

# ファジィ数を用いた植物生産環境システムの 研究周辺(第1報)

— 文献の分類・整理 —

松山正彦

## Circumference on Fuzzy Number Analysis of Plant Production Environment Systems(Part 1)

— Classification and arrangement of Literature —

Masahiko MATSUYAMA

### 緒 言

植物栽培工場で作られる作物はその生産量が露地栽培に比較し年々増加する一方、逆にその生産物の市場価格は次第に下降下落し植物工場の経営は厳しい。この植物工場における施設、設備および機械などのシステム、すなわち植物生産環境システムには近頃では特に多額の投資がなされ、生産物の生産工程間の移動と栽培舎などの環境保全のためにコンピュータを用い、全自動管理システムによる高品質で均一化された生産と省力化とが目指されるようになった。このような大規模工場の生産ではランニングコストも大きく、従来にくらべ、より精密な経済的計算と栽培技術などが要求される<sup>1)</sup>。本研究では、植物工場の具体的対象としてブナシメジの栽培工場を例に取りあげたが、その理由は、ブナシメジ栽培工場では年間生産量が1千トンクラスといわれる超大規模で近代的設備を整えた企業参入型工場が近頃みられることと、ここ数年來の生産量がヒラタケに代わり急速に増え<sup>2-4)</sup>(図1)、その結果、年間生産量がきのことしてはシイタケ、エノキタケに次いで多くなり、植物工場業界の注目を集めているからである。しかし、これは単にここで扱う植物工場の具体的研究対象がきのこ工場であるというだけであり、研究手法や考え方などは他の作物の植物工場にも応用できるものである。

この研究シリーズでは、他の植物工場にも適用できる経済性分析の手法を用い、多面的角度から経済性を検討する。次に、植物工場を経営するにあたり経済性に大きな影響を与える生産技術を取りあげ、植物工場の利潤を高めるための生産調整技術、あるいは近頃における市場価格の下降を考慮した品質や形状改良のための生産技術の検討を取りあげる。またさらに、その生産技術の可能性を大きく左右する環境制御技術を研究し、その環境状態を表す数学モデルを使用してシミュレーション実験なども行う。

研究における数学的理論解析にあたっては以下の理由でファジィ理論を用いた。すなわち、広い生産工場における室内の空気環境条件は場所により異なり、厳密には均一ではない。また同じ場所でも温度、湿度、炭酸ガスなどは、一般的に上限値と下限値で表される範囲において制御されるのが現実のため、空気環境条件をファジィ数で表してこれをファジィ理論によって

解析することが適切である。植物などの呼吸活動は一般に環境条件によって異なり幅を持って推測されるので、工場で設置が不可欠となる冷暖房機器、加除湿器などの最大負荷能力は幅を持って推定される。ある期間に最高収量が得られる空気環境条件は幅を持って得られるので、ファジィ理論を用いて解析することが適切である。生産物に対する消費者達の好み形状などは一般にクリस्पでない幅を持った範囲で示され、また、その期待される形状を生産するための環境基準は幅を持つ数値で求められる。生産工場などの投資の意志決定を行うにあたっては、あらかじめ将来起こりうる変化を全て見込んで収益を予測する総合的な解析が必要となるが、予測市場価格を表すモデルには将来の変化を網羅できるファジィモデルの方が柔軟性がある。過大あるいは過小な評価を受けることがない適正な収益を算出するには、ファジィ数を用いたファジィ理論にしたがって解析することが適切である。本研究では、予測市場価格に一番幅の狭い状態を想定し検討考察を行うが、ファジィモデルにおけるメンバーシップ関数の値を好みにより設定することで、幅広く経営状況を判断することが可能となる。工場の利潤を求めるにあたり、安値から高値の範囲におけるいずれかの市場価格で商品取り引きが行われる可能性があるのでファジィ理論を使用することが適切である。システム全体の費用配分を検討する場合、年間の栽培瓶数が同じであっても1瓶収量に応じて労務費や資材費、それに諸経費に含まれる交際費、商品の運搬費などに幅が生じる。また、必要経費や生産量は通常ファジィ数で表されるので、生産原価が現実的な数値で得られるようファジィ理論にしたがって求めるのが適切である。

本報では上記研究における問題点を探るため、近年における関連分野の文献の分類と整理を行なった。

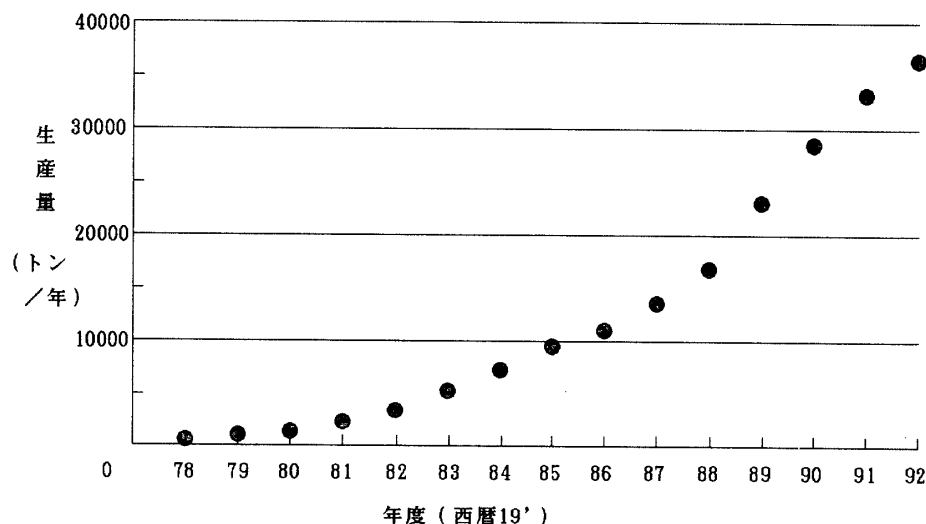


Fig. 1 Production volume per year on *H. marmoreus* (ton/year)

### 植物工場に関する文献

植物工場は、昭和30年代半ば養液栽培により土を離れた植物生産、植物の生育機能を高度に発揮させる生産技術<sup>5)</sup>として注目されたが、その後、コンピュータやセンサを初めとするハイテク機器を導入し、生産の自動化、省力化、環境調整、生育管理などを目指してきた。このような、溶液栽培、メカトロニクス、それにバイオテクノロジーなどのハイテク利用によるスマートな営農手法は、若者の農業離れが激しい現在、将来の農業を衰退から救うため期待されている<sup>6)</sup>。また、植物工場は寒冷地や極暑地それに都市中心部や宇宙空間など、自然界で作物の生産が難しい地域でも高品質の作物を生産できる<sup>7)</sup>。さらに、生育速度が速い、単位面積あたりの生産性が高い、周年の生産計画が可能、システムの閉鎖性により病虫害の害を未然に予防、バイオテクノロジーにより付加価値の高い新品種の開発を容易にするなどの利点が上げられ<sup>8)</sup> 将来的な期待が大きい。植物工場で扱われる作物としては、トマト、カイワレダイコン、ミツバ、サラダ菜、レタス、きのこなどの野菜のほか草花も栽培されるようになった<sup>9)</sup>。植物工場における作物生産システムは、幾多の課題や問題につきその展望が高辻や瀬戸らにより指摘されており<sup>10-16)</sup>、設備的立場や経済的立場から数々の検討がされてきた。

すなわち、栽培技術の環境制御に関するものとしては、たとえば田中、小西、薬師寺らの水耕栽培での溶液組成などの生物環境と作物の生育<sup>17-19)</sup>、関らの密閉型環境下における照明器具の発熱冷却装置<sup>20)</sup>、岩尾の赤・青・緑の3原色ランプで光合成波長域を演出する人工光源<sup>21)</sup>、芦田らの高圧ナトリウム式の作物育成ランプの開発と照射法<sup>22)</sup>、瀬戸の高効率ランプの開発による電力量の節減<sup>23)</sup>、大野の太陽電池の利用による植物工場用発電システムの開発<sup>24)</sup>、滝内の栽培施設における太陽熱エネルギーの計測と制御<sup>25)</sup>などがある。ほかにBramer, Mc Carty, Gealerの工学の技術に関するもの<sup>26-28)</sup>、Fernaldの生産管理・生産工学に関するもの<sup>29)</sup>、Gemmellの水力学に関するもの<sup>30)</sup>などがある。

作物の品質に関するものは、石井らの異なる光周期の人工光源下で栽培したサラダナの生育・生理的特性<sup>31)</sup>と短時間高光強度照射下におけるサラダナの生育と生理的特性<sup>32)</sup>、内田らのハウレンソウの品質制御に関する研究<sup>33)</sup>、鳥居らの植物の体内水分状態の計測・制御に関する研究<sup>34)</sup>、阿部の養液栽培の技術と生産物の品質について<sup>35)</sup>、増井らのカーネーション苗の良否判別<sup>36)</sup>、高山の園芸における技術と新材料<sup>37)</sup>、岩尾の作物の生育と品質の非破壊計測技術<sup>38)</sup>、鈴木の植物苗の工場生産<sup>39)</sup>、寺野らのファジィ理論によるカーネーション苗の判別<sup>40)</sup>、青木の植物工場の開発と今後の展望<sup>41)</sup>、薬師寺の野菜工場の扉を開いた「TSファーム」<sup>42)</sup>、星らの高能率野菜生産技術の開発<sup>43)</sup>、芦田の植物の工場の生産への光放射の応用<sup>44)</sup>、ほかにPilboroughの品質検査<sup>45)</sup>がある。

Tab. 1 Classification of literature on plant factory (number of literature)

環境制御	品質	品質管理	生産調整	経済性	設備と経済性	周辺テーマ
14	15	9	4	14	3	4

作物の品質管理に関するものは、Lidrorらの農産物の生産と取り扱いに対する品質保証技術の改善<sup>46)</sup>、Beckらの食品産業におけるバイオテクノロジー<sup>47)</sup>、Gaffneyらの果実や野菜の強制通風冷却コストに影響するファクタ<sup>48)</sup>、Drouetの酸素免疫分析法—農産物工業における品

質制御への応用<sup>49)</sup>, Biston らの農産物の品質分析に対する近赤外線分析法の寄与<sup>50)</sup> などがある。

作物の生産調整に関するものには, 大石の電照菊の開花調節<sup>51)</sup>, 米倉らの山間地シンビジウムの冬季栽培温度による開花制御と高品質化<sup>52)</sup> などがあり, また, 作物の交配法やバイオテクノロジーによる育種の開発については, 伊東の植物苗の工場生産<sup>53)</sup>, Goldmann のバイオ関連<sup>54)</sup> などがある。

一方, 植物工場の経済性を研究したものがある。すなわち, 高辻の工場における最適環境と経済性<sup>55)</sup> やサラダ菜1株あたりのコスト計算<sup>56)</sup>, 田中の露地栽培と同等の仕切価格で成り立つシステム<sup>57)</sup>, 庄子の葉菜類の栽培試験設備の作業時間配分と省力化と経済性<sup>58)</sup>, 小西の茶樹の栄養生理特性と養液濃度の経済的関係<sup>59)</sup>, 瀬戸の育苗と養液栽培および環境制御の問題点<sup>60)</sup>, 高辻のサラダ工場<sup>61)</sup> の最適環境と経済性<sup>61)</sup>, 大野, 岩尾の太陽光源や人工光源システムの検討<sup>62, 63)</sup> などがある。ほかには Smith, Wrennall, Lamb, Moffat それに Weiner などの工場経営<sup>64-68)</sup> などもあるが, きのこに関する経済性についてはあまりみられない。

また, 設備と経済性について両面の立場から研究したものには, 堀部や, 庄子らの設備の自動化や省力化に関する試作機械の提示とその経済性に関するもの<sup>69, 70)</sup>, 新田の宇宙基地の閉鎖系植物工場でのリサイクルシステムの可能性を追求したもの<sup>71)</sup> などがある。

以上の分野のほかに植物工場の周縁的テーマとしては, Skoler の植物工場の条例や規定<sup>72)</sup>, Bartlett の衛生工学<sup>73)</sup>, Wetzel の工場環境保全<sup>74)</sup>, Gebers などの公害環境工学などを扱ったもの<sup>75)</sup> などがある。

植物工場で栽培される研究対象作物としては, 岩尾, 科学技術庁, 阿部らなどのトマト<sup>76-78)</sup>, 田中のいちご<sup>79)</sup>, 高辻, 岩尾, 伊東, 科学技術庁, 石井らなどのサラダ菜<sup>80-84)</sup>, 高辻のほうれん草<sup>87)</sup>, 小西の茶<sup>88)</sup>, 高辻, 岩尾, 伊東などのレタス<sup>89-91)</sup>, 科学技術庁の貝割れ大根<sup>92)</sup>, ネギ<sup>93)</sup>, 科学技術庁, 阿部のミツバ<sup>94, 95)</sup>, それに鳥居らのタバコ<sup>96)</sup> など各種の作物がとり上げられているが, きのこについては少ない。

Tab. 2 Crops of researches on plant factory (number of literature)

トマト	いちご	サラダ菜	ほうれん草	茶	レタス	貝割れ大根	ネギ	ミツバ	タバコ
3	1	5	1	1	3	1	1	2	1

### きのこ工場に関する文献

植物工場の中でもきのこ工場では, シイタケ, エノキタケ, ブナシメジ, ヒラタケ, ナメコ, マイタケなど各種のきのこが扱われる。シイタケを除くこれらのきのこ工場では, PP(ポリプロピレン)瓶を使用した菌床栽培が行われている<sup>97)</sup>。これらのきのこ生産技術や生態については, 最新バイオテクノロジー全書編集委員会のキノコの増殖と育種<sup>98)</sup>, 大森らのキノコ栽培<sup>99)</sup>, 衣川や善如寺らによるキノコの実験法やマニュアル<sup>100)</sup> など多数のものがあり<sup>101-109)</sup>, きのこの組成, 栄養素および調理などに関するものは, 川合や原らによるきのこ利用, 健康食きのこなどがある<sup>110-112)</sup>。

また, 自動制御の研究には, 高辻の水耕栽培での内外の開発状況<sup>113)</sup>, 堀部の葉菜類設備の自動化や省力化に関する試作機械の提示と経済効果<sup>114)</sup> などがあるが, きのこ栽培では, 高辻の内

外の自動化での現況と生産原価の構成<sup>115)</sup>、長尾の乾燥シイタケのファジィ制御<sup>116)</sup>、日本きのこセンタの乾燥シイタケにおける温度の全自動制御<sup>117)</sup>、Schroederの肥料発酵温度をマイコンで制御し制御効率ときのこ収量を検討したもの<sup>118)</sup>と数は少なく種類はシイタケである。

さらに、きのこ栽培を経済的立場に立ち研究したものは少なく、植物工場の範囲を離れても、Beelmanらのきのこの鮮度保持のためのトリミング処置の経済効果<sup>119)</sup>、Wenらのメタノール抽出原木を利用したきのこの組み合わせ生産の経済性の比較<sup>120)</sup>、Rajarathnamらのきのこの形態学と経済性<sup>121)</sup>などが数点みられる程度であり、またきのこ工場の採算性を検討するために費用計算を行ったものも農村文化社の例<sup>122)</sup>くらいで少なく、あまり行われていない。

そこで、植物工場に関する研究課題として現在では重要であるにもかかわらず、従来あまりされてこなかったきのこ工場の栽培技術と経済性について研究を行うことにした。

Tab. 3 Classification of literature on mushroom (number of literature)

生産技術と生態	組成・栄養素・調理	自動制御	経済性	費用計算
12	3	4	3	1

### ファジィ理論を用いた文献

ファジィ理論は、アメリカ・カリフォルニア大学教授のL.A.Zadeh（モスクワ生まれのイラン人）が1965年発表した「ファジィ集合<sup>123)</sup>」に基づく比較的新しい理論である<sup>124-125)</sup>。1974年簡単なスチームエンジンの模型制御へファジィアルゴリズムが試みられたが<sup>126)</sup>、同年「ファジィ集合とその応用」の研究会頃から国際的に広がり<sup>127)</sup>、実用化は1980年デンマークのセメントキルン制御が最初である<sup>128)</sup>。1990年代には仙台市の地下鉄運転制御、洗濯機などの家庭電化製品、証券投資システム、医療などに応用されるようになった<sup>129-136)</sup>。

Zadehは最初厳密な理論を追求していたが、扱うシステムの複雑さがある限界を越え複雑になるにつれ、システムについての厳密で意義のある記述は不可能になることを「不適合性の原理<sup>137)</sup>」で述べ<sup>138)</sup>、ファジィ理論に帰依したと言われる。ファジィ理論では曖昧な量をメンバーシップ関数と呼ぶ簡単な関数を用いて数値化している<sup>139)</sup>。ファジィ数値は確率とは似て非なる概念であり、使用者がある程度自由に定めて使う順序量である。それだけに根拠はある程度薄いですが、それを適切に使えば人間の判断行動に近い推論や、あらかじめ細かく設定してなくても状況に応じ適切な判断ができる利点がある<sup>140)</sup>。ファジィ理論は上記に述べたL.A.Zadehによる文献<sup>141-149)</sup>のほか、現在では広い分野で使われ関連書物も数多くみられる。すなわち、一般的な入門書あるいは集大成したもの<sup>150-163)</sup>、制御<sup>164-169)</sup>、経営<sup>170-172)</sup>、医療<sup>173)</sup>、コンピュータ<sup>174-176)</sup>など多岐の分野にわたり出版されている。

近頃では、植物工場などにおける環境条件、生産物の品質および栽培者の長年の経験と勘により培われてきた植物栽培の作業などに、ファジィ理論を用いることの優位性が岩尾、増井、寺野により多々提案されている<sup>177-179)</sup>。また、農産施設にファジィ理論を適用し解析を行った論文としては、毛利のミカンの品質判定<sup>180)</sup>、新穂のキュウリの選別<sup>181)</sup>、黒沢の農産物の画像識別<sup>182, 183)</sup>などがある。経済性の評価に用いた例は少なく、小中の圃場・機械・施設などの利用計画システム<sup>184)</sup>、野口らの農業機械の経済寿命の評価<sup>185)</sup>、Muellerの乳業工場での短期生産計画の意志決定<sup>186)</sup>などがあるが、きのこ工場に適用した例は少ない。

なおファジィ数には(下限値, 上限値)により表す区間データのほか, (下限値, 最確値, 上限値)で表すT.F.N.(Triangular Fuzzy Numbers: 三角型ファジィ数)と, (下限値, 最確下限値, 最確上限値, 上限値)により表すTr.F.N.(Trapezoidal Fuzzy Numbers: 台形型ファジィ数)などが一般的に使用されるが, このようなデータをグラフとして表すときは, 棒線, あるいは3または4項対の数値を頂点とする3角形または台形で図示される。

T.F.N.のファジィモデルは例えば以下のように表され,

$$\begin{aligned} \tilde{X}(R_p) &= A_0 - A_1(R_p) \\ &= (a_{0c}, a_{0w}/(1-h))_L - (a_{1c}, a_{1w})_L(R_p) \end{aligned} \quad (1)$$

モデルにおける $A_0$ と $A_1$ は係数で,  $(a_{0c}, a_{0w})$ と $(a_{1c}, a_{1w})$ は $A_0$ と $A_1$ の中央値と幅,  $h$ はメンバーシップ関数を意味する。また区間データは以下のように表し, 係数は先のモデルに準じる。

$$X(R_p) = \langle a_{0c}, a_{0w} \rangle + \langle a_{1c}, a_{1w} \rangle (R_p) \quad (2)$$

Tab. 4 Classification of literature on fuzzy theory (number of literature)

Zadehの原著と理論	各種方面への適用	植物工場への適用の優位性	生産施設	経済性
27	27	3	4	3

## 結 論

上記に述べたように植物工場に関する研究の意義は大きい。特にコンピュータを初めとするメカトロニクスによってハイテク化された植物工場は, 地球規模で危惧されている食糧危機を救う手段として将来性を大いに期待されている。また, その植物生産環境システムそのものの近代性は作物生産産業を若者にとって魅力的な産業として認識を新たにさせ, 種々の作物に関する設備, 品質, 生産技術, 経済性などの研究がそれぞれの立場で数多くされてきた。きのこの分野ではシイタケなどがよく研究されてきた。しかし, プナシメジはその生産量が現在きのこ業界の第3位であるにも関わらず, その開発が特許に関わるためか急激な普及のため開発の歴史が浅いためか従来研究成果が発表されることが少なかった。今後このきのこ品種についての研究は大いに待たれていると考えられる。また, その植物工場の不確定な将来的経済効果や広大な生産環境を制御する研究を行うにあたりファジィ理論は有益な手法であると考えられ, 従来一部の研究者により植物工場への使用が検討されているが, きのこの生産環境システムについての利用はまだ無く, この研究手法の有効的利用を提案するものである。

## 参 考 文 献

- 1) 千住鎮雄, 伏見多見雄: 経済性工学の基礎, 15~35, 日本能率協会 (1991)
- 2) 日本生物環境調節学会編: 生物環境調節ハンドブック, 494~505, 養賢堂 (1995)
- 3) 中村克哉: キノコの事典, 431~434, 朝倉書店 (1982)
- 4) 農村文化社きのこ年鑑編集部: 94年版きのこ年鑑, 279, 農村文化社 (1993)
- 5) 科学技術庁資源調査会: 植物工場の展望と課題, 1, 大蔵省印刷局 (1989)

- 6) 日本植物工場学会編：ハイテク農業ハンドブック，日本植物工場を中心にして，1，東海大学出版会（1992）
- 7) 高辻正基：植物工場の基礎と実際，3，裳華房（1996）
- 8) 科学技術庁資源調査会：植物工場の展望と課題，1，大蔵省印刷局（1989）
- 9) 高辻正基：21世紀のハイテク農業—植物工場，3，裳華房（1992）
- 10) 赤木静：植物工場の実際と展望，植物工場，7，15～23（1994）
- 11) 高辻正基：植物工場の理論と展開，植物工場，7，3～14（1994）
- 12) 瀬戸淳：植物工場の現状と展望，千代田技法，14-1，10～17（1993）
- 13) 高辻正基：植物工場と電気設備 I—21世紀への植物工場の展望，電気設備学会誌，9-2，98～100（1989）
- 14) 化学技術庁資源調査会：植物工場の展望と課題—高度環境制御システムによる植物生産に関する調査報告，植物工場の展望と課題，82（1987）
- 15) 高辻正基，小国研作：植物工場の動向と課題，日本機械学会誌，85-770：109～113（1983）
- 16) 高辻正基：植物工場の現状と将来，建築設備技術会議テキスト，14，10（1982）
- 17) 田中功夫：太陽光利用型植物工場の経済性分析，植物工場，9，19～27（1995）
- 18) 小西茂毅：茶樹の溶液栽培と植物工場化，植物工場，3，9～23（1992）
- 19) 薬師寺哲子：野菜工場の扉を開いたTSファーム，キューピーの試験場をたずねて，冷凍空調設備，16-3，28～36（1989）
- 20) 関宗博，高橋励：植物工場の省エネルギー冷房方式を目指して，三建技法，3，8～11（1989）
- 21) 岩尾憲三：蛍光灯を用いた人工光型植物工場の研究，中部電力株式会社研究資料，87，65～73（1991）
- 22) 芦田義孝，古久保晴夫：植物工場の工場的生産への光放射の応用，GS News Tech，47-1：51～56（1988）
- 23) 瀬戸淳：植物工場の現状と展望，千代田技法，14-1：10～17（1993）
- 24) 大野隆彦：独立分散型等システムの研究開発—大型農事プラント電力供給システム，サンシャイン計画研究開発の概況．太陽エネルギー，369～373（1992）
- 25) 滝内基弘，太陽エネルギーの利用，計測技術，11-12：80～86（1983）
- 26) Bramer, Henry C : The feasibility of a regional industrial wastewater treatment facility, U.S. Environmental Protection Agency, 1～68（1980）
- 27) Mc Carty, Perry L : Wastewater contaminate removal for groundwater recharge at water Factory 21, Municipal Environmental Reseach Laboratory, 1～150（1980）
- 28) Gealer, Roy Lee : Electrolytic treatment of oily wastewater ftom manufacturing and machining plants, Industrial Environmental Research Laboratory, 1～48（1980）
- 29) Fernald, Robert H. : Engineering of power plants, Mc Graw-Hill, 1～586（1916）
- 30) Gemmell, Raymond P. : Colonization of industrial wasteland, E. Arnold, 1～627（1977）
- 31) 石井雅久，伊東正，丸尾達，鈴木皓三，松尾幸蔵：異なる光周期の人工光源下で栽培したサラダナの生育・生理的特性，生物環境調節，33-2，143～149（1995）
- 32) 石井雅久，伊東正，丸尾達，鈴木皓三，松尾幸蔵：短時間高光強度照射下におけるサラダナの生育と生理的特性，生物環境調節，33-2，103～111（1995）
- 33) 内田徹，工藤りか：ハウレンソウの品質制御に関する研究（第1報），四国総合研究所研究期報，62，71～79（1994）
- 34) 鳥居徹，岡本嗣男，木谷収，落合貴之：植物の体内水分状態の計測・制御に関する研究（第1報），農業機械学会誌，54-6，73～79（1992）

- 35) 阿部一博：養液栽培の技術と生産物の品質について, 調理科学, **19-2**, 92~99 (1986)
- 36) 増井重弘, 寺野寿郎：カーネーション苗の良否判別, インテリジェントシステム・シンポジウム講演論文集, **2**, 323~326 (1992)
- 37) 高山覚：園芸おける技術と新材料, 機能材料, **12-12**, 54~64 (1992)
- 38) 岩尾憲三：作物の生育と品質の非破壊計測技術, 植物工場, **2**, 36-41 (1991)
- 39) 鈴木正人：植物苗の工場生産, 果菜用接ぎ木ロボットの開発, 遺伝, **46-4**, 43-48 (1992)
- 40) 寺野寿郎, 増井重弘, 田中民雄, 藤原英幸：ファジィ理論によるカーネーション苗の判別, ファジィシステムシンポジウム講演論文集, **6**, 287~290 (1990)
- 41) 青木伸雄：植物工場の開発と今後の展望, 植物工場は農産物流通に変化をもたらすか, 月刊食品流通技術, **18-4**, 4~9 (1989)
- 42) 薬師寺哲子：野菜工場の扉を開いた「T S ファーム」, 冷凍空調施設, **16-3**, 28~36 (1989)
- 43) 星岳彦, 岡野利明, 小酒井一嘉, 寺添斉：高能率野菜生産技術の開発, 電力中央研究所我孫子研究所研究報告, **88008**, 44 (1988)
- 44) 芦田義孝, 小久保晴夫：植物の工場の生産への光放射の応用, GS News Tech Rep, **47-1**, 51~56 (1988)
- 45) Pilborogh, L. : Inspection of industrial plant, Gower Technical, 1~766 (1989)
- 46) Lidror A, Prussia S E : Improving quality assurance techniques for producing and handling agricultural crops. J Food Qual, **13-3**, 171~184 (1990)
- 47) Beck C I, Ulrich T : Biotechnology in the Food Industry, Bio/technology, **11-8**, 895~900 (1993)
- 48) Gaffney J J, Baird C D : Factors Affecting the Costs of Forced-Air Cooling of Fruits and Vegetables. 空気調和・衛生工学, **67-10**, 831~838 (1993)
- 49) Drouet X : Application au controle de la qualite dans les industries agroalimentaires, **18-10**, 36~38 (1990)
- 50) Biston R, Dardenne P : Contribution de la spectrometrie dans l' infrarouge proche pour l' analyse de la qualite des productions agricoles, Analisis, **18-10**, 27~30 (1990)
- 51) 大石一史：農業技術の源流を訪ねて(7)電照菊の開花調節, 研究ジャーナル, **16-8**, 44~50 (1993)
- 52) 米倉悟, 今川正弘：山間地シンビジウムの冬季栽培温度による開花制御と高品質化, 研究成果情報-関東東海農業, 1994, 131~132 (1995)
- 53) 伊東正：植物苗の工場生産野菜の成型苗とその利用, 遺伝, **46-4**, 49~54 (1992)
- 54) Goldmann, Robert : A work experiment, Ford Foundation, 1~48 (1976)
- 55) 高辻正基：完全制御型植物工場の経済性の解析, 植物工場, **4-2**, 111~117 (1993)
- 56) 高辻正基：植物工場の理論と展開, 植物工場, **7**, 3~14 (1994)
- 57) 田中功夫：太陽光利用型植物工場の経済性分析, 植物工場, **9**, 19~27 (1995)
- 58) 庄子和博, 岡野利明, 寺添斉：野菜工場の実用化3-野菜の栽培方法と実用設備の構造, 電力中央研究所我孫子研究所報告, **U93014**, 53 (1993)
- 59) 小西茂毅：茶樹の養液栽培と植物工場化, 植物工場, **3**, 9~23 (1992)
- 60) 瀬戸淳：植物工場の現状と展望, 千代田技報, **14-1**, 10~17 (1993)
- 61) 高辻正基：植物工場の理論と展開, 植物工場, **7**, 3~14 (1994)
- 62) 大野隆彦：サンシャイン計画研究開発の概況, 太陽エネルギー, **1991**, 369~373 (1992)
- 63) 岩尾憲三：蛍光灯を用いた人工光型植物工場の研究, 中部電力株式会社研究資料, **87**, 65~73 (1991)



- 64) Smith, Martin R : Managing the plant, Prentice-Hall, 1~253 (1983)
- 65) Wrennall, William, Lee, Quarterman : Handbook of commercial and industrial facilities management, Mc Graw-Hill, 1~592 (1994)
- 66) Lamb, Richard G : Availability engineering and management for manufacturing plant performance, Englewood Cliffs, 1~391 (1995)
- 67) Moffat, Donald W. : Plant monitoring and inspecting handbook, Prentice Hall, 1~319 (1995)
- 68) Weiner, Robert : Effluent treatment in the metal finishing industry, R. Draper, 1~258 (1963)
- 69) 堀部和雄 : 植物工場における自動化, 植物工場, **6**, 15~22 (1993)
- 70) 庄子和博, 岡野利明, 寺添斉 : 野菜工場の実用化 3 - 野菜の栽培方法と実用設備の構造, 電力中央研究所我孫子研究所報告, **U93014**, 53 (1993)
- 71) 新田慶治 : 宇宙基地における野菜工場の可能性 - 自動化と栽培面積の減少が課題, 資源テクノロジー, **37**-222, 99~104 (1985)
- 72) Skoler, Daniel L : Federal regulation of new industrial plants, Division of Public Service Activities, American Bar Association, 1~41 (1980)
- 73) Bartlett, Ronald Ernest : Public health engineering design in metric, Applied, 1~326 (1971)
- 74) Wetzel, Edward D : Treating industrial waste interferences at publicly-owned treatment works, Noyes Data Corp, 1~381 (1991)
- 75) Gebers, Betty, Robesin, Marga : Licensing procedures for industrial plants and the influence of EC-directives, P. Lang, 1~166 (1993)
- 76) 岩尾憲三 : 蛍光灯を用いた人工光型植物工場の研究, 中部電力株式会社研究資料, **87**, 65~73 (1991)
- 77) 化学技術庁資源調査会 : 植物工場の展望と課題高度環境制御システムによる植物生産に関する調査報告, 植物工場の展望と課題, 82 (1987)
- 78) 阿部一博 : 養液栽培の技術と生産物の品質について, 調理科学, **19-2**, 92~99 (1986)
- 79) 田中功夫 : 太陽光利用型植物工場の経済性分析, 植物工場, **9**, 19~27 (1995)
- 80) 高辻正基 : 植物工場の理論と展開, 植物工場, **7**, 3~14 (1994)
- 81) 化学技術庁資源調査会 : 植物工場の展望と課題高度環境制御システムによる植物生産に関する調査報告, 植物工場の展望と課題, 82 (1987)
- 82) 岩尾憲三 : 蛍光灯を用いた人工光型植物工場の研究, 中部電力株式会社研究資料, **87**, 65~73 (1991)
- 83) 伊東正 : 植物苗の工場生産 - 野菜の成型苗とその利用, 遺伝, **46-4**, 49~54 (1992)
- 84) 高辻正基 : 植物工場の理論と展開, 植物工場, **7**, 3~14 (1994)
- 85) 石井雅久, 伊東正, 丸尾達, 鈴木皓三, 松尾幸蔵, 異なる光周期の人工光源下で栽培したサラダナの生育・生理的特性, 生物環境調節, **33-2**, 143~149 (1995)
- 86) 石井雅久, 伊東正, 丸尾達, 鈴木皓三, 松尾幸蔵 : 短時間高光強度照射下におけるサラダナの生育と生理的特性, 生物環境調節, **33-2**, 103~111 (1995)
- 87) 高辻正基 : 植物工場の理論と展開, 植物工場, **7**, 3~14 (1994)
- 88) 小西茂毅 : 茶樹の溶液栽培と植物工場化, 植物工場, **3**, 9~23 (1992)
- 89) 高辻正基, 小国研作 : 植物工場の動向と課題, **85-770**, 109~113 (1983)
- 90) 岩尾憲三 : 蛍光灯を用いた人工光型植物工場の研究, 中部電力株式会社研究資料, **87**, 65~73 (1991)
- 91) 伊東正 : 植物苗の工場生産野菜の成型苗とその利用, 遺伝, **46-4**, 49~54 (1992)

- 92) 化学技術庁資源調査会：植物工場の展望と課題高度環境制御システムによる植物生産に関する調査報告，植物工場の展望と課題，82 (1987)
- 93) 化学技術庁資源調査会：植物工場の展望と課題高度環境制御システムによる植物生産に関する調査報告，植物工場の展望と課題，82 (1987)
- 94) 化学技術庁資源調査会：植物工場の展望と課題高度環境制御システムによる植物生産に関する調査報告，植物工場の展望と課題，82 (1987)
- 95) 阿部一博：養液栽培の技術と生産物の品質について，調理科学，19-2，92～99 (1986)
- 96) 鳥居徹，岡本嗣男，木谷収，落合貴之：植物の体内水分状態の計測・制御に関する研究 (第1報)，農業機械学会誌，54-6，73～79 (1992)
- 97) 日本生物環境調節学会編：生物環境調節ハンドブック，494～505，養賢堂 (1995)
- 98) 最新バイオテクノロジー全書編集委員会，キノコの増殖と育種，1～307，農業図書 (1992)
- 99) 大森清寿，庄司当：キノコ栽培，1～374，農山漁村文化協会 (1995)
- 100) 衣川堅二郎：キノコの実験法，1～136，築地書簡 (1988)
- 101) 善如寺厚，渡辺直明：キノコ実験マニュアル，1～204，講談社サイエンティフィック (1994)
- 102) 農村文化社「きのこ年鑑」編集部：94年版きのこ年鑑，279，農村文化社 (1993)
- 103) きのこ技術集談会編集委員会，きのこの基礎科学と最新技術，1～286，農村文化社 (1991)
- 104) 中村克哉：キノコの事典，431～434，朝倉書店 (1982)
- 105) 大海淳：初めてのきのこ栽培，1～149，雄鶏社 (1992)
- 106) 大貫啓二：キノコづくり，1～156，農文協 (1993)
- 107) 水野伸彦：きのこ基本50，1～128，森林書房 (1985)
- 108) 松川仁：キノコの本，1～175，丸善 (1993)
- 109) 森毅：キノコの不思議，1～308，光文社 (1996)
- 110) 原洋一，菅原龍幸，松本仲子：健康食きのこ，1～189，農山漁村文化協会 (1989)
- 111) 川合正允：きのこの利用，1～154，築地書館 (1988)
- 112) きのこ技術集談会編集委員会，きのこの基礎科学と最新技術，1～286，農村文化社 (1991)
- 113) 高辻正基：新しい化学工業の展望，植物工場の展望，ケミカルエンジニアリング，37-1，59～63 (1992)
- 114) 堀部和雄：植物工場における自動化，SHITA Re，6，15～22 (1993)
- 115) 高辻正基：バイオファクトリー植物工場の現況，海外と国内での実用化例と研究課題，食の科学，168，18～25 (1992)
- 116) 長尾信一，高橋裕之，木村功，波通隆，沢山一博，森田穰，本田重司，尾谷賢，内山智幸：ファジィ制御による高度な自動化技術に関する研究，ファジィ制御方式による多機能乾燥システムの開発研究—平成2年度，33 (1991)
- 117) 日本きのこセンタ：乾燥技術，全自動で労力緩和をはかる，菌じん，35-3，32～33 (1989)
- 118) Schroeder M E，生物学的熱分布の計算機制御，Agric Eng，67-3，18～19 (1986)
- 119) Beelman R B，Thompson D B，Mau J-L，Ajilouni S O：Stipe Trimming at Harvest Increases Shelf Life of Fresh Mushrooms (*Agaricus bisporus*)，J Food Sci，57-6，1361～1363 (1992)
- 120) Wen D F，Yang P Y：Combined methanol and edible mushroom production from wood，Am Soc Agric Eng.，18 (1980)

- 121) Rajarathnam S, Bano Z: Pleurotus mushrooms. Part IA., *Crc Crit Rev Food Sci Nutr*, **26-2**, 157~223 (1987)
- 122) 農村文化社きのこ年鑑編集部: 94年版きのこ年鑑, 279, 農村文化社 (1993)
- 123) Zadeh, L.A.: Fuzzy sets, *Inform. Control*, **8**, 338~353 (1965)
- 124) 菅野道夫, 向殿政男監訳: ザデー・ファジィ理論, 日刊工業新聞社, 序文 (1992)
- 125) 一松信: *imidas*, 750, 集英社 (1993)
- 126) 田中一男: 応用をめざす人のためのファジィ理論入門, ファジィ集合からファジィ制御まで, **10**, ラッセル社 (1991)
- 127) 水本雅晴: ファジィ理論とその応用, **i**, サイエンス社 (1992)
- 128) 田中一男: 応用をめざす人のためのファジィ理論入門, ファジィ集合からファジィ制御まで, **10**, ラッセル社 (1991)
- 129) 一松 信: *imidas*, 750, 集英社 (1993)
- 130) 松山正彦: 家庭電化製品とニューロ&ファジィ理論, 家政教育社, **66-1**, 26~31 (1992)
- 131) 松山正彦: 新しい生活環境をつくる—家庭電気・情報・機械, 94~97, 医歯薬出版 (1996)
- 132) 廣田薫: ファジィ活用事例集, 1~258, 工業調査会 (1991)
- 133) 長町三生: ファジィ化製品開発の基礎と実際, ニューロ・ファジィ理論から活用事例まで, 1~166, 海文堂 (1991)
- 134) 廣田薫: ファジィ技術の実用化応用, 1~277, シュプリンガー・フェアラーク (1992)
- 135) 吉田均, 小尻利治, 宮本文穂, ファジィ理論の土木工学への応用, 1~272, 森北出版 (1992)
- 136) 水本雅晴: ファジィ理論とその応用, 1~358, サイエンス社 (1992)
- 137) Zadeh, L.A.: Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes, *IEEE Trans. on SMC*, **SMC-3**, 98~102 (1973)
- 138) 田中一男: 応用をめざす人のためのファジィ理論入門, ファジィ集合からファジィ制御まで, **10**, ラッセル社 (1991)
- 139) 中野英二: *imidas*, 535, 集英社 (1993)
- 140) 一松信: *imidas*, 750, 集英社 (1993)
- 141) Zadeh, L.A.: Shadow of fuzzy sets, *Problems in Transmission of Information*, **2**, 37~41 (1966)
- 142) Zadeh, L.A.: Probability measures of fuzzy events, *J. Math. Anal. Appl*, **23**, 421~427 (1968)
- 143) Zadeh, L.A.: Fuzzy algorithms, *Inform. Control*, **12**, 94~102 (1968)
- 144) Zadeh, L.A.: Similarity relations and fuzzy ordering, *Inform. Sciences*, **3**, 177~200 (1971)
- 145) Zadeh, L.A.: Toward a theory of fuzzy systems, in *Aspects of Network and System Theory* (ed. by Kalman and DeClaris), 23~47 (1971)
- 146) Zadeh, L.A.: Fuzzy language and their relation to human and machine intelligence, *Proc. of Int. Conf. on Man and Computer*, 130~165 (1972)
- 147) Zadeh, L.A.: Quantitative fuzzy semantic, *Inform Science*, **3**, 159~176 (1971)
- 148) Zadeh, L.A.: A fuzzy-set-theoretic interpretation of linguistic hedges, *J. of Cybernetics*, **2**, 4~34 (1972)
- 149) Zadeh, L.A.: The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning, *Inform. Sciences*, **8**, 199~249, **301~357**, **9**, 43~80 (1975)
- 150) 山川烈: ファジィ応用ハンドブック, 1~486, 工業調査会 (1991)

- 151) 国際ファジィ工学研究所：ファジィ技術の先端的応用， 1～516， 日刊工業新聞社 (1993)
- 152) 石川昭：ファジィ研究戦略， 1～168， オーム社 (1991)
- 153) 坂和正敏：ファジィ理論の基礎と応用， 1～184， 森北出版 (1992)
- 154) 浅居喜代治：ファジィ情報処理入門， 1～212， オーム社 (1993)
- 155) 向殿政男：ファジィ理論， 1～288， 日刊工業新聞社 (1993)
- 156) 和孔二， 佐々木守寿：ファジィの数学的基礎， 1～184， 日刊工業新聞社 (1993)
- 157) 水本雅晴：ファジィ集合， 1～297， 日刊工業新聞社 (1993)
- 158) 寺野寿郎， 会田周平：ファジィの科学と思想， 1～320， 日刊工業新聞社 (1993)
- 159) 藪内稔， 中村和雄， 塚本弥八郎：ファジィ理論と文化・社会科学， 1～20， 日刊工業新聞社 (1993)
- 160) 岩井壮介， 知識情報処理とファジィ， 1～20， 日刊工業新聞社 (1993)
- 161) 向殿政男：ファジィ理論がわかる本， 1～222， H B J (1992)
- 162) 廣田薫：だからファジィがおもしろい， 1～139， 裳華房 (1993)
- 163) 向殿政男， 本多中二， 前田幹夫， 和多田淳三， 坂和正敏：ファジィシステム演習問題集， 1～206， 工業調査会 (1992)
- 164) 電子情報通信学会：実用ファジィ制御技術， 1～156， コロナ社 (1992)
- 165) 本多中二， 大里有生：ファジィ工学入門， 1～220， 海文堂 (1990)
- 166) 管野道夫：ファジィ測度， 1～288， 日刊工業新聞社 (1993)
- 167) 村上周太：ファジィ制御， 1～296， 日刊工業新聞社 (1993)
- 168) 本多中二， 高木友博：ファジィ・エキスパート・システム， 1～240， 日刊工業新聞社 (1990)
- 169) 廣田薫：ファジィ画像処理， 1～20， 日刊工業新聞社 (1993)
- 170) 石川昭， 三重野博司：ファジィ経営入門， 1～272， 中央経済社 (1991)
- 171) 浅居喜代治：ファジィ経営科学入門， 1～193， オーム社 (1992)
- 172) 浅居喜代治， 田中英夫：ファジィOR， 1～242， 日刊工業新聞社 (1993)
- 173) 田崎栄一郎， 吉田勝美：ファジィ医療診断， 1～272， 日刊工業新聞社 (1994)
- 174) 安信誠二：ファジィコンピューティング， 1～1995， 日刊工業新聞社 (1993)
- 175) 馬野元秀：ファジィ・データベースと情報検索， 1～254， 日刊工業新聞社 (1993)
- 176) 山川烈：ファジィ・ニューラルシステム， 1～192， 日刊工業新聞社 (1995)
- 177) 岩尾憲三：ファジィ理論の農業への応用に関する研究， 中部電力株式会社研究資料， **92**， 65～77 (1994)
- 178) 増井重弘， 寺野寿郎：カーネーション苗の良否判別， インテリジェントシステム・シンポジウム講演論文集， **2**， 323～326 (1992)
- 179) 寺野寿郎， 増井重弘， 田中民雄， 藤原英幸：ファジィ理論によるカーネーション苗の判別， ファジィシステムシンポジウム講演論文集， **6**， 287～290 (1990)
- 180) 毛利健太郎：食品流通・工業分野へのファジィ応用のすべて， 月刊食品流通技術， **20-10**， 10～15 (1991)
- 181) 新穂浩一， 巢山昭文他：ファジィ制御による高度な自動化技術に関する研究， ファジィコンピュータ利用による農産物の最適選別装置の開発 (中小企業庁S)， 1～18 (1991)
- 182) 黒沢正明， 中西洋八郎：画像処理による農畜産物の判別， 日本ファジィ学会誌， **6-1**， 42～48 (1994)
- 183) 朝倉俊行， 上田篤， 日詰誠：農産物の画像認識へのファジィ理論の応用， 日本機械学会論文集， **59-565**， 2739～2744 (1993)
- 184) 小中俊雄：ファジィ機械化計画エキスパートシステム， ファジィ機械化計画エキスパートシステム， 1～171， 平成3～5年度科学研究費補助金 (試験研究 (B)) 研究成果報告

書 (1994)

- 185) 野口良造, 小中俊雄他: ファジィデータを用いた農業機械の経済寿命の評価, 農業機械学会誌, **57-6**, 77~86 (1995)
- 186) Mueller B: Verfahren zum Einsatz von OR-Modellen bei der Loesung, Kiel Milchwirtsch Forschungsber, **46-1**, 33~64 (1994)