高校化学 L01 第 153 講 油脂

この講でできるようになること

- 油脂をグリセリンと高級脂肪酸からできるトリエステルとして説明できる。
- 油脂の構造から、構成成分やエステル結合の位置を判断できる。
- 脂肪酸の炭素鎖中の二重結合に注目して、飽和脂肪酸と不飽和脂肪酸を区別できる。

油脂とは何か

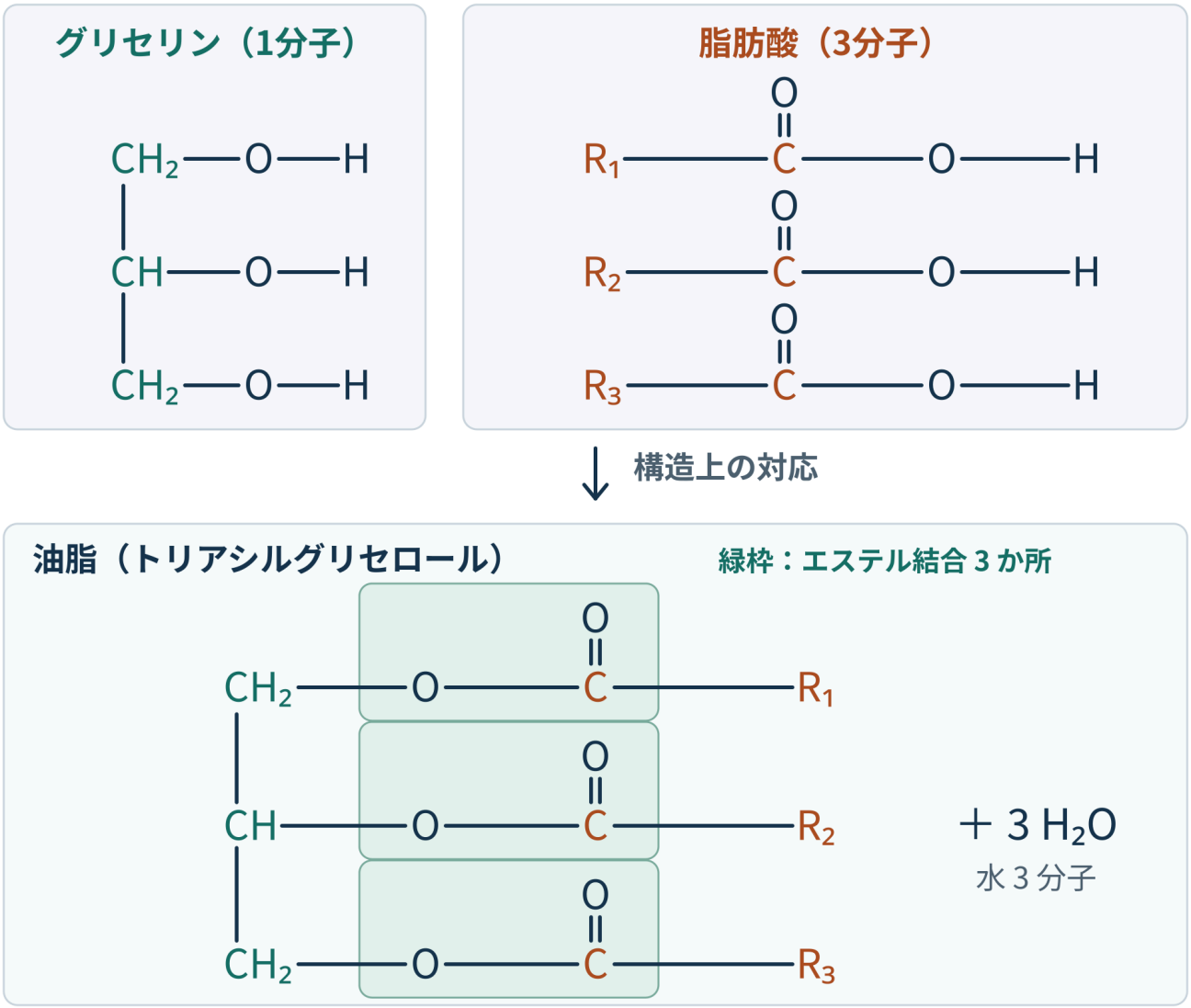
油脂は、グリセリンと高級脂肪酸からできるエステルである。グリセリンは –OH を 3 個もつ三価アルコールであり、1 分子のグリセリンに対して 3 分子の脂肪酸が対応することで、3 つのエステル結合をもつトリエステルができる。

グリセリンの 3 つのヒドロキシ基が、それぞれ脂肪酸のカルボキシ基と反応すると、3 分子の水が生成する。この対応関係から、油脂 1 分子には 3 個のエステル結合が存在することが分かる。

©ミライコーチング

油脂はグリセリンのトリエステル

グリセリン 1 分子 ＋ 脂肪酸 3 分子に対応する構造



グリセリン：脂肪酸：油脂：水 ＝ 1：3：1：3

R_1・R_2・R_3 は同じでも異なってもよい

色と矢印は構造の対応。反応条件・原子の実際の移動は表さない

図 1　グリセリンの三つの OH に対応して、三つのエステル結合ができる。

油脂の構造は、上の図のように、グリセリン由来の 3 個の炭素がつながった骨格に、3 本の脂肪酸部分がエステル結合した形で表される。

ここで R_1、R_2、R_3 は炭化水素部分を表し、同じ場合も異なる場合もある。

構造を見るときは、カルボニル基の酸素 C＝O と、グリセリン側とつながる架橋の酸素 –O– を区別する必要がある。炭素原子は 4 本、酸素原子は 2 本の結合をもつため、原子価を満たすように構造を読むことが大切である。

高級脂肪酸の構造

脂肪酸はカルボキシ基 $-\mathrm{COOH}$ をもつカルボン酸である。そのうち油脂を構成する代表的なものは、長い炭化水素鎖をもつ高級脂肪酸である。

代表例として、以下の脂肪酸がある。

脂肪酸	構造式	特徴
パルミチン酸	$\mathrm{CH_3(CH_2)_{14}COOH}$	炭素数 16 の飽和脂肪酸
ステアリン酸	$\mathrm{CH_3(CH_2)_{16}COOH}$	炭素数 18 の飽和脂肪酸
オレイン酸	$\mathrm{cis\text{-}CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH}$	炭素数 18 の不飽和脂肪酸

飽和脂肪酸と不飽和脂肪酸の違いは、炭化水素鎖の中に炭素間二重結合 $\mathrm{C=C}$ があるかどうかで判断する。脂肪酸にはカルボキシ基の $\mathrm{C=O}$ が必ず存在するが、この二重結合は不飽和の判定には数えない。

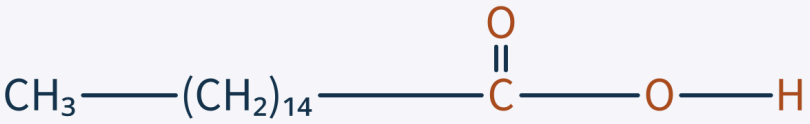
代表的な脂肪酸の構造を比べる

飽和・不飽和は、炭素鎖中の C=C の有無で判定する

パルミチン酸

$\mathrm{C_{16}H_{32}O_2}$

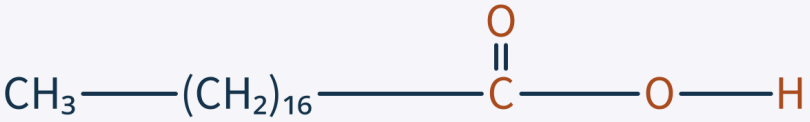
飽和：炭素鎖の C=C は 0



ステアリン酸

$\mathrm{C_{18}H_{36}O_2}$

飽和：炭素鎖の C=C は 0

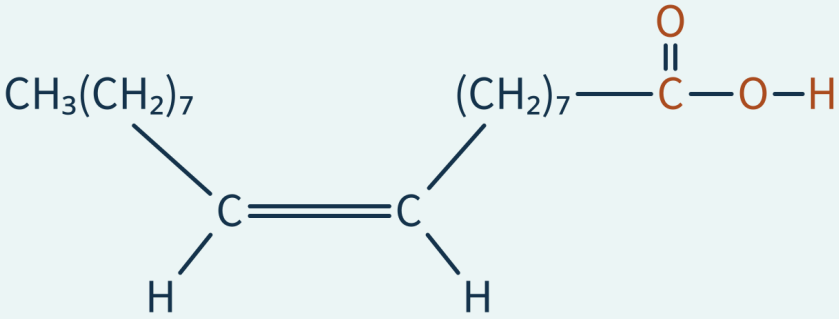


オレイン酸

$\mathrm{C_{18}H_{34}O_2}$

不飽和：炭素鎖の C=C は 1

cis 型



炭素鎖は同じ側、2つの H はその反対側

C18 同士で比較：オレイン酸はステアリン酸より水素原子が 2 個少ない

カルボキシ基中の C=O と、炭素鎖中の C=C を区別しよう

鎖長が同程度なら、cis 型は曲がって密に並びにくい（一般傾向）

図 2　炭化水素鎖の炭素間二重結合に注目して脂肪酸を区別する。

オレイン酸は炭素数 18 の脂肪酸であるが、炭素間に 1 つの二重結合をもつため、ステアリン酸より水素原子が 2 個少ない。二重結合による構造の違いが、脂肪酸の性質の違いにつながる。

油脂の性質と脂肪酸の関係

油脂中では脂肪酸のカルボキシ基はエステル結合に使われているため、遊離した −COOH として存在していない。そのため、油脂そのものと、油脂を構成する脂肪酸は区別して考える必要がある。

天然の油脂は、多くの場合、1 種類だけの分子ではなく、異なる脂肪酸をもつ複数種類のトリエステルの混合物である。常温で液体のものを油、固体のものを脂肪と呼ぶが、この違いは分子全体の状態によるものであり、「植物由来は必ず油、動物由来は必ず脂肪」と決めつけることはできない。

同程度の炭素数をもつ脂肪酸を比べると、cis 型の二重結合をもつ脂肪酸は炭素鎖が曲がった形になりやすい。そのため分子同士が規則正しく並びにくく、融点が低くなる傾向がある。ただし、実際の油脂の状態は脂肪酸の種類や混合割合などにも影響される。

油脂は長い炭化水素部分を多く含むため、水に溶けにくい性質を示す。一方で、エステル結合部分には酸素原子が含まれており、油脂全体が単純に「極性をもたない物質」と考えることは適切ではない。

油脂の分解と構成成分の読み取り

油脂の構造から、3 つのエステル結合を切るとグリセリンと 3 分子の脂肪酸に戻ることが分かる。この対応関係を利用すると、油脂を構成成分から読み解くことができる。

油脂 1 mol には 3 mol のエステル結合があるため、完全な酸触媒加水分解では、水 3 mol を消費してグリセリン 1 mol と脂肪酸 3 mol が生成する。

$$\text{油脂} + 3\mathrm{H_2O} \rightleftharpoons \text{グリセリン} + 3\ \text{高級脂肪酸}$$

これは全体の構造と物質量の対応を表す。酸触媒のもとで加熱すると反応が進み、水を十分に多く用いると加水分解の向きに進みやすくなる。反応は可逆であり、単に水と混ぜるだけで直ちに完全分解するわけではない。

なお、油脂をアルカリで加水分解すると脂肪酸塩が生成する。この反応は次講で扱う。

©ミライコーチング

例題

例題 1

グリセリン $\mathrm{HOCH_2-CH(OH)-CH_2OH}$ とステアリン酸 $\mathrm{C_{17}H_{35}COOH}$ のみからなる油脂について、次の問いに答えよ。

(1) グリセリン部分と脂肪酸部分を結ぶ結合の種類と個数、および構成成分の分子数の対応を答えよ。

(2) グリセリンの分子式が $\mathrm{C_3H_8O_3}$、ステアリン酸の分子式が $\mathrm{C_{18}H_{36}O_2}$ であるとき、この油脂の分子式を求めよ。

解答・解説

(1)

グリセリンは 3 個のヒドロキシ基 $-\mathrm{OH}$ をもつ三価アルコールである。ステアリン酸のカルボキシ基 $-\mathrm{COOH}$ と反応すると、3 個のエステル結合が形成される。

構成成分の対応は次のようになる。

構成成分	分子数	役割
グリセリン	1 分子	3 個の $-\mathrm{OH}$ をもつ
ステアリン酸	3 分子	1 分子に 1 個の $-\mathrm{COOH}$ をもつ
水	3 分子生成	エステル結合形成時に脱離

したがって、この油脂はグリセリン 1 分子とステアリン酸 3 分子からなるトリエステルであり、エステル結合は 3 個である。

(2)

油脂は、構成成分から水 3 分子が脱離して生成すると考える。

$\mathrm{C_3H_8O_3 + 3C_{18}H_{36}O_2 - 3H_2O}$

原子数を整理する。

元素	グリセリン 1 分子	ステアリン酸 3 分子	脱離する水 3 分子	油脂
C	3	54	0	57
H	8	108	-6	110
O	3	6	-3	6

よって油脂の分子式は$\mathrm{C_{57}H_{110}O_6}$となる。

エステル結合形成後は、グリセリン 1 分子の 3 個の OH やステアリン酸 3 分子の合計 3 個の COOH がそのまま残るわけではなく、それぞれ結合形成に使われている。

©ミライコーチング

例題 2

次の脂肪酸について、問いに答えよ。

$$\mathrm{CH_3(CH_2)_{14}COOH}$$

$$\mathrm{CH_3(CH_2)_{16}COOH}$$

$$\text{cis -}\mathrm{CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH}$$

(1) それぞれを飽和脂肪酸または不飽和脂肪酸に分類せよ。

(2) 炭素数 18 の 2 種類の脂肪酸について、分子式中の水素数の違いと融点の一般的な傾向を、構造に基づいて説明せよ。

解答・解説

(1)

不飽和脂肪酸かどうかは、炭化水素鎖中に炭素間二重結合 $\mathrm{C=C}$ が存在するかで判断する。

脂肪酸	構造上の特徴	分類
$\mathrm{CH_3(CH_2)_{14}COOH}$	炭素間二重結合なし	飽和脂肪酸
$\mathrm{CH_3(CH_2)_{16}COOH}$	炭素間二重結合なし	飽和脂肪酸
cis -$\mathrm{CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH}$	炭化水素鎖中に $\mathrm{C=C}$ が 1 個ある	不飽和脂肪酸

カルボキシ基中の $\mathrm{C=O}$ はすべての脂肪酸がもつ構造であり、不飽和脂肪酸の判定には数えない。

(2)

炭素数 18 の脂肪酸で比較すると、ステアリン酸は炭素間二重結合をもたないため飽和脂肪酸である。

$$\mathrm{C_{18}H_{36}O_2}$$

一方、オレイン酸は炭素間二重結合を 1 個もつため、水素原子が 2 個少ない。

$$\mathrm{C_{18}H_{34}O_2}$$

比較すると次のようになる。

脂肪酸	炭素間二重結合	分子式	構造
ステアリン酸	0 個	$\mathrm{C_{18}H_{36}O_2}$	直線的な炭素鎖
オレイン酸	1 個	$\mathrm{C_{18}H_{34}O_2}$	cis 二重結合で炭素鎖が曲がる

cis 型の二重結合によって炭素鎖が曲がると、分子同士が規則的に並びにくくなる。そのため、オレイン酸はステアリン酸より融点が低い。

ただし、実際の油脂の状態は含まれる脂肪酸の種類や割合にも左右されるため、植物由来のものが必ず液体、動物由来のものが必ず固体とはいえない。

例題 3

グリセリンにパルミチン酸 1 個とオレイン酸 2 個が結合した単一の油脂 0.200 mol を完全に加水分解した。酸触媒水系の反応が完結したものとして、次の問いに答えよ。

(1) 生じるグリセリンと各脂肪酸の物質量を求めよ。

(2) 油脂 1 分子に含まれる炭素間二重結合の個数、および試料中のエステル結合の物質量を求めよ。

解答・解説

(1)

油脂 1 分子は、グリセリン 1 分子と脂肪酸 3 分子からできている。

この油脂では、構成する脂肪酸の対応は次の通りである。

構成成分	油脂 1 分子あたりの個数
グリセリン	1 個
パルミチン酸	1 個
オレイン酸	2 個

したがって、油脂 0.200 mol では、

グリセリン：

$0.200\,\mathrm{mol} \times 1 = 0.200\,\mathrm{mol}$

パルミチン酸：

$0.200\,\mathrm{mol} \times 1 = 0.200\,\mathrm{mol}$

オレイン酸：

$0.200\,\mathrm{mol} \times 2 = 0.400\,\mathrm{mol}$となる。

(2)

オレイン酸は 1 分子あたり炭素間二重結合 C＝C を 1 個もつ。油脂 1 分子にはオレイン酸が 2 個含まれるため、

$2 \times 1 = 2$

より、油脂 1 分子あたりの炭素間二重結合は 2 個である。

ここで、エステル結合に含まれるカルボニル基の C＝O は炭素間二重結合ではないため、数えない。

また、油脂 1 分子にはエステル結合が 3 個ある。したがって試料中のエステル結合の物質量は、

$0.200\,\mathrm{mol} \times 3 = 0.600\,\mathrm{mol}$となる。

求めるもの	計算	答え
炭素間二重結合	2×1	2 個／油脂 1 分子
エステル結合	0.200×3	0.600 mol

油脂では、炭素間二重結合 C＝C とエステル結合中のカルボニル基 C＝O を区別して数えることが重要である。

©ミライコーチング

演習問題

演習 1

グリセリン $\mathrm{HOCH_2-CH(OH)-CH_2OH}$ について、次の問いに答えよ。

(1) グリセリンはアルコールとして何価であるか。その理由とともに答えよ。

(2) グリセリンが高級脂肪酸と反応して油脂をつくるとき、対応する高級脂肪酸の分子数と生成するエステル結合の数を答えよ。

演習 2

次の脂肪酸について、構造をもとに考えよ。

ステアリン酸　$\mathrm{CH_3(CH_2)_{16}COOH}$

オレイン酸　$\mathrm{CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH}$

(1) それぞれを飽和脂肪酸または不飽和脂肪酸に分類し、その根拠を答えよ。

(2) それぞれの分子式を求め、炭素原子数と水素原子数を比較せよ。

演習 3

グリセリンの 3 か所すべてにパルミチン酸がエステル結合した油脂について、次の問いに答えよ。

グリセリン：$\mathrm{C_3H_8O_3}$　パルミチン酸：$\mathrm{C_{16}H_{32}O_2}$

(1) この油脂を構成するグリセリンとパルミチン酸の分子数の対応を答えよ。

(2) この油脂の分子式を求めよ。

演習 4

グリセリンにステアリン酸 1 個、オレイン酸 2 個が結合した単一の油脂 $0.150\,\mathrm{mol}$ を完全に加水分解し、グリセリンと遊離脂肪酸を得た。酸触媒水系の反応が完結したものとして、次の問いに答えよ。

(1) 生じるグリセリン、ステアリン酸、オレイン酸の物質量を求めよ。

(2) 試料中のエステル結合の物質量と、油脂 1 分子内に含まれる炭素間二重結合 $\mathrm{C=C}$ の数を求めよ。

演習 5

ある油脂は、グリセリンに高級脂肪酸 3 個が結合してできており、分子内に遊離したカルボキシ基 $-\mathrm{COOH}$ は存在しない。

(1) この油脂と、油脂の構成成分である遊離脂肪酸を、結合や官能基の違いに着目して説明せよ。また、油脂が水に溶けにくい理由を、長い炭化水素部分に着目して説明せよ。

©ミライコーチング

演習問題の解答・解説

解答 1

(1)

グリセリン $\mathrm{HOCH_2-CH(OH)-CH_2OH}$ は、ヒドロキシ基 $-\mathrm{OH}$ を 3 個もつため、三価アルコールである。

アルコールの価数は、分子内に存在するヒドロキシ基の数で決まる。グリセリンでは 3 個の炭素にそれぞれ $-\mathrm{OH}$ が結合している。

(2)

グリセリンは 3 個の $-\mathrm{OH}$ をもつため、高級脂肪酸 3 分子と対応して反応する。

構成成分	対応する分子数
グリセリン	1 分子
高級脂肪酸	3 分子

3 個のヒドロキシ基がそれぞれエステル結合をつくるため、生成する油脂にはエステル結合が 3 個存在する。

解答 2

(1)

飽和脂肪酸と不飽和脂肪酸の分類は、炭化水素鎖中の炭素間二重結合 $\mathrm{C=C}$ の有無で判断する。

脂肪酸	炭素間二重結合	分類
ステアリン酸 $\mathrm{CH_3(CH_2)_{16}COOH}$	なし	飽和脂肪酸
オレイン酸 $\mathrm{CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH}$	1 個	不飽和脂肪酸

カルボキシ基中の $\mathrm{C=O}$ は脂肪酸に共通して存在する構造であり、不飽和脂肪酸の判定に用いる炭素間二重結合には数えない。

(2)

ステアリン酸は炭素数 18 で、炭素間二重結合をもたないため分子式は$\mathrm{C_{18}H_{36}O_2}$となる。

オレイン酸は炭素数 18 であるが、炭素間二重結合を 1 個もつため、水素原子が 2 個少なくなる。

$\mathrm{C_{18}H_{34}O_2}$

比較すると次のようになる。

脂肪酸	炭素原子数	水素原子数
ステアリン酸	18	36
オレイン酸	18	34

炭素数は同じであるが、炭素間二重結合 1 個の存在により、オレイン酸は水素原子数が 2 個少ない。

解答 3

(1)

油脂は、グリセリン 1 分子と高級脂肪酸 3 分子からできるトリエステルである。

この油脂では 3 か所すべてにパルミチン酸が結合しているため、構成成分の対応は次のようになる。

構成成分	分子数
グリセリン	1 分子
パルミチン酸	3 分子

(2)

油脂の分子式は、構成成分から水 3 分子が脱離すると考えて求める。

$\mathrm{C_3H_8O_3} + 3\mathrm{C_{16}H_{32}O_2} - 3\mathrm{H_2O}$

原子数を整理する。

元素	グリセリン	パルミチン酸 3 分子	水 3 分子脱離後
C	3	48	51
H	8	96	98
O	3	6	6

したがって、この油脂の分子式は$\mathrm{C_{51}H_{98}O_6}$となる。

解答 4

(1)

この油脂 1 分子は、グリセリン 1 分子、ステアリン酸 1 分子、オレイン酸 2 分子からできている。

したがって、油脂 0.150 mol では、

グリセリンは$0.150\,\mathrm{mol} \times 1 = 0.150\,\mathrm{mol}$

ステアリン酸は$0.150\,\mathrm{mol} \times 1 = 0.150\,\mathrm{mol}$

オレイン酸は$0.150\,\mathrm{mol} \times 2 = 0.300\,\mathrm{mol}$となる。

(2)

油脂 1 分子にはエステル結合が 3 個あるため、試料中のエステル結合の物質量は$0.150\,\mathrm{mol} \times 3 = 0.450\,\mathrm{mol}$となる。

また、オレイン酸は 1 分子あたり炭素間二重結合 C＝C を 1 個もつ。この油脂にはオレイン酸が 2 個含まれるため、油脂 1 分子中の炭素間二重結合は 2 個である。

種類	数
炭素間二重結合 C＝C	2 個
エステル結合	3 個

なお、エステル結合中のカルボニル基 C＝O は炭素間二重結合ではないため、C＝C の数には含めない。

解答 5

(1)

油脂は、グリセリンの 3 個のヒドロキシ基と高級脂肪酸のカルボキシ基が反応してできるトリエステルである。そのため、油脂中では脂肪酸由来のカルボキシ基 −COOH はエステル結合に使われており、遊離した −COOH は存在しない。

一方、遊離脂肪酸はカルボキシ基 −COOH をそのままもつカルボン酸であり、油脂のようなエステル結合によるグリセリンとの連結はない。

物質	結合・官能基の特徴
油脂	グリセリンと脂肪酸がエステル結合したもの。遊離 −COOH はない
遊離脂肪酸	カルボキシ基 −COOH をもつカルボン酸

また、油脂が水に溶けにくいのは、分子中に長い炭化水素部分を多く含むためである。炭化水素部分は水との親和性が小さく、油脂全体として水に溶けにくい性質を示す。

©ミライコーチング