ 9 月を予定
場所未定

・ 第108回支部例会(研究発表会) 2021年 2 月上旬を予定
場所未定

e) 九州支部

・ 支部総会・研究発表会(2020年 6 月予定)

各種委員会・研究会(2020年 5 月10日現在)

編集委員会

[委員長]	面出 和子		
[副委員長]	種田 元晴		
[幹事]	齋藤 綾	佐藤 紀子	加藤 道夫
	椎名 久美子	竹之内 和樹	堤 江美子
	山口 泰		
[委員]	阿部 浩和	飯田 尚紀	遠藤 潤一
	大谷 智子	金子 哲大	榊 愛
	佐藤 尚	白石 路雄	鈴木 広隆
	羽太 広海	隼田 尚彦	廣瀬 健一
	宮腰 直幸	宮永 美知代	向田 茂
	村松 俊夫	山畑 信博	

企画広報委員会

[委員長]	田中 一郎		
[副委員長]	茂木 龍太		
[委員]	阿部 浩和	飯田 尚紀	遠藤 潤一
	岡川 卓詩	河村 彰星	高 三徳
	椎名 久美子	柴田 晃宏	鈴木 広隆
	竹之内 和樹	田中 龍志	辻合 秀一
	堤 江美子	鶴田 直也	西井 美佐子
	福江 良純	伏見 清香	松田 浩一
	山口 泰	山田 修	

ホームページ委員会

[委員長]	三谷 純		
[委員]	金井 崇	齋藤 綾	椎名 久美子
	館 知宏	田中 一郎	種田 元晴
	西井美佐子		

分野協働のための図学研究委員会

[委員長]	館 知宏		
[副委員長]	鶴田 直也		
[委員]	河村 彰星	繁富 香織	中野 希大
	安福 健祐	山田 修	

学会賞選考委員会

[委員]	高 三徳	辻合 秀一	村松 俊夫
------	------	-------	-------

図学教育研究会

[委員長]	竹之内 和樹		
[委員]	阿部 浩和	石松 丈佳	大月 彩香
	小高 直樹	近藤 邦雄	佐藤 紀子
	椎名 久美子	鈴木 賢次郎	

鈴木 広隆	辻合 秀一	堤 江美子
平野 重雄	三谷 純	村松 俊夫
森田 克己	安福 健佑	

デジタルモデリング研究会

[委員長] 松田 浩一

[副委員長] 西井 美佐子

[委員]	荒木 勉	近藤 邦雄	齋藤 綾
	佐藤 尚	田中 龍志	堤 江美子
	新津 靖	村松 俊夫	面出 和子
	横山 弥生		

各支部役員(2020年 5 月30日現在)

北海道支部

[支部長]	松岡 龍介	[幹事]	向田 茂
[会計監査]	松宮 寿彦		

東北支部

[支部長]	山畑 信博	[幹事]	宮腰 直幸
-------	-------	------	-------

中部支部

[支部長]	辻合 秀一	[副支部長]	遠藤 潤一
[監事]	横山 弥生		
[委員]	川崎 寧史	定國 伸吾	茂登山 清文

関西支部

[支部長]	森 真幸	[副支部長]	榊 愛
[役員]	岡田 大爾	辻井 麻衣子	富永 哲貴
	新関 雅俊	間瀬 実郎	吉田 晴行

九州支部

[支部長]	井原 徹	[副支部長]	金子 哲大
[会計]	森岡 陽介		

[別掲4]

日本図学会2020年度予算書(案)

		科 目	予算額	前年度予算額	増 減	備 考
収 入		個 人 会 員 入 会 金	5,000	5,000	0	
		個 人 会 員 会 費	2,200,000	2,200,000	0	
		賛 助 会 員 会 費	135,000	210,000	▲ 75,000	
		論 文 掲 載 料	600,000	600,000	0	
		出 版 収 入	56,000	100,000	▲ 44,000	
		寄 付 金	0	0	0	
		広 告 料	0	0	0	
		雑 収 入	610,000	610,000	0	
		大 会	560,000	560,000	0	注 1
		そ の 他	50,000	50,000	0	
		繰 越 金	3,547,229	3,779,983	▲ 232,754	
		収 入 計	7,153,229	7,504,983	▲ 351,754	
支 出	事業費	会 誌 印 刷 発 送 費	1,600,000	2,000,000	▲ 400,000	注 2
		大 会 開 催 費	560,000	560,000	0	注 3
		委 員 会 費	0	0	0	
		事 業 支 出	80,000	80,000	0	注 4
		小 計	2,240,000	2,640,000	▲ 400,000	
	経常費	会 議 費	20,000	20,000	0	
		通 信 費	130,000	100,000	30,000	
		物 品 費	300,000	150,000	150,000	
		旅 費 及 び 交 通 費	200,000	350,000	▲ 150,000	注 5
		広 報 費	528,000	523,200	4,800	
		事 務 経 費	640,000	610,000	30,000	注 6
		支 部 補 助 費	155,000	155,000	0	
		雑 費	30,000	30,000	0	
		小 計	2,003,000	1,938,200	64,800	
		予 備 費	2,910,229	2,926,783	▲ 16,554	
		支 出 計	7,153,229	7,504,983	▲ 351,754	

注 1 大会参加費(会員6,000円/人, 非会員10,000円/人), 学術講演論文集著者印刷製本費(5,000円/人)

注 2 54巻2号～55巻1号, J-STAGE登録業務(53巻1号～54巻2号)

注 3 開催校へ200,000円, 論文集印刷費300,000円程度

注 4 デジタルモデリング研究会補助金40,000円, 学会賞副賞20,000円, 優秀研究発表賞, 研究奨励賞および論文賞20,000円

注 5 大会(阿寒湖)のための宿泊交通費, 会長理事会旅費補助

注 6 郵便振替手数料, 事務アルバイト代, レンタルサーバ利用料

第15回日本図学会論文賞選考結果報告

論文賞選考委員会

第15回日本図学会論文賞選考委員会は、『図学研究』第52巻1号から第53巻4号に掲載された研究論文、研究資料および教育資料から17編を対象に、論文賞にふさわしい優秀な論文の選考を行なった。まず、選考委員会は、編集理事および編集委員に対して対象の論文に対して順位づけを呼びかけた。その結果に基づいて、選考委員会はもっとも評価の高かった下記の2編の論文を候補として選定し、理事会に報告し承認された。

第15回 日本図学会論文賞

受賞者：佐久田 博司，西原 小百合，西原 一嘉，
堤江 美子，鈴木 賢次郎
受賞論文：空間認識力の年齢変化（第53巻1号）



選定理由：

これまで MCT は教育効果の評価法として利用されてきたため、若年～青年層で測定されることが多かったが、大学生から中高年齢者まで対象を広げることで幅広い年代における立体認識能力の変化を示すとともに、分析の手法・要点がまとめられ空間認識力の変化が解析された。また被験者の経年による解答結果の変化を調査したのは新しい視点である。労働力不足解消の観点から、高齢者雇用が提唱されるなかで、空間認識という限られた能力ではあるものの、認識能力変化についての知見が得られたことには、大きな意義があると考ええる。

受賞者：牟田 淳
受賞論文：好みの長方形の縦横比に関する日本欧米比較研究
（第52巻1号）



選定理由：

本研究は、長方形の縦横比の好みに関する比較調査である。従来、欧米人が好むと言われる黄金比と日本人が好むと言われる白銀比（ここでは1:1.41）に対して、先行研究を参照しながら、その課題点を明らかにしつつ、そこに新たな知見を加える形で、「弱い好み」にも注意を払い、先行研究を一步推し進めることに寄与する研究にまとめ上げた点が優れている。各国千人規模という十分な人数で、方法を統一して調査を実施することによって、欧米、日本それぞれの好みの傾向が明らかにされており、学術的に有用な結論が示されていることが評価された。

2020年度日本図学会新名誉会員

新名誉会員：横澤 肇 氏



推薦理由

横澤肇氏は、名古屋大学工学部機械学科及び、名古屋大学大学院工学研究科博士課程（機械工学）で研究、工学博士（名古屋大学）を取得されました。同氏は、1977年4月より名古屋大学教養学部勤務、長年同大学における図学教育の要として教育に携わって来られ、1987年にはデジタル教育による教育環境の変化に伴い「パソコンによる製図課題の導入による図学実習授業の多様化と改善について」研究をまとめられました。1993年4月からは同大学情報文化学部教授として、さらに2005年4月からは同大学大学院人間情報学研究科長として、同大学においては図学教育に30年間従事されました。加えて、同年4月からは広島国際学院大学の教育にも従事され、同大学情報デザイン学部長、学校法人広島国際学院理事などの責務を担いつつ、6年間図学教育に携わられました。

図学に関する著書としては、『改定可視化の図学』（株式会社マナハウス 2006）や『空間構成・表現のための図学』（名古屋大学出版会名古屋大学出版会 1996）など、5点があげられます。また、図学に関する論文は、本学会で発表された「光環境を考慮した樹木生長モデリング」（図学研究第41巻3号）や「距離画像における多面体表面の領域分割」（図学研究第35巻1号）をはじめとして44編があげられます。さらに、図学に関する国際会議での発表は15編あり、その他研究大会での発表も含め、図学研究に多くの成果をあげられています。

また、同氏は、1990年に日本図学会正会員として入会後、第16期理事、第18期及び19期の副会長に加え、中部支部長としても本学会の活動に貢献されました。

上記のように、同氏の日本図学会における多大な功績は、日本図学会名誉会員として十分な資格があると判断し、日本図学会理事会から推薦いたします。

2020年度日本図学会新名誉会員

新名誉会員：梶山 喜一郎 氏



推薦理由

梶山喜一郎氏は本年3月に福岡大学を定年退職されました。福岡大学図学教室教授として、専門の図学教育、建築CAD分野の研究に携わってこられました。

図学分野においては、福岡大学工学部建築学科において建築製図を長きにわたって担当され多くの卒業生を輩出すると同時に、1987年には日本図学会に入会され、33年にわたり、九州支部において研究学会活動に積極的に参加され、日本図学会九州支部の有力メンバーとして活動されてこられるとともに、第13期および第14期の理事を、さらには、第20期及び21期の副会長を歴任されて図学会全体での活動にも顕著なものがああります。

研究においては、長年の読図に関する研究を継続され、特に1995年には「読図過程の解析と教授システムへの応用に関する研究」において1995年度日本図学会賞を受賞され図学研究に著しい貢献をされました。

このように、同氏の日本図学会に対する多大なる功績は、日本図学会名誉会員として十分な資格があると判断し、日本図学会理事会から推薦いたします。

2020年度日本図学会新名誉会員

新名誉会員：早坂 洋史 氏



推薦理由

早坂洋史氏は、1986年から30年間北海道大学において図学教育に当たられました。

北海道大学機械工学科出身の同氏は、北海道大学大学院工学研究科専攻修士課程修了後、日立造船（株）技術研究所勤務を経て、1980年北海道大学工学部助手となり、1986年工学博士の学位（北海道大学）を取得、同年助教授に就任され、熱工学、火災関連分野の研究と図学教育に従事されました。

同氏は、黒板を使つての従来の教育法に加えて、普及し始めたパソコンによる作図教育の可能性を追求されました。同氏の手になる複雑な作図解法の手順を扱った動画教材は、繰り返し閲覧可能な教材として学生の理解を高めるのに役立ちました。既発表学術論文50編近くを有する同氏は、現在も森林火災研究の第一人者として国際的活躍を続けています。

1986年日本図学会に入会され正会員となった同氏は、当該分野でも顕著な業績を挙げており、多くの年次大会や国際会議への参加、本会出版の「CGハンドブック」「図学用語辞典」の分担執筆、本部理事や北海道支部長の立場で参画した学会運営、などの功績により1997年に日本図学会教育功労賞を受賞されています。

以上のように、早坂洋史氏は大学卒業後50年近く倦むことなく研究活動が続けられ、図学教育および学会活動にも多大な功績を残されており、日本図学会名誉会員候補者として日本図学会理事会から推薦する次第です。

2019年度秋季大会優秀研究発表賞・研究奨励賞選考結果報告

2019年度秋季大会における研究発表から、大会参加者による投票の結果、以下の発表が優秀研究発表賞，研究奨励賞として選考されました。

優秀研究発表賞



発表者：種田 元晴

論文題目：坂本鹿名夫の円形建築の形態構成に関する研究

研究奨励賞



発表者：山本 陽平

論文題目：平織りによる単色幾何学模様表現手法

●報告

2019年度中部支部冬季例会報告

辻合 秀一 Hidekazu TUJIAI

遠藤 潤一 Junichi ENDO

日本図学会中部支部2019年度冬季例会を名古屋で2月17日(月)に行いました。研究発表会には12名の参加者がありました。研究発表は8題あり、若手研究者を対象とした日本図学会中部支部奨励賞も対象発表は3件あり、金城学院大学の小林玲衣奈さんが受賞しました。それぞれの研究発表に対して熱心な意見交換が行われ、相互の知識・理解を高める研究・教育の場となりました。懇親会は「きんぼし 伏見店」で行われ6名の参加者があった。学会運営や図学教育などについて情報交換を行い、より一層の懇親を深めた。

プログラム

令和2年2月17日(月)

場所：金城学院大学 N1棟3階N1-305

中部支部総会

議長：中部支部長 辻合秀一

研究発表会

座長：中部支部2019年度冬季例会幹事 遠藤潤一

1. 高等学校情報科「情報I」教員用研修教材の調査と分析

小林玲衣奈, 遠藤潤一(金城学院大学)

2. 日常的な単位変換が見える化するVRコンテンツの提案

渡邊達矢, 定國伸吾(静岡理工科大学)

3. アプリ上の形態変化によるスマートロックへの愛着形成手法の提案

森義央, 定國伸吾(静岡理工科大学)

4. JIS B 0001:2019 機械製図の解説記事について

平野重雄(東京都市大学名誉教授, (株)アルトナー)

喜瀬晋, 関口相三, 奥坂一也((株)アルトナー)

荒木勉(筑波技術大学名誉教授)

5. 視覚障害者が手で触って分かる立体的ハザードマップの開発-その3 3D地形図の魅力-

萩達也(名古屋工業大学)

6. グラフィクスにおける情報の表現

茂登山清文(名古屋芸術大学)

7. 視認性と理解度の向上を目指すピクトグラムの対象物と線の太さの選定調査と実証実験 —参加型連携ミュージアム支援システムの操作性を高めるためのピクトグラムデザイン—

井堰絵里佳(広島国際学院大学)

伏見清香(放送大学)

藪本美孝(北九州市立自然史・歴史博物館)

池本誠也, 真鍋真(国立科学博物館)

高田浩二(海と博物館研究所)

8. 視覚的表現で情報を伝えるデザインに向けて

伏見清香(放送大学), 茂登山清文(名古屋芸術大学) 懇親会



図1 研究発表の風景



図2 奨励賞を受賞した小林さん

つじあい ひでかず 富山大学 芸術文化学系
えんどう じゅんいち 金城学院大学 国際情報学部

高等学校情報科「情報Ⅰ」教員研修用教材の調査と分析

小林 玲衣奈 *Reina KOBAYASHI*

遠藤 潤一 *Junichi ENDO*

1. 背景と目的

2018年に行われた高等学校教育の指導要領改訂に伴い、共通教科情報科に新たにプログラミングやコミュニケーションと情報デザインなどが追加された。これらは2022年度から開始され、すべての高校生が学ぶ教科となる。情報に関する科学的な見方・考え方などを学び、問題の発見や解決に活用していくことを目的としている。

文部科学省のウェブサイトにて教員研修用教材が公開された。しかしながら、その内容を見ていくと教員用研修教材の内容において章ごとの関連性を見つけるのが難しく、専門的な用語で説明が済まされている箇所もあり、情報科の先生向けといえどもデザイン初学者向けの教材としては理解への難易度が高い。教員が正しく理解することができなければ学生の正しい学習に繋げることができない。情報科科目が共通科目として必修になるということは、正しく理解しやすいものであること、また情報デザインでの学びを他の活動に活かせるようにすることが必要である。情報デザインを広く正しく理解してもらうためのサポート教材の作成の為に教員研修用教材の調査と分析を行い、報告した。

2. 全体的な問題点

全体的な問題として以下の点が挙げられる。

- ・図と解説が合っていない
- ・章によって解説の量と質がバラバラである
- ・参考文献が細かく記載されていない

3. 課題

「情報Ⅰ」教員研修用教材の内容を分析し、本当に基礎的な学習において有効であるかを検討した。ここでのポイントはすべての生徒が情報デザインを学ぶという点である。情報デザインでの知識を他の学習にも広く活かせるような内容にしていくべきである。

今後の予定として今回明らかになった問題点を元にサポート教材としてWebサイトの作成を検討している。

こばやし れいな
えんどう じゅんいち
金城学院大学 国際情報学部

日常的な単位変換を見える化するVRコンテンツの提案

渡邊 達矢 *Tatsuya WATANABE*

定國 伸吾 *Shingo SADAKUNI*

1. 背景と目的

莫大な数量の値を別のものや単位に置き換えることがある。例えば、8平方キロメートルは東京ドーム約170個分、1億円はうまい棒1000万本分などである。本研究ではこれを「日常的な単位変換」と呼称する。これらは、元の値や単位がそのままでは理解しづらいために、別のわかりやすいものに置き換えて考えていると推測される。しかし、東京ドームは訪れたことのある人でなければ具体的な広さの把握は難しく、うまい棒1000万本は想像することも難しい量である。そこで本研究では、この「日常的な単位変換」を可視化し、元の値をより理解しやすくすることを考えた。またこの可視化は、非現実的な体験となり、エンターテインメント性を生むと考えられる。

2. 提案とシステムの実装

VR空間内に、指定した金額に相当する数分、任意のオブジェクトを出現させるシステムを実装した。今回は、金額を1億円、オブジェクトを「一万円札」、「ゲームキューブ」、「新車（車種：BMW X5）」、「4K液晶テレビ（メーカー：ソニー、モデル：ブラビア）」、「うまい棒」の5つに設定し、それらをVRコンテンツ内から生成・消去ができる仕様とした。また、1億円分のオブジェクト表示だけでなく、1000万円、100万円、10万円の4つの金額パターンでそれぞれオブジェクトを生成できるシステムを作成した。

3. 実験

元の値の理解の深化や、エンターテインメント性の有無について検証することを目的に、男子大学生10人を対象に、本システムの利用前後にアンケートを実施する形で評価実験を行った。実験からは、「日常的な単位変換」の可視化は、元の値の理解を深め、エンターテインメント性を生むことがわかった。また、可視化させるオブジェクトの立体感や可視化時の数の多さが、実感度合いやエンターテインメント性に影響を与えることが示唆された。

わたなべ たつや
さだくに しんご
静岡理科大学 情報学部

アプリ上の形態変化によるスマートロックへの愛着形成手法の提案

森 義央 Yoshihiro MORI

定國 伸吾 Shingo SADAKUNI

1. 背景と目的

モノには愛着が形成されやすいモノと形成されにくいモノが存在し、その要因として「普段から使用している」や「常に携帯している」、「何らかの形態変化がある」ことが重要であるとされている。本研究では、日常生活において愛着が形成されにくいモノのうち「形態変化のないモノ」対して、システムの介在により愛着を形成させることを考えた。

2. 提案

この実現のために、「形態変化のないモノ」の利用に依拠して、実空間での物理的な形態変化の代わりとなる形態変化を仮想空間で発生させることを考えた。仮想空間における形態変化には様々なものが想定できるが、今回はキャラクターの成長を用いた。

3. システムの実装

形態変化が無く愛着が形成されにくいモノとして本研究では金属で形成され、使用によって形態変化が生じにくいスマートロック（SESAMI）を対象にシステムを開発した。

開発アプリによりスマートロックの開閉が可能となり、開閉操作によりポイントが獲得され、そのポイントに応じてキャラクターのビジュアルやキャラクターのセリフ（吹き出し）が変化するし使用とした。

4. 評価実験

研究室のドアにスマートロックを設置し、日常的に研究室を使用する学生11名、教員1名の12名を被験者に実験を行った。被験者は開発したアプリを通じて研究室のドアを開閉する。被験者は実験前と実験後にそれぞれスマートロックに対する愛着度の変化や感情の変化に対するアンケートを回答する。実験からは、アプリの使用前後におけるスマートロックに対する愛着度の評価に優位な差が見られ、アプリの使用が愛着形成に寄与したと考えられる。

もり よしひろ
さだくに しんご
静岡理科大学 情報学部

間違いなどが散見されるB 0001: 2019機械製図の教育方法を考える

平野 重雄 Shigeo HIRAN

喜瀬 晋 Susumu KISE

関口 相三 Sozo SEKIGUCHI

奥坂 一也 Kazuya OKUSAKA

荒木 勉 Tsutomu ARAKI

1. はじめに

改正前規格に関して多くの修正を施したにも拘わらず、用語の間違い・製図ルール of 誤用と解説を熟読しないと真意不明確などが見られる。特に教育界への影響は、見過ごすことはできない。学生・生徒たちは規格を信奉して白紙から勉強する。授業はB 0001に沿った教科書で進めることが多い。このままでは、授業で間違っただけを教えることになる。本報は、学び方の基礎的な項目を明確にすることを目的に考察し、ひとつの教育方法を提示した。

2. B 0001の規定・解釈で留意するルール

ルール（1）：解釈の一義性を保つために、新たな規定や解釈を原典に加えない。ルール（2）：JIS化されていない他国の規格を用いない。ルール（3）：B 0001とは別体系であるCAD製図などを適用しない。である。

3. 誤りを正して教育するために

3.1 製図則からの逸脱について

B 0001において、引用した原典の図に、原典にない規定や解釈を加えたものは、ダブルスタンダードではと疑われる。該当する規定の本文図の25図例を基に誤り箇所を指摘した。

4. 誤りを正すのは誰か

ここで明確なことは、誤りを認めて、訂正の正誤表を発行するのはJSAである。一つの誤りがドミノ式に別の誤りを引き起こさないように、負の連鎖を断ち切ることである。

5. おわりに

改正機械製図の誤りの根幹はどこに存するのか。誤解を招く文章と本文図、解説記事の誤りを正すのは誰であろうか。これも難題である。

ひらの しげお 東京都市大学
きせ すずむ (株) アルトナー
せきぐち そうぞう (株) アルトナー
おくさか かずや (株) アルトナー
あらき つとむ 筑波技術大学

視覚障害者が手で触って分かる立体的ハザードマップの開発—その3 3D地形図の魅力—

萩 達也 Tatsuya HAGI

細川 陽一 Yoichi HOSOKAWA

1. 概要

視覚障害者が晴眼者と共に災害に関心を寄せ、非常時に備えるため、手で触って分かる立体的ハザードマップを制作した。国土地理院ホームページの基盤地図情報を基に工作機械で3D地形図の模型を作り、名古屋市昭和区のハザードマップを重ねた。道路は指でつまめるよう、一般道路・生活道路（黒）は幅・厚み各2mm、高速道路・幹線道路（白）は2倍の各4mmで表した。指先や手のひら全体で地盤の起伏や道路の広がりを感じ取る。浸水区域は黄色のゲル状素材で覆い触感の違いを表した。縮尺は6000分の1（高さ方向は5倍）、縦0.6m、横1mの展示サイズだが4分割してあるため、分解して楽しむこともできる。

2. 特徴

基盤地図情報データから忠実に再現し、距離感や方向感覚が捉えやすく、晴眼者と共に浸水区域や避難場所、移動経路を確認できる。（図1）日本地図から任意の場所を自由に切り抜き、好きな縮尺・サイズで同様のハザードマップが完成する。

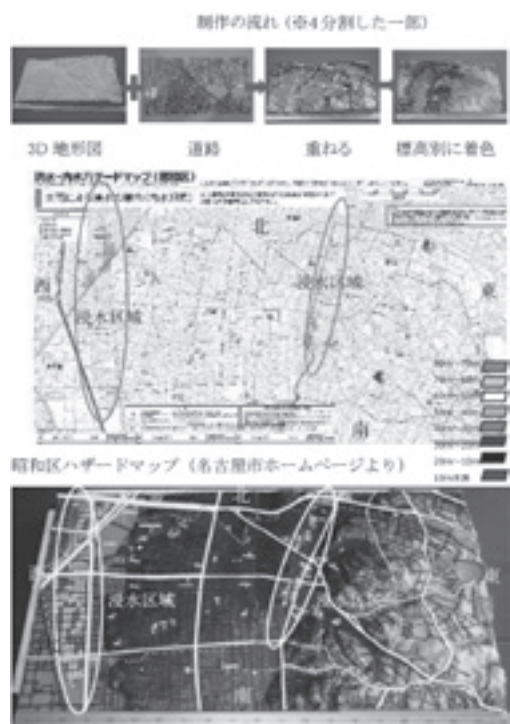


図1 立体的ハザードマップ

はぎ たつや 名古屋工業大学 技術部
ほそかわ よういち 名古屋工業大学大学院

グラフィクスにおける情報の表現

茂登山 清文 Kiyofumi MOTOYAMA

ピクトグラム、ロゴタイプやマーク、イラストレーション、マップとタイムライン、情報を伝えるために二次元上に描かれる図は、多種多様である。それらを総称して、インフォメーショングラフィクスという呼び名も使われる。事例を紹介しながら特徴を説明する。
キーワード：ピクトグラム、ロゴタイプ、イラストレーション、マップ、タイムライン、インフォメーショングラフィクス

1. ピクトグラムと汎用性

ピクトグラムは、太田幸夫によれば、「意味するものの形状を使って、その意味概念を理解させる記号」であり、それは「事前の学習なしでも即時的、国際的に分かる伝達効果」をもつという。特徴としては、規則性があり、それゆえに汎用的であることである。

2. ロゴタイプとアイデンティティ

ロゴタイプやマークは、意味や概念を示し、伝えるために用いられる図案化された視覚記号である。したがって、汎用性は低く、固有のアイデンティティを保証するものである。

3. イラストレーション、図で説明する

イラストレーションとは、図解や挿絵など、印刷物の中に扱われ、テキストや概念の理解を助ける図による説明を指す。日本ではしばしば、その表現的な意味合いが強調されることがある。

4. マップとタイムライン

マップは、地球表面の一部または全部を縮小、変形して、記号・文字などを併用して表した図である。それに対して、タイムラインは、歴史上、時間軸上での起こった出来事を、年代順、時間順に並べたものである。

5. インフォメーショングラフィクス、複合的な表現

インフォメーショングラフィクスという単語は、情報の視覚的表現、情報を伝えるイメージという意味で使われる。二次元上に描かれた情報とほぼ同義になる。狭義には、多種の要素の複合的な表現といえる。

6. グラフィクスにおける情報の表現にかかわる論点

グラフィクス表現に関して、二つの論点を挙げておきたい。ひとつは、オリンピックのピクトグラムでみられる、ユニバーサリティとローカリティへの二極化である。

二点目は、それとも関連するが、デジタルメディアの特徴でもある、インタラクションや、UI/UXの考えがグラフィクスにも反映していることである。

もとやま きよふみ
名古屋芸術大学 芸術学部

視認性と理解度の向上を目指すピクトグラムの対象物と線の太さの選定調査と実証実験

—参加型連携ミュージアム支援システムの操作性を高めるためのピクトグラムデザイン—

井堰 絵里佳 Erika ISEKI

伏見 清香 Kiyoka FUSHIMI

藪本 美孝 Yoshitaka YABUMOTO

池本 誠也 Seiya IKEMOTO

真鍋 真 Makoto MANABE

高田 浩二 Kouzi TAKADA

1. 背景と目的

参加型連携ミュージアム支援システム（以後、システム）は2ヶ国語の展示解説を提供しており、ナビゲーションは主に文字が使用されている。より分かりやすく操作できるように、ナビゲーション用ピクトグラムを使用する。そのため、ピクトグラムの「図（絵柄）」となる対象物と、スマートフォン上においてピクトグラムの視認性と理解度が高くなる「線の太さ」を明らかにする。そのピクトグラムをシステムに用いて実証実験を行い、有効性を検証する。さらに、システムにピクトグラムと文字を併記し、どちらが分かりやすいかどうかの調査も行う。

2. 実験

ピクトグラムの「図」と、スマートフォンに表示されるピクトグラムの視認性と理解度が高い「線の太さ」を選定調査を実施した。視認性と理解度が高くなる「線の太さ」は、太い方に偏ることが明らかになった。これらの調査から選出されたピクトグラムをシステムに用いて、実証実験を行った。

被験者の84.8%がピクトグラムを見やすいと回答し、ピクトグラムと文字の分かりやすさではピクトグラムが支持された。さらに、被験者の自由記述からシステムを継続して使用することで、ピクトグラムとシステムの評価が向上する可能性が示唆されたため、継続実験を行った。システムの操作に肯定的な評価をした被験者の回答から、システムを継続して使用することで、ピクトグラムやシステムの評価が上がり、操作時間の短縮効果が期待された。

3. 今後の課題

継続実験を引き続き行い、ピクトグラムへの理解が深まり、システムの操作性が向上するかどうかの検証を行う。

いせき えりか 広島国際学院大学

ふしみ きよか 放送大学

やぶもと よしたか 北九州市立自然史・歴史博物館

いけもと せいや 国立科学博物館

まなべ まこと 国立科学博物館

たかだ こうじ 海と博物館研究所

視覚的表現で情報を伝えるデザインに向けて

伏見 清香 Kiyoka FUSHIMI

茂登山 清文 Kiyofumi MOTAYAMA

1. デザインの日常性

私たち人間が作り出す全ての物はデザインされており、デザインは、サービスやコミュニティ、社会にまで領域が広がりつつある。ここでは、生活者にも必要なデザインの視覚的表現について考える。

ポール・ランドは、すべてのものはデザインであり、デザインとは、形と中身との関係だ。と述べている。中身である情報をわかりやすい形として視覚化することは重要である。ドナルド・A・ノーマンは、我々は皆デザイナーであり、自らのニーズに役立つように環境を操作することは、デザインのひとつの形式であると述べている。デザインの使い手は我々生活者であり、自身の生活をデザインしながら暮らしている。

2. 視覚的表現に向けて

D. A. ドンディスは、視覚言語構造には基本的原理があり、そのリテラシーは一つの集団が情報の媒体（言語）の規約的意味を共有するとし、この点は視覚リテラシーも言語リテラシーと同じだと述べ、それは万人に通用する視覚的メッセージの学習と認識と作成と理解のための基本システムの構成であるとした。視覚的コミュニケーションと視覚的表現のため、誰にでもわかる意味の領域を明らかにしようとしたのである。

我々の情報収集の多くは視覚からだとされており、生活者にわかりやすく伝える視覚的表現は重要である。写真は、視認性が高く誰にでもわかりやすい書体として広く世界で使用されているシャルル・ド・ゴール空港のサインとモノレールCDGVALの路線図である。ポール・ランドの言う形と中身との関係が良い。デザインは複合領域として分野を越え横断的かつ複雑に変化している。複合領域におけるデザインの視覚リテラシーとしての視覚的表現教育が課題である。



図 フルティガー書体サイン：シャルル・ド・ゴール空港

ふしみ きよか 放送大学

もとやま きよふみ 名古屋芸術大学

40歳の学生・実務者・教育者の自己紹介

The Self-introduction of 40 Years Old Student, Practitioner, Educator

辻井 麻衣子 Maiko K. TSUJII

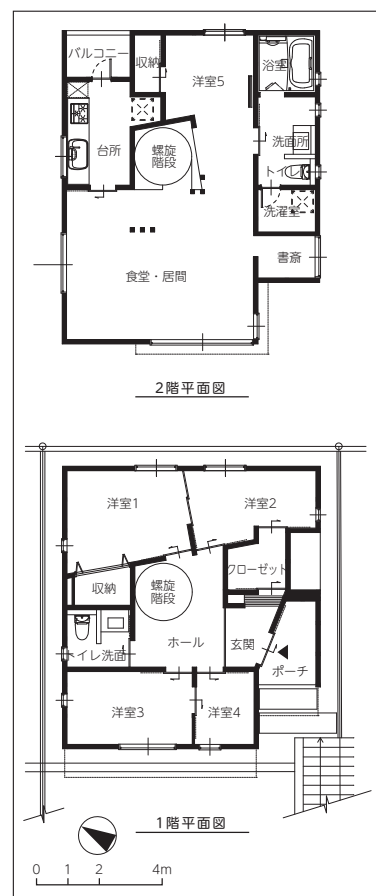
今回のリレーエッセイを担当させていただきます摂南大学の辻井です。編集委員会の種田様より、「図学会になぜ感心を寄せられたかについて」とのテーマを頂戴しました。そこで、なぜ私が40歳を契機に摂南大学大学院後期博士課程に進学したかについても含めて、お話をさせていただきます。

まず、簡単な自己紹介となりますが、私は修士課程まで京都精華大学にて建築やデザインを学びました。本大学は美術以外の学部もありますが一般的には美術系大学とされ、当時の建築の位置づけはデザイン学科建築分野にありました。修士論文では「漫画と建築－漫画における建築学的考察」として、漫画のストーリーとそこで描かれる建築の形態要素との関連についての研究をしていましたが、建築士である父に「これは建築学なのか？」と問い詰められたことが思い出されます。

大学院を修了した後は、建築設計事務所に勤務する傍ら2002年度から建築やデザインの専門学校で非常勤講師をしており、2008年度からは摂南大学理工学部建築学科で非常勤講師を勤めることになりました。そこで科目主担当者であり、その後、後期博士課程で指導教官として師事した木多彩子先生と出会いました。

現在、私の実務者としての主な仕事内容は、建築分野では建築意匠だけでなく建築法務や公共建築物の保全点検、デザイン分野ではCIデザイン全般に従事しています。その傍ら建築やデザイン教育に携わっています。この過程で実務者として建築やデザイン教育の現場を俯瞰してみたとき、特に基礎教育の段階での教育手法に違和感を覚える場面が年々増えていることに気づきました。具体例として、これまでの日本の教育手法が団体重視型から個性尊重型を重要視するように変化してきたことに教育の現場が追いついていない、社会が建築に求めるものが変化してきたことに建築教育の現場が対応できていないことが挙げられます。これが後期博士課程に進学を決める契機となりました。

そうなる研究計画書を作成し、研究発表など活動のフィールドを決めなければなりません。私は専門分野や領域に囚われず建築やデザイン教育を体系的かつ包括的に研究することが目的です。そこで、図学会の活動の趣旨でもある“建築やデザイン、造形、機械工学など多彩な分野を扱いながらも「図の学」という共通の目的がある”ところに他学会にはない希代があり、また教育手法に視点を持った研究蓄積も厚いことから、図学会を



参考写真 1

図学研究53-4「建築学生と非建築学生における建築図面の読図能力の涵養過程と性格特性に関する研究」では、実験対象とする建物を方々で探していました。ある日、ふと私が設計した自宅が求めていた条件にぴったりであることに気づきました。自分で設計した自宅を実験で使用するとは、思ってもみませんでした。



参考写真 2

図学研究53-4「デザイン初学者を対象とした基礎造形教育の実例と習得プロセスについて-立体構成科目を事例として」で得られた知見をもとに、今年度では課題「ミロのヴィーナス」で指導上の改善を行いました。すると、これまでより骨格や筋肉、顎の角度にこだわった作品が多くみられたことから、研究成果として一定の効果を得ることができました。



参考写真 3

2017年秋季大会「デザイン初学者を対象とした三次元思考力の習得を目的とした基礎造形教育の実例報告」で発表した課題「生き物のカタチ」では、得られた知見をもとに、今年度では、学生に動物の骨格や筋肉を丁寧に分析することを促しました。すると、これまでよりケント紙（2次元）から立体（3次元）に形づくる際の方法を深く考える姿勢が多くみられました。

私の研究活動のフィールドにしたいと考えました。

図学会では、40歳過ぎにもかかわらず無知で今思えば非礼な私に対して諸先生方は優しく迎えてくださり、研究途上において多くの助言を頂戴しました。とくに大阪大学の阿部浩和先生には他学会でもご一緒させて頂いたことから、多くの的確なご指摘と貴重な助言を頂戴したこともあり、ようやくこの春に修了と学位授与されました。（参考写真1，2，3）

ここで、在学中とくに印象深かったエピソードをお話します。とある期間の特定の曜日、午前中は教育者として摂南大学で授業を行い、午後は学生として木多先生から懇切な研究指導を受け、夕刻からは実務者として関係各所との打合せという状況が続きました。この曜日になるとどうも自分の言葉でうまく話せない、テンションもどこかおかしい、でも気持ちに心地よさがあることに気づきました。ちょうどこの頃、木多先生から「キャリアを無駄にしない将来の目標設定を」との助言を頂いていたことから「そうか…私は、学生（研究者）であり、実務者であり、教育者。これが私の目標なのかもしれない。」と今後、私が目指したい生き方を認識できる機会となりました。

最後に、現在の研究テーマについてお話します。

これからも建築やデザイン教育を主軸としつつ、つぎは絵画に描かれる空間や建築物の描写技法について研究したいと考えています。これを対象とした背景には、とある美術系大学の教養科目である「表現研究」で提出された学生の空間や建築物のスケッチに一定の傾向が確認されたところにあります。「表現研究」では、課題として各セッションでテーマが定められており、学生はテーマに沿って街並みや建物をスケッチし、平行して絵画や日本画などの模写を繰り返し行うシラバスが設定されています^{注1}。そこで提出された学生作品は、建物を正面から正しく捉えたものや、正確な投影図法を用いて描かれた作品が散見されました。学年が上がるにつれ完成度の高い作品も少なくありません。一方で、著名とされる絵画では正確な投影図法で描かれていない、もしくは意図的に歪んだ姿で描かれた作品が多く存在します。（図1，2）

しかし、これらを観る側の人々は一概に違和感を覚えるわけではなく、歪んだ空間や建物であるからこそ強い印象を覚える場合が多分にあるのではないかと。つまり、図法的に正しいものが人間の視覚の中で、必ずしも正

しいとは言えないのではないかと仮定しました。そして、絵画における空間認識の幾多の試みには、構図分析にとどまらない図学の可能性があるのではないかと捉え研究を始めたところです。これらの一連の結果を踏まえ、建築やデザイン教育の現場で空間認識と表現技法の指導方法について一定の視座を与えたいと考えています。

注釈

- 1)「表現研究」のシラバスによると、授業の目的は“空間に対する見方、皮膚感覚で感じ取る感性を養う。”としている。授業概要は“京都という都市を素材として、都市空間を読み解く。文化的、歴史的、都市的など、多様な視点からの講義をヒントに、各自で街を歩きスケッチを行う。そのスケッチをもとにディスカッションを行い、三次元の都市空間と二次元の絵画の接する場所を探す。(後略)”としている。筆者の補足説明として、講義、スケッチ制作、ディスカッションというのが、一つのテーマをめぐる作業サイクルとなっており、全15回の講義で6つの課題が設定されている。なお平行して、絵画や日本画などの模写も6回にわたり課題として設定されている。



図1
「金魚鉢のある室内」
アンリ・マティス（1914年作）147cm
×97cm、ポンピドゥー・センター蔵



図2
「フルール河岸 ノートルダム大聖堂」
藤田嗣治（1950年作）38cm×46cm、
ポンピドゥー・センター蔵

つじい まいこ

摂南大学 理工学部建築学科 非常勤講師
修士（美術）、博士（工学）

xtujii@edu.setsunan.ac.jp

〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町
17-8

摂南大学理工学部 建築学科共通準備室

図学教育所感

The Impressions of Education for Graphic Science

前田 眞正 Michimasa MAEDA

筆者は、大阪産業大学、大阪大学、大阪芸術大学で図学を担当したので、思いつくままに所感を述べてみたい。

まず、大阪芸術大学では非常勤講師として、70歳まで15年間図学を担当した。1・2時限であり、はじめ普通の教室であったが、受講生も増えてきたので、そのうち大教室に変更となった。かなり大きい教育量であった。先生は立場上遅刻できないので、行きは富田林で降り、タクシーで少し早めに行き、講義の準備をした。帰りは、ゆっくりとスクールバスに乗り、喜志の駅を利用した。午後は本務校に帰り、勤務したのであった。

ここでの図学は、総合教育科目に位置しており、通年科目であり、かなり教育量が多かった。図学の講義の中で、図学に関連して一般的な社会の様相なども折に触れて話をした。このことが、後に授業評価の感想の中で、社会のことや人間の様相について、いろんなことを図学に関連して話してくれたのはよかった。勉強になった。という授業の感想を書いてくれたのがあったが、これは素晴らしい事であった。

芸大では、できるだけ芸術味を加味する教育に力をいれた。ゴッホやモネなど有名画家の絵をケースに入れて持参し、毎回3枚ほど講義中に回すこともしたのは、その努力の表れである。ちなみに、ある図学国際会議の折り、オランダアムステルダムで飛行機の待ち時間があり、その間に、筆者は単独でゴッホ美術館を訪れて、ゴッホのひまわりなど実物を鑑賞した。これは、かなり勇気のいる行動であり、ある一定の時間に帰ってこなければならないから、迫力のある行動であった。実物を見て、鑑賞したのは、よいことであった。

芸大での思い出深いことは、行きだした初めのころ、有名人で俳優のフランキー堺氏に会って、談笑したことである。筆者の教室の近くの大教室で教えておられて、帰りのスクールバスで席が近くになり、しばし談笑した。「幕末太陽伝」、「私は貝になりたい」など多くの映画に出演され、後年自らも「写楽」などの映画製作もされている。東京に住んでおられたが、週に数日こられて、

阿倍野あたりに宿泊され、近鉄で通っておられたようである。舞台芸術学科というのがあり、その主任教授をされており、大教室で熱のこもった講義をしておられたと記憶している。惜しくも67歳でまもなく逝去されたが、いい思い出となっている。

芸大では、ある年度から全学的に通信教育が実施されることになり、筆者のところへその任務がまわってきた。これは、70歳まで9年間行った。教科書作りや教材作りなどせねばならなかったもので、良い勉強になった。透視図などの所は、遠近法でケント紙1枚に邸宅などの絵を色彩も入れて、提出するようにしたが、繊細で美しい、素晴らしい絵もあり、さすが芸大であると感じた。

次に、大阪大学では、非常勤講師として、63歳まで16年間、図学を担当した。基礎図学であり、はじめ教養部であったが、そのうち組織変更があり、全学共通教育機構となった。大阪大学でも、やはり成績は正規分布するものであり、5、4、3、2、1の成績であり、5は特によいもので、秀に相当するものである。5が多い方が、本人のためになるのではないかと、はじめ少し多めにつけて成績を出したところ、当時の主任教授より返却され、5はもう少し厳しく少数にしてほしいという意見であったので、これには驚いたのを記憶している。5を厳しく少数にして、出し直したのを記憶している。

はじめ1限目で、工学部精密工学科などを教えていたが、終わりの数年は、5限目で、医学部放射線学科などの女子学生を教えた。はじめ来た時は、豊中キャンパスは比較的のどかで、池も2つあり、大きな鯉もおよいでおり、大きな鳥も来ていたりして、すばらしいゆったりした所と感じられた。そのうち、開発が進み、池も一つ埋め立てられるという状況であった。建物も次々建て替えられるという発展ぶりであった。時代の変遷である。

このような状況の中で、ある年の学期初めに行ってみると非常勤講師室が無くなっており、スライド投影機を入れたロッカーがない。これは、大変なことになったと思って、探していると、なんと中庭にそのロッカーがほりだされている状態であった。幸い、その中に、いつも

使用しているスライド投影機があったので、安心したのである。

ただ、新しい建物での教室は、スライド投影機の位置なども定めにくく、カーテンも自動式であった。自動式というのは、スムーズに動いている時は良いが、いったん途中でとまると動かない事態も生じ、不便をきたすことになる。いわゆる使い勝手の問題である。また、使い勝手に年季が入っていない。いわゆる、なじんでいないと言える。自動車なども、車検の後にはよく不具合を生ずると言われる。このようなことを感じながら、教育をしていたのであった。教室も、新しい所や古いままの所やいろいろ使用したのを記憶している。

さらに、大阪産業大学では、図学は工学部の科目として、始めから位置づけられており、機械設計学、設計製図、機械製図の領域の中にあった。始め、機械工学科、交通機械工学科の両方を教えていたが、そのうち筆者の所属する交通機械工学科だけとなった。かなり長い間必修科目であったが、そのうち選択科目となり、科目名も図形科学という名称となった。これは、こちらの要望ではなく、自然の流れとして、変更されたようである。

図学は第3角法と第1角法があり、思考方法も相違がある。機械製図は第3角法で行われるから、図学も第3角法で行うのがよいのである。ちなみに、会社で仕事をしている卒業生と会話していると、まだ第1角法で習っている外国からきた社員を指導することもあるというから、第1角法と第3角法の両方の思考法を理解しておくことが大切である。

大阪産業大学は、専任33年、客員1年、非常勤1年の通算35年、70歳まで勤務し、その間図学はほとんど担当していることになる。時勢時代の変遷や科目の位置づけなどに変化が見られる。

まとめとして、科学技術の発展はめざましいものがあり、現在、図はあらゆる分野と関連があり、医者等もコンピュータの画像を見ながら診断しているし、新聞にもカラーの部分が多くなってきている。テレビの画像も細かく美しくなっている。ますます図が大切になってきている。

科目の在り方も、たえず見直されてきており、幅広い視野は大切であり、専門をやってから、教養科目を習うことがいいとも言われている。

表現方法も、スライド、OHP、パワーポイントなど機器の変化も著しい。不易流行と言われるが、変わるものと変わらないものをよく把握することは大切である。人間の本质は変わらないわけだから、その点を良く認識して、教育に当たることが大切である。

また、ゆったりした気持ちで、教育に当たることが大切である。教育をしっかりと行うためには、変化に対応した柔軟な発想とゆとりを持った心と健康が大切と言える。

●2019年9月30日受付

まえだ みちまさ

大阪産業大学名誉教授

日本図学会名誉会員

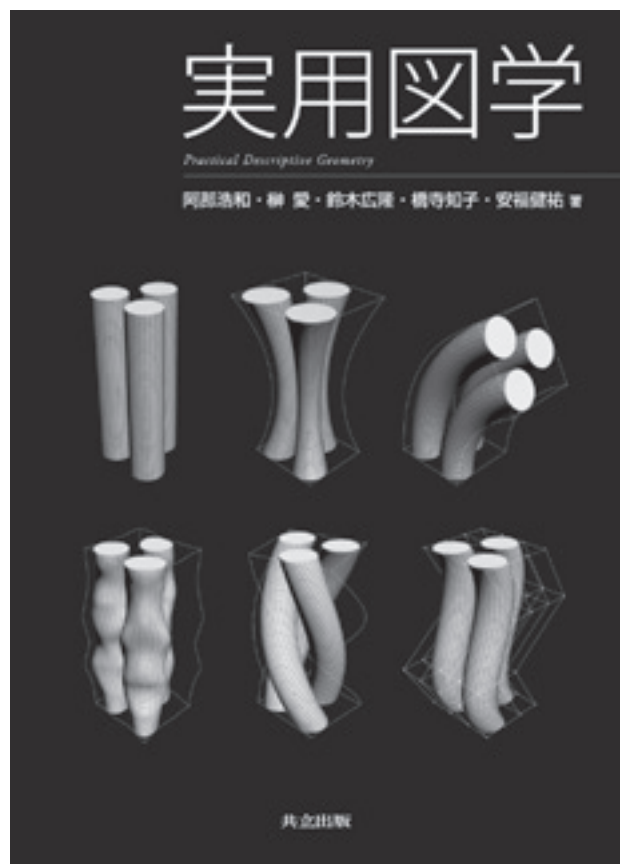
日本設計工学会名誉会員

日本機械学会永年会員

日本機械学会関西支部シニア会会員・フィロソフィ懇話会会員、工博

実用図学

Practical Descriptive Geometry



タイトル
実用図学

著者
阿部浩和，榎愛，鈴木広隆，橋寺知子，安福健祐

発行所
共立出版株式会社

国際標準図書番号
ISBN 978-4-320-11432-6

定価
本体2,300円＋税

ページ数
138ページ

●概要

本書のタイトルは、「図学とは『立体を平面に』『平面を立体に』する技術・知識を体系化した学問であり，写真やCGにも関わる極めて実用的なものである．時代遅れという指摘は不適當である．」という思いを込めたものである．本書の構成は，この思いを反映させたものとなっており，下記のように大変シンプルなものである．

- 第1章 平面
- 第2章 立体
- 第3章 立体から平面へ
- 第4章 平面から立体へ
- 第5章 立体から空間へ

著者は近畿圏の大学の建築系図学教育に従事している5人であるが，執筆前の打ち合わせで，第一角法を採用することとした上で，用語として「投象」「投射線」を用いる（「投影」「投影線」ではなく）こととした．その後，進捗に合わせて原稿を持ち寄り何度も打ち合わせを行ったが，その際に一番議論を重ねたのは「正投象」という言葉の意味についてである．これまでの多くの図学の教科書では，正投象は複面投象と同義で扱われてきた．しかし3次元CAD／CGが一般化したことで，これまでの投象の概念を見直した方がわかりやすいのではという意見が出た．たとえば単面投象としての正投象は，垂直投象（平行投象で投射線が投象面と垂直）であり，かつ図形を構成する直交3軸が投象面と平行もしくは垂直となる．しかし，複面投象で図形を表現・分析する場合の正投象は，必ずしも，「図形を構成する直交3軸が投象面と平行もしくは垂直」とは限らず，むしろ，線分や三角形の投象で，投象面と平行ではないものが例として取り上げられることが多い．こうなると，投象の分類としては，正投象と軸測投象の区別がないこととなる．著者らが最終的に到達した認識は，単面投象としての「正投象」と複面投象としての「正投象」では意味が異なる，というものである．もちろん，軸が投象面に垂直・平行の場合の正投象は軸が1つ消えてしまうため，複面で用いることで初めて立体図形の情報を十分に伝えることができるわけであるが，問取り図のように単面で用いられるケースも多い．そこで本書では，「垂直投象であり，かつ図形を構成する直交3軸が投象面と平行もしくは垂直」となる投象を正投象と定義した上，複面で図形の表現・分析を行う場合には，できるだけ正投象という言葉を用いないこととした．この点は一般の図学の教科書と大きく異なる点であり，本書を利用頂ける場合は留意頂ければ幸いである．

（鈴木 広隆）

建築のカタチ

3Dモデリングで学ぶ建築の構成と図面表現



著者

安藤直見, 石井翔太, 浅古陽介, 種田元晴

発行所

丸善出版

国際標準図書番号

ISBN 978-4-621-30502-7

定価

本体2,800円+税

ページ数

176ページ

●概要

本書は、歴史上、あるいは、近年のすぐれた建築を題材として、SketchUp（3Dモデリングソフトウェア）とRevit（BIM = Building Information Modeling ソフトウェア）を用いて、その美しいカタチの3Dモデルを作成しながら、建築の構成と図面表現を学ぶためのテキストである。

本書の構成は以下である。

- 1章 ピラミッド
3Dモデリングの第一歩
- 2章 エッフェル塔
現代のピラミッド
- 3章 パルテノン神殿
構成の美学
- 4章 パンテオン
天球の建築
- 5章 カップマルタンの休暇小屋
巨匠の終の住処
- 6章 ヒアシンズハウス
夭逝の詩人・立原道造のアトリエ
- 7章 住吉の長屋
鉄筋コンクリートの住宅
- 8章 箱形建築
Revitによる単純モデルのモデリングと図面表現
- 9章 ファンズワース邸
ガラスの家
- 10章 法政大学55/58年館
ラーメン構造とカーテンウォールの近代建築

1章から7章ではSketchUpを用い、建築のカタチの基本的な構成を示しながら、さまざまな建築のあり方を解説している。8章から10章ではRevitを用いて、建築図面の作成を前提とした3Dモデリングの方法であるBIMを操作しながら、建築のカタチとその図面表現の関係を解説している。

私は、法政大学建築学科において、春学期に、1年生の設計製図（デザインスタジオ1）と図形科学（図形の技術）を担当している。本書は、図形の技術の教科書として使用しているが、デザインスタジオ1の参考書でもある。本年は、新型コロナウイルス感染の拡大により、両授業をオンラインで進めざるをえなかった。例年なら製図室（製図版）にて手描きで図面を仕上げていた1年生は、自宅で大学が貸与するノートパソコン等を使って図面を描かなければいけないことになった。でも、設計製図課題は案外に問題なく進み、例年以上に、図面がうまく描けていると思えた。

建築を学び始める学生がBIMを使うことには異論を感じる人もいるかもしれない。しかし、BIMでは、2次元の図面が3次元の形態から生成されるので、3次元形態とその図面表現との関係が学びやすいのではないかと思う。

（安藤 直見）

図学研究 第54巻 総目次

●第54巻1号 通巻163号 2020年3月発行

巻頭言

館 知宏

研究論文

窮屈に見えるけれど日常動作の可能な服
—動作による人体の変形に対応するデザイン—
山村 美紀, 石垣 理子, 猪又 美栄子

研究論文

カフェウォール錯視の三次元的解釈と錯視パターンのバリエーション
丸谷 和史, 大谷 智子

作品紹介

視覚障害者が手で触って分かる立体的ハザードマップの開発
—その1 道路が分かる触地図の製作—
萩 達也, 細川 陽一

報告

日本図学会2019年度秋季大会報告
柴田 晃宏
日本図学会2019年度秋季大会講演プログラム・セッション報告
河村 彰星 他
日本図学会2019年度秋季大会研究発表要旨
伏見 清香 他
日本図学会2019年度春季大会優秀研究発表賞・研究奨励賞
第11回デジタルモデリングコンテスト
松田 浩一, 西井 美佐子
中部支部 2019年度秋季例会報告
辻合 秀一, 川崎 寧史, 他

リレーエッセイ

図のために
天内 大樹

寄書

図学会の効用 その2
前田 真正

会告・事務局報告

● Vol. 54 No. 1 March 2020

Message

Tomohiro TACHI

Research Paper

Clothes that seem Tight but can Perform Daily Behavior
—Design to Cope with Human Body Deformation due to Movement—
Miki YAMAMURA, Michiko ISHIGAKI, Mieko INOMATA

Research Paper

Interpretations of the Cafe-wall Illusion on the Basis of 3D Scene Perception and Production of Variations
Kazushi MARUYA, Tomoko OHTANI

Art Review

Development of a Three-Dimensional Hazard Map that Visually Impaired People can Touch by Hand
—Part 1: Making a Tactile Map that Shows the Road—
Tatsuya HAGI, Yoichi HOSOKAWA

Report

Report on the Autumn Meeting of 2019
Akihiro SHIBATA
Programs of Papers and Session Reports in the Autumn Meeting of 2019
Akitoshi KAWAMURA et al.
Summaries of Papers in the Autumn Meeting of 2019
Kiyoka FUSHIMI et al.
Best Presentation Award in the Spring Meeting of 2019
Report on the 11th Digital Modeling Contest
Koichi MATSUDA, Misako NISHII
Report on the Autumn Meeting of the Chubu Area 2019
Hidekazu TUJIAI

Relay Essay

For the Diagram
Daiki AMANAI

Impressions

The Usefulness of Japan Society for Graphic Science No.2
Michimasa MAEDA

Newsletter

巻頭言

竹之内 和樹

研究論文

2つの空間曲線間に可展面を生成し統一的に展開する方法について—微分幾何学による検討—

有馬 修

研究論文

カフェウォール錯視の三次元解釈における三次元構造と錯視量の関係の検討

丸谷 和史, 大谷 智子

教育資料

初学者の3Dモデリングにおける難点と原因の分析

河田 尚子, 竹之内 和樹

教育資料

Monge「図法幾何学」出版より前に印刷本などで表現されていた複面投影図

福田 幸一, 大月 彩香, 竹之内 和樹

教育資料

カーボディモデルの3DスキャナーデータからCADモデル作成における問題点とその解決方法

高 三徳

教育資料

設計・製図教育に及ぼす改正JIS B 0001:2019を俯瞰する

平野 重雄, 喜瀬 晋, 関口 相三, 奥坂 一也, 荒木 勉

図学ノート

三方向変身立体の設計原理

杉原 厚吉

報告

日本図学会2020年度総会報告

第15回日本図学会論文賞

2020年度日本図学会新名誉会員

日本図学会2019年度秋季大会優秀研究発表賞・研究奨励賞

2019年度中部支部冬季例会報告

辻合 秀一, 遠藤 潤一

リレーエッセイ

40歳の学生・実務者・教育者の自己紹介

辻井 麻衣子

寄書

図学教育所感

前田 真正

新刊紹介

実用図学

阿部 浩和, 榊 愛, 鈴木 広隆, 橋寺 知子, 安福 健祐

建築のカタチ

—3Dモデリングで学ぶ建築の構成と図面表現実用図学

安藤 直見, 石井 翔大, 浅古 陽介, 種田 元晴

総目次

会告・事務局報告

Message

Kazuki TAKENOUCHI

Research Paper

The Method of Generating a Developable Surface between Two Space Curves and Unfolding it in Unifying way —Study Using Differential Geometry—

Osamu ARIMA

Research Paper

Relationship between Scenery Structure and Illusion Strength on the Basis of the Three-dimensional Interpretation of the Café Wall Illusion

Kazushi MARUYA, Tomoko OHTANI

Notes

Analysis of Difficulties and Causes with Beginner's 3D Modeling

Shoko KAWATA, Kazuki TAKENOUCHI

Notes

Multiview Projections Represented in Printed Books before the Publication of Monge's Descriptive Geometry

Koichi FUKUDA, Ayaka OHTSUKI, Kazuki TAKENOUCHI

Notes

Solutions of Problems in Reverse Engineering from 3D Scanning Data to CAD Model of a Car Body

Sande GAO

Notes

Review of Revised JIS B 0001: 2019 that Affect Design and Drawing Education

Shigeo HIRANO, Susumu KISE, Sozo SEKIGUCHI,

Kazuya OKUSAKA, Tsutomu ARAKI

Zugaku Notes

Design Principle for Triply Ambiguous Objects

Kokichi SUGIHARA

Report

Report on the General Meeting for JS GS of 2020

The 15th Prize of Papers of JS GS

Introduction of New Honorary Members

Best Presentation Award in the Autumn Meeting of 2019

Report on the Winter Meeting of the Chubu Area 2019

Hidekazu TUJIAI, Junichi ENDO

Relay Essay

The Self-introduction of 40 Years Old Student, Practitioner, Educator

Maiko K. TSUJII

pressions

The Impressions of Education for Graphic Science

Michimasa MAEDA

Book Review

Practical Descriptive Geometry

Hirokazu ABE et al.

Forms in Architecture: Learning Architectural Composition and Drawing Expression by 3D Modeling

Naomi ANDO et al.

Index of Volume 54

Newsletter

2020年度 日本図学会大会（オンライン）のご案内

北海道釧路市阿寒湖温泉で開催予定でした2020年度 日本図学会大会（阿寒湖）は、COVID-19を主とする諸事情を勘案し、オンライン開催とすることになりました。つきましては大会名称を2020年度 日本図学会大会（オンライン）に改め、講演発表申込、参加登録方法を大幅に見直し、大会の一層の充実を期してまいります。多数の研究発表を心よりお待ちしております。ふるってご参加くださいますようお願い申し上げます。

1. 開催日：2020年11月21日（土）、22日（日）

併催：デジタルモデリングコンテスト

2. 講演発表について

講演発表申込および講演論文投稿日程、申込方法については大会WEBページをご参照ください。

3. 大会参加登録について

3.1 日程概要

- ・2020年10月1日 登録開始予定
- ・参加登録締切：2020年10月30日（金）正午【必着】

3.2 大会参加申し込みについて

参加申込方法並びに大会スケジュール、学術講演発表会の予定の詳細は、大会WEBページをご参照ください。

4. 大会参加登録費

会員：無料

一般：1,000円

学生および修士課程大学院生（社会人を含む）：無料

参加者全員に講演論文集（電子版）を配布予定。

5. 連絡先

2020年度日本図学会大会実行委員会

conf2020au@graphicscience.jp

第19回国学国際会議（ICGG2020サンパウロ）のご案内

第19回国学国際会議（ICGG2020）は、COVID-19の影響により開催時期が2021年1月に延期されました。また、開催の形態がビデオプレゼンテーションによる非同期オンライン会議となり、参加登録費についても変更されています。この機会に多数のご参加をお待ちしております。

日時：2021年1月18日（月）～22日（金）

場所：ビデオプレゼンテーションによる非同期オンライン会議

論文分野：

1. Theoretical Graphics and Geometry
2. Applied Geometry and Graphics
3. Engineering Computer Graphics
4. Graphics Education
5. Geometry and Graphics in History

参加登録の日程：

事前参加登録〆切：2020年8月31日（月）

通常参加登録〆切：2020年9月30日（水）

参加登録については、下記のICGG2020ホームページをご参照ください。

<http://icgg2020.pcc.usp.br/index.html>

参加登録費：

※COVID-19の影響による非同期オンライン会議開催に伴い参加登録費が変更となりました。

事前参加登録：

一般 USD120 / ISGG会員 USD70 / 学生 USD35

通常参加登録：

一般 USD140 / ISGG会員 USD90 / 学生 USD35

10/1以降の参加登録：

一般 USD160 / ISGG会員 USD110 / 学生 USD35

（注）10/1以降の参加費支払いの場合、会議への参加は可能ですが論文発表はできません。

第12回デジタルモデリングコンテスト（オンライン開催）のお知らせ

日本図学会では、デジタルモデリングで作成した3Dデータから3Dプリンタで作成した作品を募るデジタルモデリングコンテストを行います。当該コンテストは、当初日本図学会2020年大会（阿寒湖）の会場で開催する予定でしたが、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の拡大防止の観点から、2020年大会がオンライン開催に変更となり、コンテストも併せて、当日プレゼンテーションをオンラインに変更して実施いたします。また、出力作品の展示は、今年度は行いません。ただし、応募作品はプレゼンテーション後、デジタルモデリングコンテスト実行委員会へ提出いただきます。

締切：

エントリー締切：2020年9月28日（月）正午必着

作品解説（指定書式）

締切：2020年10月20日（火）正午必着

発表会場：

オンライン発表

前回の受賞作品：

https://www.graphicscience.jp/contest/18_list_detail.html

■趣旨

デザインにコンピュータを利用することにより、創造工程を解析し、顕在化し、情報として客観的に述べるができるようになってきました。日本図学会デジタルモデリング研究会では、コンテストという形をとりながらも、作品制作に留まらない、学術的な貢献を目指した新しい場の創出を目指しています。コンピュータの利用により、感性だけにとどまらない、その形状が理にかなった形状であることを、設計・モデル製作・解析等によって検証することにも自身が着目し、その能力を持ち、追究できる時代になってきています。そのため、デジタルイメージデザインにおいて、従来のデザインプロセスでは曖昧であった制作およびモデル製作過程に存在するさまざまな技法および課題を体系的に整理していきたいと考えています。

■評価点

本コンテストでは、造形美はもちろんのこと、「デジタルモデリングならではの」という観点を評価に加えます。

- ・発想やモデル製作を考慮した3次元データ構築及びデータの造形力を総合力で評価します。
- ・これまでの切削技術や一体成型では製作することが困難だった複雑な機構や幾何学的図形を実体化するなど3Dプリンタを利用することによって実現が可能になった立体構造の新規性を評価します。
- ・教育・資料用作品は、図学、造形、設計、製図・加工の機械工学など、教育分野で教材として効果的利用が見える3D立体モデルを評価します。

■著作権に関して

作品解説は、講演論文の著作権に関する規定に準ずる。
応募作品は、応募者はエントリーした時点で、応募作品に関する誓約書の内容を遵守することを誓約したものとす

■手続き等（詳細はURLをご参照下さい）

- ・エントリー
- ・作品解説の提出（2p、指定書式あり（URLからDLください））
- ・日本図学会2020年度大会参加登録

■コンテスト当日

- ・オンラインでのプレゼンテーション（1分程度の作品紹介）及び質疑応答
- ※作品を見せながらプレゼンテーションを行ってくだ

さい。スライドの利用も可とします。

■URL

日本図学会第12回デジタルモデリングコンテスト

https://www.graphicscience.jp/contest/19_list_detail.html

日本図学会2020年度大会オンライン開催（11/21-22）

https://www.graphicscience.jp/taikai/90_list_detail.html

■お問い合わせ

日本図学会デジタルモデリングコンテスト実行委員会
digicon2020@graphicscience.jp

会告——4

2020年度会費納入のお願い

2020年度の会費納入をお願いいたします。会費は前納制になっております。

皆様のご理解とご協力をよろしくお願い申し上げます。

記

1. 会 費 正会員 10,000円
学生会員 5,000円
 2. 納入方法 1月末に個別に郵送した郵便振替払込用紙（郵便振替口座00100-5-67992）をご利用ください。
 3. そ の 他 公費等でのお支払いで書類を必要とされる場合は、下記の事項を記載の上、E-mail(jsgs-office@graphicscience.jp)又はFAX(03-5454-6990)で事務局にご連絡ください。必要記載事項・書類の種類および部数（例：請求書一部など）
- ・宛名（例：〇〇大学 など）
 - ・書類送付先
 - ・その他ご要望がありましたらお知らせください。

日本図学会第591回理事会議事録

日 時：2020年1月24日 17：30～20：00

場 所：東京大学駒場キャンパス15号館710室

出席者：10名（議決権8名）＋委任状5名（Skype出席者は○）

竹之内（会長）、田中（一）、◎安福（副会長）、
片桐、◎河村、今間、種田、西井（以上理事）、
鶴田（監事）、山口（顧問）

1. 議事録確認

第588、589回の議事録の修正箇所を確認した。
第590回の議事録を確認した。

2. 事務局報告

1. 会員関係

a. 申し込み・届出位

i. 当月入会申込（2020年度入会承認）

正会員 岩岡 竜夫 氏（東京理科大学）片桐 悠
自 氏紹介

正会員 三浦 慎司 氏（大阪工業大学）紹介者
なし

正会員 三木 保弘 氏（国土技術政策総合研究
所）鈴木 広隆 氏紹介

正会員 田中 典昭 氏（三重県桑名市立多度中
小学校）伏見 清香 氏紹介

正会員 横山 浩司 氏（芝浦工業大学附属中学
高等学校）紹介者なし

なおこの他1名は審議により承認されなかった。

b. 会員現在数（1月24日現在）

名誉会員14名、正会員277名、学生会員30名、賛
助会員10社11口

2. その他

a. 他団体から

○一般社団法人学術著作権協会より「2019年度複
製使用料分配金額のお知らせ」と「2019年度複
製使用料分配金額明細 消費税の取り扱いにつ
いて」が届いた。

○日本学術会議より「日本学術会議ニュース・メー
ル」No. 699-702と「軍事的安全保障研究に関
する声明」についてのアンケート依頼が届いた。

○JSTより「J-STAGE NEWS e-mail」と
「J-STAGE20周年記念シンポジウム（2/13）
特設ページ開設のお知らせ」が届いた。

○公益財団法人大川情報通信基金より「2020年度
（第34回）研究助成の募集について」と「2020
年度大川賞・大川出版賞（第29回）候補ご推薦
のお願い」が届いた。

○一般財団法人学会誌刊行センターより「学会セ
ンターニュース No. 452」が届いた。

3. 編集委員会報告

・種田副委員長より以下の報告があった。

・163号の巻頭言を館理事に依頼する。

・講演全体に通し番号を付番してもらいたい（大会プロ
グラム委員会が作業する）。

・図学研究の価格を変更する（非会員3,500円・会員
1,000円）。

4. 企画広報委員会報告

・田中委員長より、年次大会の北海道開催について札幌
開催は困難な状況であると報告があり、以下のように
決定した。

・釧路方面で話を進めていただく。

・日程については今後の検討事項（一案としては、11月
下旬の3連休）とする。

5. 第3四半期収支決算報告

・竹之内会長より報告がなされ、前年度同時期と比較し
て特に大きな動きが無い事を確認した。

6. デジタルモデリング研究会報告

・西井副委員長より以下の報告があった。

・2019年度デジタルモデリングコンテストの受賞者が決
定した。

・1月16日にメールで受賞対象者に報告した。

・来年度の春の研究会後の懇親会で表彰を行う。

7. ICGG2022について

・竹之内会長から、次回日本に招致する場合の候補地
について動き始めたい旨が提案され、以下の情報が共有
された。

・京都大会の時は、鈴木理事が実行委員長だった。

・将来の事を考えて、若い人に積極的に参加してもらう。

8. ICGG2020（サンパウロ）について

・安福副会長より現状の報告がされた。

・議事署名捺印理事

署名捺印理事として、種田・河村両理事が選ばれた。

●次回

日 時：2020年2月21日（金）17：30～

場 所：東京大学駒場キャンパス15号館710室

I. 目的

本誌は日本図学会の会誌として図学に関する論文、資料などを掲載・発表することにより図学の発展に寄与するものである。

II. 投稿資格

日本図学会会誌「図学研究」に原稿を投稿することができるものは、原則として本学会会員とする。

III. 投稿原稿の種類

投稿原稿は原則として未発表のものとする。ただし、本学会が主催・共催する大会や国際会議での口頭発表はこの限りではない。原稿種別を次に示す。

1. 論文：図学に関連した理論的または実証的な研究に基づくもので、独創性、学術的有用性、信頼性、発展性、完成度を有するもの。以下の2種類に分類される。
 - (1)研究論文：高い完成度を有するもの
 - (2)研究速報：特に内容上、速報性が求められるもの
2. 資料：図学に関連した内容を持ち、学術的有用性、信頼性、発展性、完成度を有するもの。以下の4種類に分類される。
 - (1)研究資料：研究に有用と考えられるもの
 - (2)教育資料：教育に有用と考えられるもの
 - (3)作品紹介：芸術、デザイン、建築などの作品を紹介したもの
 - (4)図学ノート：研究・教育に関するもの
3. 記事：論文および資料の他に、以下の種別を設ける。
 - (1)解説：研究・教育レビューや研究トピックスの紹介など
 - (2)講座：研究・教育に有用な事例・手段・方法に関する講座
 - (3)文献紹介：海外文献や国際会議などにおける講演論文の翻訳紹介またはその書評
 - (4)新刊紹介：会員が執筆した著書や会員の研究・教育に役立つ書籍の紹介
 - (5)寄書：図学および図学会に関する所感や小論
 - (6)大会要旨：大会における研究発表の要旨
 - (7)研究会・研究会議・支部研究会報告：研究会や研究会議などの報告

なお、投稿原稿の他に、巻頭言、リレーエッセイ、会告、事務局報告などを掲載するものとする。

IV. 投稿手続き

投稿原稿のうち、論文と資料については、本学会のホームページからの投稿とする。投稿ページに必要事項を入力し、執筆要領に従って作成した原稿を、投稿申し込み票と共に投稿する。

記事については編集委員会の指示に従って投稿する。

V. 投稿から掲載まで

1. 原稿受付日は原則として本学会に原稿の到着した日とする。
2. 論文は、2人ないしは3人の査読者の査読結果にもとづき、編集委員会が審議して採録の可否を判定する。資料は、1人ないしは2人の査読者の査読結果にもとづき、編集委員会が審議して採録の可否を判定する。その他の投稿原稿の掲載の可否については、編集委員会の判断に委ねる。査読の結果、修正の必要が生じた場合は、期限をつけて著者に修正を依頼する。期限を越えた場合は、原稿が再投稿された日を新たな原稿受付日とする。
3. 査読開始後の修正は原則として認めない。
4. 著者校正において、印刷上の誤り以外の訂正は原則として認めない。ただし、著者から編集委員会への申し出があり、これを編集委員会が認めた場合に限り訂正することができる。

VI. 掲載料

論文、資料に関しては、会誌に掲載するために要する費用の著者負担分の代金を、別に定める掲載料の規定にしたがって納める。掲載料には別刷50部の代金が含まれるが、51部以上の別刷を必要とするときには、別途実費購入する。

VII. 執筆要領

投稿原稿の執筆に当たっては、本規定ならびに本学会の執筆要領を参照すること。

VIII. 著作権

1. 論文、資料などに関する一切の著作権（日本国著作権法第21条から第28条までに規定するすべての権利を含む。）は本学会に帰属するが、著作者人格権は著者に帰属する。
2. 特別な事情により前項の原則が適用できない場合は著者と本学会との間で協議のうえ措置する。
3. 著者が著者自身の論文等を複写・転載・翻訳の形で利用することに対し、本学会はこれに異議申立て、もしくは妨げることをしない。

IX. 論文賞

研究論文、研究資料、教育資料については、別途定める論文賞表彰規定により、論文賞の選考対象となる。

(本投稿規定は2019年12月25日より施行する。)

賛助会員

アルテック株式会社

〒104-0042

東京都中央区入船2-1-1 住友入船ビル2階

TEL : 03-5542-6756 FAX : 03-5542-6766

<http://www.3d-printer.jp/>

オートデスク株式会社

〒104-6024

東京都中央区晴海1-8-10

晴海アイランドトリトンスクエアX24

TEL : 03-6221-1681 FAX : 03-6221-1784

<http://www.autodesk.co.jp/>

株式会社アルトナー

〒222-0033

神奈川県横浜市港北区新横浜2-5-5

住友不動産新横浜ビル5F

TEL : 045-273-1854 FAX : 045-274-1428

<http://www.artner.co.jp/>

株式会社ストラタシス・ジャパン

〒104-0033

東京都中央区新川2-26-3

住友不動産茅場町ビル2号館8階

TEL : 03-5542-0042

<http://www.stratasys.co.jp/>

共立出版株式会社

〒112-8700

東京都文京区小日向4-6-19

TEL : 03-3947-2511 FAX : 03-3947-2539

<http://www.kyoritsu-pub.co.jp/>

公益財団法人画像情報教育振興協会

〒104-0061

東京都中央区銀座1-8-16

TEL : 03-3535-3501 FAX : 03-3562-4840

<http://www.cgarts.or.jp/>

ステッドラー日本株式会社

〒101-0032

東京都千代田区岩本町1丁目6番3号

秀和第3岩本町ビル

TEL : 03-5835-2811 FAX : 03-5835-2923

<http://www.staedtler.jp/>

武藤工業株式会社

〒154-8560

東京都世田谷区池尻3-1-3

TEL : 03-6758-7002 FAX : 03-6758-7011

<https://www.mutoh.co.jp/>

森北出版株式会社

〒102-0071

東京都千代田区富士見1-4-11 九段富士見ビル

TEL : 03-3265-8341 FAX : 03-3261-1349

<http://www.morikita.co.jp/>

ユニインターネットラボ株式会社

〒104-0054

東京都中央区勝どき2-18-1-1339

TEL : 03-6219-8036 FAX : 03-6219-8037

<http://www.unilab.co.jp/>

ラティス・テクノロジー株式会社

〒112-0004

東京都文京区後楽2-3-21 住友不動産飯田橋ビル10F

TEL : 03-3830-0333

<http://www.lattice.co.jp/>

7月には、九州のみならず東北までの豪雨水害の被害に驚ろかされました。例年の甚大な災害に、地球が壊れてきているような気がします。被災された方々には、心よりお見舞いを申し上げます。

前号で新型コロナウイルス感染拡大の不安について触れましたが、第2波がやってくるのでしょうか。今号の入稿前後にも、感染者数の新記録が報道されていました。第3波も心配されますが、早く収束して、日常が戻ってくることを願うばかりです。

こんな中、今年度の総会は、異例のリモートのzoomで実施されました。画面には久しぶりにお目にかかる参加者の顔が映し出され、背景によってどこでそれをやっているかもわかり、みなさんの状況も垣間見えたように思います。

サンパウロでの図学国際会議は、COVID-19の影響により、開催の形態がビデオプレゼンテーションによる非同期オンライン会議となりました。

また、秋季大会のご案内を会告に掲載しましたが、8月の理事会で、これも直接集うのではなく、オンラインでの開催になってしまいました。

さて、今号は、年2回の発行になり、どうなるのか心配されましたが、論文は研究論文、教育資料、図学ノートを含めて7編です。また、新刊紹介の記事も掲載されています。会員相互の情報を知る上でも有用かと思います。みなさまの投稿をお待ちしています。

(K, M.)

日本図学会編集委員会

- 編集委員長 面出 和子
- 編集副委員長 種田 元晴
- 編集幹事 齋藤 綾
- 佐藤 紀子
- 加藤 道夫
- 椎名 久美子
- 竹之内 和樹
- 堤 江美子
- 山口 泰
- 編集委員 阿部 浩和
- 飯田 尚紀
- 遠藤 潤一
- 大谷 智子
- 金子 哲大
- 榎 愛
- 佐藤 尚
- 白石 路雄
- 鈴木 広隆
- 羽太 広海
- 隼田 尚彦
- 廣瀬 健一
- 宮腰 直幸
- 宮永 美知代
- 向田 茂
- 村松 俊夫
- 山畑 信博

デザイン 丸山 剛

Journal of Graphic Science
of Japan

図学研究

第54巻2号（通巻164号）

令和2年9月印刷

令和2年9月発行

発行者：日本図学会

〒153-8902

東京都目黒区駒場3-8-1

東京大学教養学部・

大学院総合文化研究科

広域システム科学系

情報・図形科学気付

Tel：03-5454-4334

Fax：03-5454-6990

E-mail：jsgs-office@graphicscience.jp

URL：http://www.graphicscience.jp/

印刷所：電算印刷株式会社

東京営業所

〒101-0051

千代田区神田神保町3-10-3

Tel：03-5226-0126

Fax：03-5226-3456

E-mail：s-takayama@d-web.co.jp

jsgs2020
KUNMING

Journal of 図 Graphic 学 Science 研 of Japan 究

Vol.54
No.2
September
2020

JAPAN SOCIETY FOR GRAPHIC SCIENCE



Kazuki TAKENOUCHI	01	Message
Osamu ARIMA	03	Research Paper The Method of Generating a Developable Surface between Two Space Curves and Unfolding it in Unifying way—Study Using Differential Geometry—
Kazushi MARUYA, Tomoko OHTANI	13	Research Paper Relationship between Scenery Structure and Illusion Strength on the Basis of the Three-dimensional Interpretation of the Café Wall Illusion
Shoko KAWATA, Kazuki TAKENOUCHI	19	Notes Analysis of Difficulties and Causes with Beginner's 3D Modeling
Koichi FUKUDA, Ayaka OHTSUKI, Kazuki TAKENOUCHI	25	Notes Multiview Projections Represented in Printed Books before the Publication of Monge's Descriptive Geometry
Sande GAO	33	Notes Solutions of Problems in Reverse Engineering from 3D Scanning Data to CAD Model of a Car Body
Shigeo HIRANO, Susumu KISE, Sozo SEKIGUCHI, Kazuya OKUSAKA, Tsutomu ARAKI	39	Notes Review of Revised JIS B 0001: 2019 that Affect Design and Drawing Education
Kokichi SUGIHARA	47	Zugaku Note Design Principle for Triply Ambiguous Objects
	51	Report Report on the General Meeting for JSGS of 2020
	58	The 15th Prize of Papers of JSGS
	59	Introduction of New Honorary Members
	61	Best Presentation Award in the Autumn Meeting of 2019
Hidekazu TUJIAI, Junichi ENDO	62	Report on the Winter Meeting of the Chubu Area 2019
Maiko K. TSUJII	67	Relay Essay The Self-introduction of 40 Years Old Student, Practitioner, Educator
Michimasa MAEDA	70	Impressions The Impressions of Education for Graphic Science
Hirokazu ABE et al. Naomi ANDO et al.	72 73	Book Review Practical Descriptive Geometry Forms in Architecture: Learning Architectural Composition and Drawing Expression by 3D Modeling
	74	Index of Volume 54
	76	Newsletter