乾燥茶葉微粉碎殺菌・乾燥微粉末食材殺菌装置の開発*

藤田浩三^{*1}, 高倉章雄^{*1}

Development of New Non-Heating Sterilizer for Dried Micropowder Foods

Kouzou FUJITA ^{*1} and Norio TAKAKURA^{*1} Kyoto Institute of Technology, Dept. of Mechanical Engineering,
Gosho-Kaido-cho, Matsugasaki, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8585, Japan

For non-heating sterilization, the use of various radiations including gamma-ray irradiation has been approved in the United States, Europe, and China, whereas legally prohibited from the safety perspective in Japan. Previously we reported the development of a fine grinder for dry tea leaves, implying the occurrence of sterilizing activity that has not been found in conventional grinding procedures. The present study aimed to elucidate the mechanism of occurrence of sterilizing activity in the use of the developed apparatus "Batch-type Vertical Rotation Planetary Ball Mill (VPBM)" and to realize a non-heating sterilizer for Dried micro powder foods. First, a method of enhancing sterilization was devised and successfully tested in a validation experiment. Subsequently, the generation of ultraviolet rays by the enhancing method and enhanced sterilization were assumed and verified in a qualitative validation experiment. As the wavelength of relaxation frequency on the gradual extinction of electronic polarization, a dielectric polarization, is within the range from visible rays to ultraviolet rays, it was hypothesized that if similar phenomena (generation and gradual extinction of electronic polarization) occur in the VPBM-specific crushing mechanism, ultraviolet rays may be most probably generated from dried capsules and cell walls of bacteria. Thus, final validation experiments were carried out on dried and pulverized food materials containing a lot of bacteria, with favorable results. Mechanical energy may have been converted into electric energy, then to chemical energy for non-heating sterilization.

Key Words : Non-Heating Sterilization, VPBM, Dried Micro Powder Foods, Ultraviolet Rays, Relaxation Frequency, Crushing Mechanism, Electronic Polarization, Dried Capsules and Cell Walls of Bacteria, Mechanical Energy, Chemical Energy

1. 緒 言

近年、嗜好性食品や健康食品などの機能性食品志向に伴って粉末状食品の開発が進み、その市場が拡大している。これらの食品の衛生面での安全確保には、一般に加熱殺菌処理が施されている。粉末は重量当たりの表面積が極めて広く全表面を均等に加熱することは技術的に難しいために、加熱殺菌処理として、①原材料を粉砕前に加熱する、②粉砕後の粉末を気流式過熱水蒸気で加熱する方法が主に用いられている。粉砕前に加熱する例として、抹茶の原材料である生茶葉は入口温度 200℃、出口温度 100℃の加熱炉の中を約 30 分かけて移動する間に乾燥と殺菌処理がなされる。更に粉砕加工前に 90～80℃で約 15 分間熱風乾燥殺菌し、水分を 5%以下に調製する。一方、粉砕後の粉末の殺菌で現在最も多く実用に用いられる気流式過熱蒸気殺菌装置では、加熱温度 130～150℃、気流速度 30m/s で、粉末食材を浮遊・拡散して、短時間 4 秒で殺菌を完了する。しかし、これらの粉砕前および粉砕後の加熱殺菌では、粉砕加工工程での細菌の侵入・増殖、および粉末食材には熱の影響による官能品質（味・色・香り）の低下が避けられない。加熱殺菌方法と比較して品質低下の少ない非加熱殺菌としては放射線照射^①および紫外線照射^②方法があり、放射線の使用は、米国・欧州・中国等で使用が認可^③されているが、日本では一部の品目に限られ、法律^④で使用を禁じている。また、紫外線の使用は、例えば医療用容器や空気中のごく微量の粉塵に波長 260nm・線量 10～25mW・s/cm²で照射して殺菌が行われているが、粉末食材に適用できる実用装置は開発されていない。このことから、粉末状食材の品質低

* 原稿受付 2011 年 9 月 15 日

^{*1} 正員, 京都工芸繊維大学 (〒606-8585 京都府京都市左京区松ヶ崎御所海道町)
E-mail: info@fujimill.co.jp

下を抑制できる安全性の高い殺菌技術の開発が望まれている。

筆者らは、これまで抹茶製造用乾燥茶葉粉碎装置（バッチ型垂直回転遊星ボールミル）の開発を行ってきた。この装置において、食品衛生基準以上に多量に一般細菌を含む茶葉を用いて粉碎前後の一般細菌数の変化を検査したところ、粉碎後に一般細菌が 1/5 程度に減少することが確認された。このような、粉碎加工時における減菌現象は従来の食材粉碎装置では全くみられない事象である。そこで、本研究では、バッチ型垂直回転遊星ボールミルでの乾燥茶葉の粉碎時における細菌減少の発現メカニズムを明らかにし、非加熱方式の乾燥微粉末食材殺菌装置の開発を試みた。

2. 開発装置の減菌現象

2.1 バッチ型垂直回転遊星ボールミルの概略

バッチ型垂直回転遊星ボールミル及びバッチ容器（以下ミルポット）の概略構造をそれぞれ図1・図2（蓋の図を省略）に、運転仕様を表1に示す。ミルの駆動力は次の順序で伝えられる。減速ギアモーター① Vベルト② プーリー③ 公転主軸④ ディスク⑤ 自転軸⑥ 自転用スプロケット⑦ 自転用チェン⑧ 固定スプロケット⑨ ミルポットホルダー⑩ ミルポット⑪。ミルポットは、公転しながらミルポット軸の周りを自転し、回転面は鉛直である。運転時には、ミルポットはミルポットホルダーの装着部位にボルトで固定される。また、装置にはミルポットをアースするための可動接点⑫とタイマースイッチ⑬が設置されている。なお、この装置の抹茶生産能力は石臼の約20倍であり、石臼で製造した商品基準を満足する抹茶品質が得られる。

Fig.1 Schematic illustration of vertical planetary rotation ball mill

Fig.2 Mill pot with inner cylinder and pines

Table 1 Specification

Item	Specification	Item	Specification
Mill pot type	Inner cylinder with pines	Required times	40 [min]
Steal ball weight per mill pot	10.5 [kg]	Revolution frequency	264 [rpm]
Diameter of steal ball	3 [mm]	Rotation frequency	238 [rpm]
Tea weight per mill pot	500 [g]	Cooling air temperature	Under 10 [°C]
The number of mill pot	2	Power unit	1.5kw Motor

2.2 減菌現象

食品衛生の観点から粉碎加工に伴う菌の増殖は厳禁であるため、粉碎前の茶葉と粉碎後の抹茶の細菌数を調査した。なお、日本食品衛生法⁵⁾では乾燥粉末食品に含まれる細菌は一般細菌数3 000 個/g 以下、大腸菌陰性と規定している。

2.2.1 通常粉碎後の減菌現象

茶葉の粉碎加工前後（粉碎時間 30 分）の菌数を測定した結果を表 2 に示す。ミルポットのアース有無のいずれにおいても粉碎加工後には菌の減少が確認された。表中の K は、菌数の減少率である。

$$K = \frac{\text{粉碎後の菌数}}{\text{粉碎前の菌数}} \quad (1)$$

菌数の減少率 K は、ミルポットをアースした方がアース無しよりも小さい。静電圧はアース無しの方がアースしたよりも高い。なお、粉碎加工時間を増加させても減少率 K が減少するという傾向は見られなかった。

Table 2 Number of bacteria

Mill pot with inner cylinder and pines	Number of general bacteria/g (Electrostatic maxvoltage [kv])		K
	Before the processing	After the processing	
Electric earth	2 600 (0)	320 (-43.1)	1/8.1
Electric nonearth	2 600 (0)	470 (-56.8)	1/5.5

2.2.2 減菌現象の復活

粉碎加工後の抹茶は帯電し、静電圧が零ではない状態である。そこで、粉碎後の抹茶をアースされた金属容器に移して自然除電し、電荷・静電圧を零にして電氣的に初期化して、この抹茶を再び粉碎加工を行った。短時間の粉碎加工において初回の粉碎時とほぼ同等の減少率 K 値が生じた。なお、初回および再粉碎後の抹茶の静電圧はほとんど同じであった。この菌数の減少傾向を明確にするために、食品衛生基準を超える多数の一般細菌を含んだ茶葉を用いて粉碎①→除電→粉碎②の実験を行った。粉碎①前後と再粉碎②後の結果を表 3 に示す。

Table 3 Bactericidal effect of mill

Mode	Material (500g)	Mill pot with inner cylinder and pines	Mill time [min]	Number of general bacteria /g (Electrostatic maxvoltage [kv])		K
				Before the processing	After the processing	
①	Tea leaves	Electric earth	30	25 000 (0)	5 300 (-41.5)	1/4.7
②	Tea powder	〃	5	5 300 (0)	820 (-39.4)	1/6.5

Means of bacteriological inspection. Standard plate count

Inspectional place. Laboratory of Public Health and Enviromental Chemistry, Kyoto Biseibutu Kenkyusho

2.2.3 結果と考察

以上の結果から、次のことが確認された。①バッチ型垂直回転遊星ボールミルによる粉碎加工中に茶葉・抹茶は帯電する。②減菌現象は粉碎加工初期に茶葉・抹茶が短時間に帯電する間に生じ、茶葉・抹茶が帯電すると減菌現象が次第に減少する。③抹茶を電氣的に初期化することにより減菌現象が復活する。このことからミルポットをアースした方がアースしない場合に比べ、減菌効果が大きいのは、茶葉・抹茶の電荷の一部分がアースにより除電されることによって、③の効果が作用したためと考えられる。なお、アースした場合に一般細菌が粉碎時間に伴って減少しないのは、帯電・除電による電荷・静電圧の変動が粉碎時間の増加に伴って減少するためであると推測される。

2.3 滅菌現象の継続・強化

ミルポットから抹茶・ボールを取り出し、除電・再粉碎を繰り返して滅菌効果を高める方法は非効率・現実的ではない。粉碎加工中に滅菌現象が継続できる方法が必要である。2.2.3 の考察からアースの有無における茶葉・抹茶の平均的な電荷・静電圧の推移を推測・仮定してそれを模式的に図3に示す。図において、加工初期に茶葉・抹茶の電荷・静電圧が急速に変動する時間を T_e (アース有)・ T_n (アース無) として、この時間以降はそれぞれの電荷・静電圧は準静的に推移するとし、また、実験結果から茶葉・抹茶の静電圧 V は $|V_e|$ (アース有) $< |V_n|$ (アース無) としている。滅菌現象は $T_e \cdot T_n$ の時間内に生じ、滅菌効果の大きさはこの時間の長さに比例するとして $T_e > T_n$ としている。なお、電荷 C は V に比例する⁶⁾としている。

2.3.1 強化案

滅菌現象は、電荷・静電圧が急速に変動する時間内に生ずると推測し電荷・静電圧の準静的状態を波動化する。具体的にはミルポットの非アースとアースを交互に操作する⁷⁾ことにより、図3に示すように茶葉・抹茶の電荷・静電圧が $0 \rightarrow a_1 \rightarrow b_1 \rightarrow \dots \rightarrow a_n \rightarrow b_n$ へと移行できれば滅菌現象が継続すると考えた。そこでこの手法の効果を検証するために、非アースとアースの繰り返し回数と滅菌効果の関係を調べた。

Fig.3 Average static voltage and change of particles in mill pot

2.3.2 アース用タイマー設置

ミルポットの非アースとアースを粉碎加工中に複数回繰り返す行うために、アース用の導線の間にタイマースイッチを設けた (図1, 部品番号⑬)。このタイマースイッチは、図4に示すようにアース時間 t_e と非アース時間 t_n を任意に設定でき、これを交互に連続して切り替えることができる。なお、スイッチのオン・オフを n 回行う総時間が粉碎加工時間となるよう設定する。

Fig.4 Timechart of switch

2.3.3 実験時の設定事項

運転仕様は表1, 原料は乾燥茶葉 (一般細菌数 25 000 個/g) を用い、粉碎加工時間 42 分, t_e と t_n の比を 1 : 2 に設定し、非アース・アース回数 n を 7, 21, 28 とした場合の細菌数の減少率を調査した。

2.3.4 実験結果

実験結果を表4に示す。表中の K は粉碎加工終了後の総減少率, P は $P=K^{1/n}$ とした場合の減少率である。この結果から非アース・アース回数を増やすことによって総減少率が減少することがわかる。このことから滅菌現象は電荷・静電圧の変動によって継続し、滅菌効果は非アース・アース回数に比例すると考えられる。

Table 4 Decrease ratio of general bacterias

Sycle time [min]	te [sec]	tn [sec]	n	K	P
6	120	240	7	1/78	1/1.856
2	40	80	21	1/196	1/1.286
1.5	30	60	28	1/214	1/1.214

2・3・5 考察

電圧は二点間の電位の差である。静電圧測定器による電圧は一点を大地（電位零）としているので、もう一点（被測定物）の電位に等しい。電荷・電位・電界は相関関係にあり、電荷・電位の変動は電界ベクトルの変化を生じる。このことから次に電界ベクトルの変化によって滅菌現象が生じる事象の有無を調べる。

3. 滅菌現象の原因

誘電分極の一種である電子分極⁸⁾に着目する。電子分極は原子に外からの電界によりマイナスの電荷をもつ電子・電子雲と、プラスの電荷をもつ原子核とが互いに反対方向に力を受けて相対的変位を生じ、原子に電気双極子モーメントを生ずる現象である。分極が平衡に達してから電界を除くと瞬間に消滅せず漸減し、この時発生する緩和周波数は可視光線～紫外線の領域にある。この現象が生じて、滅菌現象は紫外線の殺菌作用によるものと推測した。

3・1 紫外線の殺菌作用

紫外線のエネルギーは 4.9eV と少ないが、励起された DNA（デオキシリボ核酸）⁹⁾は分子内で主として隣接したチミン塩基の間に共有結合を生じ、二量体（チミンダイマー）を形成する。チミンダイマーが生じた部分では DNA の水素結合が前後四塩基にわたって切断されるため、複製が不可能となる。そのため細胞分裂が阻害されて、微生物などを死に至らしめるものと考えている。紫外線の波長帯は $1\sim 400\text{nm}$ である。最も殺菌力がある 260nm 付近の殺菌力は太陽光に多く含まれる 350nm に比較して 1600 倍に達する²⁾。

3・2 紫外線の発生確認実験

実験では紫外線の定性的な検出を試みる。具体的には蓄光シートを用い、これをミルポット蓋の内側に貼り付け（図6）、長時間暗室内で放置して、全く発光の無いことを目視で確認したうえで粉砕稼動し、終了直後暗室内で蓋を外し発光状況を目視で確認のうえ撮影する。主に紫外線を蓄光して可視光を発する蓄光材の特性から、発光は紫外線発生の証拠と考えられる。使用した蓄光材は商品名ルミノバ（B-300）シートで、特性を表5・図5に示す。

Table 5 Characteristic and comparison of LumiNova B series

LumiNova B series	LumiNova (B-300)
Chemical Identity	$\text{CaAl}_2\text{O}_4\cdot\text{Eu,Nd}+$ $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}\cdot\text{Eu,Dy}$
Body color	Light Yellowish White
Av. Particle Size	$30\ \mu\text{m}$
Excitation Wave Length	$200\sim 450\text{nm}$
Emission Wave Length	450nm
Afterglow Brightness ⁽¹⁾	$\approx 135\text{ mcd/m}^2$
Afterglow Extinction ⁽²⁾	$> 1,000\text{ min.}$
Excitation Time ⁽³⁾	$\sim 30\text{min.}$
Light Fastness ⁽⁴⁾	$> 1,000\text{ hours}$
Chemical Stability	Excellent
Specific Gravity ⁽⁵⁾	3.3

- (1) Brightness after 10 minutes excitation with Xe light of 1000lux for 5 minutes.
- (2) Time to decrease the afterglow to 0.32mcd/m^2 when excited with above condition.
- (3) Time required for saturation with Xe light at 1000 lux .
- (4) Time to drop the initial afterglow brightness by 20% after irradiation with 300W high pressure mercury lamp. (Accelerated light fastness test)
- (5) In powder form

Fig.5 Wave length of excitation and emission

3.3 実験結果

実験では、粉碎加工時間 15 分、 $t_n=60$ 秒・ $t_e=30$ 秒で非アース・アース回数 $n=10$ に設定した。図 7 に示すように、粉碎加工後のルミノバシートからの発光が確認された。粉碎加工中に紫外線が発生していることが実証されたことから、減菌現象の原因は紫外線であると考えられる。

Fig.6 Luminova sheet inside of mill pot cover

Fig.7 Emission of Luminova(B-300)

3.4 考察

2.2.1 の実験で抹茶の静電圧は高くなることから、局所の高電界により絶縁破壊が生じ、無声放電・コロナ放電が発生してミルポット内部酸素のオゾン化が推測される。紫外線も酸素をオゾン化する。オゾンは強力な酸化力によって殺菌⁽⁴⁰⁾することが知られている。オゾンの毒性は濃度 1ppm で不快、鼻・喉の刺激、5~10ppm で呼吸困難、肺水腫、脈拍増加を起こす⁽⁴¹⁾。オゾンの有無を調べるため毒性に十分注意して粉碎加工直後にミルポットの蓋を開け、臭いを調査したが、オゾン特有の刺激性は感じられなかった。オゾンガス殺菌では耐熱性芽胞菌に対して濃度 100ppm の場合、1~2 時間の処理時間では殺菌効果は認められないこと⁽⁴²⁾が知られている。そこでオゾン化の原因物質である酸素を排除する目的でミルポット内に窒素ガスを封入し、粉碎加工時間 30 分、 $t_e=30$ 秒、 $t_n=60$ 秒、 $n=20$ に設定し実験した。実験結果を表 6 に示す。結果から酸素の無い環境で減菌現象が確認された。また、2.2.2 での 5 分間の再粉碎で、短時間の減菌現象から、減菌現象の原因はオゾンではないと考えられる。

Table 6 Number of bacteria

	Number of general bacteria /g	Electrostatics maxvoltage [KV]
Tea leaves	420	0
Tea powder	0 (Did not detect)	-31.5

Means of bacteriological inspection. Standard plate count

Inspectional place. Laboratory of Public Health and Environmental Chemistry, Kyoto Biseibutu Kenkyusho

3.3 の実験でのルミノバからの発光強度から光源のエネルギーを試算する。可視限界光度 0.3mcd (メーカー提供値)、光源から人間の瞳孔間の距離 0.3m、瞳孔直径 0.7cm から人間の瞳孔を見込む立体角を約 4.2×10^{-4} ステラジアンとする。また可視不可になるまでの時間は約 120 秒であるが、放出強度は指数関数的に減衰するのが常識的であるので発光時間を少なく見積り 30 秒とする。ルミノバシートのエネルギー変換効率を 100% とする。光源エネルギー E [J]、立体角 θ [sr]、発光時間 Dt [sec] の関係は(2)式で表せる。

$$E = \frac{1}{681} \times cd \times \theta \times Dt \quad (2)$$

$cd=0.3 \times 10^{-3}$ 、 $\theta=4.2 \times 10^{-4}$ 、 $Dt=30$ 、 $1eV=1.6 \times 10^{-19}J$ から $E \cong 3.5 \times 10^{10} eV$ である。これは紫外線エネルギー 4.9eV (波長 260nm) の約七億倍に相当する。この試算から光源エネルギー・粉体からの紫外線エネルギーは十分に殺菌できる量と考えられる。

電子分極に起因する紫外線発生には、紫外線領域の高い電界変動・振動が必要であるが⁽⁴³⁾、これを可能にしているのがバッチ型垂直回転ボールミル特有の粉碎機構であると推測される。

4. 乾燥微粉末食材の殺菌実験

バッチ型垂直回転遊星ボールミルの粉碎加工中における紫外線の発生が乾燥微粉末食材・誘電体からであれば、乾燥した細菌表面・きょう膜・細胞壁¹⁴⁾からも発生する可能性があり、効果的な殺菌が期待できる。このことを検証するために多数の一般細菌・大腸菌を含む複数の乾燥微粉末食材（含水率 5%未満）に適用して実験を行った。運転仕様は表 1 で、 $t_n=60$ 秒、 $t_e=30$ 秒に設定した場合の粉碎加工前後の食材の細菌数を表 7 に示す。表 7 に示すように、いずれの乾燥微粉末食材（500g/ミルポット）においても一般細菌・大腸菌に大きな減菌現象が確かめられた。

Table 7 Sterilization result

Raw material	n	Number of general bacteria/g			Number of colon bacteria group/g	
		Before the processing	After the processing	K	Before the processing	After the processing
Silkworm powder	45	2 100 000	670	< 1/1 000	150 000	Did not detect
Garlic powder	40	500 000	220	< 1/1 000	Did not detect	Did not detect
Fcoydan powder	40	1 600 000	1 300	< 1/1 000	45 000	Did not detect
Herb powder	25	15 000	Did not detect	0	2 300	Did not detect
Denhichi carrot powder	30	54 000	1 100	1/50	23 000	Did not detect
Papaya powder	50	4 100 000	860	< 1/1000	430 000	Did not detect

Means of bacteriological inspection. Standard plate count

Inspectional place. Laboratory of Public Health and Enviromental Chemistry, Kyoto Biseibutu Kenkyusho

5. 結 言

バッチ型垂直回転遊星ボールミルを用いた乾燥茶葉微粉碎殺菌・乾燥微粉末食材殺菌装置を開発することができた。得られた結果は以下の通りである。

- (1) バッチ型垂直回転遊星ボールミルの粉碎加工中にミルポット（ミルポット内の乾燥微粉末食材）の非アースとアースを繰り返すことによって、非加熱殺菌が可能である。非アース・アース回数が多いほど殺菌効果が大きくなる。
- (2) 殺菌は、粉碎加工中に乾燥微粉末食材から自動的に発生する紫外線によるものであると推定される。また、この紫外線は電子分極が漸減する際に発生する紫外線であると推定できる。
- (3) 各種の乾燥微粉末食材における殺菌効果は 99%以上が可能であり、実用に適応できる。

6. 今後の課題

紫外線のスペクトルを測定すること。そして殺菌力の最も強い紫外線（波長 260nm 付近）を最も多量に発生する機構の開発・改良・運転条件の最適化を試みる必要がある。これにより短時間殺菌と食品品質に及ぼす影響をより少なく出来る。

謝 辞

（社）京都微生物研究所のご協力（食品衛生法に関する資料提供、菌検出方法の説明、細菌検査報告）に感謝と御礼を申し上げます。

参考文献

- (1) サイエンスフォーラム，“ガンマー線照射装置とシステム”，殺菌・除菌実用便覧，第一版(2000)，pp.198-206.
- (2) サイエンスフォーラム，“紫外線照射装置”，殺菌・除菌実用便覧，第一版(2000)，pp.153-161.
- (3) 三菱総合研究所，“食品の放射線照射に関する世界各国・国際機関の規制及びその運用状況の調査”，食品への放射線照射についての科学的知見のとりまとめ業務報告書，厚生労働省 HP(2010)
<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/syoku-anzen/housya/houkokusho.html>（参照日 2011 年 5 月 31 日）.
- (4) 厚生労働省，“第一食品，B 食品の一般製造，加工及調理基準”，食品，添加物等の規格基準，厚生省告示第 370 号(1959)

- (5) 日本食品衛生学会, “清涼飲料成分規格基準”, 食品衛生学雑誌, Vol50, No.1(2009), p.24.
 - (6) 大林康二, “電荷と静電場, 電位”, 電磁気学, 共立出版, 第一版(1997), pp.1-44.
 - (7) 藤田浩三, 殺菌方法及粉碎殺菌装置, 日本国特許第 3919773(2007)
 - (8) 平井平八郎, 大石嘉雄, 成田賢仁, 安藤慶一, 家田正之, 渋川圭弘, “誘電体の誘電分極現象”, 大学課程電気電子材料, オーム社, 改題第一版(2001), pp.1-6.
 - (9) J.David.Rown, “核酸”, ローレン生化学, 医学書院, 第一版(1991), pp.665-701.
 - (10) サイエンスフォーラム “オゾン殺菌装置の理論技術”, 殺菌・除菌実用便覧, 第一版(2000), p.257
 - (11) サイエンスフォーラム “オゾンの毒性と安全基準”, 殺菌・除菌実用便覧, 第一版(2000), p.263
 - (12) サイエンスフォーラム “オゾンガスによる耐熱性芽胞菌の殺菌効果”, 殺菌・除菌実用便覧, 第一版(2000), p.258
 - (13) 小出昭一郎, “光電効果と光子, コンプトン効果”, 現代物理学, 東京大学出版会, 第3刷(1995), pp.48-49.
 - (14) 藤野恒三郎, 秦藤樹, 近藤雅臣, “微生物細胞の生理”, 衛生微生物学, 講談社, 第6刷(1980), pp.15-50.
-