5

9.6 等エントロピー流れの基礎式
9.7 管路の断面積変化と状態量の関係
9.8 断面積変化が等エントロピー流れに及ぼす影響（状態量の変化）
＜ノズル、ディフューザ内の流れ＞
＜ラバルノズル＞
9.9 臨界状態、チョーク＆管路の断面積比とマッハ数の関係
＜臨界状態、チョーク＞
＜管路の断面積とマッハ数の関係式＞

9.6 等エントロピー流れの基礎式

流れは断熱で，エントロピーが一定に保たれる等エントロピー流れの基礎式は

詳細編　参照

(9.23)

(9.24)

(9.25)

(9.26)

である。これらの式を微分形で表示すると

詳細編　参照

(9.23’)

(9.24’)

(9.25’)

(9.26’)

9.7 管路の断面積変化と状態量の関係

等エントロピー流れにおける管路断面積変化dA/Aと状態量の変化の関係は，(9.23’)～(9.26’)、および音速の式（7.1）$a^2 = dp/d\rho$等を用いると

$$\frac{d\rho}{\rho} = -\frac{M^2}{M^2-1}\frac{dA}{A} \tag{9.27}$$

$$\frac{dp}{p} = -\frac{\kappa M^2}{M^2-1}\frac{dA}{A} \tag{9.28}$$

$$\boxed{\frac{dV}{V} = \frac{1}{M^2-1}\frac{dA}{A}} \tag{9.29}$$

$$\frac{dT}{T} = -\frac{(\kappa-1)M^2}{M^2-1}\frac{dA}{A} \tag{9.30}$$

$$\frac{dM}{M} = \frac{2+(\kappa-1)M^2}{2(M^2-1)}\frac{dA}{A} \tag{9.31}$$

等エントロピー流れでは，断面積の変化によって，気体の状態量や速度，マッハ数などに影響を及ぼす。これらの式から，状態量の変化を調べることができる。

9.8 断面積変化が等エントロピー流れに及ぼす影響（状態量の変化）

＜ノズル、ディフューザ内の流れ＞

ノズル：流れを加速
ディフューザ：流れを減速
亜音速と超音速　⇒　幾何学形状が逆

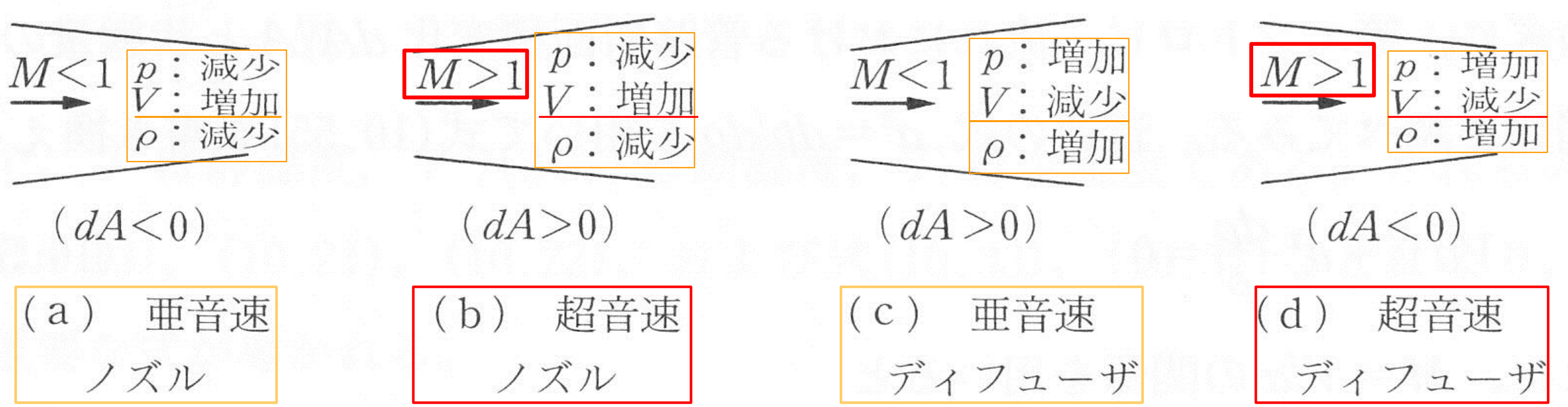


図9.11　管路断面積変化の等エントロピー流れの様子

＜ラバルノズル＞

亜音速ノズルと超音速ノズルを合体させたノズル。
超音速を持続的に噴出させるためのノズル

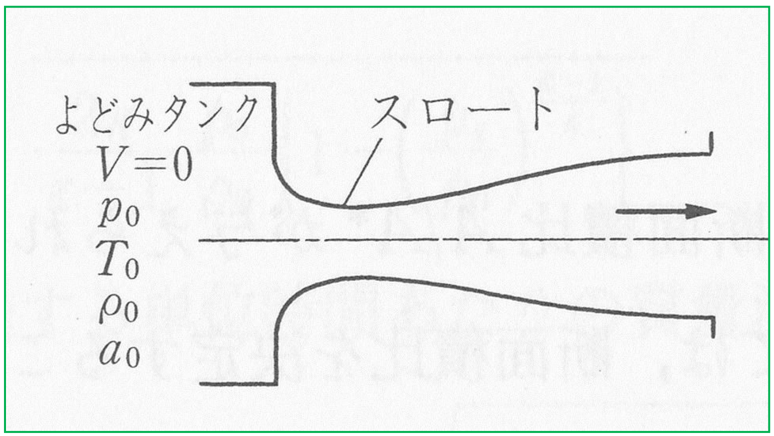
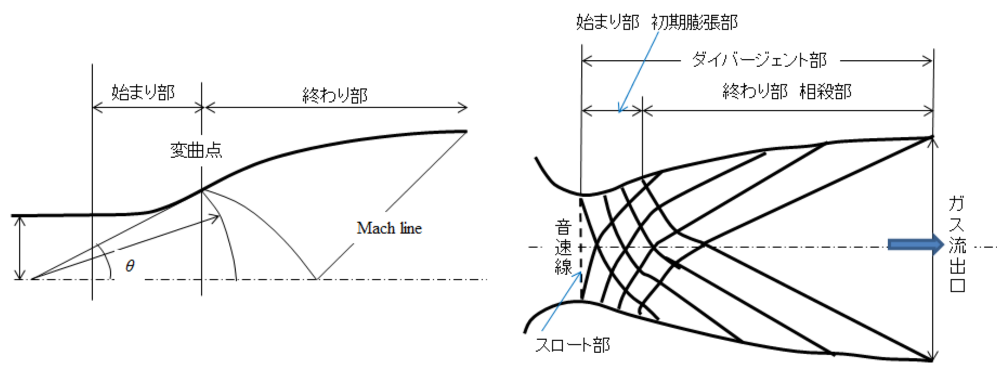


図9.12　ラバルノズル

＜理想的なラバルノズルの設計＞



「始まり部」で発生した膨張波が反対側のノズル壁面に衝突して反射する
<u>圧縮波と相殺，消滅するように「終わり部」の曲線を設計する必要がある。</u>
⇒　非常に困難な設計と加工精度　必要

9.9 臨界状態、チョーク＆管路の断面積比とマッハ数の関係

＜臨界状態、チョーク＞

流れの速度 V が音速 a に等しくなった状態
すなわち，M =1の状態を臨界状態という！
ラバルノズルの最小断面積⇒スロート部で生じる。
M =1の臨界状態における空気の流れの状態に $*$ の記号を付ける。

$$\frac{T^*}{T_0} = \frac{2}{\kappa+1} = 0.833 \quad (9.32)$$

$$\frac{p^*}{p_0} = \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = \boxed{0.528} \quad (9.33)$$

$$\frac{\rho^*}{\rho_0} = \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{1}{\kappa-1}} = 0.634 \quad (9.34)$$

(κ = 1.4)

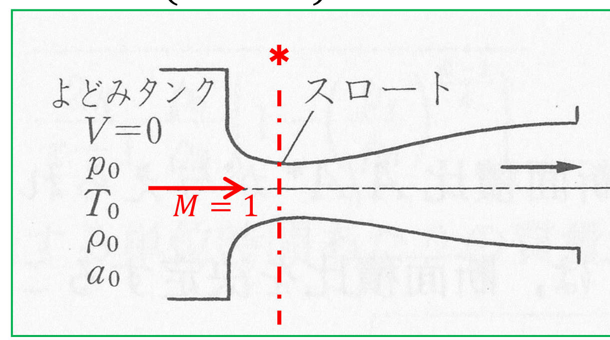


図9.13　ラバルノズル　臨界状態

臨界圧力p^*が、$p^* = 0.528p_0$のとき⇒　流れは、スロート部で閉そく、
チョーク現象　⇒　M=1の流れとなる。

＜管路の断面積とマッハ数の関係式＞

管路内の等エントロピー流れのM=1の臨界状態における断面積A^*と、任意のマッハ数M にける断面積Aとの関係を求める。連続の式より、質量流量は$\rho VA = \rho^* V^* A^*$であるから（途中　詳細は既配布資料を参照）

$$\frac{A}{A^*} = \frac{\rho^* V^*}{\rho V} = \frac{1}{M}\left\{\frac{(\kappa - 1)M^2 + 2}{\kappa + 1}\right\}^{\frac{\kappa+1}{2(\kappa-1)}} \qquad (9.35)$$

この式より、A/A^*が与えられると、マッハ数Mが求められる。

あるマッハ数に対して、断面積比を決定できる。

「始まり部（膨張部）」で発生した膨張波が反対側のノズル壁面に衝突して反射する圧縮波と相殺，消滅するように「終わり部（相殺部）」の曲線を設計する必要がある。
⇒　非常に困難な設計と加工精度　必要