

果樹栽培支援のためのウェアラブル型情報端末

内尾 文隆・瀧 寛和

A Wearable Information System to Support Citrus Fruits Cultivation

Fumitaka UCHIO and Hirokazu TAKI

In this paper, we introduce an information system to support citrus fruits cultivation by wearable devices. The supporting method consists of two sub-systems, one is a data logging and retrieval system for the sensed information which contains conditions of fruit trees. Another is remote evaluation system for diagnosis of plant disease using video communication. We have developed the data logging and retrieval system based on a wearable type computer. The farmers can cultivate plants using the knowledge and information of the system. The video communication function is important technology to transmit effective information between farms and related institutes. Especially, it is applicable to various kinds of remote evaluation system that transmits video images between remote users. We try to evaluate this system in a real farm, and we found that it is useful for the communication of the system using a narrow bandwidth network such as a cellular phone.

Key words: wearable computer, sensed information, cultivation support system, diseases and pests diagnosis, video conference system

人間の経験と勘に頼った農業に対して、リモートセンシング、GPS (global positioning system), GIS (geographic information system) 技術を使ったプレジジョンファーミング (精密圃場管理) が欧米で盛んに研究されている。この精密圃場管理とは、衛星または航空写真などから得られる画像をもとに農作物の吸水量、肥料などの生体情報を計測し、この計測結果が圃場内でどのように分布しているかを調べる。次に施肥量や散水量を細かく調節するため、GPS 搭載のロボット (トラクター) で計測結果をもとに圃場内の場所・状況に応じた水、肥料の散布を行い (可変散布)、収量の増加や肥料、水、除草剤の削減をし、環境負荷を低減させる農法である¹⁾。欧米の精密圃場管理は非常に広大な土地を基準に開発されている。すなわち広い圃場であるために必要となる莫大な労力の削減が主目的にある。

一方わが国での農作業、とくに果樹栽培ではたかだか1 ha 程度の圃場での作業であるため、欧米で研究されてい

るレベルの精密圃場管理はすでにマンパワーを駆使することにより行われている。とくに果実は、収量だけではなく果物としての味や外観の美しさという付加価値も求められる。したがって欧米で考えられている精密圃場管理よりもさらに精密な圃場の管理が求められる。

日本での精密圃場管理の研究は始まったばかりである。これまで行われてきた研究はGPS 搭載トラクターのように欧米型の大規模農業のスタイルを延長した、軽労化をめざした研究であり、果樹栽培のような傾斜地で小規模農家に適した精密圃場管理の研究はほとんど行われていなかった²⁾。

ところで和歌山県では、果樹の生産が県の全農業生産高で1位を占めており、重要な農作物のひとつとなっている。しかし、高品質な果樹の栽培は開花、結果などの成長時期に合わせた施肥、灌水の微妙な調節、剪定など多くの経験と勘を必要とする。果樹、とくにミカン起伏に富ん

和歌山大学システム工学部 (〒640-8510 和歌山市栄谷 930) E-mail: uchio@sys.wakayama-u.ac.jp

だ地形で栽培されることが多く、地形の影響を考慮した施肥、灌水の調節が必要となり問題をさらに困難にしているばかりではなく、ロボットのような機械化が困難な原因にもなっている。高品質な果実を安定した収量で生産するためには経験者の高度な勘と経験による栽培以外に方法がなかった。

農家の高齢化は非常に早いペースで進んでおり、和歌山県のミカン産地である有田でも6割が50歳以上になっている。1995年から5年間に農業従事者数が4割減少している。さらに、果樹は1年のサイクルで生育が行われるために果樹栽培を1度経験するためには1年の歳月が必要である。したがって果樹農家の新たな育成には非常に長い年月が必要であるために早急な対策が必要である。

果樹の中でもミカンについて考えると1997年より農水省の補助金により、選果場に非破壊センサーの導入が急速に進んでいる。これにより収穫したすべての果実について1個ずつ外観、糖度、酸度を厳密にチェックし、価格を決定しているため高品質な果実を多く生産しなければ農家は安定した収入を確保できなくなってきた。したがって、高品質な果実の栽培を支援するためのシステム開発が急務である。

果実栽培に高精度センシング技術、コンピューター技術、通信技術を組み合わせた新しいタイプの精密圃場管理システムを導入できれば安定的に高品質果樹の栽培が可能になってくる。これまで筆者らは和歌山県の主要農産物である果実、とくにミカンを対象にして栽培支援の研究を行ってきた。これは農作業ロボットの開発をめざすのではなく、人の知的な作業（経験、勘）を支援するシステムの開発であり、人間の知的能力を肩代わりする（軽能化）システムについての研究である。

この研究はいくつかの重要なコンポーネントで構成されている。1つは果樹の栄養状態を高精度に計測するセンシング技術である。もう1つはウェアラブルコンピューターのような通信機能をもった装着型コンピューターにセンシングデータを蓄積し、栽培の参考になる果樹毎のカルテ、栄養情報を提示し、栽培履歴記録を参照することのできるシステムである。また端末を通してリアルタイムな動画像や音声通信を行うことができれば病害虫の遠隔診断システムや病害虫データベースと組み合わせることで栽培から病害虫の防除までの総合的な栽培支援も可能になる。本論文では果樹栽培支援のためのウェアラブルコンピューターとその機能について解説する。

1. 果樹栽培と支援端末

高品質な果樹を栽培するためには各果樹の状態に応じた施肥、灌水、剪定等を適切に行わなければならない。とくに水の制御は果実品質に大きく影響する。果樹は適度な渇水状態に置かれることで高い品質の果実を生産する。しかし、いきすぎた渇水や灌水の過多は果実の品質低下を生む。これまでも高品質果樹を栽培するためのノウハウは研究されており、研究論文ばかりでなく一般農家向けの書籍も販売されている³⁻⁵⁾。しかしこれらノウハウを用いれば必ず高品質果樹が栽培できるということではない。各果樹の状態や周りの環境を正確に判断して微妙に栽培法を変えなければ高品質な果樹は栽培できない。これまではこの判断を農家の目視と勘に頼って行われてきた。しかし、この判断を正確に行うためには長年の経験を必要とするために、農家の育成に多大な時間が必要となる原因となっていた。この問題を解決するために個々の果樹の栄養状態をセンサーで計測し、その値の推移を農家に提示することで栽培の支援を行うシステムの開発が必要である。次に栽培支援のためのウェアラブルコンピューターを用いた端末について解説する。

2. ウェアラブル型の農作業端末

果樹栽培において高品質と収量を両立するためには個々の果樹に対してきめの細かい作業を行う必要がある。そのためには現場で過去の栽培履歴や栄養状態の時間変化が非常に参考になる。これまでノート型コンピューターやPDA (personal digital assistant) を用いた研究があった^{6,7)}。これらノート型やPDAは机を前提にしているが、両手を使うことを前提に開発されている。しかし個別果樹への施肥や剪定作業は両手を使って行うため、できるだけ両手が自由な状態での端末利用が望ましい。

2.1 機能の概要

近年ヘッドマウントディスプレイを備えたウェアラブルコンピューターが色々な分野で利用され始めている。たとえば、航空機のエンジンで、大量の整備マニュアルを参照しながら整備をする例がある。このようにウェアラブル型コンピューターの最大の特徴はコンピューター画面を見ながら両手で作業できる点にある。このウェアラブルコンピューターを農作業に利用すれば、農作業と情報の閲覧を同時に行うことができるため、端末操作、果樹への作業への切り替えといった余分な作業がないために作業効率が向上する。

果樹におけるウェアラブルコンピューターの使用例を図1に示す。またシステム構成図を図2に示す。頭部に装着

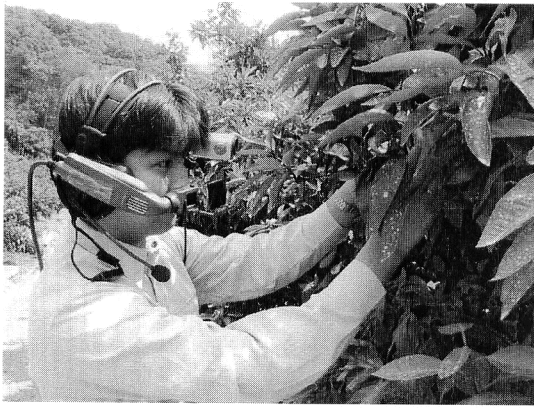


図1 ウェアラブル型情報端末の利用例。

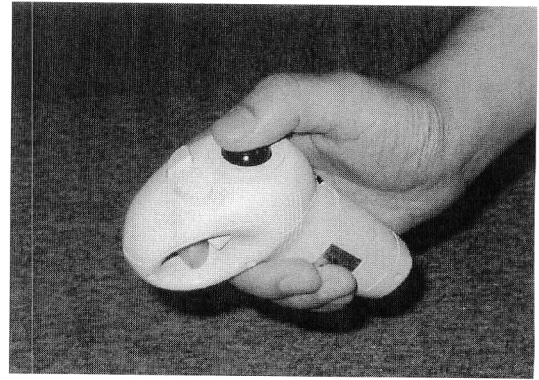


図3 ポインティングデバイス。

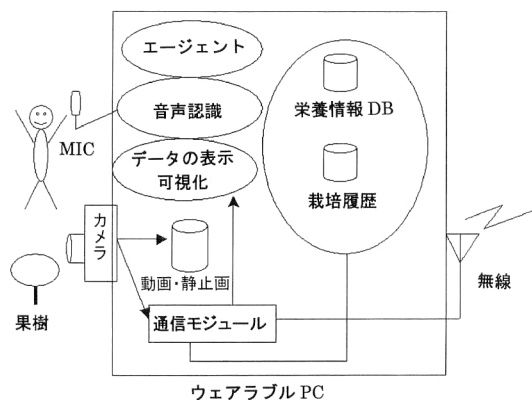


図2 システム構成。

しているヘッドマウントディスプレイに表示装置，マイク，ヘッドホン，カメラを装着しており端末からの情報は顔面のモニター上に表示される。また，カメラとマイクを搭載することで，筆者らが開発中の遠隔病害虫診断システムを用いれば携帯電話等により遠隔地からの指示をリアルタイムに音声で受けながら，現場の画像を遠隔地に伝送し専門家の指示を受けることも可能である。さらに音声認識機能を用いることで，音声を用いて端末の操作を行うことも可能になる。

ウェアラブルコンピューターを用いた農作業端末を開発するために，果樹栽培の専門家にインタビューを行った。その結果以下に述べる意見を得た。

- ① 圃場で気がついたことを手軽にメモとして保存したい
- ② 圃場に入る前に各果樹に対する作業を決めておく場合が多い
- ③ 剪定等の作業は履歴として保存したい
- ④ 剪定作業の程度を画像として保存したい
- ⑤ 個々の果樹について樹齢，品種，高継の表示がほしい
- ⑥ 個々の果樹と近傍の果樹の栄養状態を一度に見たい

これら要求を満たすために果樹栽培支援のための端末の機能として次に述べる機能を実装した。ウェアラブルコンピューターの OS としては Windows CE を使い，実装には VisualBasic，音声認識システムとして ViaVoice を用いて行った。特徴は以下に述べる通りである。

- ① Windows CE を搭載した PDA で動作できるようにソースコードの共用化

Windows CE を用いたウェアラブルコンピューターも開発されており，動画通信等の高度な機能を必要としない農家の場合は Windows CE を用いたほうがハードディスクを搭載しないために堅牢性の点で有利であり，システム価格を抑えることもできる。

- ② 個々の果樹について栽培作業履歴の記録機能
- ③ 事前に立てた栽培計画をチェックリストとして登録
これは，作業内容を簡単な操作で栽培履歴に移動できるようにチェックリストとして登録できる機能を搭載した。これにより農作業中の端末操作はチェックリストから選択するのみでよく，キーボードからの入力を最小限に抑えることができる。
- ④ GPS を用いた近隣果樹データのリアルタイム表示機能

GPS を用いることで，現在の場所の近隣にある果樹の情報が自動的に表示される。

- ⑤ 近隣果樹データの比較機能
作業場所の周辺果樹の状態を同時に見ることができ機能を搭載している。これは，今注目している果樹に渇水等の異常がある場合，この異常がこの果樹特有の現象であるか，または周辺環境の影響によるものかを簡単に調べることが可能である。
- ⑥ 剪定作業量の保存機能

剪定前後の静止画を保存することができる。これでおおよその剪定による刈り込み量を記録することがで

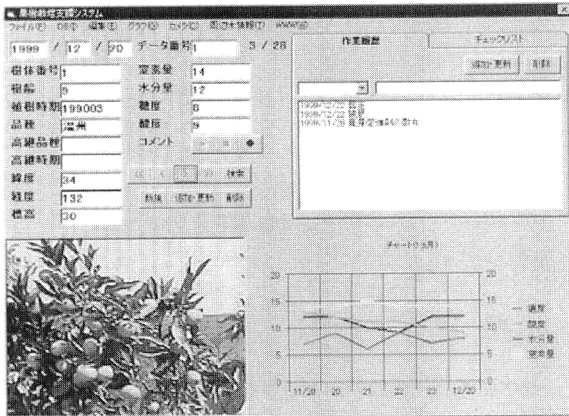


図4 表示例.

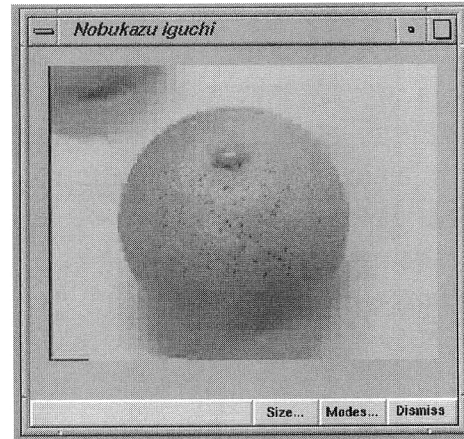


図5 画像伝送例.

きる。

⑦ 音声認識機能

ViaVoiceを用いた音声認識機能を搭載している。大半の操作は音声により操作が可能である。しかし、音声認識は外界のノイズやシステムから発生するノイズなどの影響を受けて誤認識する場合もある。このような場合、訂正作業のために著しく操作性が低下し、実用上問題がある。したがって音声認識と同時にマウスによる操作も可能である。ウェアラブルという特性を考えてワイヤレス型のトラックボールを採用した(図3参照)。

⑧ 音声メモ機能

現場で気づいたことや、メモを音声として記録できる機能も搭載している。メモ内容は作業終了後音声認識システムを利用して、テキスト化を行うことも可能である。

実際の表示例は図4に示すようになっている。

2.2 遠隔病害虫診断機能⁸⁻¹⁰⁾

一般に、農作物に発生した病害虫の診断は、作物に発生した病害箇所の外観の観察から開始される。このとき、専門家であれば、病害虫の発生した農作物を手にとらなくても、病害虫が発生した農作物の画像による観察で対応できる場合がある。たとえば、顕微鏡画像をディスプレイに写し、同じ画像をみながら複数の専門家によって行われる診断はすでに実施されており、これは画像による観察の一般的な事例である。観察したいポイントを画像データとして扱うことができれば、コンピューターネットワークを利用した遠隔診断が実現できる。機能は、地理的に離れた場所に存在する利用者が、コンピューターネットワークを通して画像データを交換することで、遠隔地にいながらにして病害虫の診断が可能となる。本システムでは、送信者が病害虫の診断を依頼する側になり、受信者が病害虫を診断す

る側になる。画像の送信者は、診断を依頼したい農作物の画像をビデオカメラから取り込み、ビデオツールを利用して画像データを転送する。画像を受信した専門家は、その画像を用いて診断を実施し、適切なアドバイスを行う。

経験ある農家でもすべての病害虫を経験できるわけではないため、ありふれた病害虫でも原因がわからない場合がある。このような場合、動画画像を現場から発信することができれば即座に診断が可能になる。一般に圃場では電源がなく、ネットワークのアクセスもできない場合がほとんどであるため、携帯電話等の狭帯域の通信路を用いる必要がある。第三世代携帯電話のサービスが始まっているが、FOMAを例にとると、データ通信は64 kbpsで、パケット通信で384 kbpsの通信が可能である。パケット通信は一見高速に見えるが、送信と受信の速度が非対称で送信は64 kbpsである。したがって圃場からの遠隔診断を考えた場合64 kbpsの速度で診断画像を送信する必要がある。

病害虫の診断を画像データに頼る場合は、1つの画面の中には診断に必要な画像(注目領域)と不要な画像(非注目領域)が含まれている。このとき、診断に不要な画像は、送信しなくても診断には支障をきたさない。不要な情報は送信せず、診断に必要な情報だけを選択して送信する。不要な情報を送信しないことでデータ量を削減し狭帯域回線でも動画画像情報の転送が可能となる。図5に本機能を用いた通信例を示す。図5では中心部が注目領域で、カラーでかつ高精細な画像であるが、周辺は白黒で粗い画像である。このように周辺の情報量を削減することで、携帯電話のような比較的狭帯域な通信路を用いて、全体の画像を観察しながら診断に必要な部位を詳細に観察することが可能である。本機能は現在Linux上に実装されているが、今後本端末に移植予定である。

本論文では、果樹栽培の知的支援を効果的に行うウェアラブル型の果樹栽培支援端末について述べた。本特集で解説されているような高性能センサーと本ウェアラブル型端末を用いることで、初歩的な栽培支援を行うことが可能になった。今後さらに十分な支援を行うためにはさらなる技術開発が必要である。

最後に本端末に残された課題について述べる。

(1) 果樹生育モデルの開発

露地での果樹の栽培は、気象の影響を受けるために必ずしも最適な状態を維持できるとは限らない。たとえば、台風等の影響で大量の降雨があった場合、灌水を抑制することでもう一度理想的な状態に誘導する必要がある。しかし、生体の状態をどのように調整すれば理想的な栽培であるかは、果樹が生育する過程をモデル化しそのモデルを利用しつつ栽培方針を決定する必要がある。現在このモデル化のために、文献データからのモデル抽出を研究中である¹¹⁾。

(2) センサーネットワークとの対話機能

筆者らは、果樹に対して、自身の栄養状態を計測するセンサーと最適な栽培を決定するための情報処理能力、および相互の通信装置をもち外界に対して水や肥料、病害虫からの処置を要求するセンサーネットワーク型栽培支援の研究を行っている¹²⁾。スプリンクラーに小型コンピューターを取り付けることで、各果樹からの灌水要求を受けて相互利害関係を調停しながら散水を行う。今後、この果樹やスプリンクラーとリアルタイムに対話しながら栽培方針の決定や病害虫による生体の異常など、緊急事態に対応するための対話機能を本端末にもたせる必要がある。

(3) 農作業に適したウェアラブルコンピューターの開発

今回用いたウェアラブルコンピューターはザイブナー社製を用いたが、もともと想定されている利用法が室内またはそれに準じた環境である。しかし農作業の場合はスプリンクラーによる散水の影響や泥が機械内部に侵入する可能性がある。また、ディスプレイをはじめ突起物が多いため、

圃場に入った場合、葉や枝と接触し危険である。本当の意味での農作業支援端末はこれまで開発されてきたウェアラブルコンピューターと異なった圃場利用に適した設計が必要である。

本研究は農林水産省委託プロジェクト「データベース・モデル協調システムの開発」補助により行った。ここに記して謝意を表す。

文 献

- 1) 農林水産省農林水産技術会議事務局編：農林水産業の高度情報システム（農林水産技術情報協会，1998）pp. 71-83.
- 2) 木瀬道夫，野口 伸，石井一暢，寺尾日出男：“DGPS を利用した農用移動ロボットのナビゲーション”，農業機械学会誌，**62**（2000）145-153.
- 3) 岸野 功：ミカンの作業便利帳（農文協，1990）.
- 4) 中間和光：ミカンづくりと施肥（農文協，1998）.
- 5) 農文協編：農業技術大系（農文協，2001）.
- 6) 儘田雄一郎，町田武美：“GPS 農作業支援システムの構築”，農業情報研究，**9**（2000）23-34.
- 7) 儘田雄一郎，町田武美：“PDA 病害虫診断支援システムの開発”，農業情報研究，**10**（2001）13-24.
- 8) 井口信和，内尾文隆，亀岡孝治：“病害虫のための遠隔診断システム（第1報）：システム構成と画像通信機能の評価”，農業情報研究，**7**（1998）1-12.
- 9) 井口信和，内尾文隆，亀岡孝治：“病害虫のための遠隔診断システム（第2報）：注目領域の選択機能”，農業情報研究，**7**（1998）13-20.
- 10) 井口信和，内尾文隆，亀岡孝治：“農業情報のための動画通信システムに適した動的な画像制御機能”，農業情報研究，**8**（1999）93-102.
- 11) Z. Yong, H. Taki, N. Matsuda, S. Hori and N. Abe: “Simulation based reasoning for planning expert systems,” *Joint Workshop on Web Intelligence and Software Engineering 2001, Proceedings of Joint Workshop on Web Intelligence and Software Engineering 2001* (2001) pp. 79-84.
- 12) 田尻久幸，井口信和，内尾文隆，張 勇，松田憲幸，瀧 寛和：“果樹育成のためのレトロフィットエージェント”，電気学会，産業システム情報化研究会，IIS-02-1-11（2002）pp. 19-23.

（2002年6月13日受理）