

<<改訂新版 コンピュータグラフィックス>>の狙い

藤代一成^{†1} 斎藤隆文^{†2} 乃万 司^{†3} 高橋成雄^{†4} 馬場雅志^{†5} 宮田一乗^{†6}

2004年9月の発刊以来、標準テキストとして利用されてきたCG-ARTS協会編<<コンピュータグラフィックス>>が、2015年3月に改訂・出版される。新版では、この10年間のCG分野の著しい発展が取り込まれ、その章構成や内容が刷新されている。本稿では、旧版からの主な差違を明らかにするとともに、新版編集の狙いについて概説する。

Purposes of New Edition of “Computer Graphics” Book

ISSEI FUJISHIRO^{†1} TAKAFUMI SAITO^{†2} TSUKASA NOMA^{†3}
SHIGEO TAKAHASHI^{†4} MASASHI BABA^{†5} KAZUNORI MIYATA^{†6}

The book entitled “Computer Graphics” by Computer Graphic Arts Society has widely been used as a standard textbook since September 2004. A new edition of the book to be published in March 2015 renovates its organization and contents reflecting the advances in the field during the past decade. In this article, the editorial board summarizes the purposes of the new edition and its primary differences from the old edition.

1. はじめに

CG-ARTS協会編<<コンピュータグラフィックス>>[1]は、コンピュータグラフィックス(CG)技術を解説した標準的なテキストである。同書籍は、2004年9月の発刊以来、同協会が主宰するCGエンジニア検定エキスパートの対応書籍として、また多くの教育機関における授業の教科書/参考書として国内で広く利用されてきた。実際、2013年までの累計販売数は37,099冊に達する。

同書籍は、2015年3月に改訂を受け、新ISBNをもつ書籍[2]として出版される。図1にその表紙のデザインを示す。この改訂新版では、この10年間のCG分野の著しい発展が取り込まれ、その章構成や内容が刷新されている。

本稿では、編集委員会メンバーにより、旧版からの主な差違を明らかにするとともに、新版編集の狙いについて概説する。

2. 旧版の編集方針と特長

旧版は、高度情報化社会にふさわしい画像情報教育を実現するために、それまでの14年余りにわたるCG-ARTS協会の教材出版と検定試験実施の実績を踏まえて策定した新カリキュラムに基づいて編集された。同カリキュラムでは、画像情報分野全体を、大きく技術系と表現系に分けて体系化している。旧版は、その技術系の柱となるCGと画像処理のうち、前者の標準的な教科書として編集された。

旧版は8つのchapterとappendixから構成されている。chapter1はデジタルカメラを使った撮影を例にとって画像生成の仕組みとそこに関わる技術を俯瞰し、書籍全体

の地図としての役割を担っている。続くchapter2から5までの4章で、CG技術のコアにあたる、座標変換、モデリング、レンダリング、アニメーションを解説している。続くchapter6では高度な画像生成を目指すうえで欠かせない画像処理技術に関する基本事項が説明されている。chapter7は、旧来の枠組みに収まらない、視覚に訴える新しいCGの可能性を示す特徴的な章で、イメージベースレンダリング、ノンフォトリアリスティックレンダリング、可視化の3点が採り上げられた。またchapter8からは、CGハードウェアとソフトウェアの基本知識を得ることが出来る。さらにappendixでは、極めて重要な関連分野である知覚や知的所有権の基本事項、CGの歴史の3点がまとめられ、映像を生成・共有する際の基本的マナーや基礎知識を学習できる。

旧版の執筆・編集に際しては、全編に渡って周到かつ正確な記述を心掛けた。例えば、chapter4では従来CGで混同して用いられることの多かった光学と照明工学の用語を明確に使い分けている。また、全頁カラー印刷の利点を活かして、図版も豊富に掲載した。傍注の形式で、互いに密接に関係する説明箇所を明示するためのポインタをはじめ、用語の定義や補足事項、数式の解釈等を随所に提供している。重要語のほとんどにはその場で対応する英語表現を示した。さらに進んで学習してもらうために、参考文献・図書リストも充実させた。

総頁数は目次も含めると351頁あり、大学の学部専門教育の週一コマ半期の講義で、そのすべての内容を取り扱うのは難しいボリュームに既に達している。

^{†1} 慶應義塾大学
Keio University
^{†2} 東京農工大学
Tokyo University of Agriculture and Technology
^{†3} 九州工業大学
Kyushu Institute of Technology

^{†4} 東京大学
The University of Tokyo
^{†5} 広島市立大学
Hiroshima City University
^{†6} 北陸先端科学技術大学院大学
Japan Advanced Institute of Science and Technology



図 1 改訂新版の表紙

Figure 1 Front cover of new edition.

3. 改訂新版の狙い

改訂新版の章構成と執筆者の一覧を表 1 に示す。同表に示すように、書籍全体の chapter と appendix の数こそ変化はないが、より丁寧な記述を心掛けるとともに、今後長期間定着する可能性の高い新しい技術を挿入したため、本文の総頁数は 330 頁から 411 頁へと 25% 近く増えている。

以下、章節ごとに主な改訂ポイントを説明する。

表 1 改訂新版の章構成と担当者

Table 1 New edition: Organization and editors/authors.

章節番号	タイトル	担当者(所属)	頁数増
chapter1	CG とデジタルカメラモデル	乃万 司**	8→14
chapter2	座標変換とパイプライン	乃万 司**	32→36
chapter3	モデリング	高橋成雄*	48→62
chapter4	レンダリング	馬場雅志* 岩崎 慶 (和歌山大) 楽 詠こう (コロンビア大)	66→80
chapter5	アニメーション	宮田一乗*	33→40
chapter6	画像処理	斎藤隆文**	46→53
chapter 7-1	コンピュータショナル フォトグラフィ	斎藤隆文** 日浦慎作 (広島市大)	34→43
chapter 7-2	ノンフォト リアリスティック レンダリング	斎藤隆文**	
chapter 7-3	可視化	藤代一成***	
chapter8	CG システム	金井 崇 (東大) 杉本麻樹 (慶大)	22→36
appendix1	知覚	伊藤裕之 (九大)	41→47
appendix2	知的財産権	後藤道子 (九大)	
appendix3	CG の歴史	大口孝之 (映像 クリエイター/ ジャーナリスト)	

***: 編集委員長, **: 副編集委員長, *: 編集委員

3.1 chapter 1 : CG とデジタルカメラモデル

chapter 1 は、旧版どおり、CG 画像を生成する過程をデジタルカメラで撮影する過程になぞらえ、CG の様々な要素技術の役割を説明している。これは、CG 技術の全体像を最初に俯瞰させるためのものである。旧版でも、ベクタ表現とラスタ表現の考え方については、本章で触れていたが、デジタル画像そのものは、chapter 6 に委ねていた。しかし、実際の教育現場では、chapter 2 以降を導入するためにも、chapter 1 のなかでデジタル画像の基礎について教えているとの声が多かった。そこで改訂新版では、アナログ画像とデジタル画像の違いや、グレースケール画像とカラー画像についてのデジタル画像の基礎知識を旧版の chapter 6 から移動し、本章で扱うことにした。

3.2 chapter 2 : 座標変換とパイプライン

chapter 2 では、CG の基礎となる座標変換や投影を扱う。旧版でも、個々の図形が定義される座標系から最終的な表示に用いられる座標系までの一連の過程をビューイングパイプラインとして紹介してきたが、ここでの各変換の役割をより深く理解させるために、改訂新版では、各変換が CG のどのような効果（動き）と関連付けられるかについて、「2-4-2: ビューイングパイプラインの応用」という項を新たに設けて具体的に説明することにした。

また、ビューイングパイプラインはあくまで座標変換に注目した処理過程であるが、それ以外にも、近年の CG 技術では、処理のパイプラインという概念が重視されてきている。そこで改訂新版では、「2-5: 描画パイプライン」という節を新たに設け、座標変換に加えて、シェーディングやラスタ化も含めた描画処理全体のパイプラインについて説明している。その際、ソフトウェアの逐次実行による従来型のパイプラインと、シェーダを用いたパイプラインとを対比させ、近年のリアルタイム CG 技術の基本的な考え方を理解させようとしている。さらに、手法の選択と処理手順の関連について説明するため、隠面消去を例にとり、手法の選択が処理手順にどのような影響を与えるかについて説明することにした。

3.3 chapter 3 : モデリング

本章では、教育の現場からのフィードバックに基づいて旧版の記述で不足していた点を徹底して補説しているのが特徴的である。例えば、ソリッドモデリングの境界表現へのハーフエッジデータ構造の追加や、ド・カステリョの描画アルゴリズムを逆に辿り、ベジエ曲線の次元を再帰的に増加させる定義法などはその好例である。

改訂新版で新たに追記された内容のうちもっとも重要な記述は、ボリュームを用いた形状表現の扱いである。ここでは、メタボールによる形状表現の一般化として陰関数表現に触れるとともに、等値面抽出に関しては旧版の 7-3

節からマーチングキューブ法の記述を移し、併せて3-6節に独立させている。その他にも、パラメトリック曲線・曲面の微分幾何(曲率)に関する記述、ポリゴン曲面のセグメンテーションや形状検索、さらにはポイントベースのモデリング手法についても言及している。

3.4 chapter 4 : レンダリング

旧版では、人間が見たときの眼の感度特性を考慮した「測光量」を基にして各用語を説明していた。しかし、昨今注目を集めている大域照明計算や物理ベースレンダリングでは、物理量を表す「放射量」が用いられる。そこで、すべての用語を「放射量」で再記述した。また、BRDFの記述を追加している。

また旧版で、最新技術としてchapter7で紹介されていたイメージベースレンダリングは、実写画像を使ったマッピングや環境マッピングと関連が深く、改訂新版では、本章のマッピングの直後の節に移動した。また、イメージベースライティングについて、昨今注目を集めている前計算放射輝度伝達(PRT)法の記述を追加した。

さらに、旧版では、ラジオシティ法、フォトンマッピング法に関する説明がされていたが、大域照明計算の基本となるレンダリング方程式、経路追跡法などのモンテカルロ法を基にしたレンダリング技法、マルコフ連鎖モンテカルロ法を基にしたレンダリング技法について記述を追加した。また、比較的最近の手法まで網羅するにあたり、大域照明に関する節は、章末に移動している。

3.5 chapter 5 : アニメーション

本章では、アニメーション手法の概略と歴史について述べた後に、まず5-2節で基本となるキーフレームアニメーションに関して解説している。それに続いて、改訂新版ではアニメーションの技法分類を見直し、キーフレーム法以外の主たる手法として、複雑な現象を表現するための「5-3:手続き型アニメーション」、人体を主たる対象とした「5-4:キャラクターアニメーション」、物理的に正しい振る舞いを表現するための「5-5:物理アニメーション」の3手法にまとめ各々の最新技術について述べている。

手続き型アニメーションに関しては、急速な発展が続いている流体アニメーションに関する記述を充実させた。また、ゲームとアニメーションの関係が密であるために、ゲームコンテンツ制作に必要なAIとアニメーションの関係についても触れている。キャラクターアニメーションに関しては、インバースキネマティクスやモーションキャプチャデータを用いたモーションデザインや、筋肉、表情、衣服、髪などの人体表現に必須なものの動きの表現、および群集のアニメーション手法を解説した。新設された物理ベースアニメーションでは、基本となる剛体シミュレーション、弾性体シミュレーション、および衝突判定の3要素に絞って記

述した。

アニメーションの応用として設けた「5-6:リアルタイムアニメーション」では、ゲーム物理の項目を新設し、リアルタイム物理シミュレーションの事例を紹介している。また、「5-7:実写映像との合成」では、最新の事例を引用して実写映像とCG映像との自然な合成手法について解説した。

図2に、改訂新版5-4節(旧版5-4節に対応)冒頭の2頁の編集集中の例を示す。赤字部分が新たに編集された箇所である。同紙面からは、フォワードキネマティクスやインバースキネマティクスのような基本的概念に対しても、より丁寧な解説が追加されている様子が見てとれる。

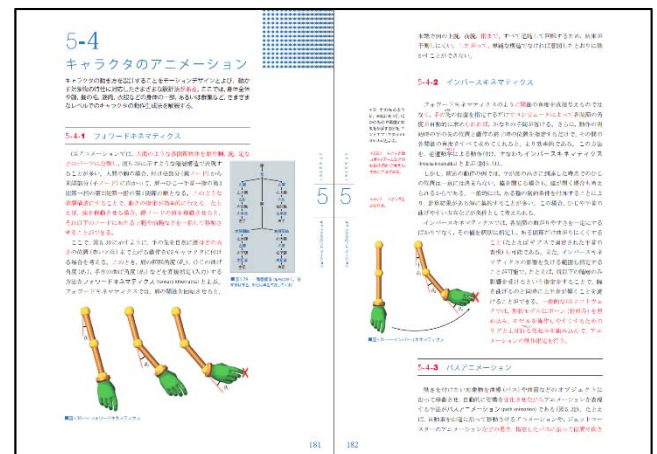


図2 編集集中の紙面例(5-4節)

Figure 2 A sample of edited pages (chapter 5-4).

3.6 chapter 6 : 画像処理

改訂新版では、6-6節として「画像の編集」を追加し、CGの一分野として近年特に重要性が高い各種編集処理を集約した。既知の画像合成処理、イメージモザイクングを取り込むだけでなく、サイズ変更、領域補完、テキスト合成などを加筆している。

また、6-1-1項では、HDRに関する記述を追加するとともに、アンチエイリアシングに関する記述を充実させた。判読性を考慮して、画像生成時の記述は6-2-2項、再標本化時の記述は6-5-3項に分けている。

3.7 chapter 7 : 視覚に訴えるグラフィックス

7-1節では、従来のイメージベースレンダリングの代わりに、「コンピュータショナルフォトグラフィ」を新たに採り上げ、前半で露出やフォーカス等のカメラの基礎について概説したのち、後半で同技法の基礎について説明している。

7-2節は旧版と同様に、ノンフォトリアリスティックレンダリングに目を向けているが、7-2-4項でイメージアナロジー等の2次元画像を入力とする新技法、7-2-6項で形状の誇張表現法を加筆している。

7-3節の可視化では、ソフトウェアシステム等の関連情

報の更新に加え、サイエンティフィックビジュアルイゼーションで、スカラ、ベクトルデータだけでなく、テンソルデータの可視化にも言及した。一方、情報可視化では、Shneiderman による分類学 TTT (data Type-Task Taxonomy) を参照し、説明する対象データ型を 1 次元、2 次元、多次元、ツリー、ネットワークに拡充し、各データ種別に対して、代表的な可視化技法とその事例を追加した。

3.8 chapter 8 : CG システム

この 10 年間に、CG システムのアーキテクチャや性能は大きく変化した。その点を反映して、本章は今回の改訂で最も記述内容が変化している。8-1-1 項ではまず、読者をトップダウン的に CG システムの世界に誘うために、典型的な CG 応用例を対話性の低い順にピックアップした後、8-1-2 項で CG ハードウェアを概説している。8-2 節では最新のグラフィックスソフトウェアとフォーマットを例示している。8-3 節は GPU を中心とするリアルタイム 3 次元 CG の処理方式について chapter 2 と関連させながら詳説している。一方、8-4/8-5 節では最新の 3 次元入出力系を紹介している。8-6 節の記録メディアは最近のものに限定し、レガシーメディアに関する記述は思い切って割愛した。

3.9 appendix 1 : 知覚

生成された画像情報を理解する人間側の知覚的性質の CG における重要度は増す一方である。本付録では、低次視覚、On 中心 Off 周辺型効果(外側膝状体、第 1 次視覚野の機能)に関する記述を補うだけでなく、形の見えに錯視や不可能図形の事例を追加している。最後に、奥行き知覚と視線の動き(顕著性マップ)について解説している。

3.10 appendix 2 : 知的財産権

改訂新版でのポイントは主として 2 点ある。1 点目は、知的財産権のうち著作権について、平成 21 年、24 年のデジタル・ネット時代に対応した著作権法改正の主な内容を「著作物を自由に利用できる場合」の表に追加した。例えば、私的使用目的でもネット上からの違法ダウンロードは認められず刑事罰も科されるなど、違法著作物流通抑止のための権利強化の反面、撮影などによる軽微な写込みやネットオークションでの画像掲載、情報検索サービスや情報解析研究のための複製などは許諾なしにできることとなった。2 点目は、著作権侵害について、侵害要件としての依拠性の問題やコンピュータプログラムが言語やハードウェアに規制されるなど一般的な著作物には見られない特性があることなど、それらを考慮しての侵害判断についての解説を実際の裁判例とともに追加した。

3.11 appendix 3 : CG の歴史

CG の歴史もいよいよ半世紀を超えた。分野の健全な発

展にとって、系統的な歴史観の提示は重要な役割を果たす。そこで改訂新版では、CG の歴史のなかで扱う範囲を、ジェスチャー入力やパフォーマンス・キャプチャなどの入力システム、3D プリンターやなどの出力システム、さらにはコンピュータショナルフォトグラフィやバーチャルツアーなどの概念にも拡張して、記述全体をリファインしている。

4. おわりに

教材の価値を維持するには、分極化する技術の周辺事情を考慮する必要がある。本書は、最新の CG 技術を理解するための基本的事項を網羅することを目指しているが、必要とする数学教育やプログラミング教育との連動も重要である。例えば、CG の理解に線形代数は必須であるが、高校の新課程では行列の取り扱いを割愛している。既にその世代の学生たちが実際に大学に進学してきており、教養の数学教育内容に大きな影響を与えている。一方、殆どの大学で情報学は全学の教養科目の一部に指定されるようになったが、結果を視認できるプログラミング課題は、学生へ勉学意欲を増す魅力ある素材と考えられる。以上の点からも、CG と大学教養レベルの数学・プログラミング教育の連動はより重要性を増すのではないかと考える。本書に関連した基礎数学の教科書や問題集、アルゴリズム・プログラム集等の準備が求められている。

一方、単行本という出版形態では、今後も続いていく技術刷新へタイムリーに対応していくことは不可能である。Web サイトや SNS の利用といったメディア統合による漸進的な学習支援環境の整備についても真剣に考えていく必要がある。

このような出版後の対応も相俟って、改訂新版<<コンピュータグラフィックス>>が、国内の CG 教育の現場に浸透的に利用されれば、編集委員会としては望外の喜びである。

謝辞 多忙のなか時間を割いて改訂新版にご寄稿いただいた執筆者の皆様、諸概念の説明に貴重な役割を果たす優れた作品の再利用を許可、あるいは新たに制作して下さった皆様に謝意を表したい。また、原稿に対する貴重なコメントを数々頂戴した旧版の編集委員・執筆者の皆様にも感謝申し上げたい。さらに、献身的に作業を支援して下さる CG-ARTS 協会の編集担当者の皆様に、この場を借りて衷心より感謝の意を伝えたい。

参考文献

- 1) CG-ARTS 協会編、コンピュータグラフィックス、ISBN4-906665-48-9 (2004).
- 2) CG-ARTS 協会編、改訂新版コンピュータグラフィックス、ISBN978-4-903474-48-9 (2015).