

チュートリアル_41.01: 焦点領域におけるフェムト秒パルス

フェムト秒パルスの集光

関連チュートリアル: 33.01

関連アプリケーション: 98.01



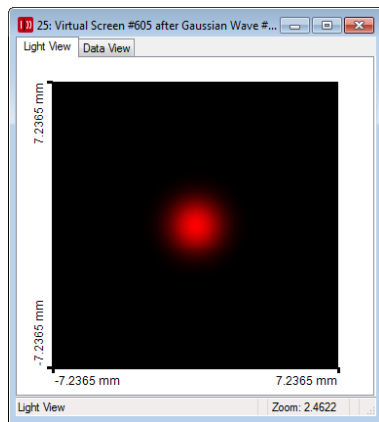
光学系の説明

モデリングされた光学系の説明

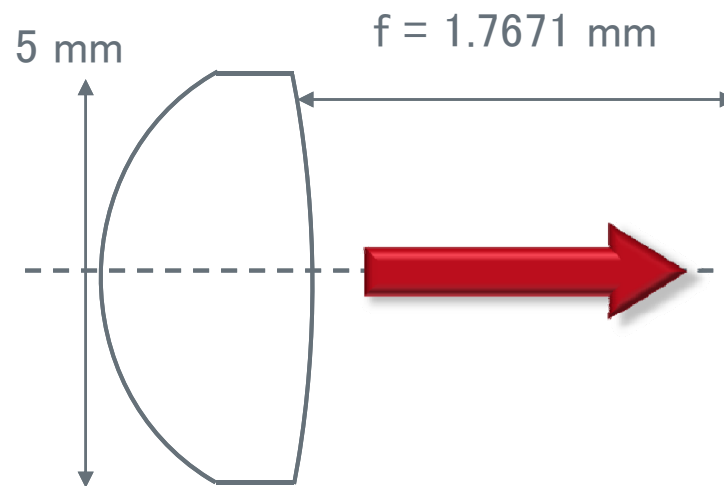
VirtualLab™におけるシミュレーション

- ・ フェムト秒パルスの焦点領域への伝播
- ・ サンプルファイル:
Tutorial_41.01_VLF1_fs-pulse_focal_region.lpd
- ・ 波長800 nmのモノクロマティック光源
- ・ ユーザーによるパルス情報の設定

ハーモニックフィールド素子の設定



Laser beam



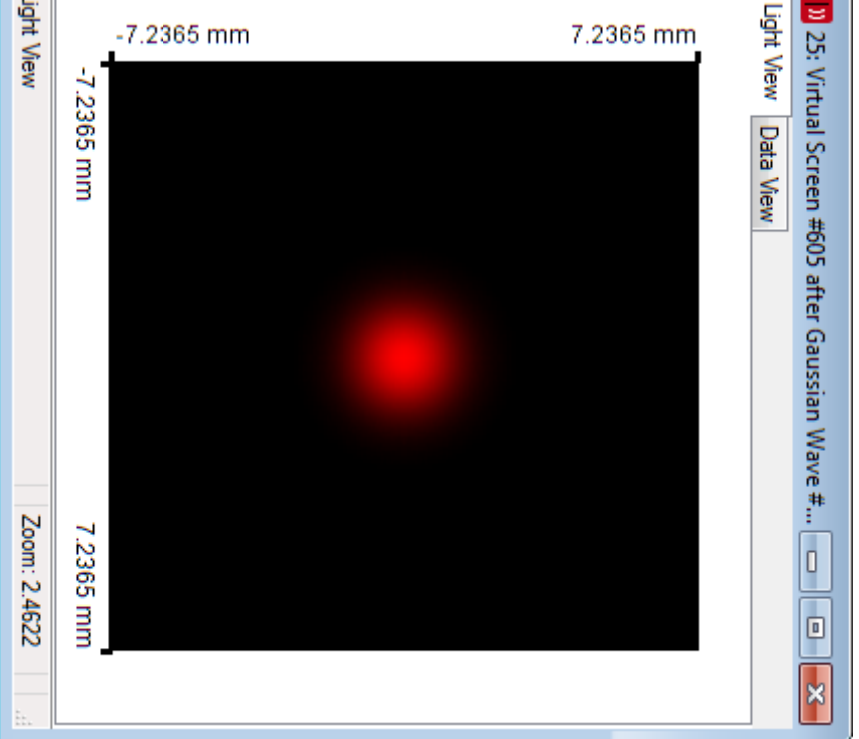
Aspherical lens



Focal plane

$$NA=0.68$$

入射光源



- ・ 偏光: X方向にリニアー
- ・ ビーム径 ($1/e^2$): 5 mm
- ・ 波長: 800 nm
- ・ パルスの仕様:
 - キャリヤー波長: 800 nm
 - パルス FWHM: 5 fs

レンズの仕様

レンズ・パラメーター

面 1

- ・ 半径: 2.75 mm
- ・ コニックコンスタント: -0.613916
- ・ A4: 588919
- ・ A6: -17660200000
- ・ A8: 1.01025E+16
- ・ A10: -3.91487E+21

面 2

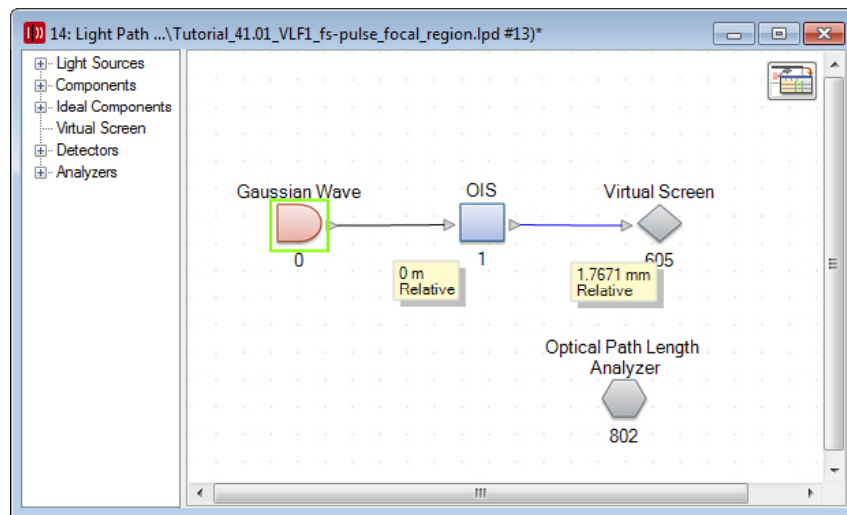
- ・ 半径: -3.18854 mm
- ・ コニックコンスタント: -12.66386
- ・ A4: 12458340
- ・ A6: -3711945000000
- ・ A8: 5.122391E+17
- ・ A10: -3.108578E+22

中心厚: 3.15 mm

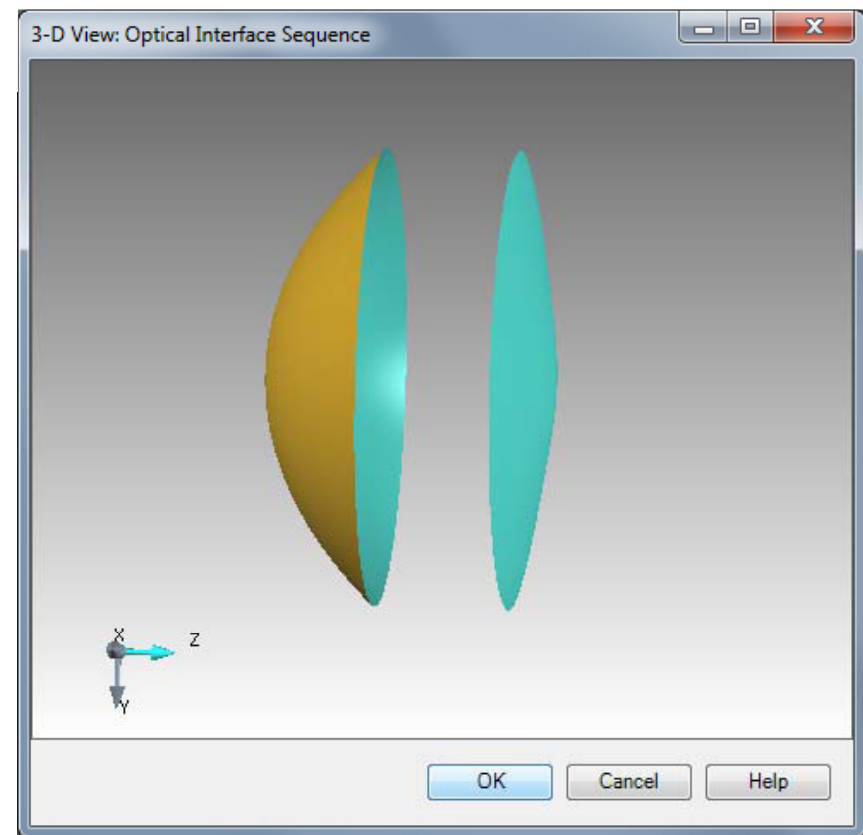
硝材: Corning C0550

光学系

LPDファイル

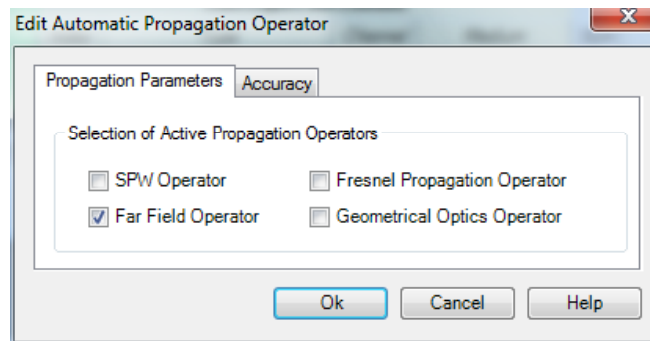


OISの3D表示



LPD に関するコメント

- ・ OISからスクリーンまでの伝播は”automatic”としており、ここではファーフールドからウエストのオペレーターが用いられます
- ・ “Automatic Operator”は下記の通り編集されます



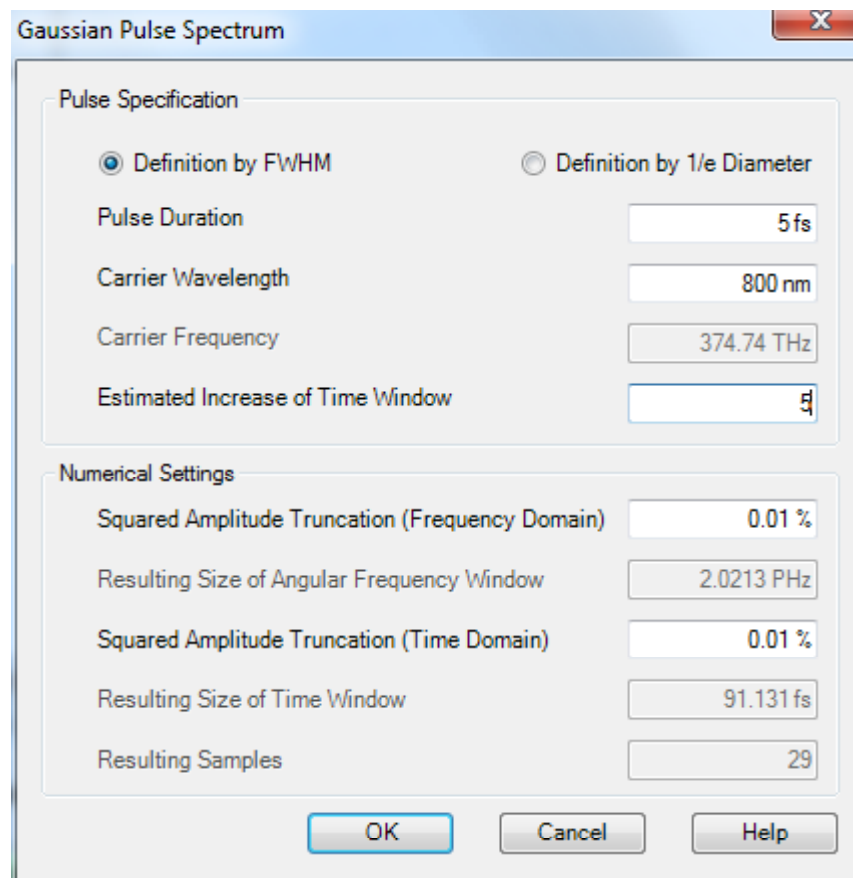
- ・ このモードの”automatic operator”は常にファーフールド・オペレーターを用いますが、”Smart field”と”Smart preprocessing step”の最適化を行います
- ・ 推奨: パルスのモデリングを開始する前に、モノクロマティックの設定をテストして下さい

パルスの仕様

包括波長と光源の挿入

パルスの仕様

- チュートリアル_33.01～33.01に紹介されたパルスの設定



The image shows a software dialog box titled "Gaussian Pulse Spectrum". It is divided into two main sections: "Pulse Specification" and "Numerical Settings".

Pulse Specification

- ☒ Definition by FWHM
- ☐ Definition by 1/e Diameter
- Pulse Duration: 5 fs
- Carrier Wavelength: 800 nm
- Carrier Frequency: 374.74 THz
- Estimated Increase of Time Window: 4

Numerical Settings

- Squared Amplitude Truncation (Frequency Domain): 0.01 %
- Resulting Size of Angular Frequency Window: 2.0213 PHz
- Squared Amplitude Truncation (Time Domain): 0.01 %
- Resulting Size of Time Window: 91.131 fs
- Resulting Samples: 29

At the bottom of the dialog are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

パルスの仕様に関するコメント

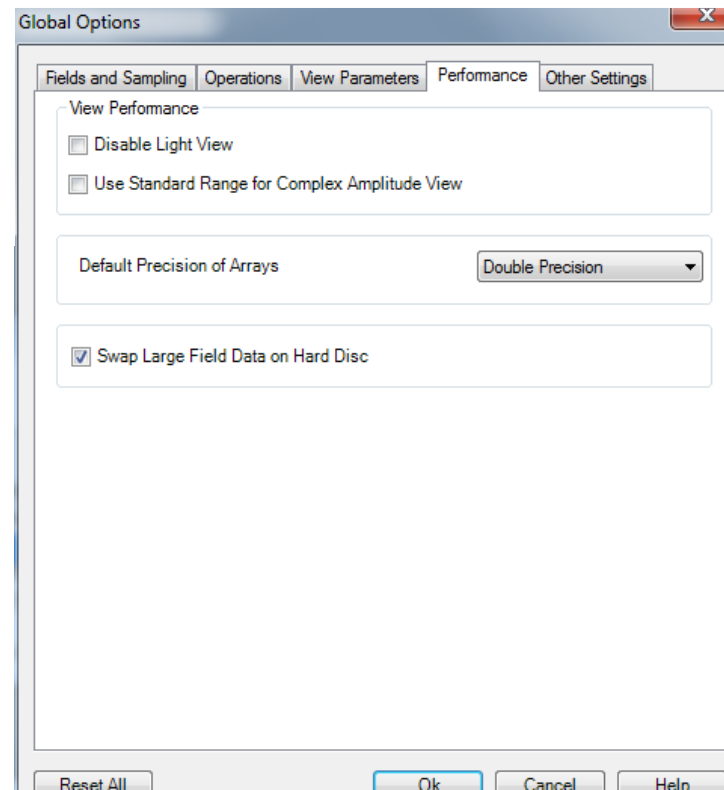
ファクター5 ~ 10 が”Time Window”の推測される増加量として初期値として良いでしょう

存在するのであれば、ターゲット面におけるパルス持続時間の結果を第一に活用します

次頁以降は、Time Windowファクターの適正値を、色々試しながら設定して行きます

重要事項

パルスのモデリングをする際は、演算精度を、必ず“Double Precision”に仕様設定する前に、しておいて下さい！

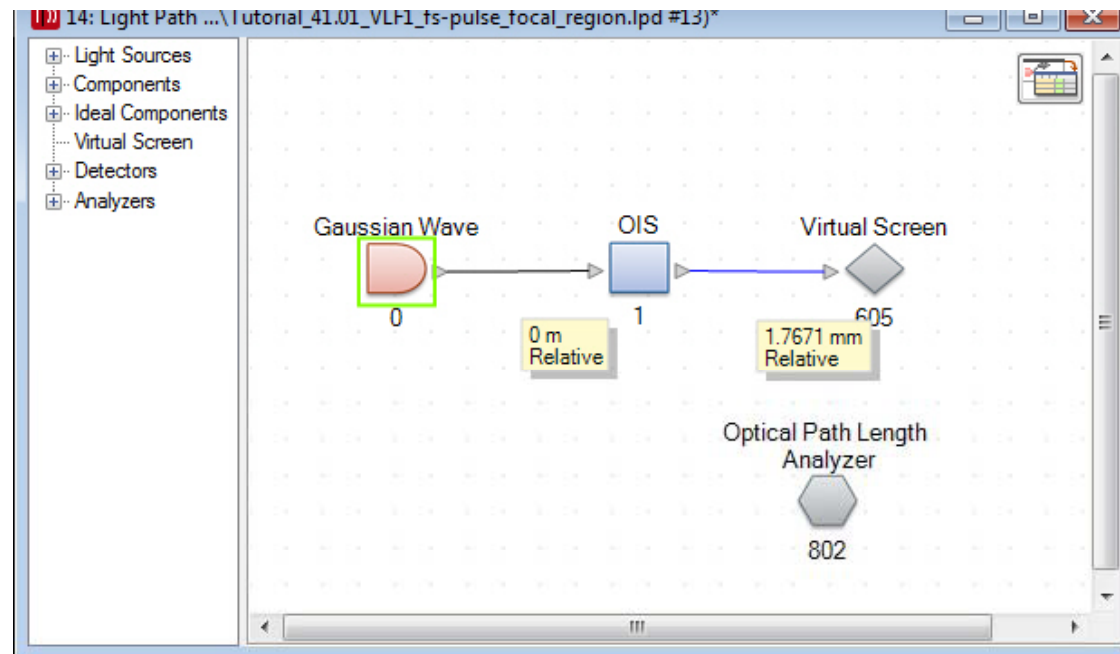


焦点領域におけるパルスのモデリング

焦点領域の任意の位置における、パルスの評価

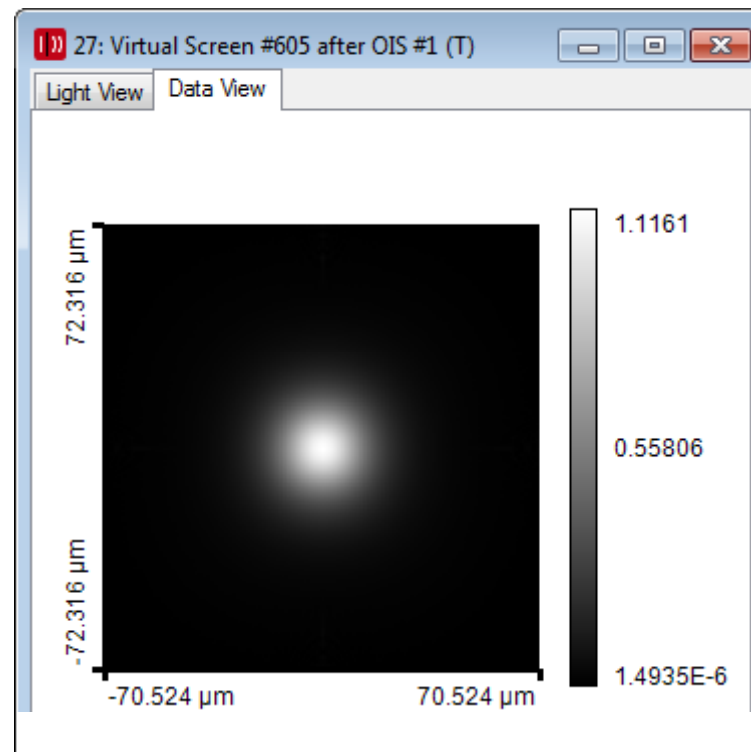
VirtualLab™におけるシミュレーション: 例

- Run LPD



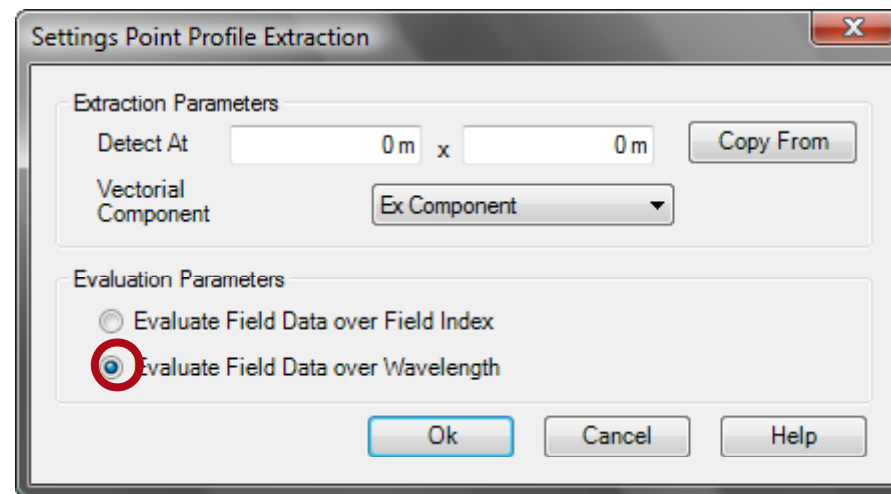
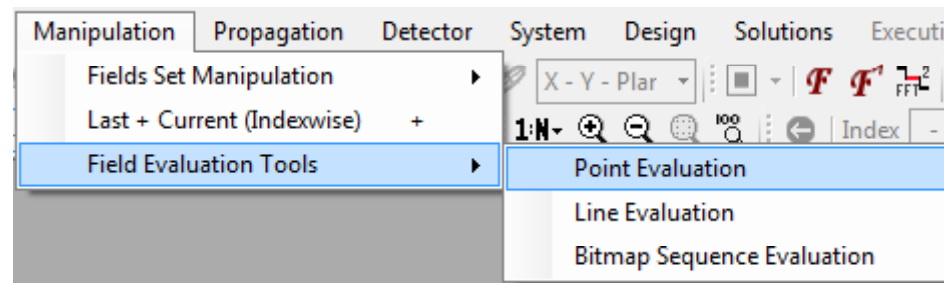
VirtualLab™におけるシミュレーション: 例

- Resulting Harmonic Field Set (HFS)

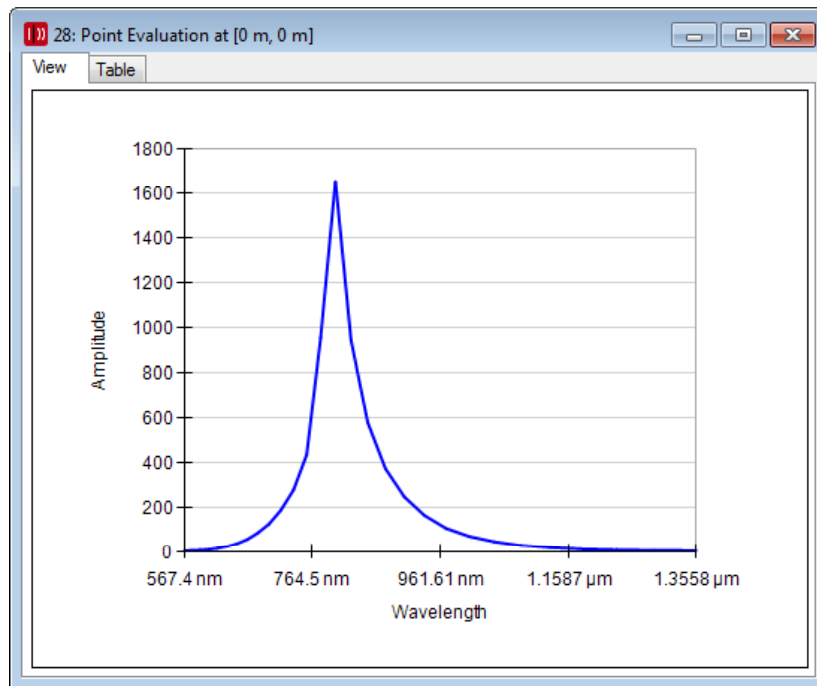


Field Evaluation Tools

- VirtualLab™ 4.5 以降のバージョンでは、タイムドメインのパルスの評価を Field Evaluation Toolsにて行います



VirtualLab™におけるシミュレーション：例

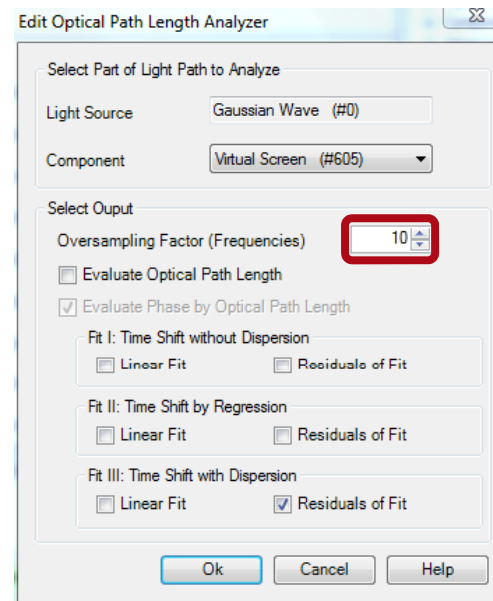


注記：左図の結果が表示されない場合
ダイアグラム上でダブルクリックし、
表のズームを指定して下さい。

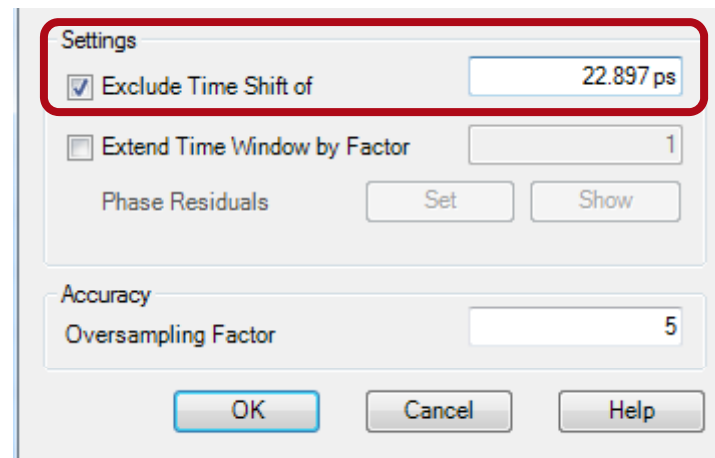
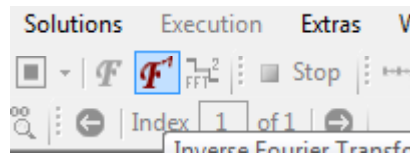
$$\tilde{U}_c(0, 0, z_{\text{out}}, \omega) = \tilde{U}_e(0, 0, z_{\text{out}}, \omega - \bar{\omega}) e^{i\omega \hat{t}}$$

VirtualLab™におけるシミュレーション: 例

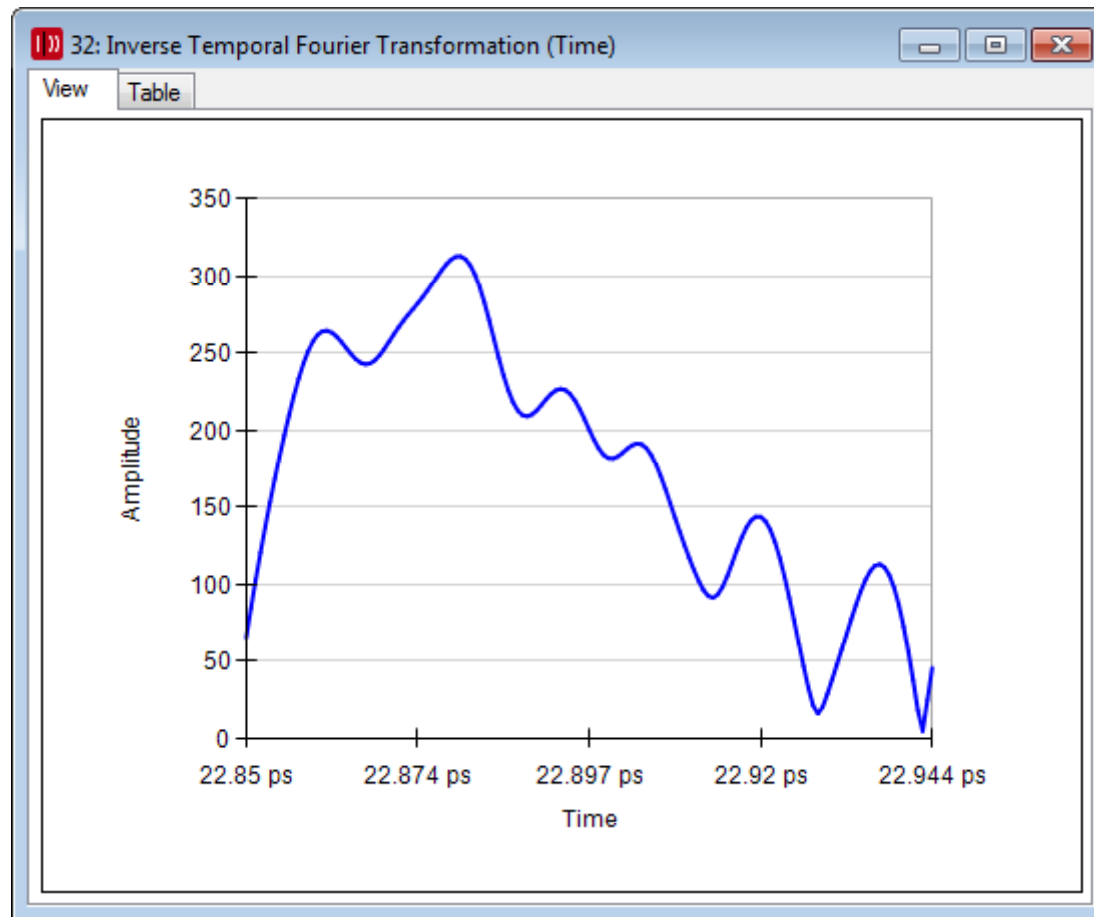
- ・ 次に、OPL analyzer を起動し、タイムシフトと位相剰余を素材のディスペーションに加えます
- ・ OPL analyzer をダイアログを開きイニシャライズします



VirtualLab™におけるシミュレーション：例



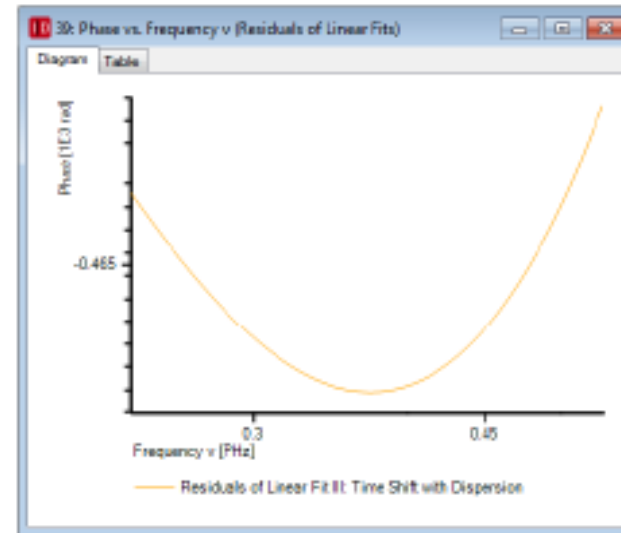
VirtualLab™におけるシミュレーション: 例



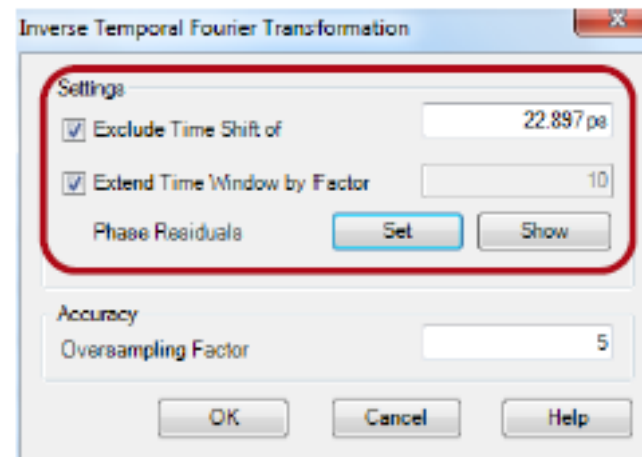
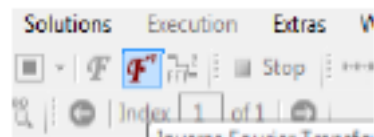
$$U_e(0, 0, z_{\text{out}}, t - \hat{t})$$

Smart Material Inclusionの重要性

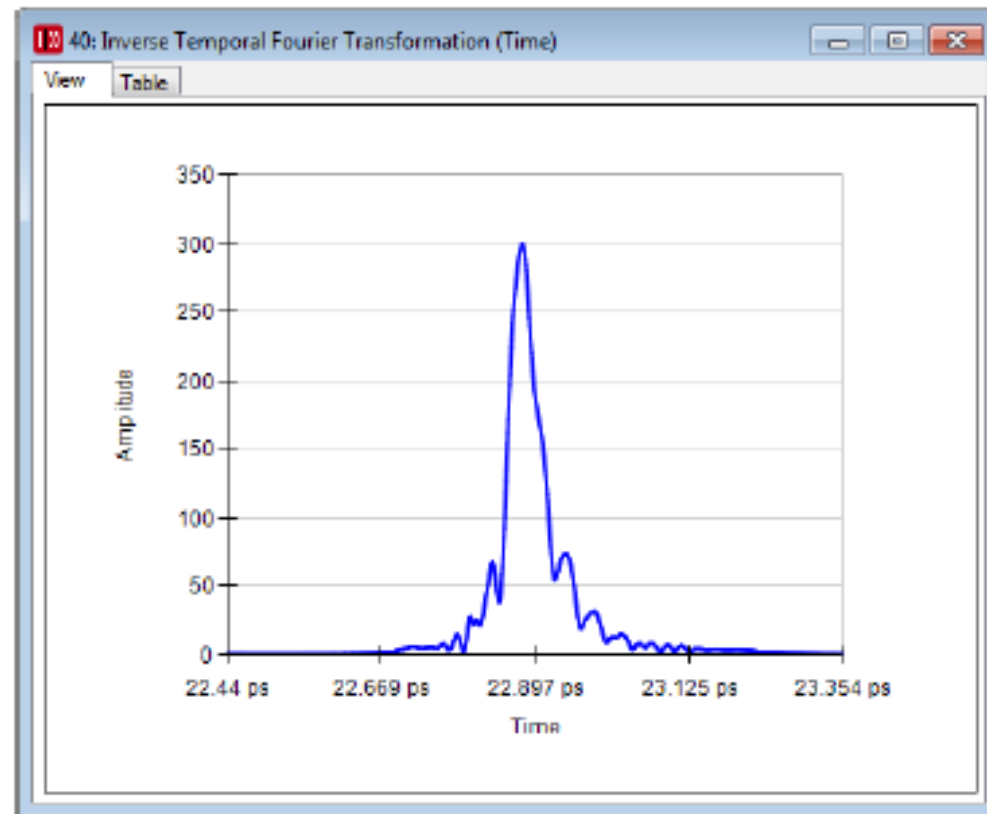
- ・ この結果から、周波数ドメインのサンプリングが低すぎ、タイムドメインの結果にエイリアシング(偽信号)がある事が分かります。
- ・ 主な理由は素材のディスペーションです
- ・ 次にこれを行います



VirtualLab™におけるシミュレーション：例



VirtualLab™におけるシミュレーション: 例



$$U_e(0, 0, z_{\text{out}}, t - \hat{t})$$

Smart Material Inclusionの重要性

- ・ ここでパルス形状を考慮します。しかし、全ての時間的変動が物理現象と言う確証はありません
- ・ 素材のディスパージョンによるタイムウィンドウの増加が、最も支配的で角度ディスパージョンも増加の原因になり得ます
- ・ 結果から、パルスは主に約300 fsのタイムウィンドウ内に、位置していると結論付けました
- ・ これに従い、イニシャルのタイムウィンドウを約300 fsに増やしました

新たなパルスの仕様

Gaussian Pulse Spectrum

Pulse Specification

☒ Definition by FWHM ☐ Definition by 1/e Diameter

Pulse Duration

Carrier Wavelength

Carrier Frequency

Estimated Increase of Time Window

Numerical Settings

Squared Amplitude Truncation (Frequency Domain)

Resulting Size of Angular Frequency Window

Squared Amplitude Truncation (Time Domain)

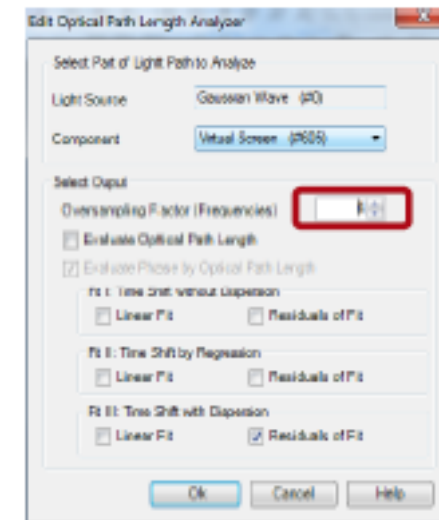
Resulting Size of Time Window

Resulting Samples

OK Cancel Help

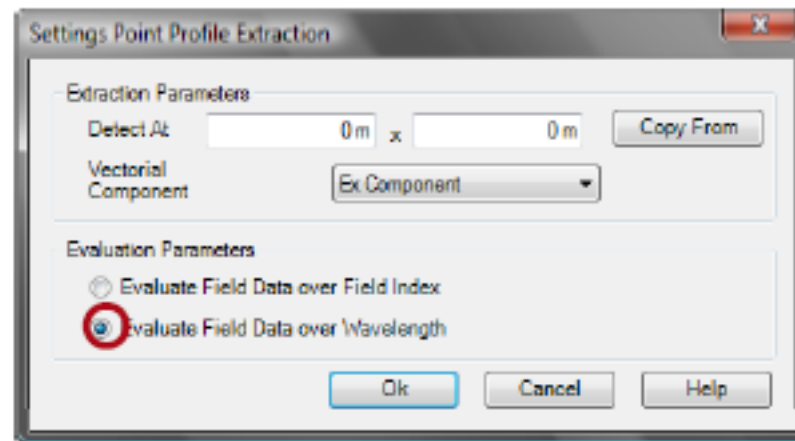
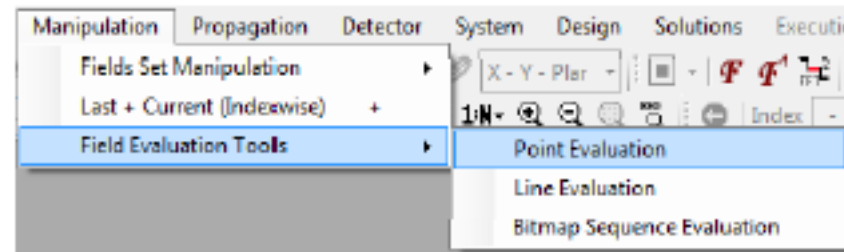
イニシャル・タイムウィンドウと素材ディスパージョン

- ・ 新たな仕様から、105 ハーモニック・フィールドと推測しこれにより、より計算に時間が掛かります
- ・ イニシャル・タイムウィンドウの増加に伴い、オプションとしてファクターを4に減らしました:

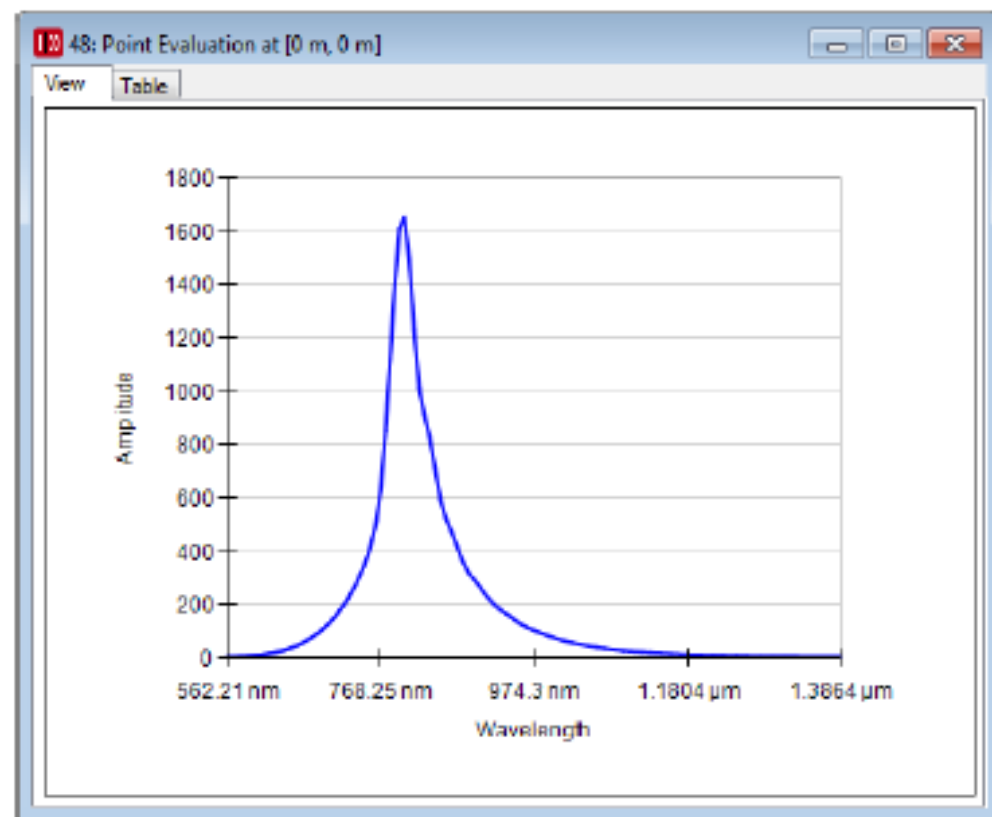


Field Evaluation Tools

- VirtualLab™ 4.5 以降のバージョンでは、タイムドメインにおけるパルスを Field Evaluation Toolsにて解析します



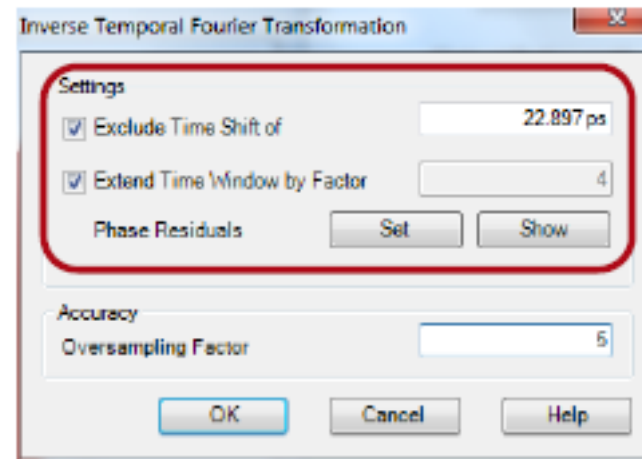
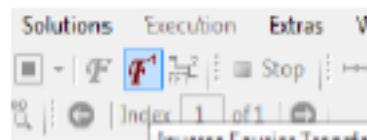
包括波長



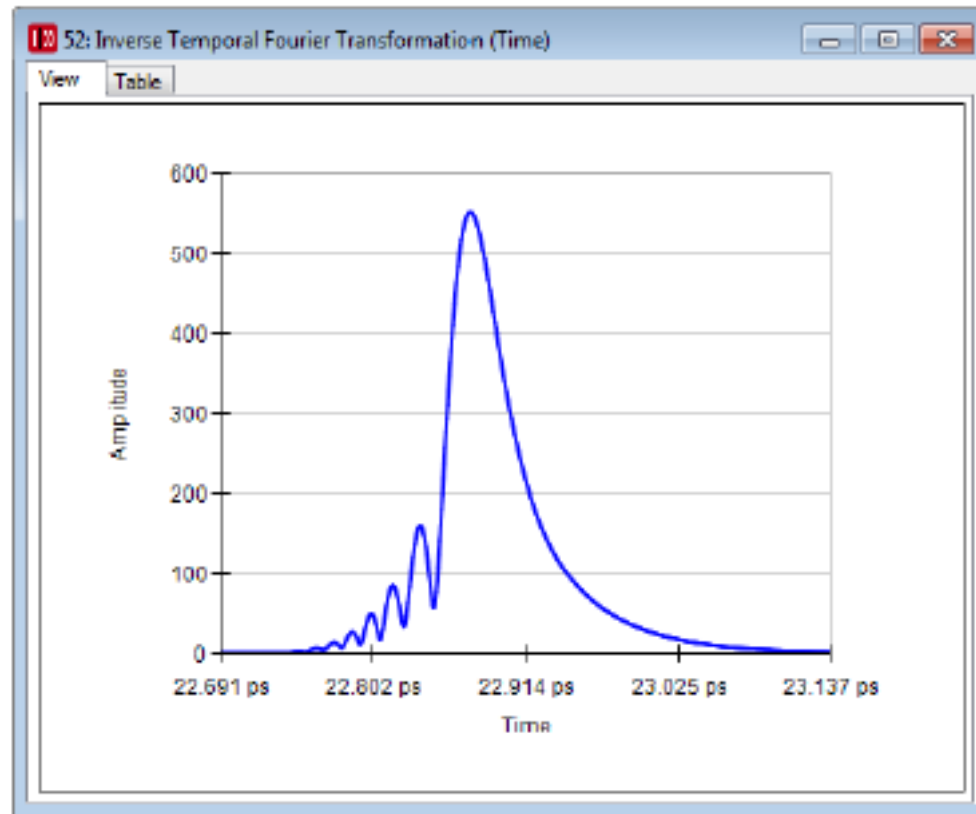
$$\tilde{U}_c(0, 0, z_{\text{out}}, \omega) = \tilde{U}_e(0, 0, z_{\text{out}}, \omega - \bar{\omega}) e^{i\omega \hat{t}}$$

タイムドメインへの変換

- ・ OPL Analyzer を 起 動 し ま す
 - Time shift (新たなパルス仕様では変更されません)
 - 素材ディスパージョンによる位相剰余
- ・ 返還を行います:



焦点領域のパルス:Xコンポーネント



$$U_e(0, 0, z_{\text{out}}, t - \hat{t})$$

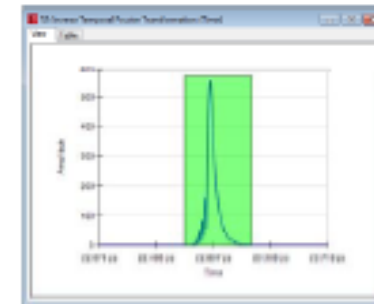


diagram toolによるズーム:
マウスの左クリックにて
ズームしたいエリアを
指定します

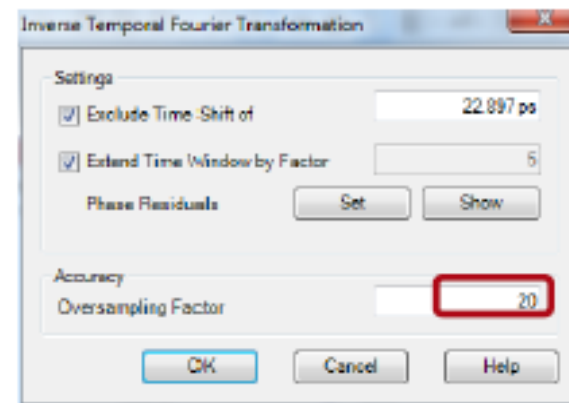
コメント

- ・ パルスの右側はスムーズで、数値ノイズが無くなった事を示します
- ・ これにより、左側のサイドローブ(エッジ傾斜)に物理的な意味がある事を示します
- ・ 勿論、イニシャル・タイムウィンドウを更に増加して結果に安定性があるかチェックします。確認したところ、更なる変更による結果向上はありませんでした
- ・ 次に、パルス評価のために他の事項を考慮します

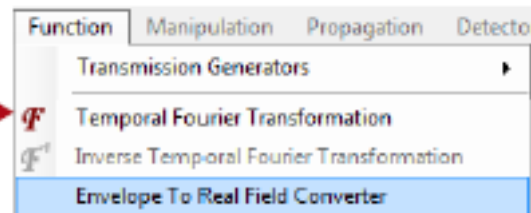
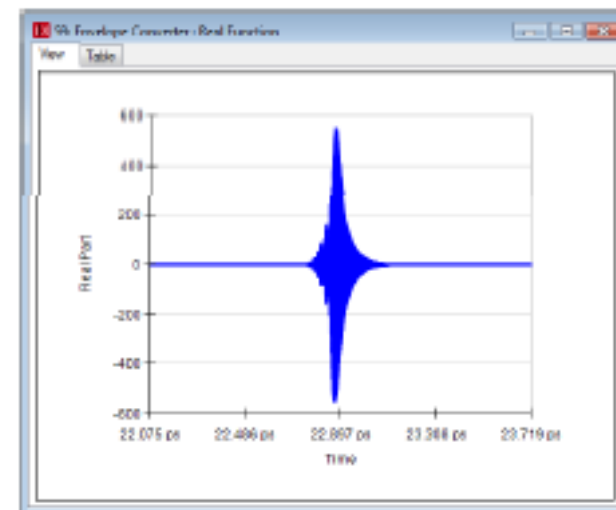
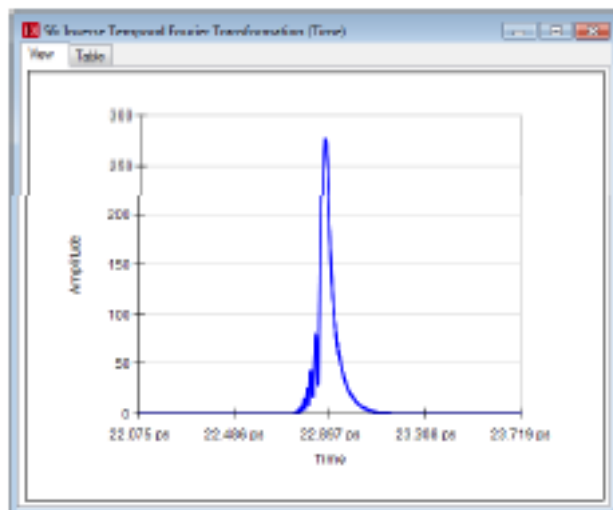
更なる機能: Real Field Converter

VirtualLab™におけるパルスのシミュレーションは包括機能をベースにしております。Envelope(包括機能)をReal Field Converterにて周波数キャリアを含むパルスとする事が可能です。

周波数キャリアが高い場合、高いオーバーサンプリングをタイム・ドメインに用いる事を推奨します:

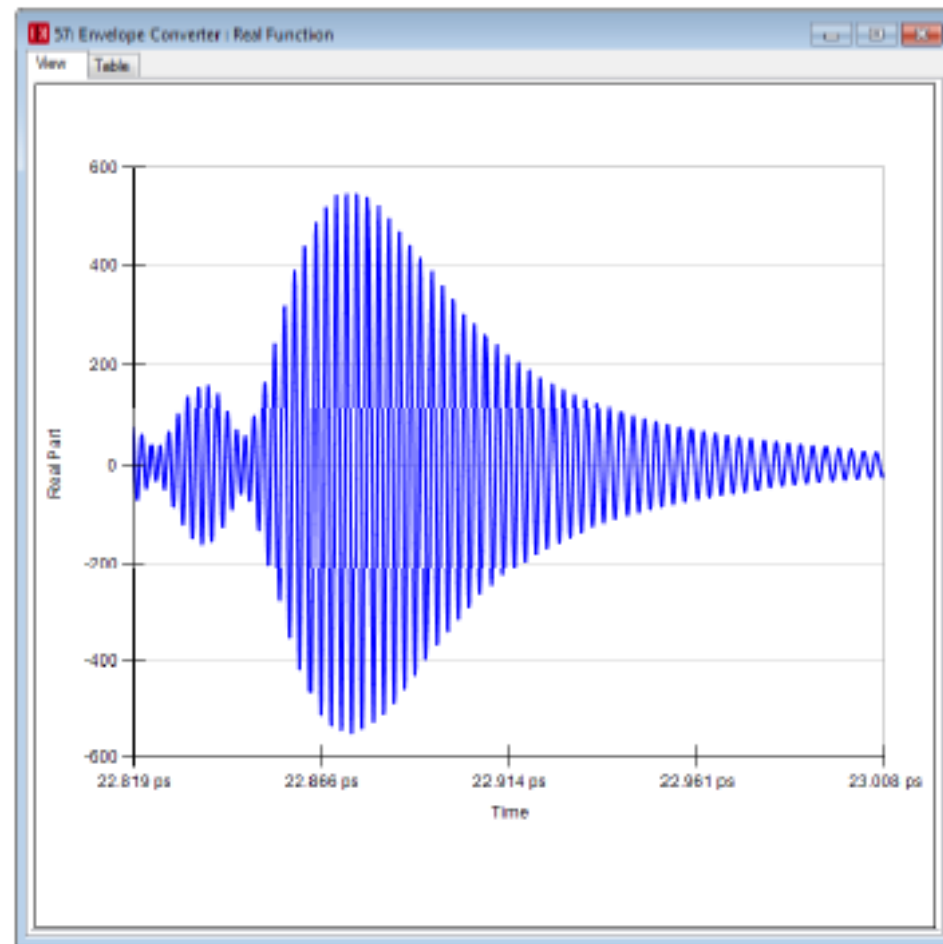


Envelope から Real Field Converter



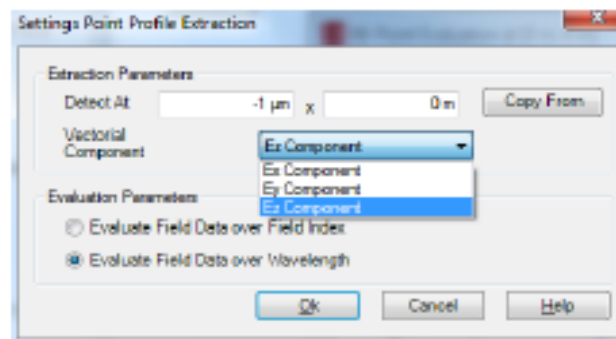
Zoom →

キャリアーとパルス形状



更なる機能: Vectorial モデリング

- VirtualLab™ におけるパルスシミュレーションは、電磁フィールドをベースとしており、ベクトル理論に基づくパルスとして説明されます
- これにより、パルスフィールドのYとZコンポーネントへのアクセスが可能となります。選択は下記のダイアログにて可能です:



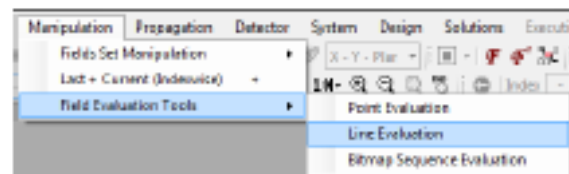
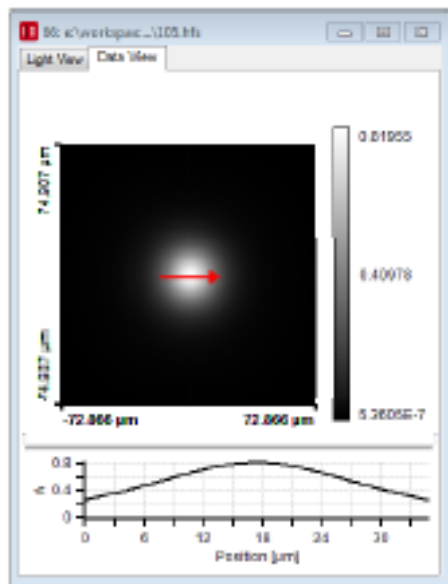
- 所望によりZコンポーネントの計算が可能です。多少の時間が掛かりますが是非トライして下さい(Zコンポーネント、ゼロにて(0,0))。

焦点領域におけるパルスのモデリング

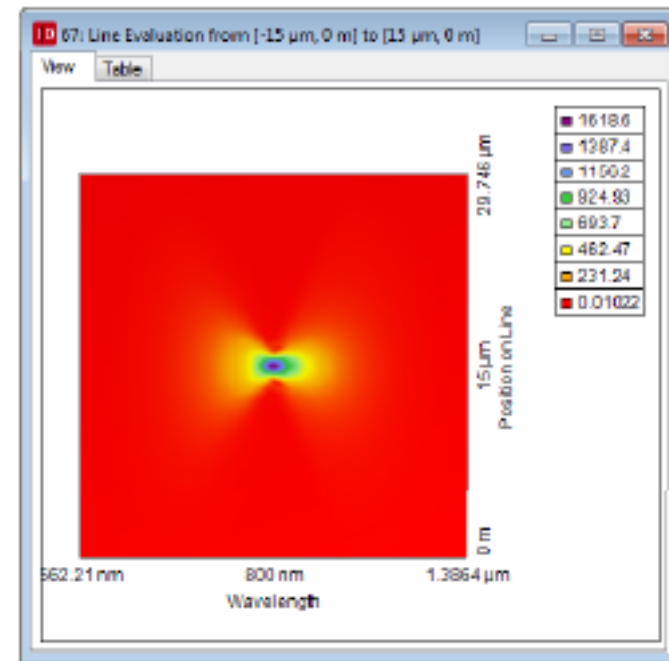
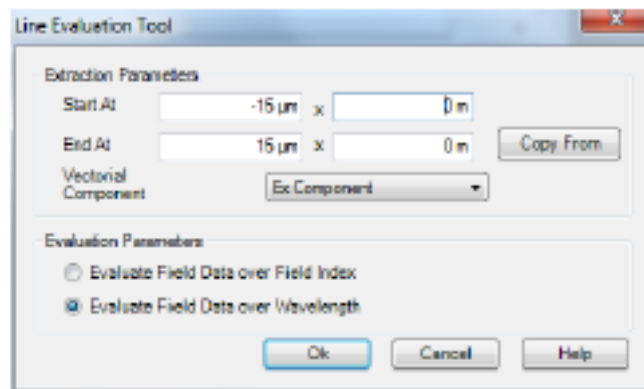
焦点面における任意ラインのパルス解析

Line Evaluation Tool

- Point Evaluation Line Evaluationに代わり、Line Evaluationを用いて焦点面におけるライン上の包括波長を得る事が可能です

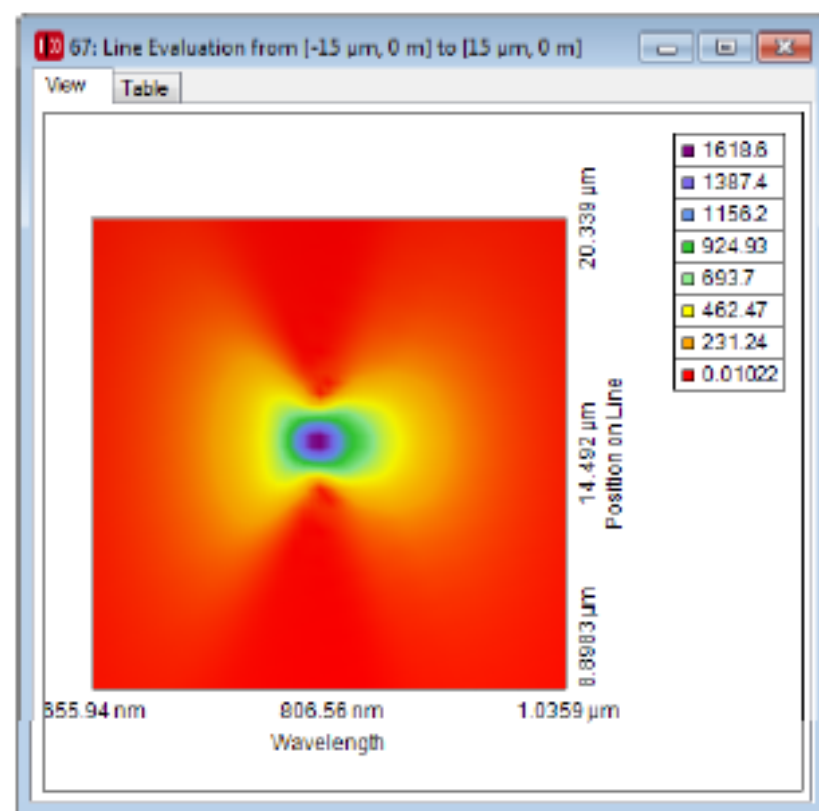


Line Evaluation Tool



Zoom 

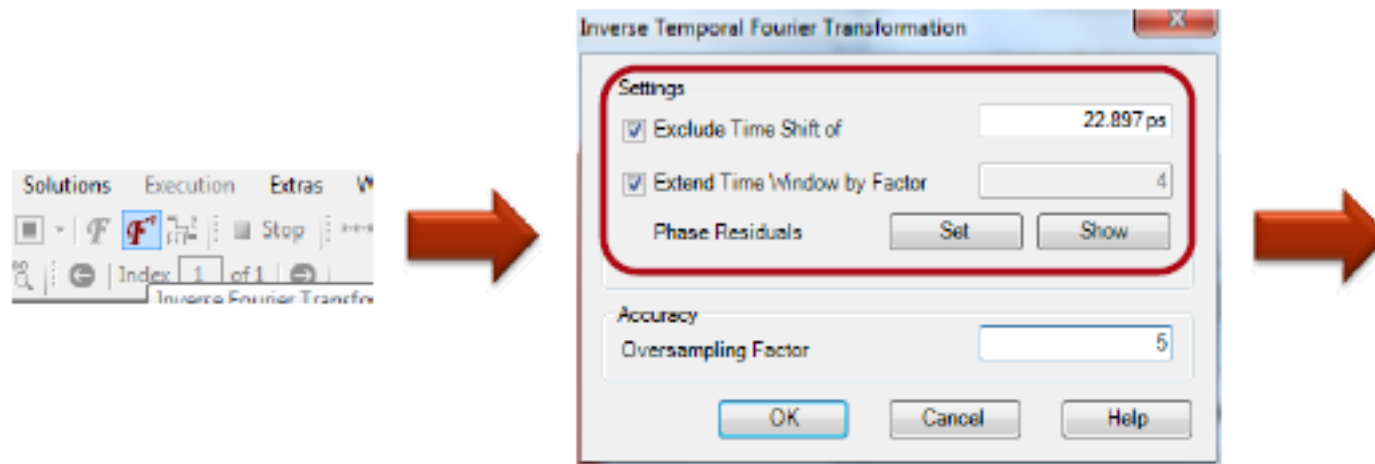
ライン沿いの包括波長



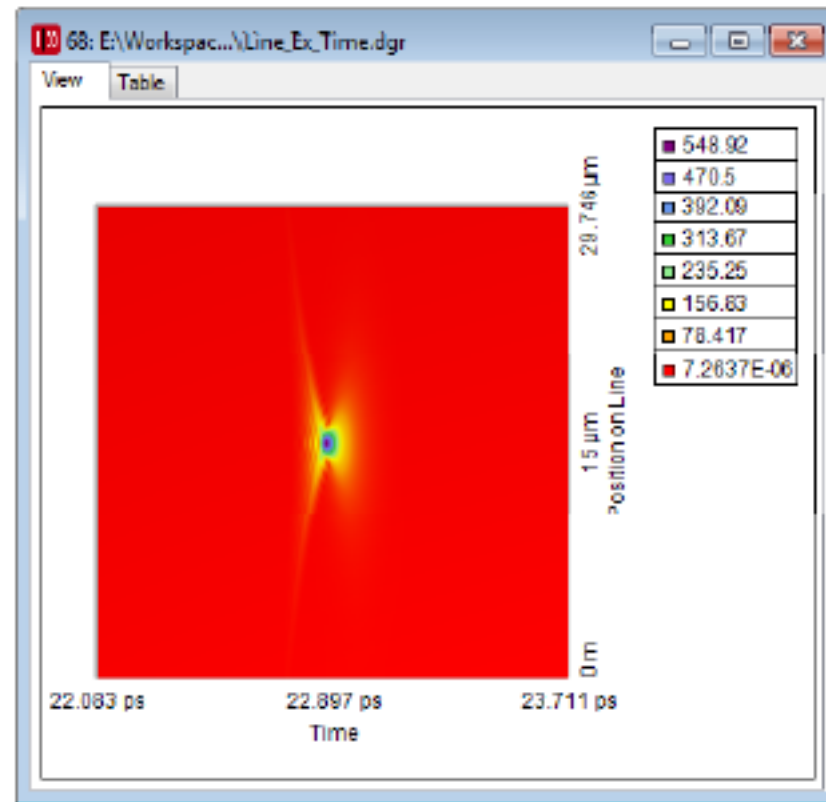
$$\tilde{U}_c(r \in \text{Line}, \omega) = \tilde{U}_e(r \in \text{Line}, \omega - \bar{\omega}) e^{i\omega \hat{t}}$$

タイムドメインへの変換

- インバート・フーリエ変換（オーバーサンプリング・ファクターのみを低減し、演算時間を軽減します）



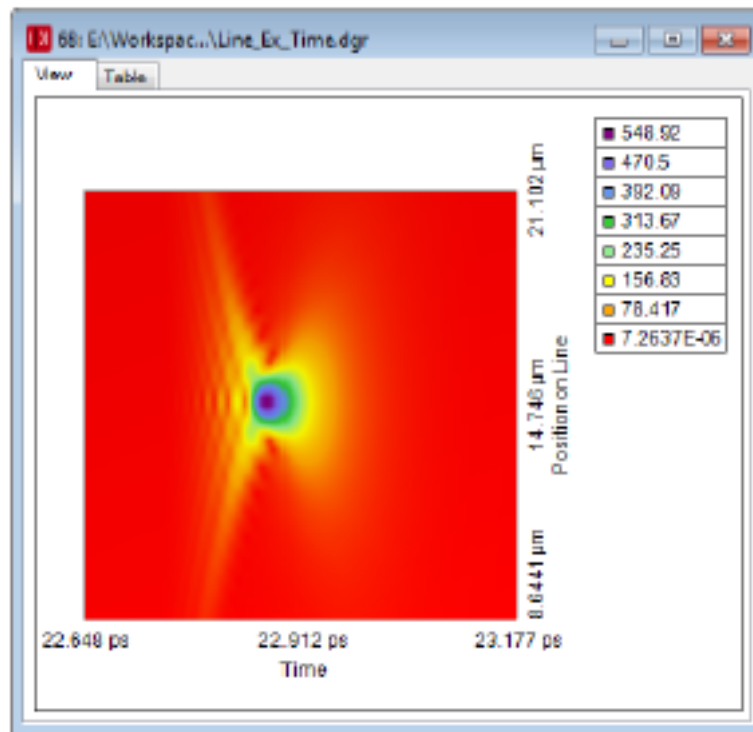
ラインの包括機能のXコンポーネント



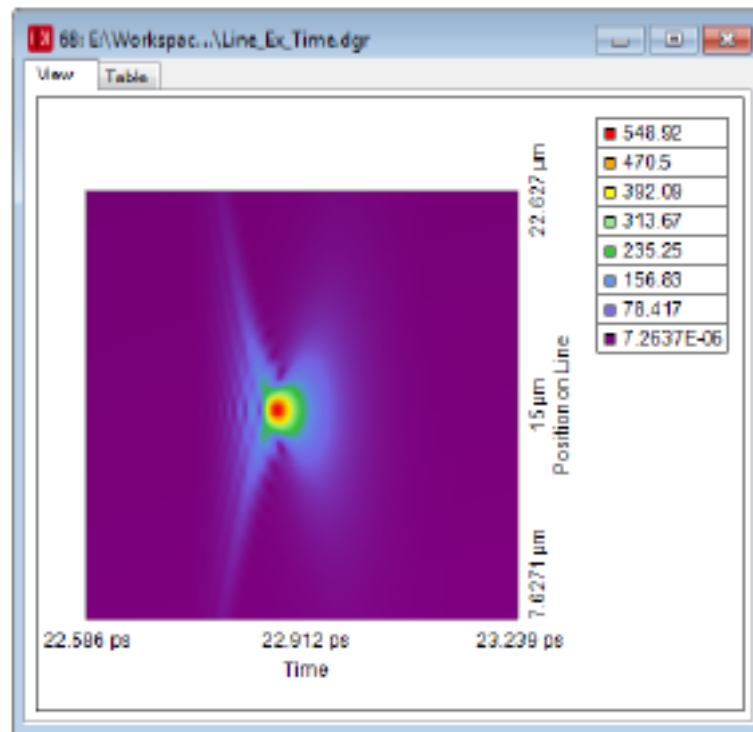
$$U_e(r \in \text{Line}, t - \hat{t})$$

ライン包括機能のXコンポーネント

ズーム機能

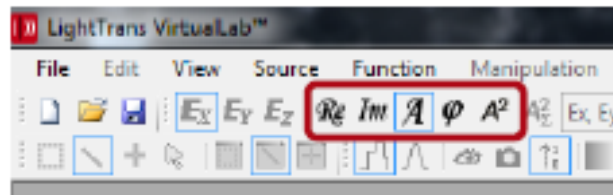


反転レインボー表示
(property browser (F4)参照)



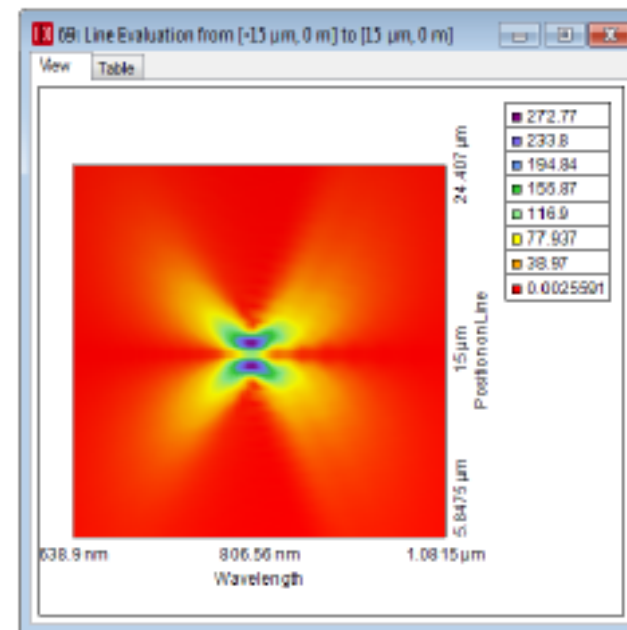
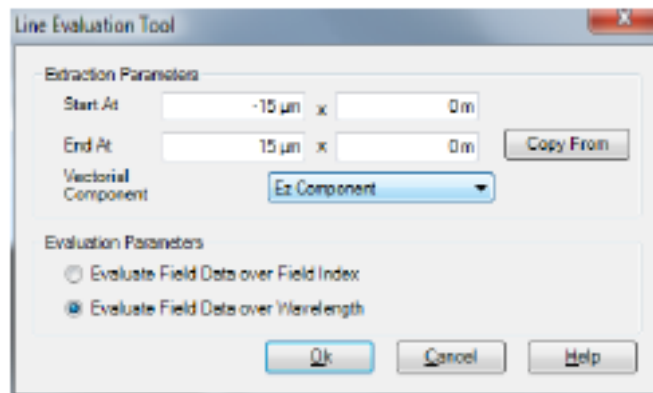
コメント

- 是非、異なるフィールド品質のオプションを選択し、お試しください:



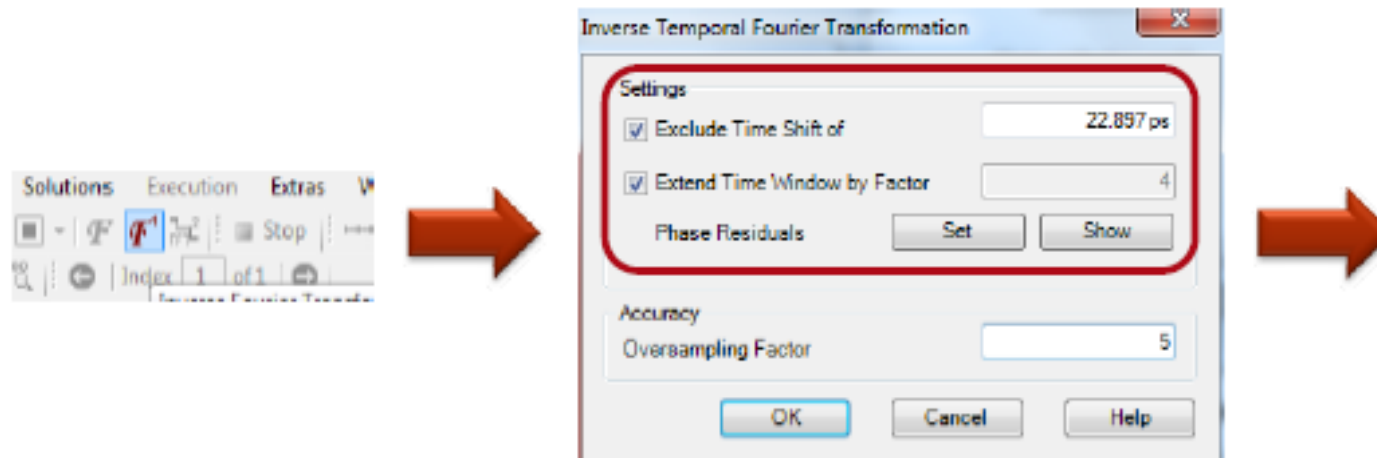
- VirtualLab™におけるパルスのシミュレーションには、収差、回折、その他の波動光学現象が考慮されます
- 次に、シミュレーションにおける、ベクトル性を考慮します

Line Evaluation Tool: Zコンポーネント

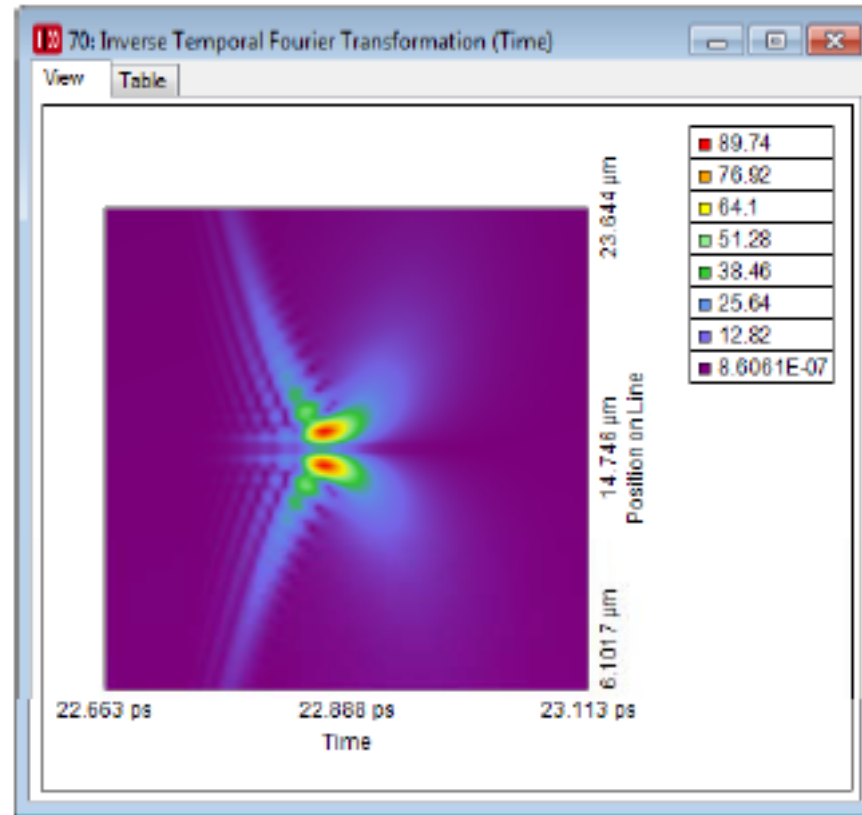


タイムドメインへの変換

- フーリエ変換によるインバート



ライン上の包括機能のZコンポーネント



$$U_e(r \in \text{Line}, t - \hat{t})$$

更なる開発テーマ

- ・ VirtualLab™におけるパルスのモデリングは、ハーモニックフィールドを光学系にトレースする技術をベースとしております
- ・ LightTrans社は、常時新たな技術と素子を追加しております
- ・ グレーティングとプリズムは2010年に追加され、パルス圧縮と展開を可能としました
- ・ VirtualLab™における超短パルスのモデリング機能の拡充に、是非ご協力下さい。ユーザー各位のご意見やご希望を常に受けつけております。
- ・ VirtualLab™にご興味をいただきまして、ありがとうございます