

無線タグ・ネットワークを用いた牛舎向け管理システムの開発

宮崎 俊之, 山本 寧, 大村 功, 橋場 参生

Research on Management System for Cow Barn using Wireless Tag Network

Toshiyuki MIYAZAKI, Yasushi YAMAMOTO, Isao OHMURA, Mitsuo HASHIBA

キーワード：無線タグ, RFID, アンテナ

1. はじめに

北海道の畜産業において、飼養作業の自動化・省力化は品質、競争力向上への最重要課題の一つである。本道では牛の個体情報に基づく自動給餌機や搾乳ロボット等の導入が積極的に進められており、繁殖や健康管理の高度化も研究され、一部で導入が進められている。また、食の安全保障のために牛の個体識別番号に基づくトレーサビリティ制度が実施されるなど、牛の個体情報そのものの重要性も高まってきている。

「牛の個体情報(=どの牛か)」や「位置情報(=どこにいるか)」の取得は、飼養作業の高度化、自動化において中心的な技術であるが、使用する識別票(タグ)は、トレーサビリティでは耳票、給餌システムではメーカー独自規格の無線タグなど、各システム間の互換性は無い。また他システムでの使用を考えた場合、読み取り距離や番号桁数、またシステム開発に必要な伝送仕様等が公開されていないなどの問題があるため、用途ごと、システムごとに別々のタグ、読み取り機、データ管理ソフトが必要となり、導入時のコストアップ要因や効率化の妨げとなっている。

流通業を中心に普及が進んでいるISO規格のRFID(無線タグ)は汎用性に優れており、これを畜産業でも使いたいという要望が強いが、牛舎内での設置手法や集中管理のためのネットワーク化、得られた個体データの管理や表示方法などが課題となっている。そこで本研究では、規格化された無線タグを牛舎管理に使用可能とするための基礎技術の開発を行い、

飼養作業に統合的に使うことができる個体情報・位置情報管理システムの開発を目指した。

2. 無線タグの概要とアンテナ設計

2.1 牛舎管理に適した無線タグ

牛舎管理用に無線タグを使用する際には、使用目的や設置環境に応じて、下記の項目を十分に検討して選択する必要がある。

- (1) 通信距離
- (2) タグ同時読み取り数
- (3) 障害物(金属や牛体)による読み取り精度の低下
- (4) 水分や汚れの影響
- (5) タグ内の電源の有無(パッシブ型・アクティブ型)
- (6) タグ、リーダ/ライタの価格
- (7) 通信仕様の公開の有無
- (8) タグ内部のメモリ容量

牛舎内で自動給餌システムや行動調査等に使用されているメーカー独自のパッシブ型の無線タグは、通信距離も数10cmと比較的長距離であり、また個体IDや、歩数に対応した活動量のカウント値などの付随情報を得る事も可能である。しかし通信仕様未公開の場合が多いため、そのまま他のシステムで使用するのは難しい。またIDの他に個体ごとの飼養情報等をタグ内部のメモリに記録させたい場合も多いが、メモリレスのため要求に応える事が出来ないなどの問題がある。

2.2 無線タグの選定と仕様

本研究では牛舎管理向け無線タグとして、安価に入手可能であり、大きなユーザメモリ領域を持ち、通信仕様が公開されて

事業名：一般試験研究

課題名：無線タグ・ネットワークを用いた牛舎向け管理システムの研究

いるISO規格に準拠した無線タグの使用を検討した。ISO規格の無線タグは、使用する周波数帯により長波(125~135kHz)、短波(13.56MHz)、UHF、マイクロ波に、またタグ自体に電源を持たせるかによりパッシブ型、アクティブ型に分類される。周波数帯により到達距離、使用するアンテナの大きさ、水分や金属の影響の度合い、さらには入手性やコストが大きく異なる。牛舎内ではアンテナ取り付け部の近くに柵や他の機器などの金属物が多く、また水分や汚れがアンテナ表面に付着する場合も多いため、マイクロ波帯などの直進性が強く水分反射・吸収の大きい周波数帯は不向きであり、本研究では13.56MHz帯と125kHz帯の無線タグシステムについて検討を行った。使用した無線タグシステムの仕様を表1、2に示す。

またアクティブ型の無線タグとして、センサネットワークで使用されるアドホックネットワーク型無線機の使用も検討した。PICマイコン搭載の小型無線機にID情報を持たせて無線通信を行ったところ約25m程度の伝送距離が得られ、中継時には約50mのデータ伝送を確認した。現在、牛舎内での使用を図るため、電源の長寿命化と送信出力・アンテナ利得の変更による伝送距離の調整を中心に使用法を検討している。

表1 使用した13.56 MHz帯無線タグシステムの仕様

項目	仕様
型番	日本アビオニクス製 RD4921A
使用周波数	13.56MHz
インタフェース	RS232C
読取距離	~350mm
データ送信条件	通信速度: 38.4kbps, 19.2bps, 9.6kbps
	データビット数: 8bit パリティ: 偶数/パリティ
	START & STOPビット: 1bit, フロー制御無し
寸法(突起物を除く)	リーダ部 W200×D190×H40mm
	アンテナ部 W412×D312×H12mm(参考)
使用電源	AC100V 1A以下

表2 使用した125 kHz帯無線タグシステムの仕様

項目	仕様
型番	ラステーム・システムズ製 LCNV-RFID3
使用周波数	125kHz
インタフェース	Ethernet, RS232C
読取距離	~50mm程度
ネットワークプロトコル (Ethernet)	物理レイヤ: 10BASE-T
	トランスポートレイヤ: TCP, UDP
	アプリケーションレイヤ: ソケット, http
データ送信条件 (RS232C)	通信速度: 9.6kbps
	データビット数: 8bit パリティ: 無し
	START & STOPビット: 1bit, フロー制御無し
寸法(突起物を除く)	リーダ部 W56×D90×H29mm
	アンテナ部 W85×D50
使用電源	DC+12V

2.3 アンテナの設計

パッシブ型の無線タグでは、リーダ/ライタ(R/W)のアンテナは無線タグに対して(1)動作電力の供給、(2)データの送受を行い、アンテナの種類・形状により、通信可能エリアの距離や形状は大きく変わる。牛舎内の様に限られた空間では、市販アンテナでは形状的に設置が難しい場合が多く、また検出エリアも適当で無い場合も多い。本研究ではアンテナ形状の変更によるエリアコントロールを行うために、各種アンテナの設計・製作を行った。以下、一例として、もっとも良く使用される13.56MHz帯の方形ループアンテナの設計手法を述べる。

短波(13.56MHz)を使う無線タグでは、波長は22mと伝送距離やアンテナ長に比べて非常に長くなる。このため、通信はアンテナの近傍領域(near field)で行われる事となり、結合は磁気的な物が支配的となるため、効率の良いループアンテナが主に用いられる。この状態ではアンテナの入力インピーダンスは整合状態である50Ωより大きく外れるため、R/Wに接続するためには入力整合が不可欠である。また給電は同軸線路等の不平衡線路が用いられるため、平衡型の(電気的に対称な)アンテナに接続するにはバランスが必要となる。

方形アンテナのインダクタンスは以下の式で与えられる。

$$L_{eff} = (\text{一辺の長さ}) \times 0.008 \left[LN \left(\frac{\text{一辺の長さ} \times 1.414}{2 \times \text{線径}} \right) + 0.379 \right] \dots\dots\dots(1)$$

アンテナを並列共振状態とするために必要なコンデンサは、共振周波数を f_0 とすると、下式で与えられる。

$$C_{res} = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 L} \dots\dots\dots(2)$$

無線タグにおいては、搬送波となる13.56MHz以外に側波帯にも信号成分が含まれている。このためアンテナ(ならびに整合回路)にも、それらを通すために十分な大きさのQが必要となる。本研究では、両側の第一側波帯を通過させるために、この値を20として設計を行った。このQ値を得るために必要な並列抵抗値は下式より計算される。

$$R_{par} = 2\pi f_0 L Q \dots\dots\dots(3)$$

アンテナの構造的な共振周波数より低い周波数帯において使用するため、アンテナの放射抵抗はこの並列抵抗値よりも十分に小さいと見なせ、入力インピーダンスはほぼ式(3)の並列抵抗値と考える事ができる。50Ωへ変換するためにm(入力側の巻き数):n(アンテナ側の巻き数)のトランスを使用する場合は、必要な巻き数比(n/m)は下式で与えられる。

$$\left(\frac{n}{m} \right)^2 = \frac{R_m \times R_{par}}{(2\pi f_0 L)^2} \dots\dots\dots(4)$$

本研究ではn=2, m=6とした。このトランスの前段に1:1のバランスを取り付けたのが図1の整合回路である。本回路を挿入した際の S_{11} 入力特性を図2に示す。13.56MHzで入力抵抗は49.88Ωとアンテナの整合がとれている事が確認で

き、通信試験においても市販アンテナと同等の350mm程度の伝送距離が得られた。なお製作したアンテナは小型電波暗室において、放射電界強度が電波法の規格内であることを確認している。

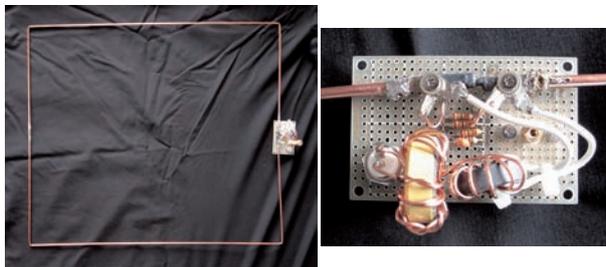


図1 製作した方形ループアンテナ・整合回路

牛舎内では金属柵や金属タンク、床の水分など電波の到達に対する障害が多く存在し、通信距離に大きな影響を与える。たとえば13.56MHzのR/Wの仕様では最大読み取り距離が350mm程度となっているが、常時この距離のタグデータを読み取る事は難しく、背面に金属板が密着するような状況では通信距離はほぼ0となる。またタグとアンテナの向き(放射パターンと偏波面の関係)、書き込み時か、読み取り時かによっても通信距離が大きく変動するため、設置時には十分な注意が必要である。

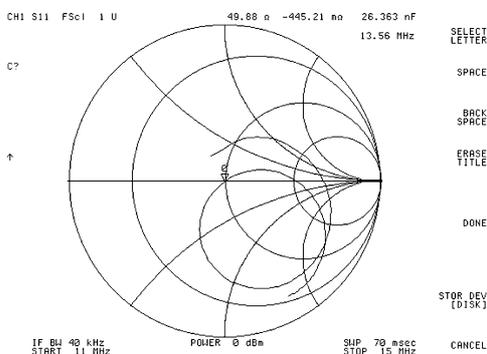


図2 整合回路を取り付けた方形ループアンテナ

3. 牛舎向け管理システムへの無線タグの応用

無線タグを牛舎管理に適用するためには、牛舎内の必要な箇所にR/Wを設置し、そこで得られたID情報を伝送し、必要な処理を行った上で他の飼養システムや作業者への情報提供を行う必要がある。以上を総合的に検討するため、牛舎向け管理システムのプロトタイプを構築した。

3.1 位置情報精度の向上

乳牛の場合、飼育形式は係留方式、フリーストール方式、放牧方式に分類される。フリーストール牛舎では牛舎内が休息エリアや搾乳エリア、給餌エリア、給水場等に別れており、

搾乳ロボットや給餌機などの自動化も進んできている。各個体の位置情報を得る事により、下記の飼養管理が可能となる。

- (1) 牛の行動情報を用いた健康・繁殖等の飼養管理
- (2) 各所に設置された自動装置の作動

(1)を実現するためには、牛舎内の各所に多数のR/Wを設置し、それぞれからの情報を伝送・処理することで位置情報を得る。本手法では「部屋の中のどこにいるか」といった精度の高い情報は得られないが、発情発見の目安等に使用可能である。

(2)を実現するためには、想定するエリア内に入った個体を確実にとらえる事が必要となる。この手法については決定的なものは存在せず、各用途に応じて、また使用する環境に応じての設置時、読み取り時の工夫が必要となる。本研究では複数アンテナを使用し、必要な読み取りエリアを限定的な小エリアの合成によりカバーする手法を検討した(図3)。本手法では、各R/Wが互いに干渉しないように設置距離や読み取りタイミングを考える必要があり、読み取り後の処理も必要となるが、一つのアンテナでは不可能なエリア制御が可能であり、またR/Wの低価格化も進んでいることから有効な手法である。

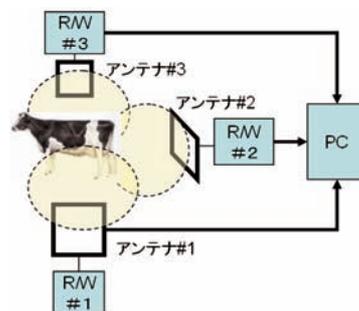


図3 複数アンテナを用いた読み取りエリアの合成

3.2 伝送部の構築

牛舎内では、新たに有線の伝送路を引く事はコスト的に難しい場合が多い。我々は以前より牛舎内におけるスペクトラム拡散(SS)方式無線機の使用に注目し、牛舎内の散乱体や遮蔽物が多い中における無線LANの使用を検討してきた。柵等の金属が多い環境でもSS方式は安定した通信が可能であり、本プロトタイプにおいても無線LANとイーサネットの併用方式を採用した。また位置認識等の精度を高めるには複数のR/Wを使用するのが現実的であると考えますが、これを実現するには1本で多数の信号を伝送可能で輻輳にも強いパケット伝送方式が、シリアル伝送方式と比べて有利である。

3.3 プロトタイプの構築

各R/Wより得られたID情報を伝送し、各個体の位置を推

定、データベース化するプロトタイプを構築した(図4)。本プロトタイプでは4台のR/Wを設置、イーサネットと無線LANにより管理用PCに情報伝送し、位置推定とデータベース化を行う。また得られた位置情報は無線LANにより牛舎内の作業者が携帯する端末(PDA)へ伝送し、飼養作業への利用や個体情報の確認を可能とした。

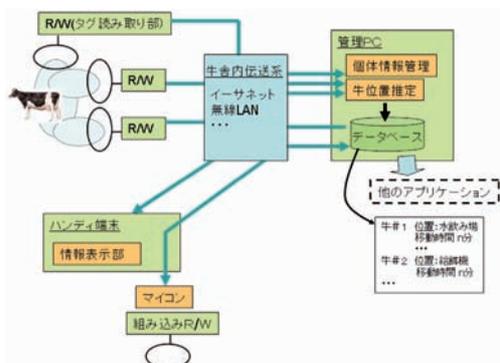


図4 牛舎向け管理システム(プロトタイプ)

個体管理、ならびにPDAプログラムの開発にはMicrosoft Visual Studio 2005を使用し、各R/WならびにPDAとの通信にはsocketを使用した(図5)。現在、機能試験のために本プロトタイプを室内にて動作させており、本年度以降に牛舎内に持ち込んでの評価試験を行う予定である。

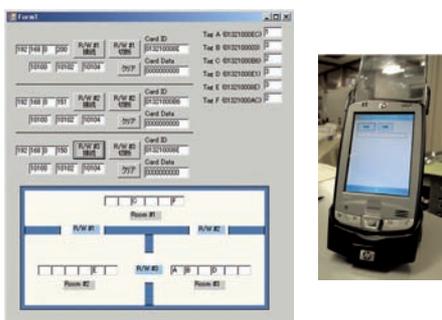


図5 個体管理プログラムと情報表示用携帯端末

4. マイコンを用いたR/W制御

牛舎内において複数のR/Wを無線接続して使用する場合、常時接続が補償されない場合もあるため、その間の処理・データ蓄積はR/W側で行う必要がある。またID情報の他に、時刻や温度などのセンサ情報と組み合わせた状態で個体の行動を記録する事が求められることもある。このような状況が想定される場合には、サーバとなるPCで全てのR/Wをコントロールするのではなく、必要な情報を抽出・蓄積し伝送する事が望ましい。これを実現するため、RFIDのR/Wの制御を入出力の拡張が容易であるローコストなマイコンで行う事を検討し、基本となるソフトウェアを作成した。使用したマイコンは図6、仕様は表3の通りである。

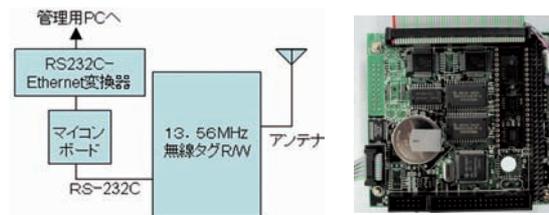


図6 使用したマイコンと接続図

表3 マイコンの仕様

CPU	日立 H8/3067F 20MHz
外付けRAM	16bit 1Mbyte(backup)
CPU内メモリ	5V書き込み可能Flash128kbyte, RAM512kbyte
外付けRTC	RTC062423
外付け入出力	8255 x 2(DIO 48bit) Pullup 済
RS232	3本
基板サイズ	90mm x 96mm

4.1 R/Wの操作とデータの送受信フォーマット

ハードウェアの伝送仕様書に基づき、マイコンとR/W間の送受信プログラムを作成した。使用した伝送フォーマットを表4に示す。R/Wへのデータ送受信は、送信バッファ(tbuf)にバイナリ形式でデータをセットし、関数rw_sendを呼び出す事で実現する。その後に関数rw_respを実行する事により応答メッセージを得る。受信バイト数は正常データ受信時、R/Wの電源が入っていない時、エラー時によって異なる。

表4 マイコン-R/W間の伝送フォーマット

* マイコン→リーダー/ライター (送信)						
*1	HEADER	MSGID	DATALEN	DATA	CSUM	
	FFh	(1Byte)	(1Byte)	(0~50Byte)	(1Byte)	
*1: 送信バイト数 (HEADER から CSUM までのバイト数) 実際に送信するデータは HEADER から CSUM まで 送信関数名 int rw_send(char *tbuf) 戻り値は送信バイト数						
* リーダー/ライター→マイコン (受信)						
*2	HEADER	MSGID	DATALEN	STATUS	DATA	CSUM
	FFh	(1Byte)	(1Byte)	(2Byte)	(0~50Byte)	(1Byte)
*2: 受信バイト数 (HEADER から CSUM までのバイト数) 受信関数名 int rw_resp(char *rbuf, int TIME_OUT_VALUE); 戻り値は受信バイト数						
HEADER: メッセージヘッダ(FFh 固定)						
MSG ID: メッセージ ID (タグ読み取り 41h(ホスト→) C1h(R/W→)等)						
DATA LEN: DATA または STATUS+DATA のバイト数						
STATUS: 通信結果を示す値						
CSUM: チェックサム: MSG ID から DATA の最後までを1バイトずつ排他論理加算した値						
TIME_OUT_VALUE: 受信データ途切れ判定のための待ち時間						

以下、本プログラムを使用したタグID読み取り例を示す。

- (1) 送信バッファtbufに値 {04,ff,41,00,41} をセットして rw_send(tbuf)を呼び出す(ff,41等は16進値)。
- (2) タイムアウト値を100msとしてrw_resp(rbuf,100)を呼び出すと、タグがアンテナの近くにない場合には受信バッファrbufに値 {05,ff,c1,01,02,c2} がセットされる。
- (3) タグがアンテナの近くにあり正常に動作した場合は rbufに値 {13,ff,41,00,09,A1,A2,A3,A4,A5,A6,A7,A8,40} がセットされる(A1～A8は8バイトのタグID)
- (4) なお、rbufの1バイト目rbuf [0]の値は受信バイト数を示し、4バイト目rbuf [3]の値は状態コードでこの値が 0x00の時は正常動作、0x01の時はタグなしを表す。

またR/Wの送受信プログラムの他にも、表5に示すR/W操作の基本的なプログラムを作成した。実際のアプリケーション開発ではこれらの操作を組み合わせて実現する事が可能である。例えば使用したR/Wには4つのアンテナを取り付けることが可能であるが、受信アンテナの切り替えプログラムを使用する事で、複数アンテナを用いた検出エリアの広範囲化を行う事ができる。

表5 リーダ/ライタの操作と作成したプログラム内容

リーダー/ライタの操作	プログラム内容
タグのID読み出し	8バイトのIDコードを読み出す
アンテナの切り替え	アクティブアンテナのチャンネル選択
ブロックデータの読み出し	タグID、ブロック番号を指定して8バイトのブロックデータを読み出す。
ブロックデータの書き込み	タグID、ブロック番号を指定し、8バイトのブロックデータを書き込む。
書き込みベリファイ有効	データ書き込み時にベリファイを有効にする。
書き込みベリファイ無効	データ書き込み時にベリファイを無効にする。

** ブロック番号は5～15のいずれかを指定する。

5. まとめ

本研究では、普及の著しいISO規格の無線タグを牛舎管理に適用するための要素技術開発、プロトタイプの開発を行った。牛舎内で個体管理、位置情報管理を行うには、必要なエリアにおいて無線タグを確実に読む事が必要である。本研究ではこの問題を解決するためにアンテナ設計技術の開発やR/Wのネットワーク化技術の開発を行った。また実際のアプリケーションで必要となると考えられるR/Wのマイコン制御手法についても開発を行う事ができた。今後はプロトタイプを用いた現場試験を行い、これらの有効性を確認していく予定である。

無線タグは本研究を始めた当初よりも多方面において大規模に使用されるようになってきており、今後もこの流れは続い

て行くと考えられる。反面、使用される分野の拡大につれて、基本となる「確実にR/Wに読ませる技術」や「アンテナ工学や環境ノイズ測定に基づく設置技術」、「組込機器への搭載ノウハウ」といった問題の重要性が増してきている。今後は本研究で開発した各要素技術を、畜産業以外の分野へも活用していきたい。

引用文献

- 1) HF Antenna Design Notes Technical Application Report, TEXAS INSTRUMENTS, (2003)
- 2) 無線ICタグのすべて, 日経BP社, pp.144-151, (2004)
- 3) 宮崎・山本・大崎: “牛舎におけるデータ伝送システムの設計と給餌システムへの適用”, 技術支援成果事例集 2003, p.38, 北海道立工業試験場, (2003)