

# 強制流動沸騰の概要

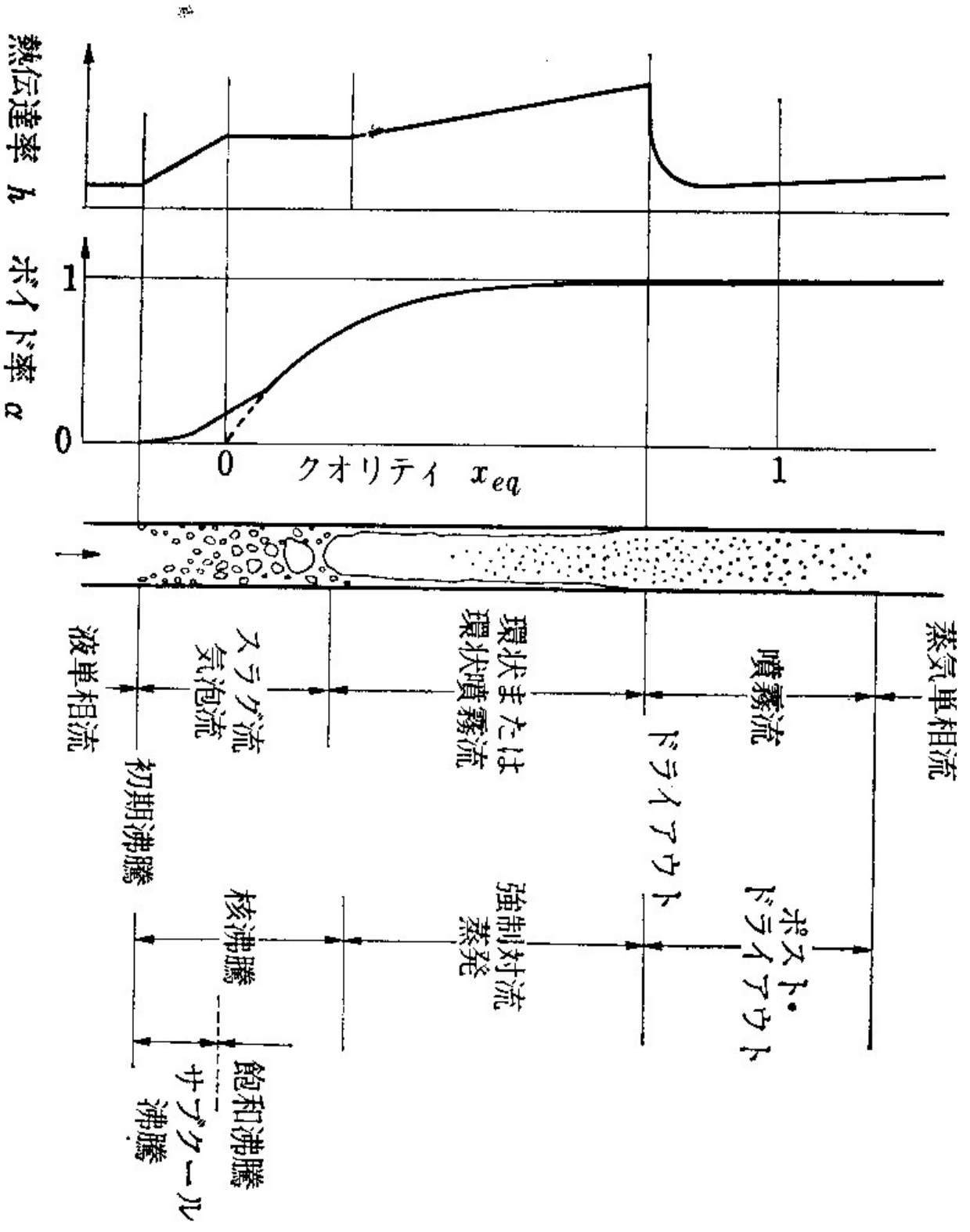


図 12.1 蒸発管における流動，伝熱様式の変化

# 沸騰二相流のパラメータ

気体と液体の混在する流れ...気液二相流

強制流動沸騰の流れ...蒸気 - 水二相流

蒸気の質量流量 $W_g$  ( Kg/s)液体の質量流量 $W_l$  ( Kg/s )

蒸気 - 水二相流の全体の質量流量 $W$   $W = W_g + W_l$

流路の断面積 $A$  円管では $A = \pi D^2 / 4$

蒸気の質量速度 ( 質量流束 )  $G_g$  (kg/(m<sup>2</sup>s))、液体の質量速度 ( 質量流束 )  $G_l$  (kg/(m<sup>2</sup>s))

蒸気 - 水二相流の全体の質量速度 $G$   $G = G_g + G_l$

$$G_g = W_g / A \quad G_l = W_l / A \quad G = W / A$$

# クオリティ（蒸気クオリティ） $x$

蒸気の質量流量と全質量流量の比

$$x = G_g / G = G_g / (G_g + G_l)$$

エンタルピー $H$   $H = u_E + p/\rho$

蒸気のエンタルピー $H_g$ (J/Kg)、液体のエンタルピー $H_l$ (J/Kg)

蒸気 - 水二相流の全体のエンタルピー $H$

$$HG = H_g G_g + H_l G_l,$$

$$H = (H_g G_g + H_l G_l) / G = H_g x + H_l (1-x)$$

これより  $x = (H - H_l) / (H_g - H_l)$

# 熱平衡クオリティー $x_{eq}$

蒸気と液体が熱平衡状態  $H_g = H_{gs}, H_l = H_{ls}$

従って蒸発潜熱  $H_{fg} (=H_{gs} - H_{ls})$  を用いて

$$x = (H - H_{ls}) / H_{fg} = x_{eq}$$

蒸気と液体が熱平衡状態

クオリティ (実クオリティ)  $x$  と熱平衡クオリティ  $x_{eq}$   
は一致

非平衡状態にない 両者は一致しない

クオリティは0 (液体单相流) と1 (蒸気单相流) の  
間の値

熱平衡クオリティーは負の値 (サブクール液) や1以  
上のクオリティ (過熱蒸気) も定義できる

# 熱平衡クオリティ

流路入り口から $z$ の位置の熱平衡クオリティ

入り口エンタルピー  $H_{\text{lin}}$  と質量流量  $G$  熱流束  $q_w$  から  
計算出来る

$$H = H_{\text{lin}} + \frac{\pi D q_w z}{(\pi D^2 / 4) G} = H_{\text{lin}} + \frac{4 q_w z}{D G}$$
$$x_{\text{eq}} = \frac{H - H_{\text{ls}}}{H_{\text{fg}}} = (H_{\text{lin}} + \frac{4 q_w z}{D G} - H_{\text{ls}}) / H_{\text{fg}}$$

ボイド率：蒸気の体積率、ある断面の蒸気の面積割合

$$\alpha = \frac{x}{x + (u_g / u_l)(1 - x)(\rho_g / \rho_l)}$$

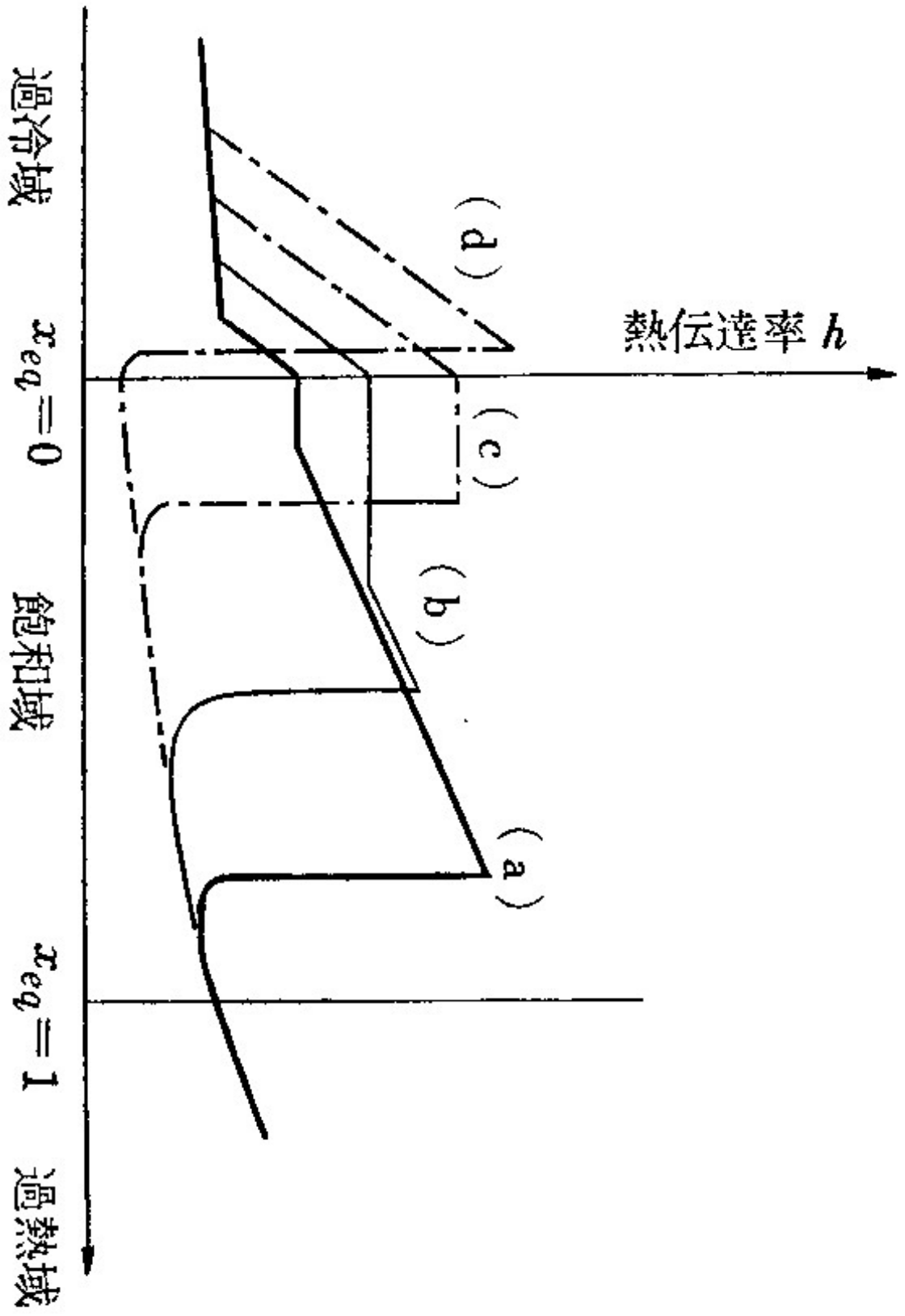


圖 12.2 加熱熱流束之熱傳達率分布

# 非沸騰熱伝達

熱伝達係数  $h$   $h = \frac{q_w}{(T_w - T_l)}$

強制対流熱伝達 (乱流) Dittus-Boelterの式

$$\frac{hD}{k} = 0.023 \text{Re}^{0.8} \text{Pr}^{0.4} = 0.023 \left( \frac{GD}{\mu} \right)^{0.8} \left( \frac{c_p \mu}{k} \right)^{0.4}$$

$$\frac{hD}{k} = 0.027 \left( \frac{GD}{\mu} \right)^{0.8} \left( \frac{c_p \mu}{k} \right)^{1/3} \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)$$



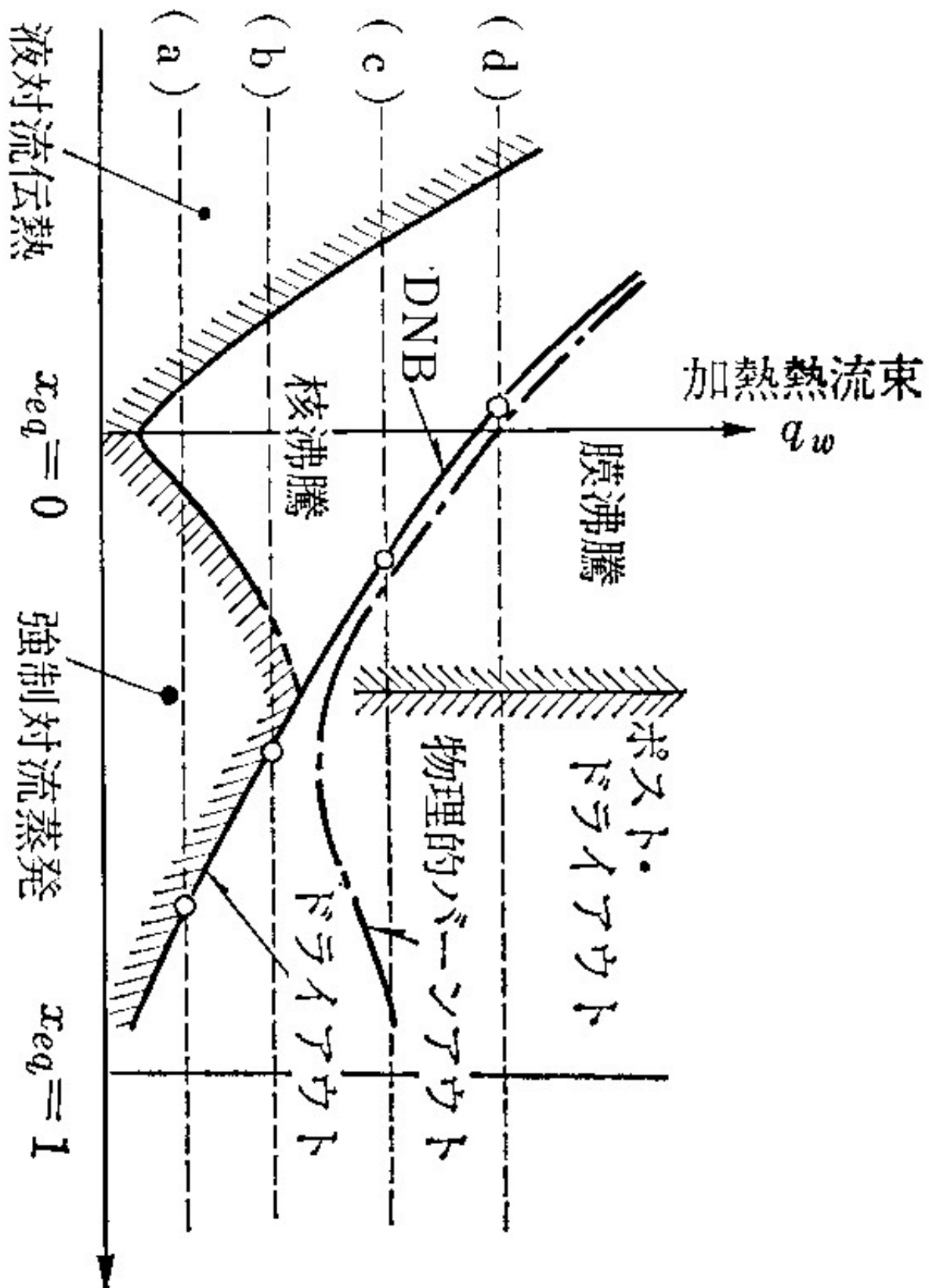


図 12.3 COLLIER の伝熱様式線図

# 強制流動系の限界熱流束

流路出口で起こる

流量が小さく、熱流束が小さいとき

液膜が消失することにより起こる

ドライアウト、流路出口クオリティ $x_e$ 大

流量が大きく、熱流束が大きい場合

核沸騰から膜沸騰への遷移(DNB)

流路出口クオリティ $x_e$ 小

プール沸騰の時よりも限界熱流束は大きい

流量、サブクールエンタルピーの影響

$$\Delta H_{\text{sub}} = (H_{\text{ls}} - H_{\text{lin}}) = c_{\text{pl}}(T_s - T_{\text{lin}})$$

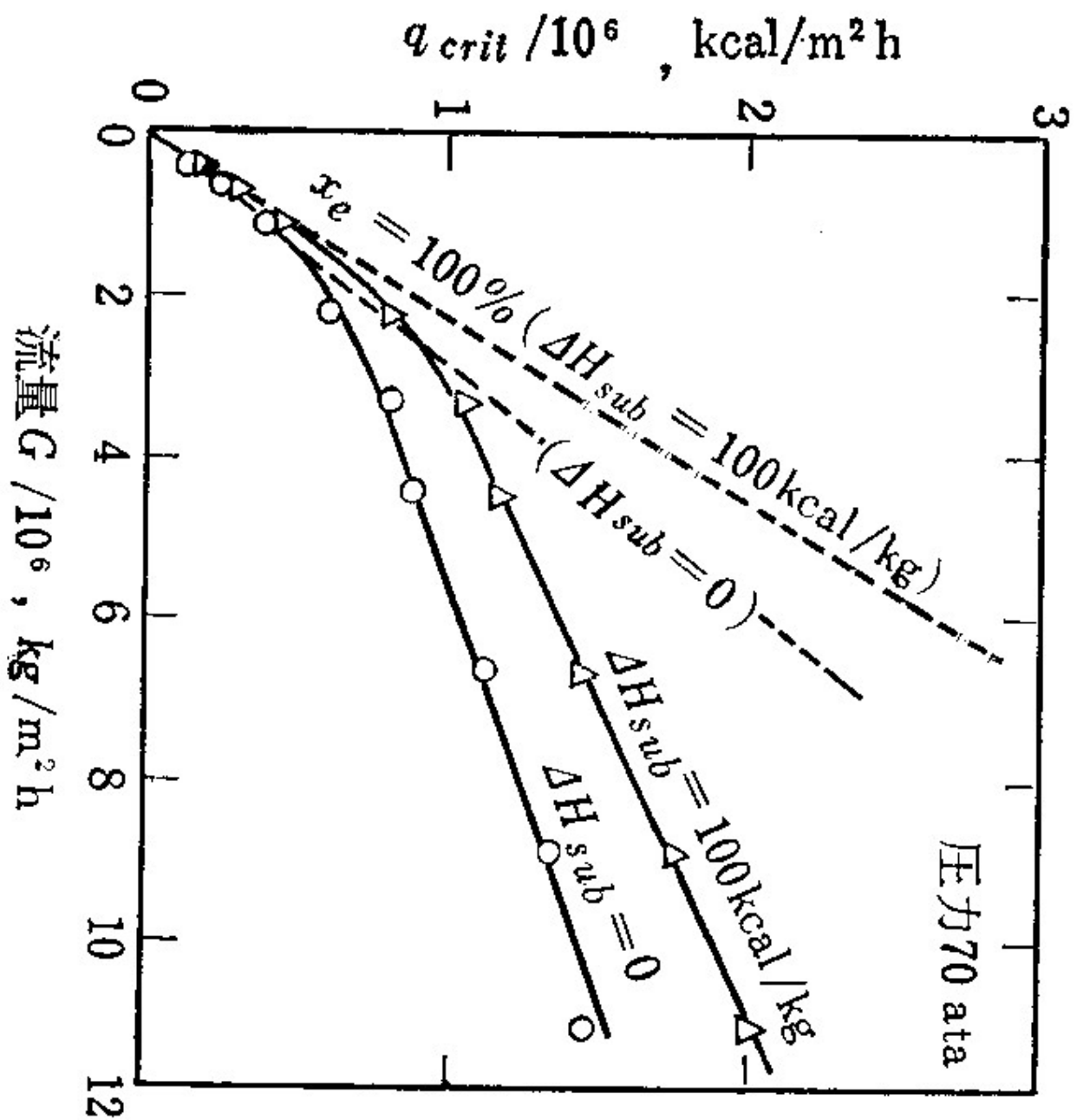


図 12.4 CHF に及ぼす流量の影響 (小堀)

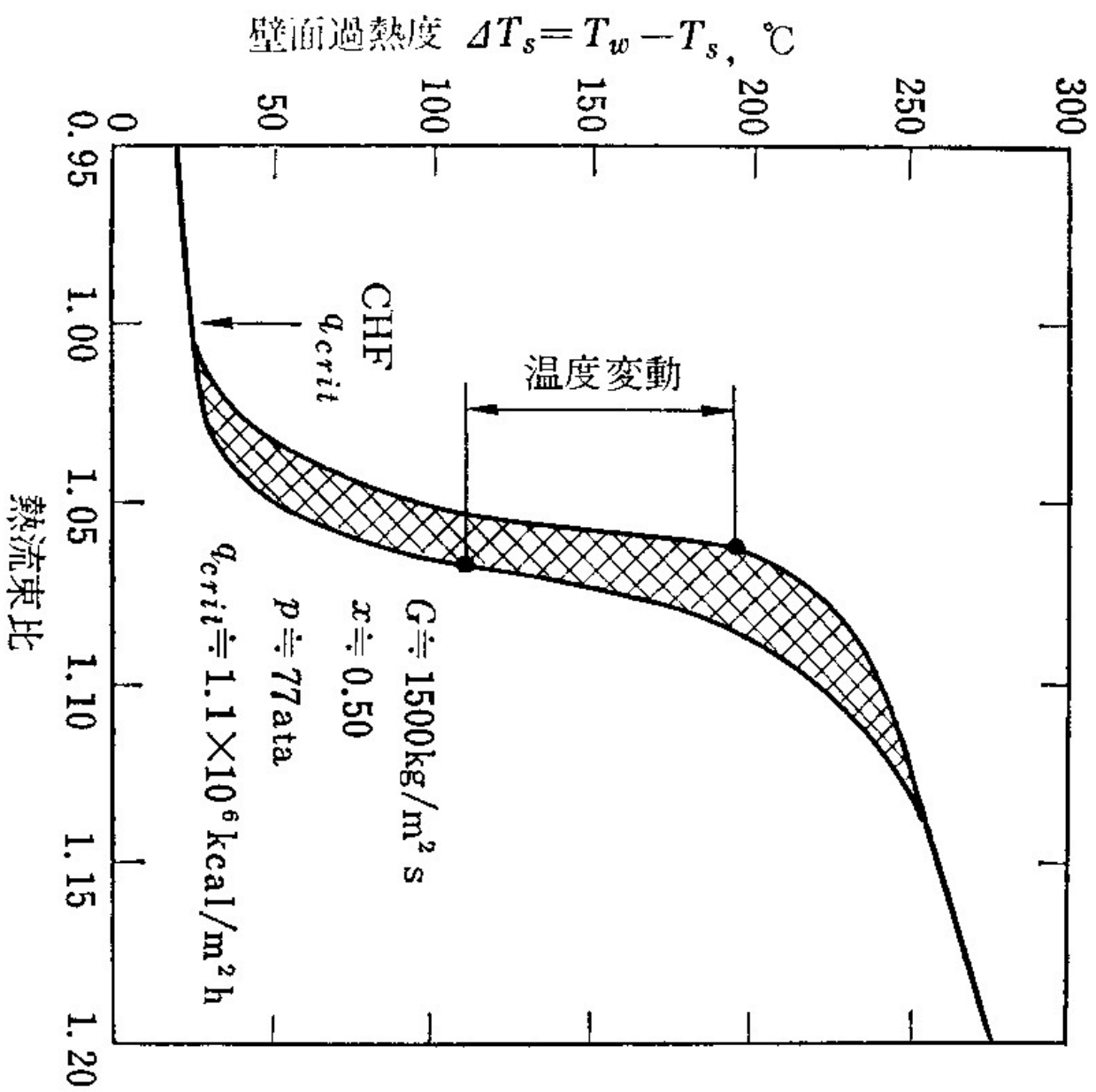


図 12.5 壁面温度の変動 (TIPPEETS)

# 沸騰流動系の限界熱流束

気液二相流動の不安定性にも大きな影響を受ける

同じ流動条件

不安定が起きにくい系 — CHFは大きい

不安定が起きやすい系 — CHFは小さい

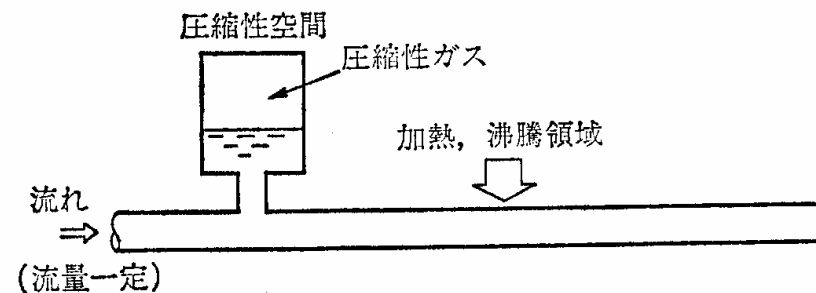


図 6.4 加熱部上流の圧縮性空間

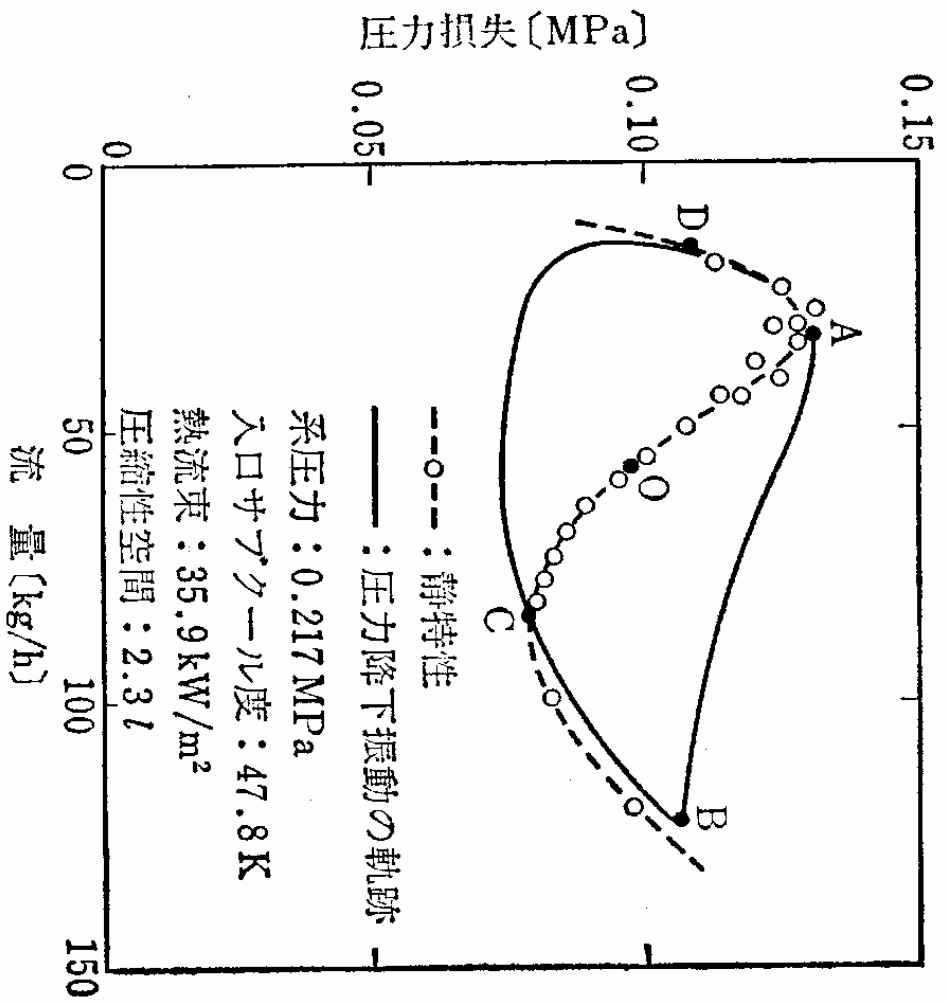


図 6.5 Ledinegg 形不安定流動 (圧力降下振動)<sup>12)</sup>

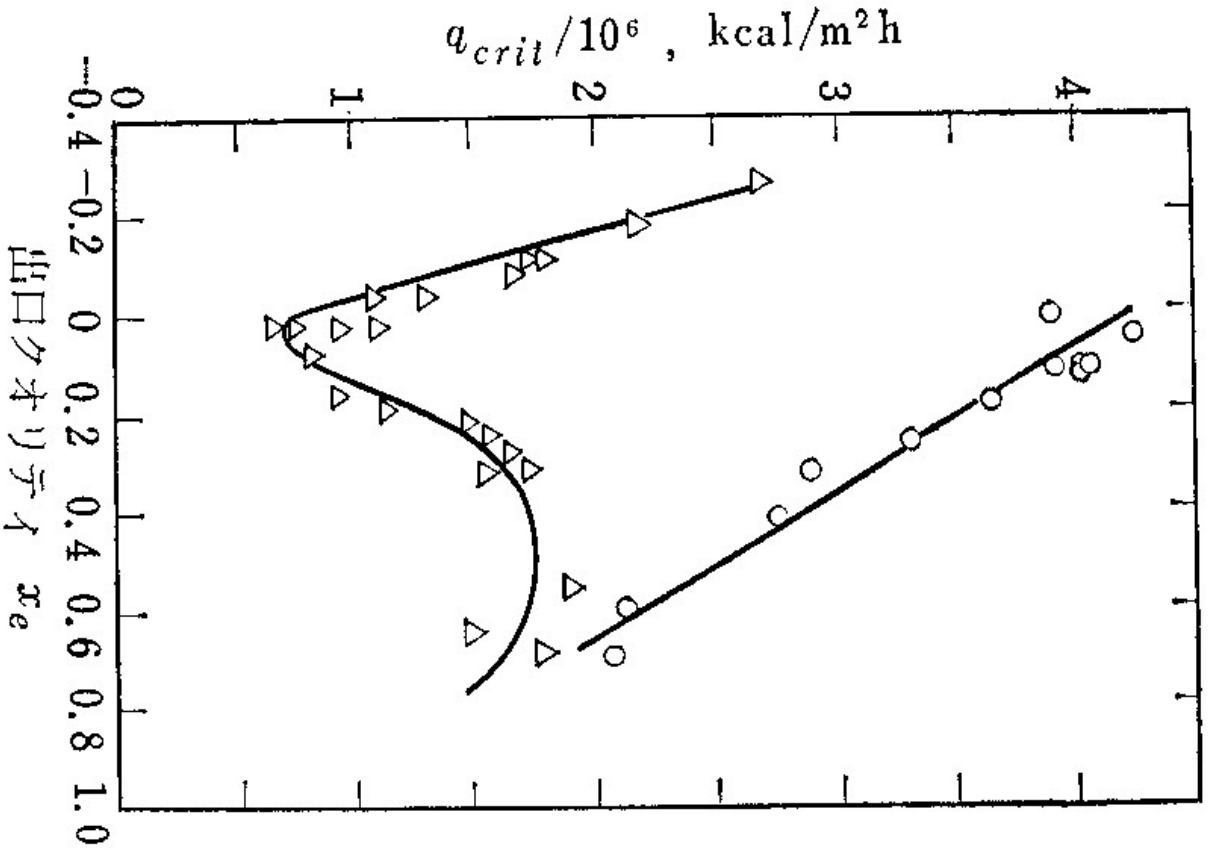


図 12.7 流れの脈動による CHF 低下 (ALADYEV ら)