

2021 年度 卒 業 論 文

氷をマテリアルとした 3D プリンターの開発と改良

指導教員：羽田久一 教授

メディア学部 ゲームサイエンスプロジェクト

学籍番号 M0118050

大谷真太郎

2022 年 1 月

2021 年度 卒 業 論 文 概 要

論文題目

氷をマテリアルとした 3D プリンターの開発と改良

メディア学部

学籍番号： M0118050

**氏
名**

大谷真太郎

**指導
教員**

羽田久一 教授

キーワード

氷、3 D プリンター

氷の造形物は彫刻で作るのが一般的だが，スキルや材料の調達などの問題で誰もが簡単に製作できる訳ではない．本稿では，先行研究である「氷をマテリアルとしてた 3 D プリンターの開発 著者：東 京工 科 大 学 大 学 院 藤 田 大 樹」の液体窒素を使い FDM 方式で氷の造形を行うプリンタを中心に問題点の改良を行う．特に問題として抱えていた、造形速度と造形精度の向上とオーバーハングの実現を目指す。その手法として、水の粘度を変える方法と造形物のサポートの充填率のパラメータを変えながら印刷し関係性を調査し，その結果から，氷の造形物を印刷するのに適したパラメータを発見する．これにより，ユーザーは特別な知識がなくても氷プリンター用の GCode を作ることができる．氷の造形物は，時間の経過で溶けて完全に消失する性質を持っており，これは 3D プリンターに新しい表現を与える．

目次

1

2	第 1 章	はじめに	1
3	1.1	はじめに	1
4	1.2	箇条書き	1
5	1.3	図表と参照	2
6	1.4	L ^A T _E X のコンパイル	4
7	第 2 章	関連研究	5
8	2.1	段落と改行	5
9	2.2	箇条書き	5
10	2.3	図表と参照	6
11	2.4	L ^A T _E X のコンパイル	8
12	第 3 章	仮説と提案	9
13	3.1	段落と改行	9
14	3.2	箇条書き	9
15	3.3	図表と参照	10
16	3.4	L ^A T _E X のコンパイル	12
17	第 4 章	機構の実装	13
18	4.1	段落と改行	13
19	4.2	箇条書き	13
20	4.3	図表と参照	14
21	4.4	L ^A T _E X のコンパイル	16
22	第 5 章	使用例	17
23	5.1	段落と改行	17
24	5.2	箇条書き	17
25	5.3	図表と参照	18
26	5.4	L ^A T _E X のコンパイル	20
27	第 6 章	実験	21

16.1	段落と改行	21
26.2	箇条書き	21
36.3	図表と参照	22
46.4	L ^A T _E X のコンパイル	24
5	第 7 章 今後の展望	25
67.1	段落と改行	25
77.2	箇条書き	25
87.3	図表と参照	26
97.4	L ^A T _E X のコンパイル	28
10	第 8 章 その次	29
118.1	数式	29
128.2	寸法	30
138.3	参考文献	31
14	謝辞	33
15	参考文献	34

目 次

1

2	1.1 適当なサンプル	3
3	1.2 適当なサンプル 2	3
4	2.1 適当なサンプル	7
5	2.2 適当なサンプル 2	7
6	3.1 適当なサンプル	11
7	3.2 適当なサンプル 2	11
8	4.1 適当なサンプル	15
9	4.2 適当なサンプル 2	15
10	5.1 適当なサンプル	19
11	5.2 適当なサンプル 2	19
12	6.1 適当なサンプル	23
13	6.2 適当なサンプル 2	23
14	7.1 適当なサンプル	27
15	7.2 適当なサンプル 2	27

第 1 章

はじめに

1.1 はじめに

氷の彫刻は、世界中で様々なイベントやアート作品に用いられている。氷は透明なその美しさ
と時間とともに変化し、最後には溶けてなくなる儚さから人々に親しまれており、様々な作品が
作られている。しかし、誰でも簡単に触れ合えるものではなく、氷の作品を楽しむ場所は限ら
れているのが現状である。その原因として氷の作品は作るのに時間がかかり、彫刻の技術や設備
が必要となる。私は誰でも簡単に思い通りの形状の氷の作品を作れるようにするため、3D プリン
ターを使い氷の造形物をプリントする新しい手法を提案する。近年では熱造形や光造形などの
安価な 3D プリンターが登場し、自分でモデリングしたものを簡単に作り出すことができるよう
になってきた。3D プリンターを使う知識がある人ならば、スキルに依存せずに氷の造形物を作る
ことができるようになるものを目指す。現在開発されている氷プリンターでは、造形に時間がか
かるもの、素早く造形できても精度が悪いもの、特殊な設備が必要なものしかいないため、一般の
方が誰でも氷の造形物を作り出すには至らない。私の目指す氷の 3D プリンターは高速で造形し
造形の工程も見えて楽しめ氷の造形物が誰でも簡単にできるプリンターである。それらの間を埋め
るように、素早くある程度設計通りの造形物を印刷できる氷プリンターの開発をする。

1.2 簡条書き

数字を使った場合の簡条書きの例を示す。

1. 数字の付いた簡条書きの例

2. こんな感じで手順などを列挙

数字を付けずに列挙したい場合は `itemize` 環境を使う。このようにあるキーワードを指定して

`\begin{}` と `\end{}` で囲む範囲のことを〇〇環境と呼ぶ。

- 順番などを伴わない箇条書きの例
- 材料や要素を純粹に列挙したい場合に使用

`enumerate` 環境や `itemize` 環境は、入れ子構造を持つことができる。例えば `enumerate` 環境の場合、以下のようになる。

1. 東京都

(a) 八王子市

(b) 多摩市

2. 神奈川県

(a) 横浜市

(b) 川崎市

3. 山梨県

1.3 図表と参照

図を挿入する際は以下のように書く。必ずキャプションを付けるとともに、図に対する説明を本文中で記載すること。何かの手違いで図が表示されなくなったとしても、文章で意味が通じるくらいに説明するのを目安にすること。以下の図 7.1 と図 7.2 は、適当なサンプル画像である。

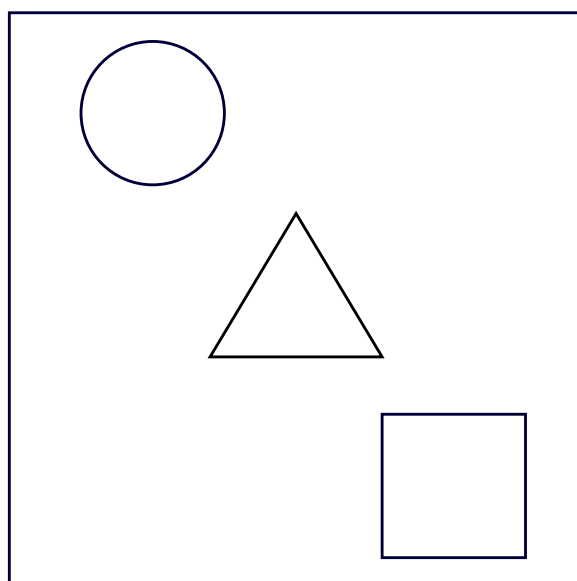


図 1.1 適当なサンプル



図 1.2 適当なサンプル 2

- 1 これまで、 \LaTeX での図は伝統的には EPS 形式が用いられてきたが、近年では JPEG 形式や
- 2 PNG 形式など多くの画像フォーマットに対応している。Inkscape や Illustrator 等のように直
- 3 接 EPS 形式を出力する場合は EPS を用いることが望ましいが、それ以外の状況では EPS への
- 4 変換は行わずに画像ファイルを直接指定した方が品質が良い。ただし、JPEG や PNG などの画
- 5 像ファイルは EPS に比べて \LaTeX のコンパイルが長時間になる傾向があり、あまり巨大な画像
- 6 データを使用するとかなりコンパイル時間が長くなってしまうので、注意が必要である。また、使
- 7 用する画像ファイルはこのテンプレートのように fig サブフォルダ内に格納することを推奨する。

1 図への参照は `\label` コマンドを用いて各図のキャプションにキーワードを付けておき、文中
2 で `\ref` コマンドによってキーワードを指定することで記述する。キーワードは参照対象に応じ
3 てプリフィクスを付けることが望ましい。以下の表 7.1 に一般的に用いる参照対象ごとのプリ
4 フィクスを挙げる。

表 1.1 ラベルに指定するキーワードのプリフィクス一覧

参照対象	プリフィクス
章	chp:
節	sec:
図	fig:
表	tbl:
式	eqn:

5 手作業でのナンバリングは非効率極まりない上に必ずミスが出るので行わないこと。

6 1.4 L^AT_EX のコンパイル

7 L^AT_EX のコンパイルは、「コマンドプロンプト」や「PowerShell」などのコマンドライン上で
8 「`latexmk`」コマンドを用いる。例えば、「`M01xxyyy.tex`」というファイルから PDF を作成した
9 場合は

10 `latexmk M01xxyyy`

11 というように、拡張子を抜いてコマンドラインで指定する。

12 また、コマンドラインに不慣れな学生は、Atom エディタ等の L^AT_EX パッケージを用いること
13 も良案である。Atom エディタを用いた L^AT_EX の記述については、研究室 Wiki を参照のこと。

第 2 章

関連研究

2.1 段落と改行

段落頭の字下げは自動で行われるため、全角スペースによる手動調整は不要であり、禁止である。L^AT_EX ソース中での改行は空行を挟まない場合は無視される。ソース内では自分で編集しやすいように改行してよい。

このように、空行を挟むと改段落となる。また、強制改行は
このように `\` で強制的に行うことができる。しかし、この場合は段落の字下げもされないため、
改段落を行う用途には空行を用いるべきで、強制改行 (`\`) は利用すべきではない。

しかしながら、例えば `\verb` 環境やインライン数式を用いる場合などで、`abcdefghijklmnopqrstuvwxyzA`
というようにページ幅を超えてしまったり、前の行が間延びしてしまうようなケースがある。そ
のような場合、`\` を用いて強制改行により

`abcdefghijklmnopqrstuvwxyzABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ` というように用いるとよい。

2.2 箇条書き

数字を使った場合の箇条書きの例を示す。

1. 数字の付いた箇条書きの例
2. こんな感じで手順などを列挙

数字を付けずに列挙したい場合は `itemize` 環境を使う。このようにあるキーワードを指定して

1 `\begin{}` と `\end{}` で囲む範囲のことを〇〇環境と呼ぶ。

2 • 順番などを伴わない箇条書きの例

3 • 材料や要素を純粋に列挙したい場合に使用

4 `enumerate` 環境や `itemize` 環境は、入れ子構造を持つことができる。例えば `enumerate` 環境
5 の場合、以下のようになる。

6 1. 東京都

7 (a) 八王子市

8 (b) 多摩市

9 2. 神奈川県

10 (a) 横浜市

11 (b) 川崎市

12 3. 山梨県

13 2.3 図表と参照

14 図を挿入する際は以下のように書く。必ずキャプションを付けるとともに、図に対する説明を
15 本文中で記載すること。何かの手違いで図が表示されなくなったとしても、文章で意味が通じる
16 くらいに説明するのを目安にすること。以下の図 7.1 と図 7.2 は、適当なサンプル画像である。

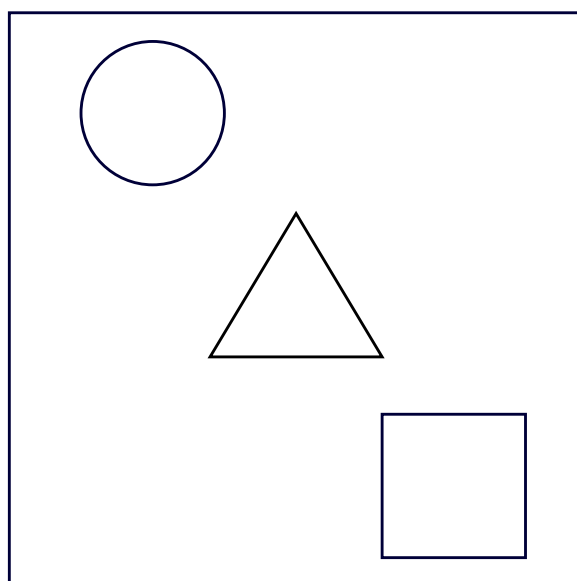


図 2.1 適当なサンプル



図 2.2 適当なサンプル 2

- 1 これまで、 \LaTeX での図は伝統的には EPS 形式が用いられてきたが、近年では JPEG 形式や
- 2 PNG 形式など多くの画像フォーマットに対応している。Inkscape や Illustrator 等のように直
- 3 接 EPS 形式を出力する場合は EPS を用いることが望ましいが、それ以外の状況では EPS への
- 4 変換は行わずに画像ファイルを直接指定した方が品質が良い。ただし、JPEG や PNG などの画
- 5 像ファイルは EPS に比べて \LaTeX のコンパイルが長時間になる傾向があり、あまり巨大な画像
- 6 データを使用するとかなりコンパイル時間が長くなってしまうので、注意が必要である。また、使
- 7 用する画像ファイルはこのテンプレートのように fig サブフォルダ内に格納することを推奨する。

1 図への参照は `\label` コマンドを用いて各図のキャプションにキーワードを付けておき、文中
2 で `\ref` コマンドによってキーワードを指定することで記述する。キーワードは参照対象に応じ
3 てプリフィクスを付けることが望ましい。以下の表 7.1 に一般的に用いる参照対象ごとのプリ
4 フィクスを挙げる。

表 2.1 ラベルに指定するキーワードのプリフィクス一覧

参照対象	プリフィクス
章	chp:
節	sec:
図	fig:
表	tbl:
式	eqn:

5 手作業でのナンバリングは非効率極まりない上に必ずミスが出るので行わないこと。

6 2.4 L^AT_EX のコンパイル

7 L^AT_EX のコンパイルは、「コマンドプロンプト」や「PowerShell」などのコマンドライン上で
8 「`latexmk`」コマンドを用いる。例えば、「`M01xxyyy.tex`」というファイルから PDF を作成した
9 い場合は

10 `latexmk M01xxyyy`

11 というように、拡張子を抜いてコマンドラインで指定する。

12 また、コマンドラインに不慣れな学生は、Atom エディタ等の L^AT_EX パッケージを用いること
13 も良案である。Atom エディタを用いた L^AT_EX の記述については、研究室 Wiki を参照のこと。

第 3 章

仮説と提案

3.1 段落と改行

段落頭の字下げは自動で行われるため、全角スペースによる手動調整は不要であり、禁止である。L^AT_EX ソース中での改行は空行を挟まない場合は無視される。ソース内では自分で編集しやすいように改行してよい。

このように、空行を挟むと改段落となる。また、強制改行は
このように `\` で強制的に行うことができる。しかし、この場合は段落の字下げもされないため、改段落を行う用途には空行を用いるべきで、強制改行 (`\`) は利用すべきではない。

しかしながら、例えば `\verb` 環境やインライン数式を用いる場合などで、`abcdefghijklmnopqrstuvwxyA` というようにページ幅を超えてしまったり、前の行が間延びしてしまうようなケースがある。そのような場合、`\` を用いて強制改行により

`abcdefghijklmnopqrstuvwxyABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ` というように用いるとよい。

3.2 箇条書き

数字を使った場合の箇条書きの例を示す。

1. 数字の付いた箇条書きの例
2. こんな感じで手順などを列挙

数字を付けずに列挙したい場合は `itemize` 環境を使う。このようにあるキーワードを指定して

1 `\begin{}` と `\end{}` で囲む範囲のことを〇〇環境と呼ぶ。

2 • 順番などを伴わない箇条書きの例

3 • 材料や要素を純粋に列挙したい場合に使用

4 `enumerate` 環境や `itemize` 環境は、入れ子構造を持つことができる。例えば `enumerate` 環境
5 の場合、以下のようになる。

6 1. 東京都

7 (a) 八王子市

8 (b) 多摩市

9 2. 神奈川県

10 (a) 横浜市

11 (b) 川崎市

12 3. 山梨県

13 3.3 図表と参照

14 図を挿入する際は以下のように書く。必ずキャプションを付けるとともに、図に対する説明を
15 本文中で記載すること。何かの手違いで図が表示されなくなったとしても、文章で意味が通じる
16 くらいに説明するのを目安にすること。以下の図 7.1 と図 7.2 は、適当なサンプル画像である。

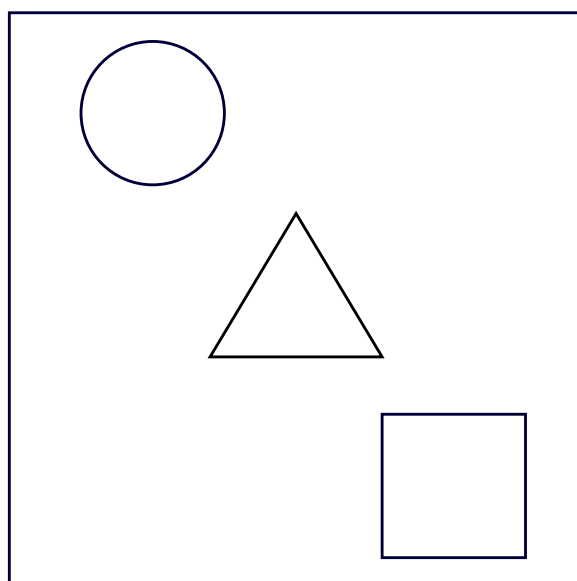


図 3.1 適当なサンプル



図 3.2 適当なサンプル 2

- 1 これまで、 \LaTeX での図は伝統的には EPS 形式が用いられてきたが、近年では JPEG 形式や
- 2 PNG 形式など多くの画像フォーマットに対応している。Inkscape や Illustrator 等のように直
- 3 接 EPS 形式を出力する場合は EPS を用いることが望ましいが、それ以外の状況では EPS への
- 4 変換は行わずに画像ファイルを直接指定した方が品質が良い。ただし、JPEG や PNG などの画
- 5 像ファイルは EPS に比べて \LaTeX のコンパイルが長時間になる傾向があり、あまり巨大な画像
- 6 データを使用するとかなりコンパイル時間が長くなってしまうので、注意が必要である。また、使
- 7 用する画像ファイルはこのテンプレートのように fig サブフォルダ内に格納することを推奨する。

1 図への参照は `\label` コマンドを用いて各図のキャプションにキーワードを付けておき、文中
2 で `\ref` コマンドによってキーワードを指定することで記述する。キーワードは参照対象に応じ
3 てプリフィクスを付けることが望ましい。以下の表 7.1 に一般的に用いる参照対象ごとのプリ
4 フィクスを挙げる。

表 3.1 ラベルに指定するキーワードのプリフィクス一覧

参照対象	プリフィクス
章	chp:
節	sec:
図	fig:
表	tbl:
式	eqn:

5 手作業でのナンバリングは非効率極まりない上に必ずミスが出るので行わないこと。

6 3.4 L^AT_EX のコンパイル

7 L^AT_EX のコンパイルは、「コマンドプロンプト」や「PowerShell」などのコマンドライン上で
8 「`latexmk`」コマンドを用いる。例えば、「`M01xxyyy.tex`」というファイルから PDF を作成した
9 場合は

10 `latexmk M01xxyyy`

11 というように、拡張子を抜いてコマンドラインで指定する。

12 また、コマンドラインに不慣れな学生は、Atom エディタ等の L^AT_EX パッケージを用いること
13 も良案である。Atom エディタを用いた L^AT_EX の記述については、研究室 Wiki を参照のこと。

第 4 章

機構の実装

4.1 段落と改行

段落頭の字下げは自動で行われるため、全角スペースによる手動調整は不要であり、禁止である。L^AT_EX ソース中での改行は空行を挟まない場合は無視される。ソース内では自分で編集しやすいように改行してよい。

このように、空行を挟むと改段落となる。また、強制改行は
このように `\` で強制的に行うことができる。しかし、この場合は段落の字下げもされないため、
改段落を行う用途には空行を用いるべきで、強制改行 (`\`) は利用すべきではない。

しかしながら、例えば `\verb` 環境やインライン数式を用いる場合などで、`abcdefghijklmnopqrstuvwxyA`
というようにページ幅を超えてしまったり、前の行が間延びしてしまうようなケースがある。そ
のような場合、`\` を用いて強制改行により

`abcdefghijklmnopqrstuvwxyABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ` というように用いるとよい。

4.2 箇条書き

数字を使った場合の箇条書きの例を示す。

1. 数字の付いた箇条書きの例
2. こんな感じで手順などを列挙

数字を付けずに列挙したい場合は `itemize` 環境を使う。このようにあるキーワードを指定して

1 `\begin{}` と `\end{}` で囲む範囲のことを〇〇環境と呼ぶ。

2 • 順番などを伴わない箇条書きの例

3 • 材料や要素を純粋に列挙したい場合に使用

4 `enumerate` 環境や `itemize` 環境は、入れ子構造を持つことができる。例えば `enumerate` 環境
5 の場合、以下のようになる。

6 1. 東京都

7 (a) 八王子市

8 (b) 多摩市

9 2. 神奈川県

10 (a) 横浜市

11 (b) 川崎市

12 3. 山梨県

13 4.3 図表と参照

14 図を挿入する際は以下のように書く。必ずキャプションを付けるとともに、図に対する説明を
15 本文中で記載すること。何かの手違いで図が表示されなくなったとしても、文章で意味が通じる
16 くらいに説明するのを目安にすること。以下の図 7.1 と図 7.2 は、適当なサンプル画像である。

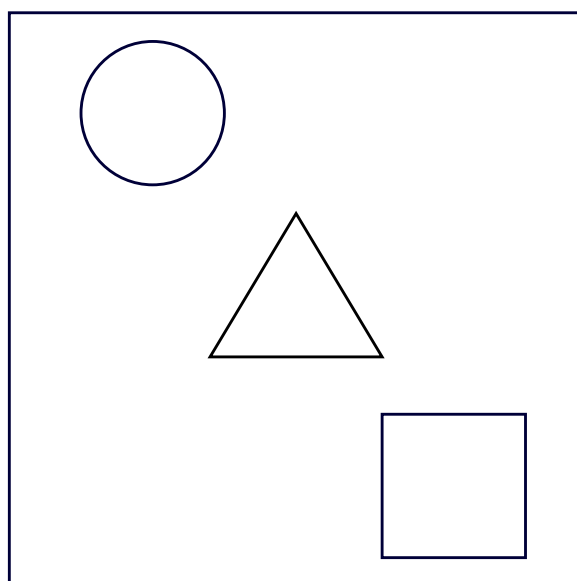


図 4.1 適当なサンプル



図 4.2 適当なサンプル 2

1 これまで、 \LaTeX での図は伝統的には EPS 形式が用いられてきたが、近年では JPEG 形式や
2 PNG 形式など多くの画像フォーマットに対応している。Inkscape や Illustrator 等のように直
3 接 EPS 形式を出力する場合は EPS を用いることが望ましいが、それ以外の状況では EPS への
4 変換は行わずに画像ファイルを直接指定した方が品質が良い。ただし、JPEG や PNG などの画
5 像ファイルは EPS に比べて \LaTeX のコンパイルが長時間になる傾向があり、あまり巨大な画像
6 データを使用するとかなりコンパイル時間が長くなってしまうので、注意が必要である。また、使
7 用する画像ファイルはこのテンプレートのように fig サブフォルダ内に格納することを推奨する。

1 図への参照は `\label` コマンドを用いて各図のキャプションにキーワードを付けておき、文中
2 で `\ref` コマンドによってキーワードを指定することで記述する。キーワードは参照対象に応じ
3 てプリフィクスを付けることが望ましい。以下の表 7.1 に一般的に用いる参照対象ごとのプリ
4 フィクスを挙げる。

表 4.1 ラベルに指定するキーワードのプリフィクス一覧

参照対象	プリフィクス
章	chp:
節	sec:
図	fig:
表	tbl:
式	eqn:

5 手作業でのナンバリングは非効率極まりない上に必ずミスが出るので行わないこと。

6 4.4 L^AT_EX のコンパイル

7 L^AT_EX のコンパイルは、「コマンドプロンプト」や「PowerShell」などのコマンドライン上で
8 「`latexmk`」コマンドを用いる。例えば、「`M01xxyyy.tex`」というファイルから PDF を作成した
9 い場合は

10 `latexmk M01xxyyy`

11 というように、拡張子を抜いてコマンドラインで指定する。

12 また、コマンドラインに不慣れな学生は、Atom エディタ等の L^AT_EX パッケージを用いること
13 も良案である。Atom エディタを用いた L^AT_EX の記述については、研究室 Wiki を参照のこと。

第 5 章

使用例

5.1 段落と改行

段落頭の字下げは自動で行われるため、全角スペースによる手動調整は不要であり、禁止である。L^AT_EX ソース中での改行は空行を挟まない場合は無視される。ソース内では自分で編集しやすいように改行してよい。

このように、空行を挟むと改段落となる。また、強制改行は
このように `\` で強制的に行うことができる。しかし、この場合は段落の字下げもされないため、改段落を行う用途には空行を用いるべきで、強制改行 (`\`) は利用すべきではない。

しかしながら、例えば `\verb` 環境やインライン数式を用いる場合などで、`abcdefghijklmnopqrstuvwx` というようにページ幅を超えてしまったり、前の行が間延びしてしまうようなケースがある。そのような場合、`\` を用いて強制改行により

`abcdefghijklmnopqrstuvwxABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ` というように用いるとよい。

5.2 箇条書き

数字を使った場合の箇条書きの例を示す。

1. 数字の付いた箇条書きの例
2. こんな感じで手順などを列挙

数字を付けずに列挙したい場合は `itemize` 環境を使う。このようにあるキーワードを指定して

1 `\begin{}` と `\end{}` で囲む範囲のことを〇〇環境と呼ぶ。

2 • 順番などを伴わない箇条書きの例

3 • 材料や要素を純粋に列挙したい場合に使用

4 `enumerate` 環境や `itemize` 環境は、入れ子構造を持つことができる。例えば `enumerate` 環境
5 の場合、以下のようになる。

6 1. 東京都

7 (a) 八王子市

8 (b) 多摩市

9 2. 神奈川県

10 (a) 横浜市

11 (b) 川崎市

12 3. 山梨県

13 5.3 図表と参照

14 図を挿入する際は以下のように書く。必ずキャプションを付けるとともに、図に対する説明を
15 本文中で記載すること。何かの手違いで図が表示されなくなったとしても、文章で意味が通じる
16 くらいに説明するのを目安にすること。以下の図 7.1 と図 7.2 は、適当なサンプル画像である。

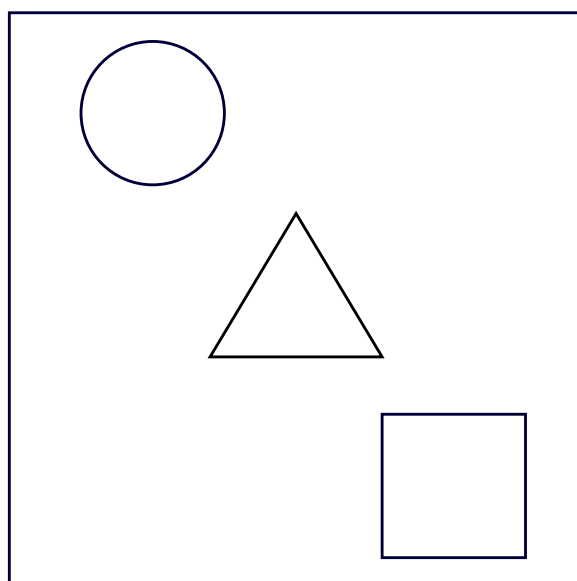


図 5.1 適当なサンプル



図 5.2 適当なサンプル 2

- 1 これまで、 \LaTeX での図は伝統的には EPS 形式が用いられてきたが、近年では JPEG 形式や
- 2 PNG 形式など多くの画像フォーマットに対応している。Inkscape や Illustrator 等のように直
- 3 接 EPS 形式を出力する場合は EPS を用いることが望ましいが、それ以外の状況では EPS への
- 4 変換は行わずに画像ファイルを直接指定した方が品質が良い。ただし、JPEG や PNG などの画
- 5 像ファイルは EPS に比べて \LaTeX のコンパイルが長時間になる傾向があり、あまり巨大な画像
- 6 データを使用するとかなりコンパイル時間が長くなってしまうので、注意が必要である。また、使
- 7 用する画像ファイルはこのテンプレートのように fig サブフォルダ内に格納することを推奨する。

1 図への参照は `\label` コマンドを用いて各図のキャプションにキーワードを付けておき、文中
2 で `\ref` コマンドによってキーワードを指定することで記述する。キーワードは参照対象に応じ
3 てプリフィクスを付けることが望ましい。以下の表 7.1 に一般的に用いる参照対象ごとのプリ
4 フィクスを挙げる。

表 5.1 ラベルに指定するキーワードのプリフィクス一覧

参照対象	プリフィクス
章	chp:
節	sec:
図	fig:
表	tbl:
式	eqn:

5 手作業でのナンバリングは非効率極まりない上に必ずミスが出るので行わないこと。

6 5.4 L^AT_EX のコンパイル

7 L^AT_EX のコンパイルは、「コマンドプロンプト」や「PowerShell」などのコマンドライン上で
8 「`latexmk`」コマンドを用いる。例えば、「`M01xxyyy.tex`」というファイルから PDF を作成した
9 場合は

10 `latexmk M01xxyyy`

11 というように、拡張子を抜いてコマンドラインで指定する。

12 また、コマンドラインに不慣れな学生は、Atom エディタ等の L^AT_EX パッケージを用いること
13 も良案である。Atom エディタを用いた L^AT_EX の記述については、研究室 Wiki を参照のこと。

第 6 章

実験

6.1 段落と改行

段落頭の字下げは自動で行われるため、全角スペースによる手動調整は不要であり、禁止である。L^AT_EX ソース中での改行は空行を挟まない場合は無視される。ソース内では自分で編集しやすいように改行してよい。

このように、空行を挟むと改段落となる。また、強制改行は
このように `\` で強制的に行うことができる。しかし、この場合は段落の字下げもされないため、改段落を行う用途には空行を用いるべきで、強制改行 (`\`) は利用すべきではない。

しかしながら、例えば `\verb` 環境やインライン数式を用いる場合などで、`abcdefghijklmnopqrstuvwx` というようにページ幅を超えてしまったり、前の行が間延びしてしまうようなケースがある。そのような場合、`\` を用いて強制改行により

`abcdefghijklmnopqrstuvwxABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ` というように用いるとよい。

6.2 箇条書き

数字を使った場合の箇条書きの例を示す。

1. 数字の付いた箇条書きの例
2. こんな感じで手順などを列挙

数字を付けずに列挙したい場合は `itemize` 環境を使う。このようにあるキーワードを指定して

1 `\begin{}` と `\end{}` で囲む範囲のことを〇〇環境と呼ぶ。

2 • 順番などを伴わない箇条書きの例

3 • 材料や要素を純粋に列挙したい場合に使用

4 `enumerate` 環境や `itemize` 環境は、入れ子構造を持つことができる。例えば `enumerate` 環境
5 の場合、以下のようになる。

6 1. 東京都

7 (a) 八王子市

8 (b) 多摩市

9 2. 神奈川県

10 (a) 横浜市

11 (b) 川崎市

12 3. 山梨県

13 6.3 図表と参照

14 図を挿入する際は以下のように書く。必ずキャプションを付けるとともに、図に対する説明を
15 本文中で記載すること。何かの手違いで図が表示されなくなったとしても、文章で意味が通じる
16 くらいに説明するのを目安にすること。以下の図 7.1 と図 7.2 は、適当なサンプル画像である。

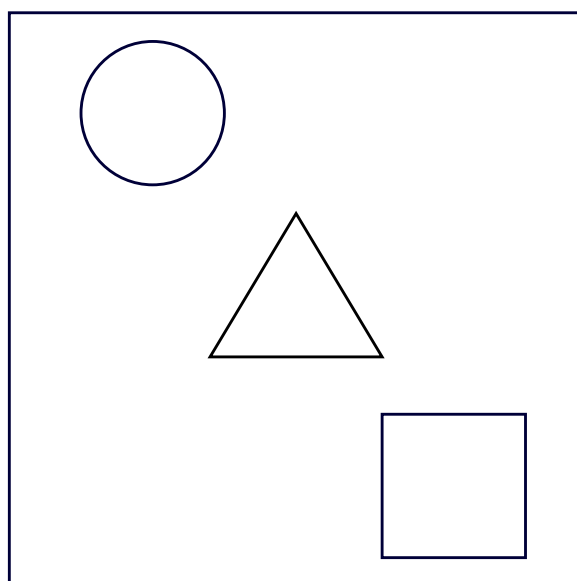


図 6.1 適当なサンプル



図 6.2 適当なサンプル 2

- 1 これまで、 \LaTeX での図は伝統的には EPS 形式が用いられてきたが、近年では JPEG 形式や
- 2 PNG 形式など多くの画像フォーマットに対応している。Inkscape や Illustrator 等のように直
- 3 接 EPS 形式を出力する場合は EPS を用いることが望ましいが、それ以外の状況では EPS への
- 4 変換は行わずに画像ファイルを直接指定した方が品質が良い。ただし、JPEG や PNG などの画
- 5 像ファイルは EPS に比べて \LaTeX のコンパイルが長時間になる傾向があり、あまり巨大な画像
- 6 データを使用するとかなりコンパイル時間が長くなってしまうので、注意が必要である。また、使
- 7 用する画像ファイルはこのテンプレートのように fig サブフォルダ内に格納することを推奨する。

1 図への参照は `\label` コマンドを用いて各図のキャプションにキーワードを付けておき、文中
2 で `\ref` コマンドによってキーワードを指定することで記述する。キーワードは参照対象に応じ
3 てプリフィクスを付けることが望ましい。以下の表 7.1 に一般的に用いる参照対象ごとのプリ
4 フィクスを挙げる。

表 6.1 ラベルに指定するキーワードのプリフィクス一覧

参照対象	プリフィクス
章	chp:
節	sec:
図	fig:
表	tbl:
式	eqn:

5 手作業でのナンバリングは非効率極まりない上に必ずミスが出るので行わないこと。

6 6.4 L^AT_EX のコンパイル

7 L^AT_EX のコンパイルは、「コマンドプロンプト」や「PowerShell」などのコマンドライン上で
8 「`latexmk`」コマンドを用いる。例えば、「`M01xxyyy.tex`」というファイルから PDF を作成した
9 場合は

10 `latexmk M01xxyyy`

11 というように、拡張子を抜いてコマンドラインで指定する。

12 また、コマンドラインに不慣れな学生は、Atom エディタ等の L^AT_EX パッケージを用いること
13 も良案である。Atom エディタを用いた L^AT_EX の記述については、研究室 Wiki を参照のこと。

第 7 章

今後の展望

7.1 段落と改行

段落頭の字下げは自動で行われるため、全角スペースによる手動調整は不要であり、禁止である。L^AT_EX ソース中での改行は空行を挟まない場合は無視される。ソース内では自分で編集しやすいように改行してよい。

このように、空行を挟むと改段落となる。また、強制改行は
このように `\` で強制的に行うことができる。しかし、この場合は段落の字下げもされないため、改段落を行う用途には空行を用いるべきで、強制改行 (`\`) は利用すべきではない。

しかしながら、例えば `\verb` 環境やインライン数式を用いる場合などで、`abcdefghijklmnopqrstuvwxyA` というようにページ幅を超えてしまったり、前の行が間延びしてしまうようなケースがある。そのような場合、`\` を用いて強制改行により

`abcdefghijklmnopqrstuvwxyABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ` というように用いるとよい。

7.2 箇条書き

数字を使った場合の箇条書きの例を示す。

1. 数字の付いた箇条書きの例
2. こんな感じで手順などを列挙

数字を付けずに列挙したい場合は `itemize` 環境を使う。このようにあるキーワードを指定して

1 `\begin{}` と `\end{}` で囲む範囲のことを〇〇環境と呼ぶ。

2 • 順番などを伴わない箇条書きの例

3 • 材料や要素を純粋に列挙したい場合に使用

4 `enumerate` 環境や `itemize` 環境は、入れ子構造を持つことができる。例えば `enumerate` 環境
5 の場合、以下のようになる。

6 1. 東京都

7 (a) 八王子市

8 (b) 多摩市

9 2. 神奈川県

10 (a) 横浜市

11 (b) 川崎市

12 3. 山梨県

13 7.3 図表と参照

14 図を挿入する際は以下のように書く。必ずキャプションを付けるとともに、図に対する説明を
15 本文中で記載すること。何かの手違いで図が表示されなくなったとしても、文章で意味が通じる
16 くらいに説明するのを目安にすること。以下の図 7.1 と図 7.2 は、適当なサンプル画像である。

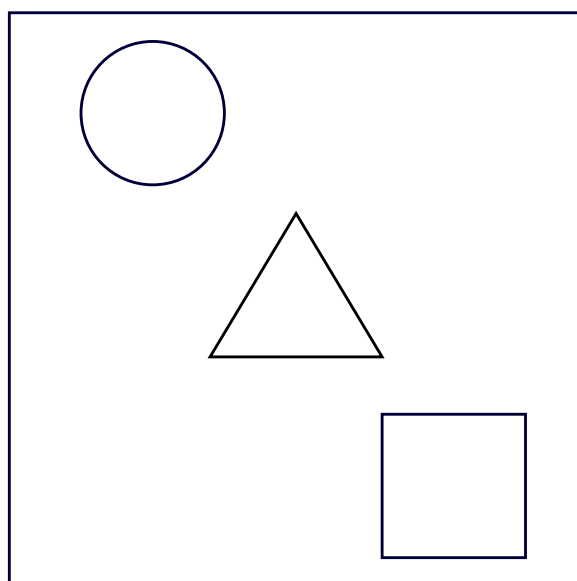


図 7.1 適当なサンプル



図 7.2 適当なサンプル 2

- 1 これまで、 \LaTeX での図は伝統的には EPS 形式が用いられてきたが、近年では JPEG 形式や
- 2 PNG 形式など多くの画像フォーマットに対応している。Inkscape や Illustrator 等のように直
- 3 接 EPS 形式を出力する場合は EPS を用いることが望ましいが、それ以外の状況では EPS への
- 4 変換は行わずに画像ファイルを直接指定した方が品質が良い。ただし、JPEG や PNG などの画
- 5 像ファイルは EPS に比べて \LaTeX のコンパイルが長時間になる傾向があり、あまり巨大な画像
- 6 データを使用するとかなりコンパイル時間が長くなってしまうので、注意が必要である。また、使
- 7 用する画像ファイルはこのテンプレートのように fig サブフォルダ内に格納することを推奨する。

1 図への参照は `\label` コマンドを用いて各図のキャプションにキーワードを付けておき、文中
2 で `\ref` コマンドによってキーワードを指定することで記述する。キーワードは参照対象に応じ
3 てプリフィクスを付けることが望ましい。以下の表 7.1 に一般的に用いる参照対象ごとのプリ
4 フィクスを挙げる。

表 7.1 ラベルに指定するキーワードのプリフィクス一覧

参照対象	プリフィクス
章	chp:
節	sec:
図	fig:
表	tbl:
式	eqn:

5 手作業でのナンバリングは非効率極まりない上に必ずミスが出るので行わないこと。

6 7.4 L^AT_EX のコンパイル

7 L^AT_EX のコンパイルは、「コマンドプロンプト」や「PowerShell」などのコマンドライン上で
8 「`latexmk`」コマンドを用いる。例えば、「`M01xxyyy.tex`」というファイルから PDF を作成した
9 場合は

10 `latexmk M01xxyyy`

11 というように、拡張子を抜いてコマンドラインで指定する。

12 また、コマンドラインに不慣れな学生は、Atom エディタ等の L^AT_EX パッケージを用いること
13 も良案である。Atom エディタを用いた L^AT_EX の記述については、研究室 Wiki を参照のこと。

第 8 章

その次

8.1 数式

数式のインラインモードは $x^2 + y^2 \leq 1$ のように表示させることができる。インラインモードで「 $\$ \dots \$$ 」を使うやり方は、近年の LaTeX ではあまり推奨されていないが、その利用は妨げない。

ディスプレイ数式モードを利用する際に推奨するのは `equation` 環境である。

$$\mathbf{A}_p = \frac{\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}}{|\mathbf{B}|^2} \mathbf{B}. \quad (8.1)$$

数式の参照は「`\ref`」ではなく「`\eqref`」を用いる。上記の数式を参照すると「式 (8.1)」となる。このように、`\eqref` を用いた場合は数式中と同じ様式の括弧がつく。

また、複数行にわたる数式を表示したい場合は `align` 環境を用いることを推奨する。以下の式 (8.2) にその例を示す。

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \cdots & b_{mn} \end{bmatrix} \\ = \sum_i^m \sum_j^n a_{ij} b_{ij}. \quad (8.2)$$

数式で複数行を用いる方法として、古い LaTeX に関する資料では `eqnarray` 環境の解説を行っている場合があるが、最近の LaTeX では幾つかのパッケージ (特に $\mathcal{A}\mathcal{M}\mathcal{S}$ 関連) と同時に利用すると問題が発生することがあるため、利用は推奨しない。複数行を用いる方法としては他にも

gather, multiline, split など多くの環境があるが、equarray 以外のものであれば問題はない。
具体的な数式の記述方法については書籍や Web 上の情報等を参照のこと。

8.2 寸法

L^AT_EX では、縦方向や横方向に空白を空けたいとき (`\vspace`, `\hspace`) や、画像の縦幅や横幅を指定したい場合など、多くの場面で寸法を指定することがある。L^AT_EX の寸法単位は mm (ミリメートル) や cm (センチメートル) など多くの種類が利用でき、小数点以下も記述できるためかなり柔軟な指定ができる。例えば、表のキャプションと本体の間を少し空けたいときは

```
\begin{table}[H]
  \caption{ラベルに指定するキーワードのプリフィクス一覧}
  \label{tbl:pre_list}
  \centering
  \vspace{0.5cm}
  \begin{tabular}{|l|l|l|r|} \hline
```

のように、表本体の直前に `\vspace` を入れればよい。

L^AT_EX の寸法指定で留意すべきこととして、単位の「true 付き」と「true なし」の使い分けがある。例えば、先述の「`\vspace{0.5cm}`」に対し、true 付きの場合は「`\vspace{0.5truecm}`」ということになる。

true がついていない場合、`\documentclass` の指定時でのフォントサイズを変更すると、そのフォントサイズに伴って (空白幅や画像幅などの) 実際の寸法も変化する。フォントサイズを変更した際に連動してほしい寸法については、この「true なし」を用いるとよい。一方、「true 付き」の場合はフォントサイズの変更には連動せず常に固定の値となる。センタリングした画像幅などはフォントサイズと連動しない方が都合がよいことも多く、そういった場合は「true 付き」の寸

1 法を指定するとよい。

2 8.3 参考文献

3 参考文献リストの作成は、`BibTeX` を用いることを推奨する。文献の参照は、リスト上で文献に
4 付けたキーワードを `cite` コマンドによって指定することで記述する。例えば、「阿部ら [1] による
5 と、某手法 [2] には重大な欠点が存在することが指摘されている。」という利用方法となる。

6 文献を 1 つも参照していない状態で PDF を生成するバッチファイルを実行するとエラーとな
7 るので注意すること。生成した PDF ファイル中で参照がうまくできていない場合には参照番号
8 ではなく「?」記号が表示される。

9 `BibTeX` の記述方法は、どのような種類の文献かによって異なる。以下に具体的な例を列挙
10 する。

- 11 ● 論文誌掲載の学術論文 [1][2]
- 12 ● 研究会の研究報告 [3]
- 13 ● 博士論文 [4]
- 14 ● 修士論文 [5]
- 15 ● 学部卒業論文 [6]
- 16 ● 書籍 [7]
- 17 ● URL[8]

18 文献の属性の種類や、設定すべきステータスについても Web を参照すること。論文データ
19 ベースサイトでは `BibTeX` の記述形式によるテキストを出力してくれるところもあるので、利用
20 できると便利である。リストの記述順は一切気にする必要がなく、参考文献に挙げないものが含
21 まれていても問題無いので、関連しそうな文献は全てリスト化しておくといよい。

22 `BibTeX` における著者名の列挙はカンマで並べるのではなく、

1 `author = "阿部 雅樹 and 渡辺 大地 and 三上 浩司",`
2
3
4
5
6 `title = "{3DCG}における何かしらの手法",`
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

謝辞

1

- 2 謝辞は基本的に査読の対象とならない。各人の自由に記述して良い。ただし、あまりに公序良
- 3 俗に反する内容である場合は修正を求める場合があるので、はっちゃけるにしても良識・常識の
- 4 範疇を超えないようにして欲しい。

参考文献

1

- 2 [1] 阿部雅樹, 渡辺大地. エネルギー波表現のリアルタイムレンダリング. 芸術科学会論文誌,
3 Vol. 9, No. 3, pp. 93–101, 2010.
- 4 [2] D.Nowrouzezahrai, J.Johnson, A.Selle, D.Lacewell, M.Kaschalk, and W.Jarosz. A Pro-
5 grammable System for Artistic Volumetric Lighting. *ACM Transactions on Graphics*,
6 Vol. 30, No. 4, pp. 29:1–29:8, 2011.
- 7 [3] 青木明優花, 阿部雅樹, 渡辺大地. 洋服シワに対するキャラクターイラスト特有の影形状のリ
8 アルタイムレンダリング. 情報処理学会研究報告デジタルコンテンツクリエーション (DCC),
9 Vol. 2020-DCC-24, No. 24, pp. 1–8, 2020.
- 10 [4] 竹内亮太. ストローク履歴を活用した 3 次元形状モデリング手法の研究. 博士論文, 東京工科
11 大学大学院バイオ情報・メディア研究科メディアサイエンス専攻, 2013.
- 12 [5] 阿部雅樹. エネルギー波表現のリアルタイムレンダリング. 修士論文, 東京工科大学大学院バ
13 イオ情報・メディア研究科メディアサイエンス専攻, 2010.
- 14 [6] 阿部雅樹. ボリュームレンダリングを用いたエネルギー波のリアルタイム形状変形. 学部卒業
15 論文, 東京工科大学メディア学部ゲームサイエンスプロジェクト, 2008.
- 16 [7] 鳥山明. DRAGON BALL 大全集 – 鳥山明ワールド (7). 集英社, 1996.
- 17 [8] Effekseer 開発チーム. Effekseer. <http://effekseer.github.io/jp/index.html>. 参照:
18 2016.4.15.