

## 食品の物性測定と品質変換の速度論的研究

久保田 清

広島大学生物生産学部, 東広島市 739-8528

2000年3月20日 受付

### はじめに

食品化学工学〔現在の食品工学〕研究室に昭和49年7月赴任してきた。研究室関係の先生方〔保坂秀明, 鈴木寛一, 江坂宗春, 羽倉義雄先生〕のご指導と, 桜井忠二, 仲井敏技官, 三村和子, 兼杉佐代子事務官と大学院生, 学部生等のご支援とによって研究・教育を行ってきた。研究総説は, 成書等<sup>1-6)</sup>で詳しく述べている。本報では業績リストを示し, 研究・教育活動成果を総括して報告する。研究室赴任前後の話題等の随想も取り入れ総説・回想する。温故知新に役立てばと願っている。

### 1. 食品工学研究室赴任前

石炭産業が石油産業に移行した頃に工学部に化学工学科が新設され始めた。応用化学科, 機械工学科, 電気工学科等を学際化した学科が必要になったためである。広島大学で4年生の時に応用化学科の研究室の半分が化学工学科に分家した。頼実正弘先生指導の下で化学工学分野の卒論研究を希望し蒸留実験〔工学部3類ロビー展示装置使用〕を行った。石油コンビナートが技術提携で次々と建設され, プラント設計企業, 石油化学企業等が拡大化して, 学生時代は神武・岩戸景気と言われエンジニアブーム時代であった。英語と難解な設計計算が好きになれなくて日本ゴム研究所に就職した。浦幸三郎課長指導の下で合成ゴム利用の研究を2年間行って革靴用硬質ゴム底開発等の特許〔社長賞〕を取らせて頂いた。経験と勘で配合加工条件を設定していた。製品開発研究に役立つと思われる反応メカニズム解明をする基礎研究をしたく大学院進学を志望した。

広島大学の工学部に大学院がまだ設置されていないで, 名古屋大学の化学工学科に夜間アルバイト〔愛知高校定時制非常勤講師など〕をして大学院進学をした。森田徳義先生指導の下で炭化水素ガス分解の反応工学研究<sup>7)</sup>を大学院5カ年と助手7カ年かけて行った。企業から復帰の要望を受け続けていたが役立つ研究成果に至らなかった。高度成長時代になり優秀な者が企業に行き企業体験の大学教官が少なくなってきて助手となり残った。人材飽和になり難解な微分方程式解析等ができないと研究論文が書けなくなり始めた。大型計算機センターが新設され始めた。数値計算プログラム〔難解な数学が不要〕を用いた速度論的解析に関する研究に興味を持った。東京大学に大型計算機センター新設からカード郵送で使用を開始した。旧帝大設置順に1年1センター設置で名古屋大学に大型計算機センター設置されるまで7年かかった。苦勞をして先駆的となれ特技<sup>8)</sup>となった。データ解析が役立つ他分野への転向を志望した。

広島大学で食品化学工学研究室の助教授公募があり応募した。面接委員から『食品には炭化水素ガス利用はない』と言われた。それに対して『工学部以外で実験データを図, 表, 実験式で報告して内挿の利用している分野に興味を持っている。データ解析をして外挿〔スケールアップ〕的, 汎用的利用できるよう研究・教育したい。食品分野でなくても1次生産, 自然環境, 人体代謝, 医療医薬等の分野でも応募したく思っている。優秀な方の応募があり不採用なときは, 水産化学工学, 畜産化学工学の研究室を増設して欲しい。また応募して来たい』と回答した。採用されたのは, 石油化学工学分野で行ってきたデータ解析法を食品分野に持ち込む支援をして欲しいためであった。その当時, *J. Food Sci.* の論文の中で数式が見られたのは伝熱, 殺菌の速度論的研究をされていた Hayakawa [速川貫一] 先生の論文だけであった。

## 2. 食品工学研究室赴任後

『食品化学工学研究室』を保坂秀明先生が沖田直澄先生〔赴任数年前に転職で故人〕と鈴木寛一先生との支援を得て他大学に先駆けて創設されていた。化学工学科は、応用化学科、機械工学科、電気工学科等の学科レベルの学際化分野であった。創設されていた食品化学工学は、農学部食品製造学、工学部化学工学、家政学部調理学等の学部レベルの学際化分野であった。化学工学関係者を要望しての公募での赴任であった。修士課程が設置されていて予算が心持ち増額され記録計が購入され先駆的な実験装置が手作りされ、乾燥、クッキング速度の測定と速度式設定に関する研究と学会発表が行われていた。データ解析が計算尺と正方眼・片両対数図表で行われていた。外挿〔スケールアップ〕的、汎用的利用できるデータ解析〔現象、反動的メカニズムをモデル化〕には、線形・非線形最小二乗法を用いるデータ解析<sup>9)</sup>が必要であった。本部にある計算センターに通って非線形最小二乗法の FORTRAN プログラム等を用いデータ解析をしてモデル解析式を設定する支援ができた。電子計算機利用の解説<sup>9)</sup>をした。以降に引用多発される研究論文<sup>10-13)</sup>が出せた。電卓が普及してきて線形最小二乗法を用いるデータ解析が可能となった。また、暫くしてパソコンが普及してきて BASIC プログラム<sup>14)</sup>で非線形最小二乗法を用いる簡単なデータ解析が可能となった。

西条統合移転と博士課程設置が計画されていた。保坂先生から『広島には『三矢の訓』があり出来る限りの支援をするから、定年まで7年半の間に研究論文20編位を出して研究室が博士課程設置で取り残されないようにして欲しい』と言われた。『他大学から後任希望と思われる？研究論文別刷りが送付されてきている』と言われた。博士課程設置を希望して学科紹介をした今村経明先生編の『食品工学』<sup>15)</sup>等のフードサイエンス5巻シリーズの出版計画〔引き続き『食品科学便覧』<sup>16)</sup>の出版計画が追加〕があり、共著、分筆もしながらの中での研究論文の執筆となった。1年1報が出せていないで3年オーバードクターだった者が要望に添えるか？チャレンジとなった。『論文の半分を食品工学に半分を関連する食品物性学にして、半分を英文に半分を和文にして、半分を学会誌に半分を学部紀要〔レフリーなしなので後日にシンポジウム、総説、著書等で公表して評価を受ける〕にして、後は博士課程設置の審査員の可否判定に任せたい』と答えた。朝食を1人でして7時前出勤し帰りは家族が夕食入浴後に帰宅してテニスと碁とを忘れ机につく時間を5割増をして頑張った。一連の研究で研究論文が数編出せると、取り急ぎ学会関係以外の装置・製品の開発者、現場技術者などに向けても役立つように、また外部評価も兼ねて総説・解説とした。その結果、好評が得られ次々と関連する学術成書、便覧等の共編、共著、分筆依頼がきた。博士課程審査で合格となり当面に向けての責任が果たせた。商業誌の『研究第一線』<sup>17)</sup>で博士課程設置ができたと報告させて頂いた。

『国立大学の教育研究者は、その当時は企業に役立つが企業がしたくない基礎的研究を行って、企業との共同研究、企業的研究は好ましくない』と言われていた。また、『研究・教育活動は、研究発表、研究論文の執筆、研究成果が役立つように総説・解説と成書等への執筆である。研究・教育の成果を取りまとめをしておかないと利用困難で埋没する。晩年は、次世代に引き継がれるように後継者の養成するのが望ましい』と言われてきた。

研究成果を、商業誌と成書とで総説<sup>1-6,18-22)</sup>とさせて頂ける機会が得られた。学部・大学院の講義・実験ノート、卒論・修論指導で配布した資料等を商業誌で『食品プロセス工学計算法』シリーズで解説、編集支援<sup>23)</sup>、『食品プロセス工学入門』シリーズで解説<sup>24)</sup>、その他の解説など<sup>25-42)</sup>書かせて頂ける機会が得られた。また、一部を『食品工学基礎講座』の成書<sup>21,22)</sup>で紹介させて頂ける機会が得られた。後述する先駆的な経験的速度式の設定と、得られるパラメータの値から反動的メカニズムを推察する方法を提案して『研究ハイライト』<sup>43)</sup>とされる評価が得られた。随想<sup>44-54)</sup>もさせて頂けた。保坂先生を日本食品工業学会の功績賞に『食品工業操作に関する基礎的、応用的研究』で推薦して受理頂けた。あこがれの Hayakawa 先生の下に脳細胞が固化した頃となったが文部省短期在外研究員で出向くことができ、研究指導が得られた。ケニアから1人の先生〔Moturi Samuel Alois 先生〕、中国から3人の先生〔于秀法、呂聯通、姫徳衛先生〕などを研究指導できた。ケニアの Moturi 先生の下に JICA 短期専門家派遣で出向くことができ、教育指導できた。26年間で27件の著書〔全依頼で共編、共著、分筆〕<sup>2,4,6,15,16,20-22,55-73)</sup>が執筆できた。大変幸せであった。現在は、文部省が新制大学に次々と大学院博士課程増設等をして予算不足になって、『企業と共同研究等して外部資金を導入をして欲しい』と言われるようになってきている。優秀で時流の研究テーマにチャレンジされ、学会活動、国際的活動も活発にされ、外部資金導入も活発にされる後継者に恵まれている。そのお蔭で上述

のように研究・教育の成果の取りまとめができ次世代に向けて引き継ぎができた。

食品化学工学研究室は化学工学分野に機械工学等の工学分野の組み込みを積極化させるように『食品工学研究室』と改名してきている。

### 3. 物性測定と速度論的研究

食品は複雑な性状を有し多種多様な成分よりなるものが多い。加熱クッキング等すると、いろいろな物理的、化学的、生物的变化が並発、連起する。全ての品質変換を取り上げ解明して速度論的研究を行っていくことは不可能である。当面する工業的な要求に対しては、代表的な物性の変化を測定して、熱、物質移動現象、反応的メカニズムをモデル解析し、総括的、汎用的な簡便な速度式を設定するのがよいと考えられる。

食品の品質評価は、対象が人間で味、舌ざわり [テクスチャー]、色、香りなど官能的性質によって行われる。性状、成分変化の中で化学的、生物的变化が変性、栄養、変敗などの変化と関係して重要であるが、測定が困難なものが多い。物理的な性状の変化と何らかの相互関係が得られるため、簡便な代表的な取り扱いやすい物理的な性状、物性の変化を測定するとよい。工業的に用いる操作物性は機器により測定でき、出来るだけ簡便、迅速、安価な測定法がよく、測定値に必要最小限の精度、再現性、汎用性があるとよい。

食品の乾燥は、最も簡単な品質変換操作と考えられる。水の蒸発、含水率、重量変化だけでなく、形状変化、細胞構造変化、酵素の失活、芳香成分蒸散、色変化、テクスチャー変化、味変化、表面硬化、吸水性変化などが起こる。含水率、表面積変化を代表的な変化として測定して乾燥速度式を設定するとよい。色変化、吸水性変化などは、含水率との相互関係式を設定しておいて求めるとよい。加熱クッキングでは、重量変化、形状変化、テクスチャー変化、デンプンの糊化、タンパクの変性、味、色、香り変化などが起こり、最も複雑な品質変換操作となる。一番着眼すると良いと考えられる代表的な物性の変化を測定してクッキング速度式を設定するとよい。以上を鑑みて、食品の乾燥速度式<sup>74-79)</sup>、クッキング速度式<sup>80-94)</sup>の設定などに関する研究<sup>2,4,22)</sup>を、先駆的にやってきた。

### 4. 線形・非線形最小二乗法

食品の操作物性値は、品質変換が起こらなくても温度、成分濃度などで変わる。工業的に利用するには物性の条件関係式の設定が必要となる。線形最小二乗法を用いてパラメータが得られる関係式の中から物性の条件関係式が選定されていた。食品の品質変換速度式は、線形最小二乗法とか図表を用いてパラメータを求めることができる速度式が選定されていた。非線形最小二乗法を用いてパラメータを求める方法は、試行錯誤計算となり計算機プログラムの作成が必要となる。また非線形最小二乗法を用いて速度式のパラメータを求めるには、数値積分するプログラムの組み込みが必要となる。非線形最小二乗法を用いた食品の物性の条件関係式の設定と品質変換速度式の設定に関する研究<sup>3,4,21,22)</sup>を先駆的にに行った。線形・非線形最小二乗法の計算機プログラムを先駆的に作成<sup>9)</sup>していたのが利用できた。計算機プログラミングの解説<sup>9,14)</sup>と線形・非線形最小二乗法利用のための FORTRAN, BASIC サブルーチンプログラムの提供<sup>15,38,40)</sup>をしてきた。乾燥実験データ解析に対して有用となる湿度線図の数式化<sup>95)</sup>について先駆的に報告した。汎用される空気、水の各種物性の温度関係式の再評価<sup>96)</sup>を試みた。

### 5. 物性測定と物性の条件関係式の設定

食品の品質変換操作において、重要となる操作物性はレオロジー物性、伝熱物性、拡散物性などである。各種食品において、温度、成分濃度などを変えた物性測定と物性の条件関係式の設定が必要となる。食品は多種多様で各種物性の測定が困難なものも多く、物性値をいかなる方法で求めるかが問題となる。簡便で安価で汎用的な測定法について検討してきた。

#### (1). 各種液状食品の流動特性の測定

懸濁沈降性液状食品、容器付着性液状食品に対して利用できる簡便な細管式粘度計を製作した。磁氣的攪拌をして懸濁沈降性液状食品に、浮子を使用して容器付着性液状食品に利用できる汎用的細管式粘度計<sup>4,21,26)</sup>を考案した。各種デンプン糊化液<sup>13,97,98)</sup>、デンプン懸濁液<sup>99)</sup>、脱脂粉乳水溶液<sup>100)</sup>、ドレッシング、ピューレなど容器付着性液状食品<sup>101)</sup>、各種油状食品<sup>102)</sup>、食品主要成分となる砂糖、食塩などの混合水溶液<sup>103,104)</sup>、

醤油とウスターソース<sup>105)</sup>などの流動特性の測定と流動方程式の設定を行った。デンプン糊化の速度論的研究<sup>13)</sup>をすることを目的として測定したのが始まりである。

工業的目的に対しては、次に示す汎用的な非ニュートン流動方程式を設定していくのがよいと考えた。

$$\gamma = (\tau - \tau_y)^n / K \quad (1)$$

$$K = A \cdot \exp(B/T^m) \quad (2)$$

ここで、 $\gamma$ ,  $\tau$ ,  $T$  は、せん断速度、せん断応力、試料温度である。 $\tau_y$ ,  $n$ ,  $K$ ,  $A$ ,  $B$ ,  $m$  は、実験から求めることになるパラメータである。 $m = 1$  のときの式(2)は一般によく利用されている Andrade の式である。多成分のときのパラメータ表示法<sup>104)</sup>についても関係式を示した。装置の詳細とパラメータの測定結果については成書などに報告<sup>4,21,26)</sup>してあり参照されたい。式(1)のパラメータの計算に自作の非線形最小二乗法の計算機プログラムを用いることができ研究の展開を容易にした。式(1)の非線形パラメータを求める計算機プログラムを本誌<sup>98)</sup>と計算機プログラムの解説シリーズ<sup>9)</sup>の中で提供した。プログラム数行を変えれば式(1)以外の各種代数式の非線形パラメータの算出にも利用できる。

### (2). 各種液状食品の密度の測定

食品の密度に対しても、流動方程式のパラメータと同様に温度、濃度などの条件を変えて測定して条件関係式として表しておく、装置設計、操作条件計算などに対して有用となる。多成分のときの密度の条件関係式<sup>104)</sup>を示した。

### (3). 軟固体状食品のレオロジー特性の測定

軟固体状食品のレオロジー特性測定に便利なレオメータなどが市販され始めてきたが高価であった。ジャガイモスライスなどを加熱クッキングしたときの硬さの変化の測定に便利な簡便な衝撃貫通試験装置<sup>82,85)</sup>と圧縮破断特性測定装置<sup>89,90)</sup>とを手作りした。発展途上国の留学生の研究指導に有用となった。

### (4). パースト状食品のレオロジー特性の測定

小麦ドウなどペースト状食品のレオロジー特性の測定に便利で加熱クッキング実験も可能となる円管型式の加熱クッキング装置<sup>91)</sup>を自作した。産学共同研究が可能な時期でなかったため食品の品質変換の連続化の実験装置として多様化した利用に至らなかった。

### (5). 固体状、ゲル状食品の熱拡散率の測定

球状ジャガイモを加熱クッキングすると硬さの変化〔クッキング速度〕が部位により変わる。熱移動が影響する。熱拡散率の測定が必要となる。各種形状の固体状食品の熱拡散率の測定<sup>106-110)</sup>を行った。卵のゲルの熱拡散率の測定は試料容器<sup>108)</sup>を用いて測定した。容器壁の温度が変化するので伝熱方程式を差分して非線形最小二乗法を用いる計算機プログラムの作成が必要となった。熱拡散率の計算に自作の非線形最小二乗法の計算機プログラムを用いることができ先駆的に研究の展開ができた。計算機プログラムを利用して頂けるように計算機プログラムの解説シリーズ<sup>9)</sup>の中で提供した。

## 6. 品質変換速度式の設定

### (1). 品質変換率の定義

食品を加熱クッキングなど品質変換すると各種の性状、成分の変化が起こる。着目性状、成分の測定値  $y$  [例えば kg] を変換処理時間  $\theta$  [s] との関係として実験データを求めることになる。 $y$  の初期値と平衡値を求め、それぞれ  $y_0$ ,  $y_c$  とおいて次式で品質変換率  $x$  [-] を定義した。

$$x = (y - y_0) / (y_c - y_0) \quad (3)$$

ここで  $x$  は、 $y = y_0 \rightarrow y_c$  に対して、 $x = 0 \rightarrow 1$  となるように定義したものである。

### (2). 汎用的な経験的速度式の設定

食品の品質変換処理は複雑で、現象、反応的メカニズムの解明が困難である。取り敢えずは、次に示す汎用的な経験的速度式を設定するとよい。速度データ  $x$  [-] vs.  $\theta$  [s] が、べき数型曲線となる場合には式(4)で示す  $n$  次速度式、S 字型曲線となる場合には式(5)で示す S 字型  $n$  次速度式を、経験的速度式<sup>4,22,111,112)</sup>

として利用するとよい。

$$dx/d\theta = k \cdot (1-x)^n \quad (4)$$

$$dx/d\theta = k \cdot (1-x)^n (x+\alpha) \quad (5)$$

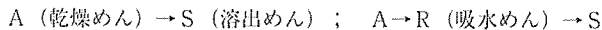
$$k = A \cdot \exp [-E/(R_g \cdot T)] \quad (6)$$

ここで、 $R_g$  [J/(mol·K)],  $T$  [K] は気体定数、変換処理温度である。 $k$ ,  $n$ ,  $\alpha$ ,  $A$ ,  $E$  は実験から求めることになるパラメータである。 $n$  と  $\alpha$  とが曲線の形状を表すパラメータとなる。式(3)の  $y_n$  の値が実験的に得られないときはパラメータ扱いとして求めることができる。

加熱クッキングなど反応的な品質変換処理では、 $k$  は式(6)の Arrhenius 式で表される。総括的乾燥速度式として式(4)を用いている。乾燥速度が表面積に比例するような場合には  $k$  に試料表面積  $S$  [m<sup>2</sup>] を加味して表すとよい。パラメータ数を少なくして S 次型曲線を幅広く表すことができる式(5)の提案が本研究の独創的な点である。式(4)と式(5)の速度パラメータを非線形最小二乗法を用いて計算して何れの式が良いかを選定する計算機プログラムを作成し本誌で報告<sup>11),12)</sup> している。汎用的な経験的速度式の利用方法と加熱クッキングへの利用例について成書など<sup>4),22)</sup> で紹介してきている。汎用的な経験的速度式の利用と得られる速度パラメータの値を用いて反応的メカニズムを推定する方法の報告が化学工学会の会誌で研究ハイライト<sup>43)</sup> となった。

### (3). 反応的メカニズムを考慮した速度式の設定

食品の品質変換処理をするときに、高温になると分解が起こるため、高温長時間処理するのが良いと言えない。適当な変換処理温度があり、高温短時間処理と低温長時間処理との何れが好ましいかなどが問題となる。大まかでも並発的、連発的、触媒作用的、阻害作用的等のような反応的メカニズムで進行しているか推察して速度式を設定するとよい。参考として、めん類の加熱水クッキングを行って、吸水・溶出を考慮した次のモデルによるクッキング速度式の設定について報告<sup>88)</sup> してきている。



連立常微分方程式となるが、上記の経験的速度式の速度パラメータ計算のプログラムを参考にしてパラメータを求めることができる。

### (4). 現象を考慮した速度式の設定

試料が大きくなると乾燥、加熱クッキング等の速度が低下する。水分拡散、伝熱速度等が影響するためである。殻状吸水モデルによる加熱クッキング速度式<sup>89)</sup>、殻状乾燥モデルによる乾燥速度式<sup>74)</sup> の設定についての検討を報告してきている。熱拡散率を測定<sup>106)</sup> し伝熱速度式を式(5)、式(6)と連立させたクッキング速度式の設定<sup>125)</sup> について報告した。試料の大きさが変わるなどしても利用できるクッキング速度式となる。

### (5). 装置・プロセスの設計

装置・プロセスの設計計算は、反応的メカニズムの解析をしてえられる品質変換速度式、拡散・伝熱速度式、関連する物性の条件関係式などを設定して行うことができる。設計関係式が得られると装置型式の選定、最適操作条件の設定、工業プロセスの設計計算<sup>27),30)</sup> が可能となる。各種装置については『食品プロセス工学入門』シリーズ<sup>24)</sup> の後半に解説しており参考されたい。

## 7. マイクロ波加熱による品質変換

食品を加熱して品質変換する加熱方法としてマイクロ波加熱がある。迅速加熱でき制御容易で装置加熱をしないでよいなどの長所がありながら工業的利用があまりされていないのは、加熱むらが発生するなどの問題点がありデータ解析が難解であるためであった。食品のマイクロ波加熱の加熱特性の測定とデータ解析に関する研究<sup>5,6,113-124)</sup> を行ったが満足に至る成果が得られなかった。中国から年配の先生方の研究指導を短期で引き受けたときに役立つ研究テーマとなった。『簡便な実験をしてパソコン利用のデータ解析を学び帰

国時に研究論文の別刷り [学部紀要が役立った] を持って帰りたい』と言われたのに対して喜ばれる研究テーマとなった。電子レンジを寄贈したら帰国後も研究を継続された。

## 8. 研究・教育指導と引き継ぎ

学部生に対して『食品工学基礎論』[単位・次元解析法, 物質・エネルギー・経済収支論, 流動・沈降, 拡散・伝熱速度論, 反応速度論など] の講義担当と, 『食品工学実験』の分担 [濾過実験, 乾燥実験] をしてきた。大学院生に対しては『食品化学工学』で, 食品の物性測定法, 品質変換の速度論的解析法, 各種装置構造, 装置設計・操作計算法, データ解析法, 速度式の数値計算法と線形・非線形最小二乗法, BASIC・FORTRAN プログラミングなどについて講義をしてきた。卒業論文, 修士論文の研究指導では, 食品のクッキング, 乾燥, マイクロ波加熱などを例として『食品の物性測定と速度論的研究』を課題としてきた。以上の26年間にわたる研究・教育活動の内容を取りまとめ, 他大学の関連する学部生, 大学院生と, 装置・製品の開発者, 現場の技術者などに向けて, 商業雑誌に『食品プロセス工学入門』シリーズ<sup>24)</sup>として解説した。研究室の先生方の支援が加わって時間的な余裕が得られての成果であった。

食品は複雑な性状をもち複雑な品質変換をするため, 既往の化学工学の成書, 便覧だけでは得られない部分が多々あった。研究・教育活動の『引き継ぎ』の締めくくりとして, 『食品プロセス工学入門, 全38章』シリーズ<sup>24)</sup>を基礎編にし, 矢野俊正, 桐栄良三先生監修の『食品工学基礎講座, 全10巻』<sup>21,22)</sup>を応用編にし, 保坂先生と故神保元二先生と木村進先生共編の『食品プロセス工学計算法, 全15章』シリーズ<sup>23)</sup>を設計編にして『食品工学便覧』が発刊できないか提供を鑑みたことがあった。体調低下に勝てなくなりました。次の世代の方には是非とも発刊して欲しい。

『食品プロセス工学計算法』の編集支援をして出版社に成書にする依頼をした。『難解で採算が取れる部数が売れない』と言われてスポンサーが探せなかったのが心残りである。第一線でご活躍の多忙な先生方に, 貴重な時間をさいて頂いて理解を容易にするよう『例題をつけるご無理な依頼!』をして完成させた。国際的に皆無なもので貴重なものである。スポンサーがつくと是非とも『設計ハンドブック』的なものとして発刊して欲しい。

## 9. 食品工業発展の展望

食品工業を発展させるには, オンリーワンとなれる製品開発, 製造装置・プロセスの構築が必要となる。第1次産業と連携して良品廉価な素材の供給, 第3次産業と連携して良品廉価な製品の販売が必要となる。異業種交流, 産官学連携, 国際的連携などが必要となる。情報収集, 将来展望に落ち度がないようにする必要がある。優秀な人材が確保できるとオンリーワンの情報, 物 [素材, 製造装置・プロセス, 製品] が得られる。前述の『食品プロセス工学入門』シリーズなど<sup>21,24)</sup>を人材養成に役立てて欲しい。これまでの企業発展で得られた各種技術の中から, アメリカ式でも開発途上国式でも真似が出来ない分野の技術を大切に磨きをかけるとよい。オンリーワンとなる新製品は, 製造装置・プロセスの開発によって, ありきたちの素材からでも得られる。精米機, 包餡機などにみられるような世界にはばたける機器の開発等を期待したい。『自然に恵まれた日本特有の風土と, 繊細的・勤勉的な国民性に合った生産・製造・流通産業体制の構築と発展』を期待したい。

## 10. 学部紀要の思い出

学部紀要委員会と学部図書紀要委員会では, 当番で委員長をさせて頂いた。当番で支部長をさせて頂いた教職員組合生物生産学部支部と共に26年間の中で大変思い出が深いものとなっている。取り分け, 山本禎紀先生が本誌の『総説・回想録』と最終講義の中で『本誌のあり方!』を述べられたのが印象に残った思い出となった。

学部紀要の恩恵に長年預かってきた。山本先生からの外部評価に関する発言が一番有り難い発言となった。あせって不名誉を起こさないように, 上述したように広範囲に外部評価を受けるよに務めることができ, その結果, 博士課程の設置委員会を合格でパスができて当初の任務の追行ができた。学部紀要は中国からの3人の年輩の先生らの研究指導にも上述したように有用であった。

生物生産学部は、山本先生が50周年誌に述べられているように自慢できるリンカーン的な『構成員による構成員のための第1教授会』を構築してきていた。第1教授会で助教授のときに『内部者の評価なしでは助教授以下の者の夢がなくなる人事です』と発言したことがあった。引き続き『無記名投票で了承の可否』と発言された先生があった。その結果第2教授会に人事が戻されたことが一度あった。その後選考委員会が内部者の業績評価を行った。

恩師が学協会で活躍していない分野での学協会誌の投稿で当初に悩まされた。レフリーの先生とは研究テーマが近くて論文を出させたくないと思われ悩まされたことがあった。この学会ならこの研究テーマでないと悩まされるのではないかと考えさせられた。先駆的なことを学会口頭発表し取り急ぎ論文とするのに学部紀要が大変役立った。松本幸雄先生らが、農学、工学、家政学の学協会組織を超越したシンポジウムを構築され毎年開催され若手にもチャンスを与えて下さっていた。7年毎に3回の講演依頼を受けて嬉しく思った。最近では、学協会が細分化しレフリー予想の先生と事前に討議でき、国際誌が多くなり英訳チェックも容易になり、学位の申請も方々に出せるようになり、上述のような悩みが解消されてきている。学部紀要の『総説・回想録』は、『温故知新』に向けて役立つので大変に良いと思う。

## おわりに

学部卒論生に対しては、基礎関連部分の解説、研究テーマの設定、文献講読、実験装置の製作、各種条件を設定しての実験、学内口頭発表、卒業論文の作成を研究指導した。大学院生に対しては更に学会口頭発表、学部紀要・学会誌論文に投稿、学位論文の作成を研究指導した。一連の研究を行って、口頭・論文発表が蓄積されると、学会関係以外の装置・製品の開発者、現場技術者などに向けても役立つように商業誌などに総説・解説の執筆を行ってきた。その結果26年間で27件著書、便覧〔全依頼で共編、共著、分筆〕の執筆依頼を受けた。石油工学の分野が人材余りになったときに食品工学に転向できていなかったならば、著書、便覧の執筆依頼は数件であったと考えられる。26年前の面接委員の4人の先生方に深謝している。

研究の継続をする方が好ましい場合もあるが、いつまでも研究と口頭・論文発表を続けると、若い引き継ぐ者の研究費の確保を横取りするなどして好ましくない場合がある。学会などの役務も引き継ぐ者が出ると10年位で交替しないと次世代の養成ができない。体験を半分保持し新規分野に半分チャレンジすることで進歩がある。石炭化した者が、高座に鎮座して『他打自栄』[造語]的になると引き継ぎ者が養成されなくなる。炭酸ガスとなって大気に出過ぎると地球環境を悪化させる。研究・教育の成果は取りまとめをしておかないと利用困難で埋没する。以上を鑑みて対応してきた。

人間は、家庭、近隣、教育現場、職場、地域、国家、国際社会の中で、支援を受け貢献する喜びを感じて幸せである。『他人に迷惑を掛けない社会人〔小学校担任：木原徳三先生〕』、『人間は考える輩〔広大教養部：門秀一先生〕』、『夢、温故知新、自他共栄』が好きな言葉で、『他打自栄』を喜ぶ人間が好きでない。人類、研究室、学会も引き継ぐ者が居ないと夢が無となり、著書なども読み引き継ぎを書く者が現れないと白紙と同じとなる。

食品工学の研究・教育活動が26年間でできたのは、電子計算機プログラムだけを持って赴任して来たときに、保坂先生が『三矢の訓』を語られ引き継ぐ若い者へ研究費、学部生・大学院生を廻して下さったからである。日本食品工業学会に向けた論文が10報位になったときに業績題目『食品工業操作に関する基礎的、応用的研究』として功績賞推薦書〔昭和56年10月7日付〕を送付した。保坂先生の食品工学創設的、人材養成的なご貢献を理解し受理して下さった学会に深謝している。

研究・教育活動に向けて以外においても、体験させて頂けた『温故知新』、『自他共栄』などを忘れないでいきたい。実験、生活行動、データ解析の中にある真理を探究し続け古今前後左右上下夢の中の『小さな心・無の存在』になれないかなと思っている。個人、小さな集団を孤立化させ『他打自栄』的になり、対立的になり荒廃的な社会に向かわせないで欲しいと願っている。先ずは安住できる研究室、学部、大学を構築して欲しい。他人に出来ないで自分の『個性、立場、体験、能力』で出来るやりがいある『一生一品』がないかを考え続けていきたい。

最後に、中継ぎを終えるに際して、研究・教育活動の成果が埋没しないように『総説・回想録』を執筆させて頂ける機会が与えられたことを深謝致します。生物生産学部の益々の発展を祈念致します。

## 業績リスト

- 1) 久保田清・細川嘉彦・鈴木寛一・保坂秀明, 1979, 食品の物性測定と蒸煮, 糊化速度. ニューフードインダストリー, 21(3):33-48; 21(4):36-47.
- 2) 久保田清ほか, 1979, 食品の物性測定と蒸煮, 糊化速度 (食品の物性, 第5集, 松本幸雄編), pp. 67-93, 食品資材研究会, 東京.
- 3) 久保田清, 1986, 食品の物性測定と各種加工処理における速度論的研究. ニューフードインダストリー, 28(2):55-67; 28(3):72-83; 28(4):58-67.
- 4) 久保田清, 1986, 食品の物性測定と各種加工処理における速度論的研究. (食品の物性, 第12集, 松本幸雄ほか編), pp. 21-52, 抜け3頁, 食品資材研究会, 東京.
- 5) 久保田清・張 戈・姫 徳衡・羽倉義雄・黒川眞行・呂 聯通・于 秀法, 1993, 食品のマイクロ波加熱における速度論的考察. ニューフードインダストリー, 35(12):67-79; 36(3):72-80.
- 6) 久保田清ほか, 1995, 食品のマイクロ波加熱における速度論的研究. (食品の物性, 第19集, 山野善正, 松本幸雄編), pp. 37-57, 食品資材研究会, 東京.
- 7) 久保田清ほか, 1969, プロパン熱分解の反応速度, 反応器設計. 工業化学雑誌, 72(3):616-620; 72(12):2522-2526; 1970, 反応速度式パラメータの算出. 化学工学, 34(6):612-617; KUBOTA, K., *et al.*, 1971, Kinetic Studies of Thermal and Catalytic Cracking of Light Hydrocarbons. *Memoirs Faculty Engineering, Nagoya University*, 23(1):63-101; 久保田清ほか, 1974, プタン接触分解の量論反応速度, プロパン熱分解反応の遊離基素反応速度, プタン接触分解反応速度式パラメータの算出. 日本化学会誌, 31(7):1276-1282; 32(8):1393-1398; 36(12):2391-2395.
- 8) 久保田清ほか, 1973, 実験データによるパラメータの計算: 線形最小二乗法, 非線形最小二乗法, 非線形最小二乗法における問題点. 名古屋大学大型計算機センターニュース, 4(3):234-237; 4(4):318-326; 4(6):501-504.
- 9) 久保田清ほか, 1977, 食品工業関係者のための電子計算機入門. 食品工業, 20(10):65-72; 20(12):66-72; 20(14):49-55; 20(16):60-73; 20(18):55-66; 久保田清ほか, 1979, 食品工業関係者のための電子計算機入門, PART II. 食品工業, 22(8):66-71; 22(10):49-56; 22(12):73-80; 22(14):59-68; 22(16):68-72; 22(18):79-84; 22(20):73-80.
- 10) SUZUKI, K., K. KUBOTA, M. OMICHI and H. HOSAKA, 1976, Kinetic Studies on Cooking of Rice. *J. of Food Science*, 41(5):1180-1183.
- 11) SUZUKI, K., K. KUBOTA, T. HASEGAWA and H. HOSAKA, 1976, Shrinkage in Dehydration of Root Vegetables. *J. of Food Science*, 41(5):1189-1193.
- 12) SUZUKI, K., M. AKI, K. KUBOTA and H. HOSAKA, 1977, Studies on the Cooking Rate Equations of Rice. *J. of Food Science*, 42(6):1545-1548.
- 13) KUBOTA, K., Y. HOSOKAWA, K. SUZUKI and H. HOSAKA, 1979, Studies on the Geratinization Rate of Rice and Potato Starches. *J. of Food Science*, 44(5):1394-1397.
- 14) 久保田清, 1982, マイコン利用と基本 BASIC プログラム作成の要点. 食品工業, 25(20):68-72; 25(22):73-77; 25(24):73-77.
- 15) 久保田清, 1975, 食品工業の制御システム, 電子計算機の利用方法など. (食品工学, 今村経明編), pp. 181-188, 共立出版, 東京.
- 16) 久保田清, 1978, 物理編:物性定数・物性測定法, 製造編:装置設計に必要な数値など. (食品科学便覧, 食品科学便覧編集委員会編), 636頁中各所41頁執筆, 共立出版, 東京.
- 17) 久保田清, 1986, 研究第一線. 食品工業, 29(8):目次の次の頁.
- 18) 久保田清・保坂秀明, 1980, 食品の調理と速度論的考察. 調理科学, 13(4):264-270.
- 19) 久保田清ほか, 1981, 食品加工処理における速度論的研究法. 食品工業, 24(10):41-45; 24(12):73-79; 24(14):73-78.
- 20) 久保田清, 1980, 食品の熱処理:伝熱理論, クッキング. (食品化学工学, 化学工学協会編), pp. 44-51, 67-69, 楨書店, 東京.



- 21) 久保田清, 1989, 流体輸送 (食品工学基礎講座 2 : 輸送と洗浄, 矢野俊正, 桐栄良三監修), pp. 1-62, 光琳, 東京.
- 22) 久保田清, 1990, 品質変換の速度論, クッキング (食品工学基礎講座10 : 食品反応工学, 矢野俊正, 桐栄良三監修), pp. 1-45, 47-78, 光琳, 東京.
- 23) 久保田清ほか, 1981, 食品プロセス工学計算法, 第1章 : 収支計算と反応速度, 第4章 : 伝熱, 食品工業, 24(6) : 41-50 ; 24(16)65-75.
- 24) 久保田清, 1993, 食品プロセス工学入門, 第1章-第5章, 食品工業, 36(16) : 78-81 ; 36(18) : 72-75 ; 36(20) : 75-79 ; 36(22) : 83-86 ; 36(24) : 76-80 ; 1994, 食品プロセス工学入門, 第6章-第17章, 食品工業, 37(2) : 86-89 ; 37(4) : 85-88 ; 37(6) : 84-88 ; 37(8) : 85-88 ; 37(10) : 90-95 ; 7(12) : 86-91 ; 37(14) : 86-90 ; 37(16) : 88-92 ; 37(18) : 84-89 ; 37(20) : 88-92 ; 37(22) : 89-93 ; 37(24) : 91-96 ; 1995, 食品プロセス工学入門, 第18章-第28章, 食品工業, 38(2) : 79-85 ; 38(4) : 87-92 ; 38(6) : 88-94 ; 38(8) : 88-93 ; 38(10) : 88-93 ; 38(14) : 79-84 ; 38(16) : 88-92 ; 38(18) : 86-91 ; 38(20) : 89-93 ; 38(22) : 87-91 ; 38(24) : 87-91 ; 1996, 食品プロセス工学入門, 第29章-第38章, 食品工業, 39(2) : 89-93 ; 39(4) : 89-93 ; 39(6) : 88-94 ; 39(8) : 86-93 ; 39(10) : 89-94 ; 39(12) : 91-95 ; 39(14) : 88-93 ; 39(16) : 86-91 ; 39(18) : 82-85 ; 39(20) : 86-91.
- 25) 久保田清ほか, 1980, 食品技術者のためのシステム制御入門, 食品工業, 23(18) : 57-62 ; 23(20) : 57-62 ; 23(22) : 82-88.
- 26) 久保田清, 1982, 各種液状食品の流動特性の測定法と流動方程式の設定結果, 食品工業, 25(12) : 57-61 ; 25(14) : 44-50.
- 27) 久保田清, 1987, 食品加工処理装置の設計, 操作計算法入門, 食品工業, 30(6) : 44-52.
- 28) 久保田清, 1982, 食品加工操作における速度論的解析法, 食品加工技術, 2(2) : 103-108.
- 29) 久保田清, 1988, 食品工業で活用されている各種輸送機器について, 食品加工技術, 8(1) : 2-6.
- 30) 久保田清, 1994, 食品加工処理装置における簡便な設計, 操作計算法, 食品加工技術, 14(1) : 1-5.
- 31) 久保田清, 1982, 食品調理機械開発のための化学工学的技術, ケミカルエンジニアリング, 27(2) : 54-58.
- 32) 久保田清, 1983, 食品乾燥装置設計のための食品化学工学的考察, ケミカルエンジニアリング, 28(1) : 67-73.
- 33) 久保田清ほか, 1983, 液状食品の流動特性, ケミカルエンジニアリング, 28(3) : 51-56.
- 34) 久保田清ほか, 1983, 固体状食品のレオロジー特性測定のための簡便な測定装置試作と利用, ケミカルエンジニアリング, 28(7) : 48-52.
- 35) 久保田清, 1983, ゲル状食品のレオロジー的特性測定, ケミカルエンジニアリング, 28(11) : 54-58.
- 36) 久保田清, 1990, マイクロ波加熱における加熱効率の測定, ケミカルエンジニアリング, 35(11) : 35-39.
- 37) 久保田清, 1994, 食品工業へのマイクロ波加熱の利用と展望, ケミカルエンジニアリング, 39(2) : 59-62.
- 38) 久保田清, 1987, 電子計算機による実験データの表式化法について, ニューフードインダストリー, 29(4) : 51-57.
- 39) 久保田清ほか, 1994, 非等温プロセスにおける速度パラメータの簡便な設定法について, ニューフードインダストリー, 36(4) : 56-60.
- 40) 久保田清, 1995, 線形, 非線形最小二乗法のBASICプログラムの作成, ニューフードインダストリー, 37(7) : 65-69.
- 41) 久保田清, 1996, 食品製造における安全性確保, 高能率化と食品工学, ニューフードインダストリー, 38(6) : 7-10.
- 42) 久保田清, 1992, 食品煮沸における速度論的取り扱い, デイリーフード, 12(7) : 21-25.
- 43) 久保田清・坂坂秀明, 1981, 研究ハイライト : 食品のクッキング機構の推察について, 化学工学, 45(2) : 108-111.

- 44) 久保田清, 1992, 食品化学工学と食品工学. 食品化学工学ニュースレター, 5:2.
- 45) 久保田清, 1992, 食品の品質変換と化学工学. ケミカルエンジニアリング, 37(1):74-76.
- 46) 久保田清ほか, 1993, 食品化学工学. ケミカルエンジニアリング, 38(1):68-71.
- 47) 久保田清, 1994, 食品の品質変換と物性評価. ケミカルエンジニアリング, 39(7):23-27.
- 48) 久保田清, 1996, 食品化学工学の現状と将来. ケミカルエンジニアリング, 41(6):1-5.
- 49) 久保田清, 1984, 食品工業発展のための雑感. 食品加工技術, 4(3):4-6.
- 50) 久保田清, 1983, 食品工業発展のための食品化学工学的研究. ニューフードインダストリー, 25(1):1-3.
- 51) 久保田清, 1993, 食品工業発展のための食品工学. ニューフードインダストリー, 35(2):21-23.
- 52) 久保田清, 1994, 食品の高品位化に向けての食品工学. ニューフードインダストリー, 36(2):14-17.
- 53) 久保田清, 1995, 戦後50年回想と地球環境にやさしい食糧資源生産と食品製造. ニューフードインダストリー, 37(1):6-9.
- 54) 久保田清, 1997, 食品製造装置と食品工学と三矢の調. ニューフードインダストリー, 39(1):55-57.
- 55) 久保田清, 1981, 食品製造の共通設備:システム制御設備. (食品設備実用総覧, 食品設備実用総覧編集委員会編), pp. 359-369, 産業調査会, 東京.
- 56) 久保田清ほか, 1983, 汎用的細管形粘度計による液状食品の流動特性の測定に関する研究, 食品の物性測定と各種加工処理における速度論的研究. (食品化学工学, 食品化学工学研究会編), pp. 19-24, 83-88, 化学工学協会.
- 57) 久保田清ほか, 1983, 液状食品の流動特性, 食品調理機械開発のための化学工学的技術, 食品乾燥装置設計のための食品化学工学的一考察. (現場の食品化学工学, 新食品技術振興会編), pp. 366-371, 372-376, 377-383, 化学工業社, 東京.
- 58) 久保田清ほか, 1984, 乾燥方法と食品の品質:体積収縮と表面硬化. (乾燥食品事典, 木村進総編集), pp. 168-171, 朝倉書店, 東京.
- 59) 久保田清ほか, 1984, 固体食品のレオロジー特性測定のための簡便な測定装置試作と利用, ゲル状食品のレオロジー的特性測定. (プロセス開発のための測定技術, 出版社編), pp. 67-71, 110-114, 化学工業社, 東京.
- 60) 久保田清, 1985, 食品乾燥装置設計のための食品化学工学的一考察. (増補乾燥, 出版社編), pp. 362-368, 化学工業社, 東京.
- 61) 久保田清, 1984, ゲル状食品のレオロジー的特性測定. (増補データのとり方と使い方, 出版社編), pp. 260-264, 化学工業社, 東京.
- 62) 久保田清, 1985, 食品製造の共通設備:システム制御設備. (食品製造工程と装置機器:食品工場の付帯設備, 編集委員会編), pp. 359-369, 産業調査会, 東京.
- 63) KUBOTA, K. *et al.*, 1985, Over-all Drying Rate Equations of Foodstuffs. (Drying' 85, Toei, R. *et al.* Ed.), pp. 324-329, Hemisphere Publishing Corporation, Washinton.
- 64) 久保田清ほか, 1988, マイクロ波加熱における液状試料のエネルギー吸収と円柱状ジャガイモのクッキング速度式の設定に関する研究. (食品化学工学2, 食品化学工学研究会編), pp. 81-86, 化学工学協会, 東京.
- 65) 久保田清, 1989, 油脂の抽出法. (総合脂質科学, 鹿山光編), pp. 55-64, 恒星社厚生閣, 東京.
- 66) 久保田清, 1991, システム制御技術と装置:システム制御技術の開発と進歩. (新しい食品加工技術と装置, 小原哲二郎, 久保田清ほか編), pp. 468-471, 産業調査会, 東京.
- 67) 久保田清ほか, 1991, 食品のマイクロ波加熱における速度論的研究. (食品化学工学3, 食品化学工学特別研究会編), pp. 18-23, 化学工学会, 東京.
- 68) 久保田清, 1990, 乾燥装置の選定・操作・トラブル対策の実際:食品のマイクロ波加熱乾燥. (新しい乾燥技術の実際, 出版社編), pp. 263-278, 技術情報協会, 東京.

- 69) 久保田清, 1993, 生物資源の利用: 食品製造と品質評価. (生物生産学のプロローグ, 角田俊平ほか編), pp. 119-121, 共立出版, 東京.
- 70) KUBOTA, K. *et al.*, 1994, Studies on the Microwave heating-rate Equations of Foods, Studies on the Cooking-rate Equations of Foods. (Development in Food Engineering, Yano, T. *et al.* Ed.), pp. 507-509, 510-512, Blackie Academic & Professional, London.
- 71) 久保田清ほか, 1996, マイクロ波, 遠赤外線, 近赤外線. (食品物理化学, 松野隆一, 矢野俊正編), pp. 252-264, 文永堂出版, 東京.
- 72) 久保田清, 1998, 圧延, 日乾など. (丸善食品総合辞典, 五十嵐脩ほか編集代表), 各所, 丸善, 東京.
- 73) 久保田清, 執筆中. (食品大百科事典, 農林水産省食品総合研究所編), 朝倉書店, 東京.
- 74) KUBOTA, K., K. SUZUKI, H. HOSAKA, R. HIROTA and K. IHARA, 1976, Studies of Drying-rate Equations based on Drying-shell Models. *J. of Fac. of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima Univ.*, **15**(1) : 1-15.
- 75) KUBOTA, K., H. KOBATAKE, K. SUZUKI and H. HOSAKA, 1977, Drying-rate Equations of Agar Gel and Carrot on Drying-shell Model. *J. of Fac. of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima Univ.*, **16**(2) : 123-130.
- 76) KUBOTA, K., K. SUZUKI, H. HOSAKA, Y. HOSOKAWA and K. HIRONAKA, 1977, Studies of Drying-rate Equations based on Uniform Drying Models. *J. of Fac. of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima Univ.*, **16**(2) : 131-144.
- 77) 久保田清・松本俊也・鈴木寛一・保坂秀明, 1981, 各種形状のジャガイモの総括的乾燥速度式. 日本食品工業学会誌, **28**(9) : 491-495.
- 78) 久保田清・松本俊也・鈴木寛一・長谷川勉・保坂秀明, 1981, ジャガイモの乾燥収縮式と速度式の設定に関する考察. 広島大学生物生産学部紀要, **20**(2) : 99-113.
- 79) 松本俊也・久保田清・鈴木寛一・保坂秀明, 1982, 根菜類食品の乾燥収縮式と乾燥速度式. 日本食品工業学会誌, **29**(4) : 238-244.
- 80) KUBOTA, K., K. SUZUKI, H. HOSAKA, K. HIRONAKA and M. AKI, 1976, Studies of Cooking-rate Equations based on Water-soaking-shell Models. *J. of Fac. of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima Univ.*, **15**(2) : 135-149.
- 81) 久保田清・弘中和憲・鈴木寛一・保坂秀明, 1978, 高含水率の浸漬米を得るための過熱水蒸気処理米の浸漬に関する研究. 日本食品工業学会誌, **25**(5) : 251-256.
- 82) KUBOTA, K., K. OSHITA, Y. HOSOKAWA, K. SUZUKI and H. HOSOKAWA, 1982, Studies of Cooking-rate Equations of Potato and Sweet Potato Slices. *J. of Fac. of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima Univ.*, **17**(2) : 97-106.
- 83) KUBOTA, K., 1979, Studies on the Soaking and Cooking Rate Equations of Soybean. *J. of Fac. of Applied Biological Science, Hiroshima Univ.*, **18**(1) : 1-9.
- 84) KUBOTA, K., 1979, Study of the Rate Equation for the Soaking and Cooking of Red Bean. *J. of Fac. of Applied Biological Science, Hiroshima Univ.*, **18**(2) : 161-169.
- 85) 久保田清・高崎かはる・藤本真紀子・鈴木寛一・保坂秀明, 1980, ダイコンおよびニンジン薄片の蒸煮速度式に関する研究. 日本食品工業学会誌, **27**(3) : 157-160.
- 86) 久保田清・藤本真紀子・鈴木寛一・保坂秀明, 1980, スバゲティおよびひやむぎのクッキング速度式に関する研究. 日本食品工業学会誌, **27**(8) : 381-387.
- 87) KUBOTA, K., K. OMURA, M. FUJIMOTO, K. SUZUKI and H. HOSAKA, 1980, Studies on the Cooking-rate Equations of Udon, Somen, Soba and Chukasoba. *J. of Fac. of Applied Biological Science, Hiroshima Univ.*, **19**(2) : 121-132.
- 88) 久保田清・藤本真紀子・鈴木寛一・保坂秀明, 1981, 食品のクッキングにおける吸水, 溶出速度式の設定に関する研究. 広島大学生物生産学部紀要, **20**(1) : 27-33.

- 89) MOTURI, S. A., K. KUBOTA, K. SUZUKI and M. ESAKA, 1983, A Laboratory Assembled Simple Apparatus for Objective Measurements of Mechanical Parameters. *J. of Fac. of Applied Biological Science, Hiroshima Univ.*, **22**(1) : 43-54.
- 90) KUBOTA, K., M. ESAKA and K. SUZUKI, 1984, Studies on Simple Convenient Textuasl Instrument and on Physical Properties of Cooked Soybean. *J. of Fac. of Applied Biological Science, Hiroshima Univ.*, **23**(1) : 9-24.
- 91) KUBOTA, K., M. NAGAI, E. SHIGEMOTO, M. KUROKAWA, K. SUZUKI and M. ESAKA, 1987, Studies on the Rheological Properties of Wheat Four Paste and Cooked Udon. *J. of Fac. of Applied Biological Science, Hiroshima Univ.*, **26**(1, 2) : 1-14.
- 92) 張 戈・久保田清・羽倉義雄, 1993, ジャガイモのクッキングにおける温度変化とクッキング速度に関する研究. 広島大学生物生産学部紀要, **32**(1) : 23-31.
- 93) 張 戈・久保田清, 1993, ジャガイモのクッキング進行中におけるクッキング速度の関する研究. 広島大学生物生産学部紀要, **32**(2) : 127-133.
- 94) 久保田清・張 戈・羽倉義雄, 1993, 簡便な方法を用いた非等温プロセスにおける速度パラメータの設定. 広島大学生物生産学部紀要, **32**(2) : 135-143.
- 95) 久保田清・羽倉義雄, 1994, 湿度線図における物性に対する簡便な関係式の設定に関する研究. 広島大学生物生産学部紀要, **33**(2) : 143-149.
- 96) 久保田清・羽倉義雄, 1994, 水, 水蒸気および空気の簡便な温度関係物性式の設定に関する研究. 広島大学生物生産学部紀要, **33**(2) : 133-142.
- 97) KUBOTA, K., Y. HOSOKAWA, K. SUZUKI and H. HOSAKA, 1978, Determination of Viscometric Constants in Empirical Flow Equations of Heated Starch Solutions. *J. of Fac. of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima Univ.*, **17**(1) : 1-15.
- 98) 久保田清・細川嘉彦・鈴木寛一・保坂秀明, 1979, 米デンプン糊化液の流動方程式に関する研究. 日本食品工業学会誌, **26**(9) : 399-402.
- 99) 久保田清・栗栖真悟・鈴木寛一・保坂秀明, 1982, 管形粘度計による懸濁沈降性液状食品の流動特性の測定. 広島大学生物生産学部紀要, **21**(1, 2) : 67-73.
- 100) KUBOTA, K., T. MATSUMOTO, K. SUZUKI and H. HOSAKA, 1980, Study on the Flow Behavior in the Low Flow Region of Skim Milk Solutions. *J. of Fac. of Applied Biological Science, Hiroshima Univ.*, **19**(1) : 1-9.
- 101) 久保田清・松本俊也・鈴木寛一・保坂秀明, 1980, 管形粘度計による容器壁付着性液状食品の流動特性の測定. 日本食品工業学会誌, **27**(11) : 543-549.
- 102) 久保田清・栗栖真悟・鈴木寛一・松本俊也・保坂秀明, 1982, 各種植物油とサラダ油, 天ぷら油の粘度および密度の温度関係式の設定に関する研究. 日本食品工業学会誌, **29**(4) : 195-201.
- 103) KUBOTA, K., T. MATSUMOTO, S. KURISU, K. SUZUKI and H. HOSAKA, 1980, The Equations respected Temperature and Concentration of the Density and Viscosity of Sugar, Salt and Skim Milk Solutions. *J. of Fac. of Applied Biological Science, Hiroshima Univ.*, **19**(2) : 133-145.
- 104) 久保田清・栗栖真悟・鈴木寛一・松本俊也・保坂秀明, 1981, 砂糖, 食塩ならびにこれら混合の脱脂粉乳水溶液の流動方程式に関する研究. 日本食品工業学会誌, **28**(4) : 186-193.
- 105) MOTURI, S. A., K. KUBOTA, K. SUZUKI and M. ESAKA, 1982, Studies on the Flow Behaviour in the Low Flow Region of Soy Sauce (Shouyu) and Worcester Sauce. *J. of Fac. of Applied Biological Science, Hiroshima Univ.*, **21**(1, 2) : 23-33.
- 106) 久保田清・藤本真紀子・鈴木寛一・高崎かほる・保坂秀明, 1981, 球状根菜類系食品の熱拡散率の算出に関する研究. 日本食品工業学会誌, **28**(2) : 68-73.
- 107) KUBOTA, K., Y. TAKASE, K. SUZUKI and M. ESAKA, 1983, A Study on the Thermal Diffusivity of Potato Slabs in Various Conditions.: *J. of Fac. of Applied Biological Science, Hiroshima Univ.*, **22**(2) : 141-152.
- 108) 久保田清・高瀬祐美子・鈴木寛一・江坂宗春, 1985, 卵白, 卵黄ゲルの熱拡散率の算出に関する研究. 日本食品工業学会誌, **32**(1) : 51-55.

- 109) KUBOTA, K., 1985, A Study on the Thermal Diffusivity of Rectangular and Cylindrical Potatos. *J. of Fac. of Applied Biological Science, Hiroshima Univ.*, **24**(1, 2) : 1-14.
- 110) 呂 聯通・久保田清・鈴木寛一, 1990, 小さな試料断片を用いたジャガイモの熱拡散率に関する研究. 広島大学生物生産学部紀要, **29**(1) : 25-38.
- 111) KUBOTA, K., 1979, Determination of the Empirical Rate Equation for the Chemical and Physical Transformations of Foods. *J. of Fac. of Applied Biological Science, Hiroshima Univ.*, **18**(1) : 11-30.
- 112) KUBOTA, K., 1979, Inference of the Pseudo Transforming Mechanisms of Foods used a Simple Rate Equation. *J. of Fac. of Applied Biological Science, Hiroshima Univ.*, **18**(2) : 171-184.
- 113) KUBOTA, K., H. ARAKI, M. NAGAI, H. KINTOU, K. SUZUKI and M. ESAKA, 1983, Overall Drying-rate Equations on the Drying of Potato by the Microwave Energy and of Bored One by Heated Flowing Air. *J. of Fac. of Applied Biological Science, Hiroshima Univ.*, **22**(2) : 153-163.
- 114) KUBOTA, K., H. ARAKI, K. SUZUKI and M. ESAKA, 1986, Study on the Cooking-rate Equations by Microwave Heated Cooking of Potato Slices. *J. of Fac. of Applied Biological Science, Hiroshima Univ.*, **25**(1, 2) : 1-9.
- 115) 黒川眞行・久保田清・鈴木寛一・江坂宗春, 1987, マイクロ波加熱における液状試料のエネルギー吸収に関する研究. 広島大学生物生産学部紀要, **26**(1, 2) : 69-78.
- 116) 久保田清・黒川眞行・鈴木寛一・江坂宗春, 1988, 円柱状ジャガイモのマイクロ波加熱におけるクッキング速度式の設定に関する研究. 日本食品工業学会誌, **35**(2) : 78-82.
- 117) 久保田清・于 秀法・津島和美・奥谷紀男・田村由紀・黒川眞行・鈴木寛一・江坂宗春, 1990, マイクロ波加熱におけるエネルギー吸収効率の測定に関する研究. 広島大学生物生産学部紀要, **29**(1) : 39-50.
- 118) 久保田清・呂 聯通・山下洋右・岡崎 尚・望月博範・黒川眞行・鈴木寛一・江坂宗春, 1990, マイクロ波加熱乾燥装置の試作とジャガイモ乾燥に関する研究. 広島大学生物生産学部紀要, **29**(1) : 51-62.
- 119) 呂 聯通・久保田清・鈴木寛一・岡崎尚・山下洋右, 1990, 食品のマイクロ波加熱乾燥速度式に関する研究. 広島大学生物生産学部紀要, **29**(2) : 145-157.
- 120) 呂聯通・久保田清・鈴木寛一, 1990, ジャガイモのマイクロ波加熱乾燥における試料形状と褐変化に関する研究. 広島大学生物生産学部紀要, **29**(2) : 159-164.
- 121) 姫 徳衡・久保田清・羽倉義雄, 1992, 食品のマイクロ波加熱乾燥における過加熱防止に関する研究. 広島大学生物生産学部紀要, **31**(1) : 29-36.
- 122) 久保田清・大前千佳・姫 徳衡・羽倉義雄, 1992, ジャガイモのマイクロ波減圧乾燥特性とモデル化に関する研究. 広島大学生物生産学部紀要, **31**(1) : 37-43.
- 123) 姫 徳衡・久保田清・張 戈・羽倉義雄, 1992, 円柱状ジャガイモのマイクロ波加熱乾燥における温度変化と乾燥速度に関する研究. 広島大学生物生産学部紀要, **31**(2) : 121-126.
- 124) 久保田清・弘中和憲・細川嘉彦・鈴木寛一・保坂秀明, 1978, マイクロ波加熱処理米を用いた高含水率の浸漬米の製造に関する研究. 日本食品工業学会誌, **25**(11) : 641-644.
- 125) 久保田清・保坂秀明, 1981, 球状ジャガイモの伝熱特性を考慮したクッキング速度式の設定に関する研究. 日本食品工業学会誌, **28**(4) : 181-185.