

## 일본에 있어서 정밀농업 연구 (제2회)

— 정밀농업에 필요한 센서와 가변작업기에 관한 연구 —

### Research of Precision Agriculture in Japan (Part 2)

우메다 미키오  
정회원  
M. Umeda

이 충 근  
정회원  
C. K. Lee

#### 1. 머리말

우리의 연구그룹이 정밀농업의 연구를 개시한 동기중의 하나는 일본의 식료수입이 물질의 순환을 방해하고 있고, 이것이 일본과 식료수출국 양국의 환경오염으로 연결되는 위험의 시초라는 인식을 하게 되었기 때문이다. 일본의 주식은 쌀로서 쌀은 거의 자급하고 있지만, 식료자급률을 증가시키기 위해서는 콩, 보리 그리고 사료의 증산이 필수 불가결하다. 이를 위해서는 전담윤작을 시야에 넣은 연구가 필요하고, 우선, 벼를 대상으로 정밀농업의 연구를 진행해 그 후 콩과 보리의 연구를 실시하려고 생각하고 있다. 벼는 오랜 기간에 걸쳐서 많은 연구가 진행된 결과, 방대한 데이터가 축적되어 있다. 그러나, 0.5ha 규모의 포장에서 토양 영양분의 변동과 수확량과의 관계, 공간변동을 고려한 보고는 예가 적다. 이 때문에 우선, 수도작 토양, 생육량 그리고 수확량의 변동을 정확하게 파악하는 것이 중요하다고 판단해 연구를 개시했다. 정확도를 중요시했기 때문에 토양성분, 벼의 보유질소량은 화학분석으로 조사를 했다. 수량에 관해서도 5m×10m의 구획별로 실제의 질량을 측정했다. 이 방법에서는 0.5ha 규모가 조사

의 한계면적이었다. 그러나 이 규모는 경영규모의 상이함을 고려해도 구미의 정밀농업의 조사면적과 비교해서 좁은 면적이다. 농업은 지역에 따라 다르기 때문에 타 지역에서의 연구를 축적하는 것이 의미를 가짐과 동시에 한 지역에서도 어느 정도의 면적이 조사 가능한가가 정밀농업의 정확도를 좌우한다. 급후, 전국 규모에서의 조사 등을 생각하면 센서의 개발이 어떻게 해서든 필요하다. 지금부터는 센서의 연구와 가변작업기에 관해서 소개를 하고자 한다.

#### 2. 센서의 개발

정밀농업을 실시하기 위해서는 수확량센서와 수분센서를 조합한 수확량모니터, 토양센서, 질소보유량센서의 3가지가 최소한도로 필요하다. 우리연구그룹에서 수행하고 있는 머신비전에 의한 녹색과 근적외선의 반사율을 이용한 질소보유량센서와 자탈형 콤팩트의 수확량센서는 북육농업시험장에서도 연구되고 있다. 수확량센서용의 수분센서는 교토대학의 카토우 조교수가 개발중에 있다. 또한, 토양센서에 관해서는 동경농공대학의 시부사와 조교수가 오무론회사와 공동으로 개발하고 있다. 이

The corresponding author is professor M. Umeda, Lab. Farm Machinery, Division of Environmental Science and Technology Graduate School of Agriculture Kyoto Univ. Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan. E-mail: <lee@elam.kais.kyoto-u.ac.jp>.

외에도 1998년부터 농림성 농림수산 기술회의의 경로화 제 3기로 정밀농업이 주요과제로 되었기 때문에 정밀농업용 센서의 개발에 몰두하고 있는 연구자, 연구기관은 급증하고 있다. 우리의 연구그룹은 그 외에도 자탈형 콤바인의 특징인 벧짚수확량센서, 혹은 수확량의 변동이 아니라 절대량을 측정하기 위해서 질량계를 장치한 운반차를 개발하고 있다. 미국에서는 이 외에도 여러 가지 작물용의 수확량센서 등이 개발되고 있다. 또한, 분광분석에 의한 지방질과 단백질 함량을 조사해 품질을 판정하는 센서도 개발되고 있다.

가. 곡물수확량센서의 개발

곡물의 수확량 센싱기법은 충격식, 광전식, 방사선식 혹은 질량검출식이 있지만, 우리연구그룹에서는 1998년부터 충격식 수확량센서를 연구하고 있다. 개발중의 수확량센서를 그림 1에 나타내었다. 센서는 스트레인지지를 붙인 2개의 외팔보로 되어 있다. 하나의 외팔보는 곡물의 충격을 계측하기 위함이고 다른 하나는 곡물의 충격이 가해지지 않고 작업중 콤바인에 가해지는 진동을 측정하는 보정센서이다. RTK-GPS를 탑재한 콤바인에 수확량센서를 설치해 수확량계측을 실시하는 모습을 그림 2에 표시했다. 곡물의 충격을 계측하는 센서와 진동을 측정하는 보정센서의 차를 구함으로써 곡물의 충격량만을 구할 수 있다. 보정센서는 반드시 필요한 것은 아니고, 종류가 다른 콤바인의 실험에서는 수확량센서의 설치방법을 고안한다면 설치부로부터의 진동은 큰 영향을 미치지 않는 정도로 제거 가능하다는 것을 확인하고 있다. 이 충격식 수확량센서에 있어서 센서부에 도달한 곡물량은 고정도로서 계측 가능하다는 사실을 2년

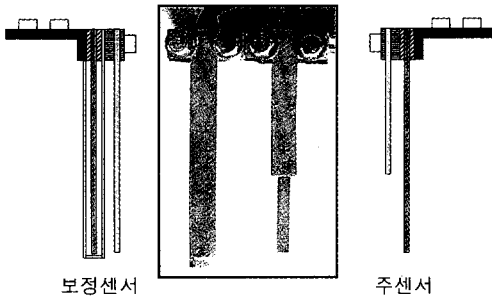


그림 1 곡물 수확량센서.



그림 2 곡물 수확량센서의 성능실험.

간의 연구를 통해서 명확하게 알게 되었다. 그러나, 수확량센서를 설치한 콤바인으로 포장에서 계측을 할 경우에는 콤바인의 작업속도 변화, 특히 정지했을 경우에는 정도가 떨어진다는 사실을 실험을 통해서 알게 되었다. 수확량센서의 계측정도에 영향을 미치는 요소로서는 콤바인 내의 탈곡부, 선별부, 1번오거, 양곡오거 등이 있고 특히, 곡물의 평활화와 체류작용에 의한 영향이 크다고 판단되었다. 또한, 2번 환원에 의한 곡물의 순환도 계측정도를 약화시키는 요소로서 인식되었다. 탈곡부의 평활화작용에 관해서는 어느 정도 해석이 되어 있지만 그 외의 요소에 관해서는 불분명한 점이 많다. 수확량센서의 개발에는 자탈형 콤바인 내부에서의 곡물의 순환을 해석하는 일이 필요하고 이에 관한 연구를 실시할 예정으로 있다. 북륙 농업시험장에서도 자탈형 콤바인 내부의 곡물순환을 파악하는 일이 중요하다고 인식하여 2000년도부터는 이 연구에 전념하기로 되어 있다. 수확량센서의 개발에 따른 중요한 일은 수확량지도의 용도이다. 용도에 의해 요구정도가 변화한다. 북륙 농업시험장에서는 수확량지도를 이용해 단위면적당의 질소흡수량을 추정한 다음 차년도의 밀거름 설계에 활용함으로써 지력변동을 감소시켜 생육, 수확량의 균일화를 추구하는 목적으로 사용하고 있다. 그 외 가변시비효과의 확인과 품종을 변경한 경우에 있어서 수확량 변화 등의 비교검토에 이용될 수 있을 것으로 판단된다. 우리 연구그룹에서는 금후 실시할 이삭거름의 가변 시비의 성과를 기초로 해서 수확량센서의 정도를 검토할 예정으로 있다.

나. 벧짚 수확량센서

자탈형 콤바인의 특징 중 하나는 예취한 벧의 줄기부분을 피드체인으로 파지한 다음 탈곡부에 공급하는 것이다. 구미식 콤바인과 동남아시아에서 사용되고 있는 콤바인은 예취한 벧를 탈곡통에 직접 공급하는 방식으로 벧짚량의 계측이 곤란하

지만, 자탈형 콤바인에서는 가능하다. 이 특징을 활용하기 위해 그림 3에 표시한 벧짚총과 이삭의 공급깊이 계측센서를 시험 제작했다. 벧짚량과 지력 그리고 수확량의 상관관계가 분석 가능하다면 이러한 결과들은 시비계획과 수확량의 추정에 사용하는 일이 가능하게 될 것이다. 벧짚량 지도는 세계적으로도 예가 거의 없다. 벧짚량의 정확한 계측을 위해서 콤바인에 벧짚총 높이계측센서를 설치해 조사를 실시함과 동시에 구획별로 인력으로 벧짚을 수집해 질량을 계측하는 방법을 취하고 있다. 그림 4에 벧짚량 지도를 표시하고 있다. 벧짚은 콤바인내에서 시간지연이 없고 평활작용과 2번환원 등의 복잡성도 없기 때문에 수확량센서와 비교해 정도는 동일한 수준이 될 것으로 기대된



그림 3 벧짚 수확량센서와 이삭깊이센서.

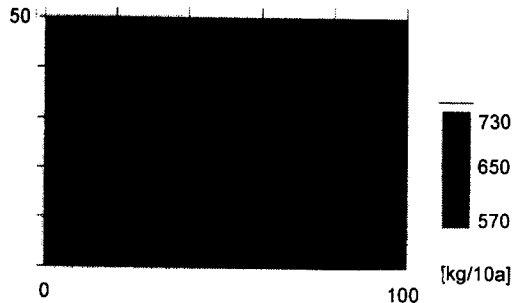


그림 4 벧짚 수확량지도.

다. 이를 위해서 포장에서의 벧짚수확량 변동과 곡물통 입구에서의 곡물변동의 관계파악을 빠른 시간내에 마무리하려고 한다. 덧붙여 말하면, 벧짚은 그 자신이 바이오매스 원료와 유기질거름의 원료로서 귀중하다. 그 외에 수확량센서는 수확량의 변동을 계측하지만 하고 정확한 질대량의 계측은 기대되지 않는다. 이 때문에 로드셀과 경사센서를 설치한 운반차의 개발도 수행하고 있다.

#### 다. 생육량센서

머신비전에 의한 반사율을 측정해서 식생지수로부터 질소량을 추정하는 생육량센서에 관해서는 1회에 상세하게 설명했기 때문에 여기에서는 생략하고자 한다. 북륙농업시험장에서는 벧의 키가 생육상황을 판단하는 중요한 기초정보가 된다는 확신으로 이삭거름의 시비량의 판단치로서 초음파를 이용한 벧의 키 계측센서를 개발하고 있다. 이것도 일종의 벧짚 수확량센서로서 연구결과가 주목되고 있다.

#### 라. 토양센서

토양의 화학특성 해석은 정밀농업의 근간을 이루고 있지만 현재까지 정도가 좋은 센서는 없고 분석에 많은 노력을 필요로 하기 때문에 개발이 되기를 절실히 바라고 있다. 토양의 특성을 화학 분석이외의 방법으로 측정하기 위해서는 생육정보와 똑같이 가시광부터 근적외선 반사율의 변화를 대용(代用) 특성으로서 계측하는 일이 일반적이다. 먼저, 소개한 동경농공대학에서는 pH, 전기전도도, 토양유기물, 초산대 질소, 수분의 분석 등을 가시광과 근적외선의 반사율로부터 검출하는 센서를 개발 중에 있다. 우리 연구그룹은 교토대학 타카쓰키농장 토양을 화학적으로 분석하고 있기 때문에 타카쓰키농장에서 이 센서를 이용한 계측을 실시하고 상관관계를 해석하고 있다. 이 센서의 특징은 외부광을 차단해 인공광을 이용해 반사율을

측정함으로써 포장에서 실험실과 같은 조건을 만들어 낼 수 있는 것이다. 벧의 생육과 가장 밀접한 관계에 있다고 하는 무기화 질소를 이 방법으로 계측하는 것은 어려울지도 모르지만 미생물이 항상 같은 상태로 있다면 전질소가 많은 부분은 무기화 질소도 많다는 결과가 나와 있다. 벧의 생육은 반드시 무기화 질소만으로 결정되지 않으므로, 만약 이 센서가 수분, pH 등을 높은 정도로 계측하는데 성공을 한다면, 토양분석의 측정범위를 확대함에 있어서 장애로 되었던 문제점들을 해결할 수 있을 것으로 판단되며 많은 연구성과가 기대된다.

### 3. 가변작업기

#### 가. 농작업의 자동화구상

일본의 농업은 곡물자급률이 30% 이하, 평균경영면적이 1ha 미만으로 자급식량의 대부분은 썩이다. 수도작은 환경보전 효과가 크기 때문에 현재의 농업을 유지해 간다면 정밀농업에 의한 환경보전으로의 배려는 전작(畑作)보다는 필요성이 없다. 또한, 1ha 미만의 농가에서 연간 비료비용은 약 1,500,000원으로서 10% 정도의 시비량을 감소시켜도 그 경제효과는 적다. 이 때문에 정밀농업의 연구와 병행해서 식량자급률 향상에 의한 환경부하의 저감을 추구하기 위해서 농작업의 자동화연구를 진행하고 있다. 가변작업기의 개발은 자동화의 하나로 보고 있다. 독일에서는 1992년 동서독의 통일에 의한 규모 확대라는 요인을 빼고도 농가의 경영규모는 구쯔바하교수로부터 제공받은 자료에 의하면 그림 5에 나타나는 것처럼 매년 증가하고 있고, 식량자급률도 매년 증가하고 있으며 현재는 100%를 넘고 있다. 한 잡지에서는 「독일에서는 장래경영규모를 100~1,000ha로 확대해 정밀농업을 적용해 경영의 고도화를 추구할 필요가 있다」라고 언급한 기사도 있다. 미국, 오스트레일리아 등에서는 경영규모 1,000ha 이상의 농가가 이미 존

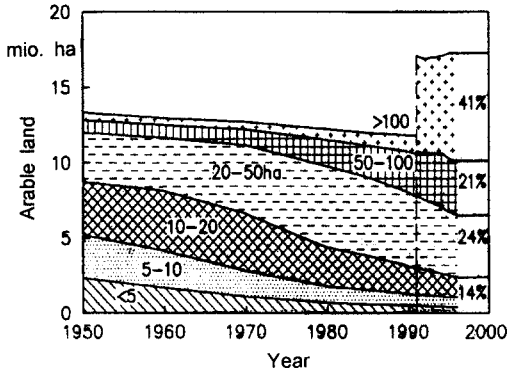


그림 5 독일의 경영규모의 변화.

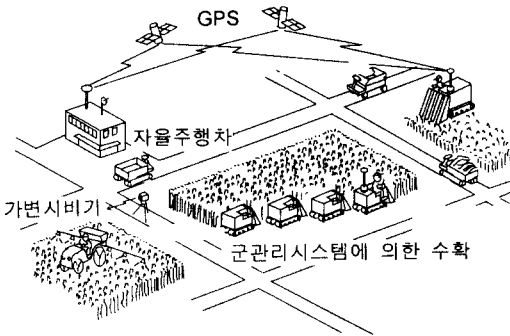


그림 6 농작업의 고도자동화와 정보화의 구상도.

재한다. 이를 위해서 연구실에서는 「부부 두 사람으로 100ha의 농업경영을 가능하게 한다」는 것을 목표로 하고 있다. 간단한 목표를 정함으로써 현재 실시하고 있는 연구의 성과가 목표의 실현에 어느 정도 공헌할 수 있을지를 구체적으로 확인할 수 있을 것으로 생각했기 때문이다. 또한, 부부 두 사람으로 100ha의 경영이 가능하게 된다면 생산비의 저감이 추후될 것으로 생각했다. 그림 6에 그 구상을 나타내었다. 두 사람으로 농작업을 수행하는 것을 가정하면 한 사람은 창고에서 일할 필요가 있다. 남은 한 사람이 농작업을 담당할까, 또는 포장내에서 운반을 담당할까의 선택이 필요하다. 우리 연구실에서는 운반이 농작업에 비해서 용이

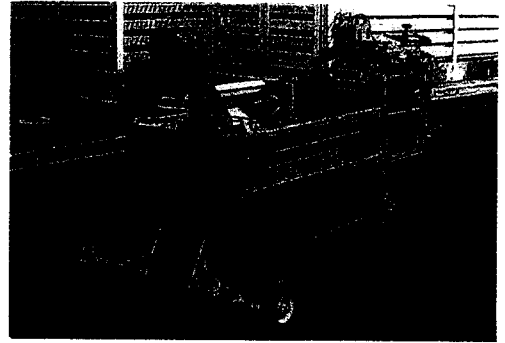


그림 7 자이로와 속도계에 의한 자율주행차.

하고 실현가능성이 높고, 장점 클 것으로 생각했다. 농작업을 무인화 한 경우에는, 포장내의 정보를 얻기 힘들게 된다. 사람이 작업에 참가한다면 농지로부터의 정보를 눈으로 얻는 일이 가능해 센서로부터의 정보의 해석도 용이하게 될 것으로 생각되었다. 이를 위해 우선, 운반용의 자율주행차를 개발하기로 했다. 한편, 대규모경영이 기술적으로 실현되었다고 해도 일본의 농지는 공장이 가깝게 위치하고 있기 때문에 전업농가 이외에도 약 200만호 정도의 준농가(準農家)가 남는다. 이러한 농가는 소형의 농업기계를 필요로 하기 때문에 소형의 농업기계를 금후에도 대량 생산될 것으로 판단된다. 이 기계를 사용해 대규모경영이 가능하면 생산비의 저감과 연결되리라고 판단해, 한 사람의 작업자가 복수의 농업기계를 취급하는 군관리시스템의 연구를 수행하고 있다.

#### 나. 자율주행운반차

그림 7에 광 화이바자이로와 토폴러속도계에 의한 자율주행차를 나타내고 있다. 차량의 앞에 설치되어 있는 것은 홀소자에 의한 자기감지센서이다. 정확한 자율주행을 실시하기 위해서는 정도가 높은 자이로를 필요로 한다. 자이로의 정도와 가격은 비례한다. 또한, 이 방식으로는 최초의 방향을 잡아주는 것이 힘들다. 이 때문에 필요한 장소,



그림 8 머신비전에 의한 자율주행차.

예를 들어 교차점에 자석을 땅속에 묻어 자기를 감지하는 일에 의해 위치의 인식과 방향을 확인함으로써 정도의 향상을 추구했다. 지금까지 자율주행의 제어정도를 확인할 수 있는 적당한 방법이 없었지만, RTK-GPS의 사용이 가능하게 됨으로써 제어정도의 계측이 편리하게 되었다. 현재는 그림 8에 표시한 머신비전방식에 의한 자율주행차량을 연구하고 있다. 차량 자체는 동일하지만 앞부분에 카메라가 설치되어 있다. 그림 9에 이 방식으로 농로의 좌우 경계부분을 인식하고 있는 모습을 나타내고 있다. 타카쓰키 농장에서는 농로의 좌우 경계부분을 인식하는 것이 유효하다. 이 방식이라면 방향의 인식, 장애물의 인식 등도 가능하리라고 본다. 당면의 목표를 정밀농업의 실험을 수행하고 있는 타카쓰키 농장에서 곡물의 운반과 벼를 이앙할 때 모판을 운반하는 것으로 설정해 두고 실용화를 위해 박차를 가하고 있다. 또한 2000년 5월부터 GPS의 잡음혼입(雜音混入)이 없어짐으로써 정도가 향상되었기 때문에 저가격화가 기대됨으로 인해서 GPS에 의한 자율주행도 병행해서 추진하고 있다.

#### 다. 군관리시스템

군관리시스템은 인간이 조작하는 유인의 선행차량과 이것을 무인으로 따라오는 차량으로 구성되어 있다. 그림 10은 대학원생이 운전하고 있는 자

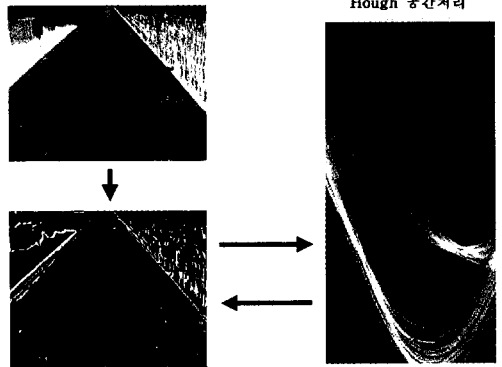


그림 9 농로경계선의 검출.

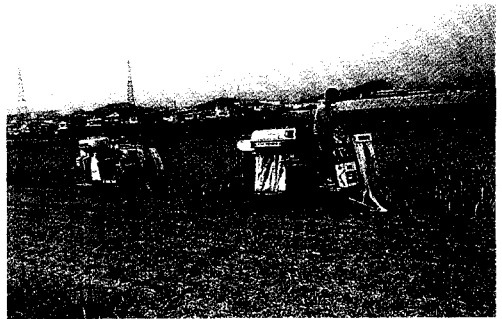


그림 10 군관리시스템에 의한 수확작업.

탈형 콤바인을 무인콤바인이 뒤따르고 있는 모습을 나타내고 있다. 현재 개발중인 시스템은 적외선의 송수신기와 2개의 초음파 송수신기를 조합한 방식으로 적외선의 송신을 트리거신호로서, 좌우의 초음파의 송신기가 발신시간을 변화시켜 발신해, 2개의 수신기가 초음파를 수신한 시간으로부터 4개의 초음파사이의 거리를 계측함으로써 무인차량이 방향과 거리를 인식해 미리 설정된 차량간격과 폭을 유지하면서 주행한다.

#### 라. 가변시비기의 개발

가변시비기는 농작업의 자동화연구의 연장으로서 실시하고 있다. 7.5m의 붐과 6개의 공급장치를 가진 입상살포기를 대상으로 6개의 공급장치를 DC모터로 구동시켜 1.25m의 폭으로 가변시비가

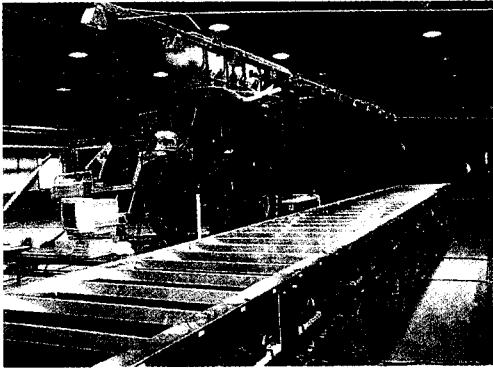


그림 11 가변시비기 제어 성능 실험.

가능하도록 개조했다. 시비량의 정도확인 은 최근 개발된 생연기구 농업기계화연구소의 시설을 빌려 수행했다. 실험의 모습을 그림 11에 나타내었다. 이 실험에 의해 공급장치의 회전제어에 의해 소정의 정도로 가변시비가 가능함을 확인했다. 2000년 도에는 이 시비기를 이용해 가변시비를 실시했다.

#### 4. 맺 음 말

지금까지 정밀농업이란 무엇인가를 교토대학의 프로젝트를 중심으로 소개해 왔다. 저는 「21세기 는 생물체가 지구상에서 공존하는 시대」라고 정 의를 하고 싶다. 현재의 인류기술이라면 자연을 파괴하는 일은 가능하다고 본다. 또한 현재의 인 류증가와 식생활의 변화를 생각한다면 21세기의 중반에는 식량위기가 올지도 모른다. 이와 같은 상황에서 식량, 환경, 에너지의 문제해결에 연구를 통해서 공헌을 할 수 있기를 기대하고 있다. 이러 한 문제에 대응하기 위해서는 「자국의 식량은 환 경부하를 고려하면서 자국에서 생산해야 한다」는 개념을 가질 필요가 있다. 우리 연구분야의 사명 은 저환경부하와 생(省)에너지로서 식량생산을 실 현하는 일에 있다. 여기에는 정밀농업의 수법을 활용한 식량의 확보와 환경의 보전, 다시 말해서 「농업생산의 정보화」와 식량자급률의 향상에 불

가결한 생산비의 저감에 공헌 가능한 「농작업의 고도자동화」가 필요하다. 금후 연구가 진행되어 이 문제에 대한 해답이 나올 것을 기대하고 있다. 또한 우리 연구그룹에서 수행하고 있는 연구결과 가 이 문제해결에 공헌 할 수 있기를 바란다.

#### 감사의 글

이번 자료를 투고할 수 있도록 기회를 주신 한 국농업기계학회에 깊은 감사를 드리며, 특히 원고 투고에 있어서 전반적인 일을 도와주신 경성대학 교 농과대학 김 영복 교수님께 진심으로 감사를 드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. Umeda, M. et al. 1999. Research at Laboratory of Farm Machinery of Kyoto University, ASAE Paper No. 993106.
2. 李 忠根 外 3人. 1999. 水田におけるモミとワラの収量マップ. 日本農業機械學會誌. 61(4):67-74.
3. 李 忠根 外 3人. 2000. 自脱コンバインのためのインパクト式センサの開発. 日本農業機械學會誌. 62(4) : 81-88.
4. Lee, C. K. et al. 1999. Grain yield and Soil Properties in Paddy Field. ASAE Paper No. 991057.
5. 加藤宏郎. 2000. 高水分稲の高精度水分測定技術に関する基礎研究(第1報). 第59回農業機械學會年次大會講演要旨 : 335-336.
6. 澁澤 榮 外 3人. 1999. リアルタイム土中光センサーの開発. 日本農業機械學會誌. 61(3):131-133.
7. 海外調査報告. 2000. 北米における精密農業技術の調査. 生研機構農業機械化研究所.
8. Reid, J. F. et al. 1999. Infotronics and Vehicle Automation - New Frontiers beyond Precision Agriculture. 北大先端科學技術共同研究センター 「大規模農業における精密農法と情報化技術」

講演會資料.

9. 梅田幹雄. 1992. 自動脱穀機の脱粒機構の研究 (第3報) - 脱粒過程の解析. 日本農業機械學會誌. 54(3):43-52.
10. 佐佐木良治. 1998. 最高・最低氣温による移植水稻の草丈の推定および幼穂分化期の葉面積指數にもとづく桿長の予測. 栽培研究會 「作物生育診斷・予測技術開發の現状と課題」.
11. Anonym. 1997. Ertagsmanagement Per AFS. Agrartechink Oct. : S26-27.
12. 飯田訓久 外 2人. 1999. 無人追走方式の研究 (第1報). 日本農業機械學會誌. 61(1):99-106.
13. Iida, M. et al. 1998. Automatic Follow-up System for Agriculture, ASAE Paper No. 983112.
14. Iida, M. 2000. Automatic Follow-up System for Agriculture-Part 2. ASAE Paper No. 003138.
15. Suguri, M. et al. 1999. Path Finding Vision System for Japanese Rice Field. ASAE Paper No. 991042.
16. Morimoto, E. et al. 2000. Obstacle Finding System for Autonomous Vehicle for Japanese Paddy Farm Road. ASAE paper No. 001017.
17. Radite. P. A. S. et al. 2000. Variable Rate Fertilizer Application for Paddy Field. ASAE paper No. 001156.