対流加熱した食品の着色過程

佐藤秀美*・畑江敬子*・島田淳子*

Coloring Process of Food Surface by Convective Heating

Hidemi SATO*, Keiko HATAE* and Atsuko SHIMADA*

* Ochanomizu University, 2-1-1, Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo 112-0012

Effects of hot air temperature and velocity on coloring process of a white bread have been studied under convective heating. The white bread was baked by the hot air impinging to the surface of the bread under an open condition. Experiments were performed for the wide variations of the air temperature, 100–400°C, and the air velocity, 1.7–15.0 m/s. The variations of the surface temperature and the surface color of the bread were measured with time. The coloring rate increased with the increase of the air temperature or with the increase of the air velocity. If the heating energy was fixed to a certain value, the coloring rate increased with the increase of the air temperature. If the air temperature was fixed to a certain value, the coloring rate increased with the increases of the total heat supply which was calculated from the heating energy and the baking time. The data of the surface color and the surface temperature showed that the surface color depended only on the surface temperature but not on the air temperature, the air velocity, and the baking time. It suggested that the coloring process of the food could be controlled by controlling the surface temperature which depended on the air conditions and baking time. (Received, Oct. 6, 1998 ; Accepted, Apr. 5, 1999)

対流式オーブンによる食品の加熱では、庫内温度や加熱時間を同じに設定したにもかかわらず、機種により、食品表面の焼き色が異なる場合がある。対流式オーブンでは、食品は主に庫内を循環する高温空気流からの対流伝熱により加熱される。従って、庫内温度と加熱時間が同じでもオーブンの機種により焼き色が異なるのは、庫内を循環する高温空気流速（以下、風速とする）が異なることが主な原因であると考えられる。オーブン加熱において食品表面の焼き色を制御するためには、対流式オーブンの加熱能力に関与する風速と空気温度（以下、風温とする）が、焼き色に対しどのように影響するかを定量的に把握する必要がある。

これまで、対流伝熱で加熱した食品表面の焼き色については、対流式オーブンをを用いて、実際の調理に準じた条件で、焼き色を含む食品の仕上がり状態に及ぼす風速及び風温の影響が調べられている^{1)~6)}。対流式オーブンでは、高温空気流が庫内壁面等に衝突することから、その流れは極めて複雑になるうえ、食品が受ける熱量に

は、対流伝熱のみならず庫内壁面からの放射伝熱の影響も含まれている。従って、これまでの研究は、実用的な反面、焼き色に及ぼす風速及び風温の影響を明らかにしたとは言いがたい。また、これらの実験は、風速が9 m/s以下、風温が225°C以下で行われている。ところが、最近では、従来の風速を大幅に上回るジェット式オーブンが登場し、これまでの加熱実験条件では、現在使用されているオーブンの風速及び風温全てに対応しているとはいえない。この点からも、広い風速・風温の範囲での対流伝熱による食品の加熱過程の研究が待たれている。

そこで本研究では、対流式オーブンで加熱する時の食品表面の着色状態を制御する方法を調べるため、対流伝熱のみで食品を一次的に加熱し、食品の着色過程に及ぼす風速及び風温の影響を定量的に把握することを目的とした。なお、実験における風速及び風温は将来の対流式オーブンの性能も考慮し、幅広い範囲で変化させた。

* お茶の水女子大学 (〒112-0012 東京都文京区大塚 2-1-1)

実験方法

1. 実験装置

本研究では、高温に加熱した空気を食品に垂直に衝突させることにより生ずるよどみ点流れ場により食品を加熱した。実験装置を図1に示す。ブロワーで送られた空気は、流量制御弁で流量を調節された後、電気加熱器を通り加熱され、整流筒に送られる。高温空気は、この整流筒内に設置された100メッシュの3枚の金網によって流れの乱れが取り除かれ、縮流ノズル（直径30 mm）を通り、均一な速度分布を持った高温空気流として噴出し、試料に垂直に衝突する。試料を、ノズル吹き出し口から30 mm離れた位置に置き、この高温空気流により上面から加熱した。本装置により、試料の中心部の直径60 mmを均一に加熱できることを試料の表面温度分布から確認した。実験は壁面からの放射等の影響を避けるため開放系で行った。風温を100～400℃、風速を1.7～15.0 m/sの範囲で変化させ、試料を0～300秒間加熱した。

2. 熱伝達率の測定

熱伝達率の測定には、直径50 mm、厚さ5 mmの研磨

したアルミニウム製のブロックを用いた。このアルミブロックの大きさは本装置で一次的に均一に加熱できる領域より小さい。アルミブロックを定位置に置き、風温100～400℃及び風速1.7～26.0 m/sで加熱し、加熱中のブロック中心温度を中心部に挿入した直径0.5 mmのk熱電対を用いて測定した。この測定値を用いて、(1)式より、本実験で用いたよどみ点流れ場の熱伝達率を各実験条件に対して求めた。

$$C_p \cdot m \cdot dT_b/dt = A \cdot h (T_g - T_b) \quad (1)$$

ここで、 C_p : アルミブロックの比熱 (kcal/kg·℃), m : アルミブロックの質量 (kg), T_b : アルミブロックの温度 (℃), A : アルミブロックの加熱面積 (m²), h : 熱伝達率 (kcal/m²·s·℃), T_g : 高温空気の温度 (℃), である。

(1)式の計算においては、アルミブロックの温度は均一であると仮定した。(1)式の左辺は、アルミブロックの加熱速度を示しており、右辺の $h (T_g - T_b)$ は高温空気からの熱伝達速度（熱流束）である。

高温空気から試料表面への熱流束は、(1)式で求めた h を用い、下記の(2)式で求めた。

$$Q_s = h (T_g - T_s) \quad (2)$$

ここで、 Q_s : 試料表面での熱流束 (kcal/m²·s), T_s : 試料表面の温度 (℃) である。

3. 試料

試料として、市販の食パン（厚さ14 mm、縦150 mm、横150 mm）を用いた。105℃の定圧乾燥法⁷⁾で測定した食パンの水分含量は45.0±0.1%である。

4. 試料表面の温度測定

加熱中のノズル吹き出し口の真下に位置する試料中央部の表面温度を赤外線温度解析装置（日本電子(株)TS4001）を用いて経時的に測定した。

5. 着色状態の測定

所定の時間加熱した試料の中央表面部、すなわちノズル吹き出し口の真下に位置する部位の着色状態を色差計（日本電色(株)MODEL1001-DP）で測定し、L値で表した。また、実験は同一条件下で5回繰り返して行い、結果はその平均値で示した。

Fig. 1 Experimental apparatus

Tested sample is a white bread, which is heated by a hot air injected from the nozzle to the surface under the open condition. Experiments were carried out for the wide variations of air temperature, 100–400℃, and the air velocity, 1.7–15.0 m/s.

実験結果及び考察

本実験装置では、均一な速度分布を持つ高温空気がノズル吹き出し口から噴き出し試料表面に垂直に衝突し、試料は加熱される。この時、試料の表面上には、よどみ点流れ場が形成される⁸⁾。よどみ点流れ場では、高温空気から試料に与えられる対流伝熱量は試料表面の部位に

かわらず均一となる。これは、よどみ点流れ場では、高温空気の温度分布は試料表面と垂直方向の距離により、試料表面と平行方向の距離によらないためである。このような状況下では、全ての現象が食品表面に対して一次元的に起きる。従って、実際のオープンを用いた実験の際に問題となる食品の部位による加熱ムラが排除されることになる。この装置を用いることにより、対流伝熱による加熱において、風速及び風温が着色状態に及ぼす影響を詳細に検討することができる。また、このよどみ点流れ場による加熱は、理論解析が比較的容易であるため、本実験の結果と将来の理論解析結果を比較でき、これにより食品の複雑な加熱過程を明らかにできると考えられる。

1. 着色状態に及ぼす風速及び風温の影響

食品の着色状態に及ぼす風速及び風温の影響を調べるため、両要因をそれぞれ独立に変化させて加熱した時の着色状態を測定した。図 2 に、風温が 200、300 及び 400℃ の各場合において、風速を 5.0、10.0、15.0 m/s に変化した時の試料表面の L 値の経時変化を示す。L 値は着色状態の指標となる値で、この値が低いほど黒いこと、すなわち焼き色が濃いことを表す。着色過程は、L 値 60 以上を乾燥過程、60 以下を褐変過程に分けて考えられ⁹⁾、同値 20 付近になると、視覚的には黒く炭化した状態となる。また、L 値 40 から 60 付近までの範囲がトーストとして受容される範囲である¹⁰⁾。

高温空気が試料表面にあたり加熱が始まると、L 値は、いずれの加熱条件においても、時間の経過に伴い低下した。その低下速度には風温及び風速の両要因が影響し、風温が同じ場合には風速が大きいほど、風速が同じ

場合には風温が高いほど、L 値は速く低下した。同一風温下における風速の影響をみると、風温が 200℃ と低い場合、L 値は全般に高い値を示し、風速が 15.0 m/s と大きい時にのみ加熱開始 5 分後に約 60 に達し、着色が認められるようになった。しかし、風速がこれより小さい場合には、着色は認められなかった。風温が 300℃ になると、いずれの場合においても、加熱開始後 2 分以内に着色が認められた。さらに風温が 400℃ と高くなると、L 値は加熱直後から急激に低下し、風速が 5.0 m/s と小さい場合でも、加熱開始 42 秒後には L 値は 60 に達し、さらに、2 分後には視覚的に黒色に近い L 値 20 まで低下した。

以上の結果より、L 値は風速及び風温の影響を受けて変化するが、特に、風温の影響を大きく受けること、また、風速の影響の程度は風温により異なることが示された。

さらに、風速の影響が風温によりどの程度異なるかを詳細に調べるため、風速が 1.7、5.0、10.0 及び 15.0 m/s の各場合において、風温を 100～400℃ の間で変化させて加熱した時の L 値を測定した。図 3 に 3 分間加熱した場合の結果を示す。加熱時間をこのように設定したのは、以下の理由による。図 2 に示したように、L 値は視覚的に黒色に近い 20 に達してから後は、加熱を続けても、それ以上低下しない。従って、風温が 400℃ と高い場合における風速の影響を調べるためには、加熱時間は短い方がよい。一方、風温が低い場合には L 値の低下速度が非常に小さいことから、風速の影響を調べるためには、加熱時間は長い方がよい。以上より、各風温における風速の影響を検討できる加熱時間は 3 分程度であると判断し

Fig. 2 Variations of the coloring rate with time.

White breads were baked at various air temperatures and velocities. L value at the surface was measured by the color difference meter. L value is the index of the surface color. Air velocity: ○, 5.0 m/s; △, 10.0 m/s; □, 15.0 m/s. L value before baking is shown "x".

Fig. 3 Effects of the air temperatures and velocities on the surface color

White breads were baked for 3min under various air temperature and velocity conditions. Air velocity: ○, 1.7 m/s; ●, 5.0 m/s; △, 10.0 m/s; □, 15.0 m/s; L value before baking is shown "x".

た。

風温が180℃以下では、いずれの場合もL値は高い値を示し、L値に対する風温及び風速の影響は認められなかった。風温が190℃を越えるとL値に対する両要因の影響が認められるようになり、風温が高いほど、あるいは風速が大きいほど、L値は低くなった。風温が400℃に近づくと、風速の影響は再び小さくなったが、これは試料表面がほぼ黒色に近づき、L値がそれ以上低下しないためである。3分間加熱した時の風速の影響は、特に風温が250～300℃の範囲において大きく現れた。L値は加熱時間の経過に伴い低下することから、風速の影響が大きく現れる時期は加熱時間が3分よりも長い時には250～300℃よりも低温側に、短い時にはこれよりも高温側に移動すると考えられる。

L値がこのような変化した理由を調べるため、試料の表面温度を測定した。図4(a)は、風速を10.0 m/sとし風温を100, 200, 300, 400℃に変化させた場合、図4(b)は風温を300℃とし風速を1.7, 5.0, 10.0, 15.0 m/sに変化させた場合の表面温度の経時変化である。表面温度は、いずれの場合も、加熱初期に急激に上昇したが、その後の上昇速度は小さくなった。

風速が一定の場合(図4(a))、風温が高いほど加熱初期の表面温度上昇速度が大きく、当然のことであるが、その後の温度も高い状態で推移した。風温が400℃と100℃で加熱した時の表面温度を比較すると、両者の温度差は、温度上昇速度が小さくなり始める時点、すなわ

Fig. 4 Variations of the surface temperature with time

(a) Effects of air temperature: air velocity = 10 m/s

(b) Effects of air velocities: air temperature = 300℃.

ち加熱開始30秒後付近では約160℃、上昇速度がほぼ一定になる時点、すなわち加熱5分後では約220℃であった。このことから、風温の影響は、特に加熱後期に大きく現れることがわかった。風温が同じ場合には(図4(b))、風速が大きいほど表面温度の上昇速度は大きかった。実験では試料を15分まで加熱したが、この辺りになると、いずれの場合も表面温度はほとんど変化せずほぼ一定値を示した。この時の温度は風速が大きいほど高かった。風速が1.7 m/sと15.0 m/sの場合を比較すると、両者の温度差は、加熱開始20秒後では110℃、5分後では70℃であった。このことから、風速は、特に加熱直後の温度上昇速度に影響を及ぼすことがわかった。

一方、食品の焼き色と表面温度の関係については、放射伝熱と対流伝熱の割合を変えたオープンを用いた研究¹¹⁾及び2種の放射式オープンを用いた研究¹²⁾から、両者間に高い相関があることが報告されている。また、著者らの行った放射特性の異なるヒータを用いた研究⁹⁾においても、L値は、赤外線波長にかかわらず、表面温度に依存しているという結果が得られている。さらに、放射式オープンで焼成した食パンの着色過程を詳細に調べた研究¹³⁾により、食品表面の焼き色を表す色相、彩度及び明度の間には一定の関係が存在し、その変化量が表面温度に依存することが明らかにされている。これらの研究から、対流伝熱においても、焼き色に対し食品の表面温度が密接に関与していることが予想される。しかし、これまでに、対流加熱した際の両者の関係を検討

した例はない。そこで、表面温度と着色状態の関係を検討した。

図5は表面温度とL値の関係である。L値は、表面温度に依存して変化し、表面温度が高くなるほど低い値を示した。両者の関係に対し、風速及び風温の影響は認められなかった。このことから、対流伝熱による加熱においても食品表面の着色状態は表面温度のみによって決まることが確認された。また、風速及び風温は表面温度を決めるパラメタとなっていることが示唆された。

2. 着色状態と高温空気加熱能との関係

対流伝熱により食品を加熱する強制対流式オーブンは、オーブンの加熱能（時間当たりの供給熱量）、すなわちオーブンへの投入熱量が大きいほど食品は早く加熱されると言われる。これは、加熱能が同じであれば食品が加熱される速度が同じであることを意味する。そこで、加熱能を一定にし、風温と風速を変化させて試料を加熱し、その着色状態を検討した。

高温空気の加熱能、すなわち試料を加熱している高温空気の総熱量は、(3)式により算出できる。

$$Qh = A \rho v C_p (T_g - T_0) \quad (3)$$

なお、 Qh ：加熱能 (kcal/s)、 A ：ノズル吹き出し口面積 (m^2)、 ρ ：空気密度 (kg/m^3)、 v ：風速 (m/s)、 C_p ：空気の比熱 (kcal/kg $\cdot$ °C)、 T_g ：風温 (°C)、 T_0 ：室温 (°C) である。

(3)式から、加熱能は風温が高い場合には風速を小さくすることにより、逆に風温が低い場合には風速を大きく

することにより同一に調整できることがわかる。そこで風速及び風温を調整して加熱能を同じにした場合の食品表面の着色状態を測定し、その結果を図6に示した。

加熱能が同じであっても、風温と風速の組み合わせによりL値は異なり、風温が高く風速が小さい条件の方が、風温が低く風速が大きい条件よりもL値の低下速度は大きかった。

加熱能が同じでも、風温と風速の組み合わせにより食品の着色状態が異なったことから、加熱条件により、食品が実際に受けた熱量に差があることが予想される。そこで、加熱能が同じ場合に、高温空気から食品への熱流束が両要因の組み合わせによりどの程度異なるかを検討した。高温空気から試料表面への熱流束は(2)式から求められる。

熱流束の算出に先立ち、(2)式に示される熱伝達率を測定した。図7に、風温が100、200、300及び400°Cの各場合に風速を1.7~26.0 m/sの範囲で変化させた場合の熱伝達率の測定結果を示す。熱伝達率は風温の影響を受けずほぼ風速にのみ依存して変化し、風速が大きくなるに従い増加した。

次に、図7に示した熱伝達率の測定値を用いて熱流束を算出した。図8に、加熱能が 1.45×10^{-1} kcal/sとなるように風温及び風速を組み合わせ加熱した時の熱流束の経時変化を示す。

高温空気から食品への熱流束は、加熱条件にかかわら

Fig. 5 Dependence of the surface color on the surface temperature

White breads were baked under various air temperature, 100–400°C, and air velocity, 1.7–18.5 m/s, conditions. Air temperature: ○, 100°C; ●, 200°C; △, 300°C; □, 400°C.

Fig. 6 Variation of the coloring rate with time under the fixed heating energy condition

Heating energy: 1.45×10^{-1} kcal/s. Room temperature: 20°C. ○, 100°C 11.4 m/s; ●, 200°C 6.4 m/s; △, 300°C 5.0 m/s; □, 400°C 4.3 m/s.

Fig. 7 Effect of changes in air velocity on the heat transfer coefficient

○, 100°C; ◇, 200°C; △, 300°C; □, 400°C.

Fig. 8 Variation of the heat flux at the surface with time under fixed heating energy condition

Heat flux at the surface was calculated from the surface temperature of the white bread baked under fixed heating energy condition. Heating energy: 1.45×10^{-1} kcal/s. Room temperature: 20°C. ○, 100°C 11.4 m/s; ●, 200°C 6.4 m/s; □, 400°C 4.3 m/s.

ず、いずれの場合も、加熱開始時点で最大値を示し、加熱時間とともに急激に低下した。加熱時間が1分を経過するところから、その低下速度は著しく小さくなり、5分後の熱流束はいずれの場合も加熱開始時点の約1/3となった。風温及び風速の組合せは熱流束に大きく影響を及ぼし、加熱能が同じ場合でも風温が高く風速が小さい

条件ほど熱流束は大きくなることがわかった。

高温空気から食品への熱流束は、(2)式で示されるように熱伝達率及び空気温度と表面温度の差に比例する。風温が低い条件で加熱した場合、表面温度がある程度高くなると(2)式の右辺($T_g - T_s$)の項が小さくなり、熱伝達率が大きくても熱流束にそれほど影響しなくなる。すなわち、この条件下では、ある程度加熱が進むと、風速の影響が小さくなるため、食品への熱流束は小さくなる。これに対し、風温が高い条件で加熱した場合には、加熱全般にわたり($T_g - T_s$)の項が大きいため、熱伝達率が小さくても、すなわち風速が小さくても食品への熱流束は多くなっている。

以上より、加熱能が同じでも、風温の高い条件で加熱した場合の方が食品への熱流束が大きくなり、その結果、食品の表面温度が高くなるため、図6に示すような着色状態の変化をもたらしたことがわかる。

3. 着色状態と供給熱量との関係

オープンで食品を加熱する場合、食品の仕上がり状態は加熱時間で制御されることが多い。これは、食品の仕上がり状態が食品への供給熱量、すなわち加熱能と加熱時間の積に依存すると考えられているためである。そこで、(3)式で定義される加熱能及び加熱時間から供給熱量

Fig. 9 Variation of the coloring rate with total heating energy

The total heating energy of the hot air during baking is calculated from air temperature, air velocity, and heating time.

◆, 100°C 18.5 m/s; ○, 200°C 1.7 m/s; △, 200°C 5.0 m/s; ×, 200°C 6.5 m/s; □, 200°C 10.0 m/s; ◇, 200°C 15.0 m/s; ●, 300°C 1.7 m/s; ▲, 300°C 5.0 m/s; ■, 300°C 10.0 m/s; ◆, 300°C 15.0 m/s; ◎, 400°C 3.7 m/s; *, 400°C 4.3 m/s; △, 400°C 5.0 m/s; □, 400°C 10.0 m/s; ◇, 400°C 15.0 m/s.

Fig. 10 Variation of the surface temperature with total heating energy

The total heating energy of the hot air during baking is calculated from air temperature, air velocity, and heating time. *, 100°C 10.0 m/s; ◆, 100°C 15.0 m/s; ○, 200°C 1.7 m/s; △, 200°C 5.0 m/s; □, 200°C 10.0 m/s; ◇, 200°C 15.0 m/s; ●, 300°C 1.7 m/s; ▲, 300°C 5.0 m/s; ■, 300°C 10.0 m/s; ◆, 300°C 15.0 m/s; ◎, 400°C 3.7 m/s; △, 400°C 5.0 m/s; □, 400°C 10.0 m/s; ◇, 400°C 15.0 m/s.

を算出し、供給熱量が試料の表面の着色状態にどのようにかかわっているかを検討した。

図9に、着色状態と供給熱量の関係を示す。本図には、風温、風速および加熱時間が異なる実験点をのせた。L値は供給熱量が増加すると低下したが、その関係は風温により大きく異なった。着色状態と供給熱量の関係は一つの関係で表せられるのではなく、風温による4つのグループに分けられることがわかる。風温が高い場合、L値は供給熱量の増加とともに急激に低下した。一方、風温が200°C以下の場合、供給熱量を増加させても、L値はそれほど低下しなかった。このことから、食品表面の着色状態は供給熱量で決まるのではなく、風温が大きな影響を及ぼしていることがわかる。

着色状態が表面温度に依存することから(図5)、さらに供給熱量と表面温度の関係を検討した。図10に、風温、風速及び加熱時間から算出した供給熱量と試料の表面温度の関係を示す。供給熱量の増加に伴い表面温度は高くなったが、その程度は風温により異なる。供給熱量が同じでも、風温が高いほど試料の表面温度は高くなった。この結果から、供給熱量を同一にした場合、表面温度は風温に大きく依存していることが明らかになった。これは、前述のように、食品への熱流束が高温空気と食

品表面の温度差に比例している(2)式)ためである。

要 約

食品の対流加熱に関し、食品表面の着色状態に及ぼす風温と風速の影響を調べるため、食パンを試料とし、開放系で、風温が100~400°C、風速が1.7~15.0 m/sの広い範囲で加熱実験を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

(1) 風温が高いほど、あるいは風速が大きいほど食品表面の焼き色は濃くなった。すなわち、高温空気の加熱能が高くなるほど表面は速く着色し、焼き色は濃くなる。また、食パンの場合、風温が180°C以下の場合には、L値に対する風速及び風温の影響はほとんど認められなかった。

(2) 食品表面の着色状態は、表面温度に依存している。

(3) 加熱能、すなわち単位時間当たりの供給熱量が同一の場合、風温が高く風速が小さい条件の方が、風温が低く風速が大きい条件よりも表面の着色速度は大きい。これは、加熱能が同じ場合でも、前者の高温空気から食品への熱流束が後者よりも大きくなるためである。

(4) 食品表面の着色状態を決定する重要な因子は風温と供給熱量である。供給熱量が同じでも、食品表面の着色状態は風温により異なり、風温が高いほど焼き色は濃くなった。一方、風温が同じであれば、着色状態は供給熱量に依存する。

文 献

- 1) SKJOLDEBRAND, C. and HALLSTROM, B.: *J. Food Sci.*, **45**, 1347 (1980).
- 2) SKJOLDEBRAND, C.: *J. Food Sci.*, **45**, 1354 (1980).
- 3) SKJOLDEBRAND, C. and OSTE, R.: *Adv. Cater Techn.*, **232** (1980).
- 4) SIED, J. and MATHEWS, M.E.: *J. Food Sci.*, **4**, 97 (1986).
- 5) BROWN, N.E. and CHYUAN, Y.A.: *J. Am. Diet Assoc.*, **87**, 1521 (1987).
- 6) SATO, H., MATSUMURA, T. and SHIBUKAWA, S.: *J. Food Sci.*, **52**, 185 (1987).
- 7) 日本食品工業学会食品成分分析法編集委員会: 食品成分法, (光琳, 東京), p.4 (1981).
- 8) 甲藤好郎: 伝熱概論, 第12版(養賢堂, 東京), p.374 (1974).
- 9) 佐藤秀美・畑江敬子・島田淳子: 日食工誌, **39**, 784, (1992).
- 10) 佐藤秀美・早川文代・畑江敬子・島田淳子: 日本

- 家政学会第50回大会講演要旨集, p. 52, 東京 (1997).
- 11) SHIBUKAWA, S., SUGIYAMA, K. and YANO, T.: *J. Food Sci.*, **54**, 621 (1989).
- 12) SKJOLDEBRAND, C. and ANDERSON, C.: *J. Microwav Power & Electromagnetic Energ.*, **24**, 91 (1989).
- 13) 呉 計春・相良泰行・瀬尾康久・森嶋 博: *食科工*, **44**, 31 (1997).
- (平成10年10月6日受付, 平成11年4月5日受理)
-