



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	耕畜連携によるイアコンサイレージの自給飼料生産体系の構築
Author(s)	根本, 英子
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第11500号
Issue Date	2014-06-30
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k11500
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/56702
Type	doctoral thesis
File Information	Eiko_Nemoto.pdf



耕畜連携によるイアコンサイレージの
自給飼料生産体系の構築

北海道大学 大学院農学院
環境資源学専攻 博士後期課程

根本 英子

目次

略号記号一覧	1
第1章 序論	2
1.1 はじめに	2
1.2 自給濃厚飼料に関する技術の変遷と既往の研究	10
1.3 研究目的および論文の構成	15
第2章 ECS 収穫調製体系の構築	18
2.1 本章の目的	18
2.2 材料と方法	19
2.3 結果と考察	25
2.4 本章のまとめ	34
第3章 収穫調製作業の効率化とサイレージ品質	36
3.1 本章の目的および構成	36
3.2 細断型ロールベアラによる調製作業	36
3.3 収穫条件による飼料成分の変化	52
3.4 本章のまとめ	61
第4章 ECS 用トウモロコシの畑輪作体系導入についての検討	63
4.1 本章の目的および構成	63
4.2 トウモロコシ収穫残渣のすき込みによる後作物生産性に対する影響	63
4.3 飼料用トウモロコシ収穫残渣のすき込みによる土壌物理性に対する影響	80
4.4 すき込み以外の飼料用トウモロコシ収穫残渣利用の検討	95
4.5 耕畜連携によるイアコーンサイレージの生産費の試算	99
4.6 本章のまとめ	105

第 5 章 総括	108
謝辞.....	113
引用文献.....	115
Summary	124

略号一覧

ADF	: 酸性デタージェント繊維	
ADL	: 酸性デタージェントリグニン	
DM	: 乾物率	[%]
CP	: 粗タンパク質	
CEC	: 塩基置換容量	[me100g ⁻¹]
EC	: イアコーン	
ECS	: イアコーンサイレージ	
ECd	: ECS 残渣すき込みディスク耕起区	
ECp	: ECS 残渣すき込みプラウ耕起区	
WPCd	: WPCS すき込みディスク処理区	
WPCp	: WPCS すき込みプラウ処理区	
N	: サンプル数	[個]
NDF	: 中性デタージェント繊維	
OM	: 有機物	
OT	: エンバク野生種	
RM	: 相対熟度	[日]
TDN	: 可消化養分総量	[%]
TN	: 全窒素	
VBN	: 揮発性塩基態窒素	
VFA	: 揮発性脂肪酸	
WPC	: ホールクロップコーン	
WPCS	: ホールクロップコーンサイレージ	

第 1 章 序論

1.1 はじめに

1.1.1 畜産業における濃厚飼料をめぐる現状

わが国の農政の指針である食料・農業・農村基本法の具体的な方針を定めた食料・農業・農村基本計画（以下，基本計画）の中で（農林水産省 2010），食料自給率は，日本農業の現状と将来に向けての問題点を示している。先進国の中で最低といわれる食料自給率の低迷の原因のひとつに，畜産物の低い食料自給率がある。肉類，生乳や鶏卵は国内で飼育される家畜から生産されるが，これらの家畜の飼養を支えるのは輸入穀物類であり，純国内産飼料自給率は 26%で，その内訳は粗飼料自給率 76%に対して穀物を原料とする濃厚飼料自給率は 12%と低く（農林水産省 2013），飼料自給率を低下させる原因となっている。基本計画では，飼料自給率を 2020 年に 38%まで引き上げるとしているが，その実現のためには，現在著しく自給率の低い濃厚飼料の自給生産が必要である。そのため，新たな濃厚飼料として飼料用米やエコフィードが期待されているが，生産コストや給与技術が開発段階であるため，広く普及する段階には至っていない。

トウモロコシは栄養価が高く家畜の嗜好性も良いため，飼料穀物の中で最も利用量が多く，日本で利用される配合飼料原料の約半分を占めている。トウモロコシの供給は，歴史的に長くアメリカへの依存度してきたが，近年は図 1.1 に示すように，価格高騰の影響を受けて，ブラジル，アルゼンチン，ウクライナなどからの輸入量が増加し，アメリカのシェアが低下傾向にある。

世界の穀物価格は 2006 年秋頃から上昇を続け，2008 年夏に過

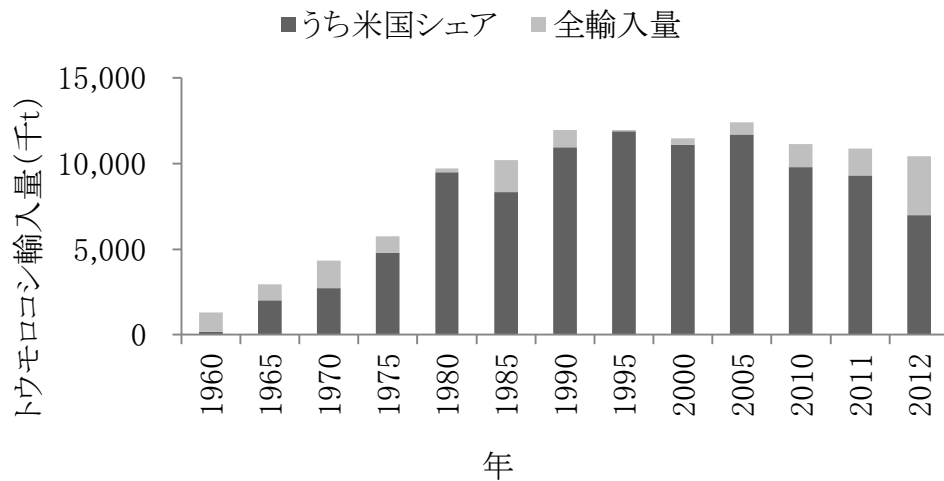


図 1.1 日本のトウモロコシ輸入量

資料：財務省「貿易統計」より作成。

去最高価格を記録した。このためわが国では配合飼料価格が高騰し、多くの畜産農家はかつてない経営危機に直面し、離農が相次ぐ事態となった。トウモロコシを含む穀物価格高騰の背景には、アメリカで 2006 年から設定・実施された再生燃料使用義務量が原因のひとつとしてある。2010/11 年度平均のトウモロコシのエタノール向け使用量は 1 億 2730 万トンで、飼料使用量 1 億 1680 万トンを上回り、アメリカのトウモロコシ生産量の 40%がエタノール生産に使用され（服部 2013）、2022/23 年度にはエタノール向け使用量が 1 億 3650 万トンへ増加すると予測されている（農林水産省 2013b）。飼料利用からエネルギー利用へシフトしたトウモロコシ需要の構造変化は、飼料価格の高騰によってアメリカ国内の畜産経営にも深刻な影響を与えている（服部 2013）。このような状況下で、アメリカのトウモロコシがこれまで通りに日本に供給される確証はない。

表 1.1 より，世界第 2 位のトウモロコシ生産国である中国は，2000 年代前半まではトウモロコシの輸出国だったが，2010 年からは輸入国に転じている。でんぷん，アルコールなどのトウモロコシ加工業の成長が著しく（寶劔 2013），2011 年の食肉（牛肉・豚肉・鶏肉）生産量は世界シェア 30%を占め，トウモロコシ・大豆を含む飼料穀物消費量は世界最大だった（服部 2013）。中国酪農で成長が著しい 500 頭以上の大規模酪農経営は，濃厚飼料のほぼ全量を購入によってまかなっているため（矢坂 2013），トウモロコシ需要は今後も堅調に伸びると予測されていることから，今後の中国のトウモロコシ輸入量の動向によっては世界市場に大きな影響を与える懸念が持たれている（寶劔 2013）。

表 1.1 世界のトウモロコシ生産，消費，輸出入量の推移

(100 万トン)

		2009/10	2010/11	2011/12	2012/13
生産量	アメリカ	332.5	316.2	313.9	273.8
	中国	164.0	177.2	192.8	205.6
	EU	59.1	58.3	68.1	58.9
	ブラジル	56.1	57.4	73.0	81.0
	世界合計	825.4	834.2	886.0	862.9
消費量	アメリカ	281.6	285.1	279.0	263.6
	中国	165.0	180.0	188.0	202.0
	EU	61.3	64.9	69.5	69.3
	ブラジル	47.0	49.5	50.5	52.0
	世界合計	826.4	851.3	882.5	862.7
輸出	アメリカ	49.7	45.1	38.4	18.3
	アルゼンチン	17.0	15.2	16.5	22.8
	ブラジル	8.6	11.6	12.7	26.0
	ウクライナ	5.1	5.0	15.2	12.7
	世界合計	92.7	91.7	103.8	100.1
輸入	日本	16.0	15.6	14.9	14.4
	韓国	8.5	8.1	7.6	8.2
	メキシコ	8.3	8.3	11.2	5.7
	EU	2.8	7.4	6.1	11.4
	中国	1.3	1.0	5.2	2.7
	世界合計	92.7	91.7	103.8	100.1

資料：USDA, Grain: World Markets and Trade, 2014.2 より作成。

このような国際情勢の下で，日本が，従前通りに安価なトウモロコシを，安定的に輸入を続けることは困難となってきた。配合飼料の原料は約半分がトウモロコシのため，図 1.2 に示すように配合飼料価格はトウモロコシ価格を反映して決定される。表 1.2 のように，トウモロコシ価格は気候変動や社会情勢，為替や原油価格の動向を受けて変動するため，日本の畜産経営は国際情勢に一喜一憂しなければならず，長期的な経営の見通しを困難にしている。安心のもとに安定的な経営を持続するため，自給飼料生産基盤の整備が，畜産経営から強く望まれている。

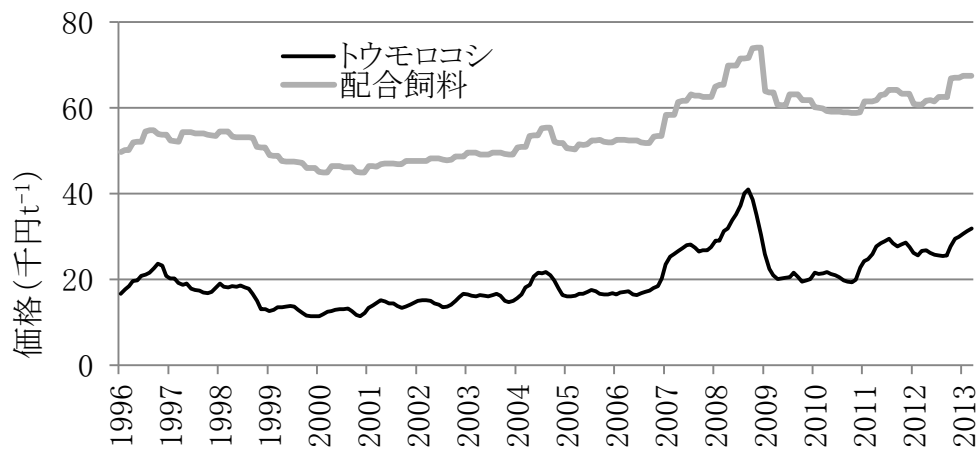


図 1.2 日本の配合飼料価格とトウモロコシ輸入価格

資料：財務省「貿易統計」，農林水産省「農業物価指数」より作成。

表 1.2 シカゴ相場でのトウモロコシ価格上昇時期とその原因

発生年月	USD bu ⁻¹	価格変更の原因
1994 年 1 月	3.00	ミシシッピ川流域洪水
1996 年 5 月	4.95	中国の輸出禁止
2004 年 4 月	3.16	中国の需要増加
2007 年 2 月	6.99	エタノール向け需要の増加
2011 年 4 月	7.50	ロシアの輸出禁止措置， アメリカの期末在庫低下の見通し

資料：飼料をめぐる情勢（農林水産省 2013）より作成。

1.1.2 大規模畑作農家の現状

細山・若林（2008）は，北海道畑作地域では水田地域等と比べて緩慢ではあるものの農家数減少が着実に進行しており，将来的には家族経営の限界を超える 60ha 以上の経営が増加すると予測している。平石（2013a）は，2000～2010 年の 10 年間に北海道の販売農家戸数は 30%減少したが，農家 1 戸あたりの平均耕地面積が 1.3 倍に拡大することで地域農業が維持されてきたことを示し，2025 年の農家人口は，2010 年の半分以下になる地域が出現すること，そのような農家戸数の減少率が大きな畑作地域の経営面積は，2010 年の 1.5 倍以上となることを農林業センサスから予測している。

西村（1992）は，十勝地域では，家族労働力の規制が経営規模拡大にともなって強まったことによって，省力的な作物へ作付が集中し，輪作体系の崩壊による地力低下が顕著化したこと，このような大規模面積経営の中には，労働競合の緩和と地力維持を目的として緑肥導入の例があることを報告した。しかし，北海道の畑作地域は，基本的に1年1作であるため，休閑緑肥が作付された圃場からの収入は得られない。そのため，緑肥の効果は認めつつも粗収入減少に対する畑作経営の抵抗感は大きく，休閑緑肥の導入は貯蓄があり粗収減に耐えられる経営に限られている（平石2006）。このため，図1.3のように経営規模の拡大によってコムギの作付比率が増加することを，吉仲（2009）は十勝中央周辺部の調査結果から示している。しかし，輪作体系の崩壊は，養分収

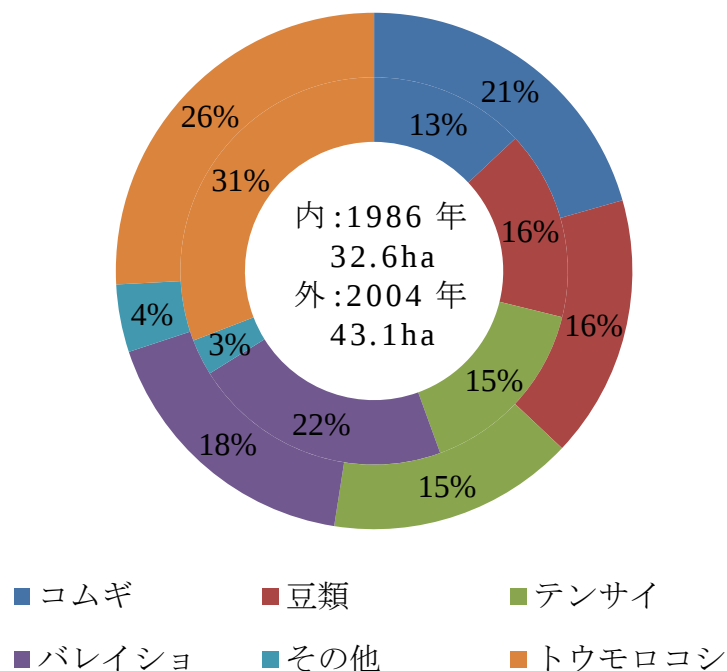


図 1.3 経営規模の変化による主要作物の作付比率

資料：吉仲（2009）より作成

支の悪化や病虫害の多発を助長するため（大久保 1982，三木ら 2006），平石（2013b）は，畑作地域で現在の生産量の維持を前提とした規模拡大を図るためには，家族労働力のみで農作業を遂行することが困難となるため，農作業の外部委託や雇用労働力供給などの支援体制の構築と省力的輪作体系の確立の必要性を強調している。長尾（1983）は，畑作と酪農部門を統合した経営の複合化についてシミュレーションを行い，生産組織による地域補完によって省力化を進めて労働の季節分配を合理化することで，地力維持機能を内包した高収益経営の確立が可能となることを報告している。

図 1.4 に示すように，トウモロコシの投下労働量はコムギと同等であることから省力的な栽培が可能である。十勝地域を対象と

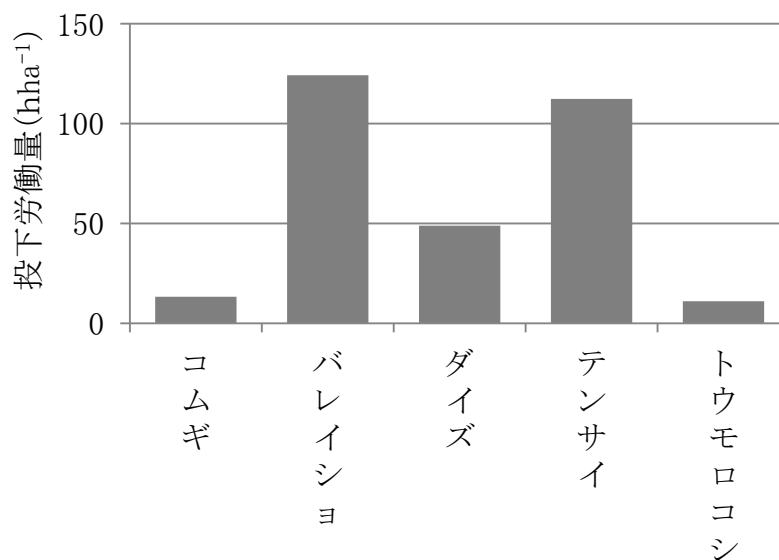


図 1.4 主要畑作物のヘクタールあたり投下労働量

資料：北海道農政部（2005）「北海道農業生産技術体系（第3版）」

より作成。バレイショは生食・加工用、テンサイは移植栽培、トウ

モロコシはサイレージ用（青刈り）一般栽培とした。

した山田（2011）の調査では，畑作経営のトウモロコシ受託栽培面積は，2009年には1000haを超えており，十勝中央周辺部と山麓部を中心に拡大をみせている。

近年は，農業生産現場における労働力不足の解決策のひとつとして，コントラクタの利用が活発化し，作業を受託する組織数と受託作業面積は年々増加している（農林水産省 2008）。2010年世界農林業センサス（2012）によると，北海道におけるトウモロコシ栽培（青刈りトウモロコシ）面積は2005年に対して2012年は約36%増加していて，12%の減少にある都府県とは対照的である。北海道でのトウモロコシ作付面積拡大の背景には，コントラクタやTMRセンターといった飼料生産の外部支援組織の充実が寄与している（青木 2009）。こうした背景から，畑作経営の受託栽培によるトウモロコシの収穫は，作業委託で対応が可能だと考えられる。

1.2 自給濃厚飼料に関する技術の変遷と既往の研究

(1) トウモロコシ

トウモロコシは，サイレージ調製しやすく家畜の嗜好性が良いことから，古くから飼料作物として使われている。日本では，雌穂（以下，イアコーンと記す）と茎葉を含めた植物体全体を細断してサイレージ化するWPCSが粗飼料として利用されている。土地生産性が高く，栄養価も高い特徴から，適切な利用方法によって配合飼料の削減ができるため，輸入トウモロコシ価格の上昇とともに近年になって再び注目されている。しかし，イアコーンのみを収穫しサイレージとして調製することができれば，濃厚飼料としての利用が期待できる。

欧米諸国では、イアコーンを機械収穫し、未乾燥のままで粉碎した後、サイレージとしてバンカーやチューブサイロで密封貯蔵して、牛や豚の濃厚飼料として利用している。粉碎の手間を省くため、近年は破碎処理装置のついた自走式フォレージハーベスタ（以下、自走式ハーベスタと記す）で収穫する事例もみられる（Finke et al. 1999; Lardy and Anderson 2010a; Lardy and Anderson 2010b）。これらのサイレージは、雌穂全体を破碎した Earlage、子実と芯を粉碎した Corn-cob-mix、子実のみを粉碎した High moisture corn などがあり、使用する部位や収穫方法、呼称は国や地域により異なっている。

わが国では、1970年代に名久井ら（1974）によって、イアコーンをサイレージ化したものの発酵品質や栄養価についての報告がなされている。しかし、当時の安価な輸入トウモロコシ価格に加え（野口 2011）、収穫調製の機械化体系が確立されていなかったことから普及には至らなかった。西部・加藤（1977）は、1条コーンピッカで収穫した材料を小型コンテナに入れて運搬し、フォレージハーベスタを使用して細断、サイロ詰めを行って調製したものを、雌穂サイレージと呼んだ。この試みでは、サイレージの発酵品質は優れていたものの、小型コンテナの運搬に多くの労働力を要したため、実用化に向けては、収穫から調製までの省力的な一貫機械化体系の構築が課題として残された。また、主に畑作農家が行ってきた乾燥子実生産の代替として、畑作農家圃場でのトウモロコシの生産を想定した場合、収穫機類を誰が所有し、畑作農家と畜産農家でどのように作業分担するのか、という課題の解決が必要と指摘している。これらの課題の解決を前提とした上で、濃厚飼料を安価に自給し、粗大有機物の畑地還元という大

きな魅力があることから、耕畜連携による方策の有効性を唱えている。

(2) 飼料用稲（米）

わが国で米を原料とする濃厚飼料は玄米や粳米が利用され、一般に飼料用米と呼ばれており、飼料用として栽培・収穫された飼料米とミニマムアクセス米や古米が含まれる。飼料用イネ（稲）は、稲 WCS（粗飼料）、稲ワラ、飼料用米を含む、飼料として利用されるイネの総称である。

飼料米はそのままでは消化性が悪いため、必ず加工処理が必要である。加工法は破碎（圧ぺん、粗挽き、挽き割り等）、サイレージ化がある。サイレージ化は、糊熟期～黄熟期の高水分で収穫した粳米に破碎処理、水分調整（加水）、乳酸菌添加を行ってサイレージとするソフトグレインサイレージの他、近年は完熟期で収穫した粳米も同様にサイレージ化する技術が開発されている（農研機構 2013）。

飼料用イネの生産量を図 1.5 に示す。稲発酵粗飼料は 1998 年には 48ha であったが、2000 年から水田農業経営確立対策により作付面積が増加し、2011 年から実施された個別所得補償（現：経営所得安定対策）により 2012 年には 25,000ha を超える面積となっている。一方、濃厚飼料としての飼料用米は、輸入トウモロコシとの価格差が大きかったことから 2002 年の作付面積は僅かに 45ha であったが、2008 年の世界的な穀物価格高騰による飼料価格の高騰以降に増え始め、2011 年の個別所得補償の実施後は急速に面積が拡大した。

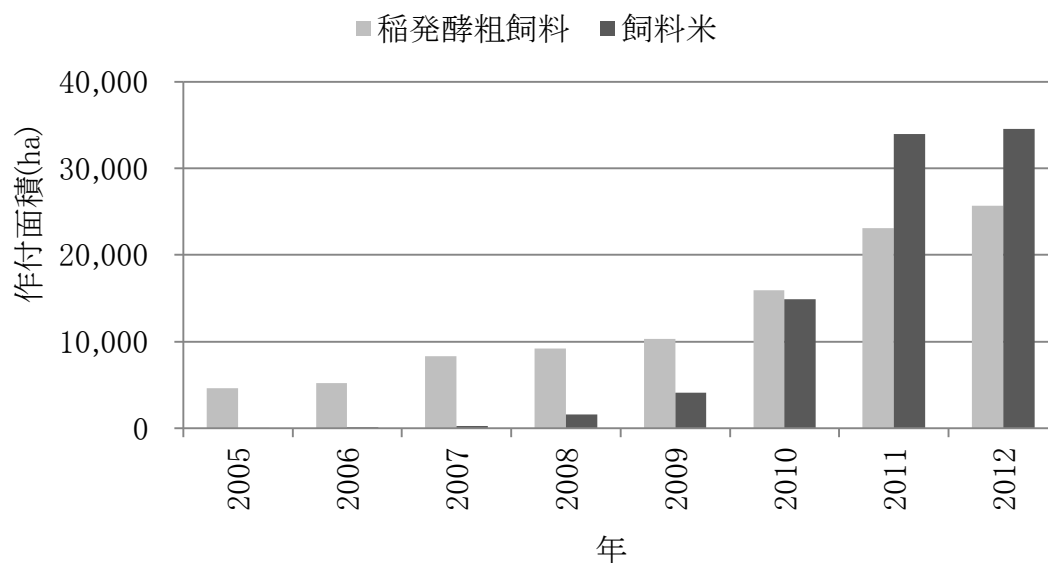


図 1.5 飼料用稲（米）の作付面積の推移

資料：農林水産省「飼料用米及び稲発酵粗飼料の生産・利用の推進」より作成。

飼料用米の普及において、初発段階である生産面積の確保は進みつつあるものの、畜産経営の利用拡大が進んでいるとはいえず、その最大の原因は生産コストが高いことにある（信岡 2013）。主食用米を使用した時の収量 $550\text{kg}10\text{a}^{-1}$ では生産費は 161円 kg^{-1} であり、多収品種と直播栽培等の低コスト栽培によって生産費が 90円 kg^{-1} 、 $7.7\text{万円}10\text{a}^{-1}$ となったことが報告されている（吉永 2013，笹原 2013）。飼料用米の生産・給与技術マニュアル（農研機構 2013）から、粉碎した粳米の水分含量 15%，TDN 含量 80% とすると、飼料用米の TDN あたり単価は 132円 kg^{-1} となる。輸入トウモロコシ価格の 32円 kg^{-1} （2013 年 3 月）を水分含量 13.5%，TDN 含量 92%（日本標準飼料成分表 2001 年版，農業技術研究機構 2002）で換算すると、TDN あたり単価は 40円 kg^{-1} であるので、飼料用米との価格差は大きい。でんぷん含量の高い飼料用米はト

ウモロコシの代替えとなるため、価格は輸入トウモロコシと競合することとなり、現在の生産コストでは 8 万円 $10a^{-1}$ の戦略作物助成がなければ生産の継続が難しい。利用の拡大のためには、飼料作物としては非常に高価であるため、大幅な生産コストの削減が必要とされている。

(3) エコフィード

日本は大量の食料を輸入している一方で、大量の食品廃棄物を発生させていることから、2001 年に食品リサイクル法が施行された。その中で飼料化を優先した再生利用は、発生抑制に次いで高い優先順位に位置付けられエコフィードが注目されることとなった。エコフィード（(社) 配合飼料供給安定機構により商標登録 2007）とは、 *ecological* や *economical* に由来する *eco* と、飼料を意味する *feed* を合わせた造語である。食品製造副産物（醬油粕や焼酎粕等）や余剰食品（売れ残りのパンや弁当等の食品として利用されなかったもの）、調理残渣（野菜のカットくずや非可食部）、農場残渣（規格外農産物等）を原料として、乾燥化、サイレージ化、液状化により製造された家畜飼料である。乾燥化したものは保存性が良く配合飼料に混ぜる原料としての使い勝手は良いが、弁当等の余剰食品を原料とする場合は脂肪や塩分含量が高く乾燥化のコストが高い点が課題である。食品製造副産物は搾り粕類では水分含量が高いものが多いため、サイレージ化して利用されることが多い。

阿部（2009）や柳（2009）によると、エコフィードの導入に向けては、食品リサイクルの商品化に伴って発生する社会的コストへの負担の分担が明確でないため、再生産が担保できる適正価格

の実現に至っていない状況である。また、食品残渣は水分が多く腐敗しやすいことや、材料の安定確保についても課題とされている。更に、仙北谷ら（2010）が実需者に対して行ったアンケート調査からは、食品残渣を利用するイメージが強いためか、安全性へ不安を持つ農家が多いことも普及を妨げる原因と考えられる。

1.3 研究目的および論文の構成

日本の畜産業は、これまで輸入穀物に大きく依存してきたため、変化の激しい世界情勢の影響を受けやすく、長期的な安定経営を見通すことが困難となっている。そのため、国内で濃厚飼料を自給生産することが強く求められている。

トウモロコシの雌穂であるイアコーンは、土地生産性と栄養価が高いため、耕地面積が限られているわが国において最も効率よく生産できる濃厚飼料の原料作物である。これまでに配合飼料の主原料として使用してきた経緯から、給与しやすく家畜の嗜好性も良いため、欧米で使われているようにイアコーンだけを収穫してサイレージ化することができれば、自給濃厚飼料としての利用が期待できる。しかし、わが国の畜産経営は多頭化による規模拡大によって粗飼料生産の圃場も不足傾向にあるため、濃厚飼料用のための新たな圃場の確保は難しいのが現状である。一方で、北海道の畑作地域では、農家戸数減少に伴う経営面積の拡大が急速に進んでいるため、省力的な作物の導入や作業の外部委託による省力的輪作体系の構築が急がれている。そこで、少ない労働負担で栽培できるトウモロコシを輪作作物として導入し、生産したイアコーンを濃厚飼料として畜産経営が利用する仕組みを構築できれば、畜産経営は自給濃厚飼料により経営の安定化が図れ、畑

作経営は輪作の維持が容易になる。

イアコーンの収穫調製は、トウモロコシの作業を請負うコントラクタが近年増加傾向にあることから（北海道農政部農業経営課 2012）コントラクタへ作業委託することができる。これらの大面積を作業するコントラクタでは、トウモロコシ子実を破砕する破砕処理装置を装備した高性能で高能率な自走式ハーベスタが普及し、欧米でイアコーンの収穫時に使用されているスナッパヘッドを装着して使用することができる。さらに、細かい粒度の材料を高密度に梱包して密封まで一体的に行うことのできる細断型ロールベアラ（以下、細断型ベアラと記す）の普及も進んでいる。荒木ら（2013）によれば、道内の細断型ベアラの普及台数は、2004 年はわずかに 2 台であったが 2008 年から急増し、2012 年には 78 台となっている。収穫されたイアコーンを、細断型ベアラで密封梱包することができれば、濃厚飼料として利用できるイアコーンのみから作られたサイレージを日本でも生産できる可能性がある。

そこで本研究の目的は、社会的要求が高まっている自給濃厚飼料として、わが国では初めてとなる実用的なイアコーンサイレージ（ECS）生産のための機械化体系と、その生産基盤を畑作地域へ導入する耕畜連携の生産体系を構築することを目的とする。

本論文は、序論を述べた第 1 章、総括を述べる第 5 章を含めて全 5 章で構成されており、本論（第 2 章から第 4 章）は以下の通りである。

第 2 章では、ECS 収穫調製体系の機械化体系を構築するため、スナッパヘッドを装着した自走式ハーベスタでのイアコーン収穫と、細断型ベアラによるサイレージ調製作業の作業精度を調査

して、イアコーンのみを収穫して ECS を調製できること、調製された ECS の飼料成分はでんぷん含量が高く、発酵品質が良好であることを明らかにした。同時に、実用化に向けた調製時損失率の低減とでんぷん含量の変動要因の解明が必要なことを明らかにした。

第 3 章では、実用化に向けて課題となった細断型ベアラの調製時損失率を低減する改良を行った。改良はロールベールが搬送時に受ける衝撃を緩和する機械的な改造と、ロールベールの梱包制御プログラムを改良することで、現在広く普及している WPCS の調製時損失率と変わらない損失率まで低減することができた。さらに、ECS 品質に関わる飼料成分の変動について、収穫条件と品種を変えて調査した。飼料成分は、品種による変動が認められたが、CP とでんぷんは収穫条件の影響を受けることが明らかとなった。

第 4 章では、輪作作物として ECS 用トウモロコシを畑作経営へ導入する耕畜連携による ECS 生産体系を構築するために、ECS 収穫残渣の土壌へのすき込み利用が後作物の生産性へ与える影響を明らかにした。また、ECS 収穫残渣の回収方法を検討し、家畜敷料としての利用について検討した。畑作経営が生産した ECS の生産費を試算し、畜産経営が利用する時の経済性から、耕畜連携による ECS 生産体系が成立するための条件を考察した。

第 2 章 ECS 収穫調製体系の構築

2.1 本章の目的

本章の目的は，自給濃厚飼料生産に向けて，イアコーンのみを収穫してサイレージ化する機械化体系を構築し，生産されたサイレージの品質を確認することである。

欧米では，イアコーンを利用したサイレージの調製はバンカーサイロやチューブサイロで大規模に行われているが，変敗しやすい事が予測される ECS を大規模に調製するのは，日本の家畜経営規模には適していない。近年のサイレージ調製では，細断したトウモロコシや飼料イネの高品質なホールクロップサイレージを省力的に調製可能な細断型ベアラが注目されている。志藤ら（2005）は切断長 10mm 前後に細断したトウモロコシを梱包できる細断型ベアラを開発し，この方法で密封調製されたサイレージの発酵品質は良好であることを示した。増田ら（2005）は，同じ方法で調製した WPCS の長期保存性を明らかにした。WPCS よりも粒度が細かいと予想される ECS 材料を，細かい粒度の材料を高密度なロールベールに成形できる細断型ベアラで密封調製することができれば，低コストで省力的に高品質な ECS を調製・貯蔵することができると考えられる。

そこで本章では，自走式ハーベスタと細断型ベアラを利用した ECS 収穫調製作業の機械化体系の確立に資するため，収穫，調製の各工程におけるイアコーン回収性能，作業能率およびサイレージの発酵品質を調査した結果について述べる。

2.2 材料と方法

2.2.1 作業体系

収穫調製作業の機械化は，低コスト化を図るため，既存の機械を最大限利用する機械体系とした。イアコーンの収穫は，収穫と同時に子実の破碎ができて省力的な破碎処理装置付きの自走式ハーベスタにスナッパヘッドを装着して行った（図 2.1）。スナッパヘッドとは，回転する 2 本のスナップローラが茎葉を引き込んで下方向に引き抜くことにより，スナップローラの間隔より直径の大きいイアコーンを分離する装置である。破碎処理装置とは，カッターヘッドとブロワーの間に取り付けられた溝の付いた 2 本のローラからなる装置で，回転するローラの間隙を通すことでトウモロコシの子実を破碎することができる。破碎処理によって，子実の破壊によるでんぷんの暴露が起こり消化率を高める効果が期待できるため，北海道トウモロコシの収穫時に広く利用されている（谷川ら 2010）。



図 2.1 スナッパヘッドを装着した自走式フォレンジハーベスタ

本試験の作業体系を図 2.2 に示す。分離したイアコーンは自走式ハーベスタのシリンダカッタによりイアコーンを切断，破碎処理装置により破碎して，伴走するダンプトラックで荷受けし，細断型ベーラを設置した場所まで運搬してコンクリート床へ一時堆積してからホイールローダを使って細断型ベーラへ投入した。収穫作業を間断なく行うためダンプトラックは 2 台とした。細断型ベーラは，ロールベール成形と密封までを一工程で行い，巻き数 3 回 6 層のラップサイレージとして調製した。成形され放出されたラップサイロはベールグラブで移動した。

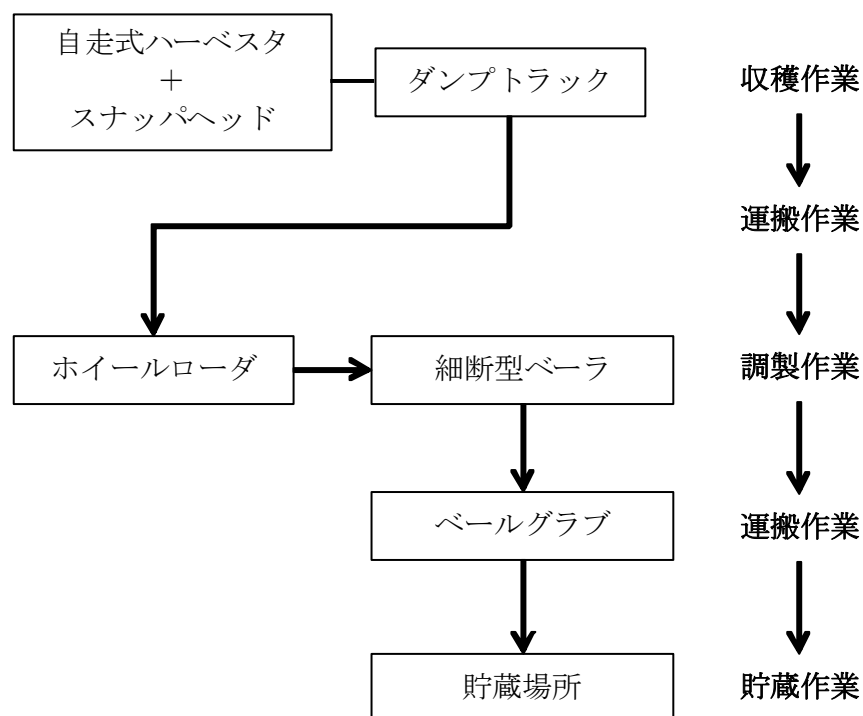


図 2.2 本試験における収穫調製作業体系

2.2.2 収穫調製作業試験

(1) 試験条件

北海道河東郡音更町の家畜改良センター十勝牧場内圃場（褐色火山性土）においてイアコーン収穫作業とサイレージ調製作業の試験を実施した。供試圃場は長辺長 560m，面積 13.4ha のほぼ平坦な圃場で，自走式ハーベスタの旋回に十分な広さの枕地を設けた。供試した飼料用トウモロコシ（品種 39B29，パイオニアハイブレットジャパン社）は 2009 年 5 月に設定播種密度 8460 本/10a，条間 76cm，株間 15cm で，6 条コーンプランタにより播種し，慣行栽培したものである。

試験は 2009 年 10 月 19 から 21 日までの 3 日間で実施した。収穫時のトウモロコシは完熟期にあたり，平均草丈 315cm，平均着雌穂高 137cm，平均稈径（長径）13mm で倒伏は認められなかった。部位別の収量と乾物率を表 2.1 に示す。

表 2.1 部位別の乾物収量と乾物率

部位	イアコーン			茎葉
	子実＋穂芯	穂皮	絹糸	
乾物収量 (kg ha ⁻¹)	9648	799	63	7052
乾物率 (%)	67.8	43.4	78.3	37.5

(2) 収穫作業試験の方法

イアコーン収穫の作業能率およびイアコーン回収性能としてスナッパヘッドの頭部損失率を測定した。作業能率は，収穫作業に要した作業時間を計測し，圃場作業量と作業効率を遠藤ら（1968）の方法で求めた。作業時間は，自走式ハーベスタが収穫

を開始してから、長辺長 560m を 2 往復する 1.0ha を 1 区画とし、1 区画内の全てのトウモロコシを収穫してダンプトラックが調製場所への移動を開始するまでの時間とし、旋回時間、機械の調整時間とダンプトラックの交代のための待機時間を合わせて全作業時間とした。圃場作業量は、1 区画の面積を全作業時間で除して算出した。作業効率は、実作業時間（全作業時間から旋回時間、機械調整時間と待機時間を引いた時間）を全作業時間で除して算出した。いずれも 4 回の作業の平均値とした。収穫作業は、図 2.1 の 6 条用スナッパヘッド（作業幅 457cm）を装備した破碎処理装置付の自走式ハーベスタ（ジョンディア社 JD7400, 365kW, 6 条刈り、シリンダ直径 683mm, 幅 610mm）と 10t ダンプトラック（以下、ダンプトラックと記す）2 台で、試験前に行った中割りを中心とする往復刈りで行った。スナッパヘッドの頭部損失率は、自走式ハーベスタの走行後の畝幅（4.5m）に 1.5m×1.0m の枠を横に 3 つ並べて 4.5m の作業幅に合わせて置き、各枠中の子実、芯、穂皮を採取して、各枠内の質量を求めた後、3 枠の合計質量をイアコーン収量（原物）で除して頭部損失率を算出した。頭部損失率は、1 区画から 2 点、4 回の 8 点の平均値とした。自走式ハーベスタは設定切断長 5mm、破碎処理装置のロール間隙 2mm で収穫し、イアコーン収量（原物）は坪刈り収量を用いた。

(3) 調製作業試験の方法

細断型ベーラによる ECS 調製作業の作業能率と、破碎されたイアコーンの損失率、ラップサイロ質量と形状を測定した。作業能率は、1ha から収穫されたイアコーン材料を連続して調製した時の作業時間を計測し、圃場作業量と作業効率を求めた。作業時

間は、イアコーン材料を積んだ最初のダンプトラックが荷降ろしを開始した時から、最後のラップサイロが放出されるまでとし、細断型ベーラの作業時間、細断型ベーラの機械調整時間、フィルム等の補給時間、待機時間とホイールローダの作業時間を測定した。本試験では、成形された全ラップサイロの質量と形状を測定する作業にベールグラブを使用したため、本来の連続作業とは異なることからベールグラブの作業時間は測定しなかった。また、収穫したイアコーンを圃場から細断型ベーラを設置した調製場所まで運搬する時間は、圃場の分散状況などの諸条件により異なると考えられるため本試験では計測しなかった。圃場作業量は、1区画面積を全作業時間で除して算出した。作業効率は、実作業時間（全作業時間から細断型ベーラの機械調整時間、補給時間、待機時間を引いた時間）を全作業時間で除して算出した。いずれも4回の作業のうち中止した1回を除く3回の作業の平均値とした。

ラップサイロ調製時の損失率は、細断型ベーラをブルーシート上に置き1区画分の全材料を調製した後にこぼれた材料の質量を投入した全材料から細断型ベーラのホッパ内残量を差し引いた質量で除して算出した。試験は4回行い、うち前半の2回は、細断型ベーラからこぼれた材料を放置したままにして作業を継続し、後半の2回は、こぼれた材料を補助作業者がスコップ等ですくって再度投入した。ホイールローダが投入するときのこぼれは損失量に含めなかった。図 2.3 に供試した細断型ベーラ（IHI スター社 TW2010, ローラ式, 成形室呼び径 100cm×100cm）を示す。作業は本機を定置して行い、トラクタ（マコーミック社, XTX185, 136kW）の PTO 出力から動力を得た。投入されたイアコーンを巻

き数 3 回 6 層巻きのラップサイレージとして調製した。ラップサイロ質量，直径および高さを計測して乾物密度を算出した。圃場での実収量は，成形されたラップサイレージ質量の合計を作業面積で除して算出した。ラップサイロ個数も成形されたラップサイロ個数の総数を作業面積で除して算出した。



図 2.3 細断型ロールベアラへの材料投入

2.2.3 化学分析

原材料のサンプルは，ダンプトラックから荷下ろした直後の一時堆積された状態からランダムに 1 区画 5 点ずつ採取した。ECS のサンプルは，3 個のラップサイロから上，中，下部の各 1 点，合計 9 点のサンプルから平均値を求めた。ECS および原材料のサンプルは，55℃で 48 時間通風乾燥した後，1mm のふるいのパワーカッティングミルで粉碎して一部を分析に供し，残りは 135℃で 2 時間通風乾燥して絶乾値を求めて DM を算出した。一般成分組

成は常法（堀井 1971）により，NDF，ADF および ADL，単少糖類およびでんぷんは阿部（1988）の方法で定量した。サイレージの発酵品質は，新鮮物の水抽出液を分析試料として，pH はガラス電極 pH メーター（F-21，堀場製作所（株）），VFA はガスクロマトグラフィー（G-3000，日立製作所（株）），乳酸は液体クロマトグラフィー（L-4200，日立製作所（株）），VBN は水蒸気蒸留法でそれぞれ測定した（自給飼料利用研究会 2009）。V-スコアは，酢酸と酪酸含量および全窒素に対する VBN 含量の比率から新評価法の配点表（柁木 2001）より算出した。

2.3 結果と考察

2.3.1. 作業能率

表 2.2 より，イアコーン収穫作業時間は 0.49hha^{-1} で，圃場作業量は 2.1hah^{-1} であった。圃場では自走式ハーベスタの旋回に十分な面積の枕地を確保したこと，圃場形状がほぼ完全な矩形であったことに加え，ダンプトラックを 2 台として収穫作業を中断なく行うことができたことから，作業効率は 71.4%と高かった。一般に，自走式ハーベスタによる WPCS 用トウモロコシの収穫作業時間は 0.48hha^{-1} 程度であり（北海道農政部編 2005），本試験結果 0.49hha^{-1} はそれと同程度であることから実用に供し得る値といえる。

表 2.2 単位面積あたりの作業時間とその内訳

作業 項目	対象作業機	作業時間 (hha ⁻¹)					作業 圃場作業 人数 量		
		作業	旋回・移 動	待機	調整	補助 ¹	合計	(人)	(hah ⁻¹)
収 穫	自 走 式 ハーベ	0.35	0.05	0.08	0.01	0	0.49	3	2.1 ²
	スタ	(71.4 %)	(10.2 %)	(16.3 %)	(2.0 %)	(0 %)			
調 製	細 断 型 ベアラ	0.54	0	0.19	0	0.09	0.88	3	1.2 ³
		(61.4 %)	(0 %)	(21.6 %)	(0 %)	(10.2 %)			
	ホ イールロー	0.80	0	0	0.01	0			
	ダ	(90.9 %)	(0 %)	(0 %)	(1.1 %)	(0 %)			

()内は合計作業時間に占める割

合。

¹ 細断型ベアラからこぼれた材料をスコップ等でくってベアラへ再投入する作業。

² 3人作業による圃場作業量

³ 4人作業による圃場作業量

調製作業時間は 0.88 hah^{-1} で、圃場作業量は 1.2 hah^{-1} だった。
また、現状のトウモロコシの調製・貯蔵法としては、バンカーサイロにおいてショベルローダにより均平・踏圧・密封作業を行う方式が一般的だが、これに要する作業時間は 1.5 hha^{-1} （北海道農政部 2005）程度であり、本試験で得られた調製作業時間 0.88 hha^{-1} は慣行法よりも作業時間が短かった。作業効率は、表 2.2 より、細断型ベアラ 90.9%，ホイールローダ 61.4%で、細断型ベアラの処理速度が、ホイールローダの作業を制限する形となり、ホイールローダは待機時間が生じ作業効率が低かった。

本試験では、圃場から調製場所まで材料を運搬する時間を含んでいないため、単純な比較は難しいが、面積当たりの作業時間の合計は収穫作業 0.49 hha^{-1} ，調製作業 0.88 hha^{-1} となり（表 2.2），本作業体系では、調製作業が収穫作業より遅かった。一方で、収穫した材料を密封せずに長時間体積するとサイレージの品質低下を招くことが知られている。高野（1981）は、トウモロコシを収穫・切断して放置できる時間は、 $\text{pH}4.0$ 以上に上昇し乳酸の減少より気温 15°C の時は 24 時間までで、密封時の気温が高いほど時間が短いことを報告している。本試験結果から得られた収穫時間 0.49 hha^{-1} と調製時間 0.88 hha^{-1} では、収穫面積が 61.5 ha 以上となると調製待機のため材料の堆積時間が 24 時間以上と試算された。この面積の収穫に必要な時間は 29 時間であることから、本試験で用いた作業体系でも問題はないと考えられる。しかし、密封はできるだけ放置時間を短くすることが基本であるため、収穫作業と調製作業の時間差を小さくする作業体系の構築を今後考えていく必要がある。

今後、考えられる取り組みとして、例えば、細断型ベアラを伴

走式作業とすると、収穫作業速度は細断型ベーラの処理能力に合わせることで落ちるものの、材料の変敗や運搬時間を考慮する必要がないことに加えて、ダンプトラックとホイールローダの作業者を減らすことができ省力的である。圃場で密封されたラップサイロは、収穫が一段落して時間のある時に回収すればよいので、収穫のように適期作業を気にすることがないので、作業者の精神的負担の軽減も期待できる。大規模なコントラクタでは、細断型ベーラの台数を増やして対応することも方策のひとつである。

調製時損失率は、細断型ベーラからこぼれた材料を補助作業者によって投入すれば減少するが、そのための補助作業者を専従させるのは省力的でない。今後、こぼれた材料を投入するための補助作業者を必要としない程度まで損失量を低減するための技術開発を、乾物率や切断長等の収穫条件と細断型ベーラの改良の両面から検討する必要があると考えられた。

2.3.2 イアコーン回収性能

(1) 収穫作業

収穫後の圃場において、穂皮は剥皮された状態が観察されたが、芯のみが目立って圃場に落ちている様子は観察されなかったもので、表 2.3 のように子実＋芯と穂皮に分けて結果を示した。収穫時の頭部損失率は、子実＋芯の損失率は 1.1%だったが、損失量をスナッパヘッドの作業幅 4.5m 内を 1.5m ごとに区切って採取すると、左右と中央の区画で損失量が異なった。中央部で極めて損失量が多いのは、スナッパヘッドで分離されたイアコーンを、ハーベスタ本体へ取り込むための機体中央部のフィードローラ下部に空隙があり、この幅が子実より広いためにこぼれが発生

表 2.3 収穫作業時の損失率

部位	収量 (kg ha ⁻¹)	損失率 (%)	損失量(kg ha ⁻¹)		
			左 ¹	中央 ¹	右 ¹
子実+芯	14233	1.1	6.2	143.1	9.1
穂皮	1836	25.1	116.0	140.0	206.6

¹ スナッパヘッドの作業幅 4.5m を 3 分割し進行方向に対して区分した。1 区分は 1.5m。

したためと推測された。この対応策として、カバーを取り付けて空隙を塞ぐことで、子実の損失率は本試験よりも低減することが可能と考えられる。

一方で、穂皮は約 1/4 が収穫されなかった。スナッパヘッドには穂皮の剥皮装置は付帯しないが、穂皮が剥皮されるイアコーンも観察された。剥皮の発生要因には品種や収穫時の乾物率等が考えられるが、その詳細は本試験では分からなかった。穂皮混入の多寡は飼料成分中の繊維成分含量の増減に影響を与えることから、この事象の解明は今後に残された課題である。

(2) 調製作業

ECSはWPCSよりも粒度が細かく、相互に絡んで成形性を保持することが難しいと考えられた。しかしながら、細断型ベアラにより密封されたラップサイロ形状は、図2.4のような偏りのない円柱形で、ベールグラブでの把持は問題なくできた。平均風乾物率は58%、平均質量は488kg(432～550kg)、平均直径102cm(87～109cm)、平均高さ98cm(80～105cm)、乾物密度は355kgm⁻³(318～413kgm⁻³)であった。圃場における実収量(原物)は14,853kg ha⁻¹



図 2.4 ラップサイロ

で，ラップサイレージは30個 ha^{-1} が成形された。

調製作業中の損失の発生は，図 2.5 のように，ホッパと成形室の間にこぼれて堆積するものと，成形室から排出されたロールベールが密封部に移動する間にロールベール両底面からこぼれた材料が，密封部の下に材料が堆積する事が確認された。こぼれ



図 2.5 細断型ベアラ各部の名称

た材料を放置したまま作業を継続した試験では、2回の試験のうちの1回は、こぼれた材料が密封部の下に堆積してラップサイロの放出を妨げて試験の継続が不可能となった。そのため、表2.4の補助作業「無し」は1回の試験結果である。こぼれた材料を放置した時の損失率は4.5%であったが、補助作業者が投入を行う補助作業「有り」では損失率は2.3%に低減した。表2.4の損失率「その他」とは、材料質量からラップサイロ質量、細断型ベアラのホッパ内残量と調製時に細断型ベアラからこぼれた材料の質量を引いた質量で、運搬時に風などによって損失したと考えられた。現在、わが国で主に利用されている細断型ベアラには数機種があり、本試験ではそのうちの1機種を利用して行った。機種により、結束方法が異なるため、今後、他機種よる作業能率や梱包損失率を検討する必要がある。

表 2.4 調製時の損失率

補助作業	投入量 (tha ⁻¹)	ラップサイロ 質量(tha ⁻¹)	損失量(kgha ⁻¹)		損失率 (%)
			梱包密封時	その他 ¹	
有り ²	15.4	14.4	214	144	2.3
無し ³	14.7	14.0	510	145	4.5

¹ 原材料質量からラップサイロ質量、梱包時損失量と細断型ベアラのホッパ内残量。

² こぼれた材料の投入を補助作業者により行った。

³ こぼれた材料の投入を行わなかった。

2.3.3. 飼料成分

収穫作業時に、イアコーンを分離した茎葉は、スナッパヘッドの回転刃で切断・細断されて圃場へ落下するが、一部の茎葉は下方向へ落下せず、フィードローラに取り込まれる状況が確認された。そのため、ECS 材料への茎葉の混入が推測された。表 2.5 に原材料のイアコーンの部位別および機械収穫した ECS 材料ならびに ECS の飼料成分組成を示す。ECS 材料の子実のでんぷん含量は 71.1% で、ECS 材料のでんぷん含量は 48.0% であったことから、約 3 割が芯、穂皮および茎葉であったと考えられた。ECS は

表 2.5 イアコーンの部位別および機械収穫したイアコーン原材料の飼料成分組成

	部位別			ECS	サイレージ	
	穂皮	芯	子実	材料 ¹	ECS ²	(参考) WPCS ³
DM(%)	43.9	38.6	63.5	56.7	57.8	40.0
飼料成分(乾物重あたり)						
CP(%)	3.6	3.1	8.1	7.1	7.6	3.2
NDF(%)	83.7	83.5	8.7	32.6	28.9	20.1
ADF(%)	43.1	44.5	5.2	17.9	13.7	12.4
ADL(%)	4.2	7.7	0.4	2.6	2.0	-
でんぷん(%)	1.8	2.1	71.1	48.0	48.1	-

¹N=20

²6 ヶ月後開封のサイレージ (N=9)

³ トウモロコシサイレージ (日本標準飼料成分表 2001 年版, 成熟期・全国)

濃厚飼料として利用することが期待されていることから，でんぷん含量を 50%以上確保しながら TDN 含量を高めるためには，茎葉，穂皮の混入程度とその原因を明らかにする必要が示された。

2.3.4. サイレージの発酵品質

調製したロールベールサイレージは，トラックで北海道農業研究センター（札幌市）に輸送後，ベールクラブで屋外のコンクリートの床の上に移動し，室外で 6～11 ヶ月貯蔵した後に開封した。サイレージの発酵品質は pH4.0～4.1，乳酸含量は原物中 0.81～1.16% となり，VBN/TN も 2.3～5.6% であった（表 2.6）。良質なサイレージは pH4.2 以下とされ，VBN/TN は 5% 以下が「良」と判断されることから発酵品質は良好と判断された。

表 2.6 イアコーンラップサイレージの発酵品質

保存期間	6 ヶ月 ¹	11 ヶ月 ²
DM (%)	57.8	57.2
pH	4.1	4
有機酸組成 (%原物中)		
乳酸	0.81	1.16
酢酸	0.19	0.27
プロピオン酸	0	0.03
イソ酪酸	0.11	0.13
VBN/TN (%)	2.3	5.6
V-スコア	91	88

¹N=9

²N=9

長期間保存すると、若干の品質低下が認められるものの、11ヶ月経過したサイレージでも V-スコアは「良」判定の 80 点以上である 88 点となり、発酵品質は良好な状態でサイレージとして保存できることが明らかとなった。乾物率 56.7%のサイレージでは、上部と下部の水分含量差は 1 ポイント程度であり、排汁は認められなかった。ラップフィルムの破損がない場合は、6 ヶ月と 11 ヶ月ともカビの発生は認められず、長期保存しても安定した品質が保持された。WPCS では、乾物率が約 30%以下になると排汁によるロスが生じることが報告されている（大下ら 2005）。ECS の乾物率はこれよりも低いため、排汁ロスは認められなかった。このように、細断型ベアラで調製した ECS は、でんぷんを約 50% 含み NDF 含量は 28.9%で、約 1 年経過しても発酵品質が良好に維持されたことから、自給濃厚飼料としての利用が期待できる。今後、家畜への効率的な給与技術の検討が必要と考えられた。

2.4 本章のまとめ

本章では、社会的要求が高まっている自給濃厚飼料として、ECS を生産するため、収穫調製作業の機械化体系の確立を目的に、作業精度、作業能率およびサイレージの品質を調査した。

1. スナッパヘッドを装備した自走式ハーベスタによるイアコーンの収穫時間は 0.49hha^{-1} で、子実損失を 1.1%に抑えることができた。これは自走式ハーベスタによる WPCS の収穫作業時間の 0.48hha^{-1} と遜色なく、実用的な技術であることが明らかとなった。
2. 収穫したイアコーン材料は細断型ベアラで調製できることを確認した。調製作用時間は 0.88hha^{-1} で、WPCS を水平型サイロ

で調製する場合よりも省力的だった。調製時の損失率は 2.3～4.5%と収穫損失よりも多く，課題が残された。

3. ラップサイロとして貯蔵した ECS は，発酵品質に優れ約 1 年の長期保存も可能だった。

以上の結果から，本体系により高品質な ECS を実用的な能率で収穫調製することが可能であることが確認されたが，調製時に発生する損失率の低減を図る必要がある。

第3章 収穫調製作業の効率化とサイレージ品質

3.1 本章の目的および構成

2章において、スナッパヘッドを装着した自走式ハーベスタで収穫したイアコーンを定置した細断型ベーラで梱包し、密封してラップサイロとして貯蔵するECSの機械化生産体系を構築した。この方法で生産されたECSは発酵品質に優れ、約1年の長期保存も可能であることを示した。しかし、本体系の実用化に向けては、調製時の損失率低減の必要性が明らかとなり、同時に、飼料成分からイアコーン以外の茎葉の混入が示唆された。ECSは濃厚飼料としての利用が期待されるため、茎葉等の混入による大幅なでんぷん含量の低下や変動は実用化に向けて問題となる。そこで、本章では、構築されたECS機械化生産体系の実用化を目的として、3.2節では、調製作業時の損失を低減するための改良を行い、3.3節では、ECS品質に影響する飼料成分の変動について、収穫条件と品種が及ぼす影響を調査した。

3.2 細断型ロールベーラによる調製作業

3.2.1 目的

調製時の損失量は生産量を減少させて生産費を押し上げるばかりでなく、損失の発生が作業を中断させるため、作業効率低下の原因となる。志藤・山名(2002)によれば、細断型ベーラによるWPCSの調製時損失率は1.4%であることから、本節では、ECSでもWPCSと変わらない損失率を目標として細断型ベーラの改良を行った。

損失は、ネット結束で成形されたロールベールが、密封前の移

動時に衝撃を受けることで材料がこぼれて発生した。またこの時の観察から、ロールベールの乾物密度が低いとこぼれが誘発されると仮定した。そこで、移動時の衝撃は機械の段差をなくす改良を行い、乾物密度は、梱包制御プログラムをネットの結束が終了するまで材料の供給を継続するように変更することで、高い乾物密度で成形するための改良を行った。

3.2.2 材料と方法

(1) 細断型ベアラの改良による損失低減化

ここでは、ロールベールの成形始めから密封終了までの間に、機体からこぼれ落ちた ECS 材料の重量を損失量と定義する。こぼれは図 3.1 に示すように、細断型ベアラ機体前後 2 箇所から確認されたので、成形室前方での損失量を前方損失、密封部での損失量を後方損失と呼ぶこととする。



図 3.1 細断型ベアラの各部名称と損失量の計測箇所

図 3.1 に示す細断型ベアラのホッパと成形室をイラスト化し図 3.2 に示す。前方損失は、ホッパ内の材料を成形室へ供給する供給コンベヤ 2 の下側の隙間から、材料が機体両側へこぼれて発生した。これは成形室内での材料のこぼれと、成形室から密封部へ移動する間の搬送部でこぼれた材料が、供給コンベヤ 2 下側の貯留部に集められ、これを成形室に再投入する際に発生していると推測できるが、成形室内の状況は観察できなかったため、統計処理によって損失の要因を解析した。

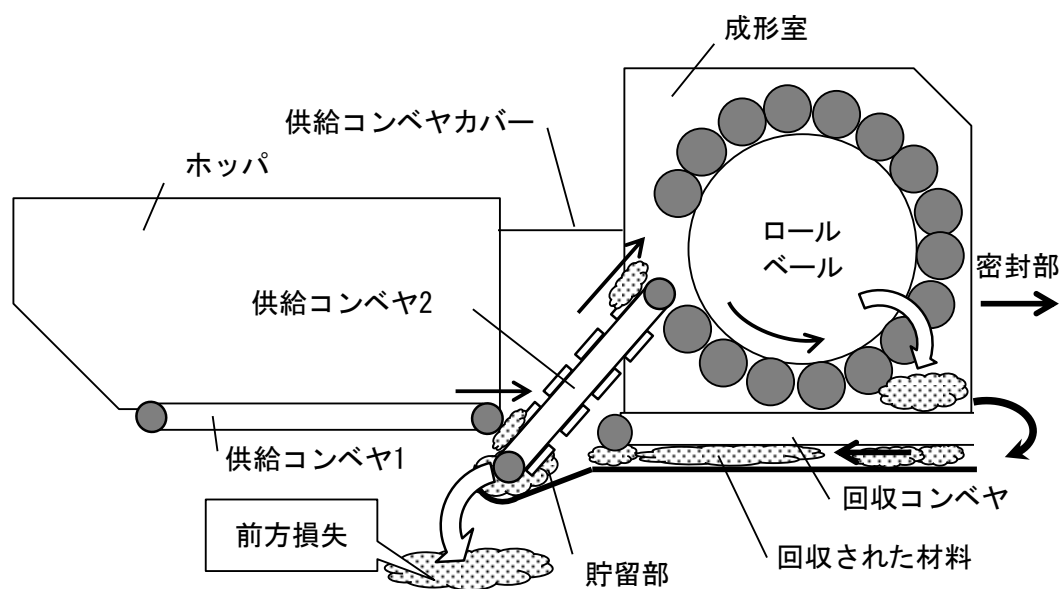


図 3.2 前方損失発生仕組み

図 3.1 に示す細断型ペーラの密封部をイラスト化し図 3.3 に示す。後方損失は，成形室から排出されたロールペールが図 3.3（改良前図）に示す密封部の 110mm の段差を転動落下する時の衝撃により，結束ネットが被覆されていない底面から材料がこぼれて発生し，図 3.3（改良前図）と図 3.4 に示すように回収用コンベ

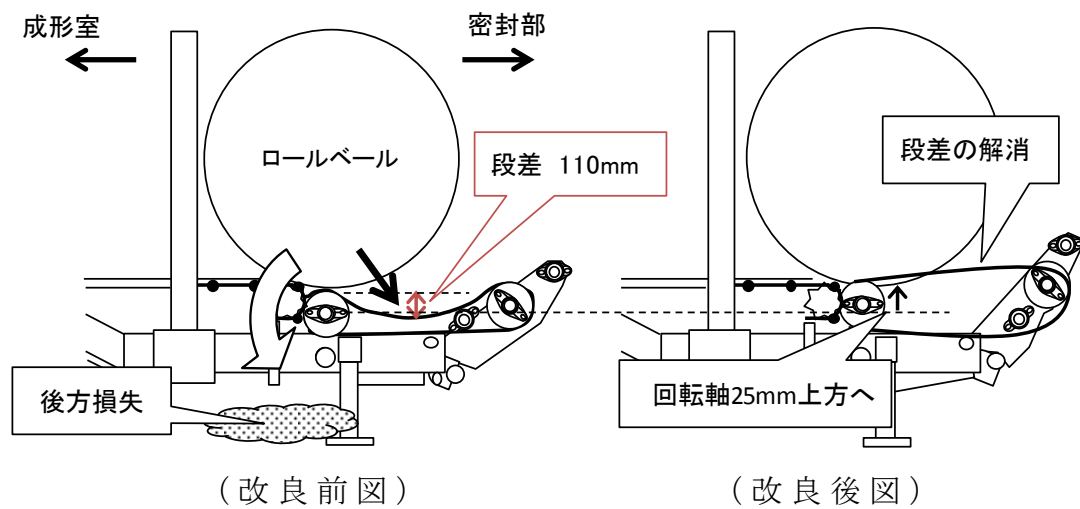


図 3.3 後方損失発生の仕組みと改良箇所

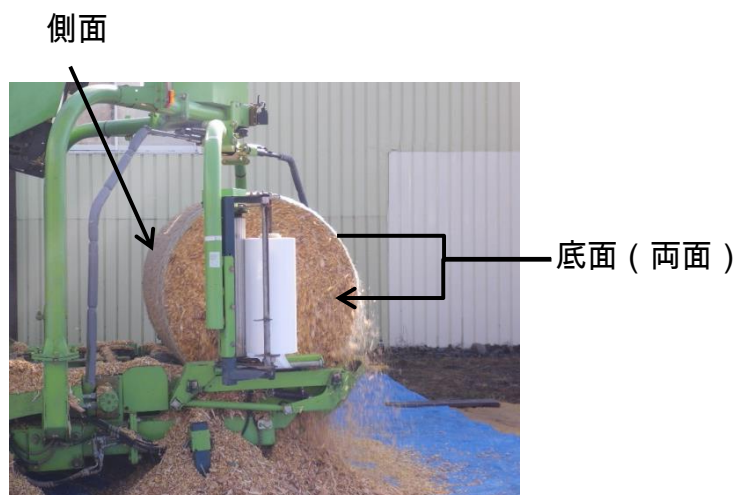


図 3.4 後方損失発生の様子

ヤでも受け止められずに地面に落下して損失となった。そこで、図 3.3（改良後図）に示すように成形室側の回転軸を 25mm 上方へ移動し、ロールベールを受け止めるベルトのテンションを強化して段差を解消する改良を行った。

(2) 梱包制御プログラム改良による損失低減化

供試した細断型ロールベアラは、コントロールボックスで材料供給や結束時間の設定を変更することができる。本試験では、材料供給の停止と結束開始のタイミングを調整することにより、結束ネットと材料間の緩みをなくせば後方損失を低減することができると考え、2通りの設定を行い、損失量および発酵品質を比較した。第 1 の設定（WPC プログラム）は、ネットの結束開始と同時に材料の供給を停止する梱包方法である。これは、2 章の試験と同じ設定であり WPCS 用として開発された既存の方法である。第 2 の設定（EC プログラム）では、適正な乾物密度となるよう、ネットの結束が終了するまで材料の供給を継続するようにした。

(3) 評価試験

1) 試験条件

細断型ベアラの改良効果を検証するため、（独）家畜改良センター十勝牧場（音更町）で試験を行った。供試品種は、収穫時の乾物率範囲を広くする目的で、RM の異なる 2 品種の 39B29（RM75 日）と 39M48（RM82 日）（パイオニアハイブレッッドジャパン社）を、2011 年 6 月 16～17 日に 98,000 粒 ha⁻¹ の設定で播種した。各品種の処理区は隣接して設けた。2 章で構築した収穫調製作業体

系により，9月28日と10月12日に収穫し調製試験を実施した。

2) 改良した細断型ベーラによる損失量の計測方法

ロールベール梱包時の損失量は，細断物の切断長と関係があることがいくつか報告されている(宮崎ら 1993, Boreani and Tabacco 2006)。そこで段差を改良した細断型ベーラで，材料の切断長を変えた ECS ロールベールを成形して損失量を測定した。調製条件は表 3.1 に示す。作業はブルーシートの上で行い，こぼれた材料を前方損失量と後方損失量とに区別して箒等で掃き集めて採取し，各々の重量を測定した。これらの合計である全損失量をロールベール重で除し損失率とした。

表 3.1 改良した細断型ベーラ損失量計測のためのロールベール供試数

破砕処理装置間隙 (mm)	2		
切断長 (mm)	5	10	16
ロールベール (個)	9	12	9

3) 梱包制御プログラム改良による損失量の計測方法

(2)と同様に材料を収穫し，WPC プログラムと EC プログラムでロールベールを調製し損失量を測定した。各条件に供試したロールベール数を表 3.2 に示す。

表 3.2 梱包制御プログラム改良による損失量計測のための
ロールベール供試数

梱包制御プログラム	WPC			EC		
破砕処理装置間隙 (mm)	2			2		
切断長 (mm)	5	10	16	5	10	16
ロールベール (個)	6	10	7	8	16	15

4) 発酵品質

WPCプログラムとECプログラムでラップサイロに調製されたECSの発酵品質を比較した。化学分析とサンプリングは2章と同じ方法で行った。WPCプログラムは3個，ECプログラムは8個のラップサイロからサンプルを採取し，分析値の平均値を求めた。使用したラップサイロは7～19ヶ月間屋外で貯蔵した。

5) 統計解析

損失量，風乾物率，乾物密度の平均値の差の検定はMann-WhitneyのU検定，発酵品質はt検定で行い，前方損失量と風乾物率について考察するための単回帰分析を統計ソフトR (Version 2.15.3: <http://www.R-project.org>) を用いて行った。損失の発生量と調製時の諸条件の影響について考察するため，応答変数を損失量，要因を梱包制御プログラムと設定切断長，共変量を風乾物率，乾物密度とした共分散分析を行った。さらに，梱包制御プログラムの相違点について考察するため，梱包制御プログラム別に，応答変数を損失量，要因を設定切断長，共変量をADM，乾物密度とした共分散分析を行った。いずれも有意水準は5%とした。解析には統計パッケージSAS (Version 9.3) を用いた。

3.2.3 結果と考察

(1) 細断型ベアラの密封部改良による損失率の低減

細断型ベアラ密封部改良後のロールベール1個当りの損失量と損失率を表3.3に示す。後方損失量は設定切断長5mmで有意に多く、損失率も有意に高く、切断長の影響が認められた。これはWPCSの切断長が短いと損失量が増加した宮崎ら（1993）の報告と同様の傾向だった。設定切断長を10mm以上とすれば損失率は2.0%に抑える事ができたが、目標とするWPCSの調製時損失率の1.4%程度までは低減できなかった。

表 3.3 密封部改良後の設定切断長別のロールベール1個当りの損失量，損失率

設定切断長	損失量(kg)		損失率(%)
	前方	後方	
5mm	5.9 ^a	14.0 ^a	3.7 ^a
10mm	4.1 ^a	6.3 ^b	2.0 ^b
16mm	3.8 ^a	5.4 ^b	2.0 ^b

同列の異文字間に危険率5%で有意差あり。

(2) 梱包制御プログラムの改良による損失低減

表 3.4 に梱包制御プログラム別の損失量と損失率を設定切断長別に示す。設定切断長 5mm では、損失量はプログラムを WPC から EC へ変更した後は、前後とも損失量が有意に低減した。10mm では後方損失量が有意に低減し、16mm では有意差は認められなかった。EC プログラムへの改良の結果、損失率は 0.5～1.7% となり、目標とした WPCS の 1.4% と同程度まで損失率を低減することができた。

これらの効果がプログラムによるものか、その他の影響かを確認するため、プログラムと設定切断長を要因、風乾物率と乾物密

表 3.4 梱包制御プログラムと設定切断長別のロールボール 1 個当たりの損失量と損失率の比較

プログラム	損失量(kg)						損失率(%)	
	前方		後方		全損失量			
	WPC	EC	WPC	EC	WPC	EC	WPC	EC
5mm	5.9	0.5 ^{**}	14.0	2.1 ^{**}	19.9	2.6 ^{***}	3.7	0.5 ^{***}
	(0.3)	(0.2)	(0.7)	(0.8)				
10mm	4.1	4.8	6.3	3.5 ^{**}	10.4	8.3	2.0	1.7
	(0.4)	(0.6)	(0.6)	(0.4)				
16mm	3.8	3.3	5.4	3.4	9.2	6.8	2.0	1.5
	(0.4)	(0.5)	(0.6)	(0.5)				

^{**}, ^{***} は危険率 1% または 0.1% で各値左隣の WPC 値に対して有意差があることを示す。

() 内の数字は全損失量に対する構成比

表 3.5 プログラムと設定切断長を要因とした共分散分析結果

損失量	要因	自由度	平方和	平均平方	F 値
前方	プログラム	1	11.88	11.88	3.67
	設定切断長	2	0.82	0.41	0.13
	風乾物率	1	50.05	50.05	15.48***
	乾物密度	1	6.98	6.98	2.16
後方	プログラム	1	195.67	195.67	33.36***
	設定切断長	2	52.24	26.12	4.45*
	風乾物率	1	10.47	10.47	1.79
	乾物密度	1	33.81	33.81	5.77*
全量	プログラム	1	363.02	363.02	32.52***
	設定切断長	2	35.50	17.75	1.59
	風乾物率	1	0.31	0.31	0.03
	乾物密度	1	43.37	43.37	3.89*

*, ***は危険率 5%または 0.1%で有意であることを示す。

度を共変量とした共分散分析を行った。前方損失量についての結果を表 3.5 に示す。前方損失量にプログラムの効果はなく，風乾物率の影響を受けていることが確認された。後方損失量にはプログラム，設定切断長，乾物密度の影響が認められた。全損失量にはプログラムと乾物密度の影響が認められた。これは，表 3.4 から全損失量の構成比は後方損失量が高いため，後方損失量の損失発生の影響を強く受けていることによると考えられた。

前方損失は，図 3.2 に示すように，搬送部でこぼれて回収された材料が供給コンベヤにうまく回収されないことで発生してい

た。物質間の凝着力は、湿度の上昇に伴って増加することが知られていて（岡 2007，安藤 2009），本のページをめくる時に指先を湿らせるのは，水分と凝着力の関係を表す身近な例である。供給コンベヤと材料の間の凝着力は，材料の水分によって決定されるため，風乾物率が高い乾燥した状態の材料はコンベヤから分離し易く，落下して貯留部へ堆積し，貯留部上部の隙間から機体外へこぼれ出て損失になるのではないかと推測された。そこで，風乾物率を説明変数，前方損失量を応答変数として単回帰分析を行った。その結果，図 3.5 から乾物率の増加に伴い前方損失量が増加することが確認された。

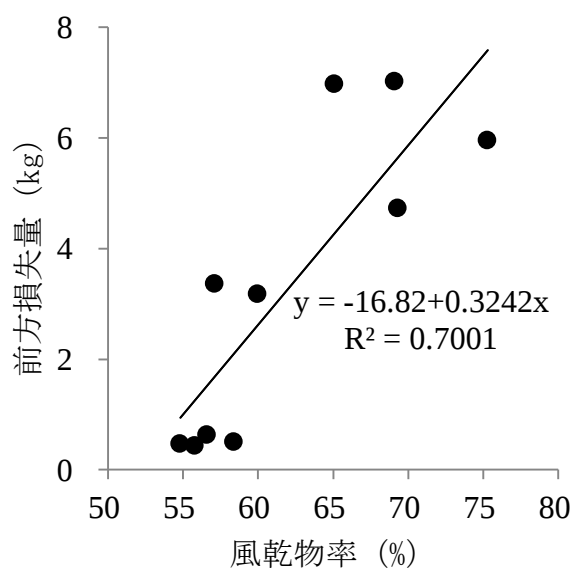


図 3.5 乾物率と前方損失量の関係

後方損失には，プログラム，設定切断長，乾物密度の効果が認められた。表 3.4 から，設定切断長 5mm と 10mm の EC プログラムの後方損失量は，WPC プログラムに対して有意な減少が認め

られ、表 3.6 から、設定切断長 5mm と 10mm の乾物密度が、WPC プログラムから EC プログラムへの変更によって有意に変化した効果と考えられた。プログラムの変更により設定切断長別の乾物密度が変化した効果であることが、共分散分析の結果から説明された。

表 3.6 プログラムと設定切断長別の共変量

プログラム	ADM (%)		乾物密度 (kgm ⁻³)	
	WPC	EC	WPC	EC
5mm	59.5	55.5 ^{***}	344	313 ^{**}
10mm	57.9	65.8 ^{**}	304	347 ^{**}
16mm	59.2	62.2	314	328

^{**}, ^{***}は危険率 1%または 0.1%で各値左隣の WPC 値に対して有意差があることを示す。

仮説では、EC プログラムは高い乾物密度でロールベールを成形することで後方損失量を低減できると仮定したが、EC プログラムによる乾物密度の変化は、設定切断長 5mm では低下し 10mm では増加したことから、乾物密度の高低のみで後方損失量の多寡を説明することはできなかった。そのため、後方損失量の抑制要因の解明については残された課題であるが、EC プログラムへの変更によって 10mm 以下の短い設定切断長でも、後方損失量を実用化に問題のない程度まで減少させることが可能となった。

プログラムの相違点を比較する共分散分析を行った結果を表 3.7 に示した。WPC プログラムでは、後方損失量に有意な影響を与える要因は設定切断長だった。EC プログラムでは、後方損失量における風乾物率と乾物密度が有意な要因で、全損失量におい

表 3.7 プログラム別にみた設定切断長を要因とした共分散分析結果

プログラム	損失場所	要因	自由度	平方和	平均平方	F 値
WPC	前方	設定切断長	2	0.68	0.34	0.10
		風乾物率	1	0.00	0.00	0.00
		乾物密度	1	5.03	5.03	1.44
	後方	設定切断長	2	78.78	39.39	5.77*
		風乾物率	1	12.08	12.08	1.77
		乾物密度	1	17.75	17.75	2.60
	全損失	設定切断長	2	49.35	24.67	1.99
		風乾物率	1	0.11	0.11	0.01
		乾物密度	1	53.69	53.69	4.34
EC	前方	設定切断長	2	1.47	0.74	0.27
		風乾物率	1	2.74	2.74	1.01
		乾物密度	1	0.00	0.00	0.00
	後方	設定切断長	2	0.51	0.26	0.10
		風乾物率	1	25.42	25.42	10.02**
		乾物密度	1	27.43	27.43	10.82**
	全損失	設定切断長	2	4.13	2.06	0.39
		風乾物率	1	62.51	62.51	11.95**
		乾物密度	1	112.23	112.23	21.46***

*, **, ***は危険率 5%, 1%, 0.1%で有意であることを示す。

ても、風乾物率と乾物密度が有意な要因であった。EC プログラムでは、設定切断長は要因としての効果が認められなかったことから、EC プログラムは設定切断長に影響を受けないため、短い切断長の材料でも損失量が少なかったことが共分散分析結果から明らかとなった。

本試験で確認できた材料の風乾物率は 55.5~65.8%であるので、この範囲外での EC プログラムの効果についての検証は残された課題である。しかし、ECS のためのイアコーン収穫時の最適風乾物率は 60%程度であり（大下 2013）、本試験によって ECS 調製作業における EC プログラムの実用性が示された。

サイレージの切断長は、牛の生理的要求と機械の作業性で決定される（安宅 2012）。WPCS の発酵品質は、切断長が短いものほど発酵品質が良いといわれている（Messer and Hawkins 1977）。設定切断長が 10mm 以上の WPCS は、乳牛の反芻時間が低下して採食量が減少するため、10mm 以下の切断長が推奨されている（岡本ら 1979, 大下 2006）。WPCS と同じイアコーンを原料とする ECS でも 10mm 以下の切断長が望ましいと考えられるので、短い切断長でも損失量が少ない EC プログラムは ECS 調製に有用であることが明らかとなった。

(3) 発酵品質

ECS の発酵品質は、表 3.8 より、pH3.9~4.1 で pH4.2 以下と良好であり、VBN/TN が通常の 10%以下の 4.5~6.9%であり、乳酸菌含量は現物中に 0.91~1.09%、酢酸含量は現物中に 0.21~0.25%が認められたことから良好に発酵した事が確認された。両処理区とも乾物密度が 300kgm^{-3} 以上と十分な乾物密度が得られたため、

発酵品質に差は生じなかったと考えられた。

表 3.8 プログラム別の発酵品質

	プログラム		P-値
	WPC	EC	
ベール (個)	3	8	
乾物率 (%)	61.4	60.5	0.479
pH	3.9	4.1	0.167
乳酸菌 (%)	0.91	1.09	0.137
酢酸 (%)	0.21	0.25	0.236
プロピオン酸 (%)	0.00	0.00	N.S.
エタノール (%)	0.39	0.39	0.970
VBN/TN (%)	4.5	6.9	0.106
V-スコア	99	96	0.064

3.2.4 まとめ

本節では調製時の損失率低減を目的とし、細断型ベアラおよび梱包制御プログラムの改良を行い、その効果を検証した。損失率の目標値は一般的な WPCS と同程度の 1.4%とした。

1. 損失発生の原因は、細断型ベアラの搬送部でこぼれた材料を回収する機構中で材料の風乾物率に起因して起こる損失（前方損失）と、材料の切断長が短いために起こる損失（後方損失）であった。
2. 前方損失は風乾物率が 55.5%の時に少なかった。後方損失は、機械の改造による損失軽減効果が小さかったが、梱包制御プロ

グラムの改良によって切断長の影響を排除したことで軽減した。

3. 両プログラムとも 300kgm^{-3} 以上を得られたため、ECS の発酵品質に差は生じなかった。

以上、評価試験の結果から、調製時損失率は 0.5～1.7% となり、ECS で望ましいとされる 10mm 以下の短い切断長でも WPCS と同程度の損失率となった。また、この方法で貯蔵された ECS は、V-スコアが 96 以上と発酵品質が良好だったことから、本方法の実用性が示された。

3.3 収穫条件による飼料成分の変化

3.3.1 目的

ECS の生産はコントラクタが収穫調製を行い，畜産経営に販売されて利用されることが想定されるため，品質が安定していることが重要である。ECS は圧ペントウモロコシの代替えとして利用されるため，でんぷん含量の大きな変動は品質の問題となる。

Bucholtz (2012) は，自走式ハーベスタで収穫した Snaplage (ECS と同義) は芯，子実，穂皮と少しの茎葉を含むと報告していて，2 章の試験結果からも，飼料成分から茎葉の混入が示唆された。茎葉が混入する原因は明らかでなかった。

スナッパヘッドは，図 3.6 のギャザリングチェーンでトウモロコシを茎葉ごと引き込み，回転する 2 本のスナップロールでイアコーンを上部へ分離すると同時に，茎葉を下方向へ引き抜きながら回転刃で細断する仕組みである。この時，下方へ引き抜かれなかった茎葉がフィードローラに取り込まれる様子が観察されたことから，ECS 中に茎葉が混入していると考えられた。茎葉がスナップロール間を通過する時間は，茎葉の長さで収穫機の速度が影響すると仮定した。例えば，草丈が短かったり，収穫機の速度が速かったりする時は，茎葉がスナップロールの間隙を通過する時間は短いと想定され，その通過時間が茎葉の混入に関係していると仮定した。トウモロコシに含まれるでんぷんのほとんどは子実に由来するため，でんぷん含量を比較することで茎葉の混入程度が推測できると考えられる。そこで，収穫時の条件に，刈取り高さ（以下，刈高と記す）と収穫機の作業速度を設定し，品種の違いを加えて収穫試験を行い，ECS の品質に関わるでんぷん等の飼料成分に及ぼす影響を調査した。

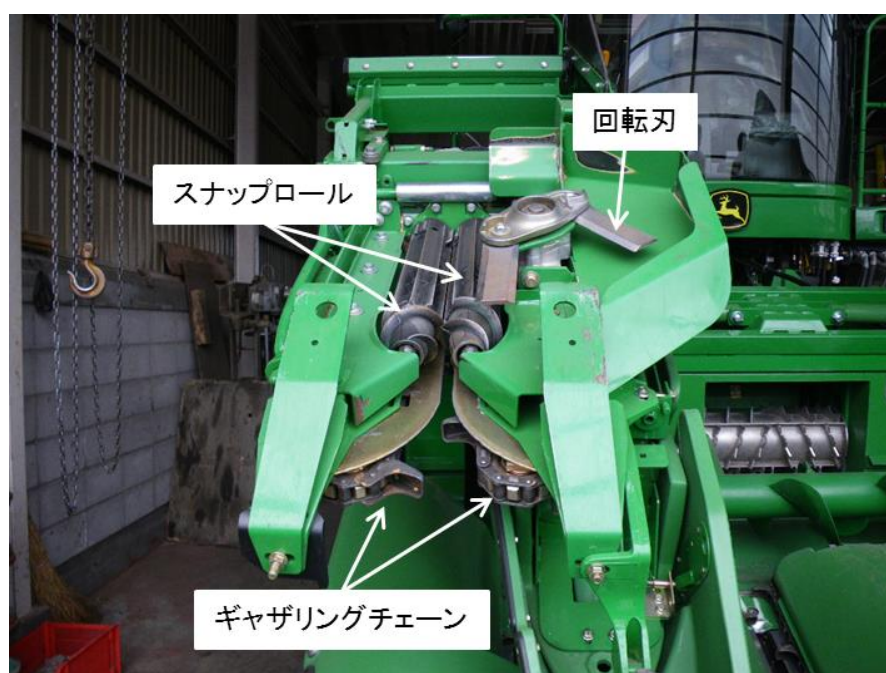


図 3.6 スナッパヘッドによる収穫作業（上）と
ヘッド各部の名称（下）

下段の写真は、折り畳んだところを撮影したため上
下が作業時と逆である。

3.3.2 材料と方法

(1) 収穫試験

試験は 2011 年 10 月 12～13 日に前節 3.1 と同じ供試圃場で行った。供試品種は 39B29 (RM75 日) と 39M48 (RM82 日) を使用した。収穫方法は 2 章と同じ機械装備を供試して、スナッパヘッドの高さ (刈高) を地上高さ 20cm (以下, NC と記す) と地上高 45cm (以下, HC と記す) の 2 水準, 自走式ハーベスタの作業速度を 4kmh^{-1} , 6kmh^{-1} の 2 水準とした。ECS 給与農家のニーズに基づき, 収穫機の設定切断長は 5mm, 破砕処理装置の間隙は 2mm とした。長辺長 560m を片道作業する約 0.25ha を 1 つの試験区として収穫し, 収穫されたイアコーンの化学分析を行った。サンプリングと化学分析は 2 章に準じた方法で行った。

(2) 統計解析

飼料成分の含有率を応答変数として, 品種, 作業機速度, 刈高を要因とした三元配置分散分析を行い, 有意な交互作用が認められた場合に単純主効果検定を Tukey 法により行った。いずれの場合も有意水準は 5% とした。作物条件, 飼料成分組成, イアコーン部位構成比の平均値の差は t 検定によって調べた。統計ソフトは前項と同じ R (Version 2.15.3: <http://www.R-project.org>) を用いた。

3.3.3 結果と考察

(1) 収穫時の作物条件

収穫時の作物条件を表 3.9 に示す。稈長は品種間で変わらなかったが, 着雌穂高は 39M48 が高く, 稈径も 39M48 が太かった。

表 3.9 供試品種の作物条件

	39B29	39M48	t. test	
草 型 （cm）				
稈長	336±17.5	346±12.6	n.s.	
着雌穂高	152± 9.7	171± 9.2	***	
稈径	1.35±1.19	1.49±0.54	**	
風乾物率（%）				
イアコーン	子実	72.1±4.0	70.1± 2.4	n.s.
	芯	43.0±4.1	38.3± 2.3	**
	穂皮	51.2±7.5	58.5±11.5	n.s.
茎		30.2±4.5	31.0± 5.2	n.s.
イアコーン収量（kg ha ⁻¹ ）	13,691±361	15,938±285	**	

, *は危険率 1%または 0.1%で有意差があることを示す。

n.s.は有意差なし。

イアコーンの乾物収量は 39M48 が高く、熟期が遅い品種は植物体が大きく収量が多くなる一般的な傾向と一致していた。茎の風乾物率に有意差は認められず、茎葉の枯凋は同程度だった。

(2) 飼料成分の変動

表 3.10 に、品種、作業速度、刈高別の DM と飼料成分の平均と、飼料成分の含有率を応答変数として、品種、作業機速度、刈高を要因とした三元配置分散分析結果を示す。

表 3.10 収穫条件と品種が DM と飼料成分含量に及ぼす影響

品種	作業速度 (Kmh ⁻¹)	刈高	DM (%)	飼料成分 (%乾物中)				
				OM	CP	NDF	ADF	でんぶん
39B29	4	NC	64.1	98.1	7.2	37.0	17.5	49.1
		HC	63.9	98.1	7.4	34.4	16.1	45.5
	6	NC	67.0	97.9	6.9	35.0	16.1	52.7
		HC	64.7	98.1	7.7	36.1	16.3	51.1
39M48	4	NC	59.9	97.5	7.0	34.6	17.7	41.1
		HC	56.6	98.0	6.7	30.1	14.6	57.6
	6	NC	60.9	97.7	7.0	30.0	14.9	47.9
		HC	56.5	97.9	6.9	30.0	14.2	51.6
品種の 平均値	39B29		65.0	98.0	7.3	35.7	16.5	50.0
	39M48		58.2	97.8	6.9	31.0	15.2	49.8
刈高の 平均値	NC		63.5	97.8	7.0	34.5	16.6	48.3
	HC		60.4	98.0	7.2	32.7	15.3	51.4
三元配置 分散分析	品種		***	***	***	**	*	n.s.
	作業速度		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.
	刈高		***	**	n.s.	n.s.	*	n.s.
	作業速度×品種		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	刈高×品種		n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	*
	作業速度×刈高		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	品種×作業速度×刈高		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

*, **, ***は危険率 5%, 1%, 0.1%で有意であることを示す。

n.s.は有意でないことを示す。

表 3.10 より，DM には品種と刈高の主効果に有意差が認められた。品種の効果は，表 3.11 から 39B29 の子実，芯，穂皮の DM が高いことの効果と考えられた。刈高の効果は HC で低く，DM の低い茎葉の混入量が多い可能性が示唆された。

表 3.11 トウモロコシ各部位の飼料成分組成

	子実		芯		穂皮		茎葉	
	39B29	39M48	39B29	39M48	39B29	39M48	39B29	39M48
DM (%)	72.3	69.7**	45.5	40.3***	41.9	47.4**	33.3	36.5
飼料成分 (%) (乾物重当り)								
OM	98.3	98.3	97.5	97.5	96.0	96.4	91.3	90.7
CP	8.0	8.0	3.1	2.5	4.3	4.0	3.8	4.3
NDF	12.6	11.5	84.6	82.7	87.6	84.2	79.5	74.9
ADF	4.0	4.0	43.2	44.5	43.6	43.2	53.9	49.9
でんぷん	69.1	70.1	-	-	-	-	-	-

, * は危険率は 1% または 0.1% で各値が左隣の 39B29 の値に対して有意差があることを示す。

表 3.10 より，OM には品種と刈高の主効果に有意差が認められた。品種の効果は，表 3.9 の稈径に品種間差が認められたことから，茎の表面積の違いが影響していると推測された。OM は土砂の混入により低下するので，土が付着しやすい茎の下部の混入の目安であり，WPCS では高刈りによって OM が高くなることが報告されている (Aoki et al. 2013)。本試験でも HC で高いことから，HC では茎の下部の混入が抑制されたと考えられた。

表 3.10 より NDF は品種の主効果に有意差が認められ、39B29 で高かった。繊維成分である NDF は、表 3.11 に示すように子実よりも芯に多く含まれ、表 3.12 から、39B29 はイアコーン中の芯の構成比が 39M48 に比べて高いためと考えられた。

表 3.12 イアコーンの部位構成比（乾物重あたり）

部位	39B29	39M48	t. test
子実	0.84±0.01	0.85±0.02	**
芯	0.12±0.006	0.11±0.008	**

**は危険率 1%で有意差があることを示す。

表 3.10 より、ADF は、品種、刈高、作業速度の主効果に有意差が認められた。ADF は NDF を構成する成分の 1 つであるため、品種の効果は NDF と同様にイアコーン中の芯の構成比によるものと考えられた。刈高における ADF の違いをを茎葉の混入によるものと仮定すると、NC で茎葉の混入が多いこととなり、DM の推測結果と矛盾した。NDF や ADF の繊維成分はトウモロコシの全部位に含まれるため、本試験では測定された繊維成分の由来する部位を特定することができなかった。そのため、DM や ADF で認められた刈高の効果を、茎葉混入と関連づけることはできなかった。作業速度の主効果は 4kmh^{-1} で高く、ADF 含有率は、39B29 の HC の 4kmh^{-1} で最も高く、39M48 の NC の 6km h^{-1} で最低だった。その原因の解明は今後に残された課題である。

表 3.10 より，CP は品種の主効果と，品種×刈高の交互作用が有意であったため単純主効果検定を行った。その結果，図 3.7 に示すように，刈高による有意差は 39B29 にのみ認められ，HC で高かった。CP 含量が低い茎の根元に近い部分（Hedin et al.1998; Johnson et al.2010）の混入が少なかったと考えられ，HC によって茎の下部の混入が避けられた OM の結果と同じだった。CP の含有率は，39B29 の HC が他の処理区と比べて最も高く，これは 39B29 の芯に含まれる CP が多い傾向にあり（表 3.11），イアコーン中の芯の比率も高い（表 3.12）ことが影響していると考えられた。

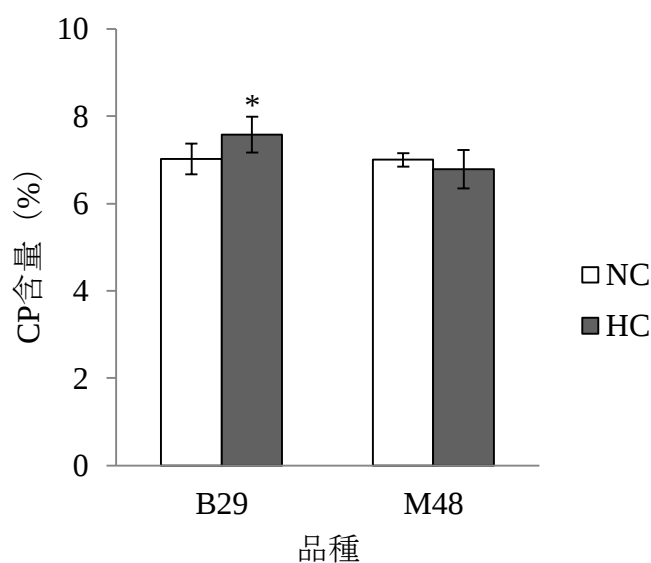


図 3.7 刈高の各水準における品種の単純主効果検定結果

平均値とエラーバーは標準偏差を表す。

*は品種内で刈高別に危険率 5%で有意差があることを示す。

表 3.10 より，でんぷんは，品種×刈高の交互作用のみ有意となったことから，刈高の各水準における品種の単純主効果検定を行った結果，図 3.8 より，刈高の効果は 39M48 にのみ認められ，HC においてでんぷん含量が有意に高かった。

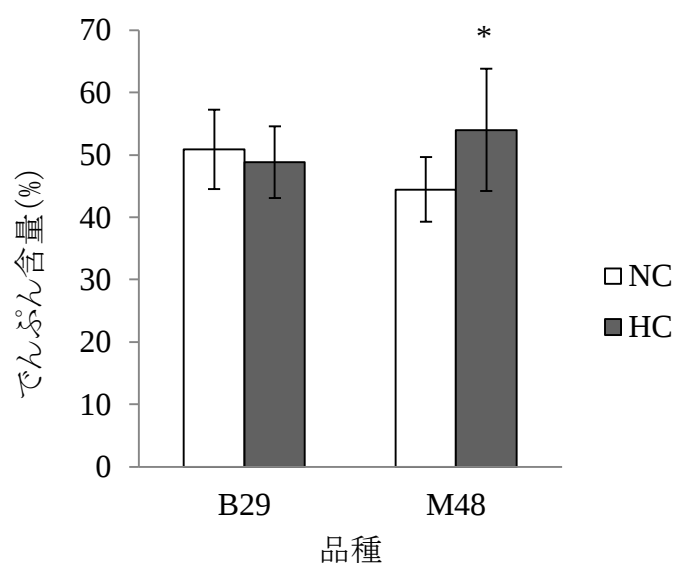


図 3.8 刈高の各水準における品種の単純主効果検定結果
 平均値とエラーバーは標準偏差を表す。

*は品種内で刈高別に危険率 5%で有意差があることを示す。

CP とでんぷんは，品種によって刈高への反応が異なった。その原因としては，表 3.9 に示す着雌穂高と稈径にみられる品種間差が影響を及ぼしたと推測されるが，詳細については今後に残された課題である。

3.3.4 まとめ

本節では，収穫条件（刈高，作業速度）と品種の違いが，ECS品質に関わる飼料成分に及ぼす影響について調査し，統計処理により飼料成分の変動の発生原因を推測した。

1. 品種の主効果は DM, OM, NDF, ADF において有意差が認められ，これらの含有率は 39B29 が高かった。CP は刈高との交互作用によって品種の効果は HC の時に限定されて 39B29 で高かった。
2. 刈高の主効果は，DM, OM, ADF に有意差が認められ HC で含有率が高かった。でんぷん含量は品種と刈高の交互作用が認められ，39M48 は HC で含有率が高かったが 39B29 では変わらなかった。
3. 作業速度の主効果は ADF のみに有意差が認められ 4kmh^{-1} で含有率が高かったが，他の成分で有意な効果が認められなかったことから， $4\sim 6\text{kmh}^{-1}$ の範囲での影響は少なかった。

以上から，ECS 品質に関わる飼料成分は，でんぷんを除き品種の影響を受ける事が明らかだった。CP とでんぷんには刈高との交互作用が認められたことから，着雌穂高と稈径にみられる品種間差の影響が示唆されたが，詳細については今後に残された課題である。

3.4 本章のまとめ

本章では，2 章で構築した ECS の機械化生産体系の実用化に向けて，3.2 節で細断型ベーラでの調製時損失率の低減化，3.3 節で ECS 品質安定化のために飼料成分の変動要因の調査を行った。細断型ベーラの改良とロールベールの梱包制御プログラムの改良

によって調製時損失率はロールベール 1 個あたり 1.7%以下となった。改良された EC プログラムによって、切断長の影響が排除されて、ECS に適した短い切断長でも WPCS と同程度の損失率でロールベールを成形してラップサイロへ密封することが可能となった。ただし、損失の発生は、収穫時の乾物率の影響を受けるため、乾物率 60%前後の適期に収穫する事の重要性が示唆された。この EC プログラムで成形し貯蔵したサイレージの品質は良好であったことから、新たに改良した技術は ECS の調製に有効であることが示された。

ECS の飼料成分のうち、DM, OM, NDF, ADF は 39B29 で含有率が高く品種の主効果が認められた。CP 含量の品種の主効果は刈高によって限定され、HC の時に 39B29 が高かった。でんぷん含量では 39M48 のみに刈高の影響が認められ、HC が NC に比べて有意に高かった。速度の影響は ADF で有意差が認められ、 4kmh^{-1} で有意に高かったが、他の成分では認められなかったことから、本試験で実施した $4\sim 6\text{kmh}^{-1}$ の慣行作業速度では、飼料成分に与える影響は小さかった。これらの結果から、茎葉の混入は品種の影響を受けることが明らかとなったが、品種のどのような特性がこれらの効果の有無に関係するかの詳細については、残された課題である。

第4章 ECS用トウモロコシの畑輪作体系 導入についての検討

4.1 本章の目的および構成

本章の目的は、耕種側である畑作経営がECS用トウモロコシを畑輪作中へ導入するために必要な条件を明らかにすることである。はじめに、ECSの収穫残渣が後作物の生産性に及ぼす影響を明らかにするため、4.2節では、スイートコーン茎葉の土壌へのすき込み利用が後作物の生産性へ与える影響を検討し、続いて4.3節では、飼料用トウモロコシ茎葉の土壌へのすき込みと土壌理化学性の変化を解明する試験を行った。4.4節では、ECS残渣を土壌還元利用以外に利用する可能性を検討した。4.5節では、畑作経営におけるECSの生産費を実例をもとに試算し、耕畜連携のために必要な収量について考察した。

4.2 トウモロコシ収穫残渣のすき込みによる後作物生産性に対する影響

4.2.1 目的

収穫残渣の直接施用は、C/N比の高低が土壌中の分解速度と後作物の生育に影響することから、畑輪作体系の前後作に関する研究は古くから行われているが、ECS用トウモロコシを前作とした研究報告はこれまでにない。米国では、子実収穫後の残渣の持ち出し量が多いほど土壌物理性が悪化し、土性によっては後作物のトウモロコシの子実収量の減収につながる事が明らかにされている(Blanco-Canqui and Lal 2007)。土壌中の有機物の分解速度は、土性や気候によって反応が異なるため、ECS残渣のすき込みによ

る土壌理化学性の変化や後作物の生育について、北海道地域での検証が必要である。そこで、ECS 残渣による土壌理化学性への影響を明らかにするとともに、ECS 用トウモロコシ後作物の生産性を栽培試験により調査した。

4.2.2 材料と方法

(1) 試験圃場

栽培試験は北海道農業研究センター芽室研究拠点（芽室町）の圃場（淡色黒ボク土）において、2011 年にスイートコーン（*Zea mays* L.），対照区にはエンバク野生種（*Avena strigosa*）を栽培した。スイートコーンは供試品種ティガ（カネコ種苗）を用い、2011 年 6 月上旬に 9500 本 10a^{-1} として播種した。9 月上旬に全面的に倒伏したため、イアコーンのみをを取り除いて茎葉重を測定して圃場で十分乾燥させた。乾燥させた茎葉は、9 月中旬に細断して残渣を地上に放置し、2012 年 4 月にロータリーハローによりすき込んだ。栽培試験に用いた圃場は、周辺農家でスイートコーンの栽培が盛んなため、交雑の危険を回避するためにスイートコーンの茎葉を収穫残渣として使用した。エンバク野生種は供試品種ヘイオーツ（雪印種苗）を用い、2011 年 6 月上旬に $10\text{kg}10\text{a}^{-1}$ で播種し、8 月下旬に細断して放置し、2012 年 4 月にロータリーハローによるすき込みを行った。

(2) 耕種概要

トウモロコシ茎葉をすき込み処理した土壌をイアコーン区（以下、EC 区と記す）と、エンバク野生種をすき込み処理した土壌をエンバク区（以下、OT 区と記す）を隣接して設けた。2012 年

4月30日にプラソイラで耕深約15cmで耕起し，5月9日にロータリーハローで碎土，作畦・施肥して播種または移植した。各試験区は横幅3.6m（畝幅60cm×6畝），縦2.4mを1区とし，ダイズ，テンサイ，コムギを各3反復設けた。表4.1に示す施肥量は，北海道施肥ガイド2010（北海道農政部2010）に準じた。生育期間中は，各作物とも北海道農作物農作物病害虫・雑草防除ガイド（北海道農政部2005）に準じた農薬散布による防除を行った。

表 4.1 供試作物と品種，施肥量

作物	品種	施肥量
		N-P-K-Mg (kg10a ⁻¹)
ダイズ	トヨコマチ	2-17-9-3
テンサイ	北海101号	18-31-18-6
コムギ	春よ恋	9-22-13-6
バレイショ	キタアカリ	8-20-14-5

(3) 生育および収量調査

1) ダイズ

5月22日に株間20cmに2粒播種し，両端の株を除いた内側4畝を調査対象とした。6月6～11日にかけて発芽率，7月18日と8月21日に草丈を各区において5株を4畝で20株を計測した。収量調査は10月16日に6畝の内側4畝を全量を刈り取り（調査面積5.76m²），重量を測定した後，乾燥舎で1週間自然乾燥した後に脱穀して子実重を測定し，脱穀した子実全量を6.1mm目の篩にかけて選別し製品率を算出した。その後百粒重を測定した。

2) テンサイ

ペーパーポットで育苗した苗を、株間 20cm で 5 月 10 日に移植し、両端の 1 株を除いた内側 4 畝を調査対象とした。7 月 18 日に草丈、葉数、葉色 (SPAD 値) は葉緑素計 (SPAD-502, コニカミノルタ) を用いて、1 株につき上位 5 葉の 5 回計測の平均値とし、各区において 5 株を 4 畝で 20 株を計測した。収量調査は 10 月 30 日に各区において連続した 10 株を抜き取り (面積 2.4m^2)、最下葉痕跡部の位置で切断 (正タッピング) した後、根重および根長を測定した。品質は根中糖分を自動分析装置 (VENEMA) により、各区画 20 株で分析した。褐斑病発病指数は北海道法により、各区の任意の 20 株に対する発病指数を 0~5 段階で評価した。

3) コムギ

播種量 330g m^{-2} として 5 月 10 日に播種し、6 畝のうち内側 4 畝を調査対象とした。6 月 19 日に草丈と茎数、7 月 18 日に稈長、茎数と穂長を各区において 5 株を 4 畝の 20 株で計測した。収量調査は 8 月 16 日に 6 畝の内側 4 畝をバインダで全量を刈り取り (調査面積 5.76m^2)、重量を測定した後乾燥舎で 1 週間自然乾燥した後に重量を測定した。脱穀機にかけ、粃摺り機を通して脱ぼう後に子実重を測定し、子実 100g を 2mm 目の篩にかけて選別し製品率を算出した。重量を測定した子実は唐箕にかけて精選し、精子実重、千粒重を計測した。子実の実容積、タンパク質と水分含有率は、近赤外線分析装置 (FOSS, Infratec 1241) により分析した。

4) バレイショ

5 月 9 日に畝幅 75cm を 6 畝、10.8m で作畦し、株間 30cm で播種して EC 区 5 反復、OT 区 6 反復をとり、ロータリーヒラー

で培土した。両端 2 株と反復間の 1 株を除いた内側 4 畝を調査対象とした。6 月 6～11 日にかけて萌芽率，7 月 18 日に草丈を各区において 10 株を 4 反復で 10 株調査した。収量調査は 9 月 13 日に内側 4 畝の 20 株（2 畝×10 株）を掘りあげて，全重量，塊茎 1 個重，デンプン価を測定した。規格内重量は 60～349g の塊茎の総重量とした。

(4) 土壌採取・分析方法

1) 土壌化学分析

各作物の試験区内と，作物のない試験区間の通路から作土層（0～20cm）から土壌を採取し，一般化学分析（pH，有効態リン酸，交換性陽イオン，熱水抽出性窒素，硝酸態窒素，アンモニア態窒素，CEC，リン酸吸収係数）は十勝農業協同組合連合会の農産化学研究所に依頼した。同時に採取し風乾した土（3 反復）は微粉砕し，全窒素含有率（以下，全窒素と記す）と全炭素含有率を NC アナライザー（vario MAX，エレメンタール）により定量して C/N 比を求めた。

2) 土壌物理性分析

100mL 採土缶を用いて深さ別に不攪乱土を採取し（1 カ所 3 反復）土壌三相計（DIK-1121，大起理化学工業）を用いて実容積を測定し三相分布を求めた。毛管飽和させた後，加圧板法（DIK-9220，大起理化学工業）により pF1.8 と pF3.0 の体積含水率を測定した。有効水分量は pF1.8～3.0 の体積水分量の差とした。粗間隙量は間隙率から pF1.8 の体積含水率の差より求めた。土壌硬度の垂直分布は貫入式土壌硬度計（DIK-5521，大起理化学工業）で各処理区 4 反復測定した。

(5) 統計処理

統計的な差は平均値の差を Welch の t 検定によって確認した。統計解析ソフトは R(version 2.15.3: <http://www.R-project.org>)を用いた。

4.2.3 結果と考察

(1) 土壌理化学性の変化

1) 土壌化学性

供試圃場の土壌化学性を表 4.2 に示す。2011 年 11 月の土壌では、OT 区のアムモニア態窒素が少ない傾向があった以外は、土壌化学性の差はみられなかった。2012 年 4 月、2012 年 11 月の両処理区とも大きな差はみられなかった。全期間を通して有効態リン酸が低いのは、火山灰土の特性と考えられた。

表 4.2 供試圃場の土壌化学性

調査日	処理区	pH(H ₂ O)	有効態 リン酸 (mg100g ⁻¹)	交換性陽イオン (mg100g ⁻¹)			リン酸 吸収 係数	CEC (me100g ⁻¹)	熱水抽出 性窒素	硝酸態 窒素 (mg 100g ⁻¹)	アンモニア 態窒素
				K ₂ O	MgO	CaO					
2011.11	EC	6.0	5.3	19.7	22.4	159.1	1673	19.2	4.78	0.90	1.14
	OT	6.0	5.9	19.3	22.1	153.7	1663	18.4	4.59	0.88	0.57
2012. 4	EC	6.0	3.9	27.5	24.3	184.1	1698	16.3	3.74	0.54	0.39
	残渣すき込み前	OT	6.0	27.3	25.1	154.6	1744	17.6	3.96	0.78	0.27
2012.11	EC	6.1	5.4	21.4	25.8	155.9	1543	21.8	4.95	0.66	0.96
	収穫後	OT	6.2	23.0	27.9	156.0	1638	20.9	5.03	0.83	0.90

全窒素の挙動を図 4.1 に示す。EC 区的全窒素は，残渣すき込み前は OT 区に比べて有意に低く，残渣すき込み後も低い傾向で

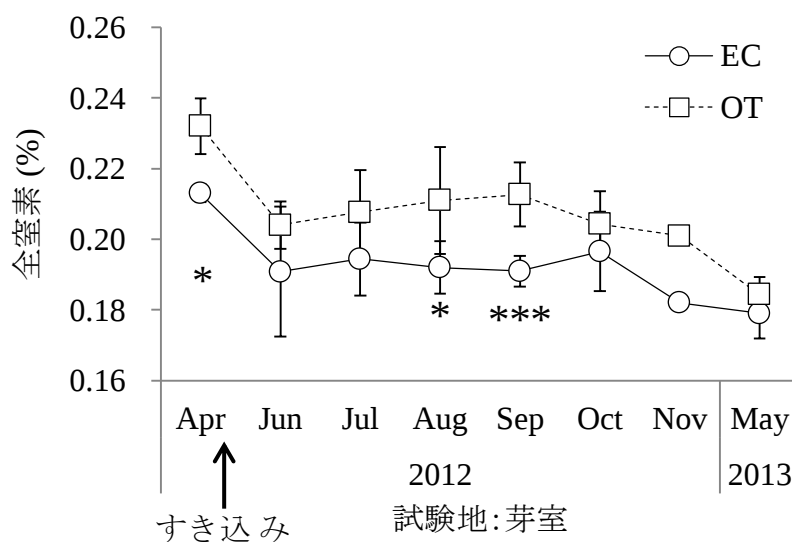


図 4.1 供試圃場の土壌中の全窒素の挙動

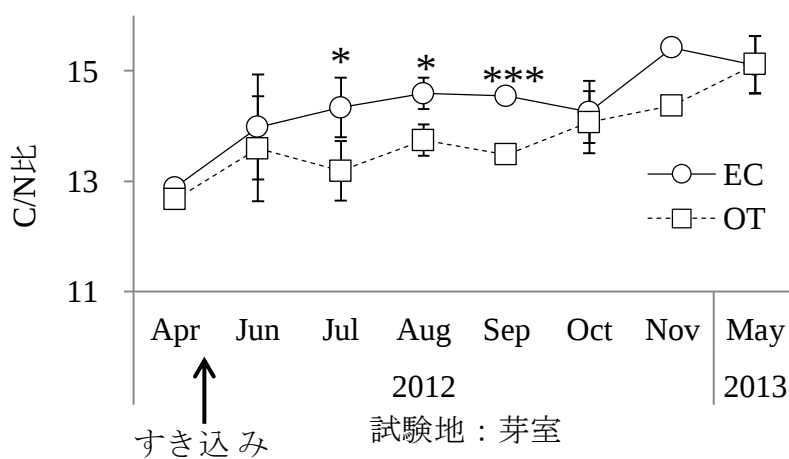


図 4.2 供試圃場の土壌中の C/N 比の動態

試料は残渣がすき込まれた通路部分で採取した（N=3，2012.Nov のみ N=1）。

平均値±標準偏差を示し，*，***は危険率 5%または 0.1%で有意差があることを示す。

8～9月は有意に低かった。図4.2より、EC区のC/N比が7～9月に有意に高いことから、この時にトウモロコシ茎葉の分されに土壤中の窒素が利用される可能性が高かった。これらの結果から、トウモロコシ茎葉は窒素成分の供給源となる可能性は低かった。

2) 土壌物理性

三相分布の推移を図4.3に示す。三相分布に処理間の差は認められなかった。両区とも、固相率がわずかに上昇し、気相率が減少したことから土壌物理性の改善は認められなかった。

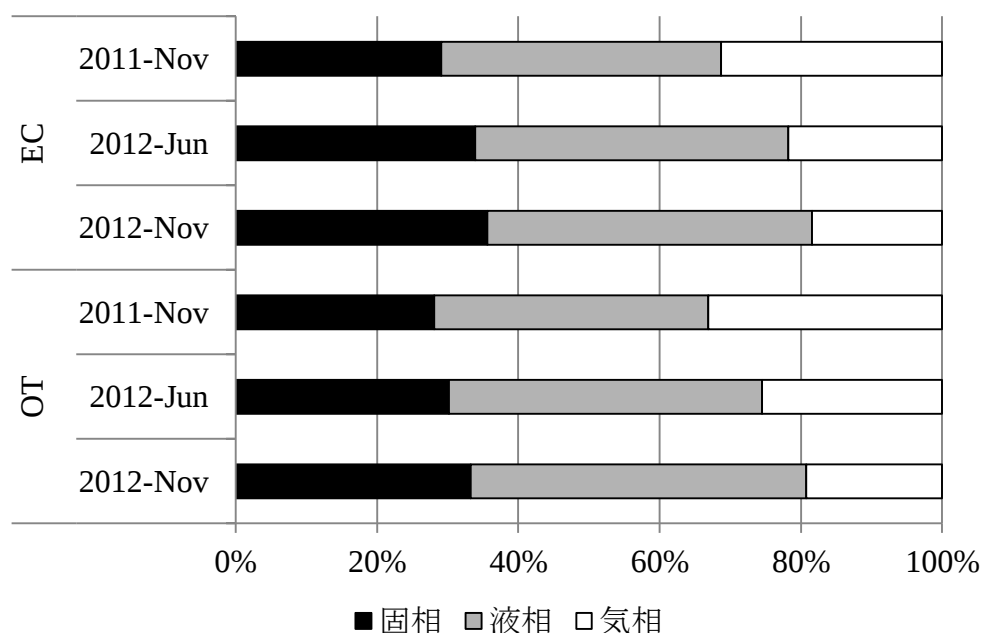


図 4.3 三相分布の推移（深さ 10～20cm）

試料は残渣がすき込まれた通路部分で採取した。

図 4.4 から、仮比重，有効水分量，粗間隙量に処理間の差は認められなかった。わずかに仮比重の増加と有効水分量の低下がみられ，粗間隙量も低下していたことから，両区とも土壌物理性はわずかに悪化していた。すき込み残渣の処理によって，三相分布，仮比重，有効水分量，粗間隙量に差が認められなかったことから，

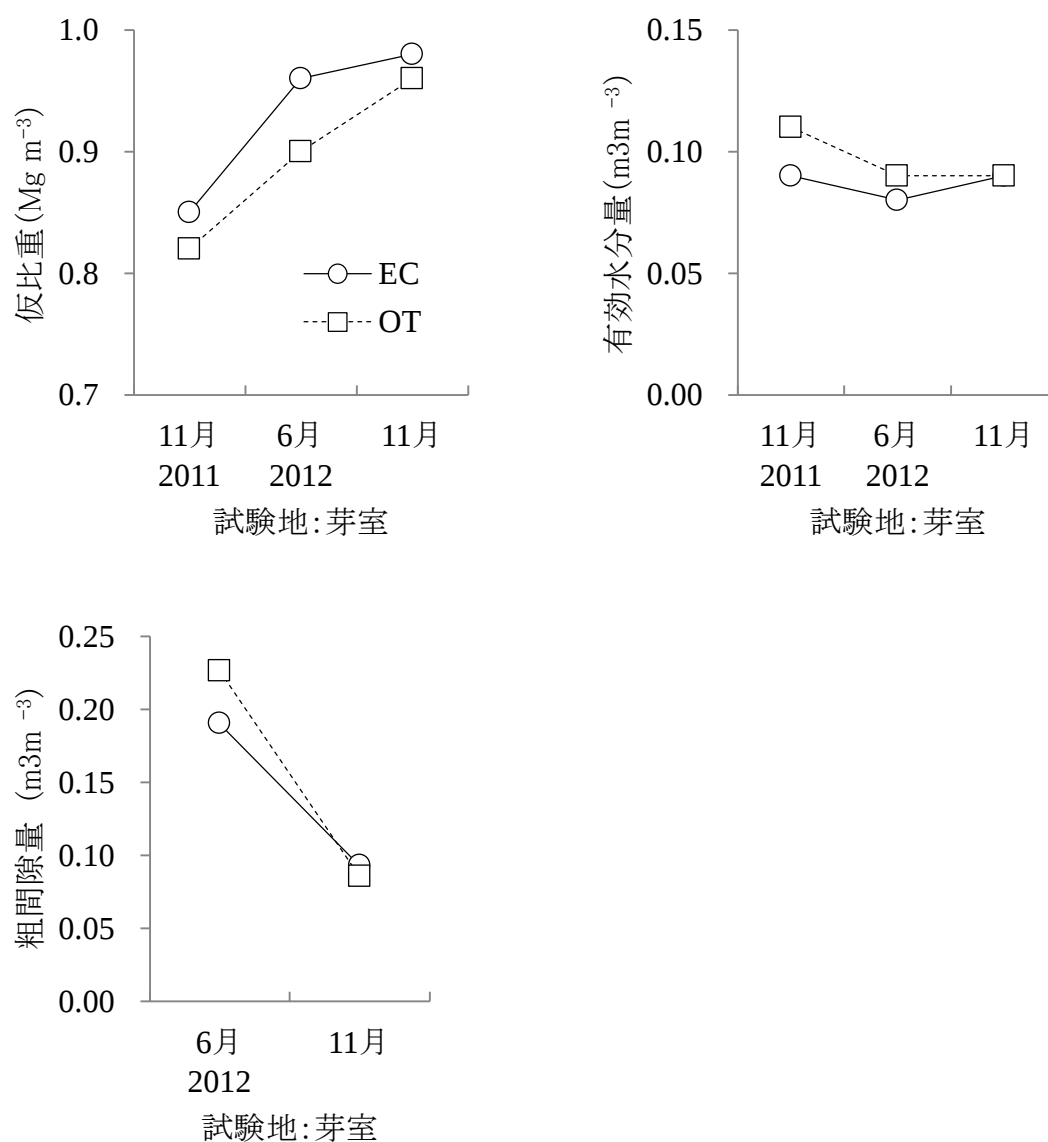


図 4.4 仮比重，有効水分量，粗間隙率量の推移(深さ 10～20cm)

試料は残渣がすき込まれた通路部分で採取した。

深さ 10～20cm 層において処理間に差は認められなかった。

ダイズ、テンサイとコムギ圃場の土壌貫入硬度を図 4.5～4.7 に示した。ダイズ（図 4.5）とコムギ（図 4.7）の作土層（深さ 0～20cm）では、土壌貫入硬度に処理間の差は認められなかった。図 4.6 のテンサイでは、10cm までの深さで EC 区の硬度が小さい傾向がみられた。

以上の結果から、本試験ではすき込まれた残渣物の種類による土壌物理性へ及ぼす影響の差は認められなかった。

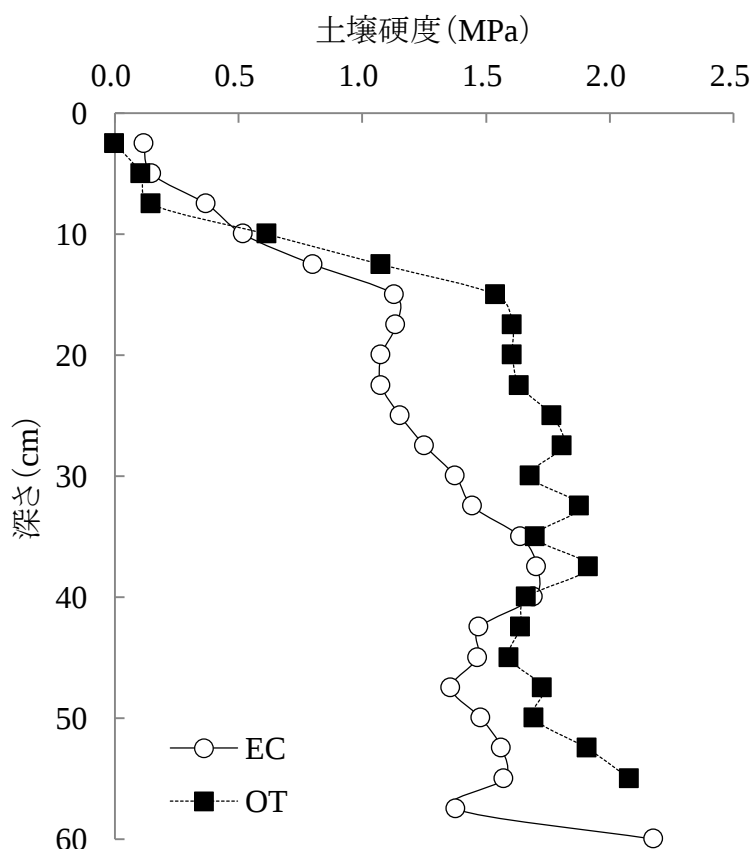


図 4.5 ダイズ圃場の土壌貫入硬度（2012 年 6 月調査）

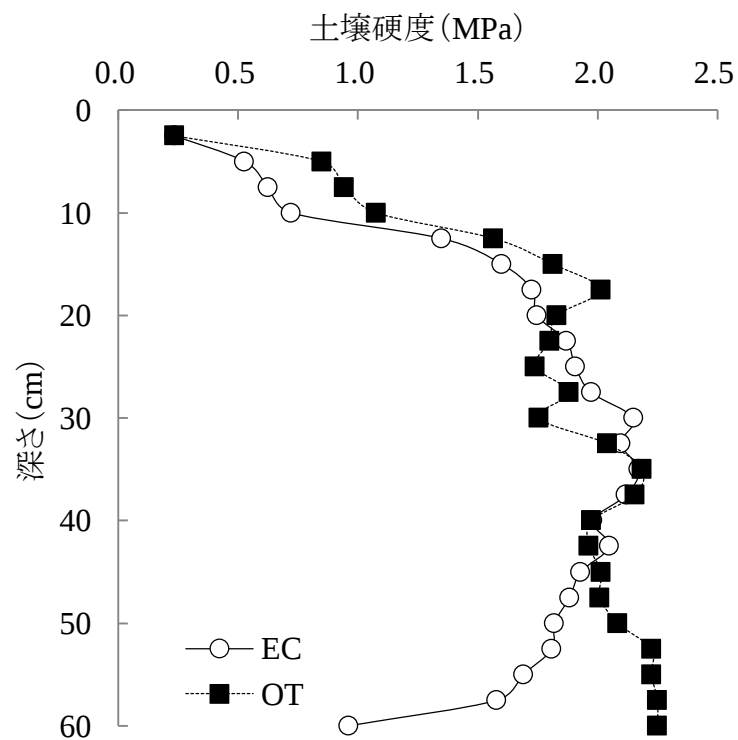


図 4.6 テンサイ圃場の土壌貫入硬度 (2012 年 6 月調査)

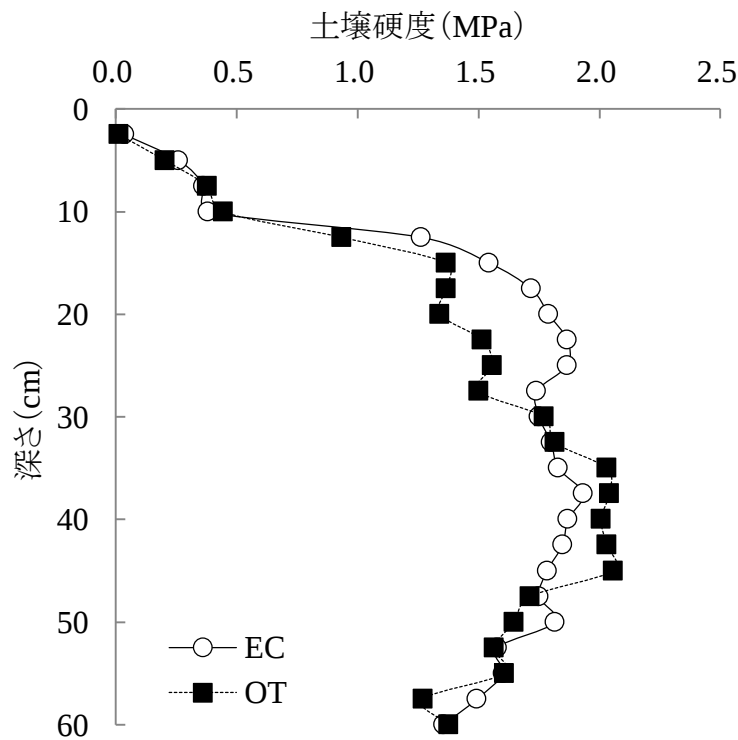


図 4.7 コムギ圃場の土壌貫入硬度 (2012 年 6 月調査)

(2) 各作物の収量と特徴

1) ダイズ

表 4.3 より，開花期前の 7 月中旬には草丈に差が認められ EC 区の成長が上回っていたが，開花期以降の 8 月中旬には草丈の差は解消したため，両区の成長に差は無くなっていた。酒井(2012)は，ダイズ根へ着生した根粒の大きさを比較し，ECS 残渣のすき込みによって根粒着生が早まる可能性のあることを示している。本試験においても，EC 区では根粒の着生が早く，OT 区よりも早い段階で窒素固定が活発になり，7 月の草丈に差が現れたと推測された。しかしながら，表 4.4 において，収穫時の茎葉を含む全重は EC 区が上回ったものの，全子実重と精選子実重に差は認められなかった。子実の肥大は開花期以降の 8 月中下旬から活発になり株当たりの窒素固定能が最大となるが，図 4.2 で 8～9 月にかけての EC 区の C/N 比が高いことが確認できることから，C/N 比が高かったため十分な窒素を吸収できず表 4.4 に示す EC 区の 100 粒重が小粒化したと推測された。

表 4.3 ダイズ草丈の比較

調査日	EC 区 (cm)	OT 区 (cm)	t.test
7 月 18 日	55.3±3.8	52.6±3.9	***
8 月 21 日	84±5	83±4	n.s.

値は平均値±標準偏差。

***は危険率 0.1%で有意差あり。n.s.は有意差なし。

表 4.4 ダイズの収量と品質の比較

項目	EC 区	OT 区	t.test
全重 (kg10a ⁻¹)	1150±69	990±69	*
全子実重 (kg10a ⁻¹)	544±39	479±30	n.s.
精選子実重 ¹ (kg10a ⁻¹)	530±41	491±42	n.s.
100 粒重(g)	36.2±0.9	38.0±1.1	*

値は平均値±標準偏差。

*は危険率 5%で有意差あり。n.s.は有意差なし。

¹ 6mm 目篩にかけて残った子実重量から算出した。

2) テンサイ

表 4.5 より，7 月の生育状況に差は認められなかった。表 4.6 より，収穫時の 1 個重と根長は OT 区に対して有意な増加が認められたが根重に差は認められなかった。OT 区では，褐斑病の発病指数が高かったため，OT 区の 1 個重が低下したと推測された。

表 4.5 テンサイ生育状況の比較（7 月 18 日調査）

項目	EC 区	OT 区	t.test
草丈(cm)	58.6±5.5	56.8±5.6	n.s.
葉数（枚）	18.7±2.7	19.4±2.4	n.s.
SPAD 値	41.8±4.7	40.8±2.6	n.s.

値は平均値±標準偏差。

n.s.は有意差なし。

表 4.6 テンサイ収量と品質の比較

項目	EC 区	OT 区	t.test
根重 (t10a ⁻¹)	9.3±0.1	7.9±0.1	n.s.
1 個重(g)	1111±303	948±318	***
根長(cm)	169±18	147±20	***
根中糖分(%)	15.0±0.3	14.1±0.9	n.s.
褐斑病発病指数	0-1	1-3	-

値は平均値±標準偏差。

***は危険率 0.1%で有意差あり，n.s.は有意差なし。

3) コムギ

表 4.7 より，止葉期の草丈に差はなかったが，出穂期の草丈は EC 区が下回ったことから，止葉期以降の窒素量が不足したと推測された。表 4.8 より，EC 区の千粒重が有意に OT 区を上回った以外に品質に差は認められず，子実重にも差は認められなかった。コムギの千粒重は登熟期間と正の相関が認められていることから（高橋 2013），図 4.2 から，EC 区の C/N 比は 7 月に高かった

表 4.7 春まきコムギ生育状況の比較

項目	EC 区	OT 区	t.test
茎数（本）	113±11	108±17.5	n.s.
草丈(cm) 止葉期	51.3±1.7	51.0±1.3	n.s.
出穂期	87.4±2.2	90.0±1.4	**

値は平均値±標準偏差。

**は危険率 1%で有意差があることを示す。

n.s.は有意差がないことを示す。

表 4.8 春まきコムギ収量と品質の比較

項目	EC 区	OT 区	t.test
全重(kg10a ⁻¹)	1007±46	1082±87	n.s.
子実重(kg10a ⁻¹)	420±23	435±40	n.s.
タンパク質(g)	12.8±0.3	12.9±0.3	n.s.
容積重(g)	81.2±2.9	80.9±2.1	n.s.
千粒重(g)	37.8±0.5	36.4±0.3	***

値は平均値±標準偏差。

***は危険率 0.1%で有意差があることを示す。

n.s.は有意差がないことを示す。

ため、コムギが利用できる窒素量が少なかったために EC 区では OT 区より早く登熟期へ移行したと考えられ、千粒重が有意に増加したと推測された。

4) バレイショ

表 4.9 より、草丈は EC 区で有意に低かったため窒素不足が懸念されたが、表 4.10 に示す、全塊茎重と規格内塊茎重量には処

表 4.9 バレイショの萌芽率と生育中の草丈の比較

項目	EC 区	OT 区	t.test
萌芽率 (%)	95.5±7.3	97.7±1.0	n.s.
草丈(cm)	55.8±5.7	59.2±6.6	*

値は平均値±標準偏差。

*は危険率 5%で有意差あり。n.s.は有意差なし。

理間の差は認められなかった。デンプン価は EC 区が有意に高かった。バレイショのデンプン価は，窒素成分を適正範囲内で減肥した場合に高まる事が，笛木ら（2012）により報告されていることから，バレイショが利用できる土壤中の可給態窒素量は EC 区は OT 区に比べて不足傾向だったと考えられたが，減収するほど深刻ではなかったと判断された。

表 4.10 バレイショ収量と品質の比較

項目	EC 区	OT 区	t.test
全塊茎重(kg10a ⁻¹)	4229±706	4169±385	n.s.
規格内塊茎重量 ¹ (kg10a ⁻¹)	3432±607	3255±360	n.s.
デンプン価(%)	15.5±0.4	14.6±0.4	**

値は平均値±標準偏差。

**は危険率 1%で有意差あり。n.s.は有意差なし。

¹規格内塊茎は 60～340g。

4.2.4 まとめ

ECS 残渣が後作物へ与える影響を明らかにするため，スイートコーン茎葉（EC 区）とエンバク野生種（OT 区）をすき込んだ圃場で，ダイズ，テンサイ，コムギ，バレイショを栽培し，作物生産性と土壤理化学性を調査した。

1. EC 区と OT 区の土壤物理性に差は認められなかった。7～9 月に EC 区で C/N 比が上昇し，ダイズ，コムギ，バレイショの品質に軽度の窒素不足の影響が認められたが，収量は変わらなかった。
2. テンサイに窒素不足の影響は認められず，EC 区では作土層上

部の土壌硬度に OT 区に比べて低い傾向があり，根長が 1.1 倍，根重が 1.2 倍となった。

以上から，スイートコーン茎葉のすき込みによって，土壌の C/N 比の上昇が認められたが，土壌物理性と後作物生産性への影響は，エンバク野生種をすき込んだ場合と差がない事が明らかとなった。

4.3 飼料用トウモロコシ収穫残渣のすき込みによる土壌物理性に対する影響

4.3.1 目的

近年は WPCS 用トウモロコシを受託栽培する畑作経営が増加している背景から，ECS 生産に興味を示す畑作経営が増えている。しかし，WPCS と ECS では土壌にすき込まれる有機物量が異なるため，WPCS と ECS の後作物への影響を明らかにしておく必要がある。前節では，スイートコーンを使用したため，すき込まれた残渣量が飼料用トウモロコシに比べて少なく，対照試験はエンバク野生種だった。そこで，飼料用トウモロコシの ECS 残渣のすき込みが土壌へ及ぼす影響を明らかにするため，土壌理化学性と後作物の生産性の調査を WPCS 残渣のすき込まれた土壌を対照として行った。

4.3.2 材料と方法

(1) 試験圃場

北海道農業研究センター本所（札幌市豊平区羊ケ丘）の約 3ha の圃場（多湿黒ボク土）に，2012 年に飼料用トウモロコシ（*Zea mays* L.）の供試品種 P9400（パイオニアハイブレッッドジャパン社）

を栽培し，2章に準じた方法でイアコーンを収穫した供試圃場内に，イアコーン区（EC区）として42m×15.6mの区画を設けた。対照区は，ホールクロップを収穫した隣り合う圃場内に，ホールクロップ区（以下，WPC区）として42m×10.2mの区画を設け，両試験区で2013年の春にダイズとコムギを播種して栽培試験を実施した。

(2) 耕種概要

耕起法はリバーシブルプラウによる反転耕（以下，プラウ耕起と記す）とディスクハローによる簡易耕起耕（以下，ディスク耕起と記す）の2種類で2012年10月下旬に収穫残渣をすき込んだ。耕深はプラウ耕約30cm，ディスク耕15cmとして，ディスク耕は2回施工した。収穫残渣と耕起法を組み合わせる表4.11の処理区を設定した。両処理区とも，播種前にロータリーハローで整地を行い，機械による作畦後に施肥，播種を行った。

表 4.11 処理区一覧

略記号	収穫残渣	耕起法	栽培作物
ECd	イアコーン	ディスク	ダイズ・コムギ
ECp	イアコーン	プラウ	飼料用トウモロコシ
WPCd	ホールクロップ	ディスク	ダイズ・コムギ
WPCp	ホールクロップ	プラウ	飼料用トウモロコシ

(3) 土壌採取・分析方法

1) 土壌化学分析

土壌の pH，有効態リン酸，交換性陽イオン，CEC，リン酸吸収係数，全炭素，全窒素は前節と同じ方法で分析した。採土は栽培試験区の直ぐ外側周囲の作土層（0～20cm）から 3 反復で行った。

2) 土壌物理性分析

ディスク耕起区は 10～15cm（平均 12.5cm），プラウ耕起区は 25～30cm（平均 27.5cm）を対象として栽培試験区の外側から不攪乱土を 1 ヲ所 3～5 反復で採取し，前節と同じ方法で三相分布を求めた。採取した不攪乱土は，三相分布を求めた後に毛管飽和させ，砂柱法により pF1.5，加圧板法により pF3.0 の体積含水率を測定した。有効水分量は pF1.5 と 3.0 の体積水分量の差とした。粗間隙量は間隙率から pF1.5 の体積含水率の差より求めた。採土は表 4.10 に示す全処理区から採取した。

(3) 後作物の生育

コムギは供試品種「春よ恋」を 5 月 9 日に播種し 8 月 20 日に収穫した。ダイズは供試品種「トヨコマチ」を 5 月 24 日に播種し，10 月 7 日に行った。施肥量は北海道施肥ガイド 2010（北海道農政部 2010）に準じた。収量調査は 4.2 節に準じた方法で行った。

4.3.3 結果と考察

(1) 土壌化学性

供試圃場は 2010 年まで牧草地として使用され，2011 年よりイアコーン栽培を開始したため，土壌中の窒素含量やカリウムが高い状態だった。EC 区と WPC 区は同一圃場ではあるものの，有効態リン酸やマグネシウムに違いがみられた（表 4.12）。

表 4.12 播種前の土壌一般化学性（2012 年 5 月調査）

処 理	pH(H ₂ O)	有 効 態 リ ン 酸	交 換 性 陽 イ オ ン			塩 基 飽 和 度 (%)	リ ン 酸 吸 収 係 数	CEC (me 100g ⁻¹)
			K ₂ O	MgO	CaO			
			(mg 100g ⁻¹)					
EC	5.7	10.2	68.7	36.5	489.2	46.9	1776.5	44.3
WPC	5.7	15.9	64.0	55.4	609.3	52.9	1658.0	48.9

全炭素は、残渣すき込み後の5月にコムギ圃場では増加したが、ダイズ圃場で5月に増加はみられず、10月に増加が認められた（図 4.8）。全窒素は両処理区で有意な差はなかった。C/N 比は、

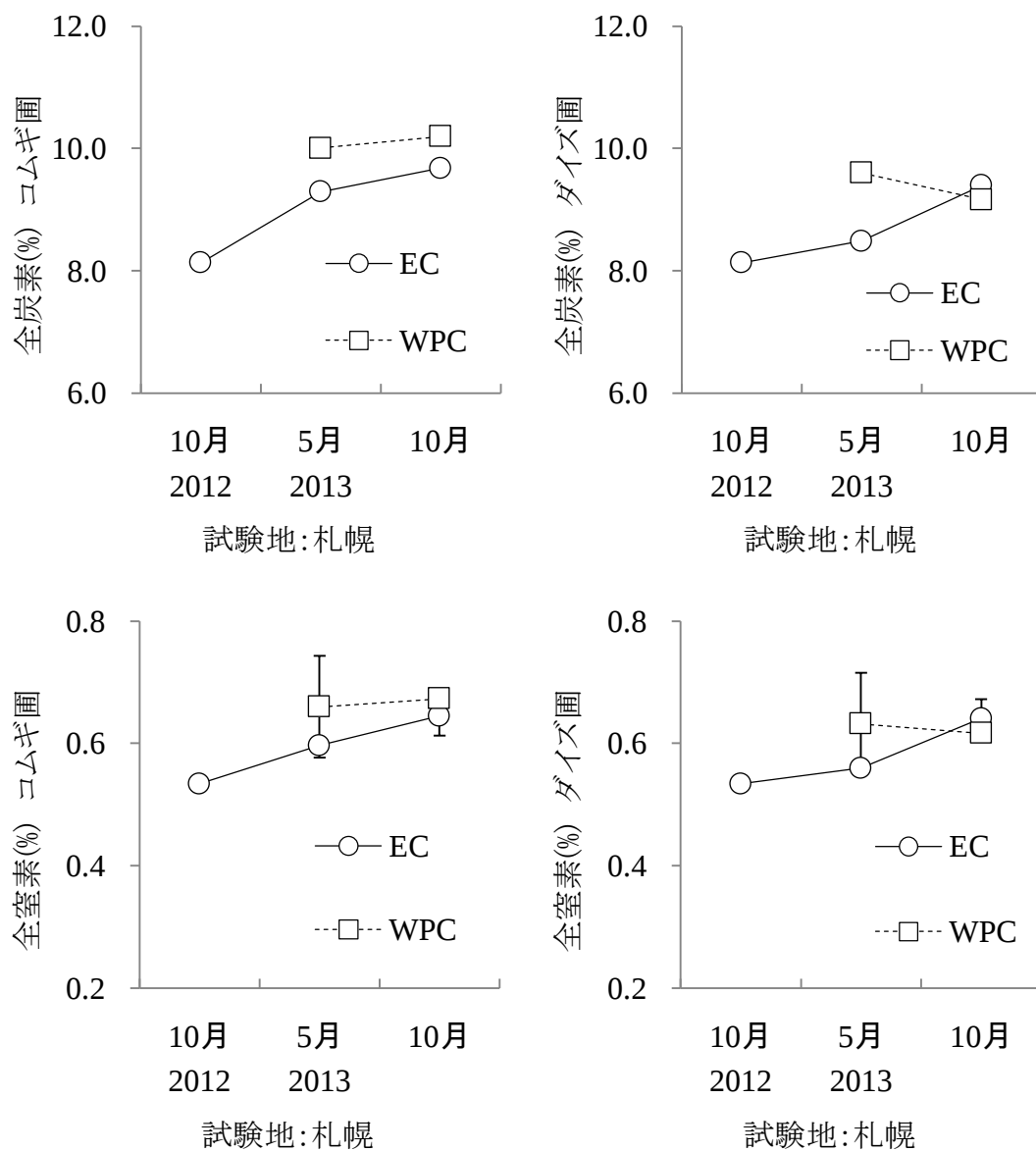


図 4.8 全窒素，全炭素の推移

エラーバーは標準偏差を表す。

*は危険率 5%で有意差あることを示す。

コムギ圃場では処理間で差がなく推移したが，ダイズ圃場では 6～7 月に C/N 比が有意に高かった（図 4.9）。

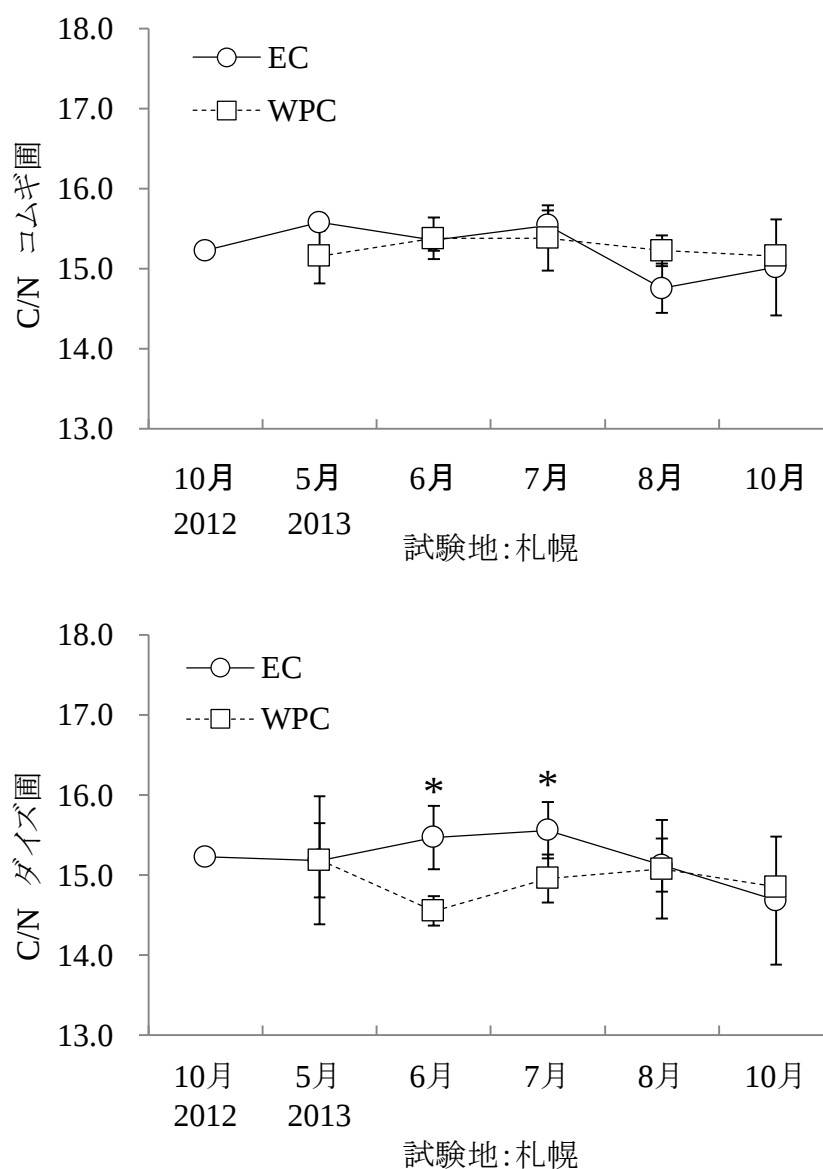


図 4.9 C/N 比の推移

エラーバーは標準偏差を表す。

*は危険率 5%で有意差あることを示す。

(2) 土壌物理性

ディスク耕起した圃場の深さ 12.5cm（以下，浅層）の土壌物理性の推移を図 4.10，図 4.11 に示す。

図 4.10 より，固相率は差を保ったまま両区とも同様の挙動を示した。液相率と気相率は 4 月まで差が無かったが，6 月以降に EC 区の液相率が低下し，気相率が大きく増加した。

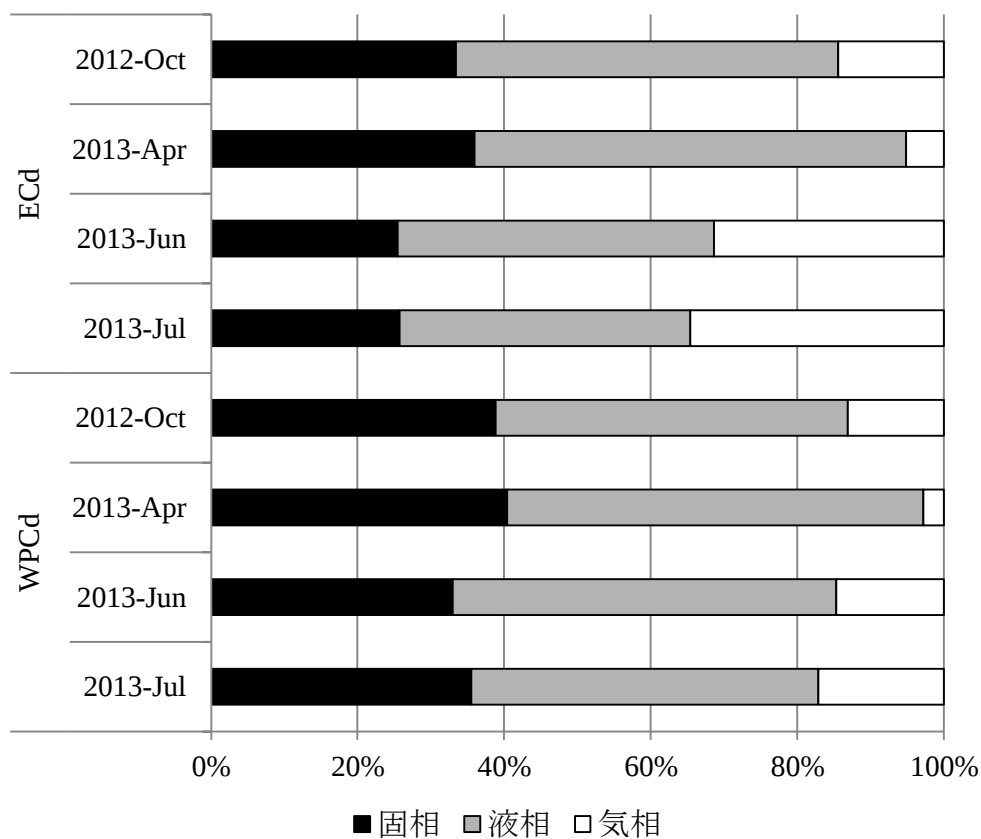


図 4.10 浅層（12.5cm）の三相分布の推移
（試験地：札幌）

図 4.11 より，仮比重は，EC 区は 6 月以降に減少したが，WPC 区は一度上昇して試験開始時の値に戻った。有効水分は，EC 区は WPC 区より高く維持され，粗間隙率も 6 月以降は差が大きくなり EC 区が高かった。

土壌団粒の形成が進むと，粒子間隙量が増加するため容積重（仮比重）や固相率が低下し，気相率が高まるとともに有効水分量が増加することが中津・田村（2008）によって報告されている。同様の結果が本試験結果にも認められたことから，浅層の EC 区では，土壌団粒の形成が促されて，土壌の物理性が改善されたと考えられた。WPC 区はすき込み前の 10 月と変わらないことから，WPC 残渣のすき込みによる土壌物理性の変化は認められなかった。

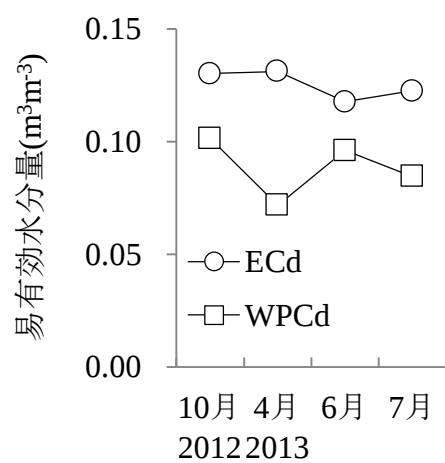
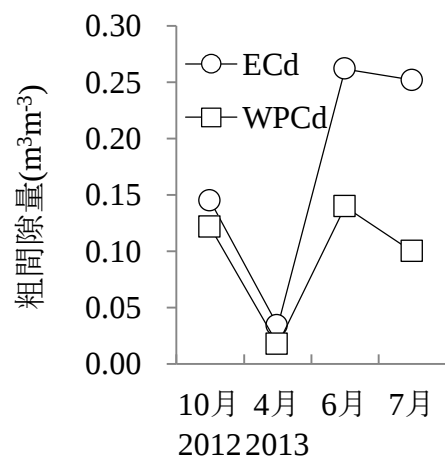
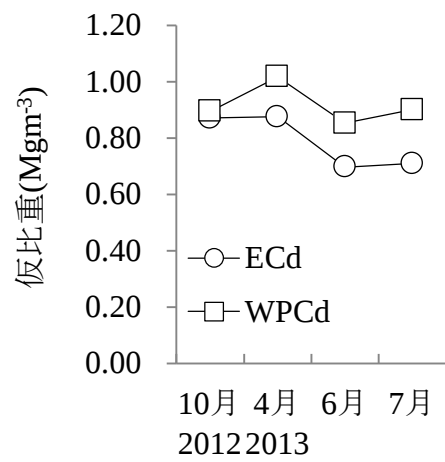


図 4.11 浅層（12.5cm）の土壤物理性の推移
（試験地：札幌）

プラウ耕起した圃場の深さ 27.5cm（以下，中間層）の土壌物理性の推移を図 4.12，図 4.13 に示す。

図 4.12 より，固相率は，WPC 区はすき込み前の 10 月固相率より低下することはなかったが，EC 区は 4 月に低下し，その後も WPC 区より低い値だった。液相率に差はみられなかった。気相率は EC 区が 4 月に上昇し，その後も WPC 区を上回った。仮比重では，EC 区は 4 月に大きく低下し，その後は徐々に大きくなったが WPC 区を下回った。

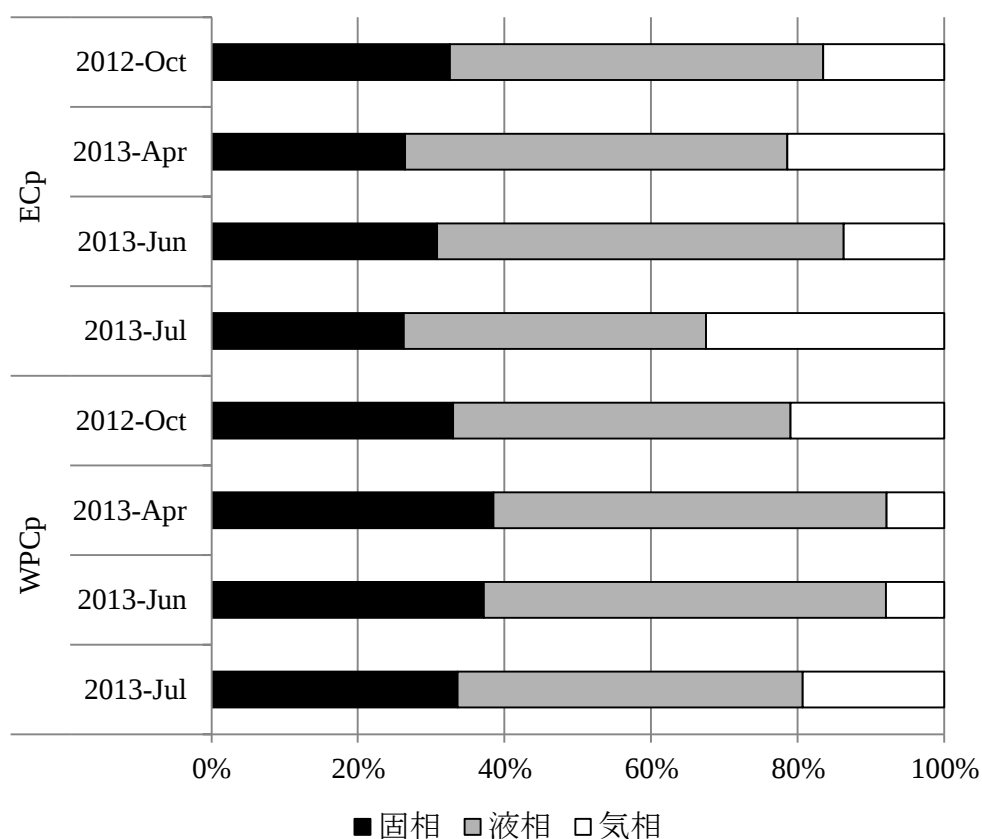


図 4.12 深層（27.5cm）の三相分布の推移

図 4.13 より，有効水分量は EC 区では著しい増加が認められたが，WPC 区は 4 月に一度増加してその後はすき込み前の値と大きく変わらなかった。粗間隙量は EC 区で 4 月に増加し 6 月には低下したが，WPC 区よりやや高い値だった。WCP 区は 4 月に著しく低下した後は増加して，EC 区とほぼ同じ値となった。

以上から，中間層においても，EC 区では粗間隙率の増加と仮比重と固相率の低下，気相率と有効水分量の増加が認められたことから土壌団粒が形成されたことが推測された。しかし，その効果は 4 月が最も高くその後は徐々に団粒が崩壊していく様子を土壌物理性の推移から予測することができた。WPC 区の計測値は，すき込み前の 10 月と変わらないか悪化しているため，WPCS 残渣のすき込みによる土壌物理性の向上は期待できない事が明らかとなった。

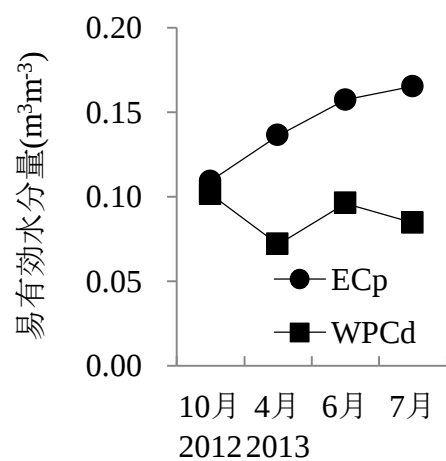
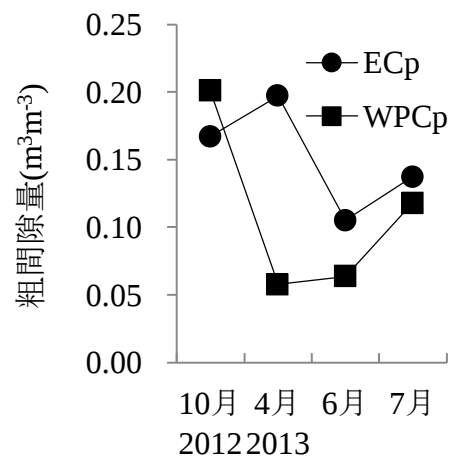
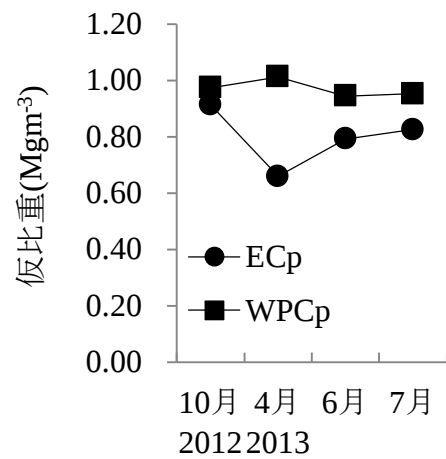


図 4.13 中間層 (27.5cm) の土壌物理性の推移
(試験地：札幌)

すき込み効果の発現時期が，浅層と中間層で異なった原因として地温の影響が考えられた。土壌団粒の発達は新鮮な有機物と水分があれば直ちに生成されるが（美園・木下 1957），団粒生成のために必要な土壌生物の活性には，地温が大きく関係している（金野・杉原 1985）。ディスク耕起では図 4.14 左のように，残渣の多くが地表に見える状態で積雪期を迎え，播種準備の整地前まで地表面に残渣の姿が認められたが，プラウ耕起の地表面は，図 4.14 右のように残渣はほとんど認められなかった。地表から深さ 30cm と 5cm の 11～4 月までの積算地温は，30cm が 590℃，5cm が 303℃だった（北海道農業研究センター気象観測露場観測値）。プラウ耕起では，残渣は土中 30cm 付近にすき込まれているため，冬でも土壌微生物によって分解されたと考えられた。一方，ディスク耕起では，多くの残渣が温度の低い地表面にあるため冬の間は分解されなかったと考えられ，ディスク耕起による浅層の土壌物理性の効果の発現は，プラウ耕起の中間層に比べて遅いことが考えられた。



図 4.14 EC 区の圃場表面の残渣（2013 年 4 月 20 日）
（左：ディスク区，右：プラウ区）

(3) 後作物の生産性

後作物の収量を表 4.13 に示した。ダイズの子実重に有意な差は認められなかったが EC 区で高い傾向がみられた。コムギの子実重は EC 区が有意に高かった。図 4.8 より，土壤中の全窒素量は両処理区で差がみられなかったことから，EC 区の増収効果は土壌物理性の変化によってもたらされと考えられた。

表 4.13 ダイズとコムギの収量

子実重	EC 区 (kg10a^{-1})	WPC 区 (kg10a^{-1})	t.test
ダイズ ¹	436±37	388±21	n.s.
コムギ ²	444±55	349±17	*

値は平均±標準偏差。

*は危険率 5%で有意差がある事を示す。

n.s.は有意差がない事を示す。

¹ N 施肥量 2kg10a^{-1} 。

² N 施肥量 9kg10a^{-1} 。

4.3.4 まとめ

前節ではスイートコーンを使用し残渣量が本来の ECS 残渣と異なったことから，飼料用トウモロコシの ECS 残渣（EC 区）をすき込んだ土壌でダイズとコムギを栽培して生産性と土壌物理性を調査した。対照区は WPCS 残渣（WPC 区）とした。

1. 両区の全炭素量，全窒素量に有意差はみられなかったが，EC 区の C/N 比が 6～7 月に有意に高かった。この傾向は 4.1 節の結果と一致していた。

2. EC 区は，仮比重の低下や有効水分量増加による土壌物理性の

改善が認められたが，WPC 区の土壌物理性は変化しないか悪化した。プラウ耕起はディスク耕起より早く効果が発現したが，効果の消失も早い傾向だった。

3. EC 区のコムギ子実収量は 1.3 倍と有意に増加し，ダイズ子実収量は増加の傾向が認められた。EC 区は一時的に土壌の C/N 比は高まるが，作物への窒素不足の影響は認められなかった。

前節と本節の結果から，ECS 用トウモロコシを導入した輪作体系を検討した結果を図 4.15 に示す。導入する輪作体系の作物は十勝地域で一般的な 4 作物とした。ECS 残渣の影響を受けず，土壌物理性改善効果を発揮しやすいテンサイを，イアコーンの後作物とした。テンサイ後作は，根菜類で耕土が深いバレイショとし，播種日の関係からコムギをバレイショの後作とした。コムギとイアコーンの間にダイズを挟みイネ科作物の連作を防ぐ輪作体系である。

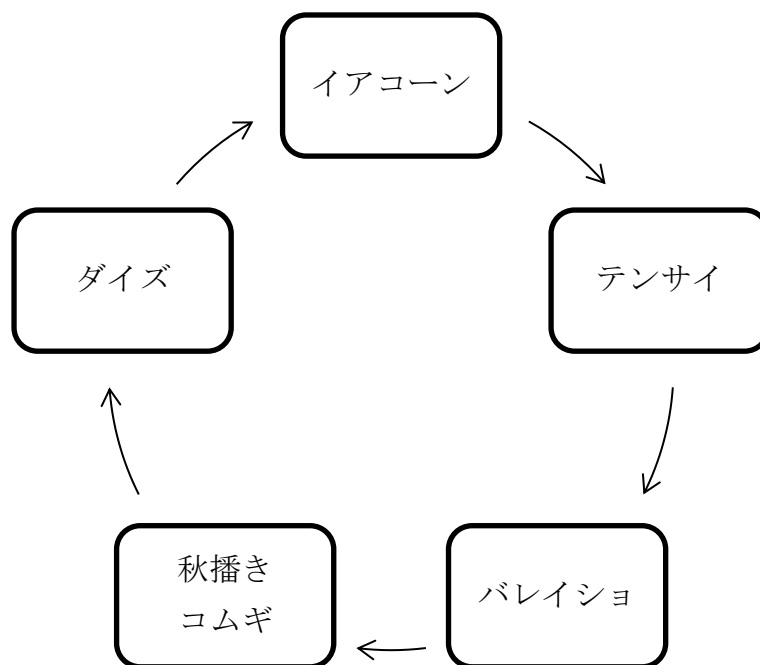


図 4.15 イアコーンを導入した畑輪作体系

4.4 すき込み以外の飼料用トウモロコシ収穫残渣利用の検討

4.4.1 目的

ECS 残渣は，圃場ですき込み利用する以外に，回収できれば家畜の敷料や堆厩肥の水分調整材として利用することができる。そこで，残渣の回収と圃場外へ搬出する方法について検討した。また，近年は酪農専業化と大規模化，家畜排泄物管理法による規制により家畜敷料の使用量は増加している。そこで，回収した残渣の敷料利用についてを検討を行った。

4.4.2 材料と方法

(1) 作業効率の算出と残渣の回収

供試圃場は前節と同じで，供試品種 P9400（パイオニアハイブレッドジャパン社）の栽植密度は $91,860 \text{ 本 ha}^{-1}$ ，茎葉の乾物収量は $9,568 \text{ kg ha}^{-1}$ （水分含量 76.0%）だった。2 章に準じた方法で 2013 年 10 月 9 日にイアコーンを収穫し，ECS 残渣は圃場表面に放置して，残渣の回収試験を 10 月 24 日に実施した。ジャイロレーキ（理論施工幅 5.4m）で集草し，可変径ロールベアラ（理論施工幅 1.9m，呼び径 $0.9 \sim 1.8 / 0.9 \sim 1.55 \times 1.2 \text{ m}$ ）で梱包した区を「集草あり区」，ジャイロレーキによる集草をせず，ロールベアラで直接梱包する区を「集草なし区」とした。集草区は，片道 156m または 198m を 1 往復して集積された残渣を梱包した。集積なし区は，ロールベアラが 1 往復半して集草しながら残渣を梱包した。これらの作業時間と回収された残渣量を計測した。

(2) 残渣量の計測と回収率の算出

イアコーン収穫後の圃場（1.4ha）内から，回収試験区にかから

ない場所からランダムに 5 か所を選び、 9.2m^2 の枠を置き、枠内の残渣を全て採取して新鮮物重を計測し、その一部を 60°C 48hr で通風乾燥させ含水率を算出して圃場残渣量を算出した。梱包による残渣の回収量は、梱包された残渣のロールベール重量と直径 2 箇所と幅を計測して算出した。

(3) 残渣回収の経済性

回収された残渣を家畜敷料として利用することを想定し、敷料として広く使われている麦稈と比較することで、残渣の敷料利用に関する経済性を検討した。敷料使用量が最も多いといわれる酪農経営を試算対象として、飼養 100 頭規模で成牛（搾乳牛）60 頭、育成牛 40 頭の経営体を想定して試算した。

4.4.3 結果と考察

(1) 回収率と作業性

回収前の圃場の乾物残渣量は $7,612\text{kg ha}^{-1}$ で水分含量 59.2% だった。作業時間と回収量を表 4.14 に示す。ECS 残渣の回収率は集草あり区が 26%，集積なし区は 22% だった。作業時間と軽油使用量は、ジャイロレーキを使用した方が経済的だったが、ジャ

表 4.14 ECS 残渣回収量と作業時間

処理区	残渣回収量 (乾物あたり)		回収率 (%)	作業時間 (hrha ⁻¹)	作業 人数 (人)	軽油 使用量 (L)
	(kg ha ⁻¹)	(m ³ ha ⁻¹)				
集草あり	2016 ¹	14.5	26	0.87	2	19
集草なし	1643 ²	12.9	22	1.66	1	38

¹ N=2 の平均値。 ² N=1.

イロレーキによる集積は土の混入が多かった。家畜敷料に適する条件としては、保管のために十分に乾燥していること、乳牛では乳房炎を防ぐためにトゲ状ではないこと、呼吸器障害を防ぐために粉塵が少ないこと、使用中の乾燥と堆肥化中の好気性発酵促進のため適度な粒度を持つことが挙げられる（堀江 2001）。また、敷料として使用される粃殻、パーク、稲藁、麦稈、おが粉や不良牧草は、水分含量 10～45% 程度であり、本試験で回収された ECS 残渣はこれに比べて水分含量が高くエネルギーを使わず乾燥する方法も見当たらないことから、乳牛の敷料として適さないと判断された。

(2) 敷料利用の経済性

ECS 残渣は固い茎が含まれ搾乳牛の敷料としては使用できないため、育成牛に使用すると仮定した。敷料の使用量は、糞尿の水分含量と目標とする調整水分により異なるが、堆積時に切り返しが可能で良好に発酵する 73% を調整水分量の目標とした（田村 2000）。乳牛 1 頭あたりの麦稈使用量は 4.47t 年^{-1} で、育成牛の糞尿量を搾乳牛の 40% とすると（田村 2000）、育成牛の敷料として使用する麦稈量は $71.5\text{t 年}^{-1}\text{戸}^{-1}$ となった。

ECS 残渣の回収コストを、表 4.13 の軽油使用量と作業時間から試算した。単価は軽油 121.9円 L^{-1} （経済産業省 2013 年 10 月）と北海道地域別最低自給 734 円を用いて算出した。ECS 残渣の回収費用は、酪農家が自分で梱包作業をする場合は 467円 t^{-1} 、梱包は作業委託し回収のみを行う場合は 950円 t^{-1} と試算された。

麦稈の価格は 3500 円（約 300kg、水分含量 15%）とした。こ

れは、梱包と運搬を酪農経営が行った時に畑作経営へ支払う金額で、十勝地域の複数の経営体から聞き取った結果より設定した。

本試験では、1ロール当たりのECS残渣乾物重は253kgだった。これに対して、麦稈乾物重は1ロール当たり255kgであることから、敷料として使用する麦稈重量は、同じ量のECS残渣で置き換えられると仮定した。ECS残渣で置き換えることのできる育成牛の敷料使用量は71.5t年⁻¹であったので、ECS残渣の回収費用は33,390円年⁻¹と67,925円年⁻¹となり、その分の麦稈を購入した場合の834,000円年⁻¹と比べるとかなりの費用削減となる可能性が示唆された。

一方で、ECS残渣の水分含量は収穫後の天候に大きく左右され、北海道の気候では、イアコーン収穫後の10月中旬以降は気温も低く、残渣の乾燥は期待できない事の方が多いと考えられる。仮に、高水分で回収してもカビ等により保管は難しいであろう。大下・大津(2011)が2010年に行ったイタリアでの調査結果では、ECSを利用している酪農経営の中には、回収した残渣を育成牛の敷料として利用していた。しかし、収穫後の天候や労働力の条件が合えば回収するもので、回収は必ずしも行うものではなく、すき込んで利用する酪農経営が多かった。この事例からも、ECS残渣の回収利用は、気候条件が厳しい北海道では難しいものと考えられた。

4.4.4 まとめ

ECS残渣を回収できれば、家畜敷料等に使用することができるため、これを回収・搬出する試験を行った。また回収された残渣を育成牛の敷料として利用した時の経済試算を行った。

1. 残渣の回収率は 22～26%だった。ジャイロレーキを使用すると、作業効率が経済的だが土の混入が多かった。回収された残渣は水分含量が 10～45%と高く、乳牛の敷料とするには適さなかった。
2. 残渣の回収コストは 467～950 円 t⁻¹ と試算され、これを育成牛の敷料として使用できれば敷料購入費削減の効果は大きいが、気候条件の厳しい北海道では回収することは難しいと判断された。

以上より、残渣は土壌へすき込み利用するのが妥当であると判断された。

4.5 耕畜連携によるイアコーンサイレージの生産費の試算

4.5.1 目的

本節では、耕畜連携による ECS 生産の取り組みの実例に基づき、経済性を明らかにして ECS 生産導入に向けた課題を検討した。

4.5.2 材料と方法

(1) 調査農家の概要

道央地域安平町の畑作経営（以下、A 経営と記す）と、酪農経営（以下、B 経営と記す）を調査対象とした。

A 経営の 2013 年調査時の作付品目と面積は、コムギ 20ha、テンサイ 10ha、アズキ 10ha、加工用スイートコーン 20ha、イアコーン用トウモロコシ 2.5ha の合計 62.5ha であった。A 経営の地域では、バレイショはそうか病のため作付できず、コムギは低収量が深刻な問題となっているため、加工用スイートコーンを栽培して

いるが、契約栽培のため上限面積がある。A 経営にとって収益性の高いアズキは所要労働力が大きいため、労働力が経営主（男性）と妻の 2 人では 10ha が限界である。不作付け地は避けたいが、収益のない休閒緑肥は作付しないため、コムギや WPCS 用トウモロコシを作付して輪作を維持している。WPCS 用トウモロコシは 2010 年より作付しているが、町内の乳牛頭数の減少から WPCS 需要の将来性は低いと感じ、新規作物を検討していたところ、濃厚飼料の代替えとなる ECS であれば WPCS に対して差別化が図れると考えたため、2013 年より試験的に導入することを決めた。

B 経営は搾乳牛 60 頭、育成牛 50 頭で、平均乳量は 10,500kg である。牧草地 30ha と WPCS を 17ha、採草用の借地が 30～40ha あるため粗飼料は充足している状況である。1 番草の収穫とサイレージ調製作業は、コントラクタへ委託してラップサイロとしている。2 番草は自分で収穫して、バンカーサイロでサイレージとして調製している。B 経営は近所の牧草地を借りることが出来ているが、町内の他の酪農経営は、牧草地は不足傾向である。そのため、畑作経営から借地をして WPCS を生産する酪農経営が多く、借地と同時に、栽培委託も希望する酪農経営が多い。

(2) 生産費算出と経済性評価

ECS 生産費は、A 経営の実績から算出した。供試圃場は 2.5ha、供試品種は RM95 日タイプ（雪印種苗）で、栽植密度 80,300 本 ha^{-1} で栽培した。整地、播種、栽培管理は A 経営が行い、収穫調製作業は 2013 年 10 月 19 日にコントラクタへ作業委託した。

次に、耕畜連携による ECS 生産体系の経済性を評価するため、B 経営の ECS に対する購入希望価格を聞き取り、A 経営の粗収益

を試算した。粗収益は ECS 収量によって変化するため，ECS 収量を変数として，(1)式から ECS 生産費を求め，(2)式から粗収益を求めた。資材費は種子，農薬，肥料の各費用，収穫作業委託費は，自走式ハーベスタと細断型ベーラの作業費と運送費，梱包費はラップサイロ 1 個ごとに必要なフィルム等の資材費である。

ECS 生産費

$$= (\text{資材費} + \text{収穫作業委託費} + \text{梱包費}) / \text{ECS 収量} \cdots (1)\text{式}$$

粗収益

$$= (\text{販売金額} - \text{ECS 生産費}) \times \text{ECS 収量} \cdots (2)\text{式}$$

4.5.3 結果と考察

A 経営における ECS 収量は 8.9tha^{-1} だった。ECS 生産費は 31.9

表 4.15 A 経営の ECS 生産費

項目	金額
種苗費①	41,164 (円 ha^{-1})
肥料費②	84,075 (円 ha^{-1})
農薬費③	36,280 (円 ha^{-1})
収穫作業委託費 ¹	106,022 (円 ha^{-1})
収穫資材費	16,800 (円 ha^{-1})
合計	284,341 (円 ha^{-1})
原物 1kg 当り生産費	31.9 (円 kg^{-1})
TDN1kg 当り生産費 ²	56.8 (円 kg^{-1})

¹ 収穫作業費と作業機械（自走式ハーベスタ，細断型ベーラ）の輸送費（十勝～胆振，往復）を含む。

² TDN は 79%とした。

円 kg^{-1} （乾物率 71%）で、経費とともに表 4.15 に示す。

B 経営が圧ぺんトウモロコシから ECS へ切り替える条件は、ECS（原物）の購入価格が 30～35 円 kg^{-1} であった。一方，A 経営における ECS 生産継続の経済的なインセンティブは，200,000 円 ha^{-1} 以上の粗収益であった。(2)式に，販売金額 35 円 kg^{-1} ，原物当りの ECS 生産費 31.9 円 kg^{-1} を代入すると，粗収益は 27,754 円 ha^{-1} となり，A 経営の希望粗収益を大きく下回った。そこで，(1) 式より求めた ECS 生産費を用いて，ECS 収量の変化に伴う粗収益を (2) 式より求めた（図 4.16）。(2) 式中の販売金額は，B 農家より聞き取った 30 円 kg^{-1} と 35 円 kg^{-1} を用いた。

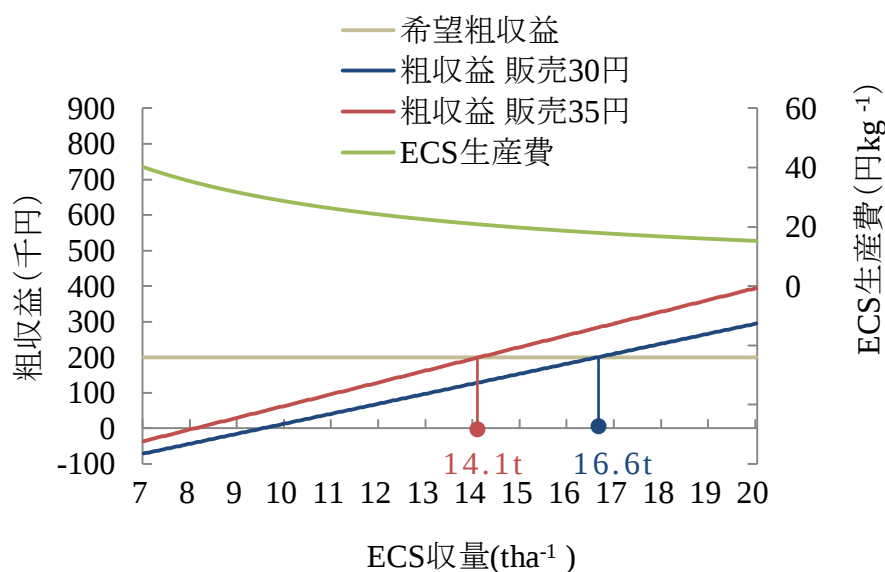


図 4.16 ECS 収量の変化による粗収益

図 4.16 から，A 経営の希望粗収益を上回るためには，販売金額 35 円では原物 14.1tha^{-1} 以上，30 円では原物 16.6tha^{-1} 以上の ECS 収量が必要であった。表 4.16 から，現地試験実測値のイアコー

表 4.16 実証農家のイアコーン収量と ECS 収量及び試算値

項 目		現 地 試 験 実 測 値	適期収穫 試算値	
現 地 デ ー タ	乾 物 率	71	60	(%)
	イアコーン収量 (坪刈)	16.1	19.1	(tha ⁻¹)
	ECS 収量(イアコーン収量-損失)	8.9	18.6 ¹	(tha ⁻¹)
乾物率に対す	ECS 収量 (35 円販売)	14.1	16.7	(tha ⁻¹)
る必要収量	ECS 収量 (30 円販売)	16.6	19.6	(tha ⁻¹)

¹ スナッパヘッドのヘッドロス 1.1%, 調製時損失率 1.7%として試算した。

ン収量 (坪刈) は 16.1tha⁻¹ だったのに対して, イアコーン収量から損失を減じた ECS 収量は 8.9tha⁻¹ であり, 収穫調製時に損失が発生したことが示唆された。これは, 細断型ベーラでの調製時損失の発生が作業時に観察されたことから確認された。大下 (2013) は適期収穫の目安を乾物率 60%程度としているが, 本節試験の乾物率は 71%と高かったために損失量が多かったと考えられた。

本節試験で使用した細断型ベーラは, 3 章で改良されたものと同型で同じ梱包制御プログラムを使用しており, 3 章と同じ乾物率の材料で調製できれば調製時損失率は 1.7%以下に抑えられる可能性がある。そこで, 本試験の収穫時乾物率を 60%と仮定し, 調製時損失率をロールベール 1 個あたり 1.7%以下の損失率で調製できる場合を仮定して試算した ECS 収量を表 4.16 に示す。これより, 適期収穫時の損失量を減じた適期収穫試算値の ECS 収量は 18.6tha⁻¹ で, 35 円販売時に必要な ECS 収量 16.7tha⁻¹ を上回った。30 円販売時の必要 ECS 収量は上回らなかったが, 適正な乾

物率で収穫して損失量低減を図ることができれば、B経営の希望金額である 35 円 kg^{-1} で販売しても、A経営は ECS 生産の継続に必要な粗収益を確保できることが確認された。大下（2013）によれば、イアコーン収量は 75,000 本 ha^{-1} から 90,000 本 ha^{-1} とすることで 10%程度増収することが報告されている。本節試験の栽植密度は 80,300 本 ha^{-1} であったことから、栽植密度を 90,000 本 ha^{-1} に高めることで、イアコーン収量の増収も期待できることから、本地区では、耕畜連携による ECS 生産は可能であると判断されたと同時に、損失量を抑制して ECS 収量を確保するためには、乾物率 60%前後での適期収穫の重要性が明らかとなった。

4.5.4 まとめ

本節では、耕畜連携による ECS 生産体系成立のための条件を明らかにする目的で、事例をもとに生産費を試算し経済性を評価した。

1. 道央地域安平町の畑作経営は、整地、播種、栽培管理までを自ら行い、収穫調製作業をコントラクタへ作業委託して ECS を生産した。ECS 収量は 8.9tha^{-1} で乾物率 71%であり、原物当り生産費は 31.9 円 kg^{-1} (TDN 当り 56.8 円 kg^{-1}) だった。
2. 酪農経営が圧ペントウモロコシの使用を ECS へ切り替える条件の ECS (原物) 価格は 30~35 円 kg^{-1} であり、畑作経営の ECS 生産継続への経済的なインセンティブは 200,000 円 ha^{-1} 以上だった。
3. ECS 収量を変数として ECS 生産費と粗収益を求めると、販売金額が 35 円 kg^{-1} では、ECS 収量は 14.1tha^{-1} (乾物率 71%) が必要であった。本節試験は、収穫時のイアコーンの乾物率が高かつ

たために調製時損失が多かったと考えられたことから、乾物率 60%で収穫した適期収穫での ECS 収量を試算した結果、収穫調製時の損失量を減じた ECS 収量は 18.6tha^{-1} と試算され、35 円で販売する時に必要な ECS 収量である 16.7tha^{-1} を上回ったことから、本地区での耕畜連携による ECS 生産は可能と判断された。

以上より、耕畜連携による ECS 生産体系の成立のためには、イアコーン収量を高めて ECS 生産費を抑える事が重要であった。

4.6 本章のまとめ

本章では、畑作経営における耕畜連携による ECS 生産体系を構築することを目的として、4.2, 4.3 節において、ECS 残渣の土壌へのすき込みが後作物の生産性と土壌理化学性に及ぼす影響を明らかにするための試験を行った。4.4 節では、ECS 残渣還元以外の多用途利用の可能性を検討し、4.5 節では畑作経営への導入条件を明らかにすることを目的として、畑作経営における ECS 生産費を試算した。

畑輪作へ ECS 用トウモロコシの栽培を導入するために、ECS 残渣の適正な処理方法について明らかにする必要がある。そこで、ECS 残渣を土壌へ還元した圃場で、土壌理化学性の変化と後作物の収量を調査した。スイートコーン茎葉をすき込んだ試験では、土壌物理性は対照区との差は認められなかった。7~9 月に土壌の C/N 比が高まったため、ダイズ、コムギ、バレイショの品質に対する窒素不足の影響が認められたが、収量に影響を及ぼすものではなかった。テンサイには窒素不足の影響は認められなかった。

飼料用トウモロコシの ECS 残渣と WPCS 残渣をすき込んだ土壌でダイズとコムギを栽培し、後作物への影響と土壌理化学性を

調査した。ECS 残渣のすき込みによる C/N 比の上昇が 6～7 月に認められ、気温が高い時期に C/N 比が上昇する 4.2 節と同様の傾向がみられた。ECS 残渣のすき込みは、土壌団粒の形成を促し土壌物理性を改善したことからコムギの収量を増加させた。この効果は WPCS 残渣には見られなかった。

2 つの試験結果に基づき、イアコーンを導入した輪作体系を検討した。品目は北海道の大規模畑作地帯で一般的な 4 作物である、ダイズ、テンサイ、秋播きコムギ、バレイショで検討した。土壌化学性は、ECS 残渣のすき込みによって、夏期に C/N 比が高い傾向が見られテンサイ以外の作物はわずかに窒素不足の影響を受けた。さらに、テンサイは土壌硬度の緩和で増収する傾向がみられ、4.3 節では土壌の粗間隙量の増加等による土壌物理性の向上が認められたことから、イアコーンの後作物としてテンサイが適していると判断された。秋播きコムギの前作は播種日の関係から早生性バレイショとした。さらに、耕土が深い根菜類のテンサイとバレイショを結合し、輪作中のテンサイとバレイショの関係では、特にテンサイが前作となる場合が多いことから、テンサイをバレイショの前作とし、これらの条件から ECS 用トウモロコシを導入した輪作体系を図 4.15 に示した。

4.4 節では、ECS 残渣を土壌還元せずに圃場外で利用するため、残渣を回収する方法について検討した。残渣をロールベールに梱包して回収すると、その回収率は 22～26%程度だった。これを育成牛の敷料などに利用するためには、保管のために十分に乾燥されている必要がある。北海道の気候では、イアコーンが収穫される 10 月以降に ECS 残渣を十分に乾燥させることは難しいと考えられることから、土壌へすき込んで利用するのが現実的な利用方

法だった。

4.5 節では，耕畜連携による ECS 生産体系成立のための条件を明らかにする目的で，実例をもとに生産費を試算し経済性を評価した。道央地域の畑作経営において，耕起，播種，栽培管理までを自ら行い，収穫調製作業をコントラクタへ作業委託して ECS を生産した ECS 収量は 8.9tha^{-1} （乾物率 71%）で生産費は原物当たり 31.9 円 kg^{-1} だった。町内の酪農経営では ECS 原物当たり 35 円 kg^{-1} 以下であれば ECS 導入の可能性があったことから，畑作経営の希望粗収益 200,000 円 ha^{-1} を確保する ECS 収量は 14.1tha^{-1} で，乾物率 60%前後の適期収穫によって調製時損失量を抑制すれば確保できる収量であったことから，本地区の耕畜連携による ECS 生産は可能であった。

第 5 章 総括

1. 序論

戦後わが国の畜産は，トウモロコシを主体とした輸入穀物飼料の利用を中心として発展してきた。そのため飼料自給率が低く，中でも 10%程度しかない濃厚飼料の自給率が，日本の食料自給率低迷の原因のひとつである。近年は，世界的な気候変動や国際情勢によりトウモロコシを含む穀物価格の変動が激しく，このことがわが国の畜産に与える影響が深刻となっている。安定的な畜産経営のためには，自給濃厚飼料の生産基盤の確立が強く求められている。トウモロコシは土地生産性が高く，子実収量は米，麦類よりも高い。また，家畜の嗜好性も良いため，トウモロコシ雌穂（以下，イアコーンと記す）だけを収穫してサイレージ化できれば，自給濃厚飼料としての利用が期待できる。しかしながら，現在の畜産経営は，多頭化による規模拡大で粗飼料生産の圃場も不足傾向にある。一方，北海道の大規模畑作地域では，規模拡大による労働力不足から輪作体系の維持が困難な状況に直面している。畑輪作の中へ省力栽培が可能なトウモロコシを取り入れることができれば，労働力不足の対策として構築が急がれている省力的輪作体系となり，畑作地域を維持することができる。

そこで本研究では，社会的要求が高まっている自給濃厚飼料として，わが国では初めてとなる実用的なイアコーンサイレージ（以下，ECS と記す）生産のための機械化体系と，その生産基盤を畑作地域へ導入する耕畜連携の生産体系を構築することを目的とする。

2. ECS 収穫調製体系の構築（第 2 章）

イアコーン収穫用のスナッパヘッドを装着した破碎装置付きの自走式ハーベスタでイアコーンのみを収穫し、密封一体型の細断型ベアラで密封してサイレージを調製する機械作業体系を構築し、検証を行った。収穫の圃場作業量は 2.1hah^{-1} 、頭部損失率は 1.1% でイアコーンのみを収穫することができた。調製の圃場作業量は 1.2hah^{-1} で、調製時損失率は 2.3% であったが、こぼれた原材料を再投入する作業が必要だった。密封されたロールベールは平均重量 488kg（乾物率 58%）、乾物密度 355kgm^{-3} で、飼料成分はでんぷん含量 48.1%、NDF 含量 28.9% だった。約 1 年間保存後の発酵品質は、pH4.0、VBN/TN10% 以下で、乳酸、酢酸を含む良好な品質だった。以上の結果より、本体系により、高品質な ECS を収穫調製することが可能であることが確認された。

3. 収穫調製作業の効率化とサイレージ品質（第 3 章）

構築された ECS 収穫調製の機械化体系を実用化するには、調製時の損失率を低減する必要があるため、細断型ベアラの改造とロールベール梱包制御プログラムの改良を行った。損失発生の原因を調べたところ、細断型ベアラの搬送部でこぼれた材料を回収する機構中で発生するイアコーンの風乾物率に起因するこぼれと、材料の切断長が短いために発生するこぼれであることが分かった。前者は風乾物率が 55.5% で低く、後者は梱包制御プログラムの改良によって軽減したので、両者を合計した調製時損失率はロールベール 1 個当たり 0.5~1.7% となり、一般的なホールクロップコーンサイレージ（以下、WPCS と記す）の調製時損失率 1.4% と同程度まで低減させることができた。この改良した方法で

調製された ECS は、V-スコアが 96 以上と発酵品質が良好だったことから、短い切断長が適した ECS を、細断型ベアラを用いて実用的に調製する事が可能となった。

ECS はでんぷん含量が高いことが特徴であるが、試験で得られた飼料成分から、イアコーン以外の茎葉の混入が示唆されたため、ECS の収穫条件（刈高、作業速度）と品種が、ECS の飼料成分に与える影響を調査した。作業条件の刈高は、DM、OM、ADF で有意な影響を認め、CP とでんぷんに対する影響は品種による差が認められた。そのため品種「39M48」は刈高によって茎葉の混入量を抑制できて、でんぷん含量が 10 ポイント程高かった。作業速度は、 $4\sim 6\text{kmh}^{-1}$ の範囲では飼料成分に及ぼす影響は小さかった。イアコーンの子実と芯の構成割合や草型に品種間差が認められたため、飼料成分に品種の影響が認められた。

4. ECS 用トウモロコシの畑輪作体系導入についての検討 (第 4 章)

ECS 残渣をすき込んだ土壌では、気温が上昇するとともに C/N 比が上昇するが、土壌物理性改善の効果も認められ、後作物収量に対する影響は、緑肥として一般的なエンバク野生種をすき込んだ土壌と差がなかった。テンサイは ECS 残渣による C/N 比上昇の影響を受けず、土壌物理性の改善により根重が 1.2 倍となったことから、ECS 用トウモロコシを導入した輪作体系を ECS→テンサイ→バレイショ→コムギ→ダイズ→ECS と構築した。

次に、ECS 残渣の土壌すき込み以外の利用法を検討するため、ECS 残渣の回収方法を検討した。ECS 残渣をロールベールとして回収すると、回収率は 22～26% で平均水分含量は 59% だった。

ECS 残渣を家畜の敷料として利用するには十分に乾燥されている必要があるが、北海道の気候では難しく、ECS 残渣は土壌へ還元する方法が適当と判断された。

耕畜連携による ECS 生産体系の構築に資するため、畑作経営における ECS 生産費について実例をもとに試算した。耕起や播種、除草剤散布などの管理作業は畑作経営が行い、収穫と調製作業はコントラクタへ作業委託した場合、ECS 収量は 8.9tha^{-1} 、原物当りの生産費は 31.9 円（乾物率 71%）で、TDN1kg 当りの生産費は 56.7 円（TDN79%換算）であった。畑作・酪農両経営の経済性から耕畜連携による ECS 生産の継続のためには、乾物率 60% 前後で収穫して調製時損失量を抑制すれば、35 円以下で酪農経営へ ECS を販売しても、畑作経営は ECS 生産に必要な粗収益を確保できることから、調査地区での耕畜連携による ECS 生産は可能であった。

以上、ECS 収穫調製の機械化体系を構築し、作業能率および作業性能が WPCS 収穫調製作業と比べて遜色なく、調製された ECS は約 1 年の長期保存後の発酵品質が良好であることを確認し、本体系の実用性を示した。本体系により、道内の畜産経営を中心に 2013 年には 111ha の圃場で ECS が生産された。ECS 残渣は後作物の生産性を低下させないことから、ECS 用トウモロコシを組み入れた畑輪作体系の実現可能性が高いことを示した。これまでに ECS 用トウモロコシを輪作作物として取り入れた研究報告はなく、本研究が初めてである。また本成果による耕畜連携によって生産される ECS の作付面積は、2014 年には 20ha に拡大する予定である。欧米ではバンカーサイロ等で ECS が大規模に調製されるが、ラップサイレージに調製して品質までを報告した例はなく、

世界初の技術体系である。本体系の利用によって ECS の広域流通が可能となり，前述の耕畜連携による作付面積 20ha のうち，半分に相当する 10ha の圃場から生産される ECS が，道央から道東へ流通され，畜産農家に利用される予定である。

謝辞

本研究は農研機構北海道農業研究センターが2008年以来実施している研究で、博士課程の学位請求論文として2009年から2010年までの成績に、2011年から2013年10月までの北海道大学大学院農学研究院博士後期課程在学中に行われた成績を加えてまとめたものである。本論文をまとめるにあたり、終始懇切なご指導、ご鞭撻を賜りました北海道大学大学院農学研究院、柴田洋一教授に心から感謝申し上げます。また、北海道大学大学院農学研究院、片岡崇准教授にはご校閲を賜るとともに、研究の方法や考察に際して多くの有益なご助言とご指導をいただきました。さらに、北海道大学大学院農学研究院、岩渕和則教授にはご校閲と懇切なご助言を賜りました。ここに記して深く感謝申し上げます。

本研究は、農研機構北海道農業センター酪農研究領域上席研究員大下友子博士の先導と数多くのご助言なくしては、研究と実験の実施は不可能であったことを記するとともに、深甚の謝意を表します。

本研究の実施にあたって、農研機構北海道農業センター酪農研究領域主任研究員青木康浩博士、同主任研究員上田靖子氏、北海道立総合研究機構十勝農業試験場生産システムグループ研究主任山田洋文氏には、研究遂行上、技術支援をいただくとともに研究を進める上で大きな励みとなったことをここに記するとともに、心より感謝申し上げます。農研機構畜産草地研究所家畜育種繁殖研究領域主任研究員西浦明子博士には、統計解析をご指導いただくとともに、実験の実施にあたりご協力いただき心より感謝申し

上げます。経済評価では、農研機構北海道農業研究センター畑作研究領域藤田直聡博士、水田研究領域上席研究員久保田哲史氏にご協力いただいた。ここに記して感謝申し上げます。

実験の実施にあたり、家畜改良センター十勝牧場飼料課機材係長滑川拓朗氏、同技術専門職員の皆様と農研機構北海道農業研究センター業務第3科、業務第1科の皆様には試験遂行のために多大なご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。さらに、イアコーンサイレージについての貴重な情報を提供していただいた、有限会社ジェネシス美瑛代表取締役浦敏男氏、パイオニアハイブレットジャパン株式会社畜産事業部北海道事業所中西雅昭氏、ホクレン農業協同組合連合会酪農畜産事業本部岩渕慶博士、同帯広支所畜産生産課主任技師五十嵐弘昭氏、細断型ベーラの改良にご協力いただいた、株式会社 IHI スター開発部開発2課長高田雅透氏に心より感謝申し上げます。

また、現地調査では胆振総合振興局胆振農業改良普及センター東胆振支所専門普及指導員寺田晃子氏、石原拓朗氏、株式会社スキット構成員の皆様にご協力いただき、心より感謝申し上げます。

土壌分析、飼料分析で多大なご協力をいただいた、農研機構北海道農業研究センター畑作研究領域矢ヶ崎富美氏、同畑作研究領域内藤静子氏、同水田作研究領域古澤典子氏に心より感謝申し上げます。

そして、北海道大学大学院農学院作物生産システム工学研究室の皆様、農研機構北海道農業研究センター畑作研究領域作業技術グループの皆様と、いつも応援し助けてくれた夫に、心から感謝します。

以上の各位に対し、記して衷心より感謝の意を表します。

引用文献

- 阿部 亮（1988）炭水化物を中心とした飼料分析法とその飼料栄養価評価法への応用，畜試研究資料 2:16-28.
- 阿部 亮（2009）飼料構造論（4）エコフィード，豚を中心として，畜産の研究 63(11):1072-1078.
- 安藤泰久（2009）マイクロトライボロジー入門，米田出版.
- Aoki Y., Oshita T., Namekawa H., Nemoto E., Aoki M. (2013) Effect of cutting height on the chemical composition, nutritional value and yield, fermentative quality and aerobic stability of corn silage and relationship with plant maturity at harvest, Grassland Science 59:211-220.
- 青木康浩（2009）トウモロコシサイレージの貯蔵および給与技術，日本草地学会誌 55(1):69-72.
- 荒木和秋・井上誠司・小糸健太郎・杉村泰彦・吉岡徹・淡路和則・清水池義治（2013）自給飼料の調製技術および流通の革新，細断型ロールベアラによる技術革新，酪農学園大学紀要．人文・社会科学編 38(1):83-100.
- 安宅一夫監修（2012）最新サイレージバイブル，サイレージとTMRの調製と給与，酪農大学エクステンションセンター．
- Blanco-Canqui H., Lal R.(2007) Soil and crop response to harvesting corn residues for biofuel production, Geoderma 141:355-362.
- Borreani G., Tabacco E. (2006) The Effect of a Baler Chopping System on Fermentation and Losses of Wrapped Big Bales of Alfalfa, Agronomy Journal 98(1):1-7.
- Bucholtz H (2012) Key points in Harvesting and Storing High

Moisture Corn, Tri-State Dairy Nutrition Conference 2012
Proceeding:119-125.

遠藤俊三・宮沢福治・小中俊雄・橋本寛祐（1968）圃場作業量の
表示法の策定に関する研究，農事試験研究報告 12:69-104.

Finke C., Mollere K., Schlink S., Gerowitt B., Isselstein J（1999）
The environmental impact of maize cultivation in the European
Union:Practical options for the improvment of the environmental
impact.- Case study Germany -

笛木伸彦・斉藤克史・中津智史（2012）窒素減肥処理がバレイショ
「メイクイン」の収量と品質に及ぼす効果と土壌硝酸態窒素
診断による適正窒素施肥量の推定法，日本土壌肥料学会誌
83(2):165-168.

服部信司（2013）世界の飼料穀物需給と日本の畜産，農村と都市
をむすぶ 6:8-17.

Heidin PA, Williams WP, Buckley PM (1998) Caloric analysis of the
distribution of energy in corn plants *Aea mays* L., Journal of
Agricultural and Food Chemistry 46:4754-4758.

平石学（2006）大規模畑作経営における休閑緑肥定着への営農条
件に関する考察 - 十勝地域 A 町を対象に - ，農業経営研究，
44(2):46-51.

平石学（2013 a）農林業センサスから見た農業・農村の動向予測
と対策，農家の友 11:100-102.

平石学（2013 b）農林業センサスを用いた北海道農業・農村の動
向予測，北海道立総合研究機構農業試験場資料 40:1-19.

寶劔久俊（2013）中国におけるトウモロコシ増産の背景とトウモ
ロコシ貿易の実態，農村と都市をむすぶ 10:19-28.

- 北海道経済部雇用労政課，北海道の最低賃金，地域別最低賃金，平成 25 年 10 月 18 日発効，<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/kz/rkr/rsf/sintyaku/saitin.htm>（2013/12/20 参照）
- 北海道農政部（2005）北海道農業生産技術体系（第 3 版），北海道農政部．
- 北海道農政部食の安全推進局食品政策課（2005），平成 20 年度北海道農作物病害虫・雑草防除ガイド，北海道農業改良普及協会．
- 北海道農政部（2010）北海道施肥ガイド 2010，北海道農政部．
- 北海道農政部農業経営局農業経営課（2012）北海道内における農作業支援（コントラクター）組織の現状と課題，http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/kei/H23_contractor_chousa.pdf（2014 年 2 月 17 日参照）
- 堀江秀夫（2001）北海道における家畜敷料の需要予測-間伐木の敷料としての可能性-，北海道林産試験場報 15(5):10-20.
- 堀井聡（1971）一般成分分析法．動物栄養試験法（森本 宏編），養賢堂，280-298.
- 細山隆夫・若林勝史（2008）道東十勝地域における畑作農業の構造変化，北海道農業研究センター農業経営研究，99:35-66.
- 自給飼料利用研究会（編）（2009）粗飼料の品質評価ガイドブック，日本草地畜産種子協会．
- Johnson JMF, Wilhelm WW, Karlen DL, Archer DW, Wienhold B, Lightle DT, Laird D, Baker J, Ochsner TE, Navak JM, Halvorson AD, Arriaga F, Barbour N (2010) Nutrient removal as a function of corn stover cutting height and cob harvest, Bioenergy Research 3: 342-352.

- 金野隆光・杉原進（1985）土壤生物活性への温度影響の指標化と
 土壤有機物分解への応用，農業環境技術研究所報告 1:51-68.
- 経済産業省資源エネルギー庁資源・燃料部石油流通課（市場班），
 石油製品価格調査，[http://www.enecho.meti.go.jp/info/statistic
 s/sekiyukakaku/sekiyukakaku3.htm](http://www.enecho.meti.go.jp/info/statistics/sekiyukakaku/sekiyukakaku3.htm)（2013/12/20 参照）
- Lardy G., Anderson V（2010a）Harvesting, Storing and Feeding
 High-moisture Corn, NDSU Extension Service, AS-1484.
- Lardy G., Anderson V（2010b）Harvesting, Storing and Feeding Corn
 as Earlage, NDSU Extension Service, AS-1490.
- 征木茂彦（2001）サイレージの品質判定．改訂粗飼料の品質評価
 ガイドブック（自給飼料品質評価研究会編），日本草地畜産
 種子協会, 91-101
- 増田隆晴・平久保友美・川畑茂樹(2005)細断型ロールベアラを用
 いた飼料用トウモロコシの省力的収穫調製技術，岩手県農業
 研究センター研究報告 5:63-73.
- Messer H.J.M., Hawkins J.C. (1977) The Influence of the Properties
 of Grass Silage on Bulk Density and Horizontal Pressure,
 Journal of Agricultural Engineering Research 22:55-64.
- 三木直倫・平石学・飯田修三・南忠・中津智史・佐藤康司・小野
 寺鶴将・山田輝也（2006）十勝地域の大規模畑作農業におけ
 る休閑緑肥導入が畑地生産力に及ぼす影響，北農
 73(3):254-261.
- 美園繁・木下彰（1957）土壤構造に関する研究，農業技術研究所
 報告 B，化学 7:123-160.
- 宮崎昌宏，岡崎紘一郎，長崎裕司（1993）ミニロールベールラッ
 ピング処理技術の開発，第 1 報 車載式細断物梱包装置の開

発，農作業研究 28(2):109-114.

長尾正志（1983）畑作農業の確立に関する経営学的研究，北海道農業試験場報告 47:1-93.

中津智史・田村元（2008）30年間の有機物（牛ふんバーク堆肥および収穫残さ）連用が北海道の淡色黒ボク土の全炭素，全窒素および物理性に及ぼす影響，日本土壌肥料学会誌 79(2):139-145.

名久井忠・岩崎薫・八幡林芳（1974）とうもろこしグレーンサイレージの調製と利用．収穫・調製機械のちがいによる品質，飼料成分，栄養価への影響，畜産技術 234:1 - 7.

西部潤・加藤賢一（1977）とうもろこし穀穂サイレージの生産と利用．北海道十勝地方の実施例，畜産の研究 31(9):1109-1114.

西村直樹（1992）大規模畑作地帯における経営規模拡大と作付け方式の再編，農業経営通 172:26-29.

信岡誠治（2013）飼料用米をめぐる問題，農村と都市をむすぶ 6: 39-46.

野口敬夫（2011）アメリカからの飼料穀物輸入と日本の配合飼料供給における系統農協の現状と課題，農村研究 113:39-52.

農業技術研究機構（2002）日本標準飼料成分表 2001年版，中央畜産会．

農研究機構（2013）飼料用米の生産・給与技術マニュアル＜2013年度版＞，（独）農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所．

農林水産省北海道農業試験場・北海道立農業試験場・（財）甘味資源振興会（1986）てんさいに関する調査基準および用語集，北海道農業試験場．

農林水産省（2007）作物統計調査 2007 年（2007 年 11 月 30 日公表），農林水産省大臣官房統計部．

農林水産省（2008）コントラクターをめぐる状況，農林水産省生産局畜産部畜産振興課，http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_siryo/pdf/contractor_h2007.pdf.（2010 年 11 月 29 日参照）

農林水産省（2010）食料・農業・農村基本計画，http://www.maff.go.jp/j/keikaku/k_aratana/（2014 年 5 月 21 日参照）

農林水産省（2013a）エコフィードをめぐる情勢，農林水産省生産局畜産部畜産振興課，http://www.maff.go.jp/j/chikusan/shokuniku/pdf/pdf/h25_sankou2.pdf.（2014 年 2 月 17 日参照）

農林水産省（2013b）飼料をめぐる情勢，農林水産省生産局畜産部畜産振興課，消費・安全局畜水産安全管理課，http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_siryo/pdf/siryou_data_2511.pdf.（2014 年 2 月 17 日参照）

農林水産省（2013c）飼料用米及び稲発酵粗飼料の生産・利用の推進，農林水産省，http://www.maff.go.jp/test/chikusan/sinko/pdf/esamai_wcs.pdf.（2013 年 7 月 30 日参照）

農林水産省（2014）作物統計調査 2012 年（2014 年 1 月 10 日公表），農林水産省大臣官房統計部．

岡孝治（2007）原子間力顕微鏡（AFM）による表面間力測定（凝着力・摩擦力の湿度依存性），平成 19 年度卒業研究概要，鳥取大学，<http://www.damp.tottori-u.ac.jp/~lab2/01daygame/naiyou/gaiyou/H19gaiyou/Oka.pdf>.（2014 年 2 月 2 日参照）

岡本全弘・出岡謙太郎・坂東健（1979）とうもろこしサイレージの切断長が乳牛の反すう行動に及ぼす影響，新得畜試研究報

告 10:33-36.

大久保隆弘（1982）北海道畑作農業の実態と技術的課題，てん菜
研究会報 24:203-213.

大下友子・野中和久・久米新一・小酒井貴晴・青木康浩・秋山典
昭（2005）トウモロコシのサイレージ調製における排汁割合
と熟期別養分損失，平成 16 年度研究成果情報北海道農
業:168-169.

大下友子(2006) トウモロコシのサイレージ調製における留意点
収穫時期と養分損失割合の関係から考える，牧草と園芸
54(6):7-10.

大下友子・大津英子（2011）イタリアとドイツ・オランダにおけ
る飼料用とうもろこしの生産利用の実態，グリーンテクノ情
報 6(4):31-34.

大下友子（2013）イアコーンサイレージ生産・利用マニュアル第
1 版，農研機構北海道農業研究センター酪農研究領域.

柳京熙（2009）食品関連事業体によるエコフィールド生産の現況に
ついての一考察，畜産の研究 63(4):413-417.

酒井麻子（2012）黒ボク土畑土壌におけるイアコーンサイレージ
用トウモロコシの雌穂収穫残渣の鋤きこみ効果，帯広畜産大
学大学院畜産学研究科資源環境農学専攻，修士論文

笹原和哉（2013）飼料用米の低コスト生産技術導入効果と定着へ
の経営的要因，畜産コンサルタント 49(2):22-24.

仙北谷康・金山紀久・耕野拓一・斉藤陽子・河田幸親・齊藤久光・
小林正伸・三浦敏弘・原口勝全・沢田雅由（2010）エコフィー
ド産業クラスターの形成と課題に関する研究，平成 20 年度
国立大学帯広畜産大学・帯広信用金庫共同研究成果報告書.

- 志藤博克，山名伸樹（2002）青刈りトウモロコシの省力化収穫調製技術の開発(第1報) -細断型ロールベアラの開発-, 農業機械学会誌 64(4):96-101.
- 志藤博克・高橋仁康・山名伸樹・澁谷幸憲・奥村政信・正田幹彦・福森宏一・上村雄二・只野克紀・玉森幸雄・高田雅透・福森功（2005）青刈りトウモロコシの省力化収穫調製技術の開発（第3報）試作2号機の開発と実用化試験，農業機械学会誌 67(3):106-113.
- 高橋義雄（2013）平成24年産小麦の総括，北海道米麦改良 89:1-5.
- 高野信雄（1981）トウモロコシ・サイレージの調製利用（1），畜産の研究 35:32-38.
- 田村忠（2000）畜産農家におけるふん尿処理の現状と敷料資材の必要量，木質敷料の活用促進に関する情報交換会飼料，1-4.
- 谷川珠子・大阪郁夫・川本哲・原悟志（2010）破碎処理トウモロコシサイレージにおけるローラ間隔の違いが乳牛の炭水化物およびタンパク質利用に及ぼす影響，日本畜産学会報 81(4): 421-429.
- 矢坂雅充（2013）中国酪農の変貌，農村と都市をむすぶ 10:39-50.
- 山田洋文（2011）十勝地域における耕畜連携による自給飼料生産利用の取り組みと今後の課題，耕畜連携による濃厚飼料の安定的自給生産技術の重要性と今後の展開-新技術「イアコーンサイレージの生産利用技術」普及のための改善方向-, 農研機構シンポジウム資料:23-31.
- 吉永悟志（2013）飼料用米の低コスト・安定多収に向けての栽培技術，畜産コンサルタント 49(2):18-21.
- 吉仲怜（2009）大規模畑作経営における休閒緑肥作の導入・定着

条件に関する研究 - 土地利用方式の改善を展望して - , 北大
農学研究院邦文紀要, 31(1):1-77.

Establishment of a Self-sufficient Concentrated Forage of Ear Corn silage Production System through Cooperation between Arable and Livestock Farming Operations

Summary

5.1 Introduction

Japanese livestock farming has been feeding on imported maize, however there is an urgent need to establish a self-sufficient concentrated forage production system that won't be swayed maize price increases due to global climate changes and world affairs in recent years.

The purpose of this study is to establish an Ear Corn Silage(ECS) which made from ear corn has high productivity and nutritive value mechanical production system to supply of a stable self-sufficient forage system by using ECS, and to cooperate with arable farming to maintain upland crop rotation by introducing forage maize for labor saving.

5.2 Construction of ear corn silage production system

We developed a work system to harvest only nutritious ear corn with a forage self-propelled forage harvester equipped with a corn snapper header and kernel processing unit and prepared using a roll baler for chopped material combined with a bale wrapper. The harvesting capacity was 2.1hah^{-1} with a harvesting loss of 1.1%. The ensiling capacity was 1.2hah^{-1} with a product loss of 2.3%, but workers to put back in the raw material spilled was needed. Roll bale

weight was 488kg on average with moisture content of 42%, the average dry matter density was 355kgm^{-3} . ECS contained 48.1% starch and 28.9% NDF. The fermentation quality of the silage after approximately one year in storage showed a pH of 4.0, the presence of lactic and acetic acid, and VBN/TN was less than 10%. These results demonstrated that the ECS mechanical system can be practical use.

5.3 Improvement of efficiency in harvesting and preparation ECS and silage quality

In order to reduce the loss ECS preparation, we improved a roll baler with chopped material and program for packing control. Modified packing control program enabled the material in short theoretical cutting length appropriate for ECS to shape and wrap roll bales. The loss range after modified was 0.5% to 1.7% is comparable with loss rate 1.4% at Whole plant corn silage (WPCS) preparation and the fermentation quality of ECS ensiled in new packing control program showed very good. The usefulness of a modified program was shown from these results. Chemical composition of ECS was determined by the cutting height at the harvest and hybrid, but the onset of this effect was depend on hybrids. Effect on the components was less in the range of $4 \sim 6\text{kmh}^{-1}$ operating speed at harvesting.

5.4 Examination of upland crop rotation system introduction of the corn for ECS

C/N ratio was increased during period of summer in the soil

plowed ECS residue, however the effect is offset by the improvement of soil physical properties and no influence was observed on crop yield. Since it is considered that the soil environment which after ECS was cultivated suitable for sugar beet, I build new crop rotation introduced forage corn for ECS was as below; ECS → Sugar beet → Potato → Winter wheat → Soybean → ECS. The collection rate was 22% to 26% when the ECS residue was collected as roll bales in the field. If these residue was use for animal bedding material, it was necessary to be dried enough, but it was difficult by the climate of Hokkaido. Therefore, it was determined that was appropriate usage ECS residue was used for soil organic by plowing. In the demonstration field, ECS yield was 8.9tha^{-1} and production cost was $\text{¥}31.9\text{ kg}^{-1}$ at 71% dry matter. In case of harvesting at 60% dry matter and control the loss ECS preparation, it is possible to profit for arable farmer to continue producing of ECS. In conclusion, possibility of ECS production through cooperation between arable and livestock farming operations was left.

It was confirmed that the ECS mechanical production system we constructed was about equal to the ordinarily WPCS production system. It was clarified effects on soil physical property improvement by ECS residue and showed an upland crop rotation system which forage corn for ECS was put in. In addition, an ECS production cost was calculated from demonstration farmers, one of them was an arable farmer who hard to maintain crop rotations and labor shortage, and conditions were clarified for ECS production

through cooperating. ECS production began with 0.5ha experimentally in 2008, in 2013, it was expanded with the spread of the machinery production system in this study to 111ha in Hokkaido.

In 2014, ECS is produced in 20ha of arable fields and about half of them are distributed from central part of Hokkaido to eastern part of Hokkaido.

