

# 農業機械化研究所報告

第 25 号

---

Technical Report  
of the

Institute of Agricultural Machinery

(Nogyo Kikaika Kenkyusho)

Omiya, Saitama, Japan

No. 25 July 1990

---

農 機 研 報

Tech. Rep.  
Inst. of Agric.  
Mach.

25:1-103

1990

平成 2 年 7 月

生物系特定産業技術研究推進機構  
農 業 機 械 化 研 究 所

埼玉県大宮市日進町1丁目

生物系特定産業技術研究推進機構  
農業機械化研究所

Institute of Agricultural Machinery

(Bio-oriented Technology Research Advancement Institution)

編集委員会

橋本寛祐 (委員長)

市川友彦

三浦恭志郎

篠崎浩之

倉田勇

八木茂

森芳明

Editorial Committee

Hirosuke HASHIMOTO (Chief)

Tomohiko ICHIKAWA

Kyoshiro MIURA

Hiroyuki SHINOZAKI

Isamu KURATA

Shigeru YAGI

Yoshiaki MORI

# 農業機械化研究所報告 第25号(平成2年7月)

## 目 次

1. 金光幹雄・山本健司：野菜残渣収集機の開発研究…………… 1
2. 鷹尾宏之進・伴 敏三・久保田興太郎：粃殻加熱ガス  
利用システムの開発に関する研究…………… 29

Technical Report  
of the  
Institute of Agricultural Machinery  
(Nogyo Kikaika Kenkyusho)  
No.25 July 1990

CONTENTS

1. Mikio KANAMITSU • Kenji YAMAMOTO : Development of a Vegetable-Crop-Residue Collector ..... 1
2. Hironoshin TAKAO • Toshizo BAN • Kotaro KUBOTA : Studies on the Development of a Rice Husk Gasification and Utilization System..... 29



# 野菜残渣収集機の開発研究

金光幹雄\*・山本健司\*\*

1989-8-1 受理

抄 録

金光幹雄、山本健司：野菜残渣収集機の開発研究、農機研報告No.25；1-28(1990)

野菜の土壌伝染性病害対策として、残渣を搬出することは土壌病害の発生を抑制する効果がある。しかし、その量は多く、例えば、キャベツでは、残渣量が2～5t/10aとなる。このように、多量の残渣を搬出するには多くの労力を要するため、残渣はロータリにより細断し、圃場内にすき込んでいるのが現状である。そのため野菜を連作する圃場では、薬剤により土壌病害の防除を行っているが、病害は年々増大し、その効果は上がっていない。そこで、土壌病害の防止対策として残渣の収集搬出を能率的に行う機械の開発研究を行った。

開発した残渣収集機は、トラクタ牽引式作業機で、掘取刃、ディスクコルタ、ロータリ、拾上げコンベヤ、コンベヤ加振装置、収納バケットからなり、0.9mの掘取り幅で残渣を掘取り、土篩い後バケットに収納する。バケットの残渣収納量は約600kgで、運搬車へ荷降ろしするための、油圧リフト、ダンプ機構を備えている。残渣の収集性能についてみると、根茎は拾い残しがなく収集できる。外葉の拾い残し割合は、掘取り深さによって変わるが、全外葉の12～22%であった。収集した残渣とともにバケット内に混入する土量は、土壌含水比が高く、作業速度が速いほど増大するが、収集した残渣重量に対するバケットへの混入土量の比は、0.1～1.4程度であった。圃場作業量は、圃場条件、作業条件により異なるが、畝長50mで作業速度0.4m/sのとき約5a/hであった。

## 1. 緒言

野菜産地においては、連作障害が大きな問題となっている。高原キャベツの代表的産地である群馬県嬬恋村では、キャベツ根こぶ病の被害が年々激化し、減収ばかりでなく、品質の劣悪化をもたらして市場での評価を低くすることから産地の維持が危ぶまれ、早急な防除対策が要望されている。

連作障害対策として、野菜収穫時の残渣を収集搬出することは、土壌病害による土壌の汚染を防ぎ、土中の菌密度を低下させる効果がある<sup>1)</sup>。しかし、野菜収穫時の残渣は量が多く、その収集搬出作業には多くの労力を要するため、現実には残渣の収集搬出が行われることは少ない。このような情勢から、農業研究センターより生研機構（農業機械化研究所）に対し、野菜残渣収集機の開発研究の要請があった。

そこで、収穫時に多量に発生する野菜の残渣を省力的、能率的に収集搬出できる作業機を開発することを目的として、1985年（昭和60）に研究を開始し、残渣の掘取り、拾上げ、収納、搬出が可能な残渣収集機を開発した。残渣収集機を実用化するためには、圃場から収集搬出した大量の残渣を省力的に処理する技術の開発などの問題点が残されているが、試作した残渣収集機は、当初目的とした性能が得られたので、開発研究を完了し、その結果を報告する。

なお、農業研究センターと群馬県農業総合試験場では、昭和62年度から平成元年度までの3年計画で「高冷地キャベツ根こぶ病の総合技術の確立」のための共同研究を進めている。この総合技術のうちの個別技術として「残渣処理技術」があり、群馬県農業総合試験場は、残渣を収集し圃場外に搬出することによる防除効果を調査し、農業研究センターは残渣の嫌気性発酵処理の研究を行った。嫌気性発酵処理の研究では、生研機構が試作した残渣収集機で収集したキャベツ残渣を供試した試験が

\* 企画部

\*\* 園芸工学研究部

行われた。

本研究に関して、松山株式会社に試作のご協力をいただき、農業研究センタープロジェクト第2チーム、群馬県農業総合試験場機械作業課、同高冷地分場の各位には、現地試験でご指導とご協力をいただいた。ここに記して深く感謝する次第である。

## 2. 研究の背景と目的

### 2.1 連作障害とその対策の現状

野菜の連作障害には、病害、虫害、塩類濃度障害など土壌的原因によるもの、急性萎ちょう症など生理的原因によるもの、そのほか青枯れ症状など原因不明のものがある。1984年(昭和59)に野菜試験場が各都道府県の野菜・花き担当専門技術員の協力で行ったアンケート調査<sup>2)</sup>によると、野菜の作物別連作障害の原因の主なものとその発生した例数は、表1のとおりであり、大部分のものが土壌伝染性病害である。

表1 作物別連作障害の原因と障害例数<sup>2)</sup>

野菜名	原因と障害例数
キュウリ	ネコブセンチュウ(10)
スイカ	急性萎ちょう症(20)
トマト	青枯病(36)、萎ちょう病 $J_3$ (26)、萎ちょう病 $J_1$ (13)、半身萎ちょう病(11)
ナス	半身萎ちょう病(38)、青枯病(34)、半枯病(9)
イチゴ	萎黄病(35)
キャベツ	根こぶ病(22)
ハクサイ	根こぶ病(26)
ジャガイモ	そうか病(11)
ダイコン	萎黄病(28)、横しま病(22)、き裂褐変症(17)、軟腐病(10)、ネグサレセンチュウ(10)、B欠(8)
ニンジン	センチュウ(10)

現在行われている連作障害対策としては、次のような対策がある。

果菜類ではナスを除いて連作が回避されることが少なく、耐病性品種及び台木利用による接ぎ木栽培と土壌消毒が連作障害対策の根幹となっており、薬剤散布、塩類集積に対する除塩、残渣処理などが行われている。このほか、イチゴでは無病苗利用、ポット育苗、隔離ベッドなどの対策が行われている。

葉菜類では根こぶ病が主となっていることもあり、連作回避と土壌消毒に重点が置かれ、その他、土壌の理化学性の改善(有機物施用、酸度矯正、高うね栽培)、品種選定、薬剤散布、残渣処理などの対策が行われている。

根菜類でも連作回避と土壌消毒が主体であり、塊根類では無病な種子の選定、種子消毒が行われ、ダイコンでは抵抗性品種の選定、土壌理化学性の改善などの対策が行われている。

### 2.2 残渣処理効果

野菜の収穫残渣を処理することは、病原菌の伝染源をなくし、土壌の菌密度を低下させる効果があり、土壌伝染性病害の重要な防除手段である。

罹病残渣除去・搬出の病害防除効果として、次のような現地事例がある。長野県南佐久郡南牧村でハクサイを栽培している1農家が、10年以上連作しており、この間、罹病残渣を圃場外に搬出、投棄してきた。1978年(昭和53)に南牧村のハクサイに黄化病が大発生したが、その時でも同農家では残渣を搬出してきたため、その発病を軽度に抑えることができた<sup>3)</sup>。しかし、残渣の収集搬出は、多労であるため行われず、圃場内にすき込まれることが多い。残渣を搬出しない他の栽培農家は、全面マルチ栽培と土壌消毒で発病を抑えている<sup>4)</sup>。

残渣搬出には多くの労力を要するため、残渣搬出の効果を実用的な規模で検討した研究成果も少なく、次のような試験結果が報告されているにすぎない。ダイコンの萎黄病は、罹病残渣をすき込むより、搬出した方が病気発生の拡大が少なく<sup>1)</sup>、キャベツの萎黄病では、初期発病を遅延させ、3年間継続して被害株を除去すると発病を軽減できる<sup>6)</sup>。一方、ハクサイの根こぶ病・黄化病は、発病の多い圃場で残渣を2~3年継続して搬出しても発病の抑制効果が現われない<sup>1)</sup>。

これらの試験結果から、野菜収穫時の残渣を搬出することは、耐病性品種の導入や薬剤の利用のように単一で速効的な連作障害対策ではないが、これらと併用し、発病が多くなる前に、予防的に、長期間継続して行うと発病を軽減させる効果があると考えられる。

### 2.3 残渣処理法

残渣処理には、投棄、埋没、飼料化などの圃場からの隔離技術と、焼却、加熱処理、堆肥化、嫌氣的発酵などの無菌化技術がある<sup>5)</sup>。

圃場内の残渣を持ち出して、圃場端や山林、河川などに投棄する方法は一般的に行われているが、広域汚染の心配がある。

罹病残渣を土中に埋没することにより死滅する病原菌もあるが、土壌病原菌には土壌中で長期間生存可能なも

のが多い。

飼料化については、周年供給ができないことや、残渣に土壌が混入するなどの問題があり、野菜収穫時の残渣を飼料として利用することは畜産農家から敬遠されている。

焼却は、スイカのつる処理などで行われているが、水分の多い野菜では焼却炉などを使う必要があり経費の面から困難である。

加熱処理は、夏期にハウスを密閉し灌水して太陽熱を利用した土壌消毒を行えば罹病残渣中の病原菌も死滅し、収穫後の残渣をすき込むことができるため、施設栽培においては有効な処理法である。

堆肥化については、キャベツ根こぶ病の罹病残渣の熱処理について、45℃で24時間以上経過すれば殺菌できることが明らかにされ、キャベツ残渣と発酵牛糞を混合して堆積することにより8日間以上にわたり45℃以上になり、罹病残渣中の根こぶ病菌を死滅させるのに必要な温度条件を得ることができた。しかし、現地圃場において、罹病残渣を供試して、さらに実用性を検討する必要がある<sup>7)</sup>。

嫌氣的発酵については、ダイコン萎黄病の罹病残渣をビニルフィルムに包んで密閉し、1か月間経過すると、処理期間中の温度は35℃以上に上昇しなかったにもかかわらず病原菌は死滅した<sup>5)、8)</sup>。キャベツ根こぶ病罹病残渣の発病力も嫌氣的発酵処理により消失し、処理温度が高いほどその消失速度は速やかであり、また外葉添加は効果があり、汚染土に対しても効果があることが明らかにされた<sup>9)</sup>。

以上の処理方法のうち、キャベツとハクサイの残渣処理には、堆肥化と嫌氣性発酵処理が有効であると考えられる。ただし、堆肥化処理は、切返しの管理労力を要するが、嫌氣性発酵処理は、収集した残渣にある程度の土が含まれても病原菌の死滅に支障がないこと、処理のための管理労力が少ないことから残渣収集機で搬出した残渣の処理に最も適すると考えられる。

## 2. 4 残渣収集搬出法

根こぶ病対策として、キャベツ残渣を収集搬出する方法が、群馬農試<sup>10)、11)</sup> 東京農試<sup>12)、13)</sup> で検討された。作業方法は、トラクタ用球根掘取機やカンショ掘取機でキャベツ残渣を掘取り、人力あるいはトラクタ用ヘイフォークでダンブトレーラに積み込み、運搬する方法である。圃場作業時間は6～16h/10aであり、人力作業の23

h/10a に対し省力化されたが、なお、土篩いと搬出に多くの時間を要し、さらに収集の省力化が必要とされた。

## 2. 5 研究の目的

被害程度が大きく、被害面積も多く、その防除が困難である、キャベツ、ハクサイの根こぶ病対策を主なねらいとし、収穫後の残渣を省力的、能率的に収集搬出する機械を開発することを目的とした。

## 3. 現地調査と予備検討

### 3. 1 現地調査

長野県南佐久郡南牧村で、ハクサイ残渣の収集・搬出作業の実態調査を行った<sup>4)</sup>。調査地域では、1農家のみが残渣の収集・搬出をしており、その畑では根こぶ病、黄化病等の病害は少なかったが、10a 当たり5時間程度と多くの労力を要していた。この農家のハクサイ残渣収集工程は次のとおりである。

- ① 手で引き抜き、根を上にして置く。
- ② 鋤で土篩いしながら収集し、トラクタフロントローダのバケットに入れる。
- ③ 圃場近くの窪地まで搬出し、廃棄する。

一方、残渣の収集、搬出を行わない農家では、病害対策として全面マルチと土壌消毒(クロールピクリン)で対応していた。

キャベツ産地の群馬県吾妻郡嬬恋村では、根こぶ病の被害が問題となっている。キャベツは、マルチ栽培や土壌消毒されることはなく、有機物施用による土作りや、石灰資材を施用して土壌酸度を矯正し、定植前にPCNB剤を土中混和する等の病害対策が行われている。収穫後の残渣は収穫直後にロータリ耕により細断・耕起し、収穫時期が終了した後、プラウですき込んでいた。

### 3. 2 予備検討

残渣収集機を開発するに当たり、栽培様式、残渣量を調査した。市販されている作業機から残渣収集に利用可能な機種を選定し、収集機構からみた各種作業機の得失を検討し、残渣収集作業について各種機械化体系を人力体系と比較検討した。さらに、市販されている2機種の作業機を選定して、残渣収集作業を行い作業特性を調査した。

#### 3. 2. 1 野菜残渣量、栽植様式の調査

ハクサイの栽植様式は表2、各部の質量は表3のとおり

表2 ハクサイの栽培様式<sup>1)</sup>

早晩生	畝幅	株間	10a当たり栽植株数
早生	60cm	45cm	3703
中生	75	45	2962
晩生	75	60	2222

表3 ハクサイ各部位の質量<sup>15)</sup>

	総量	下葉枯死葉		下葉生葉		結球部	茎主根	細根
		葉数	質量	葉数	質量			
平均1株質量	3354g	10枚	124g	10枚	606g	2480g	43g	101g
10a当たり質量	12419kg		459kg		2244kg	9183kg	159kg	374kg
質量割合	100%		3.7%		18.1%	73.9%	1.3%	3.0%

注1) 品種: 耐病60日

注2) 10a当たり質量は、3703株/10aとして計算

注3) 残渣量: 下葉枯死葉+下葉生葉=2.7t

下葉枯死葉+下葉生葉+茎主根=2.9t

下葉枯死葉+下葉生葉+茎主根+細根=3.2t

注4) ハクサイ各部の含水率: 生葉93%、茎主根86%、細根94%

表4 ハクサイを引き抜いたときの根部への付着土量

場所	土質	品種	結球部重	外葉重(a)	土付き根重(b)	(a)+(b)
茨城農試	黒ボク土	王将	3.55kg/株	1.15kg/株	0.54kg/株	1.69kg/株
			10.5t/10a	3.4t/10a	1.6t/10a	5.0t/10a
附属農場	灰色低地土	錦秋	2.04	1.33	1.88	3.21
			7.6	4.9	7.0	11.9
		王将	1.62	1.24	1.64	2.88
			6.0	4.6	6.1	10.7
		無双	2.21	0.86	1.43	2.29
			8.2	3.2	5.3	8.5
八千代町	黒ボク土	ゆみ判	2.70	1.82	0.40	2.22
			8.2	5.5	1.2	6.7

注1) 土付き根重はハクサイを引き抜いたとき根に付着する土を含む質量

注2) 各品種の上段は1株当たり質量、下段は栽植様式から計算した10a当たり質量

注3) 栽植様式: 茨城農試: 75cm×45cm、2963本/10a

附属農場: 60cm×45cm、3704本/10a

八千代町: 60cm×55cm、3030本/10a

表5 キャベツの栽植様式と収量<sup>14)</sup>

栽植距離	株数	外葉数	球重	収量
60cm×30cm	5,550株/10a	8.9枚	914kg	4,936kg/10a
	40	4.170	9.0	1,089
	50	3.330	10.8	1,318
75×30	4,440	10.6	812	3,508
	40	3.330	11.1	1,075
	50	2,660	12.3	1,485
90×30	3,700	10.0	944	3,398
	40	2,770	10.7	1,612
	50	2,220	11.3	1,472

表6 キャベツ部位別重量<sup>16) 17)</sup>

品種	結球重	外葉数	外葉茎重	根重	残渣量
耐病ST	1,444g	9.2	749g	39g	5.3t/10a
	1,328	9.7	674	37	4.7
YR錦秋強力152	1,064	12.4	665	33	4.7
	748	14.1	414	36	3.0

注1) 栽植密度6,667株/10a(50cm×30cm)

注2) 上段: 昭和57年、下段: 昭和58年

りである。ハクサイの残渣量は下葉枯死葉と下葉生葉で2.7t/10aであり、これに茎主根を加えると2.9t/10aである。また、株ごと引き抜き、土篩いしないで、根に土が付着した状態での質量は、表4のとおりであり、土を含む残渣量は、5～12t/10aである。

キャベツの栽植様式を表5に、各部の質量を表6に示す。根に付着した土を洗い流したときの残渣量は3.0～5.3t/10aである<sup>16)、17)</sup>。

### 3. 2. 2 収集機構の検討

収集する残渣は、外葉、茎、根であり、これらを収集するには、根ごと掘取り、根に付着した土を篩落し、収納、搬出する必要がある。省力的な残渣収集機としては、掘取り、土篩い、収納の各機構を備える必要がある。

市販されている他用途の作業機から、残渣収集に必要な機構を備えている11機種の作業機を選定し、作業適性を検討した。表7に仕様一覧を示す。

掘取り機構は、ポテトディガー、コンニャク掘取機、ビートハーベスタ、ストーンピッカに使用されている固定掘取刃（振動式掘取刃）や、タバコ残桿処理機のスクリュローター、スノープロアのスクリュ式オーガの利用が可能である。

拾上げ機構は、ポテトディガー、コンニャク掘取機、ビートハーベスタ、タマネギハーベスタ、タマネギピッカ、タバコ残桿処理機、ストーンピッカのバーコンベヤ（スラット付き）が有効と考えられる。

土篩い機構は、ポテトディガー、ビートハーベスタでは、バーコンベヤによる搬送中にカムで加振して土篩いしており、ストーンピッカでは、コンベヤの流量規制をゴム板によって行い、土篩い効果を高めている。

収納部は、ポテトディガー、コンニャク掘取機、ポテトピッカ、タマネギハーベスタ、タマネギピッカにはコンテナが使われ、このコンテナのハンドリングは、小型

表7 残渣収集に利用可能な市販作業機とその仕様、価格<sup>18)、19)、20)</sup>

機種名	作業幅 (m)	作業速度 (m/s)	作用	価格 (万円)
ポテトディガー				
ティラー (4～6 PS) 装着用	0.5	0.4～0.7	掘取り・土篩い	10
耕耘機 (5～7 PS) 装着用	0.5～0.7	〃	〃	10
トラクタ (2.5～3.5 PS) 装着用	0.8	〃	掘取り・土篩い・側方排出	50
(5.0 PS以上) 装着用	1.4	0.3～0.8	掘取り・土篩い	85
コンニャク掘取機				
トラクタ (2.5 PS以上) 装着用	1.0	〃	掘取り・土篩い・側方排出	50
ポテトピッカ 注1)				
自走式 (1.3 PS)	—	0.1～3.6	拾上げ・手選別・コンテナ収納	—
ビートハーベスタ				
トラクタ (6.0 PS以上) 牽引式	0.6～0.7	1.4～3.3	掘取り・土篩い・収納搬出・荷降し	170～270
タマネギハーベスタ				
自走式 (8 PS)	1.2～1.8	0.1～0.6	掘取り・クッピング・側方排出	135
自走式 (1.3 PS)	1.2～1.8	—	掘取り・クッピング・収納搬出・荷降し	400～600
タマネギピッカ				
トラクタ (3.0 PS以上) 牽引式	1.3	1.4～3.3	拾上げ・収納搬出・荷降し	98～125
ロードワゴン				
トラクタ (2.5 PS以上) 牽引式		積載量1.5～3t	拾上げ・細断・収納運搬・荷降し	170～300
自走式 (3.0～4.5 PS)		積載量2t	拾上げ・細断・収納運搬・荷降し	890～950
ルースベアラ				
トラクタ (2.5 PS以上) 牽引式	1.4～1.7	2～5t/h	拾上げ・圧縮・梱包・排出	230～300
スノープロア				
自走式 (3～2.2 PS)	0.5～1.2	10～150t/h	除雪	16～170
タバコ残桿処理機				
耕耘機 (7～8 PS) 装着用	—	10～20a/h	掘取り	7～8
トラクタ (1.5～3.0 PS) 装着用	—	15～30a/h	掘取り・土篩い	10～26
ストーンピッカ				
トラクタ (5.0 PS以上) 装着用	0.9	3～10a/h	掘取り・土篩い・収納搬出・荷降し	115

注1) 作業幅は2畦用、コンテナ収納量は750～1500kg、600kg入りフレコンに収納も可能

コンテナは手で行われ、750～1500kg入りの大型コンテナには、油圧機構が使われている。ビートハーベスタ、ストーンピッカには、ダンプ式バケットが使われている。ロードワゴンでは、荷台のスラットコンベヤで収納・荷降ろしを行っている。またポテトピッカ、タマネギハーベスタ、タマネギピッカ、ビートハーベスタ、ストーンピッカには、コンベヤにより伴走車に積み込む方式がある。これは、作業機を小形、軽量にできるが、圃場区画が小さいと作業効率が低い。

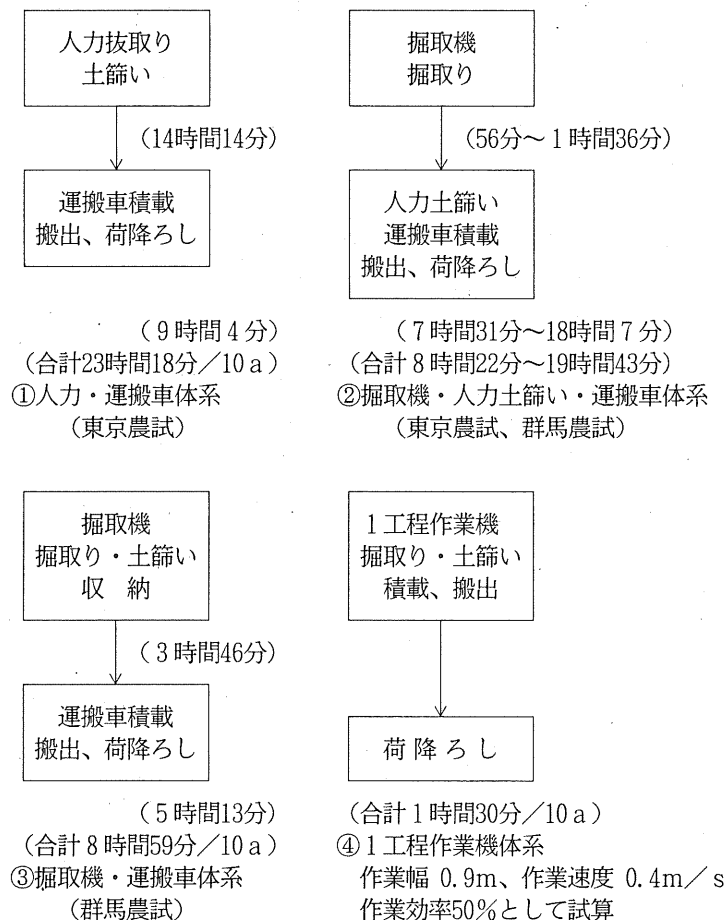
以上の検討から、ストーンピッカの機能が残渣収集に最も適していると考えられた。

### 3. 2. 3 作業体系の検討

キャベツ残渣の収集作業について、①人力掘取り・運搬車体系と②掘取機・人力土篩い・運搬車体系、③掘取機・運搬車体系、④1工程作業機体系による4つの体系及び各作業体系別の10a 当たり作業時間を図1に示す。

②掘取機・人力土篩い・運搬車体系においては、残渣の土篩い性能を高める必要があり、③掘取機・運搬車体系では、収納容量を増し、積載・荷降ろしの省力化を図る等の改良が必要である。

④1工程作業機体系の圃場作業量は、作業機を、2条用として、土篩い性能が良好で、残渣収納量が十分ある



注) 枠内は1工程で行われる作業について使用機械と作業内容を示す。

図1 残渣収集作業体系と作業時間

と仮定し、作業幅90cm、作業速度0.4m/s、圃場作業効率を50%として試算した結果である。6.7a/hの圃場作業量であれば、人力・運搬車体系の15.5倍の能率となる。この作業体系について、作業幅を45、60、90cmとし、作業速度を0～1.0m/s、圃場作業効率を50、60%として、圃場作業量を試算した結果は、図2のとおりである。

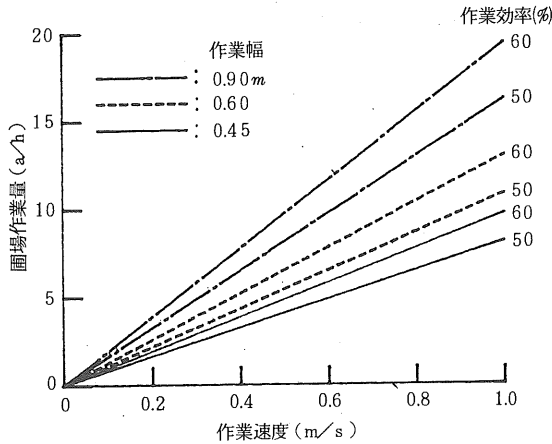


図2 1工程作業機体系の圃場作業量の試算

3. 2. 4 市販機の作業特性調査

残渣の収集方法を見いだすため、残渣収集に利用が可能と考えられる作業機のうちから耕耘機用振動式掘取機とトラクタ直装式ストーンピッカを選定し、これらを使

用してハクサイ残渣を収集し、その作業特性を調査した。

残渣収集機の設計において、掘取り搬送機構は重要な要素である。振動式掘取機は掘取り搬送角度を容易に変更できるので、掘取り搬送部の作用角度と作業速度が搬送性能、土砂分離性能に及ぼす影響を知るための試験に供試した。ストーンピッカについては残渣収集作業性能を調査した。供試機は次のとおりである。

供試機：振動式掘取機（松山VK-450、作業幅450mm）＋耕耘機（3.7kW、6.00-16 大径タイヤ使用）、ストーンピッカ（松山CS-900B、作業幅900mm）＋トラクタ（4輪駆動、23kW）

振動式掘取機は、作業速度と搬送エレベータの傾斜角度を変えて、拾上げ性能と土篩い性能を調査した。表8に結果を示す。エレベータの角度を26°とした場合、作業速度0.8m/sまで残渣を拾い上げることができた。作業速度を速くすると土篩い効果が低下し、根部への付着土量が増加した。またエレベータ角度が28°以上に急角度に調節し、掘削深が浅いときは残渣の拾上げはできなかった。

ストーンピッカは、作業速度を変えて、残渣の拾上げ状態を観察した。表9に結果を示す。エレベータ速度が1.9m/s程度のとき土が良く除去される。これより速いと土の拾上げ量が多く、残渣はバケット外へ放出され、遅いと掘取刃前方に土が滞留した。

表8 振動式掘取機の残渣収集性能

エレベータ 角度(°)	作業速度 (m/s)	掘削深 (mm)	エレベータ 速度(m/s)	エレベータ 角度(°)	進行低下率 (%)	残渣量 (kg/株)	付着土 (kg/株)	土・残渣比
26	0.43	100	0.7	26	17.4	0.74	0.86	1.2
〃	0.84	〃	〃	〃	42.8	0.47	1.64	3.5
28	0.31	〃	0.5	28	13.2	0.50	0.46	0.9
〃	0.48	75	0.7	〃	9.0	-	-	-
32	0.30	80	〃	32	42.5	0.64	0.70	1.1
〃	0.48	75	〃	〃	9.8	-	-	-

注1) 土・残渣比：掘り取った株に付着した土量と残渣量の重量比（土量/残渣量）

注2) 「-」：エレベータへの拾上げ不可能

注3) 土壌条件：黒ボク土、含水比58.7%

表9 ストーンピッカの残渣収集性能

エンジン回転数(rpm)	作業速度(m/s)	エレベータ速度(m/s)	作業状態観察結果
2,600	0.4, 0.9	2.5	葉をバケット外へ放出、土の混入が多い
2,000	0.7	1.9	土篩い良好、拾上げやや不良
1,300	0.4	1.3	エンジン出力不足、掘取刃前方に土が滞留

注1) 土壌条件：黒ボク土、土壌含水比47.1%

#### 4. 設計目標

開発する残渣収集機の設計目標は、次のとおりとした。

- ① 残渣収集機は、キャベツ、ハクサイを対象とし、残渣の掘取り、拾上げ、収納を1工程で行い、荷降ろし、あるいは他の運搬車の荷台に容易に移し替える機能を備えること。なお、荷台への残渣収納効率を高めるため、残渣を細断する機能を備え、圃場からの土の持ち出しを少なくするため、コンベヤ搬送中に土篩いを行う。
- ② 作業機の方式について、自走式専用機は、作用部の配置が自由に行え、より高性能な作業機の開発が可能であるが、専用の動力と走行部が必要となり、構造が複雑で高価な機械となる。そこで、比較的安価で、構造を簡易にできるトラクタ用作業機とする。
- ③ 2条の残渣を1工程で収集できるように、作業幅は90cmとする。
- ④ 残渣収集機の圃場作業量は、現在、残渣処理として行っているロータリ耕耘作業と同程度であることが望ましい。しかし、作業内容は、耕耘と同様の作業に、残渣を収集搬出する作業が加わること、作業幅が90cmと狭いこと等から、圃場作業効率をロータリ耕と同程度にすることは困難である。以上のことを考慮し、圃場作業効率を50%、作業速度を0.4m/s程度として、図2に示す1工程作業機体系による圃場作業量の試算から、残渣収集機の目標圃場作業量は5a/hとする。

#### 5. 残渣収集機の試作研究

##### 5. 1 1号機の試作研究<sup>21)</sup>

##### 5. 1. 1 1号機の試作

予備調査の結果、トラクタ直装用ストーンピッカの拾上げ・土篩い性能を高めることにより、残渣収集機として利用できる見通しが得られた。

そこで下記の点を改造した残渣収集機1号機を試作した。

- ① 拾上げ性能を高めるため掘取刃上部にロータリを備えた。
- ② 拾上げコンベヤの土篩い性能を高めるためカムでコンベヤを振動させた。
- ③ 収納バケット底部をすのこ状にし、土を漏下させる構造とした。
- ④ トラクタへの装着は直装式であるが、アタッチメントによりリンケージドローバ牽引式にも変更でき、29kWより小型のトラクタでも使用できるようにした。

試作1号機の概要は図3、仕様諸元は表10のとおりである。本機はまず掘取刃で残渣を掘り取ると同時に、掘取刃の上方に設けたロータリで残渣をコンベヤ内に掻き込む。コンベヤ上方にはゴム板を設けて残渣の流量を規制し、またコンベヤの中間部では加振カムにより振動を与え、残渣の土篩い効果を高めている。コンベヤの末端には0.26m<sup>3</sup>のバケットを配置し、残渣を収納する。バケットは油圧リフト・ダンプ式で、残渣を収納搬出した後、荷降ろしを容易に行うことができる。リフト高さは1.7mで、トレーラなどの運搬車の荷台に積み込むこともできる。

牽引式アタッチメントは、掘取り深さの調節が行えるように、トラクタへの装着にリンケージドローバを利用した。



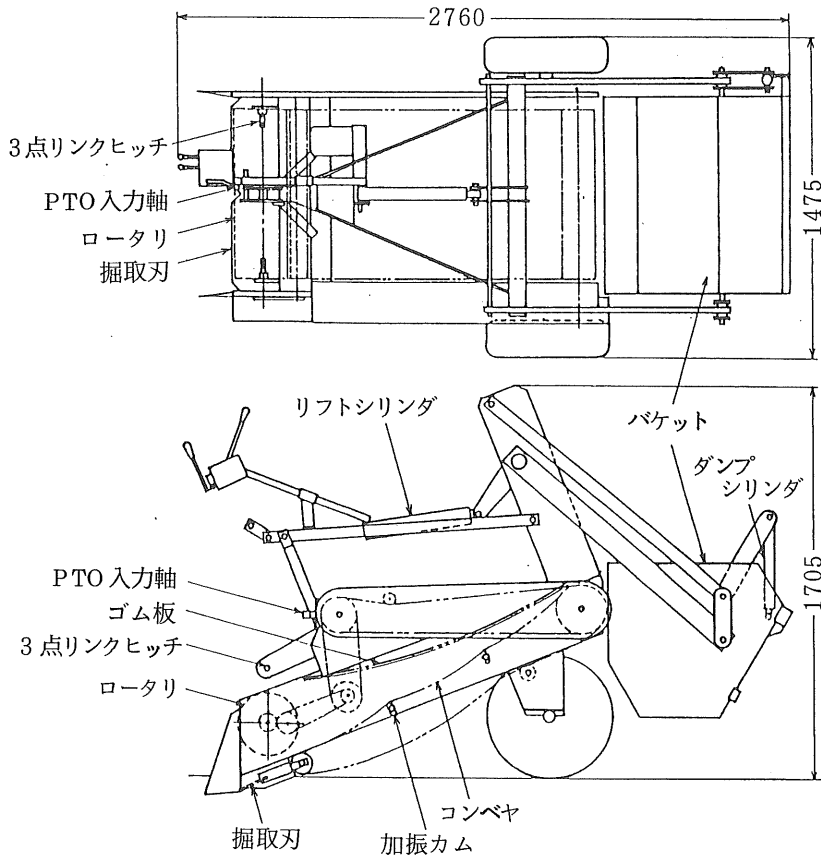


図3 試作1号機の概要

表10 残渣収集機1号機の仕様諸元

形式	トラクタ直装(牽引)2条用
作業工程	掘り取り-土篩-収納-搬出-荷降ろし
寸法	全長:2760mm、全幅:1475mm、全高:1705mm
質量	590kg
掘り取り刃	固定刃、作用幅:900mm、刃長:180mm、掘り取り角:25°
ロータリ	ダウンカット、回転直径:300mm、 爪本数:20本、間隔40mm、爪の配列:左右各10本内向き
コンベヤ	形式:リンクロッド(作用面上方に流量規制ゴム板装備) ロッド径:12mm、ピッチ:75mm、作用幅:900mm、軸間距離:1450mm 搬送角:25°、PTO310rpm時のコンベヤ搬送速度:1.55m/s
加振カム	形式:1回転2振幅、振幅:30mm
バケット	形式:油圧リフト・ダンプ式、容量:0.26m³、リフト高:1.7m
車輪	産業車両用ゴムタイヤ:6.00-9-6PR

5. 1. 2 試作1号機の試験方法

試作1号機の作業精度と能率を調査した。作業精度試験では、ハクサイとキャベツを対象に、走行速度、ロータリ・コンベヤ速度、コンベヤ加振カムの有無、土壌水分が異なるときの土篩い性能と拾上げ性能を調査した。土篩い性能は、バケット内に収納された残渣を、葉、茎根、混入土量に分類し質量を測定した。このとき根に付着した土はふるい落とし、残渣とともにバケット内に混入した土との合計をバケット混入土量とした。バケット内に収納した残渣に対する混入した土の質量割合を土・残渣比として土篩い性能を表わす指標とした。

拾上げ性能は、収集時に拾い残されたり、土とともに篩い落され、地中に埋没したり、圃場表面に露出した葉、茎根を、人力で集め、質量を測定した。全残渣量に対する拾い残した残渣の質量割合を求め、残渣拾い残し割合として、拾上げ性能の指標とした。

作業能率は、2a区画(畝長さ20m、畝数22、圃場傾斜3.5°)のキャベツ残渣を収集し、圃場端に置いた1.5t積みマニユアスプレッドに積み込む際の作業時間を調査した。

5. 1. 3 試作1号機の試験結果

作業精度の試験条件と結果を表11に、土篩い性能を図4に示す。

- ① 同一圃場条件では、走行速度を速めるにしたがって土篩い効果は低減した。適切な走行速度は土壌水分により異なるが0.3~0.5m/s程度とみられた。
- ② 附属農場のキャベツで、加振カムの有無で土篩いの効果を比較した結果、加振カムを作用させた方が、やや土篩い性能が良好であった。
- ③ 供試圃場の畝高さは、100mm程度であった。適正な掘取り深さは、畝高さにより変わる。試験は、予め平坦地で、トラクタの3点リンク調節レバー位置と残渣収集機の掘取り刃先端部の地上高を調べ、試験時はトラクタの3点リンク調節レバーの設定により掘取り深さを設定した。供試条件では、残渣収集機の掘取り刃先端部が畝の溝底に接する位置に掘取り深さを設定したとき、掘取り作業が順調に行えた。適正高さより40mm程度浅過ぎると掘取り刃前方に残渣が滞留した。掘取り深さが深くなるとバケット内に混入する土量が増大した。
- ④ 適正な深さで掘取ったとき、圃場に拾い残したキャベツ葉の割合(残渣拾い残し割合)は附属農場

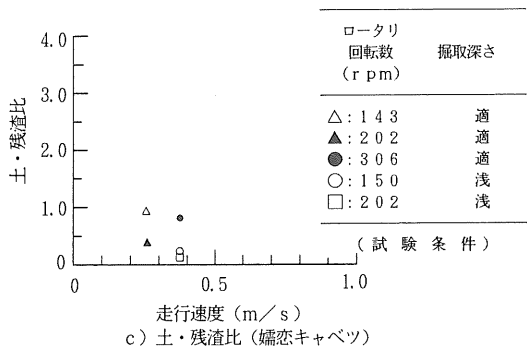
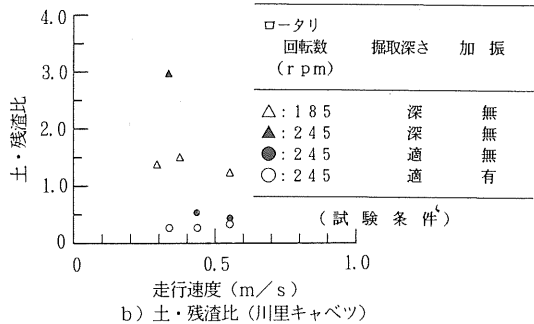
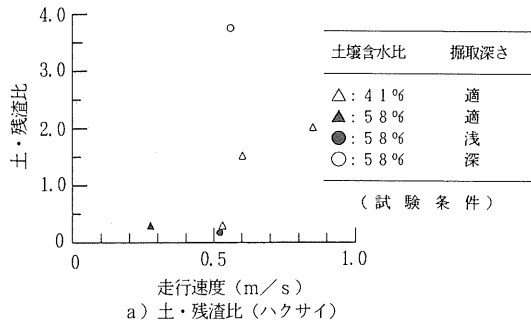


図4 試作1号機の作業精度試験結果

表11 試作1号機の精度試験条件と結果

試験場所	埼玉県大宮市(生研機構圃場)		埼玉県川里村(附属農場)		群馬県碓氷村(農家圃場)														
	昭61.6.16	昭61.6.18	昭61.7.8	昭61.7.9	昭61.10.8	M.F165(46kW)													
試験年月日	昭61.6.18		昭61.7.8		昭61.10.8														
供試トク	ヤンマー-YM3110D(23kW)		シバウラSD3943(29kW)		M.F165(46kW)														
土壌の種類	黒ボク土		灰色低地土		黒ボク土														
土のコシテジ-限界	$W_p=35.7\%$ 、 $W_L=42.6\%$ 、 $I_p=6.9\%$		$W_p=22.1\%$ 、 $W_L=33.0\%$ 、 $I_p=10.9\%$		$W_p=47.2\%$ 、 $W_L=53.6\%$ 、 $I_p=6.4\%$														
圃場傾斜	平坦		平坦		3.5°														
栽植様式	畝幅60cm、株間45cm		畝幅45cm、株間29cm		畝幅45cm、株間29cm														
対象作物(品種)	ハクサイ(耐病60日)		キャベツ(錦秋)		キャベツ(青葉)														
作物含水率(%)	-		-		葉85.6、莖根76.9														
土壌含水比(%)	40.5	57.8	33.0	80.1															
コンスタンス指数	0.30	-2.20	0.0	-4.14															
液性指数	0.70	3.20	1.0	5.14															
走行速度(m/s)	0.55	0.62	0.86	0.29	0.54	0.58													
ローリ回転数(rpm)	185		245		0.25	0.34													
コンヤ加振の有無	無		無		0.55	0.44													
掘取り深さ	適		浅		深		適		浅										
	適	浅	適	浅	適	浅	適	浅	適	浅									
拾い残し葉量(kg/m <sup>2</sup> )	-	-	-	-	0.03	0.60	0.10	0.12	0.20	0.13	0.18	0.27	0.18	0.20	0.27	0.47	0.31	0.20	
収集葉量(kg/m <sup>2</sup> )	0.88	0.88	1.29	1.24	2.75	2.65	2.88	3.27	2.88	3.15	3.47	3.35	2.68	1.90	1.68	1.67	0.93	0.67	
収集莖根量(kg/m <sup>2</sup> )	0.29	0.15	0.23	1.62	1.08	1.39	1.27	1.03	1.17	1.13	1.15	1.17	1.35	1.00	0.87	0.67	0.57	0.27	
ノット混入土量(kg/m <sup>2</sup> )	0.31	1.51	2.94	0.88	5.05	5.84	5.05	12.5	2.12	1.77	1.30	1.25	1.32	2.47	1.03	1.60	0.32	0.13	
残渣量(kg/m <sup>2</sup> )	1.17	1.03	1.52	2.86	2.85	2.03	3.87	4.64	4.25	4.42	4.80	4.78	4.22	3.10	2.82	2.80	1.81	1.13	
残渣拾残割合(%)	-	-	-	-	-	-	0.9	12.9	2.4	2.6	3.0	3.8	5.6	4.3	6.5	9.5	16.7	17.2	17.6
土・残渣比	0.27	1.46	1.94	0.31	0.20	3.66	1.32	1.45	1.22	0.41	0.28	0.28	0.33	0.85	0.41	0.69	0.21	0.14	

注1)「-」は未測定

注2)掘取り深さは、適は平坦地に定置した位置、「浅」は掘取り刃先端が地上50mmのとき、「深」は25mm下げた位置

注3)残渣量は、葉と莖根の合計値

注4)残渣拾い残割合は、残渣量に対する拾い残した葉の質量割合を示す。

注5)土のコシテジ-限界のうち、 $W_p$ は塑性限界を、 $G_L$ は液性限界を、 $I_p$ は塑性指数を示す。

(錦秋)では5%程度であった。嬌恋(青葉)では、走行速度に対してロータリ回転数とコンベヤ速度を1.7倍に速めたととき残渣拾い残し割合は17%と約3倍に増加した。また、掘取り深さが浅い場合も残渣拾い残し割合は17%程度と多い結果であった。

⑤ バケットに約100kgの残渣を収納した状態での残渣収集機の全質量は700kg程度となる。この状態で23kWトラクタに直装し、3点リンクで持ち上げると、前輪分担荷重が小さくなり、旋回しにくいことがあった。46kWトラクタでは旋回に支障がなかった。牽引式とした場合は、最小旋回半径が大きくなり旋回時間が長くなった。

⑥ ロータリを除いてキャベツ残渣を収集し、残渣の収納状態を観察した。外葉が茎に付着したままの状態での収納され、土篩いも十分でなく、バケットへの収納効率が低かった。ロータリを作用させると、キャベツの外葉は、茎から分離され、根とともに掘り上げられる土が砕かれるため、土篩い作用とバケットへの収納効率向上に有効な作用をしていた。

作業能率試験結果を表12に示す。

## 5.2 2号機の試作研究<sup>22)</sup>

### 5.2.1 2号機の試作

1号機の圃場試験結果をふまえて改良を図った、2号機を新たに試作した。

2号機の試作目標は、1号機の作業能率が低下した主要因である残渣収納部を改良し、作業能率の向上を図ることとした。

① 圃場作業量は、3a/hであり、圃場作業効率が26%

と低かった。

② キャベツ残渣を、2畝同時に約10m収集するとバケットに山状に積まれ、コンベヤ末端から残渣が漏れ始めたため、バケットへの積載効率は約50%と低かった。

③ 回行は、トラクタ直装用であり、トラクタの油圧3点リンクで、残渣収集機を持ち上げた状態で行うため、旋回半径が小さく容易に行え、作業時間割合は2.3%と少なかった。

④ 荷降ろしは、圃場の1個所を荷降ろし場所とし、約10mの収集作業毎に、移動して行った。バケットの揚程が1.7mあり、荷台上への荷降ろしは順調に行えた。しかし、荷降ろし回数が多いため、作業時間の72%を占め、バケットへの収納量を大幅に増大させ、作業効率を向上させる必要があった。

試作2号機の主な改良点は次の3点である。

① バケットの収納容量を0.80m<sup>3</sup>と1号機の約3倍に大きくした。

② ①の改造に伴い、全長を短く抑えるため、コンベヤ角度を35°と急にした。

③ 1号機は、23kWトラクタに直装し旋回する時、3点リンクで作業機を持ち上げると、トラクタの前輪分担荷重が小さくなり、操向に支障があった。2号機はバケット容量を大きくしたことにより、作業機質量が増すため、直装式であると旋回時の操向はさらに不安定になる。そこで、旋回は直装式に比べ操縦が難しく時間も要するが、リンケージドローバー牽引式に変更した。試作2号機の概要を図5に、仕様諸元を表13に示す。

表12 試作1号機の能率試験条件と結果

	作 業 時 間			
	収集	移動・荷降ろし	回行	総作業
実作業時間	10分20秒	28分20秒	55秒	39分35秒
10a当たり	51分40秒	2時間21分40秒	4分35秒	3時間17分55秒
割合(%)	26.1	71.6	2.3	100

注1) 試験場所：群馬県嬌恋村農家圃場、圃場傾斜：3.5°、土壌の種類：黒ボク土、供試作物(品種)：キャベツ(青葉)、残渣量：3.4kg/m<sup>2</sup>、作業速度：0.4m/s、ロータリ回転数：200rpm、畝長：20m、畝数：22、供試面積：2.14a

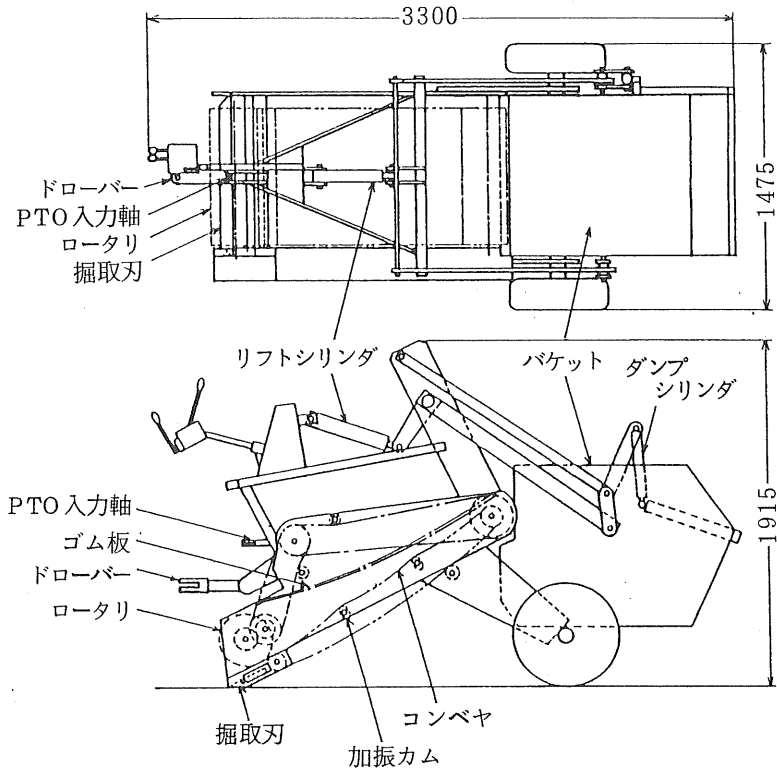


図5 試作2号機の概要

表13 残渣収集機2号機の仕様諸元

形式	トラクタ牽引2条用
作業工程	掘り取り-土篩-収納-搬出-荷降ろし
寸法	全長：3300mm、全幅：1475mm、全高：1915mm
質量	756kg
ヒッチ点荷重	300kg (バケット空載時)、228kg (577kg重錘積載時)
車輪荷重	456kg (バケット空載時)、1105kg (577kg重錘積載時)
掘取り刃	固定刃、作用幅：900mm、刃長：180mm、掘取り角：25°
ロータリ	ダウンカット、回転直径：300mm、 爪本数：20本、間隔40mm、爪の配列：左右各10本内向き PTO軸との回転数比：0.84、PTO310rpm時のロータリ回転数：260rpm
コンベヤ	形式：リンクロッド (作用面上方に流量規制ゴム板装備) ロッド径：12mm、ピッチ：75mm、作用幅：900mm、軸間距離：1450mm 搬送角：35°、PTO310rpm時のコンベヤ搬送速度：1.55m/s
加振カム	形式：1回転2振幅、振幅：30mm
バケット	形式：油圧リフト・ダンプ式、容量：0.8m <sup>3</sup> 、リフト高：1.7m
車輪	産業車両用ゴムタイヤ：6.00-9-6PR

## 5. 2. 2 試作2号機の試験方法

試作2号機の作業精度試験、作業能率試験と牽引試験を行った。

作業精度試験では、ハクサイとキャベツを対象に、土壌水分、掘取り深さ、走行速度、ロータリ・コンベヤ速度が異なるときの土篩い性能と拾上げ性能を調査した。

孺恋村では、キャベツの収穫物搬出は、圃場内にトラクタを乗り入れ、トラクタ用リアキャリアを利用して行っている。この通路となる部分の残渣はトラクタ車輪で踏みつぶされた状態となる。作業精度試験で供試した材料は、搬出用の通路部分は除外した。なお、残渣収集機の作業幅が900mmであるのに対し、供試トラクタの輪距が1300mmと広いため、1方向作業を行ったとき、未収集部の残渣をトラクタ車輪で踏圧する。試験No.19~21は、トラクタ車輪による踏圧がない条件とし、試験No.22~24は、1区1畝として連続作業し、トラクタ車輪で踏圧した残渣を供試した。

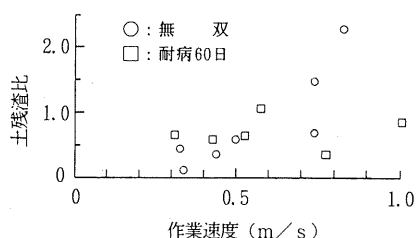
能率試験圃場は、土壌含水比が85~94%と高い条件であった。さらに圃場傾斜が約5°であったため、上り方向では、トラクタ車輪がスリップして作業が行えず、下り1方向作業とした。下り作業の1行程が終ると試験区画に隣接した道路を移動して、道路上で、残渣運搬のためのマニュアルブレッダに荷降ろしし、次の行程に移動した。バケットへの積み込み状態が均一でないため、36mの畝の中間で1回バケットを油圧ダンプで傾斜させ、バケット内の残渣を後方に移す操作をした。

牽引試験は、舗装路面(平坦地、5°の傾斜地)では、掘取り刃を持ち上げて走行抵抗を測定し、乾燥した裸地畑では、走行抵抗と掘取り作業時の牽引抵抗(走行抵抗+掘取り抵抗)を測定した。掘取り作業時と空走時は、車輪の分担荷重が変わり、走行抵抗も異なるものと思われる。しかしここでは、同一条件で掘取り作業時と、空走時の走行抵抗の差は無視できるほど小さいものと仮定し、それぞれの作業時の牽引抵抗の差を掘取り抵抗とした。試験区は、路面条件、走行速度、バケットへの荷重(質量577kg)の有無、掘取りの有無の各区とした。試験では、トラクタ作業機用牽引抵抗測定装置(農機研検査部第3検査室、昭和60年試作)<sup>2,3)</sup>を使用し、牽引抵抗とトラクタPTO動力を測定した。

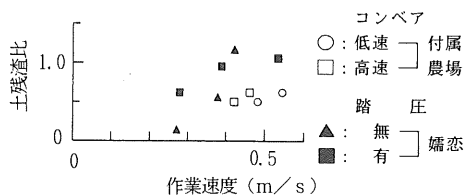
## 5. 2. 3 試作2号機の試験結果

作業精度試験条件と結果を表14に、土・残渣比と残渣拾い残し割合を図6に示す。

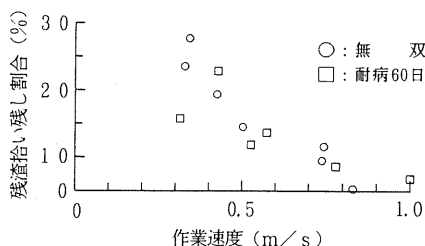
- ① バケットの収納量は、土・残渣比が1程度に土が混入したハクサイ残渣を収納したとき、約600kgであった。
- ② 掘取刃の高さは、深いと土の混入量が増大し、浅いと残渣が掘取刃の前方に滞留した。掘取刃の先端の高さを畝の溝底程度とした場合、拾上げコンベヤへの残渣の流れが順調であった。
- ③ ハクサイ残渣(附属農場)：作業速度が0.2~1.0m/sの範囲では、速めるにしたがい残渣拾い残し割合は減少した。なお土・残渣比の差は明かでない。



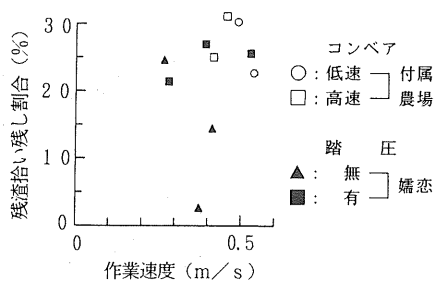
a) 土残渣比 (ハクサイ)



b) 土残渣比 (キャベツ)



c) 残渣拾い残し割合 (ハクサイ)



d) 残渣拾い残し割合 (キャベツ)

図6 試作2号機の作業精度試験結果

表14 試作2号機の精度試験条件と結果

試験場所	埼玉県川里村(附属農場)				群馬県藤原村(農家圃場)																			
試験年月日	昭62.6.17				昭61.7.9																			
供試トラクタ	イセキT5020(3.7kW)				MF165(4.6kW)																			
土壌の種類	灰色低地土				黒ボク土																			
土のコンスタント限界	W <sub>p</sub> =22.1%, W <sub>L</sub> =33.0%, I <sub>p</sub> =10.9%				W <sub>p</sub> =47.2%, W <sub>L</sub> =53.6%, I <sub>p</sub> =6.4%																			
圃場傾斜	平坦				4.7~4.8°(2.3~3.8°)																			
対象作物(品種)	ハクサイ(無双)				キャベツ(北ひかり)																			
土壌含水比(%)	32.7				27.8																			
コンスタント指数	0.03				0.48																			
液性指数	0.97				0.52																			
試験番号	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24				25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100																			
走行速度(m/s)	0.28 0.34 0.33 0.44 0.50 0.75 0.74 0.83 0.32 0.43 0.53 0.58 0.78 1.04 0.49 0.54 0.42 0.46 0.27 0.38 0.42 0.28 0.39 0.53				0.28 0.34 0.33 0.44 0.50 0.75 0.74 0.83 0.32 0.43 0.53 0.58 0.78 1.04 0.49 0.54 0.42 0.46 0.27 0.38 0.42 0.28 0.39 0.53																			
ロータ回転数(rpm)	222				444																			
掘取り深さ(mm)	深				適																			
拾い残し葉量(kg/m <sup>2</sup> )	0.60	0.80	0.58	0.37	0.33	0.22	0.23	0.13	0.50	0.79	0.27	0.29	0.32	0.12	0.42	0.45	0.30	0.45	0.67	1.00	0.56	0.83	1.00	0.78
収集葉量(kg/m <sup>2</sup> )	0.87	0.95	1.17	0.93	0.97	0.80	1.20	1.60	1.41	1.68	1.02	0.82	1.62	0.78	1.00	1.48	0.87	1.07	1.00	2.09	3.24	3.11	2.71	2.24
収集茎根量(kg/m <sup>2</sup> )	0.53	1.03	0.77	0.62	1.02	0.90	1.00	1.40	1.24	0.95	0.95	0.95	1.63	0.78	0.37	0.52	0.33	0.37	0.40	0.93	0.93	0.80	0.73	0.62
屑土混入土量(kg/m <sup>2</sup> )	2.50	0.17	0.78	0.53	1.17	1.15	3.27	6.82	1.71	1.54	1.19	1.85	1.20	1.32	0.58	1.15	0.53	0.85	0.16	1.62	4.89	2.33	3.22	3.36
残渣量(kg/m <sup>2</sup> )	2.00	2.78	2.52	1.92	2.32	3.13	1.92	2.43	3.15	3.42	2.23	2.06	3.57	1.69	1.78	2.45	1.50	1.88	2.07	4.02	4.73	4.74	4.44	3.64
残渣拾い割合(%)	30.0	28.7	23.2	19.1	14.4	4.3	11.3	9.6	15.7	23.1	11.9	13.9	8.9	7.1	23.4	18.4	20.0	23.9	32.3	24.9	11.7	17.6	22.5	21.3
土・残渣比	1.79	0.08	0.41	0.34	0.59	2.27	0.68	1.48	0.64	0.59	0.61	1.04	0.37	0.84	0.43	0.58	0.44	0.59	0.11	0.54	1.17	0.60	0.94	1.17

注1) 圃場傾斜は進行方向の傾斜を示す。○内進行方向に対し直角方向の傾斜を示す。

注2) 掘取り深さは、「適」は平坦地に掘取り刃を定置した位置、「浅」は掘取り刃先端が地上36mmのとき、「深」は36mm下げた位置。

注3) 残渣量は、葉と茎根の合計値を示す。

注4) 残渣拾い残し割合は、残渣量に対する拾い残した葉の質量割合を示す。

注5) コンベヤはカムで加振した。

注6) 試験番号22~24の供試残渣は、トラクタ車輪が1回通過し踏みつぶした状態のものを供試した。

注7) 土のコンシステンシー限界のうち、W<sub>p</sub>は塑性限界を、G<sub>L</sub>は液性限界を、I<sub>p</sub>は塑性指数を示す。

④ キャベツ残渣(附属農場)：作業速度を一定としてコンベヤ、ロータリ速度を2倍に速めた場合の、土・残渣比の差は明かではなかった。バケット内の残渣の収納状態は、コンベヤ速度を速めた場合、遅い場合に比べて均一であったが、バケット後方から残渣が漏れ落ちることがあった。

⑤ キャベツ残渣(孺恋村)：作業速度が0.3~0.5 m/sの範囲では、作業速度が速いほど、またトラクタ車輪で残渣を踏みつけた場合の方が、土・残渣比が増大した。

能率試験条件と結果を表15に示す。

- ① 圃場作業量は3.7a/h、作業効率は29%であった。1号機では、畝長10mの残渣を収集すると荷降ろしをする必要があったが、2号機は、バケット容量を1号機の3倍にしたことにより、畝長36mの残渣を収納でき、荷降ろし回数が減った。しかし、牽引式に変更したため旋回時間は長くなった。この結果、1号機に比べて能率が約20%向上した。
- ② 進行方向と直角方向の圃場傾斜が2~4°あったため、コンベヤ内で残渣が片寄って搬送される傾向があり、バケット内に片寄って収納された。また、コンベヤ末端で残渣を放出する作用が少なく、バケット内でコンベヤ側に収納される傾向があった。しかし、バケットのダンプ操作をすることにより、畝長36m分のキャベツ残渣をバケットへ収納することができた。
- ③ 平坦な圃場(附属農場)で、往復作業の際の枕地での旋回時間は、直装式の1号機で1回当たり6s程

度であったのに対し、牽引式では2~3min程度を要した。

牽引試験条件と結果を表16に、牽引抵抗を図7に示す。

- ① コンクリート路面での牽引抵抗、牽引動力は、速度0.3~0.9m/sの範囲では、無載荷の場合98~127N、0.03~0.12kW、577kg載荷時196~217N、0.05~0.19kWであり、転がり抵抗係数<sup>24)</sup>は0.02~0.03であった。
- ② 12%勾配のコンクリート傾斜路では、牽引抵抗1744N、牽引動力0.44kWであり、平坦コンクリート路面の牽引抵抗196Nに車輪荷重とヒッチ点荷重の傾斜方向分担荷重1556Nの合計値1752Nとほぼ等しかった。
- ③ 畑地での牽引抵抗、牽引動力は、無載荷時421~451N、0.18~0.27kW、載荷時1029~1088N、0.26~0.54kWであり、転がり抵抗係数は0.09~0.10であった。
- ④ 掘取り抵抗は、無載荷時961~1048N、載荷時930Nであった。0.39m/sの試験では、掘取りがやや深く、このとき1550Nと大きくなった。圃場走行時の進行低下率は5~7%、掘取り時の進行低下率は7~10%であった。
- ⑤ 2号機の駆動に要するトラクタのPTOトルクは、PT0310~340rpmで無負荷時に29Nm、土掘取り時39~59Nm程度であり、PTO所要動力は、1.4~2.2kWであった。

表15 試作2号機の能率試験条件と結果

作業速度 (m/s)	作 業 時 間						
	収集	移動	荷降ろし	回行	バケット操作	総作業	
0.46	実作業時間：	6分11秒	5分16秒	3分49秒	4分40秒	1分17秒	21分13秒
	10a当たり：	45分2秒	38分20秒	27分45秒	34分7秒	9分23秒	2時間34分56秒
	割合(%)：	29.1	24.8	18.0	22.0	6.1	100
0.42	実作業時間：	6分42秒	7分05秒	4分53秒	3分26秒	37秒	23分43秒
	10a当たり：	48分58秒	51分47秒	35分42秒	25分6秒	4分30秒	2時間40分16秒
	割合(%)：	29.5	31.2	21.5	15.1	2.7	100

注1) 試験場所：群馬県孺恋村農家圃場、圃場傾斜：4.7~4.8°、土壌の種類：黒ボク土、  
供試作物(品種)：キャベツ(青葉)、残渣量：3.6~4.7kg/m<sup>2</sup>  
1試験区の供試面積：1.4a、畝長：36m、畝数：8畝



表16 試作2号機の牽引試験条件と結果

試験場所	コンクリート路面 (平坦)		傾斜路		裸地畑											
試験年月日	昭63.5.18		昭63.5.20		昭63.5.20											
供試トラクタ	クボタM5950DT (4.3Kw)															
走行速度 (m/s)	0.27	0.52	0.9	0.27	0.51	0.87	0.25	0.5	0.37	0.67	0.39	0.65	0.4	0.65		
載荷の有無	無		有		有				無							
掘取りの有無	無		有		有				無							
土のコンタクト-限界	-		-		-				W <sub>p</sub> =35.7%、W <sub>L</sub> =42.6%、I <sub>p</sub> =6.9%							
土壌含水比(%)	-		-		-				40.3							
コンタクト-指数	-		-		-				0.33							
液性指数	-		-		-				0.67							
PTO回転数 (rpm)	-		-		-				320±3		335±1		316±2		309±1	
PTO動力 (kW)	-		-		-				1.38		2.22		1.38		1.44	
牽引抵抗 (N)	98	108	127	196	217	217	1744	1088	1029	1960	2646	1499	1382	451	421	
同上標準偏差	29	29	29	59	59	59	137	118	196	206	294	245	118	127	59	
牽引動力 (kW)	0.03	0.06	0.12	0.05	0.11	0.19	0.44	0.26	0.54	0.73	1.77	0.59	0.90	0.18	0.27	
進行低下率 (%)	-		-		-				7.0	7.2	9.3	9.7	7.0	6.7	5.5	5.0
転がり抵抗係数	0.022	0.024	0.029	0.018	0.020	0.020	0.020	0.095	0.100	-	-	-	-	0.101	0.094	

注1) 試験場所：大宮市生研機構内

傾斜路は、6.84° (12%勾配) のコンクリート路面

圃場は、黒ボク土の裸地

注2) 載荷有りは、質量577kgの重錘をバケットに載荷した状態

注3) 掘取り無しは、掘取刃の地上高を50mmとして、掘取り作業を行わないで走行した状態

注4) 転がり抵抗係数は、(牽引抵抗 ÷ 車輪荷重) で計算した値(2)

注5) 進行低下率は、牽引トラクタの進行低下率を示す。

注6) 土のコンタクト-限界のうち、W<sub>p</sub>は塑性限界を、G<sub>L</sub>は液性限界を、I<sub>p</sub>は塑性指数を示す。

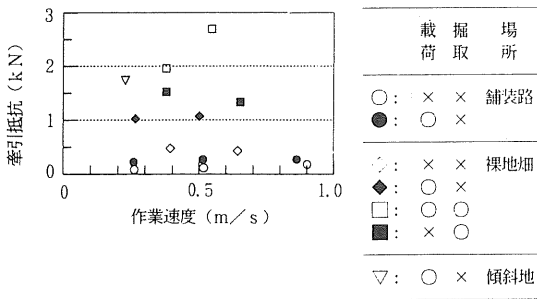


図7 試作2号機の牽引抵抗

5. 2. 4 牽引抵抗の検討

市販作業機のうち、大型の牽引式作業機であるポテトハーベスタ（食用、澱原用）とビートハーベスタの牽引抵抗とそれに関連する項目について、昭和53年から昭和62年の型式検査成績表から調査した。調査結果の概要を表17に示す。

試作2号機は、最大積載量が約600kgで、作業機質量が780kgの大きさであり、これは小型ビートハーベスタ（半直装式）に相当する大きさである。試作2号機の平坦地での牽引抵抗は約2kNであったが、牽引抵抗の小さいビートハーベスタと同程度であった。しかし、傾斜地では、さらに牽引抵抗が大きくなり、作業能率が低下したため、この軽減対策が必要となった。

牽引抵抗軽減対策としては、掘取り抵抗の軽減と走行抵抗の軽減対策がある。

掘取り抵抗を軽減するには、固定刃を振動式に変更する方法があるが、構造が複雑になることから採用しなかった。また、固定刃をなくし、コンベヤで掘り取る方式が考えられるが、フレーム強度の点に問題があった

表17 ポテトハーベスタとビートハーベスタの牽引抵抗

項目	食用ポトハーベスタ	澱原用ポトハーベスタ	ビートハーベスタ
作業機質量 (kg)	3880~2020	2680~1750	2250~850
タンク容量 (m³)	2.9~1.3	3.8~1.4	4.6~1.2
最大積載量 (kg)	2090~350	2800~1160	3200~690
ヒッチ点荷重 (kg)	1580~310	1620~220	1440~440
車輪荷重 (kg)	4483~1710	3860~1545	4045~1485
タイヤサイズ	9.00-13~13.0/65-18	9.00-13~12.5-15	6.00-14~9.00-20
牽引抵抗 (kg)	870~435	790~268	710~110

注1) 最大積載量：タンクに最大積載できるバレイショ、ビートの質量

注2) ヒッチ点荷重：タンクに最大量積載したときのヒッチ点荷重

注3) 車輪荷重：タンクに最大量積載したときの左右車輪の荷重

注4) 牽引抵抗：掘取り作業中に測定した値で、掘取り抵抗と車輪の走行抵抗の合計値

注5) ビートハーベスタは半直装式を含む

め、固定刃の刃幅をできる限り狭くすることとした。走行抵抗の軽減対策として、車輪の接地圧を減らすことが有効であり、ダブルタイヤ、大径化、広幅化の方法などがある。濡恋において土壌が湿った状態で作業すると、作業機車輪が100mm程度沈下していたことから、タイヤサイズを6.00-9から7.50-16に広幅大径化することとした。なお、コンクリート路面でトラクタの牽引力を高めるには、ヒッチ点荷重を増すことが有効であるが、軟弱な圃場では、トラクタ車輪が滑るとともに、沈下して走行不能になったことから、残渣収集機の手輪位置を後方に移してトラクタヒッチ点荷重を増すことは有効でない。また、牽引用トラクタへの対策は除外した。

5. 3 3号機の試作研究

5. 3. 1 3号機の試作

2号機の試験結果をふまえ、改良を加え、3号機を試作した。

3号機の試作目標は、パケットの収納量を増大したことに伴い生じた、走行性の問題を改善し、作業能率の向上を図ることとした。

試作3号機の改良点は次の4点である。

- ① 掘取り抵抗を小さくするため掘取刃の刃幅を狭くした。
- ② 走行抵抗を小さくするため車輪を大径広幅タイヤに変更した。
- ③ 拾い残しを減すため、コンベヤに一定間隔の爪をつけた。
- ④ 残渣の流動を良好にするため、左右フレーム前部にディスクコルタを新たに設けた。

試作3号機の概要を図8に、仕様諸元を表18に示す。

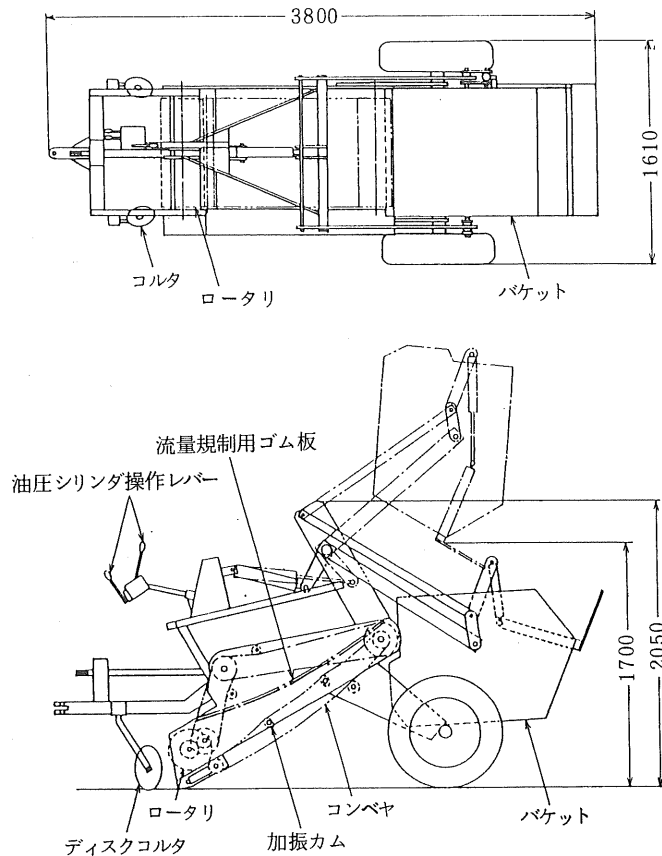


図8 試作3号機の概要

表18 残渣収集機の仕様諸元

形式	トラクタ牽引2条用
作業工程	掘り取り-土篩-収納-搬出-荷降ろし
寸法	全長：3800mm、全幅：1610mm、全高：2050mm
質量	950kg
ヒッチ点荷重	292kg (バケット空載時)、239kg (577kg重錘積載時)
車輪荷重	658kg (バケット空載時)、1288kg (577kg重錘積載時)
ディスクコルタ	掘取刃前方左右各1枚、径350mm、進行方向に対し30°内向き
掘取り刃	固定刃、作用幅：900mm、刃長：50mm、掘取り角：25°
ロータリ	ダウンカット、回転直径：300mm、 爪本数：20本、間隔40mm、爪の配列：左右各10本内向き
コンベヤ	形式：リンクロッド (作用面上方に流量規制ゴム板装備) ロッド径：12mm、ピッチ：75mm、作用幅：900mm、軸間距離：1450mm 搬送角：40°、PTO310rpm時のコンベヤ搬送速度：1.55m/s
加振カム	爪：径10mm、長さ20mm、200×100mm間隔 形式：1回転2振幅、振幅：30mm
バケット	形式：油圧リフト・ダンブ式、容量：0.8m <sup>3</sup> 、リフト高：1.7m
車輪	トラック用スノータイヤ：7.50-16-12PR

5. 3. 2 試作3号機の試験方法

タイヤと掘取刃の変更による走行性改善の効果を把握するため、牽引抵抗を測定した。また、掘取刃、コンベヤ傾斜角度、コンベヤに爪を付加したことによる作業精度への影響を調査した。

牽引試験は、舗装路面（平坦地、5°の傾斜地）では、掘取刃を持ち上げて走行抵抗を測定し、乾燥した裸地畑とキャベツ畑では、走行抵抗と掘取り作業時の牽引抵抗（走行抵抗+掘取り抵抗）を測定した。試験区は、路面条件、走行速度、バケットへの載荷（質量577kg）の有無、掘取りの有無の各区とした。

作業精度試験は、キャベツを対象に、土壌条件と走行速度が異なるときの土篩り性能と拾上げ性能を調査した。

また、作業能率を試算するため、附属農場でキャベツ残渣の収集作業を行い、旋回時間、荷降ろし時間を調査した。

5. 3. 3 試作3号機の試験結果

牽引試験条件と結果を表19に、牽引抵抗を図9に、大宮圃場の円錐貫入抵抗を図10に示す。

試作3号機は、車輪の変更等の改造により、質量が194kg増加したが、コンクリート路上での牽引抵抗は、2号機とほぼ同じであった。

畑地で577kgの載荷がある時、牽引抵抗は930~950Nで98~137N少なくなり、掘取り抵抗は637~1136Nで300~400N（27~32%）減少した。畑地で無載荷の時、牽引抵抗は490~608Nで69~157N増加し、掘取り抵抗は637~755Nで300N（30%）程度少なくなった。このことから、掘取刃の刃幅を狭くしたことにより掘取り抵抗は減少した。また、タイヤの大径化の効果は、質量増加のため、バケットに載荷していないときは走行抵抗は増加したが、残渣を満載した程度にバケットに載荷した条件では、2号機より走行抵抗が軽減され、改良の効果が認められた。

作業精度試験条件と結果を表20に示す。孺恋圃場の円錐貫入抵抗を図11のとおりで、大宮圃場に比べ、20~40cmの深さに耕盤がなく、軟らかい状態であった。孺恋圃場での作業時の様子を図12に、バケットに収納した残渣を図13に、運搬車への荷降ろしの状態を図14に、孺恋圃場で残渣収集後の様子（残渣拾い残し割合10.4%）を図15に、作業精度試験結果を図16に示す。掘取刃の刃幅を狭くし、コンベヤ傾斜を急角度にしたことに対する対策として、コンベヤに爪を追加したことは、拾上げ性能の改善に効果があり、残渣拾い残し割合は12~22%程度

で、試作2号機に比べ拾上げ性能が改善された。また、残渣の流動を良好にするため、左右フレーム前部に新たに設けたディスクコルタにより、掘取刃の幅は90cmであるが、条間が60cmの場合でも2条分のキャベツ残渣を収集することができた。

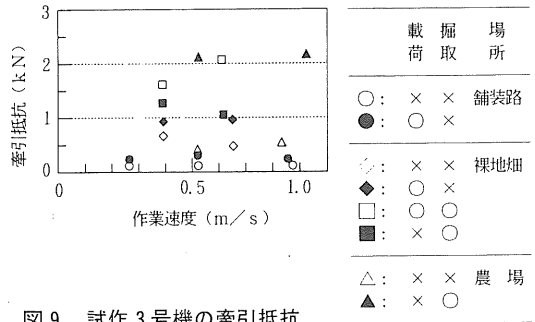


図9 試作3号機の牽引抵抗

(試験条件)

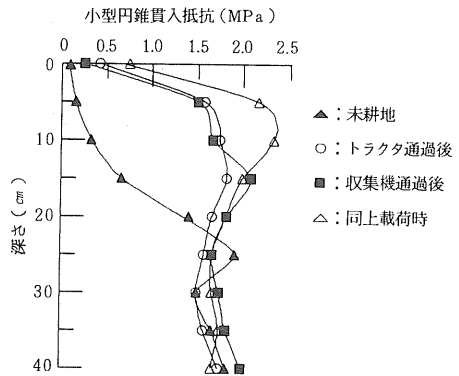


図10 牽引試験大宮圃場の円錐貫入抵抗

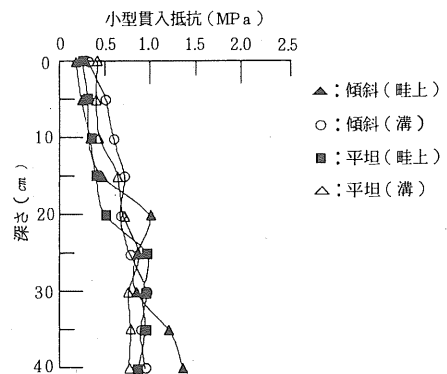


図11 精度試験孺恋圃場の円錐貫入抵抗

表19 試作3号機の牽引試験条件と結果

試験場所	埼玉県大宮市 生研機構			埼玉県川里村 附属農場															
	コンクリート路面 (平坦)			畑															
試験年月日	昭63.11.16						昭63.11.22												
供試トラクタ	クボタM5950DT (4.3KW)																		
走行速度(m/s)	0.27	0.52	0.87	0.27	0.52	0.86	0.39	0.66	0.39	0.63	0.66	0.55	0.92	0.52	0.85				
載荷の有無	無			有			無			有			無						
掘取りの有無	無			有			無			有			無						
土のコシガタノ限界	-						W <sub>p</sub> =35.7%, W <sub>t</sub> =42.6%, I <sub>p</sub> =6.9%						W <sub>p</sub> =22.1%, W <sub>t</sub> =33.0%, I <sub>p</sub> =10.9%						
土壌含水比(%)	-						40.3						21.1						
コシガタノ指数	-						0.33						1.09						
液性指数	-						0.67						-0.09						
PTO回転数(rpm)	-			315	-	315	304	319	310	310	310	447	442	-	-	-			
PTO動力(kW)	-			1.44	-	1.32	1.32	1.44	1.38	1.38	1.38	2.57	2.95	-	-	-			
牽引抵抗(N)	108	108	108	206	216	196	831	931	851	1568	2087	1245	1029	608	490	2156	2215	333	637
同上標準偏差	39	29	29	118	108	59	245	147	294	412	118	118	216	167	176	274	167	176	206
牽引動力(kW)	0.03	0.06	0.09	0.06	0.11	0.17	0.36	0.63	0.61	1.30	0.49	0.65	0.65	0.24	0.32	1.19	2.04	0.17	0.54
進行低下率(%)	-			-			11.5	11.8	14.0	12.0	12.4	12.3	11.4	11.7	11.9	14.5	11.5	11.6	11.6
転がり抵抗係数	0.017	0.017	0.017	0.016	0.017	0.016	0.074	0.074	0.075	0.075	-	-	-	0.094	0.076	-	-	0.075	0.094

注1) 載荷有りは、質量57.7kgの重錘をノケットに載荷した状態  
 注2) 掘取り無しは、掘取刃の地上高を50mmとして、掘取り作業を行わないで走行した状態  
 注3) 転がり抵抗係数は、(牽引抵抗÷車輪荷重) で計算した値2.2)  
 注4) 進行低下率は、牽引トラクタの進行低下率を示す。  
 注5) 土のコシガタノ指数のうち、W<sub>p</sub>は液性限界を、G<sub>t</sub>は液性限界を、I<sub>p</sub>は塑性指数を示す。

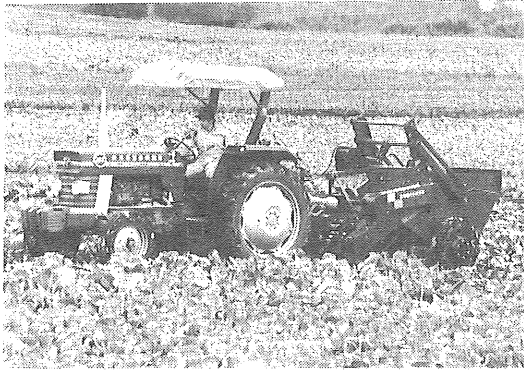


図12 孺恋圃場で作業時の試作3号機

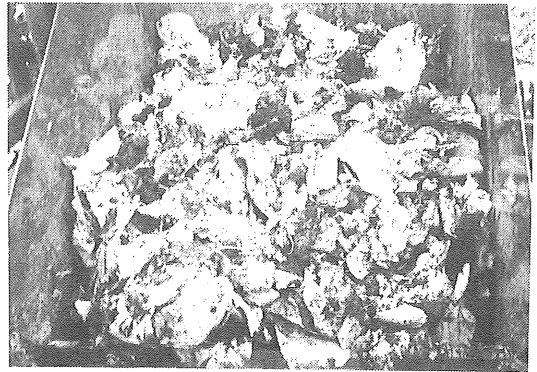


図13 バケツに収集した残渣

表20 試作3号機の精度試験条件と結果

試験場所	群馬県孺恋村(農家圃場)		埼玉県川里村(附属農場)		
試験年月日	昭63.9.19	昭63.9.20	昭63.11.22		
供試トラク	MF165(46kW)		クボタM5950DT(43kW)		
土壌の種類	黒ボク土		灰色低地土		
土のコンシステンシー限界	W <sub>p</sub> =47.2%、 W <sub>L</sub> =53.6%、 I <sub>p</sub> =6.4%	W <sub>p</sub> =45.2%、 W <sub>L</sub> =53.3%、 I <sub>p</sub> =8.1%	W <sub>p</sub> =22.1%、 W <sub>L</sub> =33.0%、 I <sub>p</sub> =10.9%		
圃場傾斜	4°		平坦		
対象作物(品種)	キャベツ(青葉)		キャベツ(南宝)		
土壌含水比(%)	70.0	87.8	21.1		
コンシステンシー指数	-2.56	-4.26	1.09		
液性指数	3.56	5.26	-0.09		
走行速度(m/s)	0.37		0.74	0.28	0.55
ロータリ回転数(rpm)	140				
掘取り深さ(mm)	適				
拾い残し葉量(kg/m <sup>2</sup> )	0.36	0.50	0.39	0.29	0.21
収集葉量(kg/m <sup>2</sup> )	2.34	2.87	3.40	0.72	0.90
収集茎根量(kg/m <sup>2</sup> )	0.81	1.27	2.04	0.30	0.85
バケツ混入土量(kg/m <sup>2</sup> )	2.01	3.51	7.36	0.08	0.17
残渣量(kg/m <sup>2</sup> )	3.51	4.63	5.83	1.31	1.96
残渣拾い残し割合(%)	10.4	10.8	6.7	22.3	10.6
土・残渣比	0.64	0.85	1.35	0.08	0.10

- 注1) 圃場傾斜は進行方向の傾斜を示す。( )内進行方向に対し直角方向の傾斜を示す。  
 注2) 掘取り深さは、「適」は平坦地に掘取り刃を定置した位置、「浅」は掘取り刃先端が地上36mmのとき、「深」は36mm下げた位置  
 注3) 残渣量は、葉と茎根の合計値を示す。  
 注4) 残渣拾い残し割合は、残渣量に対する拾い残した葉の質量割合を示す。  
 注5) コンベヤはカムで加振した。

土篩い性能は、小雨で土壌含水比が88%と高く、作業速度が0.7m/sと速いとき土・残渣比が1.4と高かったが、土壌が乾燥した条件では0.1～0.3と低く良好な結果であった。圃場傾斜が4°で、土壌含水比が70%とやや湿って軟弱な土壌条件での試験の結果、試作2号機は、ほぼ同様な条件で、46kW2 駆トラクタによる上り方向の残渣収集作業ができなかったが、試作3号機では作業が可能であり、走行性が改善された。

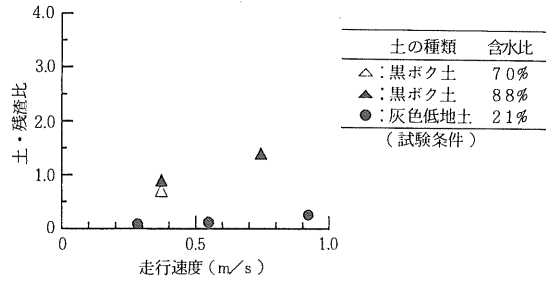


図16 試作3号機の作業精度試験結果

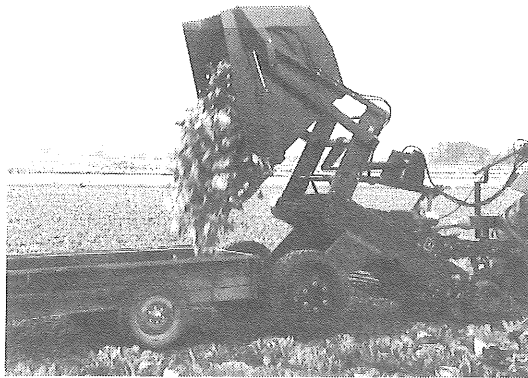


図14 運搬者への荷降ろし

### 5. 3. 4 試作3号機の能率試算

附属農場における精度試験圃場で、試作3号機を46kWトラクタに装着したときの最小旋回半径は242cmであった。畝長50m、作業幅90cmでキャベツ残渣を収集し、回行し、100kgのキャベツ残渣を荷降ろしし、次の作業行程に移るときの所要時間は、図17に示すように1回当たり2分28秒であった。

旋回のための枕地は、3.6m必要で、圃場両端に枕地がない場合は、3.6mの枕地処理として、畝と直角方向に4行程、両端で8行程の処理が必要で、枕地がある場合に比べて、旋回回数が8回増える。

ここでは、圃場両端に農道等の旋回に利用できるスペースがあり、枕地は設けられていなかったため、圃場作業量は、実作業と旋回・荷降ろしのみでの所要時間から、次のように試算した。

$$\text{理論作業時間は } T_1 = \frac{10}{36v \cdot w} \text{ となる。}$$

$$10a \text{ 当たりの旋回回数は、} n_a = \frac{1,000}{w \cdot L} \text{ となり、}$$

10a 当たりの荷降ろし回数  $n_b$  は、バケットの収納量を畝長50mに相当する残渣量として、50m 作業毎に荷降ろしするとすると、

$$n_b = \frac{1,000}{50w} \text{ となる。}$$

よって、10a 当たりの旋回・荷降ろし時間は

$T_a = t_b \times n_b + t_c \times (n_a - n_b)$  となる。10a 当たりの作業時間は、 $T = T_1 + T_a$ 、圃場作業量は  $C = 1/T$ 、圃場作業効率は  $E = C_1/C$  となる。



図15 残渣収集後の圃場

ここで、

10a 当たり理論作業時間:  $T_t$  (h/10a)

10a 当たり作業時間:  $T$  (h/10a)

圃場作業量:  $C$  (a/h)

理論作業量:  $C_t$  (a/h)

圃場作業効率:  $E$

作業速度:  $v$  (m/s)

作業幅:  $w$  (m)

畝長:  $L$  (m)

10a 当たりの旋回回数:  $n_s$

10a 当たりの旋回荷降ろし回数:  $n_b$

10a 当たり旋回・荷降ろし時間:  $T_s$  (h)

1 回当たりの旋回・荷降ろし時間:  $t_s$

1 回当たりの旋回時間:  $t_c$  とした。

条間60cm、作業幅 $w=1.2$ m、畝長 $L=50$ mの条件で、作業速度 $v=0.4$ m/sで残渣を収集し、運搬車に荷降ろしするまでの圃場作業量 $C=7.4$ a/hとなり、圃場作業効率 $E=0.42$ となる。また、作業幅 $w=90$ cm、畝長 $L=25$ m、50mとし、作業速度 $v=0.3\sim 0.8$ m/s、 $t_b=148$ s、 $t_c=101$ sとして試算した圃場作業量を図18に示す。このことから、試作3号機は、畝長が50mのとき、土壌条件が良好で作業速度0.4m/s以上で作業が行えれば、5a/h以上の圃場作業量が可能である。

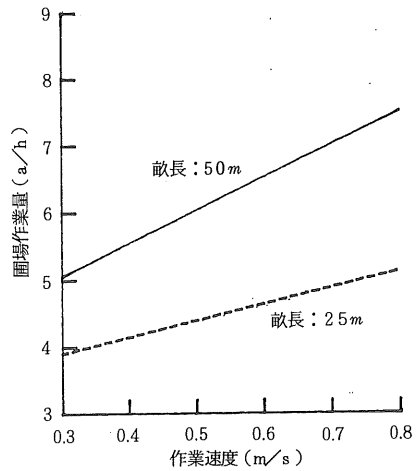


図18 試作3号機の圃場作業量試算

6. 摘要

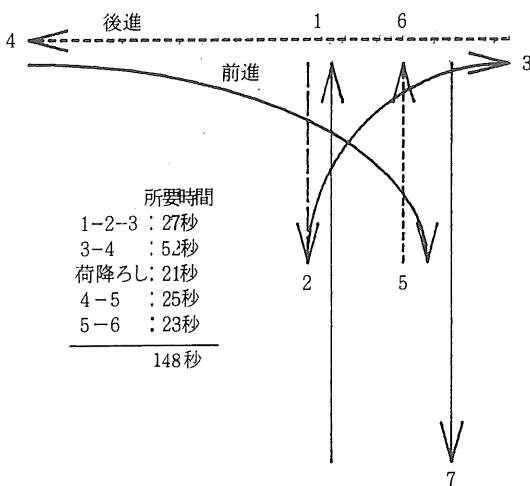
キャベツ・ハクサイの連作障害対策として、残渣を能率的に収集搬出することを目的に、残渣収集機を開発し、性能試験を行った。その経過をまとめると次のようになる。

1) 市販されている諸種の他用途作業機を転用して残渣収集試験を行った結果、掘取刃、拾上げコンベヤ、収納バケットからなるトラクタ直装用ストーンピッカが、残渣拾上げ性能と土篩い性能を改善すれば、残渣収集機として利用できる見通しを得た。

2) 試作1号機は、市販ストーンピッカに、新たにロータリとコンベヤ加振装置を備え、残渣拾上げ性能と土篩い性能の向上を図った。作業精度については、土壌水分が高く、作業速度が速く、掘取り深さが深いほど残渣とともにバケットに混入する土量が増大する傾向があった。圃場に拾い残した葉の割合は、5~15%であった。作業幅は90cmであり、条間45cmで作付けされたキャベツの残渣を2畝同時に約10m収集するとバケットから溢れ始め、荷降ろしする必要があった。圃場作業量は、3a/hであり、圃場作業効率は0.26であった。

3) 試作1号機の性能試験を行った結果、能率向上のため、バケット容量を約3倍の0.8m<sup>3</sup>と大きくし、トラクタ牽引式に改良した試作2号機を試作した。

試作2号機の性能試験の結果、バケットには約600kgの残渣が積載できたが、車輪の転がり抵抗が大きくなったため、群馬県嬭恋村で46kW2輪駆動トラクタで牽引した試験では、黒ボク土で軟弱な傾斜圃場の上り作業ができなかった。圃場作業量は3.7a/hであった。



所要時間	
1-2-3	: 27秒
3-4	: 5.2秒
荷降ろし:	21秒
4-5	: 25秒
5-6	: 23秒
<hr/>	
	148秒

図17 試作3号機の旋回、荷降ろし時間



4) 試作2号機の性能試験結果をもとに、車輪の大径化、掘取刃の小型化による牽引抵抗軽減と、新たに掘取刃左右前方にディスクコルタを設け、コンベヤに爪を付けることによる拾上げ性能の向上を図る目的で、2号機を改良して最終的な3号機を試作した。

試作3号機の性能試験の結果は次のとおりである。婦恋村の土壌含水比70%、傾斜4°の圃場でも上り作業が可能であり、走行性能が改善された。バケット内に残渣とともに混入した土量の残渣量に対する比(土・残渣比)は0.6~1.4であった。なお、灰色低地土で乾燥した条件では、土・残渣比は0.1~0.3と土節いは良好で、葉の拾い残し割合は12~22%程度であった。圃場の畝長が50mで、作業速度を0.4m/sとして、収集作業時間と旋回・荷降ろし時間から試算した圃場作業量は約5a/hで、圃場作業効率は0.45であり、ほぼ所期の性能を得ることができた。

#### 引用文献

- 1) 農林水産技術会議事務局：地力維持・連作障害克服を基幹とする畑地新管理方式の開発に関する総合研究、1984
- 2) 野菜試験場：最近における野菜・花きの連作障害の実態、1984
- 3) 農事試験場企画連絡室企画科：昭和55年度場内検討会、連作圃場における総合防除について、研究のひろば、農事試験場場報No.33、p22-37、1981
- 4) 山本健司、金光幹雄：野菜残渣収集機の開発研究(第1報)、農業機械学会第22回関東支部年次大会講演要旨、p16、1986
- 5) 萩原廣：野菜の土壌病害対策としての罹病残渣処理、植物防疫、第37巻第9号、p41-45、1983
- 6) 野村良邦、木曾皓：キャベツ萎黄病の罹病葉による土壌汚染と本病発病畑における圃場衛生の効果、野菜試験場報告 C7号、p67-75、1984
- 7) 林宣夫、賛田裕行、沖島寿彦：キャベツ根こぶ病被害根の堆肥化による熱処理効果、関東東山病害虫研究会年報、第27集、p60-61、1980
- 8) 萩原廣：嫌氣的発酵による罹病残渣処理法の圃場における適用と問題点、農業研究センターニュース、No. 25、p8-9、1986
- 9) 萩原廣、国安克人、河本征臣：アブラナ科野菜土壌病害発生防止のための効率的罹病残渣処理技術の開発、昭和63年度野菜・花き試験研究成績概要集(国立)、p143-04、1989
- 10) 群馬農試機械作業課：圃場残渣等による堆肥製造試験—キャベツ残渣の堆肥化、昭和53年度農業機械並びに機械化栽培作業に関する試験成績書、p42-46、1979
- 11) 群馬農試機械作業課：圃場残渣等による堆肥製造試験—キャベツ残渣の堆肥化、昭和54年度農業機械並びに機械化栽培作業に関する試験成績書、p24-27、1980
- 12) 東京農試経営部：茎葉菜病害虫の残渣処理による省力的防除法、昭和59年度農業機械開発改良試験研究打合せ会議資料No.4、p46-47、1984
- 13) 東京農試経営部：茎葉菜病害虫の残渣処理による省力的防除法、昭和60年度農業機械開発改良試験研究打合せ会議資料No.4、p54-55、1985
- 14) 清水茂監修：野菜園芸大事典、養賢堂、p1226、1985
- 15) 農業研究センター病害虫防除部土壌病害研究室：

- ハクサイ黄化病発生防止のための効率的残渣処理技術—ハクサイ残渣の産出量、昭和59年度野菜・花き試験研究成績概要集、野菜試験場、p143-04、1985
- 16) 群馬県園芸試験場高冷地試験地：昭和57年度高冷地野菜試験成績書、1983
  - 17) 群馬県園芸試験場高冷地試験地：58年度高冷地野菜試験成績書、1984
  - 18) 日本農業機械化協会：新農業機械総覧、地球社、1982
  - 19) 日本農業機械化協会：'83農業機械・施設便覧、1983
  - 20) 農機産業調査研究所：農機価格ガイド-62 年春季総合版、1987
  - 21) 金光幹雄、山本健司：野菜残渣収集機の開発研究（第2報）、農業機械学会第23回関東支部年次大会講演要旨、p82-83、1987
  - 22) 金光幹雄、山本健司：野菜残渣収集機の開発研究（第3報）、農業機械学会第24回関東支部年次大会講演要旨、p36-37、1988
  - 23) 高橋正光等：簡易けん引抵抗測定装置、第46回農業機械学会年次大会講演要旨、p34、1987
  - 24) 農業機械学会編：農業機械ハンドブック、コロナ社、p333、1984

## Summary

## Development of a Vegetable-Crop-Residue Collector

Mikiko KANAMITSU, Kenji YAMAMOTO

In vegetable production, soil-borne diseases of vegetable crops, such as the clubroot disease of cabbage, are spreading every year. Although the effectiveness of continuous elimination of those plants infected by cabbage yellows has been proved, most cabbage growers don't eliminate the diseased plants but bury them by tilling the field, because the number of residual cabbage are so great as to amount to 2-5 t/10a, and their elimination would require a great amount of labor.

For the purpose of developing a vegetable-crop-residue collector which enables the efficient elimination of cabbage and chinese cabbage residue, the authors have designed and developed the Vegetable-Crop-Residue Collector.

The basic structure of the proto-type Mark I was derived from a tractor-mounted stone picker which consists of a digger blade, a pick-up chain conveyor and a chipping hopper. To get better pick-up and soil-separating performances, the following improvements were made. Firstly, a rotary cultivator was mounted above the digger blade to convey the residue smoothly to the pick-up conveyor. Secondly, a shaker composed of two cams was attached to the pick-up chain conveyor to decrease the amount of soil conveyed to the hopper.

The hopper capacity of the Mark II was three times larger than that of the Mark I. Because of this change, this machine was changed from a tractor-mounted type to a tractor-trailer type.

In the Mark III, two disk coulters were added at both sides in front of the digger blade to get better pick-up performance, and its tires are larger than Mark II's to decrease rolling resistance.

Performance tests were carried out in sloping loam fields in Gumma-Ken and in a silty clay field in Saitama-ken, and the results were as follows:

(1) The hopper capacity of the Mark III is 0.8m<sup>3</sup>, and it is able to load about 600 kg of chinese cabbage residue.

(2) A few leaves were left in the field but all roots were picked up. The

pick-up loss (cabbage and chinese cabbage residue left in the field) was 12-22 % in mass. With increases in the speed of tractor and in the depth of digging, the pick-up loss decreased.

(3) As for soil-separating performance, the ratio of soil to plants residue collected in the hopper was 0.1-1.4 in mass. With an increase in the moisture content of the soil, in the speed of the tractor and in the depth of digging, the amount of soil in the hopper increased.

(4) Depending on the condition of the fields, the recommended tractor speed range is from 0.3 m/s to 0.5 m/s. The rate of work of the machine was about 5 a/h when the machine was used at the speed of 0.4 m/s, for row lengths of 50 m, and at a working width of 0.9 m.

On the basis of performance tests, it is concluded that the MarkIII can be of practical use. However, for those cases where there is no place to dump the plant residue, further studies of how to treat the collected residue efficiently are required.

# 籾殻加熱ガス利用システムの開発に関する研究

\* 鷹尾宏之進・伴 敏三・久保田興太郎

1989-12-22 受理

## 抄 録

鷹尾宏之進、伴 敏三、久保田興太郎：籾殻加熱ガス利用システムの開発に関する研究。  
農機研報No.25：29-102(1990)

籾調製時に廃棄物として発生する籾殻をガス化し、直接的、間接的に共同乾燥施設における乾燥調製のエネルギーとして積極的に利用する技術の開発を主たる目的として本研究を行った。基礎試験結果をもとに籾殻から可燃性のガスが発生することを確認し、アップドラフトタイプの移動層式ガス発生炉を基本とする燃渣間欠排出方式の連続ガス発生装置を開発して、連続的な可燃性ガスの発生、制御、一時貯留及び籾殻タールの除去技術を確立した。

籾殻ガス利用装置について、一方では籾殻ガスバーナを開発し乾燥の加熱源として被乾燥物への直接加熱を可能にし、他方では籾殻ガスエンジンを開発し乾燥施設内の電気動力源としての利用を可能にした。

籾殻のガス化により燐炭、タールが二次的に産出する。このうち、燐炭については稲作・園芸農家での利用、成形、製鉄所への販売を可能にし、タールについては開発した軽質燃料化装置によりディーゼルエンジンへの燃料化を可能にした。

籾殻加熱ガス利用システムの実用性を検証するため、米 60ton規模パイロットプラントを設計、製作し、3年間に亘る米麦の実用運転を実施し、各種の成果を得た。

共同乾燥施設におけるエネルギー消費量に関する実態調査結果及び、パイロットプラントにおける実用運転試験結果をもとに、籾殻加熱ガス利用システム併設共同乾燥施設（ライスセンタ、カントリーエレベータ）の設計指針を作成し、経済試算とシステムの評価を行った。

## 1 緒 論

本研究は米麦の共同乾燥施設として普及しているライスセンタ、カントリーエレベータにおいて、籾の乾燥調製時に廃棄物として発生する籾殻の有効利用を基本とした省エネルギー技術<sup>1) - 9)</sup>の開発研究である。

籾殻を加熱ガス化し、籾殻ガスとして施設内の配管を経て乾燥の加熱源である籾殻ガスバーナ、動力源である籾殻ガスエンジンに供給利用するもので、籾殻ガスの発生・制御技術、加熱源・動力源としての利用技術を総合した一連のシステムについて昭和54年度から昭和61年度迄の研究結果<sup>10)・11)</sup>をまとめたものである。

### 1) 研究の経緯

籾殻からエネルギーを取り出して利用する籾殻の加熱ガス化に関する基本的な試験は、昭和54年度から57年度までの4年間<sup>12) - 14)</sup>、残渣として発生するタールの軽

質燃料化は昭和61年度に研究<sup>15)</sup>した。

籾殻の加熱ガス化・利用に関する基礎的な研究を進展させ、昭和57年度から60年度までの4年間、籾殻加熱ガス利用システムとしてその実用化の可能性を追及<sup>16)・17)</sup>した。その間、調査やパイロットプラントにおける実用運転を経て、籾殻加熱ガス利用システムを併設した共同乾燥施設に関する設計指針をもとに、技術的、経済的、総合的に実用性を評価した。

### 2) 研究の背景

研究を開始した昭和54年当時は、オイルショックによる石油価格の高騰で、エネルギー資源の枯渇が危惧され、直接、間接の灯油節減策、代替エネルギーの開発が急務であった。共同乾燥施設のエネルギー消費量は多く、実質的な石油節減効果が高い。したがって、資源の少ないわが国において省エネルギー型共同乾燥施設の実現は重要な意味を有しており、将来のエネルギー危機に対して常に対応技術の開発と利用技術の確立を図っておくことが必要であった。

米の生産が続く限り、籾重量の2割を占める籾殻は毎

\* 園芸工学研究部

\*\* 元農機研研究第2部、退職

\*\*\* 生産システム研究部

年産出する。そこで、本研究の目的である12.56～14.6 MJ/kgの発熱量<sup>8)9)</sup>を有する籾殻を、まとまった量発生する共同乾燥施設において、その処理とエネルギー源として利用しようとする技術の開発は極めて意義のあることといえる。

### 3) 生産現場の実態

昭和54年度におけるこの種の乾燥施設の設置状況は、ライスセンタ2,157ヵ所、カントリーエレベータ204ヵ所であった。昭和51年度から昭和60年度までの設置実績<sup>1)8)</sup>をみると、ライスセンタは年平均130ヵ所程度、カントリーエレベータは14ヵ所程度増え続けており、将来的にも共同乾燥施設の果たす役割は大きい。

これらの共同乾燥施設のうち、ライスセンタの施設規模は比較的小さいが、籾貯蔵を認められていないため、稼動終了までに対象とする籾の籾摺が完了することになり、短期間に多量の籾殻が発生する。一方、カントリーエレベータではライスセンタに比較して施設規模が大きく多量の籾を乾燥するが、籾貯蔵を認められているため、比較的長期間に亘って籾殻が発生する。したがって、その利用方法には特徴があるが、何れも同一場所に一時的に貯留せざるを得ない。

籾殻は軽くて均質であるが、堆積見かけ密度は大略10 kg/m<sup>3</sup>とかさばっていて、燃えにくいわりに一旦火がつくと消えにくく、成形、加工するには耐摩耗性<sup>1)9)</sup>の機器と大きな力を必要とする。個別農家程度の量であれば、その処理も容易であるが、多量の籾殻となると問題は大きい。わが国の稲作生産における籾殻総発生量<sup>1)8)</sup>は、昭和54年当時2,629千tonで、その約14%は共同乾燥施設で発生している。その処理状況を見ると半数は廃棄焼却で、残り半数の内訳は暗きょ資材22.6%、畜舎の敷料14.5%、堆肥12.8%であった。施設の立地条件等によって、籾殻に費用をかけて処理している施設、販売している施設、上記のような利用を図っている施設があるが、籾殻対策如何によって共同乾燥施設としての運営に大きな負担をかけることになる。

### 4) 技術開発の概況

わが国において昭和40年代に開発、普及した燃焼炉は、固定型や回転型のロストルの上に籾殻を堆積して燃焼するタイプ<sup>2)0)～3)6)</sup>が多く、籾殻供給部の耐摩耗性、ロストルの高温耐久性が大きな問題であった。近年ではサイクロン式、流動層(混砂)式、ガス化燃焼式等の新しい方式も開発され、普及しつつある。籾殻燃焼炉を利用方法から大別すれば、焼却や燻炭製造用、温室の補助熱源

用、共同乾燥施設の加熱源用となろう。

昭和55年度から57年度中に共同乾燥施設における乾燥の加熱源としての利用を目的として籾殻燃焼装置を設置した所は、ライスセンタ22施設、カントリーエレベータ5施設の合計27施設で、間接加熱乾燥方式が16施設を占める。単位時間当たりの燃焼量は小さいもので50kg、大きいもので1,150kgまでであるが、多いのはライスセンタで300kg、カントリーエレベータで600kg程度である。

籾殻の処理は、世界的にみても米作地帯における共通の課題<sup>3)7)・3)8)</sup>であり、東南アジアにおけるライスミルの裏では、数人がかりで多量の籾殻を焼却している様子を目にするし、ビルマにおいては籾殻から燻炭をつくり、成形して家庭用の燃料として利用<sup>3)9)・4)0)</sup>している例もある。

米国のライスミルにおいては、籾殻を直接燃焼して得たスチームをパーボイルドライス<sup>4)1)</sup>のアルファ化源として利用し、さらにタービンを駆動し発電して施設内の動力源とする一方、購入した籾殻をも用いて発電し、売電している施設<sup>4)2)・4)3)</sup>がある。

農産廃棄物のエネルギー化については、エネルギーを有効に取り出すという観点からこのように直接燃焼して利用する考え方が多いが、海外においてはガス化利用の研究<sup>4)4)～5)3)</sup>もなされている。

わが国において籾殻のガス化は試みられた<sup>5)4)</sup>が成功していない。共同乾燥施設のエネルギー源として籾殻を一旦加熱ガス化し、ガスの状態で乾燥機のガスバーナまで搬送して乾燥用の熱源とする方式は、直接燃焼方式に比較して炉の温度を低くでき、炉の耐久性を確保できること、燃料の取扱いが便利であり、送風温度の制御が容易となることの利点と、そのガスでエンジンを運転し、発電機を駆動し、乾燥調製用の動力源としても利用できる可能性を有していることである。

### 5) ガス化選択の理由

ガス化方式を採用した背景について述べる。籾殻を直接燃焼してスチームをつくりタービンによる発電とスチームを利用するシステムの場合、製法上の利点であるパーボイルドライスが食糧庁の買上げの対象となっていないため得られたスチームの利用に難点があること、スチームタービンは300kW以上の発電規模<sup>5)5)</sup>に有効であるとされておりわが国の共同乾燥施設の現状にそぐわないこと、保守管理の面からはタービンよりもレシプロエンジンの方が有利であること等による。

### 6) 研究の基本方針

以上のような背景のもとに、廃棄物である籾殻のガス化技術、籾殻ガスの利用技術、さらにはガス化による二次的残渣の利用技術の開発により、廃棄物を総て利用する技術を完成した。加えて、籾殻ガス利用システムとしての実用の可能性をパイロットプラントによる中規模実用運転試験により確立し、設計指針を提示するとともに、試算を行い、実規模システムにおける可能性を追究した。

第2章以下の構成について、その概略を述べる。

第2章 籾殻ガス発生装置の開発研究では、基礎試験において籾殻から可燃性のガスの発生を確認し、アップドラフト型の移動層方式による独自のガス発生炉を開発した。装置の改良や実験を重ね、籾殻ガスエンジン、籾殻ガスバーナを考慮したガスの発生、精製、一時貯留における自動制御技術を確認し、籾殻の連続ガス化装置を完成した。

第3章 籾殻ガス利用装置の開発研究では、第2章で開発した連続ガス化装置を用い、試作した籾殻ガスバーナによる燃焼排ガスを乾燥の直接加熱源として、試作した籾殻ガスエンジンを施設内の動力源として利用し得ることを確認した。また、籾殻タールについては軽質燃料化装置を試作し、留分をディーゼルエンジンの燃料として利用し得ることを示した。

すなわち、第2章、第3章をとおして廃棄物である籾殻のガス化・利用技術、二次的残渣である籾殻タールの利用技術を完成し、籾殻をすべて利用することを技術的に可能にした。

第4章 パイロットプラントの設計、製作、実用運転では、籾殻ガスの発生制御、籾殻ガスの加熱源、動力源としての利用を実用的に検討するため、米60ton規模のパイロットプラントを建設し、3年間に亘って実用運転を行い、籾殻加熱ガス利用システムを実用技術として完成した。

第5章 籾殻加熱ガス利用システム併設共同乾燥施設の設計指針、試算、評価では、共同乾燥施設における実態調査、籾殻処理の一環として燻炭に関する調査と燻炭の簡易成形装置の試作、また全国9地域の電力会社の供給規程に基づく電力料金の試算、パイロットプラントにおける実用運転試験結果を組み込んだ設計指針の作成等を行った。この設計指針によりライスセンタ、カントリエレベータを設計し、積算額をもとに経済試算を行い、本システムの実用性について評価した。

なお、本研究の基礎である籾殻ガス発生炉については昭和58年に特許（籾殻等のガス化炉、特許第1163716

号）として登録されていることを付記する。

## 2 籾殻ガス発生装置の開発研究

### 2.1 ガス発生の基礎試験

穀物共同乾燥施設で廃棄物として発生する籾殻について、直接燃焼により乾燥の加熱源として利用する技術は若干普及しているが、籾殻をガス化しガス体として利用する技術は確立していない。ガス化の利点は直接燃焼と比較して、ガスバーナによる送風温度制御精度の向上を期待し得ること、ガスエンジン・発電機を介して乾燥調製の動力源となり得ることにある。ここでは、本研究の基礎をなす籾殻によるガス化の可能性を明らかにすることを目的とした。

#### 2.1.1 試験方法

##### 1) 籾殻ガス発生炉の構想

ガス発生炉には種々ある<sup>56)~58)</sup>。予備実験ではこれまでに得られた知見<sup>59)~63)</sup>より、耐久性に問題があるとされるロストルを有しないこと、構造が簡単であること、製作が容易であること、耐久性があることを前提としてアップドラフト型の吸引による移動層方式のガス発生法を採用し、籾殻ガス化の可能性を模索した。

実験装置としては、コンクリート面から約15cm浮かして軽量キャストブルを炉材とした内径450、外径750、高さ1,800mmの円筒形の炉を置き、頂部には籾殻投入口と中心部に煙筒取付部を設けた蓋を、煙筒先端部には可変速モータを配した最大風量0.19m<sup>3</sup>/s、最高静圧1.51kPaの遠心ファンを設けた。

2) アップドラフト型のガス発生炉における酸化層の温度設定について

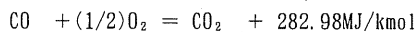
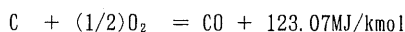
連続ガス化装置開発にあたり、籾殻の燃焼量を10kg/hとし、籾殻乾物中のC、H<sub>2</sub>含有率等から燃焼に必要な空気量を求め、籾殻の発熱量、炉周囲への放熱量より上昇温度を算出し、ガス化条件設定に必要な酸化層温度について検討した。

#### 2.1.2 結果及び考察

##### 1) 籾殻ガス発生炉の構想

アップドラフト型のガス発生炉では、図1に示すように籾殻は上方から供給し、炉内は下方から酸化層、還元層、籾殻自身の燃焼熱を利用した加熱ガス化（乾留）層を形成する。

国井<sup>56)</sup>によれば基本的な酸化反応としては



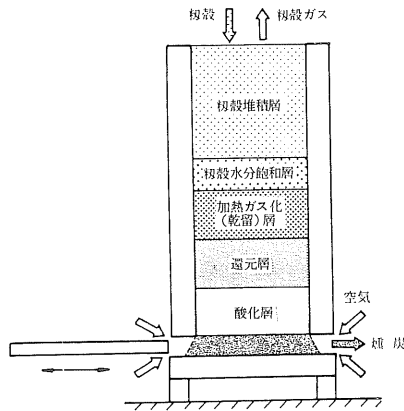
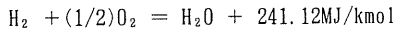
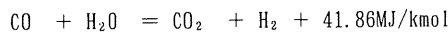
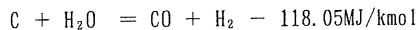
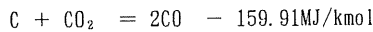


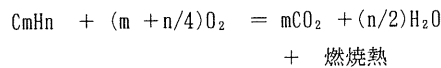
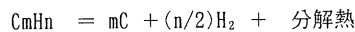
図1 アップドラフト型ガス発生炉における作物ガス化模式図



主な還元反応、水性ガス変換反応としては



炭化水素の分解及び燃焼は



等が示されている。

炉内温度は炉底に近づくにつれて上昇するが、加熱ガス化層の上層には作物水分飽和層が存在するとの仮説をたて、ガス発生中に炉を一旦停止して炉内の作物を順次排出した結果、図2に示すようなサンプルの色から、また図3に示すように作物の含水率測定結果からこれを立証することができた。

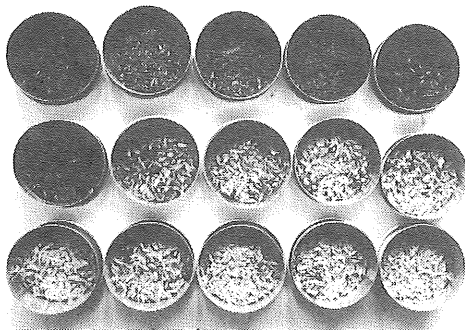


図2 炉内作物の燃焼状況  
(上段左端が炉底、下段右端が炉頂。  
水分飽和層は上段右端から中断左端)

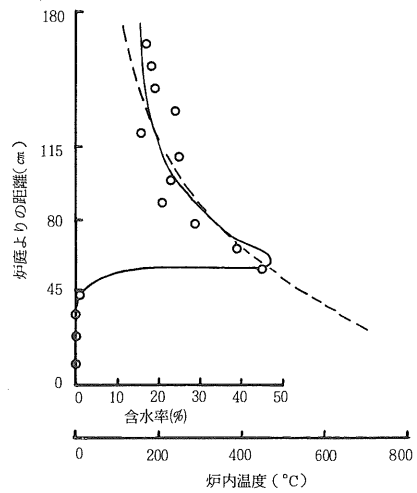


図3 炉底よりの距離と炉内温度、作物含水率の関係

基礎試験に用いた炉を図4に示す。煙筒の長さを3段階に変えて炉内温度の状況等も観察した。作物ガス発生状況を図5に示す。

実験はまず、炉内に作物を充填して作物投入口を閉じ、ファンの回転を上げた後、炉底と床面との間の作物堆積層に火のついた新聞紙を押し込み、炉底開口部からの流入空気を利用して作物へ着火した。次に、ファン吐出口付近に種火を置き、吐出口から出る煙の色を観察しながら、可燃性作物ガス発生の可能性と着火の状況等を調査した。その結果、炉底から45cmの位置における炉内温度が500 °C程度に達すると可燃性ガスの発生を確認し、着火を必要とせずに燃焼することを認めた。しかし、発生

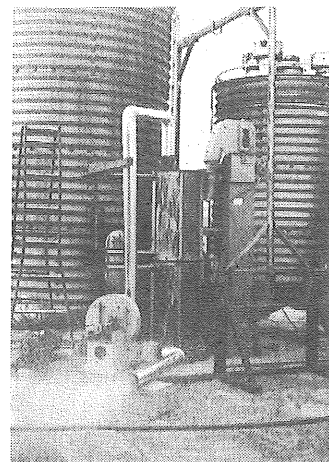
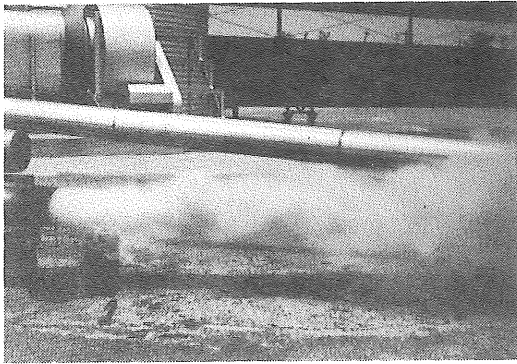
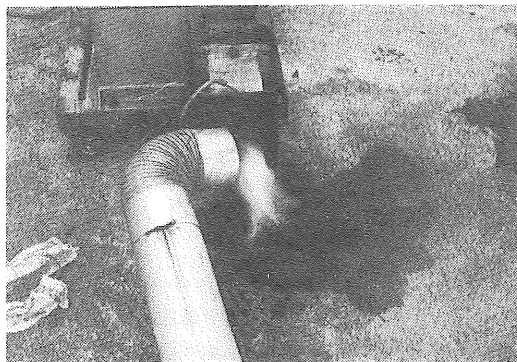


図4 基礎試験に用いた炉  
(後方のサイロは試験との関連なし)





可燃性のガスはまだ発生していない



種火なしで籾殻ガスが燃焼している

(炎は屋間見えない。下の黒いのは籾殻タール)

図5 籾殻ガス発生状況

した籾殻ガスの色から判断するとガスの精製法と利用装置における許容精製度、発生したタールの処理法が課題であると考えた。

バッチ式による実験では、炉運転時間の経過とともに炉内温度、酸素濃度が再上昇し、発生した籾殻ガスに引火する。したがって、連続ガス化装置の開発に当たって、炉上部に可燃性のガスがあることを認識した上での籾殻供給法、加熱ガス化層を維持する燃渣の排出方法と炉内温度条件の把握等に十分な検討を加えた。

2) アップドラフト型のガス発生炉における酸化層の温度設定について

籾殻の燃焼量 $W$ を $10\text{kg/h}$ 、含水率 $M$ を $12\%$ (本報告ではすべて湿量基準で示す)、籾殻乾物中の $C$ 含有率を $45.5\%$ 、 $H_2$ 含有率を $6\%$ とする。燃焼反応式  $C + O_2 = CO_2$ 、 $H_2 + (1/2)O_2 = H_2O$ より $1\text{mol}$ 当たり理論酸素量 $0t\text{kg/h}$ を求めると、

$$0t = (1-M)W \times (C/12 + H_2/4) = 0.46\text{kg/h}$$

空気中の酸素と窒素の容量割合を $21:79$ 、標準状態の空気 $Q_n$ を $22.4\text{Nm}^3/\text{kg}$ として、燃焼に必要な空気量 $Q_{0m}^3/\text{s}$ を求めると、

$$Q_0 = 0t \times (100/21) \times 1/3600 \times Q_n = 0.013\text{Nm}^3/\text{s}$$

上昇温度 $\Delta T_1$ °Cは空気過剰率 $\alpha$ を $1.9$ 、周囲への放熱 $q'$ を $16,700\text{kJ/h}$ 、籾殻の発熱量 $q$ を $12,600\text{kJ/kg}$ 、空気 $1\text{m}^3$ の重量 $P$ を $1.2\text{kg/m}^3$ 、空気の比熱 $s$ を $1.0\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$ とすると、

$$\begin{aligned} \Delta T_1 &= (q \times w - q') \div (\alpha \times Q_0 \times P \times s \times 3600) \\ &= 1,020 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

したがって、酸化層の温度は $1,000$ °C程度に設定する必要があると判断した。

## 2. 2 連続ガス化装置DHF-791型の試作

基礎試験結果をもとに、プロトタイプの連続ガス化装置DHF-791型を試作し、手動運転により、可燃性の籾殻ガスを連続して取得するための制御法を確立する。

### 2. 2. 1 試験方法

#### 1) DHF-791型の設計方針

装置の試作に当たって次のような基本方針を定めた。籾殻をガス発生炉内に間欠的に送り、外部からのエネルギーを供給することなく、籾殻自身の燃焼熱の一部を利用して加熱ガス化(乾留)する方式の実験的なガス発生装置とする。

籾殻の供給量、燃焼状況、各部温度等とガスの発生状況の関係を測定調査し、ガスの発生に最適な条件や構造を把握できるように設計する。

運転の自動化を想定し、システム設計に必要な資料が得られるような機能を持たすようにする。

設計目標は次のとおりである。

- (1) ガス発生炉はアップドラフト型の移動層方式とし、ロストルは設けない。
- (2) 発生炉の炉材の耐熱温度は最高 $1,300$ °Cとする。
- (3) 発生炉の籾殻処理量は $10\text{kg/h}$ とし、炉内の籾殻量を一定に保つため、籾殻の炉内への供給は自動化する。
- (4) 燃渣の排出は空気圧シリンダ及びオーガコンベアで行い、手動とする。燃渣の消火は散水方式とする。
- (5) タール等分離器を設置し、吸引ファンの汚損軽減を図る。

設計諸元は次のとおりである。

① 名称：連続ガス化装置DHF-791型

- ② ガス化方式：アップドラフト型の移動層式
- ③ 籾殻処理量：10kg/h
- ④ ガス発生炉：外径750mm、内径450mm、高さ2,700mm、炉材は軽量キャストブル
- ⑤ 籾殻供給用バケットエレベータ：高さ7,215mm、能力(籾)2t/h
- ⑥ 籾殻ホッパ：高さ1,000mm、内径450mm
- ⑦ 籾殻供給用ロータリーバルブ：内径200mm、使用最高温度250℃
- ⑧ レベル検知器：使用最高温度250℃
- ⑨ 燃渣排出機：能力0.05m<sup>3</sup>/回
- ⑩ タール等分離器：内径300mm、高さ600mm
- ⑪ ガス発生用ファン：最大風量0.19m<sup>3</sup>/s、最高静圧1.51kPa(2,600rpm)

試作したDHF-791型は、能力向上と一時貯留のためのガス圧を考慮してガス発生用ファンを交換(最高静圧1.51kPaから5.86kPaへ)し、ファンから圧送したガスを更に精製するため水を使った湿式ガス精製装置を試作する等の改良を加えて供試した。

2) 改良型DHF-791型による性能試験

(1) 供試材料

昭和53年度産籾殻

(2) 試験条件

設定した運転試験区を表1に示す。

表1 DHF-791型における試験条件

因子	水準	
籾殻処理量(kg/h)	15, 30, 45	
燃渣排出機駆動設定温度(℃)	1,000	

燃渣の排出に当たっては、装置の安全性、耐久性等を考慮し、測定中の発生炉内温度が1,000℃を超えた時点、上下の温度が逆転した時点の一つの目安としたが、さらに籾殻への着火直後や急激な温度低下時における燃焼むら防止等を加味してモニタや毎分の温度測定データを目視しながら、排出操作を手動により行った。

(3) 測定項目

① 温度

炉内温度は発生炉内2ヵ所(炉底面より45cm、80cmで内壁より各5cmの位置)をR型熱電対で、また、発生ガスの温度3ヵ所(熱交換器出入口と湿式ガス精製装置通

過後)及び外気温1ヵ所はT型熱電対により1分毎に測定記録し、籾殻ガスに点火中の発生炉内外の温度については平均値を求めた。

② 籾殻処理量

発生炉内に籾殻を充填して着火し、一定時間経過後籾殻ホッパ内のレベル計に連動するバケットエレベータの作動に合わせて、予め計量した籾殻を供給し、次の供給までの時間を計測して平均値で示した。

③ 籾殻ガス発生量

ファンの性能曲線を参考に、オリフィスによる差圧や熱線風速計により行った。

④ 燃焼状況の調査

実験実施中、発生した籾殻ガスに点火して燃焼状況を観察した。

⑤ ガスの酸素濃度

精製したガスの一部について、簡易なオルザート型酸素濃度計により測定した。

2.2.2 結果及び考察

1) 試作装置の概要

ガス発生炉、籾殻投入用バケットエレベータ、籾殻ホッパ、燃渣排出機、タール等分離器、ブロワ等よりなる構成概要を図6、試作装置を図7に示す。

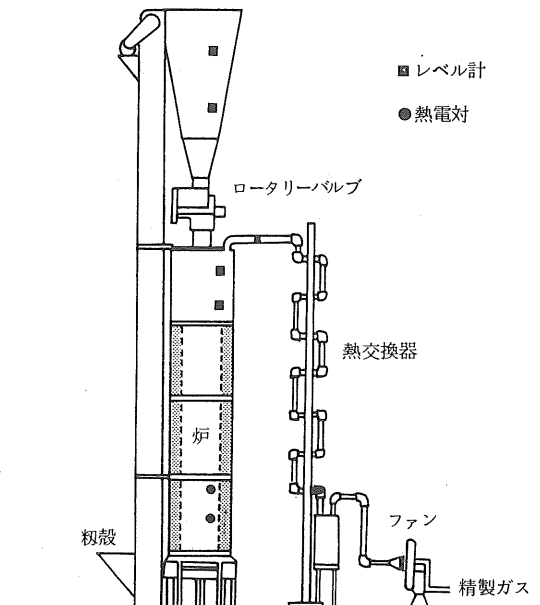
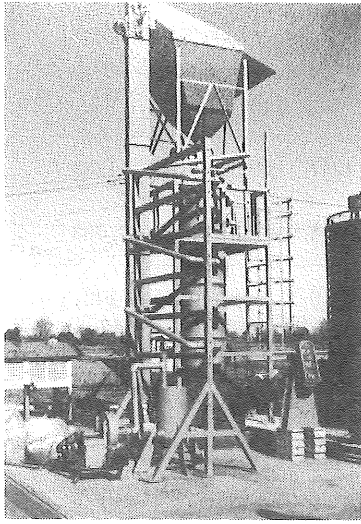
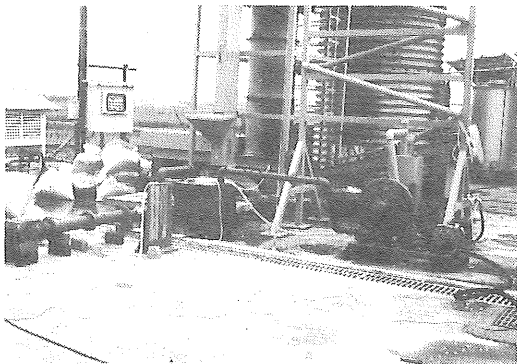


図6 DHF-791型の概要



全 景

ガス発生用ファン交換、湿式ガス精製装置追加後  
図7 DHF-791型

バケットエレベータにより炉上部の籾殻ホッパに籾殻を搬送し、ロータリーバルブを介してガス発生炉に供給した。籾殻ホッパ及び炉内の籾殻量は、籾殻ホッパ及びガス発生炉に設置したレベル計により、バケットエレベータとロータリーバルブを介して一定に保った。籾殻への着火は、ガス発生炉最下部の籾殻層に数枚の新聞紙を押し込んで点火する手動方式である。点火後はブロウによる吸引で、短時間に籾殻に着火しガス化が始まる。ガス発生炉内第1層（炉底よりの距離45cm）、第2層（炉底よりの距離80cm）の温度を測定して、その状態により手動で燃渣排出機を駆動して燃渣の排出を行い、炉内温度を一定に保持する。また、大気との熱交換により凝縮したタール等はタール等分離器で回収し、籾殻ガスはブロウ排出口より出る。

検出すべきものはホッパ内及びガス発生炉内の籾殻量の範囲を示すレベルの上限、下限、ガス発生炉内温度である。設定した炉内温度を維持して籾殻が炉内に適量保たれるよう、籾殻供給用のバケットエレベータとロータリーバルブの運転・停止、燃渣排出用エアシリンダの運転・停止を制御できるようにした。なお、ブロウとロータリーバルブの回転数の制御及びガス発生炉内温度の制御は手動とした。

試作装置の設置に伴い予備的な燃焼試験を実施し、改良箇所の摘出や改造を加え、図8に示すように籾殻処理量30kg/h程度でも連続的に可燃性の籾殻ガスを得る可能性を見出した。

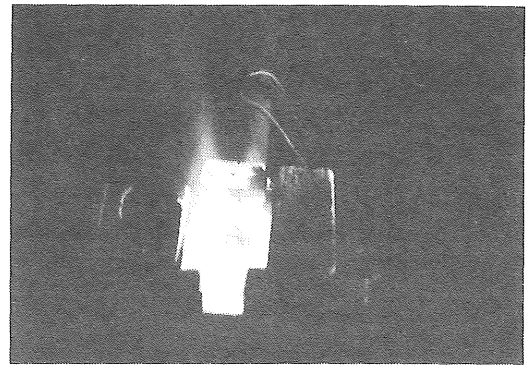


図8 籾殻ガスの燃焼状況

## 2) 性能試験

表2に試験結果、図9～11に各試験における1分毎の温度変化を示す。

### (1) 運転の状況

測定した炉内2層の温度は、大幅な温度変動と層間の温度の逆転を伴いながらも、籾殻処理量13～77kg/hの範囲で連続的に可燃性のガス18～47m<sup>3</sup>/hを発生させることが可能であったが、この温度変動を如何に制御し得るかが最大の課題であると考えた。

### (2) 籾殻処理量と炉内温度

測定点数が少ないため、炉内が均一な温度分布をしているかどうかは明確ではなかった。

籾殻処理量と炉内温度の一例を示すと、図9は籾殻処理量約10kg/hの場合で、炉内温度は第1層で700℃、第2層で350℃程度で、制御温度における燃渣排出機の駆動により確実に炉内温度が低下していることが分かる。また、ガス温度は炉出口（熱交換器入口）で50℃程度、総延長15m程度の熱交換器出口で25℃程度で、

表2 DHF-791型による性能試験結果

項 目		No.	1	2	3	4	5	6
第1層における壁面 から5cmの温度 (T <sub>1</sub> )	最高 (°C)		1031	1200	1247	1120	1326	1288
	平均 (°C)		808	848	828	733	828	793
第2層における壁面 から5cmの温度 (T <sub>2</sub> )	最高 (°C)			1101	1210	563	1255	1424
	平均 (°C)			654	557	375	583	569
熱交換器入口のガス 温度 (T <sub>3</sub> )	最高 (°C)			77.4	77.4	64.6	120.6	76.5
	平均 (°C)			66.7	65.8	52.9	66.6	60.6
熱交換器出口のガス 温度 (T <sub>4</sub> )	最高 (°C)		65.1	69.2	69.4	32.6	65.0	40.6
	平均 (°C)		54.0	53.2	55.2	26.8	42.4	25.8
湿式ガス精製装置通 過後のガス温度(T <sub>5</sub> )	最高 (°C)					23.5	47.9	21.4
	平均 (°C)					22.2	29.8	18.2
外 気 (T <sub>6</sub> )	最高 (°C)						14.0	19.3
	平均 (°C)						10.9	14.1
平均 粗 殻 処 理 量	(kg/h)		33	36	65	13	77	32
連 続 運 転 時 間	(h)		2.85	6.40	3.78	3.27	3.45	4.38
ガスへの点火時期 (運転後の時間) (min)			65	2	1	1	1	1
ガ ス 点 火 時 間	(h)		0.40	5.70	3.37	2.25	3.43	4.20
ガ ス O <sub>2</sub> 濃 度	(%)					2.5		0.5
ガ ス 発 生 量	(m <sup>3</sup> /h)		36	36	47	18	43	36
備 考			1)各部の温度は、ガス点火時間中の値。 2)No.1~3は静圧MAX1.51kPaのファン、No.4以 降は静圧MAX5.86kPaのファンを使用。 3)No.4~6試作湿式ガス清浄装置を使用。 4)No.1は試験運転時のデータである。ガスへの 点火時期については、No.2~6同様に運転開 始直後に点火可能。 5)ガス発生量については、No.1~3は送風性能 曲線より推定した値、No.4~6はオリフィス、 熱線風速計等による実測値。					

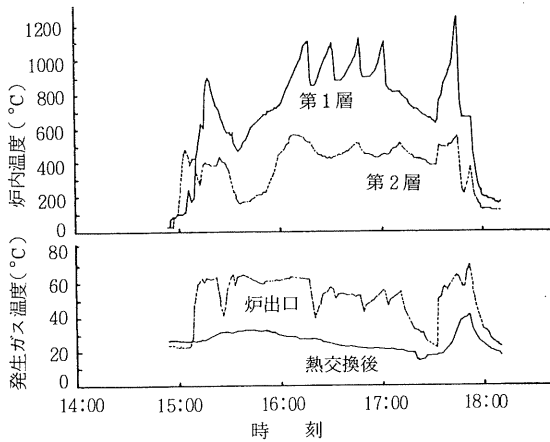


図9 DHF-791型による炉内および発生ガスの温度変化  
(籾殻供給量13kg/h、ガス発生量18m<sup>3</sup>/h)

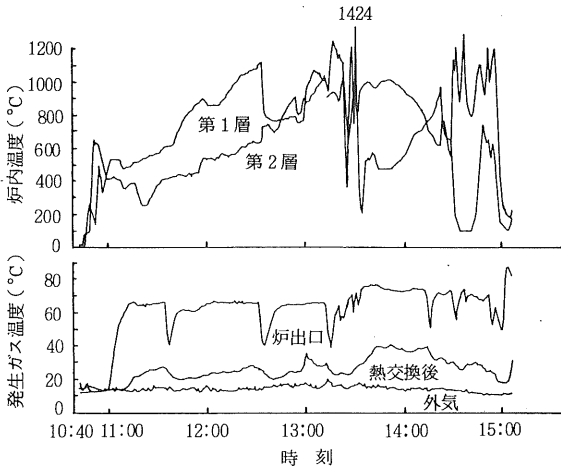


図10 DHF-791型による炉内および発生ガスの温度変化  
(籾殻供給量32kg/h、ガス発生量36m<sup>3</sup>/h)

熱交換器の効果が認められた。同じく図10は籾殻処理量約30kg/h時で、炉内温度やガス温度は各々800℃、550℃、60℃、30℃程度であった。第1層と第2層の間に生じた逆転は、上層部におけるガス発生の可能性を考えた場合危険であり、制御の対象として考慮する必要性を認めた。また、今回は手動運転であるため燃渣排出機駆動のタイミングを失うと1,400℃にも達し、炉材の耐熱温度を超え、炉の耐久性を損なうことが考えられた。熱交換器については設計を上回る籾殻処理量においてもその効果を認めた。図11は籾殻処理量最大の約80kg/h時で、炉内温度やガス温度は各々850℃、600℃、70℃、40℃程度で、手動運転の限界となり、逆転層の発生や炉材の耐熱温度を超えていること、制御温度1,000℃時に1回の燃渣排出機の駆動では温度低下が充分ではないこと等が

明らかになった。また、発生したガスが爆発するにはガス温度、酸素濃度が重要な要素であり、100℃を超えるガス温度には危険性があると推定した。ガス温度を下げるため、熱交換器の外から配管に水をかけたり、配管の一部を水につけた結果、その効果が認められた。

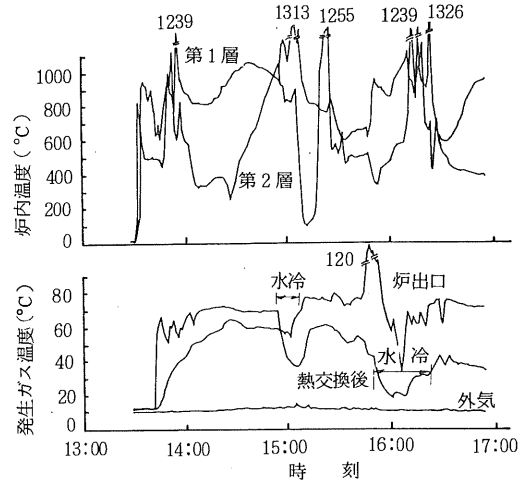


図11 DHF-791型による炉内および発生ガスの温度変化  
(籾殻供給量77kg/h、ガス発生量43m<sup>3</sup>/h)

### (3) 籾殻ガスの性状

精製後の籾殻ガスは、タール等分離器、湿式ガス精製装置によりタール等の大半が除去されていると推定し得るものの、なお白っぽい色をしていた。これは精製が十分ではなく、水分以外のダスト等も含んでいる可能性があり、電磁弁やガス圧調整器等、利用装置に必要な機器の保守管理や耐久性にも影響を及ぼすことが想定され、更に検討を加えて行くこととした。

籾殻ガスには異臭があるが、燃焼した排ガスには異臭を認めなかった。このことは、配管系にガス漏れを生じても異臭により早期に発見し得る可能性が高く、安全面で有利であること、LPガスにみられるメルカプタンのような着臭剤の必要性もないこと、また、排ガス分析が必要であるが、直接加熱方式により穀物の乾燥に利用し得る可能性のあることを示している。

ガスへの点火は、種火を置く必要もなくマッチで容易にでき、バーナ、エンジンへの籾殻ガス利用の可能性を確信した。

発生炉内の大幅な温度変動にもかかわらず、籾殻への着火後極めて短時間に、かつ連続的に可燃性ガスを取得できた。燃焼状況からみてガス成分の変動には、燃渣排出機やロータリーバルブの作動による空気の流入が考え

られたが、吹き消え等の失火につながることはなかった。これらはいずれも、ガスの一時貯留に必要な制御方法の決定に重要な意味をもっており、籾殻への着火後発生したガスの損失(籾殻の損失)を少なくし、連続的に一時貯留タンクへ圧送し得る可能性を有している。

#### (4) 最適運転条件

本装置におけるガス発生炉運転の最適条件は、炉内温度及び発生したガスの温度変化等より、籾殻燃焼量30kg/h程度で、発生するガス量は30m<sup>3</sup>/hと推定され、大略、籾殻1kgで籾殻ガス1m<sup>3</sup>の発生とみることができた。

#### (5) 実用化時の問題点

① タール等分離器や湿式ガス精製装置より排出されるタール等の分析と利用に関しては、再処理の必要性を含め重要な課題である。

② 精製したガスの温度や酸素濃度については、他のガス成分とともに爆発限界や一時貯留タンクへの搬送の可否等制御方法を決定する上で重要な要素を占める。先に述べたような大幅な温度変動、ロータリーバルブ等からの空気の流入を考慮すれば、熱交換器入口やガス精製後一時貯留タンクへ圧送するまでの過程で、連続的なチェックが必要である。

③ 酸素濃度の変動については、ガス分析の結果を待って考察する必要があるが、北川式ガス検知管による断片的な測定結果では、貯留時の限界である5%以下に維持し得る可能性を認めた。

④ 精製後のガスに対するガス分析が必要であるが、簡単な燃焼試験の結果では3,350kJ/m<sup>3</sup>程度の発熱量であった。手動運転によるノウハウの自動化により、ガス発生装置としての安全性、耐久性、安定したガス組成とガス成分の向上を図っていく必要がある。

### 2.3 連続ガス化装置DHF-801型の試作

改良型の連続ガス化装置DHF-801型において、手動により行ってきた各装置の制御を自動化して安定した籾殻燃焼のための制御方法を確立し、ガス成分の分析を行って最適運転条件を把握する。

#### 2.3.1 試験方法

##### 1) DHF-801型の試作

DHF-791型を母体として改良試作した。主な改良点はガス発生装置における制御の自動化(アイ電子AIDACS 3000 FDPS-12型)であり、ガスクロマトグラフ(島津製作所GC-7AGPrTF型、カラムは3φ×2m×2、吸着剤はポラパック、モレキュラシーブ、キャリアガスはAr)によるガス分析にも主点を置いた。

##### 2) DHF-801型による性能試験

###### (1) 供試材料

昭和54、55年度産籾殻

###### (2) 試験条件

表3に示す試験区を設定した。

表3 DHF-801型における試験条件

因 子		水 準	
籾 殻 処 理 量 (kg/h)		20, 30, 40	
炉底よりの距離 と燃渣排出機駆 動設定温度*	第1層 (°C)	1,000, 1,100	
	第2層 (°C)	600, 900	

\* 設定温度に達した時1回、さらに100°Cを超えた時2回駆動。

###### (3) 測定項目

前節に準ずるが、ガス発生炉制御用炉内温度、ガス分析については下記に示す。

###### ① ガス発生炉制御用炉内温度

ガス発生炉制御に必要な炉内温度は、炉底から45cm、80cmの位置の内壁より10cmの点についてR型熱電対各3本を用いて測定した。

測定した温度のいずれかが燃渣排出機の駆動設定温度を超えた場合、予め指示されたプログラムにしたがって、自動的に燃渣排出機の駆動と燃渣の消火を行うようにした。

###### ② ガス分析

発生した籾殻ガスの分析は、湿式ガス精製装置通過後のガスについて、ガスクロマトグラフにより行った。分析結果により酸素濃度を読みとり、さらに計算により発熱量、比重(空気=1)を求め、平均値で示した。

### 2.3.2 結果及び考察

図12に全体の概要、制御装置、ガス分析装置、表4に性能試験結果を示す。

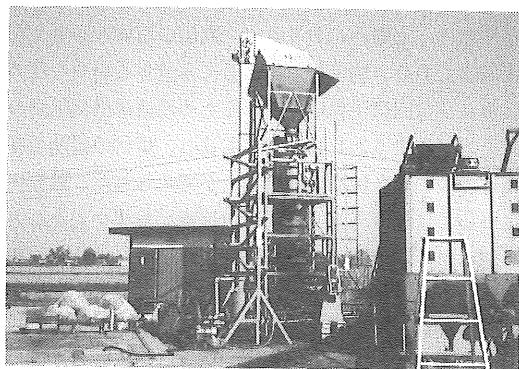
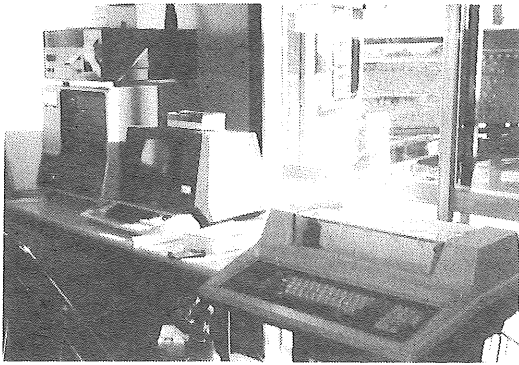
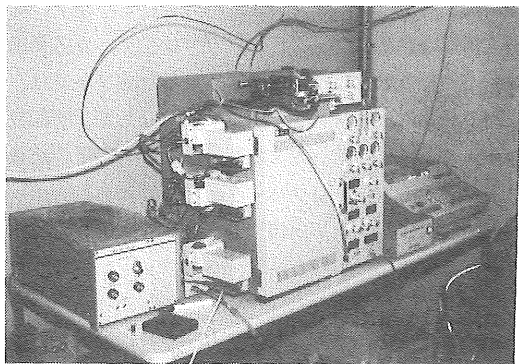


図12 DHF-801型(その1 全景)



制御装置



ガス分析装置

図12 DHF-801型 (その2)

表4 DHF-801型による性能試験結果

項目	No.	1	2	3	4	5	6
第1層	(°C)	1000	1100	1000	1100	1000	1100
第2層	(°C)	600	900	600	600	600	600
平均籾殻処理量 (kg/h)		19	18	33	33	38	43
連続運転時間 (h)		5.5	7.8	5.0	6.1	5.8	5.3
ガス発生炉出口ガス温度 (°C)		63	63	63	62	69	69
発生ガス平均酸素濃度 (%)		3.5	2.9	3.1	2.5	3.4	2.8
籾殻ガス発生量 (m³/h)		25	25	36	36	47	47
籾殻ガスの平均発熱量 (kJ/m³)		4852	4081	4420	4718	4563	4734
備考	1) 燃渣排出機の駆動回数は、炉内温度が設定温度を超えたとき1回、更に100°Cを超えたとき2回とした。 2) 運転時間は運転開始から終了までの時間を示し、籾殻ガスには運転開始後約1分で点火可能。 3) 籾殻ガスの平均発熱量はガス分析結果よりの計算で求めた。						

1) 制御プログラム

DHF-791型の手動運転試験をとおして得た数多くの基礎的資料をもとに、運転開始から終了に至る一連の基本的なプログラムと、非常・緊急時におけるガス発生炉の安全な運転停止のための緊急用プログラムの開発を行い、ガス発生炉の適正な運転を可能にした。

① ガス発生炉内に設置された6本の熱電対による毎分の温度測定結果をもとに、設定された温度で燃渣排出機を駆動し、自動制御によるガス発生炉の運転と連続的な可燃性ガスの取得が可能であった。

② 性能試験結果によれば、籾殻処理量18~43kg/hで25~47m³/hの可燃性籾殻ガスを連続的に発生させることができた。現在の装置で最適な運転条件は、DHF-791型における燃焼試験でも述べた如く籾殻処理量30kg/h程度、そのときの籾殻ガス発生量は30m³/h程度であることを再確認した。

したがって、ガスの一時貯留装置は利用装置におけるガス要求量、ガス発生炉の立ち上がり等を考慮して、炉のガス発生能力の1時間分を貯留し得る内容積(30m³)が必要であると考えた。

2) 籾殻ガスのガスクロマトグラフによる分析結果

① 図13にCOとCO₂、H₂、発熱量に関する各種ガ

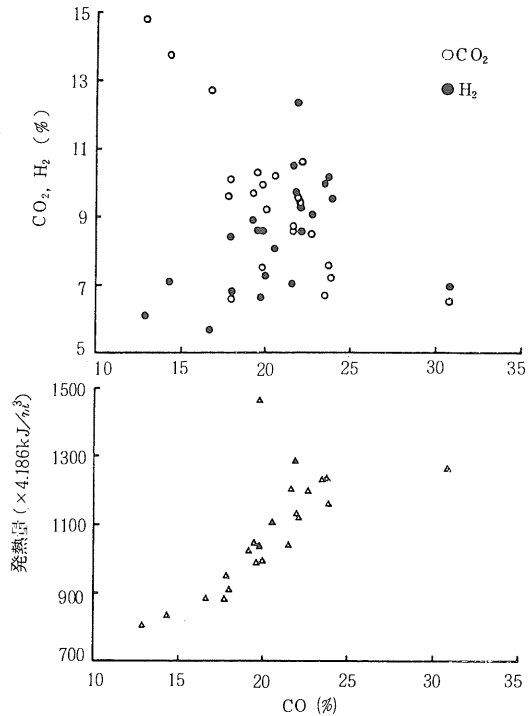


図13 COとCO₂、H₂、発熱量との関係

ス発生条件下における24サンプルの分析結果の一例を示す。COとCO<sub>2</sub>の間には負、COとH<sub>2</sub>、発熱量の間には正の相関がみられる。ガス成分は48.8~61.0%がN<sub>2</sub>、6.5~14.7%がCO<sub>2</sub>、2.0~6.6%がO<sub>2</sub>、14.4~30.8%がCO、6.1~12.3%がH<sub>2</sub>、1.5~2.8%がCH<sub>4</sub>、0.1~1.4%がC<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、0.1~2.4%がC<sub>2</sub>H<sub>4</sub>で、炉内の温度状況等で大きく変動するものの他の測定結果を加味して概算すれば、50%がN<sub>2</sub>、10%がCO<sub>2</sub>、3%がO<sub>2</sub>、20%がCO、10%がH<sub>2</sub>、2%がCH<sub>4</sub>、その他がC<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>とみて差し支えないと判断した。なお、ガス分析結果をもとに計算した靱殻ガスの爆発限界は下限19.2~31.2%、上限64.8~68.7%であった。

② ガス分析結果をもとに計算した靱殻ガスの平均発熱量は3.353~6.137kJ/m<sup>3</sup>で、大略4,200kJ/m<sup>3</sup>とみられた。

③ ガス分析結果をもとに計算した靱殻ガスの比重(空気=1)は、0.91~0.99で、その平均は0.95であった。

靱殻ガスは空気より軽いことを示しており、実用化に当たって重要な意味を持っている。即ち、共同乾燥施設においてピット等の低部にガスが集まる可能性が少ないこと、建て屋の上方は比較的空気の流れがあることから事故の危険性は少ないとみることができる。

### 3) 靱殻ガスの発生量

制御を自動化したDHF-801型によっても、靱殻1kg当たり約1m<sup>3</sup>の靱殻ガスが連続的に安定して発生することを再確認した。

靱殻の発熱量を12,600kJ/kgとしてガス化効率は大略30%となり、ガス化効率を上げる制御方法の検討が必要である。しかし、炉体の複雑化や触媒の使用は、構造が簡単で、安価かつ耐久性のあるガス発生装置を目的とする意味からこれを考慮しないこととした。

### 4) 実用化時の問題点

靱殻ガスの一時貯留を考慮したガス発生炉の制御方法を確立する必要がある。

## 2.4 連続ガス化装置DHF-811型の試作

改良型の連続ガス化装置DHF-811型において制御の自動化を進め、靱殻ガスのバーナやエンジンへの利用を考慮してガスホルダを設置し、更に実用的な技術へと発展させる。

### 2.4.1 試験方法

#### 1) DHF-811型の試作

DHF-801型にガス一時貯留用の有水式ガスホルダを増

設し、酸素濃度によって駆動される三方弁及びガスの貯留を検知するガス容量計を設けた。更に炉内温度の制御を強化するため、これまでの炉底面よりの距離45cm(第1層)、80cm(第2層)に115cm(第3層)を加えて各層3点、計9点とし、炉を安定して制御することによって利用装置へのガスの安定供給を図った。

装置の自動化を主な設計目標とし、安全性については制御プログラムの面から特に配慮した。なお、プログラムの開発はBASIC言語による。

#### ① ハードウェア

主制御装置としてマイクロコンピュータを用い、燃渣排出機、バケットエレベータ、ロータリーバルブ、燃渣消火用電磁弁及びポンプ、オーガコンベア、ガス発生用ファン、三方弁を駆動できるようにした。ファンは、D/Aコンバータ、モータコントローラを介して、回転数を変え得るようにした。ガス貯留量は、ガス容量計からのアナログ信号をA/Dコンバータを介して入力し、ホッパ内靱殻レベル、発生炉内靱殻レベルはそれぞれのレベル計よりの接点信号をリレーインターフェースを介して入力した。

炉内温度、炉出口ガス温度、ガス流量計前ガス温度、酸素濃度等は、データロガー及びGPIBを介して入力した。

バケットエレベータ及びロータリーバルブのコンピュータによる制御は、各部機械のテストルーチンのみとし、通常運転時にはそれぞれホッパ内靱殻レベル計及び発生炉内靱殻レベル計と論理回路によって直接行うようにした。

#### ② ソフトウェア

燃渣排出温度、排出回数、警報温度、警報酸素濃度等を任意に設定可能とし、キーボードより入力した。ガス発生(炉の運転)に入る前に各装置の駆動テストを行うようにし、故障等による異常運転を防止した。

酸素濃度の測定値を超えた靱殻ガスは、無条件に大気に放出し、設定以下の場合にガスホルダ内に貯留するようにして、安全性を確保した。

炉内第1層、第2層、第3層の層毎の最高温度、及び炉出口ガス温度が警報温度を超えた場合は、運転終了ルーチンを作動させ、送風量を減じて燃渣排出機を駆動し、安全に炉内の靱殻を排出して、炉の運転を停止するようにした。これによって炉内で異常燃焼があっても、炉を損ねることなしに安全に消火、排出し、再運転を可能にした。

燃渣排出機の駆動は、層毎の炉内温度の最大値がその



駆動設定温度を超えた場合に行うようにした。正常に運転が行われている場合の炉内温度は、第1層>第2層>第3層の順であるが、層間の温度が逆転した場合には、特に安全性を考慮して燃渣排出機を駆動した。

炉運転開始（点火時）より第1層の温度の平均が500℃になるまでは、その温度に応じてファンの回転数を調

整し、安定な炉の始動を図った。

通常運転時のガス発生量の制御はガス貯留量で行い、基準値をガスホルダの70%容量（21m<sup>3</sup>）、ガス圧1.96kPaとし、その値と実際の貯留量との差によって、ファンの回転数を制御した。制御の流れを図14に示す。

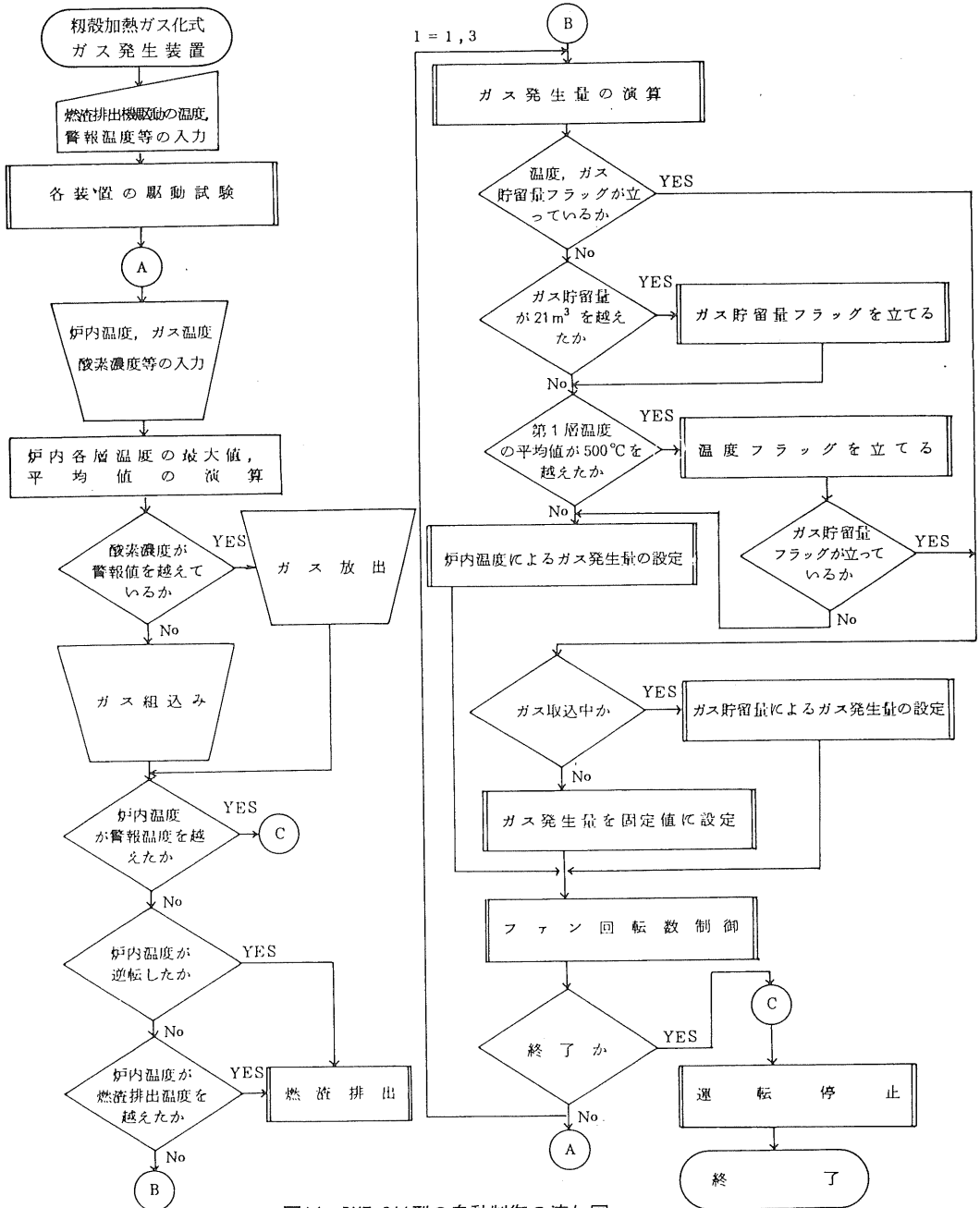


図14 DHF-811型の自動制御の流れ図

2) 性能試験

(1) 供試材料

昭和56年度産榎殻

(2) 試験条件

設定した試験条件を表5に示す。

表5 DHF-811型における試験条件

因 子		水 準
ガス発生量 (ℓ/s)		7, 8.5, 9, 9.5
炉底よりの距離 と燃渣排出機の 駆動設定温度	第1層 (°C)	1,100- (1), 1,200- (2)
	第2層 (°C)	600- (1), 700- (2)
	第3層 (°C)	400- (1), 500- (2)

注：( ) 内の数字は駆動回数を示す。

(3) 測定項目

① 温度

炉内第1層、第2層、第3層についてはR型熱電対、炉出口ガス温度、ガス流量計前ガス温度及び気温についてはT型熱電対で測定した。

② ガス発生量

発生炉とガスホルダの間に設定したオリフィス流量計により測定した。

③ 酸素濃度

ガルバニ電池方式のO<sub>2</sub>アナライザ(飯島精密製)により測定した。

④ ガス貯留量

ガスホルダのガス層のレベルを測定し、そのレベルよりガスの容積を求めるガス容量計(桜測器製)により測定した。

⑤ 揮発分、固定炭素、灰分

供試榎殻及び燃渣の揮発分、固定炭素、灰分の分析はJIS「石炭類及びコークス類の工業分析法」(JIS M8812-1976)に準拠した。揮発分については電気炉の温度が900℃に達してから試料を入れて7分間保持し、灰分のうち燃渣については815℃に達してから試料を入れて1時間保持し、榎殻については試料を入れた後、常温から500℃までは扉を少し開けて昇温し、その後は閉じた状態で815℃まで昇温して1時間保持した後、試料を取り出してその減量を測定し、次式によって求めた。

$$\text{揮発分}(\%) = \frac{\text{加熱減量}(\text{g}) - \text{水分}(\text{g})}{\text{試料}(\text{g}) - \text{水分}(\text{g})} \times 100$$

$$\text{灰分}(\%) = \frac{\text{灰量}(\text{g})}{\text{試料}(\text{g}) - \text{水分}(\text{g})} \times 100$$

$$(\text{g}) \times 100$$

$$\text{固定炭素}(\%) = 100 - \text{揮発分}(\%) - \text{灰分}(\%)$$

なお、水分は135℃-24h法で求め、試料は約1gとした。

2.4.2 結果及び考察

装置の概要を図15、性能試験結果を表6に、自動運転における例を図16、図17に示す。

炉の運転開始(点火)時より炉が十分に暖まって通常運転に入るまでの間の自動運転は良好に行われ、ガスホルダの一定容量を確保すべくファンの回転数をモータコントローラが制御している。この制御により、実用化に向けての重要な問題点の一つを解決し得た。

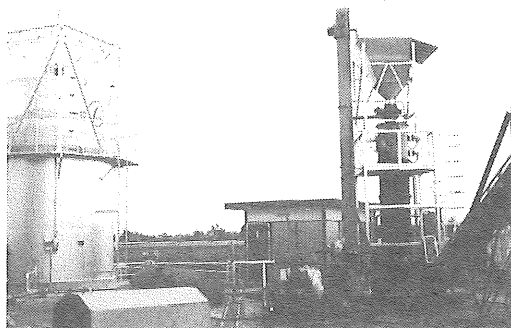


図15 DHF-811型(全景)

表6 DHF-811型における性能試験結果

項目	No.	1		2		3		4	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
ガス発生量	(ℓ/s)	6.9	0.7	8.3	0.9	8.8	0.5	9.3	0.8
温度	第1層	744.9	63.5	771.2	127.1	772.6	67.7	769.3	95.2
	第2層	157.2	6.0	130.1	3.5	137.1	2.1	157.9	33.9
	第3層	98.0	3.0	82.3	2.2	88.8	1.8	116.2	24.5
	炉出口	56.0	3.3	57.5	3.4	54.4	4.2	56.5	5.9
度	流量計前	32.6	2.5	36.1	0.8	23.1	0.8	36.6	3.0
	外気	8.9	-	14.7	-	11.3	-	15.0	-
ガス貯留量	(m <sup>3</sup> )	20.9	0.1	21.0	0.1	20.9	0.1	20.9	0.2
連続運転時間	(h)	5.5		4.5		5.0		5.2	

1) 榎殻ガス発生量

ガス発生量は6.9、8.3、8.8、9.3 ℓ/sでほぼ設定した条件を満足していた。

通常運転時の最少ガス発生量についてなお検討の要があるものの、6~11 ℓ/sの発生量では順調に自動運転が行われることが判明した。ガスホルダの70%容量を保つための自動制御も、貯留量の標準偏差が±0.1~0.2m<sup>3</sup>となり、実用に供し得ることが分かった。

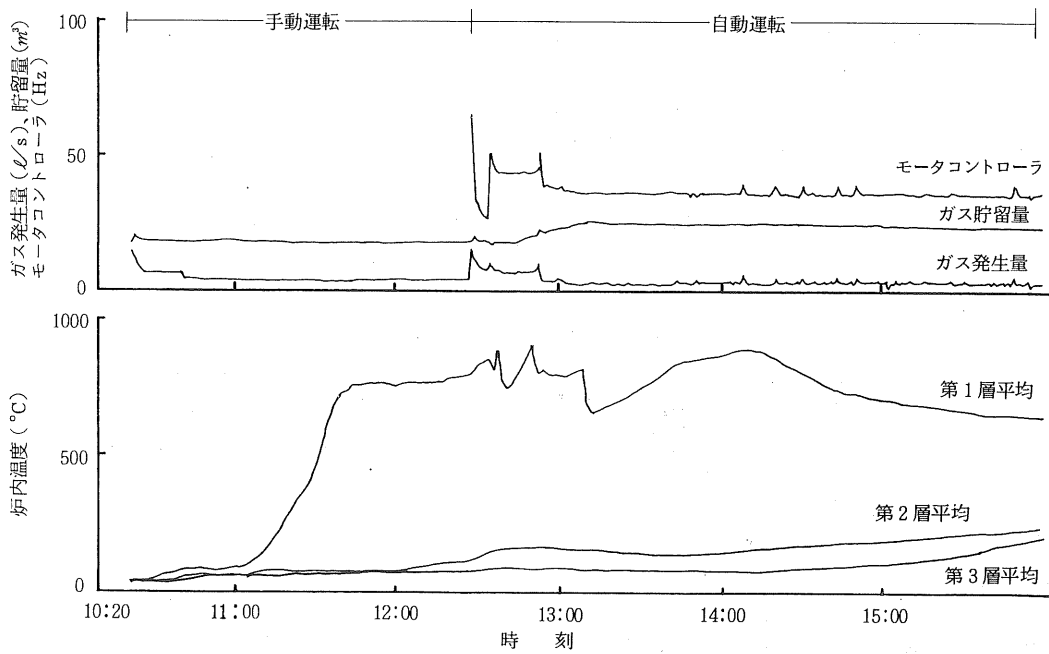


図16 DHF-811型による最少ガス発生運転試験

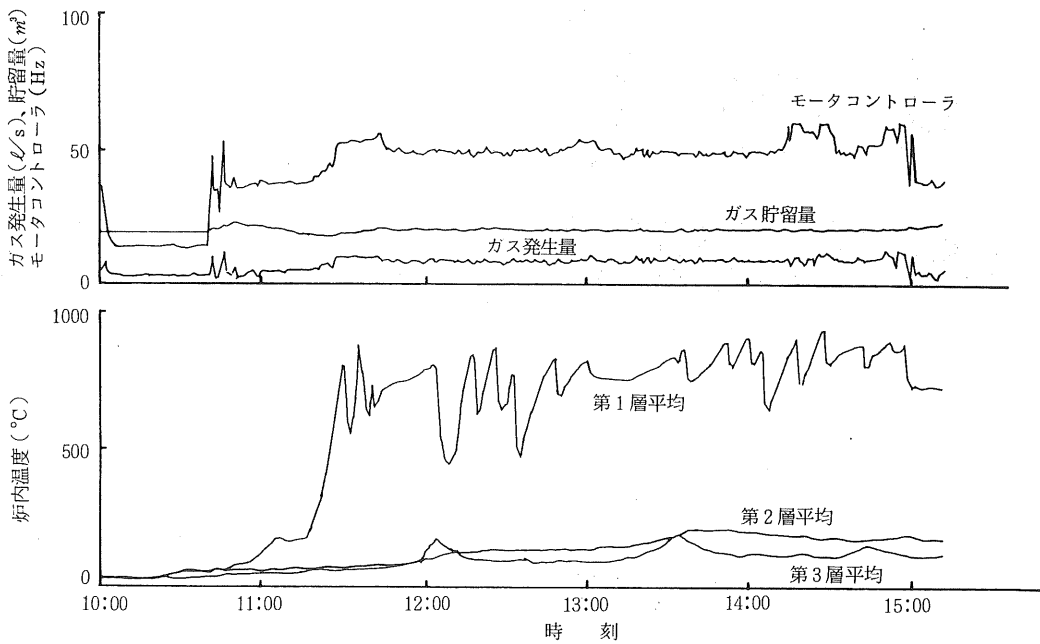


図17 DHF-811型による炉立上がり時の自動運転の例

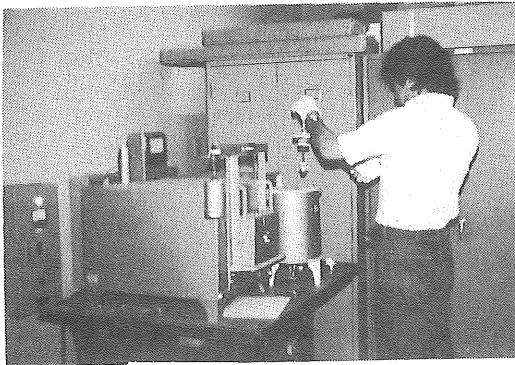
## 2) 炉内外温度

炉内の平均温度は第1層で765℃、第2層で145℃、第3層で95℃で、第1層の上方でガス化されていると考えられる。第3層の温度が低いことから安全性を考慮したとしても炉の高さを下げ、コスト低下を図り得ると判断した。

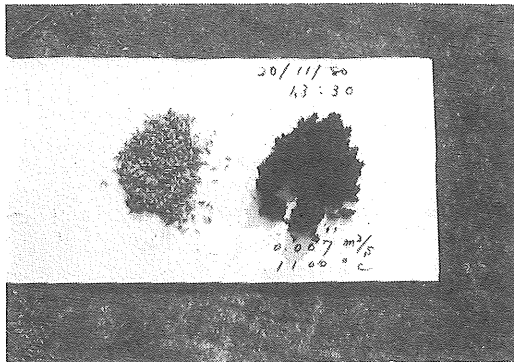
炉出口でのガス温度は約55℃で、供給籾殻は予熱されていることが分かった。

## 3) 籾殻の揮発分、固定炭素、灰分

工業分析に用いた電気炉とサンプルの例を図18に示す。



供試した電気炉



サンプルの一例

図18 工業分析

供試籾殻の揮発分、固定炭素、灰分はそれぞれ61、19、20%程度、燃渣については5、36、59%程度で、なお燃料等として活用の可能性と必要性を認めた。籾殻の可燃成分を本方式においてより多く利用することも一つの方法であるが、稼動期間、耐久性、コストを考えると、燐炭を更に利用する技術を開発する方が有利であると判断した。

## 4) 籾殻ガスの貯留

長期間に亘って籾殻ガスを貯留した際、構成しているガス成分の分離が懸念されるような、籾殻ガスへの点火

が困難な状況があった。このため、一時貯留タンク内でのガス成分均一化装置について検討したが、実用化時は稼動期間をとおして連続運転が要求されていることでもあり、その必要性を認めなかった。

## 5) 実用化時の問題点

空気の流入によるとみられる籾殻ガス酸素濃度の上昇が認められた。これは籾殻供給用ロータリーバルブの摩擦によるものと判断され、極めて重要な問題として改善策を検討した。

## 2.5 連続ガス化装置DHF-821型の試作

改良型の連続ガス化装置DHF-821型において、自動運転による実用性の追究、籾殻ガス精製装置の試作、籾殻加熱ガス利用システムにおける籾殻ガス発生部としての完成を図る。

## 2.5.1 試験方法

## 1) DHF-821型の試作

DHF-811型を改良し、実用化に向けて取扱性をも考慮した制御部とした。主要な改良部を以下に示す。

① 籾殻ホップへの籾殻供給をバケットエレベータ方式から空気搬送方式にした。

② 籾殻ホップからガス発生炉迄の籾殻供給に用いていたロータリーバルブが、稼動時間100h程度で摩擦により空気漏れを生じたため、より空気遮断効果の高いダブルダンパと交換した。

③ コスト低減を図って炉の高さを2/3 (1.8m)にした。

④ 籾殻ガス中に含まれるタール・水分等を除去し、籾殻ガス利用装置に清浄なガスを供給するため、ガス配管の外から冷却することによって水分等を凝縮分離する散水式ガス精製装置と、流入速度10m/s (籾殻ガス発生量36m<sup>3</sup>/h時)で設計したタール等を除去するサイクロン式ガス精製装置を試作した。ファンの前に散水式、ファンの直後に拡散除去効果を狙ってサイクロン式を配置した。

⑤ 制御プログラムをASSEMBLER言語に変更して制御サイクルを速め、籾殻ガス発生最適化を図った。また、取扱性を良くするためにキーイン方式をボタン操作方式にした。

## 2) 籾殻ガス中のタール含量の測定

籾殻ガス中に含まれるタールは籾殻ガスバーナ、籾殻ガスエンジンに大きな影響を与える。そこで、ガス精製装置通過後の籾殻ガス中のタール含量を測定し、試作した籾殻ガス精製装置の性能を明らかにし、ガスホルダ通

過後のタール含量についても予備的に調査した。

① 測定方法

籾殻ガス微量サンプリング装置を試作した。これにより600mℓ/minの割合でサイクロン通過後の籾殻ガスを採取し、市販のタバコ用タールフィルタに蓄積したタールの量を感量0.1mg 精密天秤を用いて測定し、次式により籾殻ガス中のタール含量として表した。

$$Wg = (W_2 - W_1) \div (Q \times H)$$

ここで、Wg： 籾殻ガス中のタール含量 (mg/m<sup>3</sup>)

W<sub>1</sub>： 供試前タールフィルタ重量 (mg)

W<sub>2</sub>： 供試後タールフィルタ重量 (mg)

Q： 籾殻ガス流量 (m<sup>3</sup>/h)

H： 採取時間 (h)

② 籾殻タールの検知法

籾殻ガス精製装置の性能低下等を自動的に判断するためには、ガス中のタール含量を検知する必要がある。タールフィルタへのタールの蓄積速度からタール含量の増加を知ることができるので、フォトセンサ式、カラーマークセンサ式、ビデオカメラ式の3検知方式について、籾殻ガス微量サンプリング装置を用いてサンプリングし、最適籾殻タール検知法を検討した。なお、フォトセンサ、カラーマークセンサ、ビデオカメラ等のセンサ部には市販のものを用いた。一定量のタールを検知した場合、タールフィルタを交換する必要があるためタールフィルタの自動交換装置を試作し、動作確認を行った。

2.5.2 結果及び考察

DHF-821 型の概要を図19、全景を図20に示す。

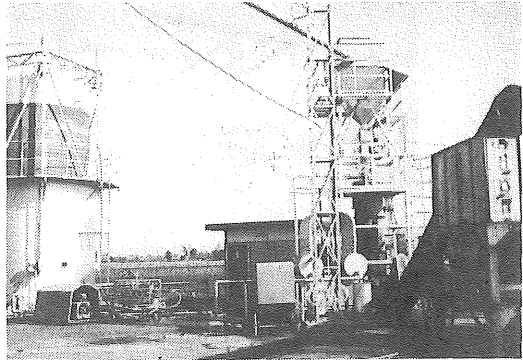


図20 DHF-821型 (全景)

1) 籾殻ガス精製装置の開発

試作した籾殻ガス微量サンプリング装置によるタール含量測定状況を図21に示す。

① 散水式籾殻ガス精製装置の試作

試作装置を図22に示す。

籾殻ガスは散水式ガス精製装置の一方のホルダに流入し、ガス冷却管を通過して他方のホルダに達し、ガス発生用ファンに流れる。

散水はガス冷却管に対して行い、降下した水は双方のホルダをも濡らし、蒸発時の潜熱によって籾殻ガスを冷却し、凝縮した籾殻ガス中の水分等は双方のホルダに流れ込む。散水は水及び電気を節約するため、ガス冷却管に設置した試作濡れセンサ (電極式) の表面が乾いた時のみ行った。

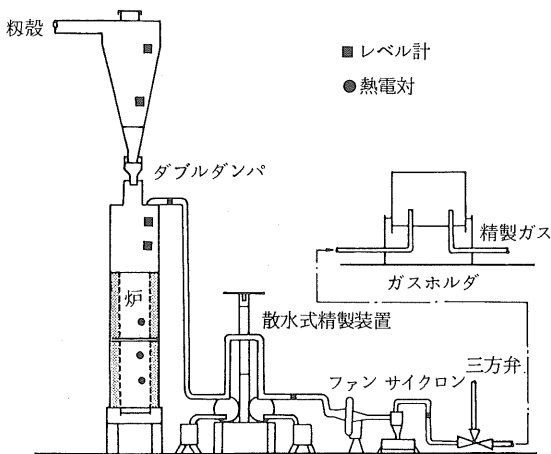


図19 DHF-821型の概要

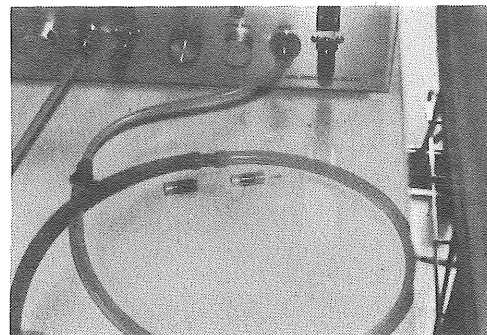


図21 籾殻ガス微量サンプリング装置と供試したタールフィルタ

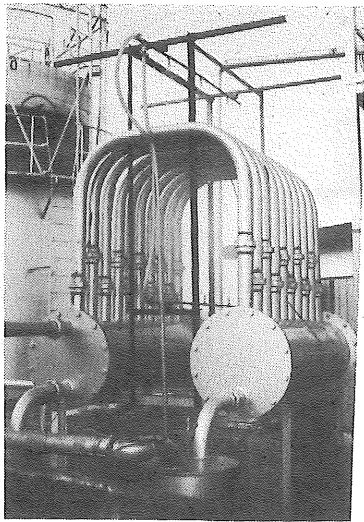


図22 散水式籾殻ガス精製装置  
(散水中)

② 試作サイクロン式籾殻ガス精製装置

試作装置とガス精製装置の全景を図23に示す。

ファンの直後に本装置を設置した効果がみられ、タール分を確実に捕捉していた。

③ 試作散水式籾殻ガス精製装置の性能試験

図24は試作装置における散水の有無による温度低下の状況である。両者ともガス発生炉出口での籾殻ガスの温度は65℃程度であるが、試作装置通過後のガス温度は散水を行った場合は20~30℃、行わない場合は30~35℃で、その差は5~10℃であった。このガス温度低下が、後述の籾殻ガス中タール含量に大きく影響していた。

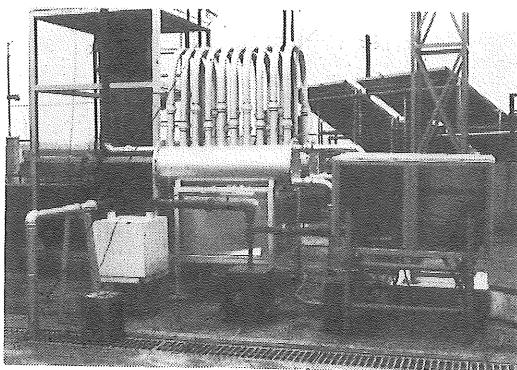
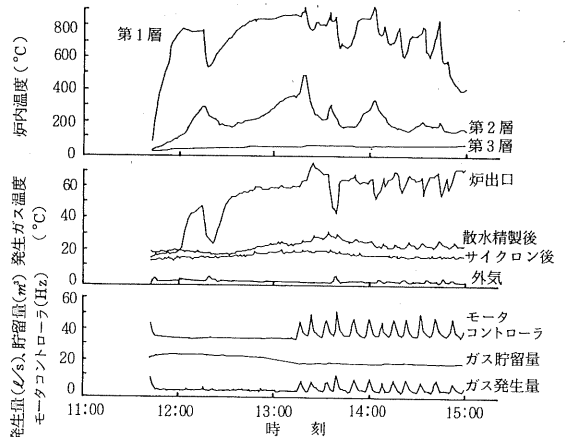
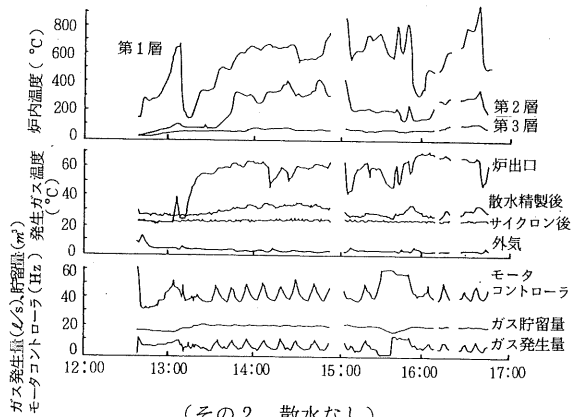


図23 サイクロン式籾殻ガス精製装置(中央)と  
ガス精製装置全景



(その1 散水あり)



(その2 散水なし)

図24 DHF-821型による自動運転の例

2) 籾殻ガス中のタール含量

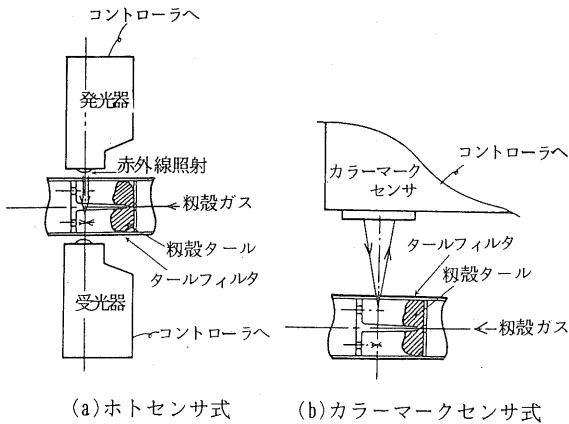
(1) 籾殻タールの検知装置

① タールフィルタ自動交換装置の試作

籾殻ガス精製装置より吸引された籾殻ガスは、16個のフィルタを設けたタールフィルタ自動交換装置を経て籾殻ガス微量サンプリング装置に流れる。籾殻ガス中のタールはタールフィルタに捕捉され、定められたタール量をタール検知センサが感知すると、ステッピングモータによってソケットホルダが動き、ソケットとプラグが離れ、タールフィルタのついたディスクが45°回転し、ソケットホルダを接続して、新しいタールフィルタへのサンプリングを開始する。試験の結果、一連の作動は良好であった。

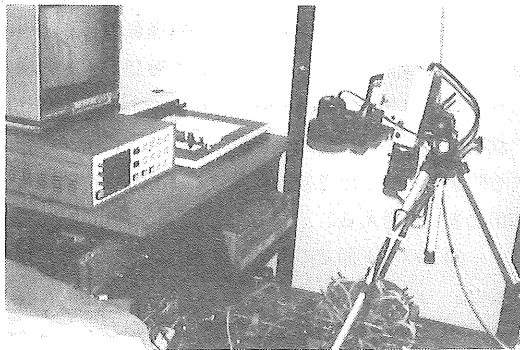
② 籾殻タール検知装置の試作

検討した籾殻タール検知法を図25に示す。



(a) ホトセンサ式

(b) カラーマークセンサ式



(c) ビデオカメラ式

(カメラの下はタールフィルタ自動交換装置)

図25 試作粳穀タール検知装置

## (a) ホトセンサ式検知装置

赤外線をタールフィルタに照射し、その透過量を受光器で検知（\*印の位置まで粳穀タールが蓄積）した時点で信号を出力するようにしたものであるが、その作動は良好であった。

## (b) カラーマークセンサ式検知装置

1個のセンサで発光、受光が可能なので、動作は確実であった。本方式は試験に用いたタールフィルタに有効であったが、反射式で色の識別が可能であるという点から、メンブレンフィルタ等に粳穀ガスを通し、その汚れの程度を検知する場合にも使用し得ると判断した。

## (c) ビデオカメラ式検知装置

ビデオカメラ、画像処理装置、モニタレコーダより構成されている。ビデオカメラより受信、画像を処理してタール部分の面積を求め、粳穀タールの蓄積状態を判断するとともに、処理前後の画像をモニタに映し出す。フィルタのタール蓄積程度の判断基準は、有効面積に対するタール部分の面積割合で任意に決定できる。検知精

度がフィルタの取付精度に影響を受けるため、取付法を検討する必要を認めたが作動状態は良好であった。また、フィルタの汚れ程度を時間的に解析することも可能であり、粳穀タール検知法開発に有用と考えた。

## (2) 実用化時の問題点

以上の試験の結果、粳穀タール検知法としては安価であるフォトセンサ式が现阶段では最適と考えたが、他方式についても実験を重ね更に実用的な方法を開発していく必要がある。

粳穀ガス利用装置でのタールによるトラブルを未然に防ぐシステムの開発は、粳穀加熱ガス利用システムの実用化に際して重要である。

## 3) 粳穀ガス中のタール含量の測定

## (1) ガス発生炉出口での粳穀ガス中のタール含量

タールと水分等の分離等、測定に当たって検討すべき余地はあるが、ガス発生炉出口では大略  $5 \text{ g/m}^3$  と推察した。

(2) 試作散水式及びサイクロン式粳穀ガス精製装置を併用し、散水時の精製効果をみる試験を2回行った。

① サイクロン式粳穀ガス精製装置通過後の粳穀ガス中のタール含量は、 $83$ と $71 \text{ mg/m}^3$  で平均 $77 \text{ mg/m}^3$  であった。なお、試験時間は第1回目約4時間、第2回目は約5時間であった。

② 予備的に測定したガスホルダ通過後と、利用装置へ供給時点の粳穀ガス中のタール含量は、各々 $48$ と $26 \text{ mg/m}^3$  であった。

(3) 試作精製装置で散水しない場合のタール含量は、 $253 \text{ mg/m}^3$ （試験時間約1時間）であった。散水した時のタール含量は散水しない場合の約 $1/3$ で、散水の効果が大きいことが判明した。

試作した散水式粳穀ガス精製装置による粳穀ガスの温度低下が、水分等を凝縮分離し、試作したサイクロン式粳穀ガス精製装置がタール等を効果的に分離し得たことで、粳穀ガス中のタール除去法を解決できた。

## (4) 実用化時の問題点

粳穀ガス中のタール許容含量を利用装置と併せて検討する必要がある。

## 4) DHF-821 型の自動運転プログラムの開発

① 制御プログラムをASSEMBLER 言語に変更し、制御サイクルを速め、制御の最適化を図った。

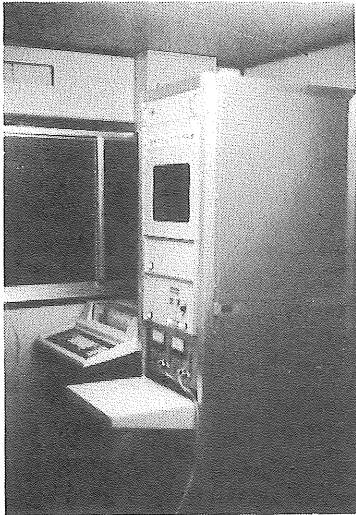
制御サイクルについては10、20、30秒/サイクルの3種類について検討し、現行プログラムについては20秒/サイクルが適当と判断した。最適な制御サイクルタイム

は、制御系によって変化すると考えられるので、今後シミュレーション等によって検討を重ねる必要がある。一般的には、制御サイクルタイムの短縮化が制御システムの安定化を図る上で重要であるが、燃渣排出の制御サイクルタイムは、安定したガス発生を行う上で従来どおりの60秒/サイクルが適していた。

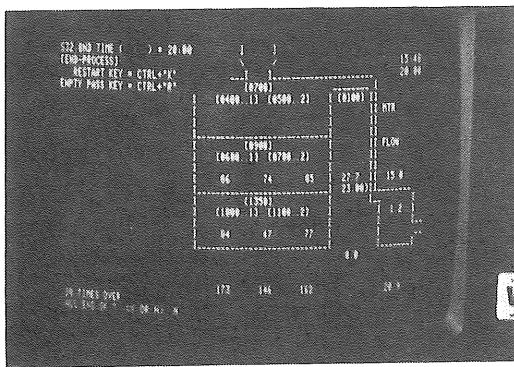
② チェックプログラム等に若干の検討余地が残っているが、ASSEMBLER 言語による自動運転プログラムに一応の完成をみた。

取扱性の面から、実用化を考慮して昨年度までキーイン方式であったものをボタン操作方式としたことで、操作性は向上した。

制御装置の外観と、その表示画面を図26に示す。



全景



ディスプレイ

図26 制御装置

③ ガス発生ファンと、ガス取込・放出切換三方弁を連動させ、ファン電源の停止と同時に三方弁を放出側にし、取込み時はあらかじめ回転数を上げるようにして、ガスホルダからガス発生炉へのガスの逆流を防止し安全性を高めた。

④ 6 ~11 l/sでガス発生時の自動運転が可能であることを前節で明らかにした。さらに、システム設計上非常に重要な最低ガス発生量を検討した結果、ガス発生時の一時停止が可能で、復帰後短時間にガスホルダへ取込むことも可能であった。共同乾燥施設では長期間に亘ってガス発生装置を一時停止する必要はないが、実績によれば3日間は一時停止していてもガス発生炉内に火種が残っており、ガス発生用ファンの再運転で可燃性の靱殻ガスを短時間に発生させ得ることを確認し、その操作もガス発生用ファンのON・OFFで可能であった。これまで試験終了毎に炉内靱殻を全量排出してきたが、この損失を防止することができ、実用的にみてもトラブル時に応用できると考える。

⑤ ハード面での今後の課題として、停電対策が残った。

⑥ 基礎試験をもとに、DHF-791型以来改良を重ねてきた連続ガス化装置は、炉内温度、ガス成分に変動はあるものの、燃渣の間欠排出で連続的な靱殻ガスの発生を可能にし、安定した燃焼状況を得ることができた。DHF-821型をもって、利用装置を考慮したシステムとして一応、完成し、実用化の可能性を認めた。

## 2.6 摘要

1) 基礎試験の結果、構造が簡単なアップドラフト型のガス発生炉により、靱殻から可燃性のガスを得ることを可能にした。

2) 基礎試験結果をもとに、靱殻の連続ガス化装置DHF-791型を試作し、手動運転をとおして、ガス発生条件等に関する基礎的資料を得るとともに、燃渣の間欠排出方式による連続ガス化を可能にした。

3) 連続ガス化装置DHF-801型では、DHF-791型における手動運転のノウハウをもとに、制御の自動化及びガスの分析を行った。

供給靱殻量とガス発生量 ( $1 \text{ m}^3$  - 靱殻ガス/kg - 靱殻)、靱殻ガスの発熱量 (約  $4,200 \text{ kJ/m}^3$ )、靱殻ガスの成分 ( $\text{H}_2$ : 約10%、 $\text{N}_2$ : 約50%、 $\text{O}_2$ : 約3%、 $\text{CO}$ : 約20%、 $\text{CO}_2$ : 約10%、 $\text{CH}_4$ : 約2%、その他  $\text{C}_2\text{H}_4$ 、 $\text{C}_2\text{H}_6$ ) を明らかにし、ガス発生時の自動化についてもその可能性を見いだした。



4) 連続ガス化装置DHF-811型では、ガスホルダを加え、利用装置へ粳穀ガスを一定圧で、安定して供給することを可能にした。

通常運転時の平均炉内温度（炉底より45cm：約760℃、80cm：約150℃、115cm：約100℃）、平均炉出口ガス温度：約55℃を明らかにし、BASIC言語によるガス発生自動運転プログラムを開発した。

粳穀（揮発分：約61%、固定炭素：約19%、灰分：約20%）、燃渣（揮発分：約5%、固定炭素：約36%、灰分：約59%）の工業分析結果より、ガス化が揮発分を主体として行われていること、燃渣になお燃料としての可能性のあることを認めた。

5) 連続ガス化装置DHF-821型では、制御プログラムをASSEMBLER言語に変更して制御の最適化を図り、炉高を2/3（1.8m）とするコスト低減策、ガス精製方法等に改良を加えた。

ガス発生炉の一時停止がファンの停止で可能で、復帰後短時間でガスホルダへのガス取込みができることを確認するとともに、炉の高さを下げてもガスの性状に変化なく、安全性にも支障はなかった。

サイクロン式ガス精製装置通過後の粳穀ガス中のタール含量をみると、散水式ガス精製装置の散水を行った場合は散水しない場合の約1/3で、炉出口の約5%に対し約80mg/m<sup>3</sup>（約1/50）にまで精製し得た。これにより粳穀ガス中のタール除去を技術的に解決した。

6) DHF-821型をもって、粳穀の連続ガス化装置としてのガスの発生、制御、精製、一時貯留に関する一連の技術に完成をみ、これによって乾燥の加熱源、動力源としての利用装置の開発に移り得ると判断した。

### 3 粳穀ガス利用装置の開発研究

#### 3.1 利用装置の試作

粳穀ガスを乾燥の加熱源並びに、動力源として利用する装置を開発する。

加熱源としての粳穀ガスバーナの試作、乾燥調製の動力源としての粳穀ガスエンジンの試作を行い、粳穀加熱ガス利用システム実用化のための資料を得る。

##### 3.1.1 方法

1) LPガスを補助バーナとする汎用ガスバーナの適用性

LPガスを補助バーナとする汎用ガスバーナUD-801型<sup>64)</sup>を用いて粳穀ガスの乾燥の加熱源としての燃焼状況を観察した。

##### 2) 粳穀ガスバーナHGB-821型の試作

灯油換算で3ℓ/hの燃焼量を有し、連続ガス化装置DHF-821型に接続する粳穀ガス用バーナHGB-821型を試作した。このバーナによる燃焼状態を観察するとともに、市販の循環式乾燥機（呼称粳穀張込量2ton、灯油バーナのみ除去）に付設して熱風温度むらについて調査し、粳穀ガスバーナ付穀物用乾燥機的设计資料とした。温度むら（測点：熱風路内6、吸気1）は次式により求めた。

$$H = (T_h - Y) \div T_m \times 100$$

ここで、H：熱風路網面における温度むら（%）

T<sub>h</sub>：各測点中の温度（時間的平均値）の最大値（℃）

Y：各測点中の温度（時間的平均値）の最小値（℃）

T<sub>m</sub>：上昇温度平均値（℃）

#### 3) 粳穀ガスによる動力変換の可能性

行程容積168ccのガソリンエンジンを用い、粳穀ガスによる運転の可能性を調査した。次に行程容積226ccの都市ガス仕様エンジンを用いて粳穀ガスを燃料とする運転試験を実施し、30h運転後に粳穀ガス中のタール等のエンジンに及ぼす影響を観察した。さらに、粳穀ガス用に改良した行程容積226ccのガスエンジンにより、動力変換の可能性を調査するため、約80hの長時間運転を実施した。

##### 3.1.2 結果及び考察

1) LPガスを補助バーナとする汎用ガスバーナの適用性

図27に汎用ガスバーナUD-801型の系統図、実験状況、燃焼状況を示す。

燃焼は安定しており、燃焼排ガスに異臭は認められず、粳穀ガスを乾燥の加熱源としてバーナに利用し得ることを確認した。

##### 2) 粳穀ガスバーナHGB-821型の試作と燃焼試験

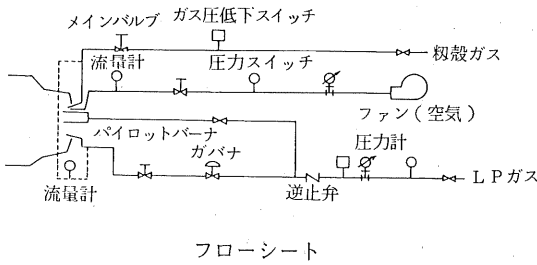
図28に試作した粳穀ガスバーナHGB-821型を示す。

試作したバーナは点火時に粳穀ガス臭を認めた。観察によれば、着火部からバーナ全体への炎の伝播が遅いためであることが判明したので、ガス吐出口の前に簡単な保炎板を設け、これを解決した。

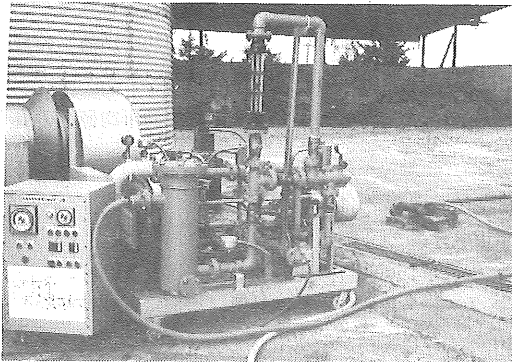
試作粳穀ガスバーナを付設した場合の温度むらは28%程度で、実用に供し得ると考えられたが、さらに、粳穀ガスバーナの組み込まれた乾燥機について検討する必要がある。

#### 3) 粳穀ガスによる動力変換の可能性

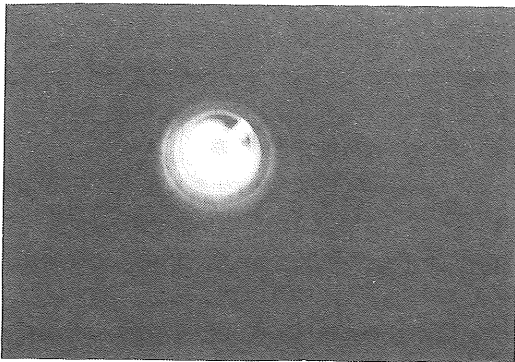
##### ① ガソリンエンジンによる予備運転



フローシート



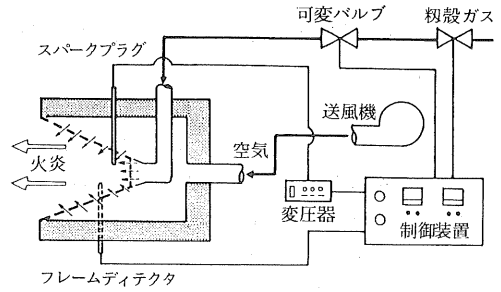
試験風景



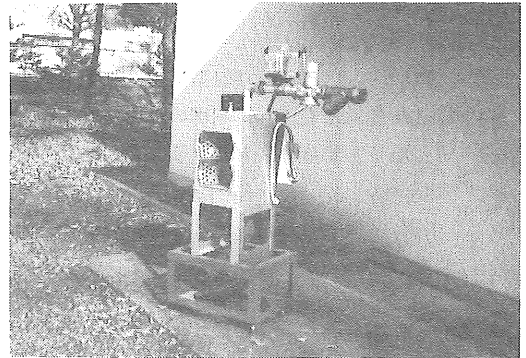
燃焼状況

(右上はLPガスで、中央が籾殻ガス)  
図27 LPガスを補助バーナとする汎用  
ガスバーナUD-801型

改良した連続ガス化装置DHF-791型を用いて、図29に示すガソリンエンジンの始動、運転を行った。エンジンのオイルフィルタを取り外し、湿式ガス精製装置を通過した籾殻ガスをキャブレタに導入する一方、試行錯誤によりキャブレタ開口部を覆い、エンジンの始動、運転を可能にした。実験の都合上、7時間程度の連続運転の繰り返しであったが、エンジンの回転は安定しており、ガス発生炉を停止するまで附属の発電機を介して警告灯及び60Wの白熱灯を点灯することができた。しかし、運転



フローシート



籾殻ガスバーナ

図28 試作籾殻ガスバーナHGB-821型

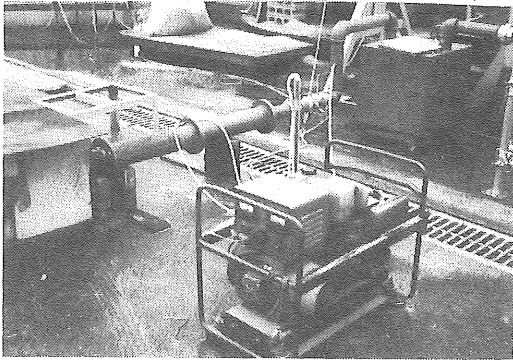
を停止した翌日の始動時には、エンジン本体の温度低下でヘッド部にタールが固着して始動不能となり、分解洗浄によるタルの除去が必要であった。これにより、籾殻ガスの精製の重要性を認識した。

② ガソリンエンジンによる運転試験

連続ガス化装置DHF-801型を用いたガソリンエンジンの始動、運転は可能で、エンジン、発電機、モータを介して送風機を駆動することができ、籾殻ガスによる動力変換の試みは一応の成果を得た。しかし、籾殻ガスの精製度を更にする必要性を認めた。

③ 都市ガス仕様エンジンによる性能試験

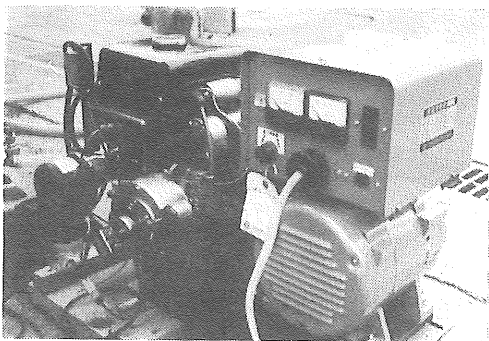
連続ガス化装置DHF-811型を用いた図30に示すガスエンジンの始動、運転は良好で、図31、32に示すように圧縮比を8.9、11.6、14.4に変えて燃焼性能、部分負荷性能を調査した結果、ノッキングの状況等から圧縮比は9、点火時期は上死点前30度付近が適正と判断した。この時の熱効率率は20%、エネルギー消費率は毎時馬力当たり14.65MJ程度で、発電機を介してモータによる送風機等の運転も可能であった。



供試機関主要諸元

形式	空冷4サイクル直立単気筒ガソリンエンジン
総排気量	168cc
連続定格出力	2.6kW (3.5PS) / 3500rpm
最大出力	3.7kW (5.0PS) / 4000rpm
形式	交流発電機
出力	1 KVA
サイクル	60 Hz
電圧	100 V
回転数	3600 rpm

図29 ガソリンエンジンの適用性



供試ガス機関主要諸元

形式	水冷4サイクルガスエンジン
行程容積	226cc
ボア径×ストローク	66×66mm
最大出力	2.5kW (3.4PS) / 2,400rpm
連続定格出力	2.4kW (3.0PS) / 2,400rpm
出力軸回転方向	フライホイール側より見て左
圧縮比	9
潤滑油量	最大0.95 (有効0.15) ℓ
点火方式	フライマグCDI方式
始動方式	電気スタータ 12V・1kW
调速方式	— 遠心力式
ミキサー	— 三国工業kk製BVR24改造品
レギュレータ	— インプコ社J型改造品
エアクリーナ	— 工研社 サイクロン式
乾燥重量	46kg
長さ×巾×高さ	約500mm×約430mm×約140mm
使用燃料	— 籾殻ガス

但し、出力欄は推定値

図30 供試した都市ガス仕様エンジン

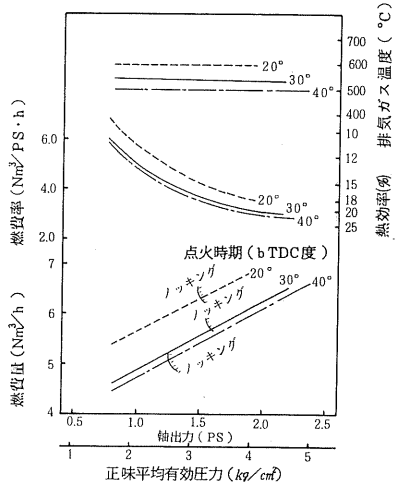
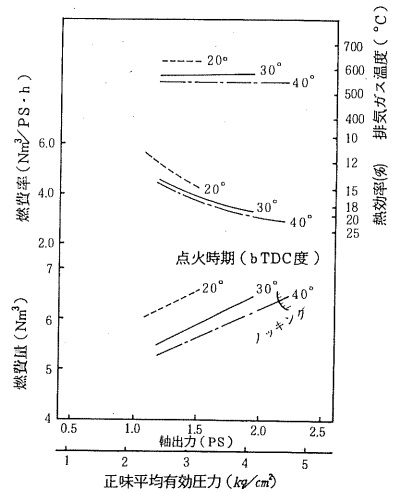
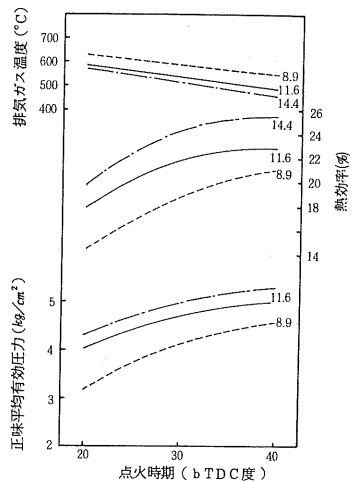
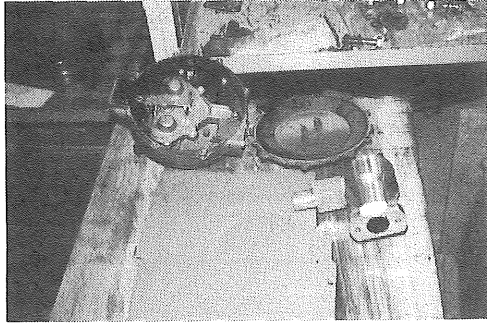


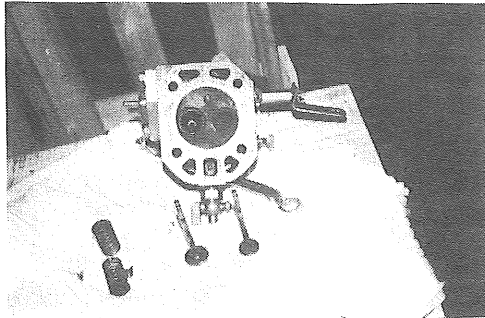
図31 部分負荷性能



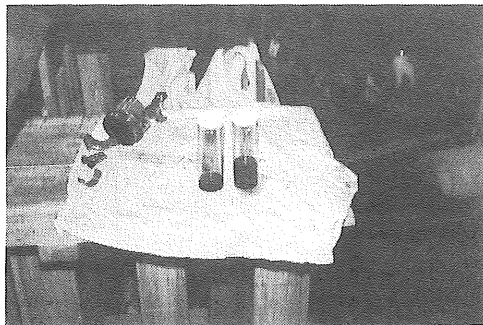
30h の運転後分解調査した結果、図33に示すようにゼロガバナ、ミキサにタールの付着を認めた。タールの影響は吸気側のタペット、エンジンオイルにも認められたが、排気側、点火プラグ、シリンダには異常を認めなかった。したがって、エンジンの燃焼室に入ればタールの影響はないことが分かった。



ミキサ、ゼロガバナにタールの付着あり



吸気側にタールの影響あり、排気側になし



エンジンオイルにタールの影響あり(左が30h後)

図33 30h 運転後の分解調査

#### ④ 籾殻ガス仕様エンジンによる運転試験

連続ガス化装置DHF-821型を用いて、タール対策をした図34に示す改良型の籾殻ガスエンジンの運転を約80時間実施した。その結果、運転は良好で、ヘッド部、バルブ部でタール対策の効果を認め、動力変換を技術的に解決した。

以上の結果、共同乾燥施設において籾殻をガス化し、乾燥の加熱源のみならず乾燥調製用機械の動力源として利用し得ることがわかった。

#### 4) 実用化時の問題点

モデルプラントにおける実用運転試験を経て、システムとしての実用化の可能性について更に検討を加え、実用規模の設計、試算等を行う必要がある。

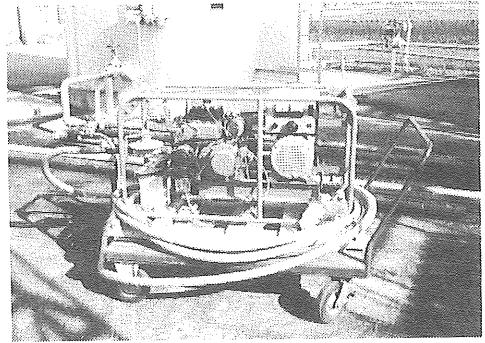


図34 タール対策後の籾殻ガス仕様エンジン

### 3.2 籾殻タール軽質燃料化装置の試作

共同乾燥施設の加熱源及び動力源として籾殻ガスを利用するシステムでは、籾殻重量比1/3の籾殻燻炭と籾殻重量比約0.5%の籾殻タールが二次的に発生する。

籾殻タールについては性状等を調査するとともに、高付加価値化のための装置を試作し、有効利用を図る。なお、燻炭については調査結果とともに第5章で述べる。

#### 3.2.1 方法

##### 1) 予備調査

市販の噴霧式タールバーナ(尾花屋産業製TB-F型、TB-P型)を用い、バーナ用燃料としての籾殻タール利用の可能性について調査した。

また、市販の遠心式分子蒸留装置(日本車輛製造製MS-380型)を用い、籾殻タール蒸留の可能性について調査した。

(財)東海技術センターに籾殻タールの発熱量測定を依頼し、その有効利用についての可能性を検討した。

## 2) 糶殻タール軽質燃料化装置 (STD-861 型) の試作

予備調査の結果を参考に、糶殻タールを噴霧して蒸留する方式の糶殻タール軽質燃料化装置を試作した。

供試材料の糶殻タールは、糶殻ガスの冷却工程で凝縮と同時に塵埃等を除去し、サイクロンで捕捉して得たものである。設計時の留意点としては、試作装置蒸留部における糶殻タール噴霧ノズルの目詰まりを防止するため、原料タンクに張込む前にY字型ストレーナを通過させたこと、噴霧ノズルの交換を容易にしたことである。

### 3) 糶殻軽油性状の分析

試作装置STD-861 型を用いて糶殻タールを蒸留し、各留出分 (糶殻軽油) に対する燃料化の可能性について、(財) 新日本検定協会に分析を依頼し、その結果について検討を加えた。

なお、糶殻タールは昭和59年度に製作した糶殻加熱ガス化パイロットプラントの実用運転において、昭和61年度の糶殻乾燥調整時に得たものを用いた。

糶殻タールを蒸留して得た留出分の分析項目は、水分、泥水分、比重、API 度、灰分、全硫黄分、全塩素分、窒素分、鋼板腐食試験、煙点、動粘度、引火点、総発熱量、真発熱量、残留炭素分、セタン価等で、分析はJIS に準じて行った。特筆すべき事項について以下に述べる。

① 全塩素分：JIS、ASTMといった公定法がないので試料を酸水素炎で燃焼させ、生じた塩素イオンをチオシアン酸第2水銀吸光光度法により定量測定した。

② 真発熱量：総発熱量を基にJIS K2279-1980の備考欄にある計算式より算出した。

$$H_n = H_g - 6(9h + W)$$

ここで、 $H_n$ ：真発熱量 (J/g)

$H_g$ ：総発熱量 (J/g)

$h$ ：試料中の水素含有量 (%)

$W$ ：試料中の水分 (%)

③ 燃料としての価値：糶殻軽油をディーゼルエンジンの燃料に使用することを想定した場合、セタン価の測定が必要となる。セタン価はディーゼル燃料の着火性を表す指標とされているが、測定に当たってはエンジン試験器を使用しなければならないのでセタン価の代替となるセタン指数をJIS K2204-1983軽油に規定されている次式により算出した。

$$C = 0.49083 + 1.06577(X) - 0.0010552(X)^2$$

ここに、 $C$ ：セタン指数

$$X = 97.833 (\log A)^2 + 2.2088 \log A + 0.01247B^2$$

$$-423.51 \log A - 4.7808B + 419.59$$

A：9/5 (760mmHg における50%留出温度°C) + 32

B：API 度

④ 元素分析：元素分析計により試料中の炭素及び水素の含有量を測定した。

⑤ 他の鉱油との比較：ガスクロマトグラフにより炭素数分布を調査した。同一測定条件下における炭素数既知のノルマルパラフィンのクロマトグラムを基に、試料成分の炭素数を同定するとともに他の鉱油と比較した。

また、フーリエ変換赤外分光光度計を用いて試料の赤外線吸収スペクトルを測定し、他の鉱油のスペクトルと比較した。

## 3. 2. 2 結果及び考察

### 1) 糶殻タールの有効利用に関する予備調査

#### (1) 糶殻タールの性状

取得した糶殻タールは、図35に示す性状のもので水分を含んでいる。利用に当たって、まずタールと水分との分離を試みた。長時間静置して上層の水分を除去した後、水分離剤を混入したがその効果は明確ではなかった。畜糞のガス化<sup>65)</sup>においては、得られたタールの水分離に難点があって、水分離剤を利用しており、糶殻タールは畜糞タールとは極めて様相を異にしていることが分かった。糶殻タールは、前処理の簡易さにその有利性を認めた。

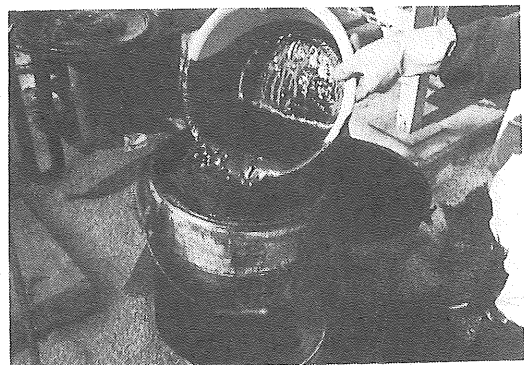


図35 糶殻タール

糶殻タールはpH 3.4で酸性が強く、その利用に当たっては機器の材質を考慮する必要を認めた。また、発熱量は23.99kJ/gであった。

#### (2) 噴霧式タールバーナの適用性

糶殻タールは、取扱性等の面から加温して流動性を上げるよう配慮する必要がある。

2 型式のタールバーナによる燃焼試験の結果、図36に示すようにバーナ燃料として利用可能であった。2 型式のうち燃焼ガスの強制霧化装置を燃焼筒内に組み込んだTB-F型においても、燃焼排ガスにはタール臭を認めた。噴霧ノズルの口径や形状、噴霧圧力等更に改善しなければ、穀物乾燥時の直接加熱源としては難点があると判断した。

(3) 穀物タールの蒸留試験

蒸留試験結果を表7、図37に示す。

穀物タールは蒸留可能であり、フラクション (Fr-) 3 ~5は燃料として利用し得ると推察した。しかし、穀物ガス中に含まれている塵埃、夾雑物、穀物タール中の水分は効率的な運転を行う上からも、前処理により除去しておく必要がある。

2) 穀物タール軽質燃料化装置(STD-861型)の試作及び蒸留試験

穀物タール軽質燃料化装置のフローを図38、試作した装置を図39に示す。

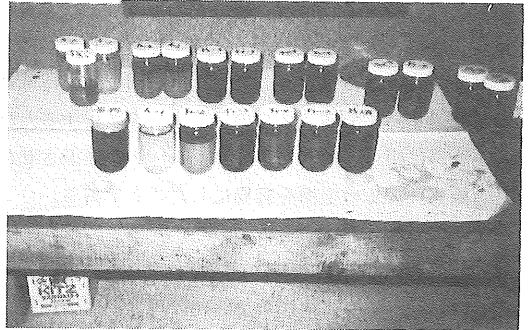
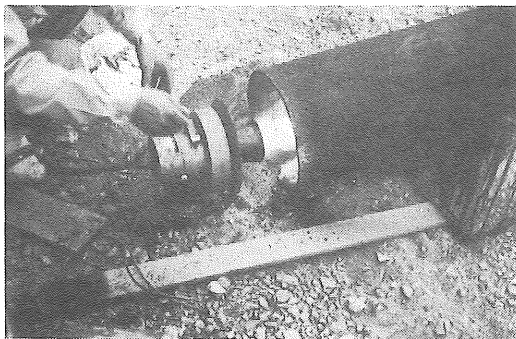


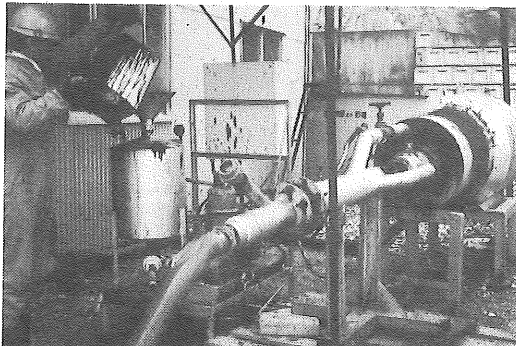
図37 穀物タールの蒸留サンプル

表7 穀物タール蒸留試験結果 (予備調査)

テスト No.	穀物タール 供試質量(kg)	全留出量の割合(%)	留出区分 (Fr-)	蒸留温度 (°C)	真空度 (Pa)	留出量 (%)	備考
P	8.55	51.6	1	減圧脱水	-	26.0	
			2	減圧脱水	-	4.7	
			3	65	240	5.5	
			4	72~75	200	6.4	
			5	89	173	9.0	
備考	1) 蒸留装置は、日本車輛製造(株)製の遠心式分子蒸留装置MS-380型を使用。 2) 残査量2.09kg、機内残2.04kg						



TB-P型



TB-F型

図36 タールバーナの適用性

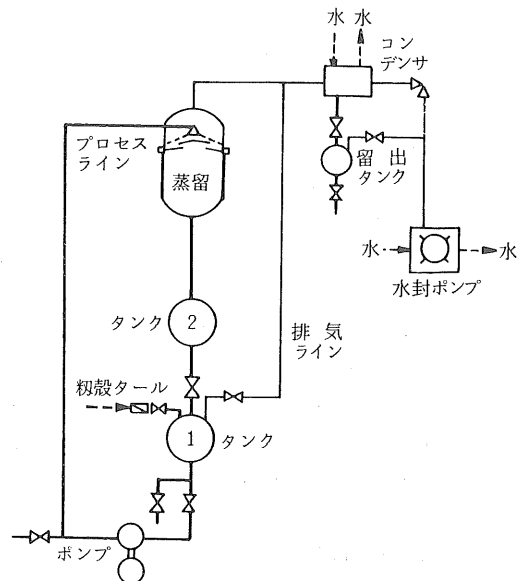
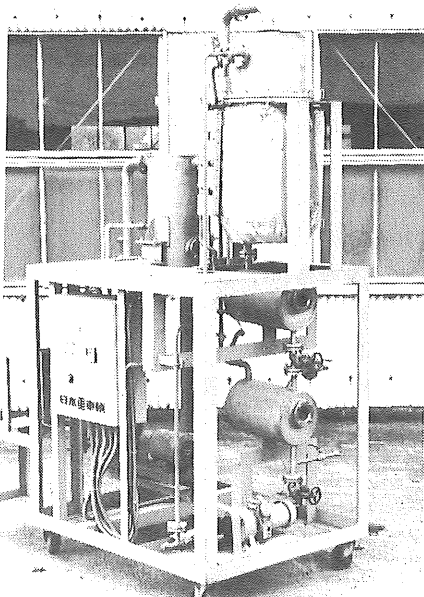


図38 穀物タール軽質燃料化装置のフローシート



試作装置の主要諸元

名称	項目
1. 蒸留部	蒸留形式：噴霧・流下膜式、 伝熱面積：0.5m <sup>2</sup> 、加熱能力：4kW（シーズヒータ） フィード量：5~15ℓ/h
2. 真空タンク	原料タンク、未留タンク：容量20ℓ耐真空性（SUS304）
3. 留出液タンク	容量10ℓ（SUS304）
4. 水冷式コンデンサ	冷却面積0.25m <sup>2</sup>
5. 液送ポンプ	2.92mℓ/DEV
6. 水封ポンプ	370ℓ/min
7. 温度測定	T型熱電対
8. 配管系統	SUS304

図39 試作した籾殻タール軽質燃料化装置（STD-861型）

原料のフローとしてはタンク1に張込み、液送ポンプにより蒸留部に送り、蒸留後コンデンサで冷却して留出液を得る一方、蒸留部に残る未蒸留分はタンク2へ貯え、タンク1に残量のないことを確認したのちタンク1へ供給して新たな蒸留条件を与え、これを繰り返す。

試作装置による蒸留条件及び蒸留結果をまとめて表8に示す。

表8 試作した籾殻タール軽質燃料化装置（STD-861型）による蒸留試験結果

テストNo.	籾殻タール供試質量(kg)	全留出量の割合(%)	留出区分(Fr-)	蒸留温度(°C)	真空度(kPa)	備考
I	15.95	45.3	1	111~115	74.7	1)残渣量 8.56kg 2)機内残 0.15kg
			2	180~182	46.7	
			3	182~192	21.3~34.7	
II	18.48	76.4	1	110~150	74.7	
			2	170~195	46.7	
			3	180~209	14.7	
			4	220~250	4.0~8.0	

① テストNo.IIにおいて供試重量の76.4%を4つのフラクションに分けてほぼ等分に分留することができ、予備調査時点より取得率を向上し得た。

② 留分Fr-1、Fr-2については水分が極めて多かったが、上層部に油分とみられる褐色の層を認め、脱水によりこの部分だけを集めれば、付加価値の高いものが得られると考えた。

③ Fr-3、Fr-4と蒸留を繰返していくにしたがって、黒味を増して水分も少なくなり、Fr-4では肉眼で水分を認めることはできなくなったことから、Fr-3、Fr-4については燃料としての可能性は高いと考えた。

④ 燃料としての分析はFr-3、Fr-4を主とし、Fr-1、Fr-2の上層の油分については含量やガスクロマトグラフによる分析のみとした。

3) 籾殻軽油の性状

籾殻軽油の分析結果を表9に示す。

表9 籾殻軽油分析<sup>1)</sup>結果（その1）

テストNo.	Fr-	水分 (%)	泥水分 (%)
II	1	84.7 <sup>2)</sup>	測定せず
	2	81.9 <sup>2)</sup>	測定せず
	3	13.0	4.5

備考：1)分析は(財)新日本検定協会による。

2)油分含有量はFr-1で15.3%、Fr-2で18.1%であった。

表9 籾殻軽油分析<sup>1)</sup>結果（その2）

項目	テスト No.II		項目	テスト No.II	
	Fr-3 <sup>2)</sup>	Fr-4		Fr-3	Fr-4
水分 (%)	8.0	1.7	残留炭素分(%)	0.35	2.16
泥水分 (%)	- <sup>1)</sup>	0.05	元素分析 C(%)	68.6	72.4
比重 (15/4°C)	1.0319	1.0517	H(%)	8.2	9.0
API度 (60°F)	5.54	2.95	蒸留性状		
			初留点 (°C)	100	103.5
			5%留出時 (°C)	155.5	203.0
			10 " (°C)	175.0	209.0
			20 " (°C)	189.0	217.5
灰分 (%)	0.01以下	0.01以下	30 " (°C)	197.0	224.0
			40 " (°C)	201.5	232.5
			50 " (°C)	205.0	242.5
			60 " (°C)	210.5	255.0
			70 " (°C)	218.0	272.5
全硫黄分 (%)	0.07	0.08	80 " (°C)	227.5	297.5
			80 " (°C)	227.5	297.5
			90 " (°C)	252.0	分解 <sup>3)</sup>
			95 " (°C)	285.0	分解 <sup>3)</sup>
			終点 (°C)	292.5	312.0
銅板腐食試験 (50°C-3h)	1a	1a	全留出量 (%)	98	89
煙点 (mm)	9.5	8.5	備考:1)分析は(財)新日本検定協会による。		
動粘度 (cSt50°C)	2.39	5.85	2) 脱水後のサンプルについて分析。		
引火点 (°C)	- <sup>1)</sup>	97	3) 脱水操作により検出できなかったものと考えられる。		
総発熱量 (kJ/g)	31.69	33.40	4) 水分が多くて測定不可。		
真発熱量 (kJ/g)	29.64	31.31	5) 留出量12mℓ付近で温度が一旦低下し、その後再び上昇、また、290°C付近からフラスコ内に煙が出はじめる。		



## ① 水分、泥水分

Fr-1、Fr-2は8割以上、Fr-3においても1割以上の遊離水が認められた。Fr-3の泥水分は、脱水操作を行う前は4.5%であったが、他の試験を行うために塩化カルシウムにより脱水し、再び供試したため泥水分は検出できなかった。

Fr-4は水分1.7%、泥水分0.05%であり、そのまま供試した。

重油の品質規格によれば、水分はA重油で0.3%以下、B重油で0.4%以下、C重油では1号で0.5%以下、2号で0.6%以下、3号で2.0%以下となっており、前処理の必要性を認めた。

## ② 比重・API度

比重 $15/4^{\circ}\text{C}$ は、Fr-3が1.03、Fr-4が1.05と燃料油としては極めて大きく、税法上の規格ではC重油に属する。

セタン指数算出時に必要なアメリカ石油学会の表示法であるAPI度の( $60^{\circ}\text{F}$ )に換算すると、Fr-3は5.54、Fr-4は2.95となる。

## ③ 灰分

いずれも0.01%以下で問題はなかった。

## ④ 全硫黄分

Fr-3、Fr-4ともに0.1%未満であった。

これは灯油2号、軽油の品質規格値0.5%以下、火力発電に使用されている燃料の製品規格値の0.20%を下まわっており、燃料として利用した場合の硫黄酸化物に関する必配はないものと判断した。

## ⑤ 全塩素分

品質規格はないがFr-3で0.004%、Fr-4で0.006%であり、腐食性はないものと判断した。

## ⑥ 全窒素

Fr-3は0.41%、Fr-4は0.58%であった。

C重油では通常0.2~0.3%であること、また、窒素酸化物の生成量を減らすために全窒素分は0.15%を目安としていることを考え併せると高い値であった。

## ⑦ 鋼板腐食試験

鋼板腐食標準では変色番号1(わずかに変色)から4(腐食)まで4段階、細分記号として1aから4cまで12段階に分類されている。

試験結果はいずれも1aであり、全硫黄分、全塩素分の結果を併せて考えても、腐食に関する心配はないという結論に達した。このことはプラントにおける留出液、貯留容器等の維持管理に有利であることを意味している。

## ⑧ 煙点

Fr-3は9.5mm、Fr-4は8.5mmと灯油の半分以下であった。

灯油の品質規格21mm以上に比較して燃焼時にススが出やすいことを意味しており、利用機器の取扱時に注意を要する。

## ⑨ 動粘度

Fr-3は2.39cSt、Fr-4は5.85cStであった。

A重油の品質規格20cSt以下を考えると、A重油の範ちゅうに入ると推察した。

## ⑩ 引火点

Fr-3は脱水後の試料であったにもかかわらず、水分が多くて測定ができなかった。

Fr-4は $97^{\circ}\text{C}$ で特に問題はなかった。

C重油の品質規格 $70^{\circ}\text{C}$ 以上を考えると、安全性は高いといえよう。

## ⑪ 総発熱量、真発熱量

総発熱量はFr-3で31.69kJ/g、Fr-4で33.40kJ/gで、重油の総発熱量41.86~45.21kJ/gに比較して低い値であった。

初殻タールの発熱量は23.99kJ/gであったが、本試験における初殻軽油はFr-3の真発熱量が29.64kJ/g、Fr-4が31.31kJ/gであり、分留によって燃料としての有利性が高まったこと、蒸留条件の違いによって発熱量の異なる留分が確実に得られたことを示している。

## ⑫ 残留炭素分

Fr-3は0.35%、Fr-4は2.16%であった。

A重油の品質規格4%以下に入っていた。

## ⑬ 元素分析

炭素含有率はFr-3が68.6%、Fr-4が72.4%であったが、Fr-3が低い値を示したのは試料中に含まれている水分の影響ではないかと考えた。水素含有率はFr-3が8.2%、Fr-4が9.0%であった。炭素比はFr-3が8.4、Fr-4が8.0であり、鉱油に比べて多いことがわかった。JIS K2279の油種別水素含有量(一例)によれば、灯油は13.0~14.0%、軽油、A重油は12.5~13.5%、C重油は10.5~12.0%であり、C重油に近いことがわかる。

## ⑭ 蒸留試験

Fr-3は発留点 $100^{\circ}\text{C}$ 、50%留出時 $205^{\circ}\text{C}$ 、終点 $293^{\circ}\text{C}$ 、全留出量98%、Fr-4は各々 $104^{\circ}\text{C}$ 、 $243^{\circ}\text{C}$ 、 $312^{\circ}\text{C}$ 、89%であった。Fr-4は留出途中で温度が一旦低下し、その後上昇する傾向をみせ、 $290^{\circ}\text{C}$ 付近からはフラスコ内に煙が出始めたが原因についての検討は出来なかった。

## ⑮ セタン指数



Fr-3ではマイナス15、Fr-4ではマイナス11と算出された。

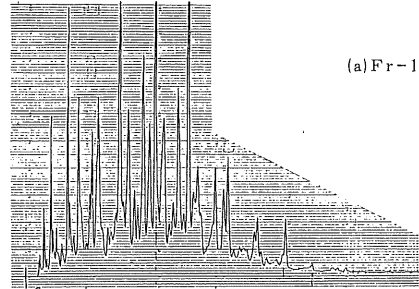
軽油の品質規格では45以上とされており、ディーゼルエンジンにおける着火性は極めて低いものと推定できることから、実際に規定の試験装置によってセタン価を求める必要がある。

⑩ ガスクロマトグラフィによる炭素数分布

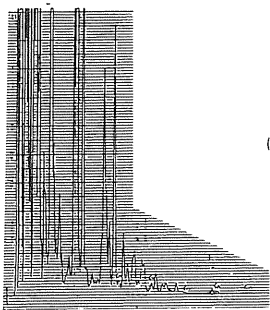
Fr-1、2の油分、Fr-3の脱水後の試料、Fr-4の各試料についてその炭素数分布をガソリン、灯油、軽油、A重油の各燃料と比較した。

図40に示す様に、Fr-1~4の各試料のクロマトグラムは、灯油のそれと類似したパターンとなったが、炭素数

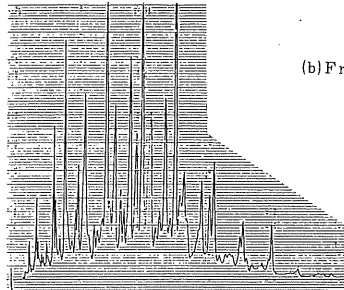
既知のノルマルパラフィンのクロマトグラムとの比較では、各ピークの保持時間に対応するノルマンパラフィンの保持時間と一致せず、灯油、軽油、A重油中の主成分であるノルマンパラフィンとは異なる成分であることが判った。



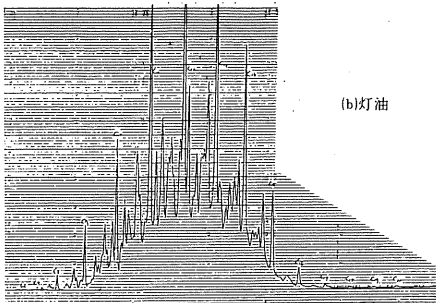
(a)Fr-1



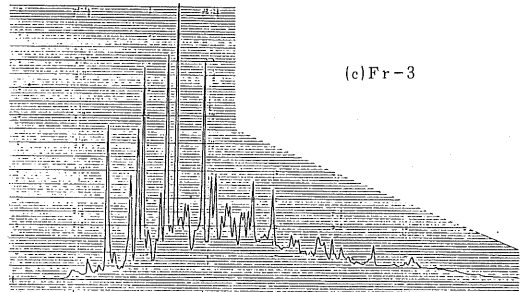
(a)ガソリン



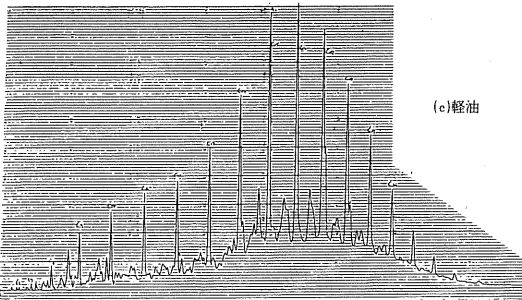
(b)Fr-2



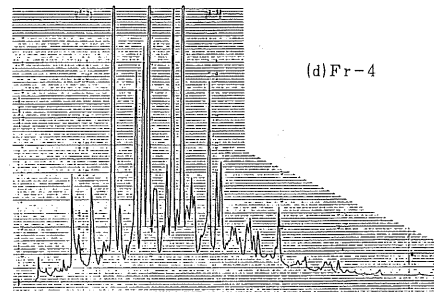
(b)灯油



(c)Fr-3



(c)軽油



(d)Fr-4

(その1 鈹油)

(その2 籾殻軽油)

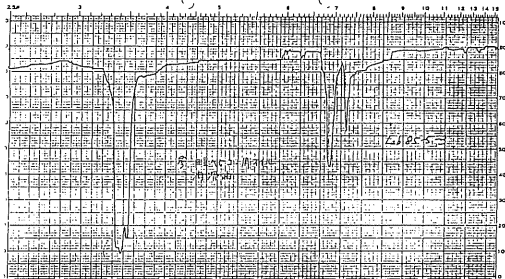
図40 ガスクロマトグラムにみる炭素数分布

従って、燃料とは異なった利用を模索する上で、各成分ピークの同定及び定量を行っていく必要がある。

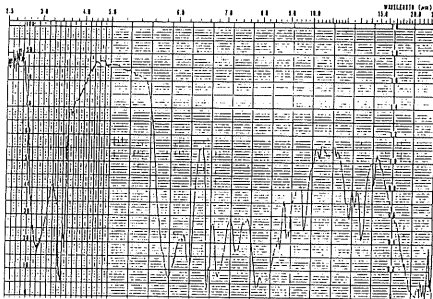
#### ⑩ その他

Fr-4について赤外線吸収スペクトルを図41に示した。

鉱油との比較のために示したコンプレッサ用潤滑油の吸収スペクトルでは、メチル基(-CH<sub>3</sub>)とメチレン基(-CH<sub>2</sub>-)の吸収帯のみであり、試料のスペクトルはそれ以外の多くの官能基を認めた。



鉱油



菜種軽油

図41 フーリエ変換赤外分光光度計によるスペクトルパターン

#### 4) 菜種軽油有効利用の可能性

菜種軽油の性状に関する調査結果を総合し、(財)新日本検定協会の分析担当者の意見も加味して考察した。

① Fr-3、Fr-4の菜種軽油は、粘度からみるとA重油、比重からみるとC重油の重い方に分類される。

② 留出液中の水分を除去することは、燃料としての利用を考える際に重要な要素である。

③ 硫黄酸化物の発生や腐食に関する心配はないが、既存の電力用燃料と比較した場合、試験範囲の分留条件では窒素酸化物発生の可能性がないとはいえない。

④ ガスクロマトグラフィによる炭素数分析や、フーリエ変換赤外分光光度計によるスペクトルパターンをみると、メチル基、メチレン基といった鉱油特有の官能基以外に、種々の官能基をもつ有機化合物が含まれて

おり鉱油とは様相を異にしている。

⑤ エンジン燃料としての適用性については、API度が小さくセタン指数の算出に難があったため、実際のエンジンによる運転試験でセタン価等を求める必要がある。なお、ヤンマーディーゼル(株)技術研究所のエンジン関係担当者は、性状分析結果を総合して、過去にディーゼル燃料として実験に供した石炭SRC II(石炭液化燃料)に近い燃料と判断しており、菜種軽油はディーゼル燃料として単独には使用し難く、ノッキング等を配慮してA重油との混合割合が50%以下で利用可能と結論している。

⑥ 試作した菜種タール軽質燃料化装置によって、取得率約4割の燃料を得ることができた。さらには、Fr-1、Fr-2の蒸留初期において水より軽く、炭素数が少なく揮発性が高いと考えられる油が併せて留出液全体の1割弱を占めていた。これらについては、より付加価値の高い薬剤、高級アルコール等への利用を更に検討していく必要がある。

### 3.3 摘要

乾燥の加熱源、動力源としての菜種ガス利用装置、菜種のガス化により残渣として二次的に産出する菜種タールの有効利用装置に関する試作、調査を行い、下記の結果を得た。

1) 乾燥の加熱源としての菜種ガス利用装置開発のため、まずLPガスを補助バーナとする汎用型のバーナによる菜種ガスの燃焼試験を行い、燃焼状況から利用可能と判断した。次に、菜種ガスのみを燃料とする菜種ガスバーナを試作した。燃焼試験の結果、点火時に菜種ガス臭を認めた。観察によれば、着火部からバーナ全体への炎の伝播が遅いためであることが判明したので、ガス吐出口の全面に簡単な保炎板を設け、これを解決した。

このバーナを循環式乾燥機に付設し、予備的に熱風温度むらを調査した結果、実用に供し得る範囲であることを確認した。

以上の結果より、菜種ガスを直接加熱方式で穀物乾燥の加熱源として利用し得ることを認めた。

2) 動力源としての菜種ガス利用装置開発のため、まず行程容積168ccの4サイクルガソリンエンジンを用い、この運転に成功した。次に、226ccの都市ガス仕様ガスエンジンの運転にも成功し、燃焼試験により圧縮比は9、点火時期は上死点前30度程度が適正であることを認めた。約30時間の運転後、分解調査した結果、ゼロガバナ、ミキサ、吸気側のタペット等にタールの影響を認

めたが、点火プラグ、排気側に異常はなかった。発電機を介し、送風機の運転も可能であった。さらに、改良を加えた籾殻ガス仕様ガスエンジンによる約80時間の長時間運転で、改良の効果を認めた。

以上の結果より、籾殻ガスによる動力変換を解決した。

3) 籾殻タール利用装置開発に当たって、籾殻タールの性状について調査した結果、真発熱量は23.99kJ/gで、市販の噴霧式タールバーナにより燃焼可能であった。しかし、燃焼排ガスにタール臭を認めたため、穀物乾燥の直接加熱源とするには改良が必要なることを認めた。

試作籾殻タール軽質燃料化装置STD-861型を用い、蒸留試験により得られた留出液(籾殻軽油)の一部について性状分析した結果、鉱油とは異なるいくつかの特徴が判明した。その真発熱量は、29.64～31.31kJ/gで、腐食性はないものの窒素酸化物発生の可能性がないとはいえないこと、蒸留条件によっては利用のため脱水操作が必要なこと、異臭が強いこと、炭素数19程度まで確認できることから多くの有機化合物が含まれていると考えられること、エンジン燃料としての可能性については別途試験を実施しなければならないが、ディーゼル燃料としてA重油と50%程度の混合が考えられること等である。なお、籾殻軽油の薬剤等他の用途への適応性については、さらに調査を加えていく必要がある。

以上の結果より、二次的残渣の一つである籾殻タールの軽質燃料化を技術的に解決した。

これらの結果を総合すれば、廃棄物として産出した籾殻をガス化することにより得られた籾殻ガスで乾燥の加熱源、動力源として利用する装置、更に二次的に産出する籾殻タールに付加価値を与える装置について基礎技術を完成し、後述の籾殻燻炭の利用を含め、すべて捨てることなく利用することを技術的に可能にした。

#### 4 パイロットプラントの設計、製作、実用運転

##### 4.1 パイロットプラント(籾75ton規模)の設計、製作

第2章、第3章に述べた籾殻の加熱ガス化、利用に関する基礎研究を軸に、実用運転をとおして籾殻加熱ガス利用システムの可能性を追究するため、ライスセンタやカントリーエレベータ設計資料<sup>86)~89)</sup>を参考にパイロットプラントを設計、製作する。

###### 4.1.1 設計方法

パイロットプラントの基本設計の概要をとりまとめて表10に示す。

パイロットプラントはガス発生部、乾燥調製部、動力

変換部で構成されている。ガス発生部については、第2章で述べた連続ガス発生装置におけるシステムのスケールアップを基本とした。

設計に当たって検討を加えた点について以下に述べる。

1) 乾燥機：バーナの燃焼量は乾燥機の必要風量比を $0.03\text{m}^3/\text{s} \cdot 100\text{kg}$ 、籾収容量 $2,500\text{kg}$ 、送風温度 $45^\circ\text{C}$ 、外気温 $20^\circ\text{C}$ として、1基当たり約 $82\text{MJ}/\text{h}$ 、籾殻ガス換算で $20\text{m}^3/\text{h}$ の燃焼量となる。しかし、麦の乾燥をも考慮して $40\text{m}^3/\text{h}$ の燃焼量が得られるようにした。

また、実用運転中の籾殻ガス発生または籾殻ガス配管系等のトラブルに備え、荷受けした米麦の品質保持のため、バーナ燃焼部は同一で同等の燃焼量となるようLPガスを別配管<sup>86)</sup>した。

2) 動力変換：籾殻ガスにより発電した電気の供給先としては、ガス発生用ファン $1.5\text{kW} \times 2$ 基と循環式乾燥機 $2.37\text{kW} \times 2$ 基で、設備電力として最大 $7.74\text{kW}$ である。発電に必要なエンジンの最大出力はベルト伝達効率 $92\%$ 、発電機効率 $73\%$ として $11.5\text{kW}$ と試算できるが、実用運転を考慮して最大出力 $11\text{kW}$ (15PS)とする。

前章までの結果を参考にすると、 $1\text{kWh}$ 当たり籾殻ガスは $5\text{m}^3$ 必要でエンジンへのガス配分量は約 $40\text{m}^3/\text{h}$ ということになるが、パイロットプラントとしての性格を考慮して定格発電量を $10\text{kW}$ とし、必要なガス量を $50\text{m}^3/\text{h}$ とした。

3) ガス発生炉：アップドラフト型の移動層方式とし、第2章における連続ガス発生装置の炉内径を約 $1.4$ 倍し、ガス発生量を約2倍とした。即ち、内径 $600\text{mm}$ 、外径 $900\text{mm}$ 、高さは $2,700\text{mm}$ 、炉材は軽量キャストブルである。実際規模では複数炉を設置することが想定されるため炉は2基とし、1基当たりの定格ガス発生能力を $50\text{m}^3/\text{h}$ (最大 $75\text{m}^3/\text{h}$ )とした。

4) ガスホルダ：有水式とし、容量は2基の炉の定格ガス発生量の30分に相当する $50\text{m}^3$ 、ガス圧は $1.96\text{kPa}$ とした。

5) その他：燻炭を燻炭タンクへ搬送するにはバケットエレベータを用いた。

また、昭和57年度には細部に亘って検討を加え、詳細設計書を作成した。

フローチャートを図42に、パイロットプラントの配置を図43に示す。

###### 4.1.2 製作

詳細設計書に基づき、昭和58年度に消防署への炉かまどボイラー設置届出書を提出して、基礎工事及び建屋と

表10 前提条件及び基本構想

項目	内容
1. 設置場所	埼玉県北埼玉郡川里村境1389 農業機械化研究所附属農場
2. 荷受対象面積	米 10ha
3. 収量等	1) 収量: 玄米6.0ton/ha (水分14.5%、生籾換算8.22ton/ha) 2) 籾殻発生量: 1.5ton/ha (乾籾7.5ton/ha) 3) 荷受水分: 22% 4) 実荷受日数: 20日/年
4. 乾燥方式	並列乾燥方式
5. 乾燥設備	1) 平均荷受量: 生籾82ton÷20日=4.1ton 2) 最大荷受量: 4.1ton/日×1.2=4.9ton/日 3) 乾燥機容量: 籾殻ガスバーナ付 (異常時はLPガスに自動切替) 循環式乾燥機 2.5ton/基×2
6. 調製設備	1) 乾籾貯留タンク: 容量2.5ton/基×2 2) 籾摺機: 摺出し玄米量6.0ton/日、1日5h稼働するとして 1.2ton/hの能力を有すること。 3) 粒選別機: 籾摺機能力に適應すること。 4) 仕上玄米タンク: 容量2.5ton/基×2 5) 秤量設備: 30kg紙袋詰用一式
7. ガスエンジン	火花点火式4サイクル籾殻ガスエンジン (定格出力: 14.5PS)
8. 発電機	出力: 最大10kW (200V、50Hz、12.5KVA、異常時は商用電源に自動切替)
9. ガス発電電源供給先	ガス発生用誘引ファン及び循環式乾燥機各2基分 (合計7.8kW)
10. 排熱利用	ラジエータの排熱を乾燥用空気の予熱に利用
11. ガス化設備	1) 籾殻庫容量: 1.5ton/日×4日=6.0ton (60m <sup>3</sup> ) 2) ガス発生炉能力: 定格50kg/h×2 (最大ガス発生量150Nm <sup>3</sup> /h) 乾燥用: 最大40Nm <sup>3</sup> /h×2、エンジン用: 最大50Nm <sup>3</sup> /h 3) ガス発生方式: アップドラフト型移動層式 4) ガス冷却方式: トロンボーン型散水式 5) タール分離器: サイクロン方式 6) 酸素濃度計: ガルバニ電池式 7) ガスホルダ: 有水式50Nm <sup>3</sup> (ガス圧1.96kPa) 8) 燃渣タンク容量: 15m <sup>3</sup>
12. 受電契約	低圧、常時契約 (敷地内に附属農場用給水設備があるため)

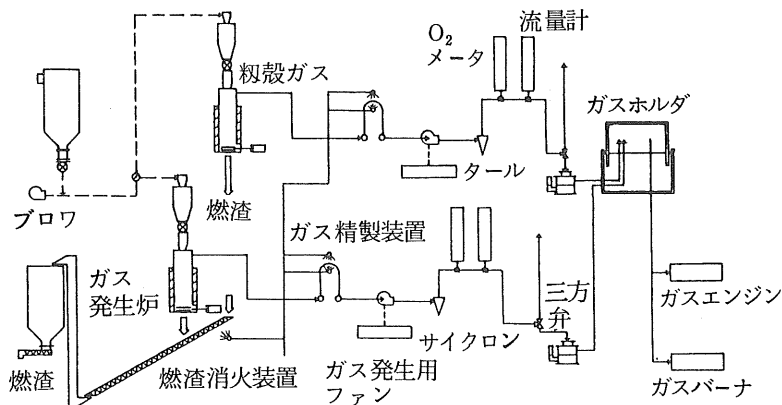


図42 パイロットプラントにおけるガス発生部のフローシート

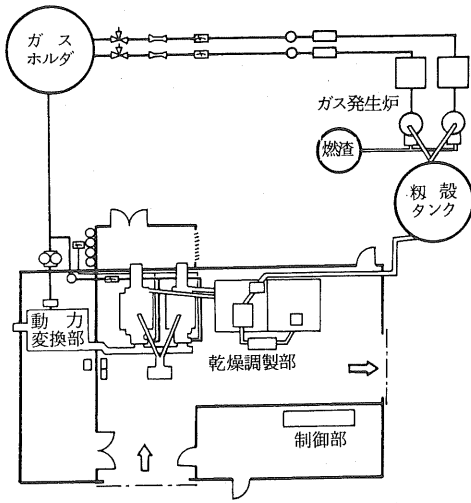


図43 籾殻加熱ガス化パイロットプラントの配置図

ガス発生部を製作した。

ガス発生部については籾殻の搬送、ガスの発生、精製、一時貯留と制御に関するシステムチェックを行った。昭和59年度には乾燥調製部及び動力変換部を製作し、図44に示すようにパイロットプラントとしての製作を完了した。

昭和59年7月23日～25日に麦乾燥による予備試験を実施し、実用運転による全体システムのチェックと改良を加えた。

図45～48に炉の立ち上がり時における炉内温度の変化、ガス発生量、貯留量の変化、酸素濃度の変化等を示した。

炉内第1層の温度変動は極めて大きく、燃渣排出機の駆動による温度低下の状況も明確に表れている。発生した籾殻ガスの酸素濃度は貯留限界の5%以下で推移し、三方弁の切り替えもスムーズであった。

炉の運転が始まり、ガスエンジンの始動、発電とともにガス発生用ファンはガス発電電源に自動切り替えとなるが、ガスホルダの70%容量を確保すべくファンの回転数を細かく制御しているのが理解できる。実用的な乾燥機の運転では常温通風、加温通風が想定されるが、バーナ使用の有無に係わらずガス発電電源に切り替わる。2台の乾燥機のバーナを点火した状態で、定格のガス発生量を確認した。

以上の結果から、ほぼ、仕様を満足していることが分かった。

表11に籾殻ガスエンジンの主要諸元、図49に予想ヒ-

トバランスを示す。電気エネルギーとしての13%は確保して、廃棄される熱エネルギーをできる限り回収することを検討していくこととした。

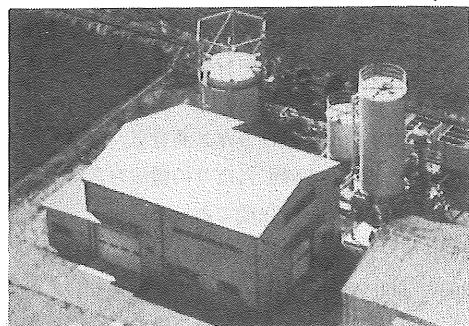
表12に動力変換部におけるガス消費量、冷却水温度、発電量等を示した。1 kWh 当たりの籾殻ガス消費量は6 kW程度の発電で5.5m<sup>3</sup>/h 程度であった。

籾殻ガスエンジン始動後、定格の1,500rpmに達し発電機が200V、50Hzを確保するとすぐに自動切り替え装置が作動し、商用電源がガス発電電源に替わる。周波数の変動は発電期間をとおして49.8Hz～50.2Hzにあり、負荷の変動が少ない場合はほとんど一定で、ガス発生部におけるガスの発熱量の変動に利用上の問題がないことを確信した。

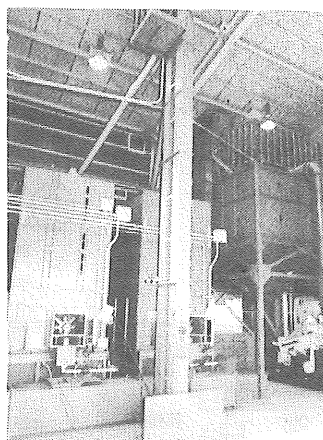
昭和59年9月27日に竣工し、公開運転に引き続き実用運転に入った。

表11 籾殻ガス機関の主要諸元

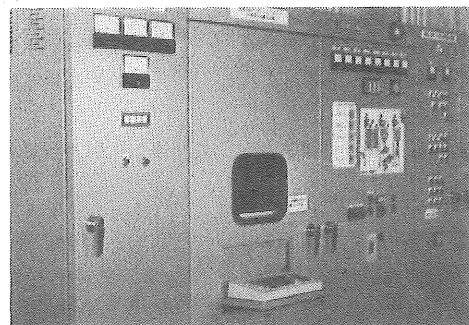
形 式	立形単動水冷 4サイクル ガスエンジン
着 火 方 式	火花点火式
定 格	連続
定 格 出 力	10.7kW (最大出力: 11.0kW (15PS))
回 転 数	1500rpm
シ リ ン ダ 数	3気筒
シリンダ径×行程	95mm×110mm
総 排 気 量	2,339cc
正味平均有効圧	3.72kg/cm <sup>2</sup> (最大出力時3.85kg/cm <sup>2</sup> )
ピストン平均速度	5.5m/s
始 動 方 式	電気
使 用 燃 料	籾殻ガス (低位発熱量4,200kJ/Nm <sup>3</sup> )
燃 料 消 費 率	定格負荷時52.4Nm <sup>3</sup> /h 定格負荷時4.93Nm <sup>3</sup> /kW·h (3.62Nm <sup>3</sup> /PS·h)
潤 滑 油 消 費 率	0.8g/kW·h (0.6g/PS·h) 以下
潤 滑 方 式	ギャポンによる強制潤滑
シリンダ冷却方式	清水冷却 (ラジエータ冷却)
潤滑油冷却方式	清水冷却
乾 燥 重 量	280kg



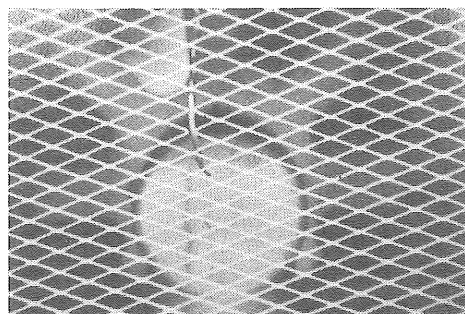
全 景



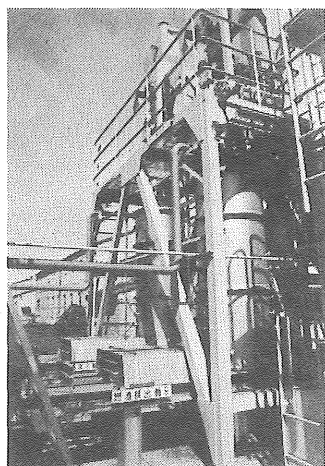
乾燥調製部



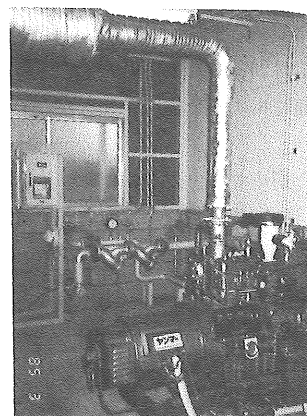
制御装置



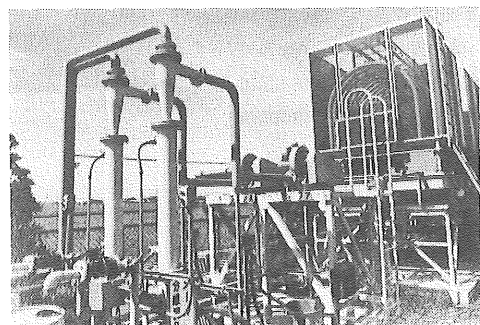
籾殻ガス燃焼状況



ガス発生炉



動力変換部



ガス精製装置



荷受状況

図44 パイロットプラントの概要

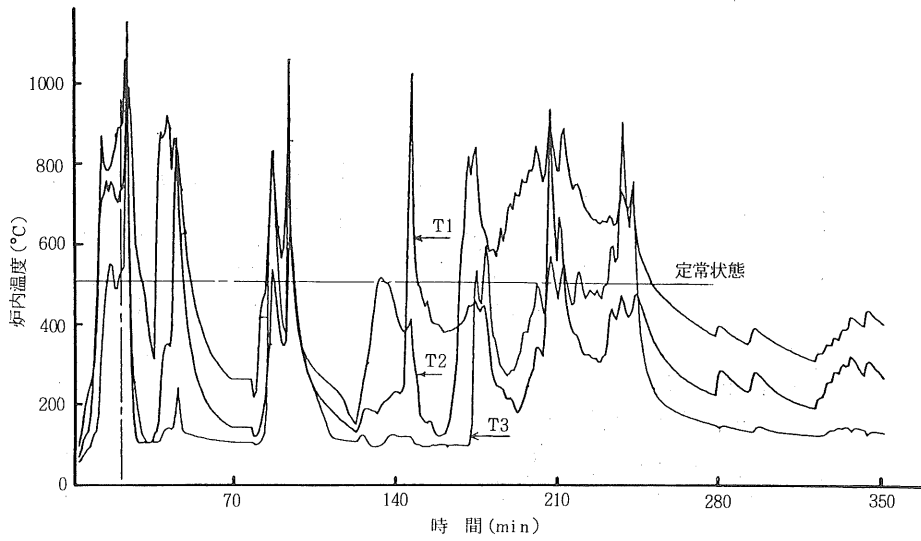


図45 炉立上がり時の温度変化 (炉内第1層)

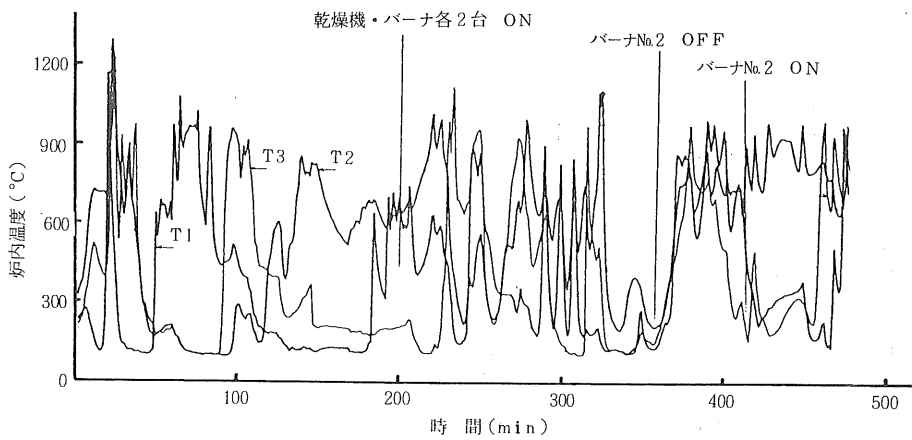


図46 ガス利用時の温度変化 (炉内第1層)

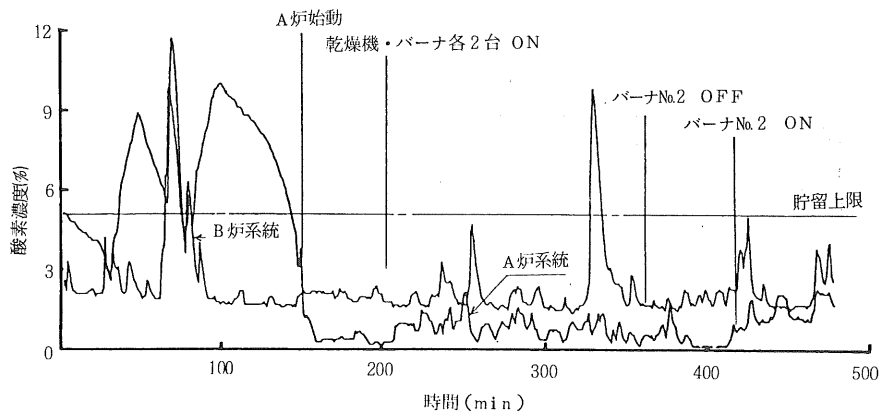


図47 ガス酸素濃度の変化

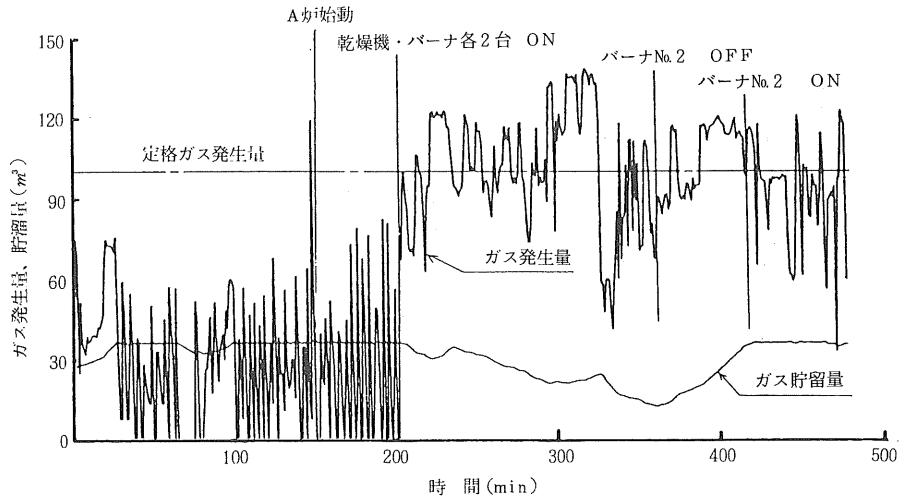


図48 ガス発生量、貯留量の変化

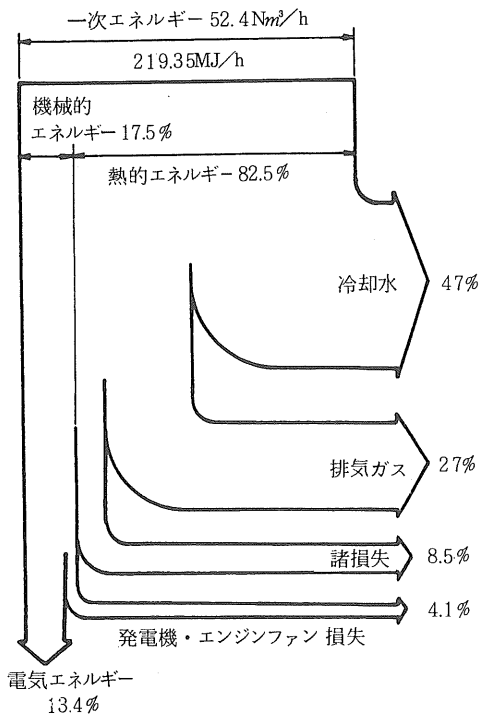


図49 籾殻ガスエンジンにおける予想ヒートバランス



表12 籾殻ガスエンジン発電装置テストレコード

1984. 7. 24調査

測定時刻	燃料ガス				ガスエンジン				発電機関係						備考		
	籾殻積算計 (m³)	ガス消費量 (m³)	ガス圧 (kPa)	圧力 (kPa)	潤滑油温度 (°C)	潤滑油圧力 (kg/cm²)	冷却水温度 (°C)	回転数 (rpm)	周波数 (Hz)	電圧 (V)	電流 R (A)	S (A)	T (A)	発電電力 (kW)		積算電力計 (kWh)	発電量 (kWh)
10-50'	158.49		1.49	0.98	50	3.0	84	1500	49.8 ~50.2	200	22.5	23	24	6.1	188.5		* 発電開始1時間当たりの発電量/ガス消費量 6.93kWh/39.23m³
11-20'	179.03	20.54	1.27	0.78	78	3.0	87	"	50	"	24	25	24	6.8	191.8	3.3	
11-50'	200.36	21.33	1.32	0.78	80	"	90	"	50	"	26	27	27	7.5	195.3	3.5	
12-20'	217.33	16.97	1.57	1.23	80	"	"	"	49.9 ~50.1	"	25	26	25	6.8	198.9	3.6	
12-30'	ガスホルダーレベル低下によりエンジン停止中																
13-20'	227.68		1.77	1.37	70	3.0	86	1500	49.7 ~50.0	200	24	25	25	6.5	200.5		* 1時間当たりの発電量/ガス消費量 7kWh/35.45m³
13-50'	244.71	17.03	1.47	1.18	80	"	90	"	49.8 ~50.0	"	25	26	26	7.2	204.0	3.5	
14-20'	263.13	18.42	"	"	"	"	"	"	49.9 ~50.2	"	24	25	25	6.8	207.5	3.5	
14-50'	ガスホルダーレベル低下によりエンジン停止中																
15-25'	280.81		1.47	1.13	70	3.0	86	1500	49.7 ~50.2	200	24	25	24	6.5	211.0		停止
15-55'	298.06		1.77	1.62	80	"	"	"	49.8 ~50.2	"	15	15	15	4.0	214.3	3.3	

4. 2 実用運転試験

設計製作した籾殻加熱ガス化パイロットプラントによる、10ha分の籾の乾燥調製とガスエンジンの500h連続運転とを目標に、籾殻ガスの発生制御、籾殻ガスの加熱源、動力源としての利用、籾殻加熱ガス利用システムとしての実用の可能性を3年間に亘って追究する。

4. 2. 1 方法

農業機械化研究所附属農場で栽培している米、麦を主たる対象として実用運転に供した。

4. 2. 2 結果及び考察

1) 実用運転試験(1)

昭和59年10月8日~11月10日まで試験を実施し、9.7haを処理し、表13、図50の結果を得た。ガス発生部、乾燥調製部、動力変換部について以下に示す。動力変換については総電力消費量の約34%が代替可能であった。

(1) ガス発生部

① 仕様を示したガス発生能力は確保できたが、定格能力よりもガス発生量が少ない場合の複数炉運転方法の確立、制御性能向上のための自動制御プログラムの改善、電気的なノイズの対策、レベルセンサの信頼性向上、タール精製システムの改良、燐炭搬送システムの改造等を必要とした。

② 籾殻ガスの連続熱量測定結果によれば、設計時の熱量(4,186kJ/m³)を上げ得る可能性を認めた。

③ 分解調査結果によれば、図51に示すようにガス誘引ファンにタールの附着は少なかった。軸受け等の

シールの状況等について製造工場での検査を実施し、特に問題視される事項は認められなかった。

表13 実用運転試験結果(籾)

項目	内容
1. 試験期間	10月8日~11月10日の34日間
2. 乾燥調製期間	10月15日~11月9日のうちの23日間
3. 荷受面積	9.73ha (稼働率97.3%)
4. 延乾燥回数	23回
5. 取扱品種	3品種
6. 製品玄米出荷量	44.9ton
7. 総電力消費量	2,542kWh (乾燥調製時は2,187kWh)
8. LPガス消費量	82.5m³ (試験的な利用)
1. ガス発生炉運転日数	28日間 (全試験期間の82.4%)
2. ガスエンジン運転時間	416.5h (スタータ焼損のため中止、目標達成率 83.3%)
3. ガス発電電力使用可能時間	407.5h
4. ガス発電量合計	999.4kWh (乾燥調製時は736.8kWh)
製品玄米1ton当たり消費量	電気: 48.7kWh (うち、商用電力32.3kWh) LPガス: 試験的な利用のみ。

注: ガス発生に消費した籾殻は外部より購入分等を含む。

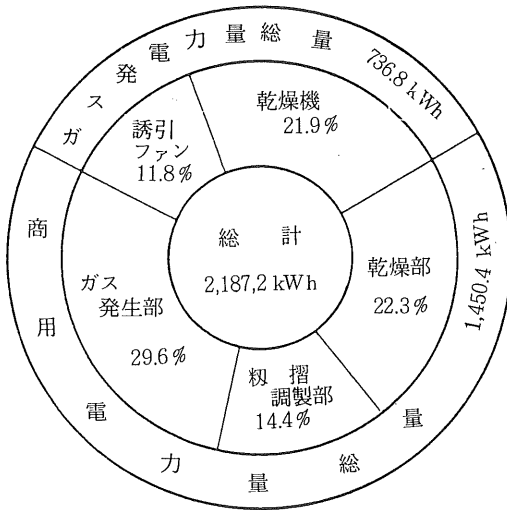


図50 乾燥調製時の各部電力消費量割合と代替量

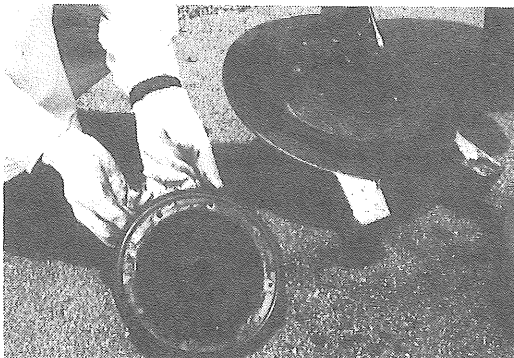


図51 ガス発生用ファンのタール付着状況

## (2) 乾燥調製部

① 糶殻ガスバーナは、点火用セラミックヒータの耐久性に問題があった。原因の一つには、点火後も常時通電していることが考えられ、図52に示すようにシーズヒータへの変更を検討した。

② ガスエンジンのラジエータ廃熱による乾燥用空気の前熱効果が5～10℃と大きかったため、バーナ本体の燃焼量を少なくする必要があり、燃焼範囲の拡大に対応し得るよう改良を検討した。

③ 糶殻ガスの燃焼による乾燥機通風部金網へのタールの影響はなかった。したがって、保守管理や耐久性に大きな問題はないと判断した。

④ バーナ燃料の糶殻ガスからLPガスへの切り換えはスムーズであったが、LPガスは手動による調節不良から輝炎を呈し、バーナ本体にススを附着させることが

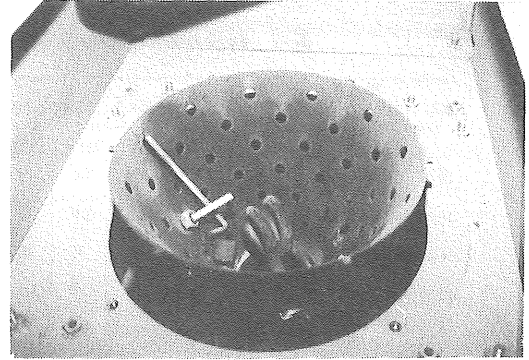


図52 糶殻ガスバーナ

(左側長いのはフレームディテクタ、短いのはセラミックヒータ、右側がシーズヒータ)

多かった。結果的にLPガスは切り換え状況の確認と試験運転時の利用に留まった。

⑤ 糶殻ガス中のタールは、配管系(50A)に設置したY字型ストレーナで効果的に除去し得た。このストレーナ通過後の糶殻ガスで電磁弁に影響がでなかったことから、バーナ部のタール除去対策は解決できると判断した。

## (3) 動力変換部

① エンジンの騒音は、周囲1mの範囲で82dB(A)程度であった。

② 利用装置の稼動状況に合わせて、糶殻ガスの必要量を3～5hの運転における平均値でみると、

(a) ガスの発生に必要な消費電力は1.1kWであった。

(b) 乾燥機を1基のみ運転して加温通風(送風温度41℃)した場合、消費電力は3.9kWで、エンジンのガス消費量は5.4m<sup>3</sup>/kWhに相当し、全体のガス消費量は63.8m<sup>3</sup>/hで、その内訳はエンジンへ33%、バーナへ67%であった。

(c) 乾燥機を2基とも加温通風(送風温度38.2℃、42℃)した場合、消費電力は7.0kWで、エンジンのガス消費量は4.4m<sup>3</sup>/kWhに相当し、全体のガス消費量は107m<sup>3</sup>/hで、その内訳はエンジンへ29%、バーナへ71%であった。

(d) 乾燥機を2基とも常温通風した場合、消費電力は5.7kWでエンジンのガス消費量は4.9m<sup>3</sup>/kWhに相当し、全体のガス消費量は27.4m<sup>3</sup>/hであった。

実用運転時はこれらが組み合わせられるため、動力の目安として消費電力1kWh当りの糶殻ガス消費量は、基礎試験同様5m<sup>3</sup>/h程度と判断した。

なお、加熱源についてはエンジンの排気熱の有効利用が図り得るため、現状よりバーナの燃焼量を下げることが可能で、エンジンの機械的エネルギーは確保した上で更に熱エネルギーを回収し、より省エネルギー効果の高い施設へと発展させ得ると考えた。

③ ガスエンジン設計時の籾殻ガス最大消費量(50m<sup>3</sup>/h)からみればまだ60%程度の消費量であり、エンジン自体に余裕が認められること、運転中の最大発電出力が8kW程度であったことから、ガス発電電源の供給対象を拡大することにより、籾殻ガス利用効率の向上が期待できると判断した。

④ 籾殻ガスの成分不良時に駆動ミスでスタータのモータを焼損して、運転時間416.5h、総発電量999.4kWh、平均負荷2.4kWで終了せざるを得なかったが、1シーズンをとおしての運転、動力変換の可能性を確信した。

⑤ 籾殻ガス中のタール除去については、ガスエンジンの分解調査結果から、籾殻を充填したタール除去槽にもその効果を認めた。ガスバーナに対するY字型ストレーナとともにタール除去法として検討価値の高いものと判断した。

## 2) 実用運転試験(2)

昭和60年度に米麦の乾燥を行い、以下の結果を得た。

### (1) 麦乾燥によるエンジン排気熱利用効果の確認

① 図53に示すようにガスエンジンの排気管を熱利用ダクトへ延長(熱利用ダクト内の排気管の長さ10.6m)した。

② 排気熱の利用効果を確認するため、昭和60年6月10~20日まで小麦乾燥試験を実施し、表14の結果を得た。

熱利用ダクトの吹出口では平均60℃程度の温度に達しており、表のNo.1の如く平均35℃の送風温度が得られ、その効果を再確認した。

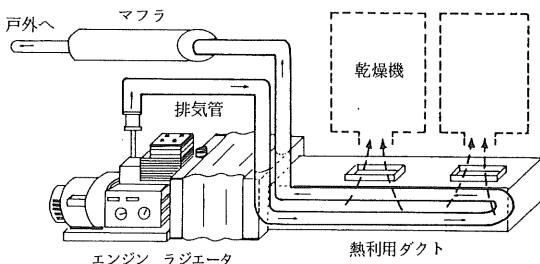


図53 廃熱（排気、ラジエータ）の利用

表14 実用運転試験結果(小麦)

項目	No. 1	No. 2	
		1	2
供試重量	1.658kg	3.247kg	1.554kg
平均外気温度	180℃	23℃	—
平均送風温度	35℃ <sup>1)</sup>	55℃	
乾前含水率	38.4%	35.2%	18.2%
乾後含水率	11.8%	11.0%	11.6%
乾燥時間	30.5h	15.2h	5.2h
平均乾燥速度	0.83%/h <sup>2)</sup>	1.6%/h	1.3%/h
平均籾殻ガス消費量	22m <sup>3</sup> /h	78.8m <sup>3</sup> /h <sup>3)</sup> 4)	
電力消費量	128.1kWh	122.8kWh	
誘引ファン	16.9%	21.8%	
乾燥機	58.1%	43.2%	
ガス発生部商用	25.3%	24.5%	
調製	5.2%	10.5%	
籾殻消費量(推定)	約670kg	約810kg	
省エネルギー効果			
灯油	100%	100%	
電気	80.2%	75.5%	
備考	1) No.1はバーナ使用せず、熱利用ダクトの効果のみ。 No.2は2台とも籾殻ガスバーナ使用。なお、いずれもLPガスは使用していない。 2) 発電に必要なガス量 4.7m <sup>3</sup> /kW 3) 乾燥機2台運転時の配分 78.8m <sup>3</sup> /h { エンジン 36% バーナ 64% (2台分) 4) 乾燥機1台運転時の配分 39.6m <sup>3</sup> /h { エンジン 48% バーナ 52%		

### (2) 籾乾燥試験における結果

① ガス発生部については、ガス精製装置におけるサイクロンとガス発生用ファンの位置関係の修正、ガス発生炉とガスエンジン直結に必要な籾殻ガスのバイパス配管の新設の他、ガス発生炉立ち上り時のガスホルダへの取り込み条件に炉内最下層の最低温度300℃以上を追加する等の制御プログラムの改良を加えた。

② 乾燥調製部については、熱利用ダクトを断熱材(発泡スチロール、厚さ50mm)で覆い、熱損失を少なくした。

③ 籾乾燥試験は表15に示すように、昭和60年10月9日～11月18日まで実施し、10.6haを処理したが、LPガスは全く利用しなかった。

④ 動力変換部については、ガス発生炉とガスエンジンとの直結運転に必要なバイパス配管工事を行い、籾殻ガス量調節のためのバルブ等を配置した。

⑤ ガスエンジンは643.2h運転し、目標の500hを達成できた。

なお、試験期間中はガスエンジンのエンジンオイル分析を考慮して連続運転時間を延ばす一方、負荷の増大を狙って乾燥機、籾摺機等も空運転を継続したことにより総発電量は2,798.1kWhで、最大負荷は10kW、平均負荷は4.35kWに達した。

表15 実用運転試験結果(籾)

項目	内容
稼働期間	10月9日～11月18日
荷受面積	10.6ha(稼働率 106%)
取扱品種	3品種
製品玄米出荷量	45.45ton
ガスエンジン運転時間	643.2h
ガス発電量合計	2798.1kWh
平均負荷	4.35kW(最大 10kW)
備考	1)籾の乾燥はエンジンの排気熱利用と籾殻ガスバーナを使用し、Pガスは利用しなかった。 2)オイルの劣化状況を調査するため、0.5、250、500、600、643h後サンプリングした。 3)試験区を設定し、食味試験に供試した。

表16 ガス発生炉とエンジンの直結運転結果

系	項目	内容
ガス発生炉→冷却器→サイクロン →タール除去槽→エンジン	運転期間	10月24日9:00～ 27日3:30まで連続66.5h
	発電量	394.8kWh
	平均負荷	5.9kW(0～10kW、籾摺作業実施)
ガス発生炉→サイクロン→タール除去槽→エンジン	運転期間	11月13日14:00～15:00
	負荷	0～8.5kW

⑥ ガス発生炉とガスエンジンの直結運転は、表16に示すように連続で66.5h行い、実際に乾燥作業や籾摺作業を実施して支障ないことを確認した。図54、55に示すように炉内温度はガスホルダを経由した場合より安定しており、図56に示すように酸素濃度にも異常はな

かった。これは、直結運転の方がエンジンの吸気のみでガス発生炉を運転しているのに対し、ガスホルダ經由の場合は利用装置の要求に応じてガスホルダの70%容量を確保するためにファンの回転を細かく制御していることが原因と考えられ、炉内の温度変化が大きくなり、クリンカの生成にも影響を及ぼすことが想定された。

散水式ガス精製装置をも除いて籾殻ガスを供給する系も検討したが、いずれの場合も運転時間が短く、直結運転による籾殻ガス中のタール分のガスエンジンに及ぼす影響までは確認できなかった。

⑦ 図57に示すエンジンオイルの分析結果によれば、過塩素酸法劣化基準、塩素法劣化基準からみて約200hでオイル交換を行うことが望ましいものと判断された。このことは、シーズン途中に1回のオイル交換を保守管理上考慮しておく必要があることを意味している。1シーズン500hのメンテナンスフリーの目標からみて、対策が必要<sup>67)、68)</sup>なことを認めた。

⑧ ガス発電電源の供給先は、当初、ガス発生部の誘引ファンと循環式乾燥機(各々2基)の合計2カ所(7.8kW)であったが、実用運転では主として夜間の乾燥、昼間の籾摺調製作業であるため、切換装置により籾摺調製部への供給をも可能にし、常時、最大発電負荷がかけられるよう変更した。その結果、籾殻ガスエンジンの運転が連続化し、籾殻の消費量は増すもののガス発生炉の燃焼状態が安定し、発電の効率を上げ得た。

⑨ 発電出力1kW当たり必要なガス量は、図58の如くで3.2m<sup>3</sup>/kWの値も見られた。実用プラントでは最大発電出力の90%を定格出力として、常時、定格出力が得られるよう自動負荷選択システムを採用し、設計に必要な指標を3.5m<sup>3</sup>/kWとすることが可能であると判断した。

⑩ 表17に示すように乾燥機2台に籾を各々約2.5ton供試し、設定送風温度44℃(外気温16℃)で乾燥作業を行った場合、籾殻ガスの消費量は50m<sup>3</sup>/h程度で、その大略の配分はバーナに50%、エンジンに50%であった。ただし、当然のことながらバーナ前の外気吸入口シャッタの開閉程度、すなわち希釈空気量により変動した。

⑪ 籾約2.5tonを供試して、籾殻ガスバーナによる実用的な乾燥試験を実施した区のなかから、乾前含水率24.0%と17.5%の区、廃熱利用のみによる区に、対照区として架干による自然乾燥区を設け、(財)日本穀物検定協会に食味試験を委託した。表18に得られた結果を示したが、外観、香り、味、粘り、硬さ、総合のいずれの項目においても、対照区との間に有意な差は認められ

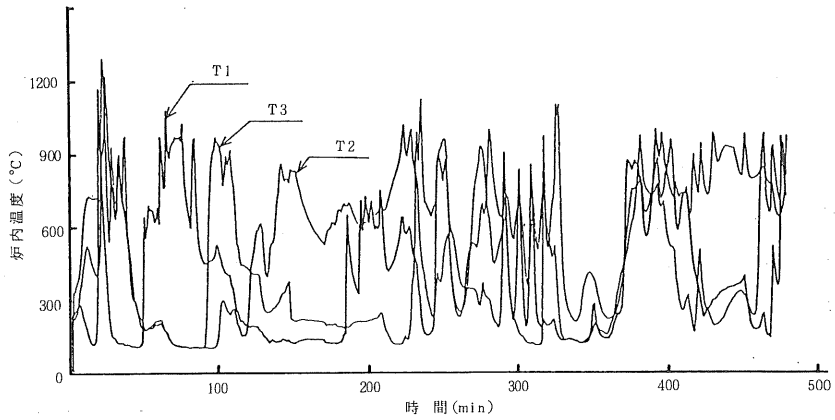


図54 ガスホルダ経由時の温度変化 (その1 炉内第1層)

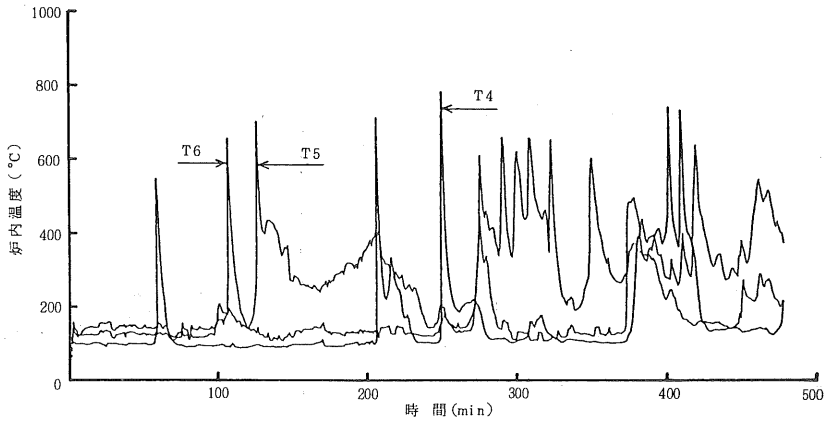


図54 ガスホルダ経由時の温度変化 (その2 炉内第2層)

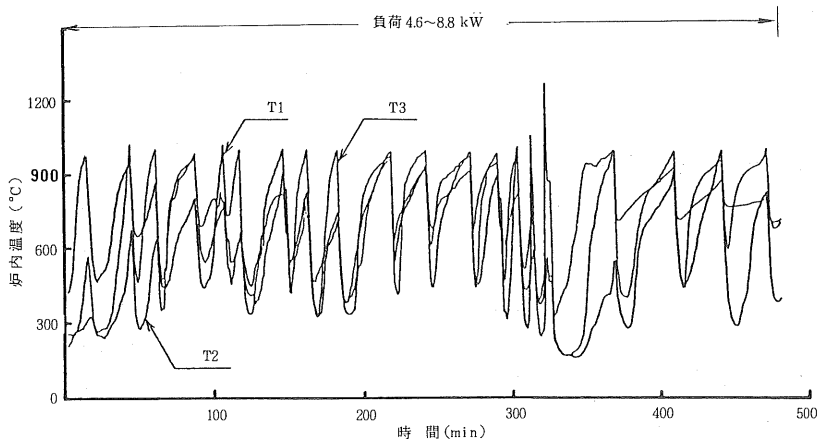


図55 炉・エンジン直結運転時の温度変化 (その1 炉内第1層)

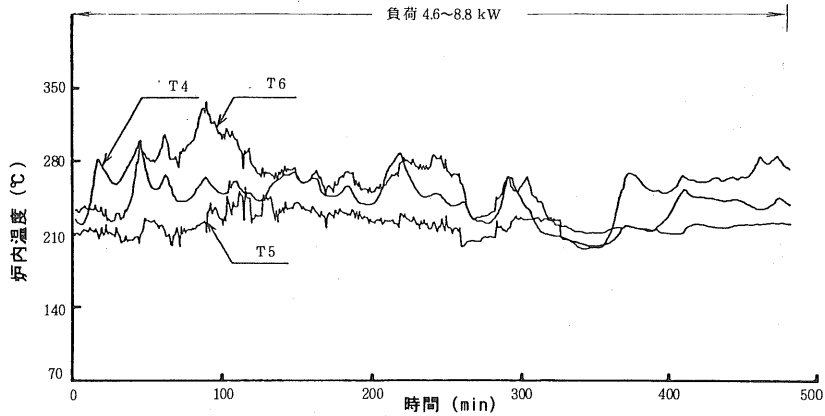


図55 炉エンジン直結運転時の温度変化 (その2 炉内第2層)

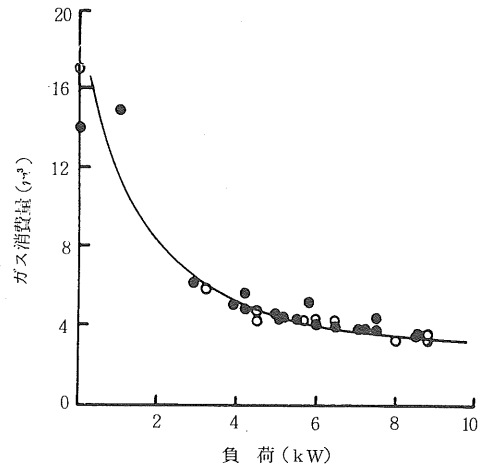
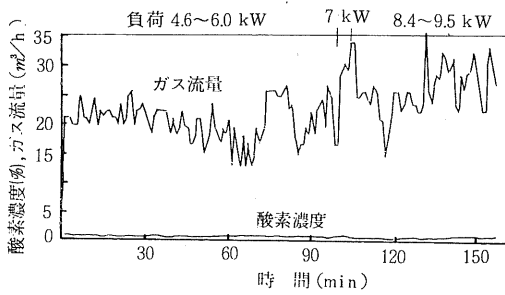


図56 炉→冷却機→サイクロン→タール除去槽→エンジン系でのガス流量及び酸素濃度の変化

図58 発電出力1kW当たりの必要ガス量

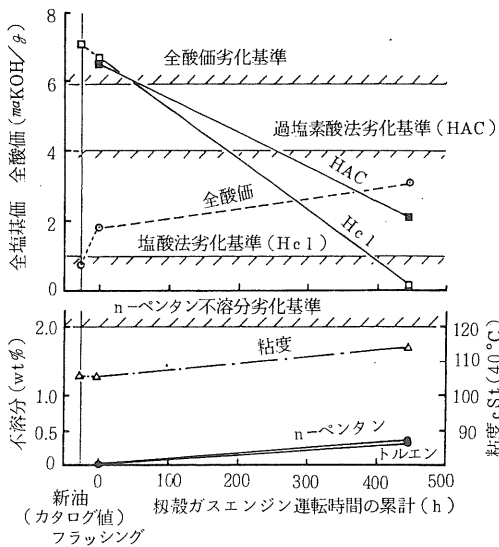


図57 エンジンオイルの分析結果

表17 籾殻ガスの配分 (設定送風温度44°C、籾乾燥中)

乾燥機の台数	外気温	平均籾殻ガス消費量	籾殻ガスの配分	
			バーナ (バーナ前外気吸入口)	エンジン (発生に必要なガス量)
1	9.1°C	38.8m³/h	52% (全開)	48% (5.8m³/kW)
2	16°C	44.8m³/h	48% (1/4開)	52%
		51.1m³/h	52% (1/2開)	48% (4.3m³/kW)
		66.7m³/h	61% (全開)	39% (4.3m³/kW)

表18 食味試験結果

区	乾燥条件	搗精歩留	外観	香り	味	粘り	硬さ	総合
1	架干による自然乾燥	87.0 %						
対 照 区								
2	含水率17.5%から44℃乾燥	90.8	+0.3	-0.1	+0.4	-0.1	0	+0.2
3	含水率24.0%から44℃乾燥	89.7	0	-0.1	-0.3	-0.2	+0.1	-0.2
4	含水率24.0%から排熱利用乾燥	89.0	+0.2	-0.1	-0.1	-0.2	-0.4	-0.2

注：1)乾燥終了時の含水率は、いずれも14.5%近辺。  
 2)いずれの項目も判定結果では有意差なし。  
 3)日本穀物検定協会調査。

なかった。これは、籾殻ガスバーナの燃焼排ガスで籾を直接加熱乾燥しても、実用的に異常を認めなかったことを意味し、この種システムの実用化にとって、また、バーナの開発において重要なことであると判断した。

3) 実用運転試験(3)

① 昭和61年10月7日～11月15日まで籾の乾燥試験を実施し、9.8haを処理したが、LPガスは全く利用しなかった。

② 籾乾燥期間のガスエンジン運転時間は554.0h、発電量は3,039kWh、平均負荷5.5kW（最大10kW）で、目標の500hを達成できた。

なお、シーズン中はガスエンジンのエンジンオイル分析を考慮して連続運転時間を延ばす一方、負荷の増大を狙って乾燥機、籾摺機等も空運転を継続したことにより、総運転時間は652.6h、総発電量は3,609kWh、平均負荷は5.5kW（最大負荷10kW）に達した。

③ エンジンオイルの分析を再び実施した結果、図59に示すように過塩素酸法劣化基準、塩素法劣化基準からみて約250hでオイル交換を行うことが望ましいものと判断された。二度に亘るオイル分析結果が、いずれもシーズン途中でオイル交換が必要なことを示したことから、これを避けるにはオイルパンの容量を大きくすることが第一の解決法であると判断した。

④ 利用装置の籾殻ガス要求量に応じてファンの回転数を設定し、一定回転でガス発生炉の運転を行ったところ、運転開始以来1シーズン3回程程度のクリンカ除去作業を必要としていたのが、1回もこの除去作業を必要としなかった。一定量の連続ガス発生は、炉とエンジンの直結運転時と同様に、炉内温度分布に大きな変動を引き起こさなかったものと考えられる。クリンカ除去作業は、シーズン終了後に各部のチェックとともに実施するのが実用的であることから、制御について更に検討を

加えていく必要がある。また、クリンカ除去が容易なよう設計時に考慮しなければならない。

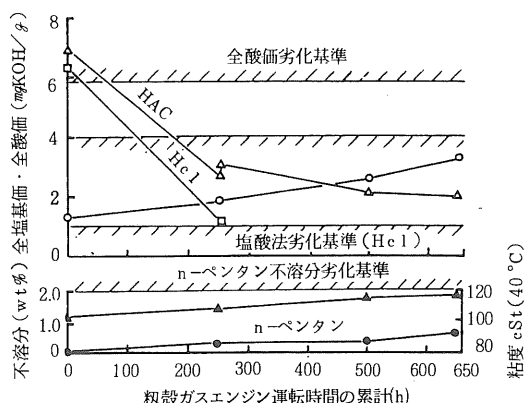


図59 エンジンオイルの分析結果

4.3 摘要

籾殻のガス発生装置、利用装置に関する基礎研究の結果をもとに、パイロットプラントを設計、製作し、10ha分の籾の乾燥調製と、ガスエンジンの500h連続運転を目標に、3年間に亘って実用運転を行い、以下の結果を得た。

1) ガス発生部

定格能力よりもガス発生量が少ない場合の複数炉運転方法の確立、制御性能向上のための自動制御プログラムの改善、ノイズ対策、レベルセンサの信頼性向上、タール精製システムの性能向上、クリンカ対策等について検討し、改良を加えた。

シーズン後の分解調査結果によれば、ガス発生用ファンにタールの附着は少なく、軸受等シールにも異常を認めなかった。

仕様を示したガス発生能力を確保し、実用運転をとおして籾殻の連続ガス発生制御技術を完成した。

2) 乾燥調製部

籾殻ガスバーナによる籾殻ガスの燃焼状況は良好で、燃焼排ガスによる乾燥機通風部金網への影響を調査した結果、タールの付着や錆の発生等が認められなかった。また、LPガスへの自動切り換えもスムーズであった。しかし、点火用セラミックヒータの耐久性に問題があった。

籾殻ガス中のタールは、Y字型ストレーナで除去可能であった。

籾殻ガスエンジンの廃熱による乾燥用空気の予熱効果が、灯油の1/3 相当に達した。

乾燥機2台に籾を各々約2.5ton供試し、設定送風温度

44℃(外気温16℃)で実用運転を行った時の籾殻ガス消費量は50m<sup>3</sup>/h程度で、大略、バーナに50%、エンジンに50%の配分であった。

籾殻ガスバーナによる実用的な乾燥試験区に、架干による自然乾燥区を対照区として加えて実施した食味試験の結果、外観、香り、味、粘り、硬さ、総合のいずれにも有意な差を認めなかった。これにより、籾殻ガスを乾燥の加熱源とすることに実用上問題がないことを確信した。

### 3) 動力変換部

籾殻ガスによるエンジンの運転、発電は良好で、商用電源との切り換えもスムーズであった。

エンジンの騒音は、周囲1mの範囲で82dB(A)程度であった。

実用運転では主として夜間の乾燥、昼間の籾摺調製作業であるため、ガス発電電源の供給先を拡大して、常時、最大発電負荷がかけられるよう改良し、発電出力1kW当たり必要なガス量を求めた。その結果、最大発電出力の90%を定格出力とした場合、必要ガス量は3.5m<sup>3</sup>/kWhであった。

エンジンの排気管を熱利用ダクトへ延長した結果、加熱源として廃熱を有効利用できたことから、エンジンの機械的エネルギーを確保した上で更に熱エネルギーを回収し、より省エネルギー効果の高い施設へと発展させることを可能にした。

ガス発生炉とガスエンジンの直結運転は可能で、実際に乾燥作業や籾摺作業を実施して支障ないことを確認した。

2シーズン、2回に亘るエンジンオイル分析の結果、過塩素酸法劣化基準、塩素法劣化基準より約250hでオイル交換の必要性を認めたが、目標とする1シーズンのメンテナンスフリーはオイルパン容量の拡大により解決可能と判断した。

籾の乾燥シーズンにおける動力変換の実績は、1年目はエンジン運転時間417h、発電量999kWh、平均負荷2.4kW、2年目は643h、2,798kWh、4.4kW、3年目は653h、3,609kWh、5.5kWで、目標とする500hを達成できた。米麦の乾燥、試験運転を含む3年間の総運転時間は1,925h、総発電量は8,210kWh、総平均負荷は4.3kWに達し、動力変換に関する問題点については総て解決できた。

以上述べたように、実用運転試験による多くの問題点について改良を加え、籾殻加熱ガス利用システムを技術的に完成した。

## 5 籾殻加熱ガス利用システム併設共同乾燥施設の設計指針、試算、評価

### 5.1 共同乾燥施設における稼働実態調査

エネルギー消費の状況等を把握<sup>6)~7)</sup>するため、共同乾燥施設における稼働実態調査を行う。また、籾殻、燐炭の利用についての調査を実施し、燐炭の簡易成形について検討する。さらに、全国9地域の電力会社の供給規程を参考に、共同乾燥施設にみられる電力契約、電力消費状況等について前提条件を定め、電力料金を試算し、併せて設計指針の基礎資料とする。

#### 5.1.1 調査方法

##### 1) 関東地区における稼働実態調査

昭和56年度に新設されたライスセンタのうち、乾燥方式や処理方式等が異なる米麦兼用施設を関東地区に2ヵ所選定し、米麦の乾燥調製に係わるエネルギー消費の実態を調査した。

##### (1) 消費電力量

各施設の配電盤を利用し、作業工程別に3台の積算電力計(東芝製SDIC型)を設置して、単位時間毎の電力量を記録する一方、キュービクル内の積算電力計の値より1日の電力消費量を求め、各作業工程別に電力量を集計、算出した。

##### (2) 灯油消費量

積算流量計(オーバル機器製LS4576型、愛知時計製)を灯油配管系の途中に設置し、記録集計した。

##### (3) 稼働実績

荷受重量や乾燥処理状況等の稼働実績は、資料収集結果を加味して検討を加えた。

##### 2) 関東地区を含む稼働実態調査結果の総合的な考察

昭和57年度より3年間にわたって実施した北部8、関東2、中部9、南部7、合計26ヵ所の共同乾燥施設におけるエネルギー利用実態調査<sup>17)</sup>を取りまとめる一方、全国24ヵ所の共同乾燥施設における聞き取り調査結果も参考にした。また、燐炭の利用について調査し、簡易成形装置を試作した。

##### 3) 電力料金の試算

(社)農業電化協会の協力を得て、全国9地域の電力会社の電気供給規程、電気供給規定細則を検討し、詳細な前提条件のもと電力料金に関する試算を行った。

#### 5.1.2 調査結果

##### 1) 関東地区における稼働実態調査

##### (1) 調査対象施設の概要



表19に調査したA（並列乾燥方式）、B（集中乾燥方式）両施設の概要、図60に配置等、図61に穀物の流れを示す。

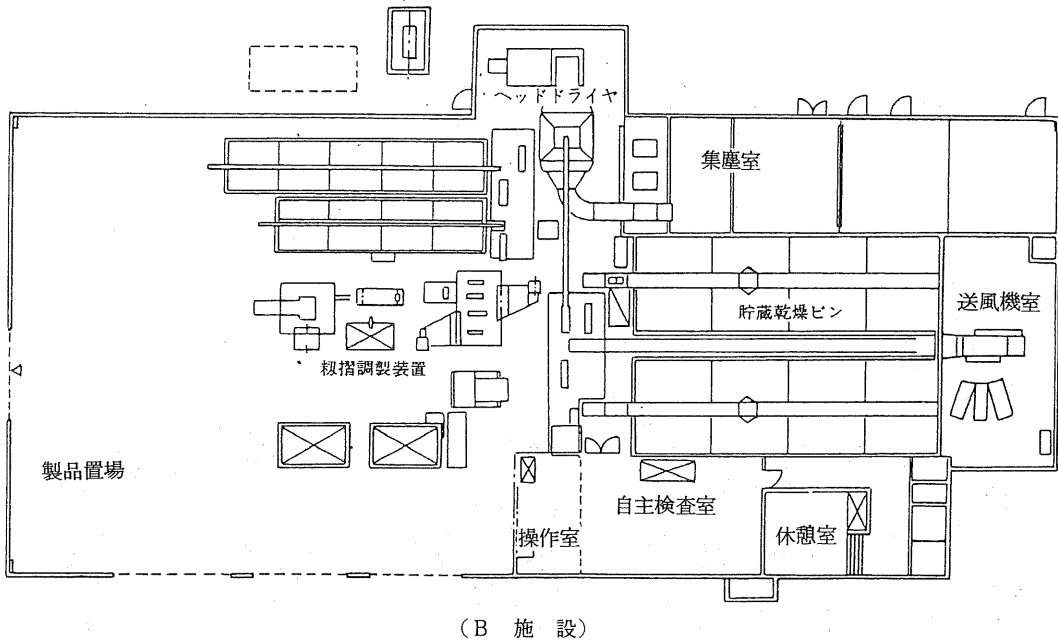
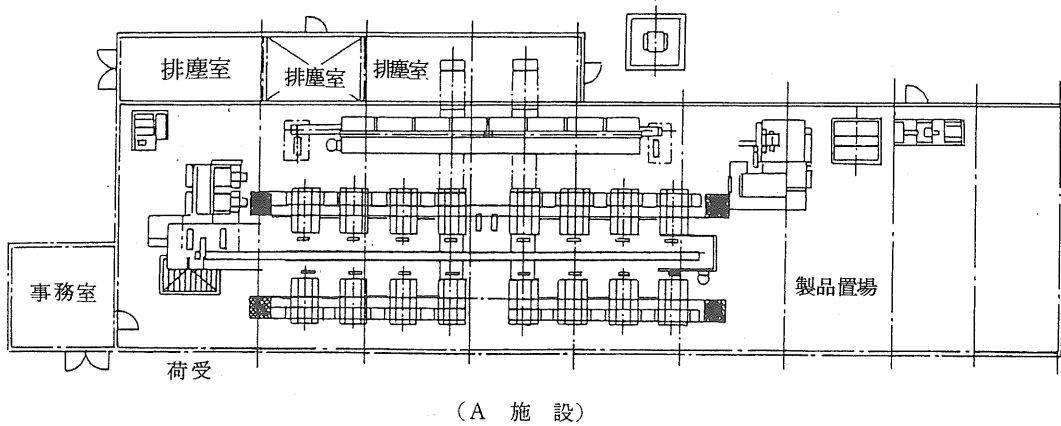
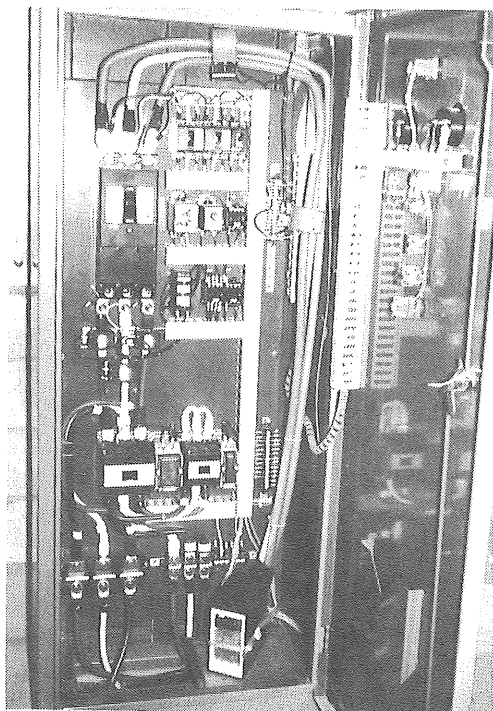


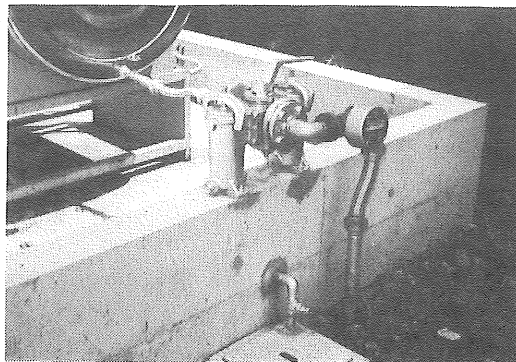
図60 調査対象施設の概要（その1 平面図）

表19 調査対象施設の概要

項目	施設名	A	B
1. 対象面積			
1) 米 (ha)		100	150
2) 麦 (ha)		50	120
2. 乾燥方式		並列乾燥	集中乾燥 (ドライスト7付)
3. 処理方式		個別処理	集団処理
4. 設備電力と契約量 (kW)		95 (常時87)	197 (季節177)
5. 行程別設備電力 (kW)		荷受 12.5	送風機 (ドライスト7用) 75
		乾燥 37.6	乾燥 37.5
		調製 14.4	調製 16.1
		集排塵、搬送他 30.2	荷受、搬送、排塵他 68.4
6. 受電契約量 (kW)		87	177
7. 利用料金		麦: 製品25kg (又は30kg) 当たり一律700円	麦: 製品50kg (又は60kg) 当たり一律1200円
		米: 製品30kg当たり375~605円	米: 製品60kg当たり一律1100円
8. 荷受時の水分加算額		あり	なし
9. 出荷方法		袋詰 (米、麦)	ばら (麦) 袋詰 (米)
備考		火炉燃焼量5ℓ/h×16基 張込量3.0ton型循環式乾燥機16基	火炉燃焼量 { ドライスト7用 10ℓ/h×3基 乾燥機用 144ℓ/h

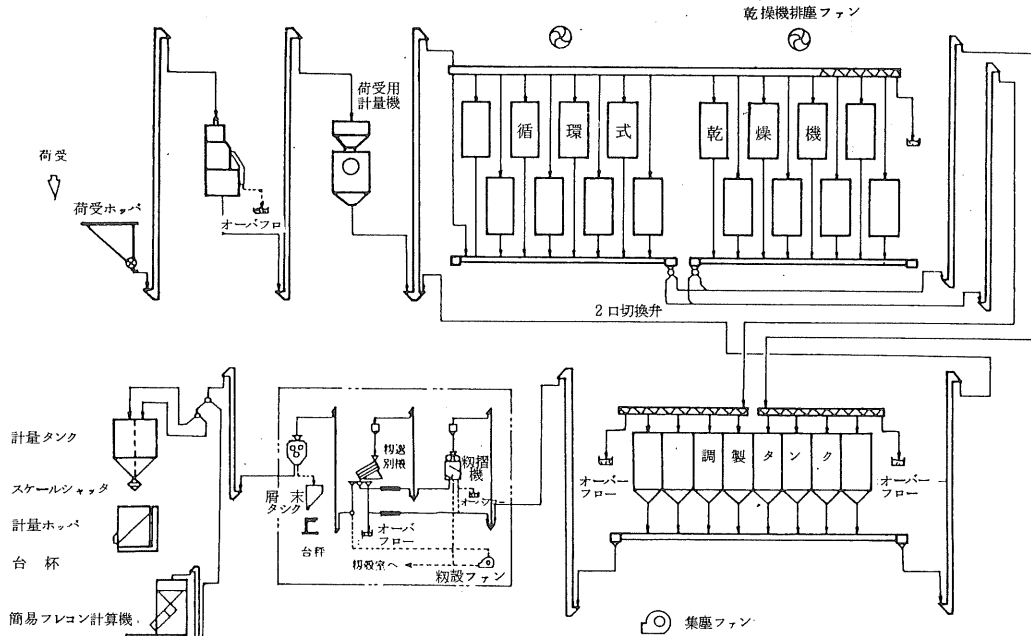


工程別に設置した電力消費量測定装置

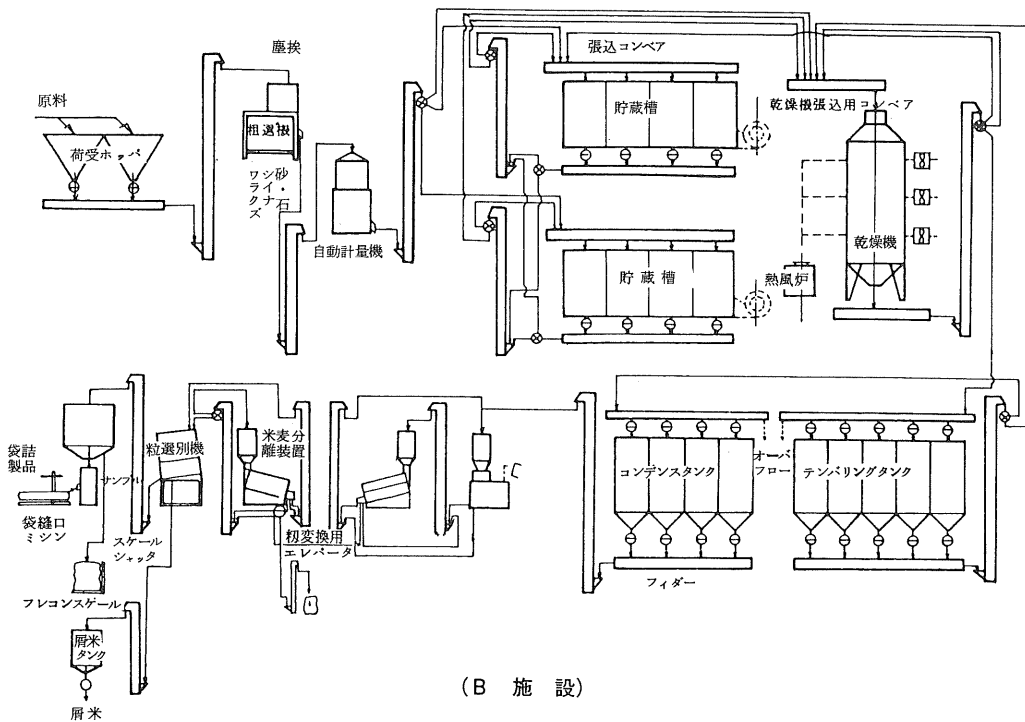


灯油配管系に設置した流量計

図60 調査対象施設の概要 (その2 エネルギー消費量調査状況)

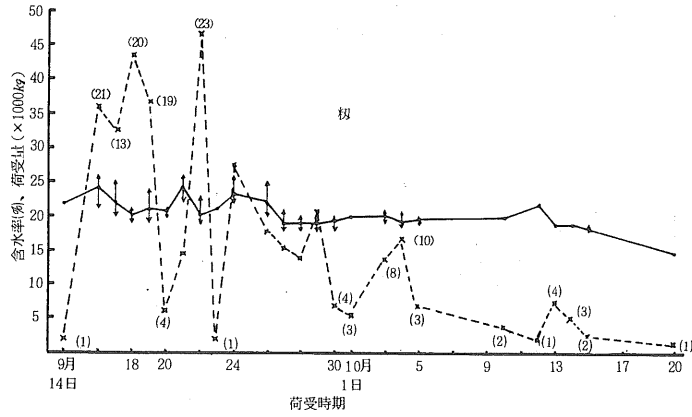
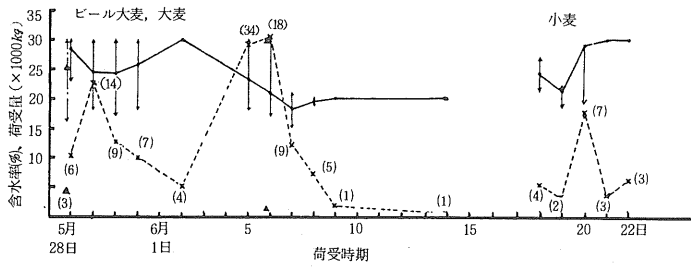


(A 施設)

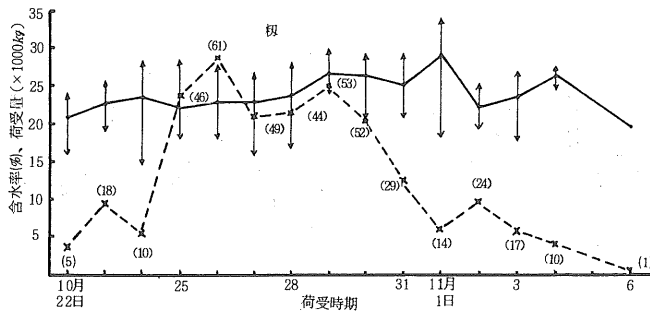
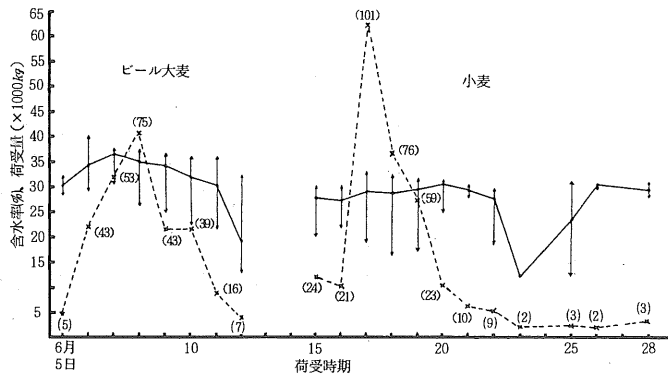


(B 施設)

図61 フローチャート



(A 施設)



(B 施設)

図62荷受水分、荷受量の変動(1982)

— 荷受水分    • 加重平均    ↔ 最高と最低  
 ···· 荷受量    ( ) 内は荷口数

表20 ライスセンタにおけるエネルギー消費量実態調査結果(1982)

施設名	種類	実荷受日数 (日)	荷口数 (ヶ)	荷受水分 (%)	荷受量 (kg)	平均		製品重 (kg)	屑 (kg)	灯油 製品1 消費量 (ℓ/ton) (ℓ)	電力 製品1 消費量 (kWh/ton) (kWh)	除去水分量1kg 当たり消費熱量		備考
						1日 当たり (kg/日)	1ヶ 当たり (kg/ヶ)					灯油 電 気	電 気	
A	ビール大麦	2 5月28日、6月6日	4	16~30	5,436	2,718	1,359	4,206	-	2,907	9,103	3.85	3.31	1)ビール大麦の屑は 農家持帰り 2)行程別電力消費割 合 荷 受 2.5% 乾 燥 14.3% 調 製 4.6% 集排塵他 78.6%
	大 麦	11 5月28日~6月14日	108	15~30	141,669	12,879	1,312	113,365	1,406	964	3,761	4.57	4.90	
	小 麦	5 6月18日~6月22日	19	18~30	34,910	6,982	1,837	26,562	487	3,871	12,864	4.01	3.66	
	計	18 5月28日~6月22日	131	15~30	182,015	10,112	1,389	144,133	1,893	4.08	18,471	3.92	3.92	
B	米 コシヒカリ	25 9月14日~10月20日	207	15~26	384,071	15,363	1,855	257,640	10,938	5,295	18,471	4.08	3.92	1)行程別電力消費割 合 荷 受 3.1% 乾 燥 12.7% 調 製 6.1% 集排塵他 78.1%
	大 麦	8 6月5日~6月12日	281	12.5 ~40	152,964	19,121	544	105,060	4,885	3,280	18,672	2.84	4.45	
	小 麦	12 6月15日~6月28日	332	12~33	174,683	14,557	526	124,057	4,920	3,056	26,978	2.49	6.06	
	計	20 6月5日~6月28日	613	12~40	327,647	16,382	534	229,117	9,805	6,336	45,650	2.66	5.27	
B	米 晴	14 10月22日~11月6日	433	15~34	196,051	14,004	453	128,520	9,450	2,691	30,502	4.35	13.38	1)行程別電力消費割 合 貯蔵乾燥 49.1% 乾 燥 22.1% 調 製 28.8% 荷受、排 塵 他
	アキニシキ													

注：1)電力、灯油消費量は、点検調整、掃除作業を含む  
 2)電気2,450×4.186kJ/kWh、灯油8,900×4.186kJ/ℓとして計算。  
 3)米における乾粒重はA施設は推定、B施設は実績による。

① 特徴的な相違点は、乾燥方式（並列、集中）、処理方式（個別、集団）、受電契約方式（常時、季節）にあり、利用料金、出荷方法についても一部差異がみられる。

② 季節契約における電気料金について、東京電力管内では契約設備電力1kW当たり1,469円の基本料（合計額259,836円）と、消費電力量1kWh当たりの単価19.04円（7月～9月）、17.31円（10月～6月）の他に、保安協会（月額19,000円）への支払いが定められている。そこで、季節契約、常時契約を含め年間の電気料金支払実績により1kWh当たりの単価を求めることとした。

③ 利用料金については、製品の単位重量毎に定められていた。麦の場合は両施設とも一律であり、袋詰め（25又は30kg）方式では700円、ばら扱い（50又は60kg）方式では1,200円で、ばら扱い方式の方が割安になっていた。

(a) 米の場合は、A施設では荷受水分に応じて製品30kg当りの利用料金が定められていた。調製のみ場合は375円、水分15～25%までは1%刻みで455円～590円、25.1%以上は605円であった。

(b) 自主検査における水分の測定は、A施設では電気抵抗式水分計を用い、B施設では電気容量式水分計と赤外線式水分計を併用していた。利用料金の設定に際し水分加算方式を採用しているAでは、水分測定器の測定範囲から、荷受水分の上限を30%としていたが、麦乾燥における自主検査、施設の能力面から問題点として指摘できる。

## (2) 米麦に関する稼働実績

図62に荷受状況、表20にエネルギー消費量実態調査結果を示す。

① A施設の場合、水分15～30%の麦182.0ton（ビール大麦5.4ton、大麦141.7ton、小麦34.9ton）を1日当たり平均10.1ton、1荷口当たり1.4ton荷受し、製品として144.1ton出荷し、製品1ton当たり平均消費エネルギーは灯油26.9ℓ、電力89.3kWhで、荷受水分の測定に問題があるが除去水分量1kg当たり平均消費熱量は灯油4.00MJ、電気3.66MJであった。

また、水分15～26%の4品種の米384.1tonを1日当たり平均15.4ton、1荷口当たり平均1.9ton荷受し、製品として257.6ton出荷し、製品1ton当たり平均消費エネルギーは灯油20.6ℓ、電力71.7kWhで、除去水分量1kg当たり平均消費熱量は灯油4.08MJ、電気3.92MJであった。

循環式乾燥機を用いた場合の除去水分量1kg当たり平

均消費熱量は灯油5.27MJ、電気は灯油の8%としている<sup>75)</sup>が、施設においては搬送機等を含むことから、電気を多く必要としていることが分かる。

作業工程別消費電力量調査結果によれば、米における総消費電力量18,471kWhの内訳は、荷受3.1%、乾燥12.7%、調製6.1%、集排塵他78.1%であった。また、麦における総消費電力量12,864kWhの内訳は、荷受2.5%、乾燥14.3%、調製4.6%、集排塵他78.6%であった。いずれの場合も、稼働期間中ほとんど毎日運転される集排塵他の工程に多くの電力を消費しており、循環式乾燥機の吸引ファンを利用して排塵室へ導くなど、レイアウト等を考慮して更に省エネルギー的な施設への改善が望まれる。

表21に常時契約のみで稼働しているA施設の月別電気料金を示した。常時1,000kWh程度の消費量は屋外照明、各種警報装置等によるものと考えられる。昭和56年12月から57年11月までの実績により、1kWh当たりの平均単価を求めると52.23円であった。なお、7月以降電気税が請求されていないが、この理由については明確ではなかった。

米100ha規模の並列乾燥方式のライスセンタで、消費電力量約45,300kWhに対し、常時契約分として約237万円の電気料金が支払われた。一方、灯油は8月19日を境に1ℓ当たりの価格が89円から98円に値上りし、米麦の乾燥で約9.2kℓ、約86万円が支払われた。即ち、電気料、灯油料を合わせ約323万円の光熱費が支払われたことになる。

表21 A施設における月別電気料金（実績）

項目	消費電力量(kWh)	電気税(円)	電気料金(円)
1981年12月	898	7,163	150,423
1982年 1	1,214	7,436	156,166
2	996	7,247	152,203
3	1,044	7,289	153,076
4	4,109	7,345	154,257
5	1,116	7,351	154,384
6	12,379	17,099	359,095
7	1,272		159,097
8	1,423		162,385
9	12,305		362,003
10	7,428		257,580
11	1,164		147,864
合計	45,348	60,930	2,368,533
平均単価	52.23円/kWh		

籾殻は主として暗きょに利用されていた。籾殻をビニール袋(10kg詰)に詰めて農家が指定する圃場まで運搬した場合、1袋当たりの籾殻価格はビニール袋代金を含み500~600円ということであった。なお、暗きょには10a当たり100袋(農家慣習としての使用量)~200袋(農協が奨励している使用量)必要とされている。

② B施設では、水分12~40%の麦327.6ton(ビール麦152.9ton、小麦147.7ton)を1日当たり平均16.4ton、1荷口当たり平均0.5ton荷受し、製品として229.1ton出荷し、製品1ton当たり平均消費エネルギーは灯油27.7ℓ、電力199.2kWhで、除去水分量1kg当たり平均消費熱量は灯油2.66MJ、電気5.27MJであった。

荷受水分の変動は、麦収穫時期の気象条件から幅が大きいことは理解し得るが、ビール大麦の荷受水分の加重平均が30%を超える日が荷受け日数8日間のうち7日間を占めていた。高水分での荷受が連続したにもかかわらず、乾燥調製及び品質上トラブルが発生しなかったのは、1荷口当たりの荷受量が少なかったことその他、適切に荷受後の処理がなされたことを示すものである。

また、水分15~34%の2品種の米196.1tonを1日平均14.0ton、1荷口当たり0.5ton荷受し、製品として128.5ton出荷し、製品1ton当たり平均消費エネルギーは灯油20.9ℓ、電力237.3kWhで、除去水分量1kg当たり平均消費熱量は灯油4.35MJ、電気13.58MJであった。

米麦ともに1荷口当たりの荷受け量が、A施設の場合の約1/3と少ないところに本施設としての特徴が窺える。

作業工程別消費電力量調査結果によれば、米の場合の総消費電力量30,502kWhの内訳は、貯蔵乾燥64.8%、乾燥2.7%、荷受・調製他32.5%であった。また、麦の場合の総消費電力量45,650kWhの内訳は、貯蔵乾燥49.1%、乾燥22.1%、荷受・調製他28.8%であった。

設備電力197kWの約4割を占める貯蔵乾燥用送風機(75kW)を運転した場合、1日当たり最大電力消費量は約1,600kWhに達し、この影響が大きく表れていた。麦の場合には仕上乾燥に連続移動式乾燥機を多用するため、乾燥に消費される電力量の比率も大きい。

電気に関するA、B施設の相違は、B施設の設備電力がA施設の2倍に達していることから、単純比較には難点があるが、除去水分量1kg当たりの平均消費熱量は麦の場合で約1.4倍、米の場合で約3.5倍に達していた。これは貯蔵乾燥方式を採用しているB施設において、荷受量の拡大、荷受水分の低下、作業工程別動力源の制御等を配慮することによって、その差を縮少し得るものと

考えられた。

電気料金の支払実績によれば、米における電力消費量約30,500kWhに対して約103万円、麦については約45,700kWhに対して約141万円であった。さらに、受電期間4ヵ月について保安協会へ7.6万円を支払っているが、これらを含めて1kWh当たりの平均単価を示せば33.12円となり、常時契約の場合より4割安くなっている。

また、灯油については1ℓ当たりの単価は86円で、米麦の乾燥で約90kℓ、約78万円支払われている。電気料を加えると光熱費として約322万円支払われたことになるが、これはA、B施設共にほぼ同額となっている。

籾殻は酪農家へ全量無償供与し、敷料として用いられていた。

③ 利用料金のうち乾燥調製のための経費の占める割合をみると、A施設の麦については製品25または30kg当たり700円の28または35%、米については30kg当たり455~605円の40~53%、B施設の麦については製品50または60kg当たり1,200円の38または46%、米については製品60kg当たり1,100円の50%であった。

④ 稼働率は、A施設の場合64%(米)、80%(麦)と推定され、B施設の場合は実績で38%(米)、78%(麦)であった。いずれも麦の乾燥に重点をおいた施設ということが理解できるが、Bの米については稼働率を上げることで単位重量当たりの消費エネルギーを低下させ得ると考えられた。これは除去水分量1kg当たり平均消費熱量の合計が、A施設の場合7.67MJ(麦)、8.00MJ(米)、B施設の場合7.93MJ(麦)、17.93MJ(米)であったことから理解し得る。

## 2) 関東地区を含む稼働実態調査結果の総合的な考察

昭和57年度より3年間に亘って実施した北部8、関東2、中部9、南部7、合計26ヵ所の共同乾燥施設におけるエネルギー利用実態調査を取りまとめた。

① 灯油、電気の消費実績より乾燥調製に必要な製品1ton当たりエネルギー量を求めると、図63に示すように灯油は米の場合21.6ℓ(麦では16.6ℓ)、電気は米麦いずれの場合もほぼ100kWhであった。

麦については調査対象施設に貯蔵乾燥システムを併用しているところが多く、南部地区以外では荷受対象面積が米に比較してほぼ1/2以下と少ないため、施設の能力としては余裕があり、常温通風乾燥を併用する同システムの特徴が表れている一方、調査期間内には気象条件が良く、高水分麦の荷受が少なかったことが原因の一つと

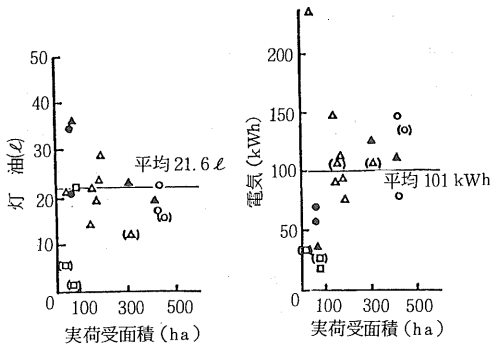


図63 製品1ton当たりのエネルギー消費量(米)

( )熱風発生装置利用のため平均値の計算からは除外  
 □ミニライスセンタ △ライスセンタ(ドライブ付き)  
 ●ライスセンタ ○カントリーエレベータ  
 ▲カントリーエレベータ(ドライブ付き)

凡例は図68まで同じ

考えられた。

米の場合、灯油はカントリーエレベータでは15.7ℓ、ライスセンタでは20.9ℓ、電気はカントリーエレベータでは73.8kWh、ライスセンタでは71.4kWhであり、麦の場合、灯油はカントリーエレベータでは24.7ℓ、ライスセンタでは17.9ℓ、電気はカントリーエレベータでは123.7kWh、ライスセンタでは55.8kWh、とする例<sup>76)</sup>もある。

灯油1ℓ当たりの単価は68~99円であった。

② 乾燥実績より除去水分1kg当たり必要熱量を求めると、図64の米に示すように加熱源については5.16MJ(麦は4.99MJ)、動力源については5.13MJ(麦は2.93MJ)程度であった。

乾燥調製に必要なエネルギー量は、稼働率や荷受水分等によっても変動するため、確定的な数字を求めるには難点があるので、単純平均で示した。なお、籾殻熱風発生装置併設のデータについては、この計算から除外した。

③ 稼働率は、施設の有効利用や円滑な運営上重要な要素である。米の場合、図65に示すように74%であった。麦では87%で米に比較して高い値を示していた。これは収穫時期の気象条件や麦跡作業との関連、水田利用再編対策等との関連から、施設での麦乾燥調製作業を希望する例が多く、設計時の荷受対象面積がある程度確保されているものと考えられる。なお、米にあっては施設規模に若干の余裕が必要であるとしても、更に向上が望まれる。

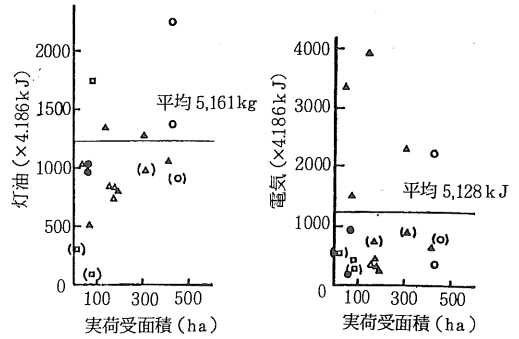


図64 除外水分1kg当たり必要熱量

( )熱風発生装置利用のため平均値の計算からは除外

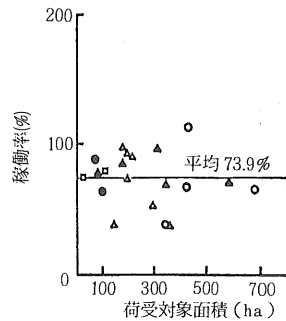


図65 稼働率

④ 設備電力は、図66に示すように施設の規模拡大とともに増大する傾向にあり、ほぼ荷受対象面積1ha当たり1kWに相当した。これは籾殻熱風発生装置併用のデータも加えた値であり、一応の目安といい得る。将来的にはレイアウト等を考慮し、規模の拡大に対し相対的な契約電力の減少を推し進める必要がある。

⑤ 年間の電気料金及び灯油料金の支払実績は、施設規模の拡大に応じて増加していたが、図67に示すようにカントリーエレベータ程度の規模では10,000千円を超え、荷受対象面積1ha当たり22千円程度であった。また、支払実績のうち電気料金の占める割合は、図68に示すように米麦合わせて65%程度であり、これを如何に少なくし得るかはランニングコスト低下のための重要な要素であるとともに、籾殻加熱ガス利用システムによる動力変換の有利性が確認された。



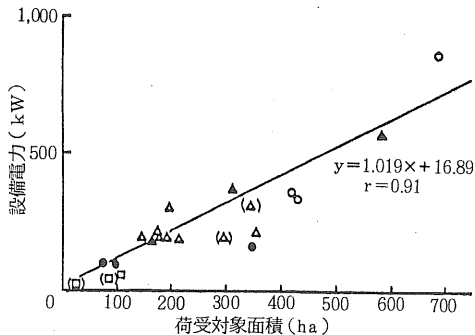


図66 荷受対象面積と設備電力

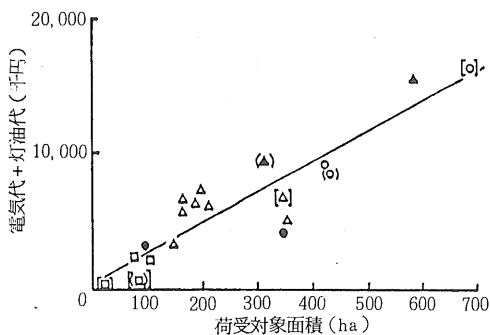


図67 電気代と灯油代の年間支払実績

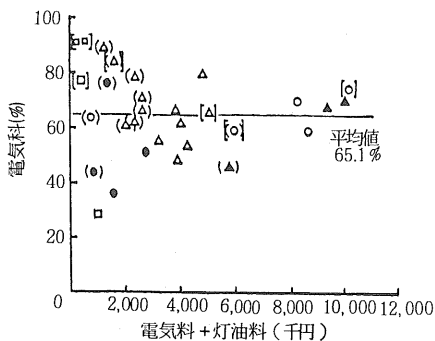


図68 年間支払実績における電気料の占める割合

なお、昭和57年度末に各地区における一連の調査とは別に、全国24施設（うち米麦兼用施設は、カンントリーエレベータ6、ライスセンタ4）を対象に表22に示すような項目について聞き取り調査を行い、図69に示すように米麦製品1 ton 当たり電力料金、灯油料金を求めた。電力料金については規模拡大とともにやや増加する傾向にあり、灯油料金については施設規模にかかわらず2,000円程度であったことから、電気料金の低廉化に注目する必要を認めた。

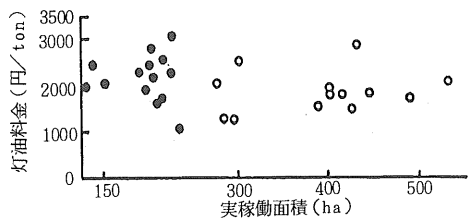
また、籾殻は施設の立地条件等によって畜産農家、燻炭製造業者等へ無償で供与している施設、有償で処理し

ている施設、販売している施設等があり、籾殻を施設内の加熱、動力エネルギーとして積極的に利用しようとする籾殻加熱ガス利用システムへの関心は極めて高かった。

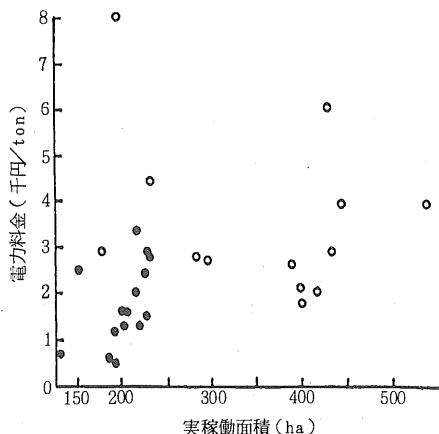
⑥ 屑米麦は加工用等に有償で販売する例が多いが、聞き取り調査では農家に還元する例もみられた。

表22 共同乾燥施設におけるエネルギー利用実態聞き取り調査表

項目	内容
名称・所在地 設置年度（改造年度） 種類及び乾燥方式 設備電力	契約電力、受電契約、保安契約、基本料金、電力料金 荷受対象面積、実稼働面積
稼働率 取扱品種 電力消費量 灯油消費量	荷受重、乾燥総重、屑重 電力料金、電力料年間支払実績単価 灯油料金、灯油単価
製品1 ton 当たり必要エネルギー量 除去水分1 kg 当たり必要熱量 施設利用料金 屑米、屑麦の用途 籾殻利用状況	製品出荷重、電力・灯油消費量 除去水分量、電力・灯油消費量 水分加算の有無と料金体系 発生総量と暗きょ、床土代替、敷料、熱風発生装置（乾燥用、園芸用）、園芸資材、その他の割合
その他	



灯油料金（稼働率45～142%）



電力料金（稼働率45～142%）

図69 共同乾燥施設における米麦製品1ton 当たり料金（1981, 1982年電力・灯油実績）

○カンントリーエレベータ ●ライスセンタ

表23 籾殻の年度別・扱い別処理状況

	合計処理量						共同乾燥施設処理量					
	1984	1983	1982	1981	1980	1975	1984	1983	1982	1981	1980	1975
発生総量 ×1,000ton	2,673	2,508	2,381	2,300	2,248	3,291	(15.4)	(15.8)	(17.1)	(16.4)	(20.5)	(7.9)
マルチ	6.6	8.2	5.8	5.8	7.8	3.8	5.3	5.2	7.2	6.1	4.7	2.3
床土代替資材	2.2	2.1	2.8	2.4	2.7	1.7	2.6	2.7	4.9	2.8	3.1	3.3
暗きょ資材	10.7	10.5	11.0	12.2	11.6	-	27.2	27.2	24.9	25.4	21.6	-
畜舎の敷料	17.1	15.7	14.6	14.0	13.7	9.4	21.8	22.7	19.9	20.1	16.4	8.8
堆肥	19.3	19.7	19.7	19.3	16.1	18.9	15.5	13.2	12.4	10.3	13.2	11.5
加工(ボード等)	0.2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.8	0.7	0.7	0.7	0.5	1.0	1.7
燃料*	1.1	3.4	2.6	2.6	2.2		1.5	3.3	6.0	5.3	2.9	
燐炭*	4.6	5.6	5.2	6.1	6.1	47.6	6.1	8.1	6.8	7.4	7.0	43.8
廃棄	焼却*	28.6	26.2	28.0	26.6	27.4	10.9	7.9	8.6	8.7	19.8	
	その他*	2.8	4.2	4.9	4.4	5.0	10.0	2.6	1.3	1.2	2.6	9.8
その他*	6.8	4.3	5.2	6.3	7.0	7.8	5.8	7.0	7.3	12.2	7.7	18.8
*印合計	43.9	43.7	45.9	46.0	47.7	65.4	26.9	28.3	30.0	34.8	40.0	72.4

注: 1) 単位 %, 但し発生総量は×1,000ton, ( )内は発生総量に対する%。

2) \*印はエネルギーとして利用し得る項をいう。

3) 農林水産省農産課の年度報告資料より作表。

⑦ 籾殻は袋代、袋詰めへの労賃や運搬料を除けば、それ自身は無償で処理されていた。全国的にみると表23に示すように発生量の6割は暗きょ、家畜の敷料等に利用されているものの、4割は廃棄されている。図70に示すように個別農家ではその処理も種々あるが、施設では短期間に多量産出するためその有効利用は大きな課題といえる。廃棄物は、その発生場所において有効利用することがハンドリングコストの面からも大きなメリットであり、今後、省エネルギー型乾燥施設実現のためのキポイントであると推察できる。

⑧ 燐炭の利用について調査した結果を表24、図71に示す。

ライスセクタやカントリーエレベータより集められた籾殻は、底面に通気孔を有する浅床式、深床式の炉を用いて、24時間操業の手作業で燐炭として生産されていた。製鉄所への販売は一業者の量としては予想を上回るもので、1kg当たり22~30円で取引されていた。また、パイロットプラントで得られた燐炭について、製造業者の判断によると販売が可能であることが明らかになった。

燐炭の成形について予備的に試作した簡易型の籾殻燐炭成形装置を図72に示す。粘結剤として籾殻タールや、

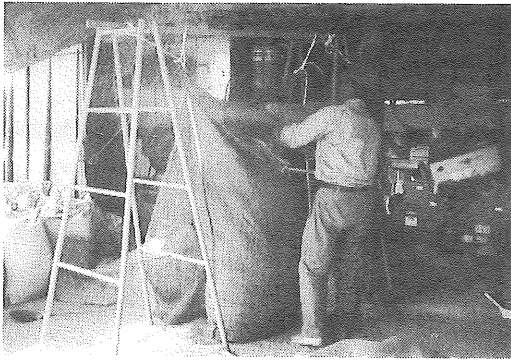
屑米麦の粉末を用い成形が可能であった。ビルマにおいては籾殻を燐炭にし、成形して家庭用の燃料として利用するといひ、この種簡易成形装置についても検討の余地があると考えている。

### 3) 電力料金試算結果

電力契約関係に複雑さが認められたため、(社)農業電化協会の協力を得て全国9地域の電力会社の供給規程<sup>77) - 85)</sup>を検討した結果、契約方式には種々あり、詳細については各施設によって異なるが、契約方法も低コスト化にとって重要な要素であることが理解できた。

① ライスセクタやカントリーエレベータの一般的な電力契約は高压甲、常時及び臨時契約であるが、設計時に対策を施すことにより、力率割引の特典を生かして単価の切下げを図るとともに、常時契約と臨時契約の適切な配分を行い、保守・点検作業に必要な最小の電力を常時契約とするなど徹底的な節電対策と、非需要期における未使用割引制度等を利用して、年間の基本料金や消費電力量料金の低廉化を図っていくことが重要となる。

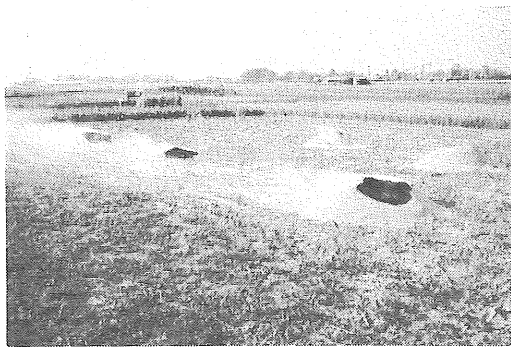
② 消費電力量や電力契約等について前提条件を詳細に定め、電力料金を試算した結果、表25に示すように各電力会社間に大きな差異を認めた。



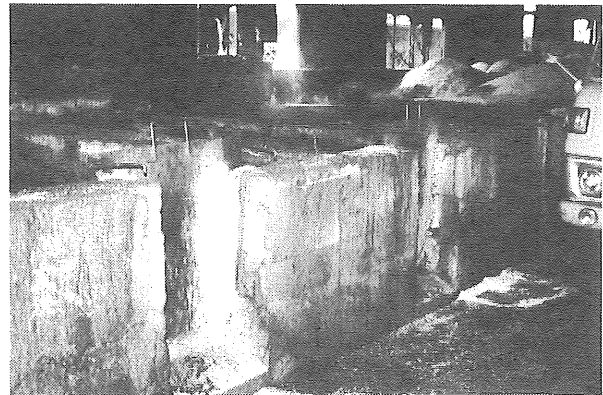
個別農家における籾殻の回収例



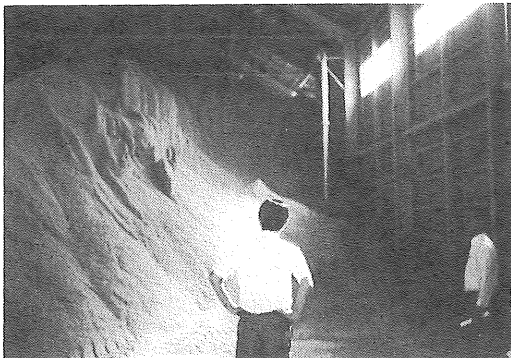
浅床式



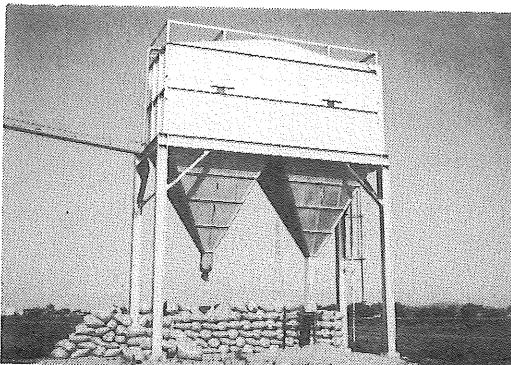
個別農家にみられる圃場での焼却例



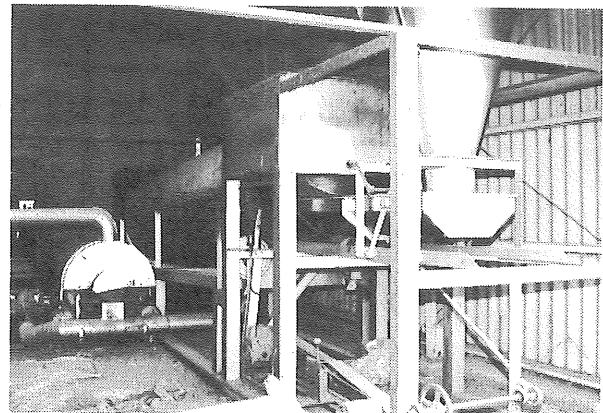
深床式



共同乾燥施設における籾殻の回収例



共同乾燥施設における籾殻庫と袋詰した籾殻の例



ロータリーキルン式

図70 籾殻の回収と処理別

図71 燐炭製造状況

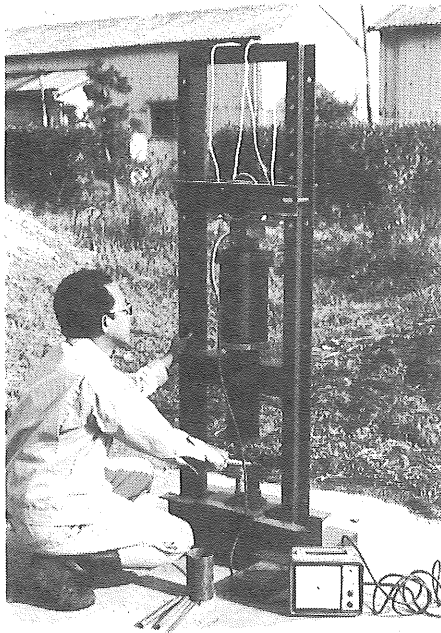
また、電力料金に占める基本料金の割合が35～54%と高く、コスト計算等を行っていく上で極めて注目すべきことが分かった。

基本料金を含む場合の1kWh当たり単価は、試算結果から32.0～50.3円で、その平均値は42.3円であった。

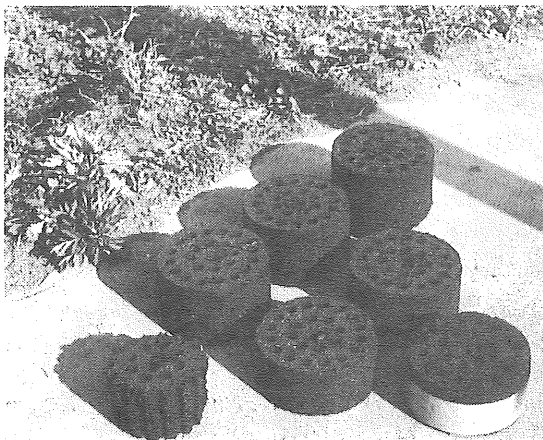
表24 燠炭生産販売会社1社の販売状況

項目	内容
販売価格 (円/ton)	初殻 30,000 円 初殻燠炭 60,000 円 おが屑燠炭 70,000 円
利用法	製鉄所では鉄鉄の保温材として、製薬会社、浄水場では活性炭として
製鉄所への初殻燠炭販売量 (ton/月)	日本鋼管に100ton、新日鉄に200ton、川崎製鉄に60～70tonであった。なお、単価は310円/10kg (袋代90円込み)、180円/5kg (袋代30円込み)

注：昭和60年7月聞き取り調査



燠炭簡易成形装置



成形した燠炭

図72 燠炭の成形

表25 9電力会社における電力料試算

1. 前提条件		
1) 電力契約	高圧甲	147kW (力率 100%)
	臨時	105kW (力率 85.97%)
2) 消費電力量	高圧甲	113,658kWh
	臨時	49,672kWh
2. 試算結果		
1) 電力料金		平均 6,908千円
	(範囲)	(5,220～8,222千円)
2) 基本料金の比率		平均 41.9%
	(範囲)	(34.5～53.7%)
3) 1kWh当たりの単価		平均 42.3円
	(範囲)	(32.0～50.3円)

## 5.2 設計指針、試算と評価

籾殻加熱ガス利用システム併設共同乾燥施設の実用化に当たり、籾殻加熱ガス化パイロットプラントの実用運転試験結果及び乾燥調製に必要なエネルギー量に関する調査結果をもとに設計指針を作成する。さらに、これをもとにライスセンタ（並列乾燥、集中乾燥方式）、カントリーエレベータ（籾貯蔵能力2,000ton、3,000ton）を設計、試算し、経営収支を求め、籾殻加熱ガス利用システムの実用性を評価する。

### 5.2.1 方法

#### 1) 前提条件

設置対象施設は、並列乾燥方式ライスセンタ、集中乾燥方式ライスセンタ<sup>86)~87)</sup>、カントリーエレベータ<sup>88)~89)</sup>とする。

籾殻ガスの利用区分は以下のとおりである。

#### (1) 並列乾燥方式ライスセンタ

- ① 籾殻ガスバーナによる乾燥の加熱源
- ② 籾殻ガスエンジン発電システムによる動力源
- ③ エンジン廃熱利用による乾燥用空気の予熱源

#### (2) 集中乾燥方式ライスセンタ、カントリーエレベータ

- ① 籾殻ガスバーナによる乾燥の加熱源
- ② 籾殻ガスエンジン発電システムによる乾燥時の動力源
- ③ 籾殻ガスエンジン発電システムによる籾摺調製時の動力源
- ④ エンジン廃熱利用による乾燥用空気の予熱源

#### 2) 基本仕様

収量、稼働期間等について以下のとおりとする。

#### (1) 収量

製品玄米600kg/10a（乾籾換算750kg/10a）

#### (2) 稼働期間

##### ① ライスセンタ

30日間（実荷受日数25日）

##### ② カントリーエレベータ

30日間（実荷受日数25日）

3,000ton規模における籾摺調製期間は100日間

2,000ton規模における籾摺調製期間は64日間

#### (3) 籾摺調製能力

籾4.0ton/h×8h/日（籾殻量は籾重量の20%

とする）

#### (4) 設備電力

籾殻加熱ガス化プラントを含み1kW/ha

#### 3) 既存システムでの必要エネルギー量

調査結果をもとに、必要エネルギー量を以下のとおりとする。

- (1) 加熱源 灯油21.6ℓ/製品ton
- (2) 灯油単価 60円/ℓ
- (3) 動力源 100kWh/製品ton
- (4) 消費電力単価 42.3円/kWh

#### 4) 乾燥に要する籾殻ガス量

パイロットプラントにおける実績より、以下のとおりとする。

(1) 加熱源 動力源の廃熱利用による省石油効果を1/3として、製品玄米1ton当たり130m<sup>3</sup>（2/3×21.6ℓ/ton×37.26MJ/ℓ≒536MJ/ton）とする。

(2) 動力源 発電出力1kW当たり3.5m<sup>3</sup>/h。

5) 籾殻加熱ガス化システム設置時の二次的残渣基礎研究の結果を参考に、以下のとおりとする。

(1) 籾殻1kgで、有臭かつ空気より軽い、発熱量4,186kJ/m<sup>3</sup>の籾殻ガス1m<sup>3</sup>を得る。加熱ガス化による二次的残渣としての燐炭は籾殻重量の1/3、タールは籾殻重量の0.5%とする。

(2) 燐炭は地域毎に利用方法について検討する必要がある<sup>90)~93)</sup>があるが、ここでは、調査結果を加味し、20円/kgで製鉄所に販売するものとする。

(3) 燐炭は成形可能であったことから、固形燃料としての利用も考えられるが、将来的には再エネルギー化により動力エネルギー源として利用し、その灰は精製してホイスカ(SiC)<sup>94)・95)</sup>等新素材を得る。また、タールは燃料として利用し得るが、分留により高級オイル、薬品等更に付加価値の高いものへ変換<sup>96)</sup>していく。なお、これらの処理施設は籾殻加熱ガス利用システムが普及した場合、核となる地域に別プラントとして設置する。灰、タールを購入して年間稼働により製品化し、コスト低下を図っていく考えである。

#### 6) 試算と評価

(1) 100ha規模ライスセンタ（並列乾燥、集中乾燥方式）、200ha規模ライスセンタ（集中乾燥方式）、籾2,000ton規模カントリーエレベータ、籾3,000ton規模カントリーエレベータについて、設計指針をもとに試算した。

(2) 算出基礎をもとに経営収支を試算した。

(3) 試算結果を総合して、評価した。

### 5.2.2 結果及び考察

設計指針に基づき試算、設計し、仕様に基づいて施設

費を試算し、経営収支を検討し、籾殻加熱ガス利用システムを評価した。

### 1) 籾殻加熱ガス化利用システム併設省エネルギー型共同乾燥施設の概要

100ha規模並列乾燥方式ライスセンタを試算例としてとりあげた。

#### (1) 前提条件

① 指針に基づき、設備電力は100kW、製品玄米量は600ton、籾殻量は150tonとなる。

② 必要籾殻量は以下のとおりである。

$$\text{加熱源} \quad 130\text{m}^3/\text{ton} \times 600\text{ton} \times 1\text{m}^3/\text{籾殻kg} \\ = 78\text{ton}$$

$$\text{動力源} \quad 100\text{kWh}/\text{ton} \times 600\text{ton} \times 3.5\text{m}^3/\text{kWh} \\ \times 1\text{m}^3/\text{籾殻kg} = 210\text{ton}$$

③ 代替可能割合は以下のとおりである。

$$150\text{ton} \div (78\text{ton} + 210\text{ton}) \times 100 = 52.1\%$$

ここで、加熱源を100%代替し、籾殻の残りを動力源とすれば動力源は34.3%代替できる。なお、全量を動力源とすれば71.4%代替可能となる。

#### (2) 省エネルギー効果

① 既存システムにおける必要額

$$\text{灯油代} \quad 21.6\ell/\text{ton} \times 600\text{ton} \times 60\text{円}/\ell \\ = 778 \text{ 千円}$$

$$\text{電気代} \quad 100\text{kWh}/\text{ton} \times 600\text{ton} \times 42.3\text{円}/\text{kWh} \\ = 2,538 \text{ 千円}$$

$$\text{合計} \quad 3,316 \text{ 千円}$$

② 加熱源を100%代替する場合

$$\text{灯油代} \quad 778 \text{ 千円} \times 100\% = 778 \text{ 千円}$$

$$\text{電気代} \quad 2,538 \text{ 千円} \times 34.3\% = 871 \text{ 千円}$$

$$\text{合計} \quad 1,649 \text{ 千円}$$

年間ランニングコストの49.7%が代替可能となる。

③ 籾殻全量を動力源とする場合

$$\text{灯油代} \quad 778 \text{ 千円} \times 1/3 = 259 \text{ 千円}$$

(エンジンの廃熱利用効果による)

$$\text{電気代} \quad 2,538 \text{ 千円} \times 71.4\% = 1,812 \text{ 千円}$$

$$\text{合計} \quad 2,071 \text{ 千円}$$

年間ランニングコストの62.5%が代替可能となる。

④ 燐炭とタール

$$\text{燐炭量} \quad 150\text{ton} \times 1/3 = 50\text{ton}$$

$$\text{販売収入} \quad 50\text{ton} \times 20\text{円}/\text{kg} = 1,000 \text{ 千円}$$

タールについては、発熱量を23.86MJ/kgとして燃料に利用するとすれば、別途、燃焼装置が必要であるが、

$$\text{タール量} \quad 150\text{ton} \times 0.5\% = 0.75\text{ton}$$

$$\text{灯油換算} \quad 750\text{kg} \times 23.86\text{MJ}/\text{kg} \div 37.26\text{MJ}/\ell \\ = 480 \ell$$

$$\text{換算額} \quad 480 \ell \times 60\text{円}/\ell = 29\text{千円}$$

に相当する。

### (3) 籾殻加熱ガス化プラント部の概要

#### ① 発生籾殻の利用区分

発生籾殻量は150tonであるので、加熱源を100%確保すれば78tonが加熱源に、残りの72tonが動力源となる。

#### ② 主要部仕様

加熱源用ガス発生炉の能力(実荷受日数より、乾燥期間を25日とする)

$$1\text{m}^3/\text{籾殻kg} \times 78\text{ton} \div 25\text{日} \div [(IMC24\% \\ - FMC14\%) \div 0.8\%/h] \text{h}/\text{日} = 250\text{m}^3/\text{h}$$

ここで、IMCは乾燥前含水率、FMCは乾燥終了時含水率をいう。

ガス発生炉は内径1,250mm(定格ガス化能力250m<sup>3</sup>/h)1基とし、ガス精製装置、誘引ファン、ガスホルダを經由して籾殻ガスバーナへ供給する。籾殻ガスバーナの燃焼量は25m<sup>3</sup>/hで12基の循環式乾燥機に設置する。

③ 加熱源用ガスホルダの貯留量(定格時に5分間分貯留)

$$250\text{m}^3/\text{h} \div 60\text{min} \times 5\text{min} = 21\text{m}^3$$

ガス最大貯留量30m<sup>3</sup>、ガス圧1.96kPaの有水式ガスホルダとする。

④ 動力源用ガス発生炉の能力(稼動期間を30日とする)

$$72\text{ton} \div 30\text{日} \div 24\text{h}/\text{日} \times 1\text{m}^3/\text{籾殻kg} \\ = 100\text{m}^3/\text{h}$$

ガス発生炉は内径1,000mm(定格ガス化能力140m<sup>3</sup>/h)1基とし、ガス精製装置のみ經由して、エンジンの吸気圧によって炉の運転を行うものとする。

なお、動力源としてのみ利用する場合も稼動期間を30日として、

$$150\text{ton} \div 30\text{日} \div 24\text{h}/1\text{m}^3/\text{籾殻kg} \\ = 208 \approx 200\text{m}^3/\text{h}$$

ガス発生炉は内径1,200mm(定格ガス化能力200m<sup>3</sup>/h)1基とし、ガス精製装置のみ經由して、エンジンの吸気圧によって炉の運転を行うものとする。

#### ⑤ 発電機出力(最大)

$$100\text{m}^3/\text{h} \div 3.5\text{m}^3/\text{kWh} \times 1.1 \approx 30\text{kW}$$

発電機は30kWのもの1基とする。

動力源としてのみ利用する場合は、

$$208\text{m}^3/\text{h} \div 3.5\text{m}^3/\text{kWh} \times 1.1 = 65\text{kW}$$

発電機は65kWのもの1基とする。

### ⑥ 廃熱利用装置

エンジンの排気管を利用し、ラジエータの廃熱を加えて乾燥用空気を予熱する。この場合、加熱源としての必要熱量の1/3を確保すべく、循環式乾燥機（風量1.65m<sup>3</sup>/s・基×12基）群に対応した熱交換装置を設ける。

なお、動力変換部は騒音防止とエンジンの廃熱利用効果を狙って、循環式乾燥機群の地下にピットを掘って設置する。

動力変換については、ガス発生炉1基にガスエンジン1基の接続を1システムとした。これは、ガス発生炉とのバランス、トラブル時の対応、効率的な発電、エンジンの低コスト等を図るためである。

## 2) 経営収支

100ha 規模並列乾燥方式ライスセンタを試算例としてとりあげた。

### (1) 施設費概算

設計仕様に基づき施設費を試算した。

① 機械	88,000千円
② 建屋	90,000千円
③ 粃殻加熱ガス化システム	88,000千円
(ガス発生部)	50,000千円
(動力変換部)	20,000千円
(バーナ部)	18,000千円
合計	266,000千円
(動力変換利用のみの場合)	248,000千円

### (2) 経営試算

表26に示す算出基礎を用い、表27に経営収支の試算結果を示した。

ガス化設備の耐用年数、修理費については、機械設備と同じ扱いとした。

また、玄米60kg当りの共同乾燥施設利用料金は1,895円と試算された。

### 3) 評価

設計指針に基づき、表28に100ha 規模ライスセンタ（並列乾燥、集中乾燥方式）、200ha 規模ライスセンタ（集中乾燥方式）、カントリーエレベータ（2,000ton規模、3,000ton規模）についてシステムの規模、省エネルギー効果等を試算した結果の総括、表29に経営収支試算結果の総括を示す。

エネルギー危機を経験し、国外に資源を依存するわが国にとって、稲作が続く限り粃摺調製時に廃棄物として

発生する粃殻を、全て捨てることなく、乾燥の加熱源、動力源として実的に有効利用する理想的な処理技術を完成した。

しかし、経済試算した結果をみると灯油単価の状況等から、必ずしも経済的に理想的な形とはならなかった。

すなわち、加熱源としての直接的な灯油代替よりも、電力料金単価の高いわが国では、ランニングコストに占める電力料金の割合から、発生粃殻を総て動力源とし、エンジンの廃熱を乾燥用空気の予熱として利用するのが実的に有利であると判断した。

並列乾燥方式におけるライスセンタでは、バーナ部の施設費が高く、耐用年数内での償却は困難であった。経済的な面を考慮してスケールメリットもある3,000ton（米400ha）規模カントリーエレベータに実用性を認めた。

しかし、全ての動力源を粃殻で補うには840ton必要で、発生粃殻量で賄えるのは7割であり、現時点では粃殻のガス化による動力エネルギーのクローズド化は実現できなかった。

この場合、発電出力1kW当たりの建設単価は449千円で、太陽光発電の約1/2<sup>97)</sup>、建設規模は異なるが石炭火力発電の2倍程度<sup>98)</sup>に相当することが分かった。

省エネルギー効果を経済試算すると、既存システムにおける年間の灯油、電気料金の合計13,262千円に対し、燐炭の販売収入も含めた場合12,286千円となり、粃殻加熱ガス利用システム設置効果は年間のランニングコストの92.6%に達した。

また、玄米60kg当りの共同乾燥施設利用料金は1,282円と試算され、現状が1,500円～2,000円であることから、利用する農家側にとってもメリットがあると判断した。

このような結果から、昭和54年以来研究開発した粃殻加熱ガス利用システムについて、次のことを明らかにした。

1) ライスセンタやカントリーエレベータで廃棄物を出してはいけないとするなら、粃殻、タール、燐炭のすべてを利用することが技術的に可能である。

2) わが国でこのシステムが経済的に成り立つことを考えるなら、3,000ton程度の規模のカントリーエレベータで可能である。

表26 算 出 基 礎

固 定 費	建 物 設 備	価 格×補助率0.5×残存率0.9÷耐用年数35年＝
	サイロ設備	価 格×補助率0.5×残存率0.9÷耐用年数40年＝
	ドライストア設備	価 格×補助率0.5×残存率0.9÷耐用年数22年＝
	機 械 設 備	価 格×補助率0.5×残存率0.9÷耐用年数10年＝
	ガス化設備	価 格×補助率0.5×残存率0.9÷耐用年数10年＝
	支払金利	
	近代化資金	総額×0.5×借入率80%×中央値1/2×年利6分5厘＝
	内 部 金 利	総額×0.5×借入率20%×中央値1/2×年利7分＝
	公租公課	
	不 動 産 取 得 税	((建物価格÷35)+(サイロ価格÷40)+(ドライストア価格÷22)×補助率0.5×税率3分＝
固 定 資 産 税	建物価格×80%×税率1分4厘＝	
保 險 料	総額×1厘5毫	
修 理 費	(建物価格+サイロ価格+ドライストア価格)×0.1%+機械設備価格×0.3%+ガス化価格×0.3%＝	
電 力 基 本 料 金	(総設備電力-動力変換設備電力)×(ライセンタ:2ヶ月、カントリーエレベータ:常用100kw×12ヶ月と、 残りを季節契約 4ヶ月×東京電力・特別高圧甲単価1,468円/kw(季節契約は1割高))＝	
保 守 管 理 費	ライセンタ:(単価125,000円/月×2ヶ月)+定額176,000＝ カントリーエレベータ:(単価35,000円/月×12ヶ月)+定額840,000円＝	
共 通 管 理 費		
変 動 費	労 務 費	単価:職員8,000円/日、作業員(男)7,000円/日、(女)5,000円/日 ライセンタ { 100ha:(職員2+男4+女3)×30日＝ 200ha:(職員5+男4+女4)×30日＝ カントリーエレベータ { 2,000ton:(職員1×12ヶ月)+(職員7+男2+女2)×30日)+(男1×4ヶ月)＝ 3,000ton:(職員1×12ヶ月)+(職員6+男2+女2)×30日)+(職員1×40日) +(男1×4ヶ月)＝
	電 力 量 料 金	100kWh/製品玄米ton×42.3円/kWh×製品玄米量＝
	燃 料 費	既存システムでは、21.6ℓ/製品玄米ton×60円/ℓ×製品玄米＝ 排熱利用システムでは既存システム燃料費の1/3
収 入	利 用 料 金	支出合計-収入合計
	入 切 保 管 料	1期(1/2ヶ月)初100kg当たり、24円80銭で12期(6ヶ月)分



表27 100ha規模並列乾燥方式ライスセンタにおける経営収支の試算例

「1」 固定費		「2」 変動費	
(1) 減価償却費	90,000,000 × 1/2 × 0.9 ÷ 35 =	職員 8,000円/日	荷受・乾燥職員 2名 × 8,000 × 30 = 480,000
建物設備	-	作業員(男) 7,000円/日	作業員(男) 1名 × 7,000 × 30 = 210,000
サイロ設備	-	作業員(女) 5,000円/日	
ドラフト設備	106,000,000 × 1/2 × 0.9 ÷ 10 =		籾摺製 作業員(男) 1名 × 7,000 × 30 = 210,000
機械設備	70,000,000 × 1/2 × 0.9 ÷ 10 =		作業員(女) 3名 × 5,000 × 30 = 450,000
ガス発生・発電設備			出荷 作業員(男) 2名 × 7,000 × 30 = 420,000
小計	266,000,000	計	(1,770,000)
(2) 支払金利	266,000,000 × 1/2 × 0.8 × 1/2 × 0.065 = 3,458,000	電力料金	100kWh/製品玄米1ton × 42.3円/kWh × 製品玄米 2,538,000 - 871,000 = 1,667,000
近代化資金	" × 1/2 × 0.2 × 1/2 × 0.07 = 931,000	計	(1,667,000)
内部金利		燃料費	既存システムでは 21.6ℓ/製品玄米1ton × 60円/ℓ × 製品玄米量 778,000 - 778,000 = 0
小計	(4,389,000)	計	
(3) 公租公課	90,000,000 ÷ 35 × 0.5 × 0.03 = 38,571	変動費合計	3,437,000
不動産取得税	90,000,000 × 0.8 × 0.014 = 1,008,000	(1) 固定費 + (2) 変動費 (= 支出合計)	16,514,407 + 3,437,000 = 19,951,407
固定資産税			
小計	(1,046,571)		
(4) 保険料	266,000,000 × 0.0015 = (399,000)		
(5) 修理費	90,000,000円 × 0.001 + 106,000,000円 × 0.003 + 70,000,000円 × 0.003 = (618,000)		
(6) 電力基本料金	64kWh × 2ヶ月 × 1.1 × 1,468 = (206,694)		
(7) 保守管理費	125,000 × 2ヶ月 + 176,000 = (426,000)		
(8) 共通管理費	(352,000)		
固定費合計	16,514,407		
「3」 収入			
(1) 燐炭売却			
		籾殻発生量 × 1/3 × 20円/kg = 150ton × 1/3 × 20円 × 1.000kg = 1,000,000	
計			(1,000,000)
収入合計			1,000,000
支出 - 収入			19,951,407 - 1,000,000 = 18,951,407
利用料金			18,951,407 ÷ 10,000俵 = 1,895円/俵 但し、1俵 = 60kg

表28 籾殻加熱ガス化利用システム併設省共同乾燥施設総括表

区分	施設	ライスセンター			ントリーエレベータ	
		100ha並列乾燥方式	200ha集中乾燥方式	2,000ton (300ha)※	3,000ton (400ha)	
規模・種別						
設備電力	(kW)	100	200	260	400	
製品玄米量	(ton)	600	1,200	1,800	2,400	
発生籾殻量	(ton)	150	300	450	600	
既存システム	灯油 (千円)	778	1,555	2,333	3,110	
における年間	電気 (千円)	2,538	5,076	7,614	10,152	
ランニングコスト	合計 (千円)	3,316	6,631	9,947	13,262	
籾殻ガスの利用		加熱・動力源	動力源	動力源	動力源	動力源
必要籾殻量	(ton)	加熱源 78 動力源 288	210	420	630	840
代替可能割合	(%)	52.1	71.4	71.4	71.4	71.4
籾殻加熱ガス化	ガス発生炉 (m <sup>3</sup> /h)	加熱源 250 動力源 100	200	200×2基	籾摺用140×1基 乾燥時200×2基	籾摺用140×1基 乾燥時300×2基
	籾殻ガスバーナ (m <sup>3</sup> /h)	25×12基	-	-	-	-
	発電機出力定格 (kW) (最大 kW)	28 (30)	60 (65)	60×2基 (130)	籾摺用 40×1基 乾燥時 55×2基 (165)	籾摺用 40×1基 乾燥時 90×2基 (245)
省エネルギー ギ I 効果	灯油 (千円)	778	259	518	777	1,037
	電気 (千円)	871	1,812	3,624	5,436	7,249
	小計 (千円)	1,649	2,071	4,142	6,213	8,286
	(既存システムに 対する節約効果 %)	(49.7)	(62.5)	(62.5)	(62.5)	(62.5)
	残渣から の収入 (千円)	1,000	1,000	2,000	3,000	4,000
	の収入 (千円) (灯油換算)	25	25	58	86	115
合計 (千円)	2,674	3,096	6,200	9,299	12,401	
(既存システムに 対する節約効果 %)	80.6	93.3	93.5	93.5	93.5	
施設費	機械 (千円)	88,000	88,000	160,000	350,000	390,000
	建屋 (千円)	90,000	90,000	160,000	250,000	290,000
	サイロ (千円)	-	-	-	100,000	140,000
	籾殻加熱ガス化 システム (千円)	88,000	70,000	90,000	100,000	110,000
	ガス発生部 (千円)	50,000	50,000	60,000	65,000	70,000
	バーナ部 (千円)	18,000	-	-	-	-
	動力変換部 (千円)	20,000	20,000	30,000	35,000	40,000
合計 (千円)	266,000	248,000	410,000	800,000	930,000	
ランニングコストから みた籾殻加熱ガス 化システムの償却年数	補助額 { 0の場合 (年) 1/2の場合 (年)	32.6 16.5	22.6 11.3	14.5 7.3	10.8 5.4	8.9 4.4
	発電出力1kW当たり単価 (ガス発生部を含んだ場合 千円/kW)	666 (1,500)	308 (1,077)	231 (692)	212 (606)	163 (449)
バーナシステム1基当たり単価 (ガス発生部を含んだ場合 千円/kW)	1,500 (3,583)	-	-	-	-	
全体価格に対する籾殻加熱 ガス化システム価格 (%)	33.1	28.2	22.0	12.5	11.8	

※ ドライストア付とし、貯蔵せずに籾摺出荷する40ha分を含むことから、設備電力は260kWとする。

表29 経営試算の総括表

区分	施設	ライスセンタ			カントリーエレベータ	
		100ha並列乾燥方式		200ha集中乾燥方式	2,000ton (300ha)	3,000ton (400ha)
規模・種別		加熱・動力源	動力源	動力源	動力源	動力源
籾殻ガスの利用						
固定費	(1)減価償却費 (千円)	9,077	8,267	12,738	23,843	26,617
	建物設備 (千円)	1,157	1,157	2,057	3,214	3,729
	サイロ設備 (千円)	-	-	-	1,125	1,575
	ドライストア設備 (千円)	-	-	474	622	614
	機械設備 (千円)	4,770	3,960	6,157	14,382	16,650
	ガス化設備 (千円)	3,150	3,150	4,050	4,500	4,500
	(2)支払金利 (千円)	4,389	4,092	6,765	13,200	15,345
	近代化資金 (千円)	3,458	3,224	5,330	10,400	12,090
	内部資金 (千円)	931	868	1,435	2,800	3,255
	(3)公租公課 (千円)	1,047	1,047	1,876	2,965	3,439
不動産取得税 (千円)	39	39	84	165	191	
固定資産税 (千円)	1,008	1,008	1,792	2,800	3,248	
(4)保険料 (千円)	399	372	615	1,200	1,335	
(5)修理費 (千円)	618	564	864	1,639	1,840	
(6)電力基本料金 (千円)	207	129	258	2,085	2,278	
(7)保守管理費 (千円)	426	426	426	1,260	1,260	
(8)共通管理費 (千円)	352	352	820	840	840	
小計 (千円)	16,515	15,249	24,362	47,032	53,015	
変動費	(1)労務費 (千円)	1,770	1,770	2,640	6,120	6,200
	(2)電力量料金 (千円)	1,667	726	1,452	2,178	2,903
	(3)燃料費 (千円)	0	519	1,037	1,555	2,073
	小計 (千円)	3,220	3,015	5,129	9,853	11,176
合計 (千円)	19,951	18,264	29,491	56,885	64,191	
収入	(1)利用料金 (千円)	18,951	17,264	27,491	47,933	51,263
	(2)籾保管料 (千円)	0	0	0	5,952	8,928
	(3)燐炭売却費 (千円)	1,000	1,000	2,000	3,000	4,000
	合計 (千円)	19,951	18,264	29,491	56,885	64,191
玄米60kg当たりの利用料金 (円)	1,895	1,726	1,475	1,598	1,282	

### 5.3 摘要

籾殻加熱ガス利用システム併設共同乾燥施設の設計指針を作成するため、共同乾燥施設におけるエネルギー消費状況、籾殻や燐炭の利用状況等を調査し、全国9地域の電力会社の供給規程に基づく電力料金の試算等を行い、パイロットプラントによる実用運転試験結果を加えて、籾殻加熱ガス利用システム併設の100ha規模ライスセンタ(並列乾燥方式、集中乾燥方式)、200ha規模ライスセンタ(集中乾燥方式)、カントリーエレベータ(貯貯蔵能力2,000ton、3,000ton)を設計し、積算して経営収支を試算し、評価した。

1) 乾燥調製に必要なエネルギー量は、製品1ton当たり灯油は21.6ℓ(米)、16.6ℓ(麦)で、灯油1ℓ当たりの単価は68~99円であった。電気は米麦いずれの場合もほぼ100kWhであった。

2) 除去水分量1kg当たり必要熱量は、加熱源については5.16MJ(米)、4.99MJ(麦)、動力源については5.13MJ(米)、2.93MJ(麦)程度であった。

3) 稼働率は、74%(米)、87%(麦)程度であった。

4) 設備電力は、ほぼ荷受対象面積1ha当たり1kWであった。

5) 年間の電気料金及び灯油料金のうち、電気料金の占める割合は、米麦合わせて65%程度であった。このことより、籾殻加熱ガス利用システムによる動力変換の有利性が確認された。

6) ライスセンタやカントリーエレベータの一般的な電力契約は高圧甲、常時及び臨時契約である。消費電力量や電力契約等について前提条件を詳細に定めて電力料金を試算した結果、基本料金の占める割合が35~54%と高く、基本料金を含む場合の1kWh当たり単価は32.0~50.3円で、その平均値は42.3円であった。

7) 籾殻を総て捨てることなく、乾燥の加熱源、動力源として実用的に有効利用する理想的な処理技術を完成したが、ライスセンタ、カントリーエレベータについての経営試算結果をみると、灯油単価の状況等から、必ずしも経済的に理想的な形とはならなかった。

即ち、加熱源としての直接的な灯油代替よりも、電力料金単価の高いわが国では、ランニングコストに占める電力料金の割合から、発生籾殻を総て動力源とし、エンジンの廃熱を乾燥用空気の予熱として利用するのが実的に有利であると判断した。

8) 並列乾燥方式のライスセンタにおいては、個々

の循環式乾燥機に設置するバーナ部の施設費が高く、耐用年数内での償却は困難であることが判明した。

わが国において経済的に成り立つには、スケールメリットを考慮して3,000ton(米400ha)規模カントリーエレベータで可能であることを認めた。この場合の省エネルギー効果を経済試算すると、既存システムにおける年間の灯油、電気料金の合計13,262千円に対し、燐炭の販売収入も含めた場合、その92.6%までを代替することになる。農家側にとっても、現状1,500円~2,000円の施設利用料金が1,282円と試算されることから、十分、メリットがあると確信する。

## 謝 辞

本論文の取りまとめを強くお褒め戴き、激励を賜った東京大学農学部細川 明元教授、京都大学農学部山下律也教授、農業機械化研究所（現、生物系特定産業技術研究推進機構）前田耕一元理事、生物系特定産業技術研究推進機構芦澤利彰理事に心からお礼を申し上げる。

本研究は農林水産省農林水産技術会議事務局のグリーンエネルギー計画（昭和54～56年）、同農林水産技術会議事務局のバイオマス変換計画（昭和57～61年のうち昭和57年と61年）、同大臣官房企画室の省エネルギー技術実用化促進事業（昭和57～60年）において実施したものを取りまとめたものであり、農林水産技術会議事務局におけるプロジェクトのチームリーダーはじめ関係者各位、大臣官房企画室エネルギー対策室の担当官各位、農蚕園芸局農産課、同肥料機械課の担当官各位に厚くお礼申し上げます。また、試作にあたって金子農機株式会社、マイクロシステム株式会社、静岡製機株式会社、ヤンマーディーゼル株式会社、日本車輛製造株式会社のご協力を得た。

省エネルギー技術実用化促進事業においては、前田耕一元理事を主査とする開発調査検討委員会（委員：農林水産省農業研究センター入江道男（元）、宮沢福治（元）、東京大学農学部細川 明（元）、三重大学農学部竹田策三（故人）、全農施設資材部海老沢 勲の各氏、及び伴 敏三、鷹尾宏之進）を発足させ、エネルギー利用体系化と利用方式の評価について調査ワーキンググループ（岩手大学農学部清水 浩、京都大学農学部山下律也、九州大学農学部村田 敏の各氏）、パイロットプラントの設計、建設、実験調査および籾殻加熱ガス利用システム併設共同乾燥施設の設計、試算について設計ワーキンググループ（ガス発生部：日本車輛製造株式会社 三浦悠蔵、友松弘幸、杉山倫一郎、小林 実、乾燥調製部：株式会社佐竹製作所 大井澄男（元）、中田好彦、臼井 鏡、動力変換部：ヤンマー農機株式会社 中川 洋、市吉登美一、望月隆亮、森 光良（ヤンマーディーゼル株式会社）の各氏）を組織し、関係各社のご協力を得た。また、昭和60年度にはビルマ（現 ミャンマー）からの受託研修生U WIN MYINT 氏のご協力も得た。記して謝意を表す。なお、事務局は農業機械化研究所の企画調査部（主として、愛甲一郎（元）、船曳英雄（元）、石川秀男（元）、千葉哲朗（前））が担当した。

本論文の取りまとめにあたり、全般にわたって懇切なご指導とご校閲を賜った東京大学農学部森嶋 博教授に

深甚の謝意を表す。

さらに、取りまとめにあたって有益なご助言とご指摘を賜った東京大学農学部木谷 収教授に深く感謝の意を表す。

本研究は昭和54年度から昭和61年度まで8年間に亘って行った。この間、材料の供給、パイロットプラントの建設、使用にあたって竹村義一前附属農場長に多大のご協力を得た。特に、千葉哲朗現附属農場長には材料の供給からパイロットプラントの実用運転に至るまで絶大なご協力を得たことを付記し、併せて感謝の意を表す。

## 参 考 文 献

- 1) 新船 保 :もみがら処理の現状と有効利用、農業および園芸52巻2号、p66~72、昭52.2
- 2) 木谷 収 :農業における未利用資源、農業機械学会誌38巻4号、p567~570、昭52.3
- 3) 梅田重夫 :未利用資源利用システム、農業機械学会誌38巻4号、p571~574、昭52.3
- 4) 石橋貞人、田中俊一郎 :米の品質と乾燥および貯蔵の原理、農業機械学会誌33巻3号、p312~322、昭46.12
- 5) 山下律也 :もみ殻の熱源としての利用、農業機械学会第5回農業機械化シンポジウム資料、pB-27~B-32、昭50.10
- 6) 山下律也 :乾燥における省エネルギー、日本能率協会講演資料、p1~11、昭54.9
- 7) 清水 浩、菅野明宏、西山喜雄 :燃料としてのもみがらの物性研究、農業機械学会誌39巻4号、p477~481、昭53.3
- 8) 伴 敏三、鷹尾宏之進 :穀物乾燥機の動向と技術的問題点 [2]、農業および園芸53巻10号、p71~7418、昭53.10
- 9) 加藤宏郎 :乾燥機の省エネルギーと排熱利用、農業機械学会誌38巻4号、p603~614、昭52.3
- 10) 鷹尾宏之進 : 穀物加熱ガス化利用システムの研究、昭和61年度農業機械化研究所研究報告会資料、p32~54、昭62.3
- 11) H. Takao, T. Ban, K. Kubota : Development of a new system for pyrolytic gasification of rice husks, JARQ Vol.20 No.4, p242~247, 1987
- 12) 鷹尾宏之進、久保田興太郎、伴 敏三 : 農業廃棄物の加熱ガス化式ガス発生装置に関する研究、農業機械学会第40回総会講演要旨、p19、昭56.4
- 13) 伴 敏三、鷹尾宏之進、久保田興太郎 : 加熱ガス化式熱エネルギー発生装置及び利用装置、廃棄物の生産補助エネルギーへの変換、グリーンエナジー計画成果シリーズIV系(補助エネルギー変換) No.1、農林水産技術会議事務局、p22~42、昭58.3
- 14) 伴 敏三、鷹尾宏之進、久保田興太郎 : II 加熱ガス化式熱エネルギー発生装置及び利用装置、廃棄物の燃焼技術及び燃焼熱利用技術に関する研究、農林水産省大型別枠研究 バイオマス 変換計画 昭和57年度委託事業報告書、p15~32、昭58.3
- 15) 伴 敏三他4名 : 農業廃棄物のエネルギー化に伴う残渣の有効利用法、農林水産省大型別枠研究 バイオマス変換計画 昭和61年度委託事業報告書、昭62.3
- 16) 農業機械化研究所 : 穀物加熱ガス化利用システム一総括一、省エネルギー技術実用化促進事業(農業副産物等活用実験調査プロジェクト事業) 昭和60年度委託事業調査報告書、昭61.3
- 17) 農業機械化研究所 : エネルギー利用体系化と利用方式一共同乾燥施設を中心とする一、省エネルギー技術実用化促進事業(農業副産物等活用実験調査プロジェクト事業) 昭和59年度委託事業調査報告書、昭60.3
- 18) 農林水産省農蚕園芸局農産課 : 稲作関係資料(年次別報告、昭和50~60年度)
- 19) 江崎春雄、黒石 巖、湯沢昭太郎 : 籾による金属摩耗の発生原因の分析研究、農業機械学会誌45巻2号、p215~222、昭58.9
- 20) 小泉武紀 : 簡易火炉による籾がらその他の未利用資源の燃焼法、農業機械学会誌42巻3号、p451~454、昭55.12
- 21) 小泉武紀、谷喜久治 : もみがらの燃焼法について、農業機械学会誌34巻4号、p392~395、昭48.3
- 22) 松山善之助 : もみがらの活用一その工業利用の実態と農業上の利用一、農業機械学会誌39巻1号、p72~74、昭52.6
- 23) 戸次英二、岩崎義美 : 園芸ガラス温室におけるもみがら燃焼熱の利用に関する研究一熱収支と暖房負荷一、農業施設学会誌14巻2号、p13~21、昭59.5
- 24) 倉田 勇 : もみがらの熱源としての利用、アジア経済研究所、p15~18、昭55.5
- 25) 松山善之助 : もみ殻の活用と燃焼炉、農業機械学会第5回農業機械化シンポジウム資料、pB-23~B-26、昭50.10
- 26) 山下律也 : もみがら燃焼炉、農業機械学会誌39巻1号、p75~79、昭52.6
- 27) 田中正美 : 穀類乾燥調整施設における直熱式穀物熱風発生装置の利用、農業機械学会誌46巻2号、p264~269、昭59.9
- 28) 齊藤 亘 : 農業機械・施設の省エネルギーについて、農業のエネルギー利用技術に関するシンポジウム資料、p70~82、農業機械学会、昭56.8
- 29) 山下律也 : 乾燥における省エネルギー、農業における

- 省エネルギー、第7回農業機械化シンポジウム資料、p22～27、農業機械学会、昭54.4
- 30) 北海道立中央農業試験場農業機械部：籾がら（乾燥熱源）利用に関する試験、昭和51年度農業機械・施設試験成績書、p68～73、昭52.3
- 31) 北海道立中央農業試験場農業機械部：籾がら熱風発生装置利用試験、昭和52年度農業機械・施設試験成績書、p64～69、昭53.3
- 32) 北海道立中央農業試験場農業機械部：直火式籾がら熱風発生装置による籾乾燥、昭和54年度農業機械・施設試験成績書、p30～40、昭55.3
- 33) 農業電化協会：もみがら熱源利用による米麦共同乾燥施設、農水産電化施設省エネルギー事例集 第1集、p3～4、昭56.3
- 34) 岩崎義美：籾がら熱風発生装置について、農業施設学会誌シンポジウム資料11巻2号、p37-42、昭56.7
- 35) 伴 敏三、鷹尾宏之進、山崎正枝：もみがらの燃焼熱利用によるもみの乾燥、昭和58年度農林水産業エネルギー対策調査（農山漁村代替エネルギー開発利用促進調査）報告書、資料Ⅱ 代替エネルギー活用事例調査、農林水産技術情報協会、p119～133、昭59.3
- 36) 清水 浩、山本製作所：もみ殻燃焼炉の開発改良とその利用、昭和55年度農業施設学会年次大会講演要旨、p33～34、昭55.
- 37) 竹田策三：第1回農業廃棄物及び太陽熱利用技術会議について、エネルギー資源、Vol.3 No5、p1～5、昭57
- 38) 竹田策三：第2回アジアおよび太平洋地区発生炉ガス開発技術会議に出席して、農業機械学会誌45巻3号、p404～405、昭58.12
- 39) 高橋 威：ビルマのもみがら利用練炭、国際協力、p40～43、昭59.9
- 40) U Win Myint：On the production of paddy husk char briquette, Country paper of Burma, p1-8, 1985.8
- 41) 森野一高：インドにおける籾のパーボイル法について、農業施設研究会誌4巻2号、p1～5、昭49.3
- 42) 鷹尾宏之進：英米における穀物用施設の現状、昭和60年度農業機械化研究所研究報告会資料、p79～105昭61.3
- 43) Ibarra E. Cruz：Producer gas from agricultural wastes—Its production and utilization in a converted oil-fired boiler, Resource Recovery Conserv. Vol.2 No.3, p241～256, 1977
- 44) Ibarra E. Cruz：Studies on the practical application of producer gas from agricultural residues as supplementary fuel for diesel engines, ACS Symp. No.130, p649～669, 1980
- 45) John R. Goss; Raymond H. Coppock：Producing gas from crop residues, California Agriculture, p4～6, 1980.5
- 46) Stanley J. Clark：Thermal biomass gasification, Agricultural Engineering, Vol.62 No.5, p14～15, 1981
- 47) J. W. Tatom, H. W. Wellborn, R. D. Hardy：Pyrolysis of waste biomass in developing countries, Beyond Energy Crisis, Vol.3, p1871～1877, 1981
- 48) A. S. Ogunlowo, W. J. Chancellor, J. R. Goss：Dual-fueling a small diesel engine with producer gas, Transactions of the ASAE, p48～51, 1981
- 49) J. Ortiz-Canavate, D. J. Hills, W. J. Chancellor：Diesel engine modification to operate on biogas, Transactions of the ASAE, p808～813, 1981
- 50) C. B. Richey, J. R. Baarett, G. H. Foster：Biomass channel-gasification furnace, Transactions of the ASAE, p2～6, 1982
- 51) W. A. Lepori et al.：Small scale power generation from biomass—technical potential, ASAE Paper No. 83-3541, p1～15, 1983
- 52) D. D. Jones, C. B. Parnell, Jr. and W. A. Lepori：Physical properties of ash emitted from a fluidized-bed gasifier, ASAE Paper No. 84-1581～11, 1984
- 53) Dean F. Mahin：Power from rice husk, Bioenergy systems report, p1～28, 1986.4
- 54) 竹田策三：農産廃棄物利用ガス機関について、農業機械学会誌39巻1号、p80～82、昭52.6
- 55) 田中咲雄：新しいエネルギー有効利用システム—石油トータルエネルギーシステム—、化学工学51巻3号、p194～196、昭62
- 56) 国井大蔵：炉と燃焼装置、科学技術社、昭51.9
- 57) 日本瓦斯協会：都市ガス工業 供給編、日本瓦斯協会、昭53.4
- 58) 河村光隆、外山茂樹：エネルギー開発における移動層の技術動向、化学工学 47巻11号、p710～714、

- 昭58
- 59) 清水 浩 : バイオマスの熱分解条件の究明(第1報) - 液体分の取得率と気体分の組成とについて -、農業機械学会誌47巻1号、p73~78、昭60.6
- 60) 清水 浩、木村俊範 : もみがらの直接燃焼時の特性についての基礎研究、農業機械学会誌46巻1号、p633~638、昭59.6
- 61) 清水 浩、木村俊範 : もみ殻燃焼における揮発分の研究、農業機械学会誌42巻3号、p383~389、昭55.12
- 62) 農業機械化研究所昭和40年度事業報告 : 籾殻燃焼炉に関する研究 - スクリューコンベア籾殻供給装置をもつ燃焼炉の試作研究 -、p122~125、昭41.2
- 63) 農業機械化研究所昭和41年度事業報告 : 籾殻燃焼炉に関する研究 - スクリューコンベア籾殻供給装置をもつ燃焼炉の試作研究 -、p128~131、昭42.2
- 64) 伴 敏三ほか5名 : 水田利用再編対策に係わる畑作物用機械の開発改良に関する研究(第2報)、農業機械化研究所、p127~134、昭56.2
- 65) 愛知県農業総合試験場 : 昭和57年度省エネルギー技術実用化促進事業報告書(農業副産物等実験調査プロジェクト事業)、昭58.3
- 66) 日本瓦斯協会 : 都市ガス工業器具編、日本瓦斯協会、昭53.3
- 67) 竹田策三ほか3名 : 農用エンジンオイルの研究 - 粗悪燃料および指定燃料使用時の農用エンジンの運転性能ならびにオイルの劣化について -、農業機械学会第28回総会講演要旨、p2、昭44.4
- 68) 竹田策三 : 農用機関 Sealed system 化の研究、農業機械学会第38回総会講演要旨、p14、昭54.4
- 69) 梅田重夫 : 農業生産施設における直接エネルギー(1)、農業機械学会誌45巻1号、p143~147、昭58.6
- 70) 後藤清和、山下律也 : 穀物乾燥調製施設の低コスト化、農業機械学会誌46巻1号、p671~638、昭59.6
- 71) 海老沢勲 : わが国の稲麦作農業と共乾施設、農業施設学会昭和61年度秋期シンポジウム大会資料、p1~15、昭61.9
- 72) 上田貞夫、山下律也 : 穀物乾燥貯蔵施設の設計・利用法の研究(第1報) - 施設利用実態からみた問題点と技術診断 -、農業施設誌7巻1号、p9~19、昭51.10
- 73) 豊岡繁雄 : ライスセンタ運営の現状と問題点、農業施設誌3巻1号、p63~71、昭47.9
- 74) 山下律也 : 穀物乾燥施設の診断、農業機械学会、昭60.3
- 75) 伴 敏三 : 乾燥機の発展方向、農業機械化研究所昭和52年度研究報告会資料、p15~28、1978.3
- 76) 農林水産省大臣官房企画室エネルギー対策室 : 大規模共同乾燥施設における消費エネルギー原単位及び全国推計エネルギー消費量(農林水産省大臣官房企画室エネルギー対策室資料)、昭57.5
- 77) 北海道電力(株)電気供給規程(昭和56年10月)及び電気供給規程取扱細則(昭和55年2月)
- 78) 東北電力(株)電気供給規程(昭和55年4月)及び電気供給規程取扱細則(昭和55年4月)
- 79) 北陸電力(株)電気供給規程(昭和55年4月)及び電気供給規程取扱細則(昭和55年4月)
- 80) 東京電力(株)電気供給規程(昭和55年4月)及び電気供給規程取扱細則(昭和58年4月)
- 81) 関西電力(株)電気供給規程(昭和55年4月)及び電気供給規程取扱細則(昭和55年4月)
- 82) 中部電力(株)電気供給規程(昭和55年4月)及び電気供給規程取扱細則(昭和55年4月)
- 83) 中国電力(株)電気供給規程(昭和55年4月)及び電気供給規程取扱細則(昭和55年4月)
- 84) 四国電力(株)電気供給規程(昭和55年4月)及び電気供給規程取扱細則(昭和55年4月)
- 85) 九州電力(株)電気供給規程(昭和55年4月)及び電気供給規程取扱細則(昭和55年4月)
- 86) 全購連 農機施設部 : 穀類共同乾燥調製施設(ライスセンター)のてびき、全購連農機施設部、昭45.7
- 87) 全農 建設部 : 穀類貯蔵乾燥施設(ドライストア)のてびき、全農 建設部、昭50.2
- 88) 農林水産省農蚕園芸局 : 大規模乾燥調製貯蔵施設関係通達集、農林水産省農蚕園芸局、昭59.10
- 89) 全農 施設・資材部 : カントリーエレベーターのてびき、全農施設・資材部、昭51.5
- 90) 清水 浩、林 節男 : もみがらくん炭のろ材特性についての研究、農業機械学会誌38巻4号、p551~557、昭52.3
- 91) 清水 浩ほか3名 : もみがらの固形炭分の燃焼についての研究、農業機械学会誌44巻1号、p79~84、昭57.6
- 92) 佐々木一雄 : 吸着に関する研究 第1報、籾殻より活性炭の製造、神奈川大学工学部研究報告(No.8) 9417360、p44~56、昭47.4



- 93) 清水 浩：籾殻および籾殻燻炭の物性とその燃焼理論の究明、昭和53年度科学研究費補助金（一般研究C）研究成果報告書
- 94) 長廣仁蔵、樋口 健：バイオガス・くん炭連続製造装置に関する研究 - 「もみがら」くん炭を原料としたSiCの合成-、農業機械学会誌49巻6号、p527~536、昭62.11
- 95) L. P. Hunt, J. P. Dismukes, J. A. Amick: Rice hulls as a raw material for producing silicon, Solid state Science and Technology, J. Electrochem. Soc. Vol. 131 No. 7, p1683~1686, 1984. 7
- 96) 日本芳香族工業会：芳香族及びタール工業ハンドブック、日本芳香族工業会、昭53.12
- 97) 通商産業省工業技術院・サンシャイン計画推進本部：昭和62年度の太陽光発電技術開発計画と予算、光発電No. 1、p8~10、昭62. 7
- 98) 資源エネルギー庁編：電源耐用年発電原価試算、石油代替エネルギー便覧、p175、1988. 9

## Summary

### Studies on the Development of a Rice Husk Gasification and Utilization System

Hironoshin TAKAO, Toshizo BAN and Kotaro KUBOTA

This is a study on the development of an energy saving system for cooperative grain drying facilities which are called "Rice Centers" or "Country Elevators" in Japan. In paddy drying facilities, rice husks are produced at the process of paddy husking as waste or residue, which weighs about 20% of the weight of paddy. The objective of this study is to utilize rice husks through their gasification, and further, to use the generated husk gas both as a drying heat source with husk gas burner, and as electric power source for driving facilities using husk gas engine. After fundamental studies, a pilot plant was constructed; and through results of its practical use for three years, along with results of investigations in cooperative drying facilities, guidelines for designing were proposed. Further, drying facilities equipped with rice husk gasification and utilization system were designed and economically assessed.

The contents of this paper are as follows:

Chapter 1: background of energy saving, statistics and consideration on rice husk utilization, review and analysis of existing reports concerned with rice husk utilization as energy, Chapter 2: development of a new continuous rice husk gasifier, Chapter 3: development of husk gas utility equipment, husk gas burner and husk gas engine, distillatory apparatus in order to use husk tar secondarily produced by gasification, Chapter 4: design and construction of a pilot plant, practical operations through 3 years, tests and improvements of each composing units, i.e., rice husk gasification unit, paddy drying and processing unit, conversion unit of husk gas to electric power, and Chapter 5: survey of practical operating conditions in cooperative paddy, wheat and barley drying facilities, a proposal of guidelines for designing based on the results of surveys and practical operation of the pilot plant, estimation of operational costs and

its evaluation.

Given below is a summary of the achievements and discussions in each chapter.

## Chapter 1 Introduction

About 15 years ago, the price of petroleum gave such a sharp rise, as is cited as "oil shock", and every people felt apprehensions regarding drain of energy resources. So, it was of urgent necessity for our country to save petroleum directly or indirectly and to develop alternative energy. Because energy consumption in cooperative paddy, wheat, barley drying facilities was fairly large, and the effect of energy saving could be estimated high enough in these facilities, it was of great importance to realize energy saving cooperative facilities.

The number of drying facilities in operation were 2,157 rice centers, and 204 country elevators in 1979 and the increase of these facilities during the period from 1976 to 1985 were about 130 rice centers and 14 country elevators. Total national production of rice husks was 2.629 million tons a year, about 14% of which was from these facilities. Although rice husks were partially utilized as drainage materials, litters or manure, for almost half of rice husks, alternative ways of utilization had to be realized.

In our country, husk burning type furnace was developed in 1965, but the durability of husk feeding unit and roster was not satisfactory because of abrasion and deterioration by high temperature, respectively. Moreover, development of husk gasification did not succeed. In foreign countries, there were some reports concerning husk gasification, but system of utilization of husk gas as heat source for drying and as electric power for driving motors had not been mentioned of.

## Chapter 2 Development of Rice Husk Pyrolysis Gasifier

To obtain basic information on husk gasification in advance of designing work, preliminary experiments were carried out by batch method (updraft type gas furnace: inside diameter 450mm, outside diameter 750mm, height 1800mm). Then, on the basis of these results, gas generating furnaces of updraft type and moving layer form (inside diameter 450mm, outside diameter 750mm, height 2700mm) were designed and manufactured as

DHF-791, DHF-801, DHF-811, DHF-821 type, successively. These furnaces were able to generate husk gas continuously by gasifying husks fed into the furnaces, using a part of combustion heat of husks. They were simple in structure without roster; and combustion residue, i.e., carbonized husks, was discharged by driving a plunger intermittently.

In DHF-791 type, fundamental data to gasify rice husks continuously by manual operation were obtained. The optimum amount of rice husks to gasify was about 30kg/h.

In DHF-801 type, roughly speaking,  $1\text{m}^3$  of gas was obtained from 1kg of rice husks. The result of gas analysis indicated that the composition of the gas was:  $\text{N}_2$  50%,  $\text{CO}_2$  10%,  $\text{O}_2$  3%,  $\text{CO}$  20%,  $\text{H}_2$  10%,  $\text{CH}_4$  2% and others ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ). The average of net calorie was estimated at  $4.186\text{kJ}/\text{m}^3$ . Automatic control of gasifier was found to have practical possibilities.

In DHF-811 type, in order to supply husk gas into gas receiving equipment at a stabilized gas pressure, a gas holder of  $30\text{m}^3$  was installed. As the automation of the system by the use of a microcomputer was intended, a computer program was formulated by BASIC to make it possible to generate husk gas continuously.

The rice husks used for the experiments contained 61% volatile matters, 19% fixed carbon, and 20% ash, and the residue after burning were about 5, 36, and 59% respectively.

In DHF-821 type, to accelerate the control cycle and optimize gas generation, the control program was revised and written in ASSEMBLER. The height of the furnace was reduced to 2/3 that of the DHF-791 type for saving cost. Gas cleaner units, which were composed of a water spray unit and a cyclone, were effective to remove tar from husk gas. Tar content in husk gas was about  $5\text{g}/\text{m}^3$  at the outlet of the furnace, and was about  $80\text{mg}/\text{m}^3$  after the cleaning of gas. This content gave no trouble to the operation of husk gas burners and engines. With this type, technical solution for the realization of continuous gasification as a system was achieved, which involved techniques to gasify rice husk, to control the furnace, to clean husk gas and to store husk gas temporarily. Hereby, husk gas utility equipment as heat source for drying and electric power source for driving motors remained undeveloped.

### Chapter 3 Development of Husk Gas Utility Equipment

The results of combustion test using a universal gas burner, with an LP gas burner as a supplemental burner, showed a good possibility to use husk gas as fuel for drying. Next a trial husk gas burner without supplemental burner was produced, but the result of combustion test was not sufficient because the smell of husk gas remained at the stage of ignition. As the reason of smell was recognized as the result of late propagation of flame from the ignition point to burner, a simple flame keeping board was installed, which made the husk gas burner possible to be used. After the petroleum burner of a conventional circulating type dryer had been removed, a husk gas burner of this type was incorporated to the dryer, and the performance of the burner was examined. Through this, the burner was decided to be adopted for practical use.

After a series of tests was successfully made with a 4-cycle gasoline engine (168cc) using husk gas, starting and running tests of a gas engine (226cc) were carried out using husk gas, and the possibility of power conversion was surveyed by driving an electric generator. After 30 hours running, the engine was disassembled and inspected; the influence of tar was found at the zero-governor, mixer and a tappet of intake. An improved husk gas engine was offered for about 80 hours running test and the effects of improvement were positively affirmed. Power conversion was thus technically approved for practical use.

Distillatory apparatus of husk tar was produced and distilled fractions were analyzed. Some fractions might be used as diesel fuel, if blended with 50% heavy oil.

Thus, techniques for the full utilization of rice husks were established through our development of two equipment. They are, firstly, an equipment to utilize husk gas as the sources of heat and power, and secondly, an piece of equipment to afford additional value to husk tar.

### Chapter 4 Design, Production and Practical Operation of Pilot Plant

A pilot plant (75TONS scale of paddy) for pyrolytic gasification of rice husks was constructed to establish designing guidelines through practical experiments. Through 3 years iterations of practical grain drying of paddy, wheat and barley, and 500 hours continuous running tests of a husk gas engine, followings were obtained.

In gasification unit (updraft type and moving layer form husk gas furnace: generated gas amount  $50\text{m}^3/\text{h} \times 2$ , gas holder:  $50\text{m}^3$ ,  $1.96\text{KPa}$ ), rated capacity was secured as the results of the improvements of programs for automatic control and countermeasures to electrical noise and to clinker. Through the disassembly surveys after each working season, the influence of husk tar was found negligible. This unit was thus practically completed.

For drying and processing unit (circulating type dryer: holding capacity  $2.5\text{t} \times 2$ ), the state of combustion of husk gas burner (maximum combustible quantity  $30\text{m}^3/\text{h}$ ) was satisfactory, and tar in husk gas could be removed by a Y-shaped strainer. Heat of the exhaust pipe and radiator was effectively used for preheating of drying air, the effect of which corresponded to as high as  $1/3$  calorie of petroleum. Moreover, the use of husk gas as heat source of drying did not affect the results of taste evaluation tests on cooked rice.

In power generating unit, the husk gas engine (4cycle, displacement  $2,339\text{cc}$ , rated output  $14.5\text{PS}$ ) ran smoothly, and the generated electricity was at such a stable state as to be easily switched to commercial electricity. Husk gas of  $3.5\text{m}^3$  was required to generate  $1\text{kW}$ . The results of total driving time  $1,925\text{h}$  and total generated electricity  $8,210\text{kWh}$  for 3 years proved the completion of the conversion technique.

As mentioned above, the system of rice husk pyrolysis gasification and related gas utilization reached at technical completion through practical experiments and improvements.

#### Chapter 5 Guidelines for Design, Operational Accounting and Evaluation of Cooperative Drying Facilities Equipped with a Rice Husk Pyrolytic Gasification System

Investigation of energy consumption at 26 cooperative drying facilities and of electric fee based on electric supply regulations of 9 electric companies was conducted to establish practical designing guidelines for cooperative drying facilities equipped with a rice husk pyrolytic gasification system. On the results of this investigation, facilities with a gasification system were designed for four typical cases of covering area, and their operational accounting and evaluation were carried out.

Amount of energy required for existing system were as follows.

Heating source: 21.6 liters of petroleum per ton of products(husked rice)

Petroleum price: 68 - 99 (60 in case of accounting) yen per liter

Electric power source: 100 kWh per ton of products (husked rice)

Installed capacity of electricity: 1 kW per ha of covered area

Ratio of electric fee to total of petroleum and electricity: 65%

Electric power rates: 32.0 - 50.3 (average 42.3) yen per kWh

(including basic fee, which account for 35 - 54%)

The results of operational accounting showed that the power conversion method gained an advantage over direct substitution of petroleum by husks as heat source, because of higher price of electric power. Country elevator of 3,000 TONS scale with a gasification system was recognized to be at economic profit under economic conditions of our country.

Tech. Rep. Inst. of Agric. Mach. 25:29-103(1990)

---

農業機械化研究所報告 第25号

平成2年7月28日 印刷・発行

Technical Report of the Institute of  
Agricultural Machinery No.25

頒価1,250円

〒331 埼玉県大宮市日進町1丁目  
Nisshin, Omiya, Saitama, Japan  
Tel. 048-663-3901~4

生物系特定産業技術研究推進機構

農業機械化研究所

Institute of Agricultural Machinery

Bio-oriented Technology Research Advancement Institution

---

印刷・製本／ 株式会社 三元社