

農産物性科学(2)

— 音・電気・光特性と生化学特性 —

農学博士	近藤	直	編
博士(農学)	西津	貴久	
博士(農学)	小川	雄一	
博士(農学)	林	孝洋	
博士(農学)	清水	浩	
農学博士	後藤	清和	

コロナ社

はじめに

果物や野菜にはいつも驚かされる。子供のときにリンゴ箱から取り出したリンゴを洋服で磨くとピカピカ光り、それにかぶりついたときのカプツ、ジュワツという音、しっかり手で持っておかないと包丁がすべって入らないような、固くツルツルの新鮮なピーマン、まだ緑色が残っているのに予測をはるかに超える甘さの温室ミカン、外見は同じように見えるにもかかわらず、食したときの味に対する喜びと落胆の差が非常に大きなモモ、この30年ほどの間に多くの新しい品種が登場したナシやカンキツなど、農産物は時代とともに新鮮な驚きを与えてくれる。

「物性科学」とは、基本的には物質の性質をマイクロなレベルで理解する学問といえるが、「農産物物性科学」は農産物の収穫、運搬、前処理、選別、乾燥、冷蔵、貯蔵、加工、利用などにおいて、基礎的特性を統一的に理解する学問とでもいえるだろうか。

小職が知りうる限りでは、この「農産物物性」の研究を日本で初めて体系的に行い、種々のデータを調査、報告したのは、1979年3月、農産物物性研究グループ（代表：京都大学、山下律也教授）の「農産物物性研究（第1集）農産物の物性および測定法に関する総合的研究」ではないかと思われる。当時は、まだワープロなどが普及していなかったことから全219ページの手書きの報告書であったが、小職自身、卒業論文、修士論文などの研究において、さらにその後の仕事上でも大変参考にさせていただいた。

その内容は主として1950年代後半から1970年代にかけての欧米の研究成果と当時の日本の最新データが集められたもので、基礎的であるがゆえにいまでも通用するデータも多い。その書には、当初、農業機械学会農産機械部会が立案し、1976年4月に研究グループが組織され、1978年度に採択された科学研究費で完成されたと記されている。その目次は、基礎的物理特性、圧縮・引張・せん断特性、粘弾性的特性、力学的特性、摩擦特性、光学的・音波的特性、水分と熱に関する特性、電気的特性などからなっており、本書の目次にも影響を与えている。この30年以上も前の書を体系化し、きれいな活字でいまの学生に読んでもらいたいという編者らの想いが本書の出版につながったともいえるだろう。

本書（第2巻）は第1巻の続編として、比較的新しく研究が進められた農産物の特性を取り扱っている。まず1章では、打音、減衰係数、共振周波数などの音響・振動特性について紹介している。2章では、導電率、誘電率の電気的特性について述べるとともに、マイクロ波にかかわる特性もこの章で説明した。3章では、可視領域や赤外領域だけでなく、X線からテラヘルツ領域に至るまでの光学的特性について記述している。さらに、4章では、味、香り、ケモメトリックスという、いままでの農産物物性の範疇では取り上げられなかったテ-

マも取り扱っているので、両巻を通して是非ご一読いただきたい。

小職をはじめ編者サイドの言い訳になるが、最近の大学業務の多様化により、時間が細切れに分割され、原稿段階での調整など、編集のための時間が不十分なこともあった。是非、読者の皆様のご叱正をいただき、改訂版などを出す機会には、ブラッシュアップしたいと考えている。そのような多忙の日々を送られている著者のかたがたには、貴重な時間を本書の執筆に割いていただいた。編者を代表して、この場で厚くお礼申し上げる。最後に、本書の企画段階から深い理解で協力していただいたコロナ社各位に深く感謝の意を表する。

2010年8月

近藤 直

編者一覧

近藤 直	(京都大学)	(2巻3章)
西津 貴久	(岐阜大学)	(1巻1章, 4章, 2巻1章)
小川 雄一	(京都大学)	(2巻2章)
林 孝洋	(近畿大学)	(1巻2章, 2巻4章)
清水 浩	(京都大学)	(1巻5章)
後藤 清和	(岐阜大学)	(1巻3章)

※ 上記6名にて、(1)巻、(2)巻の構成および内容について確認し、それぞれ担当部分を編集している。

執筆者一覧 (執筆順)

にしづたかひさ 西津貴久 (岐阜大学)	1.1節, 1.2.2項	こんどう ちか 近藤 直 (京都大学)	3.1.2, 3.1.3, 3.3.2, 3.3.3, 3.4.1~3.4.3項
すぎやまじゅんいち 杉山純一 ((独)農業・食 品産業技術総 合研究機構)	1.2.1項	なかじ けい 中司 敬 (九州大学)	3.3.1, 3.3.2~3.3.4項
かわむらつねお 川村恒夫 (神戸大学)	1.3節, 3.4.3項	かわむらしゅうさう 川村周三 (北海道大学)	3.4.3, 3.5.2, 3.5.3項
たにわき みつる 谷脇 満 (京都大学)	1.4節	なつがもとやす 夏賀元康 (山形大学)	3.5.1~3.5.3項
さくらい なおき 櫻井直樹 (広島大学)	1.4節	はしもと ありし 橋本 篤 (三重大学)	3.5.1項
とよだ きよひこ 豊田浄彦 (神戸大学)	2.1.2.2節	かめおかたかほる 亀岡孝治 (三重大学)	3.5.1項
かとうこうろう 加藤宏郎 (元京都大学)	2.3.2.4節	おかもとひろし 岡本博史 (北海道大学)	3.5.2項
おがわゆういち 小川雄一 (京都大学)	3.1.1項, 3.2, 3.6節	とこう せいじ 都甲 潔 (九州大学)	4.1.4.2節
		ふなつ きみと 船津公人 (東京大学)	4.3節
		あらかわまさもと 荒川正幹 (東京大学)	4.3節

(2010年9月現在)

目 次

1 音響・振動特性

1.1 音響・振動学	1	1.1.2 音響学	4
1.1.1 振動学	1		
1.2 音速	6	1.2.2 超音波	11
1.2.1 定義と特徴	6		
1.3 減衰係数	15	1.3.2 計測方法とその注意点	17
1.3.1 定義と特徴	15		
1.3.3 利用例	19		
1.4 共振周波数	20	1.4.2 計測方法	23
1.4.1 定義と特徴	20		
1.4.3 利用例	25		
演習問題	28		

2 電気的特性

2.1 電磁気学	29	2.1.2 電荷と電界の関係	29
2.1.1 マクスウェルの方程式	29	2.1.4 磁束の保存則	31
2.1.3 磁場と電界の関係	31		
2.1.5 電流と磁場の関係	31		
2.2 導電率	32	2.2.2 計測方法	34
2.2.1 定義と特徴	32		
2.2.3 利用例	37		
2.3 誘電率	40	2.3.2 計測方法	47
2.3.1 定義と特徴	40		
2.3.3 利用例	48		

2.4	マイクロ波	52			52
2.4.1	定義と特徴	52	2.4.2	計測方法	54
2.4.3	利用例	55			
	演習問題				56

3 光学的特性

3.1	光学と色彩学	57			57
3.1.1	光の基礎	57	3.1.2	電磁波の種類と特徴	62
3.1.3	色の表現方法	62			
3.2	X線				68
3.2.1	定義と特徴	68	3.2.2	計測方法	70
3.2.3	利用例	74			
3.3	紫外線				78
3.3.1	定義と特徴	78	3.3.2	計測方法(反射, 蛍光)	79
3.3.3	利用例	84	3.3.4	遅延発光と蛍光, リン光, 遅延蛍光	87
3.4	可視光線				88
3.4.1	定義と特徴	88	3.4.2	計測方法	89
3.4.3	利用例	97			
3.5	赤外線				103
3.5.1	定義と特徴	103	3.5.2	計測方法	113
3.5.3	利用例	119			
3.6	テラヘルツ波				125
3.6.1	定義と特徴	125	3.6.2	計測装置および光源・検出技術	126
3.6.3	テラヘルツ波の応用研究例	131			
	演習問題				136

4 生化学的特性

4.1	味				137
4.1.1	味の定義と計測の対象	137	4.1.2	計測方法	140
4.1.3	利用例	144			

4.2 香 味	146
4.2.1 香りの定義と計測の対象	146
4.2.2 計測方法	149
4.2.3 利用例	151
4.3 データ解析 (ケモメトリックス)	155
4.3.1 ケモメトリックスとは	155
4.3.2 解析方法	156
4.3.3 利用例	162
演習問題	163
参 考 文 献	164
演習問題解答	175
索 引	177

農産物性科学 (1)

— 構造的特性と熱・力学的特性 —

主 要 目 次

1. 農産物性について
2. 物性にかかわる構造的特性
3. 基本的な物理特性
4. 熱 特 性
5. 力 学 的 特 性

1

音響・振動特性

1.1 音響・振動学

1.1.1 振動学

(1) **振動とは** 「振動」と呼ばれる現象は、身の回りを見渡すといくらでも簡単に見つけることができる。目に見えるものでは、首振り人形の首、公園のブランコ、大地震のときに揺れる家具、弦楽器の弦など、また触って感じる振動としては、エンジン、モータなどを積んだ機械などが挙げられる。これらに共通するのは、規則正しく、繰返し運動をしているということであり、この現象を**振動** (vibration) と呼んで差し支えない。

さて、このような振動がやむをえず発生してしまうような場合は、これをいかにして抑えることができるかが重要になる。一方、クォーツ時計やパソコンのクロックを刻む部品などは、確実にかつ正確に振動することが求められる。こうした振動に対するさまざまな問題に的確に対応するために、振動学と呼ばれる分野が誕生し、主として機械工学分野において発展してきた。振動学では振動現象を抽象化した系で表すために、現在では機械工学のみならず理学、工学の重要な基礎学としての地位を確立している。

(2) **周期と振動数** 振動はある事象が繰返し発生する現象のことである。この繰返しには、時間的なものと空間的なものがある。時間的な繰返しを考えた場合、その振動が正弦振動であれば図 1.1 のように描くことができる。横軸は時間 [s]、縦軸は**振幅** (amplitude)、単位は現象によって異なる。ばねの振動であれば変位であるため単位は長さ [m]

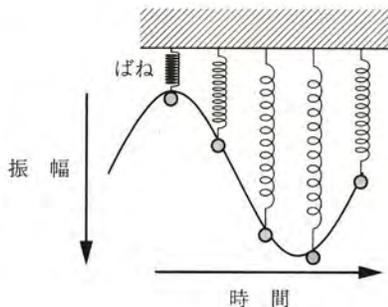


図 1.1 ばねの振動

2 1. 音響・振動特性

となり、電子機器の出力であれば電圧 [V] となる。その繰返し時間のことを**周期** (period) と呼ぶ。単位は [s (秒)] である。また単位時間当り (通常は 1 秒当り) の振動の回数のことを**振動数** (frequency) と呼ぶ。単位は [Hz] である。これは [1/s] に等しい。

この正弦振動は次式で表すことができる。

$$x = A \sin(2\pi ft + \phi) = A \sin(\omega t + \phi) \quad (1.1)$$

x は振幅, t は時間 [s], A は最大振幅, ϕ は初期位相 [rad] (= 定数), そして f が振動数となる。また, ω を**角振動数** (angular frequency) [rad/s] と呼ぶ。またこの正弦振動を**単振動** (simple harmonic motion) と呼ぶ。

(3) **固有振動数** いま, **ばね** (spring) の一端を固定し, それにおもりをぶら下げた系を考える。**ばね定数** (spring constant) を k [N/m] (ただし, $k > 0$), おもりの質量を m [kg] (ただし, $m > 0$) とする。このおもりをぶら下げた位置から下向きに x [m] だけ引っ張ると, 上向きに $-kx$ [N] の力がおもりにかかる。上向きを正とすると, x は負になるため, $-kx$ は正となり上向きの力を表す。逆におもりを上向きに押し上げると, x は正となり, $-kx$ は負となるが, ばねが縮んでいるために下向きに力がかかることに対応している。いま, これが運動中の状態とする。するとおもりが運動しているときの加速度は d^2x/dt^2 で表され, そのときおもりに働く力は質量を乗じたものに等しい。この力はおもりがばねに引っ張られる力に等しいために, つぎの**運動方程式** (equation of motion) が成立する。

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx \quad (1.2)$$

これは単振動をすることがわかっているため, 式 (1.1) は式 (1.2) を満足するはずである。式 (1.1) を式 (1.2) に代入すると

$$-m\omega^2 A \sin(\omega t + \phi) = -k A \sin(\omega t + \phi) \quad (1.3)$$

となり, A がゼロでないため, $m\omega^2 = k$ という関係が角振動数とばね定数の間に成立することがわかる。この関係を満足する正の ω を ω_0 とすると次式が成立する。

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} = 2\pi f_0 \quad (1.4)$$

このときの角振動数 ω_0 を**固有角振動数** (natural angular frequency), f_0 を**固有振動数** (natural frequency) と呼ぶ。

(4) **自由振動と強制振動** 前項の振動は, ばねの位置エネルギーとおもりの運動エネルギーの和が保存されることになるため, この系は固有角振動数 ω_0 で振動し続ける (図 1.2 (a)) ことになる。こういった振動を**自由振動** (free vibration) と呼ぶ。しかし実際には摩擦や空気抵抗など, 振動を抑制する力が働くため, 図 (b) に示すように, ばねの振動は徐々に小さくなり, 最終的には止まってしまう。この振動を抑える作用を**減衰** (attenuation, damping) と呼ぶ。例えば図 1.3 に示すように, 振動を抑制する部品として**ダッシュ**

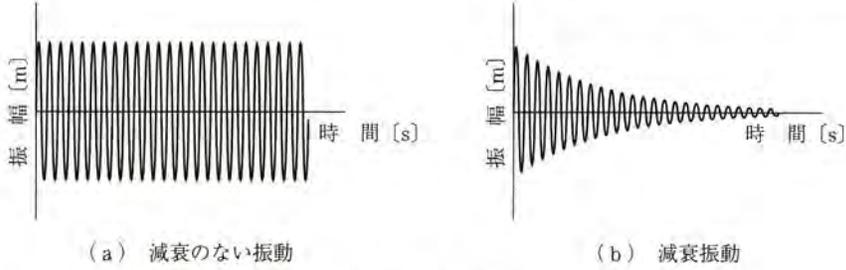


図 1.2 減衰振動

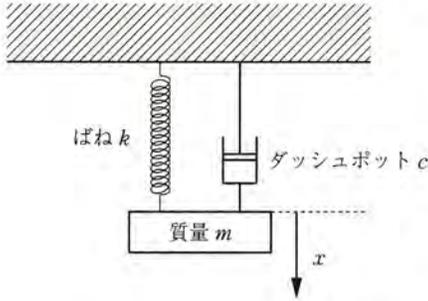


図 1.3 ダッシュポットをつけたばね-質量系

ポット (dashpot) を接続した場合、粘性減衰 (viscous damping) のある自由振動を起こす。ダッシュポットは、流体の入ったシリンダとピストンからなり、ピストンの速さに比例した粘性抵抗力を発生する。この場合の運動方程式は次式で表される。

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = 0 \tag{1.5}$$

c を減衰係数と呼ぶ。

物体を揺らす、あるいはブランコに乗った人を押すことにより振動を継続することができる。図 1.4 に示すように周期的な外力 ($F \cos \omega t$) を加えた場合の運動方程式は次式のようになる。

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = F \cos \omega t \tag{1.6}$$

これを強制振動 (forced vibration) と呼ぶ。この周期的外力の角振動数 ω が、系の自由振動の固有角振動数 ω_0 に一致すると、その振動がきわめて大きくなる。この現象を共振と呼

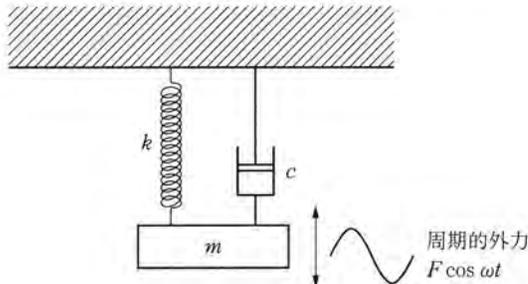


図 1.4 周期的外力を加えた場合

ぶ。ブランコを押す周期が固有角振動数に一致すると、きわめて軽い力でブランコを大きく揺らすことができるのは共振が起こっているためである。

1.1.2 音 響 学

(1) 音 と は 音 (sound) とは、振動が流体を含む媒質中を伝搬していく圧力変動や粘性波のことをいう。圧力変動に対するひずみ変動や体積変動がばね定数に相当し、おもりの質量が物体の密度に相当するため、音も振動学の延長として扱うことが可能である。一方で音波特有の現象もあるため、音響学という学問分野も振動学とは別に発展してきた。ここでは音響特有の用語を簡単に説明する。

(2) 音響学で用いられる各種用語

① 周波数 (frequency) これは振動学で用いられる振動数とまったく同じで、単位は [Hz] である。音響学では振動数とは呼ばない。

② 音圧 (sound pressure) 例えば空気中を伝わる音波は、圧力変動が空間的に伝搬していく振動である。音波がない場合の空気圧と、音が通過するときの圧力の差を音圧 [Pa] と呼ぶ。

③ 粒子速度 (particle velocity) 媒質の微小部位に着目し、その部位が音圧変動に伴って振動するときの速度のことをいう。音圧は粒子速度に比例する。

④ 音速 (sound velocity) 音波が空間を進行するときの速度のことをいう。空気、水中での音速はそれぞれ、およそ 340 m/s, 1500 m/s である。

(3) 縦波と横波 空間的に無限に広がる均質弾性連続体中の平面波伝搬現象について考える。一般に連続体中の波動の記述にはスカラー (scalar) である音圧を用いるのは適当ではなく、2階のテンソル (tensor) である応力とひずみが用いられる。一般化された Hooke の法則より、応力テンソルとひずみテンソルの間の線形関係を示す4階のテンソルとして弾性率が定義される^{1), 2)†}。いま、体積要素を図 1.5 のように考える。ここで σ_{ij} は x_i 軸に垂直

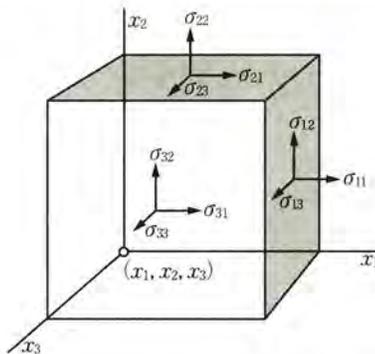


図 1.5 無限媒体中の応力テンソル

† 肩付き数字は、巻末の参考文献の番号を表す。

な平面に働く x_j 方向の応力を表すテンソルである (ただし, $i, j=1, 2, 3$)。

ひずみテンソルを e_{kl} (ただし, $k, l=1, 2, 3$) とすると, 応力とひずみの間に比例関係が成り立つため次式が成立する²⁾。

$$\sigma_{ij} = c_{ijkl} e_{kl} \tag{1.7}$$

ここで, c_{ijkl} (ただし, $i, j, k, l=1, 2, 3$) を 4 階の弾性率テンソルと呼ぶ。体積要素にはトルクが働かないとすると $\sigma_{ij} = \sigma_{ji}$ が成立する。したがって Voigt の記号, 11 \rightarrow 1, 22 \rightarrow 2, 33 \rightarrow 3, 23 or 32 \rightarrow 4, 31 or 13 \rightarrow 5, 12 or 21 \rightarrow 6 を用いて式 (1.7) の表記を簡単化すると次式のようなになる^{2), 3)}。

$$\sigma_m = c_{mn} e_n \quad (m, n=1, 2, 3, 4, 5, 6) \tag{1.8}$$

これを等方体 (あるいは立方晶系) に適用した場合の c_{mn} はつぎのようなになる³⁾。

$$\begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{12} & 0 & 0 & 0 \\ c_{12} & c_{11} & c_{12} & 0 & 0 & 0 \\ c_{12} & c_{12} & c_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_{44} \end{bmatrix} \tag{1.9}$$

また等方体の場合は特に

$$2c_{44} = c_{11} - c_{12} \tag{1.10}$$

なる関係があるため, 独立な弾性率は 2 個ということになる¹⁾。

古典弾性力学の各弾性率, すなわち体積弾性率 (bulk modulus) K , ヤング率 (Young's modulus) E , 剛性率 (shear modulus) G , ラメ定数 (Lamé constants) λ, μ , ポアソン比 (Poisson's ratio) ν と式 (1.9) の弾性率との関係をまとめると表 1.1 のようになる。

この等方弾性体では, つぎの 2 種類の音速が求められる²⁾。

表 1.1 等方弾性体の弾性率換算表¹⁾

	λ, μ	K, G	G, ν	E, ν	E, G
Lamé 定数 λ	λ	$K - \frac{2}{3}G$	$\frac{2G\nu}{1-2\nu}$	$\frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}$	$\frac{G(E-2G)}{3G-E}$
Lamé 定数 μ (= 剛性率 G)	μ	G	G	$\frac{E}{2(1+\nu)}$	G
体積弾性率 K	$\lambda + \frac{2}{3}\mu$	K	$\frac{2G(1+\nu)}{3(1-2\nu)}$	$\frac{E}{3(1-2\nu)}$	$\frac{EG}{3(3G-E)}$
ヤング率 E	$\frac{(3\lambda+2\mu)\mu}{\lambda+\mu}$	$\frac{9KG}{3K+G}$	$2(1+\nu)G$	E	E
ポアソン比 ν	$\frac{\lambda}{2(\lambda+\mu)}$	$\frac{3K-2G}{2(3K+G)}$	ν	ν	$\frac{E}{2G} - 1$

索引

【あ】

アクティブフィルタ	18
味	137
味認識装置	141
圧電効果	17
アナロジー	155
アルコール類	151
アルデヒド基	153
アンペールの法則	31

【い】

位相	21
遺伝的アルゴリズム	161
移動度	33
色温度	91
因子分析	156
インターフェログラム	83
インパルス応答	6
インピーダンス特性	37

【う】

うま味	137, 144
運動方程式	2

【え】

エイリアシング	24
エステル結合	153
遠紫外線	78
演色性	92
遠赤外線	104, 110
遠赤外線乾燥	110
遠赤外線乾燥特性	111
遠赤外線照射殺菌	110

【お】

おいしさ	137
音	4
音圧	4
音速	4

【か】

回帰係数	159
回帰式	114
回帰分析	156

回帰モデル	157
回折格子	61, 115
界面分極	43
ガウスの法則	30
香り	146
化学モデル	155
角振動数	2
ガスクロマトグラム	147
ガスセンサ	147
加速度変換器	17
カボス	145
カメラリンク	91
辛味	137
感覚器官	146
干渉	61
干渉フィルタ	115
官能検査	142
甘味	137
緩和周波数	44

【き】

基準振動	104
基準分析	113
基底状態	103
揮発性	146
客観	140
嗅覚	138
吸光分析法	81
嗅細胞	147
吸収	103
吸収係数	60, 106
共振	20
強制振動	3, 20
共鳴振動	61
極紫外線	78
極端紫外線	78
近紫外線	78
近赤外スペクトル	161
近赤外線	104
近赤外分光法	113, 119
近赤外分析計	119

【く】

屈折率	58
クラスタリング	156

クラス分類	156
グラフ理論	155
クロスバリデーション	160
クーロンの法則	29

【け】

蛍光	79
蛍光画像	82
蛍光光度計	81
蛍光測定法	81
蛍光分光光度計	81
計量経済学	155
計量モデル	155
結合振動	104
決定係数	114
ケモメトリックス	155
健康・食品アドバイザー	
ロボット	109
原子分極	42
減衰	2
減衰係数比	16
減衰振動	15
玄米	97
検量線	113, 119, 157

【こ】

高域通過型フィルタ	18
光子	59
剛性率	5
構造活性相関	156
構造記述子	158
構造減衰	22
光束維持率	92
光沢計測装置	96
光電子増倍管	81
後分光	115
交流インピーダンス法	34
光量	91
米の自動品質判定システム	98, 120
固有円振動数	16
固有角振動数	2
固有振動数	2, 20
コール・コールプロット	36

					タンパク質含量	119
					【ち】	
					チェビシェフ型	18
					遅延蛍光	87
					遅延発光	79
					着色粒	97
					中赤外線	104, 105
					超音波	11
					【つ】	
					通電加熱	37
					【て】	
					低域通過型フィルタ	18
					テイストマップ	144
					ディテクタ	115
					定量的化学モデル	155
					定量的構造活性相関	158
					定量的構造物性相関	158
					デオキシニパレノール	99
					データ行列	156
					テラヘルツ時間領域分光法	127
					テラヘルツ帯	62
					電気インピーダンストモグラ	
					フィ	39
					電気双極子	41
					電気抵抗率	32
					電磁波	58
					電子分極	42
					伝達関数	23
					電場	58
					伝搬速度法	8
					【と】	
					透過	121
					透過光	97
					胴割粒	97
					統計学	155
					導体	40
					導電率	32
					当量導電率	33
					特性X線	68
					トランスデューサ	24
					トレーサビリティ	101
					【な】	
					ナイキスト周波数	25
					ナイキストの標準化定理	25
					内部品質予測	156
【さ】				【す】		
最小二乗法	158	水晶振動子	147			
最適化	156	水分含量	119			
最適化手法	161	水和水計測	132			
最適解	161	数学モデル	155			
サバーン板	83	スペクトル	113			
サーモグラフィ	119	スペクトロスコープ	113			
酸化物半導体	147			【せ】		
残差	159			生体膜	137	
酸味	137			整定時間	16	
				成分分析	119	
【し】				精密農業	163	
塩味	137			整粒	97	
紫外線	78			赤外カメラ	119	
視覚	140			赤外線	119	
視覚モデル	155			赤外線エネルギー	110	
時間領域	8			絶対反応速度論	155	
時間領域反射法	55			説明変数	157	
色彩・異物選別機	98			セル定数	35	
色彩色差計	95			遷移	103	
色彩選別機	98			選果ロボット	100	
色度変換	63			線形	158	
脂質	140			線形回帰分析	113	
死米	97			線形重回帰	158	
磁場	58			全振幅	17	
渋味	137, 142, 144			前分光	115	
指紋領域	104					
重回帰分析	105			【そ】		
周期	2			掃引正弦波加振法	23	
自由振動	2, 20			相関係数	114	
周波数	4			測定精度検証	113	
周波数応答関数	23			組織荷重係数	70	
周波数解析	6			疎水鎖	141	
周波数解析法	6			組成分析	97	
周波数領域	9			組成分析計	97	
収量予測	156			ソムリエロボット	110	
主観	140					
主成分回帰分析	113			【た】		
主成分分析	153			帯域消去型フィルタ	18	
受容体	138, 147			帯域通過型フィルタ	18	
消費係数	58			ダイクロイックミラー	92	
触覚	140			体細胞数	124	
シリコンフォトダイオード	116			対数減衰率	16	
真空紫外線	78			体積弾性率	5	
信号処理	156			縦波	6	
親水基	141			多変量解析	105	
振動	1			多変量解析法	113	
振動数	2			単一指向性	18	
振幅	1, 21			単振動	2	
				タンパク質	140	

【に】

におい 146
匂い 146
臭い 146
匂い合成装置 154
匂いセンサ 146
苦味 137, 143
2次元フーリエ変換 72
乳脂肪 124
乳タンパク質 124
乳中尿素態窒素 124
乳糖 124
乳房炎 124

【ね】

熱力学 155
粘性減衰 3, 22
粘性減衰係数 16
粘性減衰振動 16

【は】

バイアス 114
倍音 104
配向分極 43
ハイパースペクトルカメラ 118
バタワース型 18
パターン認識 155
波長 11
バックプロパゲーションニューラルネットワーク 158
パッシブフィルタ 18
ばね定数 2
パラメータ推定 156
反射 121
反射光 97
反射率 61

【ひ】

被害粒 97
光ファイバ 82, 122
光飽和性 88
非線形 158
ヒドロキシル基 153
非破壊検査 156
非破壊熱度測定機 9
微分 113
標準誤差 114
標準偏差 114
表面分極制御法 150

ビール 144
品質予測 156

【ふ】

ファラデーの電磁誘導の法則 31
フォトダイオード 97
不規則振動 15
複素インピーダンス 35
複素屈折率 58
複素非線形最小二乗法 36
複素誘電率 40, 61
プランク定数 59
フーリエ変換回帰分析 113
フーリエ変換赤外分光光度計 128
プリユースター角 61
ブレードグレーティング 116
分極 41
分光器 115
分光蛍光光度計 81
分光光度計 95, 115
分子モデリング法 153

【へ】

平滑化 113
偏光 61
変数選択 161
扁桃体 139

【ほ】

ポアソン比 5
ホイヘンスの原理 60
芳香族アルコール 151
芳香族化合物 151
放射線荷重係数 70
包絡線 16
ポテンシオスタット 34
ボード線図 22
ホワイトバランス 91

【ま】

マイクロ波 52
マクスウェルの方程式 29
マハラノビスの汎距離 74
マンセル記法 63

【み】

味覚 138
味覚センサ 140
ミカン 145
味細胞 137

未熟粒 97
味蓄 137

【む】

無指向性 18

【も】

目視検査 97
目的変数 157
モデリング誤差 157

【や】

ヤング率 5

【ゆ】

誘電損失 44
誘電体 40, 61
誘電分極 40
油脂 143

【よ】

横波 6
予測誤差 162

【ら】

ラム定数 5
ランダムトリガ 99

【り】

理化学特性 113
粒子速度 4
量子化学 155
量子カスケードレーザ 131
緑色蛍光タンパク質 87
緑茶 144
臨界減衰係数 16
リン光 79

【る】

類似性 155
ルミネセンス 79

【れ】

励起状態 103
冷却型 CCD カメラ 82
レーザドップラー振動計 24
連続 X 線 68

ATR	106	GFP	87	Q 値	22
A 領域紫外線	78	HSI 変換	67	ROI	74
BIA	38	IEEE 1394	91	RPD	114
B 領域紫外線	78	L * a * b * 変換	65	SEP	114
CCD	81, 89	Lambert 則	60	SPAD メータ	95
CCD 検出器	81	MOS	89	X 線	68
CT 値	73	MSC	113	X 線 CT	72
C 領域紫外線	78	partial least squares (PLS) 法	159	X 線質量吸収係数	73
DLE	79	PCR	105	γ 補正	91
FRA	34	PLS 回帰分析	105, 113		
GAWLS 法	161				

— 編者略歴 —

近藤 直 (こんどう なおし)

1982年 京都大学農学部農業工学科卒業
1984年 京都大学大学院農学研究科修士課程修了
(農業工学専攻)
1985年 岡山大学助手
1988年 農学博士(京都大学)
1993年 岡山大学助教授
2000年 石井工業株式会社技術開発部 部長
2006年 愛媛大学教授
2007年 京都大学教授
現在に至る

小川 雄一 (おがわ ゆういち)

1995年 岡山大学農学部総合農業科学科卒業
1997年 岡山大学大学院農学研究科修士課程修了
(農業工学専攻)
1997年 ヤンマー農機中央研究所
2001年 理化学研究所 研究協力員
2003年 理化学研究所川瀬独立主幹研究ユニット
ユニット研究員
2004年 東北大学助手
2004年 博士(農学)(東北大学)
2005年 東北大学助教授
2009年 京都大学准教授
現在に至る

清水 浩 (しみず ひろし)

1984年 京都大学農学部農業工学科卒業
1986年 京都大学大学院農学研究科修士課程修了
(農業工学専攻)
1986年 株式会社アンソー
1988年 三重大学助手
1992年 京都大学助手
1995年 博士(農学)(京都大学)
2000年 茨城大学助教授
2008年 京都大学准教授
2009年 京都大学教授
現在に至る

西津 貴久 (にしづ たかひさ)

1989年 京都大学農学部農業工学科卒業
1990年 京都大学助手
2002年 博士(農学)(京都大学)
2008年 岐阜大学准教授
現在に至る

林 孝洋 (はやし たかひろ)

1982年 京都大学農学部農学科卒業
1984年 京都大学大学院農学研究科修士課程修了
(農学専攻)
1984年 岡山大学助手
1991年 博士(農学)(京都大学)
1993年 京都大学講師
1999年 京都大学助教授
2009年 近畿大学教授
現在に至る

後藤 清和 (ごとう きよかず)

1972年 京都大学農学部農業工学科卒業
1972年 京都大学助手
1985年 農学博士(京都大学)
1989年 岐阜大学助教授
2000年 岐阜大学教授
現在に至る

農産物性科学 (2) — 音・電気・光特性と生化学特性 —
Physical and Biological Properties of Agricultural Products (2)
— Acoustic, Electrical, Optical, and Biochemical Properties —

© Kondo, Nishizu, Ogawa, Hayashi, Shimizu, Goto 2010

2010年10月28日 初版第1刷発行

検印省略

編 者 近 藤 直
西 津 貴 久
小 川 雄 一
林 孝 洋
清 水 浩
後 藤 清 和

発 行 者 株式会社 コロナ社
代 表 者 牛来真也

印 刷 所 新日本印刷株式会社

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 978-4-339-05230-5 (高橋) (製本: 愛千製本所)
Printed in Japan



無断複写・転載を禁ずる

落丁・乱丁本はお取替えいたします