



技術解説

食品の安全のための技術について

高野 光 男*

Technology for Microbial Safety of Foods

Key Words : 食中毒事件, 情報開示, HACCP, バイオフィルム, 安全保持時間
(food hazard, information disclosure, HACCP, biofilm, shelf life)

表 1 日本の食中毒発生状況(1992-1996)

病因物質		年	1992	1993	1994	1995	1996
総	数	件数	557	463	830	699	1,217
		患者数	29,790(6)	19,426(9)	35,735(2)	26,325(5)	43,954(15)
細菌	総	件数	396	385	605	561	969
		患者数	24,924(1)	19,089	29,513	22,329(2)	38,408(11)
	サルモネラ菌	件数	144	143	205	179	350
		患者数	11,431(1)	6,954	14,410	7,996(1)	16,334(3)
	ブドウ球菌	件数	77	61	72	60	44
		患者数	1,541	1,349	1,836	940(1)	698
	ポツリヌス菌	件数	0	2	0	3	1
		患者数	0	5	0	10	1
	腸炎ビブリオ	件数	99	110	224	245	292
		患者数	2,845	3,124	5,849	5,515	5,241
	病原大腸菌	件数	21	37	33	20	179
		患者数	5,230	5,524	3,216	2,951	12,113(8)
	ウェルシュ菌	件数	17	9	16	20	27
		患者数	1,086	1,077	1,821	2,884	2,144
	セレウス菌	件数	9	6	19	11	5
		患者数	636	101	138	479	274
エルシニア・エンテロコリチカ	件数	0	0	1	0	0	
	患者数	0	0	52	0	0	
カンピロバクター・ジェジュニ/コリ	件数	28	14	31	20	65	
	患者数	2,113	948	2,160	1,493	1,557	
ナグビブリオ	件数	1	2	0	0	3	
	患者数	2	5	0	0	36	
その他の細菌	件数	0	1	4	3	3	
	患者数	0	2	31	61	10	
化学物質		件数	3	2	3	3	4
	患者数	39	123	39	92	47	
自然毒	総	件数	69	76	101	63	73
		患者数	232(5)	214(9)	342(2)	239(3)	228(4)
	植物性	件数	33	41	81	28	46
	患者数	166(1)	155(5)	306(1)	182(1)	181(1)	
動物性	件数	36	35	20	35	27	
	患者数	66(4)	59(4)	36(1)	57(2)	47(3)	
不明		件数	89	87	121	72	171
	患者数	4,595	6,276(1)	5,841	3,665	5,271	

* 死者のある場合は () 内に死者数を示す。

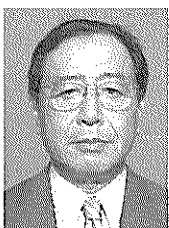
(厚生省統計資料より)

* Mitsuo TAKANO

1930年生

1953年 大阪大学工学部発酵工学科卒業,
同学大学院を経て工学博士(大阪大学)
1959~1994年 大阪大学助手, 助教授,
教授を歴任, 工学部発酵工学科にて殺菌
工学及び食糧貯蔵工学担当, 同応用生物
工学科(1992年より)にて生物資源工学担
当

1994年 停年退官, 大阪大学名誉教授
現在, 大阪女子学園短期大学非常勤講師
(食品衛生学, 食品総論担当), 近畿バイ
オインダストリー振興会談・専属コーデ
イナー, 食品産業戦略研究所-日本食品
技術アカデミー委員長など



1. 食中毒事件とその情報開示

2000年の夏は記録的な猛暑とともに, 大阪の1万4千人の人に被害を与えた牛乳の食中毒事件が記憶される季節となった. 食品工場の中では牛乳加工の設備は, 監督官庁の検査も厳しく衛生的に完備したものとして信頼されていた. とくにそのリーダーとされる企業で今回の事件が起こったことは, 食品工業界に大きな波紋を投げかけた.

表1は1992年から1996年にかけてのわが国でおこっ

た食中毒について厚生省が発表したものである(食品衛生研究)。食中毒の原因物質は微生物、化学物質、動植物の自然毒(毒きのこ、ふぐなど)などがあるが、その殆どが微生物に起因するものであることがわかる。微生物に起因する食中毒件数の年間推移をみると、1995年までは、年間400~600件であったものが、1996年には1200件に急増している。これは1996年に堺市の学校給食に端を発した病原性大腸菌O157(*Escherichia coli* O157:H7)の登場によるものである。この菌はすでに1986年、国際食品微生物委員会(ICMSF)¹⁾によって重篤性の高い危険な菌としてリストアップされ警告されていた。1993年にはアメリカ西海岸において、この菌に汚染されたハンバーガーによる食中毒で数百人の患者と数人の子供の死があった。日本でも1994年頃から埼玉県その他でこの菌による事故が報告されていた。しかし、1996年に至るまで、この菌による事件を想定し、直ちに確認できる体勢は日本の衛生監視担当者に出来ていなかった。表1にみられる日本の食中毒の統計は、医師によって保健所に発症が報告され、そこで食中毒菌が同定されてはじめて食中毒としてとりあげられているものである。したがって、1995年以前の大腸菌O157はあったとしても統計に表れていない可能性がある。表1では1997年以後を示していないが総件数で2,000~3,000に増大しつつある。さらに表1で1件あたりの患者数をみると、40人程度となっている。つまり、わが国では40人程度の患者が出ないと食中毒としてとり上げられていないことになる。

一方、米国の疾病対策センター(The Center for Disease Control and Prevention, CDC)は米国の年間食中毒を650万件から3,300万件と推定²⁾している。サルモネラ菌に起因するものだけで、200万件にのぼり損害額は年間25億ドルに達する。CDCは約6,000人のスタッフを擁する一大機関で、エイズの発見、昭和電工のトリプトファン事件の摘発などにより、米国民を薬品、食品の危害からまもる重要なセイフティネットとしての役割を果たしている機関の信用のおける調査である。ここで米国の30,000,000件と日本の2,000~3,000件という年間食中毒件数の差に注目されたい。日本が米国に比べて食中毒が1/10,000であるほど清潔であるとはとても思えない。差があるとすれば、事件として取り上げられる情報開示の差としか考えられない。米国の食中毒の件数

は人口で7人に1件ぐらいであるから、日本と異なり発症者が一件あたり1,2名のものが大部分を占めると思われる。

最近、日本で見られる安全に関わるいくつかの出来事、例えば原子力関係のJCO事件、医療現場の度重なるミス、さらに雪印の事件などで当事者の対応を見ると、まづもみ消しに懸命の努力が見られる。かつてはそれが成功したのであろう。しかし、そのために失敗の貴重なデータが失われ、以後のその阻止に役立たなかったのは残念である。

2. HACCP方式による食品衛生管理³⁾

HACCP方式とはHazard Analysis Critical Control Point Systemの略で、食品の危害分析・重要管理点方式と訳されている。元来NASAの宇宙食製造のために開発されたものと言われるが、現在FAO/WHOのコーデックス委員会の「HACCP方式とその適用にかんするガイドライン」をもとに世界各国で推進されている。この方式は危害分析(HA)と重要管理点監視(CCP)の2つの部分から成っていて、食品の原材料の生産から始まり、製品の製造・加工、保存、流通を経て最終消費者の手に渡るまでの各段階で発生する恐れのある微生物危害、化学的・物理的の危害について調査・分析し、その評価を行い、危害を排除するための監視を行うことにより、食品の安全性、健全性、品質を確保しようとするものである。

従来の安全システムは、食品の最終製品について細菌検査、化学分析および官能検査を行い、合格と判定されれば出荷されていた。しかし、サルモネラやカンピロバクターによる食中毒が多発し、大腸菌O157やリステリヤによる死者を伴う事故などが世

表2 HACCPの12手順, 7原則

事前準備	1. HACCPのための組織づくり 2. 製品内容 3. 製品の使用方法 4. 製造工程 5. 現場確認
HACCP	1. 危害分析 2. 重要管理点の決定 3. 管理基準の設定 4. モニタリング方法 5. 改善処置 6. 検証 7. 記録の保管

界的に一向に減少しないことから、HACCPの導入が注目されるようになった。

HACCPは表2に示すように5つの事前準備と7つの原則からなる12手順によって行われる。この導入に先立って、教育を含めた一般衛生管理プログラムが整備されねばならないとされる。さて、この7原則のうち最も重要なものは危害分析であろう。個々の製造ラインで今まで起こった危害を分析し、重要管理点を決定するステップである。HACCPの効率的運用のためには、重要管理点は1つか2つに限るべきであろうと言われている。このためには、今までの製造ライン固有の事故または危害のデータが十分に蓄積されている必要がある。それから決定される重要管理点は当然特定の製造ライン固有のものであるに違いない。ところが、前述のごとくわが国では事故の情報開示がなされていないため、危害分析がどの程度正確に出来ているかが危惧される。現状では危害発生の「怖れのある」管理点を、製造工程全体を熟知した人が決定する責務を負わされている。HACCPはあくまで、自主衛生管理である。しかし、一般には食品衛生法に新たに規定された「総合衛生管理製造過程」による製造の「承認」を得るための方策と受け取られて、外面的、かつ教科書的なHACCPによって体裁を整えている場合の多いのが実情といえる。

3. 洗浄・殺菌と微生物制御

食品、薬品などは生物または生物由来物質を材料として製造されることが多い。自然界の生物は通常多くの微生物を含むので、製造環境を含めて製品中の微生物活性(菌数)を最低に制御することは(微生物の活性を維持する必要がある一部の発酵食品を除いて)、安全性、品質を保持する上で極めて重要である。さて製品中の微生物を制御するには、初菌数を最小とすること、製品の流通または保存中の微生物の増殖速度を最低にし、かつ外部からの汚染を防止することである。

初菌数を最小限に低下させる操作が洗浄殺菌である。食品製造環境、装置は、広範囲の洗浄剤を使用することが出来る上に、殺菌もかなり強度な処置を取ることが出来るので、殆ど無菌状態を作ることが出来る。しかし、不適切なパイプラインなどでは、後に述べるバイオフィームなどが生成し、無菌状態を作ることが必ずしも容易でない。

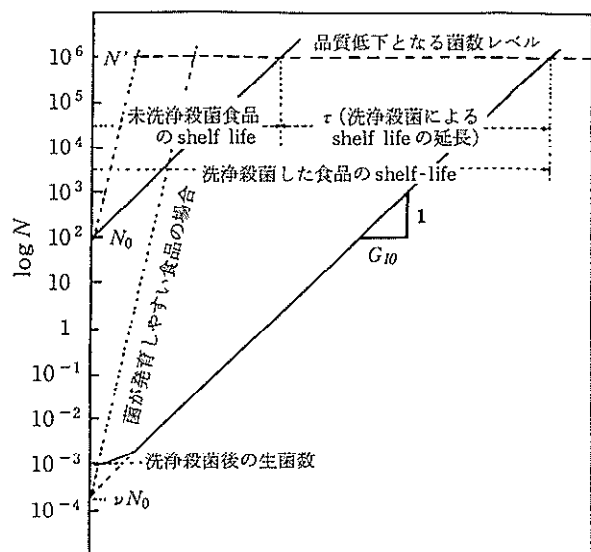
食品および食材は、絨毛など複雑な形状や疎水性表面を持つものがあり、洗剤も安全性の問題から使用が困難なものが多いので、洗浄は殆ど実効性がない。殺菌も、食品の機能、安全性を維持しつつ行う必要があるので、菌数を必要最小限減少させる方法をとる。

食品の殺菌では、例えば、菌数を5桁または12桁減少させるような殺菌が行われる。このような殺菌によって、食品の安全保持時間(shelf life)を消費されるまで延長しようとするものである。 N_0 , N をそれぞれ殺菌前後の食品単位重量あたりの菌数として、 $-\log(N/N_0)$ は殺菌で食品に与えるエネルギー、例えば、一定温度の加熱では加熱時間に比例する。

存在する微生物が特に重篤な病原菌でなく、菌数がmlあたり N' (たとえば 10^6)まで食品の商品価値が維持できるとすれば、その食品の賞味期限shelf lifeは、 $G_{10} \log(N'/N_0)$ となる。さらに洗浄殺菌によって得られるshelf lifeの延長時間を τ (h)とすれば、次式で表すことが出来る⁴⁾⁵⁾。

$$\tau = -G_{10} \log \nu \quad (1)$$

ここで G_{10} は食品中で菌数が10倍に増殖するに要する時間を示す。例えば、37℃でpH7.0の肉エキス中での大腸菌の G_{10} は1~1.5hである。一般の市販の食品はpH、水分活性、栄養成分が菌の増殖に必ずしも最適でないので、これよりはるかに大きい



食品の製造後の保持時間(任意の時間単位)

図1 洗浄殺菌と食品中微生物の発育速度が食品の保持時間に与える影響

G_{10} となる。特に G_{10} は温度によって大きな影響を受け、例えば37℃から10℃にすれば、 G_{10} は5倍以上となる。 ν は換算生残率(integrated viability)⁵⁾を示す。これは生存率、 N/N_0 に相当する値であるが、殺菌処理を受けた菌は生存菌でも損傷を受けているので、その損傷を考慮した値である。(1)式を含めた上記の関係は図1のように示される。ここで菌の増え方は菌濃度がmlあたり 10^6 程度までは対数増殖が維持されると仮定している。

したがって、洗浄殺菌した食品のshelf life, T は、

$$T = G_{10} [\log(N'/N_0) - \log \nu] \\ = G_{10} \log [N' / (\nu N_0)] \quad (2)$$

洗浄殺菌の効果を食品のshelf lifeを大きくすることとすると、(2)式または図1で示されるように、殺菌前の食品中の初菌数 N_0 と洗浄殺菌効果 ν 、さらに食品流通保存中の微生物の G_{10} すなわち発育速度に考慮した微生物制御を行えばよいことになる。とくに、低温、低水分化、有機酸の添加などにより、 G_{10} を大とすることが重要である。一方、食品の製造工程ではしばしば高温、高水分の経過をとり、 G_{10} は小さい。したがって、食材が相当の菌数を持つとき、また製造装置に汚染があるとき最終段階の殺菌前の初菌数 N_0 が大となるので、図1の νN_0 が大となって殺菌が期待するshelf lifeの延長が得られなくなる。ここで、製造装置の汚染はバイオフィルムの形成によることが多い。

4. バイオフィルム(微生物による汚れ)

微生物の固体表面への付着は先ず可逆的な吸着が始まり、続いて時間の経過とともに不可逆な付着となっていくと考えられる。

1) 可逆的吸着(第1段階の吸着)

可逆的な吸着は、静電的な因子と細菌の生物活性が関与し、膜の特定の吸着サイトに未吸着の菌と平衡関係をもって起こる⁶⁾。この第1段階の吸着は食塩の添加などにより容易に遊離化するし、遊離菌のない状態に長時間おけば平衡化により解離させることが出来る。

2) 不可逆な吸着(第2段階の吸着)またはバイオフィルムの形成

この不可逆の付着では、菌によるある種の酸性多糖類の生産を伴っているらしい⁷⁾⁸⁾。したがって、吸着後の時間経過につれて、可逆的な吸着から不可

逆の付着へと進行するものと考えられる。Costeronら⁹⁾は不可逆な付着を作るフェルト状の多糖類を'glycocalyx'と称している。このマトリックスの中に菌は埋め込まれるようにして、増殖を続ける。バイオフィルムは時間の経過とともに強固となって除去困難となるから、菌と接触したあと数時間以内に加水分解酵素、EDTA、洗剤などにより処理する必要がある。

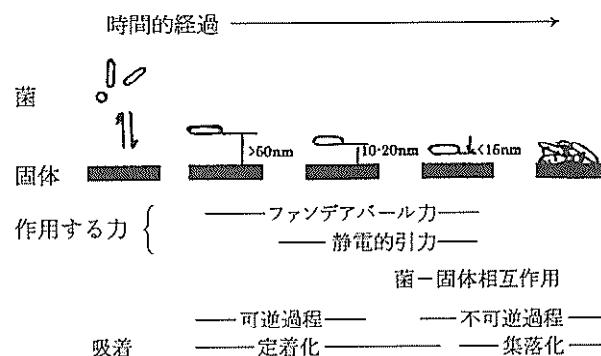


図2 菌の固体表面への付着とバイオフィルムの形成¹⁰⁾

図2にZottola¹⁰⁾が細菌の固体表面への付着(バイオフィルム形成)経過を模式的に表したものを若干改変して示した。

バイオフィルムを形成した菌の熱抵抗性、薬剤耐性はフリーに存在するものに比べ著しく大きい¹¹⁾。例えば、バイオフィルムの菌は次亜塩素酸に対して、遊離菌の150~3,000倍の耐性を示し、モノクロールアミンに対して2~100倍の耐性を示した。バイオフィルム中の菌の耐性は菌の種類、菌令、バイオフィルムを形成してからの時間によると見られる。とくに形成後24時間以上のバイオフィルムは、洗浄剤や、殺菌剤で容易に除去出来ない¹²⁾。

以上の知見からパイプライン内部のCIP(clean in place)洗浄のためには、一定頻度で可逆段階の吸着菌を除くような洗浄を行うマニュアルを実行することが重要であろうが、生成したバイオフィルムを洗浄除去する技術の確立もまた要求される。今日まで、酵素剤を含めた洗浄殺菌剤は様々なものが試みられているが、物理的な方法ももっと開発されるべきである。例えば、小型で強力な超音波発振機の使用など検討されなくてはならない。

5. 非熱殺菌技術

現在、多くの食品(水分、pHともに微生物の発育

に適したもの)は熱殺菌, 無菌包装, および低温流通の手段で微生物危害を防止している. 一方, 消費者はますます生鮮な, 最小処理の食品(Minimally Processed Foods)を嗜好する傾向がある. 熱殺菌は古来から処理の安全性が確認されているが, 殺菌度 $[-\log(N/N_0)]$ を大きくして微生物汚染に対する安全性をより求めれば, 品質がより低下するというジレンマがある. 一般に殺菌の温度係数は品質変化の温度係数より高いので, 品質維持のために高温で短時間処理するHTST法またはUHT法が低粘度の液状食品に対しては採用される. 加熱方法も伝熱方式から, 通電抵抗加熱方式¹³⁾がとられるようになった. しかし, 固形または包装済みの食品は伝熱むらのため, 部分的に過剰加熱が免れない. 最近では熱以外の殺菌法⁴⁾, たとえば電子線照射法¹⁴⁾, 閃光パルス法¹⁵⁾, 高電圧パルス放電法¹⁶⁾, または高圧法¹⁷⁾などが報告されている. これらの非熱殺菌法は, 熱処理が好ましくない食品(果物ジュースなど)に試みられているが, 未だ実用段階にはないものも多い. ひき肉の塊のような体積をもった食品の殺菌を効果的に行う方法としては, 電離放射線¹⁸⁾しかないと考えられる. 既に, 1980年FAO/IAEA/WHOの合同委員会は「平均線量が10kGy以下の放射線を照射したいかなる食品も毒性を示すことはない. また栄養学的, 微生物学的な問題もない.」と結論している. 問題はこれを消費者が受け入れるかであるが, 米国ではGallup調査などにより受け入れの姿勢がみられ, 米国農務省は生肉に対する γ 線殺菌を1997年認可した. わが国の γ 線の使用はジャガイモの芽止めなど以外の目的では認められていない.

6. 今後の問題

日本で情報公開される食中毒は今後急速に増大すると思われる. その理由として, 1. 食材の広域流通, 調理済み食品の普及などによる, 食品の流通形態の変化, 2. 清潔環境で育った年少者と, 増加した高齢者がしめる消費者の汚染菌に対する免疫能の低下, 3. 消費者の生鮮食品(未殺菌低処理食品)への嗜好など考えられるが, その最大のもは食中毒の著しい情報化であろう. 今まで, その殆どがもみ消されていた食中毒の多くが次々と明るみに出てくるに違いない.

HACCPシステムの普及は食品の安全性確保のため官民一体で進められつつある. しかし, HACCP

を支える技術は未だ発展途上の段階である. 洗浄・殺菌, 包装および包装材, 汚れおよび微生物種と微生物数の迅速測定法, 食品の性質に応じたshelf lifeを推定するための予測微生物学, 開発途上国における食品流通のためのハードル技術¹⁹⁾(コールドチェーンも無菌化包装も用いない食品流通)など課題は多い. ここでいつも話題となるのはこの分野の専門家が日本に少ないことである. かつては「食品貯蔵および殺菌工学」というユニークな講座をもつ国立大学があって, その出身者は今でもこの分野の貴重な人材となっているが, その後の改組によってこの講座は消滅した. 「この分野の研究対象はすべてが解決した過去のものである」という意見が通ってしまったためである. 1999年米国のクリントン大統領は多発する食中毒撲滅のため, 7,000万ドルを越える大型の予算をつぎ込んだ. その結果, 広い工学分野の研究者が先端技術を持ち寄って, 食品の安全のための技術に取り組み始めた. 日本でも広範囲の研究者, 技術者の食品安全工学への参入を期待したい.

- 1) ICMSF : Sampling for microbial analysis, In "Microorganisms in Foods 2" Univ. Toronto Press (1986)
- 2) Kvenberg, J. E. and Archer, D. L. : *Food Technol.*, 41 (7), 77, 80, 81, 98 (1987)
- 3) Pierson, M. D. and Corlett, D. jr. : "HACCP, Principles and Applications", Van Nostrand Reinhold (1992), または横山, 里見, 矢野 : 「HACCP 必須技術」 幸書房 (1999)
- 4) 高野 : 「食品の殺菌」 (高野, 横山著) p.68, 幸書房 (1998)
- 5) Takano, M. and Tsuchido, T. : *J. Ferment. Technol.*, 60, 189 (1982)
- 6) 高野 : 「洗浄殺菌の科学と技術」 (高野, 横山, 西野編) p.13, サイエンスフォーラム (2000)
- 7) Minato, H., Suto, H. : *J. Gen. Appl. Microbiol.*, 22, 259 (1976).
- 8) Kahane, I. et al. : *J. Gen. Microbiol.*, 111, 217 (1979)
- 9) Costerton, J. W., Lappin-Scott, H. M. : *ASM News* 55, 650 (1989).
- 10) Zottola, E. A. : *Food Technol.*, 48 (7), 107, (1994)

- 11) Lechevallier, M. W. et al. : *Appl. Environ. Microbiol.*, 54, 2492 (1988)
- 12) Krysinski, E. et al. : *J. Food Protect.*, 55, 246 (1992)
- 13) Fryer, P. : *In* "New Method of Food Preservation" (Ed. by G.W. Gould) p.205, Blackie Academic, London (1995)
- 14) 林 : 「殺菌・除菌実用便覧」(横山, 田中編) p.177, サイエンスフォーラム(1996)
- 15) Dunn, J., Ott, T. and Clark, W. : *Food Technol.*, 49 (9), 95 (1995)
- 16) Barbosa-Canovas, G. V., et al., : *Preservation of Foods with Pulsed Electric Fields*, Academic Press (1999)
- 17) Knorr, D. : *In* "Innovations in Food Processing" (Ed. by Barbosa-Canovas, G.V.), p.13, Technomic Pub. (2000)
- 18) Loaharanu, P. : *In* "New Method of Food Preservation" (Ed. by G. W. Gould) p.90, Blackie Academic, London (1995)
- 19) Leistner, L. : *In* "New Method of Food Preservation" (Ed. by G.W. Gould) p.1, Blackie Academic, London (1995)

