

自動搾乳システム飼養下の高泌乳牛群における 飼料設計と乳生産の関係

泉 賢一・森田 茂*・小宮 道士*・野 英二

酪農学園大学附属農場, 江別市 069-8501

*酪農学園大学酪農学科, 江別市 069-8501

Relationship between feeding management and milking performance of high yielding dairy cows in automatic milking system

Kenichi IZUMI, Sigeru MORITA*, Michio KOMIYA* and Eiji No

Research farm, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, 069-8501

*Faculty of dairy science, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, 069-8501

キーワード：自動搾乳システム, 高泌乳牛, 飼料設計, 採食行動

Key words : automatic milking system, high yielding cow, feeding management, eating behaviour

Abstract

In this study, we investigated the relationship between feeding management and milking performance of high yielding cows in an automatic milking system (AMS). Twenty-one Holstein cows kept in an AMS were used in this study. Cows were offered total mixed ration (TMR) once daily in the feeding area. The nutrient level of TMR was equal to maintenance and 20 kg/d of milk production. Concentrate was supplied in the milking robot to compensate for a shortage of nutrients from TMR (an average of 5.9 kg/d: 0.1 ~ 10 kg/d).

Milk production and milking times were 37.8 kg/d and 3.78/d, respectively. Percentages of milk fat, milk protein and solids-not-fat were 3.73%, 3.27% and 8.43%, respectively. Milking times was correlated positively with daily milk yield ($P < 0.01$) and negatively with milk fat percentage ($P < 0.05$).

Total time spent eating was 279.0 min/d, including the time in the robot (16.9 min/d). Total time spent rumination was 386.7 min/d. Dry matter intake (DMI) of TMR and concentrate in the robot were 22.7 kg/d and 4,586 g/d, respectively. Total DMI was 27.3 kg/d and 3.95% of body weight. The meal length of TMR went below 20 min, if intake of concentrate at individual milking exceeded 3,000 g. It might be concluded that individual cow management came to be as important as herd one for an AMS, especially high yielding cows.

要 約

自動搾乳システム (AMS) における高泌乳牛の飼養方法について、飼料設計と乳生産の面から検討した。酪農大附属農場の AMS 牛舎で飼養するホルスタイン種乳牛 21 頭を供試した。調査項目は、配合飼料および混合飼料 (TMR) の採食量および採食行動、産乳量ならびに乳成分率であった。TMR は維持と日乳量 20 kg/日に相当する栄養濃度とし、搾乳ロボット内での

配合飼料給与量は平均 5.9 kg/日であった。供試牛群の産乳量は 37.4 kg/日であり、搾乳回数は 3.78 回/日であった。乳脂肪率、乳蛋白質率および無脂固形分率は、それぞれ 3.73%、3.27% および 8.43% であった。搾乳回数と産乳量との間には正の相関関係が ($P < 0.01$)、搾乳回数と乳脂肪率との間には負の相関関係が認められた ($P < 0.05$)。総採食時間は 279.0 分/日 (うちロボット内採食時間は 16.9 分/日) となった。総反芻時間は 386.7 分/日であった。TMR および搾乳ロボット内の配合飼料採食量は、それぞれ 22.7 kgDM/日および 4,586 gDM/日であった。1 日の総乾物採食

量は27.3 kgDM/日となり、体重に対する比では3.95%となった。また、搾乳1回あたりの配合飼料摂取量が3,000 gを超えると、その直後のTMR採食時間は20分を下回ることが確認された。これらの結果から、AMSにおける高泌乳牛の飼養方法に関しては、群の管理とともに、個体管理の重要性が認識された。

緒 言

自動搾乳システム (AMS) では搾乳中に配合飼料を与え、その後の飼槽エリアにて混合飼料 (TMR) または粗飼料を採食させる一方向移動型のレイアウトが一般的である。このことにより、乳牛を自発的かつ円滑に搾乳ロボットへと誘導することが可能となる (PRESCOTT *et al.*, 1998)。こういったAMSの構造上、飼槽エリアで給与する飼料の栄養濃度は、搾乳中の配合飼料からの養分供給量を差し引いたものとなる。このため、AMS牛群の産乳量が広範に分散する場合、TMRの栄養濃度をどの水準に設定するかが重要な問題となる。高栄養濃度のTMRを調製すると、泌乳末期の低泌乳牛は養分過多となる。一方、TMRの栄養濃度を低く設定しすぎると、高泌乳牛の養分要求量を充足させるためにはならなくなる。この場合、搾乳回数の少ない個体では、1日の配合飼料設定量を摂取しきれないという事態に陥るかもしれない。あるいは、一回の搾乳あたりに大量の配合飼料を摂取することになり、ルーメン内発酵環境の乱れにつながることも予測される。このようにAMSの飼養管理は、群管理でありながらも、個体別の産乳量や泌乳ステージといった乳生産に関する要因、搾乳ロボットへの進入といった行動に関する要因あるいはボディコンディションスコアなど、様々な要因が密接に関わってくる複雑なものである。

このためAMSでは独特の飼養管理技術が必要となる。しかしながら、従来のAMSにおける飼養関係の研究の多くは、乳牛の移動に関するもの (DEVIR *et al.*, 1993; STEFANOWSKA *et al.*, 1999)、乳中の生菌数や体細胞数といった衛生的乳質に関するもの (FROST *et al.*, 1999; VAN DER VORST and HOGVEEN, 2000) が主流であった。AMSを管理運営している生産者の立場からすると、給餌戦略や採食行動といった栄養管理に関する情報や、その結果としての乳生産に関する研究が求められる。しかし、その重要性にもかかわらず、この分野に関する知見はほとんど見当たらない。

そこで本研究では、AMS牛群に関して搾乳ロボット内の配合飼料の給与量、TMRの栄養濃度およびそれらの採食行動について着目し調査、検討を行った。そこから得られた結果と泌乳成績を用いて、AMSにおける高泌乳牛の飼養方法について実践的な提案をすることを目的とした。

材料と方法

飼養環境

酪農学園大学附属農場のAMS牛舎で飼養する乳牛21頭を供試し、2001年6月に調査を実施した。供試牛はすべて2産以上であり、平均体重は700 kgであった。牛舎構造はフリーストール方式で、乳牛が休息エリアから搾乳ロボットを経て飼槽エリアに移動する、一方向移動型であった。搾乳は不定時自由搾乳とし、乳牛はロボットの洗浄時を除いて1日約23 h利用可能であった。飼料として、搾乳ロボット内で市販の搾乳牛用配合飼料 (CP 16%以上, TDN 73%以上: 製造業者公表値) を給与し、飼槽エリアではTMRを採食させた。1日に搾乳ロボット内で給与する配合飼料給与量、乳期あるいは産乳量をもとに、予測される実際の搾乳回数との乖離の程度も勘案して、搾乳可能回数を2.1~5.2回/日と設定した。糞尿処理は自動制御のバーンスクレイパーで行った。

飼料給与

TMRの調製は午前10時ころに行い、1日1回給与とした。TMRの構成飼料および化学成分を表1に示す。チモシーおよびアルファルファサイレージはローラベールで調製したので、ミキサーに投入する前に粗く切断して用いた。TMRは残飼が十分でる量であった。

Table 1. Ingredients and nutrient composition of total mixed ration.

Ingredients	— % of dietary DM ⁵⁾ —
Alfalfa silage ¹⁾	29.8
Timothy silage ¹⁾	3.2
Corn silage ¹⁾	28.0
Concentrate mixture ²⁾	22.5
Beet pulp	4.6
Whole cotton seed	7.2
Soybean meal	4.5
Mineral supplement ³⁾	0.10
Vitamin supplement ⁴⁾	0.10
Nutrient composition	
Dry matter, %	57.8
Crude protein, % DM ⁵⁾	16.6
Neutral detergent fiber, % DM ⁵⁾	40.5
Total digestible nutrients, % DM ⁵⁾	68.0

¹⁾ Chemical composition of alfalfa silage, timothy silage and corn silage was 53.9, 55.5 and 34.7% for dry matter; 13.4, 11.0 and 8.36%DM for crude protein; 38.7, 40.8 and 21.0%DM for acid detergent fiber, respectively.

²⁾ Contains 58% grains, 21% oil meals, 17% brans and 4% other.

³⁾ Contains 220 g and 110 g/kg of Ca and P, respectively.

⁴⁾ Contains 10,000 IU and 2,000 IU/g of vitamins A and D₃, respectively

⁵⁾ Dry matter

たことから自由採食であったとみなした。TMRの設計については、日本飼養標準・乳牛（1999年版）に付属している養分要求量計算シートと飼料計算シートを使用した。原則として、維持と20 kg/日の産乳に要する養分量をTMRでまかない、それ以上の産乳に要する養分量を搾乳ロボット内の配合飼料で補った。また、日乳量が20 kg/日に達しない個体についても、搾乳ロボットへの誘導という観点から最低限0.1 kg/日の配合飼料を給与した。搾乳ロボット内の配合飼料給与量を平均すると5.9 kg(0.1~10 kg/日)であった。なお、搾乳ロボット内の配合飼料は搾乳を行う場合のみ給与され、搾乳されずに通過した場合は落下しない仕組みとなっていた。水およびミネラル塩は自由摂取とした。

測定項目

2001年6月12~15日にかけて牛乳サンプルの採取を72時間連続で行った。牛乳のサンプル採取には搾乳ロボットの自動サンプル採取装置を使用した。採取したサンプルごとに赤外線牛乳分析装置(MILKO-SCAN 133 TYPE 10900, FOSS ELECTRIC, Denmark)を用いて乳成分を分析した。産乳量については6月の1カ月分について、AMS管理用のコンピューターに記録されたデータを整理した。6月23~24日に搾乳時および飼槽エリアでの採食行動を24時間連続で調査した。搾乳時については、乳牛が搾乳ロボット内に進入してから退出するまでの期間を肉眼によって連続観察した。配合飼料の給与量は、自動給与装置のシリンダ弁の開閉回数を計測し、あらかじめ調査した開閉1回あたりの配合飼料落下量(54.1 g±0.4)に乗ずることにより算出した。乳牛が退出した直後に搾乳ロボット内の飼槽を確認し、残飼が認められた場合は計量した。飼槽エリアにおけるTMRの採食行動を5分間隔で直接観察した。採食行動は個体別に調査した。反芻活動については群内で反芻している牛の頭数をカウントし、牛群全体で観察された反芻時間を飼養頭数で除すことにより、1頭あたりの反芻時間とした。また、採食行動観察時のTMR給与量と残飼量を計量し、牛群全体の採食量を算出した。粗飼料、配合飼料およびTMRについて乾物(DM)、中性デタージェント繊維(NDF)、酸性デタージェント繊維(ADF)および粗蛋白質(CP)含量を測定した。DM、NDFおよびADFについては常法(小坂, 1994)に従った。可消化養分総量は、粗飼料についてはADF含量を用いた推定式を用い(小林と棟加登, 1994)、各濃厚飼料については製造業者の公表値を用いた。

結果および考察

泌乳成績

供試牛群の泌乳成績を表2に示す。平均産乳量は37.4 kg/日であり、最大55.1 kg/日から最低の13.2

Table 2. Milk yield, milk composition, no. of milkings and lactation parameters for the experimental herd.

	average s. e. ¹⁾		range
Milk yield, kg/d	37.4	2.17	13.2 ~ 55.1
Milk composition, %			
Fat	3.73	0.12	2.41 ~ 4.65
Protein	3.27	0.05	2.68 ~ 3.70
Solids-not-fat	8.43	0.06	7.94 ~ 8.76
No. of milkings, /d	3.78	0.19	2.34 ~ 5.03
No. of lactation	3.00	0.24	2 ~ 5
Lactation days	175.1	23.7	15 ~ 361

¹⁾ Standard error

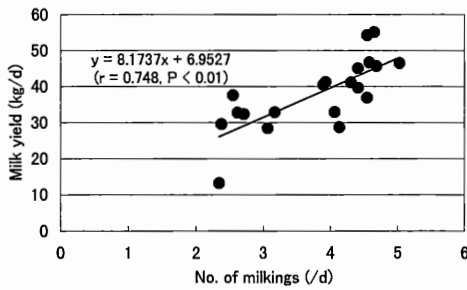
kg/日までばらつきがみられた。乳脂肪率、乳蛋白質率および無脂固形分率はそれぞれ3.73%、3.27%および8.43%であった。搾乳回数は3.78回/日であった。牛群の平均産次は3産で、泌乳日数はおおよそ175日であった。

AMSの導入により、従来一般的であった1日2回搾乳からそれ以上の多回搾乳になるので乳量の増加が期待されている(IPEMA *et al.*, 1998; GAJA *et al.*, 2000; LIND *et al.*, 2000)。国内の事例では、AMSの導入に伴い約6%の乳量増が確認されている(自動搾乳システム実用化平成12年度報告書, 2001)。今回の調査実施時期は、本農場がそれまでの繋ぎ飼養方式からAMSに移行して7カ月が経過した時点であった。乳期あるいは産次なども変化したため、飼養方式の変更に伴う乳量の増減を個体レベルで比較するのは難しい。平均日乳量が高く乳量の増加が予測されるので、出荷乳量や在籍頭数に関する年間のデータの蓄積を待って比較検討を行う予定である。

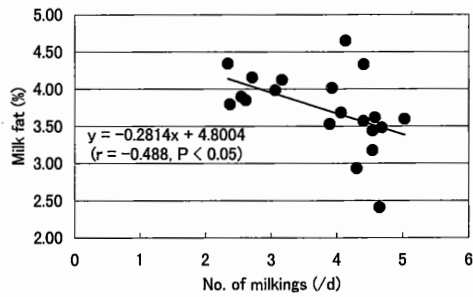
乳脂肪率および乳蛋白質率に関しては、従来の1日2回搾乳と比べ大きな相違はみられなかった。HOGVEEN *et al.* (2000)は、1日2回から3回に搾乳回数を増やすことで乳量は14.9%増加するが、乳脂肪率および乳蛋白質率は全く変化しないことを認めている。この結果は定時搾乳によるものであるが、不定時多回搾乳であった本報告においても同様の傾向が示された。一方、無脂固形分率は8.43%と低い値を示した。無脂固形分率に関しては、観察日に最も近接したバルク乳出荷時の値が8.71% (乳業メーカーによる分析値)と差がみられたことから、引き続き調査が必要と考える。搾乳回数は1日3回を大きく上回ったが、このことは在籍頭数が搾乳ロボット1台に対し21頭と少なかったことや、搾乳可能回数を2.1~5.2回/日に設定したためであると考えられた。

次いで、個体ごとの搾乳回数と産乳量および乳成分との関係を図1に示した。搾乳回数と産乳量は直線的な関係を示した($r=0.748$; $P<0.01$)。また、搾乳回数と乳脂肪率との間にも緩やかな負の相関関係がみら

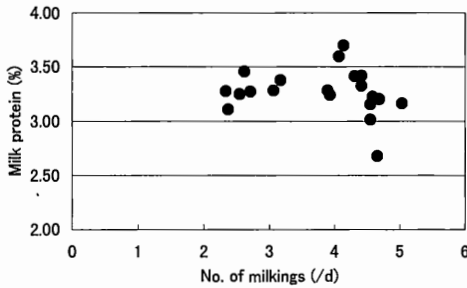
a) No. of milkings × milk yield



b) No. of milkings × milk fat concentration



c) No. of milkings × milk protein concentration



d) No. of milkings × solids-not-fat concentration

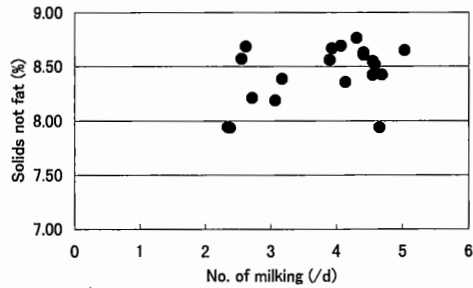


Fig. 1 Relationship among no. of milkings and yield or composition of milk.

れた ($r = -0.488$; $P < 0.05$)。乳蛋白質率あるいは無脂固形分率については、いずれも相関関係は認められなかった。以上から、搾乳可能回数を多く設定することにより1頭あたりの日乳量が増加する可能性が示唆された。ただし、搾乳ロボットには1日の搾乳可能回数に限界があり、50頭程度(野附, 1998; 市戸, 1998)から多くても80頭程度(SONCK and DONKERS, 1995)が、1日3回搾乳を想定した場合の最大収容頭数であると考えられている。したがって、各個体の搾乳回数を増加させるという選択はAMS 1台当りの飼養頭数に余裕がある場合に限って有効である。また、搾乳回数の増加により乳脂肪率の低下につながる可能性もあり(図1-b)、慎重な判断が求められる。

1日の採食行動および採食量

1日の採食行動および採食量の結果を表3にとりまとめた。飼槽エリアにおけるTMR採食時間は262.9分/日、搾乳ロボット内の採食時間は16.1分/日であり、1日の総採食時間は279.0分/日となった。総反芻時間は386.7分/日であった。1頭あたりのTMR採食量は22.7 kgDM/日であり、飼料設計時の期待摂取量(19.4 kgDM)に対して117%となった。搾乳ロボット内の配合飼料摂取量は4,586.0 gDM/日であり、AMS管理用コンピューターで設定した給与量(5.14 kgDM/日)に対しては89.2%となった。1日の総乾物採食量は27.3 kgDM/日となり、体重に対する比では3.95%であった。

総採食時間は標準的な値であったが、TMR採食量や粗飼料割合から判断すると反芻時間はやや短かった

Table 3. Time spent eating and rumination and intake both total mixed ration (TMR) and concentrate in milking robot for cows.

	average	s. e. ¹⁾
Eating time, min./d		
TMR on feed bunk	262.9	10.8
Concentrate in milking robot	16.1	1.61
Total	279.0	11.3
Rumination time, min./d	386.7	—
Intake		
TMR, kg DM/d	22.7	—
Concentrate, g DM/d	4586.0	595.0
Total, kg DM/d	27.3	0.59
% of body weight	3.95	0.13

¹⁾ Standard error

ように思われる(WELCH and HOOPER, 1988)。TMRの採食量が設定量と比べて多かったことに関しては、採食の順序が関係していたのかもしれない。MORITA *et al.* (1996)は、AMSにおける濃厚飼料と粗飼料の採食順序や採食量の関係について検討している。その結果、搾乳ロボット内で適度な配合飼料が採食されると、その後の粗飼料採食量が増加することを認めた。このことから搾乳ロボット内で配合飼料を給与する一方方向移動型のシステムは、搾乳ロボットへの乳牛の誘導という意味合いに加えて、飼槽エリアにおけるTMRあるいは粗飼料の採食量を増加させるという二義的な効果をもたらすと推察される。今回の調査では総乾物採食量の体重比が3.95%と高い値であったが、搾乳中の配合飼料給与量とTMRの栄養濃度を操作

することにより、さらなる採食量の増加が望めるかもしれない。

その一方で、搾乳中の配合飼料摂取量は設定値の9割程度にとどまった。この原因としては、当日の搾乳回数が少ない個体が存在したこと、給与量の多い個体で若干の残食がみられたこと、あるいは給餌機の誤作動による配合飼料の不落下が数回確認されたことなどが挙げられる。DEVIR *et al.* (1996) は、搾乳ロボットにおいて配合飼料給与量が6 kg/日を越えると、給与量に対して90%程度しか摂取されないことを認めている。このような場合には、行動の活発な日中における個体別の採食状況や搾乳ロボットへの進入パターンなどを十分把握した上で、それぞれの乳牛に応じた給与プログラムを設定すべきであると述べている。つまり、群としてではなく個体としての管理の比重を高めるべきであると指摘している。放し飼い方式において個別管理を組み込むことは、飼養管理の上で非常に大きな利点である。高泌乳牛群をAMSで維持管理していくためには、配合飼料の給与を搾乳ロボットへの誘導といった観点のみでとらえるのではなく、給餌戦略の重要な一部分であることを認識し、個体管理に応用すべきである。

各搾乳時における配合飼料採食量とその後のTMR採食時間との関係

搾乳ごとの配合飼料採食量とその直後のTMR採食時間の関係について図2にまとめた。両者の関係に明確な相関関係は認められなかったが、いくつかの法則が読み取れた。搾乳後に60分以上連続でTMRを採食したのは、配合飼料採食量が2,000 g未満の場合に限られた。また、TMRの採食時間が20分に満たない場合は、あらゆる摂取量において確認された。一方、配合飼料採食量が3,000 gを超えると、TMR採食時間は例外なく20分以下となった。配合飼料を大量に摂取した後は、ある程度の量の粗飼料を採食することが望ましい。しかし、3,000 g以上の配合飼料を摂取し

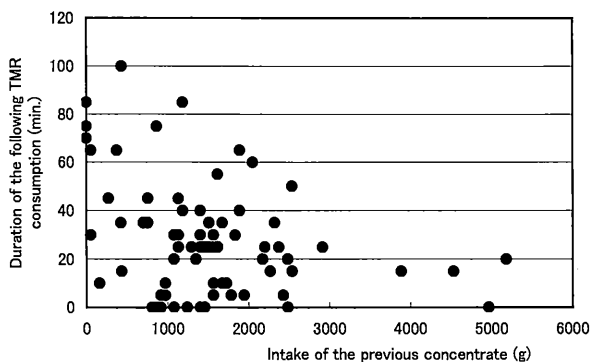


Fig. 2 Relationship between intake of concentrate in the milking robot and duration of the following total mixed ration (TMR) consumption.

た乳牛のルーメンには、少量の粗飼料しか流入しなかったものと推察される。この状況が日内で幾度も発生すると、ルーメン内の発酵のバランスが乱れることは容易に想像がつく。AMSでは搾乳ロボット自体が濃厚飼料の自動給餌機の意味合いも持つため、細やかな個体管理ができると考えられている。しかし搾乳ロボット内に設けられた自動給餌装置は、乳牛が訪れたすべての機会において飼料を投下するわけではなく、搾乳が行われる場合に限って給与する設定となっている場合が多い。それゆえ、長期間搾乳ロボットを訪れない高泌乳牛では一度に落下する配合飼料の量が多くなってしまふので、ルーメン環境の観点から好ましくないものとなる。表3よりAMSの牛舎構造では、飼槽エリアにおけるTMRの採食量が従来の飼養環境と比べて増加する可能性が示唆された。この点から推察すると、高泌乳牛に対しては搾乳ロボット内の配合飼料給与量を幾分少なめに設定しても、TMRの採食量の増加分で養分要求量を充足させることが可能であるかもしれない。あるいは、泌乳末期牛の過肥に注意する必要があるが、TMRの栄養濃度を高めに設定することも良策であるかもしれない。これらのことから、AMSでは単に養分要求量を充足させることにとらわれるのではなく、ある程度乳牛の自由度に期待した飼養管理というのにも検討に値すると考えられた。

AMSはオランダを中心としたヨーロッパで発達した技術である(柏村, 2000)。ヨーロッパの酪農では、乳成分率は高いが1頭あたりの1乳期乳量が5,000 kg台とそれほど高くない(畜産の情報 海外編, 2001)。このような環境が主流であるならば、飼槽エリアでは粗飼料のみを給与するだけでも問題がなくなり、AMSの飼養管理は容易となる。しかし、日本のように高産乳量を追及する傾向の強い酪農にあっては、飼槽エリアにおけるTMRの給与は不可欠である。こういった意味から、日本型酪農に適したAMSの飼養管理技術を構築していく必要がある。TMRの栄養濃度と配合飼料給与量との関係は引き続き重要課題だと言える。

まとめ

本研究の結果から、高泌乳牛が短期間に大量の配合飼料を採食した場合には、その後のTMR採食時間が減少することが明らかとなった。AMSにおいて生産性を落さず、かつ健康に高泌乳牛を飼養するためには、群を対象としたTMRの栄養濃度と、個体を対象とした配合飼料の給与方法をそれぞれ有機的に検討していくことが求められる。

世界的にみても、AMSにおける乳牛飼養に関する研究はその緒についたばかりである。また、AMS発祥の地であるヨーロッパと日本では飼養する乳牛の特質も大きく異なる。今後、わが国においてAMSが今以上

に普及すると想定されるので、日本に適した飼養管理技術の構築が急務である。

謝 辞

本研究を推進するにあたって、日々の飼養管理等にご協力をいただいた酪農学園大学附属農場の技師の方々に感謝の意を表します。

文 献

- DVIR, S., J. A. RENKEMA, R. B. M. HUIRNE and A. H. IPEMA (1993) A new dairy control and management system in the automatic milking farm: Basic concepts and components. *J. Dairy Sci.*, **76**: 3607-3616.
- DEVIR, S., J. P. T. M. NOORDHUIZEN and P. J. M. HUIJSMANS (1996) Validation of a daily automatic routine for dairy robotic milking and concentrates. *J. Agric. Engng Res.*, **64**: 49-60.
- FROST, A. R., T. T. MOTTRAM, C. J. ALLEN and R. P. WHITE (1999) Influence of milking interval on the total bacterial count in a simulated automatic milking system. *J. Dairy Res.*, **66**: 125-129.
- GAJA, G., M. AYADI, C. CONILL, M. BEN M'RAD, E. ALBANELL and X. SUCH (2000) Effects of milking frequency on milk yield and milk partitioning in the udder of dairy cows. In *Robotic milking: Proceedings of the international symposium on robotic milking* (HOGEVEEN, H. and A. MEIJERING eds.) 177-178. Wageningen Pers. Wageningen. The Netherlands.
- HOGEVEEN, H., J. D. MILTENBURG, S. DEN HOLLANDER and K. FRANKENA (2000) A longitudinal study on the influence of milking three times a day on udder health and milk production. In *Robotic milking: Proceedings of the international symposium on robotic milking* (HOGEVEEN, H. and A. MEIJERING eds.) 297-298. Wageningen Pers. Wageningen. The Netherlands.
- 市戸万丈 (1998) 搾乳ロボット開発研究の現状と展望. *農業機械学会誌*, **60**: 138-142.
- IPEMA, A. H., C. C. KETELAAR-DE LAUWERE, A. C. SMITS and J. STEFANOWSKA (1998) Integration of robotic milking in dairy farms. In *Proceedings of the Dutch-Japanese workshop on precision dairy farming* (VAN'T KLOOSTER, C. E. and K. AMAHA eds.) 17-21. IMAG-DLO. Wageningen. The Netherlands.
- 畜産技術協会編 (2001) 自動搾乳システム実用化平成12年度報告書. 第1章1-(1)および(2)の項. 1-30. 畜産技術協会. 東京.
- 柏村文郎 (2000) 日本およびヨーロッパにおける搾乳ロボットの開発と実用化への歩み. *北畜会報*, **42**: 1-10.
- 小林亮英, 棟加登きみ子 (1994) 粗飼料の品質評価ガイドブック. 飼料のTDNの推定の項執筆. 自給粗飼料品質評価研究会編. 56-62. 日本草地協会. 東京.
- 小坂清巳 (1994) 粗飼料の品質評価ガイドブック. 飼料の化学分析の項執筆. 自給粗飼料品質評価研究会編. 6-16. 日本草地協会. 東京.
- LIND, D., A. H. IPEMA, C. DE KONING, T. T. MOTTRAM and H. J. HERMANN (2000) Automatic milking: Reality, challenges and opportunities. In *Robotic milking: Proceedings of the international symposium on robotic milking* (HOGEVEEN, H. and A. MEIJERING eds.) 19-31. Wageningen Pers. Wageningen. The Netherlands.
- MORITA, S., S. DEVIR, C. C. KETELAAR-DE LAUWERE, A. C. SMITS, H. HOGEVEEN and J. H. M. METZ (1996) Effects of concentrate intake on subsequent roughage intake and eating behavior of cows in an automatic milking system. *J. Dairy Sci.*, **79**: 1572-1580.
- 野附 巖 (1998) 搾乳技術の発展経緯と搾乳ロボットへの期待. *農業機械学会誌*, **60**: 134-137.
- 農林水産省農林水産技術会議事務局編 (2000) 日本飼養標準・乳牛 (1999年度版). 中央畜産会. 東京.
- PRESCOTT, N. B., T. T. MOTTRAM and A. J. F. WEBSTER (1998) Relative motivations of dairy cows to be milked or fed in a Y-maze and an automatic milking system. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, **57**: 23-33.
- SONCK, B. R. and H. W. J. DONKERS (1995) The milking capacity of a milking robot. *J. Agric. Engng Res.*, **62**: 25-38.
- STEFANOWSKA, J., A. H. IPEMA and M. M. W. B. HENDRIKS (1999) The behaviour of dairy cows in an automatic milking system where selection for milking takes place in the milking stalls. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, **62**: 99-114.
- 農畜産業振興事業団企画情報部編 (2001) 畜産の情報海外編. 資料3. 農畜産業振興事業団. 東京.
- VAN DER VORST, Y. and H. HOGEVEEN (2000) Automatic milking systems and milk quality in the Netherlands. In *Robotic milking: Proceedings of the international symposium on robotic milking* (HOGEVEEN, H. and A. MEIJERING eds.) 73-82. Wageningen Pers. Wageningen. The Netherlands.
- WELCH, J. G. and A. P. HOOPER (1988) Ingestion of feed and water. In *The Ruminant Animal Digestive Physiology and Nutrition*. (CHURCH, D. C. ed.)

108-116. Prentice Hall. New Jersey.

