

スギ間伐材を微粉碎した 牛のセルロース系濃厚飼料の製造方法

Production of Cellulosic Concentrated Feed for Cattle
from Pulverized Japanese Cedar Thinnings

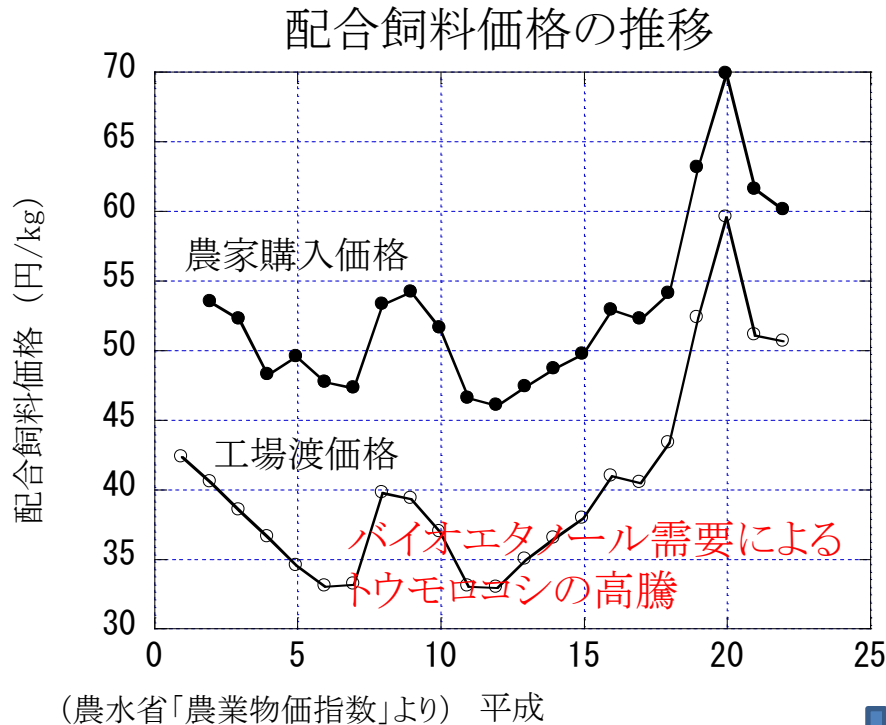
秋田工業高等専門学校 物質工学科
教授 上松 仁

秋田県立大学
理事/副学長 小林淳一

秋田県立大学 システム科学技術学部
助教 高橋武彦
研究員 伊藤 新

研究背景

1. 飼料価格の高騰

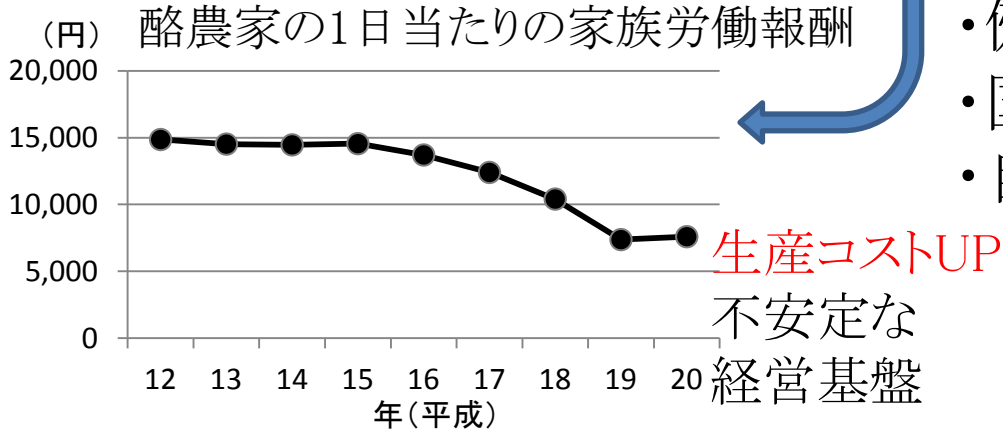


2. 日本の畜産の問題点

- ・濃厚飼料依存型の飼育方式が主流
- ・穀物からなる濃厚飼料は100%輸入
- ・粗飼料の慢性的な不足
- ・トウモロコシの輸入価格に影響される不安定な経営基盤

3. 求められている牛の飼料

- ・安全な飼料を年間を通して安定供給
- ・安価で栄養価が高い
- ・健全・健康な牛の飼育
- ・国産飼料(食糧自給率のアップ)
- ・自動給餌に適合している



需要: 日本の畜産は安全で安価な国産飼料を求めている

4. 木材需要の減少

- 住宅の欧風化による木材使用率の減少
- 木材が省エネルギー型住宅に適さない
- 将来的には少子化による住宅戸数の減少

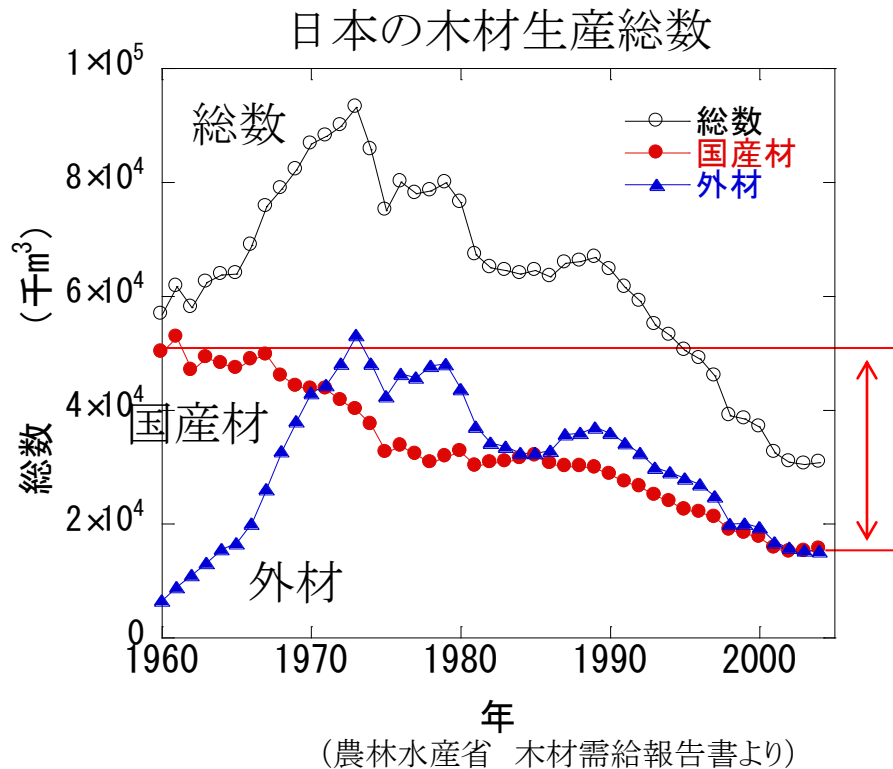
5. 木材をバイオマス資源として考える

トウモロコシ(乾物)換算で
830万トン(2,500億円)/年

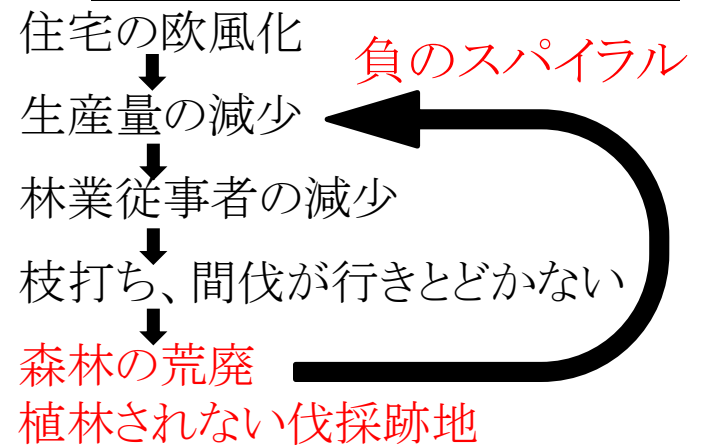
22年度のトウモロコシ
輸入量の76%

↑
食料として
292億 Mcal / 年

↑
国産材の潜在的生産能力
3,500万m³/年

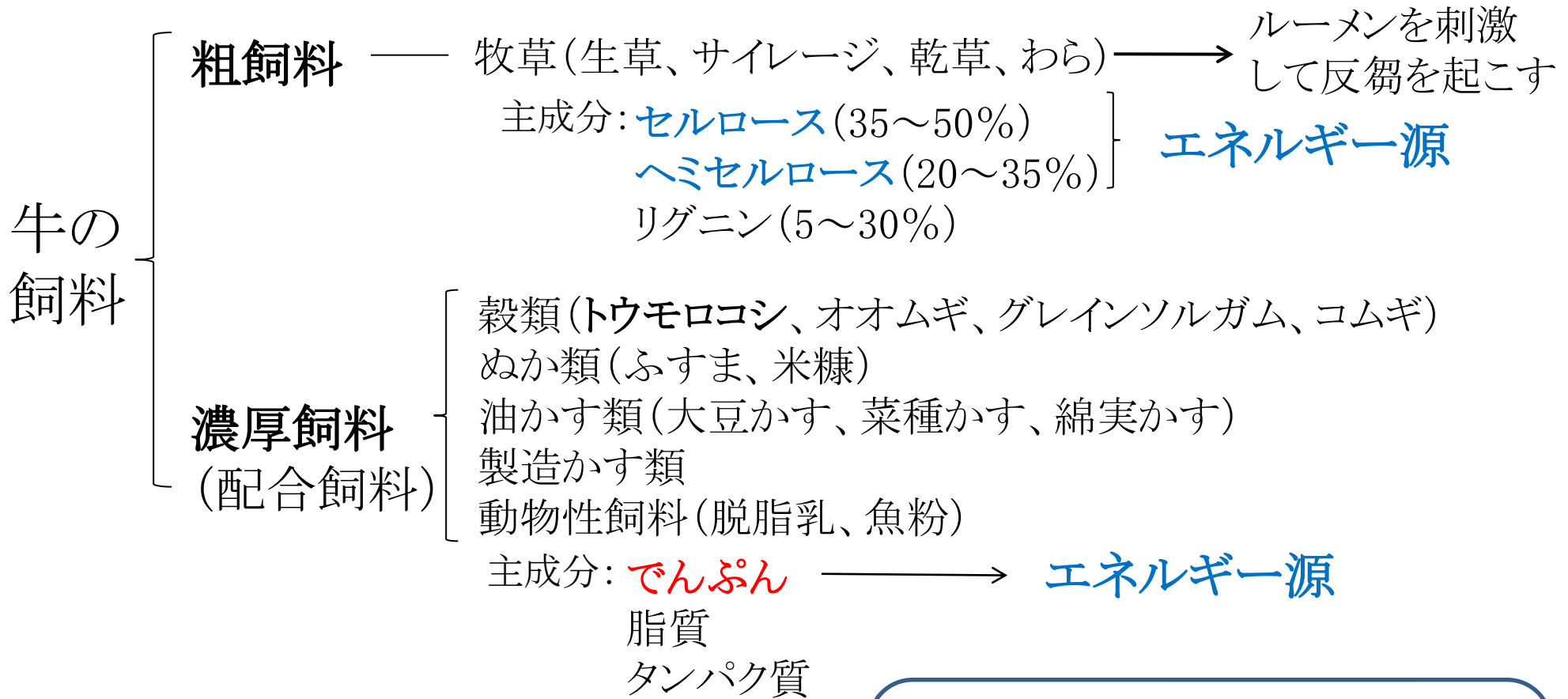


6. 日本の林業の現状



供給: 日本には豊富な木質バイオマス資源がある

7. 牛の飼料の分類



- 穀類は100%輸入されている
- 牧草、稲わらも輸入に頼る傾向にある



輸入飼料の問題:

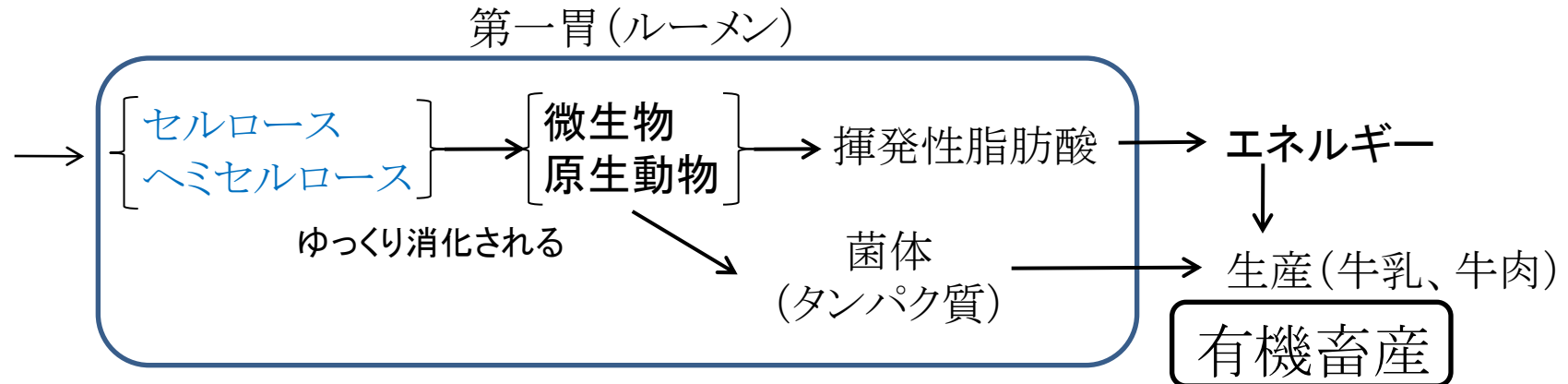
- 食糧自給率の低下
- 畜産経営基盤の不安定化
- 口蹄疫等の感染症の持ちこみ

8. 牛は草だけで生育できる

1. 牛は草だけで生育できる動物である

放牧

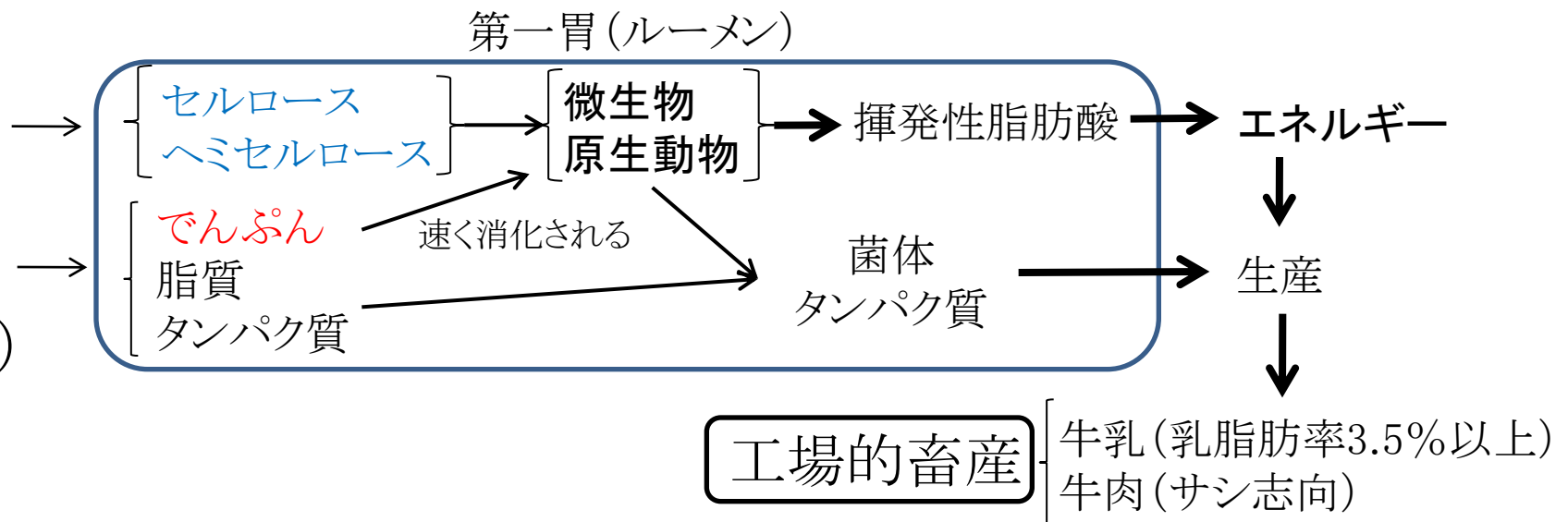
牧草
(粗飼料)



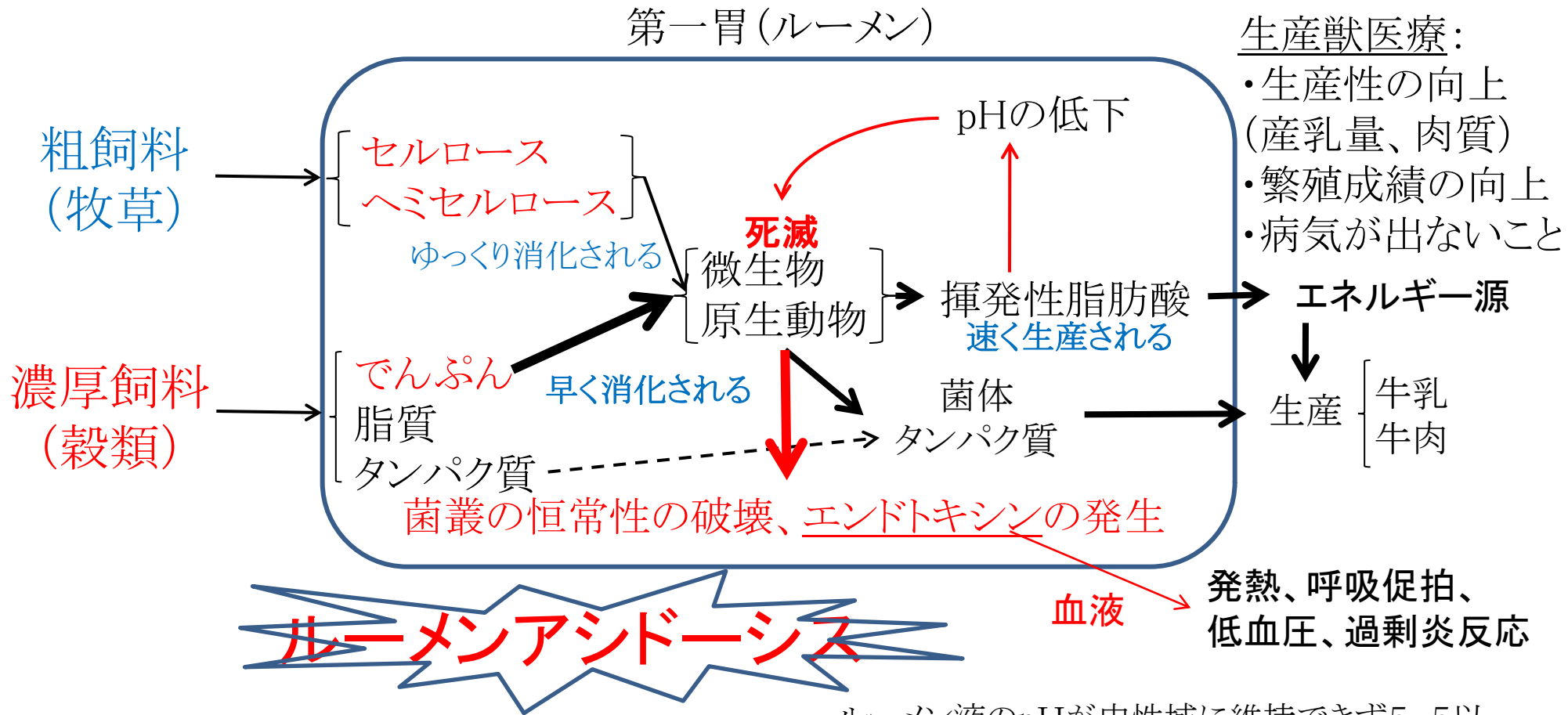
2. 家畜として生産量を上げるために穀類を与えるようになった

舎飼

牧草
(粗飼料)
穀類
(濃厚飼料)



9. 濃厚飼料多給の弊害：ルーメンアシドーシス



濃厚飼料の主要なエネルギー源であるデンプン等の易分解性炭水化物が消化され、揮発性脂肪酸や乳酸が短時間に生成される

ルーメン液のpHが中性域に維持できず5.5以下まで低下し、ルーメン内に生育する微生物の恒常性が破壊される。
原生動物はpH6.0以下が長く続くと死滅する。

提案：濃厚飼料 (配合飼料) の一部を木質飼料ペレットに置き換える

10. 世界の酪農の現状-日本の酪農の特殊性-

(1996年)

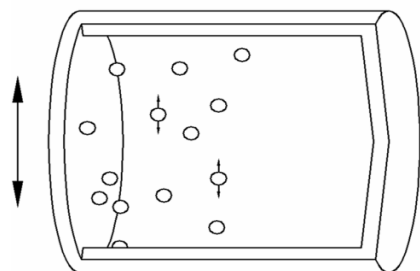
飼育方法		飼養乳用牛頭数 (万頭)	牛乳生産量 (万トン)	牛乳生産量 (kg/頭)
	世界全体	22915	46600	2034
濃厚飼料多給	アメリカ	928	7050	7462
	ドイツ	519	2862	5427
	フランス	456	2541	5670
粗飼料多給	ニュージーランド	299	969	3390
	イギリス	251	1439	5455
濃厚飼料多給	日本	121	838	7195
	中国	395	584	1480

出典:『国際農林水産統計』(農林水産省統計情報部)

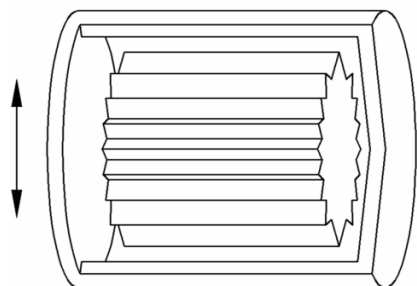
日本には日本に適した酪農があるべき

新技術の基となる研究成果・技術

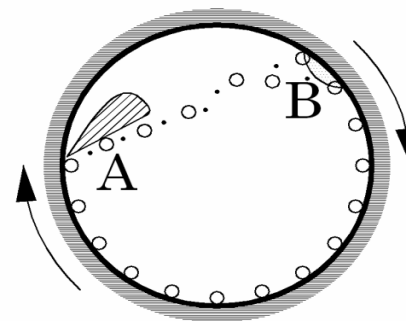
1. 従来ミルによる木質系バイオマス微粉碎の比較検討



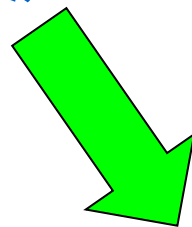
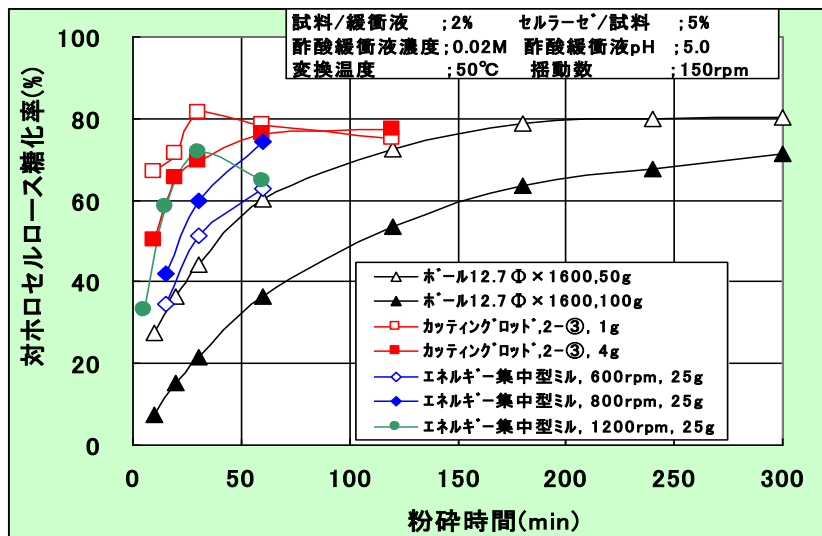
振動ボールミル
(大容量で効率低下)



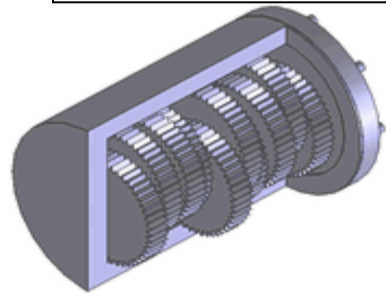
**振動カッティング
ロッドミル**



コンバージミル
(宮城高専で開発)
(連続粉碎が困難)



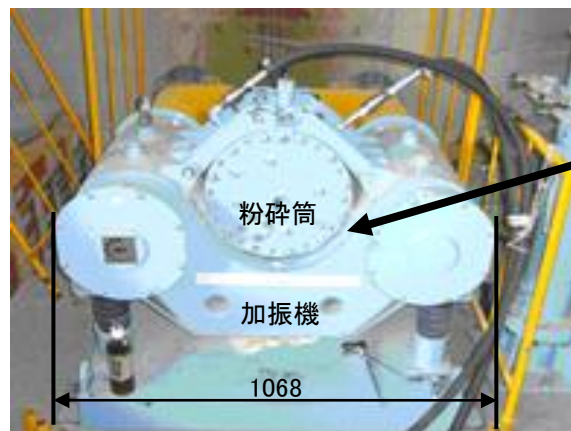
新型粉碎機



インナーパワーリングミル

秋田県立大学
秋田県産業技術
センター

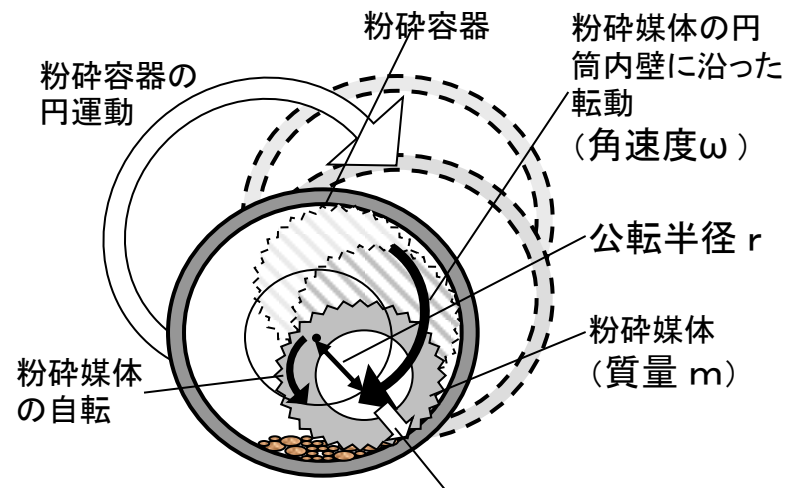
2. 機械的粉砕技術の研究開発



(a) インナーパワーリングミル外観
(秋田県産業技術センター)



(b) 粉碎筒



粉砕に寄与する加速度
 $a=r\omega^2$ ・・・公転半径16mm, 粉碎容器の
 片振幅4mm, 公転速度1500rpm
 で, $493\text{m/s}^2 \Rightarrow 50\text{G}$
 粉砕に寄与する力
 $F=mr\omega^2$ ・・・粉碎媒体重量の50倍

(c) 粉砕に寄与するリング挙動

インナーパワーリングミルの概要

特徴

- ・粉砕対象の微細化と同時に高衝撃力を付加
- ・従来の振動ボールミルに比べて使用エネルギーが大幅に低減
 → 3.6 MJ/木材kg(14.4MJ/エタノール-L)
 (従来の振動ボールミルに比べ, 1/6の省エネルギー化)
- ・処理粉末の高糖化性 → 対ホロセルロースの高糖化率:70%を達成
- ・乾式微粉砕による糖液の高濃度化 → 高糖濃度糖液の生成
- ・多様なバイオマス資源に対応可能 → スギ材, 籾殻, 稲わらなど

3. インナーパワーリングミルの粉砕結果

粉砕条件

駆動方式:円加振

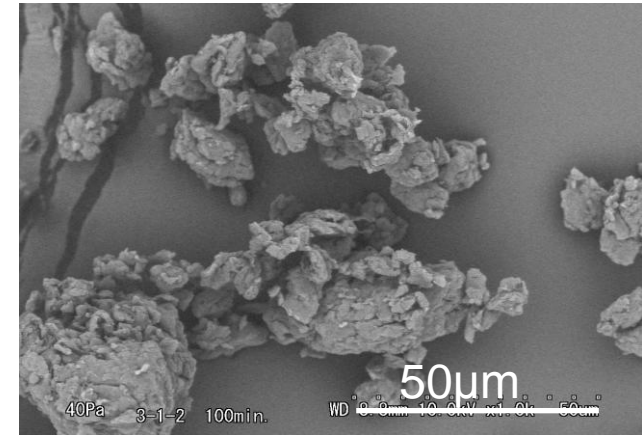
振幅:8mm

振動数:1200, 1500 cpm

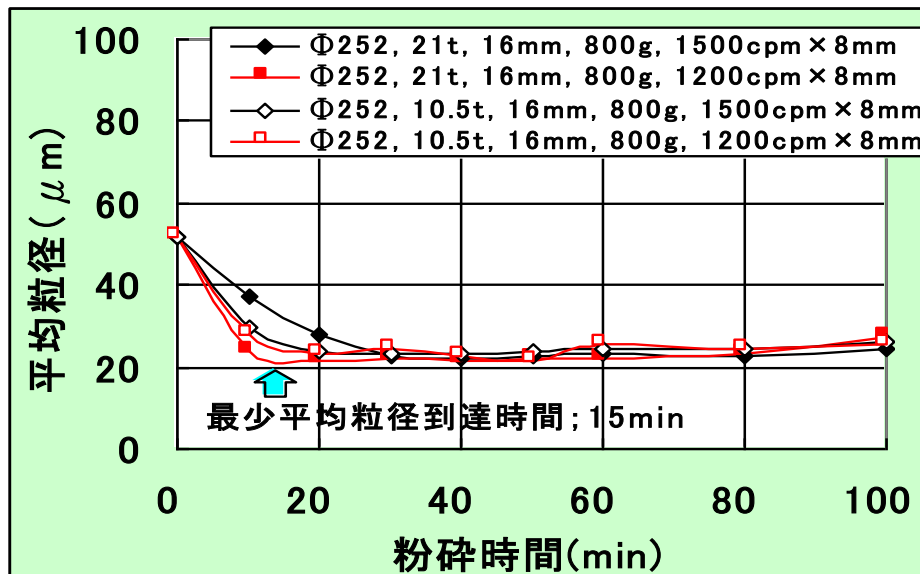
歯車型粉砕媒体の厚さ:10.5mm, 21mm

粉砕量:800g/1回

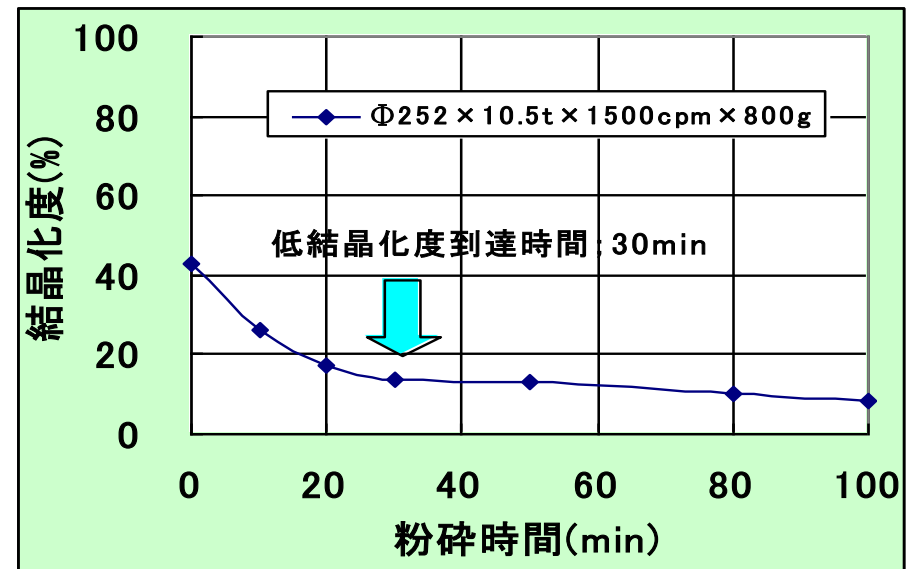
粉砕試料:杉材鋸屑(含水率10%, 200 μ m以下)



電子顕微鏡観察結果



粉砕時間にもなう平均粒径の変化



粉砕時間にもなう結晶化度の変化
⇒非晶化による糖化率の向上

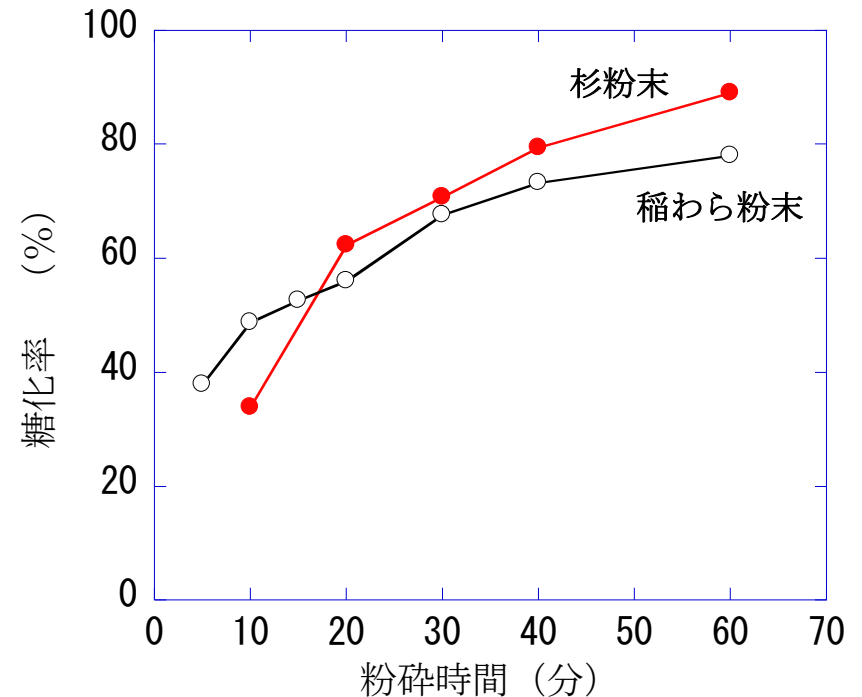
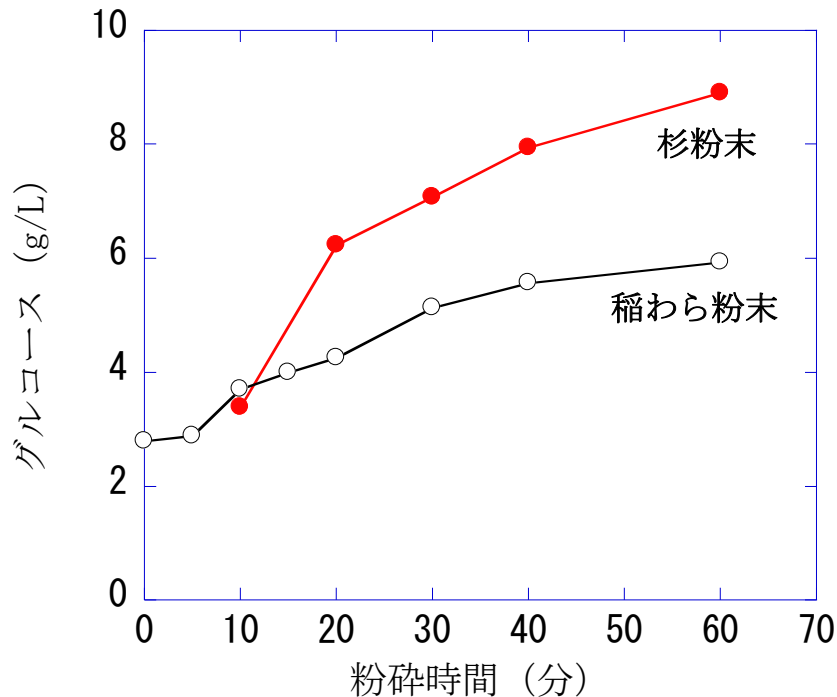
4. 微粉碎木粉のセルラーゼ糖化率

	稲わら	針葉樹	広葉樹
セルロース	38 %	45~50 %	45~50 %
ヘミセルロース	25	15~20	20~25
リグニン	25	25~30	20~25
その他	12		

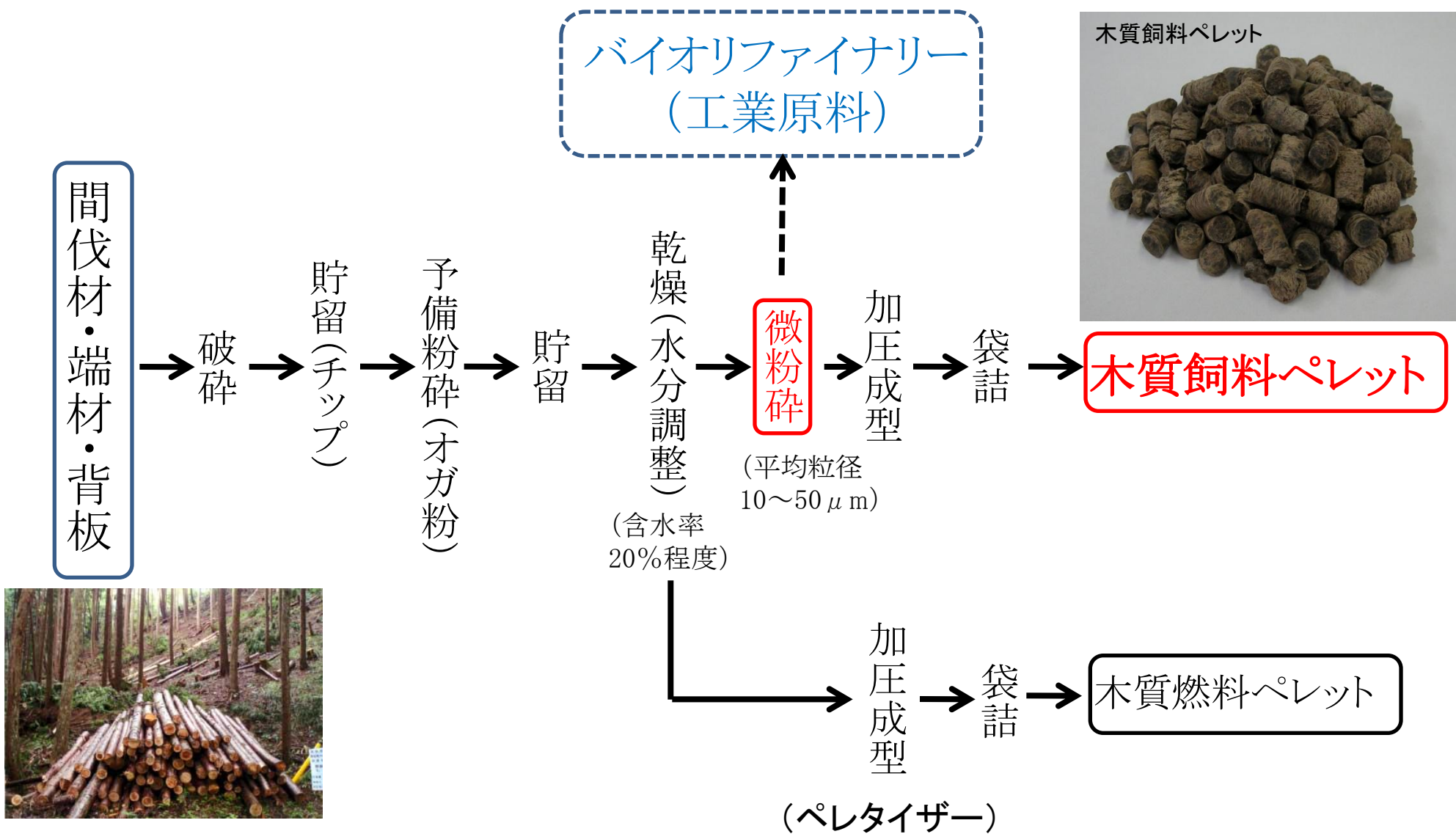
糖化条件:

試料の濃度(試料/緩衝液) 20g/L
 メイセラージェ濃度 5g/L
 緩衝液 50mM 酢酸緩衝液(pH 4.8)
 反応温度 50°C、振とう
 反応時間 48時間

$$\text{糖化率}(\%) = \frac{\text{可溶化したグルコース量}(\text{g})}{\text{試料に含まれるセルロース量}(\text{g})} \times 100$$

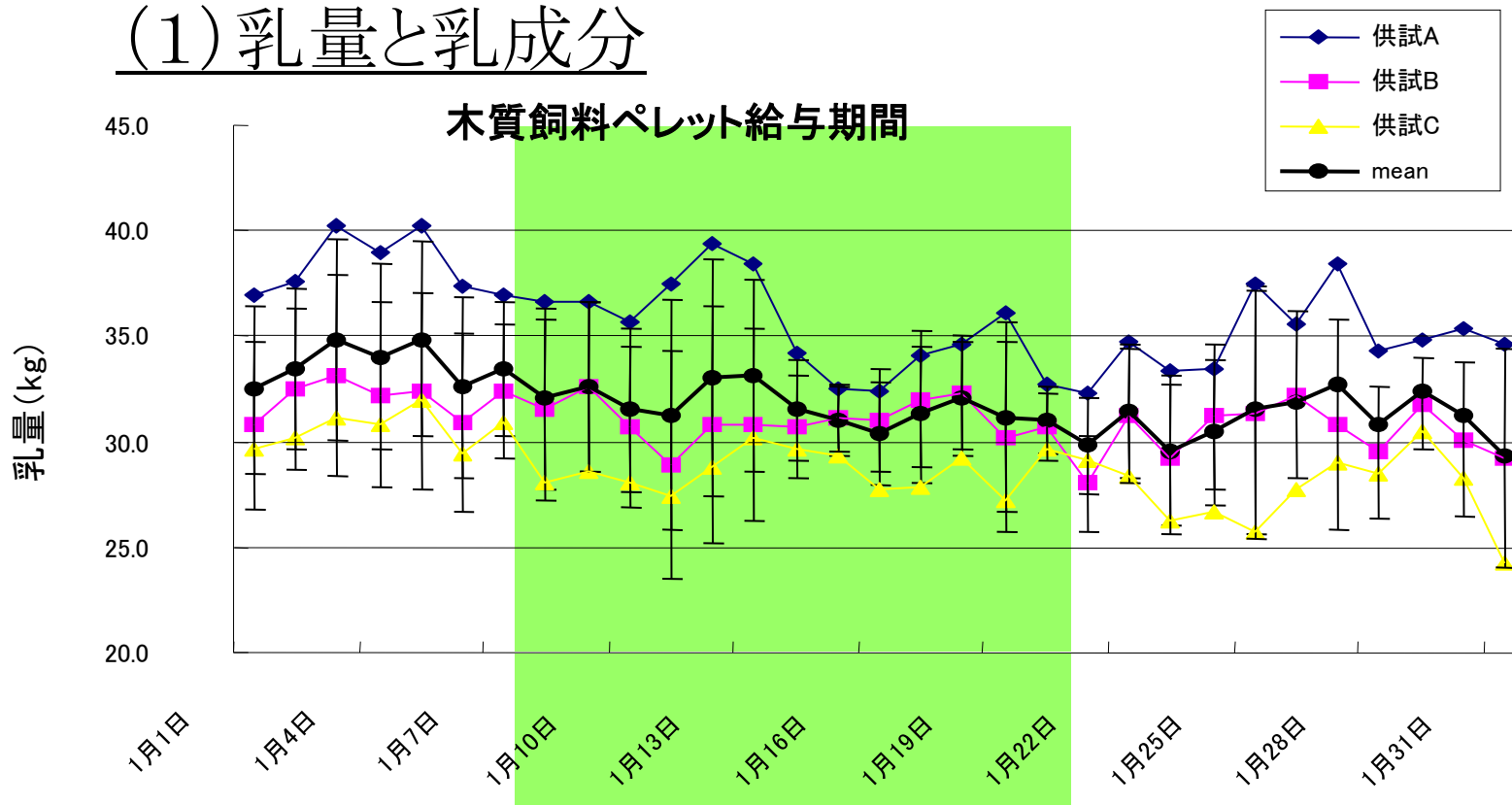


5. 木質飼料ペレットの製造工程



6. 木質飼料ペレットのトウモロコシ代替効果

(1) 乳量と乳成分



乳量30kgレベルの供試BおよびC個体では、乳量の変動は認められなかったものの、乳量約40kgであった供試A個体は、一次乳量32kgまでの低下が認められた。

図. 日乳量の推移

表. 乳成分の変化

乳成分項目	試験前	木質飼料給与	試験後
乳脂率	4.5 ± 0.1	4.8 ± 0.4	5.0 ± 0.1
乳蛋白質率	3.9 ± 0.1	3.8 ± 0.2	3.8 ± 0.1
無脂固形分率	9.0 ± 0.1	8.9 ± 0.1	8.8 ± 0.2

乳成分に影響は認められなかった。
乳脂率の経時的な増加は、乳量の減少によるものと考えられる。

値は平均値 ± 標準偏差

7. 飼育試験のまとめ

- 木質飼料ペレットが原因と考えられる乳量の低下は認められなかった。しかしながら、高乳量レベルの個体で変動が大きく、より詳細な試験設計について検討が必要。
- 乳成分に影響は認められなかった。
- 肝機能・代謝栄養レベルに影響は認められなかった。ただしBUNだけが低下傾向を示した。

従来技術とその問題点

1. 従来技術

従来技術としてリグニンを蒸煮により分解する蒸煮法による木質飼料の製造法が開発されている。すなわち、木材チップを高圧・高温下(6気圧、160℃、180分)で蒸煮し、さらに牛が食べやすいように解繊機で繊維状にすり潰す製造法である。

2. 従来技術の問題点

蒸煮木質飼料には以下の問題点があり流通していない。

- 1) 牧草などの粗飼料と比較して割高である。
- 2) 熱によりヘミセルロースが流出しているので栄養価が低い。
- 3) 加熱処理により牛の貧血・運動障害を起こす有害物質であるフルフラールが生成する可能性がある。

新技術の特徴・従来技術との比較

1. 従来の木質系飼料(蒸煮木質飼料)との比較

比較項目	蒸煮木質飼料	微粉碎木質飼料	本飼料の優位性
飼料の種類	粗飼料	セルロース系濃厚飼料	新しいコンセプト
形状	繊維状	ペレット状	機械給餌が可能
リグニンの分解方法	熱化学的分解 (6気圧、160℃)	機械的粉碎 (平均粒径10~30μm)	非加熱で連続製造 分解率が樹種に依存しない
TDN含量	11% (スギ)*1	55% (スギ)	針葉樹においても高いTDN含量
ME (Mcal/kg)	0.13 (スギ)*1	2.2 (スギ)	針葉樹においても高いME値
セルラーゼ糖化率 (≒消化率)	23% (トドマツ)*2	90% (スギ)	針葉樹においても高い糖化率
有害物質フルフラールの生成	生成する	生成しない	非加熱であるのでフルフラールを生成しなく、安全
工場渡価格 (円/kg-TDN)	409円*3	73円*4(目標)	TDN当たりの価格が安い

*1 日本標準飼料成分表(2009年版)(中央畜産会)

*2 林産誌月報 NO.413(6)、p.14-20、1986.

*3 商品名:ウツンファイバー(原料:スギ材、製造:宮崎みどり製薬株式会社)、45円/kg

*4 40円/kgと想定

2. 木質飼料ペレットの他の飼料との栄養価の比較

	飼料名	TDN (%)	ME (M cal/kg)	消化率 (%) ^{*1}	価格 (円/kg-TDN)
↑ デンプン系 濃厚飼料 ↓	トウモロコシ	80.0	3.10	93	77
	小麦	78.7	3.03	91	
	大麦	74.4	2.85	89	
	木質飼料ペレット	55	2.2	90	73^{*2}
↑ セルロース系 粗飼料 ↓	アルファルファ	52.9	1.94	50	94
	稲わら	37.7	1.30	40	124
	シラカンバ(蒸煮)	37.9	1.39		
	ウツンファイバー(スギ)	11	0.13		404
	スギ(蒸煮爆砕)	5.0	0.06		

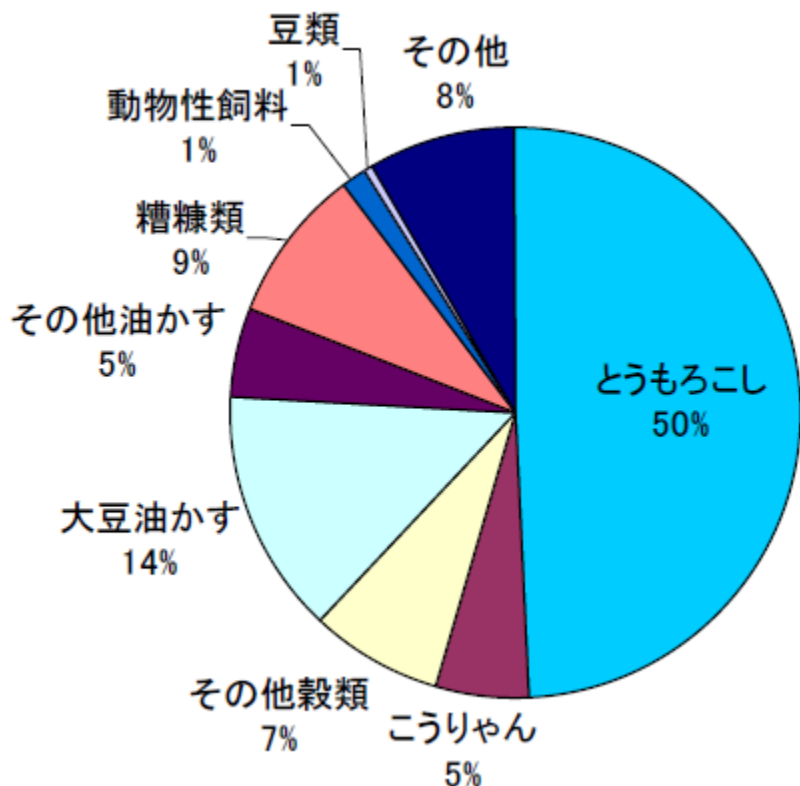
日本標準飼料成分表(2009年版)(中央畜産会)より

*1 主要なエネルギー成分の消化率

*2 40円/kgと想定

想定される用途

1. トウモロコシの代替飼料



配合飼料の構成割合
トウモロコシは配合飼料の
5～6割を占める

飼料用トウモロコシ



乾物中飼料成分

TDN 80%,
ME 3.09Mcal/kg

TDN, MEを代替するには
トウモロコシ:木質飼料ペレット=1:1.4

木質飼料ペレット



乾物中飼料成分

TDN 55%,
ME 2.2Mcal/kg

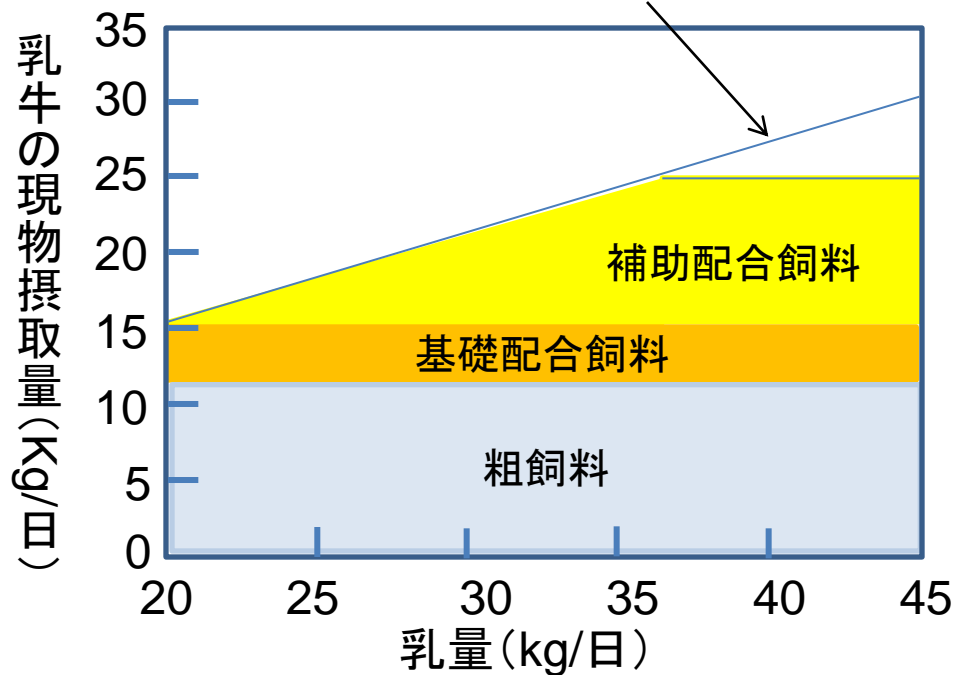
2. 濃厚飼料多給型飼育の改善による乳量の引き上げ

濃厚飼料多給型飼料設計の基本的な考え方:

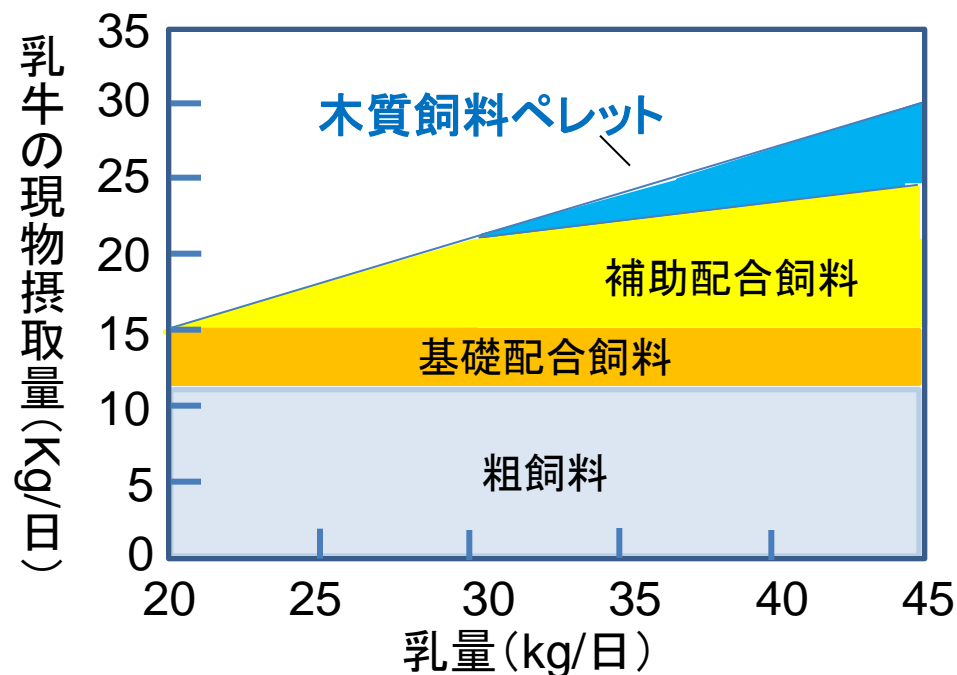
- ・朝夕の搾乳の前後に粗飼料と濃厚飼料を分けて給与する、4回/日給与
- ・1回の濃厚飼料給与量は**最大4kg**、8時間以上の間隔をあけて給与する(**最大12kg/日・頭**)
- ・粗飼料を維持飼料、濃厚飼料を産乳飼料と位置づける
- ・濃厚飼料は基礎配合飼料(全頭給与)と補助配合飼料(乳量に合わせて給与)に分ける

⇒ **泌乳最盛期には栄養不足に陥り、体に蓄積した養分で乳生産を賄う**

不足する乾物摂取量 ⇒ 健康の悪化、繁殖性低下



従来の濃厚飼料多給型飼育



木質飼料ペレットによる栄養補給

実用化に向けた課題

1. 工場渡価格40円/kgの達成

木質飼料ペレットのコンセプトは「セルロース系濃厚飼料」であり、トウモロコシの代替として使われることを想定している。トウモロコシの価格は栄養換算価格が現在77円/kg-TDNに上昇し、今後も上がる傾向にある。木質飼料ペレットのTDN含量を55%とすると、栄養換算価格をトウモロコシ以下に設定するためには工場渡価格を40円/kgにしなければならない。

2. 乳牛、肉牛への給餌の為の飼料設計

本木質飼料ペレットが、

- 牛を健康に飼育できる。
- トウモロコシよりも安いエネルギー飼料である。
- 給与することにより乳量が増える。

以上3点が実証されたならば、本木質飼料ペレットの有効性が証明され、市場の形成、需要の増大が期待できる。

想定される業界

1. 想定される業界

- ・持続可能な資源を生産する林業に参入する意欲がある企業
- ・バイオリファイナリーに関心がある化学会社

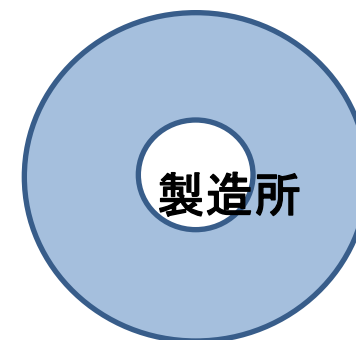
2. 市場規模

平成21年度の乳牛用、肉牛用配合飼料の生産量は、それぞれ3,276千トン、4,698千トンで計7,974千トンであった。配合飼料の6割がトウモロコシでこの3割を1.4倍量の木質飼料ペレットに置き換えるとする、木質飼料ペレットの必要生産量は2,009千トン/年になる。工場渡し価格を40円/kgとすると**803億円/年**の売り上げになる。

$$(3,276 \text{千トン/年} + 4,698 \text{千トン/年}) \times 0.6 \times 0.3 \times 1.4 \times 4 \text{万円/トン} = 803 \text{億円/年}$$

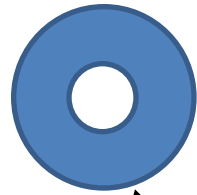
3. 木質飼料ペレット事業の制限

1. 供給できる原料(木材)の量に制限がある
⇒ 製造量の制限
2. 販売価格に対する流通コストの割合が大きい
⇒ 経済的販売エリアがある

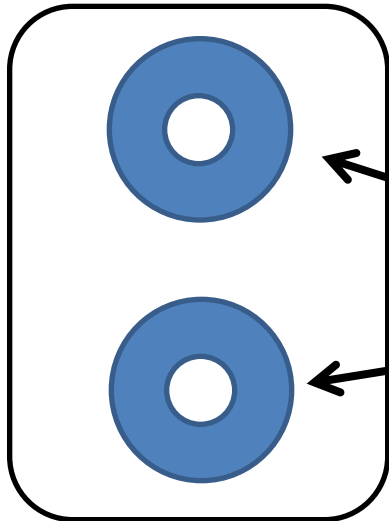


企業への期待

北海道



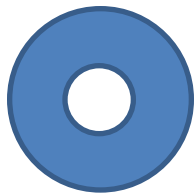
秋田県



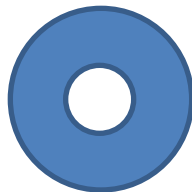
製造管理会社

飼料会社

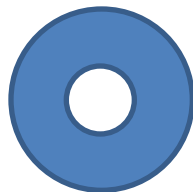
中国



四国



九州



製造所

ライセンスにより全国に展開する製造事業者とそれらの生産を管理する製造管理会社の二つ事業形態を考えています。

木質飼料ペレット製造事業への参画と共同研究に意欲的な企業を求めています。

製造管理会社の役割:

- 1) 非独占的通常実施権の供与
- 2) 製造技術の提供
- 3) 製品の品質管理
- 4) 余剰飼料の買い取りと飼料会社への販売

製造事業者の役割:

- 1) 規格に適合した木質飼料ペレットの製造
- 2) 木質飼料ペレットの直接販売
- 3) 余剰ペレットの製造管理会社への販売

本技術に関する知的財産権

発明の名称 : 家畜飼料の製造方法及び家畜飼料

出願番号 : 特願2010-256061

出願人 : 独立行政法人国立高等専門学校機構
公立大学法人秋田県立大学

発明者 : 上松 仁、小林 淳一、高橋 武彦、伊藤 新

お問い合わせ先

秋田工業高等専門学校

企画室・企画室長 金谷栄光

TEL: 018-847-6106

FAX: 018-857-3191

E-mail: kikaku@akita-nct.jp

産学連携の経歴

1. 研究資金の獲得状況と産学連携

- 1) 平成22年度秋田県研究開発シーズ育成支援事業に採択（平成22年度）
「木材を原料とする家畜飼料の製造に係る基盤研究」
実施機関: 秋田県立大学、秋田高専、秋田県畜産試験場、秋田県産業技術センター、(株)北勢工業
- 2) 平成23年度秋田県重点分野研究開発事業に採択（平成23年～25年度）
「木材を微粉碎して原料とする牛の木質飼料ペレットの研究開発のためのプロジェクト」
実施機関: 秋田県立大学、秋田高専、秋田県畜産試験場、秋田県産業技術センター、本荘由利森林組合、(株)三栄機械; アドバイザー: 秋田県畜産農業協同組合

2. 秋田県内の関連する取り組み

「木質系バイオマス資源を活用したバイオリファイナリー技術によるビジネスシステム開発研究会」の設立（平成23年8月24日）、県内の組合・企業等12社が参加
会長: 小林 淳一（秋田県立大学理事兼副学長）

- 事業計画(I) 森林ベースの循環型社会創造の具体化構想(秋田モデル)の構築
- 事業計画(II) 集材方法の確立
- 事業計画(III) バイオマス微粉末を活用したバイオリファイナリー技術の開発
- 事業計画(IV) バイオリファイナリー技術を活用した高付加価値物質製造技術の開発