

# 家族経営農家支援を目的とした西洋ナシ圃場におけるセンサネットワーク構築と収穫時期推定に関する研究

代表研究者 山崎 達也 新潟大学 大学院自然科学研究科 教授

## 1 概要

情報通信技術 (Information and Communications Technology; ICT) は日常生活や経済活動に不可欠な社会基盤となった。このような ICT との融合が進んでいる産業の一つとして農業が挙げられる。企業形経営であれば、ある程度の大きな規模で農業ができ、リスク分散もできるため、積極的に ICT 導入を試みることができる。しかし家庭経営形農家では ICT 導入のコストも障壁となり、未だに従事者の勘と経験に頼らざるを得ない現状である。本研究では、ICT を用いた家庭経営形農家への支援を目的に、小形のセンサを用いた果実袋内環境の継続的な計測を行った。リンゴ、ブドウ、モモ、洋ナシ等の生育には果実袋が用いられる。果実袋の特性や性能は果実品質改良に重要な役割を果たす。従来、果実袋の効果は収穫後の果実を調査によらざるを得なかった。そのため、生育中の果実袋内の温度や湿度についてはこれまでほとんど研究されて来なかった。本研究では新潟県の特産品である洋ナシ「ル レクチェ」を対象にして、果実袋内の生育時の温度や湿度変化を測定することで、果実袋の特性の違いを明らかにすることを提案する。実際の洋ナシ栽培農家において、3種類の果実袋を用いて130日間に渡る計測データを収集し、それらを統計分析することにより、生育中は外側から見えない果実袋内の環境や異なる果実袋の特性差を数値化し、農家に新たな知見を提供することに貢献した。

## 2 背景及び研究の目的

21世紀に入り次第に ICT は日常生活や経済活動に不可欠な社会基盤となった。技術の成長が続いているときは、より新しいもの、より高性能なものの研究開発にリソースが投じられてきていたが、現在の ICT は新しい技術を産み出すフェーズから、社会に浸透させるフェーズに遷移してきているように思われる[1]。すなわち、ICT は社会の様々な経済活動において利用されることにより、あらゆる産業を抜本的に変革するポテンシャルを有している汎用技術 (General Purpose Technology) として位置づけられてきている。

近年このような ICT との融合が進んでいる産業の一つとして農業が挙げられる[2]。その理由の一つは、センサネットワークやクラウドコンピューティングが、テクニカルな側面及びコスト的な側面から農業の現場に導入しやすくなったことによるものであると考えられる。背景にあるもう一つ別の理由は、農業におけるビジネスモデルの変化がある。いくら ICT が導入しやすくなったとしても、従来の家族経営形の農家ではリスクが0ではない新技術をおいそれと自分の農地に試してみるわけにはいかないであろう。企業であればある程度の大きな規模で農業ができ、リスク分散もできる。そして実際に企業が農業に参入しやすくなり、それによって農業のビジネスモデルが変わる中で ICT の導入も積極的に行われてきていると考えられる。

翻って考えてみると、上記のような農業 ICT は企業形農家では容易にかつ積極的に用いられ得るが、世帯レベルで農業を営む家庭経営形農家では ICT 導入の障壁は高く、従来の経験と勘に基づく農作業に頼らざるを得ないのが現状である。家庭経営形農家が全く ICT に触れていないわけではなく、自宅ではパソコンを使った情報交換や情報検索は行われてきている。また、スマートフォンやタブレット PC を用いた農業記録管理も実証実験レベルで行われている。

本研究では、導入コストがかなり抑えられるようになってきたセンサ技術を用いて、農業環境データを逐次収集及び蓄積し、これまで農家の持っていた経験と勘に基づいたノウハウを可視化することを目的とする。農業と一言でいっても対象となる農産物は多種多様であり、農産物により収集すべき情報や収集方法が異なる。研究代表者がいる新潟県では果実栽培が盛んであり、これらの農産物の生産量や品質を向上させることが地域貢献につながると考え、果実を対象にした農業 ICT の実践を行うこととした。果実栽培の中でも、リンゴ、ブドウ、モモ、洋ナシ等の生育には果実袋が用いられる。果実袋の特性や性能は果実品質改良に重要な役割を果たす。従来、果実袋の効果は収穫後の果実を調査によらざるを得なかった[3]-[5]。そのため、生育中の果実袋内の温度や湿度についてはこれまでほとんど研究されて来なかった。本研究では新潟県の特産

品である洋ナシ「ル レクチェ」を対象にして、果実袋内の生育時の温度や湿度変化を測定することで、果実袋の特性の違いを明らかにすることを提案する。そして、実際の洋ナシ栽培農家において、生育中の洋ナシの果実袋内に小形センサを設置しデータ計測を行い、収集されたデータの分析結果を報告する。

### 3 事前調査

#### 3-1 西洋ナシに関する背景

研究代表者の所在である新潟県では、農産物の普及並びに高単価化を目指しており、地域特有の農産物をブランド化することで農業生産額を向上させるといった工夫を行っている。新潟県においてブランド化されている農産物の農業生産額は37億円に上り、その中の6%を占めている西洋ナシ「ル レクチェ」(以下洋ナシ)を本研究の対象農産物に選定した。洋ナシは贈答用などに用いられるため、味だけではなく外観品質を高めることが重要である。

#### 3-2 新潟県農業総合研究所における調査

研究を実施するにあたり、洋ナシの育成における課題について、新潟県農業総合研究所 園芸研究センターを訪問し、ヒアリングを行った。その結果、以下のことが判明した。

洋ナシ育成の作業工程の中には「袋掛け」という作業があり、6月上旬から10月中旬までの約5か月の間、洋ナシの果実を農薬の付着、直射日光、病害虫から守るために紙製の袋(以下果実袋)で被覆する。それに伴い、果実袋内の湿気が原因の外観汚損など、袋掛けによる果実の外観品質の悪化が発生することが示唆されているが、果実袋の中の様子が分からないため、果実袋内環境と洋ナシの外観品質との相関関係はこれまで明らかにされてこなかった。また、果実袋の生産者は紙の材質、色などを試行錯誤し改良しているが、農業関係者は従来からの勘と経験に頼った手法で使用している果実袋を選択しており、果実袋に関する客観的なデータを収集することができれば、貴重なデータとなり得る。

さらに園芸研究センターの洋ナシ圃場において、既に定点カメラによる遠隔モニタリングが可能なシステムを構築しているが、農家は実際に圃場を見回ることが日課になっており、実用的でないという意見を得ることができた。

#### 3-3 洋ナシ栽培農家へのヒアリング調査

さらに、洋ナシを栽培する家族経営農家を訪問し、現場における要望のヒアリングを行った。その結果、洋ナシは収穫まで袋かけをするがその中の温度や湿度がどうなっているかがわからず、果実の汚れ状態も収穫するまで予測がつかないことに困っているという意見を得ることができた。また、農家としては、家などの遠隔から圃場の様子をカメラで観察することや、センサデータを確認することの必要性はなく、今回はセンサデータを圃場において確実に収集することが必要という結論を得た。

上記のヒアリングを通じて、洋ナシ圃場に設置するセンサは、洋ナシにかける果実袋内の温度湿度を計測するセンサ及び土壌水分センサに絞ることとした。

### 4 センサ選定及び予備実験

洋ナシの果実袋はおおよそ135mm×195mmの大きさで、この中で果実が成長していくことを考えると、果実袋内の温度湿度計測センサの大きさがかなり限定され、さらには果実収穫までの間継続的な計測が可能であるものではない。詳細な市場調査の結果、本研究に適したセンサを確保することができた。図1に選定した果実袋内用の温湿度センサを示す。黄色で示されているのは固定用のビニルテープで、センサはテープで巻かれた部分である。センサの直径は17.4mmで一円玉の大きさにも満たない。また、その厚さは5.9mm、重さは3.3gと軽量で小さく、電池寿命はカタログ値では3年間である。実際に温湿度の値が正確にとれることを図2に示す予備実験にて確認した。このセンサを20個準備し、果実袋内の温湿度を継続的に計測することとした。



図1 果実袋内用温湿度センサ



図2 温湿度センサの予備実験風景

また、洋ナシの生育には土壌水分が不足しないように気を付けているとの農家の意見より、洋ナシ圃場の水分量も継続的に計測することとした。図3に土壌水分計測のために選定したセンサの外観を示す。センサコードはデータロガーと呼ばれるセンサデータ記録装置に接続され、複数のセンサからのデータが同時に記録できるようなネットワークが構成できるようになっている。図4では、実際に西洋ナシ圃場に設置する前に、大学構内で行った予備実験の様子を示している。



図3 土壌水分センサ



図4 土壌水分センサの予備実験風景

以上の予備実験より、センサ動作及び精度に問題はなかったため、西洋ナシ圃場に農家の許可を得て設置することとした。

## 5 センサの現地への設置及び定期的データ収集

農家との交渉により、洋ナシの圃場に3節で選定したセンサを有償で設置させてもらえることとなった。対象となる圃場は2か所あり、それぞれ約54m×78m(圃場A)と約29m×72m(圃場B)の広さである。各洋ナシ圃場において、それぞれ9個ずつの温湿度データロガーを継続測定用の超小形センサとして果実袋内に設置する。本研究で使用している果実袋は図5に示す3種類であり、1か所の洋ナシ圃場に対し各果実袋3つを測定対象として用いている。すなわち、それぞれの洋ナシ圃場から3本の木を選択し、各樹木に3種類の果実袋を設置しており、2圃場合わせて18個の果実袋の内部の温度と湿度を継続測定している。また、センサの動作を定期的に確かめるために、各圃場に1つずつ異なる種類の確認用果実袋を設置した。継続測定用の果実袋は収穫まで原則袋を開閉することはせず、一方確認用果実袋は定期的にセンサを取り出し、データ収集の成否を確認することで、測定の精度を高めている。図6に一つの圃場における温湿度センサを取り付けた木の選定状況を模式的に示す。図中では便宜的に異なる3種類の果実袋をそれぞれ果実袋A、果実袋B、

果実袋 C と表し、定期的にセンサデータを確認する果実袋を定期的確認用果実袋としている。表 1 に 3 種類の果実袋の特徴をまとめる。



図 5 実験に用いた 3 種類の果実袋 (左から果実袋 A, 果実袋 B, 果実袋 C)

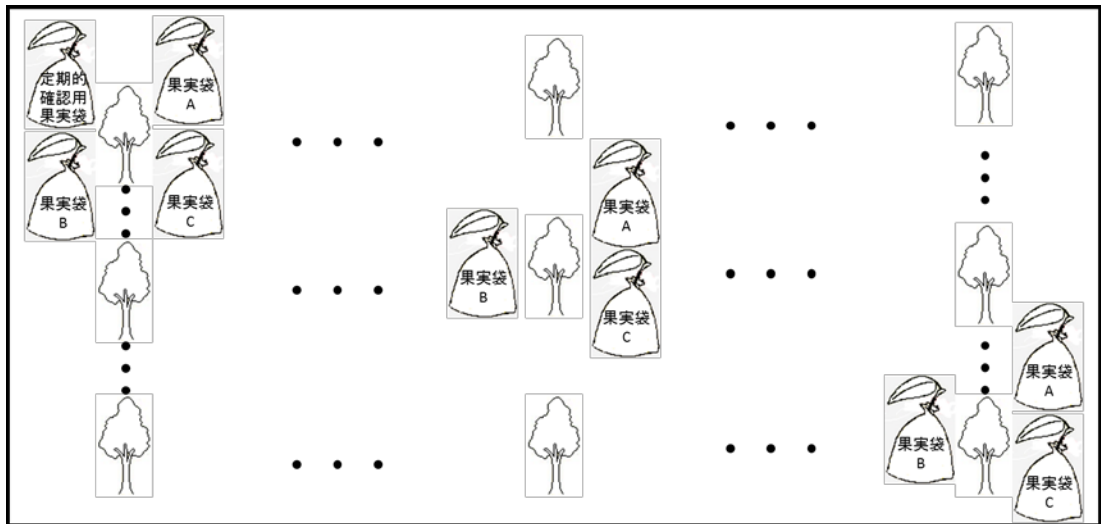


図 6 西洋ナシ圃場における温湿度センサを取り付けた木の選定状況

表 1 3 種類の果実袋の特徴

	果実袋 A	果実袋 B	果実袋 C
袋自体の層構造	二重	二重	二重
開発会社	A 社	B 社	B 社
色	薄い黄色	濃い黄色	薄い黄色
その他	内紙は撥水紙		

果実袋内に温湿度データロガーを設置する際にも細心の注意を払う必要があった。すなわち水滴による計測の誤りやハイグロクロンの破損を防ぐため、センサ部は開放しつつビニルテープで温湿度データロガーの

周囲を保護し、それを細紐により果実袋内の内側の袋合わせの部分に固定するようにした。図 7 に実際に果実袋内に温湿度データロガーを設置した様子を示す。

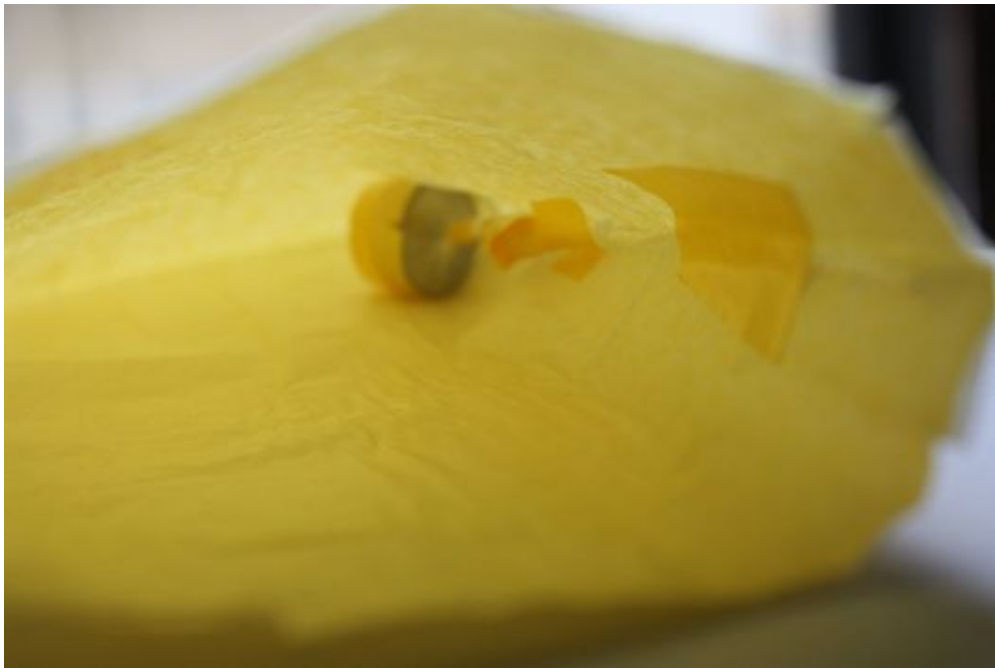


図 7 果実袋内に設置された温湿度データロガー

土壌水分センサは温湿度データロガーを取り付けた果実袋を取り付けた木の根の近くに、地上から 30cm の地中に設置した。温湿度データロガーは 1 時間ごとに温度と湿度を測定、記録するように設定し、土壌水分センサは 3 時間おきに土壌水分を測定、記録するように設定した。また、外部の育成環境として新潟県三条市の 1 時間ごとの気象データを収集している。

## 6 実験結果

### 6-1 温湿度データロガーによる計測結果の概要

#### (1) 典型的な計測結果

果実袋 A, 果実袋 B, 果実袋 C の典型的な計測結果として、温湿度データロガー No. 5, No. 11, No. 15 の温度変化を図 8 に、湿度変化を図 9 に示す。3 種類の果実袋間で温度変化には大きな差異は見られず、全ての果実袋において内部温度は外気温の変化に対応して変化していることがわかった。これは農家にとって果実袋内の温度を推測する目安になる。

一方で、果実袋内の湿度変化に差異がみられた。図 9 より、果実袋 B の果実袋内湿度が果実袋 A と比較して 1.71%RH, 果実袋 B と比較して 1.05%RH 高いことが分かる。果実袋自体の材質が内部の湿度の違いに関係している可能性もあるが、特に今回特性として異なる果実袋の色の違いが湿度差に影響していることも十分考えられる。



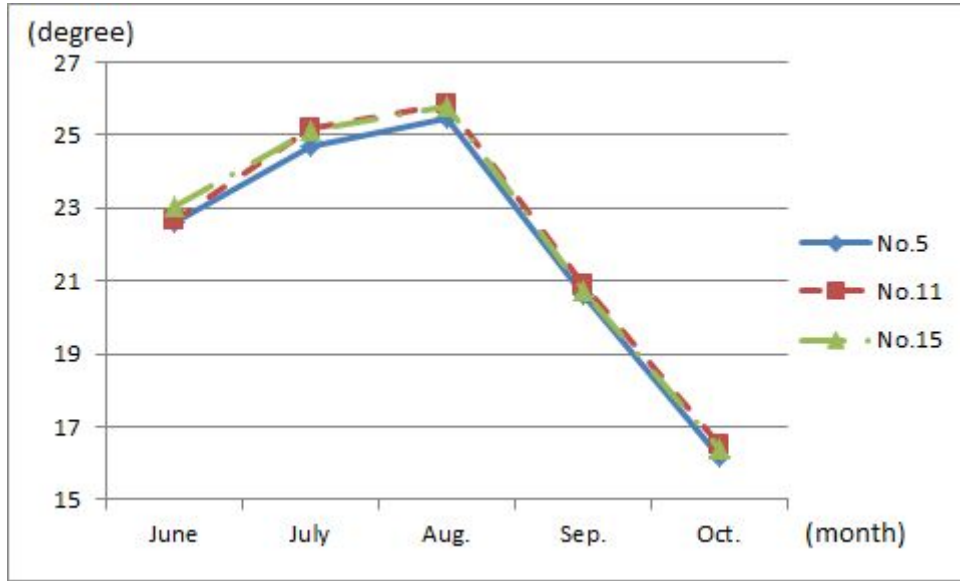


図8 3種類の果実袋内の月別温度変化

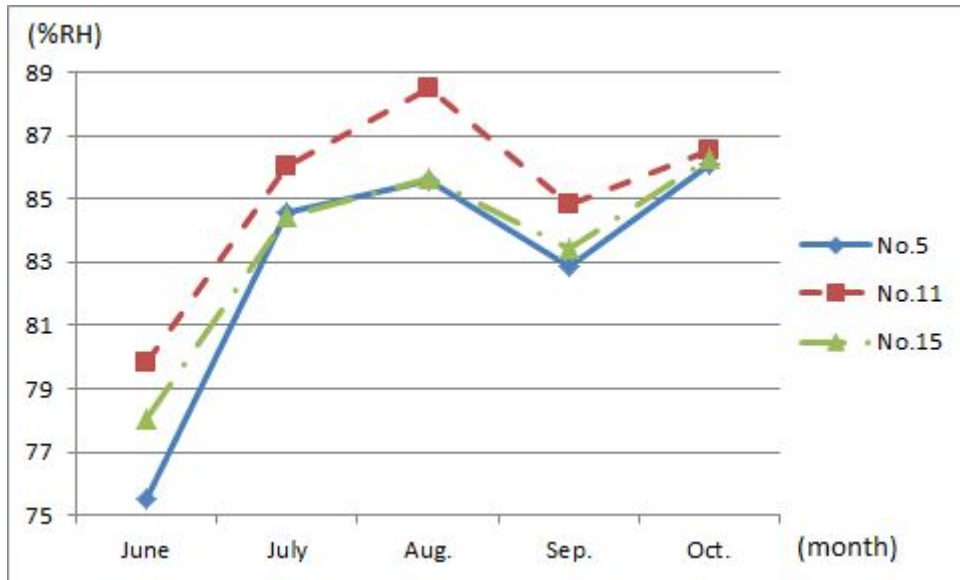


図9 3種類の果実袋内の月別湿度変化

## (2) 果実袋の種類と温度及び相対湿度との関係

計測開始当初、20個の温湿度データロガーを使用していたが、強風による落果により2個の温湿度データロガーからはデータを収集することができなかった。果実の生理障害のため、データ収集を途中で断念せざるを得ないものもあった。しかしながら収集できたデータを分析した結果、計測した6月から10月のいずれの月においても果実袋内温度は外気温と高い相関性を示した。そのため、果実袋内の温度は外気温を計測することで、ある程度予測可能であると考えられる。

次に、果実袋内の相対湿度について、毎月の相対湿度の出現割合を基に相対湿度の確率密度関数の密度推定曲線を求め、種類の異なる果実袋間での差異を検討した。その結果、果実袋Cの相対湿度は他の2種類の果実袋に比べ狭い範囲に分布していることがわかった。また、出現確率の密度推定曲線より、果実袋Aの果実袋内相対湿度は特に6月に低い値となっていることがわかった。そこで、果実袋Aと果実袋Bの袋内湿度に有意な差はないという仮説を有意水準5%でt検定した結果、 $P=0.0001806$ となり仮説は棄却された。すなわち果実袋Aの方が湿度を低く保ちやすい構造であることがいえた。検定に際しては、欠損データなく130日

間計測することができた樹木 3, 樹木 4, 樹木 6 の 3 本の樹木に設置した果実袋内の相対湿度データを用いた。

### 6-2 洋ナシの外観品質画像データの収集

洋ナシ栽培の場合、受粉後から収穫までの間、薬剤や病害虫から保護するために袋を果実に被せなければならないため、果実の外観を日常的に観察することは難しい。そのため本研究では、果実が生育している期間の袋内環境の温度及び相対湿度を継続的に計測し、収穫後に果実の外観品質との関係性を分析する手法を検討している。すなわち、5 章で述べた果実袋内環境測定で得られたデータと、収穫後の果実の外観品質との間にどのように関係性を見いだせるかを将来課題としている。そのために、環境情報を計測した果実の収穫後の画像を全ての方向から撮影し、データベース化する。果実袋 A, 果実袋 B, 果実袋 C で育成された洋ナシの代表的な画像をそれぞれ図 10, 11, 12 に示す。



図 10 果実袋 A 内で育成された果実の外観画像



図 11 果実袋 B 内で育成された果実の外観画像



図 12 果実袋 C 内で育成された果実の外観画像

## 7 まとめ

多くの家庭経営形農家が、従来形の勘と経験に頼った農業を行っている中で、実際の圃場環境を計測することは、今後の農業の発展のために大変役立つと考える。なぜなら、計測によって得た情報と農作物の品質の相関関係を明らかにすることで、農作業や気象などの環境条件が農作物の品質にどのように関わっているかが示されるためである。本稿で示した果実袋内環境の継続計測については、農家はこれまで果実袋内の様子を確かめることはできずにいたため、本研究によって新しい観点から洋ナシ栽培へのアプローチが可能になったといえる。ここでは、果実袋の違いによる袋内湿度の変化を示すことができたが、これにより、農業関係者は袋内湿度を意識して果実袋を選択することができるようになると思われる。また、果実蒸散が果実袋内の湿気量に大きく影響し、計測期間内の果実袋内の湿気量の変化には一定の傾向があることが分かった。さらに収穫間際の果実袋内の温湿度データの変化より、収穫時期の推定にもつながるものと考えられる。

今後は、より多くの洋ナシについて果実袋内の環境計測を行い、サンプル数を増やすことが重要である。さらに、より農業的側面の知見を取り入れ、例えば果実ができていく枝の種類や伸びている方角が果実品質に与える影響も考慮していく必要がある。

### 【参考文献】

- [1] 森川博之, “ストーリーとしての研究開発,” 信学誌, vol.96, no.8, 巻頭言, Aug. 2013.
- [2] 川辺眞一, スマート農業－農業・農村のイノベーションとサステナビリティ, 農業情報学会, 農業統計出版株式会社, 東京, Sept. 2014.
- [3] C. Amaranteab, N.H. Banksac and S. Max, “Effect of Preharvest Bagging on Fruit Quality and Postharvest Physiology of Pears (*Pyrus Communis*)”, *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, Vol. 30, No. 2, pp. 99–107, 2002.
- [4] S.J. Qin, F.D. Li, D.G. Lv and W.S. Gao, “Effect of Preharvest Bagging on Fruit Epidermis Epiphyte Community Structure of ‘Red Fuji’ Apple”, *Middle-East Journal of Scientific Research*, Vol. 12, No. 9, pp. 1276–1281, 2012.
- [5] T. Liu, S. Song, Y. Yuan, D. Wu, M. Chen, Q. Sun, B. Zhang, C. Xu and K. Chen, “Improved Peach Peel Color Development by Fruit Bagging. Enhanced Expression of Anthocyanin Biosynthetic and Regulatory genes Using White Non-woven Polypropylene as Replacement for Yellow Paper”, *Scientia Horticulturae*, Vol. 184, pp. 142–148, 2015.

### 〈発表資料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
Temperature and Humidity Measurement inside Pear ( <i>Pyrus Communis</i> ) Bags during Preharvest Bagging	The 34th Chinese Control Conference and SICE Annual Conference 2015 (CCC&SICE2015)	2015年7月(予定:採録済)
洋ナシの外観品質評価のための画像データアーカイブ構築	電子情報通信学会信越支部学生ブランチ学生研究発表交流会	2014年12月
洋ナシ栽培における果実袋内環境の継続的計測	農業情報学会	2014年11月
果実栽培における袋内環境の予測に関する一検討	農業情報学会	2014年11月
超小型センサによる果実袋内の環境測定と袋特性の比較	電子情報通信学会信越支部大会	2014年10月