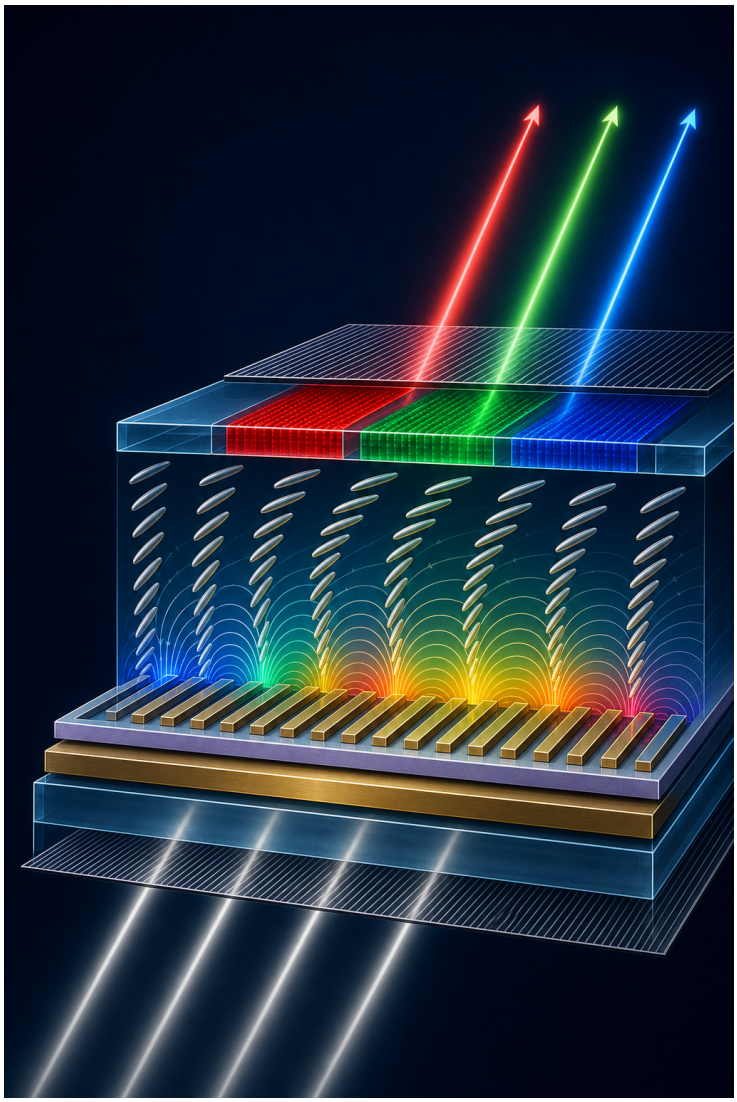
2 次元 FFS 液晶シミュレータ

ユーザーズマニュアル



2D FFS LCD Simulator

2026 年 7 月

このマニュアルについて

本書は，はじめてこのソフトウェアを使う方が**迷わず操作できる**ことを目的とした操作ガイドです．画面の見方，ボタンの押し方，計算の実行，結果の読み方を順を追って説明します．

目次

1 このソフトでできること 2

2 起動のしかた 2

2.1 起動方法 . . . 2

3 画面の構成 2

4 クイックスタート：まずは体験してみよう 3

5 パラメータ入力（タブ別ガイド） 4

5.1 **Cell Design** タブ（セル形状・初期配向・電圧波形） . . . 4

5.2 **Opt. Design** タブ（光学設定） . . . 6

5.3 **Material** タブ（材料定数） . . . 7

5.4 **Solver** タブ（格子・計算条件） . . . 8

6 計算の実行 9

6.1 アプリケーションの終了 . . . 10

7 結果の見方 10

7.1 4 つのグラフ . . . 10

7.2 時刻の切り替えと表示切替 . . . 10

7.3 軸範囲の変更 . . . 11

8 データの書き出し（Export CSV） 11

9 視野角図とコントラスト 11

9.1 視野角図（View angle） . . . 11

9.2 コントラスト視野角（Contrast） . . . 12

10 パラメータの保存と読み込み 12

11 よくある操作フロー（レシピ集） 13

12 トラブルシューティング / FAQ 13

13 付録：ボタン・コントロール早見表 14

1　このソフトでできること

本ソフトは，FFS（フリンジフィールドスイッチング）方式の液晶ディスプレイ画素の**断面（横から見た 2 次元）**をシミュレーションします．画素に電圧をかけたときに，

- 液晶分子の向き（配向）がどう変化するか
- 光がどれだけ透過するか（＝画面がどれだけ明るくなるか）
- 画素の静電容量がどう変わるか
- 斜めから見たときの見え方（視野角特性）

を計算し，グラフで表示します．パラメータ（セル寸法・材料定数・電圧波形など）を画面上で入力し，**[Run]** を押すだけで計算できます．

2　起動のしかた

2.1　起動方法

アプリケーションアイコンをダブルクリックして起動します．ウィンドウが開けば起動成功です．

計算はアプリ内で直接実行されます．初回だけ特別な準備を待つ必要はありません．計算時間は主に格子数，時間ステップ数，収束条件，視野角計算の点数で決まります．

3　画面の構成

ウィンドウは大きく**左右 2 つ**に分かれています．

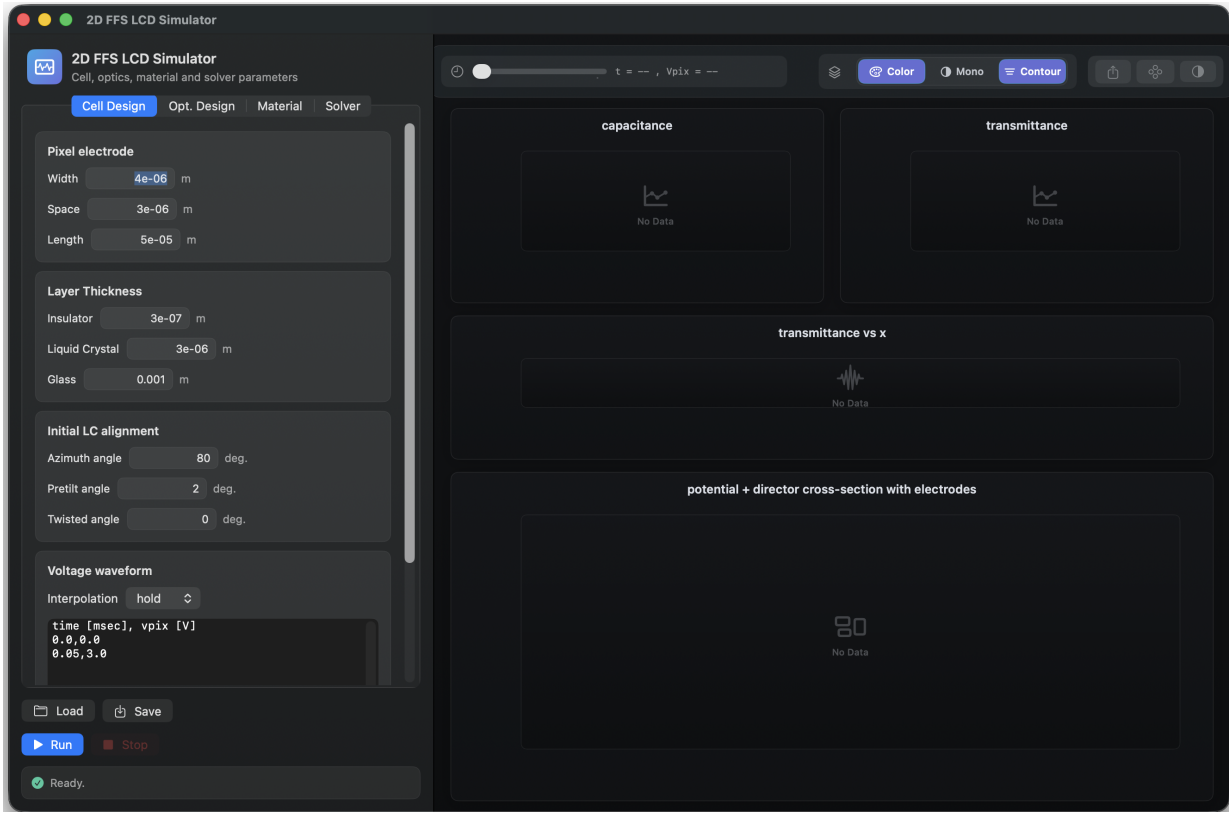


図 1: 起動直後の画面全体．左が入力パネル（タブと各ボタン），右が結果パネル（上部の操作バーと 4 つのグラフ，計算前は空）．

左側：入力パネル	右側：結果パネル
• 4 つの入力タブ（**Cell Design** / **Opt. Design** / **Material** / **Solver**）	• 上部の操作バー（時刻スライダ，電位表示切替，書き出し，視野角）
• **[Load]** / **[Save]**	• 4 つのグラフ（軸目盛り，軸ラベル，現在時刻カーソル）
• **[Run]** / **[STOP]**	• 軸クリックによる表示範囲設定
• ステータス表示（Ready.，Running... など）	

基本の流れは「**左でパラメータを入れる → [Run] で計算 → 右で結果を見る**」の 3 ステップです．

4　クイックスタート：まずは体験してみよう

まずは既定のパラメータのまま，一度計算を実行して結果表示までを体験しましょう．

手順：最初の計算を実行する

1. ソフトを起動する．※ **既定値がすでに入っているので，何も変更しなくて構いません．**
2. 左下の **[Run]** を押す．
3. ステータス表示が Running... から Done: N snapshots に変われば計算完了．
4. 右側に 4 つのグラフが表示される．

5. 右上の **Time** スライダを左右に動かすと，各時刻の断面（液晶配向・電位分布）が切り替わる．

計算が終わるまで **[Run]** は押せない状態（グレー）になり，代わりに **[STOP]** が有効になります．途中でやめたいときは **[STOP]** を押してください．

これで一通りの操作を体験できました．次章から，各パラメータの入力方法をタブごとに説明します．

5　パラメータ入力（タブ別ガイド）

入力欄は関連する項目ごとに**枠（カテゴリ）**と**太字の見出し（サブカテゴリ）**で整理されています．数値入力では，左側に項目名，中央に数値入力欄，右側に単位が表示されます（例：Width の入力欄の右に m）．単位がない無次元量では，右側の単位欄は空欄になります．

5.1　Cell Design タブ（セル形状・初期配向・電圧波形）

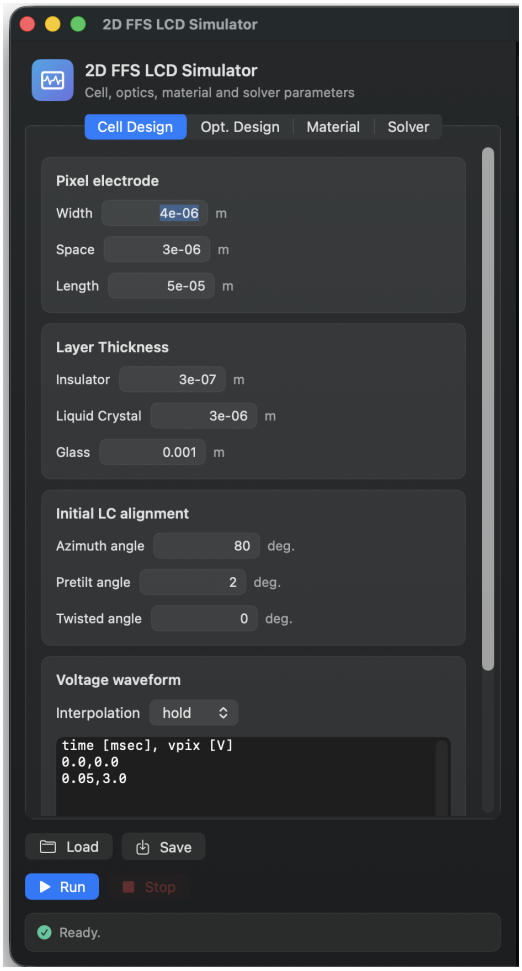


図 2: Cell Design タブ．画素電極・層厚・初期配向・電圧波形エディタを含む．

■Pixel electrode（**画素電極**） Width（電極幅），Space（間隙），Length（画素長）をメートル単位で入力します.

■Layer Thickness（**層の厚さ**） Insulator（絶縁膜），Liquid Crystal（液晶層），Glass（ガラス）の厚さです.

■Initial LC alignment（**初期配向**） Azimuth angle（ラビング方位），Pretilt angle（プレチルト），Twisted angle（ツイスト角）を度単位で入力します.

■Voltage waveform（**電圧波形**） 画素にかける電圧の時間変化を指定する重要な部分です.

項目	説明
Interpolation	補間方法．hold（階段状に保持）か linear（直線補間）を選択.
波形の表	1 行 1 点で「**時刻** [msec], **電圧** [V]」を入力. ヘッダ行 time [msec], vpix [V] はそのまま残す.
[Load CSV] / **[Save CSV]**	波形を CSV ファイルから読み込み／保存.
vcom	共通電極の電圧．右側の単位は V（通常は 0）.
End Time	計算の終了時刻. 右側の単位は msec. 総ステップ数は End Time ÷ Time Step で決まる.

波形の表は直接編集できます. 例えば「0.0, 0.0」と「0.05, 3.0」の 2 行なら，時刻 0 で 0V，0.05ms 以降 3V を意味します（hold の場合）．点を増やせば任意の波形（パルス，ランプ等）を作れます.

5.2 Opt. Design タブ（光学設定）

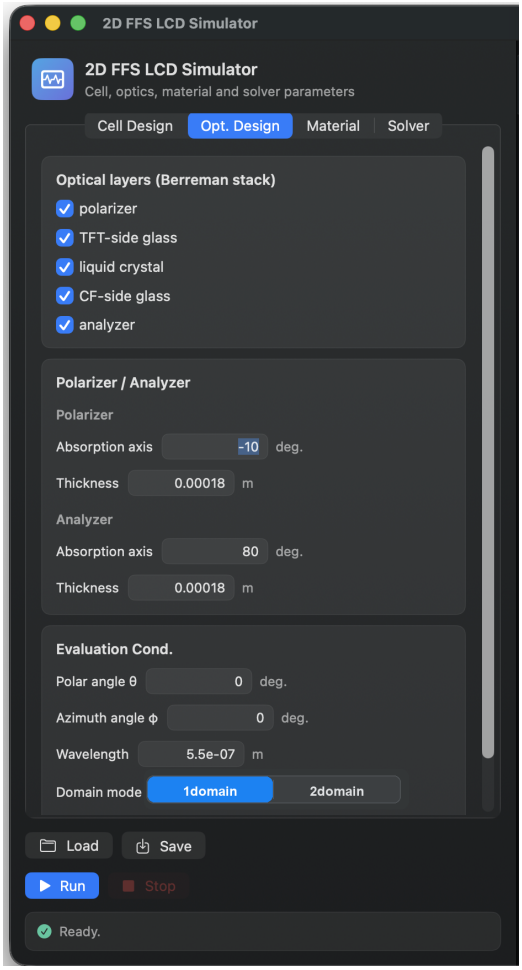


図 3: Opt. Design タブ．光学層の ON/OFF，偏光子・検光子，評価条件．

■Optical layers **（光学層の** ON/OFF**）** 透過率計算に含める層をチェックボックスで選びます（polarizer，TFT-side glass，liquid crystal，CF-side glass，analyzer）．通常はすべてチェックのままで構いません．チェックを外した層は，透過率計算では光学的に存在しない層として扱われます．

■Polarizer / Analyzer **（偏光子・検光子）** それぞれ Absorption axis（吸収軸の方位 [度]）と Thickness（厚さ [m]）を入力します．

> Absorption axis は光を**吸収する**軸の向きです（透過する軸はこれに直交）．偏光子と検光子の吸収軸をほぼ 90° ずらすと「クロスニコル（黒表示が基準）」の標準配置になります．

■Evaluation Cond. **（評価条件）** Polar angle θ・Azimuth angle φ（観測方向），Wavelength（波長 [m]），Domain mode（1domain: 単一ドメイン／2domain: 2 ドメイン平均），Snapshot interval（何ステップごとに結果を保存するか）を設定します．2domain では，FFS 画素で左右対称な視野角特性を得るために，方位が鏡映関係にある 2 つの光学ドメインの透過率を平均します．

Snapshot interval を大きくすると保存されるスナップショット数が減り，計算後に保持される分布データと CSV 書き出し対象が軽くなります（§12 参照）.

5.3 Material タブ（材料定数）

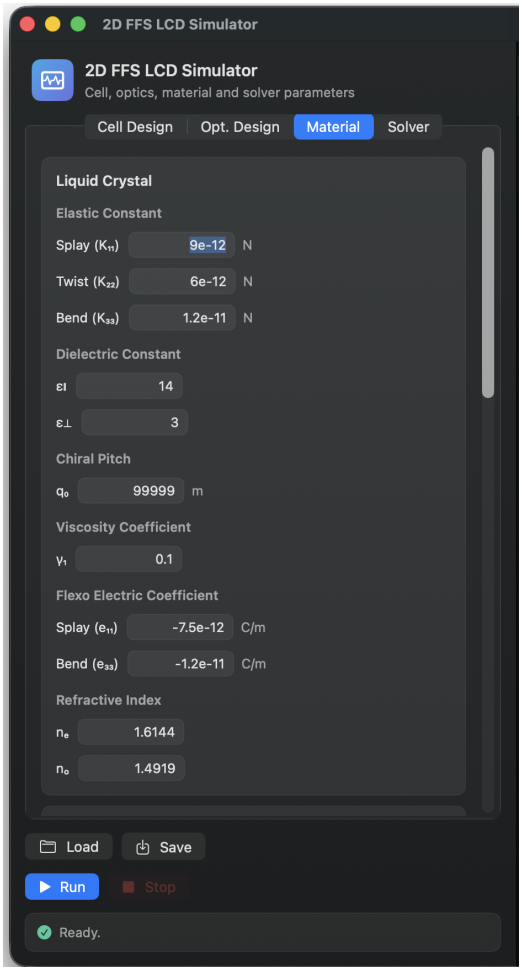


図 4: Material タブ．液晶および各層の材料物性を入力する．

液晶と各層の材料物性を入力します．初めは既定値のままで問題ありません．主な項目：

- **Liquid Crystal**：弾性定数（K_{11}, K_{22}, K_{33}），誘電率（$\varepsilon_{\parallel}, \varepsilon_{\perp}$），カイラルピッチ，粘性 γ_1，フレクソ係数（e_{11}, e_{33}），屈折率（n_e, n_o）.
- **Insulator / CF glass / TFT glass**：誘電率・屈折率.
- **Polarizer / Analyzer / Air**：屈折率（実部・虚部）.

フレクソ係数のうち e_{33}（bend）は，文献によってベンドベクトルの符号規約が異なります．本シミュレータでは $(\nabla \times \mathbf{n}) \times \mathbf{n}$ 規約を用います．文献が $\mathbf{n} \times (\nabla \times \mathbf{n})$ 規約で値を示している場合は，e_{33} の符号を反転して入力してください．また容量表示は，現在の配向を固定した微小信号容量として，3 点法による誘電エネルギー曲率から評価されます．フレクソ効果は電位分布・配向の時間発展を通じて容量に反映されます.

5.4 Solver タブ（格子・計算条件）

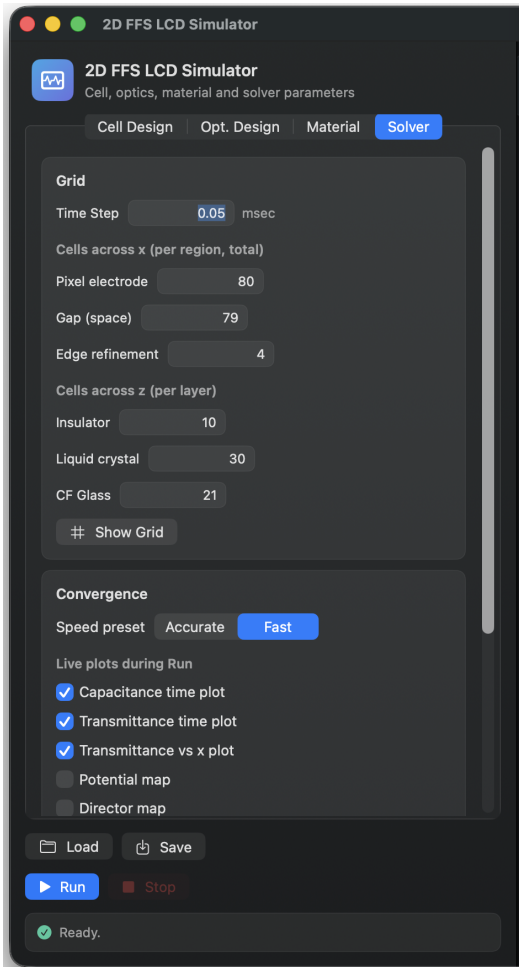


図 5: Solver タブ．時間刻み・格子分割数（**[Show Grid]** を含む）・速度設定・ライブ描画・収束条件．

■Grid（**格子**） Time Step（時間刻み，単位 msec）と，各領域の**セル分割数**を入力します．Pixel electrode ／ Gap（横方向），Insulator ／ Liquid crystal ／ CF Glass（縦方向）．Edge refinement は横方向メッシュの細かさを決める係数です．値を大きくすると，画素電極端とギャップ端の近くがより細かく，電極中央・ギャップ中央がより粗い等比級数メッシュになります．**[Show Grid]** を押すと，現在の格子（メッシュ）と電極位置を図で確認できます．

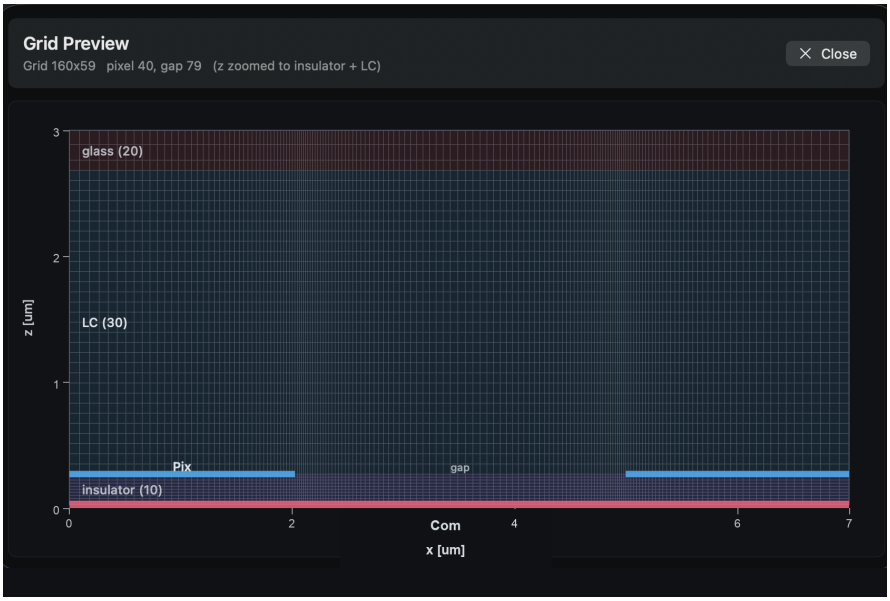


図 6: [Show Grid] の表示例．格子（絶縁膜・LC・ガラス），Com/Pix 電極位置，間隙（gap），x/z 軸の目盛りが確認できる（z は絶縁膜＋ LC 付近を拡大）．

セル分割数は結果の精度と計算時間に直結します．細かくすると精度は上がりますが計算時間とメモリ使用量が増えます．分割が不正（ある領域のセル数が 0 になる等）の場合はエラーになります．まずは既定値のまま使うことを推奨します．

■Convergence（**収束条件**） Speed preset は，精度と速度のバランスを選ぶ設定です．Accurate は検証用の高精度設定，Fast は通常利用向けの既定設定です．日常的な探索では Fast，最終確認や参照計算では Accurate を使います．

Live plots during Run では，計算中に更新するグラフを個別に選べます．容量時系列，透過率時系列，横方向透過率分布，電位マップ，ダイレクタマップをそれぞれ ON/OFF できます．既定では時系列と横方向透過率分布を更新し，比較的重い電位マップとダイレクタマップのライブ表示は OFF です．すべて OFF にすると，計算中の描画負荷を最小にし，結果は計算完了後に表示されます．

Potential relaxation factor（電位の緩和係数），Director relaxation factor（配向の緩和係数），Potential tolerance ／ Director tolerance（許容誤差），Max iterations（連成反復の最大回数），Coupled Poisson sweeps（連成反復 1 回あたりに進める Poisson 掃引数）です．通常は変更不要です．Coupled Poisson sweeps を大きくすると電位の収束は進みやすくなりますが，1 ステップあたりの計算時間は増えます．

6 計算の実行

手順：計算する

1. 必要なパラメータを入力する．
2. 必要に応じて **Solver** の Live plots during Run で，計算中に更新したいグラフを選ぶ．
3. **[Run]** を押すと計算が始まる．
4. ステータス行に Running... が表示される．ライブ描画を有効にしたグラフは計算中にも順次

更新される．

5. 終了すると Done: N snapshots と表示され，右側のグラフと各ボタンが有効になる．

- **[STOP]**：計算を中断します．中断要求が処理されるまで，少し時間がかかることがあります．
- 計算中は **[Run]** が押せません（グレー表示）．

6.1 アプリケーションの終了

macOS では，ウィンドウ左上のバツボタンは主に「ウィンドウを閉じる」操作です．アプリケーションを終了する場合は，メニューバーから 2D FFS LCD Simulator > Quit 2D FFS LCD Simulator を選ぶか，Command-Q を押してください．

7 結果の見方

7.1 4 つのグラフ

右側には次の 4 つのグラフが表示されます．

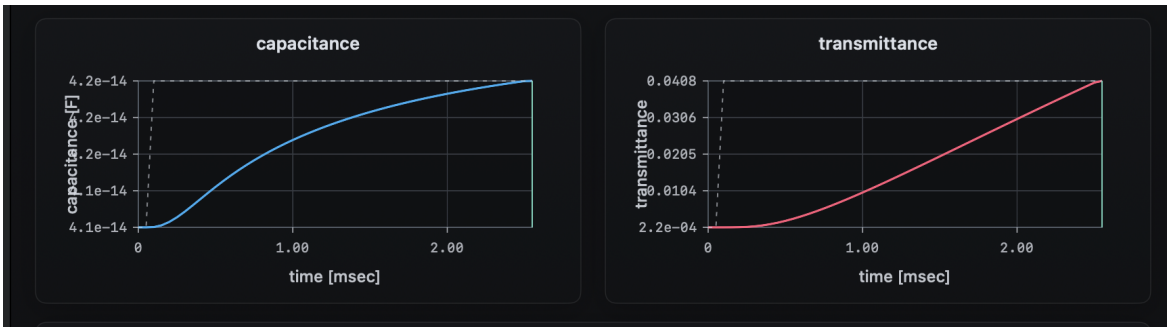


図 7: 結果グラフの表示例．容量・透過率の時間応答を横並びで表示し，各グラフには印加電圧と現在時刻カーソルも重ねて表示される．

グラフ	内容
capacitance	画素容量 [F] の時間変化（右軸に印加電圧 vpix[V]）．
transmittance	透過率の時間変化（右軸に vpix[V]）．明るさの応答．
transmittance vs x	現在時刻での，横位置 $x[\mu\mathrm{m}]$ に対する透過率分布．
potential + director cross-section	現在時刻での断面図．電位分布（カラー／モノクロ／等高線），立体感のある液晶配向（棒），電極位置を重ねて表示．

7.2 時刻の切り替えと表示切替

上部の操作バーで結果の見方を変えられます．

- **Time スライダ**：保存されたスナップショットを時間方向にスクロール．横の表示が t = ... msec, Vpix = ... V と更新される．
- **Potential 表示**：Color と Mono は塗りつぶし表示の切替，Contour は独立した等高線の ON/OFF

です．Color+Contour や Mono+Contour のように重ねて表示でき，等高線は見失いにくい縁取り付きの線で描かれます．等高線ラベルは区切りのよい電圧値で表示されます．

- **右上のアイコンボタン**：共有アイコンは CSV 書き出し，格子状アイコンは視野角図，半円アイコンはコントラスト視野角を開く．マウスを重ねると機能名が表示される．

7.3 軸範囲の変更

容量時系列と透過率時系列では，グラフの**縦軸ラベル付近**をクリックすると Y 軸範囲の設定ウィンドウが開きます．同じグラフの**横軸ラベル付近**をクリックすると，共通の時間軸範囲を設定できます．

- Auto range が ON のときは，表示データに合わせて自動スケールします．
- Auto range を OFF にすると，Minimum と Maximum を手入力できます．

8 データの書き出し（Export CSV）

[Export CSV]（右上の共有アイコン）を押すと，保存先のベース名を選ぶダイアログが出ます．保存すると，ベース名に接尾辞を付けた複数の CSV が出力されます．

出力ファイル	内容
`_series.csv`	全時刻の容量・透過率・電圧の時系列．
`_transprofile.csv`	現在表示中の時刻の透過率分布．
`_director.csv`	現在時刻の配向場（n_x, n_y, n_z）．
`_potential.csv`	現在時刻の電位場 [V]．

「profile / field（分布・場）」系は**現在スライダで表示している時刻**のデータが書き出されます．別の時刻が欲しいときは，先にスライダを合わせてから **[Export CSV]** を押してください．時系列は全時刻が対象です．

9 視野角図とコントラスト

9.1 視野角図（View angle）

[View angle]（右上の格子状アイコン）を押すと，**現在時刻の配向**に対して観測方向 (θ, φ) を掃引し，等透過率の**極座標視野角図**（真円）を描きます．

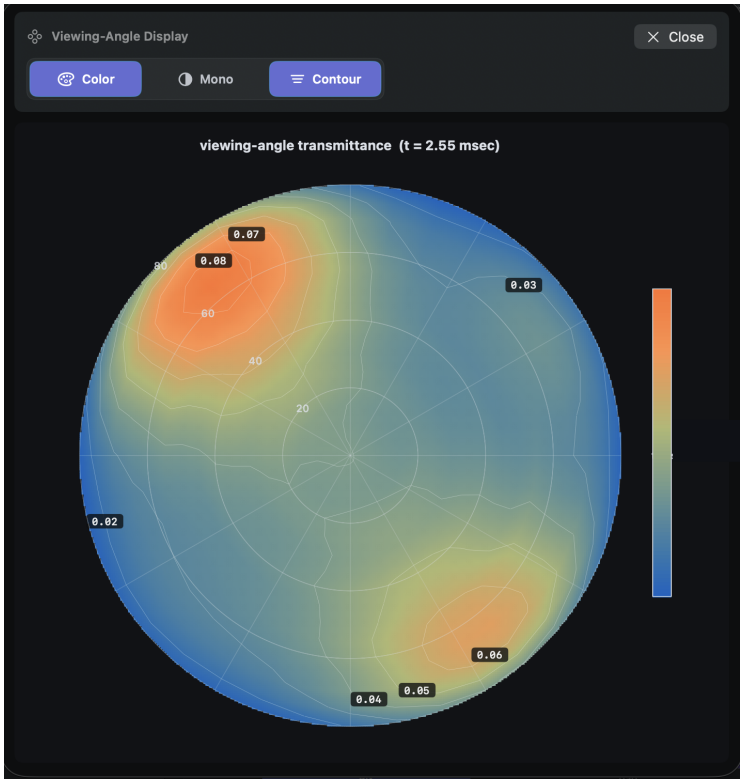


図 8: 視野角図の表示例（半径＝極角 θ，角度＝方位角 φ）．Color/Mono の塗りつぶし表示に，Contour を重ねて表示できる．右側のバーには目盛りが表示され，色または濃淡と数値の対応を確認できる．

手順：視野角図を出す

1. スライダで見たい時刻に合わせる．
2. **[View angle]** を押す．
3. ダイアログで解像度を設定：max polar angle theta（最大極角），theta samples（極角の分割数），azimuth samples（方位角の分割数）．**細かいほど滑らかだが時間がかかる．**
4. **[OK]** で計算開始．進捗が theta ring i/N と表示される．
5. 完了すると視野角図のウィンドウが開く．Color/Mono で塗りつぶしを選び，Contour は独立に ON/OFF できる．等高線には区切りのよい数値ラベルが付き，右側のバーにも目盛りが付く．

9.2 コントラスト視野角（Contrast）

[Contrast]（右上の半円アイコン）は **2 つのスナップショット**（例：明状態と暗状態）の透過率の比（コントラスト比）を視野角図にします．明暗 2 状態のスナップショット番号を指定して計算します．

10 パラメータの保存と読み込み

- **[Save]**：現在の全入力値をファイルに保存します．
- **[Load]**：保存したファイルを読み込み，入力欄を復元します．

macOS のサンドボックス環境に対応しているため，保存・読み込み・CSV 書き出しではユーザーが選択した場所だけを読み書きします．通常の操作では意識する必要はありません．

よく使う条件はファイルに保存しておくと，次回すぐ呼び出せます．設定ファイルの項目名（キー）は固定なので，保存した条件は将来のバージョンでもそのまま読み込め，計算結果の再現性が保たれます．

11 よくある操作フロー（レシピ集）

駆動電圧を変えて明るさ応答を見る

1. **Cell Design** → Voltage waveform の表で電圧値を変更（例：3V → 5V）．
2. **[Run]**．
3. 右の transmittance グラフで立ち上がりの速さ・到達透過率を確認．

暗状態と明状態のコントラスト視野角を得る

1. 電圧 0V を含む波形で **[Run]**．
2. スライダで暗状態（低透過）と明状態（高透過）のスナップショット番号を確認．
3. **[Contrast]** で 2 つの番号を指定して計算．

出力ファイルを軽くする

1. **Opt. Design** → Snapshot interval を大きくする（例：1 → 10）．
2. **[Run]**．保存されるスナップショットが 1/10 になり，分布データと CSV 書き出し対象が軽くなる．

12 トラブルシューティング / FAQ

症状	対処
ウィンドウが開かない	アプリケーションが正しくインストールされているか確認．それでも起動しない場合は，配布元にお問い合わせください．
[Run] や **[View angle]** が遅い	格子数，時間ステップ数，収束条件，視野角の点数を確認してください．まずは Speed preset を Fast にする，Live plots during Run で不要なライブ描画を OFF にする，Snapshot interval を大きくする，視野角点数を減らす，Coupled Poisson sweeps を既定値付近に戻す，といった調整が有効です．

症状	対処
[Export] / **[View angle]** / **[Contrast]** が押せない（グレー）	まだ計算を実行していないためです．先に **[Run]** で計算してください．
Stopped (exit ...) と出た	計算が中断／失敗しています．**[STOP]** を押した場合は正常．それ以外はパラメータ（特に **Solver** の格子）を見直してください．
格子のエラーになる	ある領域のセル数が 0 以下になる設定です．**Solver** の分割数を見直してください（各領域に最低 1 セル必要）．
Export CSV の分布ファイルが非常に大きい	Snapshot interval を大きくするか，End Time を短くしてください．
視野角図が楕円に見える	最新版では常に真円で描画されます．ウィンドウを再表示してください．

13　付録：ボタン・コントロール早見表

場所	コントロール	機能
左パネル	**Cell Design** タブ	セル形状・初期配向・電圧波形
	Opt. Design タブ	光学層・偏光子/検光子・評価条件
	Material タブ	材料定数
	Solver タブ	格子・速度設定・ライブ描画・収束条件（**[Show Grid]** 含む）
	[Load]	保存した設定を読み込む
	[Save]	現在の設定を保存
	[Run]	計算を実行
	[STOP]	計算を中断
右パネル	Time スライダ	時刻（スナップショット）の切替
	Potential 表示	Color/Mono の塗りつぶし切替と Contour 重ね描き
	共有アイコン	結果を CSV で書き出す
	格子状アイコン	視野角図を計算
	半円アイコン	コントラスト視野角を計算
	グラフ軸クリック	X/Y 軸範囲を設定
メニューバー	Quit 2D FFS LCD Simulator / Command-Q	アプリケーションを終了