

第19期日本学術会議
農業機械学研究連絡委員会報告

機械化された食生産システムにおける安全の確保に向けて

平成17年8月29日

日本学術会議 農業機械学研究連絡委員会

この報告は、第19期日本学術会議農業機械学研究連絡委員会のうち、機械化された食生産システムにおける安全体系小委員会の審議結果を踏まえ、農業機械学研究連絡委員会においてとりまとめ発表するものである。

農業機械学研究連絡委員会

委員長	第6部会員	笹尾 彰（東京農工大学 副学長・理事）
委員	幹事	酒井憲司（東京農工大学大学院共生技術科学研究部 助教授）
委員		梅田幹雄（京都大学大学院農学研究科 教授）
	〃	大下誠一（東京大学大学院農学生命科学研究科 教授）
	〃	木谷 収（日本大学大学院総合科学研究科 教授）
	〃	志賀 徹（宇都宮大学農学部 教授）
	〃	瀧川具弘（筑波大学農林工学系 助教授）
	〃	武田誠一（東京海洋大学海洋科学部 教授）
オブザーバー		村瀬治比古（大阪府立大学大学院農学生命科学研究科 教授）

機械化された食生産システムにおける安全体系小委員会

委員長	農機研連委員	大下誠一（東京大学大学院農学生命科学研究科 教授）
委員	幹事	豊田浄彦（神戸大学農学部 教授）
委員	第6部会員	笹尾 彰（東京農工大学 副学長・理事）
	〃	伊藤和彦（北海道大学 名誉教授）
	〃	内野敏剛（九州大学大学院農学研究院 助教授）
	〃	中野和弘（新潟大学農学部 教授）
	〃	守田和夫（鹿児島大学農学部 教授）

以下の方々は、資料提供、審議参加、報告書とりまとめなどで協力を得た（順不同）。

岩崎浩一（鹿児島大学農学部 助教授）
北村 豊（筑波大学大学院生命環境科学研究科 助教授）
杉山純一（食品総合研究所 室長）
田中史彦（鹿児島大学農学部 助教授）

報告書の要旨

1. 報告書の名称

「機械化された食生産システムにおける安全の確保に向けて」

2. 報告書の内容

1) 作成の背景

食の安全・安心は 21 世紀を貫く重要課題であり、快適で健康な長寿社会を根底から支えるためにも、食生産システムにおける安全性を確保・保証する総合的な技術の構築が求められている。これまでの食生産システムは食料供給力の向上及び品質向上を目指して機械化が進められ、生産、加工、流通、小売りの全ての工程に渡り、機械による自動化と効率化が推進されてきた。しかし、国内自給率 40%の我が国では国際的に流通する農畜産物や食品が多量に輸入され、国内生産のみならず輸入農畜産物・食品を含めた食の安全を保証する技術の体系化が、すべての国民にとって大きな課題となっている。今後の食生産システムの機械化は、生産性及び品質向上の方向性を堅持しつつも、農場から食卓に至るすべての工程における要素技術の開発とそれらを統合した技術的安全体系の構築、ならびに、技術的安全体系を確実に機能させるための技術管理体制の確立及び人材育成を図らなければならない。こうしたすべての国民にとっての重要課題を解決するべく、農業機械学研究連絡委員会では、今期の活動テーマとして、「機械化された食生産システムにおける安全の確保」を取り上げ、審議検討した。

2) 現状及び問題点

日本の穀物自給率は 24%であり、これを補う輸入量は国際流通穀物の実に 13%に達している。一方、食肉自給率は 52.5%であるが、こちらも食肉貿易の 21%を我が国の輸入が占めている。こうした現状では、国内農畜産物の供給力向上だけでなく、国際的に流通する農畜産物及び食品の品質と安全性向上に資する技術開発が必要になる。我が国の食生産システムは、個々には高度に機械化されているが、個々の技術を連携させることにより、生産から消費に至る全工程において、国際基準を満たす食の安全に必要な概念、研究・技術開発の方向、環境整備、コスト、情報管理、事業評価システム等を検討し、統合・体系化する必要がある。

3) 提言内容

(1) 安全性確保に向けた危害要因^{注1)}の監視技術の開発を推進する

国際基準に則って流通する農畜産物、食品の安全性確保に向けて、農場から食卓までの生産、加工、流通、小売、消費段階のすべてにおいて危害要因の早期検出および危害発生監視技術の開発が必要である。機械化された食生産システムに安全性を担保する機能を付与するために、新たに安全性確保のためのオンラインモニタリングを可能にする物理センサーの開発や安全管理・制御システムの開発を推進すべきである。

(2) 安全性確保に向けた危害要因の発生抑制技術の開発を推進する

危害要因の監視技術の開発と並んで、農場から食卓までの全工程にわたって生物学的危害の発生を抑制する技術開発が肝要である。ポジティブリストで制限される化学物質に代わる微生物制御のための物理的殺菌・洗浄技術、温度管理および空調管理技術の開発を推進すべきである。

(3) 国際基準での安全性確保に向けた安全性評価^{注2)}技術開発および人材育成を推進する

食生産システムに関わる安全性を評価するため、包括的なシステム構築が重要である。BSE 発生により注目されたトレーサビリティはリスク管理のための一手法である。これを基にしたリスク管理に加えて、今後は食生産システムでの包括的な安全性評価エキスパートシステムの構築やリスク管理及び安全性評価の資質を備えた人材をe-ラーニングを活用して育成するプログラムの開発等を行い、さらに国際基準に則った安全保証、品質保証プログラムの開発を目指すべきである。

以上、食生産に関わる各種要素技術を俯瞰的視点で捉え、これらを統合して、機械化された食生産システムにおける安全の確保を図るべきである。

注1)「危害要因」は、「食品の安全性に関する用語集(改訂版), 食品安全委員会」にしたがった用語であり、「ハザード(危害要因)」として、次の用語説明がある。
「健康に悪影響をもたらす原因となる可能性のある食品中の物質または食品の状態。危害要因ともいう。例えば、有害な微生物、農薬、添加物や人の健康に悪影響を与える食品自体に含まれる化学物質などの生物学的、化学的または物理的な要因がある。」この意味を有する用語として本文中にも用いた。

注2)「安全性評価」とは、「リスク評価」と同義とされることもあるが、ここでは「リ

スク評価」も含めた広い概念であると考えて用いる。すなわち、「安全性評価」とは、「リスク評価に基づいてリスク管理を行い、この行為の結果と「リスクコミュニケーションにより合意されるリスクの許容レベル」とを統合して達成される概念であるとする。このように定義した上で、「安全性評価」を、「リスク分析」を包含して更に広い意味を有する用語として、本文中にも用いた。

目 次

1 . 報告の背景と目的	1
2 . 安全性確保に向けた危害要因の監視技術の開発	2
2 - 1 . 物理的危険要因の監視技術への取り組み	2
2 - 2 . 生物的危険要因の監視技術への取り組み	3
3 . 安全性確保に向けた危険要因の発生抑制技術の開発	4
3 - 1 . 生産管理工程での加熱殺菌への取り組み	5
3 - 1 - 1 . 加熱殺菌の現状と改善策	5
3 - 1 - 2 . 加熱殺菌技術の高度化	6
3 - 2 . 生産管理工程での非加熱殺菌への取り組み	7
3 - 2 - 1 . マイコトキシンの除去・分解技術	7
3 - 2 - 2 . 高圧殺菌	7
3 - 2 - 3 . 強酸性電解水による殺菌・滅菌	8
3 - 3 . 生産、加工、流通での温度管理への取り組み	10
3 - 4 . 貯蔵、加工、流通での空調管理への取り組み	11
4 . 食生産システムの包括的安全性評価技術の開発	12
4 - 1 . 生鮮農産物のトレーサビリティへの取り組み	12
4 - 2 . 安全性評価エキスパートシステムの構築	13
4 - 3 . 国際基準に従った安全保証プログラム開発への取り組み	14
4 - 4 . IT コミュニケーションによる人材育成プログラム開発 への取り組み	15
5 . 提言内容	16
参考資料（文献等）	18

1. 報告の背景と目的

食の安全・安心は21世紀を貫く重要課題であり、快適で健康な長寿社会を根底から支えるためにも、食生産システムにおける安全性を確保・保証する体系の構築が求められている。これまで我が国の食生産システムは、食料供給力及び品質の向上を目指して機械化が進められ、生産、加工、流通、小売りの全ての工程に渡り、機械による自動化と効率化が推進されてきた。しかし、国内自給率が40%の我が国では、国際的に流通する農畜産物や食品が多量に輸入されている。日本の穀物自給率は24%であり、これを補う輸入量は国際流通穀物の実に13%に達している。一方、食肉自給率は52.5%であるが、こちらも世界の食肉貿易の21%を我が国の輸入が占めている。

こうした現状では、国内農畜産物の供給力向上だけでなく、国際的に流通する農畜産物及び食品の品質と安全性の向上に資する技術開発が必要になる。我が国の食生産システムは個々には高度に機械化されているが、要素技術としての完成度に高いものがある反面、技術間の連携が意図されていないために、その隙間において危害発生を許してしまう可能性が指摘されているところである。このため、今後の食生産システムの機械化は、生産性及び品質向上の方向性を堅持しつつも、農場から食卓に至るまでの各種要素技術の開発とそれらを統合した技術的裏付けのある安全体系の構築、ならびに、技術的安全体系を確実に機能させるための技術管理体制の確立及び人材育成を図らなければならない。

このようなすべての国民にとっての重要課題を解決するべく、農業機械学研究連絡委員会では、「機械化された食生産システムにおける安全の確保」に向けて、審議検討した。その結果、国際基準を満たす食の安全に必要な概念、研究・技術開発の方向、環境整備、コスト、情報管理、事業評価システム等について検討し、統合・体系化する必要があることを指摘し、以下に報告としてとりまとめた。

本報告は、第1章で報告の背景と目的について述べた上で、第2章及び第3章で、安全性確保に向けた危害要因の監視技術の開発及び危害要因の発生抑制技術の開発というハード面からの取り組みについて述べ、第4章で食生産システムの包括的安全性評価技術の開発というソフト面からの取り組みについて記し、第5章において、これらを踏まえた提言内容をまとめたものである。

2 . 安全性確保に向けた危害要因の監視技術の開発

食生産システムでの安全性確保は最大の課題である。危害発生は生産、加工、貯蔵、流通、消費のあらゆる段階で起こる可能性がある。農畜産物や食品に対する危害要因の監視の中で、異物検出技術の開発は特に重要である¹⁾。これには、主に微生物汚染を対象として培養検査などの方法で検出する生物学的検査、残留農薬や化学添加物等を対象として化学的な分析によって検出する化学的検査、そして金属片、プラスチック片、昆虫等の可視異物を対象として培養や分析以外の方法で検出する物理的検査がある²⁾。これらの異物検出技術を機械化された食生産システムに組み込むには、オンライン化技術、すなわち、物理センサー技術の開発が不可欠である³⁾。ここでは物理的及び生物的危害要因の監視技術の現状、問題点および将来像について述べた。

2 - 1 . 物理的危険要因の監視技術への取り組み

物理的異物の検出は、化学的、生物的異物と異なり、全量の検査が必要になる。古くは、生産ライン上での目視による検出が主流であったが、機械化が進むにつれて、穀物などに見られるように比重や重量による選別・検出が主流になった。しかし、食生産システムでは、安全性を確保するために、より精度が高く、非破壊でかつ大量の農畜産物や食品を迅速測定可能なシステムの開発が課題となっている。非破壊異物検出技術には、光学的方法、放射線的方法、電磁気学的方法などが考えられる。光学的方法には紫外線の蛍光、可視光線の透過反射、近赤外線のスเปクトル、赤外線の熱画像など、放射線的方法にはX線の透過、CT化など、電磁気学的方法には電気伝導度、誘電率、インピーダンスなどを利用した計測技術が考えられる⁴⁾。これらの計測原理の多くは古くから知られ、繰り返し、多くの研究者が開発・向上に取り組んできた課題でもある。それらは、計測手法、利用したセンサーの精度、データ処理法において異なってはいるが、技術は格段の進歩を遂げている。例えば、ハニウエル社が軍需用に開発した高精度の磁気センサーは、最近低価格で民需用としての利用が可能になったため農業への応用が考えられている。また、eV プロダクト社が宇宙産業用に開発した放射線センサーも民需用に利用可能となり、農業および食品分野での応用の可能性が広がっている⁵⁾。

農畜産物や食品が国際的に流通する時代を迎えた近年、その安全性を確保することは一層重要な課題となっている⁶⁾。また、一方では国際的な流通量の増大により、従来の品質評価技術では迅速かつ全量の検査が不可能となり、新しい品質評価システムの開発が求められている。かつては近赤外線を中心とした数多くの非破壊検査技術が開発されてきたが、近年のセンサー技術、画像処理技

術の急速な発展により、従来不可能とされてきた品質計測が可能となり、新しい視点に立った異物検査技術の開発が可能になっている。特にX線による異物検出技術と画像処理技術は急速な進歩を遂げている。したがって、今後は、食生産システムに安全性を担保する新しい概念でのセンサー技術、異物検出技術の開発を目指す必要がある。

2 - 2 . 生物的有害要因の監視技術への取り組み

有害の発生頻度が高く、重篤な疾病をもたらす主要な有害要因は微生物であり、食生産システムにおいても、その制御は不可欠といえる。しかし、圃場等の開放的な生産環境下で、微生物汚染を避けることは非常に困難である。そこで、適正農業規範⁷⁾の導入により、土壌、用水、肥料・飼料等の栽培環境や原料資材における汚染低減と、O157:H7等の疾病原因菌の汚染経路を確実に遮断することが微生物有害の防止に繋がる。このため、生産プロセスにおける微生物汚染の監視対象は、作物や農産物等の食物自体と用水や肥料などの栽培環境や原料資材となる。また、ポストハーベストや流通、加工の分野では、設備・装置や資材、作業員等からの交差汚染⁸⁾の危険性が最も懸念されるため、交差汚染が監視の対象となる。

通常、微生物の検出には公定法である平板培養法のほか、迅速な検出が可能なATP生物発光法⁹⁾、インピーダンス法¹⁰⁾およびDNAプローブ法¹¹⁾が、また、簡便な操作のペトリフィルム測定^{12, 13)}、スパイラル・プレーターなどによる自動測定システム¹⁴⁾などが利用されるが、それらの多くは実験室レベルの測定環境を要し、また、抜き取りサンプルによる測定のため、製品検査には適用可能だが、工程管理には必ずしも適するとは言えない。そのため、新たな微生物計測法が開発が進められている。そのうち、誘電泳動による菌収集と菌集積に伴う微小電極間のインピーダンス変化により菌量を測定する誘電泳動インピーダンス測定法(DEPIM)では、大腸菌や酵母の生菌数をCFU値(コロニー形成単位)として数十分以内で測定することが可能である^{15, 16)}。また、キャピラリー電気泳動による菌の分離技術¹⁷⁾も検討されており、前者との組み合わせにより、菌種毎の生菌数測定の実現性も高い。培養時の代謝産物の電気的特性から菌の検出を迅速に行うインピーダンス・マイクロバイオロジーも過去20年の間に発展を遂げている。このような電気化学や電磁気学を基礎とする微生物の検出・操作技術は、マイクロマシニング技術(MEMS)の支援により、今後一段と発展する兆しが伺える¹⁸⁾。また、近赤外分光法により、黄色ブドウ球菌などのコアグラゼ陽性ブドウ球菌群をコアグラゼ陰性菌群と識別、測定する方法¹⁹⁾も検討されている。

一方、微生物の直接計測ではなく、関連物質に着目した微生物危害の監視も工程管理面では有効かつ重要である。ATP 生物発光により、微生物の栄養源となる食品残渣の機器や器具への残留量を調べる方法²⁰⁾はよく知られている。天然物で最強の発癌物質とされるアフラトキシン(カビ毒の一種)は紫外線に対して蛍光を発することから、紫外線照射による検出が可能である^{21, 22)}。また、ネズミの尿に含まれる物質を紫外線照射の蛍光発光により検出し、ネズミの活動範囲を尿の分布から知ることが可能である²³⁾。これは、微生物汚染の媒介役となるネズミによる交差汚染の監視に有効な方法といえる。このほか、抗原抗体反応や糖鎖結合²⁴⁾を利用し菌を捕捉、固定化し、表面プラズモン共鳴センサー²⁵⁾や水晶体マイクロバランス²⁶⁾により菌濃度を測定することも可能である。

このように食料の生産、ポストハーベスト等における微生物危害の監視技術には既に利用可能なものもあるが、工程管理に利用可能な簡便、迅速な微生物検出法の開発が待たれているのが実情である。更に、常時モニタリングや全量検査に適した測定方法の開発も重要である。

3. 安全性確保に向けた危害要因の発生抑制技術の開発

食品安全管理システムの事実上の世界標準である HACCP では、危害要因を物理的・化学的・生物的・化学的・生物的・化学的・生物的に分類し、その危害要因の特性を、適用対象の工程において調査分析し、適切な制御を実施することを大きな枠組みとしている。農業をはじめとする食料の一次生産では、その生産形態から、農作物は多種多様な危害要因に頻繁に暴露される。一方、一農家という小さな経営規模の事業体では、工程の作業標準の設定も容易でない場合が多いため、安全管理は、HACCP の以前の適正農業規範(GAP)に多くを依存せざるを得ない。

食の安全を脅かす最大の危害要因である微生物による食中毒の防止策では、疾病原因菌を食品に「付けない」、「増やさない」、「殺す」ことが原則とされている。これは他の危害要因においても基本的に共通するものと考えられる。即ち、危害防止には、危害要因を含む環境に食品を暴露せず、危害要因との接触を断つこと、食品に付着、混入した危害要因が危害発生に至る過程を抑制すること、食品から危害要因を除去することであり、「隔離」、「抑制」、「除去」が防止策の柱となる。このうち「隔離」は食品に直接関わるというよりも、施設のゾーニングや製造動線の設定に依存するものであり、必要とされる技術は、施設管理、運営に関するものとなる。一方、後二者は農産物の温湿度管理、加熱処理をはじめとする殺菌、保存料を含む食品成分の調製、異物の物理的除去等の要素技術に依存するものとなる。

3 - 1 . 生産管理工程での加熱殺菌への取り組み

3 - 1 - 1 . 加熱殺菌の現状と改善策

加熱殺菌は極めて安全で確実な方法であることから、農産物・食品の微生物管理に古くから利用されてきた。しかしながら、加熱は殺菌対象の物理的、化学的变化を引き起こすことがあり、加熱温度と処理時間によっては製品の褐変、異臭、酸化、ビタミンの熱分解、デンプンの 化、タンパク質の変性等²⁷⁾が問題となることがある。また、70～90 付近に最高増殖温度域を持つ高温性菌に対する対応の必要性もある。

従来、農業の生産現場では化学的殺菌法を利用することが多く、加熱殺菌法は食品産業分野で多く使われてきた。しかし、収穫前の農業生産では施設栽培の土壌消毒には水蒸気や太陽熱²⁸⁾を利用した加熱殺菌、種子消毒には乾熱殺菌²⁹⁾が利用されている。収穫後の原料穀物は乾燥により水分活性を下げることで微生物の増殖を抑えてきたが、乾燥は静菌処理であり、穀物が流通・加工工程で微生物の好適増殖条件に遭遇すると微生物が爆発的に増殖し、甚大な被害を招く可能性がある³⁰⁾。このため、原料穀物の殺菌も必要と考えられ、加熱殺菌では赤外線殺菌が研究されている³¹⁾。赤外線殺菌は低コストで大量処理が可能であり、また、短時間で効果が得られるため、穀物の殺菌に非常に有利である。また、照射時間が短ければ、穀物表面のみの温度上昇ですむため、前述の加熱殺菌に伴う問題は表層にとどまり、ヌカ層やフスマを取り除いて食用にする原料穀物では変性部を除去することが容易である。乾燥状態の胞子の殺菌には赤外線が乾熱より効果的であることは明らかとなっているが³²⁾、赤外線には線のような透過性がないため陰の部分が生じ、被照射面の反対側に表在する微生物の殺菌が困難となる短所も併せ持つ。この問題を解決するためには攪拌や振動による穀粒の反転を行わなければならない。

輸送工程では農産物は殺菌操作を経ることがなく、この後は食品工場内での操作が主となる。食品製造における加熱殺菌は、設備機器と原材料・製品に対し行われる。比較的小型の設備機器にはオートクレーブや乾熱滅菌器を用い、大型の設備には熱水や過熱または飽和水蒸気 (SIP) を用いる³³⁾。原材料・製品の殺菌は加熱殺菌が一般的であり、付着性、吸水性の強い粉粒体以外は乾熱より殺菌効率の高い湿熱殺菌が用いられる。これらは熱水、蒸気、レトルト等で、対象食品によって加熱方法が異なり、熱による品質劣化を避けるため温度と処理時間に注意が必要で、例えば、果汁や牛乳には高温短時間加熱法 (HTST) が適用される。これらの殺菌装置は対象食品が限定され、多量処理を前提としたものが多いことから、他品種、少量処理に向けた装置の開発も検討すべきで

ある³⁴⁾。食品の包材は熱可塑性樹脂等熱に弱いものもあり、薬剤洗浄による殺菌が多いが、PETボトルのキャップなどは蒸気殺菌する場合もある³³⁾。これら以外の加熱殺菌としては、内部加熱法であるマイクロ波殺菌や通電処理（ジュール熱殺菌）がある。前者はレトルト食品、菓子³⁵⁾（コロネパン、シュークリーム、食パン、クリームパン）、かまぼこ、鶏肉などについて適用例がある。コロネパン、シュークリームについては、照射時間、照射電力の異なる加熱条件を設定し、外観と殺菌達成度から実用領域を決めている。後者は小麦粉の殺菌等に用いられ、殺菌対象物の電気抵抗により発生するジュール熱を利用して殺菌する。

このように、農産物・食品の微生物危害を制御するために加熱殺菌は有用である。しかし、さらに、安全性、品質、経済性を改善するため、低温殺菌技術や静菌技術等の他の要素技術と組み合わせ、それぞれの措置をハードルとみなして総合的に微生物危害を制御する技術、すなわち、ハードルテクノロジー³⁶⁾についても検討する必要がある。また、マイクロ波殺菌を含む熱殺菌については、予測微生物学を基礎とした菌の生育死滅予測モデルの開発が活発に行われており³⁷⁾、加熱工程の管理基準の設定に効果を上げている。

3 - 1 - 2 . 加熱殺菌技術の高度化

加熱殺菌法は、食品の殺菌で最も多用されている技術である。しかし、装置設計上の問題あるいは不適切な操作・制御、微生物挙動に関する情報の不足などが原因となり微生物的要因による危害の発生が後を絶たない。これらの問題を回避するために、HACCPなどの衛生管理システムの導入や装置、製品ごとに温度履歴を把握する努力が図られ安全対策が取られているものの、抜本的な解決策の実現には至っていないのが現状である³⁸⁾。

加熱殺菌を経済的かつ安定的に達成するためには、食品の置かれている状況をモニタリングシステム等によつて的確に把握し、適切な管理を行うことが大切である。これに加えて、加熱殺菌システムでの微生物的リスクをコンピュータ・シミュレーション技術等によつて事前に評価し、管理することが重要となる。衛生的、安定的な製造ラインを適切に設計するとともに、工学的、生物学的方法によつてそこに生存する微生物の挙動を予測し、微生物的有害要因に対する食品の安全性を評価すること、これによつて食の安全を確保することが期待される。また、現行技術の完成度を高めるのみならず、新技術の開発にも留意する必要がある。今後は、(1)CAD/CAMなどによる加熱殺菌装置の最適設計技術の開発、(2)温度分布モニタリング・制御システムの開発、(3)加熱に関する情報のオンラインデータベース構築と工学的手法及び生物学的手法の

融合による加熱殺菌シミュレーション技術の開発³⁹⁾、(4)加熱殺菌評価システムの開発、(5)加熱殺菌技術の新規開発など、多面的なアプローチによって加熱殺菌で生じる種々の問題を抜本的に解決し、消費者に安全・安心な食品を提供する必要がある。

3 - 2 . 生産管理工程での非加熱殺菌への取り組み

3 - 2 - 1 . マイコトキシンの除去・分解技術

農産物や食品における化学的危険は、(1)生物由来の天然化学物質、(2)人為的に添加される化学物質、(3)偶発的に存在する化学物質、の3つに原因があるとされている⁴⁰⁾。これら化学物質による人体へのリスク評価は大変困難であり、一般にそれは過小評価されることが少なくない。しかし化学的危険による食中毒がその死亡者数に占める割合は決して小さくないため、これに対する万全の備えが強く求められる。農産物や食品中の多くの生物的危険要因、すなわち病原性微生物は、加熱殺菌あるいは加熱調理により死滅させることができるのに対して、化学的危険原因物質は熱操作では分解されないことが多く、また、その検出には時間と労力を要する⁴¹⁾。中でもカビ毒(以下マイコトキシン)は、年間で世界の約25~50%の穀物を汚染している(FAO)とも言われており、特に東南アジアでは、高温多湿な気候の影響や十分な貯蔵・乾燥施設がないことから、マイコトキシン汚染が農業・食料生産に与える損害は深刻である。マイコトキシンによる穀類、種実類、豆類、香辛料等への汚染経路は複雑であり、畜肉や酪農製品への二次汚染も考えられるため、感染原因の追求は容易ではない⁴²⁾。また、作業基準を遵守し衛生管理を徹底的に行うGAPもマイコトキシンの制御には必ずしも十分とはいえない。そこでGAPの上位システムにあたるHACCP的な管理手法を、農産物や食料の生産(収穫前)段階から収穫・調製段階、貯蔵・輸送段階、加工段階のすべてに適用すれば、マイコトキシンによるケミカルハザードを最小限化する総合的管理システムを構築することができる^{43, 44, 45)}。

3 - 2 - 2 . 高圧殺菌

微生物は数100MPaの高圧で死滅することから、これを利用した高圧殺菌が食品の微生物制御に応用されている。高圧殺菌は、加熱、化学薬品、紫外線、放射線などの殺菌法と比べ、成分変化、ビタミン等の栄養素の破壊、異臭の発生、毒性因子の発生を伴うことが少なく、また、食感・香味の喪失がほとんどないため、粉・粒状、乾燥食品を除いた種々の食品に利用できる⁴⁶⁾。

高圧殺菌技術は高い静水圧に耐える堅牢な耐圧容器が必要であるため、通常

はバッチ式で処理が行われる。固体食品であれば、柔軟なプラスチックパウチ等に入った食品を清浄な水中に入れ、水を圧縮することで高圧に暴露する⁴⁷⁾。あるいは液状食品であれば、これを直接ピストンで押して圧力を掛ける。このため、装置の小型化、処理後の製品取り出し法の簡易化、連続的な処理、

圧力媒体からの汚染防止等の問題が完全には解決されておらず⁴⁸⁾、高圧殺菌技術を高度化するためにはこれらに対処することが必要である。また、殺菌力の向上も必要で、これには加圧と減圧を組み合わせる方法などが実践されているが⁴⁹⁾、さらに殺菌力を向上させ、処理圧をできるだけ小さくして装置を小型化するために、事前に食品に二酸化炭素を吸収させ、減圧時のガスの膨張により殺菌する方法もとられる⁵⁰⁾。また、他の殺菌法、例えば、紫外線殺菌、パルス高電圧殺菌等と組み合わせることにより、殺菌力を向上させる方法も検討が必要である。

装置以外の問題として、高圧殺菌は加熱殺菌と比べ歴史が浅いため、微生物の死滅に関するデータの蓄積が少なく、また、加熱殺菌のように一次反応に従わないことから、微生物の挙動を予測するプログラムの作成等が困難な状況にある。高圧殺菌により加熱殺菌と同等な微生物制御を行うためにも、これらは解決しなければならない問題である。

3 - 2 - 3 . 強酸性電解水による殺菌・滅菌

各種農水産物を原料とする加工食品(非可食部を取り除いた食品も加工食品の範疇に入れる)の生産・消費量は増加の一途を辿っている。この理由には、女性の社会進出による家庭内での食事の簡便化が進むとともに都会を中心とした一人暮らし家庭の増加によって加工食品の消費量が増加していることが考えられる。さらに、加工食品を多用する外食店の利用機会が増加していることも、加工食品の増加理由の一つである。家計費に占める加工食品の購入費(外食に伴う費用を含む)の比率は40%を超えており、加工食品の存在なしには日々の食生活が成り立たないのが現状である。

多くの消費者は食生活の簡便化をうけ入れつつ、食の安全性を強く意識している。加工食品の多くは工場で大量に生産されており、ここでの事故発生は社会に大きな影響を与える。食の安全を損なう最大の原因は、食中毒の発生である。日本国内の食中毒患者数は統計上は3万人程度とされているが、実際の患者数はこれを上回ると予想され、患者数が減少する傾向にはない。発生場所別の食中毒患者数を見ると、不特定多数の客に飲食を提供している外食店での飲食が原因となった患者数が最も多くなっている。従って、加工食品の安全確保は非常に重要で、危害要因の発生抑制技術を早急に確立する必要がある。この

ことは、消費者はもとより、加工食品の原料の生産者、加工業者及び流通業者からも強く望まれている。加工食品の安全確保には、原料生産から製品の消費までの各工程における微生物管理技術の確立が必要になる。

農産物を原料とする加工食品を例にすると、原料農産物は土壌由来の微生物が多く (10^3 - 10^8 (CFU/g)) 付着しており、病原性微生物の付着の可能性もある。一方、カット野菜を代表とする野菜加工品の殺菌・滅菌は、原料から製品まで一貫して非加熱殺菌法を採用する必要がある。非加熱殺菌法としては薬剤、電磁波、高圧および植物から抽出物の利用などが考えられるが、殺菌効果や機器装置の価格、さらに消費者の意向等の理由によって、農水産物の加工工程では薬剤殺菌法が非加熱殺菌法として採用されている。薬剤を直接食品に接触させて利用する場合の原則は、薬剤が食品添加物として認められていることである。従って、利用できる薬剤の範囲は狭い。その中で、現在、一般的に利用されている薬剤として次亜塩素酸ナトリウムがあり、生産工場では、これを濃度 150-200mg/kg(ppm) 程度の水溶液に調製して使用している。しかし、調製の煩雑さと製品に残存する塩素臭などの理由により、加工業者および消費者の双方から新しい殺菌法の開発が強く望まれている。

一方、最近、強い殺菌力を示し、塩素濃度(有効塩素濃度)の低い殺菌剤として「強酸性電解水」が注目されている。強酸性電解水は、低濃度の食塩水(0.1-0.5%)または低濃度の塩酸水溶液をイオン交換膜で分割した槽内に入れ、これを 30V 程度の低電圧で電気分解することによって調製が可能である。強酸性電解水は陽極側で生成され、pH2 程度の強酸性状態で有効塩素濃度は 40mg/kg 程度を示す。同時に、陰極側で、洗浄力を持つ強アルカリ性(pH11 程度)電解水が生成される。

このように強酸性電解水の調製方法は簡単で、製造機器も簡易な構造であり、価格も比較的廉価である。一方、有効塩素濃度を次亜塩素酸ソーダの 1/4 程度に減少しても殺菌効果に遜色はなく、製品の品質保持に有効であることが明らかにされている。この理由は、強い酸性条件下では、有効塩素が殺菌力の強い次亜塩素酸の形で存在することによるものである。強酸性電解水の殺菌効果は、対象物によって大きく変化する。野菜を例にとると、表面の組織の違いによって殺菌効果が大きく変化し、さらに、表面に付着した汚れの程度が増加すると殺菌効果が低下することが明らかにされている。従って、表面組織が異なる対象物毎に有効塩素濃度を調製することが求められ、殺菌の前処理工程として洗浄を行うことが必要である。この洗浄には、既述した強アルカリ性電解水の利用が有効である。カット野菜の殺菌においては、5 分間程度の短時間浸漬殺菌によって、初発菌数を $3 \log_{10}$ CFU/g 程度減少させることが可能になったが、バイ

オフィルムで保護されている微生物を滅菌することは困難である。このように、強酸性電解水の農水産物への適用には微生物数をゼロとする滅菌作用は期待できず、従って加工工場から消費者の手元に到着するまでの工程を低温に維持することが必要である。このため、微生物制御と組み合わせた方式を採用し、増殖予測式を用いて温度条件に応じた微生物の増殖を予測し、温度制御を行う必要がある。同時に流通過程における温度変化をモニタリングする方法の確立が必要である。一方、流通中の温度管理と殺菌工程を組み合わせた方法として、「電解水氷」を用いた流通体系が考えられる⁵¹⁾。強酸性電解水を凍結し、強酸性電解水氷を調製して用いる流通方法であり、温度管理と微生物管理を同時に行うことが可能となる。強酸性電解水は、現在広範囲に用いられている次亜塩素酸ソーダ水溶液による非加熱殺菌方法と比較して、殺菌力は同等であるにも拘わらず品質低下が少なく、作業者に対する悪影響が少ない長所を保持している。この長所を生かして、今後、強酸性電解水および強アルカリ性電解水を組み合わせた対象物別の殺菌条件と流通過程における微生物制御方法(ソフトウェアの開発)、強酸性電解水氷の利用方法等の確立が重要となる。

3 - 3 . 生産、加工、流通での温度管理への取り組み

化学反応速度は温度の関数であることから、温度はタンパク質の熱変性を伴う食品の加工、微生物の殺滅に多大な影響を及ぼす因子の一つである。このため、生産・加工工程において、温度には安全上、また、品質保持上、厳密な管理が要求され、例えば、加熱食品では重要管理点 (CCP) である加熱工程、冷却工程、保管工程の管理基準とされ、モニタリングパラメータとなっている。CCP のモニタリングパラメータとしての温度は、モニタリングが容易で、かつ連続的に測定が可能であることが重要で、製品の内部温度よりも蒸煮水槽の温度の方が、測定が連続的かつ容易にできることから管理基準として適当とされる⁵²⁾。

流通工程では、1965 年の科学技術庁のコールドチェーン勧告以来、食品の低温流通システム作りの研究が進められ、現在では卸売市場に低温売り場を設けたところもあり、コールドチェーンは切れ目なく完成したかのような印象を受ける。しかしながら、温度管理は十分でなく、例えば青果物の流通では、予冷後の農産物の品温が庫外で荷積み待ちの間に上昇したり、トラックの経由地での荷下ろしの際に、そこでは荷下ろしされずに最終目的地まで輸送される品目の温度が上昇したりする現象が起こっている⁵³⁾。また、トラックの荷積み効率を上げるために熱負荷が過多となり、冷蔵車の冷凍機の能力不足を生じている例も見られる。このため、これらの温度変動が品質へ及ぼす影響を測定する研究、あるいは温度変動下の呼吸速度を予測する研究等が行われている⁵⁴⁾。これ

らを基にして、コールドチェーンの効果を最大に得るために、農協や運送会社の職員向けのマニュアルの整備等、現場の教育を図っていかなければならない。

食品中の微生物の挙動は予測微生物学によりモデル化され、一定温度下での微生物の増殖・死滅をある程度予測することは可能であるが、実際の流通・貯蔵過程の温度は上述のように変動しており、また、熱殺菌においても加熱開始から終了までの品温は一定でないことから、変動温度下での微生物の挙動を予測するモデルが必要である⁵⁵⁾。

3 - 4 . 貯蔵、加工、流通での空調管理への取り組み

フードチェーンにおける空気調和では温湿度、気流、塵埃、有害ガスなどの条件を、農産物及び食品に対し最もよい条件に保つことが望まれる。適切な空調管理を行うためには、従来の熱負荷計算や空気調和計算、空調計画、空調制御、コスト計算はもちろんのこと、衛生管理面からのアプローチが重要となる。そこで、衛生管理面から注目される取り組みについて概説し、その重要性を指摘した。

微生物制御の観点からは、微生物の侵入及び増殖を抑制する空調計画を検討することが大切である。結露の発生による微生物の増殖にみられるように、温湿度条件は微生物的リスク管理の最大の要因となるであろうし⁵⁶⁾、気流の適正な管理は浮遊菌による二次汚染を抑制する上で重要な役割を果たす。食品に有害な微生物の多くは大気中に浮遊する 0.2 ~ 5 μm 程度の塵埃に付着して存在するため⁵⁷⁾、塵埃除去は、異物混入の防止のみならず微生物の増殖抑制にも役立つこととなる。従来、空調装置の付加機能として考えられていた空気浄化装置は、浮遊菌の除去や生鮮物鮮度保持の面で負の要因となるエチレンガスを除去するなど、食の品質・安全管理に積極的な役割を担うようになってきた。このような空気浄化技術の中でも、特に、光触媒を利用した強力な酸化分解作用による放電型光触媒除菌・脱臭技術が飛躍的な進歩を遂げており、今後の進展が期待される^{58 - 60)}。

先に述べた結露の発生は、外気の状態、空気の淀み、設計・施工不良など複合的な要因で生じるといわれている。また、二次汚染を抑止するためには、洗浄度の低い区域からの汚染空気が食品に直接接触しないように、気流方向を検討する必要がある。これらの課題に取り組む際に有用となるのが、熱・流体解析技術である。最近、空調機器の開発現場にも熱・流体解析技術が導入されてきている⁶¹⁾。近年の傾向として、コンピュータの高速化や汎用解析コードの普及も手伝い、コンピュータによる実モデル規模での熱・気流解析が進められるようになってきた。しかしながらまだ発展途上の技術であり、空気調和に要求

される事項をすべて満たすには至っていないのが現状である。食品の微生物的リスクを評価・管理するためには、今後、浮遊菌の飛散や微生物挙動の予測を含む総合的な空気調和解析ソフトウェアの開発が必要となる。フードチェーンに設置された通信インターフェースを持つ計測器で記録された温湿度データをPDA（個人用携帯情報端末）に送信し、端末上で微生物増殖を予測するシステムも開発されており⁶²⁾、空調施設内でのリスク管理においても有益な結果をもたらすことが期待されている。ここでは、衛生面のみに焦点を当てた検討を行ったが、この他にも現在、注目されている自然冷媒空調システムの開発⁶³⁾や省エネ設計・利用、製品の環境への影響を評価するライフサイクルアセスメント（LCA）手法の一層の導入・環境影響評価の推進など環境面への対応も必須となる。

4．食生産システムの包括的安全性評価技術の開発

生産、加工、貯蔵、流通、小売段階での安全性評価技術は、トレース、リコールプログラムを含め、チェーンシステムとして評価することが重要である。たとえば、国際基準での安全保証プログラムの生産段階においては、食品セクターカテゴリーとして、家畜・狩猟用動物の飼育、捕獲、動物飼料の生産と製造、生鮮食品の栽培及び生産、生鮮物倉庫事業、大規模農耕事業、農薬散布の提供、農作物の収穫作業など、農業施設関連分野に関するものが含まれている。危害発生は生産、加工、貯蔵、流通、消費のあらゆる段階で起こる可能性があり、それを制御、監視する技術は基本である。HACCPシステムでも微生物管理は温度管理であり、微生物増殖予測が可能になれば、従来とは異なる安全管理技術が生まれる⁶⁴⁾。トレーサビリティにおける安全情報管理や人材育成プログラムの開発では、ITを活用することにより安全性評価技術は格段に進化する。食生産システムでの包括的な安全評価のためには、国際基準での制度的体系と同時に技術的体系を構築することが重要不可欠である⁶⁵⁾。そこで、安全評価のためのトレーサビリティ、エキスパートシステム、国際基準での安全保証プログラムおよび人材育成プログラムの開発の必要性、問題点、将来像について具体的に述べた。

4 - 1．生鮮農産物のトレーサビリティへの取り組み

牛に関しては、BSEの発生を機に、「牛の個体識別のための情報の管理及び伝達に関する特別措置法」が制定され、約400万頭の牛に耳票をつけて一気にデータベース化（牛個体識別システムの稼働）がなされ、トレーサビリティが実現されている。しかし、生鮮農産物に関しては、法律によらない任意の

取り組みであること、広域での市場流通が前提であること、この2つが牛のトレーサビリティとは大きく異なる点である。これまで国の補助事業等で多くの実証実験がなされ、様々な農作業記帳システムも民間レベルで開発されている。これらの記帳システムにおける大きな役割は適正な農薬使用のチェックであるが、そのチェックに必要な農薬情報取得の困難さが大きな問題となっている。現状は有償の農薬情報を各社が購入し、それをシステム上でチェックできるように改変して利用しているが、この農薬データベースの維持・メンテナンス費用がシステム普及への妨げとなっており、共通で誰もが自由に使える標準農薬データベースの公開が期待されている⁶⁶⁾。また、システムの相互利用も今後必要とされる大きな課題である。生産者が複数の流通ルートに出荷している場合、同じ生産物でもそれぞれの流通ルート毎に異なったシステムへの入力が必要とされており、あるいはある店舗で複数の生産者から入荷する場合、それぞれの生産者が異なったシステムを利用していると、店頭での情報開示装置も各システムに応じた装置を用意しなければならない。これらの問題点に対しては、各社のデータをXML (eXtensible Markup Language) 等による標準フォーマットに変換するゲートウェイシステムを誰もが接続できるような公的機関で運用し、普及を図ることが一つの解決方法として掲げられる⁶⁷⁾。また、トレーサビリティシステムは安全・安心を確保する手段として脚光を浴びたが、実際には、そのためだけには膨大なコストをかけられないという制約がある。一方で、そこに集まる生産情報は、単にトレーサビリティだけではなく、物流管理、電子商取引や食品工場における原料素材管理、あるいは消費者とのコミュニケーション等、多様な利用用途が考えられる。従って、トレーサビリティだけに限らず、これらの様々な用途への情報加工によりコスト吸収を行うとともに、さらに積極的に新産業創出に結びつけることが実用と普及への現実的な方策と考えられる。

4 - 2 . 安全性評価エキスパートシステムの構築

21世紀は、グローバルな視野からの食の安全が問われる時代である。農畜産物が国際的に大量に流通する時代を迎えた今日、いかにして食の安全を確保し、人の健康を守るかが問われている。食の安心は科学的に裏付けされた安全によって支えられるものであり、人類の持続的発展を根幹から支えるべきものである。国際社会はSQF1000/2000やISO22000などによる食品の安全・品質マネジメントシステムの開発に力を注いでいるが、フードチェーンにおけるリスクを評価し、安全を確保するためのエキスパートシステムの開発が急務であることは疑いの余地が無い。周知のとおり、安全管理規格に基づく食品の生

産管理の中で最も重要性の高いものは、菌類の繁殖による人体への危害抑制管理である。現在、工学的アプローチから食品の安全性を評価するエキスパートシステムは存在しておらず、評価の参考となる予測微生物学データベースソフトが存在するのみである。この中でも、2003年にUSDAとイギリスFSAなどが共同開発したオンライン予測微生物学データベース ComBase が完成度の高いソフトウェアのひとつとして上げられる^{6,8)}。ComBaseには20,000例以上の増殖および死滅曲線と8,000例以上の増殖係数が入力されており、更なるデータの集積が望まれる。今後、リスク評価の分野においては、フードチェーンにおける微生物の挙動予測とこれに基づく安全性の評価が重要な課題になることが確実であり、フードチェーン各工程の伝熱工学的な視点からのモデリング、シミュレーション技術と予測微生物学データベースの融合、モニタリングされた環境データの微生物学的視点からの分析方法の確立、さらには、インターネット等による情報ネットワーク化が食の安全性評価技術開発の新展開を生むものと期待される^{6,7)}。リスク評価、リスク管理、リスクコミュニケーションを行うためには広範な知識、能力、そして経験を必要とするため、これを支える人材の養成を行う一方で、専門家に代わる食の安全性評価支援システムの開発に着手する必要がある。

4 - 3 . 国際基準に従った安全保証プログラム開発への取り組み

国際的に流通する農畜産物、食品の安全を保証するために、各国は様々な基準、規格を持っている。2005年9月には、CODEXが中心となり、ISO9000とHACCPを基礎とした食品安全・品質マネジメントシステムであるISO22000が国際統一規格として新たに立ち上がろうとしている^{6,9)}。しかし、これは加工、流通、小売段階での安全性を確保するものであり、生産（圃場）段階での安全をカバーしていない。欧州では、生産段階では、EurepGAP、IKB、SQF、Organicなどがあり、加工、小売段階では、スーパーの小売業者によって作られたBRC、IFS、SQFなどがある。日本でも新JAS法を控え、有機認証、GAP、残留農薬基準、食品表示法などの制度が大幅に改定されようとしている。しかし、消費者は、分かりやすい一つの認証システムで生産、加工、流通、小売がつながるチェーンシステムを待望している。BSE発生による肉用牛のトレーサビリティシステムは一つの日本でのモデルである^{7,0)}。国際的には、SQF (Safe Quality Food) が有望なマネジメントシステムの一つであり、SQFは安全と品質を網羅し、全ての段階での国際認証が可能なプログラムである。SQF認証には1000と2000があり、1000は生産段階、2000は加工、流通段階に適用されるプログラムである。また、オプションとして、遺伝子組み換え、環境汚染など様々な

項目を加えることが可能であるので、地域に適した柔軟性の高いプログラムとなる。SQF2000、1000の構築にはGAP、SSOP、HACCP、SQFの順番で進めることが必要であり、安全管理には、ハードウェアと共にソフトウェアの充実すなわち、安全マネジメントのための人材育成が不可欠である⁷¹⁾。

しかし、これらは法律や制度を包括的に捉えてマネジメントシステムを構築するものであり、それらを支える技術なくしては成立しない。すなわち、危害要因の監視技術や危害要因の発生抑制技術などが、安全を技術面から支えている。このような最新の技術を組み込んだ安全保証プログラムを構築することが、今後一層重要となる。

4-4. ITコミュニケーションによる人材育成プログラム開発への取り組み

食の安全性を適正に評価するためには、広範な知識や経験が必要とされる。これらの知識や経験を身につけるためには、食の安全に携わる専門家から体系的なカリキュラムのもとで指導を受けると同時に、生産現場、流通加工現場、消費現場などを訪れ、それぞれの現場に携わる人々の声を聞くなど実体験を通して研鑽を積むことが望まれる。しかし、食の安全性は極めて多くの要素を考慮する必要があり、分野ごとの専門家が散在している。また、生産から消費に至る現場は地域によってそれぞれの特徴を有しており、これらを体験するには、多大の時間と経費を要する。さらに、食料の多くは海外からの輸入に頼っている状況にあり、それぞれの生産現場を訪ねることは容易なことではない。しかしながら、当面する食の安全性評価システムの確立は急務の課題であり、この課題に対処できる人材の育成を速やかに行うことが望まれている。

一方、IT環境の進展には目を見張るものがある。従前は不可能であった遠隔地とのテレビ会議等もインターネット接続のコンピュータを備えていればできるようになってきており、臨場感をもって現場体験をすることも可能となりつつある。そこで、目覚ましい進展を遂げているITコミュニケーションを利用したプログラムを開発すれば、食の安全性評価に資する人材育成を迅速で効率的に行えることになる。

eラーニングと呼ばれるIT環境を駆使した人材育成手法では、インターネットを利用したライブ授業を実施することによって、通常ならば不可能な国内外の専門家の講義を定期的に受講する、あるいは、特定のテーマについて議論を行い、指導を受け、問題解決の糸口を見いだす、ということが可能になる⁷²⁾。広範に渡る食の安全性の専門家をあたかも一同に集めたかのような世界を、eラーニングは可能とする。一方、食の安全・安心を求めて、地方自治体を中心とした地域のネットワーク作りが進められている。そこでテレビ会議システム

などを利用すれば、食の安全・安心に関する問題とその解決策について、各地域に生活する人々と討議することが可能となる。生産現場や流通・加工現場に発生している問題を、現場にいる人の声、ライブカメラによる映像などを交えて、疑似現場体験をしながら議論を進めることができる。このように、IT コミュニケーション、すなわち、インターネットを利用した情報交換、意見交換は人材育成のための重要な役割を果たすと考えられる。

5 . 提言内容

我が国の食生産技術が高度に機械化されていることは周知のとおりであり、食の安全性確保のために、各種の要素技術が用いられている。これらの中で、例えば金属及び非金属の異物検出、加熱及び非加熱殺菌などは加工・流通における工程で独立に用いられることも多く、更なる安全性を求めて、個々の技術を連携させた技術の体系化が望まれている。さらに、要素技術自体についても、異物の検出や殺菌能力等の向上と共に工程管理上簡便で迅速であることなど、改良・開発が常に要求されている状況にある。

これらを踏まえて、以下の3つの提言を行う。

(1) 安全性確保に向けた危害要因の監視技術の開発を推進する

国際基準に則って流通する農畜産物、食品の安全性確保に向けて、農場から食卓までの生産、加工、流通、小売、消費段階のすべてにおいて危害要因の早期検出および危害発生監視技術の開発が必要である。機械化された食生産システムに安全性を担保する機能を付与するために、新たに安全性確保のためのオンラインモニタリングを可能にする物理センサーの開発や安全管理・制御システムの開発を推進すべきである。

(2) 安全性確保に向けた危害要因の発生抑制技術の開発を推進する

危害要因の監視技術の開発と並んで、農場から食卓までの全工程にわたって生物学的危害の発生を抑制する技術開発が肝要である。ポジティブリストで制限される化学物質に代わる微生物制御のための物理的殺菌・洗浄技術、温度管理および空調管理技術の開発を推進すべきである。

(3) 国際基準での安全性確保に向けた安全性評価技術開発および人材育成を推進する

食生産システムに関わる安全性を評価するため、包括的なシステム構築が重要である。BSE 発生により注目されたトレーサビリティはリスク管理のための一手法である。これを基にしたリスク管理に加えて、今後は食生産システムでの包括的な安全性評価エキスパートシステムの構築やリスク管理及び安全性評価の資質を備えた人材をe-ラーニングを活用して育成するプログラムの開発等を

行い、さらに国際基準に則った安全保証、品質保証プログラムの開発を目指すべきである。

以上、食生産に関わる各種要素技術を俯瞰的視点で捉え、これらを統合して、機械化された食生産システムにおける安全の確保を図るべきである。

参考資料（文献等）

- 1) 佐藤 邦裕、他編 (2001); 人を動かす食品異物対策 — 混入ゼロを目指した総合管理システムと運用の実際, サイエンスフォーラム, 東京
- 2) 芝崎 勲監修 (2000); 有害微生物管理技術第 巻, (株)技術情報センター, 東京
- 3) 河野 澄夫編 (2003); 食品の非破壊計測ハンドブック, サイエンスフォーラム, 東京
- 4) 岩元睦夫、他 (1994); 近赤外分光法入門, 幸書房, 東京
- 5) Morita, K., et. al. (2003); Spectral analysis of reflected soft X-ray for detecting foreign materials in foods . Food Science and Technology Research 9(3): 231-236
- 6) 一色賢司、他 (2003); 食品の安全性評価と確認, サイエンスフォーラム, 東京
- 7) 例えば、コーネル大学 Good Agricultural Practices Program ホームページ (2000); Food Safety Begins on the Farm, 1-30, <http://www.gaps.cornell.edu/>
- 8) 例えば、食品安全委員会ホームページ (2005); 食品の安全性に関する用語集(改訂版), 38
- 9) Squirrell, D.J., Price, R. L., Murphy, M. J. (2002); Rapid and specific detection of bacteria using bioluminescence, Analytica Chimica Acta, Vol.457(1), 109-114
- 10) Silley, P., Forsythe, S. (1996); Impedance microbiology: a rapid change for microbiologists, J. of Applied Bacteriology, 80, 233-243
- 11) U.S. Food & Drug Administration, Center for Food Safety & Applied Nutrition ホームページ (1998); Identification of Foodborne Bacterial Pathogens by Gene Probes, Bacteriological Analytical Manual Online, <http://vm.cfsan.fda.gov/~ebam/bam-24.html>
- 12) Pattison, T.-L., Geornaras, I. von Holy, A. (1998); Microbial populations associated with commercially produced South African sorghum beer as determined by conventional and Petrifilm™ plating, International J. of Food Microbiology, Vol.43(1-2), 115-122
- 13) 3M Microbiology ホームページ, 3M™ Petrifilm™ Plates, http://www.3m.com/petrefilm/home/products/petrefilm/pp_over.html
- 14) U.S. Food & Drug Administration, Center for Food Safety & Applied

Nutrition ホームページ (2001); Identification of Foodborne Bacterial Pathogens by Gene Probes、 Bacteriological Analytical Manual Online, Chapter 3 Aerobic Plate Count,

<http://www.cfsan.fda.gov/~ebam/bam-3.html>

- 1 5) Suehiro, J., Hamada, R., Noutomi, D., Shutou, M., Hara, M. (2003); Selective detection of viable bacteria using dielectrophoretic impedance measurement method、 Journal of Electrostatics, 57, 157-168
- 1 6) 豊田浄彦 (2005); 電気インピーダンスによる微生物検出法の開発、食料の生産・流通・加工空間における安全性評価・確保システムの構築、平成 14-16 年度科学研究費補助金(基盤研究(A)1)研究成果報告書 (研究代表者: 伊藤和彦), 2-11
- 1 7) Kremser, L., Blaas, D., Kenndler, E. (2004); Capillary electrophoresis of biological particles: Viruses, bacteria, and eukaryotic cells, Electrophoresis Vol.25(14), No. 14, 2282 - 2291
- 1 8) Gau, J. J., Lan, E. H., Dunn, B., Ho, C. M., Woo, J. C. S. (2001); A MEMS based amperometric detector for E. Coli bacteria using self-assembled monolayers, Biosensors and Bioelectronics, Vol.16(9-12), 745-755
- 1 9) ルミアナ ツェンコヴァ (2005); 近赤外分光法によるブドウ球菌の定性及び定量分析、食料の生産・流通・加工空間における安全性評価・確保システムの構築、平成 14-16 年度科学研究費補助金(基盤研究(A)1)研究成果報告書 (研究代表者: 伊藤和彦), 12-23
- 2 0) 本間茂 (1996) 清浄度管理指標としての ATP の利用, HACCP における清浄度モニタリング, 食品と開発, 31(1), 23-28
- 2 1) Jaimez O. J., Fente, C. A., Vázquez, B. I., Franco, C. M., Cepeda (2003); Development of a method for direct visual determination of aflatoxin production by colonies of the Aspergillus flavus group, International J. of Food Microbiology, Vol. 83(2), 219-225
- 2 2) McClire W.F., Farsaie, A., 伊豫知枝、河野澄夫訳 (2003); 紫外線ケイ光によるナッツのアフラトキシンの検出, 河野澄夫編著, 食品の非破壊計測ハンドブック, 114-119, サイエンスフォーラム, 東京
- 2 3) Anne of anne_rats ホームページ (2004); Rats under a black light, <http://www.ratbehavior.org/BlackLight.htm>
- 2 4) Hellström, U., Hallberg, E. C., Sandros, J., Rydberg, L., Bäcker, A. E. (2004); Carbohydrates act as receptors for the periodontitis-associated

- bacterium *Porphyromonas gingivalis*: a study of bacterial binding to glycolipids, *Glycobiology*, Vol. 14(6), 511-519
- 2 5) Perkins, E. A., Squirrell, D. J. (2000); Development of instrumentation to allow the detection of microorganisms using light scattering in combination with surface plasmon resonance, *Biosensors and Bioelectronics*, Vol. 14(10-11), 853 – 859
- 2 6) Su, X.-Li, Li, Y. (2004); A self-assembled monolayer-based piezoelectric immunosensor for rapid detection of *Escherichia coli* O157:H7, *Biosensors and Bioelectronics* Vol. 19(6), 563-574
- 2 7) 山中良郎 (1998); 過熱水蒸気による粉粒体殺菌技術の進展 .*食品と開発* , 33(10) , 9-13 .
- 2 8) 高橋和彦 (1994); 野菜の栽培, 野口弥吉 , 川田信一郎監修 , 農学大事典 . 養賢堂 , 東京 , 1341-1367
- 2 9) 篠原 温 (2000); 野菜種子生産の実態と微生物汚染の防除, 芝崎 勲監修 , 有害微生物管理技術, フジテクノシステム , 東京 , 236-239
- 3 0) 濱中大介 , 内野敏剛 , 胡 文忠 , 安永円理子 (2002); *Bacillus subtilis* 孢子及び *Aspergillus niger* 孢子に対する赤外線照射の殺菌効果, *農機誌* , 64(6) , 69-75
- 3 1) 濱中大介 , 内野敏剛 , 胡 文忠 , 安永円理子 , スロウラ M. フセイン (2003); 赤外線を利用したコムギおよびダイズの表面殺菌 .*農機誌* , 65(2) , 64-70
- 3 2) 濱中大介 , 内野敏剛 , 胡 文忠 , 田中俊一郎 , 荒巻真介 (2003); *B. subtilis* 孢子および *B. pumilus* 孢子的不活性化と損傷に及ぼす赤外線照射の影響, *日食工誌* , 50(2) , 51-56
- 3 3) 渡部耕司 , 坪田浩之 , 町田 進 (2000); HACCP システムの前提となる洗浄・殺菌, 芝崎 勲監修 , 有害微生物管理技術, フジテクノシステム , 東京 , 553-577
- 3 4) 周藤達雄 (2000); 過熱水蒸気による殺菌技術, 芝崎 勲監修 , 有害微生物管理技術, フジテクノシステム , 東京 , 695-703
- 3 5) 柴田長吉郎 (1986); 工業用マイクロ波応用技術, 電気書院 , 東京 , 52-86
- 3 6) 土戸哲明 , 高麗寛紀 , 松岡英明 , 小泉淳一 (2002); 微生物制御 . 講談社サイエンティフィック , 東京 , 128-129
- 3 7) 田中史彦 , 守田和夫 , 前田欣治 (2001); 数理モデル解析による食品のマイクロ波加熱殺菌予測ソフトの開発, *日食工誌* , 48(7) , 514-519
- 3 8) 戸塚英夫 (2005); 加熱殺菌の装置工学的アプローチ, 日本食品工学会春

季講演会フォーラム 2005 講演要旨集, 8-13

- 3 9) 土戸哲明, 中村一郎, 横原恭士 (2000); 「Thermokill Database」と食品の加熱殺菌予測への展開, 防菌防黴, 28(10), 657-662
- 4 0) 厚生省生活衛生局監修 (1998); よくわかる HACCP, (社) 日本食品衛生協会
- 4 1) 田端節子, 他 (1992); 調理加工におけるアフラトキシンの消長及びそれに及ぼす食品成分の影響, 食衛誌, 33(2), 150-156
- 4 2) 上村尚 (1998); 食品中のカビ毒汚染とその防除対策. 防菌防黴, 26(10), 547-559
- 4 3) Garcia, R.L. (2001); Integrated Mycotoxin management systems. HACCP: Risk management of chemical hazards on the food industry, June 22-23, New Orleans
- 4 4) M.P.Doyle et al. (1982); Physical, Chemical and Biological degradation of Mycotoxin in Foods and Agricultural Commodities, J. of Food Protection, 45(10), 964-971
- 4 5) 芝崎 勲 (2001); 微生物制御に関するトピックス, 環境制御技術, 19(5), 209-220
- 4 6) 稲熊隆博, 林 力丸 (2000); 高圧殺菌処理. 芝崎 勲監修, 有害微生物管理技術, フジテクノシステム, 東京, 778-789
- 4 7) 堀 恵一 (1997); 高圧処理装置. 岩元睦夫ら編, 生物・環境産業のための非熱プロセス事典, サイエンスフォーラム, 東京, 101-106
- 4 8) 特許庁資料室 (2005); 食品保存技術
<http://www.jpo.go.jp/shiryousonota/map/ippan07/2/2-2-1-1.htm>
- 4 9) Meyer, R.S., Cooper, K.L., Knorr, D. and Lelieveld, H.L.M. (2000); High-pressure sterilization, Food Technology, 54(11), 67-70, 72
- 5 0) 中村厚三, 榎本 淳, 永井清隆 (1994); ガス加圧法による微生物の殺菌, 食品工業, 8.30., 47-57
- 5 1) Koseki, S., Isobe S., Itoh, K. (2004) Efficacy of Acidic Electrolyzed Water Ice for Pathogen Control on Lettuce, J. of Food Protection, 67, 2544-2549
- 5 2) 小久保彌太郎 (2000); HACCP システムの基本的概念と適用手順, 芝崎 勲監修, 有害微生物管理技術, フジテクノシステム, 東京, 168-191
- 5 3) Nei, D., Uchino, T., Sakai, N. and Tanaka, S. (2005); The effect of Temperature on the quality of tomato and eggplant fruits during distribution, J. Fac. Agr. Kyushu Univ., 50(1), 213-221

- 5 4) Uchino, T., Nei, D., Hu, W. and Sorour, H. (2004); Development of a mathematical model for dependence of respiration rate of fresh produce on temperature and time, *Postharvest Biol. Technol.*, 34, 285-293
- 5 5) 藤川 浩, 伊藤 武 (1997); 微生物の増殖, 矢野信禮ら編, 食品への予測微生物学の適用, サイエンスフォーラム, 東京, 28-43
- 5 6) 秋元浩一 (1999); 農産物取り扱いマニュアル - 結露防止法, 農業機械学会九州支部誌, 48, 65-69
- 5 7) 山下孝 (2005); 食品工場の設計法と施工の実施例(2), 冷凍, 80, 304-309
- 5 8) 河村吉章, 服部隆雄 (2003); 放電型光触媒による環境浄化技術, 冷凍, 78, 640-642
- 5 9) 久保田興太郎, 日高靖之 (2004); 高品質穀物貯蔵装置の開発 (第2報) - 紫外線と二酸化チタンを用いた穀物付着菌の殺菌, 農機誌, 66(1), 104-108
- 6 0) 坂元仁, 松村吉信, 土戸哲明 (2005); 活性酸素による化学的殺菌とバクテリアの制御システム, 食品工業, 48(12), 42-53
- 6 1) Rouaud, O., Havet, M. (2005); Numerical investigation on the efficiency of transient contaminant removal from a food processing clean room using ventilation effectiveness concepts, *Journal of Food Engineering*, 68(2), 163-174.
- 6 2) 豊田浄彦 (2005); 第3節 PDA を利用した食品衛生管理支援ツール, 平成14年度~16年度科学研究費補助金(基盤研究(A)(1))研究成果報告書(研究代表者 伊藤和彦, 課題番号: 14206030), 食料の生産・流通・加工空間における安全性評価・確保システムの構築, 204-217
- 6 3) 原田剛臣 (2005); CO₂ 二次冷媒の特性, 冷凍, 80, 130-133
- 6 4) 厚生省生活衛生局乳肉衛生課監修 (1997); HACCP 衛生管理計画の作成と実践, 中央法規出版, 東京
- 6 5) 池口厚男, 食の安全・安心 トレーサビリティ・システムについてー, 農業施設, 34(1), 59-66, 2003
- 6 6) <http://riss.narc.affrc.go.jp/nouyaku.htm>
- 6 7) 杉山純一 (2004); “農産物の情報開示と IT 利用”, 農業機械学会誌, 第66巻, 第4号, 16-20
- 6 8) ComBase ホームページ (2005); <http://www.combase.cc/>
- 6 9) 米虫節夫, 金秀哲 (2004); ISO22000 食品安全マネジメントシステム入門, 日本規格協会, 東京, 2004

- 7 0)日本学術会議事務局編 (2005); 学術会議叢書 8「食の安全と安心を守る」,
(財)日本学術協力財団, 東京, 2005
- 7 1)守田和夫,食の安全と品質認証システムの新展開 (2004); 農業施設 ,35(2) ,
47-48 , 2004
- 7 2) Thai, N. C., Morita, K., Iwasaki, K. (2004); Development of a
Synchronous Distance Education Project Between UGA and Kagoshima
University, Proc. of the 2004 American Society for Engineering
Education Annual Conference & Exposition