

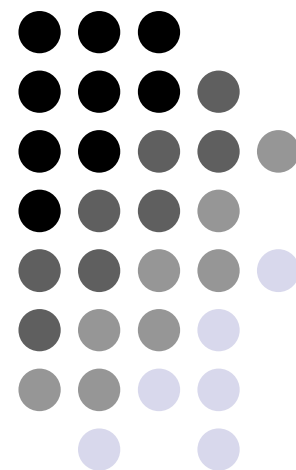
眼球運動を考慮した 眼底断面画像の位置合わせ手法

岡林 慶 檜垣 徹
Bisser Raytchev 玉木 徹 金田 和文

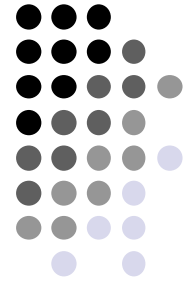
広島大学大学院工学研究科

曾根 隆志 木内 良明

広島大学大学院医歯薬学総合研究科



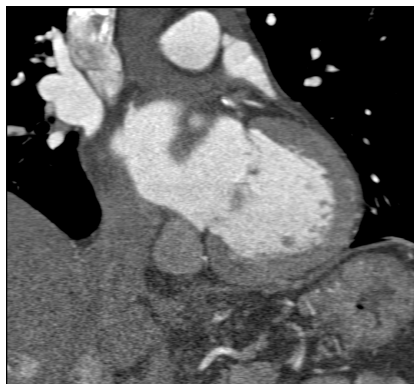
三次元形状の可視化 ～医療応用～



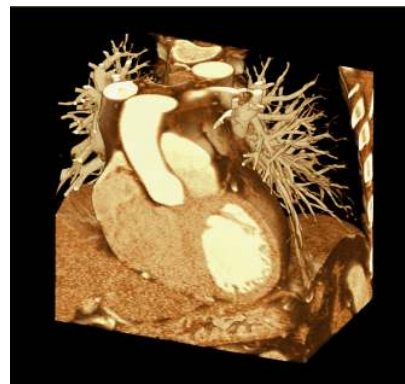
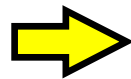
人体内部の三次元形状の可視化

... 病状の早期発見・経過観察

例)



CT断面画像

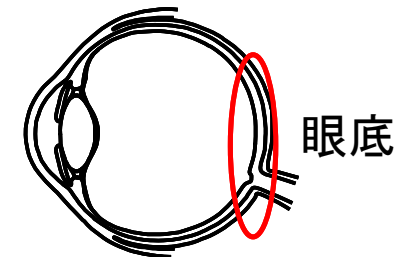


三次元形状

Input:複数の断面画像

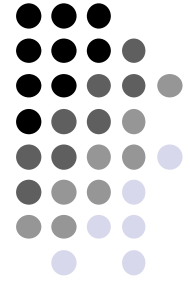
眼科:眼底etc.

より良い診断のための画像提供



眼の断面図

位置合わせ



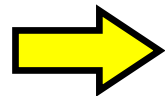
But...断面画像の取得毎に眼球が動く

取得したい位置からずれる

取得された位置...未知

実際の形状を可視化するために...

各断面画像がどの位置で取得されたかを決定



位置合わせ

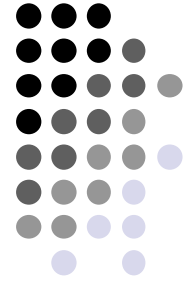
位置合わせをするために...

- ・パラメータ
- ・評価関数(目的関数)



最適化

何の役に立つのか

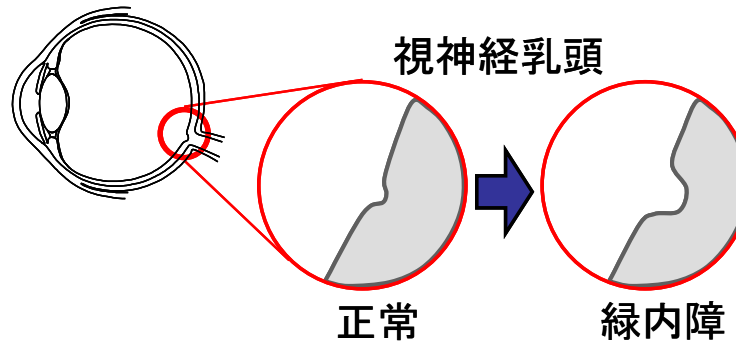


眼底検査

眼の病気・生活習慣病の検査に有用

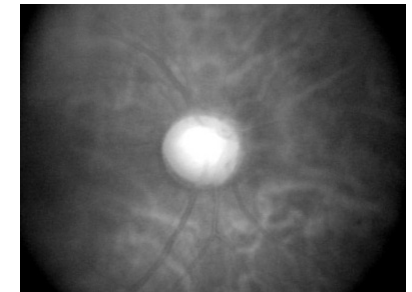
緑内障の場合・・・

視神経乳頭を観察



正常

緑内障



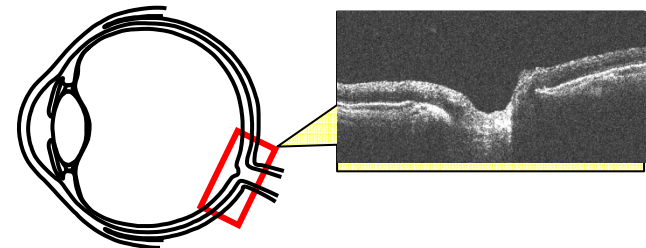
断面図

正面図

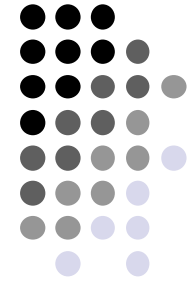
Imaging modality

Optical Coherence Tomography (OCT)

- ・光の干渉現象を応用
- ・視神経乳頭の断面画像を取得



Optical Coherence Tomography



第1世代OCT・・・Time-domain OCT

○撮影速度・・・約1 [sec.]

○奥行き分解能・・・約10 [μm]

現状・・・三次元形状可視化機能を未搭載
普及

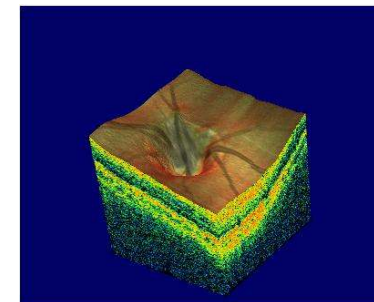
第2世代OCT・・・Spectral-domain OCT

○撮影速度・・・約0.01 [sec.]

○奥行き分解能・・・約5 [μm]

現状・・・三次元形状可視化機能を搭載
高価

➡ 個人の眼科では、購入が困難



視神経乳頭の三次元形状

Time-domain OCTに三次元再構成機能を搭載

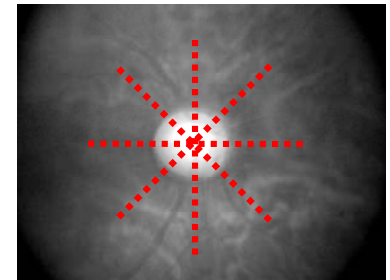
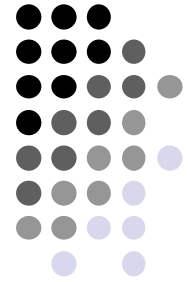
Goal

Goal

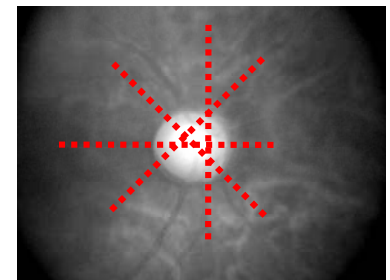
Time-domain OCTにより撮影された断面画像群

➡ **視神経乳頭の三次元形状の可視化**

Input: 放射状に取得された断面画像群



理想のスキャン軌跡

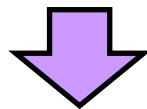


現実のスキャン軌跡

問題点

取得したい位置からずれる

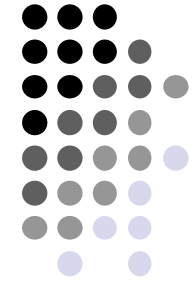
眼球運動が原因



Consideration:

各断面画像の取得された位置を決定

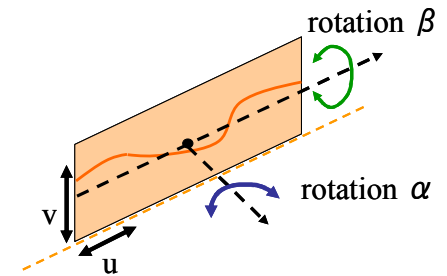
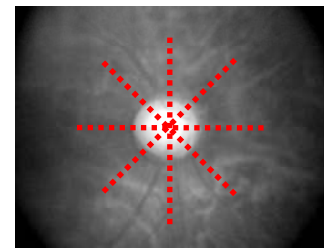
関連研究



田中ら ['07]

放射状にスキャンされた断面画像の位置合わせ

- ・スキャン軌跡に各断面画像を配置
- ・2軸の回転・平行移動パラメータ



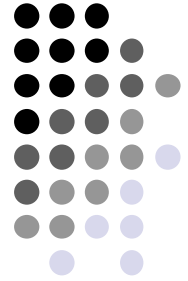
成果

Time-domain OCTを用い、眼底の三次元形状可視化を実現

問題点

スキャン軌跡が取得できないOCTも存在

提案手法 (Overview)



パラメータ

スキャン軌跡を必要としない位置合わせ手法

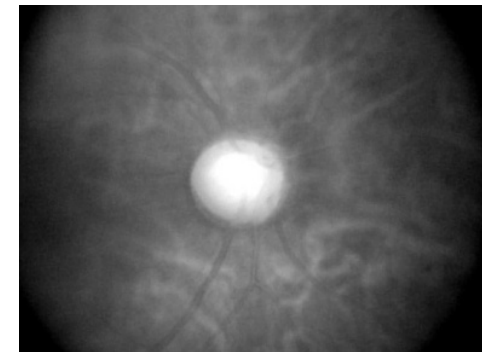
➡ 眼球運動を直接パラメータとして用いる

三次元座標系の回転

目的関数

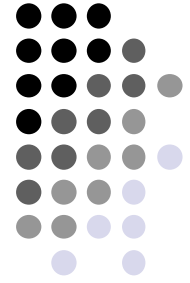
円形に近い眼底形状

- ➡
- ・視神経乳頭の形状を考慮する関数
 - ・眼底表面の高さを合わせる関数
- [田中ら, '07]

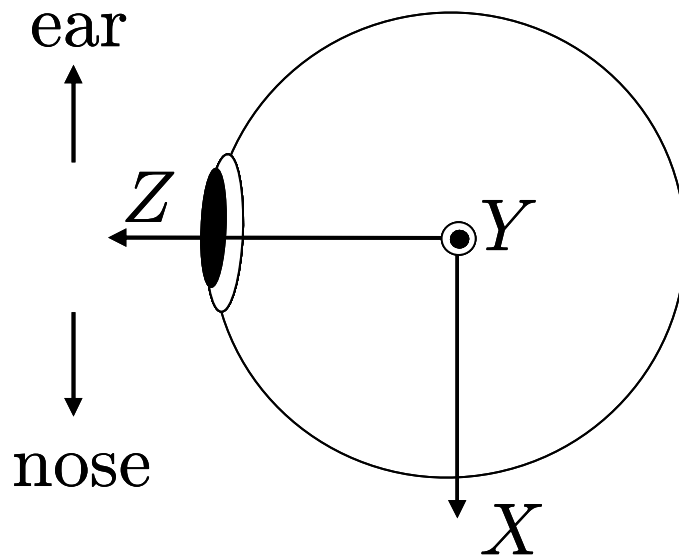


眼底画像

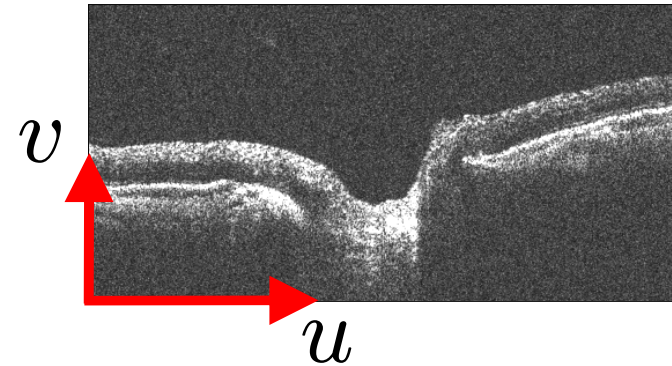
眼球モデル



眼球の近似モデル {
・球形
・球の中心 = 原点

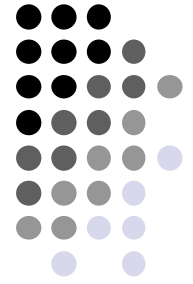


眼球座標系

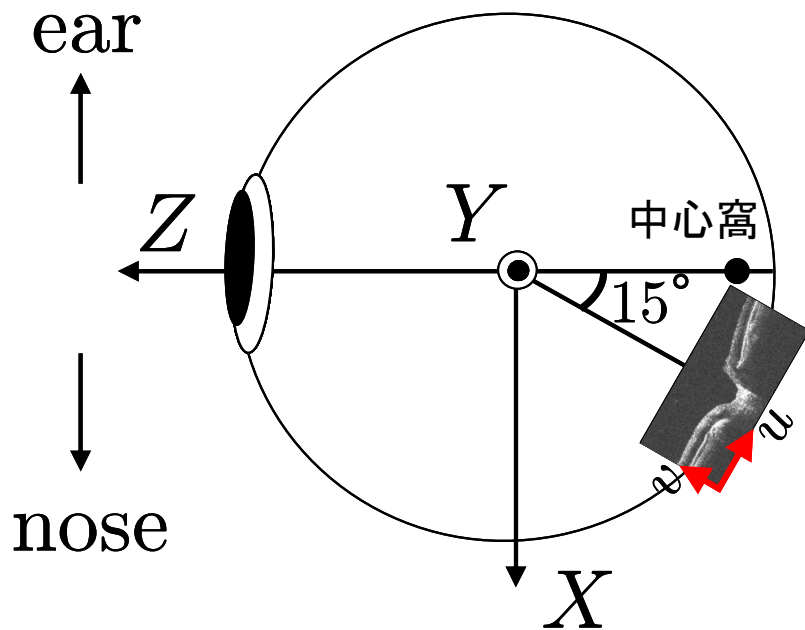


断面画像座標系

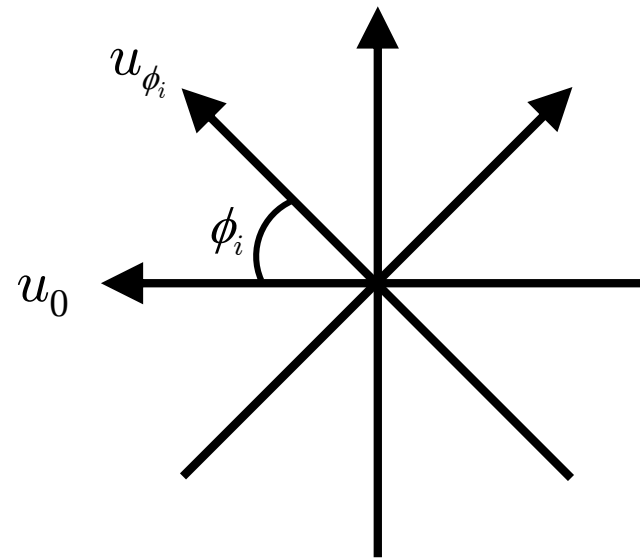
断面画像の初期配置



各断面画像を視神経乳頭位置に配置

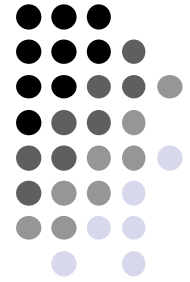


頭から見た図



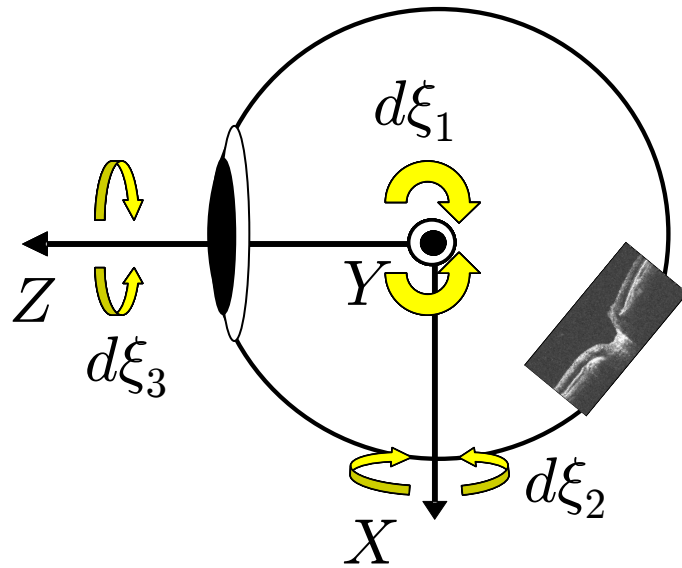
眼球中心から見た図

位置合わせのパラメータ



$$x' = R_Z R_X R_Y T_v T_u x$$

x : 断面画像
 R : 回転行列
 T : 平行移動行列

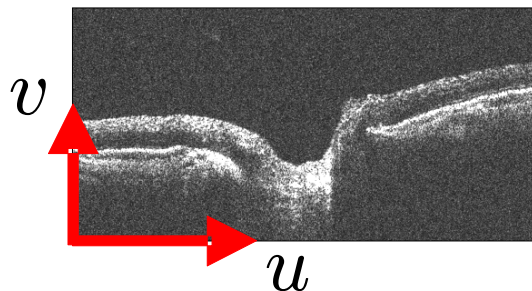


眼球の回転成分

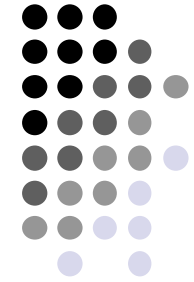
水平方向 $\cdots d\xi_1$
垂直方向 $\cdots d\xi_2$
回旋 $\cdots d\xi_3$

平行移動成分

横方向 $\cdots du$
縦方向 $\cdots dv$



目的関数



$$O=W_1O_1+W_2O_2 \quad \rightarrow \quad \text{遺伝的アルゴリズム}$$

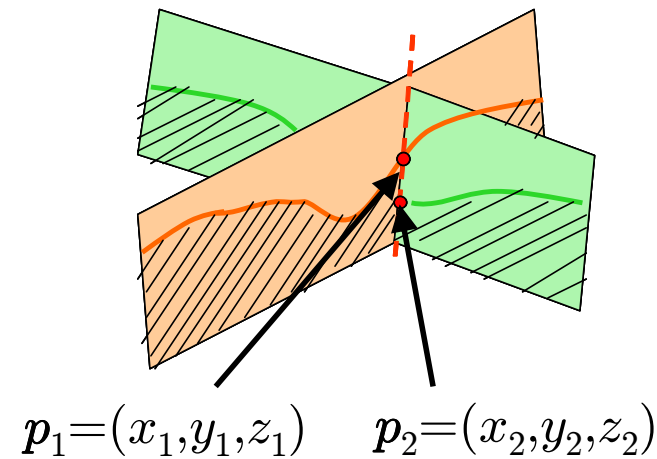
W : 重み

O_1 : 眼底表面の高さを合わせる目的関数

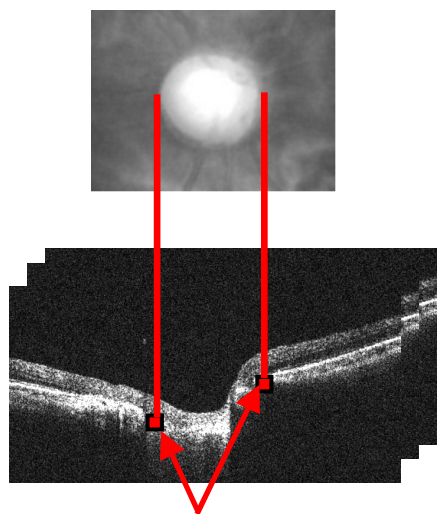
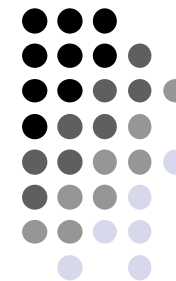
$$O_1 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{\sum t} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \|p_1(f_{ij}) - p_2(f_{ji})\| \rightarrow \min.$$

($\sum t$: 断面画像同士の交差点数)

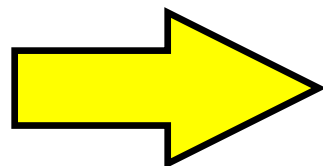
断面画像 j 交線 f 断面画像 i



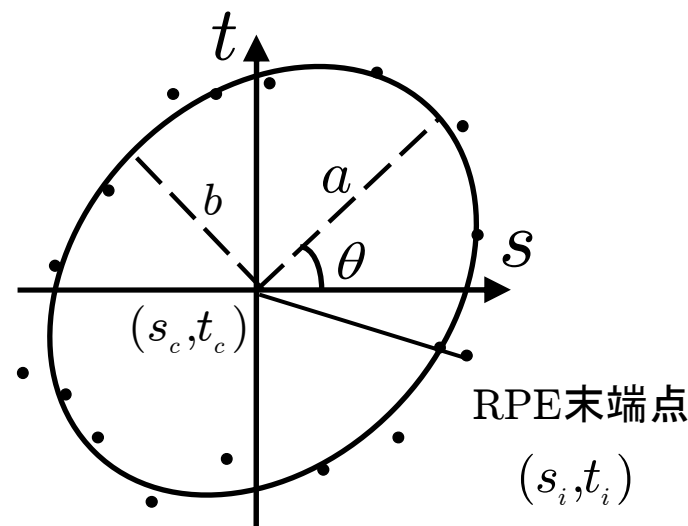
視神経乳頭の形状を考慮する関数



RPE末端点 (x, y, z)



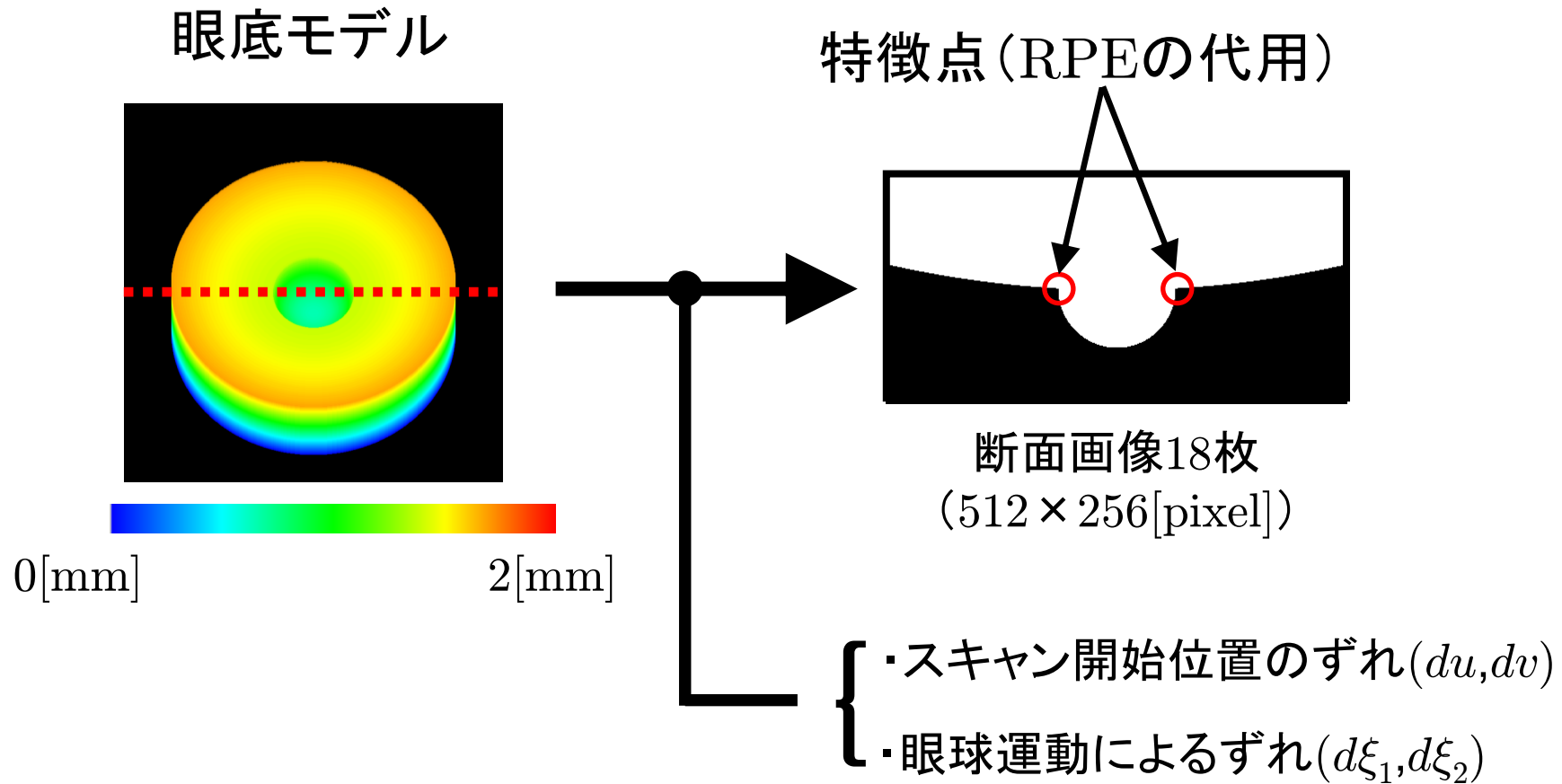
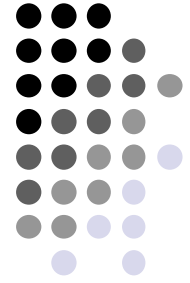
近似平面に投影



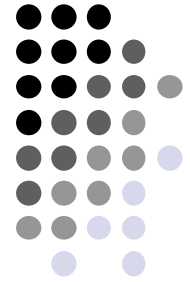
近似楕円の算出
(最小二乗法)

$$O_2 = \frac{1}{2n} \sum \left| \frac{((s_i - s_c) \cos \theta + (t_i - t_c) \sin \theta)^2}{a^2} + \frac{((s_i - s_c) \sin \theta - (t_i - t_c) \cos \theta)^2}{b^2} - 1 \right| \rightarrow \min.$$

眼底モデルを用いた比較

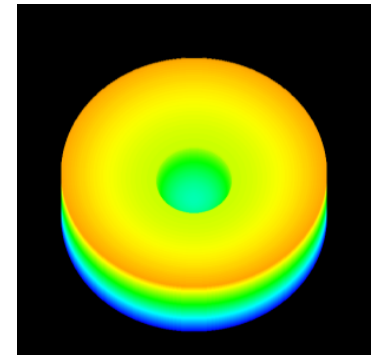


評価方法



定性的評価:

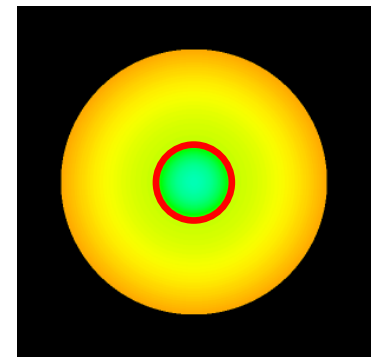
見た目の評価(どれだけ正解に近づいているか)
(位置合わせなし vs. 従来手法 vs. 提案手法)



正解

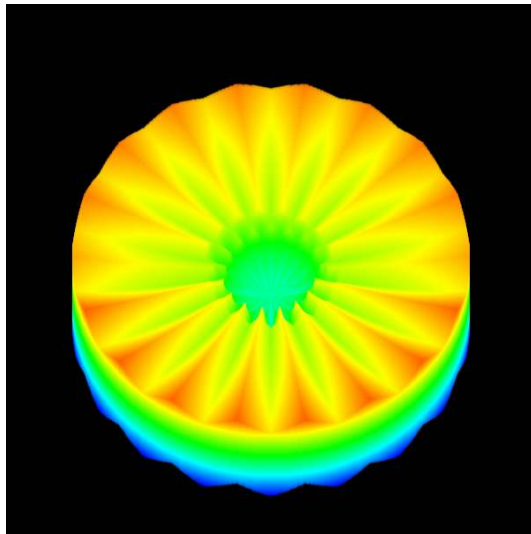
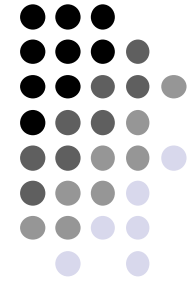
定量的評価:

楕円率, 長軸誤差, 短軸誤差, 目的関数値 O_2
(正解 vs. 従来手法 vs. 提案手法)

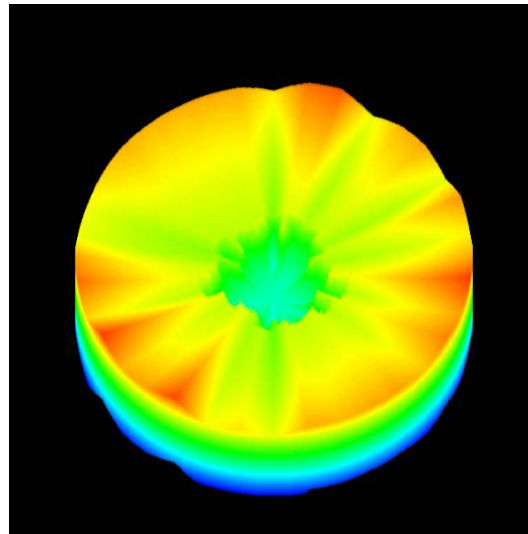


赤丸: 正解の視神経乳頭形状

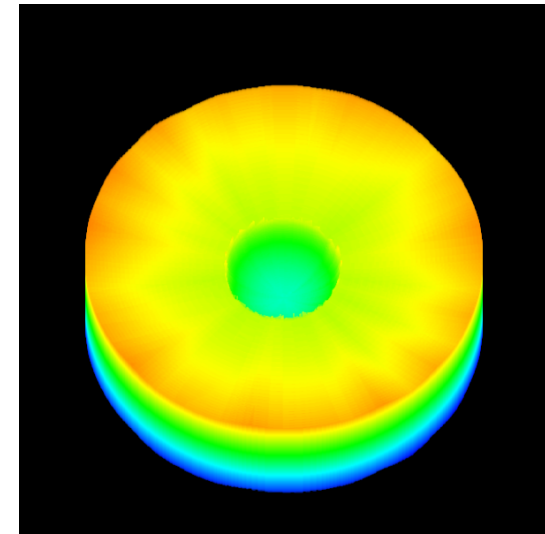
従来手法 vs. 提案手法



位置合わせなし



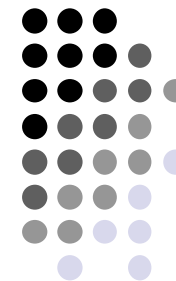
従来手法



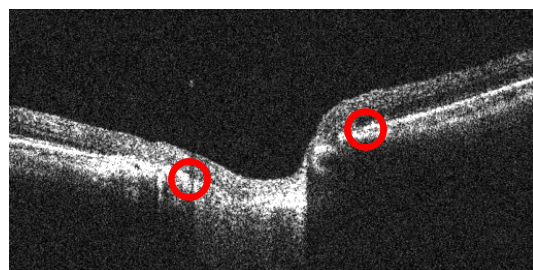
提案手法

	楕円率[%]	長軸誤差	短軸誤差	目的関数値 O_2
正解	100	0.000	0.000	0.000
従来手法	72.6	14.071	7.812	0.381
提案手法	99.3	0.777	0.126	0.017

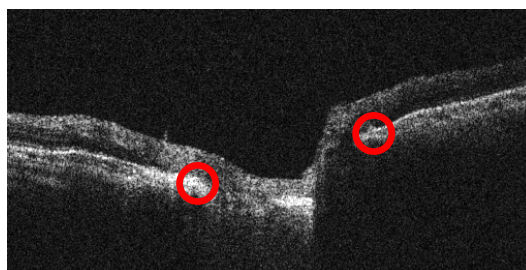
OCT断面画像を用いた比較



OCT断面画像18枚



0 [deg.]



30 [deg.]



60 [deg.]



90 [deg.]



120 [deg.]

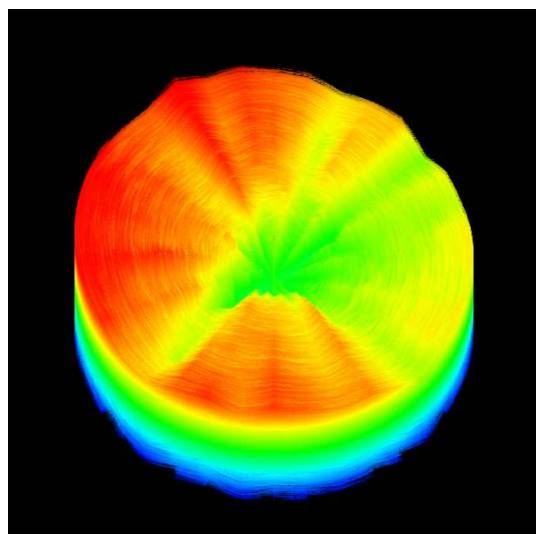
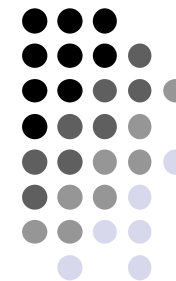


150 [deg.]

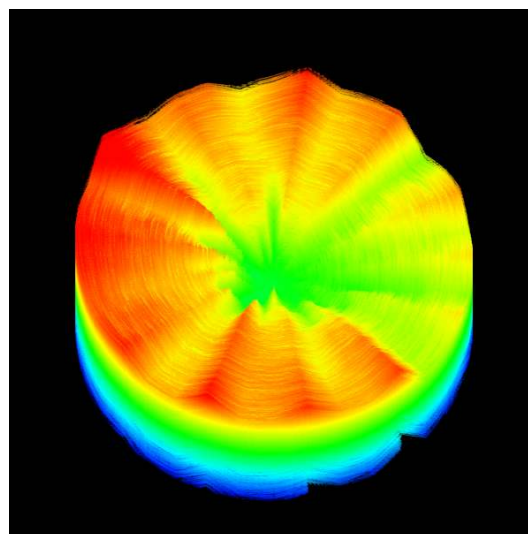
RPE末端点

評価方法: 定性的評価のみ

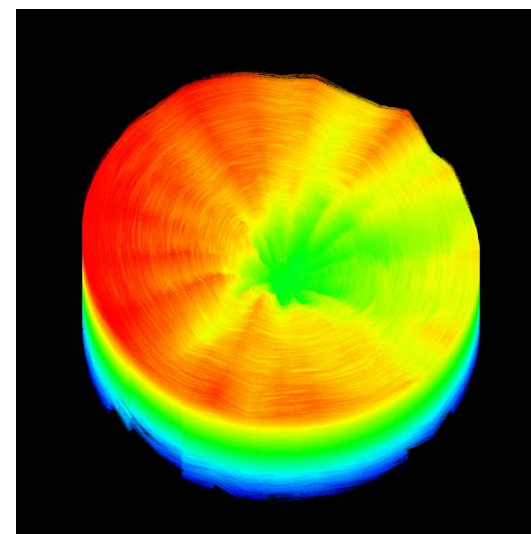
従来手法 vs. 提案手法



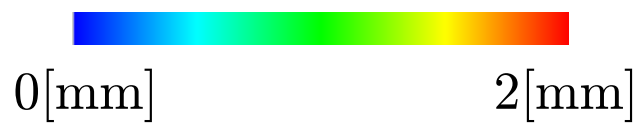
位置合わせなし



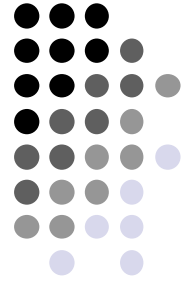
従来手法



提案手法

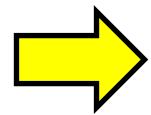


まとめと今後の課題



まとめ

- ・眼球運動を考慮した位置合わせパラメータ
- ・眼底の形状を考慮した目的関数



眼底モデルにて有用性を確認

今後の課題

- ・定量的評価の検討
- ・様々なデータを用いた実験
- ・最適化法の検討