

β 4 編 機械要素・トライボロジー

企画・編集	有平	浦田	泰昌	常邦	久舟	保橋	愛宏	三明	田森	中脇	裕一	久郎	田山	中本	正隆	人司
執筆 者	赤有	堀浦	広泰	文常	赤井	松上	良知	信昭	足岩	立井	幸善	志郎	荒岩	牧渕	宏伸	敏夫
	内山	大山	澤忠	豊夫	岡田	梅澤	田勝	蔵哲	大岡	塚田	二美	津雄	岡小	野本	茂之	裕之
	小野	加藤	康司	誠夫	加藤	藤昭	陽健	悟一	加藤	藤正	洋一	彦夫	兼川	田保	正愛	三亨
	菅野	熊田	島政	幸一	清水	西原	政茂	勝夫	白滝	井辰	武彦	樹彦	杉瀧	村中	雅章	浩光
	志杉	竹内	中彰	敏行	関口	内中	裕和	澄久	西田	坂部	敏昌	強邦	野呂	瀬谷	安清	一郎
	橋林	北條	山春	夫男	堀切	川科	旭博	史司	堀水	宮本	脇本	隆一	松三	留謙	淳恒	暢二
	丸三	森部	宅誠	寛也	森山	本岡	武誠	誠一	森山	吉田	貫啓	一	森矢	田本	野英	弘
	吉渡	江辺	耕真	太郎	吉渡	岡辺	誠一	一	綿貫	啓	一	一	吉	野	英	弘

目 次

機械設計と機械要素・トライボロジー

機械研究の歴史と機械要素 ……………1	機械の設計と設計者の心構え ……………1
機械を取り巻く学問 ……………1	展望 ……………2

第 I 部 機 械 要 素

第 1 章 機械の機能と機械要素

1・1 機械の構造と機械要素	5	1・3 機械要素への要求	6
1・2 機械要素の機能	5		

第 2 章 締 結 要 素

2・1 ねじ	8	2・5・1 溶接継手	20
2・1・1 ねじの用途	8	2・5・2 接着継手	21
2・1・2 ねじに関するおもな用語とその意味	8	2・6 リベット	23
2・1・3 ねじの力学	8	2・6・1 リベットの種類	23
2・1・4 トルク法によるねじの締付け	10	2・6・2 リベット継手の種類	23
2・1・5 ねじの緩み	11	2・6・3 リベット継手の設計	23
2・1・6 ねじの強度設計	12	2・7 焼きばめ, 冷やしばめ	25
2・1・7 ねじ締結体の強度設計	13	2・7・1 締結力	25
2・1・8 ねじの強度区分	14	2・7・2 締結体の強度	26
2・2 キー, スプライン	14	2・8 スナップフィット	26
2・2・1 キー	14	2・8・1 スナップフィット	26
2・2・2 スプライン	16	2・8・2 スナップフィットの利点	26
2・3 止め輪	17	2・8・3 スナップフィットの材質	27
2・4 ピン, コッタ	19	2・8・4 スナップフィットの形状	27
2・4・1 ピン	19	2・8・5 スナップフィットの分類	27
2・4・2 コッタ	20	2・8・6 スナップフィット形状設計の要領	28
2・5 溶接継手, 接着継手	20	2・8・7 スナップフィットの形状設計	29

第 3 章 軸・軸受要素

3・1 軸	31	3・3・2 回転用転がり軸受	48
3・1・1 軸の材料	31	3・3・3 直動玉軸受	52
3・1・2 軸の応力	31	3・4 案内	54
3・1・3 軸の変形	31	3・4・1 滑り案内	54
3・1・4 軸の設計式	31	3・4・2 転がり案内	55
3・1・5 キー溝付き軸の設計	33	3・5 シール	57
3・1・6 軸の危険速度	33	3・5・1 シールの種類と選択	57
3・1・7 各種の軸	34	3・5・2 静止シール	57
3・2 滑り軸受	36	3・5・3 接触式運動用シール	57
3・2・1 滑り軸受の種類と選定	36	3・5・4 非接触式シール	65
3・2・2 静荷重用動圧滑り軸受	36	3・6 軸継手	67
3・2・3 動荷重用動圧滑り軸受	41	3・6・1 軸継手の種類	67
3・2・4 静圧軸受	43	3・6・2 フランジ形固定軸継手	67
3・2・5 気体軸受	44	3・6・3 フランジ形たわみ軸継手	68
3・2・6 磁気軸受	45	3・6・4 オールダム軸継手	68
3・2・7 そのほかの軸受	46	3・6・5 歯車形軸継手	68
3・3 転がり軸受	48	3・6・6 ローラチェーン軸継手	68
3・3・1 転がり軸受の種類と選択	48	3・6・7 ゴム軸継手	69

3・6・8 金属ばね軸継手	69	3・6・11 こま形自在軸継手	70
3・6・9 摩擦締結軸継手	69	3・6・12 等速形自在軸継手	70
3・6・10 フック形自在軸継手	69		

第4章 伝動要素

4・1 歯車	72	4・5・3 乾式複合ベルトテンションドライ ブ	104
4・1・1 歯車の種類	72	4・5・4 スチールベルトコンプレッション ドライブ	104
4・1・2 インボリュート円筒歯車	72	4・5・5 トラクシヨンドライブ	105
4・1・3 かさ歯車, ハイポイドギヤ	78	4・6 トラクシヨンドライブ式変速機	107
4・1・4 ウォームギヤ	79	4・6・1 遊星ローラ変速機	107
4・1・5 その他の歯車	81	4・6・2 ウェッジローラ減速機	107
4・2 歯車伝動装置	82	4・7 ねじ伝動装置	108
4・2・1 平行軸歯車装置	82	4・7・1 送りねじの一般的特徴	108
4・2・2 遊星歯車装置	89	4・7・2 各種ねじ伝動装置	108
4・2・3 かさ歯車装置	91	4・8 クラッチ	110
4・2・4 ウォーム減速装置	92	4・8・1 クラッチの種類	110
4・2・5 内接式遊星歯車減速機	93	4・8・2 かみあいクラッチ	111
4・2・6 波動歯車装置	94	4・8・3 摩擦クラッチ	111
4・2・7 歯車装置の潤滑	94	4・8・4 自動クラッチ	113
4・3 ベルト伝動装置	95	4・9 ブレーキ	114
4・3・1 平ベルト伝動	96	4・9・1 ブレーキの種類	114
4・3・2 Vベルト伝動	97	4・9・2 摩擦ブレーキ	114
4・3・3 歯付ベルト伝動	99	4・9・3 そのほかの制動装置	115
4・3・4 そのほかのベルトによる伝動	101	4・10 フライホイール	116
4・4 チェーン伝動装置	101	4・10・1 フライホイールの機能	116
4・4・1 ローラチェーン伝動	101	4・10・2 エネルギー貯蔵用フライホイ ール	116
4・4・2 サイレントチェーン伝動	104	4・10・3 回転軸系の平滑化に用いるフラ イホイール	116
4・5 機械式無段変速機	104	4・10・4 フライホールの強度	117
4・5・1 エラストマベルトテンションドラ イブ	104		
4・5・2 チェーンテンションドライブ	104		

第5章 運動変換要素

5・1 リンク機構	119	5・2・5 カムの設計と加工	127
5・1・1 リンク機構の構成	119	5・2・6 動特性を考慮したカム機構の設計	129
5・1・2 剛体の運動の表現	119	5・3 間欠運動機構	129
5・1・3 剛体の速度と加速度	119	5・3・1 間欠運動の概要	129
5・1・4 機構の解析	120	5・3・2 ゼネバ機構	129
5・1・5 機構の総合	122	5・3・3 間欠歯車装置	130
5・2 カム機構	123	5・3・4 カムによる間欠運動装置	130
5・2・1 カム概説	123	5・3・5 つめ車	131
5・2・2 カムの種類と用途	123	5・3・6 リンクによる間欠運動装置	131
5・2・3 カム曲線	123	5・4 不等速比歯車	132
5・2・4 カムの特性値とその計算	126		

第6章 緩衝・制振要素

6・1 ばね	133	6・2 緩衝器およびダンパ	135
--------	-----	---------------	-----

6・2・1 緩衝器とダンパの機能……………135	6・2・5 油圧ダンパ……………136
6・2・2 油圧緩衝器……………135	6・2・6 粘性ダンパ……………136
6・2・3 摩擦緩衝器……………136	6・2・7 摩擦ダンパ……………137
6・2・4 ばね緩衝器……………136	6・2・8 電磁ダンパ……………137

第 7 章 配 管 要 素

7・1 管と配管……………138	7・2・3 メカニカル式管継手（くい込み式，パッキン式）……………139
7・1・1 管の種類……………138	7・2・4 フランジ式管継手……………140
7・1・2 鋼管の外径寸法と肉厚……………139	7・3 弁およびコック……………140
7・1・3 配管……………139	7・3・1 弁の種類……………140
7・2 管継手……………139	7・3・2 弁の材質……………141
7・2・1 管継手の種類……………139	7・4 超高压用配管と弁……………142
7・2・2 ねじ込み式管継手……………139	

第 II 部 トライボロジー

第 1 章 トライボロジーの基礎

1・1 接触面の機能と発生する事象……………143	1・4・1 レイノルズ方程式……………150
1・1・1 接触面の機能……………143	1・4・2 動圧ジャーナル軸受の流体潤滑理論……………151
1・1・2 接触面の特徴……………143	1・4・3 動圧スラスト軸受の流体潤滑理論……………153
1・1・3 固体接触……………143	1・4・4 静圧軸受の流体潤滑理論……………154
1・1・4 摩擦と表面損傷……………143	1・4・5 気体軸受の流体潤滑理論……………155
1・1・5 潤滑と潤滑モード……………143	1・4・6 乱流流体潤滑理論……………157
1・2 トライボ設計……………144	1・4・7 熱流体潤滑理論……………158
1・2・1 トライボ設計と潤滑モード……………144	1・4・8 弾性流体潤滑理論……………160
1・2・2 設計項目と設計ツール……………144	1・4・9 表面粗さを考慮した流体潤滑理論……………160
1・2・3 流体潤滑モードにおけるトライボ設計……………144	1・5 混合潤滑，境界潤滑……………162
1・2・4 そのほかの潤滑モードにおけるトライボ設計……………145	1・5・1 潤滑モード……………162
1・3 固体接触論……………145	1・5・2 接触モデル……………162
1・3・1 表面形状モデル……………145	1・5・3 境界膜……………162
1・3・2 ヘルツ接触モデル……………145	1・5・4 有機吸着分子膜のレオロジー特性……………163
1・3・3 粗面の接触モデル……………147	1・5・5 境界潤滑理論……………163
1・3・4 固体摩擦理論……………148	1・5・6 混合潤滑理論……………163
1・3・5 摩耗理論……………149	
1・3・6 摩擦面温度上昇……………150	
1・4 流体潤滑……………150	

第 2 章 潤 滑 剤

2・1 潤滑剤の種類と選択……………165	2・3 グリース……………171
2・1・1 潤滑剤の種類……………165	2・3・1 グリースの組成と性能……………171
2・1・2 潤滑剤の性能と選定基準……………165	2・3・2 グリースの種類と用途……………172
2・2 潤滑油……………166	2・4 固体潤滑剤……………172
2・2・1 種類と特徴……………166	2・4・1 固体潤滑剤の種類と特徴……………172
2・2・2 用途別潤滑油……………167	2・4・2 固体潤滑剤の使用例……………173

2・5 潤滑法	174	2・6・2 強制循環給油装置	177
2・5・1 潤滑の目的と潤滑法	174	2・6・3 噴霧給油装置	179
2・5・2 油潤滑法と潤滑系	174	2・7 潤滑管理	180
2・5・3 グリース潤滑と潤滑系	174	2・7・1 異常の検出	180
2・5・4 固体潤滑と潤滑系	175	2・7・2 潤滑系の管理とメンテナンス	181
2・6 潤滑装置	176	2・7・3 潤滑油の劣化と診断	181
2・6・1 集中潤滑装置	176	2・7・4 グリースの劣化と診断法	182

第3章 表面損傷

3・1 損傷の種類	184	3・3・3 臨界摩擦損失, 臨界摩擦損失密度 条件	188
3・1・1 摩耗	184	3・3・4 熱的不安定条件	188
3・1・2 焼付き	184	3・4 疲労損傷	189
3・1・3 疲労損傷	184	3・4・1 滑り接触における疲れ	189
3・1・4 キャビテーションエロージョン	184	3・4・2 転がり接触における疲れ	190
3・1・5 電食	184	3・5 キャビテーションエロージョン	192
3・1・6 そのほかの損傷	184	3・5・1 軸受におけるキャビテーション	192
3・2 摩耗	184	3・5・2 そのほかの機械要素におけるキャ ビテーション	192
3・2・1 凝着摩耗	184	3・6 電食	192
3・2・2 アプレシブ摩耗	185	3・6・1 軸受における電食	192
3・2・3 腐食摩耗	185	3・6・2 そのほかの機械要素における電食	193
3・2・4 フレッチング	186	3・7 損傷の検出と診断	193
3・2・5 摩耗の評価方法および摩耗遷移	187	3・7・1 フェログラフィー	193
3・2・6 油潤滑下の摩耗	188	3・7・2 非破壊検査	194
3・3 焼付き	188	3・7・3 故障予知技術	194
3・3・1 臨界膜厚条件	188		
3・3・2 臨界温度条件	188		

第4章 トライボ材料

4・1 トライボ材料の種類と選定	196	4・3 軟質材料	198
4・1・1 トライボ材料の選定基準	196	4・3・1 金属材料	198
4・1・2 接触条件による選定	196	4・3・2 非金属材料	198
4・1・3 使用環境による選定	197	4・4 表面処理	199
4・2 硬質材料	197	4・4・1 物理的表面処理	199
4・2・1 金属材料	197	4・4・2 化学的表面処理	199
4・2・2 非金属材料	198	4・4・3 そのほかの表面改質	200

第5章 マイクロトライボロジー

5・1 マイクロ/ナノトライボロジー	201	5・3・3 ダイヤモンド表面の摩擦現象のシ ミュレーション	203
5・2 極表面の物理・化学的同定	201	5・3・4 スティックスリップ現象のシミュ レーション	203
5・2・1 表面状態解析の必要性	201	5・3・5 固体間に挟まれた液体分子のパッ キング構造	203
5・2・2 物理的同定法	202	5・3・6 せん断場における潤滑剤のシミュ レーション	203
5・2・3 化学的同定法	202		
5・3 コンピュータシミュレーション	202		
5・3・1 分子動力学法	202		
5・3・2 原子間力顕微鏡のシミュレーショ ン	203		

第Ⅲ部 機械要素設計の基礎と製図

第 1 章 標準化とはめあい

1・1 標準化	205	1・2 寸法公差	205
1・1・1 工業規格	205	1・3 はめあい	206
1・1・2 標準数	205		

第 2 章 製図と図面

2・1 製図の目的と基本条件	208	2・5・4 寸法の許容限界記入方法	217
2・1・1 製図の目的	208	2・6 幾何公差	218
2・1・2 図面が具備しなければならない基本要件	208	2・6・1 形体とデータム	218
2・2 製図規格	208	2・6・2 幾何公差の種類とその記号	218
2・3 製図に用いる用紙, 尺度, 線および文字	208	2・6・3 幾何公差の図示法	218
2・3・1 製図用紙の大きさの様式	208	2・6・4 データム	219
2・3・2 製図に用いる尺度	209	2・6・5 幾何公差の適用を限定する図示方法	220
2・3・3 製図に用いる線	209	2・6・6 理論的に正確な寸法の図示方法	220
2・3・4 製図に用いる文字	209	2・6・7 寸法と幾何特性の相互依存性	220
2・4 製図における図形の表し方	210	2・7 表面性状	221
2・4・1 製図に用いる投影法	210	2・7・1 表面性状の指示事項	221
2・4・2 投影図の表し方	210	2・7・2 表面性状の図示方法	221
2・4・3 図形の省略	210	2・8 ねじ, 歯車, 転がり軸受の図示法	223
2・4・4 断面図の示し方	212	2・8・1 ねじ製図	223
2・4・5 特別な図示法	213	2・8・2 歯車製図	225
2・5 寸法および寸法の許容限界の記入方法	214	2・8・3 ばね製図	225
2・5・1 寸法および寸法の許容限界	214	2・8・4 転がり軸受製図	227
2・5・2 寸法記入方法	214	2・9 溶接部の図示法	227
2・5・3 特別な形体の寸法記入方法	215	2・9・1 溶接記号	227
		2・9・2 記号表示例	228

第 3 章 機械材料の標準形状と素材例

3・1 機械材料の標準形状	229	3・3 非鉄金属	230
3・2 鉄鋼材料	229	3・3・1 非鉄金属記号の表し方	230
3・2・1 炭素鋼と合金鋼	229	3・3・2 銅と銅合金	231
3・2・2 ステンレス鋼	229	3・3・3 アルミニウムとアルミニウム合金	232
3・2・3 軸受鋼, 浸炭用鋼, 耐熱鋼	229	3・3・4 鉛と鉛合金	232
3・2・4 鋳鉄	230		

索引 (日本語・英語)	巻末
-------------	----