

フリーストール牛舎における乳牛の 飼料利用性の把握について*

西村 和行** 花田 正明** 高橋 圭二***

フリーストール牛舎における飼料利用性について、ホルスタイン種搾乳牛5頭を用い検討した。ストール（ラインホルムシステム）牛舎およびフリーストール牛舎における採食量は、乳牛個体識別装置を装着した飼槽を用いて測定した。濃厚飼料は市販のペレット状配合飼料を乳量に応じて給与し、また粗飼料はチモシー主体の1番刈り低水分サイレージ（DM 34.5%，TDN 63.2%およびDCP 5.6%）を飽食させた。牛舎間の行動形の違いによる飼料利用性の差異を検討するため、乳牛の行動を48時間連続してビデオに収録した。採食時間はストール牛舎で長く、結果として採食速度が有意に低くなった。フリーストール牛舎では社会的優劣関係が採食行動パターンへ影響していると推察された。重回帰分析の結果、横臥時間を取り込むことでフリーストール牛舎においてもエネルギー粗効率（GEE）推定の可能性が示唆された。

緒 言

昨今の酪農情勢は、牛乳生産の量的拡大のみならず、より効率的な生産を求めるようになってきた。このことは牛乳生産における飼料利用性が重要課題と考えられるが、この点に関する研究の立ち遅れが指摘されている¹⁾。Brody et al.¹⁾の提唱したエネルギー粗効率（GEE：Gross Energetic Efficiency）は、牛乳生産におけるエネルギー利用効率の指標として用い得るが、検討がまだ十分に行われていないことに加えて、毎日の乳成分量と摂取した飼料のカロリー量を測定算出する必要があるため、一般に利用されるには至っていない。この指標に代わるものとして種々の簡易指数が提案されてきた。Gaines³⁾による4%乳脂肪補正乳量を体重で除したFCM体重指数（FCM/W）、Kleiber & Read⁶⁾によるFCM体表面積指数（FCM/W^{0.75}：相対泌乳能力）、Mason et al.⁷⁾によるFCMを体高で除したFCM体高指数

（FCM/H）、Dickinson et al.²⁾によるFCMを胸囲で除したFCM胸囲指数（FCM/G）などがある。これらの簡易指数は、体格と産乳量との関係を明らかにするにはするが、乳生産のための必要なエネルギーは考慮されていない。そこで、乳生産のエネルギーを加味し、改良した新しい指数が提案されたが⁸⁾、我が国でのこうした効率指数の研究は、端緒についたばかりである。

本研究はフリーストール牛舎における個体別の飼料利用性を把握する手段として個体識別装置を装着した飼槽を用い、その可能性を検討した。

試験方法

北海道立根釧農業試験場に繋養されているホルスタイン種雌牛5頭を用いた。それらの牛の分娩月齢、産次、分娩後日数および試験期間中の体重については表1に示した。供試したフリーストール部はフリーストール牛舎の一部を仕切ったもので、スラットフロアで床面積は9.8 m×7.5 m（1頭当たり14.7 m²）であり、牛床数は9個である。濃厚飼料は自動給餌機により乳量に応じて摂取させた〔（平均乳量（kg）-10 kg）×0.45〕。粗飼料は750 mm×750 mm×480 mmのプラスチックコンテナを用い、1頭当たり2個備えた。図1に示したように、給餌ドアは各個体ごとに取り付けた

1990年11月20日

* 本報告の一部は、第79回日本畜産学会講演会（1987年4月）で発表した。

** 北海道立根釧農業試験場、086-11 標津郡中標津町

*** 北海道立十勝農業試験場、082 河西郡芽室町

Table. 1 Characteristics of cows

	Cow No.	Body weight				Age at parturition (months)	No. of calving	Days after calving
		11/21	11/23	11/25	11/27			
Free-stall barn	1	663	658			57.5	3	135
	2	527	538			49.0	2	244
	3	594	587			46.8	2	238
	4	599	613			43.8	2	84
	5	522	534			28.9	1	59
Stall barn	1			641	651	57.5	3	137
	2			537	541	49.0	2	246
	3			597	591	46.8	2	240
	4			615	609	43.8	2	86
	5			545	547	28.9	1	61

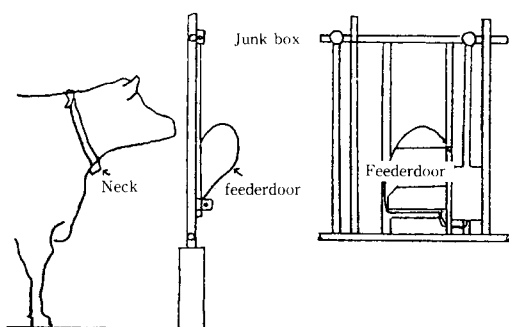


Fig. 1 Door-Feeder System

首輪の発信器により開閉し、他の牛の盗食を不可能にした構造になっている。

ストール牛舎は、ライホルムシステム（床面積 2.1 m²）で飼槽はフリーストール牛舎と同一のもの 2 個であり、濃厚飼料は乳量に応じた一日量（フ

リーストール牛舎と同様の基準）の 1/3 を 9 時、13 時および 21 時の 3 回に飼槽中の粗飼料の上にまぶして給与した。

給与飼料は両区とも、濃厚飼料は市販のペレット状配合飼料（乾物率 87.0%，TDN 76.0%，DCP 13.5%）を用い、粗飼料はチモシー主体の 1 番刈り低水分サイレージ（乾物率 34.5%，TDN 63.2%，DCP 5.6%）を飽食給与した。

換気方式は、フリーストール牛舎はオープンリッジの自然換気であり、ストール牛舎は強制換気とした。その環境温度の変化は図 2、3 に示したとおりである。ストール牛舎では、ほぼ一定であったが、フリーストール牛舎は多少外気温に影響され、特に、日中はドアの開放によりやや低い温度を維持し、ほぼ外気温に類似した推移をした。しかし、外気温が -10℃以下になっても急激な変化はなく、ストール牛舎に比べても過酷な環境と

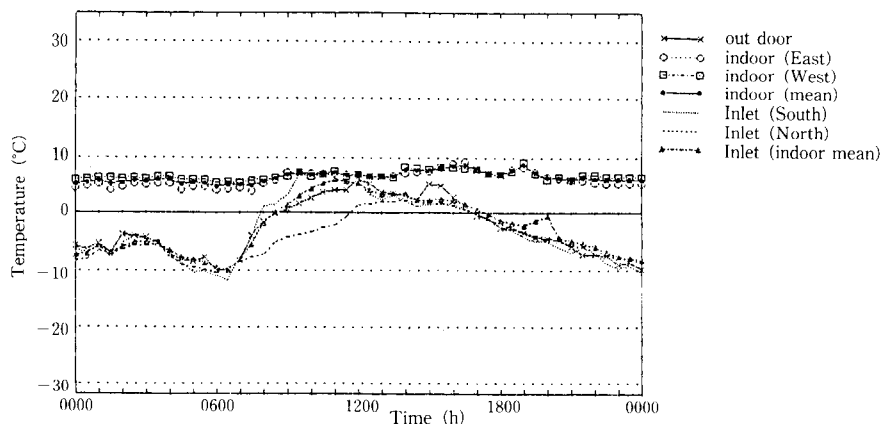


Fig. 2 Environmental temperature in stall barn.

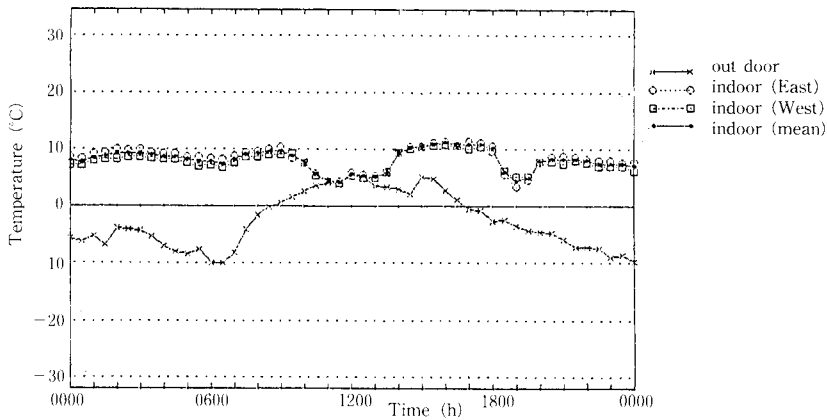


Fig. 3 Environmental temperature in free-stall barn.

はならなかった。

乳量は、朝（9時より搾乳開始）および夕（19時より搾乳開始）の2回の合計であり、乳脂肪（FCM）、乳固形分（SCM）および乳蛋白補正乳量（PCM）は、原則として毎月測定した乳成分率を基にして次式で算出した¹¹⁾。

$$\text{FCM} = 15.0 \times F + 0.4 \times M$$

$$\text{SCM} = 11.8 \times F + 5.3 \times \text{SNF} + 0.0247 \times M$$

$$\text{PCM} = 11.1 \times F + 5.2 \times \text{Pro} + 0.3469 \times M$$

M：乳量

F：乳脂肪量

SNF：無脂固形分量

Pro：乳蛋白質量

エネルギー粗効率（GEE）は、FCM 1 kg を 750 kcal とし、次式で求めた。

$$\begin{aligned} \text{GEE} &= \frac{\text{牛乳中エネルギー}}{\text{摂取代謝エネルギー}} \times 100 \\ &= \frac{750 \times \text{FCM (kg)}}{3616 \times \text{TDN 搾取量 (kg)}} \times 100 \end{aligned}$$

GEEに代わる簡易指数としては、大久保ら¹⁰⁾による体維持および乳生産のエネルギー要求量に対する牛乳中エネルギーの割合を表す簡易指数（FCMS）と、さらにFCMの代わりにSCMおよびPCMを用いた簡易指数（SCMSおよびPCMS）についても検討した。

さらに、フリーストール牛舎特有の個体間の関係が採食パターンなどに及ぼす影響を調査するため、48時間連続してビデオに収録し、行動形を観察した。パーラー入室順位と行動形との順位相関係数はSpearmanの方法によった。GEE推定の

可能性を探るため、2日間連続のデータセットで行動形、乳量、FCM、SCM、PCMおよび体重を説明変数とした変数増減法による重回帰分析を行った。

結 果

ストール牛舎とフリーストール牛舎における行動形と採食量、乳量、FCM、SCM、PCM、および生産効率を表2に示した。両区において起立・横臥時間、TDN摂取量、乳量、体重、体重変化、FCM、SCM、PCM、FCMS、SCMS、PCMSおよびGEEには差が見られなかった。しかし、現物採食量はフリーストール区が多く（ $P < 0.05$ ）、採食時間はフリーストール区が280.8分であるのに対し、ストール区では381.4分と長く（ $P < 0.01$ ）、それに伴い、採食速度はフリーストール区が118.9 g/分に対してストール区は86.9 g/分と短かった（ $P < 0.01$ ）。この行動形の1例として1時間毎の起立・横臥および採食時間の割合を図4、5に示した。フリーストール区およびストール区ともに起立・横臥パターンは類似しているが、採食時間はストール区ではそれぞれの時間帯にほぼ一様であるのに対して、フリーストール区ではやや集中する傾向があり、朝の搾乳時間後（10～12時）、午後の作業時（15～16時）、夜中（23～0時）に採食する傾向が見られた。これは、両区において供試牛、飼養環境が異なっているが、石井ら⁵⁾の報告と類似した結果であり、フリーストール牛舎特有の社会的ストレスや個体間の競争意識に原因していると推察される。この社会的優劣関係が個

Table. 2 Behavioral pattern, feed intake and efficiency in Free-stall barn and Stall barn.

	Standing times (mini.)	Laying times (mini.)	Eating times (mini.)	Eating speed (g/mini.)	Silage & Conc. (kg)	TDN intake (kg)	Milk yield (kg)	Body weight (kg)	Body Weight change (kg)
Free-stall barn	639.5	614.0	280.8	118.96	33.44	11.16	20.3	583.5	3.0
	NS	NS	**	**	*	NS	NS	NS	NS
Stall barn	573.2	623.4	381.4	86.93	30.12	11.04	20.4	589.7	3.1
	FCM(kg)	SCM(kg)	PCM(kg)		FCMS(%)	SCMS(%)	PCMS(%)	GEE(%)	
Free-stall barn	17.65	17.65	17.83		34.03	33.93	34.14	32.63	
	NS	NS	NS		NS	NS	NS	NS	
Stall barn	17.72	17.70	17.87		34.34	34.24	34.44	33.21	

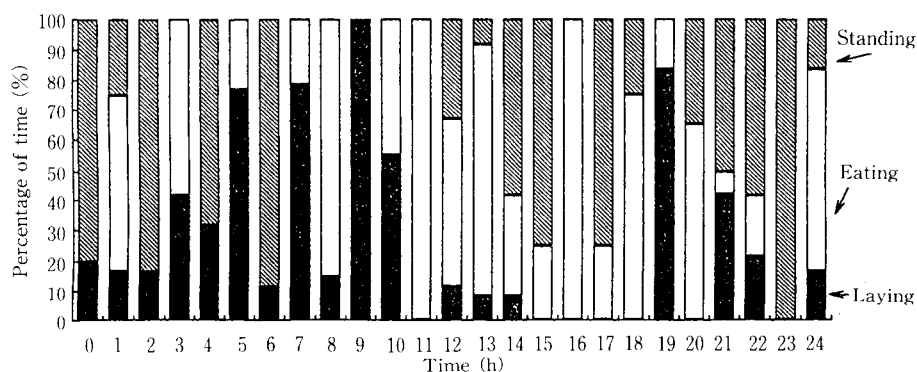
** : $P < 0.01$, * : $P < 0.05$, NS : Not significance

Fig. 4 Behavioral pattern in stall barn

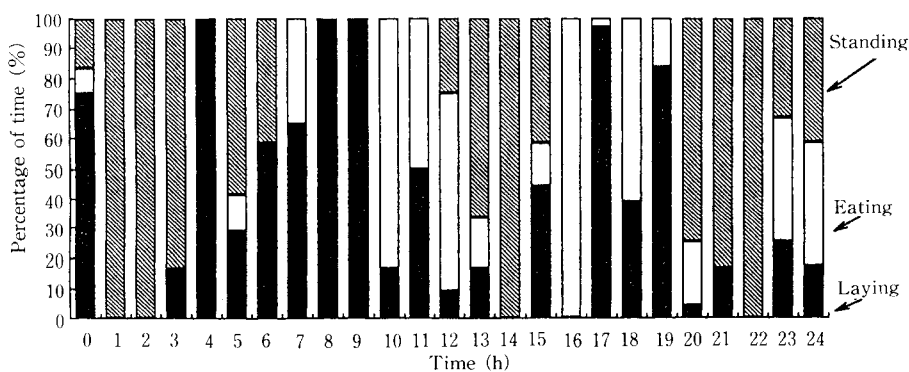


Fig. 5 Behavioral pattern in free-stall barn

体の採食量に及ぼす影響を明らかにするため、パーラー入室順位と行動形との関係を表3、4に示した。

パーラー入室順位と個体間の優劣関係等については、左ら⁴⁾、鈴木ら¹²⁾によって論じられるようにLeader-Followerの関係あるいは, Dominance-

Table. 3 The order of entrance of cows into a milking parlour and other ranks of cows in Stall barn

Entrance order	Standing times	Lying times	Eating times	Eating speed
1	5	1	5	1
2	3	2	2	4
3	2	5	3	2
4	1	4	4	3
5	4	3	1	5
$\bar{r}_s$	-0.4	0.6	-0.6	0.7

$\bar{r}_s$: Coefficient of Spearman's rank correlation between entrance order and other ranks.

Table. 4 The order of entrance of cows into a milking parlour and other ranks of cows in free-stall barn

Entrance order	Standing times	Lying times	Eating times	Eating speed
1	4	2	1	5
2	2	4	5	1
3	5	1	2	2
4	1	5	3	4
5	3	3	4	3
$\bar{r}_s$	0.3	0.3	0.4	-0.1

$\bar{r}_s$: Refer to the footnote for the Table 3.

Order 的な勢力関係によっても影響され、最上位グループおよび中間グループは前方に位置するとされていることから、社会的優劣関係がある程度関わっていたものと推察される。

今回の試験では、パーラー入室順位はいずれの搾乳時に入れ替わらなかった。そこで、行動形との順位相関係数($\bar{r}_s$)を算出すると、フリーストール区では横臥時間($\bar{r}_s=0.3$)、採食時間($\bar{r}_s=0.4$)

ともに中程度の相関係数を示し、社会的上位牛は、比較的ゆっくりと休息、採食する傾向を示した。一方、ストール区では必ずしもその点は明かではないが、横臥時間($\bar{r}_s=0.6$)はフリーストール区よりややその傾向は強く、ストール牛舎では隣接する牛の行動形に刺激され、次の行動形に移ることも推察される。

行動形と他の形質との相関を表5, 6に示した。フリーストール区ではストール区より採食速度と生産能力との関わりが強く、また体重と起立又は横臥時間との相関がうかがわれ、体重の小さい牛ほど起立時間が長く($r=-0.772^*$)、大きい牛ほど横臥時間が長い($r=0.737^*$)。

以上のようにフリーストール区での行動形のうちいくつかのものが、採食パターンに影響を与えており、飼料利用性の把握に関係する要因となっている。

そこで、GEEの推定を行う場合、ストール牛舎と同程度の精度を得るため、フリーストール牛舎ではさらにどの要因が重要な意味を有するかについて、変数増減法による重回帰分析を行い、各要因の寄与率を分析した。

ストール区ではSCMまたはSCMSのいずれかを取り込むことでGEEの50.9~55.9%の説明がなされ、さらに2番目の説明変数としてPCMまたはPCMSを取り入れることで、自由度調整後の寄与率は82.4~93.5%に上昇した。一方、フリーストール区の場合、SCMまたはSCMSのいずれかを第1説明変数として取り込むことによりGEEの67.5~70.5%の説明ができるが、第2変数としてFCMSまたは乳量を取り込んでも

Table.5 Correlations of the behavioral pattern, production and efficiency in Stall barn.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
1. Stranding times												
2. Laying times	-.843**											
3. Eating times	.700*	.529										
4. Eating speed	-.559	.393	.855**									
5. body weight	-.459	.343	.432	.602								
6. Milk yield	.308	-.421	.169	.278	.355							
7. FCM	.258	.366	.144	.303	.396	.998**						
8. SCM	.285	-.392	.175	.269	.360	.998**	.999**					
9. PCM	.281	-.390	.163	.283	.369	.999**	.999**	.999**				
10. FCMS	.338	.451	.234	.203	.253	.992**	.986**	.992**	.991**			
11. SCMS	.352	.460	.255	.178	.228	.987**	.982**	.989**	.981**	.999**		
12. PCMS	.352	-.465	.245	.190	.235	.989**	.983**	.990**	.988**	.999**	.999**	
13. GEE	.150	-.096	.298	-.009	.015	.719*	.737*	.751*	.739*	.767**	.780**	.766**

** : $P < 0.01$, * : $P < 0.05$

Table. 6 Correlations of the behavioral pattern, production and efficiency in Free-stall barn.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
1. Stranding times												
2. Laying times	-.990**											
3. Eating times	-.449	.379										
4. Eating speed	-.377	.446	-.533									
5. body weight	-.772**	.737*	.437	.217								
6. Milk yield	-.463	.456	-.144	.757*	.357							
7. FCM	-.418	.411	-.133	.736*	.308	.987**						
8. SCM	-.392	.385	-.159	.737*	.274	.984**	.999**					
9. PCM	-.403	.397	-.148	.736*	.281	.985**	.999**	.999**				
10. FCMS	-.333	.331	-.210	.736*	.166	.968**	.988**	.993**	.992**			
11. SCMS	-.315	.313	-.218	.734*	.154	.964**	.987**	.992**	.991**	.999**		
12. PCMS	-.329	.327	-.207	.732*	.159	.965**	.987**	.992**	.992**	.999**	.999**	
13. GEE	.032	-.048	-.456	.553	.004	.821**	.831**	.844**	.838**	.856**	.859**	.854**

** : P < 0.01, * : P < 0.05

80.1~84.9%とストール区ほど自由度調整後の寄与率が上がらなかった。自由度調整後の寄与率をさらに上昇させるためには、上記の要因に加えて、行動形の説明変数を取り込む必要があると考えられる。

考 察

フリーストール牛舎とストール牛舎における差異は、自由な行動空間の大小および他の牛との社会的関わりの有無である。今回のストール牛舎の繋養方式はライホルムシステムで、ストール内をある程度行動できる特徴を備えているが、フリーストール牛舎に比較すると、個体当たりの平均床面積は1/7に過ぎない。また、換気方式が異なり、日温度変化にも多少変化が見られたが、行動形や採食量、牛乳生産量および生産効率には差がなかった。しかし、両区には社会的環境の差が存在し、採食速度にその影響が表れた。ただし、フリーストール牛舎の場合、採食行動は他の牛に刺激された連鎖行動もあり、必ずしも個々の採食量を規定する最大の要因ではない。

今後の酪農情勢において、集約的且つ効率的経営が指向され、乳牛の飼料利用性は重要な選抜形質⁹⁾となるであろう。しかし、飼料利用性を表わす指標としてのGEEは、現実には労力と費用を要し、現地で採用することは不可能である。今後、規模拡大に伴って、フリーストール方式の管理体制も増加すると予測されており、ストール方式との違いを明らかにするとともに、GEEに代わる簡易指標の確立が必要である。

今回の結果から、フリーストール牛舎において、

ある程度行動形を把握することが可能であるならば、現地においても飼料利用性を把握するためのデータ採取が可能となり、泌乳牛のより効率的な選抜に必要な基礎データの分析が可能になると推察される。

謝辞：本研究の遂行にあたり、道立根釧農業試験場管理科職員各位の御協力、特に、牛舎担当倉岡貞博、安藤政義、谷尻常盤、鼻和美明および奥山良行の五氏には格別の協力と有益な助言を頂いた。また、同場酪農第一科峰崎康裕研究員とは論議をもとにし、同場国井輝男場長および同場酪農第一科々長遠谷良樹博士には有益なご助言を頂いた。さらに本報告の取りまとめに際しては、北海道大学農学部教授清水 弘博士には懇切な御指導と御校閲を賜った。以上の各位に厚く謝意を表する。

引 用 文 献

- 1) Brody, S.; Proctre, R. C. "Energetic efficiency of milk production and influence of body weight thereon". Univ. Mo. Agr. Exp. Sta. Bull., 222 (1935).
- 2) Dickinson, F. N.; McDaniel, B. T.; McDowell, R. E. "Comparative efficiency of feed utilization during first lactation of Ayrshire, Brown Swiss, and Holstein cows". J. Dairy Sci., 52, 489-497 (1969).
- 3) Gaines, W. L. "The energy basis of measuring milk yield in dairy cow". Univ. Illinois Agr. Expt. Sta. Bull., 308 (1928).
- 4) 左 久, 城戸正輝, 鈴木省三. "ルース・ハウジ

- ングにおける乳牛の搾乳室進入順位について”。日畜会報. **44**, 33-38 (1973).
- 5) 石井 幹, 福本幸子, 平田正敏, 久保田義正, 高崎宏寿, 丸山恭仁子. “乳用去勢牛の放牧行動, I. 行動の季節変化と採食行動のパターン”. 家畜の管理. **13** (2), 29-40 (1977).
- 6) Kleiber, M.; Mead, S. W. “Body size and milk production”. J. Dairy Sci., **24**, 127-134 (1941).
- 7) Mason, M.; Robertson, A.; Gjelstad, B. “The genetic connection between body size, milk production and efficiency in dairy cattle”. J. Dairy Res., **24**, 135-143 (1957).
- 8) 内藤元男, 高橋弘晏, 三浦高義, 加納康彦, 小山徳義, 加東次男, 岡野福夫, 小池幸良. “東大牧場のホルスタイン種牛群のエネルギー粗効率と簡易指数について”. 日畜会報. **45**, 249-261 (1974).
- 9) 内藤元男, 高橋弘晏, 畠山章一, 武田 裕, 一条幹夫. “小岩井牧場ホルスタイン種牛群における体重, FCM, と飼料効率指数との関係”. 日畜会報. **45**, 539-542 (1974).
- 10) 大久保正彦, 前滝次郎, 近藤誠司, 関根純二郎, 朝日田康司. “北大農場における牛乳生産のエネルギー利用効率”. 北大農学部農場研報. **24**, 69-75 (1985).
- 11) 新得畜産試験場編. “乳牛の品種改良に関する試験および調査”. 新得畜産試験場年報, 昭和60年度. p. 15.
- 12) 鈴木省三, 左 久, 斉藤保則, 坂口昭彦. “乳牛の搾乳室進入順位と待機場内の動態”. 帯畜大研報. **12**, 317-321 (1982).

Determination of Feed Utilization of Cow under the Free-stall Barn

Kazuyuki NISHIMURA*, Masaaki HANADA* and Keiji TAKAHASHI**

Summary

The free-stall barn is fitted to manage the cows efficiently. It was examined to grasp the utilization of feed by using the Auto-Feeding-Door. The feeds intake of 5 cows was measured under the stall and freestall barns. The concentrated feeds were adopted the marketed combination, and it was supplied according to the milk yield. The low moisture sailage, which was a multitude of the Timosy, were esten cow's fill. The feeding, standing and laying behavior was recorded video tape for 48 hours recoreder for the analysis of the difference of the utilization by the behavioral pattern. The feeding time was longer in the stall barn than the free-stall barn. So the feeding speed in the stall barn was shorter significantly ($P < 0.01$). The stepwise multiple regression analysis was fitted for the estimation of Gross Eergetic Efficiency. Independent variables were milk yield or other milk production (X_1), body weight at experimental period (X_2), standing time (X_3), laying time (X_4), eating time (X_5) and eating speed (X_6). The multiple correlation coefficient by the equation was high. In the stall barn, the regression equation explained 98% of GEE (adjusted by the degrees of freedom $R_2 = 0.97$).

* Hokkaido Prefectural Konsen Agricultural Experiment Station, Nakashibetsutyou, Hokkaido, 086-11, Japan.

** Hokkaido Prefectural Tokachi Agricultural Experiment Station, Memurotyou, Hokkaido, 082, Japan.