農研機構

ISSN 1341-0148

農業機械化研究所研究報告

第 38 号

Technical Report
of
the Institute of Agricultural Machinery
(Nogyo Kikaika Kenkyusyo)
Saitama-city, Saitama, Japan
No.38 March 2009

平成 21 年 3 月

農機研報
Tech. Rep.,
Inst. of Agric.
Mach.
38 : 1-67
Mar. 2009

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
農 業 機 械 化 研 究 所
埼玉県さいたま市北区日進町１丁目

独立行政法人　農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
農 業 機 械 化 研 究 所

Institute of Agricultural Machinery
Bio-oriented Technology Research Advancement Institution
National Agriculture and Food Research Organization

農業機械化研究所研究報告　第38号　（平成21年3月）

目　　次

平田　晃・後藤　裕・荊木義孝・涌井明男・岡谷利幸
・大日向好治・松岡　巧・竹前昭宏

搾乳ユニット自動搬送システムに関する研究

Technical Report of the Institute of Agricultural Machinery
(Nogyou Kikaika Kenkyusho)
No.38, March.2009

Contents

Akira HIRATA, Hiroshi GOTOH, Yoshitaka IBARAKI,
Akio WAKUI, Toshiyuki OKATANI, Yoshiharu OBINATA,
Kenichi HOSOI, Takumi MATSUOKA, Akihiro TAKEMAE

Study on a New Automatic System for Carrying Milking Units

搾乳ユニット自動搬送システムに関する研究

平田　晃*・後藤　裕*・荊木義孝**・涌井明男**・岡谷利幸**・
大日向好治**・松岡　巧**・竹前昭宏**

2008-8-25　受理

*　畜産工学研究部
**　オリオン機械株式会社

抄　録

本研究では，繋ぎ飼い式牛舎における搾乳作業の大幅な省力化を図る手段として，搾乳ユニットを左右に搭載して自動搬送し，２頭同時に搾乳する「搾乳ユニット自動搬送システム」の基本コンセプトを提示した。タイムチャート分析によって，適切な搬送速度範囲を把握するとともに，１人で１時間に約50頭の搾乳が期待できることを確認した。実機試作においては，搾乳ユニットの運搬，ミルク・真空ラインとの接続・切離し，搾乳終了検知とティートカップ離脱を一連のルーチンとして自動化し，その中に手作業（左右２頭の乳頭清拭・ティートカップ装着，乳頭消毒）を組み込んで構成するものとし，動作試験や乳牛の反応調査を行いながら改良を加え，原型機を完成させた。民間牧場に導入し，乳牛と作業者は，10日～４週間程度で馴れ，作業にゆとりができ作業時間が短縮されること等，本システムの実用性を実証した。

本研究をもとに本システムは市販化され，乳牛繋ぎ飼いの高度化に大きく貢献している。

緒　言

本研究は，わが国の生乳生産の過半数を担っている繋ぎ飼い式牛舎・パイプラインミルカ方式における手作業中心の搾乳作業に関して，搾乳ユニット自動搬送システムの開発により，搾乳ユニットの自動搬送・２頭同時搾乳という家族経営において誰もが使える省力的な搾乳システムを実用化することを目的とする。

近年，酪農経営においては，乳牛の高泌乳化に伴い，乳房炎，繁殖障害，肢蹄病等の疾病が増加傾向にあり，個体管理が益々重要となっている。繋ぎ飼いは，個体管理に有利である反面，１頭毎の給餌や搾乳作業に手間がかかる。一方，農家所得の維持向上のために飼養頭数規模は年々拡大傾向にあり，家族経営における労働過重は深刻さを増している。このため，飼養規模が経産牛で60頭を超えれば，飼養管理作業の省力化が可能なフリーストール・ミルキングパーラ方式（放し飼い式牛舎方式）への移行が推奨されてきた。しかし，この方式は，広い土地基盤と高額な新規投資を必要とし，誰もができる選択ではないのが実態である。1999年に成畜頭数50頭規模以上の繋ぎ飼い農家を対象に生研機構が行った「牛舎内での飼養管理の省力化に関する意向調査」（全国2,480戸，回答率36.8%）において，労働過重の深刻さが示されたが，将来の飼養管理については，繋ぎ飼いでの省力化を要望する経営が，全国で70.8%と多数を占めた。

本研究では，家族経営における飼養規模拡大に伴う労働過重の解消をねらいとして，誰もが使える省力的

な搾乳システムの開発を進め，民間牧場に設置して実用性を確認した。この成果を受けて本システムは実用化され，既に導入が始まっている。

わが国における飼養形態の87.5%を占める繋ぎ飼い農家に，無理のない規模拡大の選択肢の一つとして，この搾乳ユニット自動搬送システムが広く受け入れられることを切に願うものである。なお，本研究は農林水産省の21世紀型農業機械等緊急開発事業（緊プロ）の中で，1998年度から研究課題「搾乳ユニット自動搬送装置の開発」として，研究を進めてきたものである。本報告は，本研究の過程で得られた搾乳ユニット自動搬送システムの開発と実用性評価についてとりまとめたものである。

第１章　研究の背景

１．１　酪農に占める繋ぎ飼養の位置と動向

わが国の生乳生産量，約840万ｔ（2003年度実績）の内，46%を北海道が占め，54%を都府県が占めている。生乳生産を担う経産牛の飼養形態（牛舎方式）は，繋ぎ飼い式牛舎方式と放し飼い式牛舎方式（フリーストール，フリーバーン）に分けられる。生乳生産の大半（表1-4より70%以上と推定）は，家族中心の繋ぎ飼い農家によって担われており，多くは小中規模に留まっている。一方で規模拡大も進みつつあり，省力化を目的として，飼養形態や搾乳方式を変更する場合も増えている。

本章では，統計資料等より抽出した「酪農における繋ぎ飼養の位置と規模拡大の動向」，省力化の選択肢となる飼養管理方式の特長と普及の現状について述べる。その中で選択肢として，繋ぎ飼養における搾乳作業の省力化が適切と考えられる飼養頭数規模層について考察し，本研究の重要性について明らかにする。

わが国の生乳生産を担う経産牛頭数は，1991年から2003年にかけて129万頭から112万頭へ減少し，酪農家戸数も59.8千戸から29.8千戸に半減した。この間に経産牛１頭当たりの年間乳量は，全国平均で6,500kgから7,613kgに増加し，１戸当たり経産牛頭数は23.0頭から37.6頭（北海道54.6頭，都府県30.0頭）となり，飼養規模は着実に拡大している。成畜頭数50頭以上層の頭数シェアも30.4%から57.0%へと大きく変化した（表1-1）。

表1-1　酪農経営の動向*

年次		1991年	1994年	1997年	2000年	2003年
飼養戸数	（千戸）	59.8	47.6	39.4	33.6	29.8
経産牛頭数	（千頭）	1,285	1,247	1,205	1,150	1,121
１戸当たり経産牛頭数	（頭）	23.0	27.3	32.6	34.2	37.6
	北海道	34.1	39.7	45.7	49.6	54.6
	都府県	19.1	22.7	25.1	27.7	30.0
経産牛１頭あたり年間乳量	（kg）	6,500	6,819	7,206	7,401	7,613
年間生乳生産量	（千ｔ）	8,259	8,388	8,645	8,497	8,405
成畜***50頭以上層の戸数シェア	（%）	10.5	16.7	21.1	24.6**	27.8
頭数シェア	（%）	30.4	40.1	46.6	52.3**	57.0

*　畜産経営の動向(1993, 1996, 2000, 2002, 2005)より作成。

**　12年のデータは資料に無いため、平成11年のデータを示した。

***　成畜とは満２歳以上の牛を言う。

酪農全国基礎調査[6)7)]からも，酪農家戸数の減少は，主に都府県の小中規模層を中心に生じていることが読み取れる。分布割合が増えているのは，経産牛50頭以上の層からで，実数としては75頭以上の層からで

ある（表 1-2）。経営形態は，夫婦または親子など家族中心の非法人経営が 89.6%[7]と圧倒的多数を占めている。また，全国の牛舎形式は表 1-3 に示すように繋ぎ飼いが 87.5%を占め，フリーストール 8.4%とフリーバーン 3.1%を合わせても 11.5%に過ぎない。北海道でも繋ぎ飼いが 81.1%を占め，フリーストール 16.9%，フリーバーン 1.2%となっている。牛舎方式を経産牛飼養頭数別に見ると，繋ぎ飼い式牛舎のシェアは，経産牛 50 頭未満では 92.0%以上を占め，75～100 頭未満層までは 54%を占めている。経産牛 50 頭以上の規模では次第にフリーストールとフリーバーンが増える傾向にあり，100 頭～150 頭未満では 69.9%と繋ぎ飼い 29.8%を逆転し，150 頭以上では 93.1%がフリーストールとフリーバーンになっている。

表 1-2　酪農経営における経産牛頭数分布の推移*

調査年度		2004 年度				1998 年度			
調査戸数と分布		全国		地域別戸数		全国		地域別戸数	
		戸数	分布(%)	北海道	都府県	戸数	分布(%)	北海道	都府県
		21,358	100	5,844	15,514	26,022	100.0	6,132	19,890
経産牛飼養頭数	20 頭未満	5,618	26.3	238	5,380	7,598	29.2	294	7,304
	30 頭未満	3,867	18.1	413	2,783	4,996	19.2	491	4,505
	40 頭未満	3,563	16.7	780	1,680	4,684	18.0	957	3,727
	50 頭未満	2,735	12.8	1055	1,380	3,409	13.1	1,361	2,048
	75 頭未満	3,294	15.4	1914	373	3,695	14.2	2,177	1,518
	100 頭未満	1,073	5.0	700	248	755	2.9	472	283
	150 頭未満	748	3.5	500	160	390	1.5	92	298
	150 頭以上	379	1.8	219	160	130	0.5	30	100

＊　酪農全国基礎調査（中央酪農会議，1999、2005）より抜粋作成。

表 1-3　牛舎方式の飼養規模別シェア*

項目		調査戸数	牛舎方式別のシェア（%）			
			繋ぎ飼い	フリーストール	フリーバーン	その他＋無回答
	全国	21,358	87.5	8.4	3.1	0.9
	北海道	5,844	81.1	16.9	1.2	0.9
経産牛飼養頭数（全国）	30 頭未満	9,485	97.2	1.0	0.8	1.2
	40 頭未満	3,563	94.8	2.6	1.9	0.6
	50 頭未満	2,735	92.0	3.9	3.3	0.9
	75 頭未満	3,294	82.0	12.5	4.9	0.7
	100 頭未満	1,073	54.0	34.9	10.0	1.2
	150 頭未満	748	29.8	55.9	14.0	0.3
	150 頭以上	379	6.1	78.1	15.0	0.8

＊　酪農全国基礎調査（中央酪農会議，2005）より抜粋作成。

搾乳方式は表 1-4 に示すように，2004 年度で酪農経営全体の 72.4%がパイプラインミルカを使用している。パイプライン利用の簡易パーラは 2.6%，ミルキングパーラは 7.6%と，いずれも 1998 年度調査時よりシェアは増えたのに対し，バケットミルカは 25.2%から 16.5%に落ち込んでいる。規模別に見ると 30 頭未満では，36%がバケットミルカを使用しているが，62.1%はパイプラインミルカである。パイプラインミルカの利用は，30 頭～50 頭未満では 93%前後，50 頭～75 頭未満では 83.8%，75 頭～100 頭未満

でも 53.8%で，30 頭～100 頭未満では，85.7%がパイプラインミルカを利用している。ミルキングパーラの利用は，75 頭～100 頭未満では 29.5%であり，簡易パーラ 9.4%と合わせると 38.9%になる。100 頭～150 頭未満と 150 頭以上ではミルキングパーラと簡易パーラのシェア合計はそれぞれ 63.4%，87.6%となっている。

搾乳ロボットは，1998 年度の調査項目にはないが，2004 年度の調査では 0.4%のシェアで，調査戸数からの単純計算であるが導入農場数は，85 戸となる。

表 1-4　搾乳方式の飼養規模別シェア*

項目		調査戸数	搾乳方式別のシェア（%）						
			バケットミルカ	パイプラインミルカ	パイプラインの簡易パーラ利用	ミルキングパーラ	搾乳ロボット	その他	参考データ** 平9年度 平15年度 出荷乳量（t）
全国（1998 年度）		26,022	25.2	67.7	1.7	4.0	—	0.3	240.4
	北海道	6,132	8.1	81.1	2.6	7.0	—	0.2	370.2
全国（2004 年度）		21,358	16.5	72.4	2.6	7.6	0.4	0.2	315.6
	北海道	5,844	5.2	78.4	3.5	11.5	0.9	0.3	474.5
経産牛飼養頭数（全国）	30 頭未満	9,485	36.0	62.1	0.7	0.6	0	0.1	163.4
	40 頭未満	3,563	1.9	93.7	1.8	2.3	0.1	0.1	253.9
	50 頭未満	2,735	0.4	92.8	2.4	3.8	0.3	0.2	331.5
	75 頭未満	3,294	0.3	83.8	5.1	9.9	0.6	0.3	448.3
	100 頭未満	1,073	—	58.3	9.4	29.5	2.1	0.5	622.9
	150 頭未満	748	—	33.3	8.2	55.2	2.8	0.4	878.8
	150 頭以上	379	—	7.7	5.3	82.3	2.6	2.1	1903.9

*　酪農全国基礎調査（中央酪農会議，1999、2005）より抜粋作成。
** 1997 年度、2003 年度のデータを示した。

表 1-5　飼養規模別の酪農従事者数の分布とヘルパー等の利用　（単位：戸、%）*

		調査戸数	1名	2名	3名	4名	5名～	ヘルパー	コントラクタ
全国		21,358	8.6	51.3	26.0	11.0	2.6	52.1	14.9
	北海道	5,844	4.2	42.1	32.1	17.3	3.9	65.8	30.5
経産牛飼養頭数（全国）	30 頭未満	9,485	15.2	65.6	15.2	3.1	0.3	38.1	9.6
	40 頭未満	3,563	5.1	53.1	31.0	9.6	0.8	59.4	12.3
	50 頭未満	2,735	3.2	45.3	35.7	14.0	1.2	64.0	15.4
	75 頭未満	3,294	2.3	35.2	39.1	20.3	2.8	66.6	22.0
	100 頭未満	1,073	2.1	24.2	38.3	28.8	6.5	68.7	27.8
	150 頭未満	748	1.5	17.3	31.0	33.2	17.1	67.4	36.1
	150 頭以上	379	1.9	10.6	17.7	23.0	46.2	45.1	33.0

*　酪農全国基礎調査（中央酪農会議，2005）より抜粋作成。
** ヘルパー利用は、搾乳・飼養管理について、コントラクタは飼料生産・収穫調製について示した。

酪農従事者数は，表1-5から全国分布をみると「2名」の経営が51.3%，「3名」の経営が26.0%を占めており，全酪農経営平均は2.5名となっている。飼養規模が大きくなるにつれて，従事者数は増加傾向にある。搾乳・飼養管理に対してヘルパー利用は，家族経営が中心と見られる30頭未満から100頭未満の規模までは38.1%から68.7%へと増加傾向にあるが，150頭以上の規模では，45.1%となっている。飼料生産・収穫調製でのコントラクタ利用は，規模に応じて増え，北海道は平均30.5%である。

酪農は，給餌や搾乳，繁殖管理や分娩時の介護などの作業が，乳牛の状態に応じて行われる。高泌乳化の中で，観察に基づく乳牛の個体管理は，益々重要性を増している。繋ぎ飼いは，個体管理には有利であるものの，多労で家族2人の労働力では経産牛頭数40～50頭が限界とされてきた。また，酪農は土・草・牛の循環を利用して生乳生産を行うことが本来の姿であり，地域における耕畜連携を含めて自給飼料生産の拡充が求められている。しかし，経産牛1頭当たりの年間飼養労働時間を約100時間（成畜50～79頭層）とした場合，この内搾乳及び牛乳処理に約50%，給餌に約25%を要している[5]。50頭では年間飼養労働時間は5,000時間になり，繁忙期には牧草の収穫・調製作業の時間が加わることになる。農家所得の維持向上のために規模拡大が要望される一方で，「後継者不在・労働過重」が経営中止の最大の理由であり，自給飼料生産の拡大やふん尿処理の充実は，家族経営の中から限られた労働力をどう割くかという問題にもなっている。コントラクタやヘルパーの積極的利用を前提としても，牛舎内における毎日の飼養管理を大幅に省力化し，所得確保は言うまでもなく労力的にも精神的にも「ゆとり」の創出が不可欠であると考える。

1.2 フリーストール方式の概要と繋ぎ飼養の高度化の重要性

多頭飼養において，家族経営という限られた労働力の中から「ゆとり」を作り出すために，どのように牛舎内の飼養管理の省力化を進めればよいか。省力化の選択肢として，大きく分けて3つが挙げられる。1つは，酪農先進国で実績のあるフリーストール・ミルキングパーラ方式への移行で，2つ目は搾乳ロボットである。これら2つの選択はフリーストールへの移行が前提となる。3つ目は，既存の繋ぎ飼い式牛舎・パイプライン方式の高度化で，搾乳や給餌の自動化と組み合わせを含むが，これまでの飼養技術をベースとしたものであり，投資も比較的小さくて済むと考えられる。以下に，3方式の特長と現状を整理し，繋ぎ飼養の高度化モデルで想定する適用規模と作業能率を対比して示す。

1.2.1 フリーストール・ミルキングパーラ方式

わが国では，この方式は，放牧を基本とし濃厚飼料を乳量に応じて給与するヨーロッパ型ではなく，高泌乳牛の効率的かつ省力的飼養管理を目的とするTMR（Total Mixed Ration）方式がセットで推奨されてきた。乳牛の能力を揃えて群分けし，牛群の能力レベルに応じて混合調製したTMRだけを給与するアメリカ型の方式をモデルとしている。設備等への新規投資は高額となるため，多頭飼養によって1頭当たりの生産コストを抑える必要があり，ここ数年120頭～150頭以上に規模拡大する場合の選択肢となっている。更に大型な共同経営牧場等では哺乳ロボットの利用も進み，2003年10月時点で約950台の普及を見ている[14]。また，3交代3回搾乳など豊富な雇用労力と多頭飼養によって投資設備の稼働効率と生産性を追求する300～1,000頭以上の企業的メガファームに向かうケースも増えつつある。

フリーストール方式では，多頭数の搾乳を省力的に実施するためにミルキングパーラ（専用搾乳室）が採用される。搾乳室は搾乳用ストール，腰をかがめなくてすむ作業ピットおよび牛や人の出入口と通路からなっている。パーラの形式はストールの並び方等で分類され，搾乳能率は，パーラの形式，搾乳ストール数，列数，作業者数，前処理作業内容等に影響を受けるが，搾乳作業が2時間以内に終わるよう選定される。120頭～150頭規模のフリーストール牛舎に合わせて選定される代表的パーラの形式等と搾乳能率は以下のとおりである[12]。

パラレルパーラ：片列毎に乳牛がまとまって入室し，

作業ピット側に尻を直角に向けて並ぶ方式である。搾乳ユニットは乳牛の後肢の間から取り付ける。片側まとまって退出する急速退出式が一般的である。８ストール×２列で作業者数１～２名の場合，搾乳能率 3.5 頭/ストール・時で 56 頭/ｈが見込まれる。

ヘリンボーンパーラ：片列毎に乳牛がまとまって入室し，作業ピット側に尻を斜めに向けて並ぶ方式である。搾乳ユニットは乳牛の横から取り付ける。８ストール×２列（急速退出式）で作業者数１～２名の場合，搾乳能率 3.5 頭/ストール・ｈで 56 頭/ｈが，また，作業者数３名の場合では，搾乳能率 4 頭/ストール・時で 62 頭/ｈが，通常見込まれる。これらのパーラは，増頭を予定している場合は，10 ストール×２列等が選択されるし，メガファームなどでは 16～24 ストール×２列クラスで自動化の進んだタイプが選択される。

ロータリーパーラ：搾乳ストールが円形台座に配置され回転するもので，回転台座の内周側で作業する内搾り方式と外周側に立つ外搾り方式とがある。乳牛の出入りは１頭ずつである。24～40 ストールのクラスは，主として共同牧場やメガファームといった 300 頭以上規模で選択される。搾乳能率は，搾乳ストール数と回転時間によって決定され，30 ストールで回転時間を 10 分とすると最大 180 頭/ｈが見込まれる。作業人数は，１頭にかけられる作業時間（回転時間/ストール数）と作業の分担内容によって決められる。

以上見たように，わが国で普及しているアメリカ型のフリーストール・ミルキングパーラ方式は，大規模牛群の斉一な省力管理に適した方式である。この方式では，搾乳時の牛追いと搾乳，糞出し，給餌を同時並行的に行うため，作業者は持ち場が別れて専任化されている。100 頭規模以下では，群分けして飼料調製することは実際的ではなく，１群管理が行われることが多い。また，60 頭繋ぎ飼いから 90 頭フリーストールに移行し，６ストール×２列のヘリンボーンパーラとした場合，必要投資額は 9,455 万円～１億 2,911 万円と試算[8]されている。このように１頭当たりの生産費は高くならざるを得ないため，収益を確保するには一層の高泌乳化と規模拡大が必要となる。

１．２．２　搾乳ロボット（フリーストール用）

搾乳ロボットはオランダやスウェーデン等のヨーロッパを中心に 1990 年代に実用化された。その開発背景には，一定草地面積での飼養頭数の制約や出荷乳量を規制するクオータ制度の問題から，規制レベルに達した飼養頭数規模を縮小する中で収益性を上げるという側面があった。わが国では家族経営における規模拡大のための省力化手段と捉えられ，多回数搾乳による個体乳量増（7～15%）への期待も高い。ただし，普及は故障時にサポート拠点から車で１～２時間の範囲にあって搾乳不能時の復旧が迅速にできる地域に限られる。

パーラタイプとボックスタイプがあり，ボックスタイプのロボット１台の処理量は，牛群平均日乳量等にもよるが，60 頭搾乳（経産牛 70 頭）が目安となる。フリーストールでの電子個体識別による１群管理が前提となり，休息エリアから給餌エリアへの一方通行経路の途中に搾乳ロボットを置くワンウェイカウトラフィックが基本とされる。牛の生活パターンを中心とする管理で，人間は乳牛の登録と搾乳回数やロボット内で与える濃厚飼料給与量の設定等を行うが，エサによる誘引と乳牛の意志により終日（洗浄等を除く 22 時間で 180 回程度）自由搾乳が行われる。朝夕２回の搾乳による拘束はなくなり，肉体作業は大きく軽減される。一方で終日にわたる精神的拘束も指摘される。人手による作業としては，①従来は搾乳時に行っていた個体観察，②ティートカップの自動装着に適応できない牛の搾乳，③搾乳ロボットに入らなかった牛の追い込み，乳が出荷できない乳房炎牛や初乳期牛のバケットミルカでの別搾り，④搾乳中に異常乳センサで検出・警告した牛の特定と次回搾乳からの分離または合乳の決定，及び⑤コンピュータへの入力が必要となる。この他，搾乳ロボットでは乳頭の自動洗浄が行われるが，ひどい汚れは十分に落とせないので，牛体管理の徹底が重要である。

2003 年 10 月時点で酪農家等に約 160 台が導入されている[14]。新規投資が高額となるため，単独使用する場合でも，乳価を 90 円／kg とした場合，年間 700 ｔ（経産牛 70 頭規模）の出荷乳量が望ましい[10]とされる。そこで，搾乳ロボットと繋ぎ飼い式牛舎で既設

のパイプラインミルカを併用して，経産牛頭数100頭（搾乳牛 85 頭）前後を飼養し収益性を高めるという，わが国特有の飼養方式が定着しつつある。

1．2．3　繋ぎ飼養の特長と高度化への問題点

繋ぎ飼い式牛舎における一連の飼養管理作業は，乳牛を搾乳後に牛舎横の運動場や放牧に出す場合を除き，1頭ずつ各ストールに繋留して行うため，多労であるが，各牛の健康状態や繁殖管理など個体管理が行いやすい。また，給餌，搾乳，糞出し，牛床整備等が，同一牛舎内で順次に行え，作業人数に応じて臨機応変に分担する等，2～3人程度の家族労働での対応がしやすい。さらに多頭化と高泌乳化に伴い，濃厚飼料や細断粗飼料を含め各種飼料を個体別に多回数自動給餌する装置が普及しつつある。北海道では，酪農経営の約半数の4,500戸以上が何らかの形で放牧を実施している[14]が，これとも矛盾を生じない給餌方式である。また，カウコンフォート（乳牛居住環境の安楽性）の良否が乳生産に影響を及ぼすことや動物福祉の観点から，繋留方法をスタンチョンからチェーンタイ等に変更して自由度を与え，牛床にゴムマットを使う等，換気を含め居住環境を改善した牛舎が増えている。

一方，搾乳作業はこれまで懸架式ミルカが市販化され，軽労化が図られてきたが，基本的には手作業で，搾乳ユニットの牛までの運搬，ミルクタップとの接続，前搾り，乳頭清拭，ティートカップ装着，機械搾乳，搾乳終了検知，ティートカップ離脱，乳頭消毒，ミルクタップからの搾乳ユニット切離し，次の牛への運搬という作業ルーチンで構成されている。また，1つの搾乳ユニットを2頭で共用し，付け替えに戻るため作業動線は長く，作業者1人が扱えるのは3ユニットが限界とされる。家族2名であれば，経産牛50頭（搾乳牛で 42 頭程度）が限界とされ，作業者1人分の余力を生み出すことのできるレベル，1人1時間で 50 頭を搾乳できる技術は，これまで実用化されていない。この点が繋ぎ飼い式牛舎方式の高度化を実現するための障害となっている。

1．2．4　繋ぎ飼養高度化モデルの適用規模：省力化の選択肢として

3種類の搾乳方式について，適正と見られる適用規模を表1-6に示す[26]。

フリーストール方式は，パラレルパーラ8ストール×2列の搾乳方式で，飼養規模120頭（搾乳頭数102頭）の場合と，搾乳ロボット＋パイプラインミルカの搾乳方式で，100 頭規模（搾乳頭数 85 頭）を，搾乳ロボット1台で60頭搾乳し，残りの25頭を既存施設のパイプラインミルカで搾乳する場合について示した。

繋ぎ飼い式牛舎方式では，パイプラインミルカでの搾乳能率を 6.5 頭／ユニット・h[8]として試算した。慣行については，50 頭規模とし2名で5～6ユニットを使う場合について示した。高度化モデルは，フリーストール・ミルキングパーラ方式では過剰投資が懸念される60～80頭規模について示した。8ユニット

表1-6　牛舎方式・搾乳方式（選択肢）の適用規模と作業能率

牛舎方式	フリーストール方式			繋ぎ飼い式牛舎方式	
搾乳方式	パラレルパーラ	搾乳ロボット＋パイプラインミルカ		パイプラインミルカ	
				高度化モデル	慣行
ストール又はユニット数	8ストール×2列	1ストール＋6ユニット		8ユニット	5～6ユニット
搾乳能率	3.5頭/ストール・h	180頭/ストール・日	6.5頭/ユニット・h	6.5頭/ユニット・h ＊	
飼養規模	120頭	100頭		60～80頭	50頭
搾乳頭数	102頭	60頭	25頭	51～68頭	42頭
作業者数	1～2名	1名	2名	1～2名	2名
搾乳作業時間（見込み）	1.82h ×朝・夕	1.0h －	0.64h ×朝・夕	0.98～1.31h ×朝・夕	1.08～1.29h ×朝・夕
新規投資	高額	高額		比較的低コスト	なし

＊　パイプラインミルカの搾乳能率は平均6.5頭／ユニット・h（畜産技術協会，1996）

東　北	青森県	青森県経済農業協同組合連合会	50 戸
	岩手県	岩手県経済農業協同組合連合会	70 戸
	宮城県	宮城県生乳販売農業協同組合連合会	30 戸
	秋田県	秋田県経済農業協同組合連合会	10 戸
	山形県	山形県経済農業協同組合連合会	20 戸
	福島県	福島県酪農協同組合	25 戸
関　東	茨城県	茨城県酪農協同組合連合会	70 戸
	栃木県	栃木県酪農協同組合連合会	120 戸
	群馬県	群馬県牛乳販売農業協同組合連合会	120 戸
	埼玉県	埼玉県経済農業協同組合連合会	35 戸
	千葉県	千葉県酪農農業協同組合連合会	95 戸
	神奈川県	神奈川県酪農業協同組合連合会	15 戸
甲信越	山梨県	山梨県酪農業協同組合連合会	10 戸
	長野県	長野県経済農業協同組合連合会	40 戸
	静岡県	静岡県酪農業協同組合連合会	40 戸
	新潟県	新潟県酪農業協同組合連合会	15 戸
北　陸	富山県	富山県経済農業協同組合連合会	10 戸
	石川県	石川県経済農業協同組合連合会	20 戸
	福井県	福井県経済農業協同組合連合会	10 戸
東　海	岐阜県	岐阜県酪農農業協同組合連合会	25 戸
	愛知県	愛知県酪農農業協同組合連合会	150 戸
	三重県	三重県酪農業協同組合連合会	20 戸
近　畿	滋賀県	滋賀県経済農業協同組合連合会	10 戸
	京都府	京都府経済農業協同組合連合会	10 戸
	兵庫県	兵庫県酪農農業協同組合連合会	50 戸
中　国	鳥取県	(鳥取)大山乳業農業協同組合	30 戸
	島根県	全国農業協同組合連合会島根県本部	15 戸
	岡山県	岡山県酪農業協同組合連合会	50 戸
	広島県	広島県酪農業協同組合	20 戸
	山口県	山口県酪農農業協同組合	10 戸
四　国	徳島県	徳島県酪農業協同組合連合会	20 戸
	香川県	香川県経済農業協同組合連合会	15 戸
	愛媛県	愛媛県酪農業協同組合連合会	10 戸
	高知県	高知県経済農業協同組合連合会	10 戸
九　州	福岡県	福岡県酪農業協同組合連合会	30 戸
	佐賀県	佐賀県経済農業協同組合連合会	10 戸
	長崎県	長崎県酪農業協同組合連合会	20 戸
	熊本県	熊本県酪農業協同組合連合会	60 戸
	大分県	大分県酪農業協同組合	30 戸
	宮崎県	宮崎県酪農業協同組合連合会	25 戸
	鹿児島県	鹿児島県酪農業協同組合連合会	35 戸
	沖縄県	沖縄県酪農業協同組合	20 戸
		計	2,480 戸

2．3　調査内容

1）回答農家概要（地域分布，経営主の年齢，後継者の有無，経産牛の牛舎方式）

2）経営概況（出荷乳量，経産牛頭数，経産牛１頭当たりの年間産乳量）

3）労働力状況（酪農従事者数，女性従事者の作業内容，１日当たり労働時間）

4）搾乳作業（搾乳頭数，１日当たり搾乳作業時間，作業人数，使用ユニット数(注)）

（注）：搾乳作業で使用する搾乳ユニット数

5）繋ぎ飼い式牛舎用の省力化機器への関心度

6）労働時間と労力余裕の活用

2．4　調査実施時期

平成11年７月１日～８月31日

2．5　調査結果と考察

2．5．1　回答農家概要

1）地域分布

1999年８月31日の時点で得られた912件の回答の地域分布を示した（表2-1）。北海道の調査戸数・回答分布が多いが，成牛50頭以上を飼養している階層の63%（5,460戸）は北海道に集中していたことによる。

表 2-1　地域別回答状況

地域	調査数	回答数	回答率（%）	回答分布（%）
北海道	1，000	297	29.7	32.6
東北	205	69	33.7	7.6
関東	455	172	37.8	18.9
甲信越・北陸	145	41	28.3	4.5
東海・近畿	265	151	57.0	16.6
中国・四国	180	93	51.7	10.2
九州・沖縄	230	89	38.7	9.8
全国（総数）	2,480	912	36.8	100

2）経営主の年齢

経営主の年齢分布は41～50歳の年齢層が46%を占め，平均年齢は47.7歳であり，大きな地域差はなかった。

3）後継者の有無

後継者が「決定している」が35%，「未決である」が49%，「無し」が14%であった。

4）牛舎方式（対尻式，対頭式）

繋ぎ飼いの牛舎方式は，対尻式牛舎と対頭式牛舎に分かれる。図 2-1 に繋ぎ飼い式牛舎方式の分布を示す。全国的には 50 頭規模の牛舎の 66%が対尻式（搾乳作業に有利な尻合わせ）で 34%が対頭式（給餌作業に有利な頭合わせ）であった。

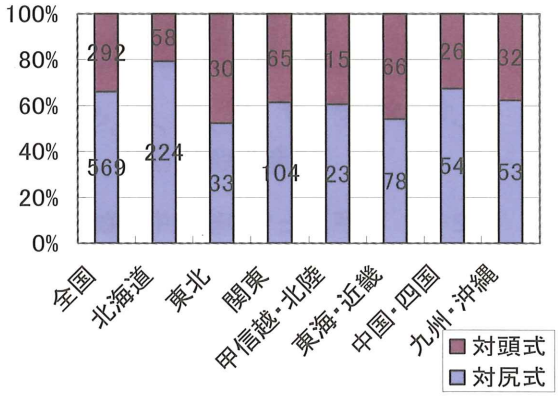


図 2-1　繋ぎ飼い式牛舎方式の分布（n=861）

2．5．2　経営概況

1）出荷乳量

調査した経営の年間出荷乳量は，図 2-2 のような分布を示し，平均年間出荷乳量は 437ｔであった。1997年度の全酪農家の平均出荷乳量は 240.4ｔ，北海道の平均は 370.2ｔであるから，かなり高水準であった。

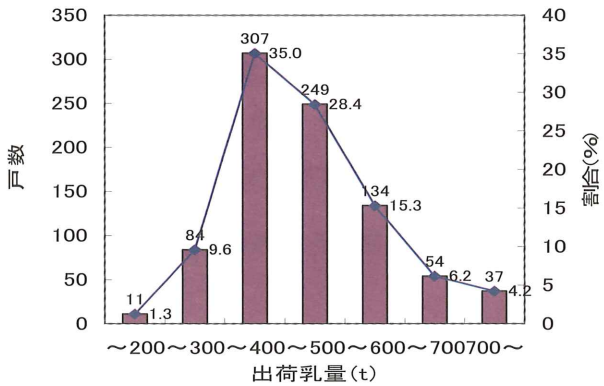


図 2-2　１戸当たり年間出荷乳量(n=876)

2）経産牛頭数

1戸当たりの経産牛頭数は，図 2-3 のとおり 30 頭未満から 100 頭以上まで広く分布し，平均経産牛頭数は 56.8 頭であり，71.2%は 60 頭未満に留まっていた。

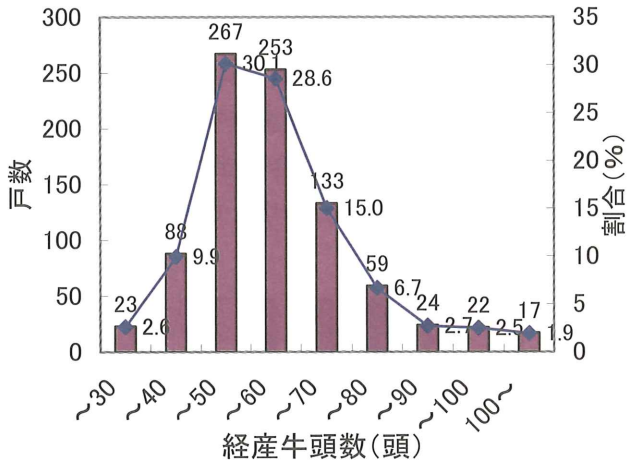


図２－３　１戸当たりの経産牛頭数（n=886）

３）経産牛１頭当たりの年間産乳量

経産牛１頭当たりの年間産乳量は図 2-4 に示すとおり 6,000kg～10,000kg 以上に分布しており，平均値は 7,834kg であるが，1997 年度全国平均 7,206kg より高水準であった。

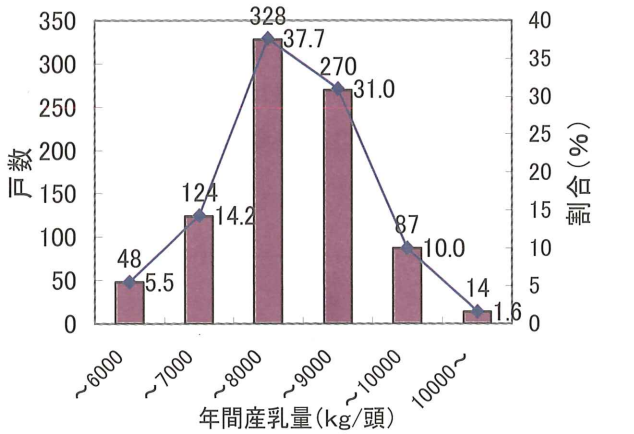


図 2-4　経産牛１頭当たりの年間産乳量（n=871）

２．５．３　労働力状況

１）酪農従事者数

経産牛 50 頭以上を飼養している繋ぎ飼い農家１戸当たりの酪農従事者数は，図 2-5 に示すとおりで平均 2.94 人，その内女性従事者数は 1.29 人であった。

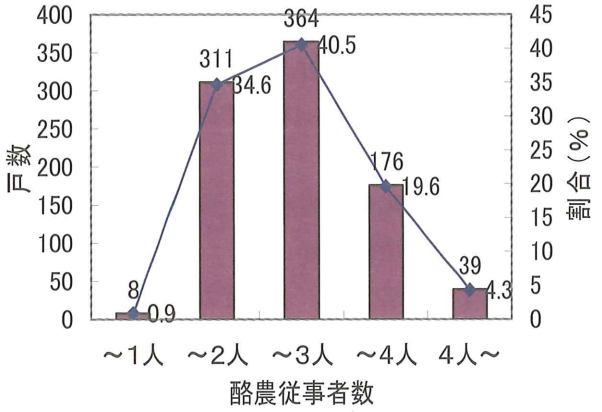


図 2-5　酪農従事者数（n=898）

２）女性従事者の作業内容

女性従事者の作業内容は，図 2-6 に示すように搾乳，哺育・育成，清掃・除糞，給餌等の牛舎内での手作業に偏る傾向が見られた（複数回答）。

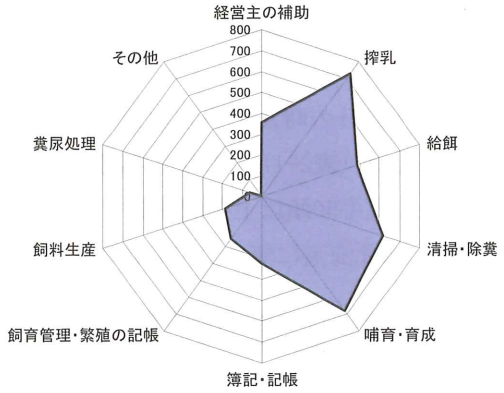


図 2-6　女性従事者の主な仕事内容（n=725）

３）１日当たりの労働時間

１日当たりの労働時間を通常期（乳牛の飼養管理が中心となっている時期）と繁忙期（飼料作物の収穫や調製で忙しい時期）に分けてみると，通常期では 5h 以下～12h 超に分布し，最頻値は経営主その他の家族とも 7～8h であった（図 2-7）。また，繁忙期では 7h 以下～15h 超に分布し，最頻値は経営主で 11～12h，その他の家族で 9～10h であったが，経営主では 12h を超えて分布している場合が多く見られ（図 2-8），過重労働の深刻さを伺わせた。著者らの実地調査では，繁忙時にも，定時に搾乳を行うため，女性による１人搾乳も行われる事例があった。

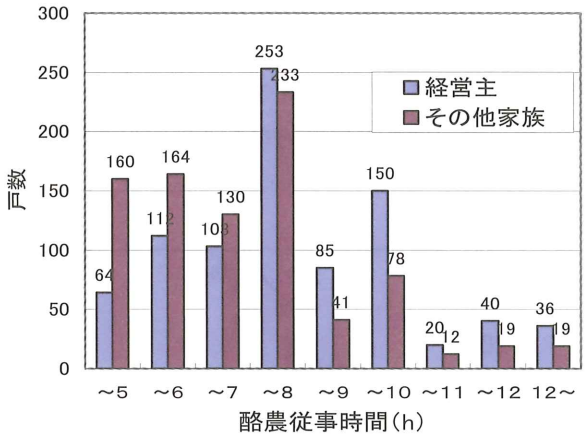


図 2-7　通常期の酪農従事時間（n=863）

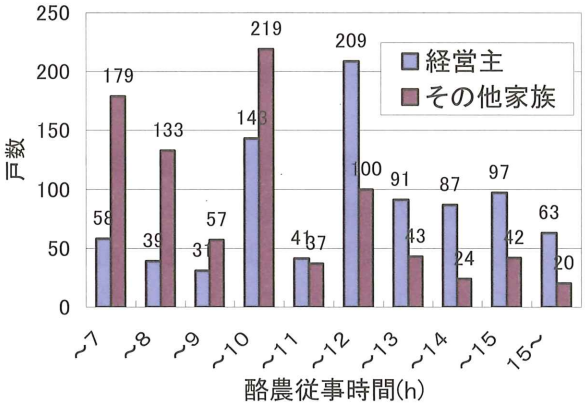


図 2-8　繁忙期の酪農従事時間（n=863）

2．5．4　搾乳作業状況

1）１日当たり搾乳作業時間と作業人数

１日当たり搾乳作業時間は，搾乳頭数，搾乳速度，作業人数，ミルカの使用搾乳ユニット数，作業手順等によって影響を受ける。朝夕２回の合計搾乳作業時間は，90min 未満から 300min 以上と大きくばらついた（図 2-9）。120～180min の層が 50％強を占め，180min～240min の層が 23.5％，平均値は 185min（１回平均 92.5min）であった。作業人数は２人が 63.4％，３人が 25.5％で平均値は 2.2 人であった（図 2-10）。

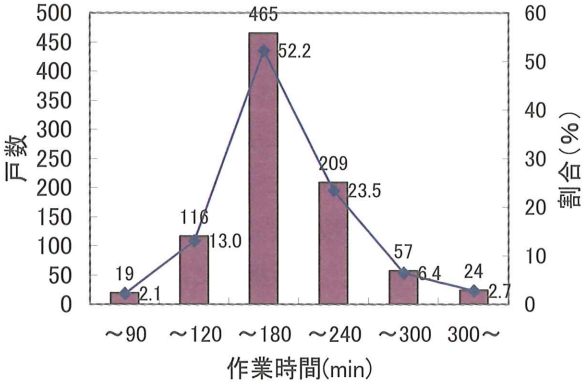


図 2-9　１日当たりの搾乳作業時間（n=890）

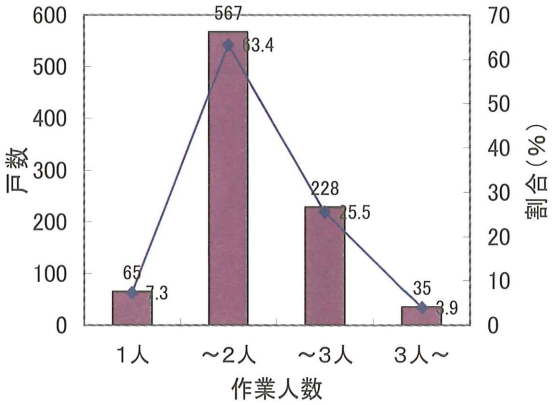


図 2-10　搾乳作業人数（n=895）

2）搾乳頭数とミルカの使用搾乳ユニット数

ミルカの使用搾乳ユニット数は，概ね搾乳頭数に比例して増加するが，90 頭を越えるとおよそ 10～12 ユニットで横這いの傾向にあった（図 2-11）。

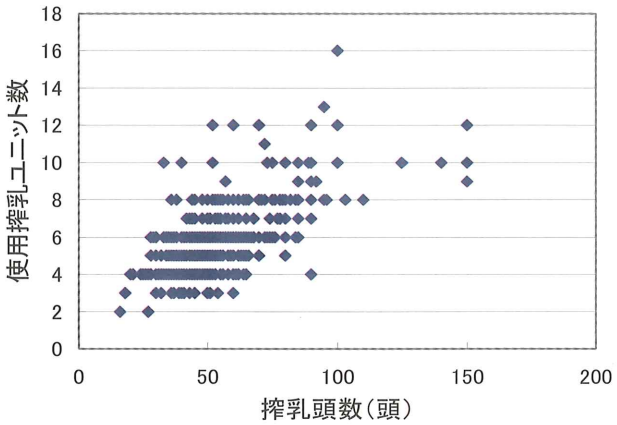


図 2-11　搾乳頭数と使用搾乳ユニット数（n=887）

３）１人当たりのミルカ使用搾乳ユニット数

１人当たりのミルカ使用搾乳ユニット数は，２～３ユニットが 47.8%と多く，３ユニット未満は 83.8%を占めた。３～４ユニットは 11.1%あったが，４ユニット以上は 4.5%と非常に少なかった（図 2-12）。今回，自動離脱装置の有無については調査していないが，２-５-６の１）で後述するように懸架式ミルカの使用率は 14%である。この場合には，自動離脱装置が併用されていると推定される。１人で無理なく扱えるユニット数は，自動離脱装置が有りの場合で４ユニット，無しの場合で２～３ユニットと言われており，調査結果はその範囲にあり，平均値は 2.7 ユニット/人であった。

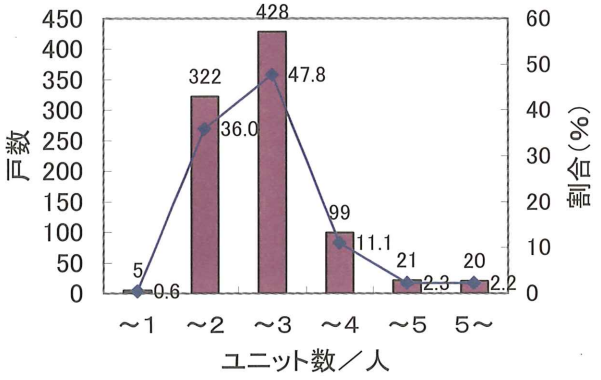


図 2-12　１人当たりの使用ユニット数（n=895）

４）　搾乳作業能率

a）１人１時間当たりの搾乳頭数

１人１時間当たりの搾乳頭数は，10 頭未満～25 頭を超えるものまで幅広く分布し，平均値は 16.5 頭であった（図 2-13）。25 頭超は 7.8%と非常に少ない。

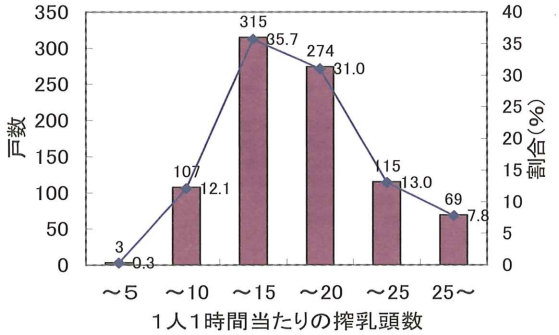


図 2-13　搾乳作業能率（n=883）

b）１ユニット１時間当たりの搾乳頭数

１ユニット１時間当たりの搾乳頭数で見れば４頭未満 5.9%，５～８頭未満 64.5%，９頭以上 7.5%で分布し，平均値は 6.3 頭／h であった（図 2-14）。従って，繋ぎ飼い搾乳の代表的な搾乳能率の範囲としては，5.0～8.0 頭／ｈとして良いと判断された。

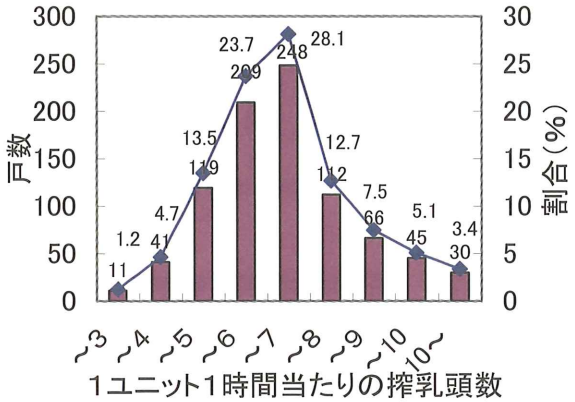


図 2-14　搾乳能率(n=881)

c）１人当たりの使用ユニット数と搾乳作業能率

搾乳作業能率の一指標となる１ユニット１時間当たりの搾乳頭数は，図 2-14 によると２頭～11 頭までばらついている。１人当たりのユニット数が４を超えると最大搾乳作業能率は，右下がりに低下していく傾向が顕著に見られた（図 2-15）。

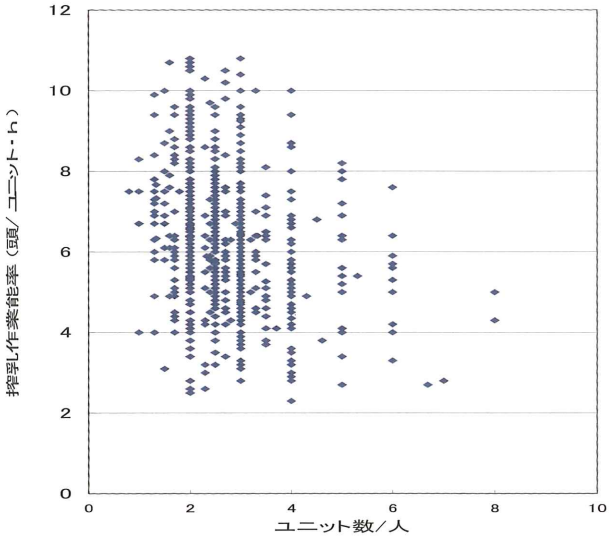


図 2-15　１人当たり搾乳ユニット数と搾乳作業能率（n=792）

5）搾乳作業の現状に関する考察

調査牧場における経産牛頭数は，30 頭未満から 100 頭以上まで広く分布するが，71.2%は 60 頭未満に留まった。1 日の作業時間は，繁忙時には経営主で 12 時間を超える場合が多かった。その他の家族も 10～11 時間と過重労働で，特に搾乳は女性の主たる仕事の 1 つとなっていた。搾乳作業人数は 2 人が 63.4%と最も多かった。

ミルカ 1 ユニット 1 時間当たりの搾乳頭数は，概ね 5～8 頭で，平均 6.3 頭/ユニット・h であった。1 人当たりの使用ユニット数は平均 2.7 ユニット/人で，懸架式ミルカでは 4 ユニット/人を見込めるが，それ以上のユニット数を利用する例は 4.5%と少数であった。

繋ぎ飼養の問題として，一般に言われてきたとおり，搾乳作業能率が飼養規模に限界を与え，作業人数が確保できない場合には増頭は難しいことが確認された。また，高泌乳化の中で個体管理ができることは重要であるが，繋ぎ飼い農家が今後の省力化をどうするか，所得の維持向上をどう図るかは，判断の分かれるところと考えられた。

2．5．5　今後の飼養管理方式の選択について

今後の飼養管理方式について，搾乳ロボット（フリーストール用）の導入を考えている経営は，北海道では 20.8%，全国では 14.8%であった。

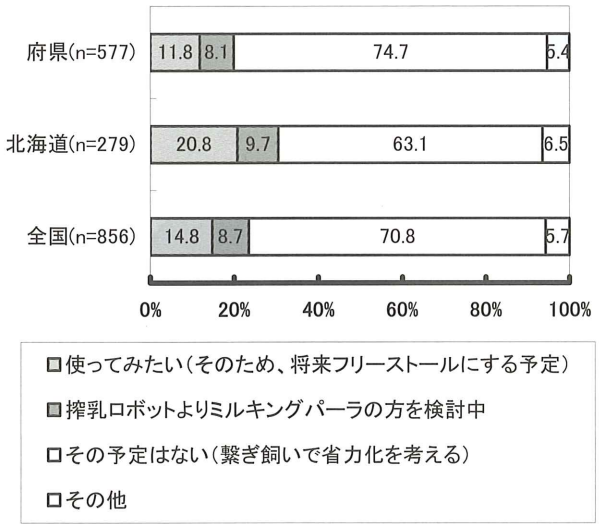


図 2-16　搾乳ロボットに対する考え

搾乳ロボットよりミルキングパーラを検討中の経営は北海道で 9.7%，全国では 8.7%であった。将来フリーストール化を検討している経営は搾乳ロボットとミルキングパーラを合わせて，北海道では 30.5%，全国では 23.5%であった。将来とも繋ぎ飼いで省力化を考えると回答した経営は，北海道で 63.1%，全国では 70.8%と大方を占めた（図 2-16）。

2．5．6　繋ぎ飼い式牛舎用の省力化機器への関心度

繋ぎ飼い式牛舎における飼養管理を省力化するための市販機器および開発予定の機器について，関心度の調査結果を以下に示す。

1）懸架式ミルカ（手押し搬送装置）

搾乳終了を検知して，ティートカップを自動的に乳頭から離脱させるオートリムーバ（自動離脱装置）の付加に伴い搾乳ユニットは重くなる。搬送作業を助けるためにレールを吊して手押し搬送する装置（懸架式ミルカ）が各社より市販されている。こうした装置を「使用している」経営は 14%あり，「使ってみたい」と肯定的に考える経営が 33%あった。これに対し，「動きに無駄が多く使わない」経営が 14%あり，また，「労力は足りている」と回答した経営が 39%あった（図 2-17）。懸架式ミルカは，作業者の一定の筋負担及び労働負担が軽減される効果は認められる[11]ものの，作業時間の短縮という点では大きな改善効果はないとされる。

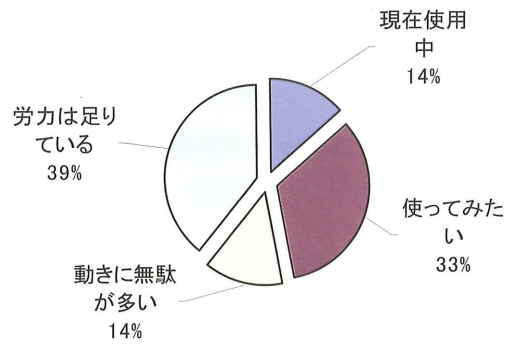


図 2-17　搾乳ユニット手押し搬送について（n=826）

２）搾乳ユニット自動搬送装置

ａ）搾乳ユニット自動搬送装置への関心

搾乳ユニット自動搬送装置（開発構想と目標能率を調査用紙にて説明）については，53%が「値段によっては使ってみたい」と回答し，47%が「能率が高すぎて不必要」と回答した（図 2-18）。

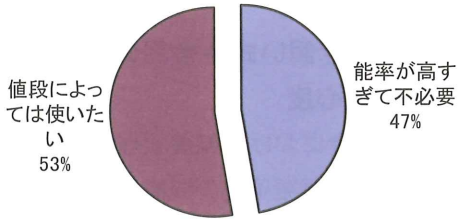


図 2-18　搾乳ユニット自動搬送装置への関心
（n=744）

ｂ）搾乳ユニット自動搬送装置への期待価格

この搾乳ユニット自動搬送装置について，使ってみたい期待価格は 50 頭規模で 300 万円以下～900 万円以上まで示されたが，平均値は 570 万円であった（図 2-19）。

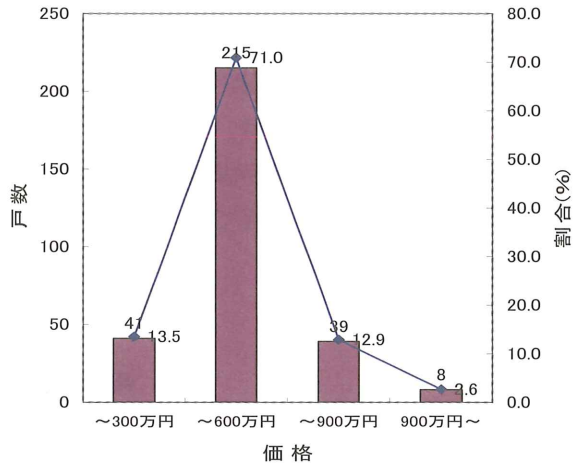


図２-19　搾乳ユニット自動搬送装置への期待価格
（n=303）

ｃ）自動搬送と手押し搬送に対する見方の差異

自動搬送に関心があるとした回答者の手押し搬送に対する見方は，手押し搬送を「使用中」が 16%，「使いたい」が 48%あった他に，手押し搬送は「動きに無駄が多い」12%，「労力が足りている」24%が含まれ（図 2-20），自動搬送と手押し搬送とでは見方が異なることを示した。

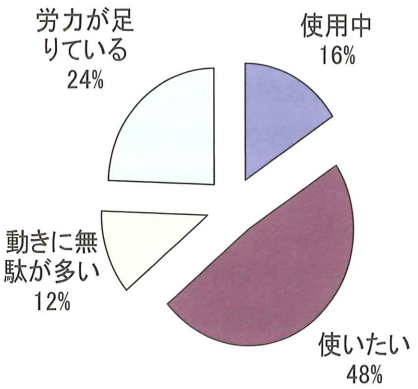


図 2-20　自動搬送に関心を示した回答者の手押し

３）　搾乳ロボット（繋ぎ飼い用）

調査当時，著者らが研究中であった繋ぎ飼い用搾乳ロボット[28]については「関心ある」とした経営は 40%で，「ない」が 60%であった（図 2-21）。フリーストール用の搾乳ロボットでは，搾乳専用ストール内で乳牛を捕捉し，乳頭位置をセンシングする時のグローバル座標となる牛体位置を測定することが比較的容易である。しかし，繋ぎ飼い用搾乳ロボットでは，既存牛舎のストール内で自由度の大きい牛体を捕捉する手段を備える必要があるため装置が大掛かりとなる可能性があった。また，ロボットの自動搬送方法や自動給餌装置と連動したコンピュータ飼養管理を含め，未解決の課題が残されており，現場的感覚では難しいと判断された可能性があった。

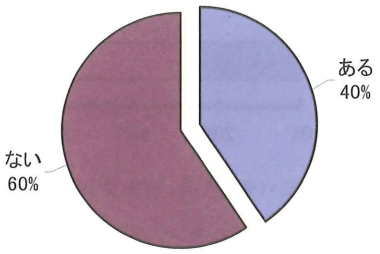


図 2-21　繋ぎ飼い用搾乳ロボットへの関心
（n=867）

4）乳頭洗浄装置

搾乳前作業として前搾り・乳頭清拭を行い，ティートカップを装着する。この乳頭清拭作業は手作業で，繋ぎ飼いでは布による拭き取りが一般に行われる。乳頭清拭作業の目的は，①乳頭表面に付着している糞などの汚れや細菌を除去すること，②適切な刺激を与え，催乳ホルモン（オキシトシン）の分泌を促し乳汁の流下をスムースにすることである。

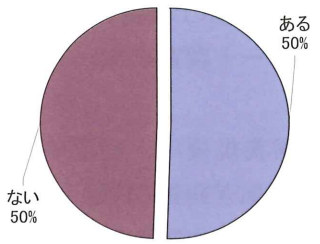


図 2-22　乳頭洗浄装置への関心（n=852）

布による汚れ除去効果は安定性に欠けることから，乳頭洗浄装置は機械的清拭によって，より効果的に汚れ除去を行うと共に乳頭刺激を与えようとするものである[29]。これについての関心は，50%であった（図 2-22）。

5）自動給餌装置

自動給餌装置を現在使用中（調査時点）が 19%，ミキシングフィーダ又は給餌車等を使用が 11%と給餌作業が機械化されている場合が 30%であり，使ってみたいが 36%，手作業で十分が 34%であった（図 2-23）。

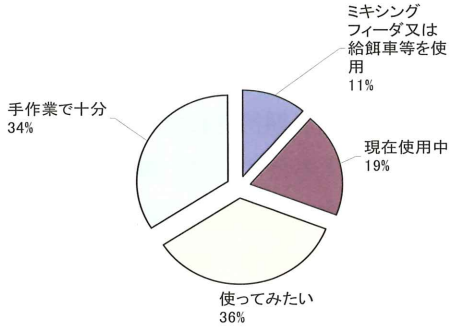


図 2-23　自動給餌装置について（n=847）

なお，繋ぎ飼い式牛舎方式での給餌方式については，ここでの図示を省略するが，今回の調査では，粗飼料と濃厚飼料を分離給与 75.0%，混合飼料を給与 22.0%，その他 3.0%であった。農業施設用語辞典（農業施設学会編）によれば，混合飼料 Total Mixed Ration（TMR）とは，栄養必要量がまかなえ，かつ粗飼料と濃厚飼料も適切な割合になるよう混合して与える飼料と解説されている。自動給餌装置は，濃厚飼料やセミTMR（ヘイキューブやビートパルプを含むが，粗飼料を除いた混合飼料の通称）を分離給与する場合，高泌乳牛に対して必要な多回数給餌を人手に代わって自動的に行う装置である。回答者が調査時点で使用中の自動給餌装置のタイプであるが，配合飼料を中心とした濃厚飼料多回数給餌が 49%，セミTMRの多回数給餌が 39%と分離給与方式である。粗飼料である細断されたサイレージと数種の濃厚飼料を同時に給与する分離給与方式あるいは，それらを混合したTMRの多回数給餌ができるタイプが 9%であった（図 2-24）。

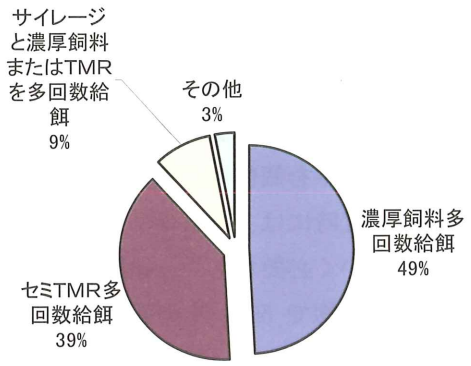


図 2-24　使用中の自動給餌装置のタイプ（n=126）

6）繋ぎ飼い用パソコン管理システム

50 頭までの繋ぎ飼いでは，個体管理は観察を中心としたもので記憶に頼り，乳牛の顔を見ながら手作業で給餌を行うことが可能であり一般的である。多頭数飼養のフリーストール・ミルキングパーラ方式では，繁殖管理，飼料給与と乳量管理，個体能力管理をデータベースに基づいて行う場合が多い。繋ぎ飼いにおいても多頭飼養となると同様の対応が必要となってくる。

飼養管理システムのデータベースの例を以下に示す。①繁殖管理データ：乳牛の分娩年月日，月齢，体重をもとに，初回種付けを行うと共に，分娩，発情発見，授精，妊娠確認，乾乳などのデータを管理し，これらの注意牛リストを提供する。②乳量データ：乳量の変動を発見することにより，個体の病気や乳房炎，発情などの管理，給与飼料の水準と乳量データにより，乳牛の能力確認も可能である。③濃厚飼料等の給与データ：分娩後日数と泌乳曲線から設計した給餌モデルに照らし，乳量データに応じて個体別に自動給餌する。このようなパソコンに乳牛のデータベースを構築し管理するシステムに関心がある経営が 67%あった（図 2-25）。

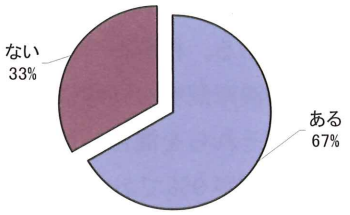


図 2-25 繋ぎ飼い用パソコン管理システムへの関心
（n=839）

2．5．7　労働時間と労力余裕の活用

繋ぎ飼いは、乳牛を個体毎に管理できるという特長を持つ反面、搾乳時には、搾乳ユニットを乳牛の所まで運び移動していく必要があり、給餌作業においても、1 日 1 頭当たり現物で 50kg もの餌を数度に分けて乳牛の口元に運ぶ必要がある。特に女性は、家事を分担しており、家族労働の中で多くの制約を受けている。

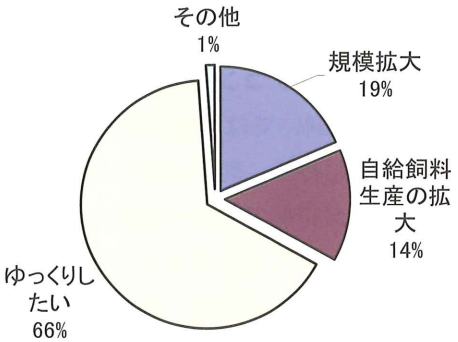


図 2-26 労働時間と労力余裕の活用（n=966）

労働時間や労力に余裕ができたら何がしたいか。複数回答を可能として質問したが，「ゆっくりしたい」が 66%で，実地における聞き取り状況とも一致していた。余力があれば「規模拡大」（19%）し，それに伴い「自給飼料生産の拡大」（14%）をしていくという意向が示され，労働過重の深刻さを裏付ける結果となった（図 2-26）。

2．6　摘　要

繋ぎ飼いで成牛 50 頭以上飼養する酪農家 2,480 戸を対象としたアンケート調査結果から，次のようなことが判明した。

1）調査農家の飼養規模は，経産牛 60 頭未満が 71.2%を占めた。繋ぎ飼養の問題として一般に言われてきたとおり，搾乳作業能率が低く，長時間労働が確認された。作業人数の確保や省力化がなければ，作業上の「ゆとり」はもちろん，これ以上の規模拡大は難しいと見られた。

2）第 1 章でみたとおり調査対象の成牛 50 頭以上の層は増加傾向にあり，乳用牛の過半数を飼養する我が国酪農の将来を担う中核農家である。その大方の 70.8%が，繋ぎ飼いによる省力化を選択するとの意向を示した。この結果は，これまで酪農関係者が経産牛が 60 頭を超えるとフリーストール化を推奨してきた考え方からすると，大きく予想を裏切っているが，注目すべきものであった。

3）従って，繋ぎ飼い式牛舎での飼養管理を省力化し高度化する機器への関心は高かった。その中で本研究がテーマとする搾乳ユニット自動搬送装置ついては 53.0%が値段によっては使ってみたいとし，その価格の平均値は 570 万円であった。60 頭搾乳できる市販の搾乳ロボット 1 台の価格が約 3,000 万円で，年間サポート料金が 100～120 万円であるから，相当な低コスト化が期待されていることが分かる。

4）この要望に応えるためには，搾乳ユニット自動搬送システムは既存の牛舎施設に設置可能であることが前提となる。その上で，女性が作業する場合の問題点や 1 人が使用するユニット数を制限している要因等を詳細に分析し，搾乳作業の省力化のポイントを明確にしていく必要がある。

第３章　搾乳ユニット自動搬送・２頭同時搾乳による省力効果の推定

３．１　緒　言

繋ぎ飼い式牛舎内では，乳牛を横並びに１頭ずつ繋いで飼養する牛床（ストール）列が，通路を挟んで尻合わせ，または，頭合わせで２列平行に配列されている。ミルカはティートカップを乳頭に装着し，真空ポンプによって生じる負圧の作動により機械的に搾乳を行う。バケットミルカが，乳汁を搾乳缶に溜めるのに対し，パイプラインミルカでは配管により牛乳処理室まで送乳する。繋ぎ飼い式牛舎用パイプラインミルカの一般的構成は，図 3-1 のとおりである。

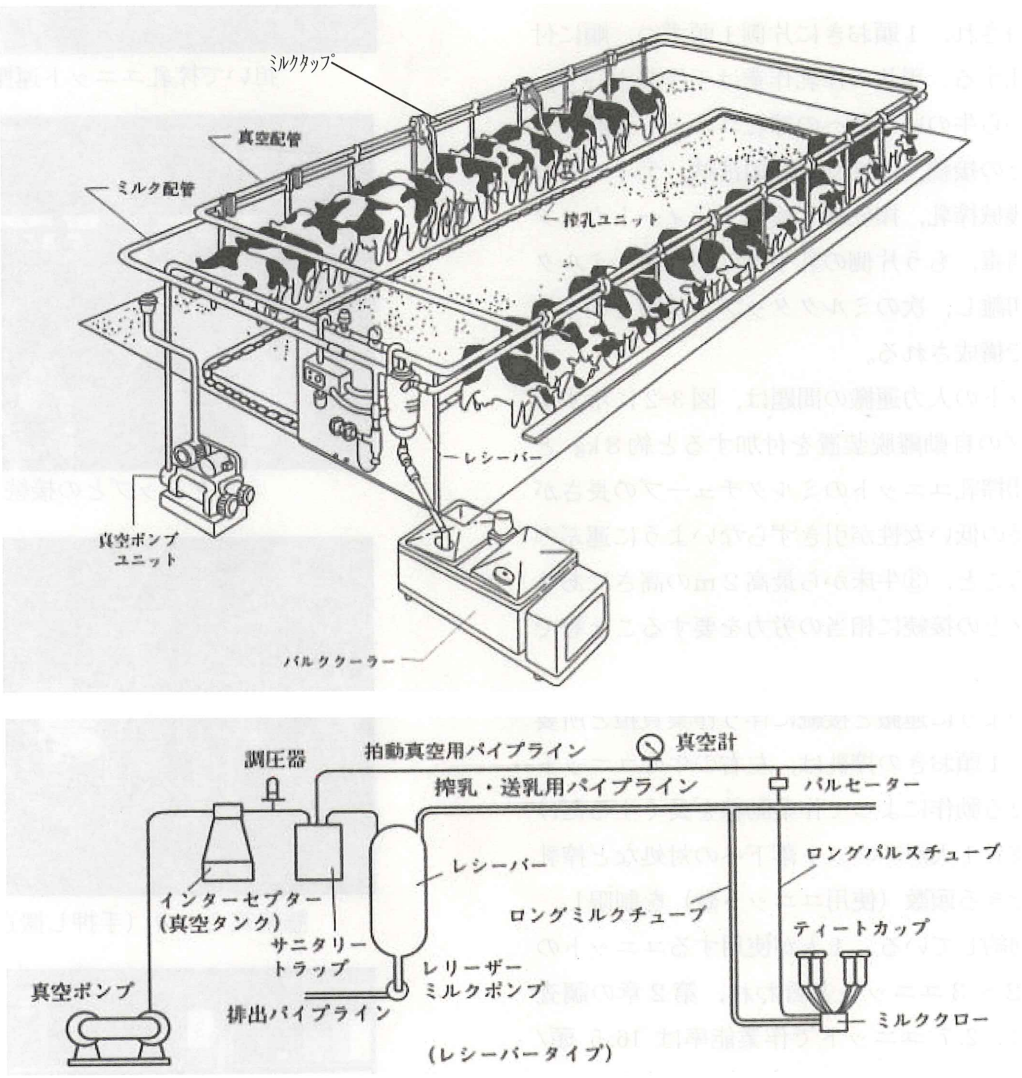


図 3-1　繋ぎ飼い式牛舎用パイプラインミルカの一般的構成[17]

真空ポンプから真空タンク，調圧器，サニタリートラップを介して２つのパイプラインに真空を供給する。この内一方は拍動真空用パイプライン（真空配管）で，他方は搾乳・送乳用パイプライン（ミルク配管）である。ミルク配管は牛床（ストール）床面からの高さ２ｍを最高点に，牛舎最奥から牛乳処理室内の受乳容器（レシーバ）に向けて流れ勾配が設けられる。レシーバで気液が分離され，真空排気側はサニタリートラップに接続し，溜まった乳汁はレリーザミルクポンプでバルククーラへ送られる。パイプラインは２頭の中間に１カ所ずつミルクタップを有し，搾乳ユニット（ティートカップ，ミルククロー，ロングミルクチューブ，

ロングパルスチューブ，パルセータで構成：クラスタとも呼ぶ）を接続して搾乳し，ミルク配管に乳汁を取り入れる。ミルク配管の口径と勾配は，管路内の真空度が適正に保たれる最大乳流量（同時に搾乳できる頭数）等により決定される。

搾乳ユニットは，ミルクタップに接続して「拍動真空」と「搾乳真空」，及び電磁パルセータ用 AC24V が供給される。搾乳ユニットはミルクタップの左右２頭に対して共用され，１頭おきに片側１頭ずつ，順に付け替えて搾乳する。現状の搾乳作業は手作業中心で，牛乳処理室から牛のいる所への搾乳ユニット運搬，ミルクタップとの接続，前搾り・乳頭清拭，ティートカップ装着，機械搾乳，搾乳終了検知・ティートカップ離脱，乳頭消毒，もう片側の乳牛での同作業，ミルクタップとの切離し，次のミルクタップへ運搬という作業ルーチンで構成される。

搾乳ユニットの人力運搬の問題は，図 3-2 に示すように①カップの自動離脱装置を付加すると約８kg と重いこと，②搾乳ユニットのミルクチューブの長さが約３ｍで身長の低い女性が引きずらないように運ぶのは大変であること，③牛床から最高２ｍの高さにあるミルクタップとの接続に相当の労力を要すること等である。

また，このように運搬と接続に伴う作業負担と所要時間に加え，１頭おきの搾乳は，左右の牛のユニット付け替えに戻る動作によって作業動線を長くするだけでなく，作業者１人がユニット落下への対処など搾乳状態を管理できる頭数（使用ユニット数）を制限し，作業能率を制約している。１人が使用するユニットの数は，通常２～３ユニットと言われ，第２章の調査農家平均では，2.7 ユニットで作業能率は 16.5 頭/人･h であった。

軽労化手段として市販化されている手押し式の懸架式ミルカでも３～４ユニットが限界とされ，作業能率は 25 頭/人･h 前後に分布する。

搾乳ユニット自動搬送システムの具体的なねらいは，上述の人力運搬に伴う問題点の解決を中心に，繋ぎ飼い搾乳作業を合理化し，50 頭/人･h の作業能率を可能にして搾乳作業にゆとりを実現することである。

担いで搾乳ユニット運搬

ミルクタップとの接続

懸架式ミルカ（手押し搬送）

１頭おきの搾乳

図 3-2　繋ぎ飼い式牛舎での搾乳作業の様子

３．２　搾乳ユニット自動搬送システムのコンセプト

１時間当たりの搾乳頭数は，１ユニットで１時間に搾乳できる頭数に，搾乳に用いるユニットの数を乗じて計算される。調査によれば，１ユニットで１時間に搾乳できる頭数は，繋ぎ飼い・パイプラインミルカ方式では５～８頭が 65%を占め，4.5～8.5 頭であれば約 80%を占める [27]。従って，１時間当たり約 50 頭（40～64 頭）の作業能率を得るには，８ユニットを用いる必要がある。更にまた，目標とする 50 頭/人･h を可能とするには，１人で８ユニットを扱える仕組みを成立させなければならない。これは，従来の限界とされる３～４ユニットの２倍以上の数となる。これを可能にする方式として，搾乳ユニットの自動搬送・２頭同時搾乳という基本コンセプトを提示した。

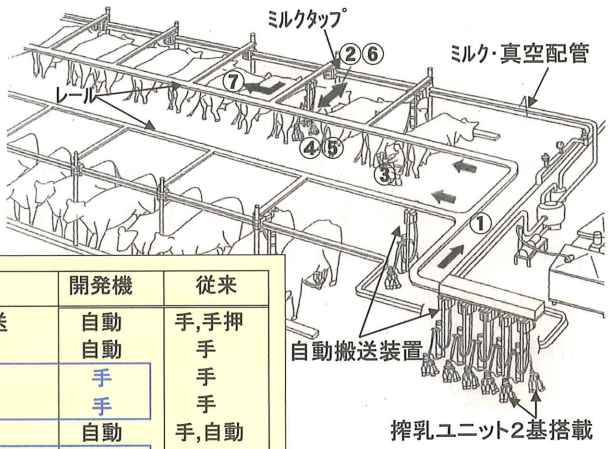
３．２．１　省力化のための基本コンセプト

搾乳ユニット自動搬送システムの基本コンセプトを図 3-3 に示した。牛舎の中には複数台の自動搬送装置を導入する。各々の搬送装置には，ティートカップ自動離脱装置付きの搾乳ユニットが２つずつ搭載される。各搬送装置はレールに沿って自動走行し，乳牛の間に進入してミルクタップと自動接続して待機する。そこへ作業者が行き，左右の牛にティートカップを装着し２頭同時に搾乳を行う。左右の搾乳が終れば，搬送装置は次の牛へと自動的に移動する。作業者は，搾乳ユニットの運搬とミルクタップの接続・切離しから解放され，この間に順次移動し，待機している搾乳ユニットを使って２頭ずつ同時に搾乳をしていくことができる。手作業は、乳頭清拭とティートカップ装着及び乳頭消毒だけとなる。すなわち，作業者が移動する先の各搾乳牛の横には，自動離脱装置付き搾乳ユニットを準備した状態にして作業者に時間的余裕を与え，作業動線を単純にし，１人が扱えるユニットの数を増やすことによって作業性を高める搾乳システムである。

３．２．２　自動搬送・２頭同時搾乳方式の作業構造

ここでは，繋ぎ飼い搾乳の軽労化手段として使われる市販の懸架式ミルカ（手押し搬送）の場合を例にとり，搾乳ユニット自動搬送を用いた場合との作業構造の違いを，図 3-4 を用い模式的に説明 [31)33)] する。

手押し搬送では，１つ目のユニットを装着してから，搾乳中の「ユニット１に拘束されない時間」を使って，ユニット２とユニット３を搬送し装着することができる。即ち有効に使用できるのは３ユニットとなる。



搾乳作業手順	開発機	従来
① 搾乳ﾕﾆｯﾄの搬送	自動	手,手押
② ﾐﾙｸﾀｯﾌﾟ接続	自動	手
③ 乳頭清拭･	手	手
ﾃｨｰﾄｶｯﾌﾟ装着	手	手
④ ﾃｨｰﾄｶｯﾌﾟ離脱	自動	手,自動
⑤ ﾃﾞｨｯﾋﾟﾝｸﾞ(消毒)	手	手
⑥ ﾐﾙｸﾀｯﾌﾟとの切離し	自動	手
⑦ 次の牛へ搬送	自動	手
搬送ユニット数	２基	１基
ﾐﾙｸﾀｯﾌﾟ部での搾乳	２頭同時	左右交互

図 3-3　搾乳ユニット自動搬送装置の基本コンセプト

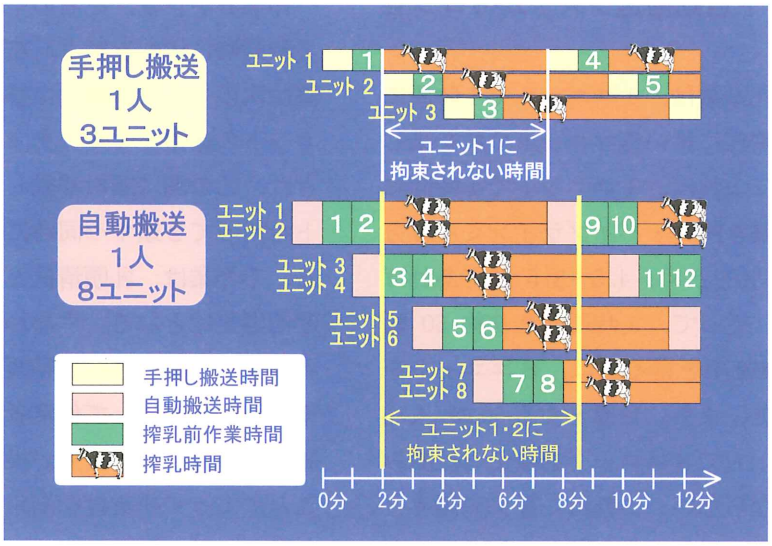


図 3-4　搾乳ユニット自動搬送・２頭同時搾乳の作業構造（模式図）

自動搬送・２頭同時搾乳では，２つずつのユニットが自動的に牛のところへ運ばれミルクタップと接続される。２頭同時にユニットを装着して「ユニット１・２に拘束されない時間」には，搾乳時間に続いてユニット１・２の次の場所への自動搬送時間が加わる。この間に作業者は搬送することなく，すでにミルクタップと接続され待機状態になっているユニット３・４からユニット７・８まで２頭ずつ装着していくだけで良いため，８ユニットが有効に使用可能となる。

３．２．３　自動搬送と手押し搬送の作業動線の模式的比較

搾乳ユニット自動搬送・２頭同時搾乳による作業動線短縮効果（乳頭消毒を自動化した場合）を図 3-5 に示した。手押し搬送の作業動線は，１人で自動離脱付きの４ユニットを使用する条件で，必要な作業だけを示した。従来の搾乳作業手順では，搾乳ユニットを左右で共用するため，ティートカップの付け替えに必ず戻る必要がある。このため作業動線もかなり複雑であり，歩行距離も長く，しゃがむ回数も多い。

これに対し，自動搬送では２頭同時搾乳になり，自動離脱付き搾乳ユニットを２基ずつ搭載した装置を１人で４台使用する条件で示した。作業者はミルクタップに接続された所へ順次移動し，左右の２頭の乳牛に前搾り・乳頭清拭とティートカップ装着をしていくだけで作業動線が簡略化される。

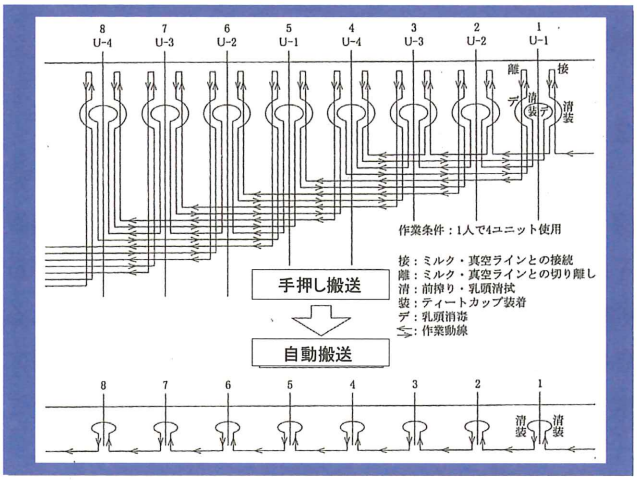


図 3-5　搾乳ユニット自動搬送・２頭同時搾乳による作業動線の短縮効果（乳頭消毒自動の場合）

３．３　タイムチャート分析

３．３．１　計算条件

自動搬送による２頭同時搾乳の作業面から見た効果を推定するために，対尻式 100 頭牛舎を想定し，１人作業で１台につき２つずつ搾乳ユニット（自動離脱機能付き）を搭載した自動搬送装置を４台使う場合の搾乳作業時間，作業者の遊びの状態，装置の遊びの状態をシミュレーションするプログラムを市販表計算ソフトウエアにより作成し，搾乳作業のタイムチャート分析を行った。

各自動搬送装置（１～４号）は，左右２台ずつ片側のストール列を受け持ち，予めプログラムによって指

定したミルクタップを移動することとした。各自動搬送装置の搬送所要時間は，牛乳処理室から各ミルクタップまでの搬送距離およびミルクタップ間の搬送距離と搬送速度（0.1～0.5m/s の５段階）により計算して求めた。

その他の計算条件は，以下のとおりとした。

① ２頭同時搾乳での機械搾乳時間：3～5min，3～7min，3～9minの３段階，変動はランダム変数により与えた。

② 作業者１人の２頭同時搾乳での搾乳作業時間：タイムチャート分析例[35]を参考に区切りの良い３段階とし，速い60～90s，普通75～105s，遅い90～120sと設定した（表3-1参照）。なお，それぞれの変動にはランダム変数を用いた。

③ 自動搬送装置の始動間隔：15s

④ 牛乳処理室から最初の分岐までの距離：9.9m

⑤ 分岐からミルクタップまでの距離：3m

⑥ ミルクタップ間距離（ストール幅×２）：2.7m

⑦ ミルクタップとの自動接続・切離しの時間：各3s

⑧ 通路幅：2.8m

⑨ 作業者の次の牛までの移動時間：5s

⑩ 自動離脱時間＋乳頭消毒時間：3s（乳頭消毒が自動の場合）

牛乳処理室に待機していた自動搬送装置４台は，始動と同時に１台目が予めインプットされた分岐レール目指して移動し，15s の間隔を空けて２～４台目の装置も所定の分岐レールに向かって移動する。作業者は，始動後，乳頭清拭作業用具一式を運んで，最初に２ユニット分のミルクタップ接続を終了した所へ行き，前搾り・乳頭清拭・カップ装着・乳頭消毒を表 3-1 に示した手順で行うものとした。

乳頭消毒のタイミングは，手順６を終えてから乳頭消毒に回り迂回して次に行くと想定し，直接次に行く場合より余計にかかる移動時間 13s を乳頭消毒－１，２頭目に含め，5～21s（乳頭消毒２頭分 8s に 13s を加えた値）とした。

これらを合計した*Wrt* ２頭分から，②の搾乳作業時間３段階を区切り良く 60～90s，75～105s，90～120s と設定した。装着すれば機械搾乳時間（*Mt*：3～5min，3～7min，3～9min の３段階に設定）が加算される。作業者が次の牛まで移動するには 5s かかるとした。最初の作業の間に２～４台目の装置もミルクタップ接続を終了し，待機中となる。作業者は順次移動し，ミルクタップ接続が終了し待機している所では，遊び時間なしに作業する。また，接続が終わっていない所では，作業者の遊び時間が生じることとなる。

表 3-1　自動搬送・２頭同時搾乳の作業手順と作業時間

作業手順		作業時間(s) 速い	普通	遅い
１．前搾り－１頭目		7	9	12
２．乳頭清拭－１頭目		15	20	25
３．前搾り－２頭目		7	9	12
４．乳頭清拭－２頭目		15	20	25
５．カップ装着－１頭目		7	8	10
６．カップ装着－２頭目		7	8	10
７．乳頭消毒－１，２頭目	自動	0	0	0
	手*	8～21	8～21	8～21
８．次へ移動（歩行）		5	5	5
合計*Wrt*　２頭分		71～84	87～100	107～120

*：乳頭消毒 8s に加え、そのための移動時間を含めた。

３．３．２　結果と考察

１）搬送速度の作業能率への影響

搬送速度を 0.1～0.5m/s に変化させたが，作業能率への影響はあまり大きくなかった。

２頭同時搾乳での機械搾乳時間を3～9minのばらつきを持つとし，100頭搾乳時の作業時間の推移を，搬送速度0.1～0.3m/sと0.5m/sの場合について図3-6に示した。図からも分かるとおり，搬送速度0.2m/s以上では作業能率にそれほどの差はないことが明らかとなった。この結果から50頭/人･h近くの作業能率と衝突時安全性等を考慮すると，搬送速度は0.2～0.3m/sくらいが適切と判断された。ただし，ミルクタップとの自動接続・切離しを各3sとしており，自動接続・切離し機構の開発については、この時間を十分考慮しておく必要がある。

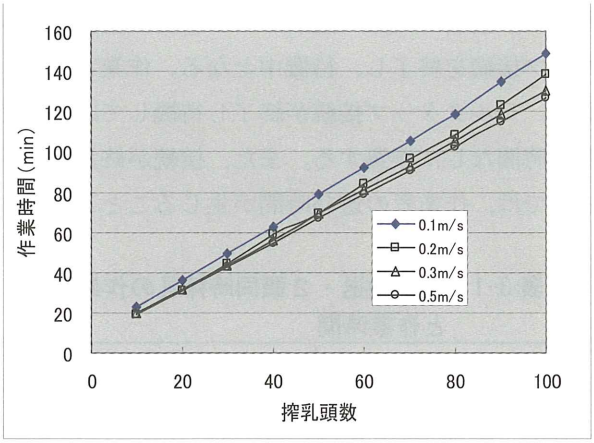


図 3-6　作業能率に関する搬送速度の効果

2）作業能率

作業能率に影響のある変動要因が含まれるため，タイムチャート分析を３回試行し，平均した結果（搬送速度:0.3m/s の場合）を表 3-2 に示す。１頭当たりの機械搾乳時間 3～5min に注目してみると，前搾り・乳頭清拭・ティートカップ装着の時間が，60～90s から 90～120s へと増加するにつれ，作業者の待つ回数は 23 回から 5 回へと減少した。この時の 50 頭総搾乳作業時間は，44.6min から 51.1min へと増加し，上下 30s の差は 6.5min の差となって現れた。また，前搾り・乳頭清拭・ティートカップ装着の時間 90～120s に注目してみると，１頭当たりの機械搾乳時間が 3～5min から 3～7min，3～9min へと増加するにつれて，作業者の待つ回数は 5 回から 18 回に増加した。この時の 50 頭総搾乳作業時間は，51.1min から 66.0min へと増加し，その差は 14.9min となって現れた。このように総搾乳作業時間は，前搾り・乳頭清拭・ティートカップ装着の時間と１頭当たりの機械搾乳時間に大きく影響を受けるが，自動搬送装置を利用した場合，タイムチャート分析に用いた条件の範囲内ではあるが，両者が変化しても１人作業で 50 頭搾乳時の作業時間は 45～66min の範囲を期待できると算定された。

以上の結果は，基本コンセプトに示した仕組みが，概ね 50 頭/人･h の作業能率を可能にし，搾乳作業にゆとりを実現し得る可能性を示している。ただし，限られた計算事例に留まるので，搾乳作業を定式化し一般化した議論が必要と考えられた。

表 3-2　搾乳ユニット自動搬送システム利用想定時の作業タイムチャート分析結果
（搬送速度：0.3m/s）

前搾り･乳頭清拭・カップ装着（左右２頭）(s)	１頭当たり機械搾乳時間 (min)	作業者の待つ回数	総搾乳作業時間 (min)	
			50 頭	100 頭
60～90	3～5	23	44.6	86.4
	3～7	21	52.7	101.6
	3～9	22	61.9	117.3
75～105	3～5	17	47.7	91.0
	3～7	21	56.6	108.6
	3～9	21	62.9	124.7
90～120	3～5	5	51.1	97.8
	3～7	17	59.5	112.6
	3～9	18	66.0	130.0

対尻式牛舎において搬送装置４台×２ユニット使用を想定。

３．４　繋ぎ飼い搾乳作業の定式化

３．４．１　搾乳作業時間に関する数式

繋ぎ飼い搾乳作業時間は，搾乳頭数，作業人数，搾乳ユニット数，１頭毎の搾乳作業時間，１頭毎の機械搾乳時間，作業者及び搾乳ユニットの遊び時間で決まる。

複数の作業者が複数の搾乳ユニットを扱う搾乳作業では，作業者に着目した「各作業者の総作業時間」と搾乳ユニットに着目した「各搾乳ユニットの総使用時間」に分けて考えることができる。従って，作業者毎に総作業時間が表され，また，搾乳ユニット毎に総使用時間が表される。しかし，搾乳作業終了時点，すなわち両者それぞれの最大値は，両者の遊び時間を含めれば一致することになる。

各作業者が分担する搾乳頭数についての総作業時間は，作業者毎の作業手順による１頭毎の搾乳作業時間の総和と作業者毎の遊び時間の総和に，最後の１頭の機械搾乳時間を加えた形で表すことができ，(3.1)式で示された。また，各搾乳ユニットが分担する搾乳頭数についての総使用時間は，各搾乳ユニットが１頭毎に拘束される時間の総和と搾乳ユニット毎の遊び時間の総和の合計で表され，(3.2)式で示された。

各作業者別の総作業時間

$$\left.\begin{aligned} Twrt_1 &= \sum_{i=1}^{Wcow1} Wrt_i + \sum_{i=1}^{Wcow1} Twidl_i + Mt_{Wcow1} \\ &\vdots \\ Twrt_{Nw} &= \sum_{i=1}^{WcowNw} Wrt_i + \sum_{i=1}^{WcowNw} Twidl_i + Mt_{WcowNw} \end{aligned}\right\} \quad (3.1)$$

各ユニット別の総使用時間

$$\left.\begin{aligned} Tut_1 &= \sum_{i=1}^{Ucow1} UT_i + \sum_{i=1}^{Ucow1} Tuidl_i \\ &\vdots \\ Tut_{Nu} &= \sum_{i=1}^{UcowNu} UT_i + \sum_{i=1}^{UcowNu} Tuidl_i \end{aligned}\right\} \quad (3.2)$$

ここで

Wrt_i ：１頭毎に人が行う搾乳作業時間（搾乳ユニット運搬，ミルクタップ接続・切離し，前搾り，乳頭清拭，ティートカップの装着，乳頭消毒，観察等）

$UT_i = Wrt_i + Mt_i + Auto_i$ ：各搾乳ユニットが各牛に拘束される時間で「１頭毎の搾乳作業時間＋１頭毎の機械搾乳時間＋自動離脱等１頭毎の自動作業の所要時間」と定義する。

$Twidl_i$ ：各作業者の遊び時間（待機時間）

$Tuidl_i$ ：各搾乳ユニットの遊び時間（待機時間）

Mt_i ：各搾乳牛の機械搾乳時間（ティートカップが乳頭に装着されている時間）

$Auto_i$ ：１頭毎の自動離脱など自動作業の所要時間

Nw ：作業者数

Nu ：総搾乳ユニット数

$Ncow$ ：搾乳頭数，$Ncow = \sum_{i=1}^{Nw} Wcow_i = \sum_{i=1}^{Nu} Ucow_i$

$Wcow_i$ ：各作業者の搾乳頭数（作業者均等割りでは $Wcow_i = Ncow/Nw$ 整数）

$Ucow_i$ ：各搾乳ユニットの搾乳頭数（搾乳ユニット均等割では $Ucow_i = Ncow/Nu$ 整数）

１頭毎の搾乳作業時間 Wrt_i は，自動化の程度や搾乳作業手順や作業者の作業の速さ等に依存し，乳頭の汚れ具合等によって変動する（見込み変動幅は 30s 程度）。また，自動化手段を使うかどうかによって作業手順は異なる。例えば，自動化手段として自動離脱装置を使えば，離脱のタイミングを決めるための観察時間が削減されるし，ティートカップ離脱（手作業）時間が Wrt_i の中から $Auto_i$ に移り，それに関連して作業者の移動時間が削減され，Wrt_i を短縮する。搾乳ユニット自動搬送システムは作業手順を大幅に合理化し，Wrt_i を短縮することになる。

ユニットが搾乳牛１頭毎に拘束される時間 UT_i は，前に定義したように Wrt_i，Mt_i，$Auto_i$ の３つの要素の影響を受ける。この内 Mt_i は，搾乳機が適正であるとすると搾乳牛の乳量と乳頭管口の大きさ等の遺伝的要因に左右され[36]，多くは３～９min 程度に分布することが経験的に知られている。

作業者の遊び時間 $Twidl_i$ あるいは搾乳ユニットの遊び時間 $Tuidl_i$（装置の待機時間）は，搾乳ユニット自動搬送装置あるいは自動離脱装置の利用を含めた搾乳作業手順に伴う Wrt_i（変動幅を含む）や，機械搾乳時間 Mt_i，１人当たりの搾乳ユニット数のアンバランスとその時々の作業タイミングのずれによって生じる。

搾乳作業全体の $Twidl_i$ と $Tuidl_i$ の生じる仕組みと傾向を明らかにするために，前述のタイムチャート分析に用いた搾乳作業シミュレーションプログラムを利用して，いくつかの条件でシミュレーションを行った。機械搾乳時間 Mt の変動幅を変えて 120～480s，180～420s，240～360s，300s とし，それぞれ Wrt を 60～150s で 15s 刻みに変化させたときの 50 頭搾乳時の搾乳ユニット正味使用時間，搾乳ユニット遊び時間，搾乳ユニット総使用時間，正味作業時間，作業者遊び時間，総作業時間を調べた。

図 3-7-1 及び図 3-7-2 に，機械搾乳時間 *Mt* の変動による遊び時間の変化について，*Mt* の変動幅を 120～480s，180～420s，240～360s，300s の 4 段階に小さくし，その推移を示した。機械搾乳時間 *Mt* の変動幅が大きいほど，搾乳ユニットの遊び時間も作業者の遊び時間も大きく変動し時間も長くなり，*Wrt* が大きいほど作業者の遊び時間は短く，逆に搾乳ユニットの遊び時間（待機時間）は長くなるのが基本的傾向であることが分かる（ただし，1 人当たりのユニット数は一定とする）。

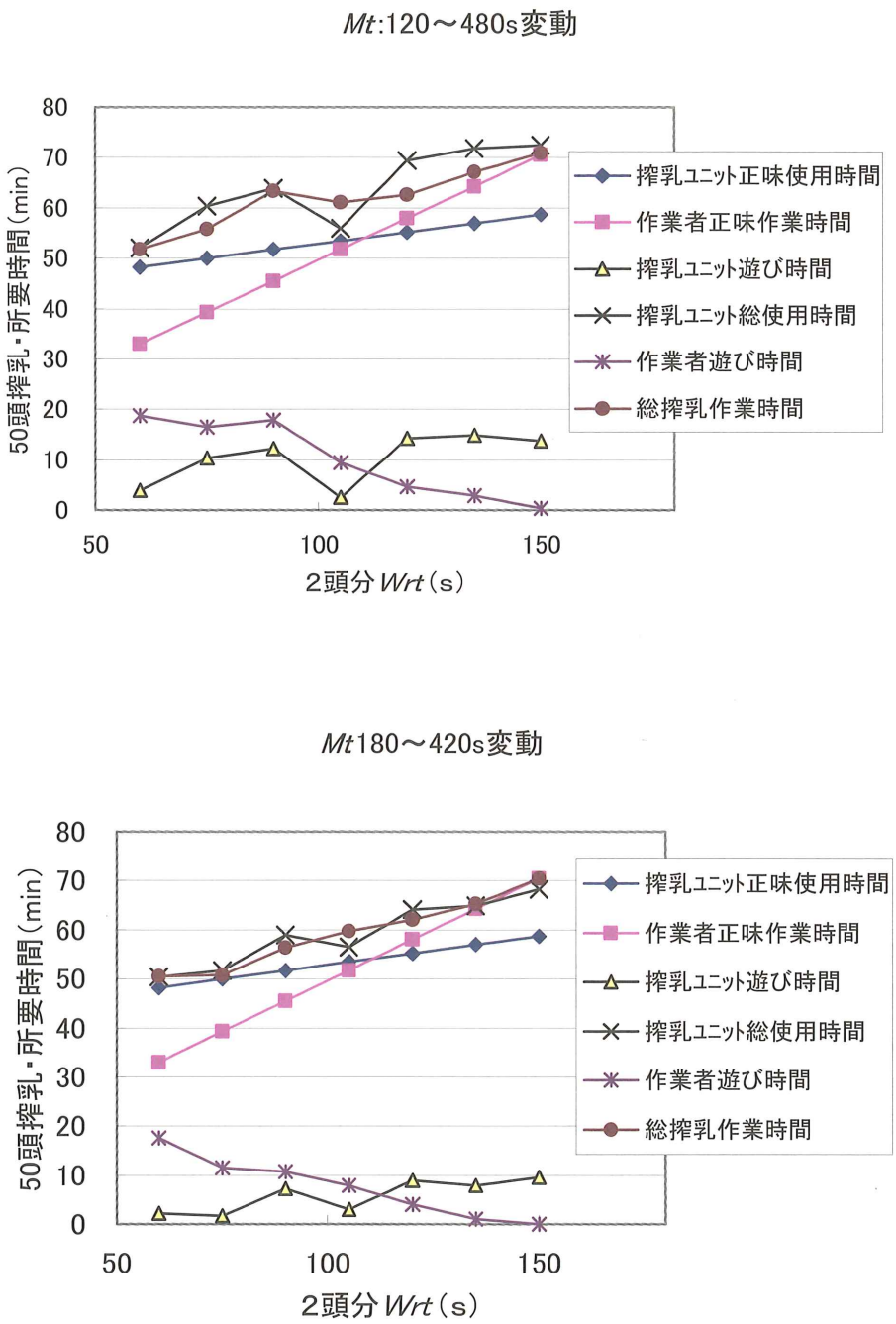


図 3-7-1　機械搾乳時間 *Mt* の変動による遊び時間の変化

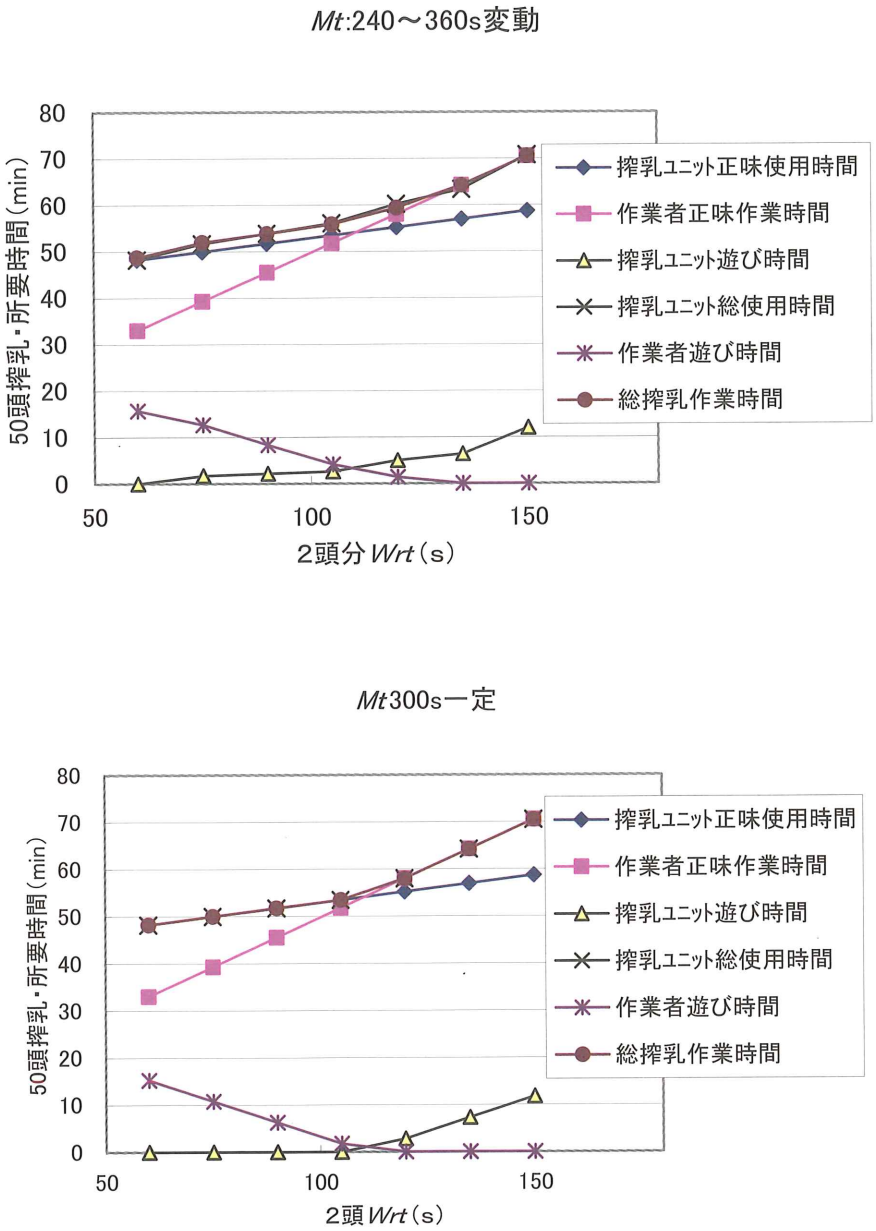


図 3-7-2　機械搾乳時間 *Mt* の変動による遊び時間の変化

また，機械搾乳時間 *Mt* の変動幅が小さくなるにつれ，総搾乳作業時間について次の変化を明確に読み取ることができる。搾乳ユニット正味作業時間と作業者正味時間の交点を境に，*Wrt* が小さい側では搾乳ユニットの遊び時間が減少するにつれ総搾乳作業時間が搾乳ユニット正味使用に漸近していき，*Wrt* が大きい側では作業者の遊び時間が減少するにつれ総搾乳作業時間が作業者正味時間に漸近していく。そして機械搾乳時間 *Mt* を平均値 300s で一定，変動幅をゼロとしたときには，*Wrt* が交点の値より小さい範囲では搾乳ユニットの遊びが無くなって，総搾乳作業時間は搾乳ユニット正味作業時間と一致し，作業者正味時間

との差が作業者の遊び時間となっている。また，交点の値より大きい範囲では作業者の遊び時間が無くなって，総搾乳作業時間は作業者正味時間と一致し，搾乳ユニット正味作業時間との差が搾乳ユニットの遊び時間となっている。従って，機械搾乳時間 Mt の変動が無いと仮定すれば，以上の関係から，次の簡略式を導くことができる。

３．４．２　繋ぎ飼い搾乳作業時間に関する簡略式

正味作業時間

$$Twrt = Wcow \times Wrt + Mt \qquad (3.3)$$

搾乳ユニット正味使用時間

$$Tut = Ucow \times UT$$
$$= Ucow(Wrt + Mt + Auto) \qquad (3.4)$$

ここでの記号説明は一般式に準ずるので省略する。(3.3)，(3.4)式に Mt，Wrt，$Auto$（一定平均値）を与えれば，理論的搾乳作業時間 Tth（$Twrt$ と Tut のどちらか大きい方が Tth となる，図 3-7-2 の Mt = 300s で言えば総搾乳作業時間）を簡単に求められ，各項を変化させた時の関係も容易に理解できる。

Mt を横軸に，Tth を縦軸にとり，Wrt を 0～150s に 30s 間隔で６段階に設定し，Mt を 0～10min に変えた時の Tth を図 3-8 に示した。この場合(3.3)，(3.4)式は Mt の関数となるが，傾きの緩い直線(3.3)式（勾配＝１）は作業者の正味作業時間を示し，傾きの急な直線(3.4)式（勾配 $Ucow$）は，搾乳ユニットの正味使用時間を示す。交点を境に両直線のどちらか大きい方が Tth として示される。本図では，Wrt = 120 s の時の両直線を矢印で指し示した。

Wrt の変化 ΔWrt にともない直線(3.3)は $Wcow \times \Delta Wrt$ の間隔でシフトし，直線(3.4)は $Ucow \times \Delta Wrt$ の間隔でシフトする。機械搾乳時間 $Mt = 0$ の時，(3.3)式と縦軸との切片は，$Wcow \times Wrt$ である。(3.4)式と縦軸との切片は，$Ucow(Wrt + Auto)$ であるが，Mt の小さい範囲では $Wcow \times Wrt > Ucow(Wrt + Auto)$ であるのでグラフ上には示されない。ただし $Mt = 0$，$Wrt = 0$ の時の(4)式と縦軸との切片は，$Ucow \times Auto$ で，分担頭数分を搾乳無しで自動搬送した時の所要時間である。

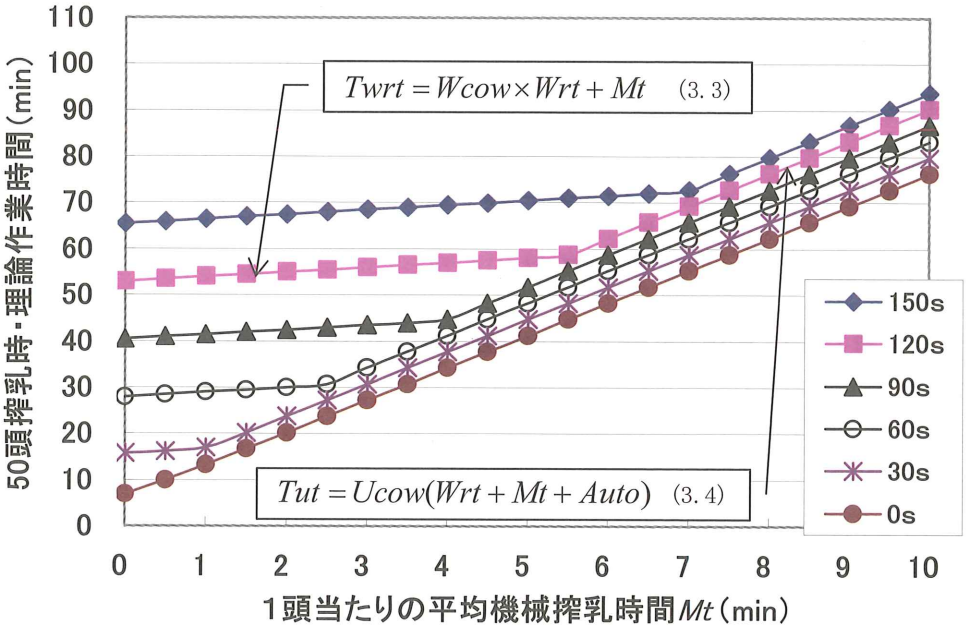


図 3-8　理論搾乳作業時間における $Twrt$ と Tut の関係

(3.3)，(3.4)両直線の交点では両者の差すなわち遊び時間はゼロであり，交点の左側（*Mt* の小さい側）では作業者が遊び，右側（*Mt* の大きい側）では搾乳ユニットが遊ぶことを示している。作業全体としての作業者および装置の遊び時間は，以下(3.5)～(3.5)”式のように示される。

作業者に遊びがある場合

$$Twidl = Tut - Twrt > 0 \qquad (3.5)$$

搾乳ユニットに遊びがある場合

$$Tuidl = Twrt - Tut > 0 \qquad (3.5)'$$

遊び時間なしの場合

$$Tut = Twrt \qquad (3.5)''$$

(3.3)，(3.4)，(3.5)”式より

$$Wcow / Ucow = UT / (Wrt + Mt / Wcow)$$

ここで

$$Wcow = Ncow / Nw$$

$$Ucow = Ncow / Nu \quad \text{であるから}$$

$$Nu / Nw = UT / (Wrt + Mt / Wcow)$$

$$= (Wrt + Mt + Auto) / (Wrt + Mt / Wcow) \qquad (3.6)$$

(3.6)式における Nu / Nw は，遊び時間の出ない最も効率的な作業者１人当たりの搾乳ユニット数を示している。

３．４．３　簡略式による作業時間算定（手押し搬送との比較）

(3.3)，(3.4)式を用い，50 頭を２人で６ユニットを使って搾乳する場合と，搾乳ユニット自動搬送システムにより１人で８ユニットを使って搾乳する場合について，表 3-3 のとおり比較した[33]。*Wrt* は，手押し搬送が１頭分で 97s，自動搬送は２頭分で 106s，自動作業時間 *Auto* は，手押し搬送が搾乳ユニット自動離脱 3s のみで，自動搬送は搾乳ユニット自動離脱 3s と自動タップ接続・切離し 6s と自動搬送 35s の合計 44s である。この内，自動タップ接続・切離し 6s は目標値とし，自動搬送 35s は搬送速度を 0.3m/s として設定した。機械搾乳時間は 300s を基準に，自動搬送では２頭分の機械搾乳時間とし左右のカップ装着のズレ等を平均+60s とみて加算し 360s とする。これらの値を(3.3)，(3.4)式に代入して，それぞれの *Tut*，*Twrt* を求める。搾乳作業時間は，両者どちらか値の大きい方になり，手押し搬送は 3,600s（60min），自動搬送は 3,570s（59.5min）という結果となった（表 3-3 の最下段）。１人１時間当たりの搾乳頭数でいえば，自動搬送は 50.4 頭で，手押し搬送 25 頭の２倍の省力効果が算定された。

ただし，搾乳ユニット自動搬送システムにおいて，自動作業時間 *Auto* の増減は，(3.4)式から搾乳ユニットの総作業時間に一定の影響を持ち，(3.5)，(3.5)’式から作業者と搾乳ユニットの遊び時間（待機時間），即ち作業性に影響を与えるため，自動搬送速度並びに自動タップ接続・切離し時間を適正に設定することが重要である。ちなみに，表 3-3 の条件では，自動搬送・２頭同時搾乳での作業者の遊び時間は，(3.5)式より 560s となった。

表 3-3 簡易式による搾乳作業時間の推定(s)

手押し搬送		自動搬送・２頭同時搾乳	
６ユニット／作業者２名		４×２ユニット／作業者１名	
Wrt：１頭分 (s)		*Wrt*(2)：２頭分 (s)	
前搾り	9	前搾り	18
乳頭清拭	25	乳頭清拭	50
移動等	30	移動(2)	10
カップ装着	10	カップ装着	20
乳頭消毒	4	乳頭消毒	8
手押し搬送	12	合計 *Wrt*(2)	106
タップ着脱	7	自動搬送	35
合計 *Wrt*	97	自動タップ接続・切離し	6
搾乳ユニット自動離脱	3	搾乳ユニット自動離脱	3
合計 *Auto*	3	合計 *Auto*	44
機械搾乳時間 *Mt*	300	機械搾乳時間 *Mt*(2)	360
１頭分 *UT*	400	２頭分 *UT*(2)*	510
Wcow	25	*Wcow*(2)	25
Ucow	9	*Ucow*(2)	7
Twrt	2,725	*Twrt*	3,010
Tut	3,600	*Tut Auto*	3,570
作業能率（頭/人・h）	25.0	作業能率（頭/人・h）	50.4

* *UT*(2)には乳頭消毒時間は含まれないものとした。

更に，(3.6)式に表 3-3 の自動搬送・２頭同時搾乳の数値を代入すると，Nu =4.23 となる。即ち，この場合，搬送装置４台×２ユニット/人＝８が，最も効率的ユニット数であることが示された。

３．４．４　結果と考察

繋ぎ飼い搾乳作業時間を，自動化要素を含めて定式化し，一般化した議論を行った。その中で自動化の効果を明確にすると共に，「各作業者の総作業時間」と「各搾乳ユニットの総作業時間」に分けて表現し，両者の関係から遊び時間の生まれる仕組みが明らかになった。更にこの関係を利用して簡略式を導いた。この簡略式を用いて，様々な場合を比較することが可能となった。前項３．４．３では，作業者数を１人とし，一定条件で手押し搬送との作業能率を比較し，本システムが２倍の作業能率を持ち得ることを示した。同時に作業性を考慮すると適正な搬送速度の設定に加え，ミルクタップとの自動接続・切離し時間を短時間化することも重要であることを示した。

この結果は，作業者１人が２倍の作業を行うことが可能となるということ，または，従来と同じ作業量であれば，半分の時間で行える可能性があるということを示している。ただし，第２章の調査結果で余力ができればゆっくりしたいとの回答が多かったことから，実際の家族経営では，通常時には作業人数を減らすより，ゆとりを持った作業を行い，繁忙時には１人作業を無理なく行うといった柔軟な利用が想定される。

３．５　摘　要

1）繋ぎ飼い搾乳作業の大幅な省力化を図る手段として，牛舎内で搾乳ユニットを２つずつ自動搬送し，２頭同時搾乳を行う搾乳ユニット自動搬送システムを提案した。また，本システムが作業動線を大幅に合理化する仕組みであることを模式図により示した。

2）本システムを100頭対尻式牛舎で用いる場合を想定し，市販表計算ソフトウエアによって搾乳作業タイムチャート分析用シミュレーションプログラムを作成し，１頭毎の搾乳作業時間や機械搾乳時間を変動させてタイムチャート分析を行った。

3）その結果，作業者は，自動搬送装置４台・８ユニットを１人で用い，想定される手順と時間で２頭同時搾乳を行うことで概ね 50 頭/人･h の作業能率が可能と推定された。

4）この時の推定作業能率と安全性から，本システムの適正搬送速度が 0.2～0.3m/s であること，更に作業性を考慮するとミルクタップとの自動接続・切離しの短時間化も重要であることを明らかにした。

5）繋ぎ飼い搾乳作業時間を「各作業者の総作業時間」と「各搾乳ユニットの総作業時間」に分けて表現し，両者の関係から遊び時間（待機時間）の生まれる仕組みを明らかにした。また，自動化要素を含めて定式化することで，自動化の効果を明確にするとともに，扱いやすい簡略式を導いた。

6）簡略式を用いて一定条件で手押し搬送との作業能率を比較し，本システムが慣行の２倍の作業能率を持ち得ることを示した。

第４章　システム構成各部の検討

４．１　緒　言

搾乳ユニット自動搬送・２頭同時搾乳が，繋ぎ飼い式牛舎における搾乳作業の省力化にもたらす効果を，作業動線，１人当たりの搾乳ユニット数，作業時間，作業能率等の角度から検討し，搾乳作業能率 50 頭/人･h と大幅な省力化が可能であることを第３章で理論的に示した。本章ではシステム１号機の試作に先立つ主要各部についての検討とそれに基づいて決定した設計方針について述べる。

本システムは，①走行レール，②自動走行部，③配管接続部，④制御部，⑤衝突回避センサ，⑥搾乳ユニット，⑦ホームポジション（充電設備）等から構成される。所定の乳牛の間に自動進入し，２つの搾乳ユニットをミルクタップと自動接続することによって２頭同時搾乳を可能とする。利用条件としては，搾乳作業に男女とも従事し，従事者の年齢層は20歳から65歳前後で，家族以外の酪農ヘルパーも月に１回程度作業を請け負うこととした。従って，開発するシステムは，

既存の牛舎や洗浄設備を含むパイプラインミルカ方式の搾乳現場に適合し，技術が単純明快で誰にでも使いやすく，なによりも作業対象である乳牛に受け入れられなければならない。

既に繋ぎ飼い搾乳の省力化機器として，牛乳処理室からパイプラインの各ミルクタップまで走行レールを設置し，レールに懸架した搾乳ユニットを手で押して搬送する懸架式ミルカが市販されている。第２章に示した調査結果[27]では，成畜頭数 50 頭以上の繋ぎ飼い農家の約 14%に普及しており，その後相当数に至っている[39]と推定される。本システムの自動走行部や配管接続部が，既存設備の走行レールやミルクタップなどをそのまま利用できるか，新たに開発を要するか，その選択は全体設計に大きく影響を与えるため，この点を技術的に確認してからシステム各部の開発を行う必要があった。

そこで，本システムのベースとなる走行レールと搬送装置本体（自動走行部，配管接続部）について，既存設備を利用する場合と専用レール等を利用する場合の２方式を順次試作し，動作試験の結果を得て開発方針を決定することとした。また，繋ぎ飼い式牛舎に設置した時の乳牛の反応調査結果と合わせて，搬送装置各部の構成を検討し，１号機の設計方針と課題を明らかにした。

４．２　既存設備を利用する方式

市販懸架式ミルカの手押し搬送に用いる走行レールを利用し，通常２頭共有で設置されている１つのミルクタップと自動接続を行い，２頭同時搾乳する方式について検討を行った。

４．２．１　既存レールに対応した自動走行部

懸架式ミルカでは，レールに懸架する質量は自動離脱装置を含めると約 8kg である。検討対象としたO社製懸架式ミルカ用レール（図 4-2 右上参照）はC型断面（外寸 75W×45D×1.6ｔ）で，懸架用フックの支持車輪（φ36×W16）が通るレール両サイド内側への折返し幅が 20mm である。懸架用フックφ12 が通る溝幅は直進部で 35mm，旋回部では 16.5mm に絞られている。これに合わせて自動走行部を予備試作した。自動搬送の場合，配管接続・切り離しを自動で行うことになるので，分岐進入時には常に配管接続部側からミルクタップに向かわなければならない。懸架式ミルカの場合と同様に分岐での進入・退出経路を分けると，退出時には進行方向が逆になるので，次のミルクタップまでに配管接続部の向きを反転させることになる。この試作では，進入・退出経路を１本にし，配管接続部側から前進して進入し，退出時にスイッチバックするようにした（図 4-1）。

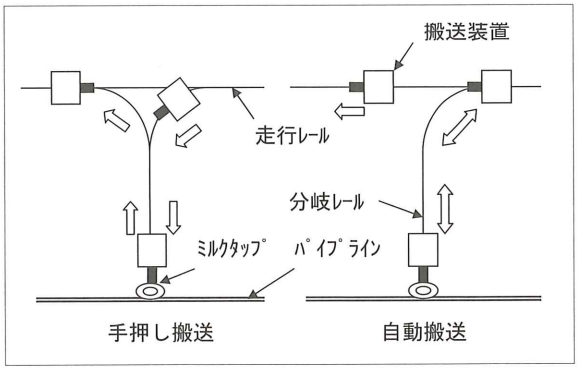


図 4-1　分岐への進入・退出方法

１）摩擦車輪（２輪駆動）方式

走行方法は，懸架式ミルカの手押し搬送車輪をそのまま活用し，左右独立にモータ駆動する硬質ゴムタイヤの摩擦車輪（φ100）をレールの下からコイルバネで押しつけて，摩擦車輪の速度差で直進と旋回を制御する方式を試作した（図 4-2）。

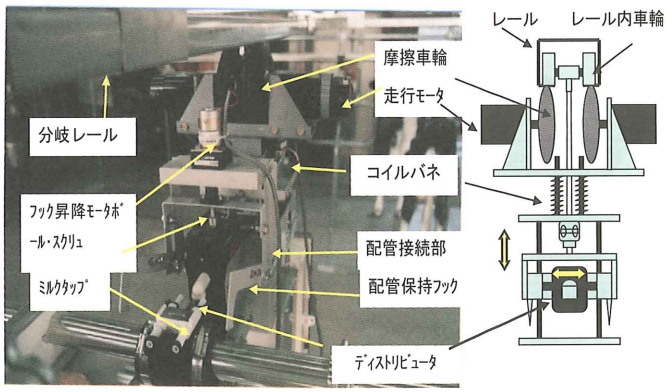


図 4-2　配管接続部を組み込んだ２輪摩擦車による自動走行部

走行速度は，ある程度の滑りを見込んで 0.2～0.3m/s となるよう，モータは減速機付きで定格出力 35W・DC12V，出力軸回転速度 60rpm とした。各摩擦車

輪のレール下面への押しつけ力は，コイルバネ（バネ定数：8.45N/mm）４本の支持により約 80N に調整した。

２）摩擦車輪－２輪駆動方式の走行性能調査

ａ）試験方法

懸架質量は，モータ２個，バッテリ及び後述する配管接続部を含めて 24.7kg であった。これに重錘（0kg，10kg，20kg，30kg，50kg）を積載した時の走行速度を測定するとともに，プッシュプルメータ（KOMURA MFG.CO.,LTD.製）で最大けん引力を確認し，この時の所要動力をクランプ式の単相電力計（日置電機製）を用いて測定した。また，摩擦車輪をフリーにして人力でけん引し，直進部と旋回部の走行抵抗を測定した（積載重錘 0kg，30kg）。

ｂ）結果と考察

表 4-1 に試験結果を示す。走行の状態は不安定であった。走行速度は，0.15～0.16m/s で約 50%程度の滑りが認められ，最大けん引力は，積載重錘が 10kg の時が 185N と一番大きく，積載重錘を増すにつれて 140N まで漸次低下した。

これは，積載重錘によって摩擦車輪の押しつけ力が弱まったためと推察され，レールへの荷重を分散させる必要が認められた。直進時の走行抵抗は，10～60N と問題なかったが，旋回時の走行抵抗は最大けん引力を上回ることがあった。所要動力も旋回時には左右の駆動モータ合わせて 48～77W と過負荷気味になる場合があり，改良の必要性を認めた。

表 4-1　摩擦車輪－２輪駆動方式による
レール走行性能

積載重錘(kg)＊	0	10	20	30	50
最大けん引力(N)	180	185	150～160	140	140
走行速度(m/s)	0.15～0.16	←	←	←	←
走行抵抗(N)					
直進時	10～60	－	－	15～50	－
旋回時	120～180	－	－	130～170	－
所要動力(W)					
直進時	25～35	←	←	←	←
旋回時	48～77	←	←	←	←
最大けん引力時	75～77	－	－	71～75	－

＊ 本体質量 24.7kg に重錘を付加。

３）摩擦車輪－４輪駆動方式

レール内車輪を軸間 210mm で前後に設け，荷重を分散して受けるように改良し，その直下に摩擦車輪を２輪ずつ４輪設けた（図 4-3）。前後のレール内車輪と摩擦車輪のセットは，旋回軸より，それぞれ前方と後方に 30mm オフセットしたキャスタ車輪とし，車輪の進行方向前方 32mm にはレール溝を案内するローラ（φ12×φ8）を設けた。

前後の摩擦車輪の内外速度差によって旋回させる方式であるので，旋回時に前後の摩擦車輪に定常円旋回が成り立つ速度比を算定した。

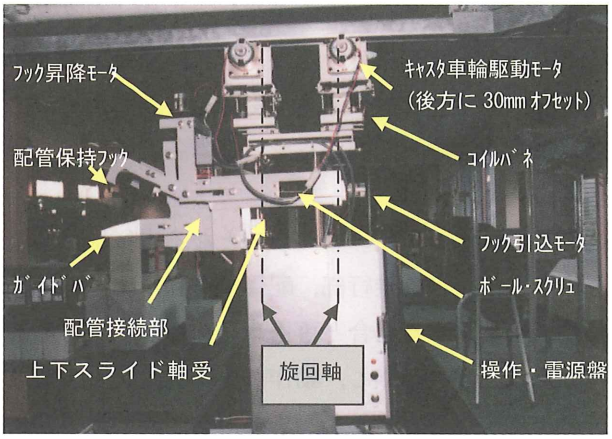


図 4-3　配管接続部を組み込んだ４輪摩擦車による自動走行部

ここで，分岐旋回半径を R，摩擦車輪の輪距を Tr と置くと，外側車輪の速度 $Vout$ と内側車輪の速度 Vin の定常円旋回が成り立つ速度比は次式より求められる。

$$Vout / Vin = (R + Tr/2)/(R - Tr/2)$$

実測値 R = 218mm，$Tr = 58$ mm を代入すると $Vin = 0.76 \times Vout$ である。

後方側駆動輪の旋回角が内側に切れすぎるとキャスタ車輪旋回軸で旋回逆方向に屈曲する可能性があるので，$Vout$ に対する Vin の速度比は 0.76 より大きめの方が良いと考えられた。しかし，C 型レールの幅広の直進案内溝から分岐旋回溝に確実に進入させるためには速度比を 0.76 より小さく設定する必要があった。４つの摩擦車輪（キャスタ車輪）はφ80 とし，各軸を駆動するモータは，減速機付き定格出力 26W･DC24V，出力軸回転速度 57.3rpm とした。速度設定を高速と低

速（高速の 0.7 に設定）の２段階とし，旋回時には外側車輪を高速に，内側車輪を低速に切換えた。

４）　摩擦車輪－４輪駆動方式の走行性能調査

ａ）バネ圧縮量の決定

駆動摩擦力を決めるためにゴム車輪に加わる荷重と摩擦力の関係を調べた（図 4-4）。その結果，接地荷重 110N を超えると摩擦力は飽和気味になった。

摩擦車輪１つ当たりの押しつけ力は，使用コイルバネの圧縮量に比例する。適正なバネ圧縮量を把握するために，バネ圧縮量を 0，2，4，6mm の４段階に，負荷を本体(35kg)のみ，積載重錘 20kg，50kg の３段階に変えて，プッシュプルゲージを介して人力でけん引し，直進部と旋回部の走行抵抗の最大値を読み取った（表４－２）。バネ圧縮量（バネ定数 34.8N/mm）を増せば，その分走行抵抗も増加し，6mm の場合旋回部では 330N 近い走行抵抗が生じた。2mm では旋回部での走行抵抗の増分は小さく，荷重約 70N（バネ定数 34.8N/mm）の時の車輪１本当たりの摩擦力は 75N（図４－４参照）で，全摩擦力 300N は重錘 50kg 積載時の走行抵抗 232N をクリアしていることから，バネ圧縮量を 2mm に設定した。

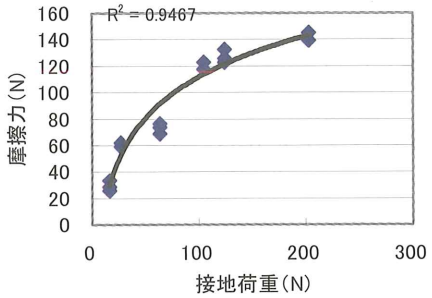


図 4-4　摩擦車輪の接地荷重とレールとの摩擦力

表 4-2　摩擦車輪－４輪駆動方式でのバネ圧縮量とレール走行抵抗の変化

測定部位		直進部				旋回部			
バネ圧縮量 (mm)		0	2	4	6	0	2	4	6
走行抵抗 (N)	本体のみ	78	34	99	64	164	178	195	277
	20kg 重錘	93	51	69	105	187	200	280	326
	50kg 重錘	110	97	91	129	179	232	290	333

ｂ）試験方法

本体 35kg に重錘（0kg，20kg，50kg）を積載した時の低速時と高速時の走行速度を測定するとともに，プッシュプルメータ（KOMURA MFG.CO.,LTD.製）で最大けん引力を確認し，この時の所要動力をクランプ式の単相電力計（日置電機製）を用いて測定した。また，高速時の直進時と旋回時の走行動力を測定した。

ｃ）結果と考察

走行速度は，低速 0.15m/s，高速 0.21m/s（速度比 0.685）であった。高速時には車輪が空転し，その時のけん引力は 200～240N で，走行動力は 77.2～111.6W であった。低速時には車輪がロックし，その時のけん引力は 140～250N で，走行動力は 29.2～40.8W であった。また，２輪駆動方式の場合（表 4-1）と同様に重錘積載量を変えても走行動力に大差はなかった。本体のみについて測定結果を表 4-3 に示す。

表 4-3 摩擦車輪－４輪駆動方式の走行動力

走行	所要動力（W）＊ 直進時	旋回時	最大けん引力時
前進	9.2～10.4	43.2～47.7	77.2～111.6
後退	11.2～13.8	28.3～29.4	－

＊ 本体質量 35kg、バネ圧縮量：2mm、高速時：0.21m/s

直進走行時の所要動力は 9.2～10.4W と最大けん引力時に対し余裕が見られた。旋回時の走行動力は前進時 43.2～47.7W に対し，後退時は 28.3～29.4W と大きく異なった。この差は，前進時は直進から旋回に入る時にキャスタ効果によって，先頭のレール内車輪がこじられ，レール内壁と接触して走行抵抗が大きくなったことによるものである。後退時はこの状態が元に戻り走行抵抗が小さくなった。滑らかに旋回できれば走行動力は 30W 以下で収まると見られたが，直進時にもレール内車輪がレール内壁に接触するとそのまま戻らず，走行状態は不安定となった。

５）結　論

自動走行は，摩擦車輪駆動やキャスタ構造では走行制御が難しく，不適切であると判断された。また，レール内車輪を駆動する場合もレール内壁に接触しないようレール内車輪の前後に案内輪を設けること等によって直進性を安定させ，旋回時の走行抵抗を減少させ

ることが必要と考えられた。更に，走行レール自体に変形が観察され，安定走行のためには，本体の軽量化あるいはレールの強化が不可欠となった。

4．2．2　配管接続部（1ミルクタップ・2頭同時搾乳）

1）配管自動接続機構

通常，1カ所のミルクタップには1つの搾乳ユニットのディストリビュータを接続し，1頭ずつ搾乳を行う。そこに2頭分の乳汁を投入する前提で配管自動接続機構を試作し，摩擦車輪（2輪駆動）方式の自動走行部に組み込んだ（図 4-2 参照）。ミルクタップと搾乳ユニットはO社製を用いた。この搾乳ユニットを手で接続する時の押し込み力は，概ね 160～210N を要した。接続は，ミルクタップ直前でモータを停止後，惰力走行し，接続部の位置ズレをガイドバーとスライド機構（上下左右）で自動修正して行う（図 4-3 参照）。更に，接続用フック（ボール・スクリュで動作）で配管接続部に組み込んだディストリビュータをミルクパイプに引き寄せて接続・保持する仕組みとした。

2）ミルクタップ・2頭同時搾乳時の搾乳真空度の安定化テスト

搾乳真空を得ている1カ所のミルクインレットに，2頭分の流量の乳汁を入れるとプラグ流となって管路内の真空が一時的に遮断され，ティートカップとそこから乳汁が集まるミルククロー内真空度が低下し，乳頭からの搾乳ユニット落下や正常な搾乳が困難となる可能性が高くなる。そこで，左右の牛の乳汁を真空バッファとなる 30L のバケット容器に貯留して，そこからミルクラインが許容できる流量でミルクタップから投入することで搾乳真空度を安定化する仕組み（搾乳真空バッファ）を設け，その機能をテストした。

a）試験方法

ISO5707:1996(E) における Milking machine installations-Construction and performance では，「ミルク配管内に，全ての搾乳ユニットを作動させた状態で設計値のミルク及び空気を流した場合，レシーバとミルク配管いずれの部分においても真空度低下が 2kPa を超えてはならない。」と規定し，また，「クロー内の平均作用真空度は，搾乳中の最大流量レベルにおいて 32～40kPa が適当である」と示しており，これをクリアする必要がある。ISO5707 付表 C.5 によれば，ミルク配管が 2 インチで設置勾配を 1%とした場合，搾乳中に正常な層流となる1スロープ当たりの最大ミルク流量は，普通の作業者を想定して 100～200L/min の一時的空気流入のある状態で 11～17 L/min となる。そこで図 4-5 に模式的に表示した実験系において，左右のティートカップからの流量を各々6L/min に制御し，ユニット装着時の空気流入による隣のユニットへの影響を調べた。30 s ごとに 150L/min の一時的空気流入のある状態で 12L/min をミルク配管に送水した時のミルククロー内真空度 V_1，バッファ内真空度 V_2，ミルク配管内真空度 V_3 を搾乳システム動作テスタ(Babson Bros. Co. 製)を用いて測定した。

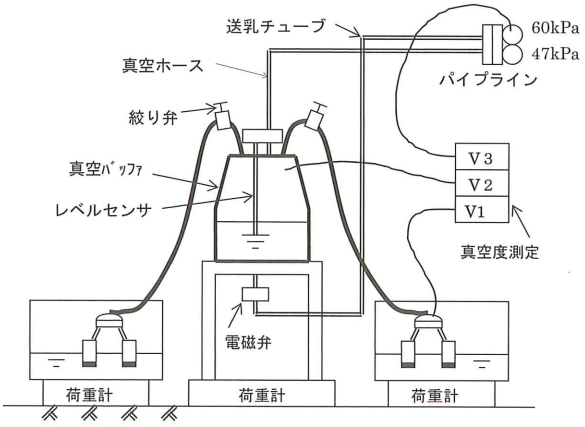


図 4-5 真空バッファを介した1ミルクタップからの2頭同時搾乳テスト

b）結果と考察

真空度測定の結果，V_3 の低下は 2kPa 未満であったが，V_1 は 47kPa から 6kPa に，V_2 は 47kPa から 12kPa に大きく低下し，ISO5707 の基準を満たせなかった。即ち，現状使われている搾乳ユニットのディストリビュータとミルックタップ（インレット口径 16mm）の組み合わせ1カ所から2頭分の流量を投入する際にはロングミルクチューブ（内径 16mm）内に満たされた液体で真空が遮断され，大きく真空度が低下するためユニット落下の可能性が高く，2つの搾乳ユニットからの送乳は，各々1つのミルクタップが必要であることを認めた。

4．2．3　結　論

懸架式ミルカ用の既存レールを利用するには，走行部が通る断面のスペースや強度が必ずしも十分ではなく，自動走行を行う場合に様々な制約があった。専用レールにより自動走行部と分岐進入方法を再検討する必要がある。また，２頭同時搾乳を行うためには２つの搾乳ユニットのディストリビュータをそれぞれ各ミルクタップと接続できる方式が必要との結論に達した。

4．3　専用レールを用いる方式

自動走行と分岐進入を確実に行うために，分岐ポイント切換えのできる専用レールを試作し，自動走行部を再検討した。また，ミルクラインが１スロープ当たりの搾乳頭数に対して適正な配管口径と勾配で設置されれば，各ミルクタップのミルクインレットから１頭分ずつの乳量を投入する場合には，ISO5707 を満たす適正な搾乳が可能となる。これは，これまでの数多くの市販機設置例により実証されている。そこで配管接続部は，２つの搾乳ユニットのディストリビュータを各々独立したミルクタップと接続する２連ミルクタップ接続方式を検討した。

4．3．1　専用走行レールと自動走行部

この方式では懸架搬送質量を 80kg として，専用の走行レール（図 4-6）は，前述の既存 C 型レール２本を 40mm 間隔で向かい合わせにし，900mm 間隔に吊り金具で組み付けて一体化した。

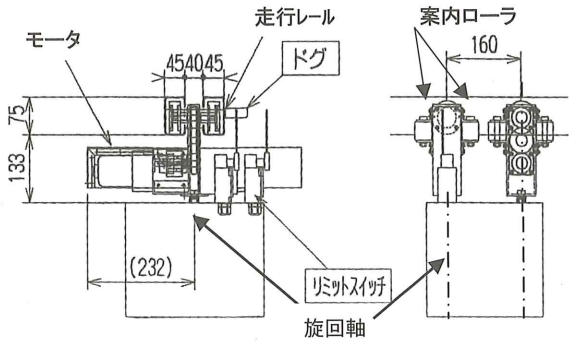


図 4-6　専用走行レールと自動走行部

自動走行部（図 4-6）は，差動機構のない前後軸距 160mm の２軸駆動で，レール内走行車輪は，タイヤφ65×W25，ホイールφ50，車軸φ9（SUS303）である。各車軸は，３枚の平歯車直列のギヤボックス（減速比１：１）を介して DC モータ（定格出力 26W・DC24V，出力軸回転速度 57.3rpm）で駆動される。上記ギヤボックスから垂直下方に延びる旋回軸は，本体ベース部を固定懸架するとともにスラスト軸受けによって，車軸中央を通るギヤボックス縦軸中心線回りに回動する構造とした。また，走行車輪は，レール内壁と干渉しないよう輪距を 85mm として 40mm 幅の案内溝をまたいでレール中央に置き，ギヤボックスの前後にはφ38 の案内ローラを軸間 102mm で設置し，案内溝に沿って走行車輪を案内し舵取りする構造とした。

4．3．2　分岐ポイント切換え

自動搬送部が分岐レールに進入する方法は，走行レールを前進走行して分岐手前に設置したドグをリミットスイッチで検出すると，設定した時間前進する。この時，案内ローラが分岐ポイントのディバータを押し開いて走行部は直進しながら前方へ抜けて停止する。ディバータはバネで分岐案内溝側へ戻り，走行部は停止地点からスイッチバックして分岐レールに進入する（図 4-7）。

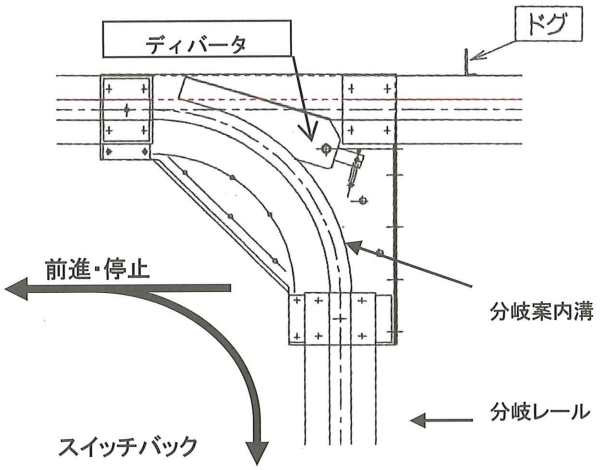


図 4-7　分岐ポイント切換え

4．3．3　配管接続部（２連ミルクタップ・２頭同時搾乳）

配管接続部は，200mm 間隔に設置した２連ミルクタップに，一度に２つの搾乳ユニットのディストリビュ

ータを各々接続することとした。基本構造は図4-2に示したものを踏襲し，ディストリビュータを200mm間隔に並べ自動走行部後方に組み込んだ（図5-1参照）。

4．3．4　シーケンス制御による動作確認試験

1）試験方法

シーケンス制御ボックス（三菱電機製）を本体ベース部直下に設け，①前進走行，②ドグ検出，③設定時間前進走行，④後進走行，⑤ドグ検出，⑥停止（惰力走行），⑦配管接続（接続用フックによる保定）の一連の動作を自動および手動で確認した。また，直進時及び旋回時の走行動力をクランプ式の単相電力計で測定した。走行抵抗は，駆動輪を転動自在とし積載重錘30kg で，プッシュプルメータを介し人力でけん引して測定した。

2）結果と考察

直進走行は，0.19m/s で安定していた。分岐ポイント切換えとスイッチバックによる分岐レールへの進入は確実に行われた。走行動力は直進部で 5～6W，旋回部で 10W 前後であった。走行抵抗は，直進部で 20～24N，旋回部で 58～66Nであり（表 4-4），摩擦車輪方式の結果と比較して，大きく改善された。これは，レール内壁との干渉を避けるため，レール中央の案内溝と案内ローラで走行車輪を案内し舵取りする構造とした効果であると判断された。配管接続も確実に動作した。ただし，２つのボール・スクリュによる配管保持フック上下・引込み動作に 44ｓを要し，配管（ミルクタップ）との切離しにも同様に時間を要した。

表 4-4　試作走行部の専用レール走行性能

	直進時	旋回時
走行速度（m/s）	0.19	－
走行抵抗(N)	20～24	58～66
走行動力(W)	5～6	9～11
積載重錘(kg)	30	

4．4　システム構成における設計方針と課題

4．4．1　走行レールと搬送装置

4-2及び4-3での検討結果から，本システムの走行レールと搬送装置については，分岐ポイント切換え方式の専用走行レールとそれに対応した自動走行部及び２連ミルクタップの組み合わせをベースに，開発を進めることとした。配管接続については，高速化，更には１動作化が課題となった。

4．4．2　乳牛の反応調査

乳牛が自動搬送装置を認知し，繋留された乳牛の間への進入を許容して進入路が毎回確保されることが，この装置の実用化を進める上で不可欠の条件である。これについては，電気的刺激による乳牛の強制排除を検討したが，動物福祉や泌乳生理に反するということで実験は見送った。

民間牧場の 24 頭対尻式牛舎内の片側にレールを設置し，搬送装置を手動操作して繋留牛の間に尻側から進入させた時の乳牛12頭の挙動を観察した。

その結果，１回目は供試牛 12 頭の内１頭がネックレール前方に飛び出そうとし，牛舎内の全頭が大きく動揺した。しかし，３回目の試行で危険のないことを理解すると，その後１頭を除いて落ち着きを取り戻した。多くは尻側から進入する装置と協調して左右に避ける挙動を示すようになり，比較的簡単な馴致作業で進入を許容することが確認された[33]。しかし，進入時にミルクチューブが乳牛の尾根部に引っかかることがあり，一旦後退して再進入する機能が必要と考えられた。また，馴れてくると装置両側に懸架した搾乳ユニットを突き上げる等の挙動も想定され，制御部本体を揺動可能に懸架する等，乳牛との接触破損を回避する対策が必要と認められた。

4．4．3　衝突回避システム

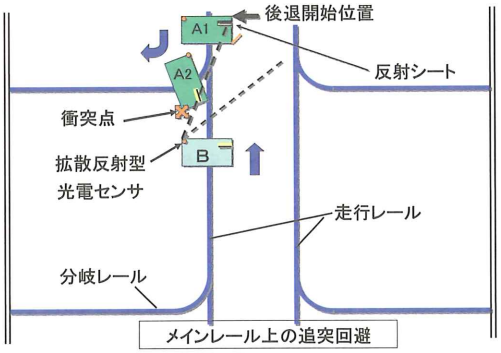
牛舎では，複数の自動搬送装置が自律的にレールを移動することになる。互いの衝突回避のために，拡散反射型光電センサを走行部（台車）の前後に設ける方法を検討した。進行右方向に一定角度を持たせて取り付け，障害物（回帰反射シートを貼付した他の台車）を検出すると停止して数秒間待機する単純な方式である。センサは，検出角度 15°，検出距離 0.6～0.8m，回帰反射板使用時の検出距離 2.5m以上の拡散反射型光電スイッチ（キーエンス社製）である。

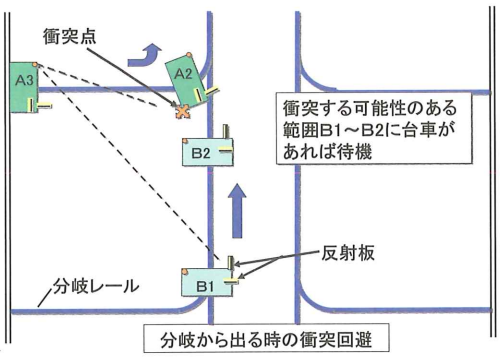
対尻式牛舎での台車同士の基本的衝突パターンは，走行レール上の追突，分岐から出る時の衝突及び，互

いに向い合う位置にある台車上センサとの相互干渉や誤認停止等が想定される（図 4-8）。これらについて光電センサによる回避方法を以下に検討した。ただし便宜上，台車Ａと台車Ｂの前進・後退速度は一定と仮定した。

１）走行レール上の追突防止

先行台車Ａが分岐進入時に A1 地点から後退する時に，後続台車Ｂとの衝突を回避する。その方法として，後続台車は先行台車と衝突しないように間隔をとり，一定間隔 Lab 以内に近づくと停止するようにした。





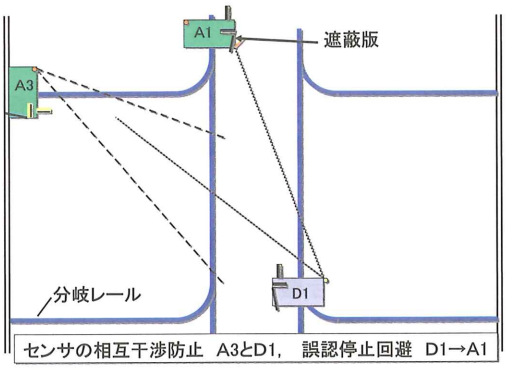


図 4-8　光電センサによる衝突回避

$$Lab = L + D + \alpha \qquad (4.1)$$

ここで

L ：後退開始点の反射板位置から衝突点までの走行距離

D ：停止信号を出してから台車停止までの惰走距離

α ：余裕距離

検出センサは，(4.1)式が成立するよう選定し，設置位置，設置角度及び検出角度範囲を算定した。

２）分岐から出る時の衝突回避

分岐 A3 地点にいる台車Ａのセンサは，分岐から出ようとする時に衝突の可能性のある走行レール上の搬送台車Ｂを検出している時は停止させた。台車Ａが台車Ｂを検出しない時に分岐退出を開始しても衝突しない時の台車Ｂの位置 B1 は，(4.2)式を満たす。

$$Lb - D > La + Lr \qquad (4.2)$$

ここで

La ：A3 地点の台車Ａ前面から衝突点までの走行距離

Lb ：B1 地点の台車Ｂ前面から衝突点までの走行距離

Lr ：台車Ａが衝突点から台車Ｂに検出される A2′ 地点までの走行距離（ただし，A2′ 地点とは台車Ｂが衝突点より惰走距離Ｄだけ手前の B2 地点から検出できる台車Ａの位置である。安全上，A１地点とみなす。）

これより，走行レール上の地点 B1 と B2 の座標を求め，A3 地点から B1 から B2 の範囲にある台車Ｂを検出できるよう検出センサの設置位置，設置角度及び検出角度範囲を算定し，先の(4.1)式と併せて成立するように決定した。

３）センサの相互干渉防止と誤認停止の回避

対向する分岐にある台車Ｄに設置するセンサは，台車Ａ及びＢに設置するセンサと相互干渉しないよう配線を入れ替え，発光タイミングを変えた。また，台車Ｄが隣のレールの台車Ａを検出し，誤認停止を防止するため，回帰反射板に遮へい板を設置した。なお，並行する走行レールの設置間隔は，台車幅＋搾乳ユニット張り出し分を考慮すると共に，台車Ａと台車Ｄの拡散反射光による相互検出を回避できる距離を確保した。

4）対人衝突など手動停止

別途，停止押しボタンの設置等を検討した。

4．4．4　帰還経路とホームポジション（HP）

HPは，牛乳処理室に隣接して置いた。HPへの帰還経路は，往路と同じ走行レールを用いた。従って，走行レール終端には，待機場所を設けた。帰還する際に分岐ポイントを直進側に一斉に切換える場合，大きい牛舎では切換えワイヤの伸びにより操作力がうまく伝わらないことが想定され，実際場面では対策が必要と考えられる。帰還した全ての搬送装置（台車）は，HPで自動充電できる設備を設置した。

4．4．5　搾乳ユニット

単独で従来どおり搾乳できる自動離脱装置付きの搾乳ユニットを用い，パイプラインと搾乳ユニットの自動洗浄は，既存設備を利用することとした。

また，自動搬送装置の左右に搭載された搾乳ユニットは，各々搾乳終了を検知し乳頭から自動離脱したことを搬送装置側に送信しなければならない。搬送装置は，両方の搾乳ユニットの自動離脱が終了したことを確認後，次に移動する。制御部には，これらの機能を持たせた。

4．5　摘　要

1）本システムの主要部である走行レール，自動走行部および配管接続部について，既存設備を利用する場合と専用レール等を利用する場合の2方式を順次試作し，動作試験により検討を行った。

2）懸架式ミルカ用レールを利用した摩擦車輪による自動走行は不安定で，乳牛の間の分岐レール進入は困難と認められた。

3）ミルクタップ1カ所からの2頭同時搾乳では搾乳ユニット落下の可能性が高く，2つの搾乳ユニットからの送乳には，2つのミルクタップが必要であることが確認された。

4）分岐ポイント切換えを持つ走行レールは安定した自動走行が可能で，2連ミルクタップとの配管接続部は，確実に動作することが確認された。

5）試作装置を24頭牛舎に設置し，乳牛の反応を観察した。多くは尻側から進入する装置と協調して左右に避ける挙動を示すようになり，比較的簡単な馴致作業で進入を許容することが確認された。

6）加えて，走行部同士の衝突回避，ホームポジション（充電設備），搭載搾乳ユニットの課題を整理し，本システム構成各部の具体的設計方針を明らかにした。

第5章　システム1・2号機の試作と模擬搾乳試験

5．1　緒　言

搾乳作業は，1年365日朝夕欠かさず行われるもので，それに用いる装置は確実に動作することが求められる。特に本システムは，自律的な移動を伴うものであるから動作の確実性は一層重要である。第4章においては，本システムの主要部である走行レール，走行部，配管接続部の試作を中心に検討を行い，分岐ポイント切換えの走行方式と2連ミルクタップの配管接続の選択など，システムの開発方針について述べた。

本章では，この開発方針に従って試作した1号機及び2号機の概要と室内試験結果について述べる。試作1号機を使用して長期連続搬送試験を実施し，各部の強度，動作機構上の問題点を明らかにし，これらの結果を2号機の設計試作に反映させる手法をとった。また，本システムでは，4～6台の搬送装置に2ユニットずつ搭載して，2連ミルクタップから2頭同時搾乳を行うことになる。適正な搾乳が見込まれるミルク配管の層流状態での最大流量は，主として内径と設置勾配によって決まる[41]。民間牧場での適用試験に備え，本システムで適正な搾乳を行うためのミルク配管径と勾配を設定しておく必要があり，想定される搾乳作業パターンで模擬搾乳試験を実施した。

5．2　システム1号機の試作

5．2．1　試作1号機の概要と設置模擬牛舎

1）試作1号機の概要

試作1号機（図5-1）は，連続で繰返し自動運転が可能となるように製作した。主要諸元を表5-1に示す。

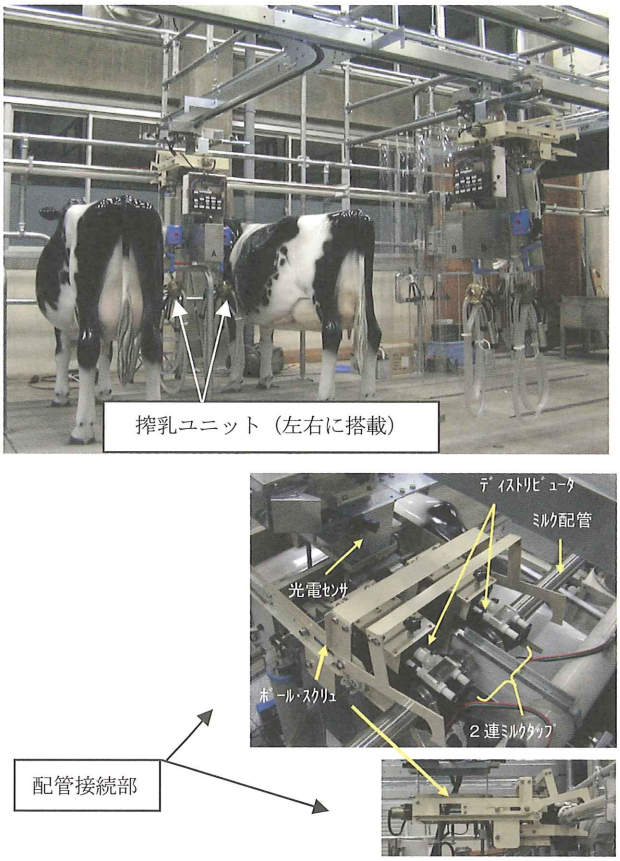


図 5-1　搾乳ユニット自動搬送システム試作１号機

表 5-1　搾乳ユニット自動搬送システム１号機の主要諸元

走行レール		許容負荷	2,700kN 中央集中荷重
		分岐方法	識別ドグ、ポイント切換
搬送装置本体	走行部	走行方式	レール内車輪２軸駆動 案内ローラ操向
		駆動部	電動モータ 26W DC24V×2 ギヤボックス平歯車３枚直列
		走行速度	H：0.2m/s、L：0.1m/s
	配管接続部	２連タップ	ミルクタップ間隔：200mm
		接続配管	２回路（真空、搾乳）
		保持フック	電動モータ 26W DC24V
	制御部	シーケンス制御	走行制御、分岐検出 障害物検出、配管接続制御
	電源	自動車用バッテリ	DC12V×2
	幅×奥行×高(mm)		660×720×1,060
	質　　量		約 50kg
搾乳ユニット		自動離脱装置付き	２ユニット
ホームポジション			充電装置付き

走行レール（分岐ポイント切換え式）と自動走行部は，第４章で示したものである。２連ミルクタップとの配管接続部は，ボール・スクリュのストローク 70mm の１動作で保持フックの引込み・下降あるいは押出し・上昇を行うことで所要時間を 23s に短縮し，走行部と一体化させた。装置本体制御部は，乳牛との接触破損回避のため，走行部中央直下に左右±25°揺動可能な懸架方式とした。

搾乳ユニット（自動離脱装置付き）は，走行部の両側に懸架して，ディストリビュータは配管接続部にセットした。また，走行部，配管接続部及び制御部の駆

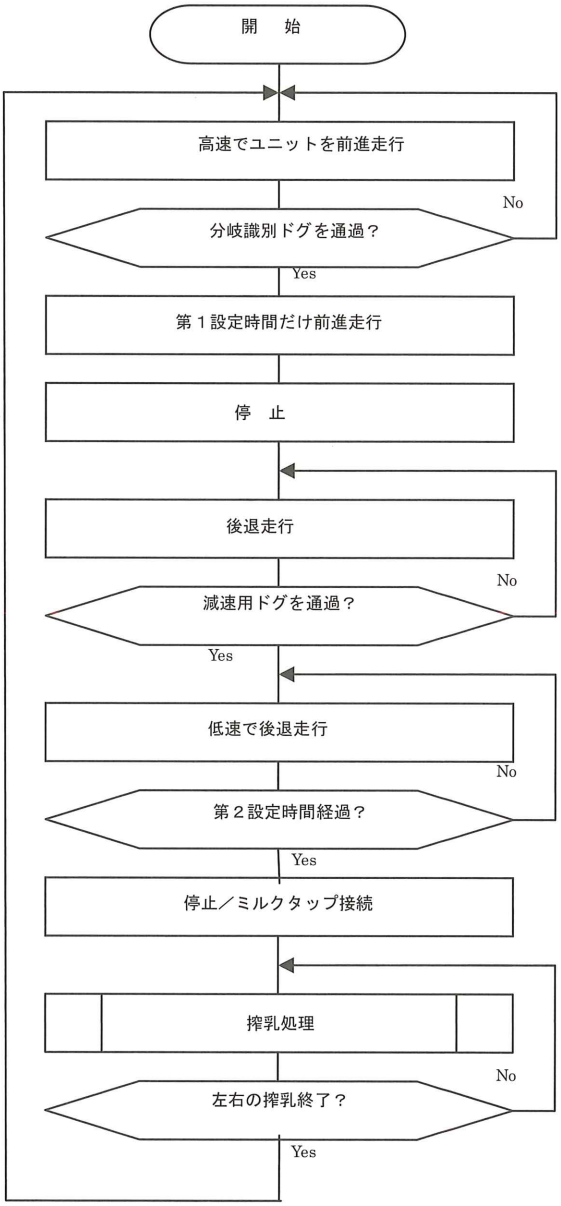


図 5-2　自動搬送システムの基本制御フローチャート

動電源（DC24V）として自動車用バッテリ DC12V を２個搭載した。

衝突回避センサとして拡散反射型の光電センサを走行部前後に取り付け，反射シートを所定箇所に貼り付けた。前方のセンサは，機体中心から左へ 120mm オフセットした位置に設置し，前右方向 14°～58°にある走行レール上の障害物（反射シートを貼り付けた他の搬送装置）を検出している時は，分岐レールで待機するようにした。前進時の位置関係は，前方の搬送装置（機体寸法 720mm）を先行距離 1,550mm（車間距離 830mm）以内に検出すると停止（150mm 惰走）し，設定時間待機する。後方のセンサは右方向 14°～29°をカバーできるように設置し，前進時と同様にホームポジション帰還時の衝突を防止する。自動搬送・配管接続の基本部分の制御フローチャートを図 5-2 に示す。衝突回避センサによる自動走行の一時停止と自動復帰は，常時可能である。

２）模擬牛舎への設置

試作１号機を構築した生研センター実験室内の模擬牛舎（図 5-3）は，16 頭対尻式（ストール 1.35m 幅×1.75m 長さ）で，それに対応したパイプラインミルカ（２インチミルク配管，設置勾配１％）等の搾乳関連設備一式を設置している。

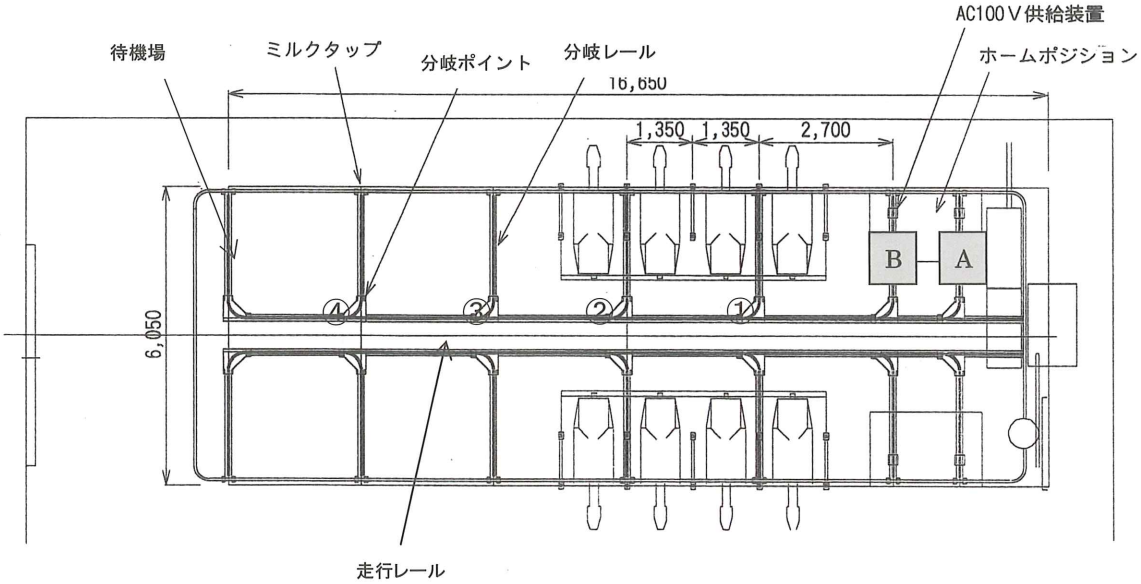


図 5-3　模擬牛舎の概要

２本の走行レールは 0.8m 間隔で設置し，それぞれの走行レールから分岐ポイントを介して各２連ミルクタップ正面に至る分岐レール①～④を設置した。分岐レール長は 1.6m，設置間隔はストール幅の２倍で 2.7m である。

分岐ポイントを切換えるディバータ（図 4-7 参照）は，バネで分岐進入位置に常時シフトされており，自動搬送装置が前進している時には案内ローラがディバータを押し分けて通過し，後退すればそのまま分岐レールへと進入できる。分岐の識別金具（以下「識別ドグ」と記述，図 4-7 参照）は分岐手前に設置し，搬送装置はリミットスイッチで識別ドグを検出すると設定時間前進して後退する。

片側の走行レールに対し，２台の搬送装置Ａ，Ｂを割り当て，各搬送装置は決められたホームポジションから出発し，Ａは奇数番目の分岐①③に進入し，Ｂは偶数番目の分岐②④に進入する。分岐識別ドグは，奇数番目と偶数番目で走行レール上のオフセット位置が異なり，各搬送装置のリミットスイッチ位置は分岐識別ドグ位置に対応させている。分岐に進入した搬送装置は，分岐レール上の低速切換識別ドグを検出すると速度を落とし，設定時間走行後に駆動モータを停止し，惰力走行して２連のミルクタップと接続する。さらに設定時間後にボール・スクリュにより，保持フックを

下降させ引込んで配管に保時する。

ミルクタップと切離す場合は，保持フックを押し戻しながら上昇させてから後退し，そのまま分岐レールを退出して次の分岐へと向かい所定の動作を繰り返す。予定の行程を走行し終えると走行レールの終端の待機場で停止位置識別ドグを検出し停止する。後続の搬送装置が待機場に来ると衝突回避センサで先行の搬送装置を検出して停止する。

待機場にはリミットスイッチが備えてあり，２台の進入をカウントするとワイヤを介して空気圧シリンダで分岐ポイントのディバータを一斉に直進側に切換える。搬送装置は，待機場で 30 秒待機すると自動的にホームポジションに向かって帰還する。続く搬送装置も設定間隔以上離れて帰還する。

所定のホームポジションに戻ると停止識別ドグを検出してミルクタップと接続し，電磁パルセータ電極から AC100V を供給され充電を行う。ホームポジションは 1.35m 間隔で平行して設置されており，連続運転用に搬送装置は互いの内側面に光電センサを設け互いの帰還を確認し，充電が終了すると自動的に出発する。この他，制御パネルでは手動停止を含め，全ての動作を手動操作できるようにした。

５．２．２　連続運転試験

１）試験方法

前項で示した試作１号機を供試して連続運転試験を実施した。連続運転に供試する２台（Ａ，Ｂ）の搬送装置を片側のストール列に配置した。両者のスタートボタンを押すと互いの存在を確認し，搬送装置Ｂから出発し，５秒遅れて搬送装置Ａが出発する。搬送装置Ａは奇数番目の分岐①③を，搬送装置Ｂは偶数番目の分岐②④を分担し，ホームポジション・分岐進入・配管接続・切離し・帰還・充電のサイクルを繰り返す。６分間の充電を含め１サイクルに約 12 分を要し，走行距離は搬送装置Ａが 53.8m，Ｂが 48.4m，配管接続・切離し回数はホームポジションを含め各３回である。50 頭規模では，走行距離は 92.8～107.6m で，配管接続・切離し回数は６～７回と算定される。

サイクルの回数は，ホームポジションにカウンタを設け計測した。走行状況は，目視観察と共にホームポジション側と待機場側の２台のカラービデオカメラを用いて撮影し，フレームスイッチャを介してタイムラプスビデオレコーダに録画し，異常等を必要に応じて再生分析した。また，各部の故障や経時変化は，その都度記録し，必要に応じて改修を加え運転を続行した。

２）結果と考察

延べ 3,053 回の自動運転を実施し，走行距離は 147.8～164.2km，配管接続・切離し回数は 9,159 回に達した（50 頭規模換算で搾乳作業 16.3 ヶ月間に相当）。以下，故障による停止が計 25 回生じた。

ａ）走行部の故障

故障の主たる原因は，前後車軸をそれぞれ電動モータで駆動したことによる過負荷である。前後の駆動車輪が互いに走行抵抗となり，各部に過負荷を与える構造が原因となった。特に分岐旋回時に前側の内外車輪が差動しないこと，ミルクタップ接続時の惰走と急停止により生じる慣性力によって前側車輪が急駆動され，大きな負荷と逆起電力が発生しうることが問題と考えられた。

自動運転開始後 24 回目に車輪を車軸 φ9(SUS303)に止める押しネジが効かず空回りした。スプリングピンに変更したが，1,947 回目に搬送装置Ａ，Ｂとも分岐進入時に旋回内側の前車軸スプリングピンが折損した。また，2,168 回目には搬送装置Ｂの同一車軸が駆動平歯車のある段付き箇所で破断し，駆動モータが焼き付きヒューズが溶断した。更に，車輪（ウレタンゴムタイヤ φ67×φ50×W25）の旋回内側が最大 φ65.3 まで片減りした。

これ以後，搬送装置Ａ，Ｂとも前車軸のモータを外し，片側のスプリングピンを抜き車輪との間にメタルブッシュを入れて左右の車輪が自由に転動できるよう改修したところ，走行上のトラブル発生が無くなった。

ｂ）配管接続の中断

原因は不明であるが，過負荷が生じた後の行程で配管接続ルーチンの中断や走行の遅れが生じた。但し，充電不良によるものではなかった。

ｃ）衝突回避の失敗

走行遅れ等で動きが変則になると，障害物発見と設定予測している衝突回避のタイミングがずれて衝突が

何度か発生した。センサ取り付け部の揺れや反射シート貼付部位の限定及び面積の過小も原因と考えられた。

d）分岐識別不良

1,612 回目に分岐識別ドグにおけるリミットスイッチの空振りが生じた。多回数の打撃による識別ドグの変形と案内ローラの取り付けネジに緩みが認められ，双方による検出相対位置のズレによるものであった。

e）分岐ポイント切換え不良

2,208 回目に分岐ポイントのディバータを一斉に直進に切換えた際，空気圧シリンダとワイヤによる力の伝達が中途半端であったため，搬送装置Ａは直進帰還し，搬送装置Ｂは手前の分岐に再進入した。この現象は一度に切換えるディバータ数が増えると再発する可能性が高いことを示していた。

５．３　システム２号機の試作

試作２号機（図 5-4，表 5-2）では，上記運転試験結果を踏まえ，搾乳現場への適用を念頭に各部の改良を行った。

表 5-2 搾乳ユニット自動搬送システム２号機の主要諸元

走行レール		許容負荷	2,700kN 中央集中荷重
		分岐方法	識別ドグ カム・リンク式ポイント切換
搬送装置本体	走行部	走行方式	レール内車輪１軸駆動 案内ローラ操向
		駆動部	電動モータ 30W DC24V×1 ギヤボックス平歯車３枚直列
		走行速度	H：0.3m/s、L：0.24m/s
	配管接続部	２連タップ	ミルクタップ間隔：200mm
		接続配管等	２回路（真空、搾乳）、AC24V
	制御部	シーケンス制御	走行制御、分岐検出 障害物検出、配管接続制御
	電源	NiCad バッテリ	DC24V　5,000mAh
	幅×奥行×高さ(mm)		500×740×910
	質　量		約 35kg
搾乳ユニット		電動式自動離脱装置付	２ユニット
ホームポジション			充電装置付き

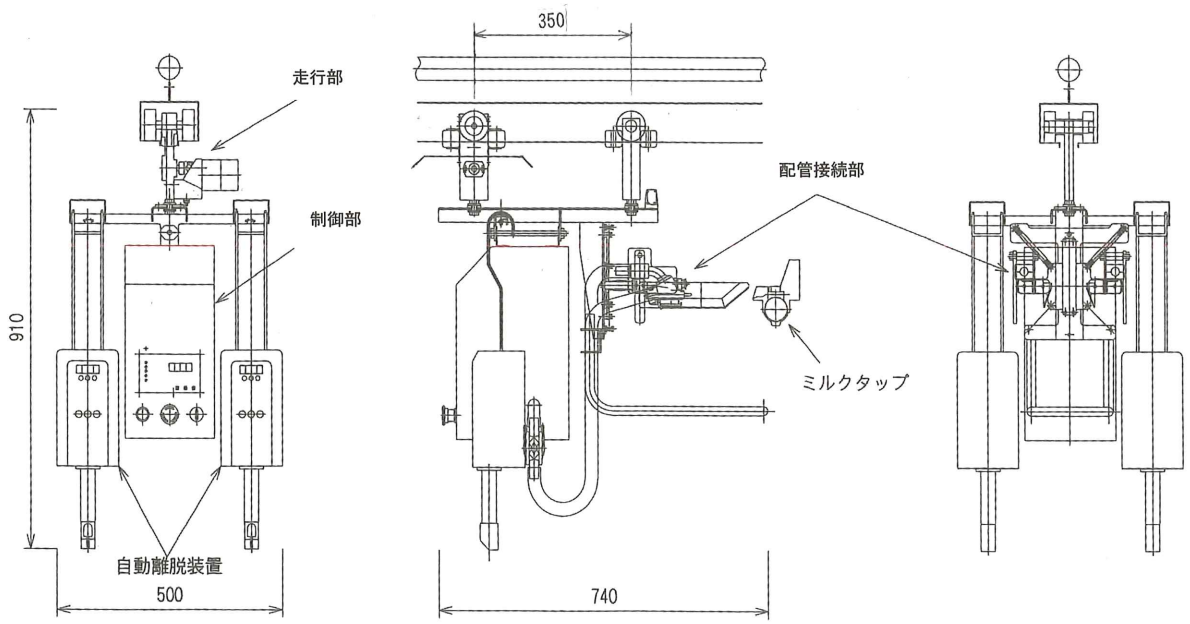


図 5-4　試作２号機の概要

５．３．１　走行部

走行部は２輪駆動とした。車軸をφ17（SUS304）に強化し，１個の電動モータ（30W・ DC24V，出力軸回転数 90rpm）で平歯車３枚直列のギヤボックス（減速比１：１）を介して駆動した。駆動輪のタイヤはφ65×φ50×W25 のウレタンゴム製（ゴム硬度 90）とした。軸距を 350mm に広げて駆動輪分担荷重を大きく，配管接続部側の従動輪（車軸φ25，　SUS304）分担荷

重を小さくした。さらに旋回時の走行抵抗が小さくなるよう従動輪は，ベアリングを介して左右自由転動輪とし，タイヤはφ65×φ50×W19 と幅を細くした。操向は１号機と同様に案内ローラ方式とした。

５．３．２　配管接続部とミルクタップ

走行部左右に懸架された搾乳ユニットのディストリビュータ１対は，ミルクラインに設けた２連ミルクタップ（間隔 200mm）と自動接続されるが，短時間に１動作で完了することが望ましい。この２組同時の接続は，分岐レールに進入する搬送装置の水平方向の押込み力で行い，切離しも逆動作で行われる。このため，ミルクタップとディストリビュータとの接続・切離しが，ほぼ水平方向の押込み・引抜き動作だけで可能な構造のもの（W社製）を新たに選定した。

また，ミルクラインはステンレスパイプ製で牛乳処理室の受乳装置（レシーバー，図 3-1 参照）に向かって１/100 程度の勾配を持ち，洗浄時の温湯 80℃による熱膨張を逃がすためにルーズに支持されている。

従って，分岐レールと２連ミルクタップとの位置関係には左右方向に最大±20ｍｍ程度，進入角度の狂いを含むズレを生じる可能性がある。この変化と接続時の慣性力を同時に吸収できる仕組みとして新たな配管接続部を開発した（図 5-5）。

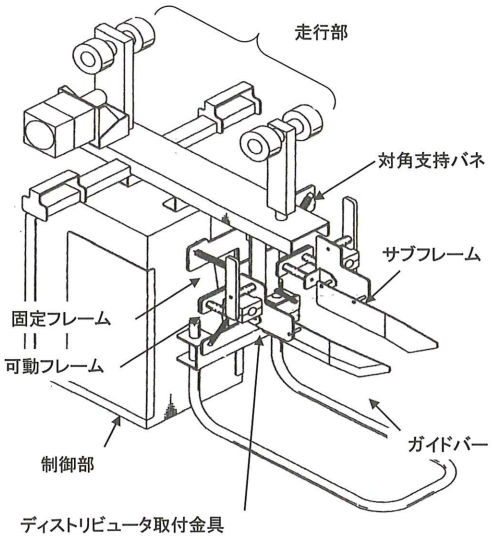


図 5-5　試作２号機の配管接続部

配管接続部のディストリビュータ支持機構は，走行部に取付ける固定フレーム，固定フレームから４本のバネで対角方向に引っ張り鉛直面内を変位自在に支持される可動フレーム，可動フレーム上に 200mm 間隔で各２本の圧縮コイルバネ等でディストリビュータを支持するサブフレーム，サブフレームと一体化しミルク配管高さを検出するガイドバー，そしてサブフレームにディストリビュータを固定する取付金具で構成される。

５．３．３　分岐ポイント切換え

ディバータの開閉操作を行うリンクを各分岐ポイントに設置し，切換えレバーを走行部の台形カムで操作して自らディバータを切換える方式（図 5-6）とした。この時，搬送装置は進入すべき分岐を過ぎてから分岐識別ドグを検出し，同時に走行モータ上部の台形カムでレバーを分岐進入側に倒し，その地点からスイッチバックして分岐レールに進入する。レバーは先端がローラとなっており，スイッチバックしても台形カム上で滑り分岐進入位置を維持する。そして搬送装置が帰還して来た時に順次，全てのディバータは直進位置にリセットされる。

５．３．４　搾乳ユニットとの通信

ミルクタップと接続すると搾乳ユニットに真空と同時に AC24V が供給される。この時，自動離脱装置上部に設けた赤外線 LED が発光し，搬送装置側の受光部によってミルクタップの接続が確認される。左右とも発光を検出できない場合には，一旦バックして再接続される。接続された所に作業者が移動して左右の牛に搾乳ユニットを装着し，２頭同時搾乳が行われる。

自動離脱装置は，搾乳中のミルク流量が設定値以下になると真空を遮断して搾乳を終了し，電動モータにより乳頭からティートカップを引き上げる。同時に離脱完了信号が赤外線 LED により搬送装置制御部に伝えられる。搬送装置は左右両方の離脱完了信号を受信してからミルクタップと切離し，次の牛へ自動的に移動する。

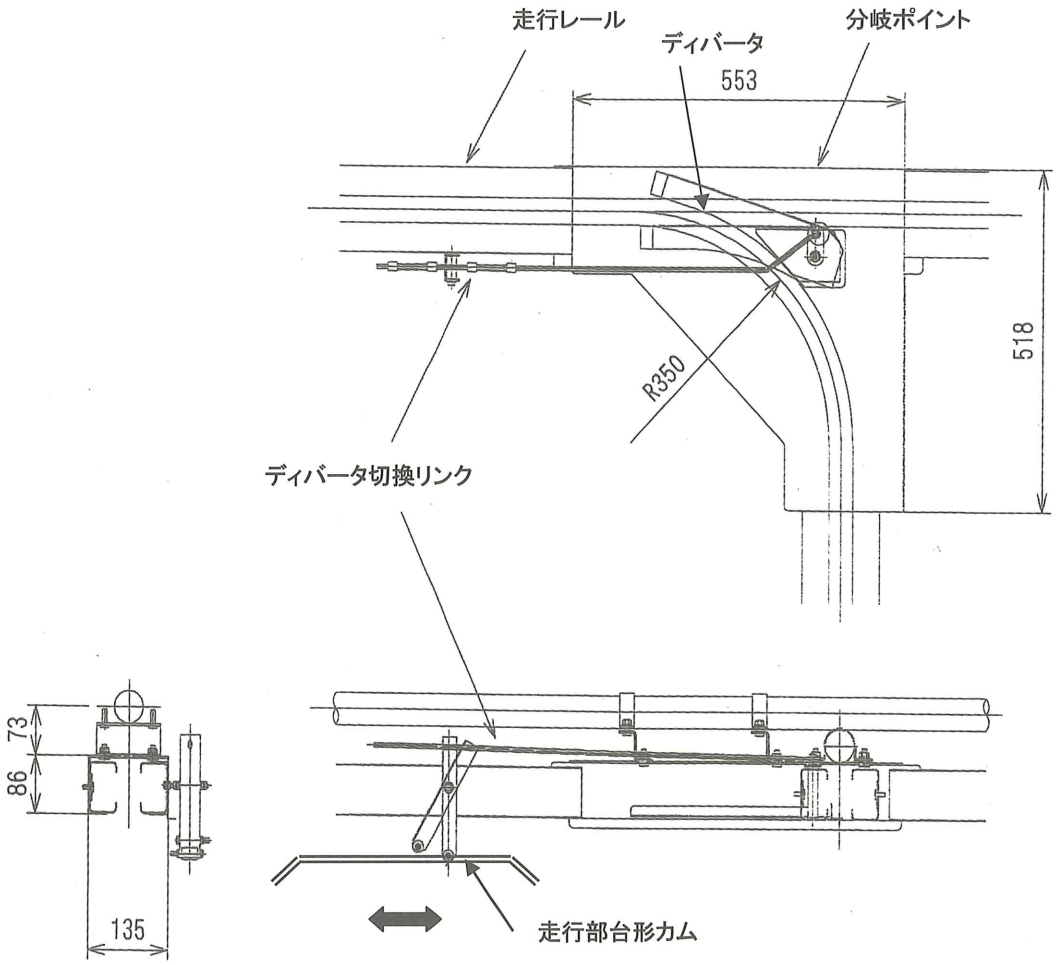


図 5-6 カム・リンクによる分岐ポイント切換え

5．3．5　制御ルーチンと衝突回避システム

制御パネルには，①搾乳・電源切り・帰還の切換スイッチ，②運転ボタン，③停止ボタン，④前進/後退操作ボタンがあり，運転状態が表示できる。「搾乳」に切換えて運転ボタンを押すと，自動運転が開始する。２つの搾乳ユニットを搭載した搬送装置は，ホームポジションから走行レールを通り，進入すべき分岐ポイントを検出後，スイッチバックして配管接続部側から繋留された乳牛間の分岐レールに進入し，ミルクラインの２連ミルクタップと自動接続する（この続きは前項５．３．４を参照）。

基本的制御ルーチンは図 5-2 と同様で，衝突回避システムも１号機と同じく障害物（反射シートを貼付けた他の搬送装置）を検出すると停止し，数秒間待機する方式である。ただし，２号機では検出し易いよう反射シートを側方に広く貼り，検出角度も 14°～62.5°に広げた。停止ボタンを押すと自動運転は中断される。停止ボタンを解除し，運転ボタンを押せばそこから自動運転が再開される。自動運転を中断して手動で前進／後退操作を行うことができるが，その場合は中断した走行工程がスキップされる。

5．3．6　ホームポジション

全ての搾乳が終わり「帰還」側に切り替えて運転ボタンを押せば，ホームポジションに戻り，レール内に設置した AC100V 給電電極から自動充電が行われる。

5．3．7　バッテリ

電源には，パワーアシスト自転車用 NiCad バッテリ 5,000mAh（ナショナル製）を用いた。これを満充電して模擬牛舎（図 5-3）で連続運転を行い，走行可能回数を調べた結果 62～64 回であった。100 頭牛舎換算では満充電後に約 10 回走行可能と算定された。

5．4　模擬搾乳試験

5．4．1　ミルク配管内の最大流量推定

1）試験方法

搾乳ユニット自動搬送システムで想定される搾乳作業パターンにおいて，一定ミルク流量パターンを持つモデル牛を２頭同時搾乳した時の，ミルク配管内の最大流量をシミュレーションによって推定した。

a）　モデル牛のミルク流量パターン

乳牛の高泌乳化を考慮し，搾乳の生理と搾乳によって示される泌乳パターン [40] を参考にモデル牛の搾乳流量パターンを最大流量 4～8L/min の５段階とした（図 5-7）。日乳量換算（２回搾乳）では 23.8，30.8，37.2，43.8，49.4（L/min）に相当する。

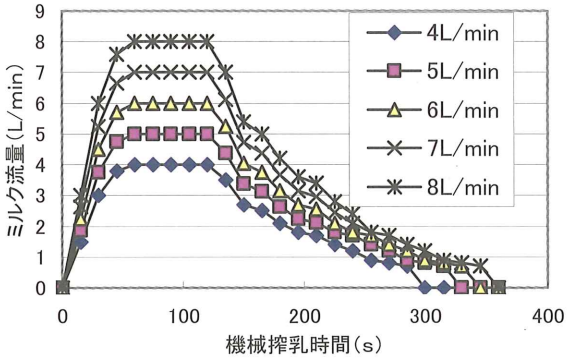


図 5-7　モデル牛のミルク流量パターン

b）作業パターン

ミルク配管内の最大流量に影響を与える，牛舎内ストール列の乳牛の並びと作業パターンを①～④として以下に示す（図 5-8 参照）。

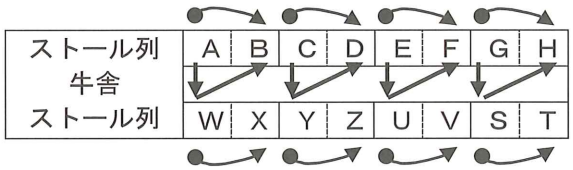


図 5-8　搾乳順序

表 5-3　作業パターンとティートカップ装着インターバル（s）

作業パターン①と所要時間		装着ｲﾝﾀｰﾊﾞﾙ
乳牛A　カップ装着	15	0
乳牛B　カップ装着	15	15
乳牛W　前搾り・乳頭清拭	30	
乳牛X　前搾り・乳頭清拭	30	
乳牛W　カップ装着	15	75
乳牛X　カップ装着	15	15
作業カート移動	15	
乳牛C　前搾り・乳頭清拭	30	
乳牛D　前搾り・乳頭清拭	30	
乳牛C　カップ装着	15	90
乳牛D　カップ装着	15	15
乳牛Y　前搾り・乳頭清拭	30	
乳牛Z　前搾り・乳頭清拭	30	
乳牛Y　カップ装着	15	75
乳牛Z　カップ装着	15	15
作業カート移動	15	
乳牛E　前搾り・乳頭清拭	30	

作業パターン②③④と所要時間		装着ｲﾝﾀｰﾊﾞﾙ
乳牛A　カップ装着	15	0
乳牛B　カップ装着	15	15
作業カート移動	15	
乳牛C　前搾り・乳頭清拭	30	
乳牛D　前搾り・乳頭清拭	30	
乳牛C　カップ装着	15	90
乳牛D　カップ装着	15	15
作業カート移動	15	
乳牛E　前搾り・乳頭清拭	30	
乳牛F　前搾り・乳頭清拭	30	
乳牛E　カップ装着	15	90
乳牛F　カップ装着	15	15
作業カート移動	15	
乳牛G　前搾り・乳頭清拭	30	
乳牛H　前搾り・乳頭清拭	30	
乳牛G　カップ装着	15	90
乳牛H　カップ装着	15	15

対尻式牛舎では，作業パターン①：１人で両側のストール列を交互（乳牛Ａ・Ｂ→Ｗ・Ｘ→Ｃ・Ｄ→Ｙ・Ｚ→）に順次作業（片側ミルク配管に搬送装置２台・４ユニット），作業パターン②：１人ずつストール列を分担し順次作業（片側ミルク配管に搬送装置２台・４ユニット，乳牛Ａ・Ｂ→Ｃ・Ｄ→），及び作業パターン③：同（搬送装置３台・６ユニット，乳牛Ａ・Ｂ→Ｃ・Ｄ→Ｅ・Ｆ→）を想定した。

対頭式牛舎では，同上②③，及び作業パターン④：片側から一周回りに順次作業（片側ミルク配管に搬送装置４台・８ユニット，乳牛Ａ・Ｂ→Ｃ・Ｄ→Ｅ・Ｆ→Ｇ・Ｈ→）を想定した。

ｃ）ティートカップ装着インターバル

作業パターン①～④と搾乳作業手順を組み合わせて，カップ装着インターバルを表5-3に示した。この装着インターバルでモデル牛を搾乳した時のミルク配管内最大ミルク流量を計算した。

所要時間の内訳は，前搾り・乳頭清拭（30ｓ），カップ装着（15s），清拭バケツ等を載せた作業カート移動（15s）とした。乳牛Ａ・Ｂを例に２頭同時搾乳の作業手順は，乳牛Ａ（前搾り・乳頭清拭）・乳牛Ｂ（前搾り・乳頭清拭）の後，乳牛Ａ（カップ装着）・乳牛Ｂ（カップ装着）とした。

２）結果と考察

作業パターン①～④と作業手順でモデル牛を搾乳した場合の，ミルク配管に流れる最大ミルク流量を表5-4にまとめた。また，配管内を層流状態で流れる最大ミルク流量とミルク配管径及び勾配の関係を，一時的空気流入量が100L/min（一般的作業者を想定）の場合についてISO5707より抜粋加除し表5-5に示した。

表5-4　ミルク配管内最大流量推定値

作業パターン ユニット数／配管	モデル牛の最大ミルク流量(L/min)				
	4	5	6	7	8
①１人交互４Ｕ	―	―	15.2	17.6	19.8
②１人連続４Ｕ	13.0	16.3	19.5	22.8	26.0
③１人連続６Ｕ	15.1	19.4	23.0	26.7	30.2
④１人連続８Ｕ	15.1	19.4	23.0	27.4	30.9

表5-5　搾乳中に層流状態が確保されるミルク配管内の最大ミルク流量

ミルク配管 公称内径 mm	最大ミルク流量L/min （一時的空気流入量：100L/min）		
	勾配 0.5%	勾配 0.8%	勾配 1.0%
48.5	10	14	17
60	23	32	38
73	46	62	72

これらの表から２インチ配管（内径48.5mm）１％勾配では，①7L/min，②5L/min，③と④の4L/minまでが適正搾乳可能と見られ，2.5インチ配管（内径60mm）0.8%勾配では，①，②，③，④の8L/minまで適正搾乳可能と見られた。ただし，パイプラインは２ｍを最高点に傾斜するので，パイプラインが長くなる場合や，対頭式で１ラインに８ユニットを２人で使用する場合等，更に厳しい条件での搾乳に備える場合には，３インチ配管（内径73mm）0.5%勾配を選択する必要が生じる。また，200mmピッチのミルクタップで15ｓインターバルの２頭同時搾乳という変則な条件を含むことから，実際にその搾乳インターバルで適正搾乳が可能か否かを確認しておく必要があると考えられた。

５．４．２　模擬搾乳によるミルク配管系の真空度変化測定

１）試験方法

模擬牛舎（16頭対尻式）内に設置した搾乳設備（Ｏ社製ミルカ，２インチミルク配管１％勾配）により，複数の２連ミルクタップを介して表5-3に示した①～④の搾乳インターバルで模擬搾乳試験を実施し，適正搾乳の目安としてミルク配管内真空度（設定60kPa）とミルククロー内真空度（真空２系統，搾乳真空43kPa，送乳真空60kPaに設定）の変化を，搾乳システム動作テスタ（Babson Bros.Co.製）を用いて調べた。

模擬牛としてティートカップを装着できる固定オリフィスを持つ流路開閉バルブ付き水タンク（容量50L）を，重量計（A&D社製）に載せRS-232Cを介して1s毎にパソコンに質量を読込み，流量を計測した。

なお，カップ装着 15s の間に空気流量計を通して 100L/min の一時的空気流入を行った。模擬搾乳試験の概要を図 5-9 に示した。

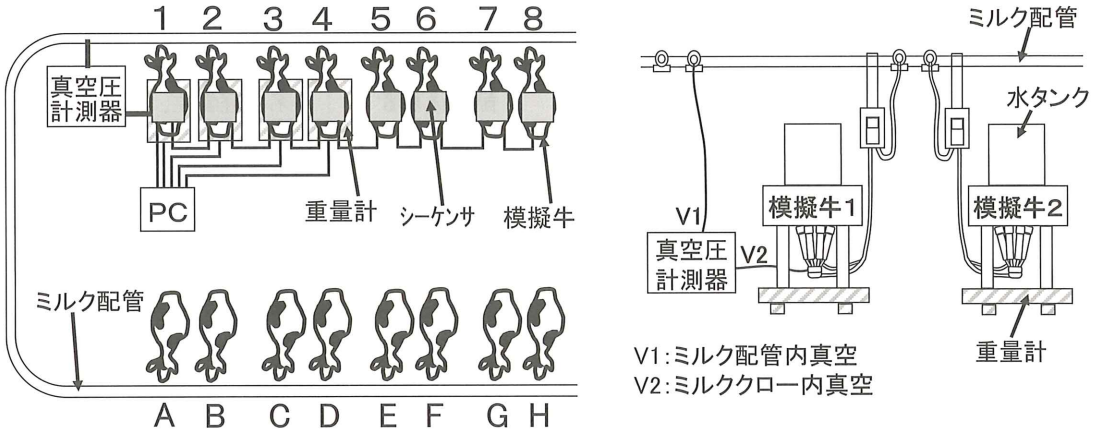


図 5-9　模擬搾乳試験設備の概要

a）片ラインの使用ユニット数と搾乳インターバル

ユニット数と搾乳インターバルは，表 5-3 に示したとおり以下に従った。

① 1U・15s・2U・180s・3U・15s・4U

② 1U・15s・2U・90s・3U・15s・4U

③ 1U・15s・2U・90s・3U・15s・4U・90s・5U・15s・6U

④ 1U・15s・2U・90s・3U・15s・4U・90s・5U・15s・6U・90s・7U・15s・8U

b）模擬牛の流量パターン

最大流量を 3.5，5.0，6.5，8.0，10.0L/min の５段階とし，60s 後に最大流量に達してから 120s まで維持し 300s で終わる台形パターンにパソコンからシーケンサを介して制御した。

２）結果と考察

クロー内真空度は，真空２系統のため全ての条件で 40～43kPa の範囲にあった。ミルク配管内真空度低下の測定結果を表 5-6 に示した。

２頭同時搾乳であっても，２インチ１％勾配のミルク配管内において層流状態とされる 17L/min 程度の流量であれば，ミルク配管内の真空度低下は 2kPa 未満に収まっており，適正に搾乳できることが確認できた。従って，作業パターン別にシミュレーションで推定した最大流量（表 5-4）を，ISO5707 から作成した表 5-5 に照らして配管選定を行っても問題ないと考えられた。

表 5-6　２インチ配管内における最大流量と真空度低下

作業パターン	真空度低下（kPa） ２インチ配管内最大流量(L/min)				
	15～17	17～19	19～21	21～23	23～
①１人交互 4U	0.6	0.9	－	1.3	2.2
②１人連続 4U	0.6	1.5	3.0	3.2	4.3
③１人連続 6U	－	0.9	－	2.6	3.4
④１人連続 8U	2.1	3.4	－	3.4	6.9

5.5　摘　要

1）本システムの１号機を試作し，実験室において連続搬送試験を実施した。

2）その結果，駆動軸の折損，モータの焼付き，分岐ポイント一斉切換え不良が生じた。

3）２号機ではこれらを改良し，ミルクタップ接続を１動作で完了する機構に変更した。また，接続完了確認と再接続機能を加え，搾乳ユニットの自動離脱確認機能を持たせた。

4）２号機を供試し，本システムで想定される搾乳作業パターンで模擬搾乳試験を実施した結果，２連ミルクタップ接続による２頭同時搾乳時の２インチミルク配管内の真空度低下は，ISO5707 で推奨される層流状態での配管内最大流量以下では 2kPa 以内に保持できることを確認した。

第６章　３号機の試作と２・３号機の牧場での評価

６．１　緒　言

これまでに搾乳ユニット自動搬送システムの２号機（図 6-1）を試作する過程で搾乳現場を想定し，実験室内において連続運転試験と模擬搾乳試験を実施してきた。実用化を図るには，本システムを実際の牛舎環境に設置し，毎日の搾乳作業に供試する中で，その有用性や問題点等を把握する必要がある。そこで，モニタとして民間牧場の協力を得，本システムが実際に毎日の搾乳作業に利用できるか否か，どの程度の期間で乳牛や作業者がこのシステムに馴れるか，当初目標とした省力効果が得られるか等の評価を行った。システムの改良は必要に応じて逐次実施した。

６．２　試作２号機の牧場での評価

６．２．１　Ａ牧場の概要

試作２号機を導入したＡ牧場の概要（導入前）を表 6-1 に示す。Ａ牧場の 60 頭収容の対尻式牛舎には３インチのミルク配管が 0.5%勾配で設置されており，適正搾乳が行える配管内最大流量は 46L/min と余裕のある設備である。牛床幅も広く 1.4m を取っており，乳牛の繋留はチェーンタイ方式であった。なお，濃厚飼料自動給餌装置を利用しており，そのための懸架式走行レール（H形鋼）が設備されている。

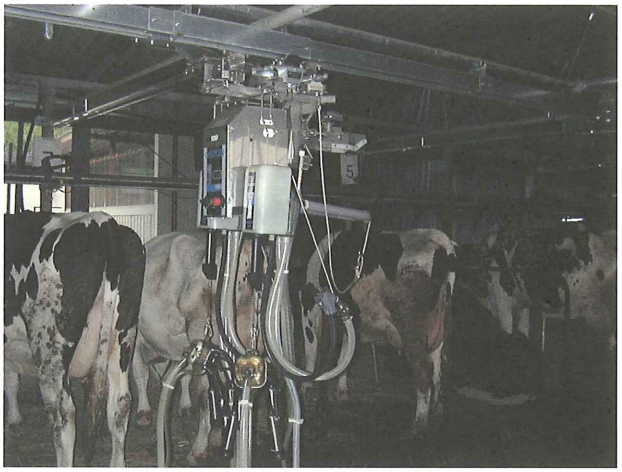


図 6-1　搾乳ユニット自動搬送システム試作２号機

表 6-1　Ａ牧場の概要（導入前）

調査年月日	2002 年３月４日～5 日
酪農従事者	３名、経営主、父、母
飼養頭数	搾乳牛 38 頭、乾乳牛６頭、 育成牛 20 頭
年間出荷乳量	386 t （2001 年）
牛舎	対尻式・60 頭収容、築７年 牛床 1.4m×1.8m 繋留方法：チェーンタイ その他：夏場にミスト噴霧有り
搾乳設備	搾乳機：O社製 真空ポンプ排気量 2,400L/min 真空配管：3in., ミルク配管：3in.，0.5% バルククーラ：2,000L
搾乳ユニット	６ユニット（自動離脱装置付き） レール懸架式による手押し搬送
給餌	分離給与、粗飼料：ロールベール 濃厚飼料自動給餌装置：６回/日
飼料作付け	採草地 10ha、デントコーン 5ha

６．２．２　調査項目及び調査方法

１）導入前の調査

本システムを導入する約３週間前の 2002 年３月４日の夕方搾乳と３月５日の朝搾乳及び直前の３月 26 日の朝搾乳について搾乳作業時間を中心に調査した。搾乳作業者は３名で，レール懸架式の自動離脱装置付き搾乳ユニットを６台（以下，搾乳ユニット台数については単にユニットの呼称を用いることもある）使用していた。その内１名はカートに清拭バケツとタオルを載せて乳頭清拭を専門に行い，各１名が両側に分かれて搾乳ユニットの搬送，ミルクタップとの接続，ティートカップ装着，乳頭消毒を行っていた。

搾乳は，ミルク配管径に余裕があり，搾乳終了後に牛乳処理室へ戻るのに都合がよいという理由で，牛舎奥から牛乳処理室に向う順序で行われていた。

本システム導入後は，通常推奨されている牛乳処理室に近い側から牛舎奥に向かって自動搬送しながら搾乳することになるため，乳牛の馴致を兼ねて３月 26 日朝から搾乳順序が変更された。なお，１頭当たりの平均日乳量は 24～25kg であった。

2）導入後の調査

導入開始1回目の調査では，3月 27 日夕方搾乳と翌日の3月 28 日夕方搾乳から3月 30 日朝搾乳まで，基本的に現場適用可能か，1人で能率的搾乳が可能か，乳牛の反応やトラブルへの対応などを観察した。また，1頭毎の搾乳作業時間についても記録し，導入前と比較した。

約1ヶ月後の4月 30 日夕方と5月1日朝の2回目の搾乳作業調査では，搾乳作業時間を測定すると共に，本システムへの慣れ，問題点等を聞き取った。また，牛が興奮し恐怖心を持つと，乳汁流下ホルモン（オキシトシン）の分泌が抑制され搾乳量が減少する[36]ことから，乳牛へのストレスの目安として，導入4日後，8～11 日後及び 43～44 日後の1頭当たり日乳量の変化を1日の出荷乳量と搾乳頭数より調べた。

なお，牛舎への走行レールや分岐レール及びミルク配管への2連ミルクタップ等の設置は，朝夕の搾乳時間帯の合間に実施し，自動走行や配管接続できる許容誤差範囲への調整確認を乳牛への馴致を兼ねて行い，3月 27 日夕方より搾乳作業を開始した。

A牧場における搬送レールとホームポジション等の牛舎内配置を図 6-2 に示した。

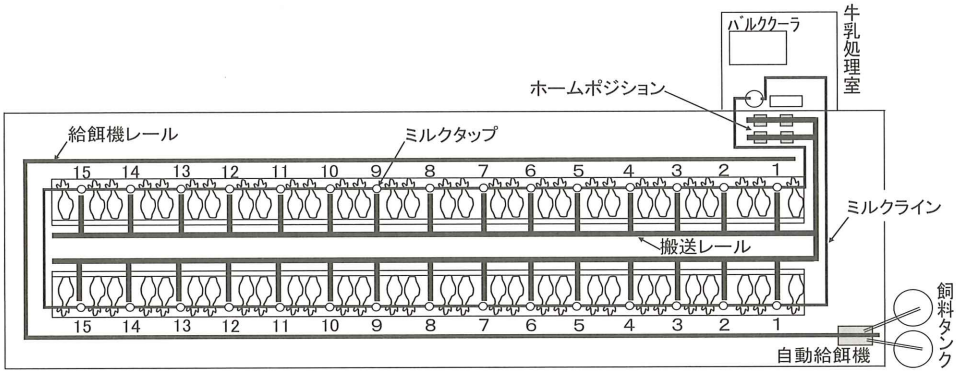


図 6-2　A牧場における試作2号機システムの配置

6．2．3　調査結果と考察

1）作業能率

A牧場における試作2号機導入前と導入後搾乳作業の変化を表 6-3 に示す。導入前は，2～3人で6ユニットを使ってストール1列と2列 38～42 頭の搾乳に対し，搾乳作業時間は延べ時間換算で 95.6～102.1min を要し，作業能率は 17.9～23.1 頭/人･h であった。繁忙時の1人作業では 100min 以上を要したとのことであった。

導入後2，3日目は，1人で8ユニットを使って 38 頭の搾乳に対し，搾乳作業時間は 50.7～56.8min で，作業能率は 41.2～45.0 頭/人･h であった。約1ヶ月後には 46 頭に対し，それぞれ 49.0～55.0min，50.2～56.3 頭/人･h となり大幅な省力化が示された。2人作業では更に余裕が観察され，その分の軽労化が推察された。このように実作業における自動搬送・2頭同時搾乳の効果は，第3章における推定を裏付けた。

2）乳量，搾乳頭数及び機械搾乳時間

試作2号機の導入前後の1頭当たり日乳量の推移を表 6-2 に示す。

乳量レベルは、導入直後から 44 日後までの間，導

表 6-2　試作2号機システム導入前後の1頭当たり日乳量の推移（A牧場）

調査日	導入前*	3/31 夕～4/1 朝	4/5 夕～4/6 朝	4/7 夕～4/8 朝	4/8 夕～4/9 朝	5/9 夕 5/10 朝	5/11 夕 5/12 朝
搾乳頭数	38～42	38	41	42	43	46	46
日産乳量 kg	―	946	1010	1020	1097	1142	1139
日乳量/頭 kg	24～25	24.9	24.6	24.3	25.5	24.8	24.8

＊　2002 年3月 27 日夕導入前1ヶ月の1頭当たり平均日乳量レベルは聞き取りによる。

表 6-3　試作２号機システム導入前後における搾乳作業の変化（Ａ牧場）

		導入前			導入（2002 年 3 月 27 日）後					
調査日		3/4 夕	3/5 朝	3/26 朝	3/28 夕	3/29 朝	3/29 夕	3/30 朝	4/30 夕	5/1 朝
作業人数*1		2.5	2.5	2	1	1	2	2	1	1
使用ユニット数*2		6U	6U	6U	8U	8U	8U	8U	8U	8U
搾乳頭数 A 列／B 列		42 22/20	38 20/18	38 20/18	39 20/19	38 20/18	39 20/19	38 20/18	46 24/22	46 24/22
搾乳作業時間：1 列 (min)　2 列 1 列＋2 列		45.7 49.9 95.6	48.9 53.3 102.1	44.3 54.2 98.5	— — 56.8	— — 50.7	45.1 43.5 88.6	43.8 43.8 87.6	— — 49.0	— — 55.0
搾乳作業能率:頭/人・h		21.1	17.9	23.1	41.2	45.0	26.4	26.0	56.3	50.2
前処理～ｶｯﾌﾟ装着時間別の頭数分布（頭）	～45 s	3	3	26	19	14	24	4	測定せず	測定せず
	46～90 s	5	5	11	20	22	11	32		
	91～180 s	3	3	0	0	2	0	2		
	180～300 s	12	4	1	0	0	2	0		
	301～ s	19	24	0	0	0	2	0		
機械搾乳時間別の頭数分布（頭）	～4 min	11	4	2	17	5	19	10	測定せず	測定せず
	4～5 min	10	4	11	11	12	9	10		
	5～6 min	9	13	9	6	6	4	10		
	6～7 min	7	5	4	0	6	5	3		
	7～8 min	3	2	8	3	4	2	1		
	8～9 min	2	6	2	1	1	0	3		
	9～min	0	4	2	0	4	0	1		
1 頭当たり機械搾乳時間平均値（min）		5.2	6.8	6.0	4.6	5.8	4.5	5.3	—	—

入前と変わりなく推移しており，Ａ牧場では本システム導入に伴うストレスによる乳量への影響は認められなかった。また，導入直後からこの間，搾乳頭数は 38 頭から 46 頭まで徐々に増頭され，2005 年３月には，搾乳頭数 60 頭に増頭されていた。

１頭当たりの機械搾乳時間の平均値は，導入前後の推移で見ると（表 6-3），夕方搾乳では 5.2min から 4.5min へ，朝搾乳では 6.8min から 5.3min へと減少した。これは，表 6-2 より乳量低下によるものではないことは明らかである。乳頭に刺激が加えられるとオキシトシンが１回放出され，乳汁排出反射が起こるが，血中オキシトシン濃度の上昇は 4～5min しか持続しない。乳頭刺激が加えられてから乳汁排出反射が起こるまでには，30～60 秒の潜時がある [36] とされ，搾乳前処理後 1min 以内，乳頭刺激開始後 45～90 s 前後でカップを装着し，搾乳を開始するよう推奨されている。Ａ牧場では自動離脱装置は，これまでも利用されており，搾乳設備本体にも変更はない。従って，機械搾乳時間の減少は，２頭同時搾乳の作業手順に伴い，表 6-3 に示したように前処理による乳頭刺激からカップ装着までの時間が適正化されたことが一因と推察される。

３）動作状況

導入後１回目の調査で，本システムの基本的な性能把握でき，現場適用可能であることが観察された（図 6-3）。搾乳ユニットを左右に搭載した自動搬送装置が分岐に進入する時に，作業者が牛を分ける場面が見られたが，ほとんどの乳牛は自然と左右に避けて装置の自動進入を許容した。乳牛の尾骨にミルクチューブが引っ掛かって１度でミルクタップと接続できず，自動的に一旦戻って再進入した場合があった [34]。ミルク配管は最高点２ｍから勾配を付けており，下流側では分岐レールの地上高が低くなるため，搬送装置の制御

ボックスが乳牛の腰骨に当たって進入不能となる場合があった。これは何度か再発し，今後更に分岐レール地上高が低い条件での使用が想定され，改良が必要と判断した。

図 6-3　試作２号機による搾乳作業の様子

初めての１人作業は，作業者に緊張が見られたが，事前に予想していたよりスムースに行われた。蹴落としによるユニット落下が各搾乳時に２，３度生じたが，癖のある乳牛によるもので導入前にも観察され，作業者は，従前どおり落ち着いて再装着していた。搾乳流量が設定値以下になると搾乳ユニットが自動離脱され，これと同時に赤外線 LED の発光によって搬送装置に伝達される。左右の搾乳が終了すると自動的に次の場所に移動する。１回目の調査では作業者が，乳房の状態から残乳が多いと判断し停止ボタンを押して装置を手動で元に戻し，再度搾乳する場面が数回見られた。しかし，簡易乳量計表示では 0.2kg を上回ることはなかった。１ヶ月後の２回目の調査では，時間の割に効果がなく取り止められていた。作業者は，全般にゆっくりと移動し，動作には余裕が見られた。各搬送装置４台の移動先は，ストール列の奇数番号分岐と偶数番号分岐に決まっており，また，搾乳終了が近づくと警報が行われ，作業全体の進行状況と次に行うべき作業が即座に分かる仕組みとなったためと考えられる。

４）評価と問題点

本システムの取り扱いについては，10 日程度で馴れ，非常に楽になったとの評価を得た。この間，生じたトラブルとしては，ミルクタップとの接続・切り離しがうまくいかない場合や搬送装置同士の衝突による停止があった。ミルクタップとの接続・切離しについては，手で補助すれば作業に支障はなく，衝突の場合も特に故障もなくリセットして作業を続行できるが，確実性を高めて欲しいとの要望があった。改良した３号機と入れ替えるまでの約９ヶ月間使用を続行したが，上記の問題の他に耐久性や破損等に関するトラブルは生じなかった。

６．３　システム３号機の試作

６．３．１　小形化と駆動力の改善

試作３号機の外観を図６－４に，主要諸元を表 6-4 示す。

図 6-4　試作３号機の外観

３号機では，先ず制御部の小形化を図った。第５章で示したように試作２号機のバッテリは 5,000mAh で，満充電によって 100 頭牛舎換算で約 10 回走行が可能であった。満充電で３回以上の走行が確保できれば実作業に支障はないと判断し，バッテリを 1,900mAh とし，高さを 910mm から 600mm，質量を 35kg から 26kg に小形化した。ミルクタップとの接続・切離し動作の確実性を高めるために，減速比を変えて走行モータ回転速度を落として駆動力を 20％増した。また，衝突回避については，反射シートの貼付面積を増大させた。

表 6-4 搾乳ユニット自動搬送システム３号機の主要諸元

走行レール		許容負荷	2,700kN 中央集中荷重
		分岐方法	識別ドグ カム･リンク式ポイント切換
搬送装置本体	走行部	走行方式	レール内車輪１軸駆動 案内ローラ操向
		駆動部	電動モータ 30W DC24V×1 ギヤボックス平歯車３枚直列
		走行速度	H：0.25m/s、L：0.2m/s
	配管接続部	２連タップ	ミルクタップ間隔：200mm
		接続配管等	２回路（真空、搾乳）、AC24V
	制御部	シーケンス制御	走行制御、分岐検出 障害物検出、配管接続制御
	電源	ニッケル 水素電池	DC24V　1,900mAh
	幅×奥行×高さ(mm)		500×750×600
	質　量		26kg
搾乳ユニット		電動式自動離脱装置付	２ユニット
ホームポジション			充電装置付き

６．３．２　可動ドグの試作

これまで 50 頭規模の対尻式牛舎を想定し，自動搬送装置４台を２本の走行レールに２台ずつ利用する場合に対応してきた。分岐識別ドグはレール上のオフセット位置によって奇数番号（１，３，５，‥），偶数番号（２，４，６，‥）を識別し，自動搬送装置は，走行部のドグ検出リミットスイッチの位置によって決まった分岐に進入する仕組みであった。しかし，走行レール上に３台以上を使用し，各搬送装置の分岐進入位置を固定すると，３台では１，４，７，･･･と２つ飛ばしに，４台では１，５，９，･･･と３つ飛ばしの移動となる。搾乳中の乳牛観察範囲は，搬送装置２台の場合，分岐レール１・２の並びが２から４への移動によって１－４と離れても８頭分であるのに対し，３台では１・２・３から１・２－６の配置になると 12 頭分，４台では１・２・３・４から１・２・３－８の配置になると 16 頭分に広がることになる。北海道農業開発公社の調査[39]では，搾乳作業範囲は 10 頭分の距離が限界という見方が示されている。

試作した可動ドグ（図 6-5）は，分岐ポイントへの進入履歴の有無をメカ的に示すものである。搬送装置側が検出する時に可動ドグを倒し，スイッチバックして分岐に進入する。分岐から退出する時にはそのドグは倒れているので再進入はしない。ドグが倒れている分岐は進入履歴有りで，搬送装置は通過してドグの立っている分岐ポイントを検出して進入する。可動ドグによって作業者の乳牛観察範囲は，走行レール上に３台の場合で１・２－４と８頭分に，４台の場合でも１・２・３－５と 10 頭分に収めることができる。なお，全ての可動ドグは搬送装置が帰還する時に未進入位置にリセットされる。

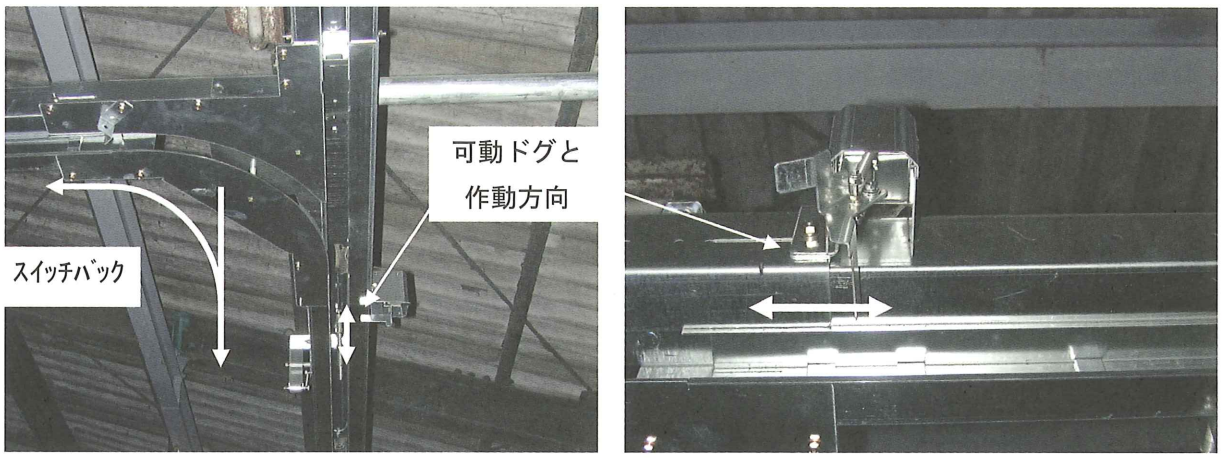


図 6-5　分岐に設けた可動ドグ

6．4　試作３号機の牧場での評価

Ａ牧場に加え，試作３号機を４箇所の民間牧場Ｂ，Ｃ，Ｄ，Ｅに導入し，モニタとしての協力を依頼した。ここでは，導入前後の牧場概要と搾乳作業状況及び本システムに対する酪農家の評価を調査した。

6．4．1　調査項目及び調査方法

調査項目は，①牛舎方式，②牛床数（収容頭数），③搾乳設備（ミルク配管径等），④飼養規模（経産牛頭数，搾乳牛頭数），⑤通常時作業人数，⑥使用ユニット数，⑦ユニット運搬方式，⑧カップ離脱方式，⑨設置に伴う牛舎改造，⑩１頭当たり機械搾乳時間，⑪搾乳作業時間（通常時，１人作業時），⑫搾乳作業能率（通常時，１人作業時），⑬本システム動作状況，⑭慣れに要した期間，⑮酪農家の評価等であるが，この他，参考データとして導入前後の出荷乳量と乳質を調査した。調査期間は，基本的に導入前１ヶ月頃から導入後 2004 年３月まで，調査は，導入前，導入直後，導入１ヶ月後，それ以降，暑熱時，６ヶ月後等，適宜実施した。

調査方法は，各牧場において搾乳作業に立ち会い観察，作業時間計測，ビデオカメラ２台による牛舎両側からの作業記録，乳量・乳質検査記録の閲覧及び酪農家への聞き取りによった。また，導入時期が新しいＥ牧場については，労働負担の指標として導入前後の歩行距離と安静時からの心拍数増加率を，歩行軌跡測定器（加速度計と地磁気方位センサの併用方式，測定精度±10%，㈱シリコンセンシングシステムジャパン製）とスポーツ心拍計（生理的緊張と運動の激しさの度合いを示す，トランスミッタ・リストレシーバ記録間隔 5s，測定精度±1%，ポラールエレクトロ社製）を作業者の腰と胸部に装着して調査した。さらに同様に参考データとして，対頭式牛舎（収容頭数 50 頭）で懸架式ミルカ６ユニットを使って１人で搾乳しているＷ牧場について搾乳作業を調査し，Ｅ牧場と比較した。

6．4．2　調査結果と考察

調査牧場の設置後のレイアウトと作業の様子を図 6-6～図 6-10 に示した。また，調査結果の概要を表 6-5 に示した。

1）牧場概要

Ａ牧場については，前述の通り 2002 年３月末より試作２号機をモニタ導入しており，同年 12 月に試作３号機に置き換えたが，継続して耐久性を見るため走行部は試作２号機のまま残した。寒冷地北海道のＢ牧場は，既設の牛舎（改築後 30 年，収容頭数 54 頭，対尻式）から新築牛舎（収容頭数 72 頭，対尻式）への移行に合わせたモニタ導入であり，粗飼料と濃厚飼料を同時に給餌できる自動給餌装置も装備している。その他の牧場では，既存牛舎（築７～28 年）への適用となり，導入時の牛舎の改修としては，新潟県Ｃ牧場と福島県Ｄ牧場では間柱の一部撤去が行われた。ミルク配管を含め搾乳設備を更新したのはＣ牧場（1982 年導入機の更新）と栃木県Ｅ牧場（1983 年導入機の更新）である。通常時（牧草収穫・調製時期と重なる繁忙時や酪農ヘルパー等を利用しない時）の搾乳作業人数は，Ａ，Ｂ，Ｅ牧場が３人，Ｃ牧場が２人，Ｄ牧場が１人で，各牧場とも内１人は女性であった。特にＤ牧場は作業者が女性１人で，毎搾乳時にミルクタップとの着脱の都度，乳牛間を仕切る隔柵（高さ約 1m）への登り降りが行われており，自動接続ができる本システムへの期待が高かった。導入前の使用ユニット数はＡ，Ｂ，Ｃ牧場が６ユニット，Ｄ牧場が２ユニット，Ｅ牧場は４ユニットで，概ね１人当たり２～３ユニットの範囲にあった。ユニット運搬方式は，Ａ牧場が懸架式ミルカによる手押し搬送，Ｃ牧場がカートに載せて運び，その他は作業者が担いで運んでいた。ティートカップの離脱については，Ａ牧場が自動離脱装置を使用していた他は，作業者が観察により搾乳終了を判断し手で離脱していた。

導入後の使用ユニット数は，Ｄ牧場の搬送装置２台４ユニットの他は，各牧場とも搬送装置４台８ユニットとなった。Ｅ牧場は，対頭式牛舎（収容頭数 40 頭）で導入前は二手に分かれて作業していたが，経営主の要望により，導入後は片側から搬送装置４台８ユニットを使用して，牛舎内を一周する形で順次搾乳を行うこととなった。そこで搾乳作業範囲を 10 頭までの距離に収めるため，可動ドグを採用した。

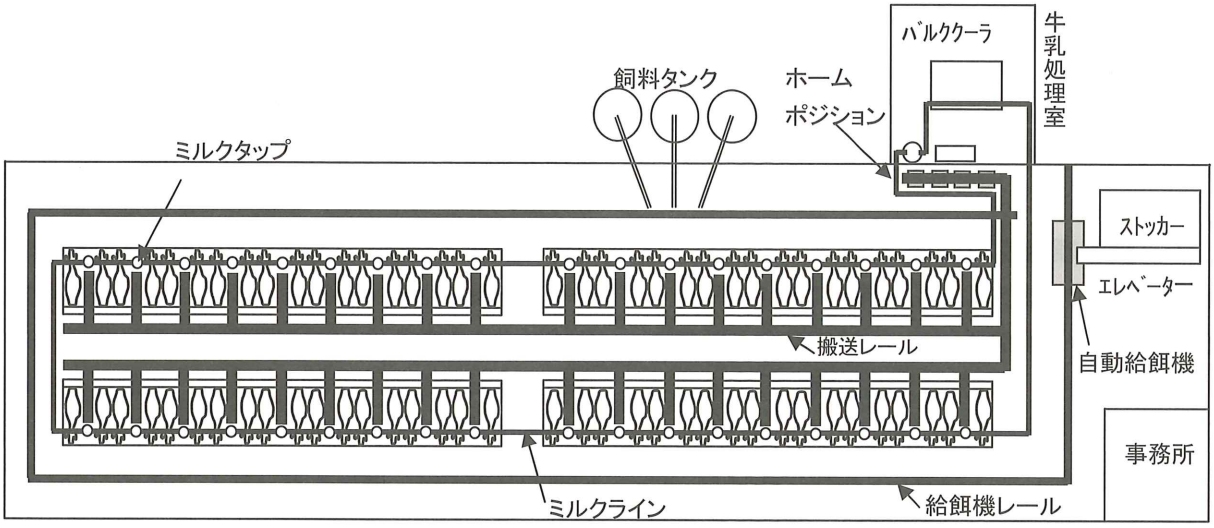


図 6-6　B牧場のレイアウト

図 6-7　B牧場での搾乳ユニット自動搬送・２頭同時搾乳の様子

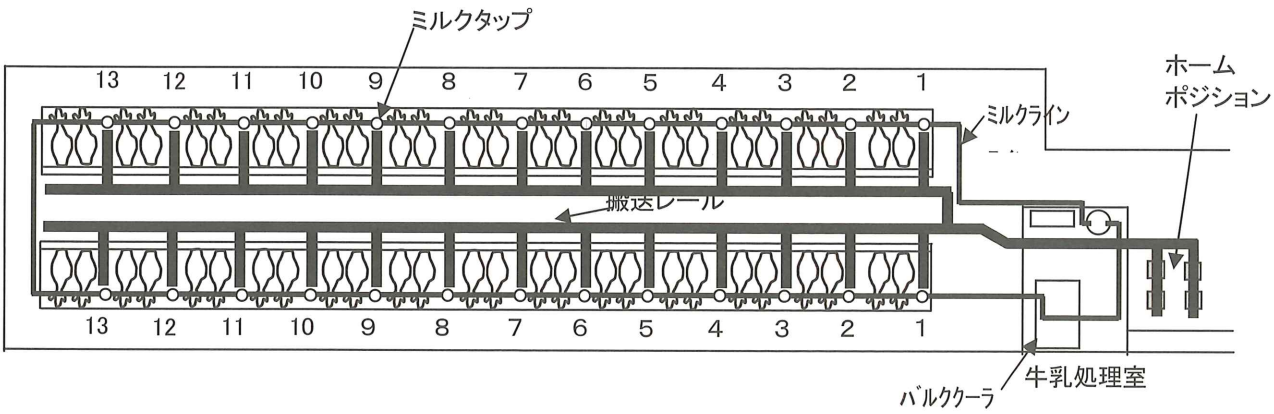


図 6-8　C牧場のレイアウト

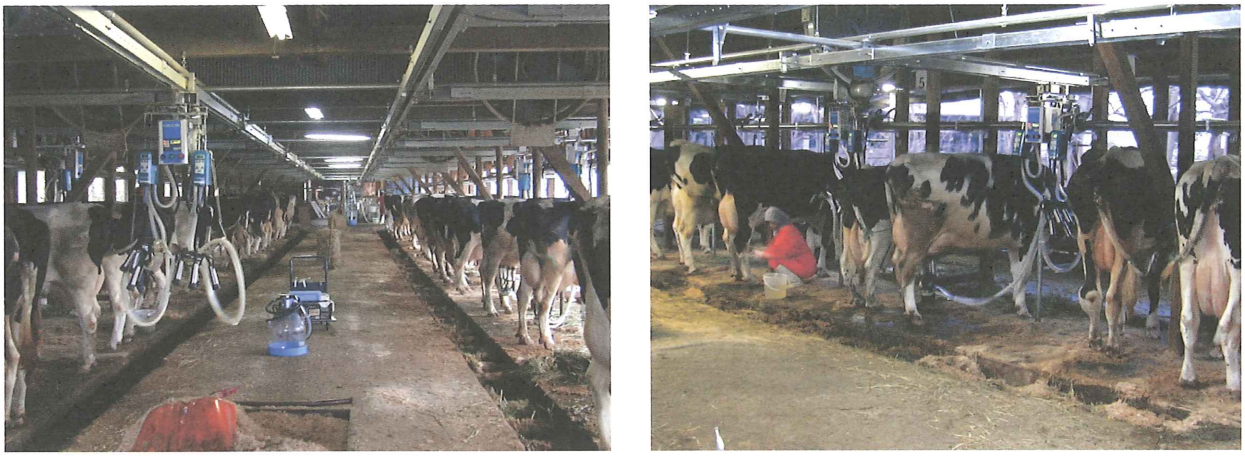


図 6-9　C牧場での搾乳ユニット自動搬送・２頭同時搾乳の様子

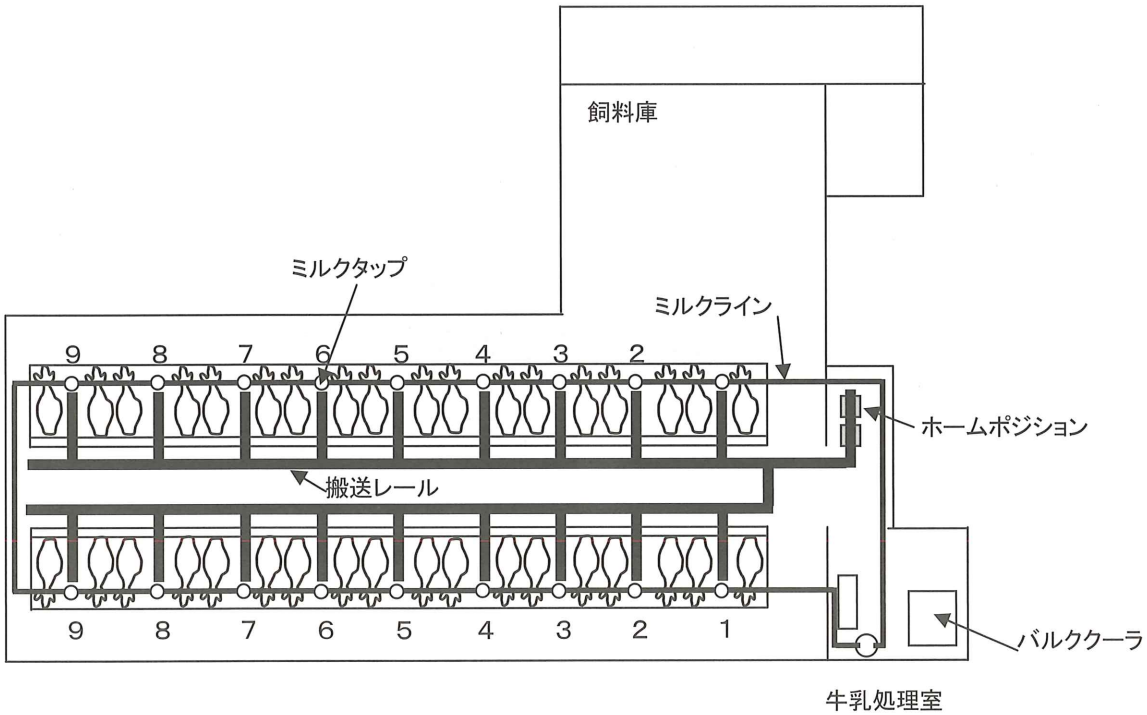


図 6-10　D牧場のレイアウト

２）本システムの動作状況

本システムは，各牧場において基本的に実作業上問題なく動作した。試作２号機で見られた搬送装置の制御ボックスが乳牛の腰骨に当たることによる進入不能は解消された。図 6-7，図 6-9，及び図 6-12 に搾乳ユニット自動搬送装置の走行状況と搾乳作業の様子を示した。ただし，駆動輪に付着した埃により推進力が低下し，ミルクタップとの接続・切離しが不調となり，自動再トライ動作や作業者の補助を必要とする場面が観察された。これについては，ミルクタップ側の調整による着脱抵抗の低減と分岐レールの一部に摩擦材を取り付けることにより解決の見通しを得た。

障害物検出は，揺れる走行部に光電センサを設置しているため完全ではなく，希に接触停止が生じた。リセットして続行可能なため実作業上問題とされなかったが，これについては，センサ数を増やすなど検出範囲を広げる等の対応が必要と考えられた。

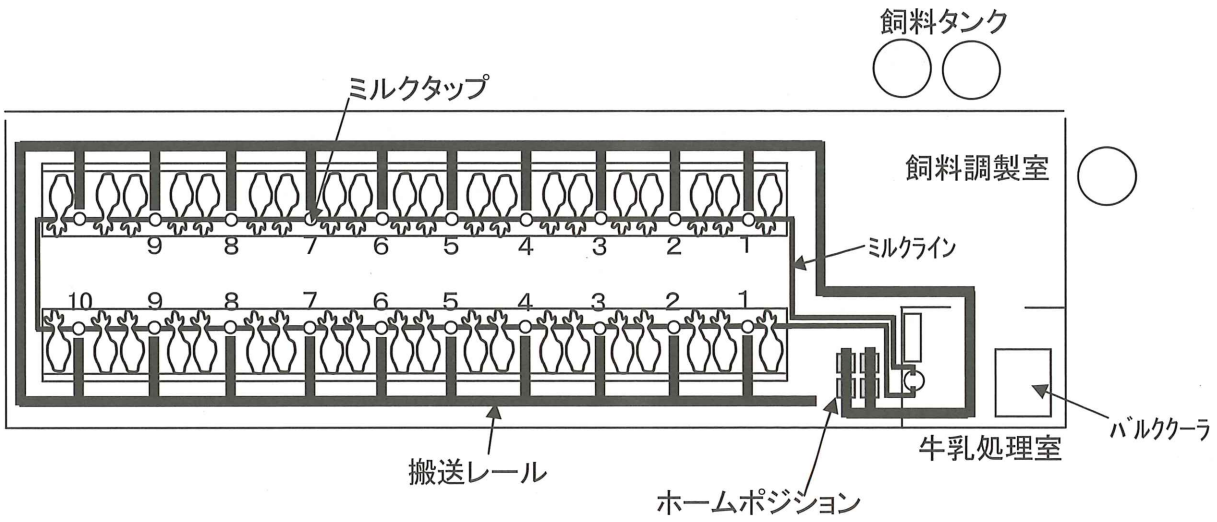


図 6-11　Ｅ牧場での牛舎レイアウト

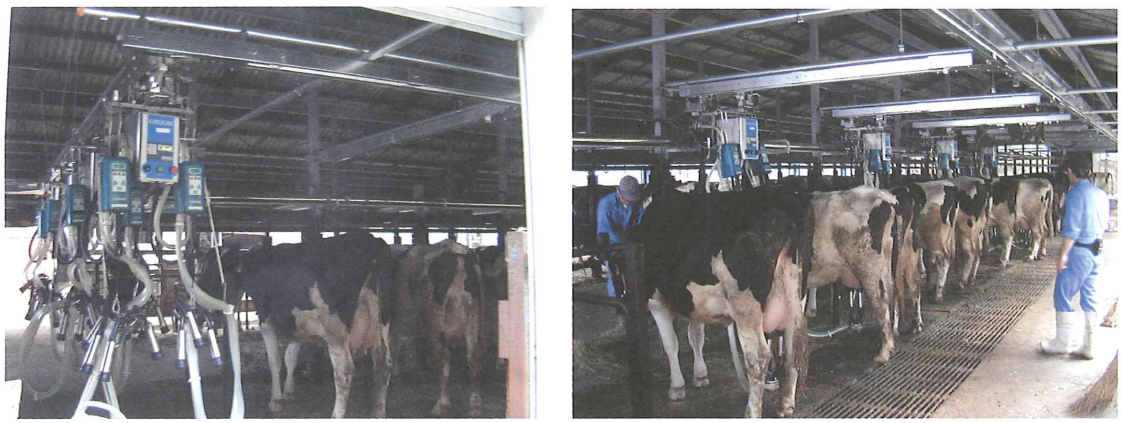


図 6-12　Ｅ牧場での搾乳ユニット自動搬送・２頭同時搾乳の様子

３）本システムへの馴れ

牧場間で差はあるが，作業者は 10 日～４週間程度で本システムに馴れていた。この差は主に自動離脱装置の使用経験の有無によると考えられた。全ての牧場で，使用経験のある酪農ヘルパーは，前日夕方に操作を説明して搾乳作業を見せれば，当日の朝搾乳から自分で操作し搾乳できたとのことであった。なお，Ｂ牧場では，増頭のため初産牛が多く自動離脱を手動に切り換えて使うケースが目立っていた。ただし，全体として見れば，馴れる前の段階においても搾乳作業は比較的スムースに進行していた。

大方の乳牛は，２～３日程度で自動搬送装置が尻側から分岐レールへ進入するのと協調して左右に待避し，装置の進入・退出路は，ほぼ毎回確保されることが再確認された。なお，導入初期には一部乳牛の左右への待避が遅れる場合に，自動再トライ動作や作業者の補助が観察された。

４）搾乳作業

ａ）１頭当たり機械搾乳時間

牧場Ａ，Ｃ，Ｅの導入前と導入後約１ヶ月のデータを比較すると，１頭当たり機械搾乳時間は，概ね 1～2min 減少し，乳頭への負担軽減効果が期待された。これは，試作２号機を導入したＡ牧場で考察した２頭同時搾乳の作業手順に伴う乳頭刺激からカップ装着時間の適正化による効果に加え，ミルク配管径の適正化

に伴う搾乳真空度の安定や自動離脱装置利用の相乗効果と考えられた。

b）搾乳作業人数と搾乳作業時間

通常時の搾乳作業人数は，E牧場が３人から２人に減少した例を除き変化はなかった。ただし，搾乳作業時間を搾乳牛頭数の変化と対比してみると省力効果が分かる。また，繁忙時や緊急時に行われる１人作業での搾乳作業時間は，導入後概ね半減した。

c）搾乳作業能率

見方を変えて，通常時の搾乳作業能率を導入前後で比較すると，使用ユニット数の増加にほぼ比例し，また，ティートカップ離脱の自動化による効果で，１時間当たりの搾乳頭数が増加した。１人作業では１時間当たりの搾乳頭数は概ね目標とした 50 頭前後となり，導入前と比較して２倍以上の能率で作業ができることが分かった。

表 6-5 牧場における試作３号機システムの評価結果

牧場		長野県A牧場	北海道B牧場	新潟県C牧場	福島県D牧場	栃木県E牧場
牛舎方式		対尻式（築７年）	対尻式（築 30 年）	対尻式（築 21 年）	対尻式（築 28 年）	対頭式（築 26 年）
牛床数		60 床	54 床→72 床	53 床	36 床	40 床
繋留方法		チェーンタイ	チェーンタイ	ロープタイ	ロープタイ	ロープタイ
牛舎改造		－	新築	間柱を一部撤去	間柱を一部撤去	－
設置年月		02 年３月，12 月	02 年 10 月	02 年 11 月	02 年 12 月	03 年５月
ミルク配管径		3in	2in → 2.5in	2in → 2.5in	2in	2in → 3in
搾乳牛頭数		38 頭 → 50 頭	43 頭 → 60 頭	38 頭 → 39 頭	33 頭 → 34 頭	38 頭 → 40 頭
通常時の作業人数		３人 → ３人	３人 → ３人	２人 → ２人	１人 →１ 人	３人 → ２人
使用ユニット数		６U → ８U	６U → ８U	６U → ８U	２U → ４U	４U → ８U*1
ユニット運搬		手押し → 自動	担ぎ → 自動	カート → 自動	担ぎ → 自動	担ぎ → 自動
カップ離脱方式		自動 → 自動	手 → 手動*2	手 → 自動	手 → 自動	手 → 自動
１頭当たり*3 機械搾乳時間	夕	5.2min → 4.5min	－	6.2min → 4.2min	－	5.4min → 4.1min
	朝	6.8min → 5.3min		－		5.9min → 4.5min
搾乳作業時間	通常時	50min → 46min	82min → 84min	54min → 37min	84min → 62min	63min → 42min
	１人作業	100min*4 → 57min	－	120min*4→52min	同上	120min*4→ 54min
作業能率（搾乳頭数/h）	通常時	46 頭 → 65 頭	31 頭 → 43 頭	42 頭 → 63 頭	24 頭 → 33 頭	36 頭 → 54 頭
	１人作業	23 頭 → 53 頭	－	19 頭 → 42 頭	同上	19 頭 → 40 頭
慣れに要した期間*4		10 日～２週間	４週間程度	10 日程度	２週間程度	３週間程度
酪農家の評価*4		☆搾乳が楽しくなった。 ☆つらかった牧草収穫・調製後の搾乳も平気になった。	☆のんびりと思い通りに搾乳できる。 ☆牛舎一杯に増頭する予定。	☆大変楽で，以前のしんどさを思い出せない。 ☆酪農ヘルパーも大層喜んでいる。	☆タップとの着脱に隔柵の登り降りが無くなり，大変楽になった。膝痛も治った。	☆１人でも搾れるのが良い。 ☆他作業にも余裕ができた。 ☆牛舎を新築しても装置を使いたい。

*1：可動ドグ使用，１人作業時は６U；　*2：自動離脱装置を手動に切り換えて使用；
*3：設置後，約１ヶ月のデータ；　*4：聞き取りによる。

5）乳量・乳質

今回の調査では，本システム導入に伴う，乳量・乳質の低下は認められなかった。

6）耐久性

2004 年２月時点で，５牧場において設置後８ヶ月～１年９ヶ月以上毎日の作業で使用しているが耐久性不良による故障は発生しておらず，順調に稼動を続けている。ただし，駆動輪の摩耗や分岐ポイントのディバータ開閉動作，あるいはバッテリなど長期使用による劣化が予想される箇所については保守点検・交換が必要となると考えられる。

7）労働負担

表 6-6 にＥ牧場における導入前後の労働負担の変化を示す。Ｅ牧場は対頭式牛舎であるため，導入前は作業者①と作業者②，③が片側ずつに分かれて作業をしていた。搾乳ユニット自動搬送システム導入後は，一方から牛舎を一周する形で両側を搾乳することとなった。２人作業時には，作業者②は搾乳前処理だけを行った。作業者①に着目してみると，導入前の片側作業時の歩行距離（夕 735m，朝 1,007m）と比較して，導入後の両側作業時の歩行距離（２人作業時：夕 570m，朝 467m，１人作業時：夕 777m，朝 877m）は，ほぼ半減したと言える。また，参考データとして調査したW牧場の対頭式牛舎における１人作業時（手押しの懸架式ミルカ６ユニットを用いて一方から牛舎を一周）の歩行距離は，搾乳頭数を 36 頭として換算して，夕 1,394m，朝 1,280m とＥ牧場１人作業時の 1.5～1.8 倍となった。搾乳作業時間も搾乳頭数換算で 1.5～1.8 倍となっていた。

心拍数増加率は，体力や生理的緊張などに個人差があり，直接比較は適切ではないと考えられることから，参考値として示す。また，W牧場調査時には，通常は測定結果より 15～20min 程度余計に時間をかけてゆっくり作業するとのコメントがあり，今回の心拍数増加率は普段より高くなったと判断された。なお，Ｅ牧場での搾乳作業では，心拍数増加率も比較的低く，導入後の労働負担は小さいと推定された。

表 6-6　搾乳ユニット自動搬送システムの搾乳時における作業負担軽減効果（Ｅ牧場）

	牛舎	牛床数	作業人数	使用ユニット数	運搬方式	搾乳頭数	搾乳作業時間 (min)	歩行距離 (m)	作業時／安静時 心拍数 (min^{-1})	心拍数増加率 (%)
Ｅ牧場	対頭式	40	3*1	4	担ぎ	夕 38 朝 38	61 70	735 705 839 1,007 752 1,027	測定せず	―
			2	8	自動	夕 38 朝 38	40 43	570 310 467 374	80/70 ― 79/73 89/76	14.4 ― 8.0 16.8
			1	6	自動	夕 36 朝 36	49 59	777 877	96/75 86/75	28.1 14.7
W牧場	対頭式	50	1*2	6	手押し	夕 47 朝 46	112 110	1,820 1,635	105/67 95/64	57.3 48.5

*1：Ｅ牧場の導入前は作業者①と②，③が二手に分かれて作業、自動搬送導入後は一方から牛舎一周。
*2：W牧場のデータは、Ｅ牧場の導入後（１人作業）との比較参考データとして示す。

8）酪農家の評価

表 6-5 の下欄に示したとおり，「搾乳作業が大変楽になった。」，「搾乳作業が楽しくなった。」など実用性を含め，総じて高い評価が得られた。

6.5　摘　要

1）試作２号機を民間牧場に設置し，搾乳作業に用いて実用上の問題点と作業能率を調査した。その結果，自動搬送・２頭同時搾乳により１人１時間で 40～53 頭と，慣行の約２倍の効率的作業が可能であることを示し，第３章における推定を裏付けた。

2）試作３号機を計５箇所の民間牧場にモニタ導入し，以下の結果が示された。

a）乳牛と作業者は，本システムの導入後 10 日～４週間で馴れた。

b）導入に伴う乳量・乳質の低下は認められなかった。

c）１頭当たりの機械搾乳時間が 1～2min 短縮され，乳頭への負担軽減効果が期待された。

d）作業時間や作業負担は削減され，作業者の本システムに対する評価は実用性を含め総じて高かった。

第７章　今後の展開方向

７．１　緒　言

家族経営における飼養規模拡大に伴う労働過重の解消をねらいとして，誰もが使える省力的な搾乳システムの開発を進めきた。一方で高泌乳牛の多頭飼養は，これまでの経験と勘による個体管理を難しくしており，今後の展開方向としてデータに基づく個体精密管理が必要となってくる。第２章の調査結果（図 2-25）に示したとおり，繋ぎ飼い用パソコン管理システムへの関心は，67％と非常に高かった。

本システムにより個体毎の乳量データを収集して管理用パソコンに転送し，給餌モデルを介して個体別給餌装置と連動させるシステムへの高度化が今後の目標となる。ただし，新たな展開には，本システムと自動給餌装置の普及が前提となる。

７．２　普　及

本システムは，第６章で実証試験を実施したモニタ牧場での実用性評価が高かったことから，2003 年 10 月より本格的に導入が始まり，調査によると表 7-1 に示したとおり 2005 年４月現在，約 100 牧場で稼働している（2008 年９月現在，約 220 牧場に普及，内半数は北海道で約 2/3 に自動給餌機が併設）。

表 7-1　搾乳ユニット自動搬送システムの普及状況（2005 年４月現在）

牛舎規模	導入牧場数（内北海道）	自動給餌装置併設数	自動搬送装置台数
～48 頭	25　（2）	2	2～4 台
50～72 頭	41　(17)	6	4 台
80～120 頭	38　(33)	25	4～6 台

自動搬送装置の台数は牛舎規模に応じて増減可能で，本システムは牛舎規模 48 頭以下から 80～120 頭規模まで幅広く導入されている。約半数は北海道であるが，飼養規模の大きい側に偏っており，80 頭以上では３戸に２戸の割合で自動給餌装置が併設されている。既存設備や繋ぎ飼いの経験を活用でき，導入後の個体乳量の減少が聞かれないという安心感も，作業者に精神的なゆとりを与えている。なお，牛群検定の未加入の理由は，手間がかかるという理由が多いが，２頭同時搾乳であるから慣行の半分の時間で終了する等，牛群検定作業における負担軽減効果も大きい。

また，2005 年３月に農林水産省により策定された第５次「酪農及び肉用牛生産の近代化を図るための基本方針」では，生産段階におけるコスト低減や省力化の推進等による経営体質強化が謳われている。その中で，“酪農経営においては，飼養規模や飼養管理方式に応じて，自動給餌機のほか搾乳ロボットや搾乳ユニット自動搬送装置等の新しい飼養管理技術の普及を推進するとともに，自給飼料の生産拡大や放牧利用など土地利用型酪農を推進するほか，法人化の推進，牛群検定情報の活用による生産性や乳牛能力の向上，サービス事業体等の活用による作業の外部化を図る等，多様な経営形態に応じた生産コストの低減や省力化を推進する”としている。

第５次「酪農及び肉用牛生産の近代化を図るための基本方針」の酪農経営指標における，立地条件別に目標とされる飼養規模（経産牛）と飼養管理方式を表 7-2 に抜粋して示す。

表 7-2　「酪肉近」酪農経営指標－立地条件別の飼養規模と飼養管理方式[49]（抜粋）

土地条件の制約が小さい地域（主として北海道）				土地条件の制約が大きい地域（主として都府県）			
牧草地主体	牧草地主体	牧草地主体	畑主体	畑又は水田	畑又は水田	畑又は水田	畑又は水田
家族	家族	家族	法人	家族	家族	家族	法人
60 頭 繋ぎ・ＰＬ	80 頭 繋ぎ・ＰＬ	120 頭 ﾌﾘｰｽﾄｰﾙ・ＭＰ	250 頭 ﾌﾘｰｽﾄｰﾙ・ＭＰ	40 頭 繋ぎ・ＰＬ	80 頭 繋ぎ・ＰＬ	120 頭 ﾌﾘｰﾊﾞｰﾝ・ＭＰ	200 頭 ﾌﾘｰﾊﾞｰﾝ・ＭＰ

注）表中、ＰＬ：パイプラインミルカ、ＭＰ：ミルキングパーラを示す。

北海道，都府県ともに 80 頭規模では，繋ぎ飼いパイプラインミルカ方式が示されている。ちなみに，第４次「酪農及び肉用牛生産の近代化を図るための基本方針」の酪農経営指標では，北海道の 80 頭規模と都府県の 60 頭規模はフリーストール・ミルキングパーラ方式が推奨 [49] されていた。このように本研究で取り組んだ搾乳ユニット自動搬送システムを利用した繋ぎ飼養の高度化モデルは，これからの新たな選択肢として認知されつつある。

７．３　本システムをベースとした乳牛精密飼養管理

本システムでは，搾乳ユニットが自動的に各搾乳牛にアプローチしていく機能を有している。毎回の搾乳作業時に個体毎の乳量データを収集する機能を付加し，管理用パソコンの給餌モデルを介して個体別給餌装置と連動させる精密飼養管理 [52)54)] が今後の目標となる。図 7-1 に構想イメージ図を示した。日常管理データとしての乳量計測・記録は，個体産乳量の把握や乾乳時期の決定，健康上の異常等の発見，淘汰牛の選別などにも有用であるが，繋ぎ飼いでは自動記録の手段がないため開発課題の一つとなっている。乳汁から異常診断できるインラインセンサ等の搭載や発情発見用センサの併用など高機能化も課題としている。また，電子記録による飼養管理データベースは，生産履歴情報となる意味でも重要である。

７．４　牛体情報モニタリングシステムへの展開

2003 年度より開始した，次世代型農業機械等緊急開発事業において，図 7-1 に示した構想イメージを具体化するための基本システムとして，搾乳ユニット自動搬送装置と自動給餌機を装備する繋ぎ飼い牛舎に，IT を活用することによって，日常的に自動収集・電子記録される乳牛の個体情報に基づく乳牛飼養管理システムの開発に取り組んできている。搾乳ユニット自動搬送装置を使った２頭同時搾乳の中で，各個体の乳量データを自動収集し、データを統合管理するパソコン（牛舎ＰＣ）に送信する。牛舎ＰＣでは，収集乳量データに応じた給餌表を作成し自動給餌機に送信する。自動給餌機は，乳牛を個体識別して，乳量に応じて給餌する。この時の飼料給与メニューは、経営主の了解を得て、基本的に導入牧場で使われているものを個体別給餌モデルとして踏襲する。また，牛舎ＰＣでは、酪農家の頭の中にあるような牛舎イメージでデータを自動的に統合管理する。牛舎イメージのデータベースには，飼養管理に必要なデータ（繁殖管理データなど）を入力して統合管理でき，乳牛アイコンをクリックすれば，詳細な飼養管理データに展開でき，また元の牛舎イメージに簡単に復帰できる。牛舎－乳牛（飼養管理・地図）のナビゲーションシステムとして，第３者も分かり易くデータを参照し，飼養管理状況に対する理解を共有できるシステムとする。これをベースに今後，有用な機能を組み込んでいく。これらが基本コンセプトである。

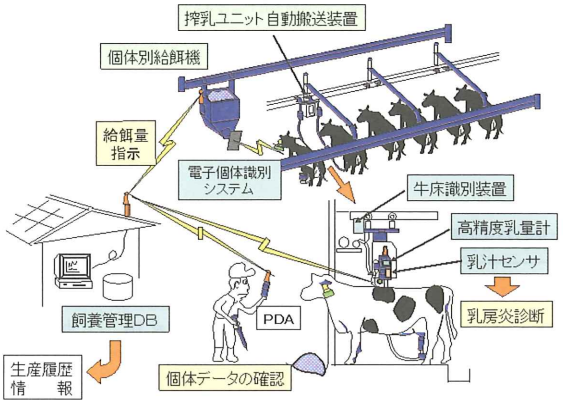


図 7-1　繋ぎ飼養における精密飼養管理システム（構想イメージ図）

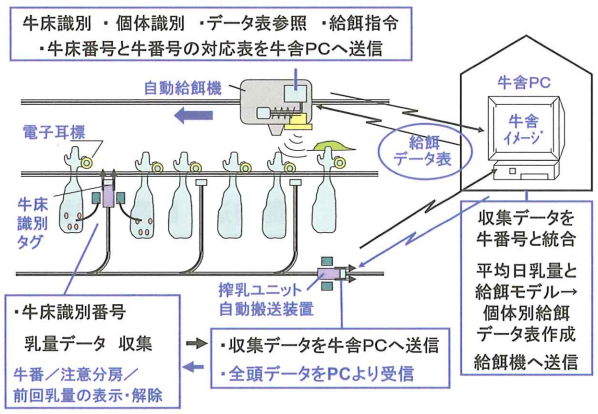


図 7-2　ＩＴを活用した乳牛飼養管理システムの概要構成

このＩＴを活用した乳牛飼養管理システム（図 7-2）は，牛床識別タグを取り付けた牛舎，電子耳標を装着した乳牛（データ管理用牛舎ＰＣに登録），搾乳ユニット自動搬送装置（牛床識別機能，乳量データ収集機能，牛舎ＰＣとの双方向通信機能を搭載）と自動給餌機（電子耳標読み取りアンテナ，牛舎ＰＣとの双方向通信機能を搭載）および両者と双方向に通信してデータを統合管理する牛舎ＰＣとで構成される。各部の機能は次のとおりである。

７．４．１　搾乳前の乳牛情報表示と乳量データ収集

搾乳前に作業者が電源を入れると，搾乳ユニット自動搬送装置は，牛舎内乳牛全頭のデータを牛舎ＰＣより受信し，牛舎内を移動して牛床識別すると，牛床・牛番データを参照して，該当する乳牛の牛番，注意分房，前回乳量データを搾乳前情報として搾乳ユニット自動離脱装置の操作パネルに表示することができる。作業者が，左右の乳牛にティートカップを取り付けると乳量測定が始まる。両方の搾乳が終わってティートカップが離脱すると，搾乳ユニット側から搬送装置に乳量データが収集される。これを順次繰り返し，全て搾乳が終わると牛舎ＰＣへ牛床番号・乳量データを送信する。

７．４．２　乳量データから給餌データ表作成

牛舎ＰＣでは，収集された日の乳量データを含む過去 10 日間の乳量データから各個体の平均日乳量を求め，個体別給餌データ表を作成し，自動給餌機へ送信する。

７．４．３　自動給餌機（電子個体識別装置搭載）

電子個体識別装置を搭載した自動給餌機は，設定された時刻に給餌を開始し，牛床識別してから乳牛の電子耳標番号を読み取り，給餌データ表を参照して，各種飼料を計量給餌する。同時に（牛床番号・電子耳標番号）データを収集し，給餌終了後，対応表を牛舎ＰＣに送信する。

７．４．４　牛舎ＰＣ（飼養管理データベース）

牛舎ＰＣでは，（牛床番号・電子耳標番号・乳量データ）を自動的に統合し，牛舎イメージに表示する。牛舎イメージでは，牛床番号の順に乳牛アイコンが並んでおり，乳牛アイコン内は，（牛床番号・繁殖管理・前回乳量/注意分房・乳期類別・牛番号）に別れている。1 番下の牛番号をクリックすると画面右下に乳牛の基本情報入力画面が開き（牛床番号，個体番号，電子耳標番号，産次，分娩日・・・），現在の基本情報が示される。乳期類別は，（泌乳前期牛・乳中後期牛・乾乳牛・分娩準備牛・・・）の設定を示す。前回乳量／注意分房をクリックすると搾乳に必要な情報が示され，また，設定できる。

７．４．５　稼働試験状況

2003 年 11 月１日に搾乳ユニット自動搬送装置と自動給餌機（商品名：MAX フィーダ）を自己資金で導入したＦ牧場の協力を得て，2005 年 11 月 28 日より試験稼働を開始し，個体乳量データベースに基づく飼養管理の有効性について調査を実施している。試験稼働６ヶ月前から稼働後 22 ヶ月の生乳生産の推移を乳検データから整理すると，生乳 100kg の生産に要した濃厚飼料費は，35 円/kg 換算で約 180 円の低減する効果示された。なお，この結果については，別途報告する予定である。

７．５　摘　要

1）本システムは，第１段階として牛舎規模 48 頭以下から 80～120 頭規模まで幅広く導入され，2005 年４月現在，約 100 牧場で稼働している（2008 年９月現在，約 220 牧場に普及）。

2）約半数は北海道であるが，飼養規模の大きい側に偏っており，80 頭以上では３戸に２戸の割合で自動給餌装置が併設されている。このように繋ぎ飼養の高度化モデルは，新たな選択肢として認知されてきた。

3）第２段階としては，本システムに乳量データ収集機能を付加し，コンピュータ管理システムを用いて，自動給餌装置と連動させるなど，精密飼養管理システムへと展開しつつある。

第8章　総　括

多頭飼養において，家族経営という限られた労働力の中から「ゆとり」を作り出すために，どのように牛舎内の飼養管理の省力化を進めればよいか。フリーストール・ミルキングパーラ方式と搾乳ロボットだけでなく，省力化の選択肢として，新たに繋ぎ飼い式牛舎・パイプライン方式の高度化が求められている。

本研究では，その具体策として提案する搾乳ユニット自動搬送システムに関して，社会的ニーズについての裏付け調査と分析，繋ぎ飼い式牛舎における搾乳作業の自動化要素を含めた数式化，これを用いた省力効果の推定，手作業と自動作業の有機的システム化，本システムの試作・改良，民間牧場における省力効果及び実用性の評価等，本システム省力効果の理論解析から試作実証までの一連について論じた。以下に，本研究の内容を総括して述べる。

8．1　研究の背景

研究の背景として，繋ぎ飼い式牛舎で乳牛を飼養している農家の日本の酪農に占める位置と規模拡大の動向を統計資料と酪農全国基礎調査資料から抽出した。また，規模拡大に対応する既存の省力的飼養方式と慣行の繋ぎ飼い方式の問題点を指摘すると共に，本研究が着手する繋ぎ飼養の高度化モデルと対比し，その重要性を明らかにした。

8．2　繋ぎ飼養の現状と省力化に難する農家の意向調査

成畜 50 頭以上を飼養する繋ぎ飼い農家に対象を絞った「牛舎内での飼養管理の省力化に関する意向調査」により，本研究が想定する農家の飼養管理に対する今後の考え方と要望を広く把握すると共に，慣行搾乳作業の評価指標となる，１人当たりの搾乳ユニット数，１ユニット１時間当たりの搾乳頭数，１人１時間当たりの搾乳頭数に関する基礎データを得た。

8．3　搾乳ユニット自動搬送システムの効果の推定

現状作業の大幅な省力化を図る手段として，１人当たりの搾乳ユニット数を現状の２倍とすることによって能率を高める仕組み，即ち，牛舎内において複数台の搬送装置で搾乳ユニットを２ユニットずつ自動搬送し２頭同時搾乳するシステムを提案した。また，搾乳作業をシミュレートしたタイムチャート分析によって，１人で１時間当たり約 50 頭の搾乳が可能であることと，その時の適正な搬送速度範囲を見出した。更に自動化要素を含めて搾乳作業を定式化し，一定条件で慣行搾乳作業と比較することによって本システムの省力効果を推定した。

8．4　システム構成各部の検討

本システムは，搾乳ユニットの運搬，ミルク・真空ライン（ミルクタップ）との接続・切離し，搾乳終了検知とティートカップ離脱を自動化し，その中に手作業（乳頭清拭・ティートカップ装着，乳頭消毒等）を組込んで構成する。そのために，システム構成各部，以下走行レール，自動走行部，配管接続部，制御部，衝突回避センサ，搭載する搾乳ユニット，充電設備等について，主要部の試作と試験等により課題を明確にし，本システムの設計方針を決定した。

8．5　１・２号機の試作と模擬搾乳試験

設計方針に基づきシステム１号機，及び２号機の試作と模擬牛舎での連続運転試験を通して改良を行い，実作業を想定した模擬搾乳試験により，本システムで２頭同時搾乳が可能であることを確認した。

8．6　３号機の試作と２・３号機の牧場での調査

実用性の把握を目的として，試作２号機を 50 頭規模の民間牧場に設置し，概ね 50 頭／人・ｈの作業が可能であることを確認した。更に改良した３号機を４牧場に追加導入して，乳牛と作業者は，本システム導入後 10 日～４週間程度で馴れること，１牧場で使用するユニット数を増やすことで作業時間が短縮され，１人が扱えるユニット数に余力ができ作業負担が軽減されること等，作業者の評価を含めて調査結果をまと

め，本システムの実用性を確認した。

8．7　今後の展開方向

市販化後，本システムは，牛舎規模 48 頭以下から 80～120 頭規模まで幅広く導入され，2008 年 9 月現在，約 220 牧場で稼働している。このように繋ぎ飼養の高度化モデルは，新たな選択肢として認知されてきた。

第 2 段階としては，本システムに乳量データ収集機能を付加し，コンピュータ管理システムを用いて，自動給餌装置と連動させるなど，精密飼養管理システムへと発展しつつある。

謝　辞

本研究を企画・実施するに当たっては，元生研機構研究検査担当理事　木田滋樹氏，（独）農業・生物系特定産業技術研究機構　前機械化研究担当理事　大森昭彦氏には，研究環境と研究資源についてご支援を頂戴し，元畜産工学研究部長　八木　茂氏，前同部長福森　功氏には，貴重なご助言，ご指導を頂きましたことに深く感謝いたします。本研究を遂行するに際して，モニタ導入及び評価試験に快く協力いただいた民間牧場の方々，並びに北海道根釧農業試験場，長野県畜産試験場，新潟県畜産研究センター，栃木県酪農試験場をはじめ関係各方面の方々に対し，改めて謝意を表します。

前生物系特定産業技術研究支援センター所長　津賀幸之介博士並びに前畜産工学研究部長（現鳥取大学附属フィールドサイエンスセンター教授）山名伸樹博士には，本論文の取り纏めに当たり，ご助言とご激励を頂きました。

最後に本研究を論文としてまとめるに際し，鳥取大学連合大学院農学研究科教授（鳥取大学理事・副学長）岩崎正美博士には，格別のご配慮を賜るとともに懇切なるご指導を戴きましたことに，謹んで感謝の意を表します。また，前鳥取大学附属フィールドサイエンスセンター教授　唐橋　需博士には，ご高閲とともに貴重なるご教示とご指導を賜り，深く感謝の意を表します。

末尾ながら，以上の皆様方に感謝し，心より御礼申し上げる次第です。

参考文献

1）平成 4 年畜産経営の動向　農水省畜産部畜産企画課, 1-53, 1993
2）平成 8 年畜産経営の動向　農水省畜産部畜産企画課, 1-53, 1996
3）平成 12 年畜産経営の動向　農水省畜産部畜産企画課, 1-49, 2000
4）平成 14 年畜産経営の動向　農水省畜産部畜産企画課, 1-49, 2002
5）平成 16 年畜産経営の動向　農水省畜産部畜産企画課, 1-49, 2005
6）平成 10 年度酪農全国基礎調査報告書（社）中央酪農会議, pp61, 1999
7）平成 16 年度酪農全国基礎調査報告書（社）中央酪農会議, pp100, 2005
8）新搾乳システム定着化マニュアル（社）畜産技術協会, pp282, 1996
9）自動搾乳システム実用化マニュアル（社）畜産技術協会, pp75, 2003
10）関澤啻朗：搾乳ロボット導入農家の実態と搾乳ロボットの経営的評価, 自動搾乳システム実用化平成 14 年度報告書,（社）畜産技術協会, 63-92, 2003
11）八谷　満，古山隆司，福森　功，市戸万丈，桑名隆，小林　恭，窪田哲夫，加茂幹夫：作業者の生体機能面から見た搾乳ユニット搬送システムの導入効果，畜産の研究 49(8), 363-366, 1995
12）高橋圭二：フリーストールと牛舎と搾乳，農業機械学会誌, 65(6), 18-21, 2003
13）平田　晃：繋ぎ飼い式牛舎と搾乳，農業機械学会誌, 65(6), 22-26, 2003
14）第 4 回畜産企画部会委員要求資料, 農水省生産局畜

産部, pp5, 2004
15）桑名　隆他：搾乳作業の省力化に関する研究, 農林水産技術会議研究成果 114, 137-156, 1979
16）桑名　隆他：半自動搾乳装置の試作研究, 農業機械化研究所報告 15, 57-73, 1981
17）野附 巌他：搾乳作業の省力化に関する研究, 農林水産技　術会議研究成果 114, 156-182, 1979
18）野附 巌：搾乳ロボット総論, 平成 12 年度専門技術員研修「搾乳ロボットを機軸とした乳牛の省力管理技術」, 農林水産省草地試験場・農林水産省農産園芸局, 1-13, 2000
19）八谷　満，平田　晃，桑名　隆，荊木義孝，比佐慶夫：繋ぎ飼い用搾乳ロボットシステムの開発（第１報）, 農業機械学会誌, 63(2), 109-117, 2001
20）八谷　満，平田　晃，桑名　隆，荊木義孝，比佐慶夫：繋ぎ飼い用搾乳ロボットシステムの開発（第２報）, 農業機械学会誌, 64(3), 126-133, 2001
21）八谷　満，平田　晃，桑名　隆，荊木義孝，比佐慶夫：繋ぎ飼い用搾乳ロボットシステムの開発（第３報）, 農業機械学会誌, 64(4), 85-95, 2002
22）平田　晃，八谷　満，荊木義孝，桑名　隆，西部光弘，中沢弘造：自動搾乳機, 特許番号 1008330, オランダ, 1999
23）Hirata,A.,Hachiya,M.,Kuwana,T.,Ibaraki,Y.,Hisa, Y.:Development of a milking robot in stanchon barns,Proc. of Dutch-Japanese workshop on Precision Dairy Farming, Wageningen, The Nether - lands,33-8,1998
24）Hachiya,M.,Hirata,A., Kuwana,T.,Ibaraki,Y.,Hisa, Y.:Design and development of a milking robot in stanchon barns,Proc. of 1st North American Conference on Robotic Milking,Tront,Canada,56-57,2000
25）平田　晃：繋ぎ飼い用搾乳ロボットの可能性と今後の課題, 農業機か開発改良試験研究打ち合わせ会議資料 No. 5（畜産分科会）, 生研機構　農業機械化研究所, 89-95, 1999
26）平田　晃：家族経営の大規模化と搾乳システムの選択肢, 農林水産研究ジャーナル 28(8), 16-20, 2005
27）平田　晃他：牛舎内での飼養管理の省力化に関する意向調査, 生研機構, pp38, 1999
28）生研機構　農業機械化研究所事業報告, 搾乳ロボットの開発, 168-173, 1997
29）平田　晃：乳頭清拭装置, 畜産の研究 57(2), 233-238, 2003
30）野附　巌：新しい酪農の基礎と実際,（社）中央畜産会（社）酪農ヘルパー全国協会, 111-112, 2002
31）Gotoh,H. : Automatic Carrying System of Milking Units, Journal of JSAM,65(5),17-19, 2003
32）Hirata,A., et al. : The Report on Farmer's Plan for the Future of a Llabor Saving of Dairy Management in Cowshed, 1999.
33）Hirata,A. : New Milking System for Use in Cowshed –Automatic System for Carrying Milking Units, National Institute of Livestock and Grassland Science, Proc. of workshop of advanced milking system (1), 20-27, 2001
34）Hirata,A. : Automatic system for carrying milking units, Yokendo, Sustainable Livestock Production and Human Welfare, 57(2), 9-14, 2003
35）Porter,J.W.G., Rook,J.A.F. : Machine milking, N.I.R.D., England and H.I. Scotland, 217-224,1979
36）Shinde,Y. : Handbook of dairy farming, Yokendo, Tokyo, 519-524, 1995
37）平田　晃，後藤　裕，荊木義孝，涌井明男，岡谷利幸，大日向好治，細井研一，松岡　巧，竹前昭宏：搾乳ユニット自動搬送システムの開発（第１報）, 農業機械学会誌 67(3), 129-136, 2005
38）平田　晃，後藤　裕：搾乳ユニット自動搬送装置の開発（第１報）, 農業機械学会第 59 回年次大会講演要旨, 161-162, 2000
39）Kondo,S. : Report on reform of installations of dairy management, Hokkaido public cooperation of agriculture, Sapporo ,2002
40）Sagi,R. et al. : 搾乳刺激による搾乳速度の変化, J. Dairy Sci.,63,800,1980
41）ISO5707 : Milking machine installations – Construction and performance,1996
42）平田　晃，後藤　裕，荊木義孝，涌井明男，岡谷利

幸，大日向好治，細井研一，松岡　巧，竹前昭宏：搾乳ユニット自動搬送システムの開発（第２報），農業機械学会誌 67(3)：137-144, 2005

43) ISO5707 : Milking machine installations − Construction and performance, International Organization for Standardization, Geneva, 1-39, 1996

44) 平田　晃，後藤　裕，荊木義孝，涌井明男，岡谷利幸，大日向好治，細井研一，松岡　巧，竹前昭宏：搾乳ユニット自動搬送システムの開発（第 3 報），農業機械学会誌 67(4)：140-148, 2005

45) 平田　晃，後藤　裕：搾乳ユニット自動搬送装置の開発（第２報），農業機械学会第 61 回年次大会講演要旨，323-324, 2002

46) 後藤　裕，平田　晃：搾乳ユニット自動搬送装置の開発（第３報），農業機械学会第 62 回年次大会講演要旨，119-120, 2003

47) 平田　晃，後藤　裕，荊木義孝，涌井明男，岡谷利幸，大日向好治，細井研一，松岡　巧，竹前昭宏：搾乳ユニット自動搬送システムの開発（第４報），農業機械学会誌 67(4)：149-156, 2005

48) 後藤　裕，平田　晃：搾乳ユニット自動搬送装置の開発（第４報），農業機械学会第 6 回年次大会講演要旨, 49-50, 2004

49) 酪農及び肉用牛生産の近代化を図るための基本方針：農林水産省, pp25, 2000

50) 酪農及び肉用牛生産の近代化を図るための基本方針：農林水産省, pp41, 2005

51) 平田　晃：家族経営の大規模化と搾乳システムの選択肢, 農林水産研究ジャーナル 28(8), 16-20, 2005

52) 平田　晃：繋ぎ飼い方式に対応した搾乳システム，第１回搾乳システム高度化研究会, 畜産草地研究所平 13－14 資料, 20-27, 2001

53) 生研機構：欧州における乳牛の生体情報モニタリングシステムの研究開発動向, 生研報告，pp23, 2003

54) 平田　晃：次世代型搾乳システム, 未来型畜産研究シンポジウム資料, pp33, 2003

55) 平田　晃，後藤　裕，川出哲生，阿部洋平，道宗直昭，オリオン機械㈱，北原電牧㈱，富士平工業㈱：IT を活用した乳牛飼養管理システムの開発, 平成 19 年度生研センター研究報告会資料, 89-98, 2008

Summary

Study on a New Automatic System for Carrying Milking Units

Akira HIRATA, Hiroshi GOTOH, Yoshitaka IBARAKI,
Akio WAKUI, Toshiyuki OKATANI, Yoshiharu OBINATA,
Kenichi HOSOI, Takumi MATSUOKA, Akihiro TAKEMAE

1. Background and Purpose of the Study

As background for this study, we clarified the position of dairy farming in Japan and the current trends involving farmers who feed milking cows expanding their farm size. To find these, we used various statistical data obtained from stall barns along with data taken from different sources of State Government / nationwide survey on dairy farmers.

Furthermore, we pointed out both technology-oriented and farm management oriented problems, in currently available labor-saving feeding systems and that of conventional stalling systems in the event of size expansion. We thereafter clarified importance of a model option of labor-saving, "upgrading of tie-stall barn" in contrast with two different options, namely, free-stall milking parlors and milking robots for free-stall refferd to in this study.

2. Questionnaire Survey of Dairy Farmers' demands for Mechanization of Cow Management in Tie-Stall Barn

We show the result of our "Demand Survey for Labor Saving in Dairy Management in the Barn," focusing on key dairy famers: stalling farmers with fifty or more cows to feed, in order to clarify the vision for labor saving of the said dairy famers. In the Demand survey, we obtained basic evaluation indexes for conventional milking work, such as the number of milking units / worker, number of cows milked/unit/hour, number of cows milked/worker/hour, and milking performance, while addressing ideas and requests / interests about dairy management in the future from the farmers assumed to be the subject of this study.

3. Estimation of Improvement of Milking Efficiency in Tie-Stall Barn with a New Automatic System for Carrying Milking Units

As a means to help realize a drastic saving of labor in current milking work, we proposed a mechanism to improve performance by doubling the current number of milking units / worker. The new mechanism is an "automatic system for carrying milking units," a system with which simultaneous milking of two cows is made possible, by an automatic carrying of two milking units at a time, using multiple carriers in the barn. Furthermore, through a time-chart analysis of computer-based milking work simulation, we found that a work performance of 50

cows/worker/hour is possible. We also found an appropriate range of carrying speeds for the new system. In order to estimate and clarify the labor-saving effect of this system, we further converted milking work into numerical formula, including the elements to be automated, and thereby made comparison with conventional milking work under the same conditions to see the effect.

4. Examination of the New Automatic System Components

The automatic system for carrying milking units involves a series of automated works of following steps: namely, carrying of milking units, connection and disconnection to and from the milking pipeline (milk tap), detection of completion of milking, and removal of teat cup, while we also considered remaining manual works such as cleaning of teats and attaching teat cups, as well as disinfection of teats as preparatory works. We set up a design policy for this system by verifying all system components including carrier rails, automatic carriers, milk tap couplers, controllers, collision-avoiding sensors, mounted milking units, and battery chargers. Verification was done through prototype manufacturing and tests conducted on their principal portions.

5. Laboratory Tests on Carrying Performance and Milking Performance of the Prototype System

Based on our design policy, we manufactured prototype systems No. 1. We then conducted continuous operational tests in simulated barns to find mechanical issues to be modified for manufacturing of No.2, which further was served for simulated milking tests. Through simulated milking tests assuming work in practice, we then confirmed that simultaneous milking of two cows is possible through the use of this system.

6. Evaluation of the Prototype System in Private Farms

To determine the practicality of the system, we installed the prototype system No. 2 in a private stock farm and confirmed that a work of 40 to 50 cows/worker/hour is possible. Additionally, we introduced prototype system No. 3, a further modified model, to four stock farms. We confirmed the practicality of this system by summarizing the survey results, including the evaluation of and by workers / users, concluding that both cows and workers become familiar with the system in 10 days to 4 weeks after its introduction. We also confirmed that work hours and additional work burdens can be reduced in case the number of units used in a farm is increased, because each worker is able to handle an additional number of units by using this automated system.

7. A future perspective of Cow Management in Tie-Stall Barn with the New System

After commercialization, we made a survey on the use of this system in the market and based on that survey, to explore the direction of future developments, we discussed precision dairy management using this system as a base by obtaining individual cow data.

農業機械化研究所研究報告　第 38 号

平成 21 年 3 月　印刷・発行
頒価 787 円（本体価格 750 円）

Technical Report of the Institute
of Agricultural Machinery　No.38

〒331-8537
埼玉県さいたま市北区日進町 1 丁目 40 番地 2

1-40-2, Nisshin, Kita, Saitama-city, Saitama
331-8537 JAPAN
URL: http://brain.naro.affrc.go.jp/iam/

独立行政法人　農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
農　業　機　械　化　研　究　所

Institute of Agricultural Machinery
Bio-oriented Technology Research Advancement Institution
National Agriculture and Food Research Organization

印刷・製本 ／ 望月印刷株式会社