

# 「社会課題対応常時・継続モニタリングシステムの開発(先導研究)の成果」

## 農業分野

### スマート農業・畜産システムの開発

平成26年4月24日

農業分野サブリーダー  
(独)産業技術総合研究所 集積マイクロシステム研究センター  
センター長 前田龍太郎

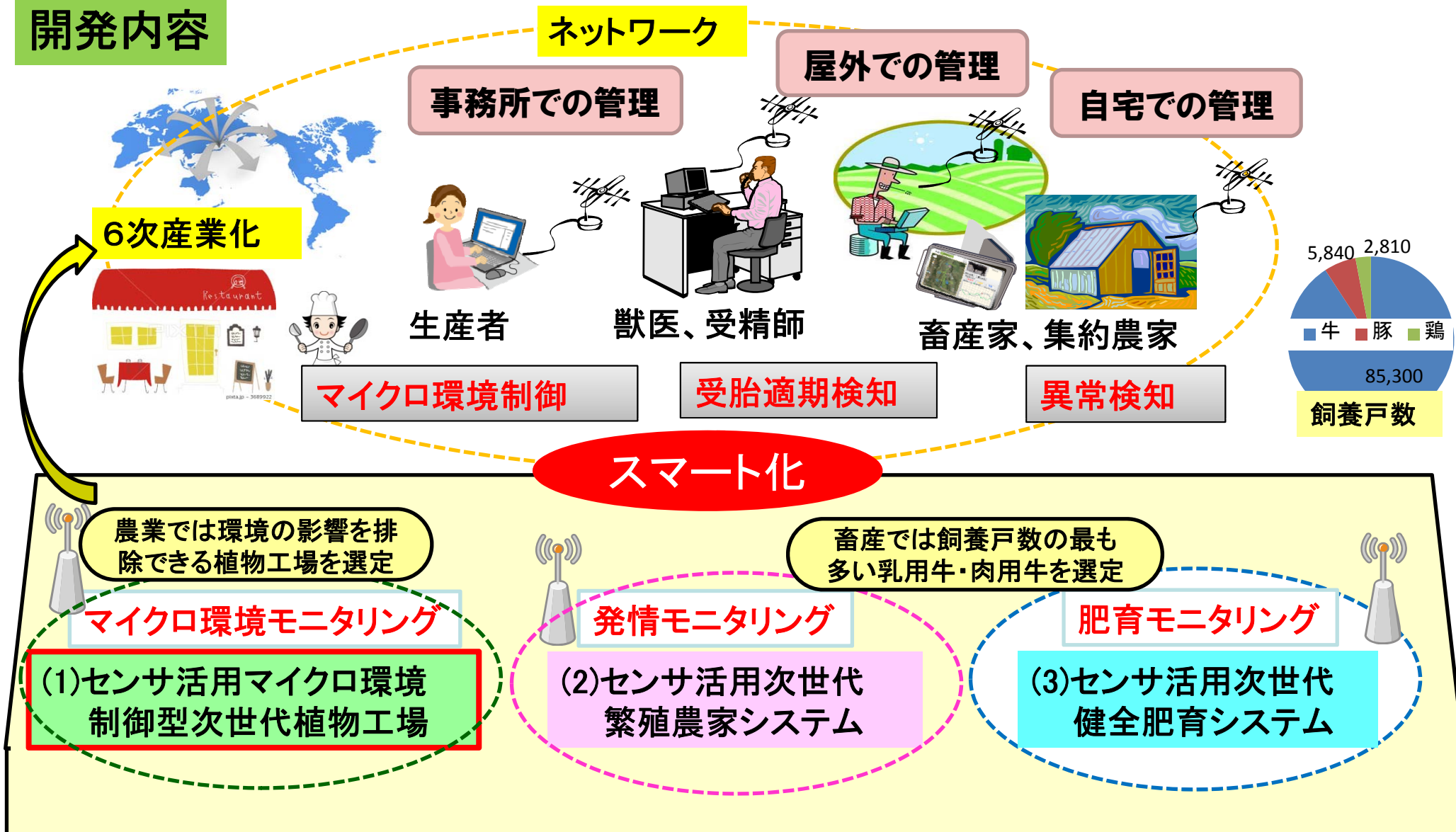


NMEMS技術研究機構



## ②スマート農業・畜産システムの開発

### 開発内容



飼養戸数データ：『畜産統計(平成24年2月1日現在)』(農林水産省統計部)

### 【植物工場の社会背景】

- ・天候の不作、豊作で左右される、価格の乱高下に関係なく一定の価格での農作物の安定供給
- ・農業従事者の高齢化・後継者不足による担い手不足と、それに伴う栽培技術の散逸
- ・中国大気汚染(PM2.5)や放射能汚染等に対する食の安全・安心への国民要求の高まり
- ・栽培のトレーサビリティの取れた、食に対する安全・安心への期待
- ・収益性の向上と、労務軽減による生産性の効率化を目指した、第1次産業から第6次産業への脱却
- ・東日本大震災後の津波による塩害や放射能汚染の問題を抱える被災地の農業復興 等



#### 目的①【強い農業】

- ・PTT締結に向けた競争力の強化
- ・高付加価値・機能性野菜の安定栽培
- ・局所環境制御による栽培データベース構築

#### 目的②【食の安全・安心】

- ・農薬を使用しない農業
- ・汚染土壌を使用しない農業
- ・汚染物質混入の回避
- ・センサログでトレーサビリティの見える化

#### 目的③【働きやすい農業】

- ・就農者の後継者不足
- ・センサ活用環境制御で効率化と省力化
- ・栽培データベース化で誰でもできる農業

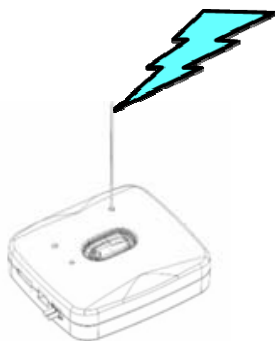


勘と経験に頼った農業からの脱却

農業生産のスマート化

### 【求められるセンサ像】

- 植物工場での収穫重量を増やす場合には、栽培場所の微小気候の環境を昼夜の湿度格差を15%程度に制御する為の湿度格差を測定するセンサ、湿度格差を一定範囲にとどめておくセンサおよび、湿度格差の制御方法が必要となる。
- 低カリウム野菜を生産するには昼夜の湿度格差を出来るだけ少なくする為の湿度格差を測定するセンサおよび、湿度格差を殆ど無くす制御方法が必要となる。
- 具体的には、一定の湿度格差が生まれる様にセンサで湿度差を感知して栽培場所のドライミスト等の噴霧を制御したり、送風機による除湿の制御をおこなう事が考えられる。
- 根菜類の収穫重量を増やす場合には、栽培場所の光質の波長を測定するセンサおよび、波長を制御する為のセンサが必要となる。

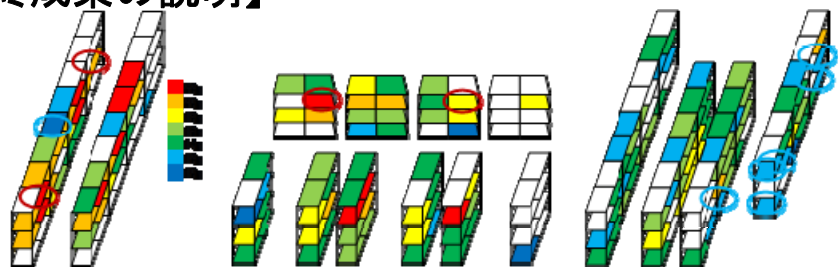


## ②-(1) 先導研究における研究開発成果(1)

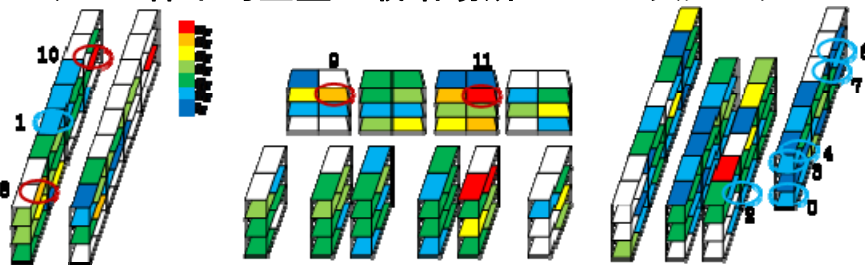
### 【成果の総括】

・「センサ活用マイクロ環境制御型次世代植物工場」の構築には、栽培場所の微小気候をマイクロセンサによる常時モニタリングによって昼夜の湿度格差を測定する事が、収穫重量を増やす為にも低カリウム野菜を生産するにも有効であることが判った。また、栽培養液の改良を通して全ての種類でカリウム含量が60~70%低減した事が確認された。

### 【最終成果の説明】

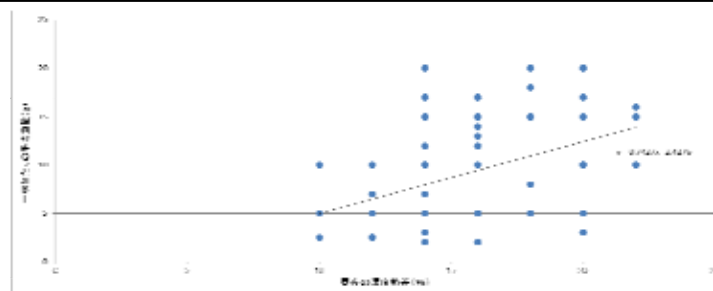


ミズナの1株平均重量の栽培場所ごとの3次元マップ

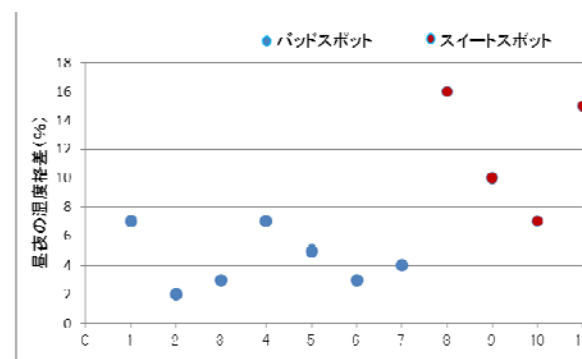


ハウレンソウの1株平均重量の栽培場所ごとの3次元マップ

ミズナ・ハウレンソウの収穫重量が両方も安定的に多い「スイートスポット」が判明し、その栽培場所の微小気候を測定



ミズナ・ハウレンソウ共に栽培場所の微小気候の昼夜の湿度格差が大きいほど収穫重量が多くなる相関関係が確認された



昼夜の湿度格差が高い共通関係

「スイートスポット」は昼夜の湿度格差が高い方が良い



## ②-(1) 先導研究における研究開発成果(2)

### 【最終成果の説明】

処理区	成分表値	収穫前1W置換		収穫前2W置換		1/2K栽培後 収穫前2W置換	
		無NO <sub>3</sub> -無K		無NO <sub>3</sub> -無K		有NO <sub>3</sub> -無K	
棚番号		部屋10棚4段4R	部屋13棚13段4L	部屋10棚1段3L	部屋10棚2段4R	部屋13棚12段4L	部屋8棚2段4L
K+	4900	3200	3300	2400	2300	1700	1500
NO <sub>3</sub> -	2000	2000	3300	1800	1800	2300	2500
Na+	120	93	72	66	64	180	220

レタスの養液組成の変更と各栄養素量

処理区	成分表値	収穫前1W置換		収穫前2W置換		1/2K栽培後 収穫前2W置換	
		無NO <sub>3</sub> -無K		無NO <sub>3</sub> -無K		有NO <sub>3</sub> -無K	
棚番号		部屋10棚2段2R	部屋10棚2段3L	部屋10棚1段4R	部屋10棚1段2R	部屋10棚5段2R	部屋13棚3段2R
K+	5000	4700	4300	2900	2600	2000	2200
NO <sub>3</sub> -	5000	6800	5800	3000	3000	4900	6000
Na+	150	220	210	250	220	480	480

コマツナの養液組成の変更と各栄養素量

処理区	成分表値	収穫前1W置換		収穫前2W置換		1/2K栽培後 収穫前2W置換	
		無NO <sub>3</sub> -無K		無NO <sub>3</sub> -無K		有NO <sub>3</sub> -無K	
棚番号		部屋10棚2段2L	部屋10棚2段3R	部屋10棚1段3R	部屋10棚1段4R	部屋13棚13段4L	部屋13棚9段4R
K+	4000	3800	3700	2700	2600	2400	2400
NO <sub>3</sub> -	1000	6300	4900	2300	3300	5500	6500
Na+	160	160	140	120	100	340	550

ミズナの養液組成の変更と各栄養素量

処理区	成分表値	収穫前1W置換		収穫前2W置換		1/2K栽培後 収穫前2W置換	
		無NO <sub>3</sub> -無K		無NO <sub>3</sub> -無K		有NO <sub>3</sub> -無K	
棚番号		部屋10棚3段3L		部屋10棚1段2R		部屋13棚9段1R	部屋13棚9段1L
K+	6900	4600		3800		3300	3200
NO <sub>3</sub> -	2000	2100		1400		5400	4700
Na+	160	91		150		340	340

ホウレンソウの養液組成の変更と各栄養素量

処理区	成分表値	収穫前1W置換		収穫前2W置換		1/2K栽培後 収穫前2W置換	
		無NO <sub>3</sub> -無K		無NO <sub>3</sub> -無K		無NO <sub>3</sub> -無K	
棚番号		部屋13棚10段4L		部屋13棚12段4L	部屋13棚12段4R	部屋10棚7段3R	部屋10棚5段3R
K+	4000	2100		2400	2400	1800	2500
NO <sub>3</sub> -	2000	2000		1000	1300	750	1300
Na+	480	120		150	130	200	300

ダイコンの養液組成の変更と各栄養素量



栽培開始時から他の成分量は同量含むが、カリウムのみ1/2に調整した低カリウム化養液で栽培し、さらに低カリウム・低硝酸イオン化養液に収穫前2週間置換したものは、**カリウム含量が60~70%低減**していた

勘と経験に頼った農業からの脱却

農業生産のスマート化

### 【今後の取り組みと夢】

現在販売している**低カリウム野菜**は全て**レタスのみ**で、それでは食糧とは言わず食生活を根底から変えることは到底出来ない。

そこで我々は、現在セラミック栽培法を用いて**50種類程度**の**野菜類**(果菜、葉菜、根菜、ハーブ)の栽培を同時並行的におこなっているのです、それら野菜類を低カリウム化することが出来れば、**慢性腎臓病の患者**の取り巻く**日常生活は激変**することと想定している。

まず、調理前におこなわれている各野菜類からカリウム分を抜き取る為の**下処理**をおこなう**必要が無くなり**、**健常者**とパーティーや**外食**などを共にすることが出来るようになる。

国内外の慢性腎疾患患者の方々が、日頃**我慢**されていることからの**開放**を確立出来ればと考えている。

現在我々は、根菜類を含む7種類の野菜において通常の**1/3**まで**低カリウム化**した野菜類の生産に成功している。



レストランに併設した植物工場で低カリウム食糧を生産・供給

### 慢性腎臓病(CKD)の病期

病期	進行度 (腎機能)	推定糸球体ろ過量(GFR)	推定患者数
1	腎障害は見られるが機能は正常以上	90以上	※61万人
2	軽度の機能低下	89~60	※171万人
3	中等度の機能低下	59~30	
4	高度の機能低下	29~15	
5	腎不全	15未満	1098万人

GFRの単位はml/分/1.73m<sup>2</sup>。※はタンパク尿陽性の人(日本腎臓学会などによる)

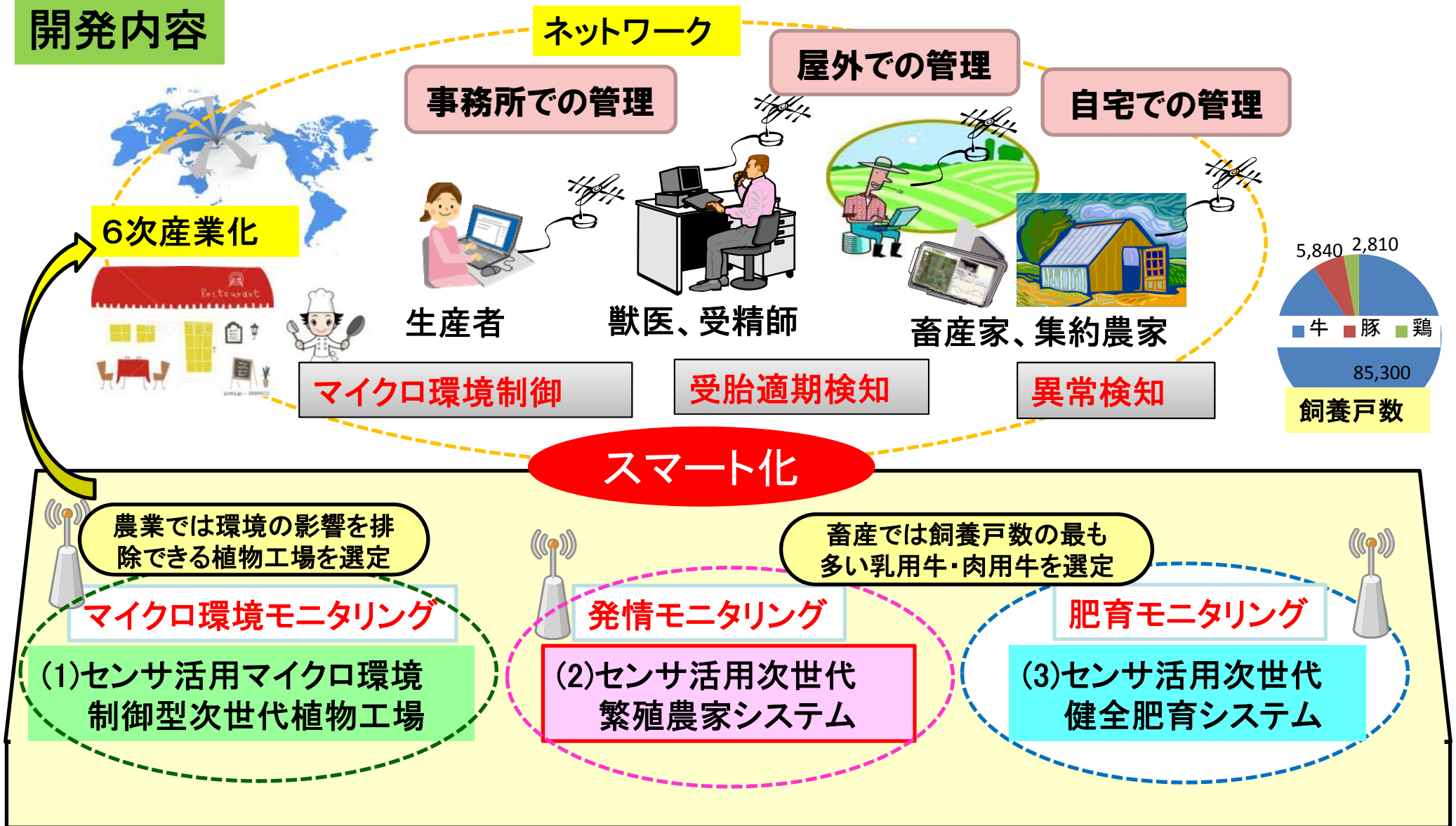
**慢性腎疾患患者**向けに根菜類を含む様々な野菜で低カリウム野菜を生産すれば、カリウムの摂取量制限1日2000mg以下の食事療法が必要な、病期3~5の**国内**の推定患者**1098万人**が潜在的なマーケットとなり、野菜で2678億円/年、生鮮果物で1029億円/年の合計**3707億円**規模の需要が存在することになる。

ワイン・ビール・ジャムなどの**低カリウム加工食品**の原材料にまでその利用範囲を広げると国内外のマーケットの規模はさらに大きくなるものと考えられる。



## ②-(2) センサ活用次世代繁殖農家システムの開発

### 開発内容



飼養戸数データ:『畜産統計(平成24年2月1日現在)』(農林水産省統計部)



## ②-(2) 繁殖農家システムの背景

### 社会環境

- ・TPP参加による国際競争激化

### 繁殖農家の現状

- ・小規模農家が主力で低所得
- ・受胎率が50%程度



受胎率向上で  
(母牛年1産実現)  
繁殖農家所得を倍増!

### 【従来の飼育方法の問題点】

- 1) 発情行動や健康状態を目視で確認、判断 → 熟練度に依存、見逃しが多い
- 2) 市販の装着型デバイスで検知 → 高価、低検出能
- 3) 直腸温検査による体調検査 → 農業従事者の負担大

**目視!**  
**見逃しが多い**



牛の発情行動の様子



#### 牛用万歩計(牛歩)

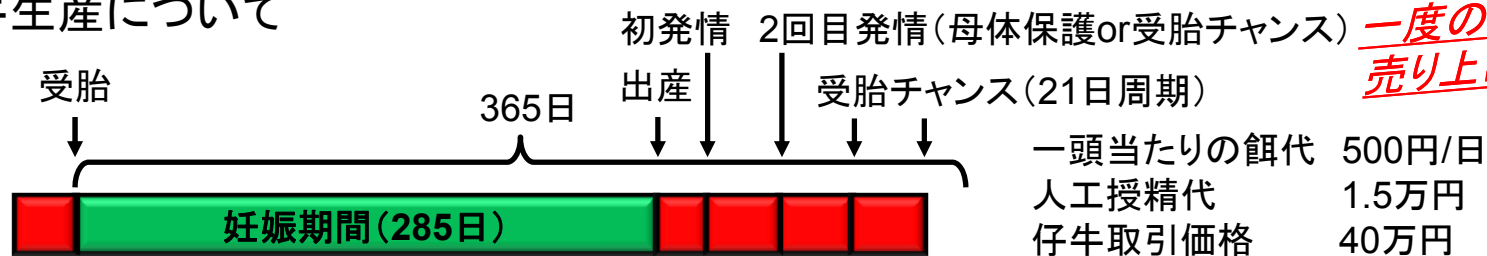
- 活動量から発情を検出
- 発情時にも行動が活発にならなくなっている



#### 膣挿入型体温計

- 膣に挿入し深部体温を測定
- 牛への負担が大きい

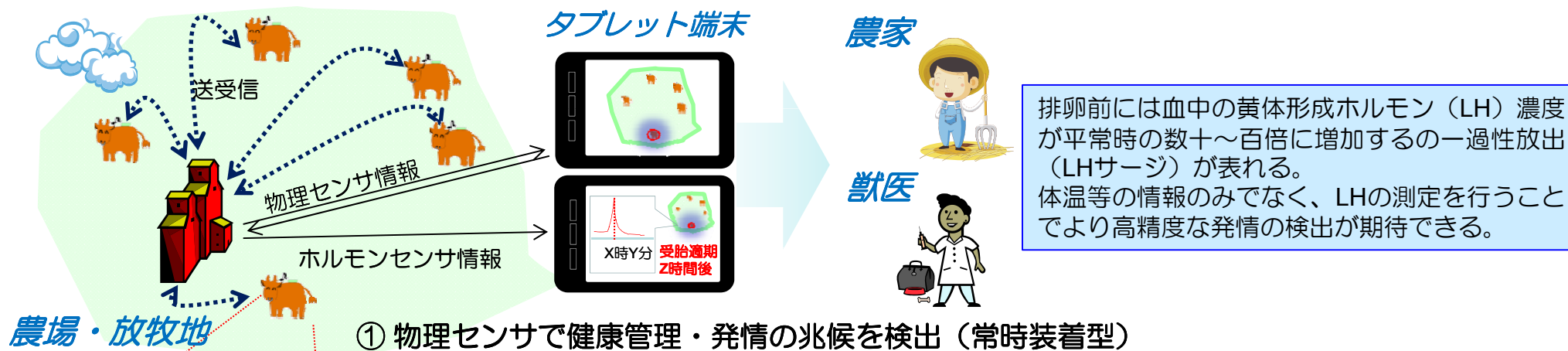
### 肉牛生産について



**一度の人工授精失敗で  
売り上げの6%の損失!**

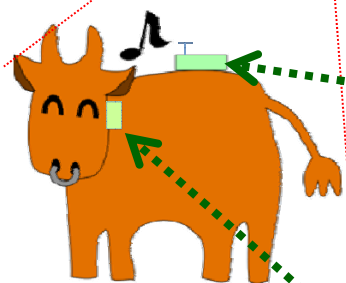
## ②-(2) 繁殖農家システムに求められるセンサ像

### いつでもどこでも牛の発情の有無の確認が可能



① 物理センサで健康管理・発情の兆候を検出（常時装着型）

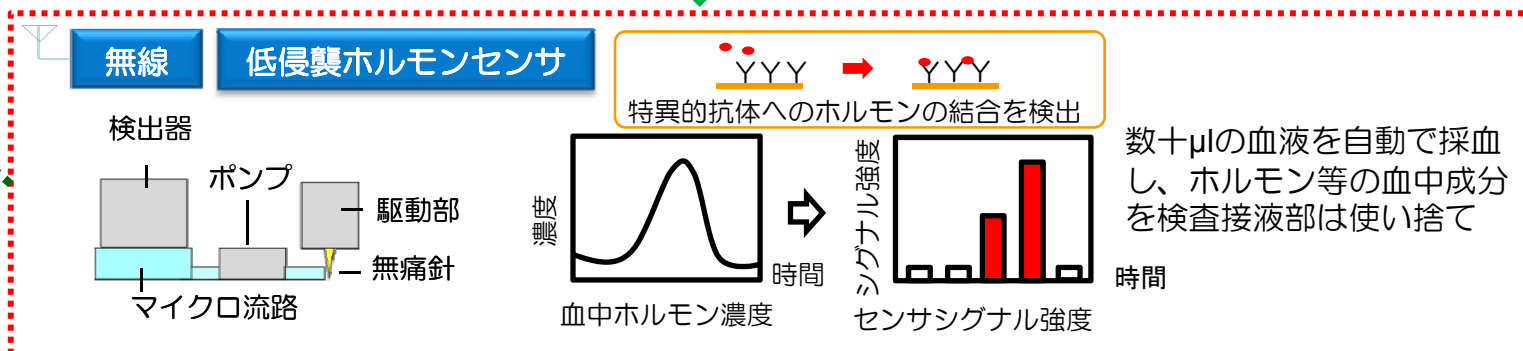
→ ② ホルモンセンサで健康状態・発情を正確に診断（異常時のみ装着）



各牛に個別装着



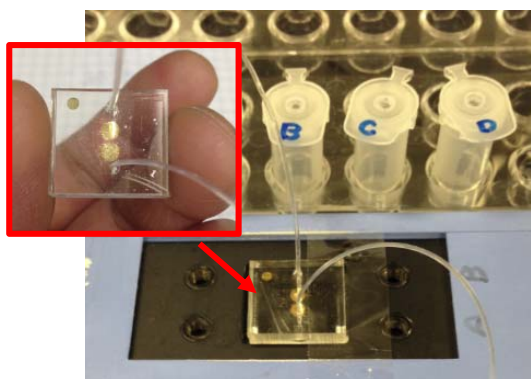
得られた情報を基に健康異常、発情が疑われる個体にホルモンセンサを個別装着



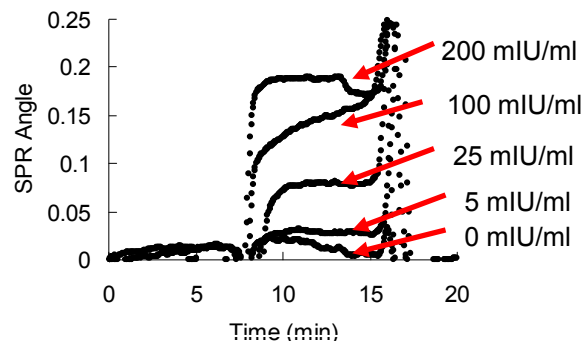
ホルモンセンシングにより発情検出精度を50%→90%に

### ホルモン検出デバイスの設計・動作検証

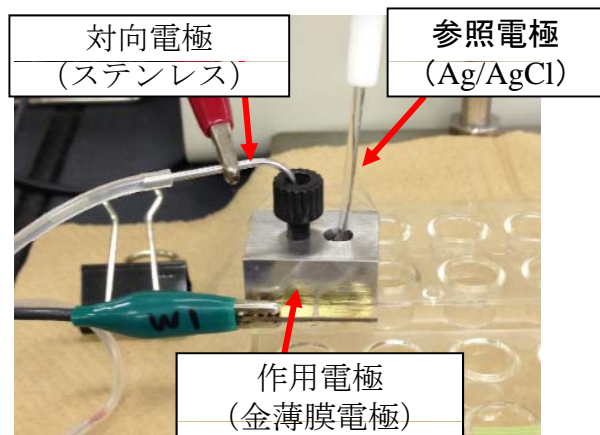
微量試料に対応した測定方法の検討のため、表面プラズモン共鳴法と電気化学的手法に基づくホルモン検出デバイスを設計し、ヒト黄体形成ホルモン(LH)の検出能の検証を行った



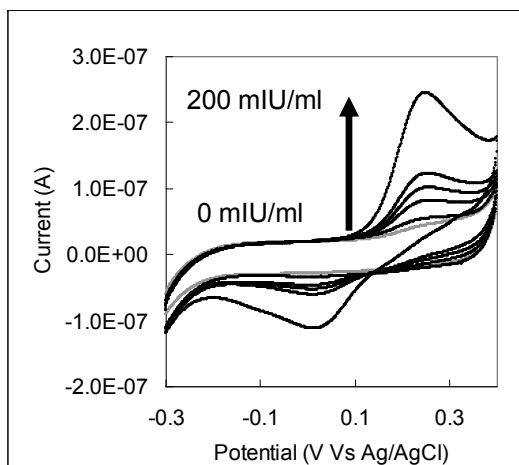
表面プラズモン共鳴センサ



表面プラズモン共鳴測定結果



電気化学センサ



電気化学センサ測定結果

- ✓ 両センサ共に5~200mIU/mlの測定範囲でヒトLHの検出ができた。
- ✓ 小型化が期待できるのは電気化学式で、簡便性は表面プラズモン共鳴式の方が優れる。

どちらの方式も現場で使うにあたり、前処理方法の検討が必要である。



### 皮膚表面からの採血方法の検討

注射針を用いて採血

- 皮膚の厚み(5mm程度)以上刺しても牛が痛がるだけで血液はほとんど出てこず

メスを用いたカッター式の方法

- 5mm以下でも20 $\mu$ l程度の血液が採取可能  
皮膚厚み以下なら牛はほとんど痛がらない



メスを鉗子で挟み深さを固定 2mm穿刺時

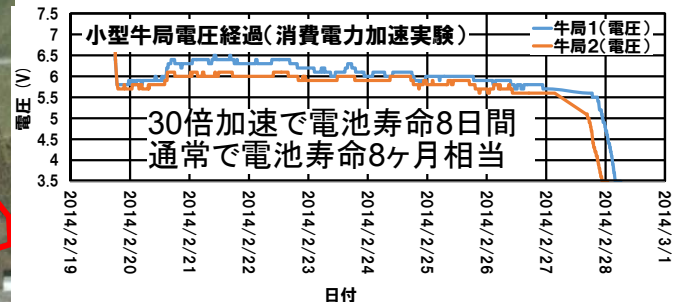
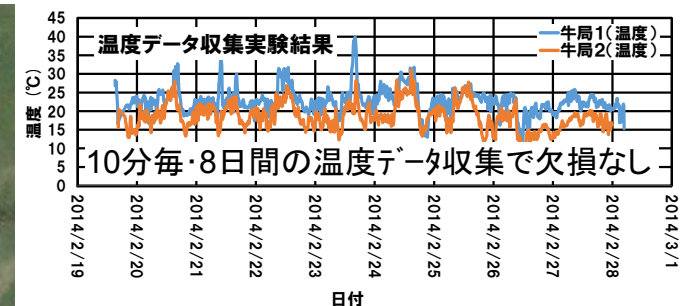
カッター式の穿刺により牛への負担を少なくより多くの血液を採血することが可能に

刃の側面に毛細管などを加工することでより多くの血液を効率よく回収可能

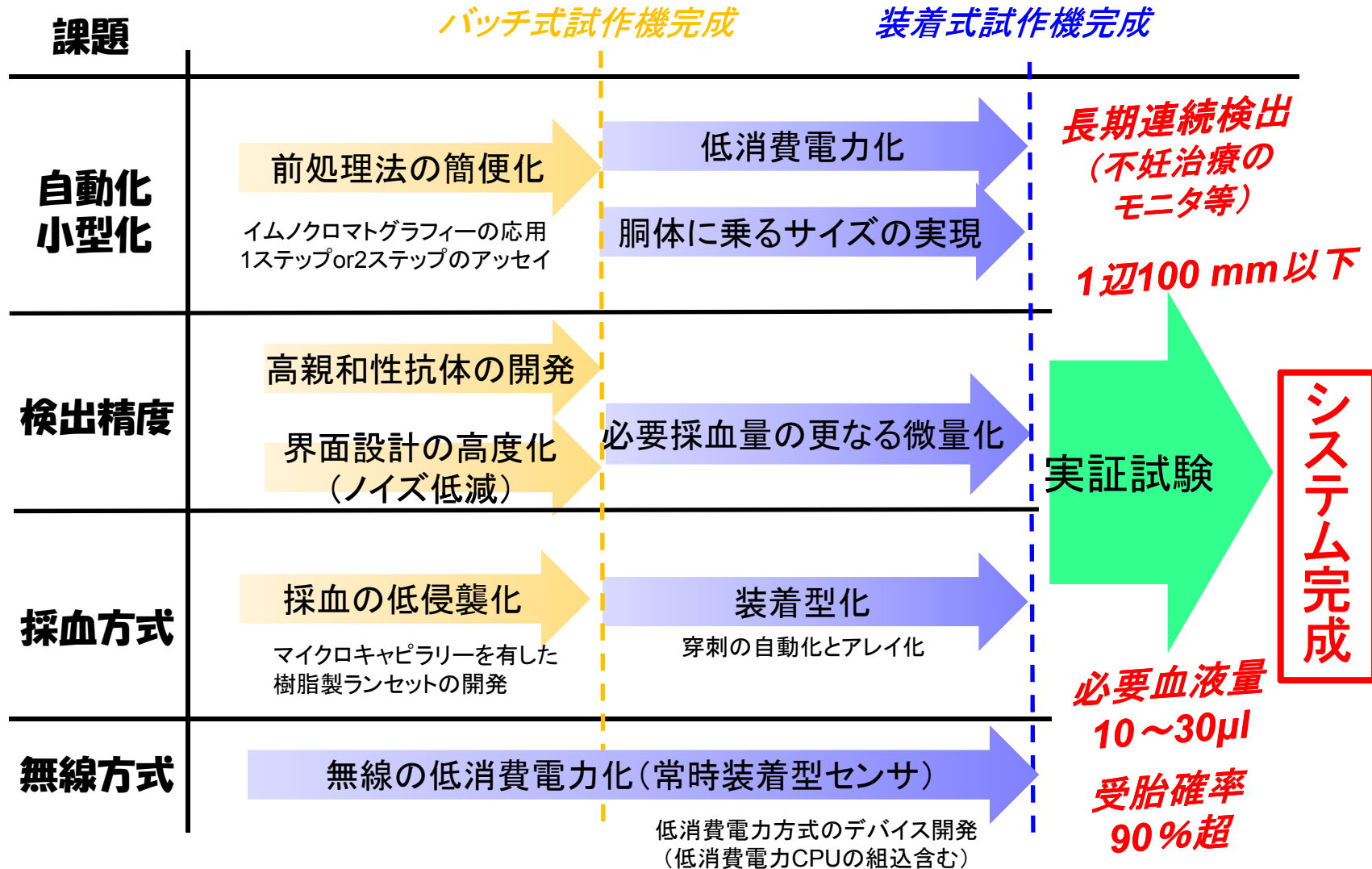
### 無線システムの動作検証

無線システム評価を実施(420MHz帯特性小電力無線利用)

- 富士通製無線機にデータ収集ソフトウェアを実装して評価



## ②-(2) 繁殖農家システムの今後の取り組みと夢

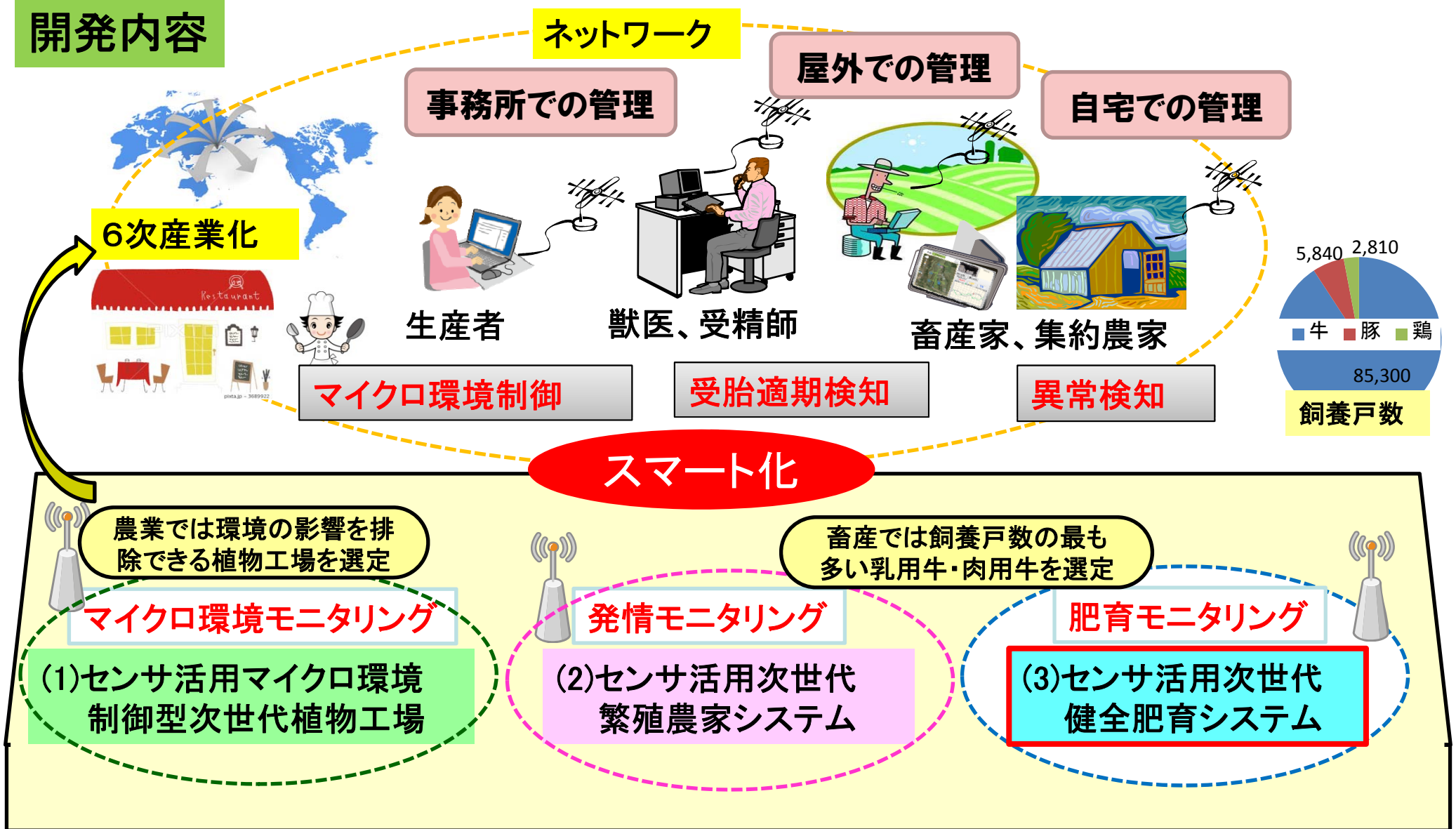


**牛の見守りストレスからの解放！  
高品質・安価な和牛を世界へ！**



# ②-(3) センサ活用次世代健全肥育システムの開発

## 開発内容

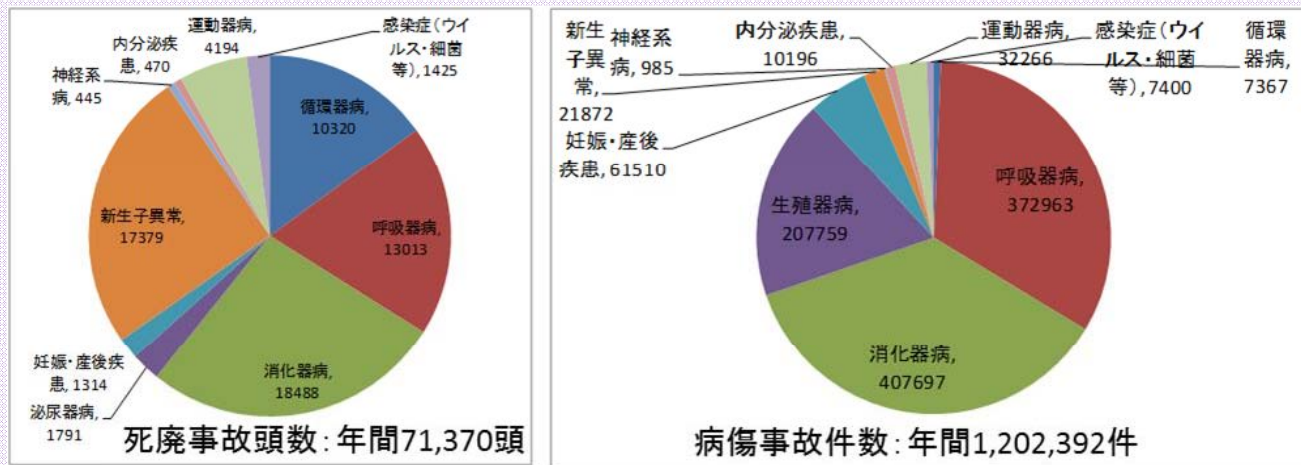


飼養戸数データ:『畜産統計(平成24年2月1日現在)』(農林水産省統計部)

## ②-③ 健全肥育システムの背景

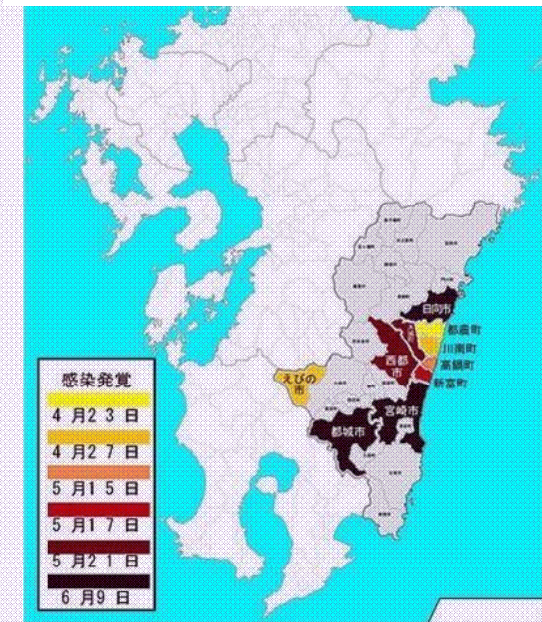
- ・乳用牛・肉用牛業において、**子牛の呼吸器病(肺炎等)**と**肥育期の消化器病(鼓脹症・胃腸炎等)**は損耗が大きい疾病、特に肉用牛では両疾病で年間死廃頭数は31,501頭(全疾病の**44%**)、病傷事故件数は799,046件(全疾病の**65%**)に達する。
- ・2010年3月頃発生し、2010年7月4日の終息確認まで、宮崎県で発生した牛、豚、水牛の**口蹄疫**の流行で、28万8643頭が殺処分され、畜産関連の損失は1400億円、その他の関連損失は950億円であった。

肉用牛の死廃・病傷事故頭数



平成21年度家畜共済統計表(農林水産省)

宮崎県・口蹄疫発生地域





## ②-③ 健全肥育システムに求められるセンサ像

### センサシステムへの要望

- ✓ 毎年の乳用牛・肉用牛業の被害金額
  - ・550億円以上
- ✓ 2010年度宮崎県での口蹄疫の被害金額
  - ・畜産関連の直接損失: 1400億円
  - ・間接損失: 950億円

被害を最少化

### 健全な肥育システム

- ・生産コスト・労力の低減
- ・健康な子牛→高価値化
- ・安全・安心な食品の供給

### 求められるセンサ像

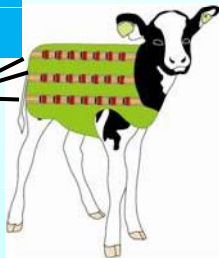
- ① “**子牛の疾病の早期検出**” : 装着型温度センサによる体温測定
- ② “**子牛の症状の程度の判断**” =サーモグラフィによる体表温度分布の把握
- ③ “**成牛の消化器病の早期検出**” =経口投与型センサ端末による、ルーメン内のセンシング

子牛

① 装着型温度センサ

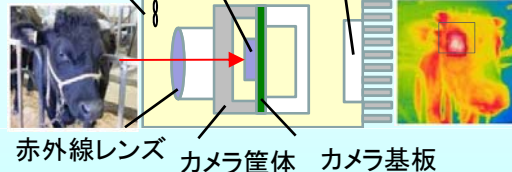
装着(ベスト)型

体温センサ



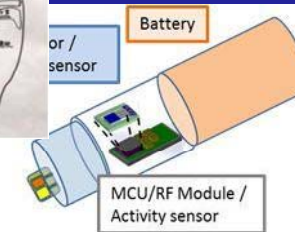
② サーモグラフィ

空調用 FAN 赤外線センサ ペルチエ素子



成牛

③ 経口投与型センサ



・ルーメンのpH、温度などの計測

新規性  
優位性

・装着性, 耐久性, 寿命(連続動作時間), コストなどの問題から、いずれも農場現場で実用できるものは存在しない

## ②-(3) 先導研究における研究開発成果(1)

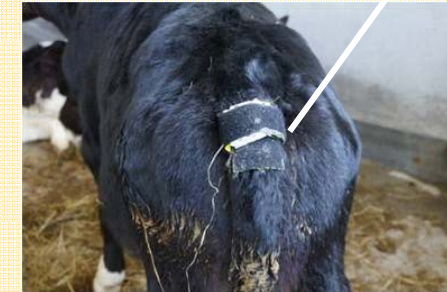
### (1) “子牛の疾病の早期検出のための”接触型センサ端末による子牛の連続計測

#### 接触型センサ端末の試作および感染試験の結果

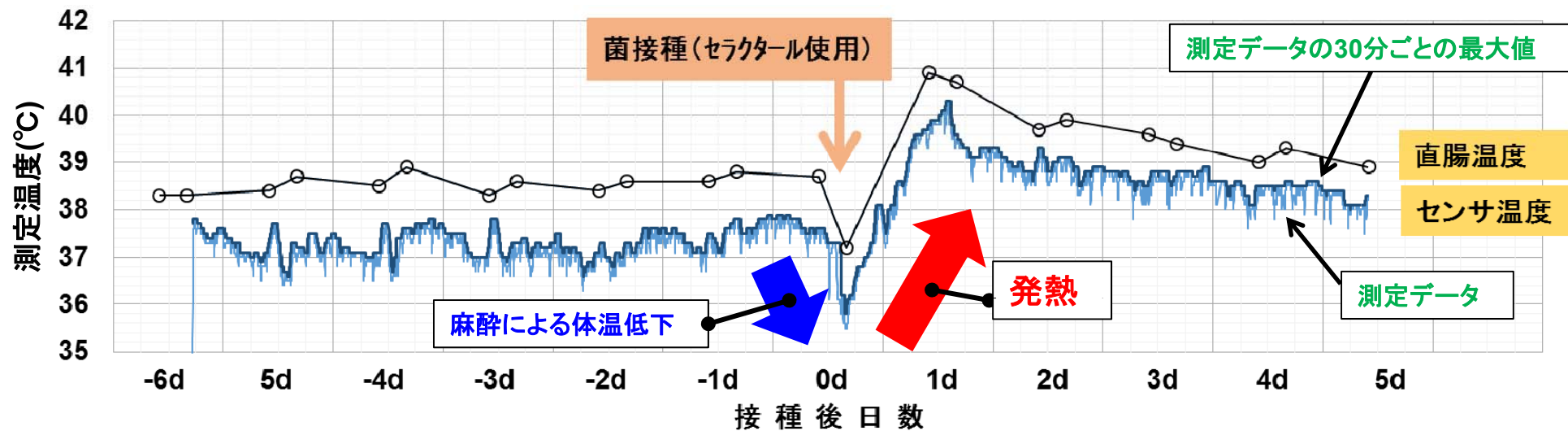
接触型体温センサ端末を用いた子牛の肺炎試験(感染実験)による有効性の検証を行うために、尾根部計測用ベルトを試作、それを用いて実験的肺炎牛( *Mannheimia haemolytica* を接種)の連続モニタリングを実施 → 結果として実験肺炎に伴う体温上昇をよく反映するデータを取得＝有効性を実証

装着風景

尾根部計測用ベルト



#### 測定結果



実用に向けた課題

・耐久性(実験中に破壊が発生)・コスト



## ②-③ 先導研究における研究開発成果(2)

### (2) “子牛の症状の程度の判断のための”サーモグラフィによる体表温度分布の把握

#### サーモグラフィを用いた自動撮影方法および画像処理技術の開発

サーモグラフィによる体表温度分布から「症状の程度を判断」するためには、撮影方法及び画像処理技術の簡易化・高速化手法の開発が必須である。深部体温(直腸温度)は症状の程度を判断する重要なパラメータの一つであるため、体表面部位の中で温度が高い眼縁部から深部体温を推定することを目標とし、以下のことを実施

#### ①サーモグラフィ装置の哺乳器への設置条件の調査

- ・カメラは子牛の眼縁部と直角で60～70cm程度の距離で、カメラは60cm程度の高さの台に設置

#### ②撮影した画像から眼縁部を特定・温度を抽出するアプリケーションの開発

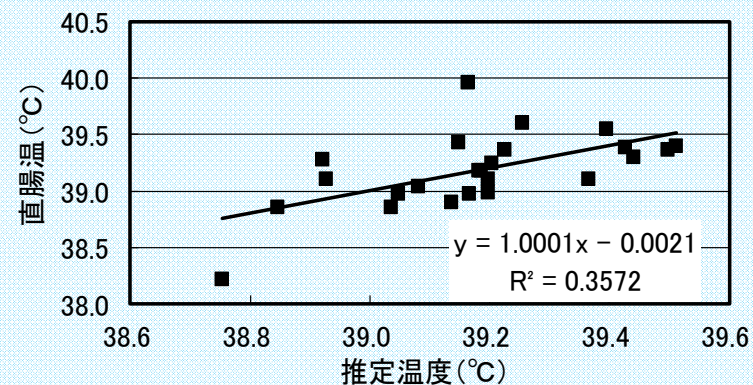
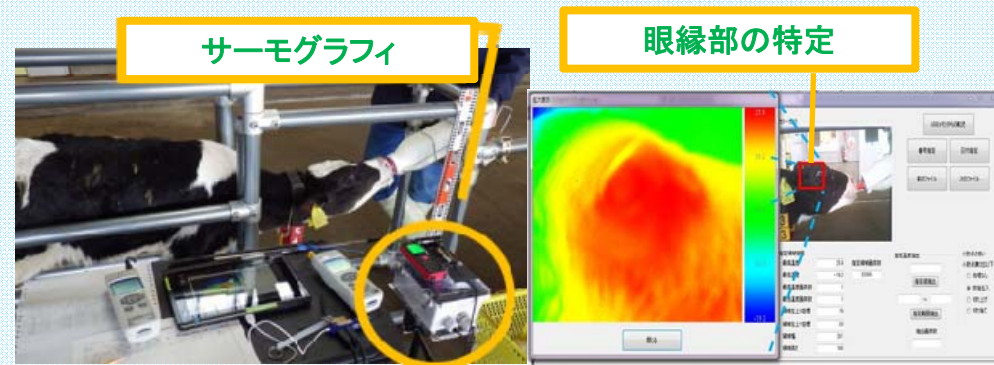
- ・子牛の動きによるピンボケ対策のための連射機能の追加
- ・多量の熱画像のデータから正しい画像を抽出する条件の検討、眼縁部の抽出温度から推定直腸温度の自動検出

#### ③眼縁部の抽出温度と深部体温との比較

- ・熱画像からの直腸の推定温度と直腸温度は有意である

#### 実用に向けた課題

- ・体表温度分布による自動診断技術の開発



直腸温度と熱画像からの直腸の推定温度の比較



## ②-(3) 先導研究における研究開発成果(3)

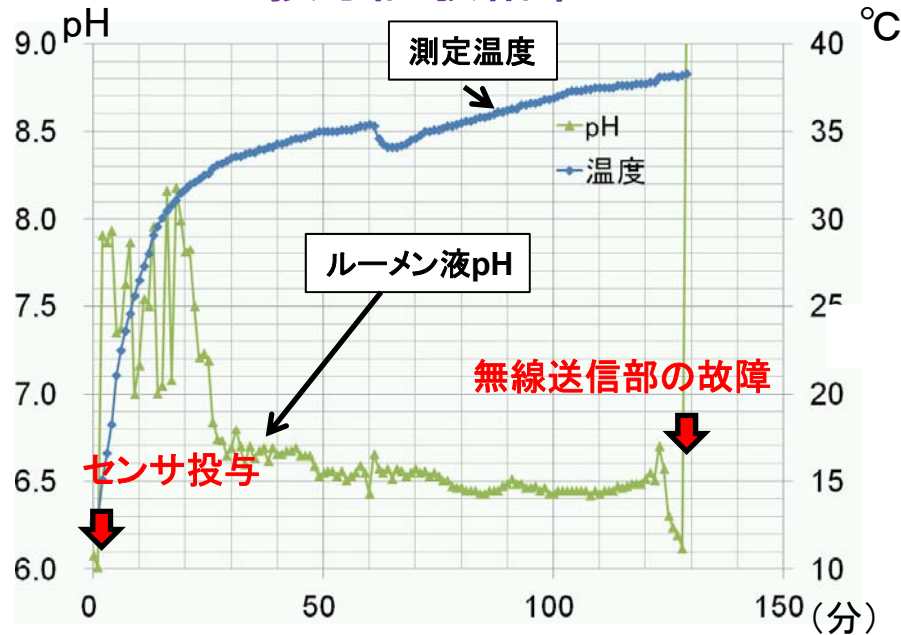
### (3) “成牛の消化器病の早期発見のための”経口投与型ルーメンセンサ端末 ルーメン内留置条件およびルーメン内pHの連続計測

- ・密度1.3g/cm<sup>3</sup>のときにルーメン内に留置
- ・投与後30分辺りからpHの安定した計測が可能である。
- ・側面部の3x3mmの穴にはつまりがみられない。
- ・電極部とケースの隙間(3mm)には、草がつまっている。



- ・ルーメン内留置技術の確立
- ・無線pH測定は可能
- ・端末仕様に関する知見

#### ルーメン内投与試験結果

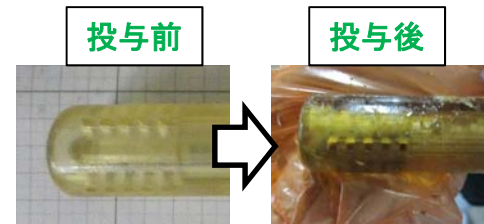


#### センサの回収及び課題

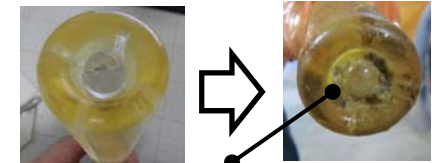


無線化したpHセンサ端末

フィステルから手を入れ、センサを回収



側面上の穴には目詰まりはない

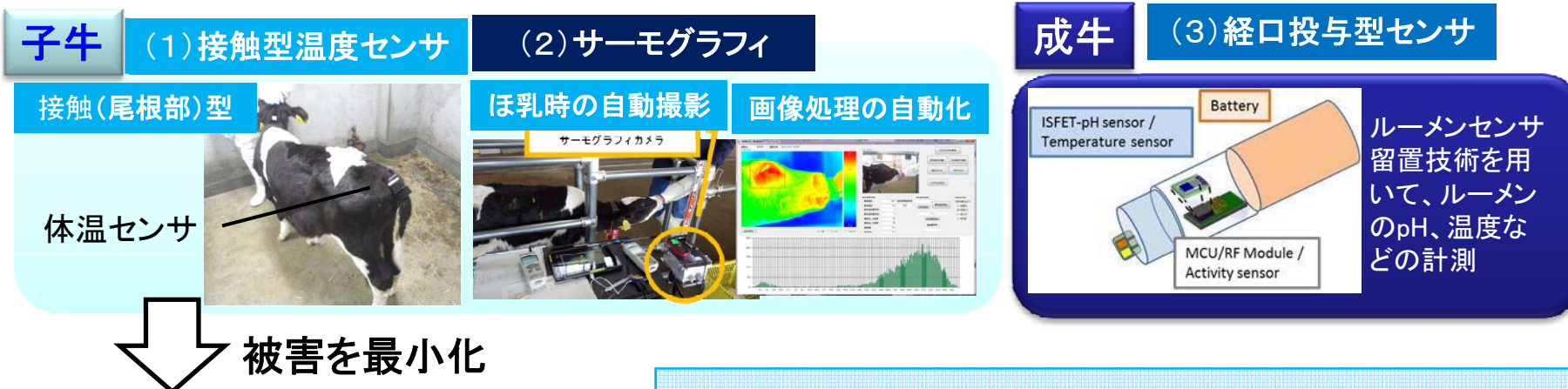


上面の隙間には草が満遍なく詰まっていた

電極部の汚れは、測定の精度に影響を及ぼすことが考えられるため、電極部上部のケース形状を変更が必要

## ②-(3) 健全肥育システムの今後の取り組みと夢

- (1) “**子牛の疾病の早期検出**”:=接触型温度センサによる体温の連続測定
- (2) “**子牛の症状の程度の判断**”=サーモグラフィによる直腸温度の推定と体表温度分布の把握
- (3) “**成牛の消化器病の早期検出**”=経口投与型センサ端末による、ルーメン内のセンシング



### 健全な肥育システム

- ・生産コスト・労力の低減
- ・健康な子牛→高価値化
- ・安全・安心な食品の供給

### 【波及効果】

接触型体温センサ、体温分布センサは、養鶏場・養豚場の健康モニタリングセンサとして応用が期待できる。



本研究は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託研究業務の結果得られた成果です。