

機関番号：16201
 研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20580287
 研究課題名(和文) 屋根内表面に対するCGモデル豚の放射伝熱形態係数に関する数値解析的研究
 研究課題名(英文) A numerical analysis on radiation configuration factors of surface-model pigs to rectangular planes on gable roofs
 研究代表者
 菱輪 雅好(MINOWA MASAYOSHI)
 香川大学・農学部・教授
 研究者番号：90036088

研究成果の概要(和文)：屋根内表面に対する豚体の放射伝熱形態係数をコンピュータグラフィックス技法と数値積分法を用いた数値計算で解明するために、生体重が27、65、88kgのサーフェスモデル(体表面が多数の三角形パッチで覆われた3次元多面体コンピュータグラフィックスモデル)を供試豚とし、豚体重、屋根内表面までの距離、屋根内表面の大きさ、屋根傾角を入力データとする形態係数計算プログラムを開発した。計算結果は形態係数算定図としてグラフ化した。

研究成果の概要(英文)：Thermal radiation configuration factors of a pig to a rectangular plane on a roof were numerically calculated by using three standing surface-model pigs, computer graphics and numerical integration methods. The surface-models with live weights of 27, 65 and 88 kg were three-dimensional graphic pigs with many surface-mounted triangular patches. The figures for determining the factors were presented as a function of the dimensions of the plane with the pig body weight, the distance between the plane and the pig, and the inclined angle of the roof as parameters.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：農業施設学

科研費の分科・細目：農業工学・農業情報工学

キーワード：豚, コンピュータグラフィックス, サーフェスモデル, 形態係数, 数値解析

1. 研究開始当初の背景

豚は体内における発生熱量と周囲環境への体熱放散量とを平衡させることにより、恒温性を維持しながら生産活動を行っている。エネルギー代謝の観点から、体温調節に使われるエネルギーが小さいほど生産活動に使われるエネルギーは大きくなる。したがって、暑熱期においては体熱放散促進のために、周囲環境から豚体に入射する放射熱量は可能な限り抑制

されることが望ましい。しかしながら、豚体に入射する放射熱量は国内外を問わず、定量的に解明されていない。これは、周囲物体に対する豚体の形態係数(周囲物体から射出される放射熱量のうち、豚体に直接入射する放射熱量の割合)、豚体の有効放射面積(周囲物体との放射熱交換に関与する豚体表面積)、豚体の直達日射面積(太陽直達光の法線面へ直投影した豚体面積)などの放射伝熱に関す

る豚体の基礎資料が豚体の3次元形状に基づいて明らかでないためである。

研究代表者は体重が27, 65, 88 kgである立位豚の3次元形状測定に基づいて作製したサーフェスモデル(体表面を多数の3角形パッチで構成した3次元多面体グラフィックスモデル; 藁輪, 1996)を用いて, コンピュータグラフィックス(Computer Graphics; CG)技法と数理解析的手法を駆使し, 豚体の3次元形状に基づいた豚体の形態係数, 有効放射面積および直達日射面積を解明した(藁輪, 1996; 藁輪, 1998; MINOWA, 1999; MINOWA, 2000; 藁輪, 2003)。これらの結果から, 豚体に入射する長波長放射熱量を算定する際に必須の水平天井面, 側面壁, 正面壁, 背面壁, 床面それぞれに対する豚体の形態係数に関する算定図を提示した。また, 豚体に入射する直達日射量を算定するときに必要な直達日射面積を太陽高度別に示すと共に, 豚体に入射する天空日射量や反射日射量の算定式を提示した。

最近では, 対象豚の周囲に他の豚すなわち隣接豚が存在するときの隣接豚に対する対象豚の形態係数を解明するために, 従来の研究方法に加えてさらに周辺積分(contour integration)法を適用して数値計算を行った。その結果, ケージ式飼養形態を想定した対象豚と隣接豚とが同一方向を向いて平行に位置するときの形態係数, および豚房式群飼形態を想定した隣接豚が対象豚を中心として1回転するときの形態係数が明らかになった(藁輪, 2006)。これらの研究結果により, 水平天井面, 側面壁, 正面壁, 背面壁, 床面から対象豚に入射する長波長放射熱量は隣接豚の存在を考慮した算定が可能になった。

2. 研究の目的

温暖地の開放型豚舎においては低コスト化および棟換気促進のために天井を設けず, 傾斜した屋根だけの豚舎構造が一般的である。飼養規模拡大に伴う豚舎の大型化につれて屋根面積は増大し, 屋根内表面から豚体に入射する放射熱量が大きくなることは容易に推測できる。本研究の目的は, 開放型豚舎の傾斜した屋根内表面に対する豚体の形態係数を明らかにし, それらの算定図を提示することである。屋根内表面に対する豚体の形態係数を豚体の3次元形状に基づいて解明するために, 本研究においても従来の研究と同様に豚体のサーフェスモデルを用いたコンピュータグラフィックス技法と数理解析的手法を駆使し, 豚体中心から屋根内表面までの距離, 屋根内表面の大きさおよび屋根勾配などを変数としてコンピュータによる数値計算を行う。

3. 研究の方法

(1) 供試豚

供試豚は, 生体重が27 kg, 65 kgおよび88 kgである立位剥製豚それぞれの3次元形状測定(藁輪, 1994)に基づいた形状データから, コンピュータグラフィックス技法により生成される体表面が三角形パッチで覆われた3次元多面体サーフェスモデルである(藁輪, 1996)。形状データは頂点座標ファイル, 稜線ファイルおよび面ファイルで構成され, 頂点座標ファイルには1番目に頂点の総数が書き込まれ, 2番目に頂点番号1の頂点の3次元座標, 3番目に頂点番号2の頂点の3次元座標のように頂点の3次元座標が2番目以降に順次書き込まれている。また, 稜線ファイルには稜線の総数が1番目に書き込まれ, 稜線の始点の頂点番号と終点の頂点番号が2番目以降に稜線ごとに順次書き込まれている。さらに, 面ファイルには三角形パッチの総数が1番目に書き込まれ, 三角形パッチの3個の頂点番号列(反時計回転順)と三角形パッチの表向き法線ベクトル成分が2番目以降に三角形パッチごとに順次書き込まれている。

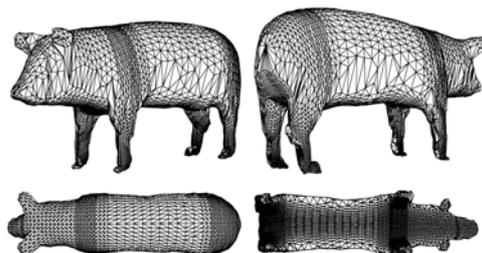


図1 65 kg サーフェスモデル豚の透視投影図

図1は65 kg サーフェスモデル豚の透視投影図である。また表1は3種類のサーフェスモデル豚における頂点数, 稜線数, 三角形パッチ数である。なお27 kg 豚, 65 kg 豚, 88 kg 豚はそれぞれデュロック種雄, ハンプシャー種雄, ランドレース・ハンプシャー交雑種雌であった。

表1 3種類のサーフェスモデル豚における頂点数, 稜線数, 三角形パッチ数

豚体重[kg]	頂点数	稜線数	三角形パッチ数
27	3317	9897	6598
65	4441	13257	8838
88	4670	13956	9304

表2はサーフェスモデル豚の全長(鼻部先端から尻部先端までの水平距離), 最大幅(正中線に直角方向の最大水平距離), 最大高さ(蹄底から胴体最上点までの垂直距離)と体表面積である。

表2 3種類のサーフェスモデル豚における全長, 最大幅, 最大高さ, 体表面積

豚体重 [kg]	全長 [m]	最大幅 [m]	最大高さ [m]	体表面積 [m ²]
27	0.913	0.265	0.468	0.805
65	1.21	0.317	0.570	1.32
88	1.45	0.431	0.699	1.83

(2) 屋根内表面と豚体の位置関係

豚体の最大幅の中心をX軸の原点, 最大高さの中心をY軸の原点, 全長の中心をZ軸の原点とする右手系の3次元座標系において, 豚はこの座標系の原点を豚体中心としてZ軸の正の方向を向いて立位している。X軸の正の領域と負の領域をそれぞれ左側空間, 右側空間と呼称する。またZ軸の正, 負の領域を前方空間, 後方空間とそれぞれ呼ぶことにする。

図2はケージ式単飼型飼養形態を想定し, 豚がZ軸の正の方向を向いて静止しているとき, 図3は豚が自由に動き回ることができる群飼型飼養形態を想定し, 豚がその場で1回転するときの屋根内表面と豚体の位置関係である。屋根内表面すなわち傾斜矩形面は豚体の中心からDだけ離れたY軸上の点を頂点とし, この頂点を作る1辺がZ軸と傾斜角θに, 他の1辺がX軸と平行に位置し, それらの辺長がそれぞれA, Bである。θは仰角を正, 俯角を負として扱う。またZ軸から反時計回りに測った角度αに位置する豚体は, Z軸の正の方向を向いている豚体の形状データから図形回転として生成できる。

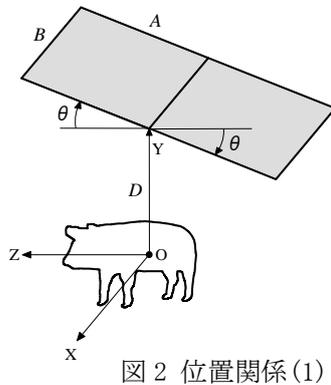


図2 位置関係(1)

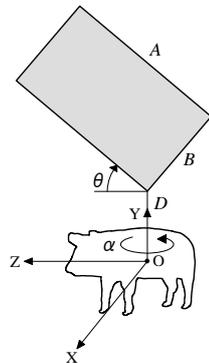


図3 位置関係(2)

(3) 屋根内表面に対する豚体の形態係数

形態係数の計算アルゴリズムは次の通りである。①傾斜矩形面を0.5m×0.5mの小矩形面に分割する。②計算精度と計算速度の観点から小矩形面の各辺を27kg, 65kg豚では6等分, 88kg豚では4等分する。③小矩形面の格子点において, 豚体に対する微小面の形態

係数(φ_{A-dF})を立体角投射法則に基づいたCG技法により求める。④φ_{A-dF}を小矩形面に関して数値積分を行い, 小矩形面に対する豚体の形態係数(φ_{F-A})を計算する。⑤これらの小矩形面に対する形態係数を加算することにより種々の大きさの傾斜矩形面に対する豚体の形態係数を算出する。図4は矩形面に対する豚体の形態係数をCG技法と数値積分により計算する概要である。

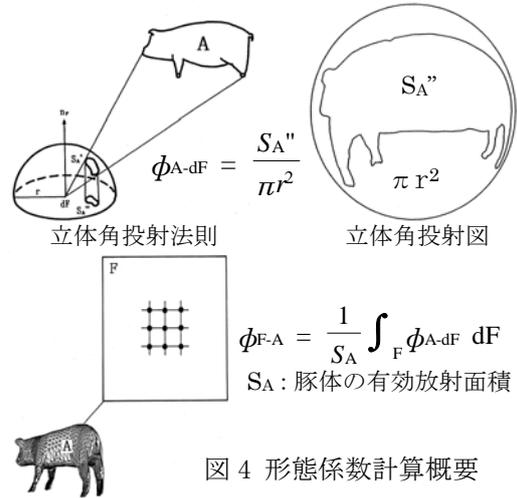


図4 形態係数計算概要

小矩形面における格子点の位置(x, y, z)は, 豚体中心からDだけ離れたY軸上の頂点から辺A方向と辺B方向に沿った矩形面縁の距離をそれぞれa, bとすると次式で表せる。ただしa, bは3次元座標系に基づいて正と負の値を, θも前述したように正と負の値を取るものとする。
[x, y, z] = [b D+a·sin(θ) a·cos(θ)]

(4) 計算条件

屋根内表面すなわち矩形面の大きさはA=3 m, B=5 mとし, Y軸上の矩形面頂点と豚体中心との距離Dは, 矩形面と豚体が接近している場合に主眼を置いて1 mから3 mまで0.5 m間隔で設定した。また, 矩形面の傾斜角θは-30°から5°間隔で30°までとした。

ケージ式単飼型飼養形態を想定して豚がZ軸の正の方向を向いて静止しているときは, 矩形面が右側後方空間, 左側後方空間, 右側前方空間, 左側前方空間にそれぞれ位置するときの形態係数を計算した。他方, 群飼型飼養形態を想定して豚が1回転するときには矩形面と豚体の位置関係が重複する場合を考慮し, 矩形面が右側後方空間と左側後方空間だけに位置し, 上述した矩形面大きさ, 矩形面までの距離および傾斜角の条件で, 豚体回転角αが0°から345°まで15°間隔で形態係数を算出した。

(5) 計算機システム

本研究で使用した計算機システムの主要機器は①デスクトップ型パソコン(日本電気社

製, PC-MY26F)1台, ②デスクトップ型パソコン(日本電気社製, PC-MY31A)4台, ③ノート型パソコン(日本電気社製, PC-VY25A)1台, ④モノクロレーザープリンタ(セイコーエプソン社製, LP-S3000R)1台, ⑤スイッチングハブ(アライドテレシス社製, GS916L)1台である。本システムはスイッチングハブにより外部から独立したネットワークを構成している。①はCPUを4個搭載したCore2 Quadパソコンであり, 他はCPUを2個搭載したCore2 Duoパソコンである。したがって, 高性能である①のパソコンをクライアントコンピュータとし, 他のパソコンをリモートコンピュータとして使用した。

パソコンにはオペレーティングシステム(OS)としてマイクロソフト社製のWindows XP Professionalが, さらに一般的なオフィス用ソフトウェアやユーティリティソフトウェアがインストールされている。本研究に必須なフォートラン(FORTRAN)コンパイラはインテル社製Visual Fortranコンパイラ10.1版, フォートラングラフィックライブラリはエム・アール・アイ・リサーチ・アソシエイツ社製PLOT-PC・2004・IVF版であり, これらのフォートランソフトウェアはクライアントコンピュータだけにインストールされている。

フォートランプログラムの作成やコンパイルはクライアントコンピュータで行った。コンパイル後の実行形式プログラムはリモートコンピュータにコピーし, クライアントコンピュータで入出力を, 5台のリモートコンピュータで計算をそれぞれ実行した。すなわち, 本計算機システムは10個のCPUを同時に使うグリッドコンピューティングシステムに相当する。

(6) プログラム

屋根内表面に対する豚体の形態係数を計算するプログラムソースはFORTRAN言語で記述し, インテルFortran系とPLOT-PC系におけるサービス関数やサービスサブルーチンも使用した。実行形式プログラムはインテル社製VisualFortranコンパイラで作成し, そのファイルサイズは567キロバイトであった。

実行形式プログラムは局部的に並列ベクトル化されているが単スレッド型である。しかし, 前述したように本計算機システムでは5台のCore2 Duoパソコンで計算を同時に実行することから, 本計算プログラムは10個のCPUを同時に使うマルチスレッド型と同等であると言える。

4. 研究成果

(1) 単飼型豚舎における屋根内表面に対する豚体の形態係数

豚がZ軸の正の方向を向いて静止しているときの形態係数算定図例として, 27 kg豚に

おける傾斜矩形面に対する形態係数を図5~8に示す。図5, 6は右側後方空間において,

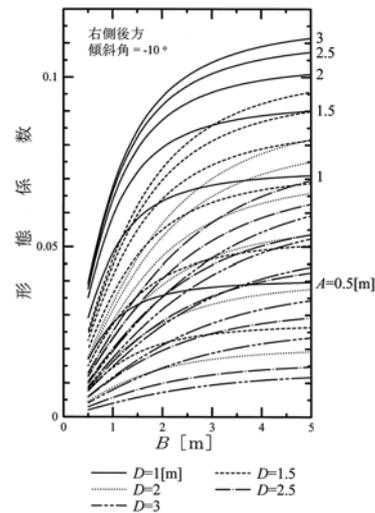


図5 形態係数(1)

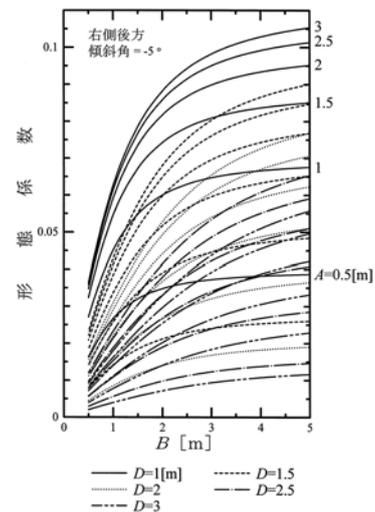


図6 形態係数(2)

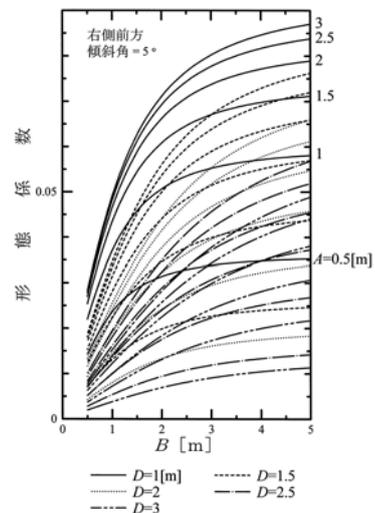


図7 形態係数(3)

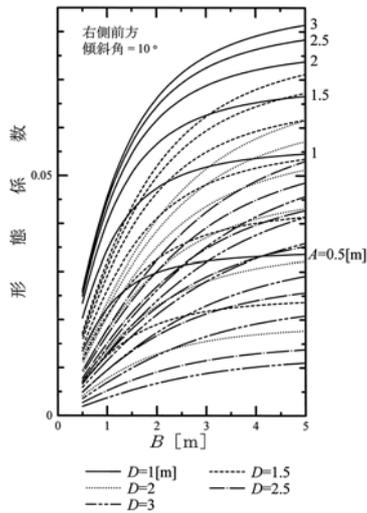


図8 形態係数(4)

図7, 8は右側前方空間において矩形面がそれぞれ5°, 10°の傾斜角でZ軸の負の方向に下り傾斜している場合である。図5と図8から、また図6と図7からそれぞれ、豚体の右側空間に位置する屋根傾斜角が10°, 5°の屋根内表面に対する27kg豚の形態係数を算定できる。

図5~8において、矩形面の大きさ(A, B)や矩形面との距離(D)に対する形態係数の変化特性は従来の研究結果(藁輪, 1998; MINOWA, 1999)と同様である。なお、27 kg豚における他の傾斜角や左側空間、さらには65 kg, 88 kg豚の場合においても図5~8と同様な形態係数算定図を作成している。

(2) 群飼型豚舎における屋根内表面に対する豚体の形態係数

図9は、傾斜矩形面が右側後方空間に位置し、27 kg豚が1回転するときの例である。形態係数は豚体回転角(α)が45°, 135°, 225°, 315°において順に極小, 極大, 極小, 極大となる変化を示している。豚が自由に動き回ることを想定するならば α 別の形態係数よりも

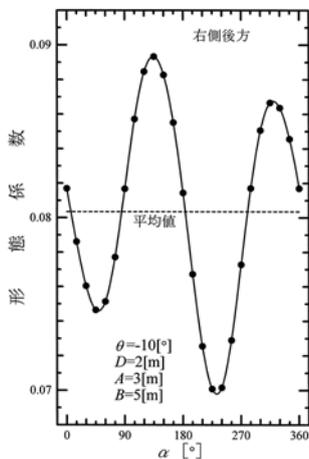


図9 豚が1回転するときの形態係数

豚が1回転したときの形態係数平均値(全方位形態係数と呼称する)の方が実用的である。

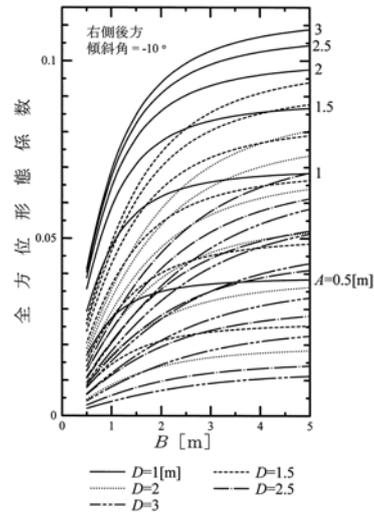


図10 全方位形態係数(1)

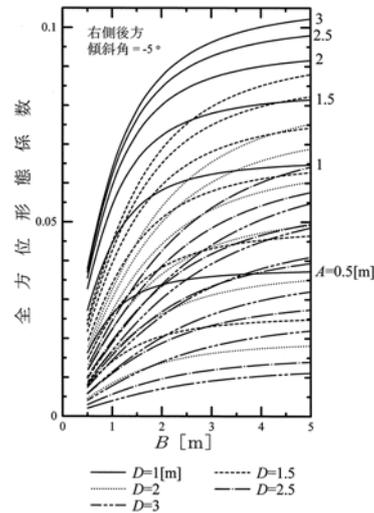


図11 全方位形態係数(2)

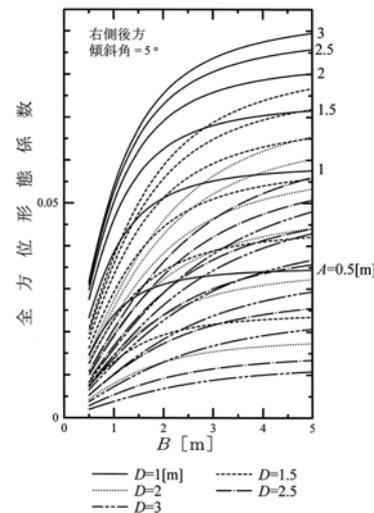


図12 全方位形態係数(3)

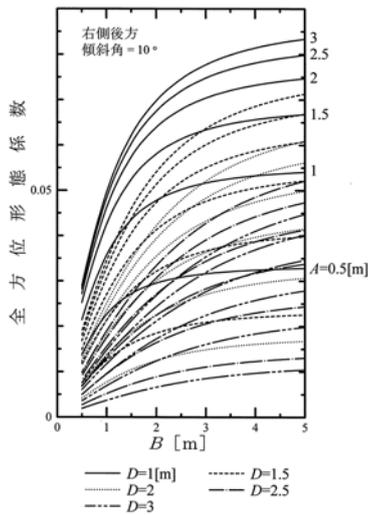


図 13 全方位形態係数(4)

右側後方空間に位置する傾斜矩形面に対する 27 kg 豚の全方位形態係数の例を図 10～13 に示す。図 10～13 においても、全方位形態係数に及ぼす矩形面の大きさ(A, B)や矩形面との距離(D)の影響は従来の研究結果(蓑輪, 1998; MINOWA, 1999; 蓑輪, 2003)と同様である。なお、右側後方空間における他の傾斜角や左側空間においても、さらには 65 kg 豚や 88 kg 豚においても、全方位形態係数算定図を得ている。

図 14 は、右側後方空間において豚体中心から 2 m の距離に、大きさが 3 m×5 m の矩形面が位置するとき、矩形面に対する 27 kg 豚の全方位形態係数と矩形面傾斜角の関係である。矩形面が傾斜角 -30° の下り勾配から傾斜角 0° の水平面、さらに傾斜角 30° の上り勾配と変化するに連れて全方位形態係数は直線的に減少する。この減少率はDが大きくなるに連れて小さくなった。これらの特性は左側空間においても、他の体重の豚においても同様であった。

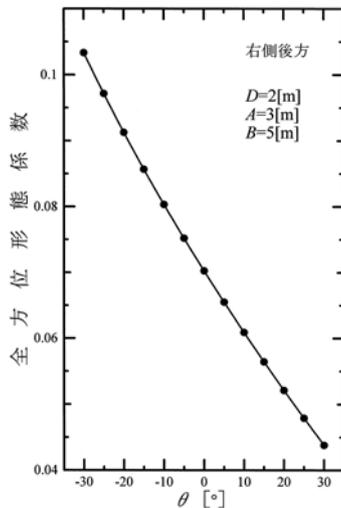


図 14 全方位形態係数と矩形面傾斜角の関係

最後に、本研究成果は体重が 27～88 kg である肥育豚の 3 次元形状に基づいて傾斜屋根内表面に対する豚体の形態係数を数値計算で解明したものであり、それらの結果をグラフ化した形態係数算定図は肥育豚舎内放射熱環境設計に極めて有益な資料かつ簡便な方法として広く利用されることが期待できることを付記する。

(3) 今後の課題

今後の課題は以下の通りである。

①本研究成果をさらに精査、精製し、学術論文として公表する。

②本研究成果は過去における一連の研究結果とともに電子媒体としてデータベース化し、「CG モデル豚に基づいた肥育豚舎内放射熱環境設計支援ソフトの開発」に関する研究に進展させる。

5. 主な発表論文等

なし。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

蓑輪 雅好 (MINOWA MSAYOSHI)

香川大学・農学部・教授

研究者番号：90036088