琉球大学学術リポジトリ

連続一体型細裂NIRシステムによるサトウキビ品質評価の試み

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 沖縄農業研究会 公開日: 2009-01-29 キーワード (Ja): 近赤外分光法, 細列NIR法, サトウキビ, 品質評価, 蔗汁糖度, インフラカーナ, 連続一体型測定システム, 低コスト化 キーワード (En): 作成者: 上野, 正実, 平良, 英三, 川満, 芳信, Ueno, Masami, Taira, Eizo, Kawamitsu, Yoshinobu メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002015678

連続一体型細裂NIRシステムによるサトウキビ品質評価の試み

上 野 正 実・平 良 英 三・川 満 芳 信
（琉球大学農学部）

Masami UENO, Eizo TAIRA, Yoshinobu KAWAMITSU:
Trials of evaluation for shredded sugarcane quality using the continuous and integrated type NIR measurement system.

1．はじめに

サトウキビは，重さだけでなく品質も加味して買い上げ価格が決められている．これは農産物の取引では普通に行われていることで，とりたててめずらしいことではない．この仕組み（品質取引制度）は，平成6年度にようやく導入されたもので，他作物に比べて大きく遅れをとっていたとも言える．しかしながら，品質の評価法は近赤外（NIR；Near-Infrared）分光法を使用する世界でも先進のシステムであった．すなわち，品質の良否を表す指標として「甘蔗糖度」（原料中に含まれる糖分の割合）が採用され，NIRで測定した蔗汁の糖度を用いて甘蔗糖度に換算する方法を用いている．導入および運用における多くの関係者の努力が身を結び，深刻なトラブルも発生せず，ほぼ順調に稼動してきた．この間，品質取引制度への理解も深まり，農家にもなじみの深い制度となっている．

この評価システムは，サンプリング，人手によるクリーンケーン（清浄原料）の選別，シュレッダによる細裂，油圧プレスによる搾汁，NIRによる品質測定より構成されている．このように工程が煩雑な上に，多くの人手を要することからコスト高であることが以前より指摘されてきた．導入後10年以上が経過し，機器類も老朽化し，更新すべき時期になっている．これに合わせて品質評価システムの低コスト化を検討することになり，農林水産省，独立行政法人農畜産業振興機構の助成事業「サトウキビ品質取引安定化事業」の一環として「品質取引低コスト化推進事業」が平成14～16年度に実施された．

沖縄県では，従来と異なる新しい品質評価システムとして，搾汁工程を省いて細裂したサンプルから糖度を測定する「細裂NIR法」を中心に検討を進めてきた．中でも，サンプルの投入からNIR測定までの一連の工程を一台の装置で連続的に実行できる「連続一体型測定システム」に重点をおいて試験を行った．並行して卓上機を用いる分離小型測定システムの試験も実施した．これらの試験によって，クリーンケーンであれば細裂試料でも高い精度で測定可能であることを示し，細裂NIR法の有効性を実証した．

これらの成果を踏まえて，沖縄県では細裂NIR法の採用を決定し，平成18年度より，価格面で有利な「分離小型測定システム」が導入された．ここでは，採用は見送られたものの，細裂NIR法導入のきっかけとなった連続一体型測定システムに関する試験検討の経過を紹介したい．3年間にわたって実施した連続一体型測定システムの試験に関する情報を，関係者だけのものとして埋没させるのでなく，多くの人々に

知ってもらうことは大いに意義あると思われる．これによって，新しく導入される細裂NIR法への理解と，品質評価システムが内包する可能性について議論が深まれば幸いである．

2．現行の品質取引業務の問題点と検討事項

1）現行制度の仕組み

本論に入る前に，現行の品質評価システムの概要とその問題点を整理しておく．製糖工場の一角に品質取引室が設置され，工場に到着するすべての運搬トラックの搬入原料を対象にNIRによる糖度測定が実施されている．その工程は図1に示すとおりである．

①トラックに積載された原料から5kg程度のサンプルをコアサンプラで採取する

②サンプル中のトラッシュを取り除き，クリーンケーンとする

③クリーンケーンをシュレッダにかけて細裂する

④500gの細裂試料を採取し，油圧プレスで搾汁する

⑤得られた蔗汁をろ過し，試験管に分注してNIRで糖度測定を行う

⑥蔗汁糖度とバガス糖度（換算式を使用）から甘蔗糖度を算出する

⑦甘蔗糖度の値より価格を決定する

2）現行制度の問題点

現行制度の問題点は次のように要約できる．

①機器の老朽化が著しく，継続使用が困難になりつつある

②工程が多く煩雑な計量作業を要する

③ハーベスタ原料のトラッシュ選別に多大な労力を要し，最大のコスト発生源となっている

④品質取引コストおよび保守管理等委託費が高い

⑤評価システムの保守管理体制の維持が困難になった

3）検討対象となった品質評価システム

これらの問題を解決するためにいくつかの方法が検討対象になった．品質測定法については，①ブリックス法の利用，②旋光糖度法の利用，③蔗汁NIR法の利用，および，④細裂NIR法の利用が取り上げられ，①と④を沖縄県で試験を実施することになった．主な検討項目は，測定精度を中心に操作性，コストなどであった．連続一体型測定システムは④の代表的な方法である．

3．細裂NIR法はこのようにしてもたらされた

このような検討を始めた矢先，トラッシュ率の測定システムを調査するために，平成13年10

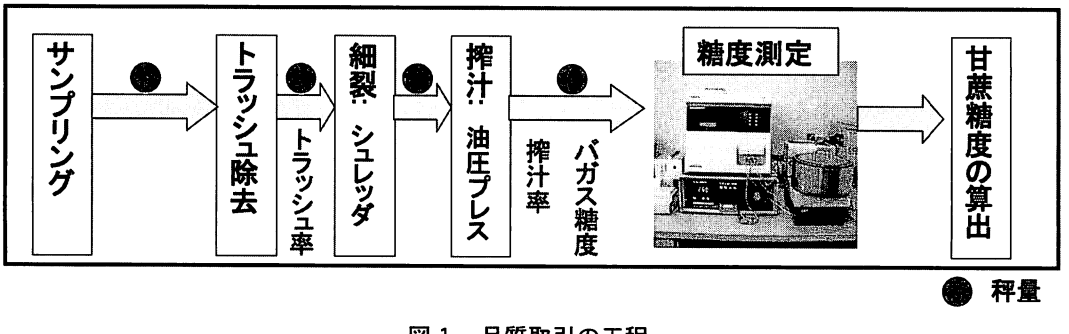


図1．品質取引の工程．

月にオーストラリアを訪問したメンバーから，驚くべき内容の情報がもたらされた（文献３）．オーストラリアでは，細裂原料からNIR法で直接，品質指標を測定し，加えてトラッシュまで測定しているという報告である．このことは，平成14年３月ならびに５月に来沖したオーストラリアの技術者の情報でも確認できた．これを見逃す手はなく，「品質取引低コスト化推進事業」の一環として，オーストラリアにおける品質取引の実態調査を行うことになった．これが細裂NIR法導入の第一歩である．この中では，細裂原料より品質を測定するCAS（Cane Analysis System）に関する情報を収集した．この時の調査内容は，その後の事業推進に大いに参考になったので，ここで簡単に触れておきたい（詳細は文献１）．

オーストラリアでは，品質指標として100年以上CCSが使用され，旋光糖度計やブリックス計などによる従来法で品質が評価されてきた．NIRによる評価システムは最近実用化されたばかりである．わが国のNIR評価システムとの違いは，細裂試料を使用すること，および，製糖工程の中でオンライン測定している点である．シュレッダから第１ミルの間にNIRを設置したオンライン方式（CAS）である．これは，１農家から同時に貨車もしくはトレーラ数台から数十台搬入されるところでないと利用できないシステムである．製糖工程の中の圧搾ラインで現在，誰の原料を処理しているかを判別するトラッキングシステムを用いている．

これに対して，小規模農家が多い地域向けに，計測部分を圧搾ラインから切り離したオフライン方式（InfraCANA；インフラカーナ）も開発され，フィリッピンで試験導入されているとのことであった．これが「連続一体型細裂NIRシステム」である．この調査旅行では実物を見ることはできなかったが，実験事業を企画するきっかけになった．その後，この装置を用いて試験を実施する計画が，メーカーとの間でとんとん拍子にまとまっていった．

さて，もう少し視察で得た知見を述べよう．CASでは，蔗汁ブリックス，蔗汁糖度，繊維率を細裂NIR法で測定し，品質指標CCSを求めている．CASの導入によって，工場だけでなく農家にとっても多くの効果があったとされている．品質評価自体もさることながら，得られたデータの応用がもたらしたものである．その概略は次の通りである．

①品質に応じた適正な価格決定ができる．特に個々のサンプルの繊維率をNIR法ですべて実測してCCSを求めることができる（従来は１日に数点の繊維率を測定してその平均値を用いていた）．

②得られたデータを農家の栽培努力に反映できる．特に，低品質の株出圃場の更新および新植の推進が図られ，大きな効果が得られた．いくつかの製糖工場管内では，NIR測定値を利用した栽培方法や収穫方法改善による品質向上対策プロジェクトが推進されている

③繊維率はトラッシュ率との相関が高いので，収穫コントラクタ（請負い業者）の能力評価にも利用され，それによって作業精度の向上にもつながっている

④CCSを蔗汁糖度などを介さずに直接測定できる（ダイレクトCCS）可能性がある．CCSに替わる新しい品質指標も検討中で，これはNIRの導入によってはじめて可能になった

⑤製糖工程管理の自動化，例えば，ミル処理速度による繊維率の制御，注加水の制御，水－エネルギー効率の向上などが可能になった

⑥CAS導入によるコスト削減効果としてある製糖工場では，品質分析要員を5名から1名に減らせた．繊維とASHをそれぞれ測定するので原料本来のCCSが合理的に求められるようになった．同時に，EXM（異物量，トラッシュ量とほぼ同義）の測定要員が不要になった．以前より歩留が1％向上し，糖回収率が増加した．100万トン工場で60万ドルの増益となり，コスト削減より大きな効果が得られた．その他にも，ミル効率の向上，作型分布の改善，ハーベスタの刈り取り速度の適切化などが図られている

このように，新しい品質評価システムは，NIRインテグレーションとでも呼べるシステム化を実現しつつある．オーストラリアでは，バガスのコージェネ化（文献4）とNIR活用が糖業の構造改革の柱として位置付けられている．NIR導入の最大のメリットは，品質評価コストの直接的な削減よりも，派生する様々な波及効果にある．これらは沖縄糖業の再生を検討する上で大きな示唆を与えるものと考える．

4．連続一体型測定システムとは

1）NIR測定について

ここでNIR測定の概要を説明しておく．NIRは可視光より波長の長い700～2500nmの光と定義されている．物質中を通過する光は少しずつ吸収されつつ進み，残りが透過もしくは反射する．吸収の度合いは，物質の種類やその濃度によって異なり，さらには光路の長さに影響される．また，物質の種類に応じて特定波長の光を吸収する性質がある．例えば，水は1450nm，1906nmなどの光を強く吸収する．これは，これらの波長の光によって水分子の運動が活発になることを意味する．このため，特定波長の光の吸収の程度によって，溶液などに含まれる物質の種類を推定したり，含有量の定量に利用することができる．含有物質の種類とその吸収波長が既知で，濃度を測定する場合には，その波長の光だけを利用すればよい．そうでない場合には，波長を少しずつシフトさせながら（スキャンと呼ぶ）吸収の程度を測定していく．吸収の程度と波長との関係をプロットしたものをNIR吸光度スペクトルと呼ぶ．このスペクトルをベースに多変量解析の手法を用いて，物質を特定する定性分析や含有量を測定する定量分析を行うのが，NIR測定法の基本である．物質の状態と光の吸収程度との関係を示す「ものさし」を作るわけである．このものさしを「検量線」と呼ぶが，その優劣によって測定の精度は異なってくる．したがって，いかに優れた検量線を作成するかが重要な課題である．このようなテクニックは，「ケモメトリックス（Chemo-metrics）」と呼ばれている．

現行NIR法で使用されている検量線は蔗汁を対象としたものであるので，細裂NIR法を採用するには，検量線を新たに作成する必要がある．この作成において，実測値として用いる既知サンプルは，分布幅が広く，母集団の分布に近いものを選ぶ必要がある．すなわち，工場に搬入される様々な原料をすべて網羅するようなサンプルを用いて検量線を作成しなければならない．例えば，検量線作成時のサンプルに収穫後長時間放置された刈置き原料が含まれていない場合には，その糖度を正しく測定できないことも起こり得る．このような想定外のサンプルがでてきたら，それを含めて検量線を再び作成することによって，より優れたものに改良できる．このように検量線は「学習効果」によって使えば使うほど改良されていく性質をもっている．

2）連続一体型測定システム（インフラカーナ）の構造

さて，本論でとりあげている連続一体型測定システムとはどのようなものであろうか．その概観と主要部を図2に示す．これは，前述のように，原料を投入すれば細裂して，サンプルを測定条件に調整し，NIR測定して甘蔗糖度を算出するとともに，サンプルの後始末を行う装置である．原料の投入口，細裂装置，ベルトコンベア，細裂サンプルの打撃式圧縮装置，NIR測定機器，コントローラ，タッチパネル，モニター画面，通信システムなどから構成されている．コンベヤ上に落下した細裂サンプルは一定厚に均された後，打撃式圧縮装置で表面を平滑にしてから光を照射している．

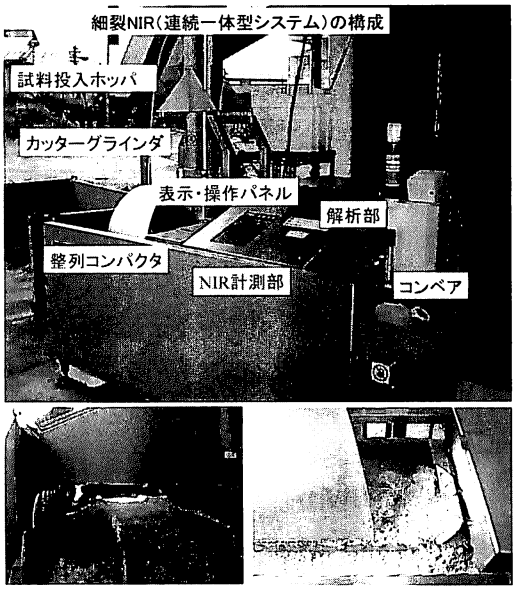


図2．インフラカーナの外観と各部の構造．

この装置の特徴的な部分は細裂装置である．固体サンプルにおける近赤外光の吸収は粒度分布によって影響を受ける．したがって，できるだけ均一に細かく細裂されていることが望まれる．小さく砕くと汁の出やすい状態になるが，こうなると各部に付着するので，測定のたびに洗浄が必要になる．ここで使用されている細裂装置は，カッターグラインダと呼ばれ，原料を小さく刻んだ後にすりつぶすようにして細裂する仕組みで，これらの問題を一挙に解決した優れものである．内部の構造を図3に，他の細裂装置を使用したサンプルとの比較を図4に示す．このように非常に細かくなる上に，ある程度強く圧縮しないと汁はでてこない．手でつかむぐらいでは汁はまったく付かない．

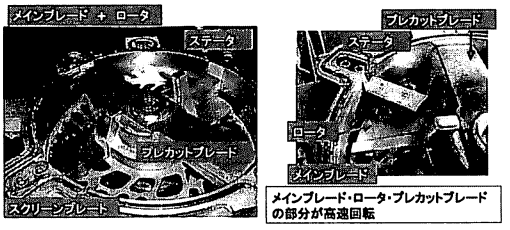


図3．カッターグラインダの内部構造．

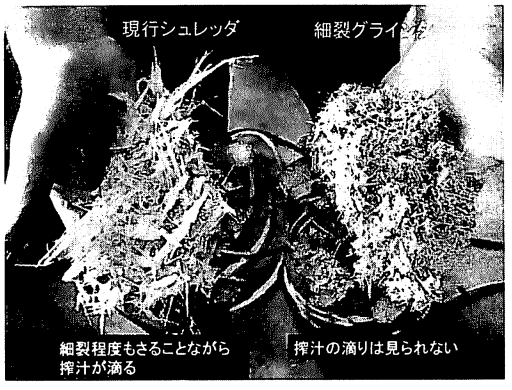


図4．細裂サンプルの比較．

3）連続一体型測定システムの特徴

このシステムでは原料を投入するだけで後は自動的に測定が行われる．したがって，トラッシュ除去を除けば，2名もしくは3名で品質評価業務を行えるメリットがある．極端な場合には一人でも実施できる．後述するが，グロスケーン（トラッシュを含む原料）による品質評価も

しくはトラッシュ率の測定が可能になれば，この人数で品質評価が可能になり，工程が著しく簡便化され，かなりの低コスト化が実現する（図5）.

このシステムはサンプルの代表性が高いことも大きな特徴とされている．現行のシステムでは5kg程度のサンプルをトラックから採取して，細裂サンプルから500gを取り出して搾汁し，その中から試験管半分程度の量を分注してNIR測定を行っている．このように3段階のサンプリングを行っているが，これらの過程において攪拌・混合されるので不具合は生じないとされている．これに対して連続一体型測定システムでは，コアサンプラによる採取1回だけであり，採取サンプル全量のNIR測定を行う．サンプルの増量ももちろん可能である．すなわちサンプルの代表性が大幅に高くなるメリットがある.

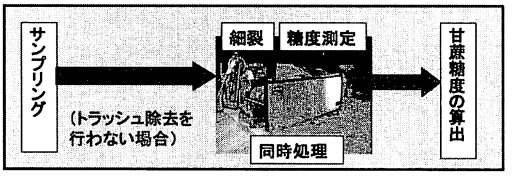


図5．連続一体型測定システムによる品質評価工程.

5．連続一体型測定システムによる品質評価試験

1）試験の目的と内容

本事業は，品質評価システムの更新および改善に向けて，より低コストで合理的な評価システムを模索し，調査・検討することが目的である．その一環として，NIR法を用いて細裂サンプルから糖度，トラッシュ率およびミネラル成分を計測する技術開発を試みた．特に，連続一体型の細裂NIRシステム・インフラカーナを中心に試験を行った.

平成14年度および15年度は，「甘蔗糖度」の測定を中心に試験を行った．並行して，トラッシュ率測定の可能性を検討した．これらの試験は翔南製糖株式会社の品質評価室にインフラカーナを設置して実施した．これより，クリーンケーンであれば細裂サンプルの糖度測定が可能であることを示した．平成16年度は，細裂NIR法による糖度の測定可能性を再確認するとともに，残された課題であるトラッシュ率の測定可能性，および各機器の耐久性やそれに伴う測定精度の影響などについて検討を行った.

①クリーンケーンの糖度測定精度の確認：細裂クリーンケーンの糖度測定の精度を向上させるための試験を行った.

②グロスケーン（トラッシュ込みの原料）の糖度測定精度の確認：グロスケーンの糖度が測定できても，クリーンケーンの甘蔗糖度を使用する現行の制度ではその値を推定する必要がある．そこで，グロスケーンの糖度測定値からクリーンケーン糖度の推定可能性を検討した.

③トラッシュ率測定可能性の検討：グロスケーンの糖度測定と併せてトラッシュ率の測定可能性を検討した．サンプルの調整方法については後述する．一般には近赤外光だけが使用されるが，測定可能性を高めるためにセンサを追加して可視光域まで含めたスペクトルを取得できるように改造した.

④連続一体型システムの耐久性の検討：このシステムはどこかでトラブルが発生すると測定全体が止まってしまう欠点がある．その危険性が高いのは細裂システム（カッターグラインダ）である．この部分は，ブレードが高速で回転しているので異物の混入によって破損や磨耗が発生しやすい．損耗の

程度が著しければ，作業性能（能率および精度）の低下に加えてメンテナンスコストの増加などにつながる．そこで可能な限り多くのサンプルを投入して耐久性のチェックを試みた．

2）試験方法

（1）試験の流れ

試験では，トラッシュを除去した調整サンプル（クリーンケーン）を連続一体型システムに投入してNIRスペクトルを取得し，細裂サンプルを搾汁し，糖度，ブリックスなどを計測した．その手順を図6に示す．

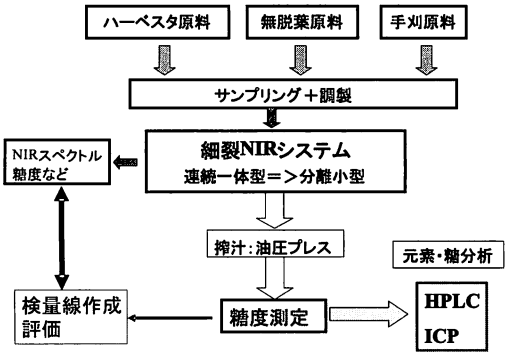


図6．試験の流れ．

（2）試験の経過

インフラカーナに関する試験の経過は次の通りである．

①平成14年度：平成15年2月末に，翔南製糖株式会社にインフラカーナを設置して製糖収量まで予備試験を実施した．

②平成15年度：平成15年12月より平成16年3月まで，翔南製糖株式会社で実施した．同年11月下旬にインフラカーナを設置し，12月8日より予備試験を開始した．12月下旬に旋光糖度計およびブリックス計を設置して本試験の実施体制を整えた．平成16年1月より本試験を開始し，最初はクリーンケーン糖度の測定可能性を試験した．3月よりトラッシュ率の測定可能性の分析を行った．

③平成16年度：平成16年11月より平成17年3月まで，沖縄県農業試験場および石垣島製糖株式会社で実施した．同年9月25日にインフラカーナを沖縄県農業試験場に設置し，トラッシュ率の測定可能性を調べるために可視光域取得センサの設置など内部システム変更を行った．11月8日より本実験を開始した．平成17年1月29日より，インフラカーナを石垣島製糖㈱に移設して3月31日まで試験を行った．

（3）トラッシュ測定のためのサンプルの調整

トラッシュは砂糖をとりだすことのできない葉，梢頭部，根，土砂などを意味する．原料中に含まれるトラッシュの重量百分率をトラッシュ率と呼んでいる．取引においてはトラッシュを除いたクリーンケーンの重量と甘蔗糖度で価格が決定される．トラッシュ率は，価格に影響するだけでなく，その測定に多大な労力とコストを要するので，低コスト化における懸案事項である．この件に関して，①トラッシュ率の測定可能性の検討，②グロスケーンの甘蔗糖度の測定可能性の検討，③グロスケーンの甘蔗糖度の測定値よりクリーンケーンの甘蔗糖度推定可能性の検討を行った．

これらの中で③は②のバリエーションであるが，現行の品質取引制度ではクリーンケーンをベースとしていることから，必要となる検討事項である．③はトラッシュ率の測定も必然的に含むので，③に関するサンプルの調整について述べる．まず，30cm程度に切断した原料茎を縦に2分割し，それぞれ2つのグループに分けた．これによって糖度の等しい2組のサンプル

が得られたことになる．その一方に予め準備したトラッシュを所定量混合した．もう一方はクリーンケーンのままで供試した．このサンプル調整の様子を図7に示す．

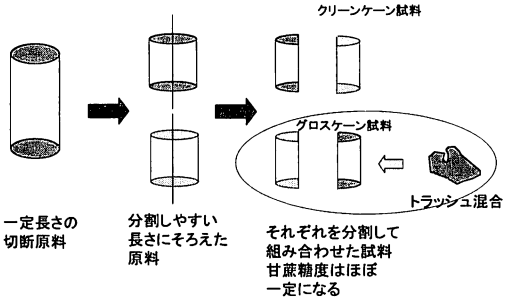


図7．サンプル（クリーンケーンとグロスケーン）作成の方法．

3）クリーンケーンの糖度の予測結果

（1）平成14年度

機器の設置の都合で試験期間が1ヶ月弱と短く，また，測定精度の確認は現行NIR法との比較しかできなかった．このため，測定精度確認の意味では参考程度にしかならなかったが，利用できる可能性が高いことがわかった．

（2）平成15年度

図8に，インフラカーナによって測定した蔗汁糖度の予測結果を示す．これはメーカーから提供されたグローバル検量線をベースに，測定値に合うように改良した検量線である．横軸は旋光糖度計による実測値で，縦軸はNIRによる予測値を示す．モデル検量線は，100個のサンプルの測定値を用いて作成した．この検量線の測定精度，すなわち糖度が未知のサンプルに対してどの程度の適用性をもっているかを，62個のサンプルで確かめた．検量線を作成する時の標準誤差（SEC:Standard Error of Calibration）は0.33％であった．また，未知サンプルを予測した時の標準誤差（SEP: Standard Error of Prediction）は0.36％であった．標準誤差は，検量線で算出する値と実測値との誤差の標準偏差で，この値がゼロに近いほど検量線の予測精度は高いことを意味する．特に，SEPの値が重要である．NIR検量線には，「学習機能」をもたせることができるので，SEP値はより小さくなるものと思われる．また，品質指標である甘蔗糖度は，蔗汁糖度とバガス糖度より次式で算出するので，蔗汁糖度より小さな値になる．これは標準語差も小さくなることを意味しており，実用上，高い精度の検量線が得られる．

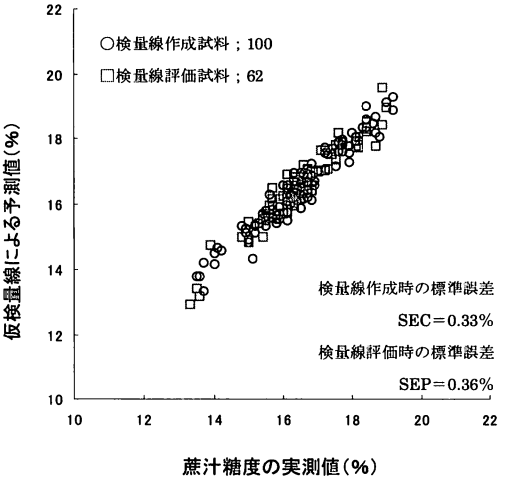


図8．蔗汁糖度の予測結果（平成15年度）．

（3）平成16年度

①クリーンケーンの品質評価

前年度に引き続き，クリーンケーンの糖度の予測精度の確認および検量線の改良を行った．まず，縄県農業試験場で試験を実施した．サンプル数は158個で，蔗汁糖度の平均値は16.85％，標準偏差は0.88％のデータである．SECは0.30％で前年度より高い予測精度を示した．この年度の後半は，試験装置を石垣島製糖株式会社に移して，ハーベスタ原料を含む多様なサンプル

の試験を行った．図９はクリーンケーンの蔗汁糖度の予測結果を示したものである．サンプル数は310個で，蔗汁糖度の平均値は15.84％，標準偏差は1.78％のデータである．農業試験場で行った試験のサンプルに比べて，糖度の分布幅が広くほぼ実際に近いサンプルであると判断される．SECは農業試験場での結果と同じく0.30％と高い予測精度を示した．これらの試験によって，クリーンケーンであれば蔗汁糖度を高い精度で予測できることを再確認できた．上述のように，蔗汁糖度を甘蔗糖度に換算すれば標準誤差の値は0.30％より小さな値となる．

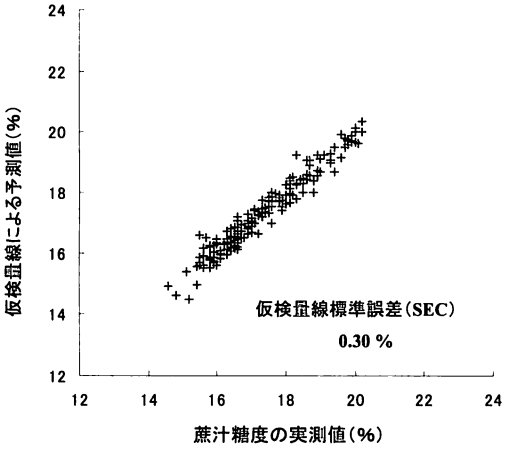


図９．蔗汁糖度の予測結果（平成16年度，石垣島製糖株式会社）．

②蔗汁糖度検量線の適合性とその評価

ところで，平成15年度と16年度はそれぞれ異なる検量線を用いて蔗汁糖度の予測を行った．すなわち，それぞれの年度のサンプルに最も適合するように検量線を作成したもので，このままでは一般性の高い検量線とは言いがたい．そこで，平成15年度（翔南製糖株式会社）に作成した蔗汁糖度検量線の適合性を確認するために，平成16年度に石垣島製糖株式会社で測定したデータを用いて検量線の評価を行った．また，その逆の評価も行い今後の検量線作成の基礎資料を得た．その結果は，いずれも標準誤差は0.70％程度となり，誤差が大きいことが判明した．そこで，上述の２年間のデータを総合して新しい検量線を作成した．その結果を図10に示す．蔗汁糖度のSEP値は0.34％となり，収穫期や場所の異なるデータを統合すれば，より適合性の高い検量線を作成できることを確認できた．これらの対照分析において実測値の測定に使用したブリックス計，旋光糖度計は事情によってそれぞれ異なるものを用いざるを得なかった．特に，平成15年度は古い旋光糖度計を用い，使用環境も好適とは言えない状態であった．したがって，これらの分析機器を統一し，使用条件をそろえることによって，さらに高精度な検量線を作成することが期待できる．

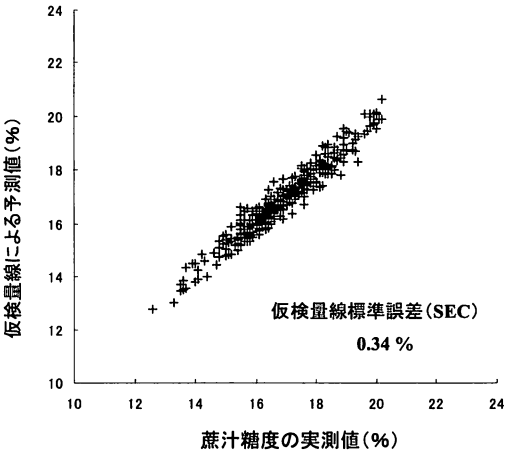


図10．統合検量線による蔗汁糖度の予測結果．

４）グロスケーン仮検量線の作成

品質評価業務の中で最も人手とコストを要するのはトラッシュの選別である．手刈原料だけであればこれはほとんど不要に近い作業であるが，各製糖工場ともにハーベスタ原料の占める割合が増えつつあり，重要な作業となっている．最近では，手刈でも梢頭部だけを切除した無調

整原料の比率も高くなっており，原料にトラッシュが混入する割合が高くなっている．トラッシュには様々なものが含まれ，また，原料茎に固着した葉などがあるために，機械による選別は困難である．関係者にとっては何とかしたい作業である．したがって，細裂NIR法でトラッシュ率が測定できれば，大きな低コスト化効果が得られる．

トラッシュ率の測定については後述するとして，それに替わる方法としてトラッシュを含んだままの原料すなわちグロスケーンの蔗汁糖度の測定を試みた．その結果を図11に示す．これは石垣島製糖株式会社で試験を行ったもので，サンプル数326個，蔗汁糖度の範囲は10～20.2％，平均値16.16％，標準偏差2.02％であった．これらのサンプルは，手刈原料，無調整原料およびハーベスタ原料と多様である．残念ながら，時間の都合と測定法自体の問題から，トラッシュ率は測定できなかったが，実際に近い範囲のものであった．蔗汁糖度予測のSECは0.51％で，クリーンケーンの予測精度に比べると明らかに低い値であった．しかしながら，実用的には十分に可能性のあることを示す精度である．

現在の品質評価はクリーンケーンを基準とし，それによる甘蔗糖度で価格体系が決められている．もし，グロスケーンから得た甘蔗糖度で価格を決めることができれば，トラッシュの問題は一気に解決する．上述のようにグロスケーンの甘蔗糖度のNIR測定は十分に可能である．したがって，制度に少しの変更を加えれば品質評価における問題解決につながる．さらに，ハーベスタ原料が増えつつある中で，実質的な糖度を表していることになり，製糖工程の管理にも有効に活用できる．今後の検討課題のひとつであろう．

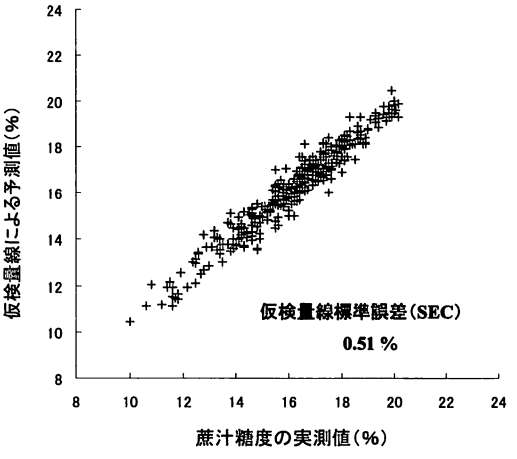


図11．グロスケーンの蔗汁糖度の予測結果

5）トラッシュ率測定に関する検討

トラッシュ率の測定は実に面倒である．測定だけならまだいいが，トラッシュを含んだ状態すなわちグロスケーンのNIRスペクトルを取得する必要がある．グロスケーンからトラッシュを一旦分別した後に再び混合してNIR測定をせざるを得ない．このため，NIR測定に利用するサンプルは攪拌されたもので，元のものとは細裂状態が異なることも起こり得る．人為的にトラッシュ率を0～50％の範囲に調整したサンプルを用いてNIR測定を試みた．得られた標準誤差は5.4％となり，かなり大きな誤差を含む結果となった．実測値と予測値の関係は曲線状になっており，トラッシュ率の範囲が広いので，単一の検量線では対応が難しいと思われた．また，50％程度のトラッシュ率がでるのは異常な場合であり，通常は30％以内である．そこで，30％以下のサンプルに限定して再度，予測を試みた．その結果，SECは3.3％となり，予測精度は大幅に向上した．どの程度の誤差であれば許容できるのか，また，どこまで予測制度をあげられるのか，今後，機会を捉えて検討を継続したい．

6）ダイレクト検量線の検討

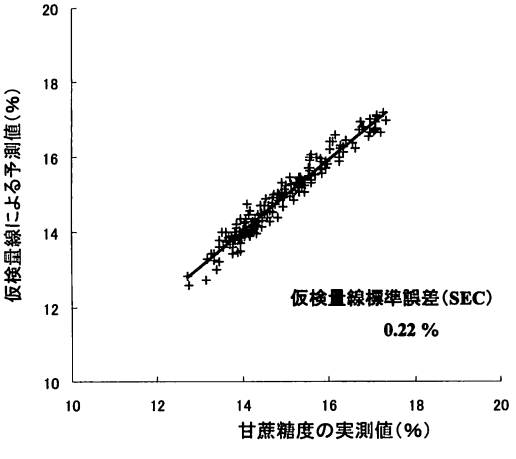
現行の品質評価システムでは，蔗汁糖度をNIR測定し，搾汁率を実測した上で，バガス糖度の換算値と合わせて次式で甘蔗糖度を求めている．

甘蔗糖度＝蔗汁糖度×搾汁率／100＋（1－搾汁率／100）×バガス糖度

バガス糖度＝0.41631×蔗汁糖度＋0.87141

細裂NIR法では搾汁を行わないので，この方法を踏襲するのであれば搾汁率を予測する必要がある．搾汁率は通常70％程度であるが，NIR予測標準誤差は0.8％であり，高い精度で予測できることがわかった．このように，蔗汁糖度と搾汁率のNIR測定が可能であるので，甘蔗糖度の予測は十分に可能である．

しかしながら，この方法ではいくつかのステップを踏んで間接的に求めることになる．細裂NIR法では，細裂サンプルからNIRスペクトルを取得しているので，蔗汁糖度などを介することなしに，そのまま甘蔗糖度を求める方法が考えられる．そこで，検量線を作成して甘蔗糖度の予測を試みた．その結果を図12に示す．結果は極めて良好で，細裂NIR法を採用するのであれば，このようなダイレクト検量線を利用することになろう．また，グロスケーンによる甘蔗糖度で品質評価を行うことになればダイレクト検量線が不可欠となる．



＊甘蔗糖度は旋光糖度計による蔗汁糖度と搾汁率から求めた値。
＊＊予測値はスペクトルより直接，算出

図12. ダイレクト検量線をよる甘蔗糖度の予測結果.

6．低コスト化推進の方向性に関する検討

1）基本的考え方

以上のように，クリーンケーンであれば細裂NIR法で高い精度で甘蔗糖度を予測できる．さらには，グロスケーンを利用すればトラッシュの問題は回避できそうであることがわかった．これらの結果をベースに品質評価システムの低コスト化について検討を行った．

低コスト化は，①文字通りコストを下げる，②付加価値を付けて相対的にコストを下げるかのいずれかによって実現される．両者を満足させるのがもっとも理想的である．①が実現できても，②につながらなければ最終的には大きなマイナスを引き起こす懸念もある．したがって，両方を勘案しつつ，よりよい方法を模索する必要がある．これより，沖縄県における品質評価法のあり方および低コスト化推進の方向は次のように整理された．

①NIR 法の利用を継続する

②クリーンケーンによる細裂NIR法を採用する

③トラッシュ率測定は魅力的な項目ではあるが，現時点での導入は時期尚早と判断される

2）細裂NIR法の拡張性

最近のNIR機器は，小型化・高性能化・低価格化が進み，糖度を算出するソフトも高度化している．すなわち，導入時に比べると大きく進

歩しており，学習機能によって様々な種類の原料に柔軟に対応できる．したがって，最も必要な甘蔗糖度の測定には，細裂NIR法による直接計測が有効かつ精度も高いと判断できる．NIR法は検量線による演算を行うのでコンピュータとの連携は基本的機能として装備されている．このためネットへの接続や自動計測が容易であり，計測システムの構築が容易である．さらに，NIR法では糖分以外の成分測定も可能であり，品質評価システムを利用した栽培管理の改善などへの拡張によって品質取引制度本来の意義「高品質キビの生産」を実現できる．多くの関係者から期待されているトラッシュ率測定の可能性も残されている．今，喫緊の懸案となっている「集落営農」体制の確立においてもNIR法の利用が可能である．すなわち，NIR法はシステム化や拡張性に優れ，将来への展望があると言える．

7．結び

以上，連続一体型細裂NIRシステム（インフラカーナ）による品質評価法の検討経過を述べた．この試験結果は海外でも注目された（文献5）．結局，この方法の採用は見送られた形となったが，細裂NIR法採用への大きなきっかけになった．これによって，従来の方法を踏襲しつつ，より拡張性の高いシステムとして今後の展開が期待される．トラッシュに関連する測定技術とN，P，Kなど多成分測定技術の確立が急がれる．海外ではインフラカーナの導入例も増えつつあるようだ．本事業には農林水産省，独立行政法人農畜産業振興機構を始め，沖縄県糖業振興協会や多くの機関・団体・企業の支援・協力があった．加えて，試験にも多くのメンバーが参加し，一致してその遂行に取り組んできた（文献2，6，7）．これらが相乗的に作用してよい結果を生み出したと言える．本論の最後に紹介して感謝の気持ちを伝えたい．

参考文献

1）上野正実．2002.10．NIR・コージェネ・コンビネーション・オーストラリア糖業調査旅行走り打ち．平成14年度品質取引低コスト化事業推進事業海外（オーストラリア）事例調査報告書作成のためのメモノート．

2）平成15年度サトウキビ品質取引安定化事業品質取引低コスト化推進事業実績報告書．社団法人沖縄県糖業振興協会．2004．3.

3）赤地徹・上野正実・川満芳信・大田守也・比屋根信一・上原数見・津嘉山珍健．2004.5．サトウキビ品質等の新しい測定システムとコージェネレーションの取り組み（アメリカ，オーストラリアの調査結果から）．沖縄農業．第37巻第1号．35－45.

4）上野正実．2004.11．サトウキビのバイオマス利用による産業構造の強化と環境保全．今月の視点．砂糖類情報．No.98．1－12．独立行政法人農畜産業振興機構.

5）Eizo Taira. Masami Ueno. Yoshinobu Kawamitsu. Yoshitake Tsukayama Sugar content and trash measurement for shredded sugar cane using NIR. Proceedings of the XXV Congress of International Society of Sugar Cane Technologists (Guatemala City). Vol. 1. 3-8. 2005. 1-2.

6）平成16年度サトウキビ品質取引安定化事業品質取引低コスト化推進事業実績報告書．社団法人沖縄県糖業振興協会．2005．3.

7）平成17年度細裂ＮＩＲ測定システム確認・試行試験調査実績報告書．社団法人沖縄県糖業振興協会．2005．3.