

ISO 9300:2022の改訂について

Measurement of gas flow by means of critical flow nozzles

臨界ノズルを用いた流量測定

ISO/TC30/SC2/WG19 コンビナー: 石橋雅裕さん

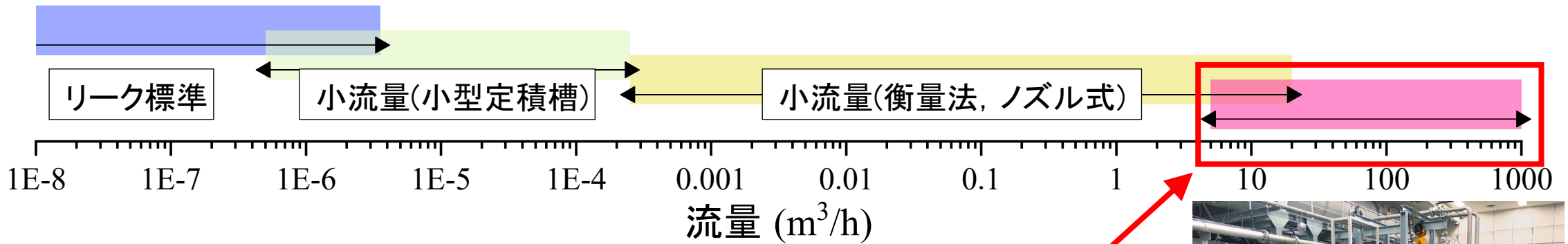
2022年12月08日(木) 第18回NMIJ 流量計測クラブ

竹川 尚希

<https://staff.aist.go.jp/takegawa-naoki>

NMIJの標準範囲(気体流量計測)

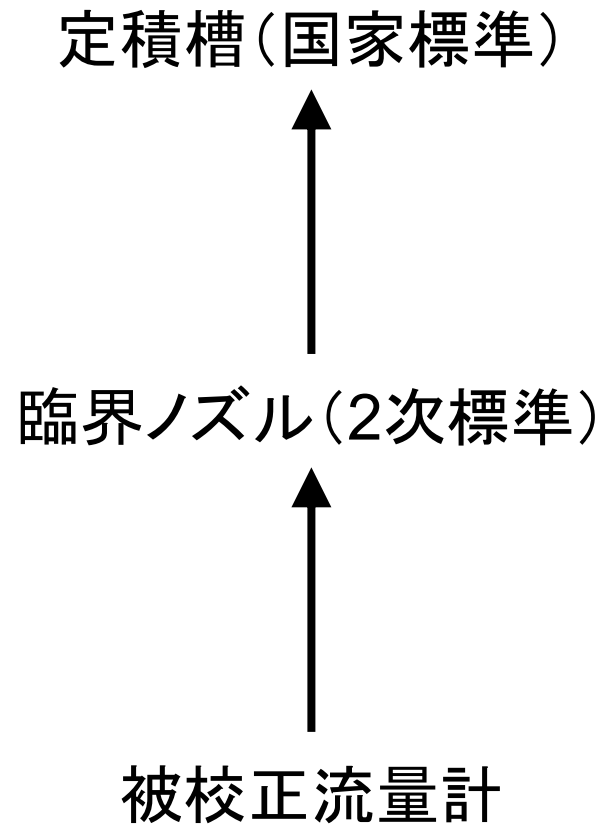
- 気体中量以上 : 大型エンジン、パイプライン
- 気体中流量 : プラント内の流量管理、ガスメータ、排ガス
- 気体小流量(衡量法、ノズル式) : 半導体、水素ステーション、ガスメータ
- 気体小流量(小型定積槽) : 半導体



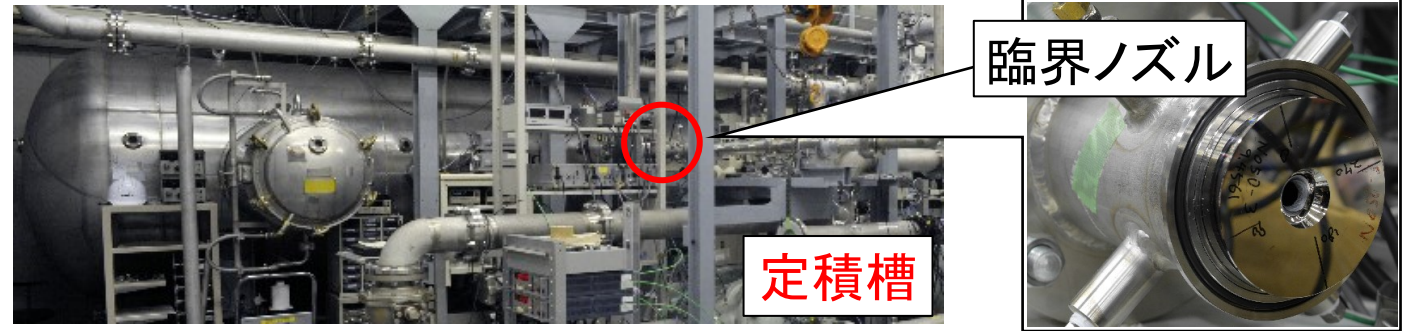
気体中流量(定積槽および閉ループ)を担当



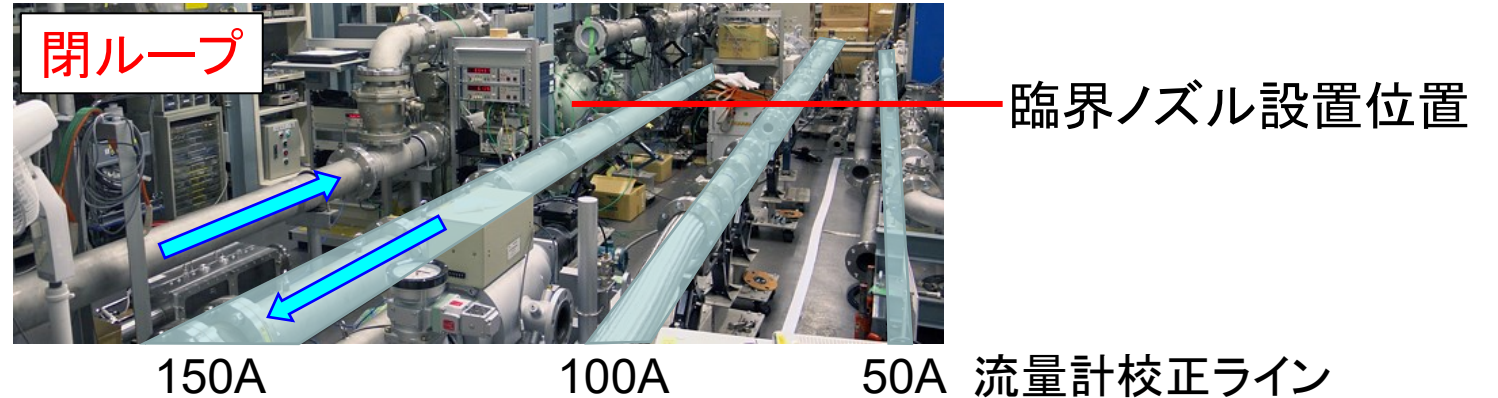
気体中流量のトレーサビリティ



流量: 5~200 m³/h, 圧力: 0.1~0.5 MPa

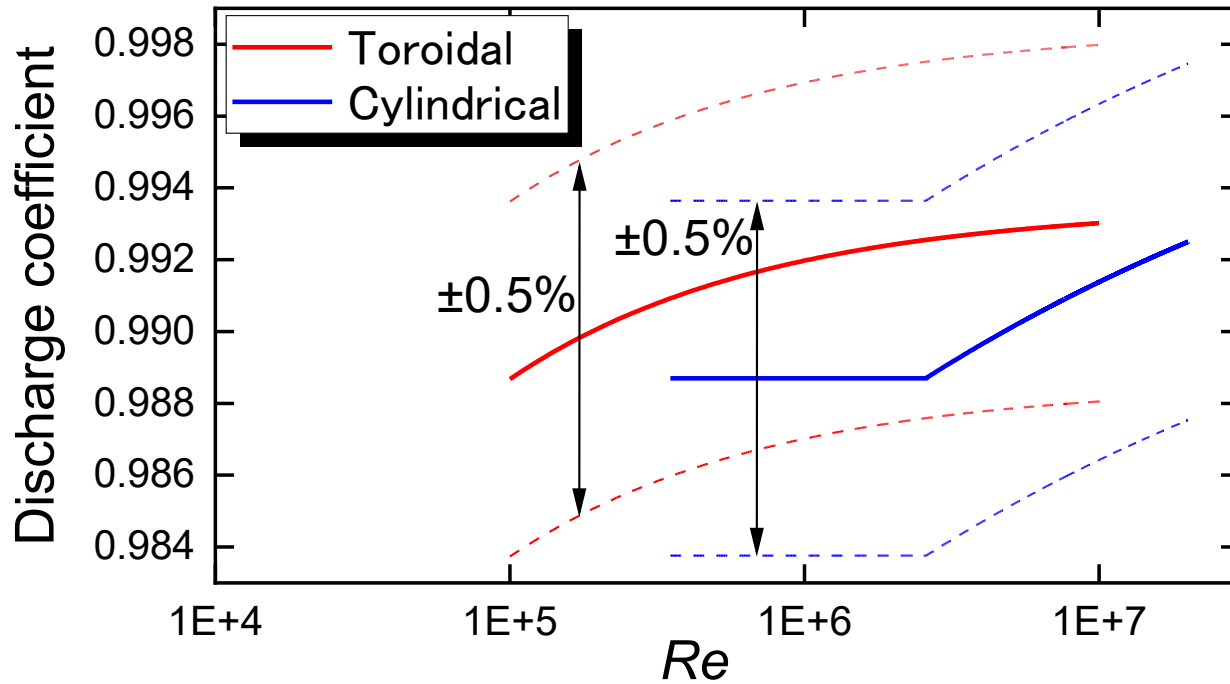
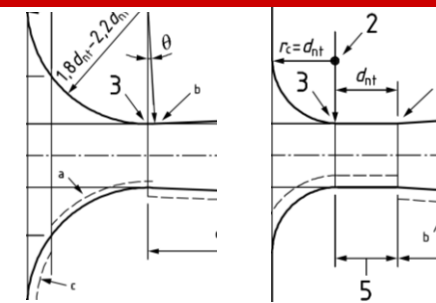


流量: 5~1000 m³/h, 圧力: 0.1~0.5 MPa



流量計の校正には臨界ノズルを使用

ISO 9300における過去の改訂(初版、1990年版)



流出係数の式 $C_d = a - \frac{b}{Re^n}$

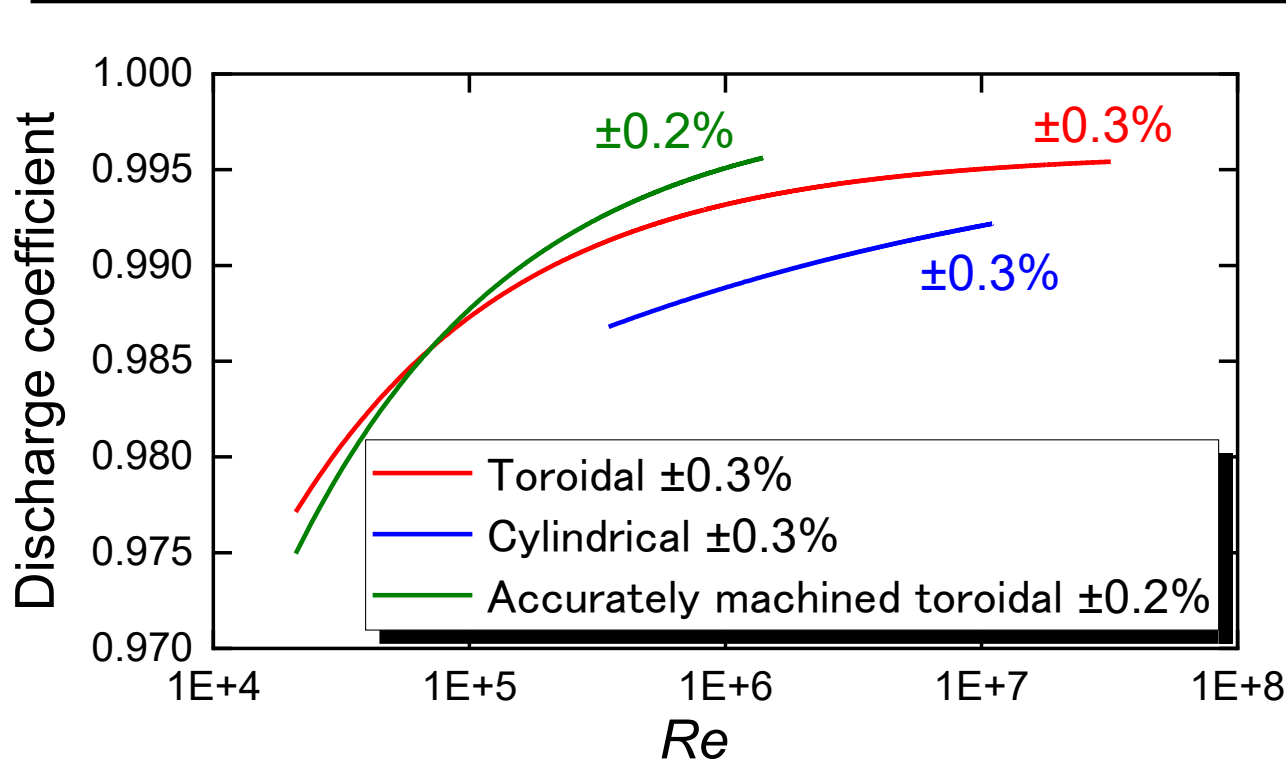
Toroidal $10^5 < Re < 10^7$
 $a = 0.9935, b = 1.5250, n = 0.5$

Cylindrical $3.5 \times 10^5 < Re < 2.6 \times 10^6$
 $a = 0.9887, b = 0, n = 0$

Cylindrical $2.6 \times 10^6 < Re < 2.0 \times 10^7$
 $a = 1.0, b = 0.2165, n = 0.2$

7.2.3 The relative uncertainty in the discharge coefficients obtained from the equation specified in 7.2.2 is $\pm 0.5\%$, at the 95% confidence level, for both types of nozzle.

ISO 9300における過去の改訂(2版、**2005年版**)



流出係数の式
$$C_d = a - \frac{b}{Re^n}$$

研磨有、算術平均粗さ指定あり

Toroidal $2.1 \times 10^4 < Re < 3.2 \times 10^7$

$a=0.9959, b=2.720, n=0.5$

研磨無、算術平均粗さ指定あり

A-Toroidal $2.1 \times 10^4 < Re < 1.4 \times 10^6$

$a=0.9885, b=3.412, n=0.5$

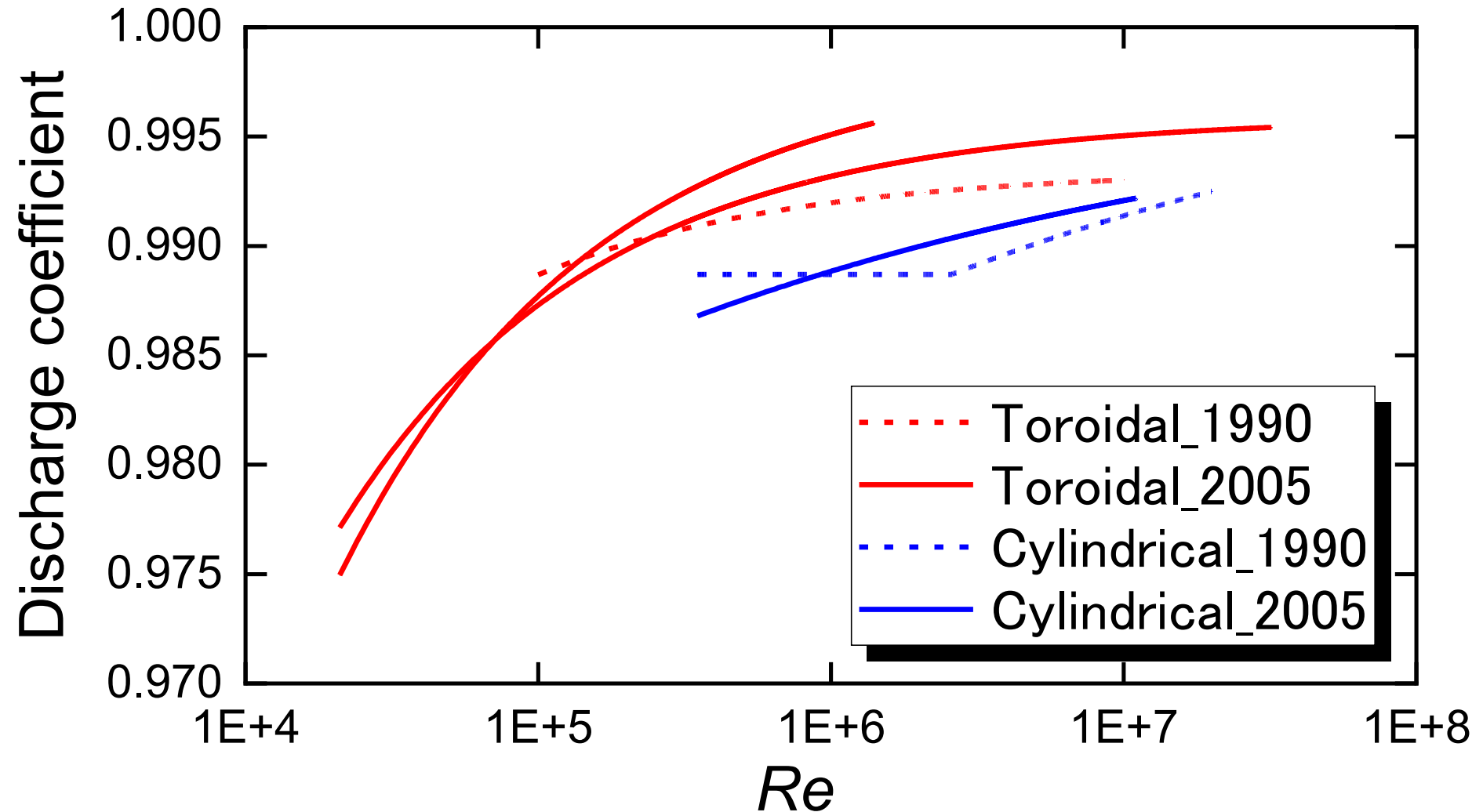
算術平均粗さ指定あり

Cylindrical $3.5 \times 10^5 < Re < 1.1 \times 10^7$

$a=0.9976, b=0.1388, n=0.2$

8.2.3 The relative uncertainty in the discharge coefficients obtained from Equation (10) is 0,3 %, at the 95 % confidence level, for the toroidal-throat and cylindrical-throat Venturi nozzles. For the accurately machined nozzle, this relative uncertainty in the discharge coefficients is 0,2 % at the 95 % confidence level.

補足(初版カーブと2版カーブの違い)



ISO 9300:2022 (3版)での改訂点

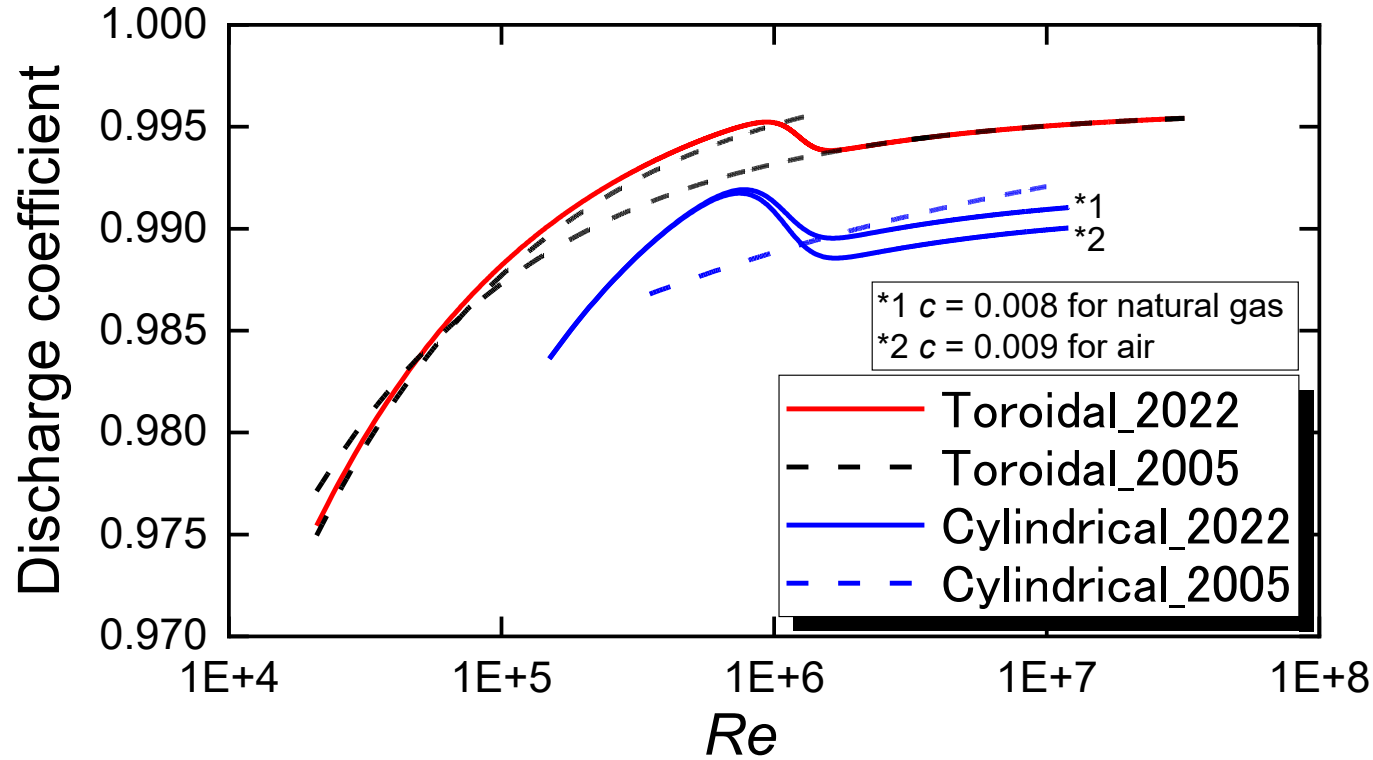
ISO/TC30/SC2/WG19

コンビナー(WG主査): 石橋雅裕さん

Foreword

- ① The discharge coefficient curve is given by a single equation each for the toroidal and cylindrical throat critical flow nozzles (CFNs) that covers both the laminar and turbulent boundary layer regimes
- ② The discharge coefficient curve of the cylindrical-throat CFN is updated based on the recent experimental and theoretical data
- ③ The quadrant CFN and detachable diffuser are introduced
- ④ The basic equations used to measure the discharge coefficient are listed
- ⑤ The premature unchoking phenomenon is explained to give attention to the unpredictable unchoking at low Reynolds numbers
- ⑥ REFPROP is introduced for the calculations of critical flow function and viscosity as well as their fitted curves are given for some pure gases and air
- ⑦ The diameter correction method is introduced to fit the experimental discharge coefficient data to a reference curve
- ⑧ The detailed method to match the discharge coefficient curve on an experimental data set is described
- ⑨ The background of the specifications is given

①②境界層遷移を考慮した流出曲線カーブ



$$C_d = a - \frac{b}{\sqrt{Re}} - \frac{c - \frac{d}{\sqrt{Re}}}{1 + \exp\left(e - \frac{\sqrt{Re}}{f}\right)}$$

10.3.2 The relative uncertainty of the discharge coefficients calculated by using Formula (17) and Table 1 is 0,3 % at the 95 % confidence level.

Toroidal $2.1 \times 10^4 < Re < 3.2 \times 10^7$

$a = 0.9990, b = 3.415, c = 0.0031$

$d = 0.690, e = 10, f = 120000$

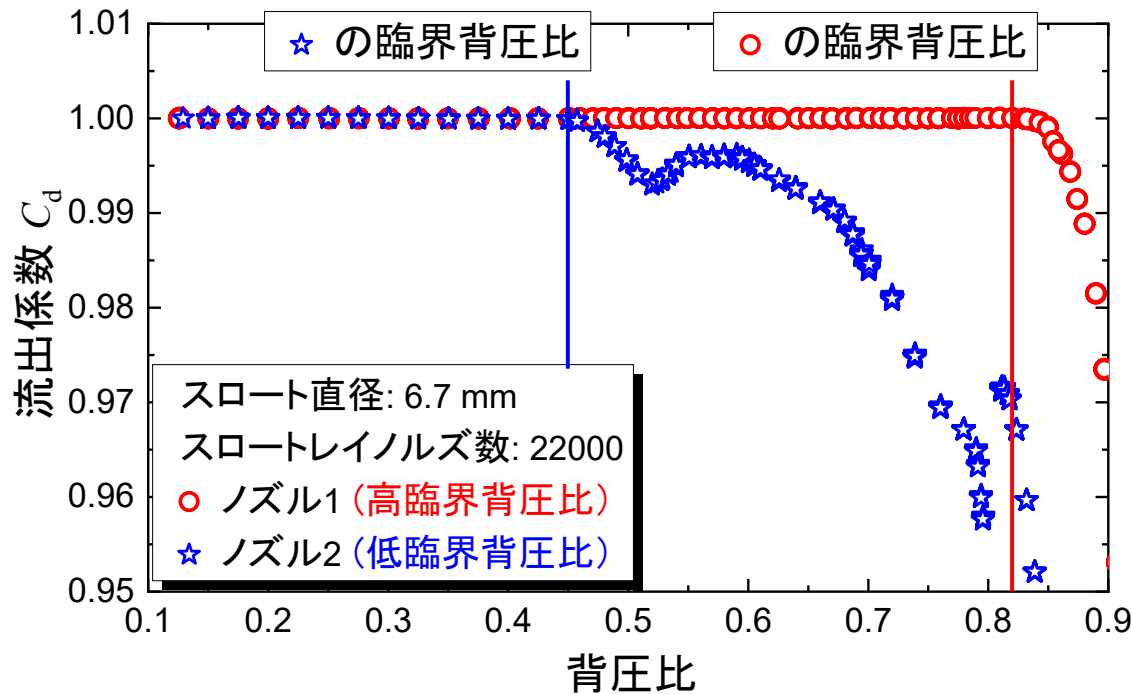
Cylindrical $1.5 \times 10^5 < Re < 1.2 \times 10^7$

$a = 1.0000, b = 6.341, c = 0.009$ (air), $c = 0.008$ (natural gas)

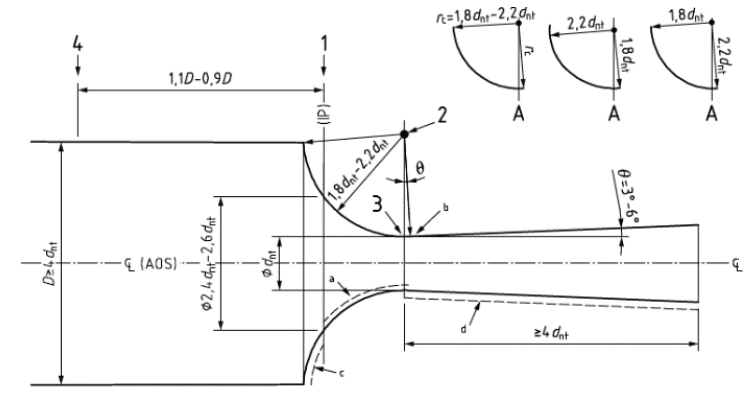
$d = 3000, e = 6, f = 170000$

③⑤PUPとノズルのディフューザー形状

PUP: premature unchoking phenomenon
Annex HにPUPに関する詳細な記載あり



8.1.4 Besides the traditional diffuser, the requirement allows no diffuser, detachable diffusers [2], and steps exactly at the throat and/or in the diffuser [12] (see Annex J).



2005, CFVN

Measurement of gas flow by means of critical flow Venturi nozzles

Mesure de débit de gaz au moyen de Venturi-tuyères en régime critique

2022, CFN

Measurement of gas flow by means of critical flow nozzles

Mesurage de débit de gaz au moyen de tuyères en régime critique

⑥ REFPROPに基づく臨界関数と粘性係数の計算

Annex C (informative)

Annex I (informative)

Critical flow function values — Pure gases and air

Viscosity values - Pure gases and air

gas	T(k) P(MPa)	200 0,1	200 1	200 2	200 5	200 10	200 15	200 20	900	1 000	T_{c^*}	c_{c^*}	Table/ Equation	Typical deviation from REFPROP			
N ₂	T range	600										0	-1	Table B.2	±0,01%		
	P range	20															
Ar	T range	600										115	-1	Table B.4	±0,02%		
	P range	20															
Dry Air +CO ₂	T range	600										65	-1	Table B.6	±0,01%		
	P range	20															
Dry Air (no CO ₂)	T range	600										80	-1	Table B.8	±0,01%		
	P range	20															
H correction for air	T range	280									-	-	Equation B.1	±0,01%			
	P range	0,5															
CH ₄	T range	280	600										110	-1,7	Table B.11	±0,005%	
	P range	0,1	20														
	T range	200-225	600										90	-1,7	Table B.12	±0,005%	
	P range	0,1	6,5														
CO ₂	T range	215-220	600										80	-1,8	Table B.13	±0,05%	
	P range	0,1	20														
	T range	265-305	370										175	-0,2	Table B.15	±0,04%	
	P range	0,1	20														
O ₂	T range	320	600										280	-0,9	Table B.16	±0,01%	
	P range	0,1	10														
	T range	200	400										190	0,35	Table B.17	±0,05%	
O ₂	P range	0,1	20														
	T range	200	400										159	0,08	Table B.18	±0,01%	
	P range	0,1	12														
Steam	T range		405	700										0	-1	Table B.21	±0,05%
	P range	0,1	6														
	T range			645								1000		583	-0,5	Table B.22	±0,004%
	P range	0,1	17														

Figure C.1 — The valid ranges, coefficients and typical errors

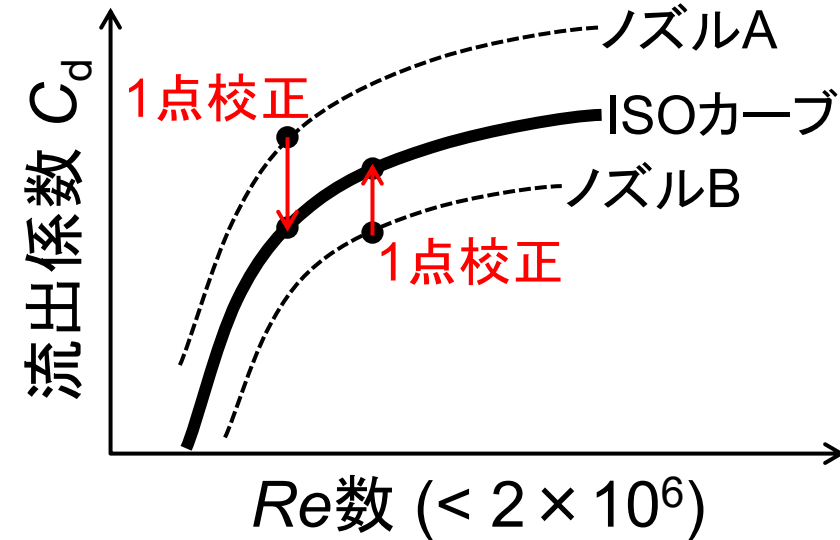
gas	T(k) P(MPa)	200 0,1	200 1	200 2	200 5	200 10	200 15	200 20	900	1 000	T_{c^*}	c_{c^*}	Table/ Equation	Typical deviation from REFPROP									
N ₂	T range	600										100	0,05	Table H.1	±0,1%								
	P range	20																					
Ar	T range	600										165	-0,05	Table H.2	±0,4%								
	P range	20																					
Dry Air (no CO ₂)	T range	600										160	0,2	Table H.3	±0,1%								
	P range	20																					
CH ₄	T range	200	600										190	0,2	Table H.4	±0,2%							
	P range	0,1	5																				
	T range	225	600										210	-0,1	Table H.5	±0,4%							
	P range	0,1	5																				
CH ₄	T range	200	250	10										195	-0,5	Table H.6	±0,6%						
	P range	0,1	5																				
	T range	200	300										190	0,1	Table H.7	±1%							
	P range	0,1	10																				
CO ₂	T range	340								600										250	-1	Table H.8	±0,5%
	P range	0,1	20																				
	T range	260	500										120	-0,1	Table H.9	±1%							
CO ₂	P range	0,1	7																				
	T range	260	300										250	1,2	Table H.10	±0,2%							
	P range	0,1	7,5																				
O ₂	T range	200	400										100	0,1	Table H.11	±0,2%							
	P range	0,1	20																				
Steam	T range		645								1000								640	0,1	Table H.12	±0,3%	
	P range	0,1	20																				
	T range		400								670								360	1,1	Table H.13	±1%	
	P range	0,1	14																				

Figure I.1 — The valid ranges, coefficients, and typical errors

上記内容に加えて、計算式と計算式で使用する係数が示されている。
REFPROPが無くても臨界関数と粘性係数について計算が可能になる。

⑦1点校正法算 (Diameter correction method) の導入

- これまでは Re と C_d の関係を示すプロットを複数点求めていた。
- トロイダルノズルでは、おおよそ一定の C_d 値 ($\alpha=0.999$, $\beta=3.415$) を示すため、ある Re での校正点が ISOカーブ上に移動するように直径を補正する。
- 1点校正法または直径補正法という捉え方ができる。



1点校正法の手順

- ①: ある1点レイノルズ数における流出係数を実験的に算出する(1点校正)。
- ②: 直径を変化させ、①で求めた流出係数がISOカーブ上に移動させる。
- ③: ②で求めた直径を使用することで、ISOカーブに基づき異なる Re において流出係数を算出することができる。

ご清聴ありがとうございました。

下記文献についてもご参照いただけますと幸いです。

計測自動制御学会 学会誌『計測と制御』

2022年 61巻 11号 p.796 - 802

石橋 雅裕 臨界ノズルの歴史とISO 9300

※掲載から1年は計測自動制御学会 会員の方のみ