thermometry which can measure the temperature distribution of an object without disturbing its internal condition, and its applicability was tested for an axi-symmetrical liquid jet flow. In the present study, to investigate the influence of the shape of the temperature distribution, the method in the previous work was applied to the temperature distribution of a non-symmetrical liquid jet flow and the results were compared with those measured by a thermocouple.

A minor difference was found in the absolute values, but the temperature distributions measured by the ultrasonic CT method and by the thermocouple resembled each other closely. Consequently, the ultrasonic CT method is considered applicable to the indirect thermometry of a non-symmetrical liquid jet flow.

* Daicel Chemical Industries, Ltd.

噴霧乾燥プロセスにおける粉ミルクの新しい回収システム[†]

工藤 俊一・古閑 二郎^{*}・松本 史朗^{*}・井上 一郎^{**}

明治乳業(株) 中央研究所^{††}

噴霧乾燥プロセスのサイクロンにおける粉乳の粉碎および脂肪の遊離化の可能性が報告されている^{1,2)}。粉乳の粉碎およびそれに伴う脂肪の遊離化は、粉乳の溶解特性および保存性を低下させる。

ここでは、まず、サイクロンでの加工粉乳の粉碎ならびに脂肪の遊離化について実験的にその有無を検討した。次に、それらを低減するために、大気エアロゾルの連続分級装置の一つであるバーチュアルインパクター形式の装置をサイクロンと組み合わせた回収システムを開発した。実験では、主にインパクター部の回収率および回収された粉乳の粉碎、遊離脂肪量の増加の有無について検討した。また大型の実験機を試作し工業化についても検討した。

実験装置および方法

サイクロンにおける粉乳の粉碎およびこれに伴う遊離脂肪量の増加を調べるために、直筒部長さ 400 mm、円錐部長さ 1100 mm、筒径 420 mm、入口部 150 mm × 150 mm のリンデン型サイクロンを用い加工粉乳の回収実験を行った。サイクロン入口の空気流速は回収率が 99% 以上である 14.5 m/s とした。なお、ここでの回収率は供給

粉乳に対する回収粉乳の重量比を意味する。また、供給粉乳濃度は、噴霧乾燥機からの粉乳を回収する実操作とはほぼ同一の $1.7 \times 10^{-2} \text{ kg/m}^3$ とした。

バーチュアルインパクター形式の装置とサイクロンとから構成された回収システムの装置概要を Fig. 1 に、またインパクターの形状および寸法を Table 1 に示す。送気ファン①から送り込まれた空气にニューマチックエレベータ③からの粉乳を混合し、インパクター部⑥に導く。分離された粉乳は下部のロータリーバルブ⑦を通過し回収される。直進空気に伴う粉乳はサイクロン⑨で、排気に伴った粉乳はサイクロン⑩で分離、回収される。インパクターとサイクロンが直列に配置されており回収率はほぼ 100% である。

type-1 のインパクターは、吉田ら⁵⁾ がエアロゾルの分級に用いた装置と同一形式であり、内径 0.2 m の円筒が同軸に上下対向している。type-2 は、Chen ら³⁾ と類似の形式であり、上の円筒がノズル状、下の円筒にノズル径に等しい穴径のプレートがつけられている。type-2 は小型実験機の他に大型実験機を試作り回収実験を行った。Table 2 に実験条件を示す。送気の粉乳濃度はサイクロンの回収実験と同様とし、上流管出口空気速度 U_0 、スリット比 S/R 、直進空気流量比 Q_r を変え実験を行った。 Q_r は Fig. 1, ④ のファン回転数を制御し、ほぼ 0, 0.08, 0.16, 0.24 と変化させた。基礎的な回収実験には付着性の少ない脱脂粉乳を用い、粉乳の粉碎および遊離脂

† 1990年5月7日受理；化学工学会第53年会（仙台，1988年4月）にて一部発表

†† 〒189 東村山市栄町1-21-3

* 埼玉大学工学部 環境化学工学科

** 理化学研究所

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Dimensions of impactors

Equipment	Small-scale type-1	Small-scale type-2	Large-scale type-2
θ [deg]	0	30	30
R [m]	0.1	0.05	0.1
T [m]	—	0.01	0.01
D_1 [m]	0.2	0.2	0.5
D_2 [m]	0.5	0.5	0.8
L_1 [m]	0.325	0.325	0.27
L_2 [m]	0.825	0.825	0.6

Table 2 Experimental conditions

Equipment	Small-scale type-1	Small-scale type-2	Large-scale type-2
U_0 [m/s]	2.2 ~ 11.7	5.2 ~ 11.2	6.5 ~ 14.3
S/R [—]	0.15 ~ 0.51	0.14 ~ 0.86	0.51
Qr [—]	0 ~ 10	0 ~ 0.24	0 ~ 0.24
Test milk powder	skim	skim processed	processed

Fig. 2 Undersize distribution of original milk powder

肪の変化を検討する実験には加工粉乳を用いた。

使用した脱脂粉乳および加工粉乳の粒径分布を Fig. 2 に示す。脱脂粉乳の 50% 径は約 60 μm 、加工粉乳は約 120 μm である。実験に用いた加工粉乳は脂肪 35%、タンパク質 20%、その他、炭水化物、灰分、水分の組成を持ち噴霧乾燥機底部からサイクロンを通さず回収した粉乳である。見かけの粒子密度は脱脂粉乳が約 $1.3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、加工粉乳が約 $1.1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ である。粒子形状は一定でなく、特に加工粉乳は顆粒状のものが多く、加工

粉乳の遊離脂肪率は 0.4 ~ 0.7% である。

脱脂粉乳の粒径測定はコールターカウンタ（日化機製、TA II 型）で行い加工粉乳はフルイ分け（セイシン企業、RPS-85）で行った。遊離脂肪の分析は Niro Atomizer 研究法⁴⁾で行い、粉乳単位重量当たりの遊離脂肪量を遊離脂肪率とした。

実験結果および考察

粉乳の粉碎および遊離脂肪の増加を調べるためのサイクロンでの実験結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3 (a) は Fig. 2 に示した粒径分布の加工粉乳を供給した場合の結果であり、Fig. 3 (b), (c) は分級した粉乳を供給した場合の結果である。いずれの実験においても供給粉乳に比べ回収粉乳の 50% 径は小さく、また遊離脂肪量は増加している。このことからサイクロン内壁と粉乳粒子の摩擦などによ

Fig. 3 Undersize distribution and free-fat content of processed-milk powder supplied and those of the powder recovered by the cyclone. The values in parentheses mean free-fat content [%]

り、粉乳の粉碎とそれに伴う脂肪の遊離化が生じると判断した。

次に type-1 のインパクト形式の小型実験装置を用いた回収実験を行った。Fig. 2 に示した粒径分布の脱脂粉乳を供給粉乳として用いた。直進空気流量比 $Qr=0$ の場合、スリット比 S/R 、上流管出口空気流速 U_0 を変化させてもインパクト部での回収率は 11～15% の範囲であった。また、 $Qr=0.08$ では、インパクト部で 23%、後方の直進空気用サイクロンで 10% の回収率であった。

そこで小型実験装置を type-2 のように変更し再度回収実験を行った。Fig. 4 に示すようにインパクト部および直進空気用サイクロンを合わせた回収率 ($\alpha_i + \alpha_c$) は、直進空気流量比 Qr の増加に伴いほぼ直線状に増加している。インパクト部の回収率 α_i は $Qr=0.08 \sim 0.16$ で最大値を示している。また、図からインパクト部および直進空気用サイクロンを合わせた回収率 ($\alpha_i + \alpha_c$) およびインパクト部の回収率 α_i がスリット比 S/R に依存しないことがわかる。 $Qr=0$ におけるインパクト部回収粉乳の 50% 限界捕集粒子径は約 $65 \mu\text{m}$ であり、スリット比への依存性はほとんど認められなかった。上流管出口空気速度 U_0 を増加し $10.4 \sim 11.2 \text{ m/s}$ とした場合にはインパクト部と直進空気用サイクロンを合わせた回収率は Fig. 4 に比べ約 10% 増加し $Qr=0.24$ で 95% に達した。しかしながら、インパクト部での回収率は $Qr=0$ の場合を除き Fig. 4 の回収率とほぼ同じ値であった。

Table 3 に type-2 のインパクト形式の小型実験装置で Fig. 2 示した粒径分布の加工粉乳を供給粉乳として用いた実験結果を示す。Table 3 には、実験条件も示した。インパクト部の回収率 α_i は脱脂粉乳に比べ 15% 程度増加している。また、インパクト部で回収された粉乳

Fig. 4 Relationship between Qr and α on the small-scale impactor of type-2 for skim-milk powder

Fig. 5 Relationship between Qr and α on the large-scale impactor of type-2 for processed-milk powder

はサイクロンでの回収粉乳に比べ遊離脂肪率が約 1/3 であり、その増加量はきわめて小さい。なお、50% 径は供給粉乳より大きい。これらの結果からインパクト部では内壁と粉乳粒子の摩擦などが少なく、粉乳の粉碎は少ないと判断した。

Fig. 5 に type-2 の大型実験機で Fig. 2 に示した粒径分布の加工粉乳を供給粉乳として用いた実験結果を示す。直進空気流量比および上流管出口空気速度と回収率の関係は小型実験機の場合と同様である。インパクト部および直進空気用サイクロンを合わせた回収率 ($\alpha_i + \alpha_c$) は上流管出口空気速度 $U_0 = 14.3 \text{ m/s}$ 、直進空気流量比 $Qr = 0.24$ で 99% に達するが、いずれの空気速度の場合もインパクト部の回収率 α_i は 70% 程度であった。Table 4 に回収粉乳の 50% 径と遊離脂肪率を示した。小型実験機とはほぼ同様の結果である。以上の結果より、バーチャルインパクト形式の装置とサイクロンを組み合わせた粉乳の回収システムにおいて、インパクトは粉乳の粉碎防止、遊離脂肪量の増加の低減に有効であると言える。大型実験機の実験範囲でのインパクト部の圧力損失は

Table 3 Milk powder recovered by the small-scale recovering system

Impactor				Cyclone for straight through air			Cyclone for exhaust air	
Qr	Ff	Dp_{50}	α_i	Ff	Dp_{50}	α_c	Ff	Dp_{50}
[—]	[%]	[μm]	[%]	[%]	[μm]	[%]	[%]	[μm]
0	0.8	150	60	—	—	0	3.6	77
0.08	1.2	142	73	—	—	1	3.8	76
0.16	1.0	145	71	2.4	81	16	3.3	76
0.24	1.3	138	68	2.7	84	26	3.1	80

Conditions :
small-scale impactor of type-2, $U_0=5.2\sim 5.8\text{ m/s}$, $S/R=0.46$,
processed-milk powder, 50% diameter of supplied milk powder=
 $120\mu\text{m}$ free fat content of supplied milk powder=0.6 %

Table 4 Milk powder recovered by the large-scale recovering system

Impactor				Cyclone for straight through air			Cyclone for exhaust air	
Qr	Ff	Dp_{50}	α_i	Ff	Dp_{50}	α_c	Ff	Dp_{50}
[—]	[%]	[μm]	[%]	[%]	[μm]	[%]	[%]	[μm]
0	1.0	140	68	—	—	0	4.4	75
0.08	1.0	140	67	2.9	80	17	4.2	72
0.16	1.2	142	65	3.0	80	31	3.9	79
0.24	1.5	135	66	3.7	78	33	—	—

Conditions :
large-scale impactor of type-2, $U_0=14.3\text{ m/s}$, $S/R=0.51$,
processed-milk powder, Properties of supplied milk powder
are same as table 3

20～240Pa であり実装置として採用可能と考えられる。

θ = inclination angle of nozzle [deg]

Nomenclature

Dp = size of powder [μm]
 $D(Dp)$ = undersize distribution of powder [—]
 Dp_{50} = 50% diameter of powder [μm]
 Ff = free-fat content in milk powder [%]
 Qr = ratio of straight through flow rate to total flow rate [—]
 R = radius of hole [m]
 S = slit width [m]
 U_0 = air velocity at the exit of upper pipe [m/s]
 α = weight ratio of recovered powder to feed powder [—]

<Subscripts>

i = impactor
c = cyclone ⑨ shown in Fig. 1

Literature cited

- 1) Buma, T.J.: *Neth. Milk Dairy J.*, **19**, 249 (1965)
- 2) idem : *ibid.*, **25**, 107 (1971)
- 3) Chen, B.T., H.C. Yen and Y.S. Cheng: *J. Aerosol Sci.*, **16**, 343 (1985)
- 4) Sorensen, I.H., J. Krag, J. Pisecky and J. Westergaard: "Analytical Methods for Dry Milk Products, 4-th ed.", A/S Niro Atomizer, Copenhagen (1978)
- 5) Yoshida, H., K. Hujii, Y. Yonemoto, H. Mashuda and K. Iinoya : *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **4**, 419 (1978)

New Recovery System for Milk Powder in Spray Drying Process

Shun-ichi Kudoh, Jiro Koga*, Shiro Matsumoto*
and Ichiro Inoue**

Central Research Inst., Meiji Milk Products Co., Ltd., Higashimurayama 189

Key Words : Food Chemical Engineering, Milk Powder, Spray Drying, Cyclone, Virtual Impactor

The size reduction of milk powder that occurs in a cyclone by the spray drying process increases its free-fat content and degrades its reconstitution properties and keeping quality. A new recovery system consisting of a virtual impactor and cyclones was developed to prevent the size reduction of milk powder.

The impactor was effective in preventing size reduction and reduced the increase of free-fat content of milk powder.

* Dept. of Environ. Chem., Saitama Univ.

** The Institute of Physical and Chemical Research

プレート式熱交換器における殺菌効果について[†]

設楽英夫・神崎幹雄

森永乳業(株) 装置開発研究所^{††}

水口建治・小此木成夫

森永乳業(株) 食品総合研究所^{†††}

栗山雅文・今野宏卓

山形大学工学部 物質工学科^{††††}

熱媒体と非接触の状態で食品を加熱・殺菌する、いわゆる間接加熱方式の殺菌は食品工業において広く見受けられるプロセスの一つである。このプロセスによる滅菌食品(常温で市場を流通し得るまで殺菌された食品)の製造に関して、アメリカFDA(Food and Drug Administration, 食品医薬品局)は、加熱装置内で食品が滅菌温度(以上)に保持された時間のみを殺菌時間として認め、この保持温度と保持時間のみから殺菌効果を定義し

ている。しかるに、昇温工程および冷却工程においてもある程度の殺菌が成されていることがすでに知られており、缶詰食品の殺菌に関してはその理論的取り扱い手法が提案されている^{4,6)}。一方、流れ系の間接加熱殺菌装置として液状食品にしばしば利用されているプレート式熱交換器に関しては報告例がきわめて少なく、昇温および冷却工程の殺菌効果に関してはFranklinらの報告¹⁾あるいはKesslerの成書³⁾以外ほとんど見当たらない。

そこで本研究では、実用のプレート式熱交換器を用いて耐熱性細菌孢子の殺菌実験を行い、その死滅率測定から昇温工程、温度保持工程および冷却工程各々の殺菌効果について定量的検討を加えた。

† 1990年5月14日受理

†† 〒189 東大和市立野4-515

††† 〒228 座間市東原5-1-83

†††† 〒992 米沢市城南4-3-16