

農産物性科学(1)

— 構造的特性と熱・力学的特性 —

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

コロナ社

はじめに

農産物の収穫後操作，すなわちポストハーベストにおける処理装置・システムの開発や性能評価において，対象となる農産物の各種物性，例えば，サイズ，形，重さ，比熱，固さ，凍結温度，穀粒の通気抵抗—これを物性と呼ぶかどうかはともかく—，あるいはそれらに付随するさまざまな情報が必要となる。しかし，工業製品とは異なり，農産物は一つとして同じものが存在しないというえに，生物学的もしくは化学的な変化や劣化により，その特性が時間とともに変わってしまうという特徴があるため，データベースとしてまとめることは容易ではない。これまで多くの研究者が従事してきた農産物性研究はこうした特徴をもつ「物性」をなんとか体系づけたいという願望が原動力となって発展してきた。

さて，「農産物性科学」という本書名は一般化されたものでもオーソライズされたものでもない。本書の刊行にあたり，編者の間で協議のうえ作り出した言葉である。前述のように農産物性は農産物利用と切っても切れない関係にある。農産物を材料とみればそのアプローチはおのずと工学的なものになる。工学では事象の共通点を見出し，極力単純化・一般化した形式にして考察を進めていくのが定石である。一方，ここで対象としている農産物は生物体であり，種類も豊富であるため，共通項を見出し，一般化して把握するにしても，種による固有の事情に依拠した方法を取らざるをえない。

この異なる二つのアプローチをどのように融合するかについて，本書の企画段階で議論を重ねた。最終的に，くくりとして物性の立場，つまり工学的なくくりでまとめることに落ち着いた。しかし，その対象はまぎれもなく植物（体）であり，そうした視点から物性を眺める試みも極力取り入れる工夫—例えば2章—も併せて行うこととした。本書名をつけるにあたり，農産物性工学ではなく農産物性科学としたのは，工学と植物学，生物学の融合—と言い切るのはおこがましいが—を意識して，工学以外の言葉を当てたためである。「科学」が適切かどうかについては意見の分かれるところであり，読者諸氏の批判を仰ぎたい。

本書は主として大学の農学部，環境学部，工学部等の農産物やその加工技術に関連する学科，専攻の学生，ならびに農産加工，食品加工関連メーカーの技術者を対象とし，農産物性科学への理解に必要な基本的知識と農産物性測定技術についてわかり易く解説することを編集方針とした。またどの章から読み始めても理解できるように，各章独立した内容となっている。それぞれの章は，基礎学・理論の概説，物性値の定義と測定方法の解説，物性の利用例が記述されている。章末には演習問題を数問設けておいた。内容の理解に大いに助けとなるので是非とも活用して欲しい。

1章では，農産物性の定義と物性の表記に関する基礎的事項を概説した。2章では，農産

物に特有の物性を発現させる植物組織構造について解説した。これは農産物性に関する他の類書にはない特徴である。3章では、農産物性の把握に必要な農産物の基礎的な属性（形、大きさなど）について解説した。4章では、乾燥や加熱など農産物の基本的な加工処理プロセスに関係のある熱特性について解説した。5章では、貯蔵・追熟施設や流通の現場で重要な農産物の力学的特性について解説した。

執筆に際しては、日頃から教育研究の一線で活躍されている専門家にご協力を賜った。紙数の都合で執筆者の方々にはご無理をお願いしたが、基本的な内容がコンパクトにまとめられているため、初学者には取り組み易いものになったと思う。また2章のイラストは、中嶋江美理さん（近畿大学学生）に作成していただいた。この場をかりて厚くお礼申し上げる。

本書を企画した当初は、1冊の予定であったが、内容が多岐にわたることから、企画段階から関わってきた6名の編者の間で議論を行い、結局2分冊で刊行することにした。編者が担当した章、節については編者一覧を見ていただきたい。最後に、本書の刊行にあたり、終始ご尽力いただいたコロナ社の各位に深く感謝の意を表する次第である。

2011年7月

西津 貴久

編者一覧

西津 貴久	(岐阜大学)	(1巻1章, 4章, 2巻1章)
近藤 直	(京都大学)	(2巻3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)
小川 雄一	(京都大学)	(2巻2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 貴久 (岐阜大学)	1章, 2.3.4, 3.2.2項	よしとみ 均 (元御農業・食品産業技術総合研究機構)	3.2節, 3.3.3項
はやし 孝洋 (近畿大学)	2.1節, 2.2.1~2.2.6, 2.3.1, 2.3.2項	もりお よしなり 森尾 吉成 (三重大学)	3.2.1項, コーヒーブレイク
たぶち としひと 田淵 俊人 (玉川大学)	2.3.3~2.3.6項	さから やすゆき 相良 泰行 (東京大学名誉教授)	4.1~4.3節
さかぐちえいいちろう 坂口栄一郎 (東京農業大学)	2.3.3項, 5.5節	おおした せいいち 大下 誠一 (東京大学)	4.4, 4.5節
こんどう なおし 近藤 直 (京都大学)	2.3.3, 3.3.2項	しみず ひろし 清水 浩 (京都大学)	5.1~5.3節
おがわ ゆういち 小川 雄一 (京都大学)	2.3.6項	いけだ よしお 池田 善郎 (京都大学名誉教授)	5.4節
ごとう きよかず 後藤 清和 (岐阜大学)	3.1, 3.2節		
まつなが りゅうじ 松永 隆司 (秋田県立大学名誉教授)	3.1.1, 3.3.1項		

(2011年7月現在)

本書に関連するカラー画像をコロナ社のWebページ (<http://www.coronasha.co.jp>) から閲覧することができる(閲覧のみ、転載等は不可)。本書の書籍紹介ページを開き、【関連情報】の「関連カラー画像」をクリック。

目 次

1 農産物性について

1.1 農産物性とは	1
1.1.1 農産物性を知ることの意義	1
1.1.2 農産物性の特殊性	1
1.2 農産物性の表し方	2
1.2.1 農産物性と関数	2
1.2.2 農産物性を表す量	3
演習問題	7

2 物性にかかわる構造的特性

2.1 植物体と収穫物の構造	8
2.1.1 植物の基本構造：根・茎・葉	8
2.1.2 植物の分枝パターン	9
2.1.3 葉序	10
2.1.4 生殖器官である花および花序の形態	10
2.1.5 貯蔵器官としての根と茎	13
2.1.6 形態モデルによる植物体の単純化	14
2.2 収穫物の構造	15
2.2.1 穀類	15
2.2.2 マメ類	17
2.2.3 果実（果樹・果菜類）	18
2.2.4 葉菜類	21
2.2.5 根菜類・イモ類	22
2.2.6 花き・工芸作物類	24
2.3 植物の構造・含有物と物性のかかわり	26
2.3.1 構造と機能	26
2.3.2 システム論	27
2.3.3 表皮系	29
2.3.4 基本組織系	37
2.3.5 維管束系	48
2.3.6 細胞内含有物	49
演習問題	51

3 基本的な物理特性

3.1 基本的な物理特性	52
--------------	----

3.1.1 寸法・形状	52	3.1.2 体積・密度	56
3.2 計測方法	57		
3.2.1 寸法・形状	57	3.2.2 体積・密度	64
3.3 利 用 例	70		
3.3.1 輪郭形状によるコメの銘柄判別	70	3.3.2 果実類の選果基準	72
3.3.3 茶葉の遺伝資源の管理	77		
演習問題	79		

4 熱 特 性

4.1 熱的操作の特徴	80		
4.2 伝熱の形態と関連物性値	82		
4.2.1 伝導伝熱	82	4.2.2 非定常伝導伝熱	83
4.2.3 対流伝熱	84	4.2.4 放射伝熱	85
4.2.5 熱特性値ニーズの特色	86		
4.3 比 熱	89		
4.3.1 定 義	89	4.3.2 計測方法	89
4.3.3 推算法と利用法	90		
4.4 熱 伝 導 率	92		
4.4.1 定 義	92	4.4.2 計測方法	93
4.4.3 代表的なモデル	96	4.4.4 各種材料の熱伝導率	98
4.5 熱 拡 散 率	99		
4.5.1 定 義	99	4.5.2 計測方法	99
4.5.3 各種材料の熱拡散率	101	4.5.4 ま と め	102
演習問題	102		

5 力 学 的 特 性

5.1 材 料 力 学	104		
5.1.1 応力とひずみ	104	5.1.2 せん断応力とせん断ひずみ	105
5.1.3 応力とひずみの関係	106		
5.2 弾 性 係 数	107		
5.2.1 縦弾性係数と横弾性係数	107	5.2.2 衝撃応力	108

5.2.3 粘 性	108		
5.3 農産物の力学的特性	109		
5.3.1 試験方法	109	5.3.2 応力-ひずみ線図	110
5.3.3 果皮の影響	111	5.3.4 载荷速度の影響	112
5.4 粘 弾 性	113		
5.4.1 レオロジーとは	114	5.4.2 粘度の測定	123
5.4.3 農産物への応用	125		
5.5 摩 擦	126		
5.5.1 定 義	126	5.5.2 摩擦特性値の計測方法と計測例	132
演 習 問 題	135		
付 録			
1. Bitmap (BMP) 画像ファイルのフォーマット	136		
2. SI 接 頭 語	138		
3. 単 位 換 算 表	138		
参 考 文 献	140		
演 習 問 題 解 答	146		
索 引	151		

農産物性科学 (2)

— 音・電気・光特性と生化学特性 —

主 要 目 次

1. 音響・振動特性
2. 電 気 的 特 性
3. 光 学 的 特 性
4. 生 化 学 的 特 性

1

農産物性について

1.1 農産物性とは

一般に「物性」とは、もの（物質）の性質のことであり、特に**物理的特性**（physical properties）が中心として扱われることが多い。これに従えば、農産物性とは、「農産物の物理的性質」ということになる。物理的とはいうものの、物理学としての「物理」という意味ではなく、本書ではもう少し広くとらえた農産物の性質という意味で扱うこととする。

1.1.1 農産物性を知ることの意義

農産物の収穫、乾燥、冷蔵、冷凍、加工、調理、貯蔵、輸送などの**ポストハーベスト**（postharvest）操作で用いられる農産加工機械の設計にあたっては、対象農産物の物理的特性が必要となる。例えば、農産物の予冷施設の設計では、冷却装置の仕様決定のために対象となる農産物の量と比熱などの熱的な特性値が必要である。また農産物の貯蔵・輸送時に損傷を与えない積載条件の設定には、対象農産物の力学的な性質が必要となる。従来、このような農産物の物性をまとめて「農産物性」と称してきた。

一方、農産物の量的な安定確保の時代から質的な品質確保・品質保証の時代に変わってきて、最近では「農産物性」を農産物の「品質」に関連する特性としてとらえる場合も多くなってきた。例えば果実など近赤外分光技術による糖度予測は光学的特性を利用したものであり、また芳香や味といった人間の官能に訴える品質も「農産物性」の範疇に入るものとしてよいだろう。

このように多様なとらえ方があるものの、いずれの場合でも「農産物性」が農産物利用という立場からきわめて重要な意味をもっていることについては変わりがないといえる。

1.1.2 農産物性の特殊性

対象となる農産物は、細胞から構成され、その形状、組織構造も種類によって異なり、また構成される組成も異なる、いわゆる複合材料である。したがって農産物性は、さまざまな要素が組み合わさり、相互作用しあうような**系**（system）の物性といってもよい。このよう

2 1. 農産物性について

な系では、測定のために部分的に切除し整形した試料から得た物性が全姿の物性を代表しない場合も多い。そのため、農産物性データを扱う際には、測定部位や大きさに左右される場合があることを念頭においておく必要がある。また、農産物は収穫後でも生物的な活動が行われており、履歴や雰囲気条件により物性が大きく変わることもある。農産物性の測定や利用にあたっては、こうした生物体固有の現象を十分に考慮しないと客観的な情報として扱いにくくなる。

1.2 農産物性の表し方

もの（物）の性質を客観的に表現するためには、その性質を数値で表し、定量化しなければならない。ここでは、農産物性の定義に対する考え方と表記に必要な単位系について簡単に解説する。

なお、直感的な理解を念頭にまとめたものであるため、必ずしも数学的に厳密な表現でない箇所があることをあらかじめ断っておく。

1.2.1 農産物性と関数

「関数」とは英語で“function”。この“function”には「機能」「作用」という意味がある。入力と出力を対応させる機能を有するものを「関数」と呼ぶ。

入力 → 関数 → 出力

ここでは「入力」に対してただ一つの「出力」が対応する（一意対応）。つまり、同じ入力に対して、出力が異なる場合があるものは関数とは呼ばない。

中学数学に出てくる一次関数、二次関数が典型的な関数の例である。

例えば一次関数は、次式のような形のものをいう。

$$f(x) = 2 \times x + 6$$

上記の関数の定義にいう入力として5を与える、つまり x に代入すると16という出力が得られる。

この式を一般化したものが次式である。

$$f(x) = ax + b$$

二次関数は次式のようになる。

$$f(x) = ax^2 + bx + c$$

ただし「関数」は、これらのように数値変数間の関係式である必要はない。一意に対応する関係があるものであればよい。例えば2011年の日付と曜日は一意対応しており、この対応は「関数」といえる。

物質のもつ基礎的な属性（質量や体積など）としての物性を除いて、本書で扱う農産物性のほとんどは、ある入力に対しての応答（出力）の性質を表すものである。この関数のパラメータが物性値に相当することになる。例えば、スーパーでダイコンを買おうとして手に持ったとする。そのとき、しなっとした、あるいはぐにゃっとした感触が手に残れば、そのまま買い物かごに入れるかどうか判断に迷うであろう。同じ買うなら新鮮なダイコンを買いたい。新鮮なものは手に持ったときに張りがあるはずである。これに関連する物性は「硬さ」である。手でつかんで、ダイコンに「力」を加え、どれだけ変形しているかを指先で感じ取り、「硬さ」を把握しているということになる。このように、「硬さ」という物性は、「力」という入力に対する「変形量」という出力の対応関係のことをいい、これらの関係を一次関数で表現した場合（図 1.1）、その「傾き」というパラメータが「弾性率」という「硬さ」を表す物性値となる。

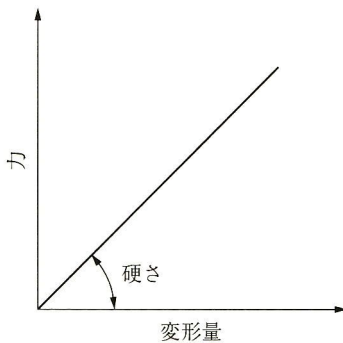


図 1.1 変形量と力の関係

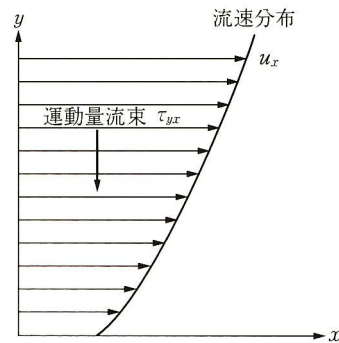


図 1.2 流速分布

もう一つ例を示す。図 1.2 に示すように、 x 軸に平行に流体が流れており、 y 軸方向に流速分布があるとす。このとき、この流速分布は時間に関係なく一定である（定常状態）。

粘性に関するニュートンの法則（Newton's law of viscosity）によれば、注目する y 点での単位面積当り単位時間当りに通過する運動量 τ_{yx} と速度勾配 $\frac{du_x}{dy}$ はつぎのような関係にある¹⁾。

$$\tau_{yx} = -\mu \frac{du_x}{dy}$$

その係数 μ は粘性係数（粘度）と呼ばれる。これは微分方程式であるが、前述の式と同様、その係数が粘性という物性を表している。

1.2.2 農産物性を表す量

(1) 物性を表す定数 物質に固有の性質を客観的な物理量（後述）で表したものを物性定数という。しかし、同じ物質でも系によって一意に定まらない物理量は物性定数とはい

4 1. 農産物性について

わない。例えば、ばね定数や電気抵抗のように、大きさや形状によって変わってくるものは、物体定数（つまり物体に固有の性質）と呼ばれ、物性定数とは区別する。農産物性とはこの物性定数のみを扱えばよいかというそうではなく、前述したように処理機械の設計資料としては物体定数も扱う必要がある。本書では物体定数の定義自体も物性をとらえる上で重要であるとして、取り上げることとする。

(2) **物理量** 物理量 (physical quantity) とは物質の性質や状態を客観的に記述した量のことで、数値と単位の積、すなわち物理量 = 数値 × 単位で表される。単位は次項に示す七つの基本単位とその組合せからなる。物理量は単位と無関係に一つの文字変数で表すことができる。例えば質量を m という変数で表した場合、単位である kg や g といった質量を表す単位はその中に組み込まれていることになるため、例えば運動の法則を $F=ma$ (ただし F , a は力と加速度) と書いた場合、その計算式の中に単位が入っていることになるので、いちいち単位を追記する必要はない。

(3) **単 位**²⁾ 基準となる物理量のことで、原則的に国際的に統一された**国際単位系** (SI) が用いられる (SI 以外の単位への換算は付録参照のこと)。SI ではつぎの七つの単位を**基本単位** (base units) として定めている。

① **長 さ** (m, メートル)

1 s の 299 792 458 分の 1 の時間に光が真空中を伝わる行程の長さ。

② **質 量** (kg, キログラム)

白金・イリジウム合金である国際キログラム原器の質量。

原器は国際度量衡中央局 (パリ) で保管されており、また各国にも標準器が配布されている。原器を基本とする単位は質量のみ。

③ **時 間** (s, 秒)

セシウム 133 原子の基底状態にある二つの超微細構造準位間の遷移に対応する放射における 9 192 631 770 周期分の時間。

④ **電 流** (A, アンペア)

無視できるほど断面が小さく無限に長い 2 本の直線状導体を、真空中に 1 m の間隔で平行に配置し、それぞれに電流を流したときに、導体間に働く力が導体の長さ 1 m につき 2×10^{-7} N となるときの電流。

⑤ **熱力学温度** (K, ケルビン)

水の三重点 (気相・液相・固相の平衡状態にある点) の熱力学温度の $1/273.16$ 。

⑥ **物質質量** (mol, モル)

0.012 kg の炭素 12 の中に存在する炭素原子と同数の要素粒子を含む系の物質質量。

⑦ **光 度** (cd, カンデラ)

周波数 540×10^{12} Hz の単色放射を放出し、ある方向の放射強度が、 $1/683$ W/sr である

光度。

基本単位以外の物理量の単位は、基本単位の組合せで表されるため、**組立単位** (derived units) と呼ばれる。また組立単位の中でも、圧力の単位である Pa (パスカル) やエネルギーの単位である J (ジュール) のように、固有の名称と記号で表される単位が 22 個指定されている。

(4) **農産物性で使用される代表的な単位**³⁾ 農産物性を表す際によく用いられる単位を物性別にまとめたものを示す。

(a) **基礎的な物理特性**

- ① 長さ : m (SI 基本単位)
- ② 質量 : kg (SI 基本単位)
- ③ 時間 : s (SI 基本単位)
- ④ 電流 : A (SI 基本単位)
- ⑤ 温度 : K (SI 基本単位)
- ⑥ 光度 : cd (SI 基本単位)
- ⑦ 物質量 : mol (SI 基本単位)
- ⑧ 体積 : m³ (SI 組立単位)
- ⑨ 密度 : kg/m³ (SI 組立単位)

(b) **熱特性**

- ① 温度 : K (SI 基本単位)
- ② 熱量 : J (SI 組立単位, m²·kg·s⁻²)

例えば 15℃ の水 1 g を 1℃ 上昇させるのに必要な熱量を 1 cal としたとき、その熱量は、4.816 J となる。エネルギーの一形態。

- ③ 比熱 : J/(kg·K)

ある物体の温度を Δt だけ上昇させるのに必要な熱量を Q とするとき、単位質量当りの Q のことを比熱と定義する。 Q は熱容量 (単位は J/K) と呼ぶ。定圧量と定容量がある。

- ④ 熱伝導率 : W/m·K (SI 組立単位, m·kg·s⁻³·K⁻¹)

下記のフーリエの法則の式中の係数 k 。

$$\frac{dQ}{dt} = -kA \frac{d\theta}{dx}$$

ここで、 Q : 熱量, t : 時間, A : 熱伝導の方向に垂直な面の面積, θ : 温度, x : 熱伝導方向の長さ。

熱伝導における熱の伝わりやすさを表す。

- ⑤ 熱拡散率 : m²/s

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot C_p}$$

索 引

【あ】		花 色	35	公称応力-ひずみ図	107
圧縮応力	104	画 素	57	剛性率	42, 107
圧縮荷重	104	仮道管	49	孔辺細胞	30
圧縮試験装置	109	花 弁	32	国際単位系 (SI)	4
圧縮ひずみ	105	カロテノイド	32	ごま塩雑音	60
圧力比較法	65	カロテノイド系色素	36	ゴ ム	51
アミロース	49	慣性等価楕円径	53	ころがり摩擦モデル	129
アミロペクチン	49	乾 燥	80	コンプライアンス	121
		緩和時間	116	根 毛	31
【い】		【き】		【さ】	
維管束	37	機械的単位操作	80	載荷速度	112
維管束系	48	器 官	8	最大径	52
維管束形成層	38	気 孔	30	細胞間隙	39
維管束鞘	39	キサントフィル	50	細胞サイズ	46
一次元熱伝導	93	気体置換法	65	細胞壁	44
一次組織	38	基本組織系	37	柵状組織	37
一次壁	45	基本単位	4		
一般化フォークトモデル	121	吸収スペクトル	35	【し】	
一般化マクスウェルモデル	117, 118	吸着熱	88	篩 管	49
移動現象論	80	強制対流熱伝達	84	色 素	50
		共鳴周波数	66	自然対流熱伝達	84
【う】		共鳴法	46	湿潤熱	88
渦電流式変位センサ	63, 78	キルヒホッフの法則	86	シトラー	50
		近赤外分析法	47	篩部柔組織	49
【え】		【く】		篩部繊維	49
液浸法	64	茎	38	篩部組織	49
液体置換法	64	クチクラ層	30	篩部肥大型	47
エピセリウム	51	クチン	38	周囲長	53
円形度	54	屈曲法	46	柔細胞	40
遠心度	74	組立単位	5	収縮処理	60
エンタルピー	88	グラスホフ数	84	収縮率	53
		クランツ構造	39	重 心	54
【お】		クリーブ	118	柔組織	37
応 力	104	クリーブ回復	120	柔組織モデル	44
応力緩和法	46	クリーブメータ	109	蒸 散	32
音響共鳴法	66			焼 成	80
		【け】		蒸 留	80
【か】		原形質分離	46	真応力-ひずみ図	107
回転粘度計	123	原形質連絡	45	真密度	57
回転不変なサイン級数表現	56			【す】	
海綿状組織	37	【こ】		水 孔	30
加工用トマト	47	香気成分	50	垂層分裂	47
かさ密度	52, 56, 70, 79	向軸面	32	垂直応力	104

スペクトル解析	67	二次壁	45	物理的特性	1
すべり摩擦モデル	127	2値化処理	57	物理量	4
スベリン	38, 45	2値画像	57	フラボノイド	32
寸法	52	乳液	51	プランクの法則	85
		乳頭状細胞	36	プラントル数	84
		ニュートン流体	108	フーリエ級数	54
				フーリエの法則	82
【せ】		【ね】		フーリエ変換	67
精油	50	根	37	浮力法	64
セルロース	45	ネガ画像	59	プローブ法	95
選択反射光線	35	熱拡散率	83	分化	9
せん断応力	106	熱的単位操作	80	分泌組織	50
せん断角	106	熱伝達係数	84		
せん断過程曲線	34	熱伝導率	82	【へ】	
せん断ひずみ	106	熱流束	82	平均的輪郭形状	70
		粘性に関するニュートンの法則		平行板プラストメータ	124
				平行平板法	93
【た】		粘性要素	114	並層分裂	47
対角幅	52	粘弾性	113	ペクチン	45, 47
対称度	74			ヘミセルロース	45
体積弾性率	44	【の】		ヘルムホルツ共鳴	66
縦弾性係数	107	ノイズ処理	57		
縦ひずみ	105	濃縮	80	【ほ】	
多糖類	49	濃淡値ヒストグラム	59	ポアソン数	107
単位操作	80			ポアソン比	107
弾性係数	107	【は】		放射係数	86
弾性体	114	葉	38	放射伝熱	85
弾性範囲	106	背軸面	32	放射率	86
弾性変形	106	排水組織	30	膨張処理	60
弾性要素	114	葉色	35	包絡周囲長	53
タンニン	50	破壊包絡線	33	包絡面積	53
タンパク質	50	バラ	36	ポストハーベスト	1
		ハレーション	34		
【ち】		パワースペクトル	68	【ま】	
遅延弾性	119			マクスウェルモデル	114
		【ひ】		摩擦	126
【つ】		比較法	95	マトリックス	45
通道組織	48	ビクノメータ法	65	マニトール溶液	46
		引張応力	104		
【て】		引張荷重	104	【み】	
定常法	93	引張ひずみ	105	見掛けのヤング率	42
ダンブング粒	50	非定常法	93	マイクロファイブリル	45
		非ニュートン流体	108	密度	52
【と】		比熱	89		
等価円直径	52	皮目	40	【む】	
道管	48	表皮細胞	29	ムシラーゲ	38
同心円筒法	94	表面反射光線	35		
トマトの果実	36			【め】	
		【ふ】		雌しべ	11
【な】		フェレ長	53	メディアンフィルタ	60
内部摩擦モデル	130	フォークトモデル	118		
		複雑度	54		
【に】					
二次組織	38				
二次代謝産物	50				

【も】

毛状突起	31
木化	45
木部柔組織	49
木部繊維	49
木部組織	48
木部肥大型	47
モノクロ画像	59
糊1粒の粘弾性特性	126
糊の摩擦特性	33

【や】

ヤング率	107
------	-----

【ゆ】

有限サイン級数	55
---------	----

【よ】

横弾性係数	107
横ひずみ	105
予冷	80
4要素モデル	122

【ら】

ライフサイクルアセスメント	81
ラベリング処理	57

【り】

リグニン	45
リコペン	36
離層	47
粒子密度	56
粒度分布	52

輪郭形状	54
------	----

【れ】

レイノルズ数	84
レオロジー	114
レオロジー方程式	114
レオロジーモデル	114

【欧文】

β -カロテン	36
Hertz の理論	110
Hough 変換	76
LMedS 基準	68
Shape from silhouette 法	77

— 編者略歴 —

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

近藤 直 (こんどう なおし)

1982年 京都大学農学部農工学科卒業
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

林 孝洋 (はやし たかひろ)

1982年 京都大学農学部農工学科卒業
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

清水 浩 (しみず ひろし)

1984年 京都大学農学部農工学科卒業
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 株式会社デンソー
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

後藤 清和 (ごとう きよかず)

1972年 京都大学農学部農工学科卒業
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

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

農産物性科学 (1) — 構造的特性と熱・力学的特性 —
Physical and Biological Properties of Agricultural Products (1)
— Structural, Thermal, and Rheological Properties —

© Nishizu, Kondo, Hayashi, Shimizu, Goto, Ogawa 2011

2011年9月30日 初版第1刷発行

検印省略

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

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 978-4-339-05229-9 (高橋) (製本:愛千製本所)

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