

コンピュータ制御による動物用生物環境調節装置の開発

Development of Computer Controlled Environmental Testing Equipment for Animals

近年の環境問題、食糧問題を解決する上で、生物と環境とを関連させて研究することは重要であり、より科学的に、定量的に研究しようとする傾向にある。このような研究に使用される生物環境調節装置では、運転・管理に要する人手や時間及びデータの信頼性・精度が問題となる。

本稿では、コンピュータシステムを本格的に導入することにより、これらの問題に対応させた新しい方式の動物用生物環境調節装置である農林水産省畜産試験場納めの家畜代謝実験装置について、システム計画の特長及び環境制御装置とデータ処理システムの装置構成・機能を中心に述べる。本装置では、コンピュータ導入による省力・高信頼性化などのほか、最適システム設計による省エネルギー化、操作性向上、制御精度向上などの成果も挙げている。

吉岡達夫* *Tatsuo Yoshioka*
 中村成利* *Naritoshi Nakamura*
 寺本和義** *Kazuyoshi Teramoto*
 海上修一*** *Shūichi Kaijō*

1 緒言

近年の環境問題、食糧問題を解決する上で、環境の生物に与える影響や生物の生理・生産機能を解明することは極めて重要であり、これらの研究はますます科学的、定量的になってきた。そのために、制御環境下で種々の生物に関するデータの計測が可能な「生物環境調節装置」が必要である。動物用生物環境調節装置の一つとして、家畜の栄養・生理や飼料の合理的利用の研究に使われる家畜代謝実験装置が、昭和55年7月筑波研究学園都市の農林水産省畜産試験場に完成した。

生物環境調節装置では、従来多くの人と時間をかけ運転・管理が行なわれており、また研究の進展につれ、より高度の

信頼性・精度が要求されるようになった。これらの問題、要求に対し、家畜代謝実験装置では、本格的にコンピュータシステムを導入し、省力・省人化及びデータの信頼性・精度の向上を図っている。以下、装置概要を説明した後、家畜代謝実験装置でのシステム計画の特長及び環境制御装置とデータ処理システムの装置構成・機能について述べる。

2 装置概要

家畜代謝実験装置は、牛・めん羊・やぎ・豚を対象とする実験室に対応し、図1に示す装置構成となっている。

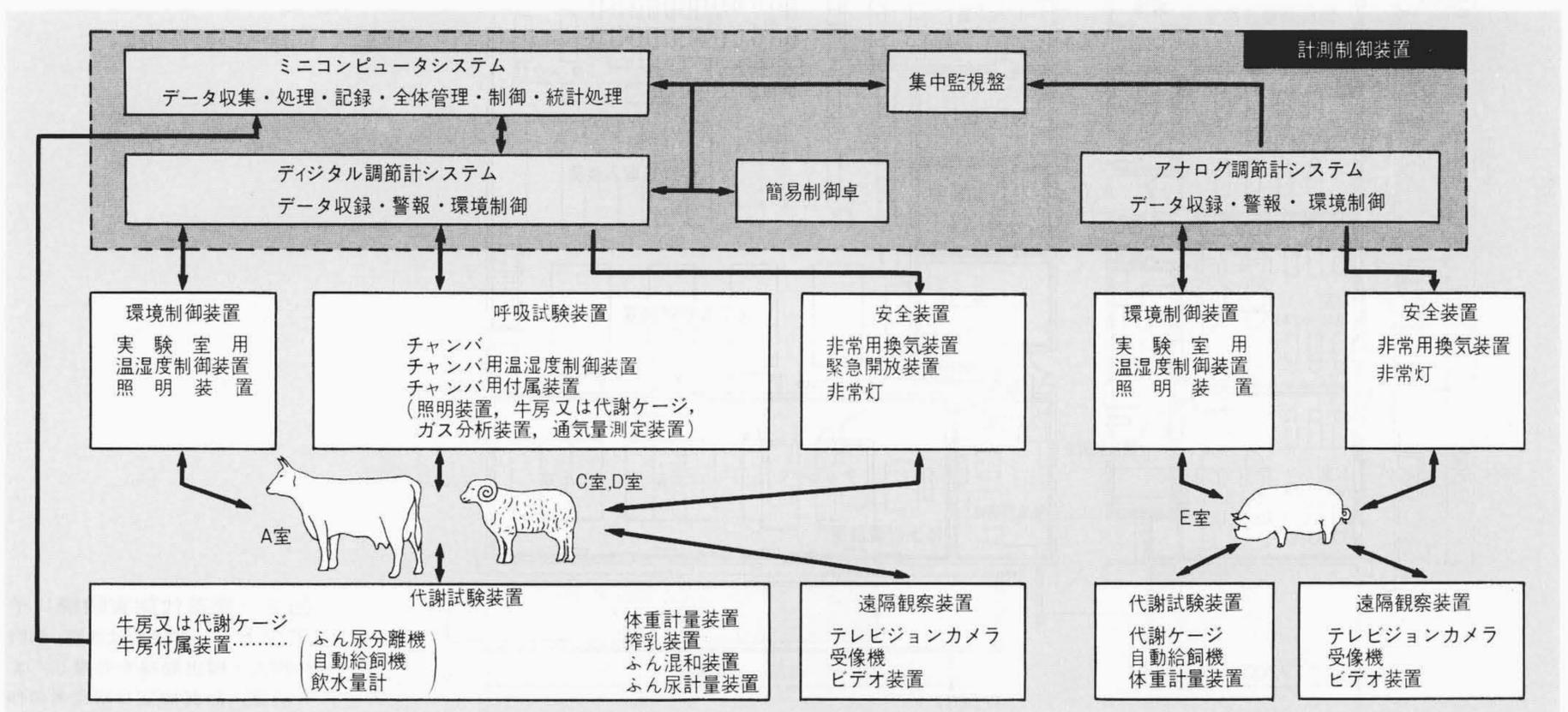


図1 家畜代謝実験装置の構成 家畜代謝実験装置は、牛用、めん羊・やぎ用、豚用の3種類に分かれ、牛用、めん羊・やぎ用はコンピュータにより計測・制御が行なわれている。

* 日立製作所機電事業本部 ** 日立製作所大みか工場 *** 日立プラント建設株式会社

環境制御装置は、実験室の温度、湿度及び光強度を制御するもので、各実験室ごとにシステムを別にした。呼吸試験装置は、家畜の呼気ガスの分析、摂取する飼料、排出するふん・尿、乳などを測定・分析して、家畜のエネルギー出納を測定するものである。呼気ガスの分析は、温湿度、光強度、内圧及び通気量を一定に制御した、気密性のあるチャンバ中に家畜を入れ、チャンバ出入口のガス濃度を分析することにより行なう。代謝試験装置は、摂取する飼料、排出するふん・尿、乳、体重などの測定・分析を行ない、家畜の栄養素出納を測定するものである。飼料は、一定量、一定時刻に自動的に給与され、ふんと尿は自動的に分離され回収される。遠隔観察装置は、家畜の状態を集中的に観察・記録するもので、インターバル録画により24時間の録画が可能である。計測制御装置は、実験室及びチャンバの環境や家畜に関するデータの計測、制御に必要な演算、操作値出力、システムの監視及び統計解析・プログラム開発などを行なうもので、HIDIC 80-E^{*1)}を中核とするコンピュータシステムを中心に構成した。装置や家畜の安全を確保する安全装置は、長期間の実験に使用し、生物を対象とする本装置では、特に配慮を要するものである。装置・環境の異常、停電、誤操作などに対し、安全対策、バックアップ、監視・記録システムの充実を図った。

3 システム計画

システム計画では、システムの目的及び特異性を明確に把握し、要求される機能の分析を十分に行なうことが重要である。そこで、ユーザーの協力を得て、システム計画の観点から実験の目的、種類、作業内容、データ処理内容及びその他制約条件などの把握・解析を行なった。その結果に基づき、省力、省人化、高信頼性及び高精度化を重点とし、また、本装置が複数の研究者で、複数の目的でかつ長期間の実験に使われることを認識し、システム計画を行なった。

本装置でのシステム計画の主な特長を次に述べる。

- (1) コンピュータによる計測により、省人化、データ精度・再現性の向上を図り、少人数で高精度な複数の実験を並行して行なえるようにした。
- (2) 研究者、家畜及び飼料の動線計画を基にレイアウトの最適化を図り、省力化、管理の容易化を行ない、更に見学者に対する配慮も施した(図2)。
- (3) 環境制御は、コンピュータによる直接デジタル制御方式とし、高度な制御アルゴリズムの採用を可能とした。
- (4) 低温域での連続運転のための液体除湿機^{*2)}、照明負荷の室内への影響軽減のための特殊照明器具などの採用により、

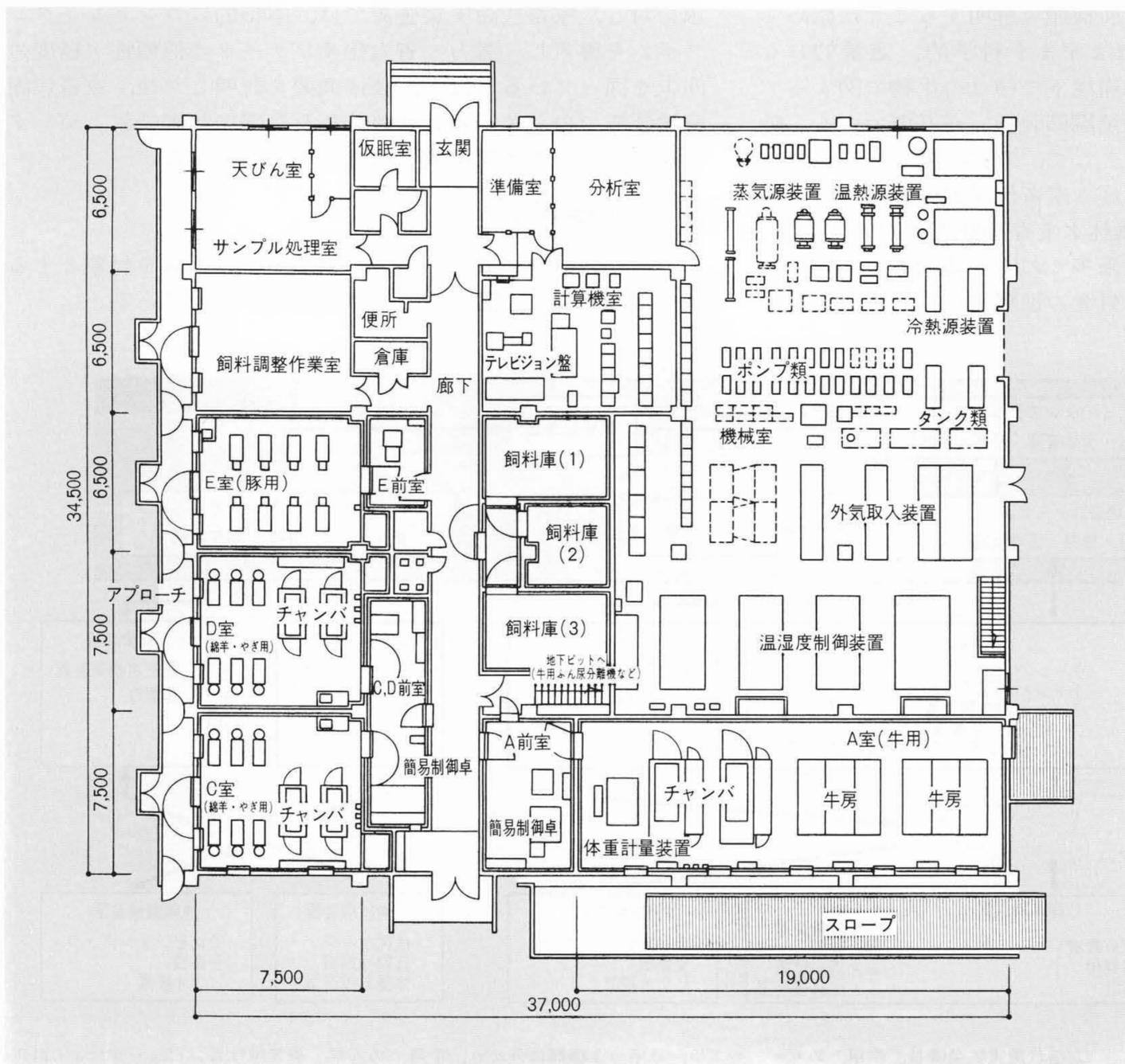


図2 家畜代謝実験棟レイアウト 実験室は家畜、飼料の搬入・搬出動線を考慮し、また前室、計算機室は研究者の作業動線を考慮して機器配置を行なった。

*1) 日立製作所の16ビット形制御用ミニコンピュータで、最大メモリ容量512k語をもつ。

*2) 液体吸収剤(塩化リチウム水溶液)により、空気中の水分を吸収し除湿する装置で、低温下で冷却コイルに霜が付着しないように露点を下げるためなどに使用される。

		実験計画期間	実験準備期間	実験期間	実験整理期間
		約30日	約30日	約200日	約100日
ミニコンピュータ	CRTキーボード C,CRTなど			(原則として連続使用)	
DDC マイクロコンピュータ	簡易制御卓 CM/T操作卓			(連続使用)	
ガス分析計 マイクロコンピュータ	ガス分析計パネル CM/T操作卓			(連続使用)	
実験設備	現場盤パネル			(連続使用)	
注：略語説明 CRT(Cathode Ray Tube) C,CRT(Console Cathode Ray Tube) CM/T(Cassete Magnetic Tape) C/R(Card Reader) DDC(Direct Digital Control) M/T(Magnetic Tape)		計算機室 CRTキーボードから 1.実験設備使用状況の確認及び登録 2.過去に行なわれた類似実験の結果印字 3.実験基礎データ(供試家畜, 実験期間・条件)登録 4.校正データの登録など C/R・C,CRTから 1.プログラム,定数の見直し 2.データ保存ファイルの追加・変更など	前室 簡易制御卓 DDCパラメータチューニング 分析計パネル ガス分析計校正指令	CRTキーボードから 1.実験状況の監視 2.各種リアルタイムデータの表示など。 C,CRT 1.オンラインデータファイル編集及びM/T収納 2.レポート出力指令など。 CM/T操作卓 欠損データ復元指令 簡易制御卓 呼吸試験開始・終了指令 分析計パネル ガス分析計校正指令 CM/T操作卓 データ保存指令	C,CRTから 1.オフライン分析データの登録 2.代謝演算指示 3.M/Tデータの編集

図3 実験モードとマンマシンコミュニケーション機能の関係 家畜栄養の実験は計画から整理まで長期にわたり、牛の実験では、約1年間にもなることがある。生物対象であるため、馴致など特殊な期間も入ってくる。

制御精度・安定性の向上を図った。

- (5) 全熱交換器^{※3)}、除湿専用コイル、冷温熱源機器の台数制御などの省エネルギー設計により、運転費の低減を図った。
- (6) 危険分散・相互バックアップシステム、安全装置など安全設計を十分にし、装置や研究者に対する安全の確保だけでなく、家畜に対する安全の確保も配慮した安全性・信頼性の高いシステムとした。
- (7) 計器、操作盤及びコンピュータシステム機器は、特にコンピュータに関する知識を要せず操作可能とし、操作に一貫性をもたせた上機能分担を明確にし、操作性の向上、誤操作の排除を実現した。各機器に要求される機能は、実験装置の運用状況と密接な関係をもつ。図3はその関係を示したもので、コンピュータシステムの機能分散を、実験段階と主な作業場所に対応させ、運用形態を最適化していることが分かる。例えば、計画期間は実験基礎データ登録など計算機室を中心に、実験期間は家畜の状態を確認し、呼吸試験開始終了指令を出せるよう前室を中心に作業するように機能分散をしている。

表1 実験室の環境条件と制御方式 A室、C室及びD室の環境制御は、コンピュータにより行なわれ、温湿度の制御はDDC(直接デジタル制御)方式である。

	実験室名	収容家畜	温湿度条件			照明条件	
			制御方式	温度(℃)	湿度(%)	制御方式	光強度(lx)
A室	大家畜用呼吸・代謝高温実験室	牛 6頭	追値制御	15~35±1	30~80±7	プログラム設定	消燈~500
C室	中家畜用呼吸・代謝高温実験室	綿羊・やぎ 6頭	追値制御	15~35±1	30~80±7	プログラム設定	消燈~500
D室	中家畜用呼吸・代謝低温実験室	綿羊・やぎ 6頭	追値制御	-5~25±1	35~80±7	プログラム設定	消燈~500
E室	中家畜用代謝実験室	豚 8頭	定値制御	15~25±1	35~80±7	プログラム設定	消燈~500

※3) 温湿度制御での大きな負荷となる外気給気による負荷を軽減させるため、外気と排気の熱交換を行なう装置で、顕熱と潜熱の両方を交換できる。

4 環境制御装置

4.1 環境条件

実験室の環境条件と制御方式は、表1に示すとおりである。チャンバの環境条件と制御方式も実験室と同じである。

A室、C室及びD室は温湿度、光強度のコンピュータによるプログラム制御が可能で、日周期実験(温湿度や光の1日の変化を人為的に造る。)などを行なうことができる。なお、家畜実験の特殊性を考慮し、プログラム制御では、最大2℃/h以内で変温あるいは、最大20%/h以内で変湿を可能とした。

4.2 温湿度制御

実験室とチャンバの温湿度制御は、各実験室とチャンバに1対1に対応した温湿度制御機と外気取入装置により行ない、フローは図4に示すとおりである。実験室は温湿度分布をできるだけ均一化するために特殊形吹出し口を採用し、吹出し風速を極力低くした。また、照明による室内への負荷影響を軽減するため特殊照明器具を採用し、還気の一部を天井内に通し、ランプからの発生熱の除去を図った。

4.3 使用機器

機器選定や制御設計に際して考慮した点は、

- (1) 長時間運転に対する高安定性及び高信頼性
- (2) 年間稼働、広範囲制御による負荷容量変化への対応及び制御精度・再現性の良さ
- (3) 各機器の運転管理の容易さ及び保守性の良さ
- (4) 省エネルギー設計

などであり、これらに対し行なった設計を以下に述べる。

- (1) 冷熱源装置は、精度と安定性の点からブライン方式とし、高温系(A室、C室及びE室)と低温系(D室)とに分けた。
- (2) チラーユニットは同一容量(50RT)のもの4台とし互換性をもたせ、台数制御・容量制御で省エネルギー化を図った。
- (3) 蒸気発生器(105kg/h)、温ブライン熱交換器(70,600kcal/h)は、最大負荷の50%の容量をもつもの2台とし、低負荷時の運転や故障時に対応できるようにした。

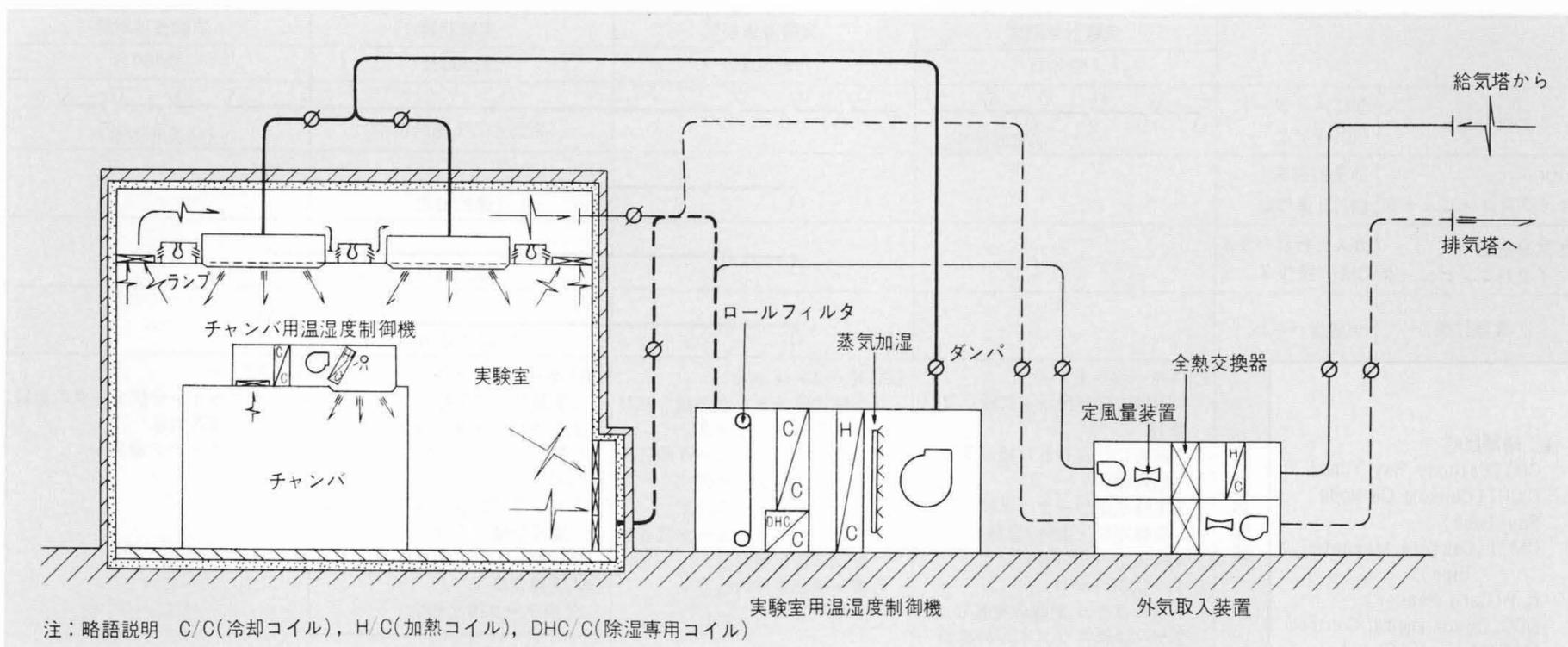


図4 温湿度制御系統図 A室, C室及びE室の場合を示す。温湿度分布を均一にするため特殊形吹出し口を採用した。ランプボックス冷却のため還気の一部を天井内から吸い込んでいる。また、実験室はスタイロフォーム50による断熱構造である。

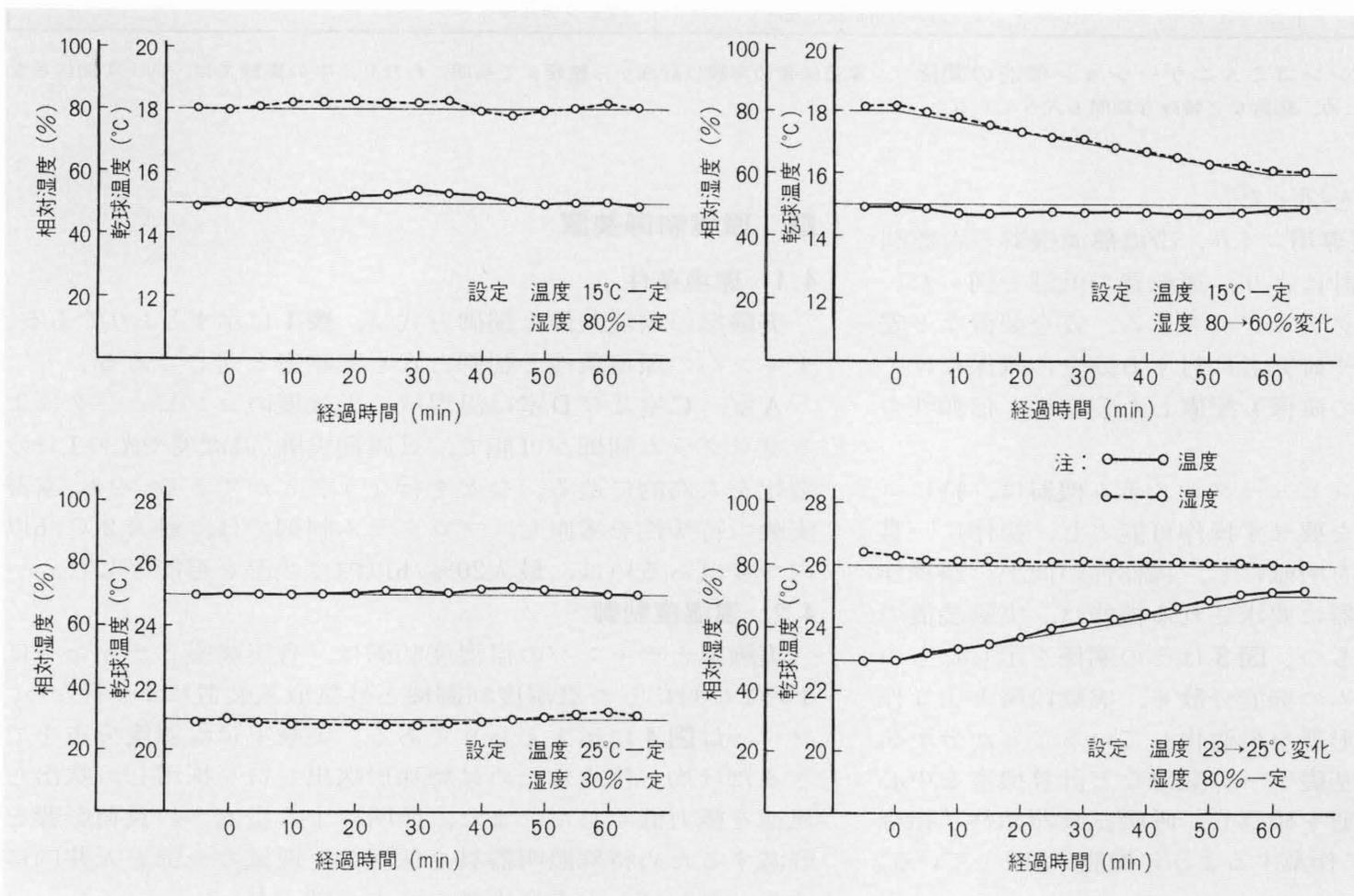


図5 温湿度制御精度測定結果 A室の温度定値湿度変化時及び湿度定値温度変化時のプログラム制御の場合と、定値制御の場合の測定結果を示す。制御はコンピュータによるDDC制御である。

(4) 温湿度制御は空気式調節弁制御方式とし、応答性、制御性を向上させた。

4.4 運転結果

図5にA室の温湿度制御精度測定結果を示す。各設定値で平均偏差は温度0.3°C以内、湿度3%以内であった。

図6はA室の温湿度分布測定結果を測定点と対応して示したものである。設定値に対する温度と湿度の平均偏差は、各各チャンバ内で0.8°C, 2.1%, 実験室で0.8°C, 1.6%であった。

5 呼吸試験データ処理

5.1 要求機能

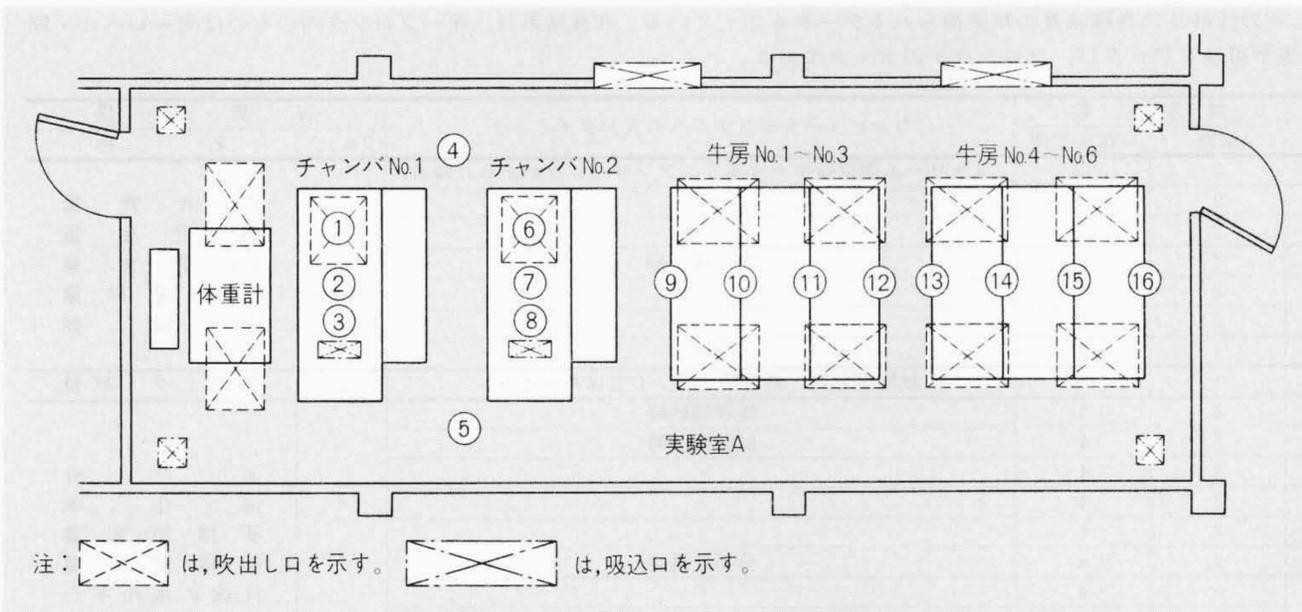
呼吸試験装置は代謝実験装置の中核をなすもので、そのデータ処理はガス分析装置(O₂, CO₂, CH₄)とマイクロコンピュータHIDIC 08-E^{*4)}を機能的に一体化し、更にミニコンピュ

ータHIDIC 80-Eにバックアップ機能をもたせる構成として、以下の要求仕様を満たしている。

- (1) 再実験や実験計画の変更につながるデータ欠損を防止する高信頼性
- (2) 統計的処理に耐えられる高精度データの大量測定
- (3) 少数の研究者で多くの実験を並行できるような高い操作性
- (4) 高価なガス分析計の高密度利用^{*5)}
- (5) 実験状況を実時間で把握できる透視性

*4) 日立製作所の16ビット形制御用マイクロコンピュータで、最大メモリ容量64k語をもつ。

*5) 最大18点のサンプリング点のガス濃度の分析を1台の分析計で行なう。サンプリング点の自動切換、ガス分析計の自動校正、ガス分析データの集録・補正などをマイクロコンピュータで行なう。



測定高さ 測定点	1,650mm		900mm		500mm	
	温度 (°C)	湿度 (%)	温度 (°C)	湿度 (%)	温度 (°C)	湿度 (%)
1	24.2	50.9	23.8	54.7	23.8	52.7
2	24.8	52.3	24.0	47.5	24.0	48.9
3	24.0	51.6	24.3	52.1	24.1	52.2
4	24.4	48.8	24.2	48.1	24.2	47.9
5	24.3	48.3	24.4	45.4	24.4	45.6
6	24.8	49.5	23.9	47.6	24.0	51.4
7	25.2	50.0	24.1	46.7	24.1	52.1
8	24.4	48.5	24.4	48.2	24.5	44.9
9	24.3	49.2	24.0	49.9	23.8	50.2
10	24.3	50.7	24.1	50.2	24.1	52.4
11	24.3	51.7	24.0	53.6	24.1	50.5
12	24.3	50.1	23.9	50.2	23.9	46.0
13	24.1	48.8	24.1	51.3	24.1	45.8
14	24.2	50.5	24.3	50.0	24.2	46.8
15	24.3	53.1	24.5	48.2	24.3	48.0
16	24.2	51.9	24.0	52.3	24.4	53.3

図6 温湿度分布測定結果 A室の場合を示す。①～⑬は測定位置を示し、各々床上1,650mm、900mm及び500mmの高さの3点を測定している。全点同時計測をした。

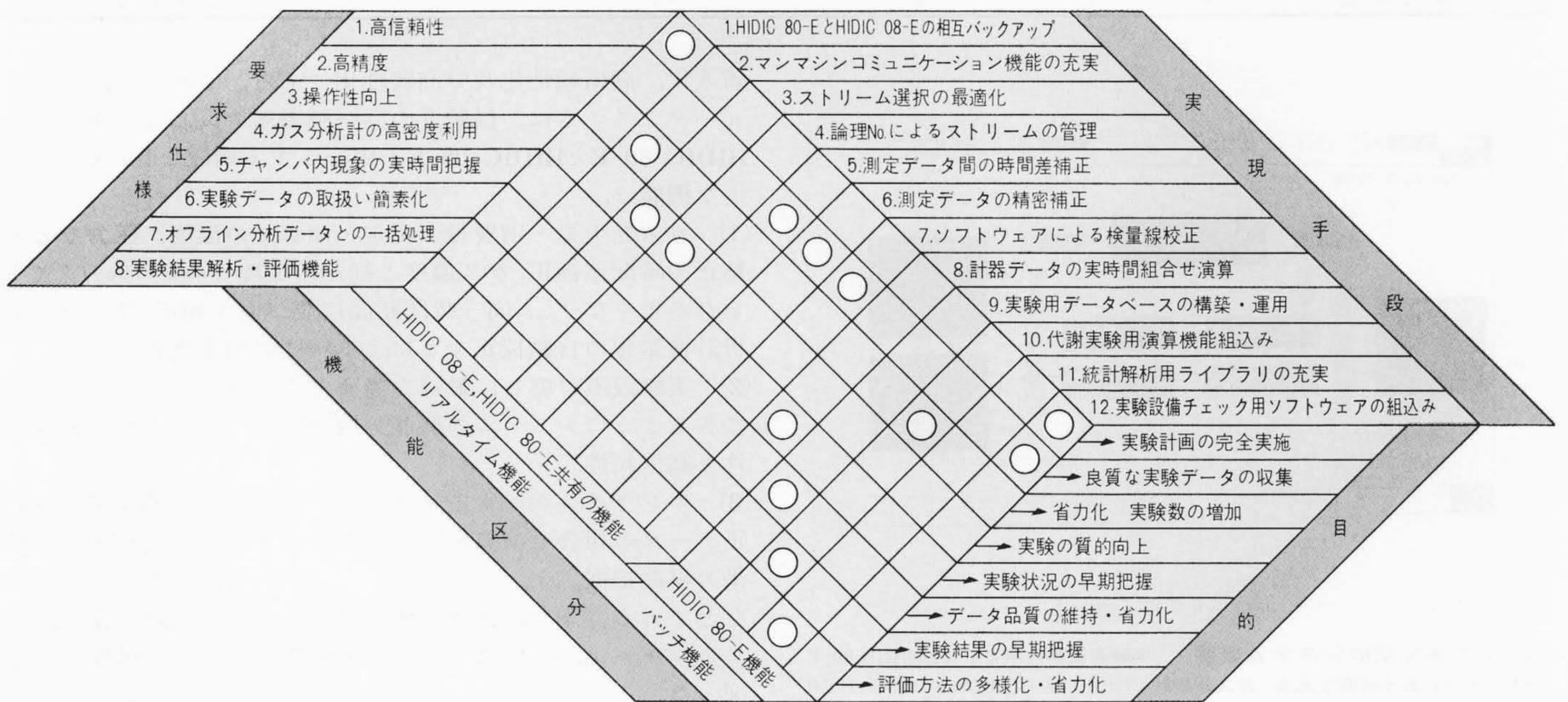


図7 コンピュータに求められた仕様と実現手段 呼吸試験データ処理で、コンピュータに求められた要求仕様・目的と実現手段・機能区分の関連を示し、○の入っている部が特に関連の深いことを示す。

- (6) 必要データを必要時に簡単に利用できる検索の容易さ
- (7) 飼料成分などオフライン処理データとの結合の容易さ
- (8) 実験結果の解析評価機能

これら要求仕様とその目的、及び実現手段とその区分の関係を図7に示す。

5.2 ガス分析処理

呼吸試験装置データ処理システムは、図8に示すようにガス分析計、HIDIC 08-E及びHIDIC 80-Eを中心とする構成をとる。表2は代謝実験を行なう上で直接必要な測定項目の一覧であるが、ガス分析処理として実時間で測定されるものはNo.1～7であり、得られる演算結果はブロック1のデータとなる。分析計とコンピュータの結合により、分析計レベルでは濃度としてだけとらえられていた実験家畜の呼吸が、発生量・消費量としてとらえることが可能となる。コンピュータの処理として配慮した点は、図7の実現手段1～6及び8に対応する。すなわち、

- (1) 2種のコンピュータの使用指定は分析計パネルから可能であるほか、万一のダウン時には自動的にバックアップを行なう。

- (2) 演算結果は直ちに計算機室、実験室前室で表示が可能である。
- (3) チャンバごとの試験開始・終了に合わせてストリーム(サンプリング点)選択スケジュールを管理し、必要ストリームを最短時間でスケジュールに入れ、不要ストリームを外す処理を行なう。
- (4) ガス濃度とこれを補正する環境データは入力タイミングが異なる。これらを同一時間断面に並べ直す時間差補正。
- (5) 大気中酸素分圧・水蒸気分圧、温度、オリフィス設計条件など測定データに影響を及ぼす要因の除去。
- (6) 補正後の各測定値の組合せ演算の実時間実行である。

5.3 ガス分析計校正

測定濃度とガス分析計出力電圧の対応は非線形であるので、変換のため検量線をもつ必要がある。この検量線を一定周期で自動校正し、測定精度を上げる処理を行なう。分析計特性の過渡的変動を吸収し、ハードウェア調整が必要な場合は警報を表示する。具体的には、試験開始前の時間帯に濃度が精密に測定されている2種のガス(スパンガス、ゼロガス)を分

表2 呼吸試験データ一覧 測定項目とその仕様及び各種演算の結果得られるデータを示している。演算結果は、同一ブロック内のものは同一レベル・同一タイミングで求められる。実時間で求められ表示可能なデータは、ブロック1のデータである。

No.	測定項目	測定箇所	測 定 点 数		コンピュータシステムへの入力タイミング	演 算 結 果	
			A室用	C室, D室用		ブロッ	名 称
1	O ₂ ガス濃度	チャンバ内・室内	9	18	ストリーム選択後データ確立のアンサバックがあった時点	1	O ₂ 消費量 CO ₂ 発生量 CH ₄ 発生量 呼吸発熱量 呼吸商
2	CO ₂ ガス濃度	"	9	18	"		
3	CH ₄ ガス濃度	"	9	18	"		
4	乾球温度	チャンバ内	2	4	定周期		
5	湿球温度	"	2	4	"		
6	通気量	"	2	4	"		
7	大気圧	屋 外	1	2	"		
8	供試家畜体重	実験室内	1	—	試験開始時・終了時(C室, D室はキーイン)	2	ブロック1総量
9	飼料給与量	実験室内	2	4	試験開始時	3	消 化 分 消 化 率 蓄 積 炭 素 量 蓄 積 窒 素 量 代 謝 エ ネ ル ギ ー 蓄 積 エ ネ ル ギ ー 熱 発 生 量
10	残飼量	"	2	4	試験終了時		
11	ふん量	地下ビット・実験室内	2	4	"		
12	尿量	"	2	4	"		
13	乳量	実験室内	2	4	"		
14	飼料成分	分析室	n	n	分析処理後		
15	ふん成分	"	n	n	"		
16	尿成分	"	n	n	"		
17	乳成分	"	n	n	"		
18	飲水量	実験室内	2	4	試験終了時		
19	起伏回数	チャンバ内	2	4	定周期	4	起伏回数・横臥時間 換算熱発生量
20	横臥時間	"	2	4	"		

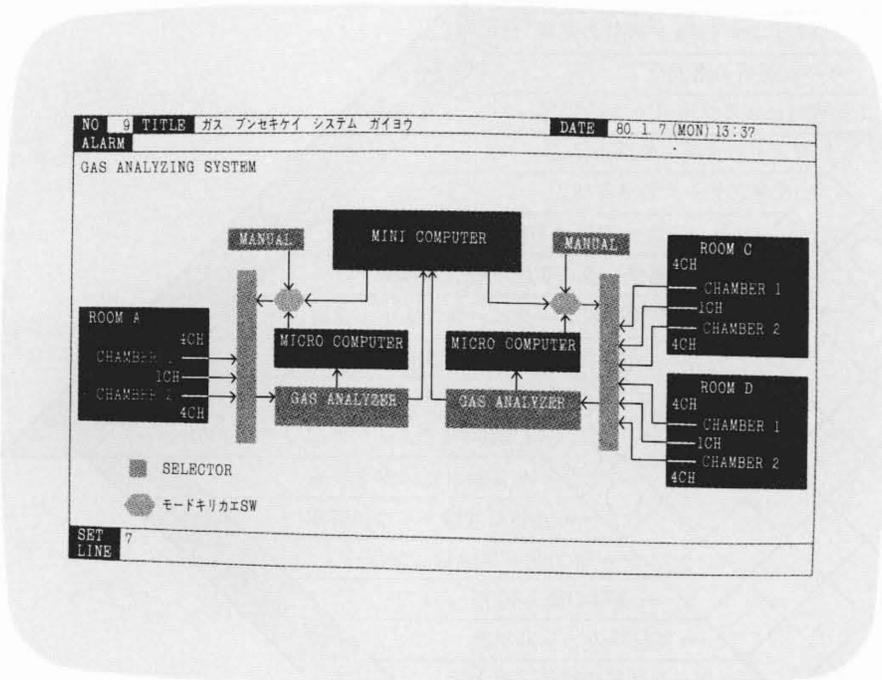


図8 ガス分析システム概要 実験装置案内用として、HIDIC 80-E CRTに表示される画面である。ガス分析計とHIDIC 08-E(MICRO COMPUTERと表示)及びHIDIC 80-E(MINI COMPUTERと表示)の機械的つながりを示している。

析計に流し出力電圧をチェックすることにより行なう。スパンガスはフルスケールの80%程度の濃度を持ち、ゼロガスはスケール下限程度の濃度をもつものであり、各々の誤差を計算して許容範囲内であればその誤差を案分して検量線を修正する。許容範囲外の場合は、校正異常としてランプ点灯する。この方法は、校正のつど分析計を調整する方法に比べ、大幅な省力化が図れる(図7の実現手段7.に対応)。

5.4 その他の特徴

以上述べた分析計を直接サポートする機能のほか、表2のNo.8~18のオフラインデータやNo.19~20のオンラインデータをガス分析処理のオンラインデータと同一のデータベースとして管理し、ブロック3, 4の呼吸試験結果演算機能を組み込むなど、図7の実現手段9.~12.に述べた機能を備えたシステムとなっており、それぞれ対応する目的を満たしている。

6 結 言

家畜代謝実験装置は、動物用生物環境調節装置としては本格的なコンピュータシステムを導入した有数の大形実験施設である。コンピュータシステムを導入した主な目的は、省力、

省人化、高信頼性化及び高精度化である。このため、コンピュータシステムは、信頼性の高い制御用コンピュータであるHIDIC 80-EとHIDIC 08-Eを中心とする構成とし、もたせた主な機能は、

- (1) ガス発生量・消費量の測定・演算での温度、圧力などの補正や時間差補正(ガス濃度と補正用環境データの入力タイミングの差をなくし、同一時間断面に並べ直す補正)及びガス分析計検量線の自動校正などによる精度の向上と省力化。
- (2) 実験段階に応じ、最適な場所で人がコンピュータと対応できるようにシステムの機能分散を図り、向上させた高操作性と高信頼性。
- (3) オンラインデータとオフラインデータの容易な結合や補正データの組合せ演算の実時間実行などによる実験状況・結果の早期把握。

などである。また、装置全体の最適システム設計により、省エネルギー化、操作性向上、制御精度向上、安全確保などを図った。

最後に、本装置について貴重な御指導、御助言をいただいた農林水産省畜産試験場の針生程吉氏、岩崎和雄氏はじめ関係各位に対し、ここに厚くお礼を申し上げる。

参考文献

- 1) 森本, 外: 動物栄養試験法, 養賢堂(昭46-6)
実験動物, 家畜栄養及び飼料分野での試験方法を詳述したもので、専門外の読者にも代謝試験, 呼吸試験について目的, 試験方法など試験概要を理解することができる。
- 2) 海塩, 外: 牛における物質及びエネルギーの代謝, 農業技術研究所報告, G11, 157~231 (1955)
- 3) 橋爪, 外: 牛における物質及びエネルギーの代謝II 代謝試験装置について, 農業技術研究所報告, G20, 21~52 (1961)
- 4) 伊藤, 外: 家畜のエネルギー代謝における動特性追跡機能を附加した省力的呼吸試験装置, 畜産試験場研究報告, 32, 1~17 (1977)
2)~4)は、本装置の基礎となった筑波研究学園都市に移転前の農林水産省畜産試験場(千葉市)に設置されていた代謝実験装置を紹介したものである。
- 5) 井手, 外: HIDIC 80シリーズのシステム構成, 日立評論, 61, 587~592 (昭54-8)
- 6) 保田, 外: 制御用マイクロコンピュータHIDIC 08-E, 日立評論, 60, 757~762 (昭53-10)