

はじめに

ロボットは、アクチュエータ、センサ、制御装置より構成される知的機械システムと定義されている。この定義に基づけば、人や生物のような運動をする機械のみならず、自動車、飛行機、船舶、ロケット、家電製品に至るまでロボットである。すなわち、世の中にはすでにさまざまなロボットが登場しており、未来社会においてもその需要が増大していくことと容易に想像できる。ロボットを開発し、社会需要に応えることは今後ますます重要になると予想される。ロボットに代表される知的機械システムは、その根幹である機械メカニズムを開発することが重要であり、そのためには機械がどのように動くのかを力学をベースに考えていくことが必要である。このような機械運動のしくみを論じる力学を機械力学という。

機械力学は、ニュートンの運動法則を出発点として理論体系を展開し、機械の設計や製作の考え方の基本となる。また、機械力学を発展させた機械振動学は機械の振動に関わる問題の解決や振動を利用した新しい機械の開発に欠かせない学問である。トラブルの少ない機械の実現や魚ロボットなどのユニークなロボットの創出に役立っている。

本書は、筆者らが開発したロボットを事例に交えて、機械力学・振動学をわかりやすく解説したものである。また、自動車、航空機、鉄道など身近な乗り物を例に、機械力学・振動学の大学、工業高等専門学校での専門課程で学ぶ事項をあまねく網羅した。

また、基本用語の英語表記や英語索引も用意したので、技術英語の習得にも役立つ。

機械工学の基礎を学びたい大学生、高専生や機械開発において機械力学・振動学を学び直したい社会人に最適の教科書である。

2014年4月

著者

目 次

1. 機械力学・振動学とは

1.1 機械力学の重要性	1
1.2 機械振動学の重要性	2

2. ロボットに学ぶ機械力学・振動学の基礎

2.1 ロボットの定義と種類	3
2.2 ロボットで機械力学を学ぼう	9
2.3 ロボットで機械振動学を学ぼう	10

3. 質点の運動

3.1 質点の運動とは	12
3.1.1 質点の定義	12
3.1.2 質点の変位ベクトル	13
3.1.3 質点に働く力のつり合い	14
3.2 質点の変位, 速度, 加速度	15
3.2.1 直線運動	15
3.2.2 速度	15
3.2.3 加速度	16
3.3 運動の法則	17
3.3.1 ニュートンの運動法則	17
3.3.2 慣性系の運動	21
3.3.3 非慣性系の運動	21

3.3.4 万有引力の法則	22
3.3.5 ケプラーの法則	22
3.4 運動量と力積	23
3.4.1 運動量と運動方程式	23
3.4.2 力 積	23
3.5 角運動量と円運動	24
3.5.1 角 運 動 量	24
3.5.2 円 運 動	25
演習問題	28

4. 質点系の運動

4.1 質点系の運動とは	29
4.2 運動量保存則	30
4.3 質点の衝突	31
演習問題	33

5. 力学的エネルギー

5.1 仕事と仕事率	34
5.2 力学的エネルギーとは	35
5.2.1 位置エネルギー	35
5.2.2 運動エネルギー	37
5.3 力学的エネルギーの保存則	39
演習問題	41

6. 剛体の運動

6.1 剛体と回転, 慣性モーメント	42
6.1.1 剛体の定義	42
6.1.2 剛体のつり合い条件	44
6.1.3 剛体の運動の考え方	45

6.1.4 剛体の運動エネルギー	47
6.1.5 固定軸と剛体の運動	47
6.1.6 剛体振り子	49
6.1.7 慣性モーメント	51
6.2 剛体の回転の応用例	58
6.2.1 オイラー角とオイラー変換	58
6.2.2 車両の運動解析への応用	60
演習問題	63

7. 解析力学

7.1 解析力学の基礎	64
7.1.1 解析力学の役立つ場面	65
7.1.2 エネルギーを用いた表現	66
7.1.3 ラグランジュの運動方程式	66
7.2 解析力学の応用	68
7.2.1 多自由度系の問題への適用	68
7.2.2 ラグランジュの運動方程式とニュートンの運動方程式	69
7.2.3 ラグランジュの運動方程式では困難な例	69

8. 機械振動学

8.1 振動の基本	73
8.1.1 集中質量系と分布質量系	73
8.1.2 振動モデルの六つの要素	74
8.1.3 単振動	77
8.2 自由振動	78
8.2.1 非減衰振動	78
8.2.2 減衰振動	79
8.2.3 自励振動	80

8.3 強 制 振 動	82
8.3.1 強制振動と自由振動の相違	83
8.3.2 共 振 と 事 例	84
8.3.3 強制振動の例	89
演習問題	97

9. 機械振動問題

9.1 多自由度系の振動	99
9.2 回転体の振動	100
9.2.1 剛性ロータ	100
9.2.2 弾性ロータ	101
9.3 振動の制御	104
9.3.1 振動制御の基本	104
9.3.2 揺れない構造体	105
9.4 連続体の振動	106
9.4.1 波 動	107
9.4.2 鉄道架線の振動	108
9.4.3 高架軌道（リニアモーターカー）の振動	109

付 録

A. 機械力学・振動学のための数学	114
A.1 微 分	114
A.2 積 分	114
A.3 全微分・偏微分	115
A.4 ベクトルとスカラー	115
A.5 ベクトルの和・差	116
A.6 ベクトルの積（内積・外積）	117
A.7 ベクトルの微分	118

A.8	ベクトルの積分	119
A.9	三角関数	120
A.10	近似公式	120
	演習問題	121
B.	機械力学・振動学で使う数学の基礎 Math check	121
C.	機械力学・振動学で用いる単位	122
C.1	S I 単位系	122
C.2	基本単位	123
	参 考 文 献	131
	演 習 問 題 解 答	132
	索 引 (和→英)	138
	索 引 (英→和)	142

1. 機械力学・振動学 とは

1.1 機械力学の重要性

機械の企画，設計，開発，製作，運用において，**機械の運動** (motion of machine) を力学の法則に基づき検討することが重要である。例えば，新しい航空機を設計するとき，航空機に作用する力から質量を勘案して加速度を計算し，積分して速度，さらに積分して位置を算出することにより3次元運動を予測できる。**機械力学** (mechanical dynamics) の根幹はニュートンが確立した運動法則にある。すなわち，古典力学の範囲で機械力学は展開される。原子や分子などミクロの世界の運動を論じた**量子力学** (the quantum mechanics) や物体の光に近い速さでの運動を論じた**相対性理論** (the theory of relativity) の力学は通常除外して考える。

新しい機械を作るとき，最近ではコンピュータのシミュレーションによって製作前の機械の運動をシミュレーションすることが主流となっている。これは機械の運動モデルを数式によって作成することから始まる。ニュートンの運動法則が基本となるが，数式によって構成される機械の数学モデルを用いて，微分や積分を行いながら機械の動きを予測する。機械の製作後に運動の不具合や性能未達があれば作り直さなければならないが，材料費や製作経費でコストの大きな損失となる。コンピュータのシミュレーションは比較的成本はかからないので，事前に十分に機械の運動を検討でき，製作後の不具合も少なくなる。また，改善点が生ずれば，機械力学により論理的に機械の運動を考えるこ

とにより、さらに優れた機械を創出することができる。これが機械力学の神髄と言っても過言ではない。

1.2 機械振動学の重要性

機械の振動 (vibration of machine) は、機械にとって無くさないといけな
い問題として旧来より取り組まれてきた。例えば、機械の振動が機械の性能を
落としたり、近隣住民に公害問題として迷惑をかけたり、振動低減の対処策が
施されてきた。筆者も昔、振動を低減する飛行機や船の開発に取り組んだこと
があり、振動は工学の悪玉問題として解決に知恵を絞ってきた。ところが、近
年振動を推進装置として利用する魚ロボットや振動により受信を知らせる携帯
電話などの機械が登場し、振動は善玉技術として工学に役立っている。また、
地震も振動現象であり、振動の制御により耐震性の高い機械を作ることも災害
対策には欠かせない技術となりつつある。

一般に、物理学での**振動** (vibration もしくは oscillation) は、変位など
の物理量が、その物理量の平均値もしくはその近傍を中心に、同期性を有しな
がら繰り返し変動する現象をいう。すなわち、音や光など身近な物理現象も振
動問題としてとらえることができる。機械振動学は具体的な振動問題の解決に
役立つ学問なので、広く一般的な振動現象の解明や振動現象を利用した新しい
装置の開発のヒントに成り得る。

2. ロボットに学ぶ機械力学・振動学の基礎

2.1 ロボットの定義と種類

前述のように、ロボット (robot) はアクチュエータ (actuator)、センサ (sensor)、制御装置 (control device) より構成される知的機械システム (intelligent mechanical system) と定義されている。ロボットの運動は機械力学 (mechanical dynamics) によって成り立っている。

ロボット (およびメカトロニクス) は図 2.1 に示すように、機械力学がメカニズム設計・開発の根幹であり、これに材料力学、流体力学、熱力学、製図、加工法などの機械系科目と電気・電子・情報工学などの電気系科目が加わって、全体システムが完成する。

ロボットは、大別すれば人間社会に便利さを与えるサービスロボット (ser-

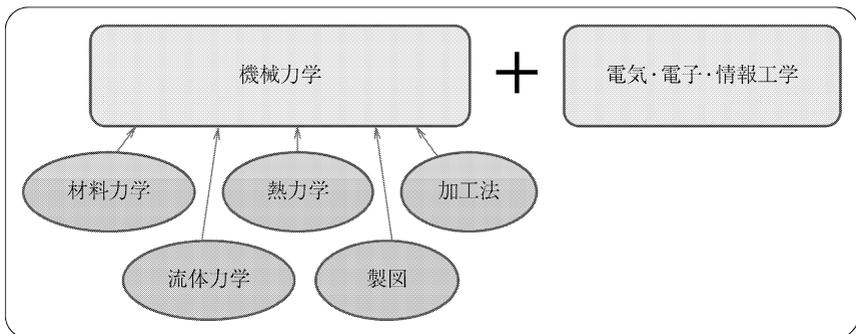


図 2.1 ロボット・メカトロニクス開発に必要な科目

vice robot), イベントなどで人間生活に楽しみを与える**アミューズメントロボット** (amusement robot), 工場などで人間に代わって作業を行う**産業用ロボット** (industrial robot) に分けられる。

サービスロボットの例としては、**図 2.2**のような**医療リハビリテーションロボット** (medical rehabilitation robot) がある。

これは、手首や指が動かなくなった患者のリハビリテーションを助けるロボットである。筋電センサを腕に装着し、患者の手首や指を動かそうとする意思を電気信号で感知し、制御装置でリハビリテーションに最適な制御信号を、アクチュエータである手首と指に装着した円盤状のグリップハンドに取り付けたモータに駆動指令信号として与え、患者のリハビリテーションをロボットが助ける仕組みである。**図 2.3**にこの医療リハビリテーションロボットのシステム構成図を示す。手首を屈曲、伸展させる筋電信号をセンサにより先行的に感知し、実際の手首の屈曲、伸展をロボットが補助する。制御装置のインターフェース画面には患者のリハビリ意欲を高める工夫が施してあり、リハビリテーションの効果を向上させることができる。

アミューズメントロボットの例としては、**図 2.4**のような**魚ロボット** (robotic fish) がある。

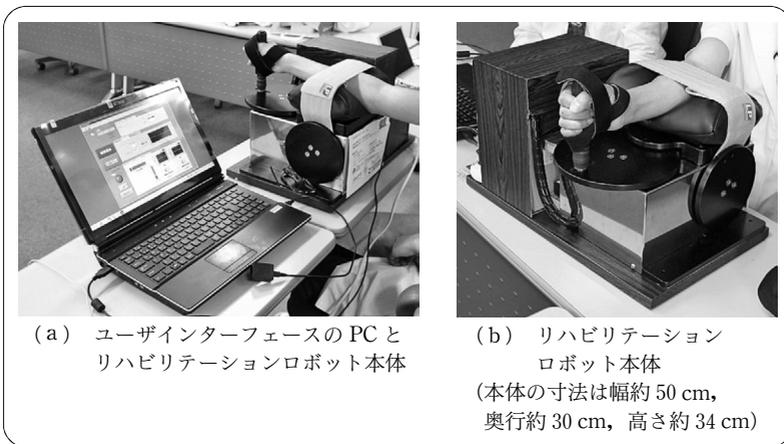


図 2.2 医療リハビリテーションロボット

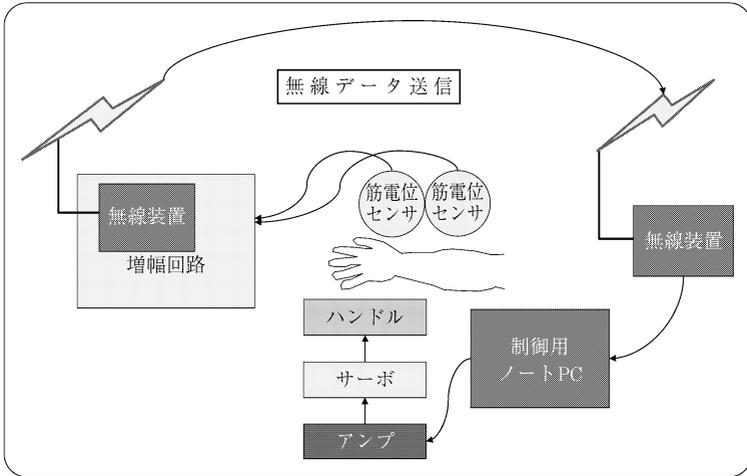


図 2.3 医療リハビリテーションロボットのシステム構成



図 2.4 魚ロボット，水中探査用 ROV

魚ロボットの原理は1980年代に筆者が生み出した**弾性振動翼推進システム** (elastic oscillating fin propulsion system) を発端とする。圧力計や音波計に代表される、遊泳深度や高度などを感知するセンサにて、ロボットの中（内界）と外（外界）の状況を検知する。制御装置で遊泳目標を達成する運動制御信号を演算し、アクチュエータである**鱗機構**と**モータ** (motor) への指令信号を与え、魚ロボットを遊泳させる。電池内蔵であるためケーブルなしで泳ぐことができる。

魚ロボットは図2.5に示すような革新的開発期を経ていくつかの進化を行い、そのたびに技術的問題に直面し、失敗により評価が下がり開発に挫折しそうになりながらも問題を克服し、評価を高めつつ持続的開発を行い、今日に至っている。

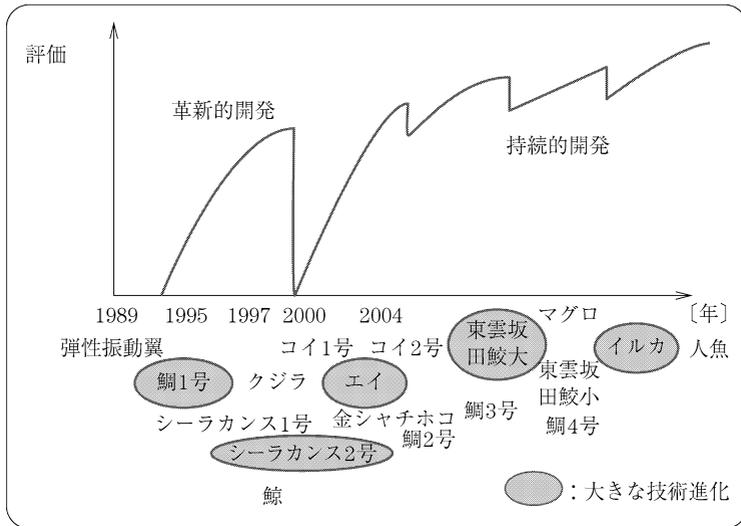


図 2.5 魚ロボットの開発史

鯛ロボット (図 2.6~2.8) に始まり、シーラカンスロボット、鯉ロボット、金しゅちほこの鯨しゅちほこ鯨ロボット (図 2.9)、エイロボット (図 2.10)、マグロロボット (図 2.11)、東雲坂田 (シノノメサカタ) サメロボット (図 2.12) や大型哺乳水生動物ほにゅうであるクジラやイルカロボットの実現にまで至っている (7章のコラム4参照)。

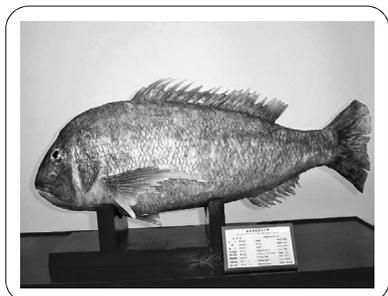


図 2.6 鯛ロボット外観

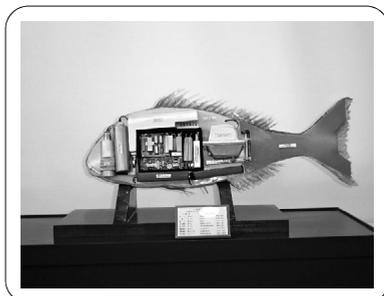


図 2.7 鯛ロボット内部

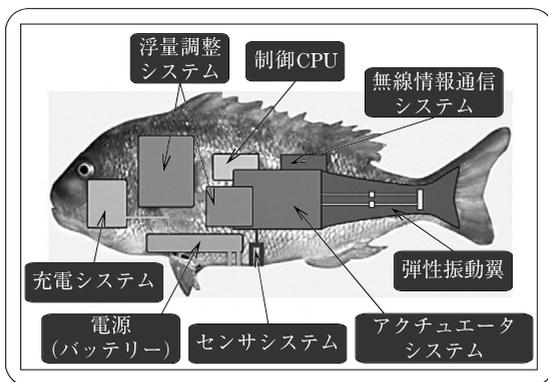


図 2.8 鯛ロボット機器配置図

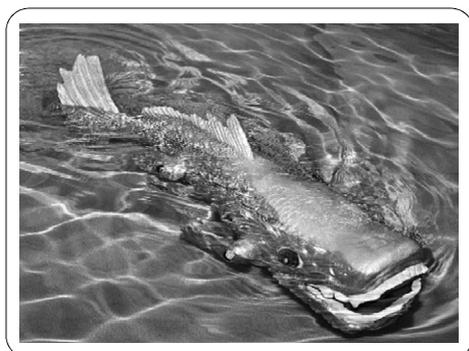


図 2.9 金の鯨しゃちほこロボット

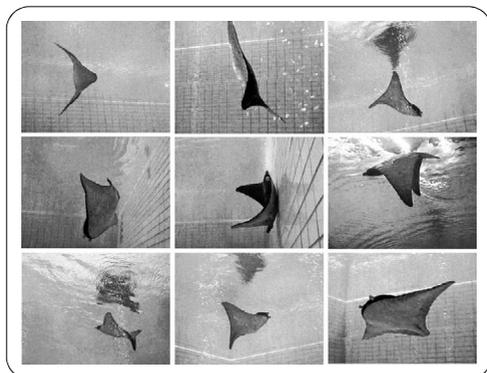


図 2.10 エイロボット



図 2.11 マグロロボット



海水での遊泳実験に成功

図 2.12 東雲坂田（シノノメサカタ）サメロボット

産業用ロボットは工場で使われる溶接ロボット，鋼材切断ロボット，組立てロボット，塗装ロボットなど数多く存在する。人間の手など，人の機能を代用するものが多い。図 2.13 に筆者の開発した把持ロボット (grasping robot) を示す。ものを形状にあわせて柔らかくつかむことができるハンドを用いたロボットであり，医療用鉗子 (forceps)，ピンセット (extractor) や各種作業用のロボットのハンドに用いられている。



図 2.13 外科手術用鉗子
ロボットハンド

2.2 ロボットで機械力学を学ぼう

ロボットは，機械 (machine) と電子回路 (electronic circuit) が組み合わせられた，いわばメカトロニクス (mechatronics) の代表例といえる。したがって，質量，ばね，ダンパからなる機械系の運動，さらに機械系を安定に動作させるための自動制御を含む，機械力学の絶好の具体例ということができる。機械力学では，1 自由度 (single degree of freedom system) の単振動 (simple harmonic motion) から始まり，多自由度系 (multi degree of freedom system)，回転系 (rotational system) の振動をおもに扱う。以下に述べる機

索引

(和 → 英)

<p>【あ】</p> <p>アクチュエータ actuator 3</p> <p>アミューズメントロボット amusement robot 4</p> <p>【い】</p> <p>位置エネルギー potential energy 36</p> <p>1 自由度 single degree of freedom system 9</p> <p>位置ベクトル position vector 12</p> <p>一般化座標 generalized coordinate 65</p> <p>一般化力 generalized force 65</p> <p>医療リハビリテーションロボット medical rehabilitation robot 4</p> <p>【う】</p> <p>運動 motion 12</p> <p>運動エネルギー kinetic energy 37</p> <p>運動方程式 equation of motion 64</p> <p>運動量 momentum 23</p> <p>運動量保存則 law of conservation of momentum 30</p> <p>【え】</p> <p>円運動 circular motion 25</p>	<p>遠心力 centrifugal force 26</p> <p>【お】</p> <p>オイラー角 Euler angle 59</p> <p>オイラー変換 Euler transformation 59</p> <p>尾ひれ tail fin 10</p> <p>【か】</p> <p>回転系 rotational system 9</p> <p>回転減衰係数 damping coefficient of gyration 77</p> <p>回転数 rotational speed 27</p> <p>回転ダッシュポット dashpot of gyration 76</p> <p>回転ばね spring of gyration 76</p> <p>回転ばね定数 spring constant of gyration 76</p> <p>回転半径 radius of gyration 58</p> <p>外力 external force 29</p> <p>角運動量 angular momentum 24</p> <p>角運動量保存則 law of conservation of angular momentum 25</p> <p>角加速度 angular acceleration 49</p> <p>角振動数 angular frequency 77</p> <p>角速度 angular velocity 25, 77</p>	<p>角変位 angular displacement 25</p> <p>過減衰 over damping 91</p> <p>架線 catenary 108</p> <p>加速度 acceleration 13, 16</p> <p>合体 combination 32</p> <p>鉗子 forceps 9</p> <p>慣性偶力 inertia couple 76</p> <p>慣性系 inertial systems 20</p> <p>慣性の法則 law of inertia 17</p> <p>慣性モーメント moment of inertia 49</p> <p>慣性力 inertial force 21, 74</p> <p>完全弾性衝突 complete elastic collision 32</p> <p>【き】</p> <p>機械 machine 9</p> <p>機械振動学 mechanical vibrations 10</p> <p>機械の運動 motion of machine 1</p> <p>機械の振動 vibration of machine 2</p> <p>機械力学 mechanical dynamics 1, 3</p> <p>幾何問題 geometry quiz 121</p> <p>危険速度 critical speed 103</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

共振		最大摩擦力		自由落下	
resonance	84	force of maximum		free fall	18
共振曲線		friction	14	重力	
resonance curve	93	魚ロボット		gravity	14
強制振動		robotic fish	4,10	受動的制御	
forced vibration	82	サービスロボット		passive control	104
		service robot	3	衝突	
【け】		座標系		collision	31
撃力		coordinate system	20	初期位相角	
impact force	24	作用点		initial phase angle	78
ケプラーの法則		point of application	17	ショックアブソーバ	
Kepler's law	22	作用・反作用の法則		shock absorber	79
減衰係数		law of action and		自励振動	
damping coefficient	76	reaction	17	self-excited vibration	80
減衰振動		産業用ロボット		振動	
damping vibration	79	industrial robot	4	vibration, oscillation	2
減衰トルク		3次元運動		振動数	
damping torque	76	three degree of freedom		frequency	27,77
減衰能		motion	20	振幅	
damping capacity	75			amplitude	77,94
減衰比		【し】		振幅倍率	
damping ratio	90	ジェフコットロータ		amplitude magnification	
減衰力		Jeffcott rotor	100	factor	94
damping force	75	軸受		【す】	
弦		bearing	100	垂直抗力	
string	106,107	仕事		vertical reaction	14
		work	34	数学一般問題	
【こ】		仕事率		general quiz of	
剛性ロータ		power	35	mathematics	121
rigid rotor	100	指数関数		スカラー	
剛体		exponential function	122	scalar	116
rigid body	42	質点		【せ】	
剛体振り子		particle	12	制御装置	
rigid body pendulum	49	質点系		control device	3
抗力		system of particles	29	静止摩擦係数	
reaction	14	質量		static friction coefficient	14
合力		mass	12	静止摩擦力	
resultant force	14	周期		force of static friction	14
固定軸		period	27,77	静たわみ	
fixed axis	48	自由振動		static deflection	94
固有振動数		free vibration	78	センサ	
natural frequency	84,88,108	重心		sensor	3
		center of gravity	31		
【さ】		集中質量系			
サイズモ計		lumped mass system	73		
seismic sensor	92				

線密度		弾性ロータ		ニュートンの運動方程式	
density of line	52	elastic rotor	100	Newton's equation of motion	17
【そ】		ダンパ		【ね】	
相対性理論		damper	79	粘性回転減衰係数	
the theory of relativity	1	【ち】		viscous damping	
相当単振り子の長さ		力のつり合い		coefficient of gyration	77
length of equivalent		equilibrium	14	粘性減衰	
simple pendulum	51	力のモーメント		viscous damping	79
速度		moment of force	25	粘性減衰係数	
velocity	13	知的機械システム		viscous damping	
束縛運動		intelligent mechanical		coefficient	76
motion of constraint	14	system	3	粘性減衰力	
束縛条件		張力		viscous damping force	75
condition of constraint	14	tension	14	【の】	
束縛力		調和振動		能動的制御	
force of constraint	14	harmonic vibration	78	active control	104
【た】		【て】		【は】	
第1法則		電子回路		把持ロボット	
the first law of motion	17	electronic circuit	9	grasping robot	9
第3法則		伝達率		はねかえりの係数	
the third law of motion	17	transmissibility	90	coefficient of rebound	31
第2法則		【と】		ばね	
the second law of		等加速度運動		spring	75
motion	17	uniformly accelerated		ばね定数	
楕円軌道		motion	16	spring constant	75
elliptical orbit	23	等速運動		half power point	93
蛇行動		uniform motion	16	速度	
hunting, nosing	87	等速円運動		velocity	16
多自由度系		uniform circular		梁	
multi degree of		motion	26	beam	106
freedom system	9	動摩擦力		panタグラフ	
ダッシュポット		force of dynamic		pantograph	108
dashpot	75, 79	friction	14	反発係数	
単振動		【な】		coefficient of	
simple harmonic		内力		restitution	31
motion	9, 77	internal force	29	万有引力定数	
弾性振動翼推進システム		【に】		constant of universal	
elastic oscillating fin		二重振り子		gravitation	22
propulsion system	6	double pendulum	65	万有引力の法則	
弾性体		【に】		law of universal	
elastic body	42			gravitation	22

【ひ】	変位		ラグランジュの運動方程式	
非慣性系	displacement	13	Lagrange's equation of motion	64
non inertial systems	【ほ】		ラプラス変換	
非減衰振動	放物運動		Laplace transform	112
non damping vibration	parabolic motion	18	【り】	
	保存系		力学的エネルギー	
ピッチング	conservative system	65	mechanical energy	37
pitching	保存力		力学的エネルギー保存則	
微分	conservative force	35,37	law of conservation of	
differentiation	ポテンシャル		mechanical energy	39
微分方程式	potential	36	力積	
differential equation	【ま】		impulse	24
ピンセット	曲げ剛性		離線	
extractor	bending stiffness	111	pantograph bounce	108
【ふ】	摩擦		量子力学	
復元トルク	friction	14	the quantum mechanics 1	
restoring torque	【め】		臨界粘性減衰係数	
復元力	メカトロニクス		critical viscous	
restoring force	mechatronics	9	damping coefficient	91
物理振り子	面密度		輪軸	
physical pendulum	density of surface	53	wheel set, wheel and	
フーリエ変換	【も】		axle	87
Fourier transform	モータ		【ろ】	
111	motor	6	ロータ	
振れ回り	【ゆ】		rotor	100
whirling	有限要素法		ロープウェイ	
101	finite element method	42	aerial cableway	107
振れ回り速度	【よ】		ロボット	
whirling speed	ヨーイング		robot	3
102	yawing	58	ローリング	
分布質量系	【ら】		rolling	58
distributed mass	ラグランジアン		【Q】	
system	Lagrangian	64	Qファクター	
33			quality factor	93
分裂				
disruption				
32				
【へ】				
平均加速度				
average acceleration				
16				
平均の速さ				
average velocity				
15				
ベクトル				
vector				
116				

索 引

(英 → 和)

【A】		【C】		【D】	
acceleration		catenary		damper	
加速度	13, 16	架 線	108	ダンパ	79
active control		center of gravity		damping capacity	
能動的制御	104	重 心	31	減衰能	75
actuator		centrifugal force		damping coefficient	
アクチュエータ	3	遠心力	26	減衰係数	76
aerial cableway		circular motion		damping coefficient of	
ロープウェイ	107	円運動	25	gyration	
amplitude		coefficient of rebound		回転減衰係数	77
振 幅	77, 94	はねかえりの係数	31	damping force	
amplitude magnification		coefficient of restitution		減衰力	75
factor		反発係数	31	damping ratio	
振幅倍率	94	collision		減衰比	90
amusement robot		衝 突	31	damping torque	
アミューズメント		combination		減衰トルク	76
ロボット	4	合 体	32	damping vibration	
angular acceleration		complete elastic collision		減衰振動	79
角加速度	49	完全弾性衝突	32	dashpot	
angular displacement		condition of constraint		ダッシュポット	75, 79
角変位	25	束縛条件	14	dashpot of gyration	
angular frequency		conservative force		回転ダッシュポット	76
角振動数	77	保存力	35, 37	density of line	
angular momentum		conservative system		線密度	52
角運動量	24	保存系	65	density of surface	
angular velocity		constant of universal		面密度	53
角速度	25, 77	gravitation		differential equation	
average acceleration		万有引力定数	22	微分方程式	122
平均加速度	16	control device		differentiation	
average velocity		制御装置	3	微 分	122
平均の速さ	15	coordinate system		displacement	
		座標系	20	変 位	13
【B】		critical speed		disruption	
beam		危険速度	103	分 裂	32
梁	106	critical viscous damping		distributed mass system	
bearing		coefficient		分布質量系	73
軸 受	100	臨界粘性減衰係数	91	double pendulum	
bending stiffness				二重振り子	65
曲げ剛性	111				

【E】	Fourier transform フーリエ変換	111	inertial systems 慣性系	20	
elastic body 弾性体	42	free fall 自由落下	18	initial phase angle 初期位相角	78
elastic oscillating fin propulsion system 弾性振動翼推進システム	6	free vibration 自由振動	78	intelligent mechanical system 知的機械システム	3
elastic rotor 弾性ロータ	100	frequency 振動数	27, 77	internal force 内 力	29
electronic circuit 電子回路	9	friction 摩 擦	14	【J】	
elliptical orbit 楕円軌道	23	【G】		Jeffcott rotor ジェフコットロータ	100
equation of motion 運動方程式	64	generalized coordinate 一般化座標	65	【K】	
equilibrium 力のつり合い	14	generalized force 一般化力	65	Kepler's law ケプラーの法則	22
Euler angle オイラー角	59	general quiz of mathematics 数学一般問題	121	kinetic energy 運動エネルギー	37
Euler transformation オイラー変換	59	geometry quiz 幾何問題	121	【L】	
exponential function 指数関数	122	grasping robot 把持ロボット	9	Lagrange's equation of motion ラグランジュの運動方程式	64
external force 外 力	29	gravity 重 力	14	Lagrangian ラグランジアン	64
extractor ピンセット	9	【H】		Laplace transform ラプラス変換	112
【F】		half power point ハーフパワー法	93	law of action and reaction 作用・反作用の法則	17
finite element method 有限要素法	42	harmonic vibration 調和振動	78	law of conservation of angular momentum 角運動量保存則	25
fixed axis 固定軸	48	hunting 蛇行動	87	law of conservation of mechanical energy 力学的エネルギー保存則	39
forced vibration 強制振動	82	【I】		law of conservation of momentum 運動量保存則	30
force of constraint 束縛力	14	impact force 撃 力	24	law of inertia 慣性の法則	17
force of dynamic friction 動摩擦力	14	impulse 力 積	24	law of universal gravitation 万有引力の法則	22
force of maximum friction 最大摩擦力	14	industrial robot 産業用ロボット	4		
force of static friction 静止摩擦力	14	inertia couple 慣性偶力	76		
forceps 鉗 子	9	inertial force 慣性力	21, 74		

length of equivalent simple pendulum 相当単振り子の長さ	51	Newton's equation of motion ニュートンの運動方程式	17	【Q】 quality factor Q ファクター	93
lumped mass system 集中質量系	73	non damping vibration 非減衰振動	78	【R】 radius of gyration 回転半径	58
【M】		non inertial systems 非慣性系	20	reaction 抗力	14
machine 機械	9	nosing 蛇行動	87	resonance 共振	84
mass 質量	12	【O】		resonance curve 共振曲線	93
mechanical dynamics 機械力学	1,3	oscillation 振動	2	restoring force 復元力	75
mechanical energy 力学的エネルギー	37	over damping 過減衰	91	restoring torque 復元トルク	76
mechanical vibrations 機械振動学	9	【P】		resultant force 合力	14
mechatronics メカトロニクス	9	pantograph パンタグラフ	108	rigid body 剛体	42
medical rehabilitation robot 医療リハビリテーションロボット	4	pantograph bounce 離線	108	rigid body pendulum 剛体振り子	49
moment of force 力のモーメント	25	parabolic motion 放物運動	18	rigid rotor 剛性ロータ	100
moment of inertia 慣性モーメント	49	particle 質点	12	robot ロボット	3
momentum 運動量	23	passive control 受動的制御	104	robotic fish 魚ロボット	4,10
motion 運動	12	period 周期	27,77	rolling ローリング	58
motion of constraint 束縛運動	14	physical pendulum 物理振り子	49	rotational speed 回転数	27
motion of machine 機械の運動	1	pitching ピッチング	58	rotational system 回転系	9
motor モータ	6	point of application 作用点	17	rotor ロータ	100
multi degree of freedom system 多自由度系	9	position vector 位置ベクトル	12	【S】	
【N】		potential ポテンシャル	36	scalar スカラー	116
natural frequency 固有振動数	84,88,108	potential energy 位置エネルギー	36	seismic sensor サイズモ計	92
		power 仕事率	35		

self-excited vibration 自励振動	80	tension 張力	14	vertical reaction 垂直抗力	14
sensor センサ	3	the first law of motion 第1法則	17	vibration 振動	2
service robot サービスロボット	3	the quantum mechanics 量子力学	1	vibration of machine 機械の振動	2
shock absorber ショックアブソーバ	79	the second law of motion 第2法則	17	viscous damping 粘性減衰	79
simple harmonic motion 単振動	9, 77	the theory of relativity 相対性理論	1	viscous damping coefficient 粘性減衰係数	76
single degree of freedom system 1 自由度	9	the third law of motion 第3法則	17	viscous damping coefficient of gyration 粘性回轉減衰係数	77
spring ばね	75	three degree of freedom motion 3次元運動	20	viscous damping force 粘性減衰力	75
spring constant ばね定数	75	transmissibility 伝達率	90		
spring constant of gyration 回轉ばね定数	76			[W]	
spring of gyration 回轉ばね	76	[U]		wheel and axle 輪軸	87
static deflection 静たわみ	94	uniform circular motion 等速円運動	26	wheel set 輪軸	87
static friction coefficient 静止摩擦係数	14	uniformly accelerated motion 等加速度運動	16	whirling 振れ回り	101
string 弦	106, 107	uniform motion 等速運動	16	whirling speed 振れ回り速度	102
system of particles 質点系	29			work 仕事	34
		[V]			
[T]		vector ベクトル	116	[Y]	
tail fin 尾ひれ	10	velocity 速度, 速さ	13, 16	yawing ヨーイング	58

— 著者略歴 —

山本 郁夫 (やまもと いくお)
1983年 九州大学工学部航空工学科卒業
1985年 九州大学大学院工学研究科修了
(応用力学専攻)
三菱重工業株式会社技術本部勤務
1994年 博士(工学)(九州大学)
2004年 独立行政法人海洋研究開発機構
研究主幹
2005年 九州大学大学院教授
応用力学研究所客員教授(連携講
座)
2007年 北九州市立大学大学院教授
環境技術研究所災害対策技術研究
センター長
2013年 長崎大学大学院教授
現在に至る

伊藤 高廣 (いとう たかひろ)
1983年 東京大学工学部機械工学科卒業
1985年 東京大学大学院工学系研究科修了
(産業機械工学専攻)
日本電信電話株式会社勤務
1992年 イリノイ大学大学院修了
(コンピュータサイエンス専攻)
2002年 博士(工学)(東京大学)
2003年 桐蔭横浜大学大学院教授
2008年 九州工業大学大学院教授
現在に至る

実例で学ぶ機械力学・振動学

— ロボットから身近な乗り物まで —

Mechanical dynamics and vibration learned by examples

— From robotics to familiar vehicles —

© Ikuyo Yamamoto, Takahiro Ito 2014

2014年6月10日 初版第1刷発行

★

検印省略

著者 山本 郁夫
伊藤 高廣
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 壮光舎印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-04638-0 (森岡) (製本: グリーン)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられております。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします