

# 受賞論文

## ビートパルプの反芻家畜飼料資源 としての利用に関する研究

田中勝三郎・有塚 勉・佐渡谷裕朗・佐藤 忠

日本甜菜製糖株式会社総合研究所 飼料研究グループ, 帯広市 080

### はじめに

ビートパルプは、明治初期に甜菜製糖技術がわが国に導入されて以来、主に乳牛用飼料として広く用いられている。しかし、ビートパルプは単なる製造粕、あるいは繊維含量が多いことから粗飼料資源的な認識のもとに使用されており、ビートパルプに関する研究もこれに沿った形で行われてきた。このため、これらの研究ではビートパルプの飼料価値がいかなる機序に由来するのか、また、飼料としてどのような特性を有するのか等の詳細について明らかにされていない。

日本甜菜製糖株式会社総合研究所飼料研究グループは、反芻家畜におけるビートパルプの飼料特性を明らかにする目的で、その理化学性、消化性、産乳性について検討し、これらの結果より、乳牛用飼料への使用モデルを提示した。

### 1. ビートパルプの化学組成 および理化学的特性

ビートパルプの化学組成は、表1に示したように乾物中の約80%が炭水化物であり、細胞壁を構成するペクチン、ヘミセルロースおよびセルロースなどの繊維成分が主体となっている。これら3種類の繊維成分の含量はそれぞれ約23、27および28%で、ペクチン含量が高い点に特徴があり、消化率を低下させるリグニン含量は少ない。

図1および図2にビートパルプの繊維成分をペクチン、NDFおよびADFに画分し、*in vitro*において、それらの消化と発酵特性を経時的に調査した結果を示した。ペクチンは培養2時間目で40%以上が消化され、12時間目にその値は約77%であったが、NDFとADFの消化は緩慢であり、24時間目でもその値はそれぞれ約35および15%であった。また、

表1. ビートパルプと主な飼料の化学組成

	ビートパルプ	とうもろこし	乾物中%			イネ科乾草*
			大豆粕	ふすま		
粗蛋白質	12.6	10.2	52.2	17.7	9.8	
粗脂肪	0.8	4.5	1.5	4.7	2.8	
粗でんぷん	0.0	65.0	5.2	3.6	0.5	
ペクチン	22.9	8.8	7.1	5.4	7.9	
N D F	57.4	10.0	16.3	51.0	70.3	
A D F	30.9	4.6	14.1	12.2	37.3	
ヘミセルロース	26.5	5.4	2.2	38.8	33.0	
セルロース	27.8	3.4	11.9	8.6	32.4	
リグニン	3.1	1.2	2.1	3.6	4.9	

\* ; チモシー主体1番乾草

ビートパルプの乾物消化率は 24 時間目で約 50% であり、ビートパルプの消化に繊維成分のペクチンが NDF, ADF よりも大きく関与していた。これら繊維成分の発酵特性についてみると、NDF と ADF は培養時間による変化が小さく、培養 1 時間目以降において pH 値の極端な低下や、VFA 組成の変化による A/P 比の低下は見られない。ペクチンにおいては、酢酸およびプロピオン酸含量は培養時間が経過するにしたがって増加し、pH 値も低下するが、A/P 比は NDF および ADF より高く、乳牛の乳脂率維持にとってペクチンも有効な成分であることが示唆された。

食物繊維において、腸管腔内での挙動と関連する物理化学的性質として膨潤性 (SV 値) や保水能 (WHC) が検討されている。SV 値は水中での膨潤度を示す指標であり、WHC は細胞壁への吸着水と内孔や壁孔に取り込まれている自由水の割合を示し、SV 値と WHC は一般に高い正の相関を示す。調査した飼料原料の中でビートパルプは SV 値および WHC と最も高い値を示した(表 2)。このことから、ビートパルプはルーメン内容液の吸着や保持が容易な多孔質組織をもち、微生物が生育する環境として好ましい場所であり、分解されやすい繊維であると考えられる。また、一般的にリグニンを除去した繊維は、WHC が高い値を示すことが知られており、結合材としての役割を持つリグニンが少ないビートパルプの繊維成分の消化性の高さを間接的に説明しているものと考えられる。

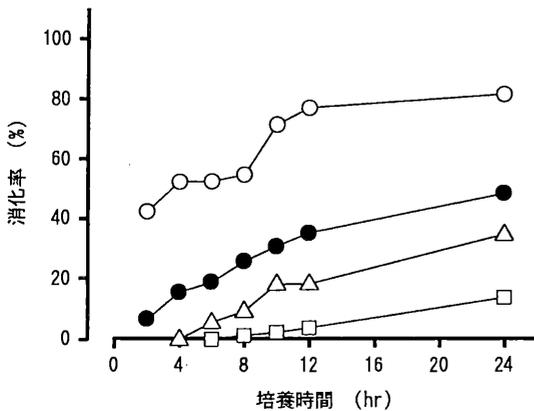


図 1. *in vitro* におけるビートパルプとビートパルプの繊維成分の消化特性

ビートパルプ (●), ペクチン (○),  
NDF (△), ADF (□)

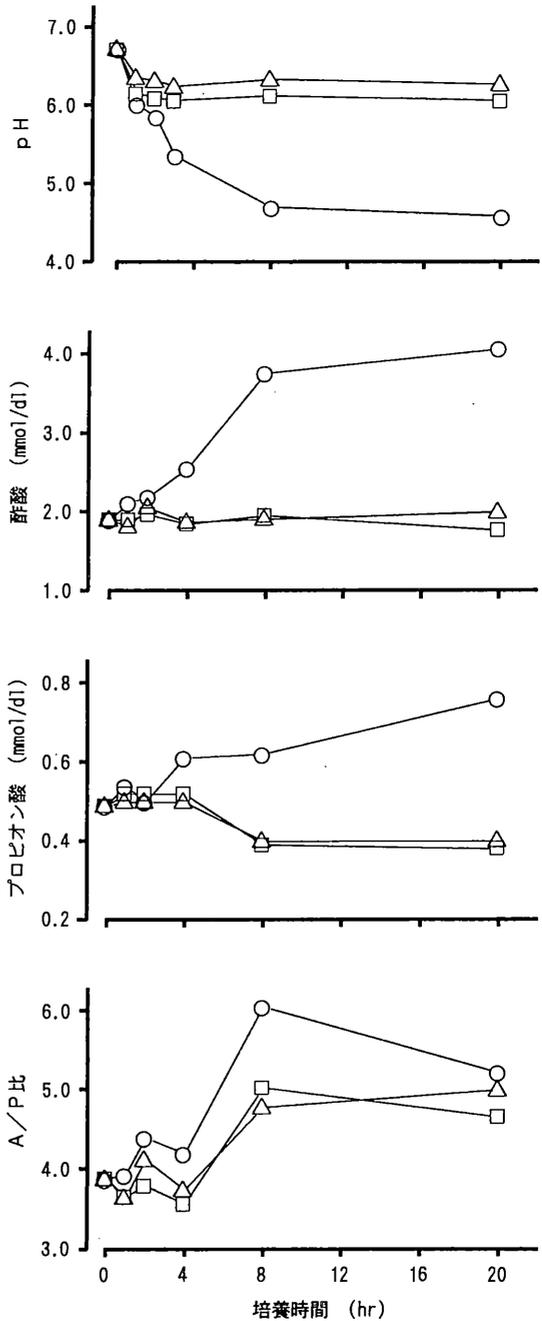


図 2. *in vitro* におけるビートパルプの繊維成分の発酵特性

ペクチン (○), NDF (△), ADF (□)

表2. ビートパルプと主な飼料の膨潤性 (SV値) および保水能 (WHC)

	SV値* (ml/g)	WHC* (%)			
		0×g	900×g	3500×g	8000×g
ビートパルプ	9.3 <sup>a</sup>	89.2 <sup>a</sup>	76.1 <sup>a</sup>	72.2 <sup>a</sup>	71.5 <sup>a</sup>
とうもろこし	3.4 <sup>ef</sup>	64.0 <sup>c</sup>	45.1 <sup>e</sup>	42.7 <sup>ef</sup>	42.4 <sup>fg</sup>
マイロ	2.9 <sup>f</sup>	65.8 <sup>c</sup>	41.1 <sup>e</sup>	39.0 <sup>f</sup>	39.0 <sup>g</sup>
大麦	4.0 <sup>e</sup>	68.7 <sup>c</sup>	59.2 <sup>cd</sup>	49.6 <sup>de</sup>	48.2 <sup>ef</sup>
大豆粕	5.8 <sup>bcd</sup>	82.9 <sup>ab</sup>	69.5 <sup>ab</sup>	68.2 <sup>ab</sup>	67.3 <sup>ab</sup>
なたね粕	5.4 <sup>cd</sup>	81.7 <sup>ab</sup>	63.9 <sup>bcd</sup>	61.6 <sup>bc</sup>	59.4 <sup>cd</sup>
脱脂米糠	6.0 <sup>bc</sup>	82.5 <sup>ab</sup>	55.9 <sup>d</sup>	54.4 <sup>cd</sup>	53.7 <sup>de</sup>
スクリーニングペレット	5.0 <sup>d</sup>	78.9 <sup>b</sup>	63.4 <sup>bcd</sup>	51.1 <sup>d</sup>	49.2 <sup>ef</sup>
アルファルファミール	6.6 <sup>b</sup>	84.3 <sup>ab</sup>	67.3 <sup>abc</sup>	65.6 <sup>ab</sup>	64.3 <sup>bc</sup>

\* ; SV 値は飼料 1g の水中での体積であり, WHC は過剰の水分を各遠心力で除いたときの飼料の水分含量を示している.

a ~ g ; 異なる文字を付けた数値間で有意差 (P < 0.05)

## 2. ビートパルプの消化性

現在, 国内で生産される約 20 万トンのビートパルプに加え, 約 70 万トンのビートパルプが輸入されている. 1990 年における輸入ビートパルプの割合を国別にみると, 米国 64.8%, 中国 21.0%, チリ 10.4% などであり, 米国と中国の 2 国で約 85% を占めている. しかし, これらのビートパルプの栄養価を比較した報告は見当たらない. そこで, 羊を用い, 国産ビートパルプ (NBP ; 日本甜菜製糖株式会社製糖所製造 粗碎物) と市販の米国産および中国産ビートパルプ (UBP および CBP ; ペレット) の消化率, 窒素出納および糞の性状を比較し, 飼料価値を検討した. また, *in vitro* および *in vivo* においてビートパルプの消化率に及ぼす要因についても検討した.

消化試験の結果, 羊の飼料摂取量および飲水量に差はなかったが, 生糞排泄量は NBP に比べ UBP および CBP が多く, 特に CBP と NBP の間に有意差 (P < 0.05) が認められた (表 4). 乾物, 有機物, 粗蛋白質, NDF および ADF の消化率は, 表 5 に示したように NBP が UBP および CBP よりも高い値を示した. また, 各ビートパルプの TDN と DCP 含量は, それぞれ, NBP 85.3%, 7.8%, UBP 80.8%, 6.3% および CBP 75.3%, 5.3% であった. 表 6 に示した窒素出納において, 糞中に排泄された窒素量は NBP が UBP および CBP より少なく, 窒素蓄積量は NBP が CBP より有意 (P < 0.05) に高かった.

表3. 生産国の異なるビートパルプの化学組成

	NBP	UBP	CBP
化学組成 (乾物中 %)			
乾物	86.1	88.0	88.5
有機物	93.5	93.1	95.7
粗蛋白質	11.3	10.4	10.3
NDF	59.9	56.3	57.6
ADF	29.9	28.5	29.3
窒素組成 (全窒素中 %)			
可溶性窒素	6.5	5.2	0.0
ADF 結合窒素	10.5	13.1	11.9

表4. 飼料, 水摂取量と糞, 尿排泄量

	NBP	UBP	CBP
摂取量 (代謝体重当たり g)			
飼料 (乾物)	63.8	64.2	58.5
水	162.0	163.0	160.9
排泄量 (原物 g)			
糞	979 <sup>a</sup>	1333 <sup>ab</sup>	1618 <sup>b</sup>
尿	1196 <sup>a</sup>	844 <sup>b</sup>	692 <sup>b</sup>

異なる文字を付けた数値間で有意差 (P < 0.05)

また、NBPを給与した羊はCBPを給与した羊に比較し、糞のpH値が高く、糞中の総VFA含量は低かった(表7)。

さらに、*in vitro*において培養液中のアンモニア態窒素濃度を指標として、可溶性の窒素源である尿素添加による乾物消化率への影響をみた結果を図3に示した。アンモニア態窒素濃度と消化率には高い正の相関が認められたが、その効果は産出国間で異なった。

以上の結果より、ビートパルプによって消化性が異なる原因として可溶性窒素が関与していることを明らかにし、一般に流通しているビートパルプの飼料価値には差異があることを指摘した。また、羊において、現行の利用形態である粗砕とペレットの消化率に差は認められず、飼料価値の差が形状の違いではないことが確認された。

NBPの栄養価と日本標準飼料成分表の値を比較すると、組成に大きな差異は認められないものの、消化率には差がみられTDN, DCPともそれぞれ10お

表5. ビートパルプの消化率と栄養価

	NBP	UBP	CBP
消化率 (%)			
乾物	90.5 <sup>a</sup>	83.1 <sup>b</sup>	75.6 <sup>c</sup>
有機物	90.9 <sup>a</sup>	86.1 <sup>a</sup>	76.8 <sup>b</sup>
粗蛋白質	68.8 <sup>a</sup>	60.3 <sup>b</sup>	51.1 <sup>c</sup>
NDF	93.1 <sup>a</sup>	87.5 <sup>a</sup>	77.2 <sup>b</sup>
ADF	88.5 <sup>a</sup>	83.5 <sup>a</sup>	72.1 <sup>b</sup>
栄養価 (乾物中 %)			
DCP	7.8 <sup>a</sup>	6.3 <sup>b</sup>	5.3 <sup>c</sup>
TDN	85.3 <sup>a</sup>	80.8 <sup>a</sup>	75.3 <sup>b</sup>

異なる文字を付けた数値間で有意差 (P < 0.05)

表6. 窒素出納

	NBP	UBP	CBP
摂取窒素量 (g)	23.1 <sup>a</sup>	22.4 <sup>ab</sup>	20.2 <sup>b</sup>
糞中窒素量 (g)	8.1	9.3	9.6
尿中窒素量 (g)	7.0	6.0	5.9
消化窒素量 (g)	15.1 <sup>a</sup>	13.1 <sup>b</sup>	10.5 <sup>c</sup>
蓄積窒素量 (g)	8.1 <sup>a</sup>	7.1 <sup>a</sup>	4.6 <sup>b</sup>

異なる文字を付けた数値間で有意差 (P < 0.05)

よび1.5ポイント高い値を示した。これらの差については、さらに検討する必要があると考えられる。

### 3. ビートパルプの産乳性

近年、乳牛の産乳量が増加し、飼料摂取量が著しく低下する泌乳初期における栄養充足率の改善が求められ、特に、エネルギー摂取量をいかに高めるかが課題とされている。しかし、エネルギー価の高いでんぷん質の穀類や脂肪の増給は、反芻動物の生理上限界がある。ビートパルプは嗜好性が良く、ルーメン機能を損なう危険性の少ない消化性の高い繊維成分が多く、このような時期の乳牛には欠かせない飼料として用いられることが多い。そこで、ビート

表7. 糞の性状

	NBP	UBP	CBP
pH	7.3 <sup>a</sup>	7.1 <sup>ab</sup>	6.9 <sup>b</sup>
総VFA (mM/100g)	4.6 <sup>a</sup>	5.5 <sup>a</sup>	12.0 <sup>b</sup>
VFA組成 (VFA中 %)			
酢酸	64.5	67.4	67.0
プロピオン酸	16.5	16.5	16.9
酪酸	10.6	9.8	10.3
吉草酸	8.5	6.3	5.8
アンモニア態窒素 (mg/100g)	14.6	15.3	19.3

異なる文字を付けた数値間で有意差 (P < 0.05)

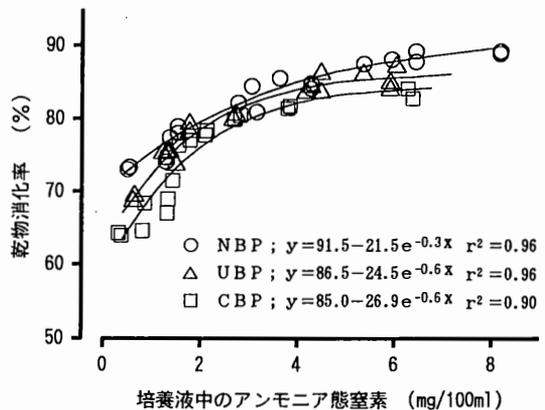


図3. *in vitro*におけるビートパルプの乾物消化率と培養液中のアンモニア態窒素の関係

パルプについて、乳牛用飼料としての給与形態と、粗飼料あるいは穀類の代替性に関し産乳性を基に検討した。

乳牛への給与形態としてビートパルプは、製糖工場から直接未乾燥のもの（生パルプ）をそのまま、あるいはサイレージに調製して給与する場合と、乾燥し、60 kg に圧縮加工したもの（ベールパルプ）を粗砕、あるいは水に浸潤し給与する方法が一般にとられている。これらの給与形態の差異による産乳性への影響として、乾燥・粗砕したビートパルプは生パルプおよび水に浸潤したビートパルプより乳脂率がやや高まる傾向が見られた（表8）。

表9および表10に示したように、イネ科乾草あるいはアルファルファヘイキューブをビートパルプで代替した時の産乳性に及ぼす影響を比較した結果では、ビートパルプ給与による乳量、乳成分はこれらの粗飼料源に比べて優れ、ルーメン内容液の性状にも異常は認められず、ビートパルプで粗飼料の一部を代替できることが示唆された。また、とうもろこしに対する代替効果を調査するため、配合飼料中のとうもろこしの50%をビートパルプで置き替えて試験した結果においても、産乳量、乳成分組成とも差がなく（表11）、ビートパルプはエネルギー飼料としての要素も合わせ持つことが認められた。

#### 4. 吸着材としてのビートパルプの利用

甜菜製糖副産物である糖蜜をベースに培養して得られるイースト (*Saccharomyces cerevisiae*) は、反

表8. ビートパルプの給与形態と産乳性

	RBP*	DBP*	WBP*
各ビートパルプの乾物摂取量 (kg)			
RBP	5.0		
DBP		4.0	
WBP			4.0
乳生産性			
乳量 (kg)	19.7	20.4	20.7
4% FCM (kg)	18.9	19.5	19.4
脂肪 (%)	3.57	3.74	3.55
蛋白質 (%)	3.54	3.61	3.60
SNF (%)	8.73	8.64	8.64

\* ; RBP は生パルプ, DBP はベールパルプの粗砕物, WBP はベールパルプの水浸潤物を示す。

表9. ビートパルプによる乾草代替と産乳性

	H*	HBP*	BP*
乾草とビートパルプの乾物摂取量 (kg)			
乾草	5.7	3.0	
ビートパルプ		3.3	6.5
乳生産性			
乳量 (kg)	21.4	22.7	23.5
4% FCM (kg)	20.7	22.2	22.6
脂肪 (%)	3.79	3.87	3.82
蛋白質 (%)	2.98 <sup>a</sup>	3.08 <sup>ab</sup>	3.15 <sup>b</sup>
SNF (%)	8.66	8.81	8.88

\* ; H は乾草給与, HBP は乾草の半量をビートパルプに替えて給与, BP は乾草の全量をビートパルプに替えて給与したことを示す。

a ~ b ; 異なる文字を付けた数値間で有意差 (P < 0.05)

表10. ビートパルプとアルファルファヘイキューブの産乳性とルーメン内容液の性状

	BP*	ALC*
ビートパルプとアルファルファヘイキューブの乾物摂取量 (kg)		
ビートパルプ	4.3	
アルファルファヘイキューブ		4.2
乳生産性		
乳量 (kg)	23.5	22.4
4% FCM (kg)	22.0	20.8
脂肪 (%)	3.62	3.55
蛋白質 (%)	2.88	2.82
SNF (%)	8.51	8.39
ルーメン内容液の性状		
総 VFA (mM/100ml)	9.4	8.6
酢酸 (mM/100ml)	6.5	6.1
プロピオン酸 (mM/100ml)	1.5	1.3
酪酸 (mM/100ml)	1.4	1.2
A/P 比	4.5	4.6
pH	6.5	6.6

\* ; BP はビートパルプ給与, ALC はアルファルファヘイキューブ給与を示す。

表11. ビートパルプによるとうもろこし  
代替と産乳性

	C*	CBP*	BP*
とうもろこしとビートパルプの乾物摂取量 (kg)			
とうもろこし	5.2	2.6	
ビートパルプ		2.6	5.2
乳生産性			
乳量 (kg)	25.6	25.1	24.9
4% FCM (kg)	24.4	24.5	23.6
脂肪 (%)	3.68	3.82	3.72
蛋白質 (%)	3.09	3.07	3.05
SNF (%)	8.80	8.75	8.72

\* ; 配合飼料原料のとうもろこしについてCは全量とうもろこし, CBPはとうもろこしの半量をビートパルプに替え, BPはとうもろこしの全量をビートパルプに替えて給与したことを示す。

芻家畜に対して飼料摂取量の増加や繊維消化率の向上などの効果が報告されている。しかし、飼料添加物としてイーストを含む発酵培養液(醗)を用いる場合、その活性を保持しながらペレットに加工することは容易ではない。そこで、ビートパルプの多孔質構造、膨潤性や保水能が高いなどの物性を利用して、醗を吸着させ、吸着材としてのビートパルプについて検討した。

その結果、加熱に対するイースト菌の活性保持に効果を認めた。また、これを子牛に投与した結果、増体に改善効果がみられ(表12)、ビートパルプは生菌飼料を含めた液状飼料の吸着材としても優れた特性を有することを明らかにした。

### 5. ビートパルプの乳牛用飼料としての 新たな使用モデルの構築

以上の結果に基づき、ビートパルプの乳牛用飼料への利用方法として、慣行の粗飼料源的な利用に加え、濃厚飼料原料への活用を含めた新たな使用モデルを図4に提示した。

表12. イーストプレミックス\* 給与による  
ホルスタイン雄子牛の増体効果

	無給与	給与
試験数(回)	6	6
試験期間** (日)	69	62
総供試頭数(頭)	168	115
開始体重** (kg)	128.9	131.8
終了体重** (kg)	206.5	210.1
増体重** (kg/日)	1.12	1.26

\* ; イーストプレミックスはイースト菌をビートパルプに吸着させ、ペレット加工した。

\*\* ; 6試験の各頭数による加重平均値。

### おわりに

近年、わが国酪農は厳しい国際競争に打ち勝つため、高泌乳牛飼養が急増している。しかし、高泌乳牛飼養の施設、飼料、管理技術などは未だ十分とはいえず、また、濃厚飼料についても大半を輸入に依存している。

北海道は広大な粗飼料生産基盤を有し、さらに甜菜製糖工業、澱粉工業、発酵工業などから農産加工副産物として粕類も多く産出している。これら副産物の有効活用は、経済的な畜産経営を可能にするものと考えられる。

本研究が、道内産の主要な飼料資源であるビートパルプの活用に寄与し、北海道畜産の発展にいさかかでも貢献できれば幸いである。

北海道畜産学会賞を受賞するに当たり、ご推薦頂きました北海道大学農学部教授朝日田康司博士、上山英一博士、また本研究に当たってご指導頂きました帯広畜産大学助教授岡本明治博士、試験実施にご協力頂きました日本甜菜製糖(株)清川農場職員各位に深甚なる謝意を表します。

ビートパルプの特性

甜菜製糖工場

飼料工場

酪農家

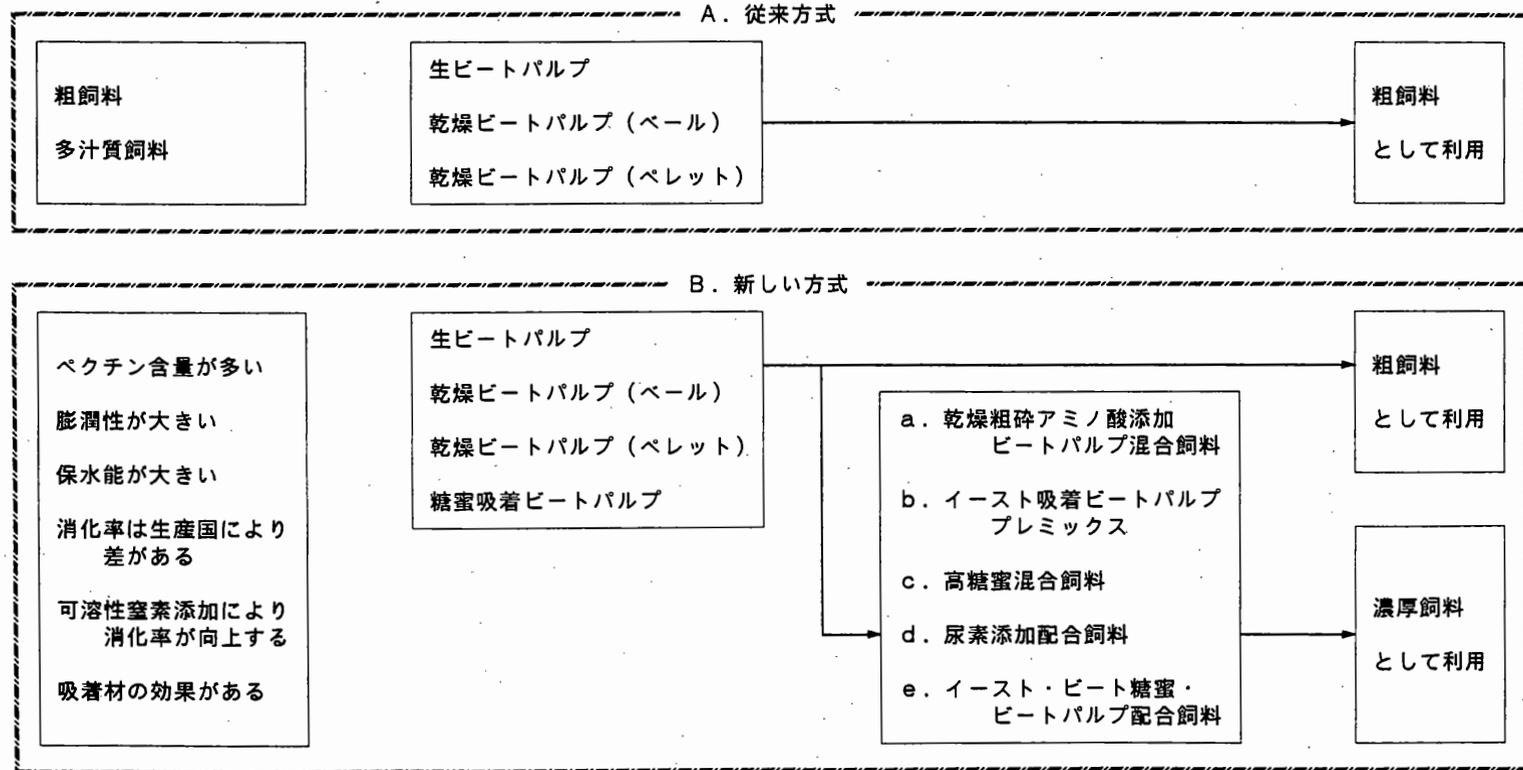


図4. ビートパルプの乳牛用飼料としての使用モデル