九州ICT 利活用セミナー2026
2026年11月10日

電波センシングによる畜産現場の高度化

― 牛の分娩難産予測システムの研究開発と社会実装―

研究事例紹介

宮崎大学大学院　工学教育研究部　教授　Thi Thi Zin
熊本大学大学院　先端科学研究部　教授　福迫武

FORWARD 事業の概要

総務省　持続可能な電波有効利用のための基盤技術研究開発事業（FORWARD）

低電力電波センサによる心拍推定を活用した

牛の分娩難産予測システムの研究開発

事業期間	事業区分	研究代表	研究分担
4 か年度	**デジタルインフラ構築部門**	**宮崎大学**	**熊本大学**
令和 7 年度～	全国共通	Thi Thi Zin 教授	福迫 武 教授

研究目標

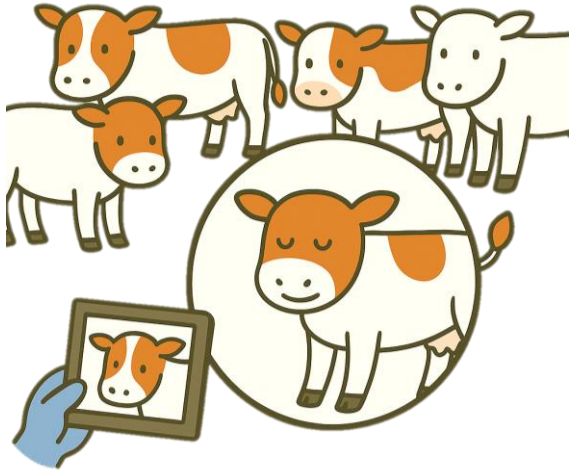
条件不利地域における獣医師の移動負担軽減と分娩事故の低減

電波 × AI × MR の統合により、非接触で母牛の生理・行動を捉え、
分娩兆候と難産リスクを早期検出する世界に先駆けたシステムを構築

地域課題

個体別の牛の管理



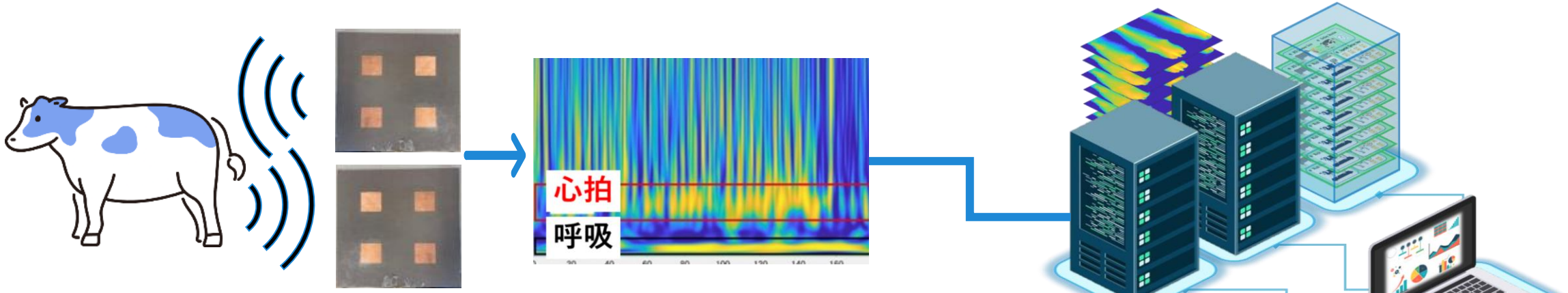


- 牛の分娩日は平均280日だが、範囲が267～295日と個体差が大きい
- 飼育頭数の増加により、個別管理はより困難になっている

地域課題解決手法

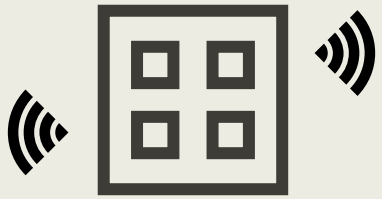
電波×AIによる世界に先駆けた牛の分娩難産予測システムの開発

技術継承及び診療難易度緩和による就農者増加支援をすべく、電波とAIを組み合わせた
非接触型システムを用いて、事前に分娩や難産を予測する



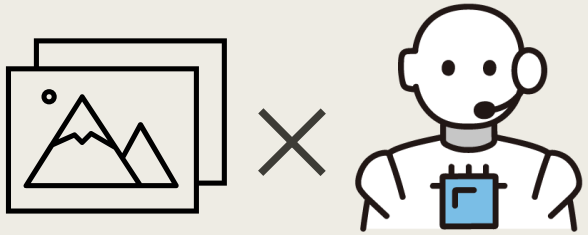
反射した電波を用いて、心拍・呼吸数を予測

地域課題の解決策



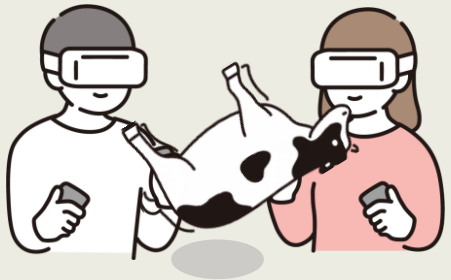
【検知】電波で心拍及び呼吸の推定

- 牛にストレスを与えない非接触な測定方法で健康状態を遠隔でモニタリングし、異常を早期検知する



【予測】AIが兆候を分析

- 分娩兆候の早期発見と難産の予測を可能にする



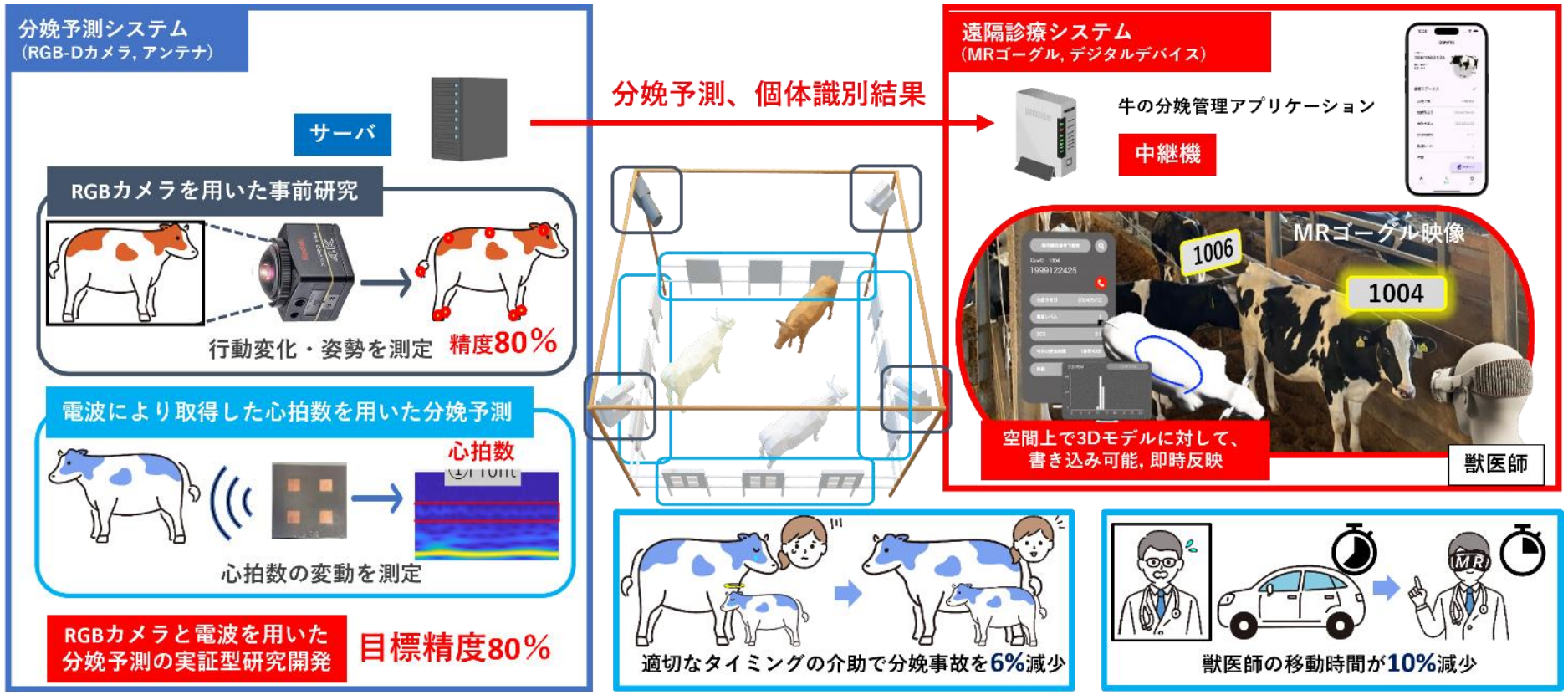
【支援】MRデバイス*で獣医師が遠隔サポート

- 遠隔地から牛の状態をリアルタイムに把握
- 牛の病歴や健康状態を用いることも可能
- 獣医師の指導が容易になる

＊現実の風景に、デジタル情報や立体映像を重ねて表示できるゴーグル型の機器

システム全体構成

非接触の電波センシング × AI 画像処理 × MR デバイスを統合し、遠隔診療支援まで一気通貫



電波センシング　*熊本大学*

AI 画像処理 ＋ 牛舎カメラ　*宮崎大学*

MR デバイス遠隔診療　*宮崎大学*

研究の全体像と報告内容

熊本大学

- 01　電波による心拍推定

宮崎大学

- 02　映像による牛の検出・追跡
- 03　分娩前の行動解析
- 04　3DモデルとMR表示
- 05　まとめと今後の展望

01

電波による心拍推定

熊本大学

マイクロ波による家畜の心拍測定の試み

熊本大学大学院　先端科学研究部
福迫　武

@ICT利活用セミナー

Kumamoto University

家畜の心拍の非接触電波センシング

心拍数は健康の早期指標であり, 発情検知・ストレス評価の入口でもある.
しかし装着型センサは家畜に馴染みづらく, **非接触センシング**が有力候補
として注目される.

主な目的

健康監視
疾病・異常の早期発見

異常分娩検知
繁殖成績への直結応用

ストレス評価
暑熱・苦痛の早期兆候

家畜においての電波センシングの課題

Kumamoto University

高周波ミリ波で成功例は出始めたが，頑健性の三つの壁

① 体動アーチファクト――家畜の体動が心拍信号を覆う
→家畜は一定の姿勢は保てない

② 呼吸と心拍の分離――振幅が大きい呼吸成分が支配的
→呼吸成分の高調波が心拍成分の周波数に近い

③ 姿勢・距離・環境への感度――現場条件で精度が揺らぐ要因が多い

→牛舎には鉄柵や壁があり，
強い反射の原因となる

人体による基礎検討も必要

静止した人体の場合の変動の大きさは，体動は心拍の約２.2倍，呼吸は約24倍程度と計測された.

周波数帯	代表周波数	生体組織内浸達深さ	微小変位感度/空間分解能	生体内水分吸収	家畜心拍計測における実用特性
低マイクロ波	2 -5 GHz	深い	変位感度は控えめ	中程度	呼吸変位による位相過剰回転・呼吸高調波の干渉は小. 体動外乱に比較的ロバスト
高マイクロ波/準ミリ波	10-24 GHz	中程度～浅い（数mm-1cm）	高感度（波長:1.2-3cm）	表皮近傍で吸収増	呼吸運動は良好に検出可能。心拍検出時は体動および呼吸高調波の混入が目立ち始める。
ミリ波	60-77 GHz	極めて浅い（<1mm）	極めて高感度	非常に強い（組織内透過は不可）	静止下では超高精度,呼吸高調波と体動に極めて敏感
サブテラヘルツ帯	0.1-1THz	超極浅（<数百μm）	超高分解能（分子レベル）	極大（水分子による全吸収）	生体内部センシングは不可.

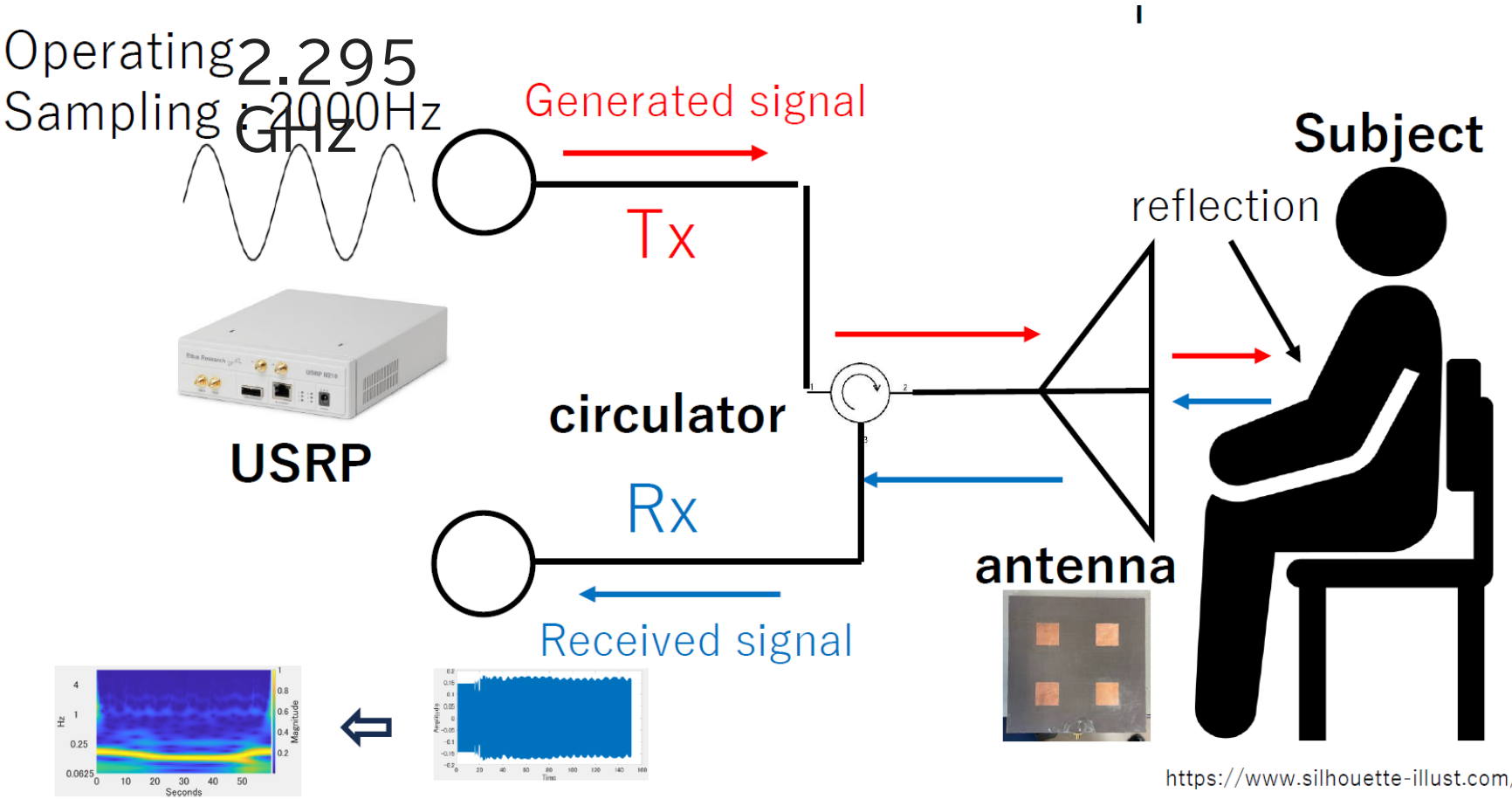
本研究における周波数の選択

→低マイクロ波帯(2.3GHz帯）の電波を選択

1．周囲からの反射の影響が高周波帯より比較的小さい.
2．体内へ浸透しやすい.
3．心拍以外の動きの影響(呼吸，体動)が比較的小さい.

家畜（牛，豚，鳥など）を対象として検討では，24GHz帯での検討例が
いくつかある．2.3GHz帯付近については人体では例があるが家畜ではほぼ例がない

リスク：心拍のような微小変動を体格の大きい家畜の体動等の中で十分とらえられるか

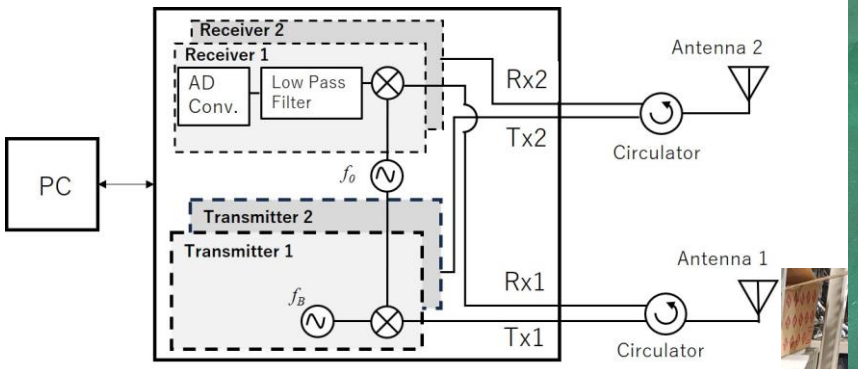


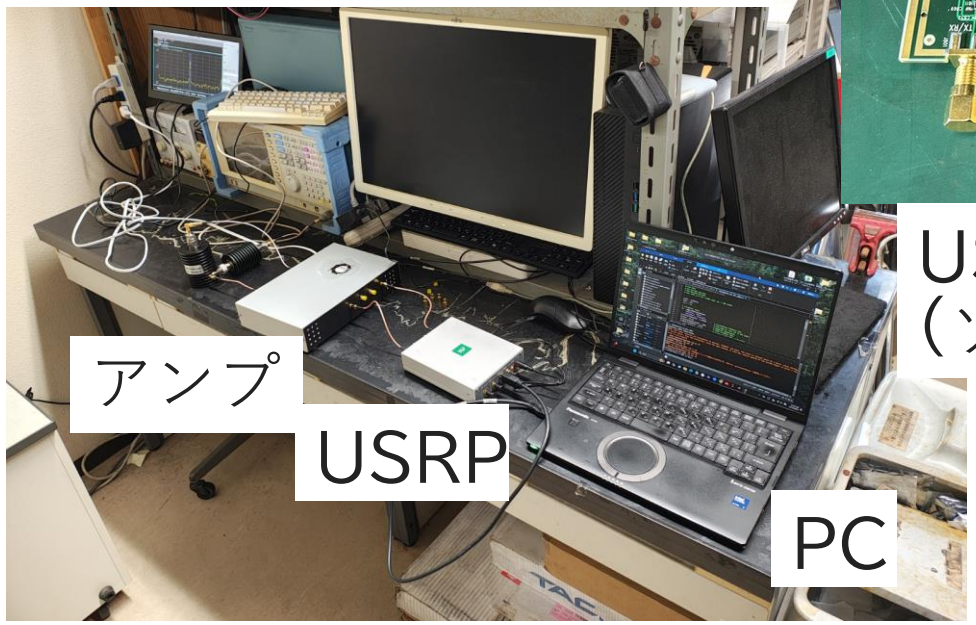
https://www.silhouette-illust.com/



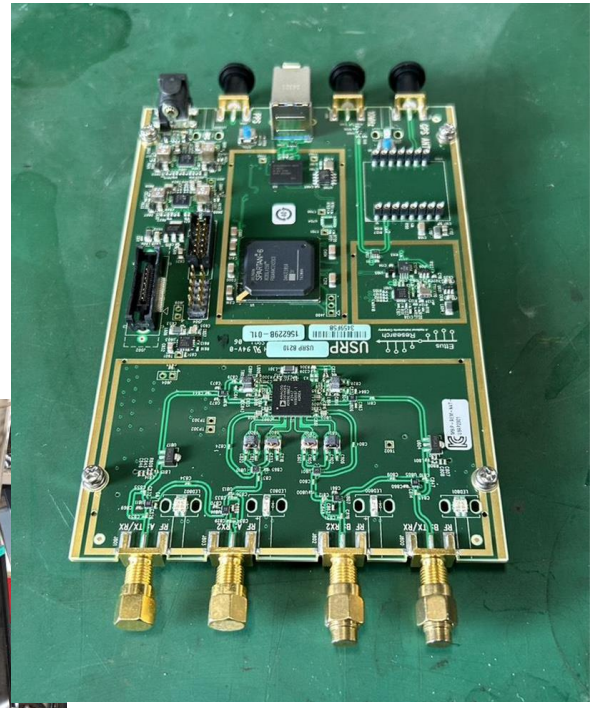
周波数領域におけるスペクトル表示

測定用無線装置



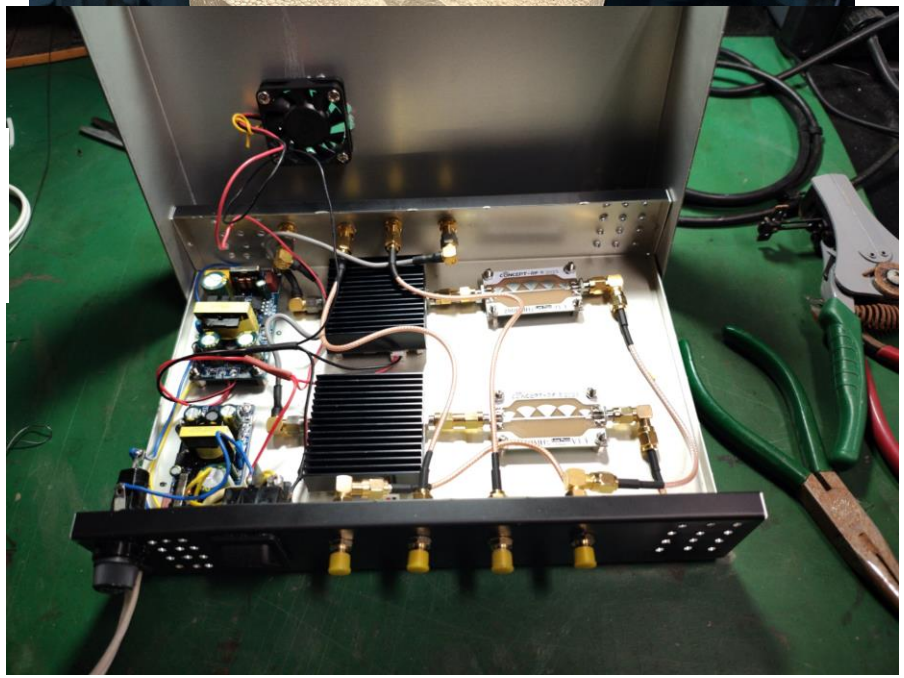


セットアップ全体の写真



USRP B210
（ソフトウェア無線機）

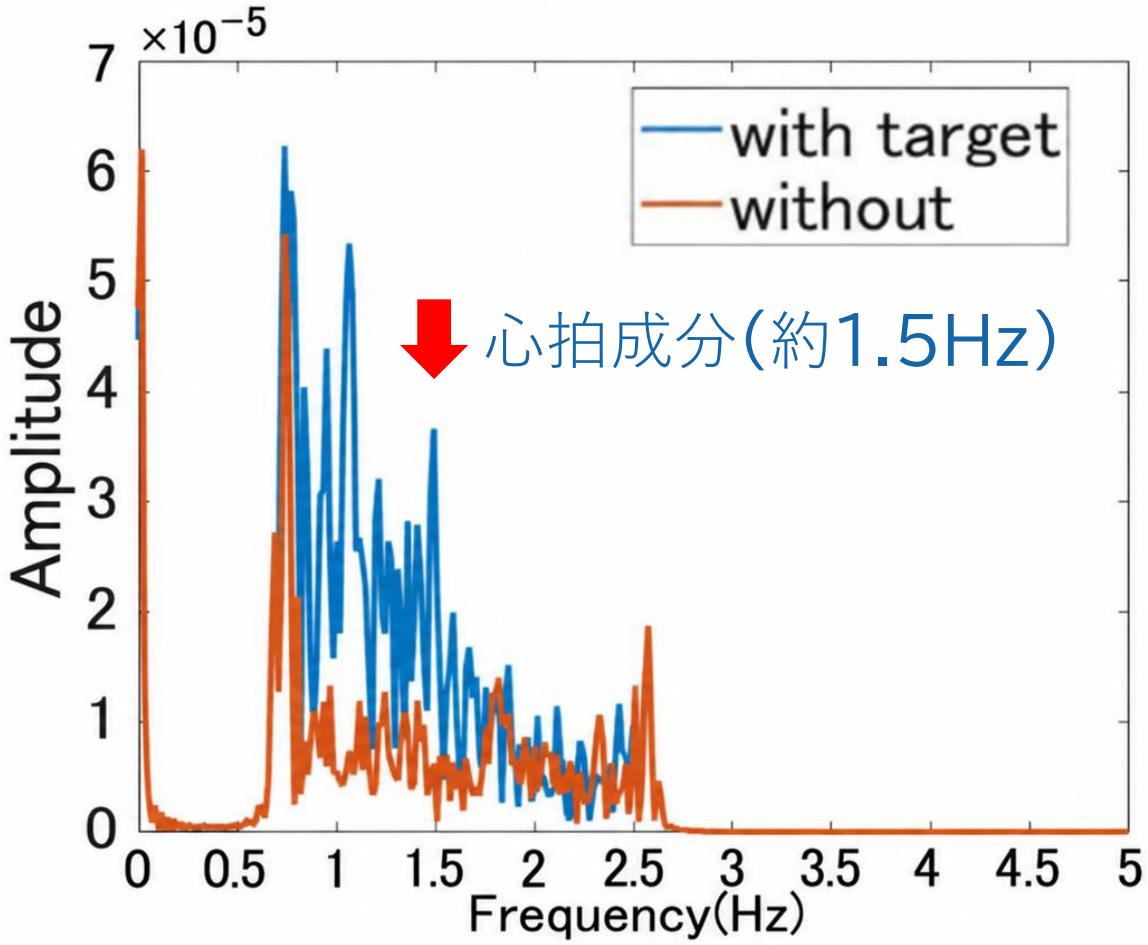




リニアアンプ15

人体からの受信波の周波数特性（計測結果）

パッチアンテナ　50cm 1チャンネル



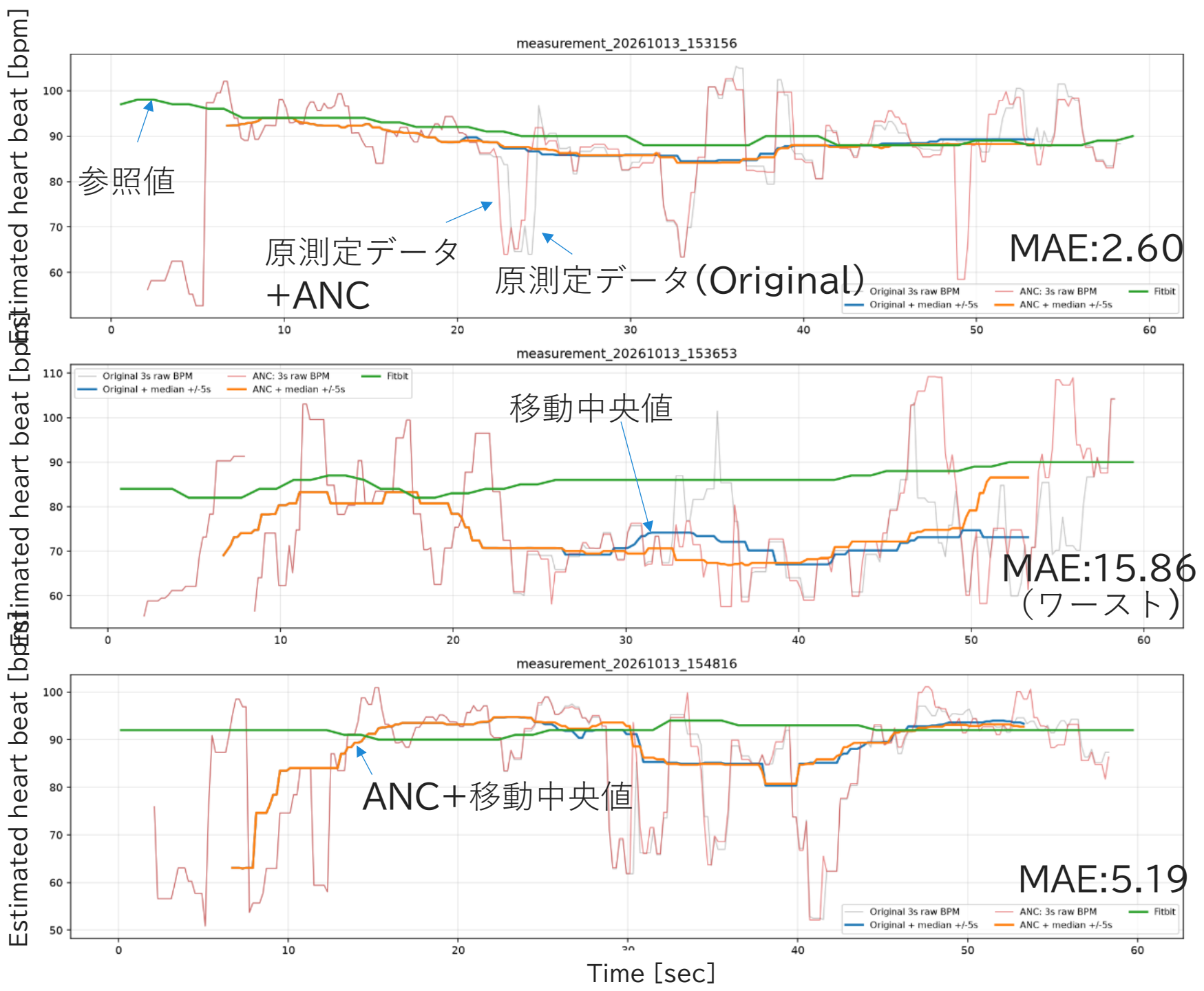
心拍以外にも信号が確認される.

偏波：Tx:V, Rx:V,　電波暗室内測定, 電力:-6dBm

人体計測データ（電波暗室）

移動中央値（±5秒)による心拍計測の例（60秒間）

緑：参照値
　　（パルスオキシメータ）
赤：原測定データ
青：移動中央値(±5秒)
橙：ANC+移動中央値



各条件における誤差

測定	観測データ(O)	O+移動中央値(M)	O+ANC(A)	O+A+M
153156	7.00 / 9.62	2.59 / 2.93	6.91 / 9.29	2.60 / 2.95
153653	14.29 / 16.01	14.95 / 15.22	16.14 / 17.35	15.86 / 16.08
154816	11.05 / 15.79	5.15 / 6.39	10.70 / 15.30	5.19 / 6.33
155403	5.65 / 8.99	1.15 / 1.39	5.73 / 9.04	1.09 / 1.36
160004	1.95 / 2.49	1.18 / 1.39	2.02 / 2.43	1.33 / 1.48
160354	2.53 / 2.99	1.48 / 1.75	2.70 / 3.24	1.37 / 1.74
平均[bpm]	**7.08 / 9.31** (5.64/7.80)	**4.42 / 4.85** (2.31/2.77)	**7.37 / 9.44** (5.61/7.86)	**4.57 / 4.99** (2.32/2.77)

各セルは MAE / RMSE[BPM]。評価区間は約20〜47秒、全手法で共通。

移動中央値は ± 5 秒のデータ

ワーストデータを除いた場合

牛舎における牛の心拍測定

@宮崎大学農学部住吉フィールド
Tx:1, Rx:1 垂直偏波







（ジャージー種への装着例）

参照データとしてGoogle Fitbitをしっぽに装着し心拍計測（赤い包帯を使用）

深度カメラ

パッチアンテナ

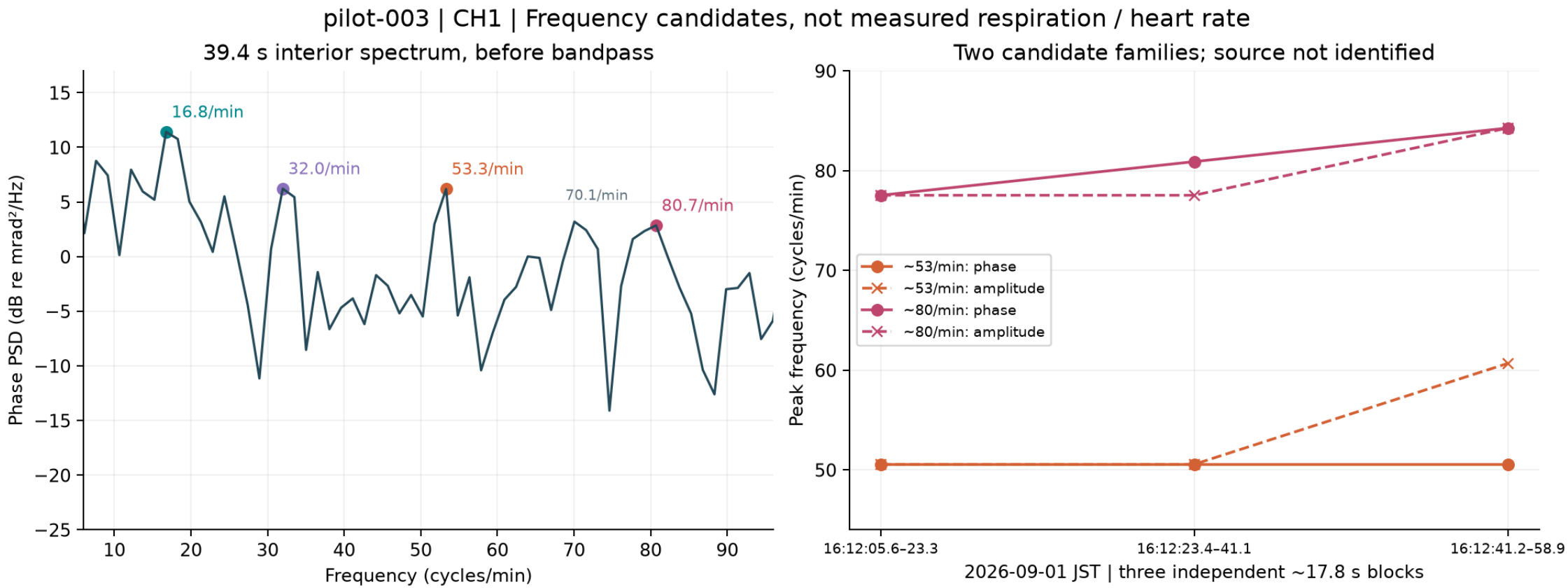
牛舎における測定環境例







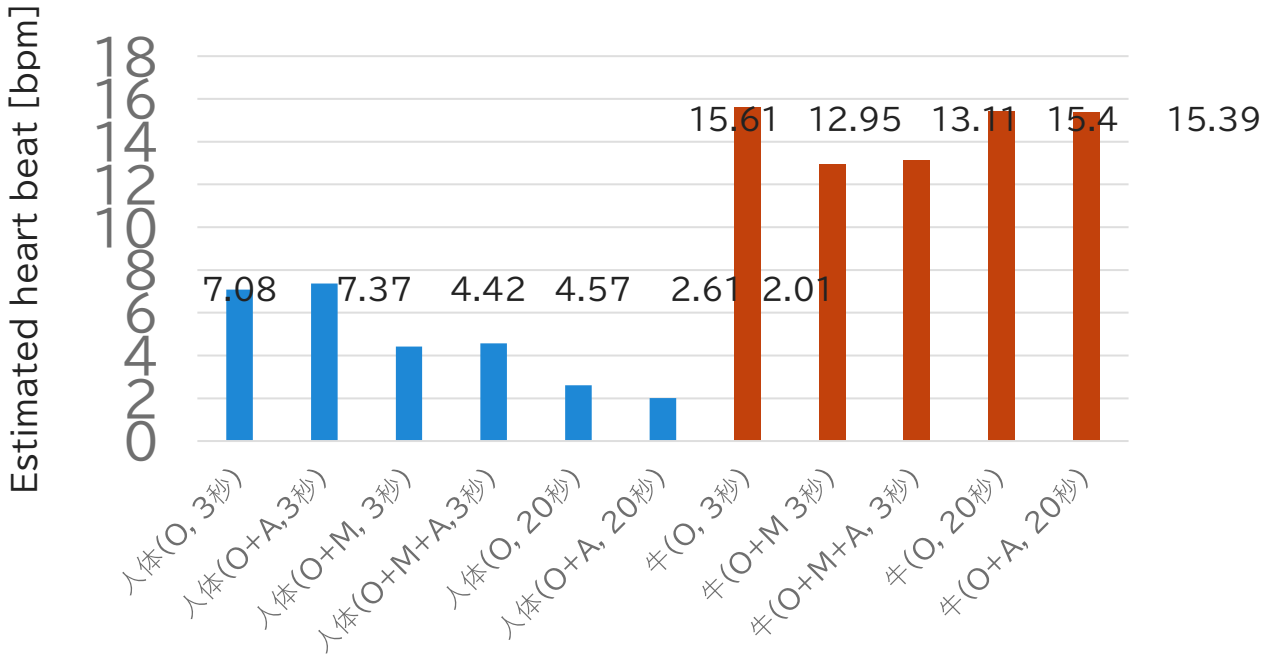
但し，今回示すデータ取得には使用せず。


pilot-003 | CH1 | Frequency candidates, not measured respiration / heart rate
39.4 s interior spectrum, before bandpass
16.8/min
32.0/min
53.3/min
70.1/min
80.7/min
Phase PSD (dB re mrad²/Hz)
Frequency (cycles/min)
Two candidate families; source not identified
~53/min: phase
~53/min: amplitude
~80/min: phase
~80/min: amplitude
Peak frequency (cycles/min)
16:12:05.6–23.3
16:12:23.4–41.1
16:12:41.2–58.9
2026-09-01 JST | three independent ~17.8 s blocks

牛の測定（20260831）	観測値(O)	O＋移動中央値(M)	O+ANC(A)	O+A+M
094359	36.90／38.00	37.79／37.84	36.89／37.99	37.77／37.82
095701	36.81／39.59	37.64／38.91	37.23／40.06	38.23／39.56
101255	8.99／10.92	2.83／3.41	8.88／10.70	2.81／3.40
102759	16.78／19.35	14.69／14.83	16.79／19.36	14.71／14.84
103116	7.51／9.97	2.93／3.28	7.51／9.97	2.93／3.28
103859	13.42／16.12	10.99／11.80	13.42／16.12	10.99／11.79
104248	12.60／14.97	8.99／9.63	12.82／15.26	8.74／9.43
105449	11.57／15.41	4.00／5.47	11.87／15.44	5.40／6.73
105815	12.82／15.24	7.04／7.75	12.97／15.39	7.30／8.00
110336	11.18／14.63	7.00／7.39	11.22／14.72	7.13／7.55
110820	19.79／23.10	18.36／21.35	19.79／23.10	18.36／21.35
111757	13.86／16.18	10.96／11.58	13.86／16.18	10.96／11.58
112111	10.63／13.74	5.12／6.37	10.62／13.74	5.11／6.37
13測定の平均［bpm］	**16.37／19.02**	**12.95／13.82**	**16.45／19.08**	**13.11／13.98**
	(12.65/15.42)	(8.45/9.36)	(12.7/15.45)	(8.56/9.48)

ワースト2例を除いた場合

心拍測定結果の暫定結果



O: 測定データ
A: ANC (Adaptice Noise Canceller, 呼吸高調波除去)
M:移動中央値(±5秒)
3秒,20秒はピークカウント時の窓
人体は6例、牛は13例の平均

- 牛の参照値はしっぽに巻いたGoogle Fitbitによる。
- 測定MAEが参照値から大きく外れる場合も見受けられた。**参照値が十分正確でない可能性**もある。
- ピークカウントについては、その窓が長いほうがより誤差が小さい。
- 人体はほぼ静止状態で、長い窓のほうがANCにより誤差が減った。**条件がよい場合にANCは効果的。**
- 呼吸高調波以外の体動等の外乱については、移動中央値処理の方がMAEを小さくできる。これは、外乱の影響を含む計測結果の中に、**正解に近い値が比較的多く含まれていた**ことを表わしている。
- 以上は比較的簡易な信号処理による暫定結果であり、参照値取得法も含めて検討中。

まとめ

- 2.3 GHz帯の使用を一つの試みとし，電波による乳牛の非接触心拍測定の暫定的な結果について紹介した.
- 牛の心拍計測について，現状では静止状態の人体の場合に比べて誤差が大きい.
- より正確な心拍測定のためには，牛の体格を考慮しつつ，呼吸高調波や体動等の外乱による影響を除去する必要があり，現在検討中の段階である.

  例：測定データ増加や深度カメラと多チャンネル測定の組み合わせ等による

  　　計測情報量増加. ロバストな呼吸高調波誤検出除去および体動の外乱除去.
- 移動中央値による処理については．外乱の影響のある中に比較的参照データに近い値が多く存在することが現れている．中央値処理の窓が長いほうがMAEが小さくなり，短いほうが急激な変化に対応できる.
- 参照値の取得法についても，検討の余地あり.

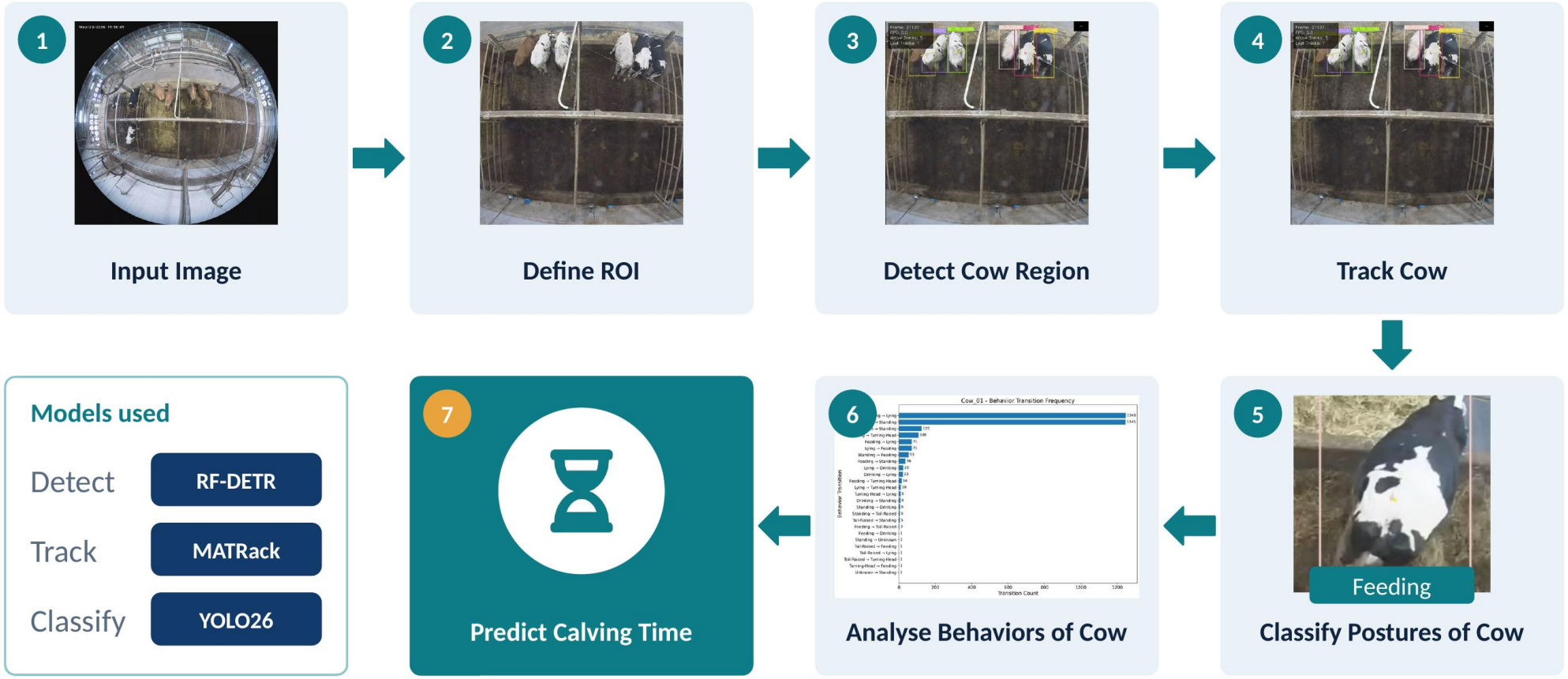
02

映像による牛の検出・追跡

宮崎大学

システムの処理の流れ

映像 → 範囲の設定 → **検出** → **追跡** → 姿勢の判定 → 行動の集計 → **分娩時刻の予測**



牛の検出

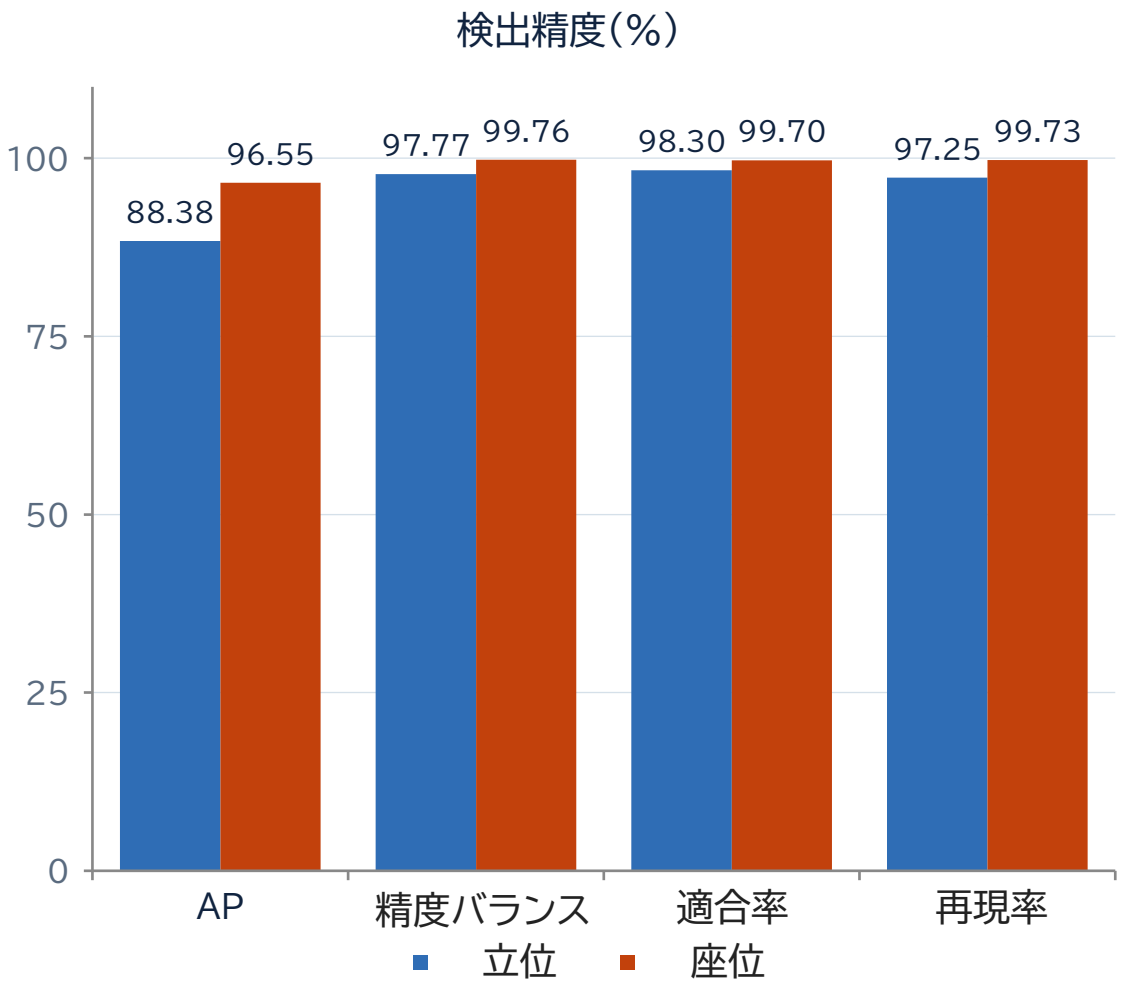
起立の牛（AP）
88.4%

横臥の牛（AP）
96.6%

検出モデル
- RF-DETR（画像認識のAI）
- 学習4,791枚・検証1,200枚

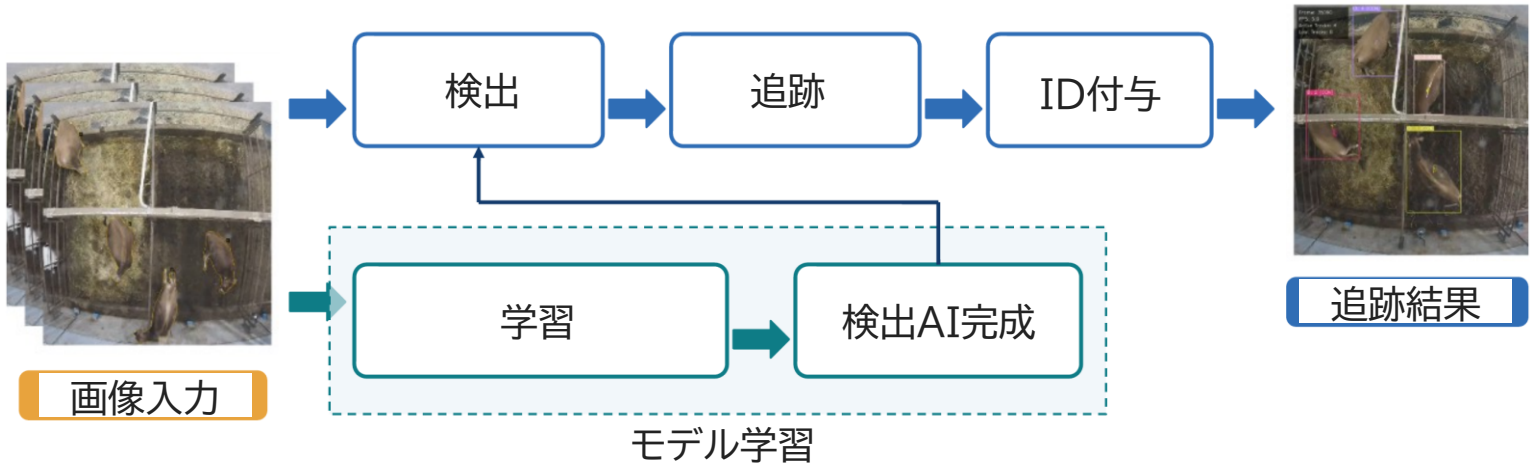
見逃し・誤検出のバランス（F1）
- 起立 **97.8%**・横臥 **99.8%**

適合率・再現率（起立・横臥）
- 適合率 98.3%・99.7%
- 再現率 97.3%・99.7%



牛の追跡の仕組み

構成：検出（RF-DETR Seg Medium、枠とマスクを出力）→ 追跡 → 再識別（RE-ID）



課題

- 牛同士が重なると、重なった後にIDが入れ替わりやすい

MATRackの工夫

- 牛ごとの見え方を記憶し、重なった後も同じ牛と判断

牛の追跡の精度

重なりが多い場面

97.7%

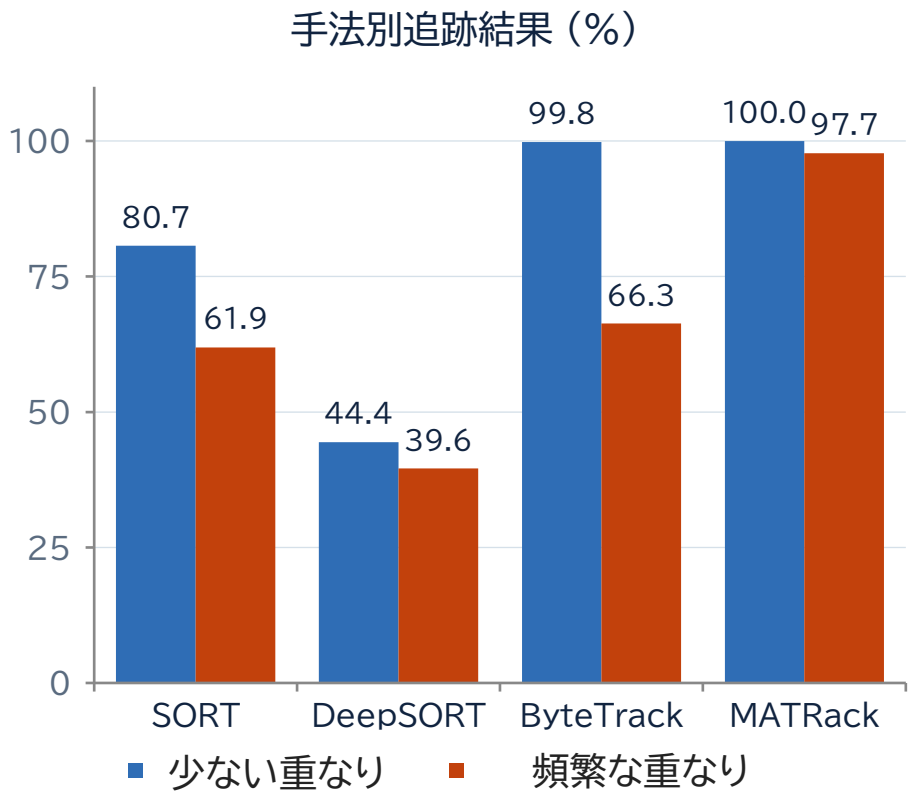
MATRack(HOTA)

重なりが少ない場面

100%

MATRack(HOTA)

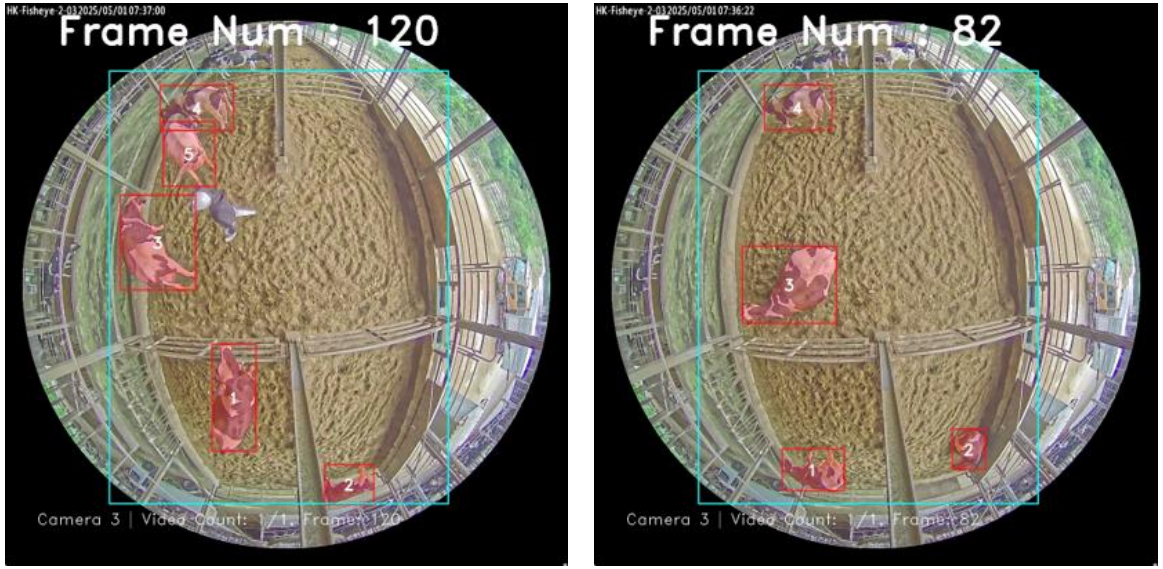
4頭・120分の映像で評価



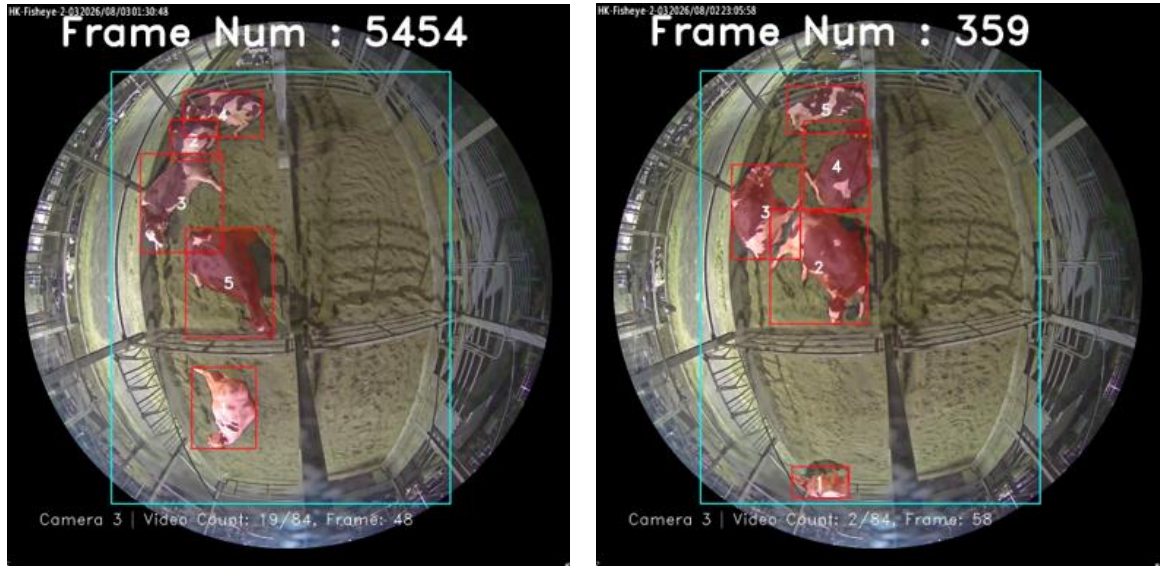
昼と夜の追跡

昼間のカラー映像でも夜間の赤外線映像でも、**牛ごとにIDを付けて追跡**

昼間



夜間(赤外線)



03

分娩前の行動解析

宮崎大学

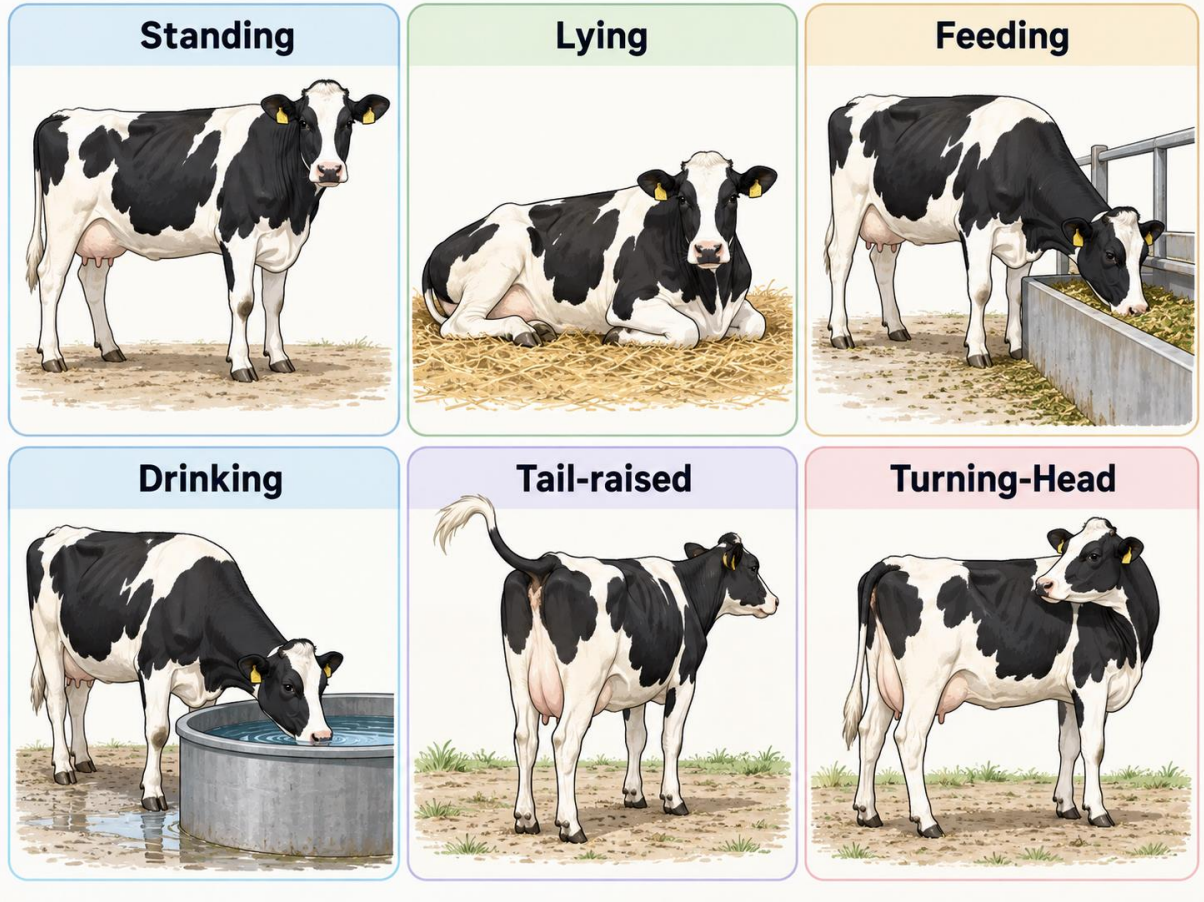
判定する行動と集計方法

姿勢
- 起立・横臥

採食・飲水
- 頭を餌槽・水槽に入れている

分娩の兆候
- **尾上げ**：尾を通常より高く上げる
- **振り向き**：頭を腹部に向ける

集計
- 分娩前の**24時間を1時間ごと**に集計
- 合計時間・回数・発生回数を比較



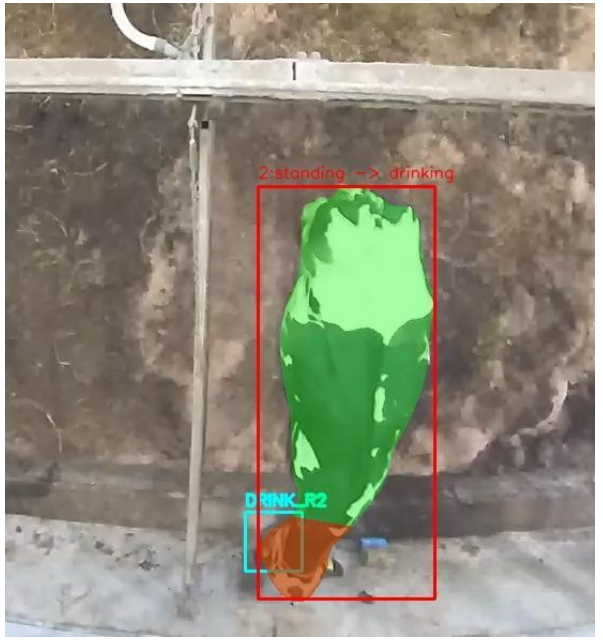
採食・飲水の判定

判定の手順

- ① 牛の形(マスク)を取り出す
- ② 体の向き(体軸)を求める
- ③ 体軸の両端を頭の候補にする
- ④ 頭の側を決め、餌場・水場にあれば採食・飲水と判定

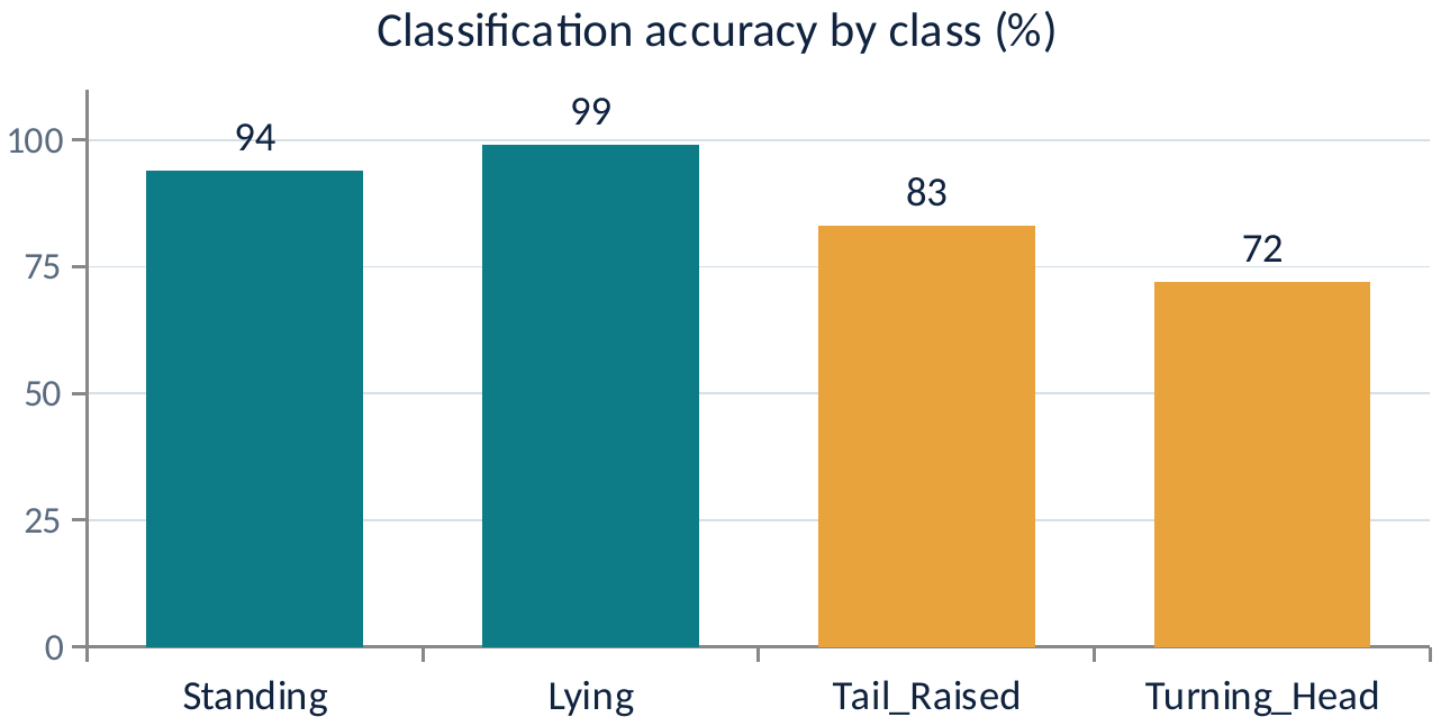
頭の判定に使う手がかり

- 餌場・水場との距離
- 先端の形(細くまとまっている方)





行動の分類精度



分娩の兆候「尾上げ」

83%

行動	学習	検証	テスト
起立	1,372	392	196
横臥	562	160	81
尾上げ	767	219	111
振り向き	296	84	44

分娩牛3頭でのテスト

分娩牛	起立の回数	横臥の回数	採食	飲水
M78	81.3%	87.5%	53.6%	46.7%
M85	88.9%	88.9%	32.5%	76.5%
M110	91.3%	87.0%	100%	79.0%

起立・横臥の回数

平均 87.5%

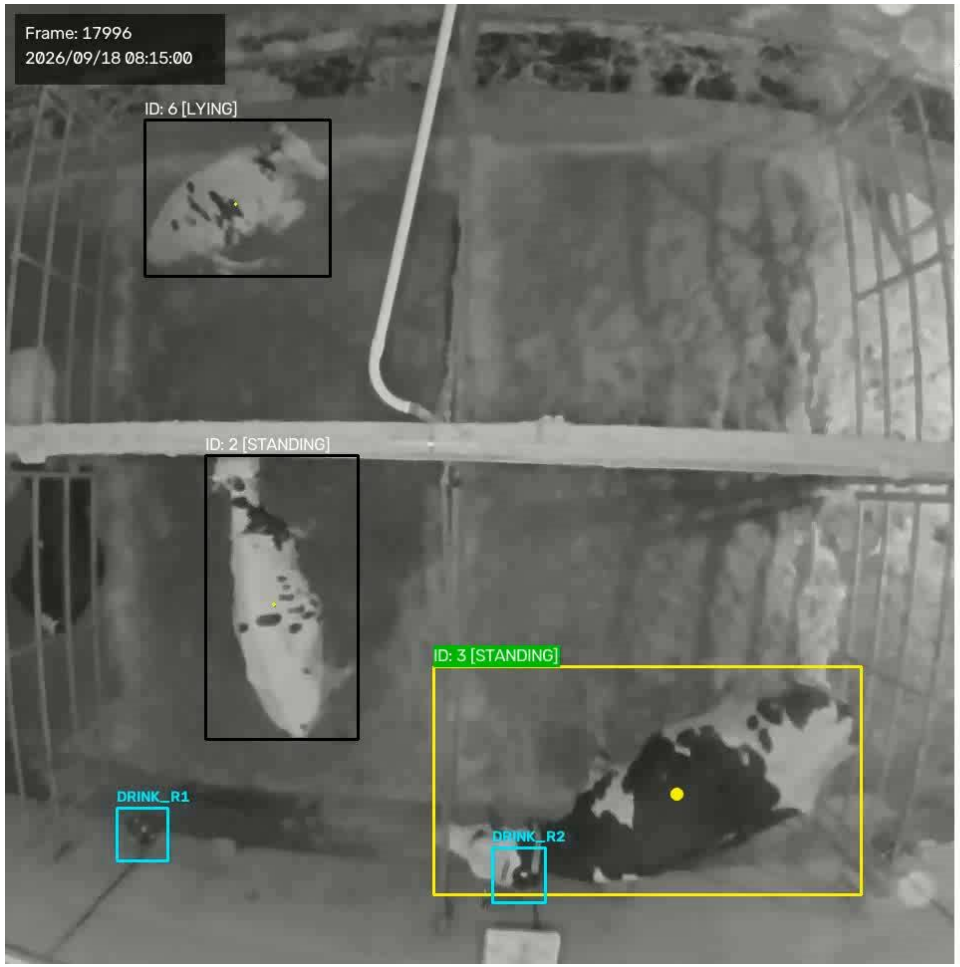
分娩牛3頭の映像でテスト

今後の改良

- 採食・飲水：
  餌場・水場の領域設定を見直し
- 振り向き：学習データを追加

テスト結果の画面

1頭ずつのID・姿勢・行動の時間変化を自動で記録





1頭ずつのID・姿勢・行動の時間変化を自動で記録

バウンディングボックス左上
- 個体IDと判定した姿勢

画面右上
- 1時間ごとの行動のタイムライン

画面右下
- 囲いの中での移動

04

分娩・難産の予測

宮崎大学

動きから分娩・難産を予測する

牛の**移動の軌跡**から、分娩の時刻と
助産が必要かどうかを予測

データ

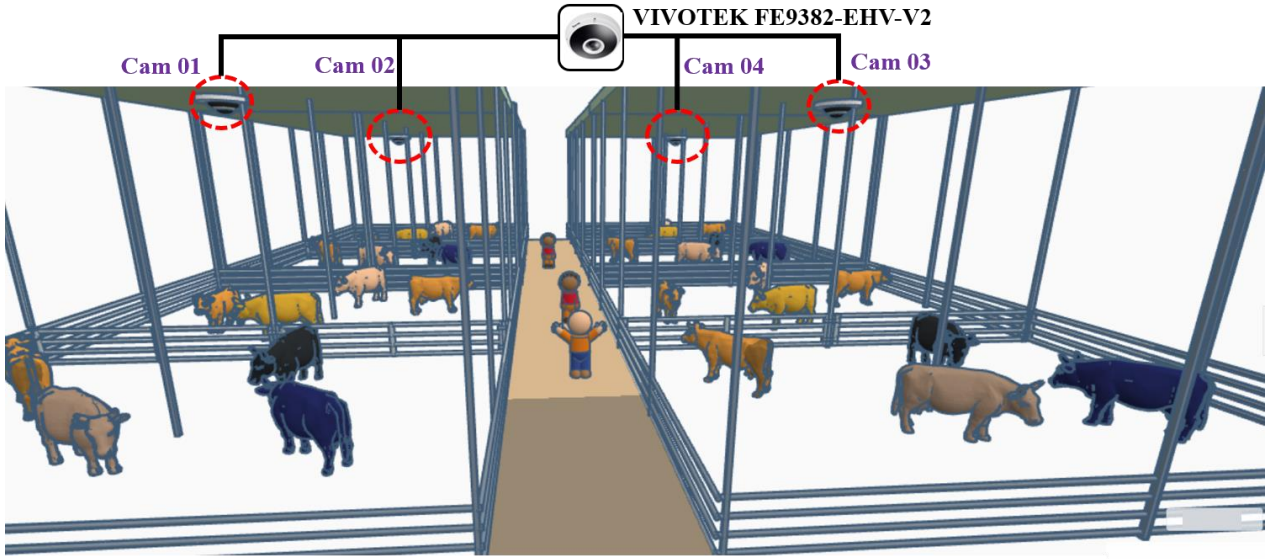
- 大規模牧場の分娩房、魚眼カメラ4台
- 分娩牛20頭（助産あり10頭・なし10頭）
- 分娩前12時間の映像

軌跡の求め方

- 牛の枠の中心を1秒に2回記録

助産の有無（正解）

- 牧場スタッフと獣医師の記録で分類



カメラ4台の配置

先行研究①：起立・横臥の切り替えによる分娩予測

起立と横臥の切り替えが**20回以上**
繰り返されたら、3時間以内に分娩

起立・横臥の判定精度

96.8%

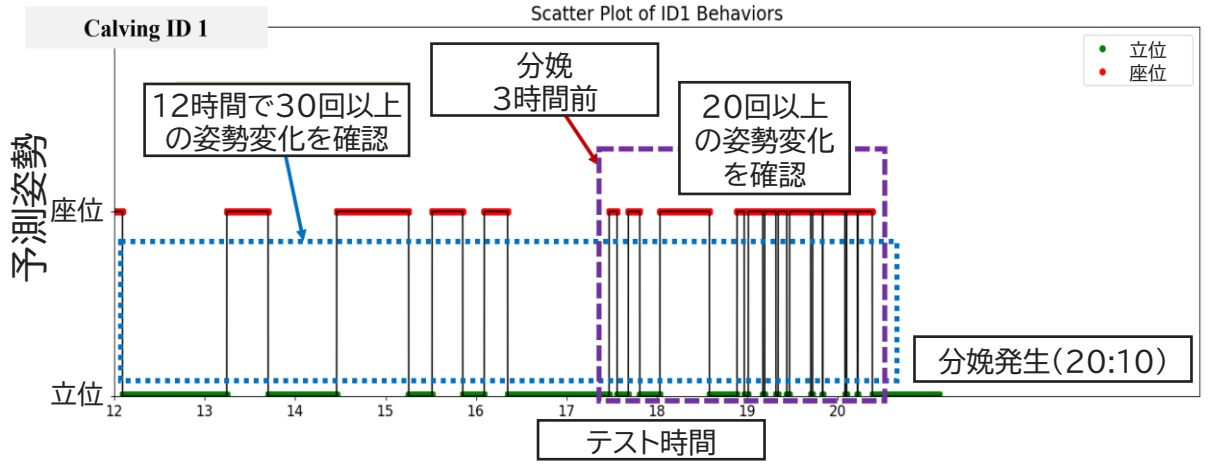
4頭・12時間の映像

方法

- 10フレームずつの画像の特徴を、時系列のAI（LSTM）で判定
- 判定の揺れを補正してから切り替え回数を数える

結果

- 分娩した2頭：予測どおり3時間以内に分娩
- 分娩しなかった2頭：繰り返しは現れない



切り替え回数による予測の例

先行研究②：移動量による助産の要否と分娩時刻

分娩前12時間の移動量から、**助産の要否を判別**し、**分娩時刻も予測**

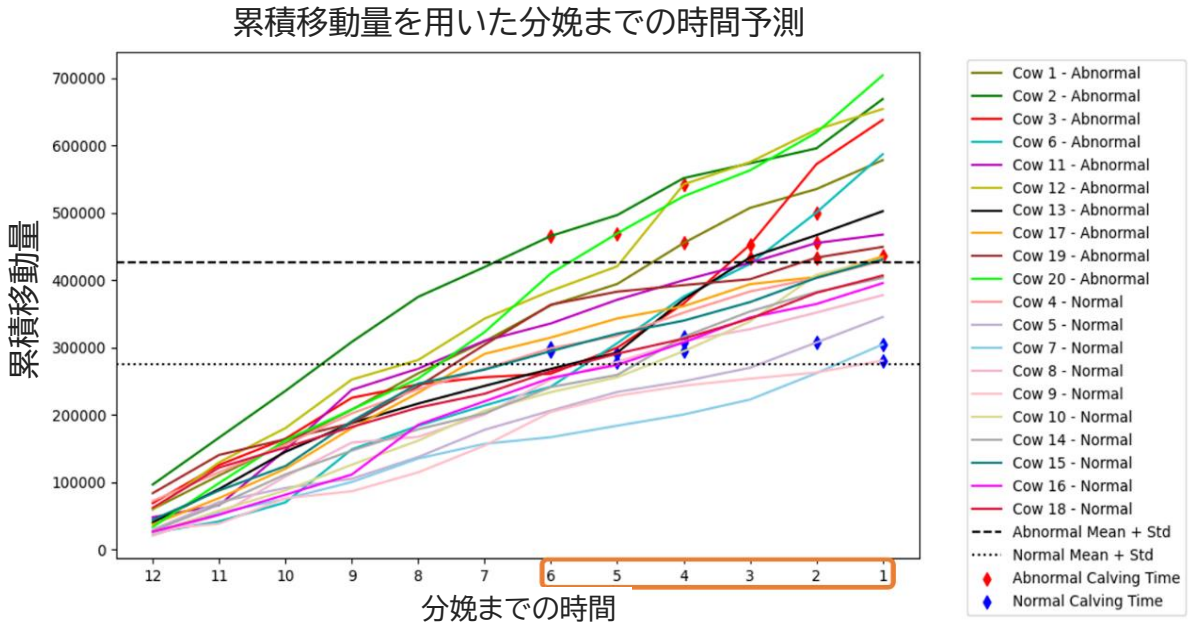
使った特徴	助産の要否の判別
総移動距離	100%
加速度の総量	95%
三角形の面積	85%

分娩時刻の予測（20頭）

- 累積の移動距離：**分娩の6時間前以内**
- 加速度：9時間前以内、三角形の面積：8時間前以内

三角形の面積とは

- 連続する3点の位置が作る三角形の面積
（動きの大きさ・向きの変化を表す）



累積の移動距離による予測

05

3Dモデルと MR表示

宮崎大学

深度カメラによる3D計測

距離の測り方

- 深度カメラ(Intel RealSense D456)
- 2台の赤外線カメラの視差から
  距離を計算(人の両目と同じ原理)
- 視差を、焦点距離と2台の間隔(基線長)で
  奥行きに変換

点群の作成

- 複数台の深度カメラで周囲から撮影
- AI(RAFT-Stereo)で画素ごとの
  奥行きを推定し、点群に変換
- 連続撮影した約10枚を
  1つの点群にまとめる
- 色は別のカラーセンサで撮影し、
  点群に重ねる



赤外線カメラ1



赤外線カメラ2(わずかに位置が違う)

MRデバイスによる個体情報の表示

牛を見るだけで、**ID・分娩予測・体型スコアが目の前に表示**

仕組み

- 牛の顔を検出して、個体を識別
- ID・分娩予測・BCSなどを
  データベースから取得
- 牛の上にラベルを重ねて表示
- ピンチ操作で履歴を確認



06

まとめと今後の展望

宮崎大学

成果のまとめと今後

映像による**行動の数値化と見える化の基盤**が完成。次は**電波の心拍と統合**

技術	現在の成果	次のステップ
検出	起立 88.4%・横臥 96.6%（AP）	多頭飼育の分娩房で安定化
追跡	重なりが多い場面で97.7%（HOTA） 分娩前の夜間を連続追跡	2台のカメラをまたいだ追跡
行動解析	尾上げ83%・起立/横臥　平均87.5% 分娩が近づくと行動が増加	採食・飲水、振り向きの精度向上
3D・MR	1頭分の3Dモデル Vision Proで実機稼働	3Dモデルと予測結果をMRで表示
電波との統合	—	心拍と行動を時刻を合わせて統合