高濃度クリームの製造法とその性質

川成真美*・岡本清孝**・福島正義*

Manufacturing of High Fat Cream and Its Characteristics

Masami KAWANARI*, Kiyotaka OKAMOTO** and Masayoshi HUKUSHIMA*

* Technical Research Institute of Snow Brand Milk Products Co. Ltd.,
1-1-2 Minamidai, Kawagoe, Saitama 350

** Sapporo Research Laboratory, Snow Brand Milk Products Co. Ltd.,
6-1-1, Naebo-cho, Higashi-ku, Sapporo 065

Manufacturing process of high fat cream (HFC-over 82% of milk fat content) and its characteristics were investigated for extensive use as a fatty raw material. The most appropriate cream separator among three types was selected for stable processing with locating orifices at inlet or outlet of it for increasing fat content by agglomeration of fat globule. Vacuum cooler was also introduced for degas, moisture control by evaporation and first stage gentle cooling HFC by flashing. The employment of an altered surface scraped heat exchanger as a succeeding operation at second stage gentle cooling was satisfactory in establishing continuous process of HFC refraining to invert the emulsion phase (O/W type). This O/W type emulsion of HFC which tends to be inverted its phase to W/O type were able to dissolve water soluble additives such as sucrose and salt. Storing of HFC at 5°C, however, caused the inversion of the emulsion system to W/O type spontaneously. The melting point of solidified HFC was almost 2 to 3°C lower than that of unsalted butter. It can be presumed that liquid fat is interlocked within HFC in comparison with butter whose manufacturing has washing process to cool agglomerated butter particles resulting in effluent liquid fat.

(Received Jun. 13, 1991)

現在、我国で販売されているクリームは、乳脂肪濃度 50% のものが最大濃度であるが、欧米においては、乳脂肪分 65~80% 前後の高濃度クリームが生産され¹⁾、チーズ、バター、アイスクリームや製菓用などへの乳脂肪原料として広く利用されている^{2~4)}。

乳脂肪濃度 80% 前後の高濃度クリームの製造方法については、クリームを再度遠心分離する方法が一般的であるが、脱脂乳側への脂肪ロスが多いといわれている。このため、クリームをあらかじめ均質化処理した後再分離したり、分離機入口部に突起を設けた特殊な分離機 (Clarifixator) を用い再分離する方法などがある⁵⁾。しかし、上記方法で得られた高濃度クリームは転相して

おり、水中油型 (O/W) のまま製造するのが困難である。

本報では、バター等への応用も考え、82% 以上の高濃度クリームを安定に製造する方法として新たにオリフィス、ヴァキュームクーラーを導入した製造法と、得られた高濃度クリームの諸性質について検討した結果について報告する。

実験方法

1. 高濃度クリーム成分値、酸度および酸価の測定
高濃度クリーム成分値等の測定は乳製品試験法⁶⁾に、また空気含量は種谷らの方法⁷⁾により測定した。

* 雪印乳業株式会社技術研究所 (〒350 埼玉県川越市南台 1-1-2)

** 雪印乳業株式会社札幌研究所 (〒065 札幌市東区苗穂町 6-1-1)

2. 分離効率の計算

原料のクリームから高濃度クリームへの分離時の脂肪回収率と定義した。

3. 遊離脂肪量の測定

遊離脂肪量は Te WHAITT らの方法⁸⁾に依った。

4. 流動性の測定

流動性は、2重円筒型回転粘度計 (Haake Viscometer VT 181 sensor system SV-1) を用いて測定した。降伏値や非ニュートン指数の各流動性値は Power law モデルを適用し求めた⁹⁾。

なお、見かけ粘度は、剪断速度 161 s^{-1} で測定した。

5. 導電率の測定

高濃度クリームの導電率は導電率計 (電気化学計器 AOC-10 型) を用いて測定した。

結果と考察

1. 分離機の選定

乳製品工場で実稼働している分離能力の異なる数種類の分離機を用い、最大分離脂肪分 82.8%，分離効率 76.9% と最も良好であった分離機を選定し以下の実験に用いた。

2. オリフィス設定条件

高濃度クリームを安定に効率よく得られるように、上記分離機クリーム入口側に脂肪球の凝集を促進するため、また分離高濃度クリーム出口側に脂肪球の濃縮を促進させる目的で背圧を付与するためオリフィスを設置し、その時の高濃度クリーム成分値変動を検討した。Table 1 にクリーム脂肪濃度 40% で分離した結果を示す。この時の分離効率は約 80% であり、効率を低下させずにオリフィス併用設置で全固形分 4% の上昇を確認した。

3. 最適分離条件の把握

原料として殺菌したクリームを用い、(A) 原料クリーム脂肪濃度 (35, 40, 45%), (B) 分離温度 (50, 60,

70°C) および (C) 分離機背圧 (60, 75, 90 kPa) を因子とする 3 元配置実験計画法¹⁰⁾で最適分離条件を検討した。

また、実験の固定条件として前項で決定したオリフィスを分離機入口側に設置し、実験の特性値として高濃度クリーム脂肪濃度、分離効率、遊離脂肪量、見かけ粘度および各流動性値の諸量を測定した。

(1) 高濃度クリーム脂肪濃度 (FC) に及ぼす各因子の効果

FC に関して行った実験結果を Fig. 1 に、分散分析した結果を Table 2 に示す。原料クリーム脂肪濃度の増加、分離温度の低下および分離機背圧の増加によって FC は増加し、これらのうち分離機背圧の寄与率 (ρ) が大きいものであった。しかし 70°C と高い分離温度では、原料クリーム脂肪濃度を増加させても FC は低く推移し、82% の目標値へ到達しないことが判明した。

(2) 分離効率 (SE) に及ぼす各因子の効果

SE に関して分散分析した結果を Table 3 に、有意となった実験結果のうち、各因子の交互作用を Fig. 2

Table 1 Effects of orifice location on constituents of high fat cream

Location of Orifice	Total Solid	Fat	NFMS
None	80.50%	78.58%	1.92%
Inlet*	83.13	81.40	1.73
Inlet and Outlet**	84.37	82.84	1.53

* Setting 10 mm at inlet of separator

** Setting 10 mm and 6 mm at inlet and outlet of separator respectively

Fig. 1 Mean fat concn. of high fat cream as influenced by three experimental factors shown in Table 2

Arrows indicate 95% confidential intervals.

Table 2 Analysis of variance for fat concentration of high fat cream

S. V.	S. S.	D. F.	M. S.	F-value	ρ (%)
A_L	5.2057	1	5.2057	4.7*	4.9
A_Q	1.2513	1			
B_L	1.4851×10	1	1.4851×10	13.5*	16.3
B_Q	3.7500×10^{-3}	1			
$A_L \times B_L$	1.6875	1	1.6875	1.5	
$A_R \times B_R$	1.1453×10	3	3.8177	3.5*	9.7
C_L	3.0006×10	1	3.0006×10	27.3**	27.3
C_Q	5.6065×10^{-2}	1			
$A_L \times C_L$	4.2563×10^{-1}	1			
$A_R \times C_R$	2.5598	3			
$B_L \times C_L$	1.1603×10^{-1}	1			
$B_R \times C_R$	2.9551	3			
E	(1.9810×10)	(18)	(1.1006)		
Total	8.4265×10	26			

Significance is indicated as ** for $P < 0.01$ and * for $P < 0.05$.

Subscript L, Q and R mean linear and quadratic effects and residual sum of squares respectively.

Experimental Factor; A : Cream fat concn. (%)

B : Separation temp. (°C)

C : Back pressure at the separator (kPa)

Fig. 2 Mean separation efficiency as influenced by three experimental factors shown in Table 2

Arrows indicate 95% confidential intervals.

に示す。原料クリーム脂肪濃度の増加，分離温度の低下および分離機背圧の増加によって SE は減少した。分離温度 60 および 70°C の時，SE は高めにはほぼ一定になっているが，50°C 時には原料クリーム脂肪濃度の増加

につれ減少すること，また分離機背圧が 60 kPa 時には高めに安定しているが，増加させると分離温度の低下にともない急激に減少することが判明した。

(3) 遊離脂肪量 (FF) に及ぼす各因子の効果

脂肪球膜が脱落している脂肪濃度である FF は，分離時にクリーム系が O/W あるいは W/O 系かを決定づける重要な量であり，後述する利用特性に大きく影響する。

Fig. 3 より，原料クリーム脂肪濃度 40% 時に FF は最大になり，低分離温度で FF は増加した。また分離機背圧を増加させると FF は直線的な増加を示し，これはオリフィス通過時に生ずる剪断力によって脂肪球膜に損傷を与えているものと考えられる。

以上の結果から，分離効率の良い条件は FC が 79% とバター製品規格を下回ること，また遊離脂肪量が最小である条件も FC が 80% 前後と不安定な工程管理になると考えられ，多少分離効率を犠牲にしても，FC を 82.0% 以上を安定に製造する操作条件として，原料クリーム脂肪濃度 40%，分離温度 60°C および分離機背圧 75~90 kPa の条件が最適と考えられる。

しかし，構成脂肪酸の季節変動など原料クリームの諸

Table 3 Analysis of variance for separation efficiency

S. V.	S. S.	D. F.	M. S.	F-value	ρ (%)
A_L	2.4465×10^2	1	2.4465×10^2	10.6**	7.4
A_Q	2.7383	1			
B_L	1.3263×10^3	1	1.3263×10^3	57.4**	43.4
B_Q	1.9627×10^2	1	1.9627×10^2	8.5**	5.8
$A_L \times B_L$	2.4998×10^2	1	2.4998×10^2	10.8**	7.6
$A_R \times B_R$	4.0830×10	3			
C_L	3.0967×10^2	1	3.0967×10^2	13.4**	9.5
C_Q	8.9141	1			
$A_L \times C_L$	9.6870	1			
$A_R \times C_R$	9.1689	3			
$B_L \times C_L$	2.3400×10^2	1	2.3400×10^2	10.1**	7.0
$B_R \times C_R$	4.3983×10	3			
E	(4.3877×10^2)	(19)	(2.3093×10)		
Total	3.0024×10^3	26			

Significance is indicated as ** for $P < 0.01$ and * for $P < 0.05$.

Subscript L, Q and R mean linear and quadratic effects and residual sum of squares respectively.

Experimental Factor; A : Cream fat concn. (%)

B : Separation temp. (°C)

C : Back pressure at the separator (kPa)

Fig. 3 Overall mean free fat concn. of high fat cream as influenced by three experimental factors shown in Table 2
Arrows indicate 95% confidential intervals.

性質に影響する因子が多いことから、さらに安定な製造を目指し水分値制御できる工程が必要と思われる。

(4) 各特性値間の相関

Table 4 に各特性値間の相関関係を示す。FC と他の特性値間、特に高濃度クリーム無脂乳固形分 (NFMS)、見かけ粘度 (AV) および降伏値間 (YS) に高い相関が認められた。これらの中から、Fig. 4-(1) に FC と NFMS、Fig. 4-(2) に AV の関係を示す。これらより、FC が増加すると NFMS は急激に減少し、AV は直線的に増加することが認められた。

4. バキュームクーラーの導入

分離効率 (Fig. 2) や遊離脂肪量 (Fig. 3) の関係から脂肪濃度をさらに高めることは困難なことや、工程での歩留まり管理が 0.1% 以下の管理を要求されている現状から、水分調整法が必要と考えられる。そこで、減圧下のフラッシュ蒸発を利用し、自己蒸発による水分調整、1 次冷却および高濃度クリーム中の気泡除去を目的としてバキュームクーラーを製作し、その効果を検討した。

(1) バキュームクーラーの導入¹¹⁾

分離直後の高濃度クリームを 10~15°C、フラッシュ

Table 4 Correlations between high fat cream properties (R^2)

Independent Variable	Dependent Variable						
	Fat	NFMS	S. E.	F. F.	A. V.	N	Y. S.
Fat (%)	----	<u>0.77</u> **	0.31**	0.43**	0.82**	0.17*	0.80**
Non Fat Milk Solid (%)		----	<u>0.61</u> **	0.31**	0.71**	----	0.62**
Separation Efficiency (%)			----	0.33**	<u>0.60</u> **	----	0.28**
Free Fat (%)				----	<u>0.39</u> **	----	0.39**
Apparent Viscosity (Pa·s)					----	0.18*	0.79**
Non Newtonian Index (-)						----	0.51**
Yield Stress (N/m ²)							----

Degrees of Freedom : 26

Significance is indicated as * for $P < 0.05$ and ** for $P < 0.01$.

Underlining indicates quadratic relationship.

Fig. 4 Representation of fat concn. as a predictor of non fat milk solid and apparent viscosity upon producing high fat cream

Fig. 5 Effects of pressure at the flashing chamber of vacuum cooler on moisture reduction and temp. of high fat cream

Arrows indicate 95% confidential intervals.

蒸発によって冷却することを基本として設計した。このクーラーはフラッシュ室と充填塔方式（ラシヒリング充填¹¹⁾）のコンデンサー部の2ユニットから構成されている。

(2) 水分蒸発

自己蒸発水分量¹²⁾から求めた高濃度クリーム水分の減少とフラッシュ室内圧力の関係を Fig. 5-(1) に、またクーラー出口温度と圧力の関係を Fig. 5-(2) に示す。この水分減少と圧力と出口温度の関係から、圧力操作のみで1% 前後の水分をコントロールできることを確認した。この水分減少により、分離直後の高濃度クリーム脂肪濃度を減少でき、分離機負荷の軽減と、1次冷却が可能と考えられる。

(3) 高濃度クリームの気泡の除去

分離直後の高濃度クリーム空気含量は 3.1 ml/100 g

であり、クーラーにより 0.1 ml/100 g とほとんど空気を除去できることを確認した。

5. 高濃度クリームの2次冷却条件の検討

2次冷却は乳脂肪の結晶化とその成長を生起させることと、品質管理上問題のない温度まで冷却することを目的とし、バキュームクーラーで1次冷却された高濃度クリームを用い冷却に伴う相転換に及ぼす温度等の効果について検討した。

2次冷却機として温和な条件で運転できる掻取式熱交換機であるサーモシリンダー（冷媒：5℃-水、岩井機械 K 10 型）を選定し、高濃度クリームの冷却機出口温度および掻取羽根回転数の転相（O/W 系→W/O 系）に及ぼす効果を調べた。この相転換は導電率と遊離脂肪量の測定により判定した。

Fig. 6 Relationship between electric conductivity and outlet temp. of high fat cream just after cooled by scraped surface heat exchanger

高濃度クリームの冷却機出口温度と導電率（25℃換算）の関係を Fig. 6 に示す。羽根回転数 200 rpm では、20℃まで導電率は 480 μ S と変化せず O/W 系であるが、それ以下になると急激に低下し、15℃で 176 μ S と転相し始め、10℃で 0.4 μ S とほとんど転相していた。400 rpm ではこの転相温度は高くなり、25℃以下で転相が始まり、15℃で 0.01 μ S と転相を終了していた。さらに、200 rpm における遊離脂肪量の変化をみると 20℃で 16.1% と転相していないが、10℃で 93.0% とほとんど脂肪球膜が破壊されており、導電率の結果を裏付けている。サーモシリンダー出口の高濃度クリーム性状は、導電率 400 μ S までは、分離直後品と同様に流動性を保っているが、それ以下になると出口より排出後直ちに硬化し、流動性を失うことが観察された。

これらの結果から、脂肪球膜は掻取羽根による攪拌で簡単に破壊されており、この破壊程度は温度と掻取羽根

Table 5 Characteristics of high fat cream

1. Typical chemical component of high fat cream

Total Solid	over 84.0%
Fat	over 82.0%
Non fat milk solid (NFMS)	1.3~2.2%

Remark 1: Regulation of unsalted butter

Fat	over 82%
Moisture	below 16%

2. Acidity and acid value

	Fresh HFC	Storage at 5°C for 1 month	Storage at -20°C for 1 month
Acidity	0.019%	0.020%	0.019%
Acid value	0.76	0.76	0.76

Remark 2: Acidity and acid value of unsalted butter

Acidity: 0.016~0.017% Acid value: 0.78~0.80

3. Free fat

	Fresh	Cooled at 5°C for 72 h
HFC 1	16.8%	88.7%
HFC 2	7.8%	83.5%

Remark 3: HFC 1 (Fat 84.6%, NFMS 1.4%)

HFC 2 (Fat 82.2%, NFMS 1.6%)

4. Melting point (Open tube method)

HFC	29.1 ~ 29.2°C
Unsalted Butter	31.0 ~ 32.0°C

同数値に依存していることが判明した。

6. 高濃度クリームの品質特性

Table 5 に、高濃度クリームの成分値、酸価、酸度、遊離脂肪量の変化および融点を示す。

高濃度クリームの目標成分を無塩バターと同等にしたが、酸度および酸価の変化は、通常の無塩バターのそれらと変化しないものであった。

遊離脂肪量について、2種類の高濃度クリームの製造直後と72時間保存品(5℃冷却固化品)について測定したが、72時間保存品の遊離脂肪量が80%以上となっていることが判明した。これは粒子の変形や微小粒子が粒子間に埋設されることにより、見かけ上最密充填以上に充填されていると推定される脂肪球中で⁵⁾、冷蔵保存中に脂肪の結晶化およびその成長があり、融点以上では比較的粘弾性があるといわれている脂肪球膜を破損したためと考えられる¹³⁾¹⁴⁾。

融点は高濃度クリームの方が無塩バターに比較し、2℃程度低いことが判明したが、バター製造工程中に水洗工程があるため、低融点脂肪をバターミルク中へ流出させるのに対し、高濃度クリームは水洗工程がないことや、O/W型のエマルジョンとして製造するため、脂肪球中の低融点脂肪が取り込まれている状態と考えられる⁵⁾。

高濃度クリーム流動曲線の脂肪濃度および温度依存性をFig. 7に示す。これら高濃度クリームの流動曲線にPower lawを適用し、得られた非ニュートン指数 n 値が0.59~0.66であることから、曲型的な非ニュートン

Fig. 7 Effects of fat concn. and temp. of high fat cream on flow curve

ン流体であり¹³⁾、また見かけ粘度挙動は温度に比べ濃度依存性の強いことが判明した。

7. 高濃度クリームの用途

(1) 転相前高濃度クリーム

O/W系であることや、冷却前の脂肪球膜はある程度の強度を持っていることを利用し、分離直後の高濃度クリームに蔗糖を添加し、その水中濃度を60%以上になるようにした蔗糖添加高濃度クリーム(Sweetened high fat cream-全固形分87.5%, 脂肪濃度66.9%, 蔗糖19.3%, 水中蔗糖濃度60.6%)を試作した¹⁵⁾。

この流動曲線をFig. 8に示す。蔗糖を添加する前の高濃度クリームに比べ、Power lawによる非ニュートン指数が0.59から0.66と増加し、蔗糖添加による非ニュートン性の弱まりが認められた。

2カ月間の室温保存結果ではカビおよび酵母の発生は認められず、-25℃冷凍保存品も粘性が見られ、取扱が容易になることが推定された。

また、逆のW/O系では溶解困難な水溶性物質例えば食塩、色素等を溶解することが容易であり、新規な製菓原料として利用できると考えられる。

(2) 冷却固化高濃度クリーム

冷却固化高濃度クリーム、同時期製造の無塩バター(Unsalted butter)およびファーマメントバター(Sour butter)を使用し、ハンドミキサー(回転数950 rpm, ナショナル MK-215)でバタークリームを試作し、室温でのそのホイップバビリティを測定した。

Fig. 9に、各バターの密度変化を示す。高濃度クリームを使用したものは、ホイップ時間が短く、オーバーランも大きいことが判明した。これは高濃度クリームが

Fig. 8 Flow curve of sweetened high fat cream (HFC) contained 66.9% of fat, 19.3% of sucrose (sucrose in water: 60.6%) and 1.3% of non-fat milk solid (NFMS) at 60°C

Fig. 9 Density changes upon whipping high fat cream compared with butter

界面活性物質に富む乳脂肪膜をとりこんでいるためと考えられる。

要 約

新たな乳脂肪原料として、高濃度クリームの製造法を検討し、併せてその性質についても検討した。

(1) 分離機入口および出口にオリフィスを設置し、脂肪球凝集と濃縮を促進させることにより、全固形分を4%上昇できた。また温度、圧力および原料クリーム脂肪濃度を要因とする実験結果から最適分離条件を把握した。

(2) 自己蒸発による水分調整、1次冷却および高濃度クリーム中の気泡除去を目的としてバキュームクーラーを製作し、良好な結果を得た。

(3) 2次冷却機として温和な撹取式熱交換機を導入し、高濃度クリームの転相と冷却温度および撹取羽根回転数の関係を明らかにした。

(4) 高濃度クリームの特性では冷却固化すると自然転相状態になることや、融点が液体脂を取り込んで無塩バターより低くなることなどを明らかにした。また、W/O系では溶解するのに困難な水溶性物質を簡単に溶解することができ、新規な乳脂肪原料として考えられた。

本研究にあたり、多大な御助言をいただきました雪印乳業株式会社 佐藤 巖顧問ならびに北海道支社生産部に感謝の意を表します。

文 献

- 1) ROADHOUSE, C.L. and HENDERSON, J.L.: *The Market Milk*, (McGraw-Hill Book Co., London), p. 416 (1950).
- 2) COVACENVICH, H.R. and KOSIKOWSKI, F.V.: *J. Dairy Sci.*, **61**, 701 (1978).
- 3) ERSTROM, C.A., SUTHERLAND, B.J. and JAMESON, G.W.: *J. Dairy Sci.*, **63**, 228 (1980).
- 4) REINART, A. and BROWN, R.W.: *Int. Dairy Congr.* **2**, 522 (1953).
- 5) MULDER, H. and WALSTRA, P.: *The Milk fat globule*, (Commonwealth Agricultural Bureaux Farnham Royal, England), p. 195-198, 231 (1974).
- 6) 日本乳学会: 乳製品試験法・注解, (金原出版, 東京), p. 29, 50, 169, 170 (1984).
- 7) 種谷真一: 雪印乳業技術研究所報告, **35**, p. 3 (1954).
- 8) TE WHAITI, I.E. and FRYER, T.F.: *N.Z.J. Dairy Sci. Technol.*, **10**, 2 (1975).
- 9) WHORLOW, R.W.: *Rheological Techniques*, (Ellis horwood, New York), p. 33 (1980).
- 10) 安藤貞一・田坂誠男: 実験計画法入門, (日科技連出版, 東京), p. 74 (1986).
- 11) 化学工学協会: 化学工学便覧, (丸善, 東京), p. 376, 381 (1977).
- 12) 林 弘通: 乳業技術綜覧 (下巻), (酪農技術普及学会, 東京), p. 381 (1978).
- 13) WALSTRA, P. and JENNESS, R.: *Dairy Chemistry and Physics*, (John Wiley and Sons, New York), p. 264, 294 (1984).
- 14) LARSSON, K. and FRIBERG, S.E.: *Food Emulsions*, (Marcel Dekker, New York), p. 80 (1990).
- 15) 川成真美・岡本清孝・福島正義: 日特公, 昭 63-65287 (1988).

(平成3年6月13日受理)