

## 簡易通信ネットワークを用いた牛舎管理システムの開発

山本 寧, 堤 大祐, 吉川 毅  
川口 隆\*, 菅原 博道\*, 深谷 政廣\*

## Development of Control System in Dairy Barn with Simple LAN

Yasushi YAMAMOTO, Daisuke TSUTSUMI, Takeshi KIKKAWA  
Takashi KAWAGUCHI\*, Hiromichi SUGAWARA\*, Masahiro FUKAYA\*

## 抄 録

酪農業において、作業の省力化に対する強い要望がある。乳牛の場合、牛舎内には牛に飼料を与える自動給飼機、搾乳システムなどの省力化酪農機器が導入されている。搾乳量は飼料の与え方で大きな違いが出るため、搾乳量のデータを収集し、個体の状態（年齢健康状態、分娩後の経過日数）に合わせたきめ細かな給飼を行うなどの牛舎管理が求められる。しかし、こうした機器（システム）はそれぞれ独立に動作しており、合理的な酪農経営を行うためにはこれらを一元的に管理することが必要である。

そこで、独立に動作していた牛舎内の酪農機器類を有線／無線の通信路で母屋にあるパソコンと接続し、パソコンからの遠隔制御、遠隔監視を実現する牛舎管理システムを開発した。

本システムにより、乳量計で計測した搾乳量をパソコンにデータとして蓄積し、パソコン上で、個々の牛の搾乳量と給飼量を関連づけた給飼パラメータを設定して、自動給飼を行い、かつ、牛の健康状態を監視することで、酪農作業の省力化が実現できた。

## 1. はじめに

本道は全国で最も酪農が盛んな地域であり、作業の省力化に対する強い要望がある。乳牛の場合、牛舎内には牛に飼料を与える自動給飼機、搾乳とその乳量を計測する搾乳システム、牛の健康状態や繁殖時期を監視するビデオカメラシステムなどの省力化酪農機器が導入されている。

搾乳量は飼料の与え方で大きな違いが出るため、搾乳量のデータを収集し、健康状態、分娩後の経過日数などの個体の状態に合わせたきめ細かい給飼を行うなどの牛舎管理が求められる。しかし、こうしたシステムはそれぞれ独立に動作しており、合理的な酪農経営を行うためにはこれらを一元的に管理することが必要であった。

そこで、「牛舎内に無線及び有線の通信路を設け、母屋に設置するパソコンから、牛舎内の複数ある酪農機械を一元的に管理する牛舎管理システム」の開発を行った。システムの

開発にあたっては制御システム向けのマイコン用リアルタイム OS を開発し、通信制御技術及び乳牛の飼養管理に関する技術などの要素技術を組み合わせて対応した。

## 2. 乳量と給飼量の関係

搾乳量は分娩後の経過日数により大きく変動する。乳牛の泌乳曲線を図1に示す。

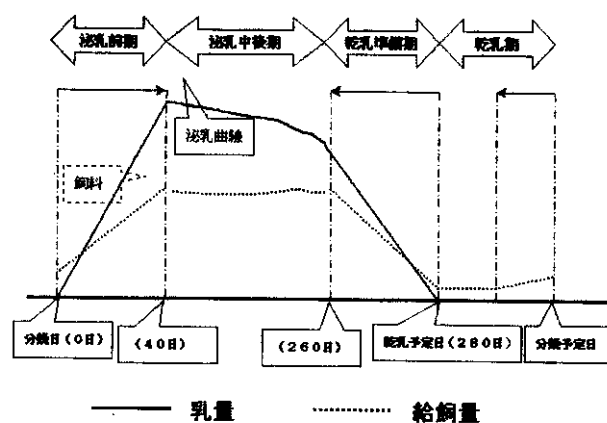


図1 乳牛の泌乳曲線

\* 北原電牧株式会社

分娩後、40日位までは乳量が増加しピークを迎え、その後、次第に乳量が減少する。次の分娩の2ヶ月前には搾乳を止め、体を休ませる必要がある。給餌はこの泌乳曲線に対応させて、適量を与えることが経済的である。また、この泌乳曲線のサイクルを繰り返すためには、分娩後3～4週後から発情を検知して、種付けを行う継続的な計画を立てる必要がある。

### 3. 牛舎管理システムの構成

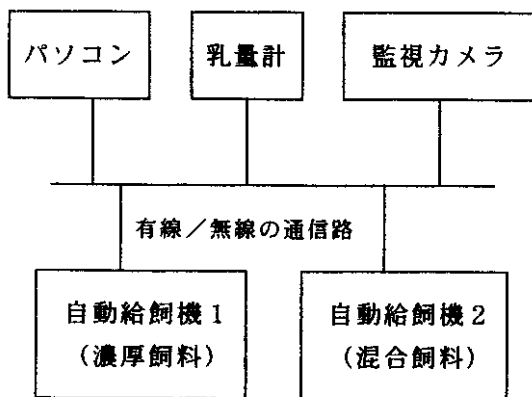
牛舎には各種の酪農機器が導入されている。しかし、各々の酪農機器は独立に動作している場合がほとんどである。

開発した牛舎管理システムでは、各酪農機器に通信機能を持たせ、有線/無線の通信路でパソコンと接続させた。酪農機器の制御パラメータの設定や動作状態のモニタ、牛の健康状態の監視などを、母屋にあるパソコンから遠隔で行うことができる。

牛舎管理システムの機器構成図2に示す。

基本構成は、牛に濃厚飼料を与えるタイプの自動給餌機、あるいは粗飼料、濃厚飼料などの複数の混合飼料を与えるタイプの「(TMR型)自動給餌機」、搾乳とその量を把握する「乳量計システム」、牛の健康状態や分娩時期を把握する「監視カメラシステム」、個々の酪農機器とデータの交換を行う「有線及び無線の通信路」、「パソコン」、「無線機」である。なお、パソコンは母屋に、他の機器は牛舎内に設置する。

牛に与える給餌は1日6回～10回に分けて与えるが、その量は個体毎、給餌回毎に、分娩後の経過日数、前日までの搾乳量の履歴などにより異なる。パラメータの更新はその日の決まった時間に、母屋にあるパソコンで個々の牛に対して、搾乳履歴、分娩からの経過日数および健康状態により、1回毎に与える給餌量を計算して、給餌機に搭載した制御器に有線/無線の通信路経由でデータ送信する。



- \* 1 パソコンは母屋、他は牛舎内に設置
- \* 2 通常、自動給餌機はどちらかのタイプ

図2 牛舎管理システムの機器構成

また、給餌機、乳量計測器、監視カメラなどの牛舎内の機器の状態監視、動作制御パラメータの変更もパソコンから行う。酪農機器はそれぞれ種類に応じた固有の動作とパソコンとの間データ通信を並列的に行う。

図3は酪農機器のレイアウトのイメージである。監視カメラ及び自動給餌機は牛舎内に敷設したレール上を移動する。

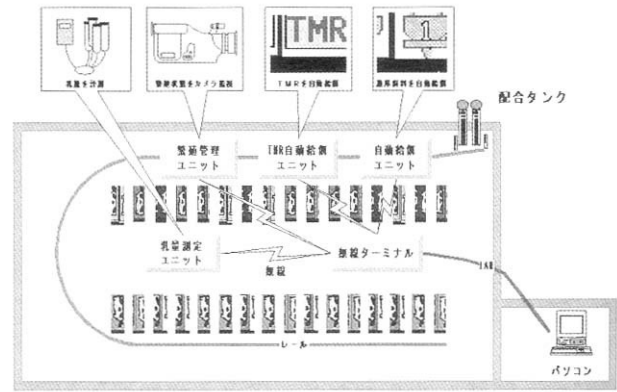


図3 牛舎管理システムのレイアウト

### 4. 牛舎管理システムの開発

#### 4.1 開発方針

酪農機器に必要な制御内容を検討し、以下の開発方針を定めた。

##### (1) 並列動作制御の実現

個々の酪農機械のマイクロコンピュータシステムに搭載するリアルタイムOSを開発し、複数の動作制御を同時並行的に行う。

##### (2) プログラム開発の効率化

プログラムを内容毎にモジュール化し、共通化を図って、プログラム開発を効率化する。

##### (3) データ通信コマンドによる酪農機械制御

牛舎内の個々の酪農機械の制御はパソコンから有線/無線の通信路を経由し、制御パラメータを与えて行う。

#### 4.2 本システムの特徴

本牛舎管理システムの特徴を以下に示す。

##### (1) GUIによる操作性の向上

パソコンから集中管理するため、使いやすいGUI(ユーザーインターフェイス)を開発した。

マウス操作および簡易なデータ入力により、給餌パラメータ設定や給餌動作のモニタ、搾乳データの収集、監視カメラの移動/首振り動作(パン、チルト)、ズーム動作制御などができる。

##### (2) 牛舎内に簡易LAN構築

自動給餌機をはじめ各酪農機器は全てパソコンからのデー

タ通信により制御できる。なお、通信方式はイーサネット方式と非同期通信方式の2つの方式を検討したが、必要とされるデータ通信速度、他社から発売されている酪農機器とのデータ通信、LAN構築にかかる費用などを考慮し、非同期通信方式を採用した。パソコンと複数の酪農機器との間の通信速度は9600bpsとした。

なお、パソコンとの通信路において、牛舎内で移動しない機器との通信路は有線（RS-485）、移動する酪農機器との通信路は無線（スペクトル拡散方式）とした。

(3) リアルタイム OS の搭載

各酪農機器の制御装置には事象駆動型(イベントドリブン)で横取り可能(プリエンプティブ)なリアルタイム OS を搭載し、例えば給飼動作中でも、非同期に入ってくる通信データの処理、異常診断処理を同時並行的に行える。

4.3 酪農機器のハードウェア構成

酪農機器のハードウェアは極力共通性を保つ様に設計し、コストの低減化とプログラム開発の効率化を図った。

制御装置は各酪農機器で共通な共通部と酪農機器毎に固有な固有部から構成される。

共通部のハードウェア構成を表1に示す。制御装置内部の外観を図4に示す。共通部のハードウェアはシリアル通信ポートを3チャンネル持つ16ビットCPU(東芝製TMP68301)を搭載した市販のマイコンボード、パソコンとの通信を行うための無線機、信号変換器で構成される。

表1 制御装置(共通部)のハードウェア構成

| 機能名   | 仕様   |
|---|--|
| CPU部<br>タイマインタフェイス<br>シリアルインタフェイス<br>パラレルインタフェイス<br>時計部 | TMP68301(東芝製)<br>3チャンネル<br>3チャンネル(RS-232C)<br>48bit<br>リアルタイムクロック<br>(RTC62421:エプソン) |
| 無線機   | SS無線機(DSSNET-R<br>データリンク(株))   |
| 信号変換器   | RS-485/RS-232C   |

3つのシリアルチャンネルの内チャンネル0は母屋のパソコンとの通信に、チャンネル1は開発時の状態監視/デバック用に、チャンネル2は各酪農機器に固有なデータ通信に用いた。

また、全ての酪農機器の制御器はパソコンが持っている時計の時刻に合わせるため、リアルタイムクロック(RTC62421)を搭載した。

無線機はRS-232Cインターフェイス仕様で接続でき、最近安価になってきたSS(スペクトル拡散)方式のものを採用した。また、RS-232Cと有線の通信路であるRS-485の変換装置は回路設計を行い内作した。

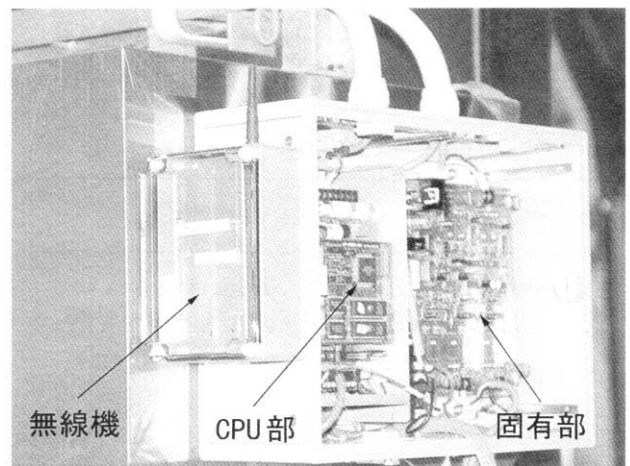


図4 制御装置内部の外観(自動給飼機)

制御装置の固有部のハードウェアは酪農機械の種類によって異なる。その構成を表2に示す。

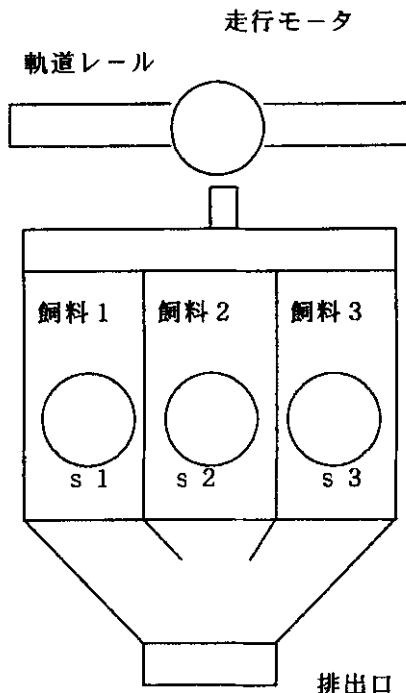
自動給飼機のうち、濃厚飼料タイプでは定量フィーダ(スクリュウフィーダ)の回転数の制御により給飼量が定まる。しかし、混合飼料タイプの給飼機では、重量計(ロードセル)を用い、ベルトコンベアを制御することにより給飼の量が定まる。そのため、このタイプの給飼制御はハードウェア構成および制御の方法がやや複雑となる。

乳量計測ユニットの固有部は共通部のCPUとの通信を行う光リモコン送受信装置で構成した。

監視カメラの移動/首振り動作などはパソコンからのデータコマンドにより制御するが、カメラによる映像データは別の送受信装置(トランスミッタ、レシーバ)により伝送する。

表2 制御装置（固有部）の構成

| 機械名             | 構成   |
|-----------------|--|
| 自動給飼機<br>(濃厚飼料) | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ モータドライバ<br/>(走行1、給飼4)</li> <li>・ 回転制御回路 (台形駆動)</li> </ul>   |
| 自動給飼機<br>(混合飼料) | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ モータドライバ<br/>(走行2、コンベア駆動2、攪拌3)</li> <li>・ アナログインターフェイス回路</li> <li>・ 回転制御回路 (台形駆動)</li> <li>・ 重量測定回路</li> </ul>   |
| 乳量計測器           | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 光リモコン装置</li> </ul>  |
| 監視カメラ           | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ CCDカメラ (ソニー EVI-D30)</li> <li>・ 無線式映像トランスミッタ<br/>(RFシステム研究所 550T)</li> <li>・ 無線式映像レシーバ<br/>(RFシステム研究所 BS-120GRH)</li> <li>・ ビデオキャプチャーボード<br/>(メルコ MEG-VC1)</li> </ul> |



\* 1 s1 . . s3はスクリーフィーダ

図5 自動給飼機（濃厚飼料タイプ）の構造

4.4 酪農機器の制御概要

開発した各酪農機器の制御概要は次の通りである。

(1) 自動給飼機（濃厚飼料タイプ）

- ・ パソコンとのデータ通信
- ・ 走行モータによる牛床位置制御
  - － 給飼位置への移動
- ・ 給飼量の制御
  - － スクリューフィーダに連結した給飼モータの回転時間制御

このタイプの給飼機は飼料の種類毎に、区分けされており、その内部構造を図5に、外観を図6に示す。

(2) 自動給飼機（混合飼料タイプ）

- ・ パソコンとのデータ通信
- ・ 走行モータによる位置制御
  - － 給飼位置への移動
- ・ 粗飼料および濃厚飼料の供給
- ・ 給飼量（重量）の計測

このタイプの給飼機は混合済みの飼料について、定めた量だけ飼料を排出する。その外観を図7に示す。



図6 自動給飼機（濃厚飼料タイプ）

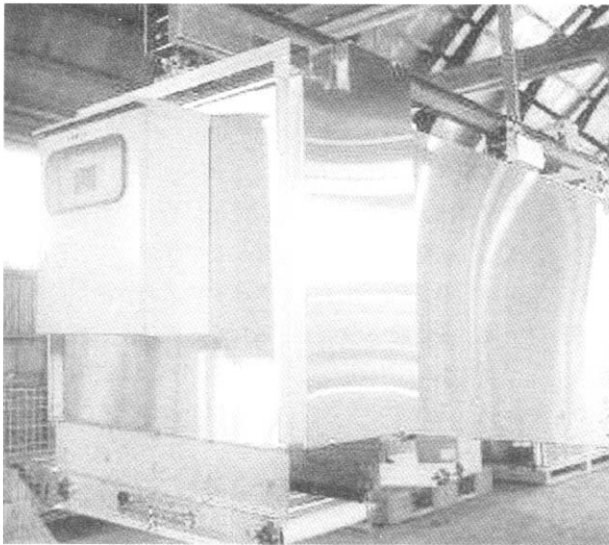


図7 自動給飼機（混合飼料タイプ）

(3) 監視カメラ（図8）

- ・ パソコンとのデータ通信
- ・ カメラユニットとの通信
  - － パン、チルト、ズームなど
- ・ カメラの走行制御
  - － カメラの撮影位置の制御
- ・ カメラ画像データの送信
  - － カメラ画像データの無線通信
- ・ カメラ画像の取り込み
  - － カメラ画像の受信
  - － パソコン画面への表示（図9）



図8 監視カメラユニット

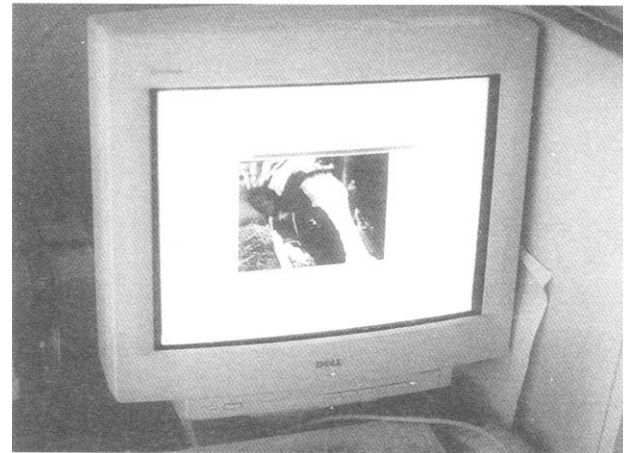


図9 監視カメラの画像モニタ

(4) 乳量計測システム（図10）

- ・ 搾乳ユニットからの乳量取り込み
- ・ パソコンへのデータ送信（図11）

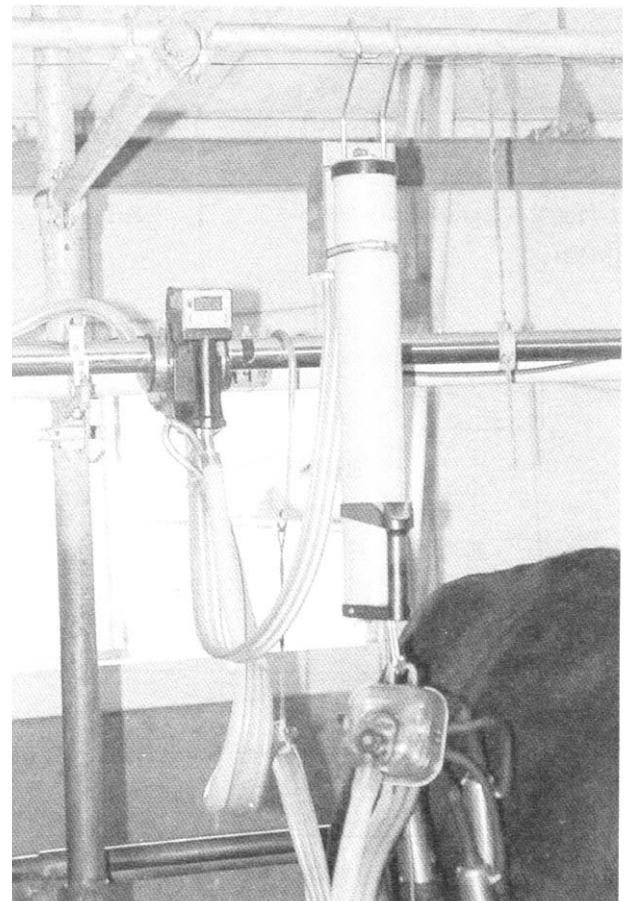


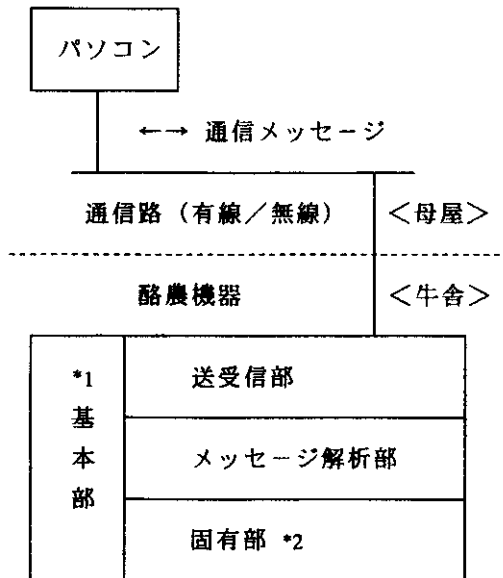
図10 搾乳ユニット



図11 乳量データ送信ユニット

4.5 酪農機器のプログラム構成

牛舎内にある各種の酪農機器は母屋にあるパソコンから送られてくる制御パラメータによって制御される。酪農機器の制御器のプログラムはモジュール化し、共通化を図った(図12)。



\*1: リアルタイムOS、通信ドライバ  
\*2: 固有部以外は共通

図12 酪農機器側プログラムの基本構成

リアルタイムOS, 通信ドライバ, メッセージの送受信, メッセージの解析プログラムは, 各酪農機器とも共通であり, 固有部のプログラムは酪農機器の種類によって異なる。

4.6 リアルタイムOSの開発

個々の酪農機器のプログラムは機能毎にそれぞれ複数のタスクに分割し, 開発チーム内で分業化して作成した。開発したリアルタイムOSは「タイマやスイッチ入力, 通信路からのデータ受信, 通信路へのデータ送信など割込や他のタスクの終了などのイベントによってタスクの切替がおこる事象駆動型」であり, 実行するタスクの優先順位は固定とした。タスクの状態遷移図を図13に示す。また, リアルタイムOSの仕様を表3に示す。

なお, 個々の酪農機器のプログラムはそれぞれ複数の機能(タスク)に分割し, 開発チーム内で分業化して作成した。各タスクはリアルタイムOSに対するイベントの発行を意識してプログラミングするだけでよく, プログラムを機能的にモジュール化でき, 各タスクを独立に開発できる。

このリアルタイムOS上で, 受信タスクなどの通信サービス, メッセージ解析タスクや給飼モータ制御タスク, カメラ移動タスク, カメラ動作制御タスクなどのアプリケーションを実行する。

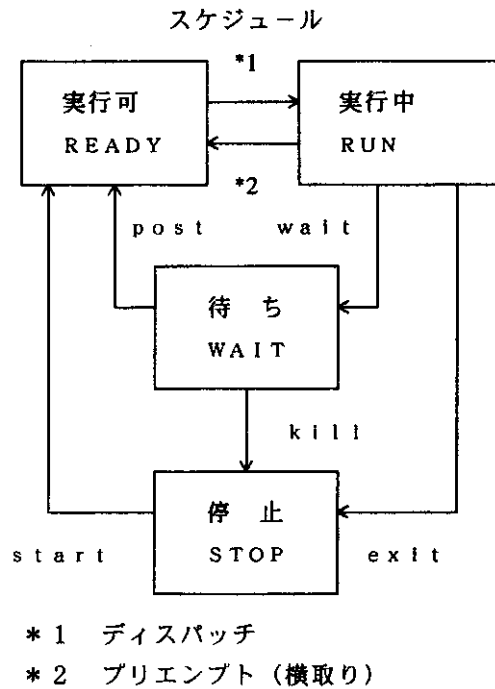


図13 タスクの状態遷移

表3 リアルタイムOSの仕様

| 項目       | 内容   |
|----------|--|
| 登録タスク数   | 最大32   |
| 登録イベント数  | 最大80   |
| 登録セマフォ数  | 最大32   |
| タスク切替方式  | 事象駆動型<br>プリエンプティブ方式                          |
| タスクの優先度  | 固定方式   |
| カーネルの大きさ | 約4KB   |
| 主な機能     | スケジューラ機能<br>タスク間同期通信機能<br>事象発生管理機能<br>資源管理機能 |

4.7 通信メッセージの仕様

パソコン上で作成された制御データを通信ネットワーク経由で接続された酪農機器に転送する際、機能ごとにメッセージに分割して送信する。自動給飼機の場合では、牛の頭数、給飼時刻、タンク容量、給飼割合、給飼機の動作モニタ、リアルタイムクロックに対する時刻の設定/読み出しなどをメッセージ（最大1000バイト、ASCII形式）として制御機に送信する。メッセージはヘッダ部、コマンド部、データ部、フッタ部とデリミタから構成される（図14）。

|          |       |     |    |      |
|----------|-------|-----|----|------|
| 0100000C | CGWS- | H02 | 25 | CRLF |
|----------|-------|-----|----|------|

ヘッダー      コマンド      データ      フッタ      デリミタ

|             |       |
|-------------|-------|
| 送信先の局アドレス   | 01    |
| 送信元の局アドレス   | 00    |
| 文字数（コマンド以下） | 00C   |
| コマンドの種類     | CGWS- |
| 制御パラメータ     | H02   |
| 通信チェックコード   | 25    |
| デリミタ        | CR+LF |

図14 通信メッセージの形式例

ヘッダ部は送信先、送信文字数など通信に必要な情報を、コマンド部（自動給飼機の場合約110種類）は、牛の頭数の設定などデータ部の種類を、データ部は牛の頭数など具体的な数値を、フッタ部はメッセージごとに付与される通信チェックコードを示す。

5. プログラムの構成

自動給飼機におけるプログラム構成を図15に示す。

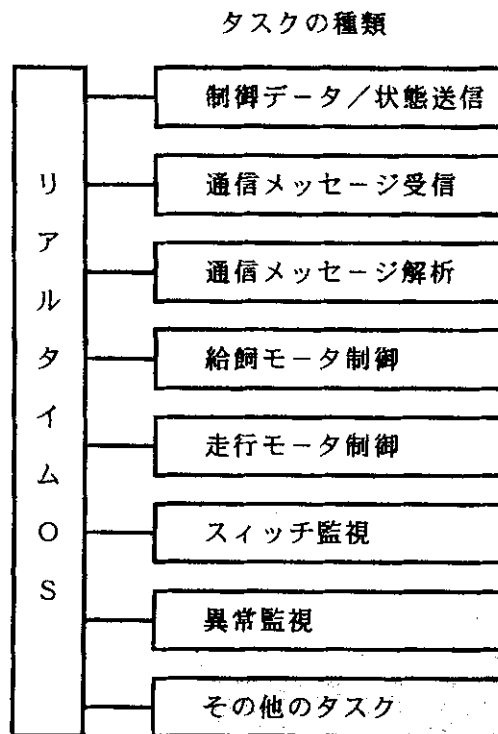


図15 自動給飼機のプログラム構成

通信コマンドによる酪農機器の制御概要は以下の通りである。

- (1) 受信タスクがメッセージを受信バッファに格納し、受信終了イベントを発行する。
- (2) 受信終了イベントにより、メッセージ解析タスクが受信バッファからメッセージ内のコマンドを読み込む。
- (3) メッセージ解析タスクはコマンドを解析し、給飼モータの制御などの内容に応じた処理を実行する。

自動給飼機における主要タスクのプログラム記述イメージを図16に示す。

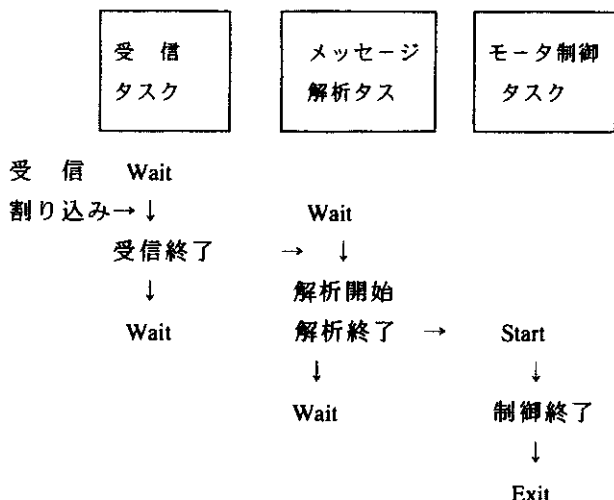


図16 タスクのプログラム記述イメージ

6. GUIプログラムの作成

パソコンの画面上から酪農機器のアクセスを容易に行うためのプログラムを作成した。グラフィカルな画面でアイコンのマウスクリックなどにより、制御動作の指定が行える。(図17, 図18, 図19)。

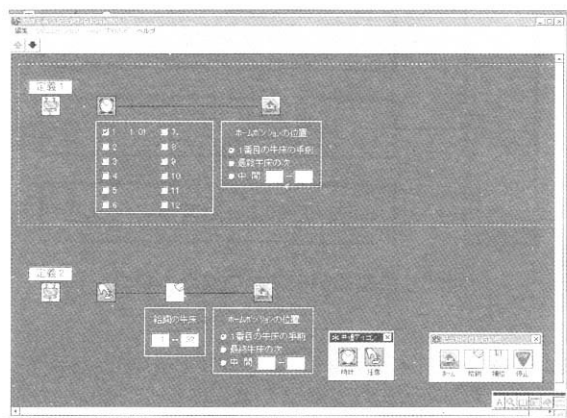


図17 制御パラメータの設定

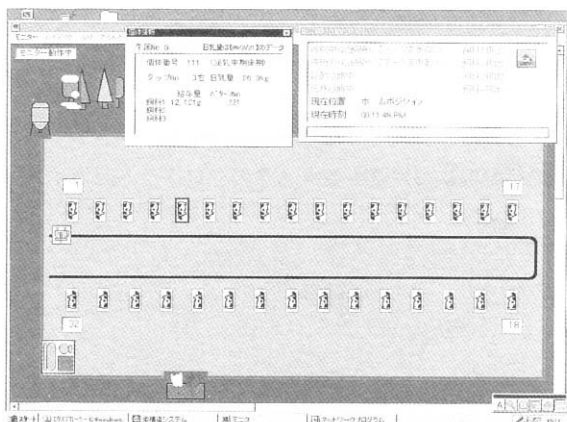


図18 自動給餌機の動作エータ

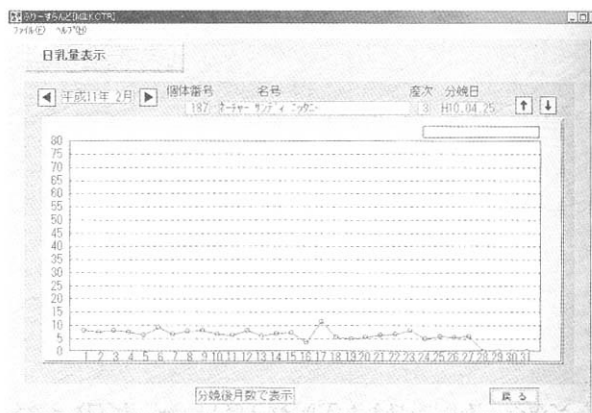


図19 特定牛の日乳量表示画面

7. 評価試験

本システムの販売に先立ち、自動給餌機および乳量計測器、監視カメラシステム、有線/無線の通信路、パソコンから成る模擬牛舎を作り、評価試験を行った。

開発した酪農機器の中で、搾乳システムの乳量計測機及び監視カメラシステムは制御内容が比較的単純であるため、当初から、何のトラブルもなく動作した。しかし、制御内容が複雑である自動給餌機は、当初、データ過信に絡むエラーなどが生じた。試験した場所は近くに電車や航空機が走り、有線および無線のデータ通信時には、多くのノイズ発生源が考えられ、その対策が必要であり、評価試験を繰り返し行った。

表4に納入したT牧場の試験条件を示す。

表4 評価試験の条件 (自動給餌機)

| 設定項目    | 試験条件     |
|---------|----------|
| 試験時間    | 10日連続    |
| 牛床数     | 64       |
| 牛床間隔    | 1.3m/頭   |
| 給餌モータ数  | 3台       |
| 給餌時間    | 平均15秒/台  |
| 走行速度    | 10m/min  |
| データ通信間隔 | 2秒(監視時)  |
| データ通信量  | 20~800文字 |

通信データは図14に示した形式を定めており、この形式に合わない時は再送要求、あるいは無視する事とした。この場合は大きな問題とはならないが、パソコンから給餌機の方



に返事を要求するコマンドを送った時に、給飼機の方から返答データが来ない場合が、何度か発生した。

そこで、再度、信頼性対策について検討した。

## 8. 信頼性対策

信頼性の確保を図るため、次の方策を講じた。

### (1) エラー処理プログラムの強化

考えられるエラーの種類をコード化し、その種類毎にエラーが発生した月日時分秒のタイムスタンプをメモリーに記憶する(表5)。

表5 エラー発生時のタイムスタンプ

| エラー番号   | 1      | 2              | N      |
|---------|--------|----------------|--------|
| 発生時刻 *1 | 0      | 10.25.12.45.30 | 0      |
| 発生回数 *2 | 0      | 1 0            | 0      |
| 復帰レベル*3 | 2      | 2              | 1      |
| 復帰アドレス  | yyyyyy | zzzzzz         | xxxxxx |

\* 1 : 発生した最新時刻 (月. 日. 時. 分. 秒)

\* 2 : クリア後の累積発生回数

\* 3 : 復帰アドレスに対応

### (2) 復帰プログラムを作成

エラー発生以前の情報を基にして、自動復帰するプログラムを作成した。

復帰アドレスとエラー番号によってエラーの発生の影響を最小限に食い止める処理プログラムを実行させることができる。

### (3) リアルタイム OS の改良

リアルタイム OS のシステムコールのパラメータチェックを簡素化し、タスク切替の高速化を図った。

### (4) 通信ドライバの改良

通信プログラムにおいて不必要な OS コールを取り除き、高速化を図った。

### (5) 加速試験による試験条件の強化

表 4 に示したデータ過信間隔を短くし、ダミーのデータ通信タスクを加えて 3 チャンネルの通信ポート全部同時にデータ送受信処理 (9600bps) と給飼動作制御を実行させ、エラーが発生し易い環境を設定し、その発生を監視した。

### (6) 制御器のノイズ対策

制御ボックス内はマイコンボード、インターフェイス基板、給飼モータ、走行モータ及び電源回路から構成されていることから、耐ノイズ対策を行った。

以上の対策を実施した結果、自動給飼機において、誤動作が皆無となり、納入した牧場においても、エラー発生時のタイムスタンプは記録されておらず、納入開始時点 (H10 年 9 月) のクリア状態のままである。

また、模擬牛舎における加速試験においても、10 日間の試験を 3 ヶ月繰り返し行ったが予期した通りの動作をし、エラー発生時のタイムスタンプは記録されなかった。

## 9. まとめ

(1) 牛舎内に無線及び有線の簡易通信ネットワークを敷設し、ホストパソコンから与える制御パラメータにより制御する牛舎管理システムを開発した。

(2) リアルタイム OS を開発し、これを搭載することによって、パソコンと複数の酪農機器間のメッセージ通信、個々の酪農機器の動作制御、入出力監視制御など複数の処理を並列的に行うことができた。

(3) プログラムをモジュール化することで、システム開発の効率化が図られた。

(4) 制御機能の追加 / 変更や、新規酪農機器の通信制御システムへの適用を容易にする開発環境を構築した。

以上により、牛舎内の酪農機器の制御 / 監視を遠隔にある母屋から行うことが可能となった。また、今後新たに予定している酪農機器を含む牛舎管理システム開発を効率的に行うことが可能となった。

現在、道内の 3 牧場と本州の 2 牧場において、牛舎管理システムが稼働している。

自動化 / 省力化システムでは信頼性の確保が重要であり、そのための試験 / 改良を重ねた結果、導入したシステムは全て 24 時間休みない稼働状態で、意図した通り順調に動作している。

なお、本システムの開発は BRAIN (生物系特定産業技術研究推進機構 : 生研機構) からの研究費補助を受けて実施したものである。