

## 牛乳中のFAO (脂肪酸組成) について

フォス・ジャパン株式会社 テクニカルマネージャー 藤保 英夫

### フォス・ジャパン紹介

弊社、フォス・ジャパン株式会社は、昭和49年（1974年）に設立された、デンマークに所在するフォスA/Sの子会社です。フォスA/Sは昭和31年（1956年）にニール・フォス（Niels Foss）によって設立され、彼の目的は食品や農業業界における時間のかかる分析に代わる、自動化された費用対効果の高い分析手法を提供することでした。その最初の製品は小麦の水分計であり、以来世界各国で、測定を通じ持続的発展と食の安全・安心に関わる製品を送り出し続けています。



図1 弊社創業者ニール・フォスと彼の作業風景。左端手前の装置が小麦水分計セラテスター

弊社は昭和50年（1975年）の牛群検定事業開始当初より、家畜改良事業団はじめ関係の皆様のお力添えをいただきながら、連続乳成分・体細胞数測定器コンビフォス、乳中細菌数測定器バクトスキャン等により、酪農関係者様と消費者様の発展及び食の安心・安全に携わってまいりました。おかげさまで乳を含む食品の測定では世界の先頭集団に位置すると自負いたしてお



図2 連続乳成分・乳中体細胞数測定装置コンビフォス(左)と連続乳中細菌数測定装置バクトスキャン(右)

りますが、現状に満足することなく、今後もより良いソリューションを提供させていただくためのたゆまぬ努力をさせていただき所存です。

### 本記事でお伝えしたいこと

技術の進展により、弊社の乳成分測定装置ミルコスキャンによって乳脂肪の組成を調べる詳細分析が可能となったため、関連する最新の情報をご案内いたします。乳脂肪の組成には、現在、乳用牛群w検定全国協議会において、検定事業への導入を検討していただいている事項を含みます。従って、将来的に牛群検定情報として検定農家の皆様へ情報提供される可能性があります。

### 乳脂肪の組成とは

乳脂肪とはグリセリン骨格に任意の脂肪酸が3個結合したものであり、これをトリアシルグリセロール（トリグリセリド）と呼びます。また脂肪酸は結合する炭素原子と二重結合の数により区別され、下図では有名なオレイン酸（C18：1）を例示しました。

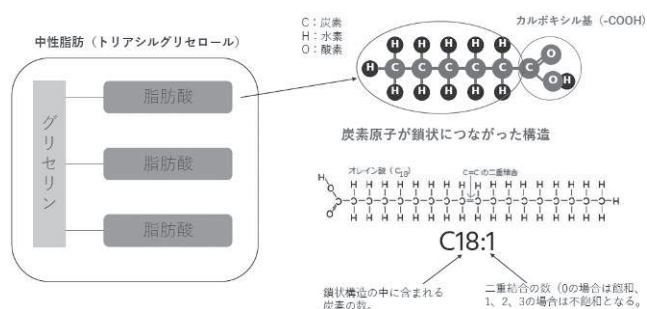


図3 乳脂肪の概念。トリアシルグリセロールはグリセリン骨格に任意の脂肪酸が3個結合したもの

これまでの乳脂肪測定は、乳中の脂肪の量を、その組成に関わらず乳脂肪として取り扱ってきました。これは乳等省令において乳脂肪の測定法がゲルベル（Gerber）法<sup>\*</sup>と呼ばれる、組成に関わらず乳脂肪のみを分離回収する方法であったため、生乳を一晩放

置いて得られる分離した乳脂肪層の高さを物差しで測定することと考え方は同等です。同様にミルコスキャンに実装されている乳脂肪検量線の参照値は乳等省令に拠るため、当然として現在提供されている脂肪の測定値は乳脂肪の組成を考慮していません。

※現在はレーゼ・ゴットリーブ (Rose-Gottlieb) 法。

### 乳中における脂肪酸の種類

脂肪酸には多くの種類がありますが、乳脂肪中の脂肪酸について、炭素数では4 (酪酸 (C4:0)) から24 (リグノセリン酸 (C24:0) 等) 程度を含みます。下図は弊社のミルコスキャンが検量線として実装して

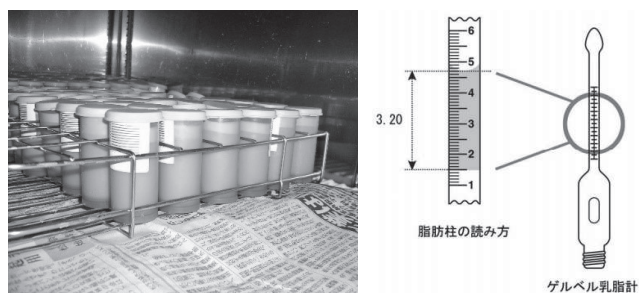


図4 左は生乳を分注し冷蔵保存したもの。一晩で明確な脂肪層の分離が得られる。右はゲルベル乳脂計による測定

出典：平成22年4月  
生乳検査精度管理委員会 生乳検査マニュアル作成検討会議

脂肪酸名	略号	SCFA	MCFA	LCFA	Denovo	Mixed	Preformed	TFA	MUFA	PUFA	SFA
ブタン酸(酪酸)	C4:0										
ヘキサン酸(カプロン酸)	C6:0										
オクタン酸(カプリル酸)	C8:0										
デカン酸(カプリン酸)	C10:0										
デセン酸	C10:1										
ドデカン酸(ラウリン酸)	C12:0										
	C12:1										
テトラデカン酸(ミリスチン酸)	C14:0		○		○						○
テトラデセン酸(ミリストレイン酸)	C14:1										
ペンタデカン酸(ペンタデシル酸)	C15:0										
ヘキサデカン酸(パルミチン酸)	C16:0		○			○					○
ヘキサデセン酸(パルミトレイン酸)	C16:1										
ヘプタデカン酸(マルガリン酸)	C17:0										
オクタデカン酸(ステアリン酸)	C18:0			○			○				○
オクタデセン酸(オレイン酸)	C18:1			○			○	○	○		
オクタデカジエン酸(リノール酸)	C18:2										
オクタデカトリエン酸	C18:3										
オクタデカテトラエン酸	C18:4										
イコサン酸(アラキジン酸)	C20:0										
イコセン酸(エイコセン酸)	C20:1										
イコサジエン酸(エイコサジエン酸)	C20:2										
イコサテトラエン酸(アラキドン酸)	C20:4										
イコサペンタエン酸(エイコサペンタエン酸)	C20:5										
ドコサン酸(ベヘン酸)	C22:0										
ドコセン酸	C22:1										
ドコサジエン酸	C22:2										
	C22:3										
ドコサテトラエン酸	C22:4										
ドコサペンタエン酸	C22:5										
ドコサヘキサエン酸	C22:6										
テトライコサン酸(リグノセリン酸)	C24:0										
テトラコセン酸	C24:1										

図5 ミルコスキャンで測定可能な脂肪酸群。

記号：SCFA：短鎖脂肪酸、MCFA：中鎖脂肪酸、LCFA：長鎖脂肪酸、Denovo：デノボ脂肪酸、Mixed：ミックスド脂肪酸、Preformed：プレフォームド脂肪酸、TFA：トランス脂肪酸、MUFA：一価不飽和脂肪酸、PUFA：多価不飽和脂肪酸、SFA：飽和脂肪酸。ただし短鎖・中鎖・長鎖各脂肪酸は弊社検量線の分類による

いる脂肪酸であり、参照値としてガスクロマトグラフィー（GC）を使用しています。左列の着色されている脂肪酸は独立して測定できるもの、見出し行の略号は群として測定している脂肪酸名です。

### 脂肪酸の由来と合成

脂肪酸は、乳腺上皮細胞内において酪酸（C4：0）を起点として脂肪酸合成酵素によりパルミチン酸（C16：0）まで合成されます。なお、炭素数18以上

は乳腺細胞内では合成できません。

脂肪酸合成の起点となる酪酸はルーメンより供給されますが、乳腺細胞で合成できない炭素数18以上の脂肪酸は飼料又は/及び体脂肪から供給されます。

### 脂肪酸測定のための目的

脂肪酸といえばオレイン酸（C18：1）やリノール酸（C18：2）が有名であり、ネットにはその効能についての宣伝や解説が溢れています。そのため、本稿

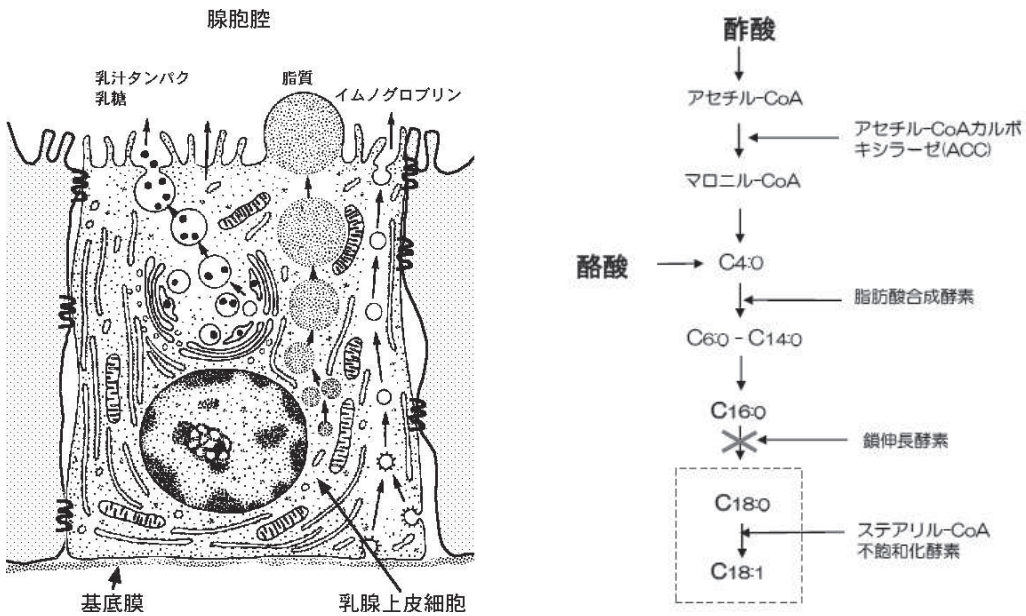


図6 乳腺上皮細胞内における脂肪酸の合成と脂質

出典：ルミノロジーの基礎と応用、小原ら著（2006）P.178

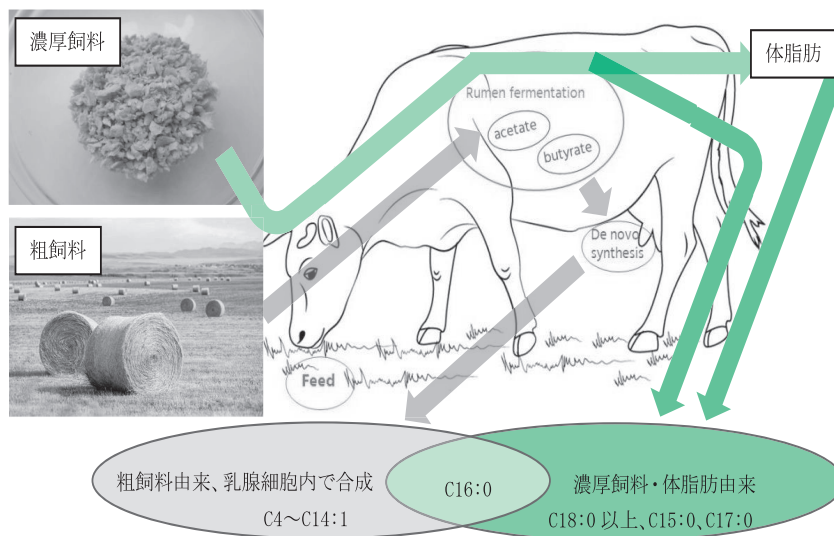


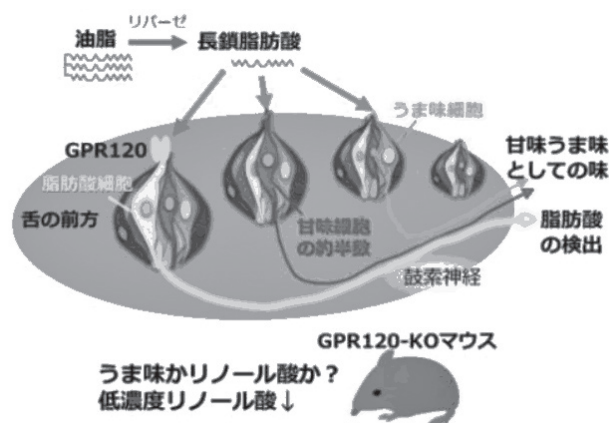
図7 脂肪酸の生成イメージ

粗飼料はルーメン内で酪酸となり、乳腺細胞内でミristolein酸まで合成される。ただしステアリン酸以上は濃厚飼料から直接移行した、または代謝障害などにより体脂肪動員されたもの。パルミチン酸及びパルミトリン酸は乳腺細胞内での合成・濃厚飼料・体脂肪いずれからも供給される



表-6 脱臭バター油中の遊離脂肪酸の味のイキ値<sup>9)</sup>

脂肪酸	個々のイキ値	混合物イキ値中の脂肪酸の濃度
C <sub>2</sub>	7.0 ppm	0.002 ppm
C <sub>4</sub>	0.66	0.07
C <sub>6</sub>	2.5	0.03
C <sub>8</sub>	350	0.05
C <sub>10</sub>	200	0.11
C <sub>12</sub>	700	0.29
C <sub>2</sub> -C <sub>12</sub>		0.55 (混合物イキ値)
C <sub>14</sub>	5000	814
C <sub>16</sub>	10000	2203
C <sub>18</sub>	15000	617
C <sub>18:1</sub>	8000	1315
C <sub>2</sub> -C <sub>18:1</sub>		5000 (混合物イキ値)



出典：九州大学五感応用デバイス研究開発センター、2019年

図8 参考、味覚への脂肪酸の影響

出典：薄木理一郎・金田尚志、油脂の味、油科学第19巻第8号（1970）、p100

をお読みの皆様は牛乳の味に関わる事項の説明ではないかと期待されていることかと存じます。実際、九州大学からリノール酸に味があるのではないかと、との研究についての報告がありました。しかし本稿では脂肪酸を飼養管理に応用する方法を紹介いたします。すなわちいかに合理的に飼養管理を行い、費用対効果を追求することについて最新事例をご紹介することが目的です。

## FAOとは

FAO、Free Fatty Originは乳脂肪中の脂肪酸を生成源によりグループ化したもので、2010年代に研究が始まった新しい飼養管理手法です。

- ・デノボ (De novo @ラテン語、“新たな”) 脂肪酸、炭素数C4～C14
- ・ミックス (Mixed @英語、“混合された”) 脂肪酸、炭素数C16
- ・プレフォームド (Preformed @英語、“あらかじめ形成された”) 脂肪酸、炭素数C18以上、及びC15、C17

フォス社脂肪酸検量線におけるデノボ、ミックス、プレフォーム脂肪酸のグルーピング

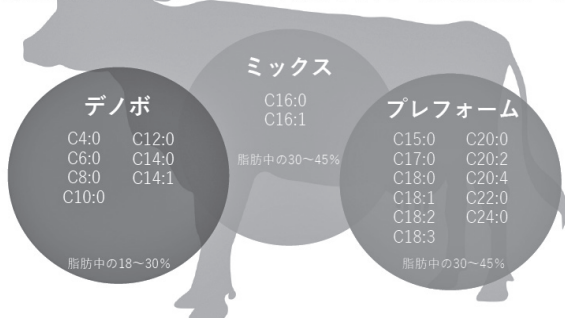


図9 FAO検量線における脂肪酸の分類

デノボ脂肪酸はルーメンに取り込まれた粗飼料（炭水化物）に由来し、プレフォームド脂肪酸は体脂肪及び濃厚飼料に由来します。すなわち、既存の飼養管理手法であるP/F比と尿素理論においては単に濃厚飼料・粗たんぱく質としてのみ把握される飼料について、FAO脂肪酸では由来別に観察することでより精密・適切な給餌を実現します。

簡単には、ルーメンで生成されるデノボ脂肪酸の過多は給餌とルーメン状態が影響し、プレフォームド脂肪酸の過多は給餌と代謝(体脂肪動員)が影響します。

## FAOの活用

それではFAOはどのように飼養管理へ役立てることができるのでしょうか。

最新の動向として、2020年11月に開催された弊社主催のミルクカンファレンスでは日本国内におけるFAOの運用について有識者の方々により議論をいただいています。その結果、FAOの量を単体で評価する“Milkベース”と、乳脂肪に対するそれぞれの脂肪酸の量を比として評価する“FAベース”を用いることが標準として合意されました。Milkベースは脂肪酸バランスの指標として、FAベースはルーメン発酵性・生産性の指標として運用します。

なお、FAベースとMilkベースの関係は以下の計算式によります。すなわちFAベースFAOは乳脂肪に対する脂肪酸の存在比となります。

FAベースFAO

$$= (\text{MilkベースFAO} / (\text{乳脂肪測定値} \times 0.95)) \times 100 (\%)$$

ただし、乳脂肪測定値に0.95を乗じているのは脂肪

### FAベース

脂肪酸バランスの指標

- バルク乳-
- 飼料の栄養成分の構成・バランス
- 個体乳-
- 体脂肪動員の程度、ケトシシリスク

### Milkベース

ルーメン発酵性・生産性の指標

- ルーメンが正常に機能しているか？
- 乾物摂取量（粗飼料）の評価

図10 FAベースとMilkベース

出典：ミルクカンファレンス2020、北海道酪農検定検査協会、小板様発表資料

## 数値の表し方

	FAベース	Milkベース
脂肪の構成	脂肪酸中%	乳中%
デノボ	29.0	30.0
Mixed	31.0	32.5
Preformed	35.0	37.5
グリセロール	5.0	0.2
乳脂肪	100.0	4.2

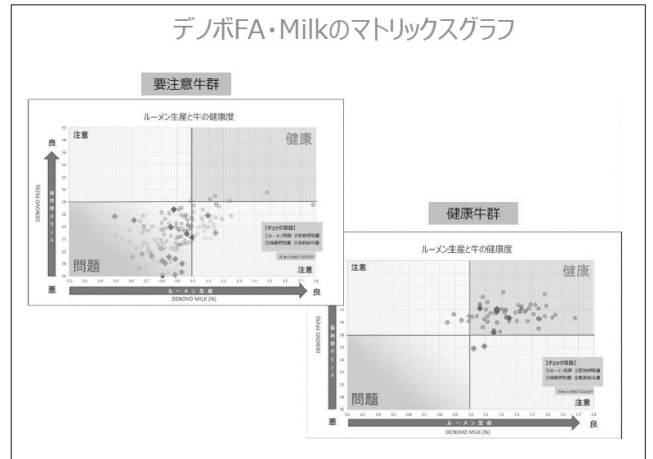
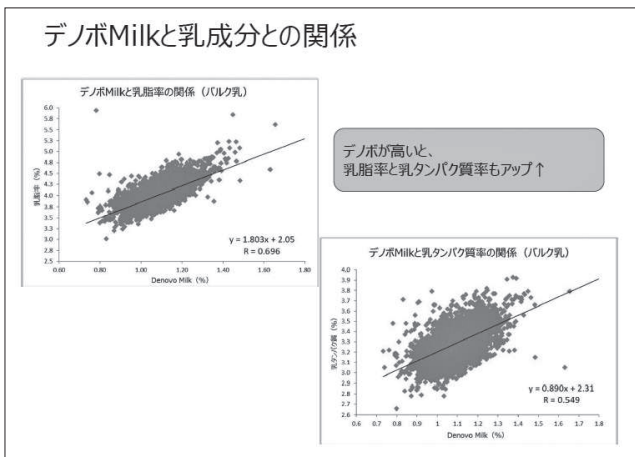
図11 FAベースとMilkベースの関係

出典：ミルクカンファレンス2020、北海道酪農検定検査協会、小板様発表資料

中のグリセリン骨格を考慮しているためであり、厳密には0.945ですが、誤差上差し支えないとして0.95を使用します。

以下に弊社ミルクカンファレンス2020で紹介いただいた事例より具体例を引用して紹介させていただきます。

公益社団法人北海道酪農検定検査協会、小板 英次郎 様発表事例



あかばね動物クリニック、鈴木 保宣 様 発表事例

### 図9. バルク乳の脂肪酸分析値で何が分かるか？ 牛群の生産性と健康

\* 飼料設計とその変化

- 有効NDF (PeNDF)
- 発酵性デンプン (FermStarch)
- 総不飽和脂肪酸 (RUFAL)

\* マネージメント

- 一気喰い
- かため喰い
- 選び喰い
- 暑熱
- 込みすぎ
- 水量

Courtesy of M. Woolpert

\* 牛の状況

- 搾乳日数
- 乳量
- エネルギーバランス
- 健康状態

さらなるFAOの応用については、現在、諸外国の例も参考に国内の生乳検査機関において研究が進行しています。専門誌等に詳細な研究が紹介されているため、現場への適応についてはそれらも参照してください。

## 最後に

現在、FAOはその実用のため各地の生乳検査機関様において様々な準備が進行中であり、2021年中には一部地域で酪農家様への情報提供が始まる見込みです。FAOを、厳しい内外環境に打ち勝つ道具として活用いただけるならば幸いです。