

## 葉層束の射影を表す 3 本線入り矢印

2026 年 10 月 10 日 v20261010.0

$$\begin{array}{ccc} V & \longrightarrow & E \\ & & \downarrow \pi \\ & & M \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} V & \longrightarrow & E \\ & & \downarrow \pi \\ & & M \end{array}$$

```
\usepackage{amscd}           % 使うものだけ
\usepackage[all]{xy}
\usepackage{tikz-cd}
\usepackage{folarrow}
```

で行う).

## 2.1 簡易版 (lite オプション)

```
\usepackage[lite]{folarrow}
```

lite を付けると, ほかのファイル (Lua のモジュール, 実測データ, 矢印のフォント) を使わず, すべての矢印を描いて組む簡易版になる (簡易版だけの説明書 `folarrow-lite-ja.pdf` もある). 矢印のフォントを PDF に埋め込まずに組みたいときなどに使う. 付けなければ (既定) これまでどおりである.

- `folarrow.sty` 以外のファイルは, インストールされていても一切使わない. 使わないのは, Lua のモジュール `folarrow.lua`, 実測データ `folarrow-fonts.def`, 矢印のフォントの表 `folarrow-glyphs.def` と `folarrow-otf.def`, 矢印のフォントとマップファイルである.
- 本文用の矢印も含め, すべての矢印を描いて組む (6.1 節のフォントは使わず, `glyphs` は常に `false` になる). 組版の結果は矢印と 3 本線の重ね合わせなので, PDF からテキストとして取り出すと元の矢印の文字 (`\foldownarrow` では区切り記号の部品) になる.
- 矢頭の幅と線の太さ (8 節) は, XeLaTeX で OpenType の数式フォントを使うときはグリフの外接矩形から読み (`\XeTeXglyphbounds` を使う), それ以外 (pdfLaTeX, upLaTeX, LuaLaTeX) ではフォントの寸法から推定する.
- 実測データを使わないので, 3 本線は矢印の箱の中央に置き (字面の中心とのずれを補正しない), 3 本線の端はつねに切りっぱなしにする. 10pt の Computer Modern, newtxmath, newpxmath, txfonts の本文用の矢印では, 3 本線の中央からのずれは矢印の向きに最大 0.3pt, 直交方向に 0.03pt だった (既定では 0.015pt 以下). 書体によってはもっと大きくずれ, 幅や太さも実測値と違うことがある.
- Pennstander Math の縦向きの矢印を回して組む対処 (6.1 節) も行わない.
- `lite` はパッケージの読み込み時にだけ指定できる (`\folarrowsetup` では変えられない).

## 3 amscd

通常の矢印の指定 `@>>>`, `@<<<`, `@VVV`, `@AAA` の `@` の直後に `F` を付けると, 斜線入りになる. ラベルの書き方は通常の矢印と同じである.

```
\begin{CD}
V @>>> E @>f>> E'\\
@VVV @FV{\pi}VV @FAA{\pi'}A\\
M @= M @F<<g< M
\end{CD}
```

$$\begin{array}{ccccc}
 V & \longrightarrow & E & \xrightarrow{\quad f \quad} & E' \\
 \downarrow & & \pi \Downarrow & & \Uparrow \pi' \\
 M & \xlongequal{\quad} & M & \xleftarrow[\quad g \quad]{\quad} & M
 \end{array}$$

## 4 xy-pic

矢印の途中に置く方向付きの物体 `fol` を用意した．`\ar[d]|\@{fol}^{\folpad{\pi}}` のように，`|`（矢印上のラベル）として置く．大きさ 0 の物体なので矢印は途切れない．斜線の向きは矢印の向きから自動で決まり，斜めの矢印にも使える．

```

\xymatrix{
V \ar[r] & E \ar[d]|\@{fol}^{\folpad{\pi}} \\\
& M }

```

$$\begin{array}{ccc}
 V & \longrightarrow & E \\
 & & \Downarrow \pi \\
 & & M
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{ccccc}
 & E & \xrightarrow{\quad} & B & \\
 & \Uparrow & & \Downarrow & \\
 & M & \xleftarrow{\quad} & N & \\
 & & \swarrow & \nearrow & 
 \end{array}$$

矢印のラベルは斜線の位置に来るので，そのままでは斜線にかかることがある．ラベルを`\folpad`で囲むと，四方に斜線の半分の長さの余白が付いて斜線避ける．

```

\ar[d]|\@{fol}^{\folpad{\pi}}

```

## 5 tikz-cd

矢印のオプションに `foliated` を加える．

```

\begin{tikzcd}
V \arrow[r] & E \arrow[d, foliated, "\pi"] \\\
& M
\end{tikzcd}

```

$$\begin{array}{ccc}
 V & \longrightarrow & E \\
 & & \Downarrow \pi \\
 & & M
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{ccccc}
 & E & \xrightarrow{\quad} & B & \\
 & \Uparrow & & \Downarrow & \\
 & M & \xleftarrow{\quad} & N & \\
 & & \swarrow & \nearrow & 
 \end{array}$$

`foliated` は `decorations.markings` ライブラリーを使う（`folarrow` が読み込む）．`foliated` を付けた矢印では，ラベルが斜線にかからないよう，ラベルの余白（`inner sep`）を斜線の半分の長さだけ増やす．

## 6 本文の数式

|                                    |                                                                 |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <code>\folrightarrow</code>        | $E \dashrightarrow M$                                           |
| <code>\folleftarrow</code>         | $M \dashleftarrow E$                                            |
| <code>\foldownarrow</code>         | $E \Downarrow M$                                                |
| <code>\foluparrow</code>           | $M \Uparrow E$                                                  |
| <code>\xfolrightarrow[下]{上}</code> | $E \xrightarrow[\text{proj}]{\pi} M, \quad E \dashrightarrow M$ |
| <code>\xfolleftarrow[下]{上}</code>  | $M \xleftarrow{\pi} E$                                          |

- いずれも関係記号 (`\mathrel`) で、添字の中でも使える： $A_{E \dashrightarrow M}$ .
- 土台の矢印：`\folrightarrow` は `\longrightarrow`,  
`\folleftarrow` は `\longleftarrow`.
- `\xfolrightarrow` と `\xfolleftarrow` は、`amsmath` の `\xrightarrow` と同じく上下のラベルに合わせて伸びる. ただし `\longrightarrow` より短くはならない.

### 6.1 本文用の矢印のフォント

`\folrightarrow`, `\folleftarrow`, `\foldownarrow`, `\foluparrow` の4つは、次の数式フォントでは、3本線まで含めて1つの字形になった Type 1 フォントで組む.

| 数式フォント                                | 記号フォント                                                            | 矢印のフォント                                                              |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Computer Modern (既定)                  | <code>cmsy5</code> ～ <code>cmsy10</code>                          | <code>folcm5</code> ～ <code>folcm10</code>                           |
| Latin Modern ( <code>lmodern</code> ) | <code>lmsy5</code> ～ <code>lmsy10</code>                          | <code>folldm5</code> ～ <code>folldm10</code>                         |
| <code>newtxmath</code>                | <code>ntxsy</code> , <code>ntxsy7</code> , <code>ntxsy5</code>    | <code>folntx</code> , <code>folntx7</code> , <code>folntx5</code>    |
| <code>txfonts</code>                  | <code>txsy</code>                                                 | <code>foltx</code>                                                   |
| <code>newpxmath</code>                | <code>zplsy</code>                                                | <code>folzpl</code>                                                  |
| <code>pxfonts</code>                  | <code>pxsy</code>                                                 | <code>folpx</code>                                                   |
| Computer Modern (ボールド)                | <code>cmbsy5</code> ～ <code>cmbsy10</code>                        | <code>folcmb5</code> ～ <code>folcmb10</code>                         |
| Latin Modern (ボールド)                   | <code>lmbdy5</code> , <code>lmbdy7</code> , <code>lmbdy10</code>  | <code>folldm5</code> , <code>folldm7</code> , <code>folldm10</code>  |
| <code>newtxmath</code> (ボールド)         | <code>ntxbsy</code> , <code>ntxbsy7</code> , <code>ntxbsy5</code> | <code>folntxb</code> , <code>folntxb7</code> , <code>folntxb5</code> |
| <code>txfonts</code> (ボールド)           | <code>txbsy</code>                                                | <code>foltxb</code>                                                  |
| <code>newpxmath</code> (ボールド)         | <code>zplbsy</code>                                               | <code>folzplb</code>                                                 |
| <code>pxfonts</code> (ボールド)           | <code>pxbsy</code>                                                | <code>folpxb</code>                                                  |

- 字形は、記号フォントのマイナス記号と  $\rightarrow$  (`\longrightarrow` と同じ組み方) の輪郭に、3本線の輪郭を加えたものである.  $\leftarrow$  はマイナス記号と  $\leftarrow$ ,  $\downarrow$  と  $\uparrow$  は  $\rightarrow$  の字形を回したもので、数

式の軸に中心を合わせる。3 本線の長さ・間隔・傾き・太さ・端の形は、描く場合の既定値と同じ規則で、元の字形の輪郭から求めた。3 本線の中心は矢印の字面の中央にある。

- 組版の結果はフォントの 1 文字なので、PDF からテキストとして取り出すと→, ←, ↓, ↑ (U+2192, U+2190, U+2193, U+2191) になる。
- フォントは記号フォントと同じ大きさで読むので、添字の中や\large などでも、その大きさの記号フォントに対応する字形になる。
- 形のキー (7 節) が既定値でないとき、glyphs=false のとき、上の表にも次の OpenType の数式フォントの表にもない数式フォントでは、これまでどおり矢印に 3 本線を描いて組む。このとき↓↑の土台は、記号フォントの quad の 1.25 倍の高さの区切り記号である。
- 伸びる矢印 (\xrightarrow など) と図式の矢印は、長さが変わるので常に描く。

**OpenType の数式フォント** Lua $\text{\LaTeX}$  と Xe $\text{\LaTeX}$  で unicode-math を使うときは、次の 49 書体に対応する OTF (folu-〈略号〉.otf) で組む。

Latin Modern Math, New Computer Modern Math (Regular, Book, Bold), New Computer Modern Sans Math, STIX Two Math, STIX Math, XITS Math (Regular, Bold),  $\text{\TeX}$  Gyre Termes / Pagella / Bonum / Schola / DejaVu Math, Libertinus Math, Fira Math, Asana Math, Erewhon Math (Regular, Bold), KpMath (Regular, Light, Semibold, Bold, Sans, SansBold), GFS Neohellenic Math, IBM Plex Math, Arsenal Math (Sans, SansBold), Concrete Math (Regular, Bold), Euler Math, Garamond Math, Lete Sans Math (Regular, Bold), Luciole Math (Regular, Bold), Old Standard Math, XCharter Math (Regular, Bold), Pennstander Math (Thin~Black の 9 つ)

- XITS Math Bold には U+27F6 と U+27F5 がないので、 $\text{\LaTeX}$  の \relbar\joinrel\rightarrow と同じく、マイナス記号と→ (←とマイナス記号) を 3/18em 重ねて並べた輪郭を長い矢印として使う。描く場合も、フォントに U+27F6, U+27F5 がなければ \relbar\joinrel\rightarrow などと組む。
- 字形は、元のフォントの U+27F6 (\longrightarrow) と U+27F5 (\longleftarrow) の輪郭に 3 本線の輪郭を加えたものである。↓↑は U+27F6 を回したもので、MATH 表の AxisHeight に中心を合わせる。軸の太さと高さは矢印の輪郭を縦に切って測り、尻の形も輪郭から判定する (端から軸が全幅になるまでの距離が太さの 0.35 倍以上なら丸)。
- 元のフォントが矢印に添字用の字形 (ssty) を持つとき (Erewhon Math, Concrete Math, Lete Sans Math, Luciole Math, XCharter Math (いずれも Regular だけ), Euler Math, Pennstander Math) は、それぞれから作った字形と同じ ssty 機能を持たせ、元のフォントと同じ指定 (+ssty=0 など) で読む。
- 元のフォントは、\fontname のフォント名の部分 (ファイル名かフォント名) が、元のフォントのファイル名, PostScript 名, フルネーム, ファミリー名のどれかと一致するかで見分ける。
- 文字は Unicode の位置 (U+2192, U+2190, U+2193, U+2191) にあるので、テキストとしても→←↓↑になる。
- Pennstander Math は、↓の伸縮の部品 (MATH 表の GlyphAssembly) で軸の部品と矢頭の部品の軸の位置がずれていて、大きな区切り記号として組んだ↓が崩れる (↑には伸縮の情報が

ない。folarrow を使わなくても起きる)。そこでこのファミリーの 9 書体では、描いて組む縦向きの矢印 (glyphs=false などのときの\foldownarrow, \foluparrow と、amscd の@FVVV, @FAAA) の土台を、区切り記号ではなく、横向きの矢印 (本文用は\longrightarrow, amscd 用は\Big と同じ長さの伸びる矢印) を 90° 回したものにします。字面の中心は回す前の矢印の字形の外接矩形から求め、数式の軸に合わせる。対象のフォントは伸縮の部品を調べて決め、folarrow-otf.def に書いてある。folarrow の命令を使わない部分 (通常の amscd の@VVV, @AAA や\Big\downarrow などの縦向きの矢印) の崩れはフォントの問題なので、サポート外とする。

- XCharter Math Bold の U+27F6, U+27F5 は、送り幅 (1000) より字面が長く (1524 まで) 伸びていて、隣の文字に重なる (フォントの問題)。OTF では、字面が送り幅からはみ出す字形の送り幅を、字面の右端に左の余白を足した幅 (1580. Regular と同じ) にする。描いて組む場合は元の字形の幅のままなので重なる。
- OTF は元のフォントから作成した。ライセンスは元のフォントを引き継ぎ、SIL Open Font License 1.1 か GUST Font License である。ファイル名とフォント名 (FolArrowU-〈略号〉) には元のフォントの名前 (予約フォント名) を含めない。Minion Math のように再配布できないフォントには用意していない (これまでどおり描く)。

Type 1 のフォントのマップファイル folarrow.map は、pdfL<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X, LuaL<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X ではパッケージが読み込み、dvipdfmx, xdvipdfmx では最初のページで\special{pdf:mapfile folarrow.map}を出す。dvips で使うときは updmap で folarrow.map を登録する。

Type 1 の矢印のフォントは元の記号フォントから作成した。元のフォントのライセンスを引き継ぐ: Computer Modern 由来のものは SIL Open Font License 1.1 (予約フォント名を避けて folcm, FolArrow-CM と名付けた), Latin Modern 由来のものは GUST Font License, txfonts, pxfonts, newtx, newpx 由来のものは GPL (フォントの例外付き) である。

## 6.2 ボールド

\boldmath (\mathversion{bold}) や bm の\bm で数式をボールドにすると、矢印は太字の記号フォントで生まれ、3 本線もそれに追従する。

- Type 1 の数式フォント (Computer Modern, Latin Modern, newtx, txfonts, newpx, pxfonts): 本文用の矢印は太字の記号フォントから作った矢印のフォント (上の表のボールドの行) で組み、縦向きも太字になる。伸びる矢印と図式の矢印の 3 本線は、太字の記号フォントの実測データから長さと太さを決める。
- amscd の縦向きの矢印は大きな区切り記号で組むので、大きな区切り記号のフォントにボールドがあれば (newtx, txfonts, newpx, pxfonts) 太字になる。Computer Modern と Latin Modern の cmex10, lmx10 にはボールドがないので、縦向きの矢印はボールドでも太くならない (L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X の通常の\Big\downarrow と同じ)。3 本線はその矢印に合わせる。
- unicode-math: 太字の数式フォントを\setmathfont{NewCMMath-Bold.otf}[version=bold] のように指定すると、\boldmath でそのフォントに切り替わる。本文用の矢印は太字のフォント

に対応する OTF（6.1 節の表の Bold など）で組み、描く矢印の 3 本線は太字のフォントのグリフから求める。KpMath Bold, Erewhon Math Bold など、↓に伸縮の情報がないフォントでは、amscd の縦向きの矢印は短い字形のままになる（通常の@VVV と同じ）。

- New Computer Modern Math Bold は、↓の伸縮の部品の寸法が壊れていて、XeLaTeX では大きな区切り記号の↓（\Big\downarrow など）を組もうとして止まらなくなる（folarrow を使わなくても起きる）。そこで XeLaTeX のときだけ、描いて組む縦向きの矢印（amscd の@FVVV, @FAAA など）を、Pennstander Math と同じく横向きの矢印を回したもので組む。
- 簡易版（lite）では実測データを使わないので、ボールドでは 3 本線の長さや太さが推定値になる。

Computer Modern, Latin Modern, newtx, txfonts, newpx, pxfonts のボールドを\boldmath で組んで測ると、矢頭の幅と軸の太さの計算値と実測値の比は、pdfLaTeX と upLaTeX のすべての大きさ・スタイルで 0.99～1.01 だった。3 本線の中央からのずれは、伸びる矢印（pxfonts のボールドで最大 0.17 pt。8 節の\cleaders の制限）を除いて 0.07 pt 以下だった。

## 7 斜線の形の調整

パッケージオプションか\folarrowsetup で変える。 \folarrowsetup はグループの中で使えばその範囲だけに効く。

```
\usepackage[gap=0.45]{folarrow}
\folarrowsetup{span=1.2, thickness=0.5pt}
```

| キー                     | 既定値   | 意味                                |
|------------------------|-------|-----------------------------------|
| <code>span</code>      | 1.0   | 斜線の長さ（矢頭の幅に対する比。0 より大きく 10 以下）    |
| <code>lean</code>      | 0.25  | 斜線の傾き（長さに対する、矢印方向へのずれの比。-5～5）     |
| <code>gap</code>       | 0.35  | 斜線の間隔（矢頭の幅に対する比。0～10）             |
| <code>shift</code>     | 0     | 矢印の中央から根元側へずらす量（矢頭の幅に対する比。-10～10） |
| <code>thickness</code> | (空)   | 線の太さ（0 以上の長さ）。空なら矢印の軸の太さ（8 節）     |
| <code>glyphs</code>    | true  | 本文用の矢印に矢印のフォントを使うか（6.1 節）         |
| <code>lite</code>      | false | 簡易版にする（読み込み時だけ。2.1 節）             |

例 次は`\folarrowsetup`を使う文書の例である．`\documentclass` から`\end{document}`までをそのまま写して組める（`full-examples/ex-setup.tex`．結果はこの例を実際に組んだもの）．

```
\documentclass{article}
\usepackage{amscd}
\usepackage{tikz-cd}
\usepackage{folarrow}
\folarrowsetup{gap=0.45} % 文書全体：斜線の間隔を少し広げる
\begin{document}
\[
\begin{CD} E @>{\pi}>> M \end{CD}
\qquad
{\folarrowsetup{span=1.5, lean=0.5} % このグループの中だけ
\begin{CD} E @>{\pi}>> M \end{CD}}
\qquad
{\folarrowsetup{thickness=0.8pt}
\begin{tikzcd} E \arrow[d, foliated, "\pi"] @>> M \end{tikzcd}}
\qquad
\begin{CD} E @>{\pi}>> M \end{CD}
\]
$E \rightarrowtail M$,
{\folarrowsetup{shift=0.5}$E \rightarrowtail M$,
$E \rightarrowtail M$
\end{document}
```

結果：

$$\begin{array}{cccc}
 E & E & E & E \\
 \downarrow \pi & \downarrow \pi & \downarrow \pi & \downarrow \pi \\
 M & M & M & M \\
 E \rightarrowtail M, E \rightarrowtail M, E \rightarrowtail M
 \end{array}$$

プリアンプルの`\folarrowsetup{gap=0.45}`は文書全体に効く．グループ（`{ }`と`{ }`）の中で使った`\folarrowsetup`はそのグループの中だけに効き，グループを出ると文書全体の設定に戻る．図式は左から，文書全体の設定（`gap=0.45`），それに加えて `span=1.5`, `lean=0.5`, `thickness=0.8pt`（`tikz-cd`），文書全体の設定に戻ったもの．本文の数式は左から，文書全体の設定，それに加えて `shift=0.5`（3本線を矢印の根元の側へずらす），文書全体の設定に戻ったもの．形のキーが既定値でないので，この例の本文用の矢印は，6.1節の矢印のフォントではなく，矢印に3本線を描いて組まれる．

斜線の大きさの基準になる矢頭の幅と，線の太さの決め方は8節で述べる．`tikz-cd`では，`thickness`が空なら矢印の軸と同じ太さで描く．

斜線の向きは「`\pm lean \times` 矢印の向き + 法線」の2通りのうち，右上がりになるほうを選ぶ．横向きの矢印では立った「`///`」，縦向きの矢印では右上がりのほぼ水平な3本になる．

## 8 矢頭の幅と線の太さ

斜線の長さ・間隔は矢頭の幅を、線の太さは矢印の軸の太さを基準にする。これらはフォントによって大きく異なり（同じ 10pt でも矢頭の幅は 2.4pt から 5.6pt まである）、フォントの寸法情報（TFM や `\fontdimen`）からは正しく求められないことが多い。そこで、その場で使われている矢印のフォントについて、次の順に求める。

1. **Lua $\text{\LaTeX}$  + OpenType の数式フォント**：矢印の箱の中のグリフの外接矩形をフォントから直接読み、矢頭の幅とする。線の太さは同じフォントのマイナス記号（U+2212）の高さとする。添字の大きさで使われる添字用の字形（OpenType の `ssty`）や、`\Big` の大きい字形も読む（`folarrow.lua`）。
2. **Xe $\text{\LaTeX}$  + OpenType の数式フォント**：`\XeTeXglyphbounds` でグリフの外接矩形を読む。添字用の字形と `\Big` の大きい字形は読めないので、元の字形の値になる。
3. **Type 1 の数式フォント**（pdf $\text{\LaTeX}$ , up $\text{\LaTeX}$ , Lua $\text{\LaTeX}$ ）：実測データ（`folarrow-fonts.def`）を引く。矢印の文字を持つフォントは、`\rightarrow` の数式文字コードと `\downarrow` の区切り記号コードから求める（`drm` や `euler` のように、矢印を記号フォント以外から取るパッケージがあるため）。データはフォント名（`\fontname` の基本部分）ごとに、矢頭の幅と軸の太さの `quad` に対する比を持つ。`cmsy7` と `cmsy10` のように光学サイズで形が違うものは、それぞれの名前で持つ。
4. **どれにも当たらないとき**：`\rightarrow` の箱の高さと数式の軸の高さ、数式拡張フォントの罫線の太さから推定する。極端な値にならないよう、`quad` に対する比を制限する。

マイナス記号の太さが矢印の軸と異なる OpenType フォント（Asana Math, GFS Neohellenic Math, Minion Math の `\Big` の字形, KpMath の `\Big` の字形）には、実測による補正を掛ける。

### 8.1 3 本線の位置

3 本線は矢印の字面の中心（軸の上の、矢印の長さの中央）に置く。矢印の箱の中心と字面の中心は一致しないことが多い（`\foldownarrow`, `\foluparrow` の土台や `\longrightarrow` では、矢頭の側へ 0.1~0.7pt ほどずれ、書体によっては軸に直交する方向にも 0.1~0.3pt ずれる）。左向きの矢印は右向きの矢印を左右反転した形とは限らないので、ずれ方も右向きと同じではない。そこで、8 種類の矢印（`\longrightarrow`, `\longleftarrow`, 右向き・左向きの伸びる矢印, `\Big` の下向き・上向き, `\foldownarrow`・`\foluparrow` の土台）のそれぞれについて、矢印の向きと直交方向の 2 方向で箱の中心と字面の中心の差を実測データに持ち、3 本線をその分だけ動かす。Lua $\text{\LaTeX}$  と Xe $\text{\LaTeX}$  では、横向きの矢印の 3 本線の高さを、グリフの外接矩形から求めた矢頭の下上の中心にする。

`\foldownarrow`, `\foluparrow` の土台は、記号フォントの `quad` の 1.25 倍の高さの区切り記号で組む。`\right.` が足す空の区切り記号の幅（`\nulldelimiterspace`）は 0 にし、区切り記号の

字形の選び方が文字の大きさや本文のフォントによらないよう、`\delimiterfactor` を 1000, `\delimitershortfall` を 0 にする.

伸びる矢印 (`amscd` の横矢印, `\xrightarrow`) では、軸をつなぐ `\cleaders` の割り付けが矢印の長さによって変わるため、書体によっては 0.1 pt ほどのずれが残る (STIX で 0.14 pt, `pxfonts` のボールドで 0.17 pt).

6.1 節の矢印のフォントでは、3 本線を字形の輪郭から求めた字面の中央に置いて字形にしている. 10 pt の Computer Modern, `newtxmath`, `newpxmath`, `txfonts` の 4 方向の矢印を 2400 dpi で画像にして測ると、矢印の向きと直交方向のどちらでも、中央からのずれは 0.015 pt 以下 (画素の半分) だった. OpenType の数式フォント用の OTF では、XITS Math Bold 以外の 48 書体を Lua $\text{\LaTeX}$  と Xe $\text{\LaTeX}$  で組み、4 方向の矢印を同じように測った. 直交方向のずれは全書体で 0.03 pt 以下、矢印の向きのずれは、Pennstander Math の 9 つと Luciole Math Bold を除いて 0.03 pt 以下だった. この 10 書体は矢頭の返しが長く後ろへ伸びていて、画像での測り方 (矢印の長さの 25~75% の範囲で 3 本線を探す) に矢頭が入り込むため、画像では測れない. そこで、全書体の字形について、字形から元の矢印を差し引いて 3 本線だけを取り出し、その中心を輪郭の座標で比べたところ、ずれは 0.0002 em 以下 (座標を整数に丸めた誤差) だった.

Pennstander Math の太いウェイト (Bold 以上) では、軸の太さが 3 本線の間隔とほぼ同じになるので、3 本線がつながって見える (形の規則どおりの結果である). Luciole Math は Lua $\text{\LaTeX}$  で、 $\uparrow$  の伸びる区切り記号が「Extensible recipe has no fixed parts」のエラーになる (フォントの問題で、`\follarow` を使わなくても起きる). OTF の字形で組む場合はこの区切り記号を使わないので影響しないが、`glyphs=false` などで描く場合 (つねに描く簡易版 `lite` を含む) の `\foluparrow` はこのエラーになる.

## 8.2 3 本線の端の形

3 本線の端は、矢印の尻 (軸の端) の形に合わせる. 尻が丸い矢印では丸い端、そうでない矢印では切りっぱなしにする. 丸い端は線の太さの半分だけ外にはみ出すので、見た目の長さがそろおうよう、そのぶん短く引く.

- `amscd`, 本文の数式: 実際に使う矢印の組み方 (`\longrightarrow`, 伸びる矢印, `\Big\downarrow`, `\foldownarrow` の土台) ごとに、尻の形を実測データに持つ. たとえば Computer Modern では、横向きは矢印の尻が丸く (`\relbar` の端が丸い), `\Big\downarrow` は上端が平らなので、横向きは丸い端、縦向きは切りっぱなしになる. OpenType の数式フォントはフォント名で表を引く (Latin Modern Math, New Computer Modern Math は丸, ほかは切りっぱなし). 表にないフォントでは切りっぱなしにする.
- `xy-pic`: `xy-pic` の線の端は丸いので、丸い端にする.
- `tikz-cd`: 矢印の線の端の設定 (`line cap`) をそのまま使う. `tikz-cd` の既定は切りっぱなしである.

### 8.3 検証

L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X Font Catalogue の「Fonts with Math Support」(<https://tug.org/FontCatalogue/mathfonts.html>) の全書体 (68) と, OpenType の数式フォント (Latin Modern Math, New Computer Modern Math, STIX Two Math, T<sub>E</sub>X Gyre Terms / Pagella / Bonum / Schola / DejaVu Math, Libertinus Math, Fira Math, XITS Math, Asana Math, Erewhon Math, KpMath, GFS Neohellenic Math, Minion Math), および Computer Modern, Latin Modern, newtx, txfonts, newpx, pxfonts のボールド (`\boldmath`) について, 矢印を実際に組んで 2400 dpi の画像にし, 字面の範囲を測って `folarrow` の計算値と比べた. 大きさは 10 pt, 10.95 pt, 12 pt, スタイルは本文・添字・添字の添字, 縦向きは `\Big\downarrow` と `\foldownarrow` の土台である. エンジン は Type 1 系を pdfL<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X と upL<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X, OpenType 系を LuaL<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X と XeL<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X で組んだ.

次の表は計算値と実測値のずれの最大 (%) で, 3% を超えるものを太字にした. 「中心」の欄は, 3 本線の中心と矢印の字面の中心のずれの最大 (pt, 矢印の向きと直交方向, 8 種類の矢印のすべての大きさにわたる) で, 0.05 pt を超えるものを太字にした. 「端」の欄は, 実測した矢印の尻の形 (丸か平らか) と `folarrow` が選ぶ 3 本線の端の形が, 4 種類の矢印 (`\longrightarrow`, 伸びる矢印, `\Big\downarrow`, `\foldownarrow` の土台) のすべてで一致すれば○とした. 3% を超えるのは次のものだけである.

- **PK フォント** (boisik, Computer Concrete, drm) : METAFONT のビットマップフォントで, ドットの段差 (600 dpi で 0.12 pt) がそのまま寸法の誤差になる. フォント自体の性質である.
- **添字用字形** (XeL<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X の STIX Two Math, Erewhon Math) : XeT<sub>E</sub>X では添字用の字形を読めないため, 添字の大きさで最大 20% ずれる. LuaL<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X では正しく求まる.
- **未インストール** : URW Garamond (mathdesign) と `garamondx` は非フリーのフォントで, 検証した環境 (T<sub>E</sub>X Live 2026) に入っていないため確認していない.

表とデータは, 矢印を実際に組んで測った結果から作成した.

| 書体 (設定)                       | エンジン | 横向き |    | 縦向き |    | 中心<br>pt    | 端 | 備考 |
|-------------------------------|------|-----|----|-----|----|-------------|---|----|
|                               |      | 幅   | 太さ | 幅   | 太さ |             |   |    |
| antykwaterunska               | pdf  | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.05        | ○ |    |
| antykwaterunska               | up   | 1   | 0  | 0   | 0  | <b>0.06</b> | ○ |    |
| antykwaterunskacondensed      | pdf  | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| antykwaterunskacondensed      | up   | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| antykwaterunskalight          | pdf  | 1   | 0  | 0   | 0  | <b>0.07</b> | ○ |    |
| antykwaterunskalight          | up   | 1   | 0  | 0   | 0  | <b>0.07</b> | ○ |    |
| antykwaterunskalightcondensed | pdf  | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| antykwaterunskalightcondensed | up   | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.03        | ○ |    |
| arev                          | pdf  | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.03        | ○ |    |
| arev                          | up   | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.05        | ○ |    |
| Asana-Math.otf                | Lua  | 1   | 0  | 1   | 0  | 0.03        | ○ |    |
| Asana-Math.otf                | Xe   | 1   | 0  | 1   | 0  | 0.03        | ○ |    |

| 書体 (設定)                       | エンジン | 横向き       |           | 縦向き |          | 中心<br>pt    | 端 | 備考      |
|-------------------------------|------|-----------|-----------|-----|----------|-------------|---|---------|
|                               |      | 幅         | 太さ        | 幅   | 太さ       |             |   |         |
| asanamath                     | Lua  | 1         | 0         | 1   | 0        | 0.03        | ○ |         |
| baskervaldx                   | pdf  | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.02        | ○ |         |
| baskervaldx                   | up   | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.02        | ○ |         |
| baskervillef                  | pdf  | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.02        | ○ |         |
| baskervillef                  | up   | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.02        | ○ |         |
| boisik                        | pdf  | <b>12</b> | <b>27</b> | 0   | 0        | <b>0.20</b> | ○ | PK フォント |
| boisik                        | up   | <b>12</b> | <b>27</b> | 0   | 0        | <b>0.29</b> | ○ | PK フォント |
| charterbt                     | pdf  | 2         | 0         | 0   | 0        | 0.02        | ○ |         |
| charterbt                     | up   | 2         | 0         | 0   | 0        | <b>0.05</b> | ○ |         |
| cochineal                     | pdf  | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.02        | ○ |         |
| computerconcrete              | pdf  | 1         | <b>10</b> | 0   | 0        | 0.05        | ○ | PK フォント |
| computerconcrete              | up   | 1         | <b>10</b> | 0   | 0        | <b>0.14</b> | ○ | PK フォント |
| computerconcreteeuler         | pdf  | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.03        | ○ |         |
| computerconcreteeuler         | up   | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.04        | ○ |         |
| computermodern                | pdf  | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.03        | ○ |         |
| computermodern                | up   | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.04        | ○ |         |
| computermodern-bold           | pdf  | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.03        | ○ |         |
| computermodern-bold           | up   | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.03        | ○ |         |
| computermodernbright          | pdf  | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.02        | ○ |         |
| computermodernbright          | up   | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.03        | ○ |         |
| domitian                      | pdf  | 1         | 0         | 0   | 0        | 0.02        | ○ |         |
| domitian                      | up   | 1         | 0         | 0   | 0        | 0.04        | ○ |         |
| drm                           | pdf  | <b>3</b>  | <b>13</b> | 0   | <b>6</b> | <b>0.47</b> | ○ | PK フォント |
| drm                           | up   | 0         | <b>5</b>  | 0   | <b>6</b> | <b>0.47</b> | ○ | PK フォント |
| ebgaramond                    | pdf  | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.02        | ○ |         |
| ebgaramond                    | up   | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.02        | ○ |         |
| erewhon                       | pdf  | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.02        | ○ |         |
| erewhon                       | up   | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.02        | ○ |         |
| erewhon-math                  | Lua  | 2         | 0         | 1   | 0        | 0.03        | ○ |         |
| Erewhon-Math.otf              | Lua  | 2         | 0         | 1   | 0        | 0.03        | ○ |         |
| Erewhon-Math.otf              | Xe   | <b>6</b>  | <b>18</b> | 1   | 0        | 0.03        | ○ | 添字用字形   |
| eulervm                       | pdf  | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.02        | ○ |         |
| europeancomputerconcrete      | pdf  | 1         | <b>10</b> | 0   | 0        | 0.05        | ○ | PK フォント |
| europeancomputerconcrete      | up   | 1         | <b>10</b> | 0   | 0        | <b>0.14</b> | ○ | PK フォント |
| europeancomputerconcreteeuler | pdf  | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.03        | ○ |         |
| europeancomputerconcreteeuler | up   | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.04        | ○ |         |
| europeancomputermodern        | pdf  | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.03        | ○ |         |
| europeancomputermodern        | up   | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.04        | ○ |         |
| europeancomputermodernbright  | pdf  | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.02        | ○ |         |
| europeancomputermodernbright  | up   | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.03        | ○ |         |
| Fira Math                     | Lua  | 2         | 0         | 1   | 0        | 0.02        | ○ |         |
| FiraMath-Regular.otf          | Lua  | 2         | 0         | 1   | 0        | 0.02        | ○ |         |
| FiraMath-Regular.otf          | Xe   | 2         | 0         | 1   | 0        | 0.02        | ○ |         |
| firasansmath                  | Lua  | 2         | 0         | 1   | 0        | 0.02        | ○ |         |
| firasansnewtxsf               | pdf  | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.02        | ○ |         |
| firasansnewtxsf               | up   | 0         | 0         | 0   | 0        | 0.02        | ○ |         |

| 書体 (設定)                  | エンジン | 横向き |    | 縦向き |    | 中心   | 端 | 備考      |
|--------------------------|------|-----|----|-----|----|------|---|---------|
|                          |      | 幅   | 太さ | 幅   | 太さ | pt   |   |         |
| fourier-only             | pdf  | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.04 | ○ |         |
| garamond                 | pdf  | –   | –  | –   | –  | –    | – | 未インストール |
| garamond                 | up   | –   | –  | –   | –  | –    | ○ | 未インストール |
| garamondexpertmathdesign | pdf  | –   | –  | –   | –  | –    | – | 未インストール |
| garamondexpertmathdesign | up   | –   | –  | –   | –  | –    | – | 未インストール |
| garamondexpertnewtxmath  | pdf  | –   | –  | –   | –  | –    | – | 未インストール |
| garamondexpertnewtxmath  | up   | –   | –  | –   | –  | –    | – | 未インストール |
| gfsartemis               | pdf  | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.03 | ○ |         |
| gfsartemis               | up   | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.02 | ○ |         |
| gfsartemisaeuler         | pdf  | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.03 | ○ |         |
| gfsartemisaeuler         | up   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.04 | ○ |         |
| gfsneohellenic           | pdf  | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.03 | ○ |         |
| gfsneohellenic           | up   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.04 | ○ |         |
| gfsneohellenicmath       | Lua  | 1   | 2  | 1   | 0  | 0.04 | ○ |         |
| GFSNeohellenicMath.otf   | Lua  | 1   | 2  | 1   | 0  | 0.03 | ○ |         |
| GFSNeohellenicMath.otf   | Xe   | 1   | 2  | 1   | 0  | 0.03 | ○ |         |
| heuristica               | pdf  | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.02 | ○ |         |
| heuristica               | up   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.02 | ○ |         |
| iwona                    | pdf  | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.03 | ○ |         |
| iwona                    | up   | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.03 | ○ |         |
| iwonacondensed           | pdf  | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.03 | ○ |         |
| iwonacondensed           | up   | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.02 | ○ |         |
| iwonalight               | pdf  | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.02 | ○ |         |
| iwonalight               | up   | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.02 | ○ |         |
| iwonalightcondensed      | pdf  | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.02 | ○ |         |
| iwonalightcondensed      | up   | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.02 | ○ |         |
| kerkis                   | pdf  | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.03 | ○ |         |
| kerkis                   | up   | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.02 | ○ |         |
| KpMath-Regular.otf       | Lua  | 2   | 0  | 1   | 1  | 0.02 | ○ |         |
| KpMath-Regular.otf       | Xe   | 2   | 0  | 0   | 1  | 0.02 | ○ |         |
| kpsansserif              | pdf  | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.04 | ○ |         |
| kpsansserif              | up   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.05 | ○ |         |
| kpserif                  | pdf  | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.04 | ○ |         |
| kpserif                  | up   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.05 | ○ |         |
| kurier                   | pdf  | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.03 | ○ |         |
| kurier                   | up   | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.03 | ○ |         |
| kuriercondensed          | pdf  | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.03 | ○ |         |
| kuriercondensed          | up   | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.02 | ○ |         |
| kurierlight              | pdf  | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.02 | ○ |         |
| kurierlight              | up   | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.02 | ○ |         |
| kurierlightcondensed     | pdf  | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.02 | ○ |         |
| kurierlightcondensed     | up   | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.02 | ○ |         |
| Latin Modern Math        | Lua  | 1   | 0  | 1   | 0  | 0.02 | ○ |         |
| latinmodern-math.otf     | Lua  | 1   | 0  | 1   | 0  | 0.02 | ○ |         |
| latinmodern-math.otf     | Lua  | 1   | 0  | 1   | 0  | 0.02 | ○ |         |
| latinmodern-math.otf     | Xe   | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.02 | ○ |         |

| 書体 (設定)                    | エンジン | 横向き |    | 縦向き |    | 中心          | 端 | 備考 |
|----------------------------|------|-----|----|-----|----|-------------|---|----|
|                            |      | 幅   | 太さ | 幅   | 太さ | pt          |   |    |
| latinmodernroman           | pdf  | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.03        | ○ |    |
| latinmodernroman           | up   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| latinmodernroman-bold      | pdf  | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| latinmodernroman-bold      | up   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.03        | ○ |    |
| Libertinus Math            | Lua  | 1   | 0  | 1   | 0  | 0.01        | ○ |    |
| LibertinusMath-Regular.otf | Lua  | 1   | 0  | 1   | 0  | 0.01        | ○ |    |
| LibertinusMath-Regular.otf | Xe   | 1   | 0  | 1   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| libertinusserif            | pdf  | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.03        | ○ |    |
| libertinusserif            | up   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.04        | ○ |    |
| linuxlibertine             | pdf  | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| linuxlibertine             | up   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| lxfonts                    | pdf  | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| lxfonts                    | up   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.03        | ○ |    |
| Minion Math                | Lua  | 1   | 0  | 1   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| Minion Math                | Lua  | 1   | 0  | 1   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| Minion Math                | Xe   | 1   | 0  | 1   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| mlmodern                   | pdf  | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.03        | ○ |    |
| mlmodern                   | up   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.04        | ○ |    |
| NewCMMath-Regular.otf      | Lua  | 1   | 0  | 1   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| NewCMMath-Regular.otf      | Xe   | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| newcomputermodernroman     | Lua  | 1   | 0  | 1   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| newpx                      | pdf  | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.03        | ○ |    |
| newpx                      | up   | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.03        | ○ |    |
| newpx-bold                 | pdf  | 1   | 0  | 0   | 0  | <b>0.07</b> | ○ |    |
| newpx-bold                 | up   | 1   | 0  | 0   | 0  | <b>0.07</b> | ○ |    |
| newpxeuler                 | pdf  | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.03        | ○ |    |
| newpxeuler                 | up   | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.03        | ○ |    |
| newtx                      | pdf  | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| newtx                      | up   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| newtx-bold                 | pdf  | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.04        | ○ |    |
| newtx-bold                 | up   | 0   | 0  | 0   | 0  | <b>0.06</b> | ○ |    |
| newtxsf                    | pdf  | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| notoserif                  | pdf  | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| notoserif                  | up   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| pxfonts                    | pdf  | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| pxfonts                    | up   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| pxfonts-bold               | pdf  | 1   | 0  | 0   | 0  | <b>0.17</b> | ○ |    |
| pxfonts-bold               | up   | 1   | 0  | 0   | 0  | <b>0.09</b> | ○ |    |
| sansmathfonts              | pdf  | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| sansmathfonts              | up   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| scholax                    | pdf  | 1   | 0  | 1   | 0  | 0.04        | ○ |    |
| scholax                    | up   | 1   | 0  | 1   | 0  | 0.03        | ○ |    |
| step                       | pdf  | 1   | 0  | 0   | 0  | <b>0.14</b> | ○ |    |
| step                       | up   | 1   | 0  | 0   | 0  | <b>0.14</b> | ○ |    |
| stickstoo                  | pdf  | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.02        | ○ |    |
| stickstoo                  | up   | 1   | 0  | 0   | 0  | 0.02        | ○ |    |

| 書体 (設定)                 | エンジン | 横向き       |           | 縦向き |    | 中心          | 端 | 備考    |
|-------------------------|------|-----------|-----------|-----|----|-------------|---|-------|
|                         |      | 幅         | 太さ        | 幅   | 太さ | pt          |   |       |
| stix                    | pdf  | 1         | 0         | 0   | 0  | <b>0.14</b> | ○ |       |
| stix                    | up   | 1         | 0         | 0   | 0  | <b>0.14</b> | ○ |       |
| STIX Two Math           | Lua  | 1         | 2         | 1   | 1  | 0.02        | ○ |       |
| stix2                   | pdf  | 1         | 0         | 1   | 1  | 0.02        | ○ |       |
| stix2                   | up   | 1         | 0         | 1   | 1  | 0.02        | ○ |       |
| STIXTwoMath-Regular.otf | Lua  | 1         | 2         | 1   | 1  | 0.02        | ○ |       |
| STIXTwoMath-Regular.otf | Xe   | <b>11</b> | <b>20</b> | 1   | 1  | 0.02        | ○ | 添字用字形 |
| TeX Gyre Bonum Math     | Lua  | 2         | 0         | 1   | 0  | 0.02        | ○ |       |
| TeX Gyre DejaVu Math    | Lua  | 0         | 0         | 0   | 0  | <b>0.06</b> | ○ |       |
| TeX Gyre Pagella Math   | Lua  | 1         | 0         | 1   | 0  | <b>0.06</b> | ○ |       |
| TeX Gyre Schola Math    | Lua  | 2         | 0         | 1   | 0  | 0.02        | ○ |       |
| TeX Gyre Terms Math     | Lua  | 1         | 0         | 0   | 0  | 0.03        | ○ |       |
| texgyrebonum-math.otf   | Lua  | 2         | 0         | 1   | 0  | 0.02        | ○ |       |
| texgyrebonum-math.otf   | Xe   | 1         | 0         | 1   | 0  | 0.03        | ○ |       |
| texgyredejavu-math.otf  | Lua  | 0         | 0         | 0   | 0  | <b>0.06</b> | ○ |       |
| texgyredejavu-math.otf  | Xe   | 0         | 0         | 0   | 0  | 0.05        | ○ |       |
| texgyrepagella-math.otf | Lua  | 1         | 0         | 1   | 0  | <b>0.06</b> | ○ |       |
| texgyrepagella-math.otf | Xe   | 1         | 0         | 1   | 0  | <b>0.07</b> | ○ |       |
| texgyreschola-math.otf  | Lua  | 2         | 0         | 1   | 0  | 0.02        | ○ |       |
| texgyreschola-math.otf  | Xe   | 2         | 0         | 1   | 0  | 0.02        | ○ |       |
| texgyreterms-math.otf   | Lua  | 1         | 0         | 0   | 0  | 0.03        | ○ |       |
| texgyreterms-math.otf   | Xe   | 1         | 0         | 0   | 0  | 0.02        | ○ |       |
| txfonts                 | pdf  | 1         | 0         | 0   | 0  | 0.03        | ○ |       |
| txfonts                 | up   | 1         | 0         | 0   | 0  | 0.02        | ○ |       |
| txfonts-bold            | pdf  | 1         | 0         | 0   | 0  | 0.04        | ○ |       |
| txfonts-bold            | up   | 1         | 0         | 0   | 0  | 0.04        | ○ |       |
| urwnimbusroman          | pdf  | 0         | 0         | 0   | 0  | 0.02        | ○ |       |
| urwnimbusroman          | up   | 0         | 0         | 0   | 0  | 0.03        | ○ |       |
| urwpalladio             | pdf  | 1         | 0         | 0   | 0  | 0.02        | ○ |       |
| urwpalladio             | up   | 1         | 0         | 0   | 0  | 0.02        | ○ |       |
| urwschoolbookl          | pdf  | 1         | 0         | 0   | 0  | 0.04        | ○ |       |
| urwschoolbookl          | up   | 1         | 0         | 0   | 0  | <b>0.06</b> | ○ |       |
| utopia-fouriermath      | pdf  | 1         | 0         | 0   | 0  | 0.04        | ○ |       |
| utopia-fouriermath      | up   | 1         | 0         | 0   | 0  | <b>0.06</b> | ○ |       |
| utopia-mathdesign       | pdf  | 2         | 0         | 0   | 0  | 0.02        | ○ |       |
| utopia-mathdesign       | up   | 2         | 0         | 0   | 0  | <b>0.05</b> | ○ |       |
| xits                    | Lua  | 1         | 0         | 1   | 0  | 0.02        | ○ |       |
| XITS Math               | Lua  | 1         | 0         | 1   | 0  | 0.02        | ○ |       |
| XITSMath-Regular.otf    | Lua  | 1         | 0         | 1   | 0  | 0.02        | ○ |       |
| XITSMath-Regular.otf    | Xe   | 1         | 0         | 1   | 1  | 0.02        | ○ |       |

## 9 動作環境

pdf $\LaTeX$ , Lua $\LaTeX$ , up $\LaTeX$  + dvipdfmx, Xe $\LaTeX$  で動作を確認した (T $\TeX$  Live 2025 と 2026).  
La $\TeX$  の 2022-06-01 以降が必要である (`\fpeval` と `\DeclareKeys` を使うため). ただし Te $\TeX$  Live  
2025 と 2026 の Lua $\LaTeX$  では xy-pic 自体が xypdf のエラーで使えない (folarrow とは無関係).

## 10 使うときの注意

- **キーの値**: 数でない値や範囲の外の値 (7 節の表) を与えると, キーの名前と値を示すエラーになり, 前の値のままになる.
- **見出しと目次**: `\section`, `\caption` などの引数でも使える (頑健な命令である). `hyperref` のしおりでは, 本文用の矢印は  $\rightarrow$   $\leftarrow$   $\downarrow$   $\uparrow$  の文字に, 伸びる矢印はラベルを除いた  $\rightarrow$   $\leftarrow$  になる.
- **読み込み順**: `amscd`, `xy-pic`, `tikz-cd`, `unicode-math` は, `folarrow` の前後どちらで読み込んでもよい.
- **dvips**: `dvips` はパッケージからマップファイルを読ませられないので, `folarrow.map` を登録する (`updmap-user --enable Map=folarrow.map`, 一時的には `dvips -u +folarrow.map`). 登録しないと, 本文用の矢印がほかの文字 (Computer Modern では  $\Gamma\Delta\Theta\Lambda$ ) に置き換わる. `dvips` を使う文書では, そのことを知らせる警告を出す. 矢印のフォントを使わないなら `glyphs=false` を指定する.
- **日本語の組版**: p $\LaTeX$ , up $\LaTeX$ , Lua $\TeX$ -ja (`unicode-math` と一緒に使う場合を含む), Xe $\LaTeX$  + xeCJK で使える. p $\TeX$  / up $\TeX$  + dvipdfmx の縦組みでは, 描いて組む 3 本線を縦組みに合わせて回す. 縦組みの中で `tikz-cd` などの図式を組むときは, `\hbox{\yoko ...}` などで横組みの箱に入れる (縦のままの `tikz-cd` は, TikZ 自体が崩れる).
- **babel**: `spanish` では `<` と `>` が能動文字になり, `amscd` そのものが使えなくなる (`folarrow` を使わなくても起きる). `es-noquoting` オプションか `\deactivatequoting` を使えば, `@F>>>` などもある. `german`, `russian` などで `tikz-cd` を使うときは, `\usetikzlibrary{babel}` が要る (`tikz-cd` の制限).
- **色**: `\color` の中の矢印と, `tikz-cd` で色を付けた矢印では, 3 本線も同じ色になる. `xy-pic` の `\ar@{red}` は `|@{fol}` に色を引き継がない (`|@{>}` などと同じ `xy-pic` の仕様) ので, `\ar@[red][r]|*{red}\dir{fol}` のように書く.
- **tikz-cd の線の種類**: `dashed`, `dotted` の矢印でも, 3 本線は実線で描く.
- **大きな文字**: 描いて組む縦向きの矢印と `amscd` の縦向きの矢印は大きな区切り記号で組むので, 大きな文字では `exscale` (`amsmath` が読み込む) がないと矢印が小さいままになる. `amsmath` か `exscale` を読み込むとよい. `amscd` の横向きの矢印は, `\longrightarrow` の長さより短くしない (大きな文字で `\minCDarrowwidth` の 2.5 pc が短すぎて 3 本線が矢頭にかかるのを避ける).

- **短い矢印**：`\minCDarrowwidth`を小さくしたり，`tikz-cd`の`column sep=tiny`，`xy-pic`の`@C=0.5pc`などで矢印をととても短くしたりすると，3本線が矢印からはみ出して見える。
- **タグ付けしたPDF**：`\DocumentMetadata{tagging=on}`などでは，描いた3本線は図ではなく飾り（artifact）として扱う。
- **処理時間**：本文用の矢印をフォントの字形で組む場合（既定）は，`folarrow`を使わない場合とほとんど変わらない。描いて組む場合（`glyphs=false`，`lite`，表にない数式フォント）は，矢印1つにつき十数ミリ秒かかる。

## 11 ライセンスと作者

`folarrow.sty`，`folarrow.lua`，`.def` ファイル，説明書，ツールは，MIT ライセンス（LICENSE）で配布する。矢印のフォント（`fonts/`）は元のフォントから作ったもので，元のフォントのライセンス（SIL Open Font License 1.1，GUST Font License，フォントの例外付きのGNU GPL）を引き継ぐ。フォントごとの元のフォント，元の著作権表示，ライセンスは`licenses/FONTS.md`にあり，ライセンスの本文も`licenses/`に置いた。

作者：木枝祐介