

表面下散乱シミュレーションと 放射照度分布特性を考慮した表示モデル

広島大学大学院工学研究科情報工学専攻
知的システムモデリング研究室

高村 幸平(Takamura Kohei)

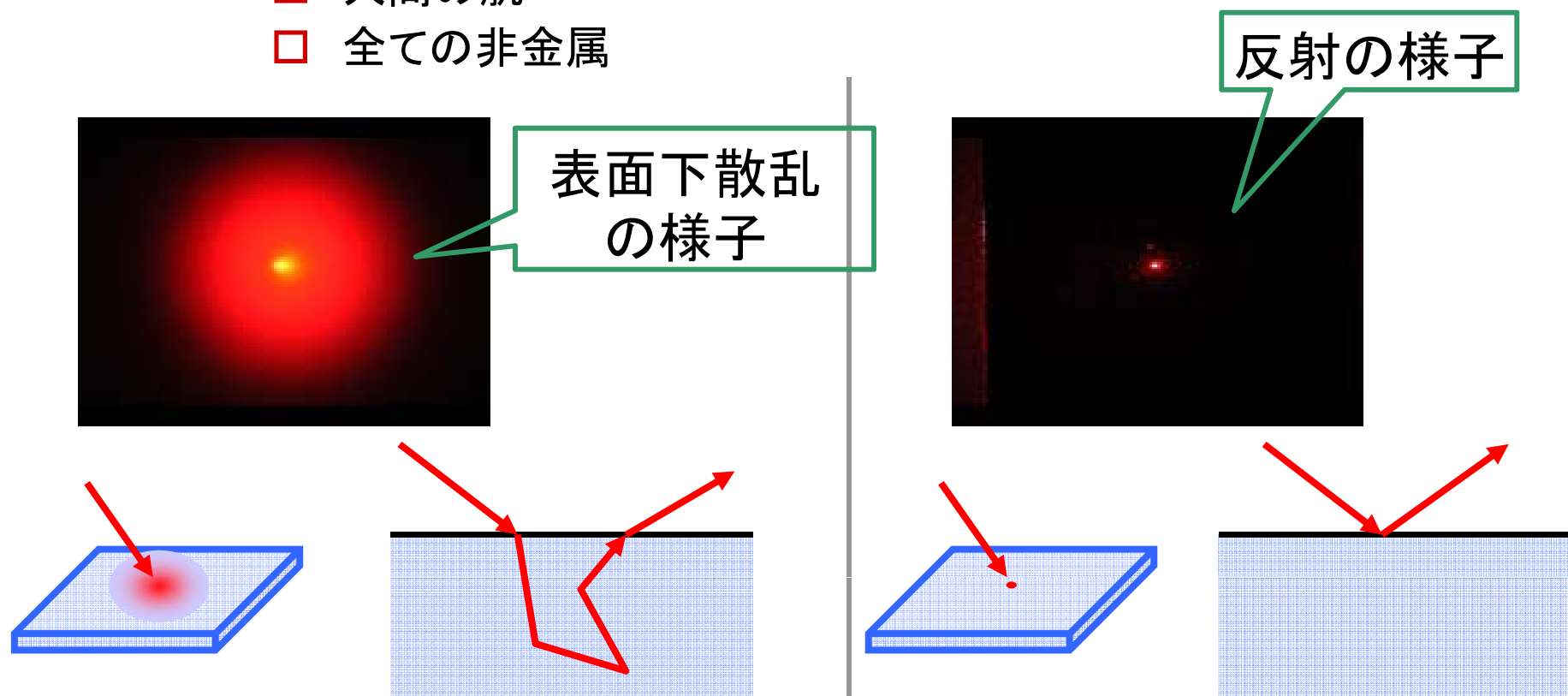
2009/10/22

表面下散乱とは

□ 物質内部で起こる光の散乱現象

■ 表面下散乱を起こす物質

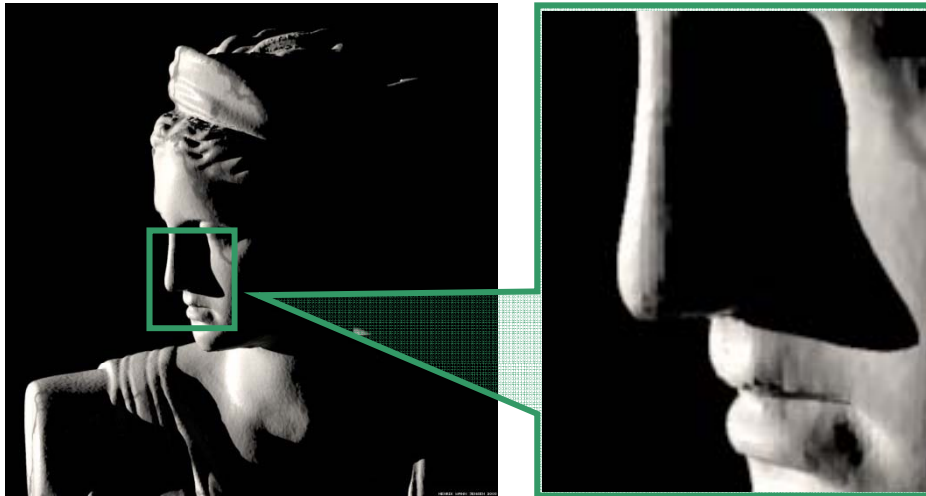
- 大理石
- アクリル
- 人間の肌
- 全ての非金属



「反射のみ」と「表面下散乱」の比較

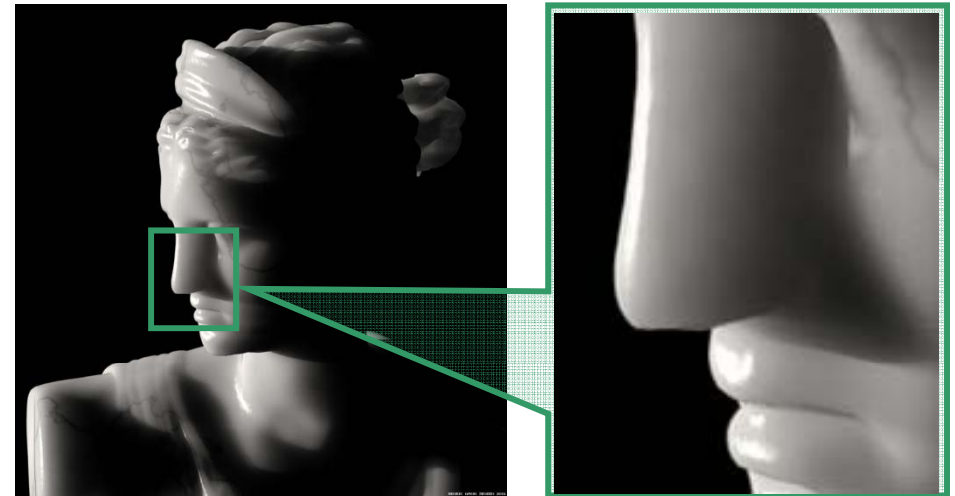
□ 物質表面上の反射のみ

- 金属の表現には有効
 - 金属は鏡面反射成分が強い
- 計算コストが低い
 - 入射・出射点が同一
 - 入射・出射角の関係



□ 表面下散乱

- 厳密な表現
 - 光が透けて見える効果
 - 柔らかな物質の表現
- 計算コストが高い



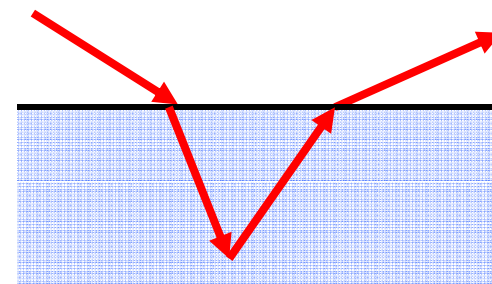
[H. W. Jensen, S. R. Marschener, M. Levoy, P. Hanrahan, "A practical model for subsurface light transport", Proc. SIGGRAPH'01]

Jensenらの手法

[Jensen et al 2001]

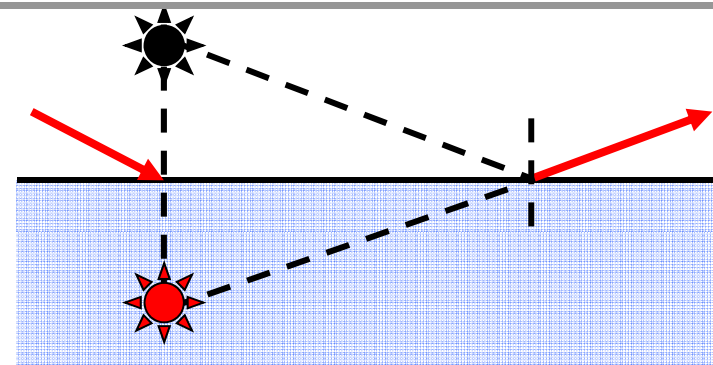
□ 単散乱成分

- 光の追跡



□ 多重散乱成分

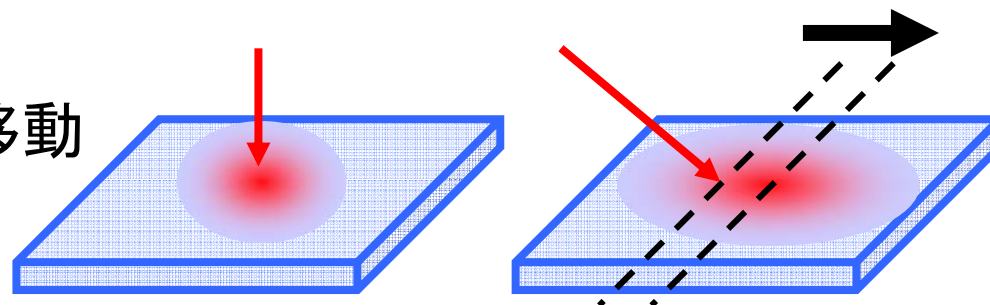
- 双極子点光源により近似



問題点

□ 入射角変化時の光の分布変化を考慮できない

- 光の分布形状の変化
- 最も明るくなる位置の移動



近年の動向

- 画像表示の高精細化、大画面化
- HDR(High Dynamic Range)画像

- 実世界に近い映像表現
- 幅広い輝度レンジを持つ
 - 従来の8bitより大きな輝度レンジ



- 細かい数値データの影響

視覚的判断に基づく近似の限界

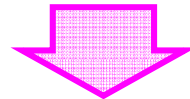
入射角変化時の光の分布変化の影響

高精度な表面下散乱モデルの開発が必要

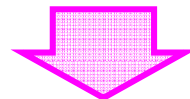
本研究の目標

高精度な表面下散乱放射照度分布を得る
(Sub-Surface Scattering Irradiance Distribution : SSSID)

表面下散乱シミュレーションから代表SSSIDを取得

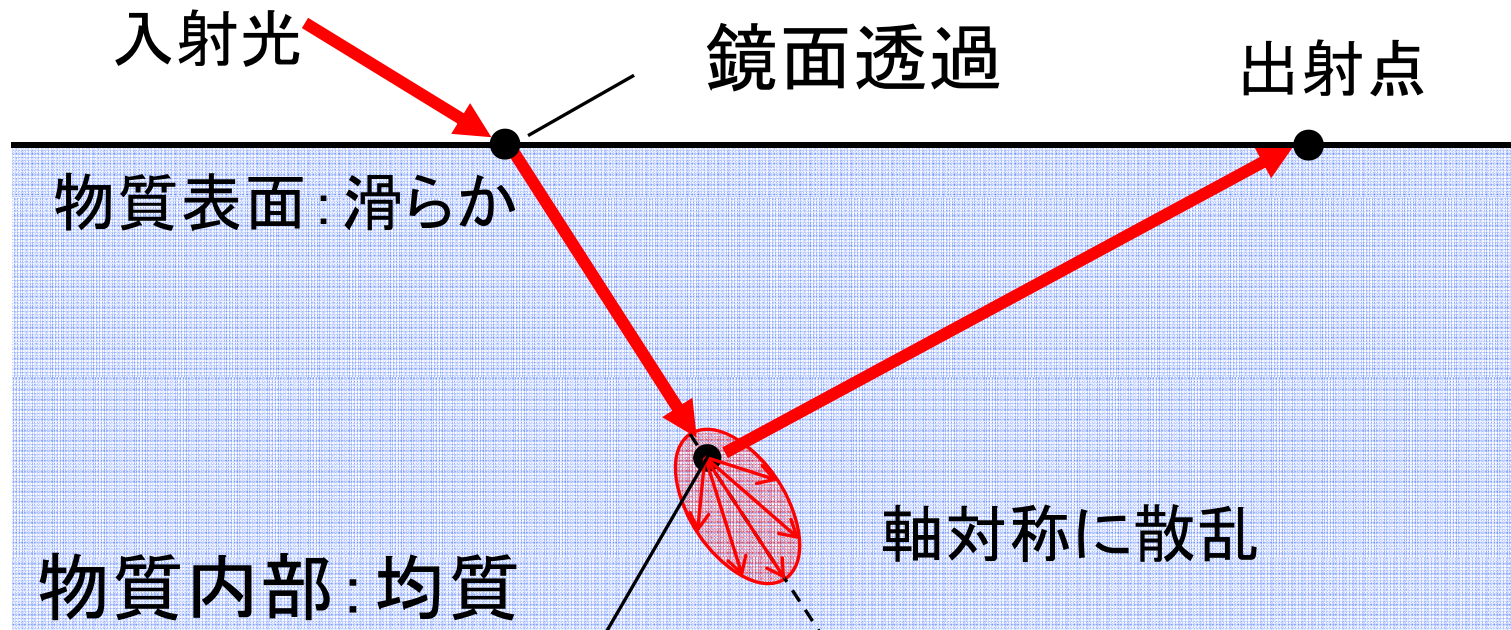


中間のSSSIDを補間



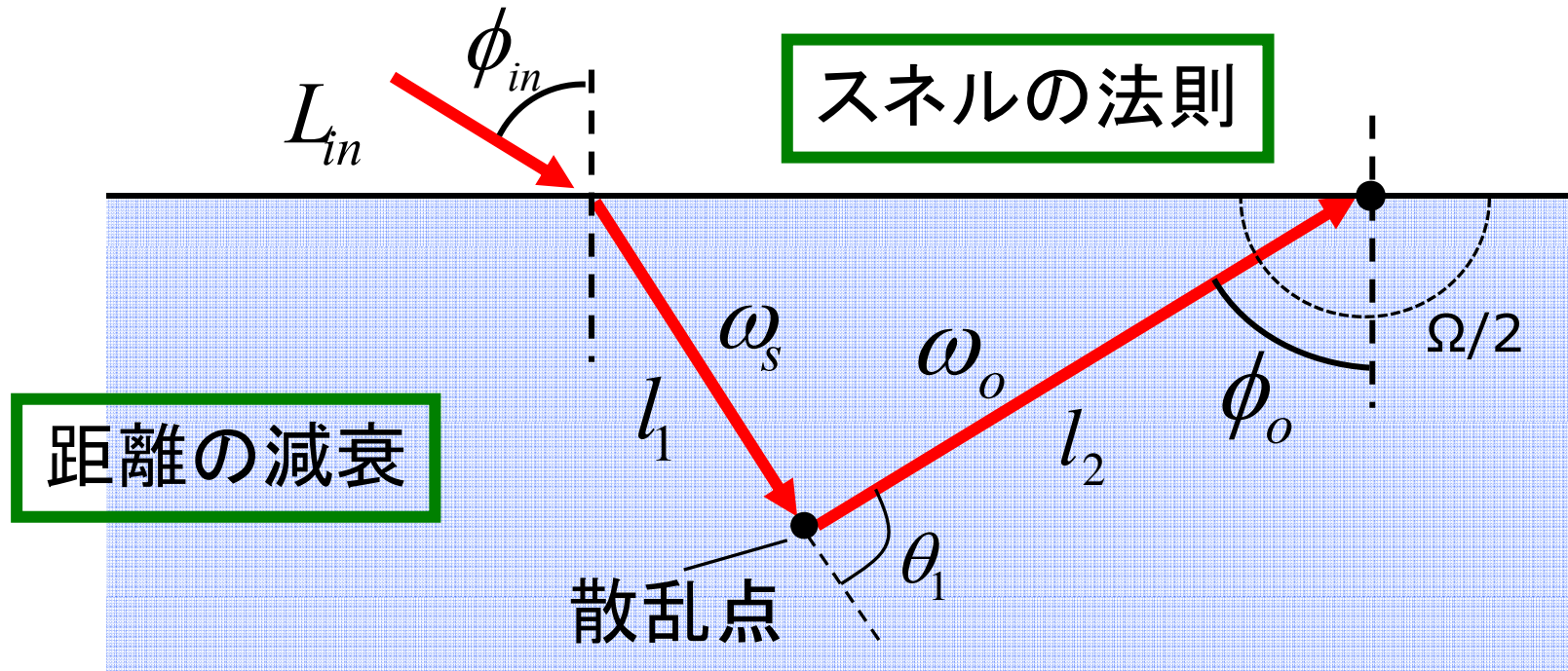
任意の光の入射角や物質パラメータの変化に応じて変化する
表示モデルを提案する

シミュレーションモデル



散乱点: Henyey-Greenstein位相関数
[Henyey et al 1941]

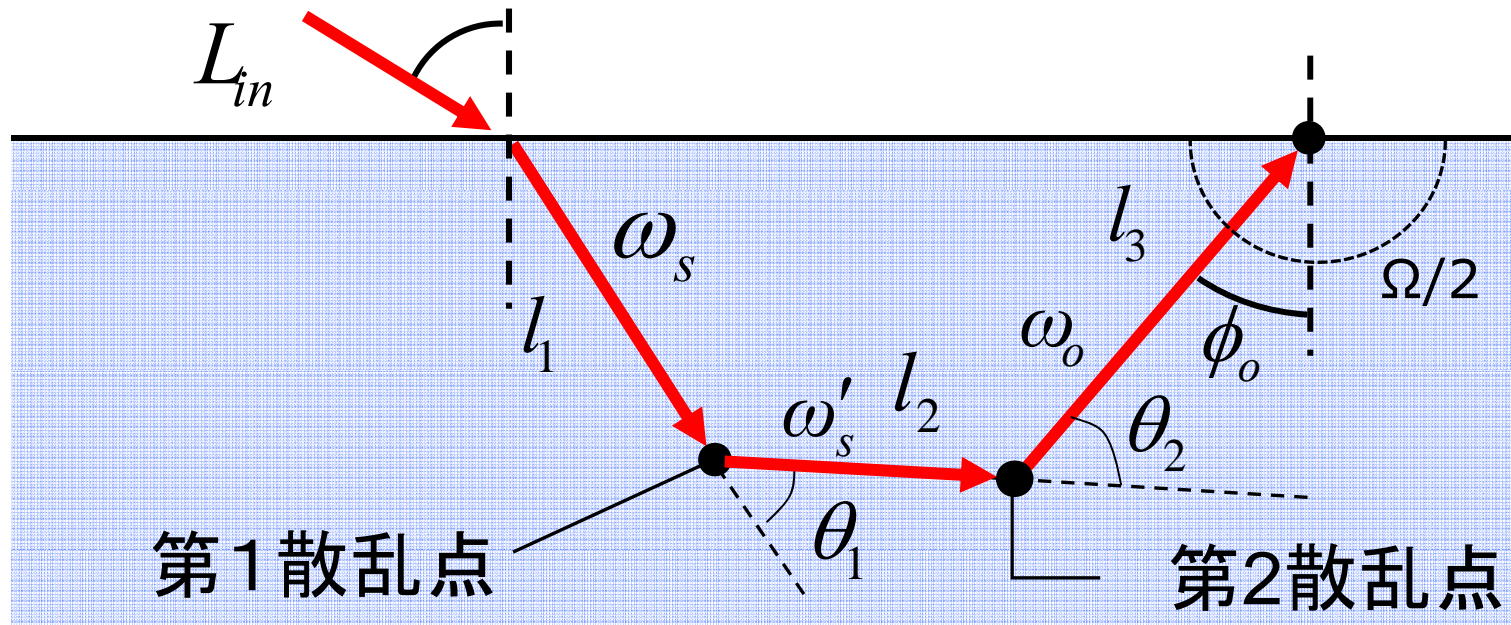
定式化 単散乱



$$L_1 = \int \sigma_s e^{-\sigma_t l_2} \int_{\Omega} p(\theta_1) L_{in} F(\phi_{in}) e^{-\sigma_t l_1} d\omega_s dl_2$$

$$E_1 = \int_{\Omega/2} L_1 \cos \phi_o d\omega_o \quad \text{フレネルの透過率}$$

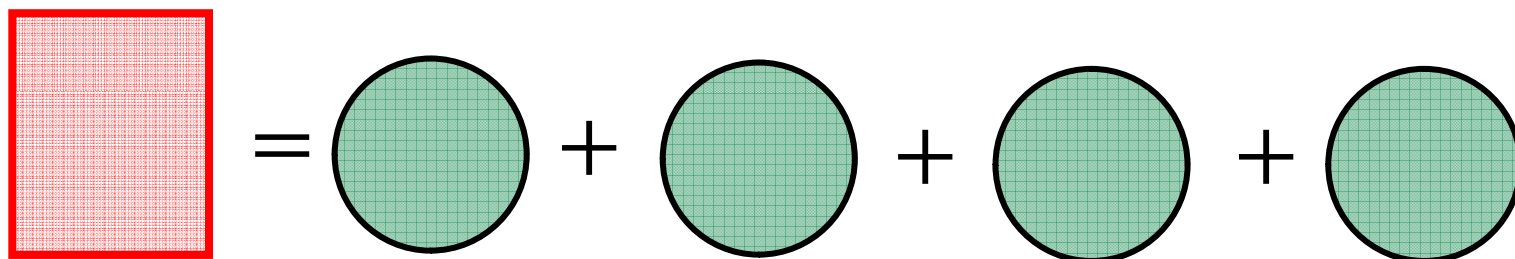
定式化 2次散乱



$$L_2 = \int \sigma_s e^{-\sigma_t l_3} \int_{\Omega} p(\theta_2) L_1 d\omega'_s dl_3$$

$$E_2 = \int_{\Omega/2} L_2 \cos \phi_o d\omega_o$$

離散化 第1散乱点の決定

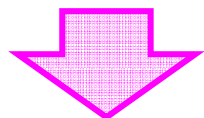


散乱点の間隔決定

光ビームが通過する体積

||

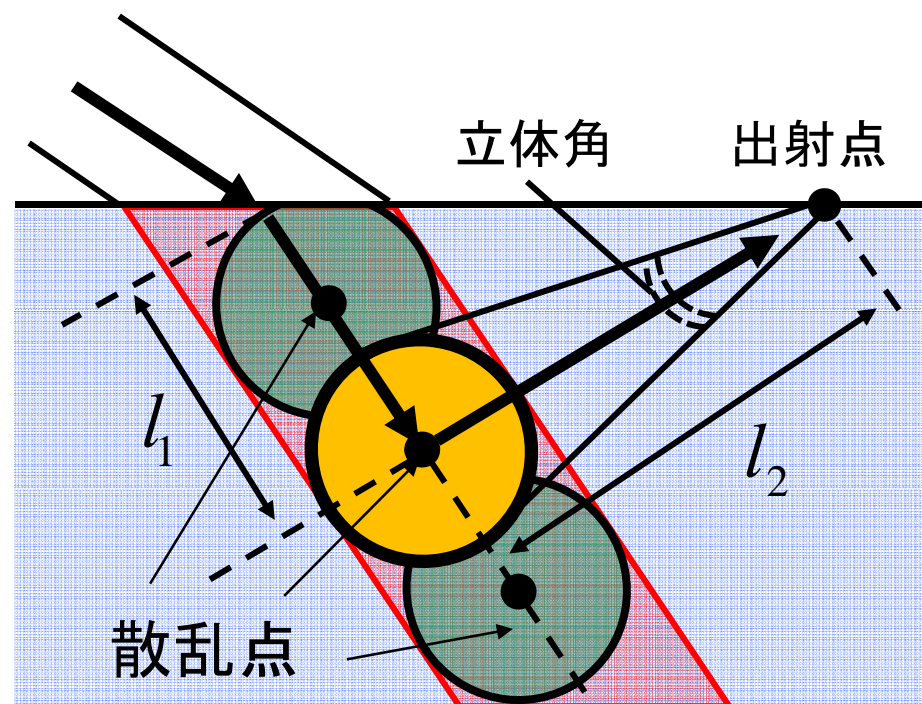
球ボリユームの和



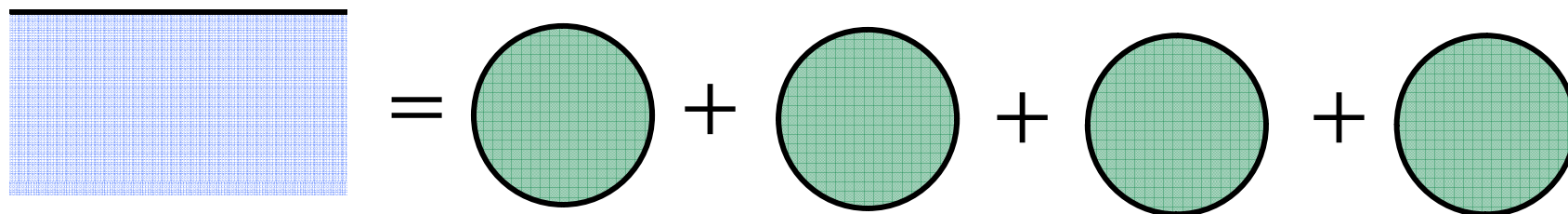
球ボリユームの中心点

||

散乱点



離散化 第2散乱点決定



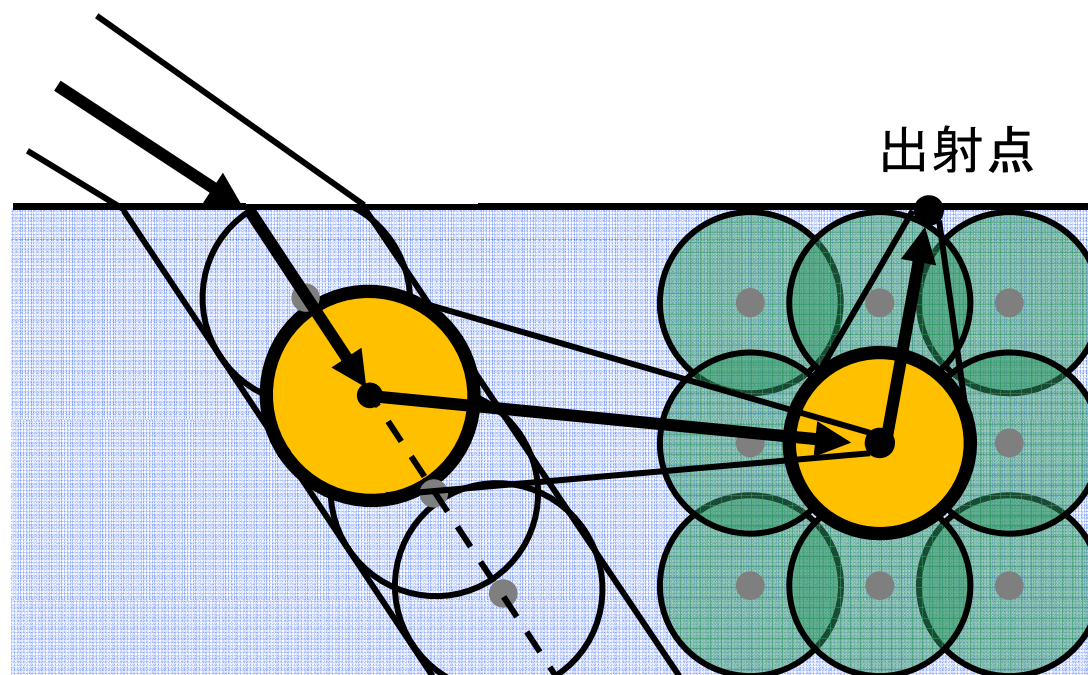
物質体積

||

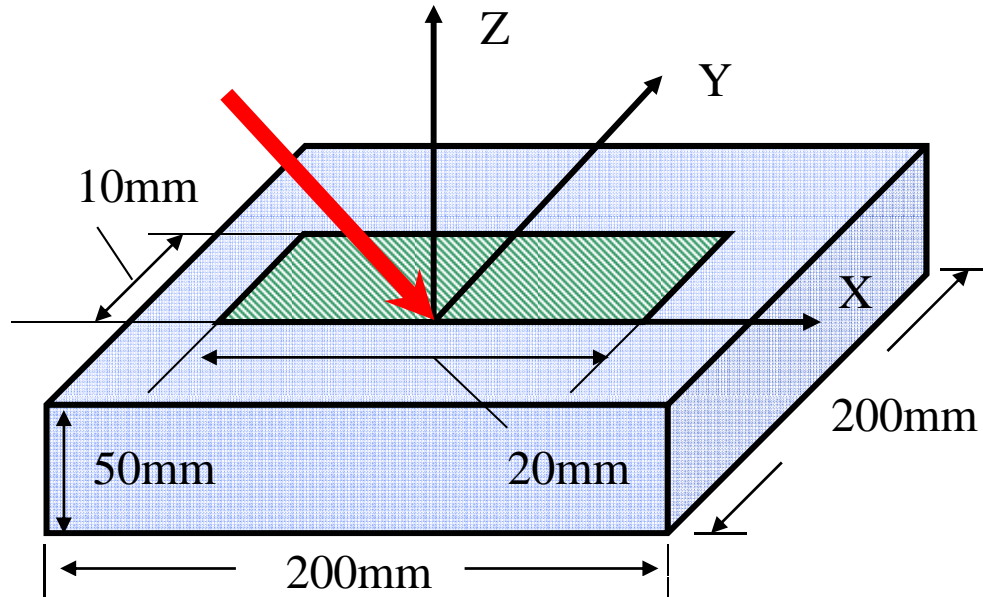
球ボリュームの和



第2散乱点決定



数値シミュレーション



物質平面:
200mm × 200mm

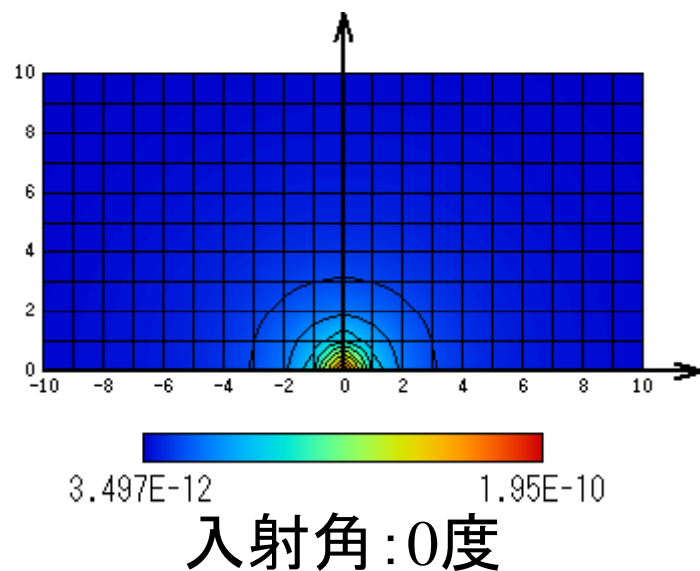
厚さ: 50mm

観測範囲:
20mm × 10mm

□ 代表SSSID

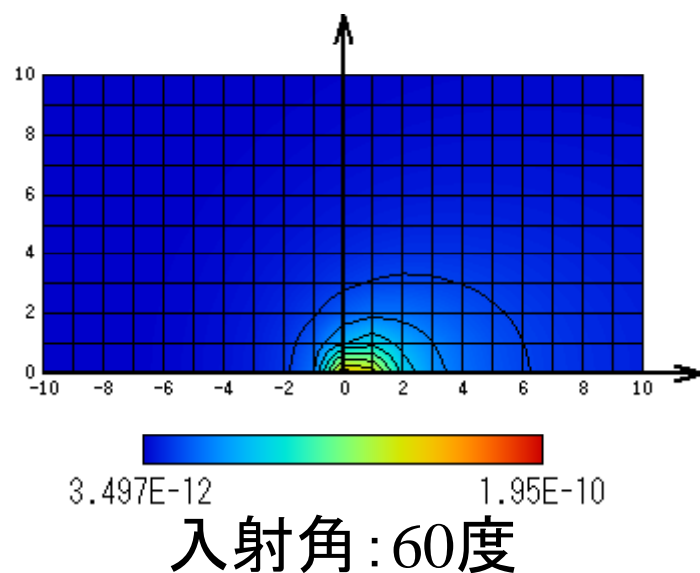
- 入射角: 0~75度(15度刻み)
- 位相関数パラメータ: 0~1(0.2刻み)
- アルベド: 0.001~0.999(0.2刻み)

単散乱シミュレーション結果



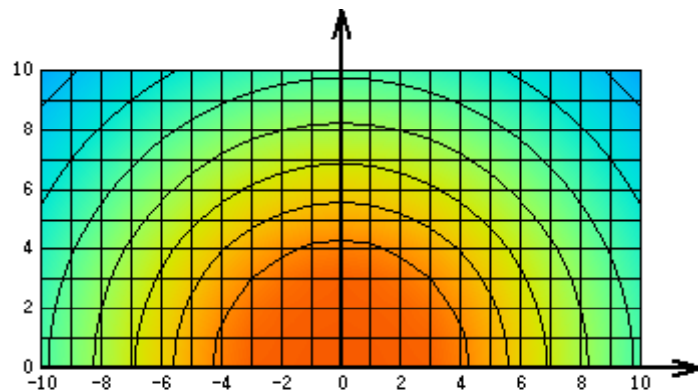
用いたパラメータ

散乱係数	2.19
消散係数	2.1921
アルベド	0.999
位相関数パラメータ	0
屈折率	1.5



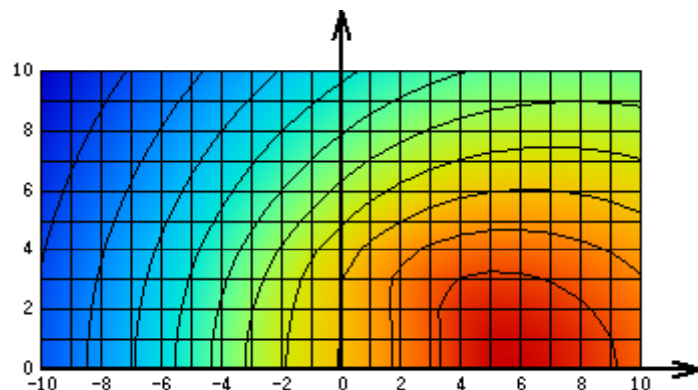
- 最大放射照度位置が入射点からずれる
- 分布形状が歪む

2次散乱シミュレーション結果



2.259E-13 5.487E-13

入射角:0度



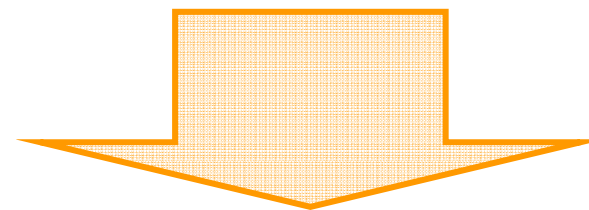
2.259E-13 5.487E-13

入射角:60度

- 単散乱成分より広い分布
- 入射角変化時の最大放射照度位置の移動量大きい

2次散乱シミュレーションの問題点

計算コストが高い

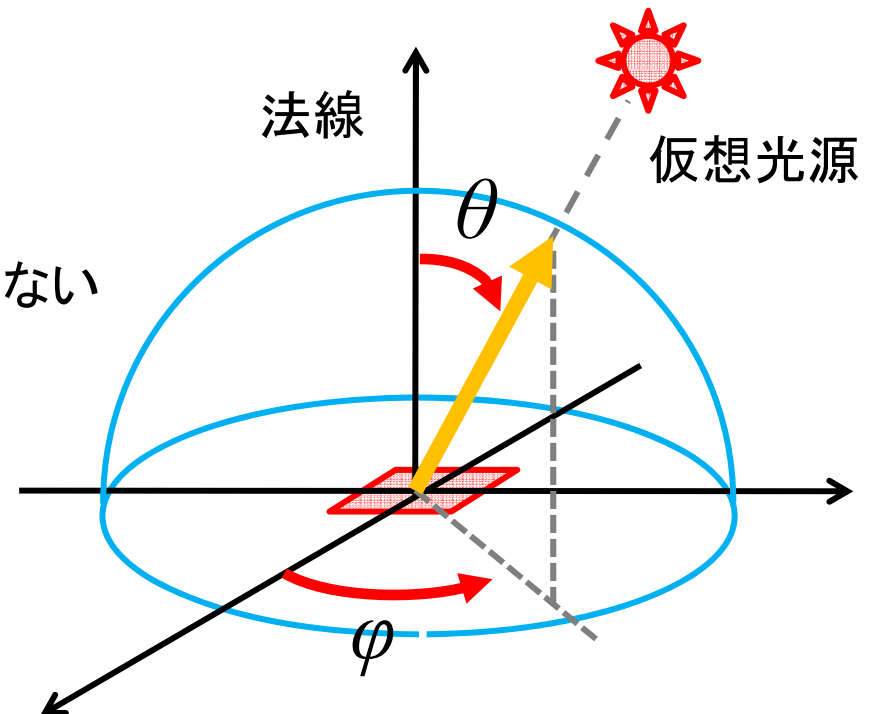
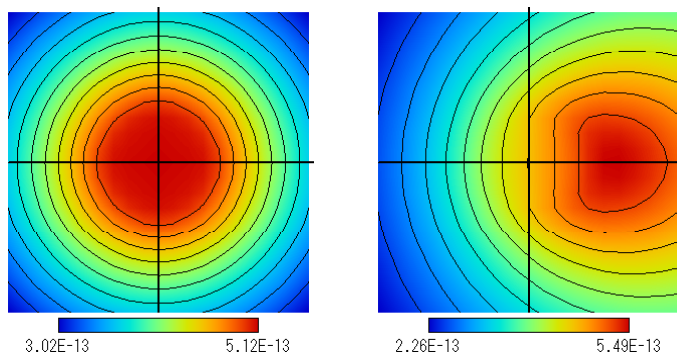


中間のSSSIDを補間

中間SSSID補間方法

画素から仮想光源に向かうベクトルと面の法線とのなす角度を用いてSSSIDを補間

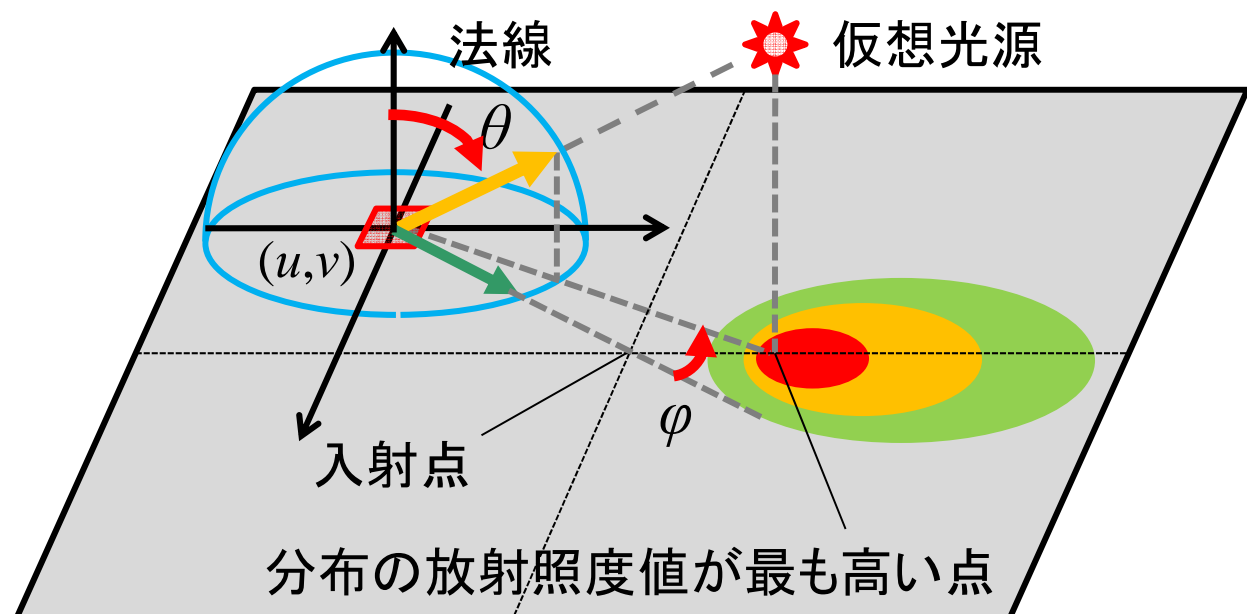
- 規則性を見つけるのは困難
 - 最大放射照度位置の移動
 - 分布形状の歪み
- 線形補間では誤差が大きい
 - 分布形状全体の変化を考慮できない



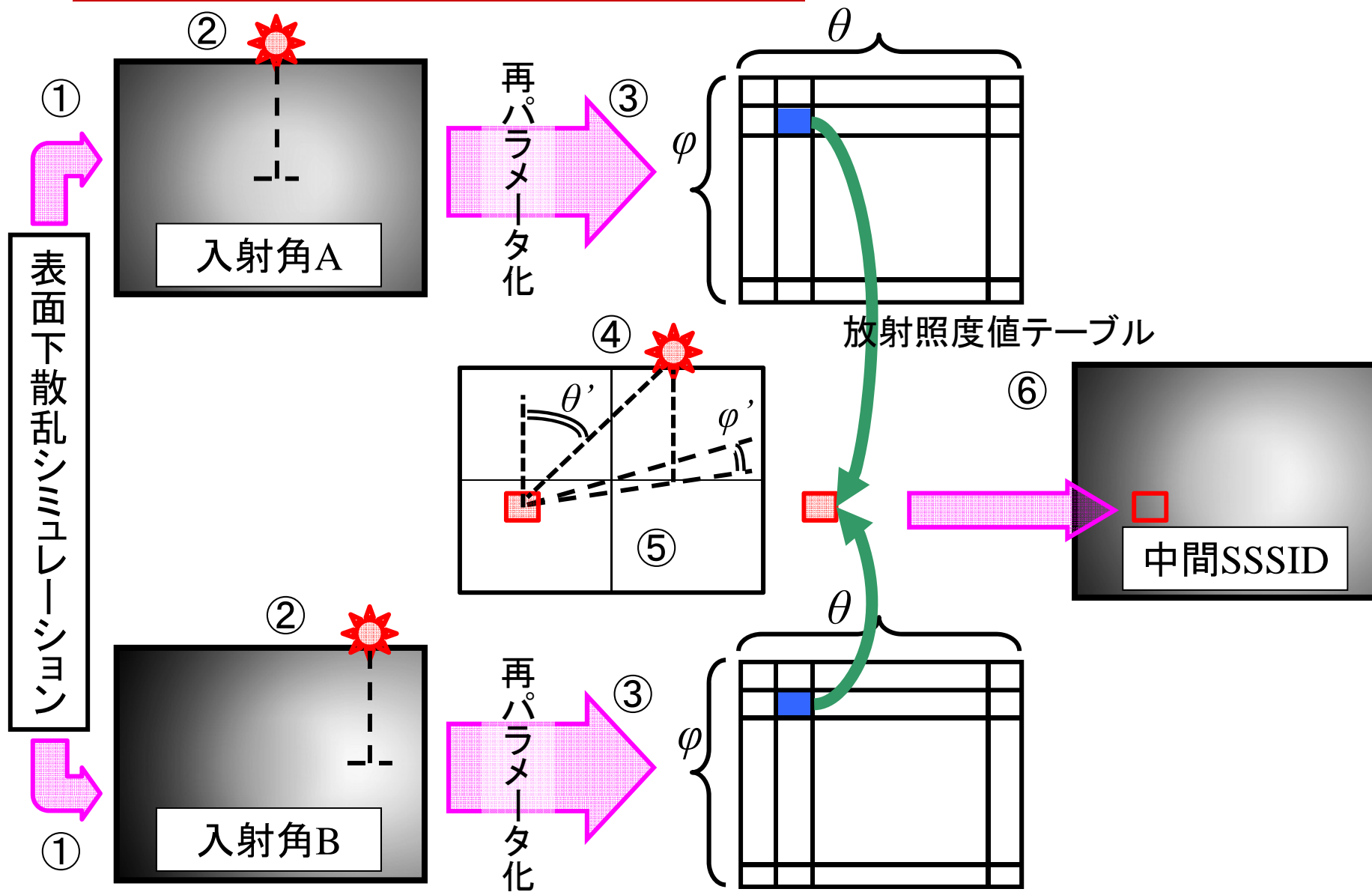
中間SSSID補間概念

- SSSIDの性質を利用
 - 拡散反射光分布に近い形状
 - 最大放射照度位置が入射角に応じて移動

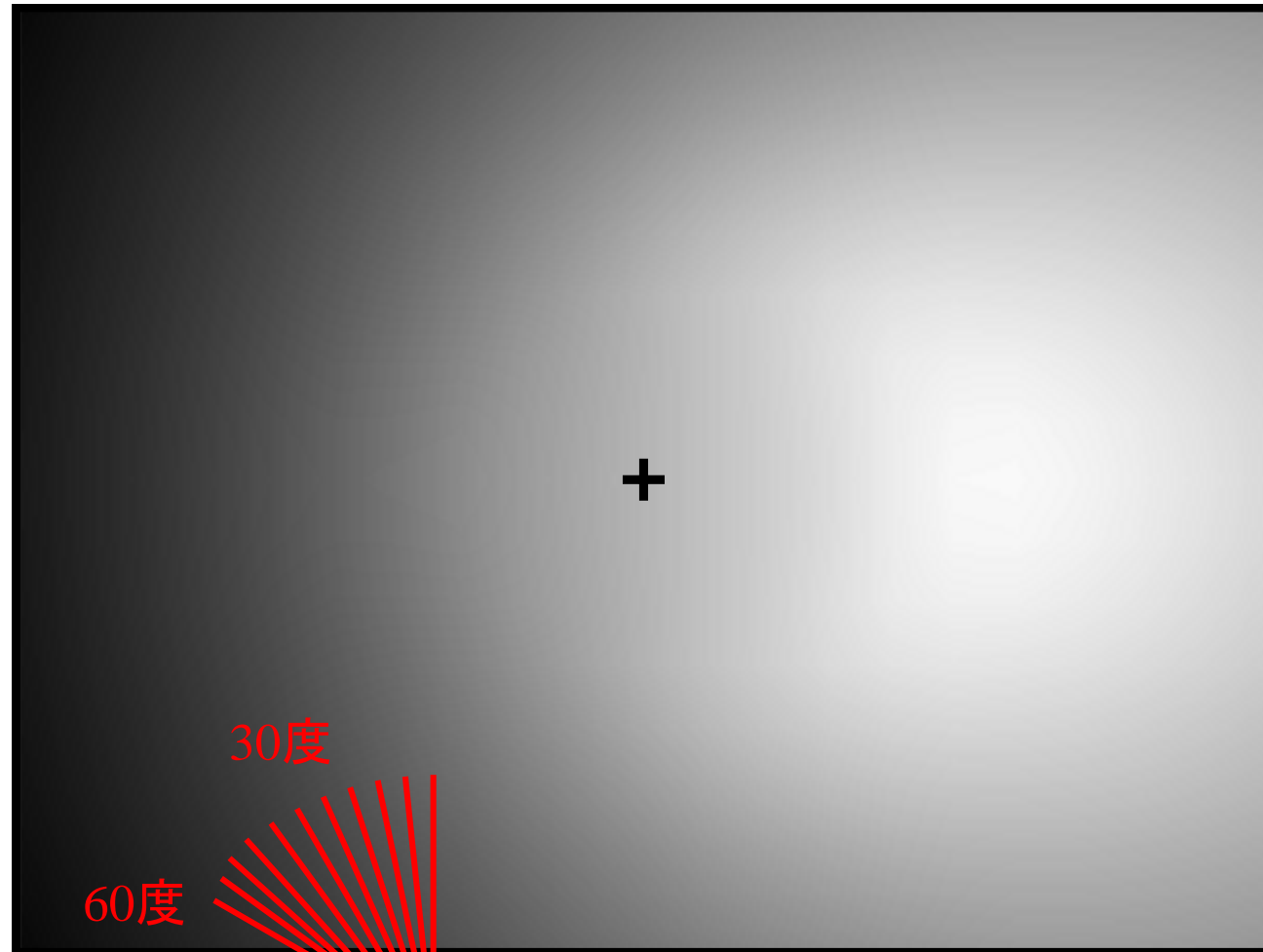
SSSIDを仮想光源位置に依存したパラメータ空間で表現



中間SSSID補間手順



補間したSSSID(グレースケール)



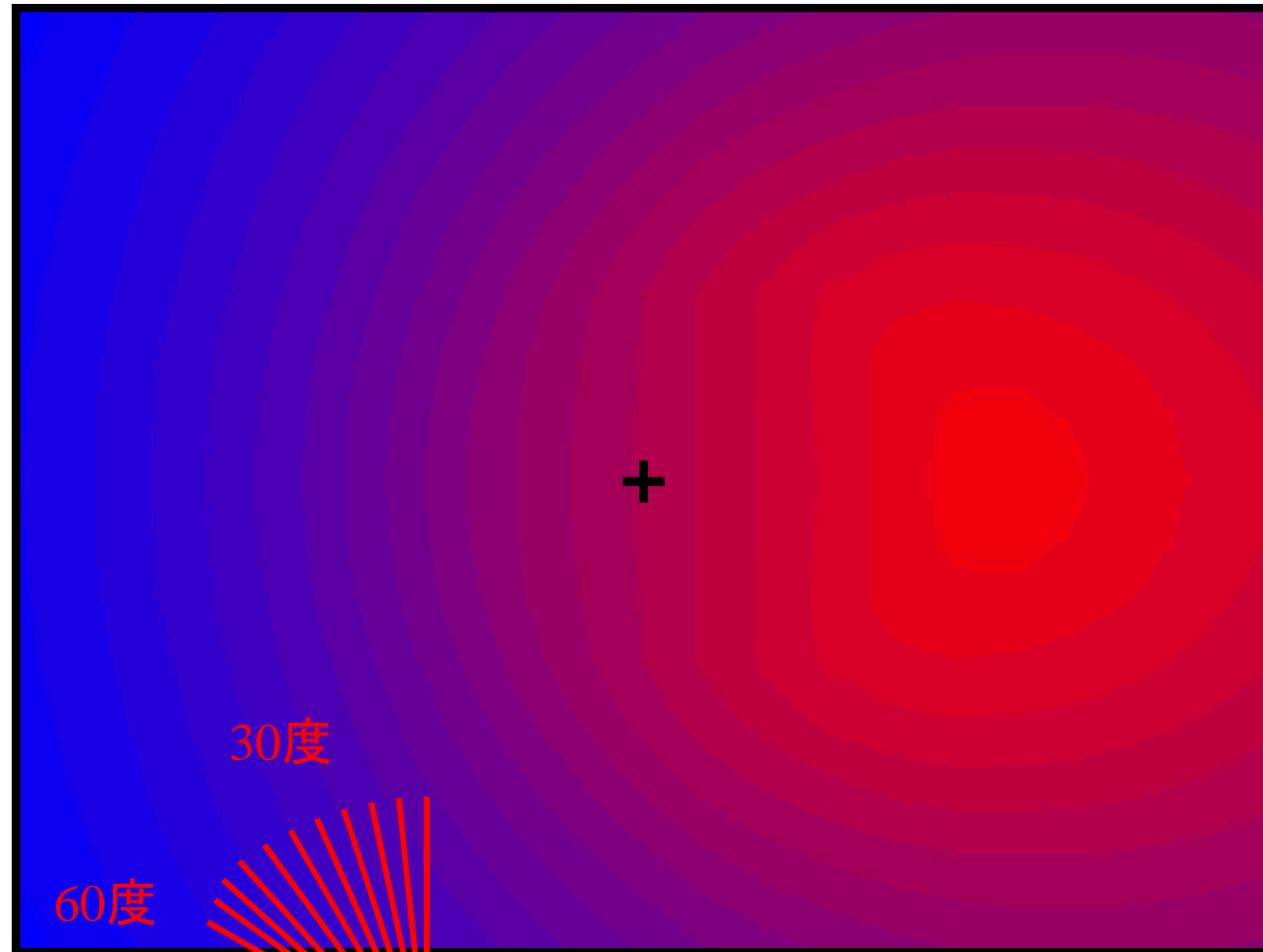
十字



光の入射点を
表す

入射角度

補間したSSSID(カラーマップ)



ポインタ



仮想光源位置を
表す

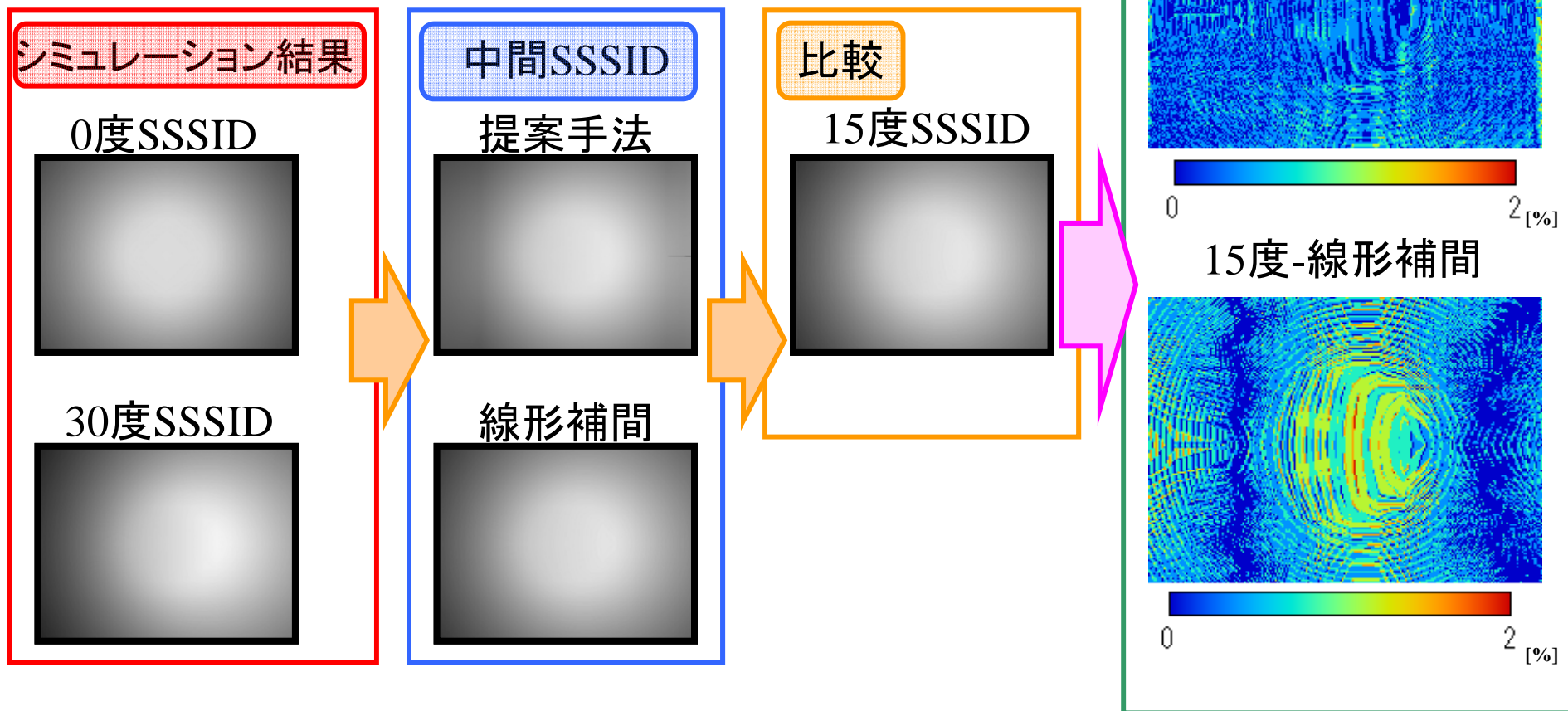
カラーバー



量子化レベルを
落として表示

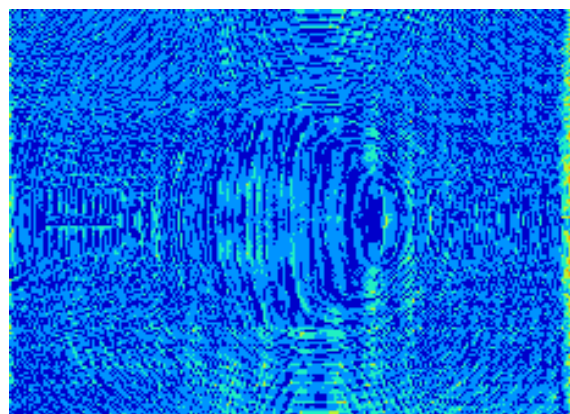
精度検討

- 0度-30度の2枚のSSSID
 - 提案手法から15度のSSSIDを作成
 - 線形補間から15度のSSSIDを作成
- 実際の15度SSSIDと比較



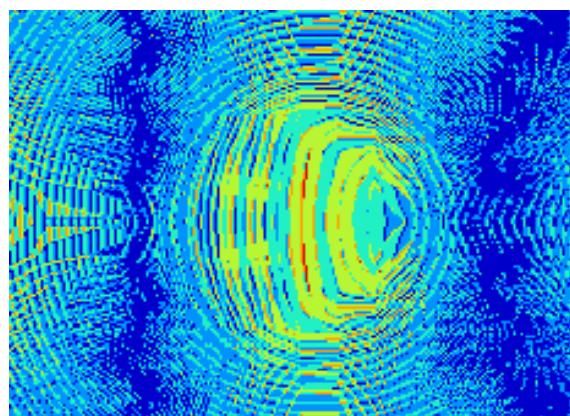
誤差比較

□ 画素の平均誤差を比較



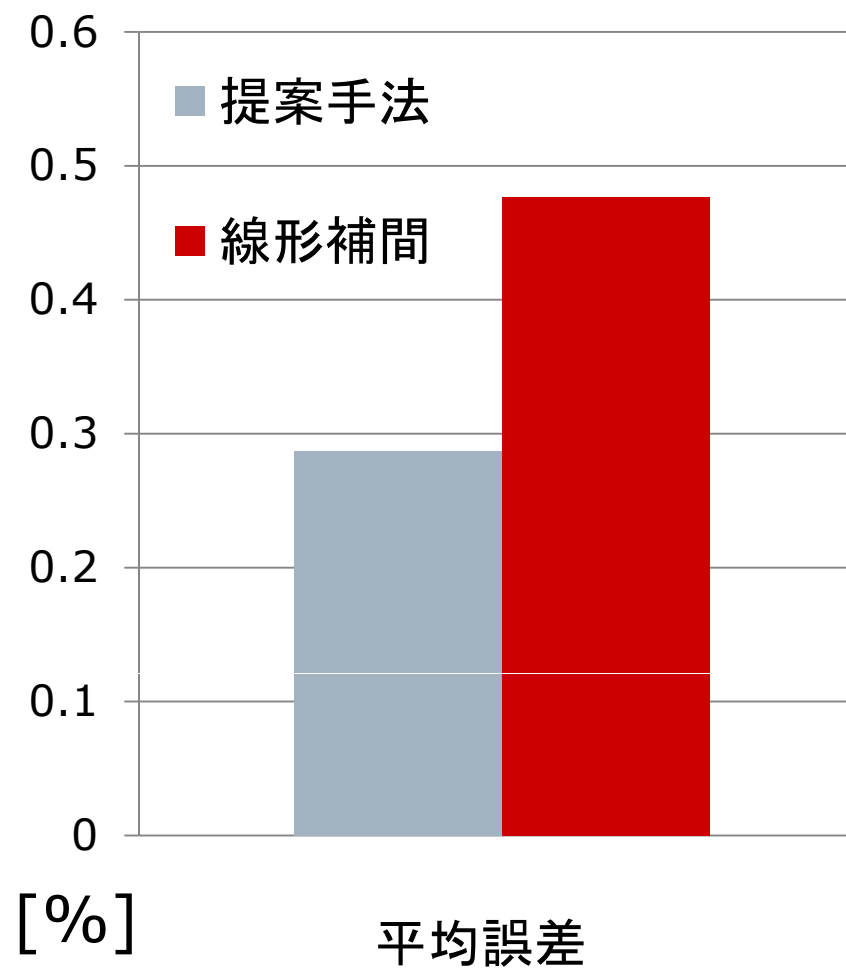
0

2 [%]



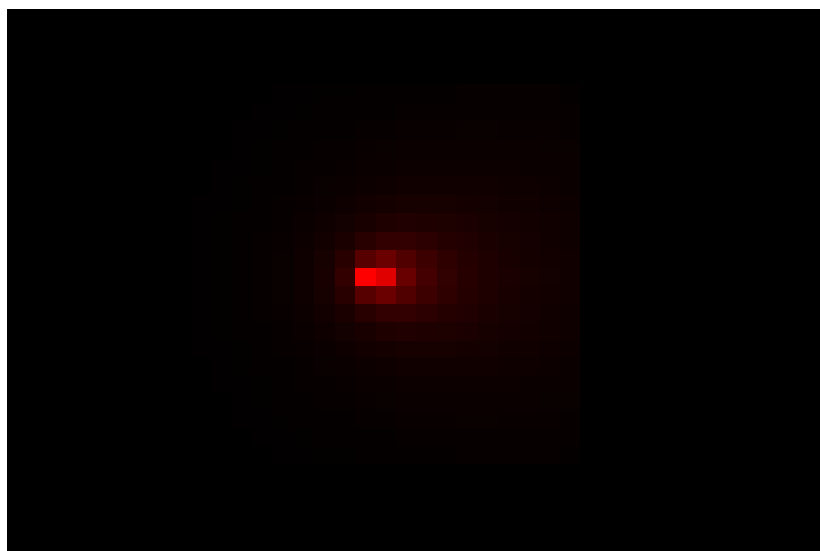
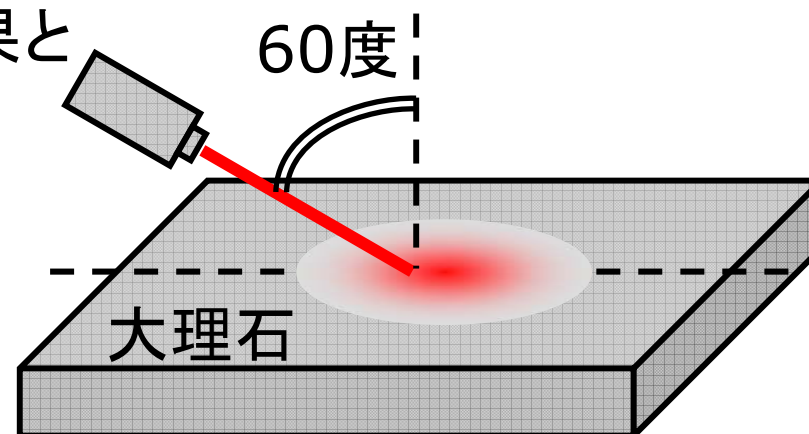
0

2 [%]

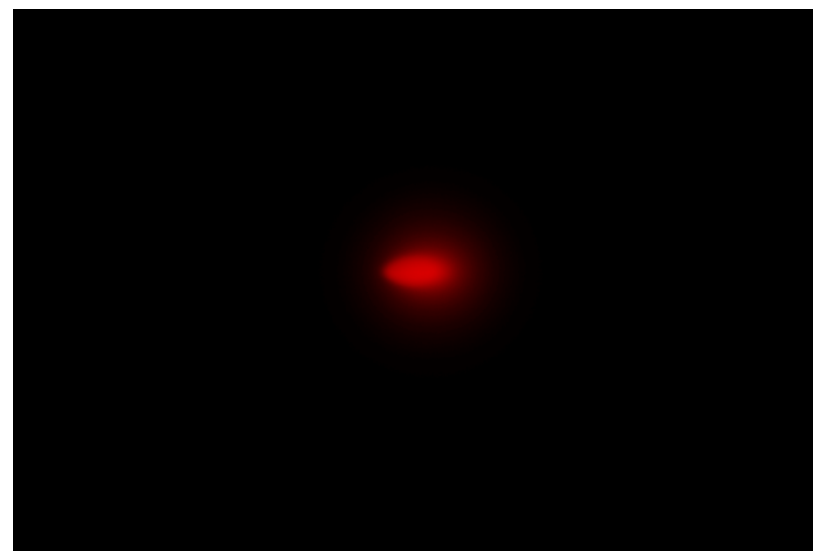


実写との比較

- 表面下散乱シミュレーション結果と実写との比較



シミュレーション結果



実写画像

まとめ

発表内容

- 光の散乱理論に基づくシミュレーションモデルの構築
 - 球ボリウムを用いた離散化
 - SSSIDの算出
- 仮想光源を用いた中間SSIDの補間
 - 散乱シミュレーションとの誤差比較

今後の課題

- 散乱シミュレーションの計算点の検討
 - 3次以上の散乱成分のシミュレーション
 - 入射角以外の物質パラメータ変化における中間SSIDの補間
 - 中間SSIDの精度の検討
-