

近赤外分光法による豚肉脂質評価装置の開発

正会員 大倉 力 (株式会社相馬光学) 非会員 朴 善 姫 (株式会社相馬光学)
非会員 西岡 輝 美 (大阪府環境農林水産総合研究所) 非会員 入江 正 和 (宮崎大学)

Development of a Pork Fat Evaluation System by NIR Spectroscopy

Member **Tsutomu Okura**(SOMA OPTICS, LTD.), Non-Member **Shanji Park**(SOMA OPTICS, LTD.), Non-Member **Terumi Nishioka**(Research Institute of Environment, Agriculture and Fisheries, Osaka Prefectural Government) and Non-Member **Masakazu Irie** (Miyazaki University)

ABSTRACT

The performance of a near-infrared(NIR) spectrometer that evaluates fatty acid composition in samples depends on the NIR spectroscopic features of the samples. When you develop a NIR instrument, you have to be aware how the NIR spectra of the samples behave. In some cases, you don't need a high SN ratio or high stability. In other cases, no matter how stable the system is, you can't get meaningful data. It is wasteful to develop a highly stable instrument in this case. You should research the NIR characteristics of the samples before starting designing to avoid waste and to get a proper design. We examined the pork fat spectra before starting designing and were able to get satisfactory result. The process and aspects of measuring fatty acid composition by NIR spectroscopy are described.

KEYWORDS : NIR, spectroscopy, pork, fat, oleic acid, saturated fatty acid

1. まえがき

近赤外分光による定量分析は、カールノリス博士により1970年代に開発されて以来、広く利用されている。特に、近年日本国内で行われている果実のオンライン糖度選別は、近赤外分光を広く認知させることとなった。近赤外分光による定量は、非破壊、簡便な短時間測定であり、果実以外の食品、工業製品、医薬品等の多くの分野に使用可能な技術であり、多くの研究・装置開発が行われているが、すべてが成功している訳ではない。

近赤外分光では、測定対象により、測定の困難さが大きく変わる。近赤外波長領域で試料の光吸収は小さく、スペクトル波形は、測定対象以外の物質より影響を受け、はっきりと形を示さない場合が多い。そのような状況下で定量を行う場合、測定装置に高い安定度、高いSN比が要求されるため、測定不可能となることもある。

そのため、試料の近赤外分光の特徴を事前に調査せずに装置開発を進め、失敗することが多い。特定の試料を測定する専用の近赤外分光装置の開発に際しては、事前調査が必須である。事前に、装置に必要な性能仕様を決定することにより、目的に適合した装置を製作できる²⁾。

豚肉脂質の脂肪酸組成は、豚肉評価の重要な要素で、近赤外分光も含む各種光学的測定方法が研究されている³⁾⁻⁵⁾。しかし、現場で簡便に測定できる装置は、未だ開発されていない。我々は、事前調査による仕様決定を行い、携帯型豚肉脂質評価装置開発に成功した。開発手法と装置について説明する。この開発手法は、他の目的の近赤外分光装置の開発にも共通する有用な手法である。

2. 豚肉と脂肪酸

豚肉等の食肉の脂肪は、トリアシルグリセロール(以下TGと呼ぶ)が主成分である。TGはグリセロールと3つの脂肪酸がエステル結合したもので、脂肪酸は炭素連鎖の長さ(m)と二重結合の数(n)により分類される(Cm:nと表記)。大きく分けて、飽和脂肪酸と不飽和脂肪酸があり、飽和脂肪酸は二重結合を持たないが、不飽和脂肪酸は二重結合を持ち、その数が1個の一価不飽和脂肪酸と2個以上の多価不飽和脂肪酸がある。脂肪酸の種類と特徴を表1に示す。

表1 脂肪酸の種類と特徴
Table 1 Type & feature of fatty acid.

分類	炭素二重結合	性質	主な脂肪酸名
飽和脂肪酸	0	酸化に安定、硬い脂肪をつくる	パルミチン酸 C16:0 ステアリン酸 C18:0
一価不飽和脂肪酸	1	食味・健康によい、やや酸化、軟化しやすい	パルミトレイン酸 C16:1 オレイン酸 C18:1
多価不飽和脂肪酸	2以上	酸化しやすく、軟脂を作る	リノール酸 C18:2 リレイン酸 C18:3

全脂肪中の各脂肪酸の比率を脂肪酸組成と呼び % の単位で表示される。脂肪はその脂肪酸組成により物性が変化し、肉質、食味に影響する。飽和脂肪酸が多いと融点が高く、不飽和脂肪酸が多いと融点が高い。特に多価不飽和脂肪酸が多いと融点が低くなる。飽和脂肪酸の多い脂肪は、融点が高く、硬い脂肪になり、食した場合に口を食べているような不快な印象を与える。

不飽和脂肪酸の多い脂肪は軟らかくなるが、軟らかすぎると、酸化しやすく、におい(酸化臭)が発生しやすくなる。しかし、オレイン酸等の一価不飽和脂肪酸の多い脂肪は、適度な滑らかさと、良好な風味を与える場合が多く、おいしい豚肉になると考えられている⁹⁾。更に、脂肪の質は、食肉としての外観や、ハムソーセージ等、加工品製造時の品質に大きな影響を与え、産業上、重要である。

図1に一般的な豚肉について、そのオレイン酸と飽和脂肪酸の脂肪酸組成値(%)の分布図を示す。

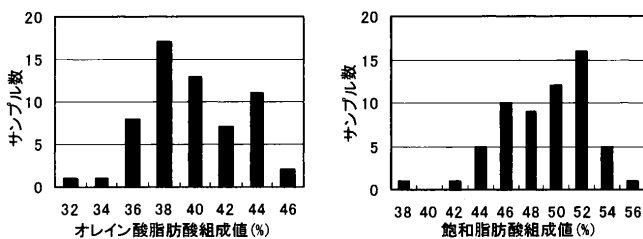


図1 豚肉脂肪脂肪酸組成の分布
Fig. 1 Distribution of fatty acid of pork meat.

3. 豚肉の評価

豚肉は、日本食肉格付協会が決めた取引規格により、その所属の格付員により、枝肉の状態を5段階(極上, 上, 中, 並, 等外)に格付され出荷される。格付検査は表2の項目について目視触診検査により実施される。

豚肉の食味は、赤身中に混在する脂肪(筋内脂肪)の量とともに、その質、つまり脂肪酸組成に大きく影響をうける。脂肪酸組成は目視判定が不可能で、ガスクロマトグラフィーにより測定される。この測定は、複雑な前処理と長い測定時間が必要で、市場に流通する豚肉が測定されることはない。しかし、図1に示されるように、豚肉の脂肪酸組成値は、大きくばらついており⁹⁾、市場に流通する豚肉の脂肪酸組成を測定することは、大きな意味がある。

表2 豚肉の格付検査
Table 2 Inspection of pork meat.

外観	肉質
均称	肉の縮まり
枝肉の形状	及びきめ
肉づき	肉の色沢
脂肪付着	脂肪の色沢と質
仕上げ	脂肪の沈着
放血, 汚染, 損傷	

このような要求に応えるため、非破壊、短時間測定が可能な近赤外分光法による脂肪酸組成測定装置が有効であると考えられる。しかし、豚肉可食部の光学的測定は、赤身と脂肪が混在し、脂肪含量(赤身中の脂肪量)そのものが変化するため、脂肪酸組成値の測定が困難になることは、容易に予測される。

枝肉全体の平均的な脂肪酸組成値は、腎臓周辺脂肪の脂肪酸組成値と相関が高いので⁹⁾⁻¹⁰⁾、腎臓周辺脂肪を測定することにより、枝肉全体の脂肪酸組成を推定できる。腎臓周辺脂肪は、脂質により構成され、比較的均質であるため、光学的測定により高い精度を得られると予測できる。

そのため、本開発では、腎臓周辺脂肪の脂肪酸組成値を測定する装置を開発するものとした。本装置は現場測定が要求されるため測定時間5秒以内、また測定誤差について、豚肉脂質を3~5段階に分類するため、脂肪酸組成値推定誤差3%を目標とした。

4. 装置の設計・評価

4.1 近赤外分光装置の仕様

本測定装置の目的は、枝肉の現場での測定である。従って、装置は、小型、携帯可能で測定プローブ部を枝肉に接触させることが可能でなければならない。

必要な測定精度を保証するためには、適切な波長範囲とSN比が必要である。近赤外分光法においては、多くの場合、非常に高いSN比が要求されることが特徴である。そのため、市販の汎用大型近赤外分光装置の性能は、広汎な試料に対応できるよう、広い波長範囲(400nm~2500 nm)と高いSN比(15 μ ABS @ 800 nm)を有している(表3 ニレコ社扱いXDS型)。

表3 近赤外分光装置の雑音
Table 3 Noise of NIR spectrometer.

市販近赤外分光装置	
波長 (nm)	雑音 (μ ABS)
400-500	100
500-1000	15
1000-1200	25
1200-2100	12
2100-2400	17
市販分光光度計	
波長 (nm)	雑音 (μ ABS)
900-2500	1000

従来の市販分光光度計と比較すると、市販近赤外分光装置は、数十倍のSN比を有している。近赤外分光においては、スペクトル波形がなだらかであるため、分光器の波長分解能を10 nm程度に設定し、効率の高い光学系を使用して高い光量を得ている。

その上で、雑音と信号の周波数帯域の違いを積極的に考慮した波長走査速度を採用して高いSN比を実現している。

汎用近赤外分光装置は、このような手法により、高いSN比を有し、色々な試料の測定が可能である。そのため、大型で高価な装置となっている場合が多い。

このような高性能を小型可搬の低価格装置において実現することは困難であるが、性能を限定すれば、実用的な装置が開発可能となる。いかえれば開発する装置について、必要最小限の適正な仕様を決定することにより、実用的な低価格装置の開発が可能となる。

4.2 装置仕様の決定方法

近赤外分光においては、スペクトルの波長毎の値に係数を掛け、和をとることにより成分推定値を算出する。この波長毎の係数は、基準とする試料スペクトルとその成分分析値の関係から統計的手法により算出され、検量線と呼ばれている。推定値が真の成分値に対して、高い相関係数、低い誤差となるような検量線が要求される。

検量線の性能つまり相関係数、誤差は、測定装置の性能(波長範囲, SN比等)のみならず、測定対象の分光的特徴により大きく影響を受ける。その例を図2と図3に示す。

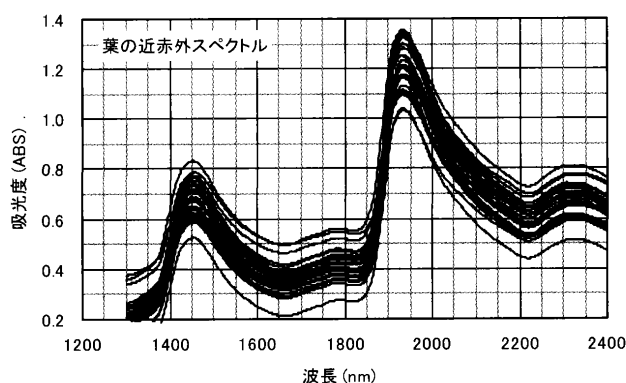


図2 近赤外による葉中窒素量の定量
Fig. 2 Determination of nitrogen contents in leaves.

図2は、柑橘果樹の葉中窒素量(%)を近赤外分光により推定した場合である。葉の近赤外スペクトルには特徴ある吸収を確認できないが、相関係数0.86、誤差0.21%の性能で近赤外スペクトルから窒素量を推定することができる¹¹⁾。このようにスペクトルに特徴ある変化が少ない場合には、高いSN比(0.1%程度)が装置に要求される。

次に、図3にコンクリート中の塩分の定量の推定の場合について示す。2220 nm 近くの吸収は、塩分量に比例して変化しており、容易に確認できる。このような場合には装置のSN比は高くなくても精度の高い検量線を得ることができる¹²⁾。

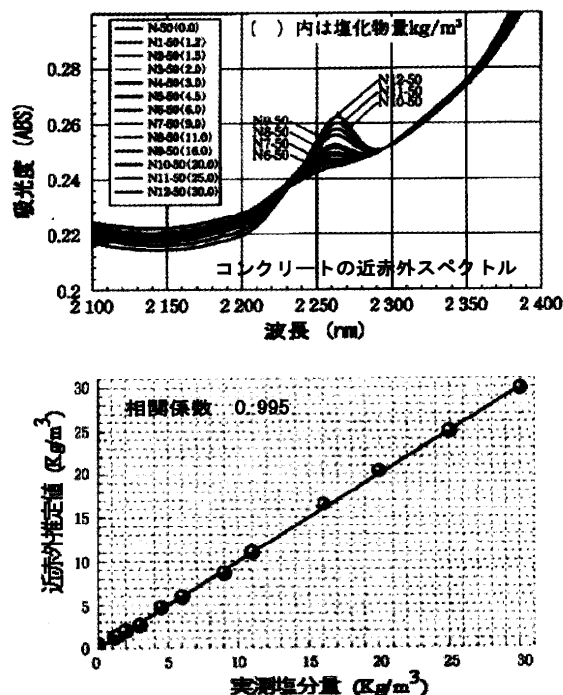


図3 近赤外によるコンクリート中の塩化物定量¹²⁾
Fig. 3 Determination of chloride in concrete¹²⁾.

このように、近赤外分光において得られる検量線性能の違いは、装置の性能のみではなく、試料のもつ近赤外スペクトルの特徴にも大きく依存する。試料によって近赤外スペクトルの特徴は大きく異なるため、近赤外分光装置の仕様は、測定対象毎に決定しなければならない。測定対象の特徴にあわせた近赤外分光装置の開発手法を図4に示す。

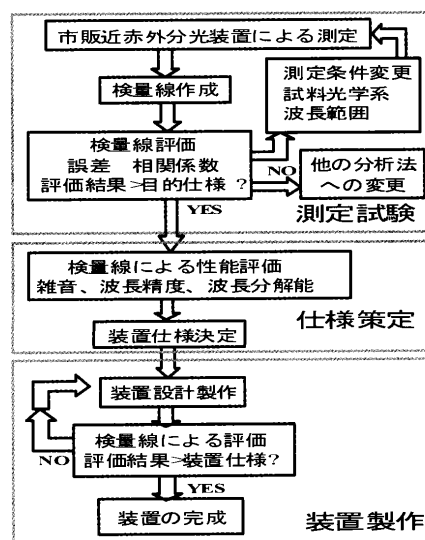


図4 近赤外分光装置の開発手法
Fig. 4 Procedure to develop a NIR instrument.

最初のステップとして、市販の高性能近赤外分光装置により測定対象試料のスペクトルを測定する。得られた近赤外スペクトルと他の分析手法により得られた試料の成分値から、統計解析により、検量線を作成し、必要十分な性能であることを確認する。ここで使用する近赤外分光装置は、表3に示すような高い性能を持ったものでなければならない。

十分な性能が得られなかった場合は、試料光学系(反射、インタラクタンクス、透過)、波長範囲の変更を行い、十分な性能が得られるまで、測定を繰り返す。それでも、精度の高い検量線が得られない場合は、近赤外分光ではなく、赤外分光、ラマン分光等他の分析方法に変更するしかない。

特定の波長範囲、試料光学系について、十分な性能の検量線が得られた場合、次のステップに進む。次のステップでは、それまでに得られたスペクトルを使用して装置仕様(SN比等)を算出する。

測定された、所定の波長範囲のデータに対し、色々な振幅の雑音を重畳し、そのデータを使用して、再度同様の統計的手法で検量線を求める。各雑音振幅に対して、検量線性能を求めることにより、雑音の影響を求める。この結果から、必要な性能を得るために許容できる雑音量を求める。

以上のプロセスから、測定対象に応じた、波長範囲と雑音を求めることができる。波長分解能、波長安定度等も必要に応じて、同様の手法により検討することができる。

こうして、波長範囲、雑音、波長精度等の仕様を求めることができれば、装置の開発は、容易である。求められた仕様を満たす装置を製作することより、所定の性能を持ち、測定対象を測定可能な近赤外分光装置を実現することができる。

4.3 近赤外豚肉脂質測定装置の仕様決定

4.3.1 波長範囲

豚肉サンプル(腎臓周辺脂肪)を市販の高精度近赤外分光装置(ニレコ社扱いXDS型)で測定した反射スペクトル(400 nm~2500 nm)を図5に示す。これは、事前にガスクロマトグラフィーにより脂肪酸組成を測定された、60個の試料を測定したものである。

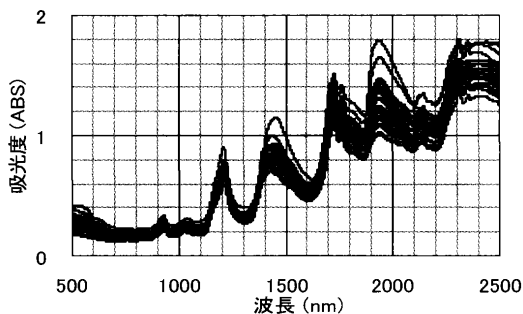


図5 成分分析に必要な波長範囲
Fig. 5 Wavelength area for NIR analysis.

このスペクトルの中から色々な波長範囲を抽出し、統計解析を行い、得られた相関係数と誤差を表4に示す。

この解析には、PLSを使用した¹³⁾。精度の高い波長範囲は、多くの吸収スペクトルのある1100nm~2500 nmと考え易いが、実際は700nm~1000 nmとなった。統計解析により高い精度を与える波長範囲は、必ずしも大きな吸収のある波長範囲とは一致しない。

わずかなスペクトル変動に意味のある情報が含まれている場合もあるので、検量線作成の結果から波長範囲を決定する。

選択された波長範囲については、試料物性も考慮して判断する必要がある。物性と関連する波長が選択された場合、精度の高い検量線となる。あまりにかけ離れた波長範囲が選択された場合は、検量線の摘要範囲がせまくなる。この場合、解析に使用したサンプルの特性、測定方法について再考する必要がある。

表4 各波長範囲での検量線精度
Table 4 Accuracy of prediction for each wavelength area.

開始波長 (nm)	終了波長 (nm)	相関係数	脂肪酸組成値 推定誤差 (%)
1200	2500	0.73	3.0
1600	2500	0.79	2.7
1800	2200	0.77	2.6
1200	2200	0.76	2.9
1200	2000	0.77	2.9
1200	1800	0.76	2.8
400	1000	0.60	3.7
500	1100	0.69	3.3
600	1000	0.79	2.6
600	1100	0.60	2.7
700	1000	0.86	2.2

表4の結果と、脂肪酸中のC-H結合由来の吸収が928 nmにある¹⁴⁾ことを考慮し、波長範囲700nm ~ 1000 nmを選択した。

4.3.2 雑音

測定されたスペクトルには装置雑音が含まれ、推定誤差を増加させる一つの要因となっている。反射率の単位は、吸光度(ABS)で示され、装置雑音は μ ABSの単位で表示される。

測定データに、数値的に雑音を重畳して統計解析を行い、推定誤差、相関係数を求め、装置雑音の影響を調べることができる。

市販の統計プログラムには雑音をデータに追加する機能が組み込まれた製品もあるが、エクセル等において、ランダムな数値を、加算し計算することも可能である。このような計算から、装置に要求される雑音レベルを求めることができる。

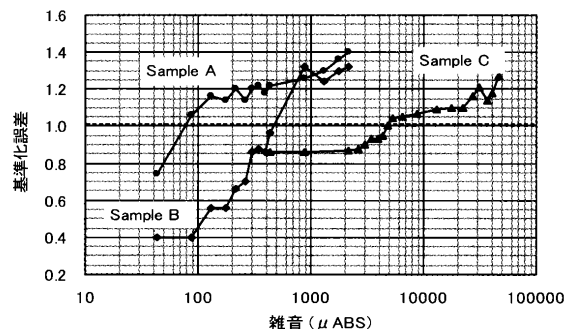


図6 雑音と誤差の関係
Fig. 6 Relation between noise & error.

3種類の食品成分分析について、雑音の評価例を図6に示す。グラフ横軸には、重畳した雑音の振幅を、縦軸には、その時の検量線の推定誤差値を基準化誤差として表示した。分析においては、判定のために最低限必要な誤差が使用者側から要求される。その要求値で検量線の推定誤差値を割った値を基準化誤差と呼ぶ。基準化誤差は1以下であることが必要である。

試料Aは、80 μ ABSの雑音で、基準化誤差が1を超えてしまう。従って装置の雑音は80 μ ABS以下でなければならないことがわかる。試料Bでは、雑音が400 μ ABS程度でも問題ない。また試料Cでは5000 μ ABS程度の雑音でも充分である。試料の性質により要求される装置雑音が大きく変わる。このような手法で、装置に要求される雑音レベルを決定することができる。豚肉脂質測定スペクトルについて評価した結果を図7に示す。

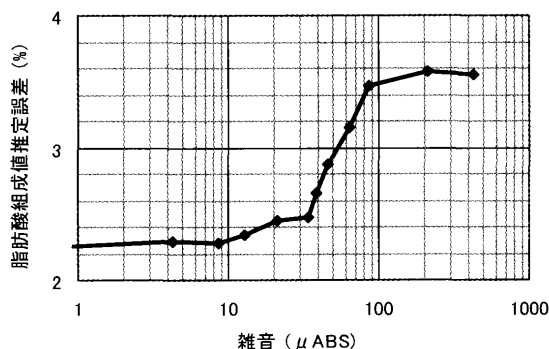


図7 雑音による誤差への影響
Fig. 7 Error caused by noise.

図7から、雑音が50 μ ABSを超えると、脂肪酸組成値の推定誤差が3%を超えることがわかる。脂肪酸組成値の判別として誤差3%が目標であり、この結果から、装置雑音50 μ ABS以下が要求される。

4.3.3 波長安定度

装置の波長安定度は推定精度に影響を及ぼす。特に、測定対象の近赤外分光スペクトルのベースラインが大きな勾配を持つ場合には、波長のわずかなずれが、吸光度の値の大きな変動を発生し、推定値の誤差を発生する。従って、測定対象とする試料の光学的性質により分光器に必要とされる波長安定度は異なる。

フーリエ干渉分光計は、波長安定度が高いが、回折格子分光器はその光学系変動が直接波長変動を発生する。市販の近赤外分光装置では、波長変動が発生しないよう充分な配慮と、波長変動の補正機構により、0.01 nm という高い波長安定度が実現されている装置もある。

回折格子分光器において波長変動は、波長値全体が一定量だけシフトする形で発生する。その波長変動量は、分光器光学系の機械的設計と補正方法により影響を受けるため、設計を開始する前に、どの程度の波長変動まで許されるかを把握しておく必要がある。

検量線を作成したスペクトルについて、波長値を人為的にずらし、最初に作成した検量線による推定値を求めることにより、波長変動の影響を評価できる。そのようにして、波長変動の影響を求めた結果を図8に示す。

図8に示されるように、波長が3 nm程度ずれると、脂肪酸組成値推定誤差が、3%を超えるため、波長誤差は、3 nm以下であることが必要であることがわかる。波長誤差0.5 nm以内であれば、誤差は無視できる。この値は、通常の回折格子分光器においては、充分実現可能な値であり、これを仕様値とした。

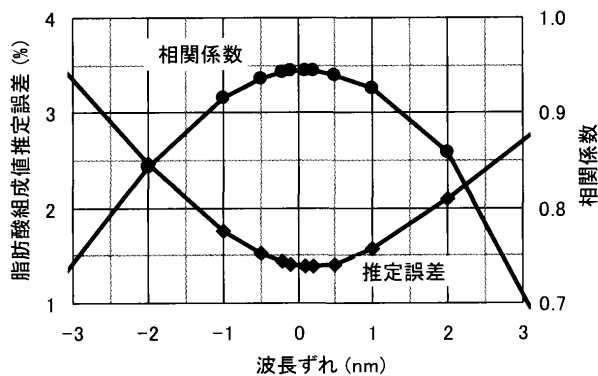


図8 分光器波長ずれの影響
Fig. 8 Error caused by wavelength shift.

4.3.4 波長分解能

分光器の設計において、波長分解能は重要な要素である。分光器の波長分解能が低いほど、装置雑音は低下するが、スペクトル波形が歪み、推定精度が低下する。

取得したスペクトルについて畳み込み積分、スムージング等により人為的に分解能を低下させ、統計解析を実施し、推定誤差と相関係数から、波長分解能の影響を調べることができる。図9はその評価結果である。

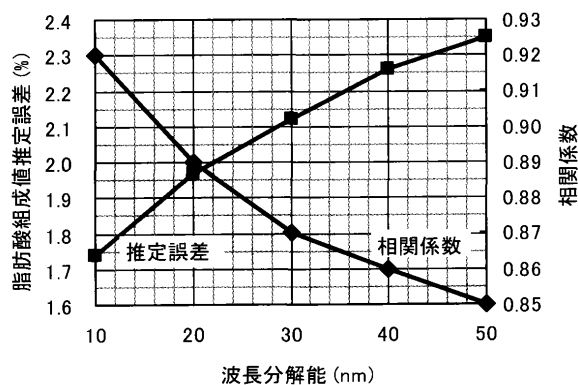


図9 分光器波長分解能の影響
Fig. 9 Error caused by wavelength resolution.

波長分解能が低下すると明らかに性能が低下する。推定誤差3%のためには、50 nm程度の波長分解能となるが、他の要因による推定精度の低下もあるので、波長分解能は、10 nm程度と設定した。

4.3.5 直線性

入射光量に対する検出システムの直線性はスペクトル波形を歪ませ、統計解析結果に影響を及ぼす。

リニアアレイ検知器の直線性測定は、露光時間と信号強度の関係から推定できる。リニアアレイ検知器の各ピクセルで発生する光電子数は入射光量と露光時間に正確に正比例する。入射光量を一定に保てば、測定値は、露光時間に正比例するはずであるが、検知器内部の回路により非直線性が発生する。露光時間と信号量間の非直線性は、光強度の非直線性と同一関係となる。これを利用して、リニアアレイ検知器の非直線性を測定可能で、その非直線性は、最大で10%程度である。

測定済みデータに対し、測定値を数値的に非直線性が発生したものとして、歪みを加え、誤差と相関係数を求める。この結果から、許容できる直線性を求める。

図10はそのようにして求めた直線性と、誤差と相関の関係である。図から、直線性による影響は少なく、10%程度でも問題ないことが判明した。豚肉脂質の測定は反射率測定で、光量の変動が少ないために直線性の影響が少ない。透過率測定では、試料の大きさが大きく変動する場合は、直線性による誤差が大きく影響すると考えられる。

本装置に使用した検知器の直線性は、7%程度である。

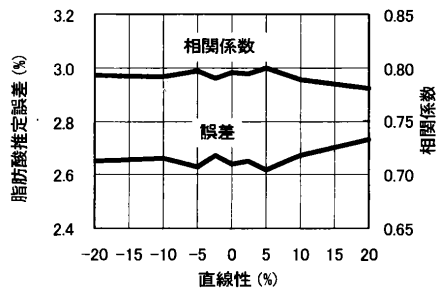


図10 直線性の影響
Fig. 10 Error caused by linearity.

4.3.6 温度の影響

近赤外分光では、装置温度、試料温度の影響によりスペクトルが変動し、推定値が変化することがある。

装置はできるだけ温度に対して安定に設計しなければならないが、事前にこれを予測することは困難で、経験に基づいて、性能と価格のバランスをとりながら設計することとなる。

試料温度の影響は、事前に評価することが可能である。試料の温度を必要な範囲で変化させ、スペクトル変化、または推定値の変化を求めることにより温度の影響を評価することができる。

温度の影響が大きいときは、補正する必要があるが、補正には二つの方法がある。

ひとつは、装置に試料温度読み取るための温度センサーを組み込み、測定した試料温度により推定値を補正する方法である。

もうひとつは、検量線作成のための試料について、色々な温度でスペクトルを測定し、すべてのスペクトルを使用して検量線を作成することにより、温度による影響を打ち消す方法である。

豚肉試料を25℃の試料温度で測定し作成した検量線を使用して、同じ試料を0℃として測定すると、飽和脂肪酸組成の推定値が図11(a)に示すように変化し、推定精度が低下する。

全試料について0℃、10℃、25℃の3つの温度でスペクトルを測定し、この全温度データを使用して検量線を作成した。こうして作成された検量線により、温度による変動を避けることができた(図11(b))。

この結果から、本装置では、装置を簡略化するためにも、温度計を組み込まず、複数温度データにより検量線を作成し、温度補正を行うこととした。

本装置の測定対象とする豚肉枝肉の温度は、貯蔵時で0~5℃、競り市場では10℃前後、と畜後間もない段階で20℃前後であるので、この範囲の温度補正により充分対応できる。

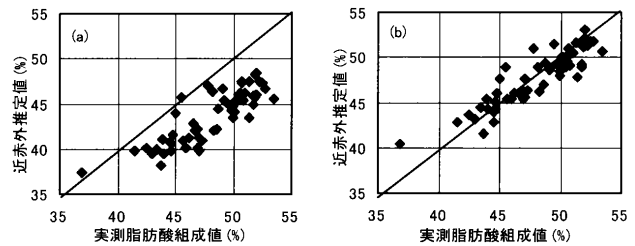


図11 スペクトルへの温度の影響
Fig. 11 Influence of temperature on spectra.

4.3.7 豚肉脂質測定装置の設計製作

これまでの装置性能に関する検討により、仕様を決定することができた。その結果を表5に示す。

この仕様に基づき設計、製作を進めることにより、所定の性能を持った近赤外分光装置を構築することが可能となる。

表5 豚肉脂質測定装置の仕様
Table 5 Specification of pork fat evaluation system.

項目	仕様
波長範囲	700 nm~1000 nm
波長分解能	10 nm 程度
波長安定度	0.5 nm 以内
雑音	50 μ ABS 以下
直線性	10%以内

この仕様に基づいて設計・製作した装置のブロックダイアグラムを図12に示す。

プローブ先端には5個の小型ランプが組み込まれており、試料を照射する。試料からの反射光は、光ファイバーにより集光され、分光器に導入される。

分光器は、検知器としてリニアアレイを使用した小型の回折格子型分光器である。リニアアレイ出力は、AD変換され、USBインターフェイスを介して小型コンピュータにより読み取られる。データは小型コンピュータにより処理され組み込まれた検量線により脂肪酸組成値が表示される。

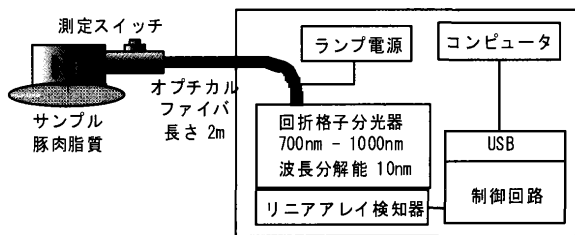


図 12 装置外観図

Fig. 12 Block diagram of the instrument.

装置外観を図 13 に示す。装置全体は肩に掛けて使用するよう設計されており、小型携帯可能である。現場での測定に対応できるように、内蔵の単三乾電池(6本)により連続2時間の測定が可能である。

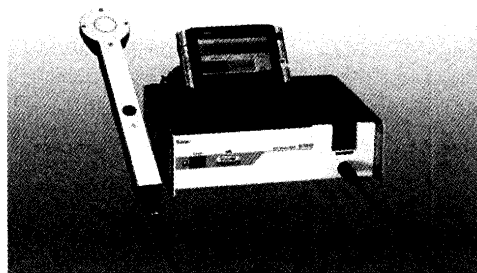


図 13 装置外観図

Fig. 13 Picture of the instrument.

本装置の光検出器としては、リニアアレイを使用しているが、これは、ピクセル(画素)への入射光が発生する光電子を蓄積して信号としている。飽和露光量は、ピクセルが蓄積できる最大電荷量(pC)である。表 6 に示すようにリニアアレイには、色々な種類があり、それぞれ、飽和露光量が異なる。

飽和露光量が小さい検知器は、微弱光にも反応し、高感度だが SN 比は低い。飽和露光量の大きな検知器は、良好な SN 比を得られるが、微弱な光では信号が小さく感度が低い。

表 6 リニアアレイ飽和露光量
Table 6 Capacitance of pixel.

リニアアレイ型式	飽和露光量 pC
CCD	0.01~0.1
CMOS	0.4~10
NMOS	5~50

高い SN 比を必要とする近赤外分光では、大きな飽和露光量が必要である。そのためより多くの光を検知器に入射する必要があり、強い照射光源を必要とする。

本装置では、飽和露光量の比較的大きな CMOS 検知器を使用し、複数ランプを使用し適切な光量を得た。開発した装置の SN 比を図 14 に示す。測定時間 5 秒で 50 μ ABS 程度の SN 比が実現された。

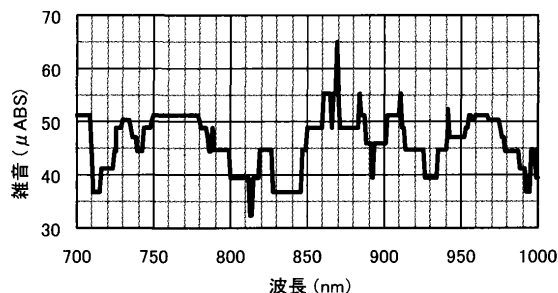


図 14 測定装置の雑音

Fig. 14 Noise of system.

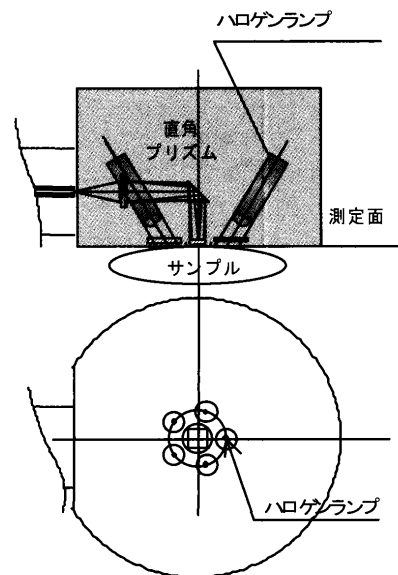


図 15 プローブ光学系

Fig. 15 Probe optics.

豚肉脂質物性による吸収を測定するため、インタラクタンス測定光学系を採用した(図 15)。ランプにより照射された表面部分を測定すると、928nm の吸収を明確にとらえることができないが、複数のランプを測定光学系の中心軸に対して傾けて複数個配置することにより 928nm の吸収を明確にとらえることが可能となった。こうして測定された豚肉脂質のスペクトルを図 16 に示す。

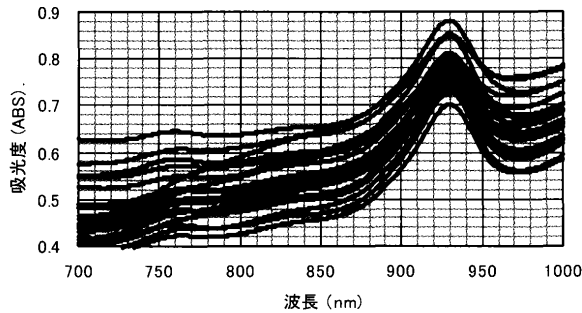


図 16 豚肉脂質の近赤外スペクトル
Fig. 16 NIR spectra of pork fat.

5. データ解析

脂肪酸組成値をガスクロマトグラフィーにより測定した豚肉脂質サンプル 60 点について、本装置により近赤外スペクトルを測定し、得られたスペクトルについて、PLS により統計解析を行い、検量線を求めた。

検量線作成時のスペクトルには、前処理としてサビツキーゴレイによる二次微分を施し、PLS 解析におけるファクター数は、4-6 となった。

表 7 に豚肉の主要な脂肪酸組成についての統計解析結果を示す。測定対象である飽和脂肪酸とオレイン酸について、目的とする脂肪酸組成値の推定誤差 3 %以内を実現する性能を示し、豚肉評価の現場において実用できる性能となった。

表 7 解析結果
Table 7 Result of analysis.

豚肉の主要脂肪酸	試料状態		測定結果	
	平均 %	分散 %	R	誤差 %
飽和脂肪酸	48.20	3.52	0.93	1.22
一価不飽和脂肪酸	40.46	3.20	0.77	1.98
多価不飽和脂肪酸	11.34	3.20	0.88	1.44
オレイン酸	38.64	3.04	0.82	1.65

主要な脂肪酸であるオレイン酸と飽和脂肪酸についての散布図を図 17 に示す。

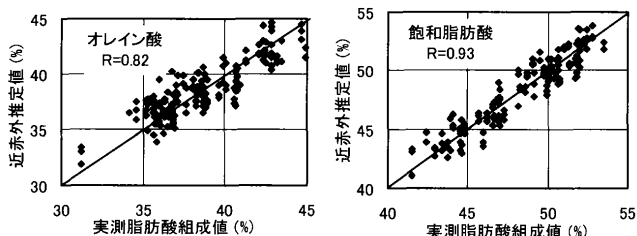


図 17 オレイン酸と飽和脂肪酸の散布図
Fig. 17 Scatter plot of oleic acid & saturated fatty acid.

6. 結言

近赤外分光器の開発に際しては、測定対象に合わせた装置性能、仕様の決定が必要である。豚肉脂質の脂肪酸組成測定について、必要な装置性能(波長範囲 700nm~1000 nm, SN 比 50 μ ABS 等)を決定し、それに従い装置開発を行った。結果として、目標通りの近赤外分光による測定性能(測定時間 5 秒, 誤差 3 %以内)が実現された。このような開発方法を適用することにより、効率の高い近赤外分光装置の開発が可能となる。

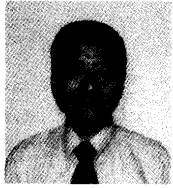
開発された近赤外豚肉脂質測定は、短時間、非破壊、現場測定が可能であり、今後、市場に流通する豚肉品質測定に有効に利用することができる。装置を複数台製作した場合の機差も重要な問題であるが、それについては、今後の研究による。

本開発・研究を推進するにあたり、御協力を頂きました(株)ニレコ OE 営業部三留肇様に感謝致します。

参考文献

- (1) 大倉, 服部: 近赤外分光計測の装置技術, 分光研究, 53-2, pp.109-115(2004).
- (2) 大倉: 近赤外分光による非破壊品質評価—装置技術からみた側面—, ITE Tec. Report 30-10, pp.13-18(2006).
- (3) C.E.Byrne, G.Downey, D.J.Troy and D.J. Buckley: Non-destructive Prediction of Selected Quality Attributes of Beef by Near-infrared Reflectance Spectroscopy Between 750 and 1098 nm, Meat Science, 49-4, pp.399 - 409(1998).
- (4) A.Ripoche and A.S.Guillard: Determination of fatty acid composition of pork fat by Fourier transform infrared spectroscopy: Meat Science, vol.58, pp.299-304(2001).
- (5) I.Gonzalez Martin, C.Gonzalez Perez, J.Hernandez Mendez and N. Alvarez Garcia: Determination of fatty acids in the subcutaneous fat of Iberian breed swine by near infrared spectroscopy (NIRS) with a fibre-optic probe, Meat Science, vol.65, pp.713-719(2003).
- (6) 入江: おいしい豚肉の条件: ビッグジャーナル別刷 アニマル・メディア社(2005).
- (7) J.D.Wood, R.I.Richardson, G.R.Nute, A.V.Fisher, M.M.Campo, E. Kasapidou, P.R.Sheard and M.Enser: Effects of fatty acids on meat quality: a review, Meat Science, vol.66 pp.21-32(2003).
- (8) T.Nishioka and M.Irie: Fluctuation and criteria of porcine fat firmness, Animal Science, 82-6, pp.929-935(2006).
- (9) 入江, 藤谷: 豚の脂肪組織と筋内脂肪の理化学的性状に及ぼす大豆油添加と添加時期の影響, 日本養豚学会誌, 26-4, pp.255-260(1989).
- (10) 大武: 豚肉脂質および蓄積部位の異なる脂肪組織の脂質の性質上の差異, 日本畜産学会報, 54-3, pp.165-171,1983.
- (11) 宮本, 大倉: 可搬型近赤外分光器によるウンシュウミカン葉中窒素の測定, 農林水産研究情報, http://www.affrc.go.jp/seika/data_kinki/h17/ki05180.html
- (12) 金田尚志: 近赤外分光法のコンクリート調査への応用, コンクリート工学, 43-3, pp.37-44 (2005).
- (13) 相島鉄郎: ケモメトリックス新しい分析化学, 丸善, 東京(1992).
- (14) Osborne, B.G and P.H.Hindle: Practical NIR spectroscopy with applications in food and beverage analysis, 2nd. Ed. Longman Scientific & Technical, Essex (1993).

(受付日 2008 年 9 月 29 日 / 採録日 2009 年 5 月 8 日)



大倉 力 (正会員)

株式会社相馬光学

〒190-0182 東京都西多摩郡日の出町平井 23-6

1970 年名古屋大学大学院工学研究科修了。同年、日本分光工業(株)、レーザラマンを研究。

1976 年より(株) オプティカルサイエンスに

分光放射計を開発。1998 年より(株) マキ製

所にて近赤外分光に従事。2004 年(株) 相馬光学入社。応用物理学

学会会員、工学修士



朴 善姫 (非会員)

株式会社相馬光学

〒190-0182 東京都西多摩郡日の出町平井 23-6

2004 年愛知工業大学大学院工学研究部材料化

学科修了。同年、株式会社相馬光学入社、FIA

分析装置、近赤外分光測定の研究に従事。工学

修士



西岡 輝美 (非会員)

大阪府環境農林水産総合研究所

〒583-0862 大阪府羽曳野市尺度 4 4 2

2001 年 3 月京都大学大学院農学研究科修了、同

年 8 月大阪府立農林技術センター(現 大阪府

環境農林水産総合研究所)に入庁。日本畜産学

会会員、農学博士。



入江 正和 (非会員)

宮崎大学農学部

〒889-2192 宮崎市学園木花台西 1-1

1978 年 3 月京都大学農学部卒。同大学院を経

て、1979 年大阪府立農林技術センター研究員。

1991 年ゲルフ大学客員研究員。2004 年 3 月宮

崎大学教授。日本学術会議連携会員、農学博士。