

テーパー管の分子流コンダクタンス の数値解析

松田七美男，井上竜ノ介

東京電機大学工学部

2007年11月14日

研究目的

- テーパー管の分子流コンダクタンス C の正確な値を**数値計算**により求める。開孔コンダクタンスを C_0 ，通過確率を K として，

$$C = KC_0 \quad (1)$$

- 数値計算は，**モンテカルロシミュレーション法**と**積分方程式法**により行い，相互に比較する。

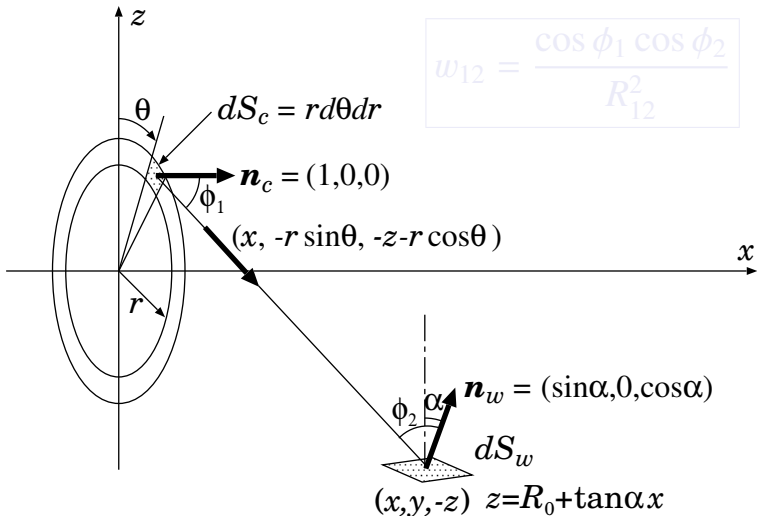
研究目的

- テーパー管の分子流コンダクタンス C の正確な値を**数値計算**により求める。開孔コンダクタンスを C_0 ，通過確率を K として，

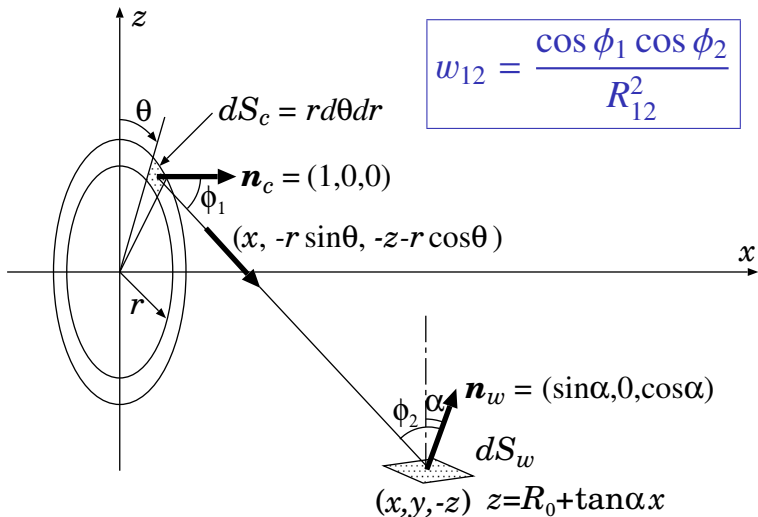
$$C = KC_0 \quad (1)$$

- 数値計算は，**モンテカルロシミュレーション法**と**積分方程式法**により行い，相互に比較する。

壁や開口部の微小面要素



壁や開口部の微小面要素



Clausing の積分方程式

定常状態におけるガス放出速度 $q(x)$ (=入射頻度) について

$$q(x) = \Gamma^{(\alpha)}(R_0, x) + \int_0^L q(\xi) G^{(\alpha)}(\xi, x) d\xi \quad (2)$$

$\Gamma^{(\alpha)}(R_0, x)$: 開口端から円錐台上の微小面

$G^{(\alpha)}(\xi, x)$: 円錐台から円錐台上の微小面

Clausing の積分方程式

定常状態におけるガス放出速度 $q(x)$ (=入射頻度) について

$$q(x) = \Gamma^{(\alpha)}(R_0, x) + \int_0^L q(\xi) G^{(\alpha)}(\xi, x) d\xi \quad (2)$$

$\Gamma^{(\alpha)}(R_0, x)$: 開口端から円錐台上の微小面

$G^{(\alpha)}(\xi, x)$: 円錐台から円錐台上の微小面

具体的な関数

$u = x - \xi$, $R_x = R_0 + x \tan \alpha$, $R_\xi = R_0 + \xi \tan \alpha$ とおいて,

開口部から壁

$$\Gamma^{(\alpha)}(R_0, x) = \frac{1}{2R_x \cos \alpha} \left[\frac{R_0(3R_x - R_0) \cos^2 \alpha + x^2}{\sqrt{4R_0R_x \cos^2 \alpha + x^2}} - R_0 \sin \alpha \cos \alpha - x \right] \quad (3)$$

壁から壁

$$G^{(\alpha)}(\xi, x) d\xi = \frac{\cos \alpha}{2R_x} \left[1 - \frac{|u| (u^2 + 6R_x R_\xi \cos^2 \alpha)}{(u^2 + 4R_x R_\xi \cos^2 \alpha)^{3/2}} \right] d\xi \quad (4)$$

具体的な関数

$u = x - \xi$, $R_x = R_0 + x \tan \alpha$, $R_\xi = R_0 + \xi \tan \alpha$ において,

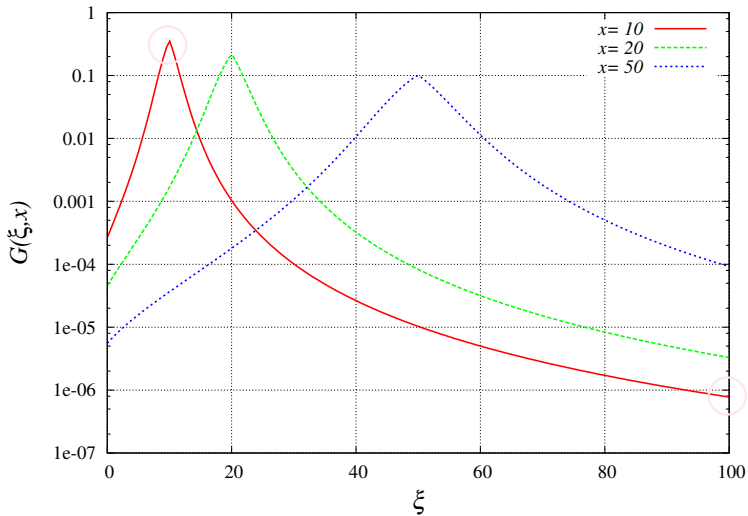
開口部から壁

$$\Gamma^{(\alpha)}(R_0, x) = \frac{1}{2R_x \cos \alpha} \left[\frac{R_0(3R_x - R_0) \cos^2 \alpha + x^2}{\sqrt{4R_0R_x \cos^2 \alpha + x^2}} - R_0 \sin \alpha \cos \alpha - x \right] \quad (3)$$

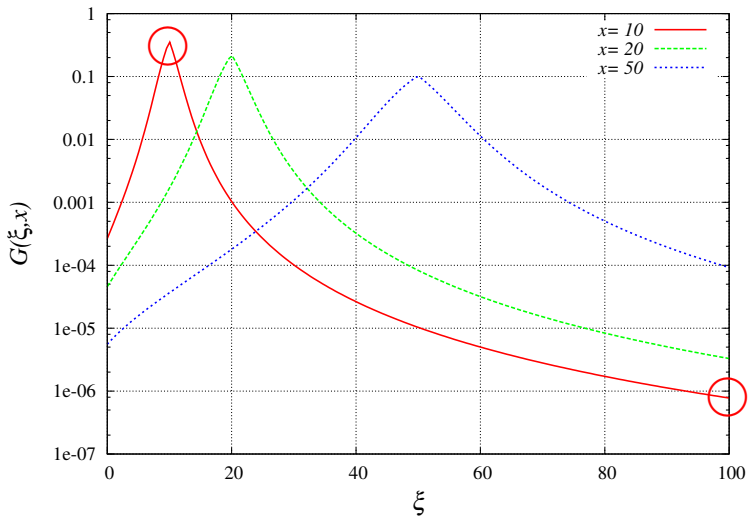
壁から壁

$$G^{(\alpha)}(\xi, x)d\xi = \frac{\cos \alpha}{2R_x} \left[1 - \frac{|u| (u^2 + 6R_x R_\xi \cos^2 \alpha)}{(u^2 + 4R_x R_\xi \cos^2 \alpha)^{3/2}} \right] d\xi \quad (4)$$

核 $G(\xi, x)$



核 $G(\xi, x)$



数値計算結果同士の比較

α		L/R_0				
		0.1	0.2	...	5	10
1	* IE	0.9540787	0.9124899	...	0.3459949	0.2368316
	*MC	0.9540780	0.9124897	...	0.3459974	0.2368326
	IE	0.9540787	0.9124899	...	0.3459949	0.2368317
	MC	0.954077	0.912474	...	0.345922	0.236882
5	*IE	0.9603735	0.9247630	...	0.4786465	0.4086013
	*MC	0.9603720	0.9247632	...	0.4786462	0.4086031
	IE	0.9603735	0.9247630	...	0.4786465	0.4086013
	MC	0.960395	0.924765	...	0.478609	0.408609

*IE, *MC は Lobo, J.Vac.Sci.Technol. A21(4),1452(2003) の報告値

- ① 積分方程式法 (IE) とモンテカルロシミュレーション法 (MC) により, テーパー管の分子流コンダクタンスを計算した.
- ② Lobo の報告には直接掲載されてなかった, 積分方程式の核関数 $G(\xi, x)$ を明示した.
- ③ IE 法と MC 法による数値計算結果は互いに良く一致し, Lobo 等の報告例とも一致した.
- ④ 精度はほぼ同じ計算実行時間内で, MC 法が5桁, IE 法が7桁程度であり, IE 法の効率が飛躍的に高い.

まとめ

- ① 積分方程式法 (IE) とモンテカルロシミュレーション法 (MC) により, テーパー管の分子流コンダクタンスを計算した.
- ② Lobo の報告には直接掲載されてなかった, 積分方程式の核関数 $G(\xi, x)$ を明示した.
- ③ IE 法と MC 法による数値計算結果は互いに良く一致し, Lobo 等の報告例とも一致した.
- ④ 精度はほぼ同じ計算実行時間内で, MC 法が5桁, IE 法が7桁程度であり, IE 法の効率が飛躍的に高い.

まとめ

- ① 積分方程式法 (IE) とモンテカルロシミュレーション法 (MC) により, テーパー管の分子流コンダクタンスを計算した.
- ② Lobo の報告には直接掲載されてなかった, 積分方程式の核関数 $G(\xi, x)$ を明示した.
- ③ IE 法と MC 法による**数値計算結果は互いに良
く一致**し, Lobo 等の報告例とも一致した.
- ④ 精度はほぼ同じ計算実行時間内で, MC 法が5桁, IE 法が7桁程度であり,
IE 法の効率が飛躍的に高い.

まとめ

- ① 積分方程式法 (IE) とモンテカルロシミュレーション法 (MC) により, テーパー管の分子流コンダクタンスを計算した.
- ② Lobo の報告には直接掲載されてなかった, 積分方程式の核関数 $G(\xi, x)$ を明示した.
- ③ IE 法と MC 法による **数値計算結果は互いに良
く一致**し, Lobo 等の報告例とも一致した.
- ④ 精度はほぼ同じ計算実行時間内で, MC 法が 5 桁, IE 法が 7 桁程度であり,
IE 法の効率が飛躍的に高い.