



Title	近赤外分光法による搾乳時乳質の連続測定（第1報）：乳質測定装置の精度および生乳の温度変動が精度に与える影響
Author(s)	川崎, 正隆; 川村, 周三; 中辻, 浩喜 他
Citation	農業機械学会誌, 71(2), 39-45 https://doi.org/10.11357/jsam.71.2_39
Issue Date	2009
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/71030
Rights	© 2009 農業機械学会
Type	journal article
File Information	71_2_39.pdf



近赤外分光法による搾乳時乳質の連続測定 (第1報)

——乳質測定装置の精度および生乳の温度変動が精度に与える影響——

川崎正隆*¹・川村周三*^{2†}・中辻浩喜*³・夏賀元康*⁴

要 旨

搾乳時における乳質の連続測定技術の開発を目標に、近赤外分光法を用いた乳質測定装置を試作した。乳成分を測定する検量線を作成し、装置の測定精度を検証した。その結果、乳成分を精度良く測定できた。また実用を想定し、生乳の温度変動が測定精度に与える影響を検証した。その結果、検量線作成に用いた試料の温度範囲内の生乳であれば、乳成分を高い精度で測定できた。よって様々な温度の試料を採取し検量線作成に用いる事で、検量線の温度補償が可能になる事がわかった。

[キーワード] 乳脂肪, 乳タンパク質, 乳糖, 検量線の温度補償

Near-Infrared Spectroscopy for Online Real-Time Monitoring of Milk Quality during Milking (Part 1)

——Precision and Accuracy of Near-Infrared Spectroscopy for Determining Milk Constituent Contents and Influence of Milk Temperature on Performance of Calibration Models——

Masataka KAWASAKI*¹, Shuso KAWAMURA*^{2†}, Hiroki NAKATSUJI*³, Motoyasu NATSUGA*⁴

Abstract

We constructed an online near-infrared spectroscopic sensing system on an experimental basis. Calibration models for determining three major milk constituents (fat, protein and lactose) were developed, and the precision and accuracy of the models were validated. The sensing system can be used to assess milk quality with sufficient precision and accuracy. Moreover we evaluated the influence of milk temperature on the performance of calibration models in practical use. When the temperature of the validation subset was in the temperature range of the calibration subset, the performance of calibration models was good. Therefore, temperature compensation of a calibration model was possible using calibration subset that covers a variation in temperature of the sample to be measured.

[Keywords] fat, protein, lactose, temperature compensation

I 緒 言

農林水産省の畜産統計 (Nourinsuisanshou, 2007) によると近年、北海道では酪農家の戸数の減少とともに酪

農家1戸あたりの飼養頭数が増加し、酪農の経営規模が大型化の傾向にある。そのために搾乳ロボット等の牛を群管理する技術が普及しつつある。一方で牛の健康管理や乳質の向上には牛の個別管理が必要である。よって簡

*1 会員, 北海道大学大学院農学研究院 (〒060-8589 札幌市北区北9条西9丁目 TEL: 011-706-2558)

Graduate School of Agricultural Science, Hokkaido University, Kita 9, Nishi 9, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060-8589, Japan

*2 会員, 北海道大学大学院農学研究院

*3 北海道大学大学院農学研究院

*4 会員, 山形大学農学部 (〒997-8555 山形県鶴岡市若葉町1-23 TEL: 0235-28-2906)

Faculty of Agriculture, Yamagata University, 1-23, Wakaba-machi, Tsuruoka, Yamagata 997-8555, Japan

† Corresponding author: shuso@bpe.agr.hokudai.ac.jp

表 1 乳質測定装置の仕様

Table 1 Specifications of the near-infrared spectroscopic instrument constructed on an experimental basis

項目	仕様
スペクトル測定部	近赤外拡散透過型
光源	ハロゲンランプ
光ファイバー	石英ファイバー直径 0.6 mm
温度測定	白金測温体
測定室内壁表面	テフロン
生乳体積	約 750 mL
光軸-液面間の距離	65 mm
分光器部	回折格子分光器
測定項目	透過率
測定波長	600-1050 nm, 1 nm 毎
波長分解能	5 nm 程度
受光素子	CCD リニアアレイ 2048 素子
温度制御	ペルチェ冷却方式
データ処理部	東芝製ノートパソコン Windows 98 Pentium 150 MHz RAM 48 MB
A/D 変換	12 bit

便に個体情報を収集する手法が必要とされている (Svennersten-Sjaunja et al., 1997)。そこで搾乳時に乳質をリアルタイムで測定する技術が必要となってきた。

近赤外分光法は近年、農業や食品工業の分野で穀物や青果物のオンライン品質測定に広く用いられている非破壊測定法であり、牛乳の乳質測定への応用研究も行われている (Sato et al., 1987 ; Chen et al., 1999 ; Chen et al., 2002 ; Tsenkova et al., 2006)。しかし搾乳中に気泡を含み不規則に流動する生乳 (ホモジナイズされていない牛乳) の乳成分をリアルタイムで測定する技術に関する研究例は少ない。

本研究では、近赤外分光法を用いた搾乳時乳質のリアルタイム測定技術の確立を最終目標としている。既に基礎研究として近赤外分光法によって生乳の乳成分を高い精度で測定できる事を明らかにした (Natsuga et al., 2002)。そこでこの結果を踏まえて近赤外分光法を用いた乳質測定装置を試作した。本報では装置の精度を確認するために、基礎実験として静置状態の生乳のスペクトルを測定し、乳成分測定用の検量線の作成と精度の検証を行った。また一般的に近赤外分光法で農産物など水分を含む対象物を測定する場合、試料温度を一定にする必要がある。これは試料温度が変動すると水の水素結合数が増加するため、それに伴い分子吸光係数が変動しスペクトルに影響を与えるためである (Iwamoto et al., 1994b ; Ozaki and Kawada, 1996a)。しかし本研究では搾乳中の生乳の測定を最終目標としているため、様々な温度の生乳を測定する事が想定される。そのため、試料温度の変動に関係なく安定して高い精度で測定できるロバストな検量線が必要となる。そこで生乳の温度変動が測定精度に与える影響を検証し、検量線の温度補償を検討した。

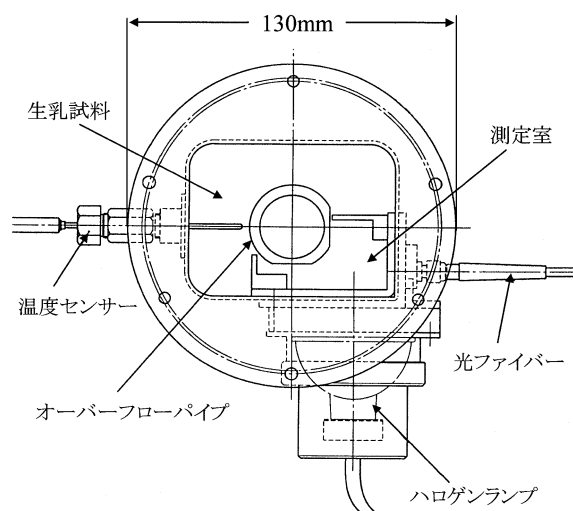


図 1 スペクトル測定部の平面図

Fig. 1 Plane view of the near-infrared spectrum sensor constructed on an experimental basis



図 2 スペクトル測定部

Fig. 2 Near-infrared spectrum sensor constructed on an experimental basis

II 試作した乳質測定装置

試作した乳質測定装置の仕様を表 1 に示した。装置はスペクトル測定部、分光器部、データ処理部、乳量計、試料採取部 (サンプラー) から構成されている。

1. スペクトル測定部

スペクトル測定部の平面図を図 1 に、写真を図 2 に示した。測定部の生乳体積は約 750 mL である。測定室は白色テフロン製である。ハロゲンランプと光ファイバーの光軸は同一水平面上で直交するように取り付けられた。これにより Reference (測定室内に生乳がなく乾燥した状

態における光の信号強度）測定の際に光源からの直射光が光ファイバーに入ることがないため光量を大きくすることが可能でありその結果、SN（Signal to noise）比を高くすることができた（Itoh, 2001）。

ハロゲンランプから出た光は測定室内で生乳中を拡散透過し、光ファイバーによって分光器へと送られる。生乳はミルクローから連続的に供給され測定部にいったん滞留し、測定部中央のオーバーフローパイプから排出される。このように生乳が一旦滞留しオーバーフローする構造により、光源と光ファイバーの光軸から生乳液面までの距離を一定（約 65 mm）に保持した。また搾乳終了時や測定部洗浄終了時に測定部内への生乳や洗浄液の残留を防ぐために、オーバーフローパイプに通じる小孔を測定部の底に設け、排出を促した。そのため搾乳時の生乳流量が 0.5 kg/min 以下であると、測定部の生乳の液面がオーバーフローパイプ上面より低くなり、液面高さ一定でのスペクトルの測定ができなくなる。また測定部内の生乳温度は白金測温体により計測した。

2. 分光器部

分光器は回折格子型分光器で測定波長範囲は 600～1050 nm の短波長域、分解能は 5 nm である。既報（Natsuga et al., 2002）において、長波長域（1100～2498 nm）の方が短波長域より乳成分を高い精度で測定できるが、光路長を大きくする事で短波長域であっても長波長域と同等の精度を得られることがわかっている。さらに実用化を想定した場合のセンサー部のコストパフォーマンスを考慮し、本装置では短波長域を採用した。光検知器は CCD（Charge coupled device）リニアアレイシリコンセンサーである。シリコンセンサーでは光の強さを 1 nm 毎に光電変換し、電気信号（アナログ信号）をデータ処理部へ出力する。CCD リニアアレイセンサーには 2048 素子の検知器を用いた。

3. データ処理部

データ処理部では分光器部からのスペクトルの読み込み、記録などを行った。スペクトル測定には本装置専用のデータ処理プログラム Milk32（株式会社オプトリサーチ製）を用いた。分光器部から送られてきたアナログ信号は A/D コンバーターで 12 bit 精度のデジタル信号となる。スペクトルは以下の式で算出する。

$$T(\lambda) = \frac{I(\lambda) - D(\lambda)}{R(\lambda) - D(\lambda)} \times 100 \quad (1)$$

ここで、 λ ：測定波長 [nm]

$T(\lambda)$ ：波長 λ における生乳の透過率 [%]

$I(\lambda)$ ：波長 λ における生乳の光の信号強度 [—]

$R(\lambda)$ ：波長 λ における Reference（測定室内が乾燥している状態時の光の信号強度）[—]

$D(\lambda)$ ：波長 λ における Dark（分光器部への光を遮断した状態時の信号強度）[—]

コンピューターのディスプレイにはスペクトルと測定

部の生乳温度が表示される。

また、Milk32 では Integration time と Averaging を設定することができる。Integration time は、シリコンセンサーでの光信号の積分時間である。また、複数のスペクトルを連続測定し、それらを平均して 1 つのスペクトルとして出力する。Averaging は平均するスペクトルの数である。本研究では予備試験の結果、Integration time を 25 ms、Averaging を 10 とした。

III 実験方法

1. 供試試料

供試試料として北海道大学生物生産研究農場内で飼養されているホルスタイン種乳牛の生乳を用いた。広い成分範囲で試料を採取するため、試料は朝または夕の搾乳時の搾乳開始から終了までの約 30 分間にバルククーラー投入直前の生乳を 10 数点採取した。試料の採取は 5 月から 10 月までの期間、断続的に 31 回の搾乳時に行い、合計 412 点の試料を採取した。試料採取期間中の搾乳頭数は 17～20 頭であった。

2. 測定方法

(1) 乳質基準分析

測定する乳質は乳脂肪、乳タンパク質、乳糖の 3 大乳成分である。それぞれの基準分析には Milkoscan S54-A（Foss Electric 社製）を用いた。あらかじめ化学分析した牛乳により Milkoscan S54-A の測定値を校正した。Milkoscan は赤外線吸収方式によって乳成分測定を行う。乳脂肪では 5.73 μ m と 5.5 μ m、乳タンパク質では 6.46 μ m と 6.80 μ m、乳糖では 9.61 μ m と 7.80 μ m の波長の光の吸光度を測定し、乳脂肪、乳タンパク質、乳糖の相互干渉係数で補正して乳成分の測定を行う。Milkoscan は公定法（化学分析法）による乳成分値との校正を行うことで高い精度を保てる事や、短時間で測定が行える事から酪農検定検査協会などの公的機関の乳質測定に用いられている（Sasano, 1998）。なお Milkoscan S54-A による乳成分の反復測定の標準誤差は乳脂肪で 0.003%、乳タンパク質と乳糖で 0.002% であった。

(2) 乳質測定装置による近赤外スペクトルの測定

試作した乳質測定装置を用いて生乳のスペクトルを測定した。

試料の温度が測定精度へ与える影響を調べるため、ウォーターバスを用いて試料の温度を調整した。搾乳直後の生乳の温度は乳牛の体温と同程度の 38～40℃ であるが、周囲温度によっては 30℃ 近くまで低下する場合が考えられる。この実験では生乳の温度が 29.3～44.1℃ の範囲のサンプルセット（以下、温度範囲大と表記）および 38.0～40.3℃ の範囲のサンプルセット（以下、温度範囲小と表記）を調整した。温度範囲大のサンプルセット（全試料）の試料数は 412 点であり、412 点のうち 219 点が温度範囲小のサンプルセットの試料であった。全試料（412 点）の乳成分は、乳脂肪の範囲が 0.77～7.09%、

平均が4.19%, 標準偏差が1.34% (以下同順) であり, 乳タンパク質が2.30~3.85%, 3.27%, 0.33% であり, 乳糖が4.57%~5.50%, 4.96%, 0.18% であり, それらの分布はほぼ正規分布であった。

試料はホモジナイズしていない生乳であるため, 静置して時間が経過すると牛乳表面に脂肪球が浮き凝集することが多い。そこで, ウォーターバスを用いて温度調整した生乳を攪拌した直後に乳質測定装置の測定部に入れ, 直ちに静置状態でスペクトルを測定した。スペクトルの測定は5秒以内で終了し, この間に肉眼により脂肪球の凝集が確認されることはなかった。

3. 検量線の作成と精度の検証

(1) 試作した乳質測定装置の測定精度

上記2種のサンプルセットごとの生乳の原スペクトル (前処理を行っていないスペクトル) と乳成分の基準分析値から乳成分測定用検量線をそれぞれ作成し, 測定精度の検証を行った。検量線の作成と精度の検証には多変量解析ソフト The Unscrambler v.6.11 (CAMO 社製) を用いた。

検量線の作成は Partial least squares (PLS) 回帰分析により行った。温度範囲大および温度範囲小のサンプルセットそれぞれについて, 全試料数の2/3を用いて検量線を作成し, 残りの1/3で検量線の測定精度の検証を行う予測検定法を用いた。検量線作成試料と精度検証試料の分割はランダムに行った。精度検証試料の温度範囲と成分範囲は, 検量線作成試料の温度と成分の範囲以内となるようにした。

(2) 試料温度の変動が測定精度に与える影響の検討

検量線作成試料の温度範囲が測定精度に与える影響を調べた。すなわち温度範囲大 (29.3~44.1°C) の試料から作成した検量線および温度範囲小 (38.0~40.3°C) の試料から作成した検量線それぞれを用いて温度が38.0°C未満の試料を測定した際の精度を検証した。精度検証試料は, 温度範囲大の精度検証試料の中から試料温度が38.0°C未満のものを無作為に50点抽出した。精度検証試料の温度範囲と成分範囲は, 乳脂肪の場合が29.3~36.6°C, 1.37~6.32% であり, 乳タンパク質の場合が29.4~37.7°C, 2.37~3.74% であり, 乳糖の場合が31.0~36.9°C, 4.58~5.35% であり, 成分範囲はいずれも検量線作成試料の範囲以内であった。

IV 結果と考察

1. 生乳の拡散透過スペクトル

測定した生乳の原スペクトルの例を図3に示した。図3によれば, スペクトルの740, 840nm および970nm 付近で透過率の低下 (スペクトルの谷) が認められた。岩元ら (Iwamoto et al., 1994a) によれば, 740nm に C-H string の吸収が, 840nm に $3 \times \text{C-H string} + 2 \times \text{C-C string}$ の吸収がそれぞれあるとされていることから, これらは乳脂肪 (トリグリセリド) による吸収と考えられる。同じ

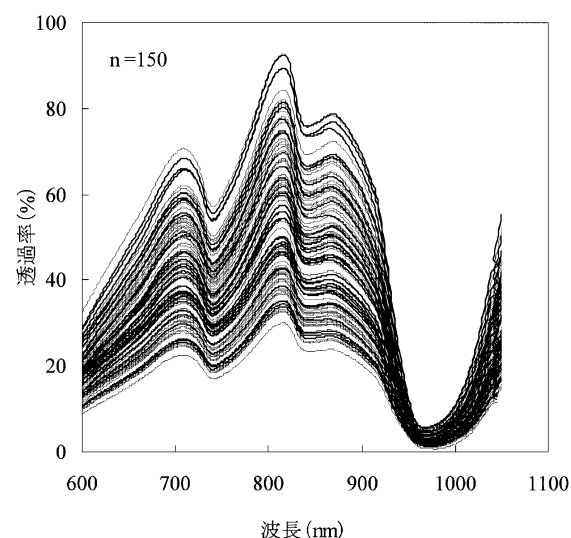


図3 生乳の近赤外拡散透過スペクトル
Fig. 3 Original near-infrared spectra of raw milk

く岩元らによれば, 970nm に O-H strings の吸収帯があることから, これは水による吸収と考えられる。一方, 尾崎ら (Ozaki and Kawada, 1996b) は, 740~750nm に水の第3倍音の吸収が, 975~985nm に水の第2倍音の吸収があるとしている。近赤外分光法による乳成分の測定を行った Woo ら (Woo et al., 2002) は, その二次微分スペクトルから744nm と844nm に水に起因する吸収が, 926nm に乳脂肪に起因する吸収があるとしている。本研究で得られたスペクトルの二次微分スペクトルを観察すると, 740, 840, 920, 960nm 付近にピークが認められた。970nm 付近は水の吸収帯として多くの研究者が認めるところである (Iwamoto et al., 1994a; Ozaki and Kawada, 1996b; Woo et al., 2002)。牛乳の970nm 付近以外の吸収帯の帰属については, 本研究で決定することは困難であるが, 水および乳脂肪の吸収帯が重なっているものと推定される。

図3によれば, 970nm 付近を除いてスペクトル全体が上下にシフトしている。これは脂肪球によって光の散乱が起こり, それによって光の透過経路が変動する影響も受けているものと考えられる (Chen et al., 2002)。

2. 試作した乳質測定装置の測定精度

表2に温度範囲大および温度範囲小のデータセットから作成した検量線の測定精度を示した。また図4~6に温度範囲小の場合の精度検証結果を乳成分ごとに示した。それぞれの図表中のSDは標準偏差 (Standard deviation), NFは検量線作成時のPLS回帰分析のファクター数 (Number of factors), r^2 は決定係数 (Coefficient of determination), SEPは近赤外分光法による予測値の標準誤差 (Standard error of prediction), Biasは基準分析値の平均と近赤外分光法による予測値の平均との差, RPDは検証用試料の標準偏差 (SD) に対する予測値の標準誤差 (SEP) の比 (Ratio of SEP to SD, SD/SEP)

表 2 試作した装置による乳成分の測定精度

Table 2 Validation statistics of the near-infrared instrument for determination of milk constituents

乳成分	全試料						測定精度検証						
	n	温度範囲 (℃)		成分範囲 (%)	平均 (%)	SD (%)	NF	n	r ²	SEP (%)	Bias (%)	RPD	回帰式
Fat	412	29.3-44.1	大	0.77-7.09	4.19	1.34	7	137	0.95	0.30	0.05	4.47	y = 1.00x - 0.07
	219	38.0-40.3	小	0.77-7.09	4.23	1.46	7	73	0.95	0.31	-0.04	4.76	y = 0.97x + 0.15
Protein	412	29.3-44.1	大	2.30-3.85	3.27	0.33	11	137	0.78	0.15	0.02	2.14	y = 0.90x + 0.31
	219	38.0-40.3	小	2.43-3.85	3.34	0.28	6	73	0.67	0.16	0.00	1.73	y = 0.99x + 0.02
Lactose	412	29.3-44.1	大	4.57-5.50	4.96	0.18	13	137	0.84	0.07	0.00	2.53	y = 0.96x + 0.18
	219	38.0-40.3	小	4.63-5.50	4.99	0.17	7	73	0.85	0.07	-0.01	2.60	y = 0.97x + 0.17

n : 試料数, SD : 標準偏差 (Standard deviation), NF : 検量線作成時の PLS 回帰分析のファクター数 (Number of factors)

r² : 決定係数 (Coefficient of determination), SEP : 近赤外分光法による予測値の標準誤差 (Standard error of prediction)

Bias : 基準分析値の平均と近赤外分光法による予測値の平均との差

RPD : 検証用試料の標準偏差 (SD) に対する予測値の標準誤差 (SEP) の比 (Ratio of SEP to SD, SD/SEP)

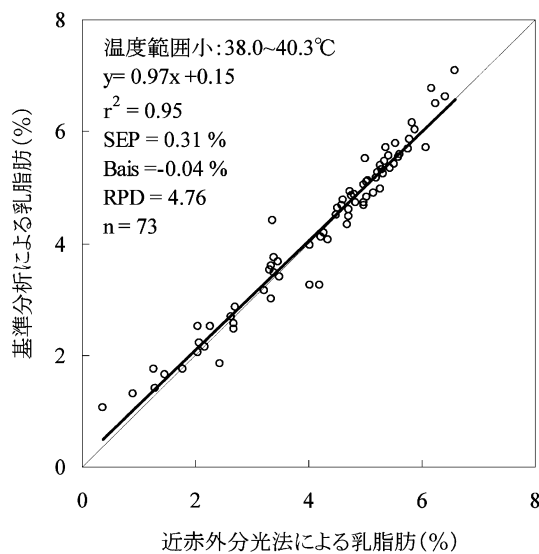


図 4 乳脂肪の測定精度 (試料の温度範囲 38.0~40.3°C)
Fig. 4 Correlation between reference fat and NIR-predicted fat (temperature range of milk sample : 38.0~40.3°C)

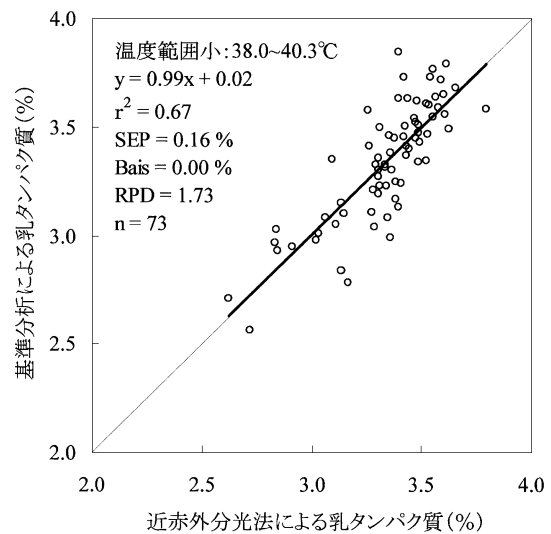


図 5 乳タンパク質の測定精度 (試料の温度範囲 38.0~40.3°C)
Fig. 5 Correlation between reference protein and NIR-predicted protein (temperature range of milk sample : 38.0~40.3°C)

である。

いずれの乳成分においても r^2 が高く、測定試料の SD に対して SEP が小さく (RPD が大きく)、Bias が小さく、回帰式の x の係数が 1 に近く切片が 0 に近いことから良い精度を得ることができたと考えられる。特に乳脂肪の精度が最も高かった。これは測定波長域に乳脂肪に由来する吸収がある事、また脂肪球による光の散乱がスペクトル全体に影響を及ぼしていることから乳脂肪の情報がスペクトルに多く含まれるためと考えられる。また試料温度の範囲の違いによる精度への大きな影響はみられなかった。

本研究で試作した装置により、乳成分を測定することができた。しかしながら、本研究の乳脂肪、乳タンパク質、乳糖の測定精度は Woo ら (Woo et al., 2002) の報告に比較して劣っていた。その理由は、Woo らの使用し

た近赤外分析計が市販の研究用機器 (NIRSystems model 6500) であり、波長分解能が 2 nm、Averaging が 50 および試料温度が 40°C で一定などの影響によるものと推定される。

3. 試料温度の変動が測定精度に与える影響の検討

表 3 に温度範囲大または温度範囲小の試料を用いてそれぞれ作成した検量線で 38°C 未満の温度の試料の乳成分を測定した場合の精度を検証した結果を示した。これによると、検量線作成試料の温度範囲に精度検証試料の温度が含まれる場合 (組合せ (1)) と比較して、含まれない場合 (組合せ (2)) は、いずれの乳成分においても r^2 が低くなり、SEP が大きくなり、Bias がほぼ同じまたは大きくなり、RPD が小さくなるなど、精度の低下が認

表3 検量線作成試料の温度範囲に精度検証用の試料温度が含まれる場合(1)と含まれない場合(2)の測定精度の比較

Table 3 Comparison of the accuracy in two cases: (1) when sample temperature for the validation subset is included in the temperature range of the calibration subset and (2) when sample temperature for the validation subset is not included in the temperature range of the calibration subset

乳成分	検量線 作成試料の 温度範囲 (°C)	測定精度検証試料			測定精度検証					
		n	温度範囲 (°C)	成分範囲 (%)	組合せ	r ²	SEP (%)	Bias (%)	RPD	回帰式
Fat	29.3-44.1	50	29.3-36.6	1.37-6.32	(1)	0.92	0.32	0.09	3.44	y=0.97x+0.01
	38.0-40.3				(2)	0.77	0.52	0.32	2.10	y=0.91x+0.03
Protein	29.3-44.1	50	29.4-37.7	2.37-3.74	(1)	0.79	0.17	0.05	2.16	y=0.95x+0.10
	38.0-40.3				(2)	0.62	0.23	-0.03	1.63	y=0.97x+0.11
Lactose	29.3-44.1	50	31.0-36.9	4.58-5.35	(1)	0.82	0.07	-0.01	2.38	y=1.04x-0.20
	38.0-40.3				(2)	0.64	0.10	0.08	1.68	y=1.11x-0.64

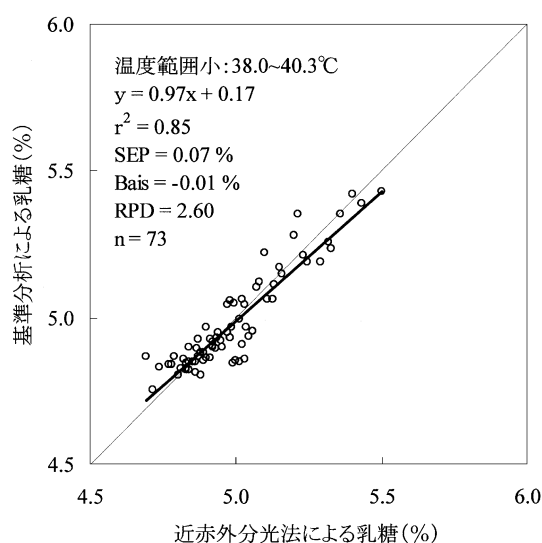


図6 乳糖の測定精度(試料の温度範囲 38.0~40.3°C)
Fig. 6 Correlation between reference lactose and NIR-predicted lactose (temperature range of milk sample: 38.0~40.3°C)

められた。したがってスペクトルには温度の情報が含まれると考えられる。Marcelo ら (Marcelo and Damari, 2004) は検量線作成試料の温度帯に測定する試料の温度が含まれる場合は精度が変動せず、含まれない場合は精度が低下する事を報告している。また河野ら (Kawano et al., 1995) の行った近赤外分光法によるモモの糖度の測定や Sirinnapa ら (Sirinnapa et al., 2003) の行った近赤外分光法によるマンゴーの熟度の検知の研究では、様々な温度の試料を検量線に組み込む事で温度補償が可能になる事が報告されている。

以上のことから、検量線作成試料の温度範囲であれば、乳成分を高い精度で測定できる事がわかった。したがって、様々な温度の試料を安定して測定できる検量線を作成するためには、広い温度範囲から試料を収集して検量線を作成する必要があると考えられる。

V 摘 要

試作した乳質測定装置により、乳成分を良い精度で測定する事ができた。また検量線作成試料の温度範囲内の試料であれば、乳成分を高い精度で測定する事ができた。したがって、様々な温度の試料を安定して測定できる温度補償型の検量線を作成するためには、広い温度範囲の試料を収集する事が必要であると考えられる。

謝 辞

本研究は生物系特定産業技術研究推進機構(生研機構)による「新技術・新分野創出のための基礎研究推進事業(研究課題名:近赤外分光法を基軸とする乳牛生体情報のオンラインモニタリング手法の開発,中課題名:生体情報の無侵襲及び連続測定装置の開発)」により行われたものである。中課題の代表者は伊藤和彦北海道大学名誉教授である。データの収集と解析にあたり、北海道大学農学研究科修士生の于長華さん、杉船大亮さん、農学部卒業生の小菅耕太さんの多大なる協力を得た。ここに記して各位に謝意を表す。

References

- Chen, J.Y., Iyo, C., Kawano, S., 1999. Development of calibration with sample cell compensation for determining the fat content of unhomogenised raw milk by a simple near infrared transmittance method. J. Near Infrared Spectrosc., 7, 265-273.
- Chen, J.Y., Iyo, C., Terada, F., Kawano, S., 2002. Effect of multiplicative scatter correction on wavelength selection for near infrared calibration to determine fat content in raw milk. J. Near Infrared Spectrosc., 10, 301-307.
- Itoh, K., 2001. An instrument for continuous determination of milk constituent contents. Japan Patent Office, Patent No. P2001-91458A.
- Iwamoto, M., Kawano, S., Uozumi, J., 1994a. A Guide to Near Infrared Spectroscopy (in Japanese). Saiwai Shobo, Tokyo, 47-48.
- Iwamoto, M., Kawano, S., Uozumi, J., 1994b. A Guide to Near

- Infrared Spectroscopy (in Japanese). Saiwai Shobo, Tokyo, 51-53.
- Kawano, S., Abe, H., Iwamoto, M., 1995. Development of a calibration equation with temperature compensation for determining the Brix value in intact peaches. *J. Near Infrared Spectrosc.*, 3, 211-218.
- Marcelo, B., Damarih, V., 2004. Influence of temperature on the predictive ability of near infrared spectroscopy models. *J. Near Infrared Spectrosc.*, 12, 121-126.
- Natsuga, M., Kawamura, S., Itoh, K., 2001. Determination of the quality of high-moisture wheat using near-infrared spectroscopy (Part 1). *Journal of JSAM* 63 (1), 93-99.
- Natsuga, M., Kawamura, S., Ito, K., 2002. Effects of wavelength range and light path-length on the accuracy of the constituent analysis of unhomogenized milk using near-infrared spectroscopy. *Journal of JSAM*, 64 (5), 83-88.
- Nourinsuisanshou, 2007. Statistics of livestock (Chikusan toukei) (in Japanese) <http://www.maff.go.jp/toukei/sokuhou/data/shiyou-doukou2007/shiyou-doukou2007.xls>.
- Ozaki, Y., Kawada, S., 1996a. Near-Infrared Spectroscopy (in Japanese). Gakkai Shuppan Center, Tokyo, 101-104.
- Ozaki, Y., Kawada, S., 1996b. Near-Infrared Spectroscopy (in Japanese). Gakkai Shuppan Center, Tokyo, 216-219.
- Sasano, M., 1998. The Management of Milk Quality (Third Edition) (in Japanese). Daily Japan Co., Tokyo, 1-17.
- Sato, T., Yoshino, M., Furukawa, S., Someya, Y., Yano, N., Uozumi, J., 1987. Analysis of milk constituents by the near infrared spectrophotometric method. *Jpn. J. Zootech. Sci.*, 58 (8), 698-706.
- Sirinnapa, S., Jinda, S., Kawano, S., 2003. On-tree evaluation of harvesting quality of mango fruit using a hand-held NIR instrument. *J. Near Infrared Spectrosc.*, 11, 283-293.
- Svennersten-Sjaunja, K., Sjaunja, L-O., Bertilsson, J., Wiktorsson, H., 1997. Use of regular milking records versus daily records for nutrition and other kinds of management. *Livestock Production Science*, 48, 167-174.
- Tsenkova, R., Atanassova, S., Morita, H., Ikuta, K., Toyoda, K., Iordanova, K. I., Hakogi, E., 2006. Near infrared spectra of cow's milk for milk quality evaluation : disease diagnosis and pathogen identification. *J. Near Infrared Spectrosc.*, 14, 363-370.
- Woo, Y., Terazawa, Y., Chen, J. Y., Iyo, C., Terada, F., Kawano, S., 2002. Development of a new measurement unit (Milk-Spec-1) for rapid determination of fat, lactose, and protein in raw milk using near-infrared transmittance spectroscopy. *Applied Spectrosc.*, 56 (5), 599-604.

(原稿受理：2008年1月24日・質問期限：2009年5月31日)