

発表資料:

高村幸平, 益池功, 玉木徹, 金田和文: 「光ビームを用いた二層構造物質の表面下散乱シミュレーション」,
画像電子学会 第237回研究会講演予稿, 07-05-22, pp.133-140, 広島大学, 広島 (2008 03).

光ビームを用いた2層構造物質の 表面下散乱シミュレーション

高村 幸平† 益池 功‡ 玉木 徹‡ 金田 和文‡

†広島大学工学部

‡広島大学大学院工学研究科

発表の流れ

- はじめに
 - 背景
 - 関連研究
 - 本研究の目標
- 単層での表面下散乱シミュレーション
 - シミュレーションモデル
 - 定式化(単散乱、2次散乱)
 - 離散化
 - 数値シミュレーション
- 2層に拡張した表面下散乱シミュレーション
 - シミュレーションモデル
 - 定式化
 - 数値シミュレーション

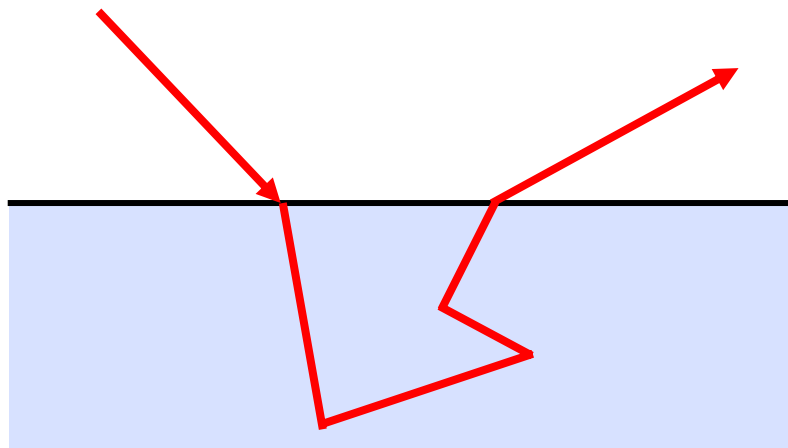
発表の流れ

- はじめに
 - 背景
 - 関連研究
 - 本研究の目標
- 単層での表面下散乱シミュレーション
 - シミュレーションモデル
 - 定式化(単散乱、2次散乱)
 - 離散化
 - 数値シミュレーション
- 2層に拡張した表面下散乱シミュレーション
 - シミュレーションモデル
 - 定式化
 - 数値シミュレーション

光の表面下散乱

光の表面下散乱とは

物質に入射した光が、さまざまな場所から出射していく前に物質**内部で起きる散乱**のこと



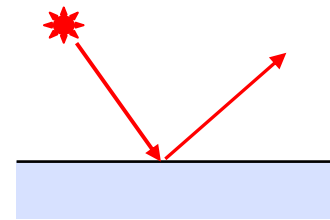
表面下散乱が起きる物質

- ・大理石
- ・人間の肌
- ・植物の葉
- ・すべての非金属

表面下散乱の必要性

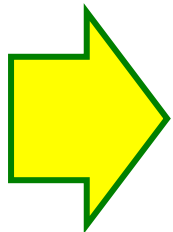
物質表面上の反射のみ考慮

➡ 金属等の表現には有効



しかし

- ・表面下散乱する物質を物質上の反射のみでフォトリリスティックに表現することはできない
- ・画像表示の高精細化や大画面化

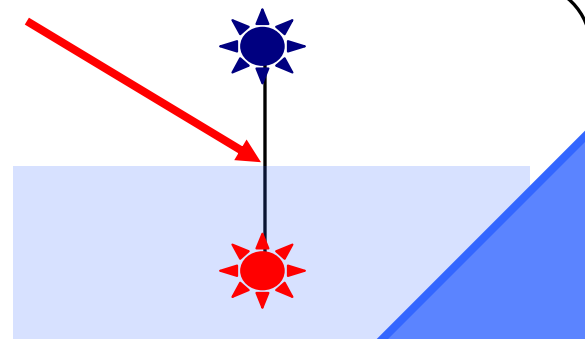


表面下散乱の考慮が必要

関連研究

双極子点光源 [Jensen et al 2001]

表面下散乱を
双極子点光源により近似



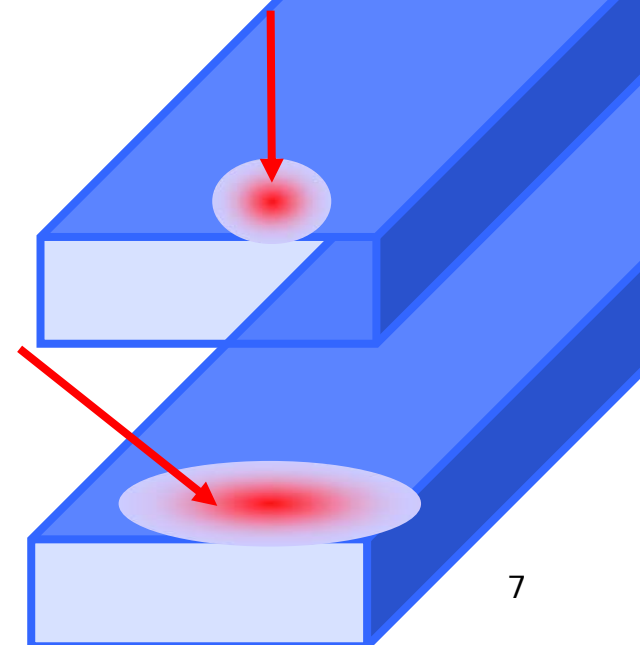
問題点

実際に起こる現象

- ・最も明るくなる位置の移動
- ・分布形状の変化

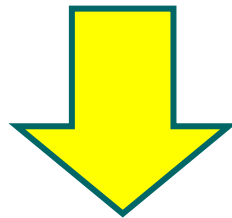


表現できない



本研究の目標

・光の散乱理論に基づく
シミュレーションモデルを構築



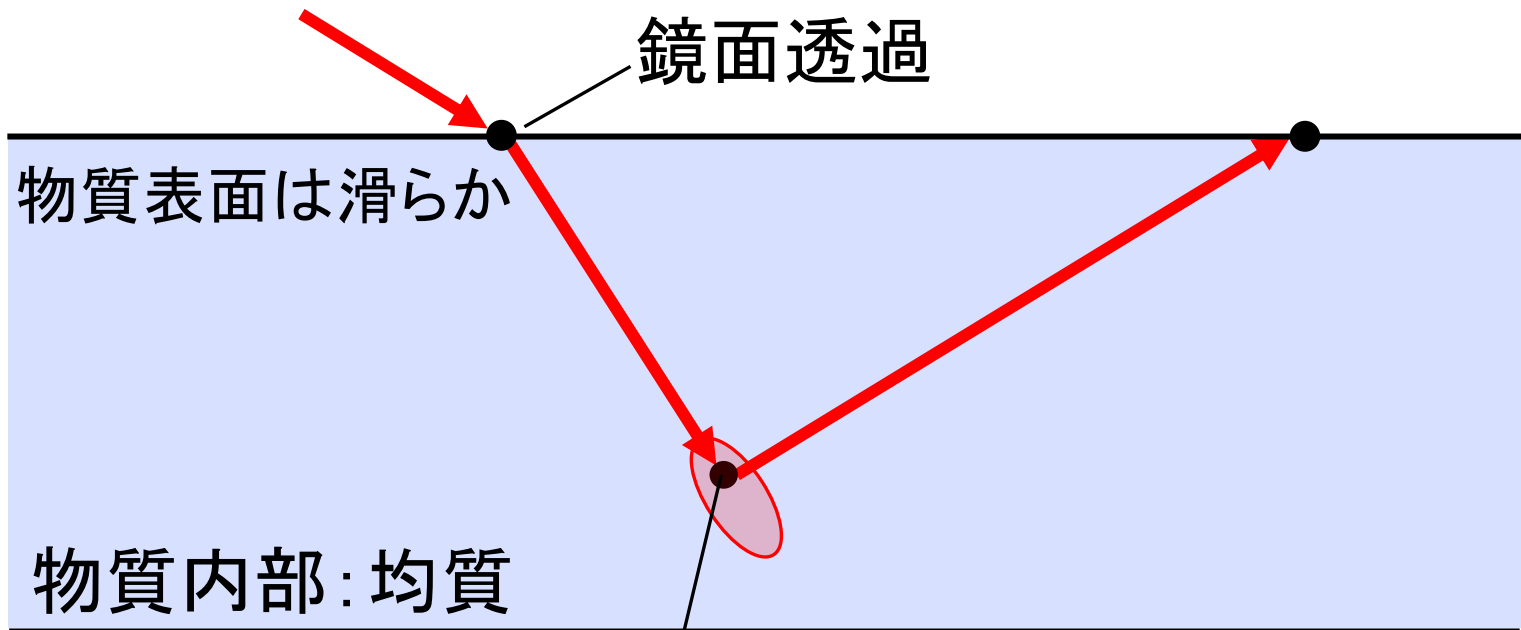
人の肌、植物は
多層からなる

・多層に拡張(第一段階として2層)

発表の流れ

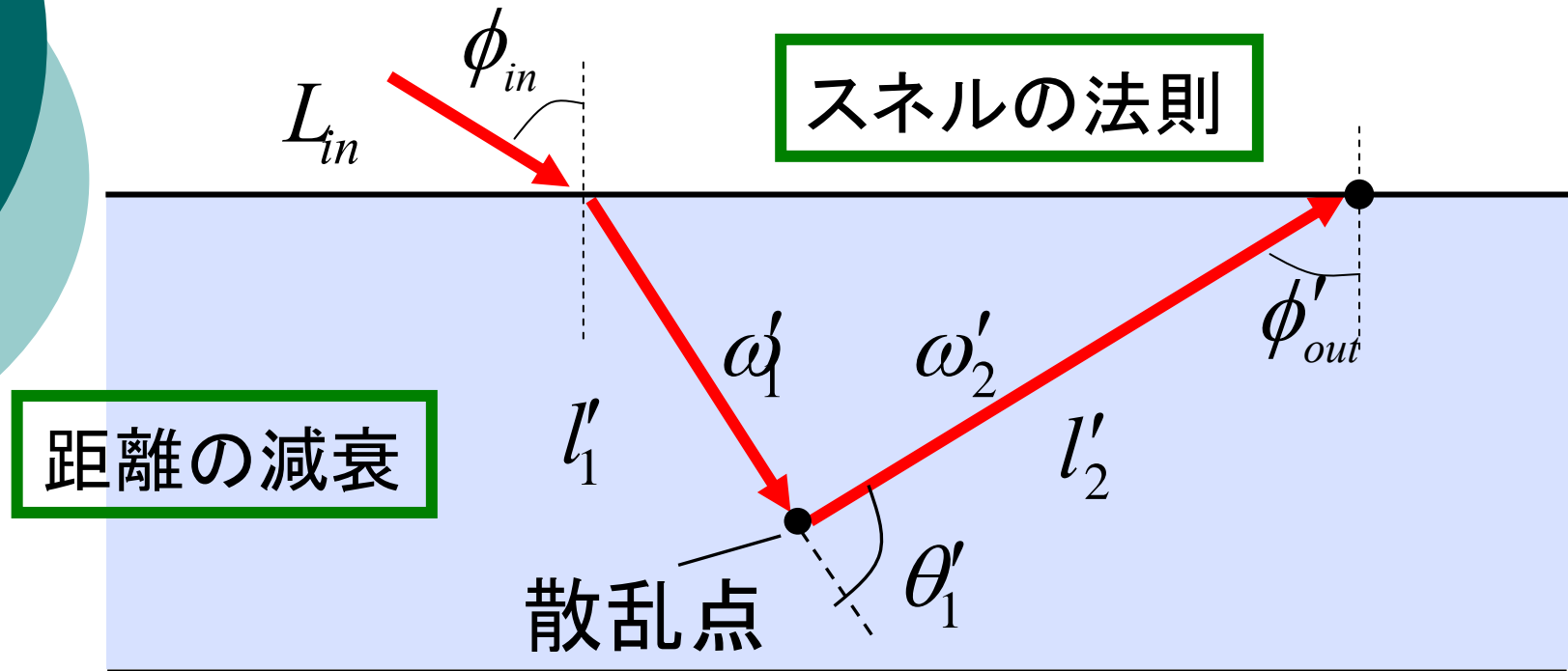
- はじめに
 - 背景
 - 関連研究
 - 本研究の目標
- 単層での表面下散乱シミュレーション
 - シミュレーションモデル
 - 定式化(単散乱、2次散乱)
 - 離散化
 - 数値シミュレーション
- 2層に拡張した表面下散乱シミュレーション
 - シミュレーションモデル
 - 定式化
 - 数値シミュレーション

シミュレーションモデル



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

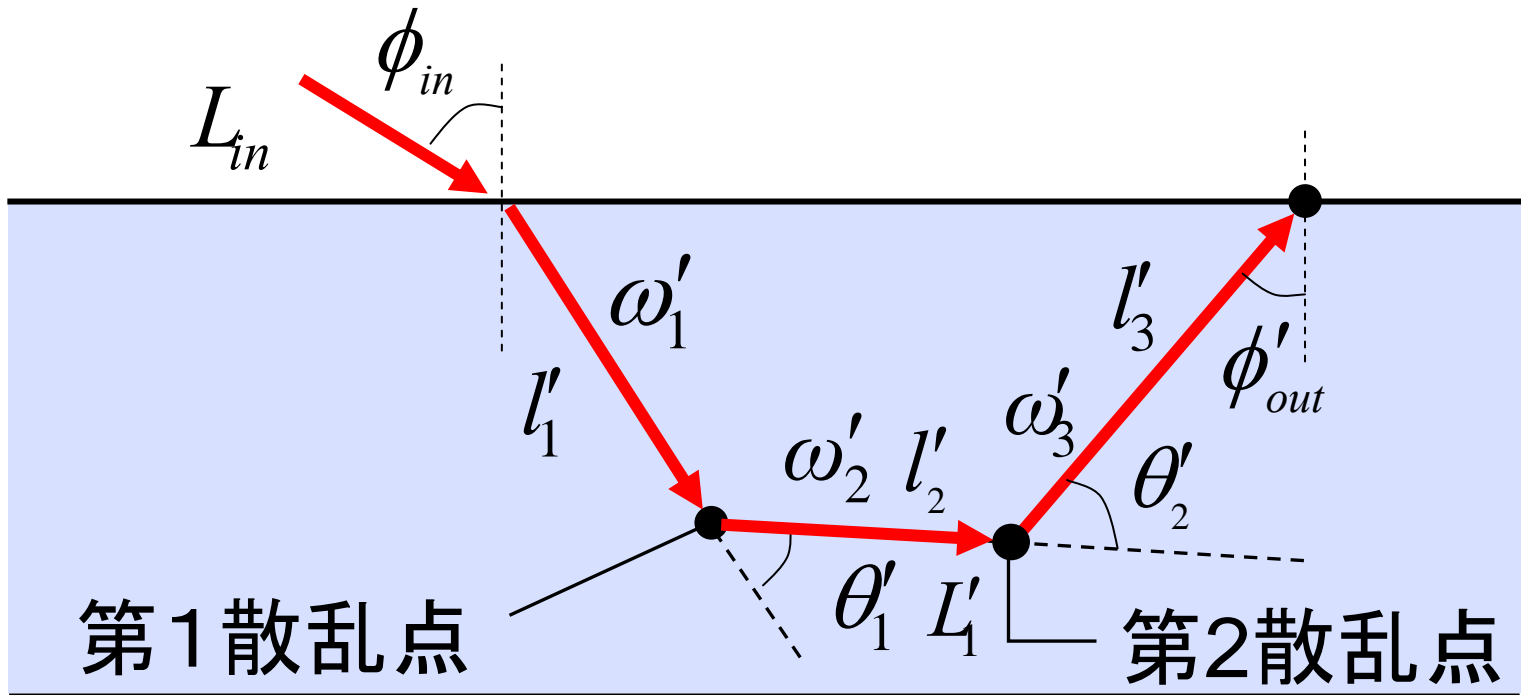
定式化 単散乱



$$L'_1 = \int \sigma'_s e^{-\sigma'_t l'_2} \int_{\Omega} p(\theta'_1) L_{in} F(\phi_{in}) e^{-\sigma'_t l'_1} d\omega'_1 dl'_2$$

$$E'_1 = \int_{\Omega/2} L'_1 \cos \phi'_{out} d\omega'_2 \quad \text{フレネルの透過率}$$

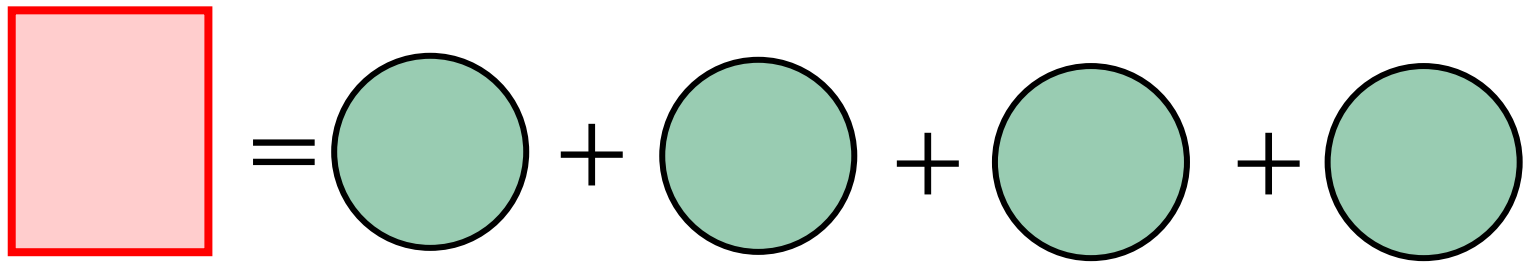
定式化 2次散乱



$$L'_2 = \int \sigma'_s e^{-\sigma'_t l'_3} \int_{\Omega} p(\theta'_2) L'_1 d\omega'_2 dl'_3$$

$$E'_2 = \int_{\Omega/2} L'_2 \cos \phi'_3 d\omega'_3$$

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

||

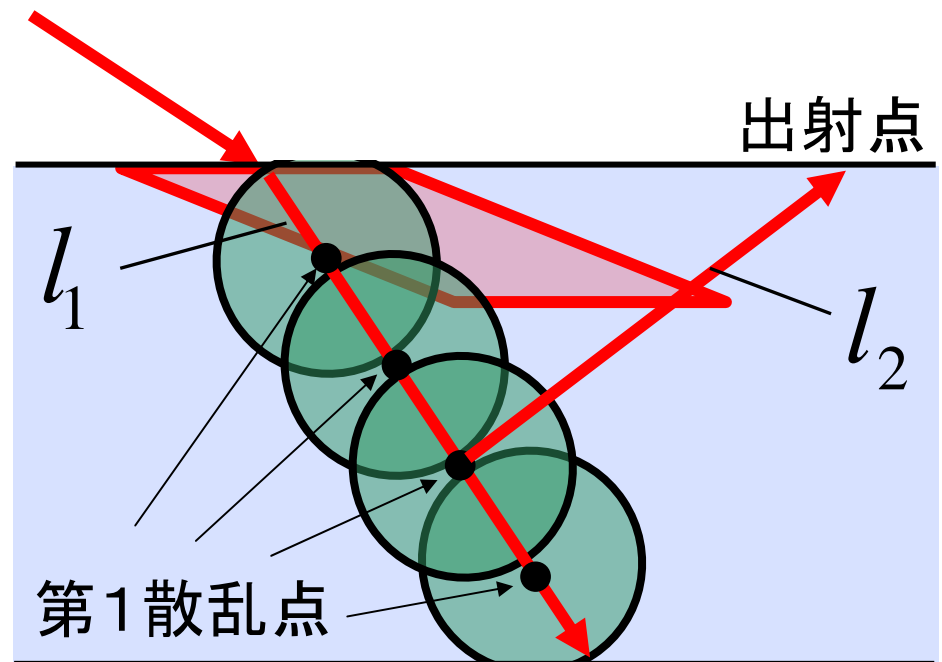
球ボリユームの和



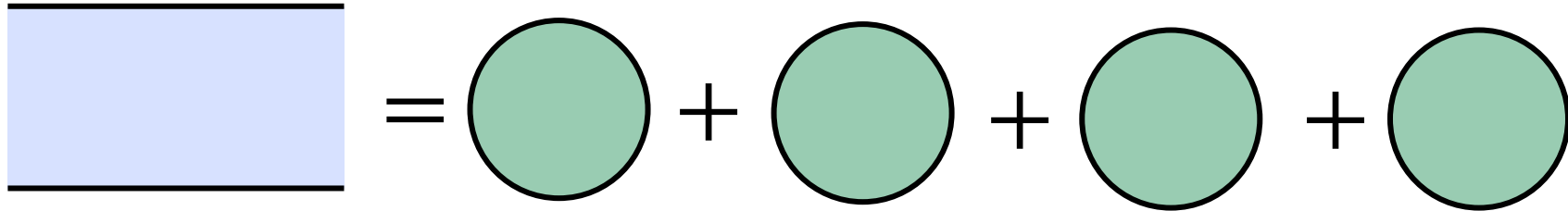
球ボリユームの中心点

||

散乱点



離散化 第2散乱点決定



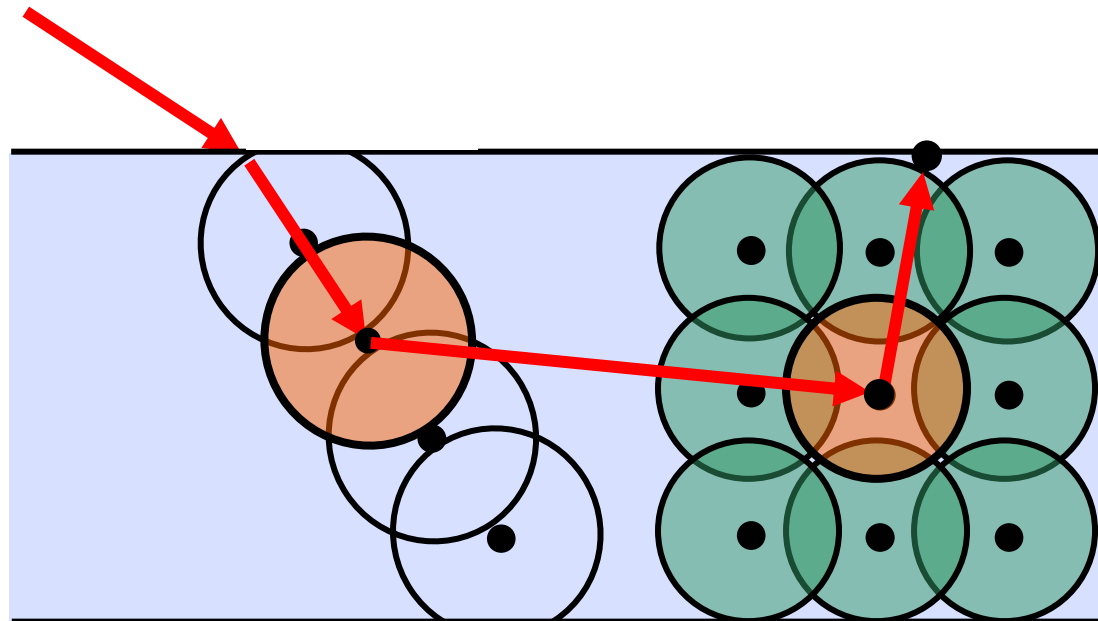
物質体積

||

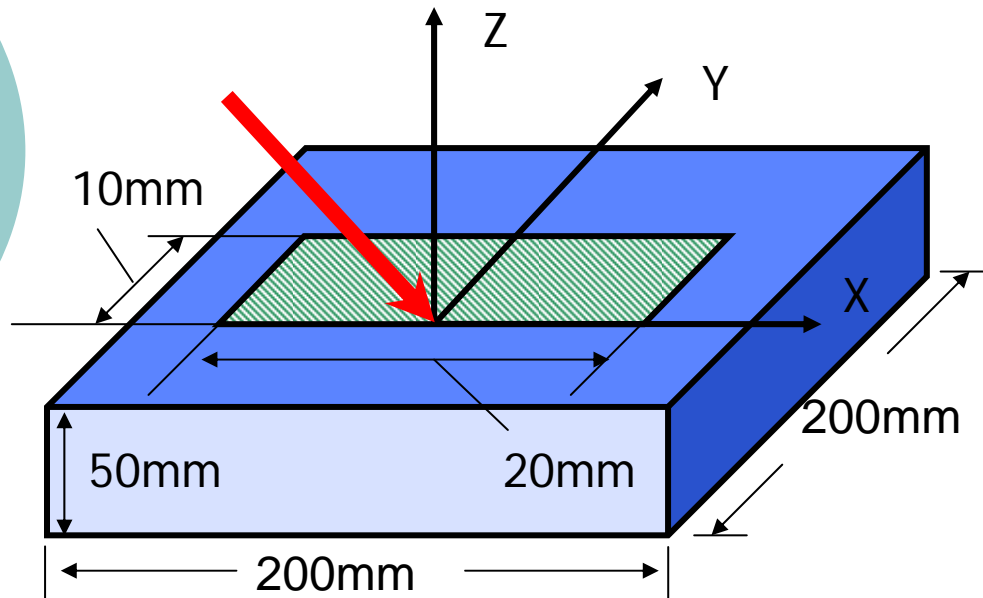
球ボリュームの和



第2散乱点決定



数値シミュレーション



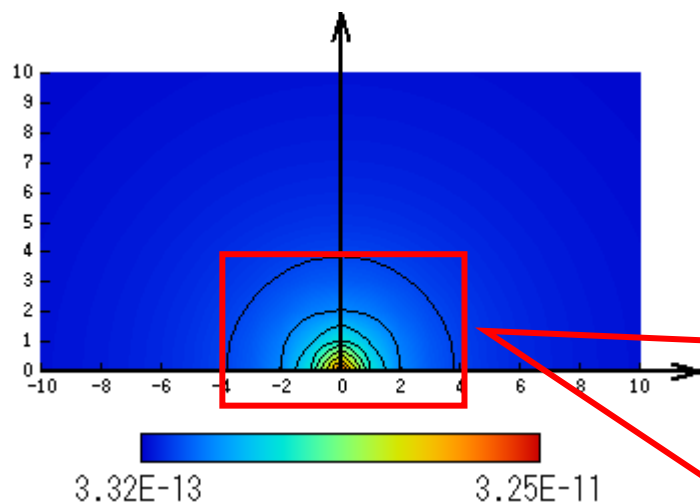
物質平面:
200mm × 200mm

厚さ: 50mm

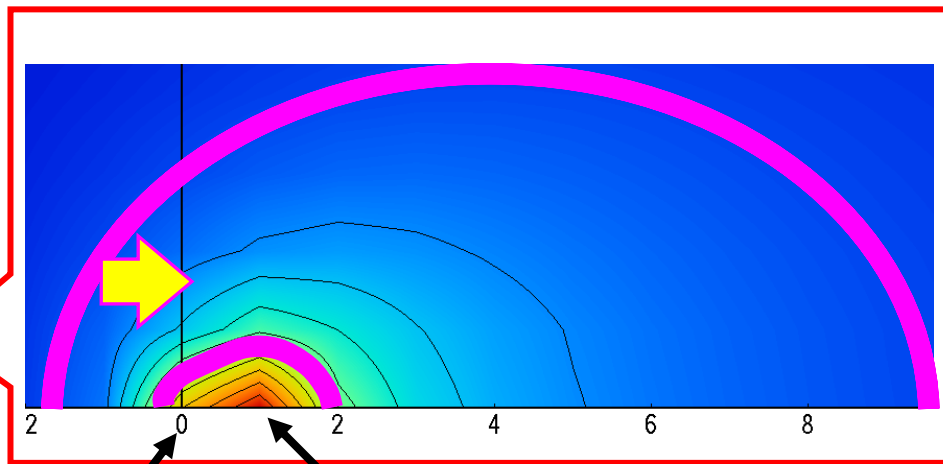
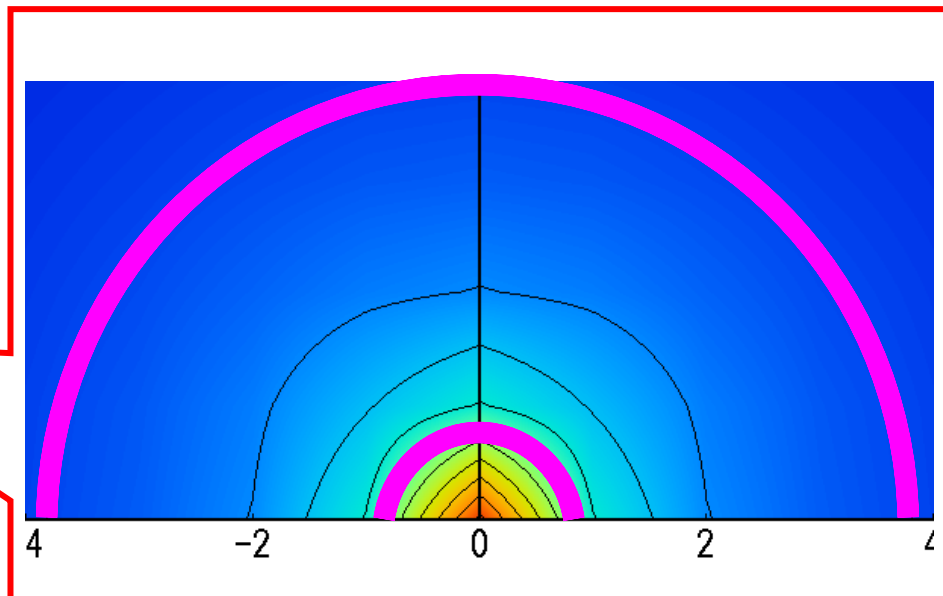
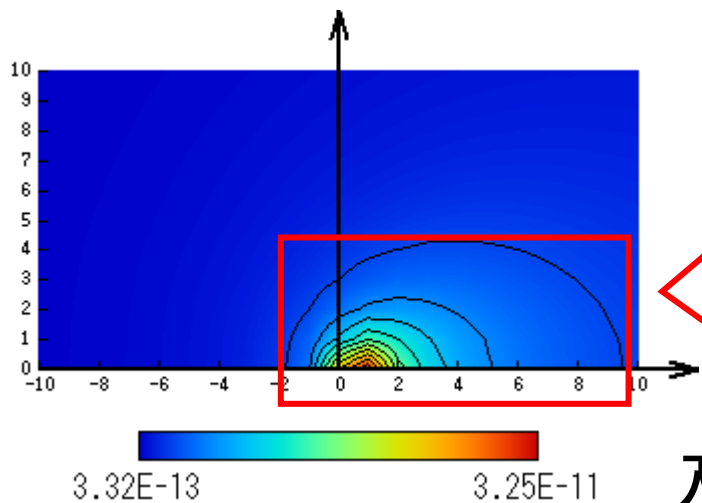
観測範囲:
20mm × 10mm

散乱係数[1/mm]	0.999
消散係数[1/mm]	1.000
位相関数パラメータ	0.6
屈折率	1.5

結果 單散亂(入射角 0° and 60°)



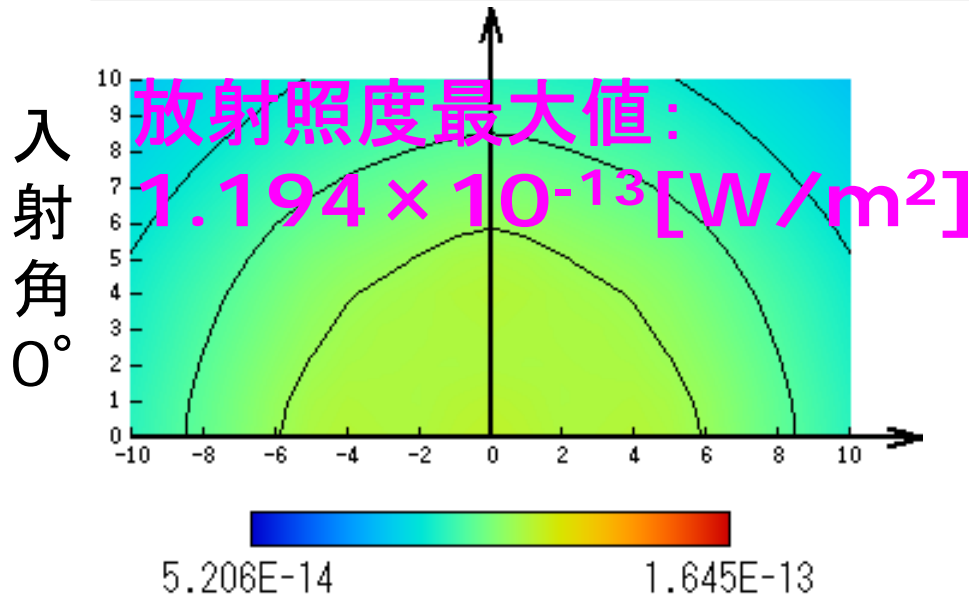
上: 入射角 0°
下: 入射角 60°



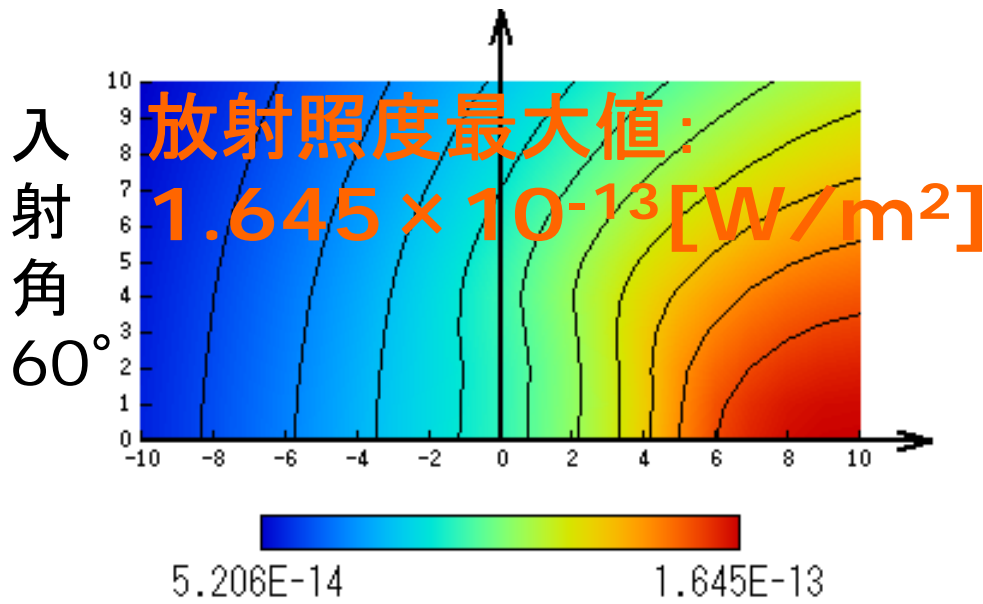
入射点

最大点

結果 2次散乱(入射角 0° and 60°)



分布形状は単散乱に
比べ広がりを持つ

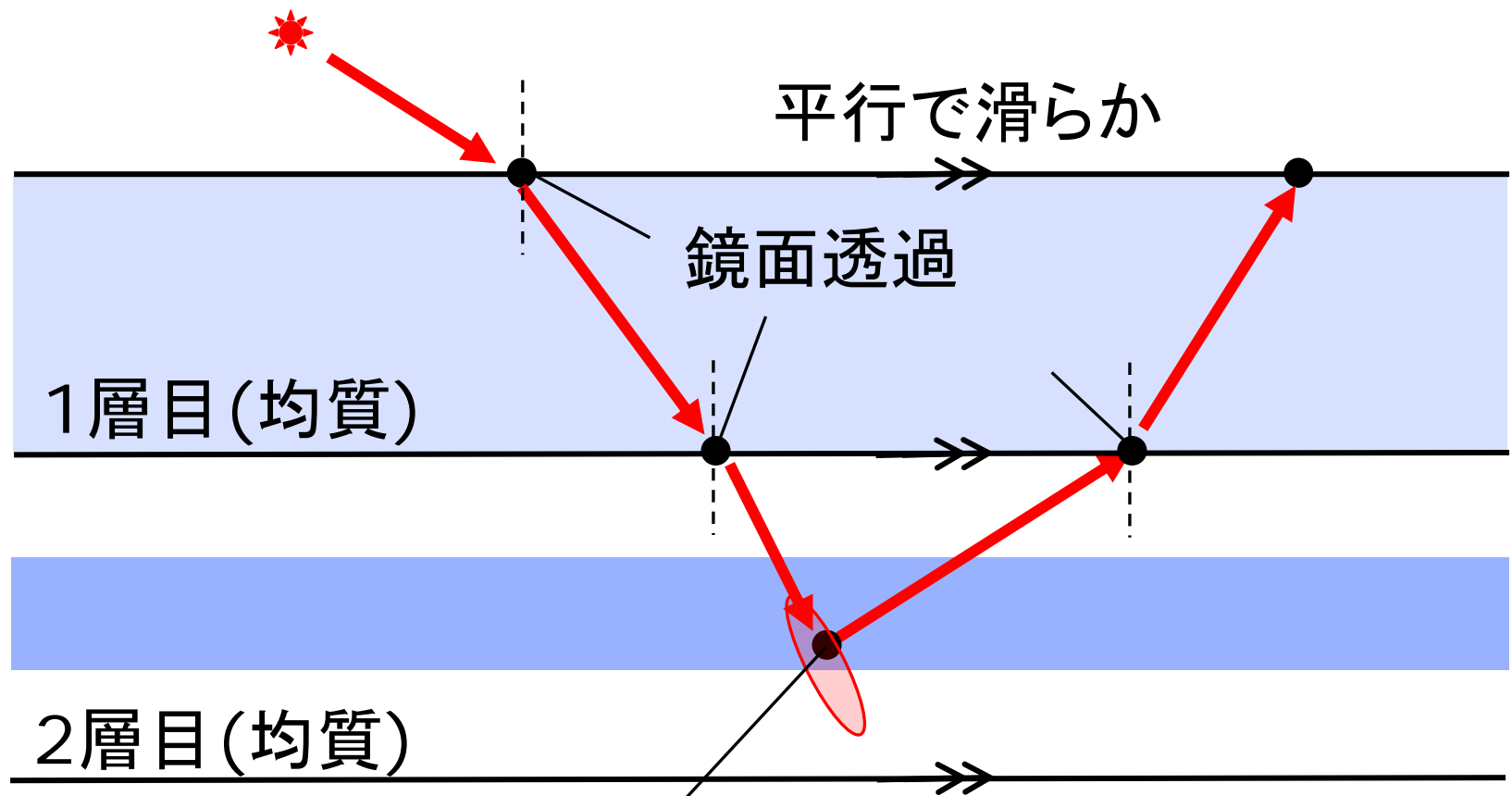


入射角に応じて最も
明るくなる点が移動

発表の流れ

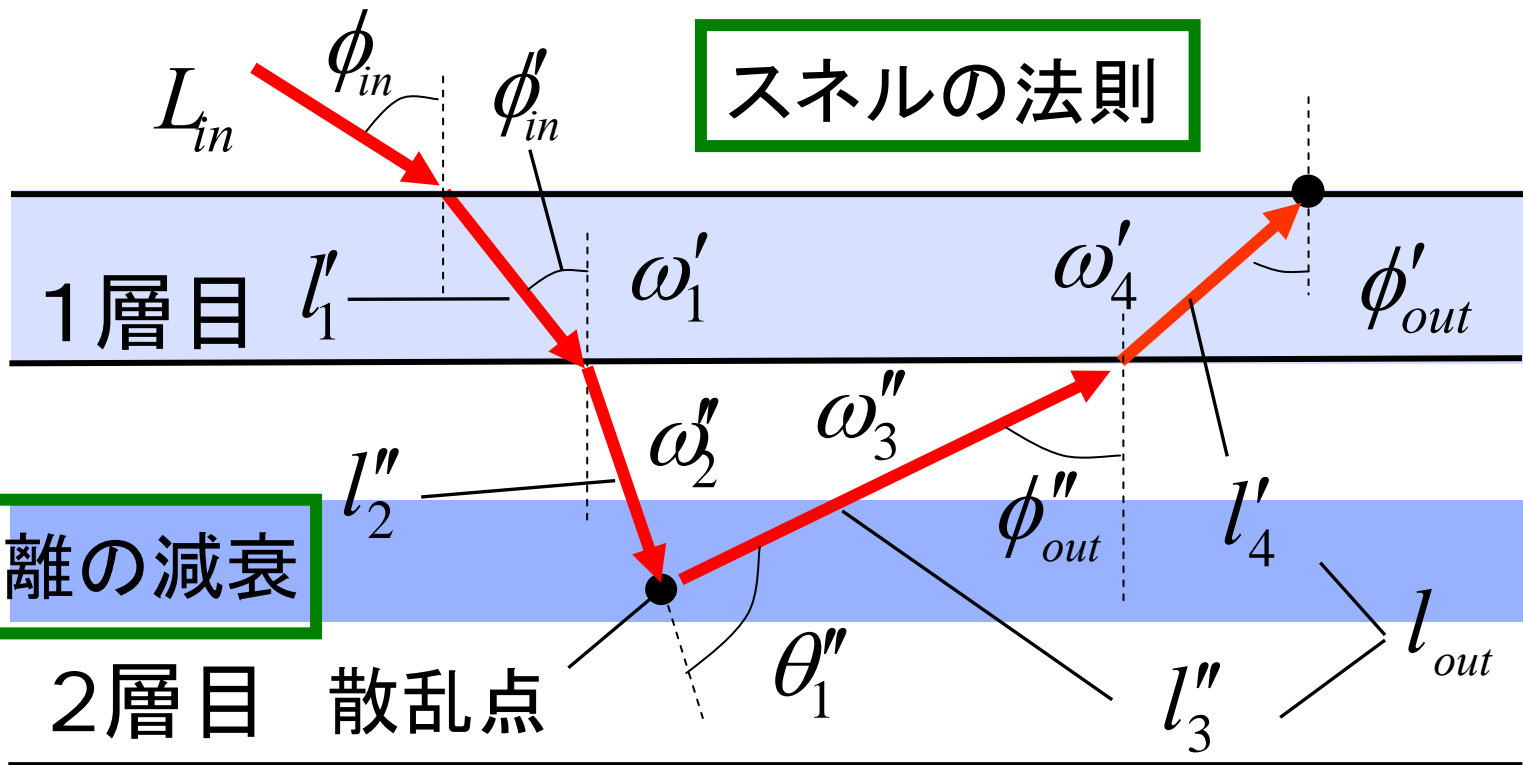
- はじめに
 - 背景
 - 関連研究
 - 本研究の目標
- 単層での表面下散乱シミュレーション
 - シミュレーションモデル
 - 定式化(単散乱、2次散乱)
 - 離散化
 - 数値シミュレーション
- 2層に拡張した表面下散乱シミュレーション
 - シミュレーションモデル
 - 定式化
 - 数値シミュレーション

2層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 2層目での単散乱



$$L_1'' = \int \sigma_s' e^{-(\sigma_t' l_4' + \sigma_t'' l_3'')} \int_{\Omega} p(\theta_1'') L_{in} F(\phi_{in}) F(\phi_{in}'') F(\phi_{out}'') e^{-(\sigma_t' l_1' + \sigma_t'' l_2'')} d\omega_2'' dl_{out}$$

$$E_1'' = \int_{\Omega/2} L_1' \cos \phi_{out}' d\omega_4'$$

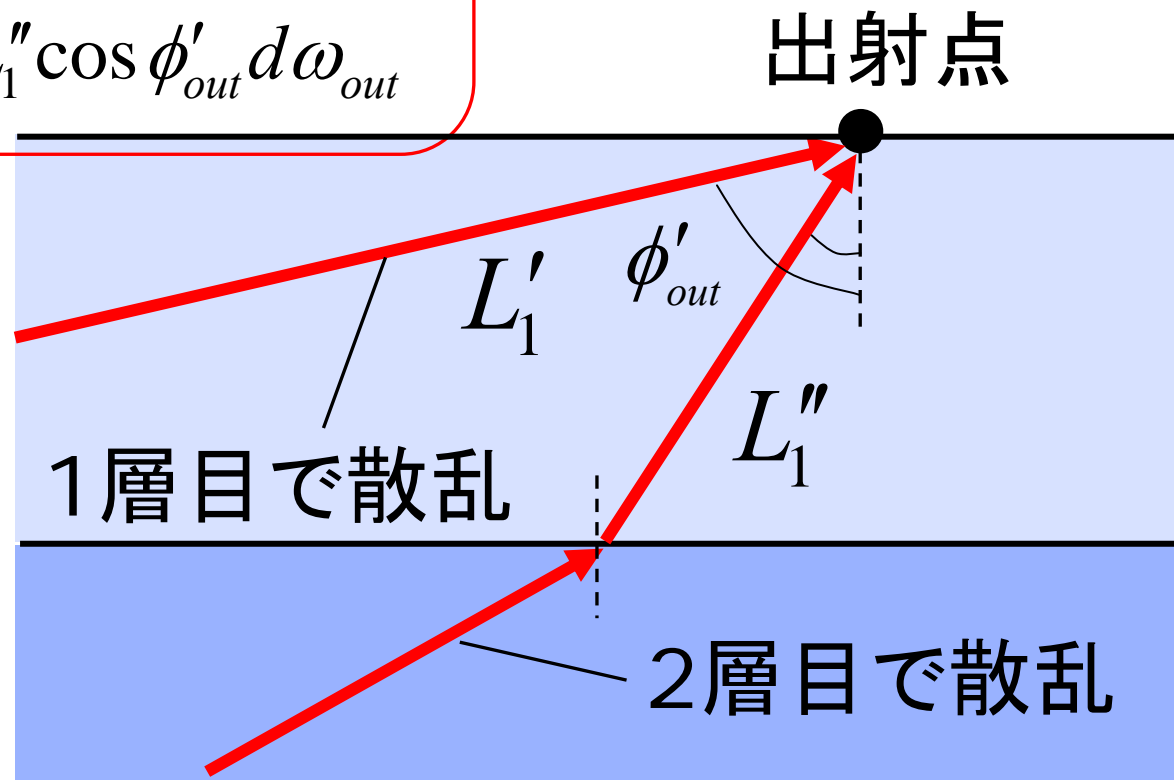
フレネルの透過率

1層目と2層目の合成

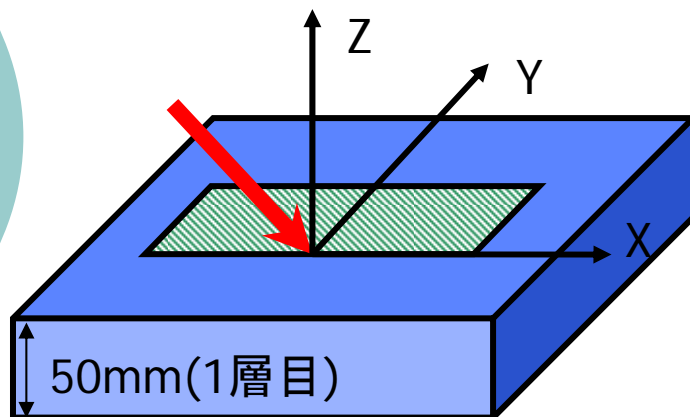
$$E = E'_1 + E''_1$$

$$E'_1 = \int_{\Omega/2} L'_1 \cos \phi'_{out} d\omega_{out}$$

$$E''_1 = \int_{\Omega/2} L''_1 \cos \phi'_{out} d\omega_{out}$$

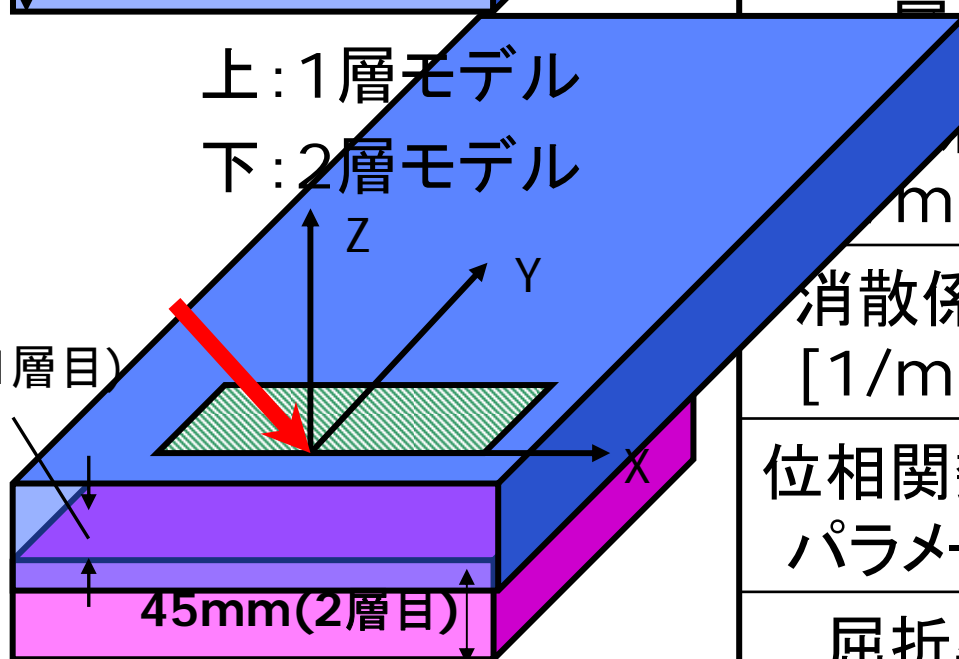


2層数値シミュレーション



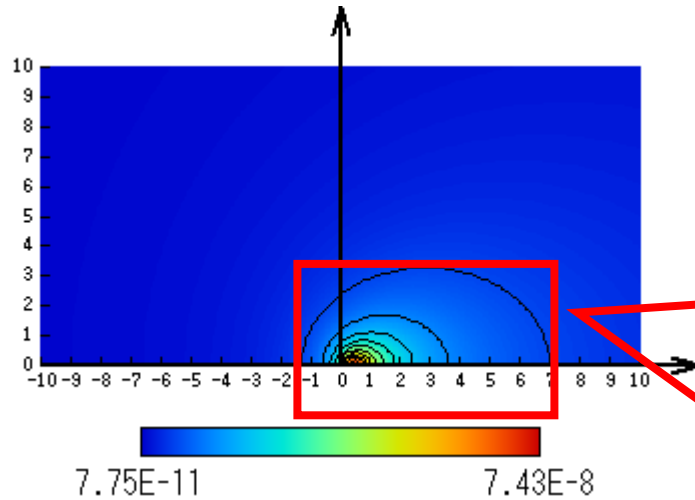
物質平面: 200mm × 200mm
 厚さの合計: 50mm
 観測範囲: 20mm × 10mm

上: 1層モデル
 下: 2層モデル

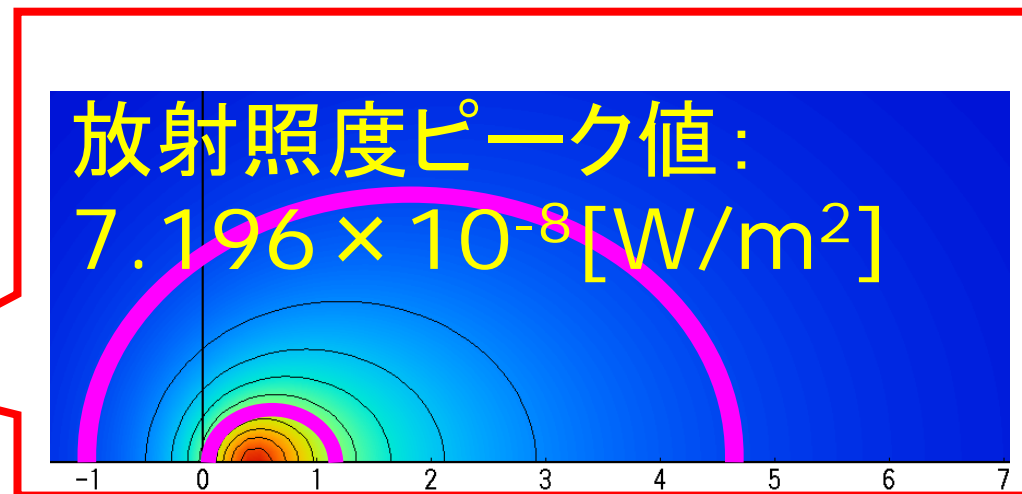
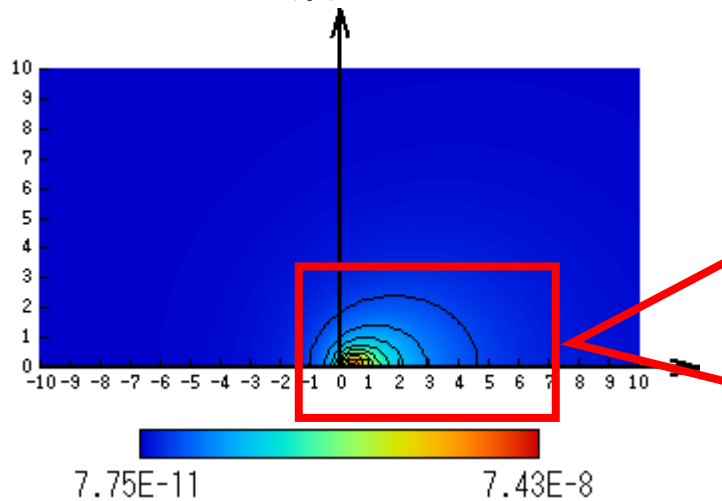
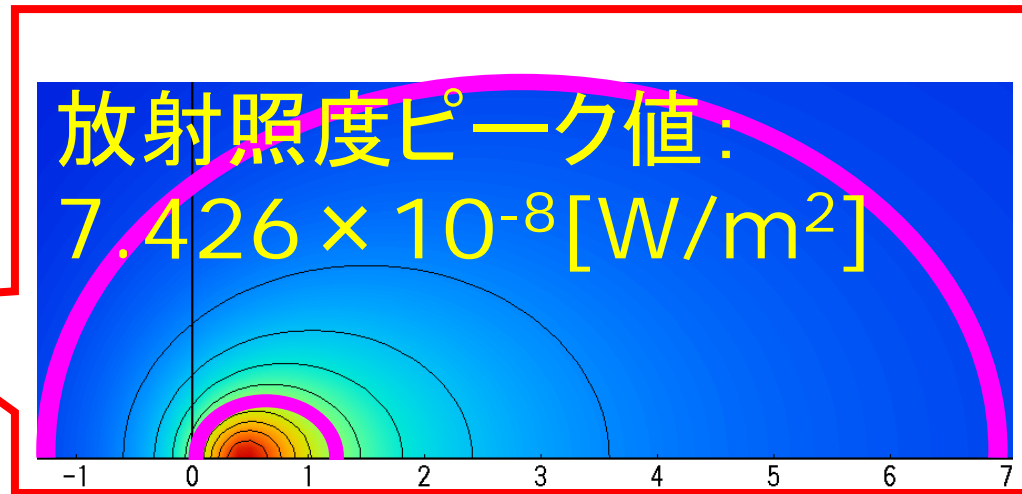


	1	2
波数 [1/mm]	1.0×10^{-3}	2.19
消散係数 [1/mm]	1.1×10^{-3}	2.1921
位相関数の パラメータ	0.8	0.8
屈折率	1.3	1.5

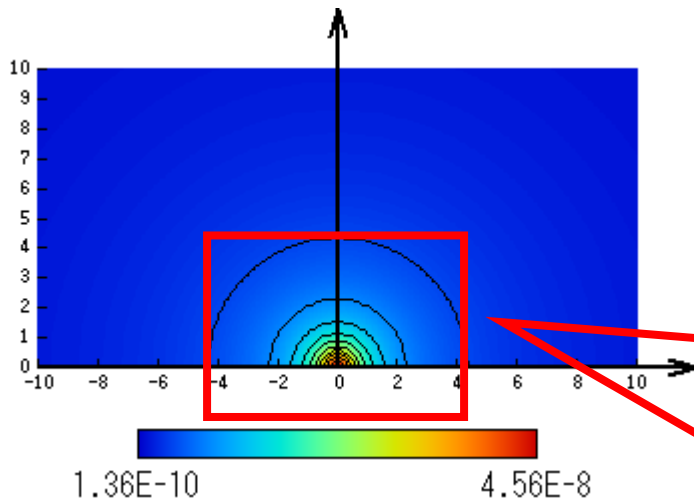
結果 入射角45°



上:1層モデル
下:2層モデル

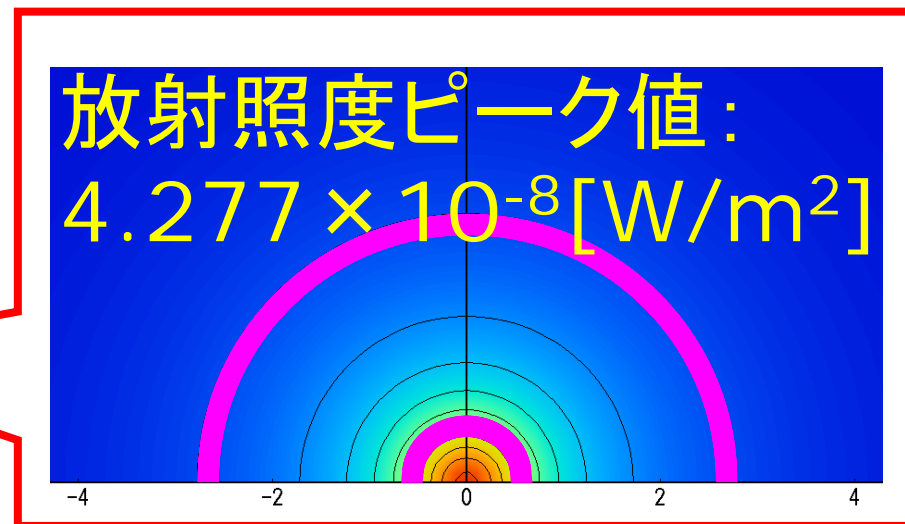
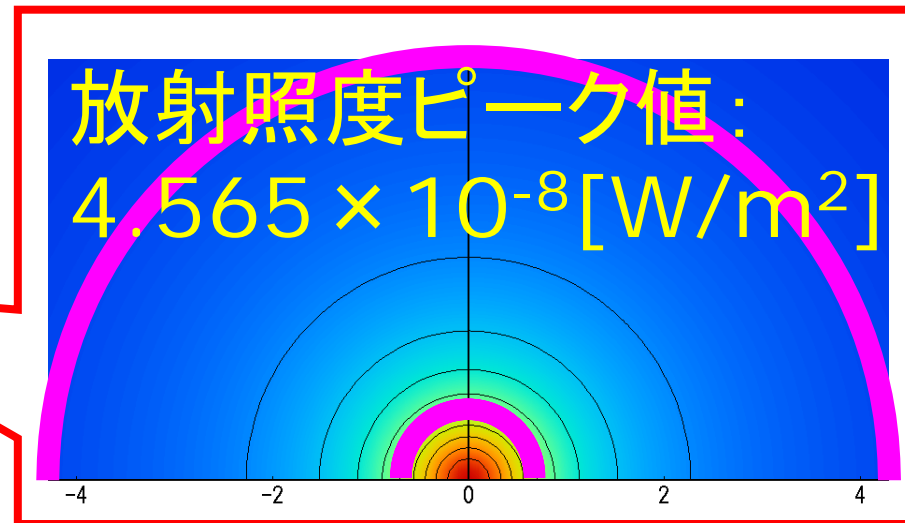
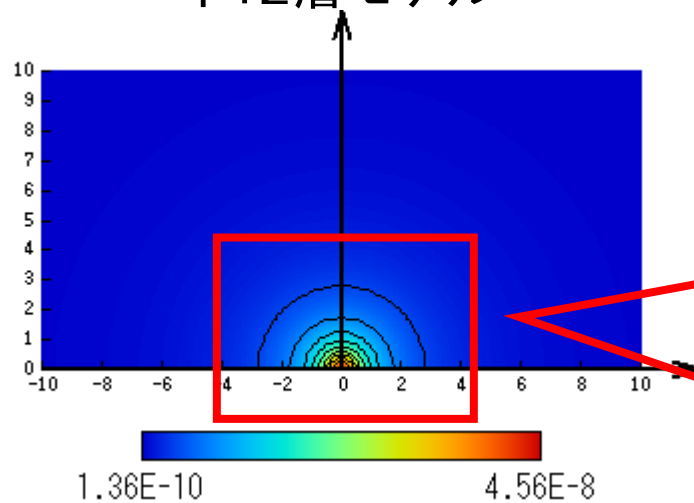


結果 入射角 0°



上:1層モデル

下:2層モデル



結果 入射角 0°

2層モデルの結果

- 放射照度ピーク値
⇒ 1層モデルより減少
- 分布形状の広がり
⇒ 1層モデルより縮小

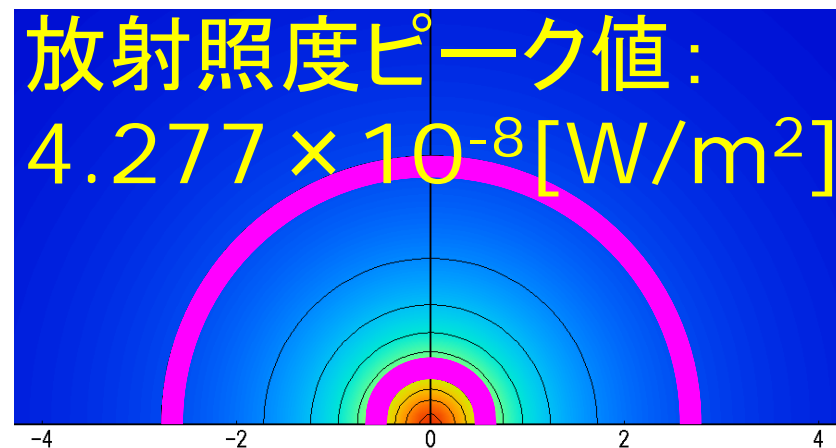
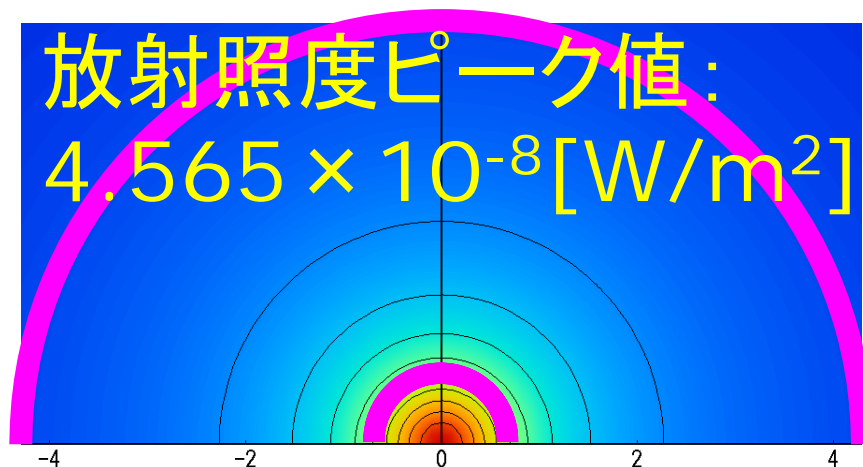


2層目の影響

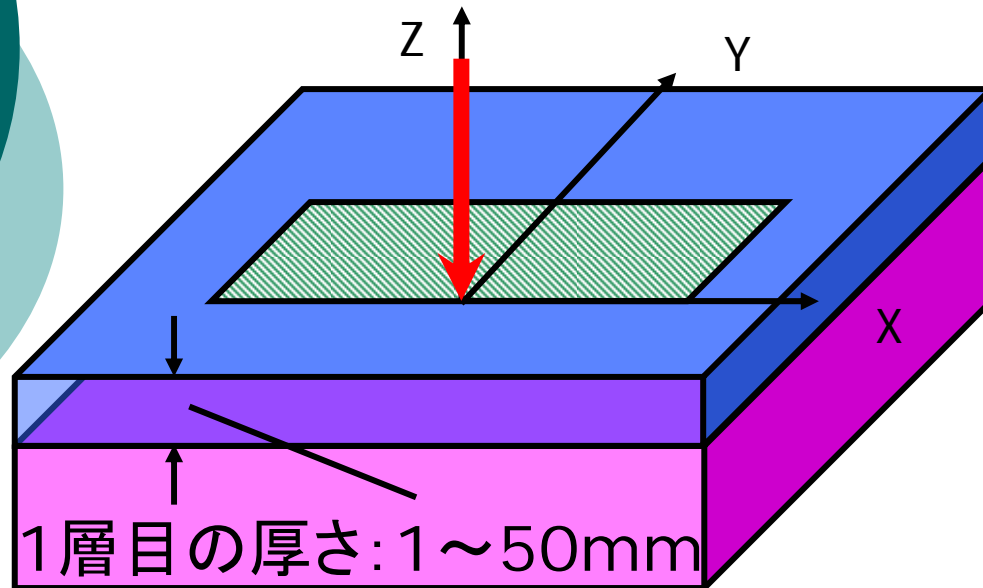
2層目

消散係数 → 大

屈折率 → 大



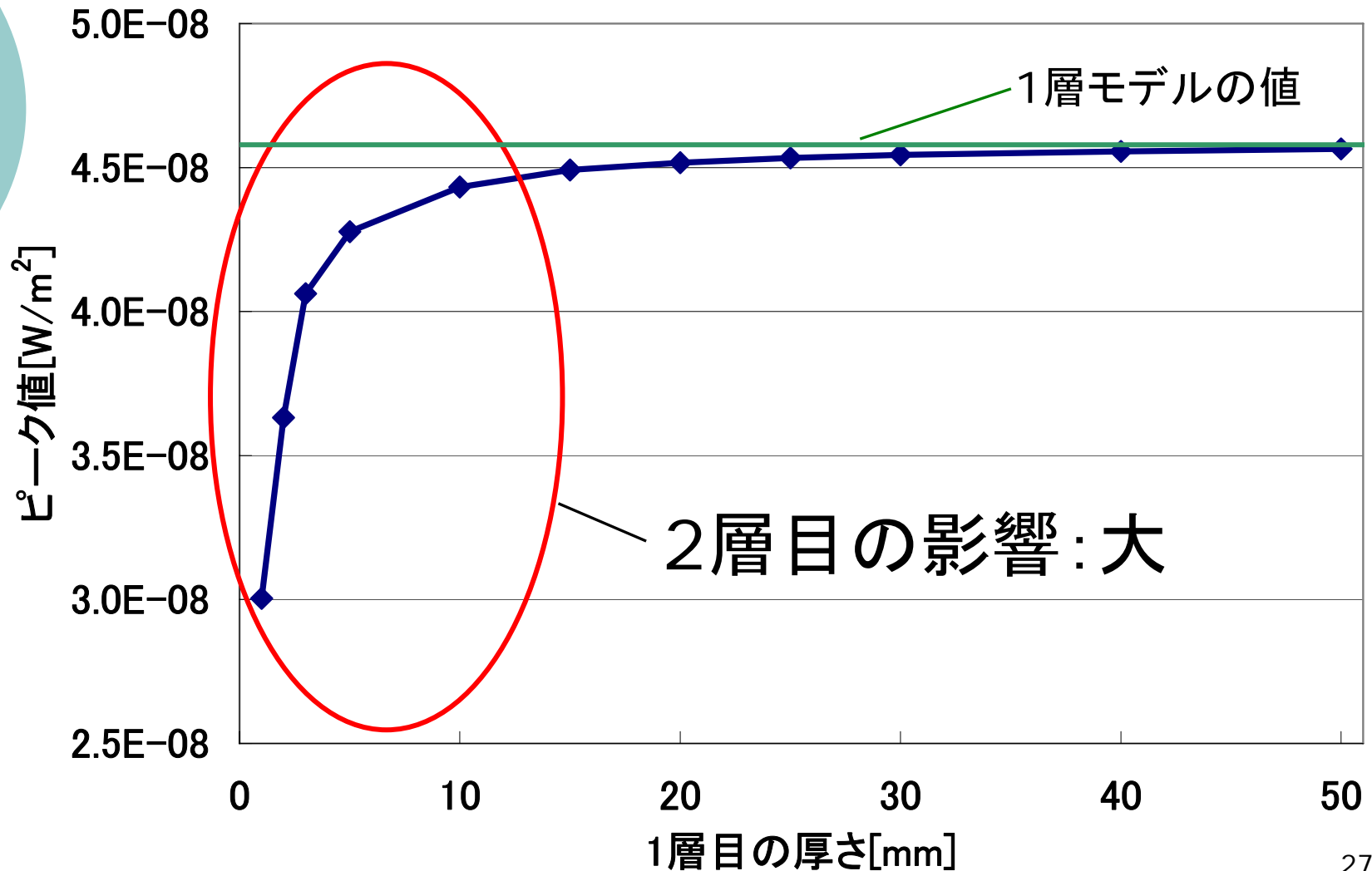
2層数値シミュレーション 厚さ変化



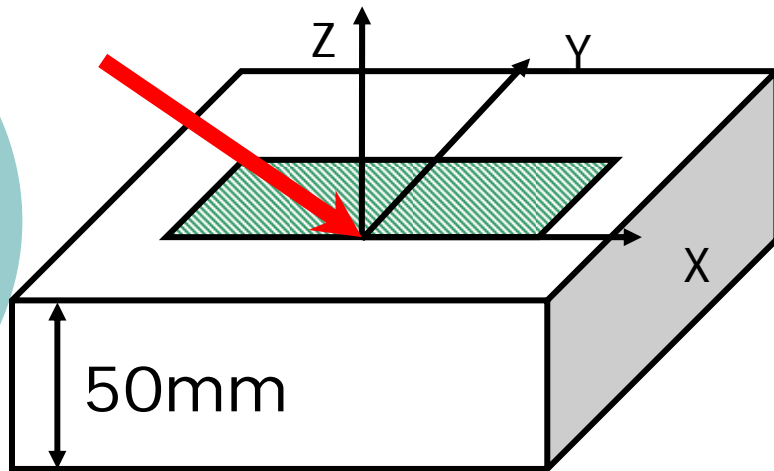
物質平面:
 200mm × 200mm
 厚さの合計: 50mm
 観測範囲:
 20mm × 10mm
 光の入射角: 0°

層	1	2
散乱係数[1/mm]	1.0×10^{-3}	2.1900
消散係数[1/mm]	1.1×10^{-3}	2.1921
位相関数のパラメータ	0.8	0.8
屈折率	1.3	1.5

結果 厚さ変化によるピーク値

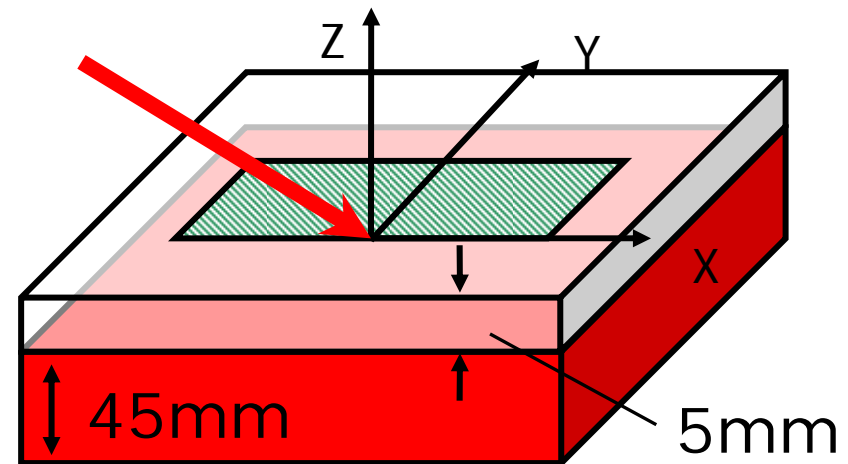
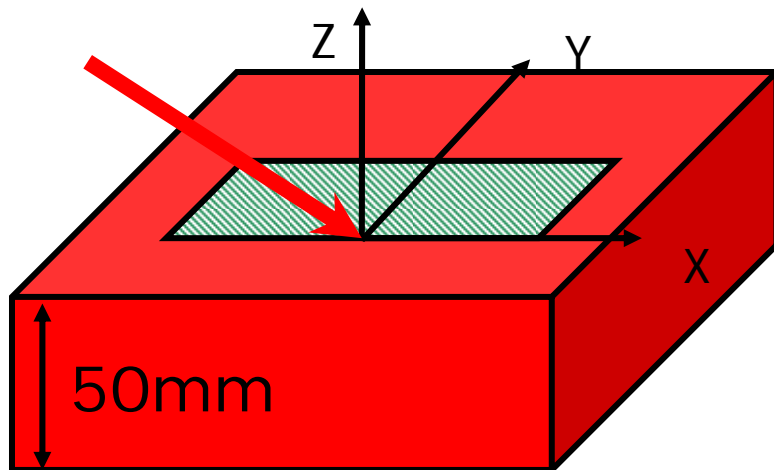


光の波長を考慮したモデル



RGBの散乱・消散係数が同じ

Rのみ散乱・消散係数が小さい

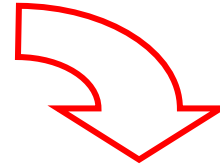


2層モデル

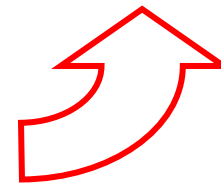
光の波長を考慮した 数値シミュレーション 入射角 0°



RGBの散乱・消散係数が同じ
Rのみ散乱・消散係数が小さい



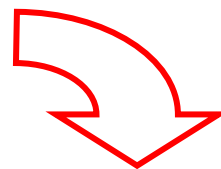
2層モデル



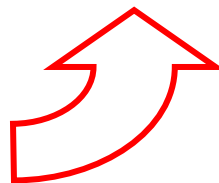
光の波長を考慮した 数値シミュレーション 入射角 45°



RGBの散乱・消散係数が同じ
Rのみ散乱・消散係数が小さい



2層モデル



まとめ

- ・光の散乱理論に基づく
シミュレーションモデルの構築
- ・2層モデルへ拡張
 - ・数値シミュレーション
 - ・画像生成

今後の課題

- ・2層モデルでの多重散乱光の考慮
- ・3層以上の多層モデルへの拡張