

先端技術センター システム設計グループにおける 技術の標準化への取り組み

第43回 天文学に関する技術シンポジウム

先端技術センター システム設計グループ 熱構造設計チーム

大淵喜之

標準書の入手方法

- 発表者である大淵まで下記メールにて直接ご連絡ください.
- y.obuchi@nao.ac.jp

- 材料特性の温度依存についてまとめた.
- 温度範囲 293K~4K.
- 弾性率、熱膨張率、熱伝導率、比熱.
- 第2版で引張強度、降伏応力、破断伸び、疲労などを追加予定.

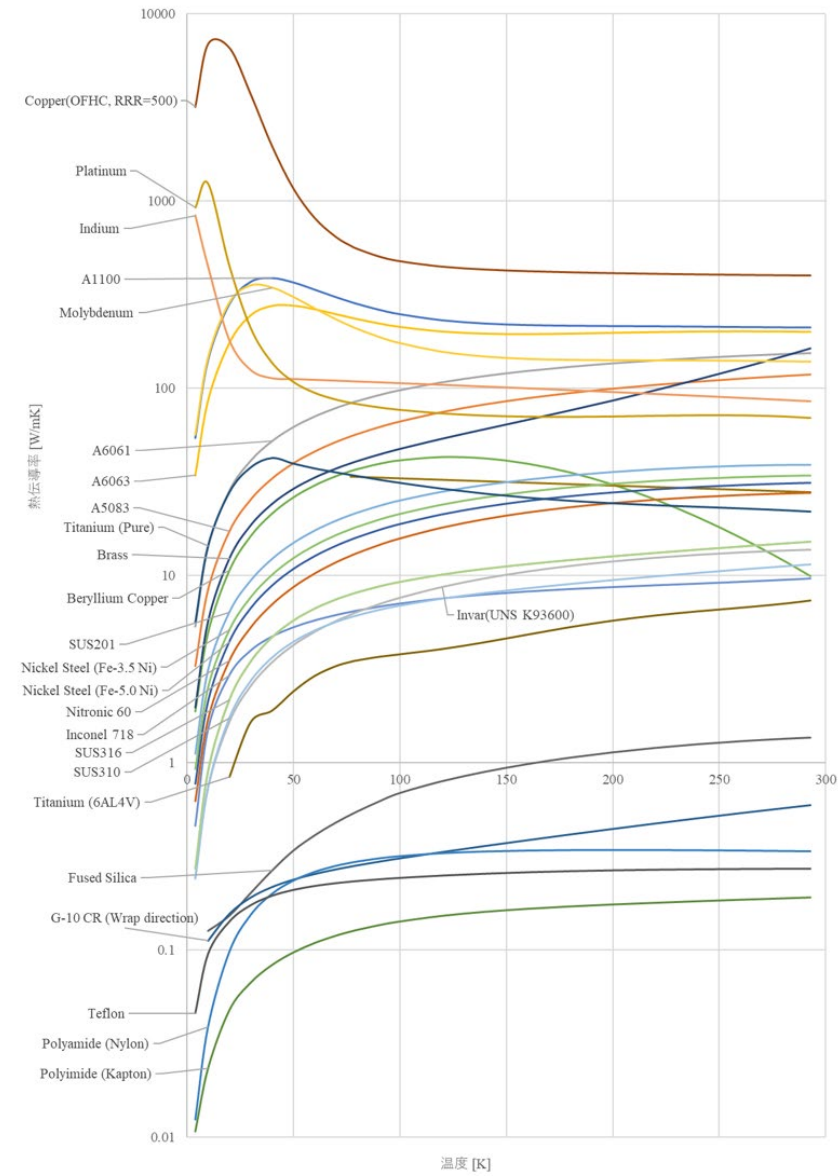
材料標準

鉄および鉄合金	アルミ及びアルミ合金	銅及び銅合金	その他金属	非金属
SUS 201	A1100-O	OFHC (C1011/C1020)	Ti-6Al-4V	G-10 CR
SUS 304	A2024-T86	Beryllium Copper (C17200)	Ti (Pure)	Polyamide (Nylon)
SUS 304L	A5083-O	Brass (C2600)	Molybdenum	PTFE
SUS 310	A6061-T6	Phosphor Bronze (C5102)	Platinum	UHMW-PE
SUS 316	A7075-T6		Indium	Sapphire
SUS 440C				Fused Silica
SUS 630				Polyimide (Kapton)
Nitronic 60				Apiezon N
Invar (UNS K93600)				
Invar (IC-DX)				
Nickel Steel (Fe-3.5Ni)				
Nickel Steel (Fe-5.0Ni)				
Inconel 718				
2024/1/25 SAE52100				4

ATC-ED-001

Temp. K	Stainless steel					Nickel Steel			Aluminum Alloy		Copper Alloy	
	SUS 201	SUS 304	SUS 310	SUS 316	Nitronic 60	Fe-3.5Ni	Fe-5.0Ni	Invar (UNS K93600)	A5083-O	A6061-T6	OFHC (C1011/C1020)	Beryllium Coppe (C1720)
293	204.1	199.5		194.7	195.2	206.2	198.6	151.9	71.9	70.4	126.1	120.0
280	204.8	200.7	191.9	195.7	195.9	206.9	199.4	150.8	72.5	70.8	127.0	120.8
260	205.9	202.4	193.4	197.3	196.9	208.0	200.6	148.8	73.3	71.5	128.4	122.0
240	206.9	204.1	194.8	198.8	197.9	209.1	201.9	146.7	74.1	72.2	129.7	123.1
220	208.0	205.6	196.3	200.3	198.9	210.2	203.1	144.6	75.0	72.9	130.9	124.0
200	209.0	207.2	197.7	201.8	199.9	211.2	204.3	142.8	75.8	73.6	131.9	
180	210.0	208.7	199.1	203.3	200.9	212.3	205.4	141.3	76.6	74.2	132.9	
160	211.0	210.1	200.4	204.7	201.8	213.3	206.4	140.3	77.4	74.9	133.7	
140	212.0	211.5	201.7	206.0	202.7	214.3	207.3	139.7	78.2	75.5	134.5	
120	212.9	212.8	202.9	207.2	203.5	215.2	208.1	139.5	78.9	76.1	135.2	
100	213.7	213.7	204.0	208.2	204.2	216.0	208.7	139.7	79.6	76.6	135.7	
90	214.0	214.1	204.5	208.7	204.5	216.4	208.9	139.9	79.8	76.9	136.0	
80	214.3	214.4	204.9	209.0	204.8	216.7	209.1	140.1	80.1	77.1	136.2	
77	214.4	214.4	205.0	209.1	204.9	216.8	209.2	140.2	80.2	77.1	136.2	
70	214.6	214.5	205.3	209.3	205.0	217.0	209.3	140.5	80.3	77.3	136.4	
60	214.9	214.5	205.7	209.5	205.2	217.2	209.4	140.8	80.5	77.5	136.5	
50	215.1	213.4	206.0	209.6	205.4	217.4	209.5	141.1	80.7	77.6	136.7	
40	215.3	211.7	206.3	209.3	205.5	217.6	209.5	141.4	80.8	77.7	136.8	
30	215.4	210.4	206.5	208.8	205.6	217.7	209.5	141.6	80.9	77.8	136.9	
20	215.4	210.1	206.6	208.1	205.5	217.7	209.4	141.7	80.9	77.8	136.9	
10	215.4	210.2	206.7	207.8	205.5	217.7	209.3	141.7	80.9	77.8	137.0	
4	215.4	210.1			205.4	217.7	209.2	141.7	80.9	77.7	137.0	

5



材料標準

ATC-ED-001

5 参考文献

[SUS 304](#), [SUS 304L](#), [SUS 310](#), [SUS 316](#)

弾性率^{*1}

LNG Materials and Fluids. Ed. Douglas Mann, National Bureau of Standards, Cryogenics Division First Edition, 1977. Chart 1016

熱膨張率^{*1}

Thermal Expansion of Technical Solids at Low Temperatures. A Compilation from the literature, NBS Monograph 29, National Bureau of Standards

LNG Materials and Fluids. Ed. Douglas Mann, National Bureau of Standards, Cryogenics Division First Edition, 1977.

熱伝導率^{*1}

LNG Materials and Fluids. Ed. Douglas Mann, National Bureau of Standards, Cryogenics Division First Edition, 1977.

Thermophysical Properties of Selected Aerospace Materials Part II: Thermophysical Properties of Seven Materials Y.S.Touloukian and C.Y. Ho Editors 1976, p.39-46

比熱^{*1}

LNG Materials and Fluids. Ed. Douglas Mann, National Bureau of Standards, Cryogenics Division, First Edition, 1977.

Thermophysical Properties of Selected Aerospace Materials, Part II: Thermophysical Properties of Seven Materials, Y.S.Touloukian and C.Y. Ho Editors, 1976, p.39-46

Recommended Values of the Thermophysical Properties of Eight Alloys, Major Constituents and their Oxides, Y.S.Touloukian, February, 1965.

[SUS 440C](#)

熱膨張率

Thermal Expansion of Some Engineering Materials from 20 to 293 K, Arp, V., Wilson, J.H., Winrich, L. and Sikora, P. Cryogenics June 1962 p.230-235

[SUS 630](#)

熱膨張率

Cryogenic Coefficient of Thermal Expansion Measurements of Type 440 and 630 Stainless Steel, H. Cease, M. Alvarez, B. Flaugher, J. Montex, Fermi National Accelerator Laboratory, Batavia, Illinois 60510. USA

[Invar \(UNS K93600\)](#)

弾性率^{*1}

LNG Materials and Fluids. Ed. Douglas Mann, National Bureau of Standards, Cryogenics Division, First Edition, 1977. Chart 1005

熱膨張率^{*1}

LNG Materials and Fluids. Ed. Douglas Mann, National Bureau of Standards, Cryogenics Division, First Edition, 1977.

熱伝導率^{*1}

LNG Materials and Fluids. Ed. Douglas Mann, National Bureau of Standards, Cryogenics Division First Edition, 1977.

比熱^{*1}

LNG Materials and Fluids. Ed. Douglas Mann, National Bureau of Standards, Cryogenics Division, First Edition, 1977.

ATC-ED-001

[Nickel Steel \(Fe-3.5Ni\)](#), [SUS 201](#), [Nickel Steel \(Fe-5.0Ni\)](#), [Nitronic 60](#)

弾性率^{*1}

LNG Materials and Fluids. Ed. Douglas Mann, National Bureau of Standards, Cryogenics Division, First Edition, 1977. Chart 1001

熱膨張率^{*1}

LNG Materials and Fluids. Ed. Douglas Mann, National Bureau of Standards, Cryogenics Division, First Edition, 1977. Chart 1001

熱伝導率^{*1}

LNG Materials and Fluids. Ed. Douglas Mann, National Bureau of Standards, Cryogenics Division First Edition, 1977.

比熱^{*1}

LNG Materials and Fluids. Ed. Douglas Mann, National Bureau of Standards, Cryogenics Division, First Edition, 1977.

[SAE52100](#)

熱膨張率

Thermal Expansion of Technical Solids at Low Temperatures. NBS Monograph 29, National Bureau of Standards, Beenakker and Swenson 1955, P.11

[Invar IC-DX](#)

熱膨張係数

究極のインバー合金 IC-DX, 小原浩太郎, 坂口直輝, 天文に関する技術シンポジウム Vol. 38, 2018.

[A1100-O](#)

熱膨張率

Thermal Expansion of Some Engineering Materials from 20 to 293 K, Arp, V., Wilson, J.H., Winrich, L. and Sikora, P. Cryogenics June 1962 p.230-235

熱伝導率^{*1}

LNG Materials and Fluids. Ed. Douglas Mann, National Bureau of Standards, Cryogenics Division First Edition, 1977.

[A2024-T86](#)

熱膨張率

Thermal Expansion of Some Engineering Materials from 20 to 293 K, Arp, V., Wilson, J.H., Winrich, L. and Sikora, P. Cryogenics June 1962 p.230-235

[A5083-O](#)

弾性率^{*1}

LNG Materials and Fluids. Ed. Douglas Mann, National Bureau of Standards, Cryogenics Division, First Edition, 1977. Chart 1009

熱膨張率^{*1}

LNG Materials and Fluids. Ed. Douglas Mann, National Bureau of Standards, Cryogenics Division, First Edition, 1977.

熱伝導率^{*1}

LNG Materials and Fluids. Ed. Douglas Mann, National Bureau of Standards, Cryogenics Division, First Edition, 1977.

比熱^{*1}

LNG Materials and Fluids. Ed. Douglas Mann, National Bureau of Standards, Cryogenics Division, First Edition, 1977.

ATC-ED-001

[A6061-T6](#)

弾性率^{*1}

LNG Materials and Fluids. Ed. Douglas Mann, National Bureau of Standards, Cryogenics Division, First Edition, 1977. Chart 1009

熱膨張率

Thermal Expansion of Some Engineering Materials from 20 to 293 K, Arp, V., Wilson, J.H., Winrich, L. and Sikora, P. Cryogenics June 1962 p.230-235

熱伝導率^{*1}

Thermal Properties Database for Materials at Cryogenic Temperatures. Ed. Holly M. Veres. Volume 1 Recommended values of the Thermophysical Properties of eight Alloys, Major Constituents and their Oxides, Y.S.Touloukian (Purdue University) Feb, 1965

比熱^{*1}

LNG Materials and Fluids. Ed. Douglas Mann, National Bureau of Standards, Cryogenics Division, First Edition, 1977.

[A6063-T5](#)

熱伝導率^{*1}

LNG Materials and Fluids. Ed. Douglas Mann, National Bureau of Standards, Cryogenics Division, First Edition, 1977.

[A7075-T6](#)

熱膨張率

Thermal Expansion of Some Engineering Materials from 20 to 293 K, Arp, V., Wilson, J.H., Winrich, L. and Sikora, P. Cryogenics June 1962 p.230-235

[OFHC \(C1011/C1020\)](#)

弾性率

Properties of Copper and Copper Alloys at Cryogenic Temperature. NIST Monograph 177. N.J.Simon, E.S.Drexler, and R.P.Reed. February 1992, p. 6-1, Eq. 6-1.

熱膨張率^{*1}

Properties of Copper and Copper Alloys at Cryogenic Temperature. NIST Monograph 177. N.J.Simon, E.S.Drexler, and R.P.Reed. February 1992, p. 7-23.

熱伝導率^{*1}

Properties of Copper and Copper Alloys at Cryogenic Temperature. NIST Monograph 177. N.J.Simon, E.S.Drexler, and R.P.Reed. February 1992, p. 7-23.

比熱^{*1}

Properties of Copper and Copper Alloys at Cryogenic Temperature. NIST Monograph 177. N.J.Simon, E.S.Drexler, and R.P.Reed. February 1992, p. 7-1.

A compendium of the Properties of Materials at Low Temperatures (phase i), Wadd Technical Report 60-55. (Part ii), Victor J. Johnson p.4.112-1

Thermal Properties Database for Materials at Cryogenic Temperatures, edited by Holly M. Veres

[Beryllium Copper \(C1720\)](#)

弾性率

Properties of Copper and Copper Alloys at Cryogenic Temperature. N.J.Simon, E.S.Drexler, and R.P.Reed. NIST Monograph 177. February 1992, p. 13-4.

熱膨張率^{*1}

ねじ締結の設計標準

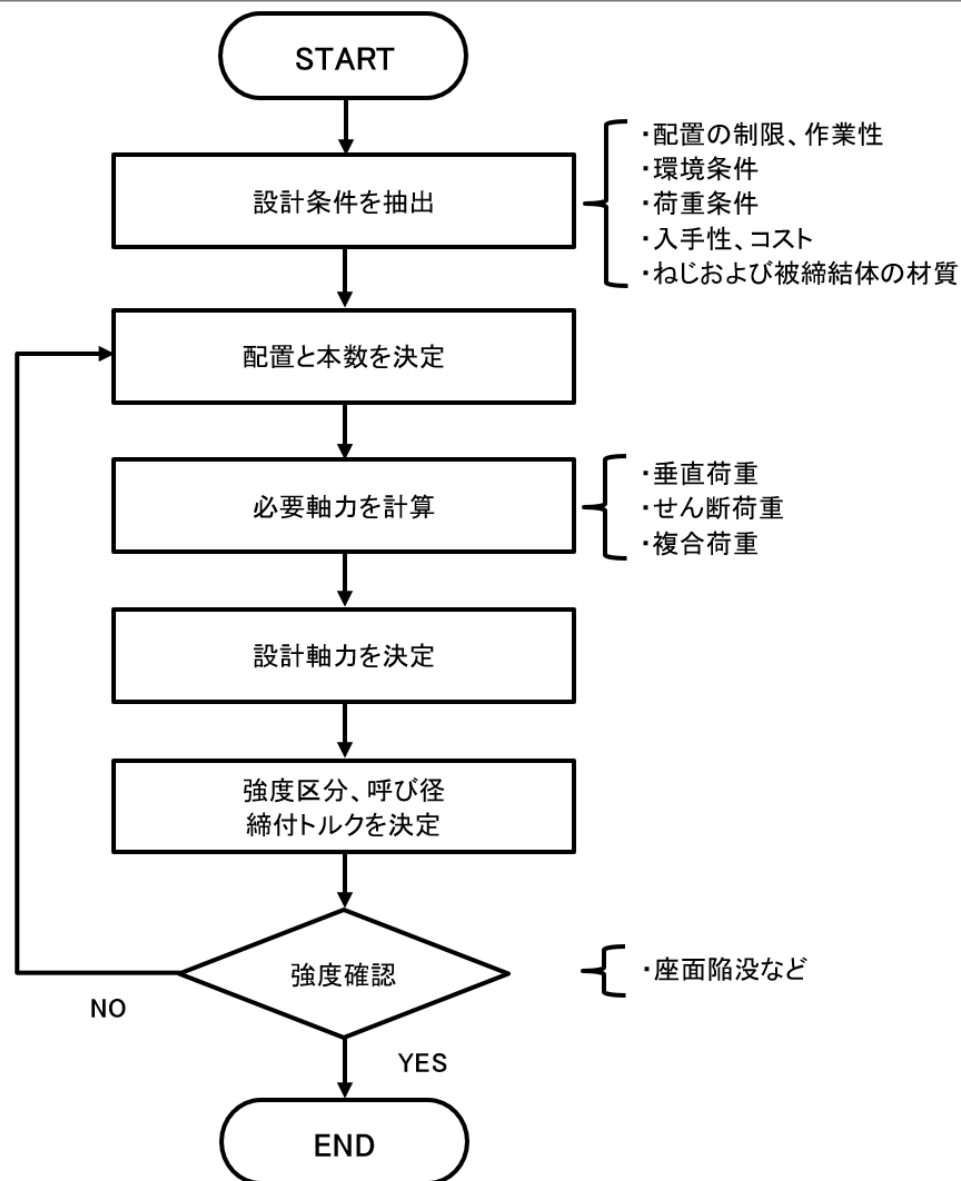
- ねじの本数や強度区分および締付トルク等の決め方に加え、冷却による締結力の変化を補償する方法を定めた。

ねじ締結の設計標準

5	ねじ締結の設計標準	3
5.1	設計フロー	3
5.2	ねじの形式、材質および強度区分	3
5.2.1	形式	3
5.2.2	材質	3
5.2.3	強度区分	4
5.3	配置	4
5.4	必要軸力の計算	4
5.4.1	垂直荷重を受ける場合	4
5.4.2	せん断荷重を受ける場合	4
5.4.3	複合荷重を受ける場合	4
5.5	設計軸力と特別係数	5
5.6	強度区分と呼び径および噛合い長さ	5
5.7	締付トルク	5
5.7.1	一般環境向け	8
5.7.2	真空環境向け	10
5.7.3	低温環境向け	12
5.7.3.i	温度補償無しの場合	13
5.7.3.ii	温度補償ありの場合	15
5.7.3.iii	計算例	17
5.8	被締結体の強度	20
5.8.1	限界座面圧力	20
5.8.2	ねじインサート	20
5.9	ゆるみ対策	20
6	参考文献	21

ねじ締結の設計標準

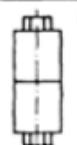
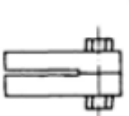
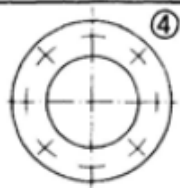
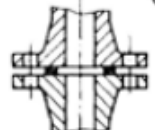
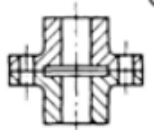
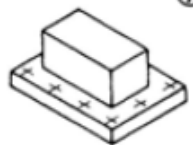
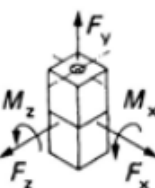
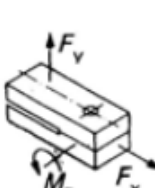
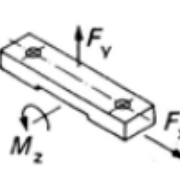
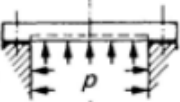
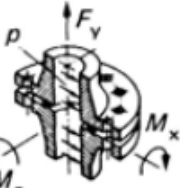
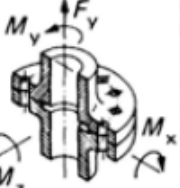
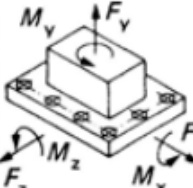
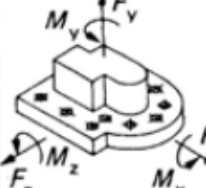
• 設計フロー



ねじ締結の設計標準

必要軸力の算出方法

VDI 2230 (2014)より抜粋

Single-bolted joint		Multi-bolted joint						Bolted joint
Concentric or eccentric		In a plane	Axial symmetry			Symmetrical	Asymmetrical	Bolt axes
Cylinder or prismatic body	Beam	Beam	Circular plate	Flange with sealing gasket	Flange with plane bearing face	Rectangular multi-bolted joint	Multi-bolted joint	Joint geometry
								
								Relevant loads
Axial force F_A Transverse force F_Q Bending moment M_B	Axial force F_A Transverse force F_Q Moment in the plane of the beam M_z	Axial force F_A Transverse force F_Q Moment in the plane of the beam M_z	Internal pressure p	Axial force F_A (Pipe force) Bending moment M_B Internal pressure p	Axial force F_A Torsional moment M_T Moment M_B	Axial force F_A Transverse force F_Q Torsional moment M_T Moment M_B	Axial force F_A Transverse force F_Q Torsional moment M_T Moment M_B	Forces & moments
VDI 2230		Limited treatment by VDI 2230		DIN 2505 AD Note B7 VDI 2230	Limited treatment by VDI 2230			Calculation procedure
Beam bending theory (VDI 2230) with additional conditions			Plate theory		Limited treatment using simplified models			
Finite Element Method (FEM)								

ねじ締結の設計標準

• 設計軸力

5.5 設計軸力と特別係数

設計軸力 F_f は必要軸力 F_c に軸力推定の不確かさをカバーするための荷重係数 Z_w 、およびトルク法による締付けの不確かさをカバーするための締付係数 Z_T 、また必要に応じて安全率 FoS を乗じた値とする。

$$F_f \geq F_c \times Z_w \times Z_T (\times FoS) \quad (5-5)$$

締付トルクの決定にはこの設計軸力を使用すること。
適用する荷重係数と締付係数の標準値を表5.1に示す。

表5.1 特別係数の標準値

荷重条件	荷重係数	締付係数
単一方向	1.25	1.1
複合方向	1.5	

ねじ締結の設計標準

• 強度区分と呼び径および噛合い長さ

5.6 強度区分と呼び径および噛合い長さ

設計軸力 F_f において発生するねじ軸の応力 σ_b とねじ軸の有効断面積 A_s の関係(式 5-6)用い、 σ_b がねじ軸の降伏応力 σ_y に対して下記の軸部応力の基準を満たすように σ_y 、 A_s つまり強度区分と呼び径を選定すること。

$$\sigma_b = \frac{F_f}{A_s} \quad (5-6)$$

軸部応力の基準

一般環境向け: $\sigma_{bnom} \leq 50\% \text{ of } \sigma_y$
 真空環境向け: $\sigma_{bmax} \leq 70\% \text{ of } \sigma_y$
 低温環境向け: 5.7.3 節参照

十分なめねじ強度を確保するために必要な噛合い長さの標準値を表5.2に示す。主構造の締結部にはこの表の値を適用すること。

表5.2 噛合い長さの標準値

おねじの材質	めねじの材質	噛合い長さ
同種		0.8d以上
鉄、ステンレス	アルミ、銅	1.5d以上

ねじ締結の設計標準

• 締付トルクの計算方法

軸力から締付トルクへの換算はJIS B 1083^{AD3)}に基づく。

$$T = F \left\{ \frac{p}{2\pi} + 0.577\mu d_2 + 0.5\mu_n d_n \right\} \quad (5-7)$$

$$d_n = \frac{d_w + d_h}{2} \quad (5-8)$$

T : 締付トルク	[Nm]	μ : ねじ部摩擦係数	(表5.2)
F : 軸力	[N]	μ_n : 座部摩擦係数	(表5.2)
d_2 : 有効径	[m]	p : ピッチ	[m]
d_n : 座部摩擦直径	[m]	d_h : ねじ穴径	[m]
d_w : 座面径	[m]		

表5.3 ねじの摩擦係数の標準値

		最小	平均	最大
油潤滑 ^{RD3)}	μ	0.1	0.17	0.24
	μ_n	0.1	0.17	0.24
乾燥 ^{RD2)}	μ	0.1	0.25	0.4
	μ_n	0.15	0.35	0.55

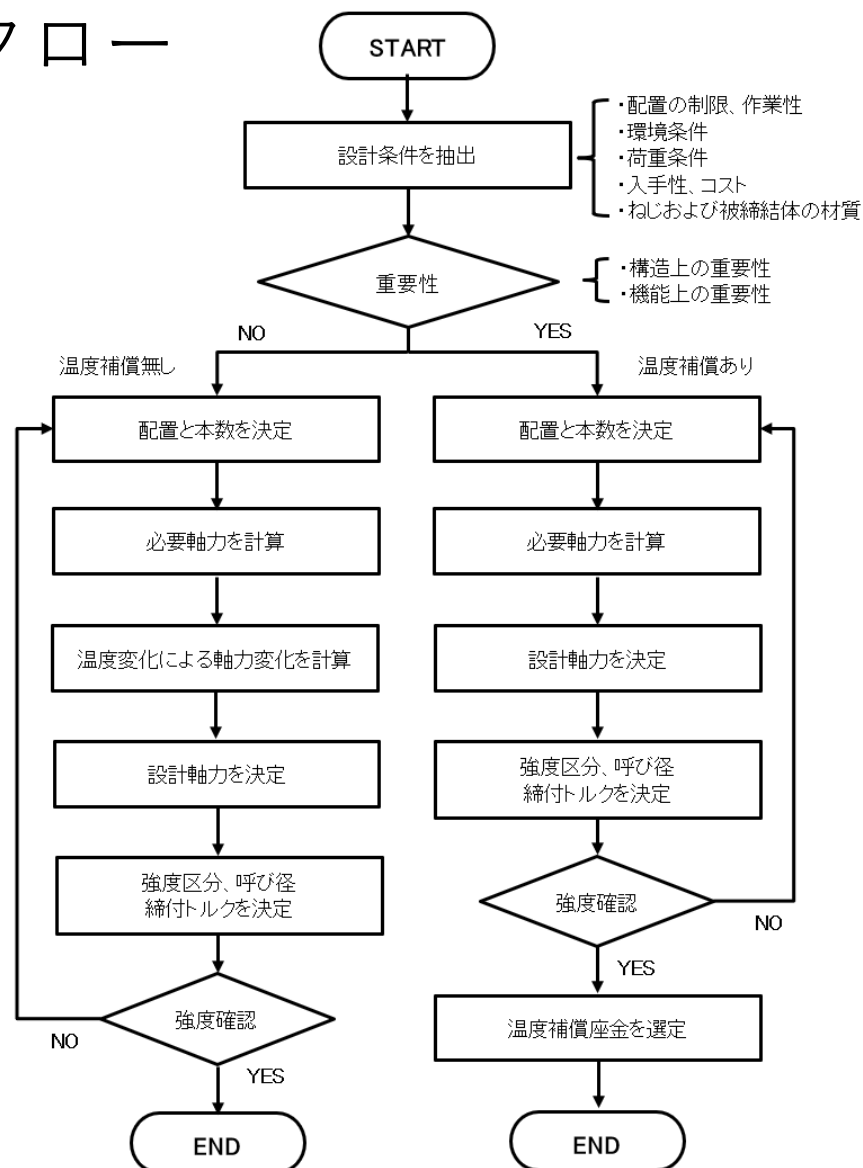
ねじ締結の設計標準

表5.7 一般環境向け標準締付トルク

鋼種 区分	A1, A2, A3, A4, A5											
	50				70				80			
ねじの 呼び	標準 締付トルク [Nm]	軸力 [N]			標準 締付トルク [Nm]	軸力 [N]			標準 締付トルク [Nm]	軸力 [N]		
		標準	最小	最大		標準	最小	最大		標準	最小	最大
M1.6	0.05	133	99	206	0.11	286	211	441	0.15	381	282	588
M2	0.10	217	160	338	0.22	466	343	724	0.30	621	458	965
M2.5	0.21	356	262	557	0.44	763	560	1194	0.59	1017	747	1591
M3	0.37	530	387	831	0.78	1132	829	1781	1.05	1509	1106	2374
M4	0.85	922	677	1445	1.82	1976	1451	3096	2.42	2634	1934	4128
M5	1.7	1491	1092	2350	3.6	3195	2340	5035	4.8	4260	3120	6714
M6	2.9	2111	1548	3315	6.1	4523	3317	7104	8.2	6030	4423	9472
M8	6.9	3843	2814	6060	14.7	8235	6029	12986	19.6	10980	8039	17315
M10	14	6090	4453	9628	29	13050	9543	20632	39	17400	12724	27510
M12	23	8852	6470	14008	50	18968	13864	30018	66	25290	18485	40023
M16	55	16485	12011	26271	118	35325	25738	56295	157	47100	34317	75060
M20	105	25725	18756	40935	225	55125	40191	87718	300	73500	53588	116958

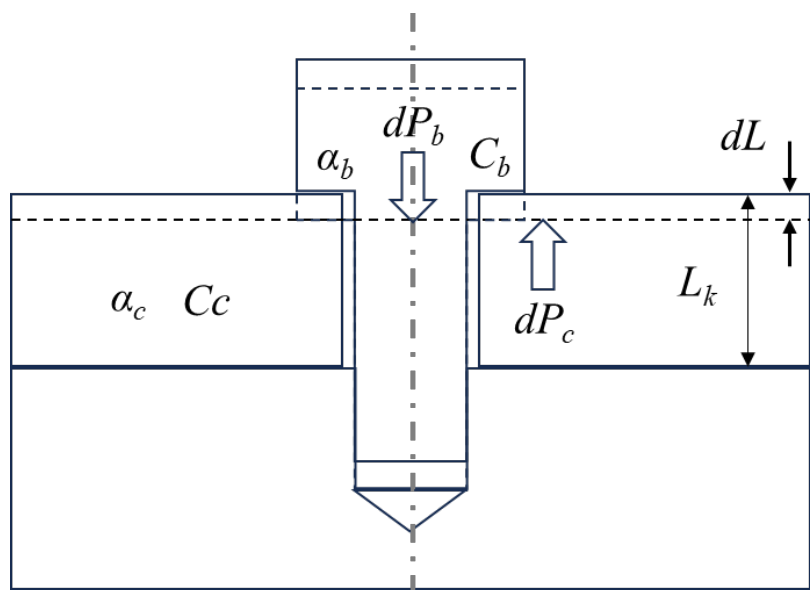
ねじ締結の設計標準

• 低温環境向けの設計フロー



ねじ締結の設計標準

• 温度変化による軸力の変化



温度変化による座面位置の変化量 dL は熱膨張によるものと軸力変化によるものの足し合わせ.

$$dP_b = (\alpha_c - \alpha_b)L_k \frac{C_b C_c}{C_b + C_c}$$

C_b : ねじのばね定数

[N/mm] (式 5-16) ←

C_c : 被締結体のばね定数

[N/mm] (式 5-17, 5-18) ←

L_k : グリップ長さ ←

ねじ締結の設計標準

• ばね定数

ねじのばね定数 C_b は、沢・丸山の式^{RD1)}より

$$C_b = E_b \left(\frac{0.6d}{A_n} + \frac{L_k + 0.7d}{A_s} \right)^{-1} \quad (5-16)$$

E_b : ねじの弾性率 [Pa] A_n : ねじの呼び径を直径とする円の面積 [m²]
 d : ねじの呼び径 [m] A_s : ねじ部の有効断面積 [m²]

被締結体のばね定数 C_c は、Lori の式^{RD1)}より

図 5.4(a)の平板に対し

$$C_c = \left[\frac{1}{\pi E_c \tan \gamma} \cdot \frac{1}{d_h} \times \left\{ \ln \frac{(d_w + d_h)(d_w + 2L_k \tan \gamma - d_h)}{(d_w - d_h)(d_w + 2L_k \tan \gamma + d_h)} \right\} \right]^{-1} \quad (5-17)$$

図 5.4(b)の太円筒に対し

$$C_c = \left[\frac{1}{\pi E_c \tan \gamma} \times \left\{ \frac{1}{d_h} \ln \frac{(d_w + d_h)(D_n - d_h)}{(d_w - d_h)(D_n + d_h)} \right\} + 2 \frac{d_w + 2L_k \tan \gamma - D_n}{D_n^2 - d_h^2} \right]^{-1} \quad (5-18)$$

を用いて計算する。ただし、

$$\tan \gamma = 0.326 + 0.032 \ln \left(\frac{L_k}{d_w} \right) + 0.153 \ln \left(\frac{D_c}{d_w} \right) \quad (5-19)$$

E_c : 被締結体の弾性率 [Pa] d_w : 座面径 [m]
 d : ねじの呼び径 [m] D_n : 仮想円筒の直径 [m]
 D_h : ねじ穴径 [m] D_c : 円筒形被締結体の外径 [m]

ねじ締結の設計標準

表5.11 低温環境向け標準締付トルク 温度補償無し

ねじ		A2-70															
		被締結体	アルミ			銅			36インパー			チタン合金(Ti6Al4V)					
			ねじの呼び	標準締付トルク [Nm]	軸力 [N]		標準締付トルク [Nm]	軸力 [N]		標準締付トルク [Nm]	軸力 [N]		標準締付トルク [Nm]	軸力 [N]			
					標準	最小		最大	標準		最小	最大		標準	最小	最大	標準
環境温度	M1.6	0.14	214 152	140 78	457 395	0.14	214 205	140 130	457 448	0.09	137 297	89 250	292 452	0.11	176 253	115 193	375 452
	M2	0.28	346 245	225 124	745 644	0.28	346 330	225 210	745 729	0.18	221 481	144 404	476 736	0.23	284 410	185 311	611 737
	M2.5	0.56	562 402	365 205	1220 1060	0.56	562 537	365 340	1220 1195	0.36	359 776	233 650	780 1196	0.46	461 663	299 501	1000 1202
	M3	0.99	832 595	539 302	1818 1581	0.99	832 757	539 502	1818 1781	0.63	531 1147	345 960	1162 1777	0.81	682 980	442 740	1490 1788
	M4	2.28	1453 1045	944 535	3161 2752	2.28	1453 1389	944 879	3161 3096	1.46	929 1997	603 1671	2019 3087	1.87	1191 1708	773 1290	2590 3107
77K以下	M1.6	0.14	214 117	140 42	457 360	0.14	214 195	140 121	457 438	0.07	101 341	66 305	216 455	0.10	161 277	105 222	343 460
	M2	0.28	346 187	225 66	745 586	0.28	346 315	225 194	745 714	0.13	163 552	106 495	352 741	0.21	260 449	169 359	559 749
	M2.5	0.56	562 310	365 113	1220 968	0.56	562 512	365 315	1220 1170	0.26	265 888	172 795	576 1199	0.42	422 725	274 577	915 1218
	M3	0.99	832 459	539 166	1818 1445	0.99	832 757	539 465	1818 1744	0.47	393 1312	255 1174	859 1778	0.74	624 1071	404 852	1364 1811
	M4	2.28	1453 811	944 301	3161 2519	2.28	1453 1325	944 815	3161 3032	1.08	686 2282	446 2041	1493 3088	1.71	1090 1865	708 1483	2371 3146

24/1/23

(下段は低温時の軸力)

ねじ締結の設計標準

• 温度補償

被締結体とねじ頭の間に異種材料を挟み込むことで熱膨張量を釣り合わせる。

$$\alpha_b L_k = \alpha_c L_c + \alpha_t L_t$$

$$L_k = L_c + L_t$$

$$L_t = L_c \left(\frac{\alpha_b - \alpha_c}{\alpha_t - \alpha_b} \right)$$

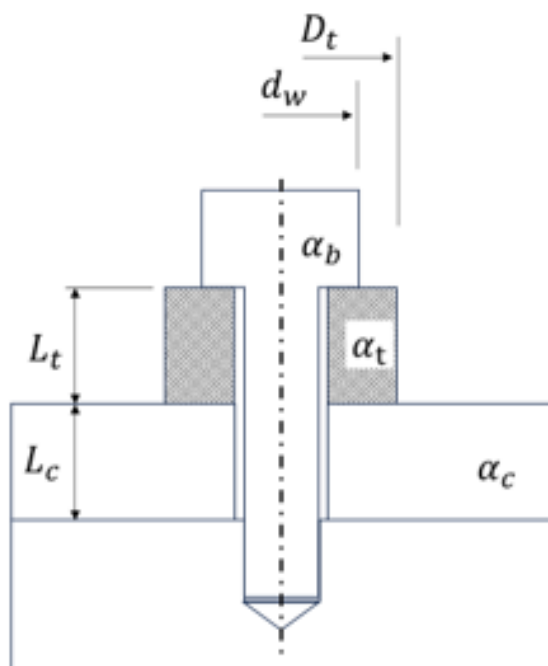


図 5.5 温度補償座金の配置

L_c : 被締結体の厚さ [m]

L_t : 温度補償座金の厚さ [m]

ねじ締結の設計標準

表5.12 低温環境向け標準締付トルク 温度補償あり

環境温度		293K - 4K			
ねじ		A2-70			
被締結体		アルミ	SUS304 銅	36インバー	チタン合金 (Ti6Al4V)
温度補償座金		36インバー	無し	アルミ	アルミ
座金厚さ L_t		$L_c \times 0.45$	--	$L_c \times 2.2$	$L_c \times 1.1$
ねじの呼び	標準締付トルク [Nm]	軸力[N]			
		標準	最小	最大	
M1.6	0.12	188	122	400	
M2	0.25	303	197	652	
M2.5	0.49	492	320	1068	
M3	0.87	728	472	1591	
M4	2.00	1272	826	2766	
M5	4.0	2042	1323	4473	
M6	6.7	2902	1883	6332	
M8	16.0	5259	3406	11529	
M10	32	8307	5375	18270	
M12	54	12057	7799	26555	
M16	127	22248	14353	49455	
M20	240	34766	22437	77175	

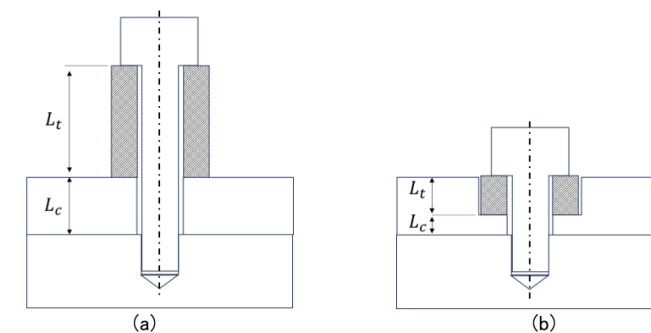


図 5.6 温度補償座金の実装例

今後の展望

- 目標は熱構造設計チーム全体で5冊/年.
- 機械設計標準として体系付ける.